

발 간 등 록 번 호

11-1360169-000026-12

# 지역기후변화보고서 (제주도)

2011. 11.



**제주지방기상청**

Jeju Regional Meteorological Administration



# 발 간 사

21세기의 중요한 화두는 기후변화와 이에 대한 대응이 될 것입니다. 최근 세계 도처에서는 지구온난화와 기후변화의 영향으로 집중호우, 태풍, 폭염, 폭설, 한파 등 위험기상이 빈번하게 발생하고 있으며, 이러한 이상기후 현상은 세계 각국 산업 전반에 걸쳐 영향을 미치면서 세계경제를 위협하고 있습니다. 그동안 인간의 삶을 풍요롭게 하고 산업을 발전시키기 위한 개발로 파괴된 자연환경은 기후변화라는 재앙으로 다시 되돌아와 우리 생활과 삶의 터전에 많은 피해를 주고 있으며, 국가의 위기관리를 위한 중요한 요소로 자리하고 있습니다. 이러한 시기에 우리지역의 기후변화 현황과 영향에 대한 정확한 조사와 분석 자료를 바탕으로 지역기후변화에 효과적으로 대응하고 슬기롭게 적응하기 위한 협력과 준비를 함께 하여야 할 것입니다.

제주도의 날씨는 1,950m의 한라산과 사면이 바다인 타원형의 지형지세로 산악과 해양의 영향을 받아 복합적인 기상과 기후특성이 나타나고 있으며, 지형적인 영향으로 국지적인 집중호우, 안개 등 제주도 동서남북의 다양한 기상현상을 발생시키며, 변화무쌍한 날씨변화를 가져오고, 해안과 산간의 기후편차를 매우 크게 하고 있습니다. 반면에 이러한 특이한 기상·기후특성이 만들어낸 아름다운 제주도의 자연풍광은 2011년 11월 11일 세계7대 자연경관 선정의 쾌거를 이루는 결과로 이어지기도 하였습니다.

기후변화로 인하여 나타나는 이상기후는 지역별로 다르게 나타나고 있으며, 그 피해의 양상도 매우 상이하여 지역에 맞는 각 분야별 대응대책의 수립이 무엇보다 시급하고 중요하다고 할 수 있습니다. 현재의 시기가 풍요롭다고 하여 미래를 준비하고 대응방안 마련을 게을리 한다면, 가까운 미래에 우리가 예상하지 못한 위기를 맞게 될 것입니다.

지금 우리가 해야 할 일은 우리가 살고 있는 지역에서 나타나는 기후변화를 올바르게 이해하고 대응 및 적응의 필요성을 공감함으로써 우리에게 닥쳐올 위기를 기회로 잘 활용할 수 있는 지혜를 모아 적극적인 대비가 필요한 시점입니다.

이러한 취지로 제주지방기상청에서는 제주도의 기후변화 현황에 대한 정확한 분석과 영향 및 취약성 조사에 근거한 기후변화보고서를 발간하게 되었습니다. 보고서에는 기후변화 시나리오에 의한 기후변화과학정보가 포함되어 있어 유관기관의 기후변화 적응 정책 수립을 지원하는데 도움을 줄 것으로 생각합니다. 이 보고서가 우리 지역의 기후변화 이해를 높이는데 도움이 되고, 나아가 기상·기후 정보를 활용하여 다양한 지역산업과 접목시켜 향후 지역기후변화에 따른 미래의 정책방안 마련에 널리 활용되기를 기대합니다.

2011. 11.

제주지방기상청장 **김진국**





# 목 차

그림목차 .....	vi
표목차 .....	xx
<b>요약 .....</b>	<b>cxix</b>
<b>들어가기 .....</b>	<b>cxviii</b>
<b>I. 서론 .....</b>	<b>1</b>
1. 지리적 특성 .....	3
1) 자연환경 .....	3
2) 인문환경 .....	4
2. 관측환경의 특성 .....	7
<b>II. 제주도의 기후 .....</b>	<b>11</b>
1. 기온 .....	12
1) 연과 계절 분포 .....	12
2) 상세공간분포 .....	16
2. 강수 .....	21
1) 연과 계절 분포 .....	21
2) 상세공간분포 .....	22
3. 바람 .....	26
4. 기타 기후요소 .....	43
5. 주요 현상일수와 극한기후사상 .....	48
1) 주요 현상일수 .....	48
2) 극값 및 특이기상 .....	57
3) 극한기후사상 .....	63

<b>III. 제주도의 기후변화</b>	<b>71</b>
1. 30년 평균기후 변화	73
2. 장기간(1973~2010) 기후변화 추세	81
1) 기온	81
2) 강수	101
3. 기타 기후요소 변화	109
1) 일교차	111
2) 운량	116
3) 일조시간	121
4) 상대습도	126
5) 증발량	131
4. 주요 현상일수와 극한기후사상 변화	134
1) 주요 현상일수	134
2) 극값 및 특이기상	164
3) 극한기후사상	174
5. 생물계절 및 기후계절 변화	189
1) 기후계절 변화	189
2) 식물계절 변화	192
3) 동물계절 변화	197
4) 생활계절 변화	200
<b>IV. 제주도의 미래 기후변화 전망</b>	<b>203</b>
1. 기후변화 추세 전망	205
1) 기온	205
2) 강수	208
2. 기후변화 공간분포 전망	210
1) 기온	210
2) 강수	219
3. 극한기후지수 변화 전망	222
<b>V. 제주도의 기후변화의 영향과 대응</b>	<b>243</b>

1. 기후변화와 관련된 주요 분야 .....	244
2. 분야별 기후변화 영향 및 적응 사례 .....	245
1) 관광업 .....	245
2) 수산업 .....	246
3) 농업 .....	248
4) 산림생태계 .....	250
5) 재난 및 재해 .....	252
6) 수자원 .....	254
7) 보건 및 건강 .....	255
3. 기후변화 저감대책 수립 현황 및 활용방안 .....	256
<b>참고문헌</b> .....	<b>259</b>
<b>부록</b> .....	<b>263</b>

# 그림 목 차

그림 1-1-1. 제주도의 해발고도에 따른 지역구분(해안, 중산간, 산간) .....	3
그림 1-1-2. 제주도의 음영기복과 하천 분포 .....	4
그림 1-1-3. 제주도(2007)의 토지이용 .....	5
그림 1-2-1. 제주의 관측환경 .....	8
그림 1-2-2. 서귀포의 관측환경 .....	8
그림 1-2-3. 성산의 관측환경 .....	8
그림 1-2-4. 고산의 관측환경 .....	8
그림 1-2-5. 2011년 10월 현재 모든 기상관측지점 .....	9
그림 1-2-6. 기후통계(2001~2010) 사용된 관측지점. ....	9
그림 1-2-7. 고해상도(10km) 기후변화 시나리오 자료 격자(제주도) .....	10
그림 2-1-1. 제주도의 연·계절 평균기온 공간분포(1981~2010년) .....	13
그림 2-1-2. 제주도의 연·계절 최고기온 공간분포(1981~2010년) .....	14
그림 2-1-3. 제주도의 연·계절 최저기온 공간분포(1981~2010년) .....	15
그림 2-1-4. 제주도의 평균기온 공간분포(위)와 관측지점 분포(아래) (2001~2010년) .....	16
그림 2-1-5. 제주도의 계절별 평균기온 공간분포(2001~2010년) .....	17
그림 2-1-6. 제주도의 계절별 평균기온 관측지점(2001~2010년) .....	17
그림 2-1-7. 제주도의 최고기온 공간분포(위)와 관측지점 분포(아래) (2001~2010년) .....	19
그림 2-1-8. 제주도의 최저기온 공간분포(위)와 관측지점 분포(아래) (2001~2010년) .....	20
그림 2-2-1. 제주도의 연·계절 강수량 공간분포(1981~2010년) .....	21
그림 2-2-2. 제주도의 연강수량 공간분포(위)와 관측지점 분포(아래) (2001~2010년) .....	23
그림 2-2-3. 제주도의 계절별 강수량 공간분포(2001~2010년) .....	24
그림 2-2-4. 제주도의 계절별 강수량 관측지점(2001~2010년) .....	24

그림 2-3-1. 바람장미 설명 .....	26
그림 2-3-2. 제주의 바람장미(1981~2010년) .....	27
그림 2-3-3. 제주의 (a) 봄철, (b) 여름철, (c) 가을철, (d) 겨울철의 바람장미(1981~2010년) .....	27
그림 2-3-4. 제주의 (a) 1월, (b) 2월, (c) 3월, (d) 4월의 바람장미(1981~2010년) .....	28
그림 2-3-5. 제주의 (a) 5월, (b) 6월, (c) 7월, (d) 8월의 바람장미(1981~2010년) .....	29
그림 2-3-6. 제주의 (a) 9월, (b) 10월, (c) 11월, (d) 12월의 바람장미(1981~2010년) .....	30
그림 2-3-7. 서귀포의 바람장미(1981~2010년) .....	31
그림 2-3-8. 서귀포의 (a) 봄철, (b) 여름철, (c) 가을철, (d) 겨울철의 바람장미(1981~2010 년) .....	31
그림 2-3-9. 서귀포의 (a) 1월, (b) 2월, (c) 3월, (d) 4월의 바람장미(1981~2010년) .....	32
그림 2-3-10. 서귀포의 (a) 5월, (b) 6월, (c) 7월, (d) 8월의 바람장미(1981~2010년) .....	33
그림 2-3-11. 서귀포의 (a) 9월, (b) 10월, (c) 11월, (d) 12월의 바람장미(1981~2010년) ·	34
그림 2-3-12. 성산의 바람장미(1981~2010년) .....	35
그림 2-3-13. 성산의 (a) 봄철, (b) 여름철, (c) 가을철, (d) 겨울철의 바람장미(1981~2010년) .....	35
그림 2-3-14. 성산의 (a) 1월, (b) 2월, (c) 3월, (d) 4월의 바람장미(1981~2010년) .....	36
그림 2-3-15. 성산의 (a) 5월, (b) 6월, (c) 7월, (d) 8월의 바람장미(1981~2010년) .....	37
그림 2-3-16. 성산의 (a) 9월, (b) 10월, (c) 11월, (d) 12월의 바람장미(1981~2010년) .....	38
그림 2-3-17. 고산의 바람장미(1988~2010년) .....	39
그림 2-3-18. 고산의 (a) 봄철, (b) 여름철, (c) 가을철, (d) 겨울철의 바람장미(1988~2010년) .....	39
그림 2-3-19. 고산의 (a) 1월, (b) 2월, (c) 3월, (d) 4월의 바람장미(1988~2010년) .....	40
그림 2-3-20. 고산의 (a) 5월, (b) 6월, (c) 7월, (d) 8월의 바람장미(1988~2010년) .....	41
그림 2-3-21. 고산의 (a) 9월, (b) 10월, (c) 11월, (d) 12월의 바람장미(1988~2010년) .....	42
그림 2-4-1. 제주도의 연·계절 일교차 공간분포(1981~2010년) .....	43

그림 2-4-2. 제주도의 연·계절 상대습도 공간분포(1981~2010년) .....	44
그림 2-4-3. 제주도의 연·계절 일조시간 공간분포(1981~2010년) .....	45
그림 2-4-4. 제주도의 연·계절 운량 공간분포(1981~2010년) .....	46
그림 2-4-5. 제주도의 연·계절 증발량 공간분포(1981~2010년) .....	46
그림 2-5-1. 제주도의 연·계절 일강수량 0.1mm 이상일수 공간분포(1981~2010년) .....	48
그림 2-5-2. 제주도의 연·계절 일강수량 80mm 이상일수 공간분포(1981~2010년) .....	49
그림 2-5-3. 제주도의 연·계절 눈 일수 공간분포(1981~2010년) .....	50
그림 2-5-4. 제주도의 연·계절 신적설 5.0cm 이상일수 공간분포(1981~2010년) .....	50
그림 2-5-5. 제주도의 연·계절 일최저기온 25℃ 이상일수 공간분포(1981~2010년) .....	51
그림 2-5-6. 제주도의 연·계절 일최고기온 33℃ 이상의 2일 이상 지속일수 공간분포 (1981~2010년) .....	52
그림 2-5-7. 제주도의 연·계절 황사일수 공간분포(1981~2010년) .....	53
그림 2-5-8. 제주도의 연·계절 서리일수 공간분포(1981~2010년) .....	53
그림 2-5-9. 제주도의 연·계절 얼음일수 공간분포(1981~2010년) .....	54
그림 2-5-10. 제주도의 연·계절 우박일수 공간분포(1981~2010년) .....	55
그림 2-5-11. 제주도의 연·계절 안개일수 공간분포(1981~2010년) .....	55
그림 2-5-12. 제주도의 연·계절 뇌전일수 공간분포(1981~2010년) .....	56
그림 2-5-13. 제주도의 일평균기온 최고와 최고기온 최고 공간분포(1981~2010년) .....	57
그림 2-5-14. 제주도의 일평균기온 최저와 최저기온 최저 공간분포(1981~2010년) .....	58
그림 2-5-15. 제주도 일강수량 최다와 1시간강수량 최다 공간분포(1981~2010년) .....	60
그림 2-5-16. 제주도의 최심신적설과 최심적설 공간분포(1981~2010년) .....	61
그림 2-5-17. 제주도 최대풍속과 최대순간풍속 공간분포(1981~2010년) .....	62
그림 2-5-18. 제주도의 연·계절 최고기온 95퍼센타일 공간분포(1981~2010년) .....	64
그림 2-5-19. 제주도의 연·계절 최고기온 99퍼센타일 공간분포(1981~2010년) .....	64
그림 2-5-20. 제주도의 연·계절 최저기온 5퍼센타일 공간분포(1981~2010년) .....	65

그림 2-5-21. 제주도의 연·계절 최저기온 1퍼센타일 공간분포(1981~2010년) .....	66
그림 2-5-22. 제주도의 연·계절 강수량 95퍼센타일 공간분포(1981~2010년) .....	67
그림 2-5-23. 제주도의 연·계절 강수량 99퍼센타일 공간분포(1981~2010년) .....	67
그림 3-1-1. 제주도의 Climograph(1971~2000, 1981~2010).....	73
그림 3-1-2. 제주의 Climograph(1971~2000, 1981~2010) .....	75
그림 3-1-3. 서귀포의 Climograph(1971~2000, 1981~2010).....	77
그림 3-1-4. 성산의 Climograph(1973~2000, 1981~2010) .....	78
그림 3-1-5. 고산의 Climograph(1988~2010) .....	80
그림 3-2-1. 제주도 해안지역의 연평균기온의 변화(1973~2010) .....	82
그림 3-2-2. 제주도 해안지역의 계절별 평균기온 변화(1973~2010) .....	82
그림 3-2-3. 제주도 해안지역의 연최고기온의 변화(1973~2010) .....	83
그림 3-2-4. 제주도 해안지역의 계절별 최고기온 변화(1973~2010) .....	83
그림 3-2-5. 제주도 해안지역의 연최저기온의 변화(1973~2010) .....	84
그림 3-2-6. 제주도 해안지역의 계절별 최저기온 변화(1973~2010) .....	84
그림 3-2-7. 제주의 연평균기온의 변화(1973~2010) .....	89
그림 3-2-8. 제주의 계절별 평균기온 변화(1973~2010) .....	89
그림 3-2-9. 제주의 연최고기온의 변화(1973~2010) .....	90
그림 3-2-10. 제주의 계절별 최고기온 변화(1973~2010) .....	90
그림 3-2-11. 제주의 연최저기온의 변화(1973~2010) .....	91
그림 3-2-12. 제주의 계절별 최저기온 변화(1973~2010) .....	91
그림 3-2-13. 서귀포의 연평균기온의 변화(1973~2010) .....	92
그림 3-2-14. 서귀포의 계절별 평균기온 변화(1973~2010) .....	92
그림 3-2-15. 서귀포의 연최고기온의 변화(1973~2010) .....	93
그림 3-2-16. 서귀포의 계절별 최고기온 변화(1973~2010) .....	93

그림 3-2-17. 서귀포의 연최저기온의 변화(1973~2010)	94
그림 3-2-18. 서귀포의 계절별 최저기온 변화(1973~2010)	94
그림 3-2-19. 성산의 연평균기온의 변화(1973~2010)	95
그림 3-2-20. 성산의 계절별 평균기온 변화(1973~2010)	95
그림 3-2-21. 성산의 연최고기온의 변화(1973~2010)	96
그림 3-2-22. 성산의 계절별 최고기온 변화(1973~2010)	96
그림 3-2-23. 성산의 연최저기온의 변화(1973~2010)	97
그림 3-2-24. 성산의 계절별 최저기온 변화(1973~2010)	97
그림 3-2-25. 고산의 연평균기온의 변화(1973~2010)	98
그림 3-2-26. 고산의 계절별 평균기온 변화(1973~2010)	98
그림 3-2-27. 고산의 연최고기온의 변화(1973~2010)	99
그림 3-2-28. 고산의 계절별 최고기온 변화(1973~2010)	99
그림 3-2-29. 고산의 연최저기온의 변화(1973~2010)	100
그림 3-2-30. 고산의 계절별 최저기온 변화(1973~2010)	100
그림 3-2-31. 제주도 해안지역의 연강수량 변화(1973~2010)	103
그림 3-2-32. 제주도 해안지역의 계절별 강수량 변화(1973~2010)	103
그림 3-2-33. 제주의 연강수량 변화(1973~2010)	104
그림 3-2-34. 제주의 계절별 강수량 변화(1973~2010)	104
그림 3-2-35. 서귀포의 연강수량 변화(1973~2010)	105
그림 3-2-36. 서귀포의 계절별 강수량 변화(1973~2010)	105
그림 3-2-37. 성산의 연강수량 변화(1973~2010)	106
그림 3-2-38. 성산의 계절별 강수량 변화(1973~2010)	106
그림 3-2-39. 고산의 연강수량 변화(1973~2010)	107
그림 3-2-40. 고산의 사계절 강수량 시계열 변화(1973~2010)	107



그림 3-3-1. 제주도 해안지역의 연 일교차 변화(1973~2010).....	111
그림 3-3-2. 제주도 해안지역의 계절별 일교차 변화(1973~2010) .....	111
그림 3-3-3. 제주의 연 일교차 변화(1973~2010).....	112
그림 3-3-4. 제주의 계절별 일교차 변화(1973~2010) .....	112
그림 3-3-5. 서귀포의 연 일교차 변화(1973~2010).....	113
그림 3-3-6. 서귀포의 계절별 일교차 변화(1973~2010) .....	113
그림 3-3-7. 성산의 연 일교차의 변화(1973~2010).....	114
그림 3-3-8. 성산의 계절별 일교차 변화(1973~2010) .....	114
그림 3-3-9. 고산의 연 일교차 변화(1973~2010).....	115
그림 3-3-10. 고산의 계절별 일교차 변화(1988~2010) .....	115
그림 3-3-11. 제주도 해안지역의 연 운량 변화(1973~2010).....	116
그림 3-3-12. 제주도 해안지역의 계절별 운량 변화(1973~2010).....	116
그림 3-3-13. 제주의 연 운량 변화(1973~2010).....	117
그림 3-3-14. 제주의 계절별 운량 변화(1973~2010).....	117
그림 3-3-15. 서귀포의 연 운량 변화(1973~2010).....	118
그림 3-3-16. 서귀포의 계절별 운량 변화(1973~2010) .....	118
그림 3-3-17. 성산의 연 운량 변화(1973~2010).....	119
그림 3-3-18. 성산의 계절별 운량 변화(1973~2010).....	119
그림 3-3-19. 고산의 연 운량 변화(1973~2010).....	120
그림 3-3-20. 고산의 계절별 운량 변화(1973~2010).....	120
그림 3-3-21. 제주도 해안지역의 연 일조시간 변화(1973~2010).....	121
그림 3-3-22. 제주도 해안지역의 계절별 일조시간 변화(1973~2010).....	121
그림 3-3-23. 제주의 연 일조시간 변화(1973~2010).....	122
그림 3-3-24. 제주의 계절별 일조시간 변화(1973~2010) .....	122

그림 3-3-25. 서귀포의 연 일조시간 변화(1973~2010).....	123
그림 3-3-26. 서귀포의 계절별 일조시간 변화(1973~2010) .....	123
그림 3-3-27. 성산의 연 일조시간 변화(1973~2010).....	124
그림 3-3-28. 성산의 계절별 일조시간 변화(1973~2010) .....	124
그림 3-3-29. 고산의 연 일조시간 변화(1973~2010).....	125
그림 3-3-30. 고산의 계절별 일조시간 변화(1973~2010) .....	125
그림 3-3-31. 제주도의 연 상대습도 변화(1973~2010).....	126
그림 3-3-32. 제주도의 계절별 상대습도 변화(1973~2010) .....	126
그림 3-3-33. 제주의 연 상대습도 변화(1973~2010).....	127
그림 3-3-34. 제주의 계절별 상대습도 변화(1973~2010) .....	127
그림 3-3-35. 서귀포의 연 상대습도 변화(1973~2010).....	128
그림 3-3-36. 서귀포의 계절별 상대습도 변화(1973~2010) .....	128
그림 3-3-37. 성산의 연 상대습도의 변화(1973~2010).....	129
그림 3-3-38. 성산의 계절별 상대습도 변화(1973~2010) .....	129
그림 3-3-39. 고산의 연 상대습도 변화(1973~2010).....	130
그림 3-3-40. 고산의 계절별 상대습도 변화(1973~2010) .....	130
그림 3-3-41. 제주도 해안지역의 연 증발량 변화(1973~2010).....	131
그림 3-3-42. 제주도 해안지역의 계절별 증발량 변화(1973~2010).....	131
그림 3-3-43. 제주의 연 증발량 변화(1973~2010).....	132
그림 3-3-44. 제주의 계절별 증발량 변화(1973~2010) .....	132
그림 3-3-45. 서귀포의 연 증발량 변화(1973~2010).....	133
그림 3-3-46. 서귀포의 계절별 증발량 변화(1973~2010).....	133
그림 3-4-1. 제주의 일강수량 0.1mm이상 연간일수 변화(1973~2010년).....	135
그림 3-4-2. 제주의 계절별 일강수량 0.1mm이상일수 변화(1973~2010).....	135

그림 3-4-3. 서귀포의 일강수량 0.1mm이상 연간일수 변화(1973~2010년).....	136
그림 3-4-4. 서귀포의 계절별 일강수량 0.1mm이상일수 변화(1973~2010년).....	136
그림 3-4-5. 성산의 일강수량 0.1mm이상 연간일수 변화(1973~2010년).....	137
그림 3-4-6. 성산의 계절별 일강수량 0.1mm이상일수 변화(1973~2010) .....	137
그림 3-4-7. 제주의 일강수량 80mm 이상 연간일수 변화(1973~2010년).....	138
그림 3-4-8. 제주의 계절별 일강수량 80mm 이상일수 변화(1973~2010년) .....	138
그림 3-4-9. 서귀포의 일강수량 80mm 이상 연간일수 변화(1973~2010년).....	139
그림 3-4-10. 서귀포의 계절별 일강수량 80mm 이상일수 변화(1973~2010년) .....	139
그림 3-4-11. 성산의 일강수량 80mm 이상 연간일수 변화(1973~2010년).....	140
그림 3-4-12. 성산의 계절별 일강수량 80mm 이상일수 변화(1973~2010년).....	140
그림 3-4-13. 제주의 연간 결빙일수 변화(1973~2010년).....	141
그림 3-4-14. 제주의 계절별 결빙일수 변화(1973~2010년) .....	141
그림 3-4-15. 서귀포의 연간 결빙일수 변화(1973~2010년).....	142
그림 3-4-16. 서귀포의 계절별 결빙일수 변화(1973~2010년).....	142
그림 3-4-17. 성산의 연간 결빙일수 변화(1973~2010년).....	143
그림 3-4-18. 성산의 계절별 결빙일수 변화(1973~2010년) .....	143
그림 3-4-19. 제주의 연간 뇌전일수 변화(1973~2010년).....	144
그림 3-4-20. 제주의 계절별 뇌전일수 변화(1973~2010년) .....	144
그림 3-4-21. 서귀포의 연간 뇌전일수 변화(1973~2010년).....	145
그림 3-4-22. 서귀포의 계절별 뇌전일수 변화(1973~2010년).....	145
그림 3-4-23. 성산의 연간 뇌전일수 변화(1973~2010년).....	146
그림 3-4-24. 성산의 계절별 뇌전일수 변화(1973~2010년).....	146
그림 3-4-25. 제주의 연간 눈 일수 변화(1973~2010년).....	147
그림 3-4-26. 제주의 계절별 눈 일수 변화(1973~2010년).....	147

그림 3-4-27. 서귀포의 연간 눈 일수 변화(1973~2010년).....	148
그림 3-4-28. 서귀포의 계절별 눈 일수 변화(1973~2010년).....	148
그림 3-4-29. 성산의 연간 눈 일수 변화(1973~2010년).....	149
그림 3-4-30. 성산의 계절별 눈 일수 변화(1973~2010년).....	149
그림 3-4-31. 제주의 연간 서리일수 변화(1973~2010년).....	150
그림 3-4-32. 제주의 계절별 서리일수 변화(1973~2010년).....	150
그림 3-4-33. 서귀포의 연간 서리일수 변화(1973~2010년).....	151
그림 3-4-34. 서귀포의 계절별 서리일수 변화(1973~2010년).....	151
그림 3-4-35. 성산의 연간 서리일수 변화(1973~2010년).....	152
그림 3-4-36. 성산의 계절별 서리일수 변화(1973~2010년).....	152
그림 3-4-37. 제주의 연간 안개일수 변화(1973~2010년).....	153
그림 3-4-38. 제주의 계절별 안개일수 변화(1973~2010년).....	153
그림 3-4-39. 서귀포의 연간 안개일수 변화(1973~2010년).....	154
그림 3-4-40. 서귀포의 계절별 안개일수 변화(1973~2010년).....	154
그림 3-4-41. 성산의 연간 안개일수 변화(1973~2010년).....	155
그림 3-4-42. 성산의 계절별 안개일수 변화(1973~2010년).....	155
그림 3-4-43. 제주의 일최저기온 25℃이상 연간일수 변화(1973~2010년).....	156
그림 3-4-44. 제주의 계절별 일최저기온 25℃이상일수 변화(1973~2010년).....	156
그림 3-4-45. 서귀포의 일최저기온 25℃이상 연간일수 변화(1973~2010년).....	157
그림 3-4-46. 서귀포의 계절별 일최저기온 25℃이상일수 변화(1973~2010년).....	157
그림 3-4-47. 성산의 일최저기온 25℃이상 연간일수 변화(1973~2010년).....	158
그림 3-4-48. 성산의 계절별 일최저기온 25℃이상일수 변화(1973~2010년).....	158
그림 3-4-49. 제주의 연간 황사일수 변화(1973~2010년).....	159
그림 3-4-50. 제주의 계절별 황사일수 변화(1973~2010년).....	159

그림 3-4-51. 서귀포의 연간 황사일수 변화(1973~2010년).....	160
그림 3-4-52. 서귀포의 계절별 황사일수 변화(1973~2010년).....	160
그림 3-4-53. 성산의 연간 황사일수 변화(1973~2010년).....	161
그림 3-4-54. 성산의 계절별 황사일수 변화(1973~2010년).....	161
그림 3-4-55. 제주도의 연간 우박일수 변화(1973~2010년) (a)제주, (b)서귀포, (c)성산, (d)고산.....	162
그림 3-4-56. 제주도 연최다 일강수량 변화(1973~2010년).....	165
그림 3-4-57. 제주도 연최다 1시간 강수량 변화(1973~2010년).....	165
그림 3-4-58. 제주도 일평균기온의 연최고값 변화(1973~2010년) (a)제주, (b)서귀포, (c)성산, (d)고산.....	166
그림 3-4-59. 제주도 일평균기온의 연최저값 변화(1973~2010년) (a)제주, (b)서귀포, (c)성산, (d)고산.....	167
그림 3-4-60. 제주도 일최고기온의 연최고값 변화(1973~2010년) (a)제주, (b)서귀포, (c)성산, (d)고산.....	167
그림 3-4-61. 제주도 일최저기온의 연최저값 변화(1973~2010년) (a)제주, (b)서귀포, (c)성산, (d)고산.....	168
그림 3-4-62. 제주도 연 최심신적설 변화(1973~2010년) (a)제주, (b)서귀포, (c)성산, (d)고산.....	170
그림 3-4-63. 제주도 연 최심적설 변화(1973~2010년) (a)제주, (b)서귀포, (c)성산, (d)고산.....	170
그림 3-4-64. 제주도 일최대풍속의 연최대값 변화(1973~2010년) (a)제주, (b)서귀포, (c)성산, (d)고산.....	171
그림 3-4-65. 제주도 일최대순간풍속의 연최대값 변화(1973~2010년) (a)제주, (b)서귀포, (c)성산, (d)고산.....	172
그림 3-4-66. 제주도 해안지역 퍼센타일 기준 극한기후사상 변화 (1973~2010년): (a)최고기온 99퍼센타일,(b)최고기온 95퍼센타일, (c)최저기온 1퍼센타일, (d)최저기온 5퍼센타일, (e)강수량 99퍼센타일, (f)강수량 95퍼센타일.....	176

그림 3-4-67. 제주도 해안지역의 세계기상기구(WMO) 사용 권장 극한기후지수 변화 (1973 ~2010년): (a)일최저기온 0℃미만일수, (b)연극한기온교차, (c)온난야율, (d)식물성장기간, (e)최대열파지속일수, (f)10mm이상 강수일수.....	177
그림 3-4-68. 제주도 해안지역의 세계기상기구(WMO) 사용 권장 극한기후지수 변화 (1973 ~2010년):(a)일강수량 1mm미만인날의 최대지속일수, (b) 5일 최다강수량, (c) 일강수강도, (d)95퍼센타일 강수량 비율.....	179
그림 3-4-69. 제주의 퍼센타일 기준 극한기후사상 변화 (1973~2010년): (a)최고기온 99퍼센타일,(b)최고기온 95퍼센타일, (c)최저기온 1퍼센타일, (d)최저기온 5퍼센타일, (e)강수량 99퍼센타일, (f)강수량 95퍼센타일 .....	180
그림 3-4-70. 제주의 세계기상기구(WMO) 사용 권장 극한기후지수 변화 (1973~2010년): (a)일최저기온 0℃미만일수, (b)연극한기온교차, (c)온난야율, (d)식물성장기간, (e)최대열파지속일수, (f)10mm이상 강수일수.....	181
그림 3-4-71. 제주의 세계기상기구(WMO) 사용 권장 극한기후지수 변화 (1973~2010년): (a)일강수량 1mm미만인날의 최대지속일수, (b) 5일 최다강수량, (c)일강수강도, (d)95퍼센타일 강수량 비율.....	182
그림 3-4-72. 서귀포의 퍼센타일 기준 극한기후사상 변화 (1973~2010년): (a)최고기온 99퍼센타일,(b)최고기온 95퍼센타일, (c)최저기온 1퍼센타일, (d)최저기온 5퍼센타일, (e)강수량 99퍼센타일, (f)강수량 95퍼센타일.....	183
그림 3-4-73. 서귀포의 세계기상기구(WMO) 사용 권장 극한기후지수 변화 (1973~2010년): (a)일최저기온 0℃미만일수, (b)연극한기온교차, (c)온난야율, (d)식물성장기간, (e)최대열파지속일수, (f)10mm이상 강수일수.....	184
그림 3-4-74. 서귀포의 세계기상기구(WMO) 사용 권장 극한기후지수 변화 (1973~2010년): (a)일강수량 1mm미만인날의 최대지속일수, (b) 5일 최다강수량, (c)일강수강도, (d)95퍼센타일 강수량 비율.....	185
그림 3-4-75. 성산의 퍼센타일 기준 극한기후사상 변화 (1973~2010년): (a)최고기온 99퍼센타일,(b)최고기온 95퍼센타일, (c)최저기온 1퍼센타일, (d)최저기온 5퍼센타일, (e)강수량 99퍼센타일, (f)강수량 95퍼센타일 .....	186
그림 3-4-76. 성산의 세계기상기구(WMO) 사용 권장 극한기후지수 변화 (1973~2010년): (a)일최저기온 0℃미만일수, (b)연극한기온교차, (c)온난야율, (d)식물성장기간, (e)최대열파지속일수, (f)10mm이상 강수일수.....	187

그림 3-4-77. 성산의 세계기상기구(WMO) 사용 권장 극한기후지수 변화 (1973~2010년): (a)일최저기온 0℃미만일수, (b)연극한기온교차, (c)온난야율, (d)식물성장기 간, (e)최대열파지속일수, (f)10mm이상 강수일수.....	188
그림 3-5-1. 제주의 기후계절 변화(1973~2010) (a)서리, (b)얼음, (c)눈, (d)관설 .....	190
그림 3-5-2. 서귀포의 기후계절 변화(1973~2010) (a)서리, (b)얼음, (c)눈, (d)관설 .....	190
그림 3-5-3. 성산의 기후계절 변화(1973~2010) (a)서리, (b)얼음, (c)눈, (d)관설 .....	191
그림 3-5-4. 고산의 기후계절 변화(1973~2010) (a)서리, (b)얼음, (c)눈, (d)관설 .....	191
그림 3-5-5. 제주의 식물계절 변화(1973~2010) (a)매화, (b)개나리, (c)진달래, (d)벚나무, (e)배나무, (f)복숭아, (g)아카시아, (h)코스모스 .....	193
그림 3-5-6. 서귀포의 식물계절 변화(1973~2010) (a)매화, (b)개나리, (c)진달래, (d)벚나무, (e)배나무, (f)복숭아, (g)아카시아, (h)코스모스 .....	194
그림 3-5-7. 성산의 식물계절 변화(1973~2010) (a)매화, (b)개나리, (c)진달래, (d)벚나무, (e)배나무, (f)복숭아, (g)아카시아, (h)코스모스 .....	195
그림 3-5-8. 고산의 식물계절 변화(1973~2010) (a)매화, (b)개나리, (c)진달래, (d)벚나무, (e)배나무, (f)복숭아, (g)아카시아, (h)코스모스 .....	196
그림 3-5-9. 제주의 동물계절 변화(1973~2010) (a)제비, (b)나비, (c)개구리, (d)뱀, (e)잠자 리, (f)매미 .....	197
그림 3-5-10. 서귀포의 동물계절 변화(1973~2010) (a)제비, (b)나비, (c)개구리, (d)뱀, (e)잠 자리, (f)매미 .....	198
그림 3-5-11. 성산의 동물계절 변화(1973~2010) (a)제비, (b)나비, (c)개구리, (d)뱀, (e)잠자 리, (f)매미 .....	199
그림 3-5-12. 고산의 동물계절 변화(1973~2010) (a)제비, (b)나비, (c)개구리, (d)뱀, (e)잠자 리, (f)매미 .....	200
그림 3-5-13. 한라산의 단풍시기 변화(1973~2010) .....	201
그림 4-1-1. 제주도의 최고기온, 평균기온, 최저기온 미래전망(2011~2100년) .....	206
그림 4-1-2. 제주도의 연강수량 미래전망(2011~2100년) .....	208
그림 4-2-1. 제주도의 30년 단위 평균기온 미래전망 .....	211

그림 4-2-2. 제주도의 30년 단위 평균기온 편차 미래전망 .....	212
그림 4-2-3. 제주도의 30년 단위 최고기온 미래전망 .....	214
그림 4-2-4. 제주도의 30년 단위 최고기온 편차 미래전망.....	215
그림 4-2-5. 제주도의 30년 단위 최저기온 미래전망.....	217
그림 4-2-6. 제주도의 30년 단위 최저기온 편차 미래전망.....	218
그림 4-2-7. 제주도의 30년 단위 연강수량 미래전망 .....	220
그림 4-2-8. 제주도의 30년 단위 연강수량 편차 미래전망.....	221
그림 4-3-1. 제주도 해안지역의 온난일수 미래전망(2011~2100년) .....	222
그림 4-3-2. 제주도 해안지역의 온난야수 미래전망(2011~2100년) .....	223
그림 4-3-3. 제주도 해안지역의 일최고기온 25℃이상 일수 미래전망(2011~2100년) .....	224
그림 4-3-4. 제주도 해안지역의 일최저기온 25℃이상 일수 미래전망(2011~2100년) .....	225
그림 4-3-5. 제주도 해안지역의 일최저기온 0℃미만 일수 미래전망(2011~2100년) .....	226
그림 4-3-6. 제주도 해안지역 한랭일수 미래전망(2011~2100년) .....	227
그림 4-3-7. 제주도 해안지역 한랭야수 미래전망(2011~2100년) .....	228
그림 4-3-8. 제주도 해안지역 일최고기온 최고 미래전망(2011~2100년) .....	229
그림 4-3-9. 제주도 해안지역의 일최저기온 최고 미래전망(2011~2100년) .....	230
그림 4-3-10. 제주도 해안지역 일최고기온 최저 미래전망(2011~2100년).....	231
그림 4-3-11. 제주도 해안지역 일최저기온 최저 미래전망(2011~2100년) .....	232
그림 4-3-12. 제주도 해안지역 연극한기온교차 미래전망(2011~2100년).....	233
그림 4-3-13. 제주도 해안지역 식물성장기간 미래전망(2011~2100년).....	234
그림 4-3-14. 제주도 해안지역 최대열파지속일수 미래전망(2011~2100년) .....	235
그림 4-3-15. 제주도 해안지역 연속온난일 지속기간 미래전망(2011~2100년) .....	236
그림 4-3-16. 제주도 해안지역 최고기온 99퍼센타일 미래전망(2011~2100년) .....	237
그림 4-3-17. 제주도 해안지역 최고기온 95퍼센타일 미래전망(2011~2100년) .....	238



그림 4-3-18. 제주도 해안지역 최저기온 1퍼센타일 미래전망(2011~2100년) .....	239
그림 4-3-19. 제주도 해안지역 최저기온 5퍼센타일 미래전망(2011~2100년) .....	240
그림 5-1-1. 제주도의 기후변화 영향 평가 및 적응대책 마련 중점 분야 .....	244
그림 5-1-2. 국가 기후변화적응대책 세부 분야 .....	245
그림 5-2-1. 산방산에서 바라본 용머리 해안의 모습 .....	246
그림 5-2-2. 용머리 해안의 모습 .....	246
그림 5-2-3. 제주 지역(위), 서귀포 지역(아래)의 해수면 온도 변화(1973~2010년) .....	247
그림 5-2-4. 제주도 지역의 주요 어류(위)와 패류/연체동물/해조류(아래) 어획량 변화 ... .....	248
그림 5-2-5. 감귤 재배 적합지의 변화 .....	249
그림 5-2-6. 북상하는 주요 작물 재배지 .....	249
그림 5-2-7. 한라산 정상부 구상나무의 활력도(좌-1994년도, 우-2003년도) .....	251
그림 5-2-8. 윗세오름 정상에 위치한 구상나무 고사목 .....	251
그림 5-2-9. 한라산 어리목 코스 해발고도 약 1,700m 부근 구상나무 어린 개체 .....	251
그림 5-2-10. 21세기 한라산의 구상나무 군락지의 변화 전망 .....	252
그림 5-2-11. 태풍 나리 강타 시 제주시 침수 피해 발생 모습 .....	253
그림 5-2-12. 성읍 민속마을 내 팽나무가 넘어져 일관헌이 반파된 모습 .....	253
그림 5-2-13. 제주 친화형 지하수 인공함양 기술 .....	255
그림 5-2-14. 제주도 동부해안의 풍력 단지 .....	256
그림 5-2-15. 제주도 구좌읍 스마트 그리드 체험관 .....	257

# 표 목 차

표 1-1-1. 분야별 기후변화 관련 주요 영향 사례(제주도) .....	6
표 1-1-2. 최근 10년(2001~2010년)간 제주도 기상관련 자연재해 인명 손실과 재산피해 ...	7
표 1-2-1. 제주도 정규기상관측 지점정보 .....	8
표 2-1-1. 제주도의 상세지역 연·계절 평균기온(2001~2010년) .....	18
표 2-1-2. 제주도의 상세지역 연·계절 최고기온(2001~2010년) .....	18
표 2-1-3. 제주도의 상세지역 연·계절 최저기온(2001~2010년) .....	20
표 2-2-1. 제주도의 상세지역 연·계절 강수량(2001~2010년) .....	25
표 2-5-1. 제주도의 상세지역 주요현상일 연 발생일수(2001~2010년) .....	49
표 2-5-2. 제주도의 일평균기온 최고 극값(관측개시일~2011년 10월 31일) .....	57
표 2-5-3. 제주도의 최고기온 최고 극값(관측개시일~2011년 10월 31일) .....	58
표 2-5-4. 제주도의 일평균기온 최저 극값(관측개시일~2011년 10월 31일) .....	59
표 2-5-5. 제주도의 최저기온 최저 극값(관측개시일~2011년 10월 31일) .....	59
표 2-5-6. 제주도의 일강수량 최다 극값(관측개시일~2011년 10월 31일) .....	60
표 2-5-7. 제주도의 1시간강수량 최다 극값(관측개시일~2011년 10월 31일) .....	60
표 2-5-8. 제주도의 최심신적설 극값(관측개시일~2011년 10월 31일) .....	61
표 2-5-9. 제주도의 최심적설 극값(관측개시일~2011년 10월 31일) .....	61
표 2-5-10. 제주도의 최대풍속 극값(관측개시일~2011년 10월 31일) .....	62
표 2-5-11. 제주도의 최대순간풍속 극값(관측개시일~2011년 10월 31일) .....	63
표 2-5-12. 제주도 극한기후사상(1981~2010년).....	69
표 3-1-1. 제주도의 30년 단위 연·계절 기온과 강수량 변화 .....	74
표 3-1-2. 제주의 30년 단위 연·계절 기온과 강수량 변화 .....	76
표 3-1-3. 서귀포의 30년 단위 연·계절 기온과 강수량 변화 .....	77

표 3-1-4. 성산의 30년 단위 연·계절 기온과 강수량 변화 .....	79
표 3-2-1. 제주도 해안지역의 연, 계절 평균기온, 최고기온, 최저기온의 변화율(1973~2010) .....	81
표 3-2-2. 제주도 해안지역의 월 평균기온, 최고기온, 최저기온의 변화율(1973~2010).....	81
표 3-2-3. 제주도 해안지역의 10년 단위 기온(관측이래~2010년) .....	85
표 3-2-4. 제주도 해안지역 연, 계절 평균기온, 최고기온, 최저기온의 변화율(1973~2010) .....	86
표 3-2-5. 제주도 월 평균기온, 최고기온, 최저기온의 변화율(1973~2010).....	86
표 3-2-6. 제주의 10년 단위 기온(관측이래~2010년) .....	87
표 3-2-7. 서귀포의 10년 단위 기온(관측이래~2010년) .....	87
표 3-2-8. 성산의 10년 단위 기온(관측이래~2010년) .....	87
표 3-2-9. 고산의 10년 단위 기온(관측이래~2010년) .....	88
표 3-2-10. 제주도의 연, 계절 강수량 변화율(1973~2010) .....	101
표 3-2-11. 제주도의 월 강수량 변화율(1973~2010) .....	101
표 3-2-12. 제주도의 10년 단위 강수량(관측이래~2010년) .....	101
표 3-3-1. 제주도의 연·계절 일교차, 운량, 일조시간, 상대습도, 증발량의 변화(1973~2010) .....	109
표 3-3-2. 제주도 해안지역의 10년 단위 일교차, 운량, 일조시간, 상대습도(관측이래~2010년).....	110
표 3-3-3. 제주의 10년 단위 일교차, 운량, 일조시간, 상대습도, 증발량(관측이래~2010년) .....	110
표 3-3-4. 서귀포의 10년 단위 일교차, 운량, 일조시간, 상대습도, 증발량(관측이래~2010년) .....	110
표 3-3-5. 성산의 10년 단위 일교차, 운량, 일조시간, 상대습도, 증발량(관측이래~2010년) .....	110
표 3-3-6. 고산의 10년 단위 일교차, 운량, 일조시간, 상대습도, 증발량(관측이래~2010년)	

.....	110
표 3-4-1. 제주도의 연간 주요 현상일 변화(1973~2010년) .....	134
표 3-4-2. 제주도 해안지역의 10년 단위 주요현상일수 변화(관측이래~2010년) .....	162
표 3-4-3. 제주의 10년 단위 주요현상일수 평균값 변화(관측이래~2010년) .....	163
표 3-4-4. 서귀포의 10년 단위 주요현상일수 평균값 변화(관측이래~2010년) .....	163
표 3-4-5. 성산의 10년 단위 주요현상일수 평균값 변화(관측이래~2010년).....	163
표 3-4-6. 고산의 10년 단위 주요현상일수 평균값 변화(관측이래~2010년) .....	163
표 3-4-7. 제주도의 연간 극값 및 특이기상 변화(1973~2010년).....	164
표 3-4-8. 제주의 10년 단위 극값 및 특이기상 평균값 변화(관측이래~2010년).....	173
표 3-4-9. 서귀포의 10년 단위 극값 및 특이기상 변화(관측이래~2010년).....	173
표 3-4-10. 성산의 10년 단위 극값 및 특이기상 평균값 변화(관측이래~2010년).....	173
표 3-4-11. 고산의 10년 단위 극값 및 특이기상 평균값 변화(관측이래~2010년).....	173
표 3-4-12. 제주도 극한기온사상 변화율(1973-2010년).....	175
표 3-4-13. 제주도 극한강수사상 변화율(1973~2010년).....	178
표 3-5-1. 한라산 단풍자료(1991~2010년).....	201
표 4-1-1. 제주도의 평균기온, 최고기온, 최저기온 미래전망(2011~2100) .....	205
표 4-1-2. 제주도의 계절별 평균기온 미래전망(2011~2100) .....	207
표 4-1-3. 제주도의 계절별 최고기온 미래전망(2011~2100) .....	207
표 4-1-4. 제주도의 계절별 최저기온 미래전망(2011~2100) .....	207
표 4-1-5. 제주도의 연 강수량 미래전망(2011~2100) .....	209
표 4-1-6. 제주도의 계절별 강수량 미래전망(2011~2100) .....	209
표 4-2-1. 제주도의 상세지역 30년 단위 평균기온 미래전망(2011~2100) .....	210
표 4-2-2. 제주도의 상세지역 30년 단위 최고기온 미래전망(2011~2100) .....	213
표 4-2-3. 제주도의 상세지역 30년 단위 최저기온 미래전망(2011~2100) .....	216

표 4-2-4. 제주도의 상세지역 30년 단위 강수량 미래전망(2011~2100) .....	219
표 4-3-1. 제주도 해안지역의 온난일수 미래전망(2011~2100) .....	222
표 4-3-2. 제주도 해안지역의 온난야율 미래전망(2011~2100) .....	223
표 4-3-3. 제주도 해안지역의 일최고기온 25℃이상 일수 미래전망(2011~2100) .....	224
표 4-3-4. 제주도 해안지역의 일최저기온 25℃이상 일수 미래전망(2011~2100) .....	225
표 4-3-5. 제주도 해안지역의 일최저기온 0℃미만 일수 미래전망(2011~2100) .....	226
표 4-3-6. 제주도 해안지역 한랭일수 미래전망(2011~2100) .....	227
표 4-3-7. 제주도 해안지역 한랭야율 미래전망(2011~2100) .....	228
표 4-3-8. 제주도 해안지역 일최고기온 최고 미래전망(2011~2100).....	229
표 4-3-9. 제주도 해안지역의 일최저기온 최고 미래전망(2011~2100) .....	230
표 4-3-10. 제주도 해안지역 일최고기온 최저 미래전망(2011~2100).....	231
표 4-3-11. 제주도 해안지역 일최저기온 최저 미래전망(2011~2100) .....	232
표 4-3-12. 제주도 해안지역 연극한기온교차 미래전망(2011~2100) .....	233
표 4-3-13. 제주도 해안지역 식물성장기간 미래전망(2011~2100) .....	234
표 4-3-14. 제주도 해안지역 최대열파지속일수 미래전망(2011~2100) .....	235
표 4-3-15. 제주도 해안지역 연속온난일 지속기간 미래전망(2011~2100) .....	236
표 4-3-16. 제주도 해안지역 최고기온 99퍼센타일 미래전망(2011~2100) .....	237
표 4-3-17. 제주도 해안지역 최고기온 95퍼센타일 미래전망(2011~2100) .....	238
표 4-3-18. 제주도 해안지역 최저기온 1퍼센타일 미래전망(2011~2100) .....	239
표 4-3-19. 제주도 해안지역 최저기온 5퍼센타일 미래전망(2011~2100) .....	240
표 5-1-1. 온도상승에 따른 제주도 감귤 재배 면적 변화 .....	250



# 요 약

이 연구보고서는 과거 관측 자료를 활용하여 현재까지 기후변화가 어떻게 진행되어 왔으며 그 경향은 어떨지를 분석하고, 미래 기후변화 시나리오에 예측한 제주도의 기후변화 특성을 분석하여, 4개 인증(세계자연유산, 생물권 보전지역, 세계지질공원, 세계 7대 경관 선정) 획득으로 세계적인 관광지로 주목받고 있는 제주도 지역의 기후변화에 따른 영향 사례와 대응 및 적응을 위한 다양한 활동 등을 분석한 지역기후변화 종합보고서이다.

이 보고서에서는 제주도 동서남북 해안지역에 위치한 제주, 서귀포, 성산, 고산 등 4개의 정규기상관측 지점과 19개의 자동기상관측지점 등 총 23개 관측지점의 관측 자료를 바탕으로 제주도의 기후특성과 기후변화 경향을 분석하였다. 아울러 기상청에서 중배출(A1B) 온실기체 배출 시나리오를 바탕으로 생산한 고해상도(10km) 미래기후변화 시나리오를 종합적으로 분석하여 제주도 미래의 기후변화 전망에 대한 정보를 제공하였으며, 보고서의 마지막 부분에서는 현재와 미래 기후변화가 제주도 관광업, 농업, 수산업 등 지역의 사회경제적 영역에 미치는 영향 사례와 기후변화 적응과 저감 대책 마련을 위한 지자체의 활동 현황 등에 대한 정보를 수집하여 제고하였다. 본 연구소의 주요한 연구내용들을 살펴보면 아래와 같다.

## 1) 제주도의 기후특성

최근 10년(2001~2010) 관측자료 분석에 따르면, 해발고도 200m 이하인 해안지역은 연평균 기온이 15.5~16.2℃ 이고, 연강수량은 1,200~1,890mm로 아열대 기후지역에 속한다(표 1; 그림 1). 제주도 중심에 위치한 한라산의 영향으로 해발고도에 따라 기온이 하강하여 해발고도 200~600m의 중산간 지역에서는 13.2~14.3℃의 분포, 해발고도 600m 이상의 산간지역에서는 7.1~10.8℃의 기온분포를 보인다.

연강수량은 해발고도 상승에 따라 증가하여 산간지역의 경우 3,140~5,030mm로 해안지역 강수량의 2배 이상의 값이 나타난다. 제주도 해안지역은 아열대 기후지역에 속하여 고온극한현상의 기후극한지수인 열대야(일최저기온이 25℃ 이상) 일수는 연평균 14~24일 내륙지역보다 많이 발생하는 반면, 저온극한현상의 기후극한지수인 결빙(일최고기온이 0℃ 이하)일수는 0~7일로 내륙에 비해서 매우 적게 발생한다.

중산간과 산간으로 갈수록 아열대 기후대에서 점차 온대 및 아한대 고산기후로 바뀌어 해발고도 600mm 이상의 산간지역에서는 일최저기온이 0℃ 이하인 서리일수가 89~139일로 발생빈도가 높고, 80mm이상의 호우일도 연평균 14~16일정도로 발생빈도가 높다

관측자료 분석결과 제주도는 한라산과 해양의 영향으로 고도와 지형에 따라 지역별로 다양한 기후변화 특성이 나타나고 있음을 알 수 있었다.

표 1. 제주도의 상세지역 연·계절 평균기온 및 강수량(2001~2010)

상세지역	평균기온(단위: °C)					강수량(단위:mm)				
	연	봄	여름	가을	겨울	연	봄	여름	가을	겨울
해안동부	15.5	13.5	24.1	17.8	6.5	1,894.9	420.5	798.7	433.6	212.7
해안서부	16.0	13.4	24.2	18.5	7.3	1,237.9	279.1	550.4	242.0	134.0
해안남부	16.2	14.2	24.6	18.5	7.3	1,797.3	456.5	754.2	360.2	181.7
해안북부	15.5	13.2	24.3	17.9	6.6	1,404.1	268.3	640.6	314.6	153.8
중산간북부	13.2	11.7	22.7	14.9	3.2	2,368.0	490.9	1,033.4	533.2	264.1
중산간남부	14.3	12.8	23.4	16.2	4.6	2,324.9	656.3	1,007.7	389.2	173.8
산간북부	7.1	5.9	16.1	8.6	-2.3	4,345.7	1,158.0	1,948.2	724.5	301.1
산간남부	10.8	9.6	20.0	12.6	1.0	4,539.2	1,167.3	1,960.3	889.6	435.0
제주도	14.1	12.2	22.9	16.3	5.0	2,174.0	520.0	949.9	432.5	208.9

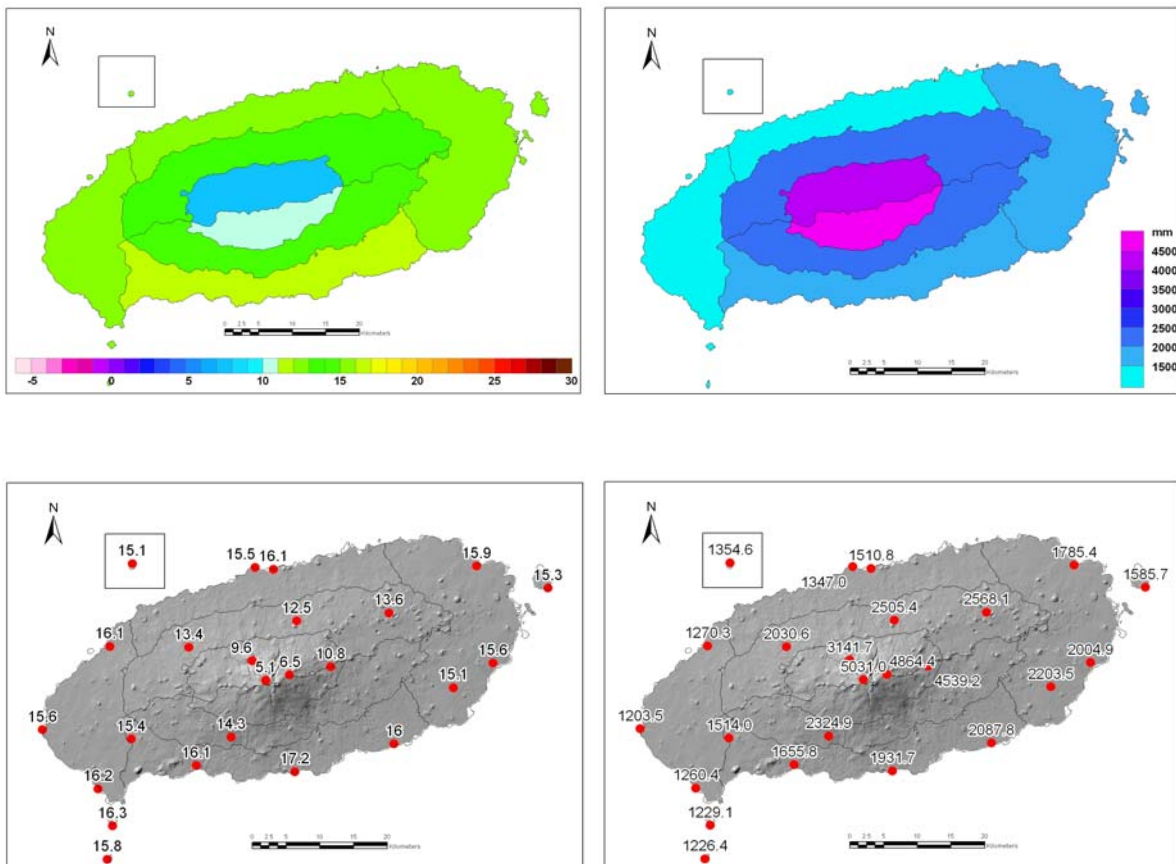


그림 1. 제주도의 연평균기온(단위:°C; 좌) 및 연강수량(단위:mm; 우) 공간분포(위) 및 관측지점분포(아래) (2001~2010)



## 2) 제주도 현재의 기후변화

제주도 해안지역의 Climograph의 30년 단위 월 평균기온을 비교해 보면, 1971~2000년 평균 보다 최근 1981~2010년 기간에 늦겨울~초봄(2~3월)과 가을철에 평균기온이 다른 기간에 비해 증가한 것을 알 수 있다(그림 2). 늦겨울~초봄 기온상승 경향은 사계절의 주기에도 영향을 미쳐 봄철 생물인 벚꽃, 복숭아, 배나무 등의 개화시기를 앞당기고 있다. 즉, 봄철 개시일이 앞당겨져 점차 겨울철 지속기간이 짧아지고 있음을 알 수 있다.

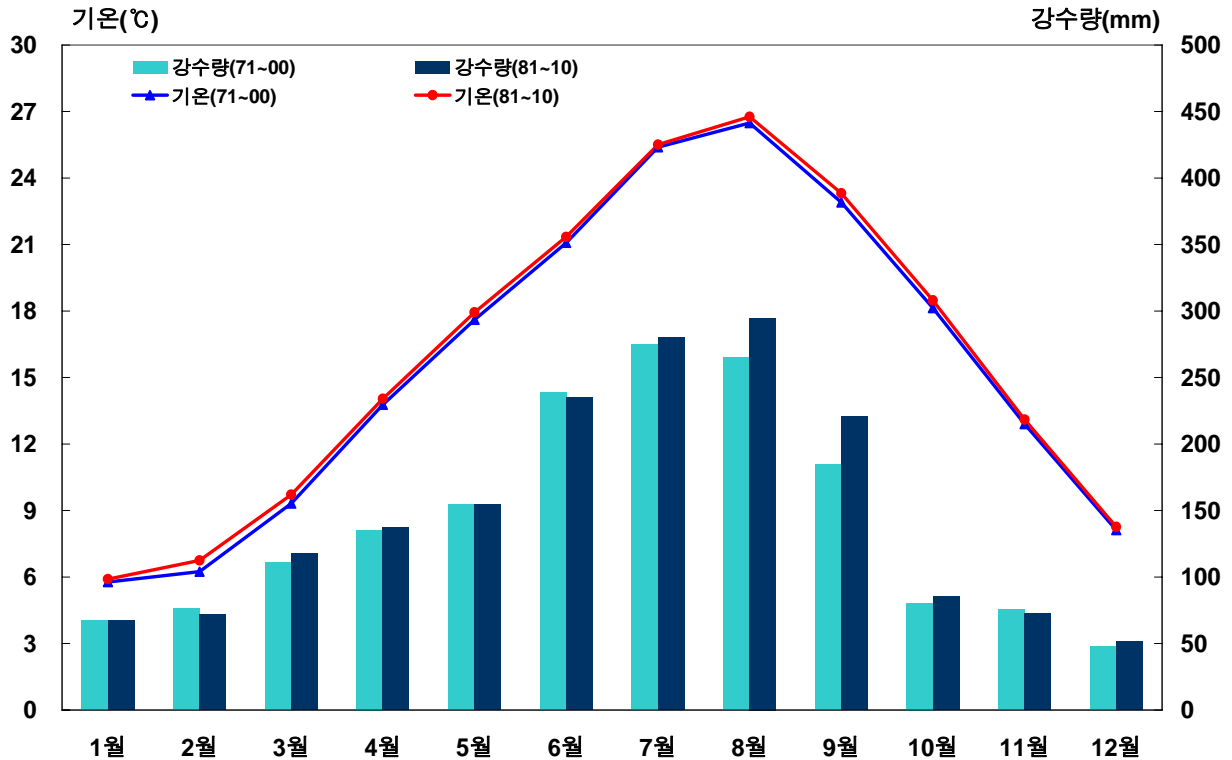


그림 2. 제주도 해안지역의 Climograph(1971~2000, 1981~2010)

표 2. 제주도 해안지역 연·계절 기후요소들의 변화율(1973~2010년) (단위: 년)

지점	기간	연	봄	여름	가을	겨울
제주도 해안지역	평균기온(°C)	0.032**	0.032**	0.022	0.036**	0.046**
	최고기온(°C)	0.029**	0.033**	0.020	0.030**	0.040*
	최저기온(°C)	0.050**	0.050**	0.039**	0.061**	0.060**
	강수량(mm)	7.169	0.790	3.278	2.737	0.659
	일교차(°C)	-0.021**	-0.017*	-0.019**	-0.030**	-0.019**
	운량(/10)	-0.006	-0.017*	0.006	-0.003	-0.005
	일조시간(시간)	-0.020**	-0.011	-0.040**	-0.023**	-0.008
	상대습도(%)	-0.102**	-0.169*	-0.090**	-0.006	-0.141**

\*유의수준  $\alpha=0.05$ , \*\*유의수준  $\alpha=0.01$

제주도 연별, 계절별 강수량의 변화를 살펴보면, 강수량의 증가경향이 뚜렷하지 않지만, 월별 기온 및 강수량 분석에 따르면 초가을인 9월에는 기온상승 경향과 더불어 월 강수량도 증가하였음을 알 수 있다(그림 2). 즉, 기상학적 초가을에 여름철 기후특성을 나타내는 사례들이 증가하고 있음을 알 수 있다.

지난 38년 동안(1973~2010) 각 기후요소들의 변화를 분석하여 보면 그 상승률은 제주도 해안지역 평균기온은 겨울, 가을, 봄, 여름 순으로 높게 나타났고, 최고기온은 겨울, 봄, 가을, 여름 순으로 높게 나타났고, 최저기온은 가을, 겨울, 봄, 여름 순으로 높게 나타났고(표 2). 이를 종합하면 겨울철 기온상승률이 가장 뚜렷하게 나타났고 여름철 기온상승률은 가장 약하게 나타났음을 알 수 있다. 각 지점별로는 북부해안의 제주, 남부해안의 서귀포, 동부해안의 성산 순으로 상승률이 높게 나타나고, 기온변수별로는 일최저기온이 일최고기온의 상승률보다 모든 계절에 걸쳐 1.5배 이상 높게 나타남을 알 수 있다. 이러한 결과로 제주도 해안지역 연평균 최저기온은  $0.50^{\circ}\text{C}/10\text{년}$ , 최고기온은  $0.29^{\circ}\text{C}/10\text{년}$ , 평균기온은  $0.32^{\circ}\text{C}/10\text{년}$  상승률을 나타내고 있다.

여름철 기온상승률이 낮은 것은 사계절 중에서 강수일이 가장 많은 시기로써 제주도는 우리나라 대표적인 다우지 중의 하나로 강수일에는 기온상승이 약화되기 때문이다 제주도 해안지역 평균적으로는 지난 38년간 연별, 계절별 강수량은 뚜렷한 변화를 나타내지 않지만, 각 지점의 월별 강수량의 변화를 살펴보면 동부해안의 성산의 경우에는 8월~9월의 강수량은 통계적으로 유의미한 증가경향을 나타낸다. 이러한 강수의 증가 경향과 더불어 4개 지점의 여름철 일최고기온 변화율을 비교하여 보면 동부해안의 성산의 여름철 일최고기온 상승률이 가장 약하게 나타남을 알 수 있다.

기타 기후요소로 연별, 계절별 일교차는 일최저기온의 상승이 일최고기온의 상승률보다 모두 뚜렷하게 높기 때문에 감소하는 경향이 뚜렷하게 나타난다. 특히 가을철에는 일최저기온의 상승률이 일최고기온의 상승률보다 2배 이상 높기 때문에 일교차의 상승률이 가장 높다. 한편, 여름철에는 강수일이 일최고기온의 상승을 저해하지만 일최저기온은 상승시키는데 도움을 주기 때문에 일교차가 뚜렷하게 감소하고 있음을 알 수 있다. 일조시간은 일부 성산에서 8~9월 강수량 증가경향과 더불어 감소하는 경향이 나타난다. 목측에 의해 수집되는 운량에서는 뚜렷한 연, 계절 변화추세가 관찰되지 않았다. 상대습도는 봄철과 겨울철을 중심으로 감소하는 경향이 나타나고 있다.

제주도의 연별, 계절별 다양한 특이 기상 및 극한기후사상의 변화를 살펴보면 대체로 저온극한 현상이 감소하고 지속기간이 짧아지는 추세가 고온극한현상이 증가하고 지속기간이 증가하는 추세보다 더 뚜렷하게 나타났다. 이는 계절별로 겨울철 기온변화가 뚜렷하게 상승하고 여름철 기온변화는 뚜렷하지 않은 추세와 관련성이 있다. 가령, 겨울철 일최저기온  $0^{\circ}\text{C}$  이하(서리일) 일수는 제주, 서귀포, 성산에서 4.0일/10년의 감소추세를 나타내

지만, 일최저기온 25℃ 이상(열대야) 일수는 도시화가 진행된 제주와 일부 도시화의 영향을 받고 있는 서귀포 지역에서는 5.4~5.5일/10년의 비율로 증가하는 추세를 보이지만, 동부해안의 비도시 지역이며 일부 여름철 강수증가 경향을 보이는 성산에서는 통계적으로 유의미한 변화를 보이지 않고 있다.

### 3) 제주도 미래 기후변화 전망

기상청의 중배출(A1B) 온실기체 시나리오를 바탕으로 생산한 21세기 100년간(2001~2100) 고해상도(10km) 기후변화 시나리오를 분석하여 보면, 23개의 자동기상관측자료의 최근 10년간(2001~2010) 평균기온(14.1℃)과 비교하여 2011~2040년대에는 제주도의 평균기온이 2.1℃, 2041~2071년에는 3.4℃, 2071~2100년에는 4.7℃ 상승할 것으로 전망된다(표 3).

최저기온의 경우는 지난 10년간(2001~2010) 관측값(11.1℃) 기준으로 2011~2040년대에는 1.9℃, 2041~2071년에는 3.3℃, 2071~2100년에는 4.6℃ 높아질 것으로 전망된다. 최고기온의 경우에도 지난 10년간 관측값(17.8℃) 기준으로 2011~2040년대에는 2.0℃, 2041~2071년에는 3.3℃, 2071~2100년에는 4.6℃ 높아질 것으로 전망된다.

최근 10년간 관측 자료와 비교한 기온의 공간편차를 살펴보면, 대체로 북부지역이 남부지역에 비하여 온도상승이 더 뚜렷하게 나타나고, 특히 고산지역은 지역 평균 상승률의 약 1.5배 이상 더 뚜렷한 기온상승 경향이 나타날 것으로 전망된다(그림 3).

이 보고서에서는 강수 시나리오 자료도 분석되어 있다. 다만 자료를 활용함에 있어 시나리오에서 예측한 강수의 연중 패턴은 잘 예측하고 있으나 강수지역 예측에 있어 오차가 있기 때문에 수치들을 사용하는 데에는 주의가 요구된다. 따라서 이 보고서에서는 제주도 미래 강수량 변화 전망을 하는 것은 생략하기로 한다.

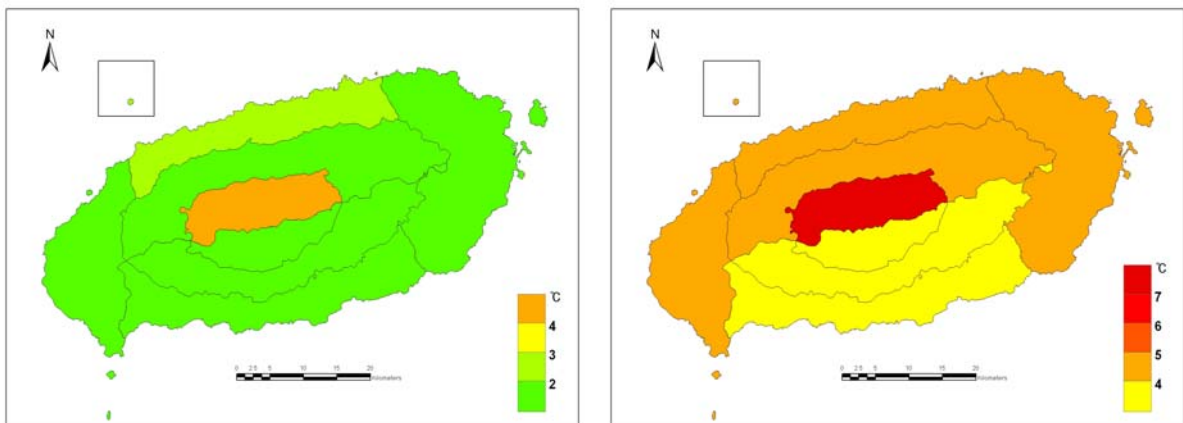


그림 3. 제주도의 30년 단위 평균기온 편차 변화 (좌: 2011~2040, 우: 2071~2100)

표 3. 제주도의 평균기온, 최고기온, 최저기온 변화 (단위: °C)

기간	2001 ~2010	2011 ~2020	2021 ~2030	2031 ~2040	2041 ~2050	2051 ~2060	2061 ~2070	2071 ~2080	2081 ~2090	2091 ~2100
평균기온	14.1	16.0	16.3	16.3	17.0	17.5	18.1	18.4	18.9	19.0
		16.2			17.5			18.8		
최저기온	11.1	12.8	13.2	13.1	13.9	14.4	15.0	15.3	15.8	15.9
		13.0			14.4			15.7		
최고기온	17.8	19.7	19.9	19.9	20.6	21.0	21.6	21.9	22.4	22.5
		19.8			21.1			22.3		

2001~2010년 값은 관측

미래의 다양한 기온극한기후 지수변화 전망치를 종합하여 보면 한반도 전체적으로 지난 과거 관측 자료에서 저온 극한 현상들의 감소패턴은 대표적인 기후변화 양상중의 하나였지만, 21세기의 대표적인 기후변화 양상은 여름철 고온의 발생과 고온극한 현상의 증가추세일 것으로 전망된다. 가령, 일최고기온 25°C 이상인 여름일수(summer days)와 일최저기온 25°C 이상인 열대야(tropical nights) 등 이러한 고온현상들은 점차 증가하여 원(遠)미래에 해당하는 2071~2100년 기간에는 평균적으로 여름일수는 168일, 열대야는 약 87일 발생할 것으로 전망된다(그림 4). 따라서 이미 아열대 기후지역에 속한 제주도의 경우에는 21세기 고온극한 현상의 증가에 의해 예상되는 여름철 냉방장치 사용 증가와 관련된 전력 수급에 대비를 할 필요성이 있다.

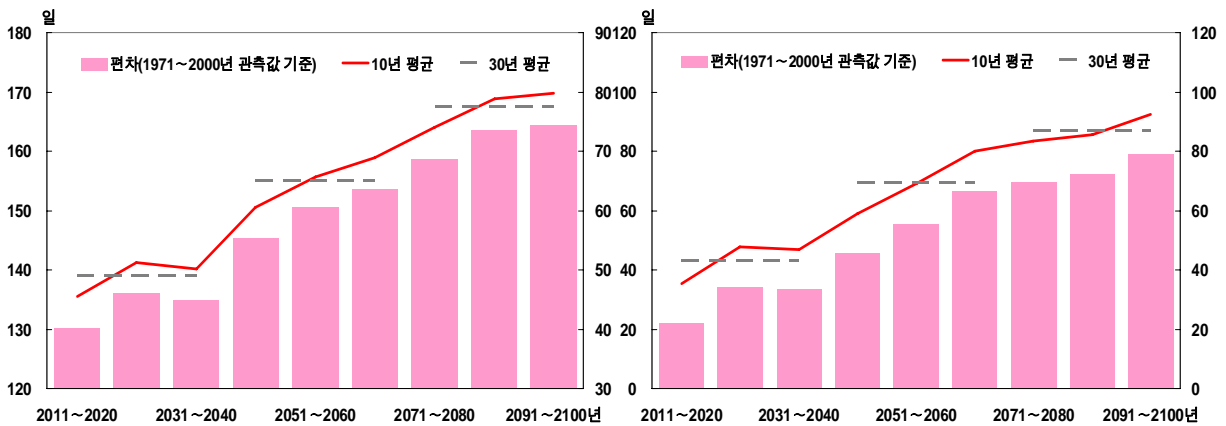


그림 4. 제주도 해안지역의 일최고기온 25°C 이상 일수(좌) 일최저기온 25°C 이상 일수(우) 변화

#### 4) 제주도 기후변화 영향 사례와 대응 현황

자료들을 수집하여 분석한 결과 제주도 3대 주요산업이 관광업, 농업, 수산업이 기후변화의 영향을 뚜렷하게 받고 있음을 알 수 있었다. 관광업과 관련한 대표적인 관광명소인 용머리 해안은 해수면 상승에 의해 침수현상이 증가하고 있으며, 한라산 고산지역은 온난

화로 인한 구상나무 등의 아고산대 생태계가 점차 해발고도가 높은 지역으로 후퇴하고 있으며, 21세기 말에는 사라질 것으로 전망된다(그림 5). 이러한 해안지형과 산림생태계는 제주도의 중요한 관광자원으로 이를 보호하기 위해 다양한 연구기관들이 저감대책들을 세워나가고 있다. 농업의 경우에도 현재 감귤 재배지가 점차 한반도 지역으로 북상함에 따라 향후 시장 경쟁성을 확보하기 위한 고품질 전략을 세워나가고 있다. 수산업의 경우에는 해수온도의 상승으로 점차 갈치 등과 같은 난대성 어종의 어획량이 증가하고 있으면 툃과 같은 한대성 해산물은 감소하고 있어서 향후 이에 대한 대응 전략 마련이 필요하다.

이외에도 21세기 말 제주도는 현재 아열대 기후대가 점차 중산간 지역으로 확대될 것으로 전망되기 때문에 에너지 수급에 대한 대책이 필요한 실정이다. 현재 제주특별자치도에서는 이러한 미래 기후변화에 따른 에너지 수급 문제를 대비하기 위하여 풍부한 바람자원을 활용한 육상 및 해상 풍력발전설비를 증가시켜 나가고 있으며, 지역단위에서는 생산한 에너지를 수요자가 사용할 때 최적화 시킬 수 있는 우리나라 최초로 스마트 그리드를 현재 시험 운영 중에 있고 향후 확대시킬 계획을 가지고 있다.



그림 5. 제주도 기후변화 Landmarks:용머리 해안(좌)과 구상나무 고사목(우) (2011년 7월 최광용 촬영)

# 들어가기

이 연구보고서에서는 현재 가용한 제주도의 모든 기상관측 자료와 고해상도 미래기후 변화 시나리오를 종합적으로 분석하여 제주도의 현재 기후변화 특성과 미래의 기후변화 양상과 전망, 기후변화 영향 및 적응 대책 사례 등에 관하여 상세한 정보들을 제공하고 있다. 자료 분석과 전망 등에 대한 방법을 살펴보면 다음과 같다.

제 1장에서는 주로 제주도 기후와 관련된 자연환경 및 인문환경의 특징을 나타내는 지도와 통계자료 등을 수집하여 정리하였고, 분석에 사용된 기후자료의 관측환경과 미래 기후변화 시나리오 자료를 소개하였다.

제 2장에서는 장기간 정규기상관측을 수행하고 있는 제주도 동서남부 해안지역의 4개 관측지점(제주, 서귀포, 성산, 고산)의 최근 30년(1981~2010) 기후자료를 바탕으로 기온, 강수, 바람, 일교차, 상대습도, 일조시간, 일사량 등의 기후요소와 여러 가지 특이 기상 및 극한기후 현상에 대해 제주도 동서남북 기후의 유사성과 차이점을 비교분석하였다. 또한 제주도의 중심에는 해발고도 1,950m의 한라산이 자리 잡고 있어 지역기후에 중요한 영향을 미치고 있기 때문에, 최근 10년 동안의(2001~2010) 23개 지점의 기후자료를 바탕으로 상세기후 분포도를 작성한 후 해안, 중산간, 산간의 기후특징을 비교·분석하였다.

제 3장에서는 제주도 북부해안의 제주(1924~2010), 남부해안의 서귀포(1961~2010), 동부해안의 성산(1973~2010), 남부해안의 고산(1988~2010)의 지난 38년 동안(1973~2010)의 기후자료에 나타난 변화에 대한 통계적 유의성(Kendall tau 비모수 검정법)을 분석하여 기후자료에 나타난 연별, 계절별(3개월 단위 기상학적 계절) 단위의 기후변화 양상과 규모를 파악하였다. 이외에도 4개 관측지점의 30년 평균(1971~2000, 1981~2010) 및 10년 평균 연별, 계절별 기후자료(관측개시연도~2010년)를 비교분석하였다. 기후변화 분석에는 기온, 강수, 일교차, 상대습도, 일조시간, 일사량, 증발량 등의 기후요소뿐만 아니라 특이 현상일 및 세계기상기구(WMO)에서 권장하는 약 20여개의 기온 및 강수극한 기후현상지수들과 동식물과 생물계절 자료들을 종합적으로 포함하였다.

제 4장에서는 기상청에서 생산한 중배출 온실기체 시나리오(A1B)를 바탕으로 생산한 고해상도(10km) 기후변화 시나리오 자료를 분석하여 21세기 동안(2011~2100) 기온 및 강수량에 대한 10년 또는 30년 단위 평균값 및 기후극한현상에 나타난 변화를 현재의 기후 평균(1971-2000)과 비교하여 전망하였다.

마지막인 제 5장에서는 제주도 기후변화가 관광업, 농업, 수산업, 에너지 등에 미친 영향과 대응에 관한 구체적인 사례 및 향후 지속가능한 발전을 위한 기후변화 저감 노력의 사례들을 소개하였다.

# I. 서론

1. 지리적 특성
2. 관측환경의 특성

# I. 서론

기후변화로 인해 전 세계적으로 홍수, 폭염, 한파, 가뭄의 피해가 빈번하게 발생하고 있다. 기후변화가 처음으로 제기된 지 100여년이 되었으나, 많은 과학자들이 “정부 간 기후변화 협의체(Intergovernmental Panel on Climate Change; IPCC)”를 구성하고 과학적인 연구결과를 종합하여 인위적 기후변화를 확신하게 된 것은 최근 30년 이내의 일이다. 최근에 많은 객관적인 자료를 기반으로 이를 분석한 IPCC 4차 보고서(2007)에서는 지구 온난화 현상의 원인이 인간의 영향에 의한 것임을 천명하기에 이르렀다. 21세기에 접어들면서 부터는 전 세계적으로 이러한 기후변화가 각 지역의 인간사회와 자연 생태계시스템에 어떤 영향들 미치는지 대한 기후변화 영향평가도 빠르게 이루어지고 있다. 더 나아가 미래세대를 위한 다양한 온실가스 배출 시나리오를 토대로 전지구 기후모델(Global Climate Model: GCM)들과 고해상도 지역기후 모델(Regional Climate Model; RCM)에서 생산한 기후변화 시나리오 자료를 바탕으로 21세기에는 기후변화가 어떠한 양상으로 나타날 것 인지를 전망하는 작업도 활발하게 진행 중이다. 현재 IPCC에서는 이에 대한 최근 연구결과들을 종합하여 5차 보고서(2012년 예정)를 발간하는 작업이 이루어지고 있다.

IPCC 4차 보고서(2007)에 따르면, 현재까지 밝혀진 기후변화의 양상은 전 지구 평균온도가 지난 100년간 약 0.74℃ 상승하면서, 고온일은 증가하고 저온일은 감소함에 따라 빙권(해빙과 산악빙하 등)이 사라지고 있고, 해수면 상승이 뚜렷하게 발생하고 있음을 언급하고 있다. 이러한 기온변화는 연 중 특정 시기에 지구평균 온도보다 더 높은 기온상승 경향이 나타나는 국가가 있는 등 계절 또는 지역에 따라 기온변화 양상은 상이하게 나타난다. 강수변화의 경우에도 전 지구적으로 해수면온도가 상승함에 따라 대기 중 수증기 유입이 증가하여 전례 없는 호우가 증가하는 지역도 있지만, 이와는 정반대로 이웃하는 지역에서 극심한 가뭄이 발생하여 식수부족 및 국가 식량안보에 큰 문제를 직면하는 경우도 보고되고 있다. 즉, 기후변화는 지역과 시간에 따라 매우 상이한 패턴을 보이고 있기 때문에 그 영향도 지역별로 다르게 나타날 것이며, 이에 대응하는 기후변화 적응정책도 지역별로 차별화될 필요성이 있다.

이 연구보고서는 이러한 시공간적으로 상이한 기후변화의 맥락에서 최근 기후변화가 천혜의 자연생태시스템과 문화적 유산을 바탕으로 세계적인 관광지역으로 발돋움하고 있는 제주도 지역에 어떠한 양상으로 나타나고 있는지를 밝히는 것을 목적으로 한다. 더불어 이러한 변화가 미래에는 어떠한 양상으로 전개되어 제주도 경제활동과 인간 의식주 생활 그리고 자연 생태계에 어떠한 영향을 미치게 될 것인지를 밝혀 기후변화 적응대책을 마련하는 정부 각 기관에 도움이 되는 정보를 제공하고자 한다.



# 1. 지리적 특성

## 1) 자연환경

제주도는 한반도 남쪽에 위치한 우리나라 최대 규모의 화산섬으로 해안지역에는 아열대 식생대가 나타나지만, 중심부에는 해발고도 1,950m의 한라산이 원추형 형태로 자리 잡아 1,400m 이상의 산간지대에서는 아고산 식생대가 나타난다. 제주도는 신생대 제 3기 말부터 제 4기까지 있었던 화산활동으로 형성된 완만한 순상화산체에 중심부에 용암원정구가 형성된 복합화산체가 자리하고 있으며, 주변에 “오름”이라 불리는 360여개의 소형 화산체들로 이루어진 화산섬이다(그림 1-1-1). 동아시아 여름몬순이나 겨울몬순 시스템의 접근 시에는 기류의 이류 방향에 따라 한라산 동서남북 사면의 기온과 강수량 차이가 뚜렷하게 나타난다. 이동성 고기압과 저기압 영향을 받는 봄철과 가을철에도, 한라산 사면 방향에 따라 같은 해발고도에서도 기온과 강수 분포에 차이를 보인다. 정상부에는 화산폭발 후 형성된 직경 400~500m, 둘레길이 1.7km, 최대 깊이 110m의 화구호인 백록담이 있다. 제주도의 길이는 동서 방향으로 73km, 남북방향으로 31km이며, 동서 축이 북동에서 남서 방향으로 약간 기울어져 있으며, 동서로 다소 긴 타원형의 형상을 보인다. 이에 따라 남북의 기후 차이가 뚜렷하며, 동일 고도상의 봄철 식생의 개엽이나 개화시기 그리고 가을철 활엽낙엽수의 단풍 및 낙엽시기에도 차이를 보인다. 제주지방기상청에서는 이러한 기후특성을 고려하여 해발고도에 따라 크게 해안(200m 이하), 중산간(200~600m), 산간(600m 이상) 지역으로 구분하고, 200m 이하 해안 지역은 방위별로 동서남북 4개 지역으로, 600m 이상 지역은 산간으로 구분하여 일기예보를 제공하고 있다.

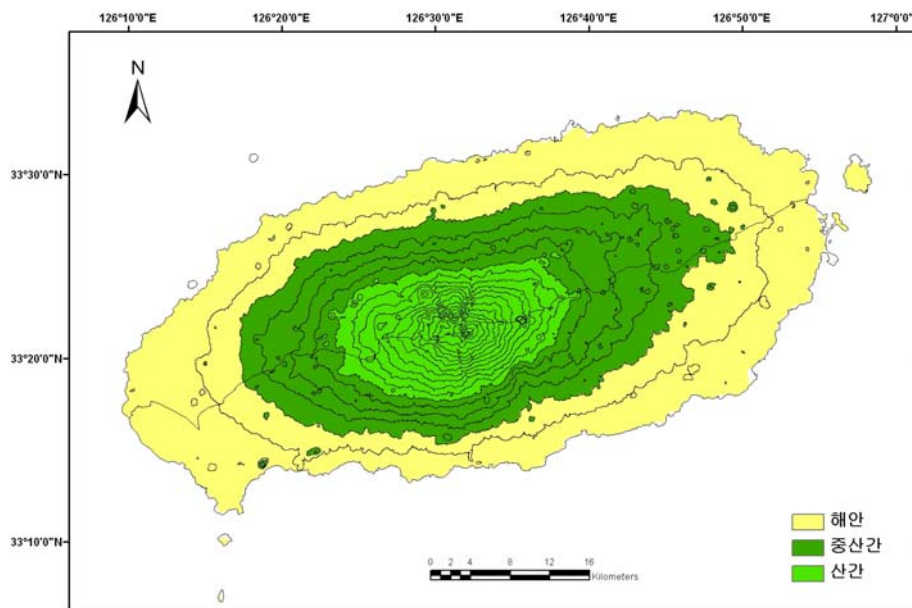


그림 1-1-1. 제주도의 해발고도에 따른 지역구분(해안, 중산간, 산간)

제주도는 우리나라 다우지 중의 하나로 한라산을 중심으로 현재 60여개의 지방 2급 하천과 80여개의 소하천이 방사상으로 흐른다(그림 1-1-2). 제주도의 하천 수계는 한라산을 중심으로 동서 방향보다는 남북 방향으로 경사가 급해 대부분의 큰 하천들이 북쪽이나 남쪽으로 발달하여 있어, 하천들의 곡률도는 낮은 편이다. 제주도 대부분의 하천은 절리가 발달된 현무암이 기반암을 이루고 있기 때문에 건기에는 대부분이 물이 흐르지 않는 건천을 나타내며, 저기압이나 태풍이 지나가는 우기에만 하천을 따라 흐른다. 대부분의 하천이 지하수가 잘 침투할 수 있는 현무암으로 이루어져 지하수층에 도달한 빗물들은 대수층에 모인 후 해안으로 이동하여 수압이 높은 해안가를 중심으로 약 900여개의 용천이 분포하고 있다.

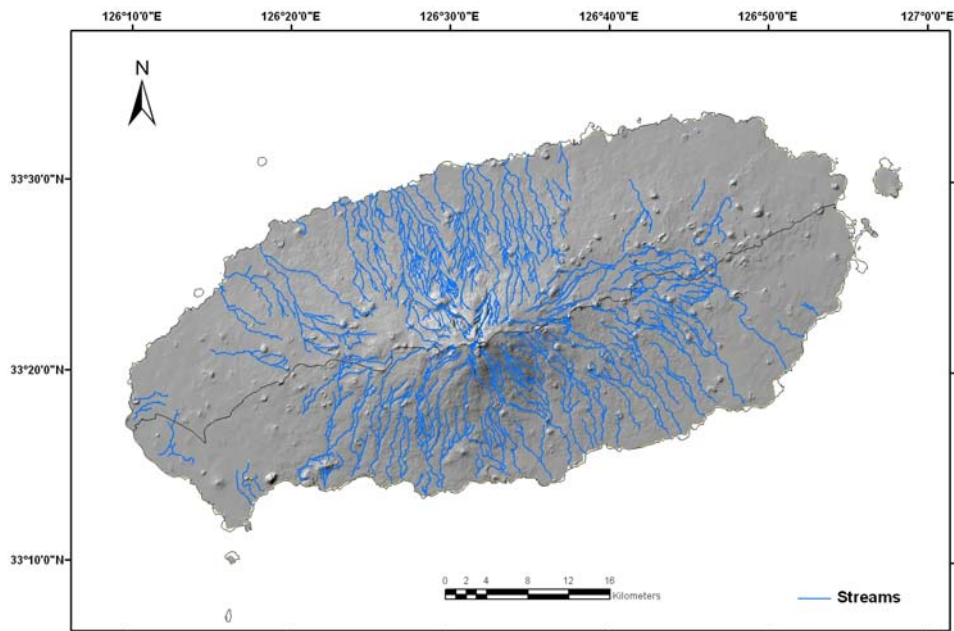


그림 1-1-2. 제주도의 음영기복과 하천 분포

## 2) 인문환경

제주도의 면적은 약 1,852.22km<sup>2</sup> 이고, 2010년 기준 총 가구 수 224,713세대에 거주 인구는 577,187명으로 인구밀도는 약 287.7명/km<sup>2</sup>이다. 제주도 전체 면적의 약 50%는 임야, 30%는 밭이고, 목장이나 골프장 목적의 초지가 10%, 제주시나 서귀포시 시가지가 10%를 차지하고, 기타 나머지는 논, 습지, 나지, 수역 등으로 구성되어 있다(그림 1-1-3). 2005년까지 행정구역상 제주시, 서귀포시, 북제주군, 남제주군의 총 4개의 시군으로 나뉘어 있었으나, 2006년 6월에 북제주군은 제주시로, 남제주군은 서귀포시로 통합되어 2010년 기준으로 행정구역상 제주시와 서귀포시 2개 지역으로 구분되며, 2개 시, 7개 읍, 5개 면 31개 동으로 구성되어 있다.

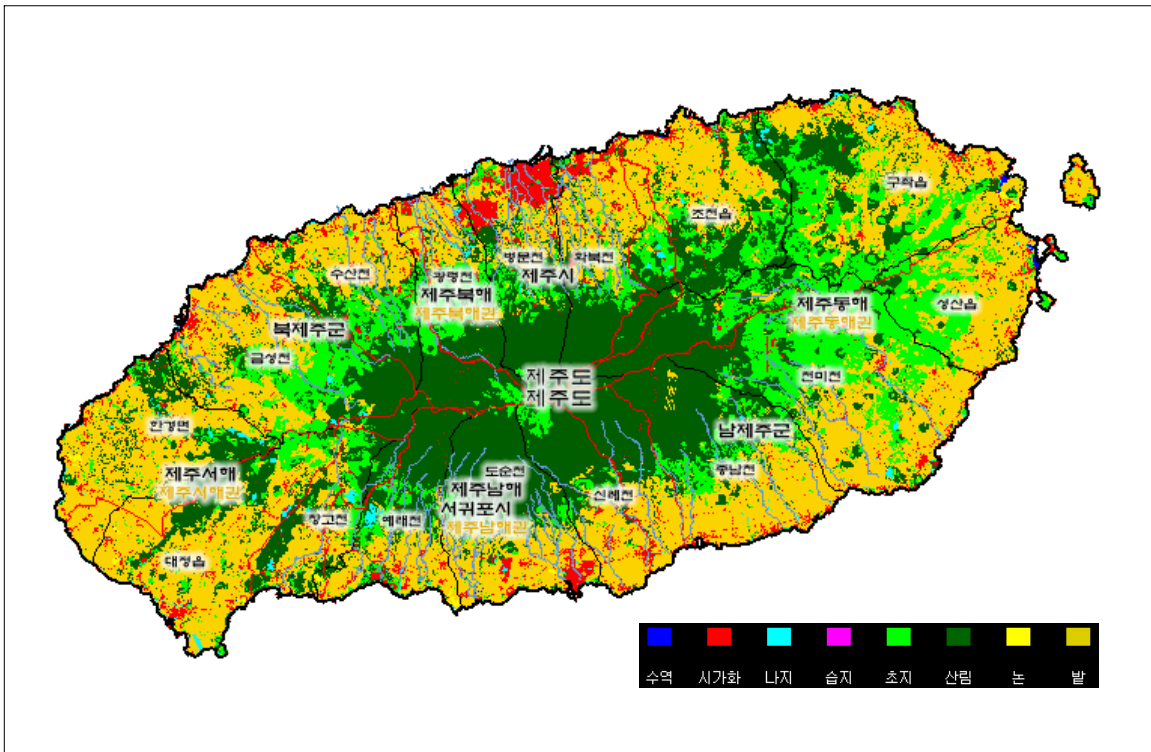


그림 1-1-3. 제주도(2007)의 토지이용 (출처: WAMIS)

제주도는 아열대 기후특성에 의하여 감귤산업을 중심으로 한 농업활동과 난류성 어종을 중심으로 한 어업활동이 활발하며, 한라산, 성산일출봉, 오름, 동굴계 등의 풍부한 자연 자원과 다양한 문화적 요소들을 중심으로 한 관광업이 경제활동의 주요 분야를 이루고 있다. 2010년 기준으로 제주도 방문 총 관광객 수는 7,578천명으로 총 관광 수입은 33,867억원이며, 어업 종사자는 18,793명이며, 농업 종사자는 36,218농가에 110,281명이다. 2010년 감귤의 식부면적은 20,747ha에 총 생산량은 570,000M/T 이며, 총 수입은 6,685 억 원이고, 수산물 생산량은 89,435M/T로 총 수입원은 757,793 백만원이다.

제주도는 최근 기후변화가 관광업, 농업, 수산업 등에 미치는 영향에 대해서 주목하고 있으며, 이에 대한 다양한 연구결과들이 보고되고 있다. 제주도청에서는 온난화에 의한 해수면 상승으로 해수면 침식이 이루어지고 있는 서귀포 용머리 해안에 기후변화 영향 landmark 사업을 추진하여 기후변화 교육의 장으로 활용할 계획이다. 또한 해수면 온도 상승에 따라 아열대성 어종이 증가하는 것은 물론 독성 해파리가 해수욕장을 따라 자주 출몰하여 해수욕장 방문객에게 주의를 요하고 있다. 심지어 최근에는 식인 상어가 우도 해수욕장 부근에서 발견되기도 하였다(표 1-1-1). 온난화 경향과 더불어 최근 서귀포 지역에서는 말라리아 Dengue 등 아열대 풍토병을 유발하는 모기 유충이 서귀포 지역에서 발견되기도 하였다. 산호의 경우에는 서귀포 지역에서 북부 해안의 조천까지 그 범위가 확장하고 있는 것으로 파악되고 있다. 해수온도의 상승에 의한 아열대성 생물 증가는 연근해 양식장의 해조류 감소를 유발시켜 패류의 감소를 초래할 것으로 전망하고 있다.

표 1-1-1. 분야별 기후변화 관련 주요 영향 사례(제주도)

부 문	주요 영향 사례
관광업	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 지난 38년 동안 해수면이 22.8cm나 높아져 제주도의 필수 관광코스 용머리 해안 산책로 요즘 만조 시 물에 잠기는 시간이 두 시간 이상 증가(서울신문, 2010년 7월)</li> <li>▪ 제주도 일부 해수욕장에는 수온 상승에 따라 바다밑 갯생이 모자반이 떠올라 악취를 풍기고 있어 이를 제거하기 위한 중장비 동원(매일신문, 2011년 8월)</li> <li>▪ 우도 서빈 백사 해수욕장 연안에 길이가 2m가량 되는 청새리상어 1마리가 출현(경인일보, 2011년 8월)</li> </ul>
수산업	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 아열대 생물들이 연안어장에 터를 잡고 번식해 해조류 번식을 감소시켜 제주도 연안어장의 전복, 소라, 오분자기 등 주요 패류의 생산력을 감소시키는 원인으로 작용(연합뉴스, 2010년 9월)</li> </ul>
농업	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ "기후변화가 기회" 한국산 열대 과일 주렁주렁망고·아보카도 이어 패션후르츠까지 농가 새 소득원. 농진청 제주연구센터선 각종 시험재배도 한창(한국일보, 2011년 8월)</li> <li>▪ 2007년께부터 전에 볼 수 없던 풋마름병과 Y-바이러스병이 제주에서 새로 발생(연합뉴스, 2009년 12월)</li> </ul>
보건	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 말라리아, 뎅기열 등을 유발하는 흰줄숲모기의 유충이 제주도 서귀포지역에서 발견(메디컬투데이, 2010년 2월)</li> </ul>
생태계	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 1964년 제주도 한라산에 있는 시원한 구상나무 마을은 935.4ha에 이르렀지만, 따뜻해지는 마을을 견디지 못한 나무들이 떠나면서 매년 8.84ha씩 줄아져 2008년에는 795.3ha까지 줄어들었다(아시아경제, 2011년 8월)</li> <li>▪ 한라산국립공원 고지대의 소나무 숲 면적이 지역에 따라 42년 새 최대 4.3배 증가(연합뉴스, 2011년 7월)</li> <li>▪ 제주도 마라도에서 한반도 미기록종인 아열대성 조류 '붉은가슴딱새'를 국내에서 처음 발견(연합뉴스, 2010년 11월)</li> <li>▪ 제주 조천 마을어장서 연산호 군락 발견. 제주 남부 서귀포 해역에서 서식하던 연산호가 기후변화로 인해 제주도 북부 연안까지 확산된 것으로 확인(경향신문, 2011년 8월)</li> </ul>

농업적 측면에서도 제주도의 특화작물이었던 감귤산업이 비닐하우스 재배기술의 도움으로 한반도 남부지역으로 전파됨에 따라 경쟁력 확보를 위하여 고품질 종의 생산압력이 거세지고 있다. 기후변화는 제주도 한라산의 산림 생태계에 큰 변화를 가져오고 있음이 여러 연구들에서 밝혀지고 있다(공우석, 1998, 1999; 임종환 등, 2006). 중산간의 역새나 제주조릿대 등의 벼과식물들이 고산지역으로 이동하면서 눈향나무 등의 고산식물들은 점차 그 개체수와 자생지 면적이 감소하고 있다. 소나무 등의 온대 교목림도 점차 고산지역으로 이동하여 구상나무들과 중간 경쟁을 하는 패턴이 관찰되고 있다. 이로 인하여 고산 식물생태계의 식물 개체수가 감소하고 있어 기후변화에 따른 생물다양성의 변화가 나타나고 있음이 감지되고 있다. 이외에도 제주도보다 더 저위도에 서식하는 아열대성 조류인 '붉은가슴딱새' 등이 최근 마라도에서 처음으로 관찰되기도 하였다.

서태평양에서는 열대성 저기압인 태풍의 발생빈도나 강도에는 뚜렷한 변화를 보이고 있지는 않지만, 2000년대에 들어 해수면온도 상승과 더불어 한반도로 북상하는 태풍의 길목인 제주도에서는 다양한 홍수 및 강풍 등 큰 피해사례들이 발생하고 있다. 최근 10년간(2001~2010) 제주도 지역의 기상재해관련 인명 소실 및 재산피해 통계를 살펴보면, 15명의 인명 피해는 모두 태풍에 의한 것이며, 총 피해액의 약 85%도 태풍에 의한 것이다. (표 1-1-2).

표 1-1-2. 최근 10년(2001~2010년)간 제주도 기상관련 자연재해 인명 손실과 재산피해(소방방재청, 2011)

구분	제주도	
	사망/실종(명)	2010년도 환산 가격 기준 피해액(천원)
태풍	15/0	231,273,862
호우	-	12,678,434
대설	-	8,433,914
폭풍설	-	1,623,037
강풍	-	4,461,680
풍랑	/3	173,411
합계	15/3	258,644,338

지난 10년간 제주도에 영향을 미친 약 10여개의 태풍 중, 2003년 9월 11~13일 제주에 영향을 준 태풍 매미(MAEMI)는 제주와 고산에 최대풍속 순간풍속 60m/s로 2명 사망, 48,149백만원 재산피해를 가져왔다. 2007년 9월 15~16일 제주도에 영향을 준 태풍 나리(NARI)는 제주 일강수량 420mm, 사상자 13명, 130,746백만원 피해를 발생시켰으며, 이때 제주시를 중심으로 대홍수가 발생해 제주도가 특별재난지역으로 선포되기도 하였다. 최근에는 2011년 8월 7일 제주도를 강타한 태풍 무이파(MUIFA)에 의해 제주 일 강수량이 299mm로 역대 3위를 기록했고, 고산과 성산의 최대순간풍속은 38.0m과 27.9m에 이르러 비닐하우스, 수산양식장 및 축산 시설이 파괴되었고, 20~30년 이상의 가로수들이 쓰러졌다. 특히, 성읍민속마을에서는 그간 천연기념물로 지정하여 보호해 오던 800년 이상된 팽나무가 쓰러져 소실되기도 하였다. 2011년 9월 11일 추석 연휴에는 제주시 조천읍 선흘리에 2시간 동안 163.5mm의 기록적인 국지성 호우가 발생하여 조천읍 일대가 침수되기도 하였다.

## 2. 관측환경의 특성

제주도의 관측지점은 해안을 중심으로 동서남북 4곳(성산, 고산, 서귀포, 제주)에 종관 기상관측장비(ASOS)와 목측 관측 요소가 포함된 기상관측을 하고 있다(표 1-2-1). 1990년대 초반부터는 자동기상관측(AWS) 장비를 도입하여 관측을 실시하고 있으며, 2011년 현재 추자도 지점을 포함한 총 24개소에서 자동기상관측을 실시하고 있다. 정규기상관측 지점을 관측 기간이 오래된 순서대로 살펴보면, 제주 관측지점은 1923년 5월 1일, 서귀포 관측지점은 1961년 1월 1일, 성산 관측지점은 1973년 1월 1일, 고산 관측지점은 1988년 1월 1일부터 일단위의 연속된 자료를 제공하고 있다.





그림 1-2-1. 제주의 관측환경



그림 1-2-2. 서귀포의 관측환경

관측장소 북쪽에 청사가 위치하고 있으며, 상업 건물과 주택단지로 둘러싸여 있어 기온의 경우에는 주변 환경의 영향을 받고 있다. 제주 지점은 제주도 북쪽 해안에 위치하고 있어, 여름에는 무덥고 겨울에는 추운 기후특성을 보인다.

관측장소 북쪽에 청사가 위치하고 있으며, 낮은 건물과 개활지로 둘러싸여 있어 주변 환경의 영향을 거의 받지 않는다. 서귀포 지점은 제주도 남쪽 해안에 위치하고 있어, 여름에는 상대적으로 기온이 낮고 겨울에는 따뜻한 기후특성을 보인다.



그림 1-2-3. 성산의 관측환경



그림 1-2-4. 고산의 관측환경

관측장소 북서쪽에 청사가 위치하고 있으며, 개활지로 둘러싸여 있어 주변 환경의 영향이 거의 받지 않는다. 성산 지점은 제주도 동쪽에 위치하고 있어 비와 눈이 많이 오는 기후특성을 보인다.

관측장소 북동쪽에 청사가 위치하고 있으며, 서쪽이 해안절벽으로 이루어져 있어 바람의 영향이 있다. 고산 지점은 제주도 서쪽에 위치하고 있어 상대적으로 비가 적게 오는 기후특성을 보인다.

표 1-2-1. 제주도 정규기상관측 지점정보

지점번호	지점명	위도 (°N)	경도 (°E)	해발고도 (m)	시작 연도	법정동
184	제주	33°30'	126°30'	19.85	1923년	제주시 건입동
185	고산	33°17'	126°09'	70.85	1988년	제주시 환경면 고산리
188	성산	33°23'	126°52'	18.38	1973년	서귀포시 성산읍 신산리
189	서귀포	33°34'	126°30'	50.39	1961년	서귀포시 서귀동

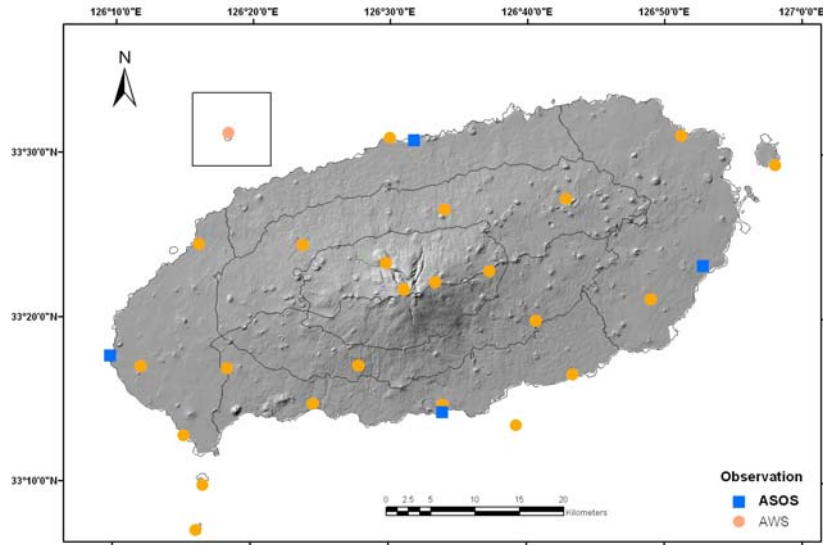


그림 1-2-5. 2011년 10월 현재 모든 기상관측지점

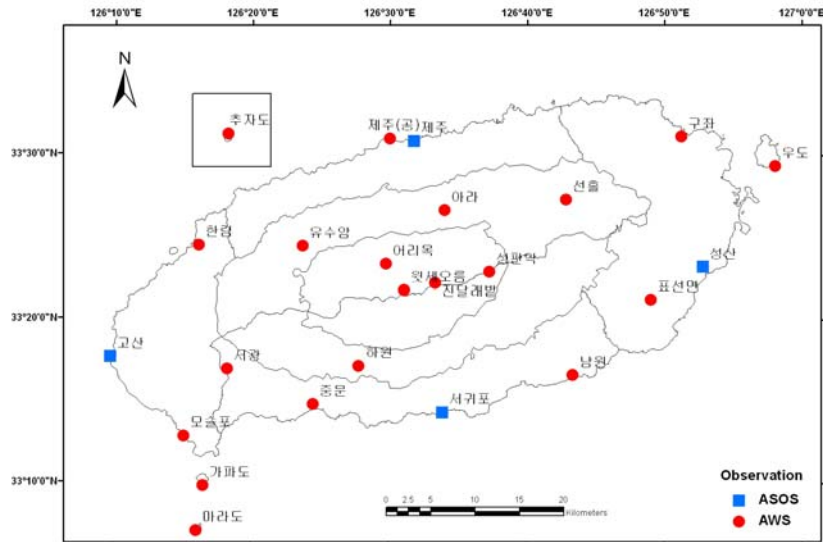


그림 1-2-6. 기후통계(2001-2010) 사용된 관측지점.

본 연구에서는 4개 관측지점의 장기간 변화 추세를 살펴보기 위해서 1973년 1월 1일부터 2010년 12월 31일까지의 일별 기후자료를 분석하였다. 38년 동안의 기온, 강수, 바람 등의 기후자료를 연별, 계절별, 월별로 평균값을 산출하고, 매년의 특이 기상일이나 극한 현상일의 발생빈도 및 생물계절일의 장기간 변화추세를 분석하였다. 10년 단위별 또는 30년 단위별 변화를 살펴보기 위해서 제주 관측지점은 1924~2010년, 서귀포 관측지점은 1961~2010년, 성산포 관측지점은 1973~2010년, 고산 관측지점은 1988~2010년의 일별 기후자료를 사용하였다. 제주도 지역의 상세한 최근 10년간(2001-2010) 기후평균 분포를 살펴보기 위해서 총 23개(ASOS 4개 지점 및 AWS 19개 지점)의 관측지점에서 관측한 일별 기후자료를 사용하였다.(그림 1-2-6). AWS 관측지점 선정에는 기상청 기후통계지침에 따라 관측 자료의 기간이 전체 자료 분석기간의 80% 이상 되는 지점을 선정하였다.

제주도 세부 지역별 기후값을 산출하기 위해 제주지방기상청의 예보구역을 기초로 하여 해발고도와 행정구역(제주시와 서귀포시)에 따라 해안지역을 동서남북 4개 지역으로 세분화하고, 중산간 지역과 산간지역은 행정구역(제주시와 서귀포시)을 중심으로 남북 중산간 및 산간지역으로 나누어 총 8개의 지역으로 세분한 평균값을 산출(그림 1-2-5) 하였다. 미래 제주도의 기후변화 전망을 정량화하기 위해 기상청 국립기상연구소에서 생산한 10km 격자의 고해상도 자료를 사용하여 21세기 100년간(2001~2100)의 기후변화 시나리오 자료를 30년 단위 또는 10년 단위로 평균하여 사용하였다. 제주도의 시나리오 산출에는 총 20개의 격자자료가 사용되었다.(그림 1-2-7).

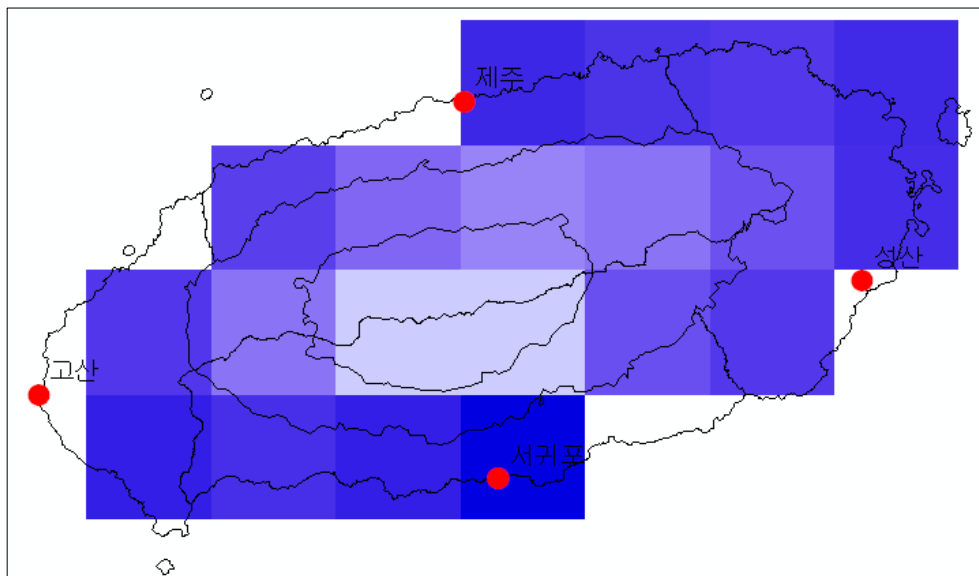


그림 1-2-7. 고해상도(10km) 기후변화 시나리오 자료 격자(제주도)

시나리오는 한반도 수준에서 생산된 자료이므로 제주도의 경우 정확한 위치정보의 오차를 최소화하기 위하여 한라산을 기준으로 보정한 후 자동기상관측자료 기반의 평균값을 사용하였다. 또한 미래 기후변화의 양상 중 극한기후 전망치를 산출하기 위하여 불확실성이 상대적으로 적은 극한 지수들의 변화양상을 분석하였다.

이러한 분석결과를 바탕으로 제 2장에서는 4개 정규관측자료 30년 평균(1981~2010) 자료와 23개 자동기상관측 지점의 최근 10년(2001~2010) 분석 자료에서 산출한 제주도 평균 기후값과 극한기후현상의 시공간적 특징을 기술하였다 제 3장에서는 제주도 동서남북 해안에 위치한 4개 정규관측지점의 장기간(1973~2010년) 기후자료를 바탕으로 제주도 기후변화의 특징을 살펴보았다. 제 4장에서는 고해상도 기후변화 시나리오 자료를 바탕으로 제주도의 미래기후변화 양상을 전망하였다. 마지막으로 제 5장에서는 기후변화에 따른 제주도의 다양한 사회경제 및 자연환경에 나타나는 영향과 이에 대한 대응과 저감을 위한 제주도 지역의 지자체 수행 노력 사례와 향후 계획들에 관하여 기술하였다.



## II. 제주도의 기후

1. 기온 / 2. 강수 / 3. 바람
4. 기타 기후요소
5. 주요 현상일수와 극한기후지수

제주도 해안지역은 연평균기온이 15.0℃ 이상으로 아열대 기후대에 속하나, 화산섬 중심에 위치한 해발고도 1,950m의 한라산에 의한 고도 상승에 따라 다양한 기후대가 수직적으로 나타난다. 가령, 해발고도 1,400m 이상에서는 아고산대 식생대가 나타나고 연평균 기온도 10.0℃ 이하로 나타난다. 종관 기후학적으로 제주도는 겨울철 시베리아 기단이 한반도 방향으로 확장할 때 남쪽 한계에 해당하는 곳에 위치하여 있고, 여름철에는 태풍이나 장마전선이 처음 북상하여 영향을 미치고 중부지방으로 북상할 때 후면을 따라 확장해 오는 북태평양 기단의 영향을 받는 지역에 위치해 있다. 또한, 동아시아의 여름과 겨울 기단 이외에도 이동성 고기압이나 저기압이 제주도를 통과할 때는 한라산의 지형과 상호작용하여 다양한 일기패턴을 형성한다. 국지적으로는 사계절에 따라 기단이나 종관규모 기압 시스템이 다가오는 방향에 따라 동서남북으로, 그리고 해발고도에 따라 해안, 중산간, 산간지역에 따라 기후특성이 다르게 나타난다.

이 장에서는 장기간 기후자료를 바탕으로 최근 30년(1981~2010) 제주도 동서남북 해안 지역의 기온, 강수, 바람, 습도 등 기후요소의 분포 특징과 최근 10년(2001~2010)기간의 자동기상관측자료를 바탕으로 해발고도에 따른 동서남북 해안과 중산간 및 산간 지역의 상세 기후분포 특징을 분석하였다. 이외에도 최근 30년(1981~2010) 평균 주요현상일수와 관측기간 동안(관측개시일~2011년 10월 31일)의 기후극값의 공간분포를 비교 분석하였다. 운량, 안개일수, 서리일수 등 목측에 의해 관측되는 주요현상일수의 30년 기후 자료 산출시 성산의 경우 2000년 3월 ~2007년 3월 동안 자동관측으로 전환되면서 자료가 없는 시기를 제외하고 평균값을 산출하였다. 또한 18개의 기온극한지수와 10개의 강수극한지수의 30년 평균값을 산출하여 지점별로 비교 분석하였다.

## 1. 기온

### 1) 연과 계절 분포

제주도의 30년(1981~2010) 평균기온은 한라산 남쪽 해안에 위치한 서귀포(16.6℃)가 한라산 북쪽 해안에 위치한 제주(15.8℃)에 비하여 0.8℃ 높게 나타난다(그림 2-1-1; 표 2-1-1). 3개월별 기상학적 계절에 따라서 여름철(6~8월)에는 남쪽 해안의 서귀포(24.8℃)와 북쪽 해안의 제주(24.7℃)의 평균기온 차이가 0.1℃에 지나지 않으나, 겨울철(12~2월) 평균기온은 시베리아기단의 영향을 직접적으로 받는 북쪽 해안의 제주(6.8℃)보다 한라산 후면에서 그 영향을 덜 받는 남쪽 해안의 서귀포(8.0℃)에서 약 1.2℃더 높게 나타난다. 봄철(3~5월)과 가을철(9~11월) 평균기온은 북쪽 해안의 제주보다 남쪽 해안의 서귀포에서 각각 0.9℃와 1.1℃ 더 높게 나타난다.

봄철 최고기온의 동서지역 차이는 1.2℃로 동쪽 해안의 성산이 서쪽 해안의 고산에 비하여 높게 나타난다. 봄철에는 중국 서부 고원지역의 눈 녹은 물이 중국 동부의 대하천에서 상당량의 냉수가 서해상에 유입되어 제주도 북서해상까지 남하하여 해수온도가 낮은 패턴과 연관되어 있을 것으로 사료된다. 반면 여름철 최고기온의 경우에는 북쪽해안의 제주 지점에서 27.9℃로 가장 높고, 서귀포지점에서 27.7℃로 오히려 0.2℃ 더 낮다. 동서방향으로 여름철 최고기온은 동쪽해안의 성산지점에서 27.4℃로 서쪽해안 고산지점의 26.6℃에 비하여 0.8℃정도 더 높게 나타난다. 여름철 최고기온분포는 대체로 우리나라 기류의 유입과 관련된 강수분포 패턴과 관련이 있다. 여름철의 경우에는 이동성 저기압이 지나가면서 남서기류가 주로 유입되는데 이때 한라산의 서쪽에 위치한 지역에서는 대체로 기류가 지형에 의해 강제상승 되면서 구름이 자주 끼게 된다. 남동부 지역의 경우에도 이동성 저기압이 제주도를 관통할 때 반시계 방향의 순환을 유지하면서 기류가 제주도 한라산 남동 사면방향으로 유입되어 강수가 자주 발생한다. 반면 북쪽 해안의 제주지점의 경우에는 오히려 이러한 남서 또는 남동 방향 기류에 의한 강수발생 패턴의 영향을 받으며, 한라산 지형효과에 의한 뒤편상의 영향을 받기도 한다. 또한 국지적으로는 관측지점 주변의 피복 변화에 의한 도시화 효과도 반영되어 제주 관측지점의 최고기온은 다른 세 지점의 값에 비하여 더 높게 나타난다.

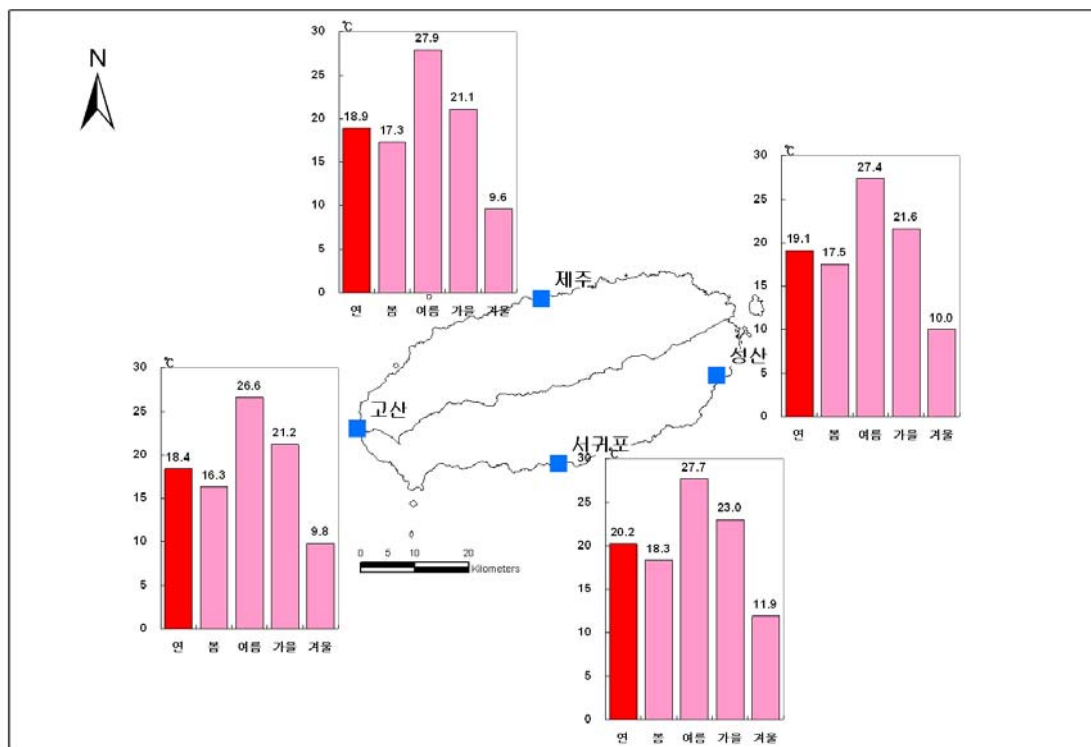


그림 2-1-2. 제주도의 연·계절 최고기온 공간분포(1981~2010년)

연평균 최저기온의 경우는 최고기온과는 반대로 남쪽 해안의 서귀포지점에서 13.5℃로 가장 높고, 서쪽의 고산지점에서 13.1℃으로 다음으로 높고, 제주지점에서 12.9℃, 성산지

점에서 11.6℃로 남서지역에서 북동지역 방향으로 갈수록 점차 낮아지는 패턴을 보인다(그림 2-1-3; 표 2-1-3). 최저기온의 남북 해안지역 차이는 1.6℃로 북쪽이 남쪽보다 더 높고, 동서 해안지역 차이도 서쪽 해안의 기온이 1.5℃ 더 높게 나타난다. 동쪽 해안에 위치한 성산지점의 최저기온이 다른 세 지점에 비하여 1.3~1.9℃정도 더 낮게 나타난다. 성산의 경우 앞서 언급하였듯이 시베리아 기단이 확장하는 늦가을과 초겨울 사이에 북서태평양 가장자리를 따라 흐르는 쿠로시오 난류가 북상할 때 지역적으로 제주도 북동방향 후면에 상대적으로 냉수대가 모이기 유리한 지리적 특성을 갖고 있기 때문에 최저기온의 상승이 약한 패턴이 나타나는 것으로 사료된다. 이외에도 통계에 사용된 동부해안의 성산지점의 기온자료는 온난화가 뚜렷하게 반영된 1988년 이후의 자료이기 때문에 비교 자료의 기간 불균형의 영향도 반영되어 있을 것으로 사료된다. 실제 전 지구 온난화의 경향은 일 최고기온의 상승보다는 일 최저기온의 상승에 뚜렷하게 반영되어 있고, 상세지역별 자동기상관측 자료 기반의 일 최저기온의 값 비교에서도 오히려 제주도 서부해안보다는 동부해안의 최저기온이 더 높은 것으로 나타난다(표 2-1-3). 사계절 중에서는 특히 겨울철에 동서 지역의 최저기온 차이가 더욱 뚜렷하게 나타난다. 겨울철 성산지점의 최저기온(2.5℃)은 다른 세 지점에 비하여 1.6~2.2℃ 낮게 나타난다. 인위적 피복변화에 따른 도시화 효과 측면에서는 1990년대 이후 빠르게 콘크리트로 피복되고 있는 제주지점(22.1℃)과 서귀포(22.4℃)지점의 여름철 최저기온 평균값은 그렇지 않은 고산지점(21.6℃)과 성산지점(21.1℃)의 평균값에 비하여 1.0℃ 정도 높게 나타난다.

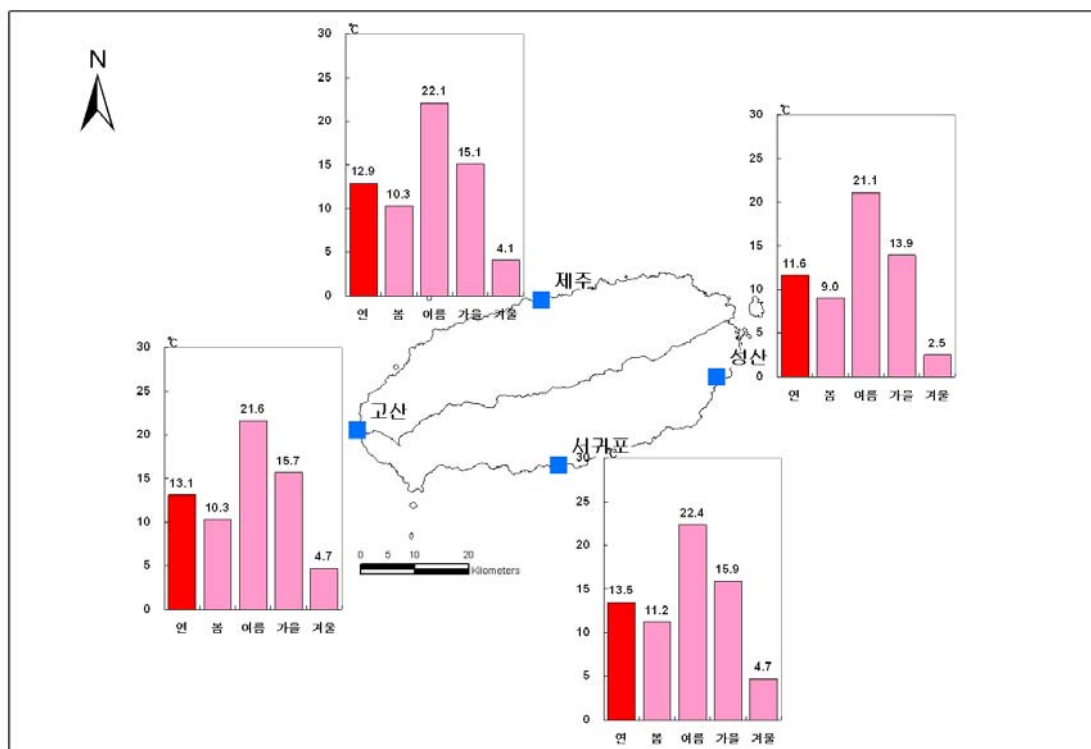


그림 2-1-3. 제주도의 연·계절 최저기온 공간분포(1981~2010년)

## 2) 상세공간분포

최근 10년간(2001~2010) 제주도의 자동기상관측지점 자료를 기반으로 평균기온의 공간 분포를 살펴보면 23개 관측지점 평균기온은 14.1℃이며, 여름철은 22.9℃, 겨울철은 5.0℃로 나타난다. 지역별로는 해안지역 연평균기온은 15.5~16.2℃의 분포를 보이고, 해발고도 200~600m의 중산간 지역에서는 13.2~14.3℃의 분포, 해발고도 600m이상의 산간지역에서는 7.1~10.8℃의 분포로 해발고도 상승에 따라 점차 기온이 감소한다(그림 2-1-4).

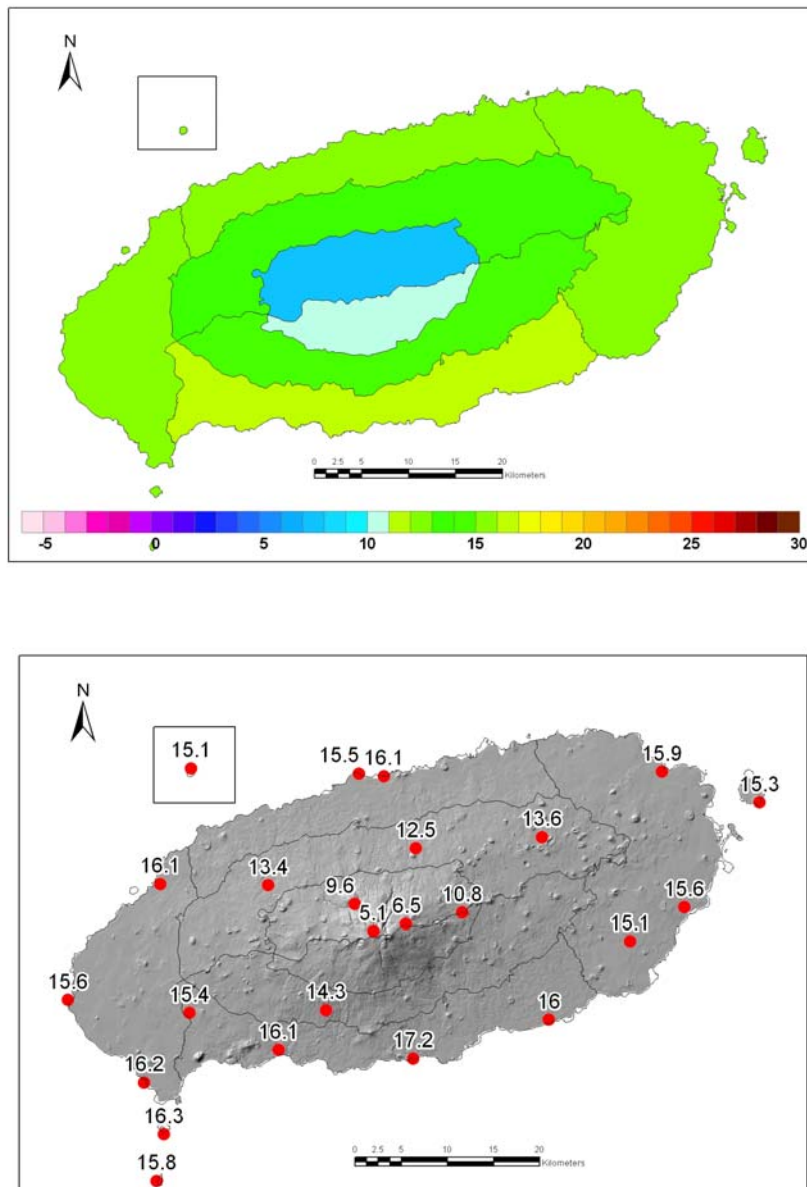
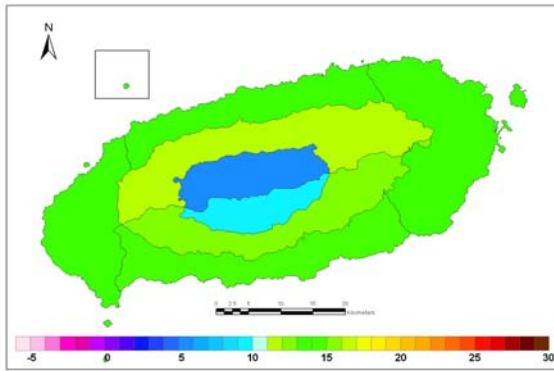
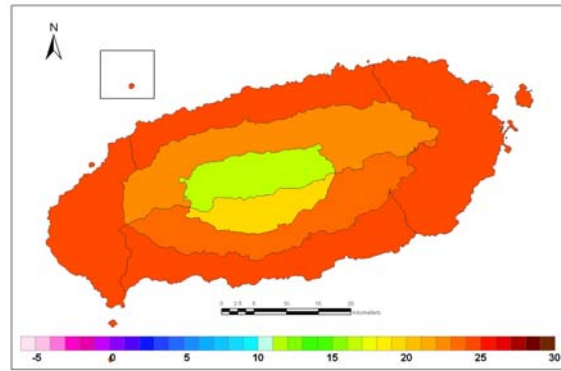


그림 2-1-4. 제주도의 평균기온 공간분포(위)와 관측지점 분포(아래)  
(2001~2010년) (단위:℃)

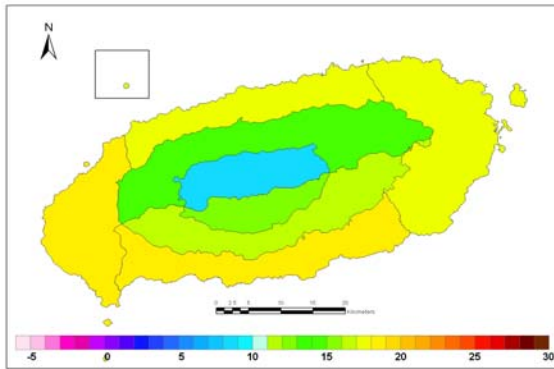
고도에 따른 평균기온의 감소경향을 계절별로 보면, 사계절 중 봄철과 여름철보다는 가을철과 겨울철에 더 뚜렷하게 나타나고 있다(그림 2-1-5; 그림 2-1-6).



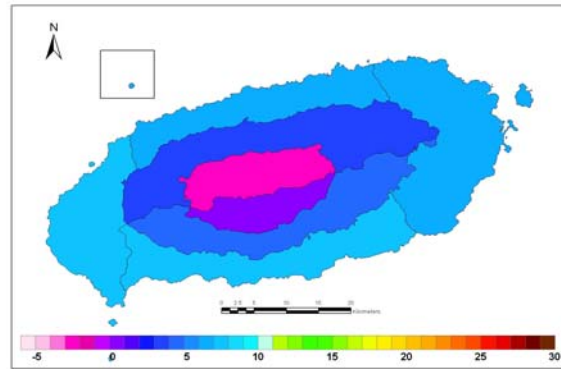
(a)



(b)

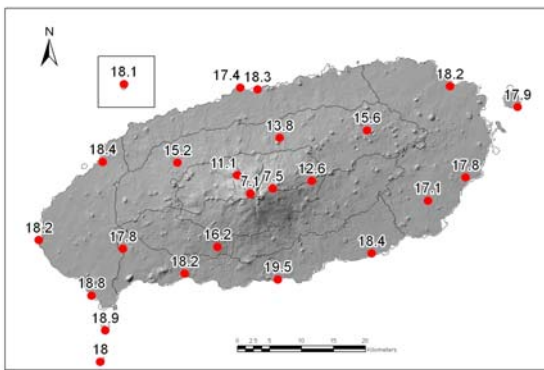


(c)

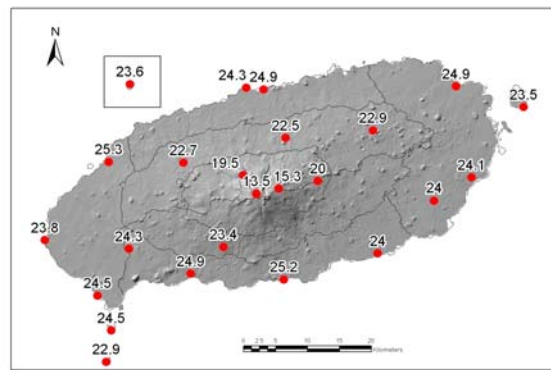


(d)

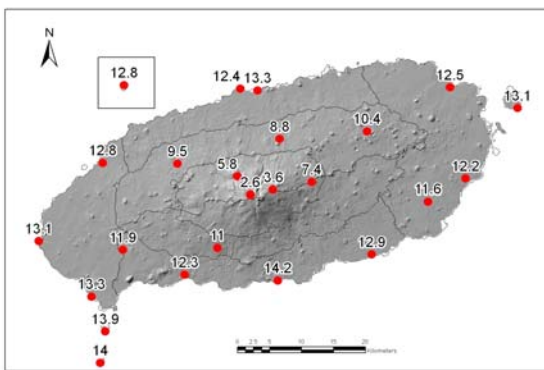
그림 2-1-5. 제주도의 계절별 평균기온 공간분포(2001~2010년) (단위:℃) (a)봄철, (b)여름철, (c)가을철, (d)겨울철



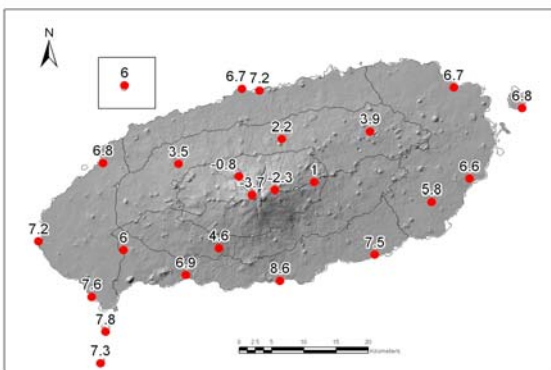
(a)



(b)



(c)



(d)

그림 2-1-6. 제주도의 계절별 평균기온 관측지점(2001~2010년) (단위: ℃) (a)봄철, (b)여름철, (c)가을철, (d)겨울철

표 2-1-1. 제주도의 상세지역 연·계절 평균기온(2001~2010년) (단위: °C)

평균기온	연	봄	여름	가을	겨울
해안동부	15.5	13.5	24.1	17.8	6.5
해안서부	16.0	13.4	24.2	18.5	7.3
해안남부	16.2	14.2	24.6	18.5	7.3
해안북부	15.5	13.2	24.3	17.9	6.6
중산간북부	13.2	11.7	22.7	14.9	3.2
중산간남부	14.3	12.8	23.4	16.2	4.6
산간북부	7.1	5.9	16.1	8.6	-2.3
산간남부	10.8	9.6	20.0	12.6	1.0
제주도	14.1	12.2	22.9	16.3	5.0

가을철 해안지역의 평균기온은 17.8~18.5°C의 분포를 보이고, 산간지역에서는 8.6~12.6°C의 분포로 기온의 편차는 5.9~9.2°C의 편차가 나타나고 있다. 겨울철의 평균기온은 해안지역에서는 6.5~7.3°C의 분포, 산간지역에서는 -2.3~1.0°C의 분포로 기온의 편차는 6.3°C~8.8°C의 편차가 나타나고 있다.

연평균 최고기온은 제주도 전 지점 평균적으로 17.8°C이며, 계절별로는 여름철 26.5°C, 겨울철 8.2°C로 여름철과 겨울철의 기온 차는 18.3°C의 차이를 보인다. 지역적으로 세분하면 연평균 최고기온은 해안지역에서 18.6~20.0°C의 분포, 중산간 지역에서는 17.5~18.1°C의 분포, 산간지역에서는 11.7~14.7°C의 분포를 보이고 있다.(그림 2-1-6). 즉, 연평균 평균기온에 비하여 연평균 최고기온은 해안지역에서 3.0~3.8°C, 중산간 지역에서는 3.8~4.3°C, 산간지역에서는 3.9~4.6°C 더 높게 나타난다. 수직적으로 해안과 산간지역의 최고기온의 차이는 겨울철에 10.7°C로 가장 크게 나타나며, 봄철에 4.7°C로 가장 작다(표 2-1-3; 그림 2-1-7). 일반적으로 제주도 전체 공간평균 최고기온은 봄철(16.3°C)보다 가을철(20.0°C)에 더 높다. 특히 해안지역에서는 봄철보다 가을철 최고기온이 3.8~4.8°C씩 더 높게 나타난다.

표 2-1-2. 제주도의 상세지역 연·계절 최고기온(2001~2010년) (단위: °C)

최고기온	연	봄	여름	가을	겨울
해안동부	19.1	17.5	27.7	21.3	9.7
해안서부	19.0	16.7	27.0	21.5	10.0
해안남부	20.0	18.3	27.9	22.7	11.1
해안북부	18.6	16.8	27.4	20.9	9.2
중산간북부	17.5	16.8	27.0	19.1	6.9
중산간남부	18.1	17.0	26.9	20.3	8.2
산간북부	11.7	11.0	21.4	13.3	0.9
산간남부	14.7	14.0	23.8	16.3	4.5
제주도	17.8	16.3	26.5	20.0	8.2



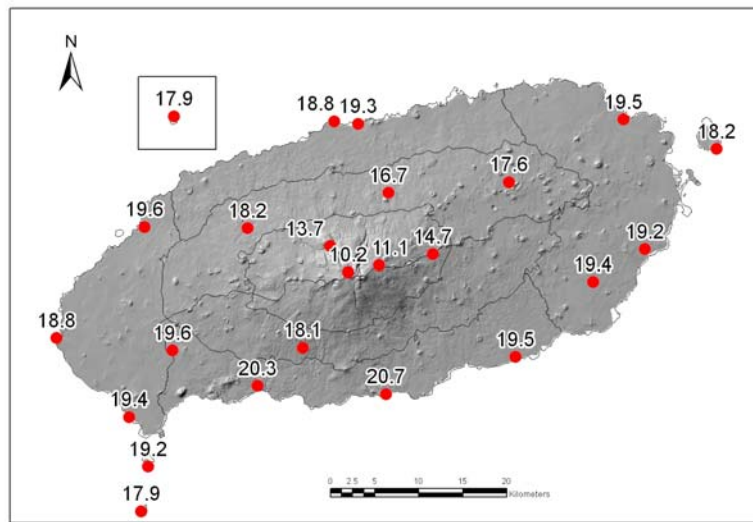
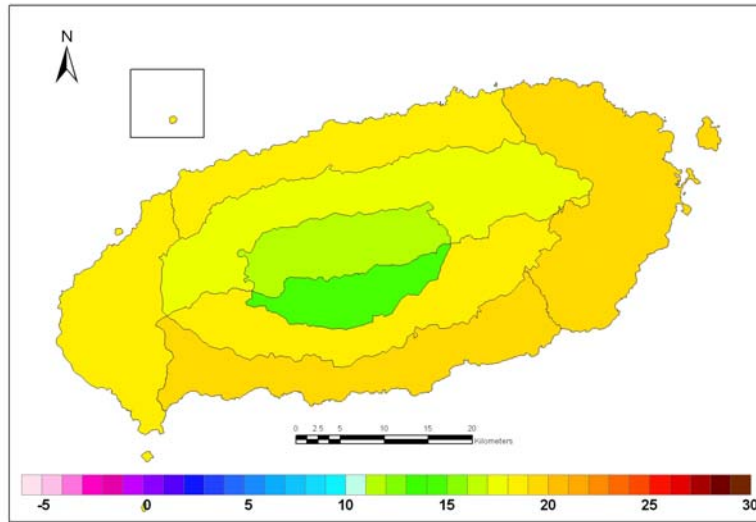


그림 2-1-7. 제주도의 최고기온 공간분포(위)와 관측지점 분포(아래)  
(2001~2010년) (단위:℃)

연평균 최저기온은 제주도 전 지점 평균값이 11.1℃로 전 지점 최고기온 평균값(17.8℃)보다 6.7℃ 낮다. 계절별로는 봄철 최저기온이 8.5℃로 최고기온과 비교하여 7.8℃ 더 낮다.(그림 2-1-8). 가을철 최저기온은 13.2℃로 봄철 최저기온에 비하여 4.7℃ 더 높다. 이러한 결과의 원인은 여름철에 데워진 해수는 육지에 비하여 냉각이 서서히 이루어지기 때문에 가을철 지표냉각에 의한 기온하강 현상은 봄철에 비하여 오히려 서서히 일어나기 때문이다.

제주도의 최저기온은 여름철 20.4℃, 겨울철은 1.9℃로 두 계절의 차이는 18.5℃ 이다. 가을철과 겨울철 최저기온은 최고기온에 비하여 각각 6.8℃와 6.3℃ 더 낮다. 상세지역별로는 해안지역에서는 여름철 최저기온이 21.5~22.0℃, 산간지역에서는 14.5~17.0℃ 분포를 보인다(표 2-1-3). 겨울철에는 제주도 해안지역의 최저기온은 3.4~4.8℃의 분포를 보이



고, 산간지역에서는  $-6.1\sim-2.1^{\circ}\text{C}$ 로 영하의 기온으로 떨어진다. 사계절 최고기온과 최저기온의 차이는 해안지역보다는 산간지역에서  $0.8\sim1.5^{\circ}\text{C}$  더 큰 차이가 나타나고 있다.

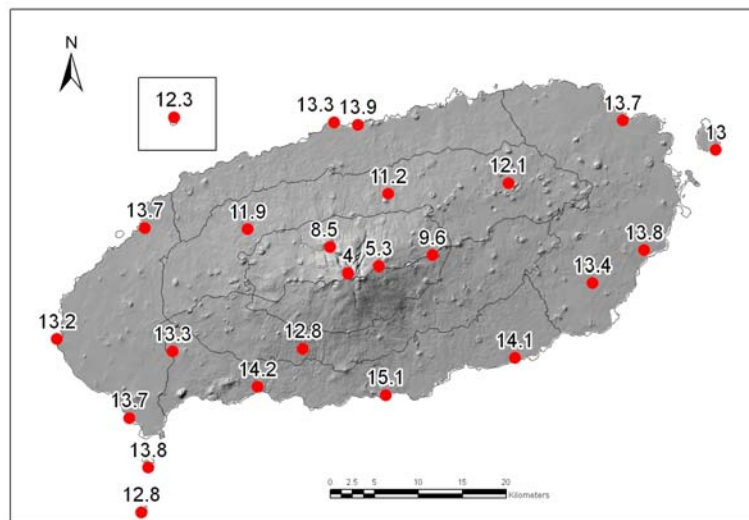
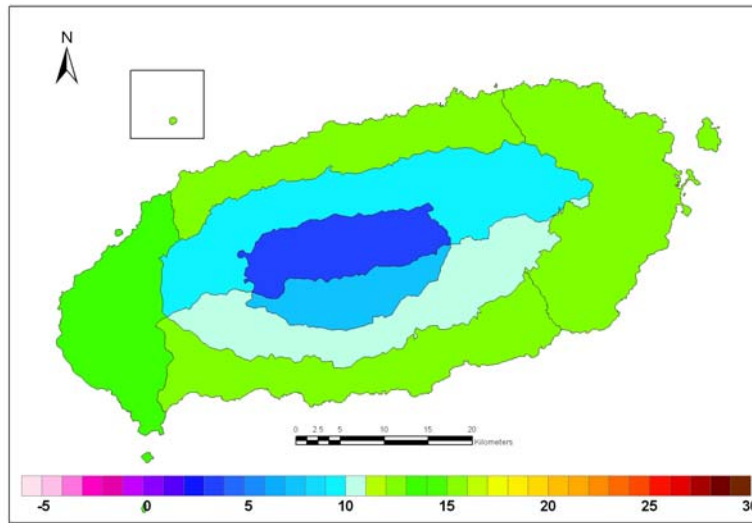


그림 2-1-8. 제주도의 최저기온 공간분포(위)와 관측지점 분포(아래)  
(2001~2010년) (단위:  $^{\circ}\text{C}$ )

표 2-1-3. 제주도의 상세지역 연·계절 최저기온(2001~2010년) (단위:  $^{\circ}\text{C}$ )

최저기온	연	봄	여름	가을	겨울
해안동부	12.3	9.6	21.5	14.8	3.4
해안서부	13.4	10.5	22.0	15.8	4.8
해안남부	12.8	10.2	22.0	15.0	3.9
해안북부	12.8	9.9	21.8	15.4	4.0
중산간북부	9.6	7.1	19.5	11.4	0.0
중산간남부	11.0	9.0	20.7	12.7	1.5
산간북부	4.0	2.1	14.5	5.3	-6.1
산간남부	7.4	5.4	17.0	9.2	-2.1
제주도	11.1	8.5	20.4	13.2	1.9

## 2. 강수

### 1) 연과 계절 분포

제주도의 30년 평균(1981~2010) 연강수량 분포를 보면, 대체로 남동 해안지역에서는 우리나라 평균(1,350mm)보다 50%이상 많은 1,900mm 이상의 강수량이 나타나고 북서 해안지역에서는 1,100~1,500mm로 한반도 평균과에 유사한 값이 나타나고 있다.(그림 2-2-1; 표 2-2-1).

장기간 관측한 4개 지점 중 동쪽 해안의 성산 관측지점에서는 연 강수량이 1,940.3mm로 가장 많고, 그 중 여름철 강수량은 867.7mm로 45%를 차지한다. 성산 관측지점의 봄철과 가을철 강수량도 440.6mm와 420.1mm로 각각 전체 연강수량의 23%와 22%를 차지하고 있다. 4개 관측지점 중 연별과 월별의 강수량분포도 동쪽 해안의 성산에서 가장 많은 강수량 분포를 보이고 있다.

남쪽 해안의 서귀포 관측지점의 연강수량은 1,923.0mm로 성산 관측지점 다음으로 많은 강수량 분포가 나타나고 있고, 여름철 강수량은 878.3mm로 동쪽해안의 성산 관측지점 보다 많은 46%를 차지하고 있다. 특히, 봄철에는 서귀포 관측지점의 강수량이 511.9mm로 동쪽해안의 성산 관측지점보다 많이 기록되고 있어 제주도에서 가장 많다. 반면 서귀포 관측지점의 가을과 겨울철 강수량은 각각 349.5mm와 182.8mm로 성산 관측지점 보다 적다.

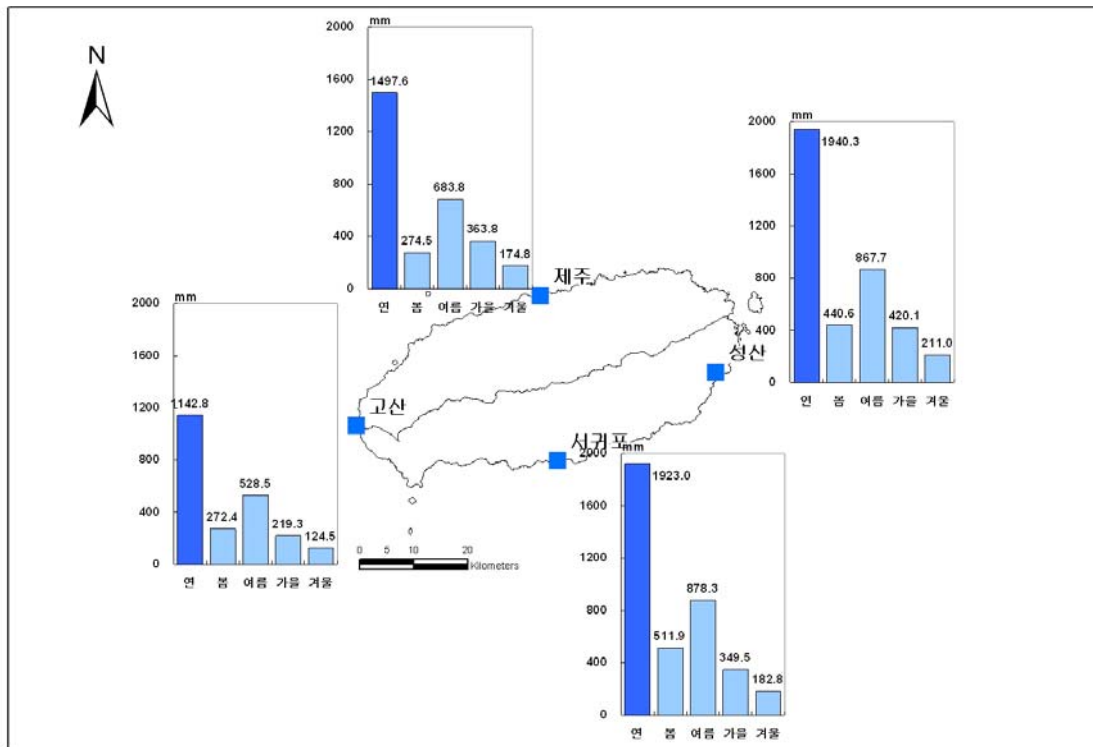


그림 2-2-1. 제주도의 연-계절 강수량 공간분포(1981~2010년)

연 강수량은 북쪽해안의 제주 관측지점(1,497.5mm)에서 서쪽 해안의 고산 관측지점(1,142.8mm)으로 갈수록 적어지고 있으며, 여름철 강수량도 각각 683.8mm와 528.5mm로 남동지역에 비하여 적지만 연강수량에 대한 상대적인 비율은 두 지점 모두 46%로 남동지역의 여름철 강수량 비율과 유사하다. 이와 같이 남동 해안의 강수량이 북서 해안의 강수량 보다 많은 경향을 보이는 것은 저기압이 지나갈 때 반시계 방향으로 기류를 이루 시키면서 한라산에 의한 지형효과에 의해 국지적 강수가 발생하기 때문이다.

## 2) 상세공간분포

우리나라에서 1,500mm이상 다우지는 크게 남해안, 서울 포함 경기북부지역, 제주도 남동 해안지역으로 알려져 있다. 제주도 23개 자동기상관측지점의 최근 10년간(2001~2010) 평균 연강수량은 2,174.0mm로 우리나라 61개 정규기상관측 지점 30년 평균값(1,350mm)에 비하여 약 1.6배 이상 나타난다. 23개 자동기상관측 지점 자료를 기반으로 한 공간상세 자료에 따르면 해안지역은 1,200~1,900mm로 4개의 정규관측지점의 자료와 유사하다. 반면 해발고도가 200~600m의 중산간 지역에서는 연강수량이 2,300mm 이상, 해발고도 600mm 이상에서는 연강수량이 4,300mm 이상으로 해발고도 상승에 따라 강수량이 증가함을 알 수 있다(그림 2-2-2).

중산간과 산간의 연강수량은 우리나라 전체 지역평균 연강수량(1,350mm)의 약 1.7배와 3.2배에 해당한다. 전체적으로 산간북부(윗세오름, 진달래밭, 어리목 등 3개 관측지점 평균)보다는 산간남부지역(성판악 지점 기준)에서 강수량이 200mm 더 많으나 해발고도 600m이상의 산간지역에는 관측지점의 수가 적고, 강수는 지형과 관련하여 국지성이 존재하므로 관측지점의 분포에 따라 다른 결과를 얻을 수도 있을 것으로 사료된다.

지점별 강수량 분포를 살펴보면 남서쪽 산간의 윗세오름 지점(해발고도 1,700m)에서는 5,031mm로 북동쪽 산간에 속한 성판악지점(해발고도 763mm)의 4,539mm보다 더 많음을 알 수 있다. 관측지점이 상대적으로 많은 해안지역의 경우에는 동부(1,894.9mm)와 남부(1,797.3mm)가 서부(1,237.9mm)와 북부(1,404.1mm)에 비하여 더 많은 강수량패턴이 뚜렷하게 관찰된다.

계절별 공간상세 분포도에 따르면 제주도 전 지역에 걸쳐 여름철 강수율은 42~45%, 봄철 강수율은 19~28%, 가을철은 17~23%, 겨울철 강수율은 7~11%에 달한다(그림 2-2-3; 그림 2-2-4; 표 2-2-1). 일반적으로 여름철 강수량이 가장 많고, 그 다음 순이 봄철 강수량이 차지하고 있으나, 산간지역 연강수량의 계절별 비율은 해안지역과 달리 봄철 강수량이 차지하는 비율이 가을철 강수량이 차지하는 비율보다 높다.

산간지역의 여름철 강수량은 1,950mm이상 나타나며, 봄철의 경우에도 1,160mm이상

나타나고 있다. 중산간지역 여름철 강수량은 약 1,020mm로 산간지역의 봄철 강수량보다 적게 오고 있으며, 이것은 산간지역 강수량 50%에 해당한다. 산간지역 가을철 강수량은 800mm이상으로 해안지역의 여름철 강수량(685mm)보다 많다.

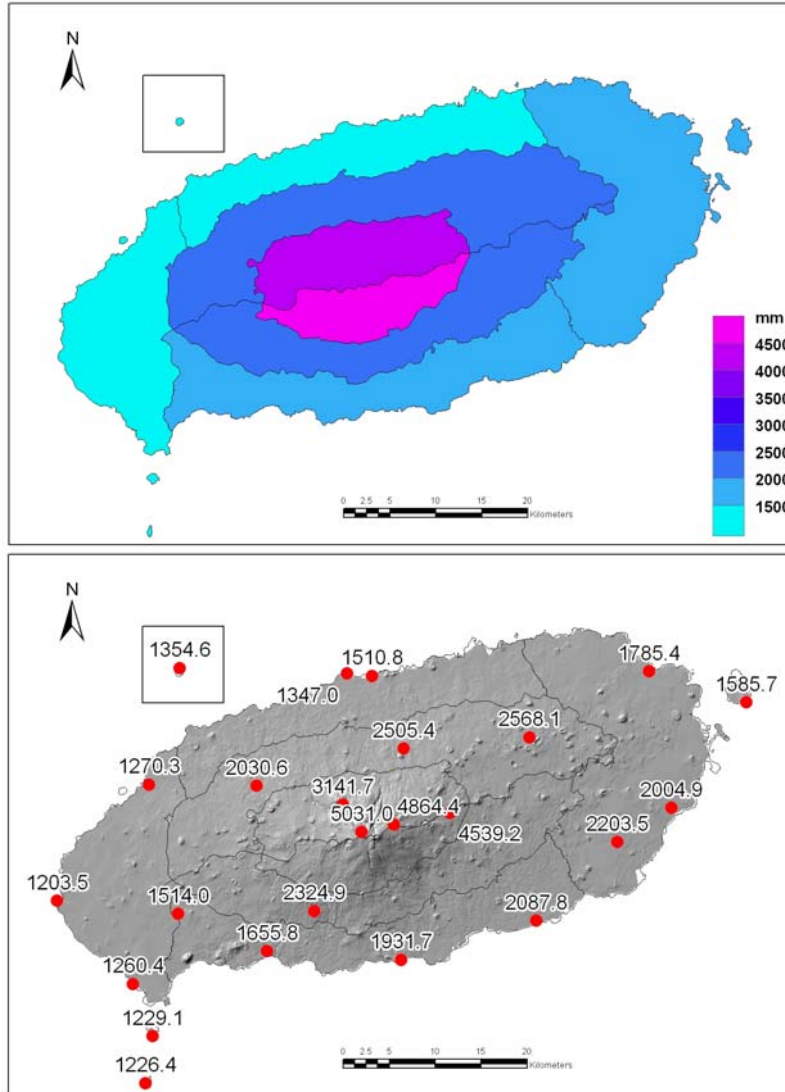
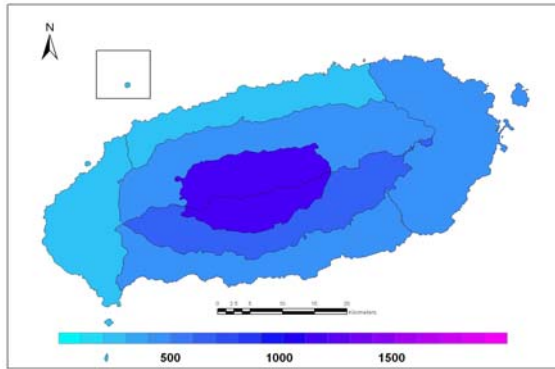
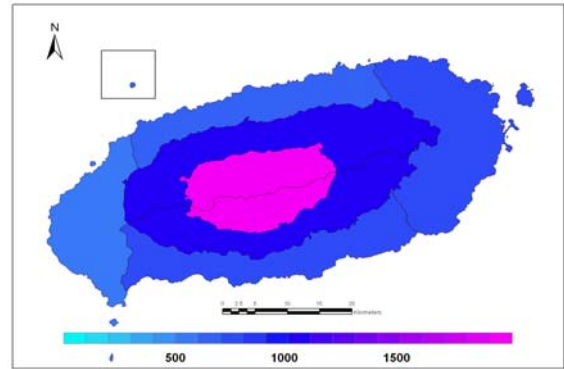


그림 2-2-2. 제주도의 연강수량 공간분포(위)와 관측지점 분포(아래)  
(2001~2010년) (단위: mm)

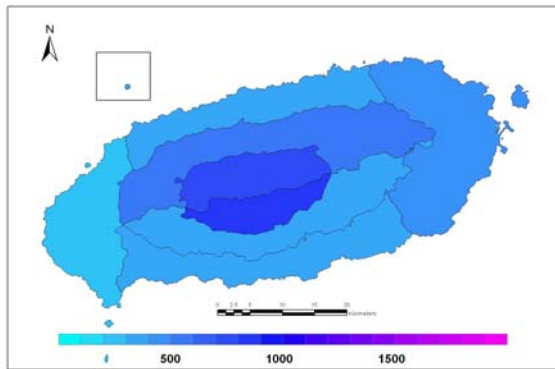
중산간지역의 봄철 강수량은 570mm이며, 중산간 북부(490.9mm)보다는 중산간 남부(656.3mm)지역에서 더 많다. 반면, 중산간지역 가을철과 겨울철 강수량은 오히려 중산간 남부보다는 북부지역에서 각각 140mm와 90mm 더 많게 나타난다. 이것은 계절별로 봄철에는 주로 남풍계열의 기류가, 반대로 가을철과 겨울철에는 주로 북풍계열의 기류가 한라산의 지형을 타고 상승하는 경우가 많다는 것을 가리킨다. 해안지역의 사계절 강수량은 동부와 남부지역이 서부나 북부에 비하여 많게 나타나는데 이는 앞에서 언급한 바와 같이 이동성 저기압이 제주도를 남서쪽에서 북동방향으로 이동할 때 반시계 방향의 기류 흐름을 만들어 내면서 주로 남동지역에 수증기를 유입시키기 때문일 것으로 사료된다.



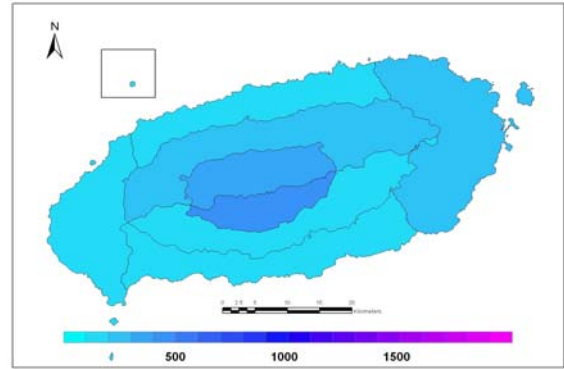
(a)



(b)

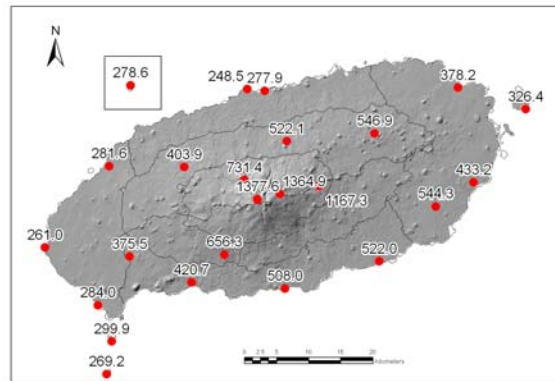


(c)

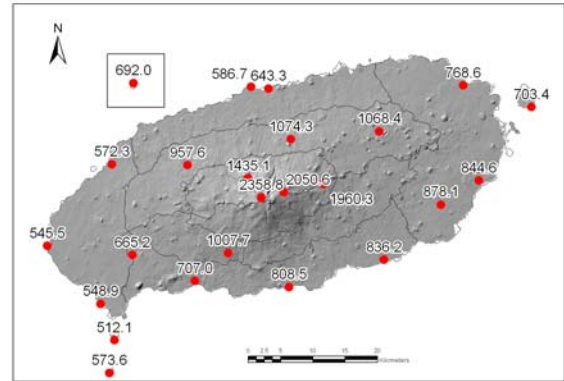


(d)

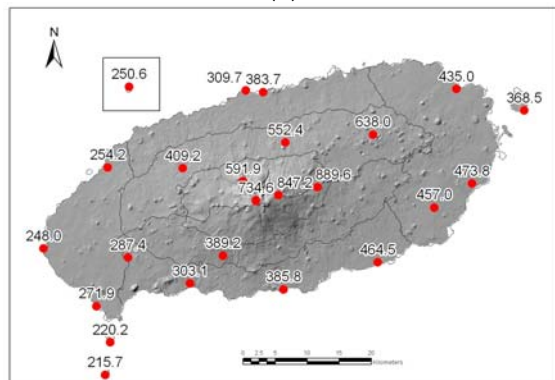
그림 2-2-3. 제주도의 계절별 강수량 공간분포(2001~2010년) (단위: mm) (a)봄철, (b)여름철, (c)가을철, (d)겨울철



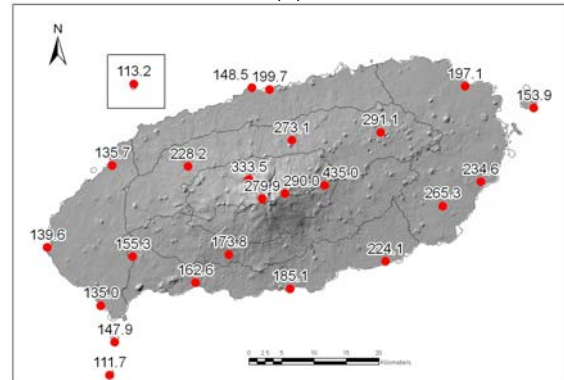
(a)



(b)



(c)



(d)

그림 2-2-4. 제주도의 계절별 강수량 관측지점(2001~2010년) (단위: mm) (a)봄철, (b)여름철, (c)가을철, (d)겨울철

겨울철 상세지역별 강수분포를 보면 산간지역에서는 360mm이상으로 가장 많고, 해발 고도가 낮아지면서 점차 감소하여 해안서부지역에서는 134mm의 가장 적은 값을 나타낸다. 세부적으로 가을철과 겨울철 산간지역에서는 북부보다는 남부지역의 강수량이 더 많이 나타난다.

표 2-2-1. 제주도의 상세지역 연·계절 강수량(2001~2010년) (단위: mm)

강수량	연	봄	여름	가을	겨울
해안동부	1,894.9	420.5	798.7	433.6	212.7
해안서부	1,237.9	279.1	550.4	242.0	134.0
해안남부	1,797.3	456.5	754.2	360.2	181.7
해안북부	1,404.1	268.3	640.6	314.6	153.8
중산간북부	2,368.0	490.9	1,033.4	533.2	264.1
중산간남부	2,324.9	656.3	1,007.7	389.2	173.8
산간북부	4,345.7	1,158.0	1,948.2	724.5	301.1
산간남부	4,539.2	1,167.3	1,960.3	889.6	435.0
제주도	2,174.0	520.0	949.9	432.5	208.9



### 3. 바람

#### 1) 연과 계절 분포

바람은 풍향과 풍속을 동시에 고려하여 살펴보아야 하기 때문에 제주도 4개 정규기상 관측지점의 30년 평균(1981~2010) 연, 계절, 월별 바람장미를 분석하였다. 아래 다이어그램에서 보여주듯이 풍향은 총 16방위로 세분되어 있고, 각 방위별 풍향의 출현빈도는 상대적인 백분율(최대 30%)로 표현되어 바람장미의 중심으로부터의 길이로 표현하였다(그림 2-3-1). 각 풍향별 바람은 풍속의 계급별로 다시 나누어 서로 다른 두께와 색의 막대그래프로 표현하였다. 중앙 원 안쪽의 값은 0.5m/s미만의 무풍인 경우를 백분율로 나타낸 것이며, 풍속의 계급들은 0.5m/s이상~3.4m/s미만일 경우 보라색, 3.4m/s이상~8.0m/s미만인 경우 녹색, 8.0m/s이상~13.9m/s미만인 경우 군청색, 13.9m/s이상인 경우 붉은색으로 표현하였다.

바람장미 설명

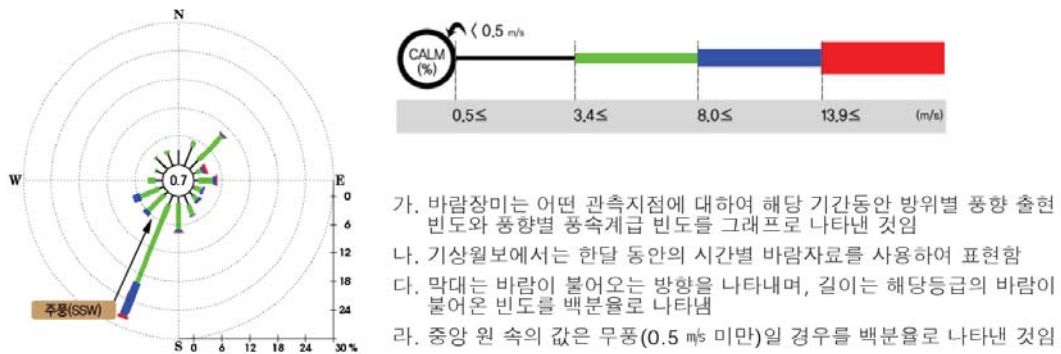


그림 2-3-1. 바람장미 설명

제주도는 과거부터 바람, 돌, 여자들이 많은 삼다도로 잘 알려져 있으며, 이와 같은 풍부한 바람자원을 바탕으로 현재에는 80여개 이상의 풍력발전 터빈들이 설치되어 있다. 특히 북서계절풍 영향의 최전선에 있는 제주도 북서해안지역과 북동풍계열이 탁월한 행원을 포함한 북동 해안지역에 많은 풍력발전기들이 설치되었다.

대체로 우리나라 해발고도가 높은 대관령과 도서나 해안가에 위치한 울릉도, 울진, 인천, 군산, 부산, 통영, 목포, 여수, 완도 등을 제외하면 대부분의 내륙의 정규기상관측지점의 연평균 풍속은 3.0m/s이하이다. 제주도 4개 지점의 30년 연평균 풍속을 살펴보면, 대체로 2.9~7.0m/s의 범위로 한반도 평균에 비하여 높은 값을 나타낸다. 동서남북 해안지역에 위치한 4개 지점의 지난 30년 평균(1981~2010)의 연, 계절, 월별 바람장미를 살펴보면 다음과 같다.

## 가. 제주

북부 해안에 위치한 제주의 연평균풍속은 3.5m/s로 나타난다(그림 2-3-2). 제주 관측지점의 바람장미를 살펴보면 대체로 북서풍 계열이 다른 풍향에 비하여 두드러지게 나타난다. 이는 사계절 중 북서계절풍의 영향이 가장 탁월한 겨울철의 영향을 받아 나타나는 패턴으로 겨울철 풍속이 4.3m/s로 가장 강하다(그림 2-3-3). 봄철과 여름철 풍속은 3.0~3.4m/s로 우리나라 대부분의 도서지역과 유사한 강한 풍속을 나타낸다.

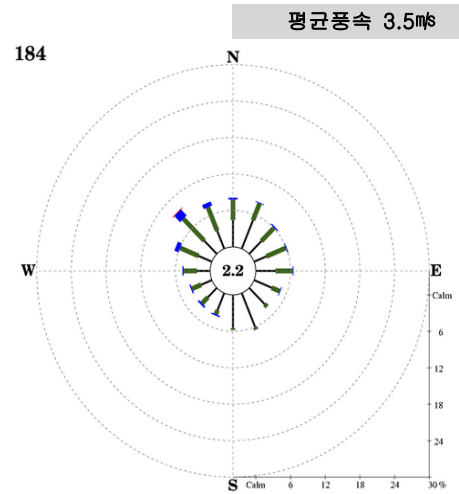


그림 2-3-2. 제주의 바람장미(1981~2010년)

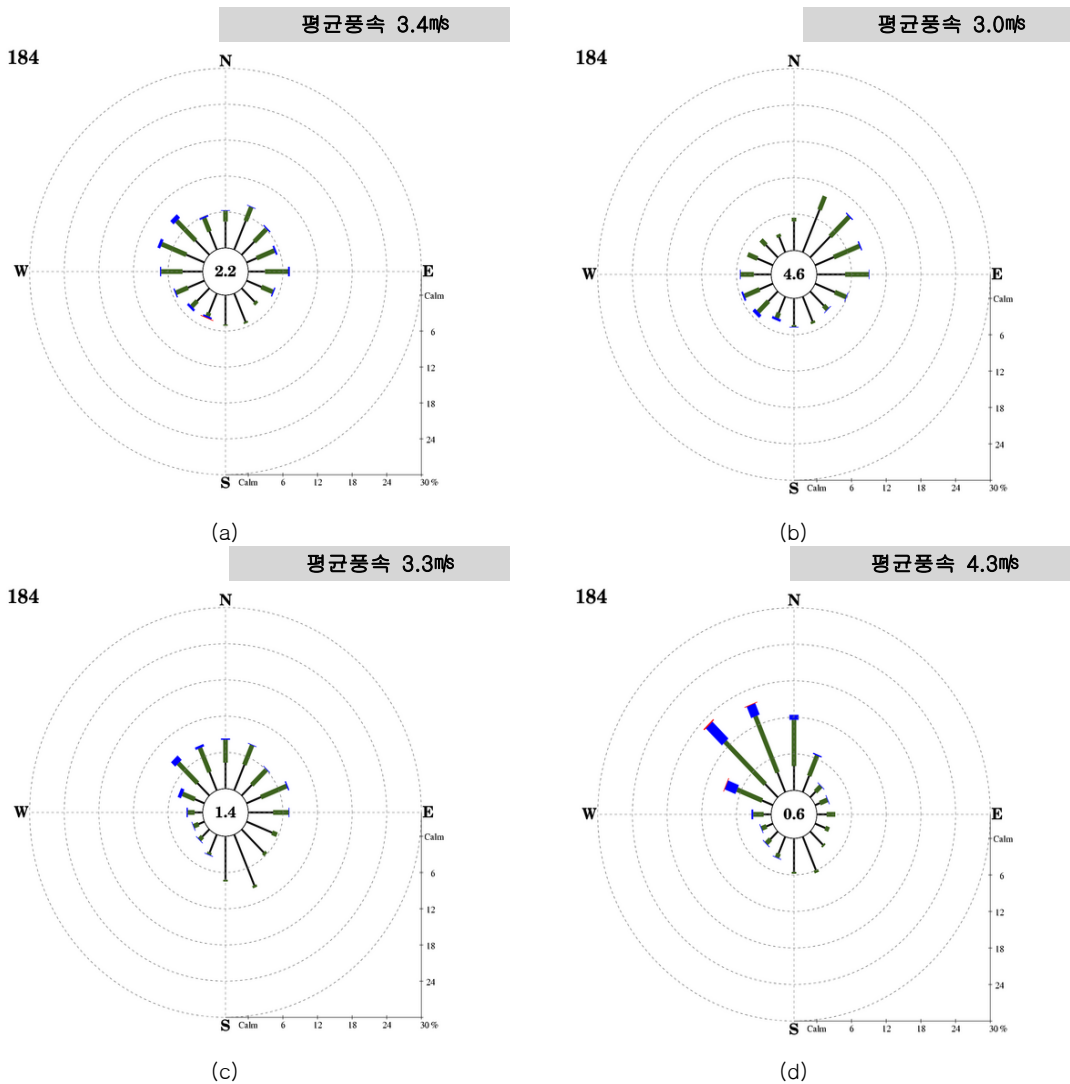


그림 2-3-3. 제주의 (a) 봄철, (b) 여름철, (c) 가을철, (d) 겨울철의 바람장미(1981~2010년)



제주 관측지점에서는 겨울철에 북서풍 계열의 바람이 50%이상을 차지하며 북서풍 계열의 바람은 8.0m/s이상~13.9m/s미만인 경우가 대부분이고 13.9m/s이상인 풍속도 5% 이상 나타난다(그림 2-3-3). 특히 1월에 4.5m/s로 연중 가장 강한 평균풍속을 나타낸다(그림 2-3-4). 8.0m/s이상~13.9m/s미만인 바람은 12월의 바람장미에서 가장 많이 관찰된다(그림 2-3-5). 12~2월 바람장미에서는 일부 13.9m/s이상인 경우도 관찰된다. 봄철은 북서계절풍의 영향이 약화되는 시기로 대체로 남동풍을 제외한 나머지 풍향에서 골고루 나타난다. 봄철 월별 바람장미를 살펴보면, 북서계절풍의 영향은 3월의 바람장미에서도 뚜렷하게 나타나 20%이상을 나타낸다. 4월은 일반적으로 모든 방향에서 바람이 골고루 불어 들어오나, 다소 동풍과 서풍이 약간 탁월하게 나타난다. 5월에도 4월과 유사하게 북서계절풍의 영향이 약화되어 동풍과 서풍이 탁월하게 나타난다.

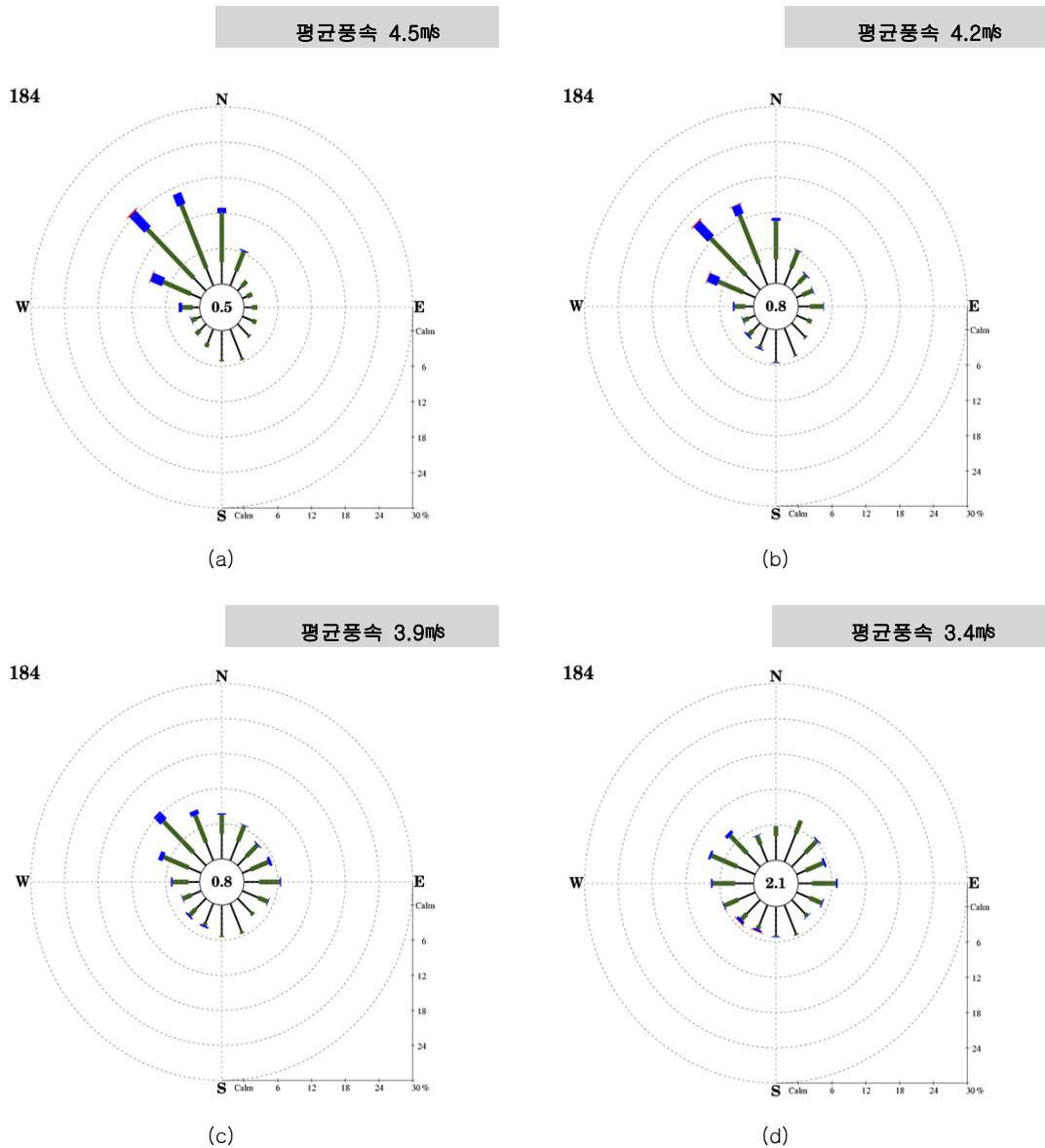


그림 2-3-4. 제주의 (a) 1월, (b) 2월, (c) 3월, (d) 4월의 바람장미(1981~2010년)

여름철에는 다른 계절에 비하여 제주 관측지점 풍속이 감소하여 6~8월 평균적으로 3m/s를 나타낸다(그림 2-3-5). 6~8월 풍향은 주로 북동풍과 남서풍이 탁월하게 나타나는데 특히 북동풍 계열의 바람이 더 뚜렷하게 관찰된다. 제주 관측지점은 제주도 북쪽에서 한라산을 등지고 북부해안지역에 위치하여 있기 때문에 동아시아의 남풍과 남서풍의 바람의지 지역에 속하여 바람이 한라산의 양쪽으로 돌아 동풍과 북동풍의 형태로 불어 들어오고, 저기압이 지나갈 때 반시계 방향의 흐름이 유지되어 주로 북동풍 계열의 기류들이 유입된다. 제주 관측지점은 국지적으로 바다와 육지간의 해륙풍도 영향을 미치게 되는데 주간에는 북풍계열의 해풍이 우세할 것으로 사료된다.

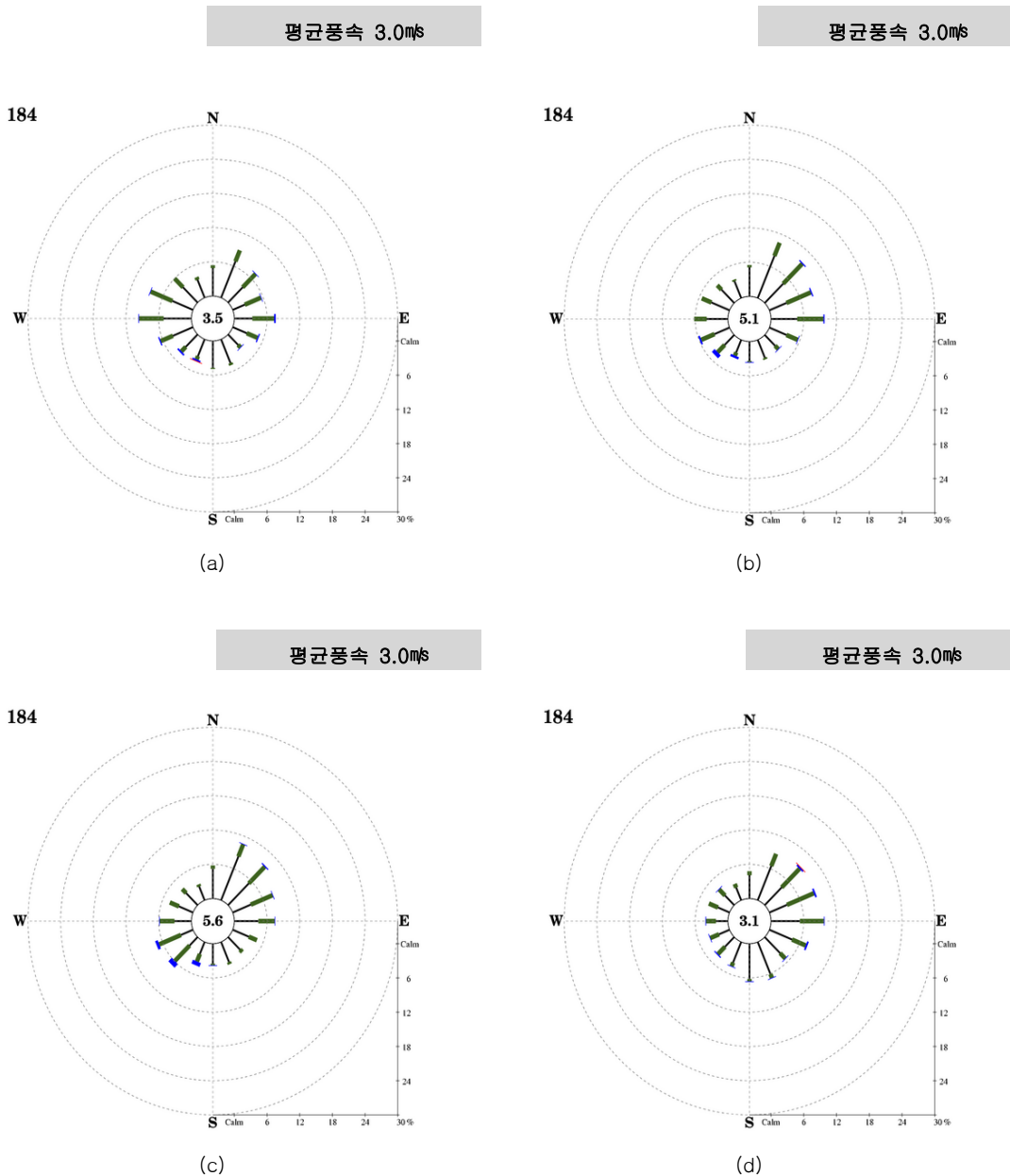


그림 2-3-5. 제주의 (a) 5월, (b) 6월, (c) 7월, (d) 8월의 바람장미(1981~2010년)

제주 관측지점 가을철의 경우에는  $3.4\text{m/s}$  이상~ $8.0\text{m/s}$ 미만의 풍속을 나타낸다. 주로 북풍계열의 바람의 형태로 유입되고, 남쪽에서는  $0.5\text{m/s}$  이상~ $3.4\text{m/s}$ 미만의 바람이 자주 유입된다. 가을철 월별 바람장미를 살펴보면, 9월에는 동풍계열의 바람이 우세하나, 10월에는 북풍계열의 바람이 우세하게 나타난다. 즉, 10월부터 점차 아시아 고위도 내륙지역에서 발달하는 시베리아 고기압이 제주 관측지점의 풍향에 미치는 영향이 나타나기 시작한다. 11월에는 북서풍 계열이 우세하게 나타나 점차 반시계 방향으로 주풍향이 변하게 됨을 알 수 있다. 11월 북서풍 계열의 바람은 전체 바람장미에서 20% 이상을 보이며,  $8\text{m/s}$  이상~ $13.9\text{m/s}$ 미만의 강한 바람도 증가하기 시작한다.

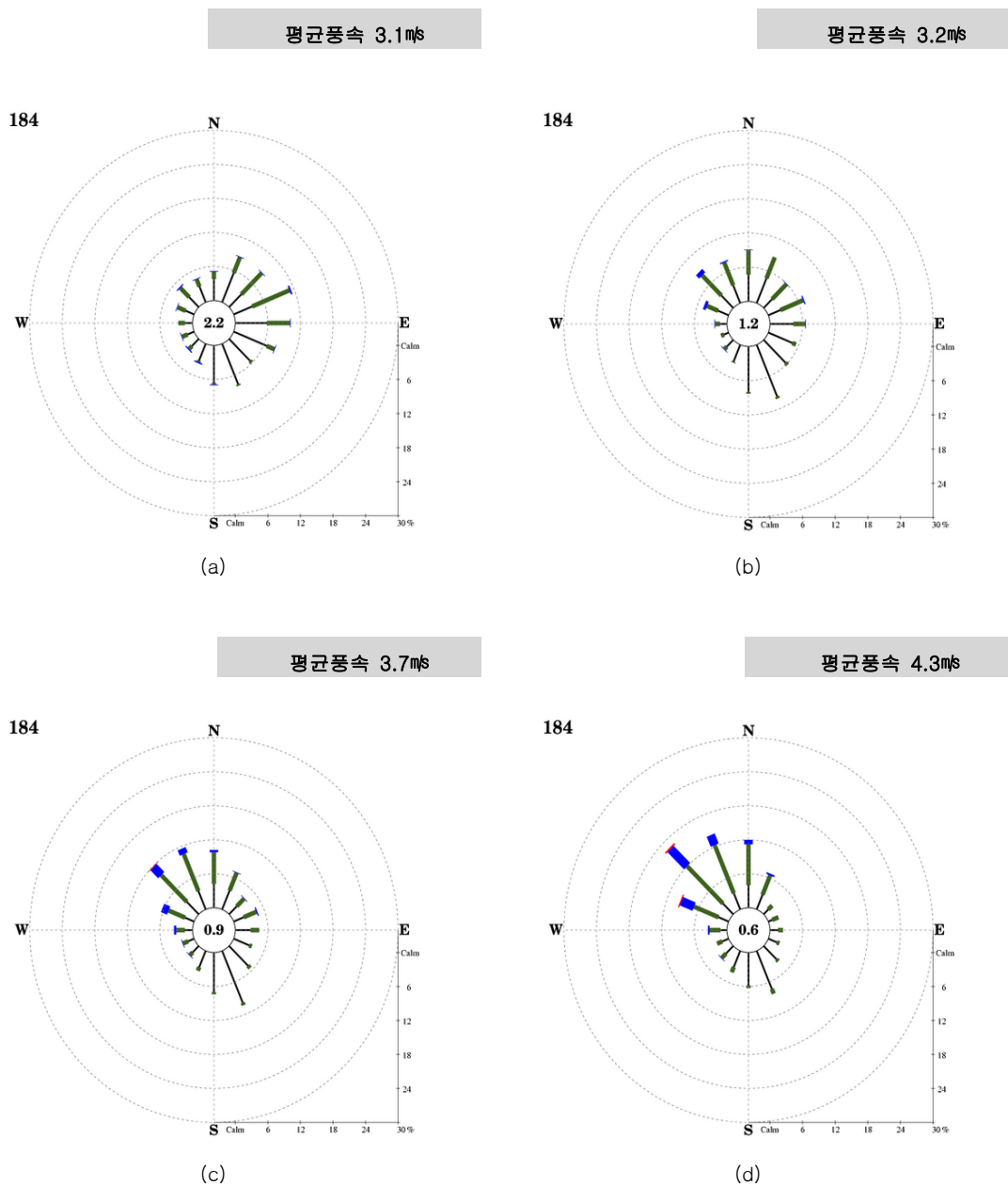


그림 2-3-6. 제주의 (a) 9월, (b) 10월, (c) 11월, (d) 12월의 바람장미(1981~2010년)

## 나. 서귀포

남부해안의 서귀포는 4개 지점 중 바람이 가장 상대적으로 약하게 나타나는 지점으로 연평균풍속은 2.9m/s에 해당한다(그림 2-3-7). 풍향별로는 풍속이 0.5m/s이상~3.4m/s미만의 범위로 다른 지점에 비하여 약하게 나타난다. 모든 풍향의 바람이 골고루 분포되어 있는 편이나 다소 북동풍과 남서풍이 두드러지는 경향을 보인다. 겨울철의 경우에는 북서계절풍의 바람의지 지역인 한라산의 남쪽에 위치하고, 여름철에는 남서기류의 바람받이 지역에 속하기 때문이다. 국지적으로는 산풍과 해륙풍의 영향을 받을 것으로 사료 된다

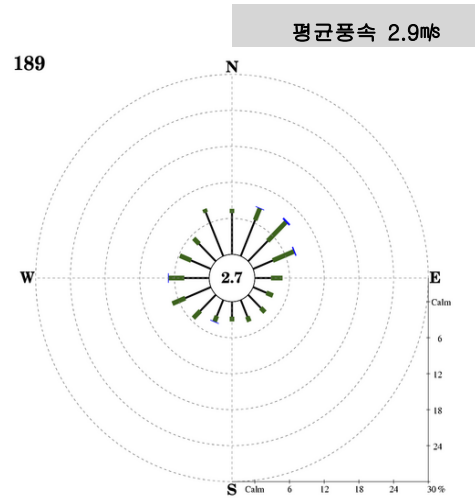


그림 2-3-7. 서귀포의 바람장미(1981~2010년)

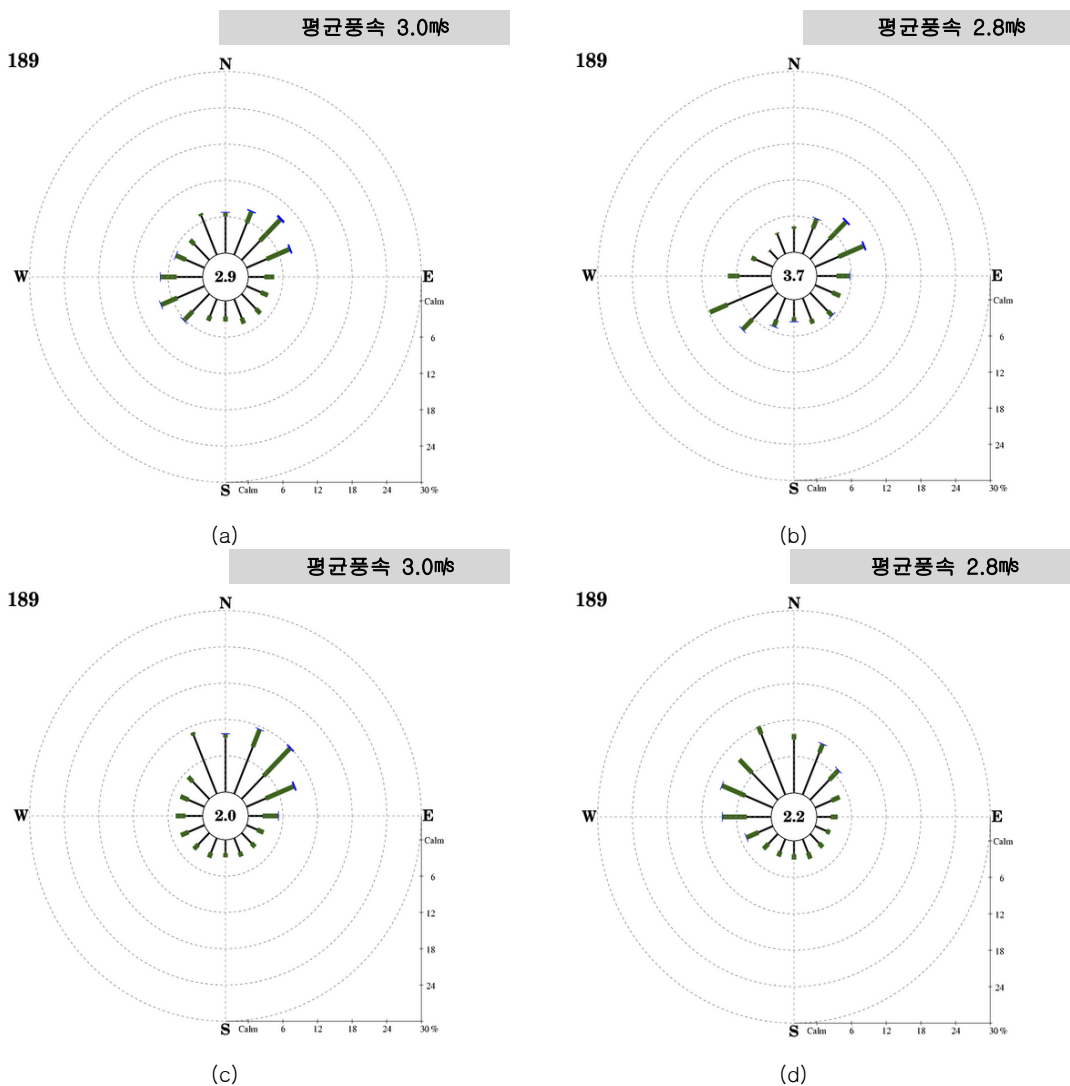


그림 2-3-8. 서귀포의 (a) 봄철, (b) 여름철, (c) 가을철, (d) 겨울철의 바람장미(1981~2010년)

서귀포 관측지점의 사계절의 평균풍속은 대체로 2.8~3.0m/s 범위를 보인다(그림 2-3-8). 특히 여름철과 봄철에 북동풍과 남서풍이 뚜렷한 경향이 두드러지고, 가을철에는 주로 북서풍이 탁월하게 나타난다. 겨울철 1월에는 다소 북서계절풍이 주 풍향으로 두드러지지만 북서풍 계열의 풍속은 다른 관측지점에 비하여 매우 약하다. 2월 바람장미에서는 북서계절풍이 점차 약화되고 북풍이나 북동풍의 영향이 점차 증가하게 된다. 봄철 3월에는 북동풍이 탁월하나, 4월에는 남서풍도 점차 증가하여 북동풍과 유사한 비율로 주 풍향을 이루게 된다.

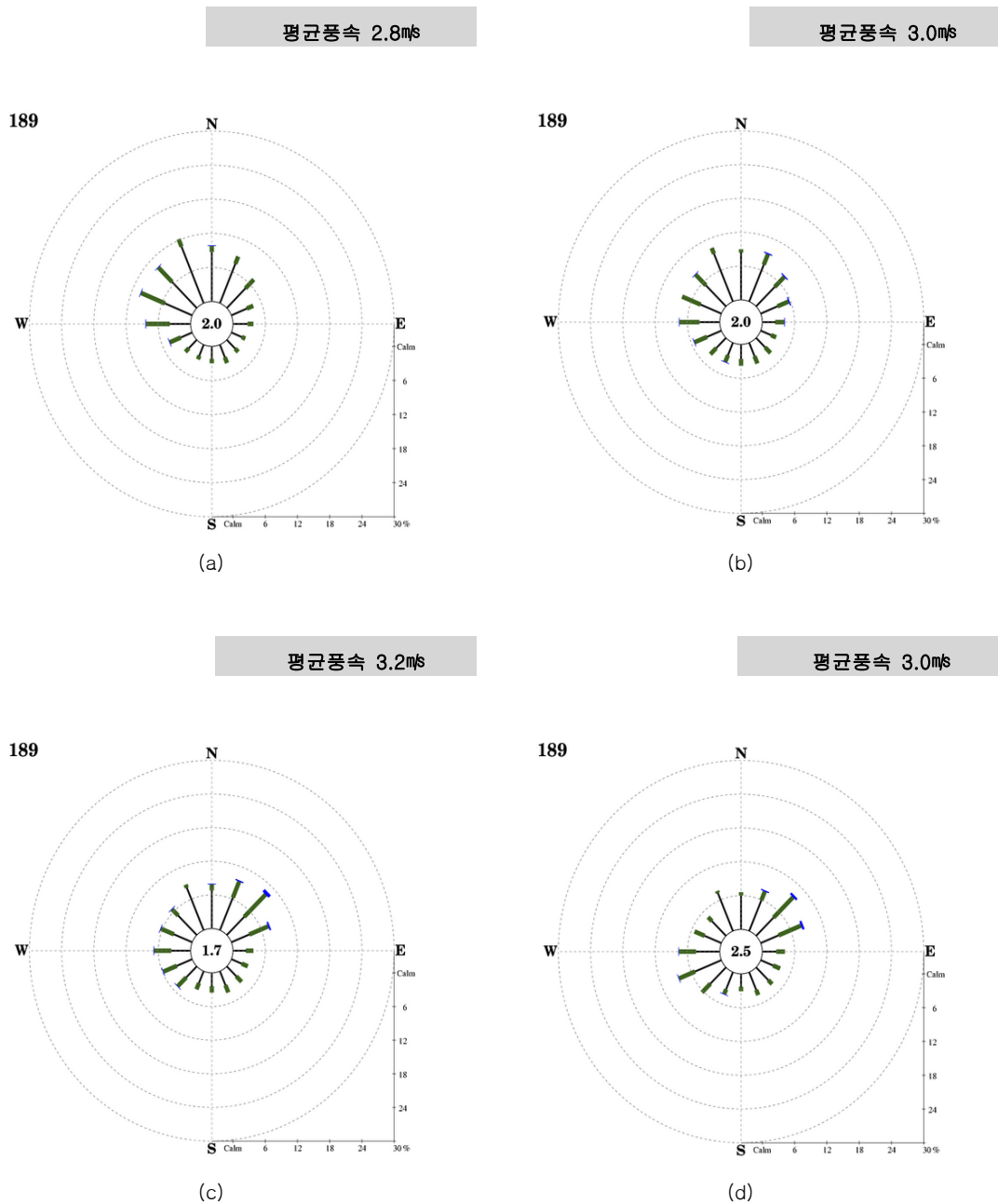


그림 2-3-9. 서귀포의 (a) 1월, (b) 2월, (c) 3월, (d) 4월의 바람장미(1981~2010년)

동서 해안지역은 북쪽 해안지역의 기온과 유사하나 30년 평균기온은 0.2~0.4℃ 낮게 나타나는데 이는 북쪽 해안지역을 나타내는 제주 관측지점은 1990년대 이후 도시화가 국지적으로 진행된 관측환경의 영향이 평균기온에 반영되었기 때문이다(그림 1-2-1; 표 2-1-1). 봄철과 여름철 평균기온은 동쪽 해안의 성산이 서쪽 해안의 고산에 비하여 0.2~0.3℃ 높게 나타난다. 봄철에는 중국 서부 산악지역의 눈이 녹은 물이 유입되고, 여름철에는 몬순에 의한 집중호우가 발생할 때 중국 동부의 대하천에서 상당량의 하천수가 서해상에 유입되어 형성된 냉수대가 제주도 북서 해상까지 자주 남하하여 해수온도를 낮춘다. 반면 가을철이나 겨울철에는 봄철과 여름철에 데워진 서태평양의 쿠로시오 난류가 제주도 남서방향에서 북동진한다. 이러한 난류 흐름의 후면에 위치한 제주도 북동부 해안지역(가령, 조천읍에서 성산에 이르는 지역)은 상대적으로 냉수대가 모여드는 것으로 추정된다. 따라서 연평균 해수면온도도 남동쪽의 표선지역이 서쪽의 모슬포에 비하여 1.1℃ 낮은 특성을 보인다. 이러한 해수의 계절변동성의 영향으로 성산의 가을철과 겨울철 평균기온은 시베리아 기단의 직접적인 영향을 받는 서쪽 해안의 고산에 비하여 0.4~1.0℃ 더 낮게 나타난다.

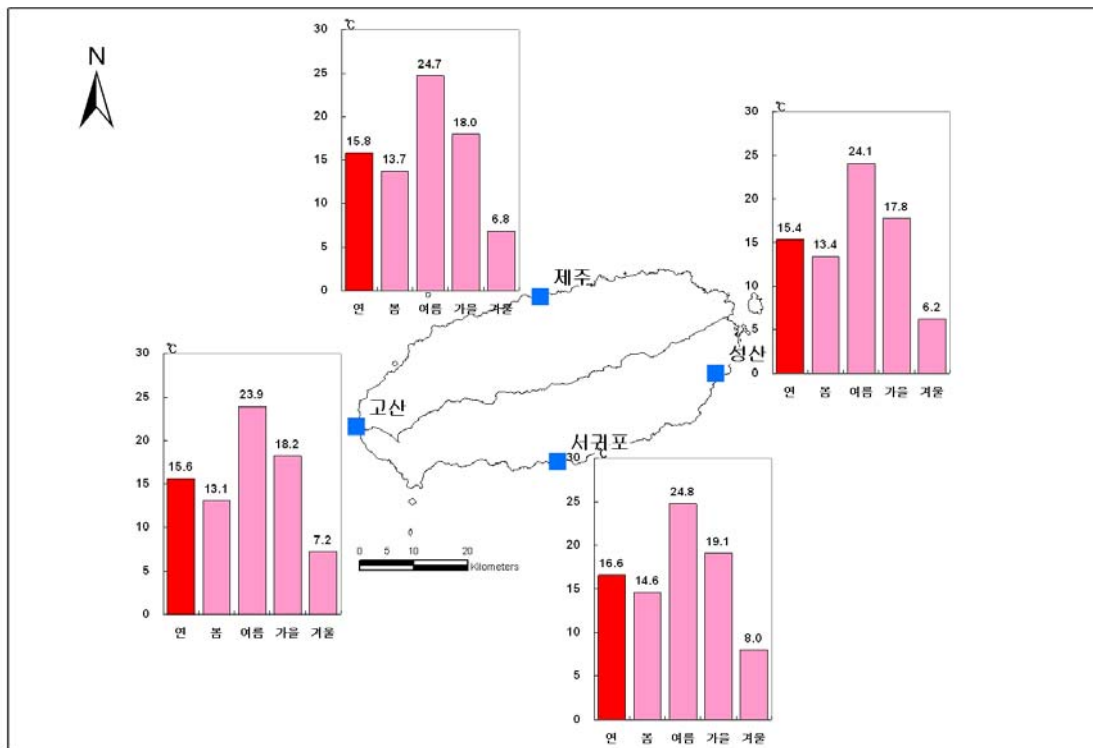


그림 2-1-1. 제주도의 연·계절 평균기온 공간분포(1981~2010년)

연평균 최고기온은 남쪽 해안의 서귀포지점에서 20.2℃로 가장 높고, 동쪽의 성산지점에서 19.1℃, 제주지점에서 18.9℃, 고산지점에서 18.4℃로 남동지역에서 북서지역 방향으로 갈수록 점차 낮아지는 패턴을 보인다(그림 2-1-2; 표 2-1-2). 사계절 중 겨울철에 성산지점(10.0℃)과 고산지점(9.8℃)의 최고기온의 차는 0.2℃로 가장 작게 나타난다. 반대로

초여름에는 대체로 북태평양이 확장하나 동아시아에 여름몬순 전선대가 형성되기 이전 시기로 제주도에도 장마 전 고기압이 우세한 건기가 출현한다. 이에 따라 제주도 남부해안 서귀포 관측지점의 월별 평균풍속 중 5~7월의 평균풍속이 2.7m/s로 연중 가장 낮게 나타난다(그림 2-3-10). 이 시기는 제주는 한반도의 이남지역에 있기 때문에 고기압의 영향이 더 탁월하고 이동성 저기압의 출현이 낮은 시기이기 때문에 평균풍속이 가장 낮게 나타난다. 점차 남서기류의 영향이 증가하여 5월에는 남서풍이 북동풍보다는 약간 더 강하게 나타나기 시작한다. 여름철 6~8월에는 남서기류들이 저위도에서 본격적으로 유입되기 시작하면서 남서풍이 가장 두드러지게 나타난다. 특히 7월에는 남서풍이 15%이상으로 가장 뚜렷하게 나타나고 북동풍도 일부 나타난다. 8월의 북동풍에는 13.9m/s이상인 강풍도 일부 포함되어 나타난다. 이는 저기압이 편서풍을 따라 제주도를 통과할 때 반시계 방향으로 회전하는 현상과 관련이 있을 것으로 사료된다.

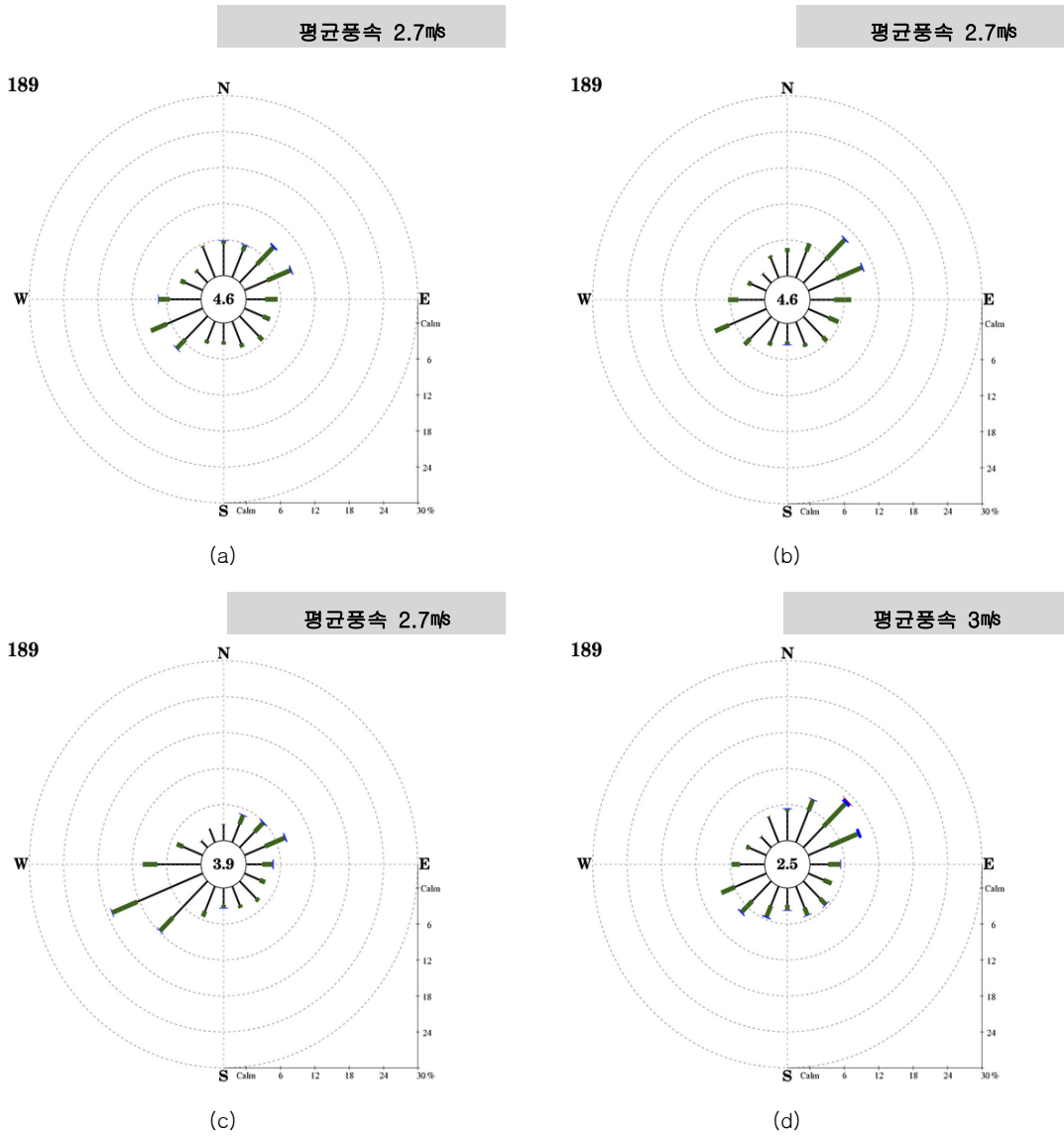


그림 2-3-10. 서귀포의 (a) 5월, (b) 6월, (c) 7월, (d) 8월의 바람장미(1981~2010년)



서귀포 관측지점 가을철 주풍향의 분포를 살펴보면 남서기류의 유입의 줄어들면서 주로 북동풍이 주 풍향을 이루게 된다(그림 2-3-11). 여름철에 비하여 평균풍속은 9~10월에 증가하여 3~3.3m/s의 범위를 보인다. 월별 바람장미를 살펴보면 9~10월에 북동풍 계열의 바람에서 3.4m/s이상~8.0m/s미만의 풍속을 나타내는 경우가 전체의 약 30%이상을 나타낸다. 서귀포 관측지점 11월 바람장미를 살펴보면 북동풍 계열의 바람이 점차 북서풍과 북풍의 계열의 바람으로 전환되는 패턴을 보인다. 이는 점차 이동성 저기압의 영향보다는 시베리아 고기압의 영향이나 국지적인 산풍의 영향이 시작되는 시기이기 때문이다. 시베리아 고기압의 영향을 받는 패턴은 초겨울 12월로 접어들면서 더욱 뚜렷하게 나타나 북서풍이 주 풍향으로 뚜렷하게 구분되고 북동풍은 현저하게 감소하는 패턴이 나타난다.

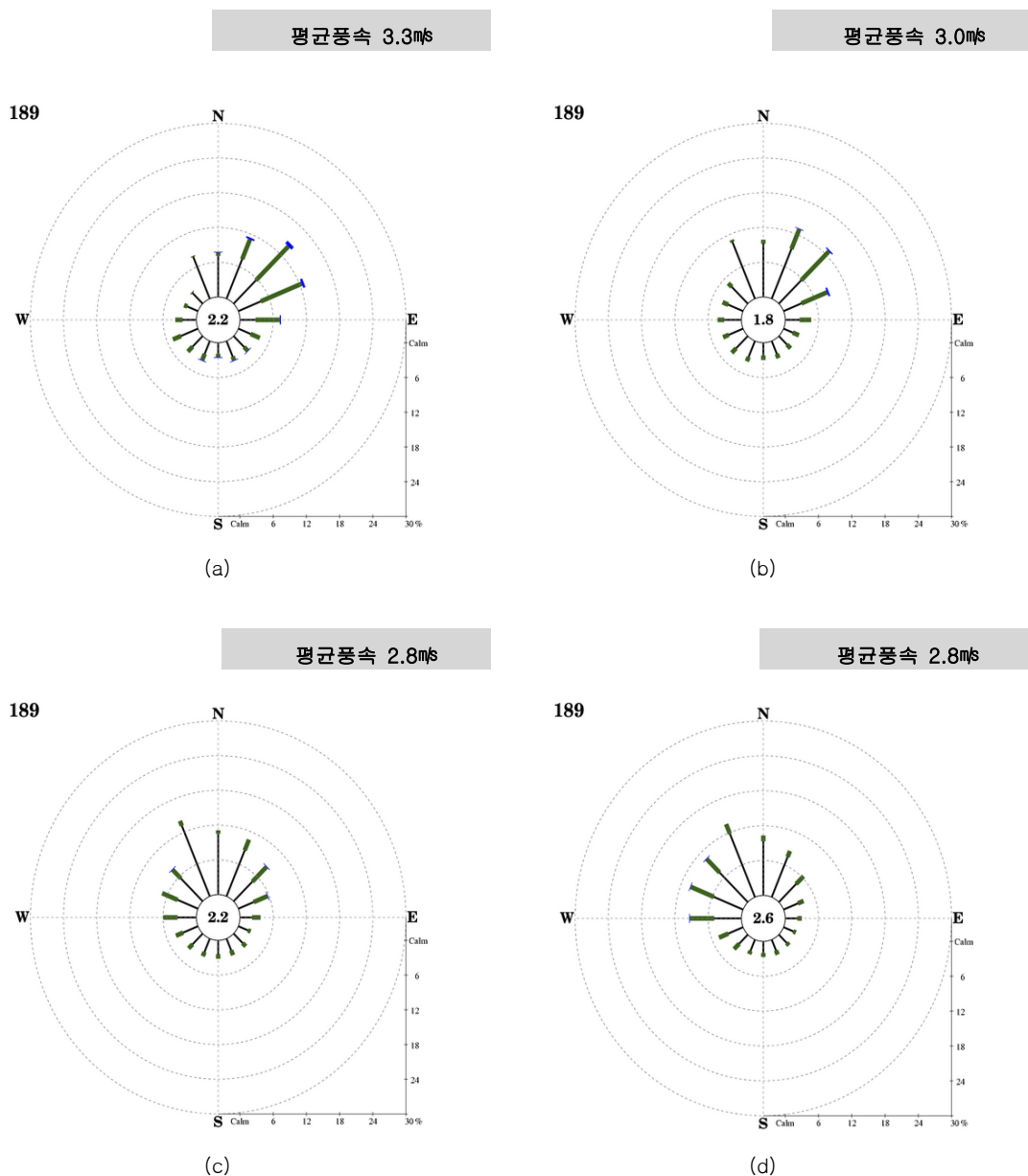


그림 2-3-11. 서귀포의 (a) 9월, (b) 10월, (c) 11월, (d) 12월의 바람장미(1981~2010년)



## 다. 성산

동부해안의 성산의 바람장미를 살펴보면 북서풍이 탁월하게 나타난다(그림 2-3-12). 연평균 풍속은 3.1m/s로 제주도 남부 서귀포보다는 더 강하게 나타나며, 서부의 고산보다는 약하게 나타난다. 사계절 중에서는 겨울철 풍속이 3.4m/s로 가장 강하고, 봄철 풍속은 3.1m/s, 가을철 풍속은 2.9m/s, 여름철 풍속은 2.7m/s로 나타낸다(그림 2-3-13). 성산지역은 한라산 기준 동쪽에 위치하여 북서풍의 바람의지 지역에 속하지만 겨울철에 3.4m/s이상~8.0m/s미만의 북서풍이 전체의 30%를 차지한다.

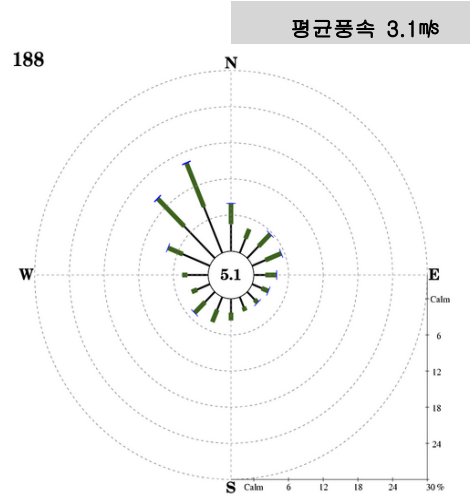


그림 2-3-12. 성산의 바람장미(1981~2010년)

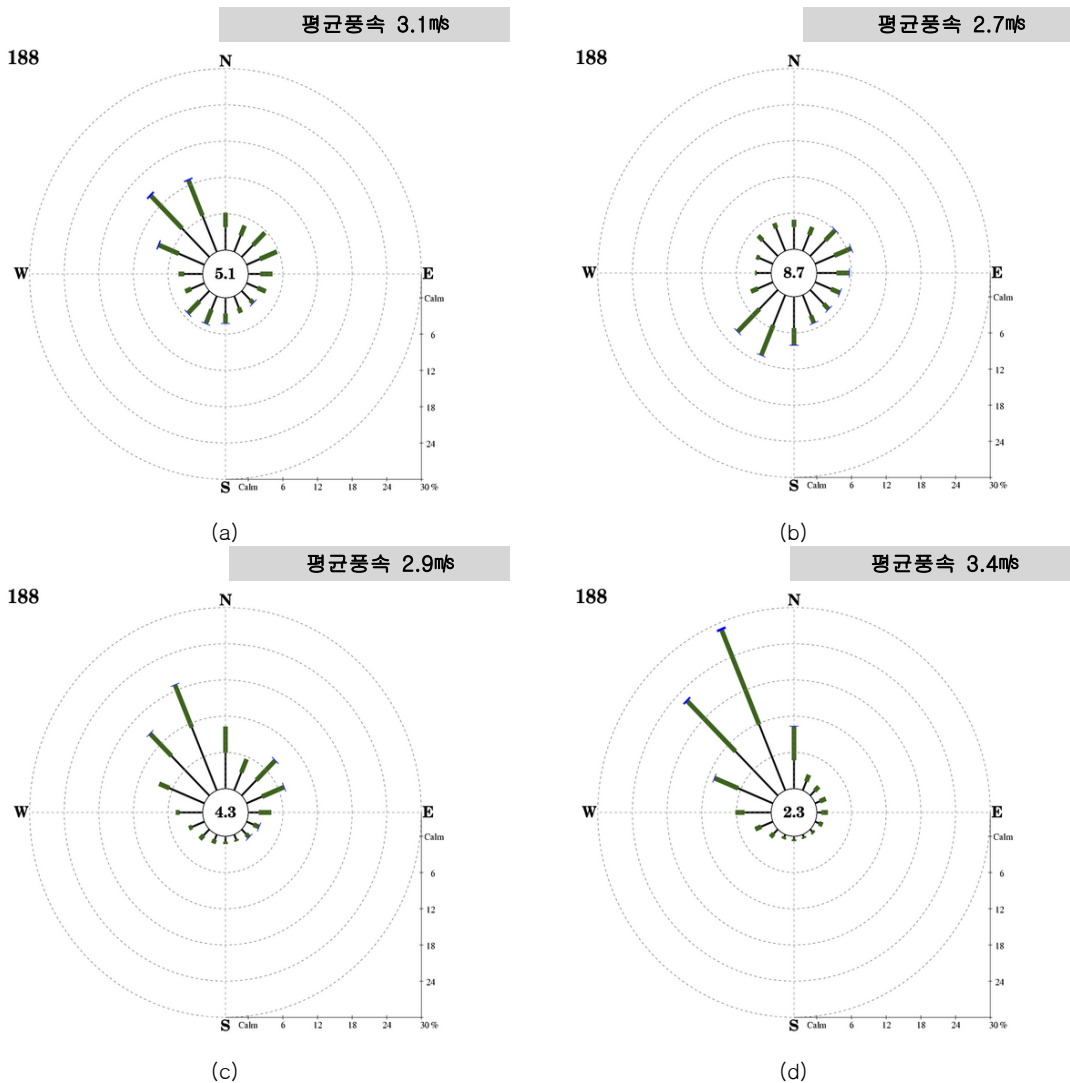


그림 2-3-13. 성산의 (a) 봄철, (b) 여름철, (c) 가을철, (d) 겨울철의 바람장미(1981~2010년)

월별 바람장미를 살펴보면 동부해안의 성산 관측지점의 경우에는 1월 평균풍속 (3.5m/s)과 12월 평균풍속 (3.2m/s)에 비하여 2월 평균풍속이 3.7m/s로 가장 높은 값을 나타낸다(그림 2-3-14). 이 시기에는 북서풍 계열의 바람이 차지하는 비율이 매우 높게 나타나고, 다른 풍향의 바람은 약하다. 겨울철 1~2월의 월별 바람장미에서 북서풍 계열이 차지하는 비율은 전체의 60% 이상을 차지한다. 북서풍 계열의 바람 중 8.0m/s이상~13.9m/s미만인 강풍의 비율은 그리 높지 않지만 3.4m/s이상~8.0m/s미만의 바람이 차지하는 비율은 50%에 달한다(그림 2-3-10). 성산 관측지점의 경우에는 3월 평균풍속이 3.5m/s로 높게 나타난다. 봄철 3~5월 주 풍향은 겨울철보다는 약화되지만 북서풍이 차지하는 비율이 가장 높다. 4월 바람장미에서는 점차 북서풍이 줄어들면서 남서풍 계열도 조금씩 증가하기 시작한다.

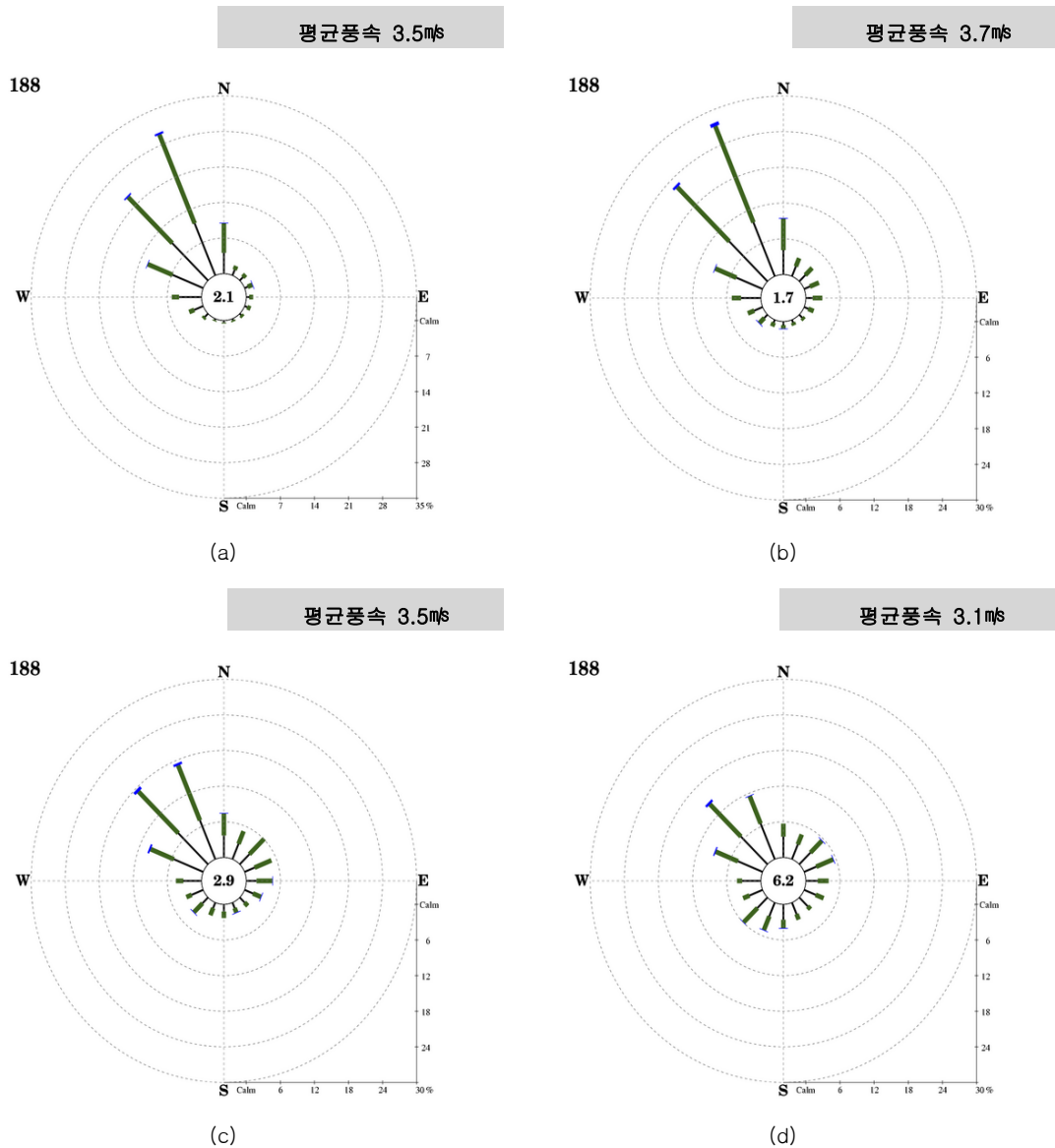


그림 2-3-14. 성산의 (a) 1월, (b) 2월, (c) 3월, (d) 4월의 바람장미(1981~2010년)

늦봄에 해당하는 5월의 바람장미를 살펴보면 4월까지 탁월하게 나타났던 북서풍은 점차 감소하고 남서기류의 유입이 시작되면서 점차 남서풍 계열의 바람이 차지하는 비율도 증가한다(그림 2-3-15). 여름철 6~8월 바람장미에서는 북서풍 계열의 바람은 거의 약해지고 남서풍 계열의 바람이 주 풍향을 이루게 된다. 월별 바람장미를 살펴보면, 여름장마전 건기가 나타나는 6월의 평균풍속은 2.5m/s로 낮아지고, 남서풍 이외에 일부 북서풍이 차지하는 비율도 증가한다. 7월에는 장마전선의 북상하면서 남서기류와 저기압의 접근이 잦아지면서 평균풍속이 2.8m/s로 증가한다. 7월에는 북동풍 계열의 바람은 줄어들고 남서풍의 바람이 15%이상 뚜렷하게 증가한다. 8월에는 남서풍의 바람도 점차 줄어들어 탁월풍의 방향이 뚜렷하지 않다.

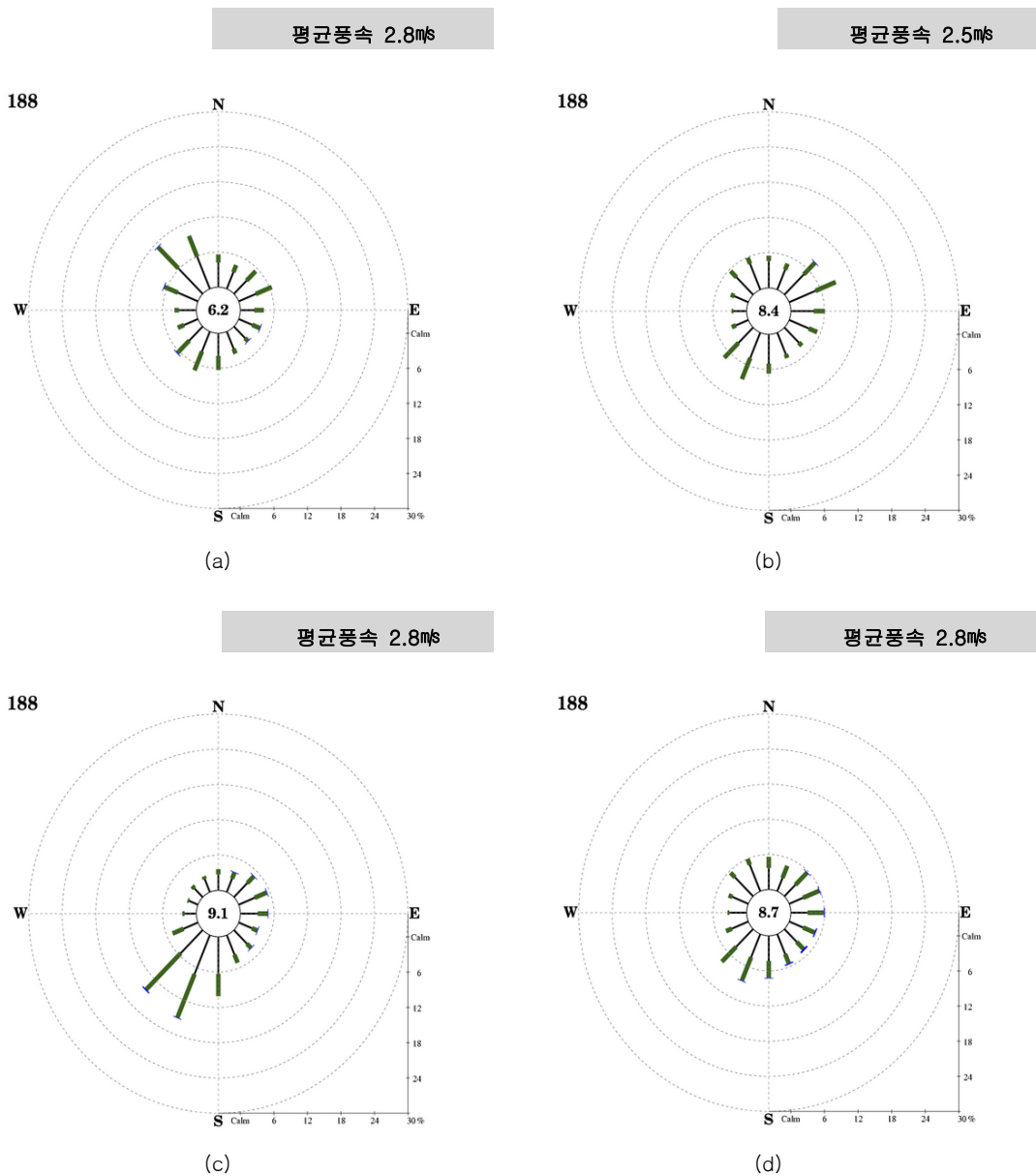


그림 2-3-15. 성산의 (a) 5월, (b) 6월, (c) 7월, (d) 8월의 바람장미(1981~2010년)

가을철 성산 관측지점에서는 평균풍속이 2.9m/s로 여름철에 비하여 증가하기 시작하며, 풍향도 남서풍 계열은 사라지고 북서풍 계열이 탁월하게 나타나기 시작한다(그림 2-3-16). 월별 바람장미를 살펴보면, 9월에 성산 관측지점에서 북동풍과 북풍 계열의 바람이 차지하는 비율이 60%이상을 나타낸다. 10월과 11월에는 북서풍 계열의 바람이 뚜렷하게 증가하여 80% 이상을 차지한다. 이때 북서풍 계열의 바람 중 주로 0.5m/s이상~3.4m/s미만과 3.4m/s이상~8.0m/s미만의 바람이 각각 40%이상으로 남부해안의 서귀포 관측지점보다는 차지하는 비율이 높지만, 북부해안의 제주와 서부해안의 고산에 비해서는 풍속이 강한 바람이 차지하는 비율이 상대적으로 적다. 초겨울에 해당하는 12월 바람장미에서도 점차 시베리아기단에서 불어오는 북서풍의 영향이 뚜렷하여 11월과 유사하게 북서풍 계열이 차지하는 비율이 대부분을 차지한다.

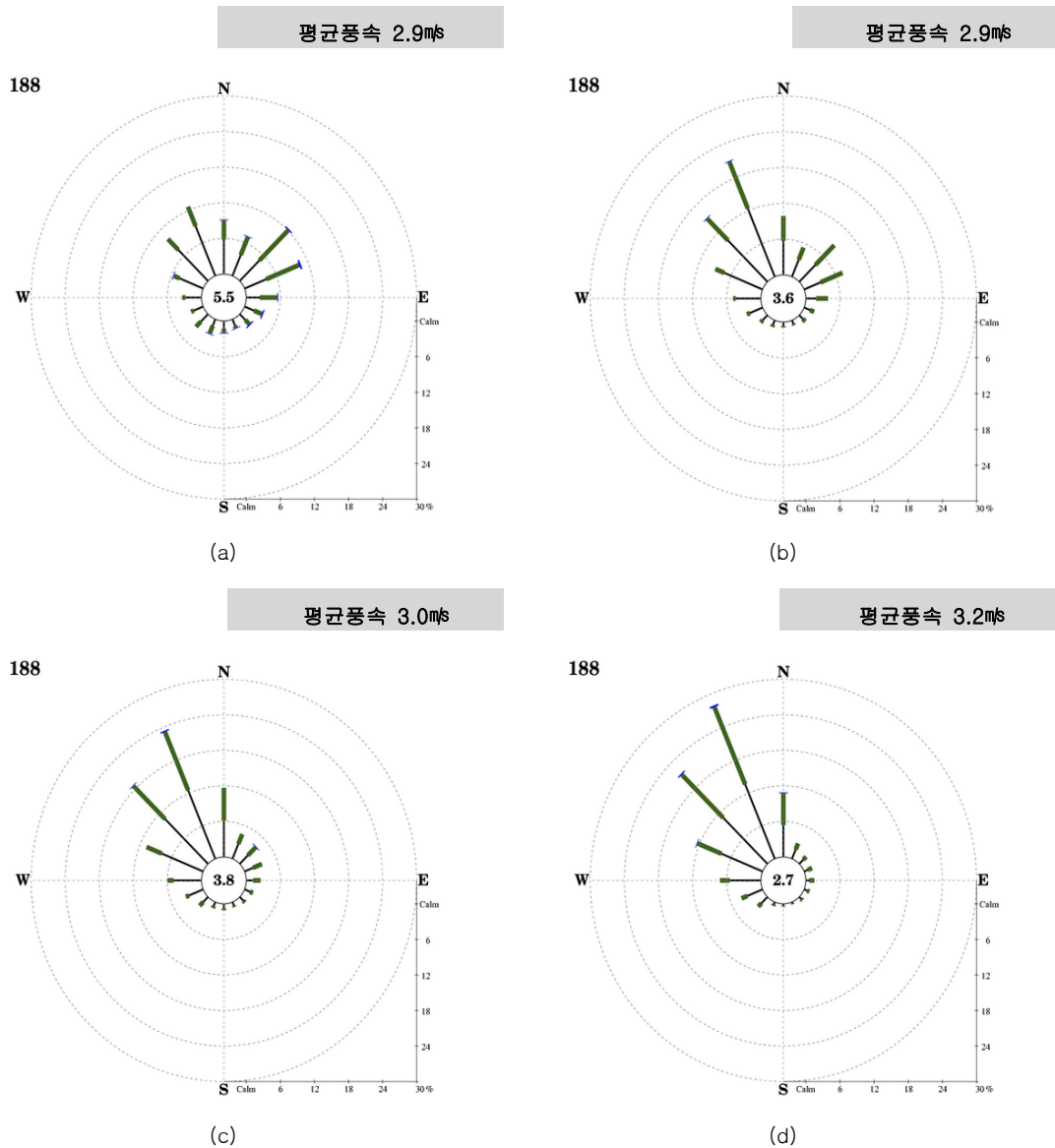


그림 2-3-16. 성산의 (a) 9월, (b) 10월, (c) 11월, (d) 12월의 바람장미(1981~2010년)

## 라. 고산

제주도 동서남북에 위치한 4개 정규기상관측지점 중 서부해안에 위치한 고산 관측지점의 연평균풍속은 7.0m/s로 바람이 가장 강하게 분다. 계절별 지역별 평균풍속을 살펴보면, 고산에서는 특히 북서계절풍이 가장 탁월한 겨울철 평균풍속이 9.6m/s로 가장 바람이 세고, 봄철과 가을철의 평균풍속도 각각 6.8m/s와 6.6m/s로 바람이 강한 편이다. 여름철 평균풍속도 5.1m/s로 다른 지점들에 비하여 1.5배 이상 높게 나타난다.

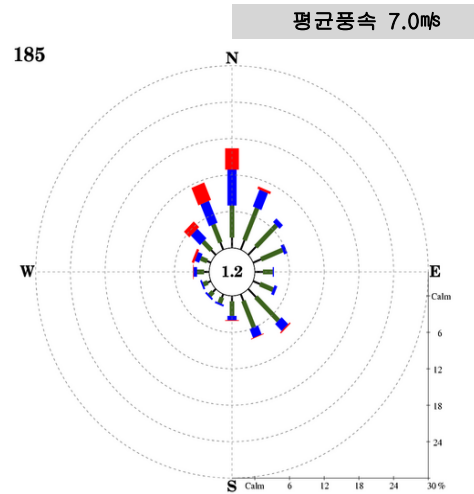


그림 2-3-17. 고산의 바람장미(1988~2010년)

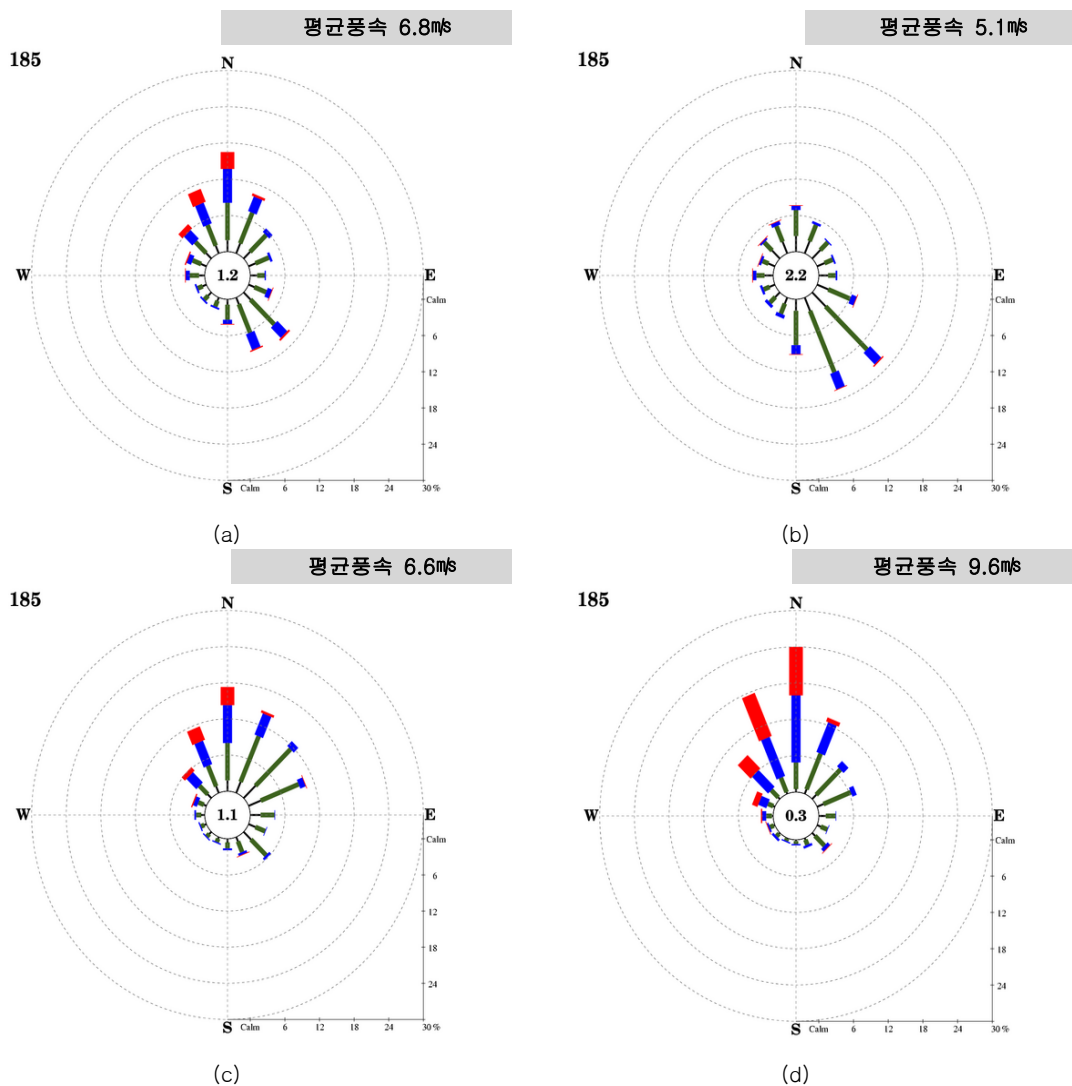


그림 2-3-18. 고산의 (a) 봄철, (b) 여름철, (c) 가을철, (d) 겨울철의 바람장미(1988~2010년)

사계절 바람장미를 살펴보면 고산 관측지점에서는 8.0m/s이상~13.9m/s미만의 강풍이 차지하는 비율이 다른 관측지점에 비하여 높게 나타나고, 심지어 13.9m/s이상인 강풍도 발생한다(그림 2-3-19). 월별 바람장미를 살펴보면 시베리아 기단의 영향이 가장 강하게 나타나는 겨울철 1~2월 풍속은 9.3~9.9m/s로 다른 관측지점의 2.5배에 해당한다. 겨울철에 탁월한 북풍 또는 북북서 계열의 바람 중 대부분이 8.0m/s이상~13.9m/s미만의 강풍이며, 심지어 13.9m/s이상 강풍이 차지하는 비율도 같은 북풍 계열에서 내에서도 30%에 해당한다. 초봄에 해당하는 3월에도 북풍계열의 바람이 가장 탁월하게 나타나는데 13.9m/s 이상이 바람장미에서 나타난다. 4월의 평균풍속은 6.6m/s로 겨울철의 2/3로 감소하나 다른 관측지점의 2배 이상에 해당한다. 4월의 풍향을 살펴보면 점차 북풍계열의 바람이 주를 이루지만 감소하고, 남동풍 계열도 증가하기 시작한다.

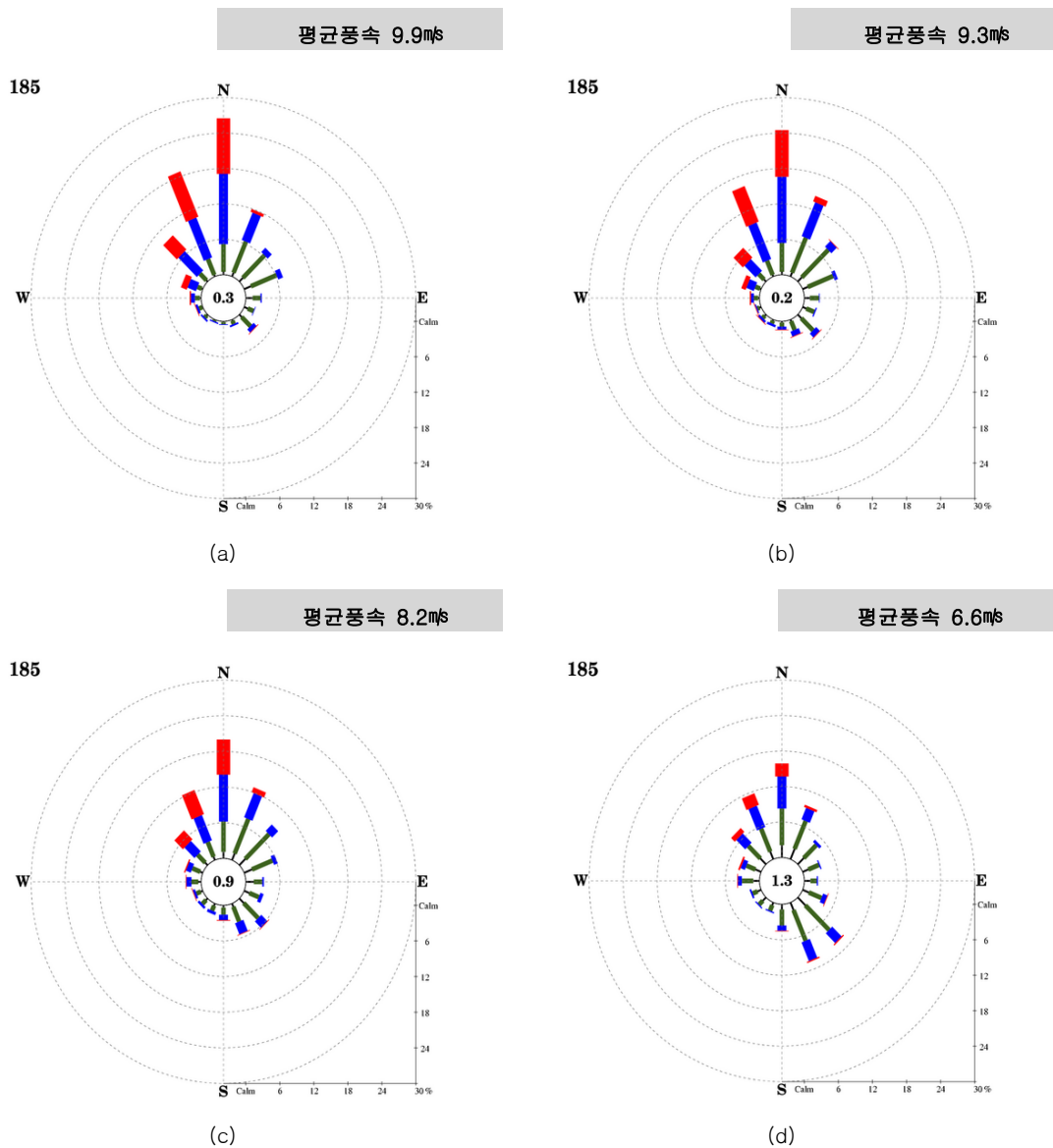


그림 2-3-19. 고산의 (a) 1월, (b) 2월, (c) 3월, (d) 4월의 바람장미(1988~2010년)

점차 늦봄에 해당하는 5월로 진행될수록 북풍계열의 바람은 다소 약해지고 점차 남동풍 계열의 바람이 차지하는 비율도 증가하게 된다(그림 2-3-20). 여름철 6~8월에는 봄철보다 북풍이 차지하는 비율이 현저하게 줄어들고 주로 남동풍 계열의 바람이 주풍을 이룬다. 평균풍속도 다른 관측지점과 유사하게 여름철에 감소하는데 특히 여름장마 전 기간에 해당하는 6월의 평균풍속이 4.7m/s로 연중 가장 약해진다. 고산 관측지점의 여름철 풍속은 다른 관측지점에 비하여 1.5배 이상 높은 것으로 사계절에 걸쳐 바람자원이 풍부한 지역임을 알 수 있다. 여름 장마전선이 한반도 남북으로 전진과 후퇴를 반복하는 7~8월에는 한라산의 서부해안지역에 해당하는 고산 관측지점에서는 대부분 3.4m/s이상~8.0m/s미만인 남동풍이 나타난다.

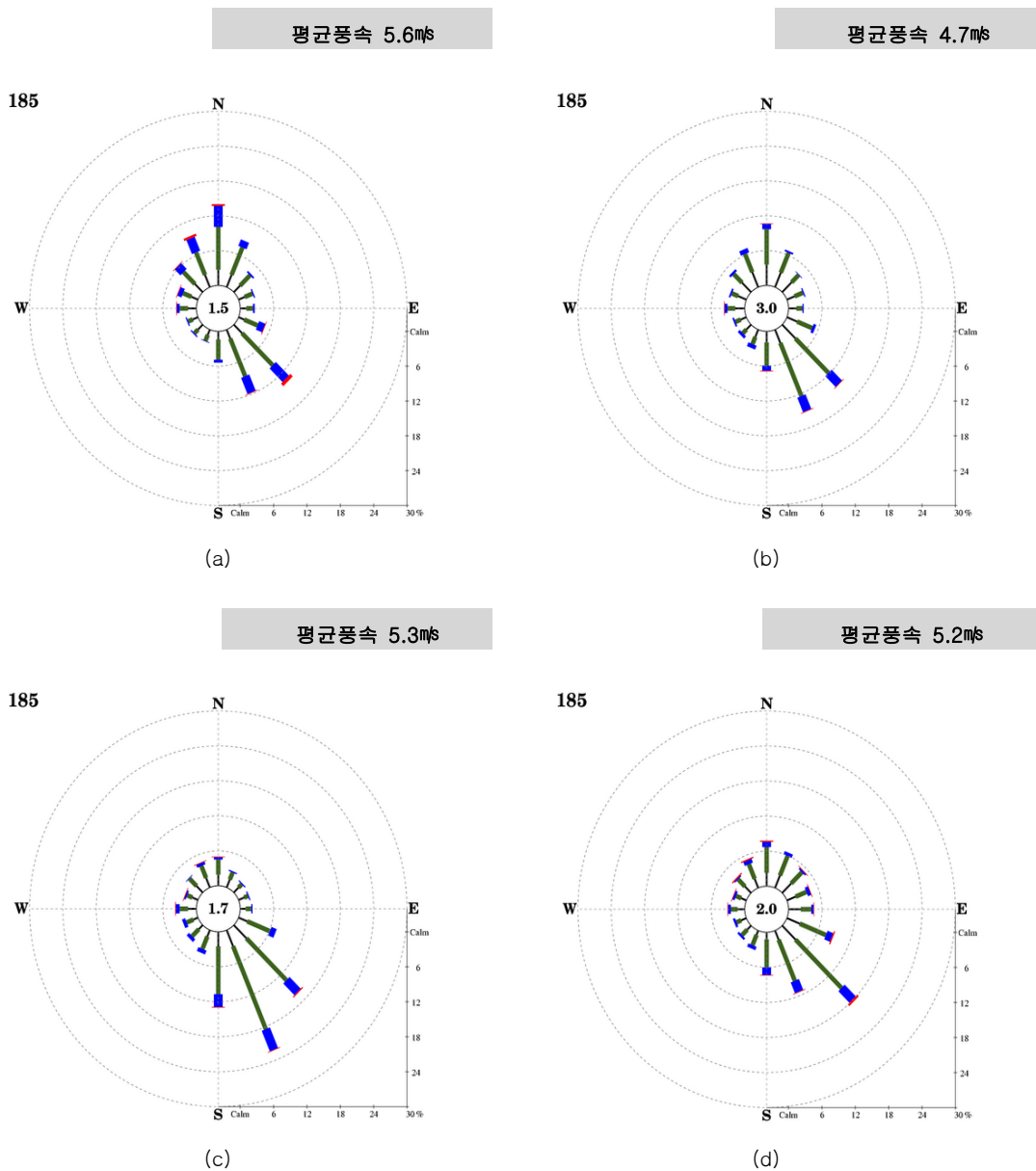


그림 2-3-20. 고산의 (a) 5월, (b) 6월, (c) 7월, (d) 8월의 바람장미(1988~2010년)



가을철 고산의 평균풍속은 9월에 5.5m/s, 10월에 6.6m/s, 11월에 7.9m/s로 점차 강해지기 시작한다(그림 2-3-21). 9~11월 바람장미를 살펴보면, 여름철에 우세를 보이던 남동풍 계열은 점차 약해지고 북풍 또는 북동풍 계열의 바람이 탁월하게 나타난다. 9월보다는 11월에 접어들면서 북동풍에서 북서풍 계열로 바뀌고 13.9m/s이상인 강풍도 차지하는 비율이 점차 증가한다. 11월의 경우에는 북풍 계열의 바람에서 13.9m/s이상인 강풍이 차지하는 비율이 5%이상으로 증가하기 시작하고, 12월에는 점차 북북서 방향의 바람이 차지하는 비율이 증가하여 주 풍향을 이룬다.

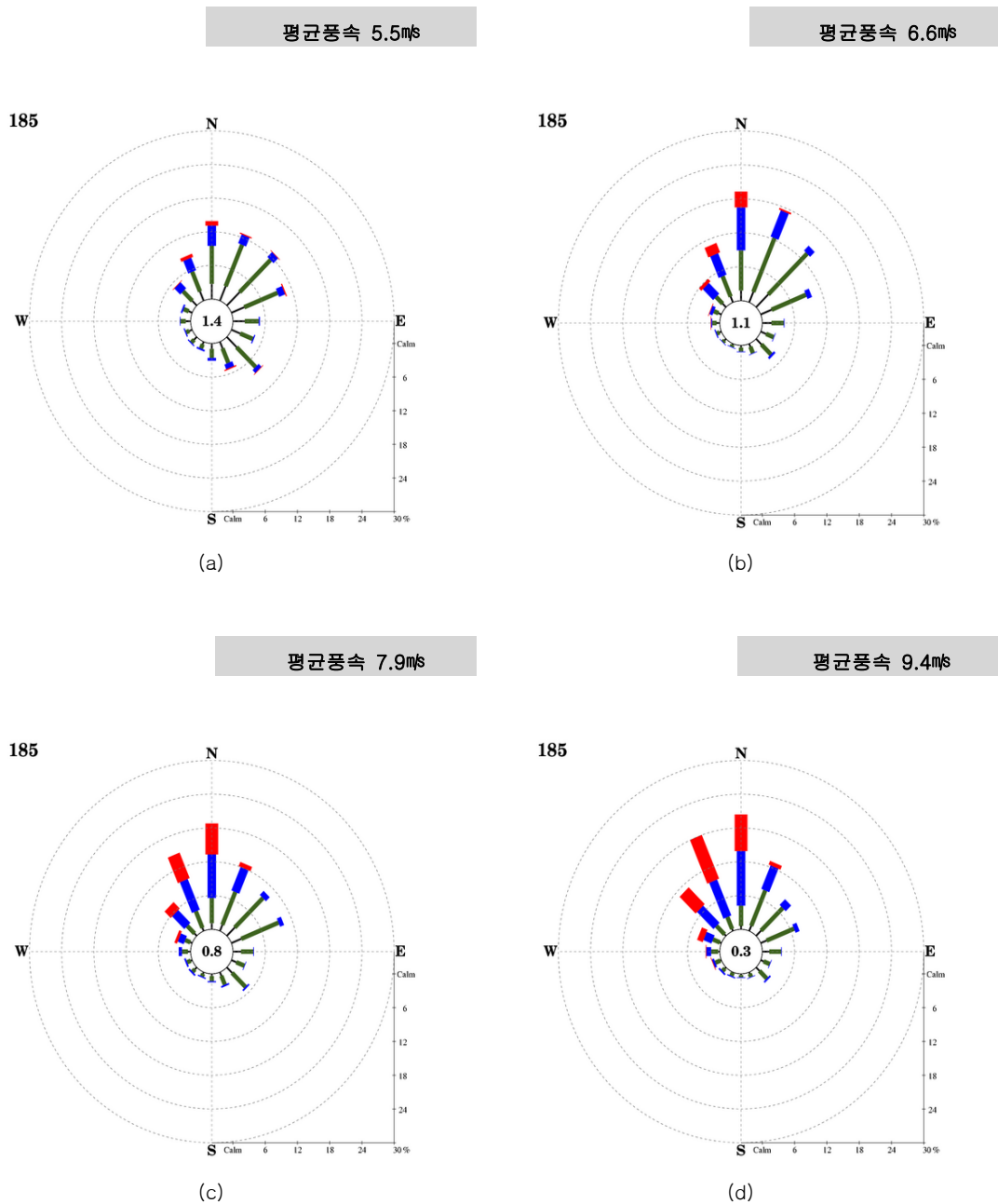


그림 2-3-21. 고산의 (a) 9월, (b) 10월, (c) 11월, (d) 12월의 바람장미(1988~2010년)



## 4. 기타 기후요소

제주도의 4개 정규관측지점 30년(1981~2010) 평균 일교차의 공간분포를 살펴보면 대체로 동부해안의 성산지점에서 연 일교차가 7.5℃으로 가장 큰 차이가 나타나고 있으며, 남부의 서귀포에서도 6.7℃로 제주 북부와 서부 해안보다 차가 크게 나타나고 있다.(그림 2-4-1) 즉 서부해안의 고산에서 5.3℃로 차가 가장 적고, 북부해안의 제주에서는 6.0℃로 성산과 서귀포에 비하여 작은 값을 나타낸다. 동부와 남부 지역의 일교차가 크게 나타나고 있는데, 이는 한라산을 중심으로 일조량과 일조시간이 북쪽이나 서쪽을 향하고 있는 북부해안이나 서부해안에 비하여 동쪽이나 남쪽을 향하고 있는 동부해안과 남부해안 지역에서 더 많은 복사에너지를 받기 때문에 일 최고기온이 상승하는데 유리하기 때문일 것으로 사료된다.

계절별로 보면 4개 정규관측지점 모두 사계절 중 봄철에 일교차가 가장 크게 나타난다. 동부해안의 성산의 경우 봄철 일교차는 8.5℃으로 가장 큰 값을 보이고, 남부해안의 서귀포에서 7.1℃, 북부해안의 제주에서 7.0℃, 서부해안의 고산에서 6.0℃로 다른 계절에 비하여 큰 값을 보인다. 대체로 봄철에 대기 중 수분이 적어 대기가 건조하고 운량도 작아 낮 동안에 기온상승이 빠르게 상승하기에 유리한 시기이기 때문이다 네 지점 중 북부해안의 제주 지점만 제외하면 대체로 여름철에 모두 일교차가 가장 작은 값을 보인다.

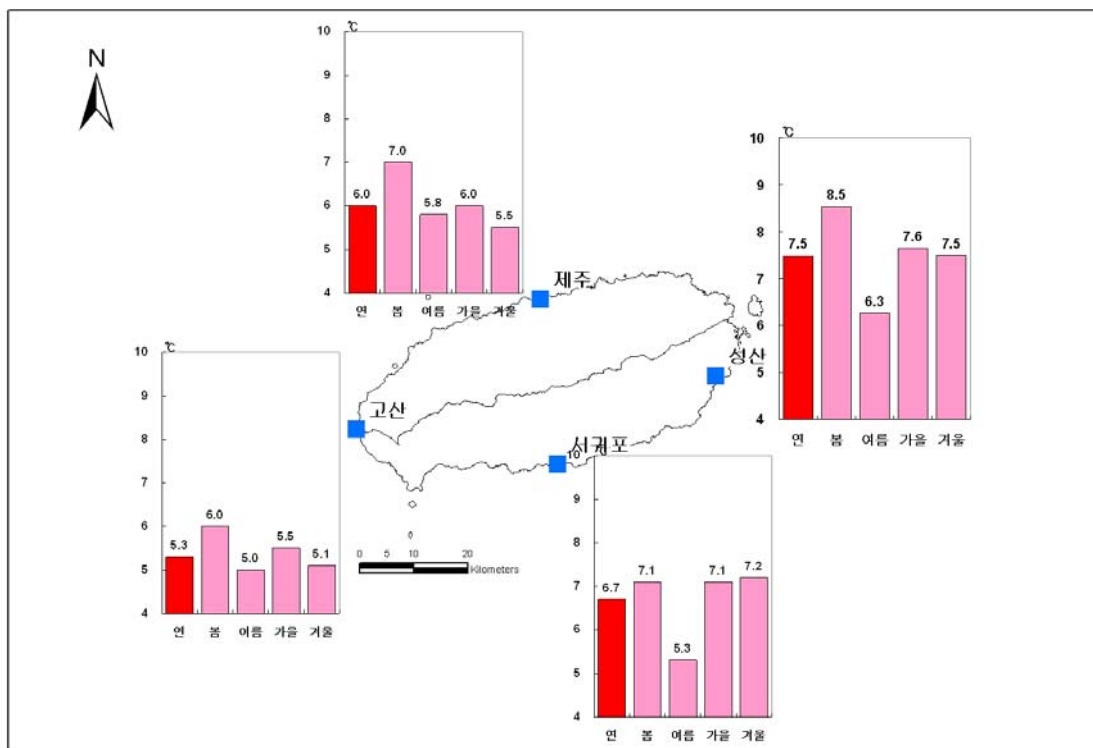


그림 2-4-1. 제주도의 연·계절 일교차 공간분포(1981~2010년)

여름철에는 습한 남서 기류의 유입으로 대기 중 습도가 높고, 장마전선이 북상하면서 우기를 형성하여 운량도 상대적으로 많다. 따라서 지표에 도달하는 태양복사에너지의 양도 줄어들고 반대로 지표에서 대기로 방출되는 지구장파복사에너지도 구름에 의해 간섭되어 하루 중 일교차가 상대적으로 크지 않게 된다. 특히 제주도와 같이 해양의 영향이 탁월한 지역에서는 해양성 기후와 같이 유사하게 일교차가 크게 나타나지 않는다.

상대습도의 분포를 살펴보면 서부해안의 고산에서 74.5%로 가장 높게 나타나고, 남부해안의 서귀포에서 68.7%로 가장 낮게 나타난다(그림 2-4-2). 그러나 상대습도의 경우에는 기준이 되는 포화수증기압이 기온에 따라 변하기 때문에 상대적으로 제주 어느 해안지역에 대기 중 수증기가 더 많은지 판단할 수 없다. 계절별 상대습도를 비교해 보면 4개 지점 모두 일반적으로 여름철 상대습도가 최소 10%이상 높게 나타난다. 이는 바람장미에서도 나타났듯이 남서풍의 기류들이 유입되어 대기 중 수증기가 상대적으로 증가하기 때문이다. 특히, 여름철 계절풍인 남풍, 남서와 남동기류의 영향을 직접 받는 서귀포, 성산, 고산의 여름철 상대습도가 80%이상 높게 나타나고 있다. 반면, 북서기류의 영향을 받는 겨울철과 봄철에는 서귀포의 상대습도가 다른 지역보다 낮게 나타나고 있다. 이러한 결과는 한라산의 영향으로 남서기류가 유입될 때는 한라산 북쪽 지역으로, 북서풍이 유입될 때는 한라산 남쪽 지역으로 건조한 공기가 내려가는 패턴이 나타나기 때문이다

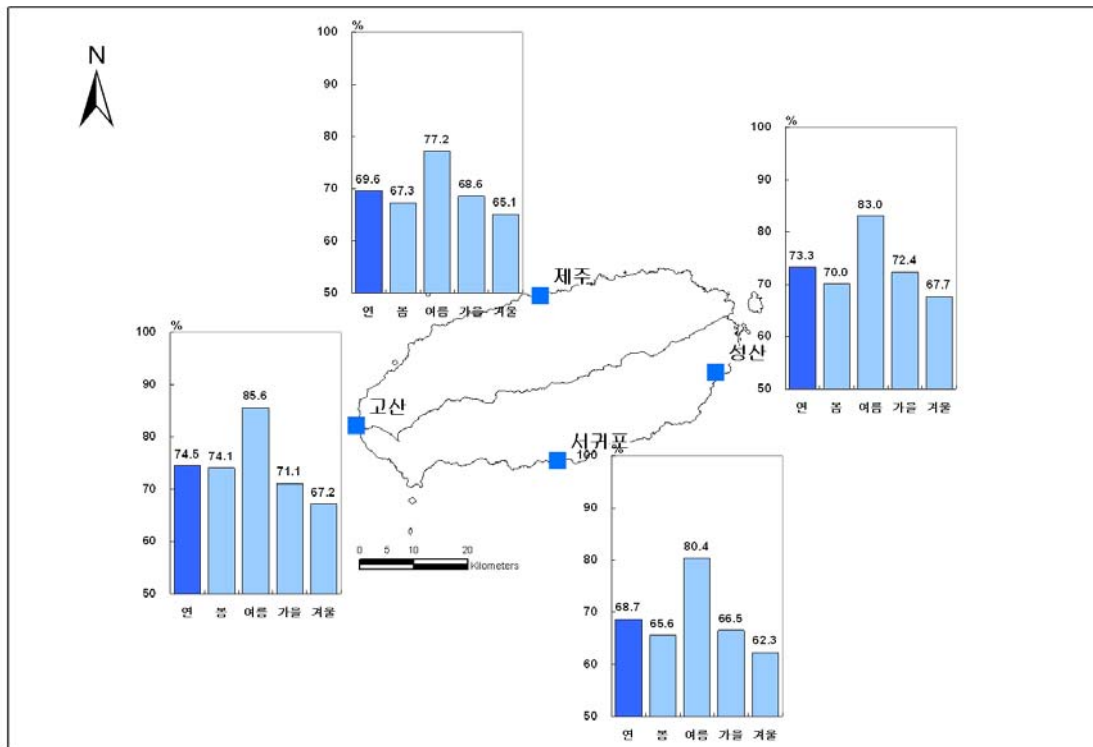


그림 2-4-2. 제주도의 연·계절 상대습도 공간분포(1981~2010년)

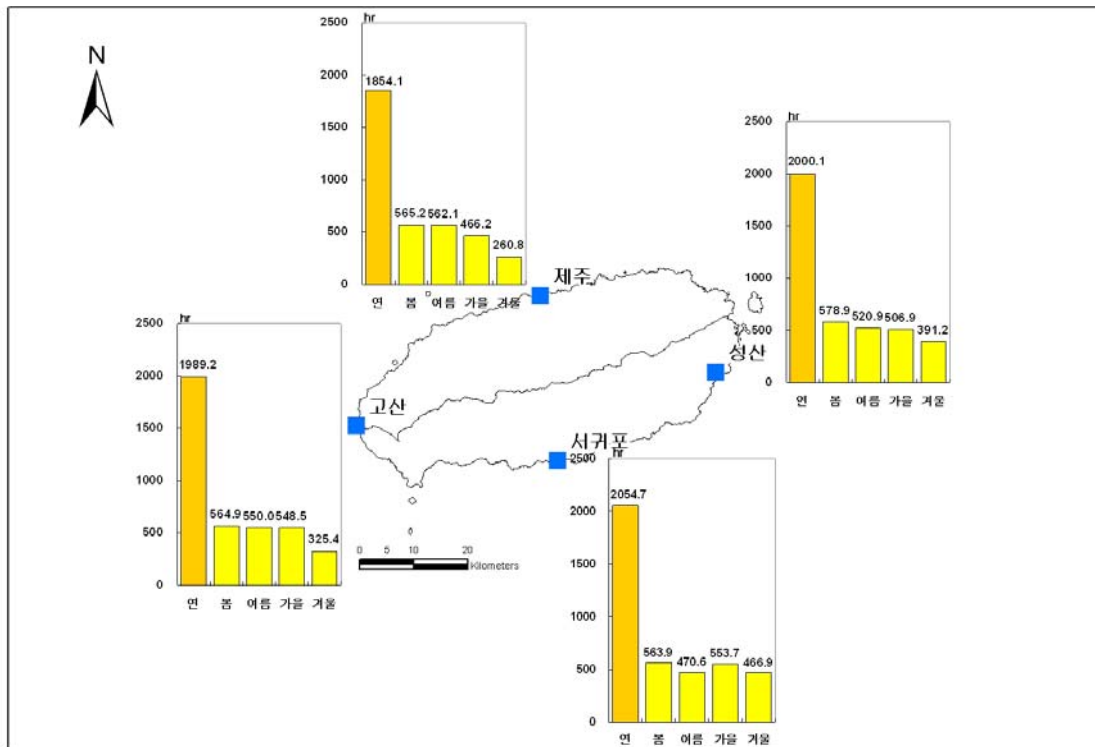


그림 2-4-3. 제주도의 연·계절 일조시간 공간분포(1981~2010년)

제주도의 일조시간 공간분포도를 살펴보면, 남부해안의 서귀포가 2,054.7시간으로 가장 많고, 북부해안의 제주에서 1,854.1시간으로 가장 적다(그림 2-4-3). 사계절 중에서는 4개 지점 모두 겨울철 일조시간이 상대적으로 적게 나타난다. 특히, 북부해안 제주지점의 겨울철 일조시간은 여름철 값에 비하여 300시간 정도 적으며, 서부해안의 고산에서도 겨울철 일조시간이 여름철에 비하여 220시간 이상 적다. 일차적으로는 한라산 지형의 사면과 관련하여 북부와 서부 해안의 경우에는 한라산의 지형에 의하여 상대적으로 복사에너지의 유입시간이 짧아질 수 있다. 이외에도 일조시간은 유입되는 기류와 운량의 변화와도 관련이 있는데, 대체로 여름철에는 장마전선이나 저기압이 제주도를 통과할 때 남서기류나 제주도 한라산을 반시계 방향으로 돌아 유입되는 북동기류들의 영향을 받아 남쪽인 서귀포지점에서는 적고 북쪽인 제주지점에서는 많게 나타난다.

연 평균운량의 분포도를 살펴보면, 서귀포가 5.7로 가장 작고, 북부해안의 제주와 서부해안의 고산에서 6.1로 큰 값을 보인다.(그림 2-4-4) 제주도 4개 정규관측지점의 여름철 운량을 살펴보면, 북태평양고기압의 영향권에서 남풍 계열의 기류의 영향을 받는 서부해안의 고산, 남부해안의 서귀포, 동부해안의 성산에서는 6.5~6.8로 사계절 중 가장 높게 나타난다. 대조적으로 북부해안의 제주 지점에서는 여름철의 운량도 6.3으로 높은 편에 속하지만 오히려 겨울철 운량이 6.8로 더 높게 나타난다. 서부해안의 고산에서도 겨울철 운량이 6.6로 여름철 운량 6.7과 큰 차이를 보이지 않는다. 이는 겨울철 북서계절풍이 불 때 기류가 한라산의 서부와 북부 사면을 타고 오르면서 상대적으로 구름을 더 자주 발생

시키기 때문일 것으로 사료된다. 이러한 결과로 겨울철 서귀포의 운량은 다른 지역보다 낮은 5.4의 값을 보이고 있다. 사계절 중 전 지역 모두 공통적으로 가을철 운량이 모두 낮은 5.0~5.6의 값을 보인다.

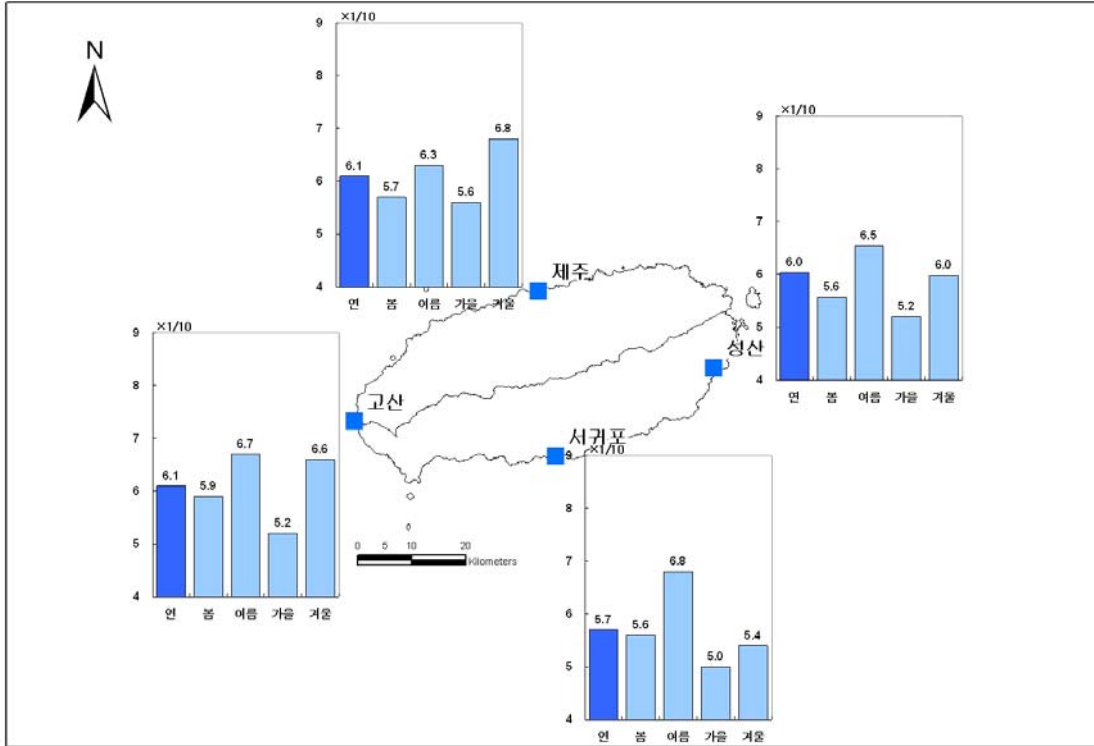


그림 2-4-4. 제주도의 연·계절 운량 공간분포(1981~2010년)

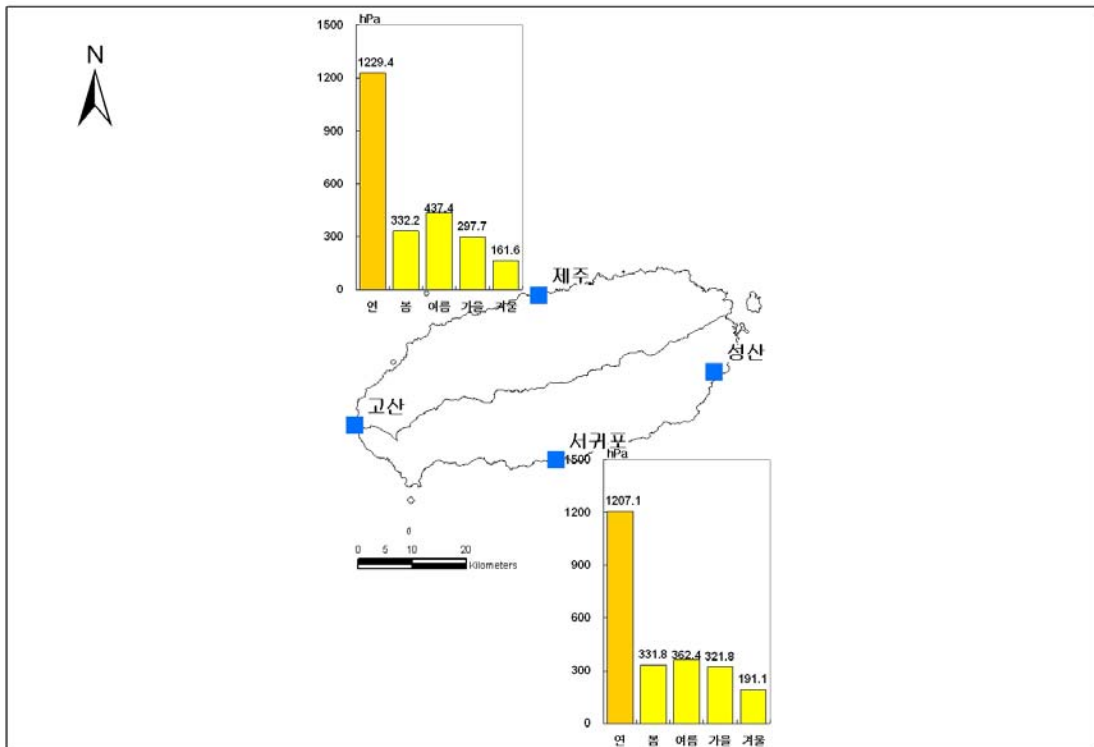


그림 2-4-5. 제주도의 연·계절 증발량 공간분포(1981~2010년)

제주도의 증발량(소형)은 북부해안의 제주와 남부해안의 서귀포 두 지역에서만 관측하여 오고 있다(그림 2-4-5). 대체로 북부해안의 제주지점의 여름철 증발량은 남부해안의 서귀포에 비하여 높은 편이며, 겨울철과 가을철에는 반대로 서귀포 지점의 증발량이 많은 편이다. 이는 한라산 기준으로 운량의 양과는 음의 상관관계를 일조시간과는 양의 상관관계를 보인다.

## 5. 주요 현상일수와 극한기후사상

### 1) 주요 현상일수

제주도의 30년(1981~2010) 0.1mm 이상 강수일수를 살펴보면 해안지역에는 121~130일 정도 나타낸다(그림 2-5-1). 계절적으로는 여름철 강수일이 37~41일로 사계절 중 가장 많고, 가을철 강수일이 23~27일로 가장 적다. 4개 지점을 기준으로 살펴보면 여름철 강수일은 대체적으로 남부해안의 서귀포(41일)와 동부해안의 성산(38일)에서 많고, 겨울철 강수일은 반대로 북부해안의 제주(34일)와 서부해안의 고산(30일)에서 많다. 이는 각각의 계절에 계절풍이 탁월한 것과 관련된 기류의 유입방향의 특성을 반영한다. 여름철에는 남서풍과 저기압 통과시 반시계 방향으로 돌아들어오는 북동풍이 탁월하기 때문에 남부와 동부해안의 강수일이 더 많고, 겨울철에는 북서계절풍의 영향을 직접적으로 받아 기류가 한라산을 타고 상승하는 북부해안과 서부해안의 강수일이 더 많다. 제주도에서는 기류 유입시 한라산의 지형이 강수발생에 중요한 역할을 하기 때문에 한라산 산간지역에서는 강수일수가 더 많이 나타난다.

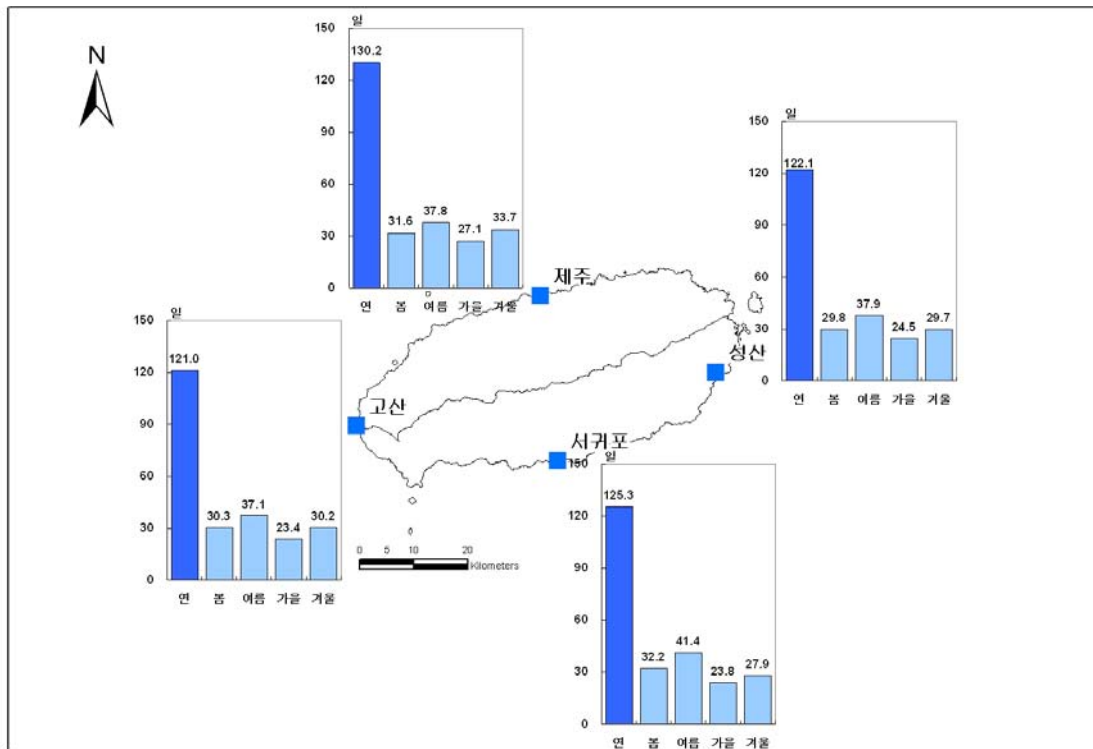


그림 2-5-1. 제주도의 연-계절 일강수량 0.1mm 이상일수 공간분포(1981~2010년)

제주도의 연평균 80mm 이상의 강수일수를 살펴보면 동부해안의 성산에서 4.4일과 남부해안의 서귀포에서 4.2일로 높은 편이고, 북부해안의 제주(2.8일)와 서부해안의 고산(1.3일)으로 갈수록 그 발생일이 감소한다(그림 2-5-2). 계절적으로는 대부분의 발생일이 여름철에 집중되어 있고, 가을철에도 고산을 제외한 제주도 북부, 동부, 남부해안의 관측지점

에서는 0.4~1.0일의 발생빈도를 나타낸다. 강수일수와 마찬가지로 최근 10년 동안의 자동 기상관측 자료를 살펴보면 중산간과 산간지역으로 갈수록 80mm 이상의 강수일수는 더 증가한다. 최근 10년간(2001~2010년) 자동기상관측 지점에서 관측한 자료의 평균값에 따르면 해발고도 600m이상의 산간지역에서는 80mm이상의 강수일이 약 15~16일 정도를 나타낸다(표 2-5-1). 심지어 일강수량이 150mm이상인 강수일도 산간지역에서는 5.3~6.1일의 발생빈도를 나타낸다(표 2-5-1).

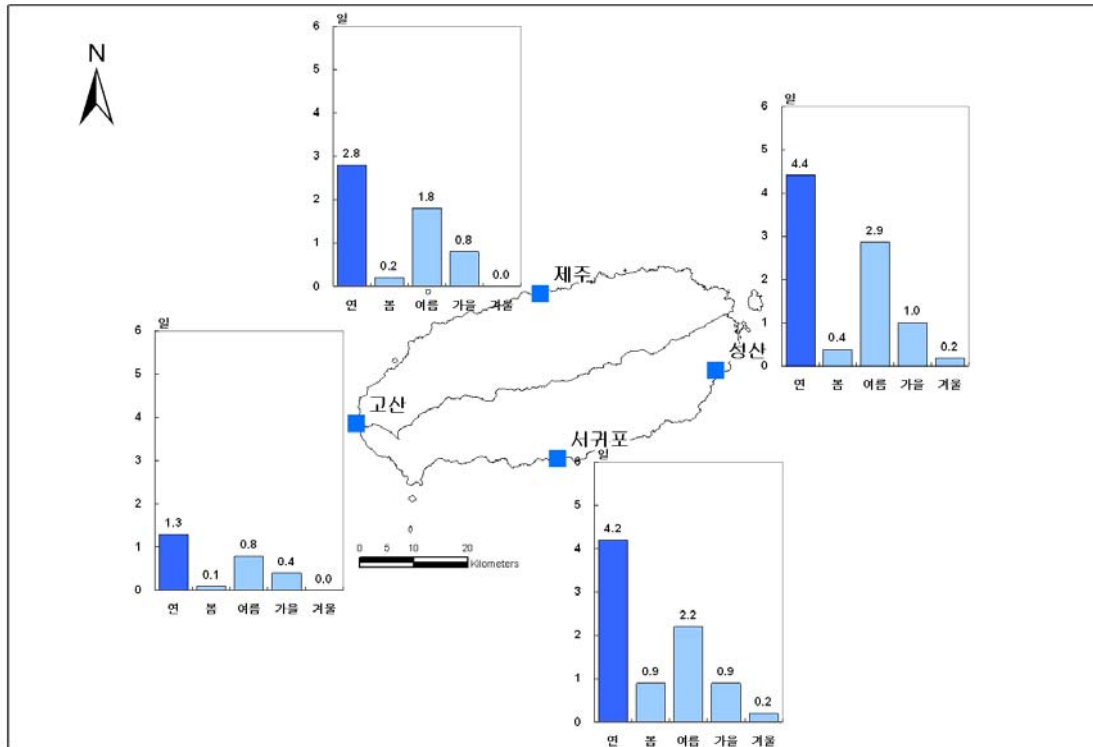


그림 2-5-2. 제주도의 연·계절 일강수량 80mm 이상일수 공간분포(1981~2010년)

표 2-5-1. 제주도의 상세지역 주요현상일 연 발생일수(2001~2010) (단위: 일)

지역명	일 최저기온 25℃ 이상인 날	일 최고기온 25℃ 이상인 날	일 최저기온 0℃ 이하인 날	일 최고기온 0℃ 이하인 날	일 강수량 80mm 이상인 날	일 강수량 150mm 이상인 날
해안동부	14.4	99.9	18.0	0.3	3.8	0.6
해안서부	23.6	93.2	14.0	7.2	1.4	0.2
해안남부	21.2	114.2	13.4	0.1	3.5	0.6
해안북부	19.8	91.6	9.4	0.4	2.6	0.6
중산간북부	2.1	89.0	63.4	6.8	5.3	1.7
중산간남부	2.4	91.3	37.4	3.2	6.2	1.8
산간북부	0.0	15.3	138.9	54.1	14.4	6.1
산간남부	0.0	39.6	88.6	20.4	15.6	5.3
제주도	13.7	85.0	39.9	10.2	5.2	1.6

눈 일수의 경우 해안지역에서는 연평균 12~20일 나타나고 있으며, 산간지역으로 갈수록 11월~4월 중에도 눈 일수가 나타나고 있어, 연중 발생일수가 해안지역에 비하여 더 많다(그림 2-5-3). 북부해안 제주지점의 눈 일수는 19.9일로 가장 많고, 온도가 높은 남부해안의 서귀포 지점에서 11.5일로 가장 적다. 이러한 발생빈도는 12~2월의 겨울철에 집중되어 있고, 봄철에 0.8~1.4일의 발생하고 있다. 특히 5.0cm 이상의 신적설 일수는 해안

지역에서는 아열대 기후대에 속하여 매우 드물게 발생하고 있으며, 서부지역보다는 동부의 성산에서 겨울철을 중심으로 평균 1.3회 발생하고 있다(그림 2-5-4).

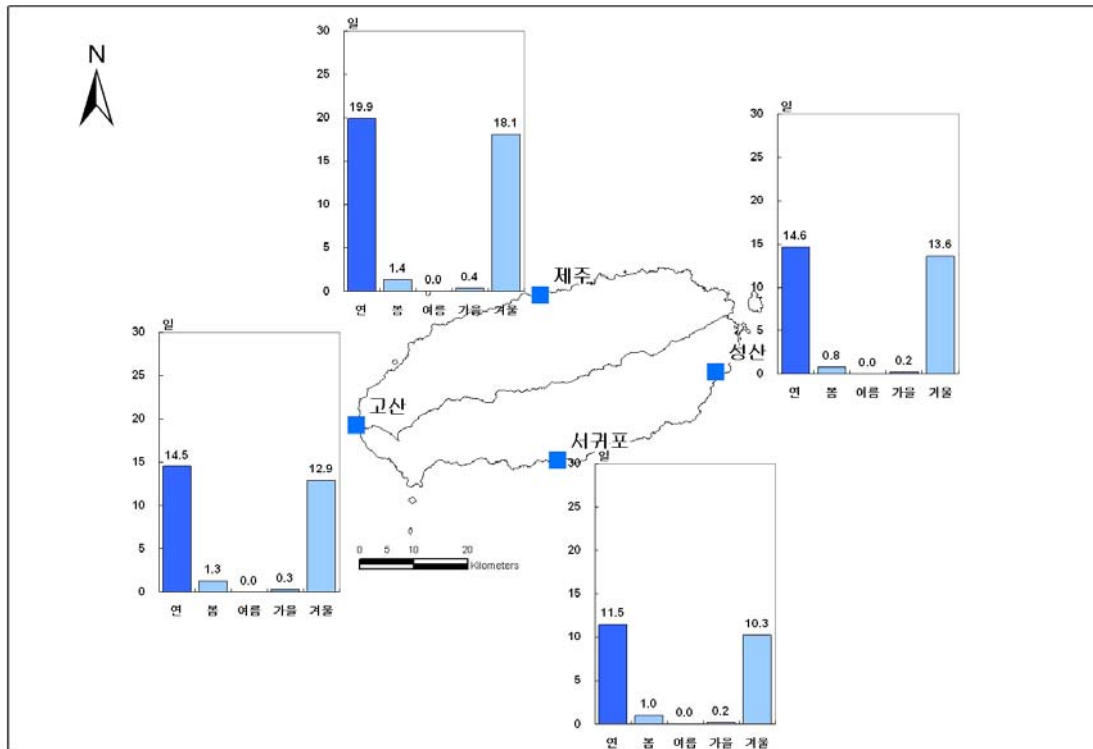


그림 2-5-3. 제주도의 연·계절 눈 일수 공간분포(1981~2010년)

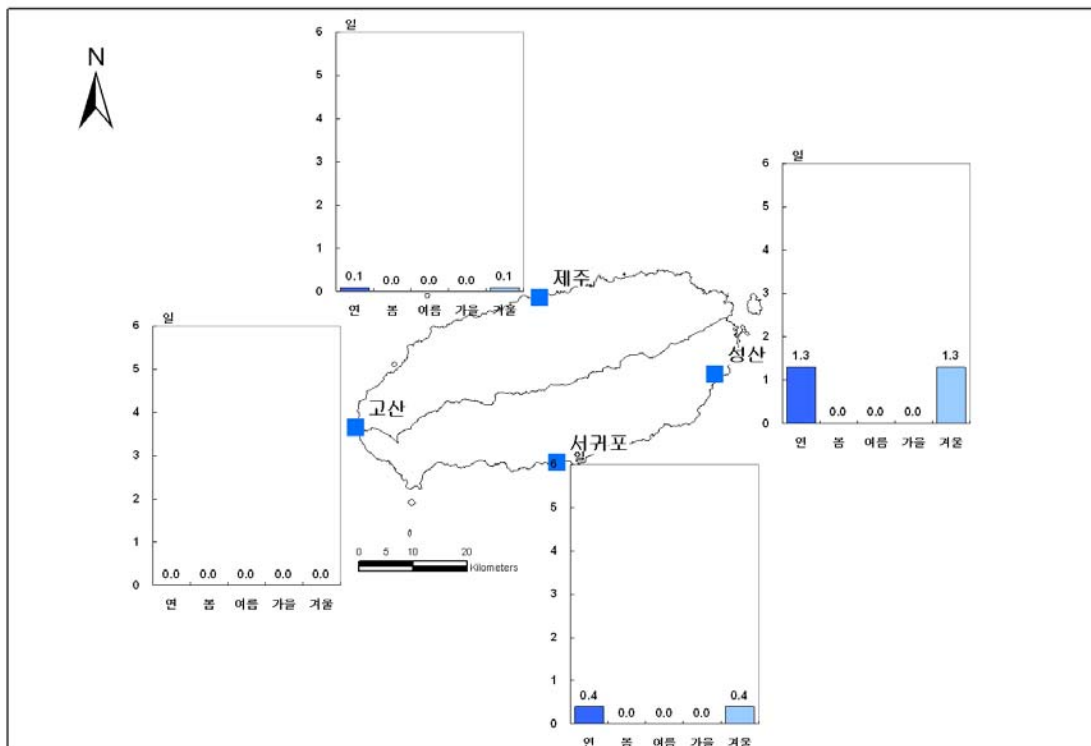


그림 2-5-4. 제주도의 연·계절 신적설 5.0cm 이상일수 공간분포(1981~2010년)



제주도 해안 4개 정규관측지점의 30년 평균 일최저기온 25℃ 이상(열대야) 일수를 살펴 보면, 연평균 11~25일의 발생빈도를 나타낸다(그림 2-5-5). 특히 남부해안의 서귀포에서는 연중 25.3일로 가장 높은 발생빈도를 보이며, 동부해안의 성산에서는 연평균 발생빈도가 11.4일로 가장 낮다. 가을철 일부 경우를 제외하면 대부분의 일최저기온 25℃ 이상 일수는 여름철 6~8월에 나타난다. 일최저기온 25℃ 이상 일수는 대체적으로 한라산 해발고도 상승에 따라 중산간 및 산간지역으로 갈수록 그 값이 감소할 것으로 추정된다 실제 자동기상관측지점에서 관측한 상세지역별 발생빈도를 살펴보면 최근 10년(2001~2010) 평균적으로 제주도 해안지역에서는 14.4~23.6일로 나타나지만 해발고도 200~600m의 중산간 지역에서는 2.1~2.4일, 해발고도 600m이상의 산간지역에서는 발생하지 않은 것을 알 수 있다(표 2-5-1). 유사하게 지난 10년 평균 일최고기온 25℃ 이상 일수도 해안 및 중산간 지역에서는 최소 90일 이상이나, 600m이상에서는 연평균 약 15~40일로 발생빈도가 낮게 나타난다.

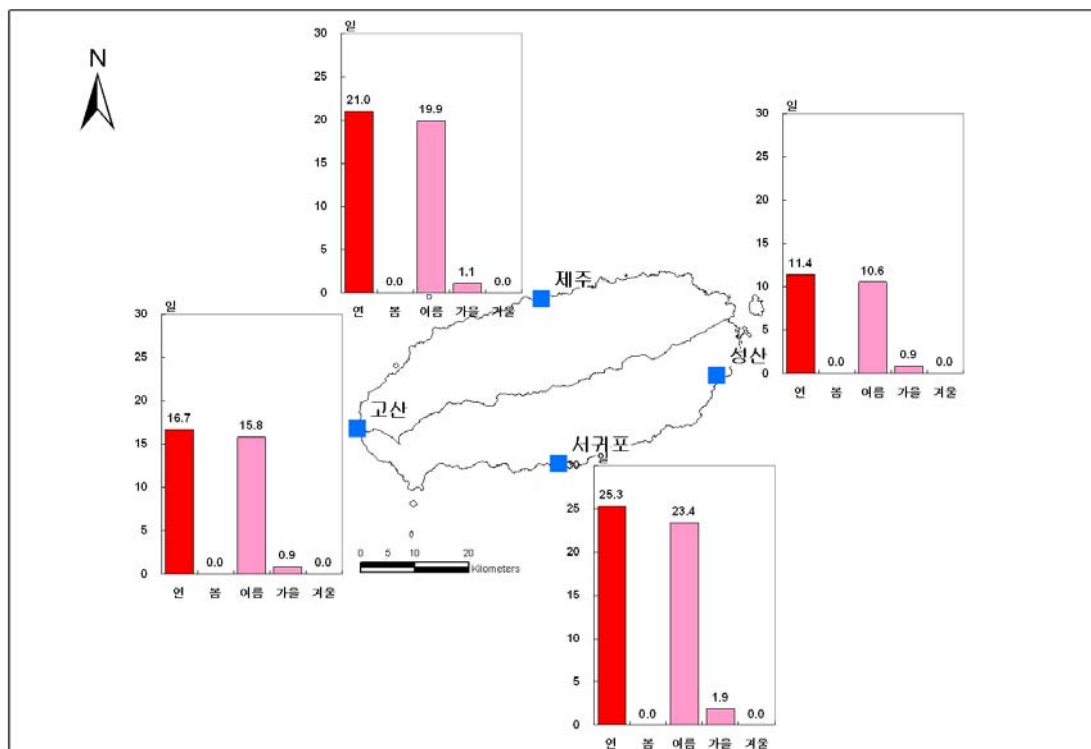


그림 2-5-5. 제주도의 연·계절 일최저기온 25℃ 이상일수 공간분포(1981~2010년)

현재 강한 무더위를 지칭하는 폭염(열파)의 발생에 사용되는 지표인 일최고기온 33℃ 이상인 날의 2일 이상 지속일은 제주지점에서 연중 2.1일로 발생빈도가 높고, 서부해안의 고산에서는 지난 30년간 관찰되지 않았다(그림 2-5-6). 남부해안의 서귀포지점의 발생빈도는 0.9일로 오히려 북부해안의 제주에 비하여 발생빈도가 낮다. 이러한 패턴은 남부해안

은 여름철에 운량이 많고 남서기류가 유입되어 대기 중 수증기량도 많아서 기온의 변동이 크지 않고, 제주지점의 경우에는 한라산과 국지적인 도시화의 영향도 포함되었을 것으로 사료된다. 제주와 서귀포 두 지점 모두 33℃ 이상인 날이 2일 이상 지속일은 주로 여름철 7~8월에 장마가 끝난 후 북태평양 고기압이 활성화되는 한여름(성하기)에 집중되어 발생하는 경향이 있다. 그러나 제주도는 해양성 기후의 특징이 더 탁월하기 때문에 복사 에너지가 더 유입되는 저위도에 위치하였음에도 불구하고, 한반도 남부 내륙의 대도시에 비해서는 33℃ 이상인 날이 2일 이상 지속일의 발생빈도가 낮다.

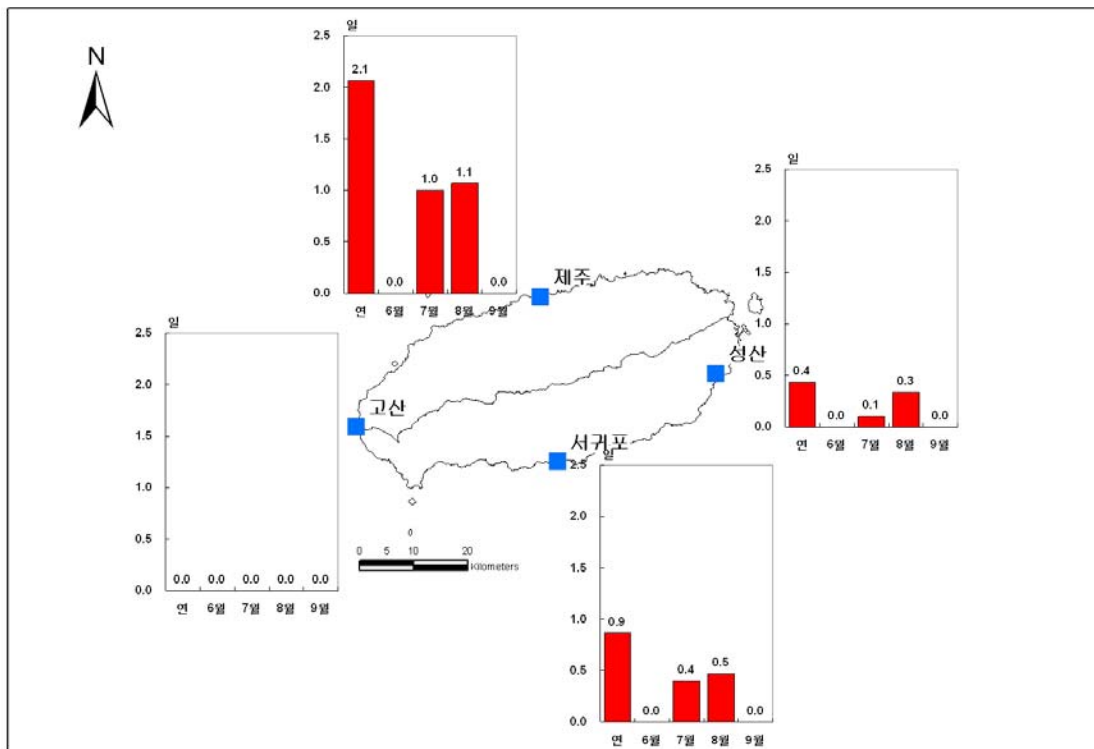


그림 2-5-6. 제주도의 연·계절 일최고기온 33℃ 이상의 2일 이상 지속일수 공간분포(1981~2010년)

제주도의 황사일수는 연평균 5~6일로 서부해안의 고산에서 6.1회로 가장 높은 발생빈도를 보이나 대체적으로 유사하다(그림 2-5-7). 대부분의 황사일수는 봄철에 나타나고 있으며, 일부의 경우에는 겨울철과 가을철에도 각각 0.5~0.7일과 0.3일의 발생빈도를 나타낸다. 강수가 많은 여름철에는 몽고나 고비 사막에서 발생한 황사가 강수현상에 의해 한반도 까지 도달하지 못하고, 겨울철에는 황사발원지가 대부분 눈으로 피복되어 있기 때문에 우리나라에서 황사 발생빈도는 줄어든다. 반면, 건조한 상태가 지속되고 눈이 녹아 사라지는 봄철에는 건조한 토양이 나지로 드러나게 된다. 일반적으로 황사는 저기압의 상승기류에 의해 지상의 건조한 토양이 대기 상층으로 올라간 후 중위도에 분포한 편서풍을 따라 한반도 방향으로 이동하게 되므로 이른 봄철을 중심으로 황사 발생빈도가 상대적으로 높게 나타난다.

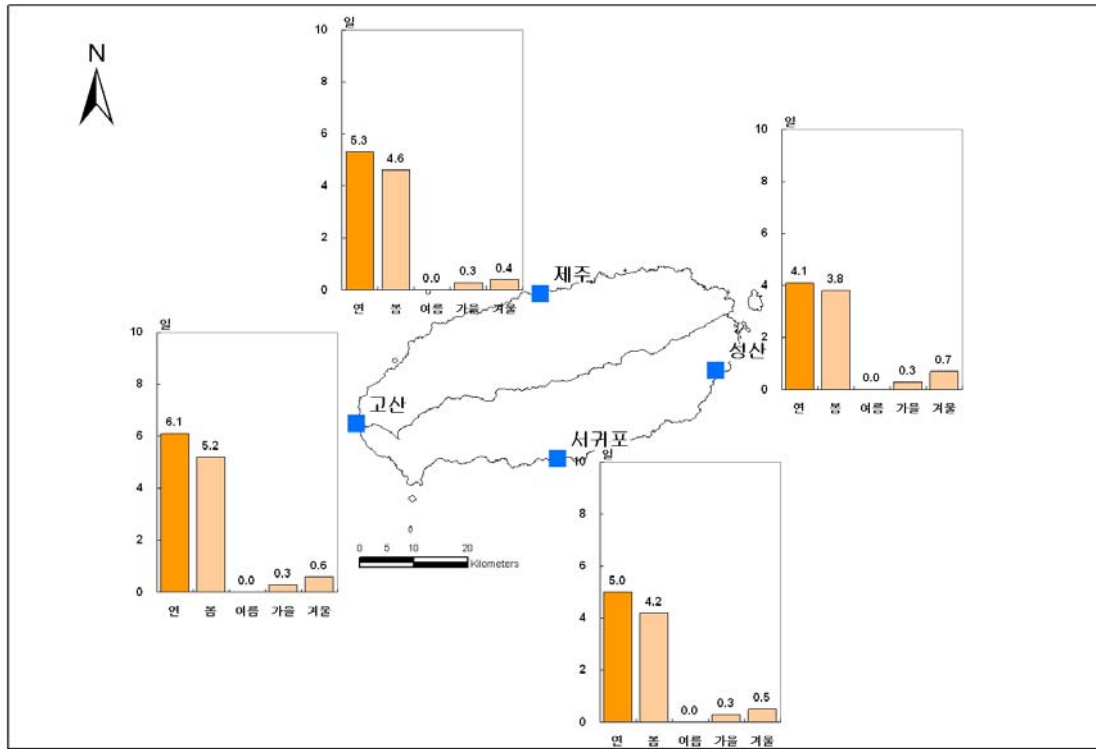


그림 2-5-7. 제주도의 연·계절 황사일수 공간분포(1981~2010년)

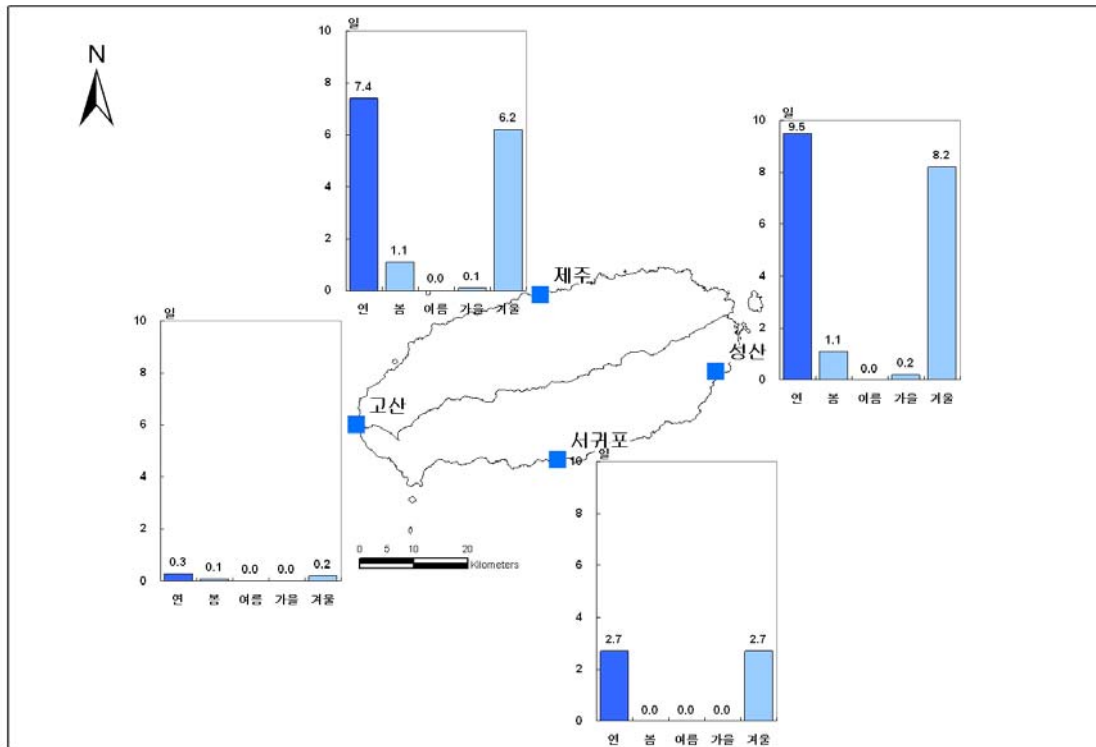


그림 2-5-8. 제주도의 연·계절 서리일수 공간분포(1981~2010년)

서리일수의 경우에는 동부해안의 성산에서 연평균 9.5일로 가장 높고, 북부해안의 제주에서도 7.4일로 높게 나타난다(그림 2-5-8). 이에 비하여 남부해안의 서귀포에서는 2.7일로 낮고, 고산에서는 0.3일로 그 발생빈도가 매우 낮다. 제주도는 아열대 기후의 특성이 반영되어 봄철 일부 발생경우를 제외하면 겨울철에 서리일이 나타난다. 서리일수가 예상과는 달리 북서계절풍의 직접적인 영향을 받는 고산 관측지점에 비하여 그 후면에 해당하는 성산 관측지점에서 더 높게 나타나는 것은 앞서서도 언급하였듯이 고산의 통계 산출 시에는 1988년 이후의 자료만이 고려되었다. 1980년대 후반 이후에 일최저기온을 중심으로 온난화의 경향이 더욱 뚜렷하게 나타나는데, 고산의 경우에는 일최저기온과 관련된 현상일의 통계자료의 비교기간이 다른 지점에 비해 상대적으로 적은 것에 기인하는 차이일 것으로 사료된다. 현재는 자료가 부족하지만 이를 밝히기 위해 향후 장기간 자료를 더 수집하여 보완하는 작업이 필요하다.

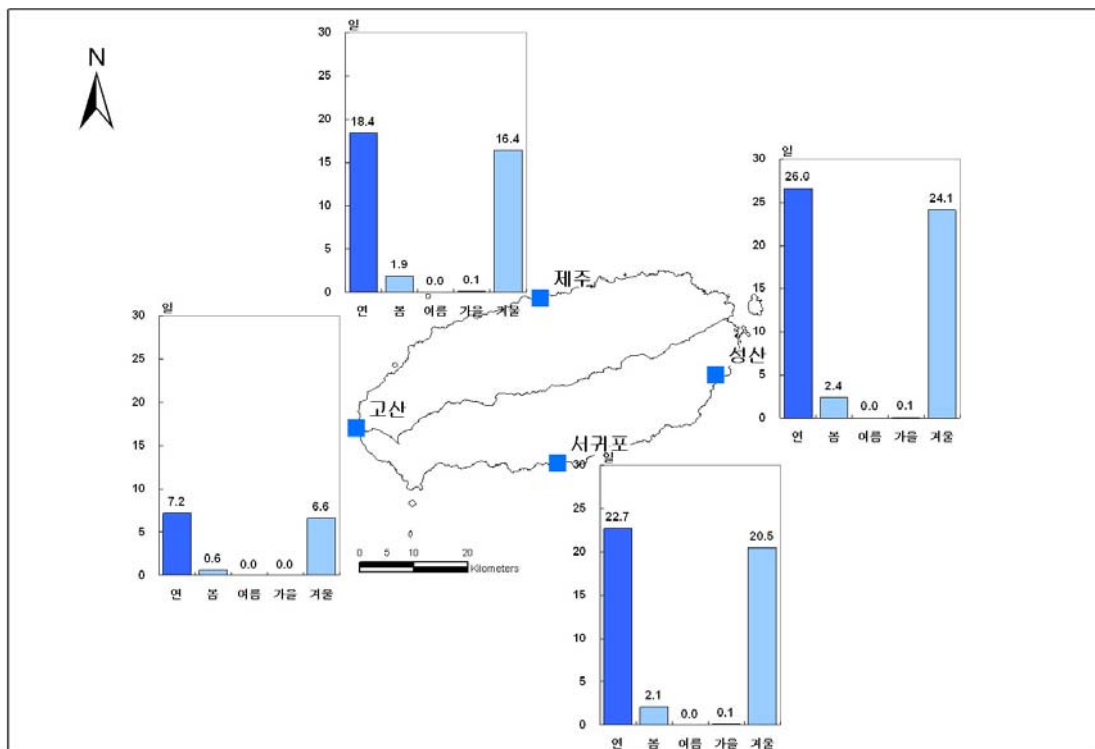


그림 2-5-9. 제주도의 연·계절 얼음일수 공간분포(1981~2010년)

얼음일수의 경우도 서리일수와 유사하게 봄철 일부 경우를 제외하면 겨울철에 대부분 나타난다(그림 2-5-9). 동부해안의 성산지점에서 얼음일수가 26일로 가장 많고, 남부해안의 서귀포지점에서도 22.7일로 높으며, 북부해안의 제주지점에서는 18.4일을 나타낸다. 대조적으로 고산지점에서는 얼음일수가 7.2일로 낮게 나타난다.

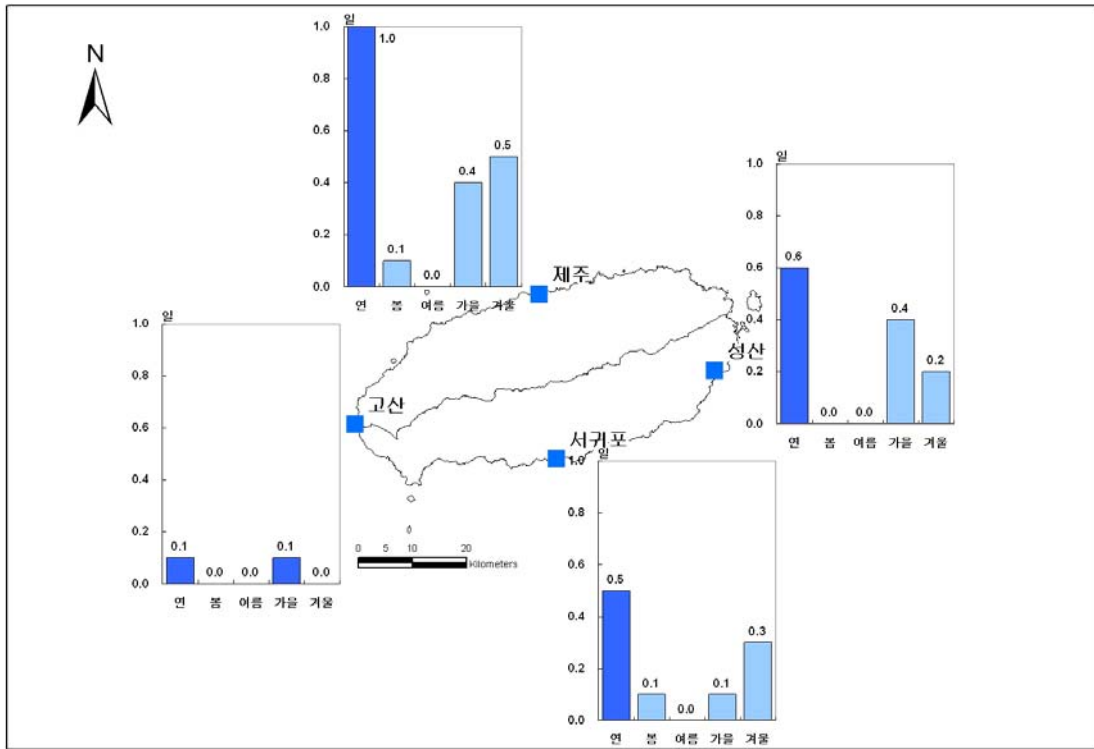


그림 2-5-10. 제주도의 연·계절 우박일수 공간분포(1981~2010년)

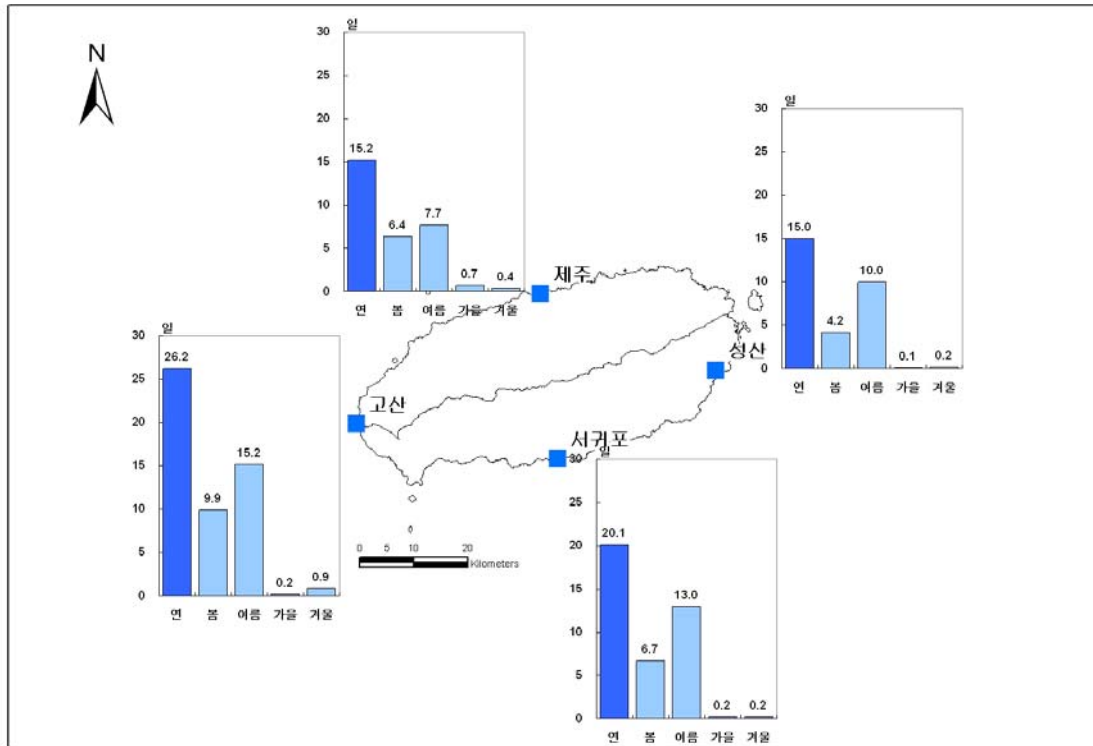


그림 2-5-11. 제주도의 연·계절 안개일수 공간분포(1981~2010년)

우박일수의 경우에는 북부해안의 제주가 1.0일로 가장 높은 발생빈도를 보이며 고산에서 0.1회로 발생빈도가 매우 낮다(그림 2-5-10). 제주도는 겨울철에도 따뜻한 아열대 기후대에 속하기 때문에 고위도의 봄철과 가을철에 발생하는 우박일이 가을철이나 겨울철에 주로 발생한다. 동부해안의 성산에서는 사계절 중 가을철 발생빈도가 약간 더 높고, 서부해안의 고산에서도 가을철에 일부 발생한 기록이 있다.

안개일수 분포를 살펴보면 대체로 15~26일의 발생빈도가 나타나고 있으며, 서부해안인 고산이 26.2일로 발생빈도가 가장 높고, 동부해안의 성산이 15.0일로 발생빈도가 가장 낮다(그림 2-5-11). 제주도의 안개는 상대적으로 따뜻한 해수면에 차가운 기류들이 유입되거나 여름철에 남서기류가 유입할 때 주로 발생한다. 이러한 원인으로 서부해안에 위치한 고산의 경우에도 여름철 안개일수는 15.2일로 많이 발생하고 있으며, 남부해안에 위치한 서귀포 지점에서도 13.0일로 안개일 발생빈도가 상대적으로 높게 나타나고 있다.

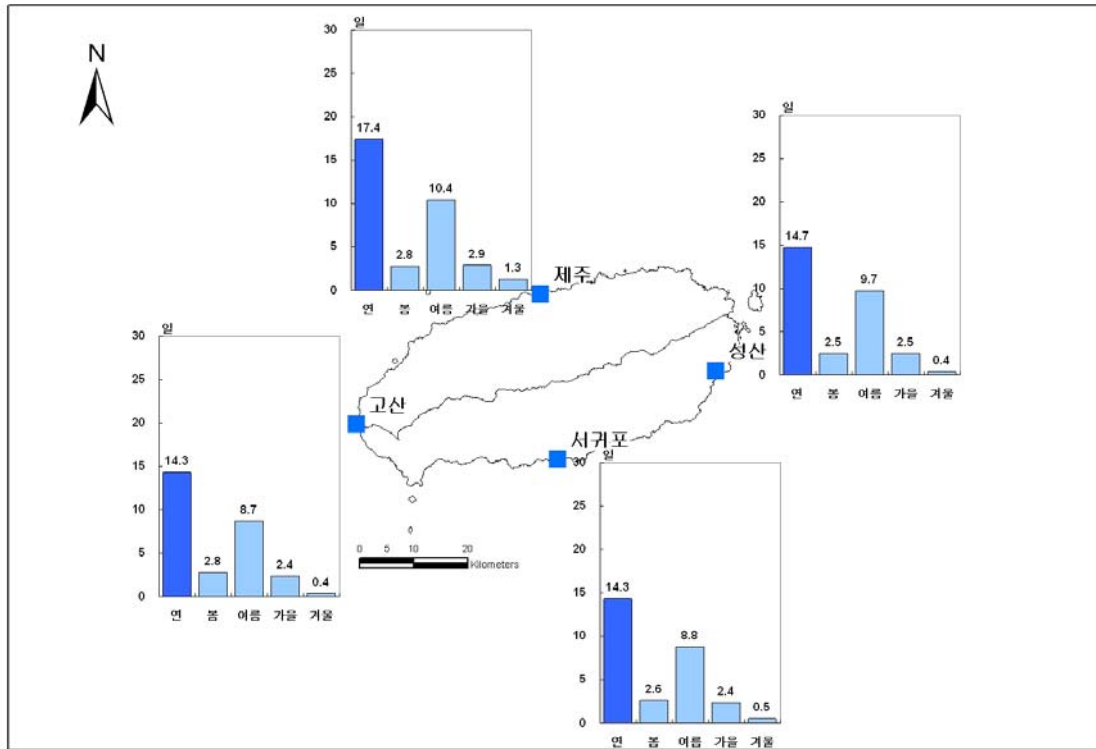


그림 2-5-12. 제주도의 연·계절 뇌전일수 공간분포(1981~2010년)

제주도 뇌전일수는 강수일수와 유사한 공간분포와 계절성을 나타낸다(그림 2-5-12). 공간적으로는 연중 발생빈도가 북부해안의 제주지점에서 17.4일로 다소 높게 나타나고, 서부해안, 남부해안, 동부해안의 경우에는 발생빈도가 14.3~14.7일로 유사하게 나타난다. 뇌전일수의 대다수는 여름철에 집중되어 8.7~10.4일의 발생빈도를 나타내고, 봄철과 가을철에도 약 2.4~2.9일의 발생빈도를 나타내고 있다.

## 2) 극값 및 특이기상

제주도 해안지역 관측지점의 극값 중 연중 일평균기온 최고값은 29.8~32.5℃의 범위를 나타낸다(그림 2-5-13; 표 2-5-2). 각 관측지점마다 관측년도에는 차이가 있지만 (제주 1924년, 서귀포 1961년, 성산 1973년, 고산 1988년) 서부해안의 고산과 동부해안의 성산에 비하여 북부해안의 제주와 남부해안의 서귀포의 일평균기온 최고값이 더 높게 나타난다. 즉, 연 평균기온 분포는 남부해안의 서귀포에서 더 높게 나타나고, 일평균기온의 최고값은 제주에서 더 높게 나타난다. 유사하게 일최고기온 최고값도 다른 지역의 값(34.3~36.2℃)보다 제주 관측지점의 값(37.5℃)이 높게 나타난다(그림 2-5-13; 표 2-5-3). 제주와 서귀포의 일최고기온 최고 극값을 제외하면 대부분은 1990년대 이후에 극값을 기록하였다.

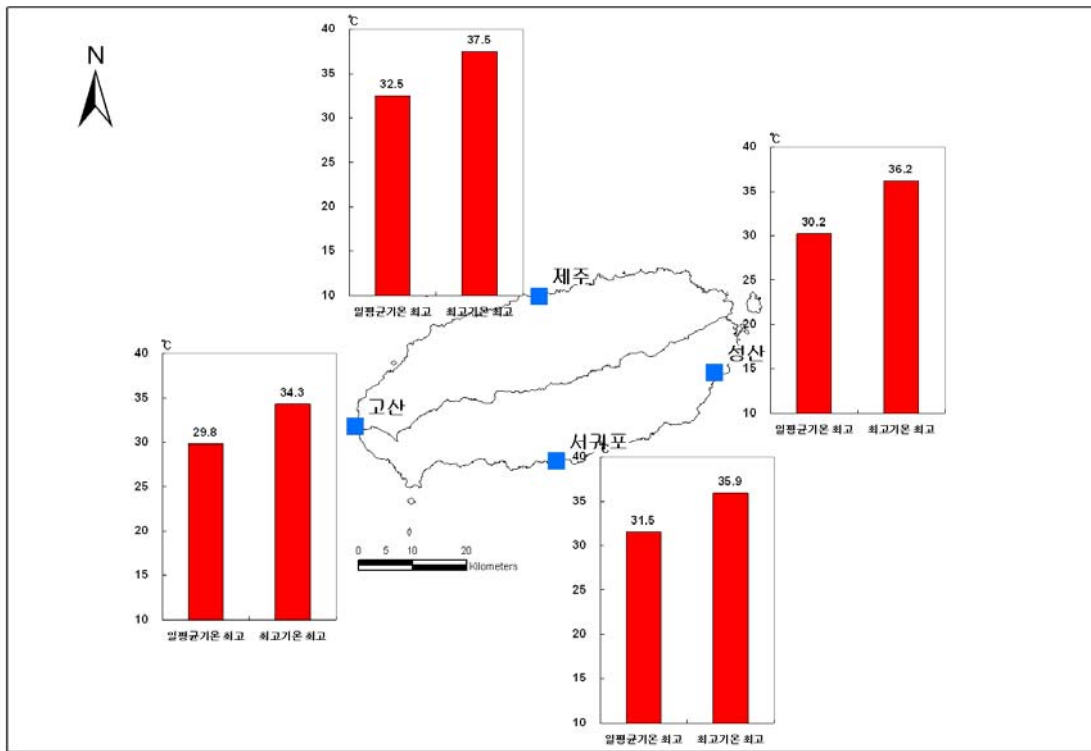


그림. 2-5-13 제주도의 일평균기온 최고와 최고기온 최고 공간분포(관측개시일~2010년)

표 2-5-2. 제주도의 일평균기온 최고 극값(관측개시일~2011년 10월 31일) (단위: °C)

지점	1위		2위		3위		4위		5위		
	날짜	값	날짜	값	날짜	값	날짜	값	날짜	값	
184	제주	1998. 08.15	32.5	1964. 07.15	32.4	1942. 07.25	32.4	2005. 07.03	31.7	1971. 07.28	31.7
185	고산	1996. 07.31	29.8	2001. 08.03	29.5	1996. 08.01	29.4	1996. 08.02	29.3	2004. 08.14	29.2
188	성산	2004. 07.31	30.2	2003. 08.06	30.2	1990. 08.17	30.1	1994. 07.21	29.8	1981. 07.26	29.8
189	서귀포	1994. 07.24	31.5	2004. 07.31	31.0	2001. 07.29	31.0	1994. 07.23	31.0	2011. 07.19	30.9

표 2-5-3. 제주도의 최고기온 최고 극값(관측개시일~2011년 10월 31일) (단위: °C)

지점	1위		2위		3위		4위		5위		
	날짜	값	날짜	값	날짜	값	날짜	값	날짜	값	
184	제주	1942.07.25	37.5	1998.08.15	37.4	1998.08.11	37.2	1990.08.14	37.0	1971.07.07	36.5
185	고산	2001.08.03	34.3	2011.08.05	33.9	2010.08.21	33.5	2004.08.11	33.5	2009.08.08	33.2
188	성산	1994.07.20	36.2	1983.08.04	35.5	2004.07.31	35.0	2005.08.16	34.7	1994.07.21	34.6
189	서귀포	1966.08.03	35.9	2004.08.30	35.6	2011.07.19	35.5	1994.07.24	35.5	1994.07.23	35.0

제주도의 관측기간 동안 각 지점의 일평균기온 최저값의 경우에는 대체로 -1.1~ -4.1°C의 범위를 나타낸다(그림 2-5-14; 표 2-5-4). 4개 지점 중 동부해안의 성산과 남부해안의 서귀포 지점값이 -4.1°C로 가장 낮고, 오히려 북서계절풍에 의해 더 낮은 값이 예상되는 서부해안의 고산지점의 경우에는 -1.1°C로 가장 높다.

일최저기온의 최저값도 동부해안의 성산에서 -7.0°C로 가장 낮고 오히려 북서계절풍에 의한 영향을 직접 받는 서부해안의 고산에서는 이보다 높은 -1.1°C를 나타낸다(그림 2-5-14; 표 2-5-5). 이는 서부해안의 고산 관측 지점의 경우 관측기간이 온난화가 뚜렷하게 진행된 1988년 이후이기 때문일 것으로 사료된다. 최저기온의 최저의 경우에 제주와 서귀포가 각각 -6.0°C와 -6.3°C로 서귀포에서 더 낮게 나타난다.

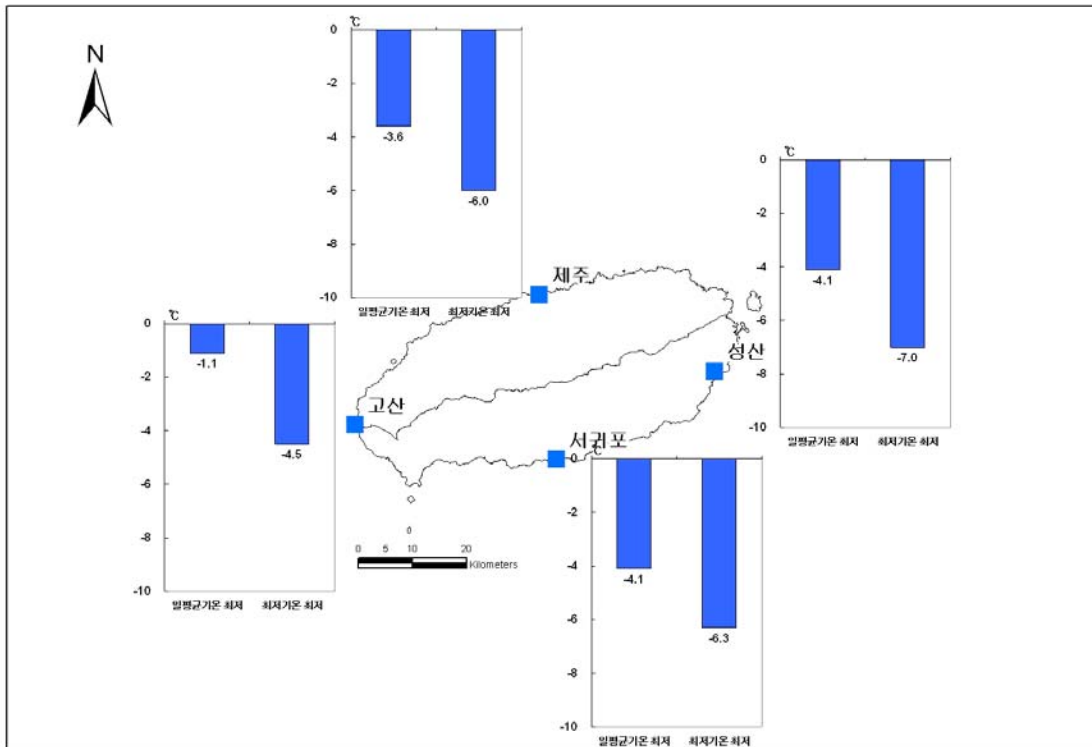


그림 2-5-14. 제주도의 일평균기온 최저와 최저기온 최저 공간분포(관측개시일~2010년)



표 2-5-4. 제주도의 일평균기온 최저 극값(관측개시일~2011년 10월 31일) (단위: °C)

지점	1위		2위		3위		4위		5위		
	날짜	값	날짜	값	날짜	값	날짜	값	날짜	값	
184	제주	1931.01.10	-3.6	1981.02.26	-2.9	1977.02.16	-2.9	1936.01.17	-2.8	1933.01.26	-2.7
185	고산	2004.01.21	-1.1	1990.01.25	-1.1	2004.01.22	-1.0	2004.01.24	-0.7	1990.01.26	-0.7
188	성산	1977.02.16	-4.1	1981.02.26	-3.9	1984.02.06	-2.6	2004.01.22	-2.4	1977.03.04	-2.3
189	서귀포	1977.02.16	-4.1	1981.02.26	-3.3	1968.02.20	-3.0	1963.01.23	-2.5	1977.02.15	-2.3

표 2-5-5. 제주도의 최저기온 최저 극값(관측개시일~2011년 10월 31일) (단위: °C)

지점	1위		2위		3위		4위		5위		
	날짜	값	날짜	값	날짜	값	날짜	값	날짜	값	
184	제주	1977.02.16	-6.0	1977.02.15	-5.9	1931.01.10	-5.7	1981.02.26	-5.1	1936.01.17	-5.0
185	고산	2004.01.22	-4.5	2004.01.21	-4.4	2004.01.24	-3.9	2011.01.16	-3.6	2009.01.24	-3.6
188	성산	1990.01.23	-7.0	1990.01.26	-6.6	1977.02.16	-6.4	1990.01.24	-6.1	1983.02.14	-6.1
189	서귀포	1977.02.16	-6.3	1970.01.05	-6.1	1977.02.15	-5.9	1967.01.15	-5.4	1967.01.16	-5.2

관측기간 동안 일강수량 최다값을 살펴보면, 북부해안의 제주지점이 420.0mm로 가장 높은 값을 나타내고, 서부해안의 고산지점에서 240.3mm로 가장 작은 값을 나타낸다(그림 5-2-15; 표 2-5-6). 남부해안의 서귀포지점은 365.5mm이고, 동부해안의 성산지점은 302.0mm이다. 이러한 일강수량 최다값은 태풍이 내습 시 국지적인 호우가 발생한 경우들에 속한다. 대부분의 일강수량 최다 기록은 1990년대 중반 이후에 나타난다. 강수는 국지성이 많이 작용하기 때문에 실제 이러한 지점 이외에 연강수량이 4,000mm 이상인 산간지역에서는 훨씬 더 일강수량 최다값이 높을 것으로 사료된다. 1시간 강수량 최다값도 북부해안의 제주지점에서 105.0mm로 가장 많은 기록을 나타내고, 성산에서 101.0mm, 서귀포 92.5mm, 고산 55.5mm의 순으로 점차 작아진다(그림 2-5-15; 표 2-5-7).

관측기간 동안 최심적설 기록을 살펴보면, 동부해안의 성산에서 16.5cm로 가장 많고, 남부해안인 서귀포에서 14.5cm, 북부해안의 제주에서 13.9cm, 서부해안인 고산의 6.0cm의 순으로 작아진다(그림 2-5-16; 표 2-5-8). 최심적설의 경우에도 오히려 남부해안의 서귀포 지점에서 37.8cm로 가장 큰 값을 기록하였고, 성산에서 25.4cm, 제주에서 21.5cm로 작아진다(그림 2-5-16; 표 2-5-9). 대체로 이러한 적설 극한값이 발생한 날의 일기도를 보면 겨울철 시베리아 고기압이 양쯔강 방향으로 확장할 때 강한 북서계절풍이 상대적으로 따뜻한 서해를 지나오면서 눈구름이 형성된 경우들에 속한다. 서부해안의 고산지점의 경우에는 6cm로 최심적설 기록이 현저하게 낮게 나타나고 있다. 고산은 관측기간도 온난화가

본격화된 1980년대 후반 이후여서 적설이 상대적으로 낮게 나타났을 가능성도 있다.

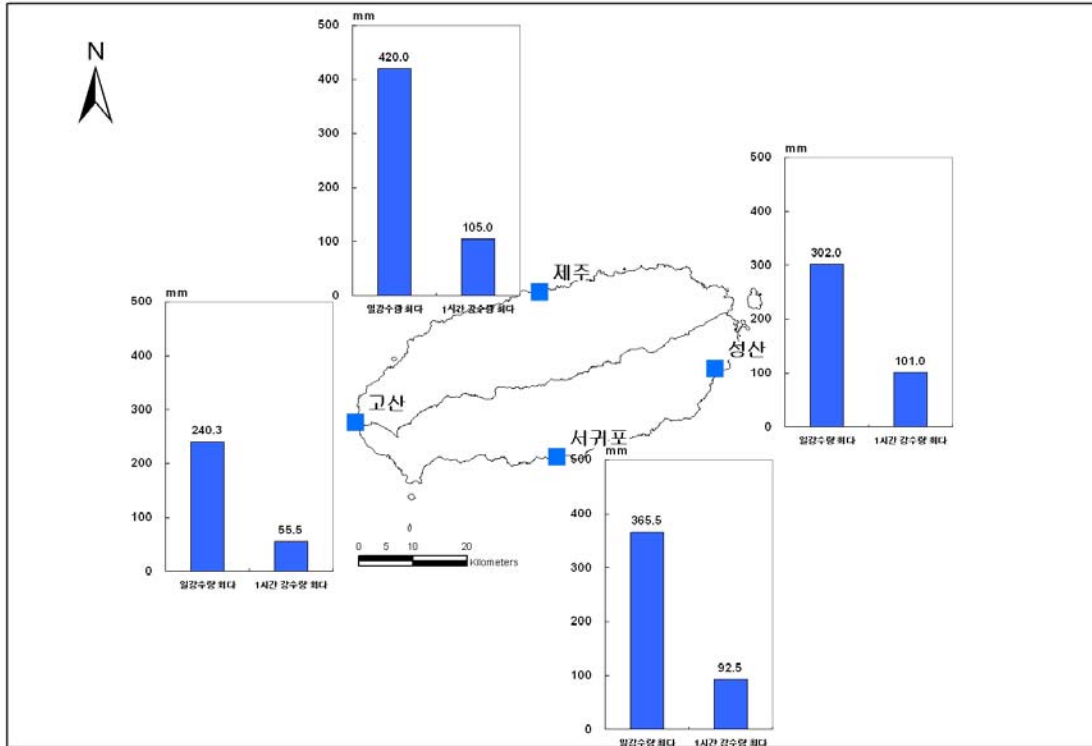


그림 2-5-15. 제주도 일강수량 최다와 1시간강수량 최다 공간분포(관측개시일~2010년)

표 2-5-6. 제주도의 일강수량 최다 극값(관측개시일~2011년 10월 31일) (단위: mm)

지점		1위		2위		3위		4위		5위	
		날짜	값	날짜	값	날짜	값	날짜	값	날짜	값
184	제주	2007.09.16	420.0	1927.09.11	301.2	2011.08.07	299.0	1927.08.04	281.7	1985.06.27	248.7
185	고산	1999.07.01	240.3	2006.07.08	188.5	1995.07.02	178.5	1998.09.29	169.7	1991.05.19	168.1
188	성산	1995.07.02	302.0	1992.08.12	296.5	2007.09.05	294.5	1992.05.06	291.8	1981.09.02	254.0
189	서귀포	1995.07.02	365.5	1994.08.11	304.0	2007.09.16	265.5	1979.08.24	260.6	1992.05.06	259.8

표 2-5-7. 제주도의 1시간강수량 최다 극값(관측개시일~2011년 10월 31일) (단위: mm)

지점		1위		2위		3위		4위		5위	
		날짜	값	날짜	값	날짜	값	날짜	값	날짜	값
184	제주	1927.09.11	105.0	1986.08.18	100.2	1995.08.20	90.7	2009.08.27	87.5	1999.08.03	79.2
185	고산	2006.07.08	55.5	1991.09.27	52.4	2007.09.15	46.0	2004.09.16	45.5	1988.08.17	44.5
188	성산	1981.08.10	101.0	2004.08.22	100.5	2005.07.31	97.0	2001.07.10	94.0	2006.06.30	89.5
189	서귀포	1995.07.07	92.5	1998.07.15	78.0	1990.10.29	73.0	2009.07.28	66.5	1985.07.05	60.6

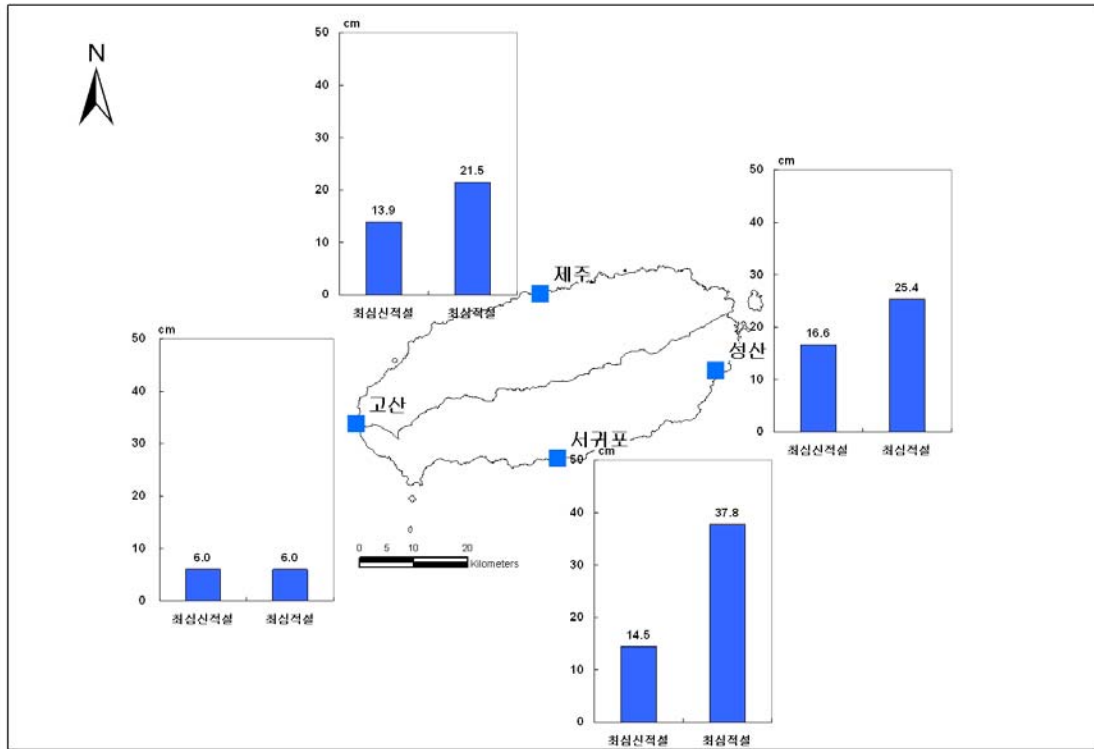


그림 2-5-16. 제주도의 최심신적설과 최심적설 공간분포(관측개시일~2010년)

표 2-5-8. 제주도의 최심신적설 극값(관측개시일~2011년 10월 31일) (단위: cm)

지점		1위		2위		3위		4위		5위	
		날짜	값	날짜	값	날짜	값	날짜	값	날짜	값
184	제주	1984.01.18	13.9	1959.01.17	12.8	1960.12.30	10.7	1966.02.06	10.2	1960.12.29	8.5
185	고산	2004.01.24	6.0	2003.01.04	3.2	1990.01.25	2.3	2010.12.31	1.8	1999.12.20	1.7
188	성산	1994.01.21	16.6	1977.02.18	16.0	2010.12.31	14.9	1999.12.21	13.5	1984.01.18	13.3
189	서귀포	1963.01.25	14.5	1984.01.18	11.0	1963.01.30	8.5	1962.01.02	8.5	1963.01.23	8.2

표 2-5-9. 제주도의 최심적설 극값(관측개시일~2011년 10월 31일) (단위: cm)

지점		1위		2위		3위		4위		5위	
		날짜	값	날짜	값	날짜	값	날짜	값	날짜	값
184	제주	1959.01.18	21.5	1960.12.31	19.8	1959.01.19	19.1	1977.02.17	18.1	1961.01.01	17.9
185	고산	2004.01.24	6.0	2004.01.25	5.6	2003.01.05	3.5	2003.01.04	3.2	1990.01.25	2.7
188	성산	1977.02.17	25.4	1977.02.16	24.3	2001.01.16	23.6	1999.12.21	18.5	1994.01.21	16.8
189	서귀포	1963.01.25	37.8	1963.01.30	21.6	1963.01.24	21.0	1963.01.23	20.2	1963.01.26	18.5

제주도 관측기간 동안 바람의 극값들을 살펴보면 최대풍속은 고산에서 51.1m/s로 가장 높은 값을 나타내며 북부해안의 제주지점에서 39.5m/s로 높게 나타난다(그림 2-5-17; 표 2-5-10). 남부해안인 서귀포의 최대풍속은 27m/s이고, 동부해안의 성산에서는 25.9m/s로 가장 작다. 최대순간 풍속의 경우에는 서부와 북부해안의 고산과 제주지점에서 60m/s로 가장 높은 값을 나타내며, 남부와 서부에서는 각각 44m/s와 43m/s의 값을 기록하고 있다(그림 2-5-17; 표 2-5-11). 풍속의 극값 기록들은 태풍과 관련성이 높다. 고산 및 제주의 경우에는 2003년 9월 12일 태풍 매미, 성산의 경우에는 2007년 9월 16일 나리에 의해 기록된 것이다. 서귀포의 순간최대풍속의 경우 1987년 8월 30일 태풍 '다이너', 성산의 경우에는 2007년 9월 16일 '나리', 고산 및 제주의 경우에는 2003년 9월 12일 태풍 '매미'에 의해 기록된 것들이다.

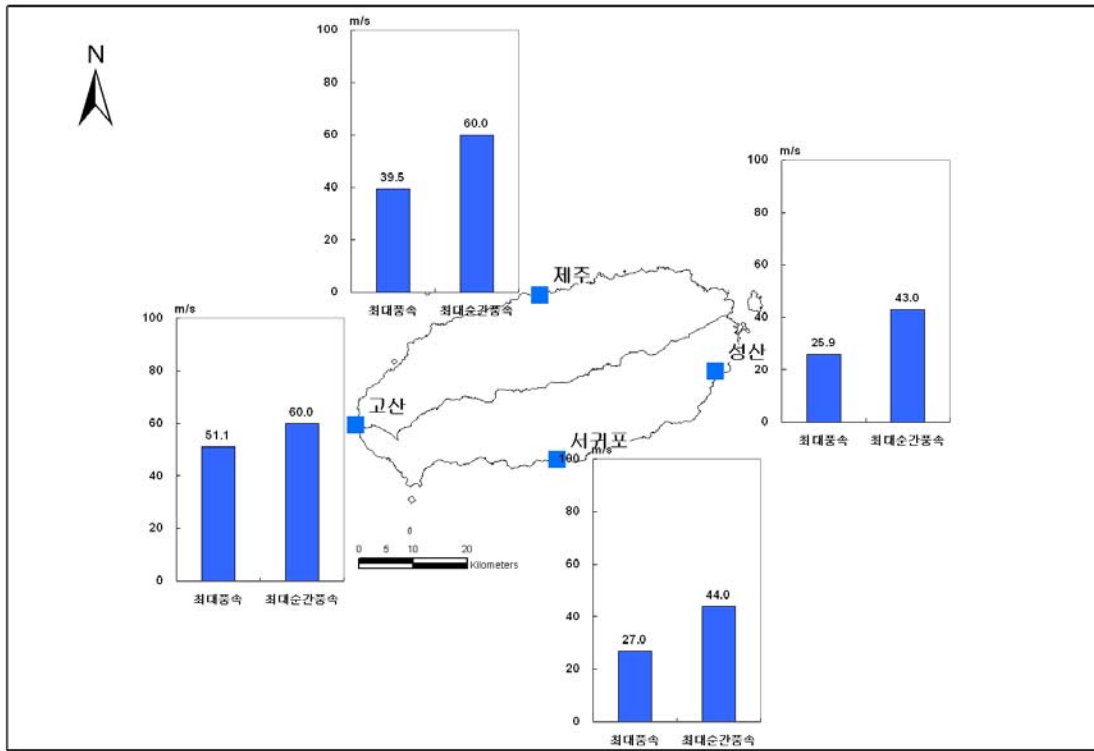


그림 2-5-17. 제주도 최대풍속과 최대순간풍속 공간분포(관측개시일~2010년)

표 2-5-10. 제주도의 최대풍속 극값(관측개시일~2011년 10월 31일) (단위: m/s)

지점	1위	2위		3위		4위		5위			
		날짜	값	날짜	값	날짜	값	날짜	값		
184	제주	2003.09.12	39.5	1933.08.03	36.1	1936.08.27	35.8	1924.11.09	35.8	1959.09.17	33.5
185	고산	2003.09.12	51.1	2002.08.31	43.7	2007.09.16	43.0	2005.12.21	33.9	2005.03.24	33.3
188	성산	2007.09.16	25.9	1985.08.09	24.5	1999.08.03	24.0	1985.08.10	22.0	1972.07.26	21.0
189	서귀포	1961.08.12	27.0	1987.08.31	26.2	1970.08.30	26.0	1964.08.02	26.0	1972.07.26	25.5

표 2-5-11. 제주도의 최대순간풍속 극값(관측개시일~2011년 10월 31일) (단위: m/s)

지점		1위		2위		3위		4위		5위	
		날짜	값	날짜	값	날짜	값	날짜	값	날짜	값
184	제주	2003.09.12	60.0	1959.09.17	46.9	1986.08.28	41.6	1972.07.26	41.5	1985.10.05	38.8
185	고산	2003.09.12	60.0	2002.08.31	56.7	2007.09.16	52.0	2005.02.01	42.7	2005.12.21	41.2
188	성산	2007.09.16	43.0	2003.09.12	37.6	2002.08.31	35.0	1999.08.03	32.4	2006.07.10	30.0
189	서귀포	1987.08.30	44.0	1987.08.31	43.0	1964.08.02	43.0	1999.08.03	41.0	1986.08.28	40.9

### 3) 극한기후사상

이 장에서는 제주도 4개 정규 관측지점의 지난 30년(1981~2010) 자료를 분석하여 기온 및 강수의 극한사상의 시공간적 특징을 살펴보고자 한다. 연, 3개월 단위 계절별 최고기온의 95퍼센타일 및 99퍼센타일 값과, 최저기온의 5퍼센타일 및 1퍼센타일 값, 강수량 95퍼센타일 및 99퍼센타일 값의 공간분포를 분석하였다. 이외에 세계기상기구(World Meteorological Administration; WMO)에서 제시하는 10개의 극한 기후지수와 WMO 극한기후 개발을 위한 세부분야인 기후변화탐지와 지수에 대한 협동 전문가팀 (joint Expert Team on Climate Change Detection and Indices; ETCCDI)에 의해 제시된 27개의 극한 기후지수 중 기후 평균과 관련된 지수들을 제외한 기온극한지수 18개와 강수 극한 지수 10개를 대상으로 30년 평균값을 산출하였다. 상대적 임계치를 사용하는 경우에는 1971~2000년 기후평균을 기준으로 하였고, 30년 평균은 다른 요소들과 동일하게 제주도 4개 정규기상관측지점의 관측기간 동안의 일 최고기온, 일 최저기온, 일강수량 자료에서 각 연도별 극한지수를 산출한 후 최근 30년(1981~2010) 평균값을 구하였다. 관측지점의 관측개시 역사에 따라서 성산 지점은 1973년부터, 고산은 1988년부터 일자료가 존재하기 때문에 고산의 최근 30년 평균산출시에는 1988~2010년 기간 자료만이 사용되었다. 또한 1981~2010년 제주도 해안지역 전체 평균 극한기후지수를 산출하는 데에는 장기간(1971~1987) 자료가 누락된 고산 지점을 제외한 제주, 성산, 서귀포 3개 관측지점의 일자료가 사용되었다.

제주도 4개 정규관측지점의 고온 극한현상과 관련된 연평균 최고기온 95퍼센타일 값은 29.7~31.0℃의 범위를 나타낸다(그림 2-5-18). 계절별로 여름철의 95퍼센타일 값은 30.9~32.9℃로 다소 높아지고, 겨울철에는 16.0~17.3℃으로 상대적으로 감소한다. 여름철 95퍼센타일 값은 대체로 4개 지점에서 유사하나 도시화가 진행된 제주와 서귀포 관측지점에서 약간 더 높게 나타난다. 겨울철 퍼센타일 값은 대체로 위도가 낮거나 북서계절풍의 영

향을 상대적으로 적게 받는 남부해안의 서귀포와 동부해안의 성산에서 약간 더 높게 나타난다.

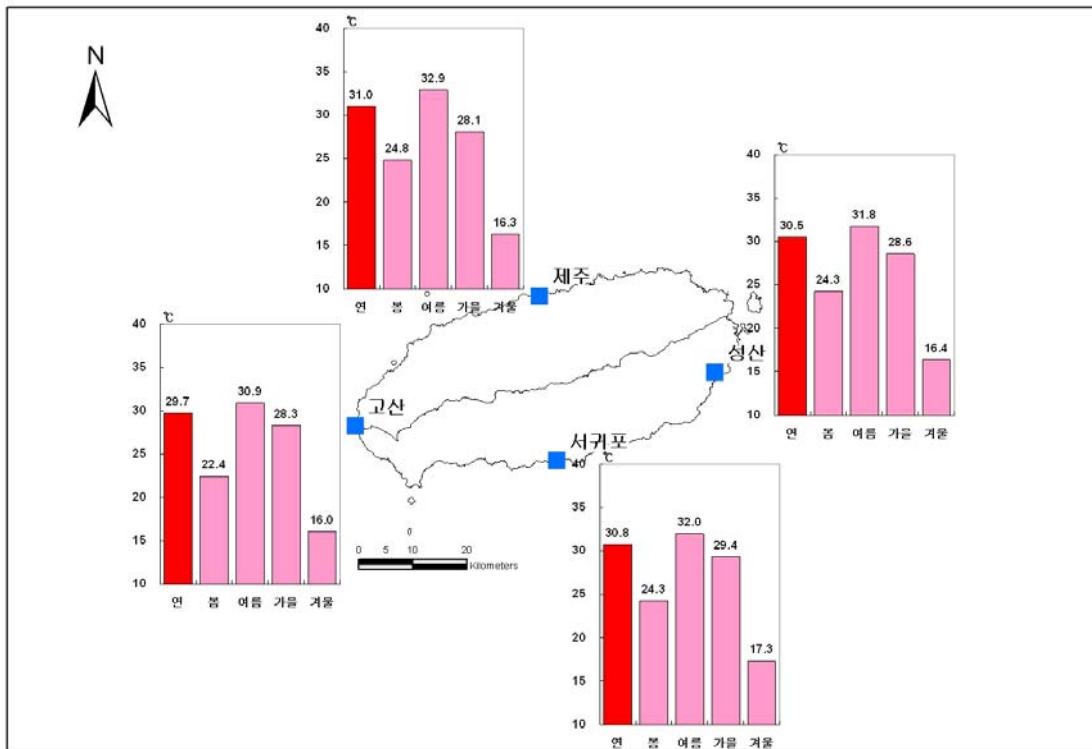


그림 2-5-18. 제주도의 연·계절 최고기온 95퍼센타일 공간분포(1981~2010년)

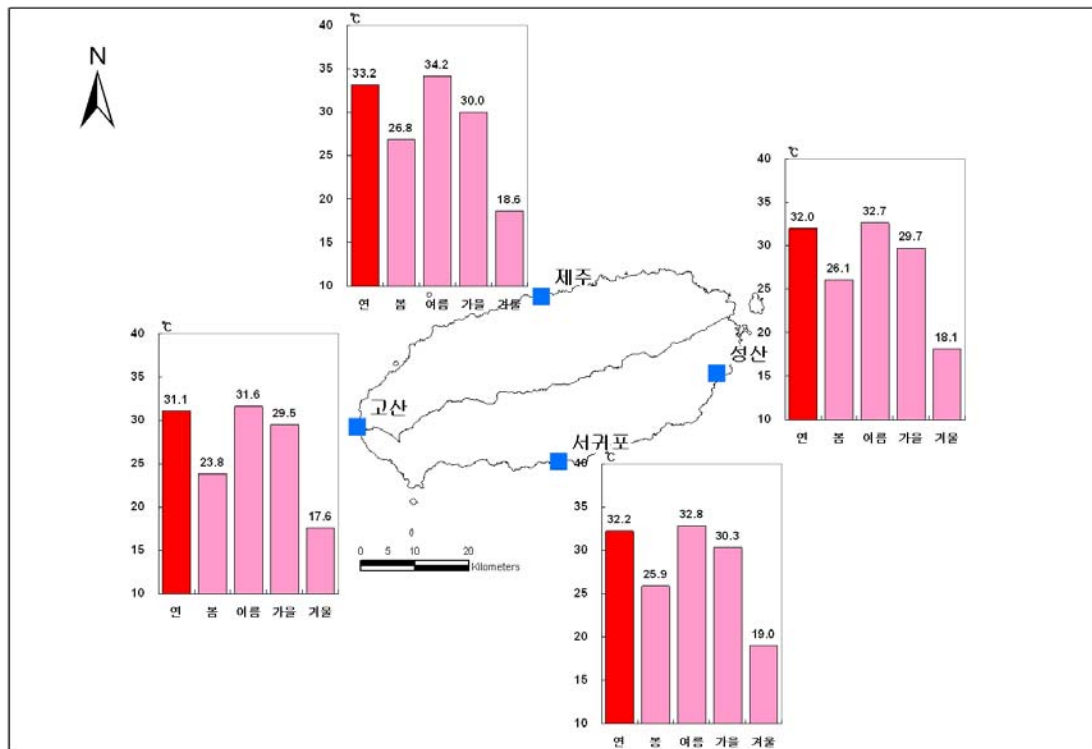


그림 2-5-19. 제주도의 연·계절 최고기온 99퍼센타일 공간분포(1981~2010년)

최고기온 연 99퍼센타일 값의 공간분포를 살펴보면 31.1~33.2℃ 범위를 나타내는데, 95퍼센타일의 경우 비교하여보면 전체적인 경향성은 유사하나 그 값은 약간씩 더 높게 나타난다(그림 2-5-19). 여름철에는 북부해안의 제주 지점에서 99퍼센타일 값이 34.2℃로 남부해안의 서귀포 지점의 값(32.8℃)보다 높게 나타난다. 이는 서귀포의 운량이 평균적으로 더 많고, 북부해안의 제주 지점은 1990년대 이후 주변지역이 도시화된 관측환경의 영향을 받고 있기 때문에 고온극한 현상의 임계치도 위도가 더 높음에도 불구하고 높게 나타나는 것으로 사료된다. 가을철 최고기온 99퍼센타일의 임계치도 29.5~30.3℃으로 봄철에 비하여 최소 3℃이상 높게 나타난다. 가을철에는 공기가 건조하여 주간에 온도상승에 유리하며, 여름철에 데워진 해양도 쉽게 식지 않아 고온을 유지하는데 도움을 주는 것으로 사료된다. 겨울철에는 최고기온 99퍼센타일 값이 17.6~19.0℃으로 현저하게 감소한다.

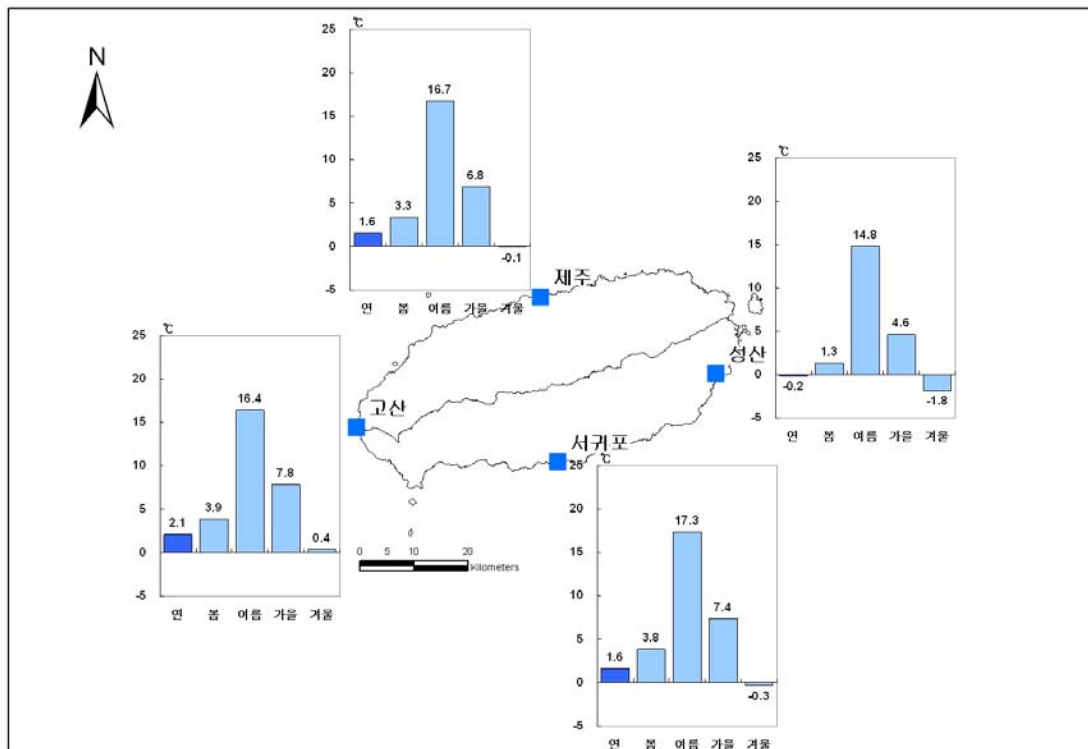


그림 2-5-20. 제주도의 연·계절 최저기온 5퍼센타일 공간분포(1981~2010년)

저온 극한현상과 관련된 30년 평균 연 최저기온 5퍼센타일 값의 공간분포를 살펴보면 -0.2~2.1℃의 범위를 나타낸다(그림 2-5-20). 시베리아 고기압이 확장하여 한파가 한반도 중부지방에 발생할 경우 최저기온이 -10℃이하로 떨어지는 경우도 자주 발생하는 것을 고려하면 제주도는 아열대 지역에 속하여 저온 극한현상의 임계치가 상대적으로 매우 높다는 것을 알 수 있다. 특히 겨울철에도 최저기온 5퍼센타일 값이 -1.8~0.4℃의 범위를 나타내나, 여름철에는 그 임계치가 상승하여 14.8~17.3℃의 범위를 나타낸다. 공간적으로는 겨울철 기온분포와는 달리 최저기온 5퍼센타일 값은 4개 관측지점 중 동부해안의 성산에서 일반적으로 그 값이 낮게 나타난다. 연 최저기온 1퍼센타일 값도 대체로 동부해안

의 성산에서  $-2.1^{\circ}\text{C}$ 로 가장 낮고, 오히려 북부해안의 제주지점에서  $0.0^{\circ}\text{C}$ 로 남부해안의 서귀포 지점의 값( $-0.6^{\circ}\text{C}$ )보다도 더 높게 나타난다(그림 2-5-21). 겨울철 최저기온 1퍼센타일의 값은 성산에서  $-3.1^{\circ}\text{C}$ 로 가장 낮은 값을 보인다. 여름철에는 이 임계치들이 상승하여  $13.3\sim 15.9^{\circ}\text{C}$ 의 범위의 값을 나타내고 특히 공간적으로는 남부해안의 서귀포 지점에서  $15.9^{\circ}\text{C}$ 으로 가장 높은 값을 나타낸다.

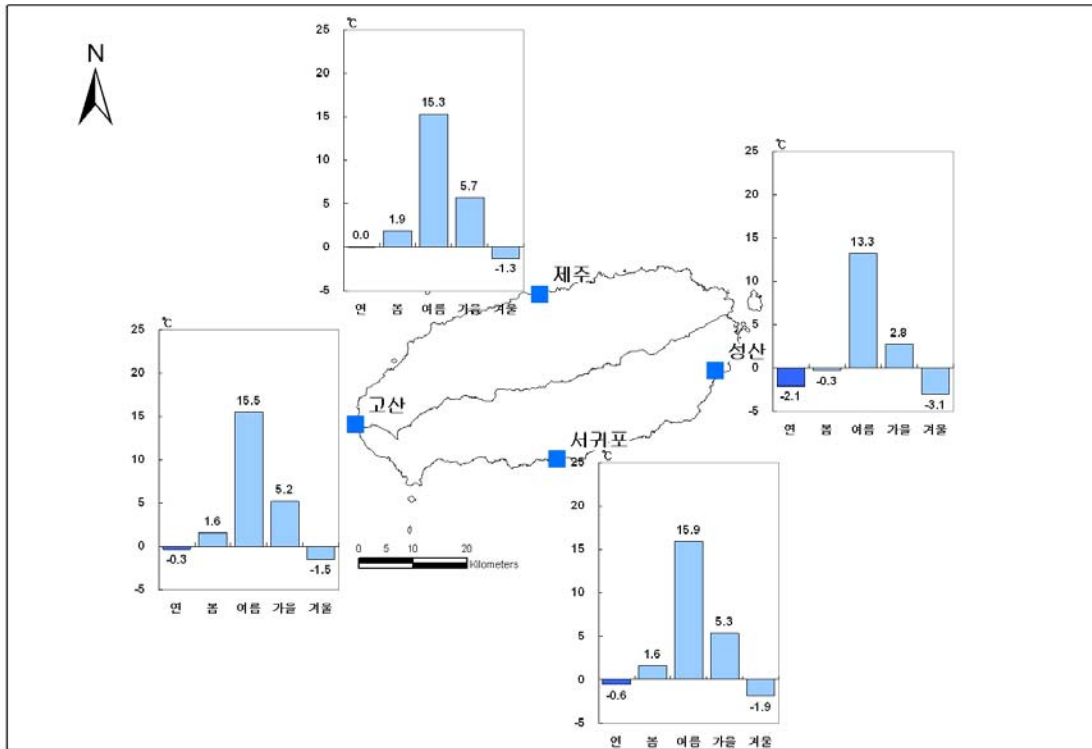


그림 2-5-21. 제주도의 연·계절 최저기온 1퍼센타일 공간분포(1981~2010년)

강수와 관련된 극한현상으로 강수량 95퍼센타일 값을 살펴보면  $18.4\sim 56.8\text{mm}$ 의 범위로 지역별 편차가 크을 알 수 있다(그림 2-5-22). 대체로 연강수량이 상대적으로 많은 남부해안의 서귀포와 동부해안의 성산에서 95퍼센타일 값이 높게 나타난다. 특히 여름철에 두 지점의 강수량 95퍼센타일 값은 약  $71\text{mm}$ 로 매우 강한 호우임을 알 수 있다. 남부와 동부해안지역에서는 봄철과 가을철에도 강수량 95퍼센타일 임계치가  $44.3\sim 56.1\text{mm}$ 로 북부해안이나 서부해안에 비하여 높게 나타난다. 강수량 99퍼센타일 값의 공간분포를 살펴보면 그 임계치는 더욱 증가하여 동부해안이 성산은  $115.6\text{mm}$ , 남부해안의 서귀포는  $112.2\text{mm}$ 로 서부해안의 고산의 값( $50\text{mm}$ )에 비하여 거의 두 배 이상의 값을 나타낸다(그림 2-5-23). 여름철 강수량 99퍼센타일 값의 임계치도 성산  $119.0\text{mm}$ , 서귀포  $113.4\text{mm}$ 로 높게 나타나며, 가을철에도 서부해안의 고산지점을 제외하면  $86.0\text{mm}$  이상의 값을 보인다. 제주도에는 태풍이 한반도로 북상할 때 대부분 이러한 극한 강수형태로 나타난다. 태풍의 경우에도 저기압성 흐름을 보이기 때문에 대체로 반시계 방향의 기류를 유입시켜 남동부 해안지역에 강수극한 현상의 임계치도 상대적으로 높게 나타난다. 특히 기류는 산



사면을 타고 상승할때 호우를 강화시키는데, 실제 한라산 주변 자동기상관측기록에서 관측한 연평균 80mm이상의 강한 호우일의 발생빈도는 해안에서 점차 중산간 및 산간지역으로 갈수록 점차 증가하는 공간 패턴을 보인다(표 2-5-1).

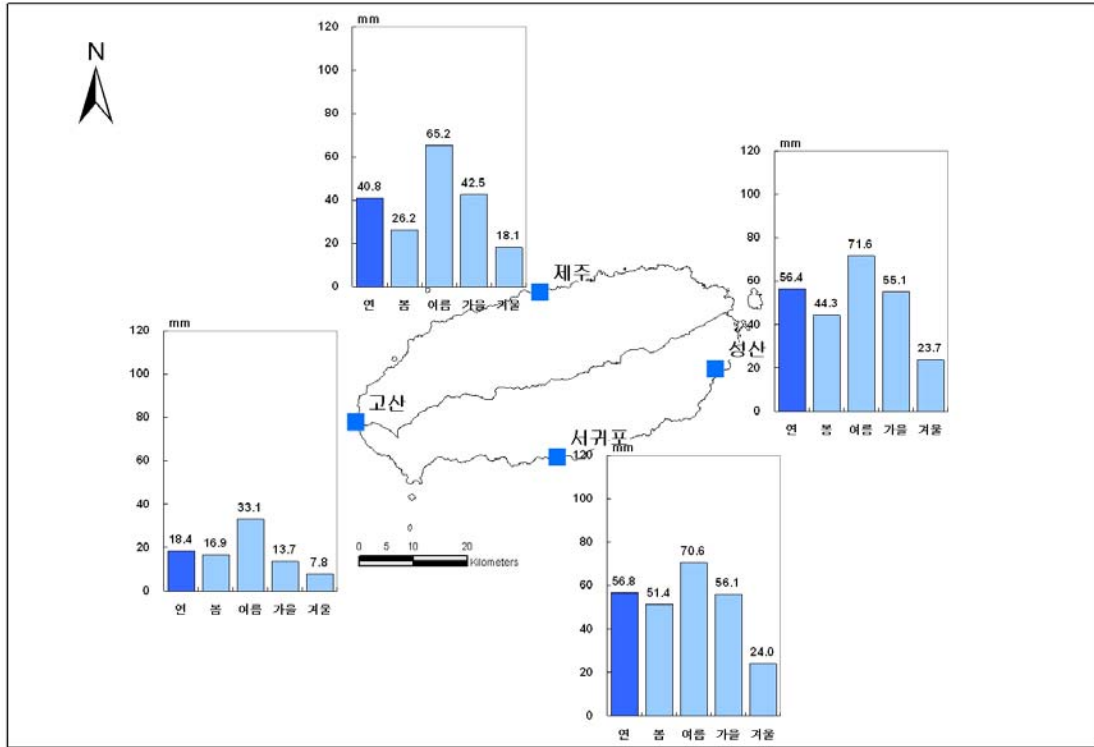


그림 2-5-22. 제주도의 연·계절 강수량 95퍼센타일 공간분포(1981~2010년)

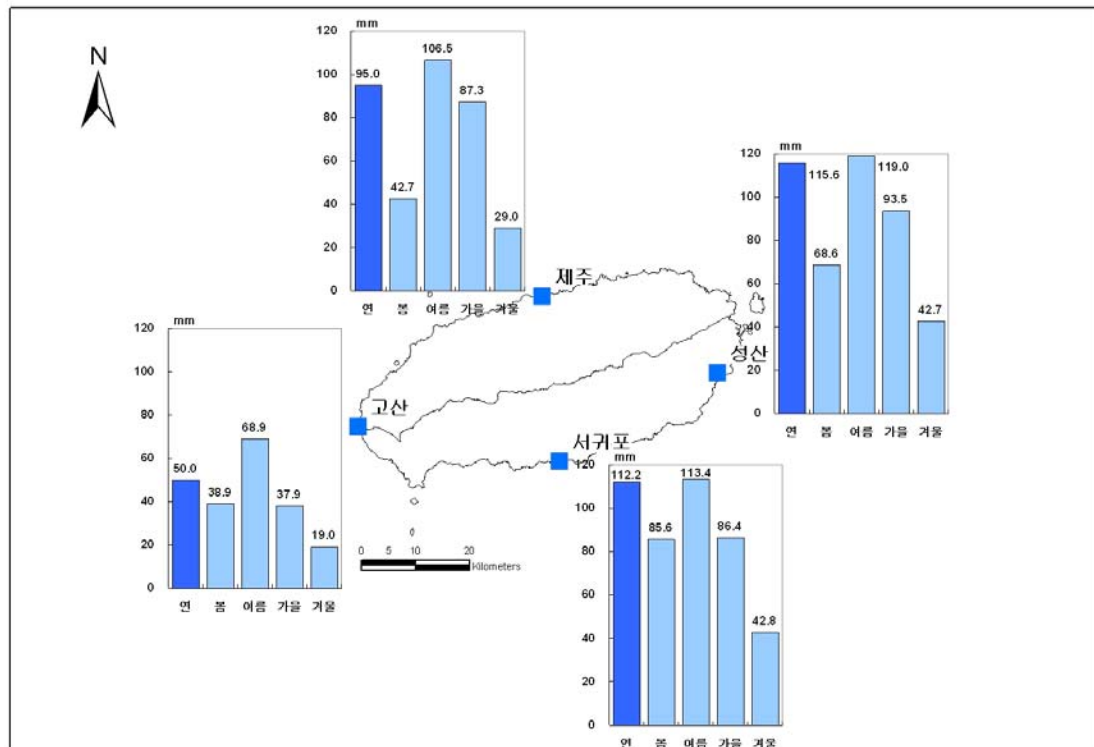


그림 2-5-23. 제주도의 연·계절 강수량 99퍼센타일 공간분포(1981~2010년)

제주도의 최근 30년(1981~2010) 평균 WMO와 ETCCDI에서 제시한 기온극한지수들의 값들을 지역별로 비교하여 보면 표 2-5-2와 같다. 연극한 기온교차는 제주도 해안지역이 평균적으로는 35.1℃인데 지역별로는 북부해안의 제주에서 36.7℃로 가장 높고, 서부해안인 고산에서 33.8℃로 가장 낮다. 저온 기온극한 지수들을 세부적으로 살펴보면, 일최저기온 최저값은 제주도 해안지역이 평균적으로는 -2.3℃이나 동부해안이 성산에서 -3.6℃로 가장 낮고 고산에서 -1.7℃로 가장 높다.

결빙일수(Ice day, 일최고기온 0℃ 미만인 날의 연중 일수)는 제주도 해안지역에서는 0일로 나타난다. 서리일수(Frost day, 일 최저기온 0℃ 미만 날의 연중 일수)도 제주도는 평균적으로 9.3일로 한반도 평균에 비하여 적게 발생하며, 지역에 따라서 동부해안의 성산에서는 23.7일로 상대적인 발생빈도가 높게 나타난다.

식물성장기간(일평균기온이 5℃ 보다 높은 날이 적어도 6일 이상 지속된 첫 날부터 일평균기온이 5℃ 미만인 날이 적어도 6일 이상 지속된 첫 날까지 사이의 연중 일수)도 제주도 해안지역은 평균적으로 365일로 해발고도가 낮은 지역은 연중 상록활엽수 계통의 난대림이 성장할 수 있는 아열대 기후대에 속한 지역임을 알 수 있다. 지역적으로 성산은 한겨울에 약 10일 정도 식물성장기간이 아닌 기간이 존재하기도 한다. 1971~2000년 기준 일최고기온 및 일최저기온 하위 10퍼센타일의 임계치 미만 일수를 나타내는 한랭일(일최고기온이 기준기간의 일최고기온 10퍼센타일 미만인 날의 백분율)율과 한랭야(일최저기온이 기준기간의 일최저기온 10퍼센타일 미만인 날의 백분율)율은 최근 30년(1981~2010) 평균적으로 8.9%와 6.8%로 나타나는데, 자료가 없는 고산을 제외한 3개 지점 중에서는 각각 서귀포와 제주에서 그 값이 낮게 나타난다.

연속 한랭일 지속기간도 제주도 해안지역에서는 1.1일에 불과하다. 그러나 이러한 아열대성 기후대에서 나타나는 저온극한현상이 드문 페턴은 한라산의 해발고도를 따라 중산간과 산간지역으로 올라갈수록 빈번하게 발생하게 된다. 앞에서 제시한 자동기상관측 10년(2001~2010) 평균값에 따르면, 해발고도 600mm 이상의 산간지역에서는 일최저기온 0℃이하일도 89~139일로 증가하고, 심지어 일최고기온 0℃이하일도 20~54일로 증가한다(표 2-5-1).

고온극한현상을 살펴보면, 일최고기온 최고값은 제주도 평균적으로 32.8℃인데 북부해안의 제주지역에서 34.7℃로 가장 높고, 서부해안의 고산에서 32.1℃로 가장 낮다(표 2-5-2). 1971~2000년 기준 일최고기온이 5℃이상 더 높은 최대열파지속기간의 경우에는 제주도 해안지역 평균적으로 0.4일로 낮게 나타난다. 여름일수(Summer day)로 알려진 일최고기온 25℃ 이상인 일수도 제주도 해안지역에서 평균적으로 101.1일이며, 지역별로는 남부해안의 서귀포에서 109.5일로 가장 길고, 서부해안의 고산에서 86.5일로 가장 짧다. 열대야(Tropical night)를 나타내는 일최저기온 25℃ 이상인 일수는 제주도 해안 평균적으로

로 18.0일을 나타내며, 지역에 따라서 서귀포에서 25.4일로 높고, 북부해안 지역이지만 도시화가 진전된 제주지점에서도 21.0일로 상대적으로 높게 나타난다. 이에 비하여 비도시 지역인 서부해안의 고산과 동부해안의 성산에서 각각 16.8일과 11.1일로 상대적으로 낮게 나타난다.

1971~2000년 기준 온난일(일최고기온이 기준기간의 일최고기온 90퍼센타일 보다 높은 날의 백분율)율의 경우에도 최근 30년(1981~2010) 평균적으로는 관측치 산출이 불가능한 고산 지점을 제외하면 서귀포에서 15.6%로 가장 높고 성산에서 12.0일로 낮게 나타나며, 온난야(일최저기온이 기준기간의 일최저기온 90퍼센타일 보다 높은 날의 백분율)율도 유사하게 서귀포에서 15.3%로 가장 높고, 성산에서 12.7%로 가장 낮다. 연속 온난일 지속기간도 서귀포에서 6.8일로 가장 길게 나타나고, 반대로 성산에서는 1.8일로 가장 짧게 나타난다.

표 2-5-12. 제주도 극한기후사상(1981~2010년)

극한기후지수	단위	제주	고산	성산	서귀포	제주도 해안지역
연극한 기온교차	℃	36.7	33.8	36.7	35.6	35.1
식물성장가능기간	일	362.7	365.0	354.9	364.7	365.0
최대열파지속일수	일	0.4	-	0.6	0.4	0.4
일 최저기온 최저	℃	-2.0	-1.7	-3.6	-2.3	-2.3
일 최저기온 최고	℃	27.4	26.4	26.6	27.2	26.7
일 최고기온 최저	℃	2.0	2.4	1.7	3.3	2.6
일 최고기온 최고	℃	34.7	32.1	33.1	33.3	32.8
일 최저기온 0℃ 미만 일수	일	7.1	4.8	23.7	8.9	9.3
일 최고기온 25℃ 이상 일수	일	97.4	86.5	97.8	109.5	101.1
일 최고기온 0℃ 이하 일수	일	0.1	0.0	0.1	0.0	0.0
일 최저기온 25℃ 이상 일수	일	21.0	16.8	11.1	25.4	18.0
일 최저기온 0℃ 이하 일수	일	7.1	4.8	23.7	8.9	9.3
한랭일율	%	8.6	-	9.2	7.4	8.9
온난일율	%	12.4	-	12.0	15.6	13.6
한랭야율	%	6.1	-	7.8	6.4	6.8
온난야율	%	14.0	-	12.7	15.3	14.6
연속 한랭일 지속기간	일	0.4	-	1.1	0.8	1.1
연속 온난일 지속기간	일	1.9	-	1.8	6.8	5.2
10mm이상 강수일수	일	38.2	32.1	46.4	45.7	45.3
20mm이상 강수일수	일	19.9	16.9	28.9	27.7	23.8
80mm이상 강수일수	일	2.8	1.3	4.3	4.3	3.2
1일 최다강수량	mm	161.5	119.5	163.3	168.6	105.7
5일 최다강수량	mm	264.5	188.3	278.4	272.3	257.9
일 강수강도	mm/일	15.4	13.6	19.1	19.9	16.7
95퍼센타일 강수량 비율	%	32.6	28.9	32.4	29.1	31.5
99퍼센타일 이상 누적 강수량	mm	202.5	96.2	208.7	212.5	193.7
일강수량 1mm 이상인 날의 최대지속 일수	일	6.9	5.8	6.7	6.7	8.7
일강수량 1mm 미만인 날의 최대지속 일수	일	22.4	25.6	23.1	24.6	22.4

일반적으로 제주도는 사면이 바다로 둘러싸여 해양성 기후특성이 나타나기 때문에 대기 중 습도가 높아 상대적으로 극한고온 발생빈도는 이보다 더 높은 위도에 있는 한반도

남부지방의 내륙지역보다 낮다. 앞에서 언급한대로 제주의 경우에는 남서기류의 유입이 직접적으로 이루어지는 남부해안의 서귀포에 비하여 운량이 작고 상대습도도 작게 나타난다. 국지적으로 남풍계열의 기류가 유입될 때 한라산을 넘어 이류하면서 편현상이 일어나기도 하며, 국지적으로는 1990년대 이후 도시피복 변화로 제주에서는 열섬효과도 이러한 극한기후의 공간 분포패턴에 영향을 주었을 것으로 사료된다.

강수극한 지수들을 살펴보면 대체적으로 제주도의 남동부 해안지역에서 극한 강수값이 높게 나타나고 남서부 해안지역으로 감소하는 공간패턴을 나타낸다. 연 강수량을 강수일수로 나눈 일강수강도의 30년 평균값을 살펴보면, 동부해안의 성산에서는 19.9mm/일, 남부해안의 서귀포에서는 19.1mm/일인 반면 서부해안의 고산에서는 13.6mm/일, 북부해안의 제주에서는 15.4mm/일로 낮아진다.

절대 임계치를 기준으로 한 10mm 이상 강수일수나 20mm 이상 강수일수, 80mm 이상 강수일수도 모두 북서 해안의 제주와 고산보다는 남동 해안의 서귀포와 성산에서 발생빈도가 높게 나타나고 있다. 80mm 이상의 강수일수는 제주도 해안 평균적으로 3.2일이나 성산과 서귀포에서는 4.3일로 더 높게 나타나고, 반대로 제주와 고산에서는 각각 2.8일과 1.3일로 낮게 나타난다. 1일 최다강수량과 5일 최다강수량, 99퍼센타일 이상 누적 강수량도 유사하게 동부해안의 성산과 남부해안의 서귀포에서 많고, 상대적으로 제주와 고산에서는 이보다는 작은 값을 나타낸다. 동부해안 성산의 30년(1981~2010) 평균 1일 최다강수량은 168.6mm인 반면 서부해안의 고산에서는 119.5mm를 나타낸다. 일강수량 1mm 이상인 날의 최대 지속일수도 동부해안과 서부해안 관측지점 모두 6.7일인 반면 서부해안의 고산에서는 5.8일로 상대적으로 기간이 짧다. 반대로 가뭄과 관련된 일강수량 1mm 미만인 날의 최대지속 일수는 제주도 해안 평균적으로는 8.7일이며, 지역에 따라서는 5.8~6.9일의 공간변동성을 나타낸다.

이러한 내용을 종합하면, 제주도의 호우와 관련된 극한 강수 현상의 공간패턴은 연, 계절 강수량의 패턴과 일치한다. 그 이유는 저기압이 제주도를 통과할 때 반시계 방향으로 기류를 유입시키면서 한라산 지형과 상호작용을 하기 때문인 것으로 사료된다. 또한 해발고도가 높아질수록 이러한 호우 발생빈도는 증가하는데, 앞에서 제시한 10년(2001~2010) 평균 자동기상관측 지점 통계값에 따르면 해발고도 600m이상의 산간지역에서는 80mm 이상의 강수일수가 평균적으로 14.4~15.6일로 해안지역에 비하여 5배 이상 발생빈도가 높음을 알 수 있다.

### **3. 제주도의 기후변화**

1. 기온 / 2. 강수
3. 기타 기후요소
4. 주요 현상일수와 극한기후사상
5. 계절기상관측정보

제주도에서 장기간 기상관측을 해오고 있는 지점 중에 1973년을 기준으로 관측 자료가 존재하는 곳은 북부해안의 제주, 남부해안의 서귀포, 동부해안의 성산 등 3개 지점이다. 서부해안의 고산지점의 자료는 1988년부터 시작되기 때문에 이 연구에서는 장기간 기후 변화 분석에는 참고자료로만 사용되었다. 제주, 서귀포, 성산 세 지점의 일평균 자료를 바탕으로 30년 단위(1971~2000과 1981~2010년 기간)로 작성한 기후그래프(Climograph)에서 연 최고기온, 평균기온, 최저기온 및 연강수량을 분석하였고, 4개 지점은 제주도 동서남북 해안지역을 대표하기 때문에 각 지점별로 세분하여 그 경향을 분석하였다. 지역에 따라 1971년 이전자료가 존재하는 지점의 경우에는 10년 단위 자료도 분석하였다. 기온과 강수량의 장기간 변화율을 정량화하기 위해서 우리나라 전체적인 정규관측지점 자료가 증가하는 1973년 이후 38년(1973~2010)의 자료를 바탕으로 연, 계절별 변화에서 7년 이동평균, 10년 단위 평균, 장기간 변화추세 경향을 분석하였다. 장기간 변화추세를 정량화하기 위하여 38년 기간의 변화에 나타난 경향을 분석 하였고, 그 변화의 통계적 유의성은 비모수검정 방법의 하나인 Kendall-tau를 사용하였다. 본 연구에서는 95% 이상의 통계적 유의성이 나타날 때 유의미한 변화로 간주하였다.

이 연구에서는 기온과 강수량 이외에도 일교차, 상대습도, 운량, 일사량, 일조시간 등의 기타 기후요소들의 연, 계절별 장기간 변화 경향도 분석하였다. 이외에도 제주도의 개별 관측지점별 최근 38년 동안(1973~2010)의 주요 현상일수, 특이기상일과 극한기후사상의 변화양상을 분석하였다. 극한기후지수에서 상대적 임계치를 추출할 경우에는 1971~2000년 평균값을 기준으로 하였다. 사용한 극한기후지수로는 부록에서 제시한 바와 같이 WMO에서 권장하는 10개의 극한기후지수와 연중 일최고기온 및 일최저기온의 상하위 1 또는 5 퍼센타일값과 일강수량의 상위 1 또는 5퍼센타일값을 산출하여 분석하였다. 또한 WMO 극한기후 개발을 위한 세부분과인 기후변화탐지와 지수에 대한 협동 전문가팀(joint Expert Team on Climate Change Detection and Indices; ETCCDI)에 의해 제시된 27개의 극한 기후지수 중 기후 평균과 관련된 지수들을 제외한 18개의 극한기후지수를 산출하여 분석하였다. 연중 특정시기에 주로 관측하는 동식물 생물계절 자료의 경우에는 관측 자료의 결측이 많고, 관측기간도 상대적으로 짧기 때문에 자료의 결측이 상대적으로 적고 뚜렷한 변화가 나타난 경우에만 일부 분석하였다.

제주도에는 남한에서 가장 높은 해발고도를 가진 한라산(해발고도 1,950m)이 존재하지만 산간지역에서 관측한 자료는 개략적으로 2장에서 소개한 바와 같이 지난 10년(2001~2010)정도에 국한된다. 따라서 이 연구에서 제시된 각 기후요소들의 추세 변화율은 장기간 자료가 존재하는 4개 관측지점을 기반으로 한 기후변화 추세에 국한됨에 유의할 필요성이 있다.

# 1. 30년 평균 기후변화

30년 단위 기온과 강수량의 평균값을 비교해 보면 기온의 경우 평균기온, 최고기온, 최저기온 모두 상승하였고, 특히 최저기온이 최고기온보다 더 뚜렷하게 상승하였다(표 3-1-1). 제주도의 평균기온은 1971~2000년 기간에는 15.6℃이었으나, 1981~2010년 기간에는 15.9℃로 0.3℃ 상승하였고, 최고기온은 1971~2000년 기간에 19.2℃이었으나, 1981~2010년 기간에는 19.4℃로 0.2℃ 상승하였으며, 최저기온은 1971~2000년 기간에 12.2℃이었으나, 1981~2010년 기간에는 12.7℃로 0.5℃ 상승하였다. 연 강수량은 1971~2000년 기간에 1,716.2mm이었으나, 1981~2010년 기간에는 1,787.0mm로 70.8mm(4.1%) 증가하였다(표 3-1-1).

제주도의 3개월 단위 계절 평균기온의 변화를 살펴보면 1971~2000년 기간에 비하여 1981~2010년 기간에 평균기온은 겨울철, 봄철, 가을철에 모두 0.3℃로 증가하여 하였고, 여름철 평균기온은 0.2℃ 증가하였다. 계절 평균 최고기온은 봄철에 0.4℃ 증가하였고, 여름철, 가을철, 여름철에 모두 0.3℃ 증가하였다. 계절 평균 최저기온은 가을철에 0.6℃ 상승하였고, 겨울철과 봄철은 0.5℃ 상승하였고, 여름철은 0.4℃ 상승하였다(표 3-1-1).

제주도의 Climograph의 30년 단위 월 평균기온을 비교해 보면, 1971~2000년 평균 보다 최근 1981~2010년 기간에 초가을이나 늦겨울 평균기온이 다른 기간에 비해 상승하였음을 알 수 있다(그림 3-1-1).

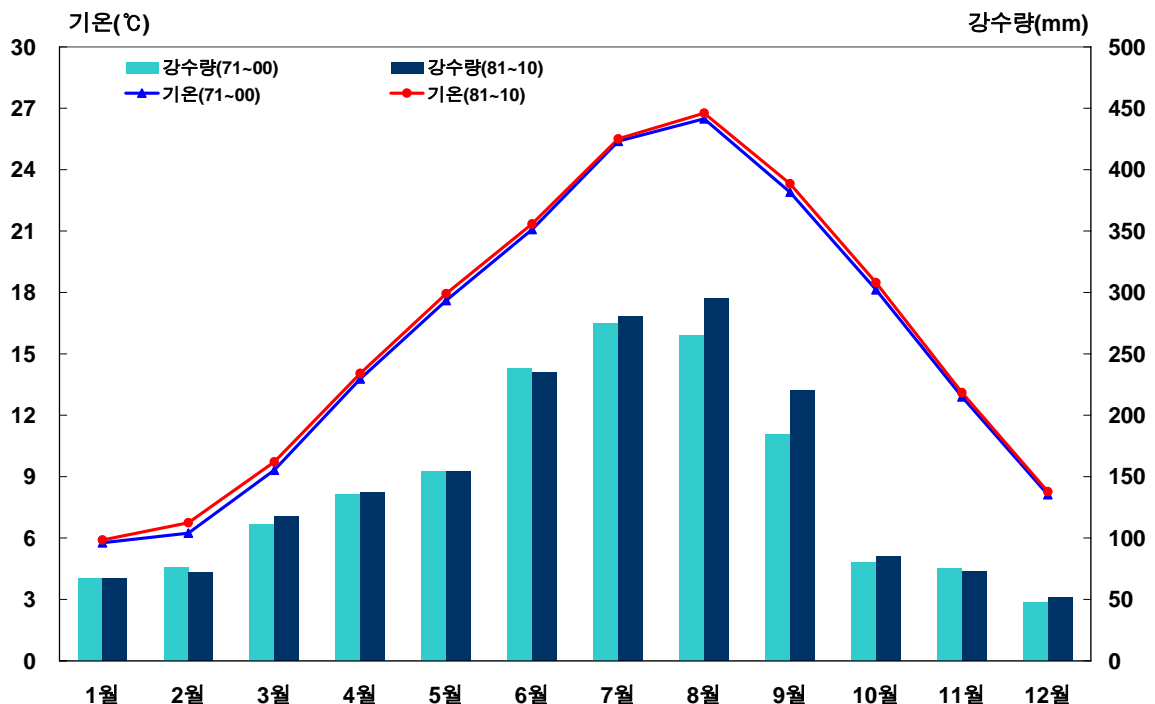


그림 3-1-1. 제주도의 Climograph(1971~2000, 1981~2010)

2월 평균기온은 1971~2000년 기간에 6.2℃이었으나, 최근 1981~2010년 기간에는 6.7℃

로 0.5℃정도 상승하였다. 유사하게 9월 평균기온은 22.9℃에서 최근 1981~2010년 기간에 23.3℃로 0.4℃정도 증가하였다. 이러한 변화는 봄철이 점차 앞당겨져서 겨울철 지속기간이 짧아지고, 여름철이 종료되는 시점이 점차 늦어져 여름철 지속기간이 늘어나고 있다는 연구결과(최광용과 권원태, 2001; 최광용 외, 2006)와 일치한다. 상대적으로 7월에는 0.1℃ 정도로 상승정도가 가장 작게 나타나고 있다(그림 3-1-1). 제주도의 여름철 기온상승률이 겨울철보다 약하게 나타나는 이유는 여름철 강수량의 최근 30년 기간별 변화를 살펴보면 알 수 있다(그림 3-1-1; 표 3-1-1).

제주도의 30년 단위 계절별 강수량의 변화를 살펴보면, 1971~2000년 기간보다 1981~2010년 기간에 여름철 강수량이 29.5mm(3.8%증가), 가을철 강수량은 35.4mm(10.3%), 봄철 강수량은 6.2mm(1.5%) 순으로 증가하였다(그림 3-1-1). 클라이모그래프를 이용하여 1971~2000년과 1981~2010년 사이 월 강수량의 변화를 살펴보면 늦여름과 초가을 사이에 증가하였음을 알 수 있다(그림 3-1-1). 8월 강수량은 1971~2010년 평균 265.1mm이었으나, 1981~2010년 기간 평균적으로 294.7mm로 29.6mm 증가하였다. 유사하게 9월 강수량도 두 기간에 각각 184.6mm에서 220.5mm로 약 35.9mm 증가하였다. 다른 월의 강수량은 대부분이 ±10.0mm이하 범위로 변화가 거의 없는 것으로 나타내고 있다.

표 3-1-1. 제주도의 30년 단위 연·계절 기온과 강수량 변화

지점	변수	기간	1971~2000년	1981~2010년
제주도	평균기온(℃)	연	15.6	15.9
		봄	13.6	13.9
		여름	24.3	24.5
		가을	18.0	18.3
		겨울	6.7	7.0
	최고기온(℃)	연	19.2	19.4
		봄	17.3	17.7
		여름	27.4	27.7
		가을	21.6	21.9
		겨울	10.2	10.5
	최저기온(℃)	연	12.2	12.7
		봄	9.7	10.2
		여름	21.5	21.9
		가을	14.4	15.0
		겨울	3.3	3.8
	강수량(mm)	연	1716.2	1787.0
		봄	402.8	409.0
		여름	780.4	809.9
		가을	342.4	377.8
		겨울	190.4	189.5



각 지점별로 나누어 살펴보면, 북부해안에 위치한 제주 관측지점의 1971~2000년 기간 연평균 기온은 15.5℃가 1981~2010년 기간에는 15.8℃로 0.3℃ 상승하였고, 최고기온은 18.7℃에서 18.9℃로 0.2℃ 상승, 최저기온도 12.4℃에서 12.9℃로 0.5℃상승하였다(표 3-1-2). 즉, 기온의 변화는 모든 관측지점에서 최저기온의 상승이 가장 크고, 평균기온, 최고기온 순으로 나타남을 알 수 있다. 제주의 계절별 기온의 변화를 살펴보면, 가을철 최저기온이 1971~2000년 기간 보다 1981~2010년에 0.6℃ 상승하여 가장 높은 증가를 나타냈고, 봄철과 여름철은 0.5℃, 겨울철은 0.4℃ 상승하였다. 즉, 제주의 계절 평균의 기온변수 중에서 가을철 최저기온이 가장 뚜렷한 변화를 보이고 있음을 알 수 있으며, 여름철 최고기온 상승은 0.2℃로 변화가 가장 약하게 나타났다.

최근 30년에 여름철보다는 늦겨울~초봄 또는 가을철 평균기온이 더욱 뚜렷하게 나타나는 경향은 클라이모그래프의 월별 기후값 비교를 통해 알 수 있다(그림 3-1-2). 제주 관측지점의 2월 평균기온은 1971~2000년에는 5.6℃이었으나 1981~2010년에는 6.4℃로 0.8℃ 상승하였다. 3월 평균기온도 0.8℃ 상승하였으며, 8월 평균기온도 1981~2010년에는 1971~2000년대에 비하여 0.3℃정도로 상승하였으나, 겨울철에 비하여 그 상승률은 상대적으로 작다. 9월의 평균기온도 1981~2010년 기간에 이전 30년 평균과 비교하여 0.4℃상승하였다.

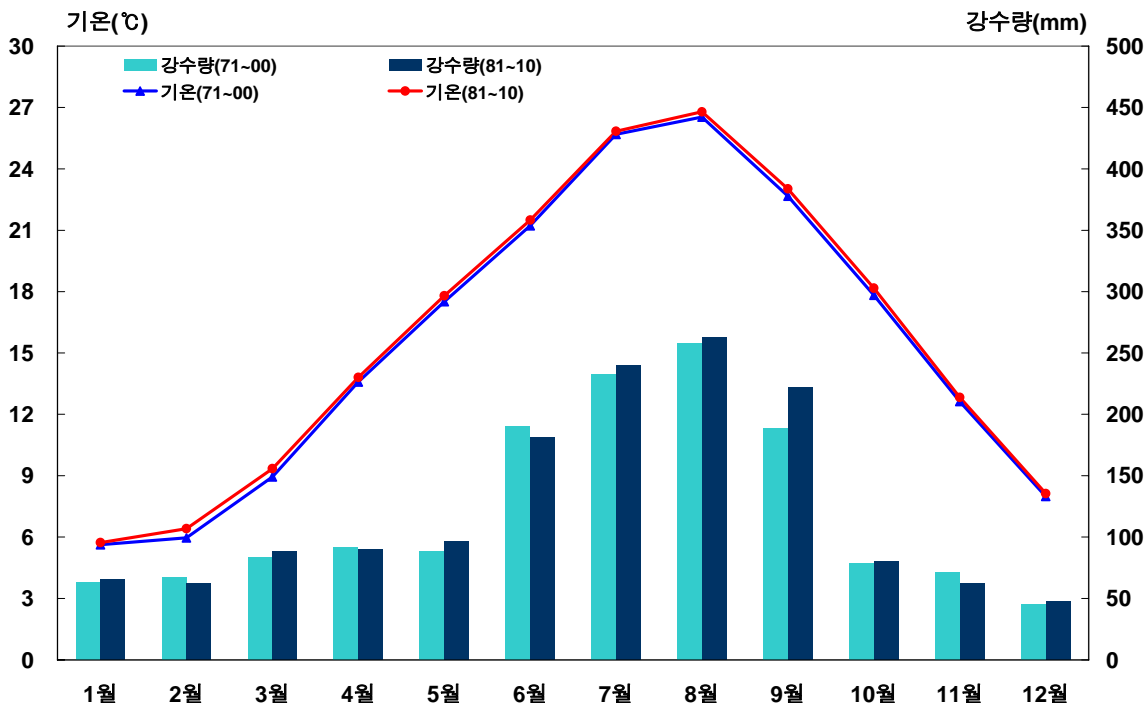


그림 3-1-2. 제주의 Climograph(1971~2000, 1981~2010)

제주의 연강수량은 1971~2000년 기간 1,457.0mm, 1981~2010년 기간에는 1,497.6mm로 40.6mm(2.8%) 증가하였으며, 계절 강수량의 변화는 가을철에 25.5mm(7.5%) 증가하였고

다른 계절의 강수량 증가는 뚜렷하지 않았다(표 3-1-2). 제주의 월별 강수량 변화를 살펴 보면, 여름철 8월과 초가을인 9월 강수량을 중심으로 최근 30년(1981~2010) 기간으로 올 수록 뚜렷하게 증가하였다(그림 3-1-2). 제주의 8월 강수량은 1971~2000년 기간 258.0mm 에서 1981~2010년 기간에는 262.5mm로 21.3mm 증가하였으며, 9월 강수량도 1971~2000년 기간에는 188.2mm, 1981~2010년 기간에는 221.6mm로 42.2mm정도 증가하였다.

표 3-1-2. 제주의 30년 단위 연·계절 기온과 강수량 변화

지점	변수	기간	1971~2000년	1981~2010년
제주	평균기온(°C)	연	15.5	15.8
		봄	13.4	13.7
		여름	24.5	24.7
		가을	17.7	18.0
		겨울	6.5	6.8
	최고기온(°C)	연	18.7	18.9
		봄	16.9	17.3
		여름	27.7	27.9
		가을	20.8	21.1
		겨울	9.4	9.6
	최저기온(°C)	연	12.4	12.9
		봄	9.8	10.3
		여름	21.6	22.1
		가을	14.5	15.1
		겨울	3.7	4.1
	강수량(mm)	연	1,457.0	1,497.6
		봄	263.9	274.5
		여름	680.1	683.8
		가을	338.3	363.8
		겨울	175.8	174.8

남부해안 서귀포의 연 평균기온은 1971~2000년 기간 16.2°C에서 1981~2010년 기간 16.6°C로 0.4°C 상승하였다(표 3-1-3). 이것은 북부해안 제주와 동부해안 성산의 기온상승보다 2배 높은 값이다. 서귀포의 연평균 최고기온은 최근 30년(1981~2010년)에 이전 기간에 비하여 0.4°C 상승하였으며, 연평균 최저기온은 0.5°C 상승하였다. 즉, 서귀포에서도 최저기온의 상승률이 평균기온과 최고기온의 상승률보다 더 높게 나타나고 있음을 알 수 있다. 서귀포의 계절별 30년 단위 기온변화를 살펴보면, 1971~2000년 보다 1981~2010년 기간에 최저기온의 상승은 가을철이 0.7°C 상승, 겨울철은 0.6°C 상승하였으며, 봄철과 여름철은 각각 0.5°C, 0.4°C 상승하였다. 최고기온의 상승은 봄철과 여름철에 0.5°C 상승, 가을철과 겨울철에 0.4°C 상승하였으며, 평균기온의 상승은 가을철 0.5°C 상승, 여름철과 겨울철은 0.4°C 상승, 봄철은 0.2°C 상승하였다(표 3-1-3).

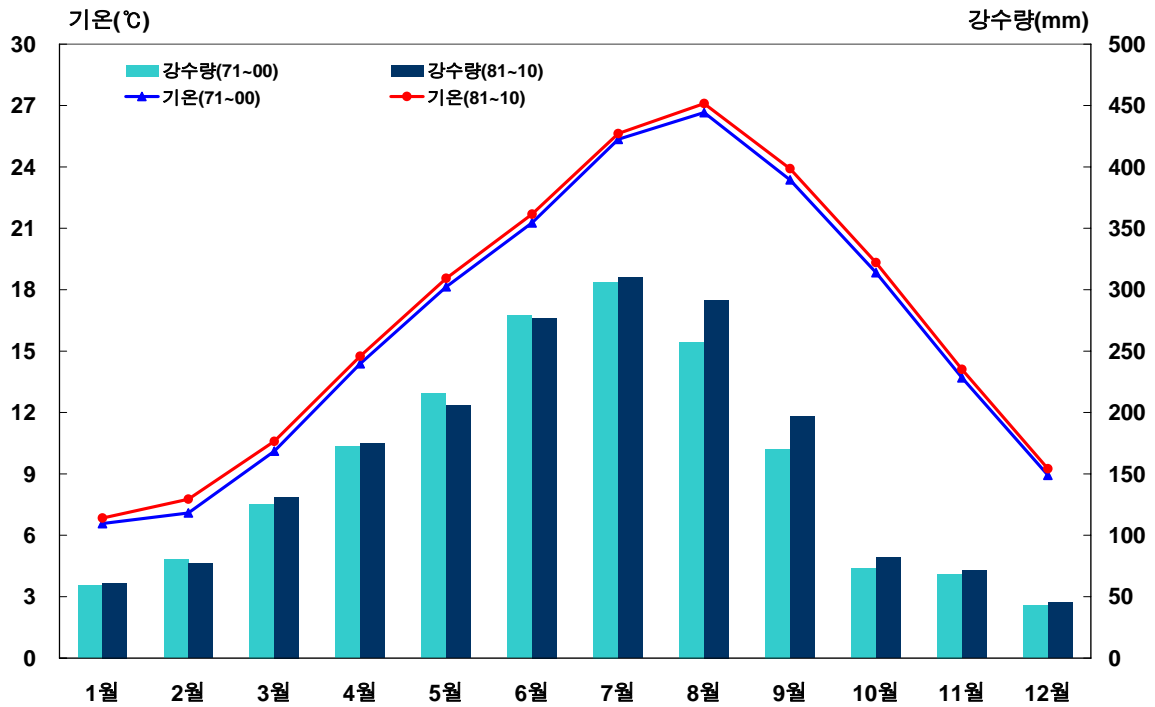


그림 3-1-3. 서귀포의 Climograph(1971~2000, 1981~2010)

표 3-1-3. 서귀포의 30년 단위 연·계절 기온과 강수량 변화

지점	변수	기간	1971~2000년	1981~2010년
서귀포	평균기온(°C)	연	16.2	16.6
		봄	14.2	14.6
		여름	24.4	24.8
		가을	18.6	19.1
		겨울	7.6	8.0
	최고기온(°C)	연	19.8	20.2
		봄	17.8	18.3
		여름	27.2	27.7
		가을	22.6	23.0
		겨울	11.5	11.9
	최저기온(°C)	연	13.0	13.5
		봄	10.7	11.2
		여름	22.0	22.4
		가을	15.2	15.9
		겨울	4.1	4.7
	강수량(mm)	연	1,850.7	1,923.0
		봄	513.2	511.9
		여름	843.1	878.3
		가을	311.4	349.5
		겨울	185.0	182.8

서귀포의 연 강수량은 1971~2000년 기간에 1850.7mm이었으나, 최근 30년(1981~2010년)기간에 1,923.0mm로 72.3mm(3.9%)로 증가하였다(표 3-1-3). 계절별로는 가을철 강수량이 두 기간 사이에 12.2%(38.1mm) 증가하였을 뿐 다른 계절의 변화는 뚜렷하지 않았다.

서귀포의 클라이모그래프를 보면, 2월 평균기온은 1971~2000년에는 7.1℃에서 1981~2010년에는 7.8℃로 0.7℃정도 상승하였으며, 3월 평균기온은 같은 기간에 0.5℃ 상승, 8월 평균기온도 26.7℃에서 27.1℃로 0.4℃상승하였다. 서귀포의 월별 강수량 변화를 살펴보면 제주와 유사하게 8월 강수량은 1981~2010년 기간에 291.6mm로 1971~2000년에 비해 50.5mm 증가하였으며, 9월 강수량도 1981~2010년 기간에는 196.6mm로 1971~2000년 기간 평균값에 비하여 35.7mm 증가하였다.

동부해안 성산의 경우에는 1973~2000년 기간의 연 평균기온은 15.2℃에서 1981~2010년 기간에는 15.4℃로 0.2℃ 상승하였다(표 3-1-4). 이러한 평균기온의 상승정도는 제주와 유사하나, 서귀포의 상승정도와 비교하면 50%에 해당하였다. 연평균 최고기온은 0.1℃ 상승하였으며, 연평균 최저기온은 0.3℃ 상승하여 최고기온 상승률의 3배에 해당한다.

여름철 최고기온은 두 기간 사이에 0.1℃ 상승하였고, 봄철과 가을철 기온도 각각 0.3℃, 0.1℃ 정도만 상승하여 다른 지역에 비하여 상승폭이 작게 나타났다. 최저기온은 봄철과 가을철에 모두 0.5℃로 뚜렷하게 상승한 반면 여름철 최저기온은 0.2℃ 상승하여 북부해안의 제주나 남부해안의 서귀포에 비해 상승폭이 작게 나타났다. 1973년부터 기온 일자료가 존재하는 동부해안의 성산에서도 1973~2000년 2월 평균기온은 5.6℃이었으나, 1981~2010년에는 6.1℃로 0.5℃상승하였다(그림 3-1-4). 반면 성산 8월 평균기온은 1973~2000년 기간에는 26.3℃이었으나, 1981~2010년에는 26.4℃로 상승정도가 0.1℃정도로 상승정도가 겨울철의 20%에 해당하였다.

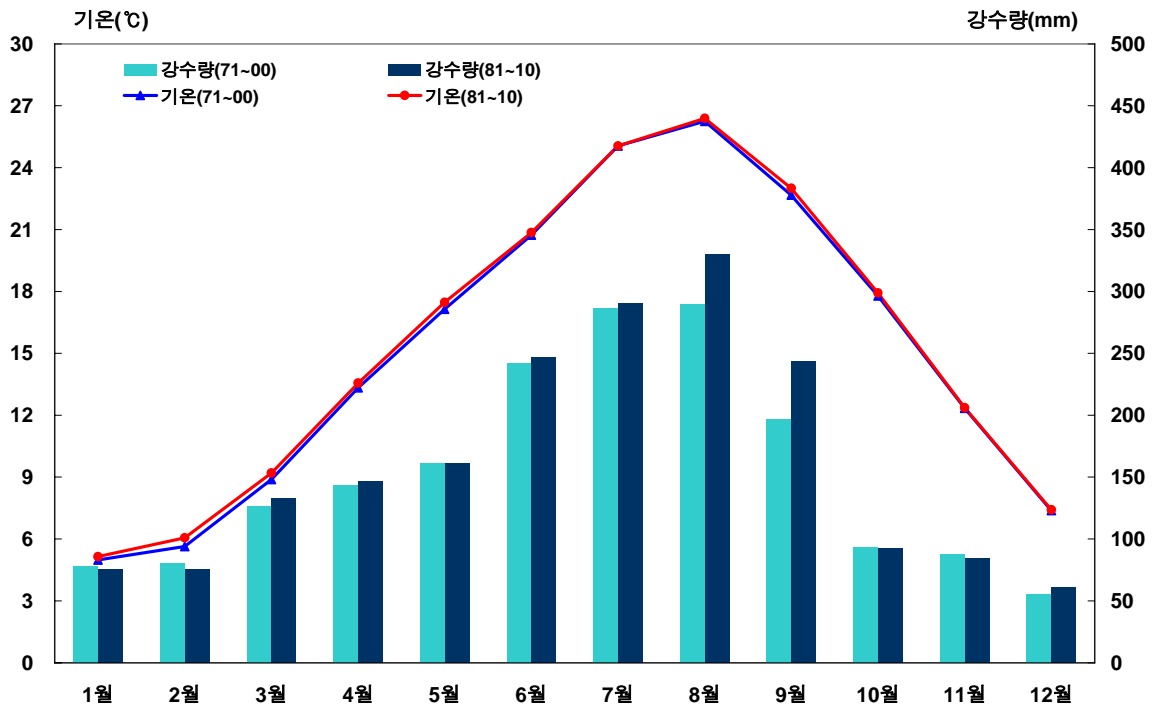


그림 3-1-4. 성산의 Climograph(1973~2000, 1981~2010)

표 3-1-4. 성산의 30년 단위 연·계절 기온과 강수량 변화

지점	변수	기간	1971~2000년	1981~2010년
성산	평균기온(℃)	연	15.2	15.4
		봄	13.1	13.4
		여름	24.0	24.1
		가을	17.6	17.8
		겨울	6.0	6.2
	최고기온(℃)	연	19.0	19.1
		봄	17.3	17.5
		여름	27.3	27.4
		가을	21.5	21.6
		겨울	9.7	10.0
	최저기온(℃)	연	11.3	11.6
		봄	8.5	9.0
		여름	20.9	21.1
		가을	13.5	13.9
		겨울	2.1	2.5
	강수량(mm)	연	1840.9	1,940.3
		봄	431.4	440.6
		여름	818.1	867.7
		가을	377.4	420.1
		겨울	210.5	211.0

성산의 연 강수량은 1973~2000년 기간에 1,840.9mm이었으나, 1981~2010년 기간에는 1,940.3mm로 99.4mm(5.4%) 증가하였다(표 3-1-4). 계절 강수량도 겨울철을 제외한 봄철, 여름철, 가을철 강수량도 각각, 9.2mm(2.1%), 49.6mm(6.1%), 42.7mm(11.3%) 증가하였다. 이러한 강수량 증가경향과는 대조적으로 성산의 월별 강수량 변화를 살펴보면 8월 강수량은 1973~2000년 기간에는 289.5mm이었으나, 1981~2010년 기간에는 329.9mm로 40.4mm 증가하였다(그림 3-1-4). 9월 강수량도 1981~2010년 기간에는 243.2mm로 1973~2000년 기간 평균값에 비하여 46.3mm 증가하였다.

고산지역의 경우에는 관측의 시작이 1988년부터이기 때문에 30년 단위 월별 변화량은 산출할 수 없었다(그림 3-1-5)

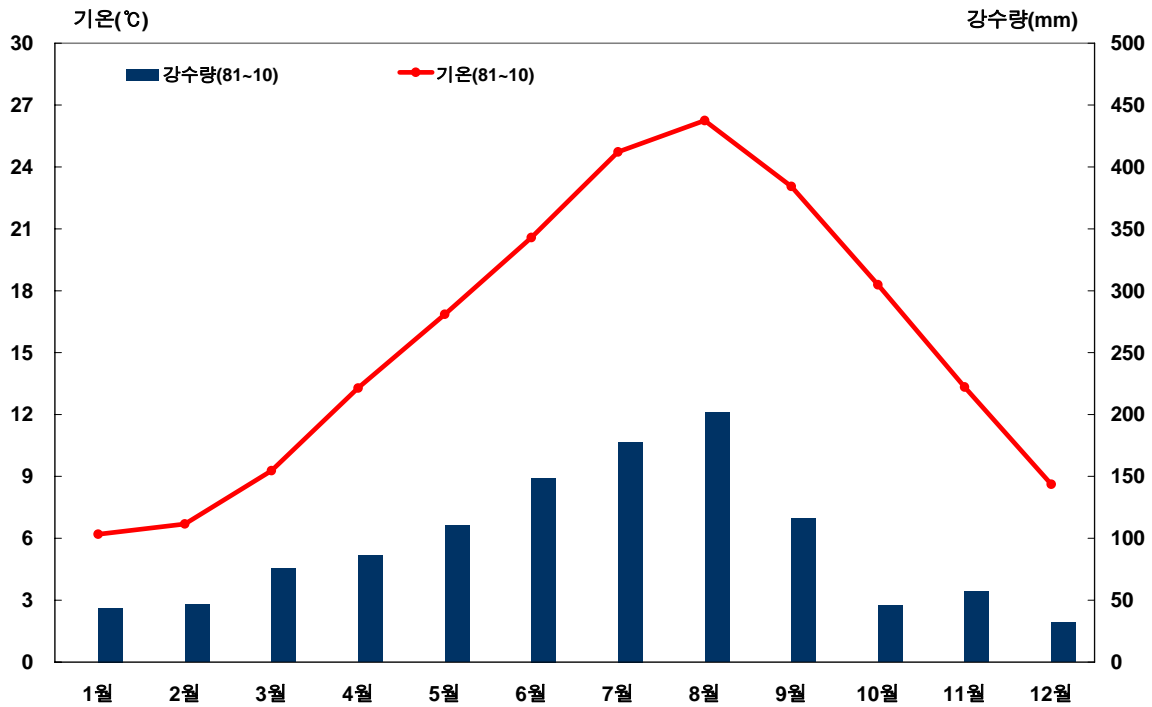


그림 3-1-5. 고산의 Climograph(1988~2010)

이와 같은 30년 연평균 및 월별 제주도 기온과 강수 변화를 종합해 보면, 최고기온보다는 최저기온의 상승이 뚜렷하고 시기적으로는 강수량이 많은 여름철 보다는 가을철과 늦겨울~초봄 사이에 가장 뚜렷한 기온 상승경향이 나타났다. 이러한 패턴은 봄철 시작일이 점차 앞당겨져 겨울철이 짧아지는 반면 가을철 시작일은 점차 늦어져 여름철은 늘어나는 계절 지속기간의 변화와 관련되어 나타난다. 강수량은 늦여름~초가을 사이에 일부 증가하는 경향이 모든 관측지점에 걸쳐 공통적으로 나타났다.

## 2. 장기간(1973~2010) 기후변화 추세

### 1) 기온

제주, 서귀포, 성산 관측 지점을 평균한 제주도 해안지역의 1973~2010년 기간 기온시계열의 변화추세를 분석해 보면, 평균기온, 최고기온, 최저기온 모두 통계적으로 유의성을 가지는 것으로 나타났다. 연 평균기온은 0.32℃/10년의 상승률, 최고기온은 0.29℃/10년의 상승률, 최저기온은 0.50℃/10년의 상승률로, 최저기온의 상승률이 최고기온의 상승률의 약 1.7배 더 크게 나타난다.

3개월 단위 계절별 기온상승률을 살펴보면, 평균기온과 최고기온은 겨울철(12~2월)에 가장 큰 증가율을 보인다. 그 다음으로 봄철(3~5월)과 가을철(9~11월) 상승률이 높게 나타나고, 여름철(6~8월) 상승률이 가장 작게 나타난다(표 3-2-1). 최저기온의 경우에는 가을철 상승률이 가장 높게 나타나고, 겨울철, 봄철, 여름철 순서로 상승률이 점차적으로 작아지는 경향을 보인다. 구체적으로 제주도 해안지역 겨울철 평균기온은 0.46℃/10년으로 가장 높고, 여름철 상승률은 0.20℃/10년으로 가장 낮다. 최저기온의 경우에는 가을철 상승률이 0.61℃/10년으로 가장 높고, 겨울철 상승률은 0.60℃/10년, 봄철 상승률은 0.49℃/10년, 여름철 상승률은 0.39℃/10년으로 점차 작아진다. 최고기온은 겨울철 상승률이 0.40℃/10년으로 가장 높고, 봄철 상승률은 0.33℃/10년, 가을철 상승률은 0.30℃/10년으로 나타나며, 여름철 상승률은 0.20℃/10년으로 가장 작고 통계적 유의성도 낮다. 이를 종합하면, 제주도 해안지역은 평균적으로 최저기온의 상승률이 최저기온의 상승률보다 대부분의 계절에 뚜렷하게 나타나며, 특히 계절적으로도 겨울철 기온상승률이 가장 뚜렷하게 나타나고, 여름철 기온상승률은 미약하며 통계적 유의성도 매우 낮음을 알 수 있다. 월별 변화에서도 초봄과 초가을에 해당하는 시기의 기온상승 경향이 통계적으로 유의미한 증가경향을 나타내고 있다(표 3-2-2).

표 3-2-1. 제주도 해안지역의 연-계절 평균기온, 최고기온, 최저기온의 변화율(1973~2010) (단위: °C/년)

지점	기간	연	봄	여름	가을	겨울
제주도 해안지역	평균기온	0.032**	0.032**	0.022	0.036**	0.046**
	최고기온	0.029**	0.033**	0.020	0.030**	0.040*
	최저기온	0.050**	0.050**	0.039**	0.061**	0.060**

\*유의수준  $\alpha=0.05$ , \*\*유의수준  $\alpha=0.01$

표 3-2-2. 제주도 해안지역의 월 평균기온, 최고기온, 최저기온 변화율(1973~2010) (단위: °C/년)

지점	기간	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
제주도 해안 지역	평균기온	0.036	0.056*	0.041**	0.022	0.032**	0.026*	0.016	0.025	0.044**	0.034**	0.031	0.027
	최고기온	0.031	0.056*	0.044**	0.025*	0.029**	0.019	0.017	0.024	0.032*	0.029*	0.030	0.018
	최저기온	0.050*	0.063**	0.051**	0.044**	0.055**	0.047**	0.026	0.043**	0.075**	0.060**	0.047*	0.043*

\*유의수준  $\alpha=0.05$ , \*\*유의수준  $\alpha=0.01$

연평균 기온의 7년 이동평균과 10년 단위 평균값을 살펴보면, 지난 38년간 지속적으로 상승하는 경향이 나타난다(그림 3-2-1). 특히 1970년대와 1980년대 보다는 1990년대에 기온 상승경향이 가장 뚜렷하게 나타나다가 최근 2000년대에 다시 약화되는 경향을 보이고 있다. 제주도 해안지역 평균기온은 1971~1980년 기간에는 15.4℃이었으나, 각 이전 10년 기간에 비하여 1981~1990년 기간에는 0.2℃, 1991~2000년 기간에는 0.4℃, 2001~2010년 기간에는 0.3℃ 증가한 것으로 나타난다(그림 3-2-1; 표 3-2-3).

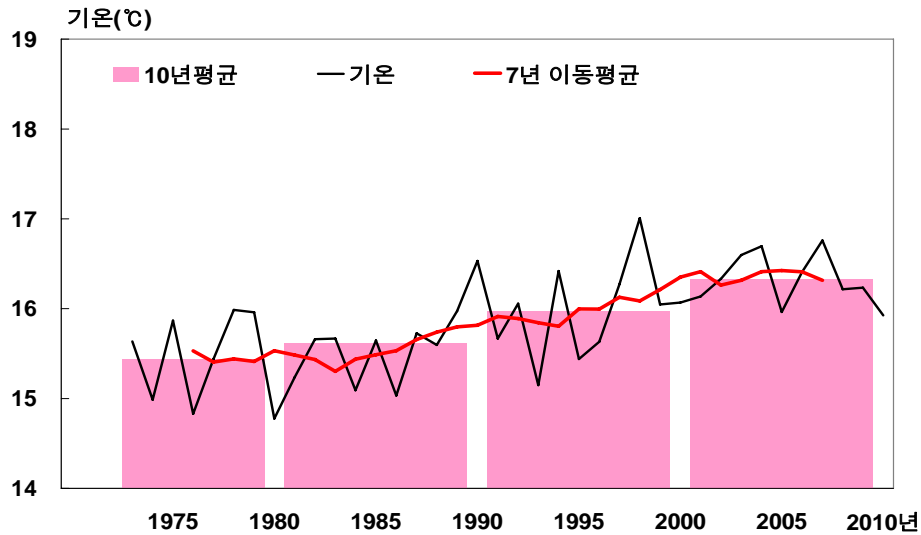


그림 3-2-1. 제주도 해안지역의 연평균기온 변화(1973~2010)

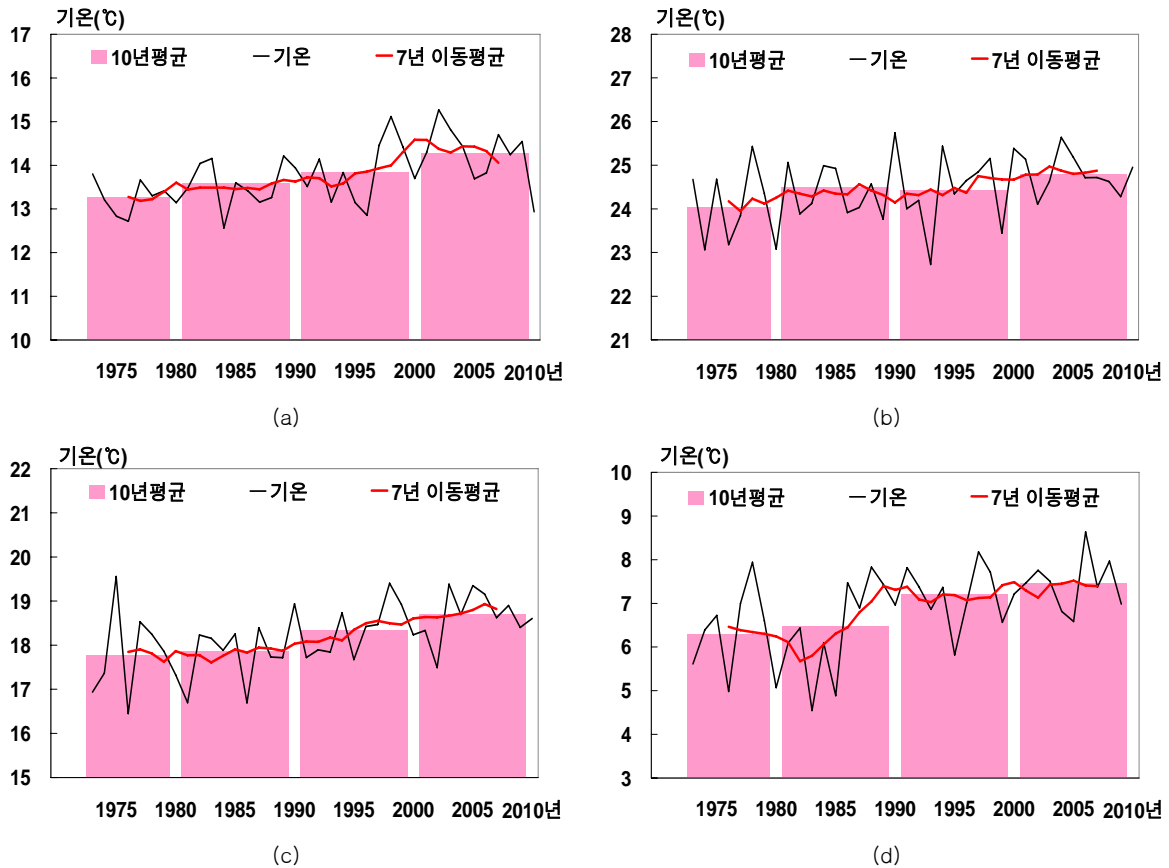


그림 3-2-2. 제주도 해안지역의 계절별 평균기온 변화(1973~2010) (a)봄철, (b)여름철, (c)가을철, (d)겨울철



사계절 중에서는 여름철에는 변화가 가장 뚜렷하지 않고, 봄철과 가을철은 점진적으로 증가하는 패턴을 보이거나, 겨울철 1981-1990년 평균기온이 1991-2000년대에 가장 뚜렷한 상승 경향을 나타낸다(그림 3-2-2). 두 기간에 겨울철 평균기온은 0.7℃ 상승하였다.

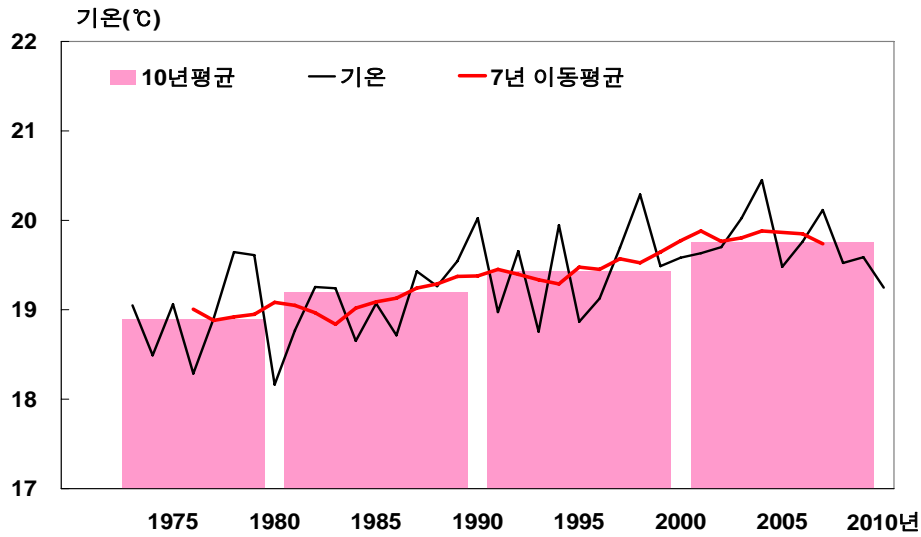


그림 3-2-3. 제주도 해안지역의 연최고기온 변화(1973~2010)

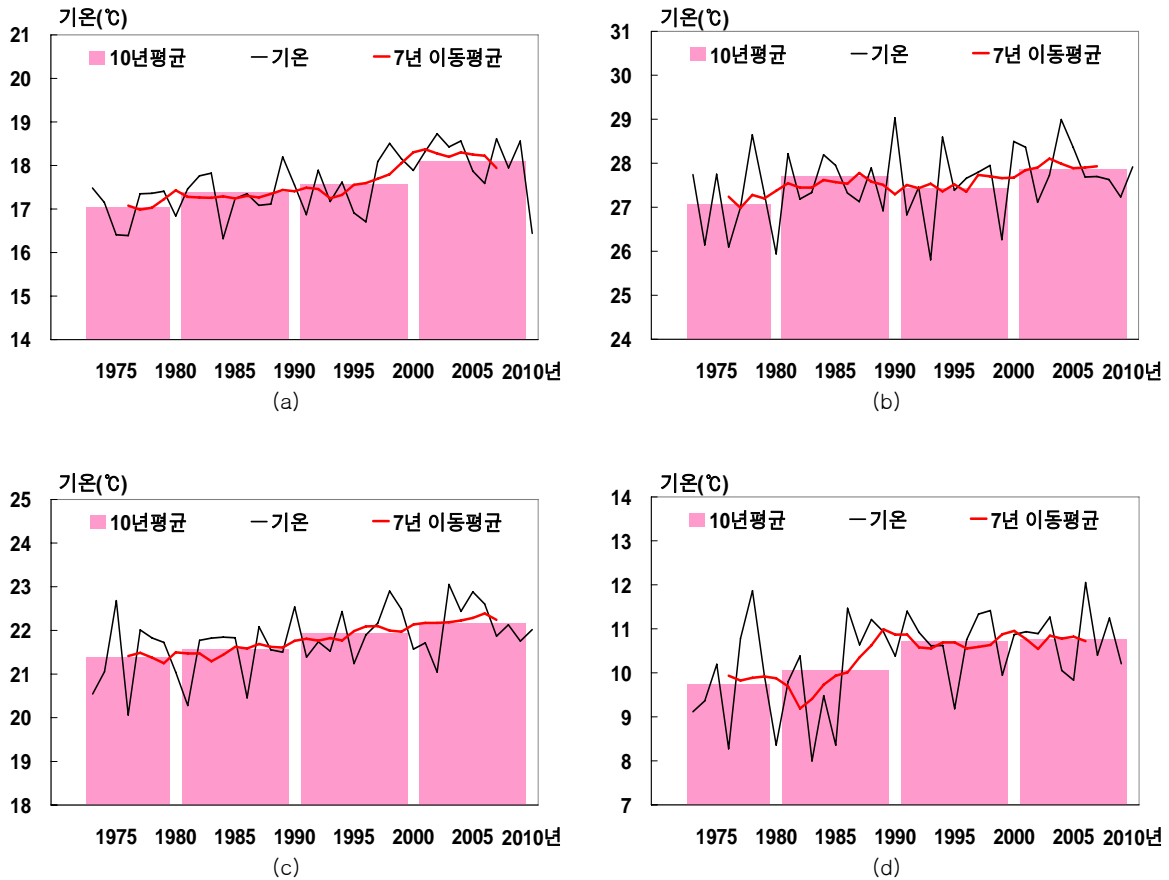


그림 3-2-4. 제주도 해안지역의 계절별 최고기온 변화(1973~2010) (a)봄철, (b)여름철, (c)가을철, (d)겨울철

최고기온의 경우에는 오히려 2000년대 이전보다 최근 10년(2001~2010)기간에 더 뚜렷한 증가경향을 나타낸다. 1971~1980년 기간에는 연최고기온이 18.9℃이었으나, 각 이전 10년 기간에 비하여 1981~1990년 기간에는 0.3℃, 1991~2000년 기간에는 0.2℃, 2001~2010년 기간에는 0.4℃ 증가한 것으로 나타난다(그림 3-2-3; 표 3-2-3). 사계절 변화는 평균기온과 마찬가지로 여름철은 약한 상승, 봄철과 가을철은 점진적인 상승, 겨울철은 1980년대 후반 급격한 상승 경향을 나타낸다(그림 3-2-4).

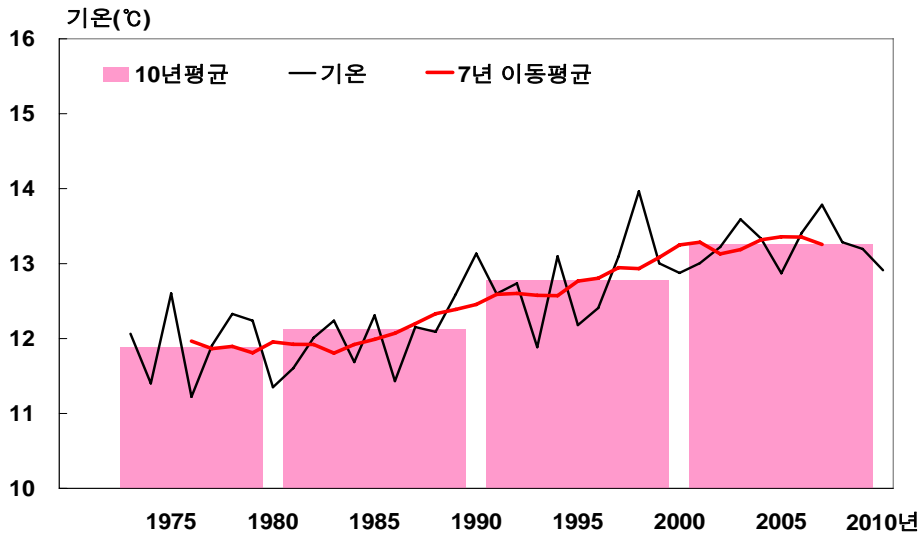


그림 3-2-5. 제주도 해안지역의 연최저기온 변화(1973~2010)

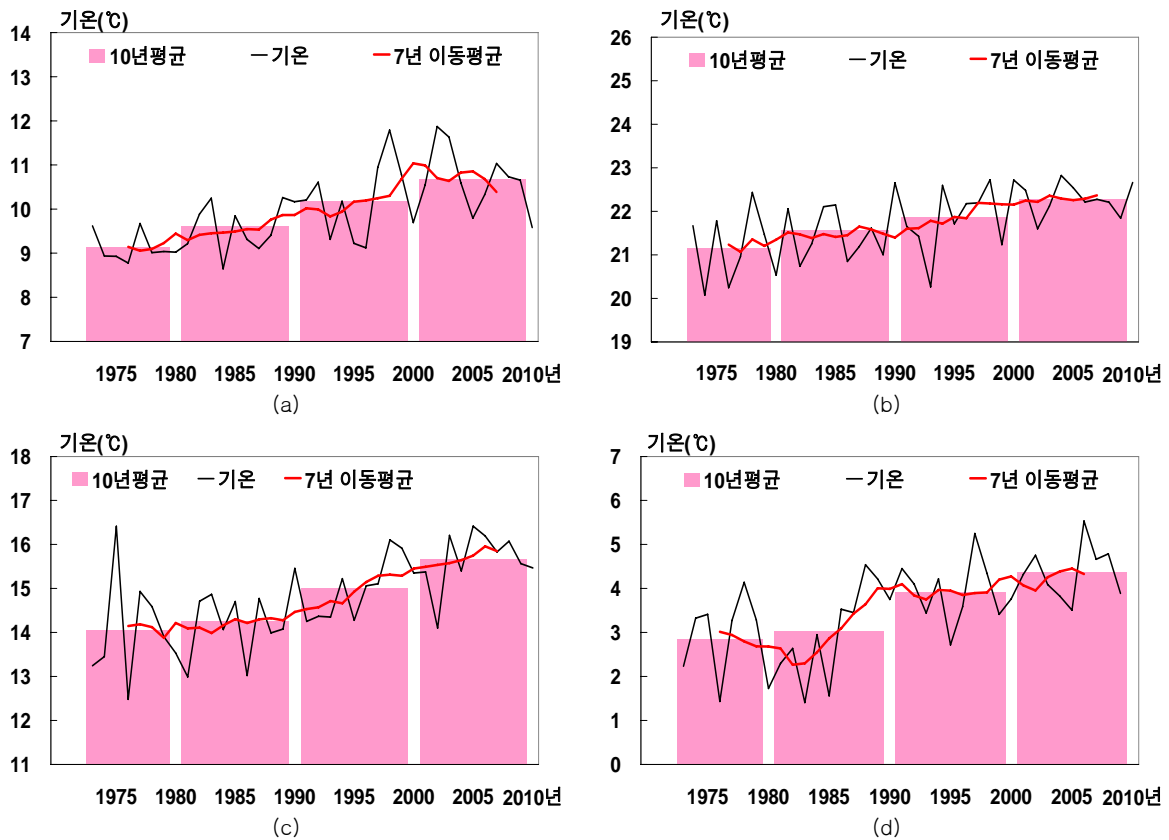


그림 3-2-6. 제주도 해안지역의 계절별 최저기온 변화(1973~2010) (a)봄철, (b)여름철, (c)가을철, (d)겨울철

최저기온의 경우에는 연평균기온 경향과 유사하게 1971~1980년 기간에는 11.9℃이었으나, 이전 10년 기간들에 비하여 1981~1990년 기간에는 0.2℃, 1991~2000년 기간에는 0.7℃, 2001~2010년 기간에는 0.5℃ 증가하였다(그림 3-2-5; 표 3-2-3). 사계절 변화경향을 살펴보면, 가을철은 1990년대에 뚜렷한 상승, 겨울철은 1980년대 급격한 상승 경향을 보인다(그림 3-2-6). 겨울철 최저기온은 1981-1990년보다 1991-2000년에 0.9℃ 증가하였다.

표 3-2-3. 제주도 해안지역의 10년 단위 기온(관측이래~2010년) (단위: ℃)

기간	1911~ 1920년	1921~ 1930년	1931~ 1940년	1941~ 1950년	1951~ 1960년	1961~ 1970년	1971~ 1980년	1981~ 1990년	1991~ 2000년	2001~ 2010년
평균기온							15.4	15.6	16.0	16.3
최고기온							18.9	19.2	19.4	19.8
최저기온							11.9	12.1	12.8	13.3

각 지점별 기온의 변화추세를 살펴보면, 세 관측지점 중 연 평균기온, 최저기온, 최고기온 상승률은 모두 남부해안의 서귀포에서 가장 높게 나타나고, 북부해안의 제주, 동부해안의 성산 순으로 상승률이 점차 낮아지고 있다(표 3-2-4). 모든 관측지점에서 계절별로는 기온변수에 따라 다소 차이를 보이지만, 최저기온은 가을철에, 최고기온과 평균기온은 겨울철에 가장 큰 상승률을 보이고 있다. 사계절 중 여름철 기온변수들의 변화율이 가장 낮고, 통계적 유의성도 낮아지는 경향을 보이고 있다. 특히 동부해안 성산의 경우에는 가을철 기온변수의 통계적 유의성도 낮은 것으로 나타나고 있다.

일반적으로 연평균 최저기온은 연평균 평균기온보다 더 높은 상승률을 나타내지만, 연평균 최고기온은 낮은 상승률을 나타낸다(표 3-2-4). 3개 관측지점 연평균기온 상승률을 비교해 보면, 남부해안 서귀포 관측지점에서 0.45℃/10년으로 가장 높고, 북부해안 제주에서 0.32℃/10년, 동부해안 성산에서 0.20℃/10년으로 작아진다. 북부해안 제주의 기온 상승률과 동부해안의 성산의 기온 상승률을 비교하면 제주의 상승률이 0.18~0.25℃/10년 더 높게 나타난다.

최저기온 상승률도 남부해안의 서귀포에서 0.59℃/10년으로 가장 높고, 북부해안의 제주 0.50℃/10년, 동부해안의 성산 0.41℃/10년 순으로 점차 작아진다. 최고기온 상승률은 서귀포에서 0.40℃/10년으로 가장 높게 나타나고, 제주에서 0.29℃/10년, 성산에서 0.19℃/10년 정도로 최저기온 상승률과 비교하여 1.9~2.2℃/10년 정도 더 낮게 나타난다.

표 3-2-4. 제주도 해안지역의 연·계절 평균기온, 최고기온, 최저기온의 변화율(1973~2010) (단위: °C/년)

지점	기간	연	봄	여름	가을	겨울
제주	평균기온	0.032**	0.031**	0.026	0.034**	0.044**
	최고기온	0.029**	0.034**	0.022	0.027*	0.040*
	최저기온	0.050**	0.049**	0.043**	0.059**	0.057**
서귀포	평균기온	0.045**	0.039**	0.037**	0.052**	0.061**
	최고기온	0.040**	0.041**	0.039**	0.042**	0.045**
	최저기온	0.059**	0.051**	0.046**	0.071**	0.077**
성산	평균기온	0.020*	0.025**	0.004	0.023	0.035
	최고기온	0.019*	0.023**	-0.001	0.022	0.036
	최저기온	0.041**	0.050**	0.026*	0.052**	0.045*

\*유의수준  $\alpha=0.05$ , \*\*유의수준  $\alpha=0.01$

표 3-2-5. 제주도 월 평균기온, 최고기온, 최저기온 변화율(1973~2010) (단위: °C/년)

지점	기간	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
제주	평균기온	0.035	0.051*	0.043**	0.020	0.031**	0.030*	0.022	0.027	0.039**	0.033*	0.031	0.023
	최고기온	0.028	0.057*	0.052**	0.023*	0.027**	0.019	0.022	0.025	0.025*	0.026*	0.030	0.016
	최저기온	0.050*	0.059**	0.053**	0.042**	0.050**	0.047**	0.032	0.051**	0.071**	0.060**	0.045*	0.038*
서귀포	평균기온	0.047*	0.071**	0.047**	0.031**	0.038**	0.041**	0.031	0.038*	0.057**	0.049**	0.050**	0.045*
	최고기온	0.036	0.056*	0.045**	0.034**	0.043**	0.041**	0.037	0.038*	0.046**	0.042**	0.040*	0.024
	최저기온	0.063**	0.080**	0.057**	0.044**	0.053**	0.055**	0.035	0.050**	0.083**	0.067**	0.063**	0.064**
성산	평균기온	0.027	0.045	0.032*	0.016	0.027*	0.009	-0.005	0.009	0.035*	0.020	0.014	0.014
	최고기온	0.029	0.055*	0.036**	0.016	0.017	-0.004	-0.009	0.009	0.025	0.020	0.020	0.012
	최저기온	0.037*	0.048	0.043**	0.044	0.063**	0.038*	0.011	0.030*	0.071**	0.054**	0.032	0.028

\*유의수준  $\alpha=0.05$ , \*\*유의수준  $\alpha=0.01$

계절별, 지역별 기온 상승률을 살펴보면, 세 가지 기온 변수 중 남부해안의 서귀포 겨울철 최저기온 상승률은  $0.77^{\circ}\text{C}/10\text{년}$ 으로 가장 높게 나타나고, 가을철 최저기온 상승률도  $0.71^{\circ}\text{C}/10\text{년}$ 으로 높게 나타난다(표 3-2-4). 북부해안 제주의 가을철 최저기온도  $0.59^{\circ}\text{C}/10\text{년}$ , 동부해안의 성산 가을철 최저기온도  $0.52^{\circ}\text{C}/10\text{년}$ 으로 다른 계절의 기온변수에 비하여 그 상승률이 가장 높게 나타난다. 최저기온 상승률은 모든 관측지점에서 사계절 중 그 상승률이 가장 낮은 여름철에도 통계적 유의성 있는 변화를 나타낸다. 세 지점 중 남부해안의 서귀포에서 여름철 최저기온 상승률은  $0.46^{\circ}\text{C}/10\text{년}$ 으로 가장 높고, 북부해안의 제주에서  $0.43^{\circ}\text{C}/10\text{년}$ , 동부해안의 성산에서  $0.26^{\circ}\text{C}/10\text{년}$ 으로 점차 상승률이 낮아진다. 따라서 최저기온의 상승률은 대부분의 계절과 관측지점에 걸쳐 최고기온의 상승률보다 높게 나타나고 있다.

최고기온의 경우에는 세 지점 중 남부해안 서귀포의 겨울철에 상승률이  $0.45^{\circ}\text{C}/10\text{년}$ 으로

로 가장 높고, 북부해안 제주의 상승률은 0.40℃/10년, 동부해안 성산의 상승률이 0.36℃/10년의 순으로 점차 작아진다(표 3-2-4). 각 지점별 여름철 최고기온 상승률은 남부해안의 서귀포 지점에서만 0.39℃/10년의 95%이상의 통계적으로 유의성을 나타내고 다른 지역에서는 통계적 유의성이 낮다. 동부해안 성산의 경우에는 심지어 여름철 최고기온이 하강을 나타내는 음의 값을 나타내고, 그 값의 통계적 신뢰도도 낮다. 성산의 경우에는 가을철 평균기온과 최고기온의 상승률의 통계적 신뢰도도 낮다.

계절별로 구분하여 전반적인 통계적 유의성을 살펴보면, 최저기온은 겨울철과 가을철에, 최고기온과 평균기온은 봄철에 모든 지점에서 통계적으로 신뢰성이 있는 기온의 상승률을 나타낸다(표 3-2-4). 남부해안 서귀포의 봄철 최저기온 상승률은 0.51℃/10년으로 가장 높고, 동부해안의 성산에서도 통계적으로 유의성을 지닌 0.50℃/10년의 상승률을 나타낸다. 봄철 최저기온 상승률은 세 지점 중에서는 오히려 비도시 지역인 성산보다 북부해안의 도시화의 영향을 받은 제주에서 0.49℃/10년의 더 낮은 상승률을 보이는 것이 특징적이다. 봄철 최고기온의 경우도 세 지점 모두 통계적 신뢰성이 있는 상승률을 나타낸다. 남부해안 서귀포에서 봄철 최고기온 상승률은 0.41℃/10년으로 가장 높고, 북부해안의 제주에서 0.34℃/10년, 동부해안의 성산에서 0.26℃/10년으로 점차 그 상승률이 낮아진다. 즉 북부해안 제주의 국지적인 도시화 경향을 고려하더라도 도시화가 덜 된 남부해안의 서귀포의 기온상승률이 더 높고, 도시화가 거의 이루어지지 않은 동부해안의 성산지역에 경우에도 뚜렷한 기온상승률을 나타내고 있음을 알 수 있다.

표 3-2-6. 제주의 10년 단위 기온(관측이래~2010년) (단위: °C)

기간	1911~1920년	1921~1930년	1931~1940년	1941~1950년	1951~1960년	1961~1970년	1971~1980년	1981~1990년	1991~2000년	2001~2010년
평균기온		제외 (결측 포함)	14.5	14.7	15.0	15.3	15.3	15.4	16.0	16.1
최고기온			18.2	18.6	18.8	18.8	18.5	18.6	19.1	19.3
최저기온			11.2	11.3	11.4	11.7	11.8	12.3	13.1	13.3

표 3-2-7. 서귀포의 10년 단위 기온(관측이래~2010년) (단위: °C)

기간	1911~1920년	1921~1930년	1931~1940년	1941~1950년	1951~1960년	1961~1970년	1971~1980년	1981~1990년	1991~2000년	2001~2010년
평균기온						15.7	15.9	16.2	16.6	17.2
최고기온						19.3	19.5	19.9	20.1	20.7
최저기온						11.9	12.6	12.9	13.7	14.2

표 3-2-8. 성산의 10년 단위 기온(관측이래~2010년) (단위: °C)

기간	1911~1920년	1921~1930년	1931~1940년	1941~1950년	1951~1960년	1961~1970년	1971~1980년	1981~1990년	1991~2000년	2001~2010년
평균기온							제외 (결측 포함)	15.3	15.3	15.7
최고기온								19.0	19.2	19.2
최저기온								11.2	11.6	12.3

표 3-2-9. 고산의 10년 단위 기온(관측이래~2010년) (단위: °C)

기간	1911~ 1920년	1921~ 1930년	1931~ 1940년	1941~ 1950년	1951~ 1960년	1961~ 1970년	1971~ 1980년	1981~ 1990년	1991~ 2000년	2001~ 2010년
평균기온								제외 (결측 포함)	15.6	15.7
최고기온									18.3	18.8
최저기온									13.1	13.1

1973년 이전까지 포함한 각 지점별 관측개시 이래의 평균기온, 최고기온, 최저기온 7년 이동평균과 10년 단위별 기온 상승률을 세부적으로 살펴보면, 1990년 도시화가 빠르게 진행되기 이전의 경우에도 대체로 최고기온보다는 최저기온의 상승률이 더 높게 나타났음을 알 수 있다(표 3-2-4; 표 3-2-5; 표 3-2-6; 표 3-2-7; 표 3-2-8; 표 3-2-9). 가령, 1920년대 중반부터 관측 자료가 있는 북부해안 제주의 경우에 최고기온은 1931~1940년 기간에는 18.2°C이었던가 1971~1980년 기간에는 18.5°C로 0.3°C 상승하였고, 같은 기간에 최저기온은 11.2°C에서 11.8°C로 2배 이상(0.6°C) 상승하였다(표 3-2-6). 1960년대 초반부터 관측 자료가 있는 남부해안의 서귀포에서도 최고기온은 1961~1970년 기간에 19.3°C에서 1971~1980년 기간에 19.5°C로 0.2°C 상승하였으나, 같은 기간에 최저기온은 11.9°C에서 12.6°C로 0.7°C 상승하였다(표 3-2-6).

1970년대에 관측이 개시되었지만 도시화의 영향이 거의 없는 동부해안 성산의 경우에도 최고기온은 1981~1990년 기간에 19.0°C에서 1991~2000년 기간에 19.2°C로 0.2°C 상승하였으나, 같은 기간에 최저기온은 11.2°C에서 11.6°C로 0.4°C 상승하였다(표 3-2-8). 성산의 경우에는 2001~2000년 기간에 최고기온은 이전 10년 기간에 비하여 변화가 거의 없지만, 최저기온은 0.7°C 상승하였다.

세 관측지점 모두 도시화 효과를 배제하더라도 최저기온의 상승률은 최고기온 상승률에 비하여 2배 이상 높게 나타남을 알 수 있다. 세 지점 10년 단위 변화를 모두 고려하면, 기온변화가 가장 낮게 나타나는 기간은 1961~1970년 기간에서 1971~1980년 기간 사이에 나타나고 있으며, 기온변화가 가장 뚜렷한 기간은 1981~1990년 기간에서 1991~2000년 기간에 나타나고 있다. 부가적으로 도시화의 영향이 거의 없지만 1980년대 후반부터 관측이 이루어진 서부해안 고산의 경우 1991~2000년 연평균기온, 연최고기온은 각각 15.6°C, 18.3°C이었으나, 2001~2010년 기간에는 각각 0.1°C, 0.5°C 상승하였다.

이러한 변화율은 해안지역의 세 지점 자료를 바탕으로 비교한 것으로 현재 해발고도가 높은 지역의 기후변화 경향을 파악하기 어렵다. 1990년대 이후에 점차 중산간 지역으로 자동기상관측장비가 새롭게 설치된 곳이 많고, 최근에는 한라산 산간지역의 기상관측망 확충 계획을 세우고 진행 중이다.

따라서 제주도 동서남북 해안지역에 위치한 성산, 고산, 서귀포, 제주 등 각 관측지점별로 평균, 최고, 최저기온의 연, 계절 변화 경향을 살펴보기로 하자.

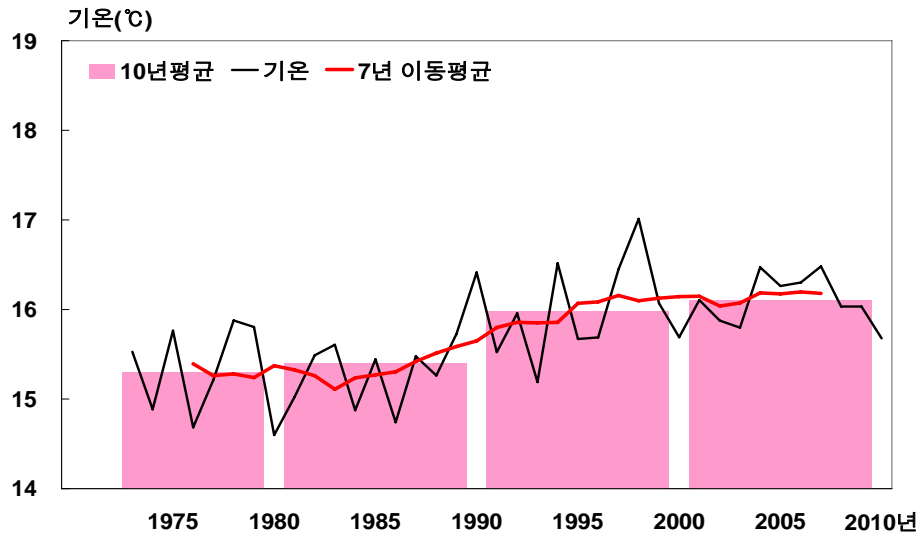


그림 3-2-7. 제주의 연평균기온 변화(1973~2010)

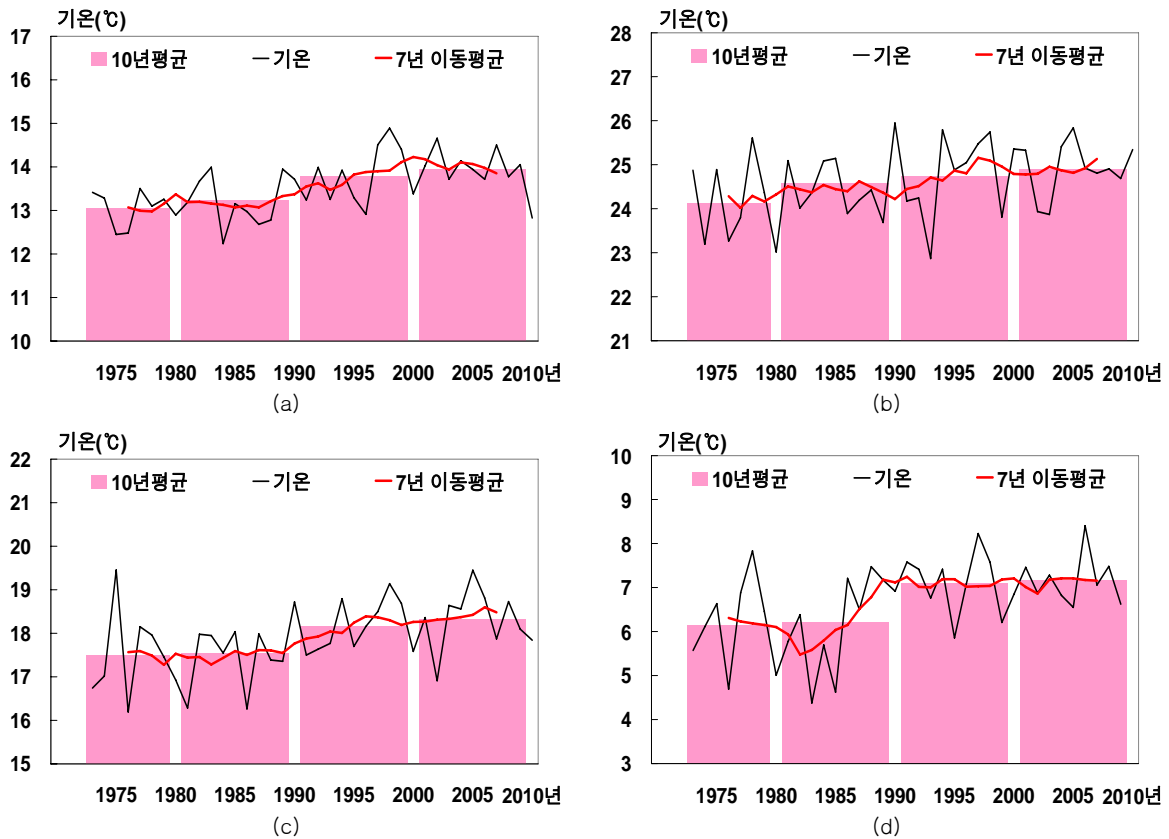


그림 3-2-8. 제주의 계절별 평균기온 변화(1973~2010) (a)봄철, (b)여름철, (c)가을철, (d)겨울철

북부해안 제주 관측지점의 연평균기온 변화를 보면 지속적으로 증가하는 경향이 나타나고 특히 1980년 후반에 기온 상승경향이 뚜렷하게 나타났다(그림 3-2-7). 봄철, 가을철, 겨울철 평균기온 변화에서도 동일한 변화 경향이 나타나는데 특히 겨울철 강수량이 가장 뚜렷한 변화를 보였다(그림 3-2-8). 제주의 1980년대 겨울철 평균기온은 6.2°C이었으나, 1990년대에는 7.1°C로 0.9°C 증가하였다. 제주의 여름철 평균기온도 1970년대와 1980년대에 증가한 경향은 보이지만 이후의 증가경향은 약하게 나타난다.

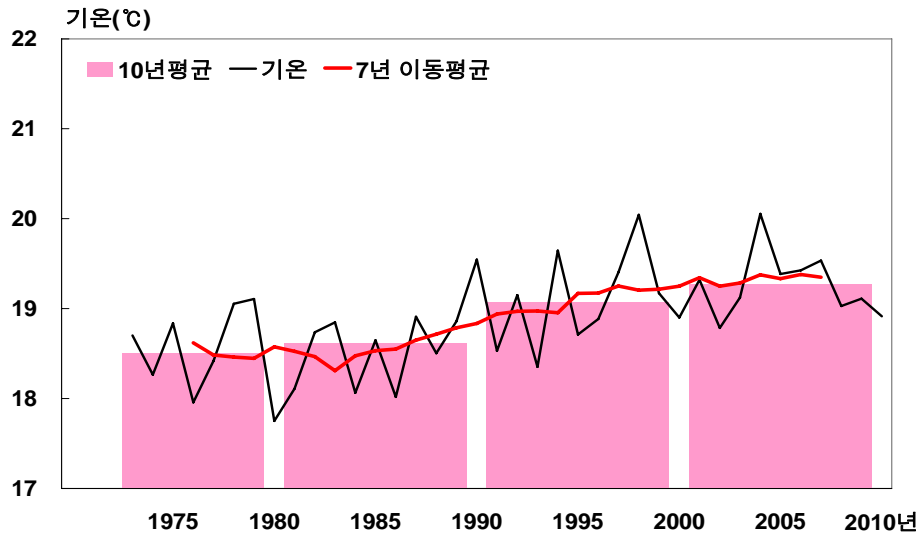


그림 3-2-9. 제주의 연최고기온 변화(1973~2010)

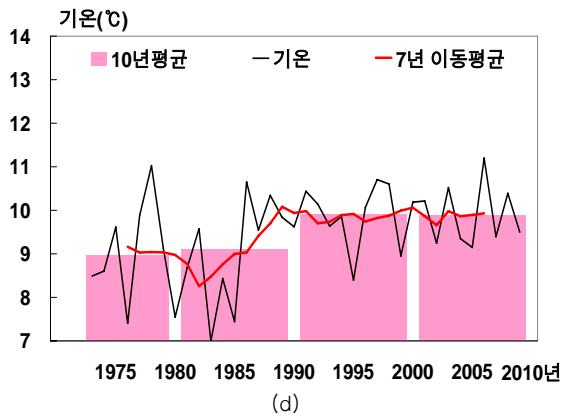
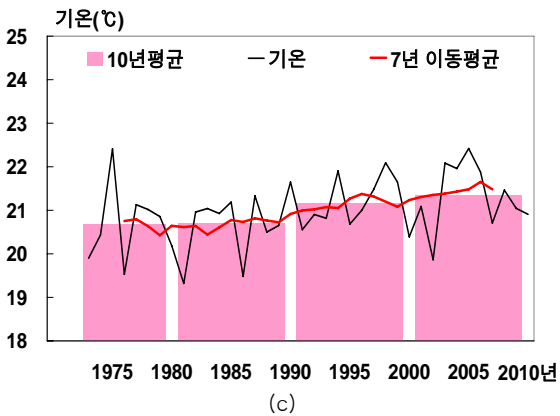
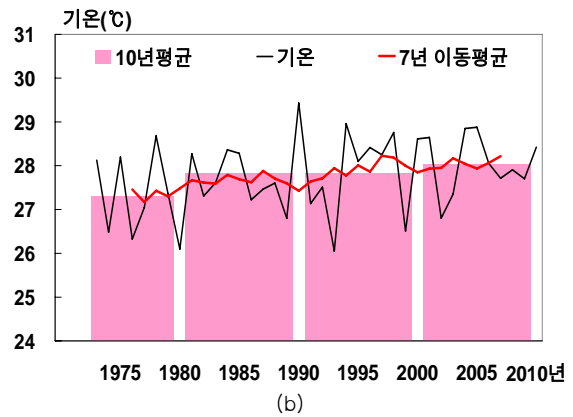
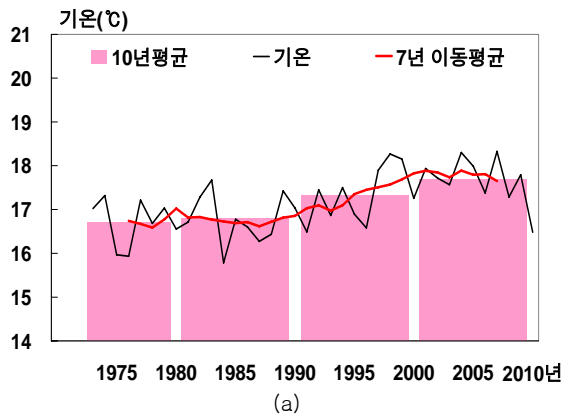


그림 3-2-10. 제주의 계절별 최고기온 변화(1973~2010) (a)봄철, (b)여름철, (c)가을철, (d)겨울철

제주의 최고기온의 10년 단위 변화를 살펴보면, 평균기온 변화경향과 비교하여 1980년대 후반부터 급격한 변화경향은 다소 뚜렷하지 않고 점진적으로 증가하는 경향을 나타낸다(그림 3-2-9). 봄철, 여름철, 가을철 최고기온의 경우에는 증가추세가 점진적으로 나타났다(그림 3-2-10). 제주 겨울철 최고기온은 평균기온의 변화경향과 유사하게 1980년대에 비하여 1990년대 0.8°C 뚜렷하게 증가하였다. 이후 1990년대와 2000년대 사이에는 증가경향이 다소 둔화되는 특징을 보인다.



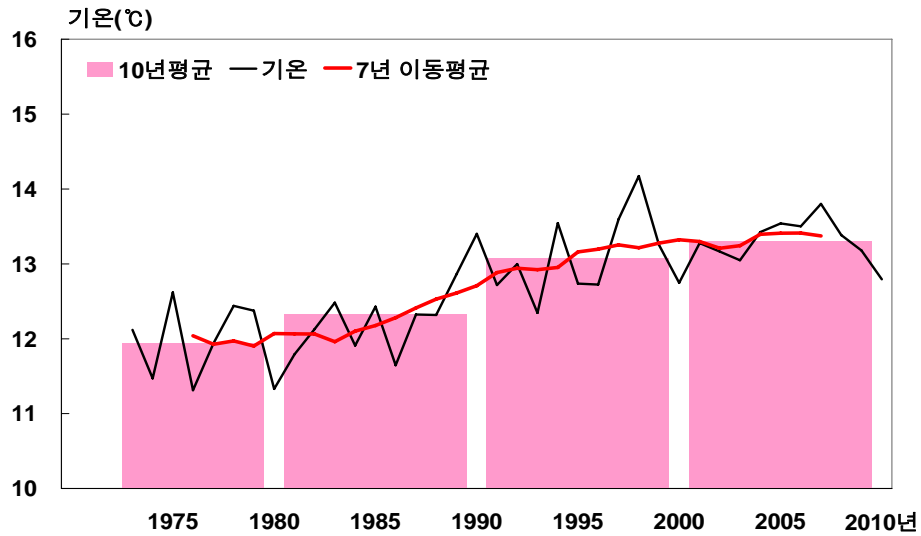


그림 3-2-11. 제주의 연최저기온 변화(1973~2010)

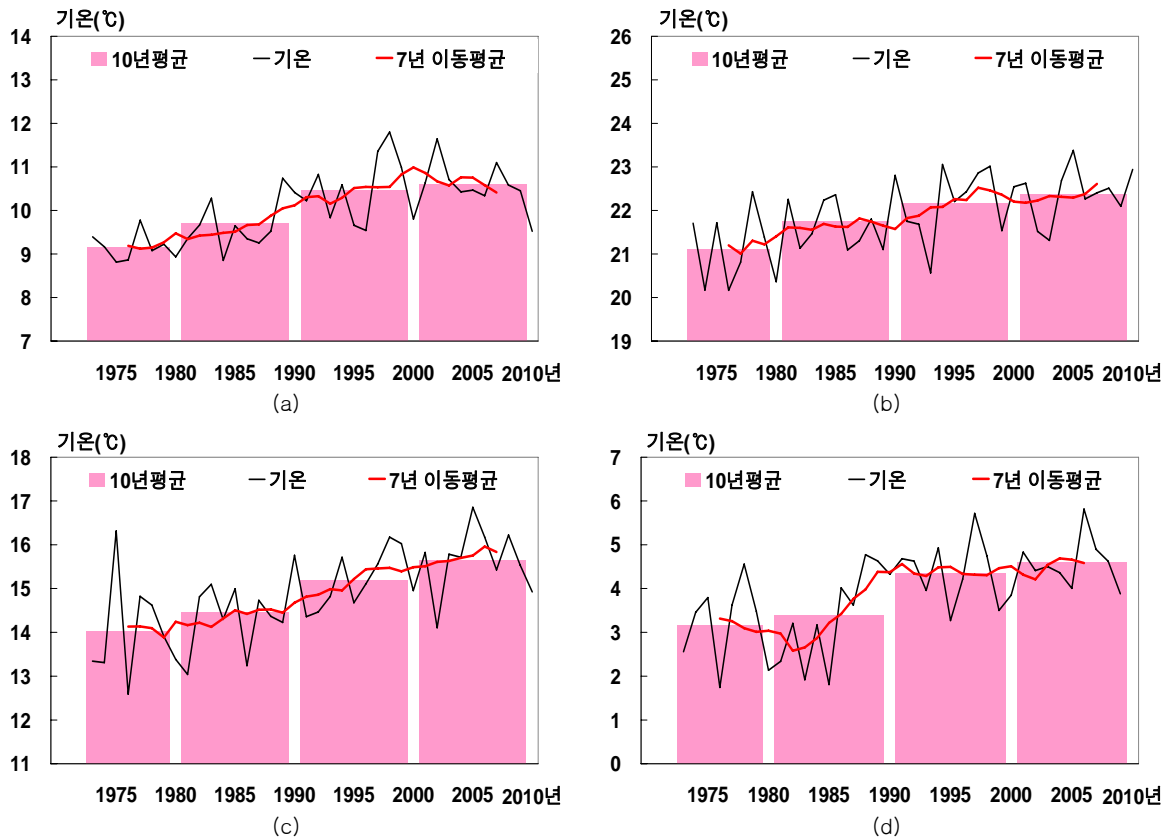


그림 3-2-12. 제주의 계절별 최저기온 변화(1973~2010) (a)봄철, (b)여름철, (c)가을철, (d)겨울철

제주의 연최저기온 변화를 살펴보면, 평균기온과 최고기온의 변화에 비하여 10년 단위 변화가 더욱 뚜렷하게 나타남을 알 수 있다(그림 3-2-11). 이러한 경향은 봄철, 여름철, 가을철에 유사하게 나타나고, 특히 여름철에 최고기온과 평균기온 변화가 약하게 나타났던 것과는 대조적으로 여름철 최저기온도 뚜렷한 상승 경향을 보인다(그림 3-2-12). 겨울철 최저기온도 최고기온이나 평균기온 변화에 비하여 더욱 뚜렷한 증가 경향을 나타내고, 특히 1980년대와 1990년대 사이에 0.9°C의 가장 큰 상승폭을 나타낸다.

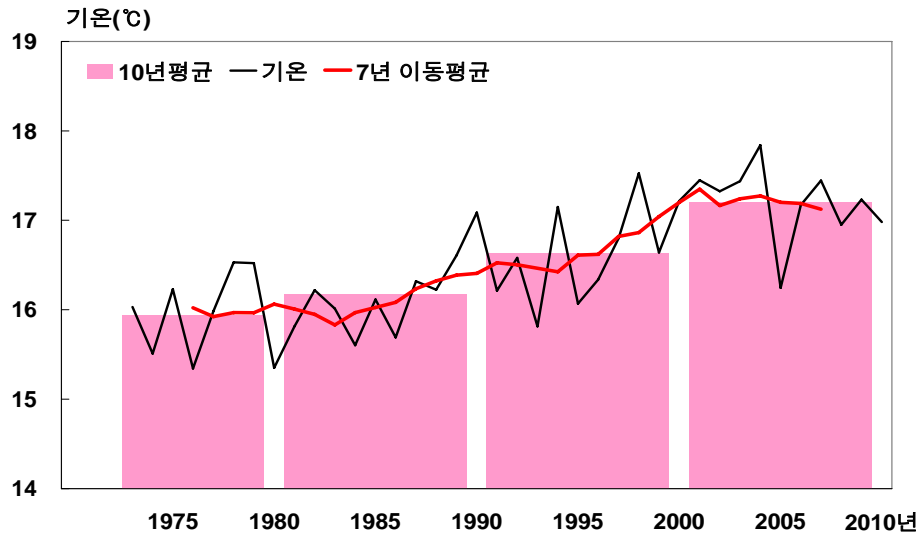


그림 3-2-13. 서귀포의 연평균기온 변화(1973~2010)

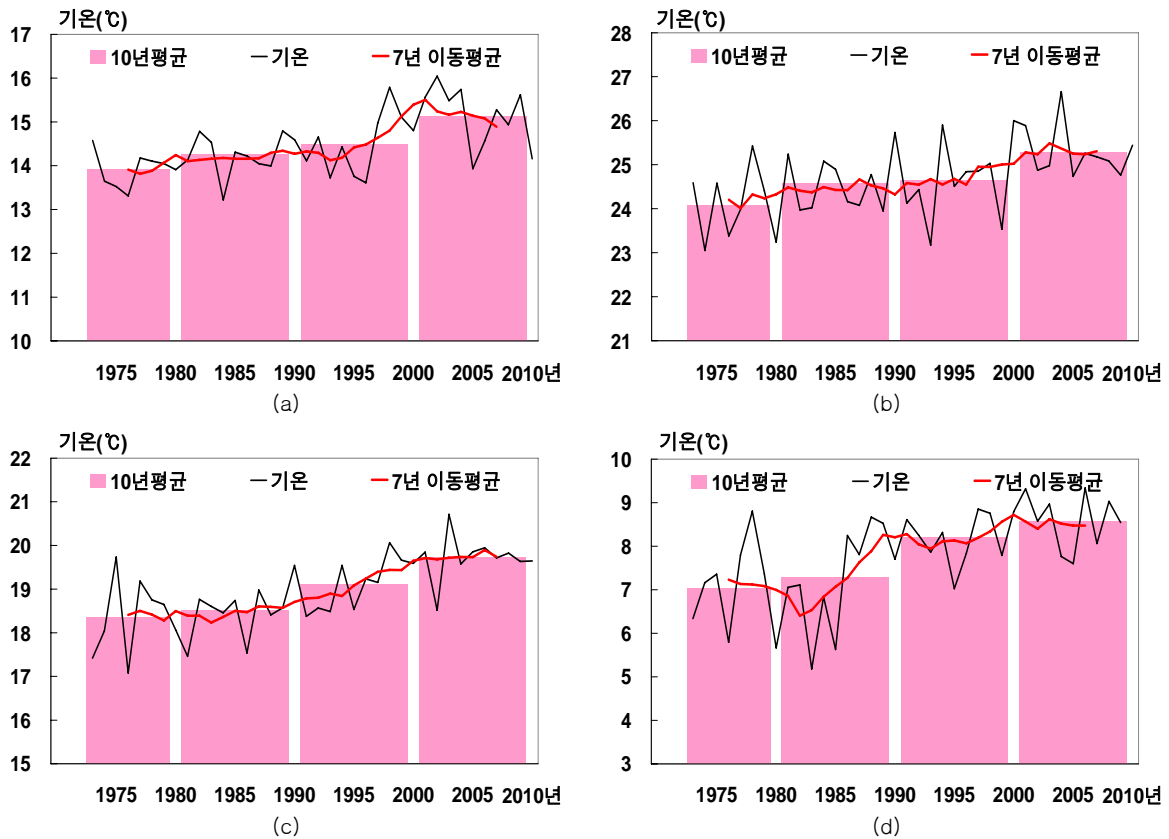


그림 3-2-14. 서귀포의 계절별 평균기온 변화(1973~2010) (a)봄철, (b)여름철, (c)가을철, (d)겨울철

남부해안 서귀포 관측지점의 연평균기온 변화를 보면, 북부해안 제주에 비하여 더욱 뚜렷한 상승폭을 나타낸다(그림 3-2-13). 봄철과 여름철 평균기온은 1990년대와 2000년대 사이에, 겨울철은 1980년대와 1990년대 사이에 급격한 증가경향을 보인다(그림 3-2-14). 이전 10년 평균에 비하여 2000년대 접어들면서 여름철 평균기온은 0.7°C 상승하였고, 1990년대 겨울철 평균기온은 0.9°C 상승하였다. 가을철 평균기온은 1990년대와 2000년대에 지속적으로 이전 기간에 비하여 뚜렷하게 증가하는 패턴을 보인다.

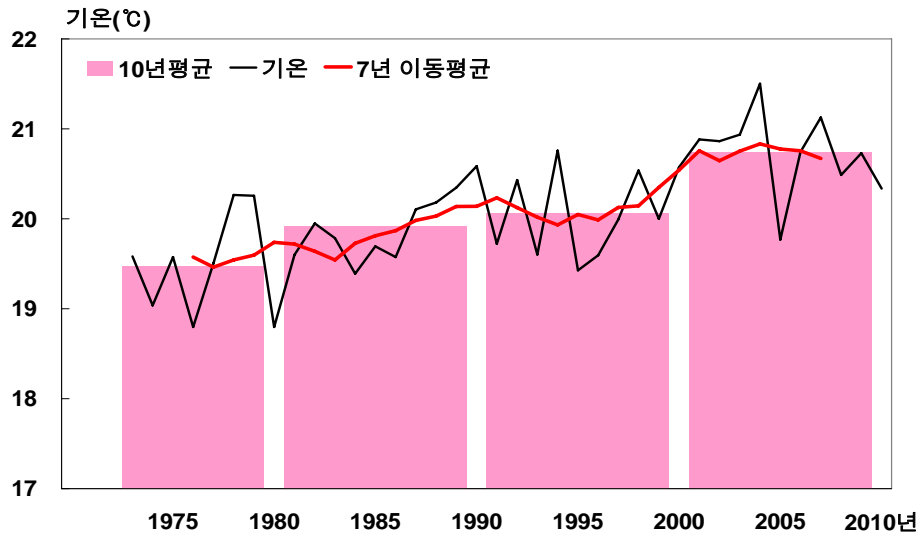


그림 3-2-15. 서귀포의 연최고기온 변화(1973~2010)

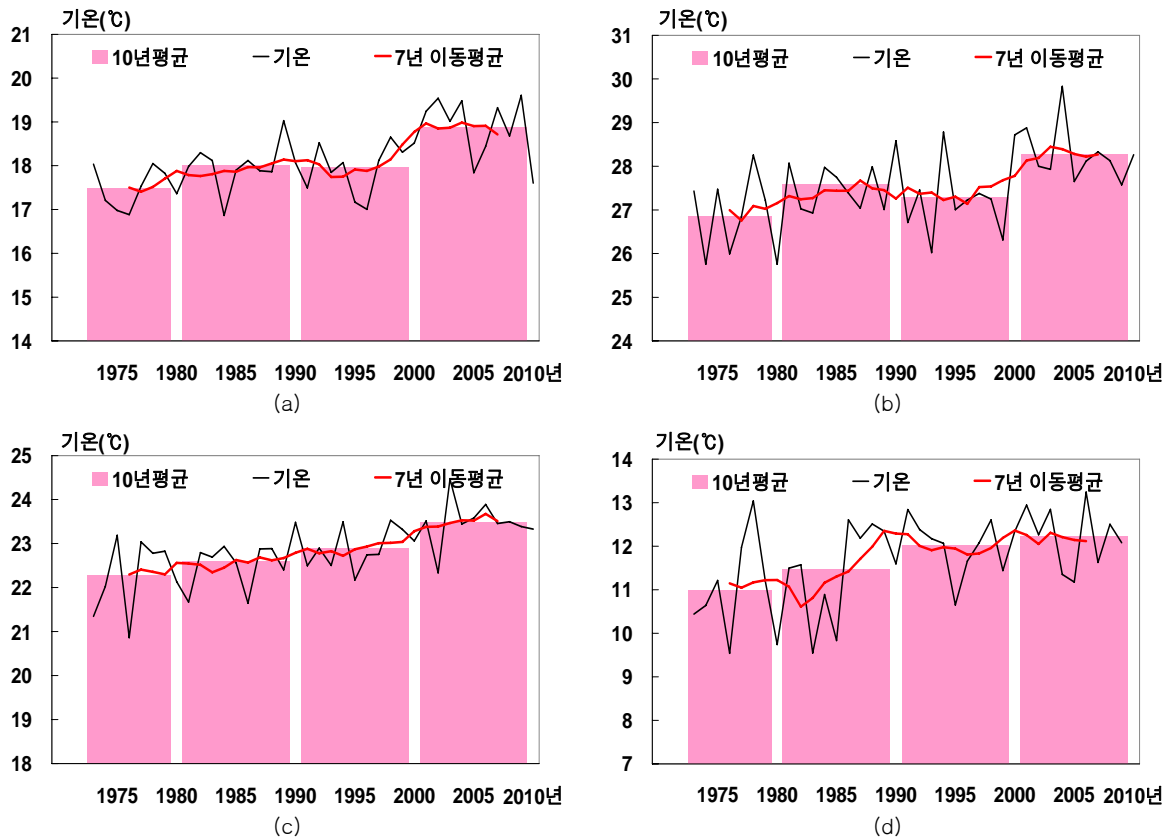


그림 3-2-16. 서귀포의 계절별 최고기온 변화(1973~2010) (a)봄철, (b)여름철, (c)가을철, (d)겨울철

서귀포 관측지점 연최고기온 변화를 보면 지속적인 증가경향을 나타내지만 특히 1990년에서 2000년대로 접어들면서 0.6℃ 이상 뚜렷하게 상승하는 패턴을 보인다(그림 3-2-15). 서귀포 사계절 최고기온의 변화를 살펴보면 이러한 패턴은 봄철, 여름철, 가을철에 뚜렷하게 나타났다(그림 3-2-16). 특히 봄철 최고기온은 이전 10년 평균에 비하여 2000년대에 0.9℃ 이상 뚜렷하게 상승하였다. 서귀포 겨울철 기온은 1980년대와 1990년대에 이전 10년보다 뚜렷한 상승 경향을 보인다.

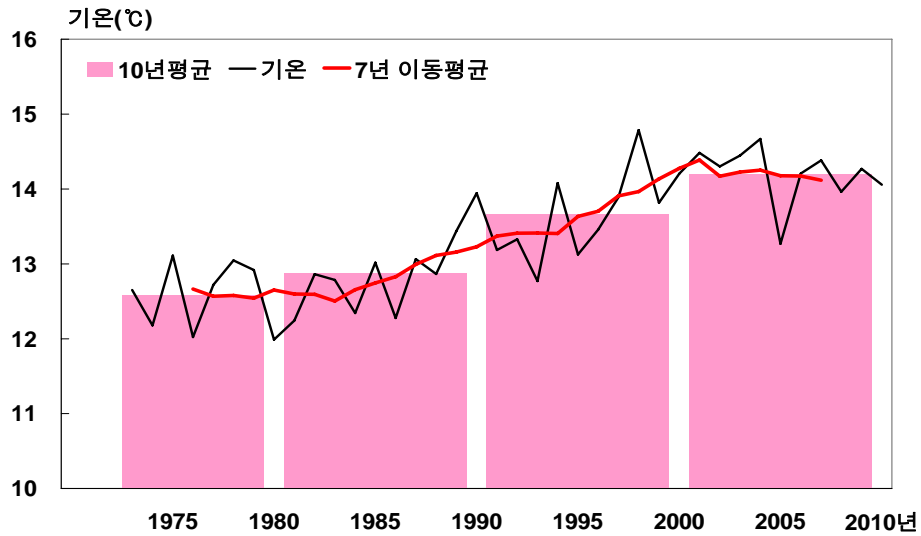


그림 3-2-17. 서귀포의 연최저기온 변화(1973~2010)

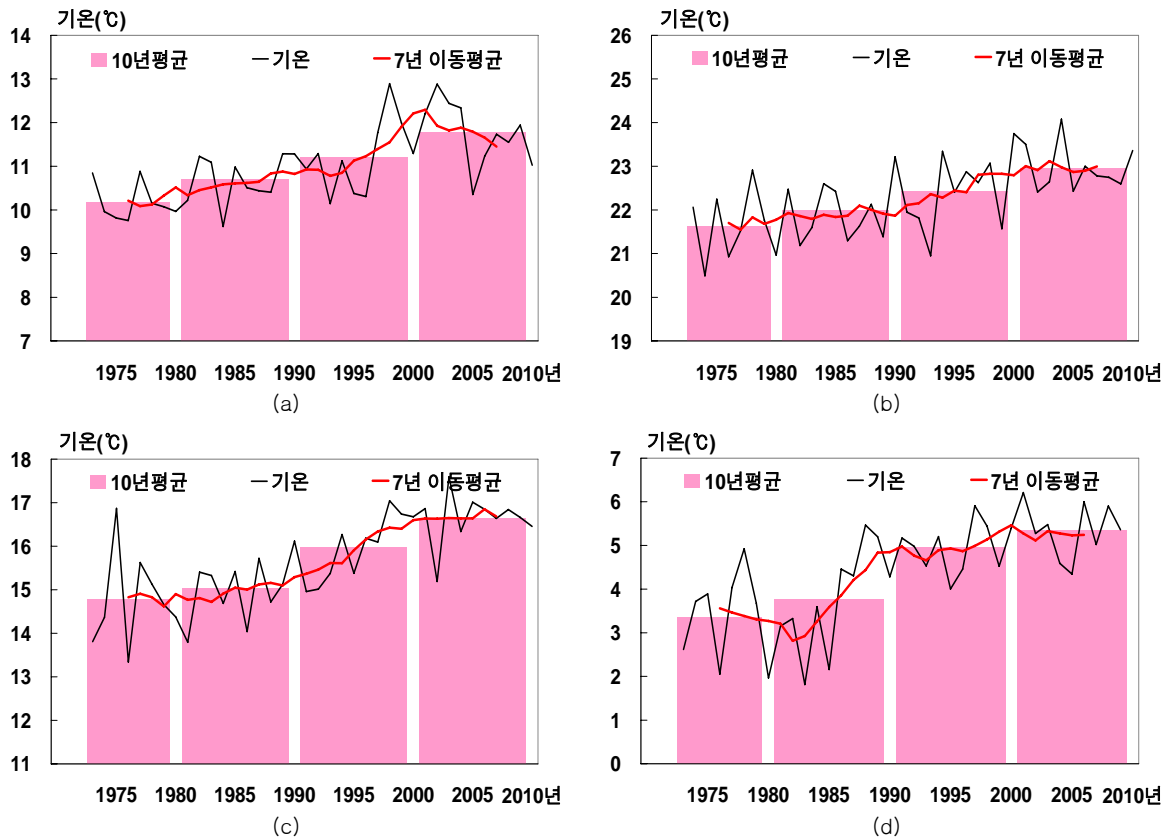


그림 3-2-18. 서귀포의 계절별 최저기온 변화(1973~2010) (a)봄철, (b)여름철, (c)가을철, (d)겨울철

서귀포 관측지점 연최저기온의 상승 경향은 북부해안 제주 관측지점과 마찬가지로 평균기온과 최고기온의 상승폭보다 더 크게 나타났다(그림 3-2-17). 사계절 평균 최저기온도 모두 평균기온과 최고기온의 상승폭보다 높게 나타나는데, 특히 겨울철 최저기온의 상승폭이 가장 크게 나타났다(그림 3-2-18). 겨울철 최저기온은 1980년대 후반에 증가경향이 가장 뚜렷하게 나타나, 이전 10년과 비교하여 1990년대의 겨울철 최저기온은 1.2°C 상승하였다. 가을철 최저기온은 1990년대 후반에도 뚜렷하게 증가하였다.

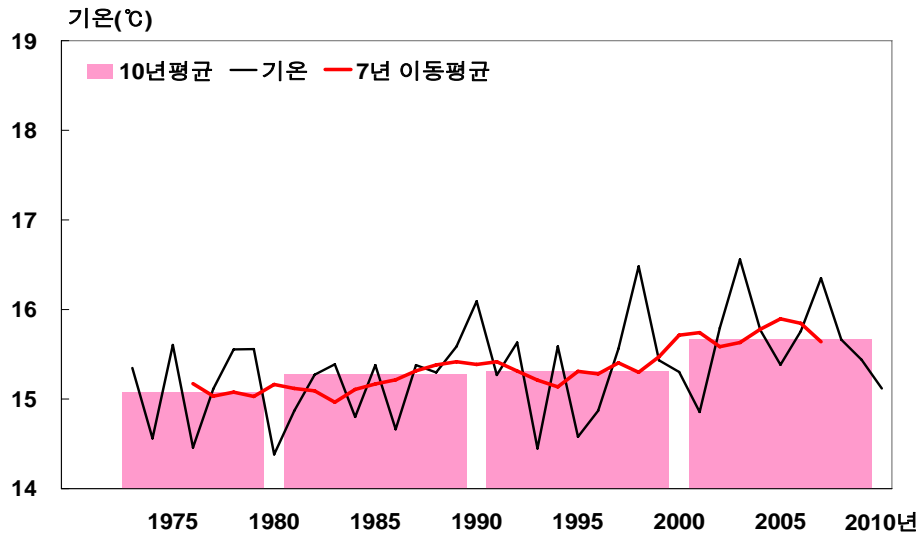


그림 3-2-19. 성산의 연평균기온 변화(1973~2010)

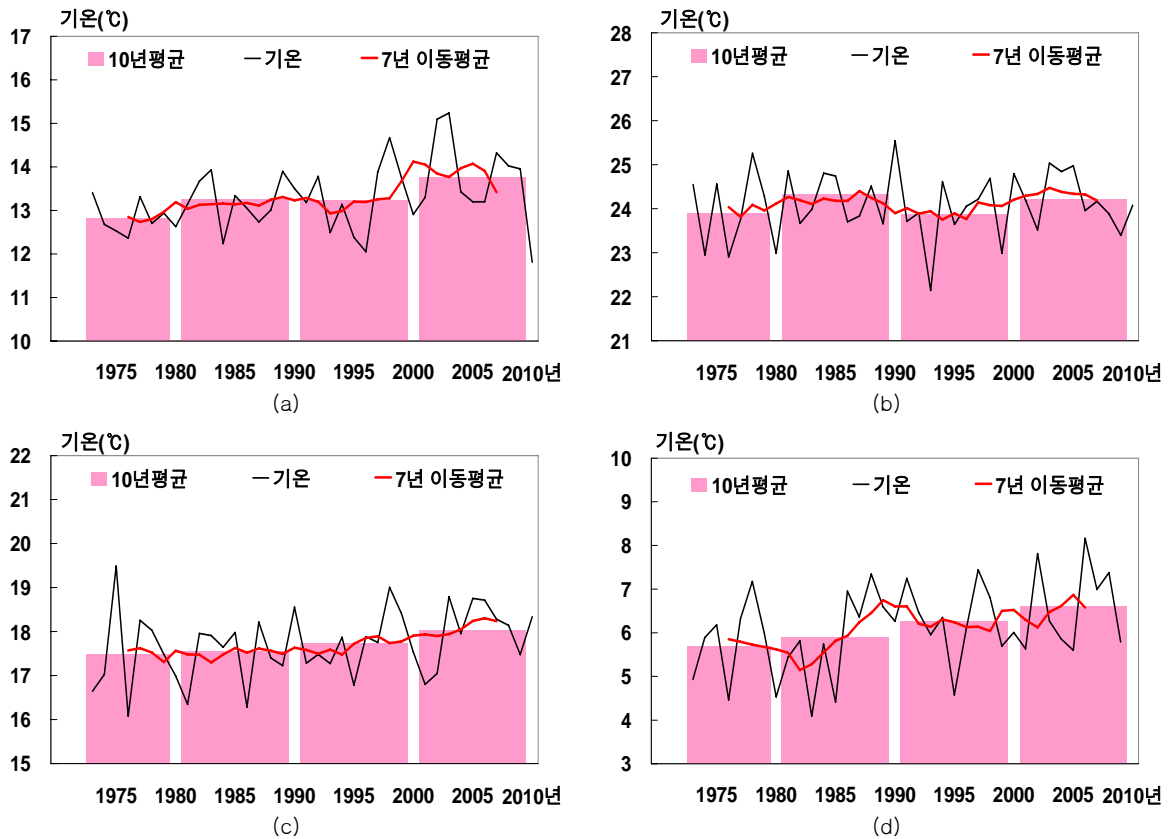


그림 3-2-20. 성산의 계절별 평균기온 변화(1973~2010) (a)봄철, (b)여름철, (c)가을철, (d)겨울철

동부해안 성산 관측지점의 연평균기온 변화를 보면, 제주와 서귀포 관측지점에 비하여 상승경향이 둔화되어 나타난다(그림 3-2-19). 이러한 패턴은 사계절 평균기온 중 여름철 기온이 증가 경향이 없는 연 변동하는 패턴에 기인한 것이다(그림 3-2-20). 성산의 여름철 평균기온은 오히려 이전 10년 평균에 비하여 1990년대 중반에 상대적으로 감소하는 패턴을 보이기도 하였다. 봄철 기온은 2000년대에, 겨울철 기온은 1990년대에 이전 10년 평균 기온에 비하여 가장 뚜렷한 변화를 보였다.

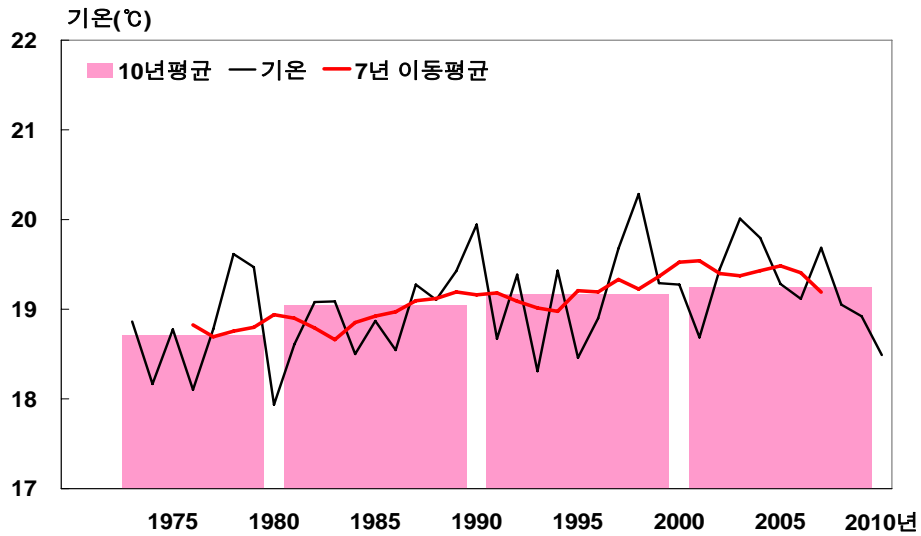


그림 3-2-21. 성산의 연최고기온 변화(1973~2010)

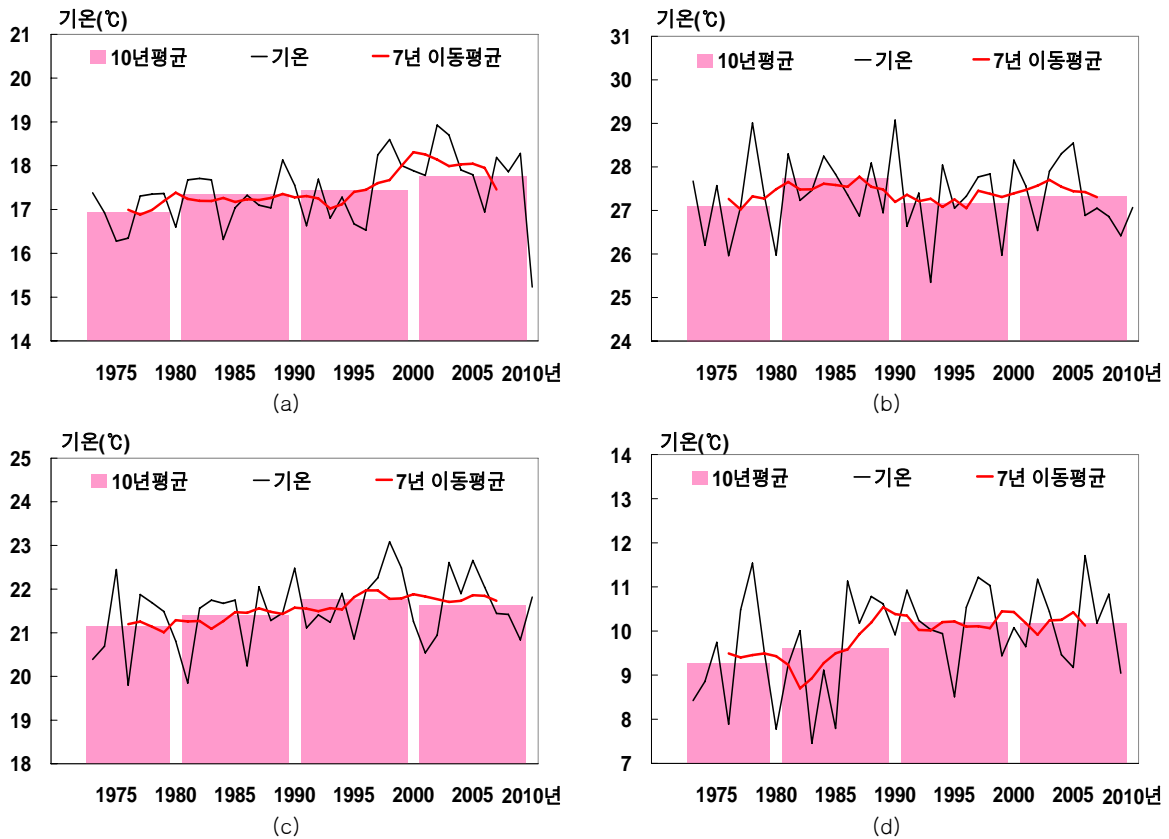


그림 3-2-22. 성산의 계절별 최고기온 변화(1973~2010) (a)봄철, (b)여름철, (c)가을철, (d)겨울철

성산 관측지점의 연최고기온 변화를 보면, 1970년대에서 1980년대에 접어들면서 상승하는 경향이 뚜렷하고 이후에는 증가경향이 둔화된 패턴을 보인다(그림 3-2-21). 사계절 최고기온 변화 중 여름철 최고기온의 변화를 보면, 다른 관측지점과는 달리 1980년대 최고기온이 높게 나타났다가 오히려 1990년대는 감소한 후 2000년까지 뚜렷한 증가경향이 나타나지 않고 있다(그림 3-2-22). 반면 성산의 가을철과 겨울철 최고기온은 1990년대까지 지속적으로 증가하다가 2000년대에는 변화가 뚜렷하지 않다.

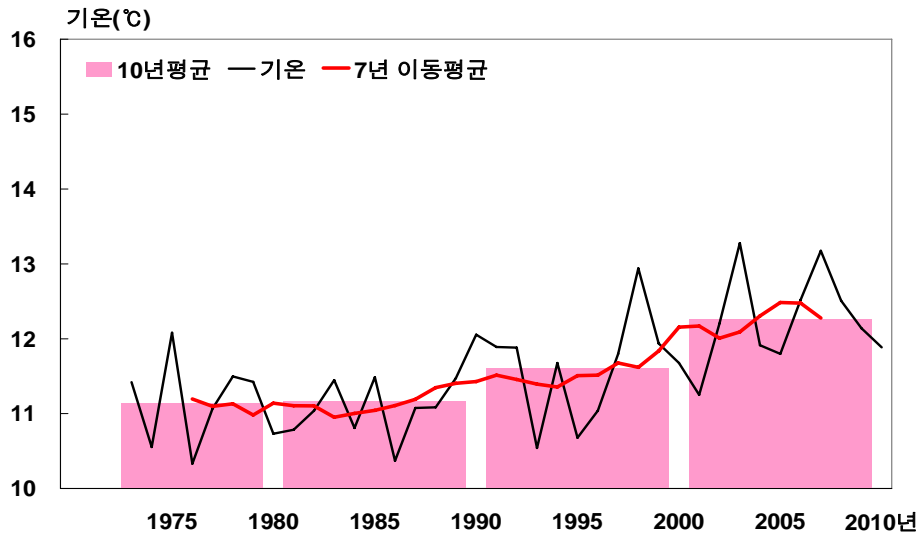


그림 3-2-23. 성산의 연최저기온 변화(1973~2010)

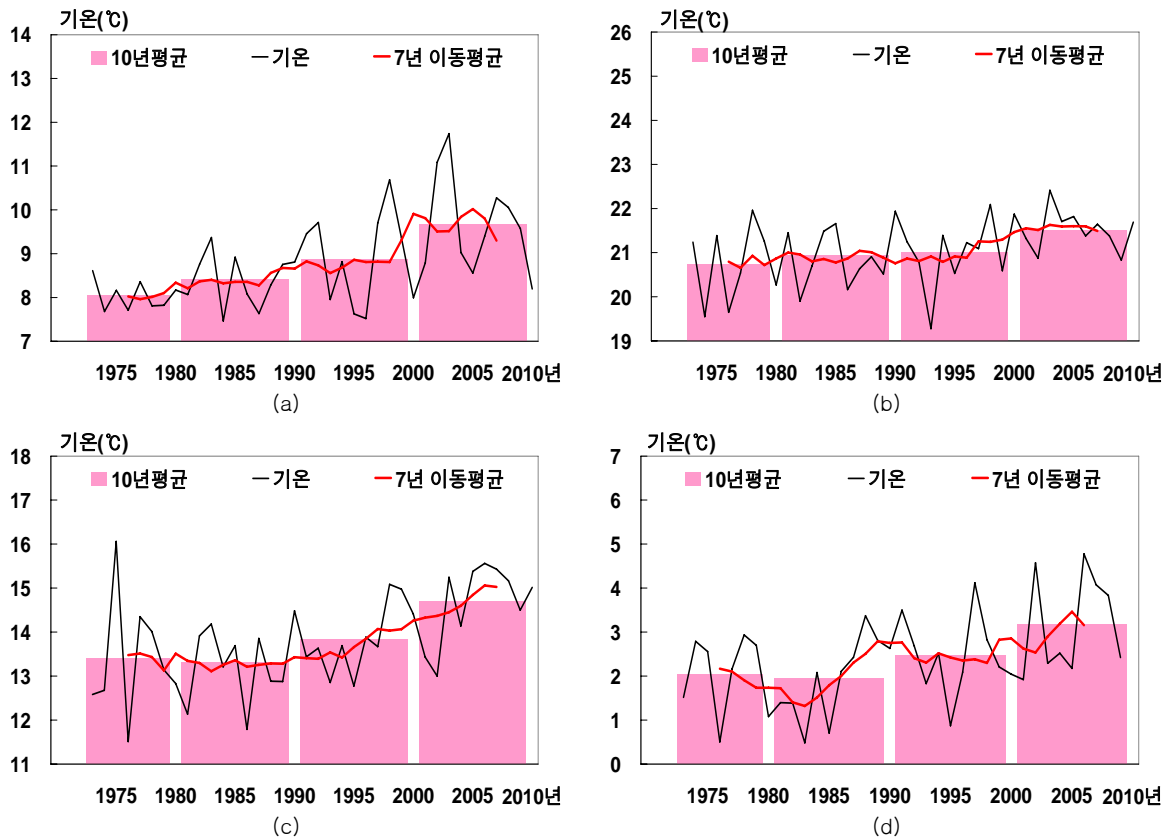


그림 3-2-24. 성산의 계절별 최저기온 변화(1973~2010) (a)봄철, (b)여름철, (c)가을철, (d)겨울철

성산 관측지점의 연최저기온 변화를 보면 1980년대까지는 뚜렷한 변화경향이 없다가 1980년대 후반부터 뚜렷한 상승경향이 2000년대 후반까지 지속되는 변화경향을 보인다(그림 3-2-23). 성산의 사계절 최저기온 변화경향도 대체적으로 1980년대까지는 뚜렷한 변화를 보이지 않다가 1990년대에 증가하는 경향이 2000년대에 걸쳐 더욱 뚜렷하게 나타나는 경향을 보인다(그림 3-2-24). 특히, 2000년대에 이전 10년에 비하여 봄철, 겨울철, 가을철 최저기온이 각각 0.8°C, 0.5°C, 0.9°C 상승하였다.

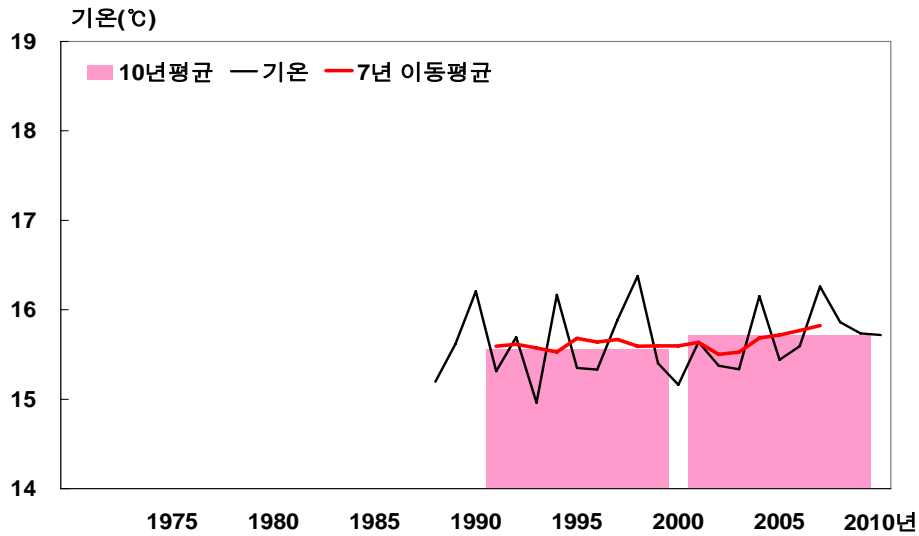


그림 3-2-25. 고산의 연평균기온 변화(1973~2010)

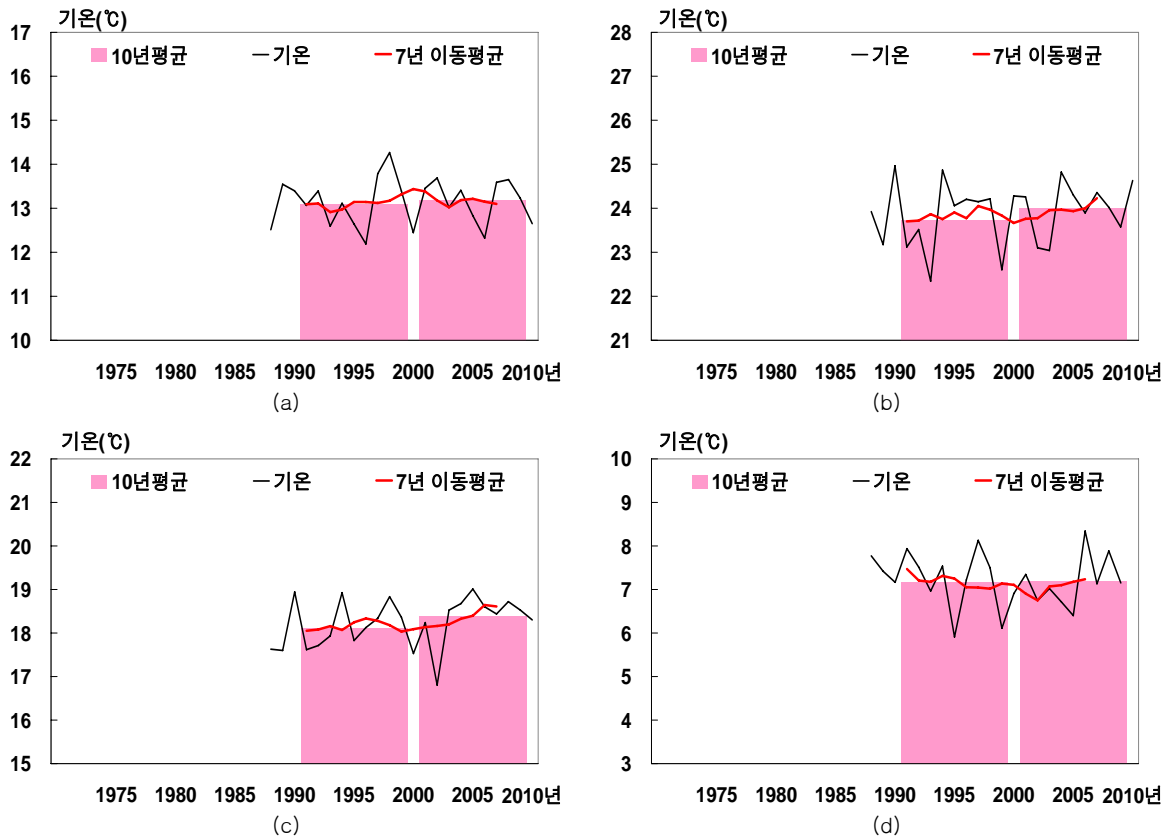


그림 3-2-26. 고산의 계절별 평균기온 변화(1973~2010) (a)봄철, (b)여름철, (c)가을철, (d)겨울철

서부해안 고산 관측지점의 경우 관측 자료기간이 1988년 이래로 제한되어 1990년대와 2000년대의 연평균기온의 변화경향을 살펴보면 두 기간 사이에 뚜렷한 증감의 변화가 관찰되지 않는다(그림 3-2-25). 고산의 사계절 평균기온 변화를 보면, 봄철과 가을철 평균기온은 1980년대 후반이래로 뚜렷한 변화경향이 없이 지속되는 경향을 보인다(그림 3-2-26). 고산의 여름철과 가을철 평균기온은 2000년대에 이전 10년 평균값에 비하여 약간 증가하는 경향을 보이며 이러한 경향은 다른 관측지점의 약한 변화경향과 유사하다.



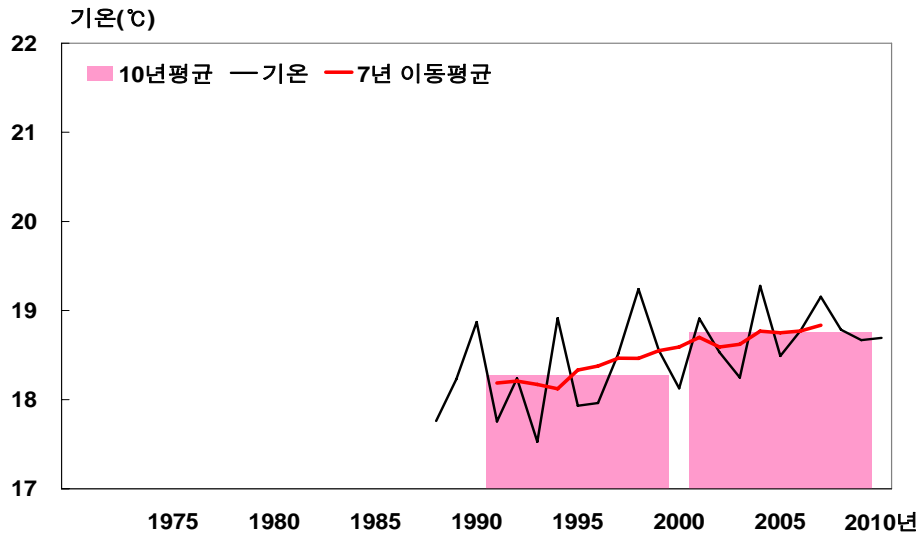


그림 3-2-27. 고산의 연최고기온 변화(1973~2010)

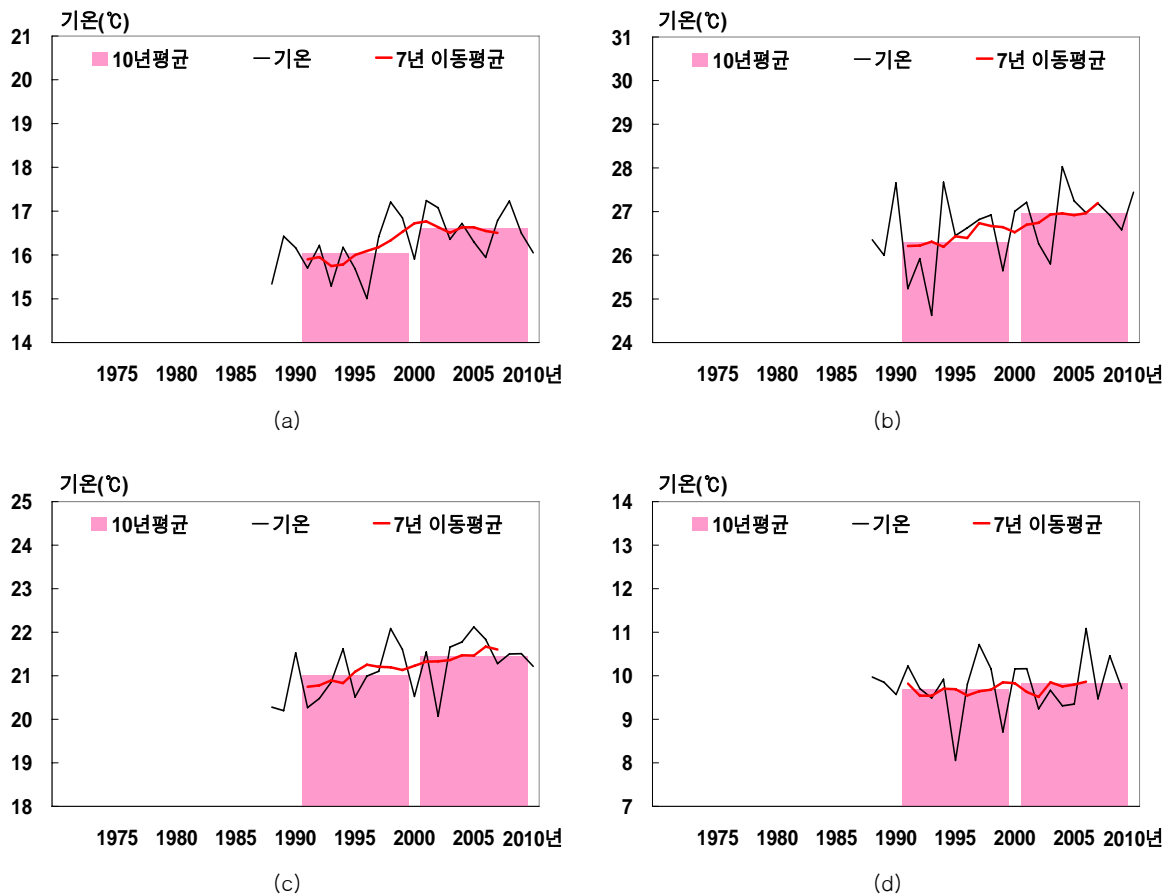


그림 3-2-28. 고산의 계절별 최고기온 변화(1973~2010) (a)봄철, (b)여름철, (c)가을철, (d)겨울철

고산의 연최고기온의 변화를 보면, 평균기온과 최저기온에 비하여 2000년대에 들어 뚜렷한 증가경향을 보인다(그림 3-2-27). 고산의 사계절 최고기온의 변화를 보면, 특히 봄철과 여름철 최고기온에서 이러한 경향이 뚜렷하게 나타난다(그림 3-2-28). 겨울철의 경우에는 이러한 경향이 다소 둔화되어 나타난다.

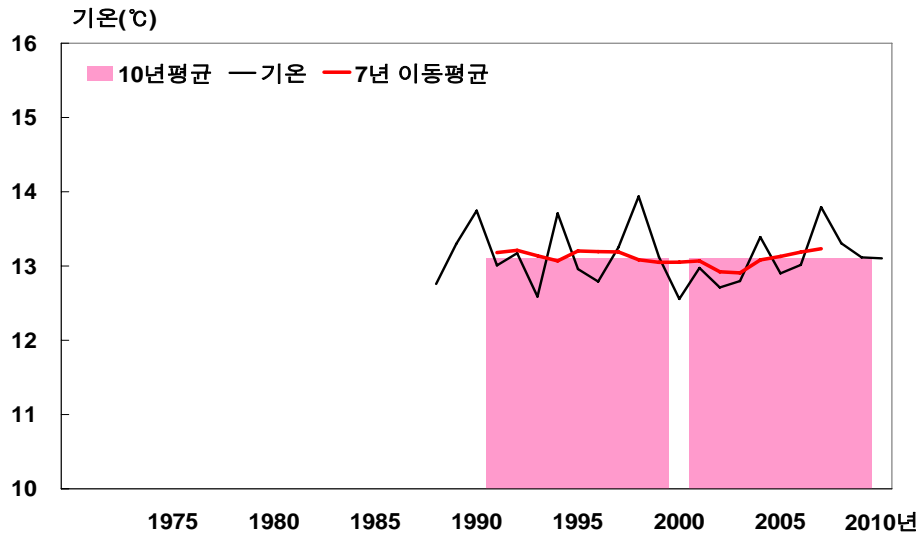


그림 3-2-29. 고산의 연최저기온 변화(1973~2010)

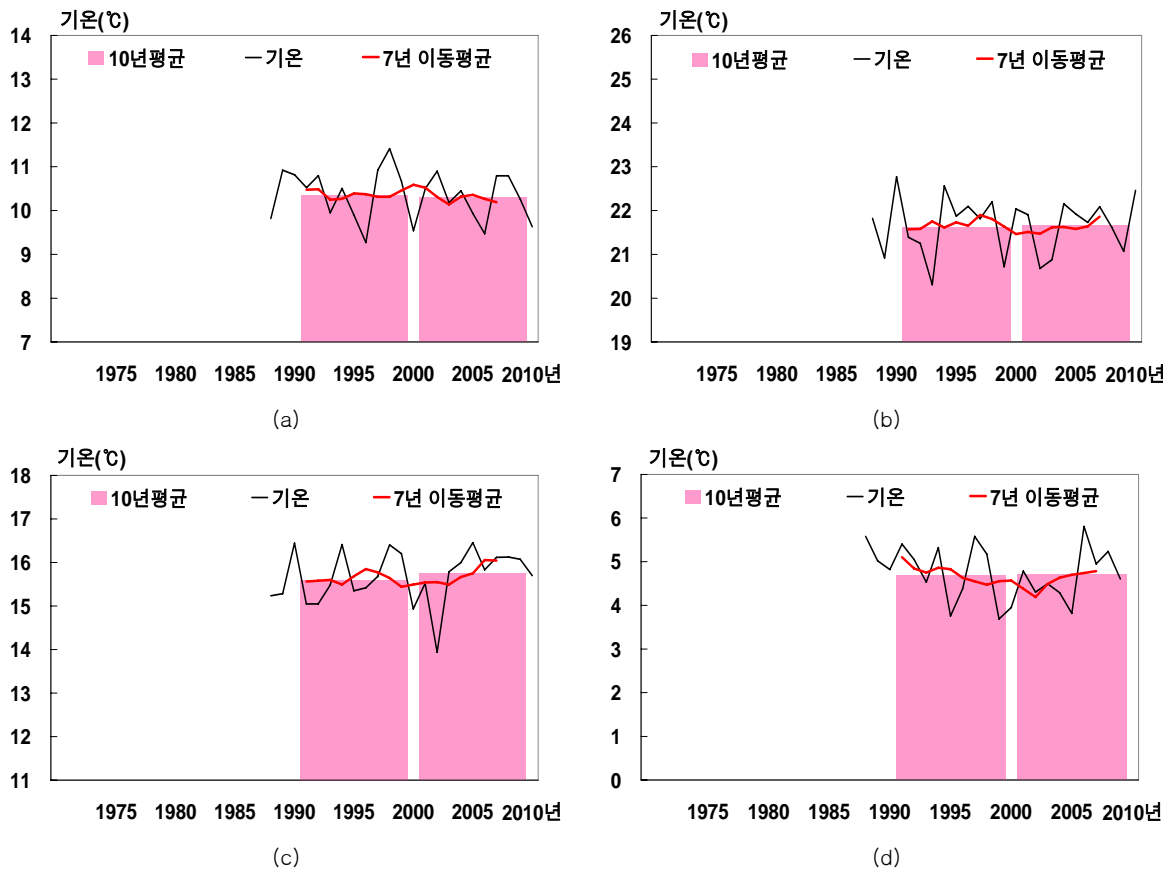


그림 3-2-30. 고산의 계절별 최저기온 변화(1973~2010) (a)봄철, (b)여름철, (c)가을철, (d)겨울철

고산의 연최저기온 시계열을 살펴보면 1990년대와 2000년대 사이에 뚜렷한 변화가 없다(그림 3-2-29). 사계절 최저기온도 두 기간 사이에 뚜렷한 변화가 관찰되지 않는다(그림 3-2-30).

## 2) 강수량

제주도 해안지역의 세 지점(제주, 서귀포, 성산)의 지난 38년간(1973~2010) 연, 계절 강수량 변화는 서귀포 봄철 강수량을 제외하면 모두 양의 값을 나타내지만, 모두 통계적으로 유의성을 나타내는 추세는 관찰되지 않는다(표 3-2-10). 통계적 유의성은 낮지만 대체로 제주도 해안지역은 평균적으로 사계절 모두 증가하는 추세와 관련된 양의 값을 나타내고, 특히 계절적으로 여름철과 가을철 변화 값이 다른 계절에 비하여 높게 나타나고 있다.

지역적으로는 여름철 증가추세는 남부해안의 서귀포에서, 가을철 증가추세는 동부해안의 성산에서 다소 높게 나타나고 있다. 이는 제주도 평균 강수량 분포가 높게 나타나는 남동 해안지역에서 통계적 유의성은 낮지만 다소 변화가 나타나고 있다는 것을 가리킨다.

표 3-2-10. 제주도의 연·계절 강수량 변화율(1973~2010) (단위: mm/년)

기간	연	봄	여름	가을	겨울
제주	3.534	0.867	0.158	2.019	0.617
서귀포	8.226	-0.232	4.625	3.298	0.841
성산	9.746	1.736	5.052	2.895	0.520
제주도 해안지역	7.169	0.790	3.278	2.737	0.659

\*유의수준  $\alpha=0.05$ , \*\*유의수준  $\alpha=0.01$

표 3-2-11. 제주도의 월 강수량 변화율(1973~2010) (단위: mm/년)

기간	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
제주	0.626	-0.470	0.591	-0.487	0.763	-0.218	0.341	0.035	3.368	-0.626	-0.722	0.334
서귀포	0.651	-0.389	0.915	-0.112	-1.035	0.009	0.990	3.626◀	2.331	0.331	0.636	0.273
성산	0.108	-0.706	1.362	0.286	0.088	0.301	0.484	4.267◀	3.282	-0.259	-0.128	0.660
제주도 해안지역	0.462	-0.522	0.956	-0.104	-0.061	0.031	0.605	2.643	2.994	-0.185	-0.072	0.423

◀ 유의수준  $\alpha=0.10$ , \*유의수준  $\alpha=0.05$ , \*\*유의수준  $\alpha=0.01$

표 3-2-12. 제주도의 10년 단위 강수량(관측이래~2010년) (단위: mm)

기간	1911~ 1920년	1921~ 1930년	1931~ 1940년	1941~ 1950년	1951~ 1960년	1961~ 1970년	1971~ 1980년	1981~ 1990년	1991~ 2000년	2001~ 2010년
제주		제외 (결측포함)	1401.7	1369.8	1547.6	1369.4	1394.5	1506.9	1469.6	1516.4
서귀포						1707.6	1716.7	1889.6	1945.9	1933.4
성산							제외 (결측포함)	1887.3	1916.5	2017.1
제주도 해안지역							1595.3	1761.2	1777.3	1822.3
고산								제외 (결측포함)	1125.1	1205.3

\*유의수준  $\alpha=0.05$ , \*\*유의수준  $\alpha=0.01$

앞에서 30년 기간별 비교에서도 밝혀졌듯이, 여름철(6~8월) 기간 중 8월의 강수량이 뚜렷하게 증가하는 경향이 나타나고 있고, 가을철(9~11)기간 중에는 9월의 강수량이 뚜렷한 증가를 보였다(그림 3-1-4). 8월과 9월의 월강수량의 38년간 제주도 해안지역 변화를 Kendall tau's 의 비모수검정 결과 유의성이 95%를 기준으로 모두 통계적 유의성이 낮은 것으로 분석되지만, 성산과 서귀포의 8월 강수량은 90% 유의성 검정에서는 통계적 유의성을 나타내는 것으로 분석된다. 90%의 유의성을 임계치를 기준으로 한 경우에 동부해안 성산의 8월 강수량은 42.7mm/10년의 비율로 증가하였고, 남부해안 서귀포의 8월 강수량도 36.3mm/10년의 비율로 증가하였음을 알 수 있다(표 3-2-11).

Choi *et al.* (2008) 등 여러 연구에서도 밝혀진 바와 같이 한반도 61개 지점을 평균한 연강수량 변화는 통계적으로 유의한 증가추세가 탐지하지만 강수의 경우에는 관측지점별 국지성이 반영되어 경년변동성이 나타나 95%이상의 통계적 유의성을 나타내는 관측지점은 상대적으로 줄어든다. 이와 같이 제주도에서는 대체로 여름철 호우가 나타나는 시기를 중심으로만 일부 통계적 유의성을 잠재적으로 나타내는 결과들은 95퍼센타일 이상의 호우성 강수가 1973~2007년 기간에 대체로 태백산맥과 소백산맥 주변지역에서 관찰되고, 제주도의 경우에는 그 임계치에 따라서 성산 또는 서귀포에서만 관찰되고 있다는 연구결과(Choi *et al.*, 2008)와 일치한다.

제주도 해안지역 평균 및 각 지점별 변화에 나타난 7년 이동평균과 10년 단위 평균값을 살펴보면, 전체적으로 지속적인 변화경향은 탐지되지 않지만, 1971~1980년대에 비하여 최근 10년 기간으로 올수록 점차 150~220mm 이상 높은 값을 나타낸다(표 3-2-12; 그림3-2-31). 지점별로 살펴보면 북부해안 제주의 1971~1980년대 연강수량에 비하여 최근 2001~2010년대 연강수량이 121.9mm 더 많다. 서귀포에서도 1971~1980년대 강수량보다 최근 2001~2010년대 강수량이 216.7mm 더 많다. 그러나 1920년대 중반부터 장기간 관측자료가 있는 제주지점의 전 기간 자료들을 비교해 보면, 최근 2001~2010년 강수량보다 1951~1960년대 강수량이 31.2mm 더 많았다. 즉, 강수량은 지속적인 상승 경향을 보이고 있는 기온과는 달리 시기별로 증가와 감소를 반복하는 경년변동이 나타났음을 가리킨다.

지난 38년간(1973~2010) 연, 계절 강수량 변화에서도 전체기간 동안의 지속적인 증감 추세는 탐지하기 어렵지만 불특정한 해에는 강수량이 크게 나타났다(그림 3-2-31). 제주도 해안지역 평균 연 강수량은 약 5~7년 간격으로 다소 증가하고 감소하는 변동패턴이 반복될 뿐 장기간 지속적으로 증가하거나 감소하는 패턴은 관찰되지 않는다. 가령, 제주도 해안지역의 3개 지점 평균 연강수량은 38년 전체기간 중 1985년에 2,952.9mm로 가장 많았고, 2001년에 2,608.2mm, 2007년에 2,296.3mm, 2003년에 2,276.6mm순으로 강수량이 많았던 해에 해당한다. 계절별로 나누어 살펴보면 강수량이 많았던 연도들은 연강수량의 경우에 비교하여 일치하지 않는 경우도 있다. 가령, 여름철 6~8월 강수량은 1999년에

1,615.5mm로 가장 많았고, 1985년에 1,575.5mm이 그 다음으로 많았다(그림 3-2-32). 가을철 강수량은 2007년에 912.1mm, 1983년에 742.1mm로 많았다. 여름과 가을철에는 열대태평양상에서 발생한 태풍이 제주도를 지나면서 많은 강수를 동반하고 있으며, 해마다 제주도를 관통하는 수도 일정치 않아서 강수의 경년변동이 더 뚜렷한 경향이 있다. 제주도 해안지역 평균 겨울철 강수량은 1997/1998년에 400mm 이상으로 다른 해에 비해서 높게 나타났다. 봄철 강수량은 경년 변동폭이 작게 나타났다.

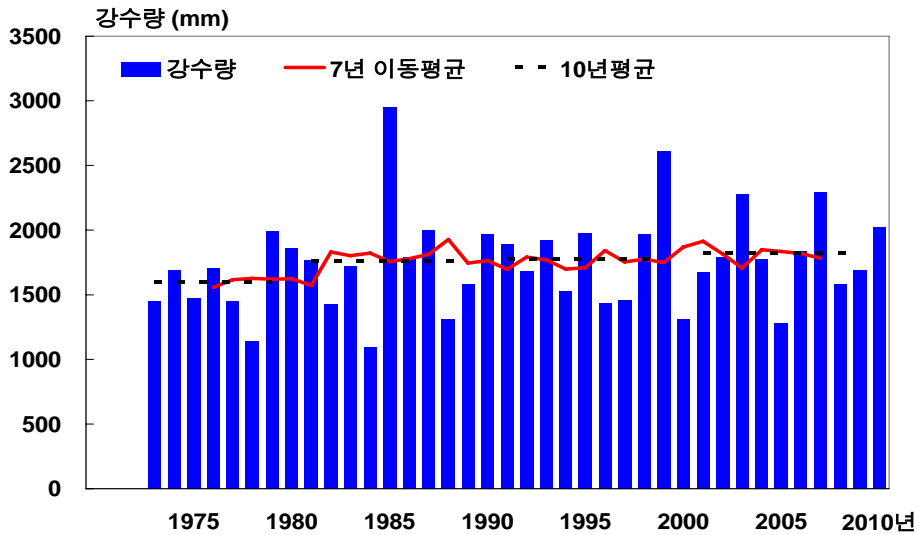
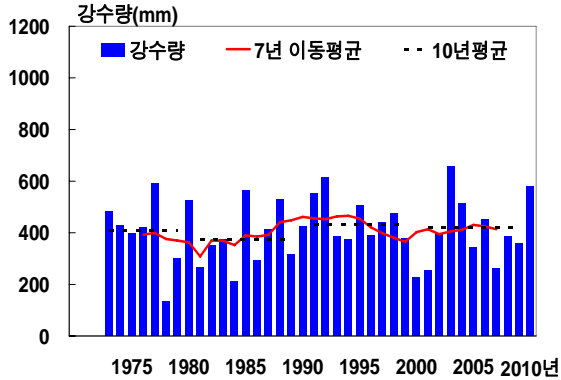
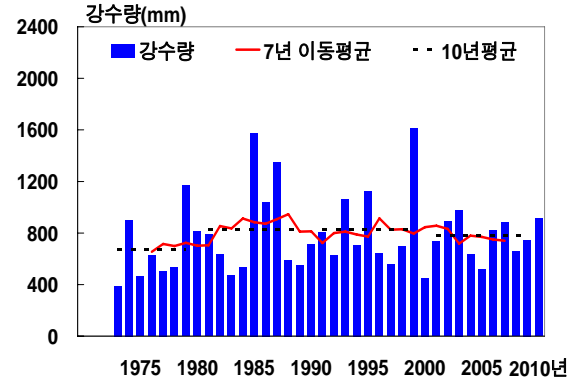


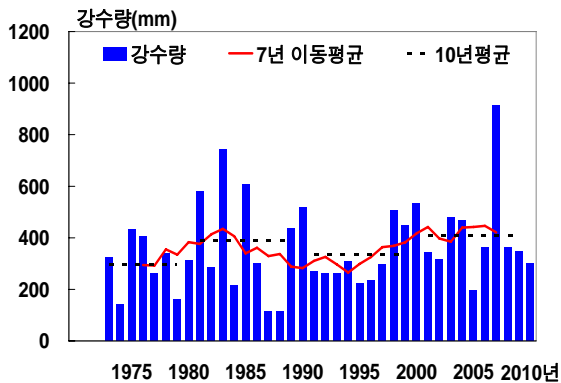
그림 3-2-31. 제주도 해안지역의 연강수량 변화(1973~2010)



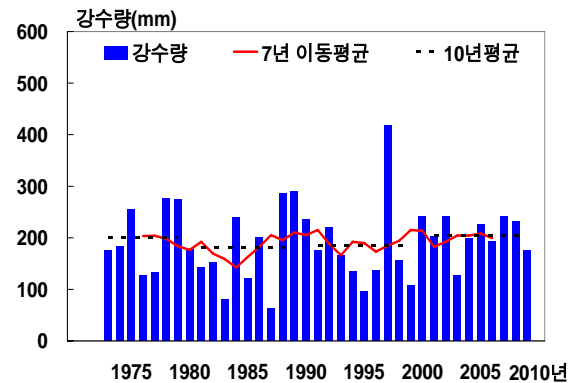
(a)



(b)



(c)



(d)

그림 3-2-32. 제주도 해안지역의 계절별 강수량 변화(1973~2010) (a)봄철, (b)여름철, (c)가을철, (d)겨울철

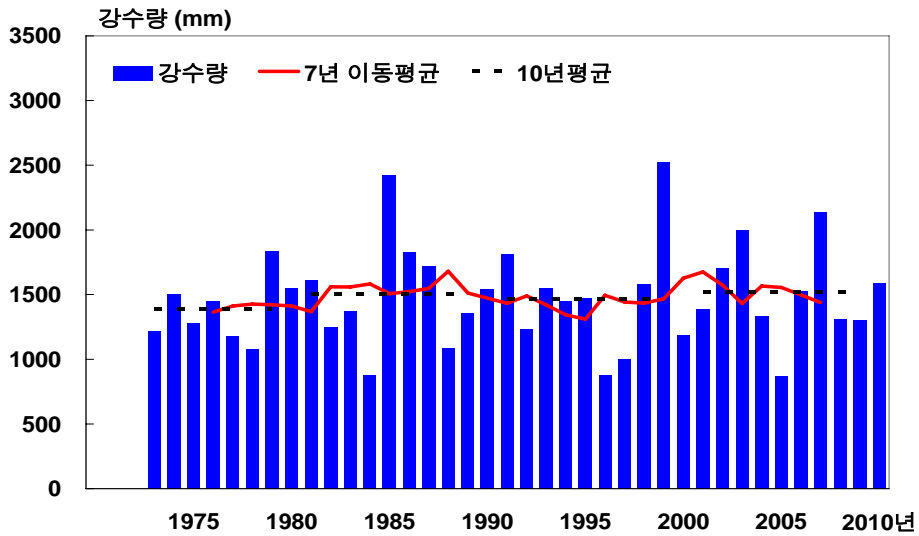


그림 3-2-33. 제주의 연강수량 변화(1973~2010)

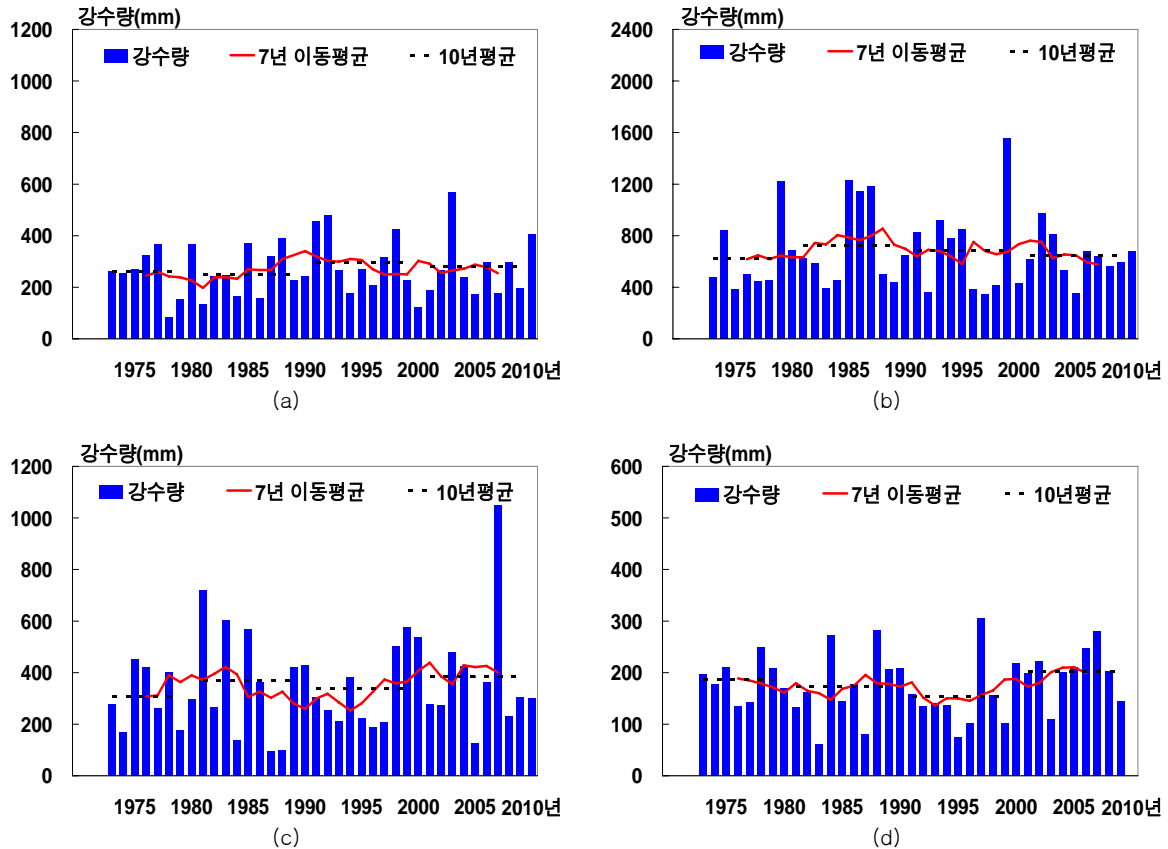


그림 3-2-34. 제주의 계절별 강수량 변화(1973~2010) (a)봄철, (b)여름철, (c)가을철, (d)겨울철

북부해안의 제주 관측지점의 연강수량 변화를 보면, 1985년, 1999년, 2007년 등 태풍이 제주도를 지나간 해에는 강수량이 높게 나타나고 전체 변화에서는 뚜렷한 증감 추세가 관찰되지 않는다(그림 3-2-33). 사계절의 변화에서도 여름철의 경우 태풍이 지나간 1999년에만 강수량이 1,500mm이상을 보이며, 가을철에도 태풍이 지나간 2007년에만 이례적으로 강수량이 1,000mm이상으로 높게 나타났다(그림 3-2-34). 봄철과 가을철에는 경년변동을 보일뿐 장기간 지속적으로 나타나는 증감추세는 관찰되지 않는다.

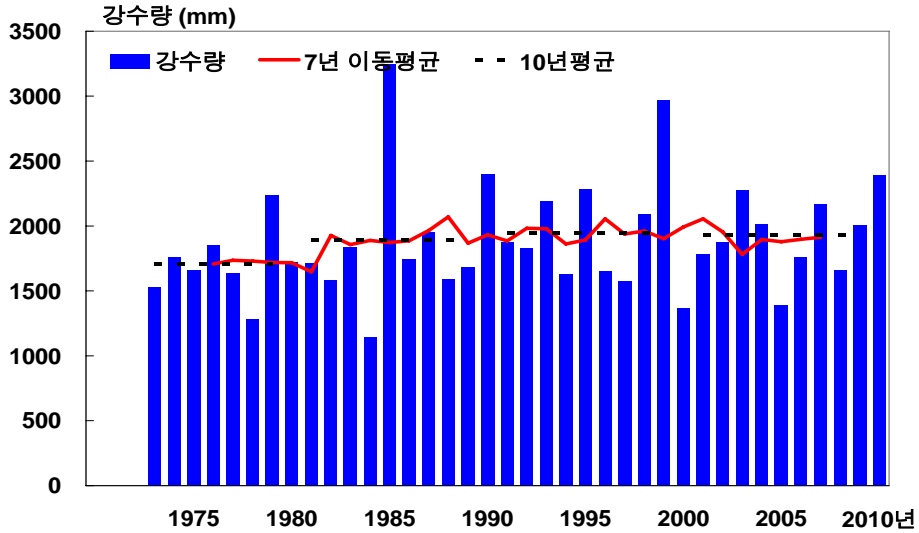


그림 3-2-35. 서귀포의 연강수량 변화(1973~2010)

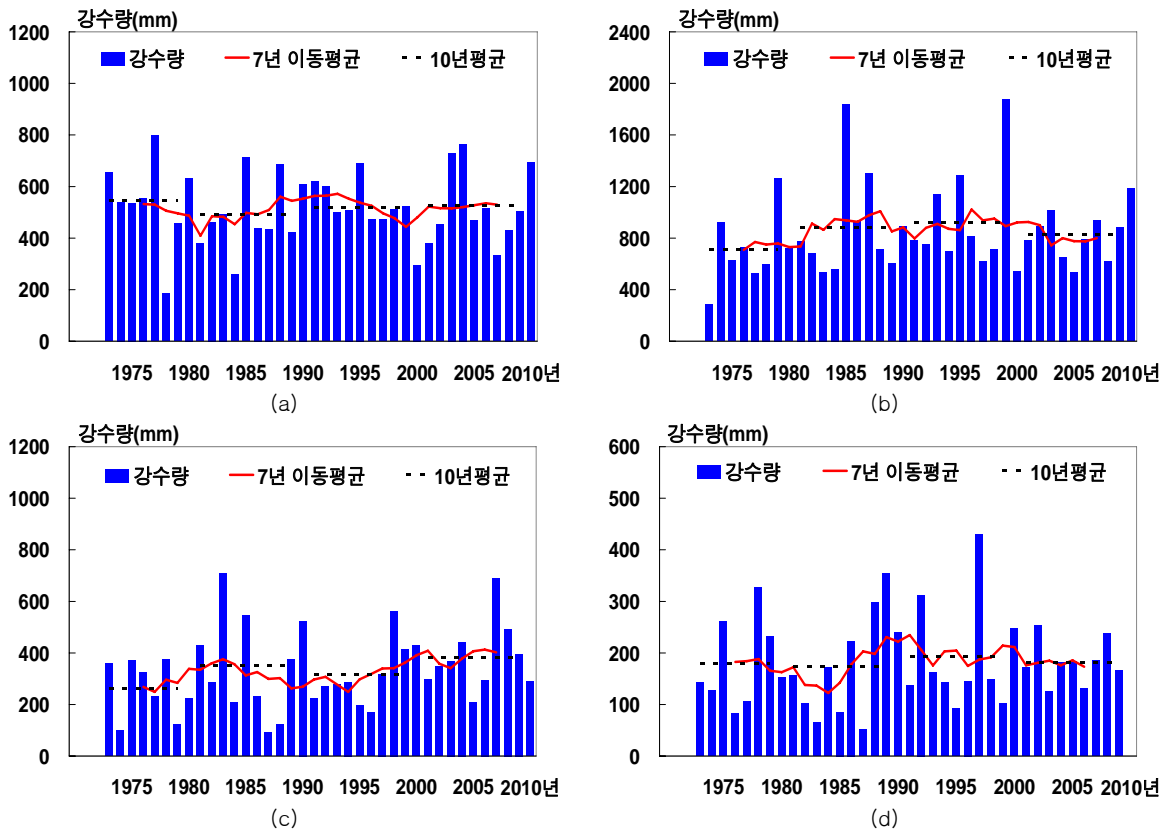


그림 3-2-36. 서귀포의 계절별 강수량 변화(1973~2010) (a)봄철, (b)여름철, (c)가을철, (d)겨울철

남부해안의 서귀포 관측지점의 연강수량 변화를 보면, 1985년, 1999년 등 태풍이 제주도 지나간 해에는 강수량이 2,900mm 이상으로 높게 나타났고, 특히 여름철 강수량이 1,800mm 이상으로 제주도 다른 해안지역 연강수량보다도 높게 나타났다(그림 3-2-35; 그림 3-2-36). 2007년의 경우에는 가을철에 강수량이 많은 해에 속하지만, 1983년과 유사하게 다른 계절의 강수량은 많지 않아 전체적으로는 연강수량이 이례적인 경우에는 속하지 않았다. 서귀포 겨울철 강수량은 1997년에 400mm 이상으로 높게 나타났다.

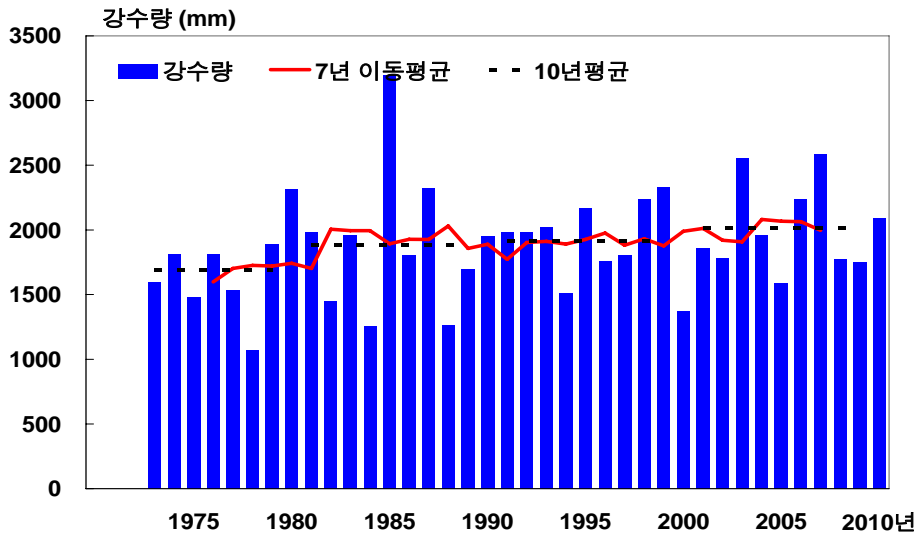


그림 3-2-37. 성산의 연강수량 변화(1973~2010)

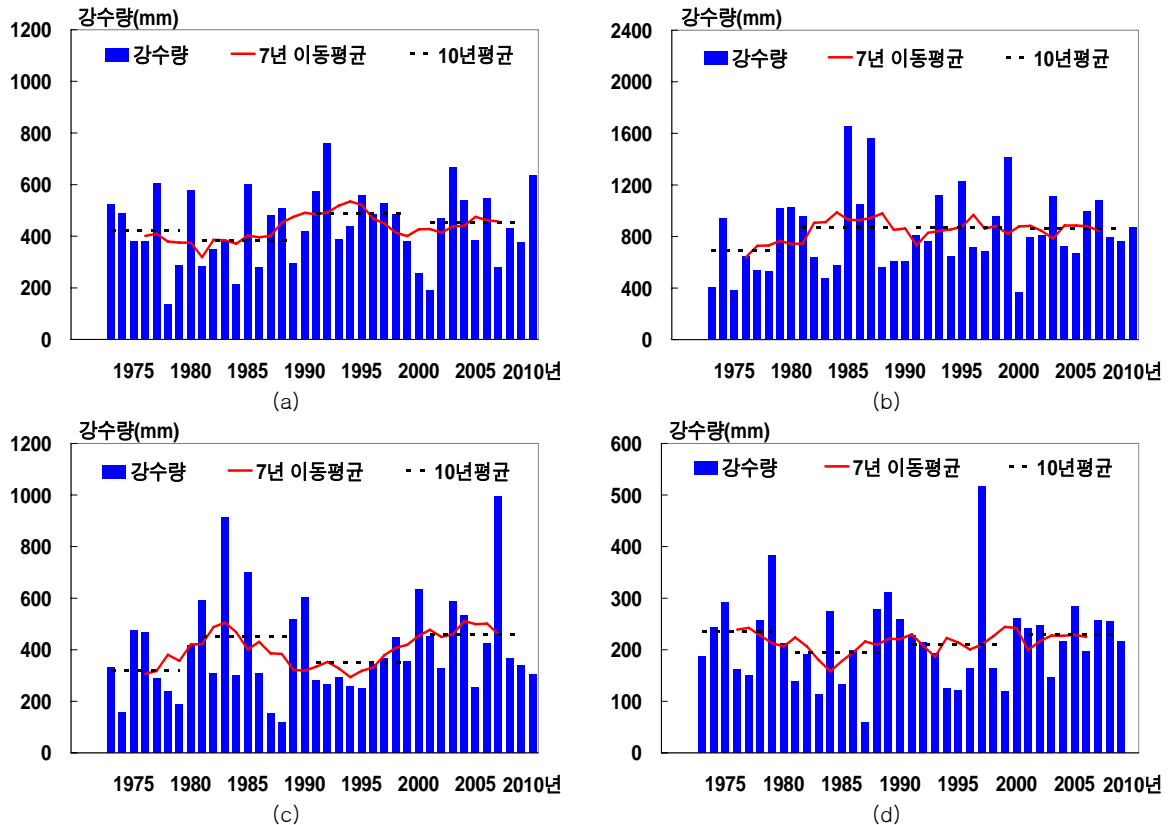


그림 3-2-38. 성산의 계절별 강수량 변화(1973~2010) (a)봄철, (b)여름철, (c)가을철, (d)겨울철

동부해안의 성산의 10년 단위 평균값을 살펴보면 1970년대부터 2000년대에 이르기까지 점진적으로 증가하는 패턴을 보인다(그림 3-2-37). 다른 관측지점과 유사하게 수년 단위에서는 경년변동이 나타나는데 특히 1985년에 연강수량이 3,000mm 이상으로 높게 나타났다. 이러한 연강수량 증가경향은 모든 계절에 걸쳐 일관적으로 1970년대 이래로 지속적으로 나타난 것은 아니다(그림 3-2-38). 강수량이 후반기에 많이 나타나는 것과 1980년대 여름철 강수량과 1990년대 가을철 강수량이 높은 것은 태풍이 제주도에 근접하여 북상하면서 영향을 주었기 때문이다.



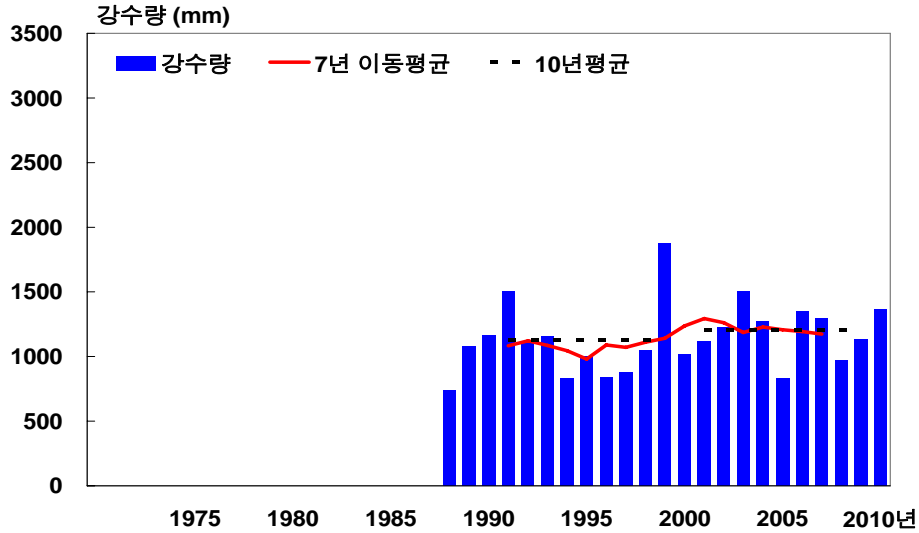


그림 3-2-39. 고산의 연강수량 변화(1973~2010)

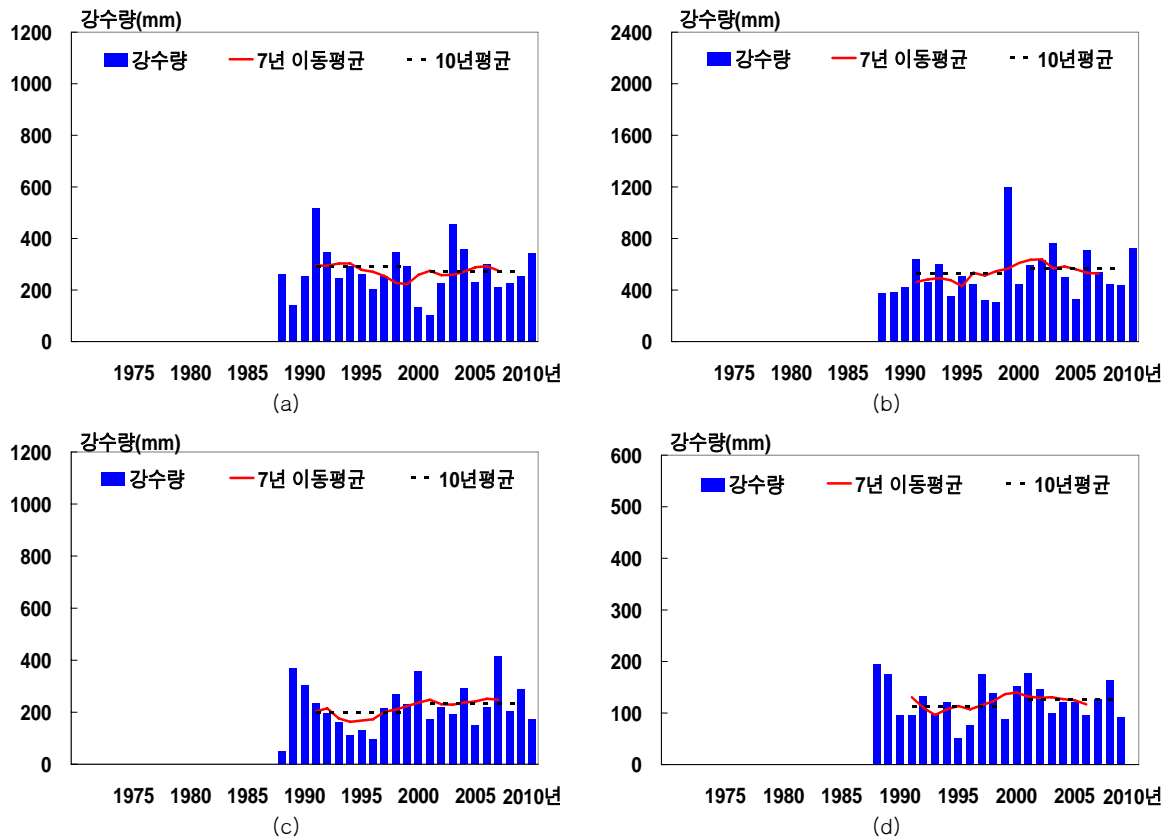


그림 3-2-40. 고산의 계절별 강수량 변화(1973~2010) (a)봄철, (b)여름철, (c)가을철, (d)겨울철

서부해안 고산 관측지점의 경우에는 1988년대 이래로 관측이 이루어져서 1990년대 이전의 강수량 변화경향에 대해서는 알 수 없지만, 다른 세 관측지점에 비해서는 전체적으로 연, 사계절 강수량이 상대적으로 작고, 이례적인 해의 강수량 변동폭도 작게 나타났다(그림 3-2-39). 여름철 강수량이 많았던 1999년의 경우에도 약 1,200mm 정도로 다른 관측지점에 비하여 작았다(그림 3-2-40). 대체로 봄철 강수량이 많은 경우에 그 해의 연강수량도 높게 나타나지만, 전체적으로 장기간 증감패턴은 관찰되지 않는다.

이상의 내용을 종합하여 보면, 일부 남동부 해안 지역에서 태풍이 제주도를 주로 지나가는 여름철 8월과 9월의 월강수량만 증가하는 경향이 나타나고 북동부 해안에서는 이러한 변화도 탐지되지 않는다. 이러한 태풍의 영향도 매년마다 발생한 것에 의하기 보다는 해당 기간 동안 1~2개의 근접 태풍의 영향에 의한 것이다. 그 결과, 제주도 해안지역의 연별 계절별 강수량의 변화가 탐지되지 않고 수 년 주기의 경년변동 패턴만이 관찰된다.

실제 제주도 여름철~초가을 강수변화와 관련하여 큰 영향을 미치는 서태평양에서 발생하여 한반도로 북상하는 태풍의 수나 강도에 지난 20세기 동안 뚜렷한 변화가 탐지되지 않았다. 가령, 서태평양에서 발생하는 태풍이 많은 해에 우리나라를 관통하는 태풍의 수는 오히려 적은해도 발생한다. 북태평양 고기압과 대륙고기압이 한반도상에 균형을 이룰 때 중국 남부해상에서 남서기류가 한반도로 집중되는 특징을 보이기는 한다 일부 연구에서(예. 문자연 외, 2011) 1990대 후반 이후 한반도에 강수량이 증가하는 패턴의 원인으로 북태평양고기압이 강화로 보았으나, 북태평양 고기압이 한반도 방향으로 더 확장하는 패턴은 해마다 달라지기 때문에 이를 기후변화에 의한 것이라고 판단하기에는 어려움이 있다. 실제 한반도 포함한 서태평양 전체 몬순지역에 걸쳐서도 연, 계절 단위의 강수량의 증감패턴은 찾아보기 어렵다(Choi *et al.*, 2009). 일부 국내 전체 관측지점을 대상으로 한 연구에서(Choi *et al.*, 2008) 한반도 평균 연 강수량의 변화와 극한강수현상의 변화에서는 1970년대 이래로 증가하는 패턴이 나타나지만 이는 대체로 태백산맥과 소백산맥 등 산악주변 지역에서 나타나는 패턴이기 때문에 향후 장기간 자료를 수집하여 한라산 산간지역의 강수량 변화경향을 살펴 볼 필요성이 있다고 사료된다.

### 3. 기타 기후 요소 변화

기온과 강수 이외 제주도 3개 지점(제주, 서귀포, 성산)의 일교차, 운량, 일조시간, 상대습도, 증발량(제주와 서귀포) 등의 기후요소에 대한 지난 38년간(1973~2010)의 변화추세를 살펴보았다(표 3-3-1). 최고기온과 최저기온의 차를 나타내는 일교차는 대체로 최고기온이 상승하지만 최저기온의 상승률이 더 높기 때문에 연평균 그리고 사계절 평균 일교차 모두 통계적으로 유의미한 감소추세를 보였다. 운량과 증발량은 지역 및 계절에 따라 그 양상이 모두 상이하게 나타났다. 지역적으로 북부해안의 제주에서는 연평균 운량이 감소하였고, 남부해안의 서귀포와 동부해안의 성산에서는 변화가 뚜렷하지 않았다. 일조시간은 제주도 해안지역에서 평균적으로 감소하는 경향을 보이지만 강수량이 증가한 성산 지역을 제외하면 통계적 유의성이 낮다. 상대습도는 제주도 해안지역의 관측지점에서 겨울철과 봄철에는 낮아지는 패턴이 공통적으로 나타났지만, 여름철과 가을철에는 관측지점마다 변화양상이 다르게 나타났다.

표 3-3-1. 제주도의 연·계절 일교차, 운량, 일조시간, 상대습도, 증발량의 변화(1973~2010) (단위: 요소별 단위/년)

지점	기간	연	봄	여름	가을	겨울
제주	일교차(℃)	-0.021**	-0.015*	-0.021**	-0.032**	-0.017*
	운량(/10)	-0.020**	-0.026**	0.000	-0.021**	-0.031**
	일조시간(hr)	-5.247*	-1.285	-2.344	-1.209	-0.529
	상대습도(%)	-0.167**	-0.118*	-0.165*	-0.210**	-0.142*
	증발량(mm)	-1.326	0.253	-0.672	0.062	-0.382
서귀포	일교차(℃)	-0.019**	-0.011	-0.008*	-0.029**	-0.033**
	운량(/10)	0.001	-0.018	0.007	0.005	0.012
	일조시간(hr)	-1.903	0.457	-1.693	-0.247	-0.487
	상대습도(%)	-0.050	-0.186**	0.004	0.094	-0.116*
	증발량(mm)	-3.950**	-0.860*	-1.388*	-0.798	-1.120**
성산	일교차(℃)	-0.023**	-0.027*	-0.027**	-0.030**	0.009
	운량(/10)	0.008	-0.005	0.012	0.018	-0.001
	일조시간(hr)	-14.989**	-2.081*	-6.944**	-4.724**	-1.518
	상대습도(%)	-0.071	-0.202*	-0.112	0.099	-0.165*
	증발량(mm)	-	-	-	-	-
제주도 해안지역	일교차(℃)	-0.021**	-0.017*	-0.019**	-0.030**	-0.019**
	운량(/10)	-0.006	-0.017*	0.006	-0.003	-0.005
	일조시간(hr)	-7.281**	-0.970	-3.645**	-2.085**	-0.724
	상대습도(%)	-0.102**	-0.169*	-0.090**	-0.006	-0.141**
	증발량(mm)	-2.630*	-0.552	-1.030	-0.368	-0.681**

\*유의수준  $\alpha=0.05$ , \*\*유의수준  $\alpha=0.01$

표 3-3-2. 제주도 해안지역의 10년 단위 일교차, 운량, 일조시간, 상대습도(관측이래~2010년)

기간	1921~ 1930년	1931~ 1940년	1941~ 1950년	1951~ 1960년	1961~ 1970년	1971~ 1980년	1981~ 1990년	1991~ 2000년	2001~ 2010년
일교차(℃)						7.0	7.1	6.7	6.5
운량(/10)						6.0	5.9	5.8	5.9
일조시간(hr)						2123.5	2039.0	1964.4	1923.0
상대습도(%)						74.2	72.1	69.5	71.2

표 3-3-3. 제주의 10년 단위 일교차, 운량, 일조시간, 상대습도, 증발량(관측이래~2010년)

기간	1921~ 1930년	1931~ 1940년	1941~ 1950년	1951~ 1960년	1961~ 1970년	1971~ 1980년	1981~ 1990년	1991~ 2000년	2001~ 2010년
일교차(℃)	제외 (결측 포함)	6.9	7.2	7.1	6.9	6.6	6.3	6.0	6.0
운량(/10)		6.9	7.0	6.8	6.5	6.5	6.4	6.0	5.9
일조시간(hr)		2188.0	2143.7	1921.2	1990.5	1919.3	1901.0	1876.3	1784.9
상대습도(%)		73.6	72.2	72.4	73.2	75.0	72.2	68.8	69.1
증발량(mm)		1507.9	1423.4	1436.0	1418.7	1277.7	1256.6	1240.0	1191.6

표 3-3-4. 서귀포의 10년 단위 일교차, 운량, 일조시간, 상대습도, 증발량(관측이래~2010년)

기간	1921~ 1930년	1931~ 1940년	1941~ 1950년	1951~ 1960년	1961~ 1970년	1971~ 1980년	1981~ 1990년	1991~ 2000년	2001~ 2010년
일교차(℃)					7.4	6.9	7.0	6.4	6.5
운량(/10)					6.0	5.7	5.7	5.6	5.8
일조시간(hr)					2044.9	2045.7	2106.0	2033.3	2024.9
상대습도(%)					72.5	71.3	69.8	67.8	70.0
증발량(mm)					1372.5	1276.7	1235.0	1188.3	1197.9

표 3-3-5. 성산의 10년 단위 일교차, 운량, 일조시간, 상대습도(관측이래~2010년)

기간	1921~ 1930년	1931~ 1940년	1941~ 1950년	1951~ 1960년	1961~ 1970년	1971~ 1980년	1981~ 1990년	1991~ 2000년	2001~ 2010년
일교차(℃)						제외 (결측 포함)	7.9	7.6	7.0
운량(/10)							5.6	제외(결측포함)	
일조시간(hr)							2110.1	제외(결측포함)	1948.5
상대습도(%)							74.4	71.9	74.5

표 3-3-6. 고산의 서귀포의 10년 단위 일교차, 운량, 일조시간, 상대습도(관측이래~2010년)

기간	1921~ 1930년	1931~ 1940년	1941~ 1950년	1951~ 1960년	1961~ 1970년	1971~ 1980년	1981~ 1990년	1991~ 2000년	2001~ 2010년
일교차(℃)							제외 (결측 포함)	5.2	5.6
운량(/10)								6.2	6.1
일조시간(hr)								2030.3	1904.6
상대습도(%)								76.6	72.0

# 1) 일교차

제주도 해안지역 평균 일교차는 1980년대에 증가하였다가 1990년대 이후에 감소하고 있으며, 38년 전체기간에는  $0.21^{\circ}\text{C}/10\text{년}$ 의 감소율을 보인다(그림 3-3-1; 표 3-3-1). 사계절 중에서는 가을철 일교차가  $0.30^{\circ}\text{C}/10\text{년}$ 으로 가장 크고, 겨울철  $0.19^{\circ}\text{C}/10\text{년}$ , 봄철  $0.17^{\circ}\text{C}/10\text{년}$ 으로 나타난다(그림 3-3-2). 최고기온 변화가 뚜렷하지 않은 여름철에도 최저기온은 상승하기 때문에 일교차는 감소하는 경향을 보인다.

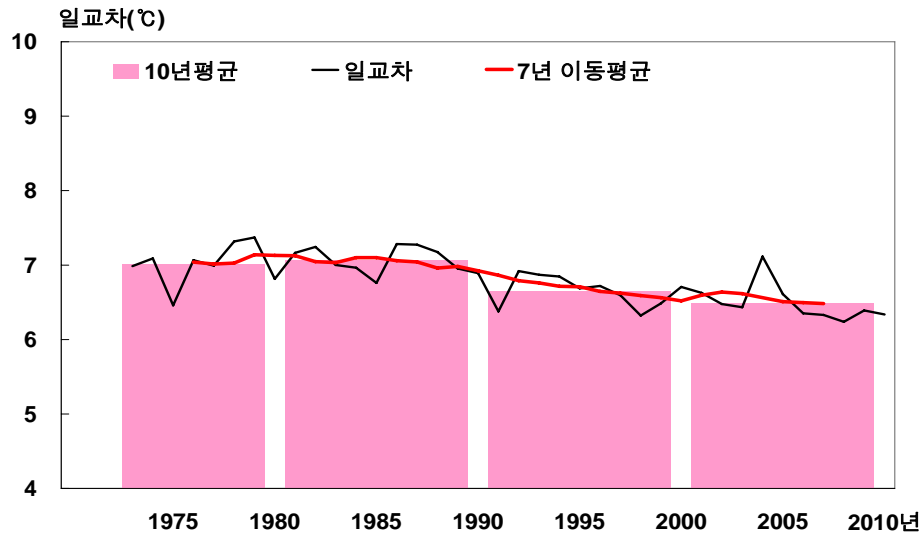


그림 3-3-1. 제주도 해안지역의 연 일교차 변화(1973~2010)

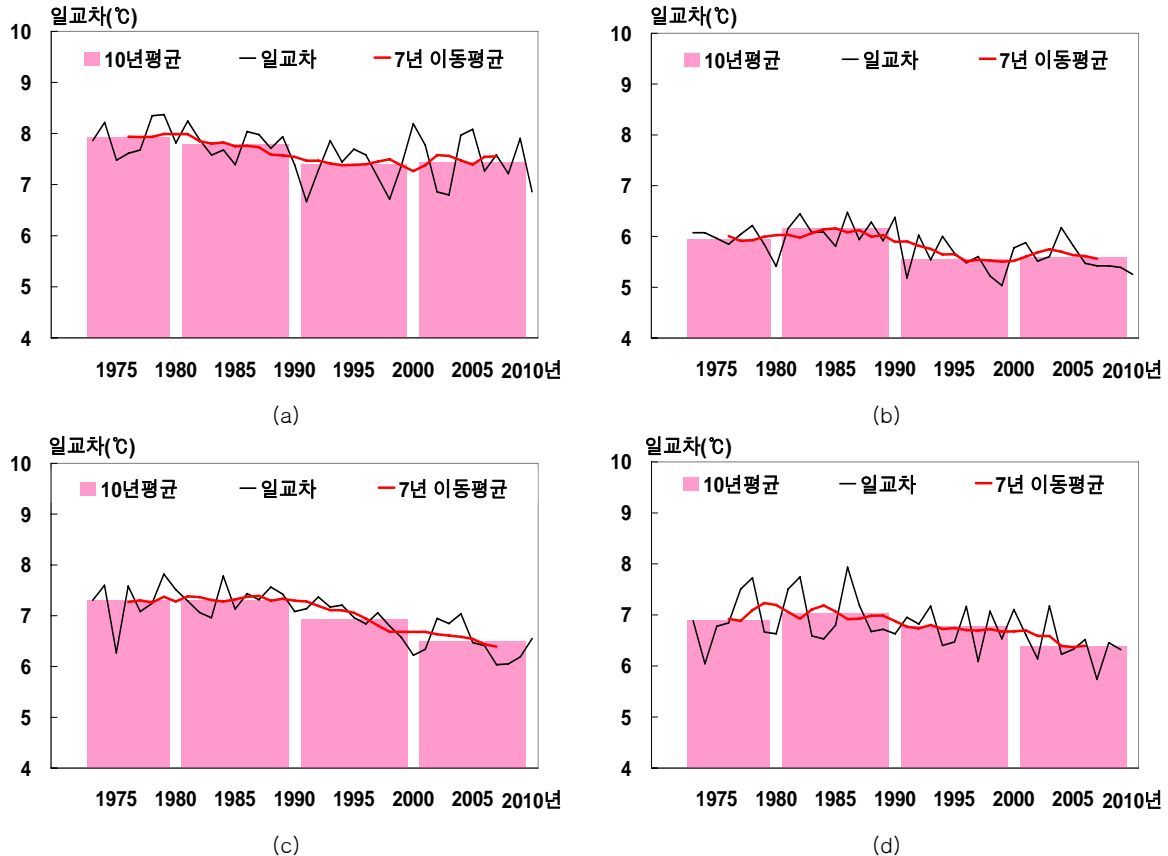


그림 3-3-2. 제주도 해안지역의 계절별 일교차 변화(1973~2010) (a)봄철, (b)여름철, (c)가을철, (d)겨울철

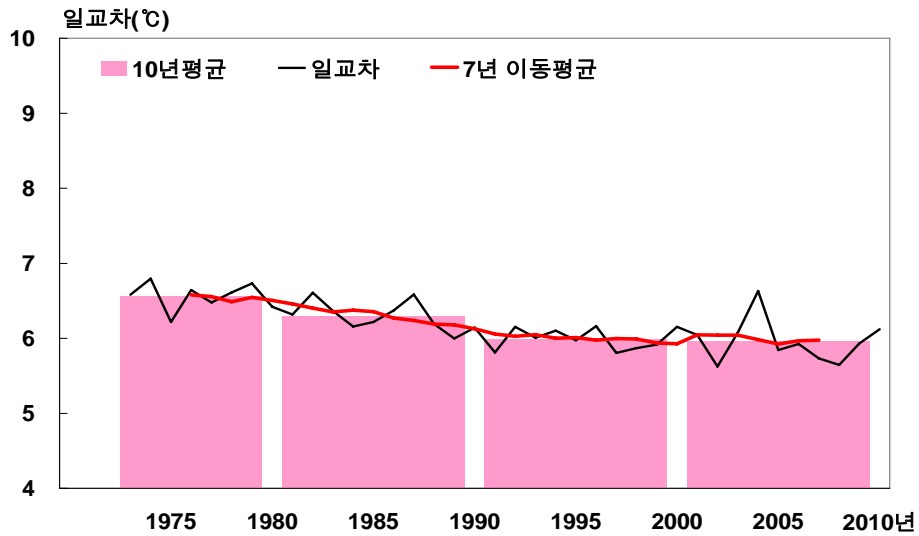


그림 3-3-3. 제주의 연 일교차 변화(1973~2010)

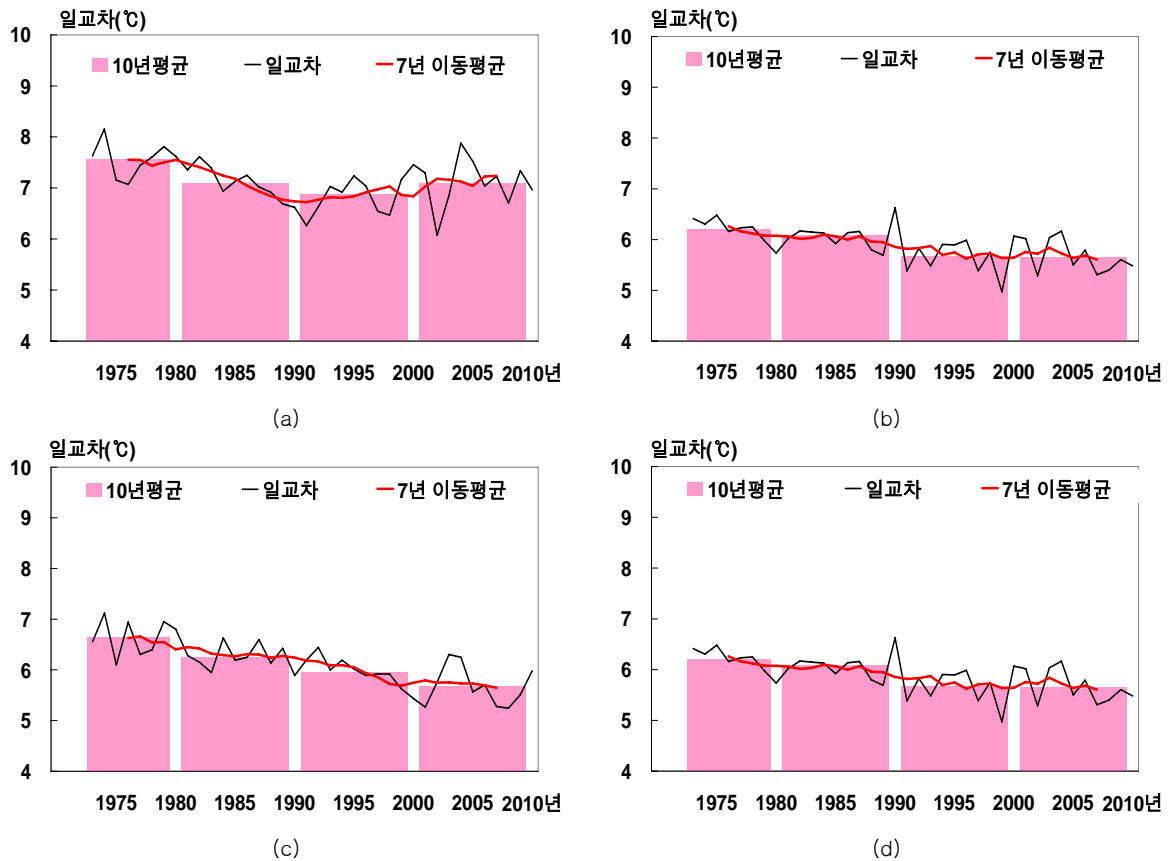


그림 3-3-4. 제주의 계절별 일교차 변화(1973~2010) (a)봄철, (b)여름철, (c)가을철, (d)겨울철

북부해안 제주의 연평균 일교차는 지속적으로 감소하고 있으며, 감소율은  $0.21^{\circ}\text{C}/10\text{년}$ 을 보인다(그림 3-3-3; 표 3-3-1). 제주의 일교차는 봄철을 제외한 다른 계절 모두 지속적으로 통계적으로 유의미한 감소추세를 보이는데, 특히 가을철의 일교차가  $0.32^{\circ}\text{C}/10\text{년}$ 으로 가장 뚜렷한 감소추세를 보인다(그림 3-3-4). 제주의 봄철 일교차는 1990년대까지는 지속적인 감소추세를 보이다가 2000년대에 1980년대 수준으로 다소 회복하는 양상을 나타내고 있다(표 3-3-2).

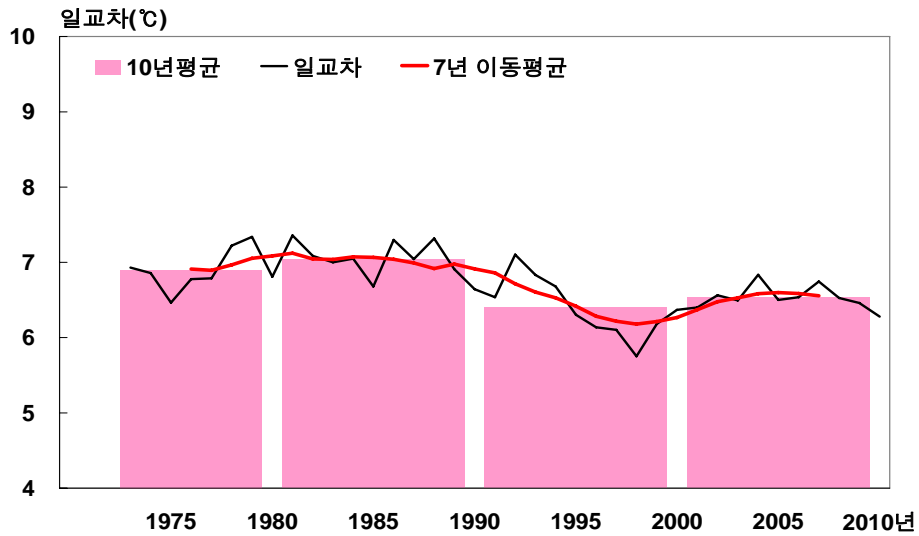


그림 3-3-5. 서귀포의 연 일교차 변화(1973~2010)

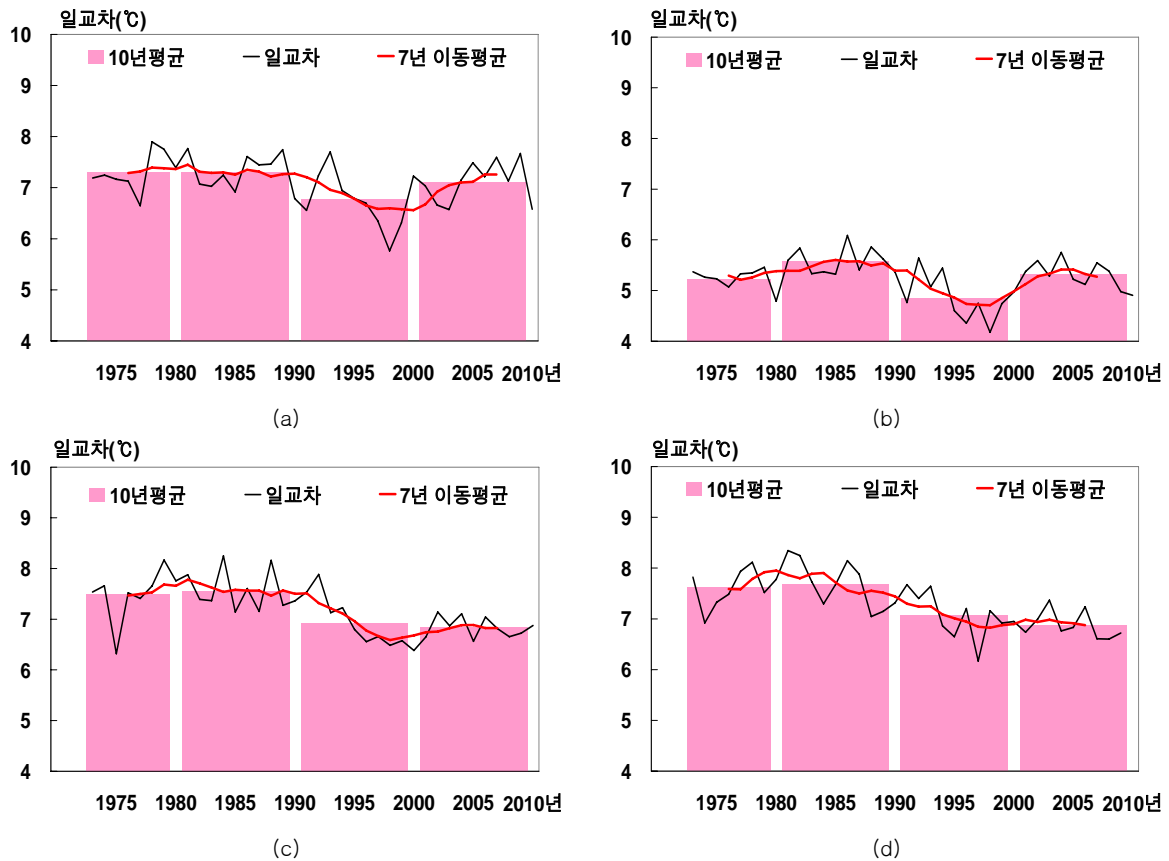


그림 3-3-6. 서귀포의 계절별 일교차 변화(1973~2010) (a)봄철, (b)여름철, (c)가을철, (d)겨울철

남부해안 서귀포의 연평균 일교차는 1980년대에 상승하고, 1990년대에 하강하였다가 2000년대에 변화가 뚜렷하지 않은 추세를 보인다(그림 3-3-5; 표 3-3-1). 전체 기간의 일교차 변화추세는  $0.19^{\circ}\text{C}/10\text{년}$ 의 감소율을 나타낸다. 계절 평균 일교차에서도 대체로 1990년대가 낮게 나타나는데 이 시기에 최저기온의 상승률이 뚜렷하게 나타났기 때문이다(그림 3-3-6). 일교차의 감소율은 겨울철에  $0.33^{\circ}\text{C}/10\text{년}$ 으로 가장 뚜렷하고, 가을철 일교차도  $0.29^{\circ}\text{C}/10\text{년}$ 의 높은 감소율을 나타낸다.

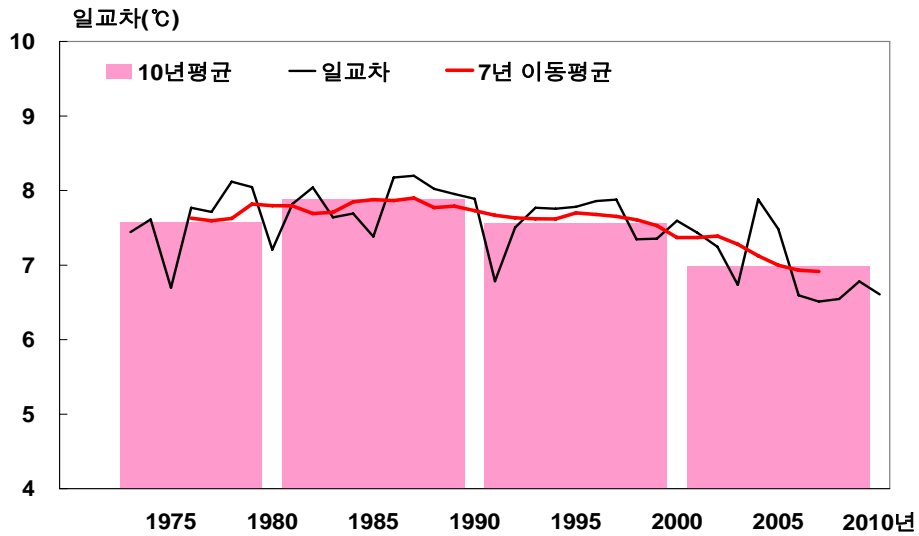


그림 3-3-7. 성산의 연 일교차 변화(1973~2010)

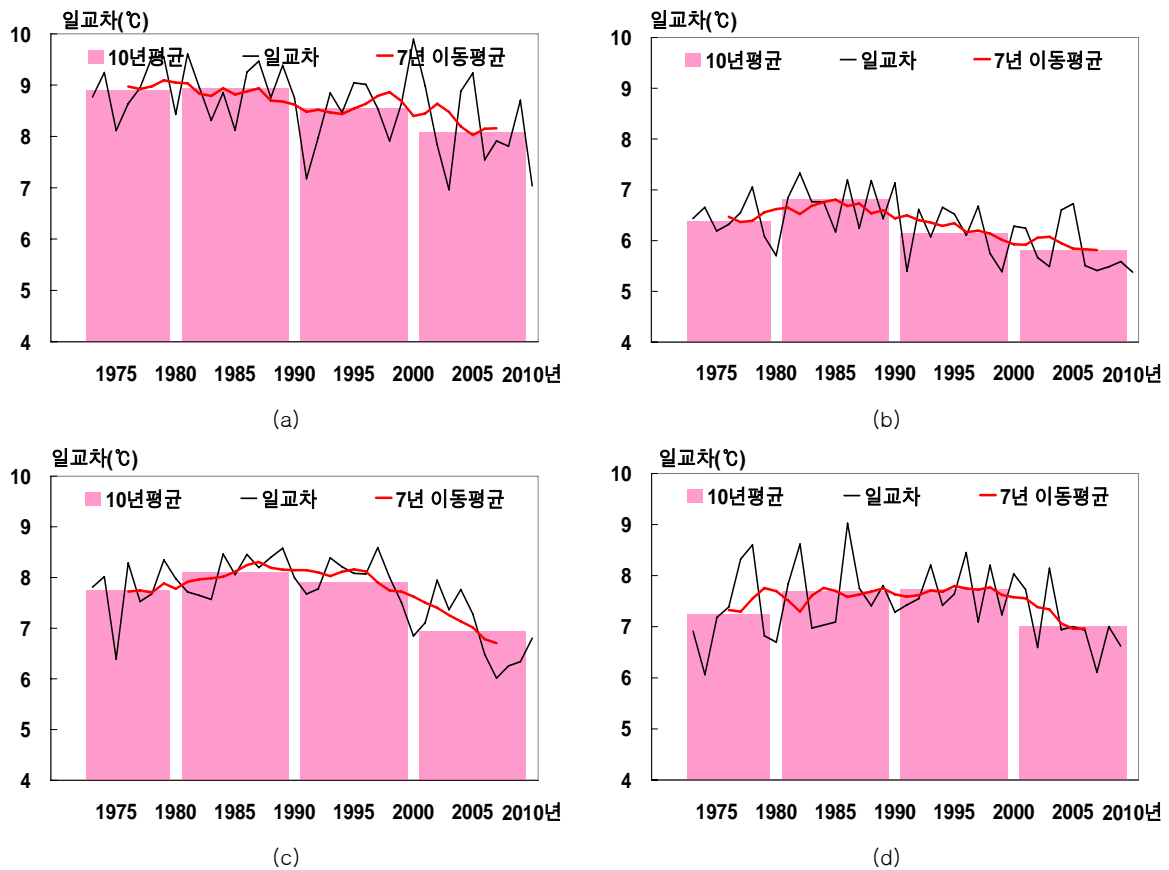


그림 3-3-8. 성산의 계절별 일교차 변화(1973~2010) (a)봄철, (b)여름철, (c)가을철, (d)겨울철

동부해안 성산지역의 연평균 일교차는 북부해안의 제주나 남부해안의 서귀포보다 감소 추세가 가장 뚜렷하며, 감소율은  $0.23^{\circ}\text{C}/10\text{년}$ 을 보인다(그림 3-3-7; 표 3-3-1). 계절 평균 일교차를 살펴보면, 봄철, 여름철, 가을철 일교차 감소율이  $0.27\sim 0.30^{\circ}\text{C}/10\text{년}$ 으로 상대적으로 높은 감소율을 보인다(그림 3-3-7). 겨울철 일교차는 1980년대와 1990년대가 1970년대나 2000년대의 일교차에 비하여 높게 나타나 일교차 변화추세는 통계적으로 유의미하지 않게 나타난다.



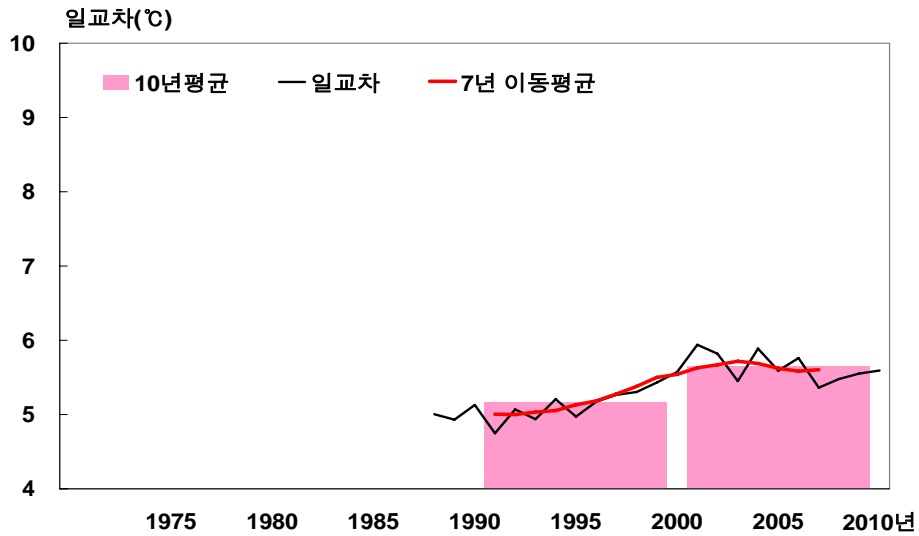


그림 3-3-9. 고산의 연 일교차 변화(1973~2010)

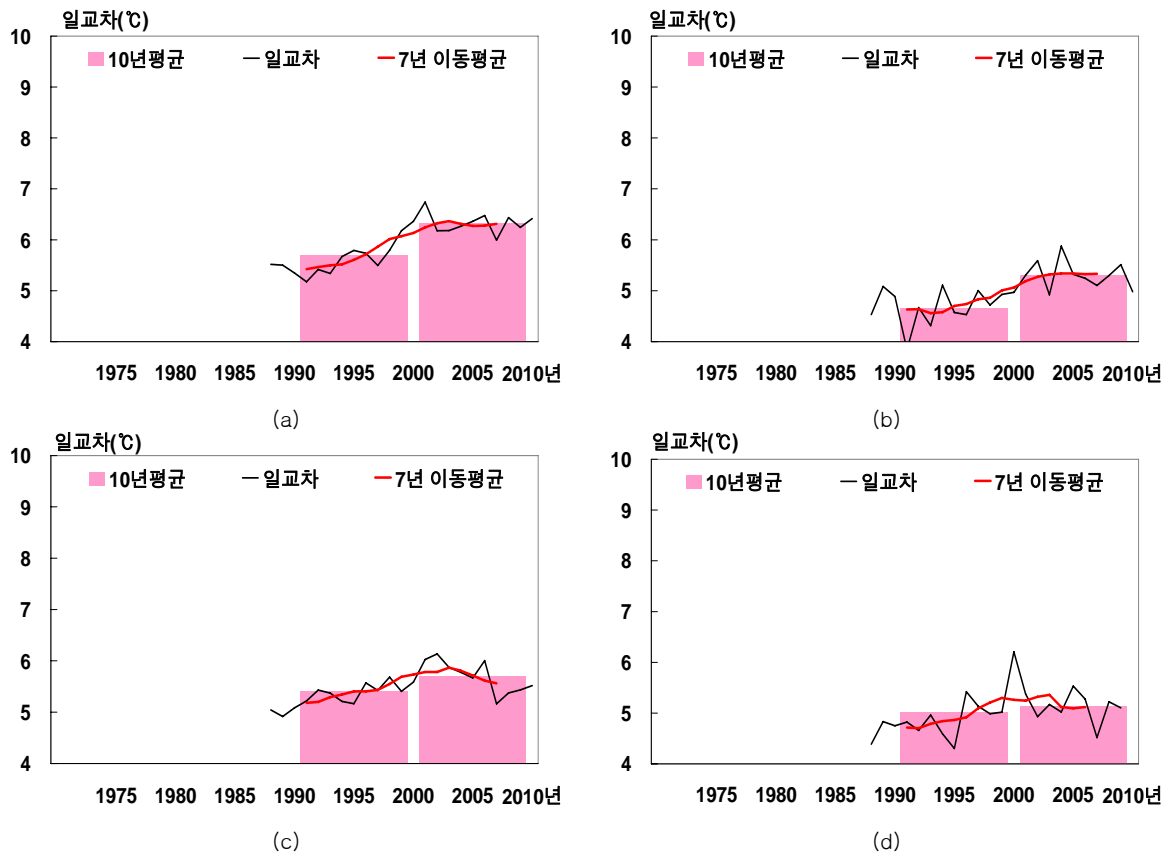


그림 3-3-10. 고산의 계절별 일교차 변화(1973~2010) (a)봄철, (b)여름철, (c)가을철, (d)겨울철

1988년부터 관측이 이루어진 서부해안의 고산의 연평균 일교차는 1990년대에 비하여 2000년대에 증가하는 패턴을 보인다(그림 3-3-9; 표 3-3-6). 이러한 패턴은 계절 평균 일교차 시계열에서도 나타나며, 특히 봄철과 여름철 시계열에서 1990년대에 비하여 2000년대의 일교차가 뚜렷하게 높게 나타난다(그림 3-3-10).

이와 같이 계절 및 지역별 일교차 변화추세는 상이하지만 제주도에서는 최저기온이 최고기온 변화보다 뚜렷했던 여름철과 가을철에는 일교차가 공통적으로 감소하였다.

## 2) 운량

제주도 해안지역의 지난 38년간 연평균 운량의 시계열에 나타난 10년 단위 평균과 변화추세를 분석한 결과 유의미한 결과는 나타나지 않았다(그림 3-3-11; 표 3-3-1; 표 3-3-2). 제주도 해안지역의 계절별 운량의 시계열에서는 봄철의 경우에만 통계적으로 유의미한 지속적인 감소추세를 보였다(그림 3-3-12). 1990년대 이후의 봄철 운량이 이전 시기에 비하여 작게 나타나 38년간 봄철의 운량 감소율은 0.17/10년으로 나타났다.

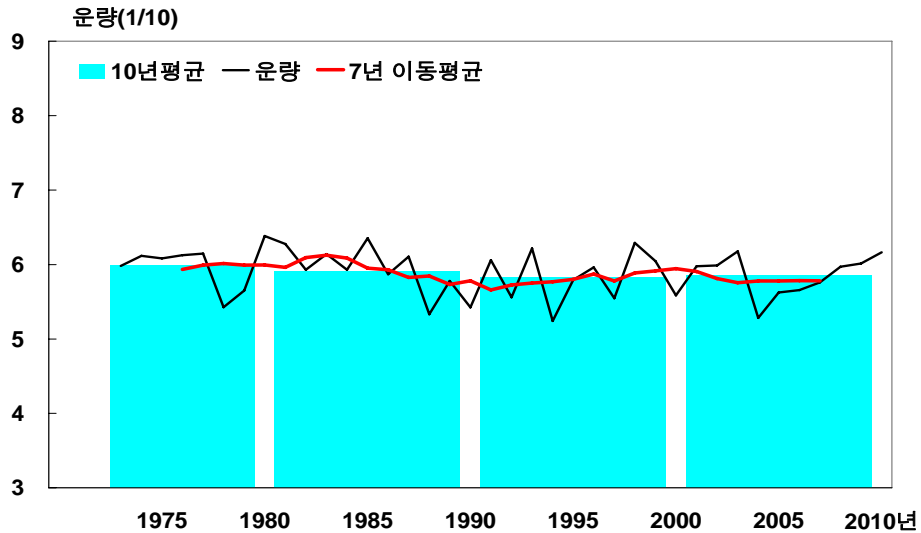


그림 3-3-11. 제주도 해안지역의 연 운량 변화(1973~2010)

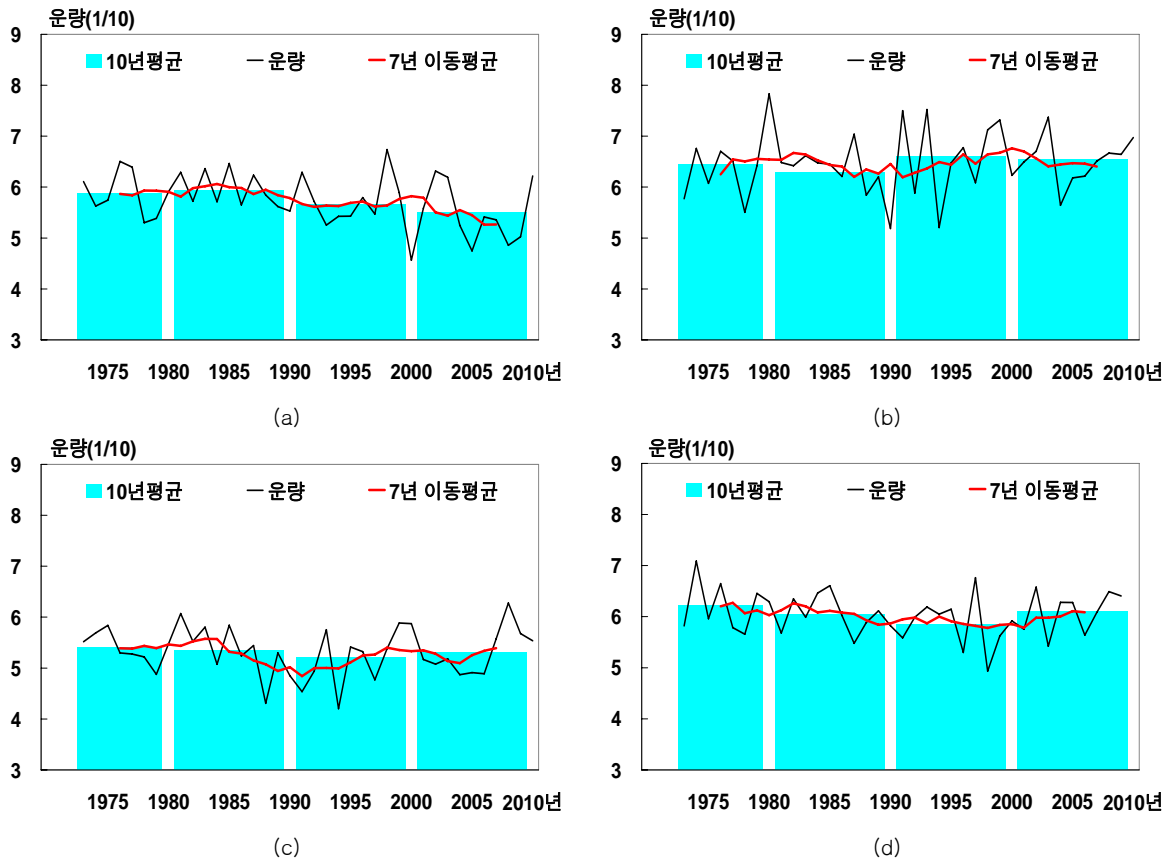


그림 3-3-12. 제주도 해안지역의 계절별 운량 변화(1973~2010) (a)봄철, (b)여름철, (c)가을철, (d)겨울철

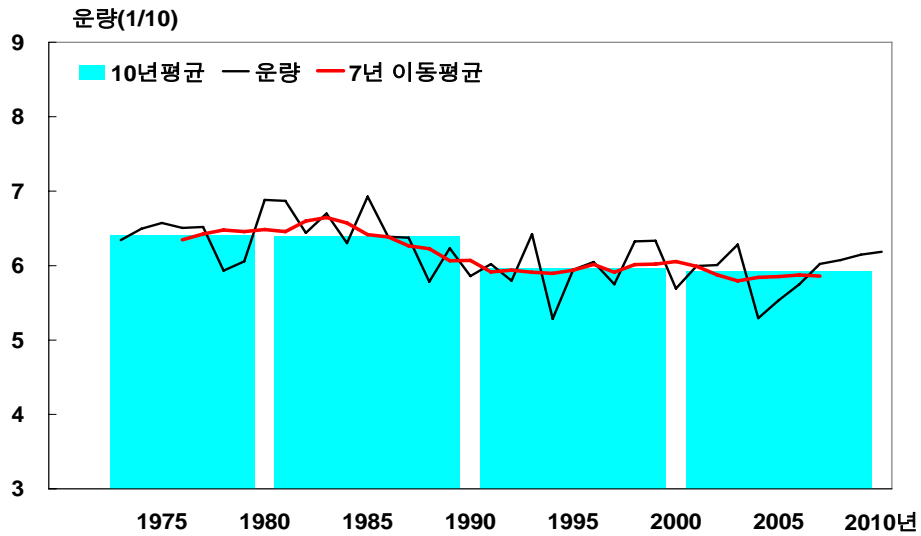


그림 3-3-13. 제주의 연 운량 변화(1973~2010)

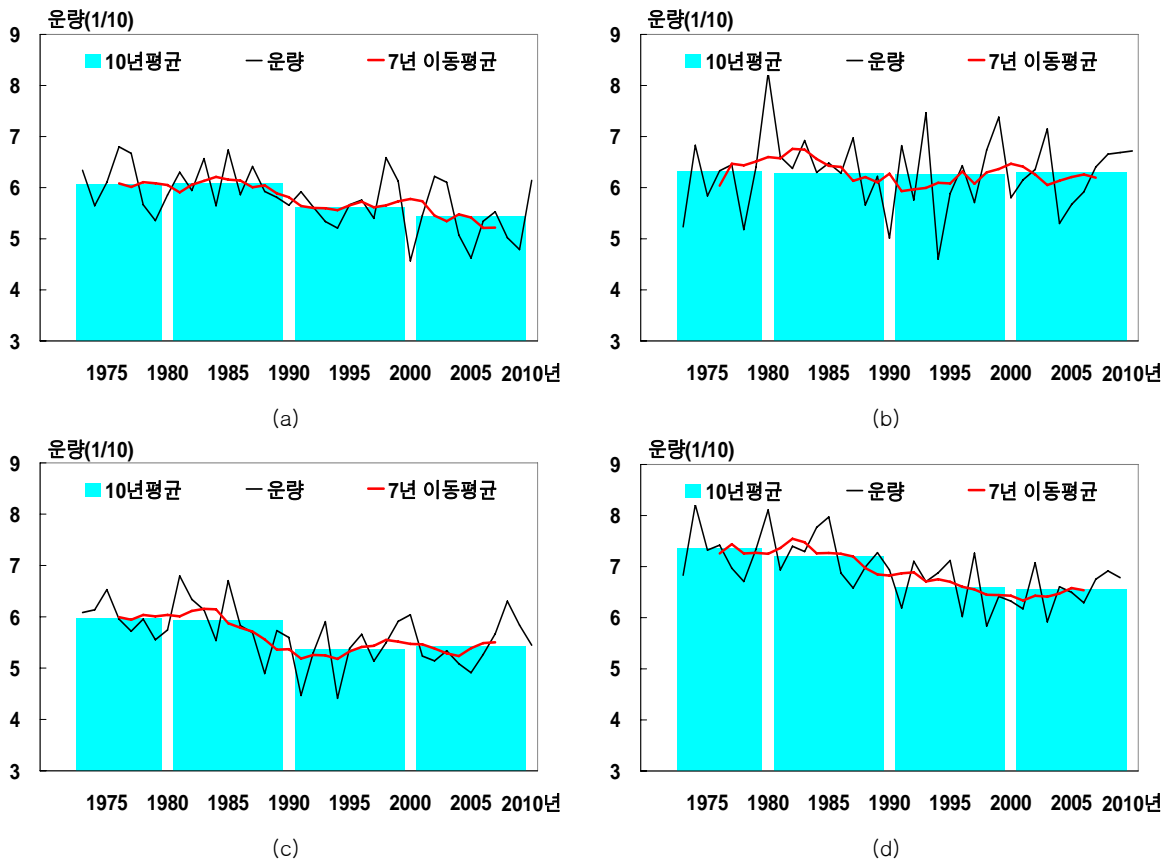


그림 3-3-14. 제주의 계절별 운량 변화(1973~2010) (a)봄철, (b)여름철, (c)가을철, (d)겨울철

북부해안 제주의 연 운량은 1970년대와 1980년대에 비하여 1990년대와 2000년대에 줄어들고 있으면 감소율은 0.20/10년으로 나타났다(그림 3-3-13; 표 3-3-1; 표 3-3-3). 사계절 평균 운량도 제주에서는 여름철을 제외한 모든 다른 계절의 변화추세는 통계적으로 유의미한 감소추세를 나타낸다(그림 3-3-14). 특히 계절적으로 평균 운량이 많은 겨울철에 운량이 0.31/10년의 가장 뚜렷한 감소추세를 보인다. 제주 봄철과 가을철 운량도 0.26/10년과 0.21/10년의 감소율을 보인다.

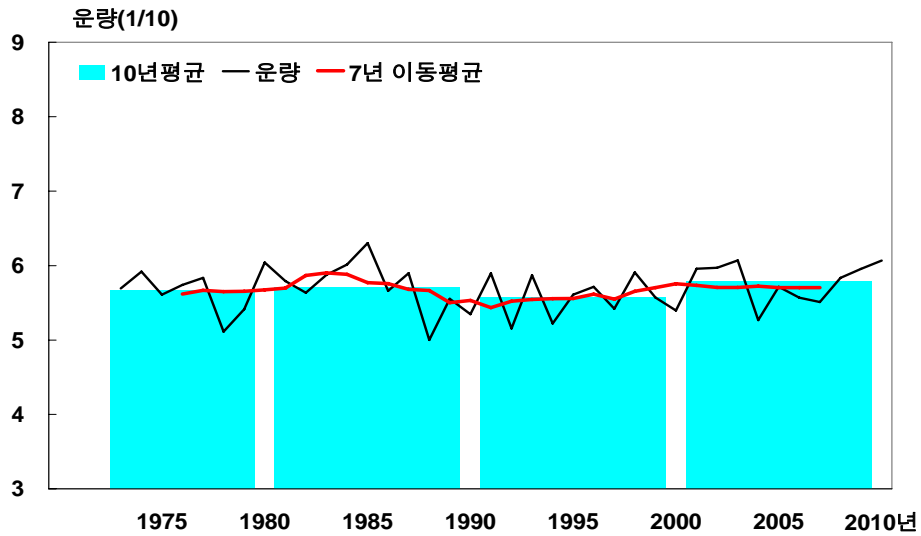


그림 3-3-15. 서귀포의 연 운량 변화(1973~2010)

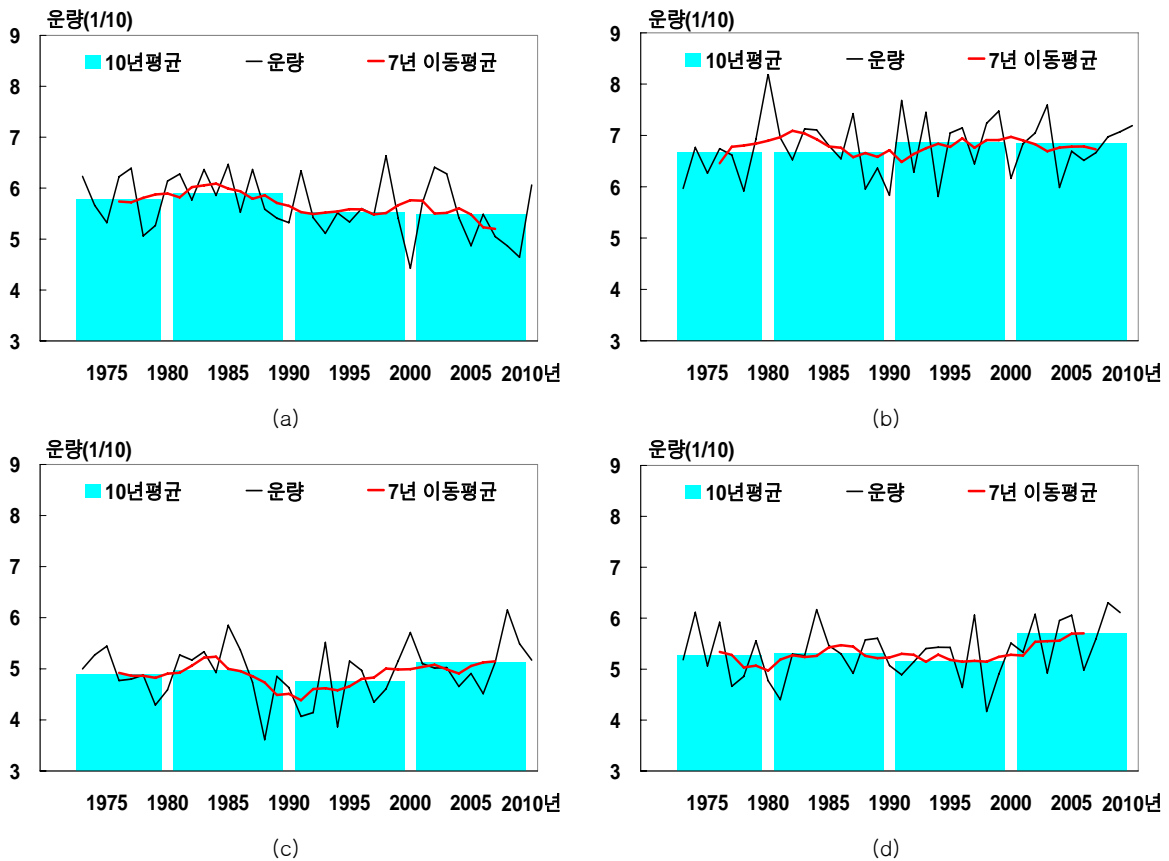


그림 3-3-16. 서귀포의 계절별 운량 변화(1973~2010) (a)봄철, (b)여름철, (c)가을철, (d)겨울철

남부해안 서귀포의 연평균 운량의 시계열을 분석해 보면 통계적으로 유의성을 나타내는 변화추세는 보이지 않는다(그림 3-3-15; 표 3-3-1; 표 3-3-4). 계절 평균 운량의 경우에도 일부 봄철에 지속적으로 감소하는 추세가 나타나지만 통계적 유의성은 낮다(그림 3-3-16). 여름철에서는 1990년대와 2000년대 약간 증가한 추세를 보이지만 통계적으로 유의성이 없고, 가을철과 겨울철도 2000년대에 다소 높게 나타나지만 전체 38년간 지속적인 증가 또는 감소 추세는 나타나지 않는다.

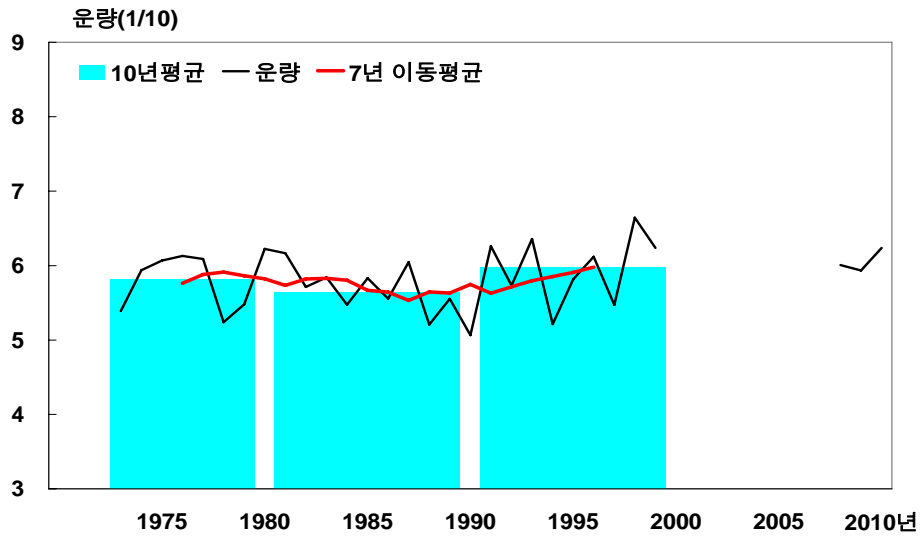


그림 3-3-17. 성산의 연 운량 변화(1973~2010)

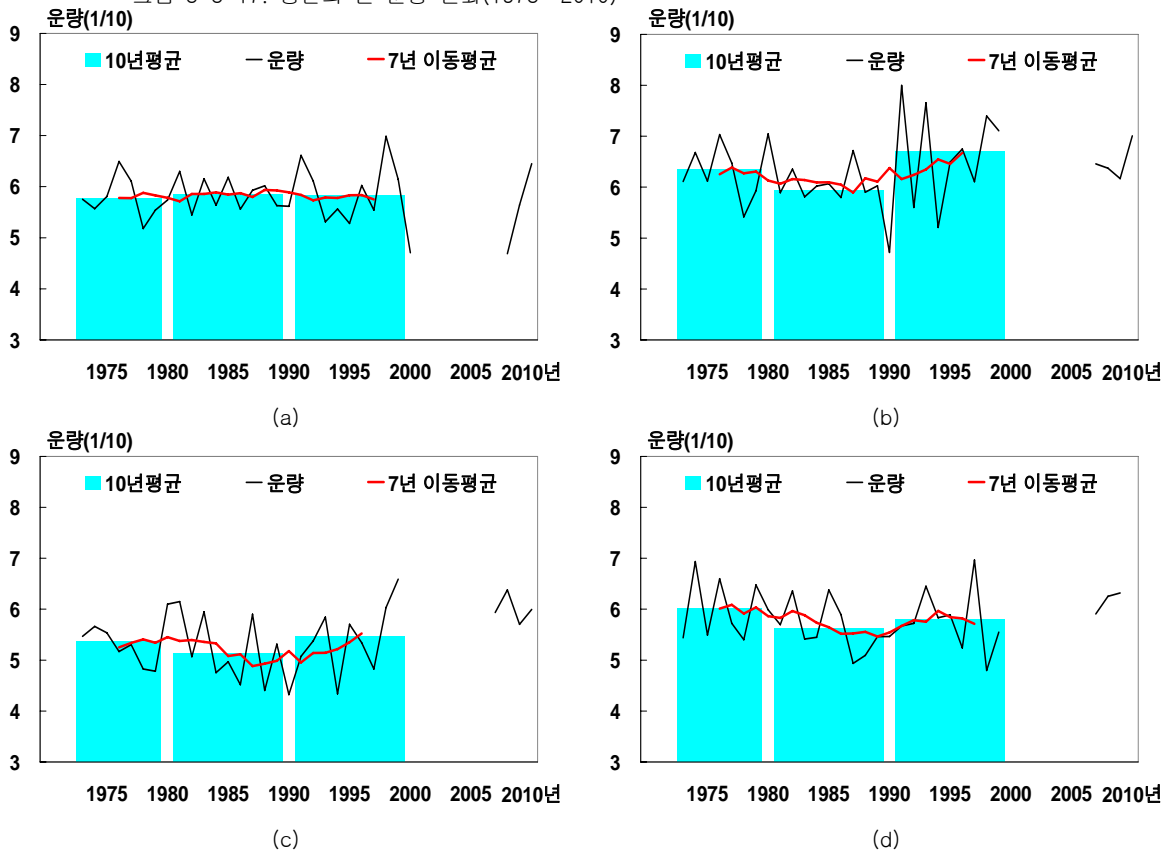


그림 3-3-18. 성산의 계절별 운량 변화(1973~2010) (a)봄철, (b)여름철, (c)가을철, (d)겨울철

동부해안 성산의 연 운량 변화는 서귀포와 마찬가지로 통계적으로 유의성을 나타내는 변화추세는 나타나지 않았다(그림 3-3-17; 표 3-3-1; 표 3-3-5). 계절별 운량의 시계열에서도 통계적으로 유의성이 있는 변화추세는 관찰되지 않는다(그림 3-3-18). 2000년대의 운량 자료가 없기 때문에 최근변화를 파악하기 어렵지만 이러한 운량의 변화가 없는 것은 같은 기간 계절별 강수량에 변화가 없는 패턴과 관련이 있을 것으로 사료된다. 월단위로 살펴보면 9월의 운량(0.34/10년)은 증가하는 경향을 보인다.

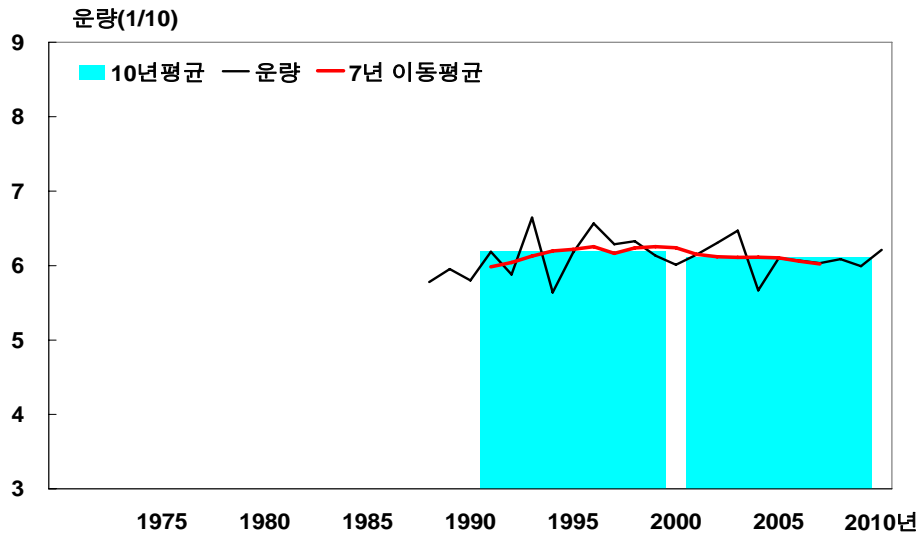


그림 3-3-19. 고산의 연 운량 변화(1973~2010)

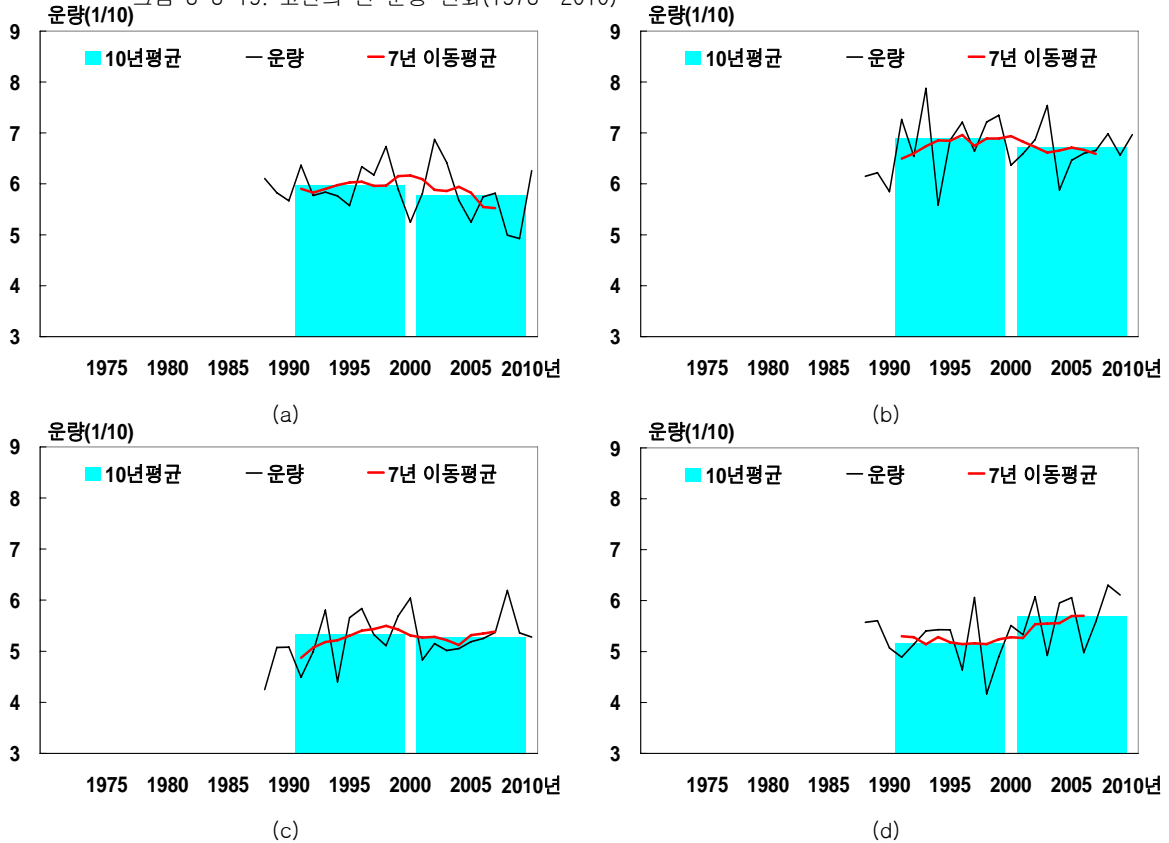


그림 3-3-20. 고산의 계절별 운량 변화(1973~2010) (a)봄철, (b)여름철, (c)가을철, (d)겨울철

1980년대 후반부터 관측이 이루어진 서부해안의 고산의 운량 변화를 살펴보면 연평균 운량에는 1990년대와 2000년대 사이에 뚜렷한 변화가 관찰되지 않는다(그림 3-3-19; 표 3-3-6). 계절평균 운량 시계열에서도 2000년대에 봄철 운량은 감소하고, 겨울철 운량은 증가하는 상반된 패턴을 보이지만 다른 계절에는 특별한 차이를 살펴볼 수 없다(그림 3-3-20).

이와 같이 제주도 해안지역 및 지역별 분석 결과들을 종합하면 제주도에서는 목측에 의해 기록된 운량에는 뚜렷한 변화가 관찰되지 않음을 알 수 있다.

### 3) 일조시간

제주도 해안지역 평균 일조시간의 변화추세를 살펴보면, 통계적 유의성은 낮았지만 일부 강수량의 증가경향이 나타난 여름철과 가을철에 일부 지역을 중심으로 일조시간도 감소하는 추세를 보였다. 지난 38년 동안 제주도 해안지역 여름철 일조시간은 36.5시간/10년, 가을철 일조시간은 20.9시간/10년의 비율로 감소하였다. 봄철과 겨울철 일조시간에는 뚜렷한 변화가 탐지되지 않았다.

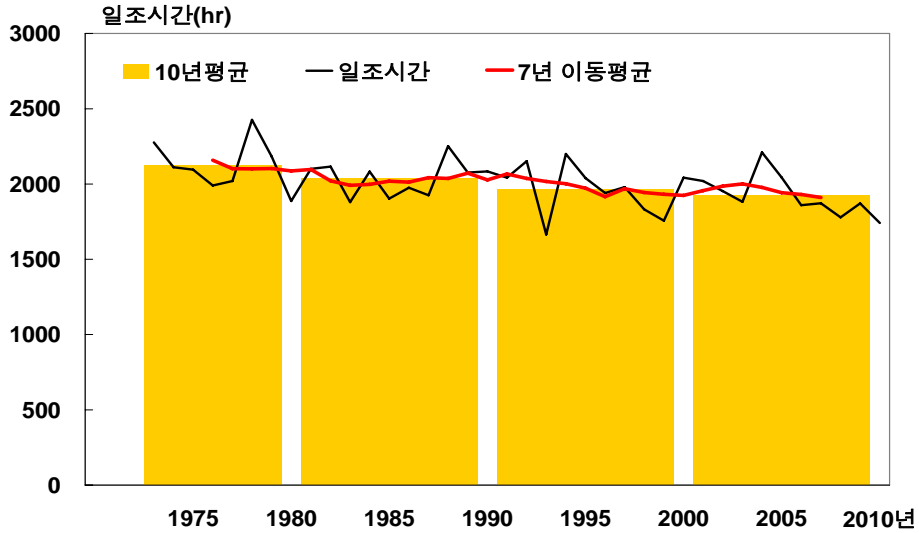


그림 3-3-21. 제주도 해안지역의 연 일조시간 변화(1973~2010)

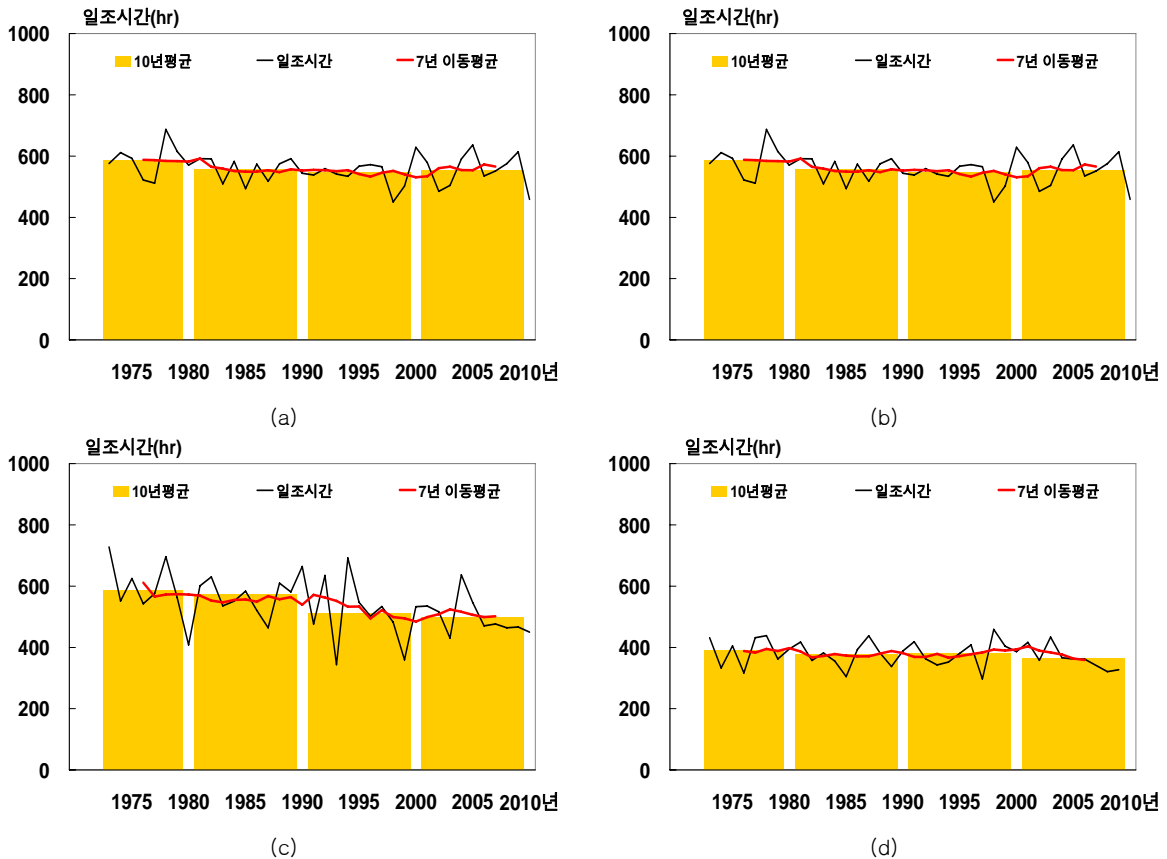


그림 3-3-22. 제주도 해안지역의 계절별 일조시간 변화(1973~2010) (a)봄철, (b)여름철, (c)가을철, (d)겨울철

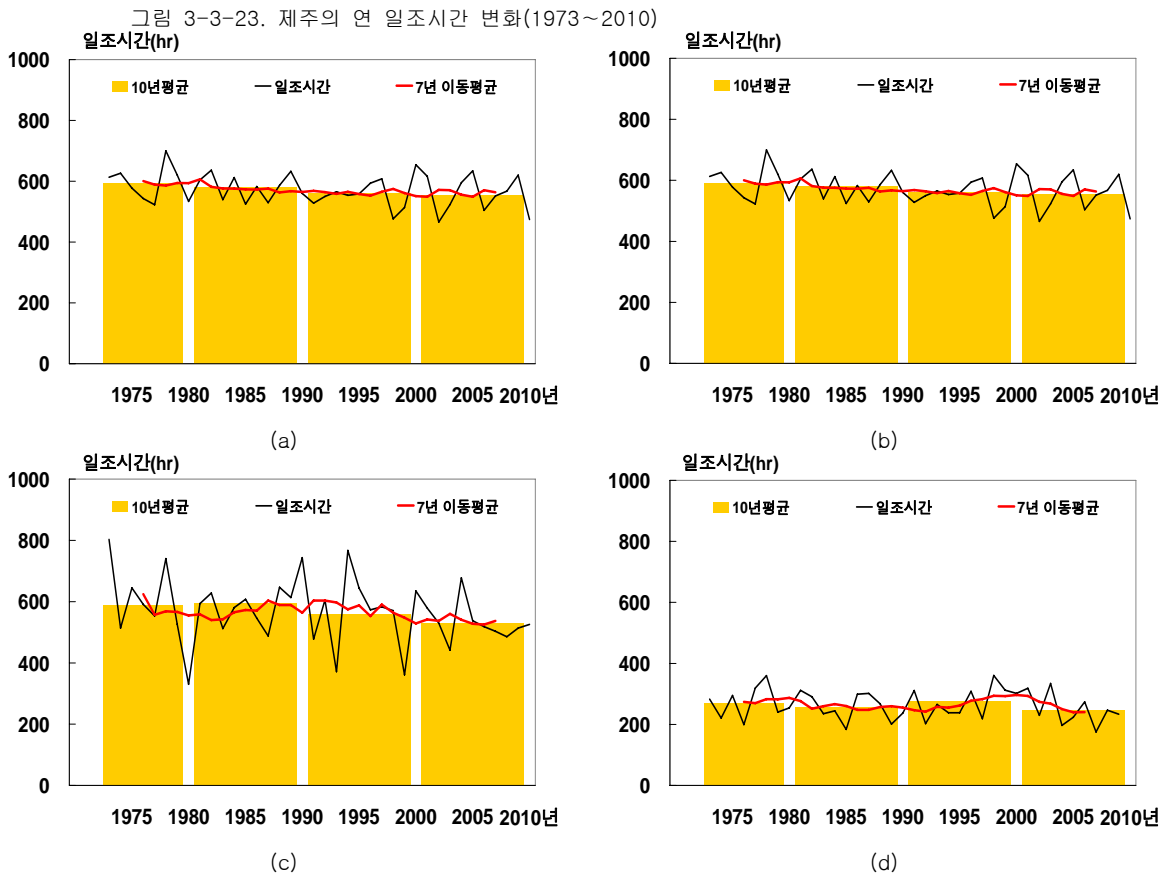
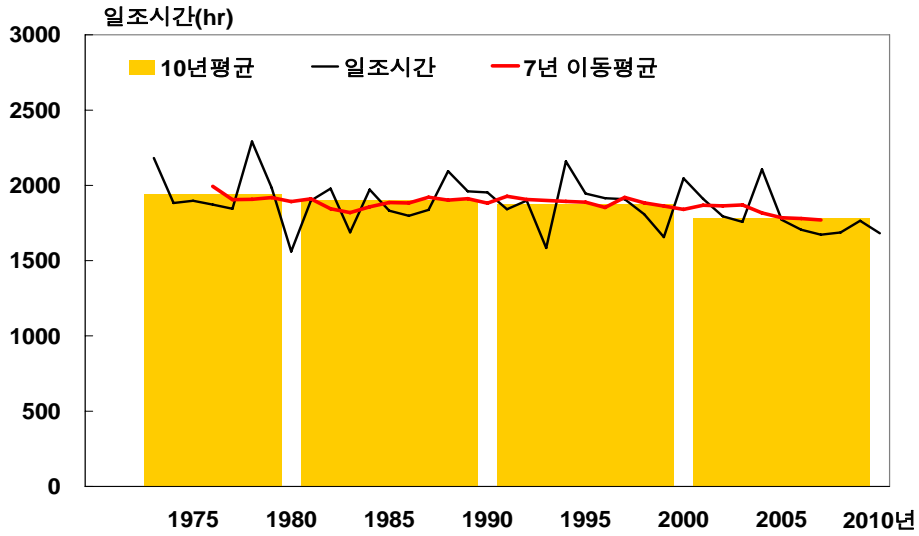


그림 3-3-24. 제주의 계절별 일조시간 변화(1973~2010) (a)봄철, (b)여름철, (c)가을철, (d)겨울철

북부해안 제주의 일조시간 시계열을 살펴보면, 연 일조시간은 52.5시간/10년의 비율로 줄어드는 경향을 보였다(그림 3-3-23; 표 3-3-1; 표 3-3-3). 그러나 계절 평균 일조시간의 시계열을 살펴보면 통계적으로 유의미한 변화경향은 탐지되지 않는다(그림 3-3-24). 사계절 중에서는 가을철에 일조시간의 경년변동이 뚜렷하게 나타나는데, 2000년대 후반부에 경년변동이 작아지는 단기간 특징이 나타나고, 일조시간이 감소하는 패턴이 관찰되지만 통계적 유의성은 매우 낮다.



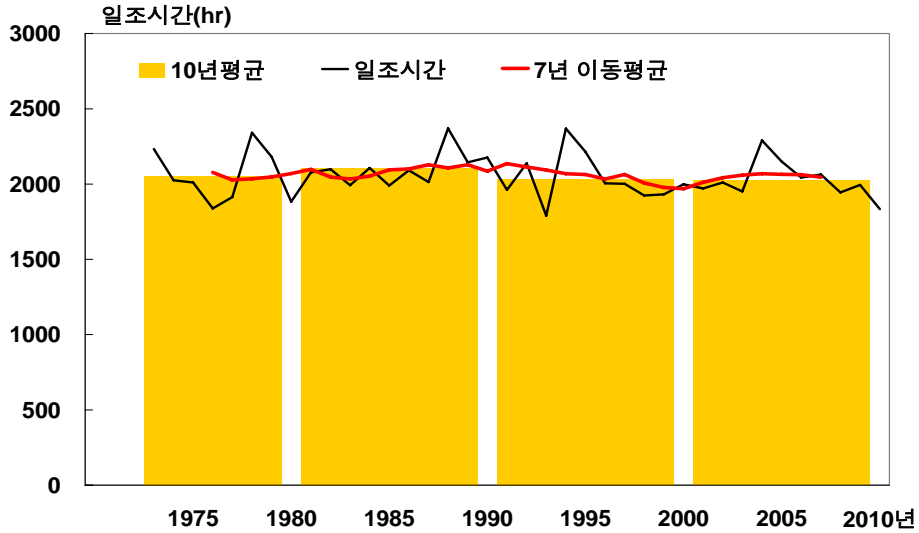


그림 3-3-25. 서귀포의 연 일조시간 변화(1973~2010)

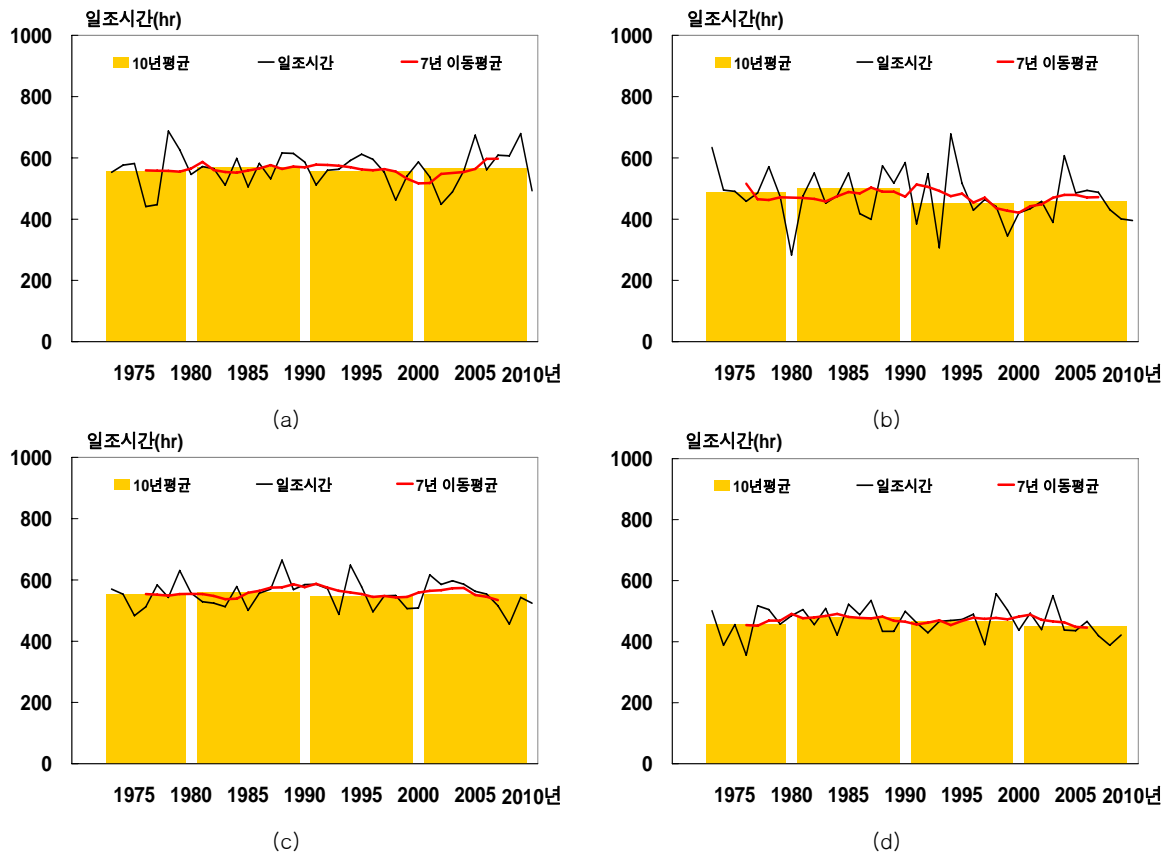


그림 3-3-26. 서귀포의 계절별 일조시간 변화(1973~2010) (a)봄철, (b)여름철, (c)가을철, (d)겨울철

남부해안 서귀포의 연 일조시간 시계열에 나타난 10년 단위 또는 장기간 변화를 살펴 보면 뚜렷한 변화양상은 탐지되지 않는다(그림 3-3-25; 표 3-3-1; 표 3-3-4). 북부해안의 제주 관측지점과 동일하게 사계절 일조시간은 모두 통계적으로 유의미한 변화를 보이지 않는다(그림 3-3-26). 여름철과 겨울철 일조시간의 경년변동성이 봄철과 가을철에 비하여 더 뚜렷하게 나타나고, 사계절 중에서 겨울철 일조시간이 다른 계절에 비하여 낮은 패턴 이외에는 일조시간의 변동성도 지속적으로 증가 또는 감소하는 패턴은 관찰되지 않는다.

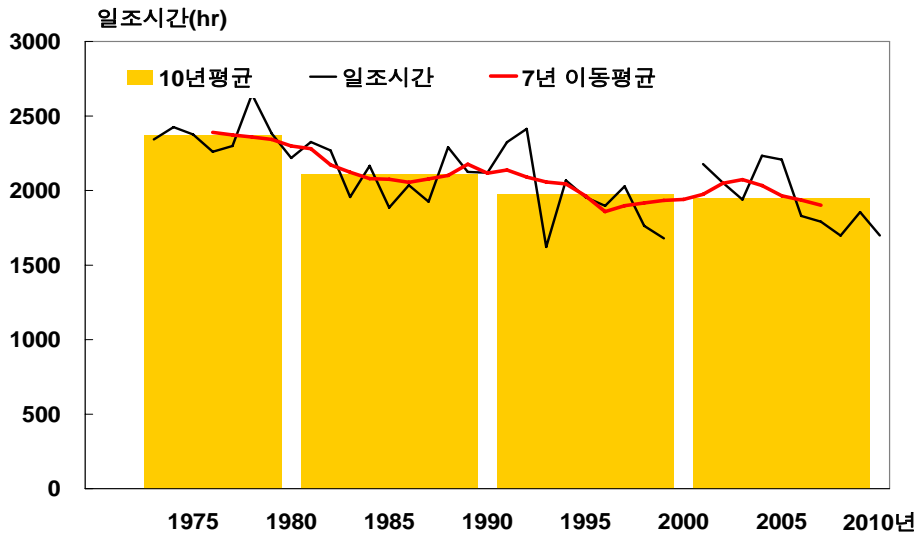


그림 3-3-27. 성산의 연 일조시간 변화(1973~2010)

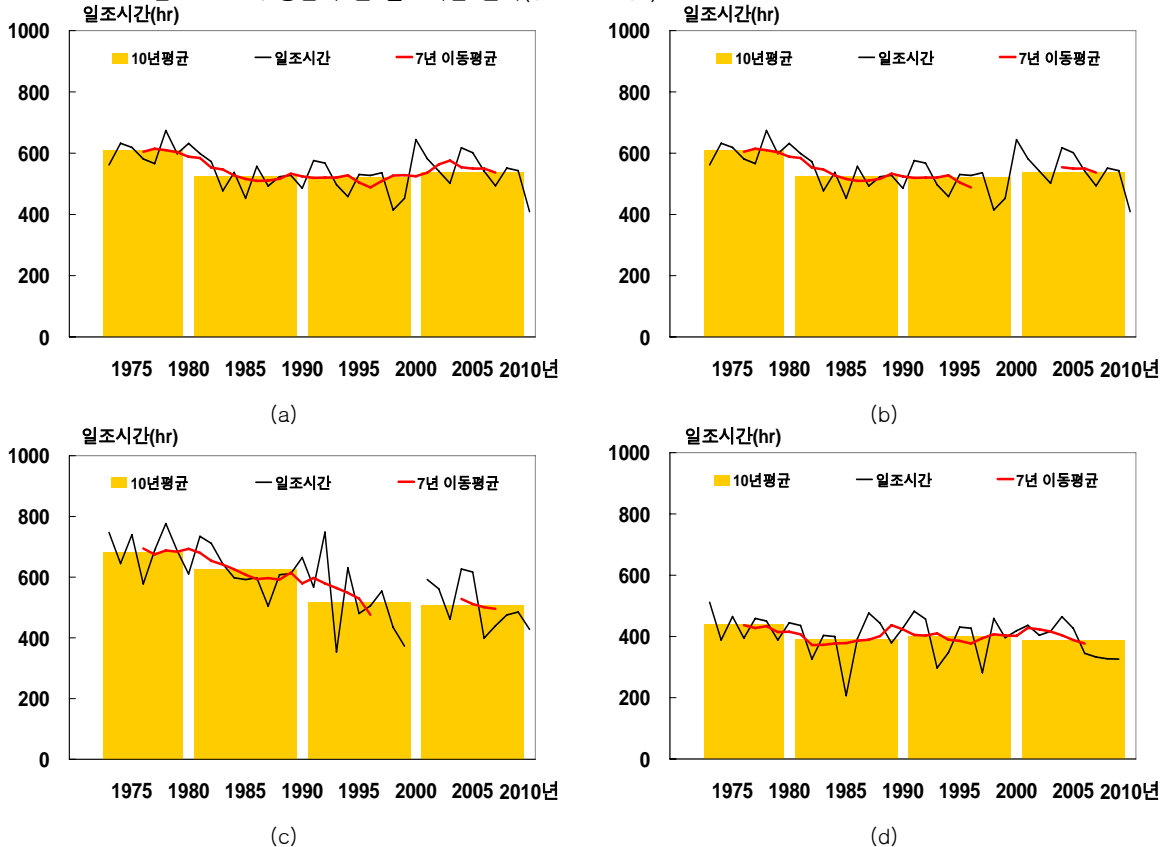


그림 3-3-28. 성산의 계절별 일조시간 변화(1973~2010) (a)봄철, (b)여름철, (c)가을철, (d)겨울철

동부해안 성산의 연 일조시간은 겨울철을 제외한 다른 계절에서 감소하는 패턴을 보인다(그림 3-3-27; 표 3-3-1; 표 3-3-5). 특히 성산 지역의 여름철 일조시간은 69.4시간/10년의 비율로 감소하는 경향을 나타냈고, 가을철 일조시간도 47.2시간/10년의 상대적으로 높은 감소율을 보인다(그림 3-3-28). 성산의 일조시간 감소경향이 다소 뚜렷하게 나타난 것은 통계적 유의성은 높지 않았지만 여름철과 가을철 중심으로 이 지역의 강수량이 증가하는 추세를 보인 것과 관련성이 있을 것으로 사료된다.

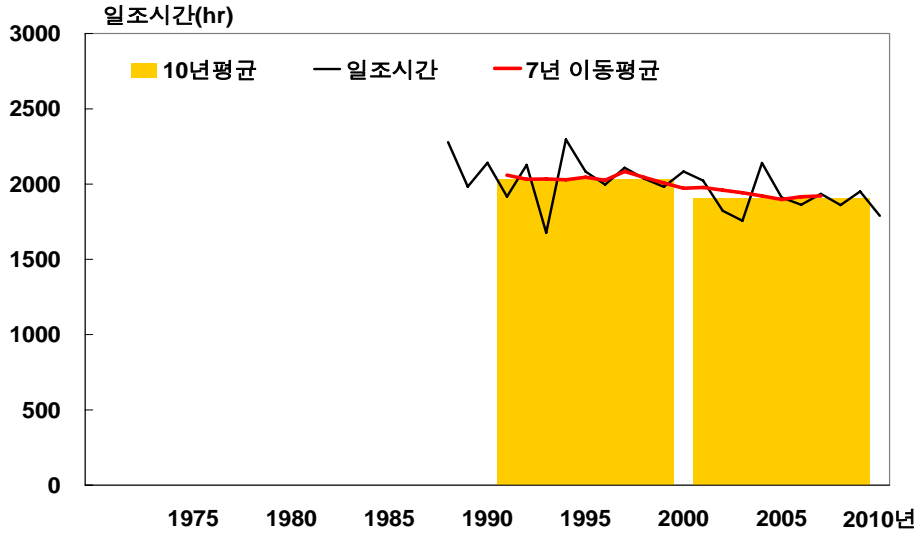


그림 3-3-29. 고산의 연 일조시간 변화(1973~2010)

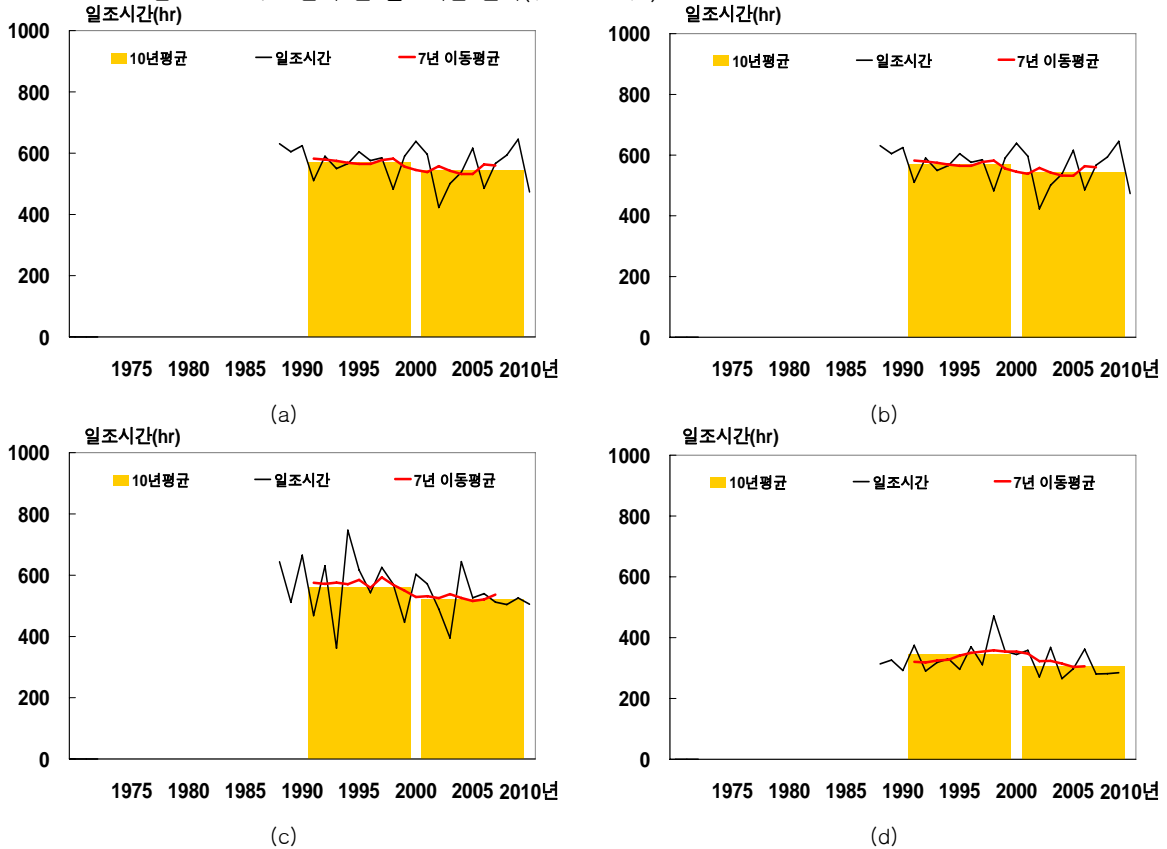


그림 3-3-30. 고산의 계절별 일조시간 변화(1973~2010) (a)봄철, (b)여름철, (c)가을철, (d)겨울철

1980년대 이후 관측이 개시된 서부해안 고산의 연간 계절별 일조시간 시계열을 살펴보면 1990년대와 2000년대 사이에 다소 감소하는 패턴이 관찰되지만 자료가 1980년대 후반부터만 있어 장기간 변화추세인지는 판단하기 어렵다(그림 3-3-29; 그림 3-3-30; 표 3-3-6).

이와 같은 동서남북 관측지점의 연, 계절별 일조시간의 변화추세를 종합해 보면, 강수량이 증가하는 경향을 보인 동부해안의 성산을 제외하면 대부분 관측지점의 일조시간은 뚜렷한 변화를 보이지 않음을 알 수 있다.

#### 4) 상대습도

제주도의 평균 상대습도의 지난 38년간 변화 추세를 살펴보면, 1.0%/10년의 감소율을 나타낸다(그림 3-3-31; 표 3-3-1). 특히 봄철, 여름철, 겨울철을 중심으로 상대습도가 통계적으로 유의미한 감소하는 추세를 나타낸다(그림 3-3-32). 대조적으로 가을철에는 2000년대 후반부에 상대습도가 증가하여 38년 전체기간 동안의 시계열에서 변화추세에 있어서 통계적으로 유의미한 변화를 보이지 않는다.

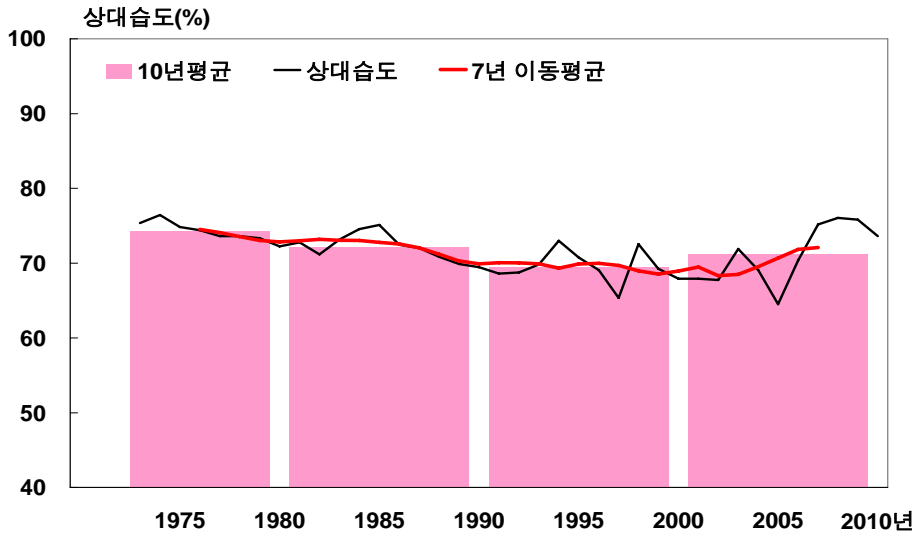


그림 3-3-31. 제주도의 연 상대습도 변화(1973~2010)

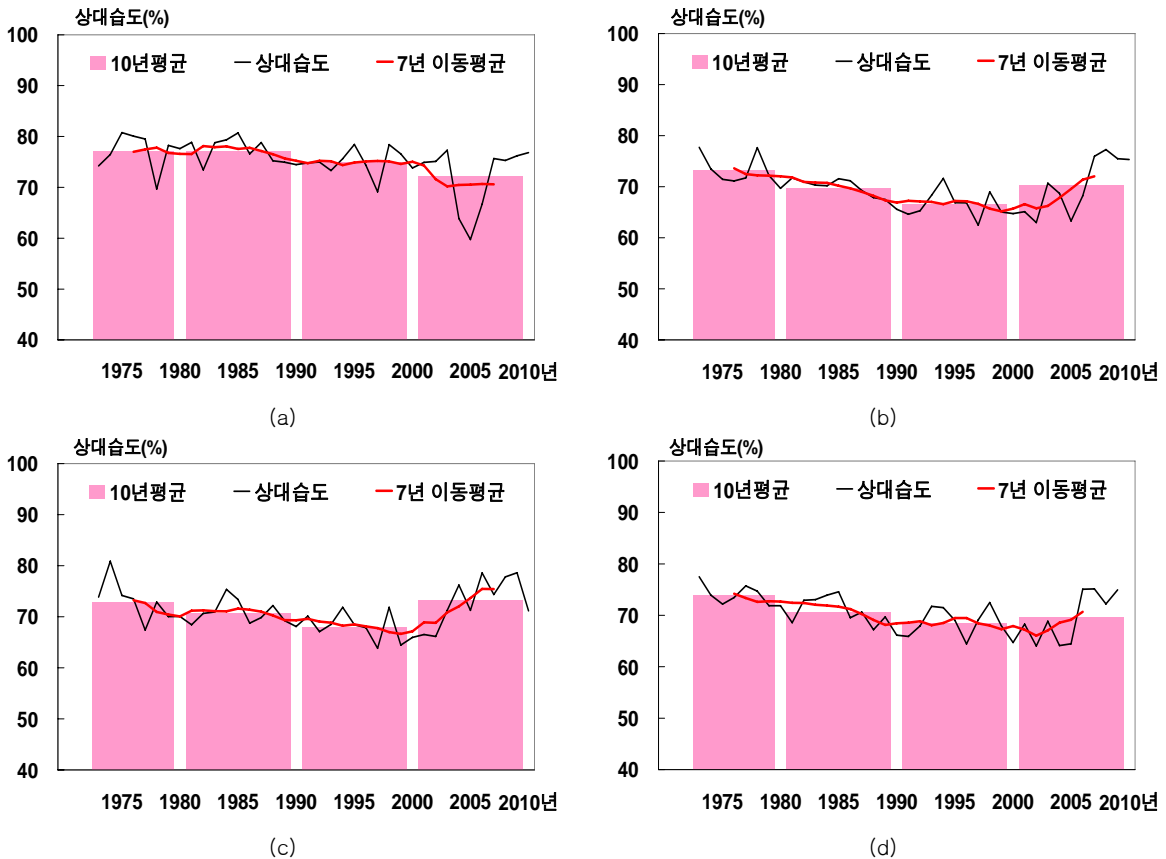


그림 3-3-32. 제주도의 계절별 상대습도 변화(1973~2010) (a)봄철, (b)여름철, (c)가을철, (d)겨울철

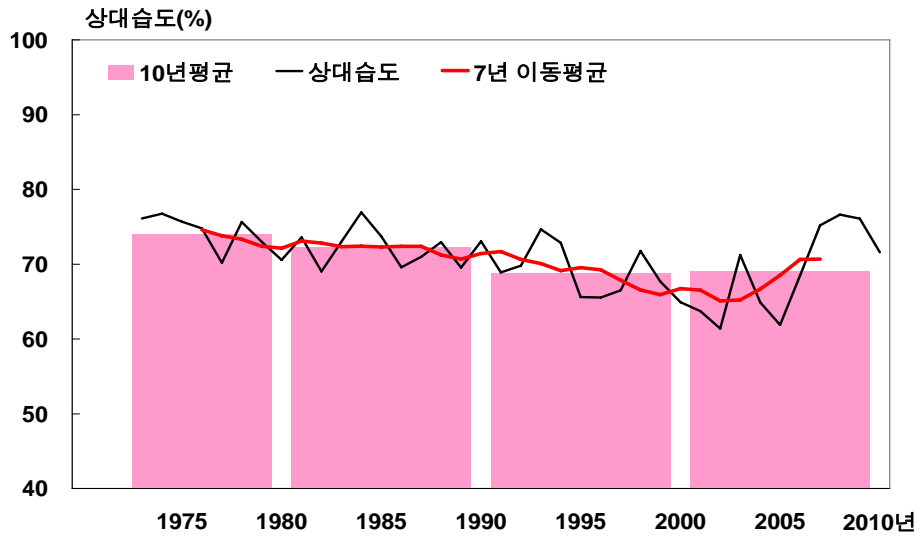


그림 3-3-33. 제주의 연 상대습도 변화(1973~2010)

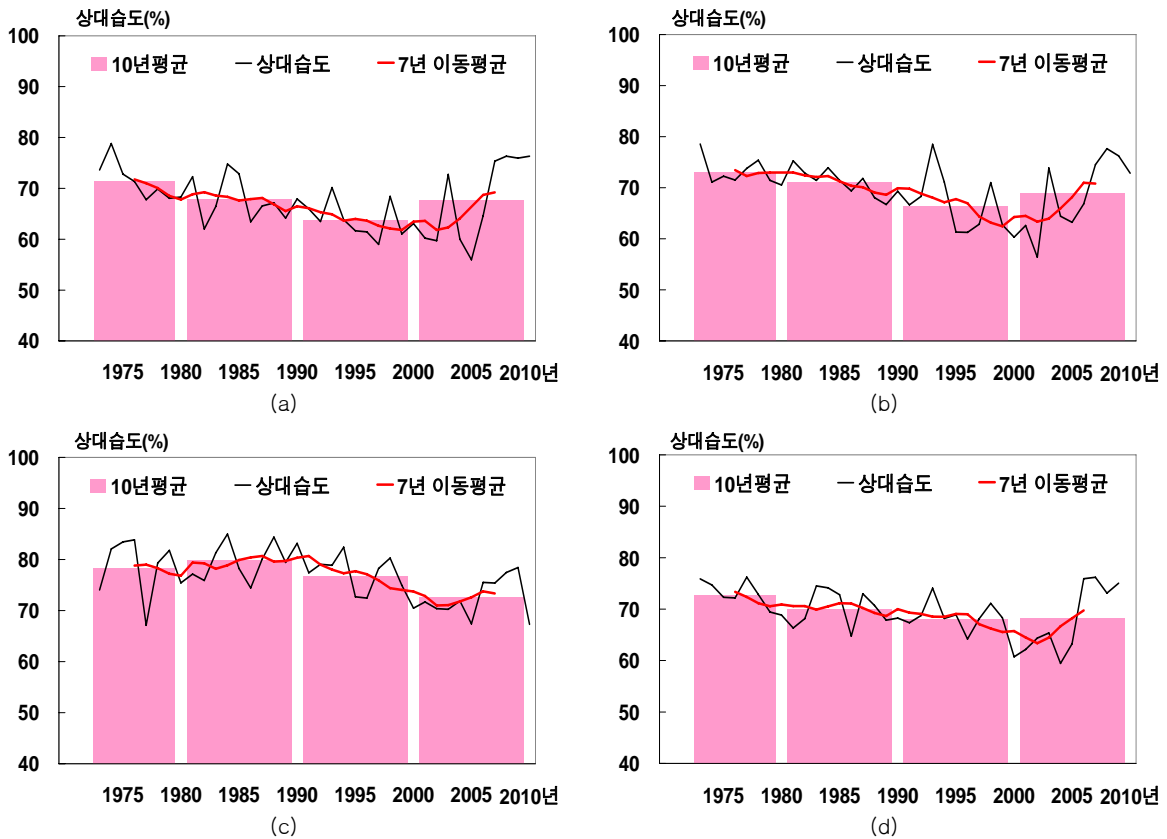


그림 3-3-34. 제주의 계절별 상대습도 변화(1973~2010) (a)봄철, (b)여름철, (c)가을철, (d)겨울철

북부해안 제주의 지난 38년간 연평균 상대습도는 1.7%/10년의 감소율을 나타낸다(그림 3-3-33; 표 3-3-1, 표 3-3-3). 계절별 상대습도도 통계적으로 유의한 감소경향이 사계절에 걸쳐 모두 나타난다(그림 3-3-34). 사계절 중에서는 특히 가을철 상대습도 감소추세가 2.1%/10년으로 가장 높게 나타난다. 봄철에도 상대습도 감소율이 1.2%/10년, 여름철 상대습도 감소율이 1.7%로 나타나는데, 2000년에 들어서는 봄철과 여름철 상대습도가 1990년대에 비하여 증가하는 경향이 나타난다.

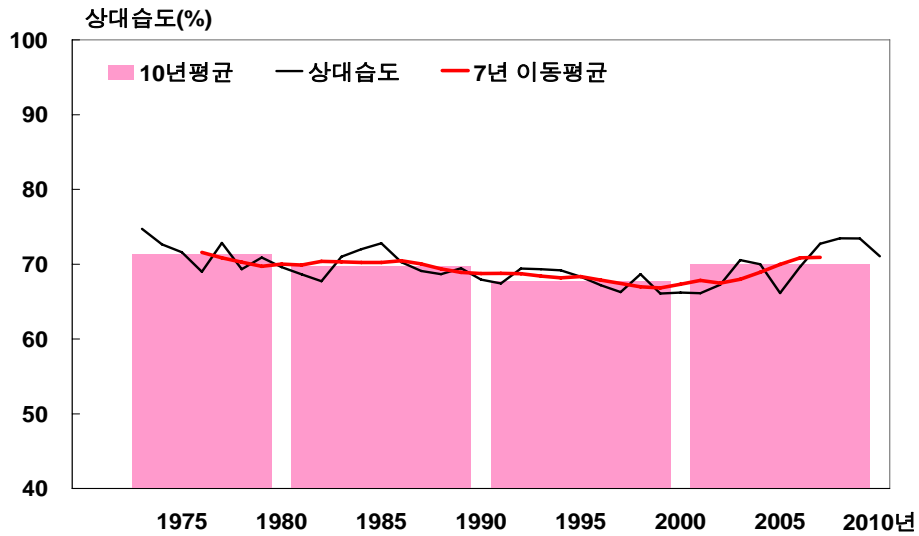


그림 3-3-35. 서귀포의 연 상대습도 변화(1973~2010)

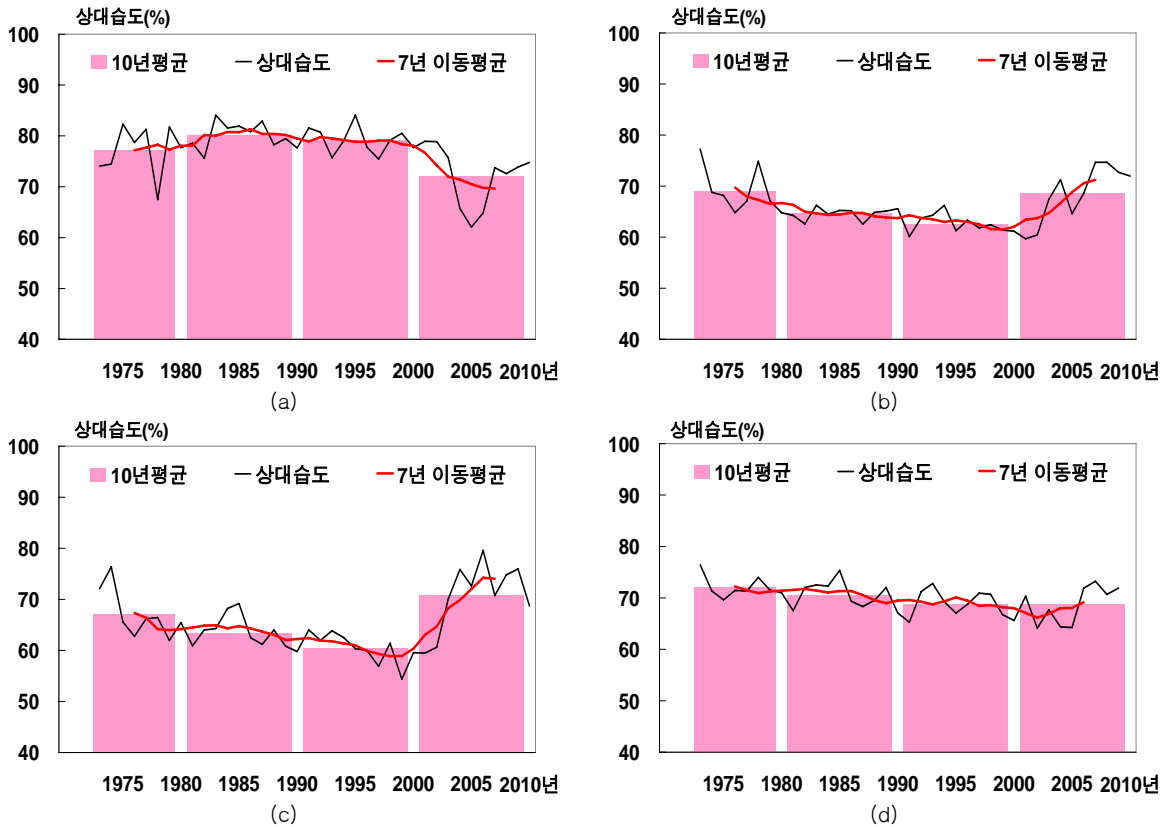


그림 3-3-36. 서귀포의 계절별 상대습도 변화(1973~2010) (a)봄철, (b)여름철, (c)가을철, (d)겨울철

남부해안 서귀포의 지난 38년 동안 연평균 상대습도는 통계적으로 유의미한 변화추세를 보이지 않는다(그림 3-3-35; 표 3-3-1, 표 3-3-4). 서귀포 계절 평균 상대습도의 시계열을 살펴보면, 봄철 상대습도는 대체로 1980년대에 증가하였다가 이후에는 감소하는 경향을 나타내지만 여름철과 가을철에는 1970년대 이후 지속적으로 감소하다가 2000년대에 접어들면서 급증하는 패턴을 보이기도 한다. 서귀포 겨울철 상대습도는 38년 동안 점진적으로 감소하는 패턴을 보이며, 그 감소율은 1.2%/10년이다.

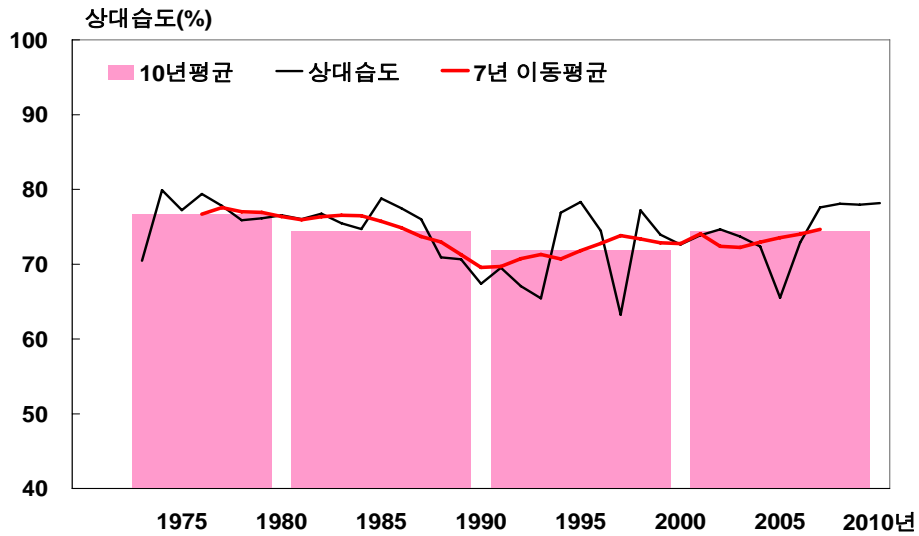


그림 3-3-37. 성산의 연 상대습도의 변화(1973~2010)

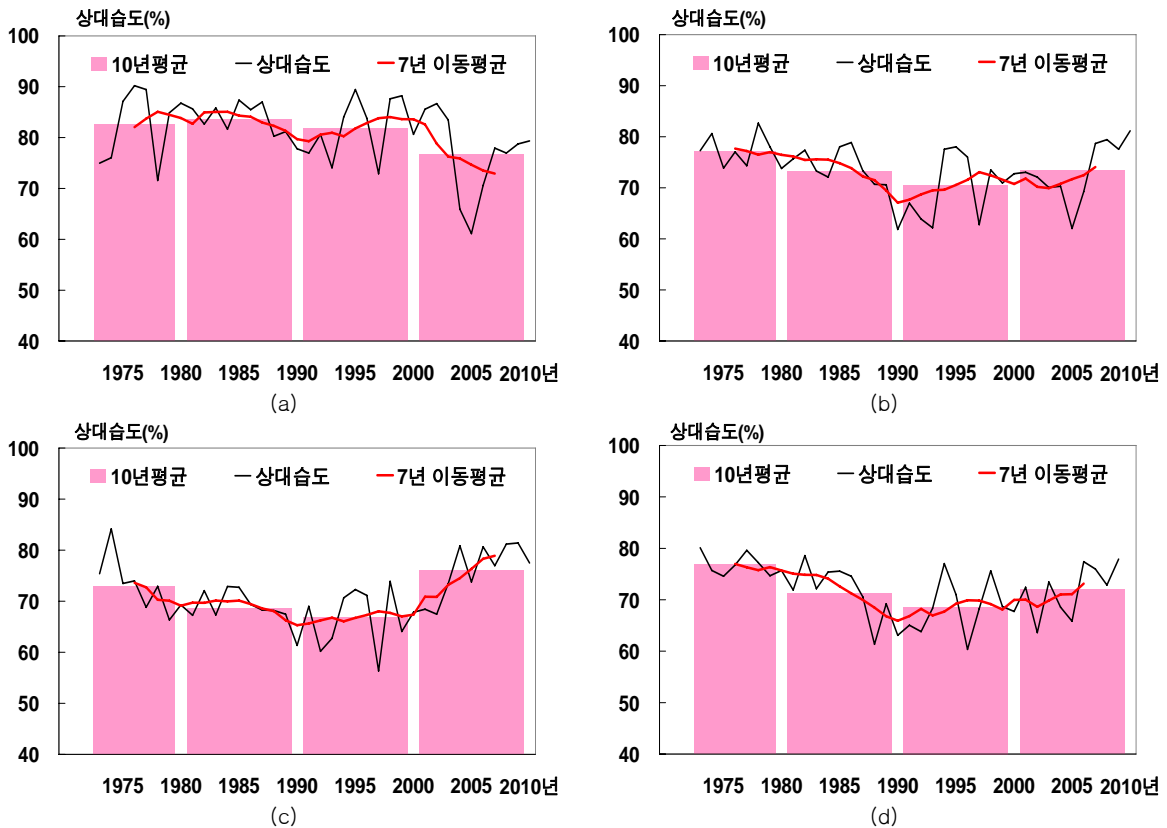


그림 3-3-38. 성산의 계절별 상대습도 변화(1973~2010) (a)봄철, (b)여름철, (c)가을철, (d)겨울철

동부해안 성산의 연평균 상대습도는 남부해안의 서귀포와 유사하게 통계적으로 유의미한 변화추세를 보이지 않는다(그림 3-3-37; 표 3-3-1; 표 3-3-5). 계절별 상대습도 시계열을 살펴보면, 봄철 상대습도는 1990년대에 약간 감소하고, 2000년대 뚜렷하게 감소하여 전체기간에서는 2.0%/10년의 가장 뚜렷한 감소율을 보인다(그림 3-3-38). 겨울철 상대습도도 1990년대 이전까지 지속적으로 감소하여 1.7%/10년의 비율로 감소하는 경향을 나타낸다. 여름철과 가을철 상대습도는 2000년대에 1990년대에 비하여 증가하였다.

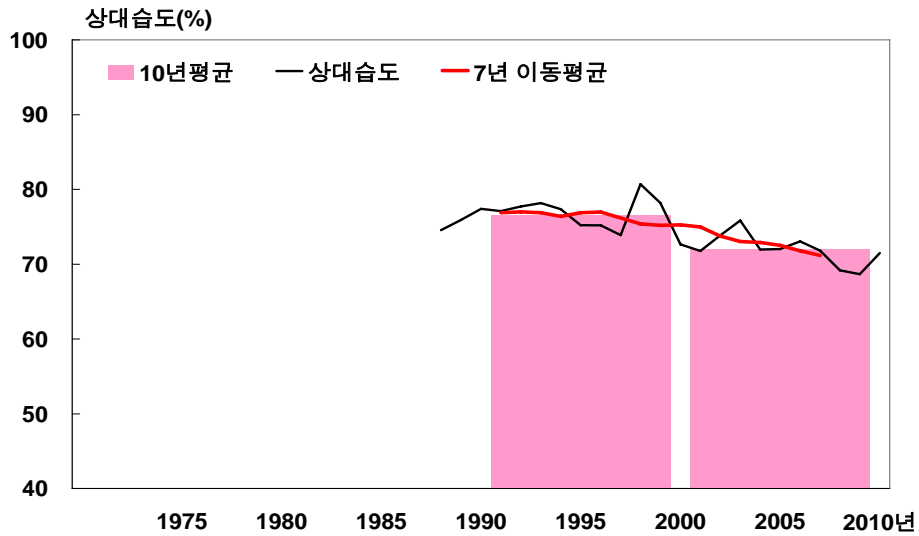


그림 3-3-39. 고산의 연 상대습도 변화(1973~2010)

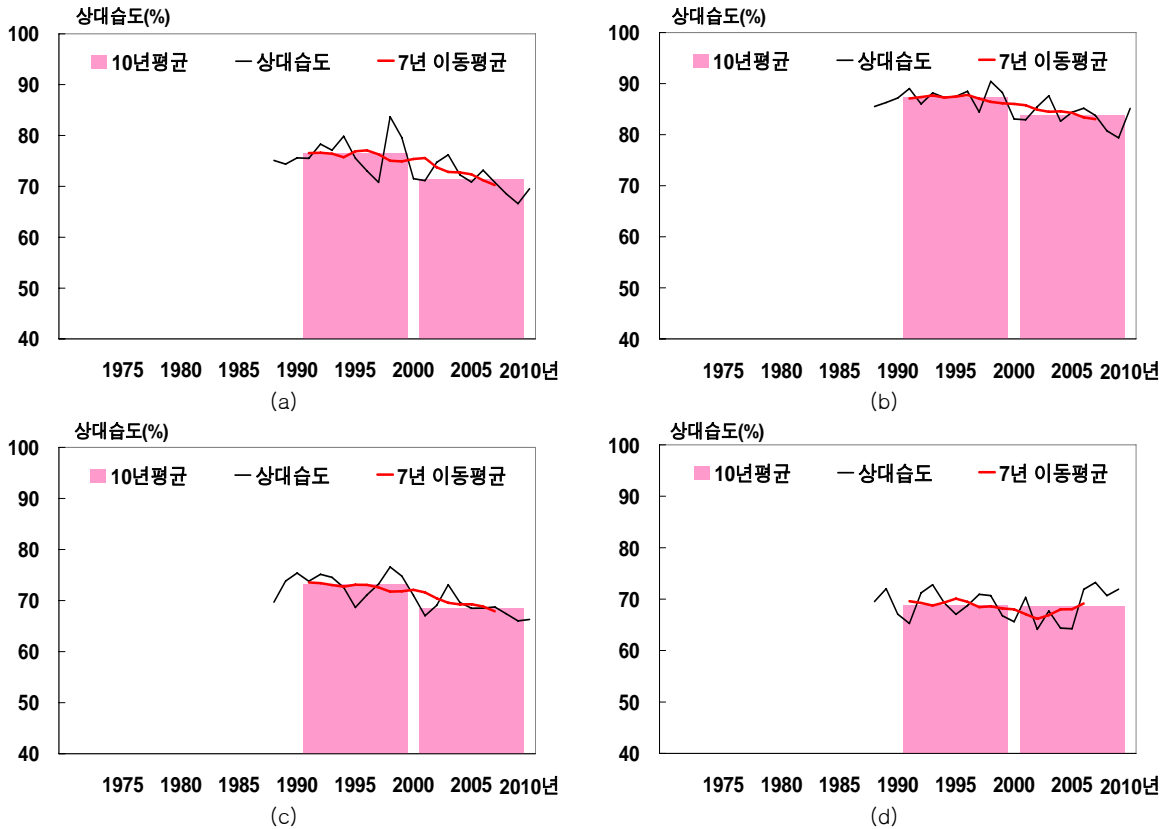


그림 3-3-40. 고산의 계절별 상대습도 변화(1973~2010) (a)봄철, (b)여름철, (c)가을철, (d)겨울철

1980년대 후반 이래로 관측이 이루어지고 있는 서부해안의 고산의 연평균 상대습도 시계열을 살펴보면, 1990년대에 비하여 2000년대에 낮은 값을 보인다(그림 3-3-39; 표 3-3-6). 고산의 계절평균 상대습도 시계열에서는 이러한 경향이 겨울철을 제외한 모든 계절에 나타난다(그림 3-3-40).

제주도의 상대습도 변화를 종합해 보면, 기온이 상승하면서 겨울철과 봄철 상대습도는 대부분 감소하였지만, 여름철과 겨울철은 지역마다 상이하게 나타났음을 알 수 있다.



## 5) 증발량

북부해안의 제주와 남부해안의 서귀포의 평균 증발량의 변화를 살펴보면, 연 증발량은 26.3mm/10년의 비율로 증발량이 감소하는 패턴을 관찰할 수 있다(그림 3-3-41; 표 3-3-1). 사계절 중에서는 겨울철 증발량이 6.81mm/10년의 비율로 감소하는 패턴이 나타난다(그림 3-3-42). 그러나 다른 계절에서는 통계적 유의성을 지닌 뚜렷한 변화양상을 관찰할 수 없다.

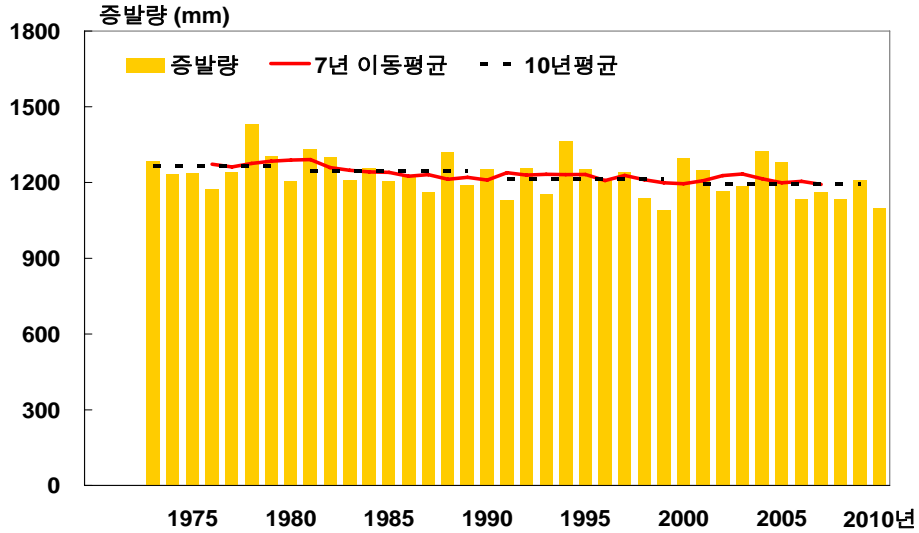


그림 3-3-41. 제주도 해안지역의 연 증발량 변화(1973~2010)

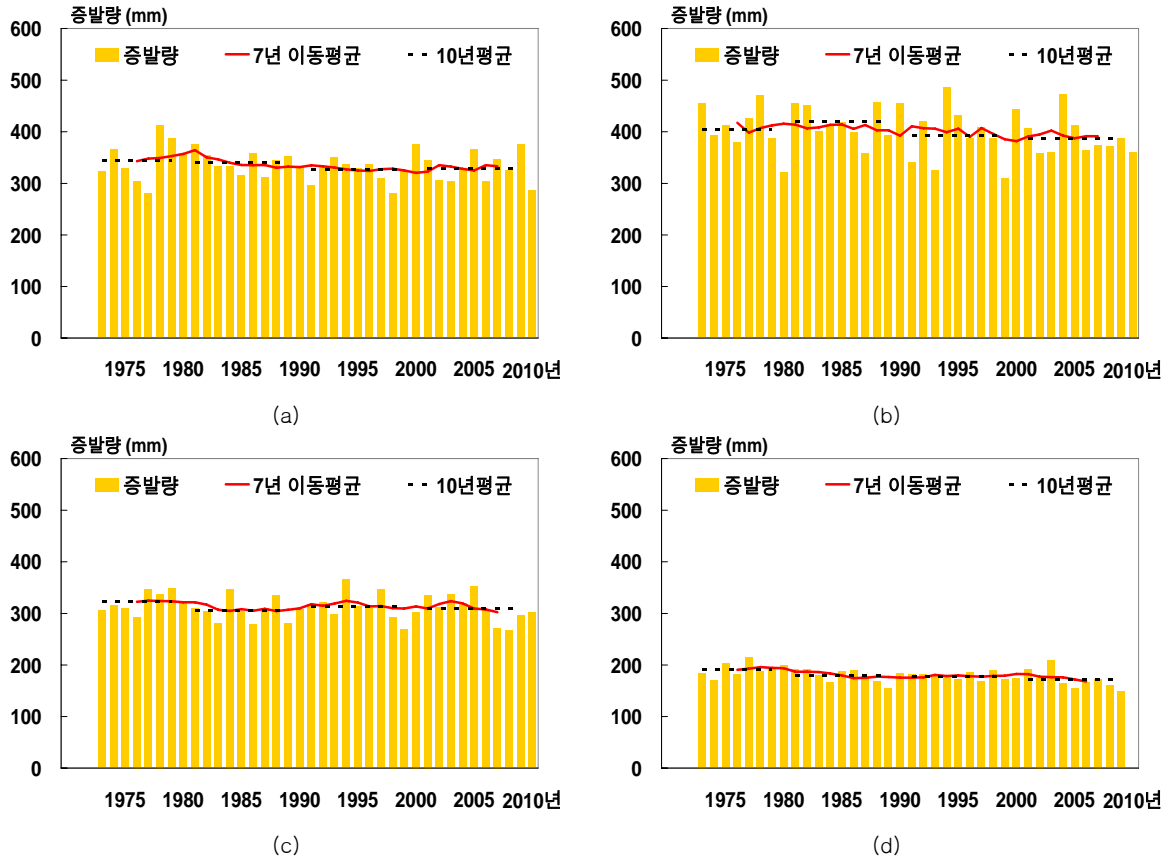


그림 3-3-42. 제주도 해안지역의 계절별 증발량 변화(1973~2010) (a)봄철, (b)여름철, (c)가을철, (d)겨울철

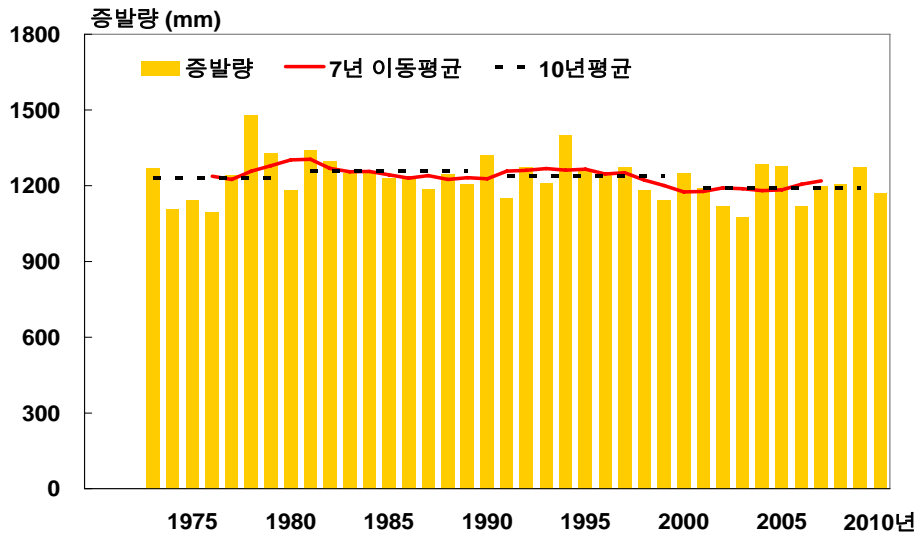


그림 3-3-43. 제주의 연 증발량 변화(1973~2010)

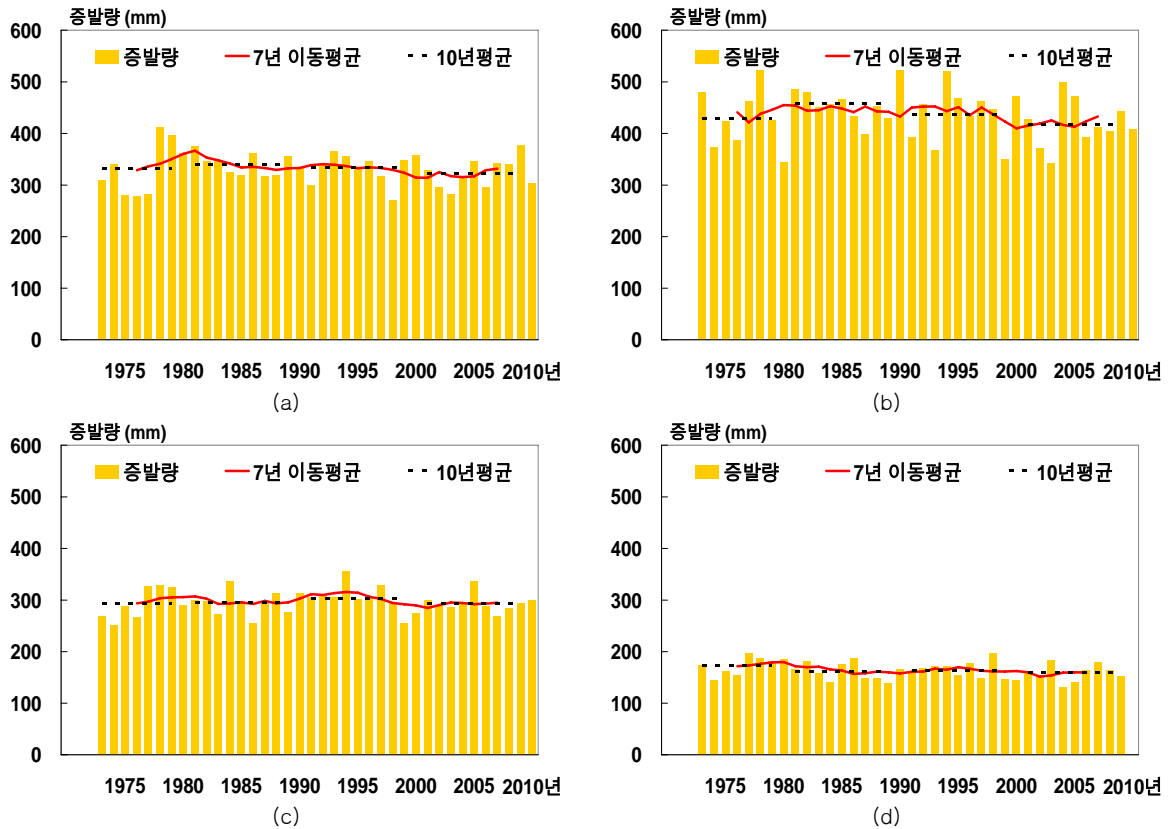


그림 3-3-44. 제주의 계절별 증발량 변화(1973~2010) (a)봄철, (b)여름철, (c)가을철, (d)겨울철

북부해안 제주의 연 증발량의 시계열을 살펴보면 통계적 유의성을 지닌 뚜렷한 증가 또는 감소 경향을 관찰할 수 없다(그림 3-3-43; 표 3-3-1). 계절 단위에서도 통계적 유의성을 가진 변화양상이 나타나지 않는다(그림 3-3-44). 계절 간에는 여름철 증발량이 겨울철의 2배 이상으로 나타나고, 여름철 증발량은 경년변동이 다른 계절에 비하여 뚜렷하게 나타나지만 변동성에서도 뚜렷한 변화 양상은 관찰할 수 없다

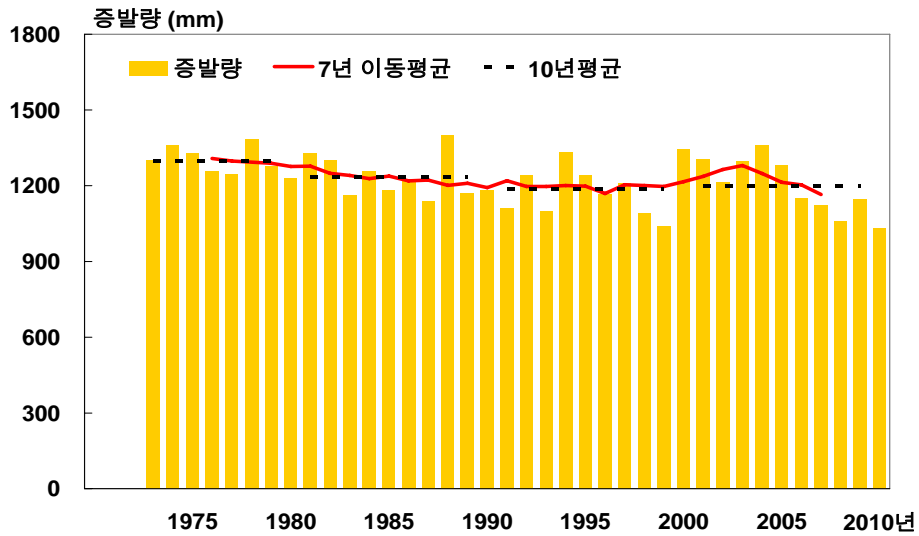


그림 3-3-45. 서귀포의 연 증발량 변화(1973~2010)

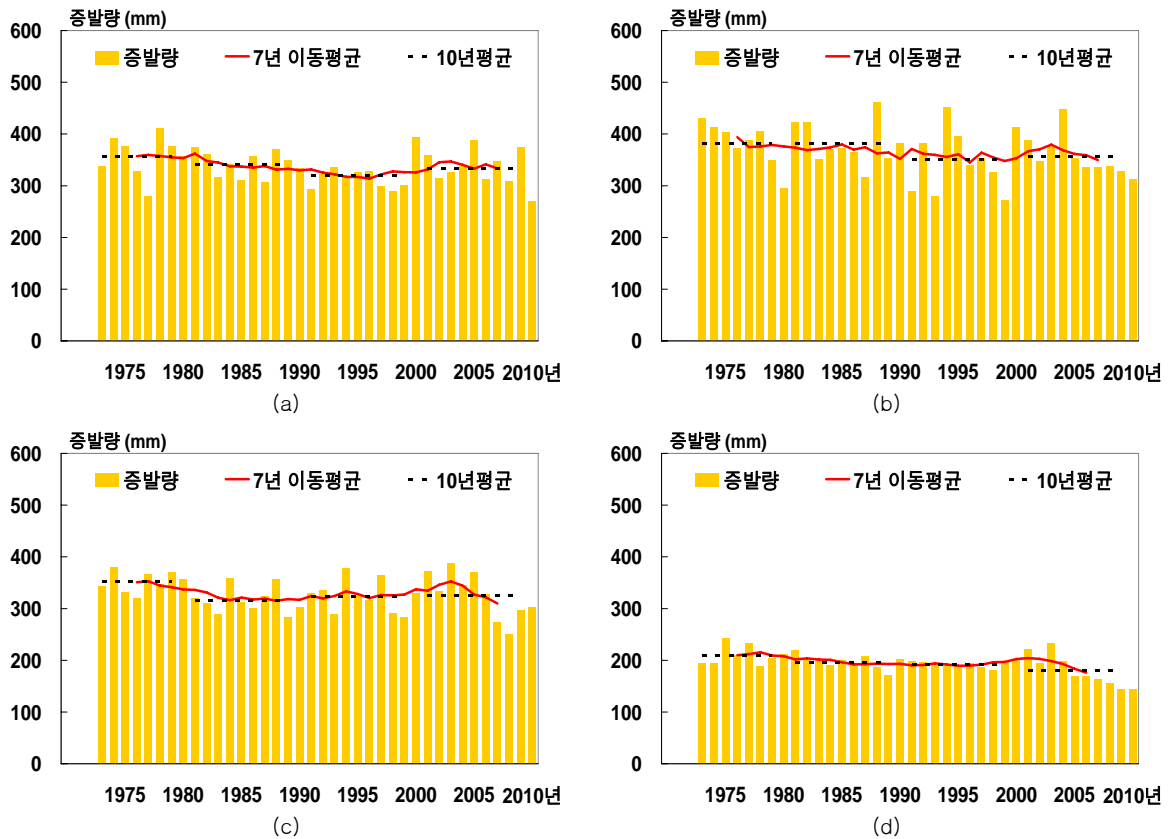


그림 3-3-46. 서귀포의 계절별 증발량 변화(1973~2010) (a)봄철, (b)여름철, (c)가을철, (d)겨울철

남부해안 서귀포의 연 증발량 시계열을 살펴보면 통계적으로 유의미한 39.50mm/10년의 감소경향이 뚜렷하게 나타난다(그림 3-3-45; 표 3-3-1). 계절별 평균 증발량의 경우에는 2000년대에 뚜렷한 감소현상이 나타난 겨울철 증발량만 통계적으로 유의미한 1.16mm/10년의 감소율을 나타낸다(그림 3-3-46).

제주도 증발량 변화 양상을 종합하면, 남부해안과 북부해안의 증발량은 상이한 변화양상을 보이며, 남부해안의 겨울철 증발량만 감소하는 경향이 나타남을 알 수 있다.

## 4. 주요 현상일수와 극한기후사상 변화

지난 38년간(1973-2010) 관측자료 중 80% 이상의 자료가 있는 제주, 서귀포, 성산의 관측지점과 3개 관측지점들의 평균값을 기준으로 10개의 주요 현상일, 10개의 극값 및 특이 기상일, 34개의 극한기후사상의 변화와 그래프를 분석하였다. 동부해안 성산의 경우에는 2000년 8월~2007년 3월간 자동기상관측으로 인하여 이 기간의 목측관측 현상일수는 제외하고 분석하였다. 서부해안의 고산의 경우에는 관측이 1988년부터 이루어져 주요 현상일은 분석에서 제외하였다.

### 1) 주요 현상일수

0.1mm 이상 강수일수와 80mm 이상의 강수일수의 변화는 뚜렷하지 않지만, 뇌전일수는 평균적으로 3.2일/10년의 비율로 증가하고 있다(표 3-4-1). 겨울철 눈 일수는 평균적으로 1.6일/10년의 비율로 감소하고, 결빙일수와 서리일수도 5.3일/10년과 16.3일/10년의 비율로 뚜렷하게 감소하는 경향을 나타낸다. 고온현상과 관련하여 일최저기온 25℃ 이상인 열대야 일수는 성산에서는 뚜렷한 변화경향이 나타나지 않지만 북부해안인 제주의 경우에는 4.0일/10년의 비율로 증가하였다. 제주도 해안지역의 안개일수와 황사일수는 통계적으로 유의미한 변화를 보이지 않는다.

표 3-4-1. 제주도의 연간 주요 현상일 변화(1973~2010년) (단위: 일/년)

지점	변수	연간	변수	연간
제주도 해안지역	0.1mm이상 강수일수	0.068	서리일수	-1.628**
	80mm이상 강수일수	0.039	안개일수	0.067
	결빙일수	-0.525**	우박일수	-
	뇌전일수	0.319**	일최저기온 25℃일수	0.401**
	눈일수	-0.164*	황사일수	0.109
제주	0.1mm이상 강수일수	-0.054	서리일수	-0.360**
	80mm이상 강수일수	0.023	안개일수	0.016
	결빙일수	-0.526**	우박일수	-
	뇌전일수	0.350**	일최저기온 25℃일수	0.430**
	눈일수	-0.304**	황사일수	0.100
서귀포	0.1mm이상 강수일수	0.187	서리일수	-0.531
	80mm이상 강수일수	0.050*	안개일수	0.149
	결빙일수	-0.335**	우박일수	-
	뇌전일수	0.315**	일최저기온 25℃일수	0.549**
	눈일수	-0.119	황사일수	0.101
성산	0.1mm이상 강수일수	0.072	서리일수	-
	80mm이상 강수일수	0.033	안개일수	-0.017
	결빙일수	-0.491**	우박일수	-
	뇌전일수	-	일최저기온 25℃일수	0.114
	눈일수	-	황사일수	-

\*유의수준  $\alpha=0.05$ , \*\*유의수준  $\alpha=0.01$

지난 38년간 제주도 개별 관측지점의 각 현상일수별 변화를 살펴보면 다음과 같다.

### 가. 일강수량 0.1mm 이상 일수

북부해안 제주의 일강수량 0.1mm이상 연간일수(강수일수)의 변화를 살펴보면 지속적으로 증가하거나 감소하는 패턴은 나타나지 않고 경년변동 패턴만 관찰된다(그림 3-4-1; 표 3-4-1). 1970년대에는 약 139.4일 전후로 나타나다가 1980년대에는 128.9일, 1990년대에는 123.3일로 감소하다가 2000년대에는 138.2일로 다시 증가하는 패턴을 보인다(표 3-4-3).

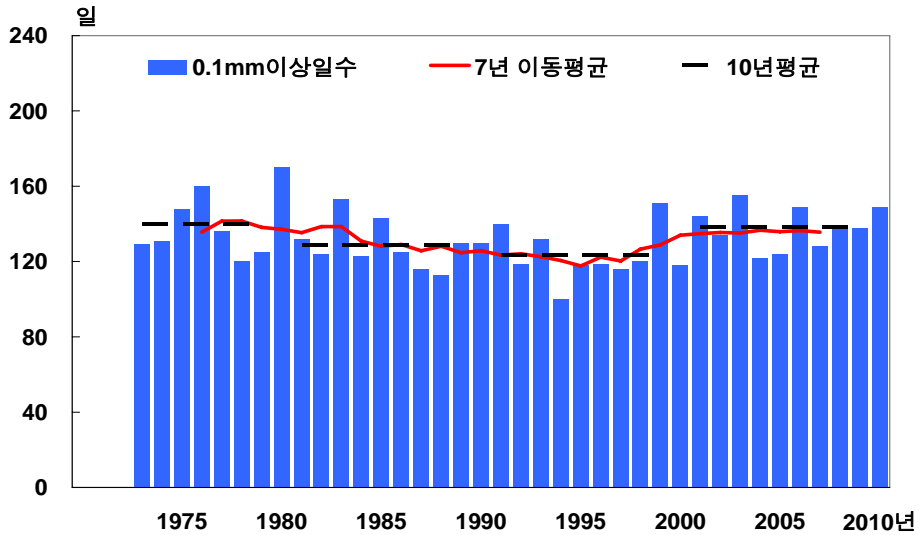


그림 3-4-1. 제주의 일강수량 0.1mm 이상 연간일수 변화(1973~2010년)

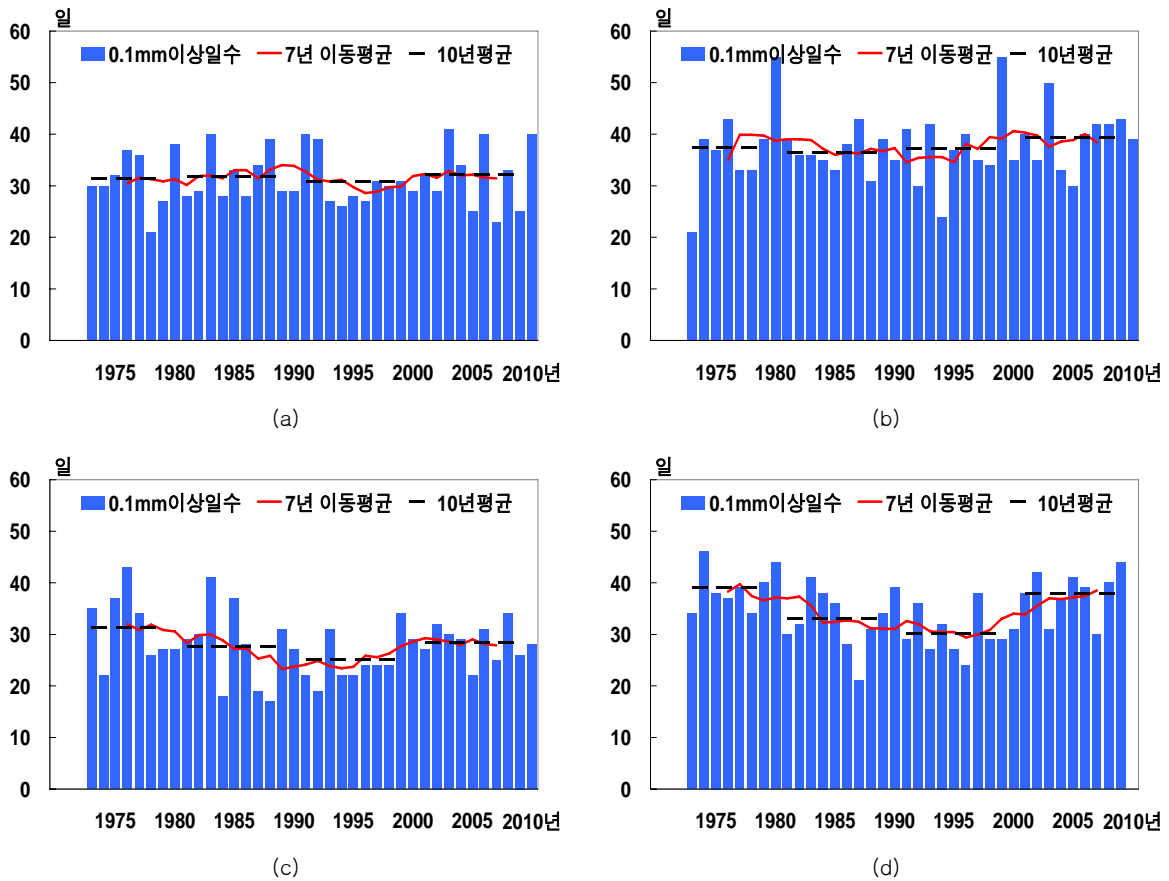


그림 3-4-2. 제주의 계절별 일강수량 0.1mm 이상 일수 변화(1973~2010) (a)봄철, (b)여름철, (c)가을철, (d)겨울철

남부해안의 서귀포의 경우에도 일강수량 0.1mm의 강수일수는 제주와 유사한 경년변동 패턴을 보인다(그림 3-4-3). 서귀포의 일강수량 0.1mm의 강수일수는 1970년대에는 123.3일이었다가 1980년대에는 123.3일, 1990년대에는 115.9일로 더 감소하였다가 2000년대에 136.5일로 급증하였다(표 3-4-4). 특히 일강수량 0.1mm 강수일수의 이러한 변동폭은 1990년대와 2000년대 겨울철에 10일 정도로 가장 뚜렷하게 나타났다(그림 3-4-4).

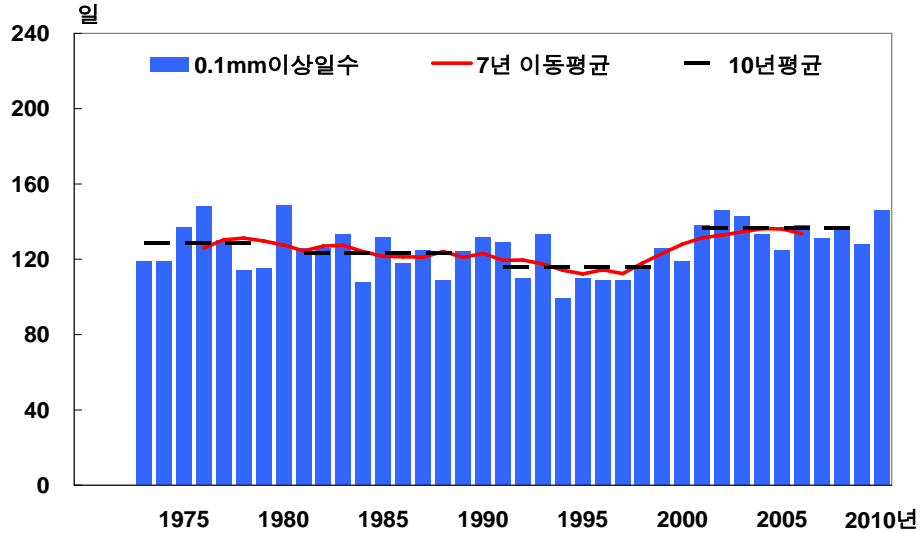


그림 3-4-3. 서귀포의 일강수량 0.1mm 이상 연간일수 변화(1973~2010년)

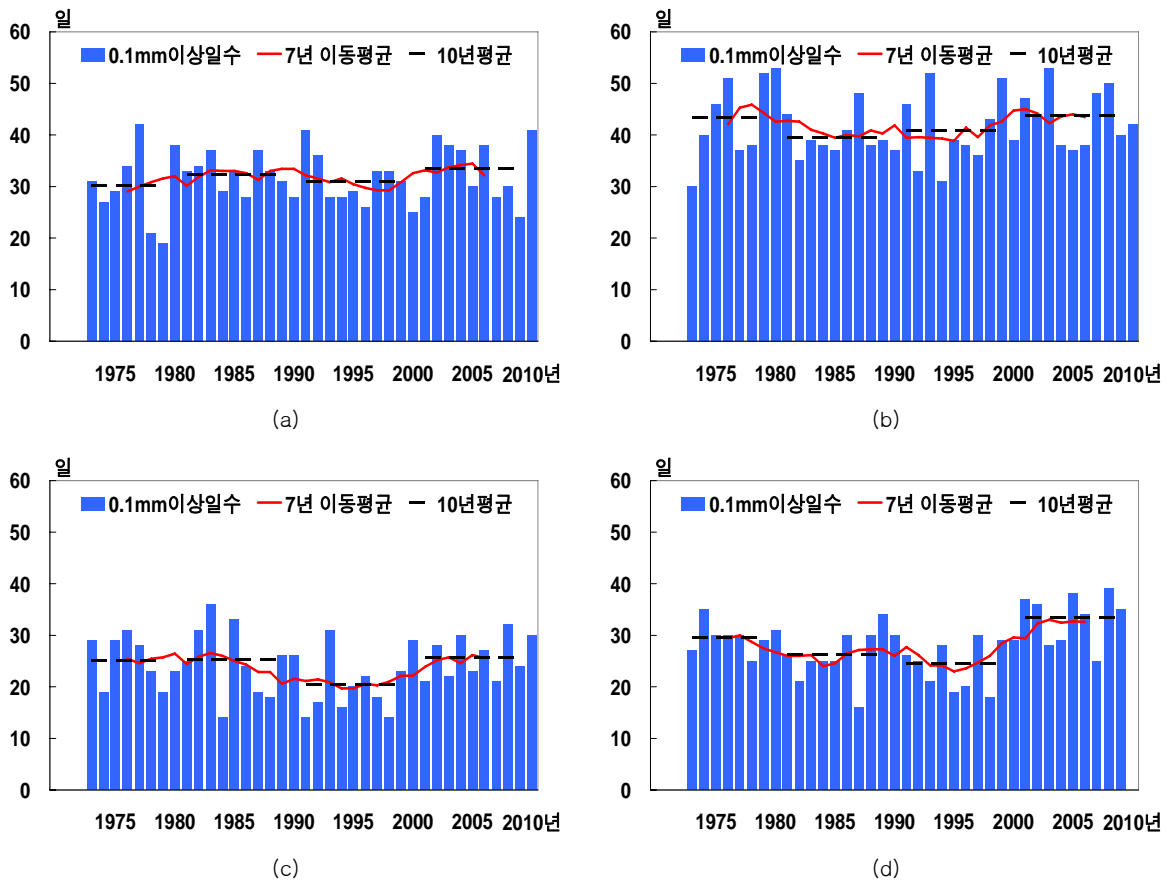


그림 3-4-4. 서귀포의 계절별 일강수량 0.1mm 이상 일수 변화(1973~2010) (a)봄철, (b)여름철, (c)가을철, (d)겨울철

동부해안의 성산의 일강수량 0.1mm이상의 강수일수는 제주 및 서귀포와 같이 유사하게 경년변동 패턴만이 나타난다(그림 3-4-5). 성산에서는 1970년대에는 120.9일이었다가 1980년대에는 125.1일로 약간 증가하고, 1990년대에는 115.4일로 감소하고, 2000년대에는 125.7일로 다시 급증하는 패턴을 보인다(표 3-4-5). 계절별로 여름철에는 10년 단위로 지속적으로 증가하는 패턴이 관찰된다(그림 3-4-6).

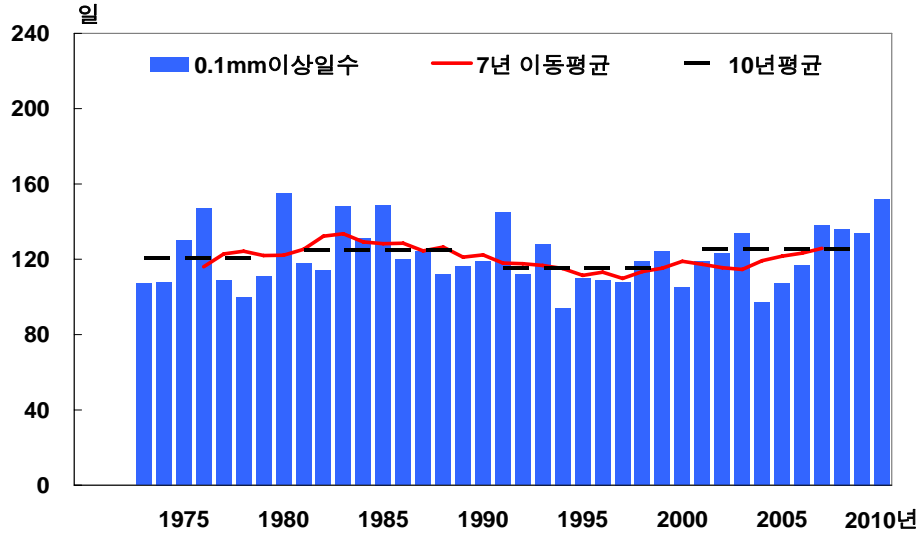


그림 3-4-5. 성산의 일강수량 0.1mm 이상 연간일수 변화(1973~2010년)

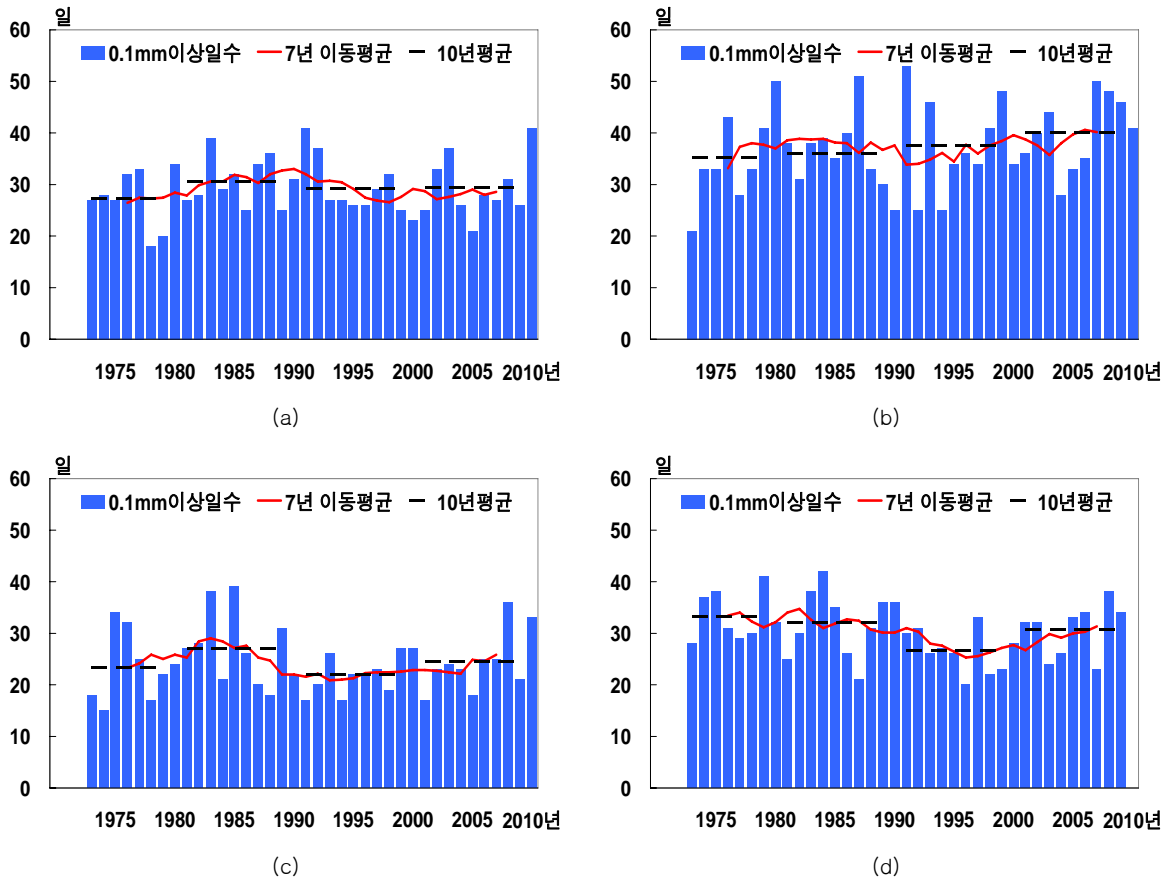


그림 3-4-6. 성산의 계절별 일강수량 0.1mm 이상 일수 변화(1973~2010) (a)봄철, (b)여름철, (c)가을철, (d)겨울철

## 나. 일강수량 80mm 이상 일수

북부해안 제주의 일강수량 80mm 이상 연간일 수의 변화를 살펴보면, 1970년대에는 2.3일, 1980년대에는 3.1일, 1990년대에는 3.8일, 2000년대에는 2.9일로 경년변동 패턴을 나타낸다(그림 3-4-7; 표 3-4-3). 80mm 이상일수는 1999년에 10회로 가장 많았고, 그 해 여름철에 7회 발생하였다(그림 3-4-7; 그림 3-4-8).

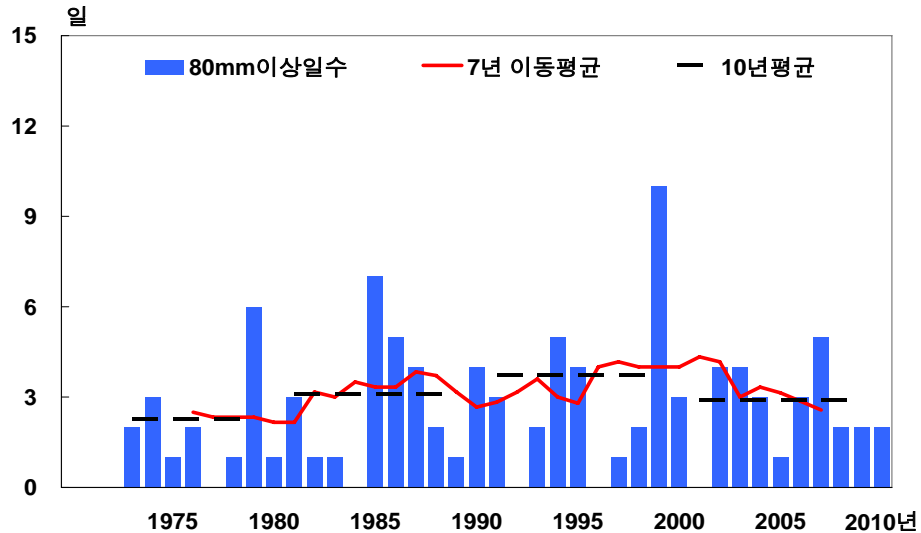


그림 3-4-7. 제주의 일강수량 80mm 이상 연간일수 변화(1973~2010년)

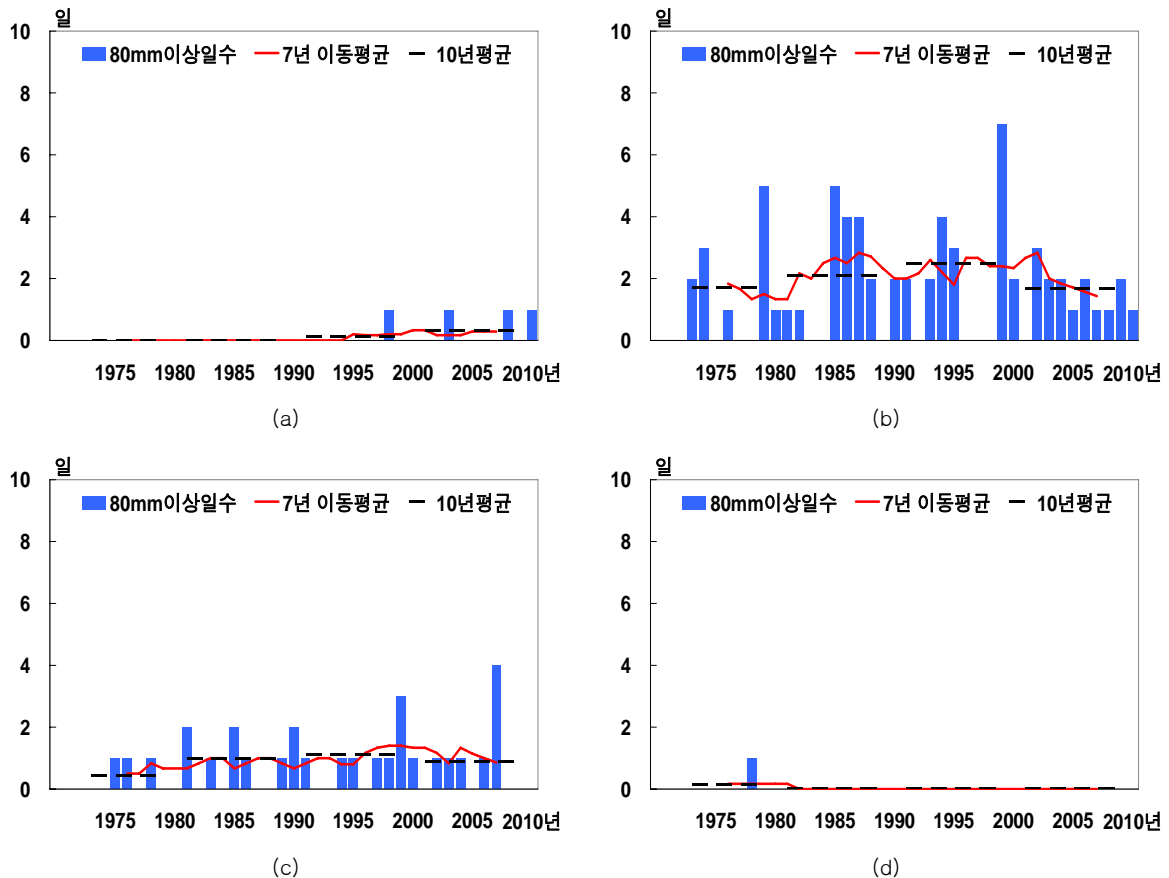


그림 3-4-8. 제주의 계절별 일강수량 80mm 이상 일수 변화(1973~2010년) (a)봄철, (b)여름철, (c)가을철, (d)겨울철



남부해안 서귀포의 일강수량 80mm 이상 일수는 0.5일/10년의 비율로 증가하는 추세를 보이지만 2000년대에는 1990년대보다 다소 감소하는 패턴을 보인다(그림 3-4-9; 표 3-4-1). 1970년대에 2.9일, 1980년대에 4.6일, 1990년대에는 5.0일로 증가하다가 2000년대에는 4.2일로 다시 감소하는 경년변동 패턴을 나타낸다(그림 3-4-9; 표 3-4-4). 이러한 경년변동 패턴은 여름철과 가을철에도 유사하게 반복되어 나타난다(그림 3-4-10).

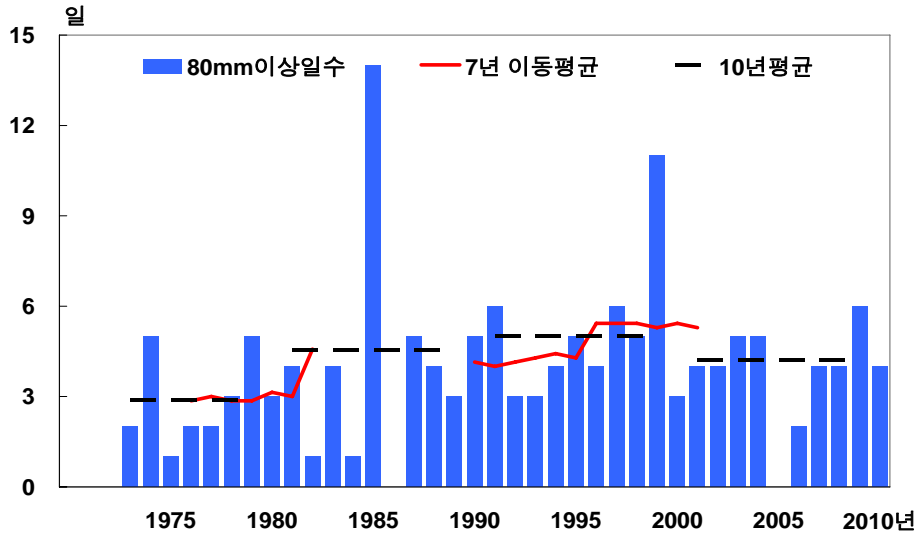
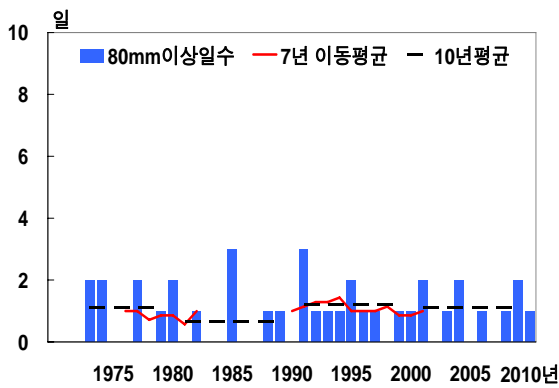
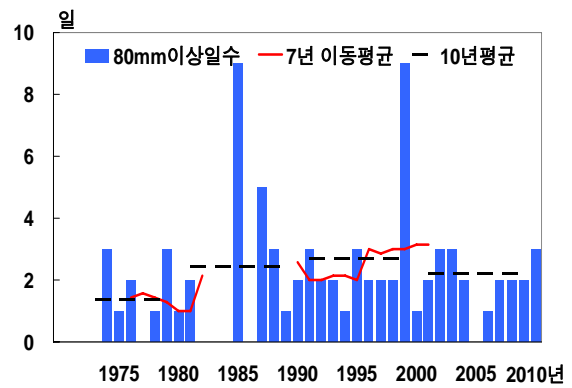


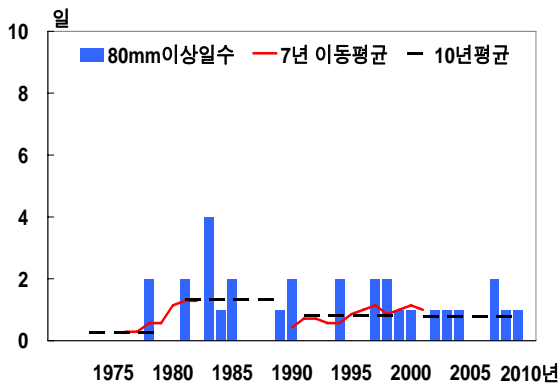
그림 3-4-9. 서귀포의 일강수량 80mm 이상 연간일수 변화(1973~2010년)



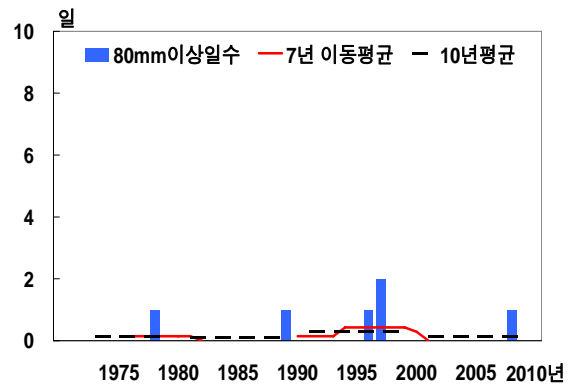
(a)



(b)



(c)



(d)

그림 3-4-10. 서귀포의 계절별 일강수량 80mm 이상 일수 변화(1973~2010년) (a)봄철, (b)여름철, (c)가을철, (d)겨울철

강수량이 가장 많은 동부해안의 성산에서도 유사한 경년변동을 나타내는데, 1970년대에는 일강수량 80mm 이상 연간일수는 3.0일이었다가, 1980년대에는 4.6일로 증가하고, 1990년대와 2000년대에는 4.3일과 4.4일로 그 변동폭이 적게 나타났다(그림 3-4-11; 표 3-4-5). 계절별로 살펴보면, 여름철과 가을철 발생빈도는 1980년대에 가장 높았다(그림 4-3-12).

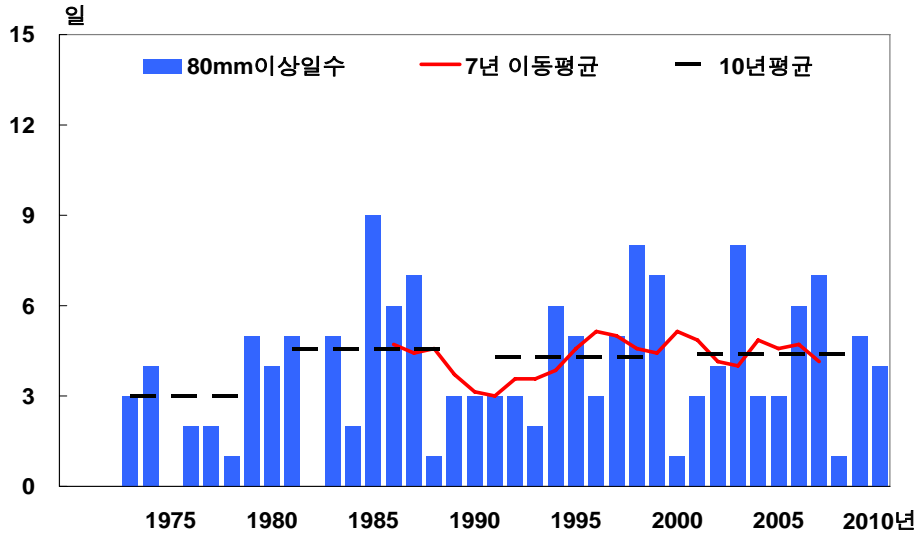


그림 3-4-11. 성산의 일강수량 80mm 이상 연간일수 변화(1973~2010년)

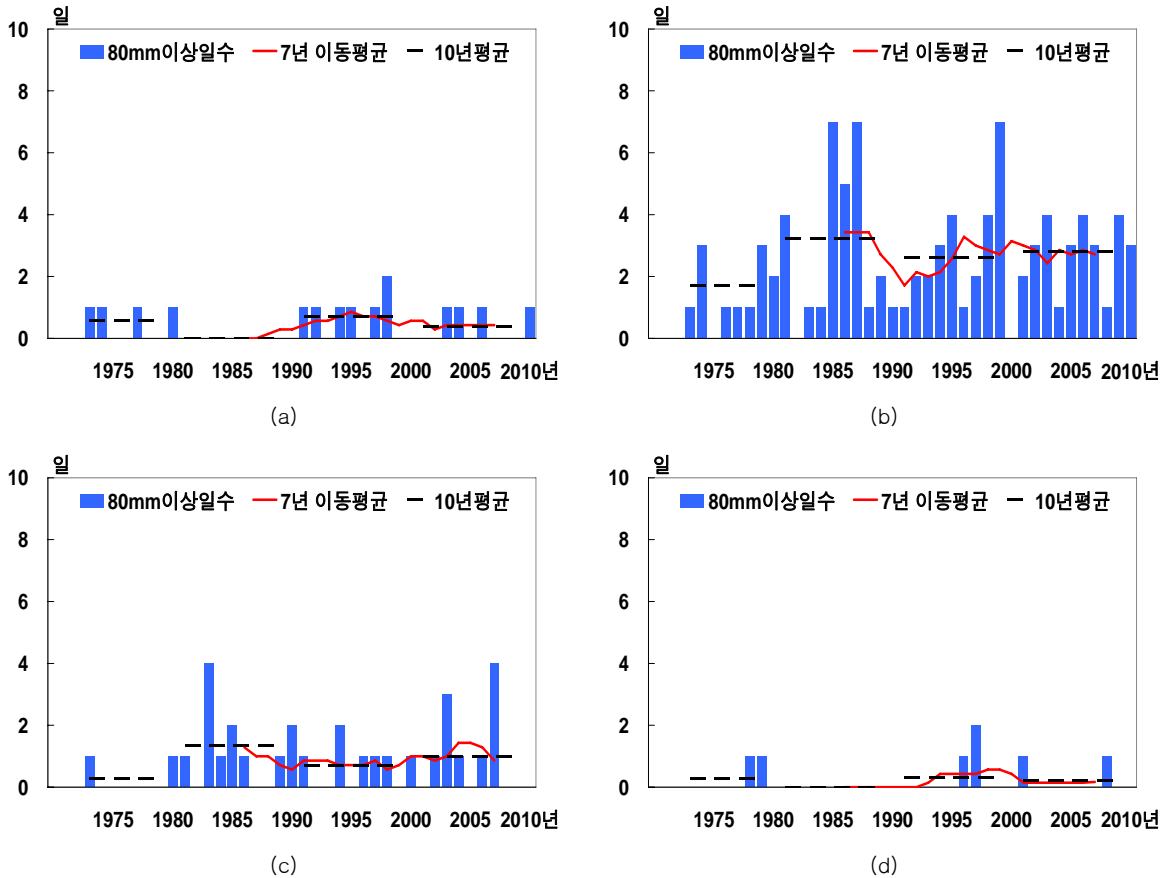


그림 3-4-12. 성산의 계절별 일강수량 80mm 이상 일수 변화(1973~2010년) (a)봄철, (b)여름철, (c)가을철, (d)겨울철

## 다. 결빙일수

북부해안 제주의 결빙일수는 1970년대와 1980년대에 비하여 1990년대와 2000년에는 그 발생빈도가 현격하게 감소하여 5.3.일/10년의 감소율을 나타낸다(그림 3-4-13; 표 3-4-1). 특히, 이러한 변화는 1988년 전후로 그 발생빈도가 15일 이상 뚜렷하게 감소하는 경향을 보인다. 제주의 결빙일수는 대체로 겨울철에 주로 나타나고, 1980년대 후반 이후의 급감하는 추세는 봄철 결빙일수에서도 관찰된다(그림 3-4-14).

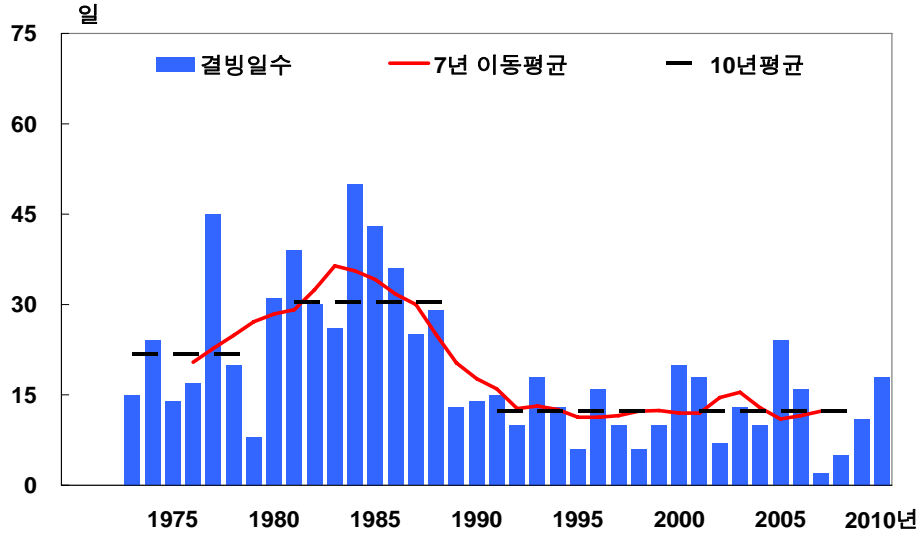


그림 3-4-13. 제주의 연간 결빙일수 변화(1973~2010년)

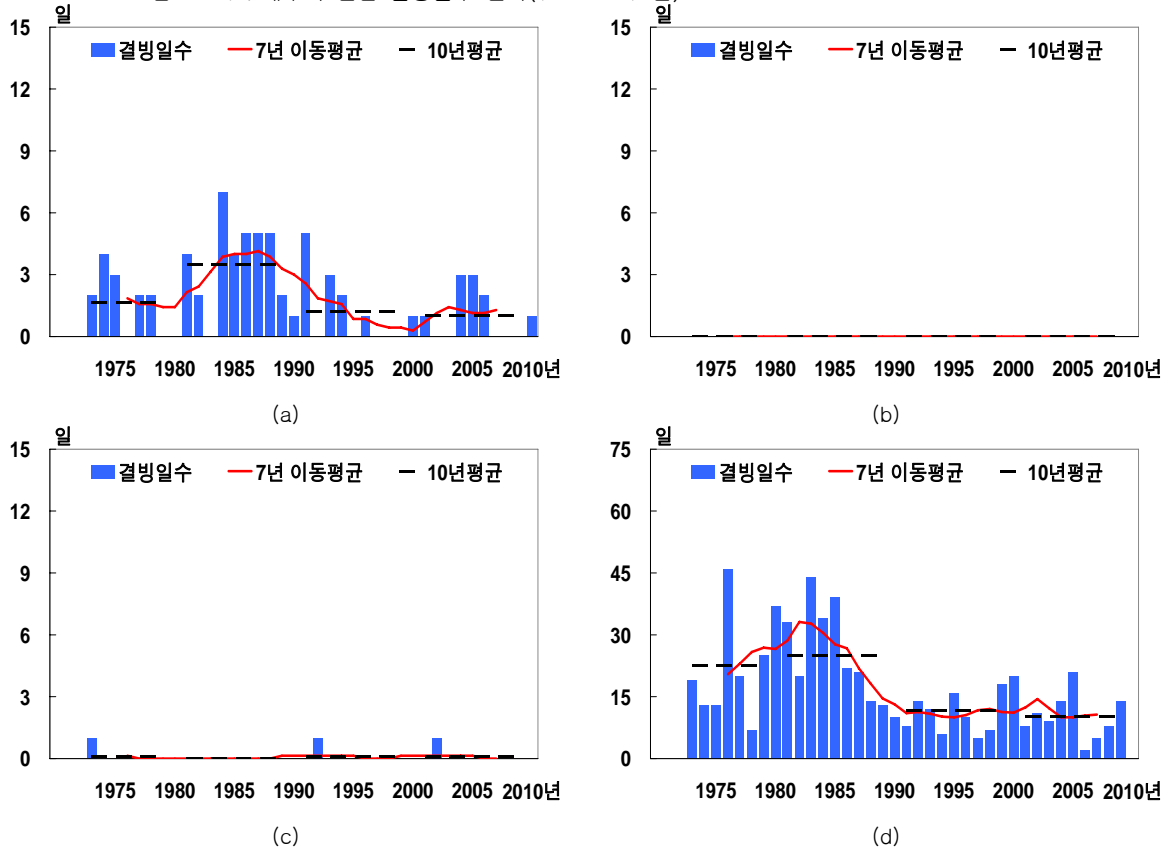


그림 3-4-14. 제주의 계절별 결빙일수 변화(1973~2010년) (a)봄철, (b)여름철, (c)가을철, (d)겨울철

남부해안의 서귀포의 연간 결빙일수를 살펴보면 제주와 유사하게 1980년대 후반에 10일 이상 뚜렷하게 감소하는 경향이 나타난다(그림 3-4-15). 변화 경향을 분석해 보면 3.4일/10년의 비율로 감소하였음을 알 수 있다(표 3-4-1). 사계절 변화 패턴을 살펴보면 1980년대 후반 이후의 급격한 결빙일수의 감소 패턴은 겨울철에 지배적으로 나타난다(그림 3-4-16). 반면 봄철에는 제주와는 달리 서귀포의 경우에는 1980년대 후반 이후의 급격한 감소 패턴은 나타나지 않는다.

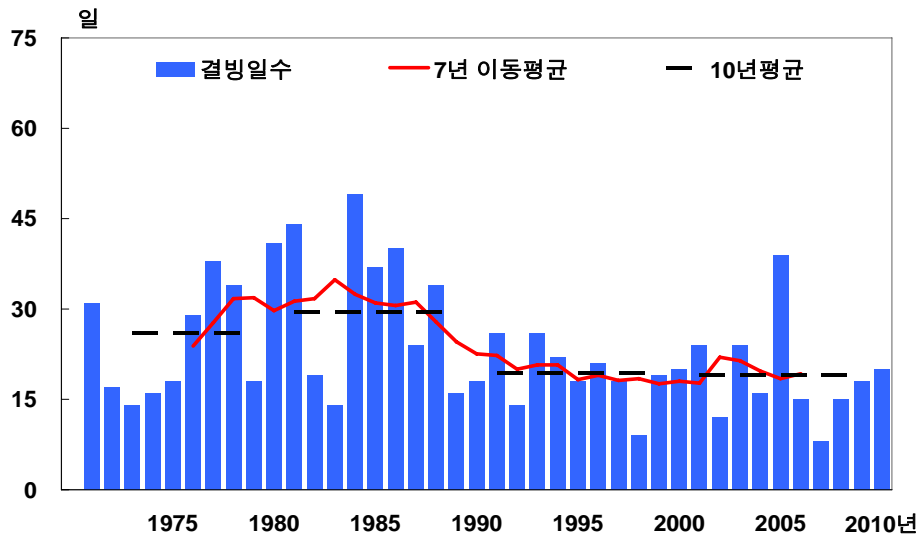


그림 3-4-15. 서귀포의 연간 결빙일수 변화(1973~2010년)

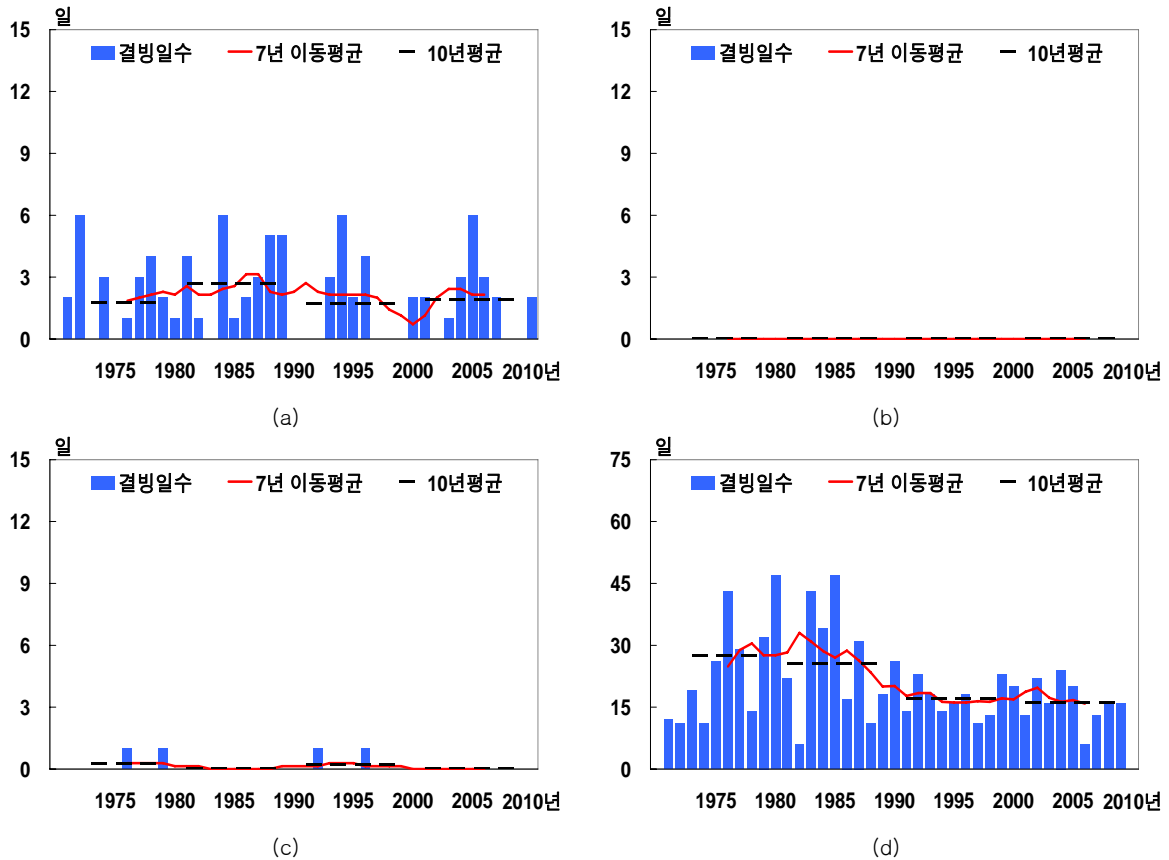


그림 3-4-16. 서귀포의 계절별 결빙일수 변화(1973~2010년) (a)봄철, (b)여름철, (c)가을철, (d)겨울철

동부해안의 성산의 연간 결빙일수 변화를 살펴보면 4.9일/10년의 비율로 감소하였다(표 3-4-1). 제주와 서귀포가 1980년대 후반에 발생빈도가 급감하여 2000년대까지 유사하게 지속된 변화 경향과는 달리 2000년대에도 1990년대와 비교하여 10일 이상 줄어드는 패턴을 나타낸다(그림 3-4-17). 이러한 1980년대 이후의 단계적인 감소패턴은 겨울철과 봄철 결빙일수에도 뚜렷하게 나타난다(그림 3-4-18).

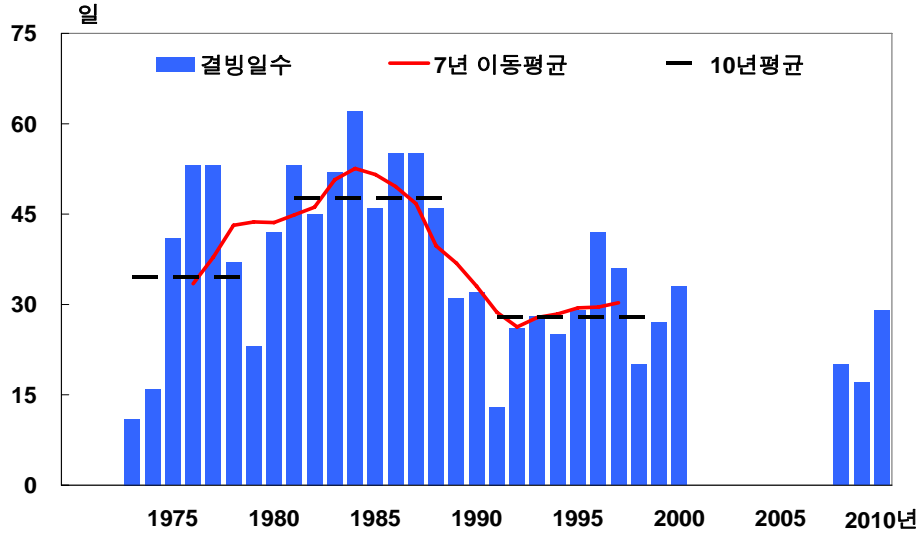


그림 3-4-17.성산의 연간 결빙일수 변화(1973~2010년)

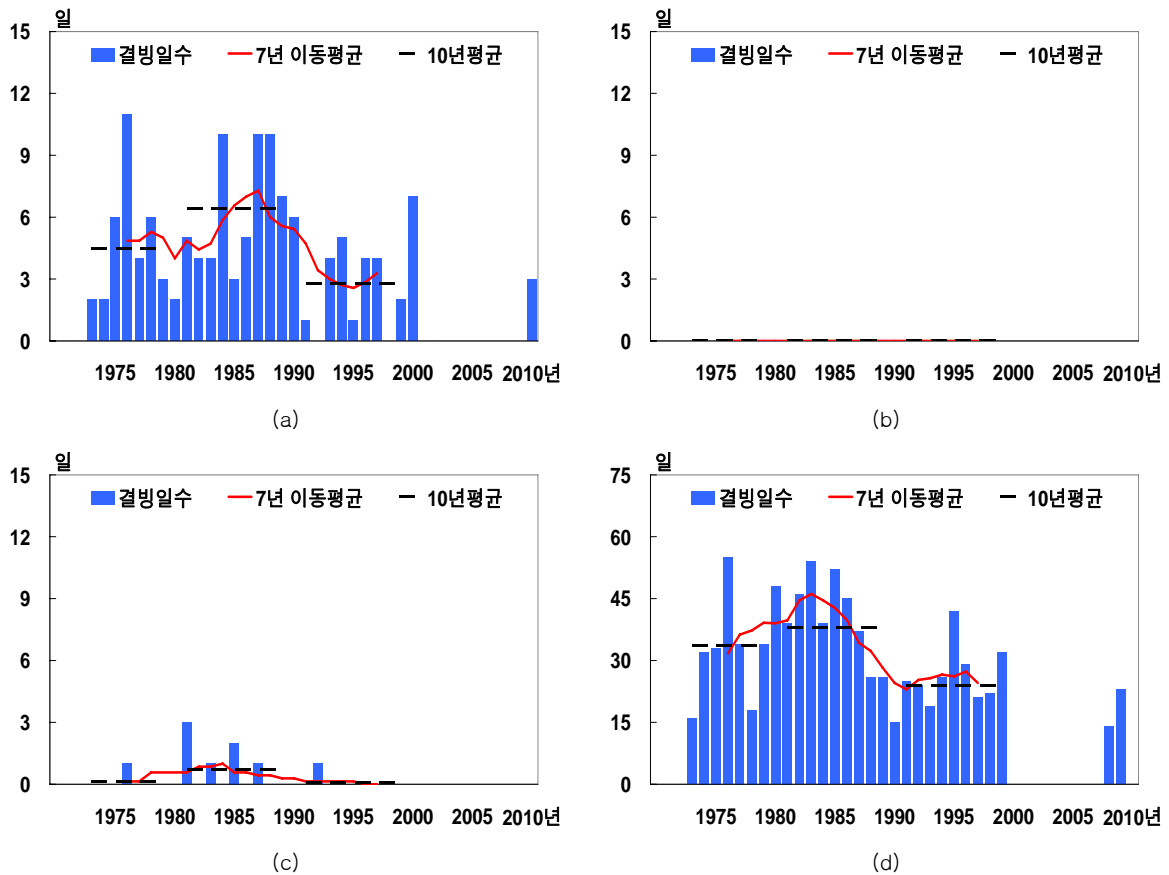


그림 3-4-18.성산의 계절별 결빙일수 변화(1973~2010년) (a)봄철, (b)여름철, (c)가을철, (d)겨울철

## 라. 뇌전일수

북부해안의 제주의 연간 뇌전일수 변화를 살펴보면, 1990년대에 비하여 2000년대에 10일 이상 뚜렷하게 증가하여 3.5일/10년의 증가율을 나타낸다(그림 3-4-19; 표 3-4-1). 사계절 중 여름철, 가을철, 겨울철에 뚜렷한 증가양상을 나타낸다(그림 3-4-20). 봄철의 경우에는 이와는 달리 1990년대에 가장 뇌전일수의 발생빈도가 높다.

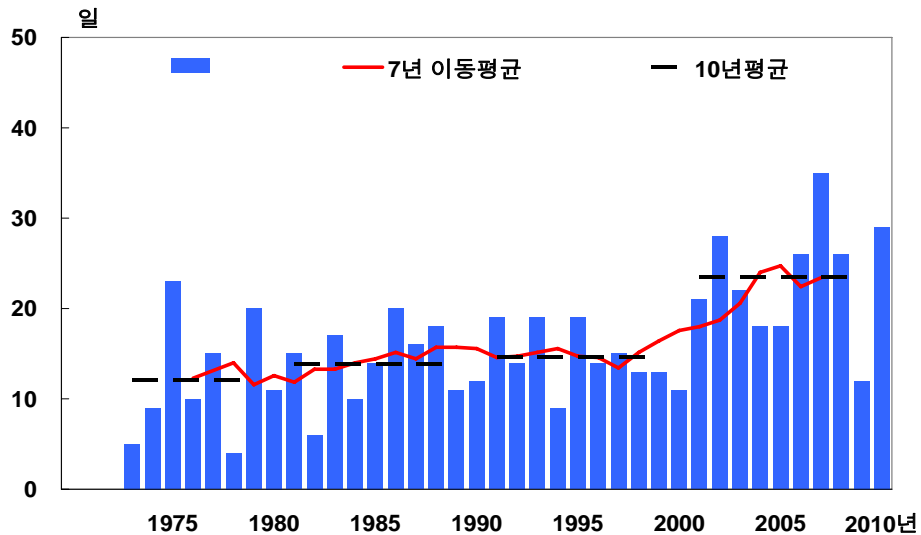


그림 3-4-19. 제주의 연간 뇌전일수 변화(1973~2010년)

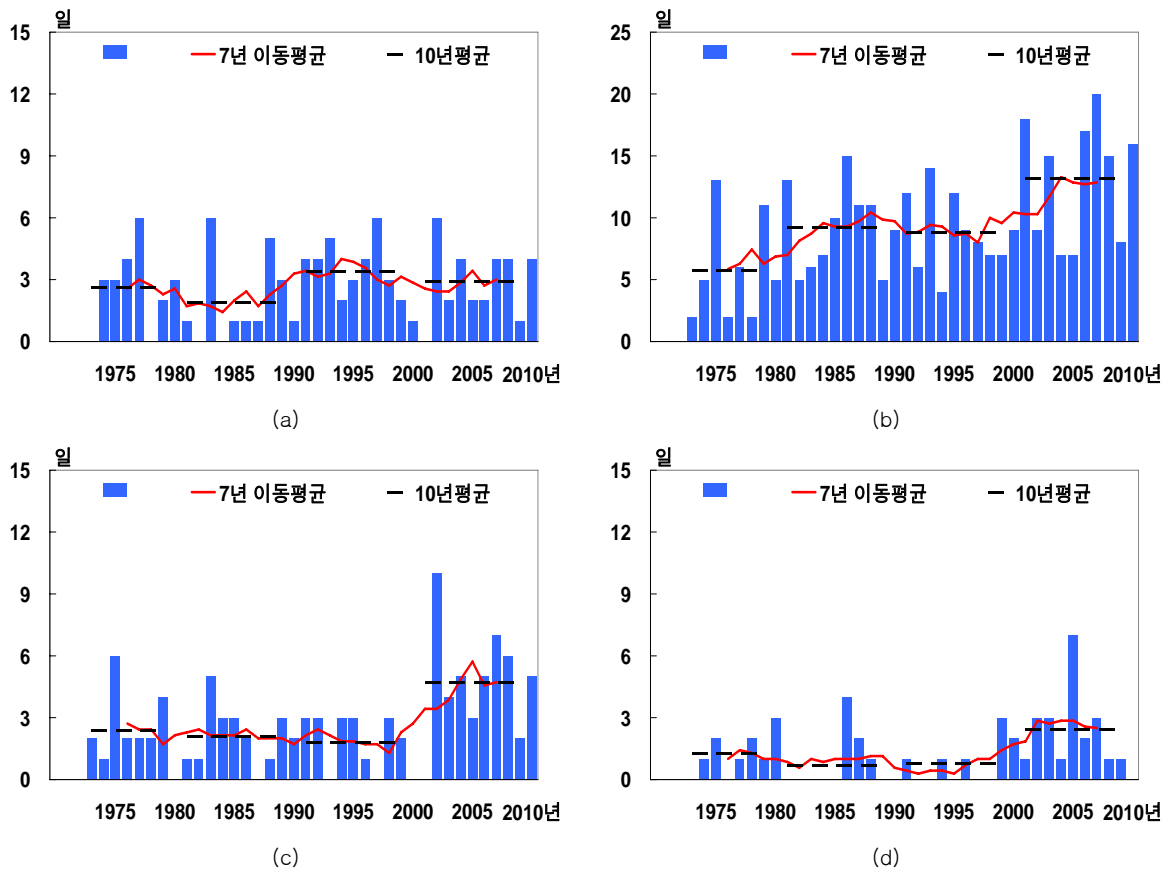


그림 3-4-20. 제주의 계절별 뇌전일수 변화(1973~2010년) (a)봄철, (b)여름철, (c)가을철, (d)겨울철

남부해안의 서귀포의 연 뇌전일수에서도 북부해안 제주와 유사하게 2000년대의 발생빈도가 이전 기간에 비하여 5일 이상 증가하여 3.2일/10년의 증가율을 나타낸다(그림 3-4-21; 표 3-4-1). 사계절 뇌전일수의 변화를 살펴보면, 이러한 경향은 여름철과 가을철에 뚜렷하게 나타난다(그림 3-4-22). 봄철의 경우에는 1990년대와 2000년대가 모두 그 이전 기간에 비하여 뇌전일수 발생빈도가 높고, 겨울철의 경우에는 오히려 1970년대와 2000년대의 발생빈도가 다소 높게 나타난다.

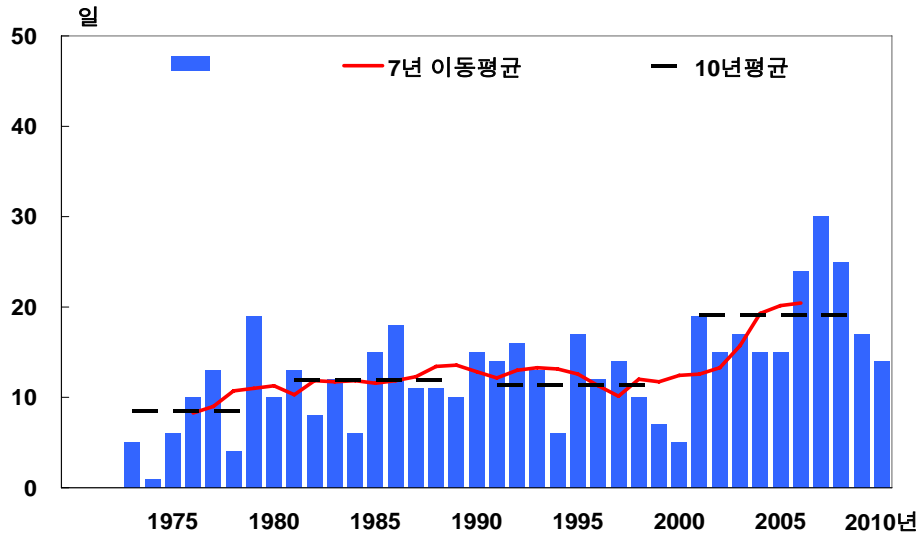


그림 3-4-21. 서귀포의 연간 뇌전일수 변화(1973~2010년)

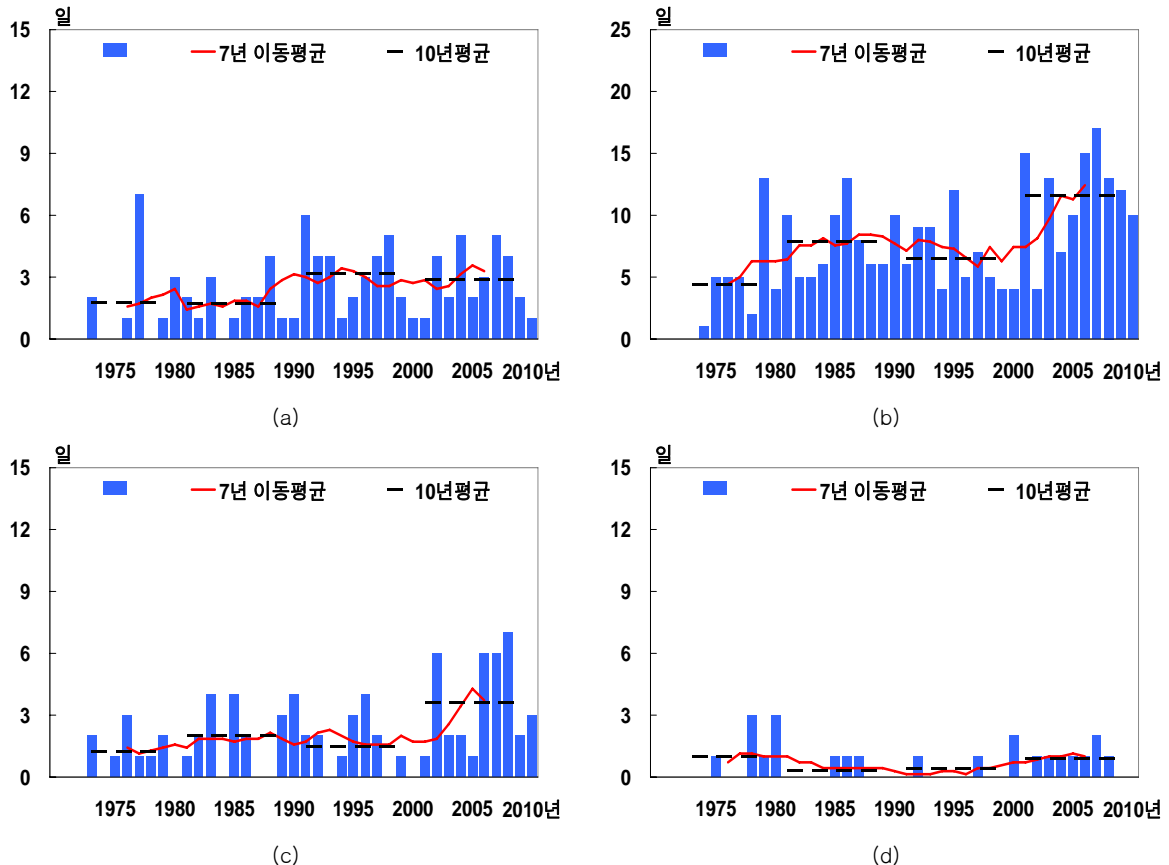


그림 3-4-22. 서귀포의 계절별 뇌전일수 변화(1973~2010년) (a)봄철, (b)여름철, (c)가을철, (d)겨울철

동부해안 성산의 경우에는 2000년대의 자료에 관측이 적기 때문에 제주와 서귀포에서 확인된 2000년대의 뇌전일수 증가경향을 탐지하기는 어렵지만 2000년대 후반부의 일부 자료에 따르면 유사한 경향이 나타났을 것으로 사료된다(그림 3-4-23). 계절별 뇌전일수에서도 여름철의 뇌전일수는 2000년대 후반 일부자료에 따르면 그 이전기간에 비하여 발생 빈도가 증가하였음을 알 수 있다(그림 3-4-22).

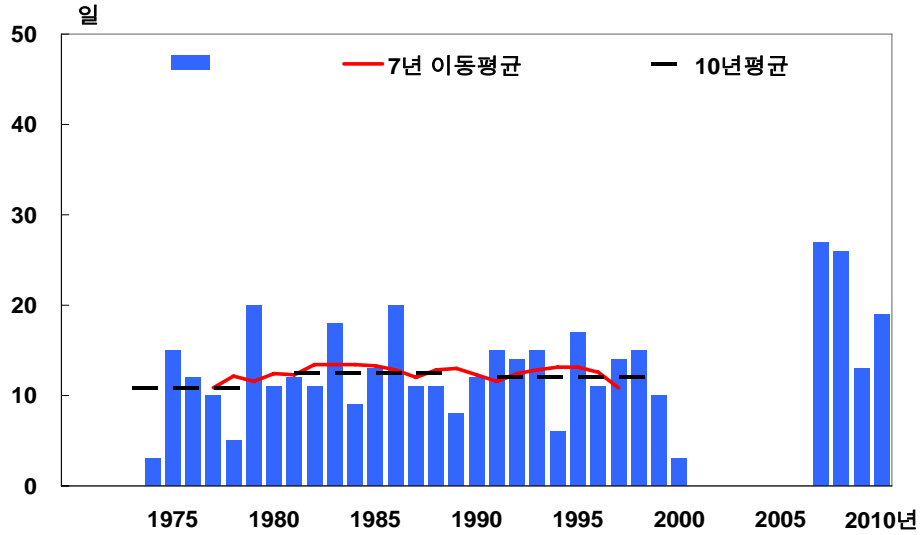


그림 3-4-23. 성산의 연간 뇌전일수 변화(1973~2010년)

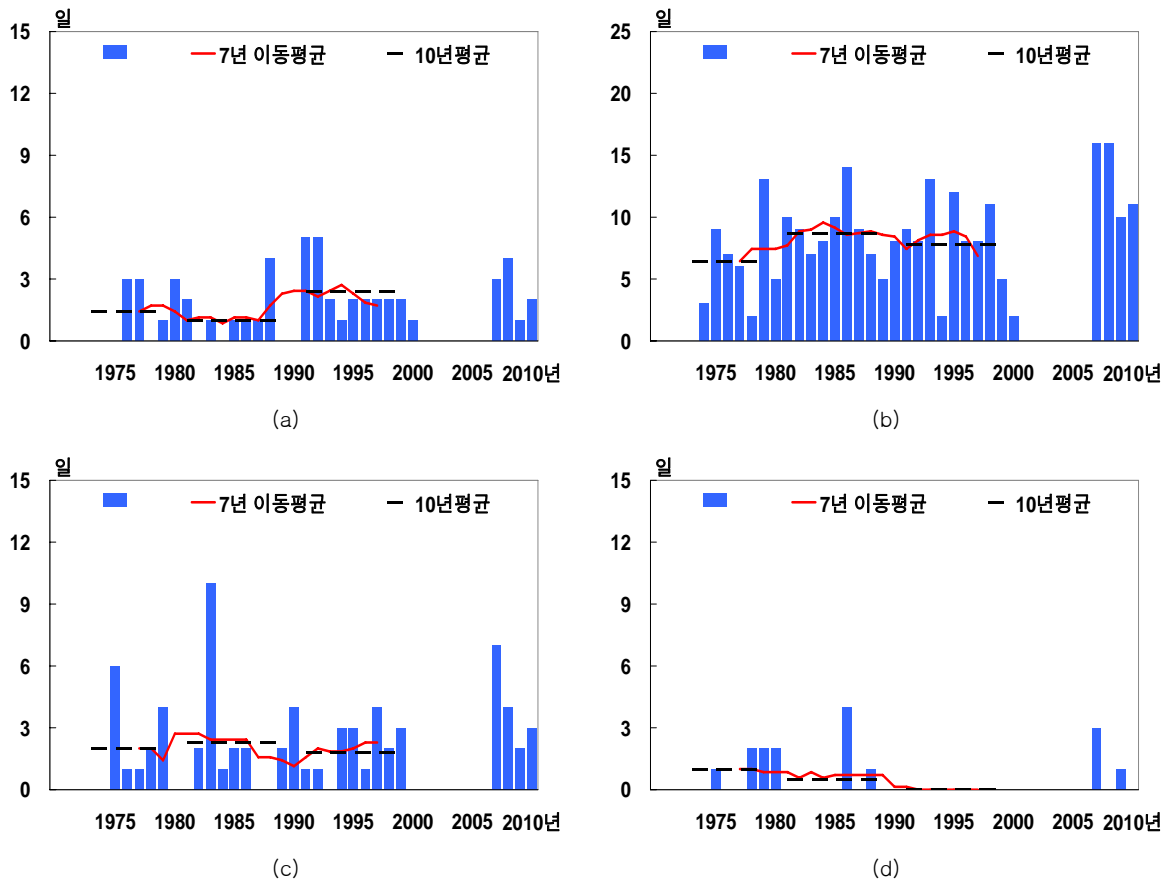


그림 3-4-24. 성산의 계절별 뇌전일수 변화(1973~2010년) (a)봄철, (b)여름철, (c)가을철, (d)겨울철



## 마. 눈 일수

북부해안 제주의 연간 눈 일수의 변화를 살펴보면 대체로 1980년대 후반부터 그 이전 기간에 비하여 눈 일수가 줄어들면서 3.0일/10년의 감소율을 나타낸다(그림 3-4-26; 표 3-4-1). 사계절 중 눈 일수가 많은 겨울철의 경우에 1980년대 전후로 눈 일수가 5일 이상 감소하였다(그림 3-4-26). 반면 제주 봄철의 눈 일수는 오히려 2000년대에 들어 증가한 패턴을 살펴볼 수 있다.

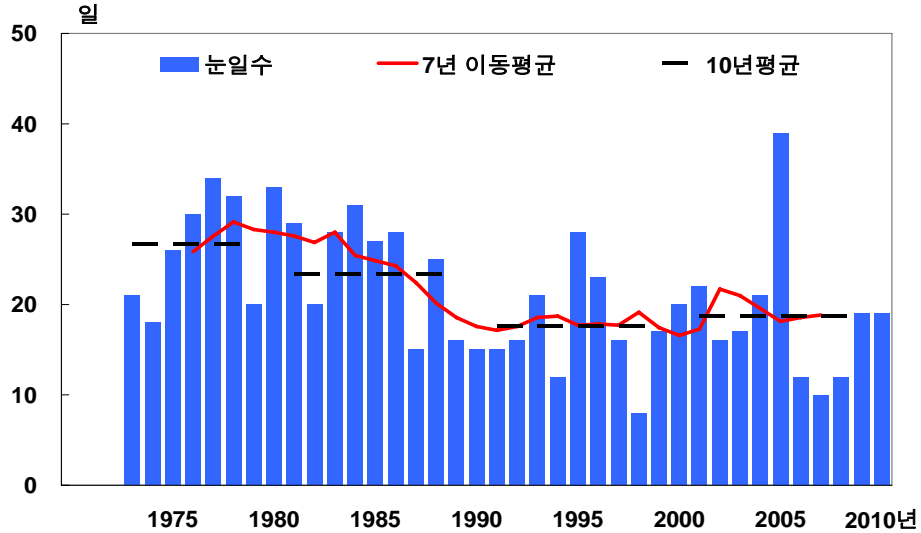


그림 3-4-25. 제주의 연간 눈 일수 변화(1973~2010년)

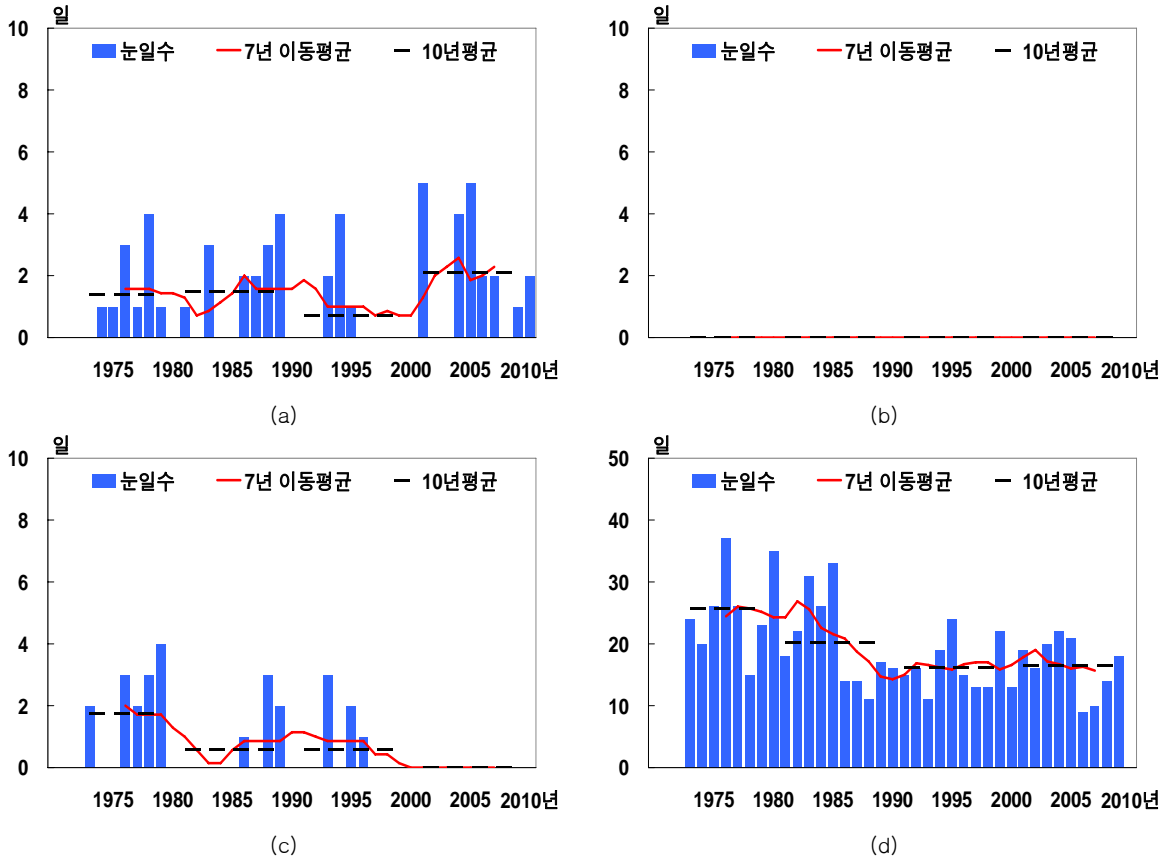


그림 3-4-26. 제주의 계절별 눈 일수 변화(1973~2010년) (a)봄철, (b)여름철, (c)가을철, (d)겨울철

남부해안 서귀포의 눈 일수의 변화를 살펴보면 북부해안과는 달리 1980년대 후반 이후 눈 일수가 그 이전 기간에 비하여 감소하나, 2000년대에는 1980년대와 유사한 발생빈도를 보여 통계적으로 유의미한 변화를 보이지 않는다(그림 3-4-27; 표 3-4-1). 이러한 경향은 사계절 중 겨울철 눈 일수에 뚜렷하게 나타나 있다(그림 3-4-28). 서귀포 봄철의 눈 일수의 경우에는 북부해안의 제주와 유사하게 2000년대에 발생빈도가 그 이전 기간에 비하여 증가한 것을 알 수 있다.

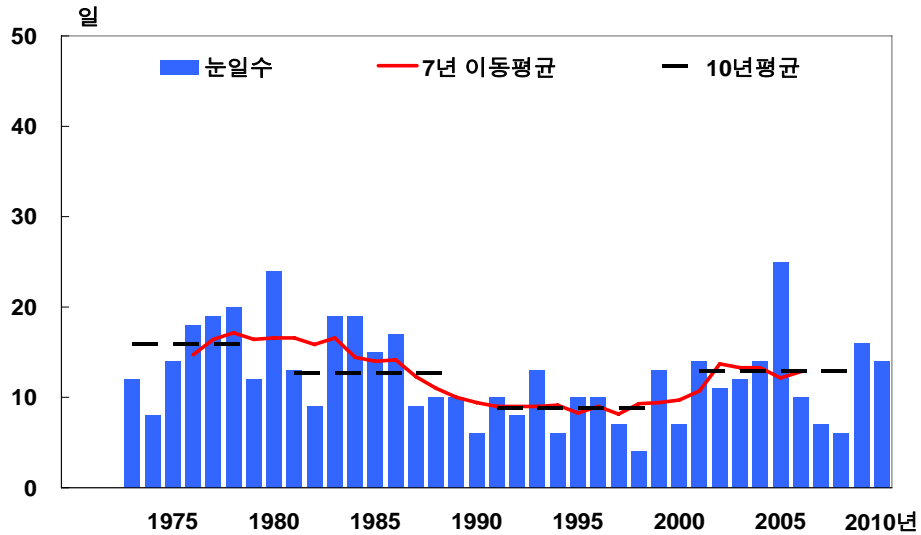
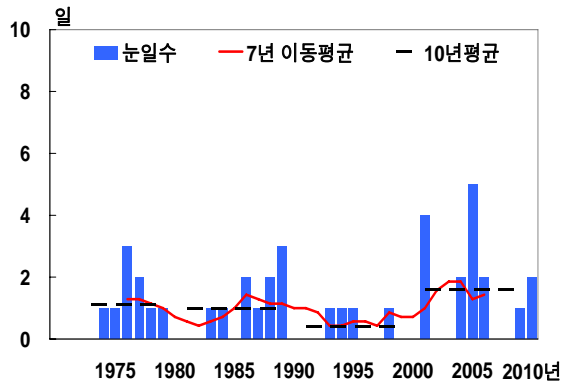
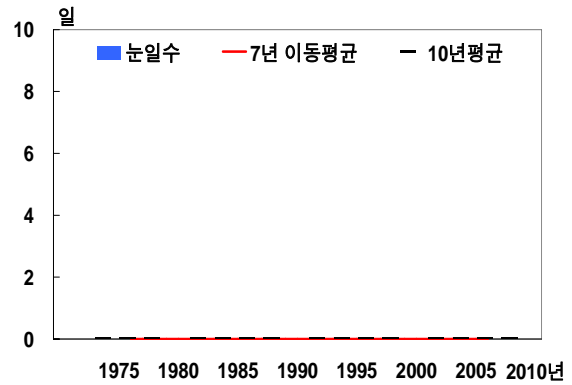


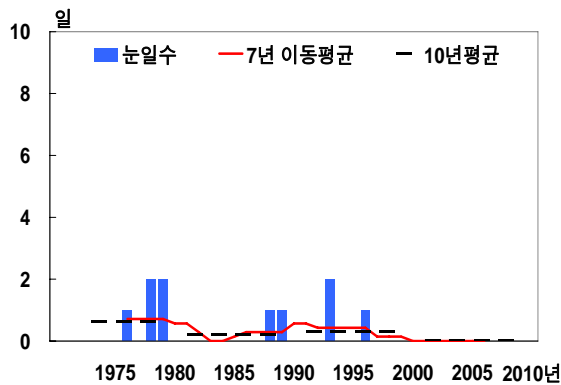
그림 3-4-27. 서귀포의 연간 눈 일수 변화(1973~2010년)



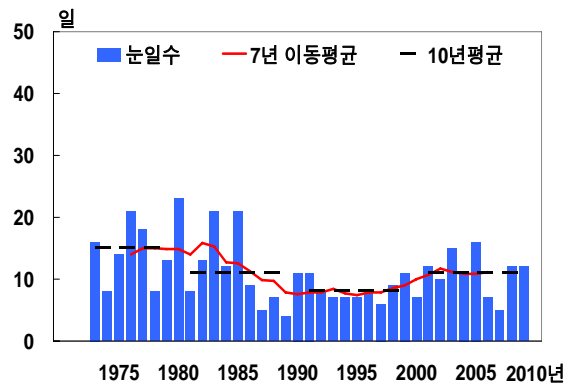
(a)



(b)



(c)



(d)

그림 3-4-28. 서귀포의 계절별 눈 일수 변화(1973~2010년) (a)봄철, (b)여름철, (c)가을철, (d)겨울철

동부해안 성산의 연간 눈 일수는 2000년대의 자료가 적어 변화경향을 알 수는 없지만, 북부해안의 제주와 남부해안의 서귀포에서 공통적으로 나타났던 1990년대의 눈 일수 감소경향은 관찰되지 않는다(그림 3-4-30). 계절별 변화에서도 눈 일수가 증가하거나 감소하는 경향은 나타나지 않는다(그림 3-4-30). 북부해안의 경우에는 시베리아 고기압이 1990년대에 약해지면서 눈 일수 감소에 영향을 미쳤을 가능성이 있지만 바람의지 지역에 해당하는 성산은 이와는 다른 눈 발생 메카니즘의 영향을 받고 있을 것으로 사료된다.

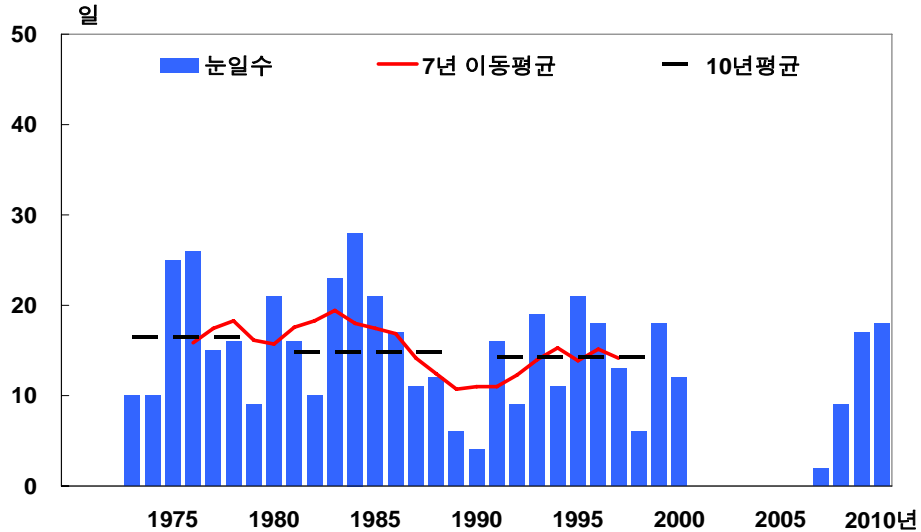


그림 3-4-29. 성산의 연간 눈 일수 변화(1973~2010년)

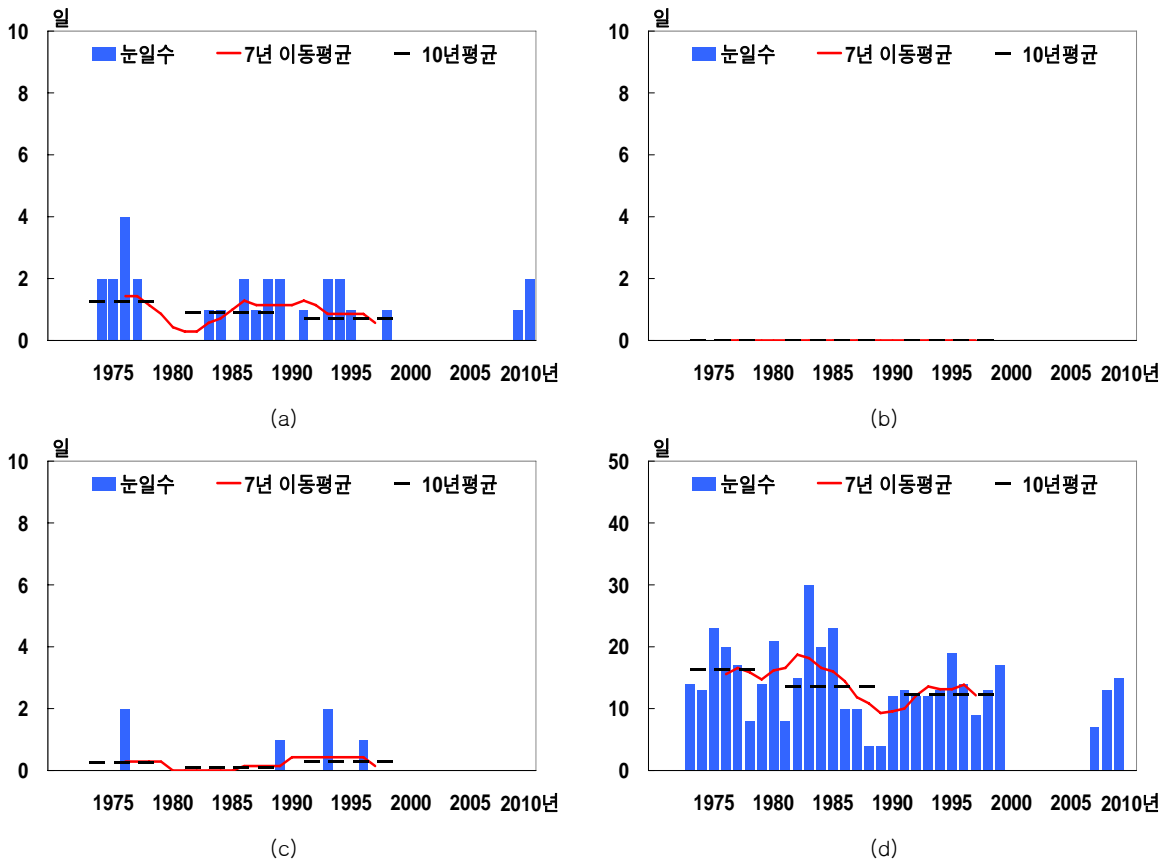


그림 3-4-30. 성산의 계절별 눈 일수 변화(1973~2010년) (a)봄철, (b)여름철, (c)가을철, (d)겨울철

## 바. 서리일수

북부해안 제주의 연간 서리일수를 살펴보면, 결빙일수와 유사하게 1980년대 후반에 발생빈도가 급감하면서 2000년대에는 3.1일로 3.6일/10년의 감소율을 나타낸다(그림 3-4-31; 표 3-4-1; 표 3-4-3). 사계절 중 서리일수 발생빈도가 높은 겨울철과 봄철 모두 1980년대 이후 지속적으로 발생빈도가 급감하는 추세이다(그림 3-4-41). 그 결과 제주의 2000년대 평균 연간 서리일수는 3.4일까지 감소하였다(표 3-4-3).

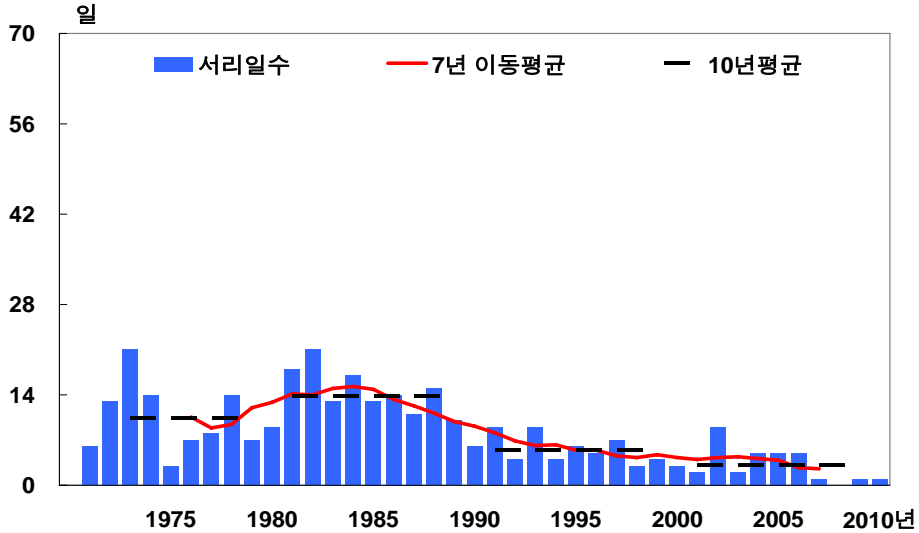


그림 3-4-31. 제주의 연간 서리일수 변화(1973~2010년)

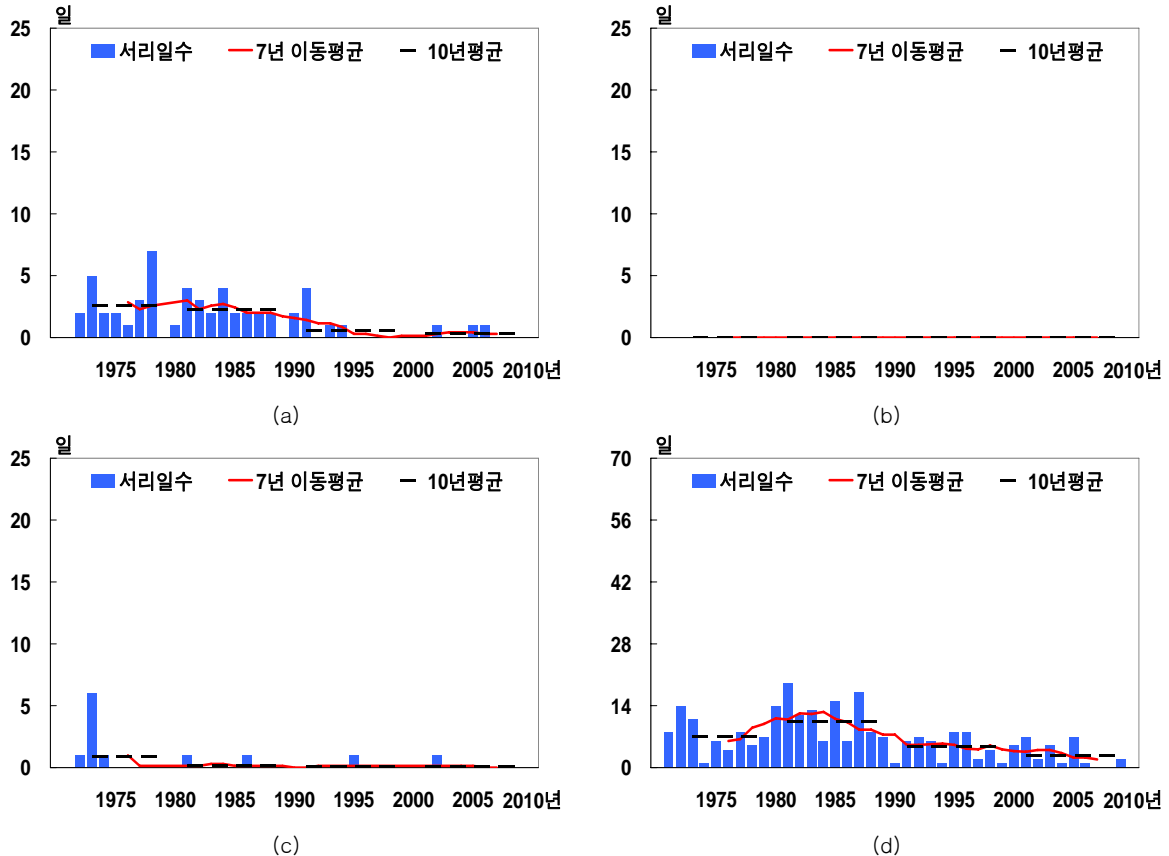


그림 3-4-32. 제주의 계절별 서리일수 변화(1973~2010년) (a)봄철, (b)여름철, (c)가을철, (d)겨울철

남부해안의 서귀포 연간 서리일수를 살펴보면, 북부해안의 경우와는 달리 서리일수 발생빈도가 10일 이하로 낮기 때문에 북부해안 제주에서 나타났던 1980년대 이후 급감하는 패턴을 찾아볼 수는 없다(그림 3-4-33). 1981년의 연 서리일수가 25일 이상으로 급증하여 1980년대에 상대적으로 평균적인 서리일수가 다소 높게 나타난다. 사계절 중 이러한 패턴이 겨울철과 봄철에 공통적으로 나타난다(그림 3-4-34).

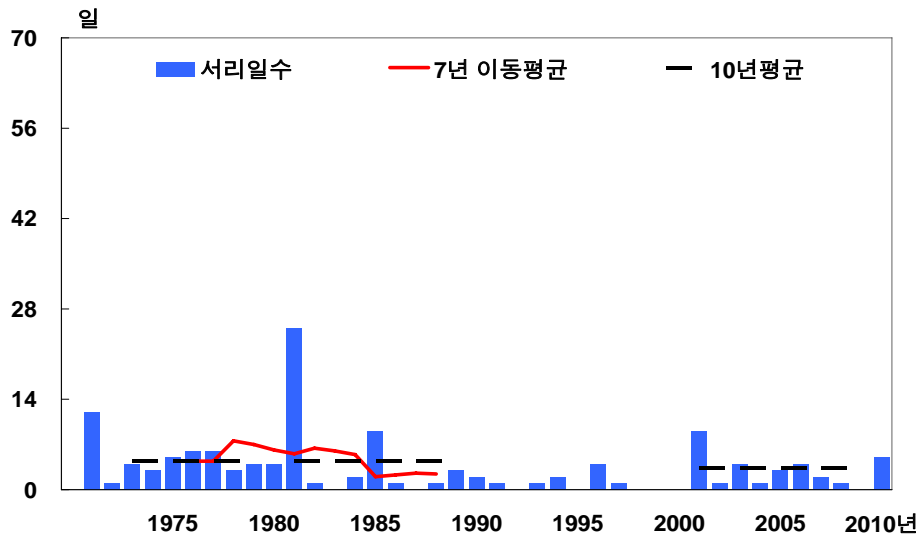


그림 3-4-33. 서귀포의 연간 서리일수 변화(1973~2010년)

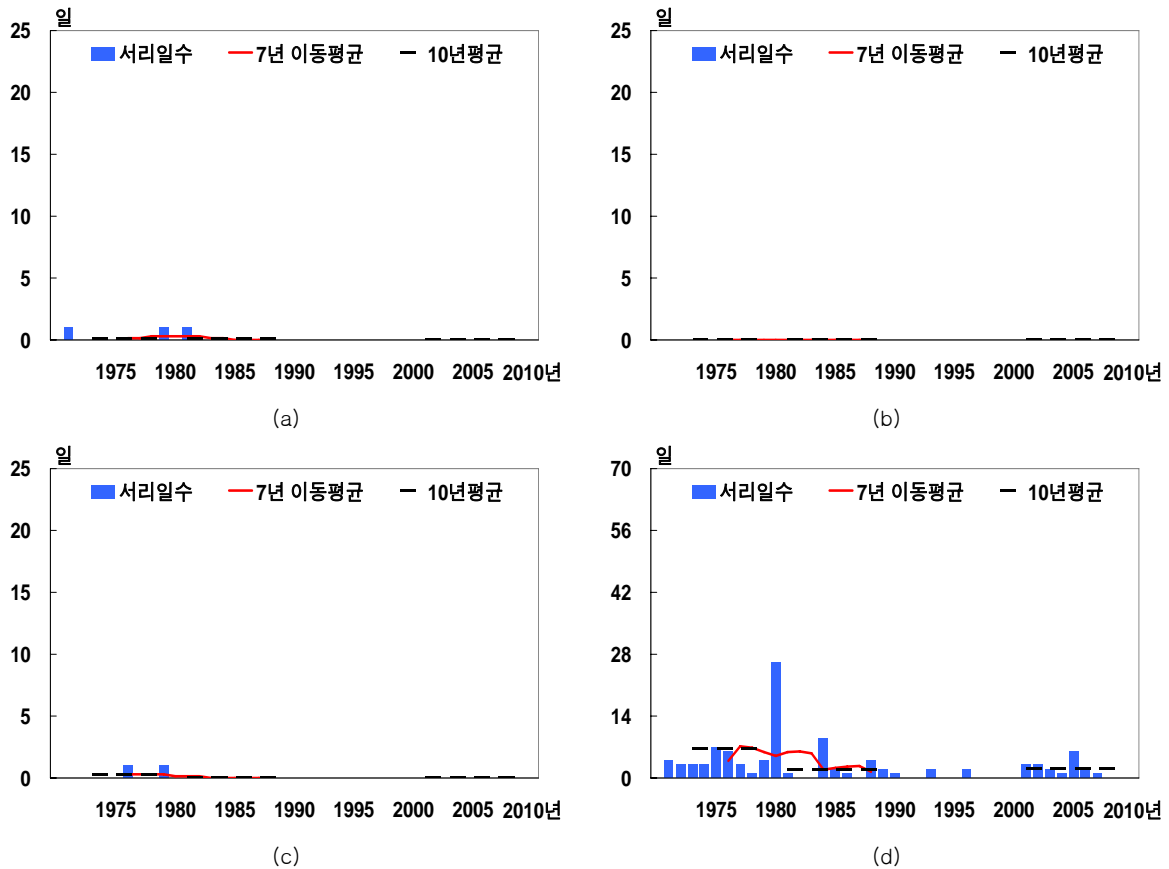


그림 3-4-34. 서귀포의 계절별 서리일수 변화(1973~2010년) (a)봄철, (b)여름철, (c)가을철, (d)겨울철

동부해안의 성산에서는 2000년대 자료가 적어 일부 해석에는 유의할 필요성이 있지만, 북부해안 제주에서 나타났던 변화 패턴과 유사하게 1980년대 이후 급감하여 지속적으로 줄어드는 패턴이 관찰된다(그림 3-4-35). 이러한 패턴은 여름철을 제외한 겨울, 봄, 가을철에 모두 공통적으로 나타난다(그림 3-4-36).

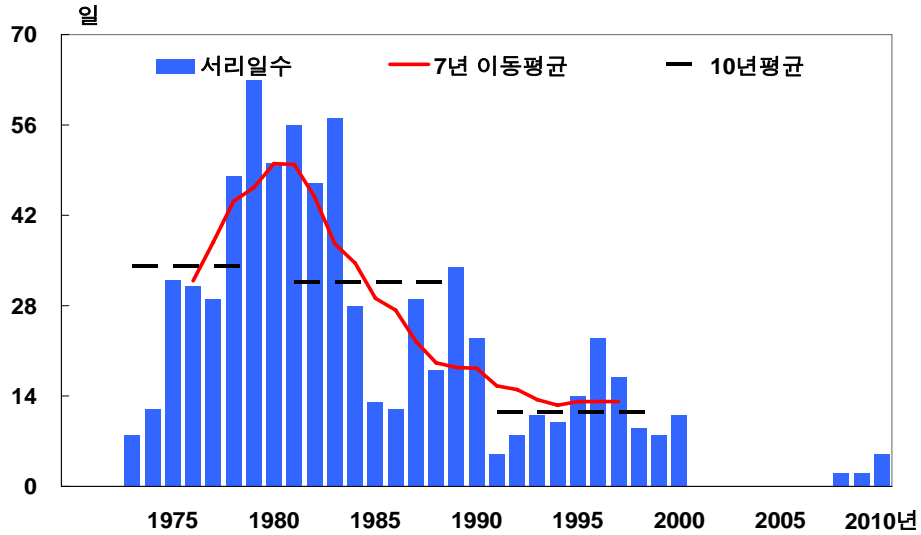


그림 3-4-35. 성산의 연간 서리일수 변화(1973~2010년)

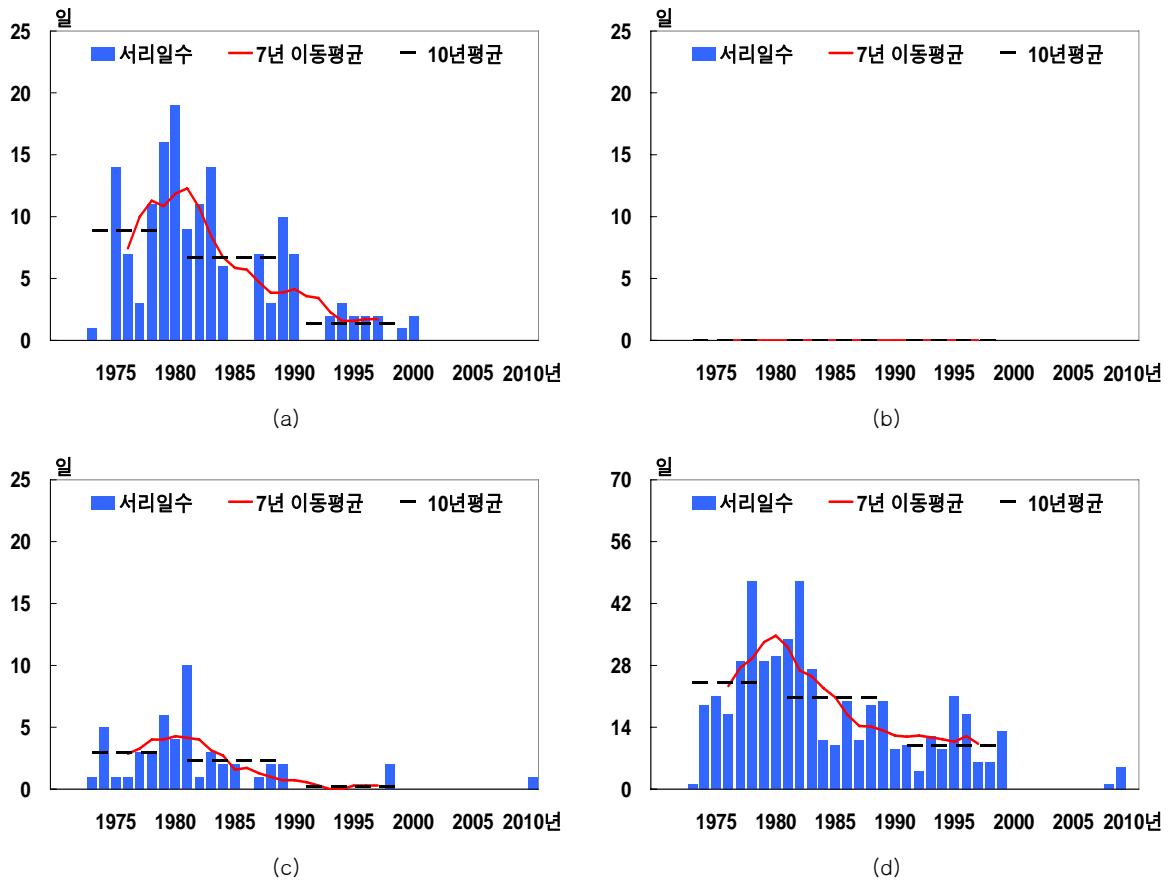


그림 3-4-36. 성산의 계절별 서리일수 변화(1973~2010년) (a)봄철, (b)여름철, (c)가을철, (d)겨울철

## 사. 안개일수

북부해안 제주의 안개일수를 살펴보면 지속적인 증가 또는 감소하는 변화는 보이지 않는다(그림 3-4-37; 표 3-4-1). 1970년대 평균 15.0일, 1980년대 평균 15.4일이었다가 1980년대 평균 14.3일로 약간 감소하였다가 2000년 평균 16.3일로 증가하는 패턴을 보였다(표 3-4-3). 사계절 변화 그래프에서도 2000년대 초반의 일시적인 증가경향 이외에는 뚜렷한 변화추세는 보이지 않는다(그림 3-4-38).

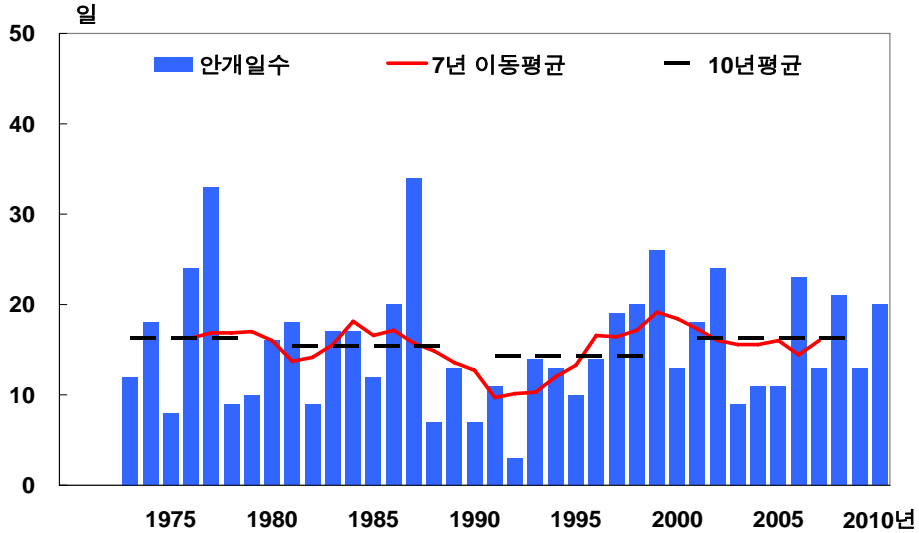


그림 3-4-37. 제주의 연간 안개일수 변화(1973~2010년)

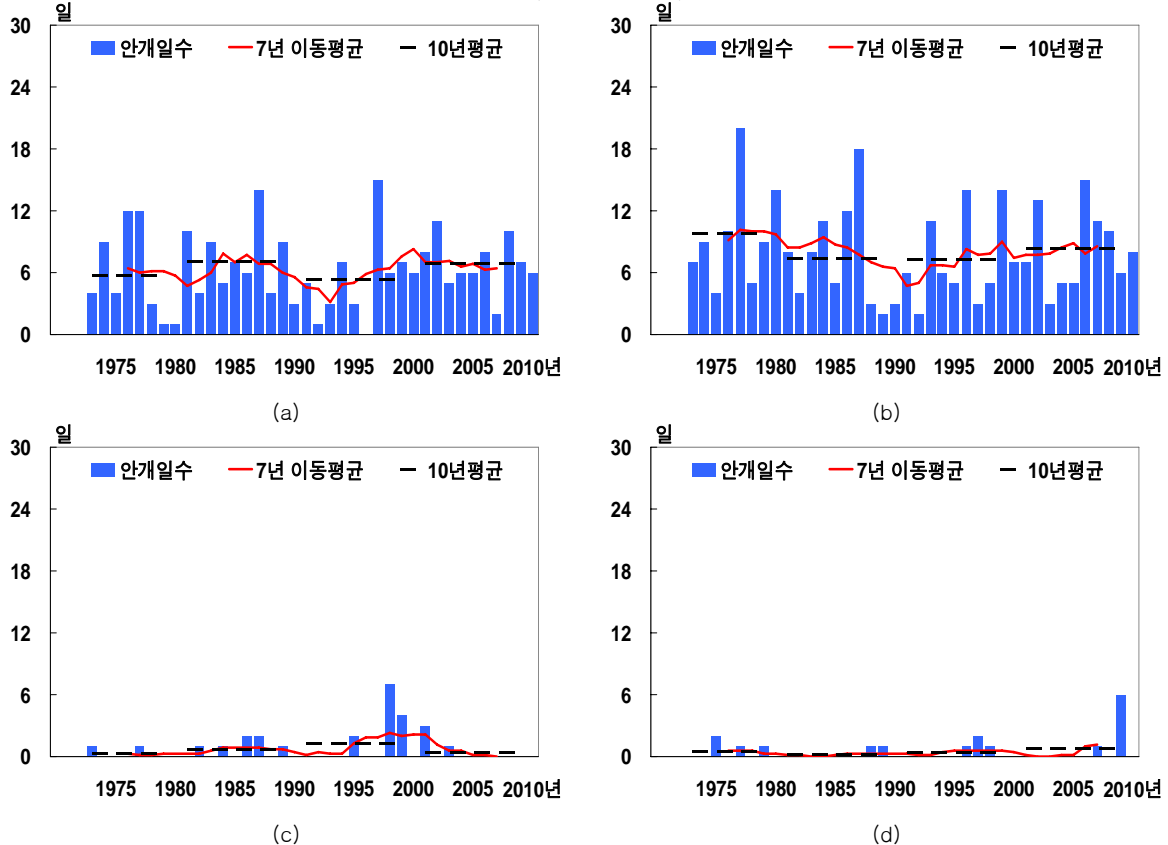


그림 3-4-38. 제주의 계절별 안개일수 변화(1973~2010년) (a)봄철, (b)여름철, (c)가을철, (d)겨울철

남부해안 서귀포의 안개일수 변화를 살펴보면 1970년대에 18.1일, 1980년대에 18.2일, 1990년대에 18.3일로 거의 변화가 없다가 2000년대에 23.2일로 약 4.9일 증가하였다(그림 3-4-39; 표 3-4-4). 그러나 전체적인 변화에 있어서 통계적으로 유의미한 변화율을 보이지는 않는다(표 3-4-1). 서귀포의 사계절 안개일수의 변화를 살펴보면 대체로 안개일은 봄철과 여름철에 집중하여 발생하며 2000년대의 발생빈도가 이전기간들에 비하여 다소 높게 나타나고 있음을 알 수 있다(그림 3-4-40).

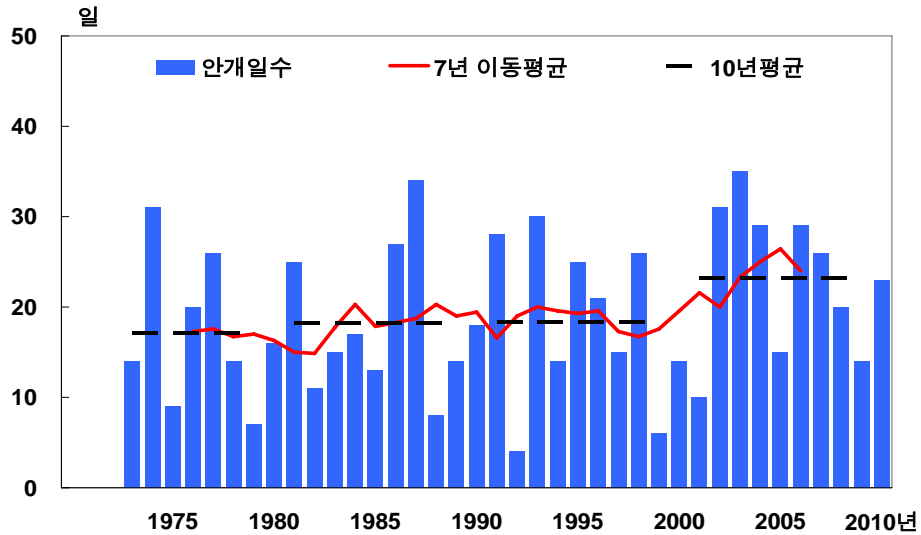


그림 3-4-39. 서귀포의 연간 안개일수 변화(1973~2010년)

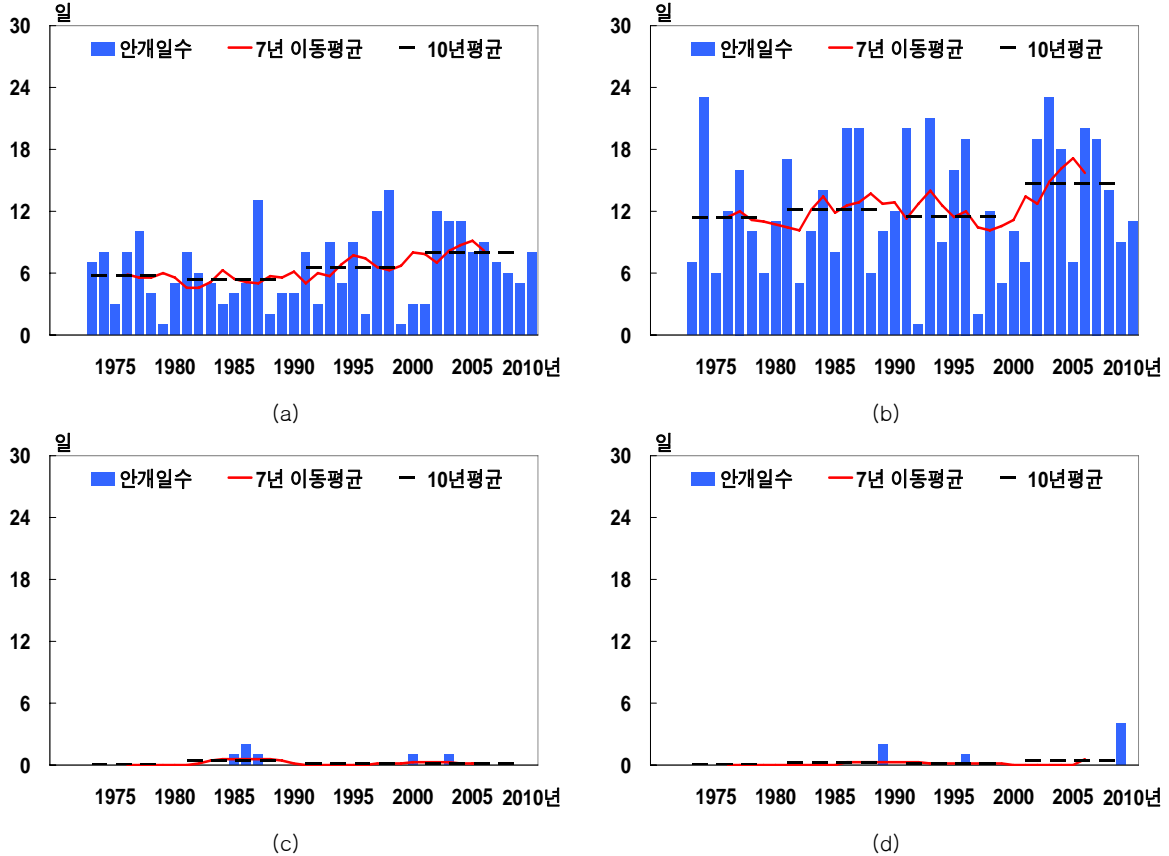


그림 3-4-40 서귀포의 계절별 안개일수 변화(1973~2010년) (a)봄철, (b)여름철, (c)가을철, (d)겨울철



동부해안의 성산의 연간 안개일수 변화를 살펴보면 2000년대에 자료가 적어 전체적인 경향은 파악하기 어려우나 대체로 1980년대에 평균 18.1일로 높았다가 1990년대에 14.8일로 감소하는 패턴을 보인다(그림 3-4-41; 표 3-4-5). 제주와 서귀포 관측지점과 유사하게 성산에서도 대부분의 안개일은 봄철과 여름철에 나타나며, 연간 변화와 유사하게 성산의 봄철과 여름철 안개일도 대체로 1980년대에 높았다가 1990년대 감소하는 패턴을 보인다(그림 3-4-42).

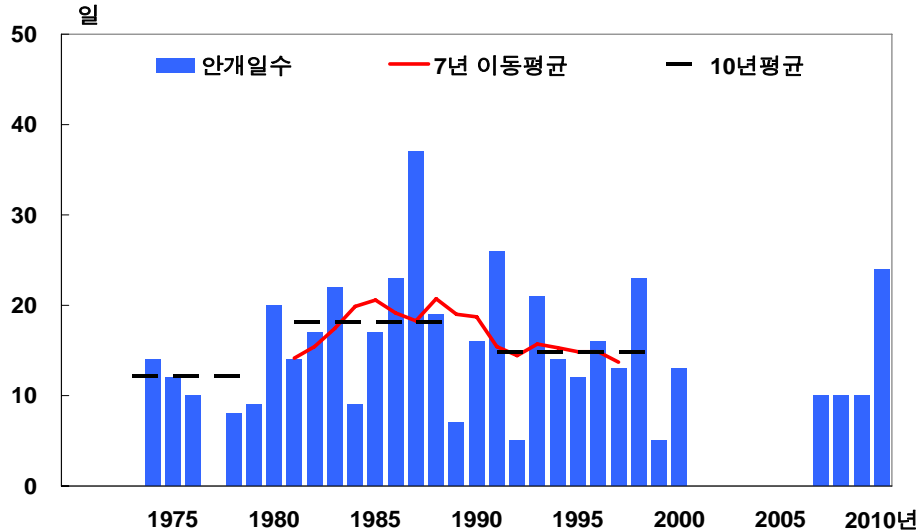


그림 3-4-41 성산의 연간 안개일수 변화(1973~2010년)

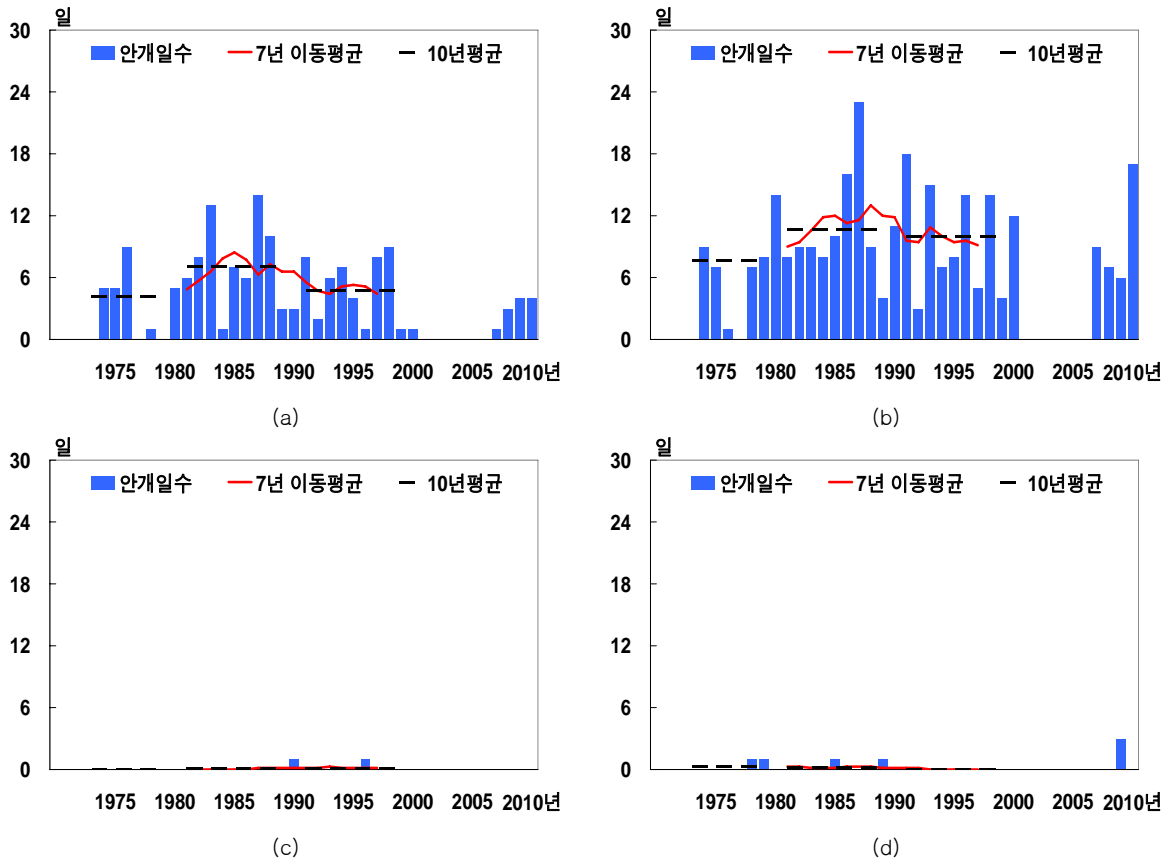


그림 3-4-42. 성산의 계절별 안개일수 변화(1973~2010년) (a)봄철, (b)여름철, (c)가을철, (d)겨울철

## 아. 일최저기온 25℃ 이상 일수

북부해안의 제주에서 일최저기온 25도 이상 일수의 변화를 살펴보면, 1970년대부터 서서히 증가하고 있다. 1980년대 14.8일이 1990년대 초반에 9.3일 급증하여 24.1일로 증가하였으며, 2000년대까지 발생빈도가 유사하게 유지되는 패턴을 보이고 있다(그림 3-4-43; 표 3-4-3). 사계절 변화를 살펴보면 대부분의 이러한 현상은 여름철에 집중하여 나타나고 있으며 일부 가을철에도 발생하는 경우가 관찰되고 있다(그림 3-4-44).

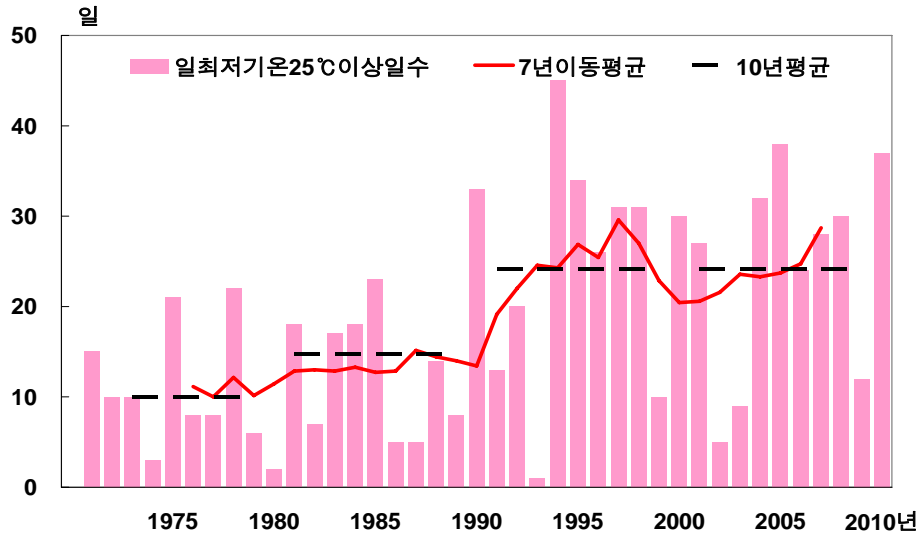


그림 3-4-43. 제주의 일최저기온 25℃ 이상 연간일수 변화(1973~2010년)

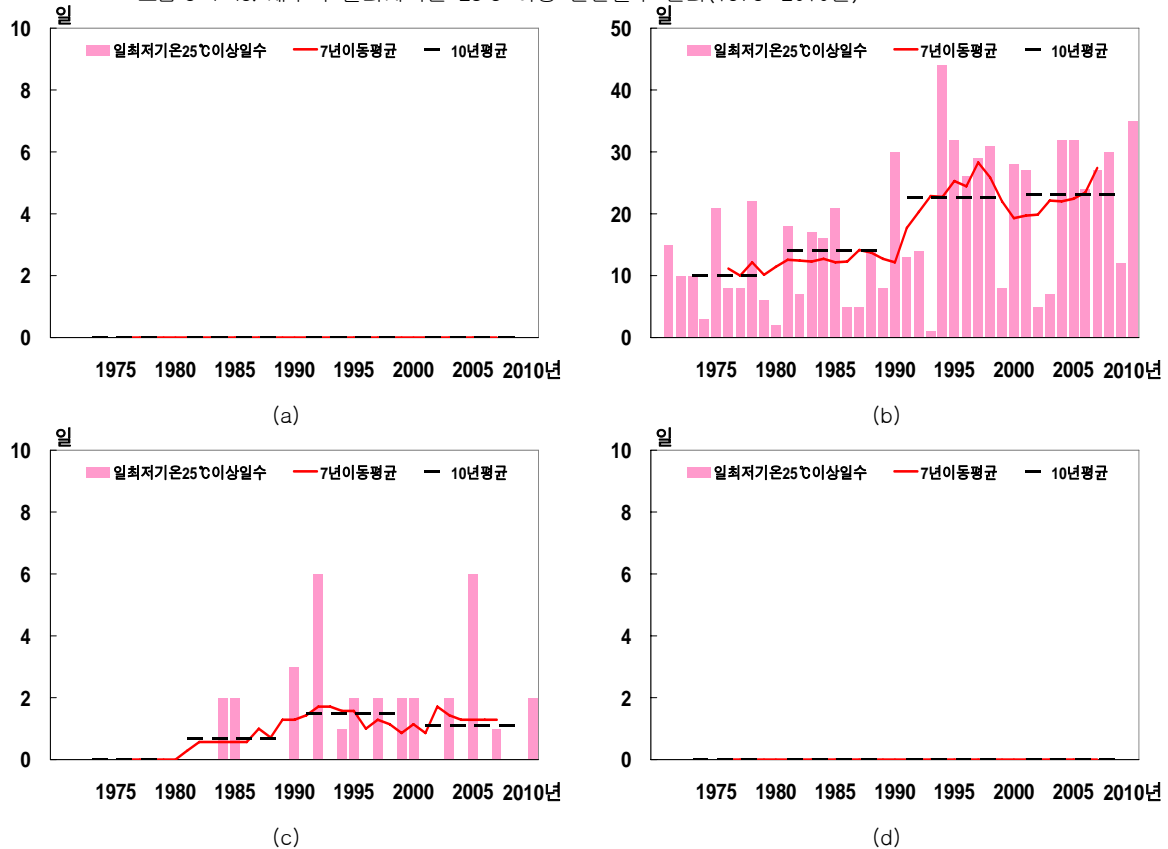


그림 3-4-44. 제주의 계절별 일최저기온 25℃ 이상일수 변화(1973~2010년) (a)봄철, (b)여름철, (c)가을철, (d)겨울철

남부해안의 서귀포에서는 일최저기온 25℃ 이상 일수가 1970년대 이후로 지속적으로 증가하는 패턴이 나타난다(그림 3-4-45; 표 3-4-4). 발생빈도는 1970년대에는 평균적으로 16.2일이었고, 1980년대에는 20.2일, 1990년대에는 25.3일, 2000년대에는 30.8일로 증가폭도 점차 늘어나고 있으며(표 3-4-4), 증가율은 5.5일/10년을 보인다. 사계절 변화를 살펴보면 증가 추세는 대부분 여름철에 뚜렷하게 나타나고, 가을철에도 유사한 추세가 관찰된다(그림 3-4-46).

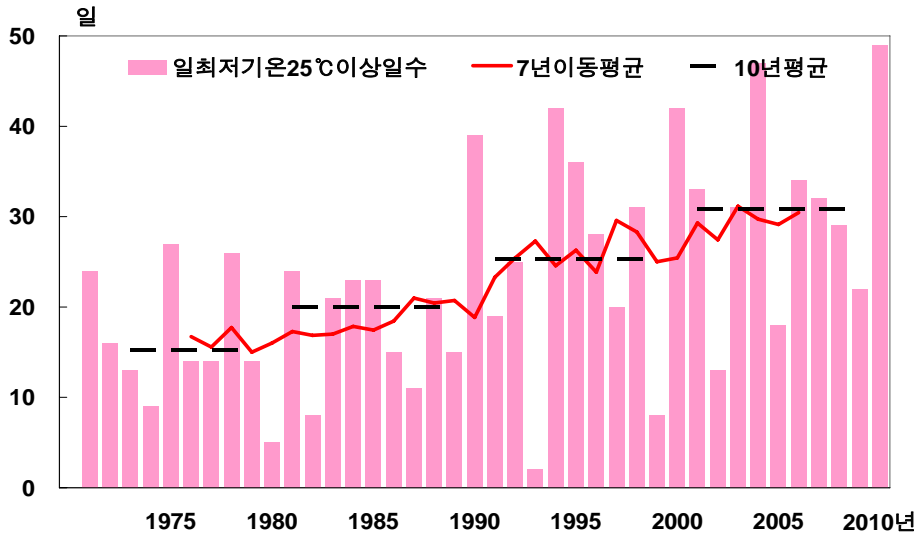


그림 3-4-45. 서귀포의 일최저기온 25℃ 이상 연간일수 변화(1973~2010년)

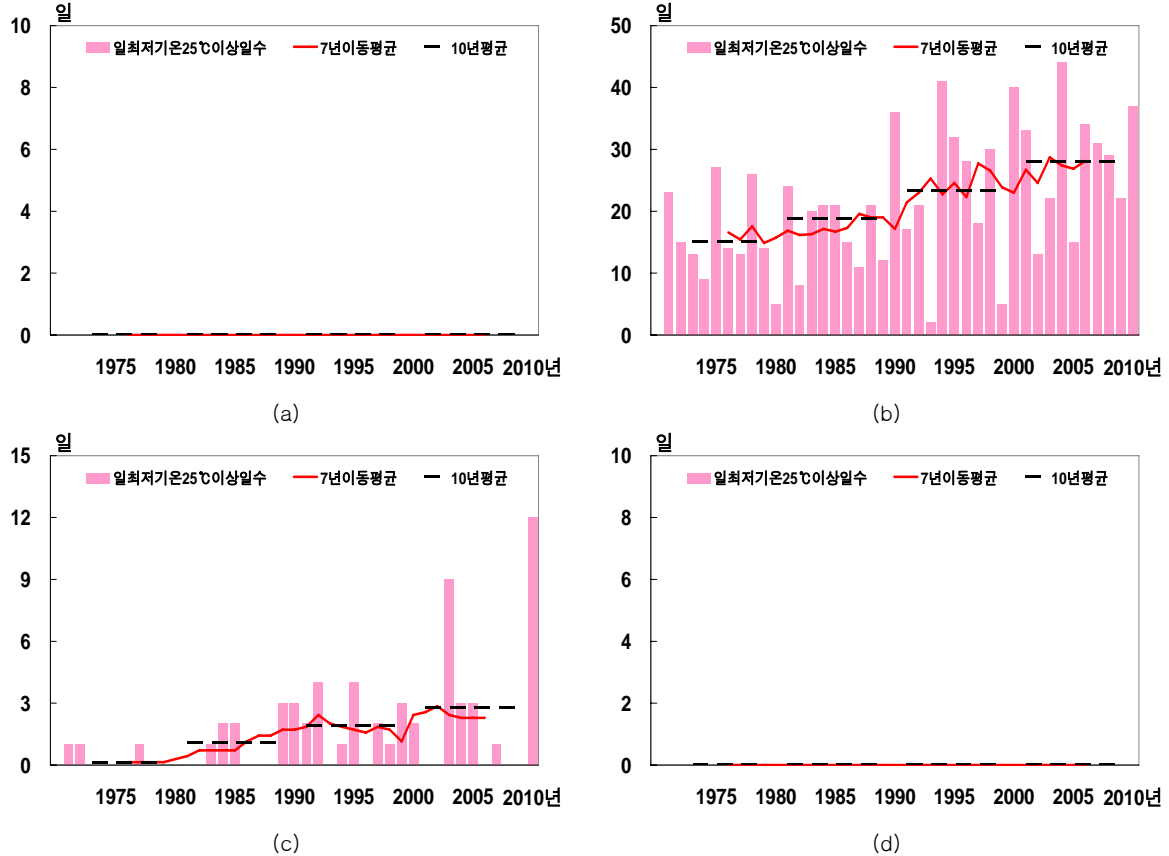


그림 3-4-46. 서귀포의 계절별 일최저기온 25℃ 이상일수 변화(1973~2010년) (a)봄철, (b)여름철, (c)가을철, (d)겨울철

동부해안 성산의 연간 및 계절별 일최저기온 25℃ 이상 일수는 1970년대부터 1990년대 후반까지는 뚜렷한 변화를 보이지 않다가, 2000년대에 들면서 특정 해를 중심으로 발생빈도가 일부 증가한 경우가 나타나고(그림 3-4-47; 그림 3-4-48) 있으나 통계적으로 증가하는 경향은 나타나지 않는다. 이러한 고온일의 변화가 제주와 서귀포에 비하여 뚜렷하게 나타나지 않은 것은 성산이 다우지이며, 월별 강수에서도 언급되었듯이 강수량이 여름철 후반부를 중심으로 증가하고 있는 것과 관련성이 있을 것으로 사료된다.

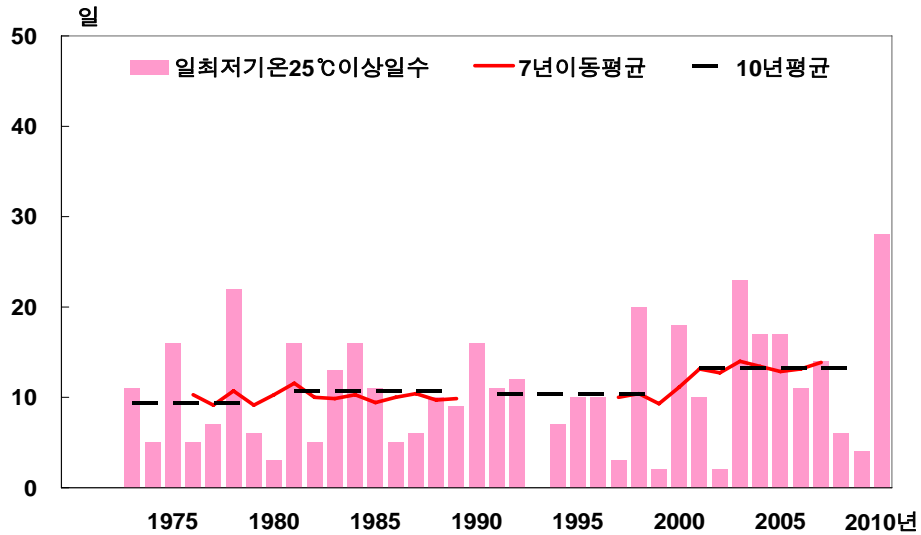


그림 3-4-47. 성산의 일최저기온 25℃ 이상 연간일수 변화(1973~2010년)

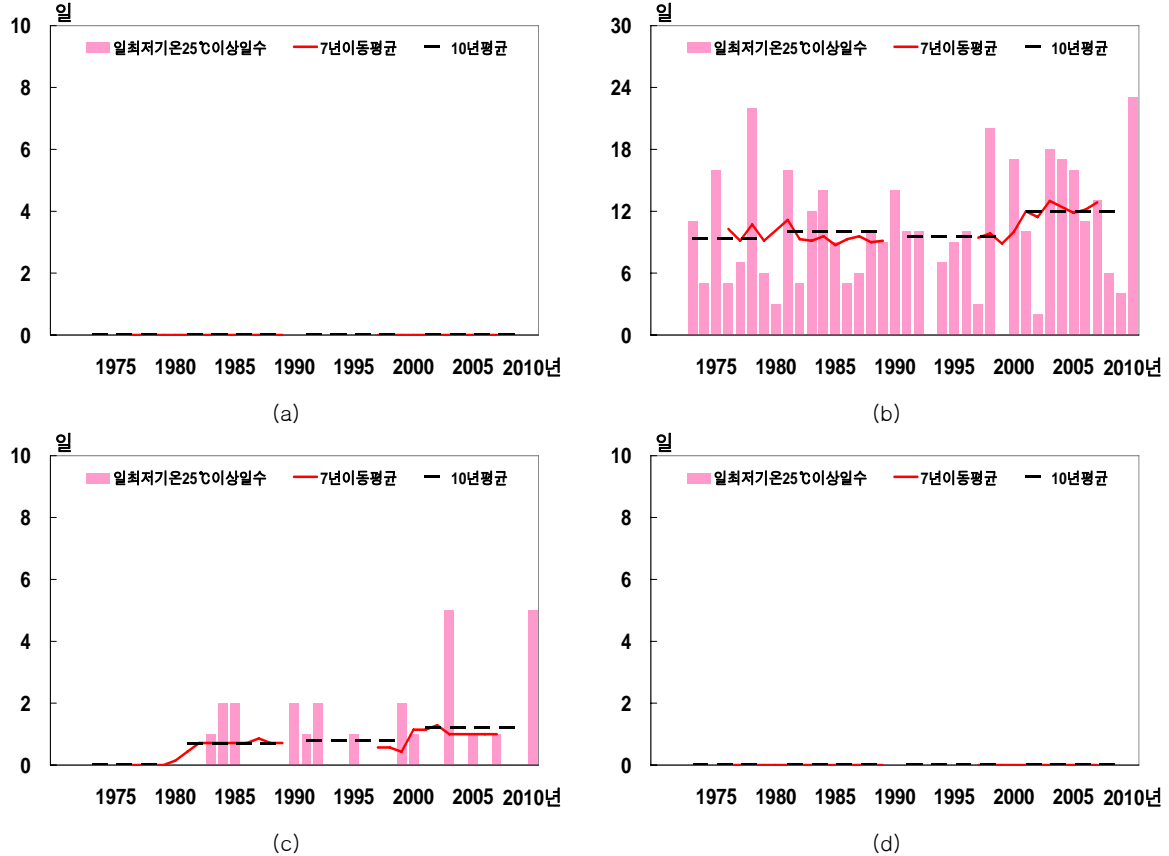


그림 3-4-48. 성산의 계절별 일최저기온 25℃ 이상일수 변화(1973~2010년) (a)봄철, (b)여름철, (c)가을철, (d)겨울철

## 자. 황사일수

북부해안 제주의 연간 황사일수는 중국북부 지역에서 고온건조 상태가 지배적이었던 20세기 초반에 뚜렷하게 증가한 패턴을 관찰할 수 있다(그림 3-4-49). 그러나 변화 추세는 통계적으로 유의미한 증가경향을 나타내지 않았다. 1990년대 평균 황사발생일은 4.8일이었고, 1990년대에는 8.4일로 증가하였다(표 3-4-3). 사계절 중 황사의 대부분이 발생하는 봄철에 연간 변화와 유사하게 2000년대 초반에 뚜렷한 상승경향을 보였고, 2000년대에 가을철에도 황사일이 높게 나타났다(그림 3-4-50).

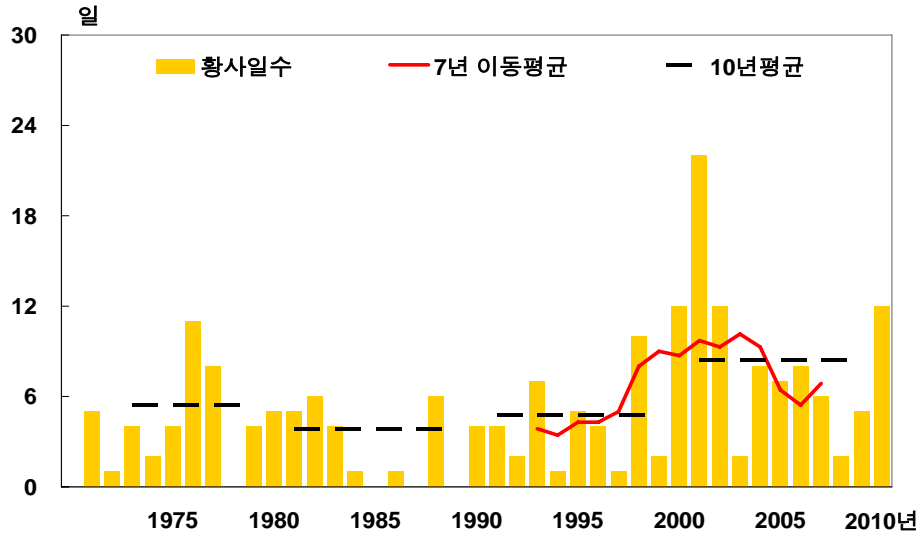


그림 3-4-49. 제주의 연간 황사일수 변화(1973~2010년)

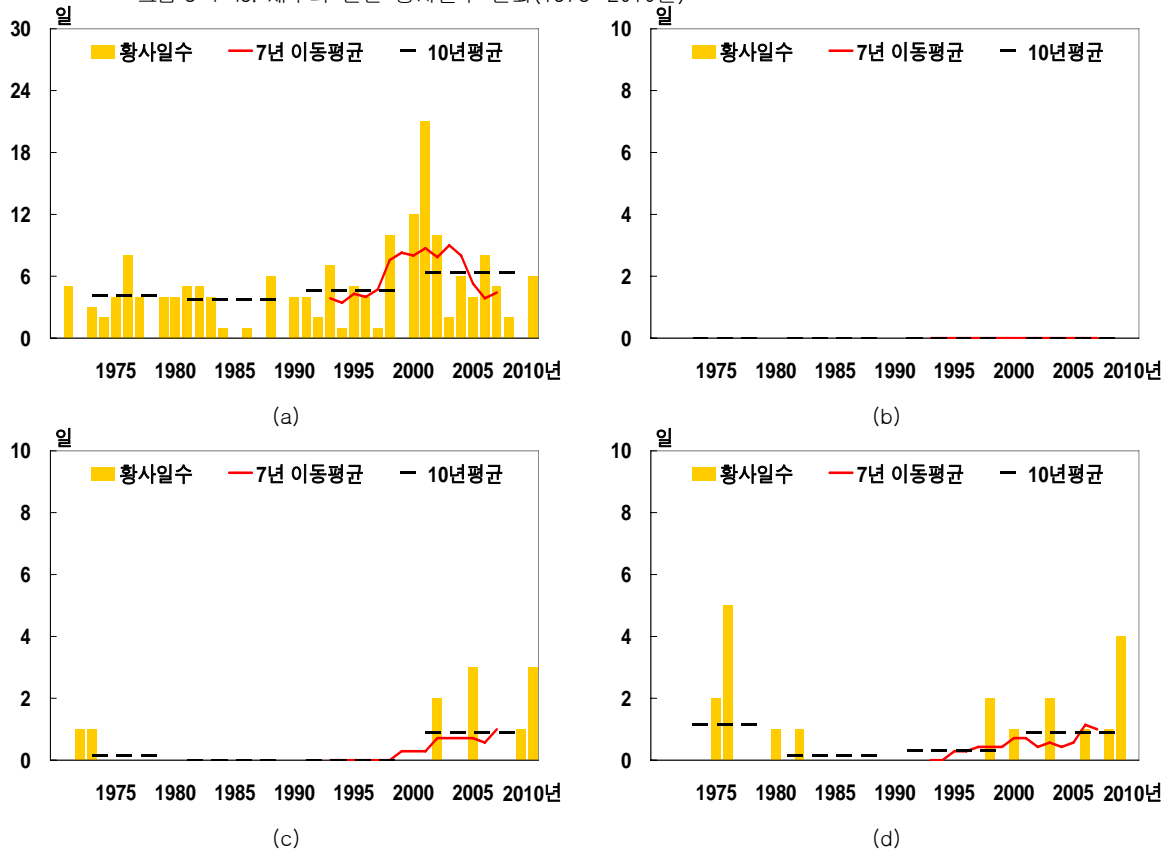


그림 3-4-50. 제주의 계절별 황사일수 변화(1973~2010년) (a)봄철, (b)여름철, (c)가을철, (d)겨울철

남부해안의 서귀포의 연간 황사일도 관측 자료가 적어 장기간 변화율은 산출할 수 없지만 제주와 유사하게 2000년대 초반에 증가하는 패턴을 보인다(그림 3-4-51). 제주와 유사하게 사계절 중에서도 황사일이 주로 발생하는 봄철에 특히 2000년대 초반에 황사일이 증가하였다가 2000년대 후반에 감소하는 패턴을 보였다(그림 3-4-52).

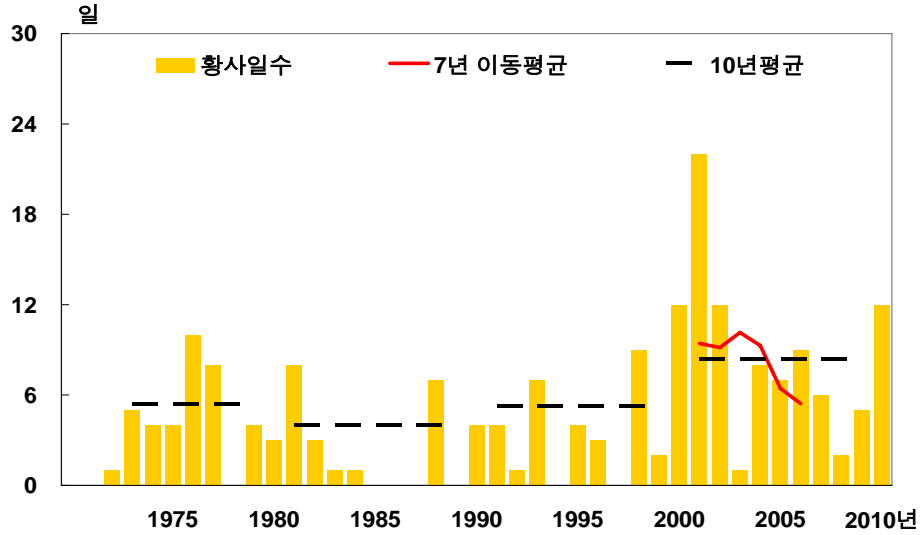


그림 3-4-51. 서귀포의 연간 황사일수 변화(1973~2010년)

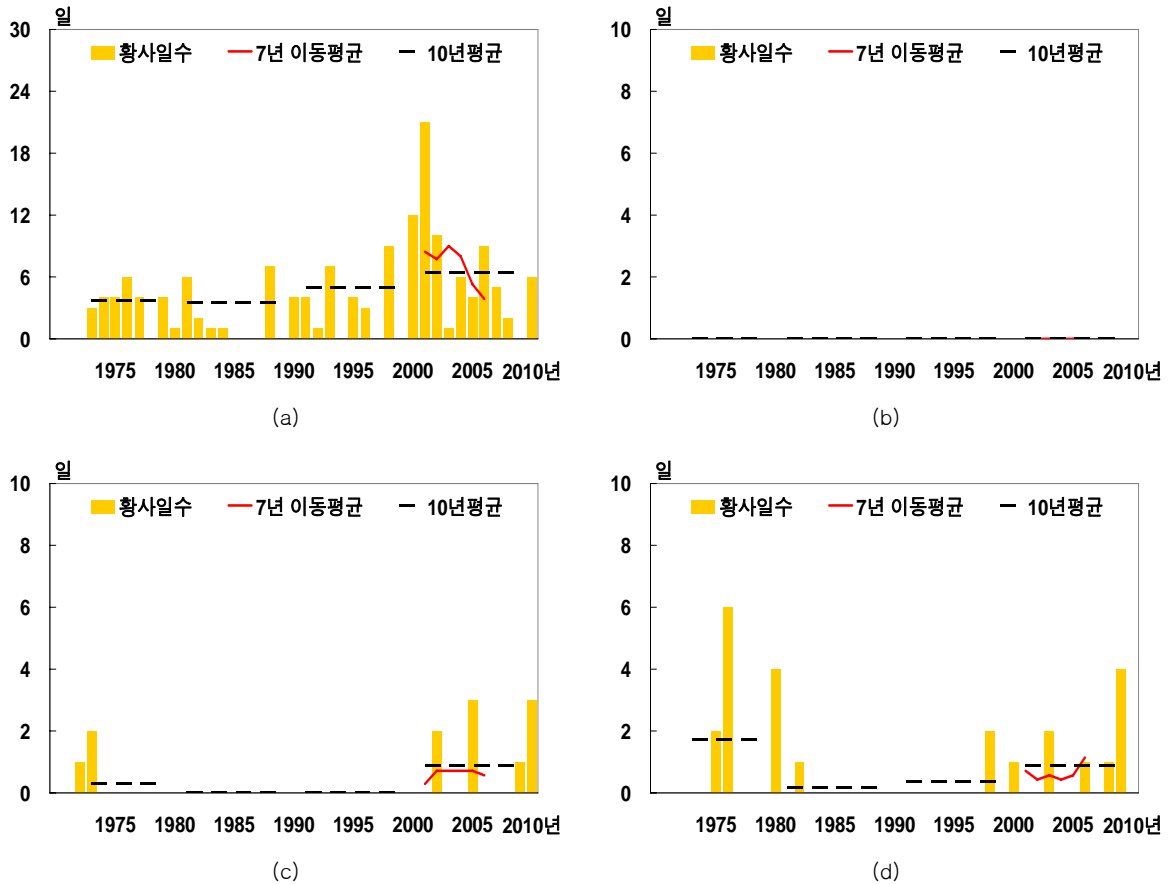


그림 3-4-52. 서귀포의 계절별 황사일수 변화(1973~2010년) (a)봄철, (b)여름철, (c)가을철, (d)겨울철

동부해안의 성산의 연간황사일수의 변화를 살펴보면, 2000년대 초반의 자료가 적어 북부해안의 제주와 남부해안의 서귀포에서 관찰되는 2000년대 초반의 증가패턴을 확인할 수는 없다(그림 3-4-53). 사계절 황사발생일의 변화를 살펴보면, 주로 봄철에 황사가 발생하며, 다른 계절에는 드물게 발생하고 있음을 알 수 있다(그림 3-4-54).

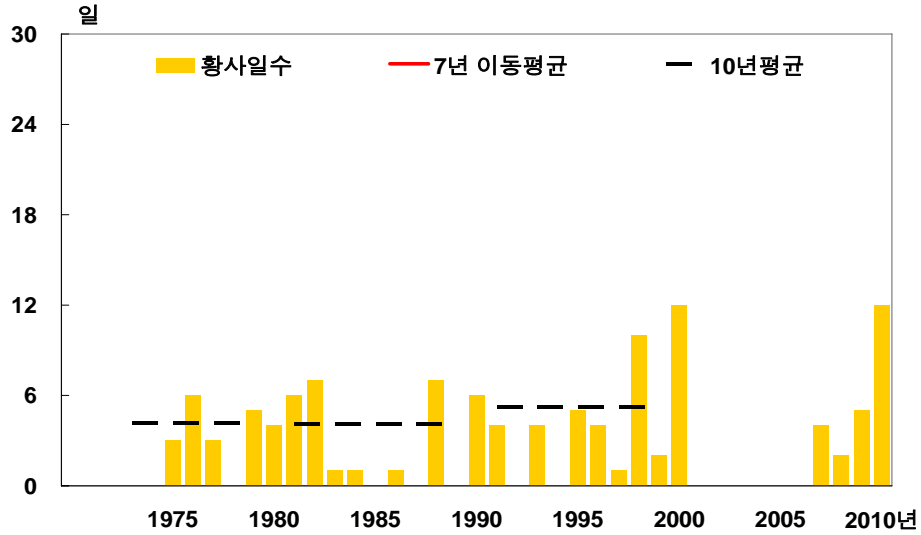


그림 3-4-53. 성산의 연간 황사일수 변화(1973~2010년)

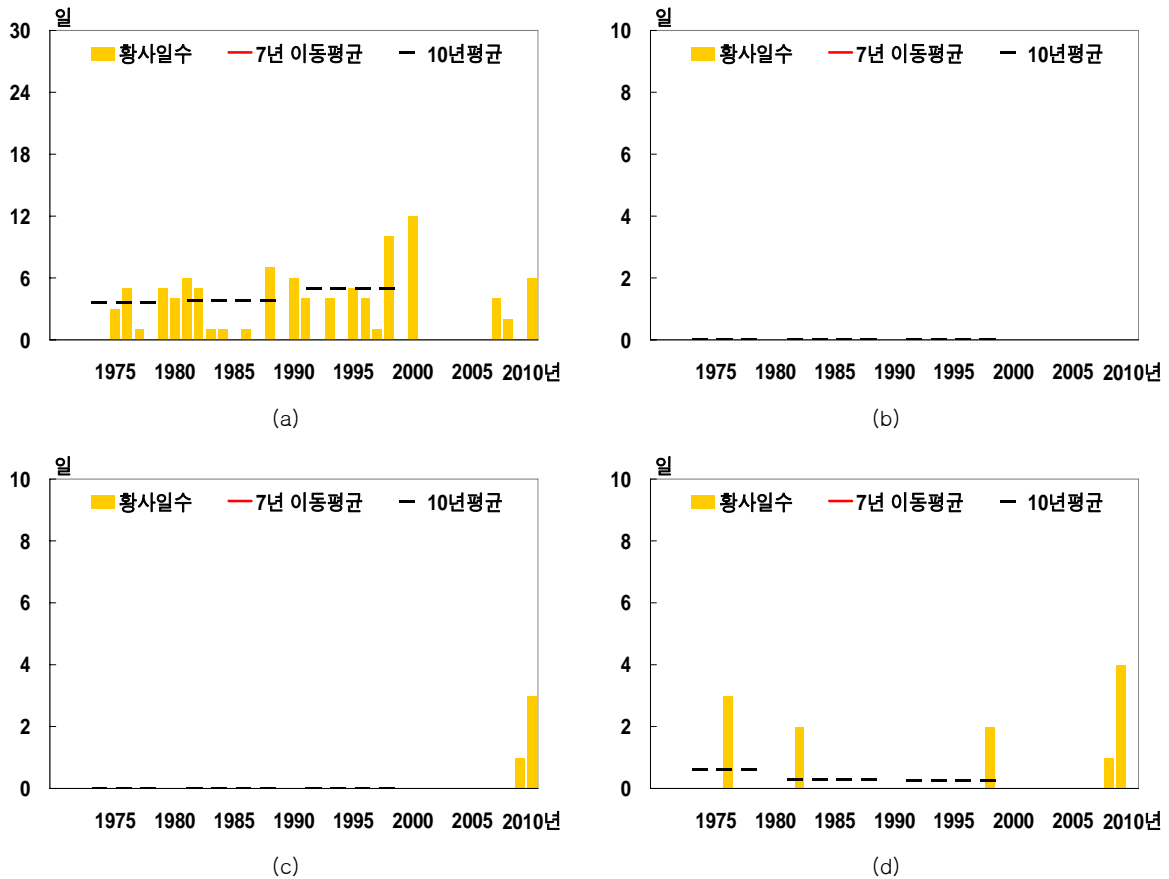


그림 3-4-54. 성산의 계절별 황사일수 변화(1973~2010년) (a)봄철, (b)여름철, (c)가을철, (d)겨울철

## 차. 우박일수

제주도의 제주, 서귀포, 성산 3개 관측지점 모두 지난 38년 동안의 우박일수 자료는 매우 적어(그림 3-4-55). 변화 경향 분석이나 10년 단위 평균분석이 불가능하다(표 3-4-1; 표 3-4-2; 표 3-4-3; 표 3-4-4; 표 3-4-5). 우박일은 대체로 겨울철을 중심으로 발생하며, 봄철과 가을철에도 발생하는 경우도 있다. 모든 관측지점에서 공통적으로 여름철에는 우박일이 거의 나타나지 않는다. 고산까지 포함시킨 제주도 동서남북 4개 지점 중에서는 북부해안에 위치한 제주에서 연간 우박일 발생빈도가 가장 높다(그림 3-4-55).

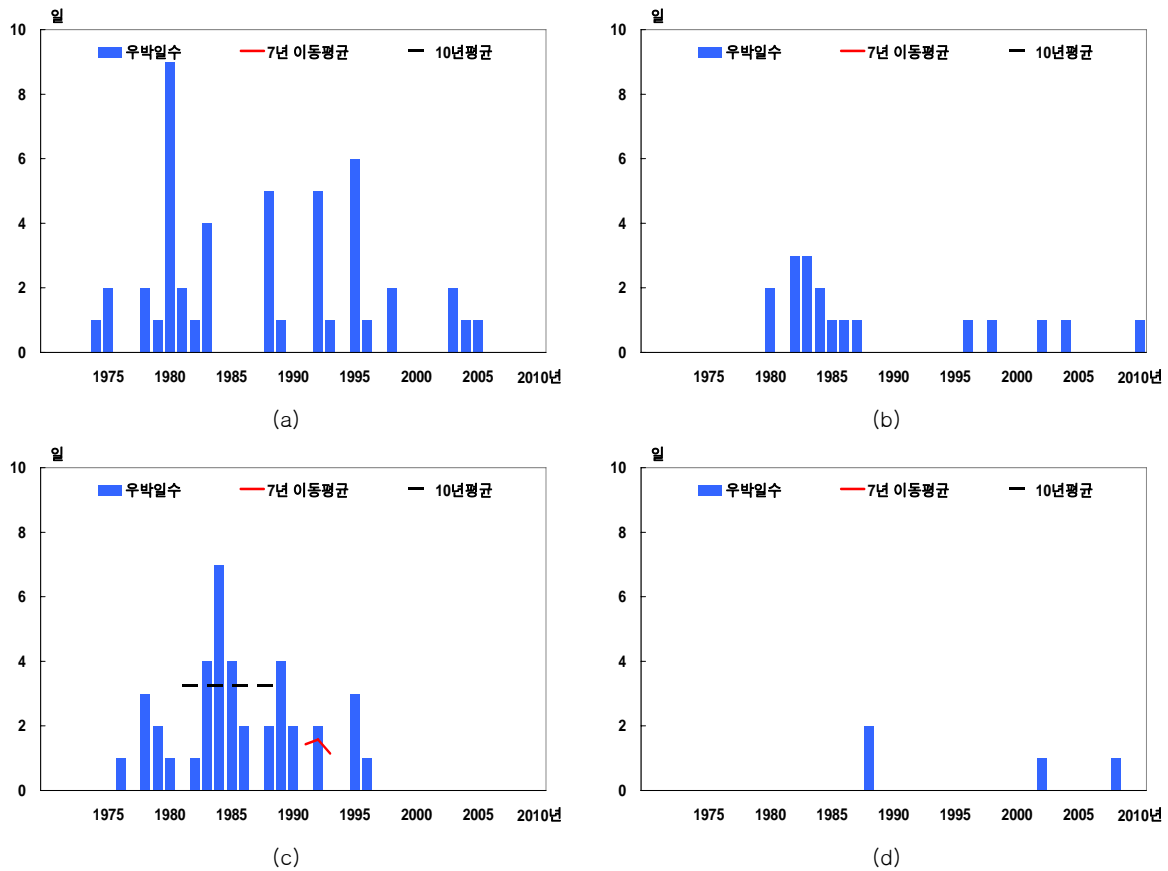


그림 3-4-55. 제주도 연간 우박일수 변화(1973~2010년) (a)제주, (b)서귀포, (c)성산, (d)고산

표 3-4-2. 제주도 해안지역의 10년 단위 주요현상일수 변화(관측이래~2010년) (단위: 일)

기간	1911~1920년	1921~1930년	1931~1940년	1941~1950년	1951~1960년	1961~1970년	1971~1980년	1981~1990년	1991~2000년	2001~2010년
0.1mm이상 강수일수							130.8	125.8	118.2	133.5
80mm 이상 강수일수							2.7	3.9	4.3	3.8
결빙일수							26.1	35.9	19.9	16.5
뇌전일수							9.5	12.8	12.7	21.0
눈일수							20.3	17.0	13.6	15.6
서리일수							14.6	18.5	7.1	3.3
안개일수							16.0	17.2	15.8	19.1
우박일수							제외(결측포함)			
일최저기온 25℃이상일수							12.5	15.2	19.6	22.7
황사일수							4.5	3.9	4.6	8.3



표 3-4-3. 제주의 10년 단위 주요현상일수 평균값 변화(관측이래~2010년) (단위: 일)

기간	1911~ 1920년	1921~ 1930년	1931~ 1940년	1941~ 1950년	1951~ 1960년	1961~ 1970년	1971~ 1980년	1981~ 1990년	1991~ 2000년	2001~ 2010년
0.1mm이상 강수일수			제외 (결측 포함)	138.2	141.9	138.3	139.4	128.9	123.3	138.2
80mm 이상 강수일수				2.6	2.4	3.0	2.3	3.1	3.8	2.9
결빙일수				14.8	20.5	23.2	20.9	30.5	12.4	12.4
뇌전일수				9.1	12.4	13.9	11.4	13.9	14.6	23.5
눈일수				18.2	19.2	31.5	27.0	23.4	17.6	18.7
서리일수				7.0	13.9	8.4	10.2	13.8	5.4	3.4
안개일수				37.4	26.7	10.5	15.0	15.4	14.3	16.3
우박일수				제외(결측포함)						
일최저기온 25℃이상일수				8.2	9.6	15.2	10.5	14.8	24.1	24.2
황사일수				제외(결측포함)						4.8

표 3-4-4. 서귀포의 10년 단위 주요현상일수 평균값 변화(관측이래~2010년) (단위: 일)

기간	1911~ 1920년	1921~ 1930년	1931~ 1940년	1941~ 1950년	1951~ 1960년	1961~ 1970년	1971~ 1980년	1981~ 1990년	1991~ 2000년	2001~ 2010년
0.1mm이상 강수일수						131.1	129.3	123.3	115.9	136.5
80mm 이상 강수일수						3.3	2.9	4.6	5.0	4.2
결빙일수						31.1	25.6	29.5	19.3	19.1
뇌전일수						11.2	7.6	11.9	11.4	19.1
눈일수						17.5	16.1	12.7	8.8	12.9
서리일수						9.6	4.8	5.5	1.8	3.3
안개일수						18.5	18.1	18.2	18.3	23.2
우박일수						제외(결측포함)				
일최저기온 25℃이상일수						18.3	16.2	20.0	25.3	30.8
황사일수						제외(결측포함)				8.4

표 3-4-5. 성산의 10년 단위 주요현상일수 평균값 변화(관측이래~2010년) (단위: 일)

기간	1911~ 1920년	1921~ 1930년	1931~ 1940년	1941~ 1950년	1951~ 1960년	1961~ 1970년	1971~ 1980년	1981~ 1990년	1991~ 2000년	2001~ 2010년
0.1mm이상 강수일수							제외 (결측 포함)	125.1	115.4	125.7
80mm 이상 강수일수								4.6	4.3	4.4
결빙일수								47.7	27.9	제외 (결측 포함)
뇌전일수								12.5	12.0	
눈일수								14.8	14.3	
서리일수								31.7	11.6	제외(결측포함)
안개일수								18.1	14.8	
우박일수								제외(결측포함)		
일최저기온 25℃이상일수								10.7	10.3	13.2
황사일수								제외(결측포함)		

표 3-4-6. 고산의 10년 단위 주요현상일수 평균값 변화(관측이래~2010년) (단위: 일)

기간	1911~ 1920년	1921~ 1930년	1931~ 1940년	1941~ 1950년	1951~ 1960년	1961~ 1970년	1971~ 1980년	1981~ 1990년	1991~ 2000년	2001~ 2010년
0.1mm이상 강수일수							제외 (결측 포함)	112.0	130.7	
80mm 이상 강수일수								2.1	1.8	
결빙일수								6.2	7.5	
뇌전일수								12.5	16.6	
눈일수								12.4	16.5	
서리일수								1.8	1.0	
안개일수								28.6	23.5	
우박일수								제외(결측포함)		
일최저기온 25℃이상일수								16.9	16.1	
황사일수								4.4	8.4	

## 2) 극값 및 특이기상

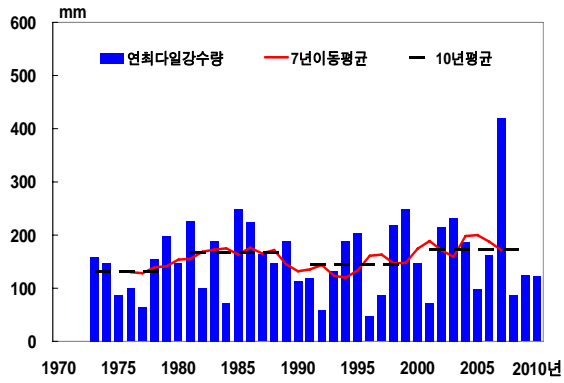
지난 38년간 제주, 서귀포, 성산 3개 지점의 10개 극값 및 특이기상(연최다일강수량, 연최다 1시간 강수량, 일평균기온의 연최고값 및 최저값, 일최고기온의 최고값, 일최저기온의 최저값, 연최심신적설, 연최심적설, 일최대풍속의 연최대값, 일최대순간풍속의 연최대값)의 변화를 분석하여 변화율을 산출하였다(표 3-4-7). 고온현상과 관련하여 일평균기온의 최고값은 북부해안의 제주에서 0.24℃/10년, 남부해안의 서귀포에서 0.27℃/10년의 증가율을 보이지만, 동부해안의 성산에서는 통계적으로 유의미한 변화율을 보이지 않는다. 성산의 기온 극값에 변화가 뚜렷하지 않은 것은 여름철 성산의 8월 강수량이 증가경향(90%이상의 통계적 유의수준)이 나타나는 패턴의 영향을 받았을 것으로 사료된다. 강수 극값으로 연최다 1시간강수량은 동부해안의 성산에서만 통계적 유의성을 지닌 9.0mm/10년의 증가율 나타내는 것도 이러한 패턴과 연관성이 있을 것으로 사료된다. 반면 일최고기온의 연최고값은 북부해안의 제주 관측지점에서만 0.27℃/10년의 통계적으로 유의미한 변화를 나타내고, 남부해안의 서귀포와 동부해안의 성산에서는 뚜렷한 변화를 보이지 않는다.

저온현상과 관련하여 일평균기온의 최저값은 북부해안의 제주에서 0.48℃/10년, 남부해안의 서귀포에서 0.65℃/10년의 증가율을 보이지만, 동부해안의 성산에서는 통계적으로 유의미한 변화율을 보이지 않는다(표 3-4-7). 일최저기온의 연최저값은 제주에서 0.63℃/10년, 남부해안의 서귀포에서 0.71℃/10년, 동부해안의 성산포에서 0.50℃/10년 의 증가율을 보인다. 이러한 증가율은 여름철 고온현상의 약 2배 이상의 변화율에 해당한다. 일최대풍속의 연최대값은 제주와 서귀포에서 모두 통계적으로 유의미한 감소경향을 보이고 있다. 적설과 관련된 극값에는 뚜렷한 변화가 보이지 않는다.

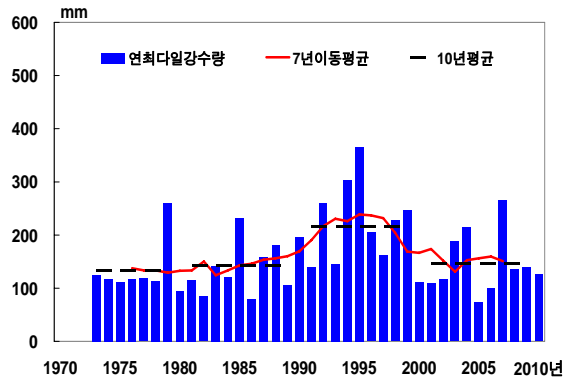
표 3-4-7. 제주도의 연간 극값 및 특이기상 변화(1973~2010년) (단위: 개별단위/년)

지점	변수	연간	변수	연간
제주	연최다일강수량(mm)	1.023	일최저기온 연최저값(℃)	0.063*
	연최다 1시간 강수량(mm)	0.429	연최심신적설(cm)	-0.059
	일평균기온의 연최고값(℃)	0.024*	연최심적설(cm)	-0.121
	일평균기온의 연최저값(℃)	0.048*	일최대풍속의 연최대값(m/s)	-0.078**
	일최고기온의 연최고값(℃)	0.027*	일최대순간풍속의 연최대값(m/s)	-0.054▶
서귀포	연최다일강수량(mm)	1.204	일최저기온 연최저값(℃)	0.071**
	연최다 1시간 강수량(mm)	0.150	연최심신적설(cm)	0.011
	일평균기온의 연최고값(℃)	0.027*	연최심적설(cm)	0.019
	일평균기온의 연최저값(℃)	0.065*	일최대풍속의 연최대값(m/s)	-0.145**
	일최고기온의 연최고값(℃)	0.030	일최대순간풍속의 연최대값(m/s)	-0.163▶
성산	연최다일강수량(mm)	1.006	일최저기온 연최저값(℃)	0.050▶
	연최다 1시간 강수량(mm)	0.909**	연최심신적설(cm)	0.057
	일평균기온의 연최고값(℃)	-0.003	연최심적설(cm)	0.048
	일평균기온의 연최저값(℃)	0.029	일최대풍속의 연최대값(m/s)	0.090
	일최고기온의 연최고값(℃)	0.005	일최대순간풍속의 연최대값(m/s)	0.636▶

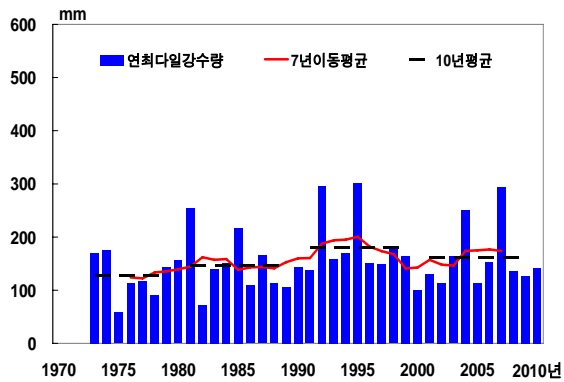
▶유의수준  $\alpha=0.10$  \*유의수준  $\alpha=0.05$ , \*\*유의수준  $\alpha=0.01$



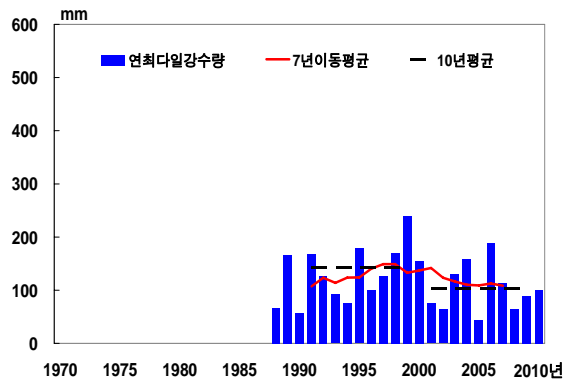
(a)



(b)

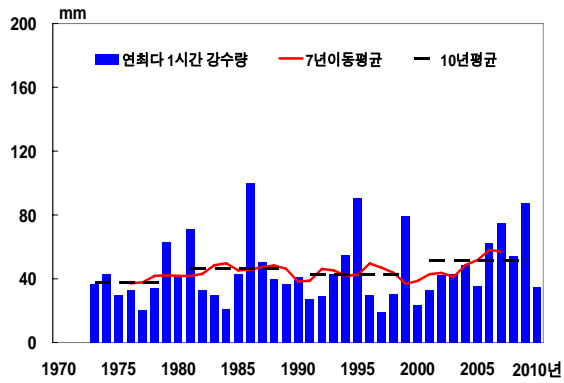


(c)

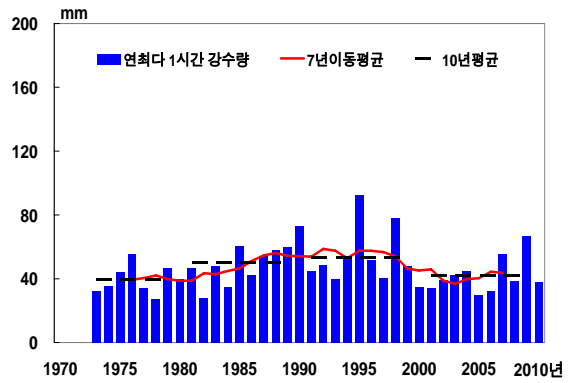


(d)

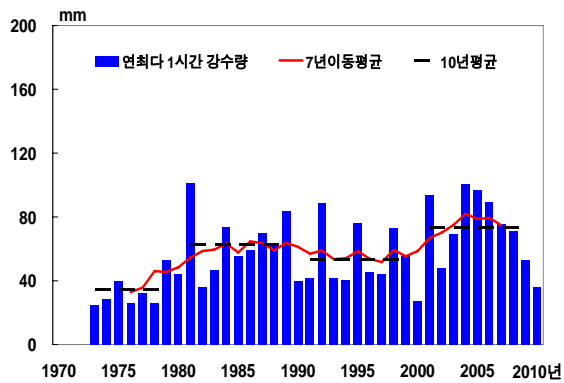
그림 3-4-56. 제주도 연최대 일강수량 변화(1973~2010년) (a)제주, (b)서귀포, (c)성산, (d)고산



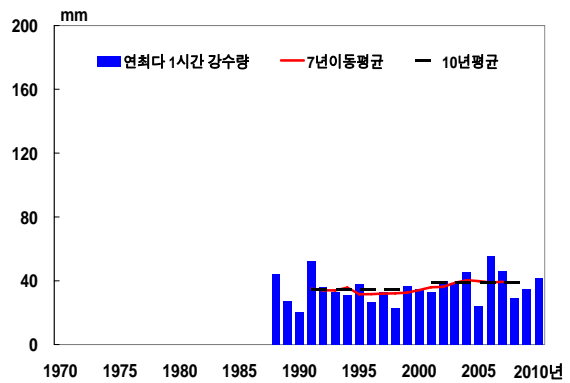
(a)



(b)



(c)



(d)

그림 3-4-57. 제주도 연최대 1시간 강수량 변화(1973~2010년) (a)제주, (b)서귀포, (c)성산, (d)고산

강수량 극값의 변화와 관련하여 1988년 이후 관측 자료가 있는 서부해안의 고산을 포함하여 제주도 동서남북 해안지역 연최다 일강수량의 변화를 살펴보면 지속적으로 증가하거나 감소하는 변화경향은 탐지되지 않고 경년변동하는 패턴만이 나타난다(그림 3-4-56). 북부해안 제주의 경우에는 2000년대 초반에 다소 연최다 일강수량이 약간 증가하는 경향과 태풍의 영향으로 2007년의 연최다 일강수량이 420.0mm를 기록하여 38년 중 가장 많은 높은값을 보인다. 남부해안의 서귀포에서는 대체로 1990년대 중반에 연최다 일강수량이 217.0mm로 증가하였다가 2000년대(147.0mm)에는 1980년대(141.7mm)와 비슷한 값을 나타낸다(표 3-4-9). 동부해안의 성산은 1990년대 중반에, 서부해안의 고산은 1990년대 후반에 약간 증가하였다가 그 이후에 감소하는 패턴이 나타난다. 연최다 1시간 강수량도 제주와 서귀포, 고산에서는 지속적인 증가나 감소경향은 나타나지 않고 수년 주기의 경년변동하는 패턴이 나타난다(그림 3-4-57). 동부해안의 성산의 경우에는 1990년대 연최다 1시간 강수량이 평균적으로 53.4mm였으나, 2000년대 중반에 눈에 띄게 증가하여 10년 평균적으로 73.4mm까지 증가하였다가 후반에 감소하는 패턴이 나타난다(표 3-4-10).

기온의 극값과 관련하여 4개 관측지점의 변화를 살펴보면, 일평균기온의 연최고값은 4개 관측지점 중 북부해안인 제주에서 1990년대에 증가하여 2000년대까지 높게 나타난다(그림 3-4-58). 동부해안 지역에서는 여름철 강수가 다소 증가하는 경향이 나타나는 성산 관측지점의 일평균기온 연최고값의 뚜렷한 증가경향이 나타나지 않는다.

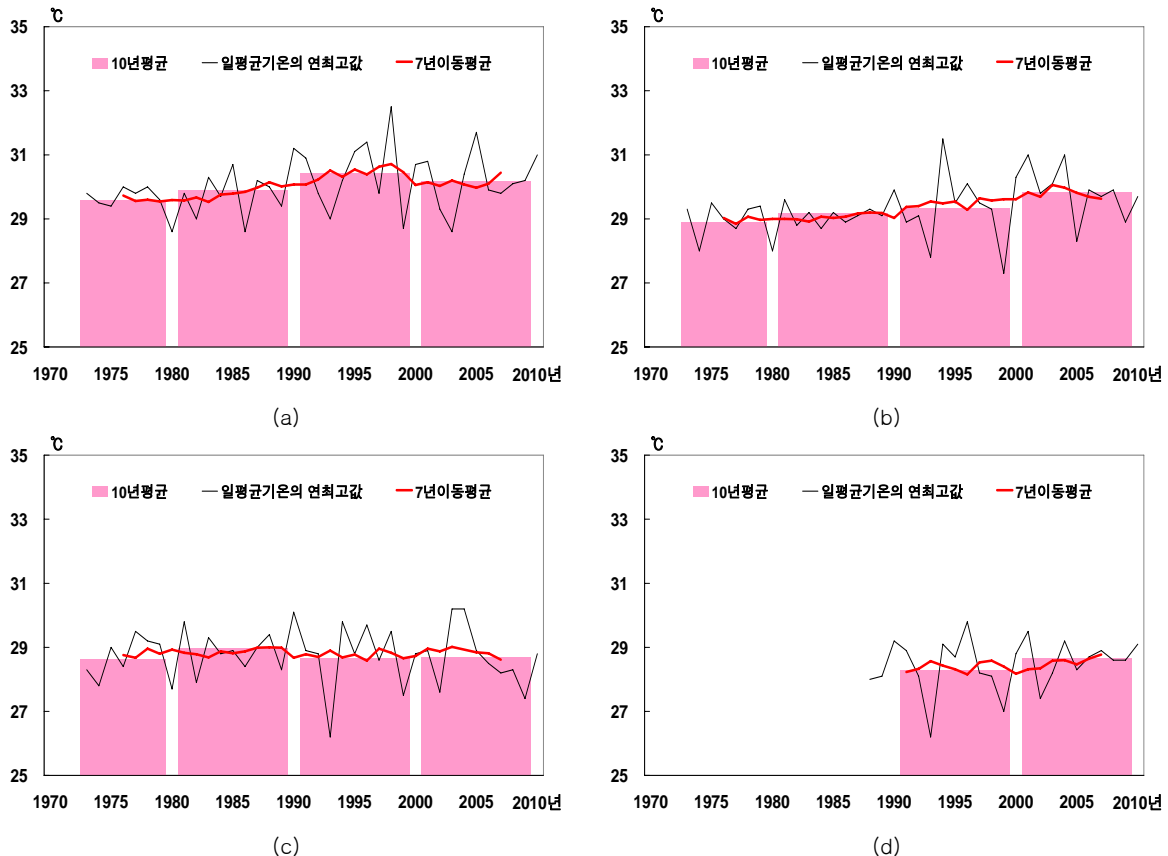
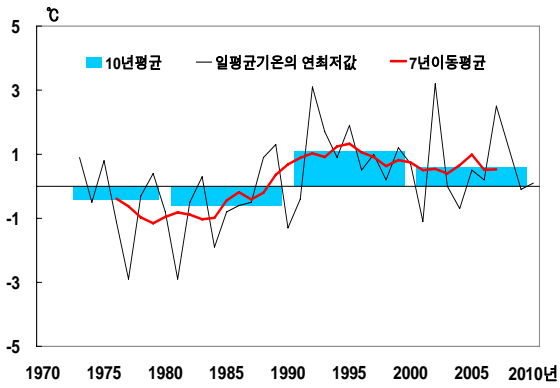
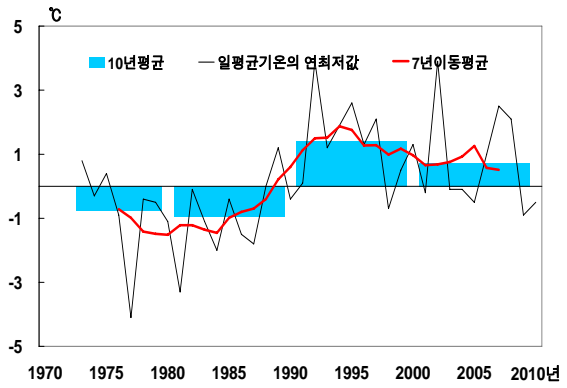


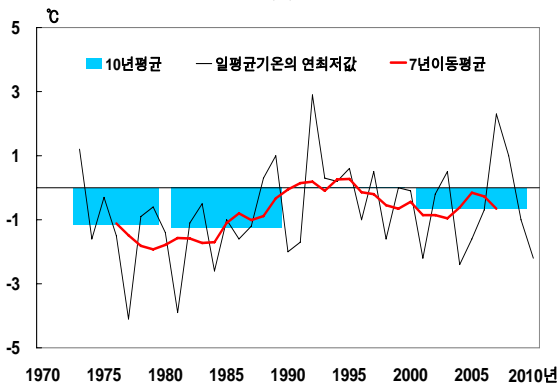
그림 3-4-58. 제주도 일평균기온의 연최고값 변화(1973~2010년) (a)제주, (b)서귀포, (c)성산, (d)고산



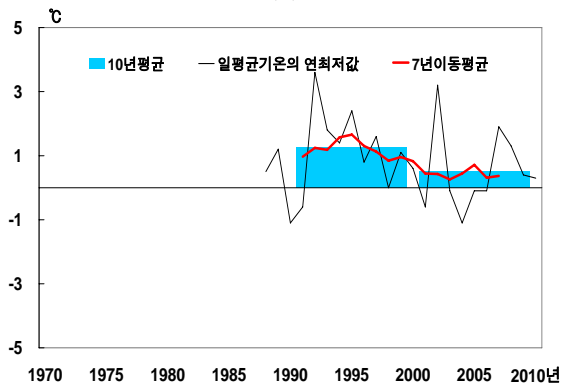
(a)



(b)

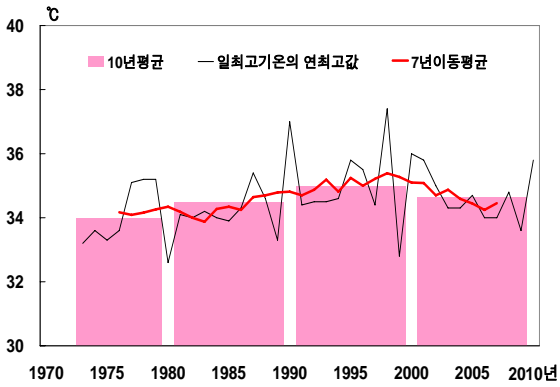


(c)

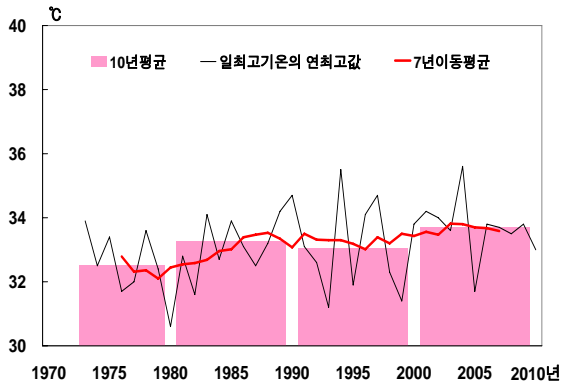


(d)

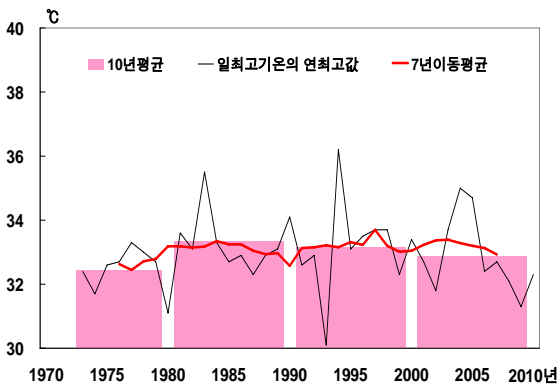
그림 3-4-59. 제주도 일평균기온의 연최저값 변화(1973~2010년) (a)제주, (b)서귀포, (c)성산, (d)고산



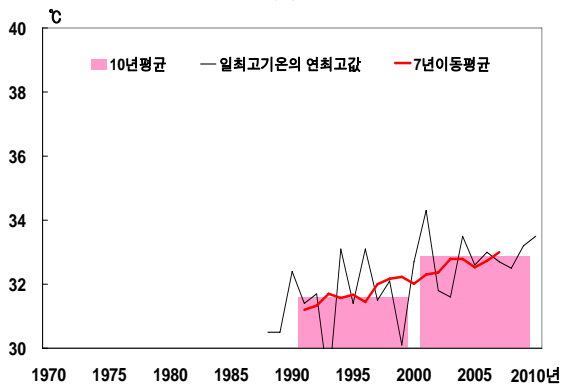
(a)



(b)



(c)



(d)

그림 3-4-60. 제주도 일최고기온의 연최고값 변화(1973~2010년) (a)제주, (b)서귀포, (c)성산, (d)고산

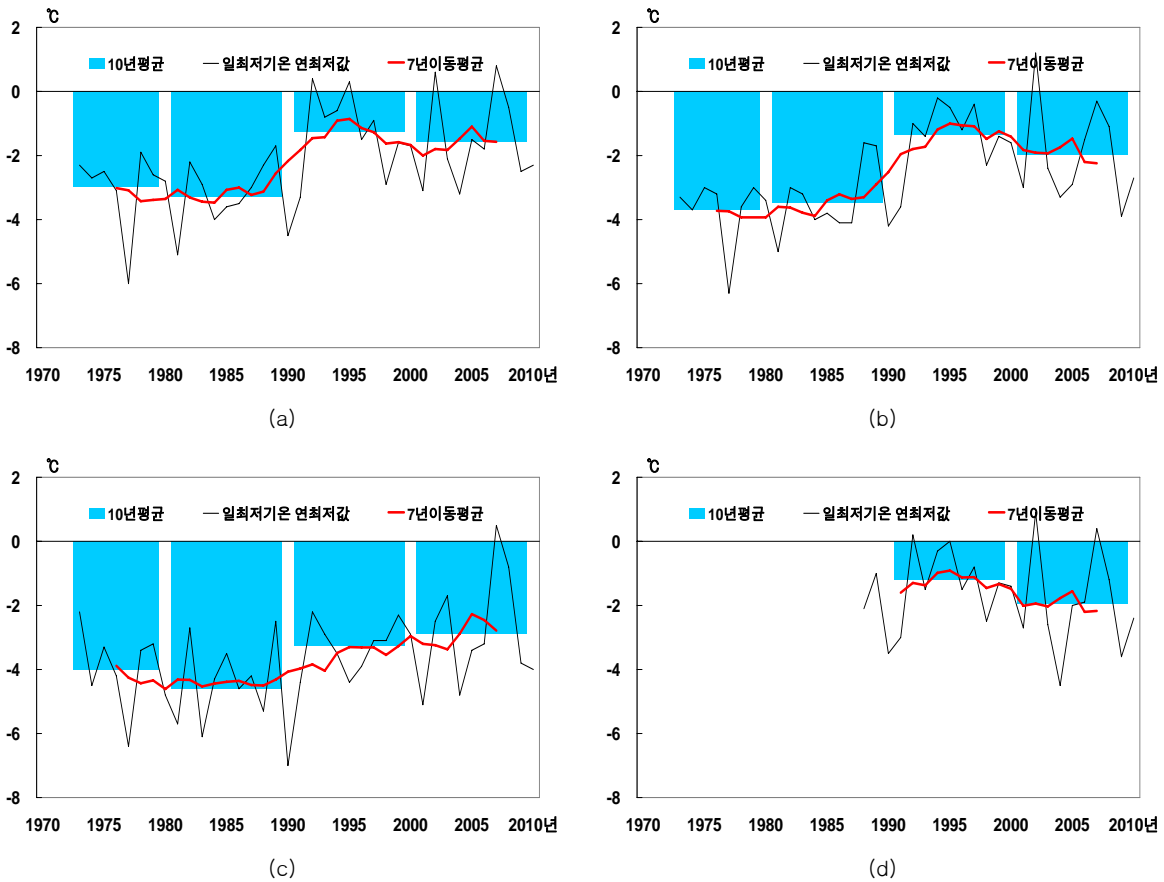


그림 3-4-61. 제주도 일최저기온의 연최저값 변화(1973~2010년) (a)제주, (b)서귀포, (c)성산, (d)고산

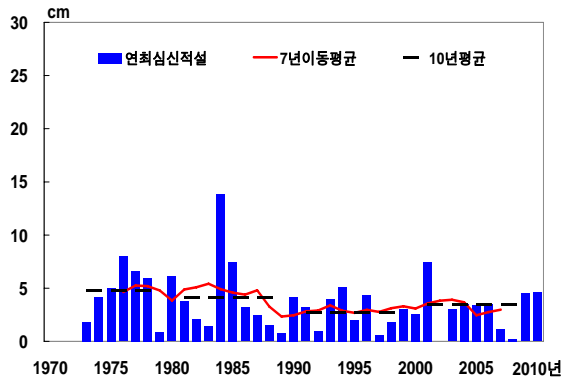
남부해안의 서귀포와 서부해안의 고산의 경우에는 2000년대 일평균기온의 연최고값이 1990년대에 비하여 각각 0.5℃와 0.4℃ 증가하였다(표 3-4-9; 표 3-4-11). 저온 극값으로 일평균기온의 연최저값의 변화를 살펴보면 1980년대 후반에 가장 뚜렷하게 증가하는 경향이 제주도 3개 관측지점 모두 공통적으로 나타난다(그림 3-4-59). 특히 남부해안의 서귀포에서 1980년대와 1990년대의 일평균기온 연최저값의 상승이 가장 뚜렷하게 나타난다. 1980년대에는 일평균기온의 연최저값이 대체로 -0.9℃를 나타내었으나, 1990년대에는 1.4℃로 2.3℃상승하였다(표 3-4-9). 북부해안의 제주에서도 1980년대와 1990년대 사이에 일평균기온 연최저값이 약 1.7℃상승하였고, 동부해안의 성산에서도 같은 기간에 1.3℃상승하였다(표 3-4-8; 표 3-4-10).

여름철 기온극값과 관련하여 일최기온의 연최고값의 변화를 살펴보면 북부해안의 제주에서는 1970년대부터 1990년대까지 지속적으로 상승경향을 나타내다가 2000년대에 감소하는 패턴을 보인다(그림 3-4-60). 반면 남부해안의 서귀포에서는 1980년대에 상승하였다가 1990년대에는 일부 감소하고, 2000년대에 다시 상승하는 경향을 보인다. 동부해안의 성산에서는 1980년대에 가장 눈에 띄는 상승경향을 보이다가 1990대와 2000년대에 걸쳐 점차 감소하는 경향을 나타낸다. 성산과 서귀포 등 제주도 남동부 지역에서는 1990년대

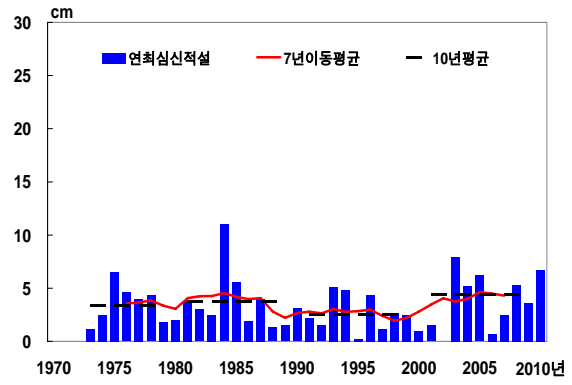
중반이후 강수량이 일시적으로 증가하는 경향이 나타나면서 이러한 여름철 고온극값의 상승을 저해하는 요소로 작용하였을 것으로 사료된다. 서부해안의 고산에서는 1990년대보다 2000년대에 들어 일최기온 연최고값이 1.3℃상승하였다(표 3-4-11).

저온극값으로 일최저기온 연최저값의 변화를 살펴보면 1980년대 후반에 뚜렷하게 상승하였다가 2000년대에 약간 하강하는 경향이 제주도 해안지역 모든 관측지점에서 공통적으로 나타난다(그림 3-4-61). 가령, 북부해안의 제주에서는 일최저기온 연최저값이 1980년대와 1990년대 사이에 2℃상승하였고, 남부해안의 서귀포에서는 2.12℃상승하였다(표 3-4-8; 표 3-4-9). 동부해안의 성산에서도 유사하게 1980년대와 1990년대 사이에 일최저기온의 연최저값이 1.3℃상승하였다. 이러한 일평균기온 및 일최고기온의 연최고값과 일평균 기온 및 일최저기온의 연최저값의 변화를 종합하여 정리하면 대체로 겨울철 저온극값과 관련된 그값이 상승폭이 여름철 고온극값의 증가폭에 비하여 뚜렷하게 높게 나타남을 알 수 있다.

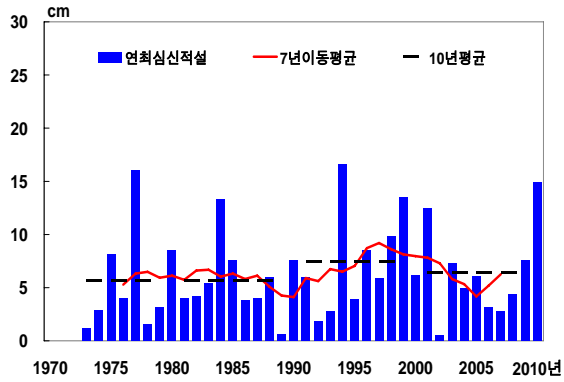
겨울철 강수형태와 관련하여 하루 단위의 연 최심심적설의 변화를 살펴보면 강수량 극값과 유사하게 지속적으로 증가하거나 감소하는 패턴은 관찰되지 않고 수년 주기로 경년 변동하는 패턴을 보인다(그림 3-4-62). 북부해안의 제주와 남부해안의 서귀포에서는 1984년과 같은 특정해에는 연최심심적설이 눈에 띄게 증가하여 각각 13.9cm와 11.0cm를 기록하였다. 연 최심적설은 북부와 남부해안보다는 동부해안의 성산에서 일반적으로 더 높게 나타나는데, 1990년대 중반~2000년대 초반 기간에 다소 연 최심심적설이 증가하였던 변동성이 나타난다. 서부해안의 고산의 연 최심적설은 4개 관측지점 중 가장 낮게 나타난다. 유사하게 누적량으로 산출되는 연최심적설도 지역에 따른 경년변동성을 나타내고 지속적으로 증가하거나 감소하는 패턴은 나타나지 않는다(그림 3-4-63). 북부해안의 제주에서는 1970년대 중반에 연최심적설이 높게 나타나다가 1990년대에 뚜렷하게 감소한 후 낮은 값을 지속적으로 나타내고 있다. 남부해안의 서귀포에서는 연최심적설이 10cm이하로 거의 전 기간에 걸쳐 일정하게 나타난다. 동부해안의 성산에서는 최심적설의 변동폭이 가장 크게 나타나 1977년과 2001년에는 연최심적설이 20cm이상으로 높게 나타나기도 하였다. 서부해안의 고산지역에서는 연최심적설의 양도 다른 세 관측지점에 비하여 상대적으로 낮게 나타나고 있다.



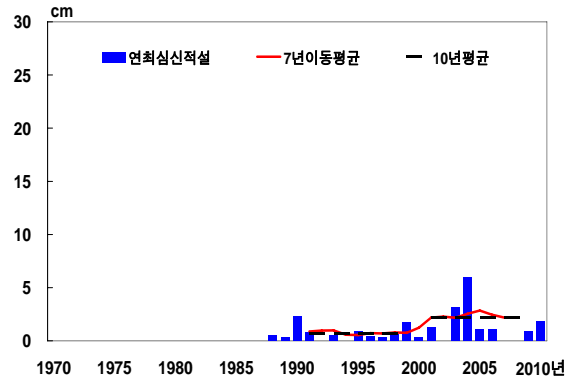
(a)



(b)

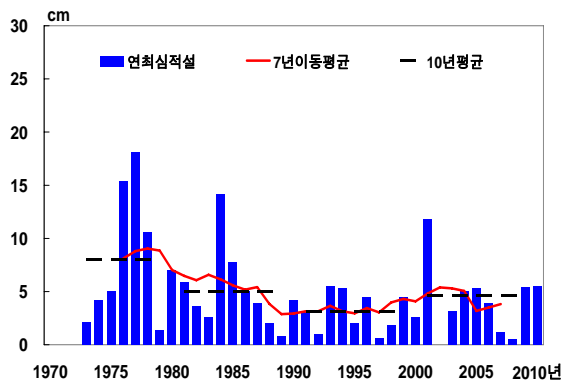


(c)

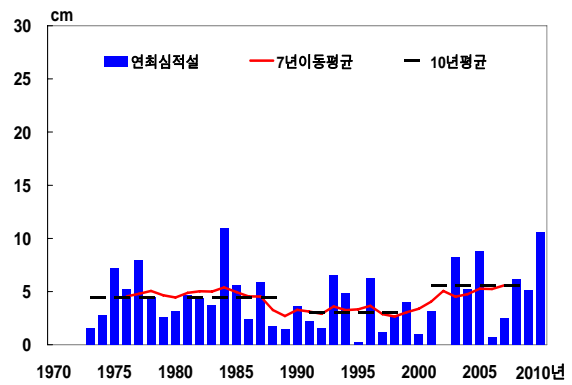


(d)

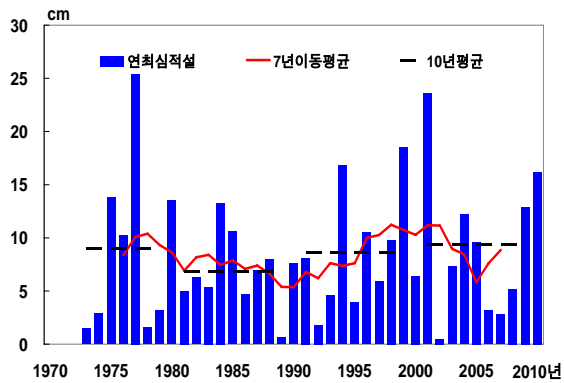
그림 3-4-62. 제주도 연 최심신적설 변화(1973~2010년) (a)제주, (b)서귀포, (c)성산, (d)고산



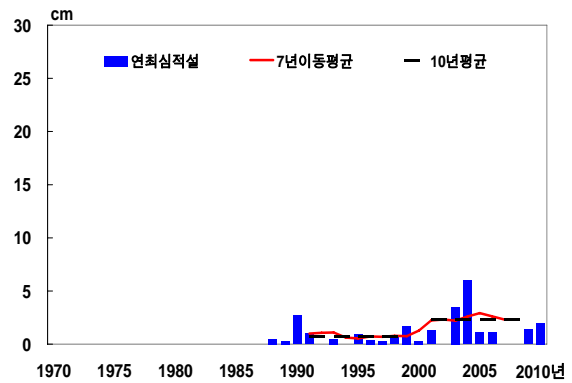
(a)



(b)



(c)



(d)

그림 3-4-63. 제주도 연 최심적설 변화(1973~2010년) (a)제주, (b)서귀포, (c)성산, (d)고산



바람과 관련된 극값으로 일최대풍속의 연최대값의 변화를 살펴보면, 도심에 관측소가 위치한 북부해안의 제주의 경우에는 2000년대 접어들면서 태풍이 제주를 강타한 경우를 제외하고는 일반적으로 일최대풍속의 연최대값이 감소하는 경향이 뚜렷하게 나타난다(그림 3-4-64). 유사하게 남부해안의 서귀포에서도 2000년에 접어들면서 다소 약해지는 경향이 나타나는데 이는 두 관측지점 모두 관측소 주변에 새로운 건물들이 들어서면서 나타나는 현상으로 사료된다. 반면 비도시 지역에 속하는 성산에서는 최대풍속이 2000년대로 올수록 오히려 약간 더 높아지지 경향이 나타나고, 1980년대 후반부터 관측이 이루어진 서부해안의 고산의 경우에는 2000년대에 접어들면서 가장 뚜렷하게 증가하는 경향이 나타난다. 고산의 일최대풍속 연최대값은 1990년대 평균적으로 26.7m/s였으나, 2000년대에는 34.8m/s으로 증가하였다. 제주도 4개 관측지점의 일최대 순간풍속의 연최대값의 변화를 살펴보면 대체로 일최대 순간풍속과 유사한 변화를 나타낸다(그림 3-4-65). 북부해안의 제주에서는 일최대 순간풍속의 연최대값이 예외적으로 2004년 60.0m/s의 높은값을 나타냈던 기록을 제외하면, 대체로 1990년대에 비하여 2000년대 후반에 감소하는 경향이 나타난다. 남부해안의 서귀포에서는 지속적으로 일최대 순간풍속이 감소하는 패턴이 나타났다. 반면 1980년대 후반이래 관측이 이루어진 서부해안의 고산과 1990년 초반이전에는 대부분 자료가 결측된 동부해안의 성산의 일최대순간풍속의 연최대값의 1990년대부터의 변화를 살펴보면 대체로 2000년대에 오히려 증가하는 경향이 나타난다.

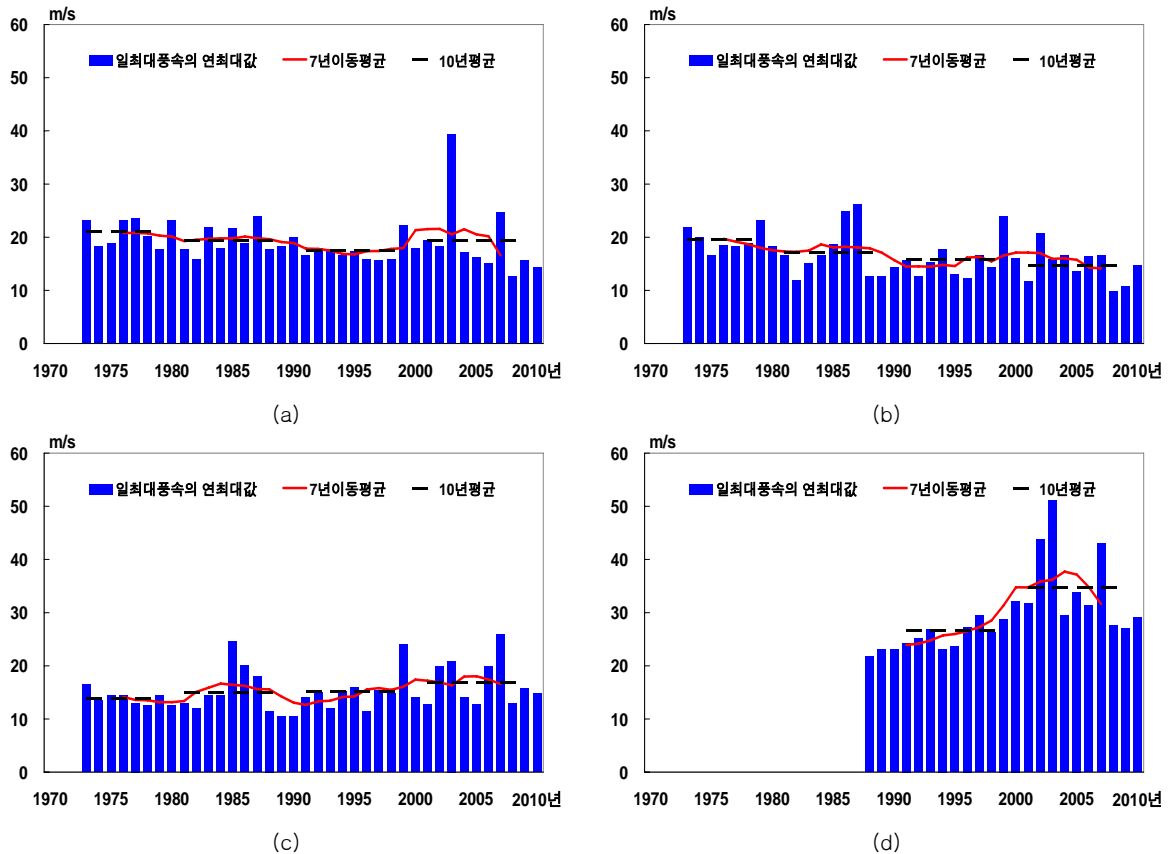
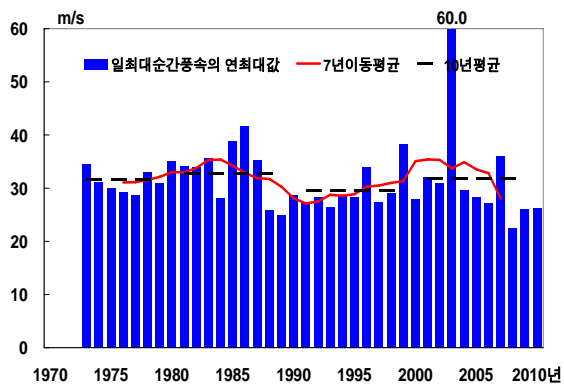
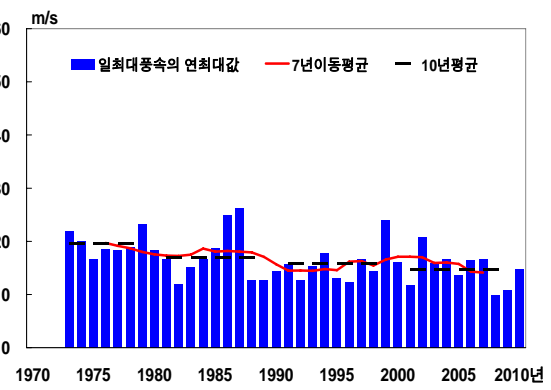


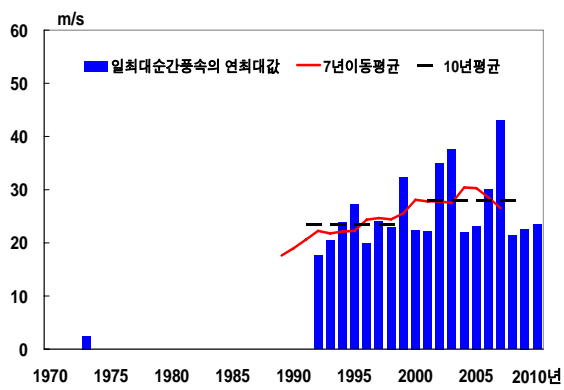
그림 3-4-64. 제주도 일최대풍속의 연최대값 변화(1973~2010년) (a)제주, (b)서귀포, (c)성산, (d)고산



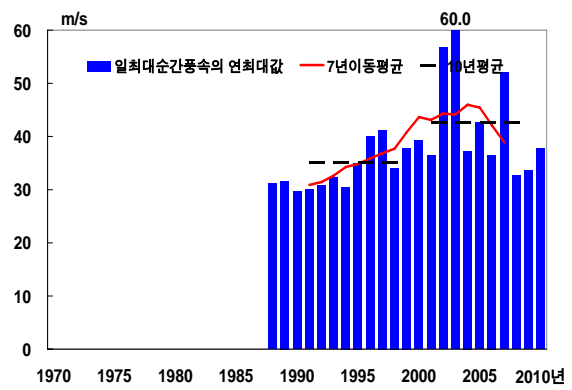
(a)



(b)



(c)



(d)

그림 3-4-65. 제주도 일최대순간풍속의 연최대값 변화(1973~2010년) (a)제주, (b)서귀포, (c)성산, (d)고산

표 3-4-8. 제주의 10년 단위 극값 및 특이기상 평균값 변화(관측이래~2010년)

기간	1911~ 1920년	1921~ 1930년	1931~ 1940년	1941~ 1950년	1951~ 1960년	1961~ 1970년	1971~ 1980년	1981~ 1990년	1991~ 2000년	2001~ 2010년
연최다일강수량(mm)			제외 (결측 포함)	149.9	137.5	155.7	125.7	131.9	145.3	172.0
연최다 1시간 강수량(mm)				33.8	32.5	41.0	40.5	37.2	42.7	51.7
일평균기온의 연최고값(℃)				29.3	29.1	29.9	30.5	29.8	30.4	30.2
일평균기온의 연최저값(℃)				-1.1	-0.3	-0.8	-0.4	-0.2	-0.6	1.1
일최고기온의 연최고값(℃)				34.1	34.2	34.9	34.7	34.1	35.0	34.6
일최저기온의 연최저값(℃)				-3.4	-2.8	-3.2	-2.7	-2.8	-3.3	-1.3
연최심신적설(cm)				3.6	2.9	5.5	5.1	4.5	2.8	3.5
연최심적설(cm)				7.1	4.4	8.0	7.3	7.3	3.1	4.6
일최대풍속 연최대값(m/s)				26.9	24.5	24.6	22.0	20.7	17.4	19.3
일최대순간풍속연최대값(m/s)				32.2	30.9	33.5	33.4	32.2	29.5	31.9

표 3-4-9. 서귀포의 10년 단위 극값 및 특이기상 평균값 변화(관측이래~2010년)

기간	1911~ 1920년	1921~ 1930년	1931~ 1940년	1941~ 1950년	1951~ 1960년	1961~ 1970년	1971~ 1980년	1981~ 1990년	1991~ 2000년	2001~ 2010년
연최다일강수량(mm)						129.3	128.0	141.7	217.0	147.0
연최다 1시간 강수량(mm)						39.8	39.2	50.5	53.1	42.2
일평균기온의 연최고값(℃)						29.2	28.9	29.2	29.3	29.8
일평균기온의 연최저값(℃)						-0.8	-0.7	-0.9	1.4	0.7
일최고기온의 연최고값(℃)						33.0	32.6	33.3	33.1	33.7
일최저기온의 연최저값(℃)						-3.8	-3.5	-3.5	-1.4	-2.0
연최심신적설(cm)						5.6	3.4	3.8	2.6	4.4
연최심적설(cm)						9.0	4.2	4.5	3.1	5.6
일최대풍속 연최대값(m/s)						20.9	19.7	17.0	15.8	16.0
일최대순간풍속연최대값(m/s)						32.0	31.2	31.6	27.9	31.0

표 3-4-10. 성산의 10년 단위 극값 및 특이기상 평균값 변화(관측이래~2010년)

기간	1911~ 1920년	1921~ 1930년	1931~ 1940년	1941~ 1950년	1951~ 1960년	1961~ 1970년	1971~ 1980년	1981~ 1990년	1991~ 2000년	2001~ 2010년
연최다일강수량(mm)							제외 (결측 포함)	147.1	180.6	162.3
연최다 1시간 강수량(mm)								62.9	53.4	73.4
일평균기온의 연최고값(℃)								29.0	28.7	28.7
일평균기온의 연최저값(℃)								-1.3	0.0	-0.7
일최고기온의 연최고값(℃)								33.4	33.2	32.9
일최저기온의 연최저값(℃)								-4.6	-3.3	-2.9
연최심신적설(cm)								5.7	7.5	6.4
연최심적설(cm)								6.8	8.6	9.4
일최대풍속 연최대값(m/s)								14.9	15.2	16.9
일최대순간풍속연최대값(m/s)								제외	23.4	28.0

표 3-4-11. 고산의 10년 단위 극값 및 특이기상 평균값 변화(관측이래~2010년)

기간	1911~ 1920년	1921~ 1930년	1931~ 1940년	1941~ 1950년	1951~ 1960년	1961~ 1970년	1971~ 1980년	1981~ 1990년	1991~ 2000년	2001~ 2010년
연최다일강수량(mm)							제외 (결측 포함)	143.1	102.8	
연최다 1시간 강수량(mm)								34.5	38.8	
일평균기온의 연최고값(℃)								28.3	28.7	
일평균기온의 연최저값(℃)								1.3	0.5	
일최고기온의 연최고값(℃)								31.6	32.9	
일최저기온의 연최저값(℃)								-1.2	-2.0	
연최심신적설(cm)								0.7	2.2	
연최심적설(cm)								0.7	2.3	
일최대풍속 연최대값(m/s)								26.7	34.8	
일최대순간풍속연최대값(m/s)								35.1	42.6	

### 3) 극한기후사상의 변화

제주도의 지난 38년간(1973~2010) 3개 관측지점(제주, 서귀포, 성산)과 3개 지점을 평균한 제주도 해안지역 최고기온, 최저기온, 일 강수량에서 추출한 22개의 극한기온지수와 12개의 극한강수지수의 변화를 살펴보았다(표 2-4-12).

제주도 해안지역 식물성장기간은 대체로 1.7일/10년의 비율로 증가하는 경향을 나타낸다(표 2-4-12). 이러한 식물성장기간의 증가경향은 제주도 해안지역은 현재 아열대 기후대에 속하여 식물성장 기간이 대부분 365일에 해당하기 때문이다. 1970년대 겨울철 한파가 찾아오는 해에는 기온이 5℃이하로 장기간 낮아져 식물성장기간이 365이하인 해도 기록되었는데 21세기로 접어들면서 그러한 사례들이 감소하고 있다(그림 3-4-67).

연중 최고기온 극값과 최저기온의 극값의 차를 나타내는 연극한 기온교차는 제주도 해안지역에서 통계적으로 유의성을 지닌 변화를 보이지 않는다(표 2-4-12; 그림 3-4-67). 제주도 해안지역에서 일최저기온 최저는 0.56℃/10년의 비율로 증가하는 추세(90%의 유의 수준)지만 일최고기온 최고는 뚜렷한 변화 양상을 보이지 않는다. 연중 최고기온 및 최저기온의 최고 또는 최저와 같은 기온 극값은 다양한 국지적인 변수에 영향을 받기 때문에 제주도 평균적으로는 변화가 뚜렷하지 않은 것으로 사료된다.

고온일의 지속기간과 관련하여 최고기온이 평년에 비하여 5℃이상 높은 경우가 5일 이상 연속으로 나타내는 최대열파지속일수도 뚜렷한 변화가 관찰되지 않는다(그림 3-4-67). 제주도 해안지역은 바다와 인접한 해양성 기후로 대기 중 수증기량이 한반도 내륙지역에 비해 많아 경년변동성이 상대적으로 작기 때문에 최대열파지속일이 발생하는 경우가 드물다.

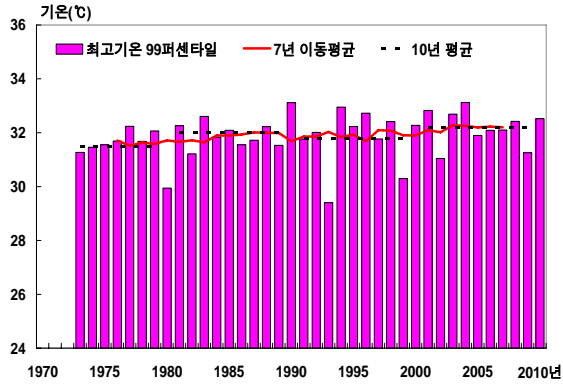
연중 최고기온 99퍼센타일과 95퍼센타일의 임계치는 제주도 해안지역 평균적으로 통계적 유의성을 나타내면서 0.18℃/10년와 0.24℃/10년의 비율로 상승하고 있다(표 2-4-12). 1973년 이래의 제주도 평균 최고기온 99퍼센타일과 95퍼센타일의 변화를 살펴보면 대체로 지속적으로 상승하는 경향이 나타나고 있음을 알 수 있다(그림 3-4-66). 일최고기온 90퍼센타일 이상의 온난일률과 일최저기온 90퍼센타일 이상의 온난야율도 2.3%/10년와 3.7%/10년의 비율로 증가하고 있음을 알 수 있다(표 3-4-12; 그림 3-4-67).

절대 임계치를 기준으로 한 고온극한 현상의 변화를 살펴보면 제주도 해안지역에서 일최고기온 25℃ 이상인 여름일수는 4.9일/10년, 일최저기온 25℃ 이상일 열대야 일수는 4.7일/10년의 비율로 증가하고 있다(표 3-4-12). 또한 연속 온난일 지속기간은 성산을 제외하고는 모두 증가하는 경향을 보여 제주도 해안지역 평균적으로 2.9일/10년 증가율을 나타낸다.

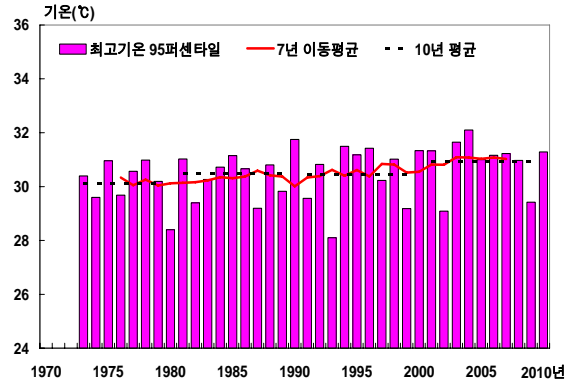
표 3-4-12. 제주도 극한기온사상 변화율(1973~2010년)

극한기온지수	단위	제주	서귀포	성산	제주도 해안지역
연극한기온교차	℃/년	-0.036	-0.041	-0.045	-0.041
식물성장가능기간	일/년	0.490*	0.230*	0.129	0.172*
최대열파지속일수	일/년	0.010	0.008	0.002	0.010
일최저기온 최저	℃/년	0.063**	0.071**	0.050*	0.056
일최저기온 최고	℃/년	0.044**	0.036**	0.003	0.016*
일최고기온 최저	℃/년	0.047*	0.062*	0.058*	0.059*
일최고기온 최고	℃/년	0.027*	0.030	0.005	0.016
일최저기온 0℃ 미만일수	일/년	-0.392**	-0.409**	-0.402	-0.397**
일최고기온 25℃ 이상일수	일/년	0.391*	0.746**	0.252	0.485**
일최고기온 0℃ 이하일수	일/년	-0.017	-0.005	-0.014*	-0.005
일최저기온 25℃ 이상일수	일/년	0.543**	0.549**	0.110	0.470**
일최저기온 0℃ 이하일수	일/년	-0.392**	-0.409**	-0.402*	-0.397**
최고기온 99퍼센타일	℃/년	0.020	0.033*	-0.001	0.018*
최고기온 95퍼센타일	℃/년	0.027	0.043**	0.006	0.024*
최저기온 1퍼센타일	℃/년	0.069**	0.063**	0.044**	0.056**
최저기온 5퍼센타일	℃/년	0.051**	0.063**	0.041**	0.047**
한랭일율	%/년	-0.165**	-0.244**	-0.081	-0.144*
온난일율	%/년	0.186**	0.421**	0.138*	0.229**
한랭야율	%/년	-0.415**	-0.398**	-0.334**	-0.419**
온난야율	%/년	0.366**	0.484**	0.207**	0.372**
연속 한랭일 지속기간	일/년	-0.104	-0.128**	-0.049	-0.181**
연속 온난일 지속기간	일/년	0.160**	0.432**	0.078	0.292**

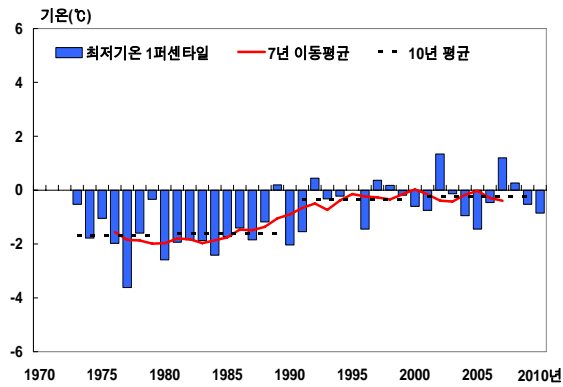
\*유의수준  $\alpha=0.05$ , \*\*유의수준  $\alpha=0.01$



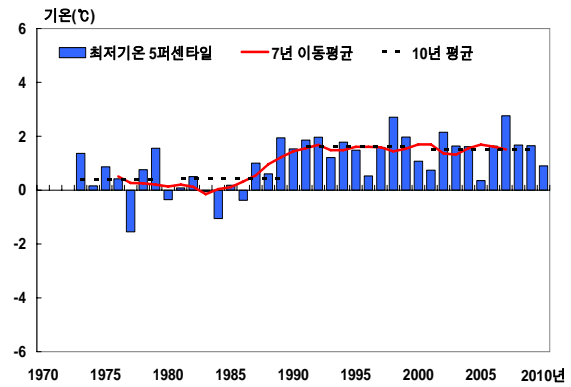
(a)



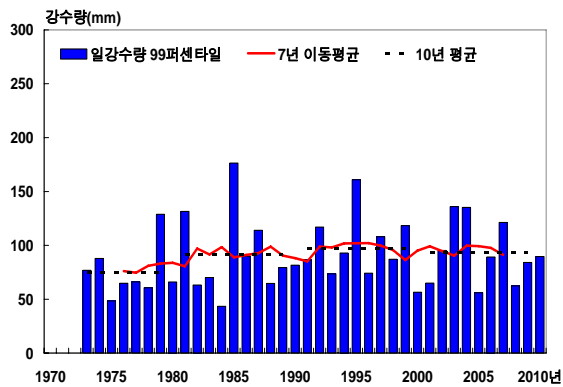
(b)



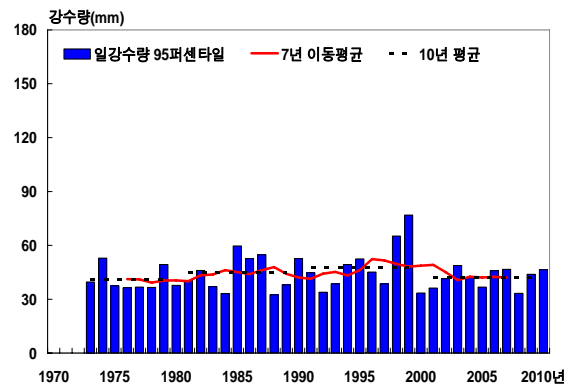
(c)



(d)

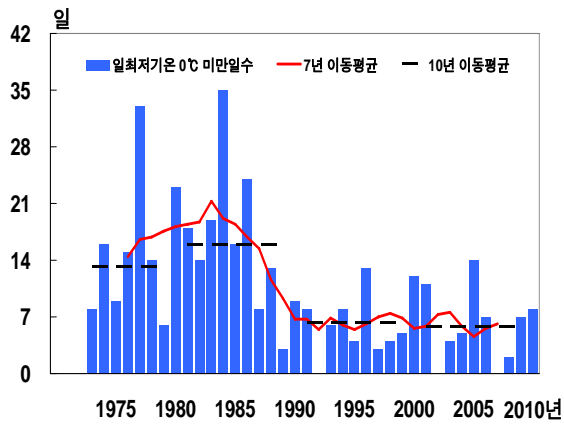


(e)

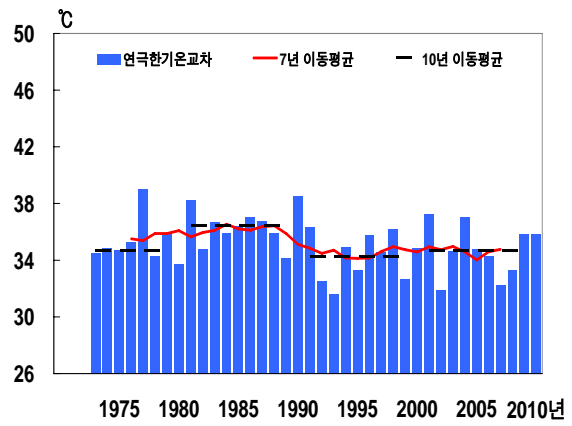


(f)

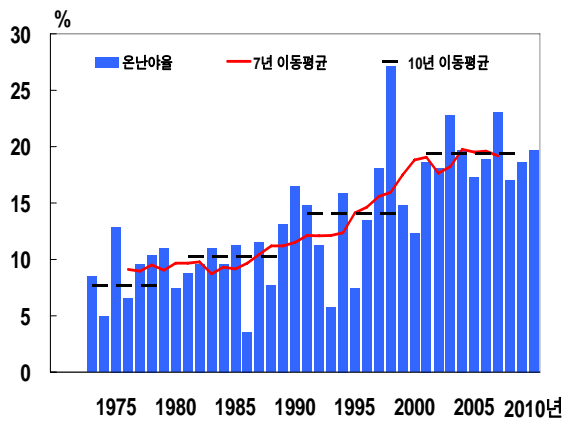
그림 3-4-66. 제주도 해안지역 퍼센타일 기준 극한기후사상 변화(1973~2010년) (a)최고기온 99퍼센타일,(b)최고기온 95퍼센타일, (c)최저기온 1퍼센타일, (d)최저기온 5퍼센타일, (e)강수량 99퍼센타일, (f)강수량 95퍼센타일



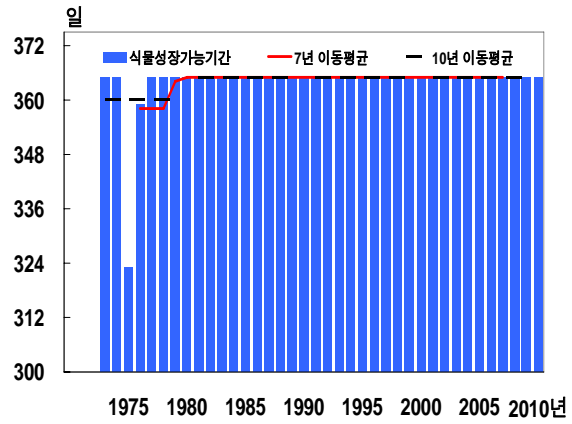
(a)



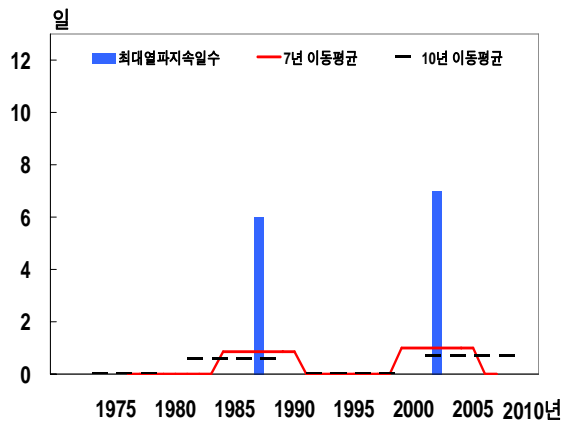
(b)



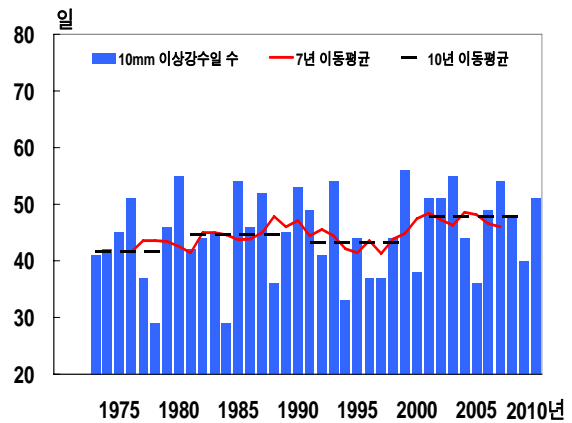
(c)



(d)



(e)



(f)

그림 3-4-67. 제주도 해안지역의 세계기상기구(WMO) 사용 권장 극한기후지수 변화(1973~2010년) (a)일최저기온 0°C 미만일수, (b)연극한기온교차, (c)온난야율, (d)식물성장기간, (e)최대열파지속일수, (f)10mm 이상 강수일수

저온 극한 현상과 관련하여 제주도 해안지역의 일최고기온과 일최저기온의 하위 10퍼센타일 이하의 한랭일(1.4%/10년)과 한랭야(4.2%/10년)가 차지하는 비율은 모두 감소하는 경향이 뚜렷하게 나타난다(표 3-4-12). 연속 한랭일 지속기간도 평균적으로 1.8일/10년의 비율로 감소하는 경향이 나타난다. 극값과 관련하여 최저기온 1퍼센타일값과 5퍼센타일값은 겨울철 온난화의 경향과 더불어 그 임계치가 0.56°C/10년과 0.47°C/10년의 비율로 증

가하고 있다. 특히 이러한 변화는 1988년을 기점으로 뚜렷하게 나타나고 있다(그림 3-4-66). 이러한 증가율은 최고기온 99퍼센타일 또는 95퍼센타일의 증가율에 비하여 2배 이상에 해당한다. 이러한 저온 극한현상의 임계치가 상승함에 따라 저온현상의 발생빈도도 감소하는 경향이 뚜렷하게 나타나고 있다. 가령, 절대 임계치를 기준으로 한 겨울철 야간에 주로 발생하는 일최저기온 0°C 미만 일수도 제주도 해안 평균적으로 4.0일/10년 뚜렷한 감소추세를 보인다(표 3-4-12; 그림 3-4-67). 이러한 결과들을 종합해 보면 제주도의 극한기온변화도 전 세계적 그리고 한반도에서 나타나고 있는 보편적 변화경향과 유사하게 고온현상의 감소추세보다는 저온현상의 발생빈도, 강도, 지속기간의 감소추세가 더 뚜렷하게 나타남을 알 수 있다.

제주도 극한 강수현상의 변화를 살펴보면, 대체로 모든 지점별로 공통적으로 나타나는 변화는 탐지되지 않고, 극한 지수별로 통계적 유의성을 나타내는 관측지점들이 모두 상이하하다(표 3-4-13). 가령, 제주도 3개 지점을 평균한 자료에서 추출한 경우 20mm 이상 강수일수와 연 강수량을 0.1mm 이상의 강수 발생일로 평균한 일강수강도가 통계적으로 유의미한 증가추세를 보이지만 그 규모는 작고, 개별 관측지점별 일강수강도는 통계적 유의성을 나타내는 추세는 관찰되지 않는다. 보다 상세하게 38년 동안의 일강수강도 변화를 살펴보면 대체로 수년 단위의 경년변동이 반복적으로 나타나고 있음을 알 수 있다(그림 3-4-68). 지역평균을 고려한 95퍼센타일 또는 99퍼센타일 강수량의 임계치의 장기간 변화를 살펴보면 뚜렷한 증가 또는 감소 경향은 나타나지 않는다(그림 3-4-66; 표 3-4-13). 극한강수현상의 지속기간의 변화와 관련하여 일강수량 1mm 이상 또는 미만의 최대지속일은 모두 통계적으로 유의미한 변화를 나타내지 않는다. 이러한 사실들을 종합적으로 요약해 보면 제주도 동부해안에서 일부 극한 호우사상이 증가하는 현상이 일부 관찰되지만 제주도 해안지역 평균적으로는 극한강수현상의 발생빈도, 강도, 지속 간에는 뚜렷한 변화가 나타나지 않았다는 결론을 내릴 수 있다.

표 3-4-13. 제주도 극한강수사상 변화율(1973~2010년)

극한강수지수	단위	제주	서귀포	성산	제주도 해안지역
10mm 이상 강수일수	일/년	0.026	0.040	0.054	0.042
20mm 이상 강수일수	일/년	0.031	0.137	0.160*	0.200*
80mm 이상 강수일수	일/년	0.057	0.173	0.166	0.133
1일 최다강수량	mm/년	1.023	1.204	1.006	1.119
5일 최다강수량	mm/년	0.674	1.552	1.387*	1.022
일강수강도	mm/일/년	0.062	0.078	0.111*	0.079*
일강수량 99 퍼센타일	mm/년	0.070	0.617	0.509	0.488
일강수량 95 퍼센타일	mm/년	-0.007	-0.022	0.387*	0.096
95퍼센타일 강수량 비율	%/년	0.169	0.174	0.341	0.132
99퍼센타일 이상 누적 강수량	mm/년	1.567	2.251	1.474	2.333
일강수량 1mm 이상인 날의 최대지속일수	일/년	0.030	-0.005	-0.001	0.050
일강수량 1mm 미만인 날의 최대지속일수	일/년	0.080	0.026	0.057	0.124

\*유의수준  $\alpha=0.05$ , \*\*유의수준  $\alpha=0.01$



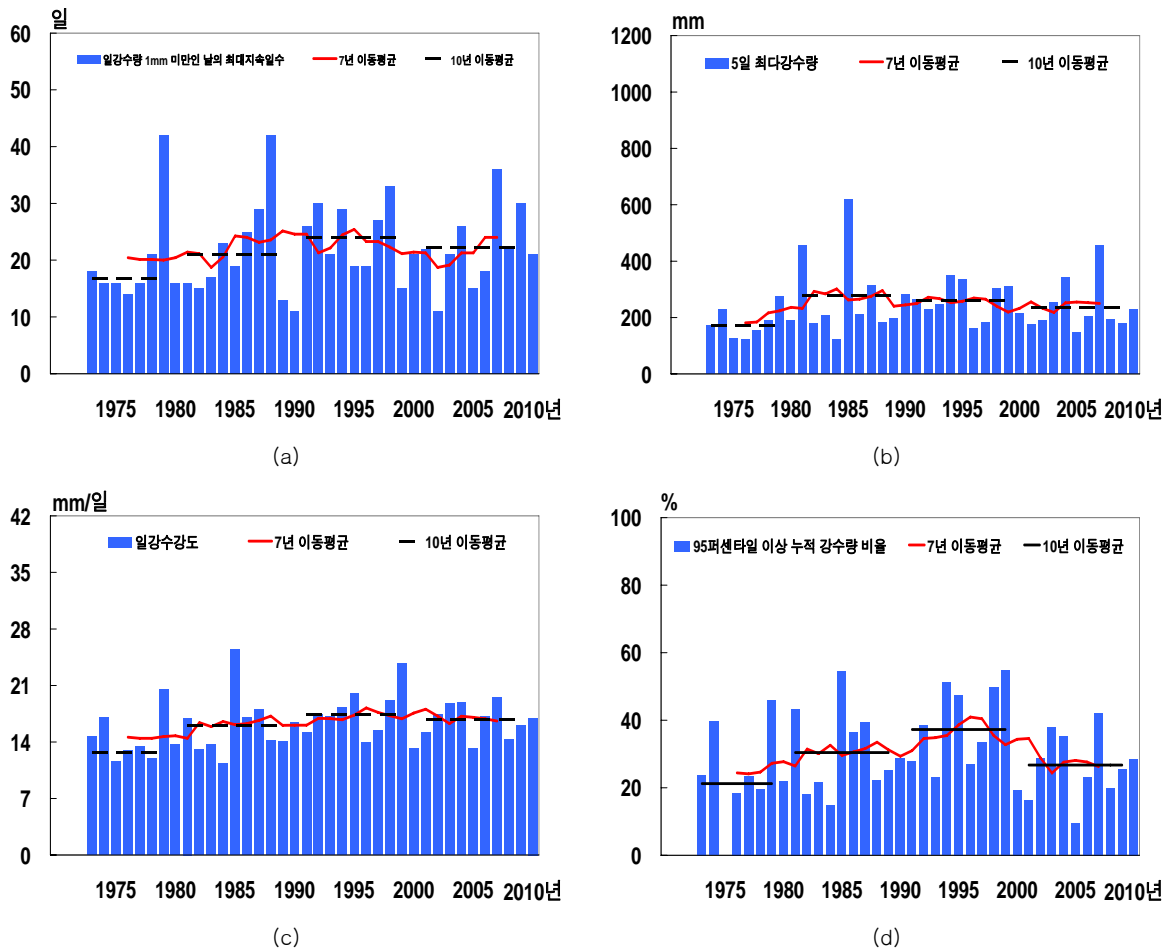


그림 3-4-68. 제주도 해안지역의 세계기상기구(WMO) 사용 권장 극한기후지수 변화(1973~2010년) (a)일강수량 1mm 미만인 날의 최대지속일수, (b) 5일 최대강수량, (c)일강수강도, (d)95퍼센타일 강수량 비율

제주도 북부해안의 제주, 남부해안의 서귀포, 동부해안의 성산 등 각 관측지점별로 지난 38년(1973~2010)에 나타난 극한기후사상의 변화에 대해서 살펴보기로 하자.

북부해안 제주의 고온극한 현상과 관련하여 최고기온 95퍼센타일과 99퍼센타일의 임계치는 통계적으로 유의미한 변화를 보이지 않는다(표 3-4-12). 최고기온의 극값 그래프를 살펴보면 약하게 2000년대로 접어들수록 상승하는 추세가 10년 단위에서는 나타나지만 매년별 99퍼센타일 또는 95퍼센타일 최고기온값을 살펴보면 수년 단위의 상승과 감소가 반복되는 경년변화가 더 뚜렷하게 나타난다(그림 3-4-69). 가령, 최고기온 99퍼센타일값은 1990년대에 다소 뚜렷하게 증가하였고 이후에는 뚜렷한 변화가 탐지되지 않는다.

대조적으로 저온극한 현상의 극값 임계치는 통계적으로 유의성을 나타내면서 낮아져서 이와 관련된 저온극한 현상의 발생빈도는 감소하고 있다(그림 3-4-69). 최저기온 1퍼센타일값은 0.69°C/10년, 최저기온 5퍼센타일값도 0.51°C/10년의 비율로 높아지고 있다(표 3-4-12). 제주의 이러한 저온극한 임계치의 변화율은 다른 두 관측지점에 비하여 높게 나

타는데 이는 저온현상의 경우에는 전지구적 기온상승 경향뿐만 아니라 국지적으로 1990년대 진행된 도시화의 영향도 포함되어 있을 것으로 사료된다.

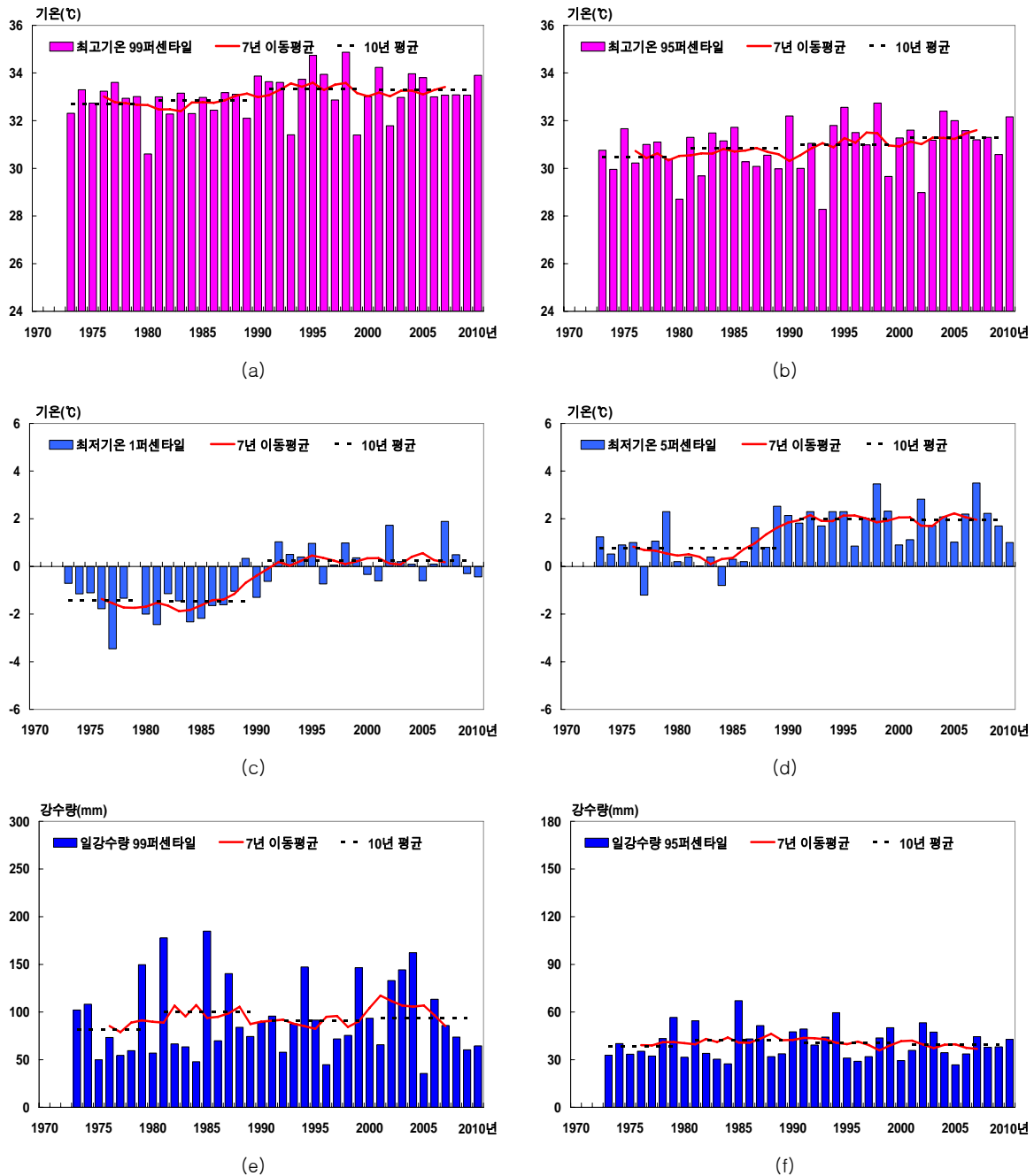


그림 3-4-69. 제주의 퍼센타일 기준 극한기후사상 변화(1973~2010년) (a)최고기온 99퍼센타일,(b)최고기온 95퍼센타일, (c)최저기온 1퍼센타일, (d)최저기온 5퍼센타일, (e)강수량 99퍼센타일, (f)강수량 95퍼센타일

북부해안 제주의 식물성장기간은 1970년대와 1980년대 겨울철 저온현상 발생 시 나타났던 저온일 지속기간이 1980년대 중반이후에는 드물게 발생하여 38년 전체기간 동안에는 4.9일/10년의 비율로 증가하는 추세를 보인다(그림 3-4-70; 표 3-4-12). 제주의 일최저기온 최저는 0.63℃/10년의 상승률을 보이고, 일최고기온의 최고는 0.27℃/10년의 상승률

을 나타낸다. 즉, 여름철 극값보다는 겨울철 극값의 변화가 더 뚜렷하게 나타나고 있음을 알 수 있다. 기온 양극값이 동일한 변화 경향으로 나타나기 때문에 그 차이를 기준으로 한 연극한기온교차는 뚜렷한 변화를 보이지 않는다(그림 3-4-70).

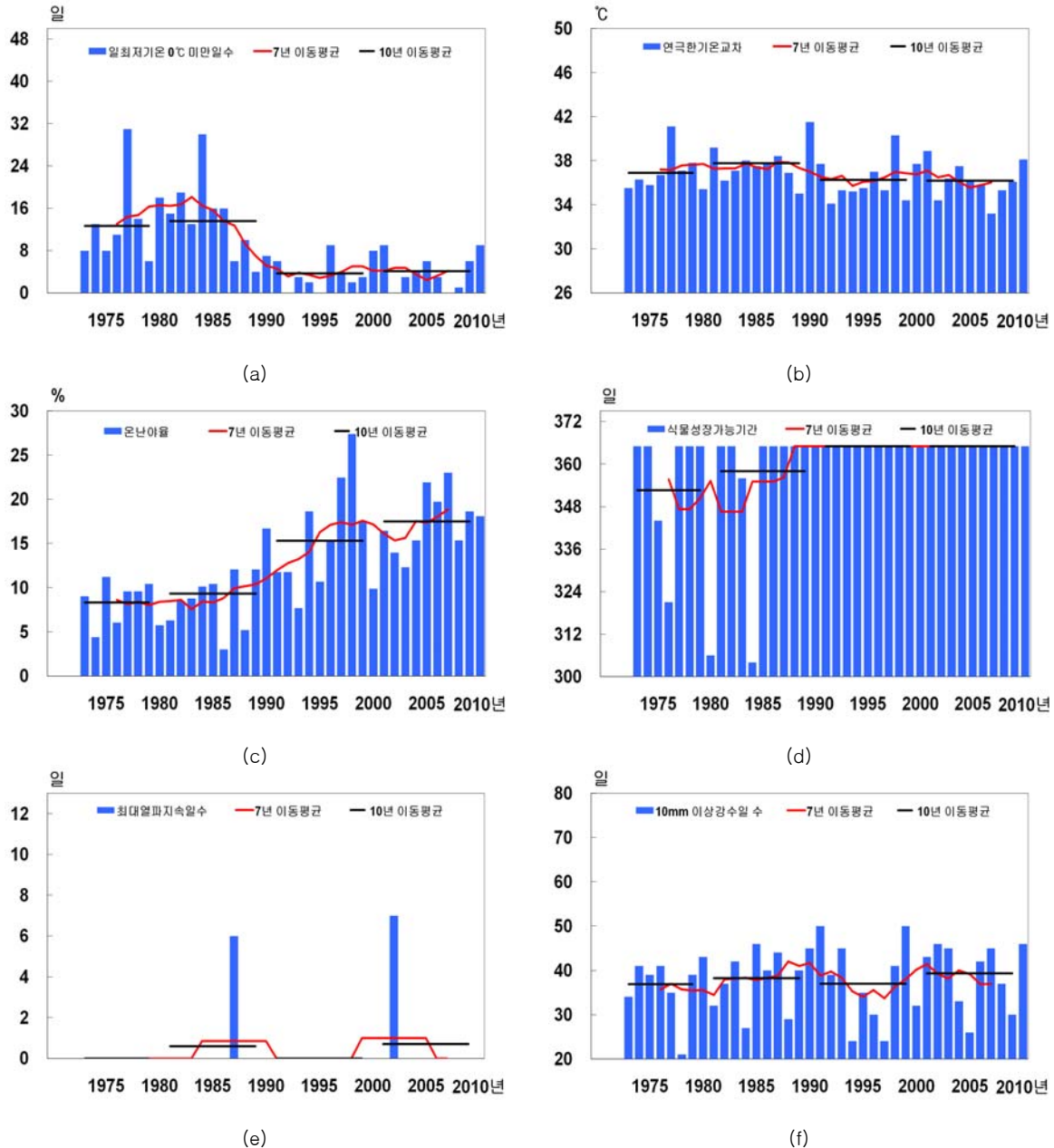


그림 3-4-70. 제주의 세계기상기구(WMO) 사용 권장 극한기후지수 변화(1973~2010년) (a)일최저기온 0°C 미만일수, (b)연극한기온교차, (c)온난야율, (d)식물성장기간, (e)최대열파지속일수, (f)10mm 이상 강수일수

제주의 최대열파지속일수는 발생빈도가 낮아 전체적인 변화경향을 파악할 수 없다(그림 3-4-70). 그러나 지역별 연중 기온의 평균을 고려한 30년 평균 일최고기온 90퍼센타일 이상을 나타내는 온난일이 가장 오래 지속된 경우를 가리키는 연속 온난일 지속기간은 제주에서 1.6일/10년의 비율로 늘어나고 있다(표 3-4-12). 온난일이 차지하는 비율인 온난

일율도 1.9%/10년의 비율로 점차 증가하고 있으며, 온난야율도 3.7%/10년의 비율로 뚜렷하게 증가하고 있다(그림 3-4-70; 표 3-4-12). 반면 저온극한 현상과 관련하여 한랭일율은 1.7%/10년, 한랭야율은 4.2%/10년의 비율로 감소하고 있다. 즉, 고온과 저온 극한현상에서도 야간의 극한기온의 변화율이 주간 극한기온 변화율에 비하여 더 뚜렷하게 나타나고 있음을 알 수 있다.

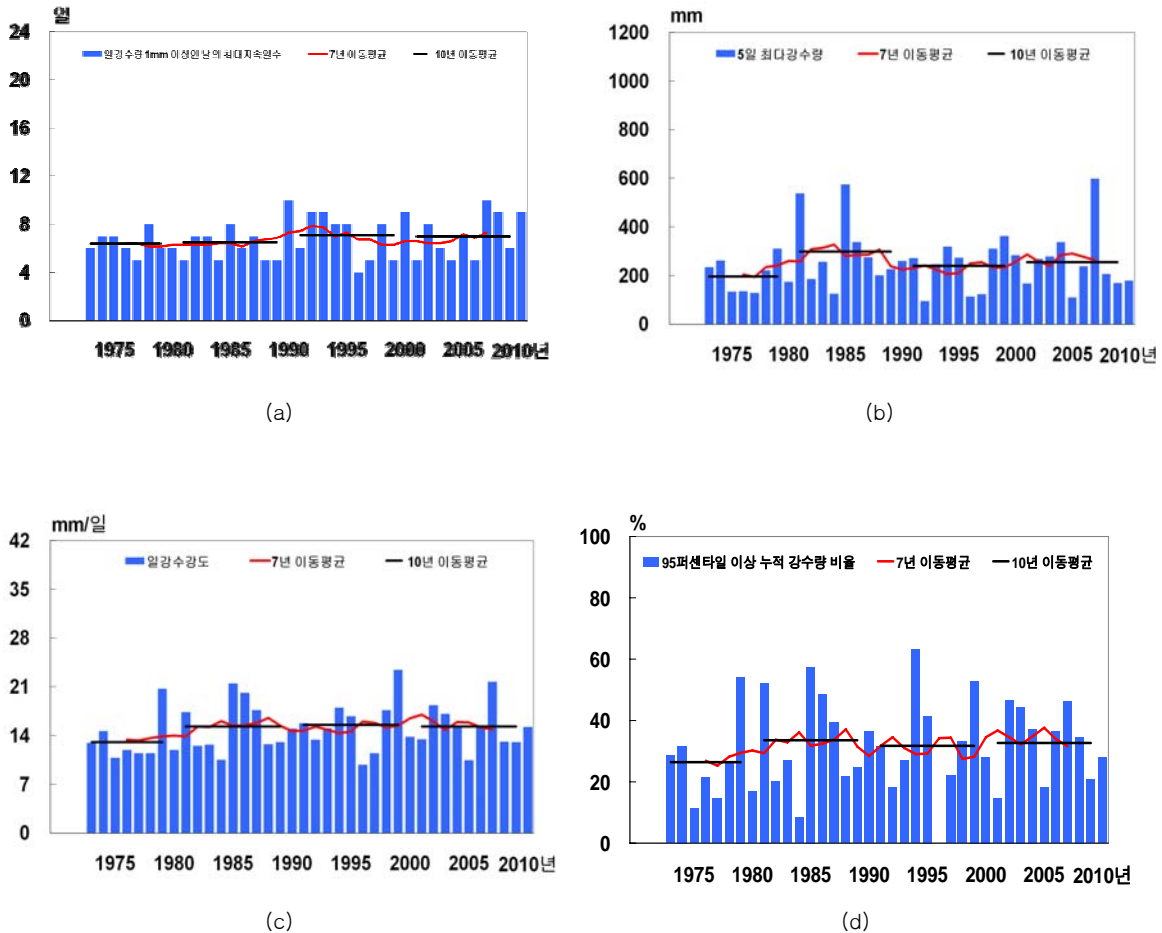
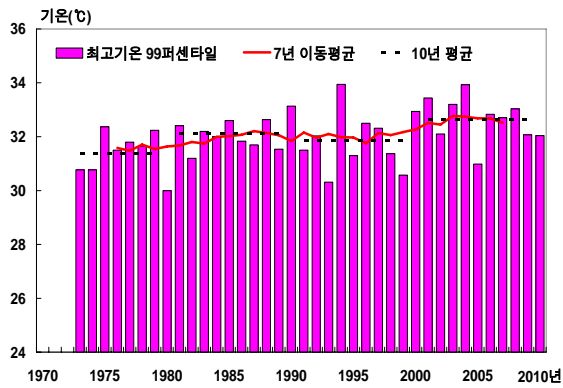
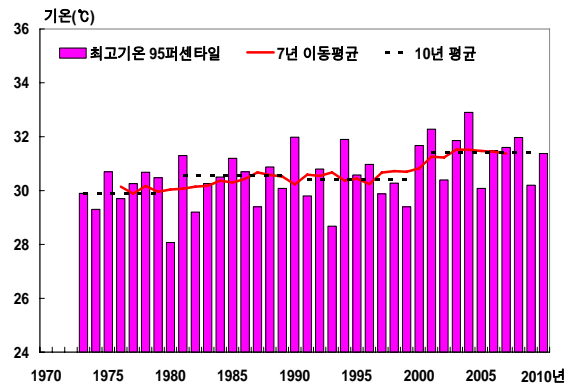


그림 3-4-71. 제주의 세계기상기구(WMO) 사용 권장 극한기후지수 변화(1973~2010년) (a)일강수량 1mm 미만인 날의 최대지속일수, (b) 5일 최대강수량, (c)일강수강도, (d)95퍼센타일 강수량 비율

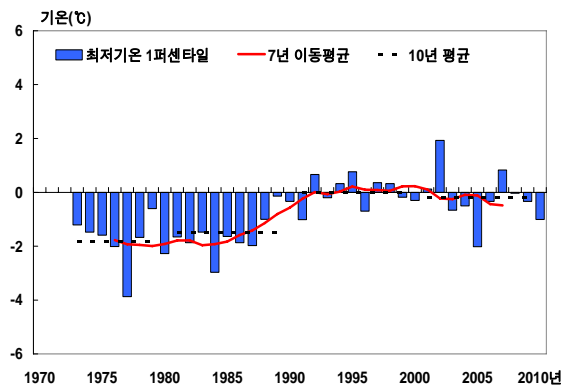
강수의 극한현상과 관련하여 북부해안의 제주에서는 12개의 극한강수지수의 변화에 있어서 통계적으로 유의미한 변화는 나타나지 않는다(표 3-4-13). 가령, 제주의 강수량 99퍼센타일과 95퍼센타일의 38년 동안의 변화를 살펴보면 수년간격의 경년변동만을 나타낼 뿐 지속적인 증가 또는 감소경향은 찾아볼 수 없다(그림 3-4-69). 강수량 10mm 이상 일수, 일강수량 1mm 미만인 날의 최대지속일수, 5일 최대강수량, 일강수강도, 95퍼센타일 강수량 비율 변화에서도 뚜렷한 변화는 관찰할 수 없다(그림 3-4-70; 그림 3-4-71).



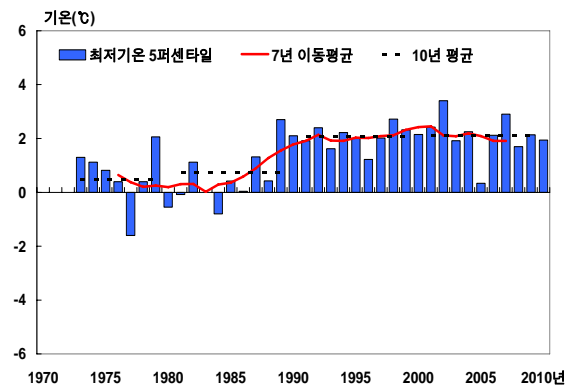
(a)



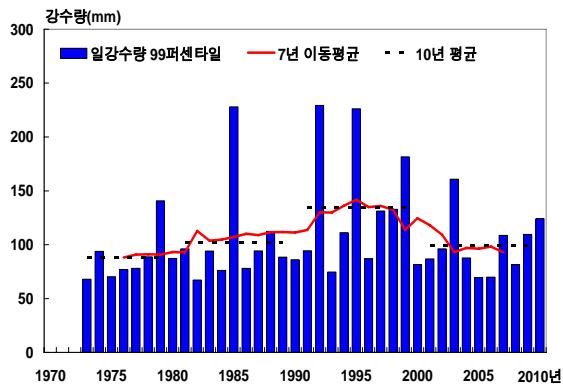
(b)



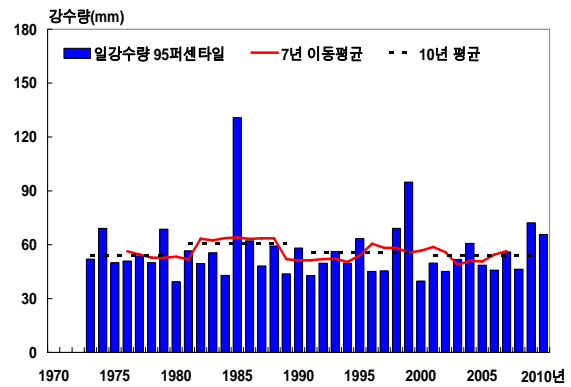
(c)



(d)



(e)



(f)

그림 3-4-72. 서귀포의 퍼센타일 기준 극한기후사상 변화(1973~2010년) (a)최고기온 99퍼센타일,(b)최고기온 95퍼센타일, (c)최저기온 1퍼센타일, (d)최저기온 5퍼센타일, (e)강수량 99퍼센타일, (f)강수량 95퍼센타일

제주도 남부해안 서귀포의 여름철 고온극값과 관련하여 최고기온 99퍼센타일과 95퍼센타일 변화를 살펴보면 북부해안의 제주와 동부해안의 성산과는 다르게 통계적으로 유의성을 가진 증가경향을 나타낸다(표 3-4-12; 그림 3-4-72). 서귀포의 최고기온 99퍼센타일값은  $0.33^{\circ}\text{C}/10\text{년}$ , 95퍼센타일 값은  $0.43^{\circ}\text{C}/10\text{년}$ 의 비율로 높아지고 있다. 서귀포의 저온극값과 관련하여 최저기온 1퍼센타일과 5퍼센타일값의 변화를 살펴보면 공통적으로  $0.68^{\circ}\text{C}/10\text{년}$ 의 비율로 뚜렷하게 상승하고 있다. 이러한 겨울철 저온극한 변화율은 여름철 고온

극값 변화율은 1.5배 이상에 해당한다. 특히 최저기온 1퍼센타일과 5퍼센타일 등 저온극값의 상승은 1988년을 전후로 가장 뚜렷하게 나타나고 있다(그림 3-4-72).

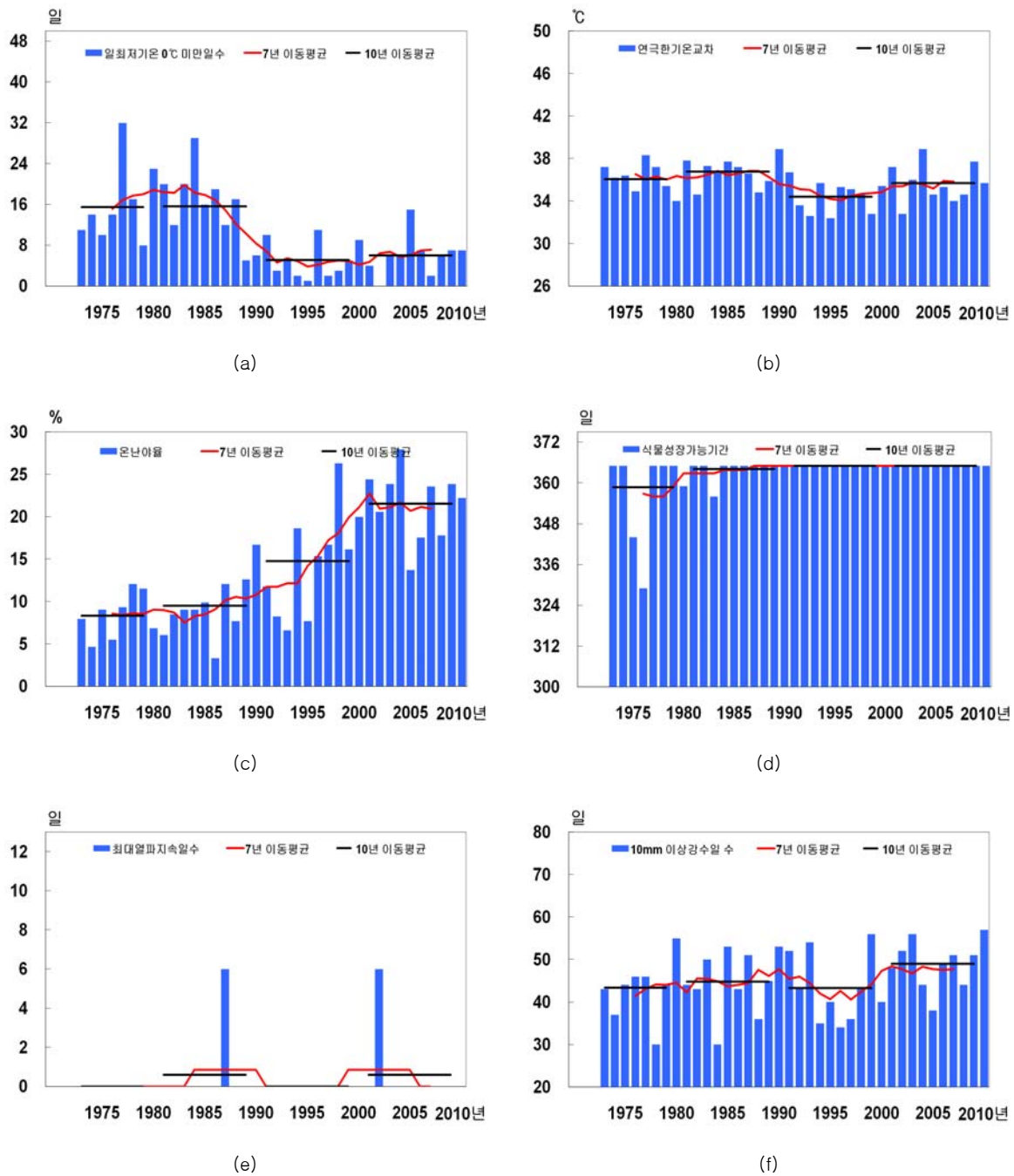


그림 3-4-73. 서귀포의 세계기상기구(WMO) 사용 권장 극한기후지수 변화 (1973~2010년) (a)일최저기온 0℃ 미만일수, (b)연극한기온교차, (c)온난야율, (d)식물성장기간, (e)최대열파지속일수, (f)10mm 이상 강수일수

남부해안 서귀포의 식물성장기간도 북부해안의 제주와 마찬가지로 겨울철 저온현상이 장기간 지속되는 경우가 줄어들면서 2.3일/10년의 비율로 증가하여 2000년대에는 연중 내내 식물성장기간을 나타낸다(그림 3-4-73; 표 3-4-12). 고온극한 현상으로 일최고기온 2

5°C 이상인 여름일수는 7.5일/10년, 일최저기온 25°C 이상인 열대야 일수는 5.5일/10년의 비율로 뚜렷하게 증가하고 있다(표 3-4-12). 북부해안 제주에 비해 서귀포의 여름철 여름일수의 증가율이 더 높은 것은 주목할 만한 변화경향이다. 연중 온난야가 차지하는 비율을 나타내는 온난야율도 서귀포에서는 4.9%/10년으로 3개 지점 중 가장 높은 상승률을 나타내고 있다. 이에 따라 연중 온난일이 가장 오래 지속된 경우의 변화를 나타내는 연속 온난일 지속기간도 서귀포에서 가장 높은 증가율(4.3일/10년)을 나타낸다(표 3-4-12).

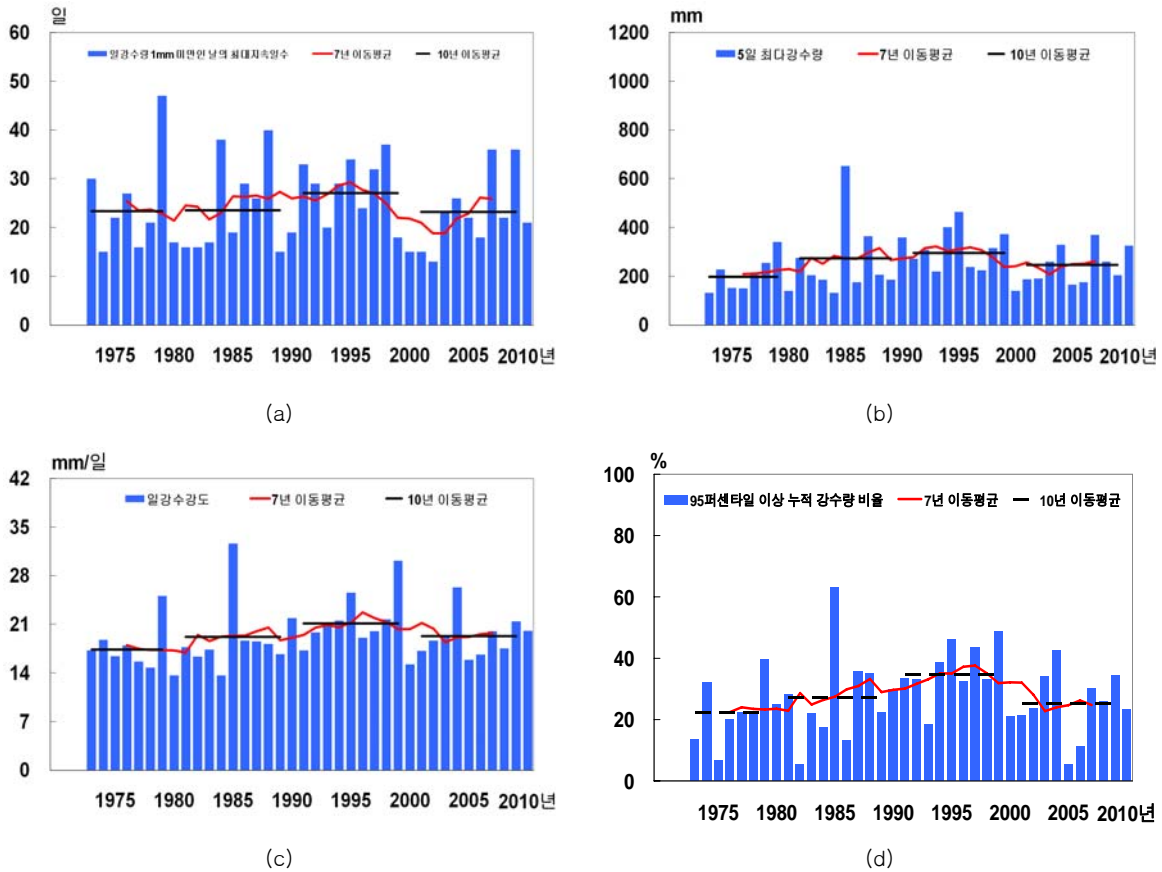


그림 3-4-74. 서귀포의 세계기상기구(WMO) 사용 권장 극한기후지수 변화(1973~2010년) (a)일강수량 1mm 미만인 날의 최대지속일수, (b) 5일 최다강수량, (c)일강수강도, (d)95퍼센타일 강수량 비율

남부해안 서귀포의 강수극한 현상의 변화를 살펴보면 북부해안의 제주와 마찬가지로 12개의 극한강수지수의 장기간 변화는 통계적으로 유의미한 변화가 나타나지 않는다(표 3-4-13). 강수량 99퍼센타일과 95퍼센타일 그래프에서도 1985년 또는 1999년과 같은 특정한 연도에 높게 나타나는 패턴 이외에는 장기간 지속적인 증가 또는 감소 경향은 나타나지 않는다(그림 3-4-72). 제주와 마찬가지로 서귀포에서도 강수량 10mm 이상 일수, 일강수량 1mm 미만인 날의 최대지속일수, 5일 최다강수량, 일강수강도, 95퍼센타일 강수량 비율 변화에서도 뚜렷한 변화는 관찰할 수 없다(그림 3-4-73; 그림 3-4-74).



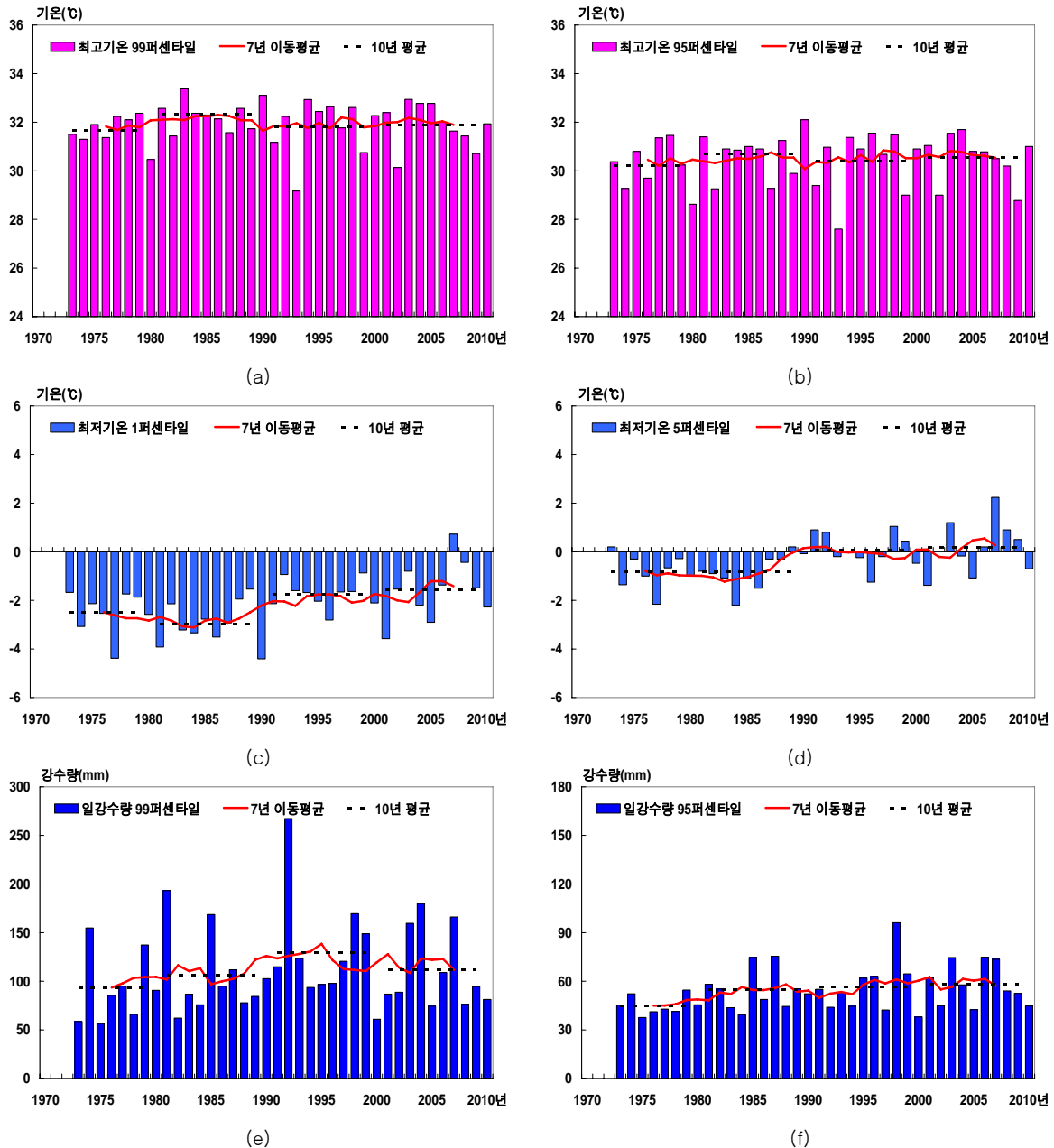


그림 3-4-75. 성산의 퍼센타일 기준 극한기후사상 변화(1973~2010년) (a)최고기온 99퍼센타일,(b)최고기온 95퍼센타일, (c)최저기온 1퍼센타일, (d)최저기온 5퍼센타일, (e)강수량 99퍼센타일, (f)강수량 95퍼센타일

제주도 동부해안 성산의 고온 극값의 변화를 살펴보면 북부해안 제주와 남부해안 서귀포와 비교하여 전체적인 변화의 정도와 통계적으로 유의성을 지닌 고온 극한기온지수의 수가 적다(표 3-4-13). 이러한 결과들은 성산에 여름철 일부 극한강수현상이 증가하고 있는 것과 연관성이 있는 것으로 사료된다. 가령, 최고기온의 99퍼센타일과 95퍼센타일은 모두 통계적으로 유의미한 변화를 나타내지 않으며, 일최저기온 최저, 일최고기온 최고값도 뚜렷한 변화를 나타내지 않는다(그림 3-4-75; 표 3-4-12). 절대 임계치를 사용한 고온극한지수로 일최고기온 25℃ 이상인 여름일수와 일최저기온 25℃ 이상인 열대야 일수 모두 통계적으로 유의미한 변화를 나타내지 않는다(표 3-4-12). 성산의 온난일률의 증가율은 1.4%/10년으로 북부해안의 제주와 남부해안의 서귀포에 비하여 작은값을 보이며, 연속



온난일 지속기간도 통계적으로 유의미한 변화를 보이지 않는다(표 3-4-12).

반면 저온극한 현상은 다른 두 관측지점과 유사하게 1980년대 후반을 기점으로 뚜렷하게 감소하는 현상이 나타나고 있다(그림 3-4-75). 최저기온 99퍼센타일은 지속적으로 감소하는 경향이 나타나지만 95퍼센타일은 1980년대 후반에 양의 값을 나타내는 경우가 증가하였다. 일최저기온 최저는  $0.58^{\circ}\text{C}/10\text{년}$  비율로 높아지고 있다. 일최저기온  $0^{\circ}\text{C}$  미만 일수도 1980년대 후반에 뚜렷하게 감소하고 있으며, 한랭야율은  $3.3\%/10\text{년}$ 의 비율로 감소하고 있다(그림 3-4-76; 표 3-4-12). 그러나 식물성장기간의 경우에는 2000년대에도 겨울철 저온기간이 발생하여 장기간 지속적인 증가경향은 나타나지 않는다(그림 3-4-76; 표 3-4-12).

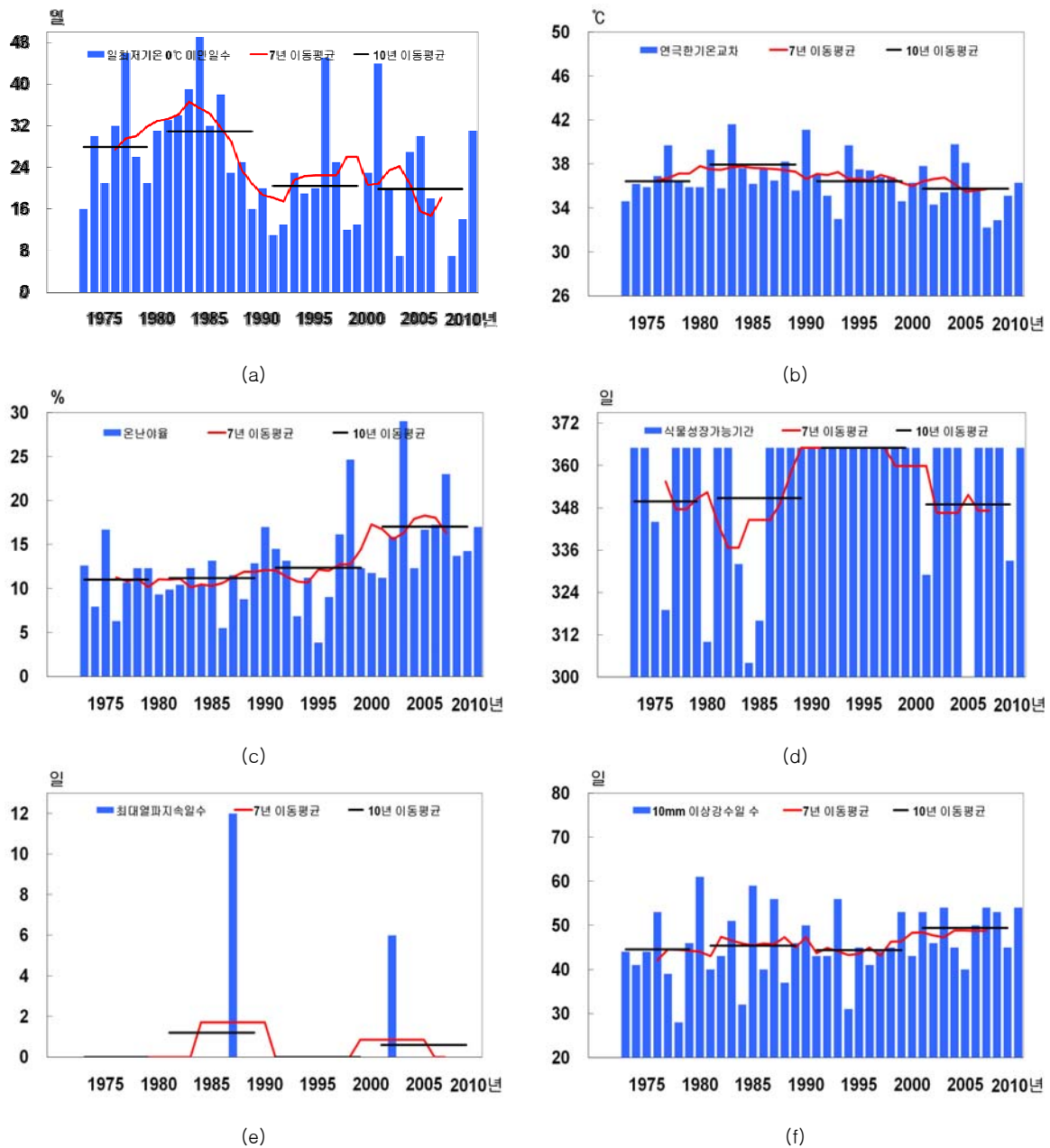


그림 3-4-76. 성산의 세계기상기구(WMO) 사용 권장 극한기후지수 변화(1973~2010년) (a)일최저기온  $0^{\circ}\text{C}$  미만일수, (b)연극한기온교차, (c)온난야율, (d)식물성장기간, (e)최대열파지속일수, (f)10mm 이상 강수일수

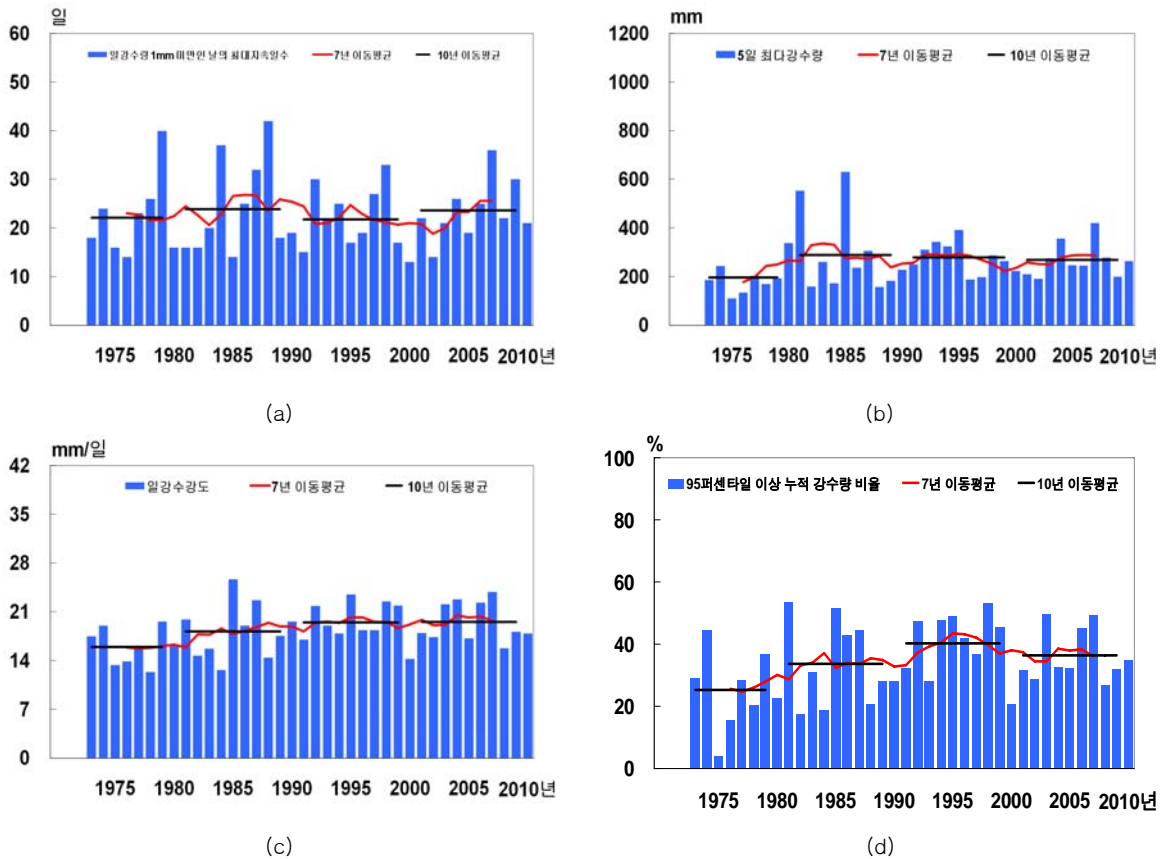


그림 3-4-77. 성산의 세계기상기구(WMO) 사용 권장 극한기후지수 변화(1973~2010년) (a)일강수량 1mm 미만인 날의 최대지속일수, (b) 5일 최대강수량, (c)일강수강도, (d)95퍼센타일 강수량 비율

동부해안 성산의 강수극한현상 변화를 살펴보면 다른 두 관측지점에서는 뚜렷한 변화 경향이 탐지되지 않았던 것과는 대조적으로 20mm 이상 강우일수, 5일 최대강수량, 일강수강도, 일강수량 95 퍼센타일 등의 극한 강수지수에서 통계적으로 유의미한 증가경향이 나타난다(표 3-4-13). 이는 대체로 1970년대 이후에 이러한 극한강수현상이 그 이전에 비하여 증가한 패턴과 관련성이 있다(그림 3-4-77). 이러한 성산의 극한강수현상의 증가는 주로 여름철에 나타나, 다른 두 관측지점에 비하여 성산의 여름철 기온극한현상의 증가경향이 둔화된 패턴에 영향을 미쳤을 것으로 판단된다. 그러나 성산의 경우에도 다른 두 관측지점과 유사하게 임계치만 달리한 유사한 극한 강수 지수들 (가령, 80mm 이상 강우일수, 1일 최대강수량, 일강수량 99 퍼센타일 등)에서는 통계적으로 유의미한 변화추세가 나타나지 않는다(표 3-4-12).

## 5. 생물계절 및 기후계절 변화

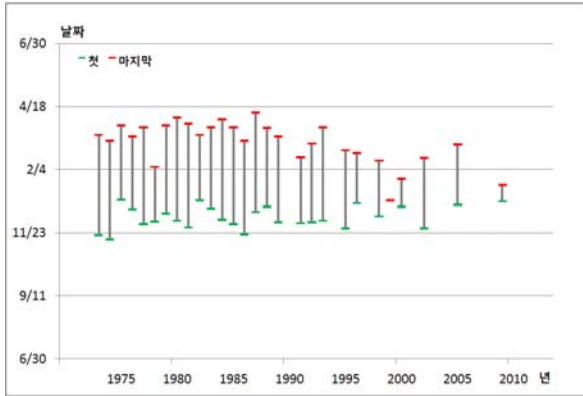
제주도 계절현상 관측은 제주, 서귀포, 성산포, 고산의 4개 동서남북 지점에서 수행하고 있으며, 기후계절(서리, 얼음, 눈, 관설 등의 첫 날, 마지막 날), 동물계절(제비, 종달새, 뻐꾸기, 뱀, 개구리, 나비, 매미, 잠자리 등의 초·종건), 식물계절(식물의 발아일, 개화일, 단풍 절정기) 등으로 세분할 수 있다. 기후계절은 겨울철의 시작과 종료와 관련된 현상을 관찰한 것이며, 동물계절과 식물계절을 합쳐 생물계절(phenology)이라고 하며 대체로 계절의 시작과 종료 시기에 나타나는 동식물의 출현이나 사라짐 현상을 관찰하여 날짜를 기록한 것이다. 기온, 강수 등의 기본적인 기후자료에 비하여 생물계절 관측은 연중 현상이 나타나는 경우에 관측을 하고 있으며, 특정 해에는 여러 가지 어려움으로 관측의 기록이 남겨지지 않은 경우도 있다. 따라서 이 연구에서는 자료의 누락이나 관측이 기록되지 않는 경우가 많은 경우에는 분석에서 제외하고 장기간 자료가 존재하는 경우에만 그 전체적인 변화 경향성을 분석하였다.

### 1) 기후계절 변화

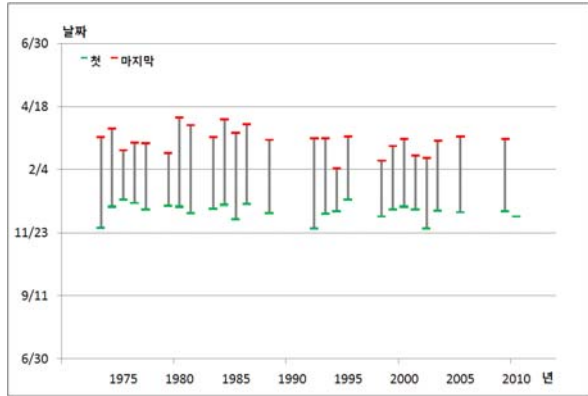
제주도 계절기후현상 자료는 4개 관측지점 중 일부 연도를 제외하면 북부해안의 제주의 경우에 자료의 연속성이 다른 지점에 비해 양호한 편이다. 지난 38년간(1973~2010) 북부해안 제주의 서리, 얼음, 눈, 관설의 변화 경향을 살펴보면, 늦가을에 나타나는 첫서리와 초겨울에 나타나는 첫얼음과 첫 눈에 대해 관측한 기록과 눈이 쌓인 기록을 관찰한 관설의 경우에는 장기간 변화추세가 뚜렷하지 않음을 알 수 있다(그림 3-5-1). 이에 비하여 늦겨울~봄철에 나타나는 마지막 서리와 마지막 관설에 대한 기록을 분석한 결과 기록된 날짜들이 대체로 1980년대 후반부터 이른 시기로 앞당겨지는 경향이 나타난다.

남부해안 서귀포의 자료를 분석한 결과 누락된 자료가 있지만 북부해안의 제주와 유사하게 늦가을~초겨울에 나타나는 첫서리, 첫얼음, 첫눈, 첫 관설이 관찰될 날짜들은 경년 변동이외에 장기간 지속적으로 빨라지거나 늦어지는 변화는 나타나지 않았다(그림 3-5-2). 서귀포 마지막 서리 관찰일의 경우에는 자료의 누락이 많아서 확인할 수 없지만, 마지막 관설일은 대체로 1990년대 중반 이후에 빨라지는 경향이 나타난다.

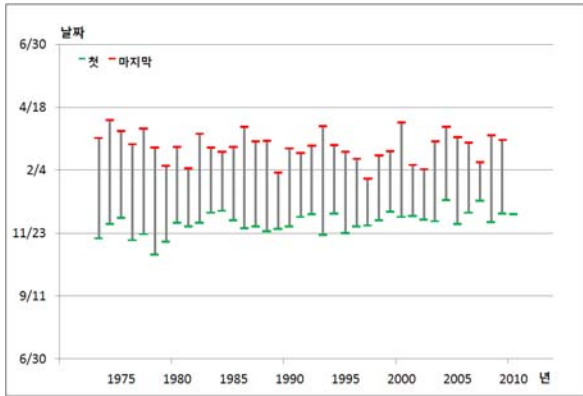
동부해안 성산과 서부해안 고산의 경우에는 계절 기후현상의 관측 자료가 많지 않아 변화경향을 분석할 수 없었다(그림 3-5-3; 그림 3-4-4). 고산지역에서는 첫눈과 마지막 눈 관측기록이 1980년대 후반 이래로 있으나 변화경향은 나타나지 않았다.



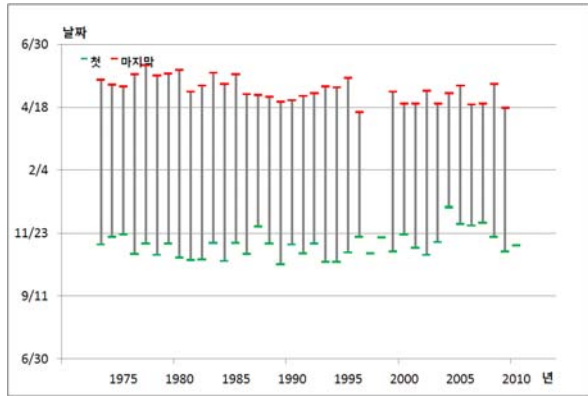
(a)



(b)

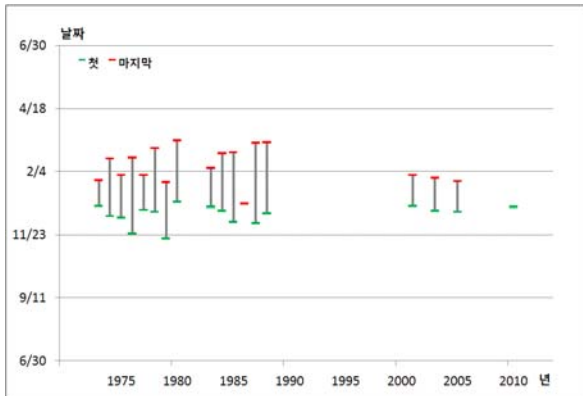


(c)

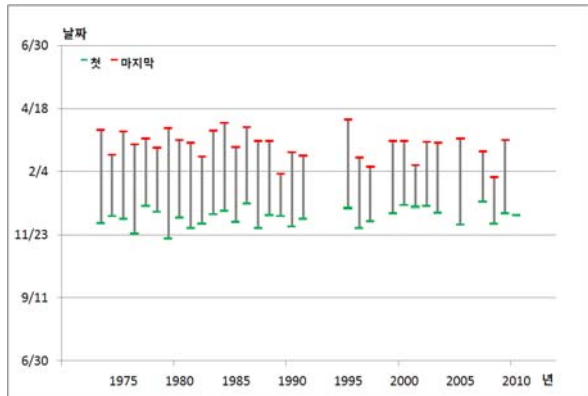


(d)

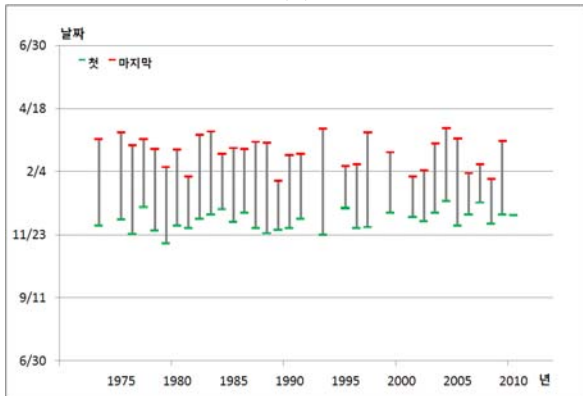
그림 3-5-1. 제주의 기후계절 변화(1973~2010) (a)서리, (b)얼음, (c)눈, (d)관설



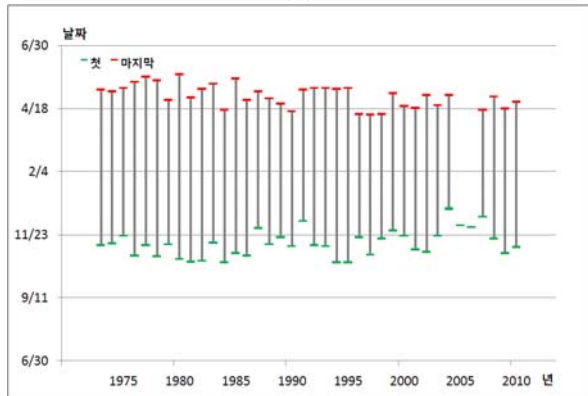
(a)



(b)

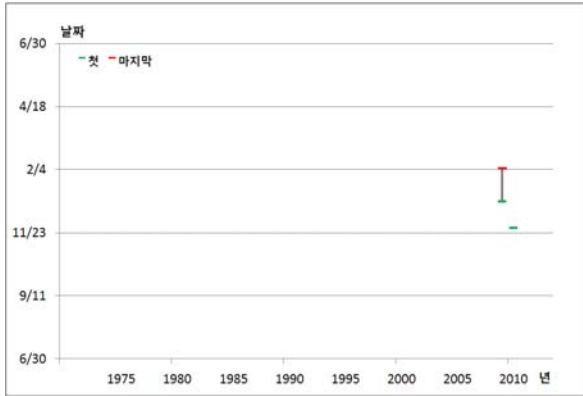


(c)

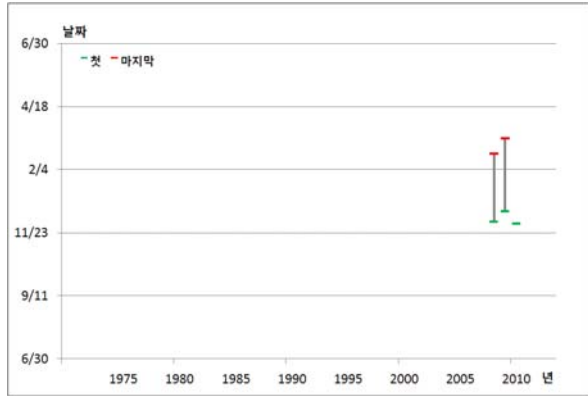


(d)

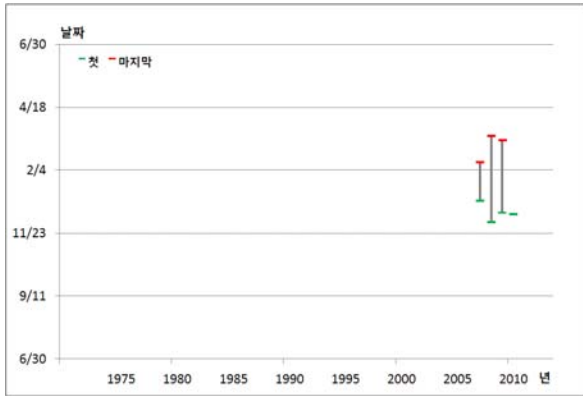
그림 3-5-2. 서귀포의 기후계절 변화(1973~2010) (a)서리, (b)얼음, (c)눈, (d)관설



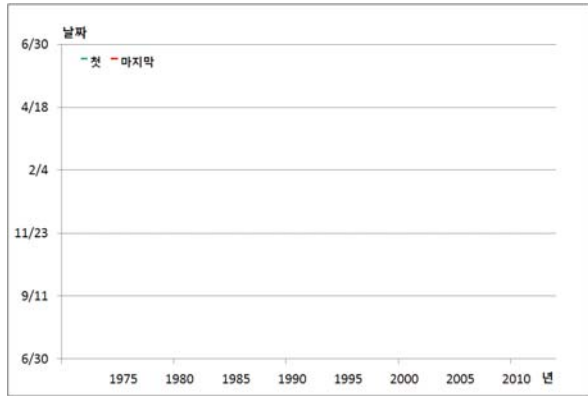
(a)



(b)

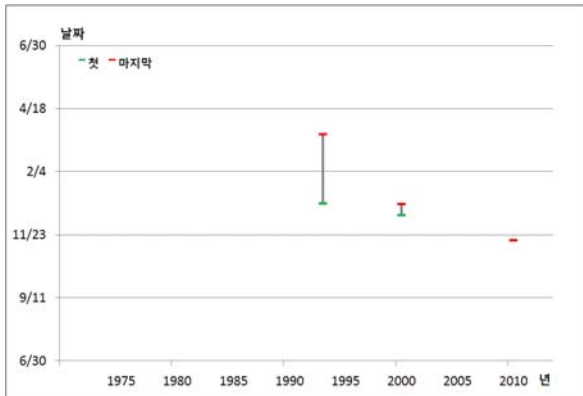


(c)

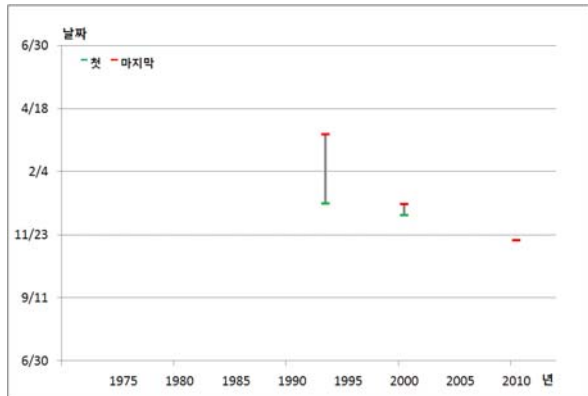


(d)

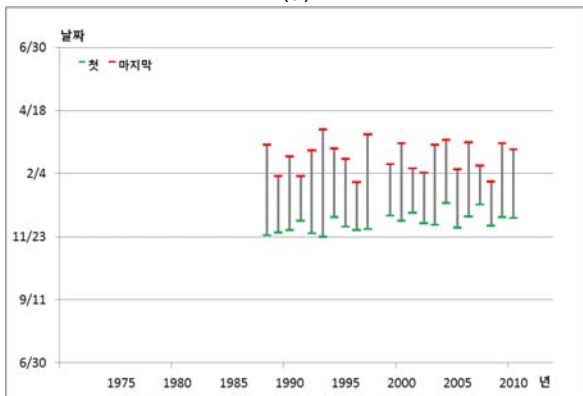
그림 3-5-3. 성산의 기후계절 변화(1973~2010) (a)서리, (b)얼음, (c)눈, (d)관설



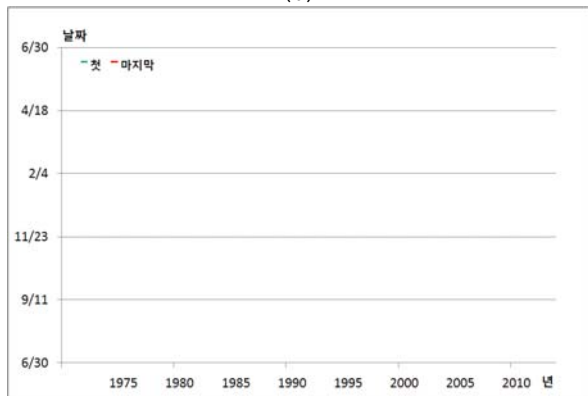
(a)



(b)



(c)



(d)

그림 3-5-4. 고산의 기후계절 변화(1973~2010) (a)서리, (b)얼음, (c)눈, (d)관설

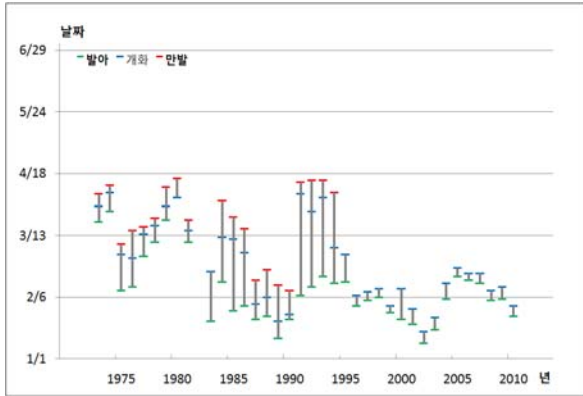
## 2) 식물계절 변화

제주도 봄철 식물계절과 관련하여 매화, 개나리, 진달래, 벚나무, 복숭아, 배나무, 아카시아 등 7개 수종의 발아시기, 개화시기, 만발시기 날짜가 기록되어 왔고, 가을철 식물계절과 관련하여 코스모스와 단풍절정기 등이 기록되어 왔다. 4개 관측지점 중 북부해안의 제주 관측지점과 남부해안의 서귀포 두 관측지점만이 지난 38년간(1973~2010) 자료 결측이 상대적으로 적다. 부해안의 성산 지점의 봄철과 가을철 식물계절 자료의 분석에 있어서 자료의 결측과 누락이 많아 장기간 변화 추세를 분석함에 있어 어려움이 있었다. 따라서 북부해안의 제주 관측지점 남부해안의 서귀포 지점을 주로 분석하고, 1990년대 후반부터 관측이 이루어진 서부해안의 고산 관측지점의 자료에 나타난 변화 경향을 부가적으로 분석하였다.

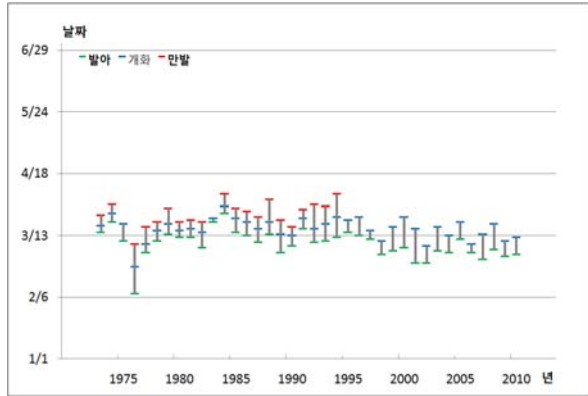
북부해안의 제주 관측지점과 남부해안 서귀포 관측지점의 매화, 개나리, 진달래, 벚나무, 복숭아, 배나무, 아카시아 등 7개 수종들의 식물계절 변화 시계열을 살펴보면, 대부분의 수종들의 개화시기가 1990년대 중반이후에 뚜렷하게 앞당겨지는 변화 양상을 보인다(그림 3-5-5; 그림 3-5-6). 가령, 매화는 제주에서는 1990년대 중반 이후에는 3월 이전으로 개화시기가 대부분 앞당겨졌고, 서귀포에서는 2월 초순으로 앞당겨졌다. 제주 관측지점에서는 진달래의 경우 개화시기가 앞당겨져 발아시기와의 간격이 짧아졌다. 3월 중순~4월 중순에 피는 벚나무, 배나무, 복숭아 등의 개화시기도 두 관측지점 모두에서 대체로 1990년대 중반이후로 뚜렷하게 앞당겨졌다. 반면, 4월 중순~하순에 개화가 나타나는 아카시아와 같은 수종들의 개화일에는 뚜렷한 변화가 관찰되지 않는다. 서부해안의 고산지역에서는 1990년대 후반 이래로 관찰된 봄철 식물계절 관련 수종들의 봄철 개화시기의 변화를 살펴보면 초봄에 나타나는 매화, 개나리, 진달래의 개화시기에는 변화가 없으나 3월 하순 이후에 개화하는 벚나무, 배나무, 복숭아 등의 수종의 개화 시기는 1990년대 후반에 비하여 2000년대 후반에 앞당겨지는 추세를 나타낸다(그림 3-5-8). 늦봄에 피는 아카시아의 개화시기에는 뚜렷한 변화가 관찰되지 않는다.

가을철 식물계절과 관련하여 북부해안 제주 관측지점의 코스모스 개화시기의 변화를 살펴보면, 1990년대 중반이후로 늦여름~초가을이 아닌 초여름에 개화하는 사례가 나타나기 시작한다(그림 3-5-5). 남부해안의 서귀포 관측지점과 서부해안 고산 관측지점의 경우에도 관측자료의 시기는 짧으나 코스모스 개화시기가 늦여름~초가을이 아닌 초여름에 개화하는 사례가 2000년대에 들어서 일부 발생한 사례들이 나타난다(그림 3-5-6; 그림 3-5-8).

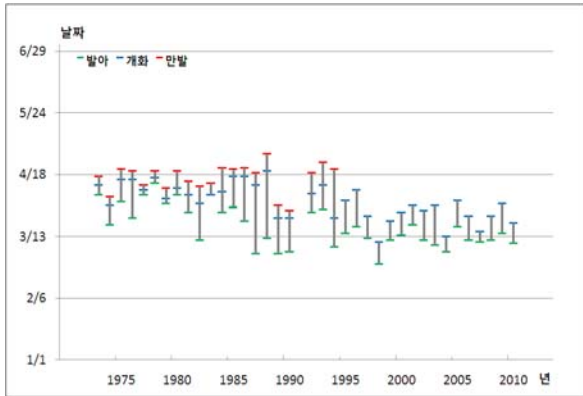
이를 종합하면 제주도에서는 개화시기를 중심으로 봄철 식물계절일은 겨울철과 봄철 기온상승 경향과 더불어 앞당겨지는 경향이 있으나, 여름철이나 가을철 식물계절 일에는 뚜렷한 변화가 나타나지 않음을 알 수 있다.



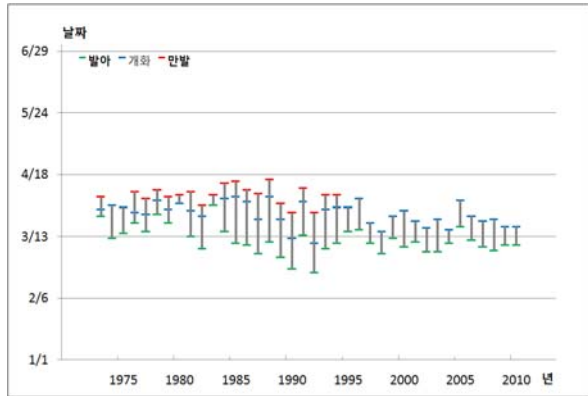
(a)



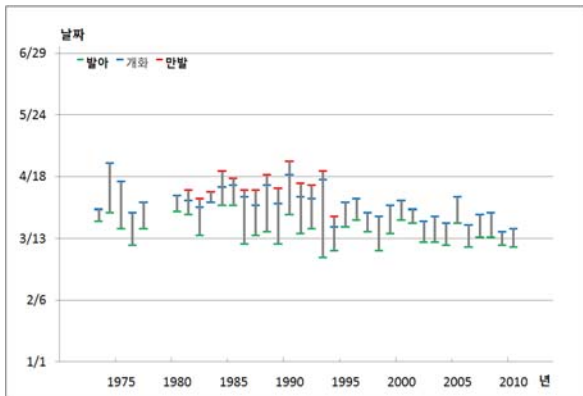
(b)



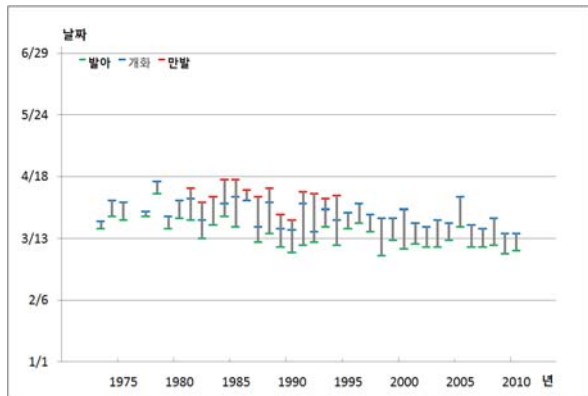
(c)



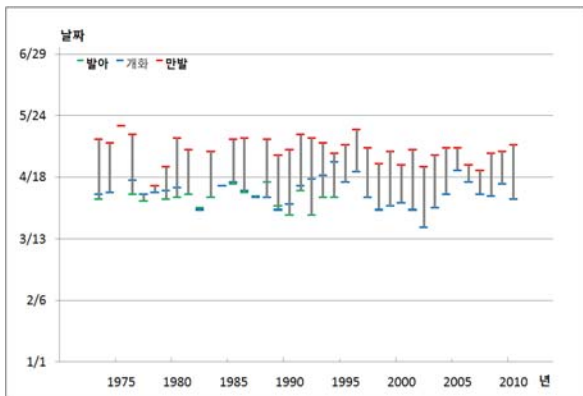
(d)



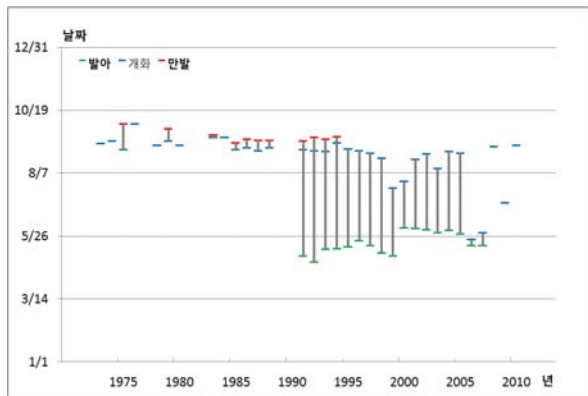
(e)



(f)

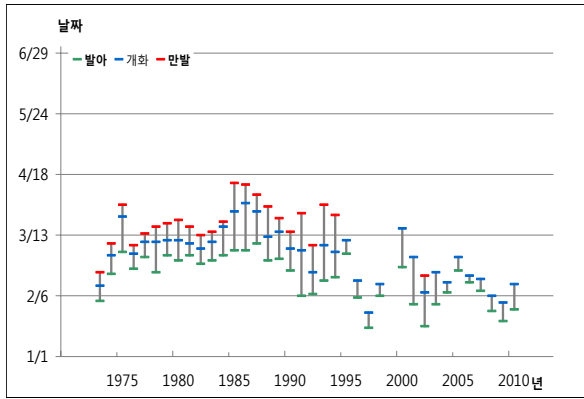


(g)

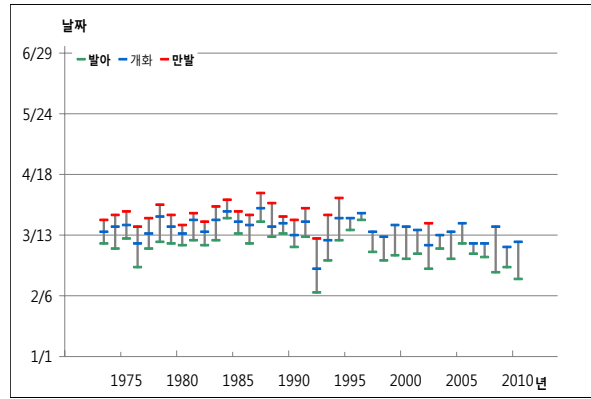


(h)

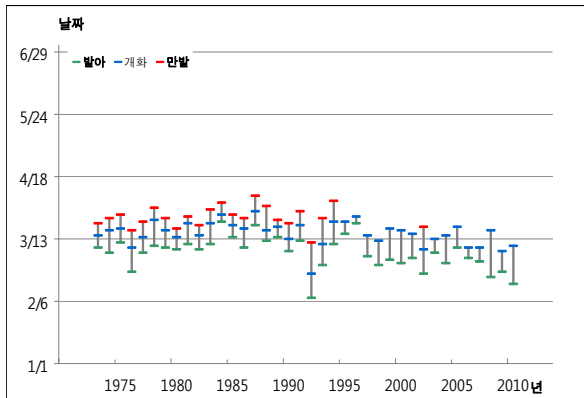
그림 3-5-5. 제주의 식물계절 변화(1973~2010) (a)매화, (b)개나리, (c)진달래, (d)뽕나무, (e)배나무, (f)복숭아, (g)아카시아, (h)코스모스



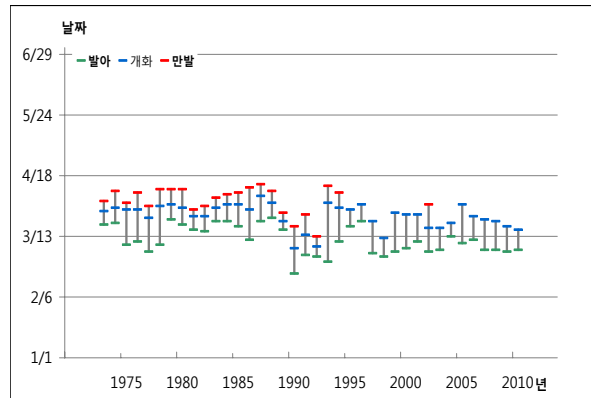
(a)



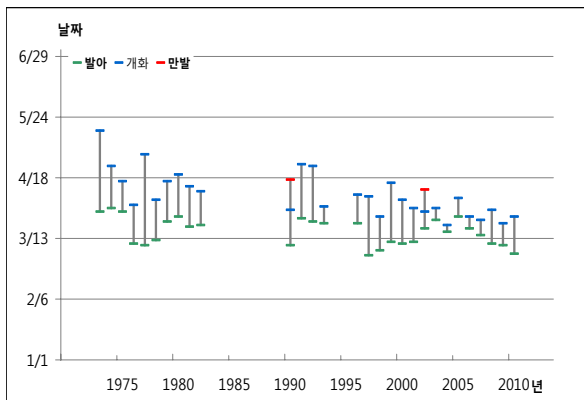
(b)



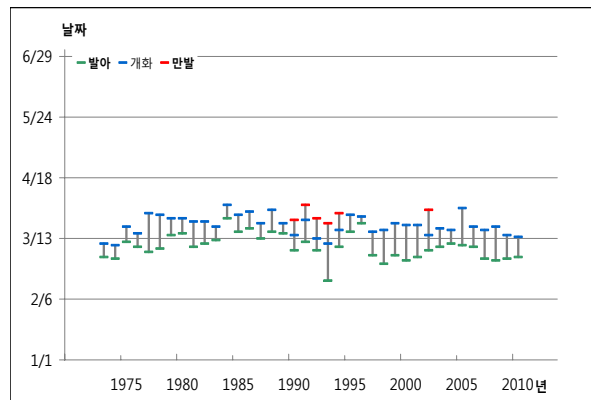
(c)



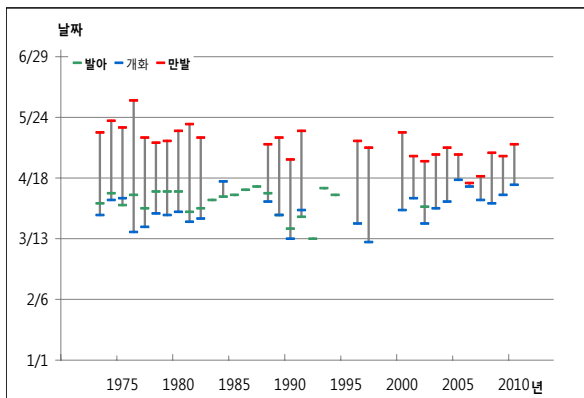
(d)



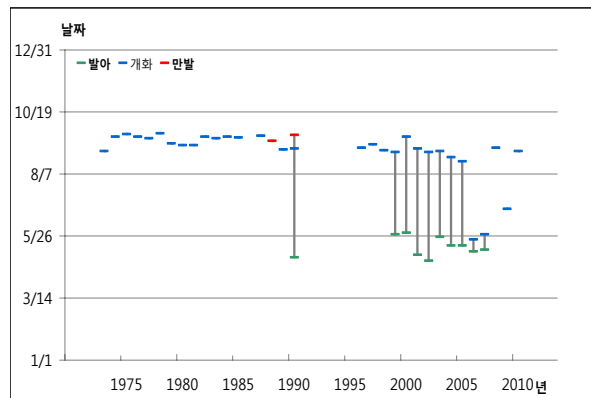
(e)



(f)



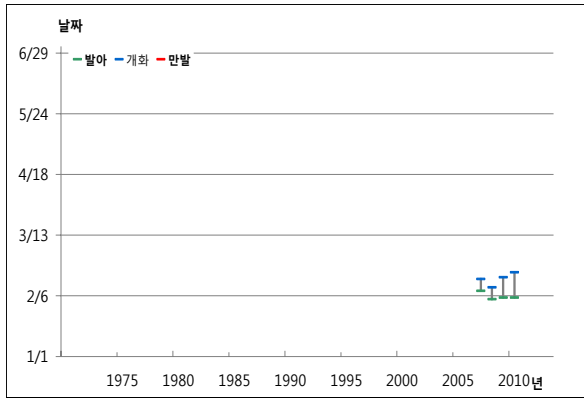
(g)



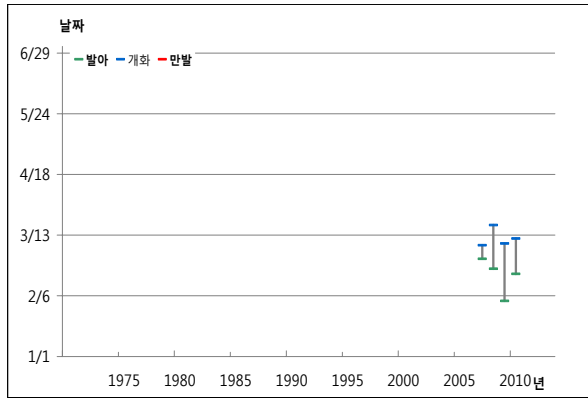
(h)

그림 3-5-6. 서귀포의 식물계절 변화(1973~2010) (a)매화, (b)개나리, (c)진달래, (d)벚나무, (e)배나무, (f)복숭아, (g)아카시아, (h)코스모스

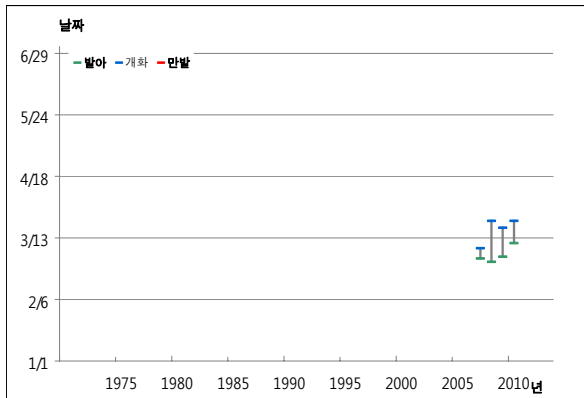




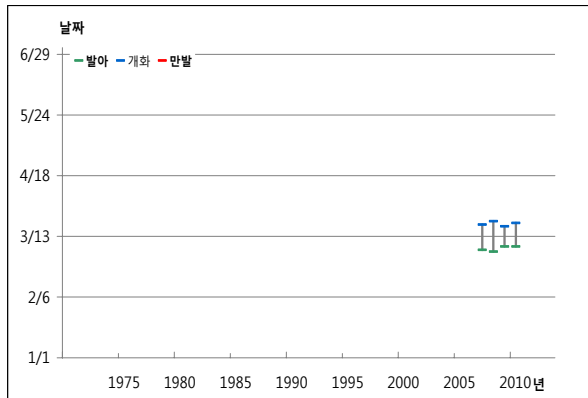
(a)



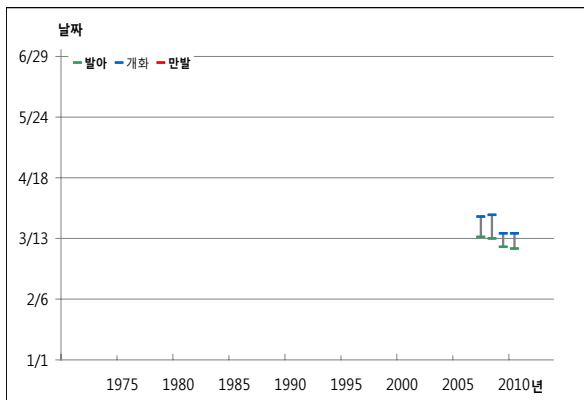
(b)



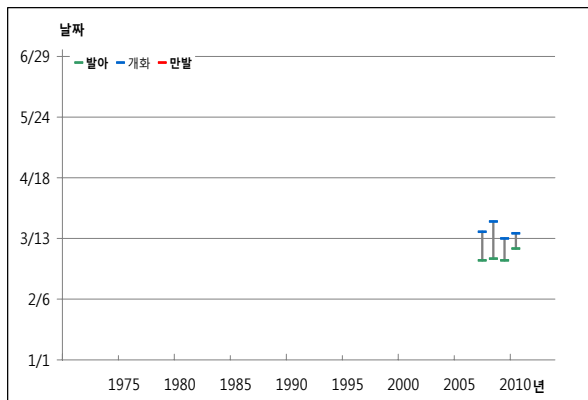
(c)



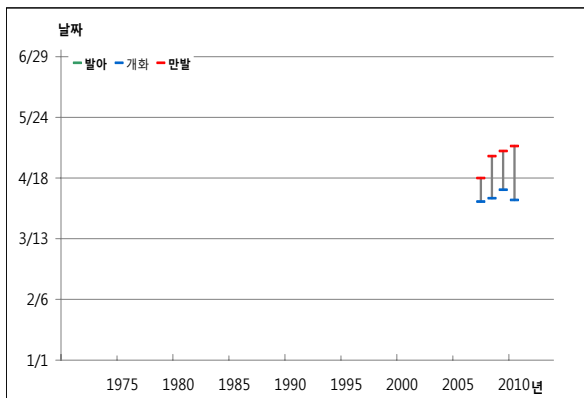
(d)



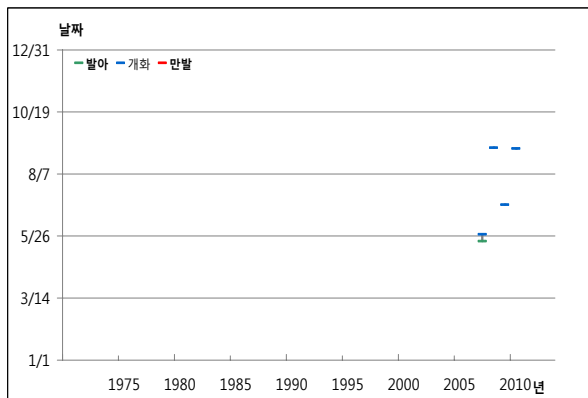
(e)



(f)

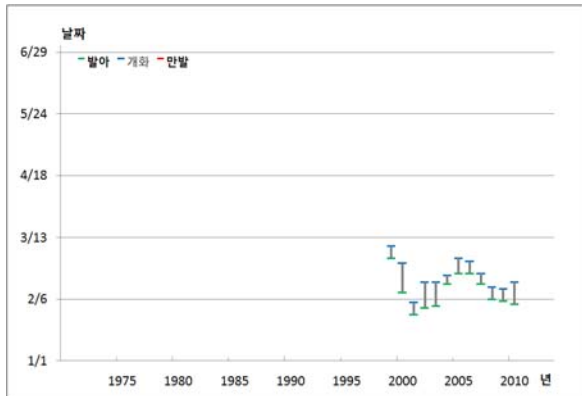


(g)

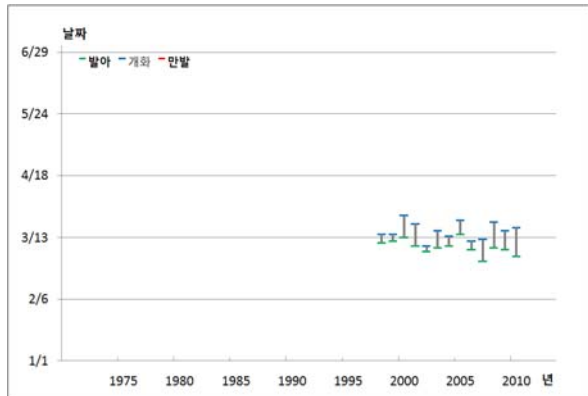


(h)

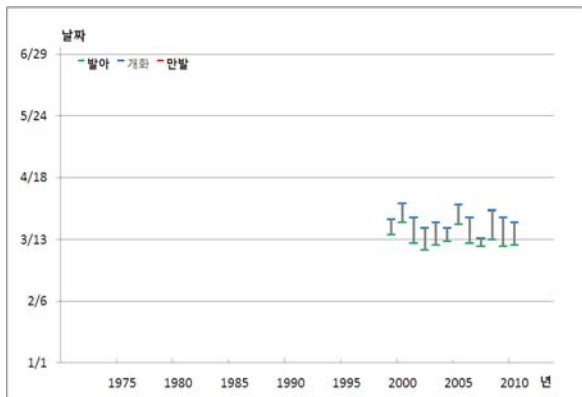
그림 3-5-7. 성산의 식물계절 변화(1973~2010) (a)매화, (b)개나리, (c)진달래, (d)뽕나무, (e)배나무, (f)복숭아, (g)아카시아, (h)코스모스



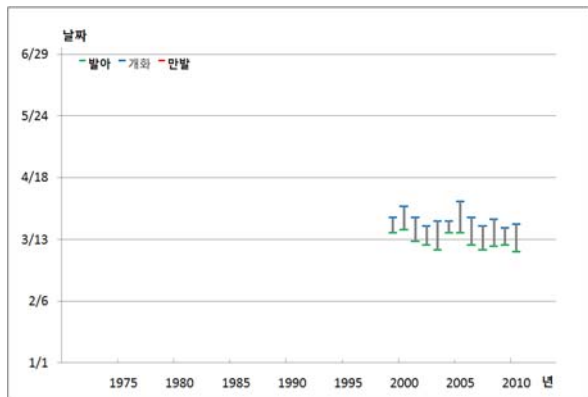
(a)



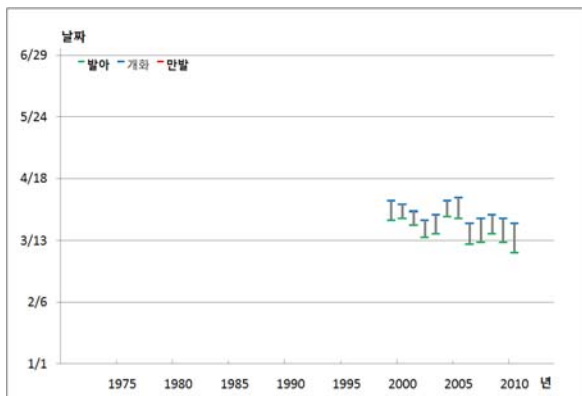
(b)



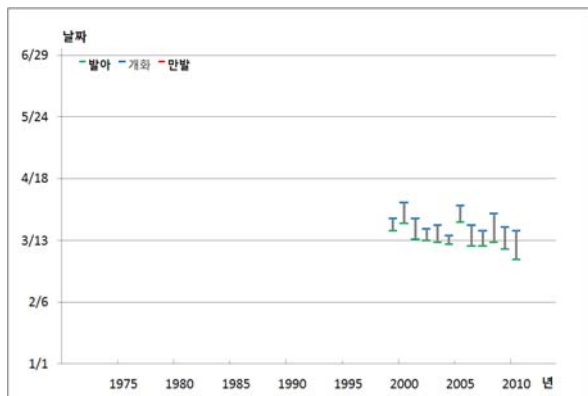
(c)



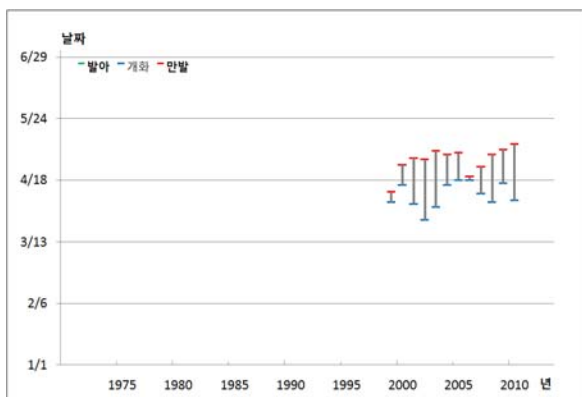
(d)



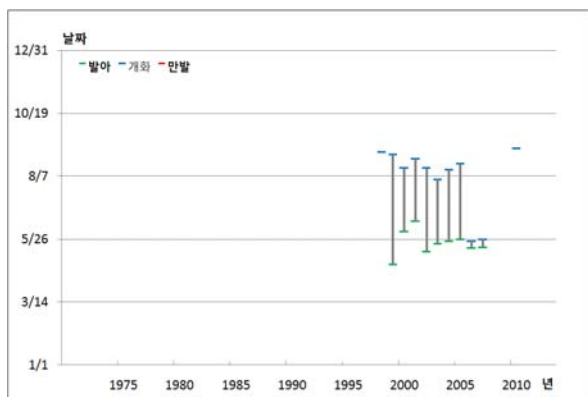
(e)



(f)



(g)



(h)

그림 3-5-8. 고산의 식물계절 변화(1973~2010) (a)매화, (b)개나리, (c)진달래, (d)벚나무, (e)배나무, (f)복숭아, (g)아카시아, (h)코스모스

### 3) 동물계절 변화

제주도 봄철 동물계절 변화와 관련하여 4개 관측지점 중 북부해안의 제주와 남부해안의 서귀포지점은 38년 동안 자료의 결측이 상대적으로 적은편이다. 제주와 서귀포 관측지점의 봄철 동물계절과 관련된 제비, 나비, 개구리, 뱀 등의 초견 날짜의 변화를 살펴보면, 일부 앞당겨지는 추세가 탐지되기는 하나 식물의 개화시기 변화와 비교하면 그 변화가 뚜렷하지 않다. 가령, 북부해안의 제비의 경우 봄철 초견 날짜는 1990년 중반 이후 다소 3월 중순으로 앞당겨지는 경향이 나타난다(그림 3-5-9). 반면 남부해안의 서귀포의 경우는 제비의 초견 날짜에는 변화를 관찰하기 어렵다(그림 3-5-10).



그림 3-5-9. 제주의 동물계절 변화(1973~2010) (a)제비, (b)나비, (c)개구리, (d)뱀, (e)잠자리, (f)매미

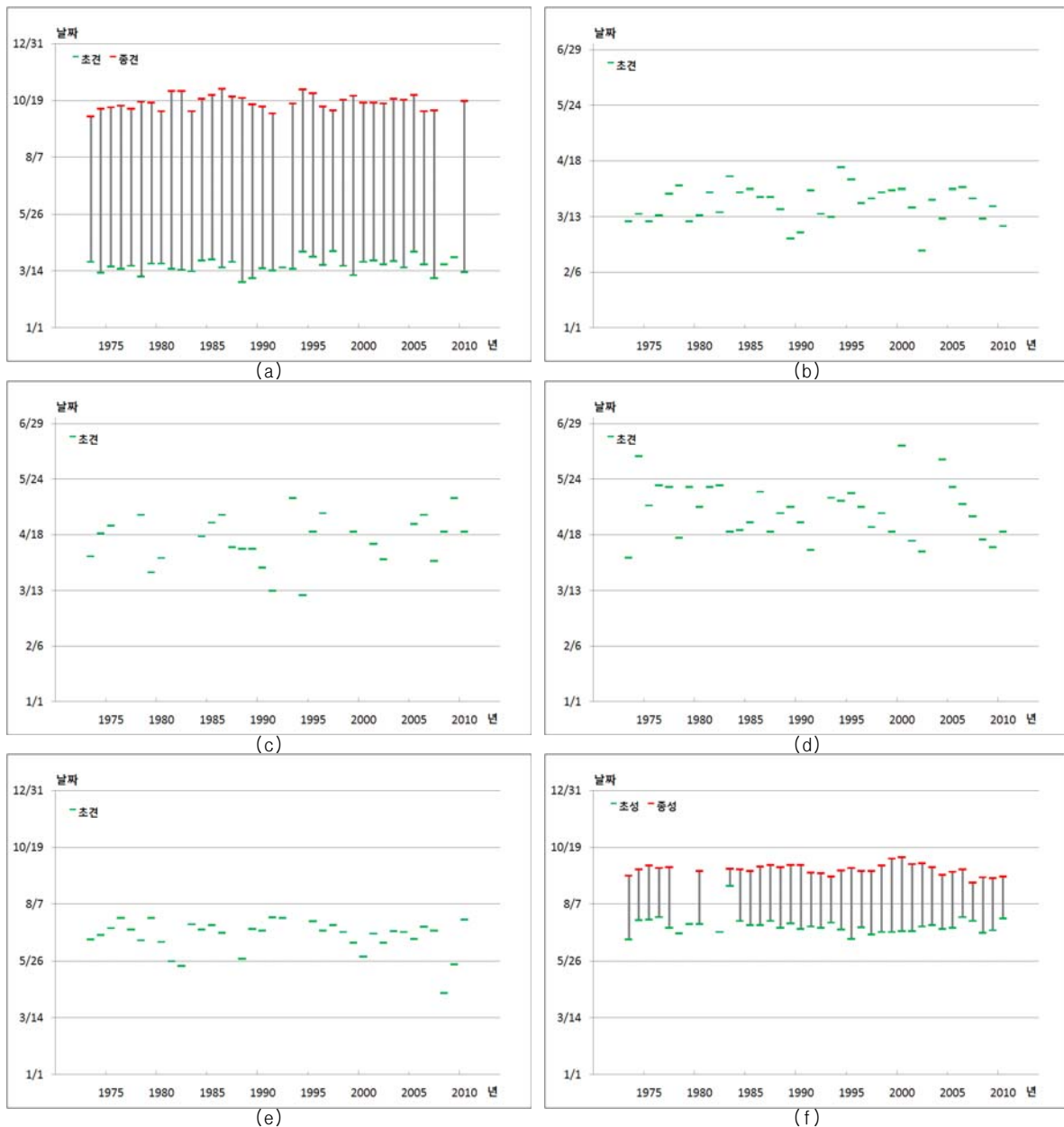


그림 3-5-10. 서귀포의 동물계절 변화(1973~2010) (a)제비, (b)나비, (c)개구리, (d)뱀, (e)잠자리, (f)매미

이외의 나비, 개구리, 뱀의 초건 일에는 제주와 서귀포 모두 지속적으로 앞당겨지거나 늦춰지는 변화경향은 나타나지 않는다(그림 3-5-9; 그림 3-5-10). 동부해안의 성산 관측지점의 경우에는 자료의 관측이 2000년대 후반에 이루어지기 시작하여 변화 분석이 어렵다(그림 3-5-11). 서부해안의 고산 관측지점의 경우에는 동물계절 관측기록이 1990년대 후반부터 기록되었지만 최근 10년 동안에 뚜렷한 변화추세가 나타나지 않는다(그림 3-5-12).

여름철 동물계절 현상과 관련하여 제주의 잠자리의 초건이 빨라지는 경향이 있지만 이 역시 유의성은 없다(그림 3-5-9). 2000년대 제주의 잠자리 초건 일이 장기간 평균에 비하여 이른 기록들이 일부 관찰된다. 이러한 패턴은 남부해안의 서귀포 관측지점에서도 유사

하게 나타나 2000년대 일부 해에는 잠자리 초견 일이 평년에 비하여 이른 기록들이 관찰된다(그림 3-5-10).

한여름에 나타나는 동물계절 현상인 매미의 초성 변화를 살펴보면 북부해안의 제주와 남부해안의 서귀포 모두 뚜렷한 변화 경향이 나타나지 않는다(그림 3-5-9; 그림 3-5-10). 동물계절 관측이 최근에 이루어진 동부해안의 성산의 경우에는 자료 기간이 짧아 변화양상을 파악할 수 없고, 1990년대 후반부터 동물계절 관측이 이루어진 서부해안의 고산관측 지점의 시계열에서도 뚜렷한 변화양상이 나타나지 않는다(그림 3-5-11; 그림 3-5-12).

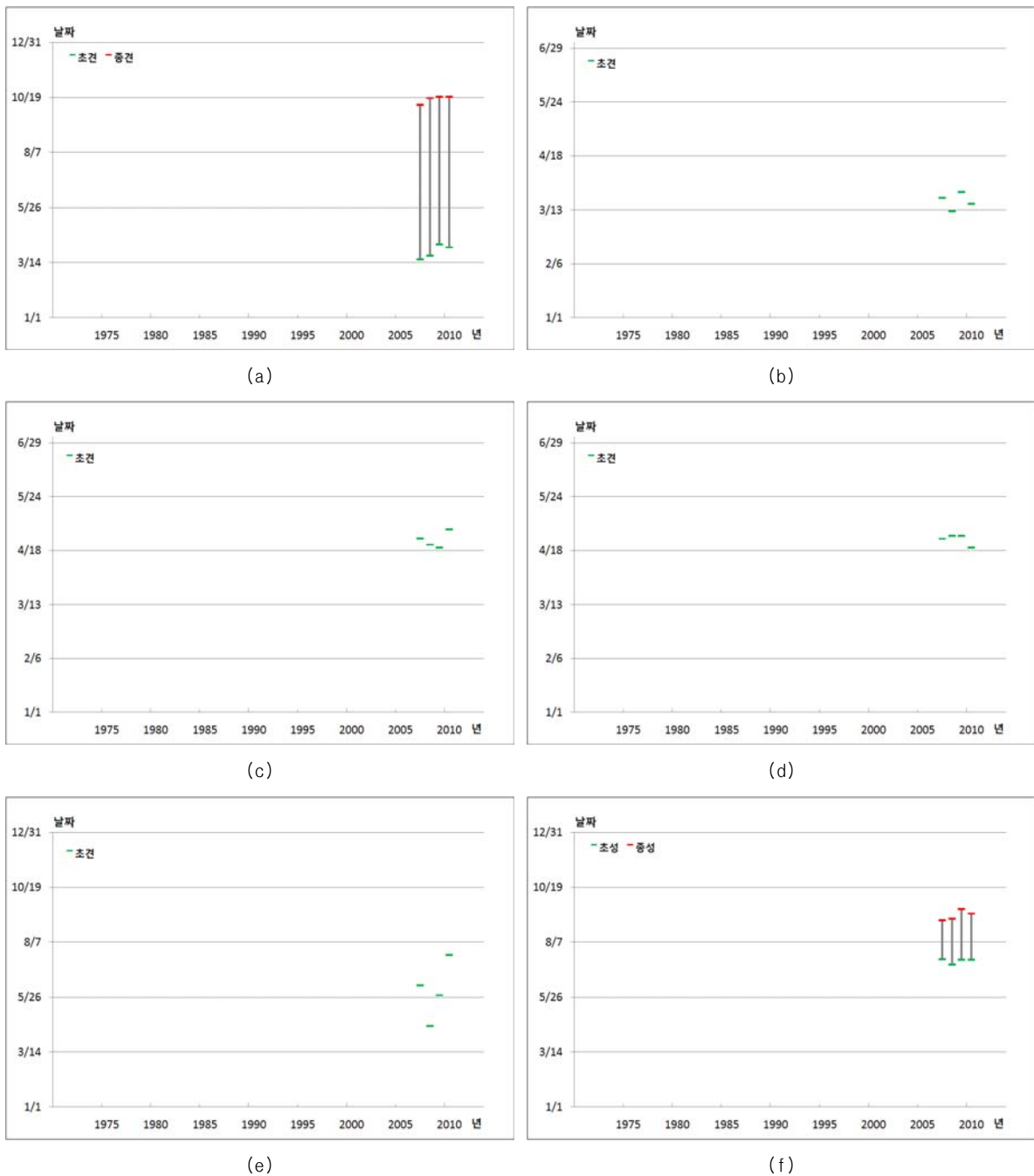


그림 3-5-11. 성산의 동물계절 변화(1973~2010) (a)제비, (b)나비, (c)개구리, (d)뱀, (e)잠자리, (f)매미

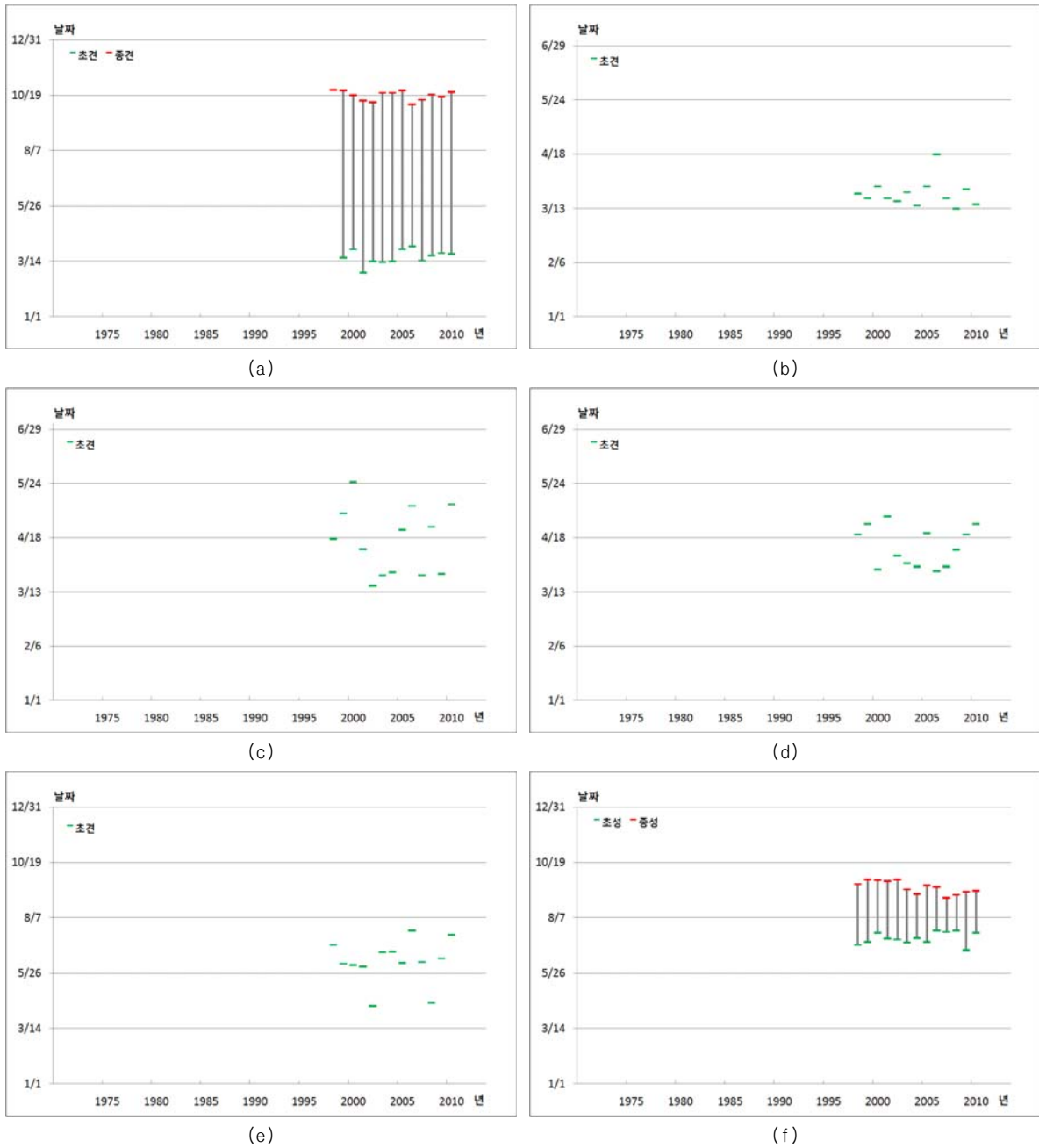


그림 3-5-12. 고산의 동물계절 변화(1973~2010) (a)제비, (b)나비, (c)개구리, (d)뱀, (e)잠자리, (f)매미

#### 4) 생활계절 변화

생활계절관측(지역별 유명산 단풍관측)은 산 전체로 보아 정상에서부터 2할 가량 단풍이 들었을 때를 첫 단풍이라고 하며, 약 8할이 물들었을 때를 단풍 절정으로 유명산 단풍관측을 실시하고 있다. 제주도는 한라산의 단풍관측을 1990년부터 어리목휴게소(해발고도 968m)를 관측지점으로 선정하여 조사하고 있으며, 한라산 첫 단풍(평균 10월 15일)과 단풍 절정기(평균 10월 29일)의 시계열 자료를 분석하여 보면, 단풍현상도 경년변동만 나타나고 지속적인 변화경향은 찾아볼 수 없다(그림 3-5-13; 표 3-5-1).

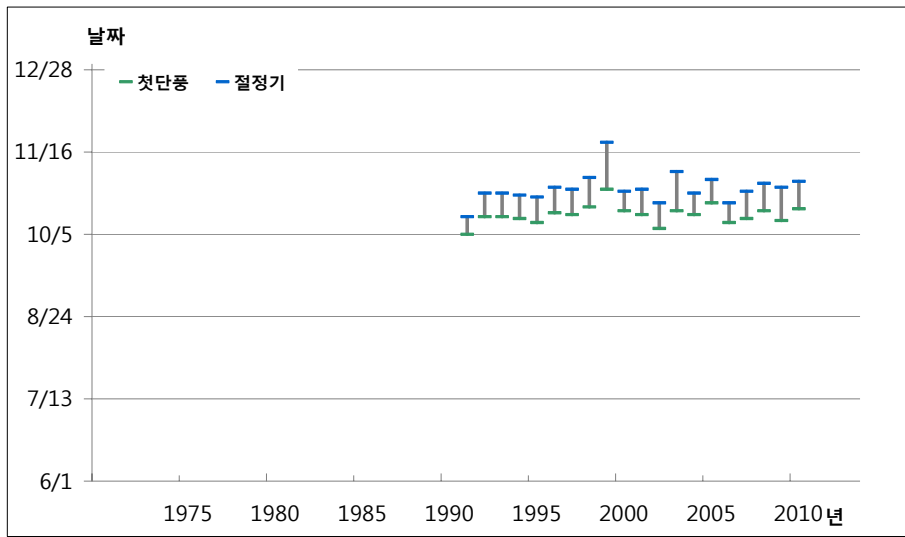


그림 3-5-13. 한라산의 단풍시기 변화(1973~2010)

표 3-5-1. 한라산 단풍자료(1991~2010년) ※ 평균 : 첫단풍(10.15), 절정기(10.29)

년도	첫단풍	절정기	년도	첫단풍	절정기
2010	10.18	11.01	2000	10.17	10.27
2009	10.12	10.29	1999	10.28	11.21
2008	10.17	10.31	1998	10.19	11.03
2007	10.13	10.27	1997	10.15	10.28
2006	10.11	10.21	1996	10.16	10.29
2005	10.21	11.02	1995	10.11	10.24
2004	10.15	10.26	1994	10.13	10.25
2003	10.17	11.06	1993	10.14	10.26
2002	10.08	10.21	1992	10.14	10.26
2001	10.15	10.28	1991	10.05	10.14





## 4. 제주도의 미래 기후변화 전망

1. 기후변화 추세 전망
2. 기후변화 공간분포 전망
3. 극한기후지수 변화 전망

본 연구에서는 기상청에서 온실기체 중배출(A1B) 시나리오를 바탕으로 생산한 고해상도(10km) 미래 기후변화 시나리오 자료를 분석하여 제주도 미래 기후변화를 전망하였다. 지역기후모델을 이용하여 생산한 월평균 최고기온, 평균기온, 최저기온 및 월 강수량 자료를 사용하여 미래 90년(2011~2100년) 동안의 10년 또는 30년 단위 연평균 또는 계절평균 기후값을 산출하여 그 변화를 최근 10년간(2001~2010) 자동기상관측자료 공간평균과의 편차를 분석하였다. 이를 위해 기후변화 시나리오의 총 20개 격자 평균값을 사용하여 제주도 전체평균 시계열 자료를 분석하고, 2장에서 제시한 상세공간분포도 작성에 사용된 지역 세부 구분(동부해안, 서부해안, 남부해안, 북부해안, 남부 중산간, 북부 중산간, 남부 산간, 북부산간)에 해당하는 격자값을 평균하여 면적 평균도를 작성하였다. 제주도의 미래 기후변화 시나리오 기온 월자료의 경우, 일평균기온에 비하여 일최고기온과 일최저기온은 해발고도가 높은 지역에서는 불확실성이 증가하게 되며, 월 강수량의 경우에도 과거 30년 자료와 비교하면 한반도 지역의 주요 강수대 패턴은 전반적으로 모의되나 공간적으로 정확한 경위도 값과 일치하는 것은 아니다. 특히 강수자료는 월단위 30년 평균자료 조차도 많은 불확실성을 포함하고 있기 때문에 그 값을 사용할 경우에는 주의를 기울일 필요가 있다.

미래 극한기후지수 산출에는 1971~2010년의 ASOS 관측지점 일최고기온, 일최저기온, 일강수량 자료를 사용하였고, 2011~2100년은 고해상도 미래 기후변화 시나리오 일최고기온과 일최저기온을 사용하여 약 15개의 극한 기온지수(부록 참조)를 산출하였다. 상대적 기후임계치를 사용하는 퍼센타일 관련 기온극한지수는 ASOS에서 관측한 과거 30년(1971~2000) 일자료를 기준으로 하였고, 이를 미래 기후변화 시나리오 자료와 서로 연계하여 시계열 자료를 구축할 때 해안저지대에 속하는 격자값을 평균하여 사용하였다. 그 후 공간적으로 세분하여 북부해안의 제주 관측지점과 관련하여서는 2개의 시나리오 격자값을, 남부해안의 서귀포 관측지점과 관련하여서는 3개의 시나리오 격자값을 사용하였다. 동부해안의 성산포의 경우에는 관측자료가 없는 2년(1971~1972년)은 나머지 28년 평균값으로 대체하여 30년 자료를 만든 후 주변의 4개 시나리오 격자값을 평균하여 130년(1971~2100) 장기간 시계열 자료를 구축하였다. 강수극한지수는 미래 기후변화 시나리오 강수자료가 제주도와 같은 좁은 영역에서는 많은 불확실성을 포함하고 있기 때문에 본 연구에서는 분석하지 않았다.

# 1. 기후변화 추세 전망

## 1) 기온

제주도의 미래 기후변화 시나리오 기온자료를 분석한 결과, 30년 평균기온은 2011~2040년대에는 16.2℃, 2041~2071년에는 17.5℃, 2071~2100년에는 18.8℃로 점차 증가할 것으로 전망된다(그림 4-1-1; 표 4-1-1).

23개의 자동기상관측자료의 10년간(2001~2010) 평균기온(14.1℃)과 비교해보면 2011~2040년대에는 2.1℃, 2041~2071년에는 3.4℃, 2071~2100년에는 4.7℃ 상승할 것으로 전망된다.

최저기온의 경우는 지난 10년간(2001~2010) 관측값(11.1℃) 기준으로 2011~2040년대에는 1.9℃, 2041~2071년에는 3.3℃, 2071~2100년에는 4.6℃ 높아질 것으로 전망된다. 최고기온의 경우에는 지난 10년간(2001~2010) 관측값(17.8℃) 기준으로 2011~2040년대에는 2.0℃, 2041~2071년에는 3.3℃, 2071~2100년에는 4.5℃ 높아질 것으로 전망된다(그림 4-1-1; 표 4-1-1).

계절별로 기온변화 전망치를 살펴보면, 평균기온은 최근 10년 기준으로 근(近)미래에 해당하는 2011~2040년에는 봄철은 1.3℃, 여름철은 1.6℃, 가을철은 0.7℃, 겨울철은 1.0℃ 상승할 것으로 전망된다.(표 4-1-2). 최고기온의 경우는 근(近)미래에 봄철에 1.3℃, 여름철에 1.5℃, 가을철에 1.1℃, 겨울철에 0.9℃ 상승할 것으로 전망된다.(표 4-1-3). 최저기온의 경우에도 근(近)미래 봄철에 1.5℃, 여름철에 1.9℃, 가을철에 1.5℃, 겨울철에 1.1℃ 상승할 것으로 전망된다.(표 4-1-4). 이를 종합하면, 2011~2040년 기간에는 평균기온, 최고기온, 최저기온은 모두 사계절 중 여름철에 가장 높은 상승률을 보일 것으로 전망된다.

표 4-1-1. 제주도의 평균기온, 최고기온, 최저기온 미래전망(2011~2100) (단위: ℃)

기간	2001~2010	2011~2020	2021~2030	2031~2040	2041~2050	2051~2060	2061~2070	2071~2080	2081~2090	2091~2100
평균기온	14.1	16.0	16.3	16.3	17.0	17.5	18.1	18.4	18.9	19.0
		16.2			17.5			18.8		
최저기온	11.1	12.8	13.2	13.1	13.9	14.4	15.0	15.3	15.8	15.9
		13.0			14.4			15.7		
최고기온	17.8	19.7	19.9	19.9	20.6	21.0	21.6	21.9	22.4	22.5
		19.8			21.1			22.3		

2001~2010년 값은 관측

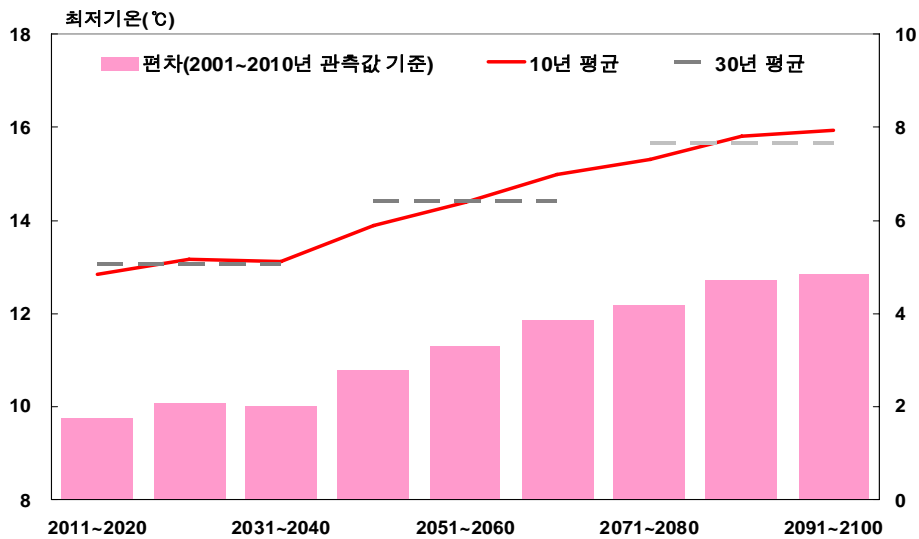
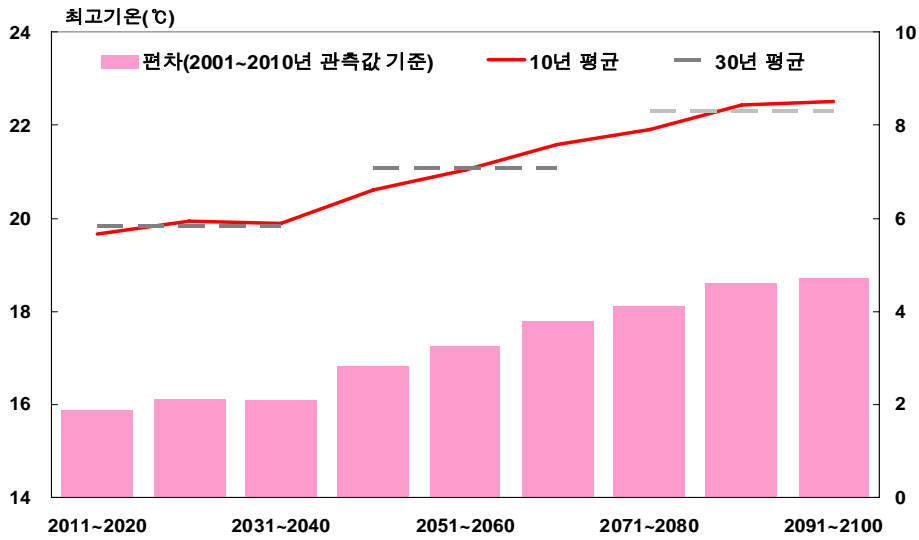
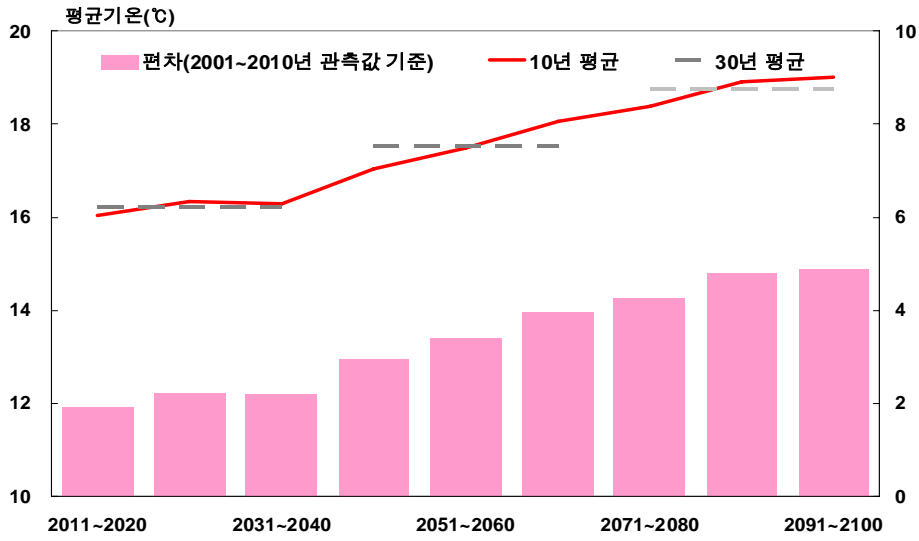


그림 4-1-1. 제주도의 최고기온, 평균기온, 최저기온 미래전망(2011~2100)

원(遠)미래에 해당하는 2071~2100년 기간 평균기온은 최근 10년 관측 자료와 비교하여 봄철에 3.5℃, 여름철에 4.4℃, 가을철에 4.1℃, 겨울철에 3.5℃ 상승할 것으로 전망되며(표 4-1-2), 최고기온은 봄철에 3.4℃, 여름철에 4.1℃, 가을철에 3.7℃, 겨울철에 3.4℃ 상승할 것으로 전망된다(표 4-1-3). 최저기온의 경우에는 봄철에 3.7℃, 여름철에 4.7℃, 가을철에 4.4℃, 겨울철에 3.7℃ 상승할 것으로 전망된다.(표 4-1-4). 사계절 중 평균기온, 최고기온, 최저기온 모두 여름철에 높은 상승폭을 나타낼 것으로 전망된다.

이러한 결과들을 종합하면 과거 약 30년 관측자료에서 나타난 기후변화는 주로 겨울철 중심으로 기온상승폭이 두드러졌으나, 지역기후모델에서 생산한 기후시나리오 자료는 점차 여름철 중심으로 기온상승폭이 두드러지게 될 것으로 전망하고 있음을 알 수 있다.

표 4-1-2. 제주도의 계절별 평균기온 미래전망(2011~2100) (단위: ℃)

평균기온	2001 ~2010	2011 ~2020	2021 ~2030	2031 ~2040	2041 ~2050	2051 ~2060	2061 ~2070	2071 ~2080	2081 ~2090	2091 ~2100
봄	13.0	14.2	14.5	14.3	15.1	15.4	15.8	16.0	16.8	16.7
		14.3			15.4			16.5		
여름	23.9	25.1	25.7	25.8	26.6	27.2	27.6	27.9	28.2	28.7
		25.5			27.1			28.3		
가을	17.2	18.4	18.5	18.6	19.5	19.7	20.6	21.0	21.3	21.3
		18.5			19.9			21.2		
겨울	5.4	6.3	6.4	6.4	6.8	7.5	8.1	8.5	9.1	9.1
		6.4			7.4			8.9		

2001~2010년 값은 관측

표 4-1-3. 제주도의 계절별 최고기온 미래전망(2011~2100) (단위: ℃)

최고기온	2001 ~2010	2011 ~2020	2021 ~2030	2031 ~2040	2041 ~2050	2051 ~2060	2061 ~2070	2071 ~2080	2081 ~2090	2091 ~2100
봄	17.2	18.4	18.7	18.5	19.3	19.5	19.9	20.1	20.9	20.8
		18.5			19.6			20.6		
여름	27.4	28.4	29.1	29.1	29.9	30.5	30.8	31.2	31.4	32.0
		28.9			30.4			31.5		
가을	21.0	22.0	22.1	22.2	23.0	23.2	24.1	24.4	24.9	24.8
		22.1			23.5			24.7		
겨울	8.8	9.6	9.7	9.7	10.1	10.8	11.3	11.8	12.4	12.4
		9.7			10.7			12.2		

2001~2010년 값은 관측

표 4-1-4. 제주도의 계절별 최저기온 미래전망(2011~2100) (단위: ℃)

최저기온	2001 ~2010	2011 ~2020	2021 ~2030	2031 ~2040	2041 ~2050	2051 ~2060	2061 ~2070	2071 ~2080	2081 ~2090	2091 ~2100
봄	8.9	10.3	10.6	10.3	11.2	11.6	11.9	12.1	13.0	12.8
		10.4			11.6			12.6		
여름	20.9	22.4	23.0	23.1	23.8	24.5	25.0	25.3	25.6	26.1
		22.8			24.5			25.6		
가을	13.9	15.3	15.4	15.5	16.5	16.7	17.6	18.1	18.4	18.4
		15.4			16.9			18.3		
겨울	2.3	3.3	3.5	3.5	3.9	4.6	5.2	5.6	6.2	6.3
		3.4			4.6			6.0		

2001~2010년 값은 관측

## 2) 강수

지역기후모델 산출 미래 강수 시나리오는 과거 10년간 관측값에 비하여 2011~2040년 기간에는 연강수량이 약 310mm 정도, 2041~2050 기간에는 약 210mm, 2071~2100년 기간에는 약 150mm보다 적을 것으로 전망된다(그림 4-1-2). 그러나 미래 강수 시나리오는 서두에서 언급한대로 많은 불확실성이 포함되어 있기 때문에 지역기후모델이 생산한 자료를 해석할 때에는 주의가 요구된다. 실제 과거 30년 평균 강수량과 지역기후모델이 예측한 모델자료와 비교해 보면 동아시아 영역에서 유사한 강수대 패턴은 나타나지만, 강수대의 정확한 위치는 수백 킬로미터 이상 차이를 보이고 있다. 따라서 제주도와 같이 동아시아 전체 영역에서도 좁은 지역에 한정되는 경우 지역규모 모델생산 강수자료는 관측값과 큰 편차를 보이게 된다. 따라서 이 장에서 언급되는 구체적인 전망치 값들은 하나의 전망치에 불과하며 실제와는 차이가 있을 수 있는 불확실성을 포함하고 있음에 유의해야 한다.

현재 자동기상관측자료 기준 지난 10년간(2001~2010) 제주도 강수평균값(2174.0mm)과 비교하여 지역기후모델에서 생산한 동일기간의 강수량은 2024.7mm로 약 150mm를 적게 모의하고 있다.(표 4-1-5). 이러한 모델과 관측간의 차이는 지형과 상호작용을 통해 나타나는 강수현상의 국지성도 연관되어 있다. 즉 본 연구에서 시나리오 자료와 비교되는 관측자료 평균값을 산출할 때 포함된 관측지점의 수와 분포에도 큰 영향을 받은 것으로 사료된다. 따라서 지역기후 모델생산 시나리오 자료와 관측값 모두 정확한 제주도의 강수의 대표치라고 단정 지을 수는 없다. 그러나 자동기상관측지점 관측치의 평균값은 현재 가용한 가장 객관적으로 제주도의 강수자료를 대표할 수 있는 자료라고 할 수 있다.

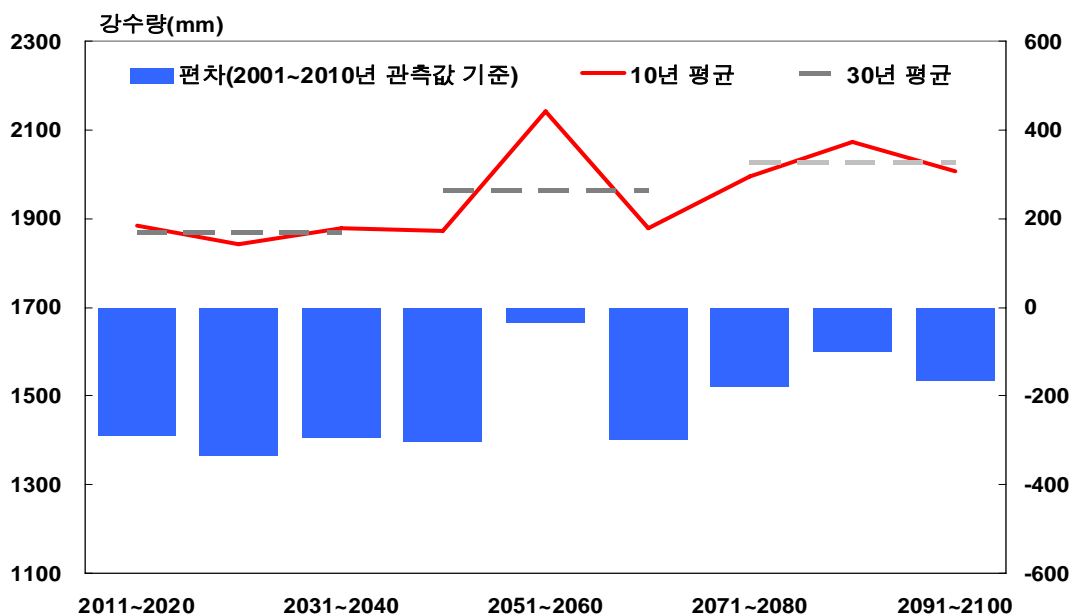


그림 4-1-2. 제주도의 연강수량 미래전망(2011~2100)

표 4-1-5. 제주도의 연 강수량 미래전망(2011~2100) (단위: mm)

기간	2001 ~2010	2011 ~2020	2021 ~2030	2031 ~2040	2041 ~2050	2051 ~2060	2061 ~2070	2071 ~2080	2081 ~2090	2091 ~2100
강수량	2174.0	1885.5	1841.8	1878.6	1871.7	2141.3	1877.8	1995.8	2073.8	2007.2
		1868.6			1963.6			2025.6		

2001~2010년 값은 관측

표 4-1-6. 제주도의 계절별 강수량 미래전망(2011~2100) (단위: mm)

강수량	2001 ~2010	2011 ~2020	2021 ~2030	2031 ~2040	2041 ~2050	2051 ~2060	2061 ~2070	2071 ~2080	2081 ~2090	2091 ~2100
봄	520.0	475.3	454.0	481.5	446.1	527.4	438.9	486.8	516.7	466.4
		470.3			470.8			490.0		
여름	949.9	793.2	750.6	745.4	775.8	913.1	747.3	781.9	830.0	739.2
		763.1			812.1			783.7		
가을	432.5	447.9	485.9	487.3	478.1	547.8	531.8	554.4	549.4	618.4
		473.7			519.2			574.1		
겨울	208.9	180.7	148.4	183.5	204.8	208.3	153.4	196.8	218.3	237.7
		170.9			188.8			217.6		

2001~2010년 값은 관측

기후모델 생산 미래 기후변화 시나리오 자료와 실제 최근(2001~2010) 관측자료를 비교하면 2011~2040년 기간에는 연강수량이 305.4mm, 2041~2070 기간에는 210.4mm 2071~2100년 기간에는 148.4mm 감소할 것으로 전망된다(표 4-1-5, 그림 4-1-2). 10년 단위 시계열을 살펴보면, 2051~2060년도에 최근 10년간 관측평균과 편차가 32.7mm로 거의 유사하게 전망하고 있으며, 전체 시계열에서도 두드러지게 적은 값을 보이고 있다. 이는 모델의 불확실성이 포함된 사례로 판단된다. 전체 시계열을 종합하면, 근(近)미래에 해당하는 2011~2040년 기간보다는 원(遠)미래에 해당하는 2071~2100년 기간에 연강수량이 다소 증가할 것으로 전망된다.

계절별 강수량 미래 전망을 살펴보면, 최근 10년 모델 산출 평균 강수량에 비하여 근(近)미래에 해당하는 2011~2040년 기간에는 가을철에는 41.2mm의 양의편차가 나타나지만 봄철 49.7mm, 여름철 186.8mm, 겨울철에는 38.0mm의 음의편차가 나타난다.(표 4-1-6). 원(遠)미래인 2071~2100년 기간에는 가을철 141.6mm, 겨울철 8.7mm 양의편차가 나타나고 봄철 30.0mm, 여름철 166.2mm의 음의편차가 나타난다. 즉 근(近)미래기간과 원(遠)미래기간 모두 가을철 강수량은 현재보다 증가하고, 여름철 강수량은 현재보다 감소할 것으로 전망된다. 특히 최근 10년 자동기상관측망에서 산출한 관측값과 비교하더라도 가을철 강수량은 근(近)미래기간과 원(遠)미래기간에 그 편차가 각각 약 41.2mm와 141.6mm 양의편차를 보이고 있어 가을철 강수는 현재보다 증가할 것으로 전망된다. 그러나 서두에서 언급한바와 같이 미래 강수 시나리오 자료에는 많은 불확실성이 존재하고 있어, 하나의 지역기후모델에서 생산한 강수 자료의 불확실성을 최소화하기 위해서는 여러 개의 지역기후모델에서 생산한 고해상도 시나리오 자료를 종합적으로 분석하여 보완할 필요성이 있다.

## 2. 기후변화 공간분포 전망

### 1) 기온

한라산이 중심에 위치하여 다양한 기후대가 나타나는 제주도에서 미래 기온상승 정도는 해발고도에 따라 세분되는 상세 기후지역마다 상이하게 나타날 것으로 전망된다. 2011~2040년 평균기온은 지난 10년간(2011~2100) 자동기상관측 평균값(표 2-1-1)에 비하여 제주도 해안지역에서 17.2~17.6℃로 1.4~2.1℃ 증가할 것으로 전망된다(그림 4-2-1; 그림 4-2-2; 표 4-2-1). 해발고도 200~600m 구간인 중산간 지역에서는 15.1~15.6℃로 1.3~1.9℃, 해발고도 600m이상인 산간지역에서는 11.9℃로 1.1~4.8℃ 상승할 것으로 전망된다. 심지어 산간지역에서는 2071~2100년에 지난 10년간 관측값에 비교하여 최대 7.3℃ 증가할 것으로 전망된다.

사계절 평균기온을 비교하여 보면 여름철 기온 상승이 가장 뚜렷하고 겨울철에 가장 약한 기온상승을 나타낼 것으로 전망된다(그림 4-2-1; 그림 4-2-2; 표 4-2-1) 특히 해안지역의 기온은 2011~2040년 기간에 1.9~2.5℃, 2041~2070년 기간에 3.4~4.2℃, 2071~2100년 기간에 4.6~5.3℃ 증가될 것으로 전망되나, 겨울철에는 같은 기간에 이보다 작은 0.8~1.4℃, 1.8~2.5℃, 3.3~4.0℃의 상승을 나타낼 것으로 전망된다.

표 4-2-1. 제주도의 상세지역 30년 단위 평균기온 미래전망(2011~2100) (단위: ℃)

상세지역	기간	연	봄	여름	가을	겨울
해안동부	2011~2040	17.3	15.3	26.4	19.6	7.6
해안서부		17.6	15.3	26.7	20.1	8.1
해안남부		17.6	15.6	26.5	20.2	8.2
해안북부		17.6	15.4	26.7	20.0	8.0
중산간북부		15.1	13.4	24.7	17.1	4.9
중산간남부		15.6	13.8	24.9	17.8	5.6
산간북부		11.9	10.7	21.9	13.6	1.2
산간남부		11.9	10.7	21.9	13.6	1.2
<b>상세지역</b>		<b>연</b>	<b>봄</b>	<b>여름</b>	<b>가을</b>	<b>겨울</b>
해안동부	2041~2070	18.6	16.4	28.1	21.1	8.7
해안서부		18.9	16.4	28.4	21.6	9.1
해안남부		18.9	16.7	28.0	21.6	9.2
해안북부		18.9	16.5	28.3	21.5	9.1
중산간북부		16.4	14.5	26.3	18.6	5.9
중산간남부		16.9	14.9	26.5	19.2	6.7
산간북부		13.2	11.8	23.4	15.1	2.2
산간남부		13.2	11.8	23.4	15.1	2.2
<b>상세지역</b>		<b>연</b>	<b>봄</b>	<b>여름</b>	<b>가을</b>	<b>겨울</b>
해안동부	2071~2100	19.8	17.5	29.2	22.3	10.2
해안서부		20.1	17.5	29.5	22.8	10.6
해안남부		20.2	17.7	29.2	22.9	10.7
해안북부		20.1	17.5	29.5	22.7	10.6
중산간북부		17.6	15.6	27.4	19.9	7.4
중산간남부		18.1	16.0	27.6	20.5	8.2
산간북부		14.4	12.8	24.6	16.4	3.7
산간남부		14.4	12.8	24.6	16.4	3.7



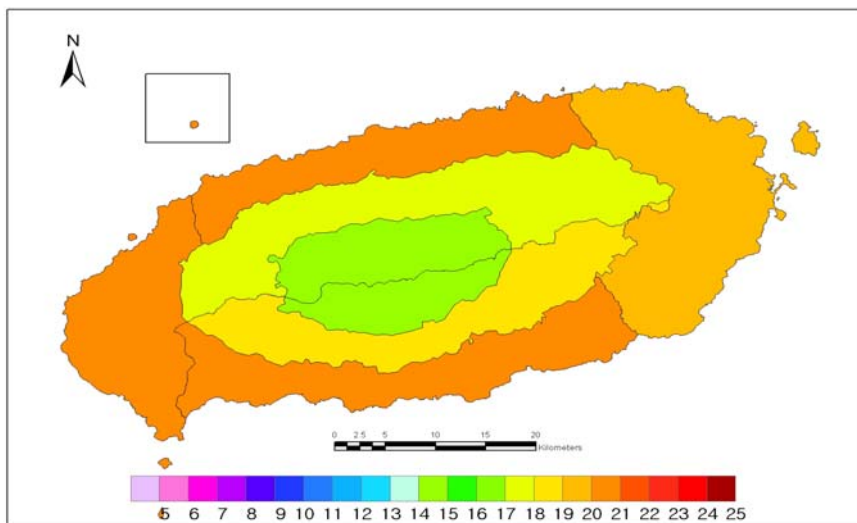
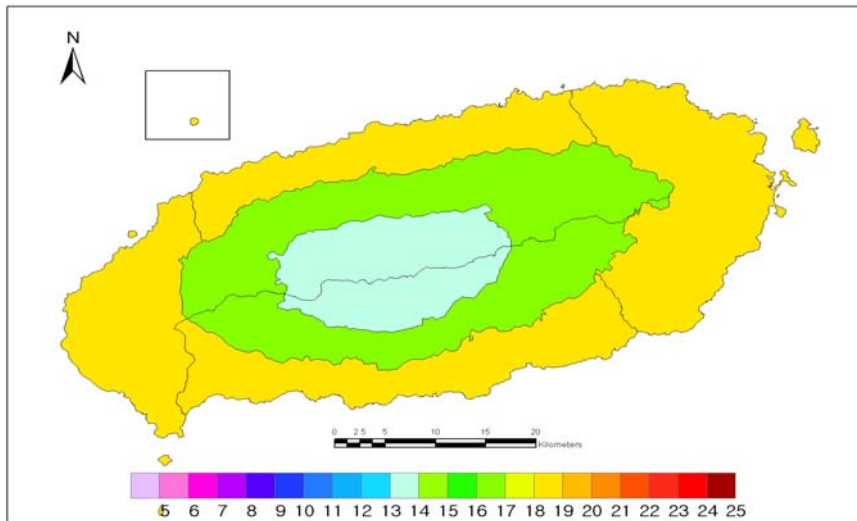
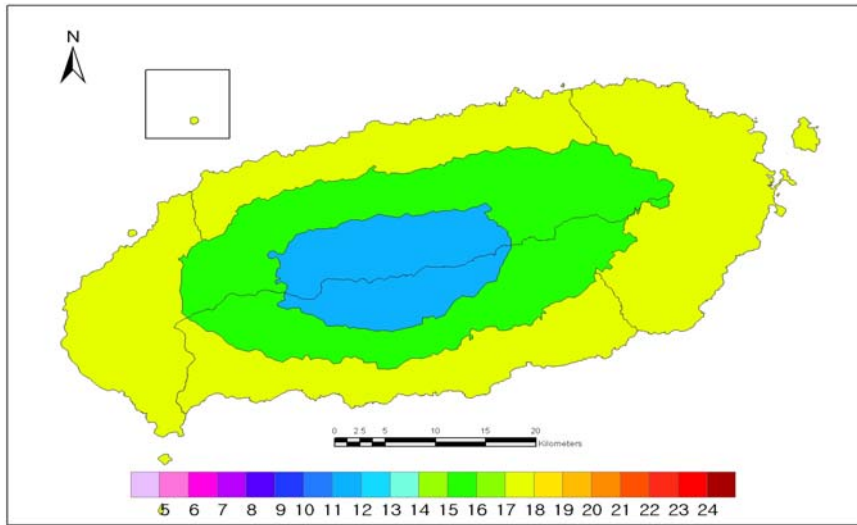


그림 4-2-1. 제주도의 30년 단위 평균기온 미래전망(위: 2011~2040, 중간: 2041~2070, 아래: 2071~2100)

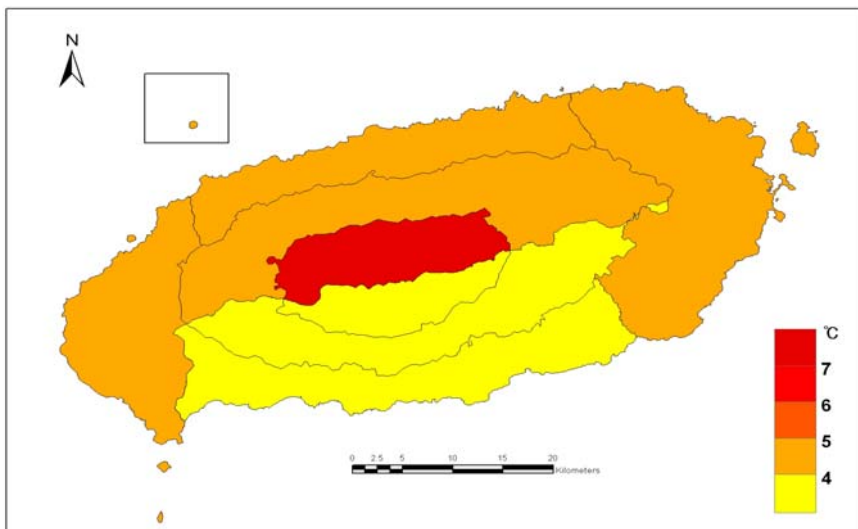
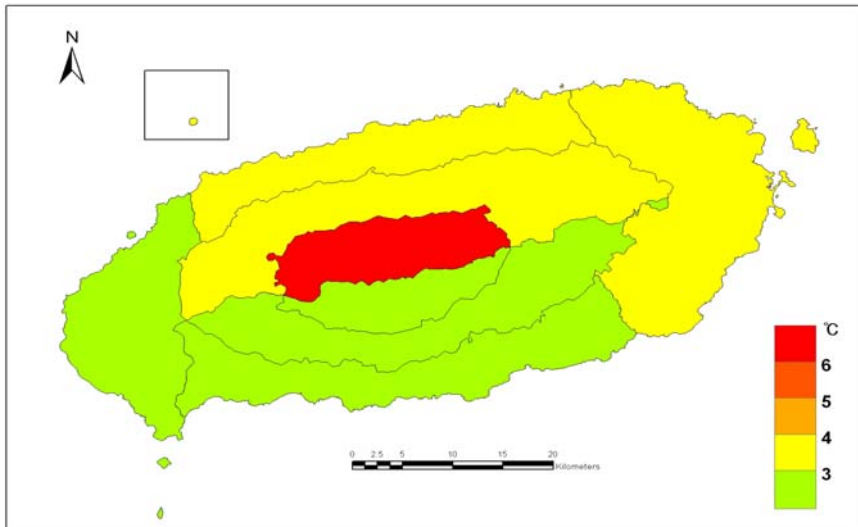
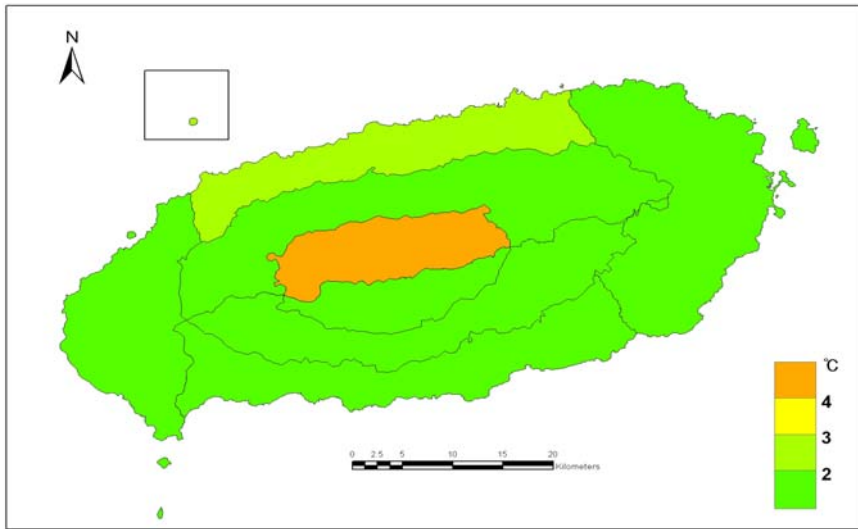


그림 4-2-2. 제주도의 30년 단위 평균기온 편차 미래전망(위: 2011~2040, 중간: 2041~2070, 아래: 2071~2100)

최고기온의 경우에는 연별, 계절별로 평균기온과 유사한 기온상승 전망값을 나타내고 있다(그림 4-2-3; 그림 4-2-4; 표 4-2-2). 2011~2040년 최고기온은 최근 10년간(2011~2100) 관측값에 비하여 제주도 해안지역에서 20.8~21.3℃로 1.3~2.2℃ 증가할 것으로 전망된다. 중산간 지역에서는 같은 기간 최고기온은 18.80~19.2℃로 1.1~1.3℃, 산간지역에서는 15.7℃로 4.0℃ 상승할 것으로 전망된다. 해안지역 최고기온은 2041~2070년에 2.5~3.5℃, 2071~2100년은 3.7~4.4℃ 상승할 것으로 전망된다. 중산간 지역에서는 2041~2070년 기간과 2071~2100년 기간에 각각 2.4~2.5℃, 3.6~3.7℃ 상승할 것으로 전망된다. 사계절별 최고기온은 대체로 여름철에 상승률이 높고, 겨울철 상승률은 상대적으로 낮을 것으로 전망된다. 원(遠)미래에 해당하는 2071~2100년 기간 여름철 해안지역의 최고기온은 4.3~5.6℃ 상승하고, 심지어 산간지역의 경우에도 평균 5.2℃의 상승할 것으로 전망된다.

표 4-2-2. 제주도의 상세지역 30년 단위 최고기온 미래전망(2011~2100) (단위: ℃)

상세지역	기간	연	봄	여름	가을	겨울
해안동부	2011~2040	20.9	19.6	29.9	23.1	10.9
해안서부		20.9	19.1	29.8	23.6	11.0
해안남부		21.3	19.6	29.6	24.1	11.8
해안북부		20.8	19.3	29.8	23.1	11.0
중산간북부		18.8	17.8	28.2	20.8	8.2
중산간남부		19.2	18.0	28.2	21.5	9.0
산간북부		15.7	15.1	25.2	17.5	4.7
산간남부		15.7	15.1	25.2	17.5	4.7
상세지역		연	봄	여름	가을	겨울
해안동부	2041~2070	22.2	20.7	31.5	24.4	11.9
해안서부		22.2	20.2	31.5	25.0	12.1
해안남부		22.5	20.7	31.0	25.5	12.8
해안북부		22.1	20.3	31.4	24.5	12.0
중산간북부		20.0	18.9	29.7	22.1	9.3
중산간남부		20.5	19.1	29.7	22.8	10.1
산간북부		16.9	16.2	26.7	18.9	5.7
산간남부		16.9	16.2	26.7	18.9	5.7
상세지역		연	봄	여름	가을	겨울
해안동부	2071~2100	23.4	21.7	32.6	25.7	13.4
해안서부		23.4	21.2	32.6	26.2	13.5
해안남부		23.7	21.7	32.2	26.7	14.3
해안북부		23.3	21.4	32.5	25.7	13.5
중산간북부		21.2	19.9	30.8	23.3	10.7
중산간남부		21.7	20.1	30.8	24.1	11.5
산간북부		18.1	17.2	27.8	20.1	7.2
산간남부		18.1	17.2	27.8	20.1	7.2

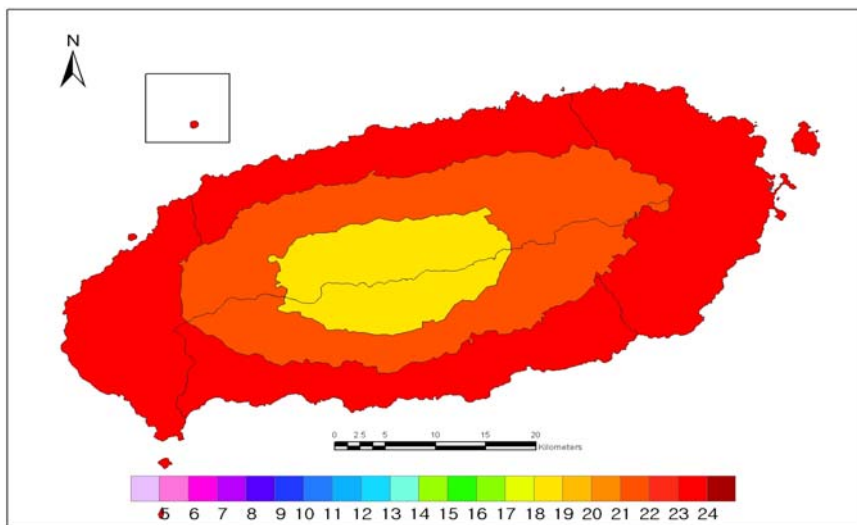
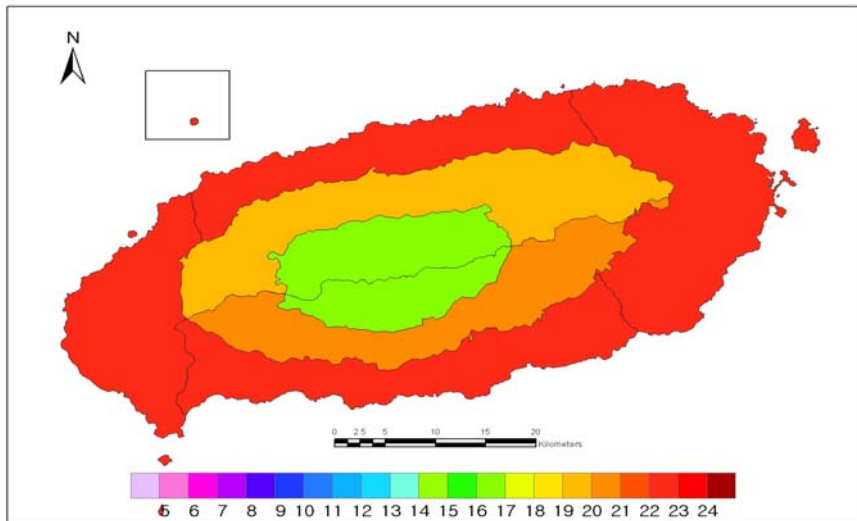
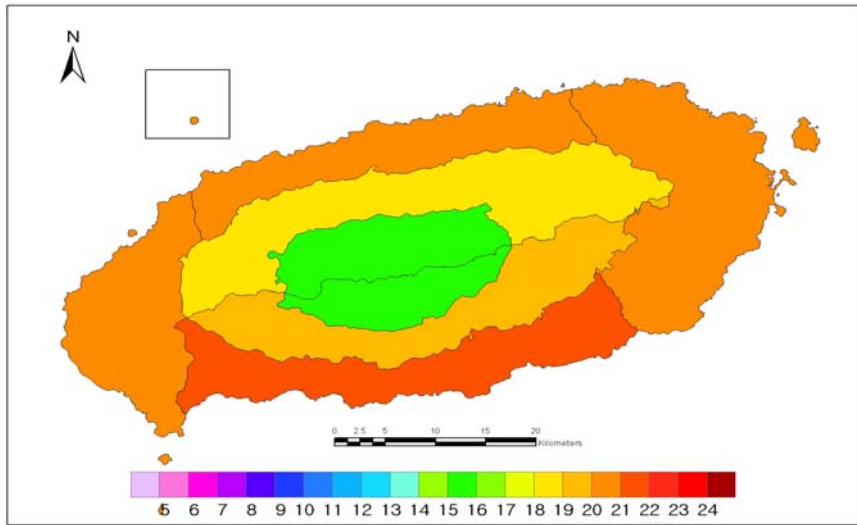


그림 4-2-3. 제주도의 30년 단위 최고기온 미래전망(위: 2011~2040, 중간: 2041~2070, 아래: 2071~2100)

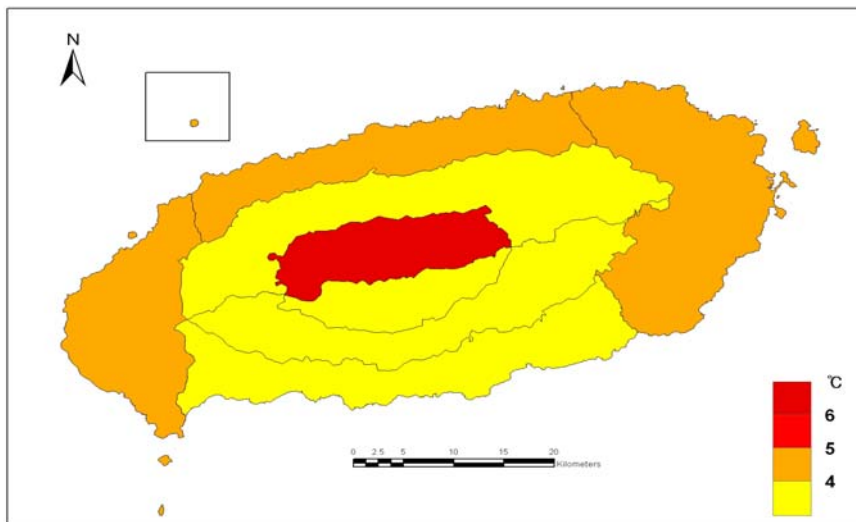
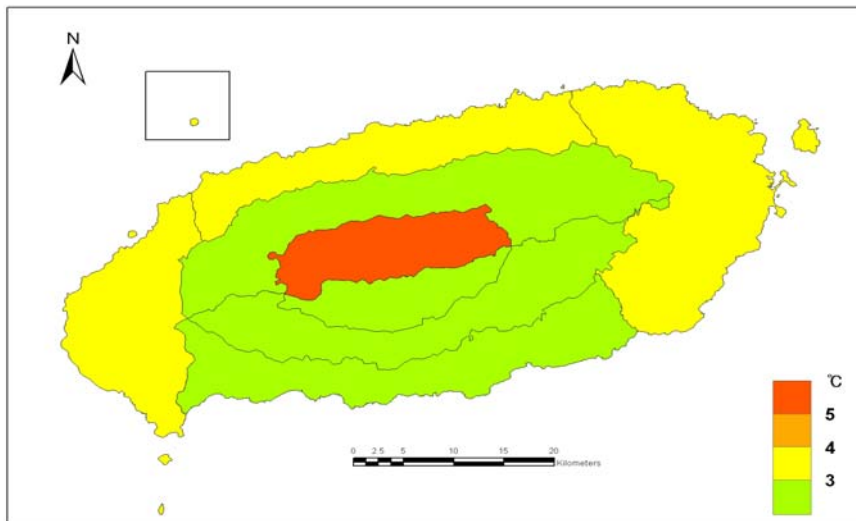
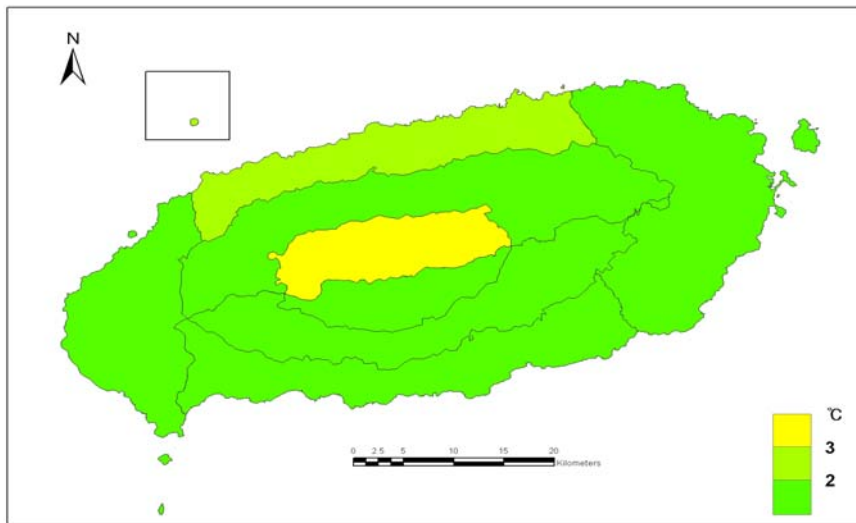


그림 4-2-4. 제주도의 30년 단위 최고기온 편차 미래전망(위: 2011~2040, 중간: 2041~2070, 아래: 2071~2100)

최저기온은 평균기온이나 최고기온과는 달리 해안지역보다는 중산간과 산간지역으로 갈수록 기온상승 전망치가 더 높은 특징을 보인다(그림 4-2-5; 그림 4-2-6; 표 4-2-3). 사계절 중 이러한 공간적 차이는 여름철보다는 가을철과 겨울철에 더 뚜렷하게 나타날 것으로 전망된다. 가령, 2011~2040년 기간 가을철 해안지역 최저기온은 16.5~17.2℃로 최근 10년 관측값에 비하여 1.3~1.9℃ 상승할 것으로 전망되나, 같은 기간 중산간에서는 2.0~2.6℃, 산간에서는 평균 3.2℃ 상승할 것으로 전망된다. 유사하게 원(遠)미래에 해당하는 2071~2100년 기간 해안지역 가을철 최저기온은 4.0~4.9℃ 상승할 것으로 전망되고, 중산간에서는 4.9~5.6℃, 산간에서는 평균 6.2℃ 상승할 것으로 전망된다.

이를 종합하면, 대체로 21세기 말에는 공간적으로 위도 측면에서는 제주남부 지역보다는 제주북부 지역에서, 해발고도면에서는 해안지역 보다는 산간지역에서 온난화 경향이 더 뚜렷하게 나타날 것으로 전망된다. 사계절 중에서는 여름철의 기온상승이 가장 뚜렷할 것으로 전망되고, 그 다음 가을철, 봄철, 겨울철 순서로 현재의 기온상승률이 높은 순서(겨울철, 가을철, 봄철, 여름철)와 비교하여 여름철과 겨울철의 순서가 다른 특징을 보일 것으로 전망된다. 기온변수 간에는 최저기온의 상승률이 최고기온의 상승률보다 약간 더 높게 나타날 것으로 전망된다.

표 4-2-3. 제주도의 상세지역 30년 단위 최저기온 미래전망(2011~2100) (단위: ℃)

상세지역	기간	연	봄	여름	가을	겨울
해안동부	2011~2040	14.0	11.3	23.6	16.5	4.6
해안서부		14.6	11.7	24.2	17.1	5.2
해안남부		14.5	11.9	24.0	16.9	5.0
해안북부		14.6	11.7	24.1	17.2	5.1
중산간북부		11.8	9.3	21.8	14.0	1.9
중산간남부		12.4	9.9	22.2	14.7	2.8
산간북부		8.6	6.5	19.0	10.4	~1.7
산간남부		8.6	6.5	19.0	10.4	~1.7
상세지역		연	봄	여름	가을	겨울
해안동부	2041~2070	15.4	12.4	25.3	18.1	5.7
해안서부		15.9	12.8	25.9	18.5	6.4
해안남부		15.9	13.0	25.7	18.5	6.2
해안북부		16.0	12.8	25.8	18.7	6.3
중산간북부		13.2	10.4	23.5	15.6	3.1
중산간남부		13.8	11.1	23.8	16.3	3.9
산간북부		10.0	7.7	20.6	12.0	~0.6
산간남부		10.0	7.7	20.6	12.0	~0.6
상세지역		연	봄	여름	가을	겨울
해안동부	2071~2100	16.7	13.5	26.4	19.4	7.2
해안서부		17.2	13.9	27.0	19.8	7.8
해안남부		17.1	14.1	26.9	19.9	7.6
해안북부		17.2	13.9	27.0	20.0	7.8
중산간북부		14.5	11.5	24.7	17.0	4.5
중산간남부		15.1	12.1	25.0	17.6	5.4
산간북부		11.2	8.8	21.8	13.4	0.9
산간남부		11.2	8.8	21.8	13.4	0.9

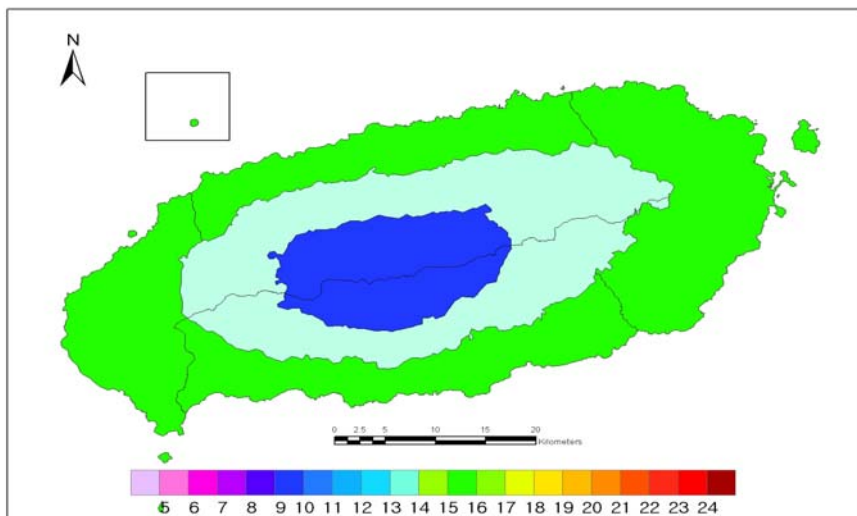
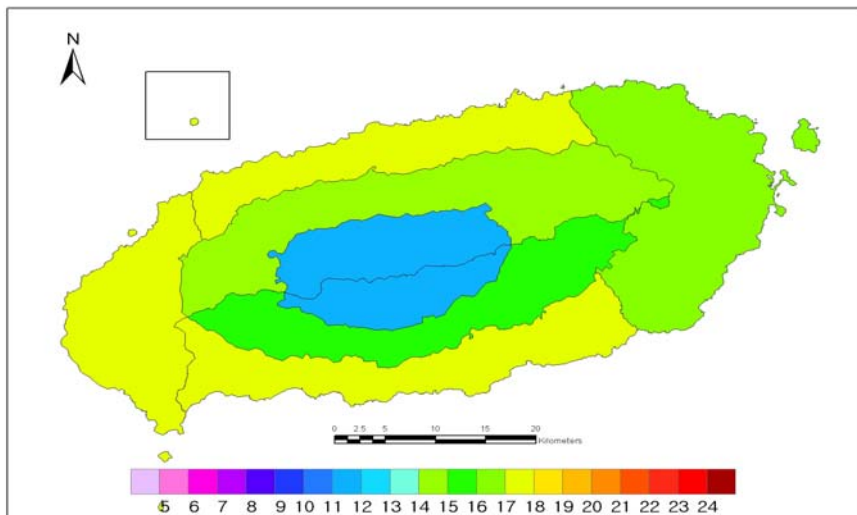
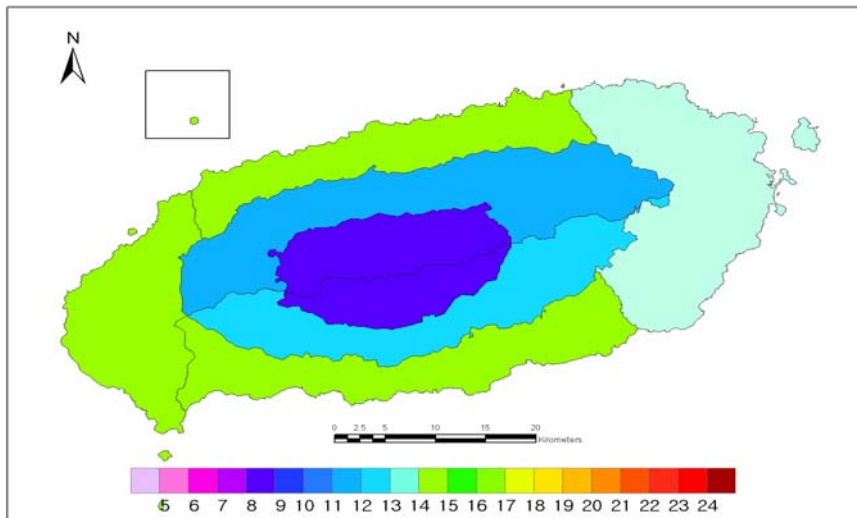


그림 4-2-5. 제주도의 30년 단위 최저기온 미래전망(위: 2011~2040, 중간: 2041~2070, 아래: 2071~2100)



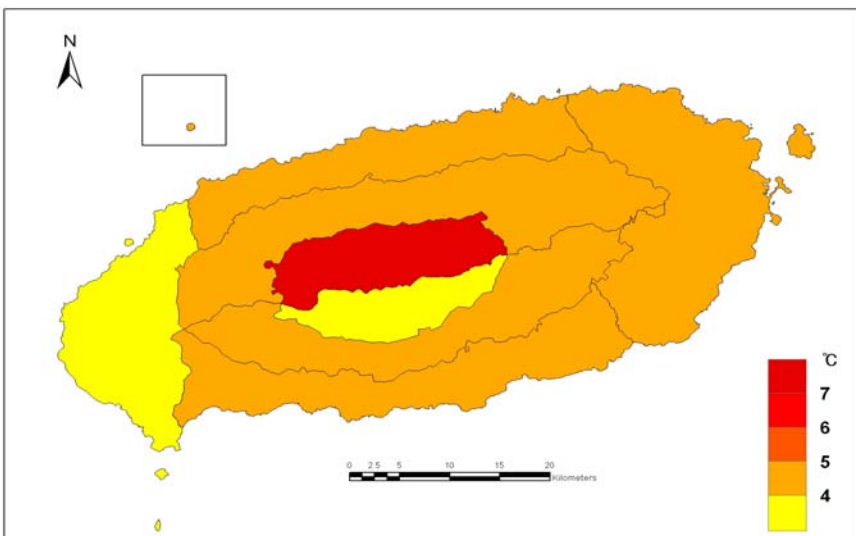
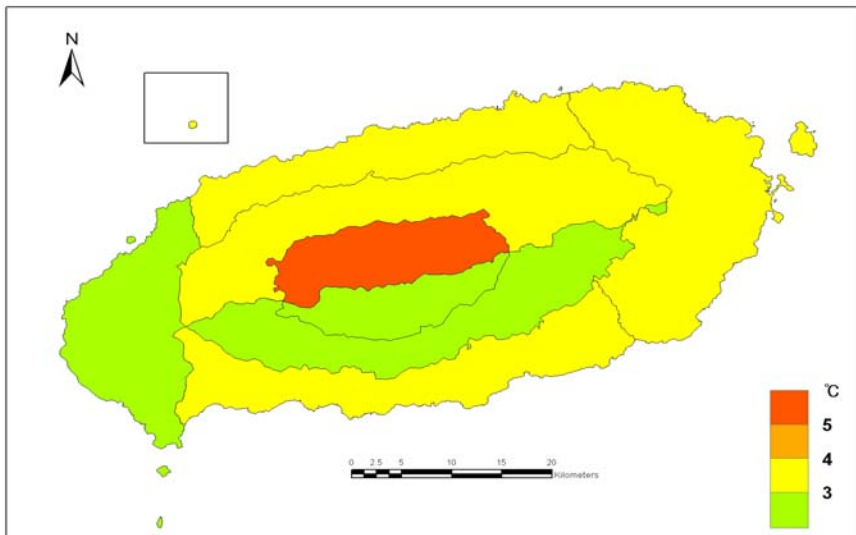
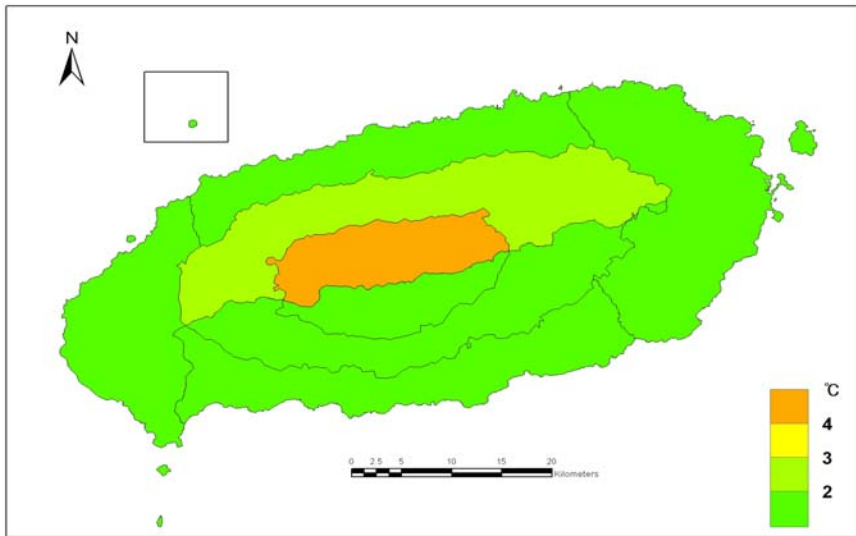


그림 4-2-6. 제주도의 30년 단위 최저기온 편차 미래전망(위: 2011~2040, 중간: 2041~2070, 아래: 2071~2100)



## 2) 강수

최근 10년(2001~2010)간 관측된 제주도 연강수량은 북부해안이 지역이 1404.1mm로 최소이고, 산간남부지역이 4539.2mm로 최대이다.

제주도 지역 연 강수 시나리오 자료를 지난 10년 동안의 자동기상관측망의 관측값과 비교하면, 2011~2040년 기간에는 해안북부에서는 증가(68.2mm)하는 반면 다른 해안지역 및 중산간 지역에서는 65.4~289.6mm 감소할 것으로 전망된다.(그림 4-2-7; 그림 4-2-8; 표 4-2-4) 2041~2070년 기간에는 해안북부(159.0mm)와 서부(33.6mm)에서는 증가한 반면 다른 지역에서는 29.3~202.6mm 줄어들 것으로 전망된다. 따라서 향후 90년 동안에 초반에는 적은 값을 보이다가 점차 증가하여 현재와 비슷한 값을 나타낼 것으로 전망된다.

계절별 강수는 연강수량 추세와는 달리 가을철 강수량은 오히려 근(近)미래(2011~2040년)에 양의편차를 보이면서 점차 증가할 것으로 전망된다(표 4-2-4). 다른 계절들에서는 약하거나 눈에 띄는 계절 강수 감소현상이 근(近)미래에 나타나서 점차 21세기 말에 현재와 비슷한 수준으로 회복하는 추세를 보이지만 가을철은 근(近)미래에서 원(遠)미래에 이르기까지 지속적으로 증가할 것으로 전망된다. 이러한 전망은 실제 최근 해수온도 상승과 관련하여 여름철에 해양이 점점 더 많은 열에너지를 흡수하므로 따뜻한 해수가 가을철까지 유지되면서 강수발생의 가능성을 증가시키는 조건을 제공하는 것과 관련되어 있을 것으로 사료되며, 향후 이러한 추정에 대한 연구가 더 필요하다고 판단된다.

표 4-2-4. 제주도의 상세지역 30년 단위 강수량 미래전망(2011~2100) (단위: mm)

상세지역	기간	연	봄	여름	가을	겨울
해안동부	2011~2040	1653.5	408.9	640.5	455.3	148.8
해안서부		1172.5	306.5	484.6	274.0	107.4
해안남부		1507.7	436.8	583.8	360.1	127.0
해안북부		1472.3	305.7	579.7	438.5	148.5
중산간북부		2172.4	510.8	885.0	582.0	194.6
중산간남부		2199.1	576.1	903.9	530.0	189.0
산간북부		3211.3	848.1	1429.5	704.6	229.0
산간남부		3211.3	848.1	1429.5	704.6	229.0
상세지역		연	봄	여름	가을	겨울
해안동부	2041~2070	1758.2	410.8	690.0	507.9	149.4
해안서부		1271.5	306.6	532.5	319.6	112.8
해안남부		1594.7	433.6	635.2	400.9	125.0
해안북부		1563.1	308.7	622.4	483.1	148.9
중산간북부		2267.0	512.2	934.3	627.2	193.3
중산간남부		2295.6	576.1	955.4	575.5	188.6
산간북부		3299.7	847.6	1479.9	746.1	226.1
산간남부		3299.7	847.6	1479.9	746.1	226.1
상세지역		연	봄	여름	가을	겨울
해안동부	2071~2100	1829.1	427.3	658.9	568.1	174.8
해안서부		1321.3	325.5	510.0	368.3	117.4
해안남부		1647.9	453.3	607.5	447.4	139.8
해안북부		1630.0	327.6	599.3	539.9	163.2
중산간북부		2332.5	532.2	903.1	685.4	211.8
중산간남부		2358.4	595.9	925.4	631.2	205.9
산간북부		3359.4	868.9	1449.1	800.2	241.2
산간남부		3359.4	868.9	1449.1	800.2	241.2

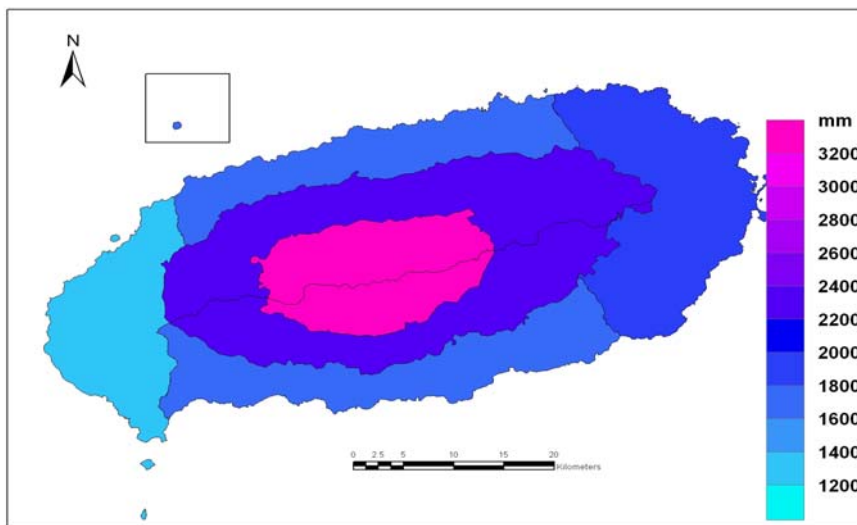
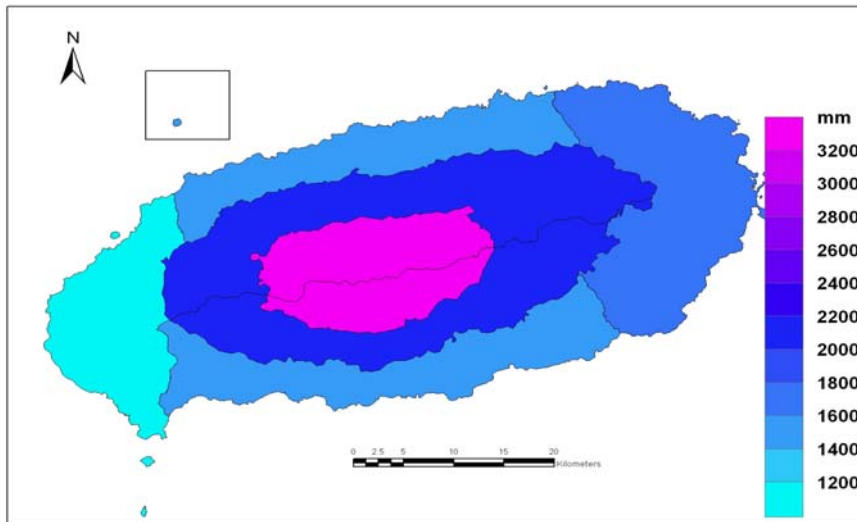
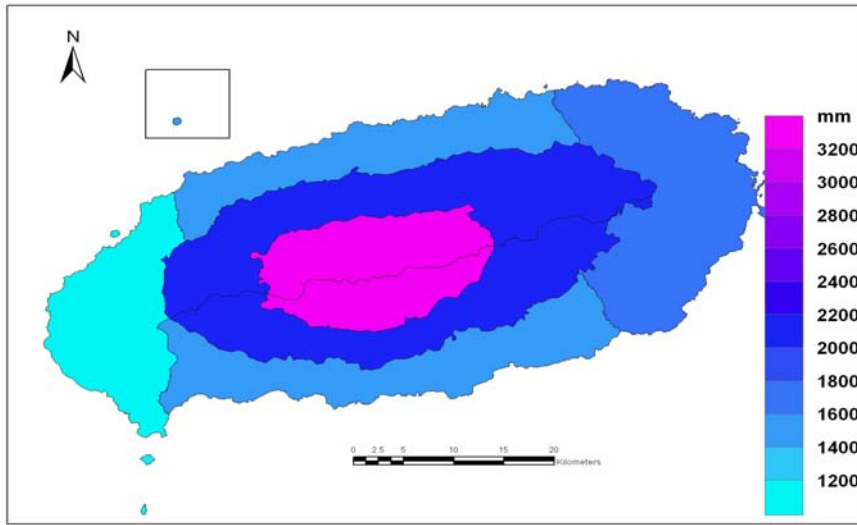


그림 4-2-7. 제주도의 30년 단위 연강수량 미래전망(위: 2011~2040, 중간: 2041~2070, 아래: 2071~2100)

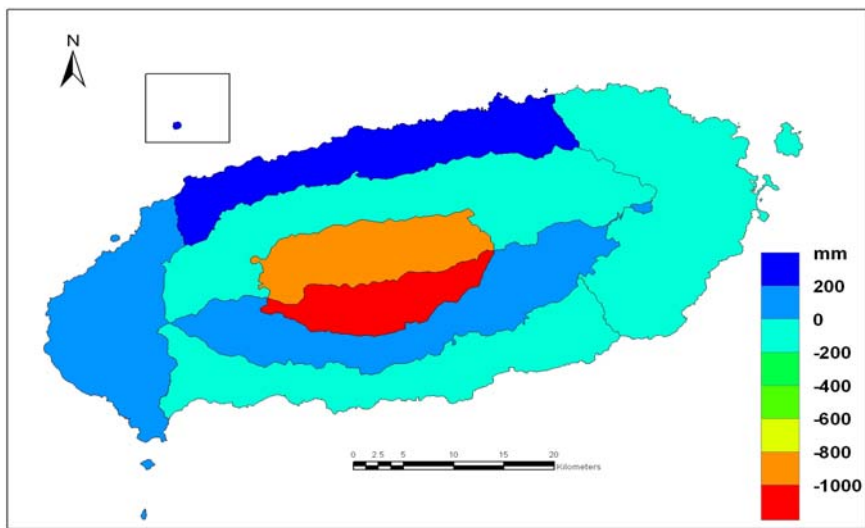
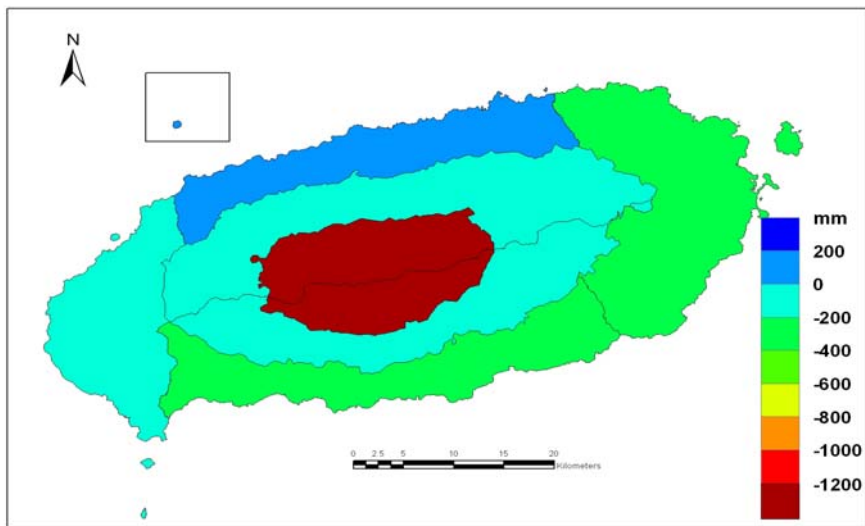
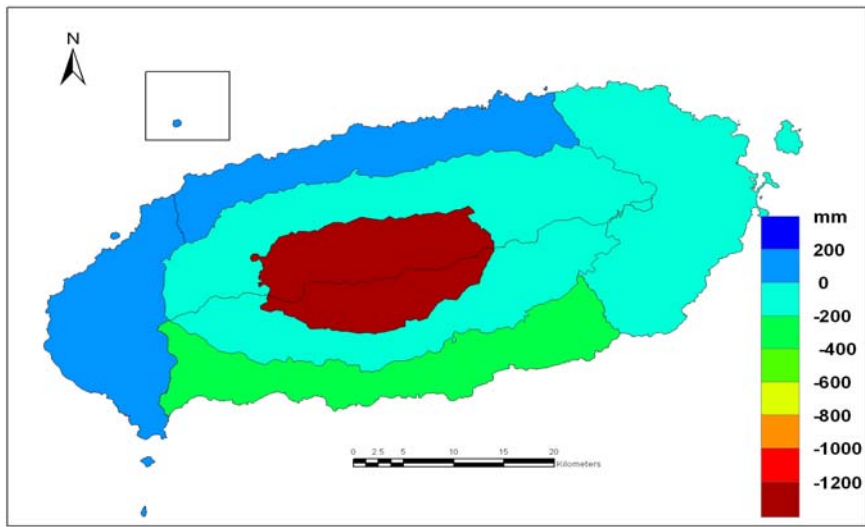


그림 4-2-8. 제주도의 30년 단위 연강수량 편차 미래전망(위: 2011~2040, 중간: 2041~2070, 아래: 2071~2100)

### 3. 극한기후지수 변화 전망

제주도 해안지역은 식물성장 기간이 거의 365일에 이르는 아열대 기후대에 속한다. 본 연구에서는 제주도 해안지역 3개 관측지점의(제주, 서귀포, 성산) 과거 40년(1971~2010) 일자료와 향후 90년 동안(2011~2100) 미래 기후변화 시나리오 기온 일자료를 바탕으로 21세기 제주도 해안지역의 기온극한지수 시계열자료를 구축하였다.

제주도 지역의 30년(1971~2000) 자료 기준 일최고기온 90퍼센타일에 해당하는 임계치를 넘는 온난일(일최고기온이 기준기간의 일최고기온 90퍼센타일 보다 높은 날의 백분율)은 2011~2040년 기간에는 35.5%로 과거 30년 평균(1971~2000)에 비하여 25.5%이상 증가할 것으로 전망된다(그림 4-3-1; 표 4-3-1).

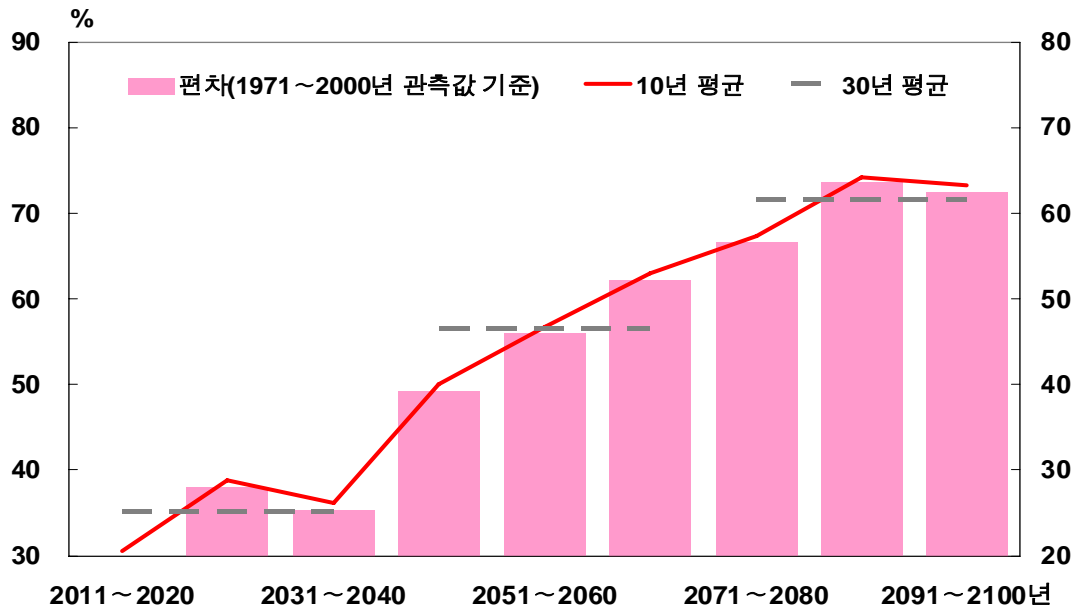


그림 4-3-1. 제주도 해안지역의 온난일을 미래전망(2011~2100)

표 4-3-1. 제주도 해안지역의 온난일을 미래전망(2011~2100) (단위: %)

기간	1971~2000년	2011~2020년	2021~2030년	2031~2040년	2041~2050년	2051~2060년	2061~2070년	2071~2080년	2081~2090년	2091~2100년
북부해안	10.9	22.7	28.9	26.8	39.2	47.7	54.7	59.8	66.9	67.3
		26.1			47.2			64.7		
남부해안	11.1	29.5	36.6	34.3	47.3	52.9	59.1	64.3	70.5	70.1
		33.5			53.1			68.3		
동부해안	11.7	27.0	35.0	32.6	46.4	53.7	59.9	64.8	71.1	70.8
		31.5			53.3			68.9		
제주도 전체 해안	10.7	30.5	38.8	36.2	50.0	56.7	62.9	67.4	74.2	73.3
		35.2			56.6			71.6		

1971~2000년 값은 관측

일 최저기온 90퍼센타일 이상에 해당하는 온난야(일최저기온이 기준기간의 일최저기온 90 퍼센타일보다 높은 날의 백분율)율도 2011~2040년 기간에 26.6% 증가할 것으로 전망된다 (그림 4-3-2; 표 4-3-2). 이러한 증가경향은 21세기 후반부로 갈수록 강화되어 과거 30년에 비하여 2041~2070년 기간에 온난일율은 46.6%, 온난야는 48.6%, 2071~2100년 기간에 온난일율은 61.6%, 온난야율은 63.8% 증가할 것으로 전망된다.

대체로 온난야율과 온난일율 모두 2011~2040년 기간에서 2041~2070년 기간으로 바뀌면서 더욱 뚜렷한 증가경향을 나타낼 것으로 전망된다. 10년 단위 변화를 살펴보면 2031~2040년 기간에는 다소 증가경향이 둔화되었다가 2041~2100년 기간에는 뚜렷한 증가경향을 나타낼 것으로 전망된다.

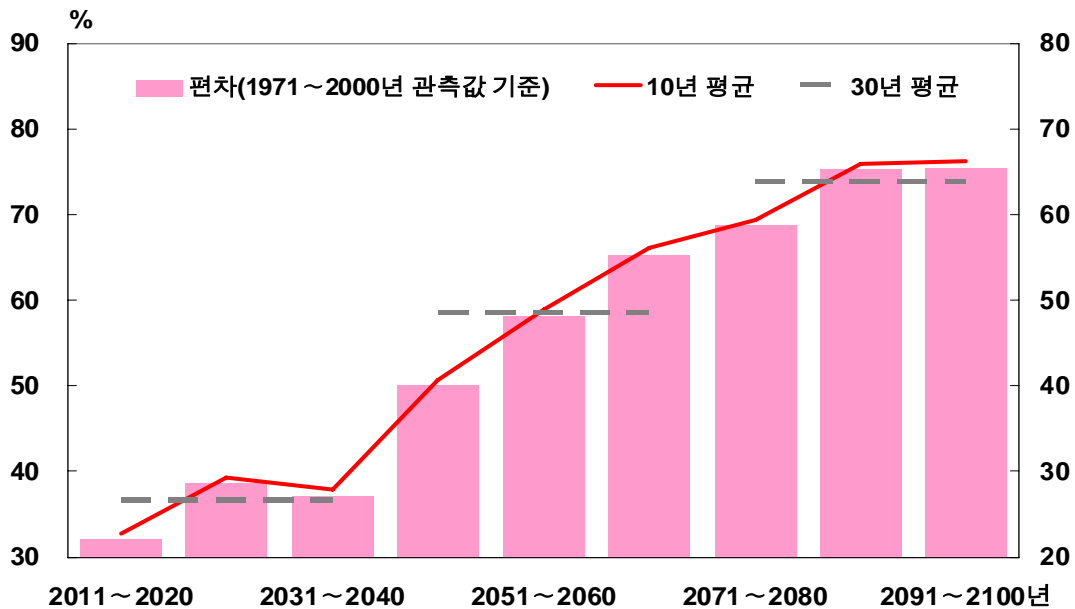


그림 4-3-2. 제주도 해안지역의 온난야율 미래전망(2011~2100)

표 4-3-2. 제주도 해안지역의 온난야율 미래전망(2011~2100) (단위: %)

기간	1971~2000년	2011~2020년	2021~2030년	2031~2040년	2041~2050년	2051~2060년	2061~2070년	2071~2080년	2081~2090년	2091~2100년
북부해안	11.0	33.4	41.3	38.5	51.6	59.7	66.8	69.9	77.0	76.8
		37.7			59.4			74.5		
남부해안	10.8	23.3	29.9	28.1	39.3	48.2	55.4	59.2	65.4	64.9
		27.1			47.6			63.2		
동부해안	11.6	34.2	42.2	39.8	52.5	61.6	69.3	72.3	78.0	78.3
		38.7			61.1			76.2		
제주도 전체 해안	10.6	32.7	39.3	37.9	50.7	58.9	66.1	69.4	75.9	76.1
		36.6			58.6			73.8		

1971~2000년 값은 관측

상대적 임계치 기준 고온극한지수 이외에도 일최고기온 25℃ 이상인 여름일수(summer days)(그림 4-3-3; 표 4-3-3)와 일최저기온 25℃ 이상인 열대야(tropical nights)(그림 4-3-4; 표 4-3-4)도 21세기 동안 뚜렷한 여름철 기온 상승경향에 따라 발생빈도가 증가할 것으로 전망되었다. 지난과거 30년에 비하여 여름일수는 2011~2040년 기간에 약 45일 증가하여 제주도 해안지역에 평균 139일, 열대야는 30일 증가하여 약 43일 발생할 것으로 전망된다. 이러한 고온현상들은 점차 증가하여 원(遠)미래에 해당하는 2071~2100년 기간에는 평균적으로 여름일수는 168일, 열대야는 약 87일 발생할 것으로 전망된다.

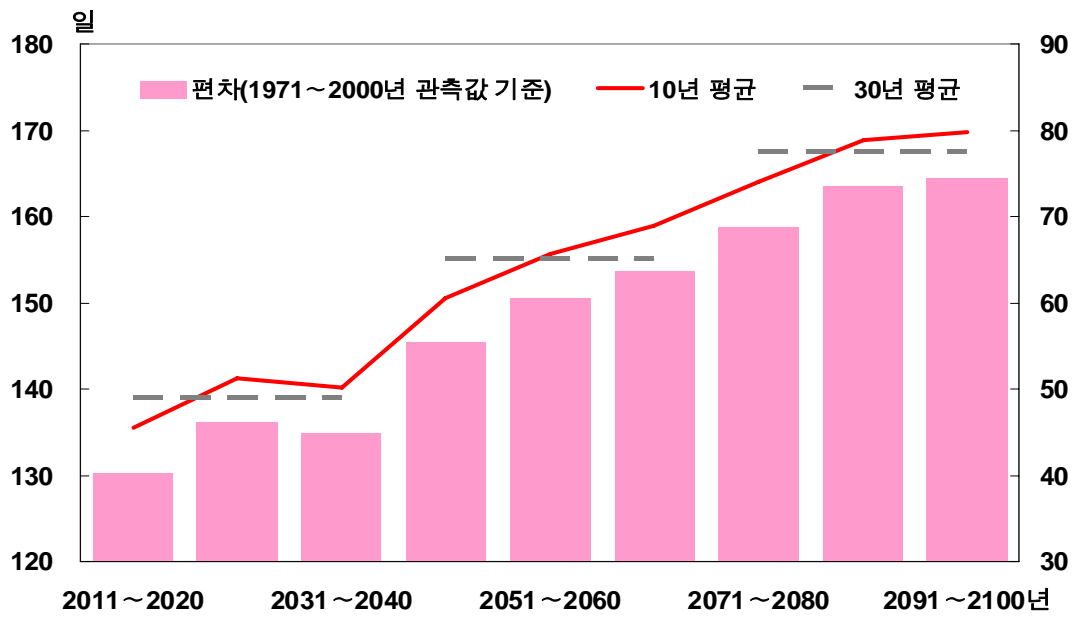


그림 4-3-3. 제주도 해안지역의 일최고기온 25℃ 이상 일수 미래전망(2011~2100)

표 4-3-3. 제주도 해안지역의 일최고기온 25℃ 이상 일수 미래전망(2011~2100) (단위: 일)

기간	1971~2000년	2011~2020년	2021~2030년	2031~2040년	2041~2050년	2051~2060년	2061~2070년	2071~2080년	2081~2090년	2091~2100년
북부해안	93.8	131.9	138.7	136.9	148.9	151.7	157.6	163.3	166.3	166.9
		135.8			152.7			165.5		
남부해안	100.5	137.4	144.7	142.5	152.1	156.4	161.0	166.5	172.1	172
		141.5			156.5			170.2		
동부해안	94.7	134.0	141.6	138.6	150.2	155.2	160.0	165.2	168.2	168.7
		138.1			155.1			167.4		
제주도 전체 해안	95.2	135.5	141.3	140.1	150.6	155.7	158.9	164.0	168.8	169.7
		139.0			155.1			167.5		

1971~2000년 값은 관측

상대적 임계치를 기준으로 정의된 고온극한지수들의 변화 전망과 유사하게 2031~2040년 사이에는 이전 10년 기간과 유사한 값을 보이면서 변화가 약화된다. 반면 2041~2050년 기간에는 이전 10년 기간에 비하여 여름날과 열대야 모두 제주도 해안지역에서 10일 이상 뚜렷한 증가경향을 보일 것으로 사료된다. 이후 두 극한지수 모두 2051~2060년 기간, 2061~2070년 기간에도 10일 이상의 뚜렷한 증가경향은 지속적으로 나타나고, 이러한 경향은 제주도 각 해안에서도 모두 공통적으로 나타날 것으로 전망된다. 21세기 후반인 2071~2100년 기간에는 이러한 경향이 다소 둔화될 것으로 전망된다.

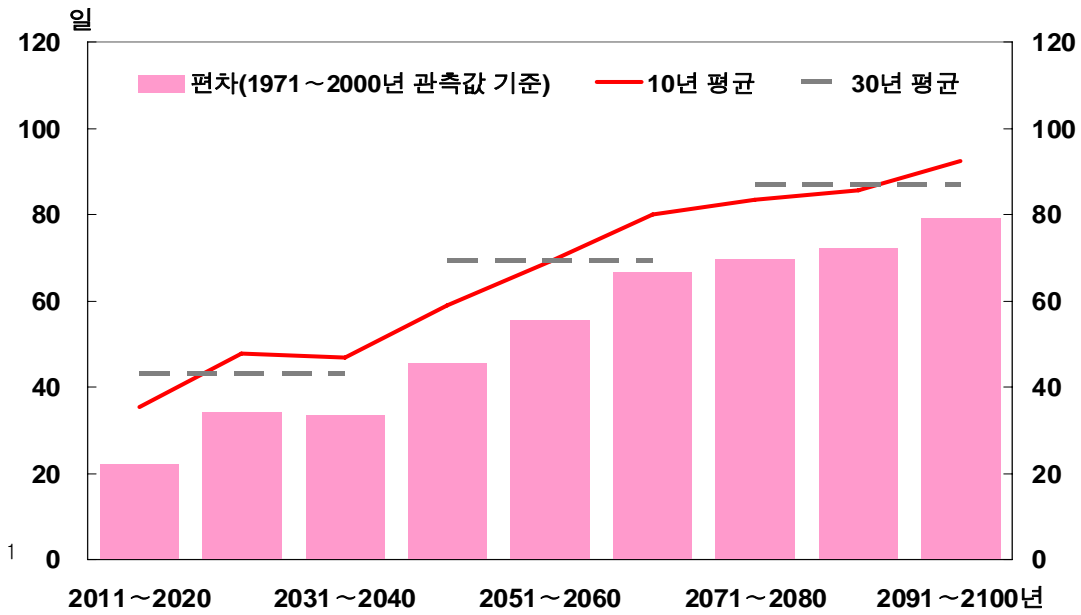


그림 4-3-4. 제주도 해안지역의 일최저기온 25°C 이상 일수 미래전망(2011~2100)

표 4-3-4. 제주도 해안지역의 일최저기온 25°C 이상 일수 미래전망(2011~2100) (단위: 일)

기간	1971~2000년	2011~2020년	2021~2030년	2031~2040년	2041~2050년	2051~2060년	2061~2070년	2071~2080년	2081~2090년	2091~2100년
북부해안	16.5	39.5	52.1	52.7	63.4	73.5	86.4	88.2	91.7	97.2
		48.1			74.4			92.4		
남부해안	20.5	37.9	47.4	48.7	59.2	68.0	81.6	83.1	87	93.5
		44.7			69.6			87.9		
동부해안	9.8	29.3	43.0	42.2	55.3	67.1	76.9	79.6	82.3	89.3
		38.2			66.4			83.7		
제주도 전체 해안	13.4	35.5	47.7	46.8	59.1	69.1	80.0	83.3	85.6	92.4
		43.3			69.4			87.1		

1971~2000년 값은 관측

일최저기온이 0°C 미만인 서리일(Frost days) 발생빈도는 과거 30년에 비하여 2011~2040년 기간에 약 7.9일 감소하여 그 변화폭이 여름날이나 열대야에 비하여 다소 작게 나타날 것으로 전망된다(그림 4-3-5; 표 4-3-5). 서리일의 경우에는 제주도가 아열대 기후의 영향을 이미 받고 있기 때문에 그 발생빈도가 작아서 21세기 말 원(遠)미래기간(2071~2100)에는 거의 발생하지 않을 것으로 전망된다. 그밖에도 기온극한지수에는 일최고기온이 0°C 이하인 결빙일수(Ice days)는 제주도에서는 거의 발생하지 않아 시계열 분석에서 제외하였다.

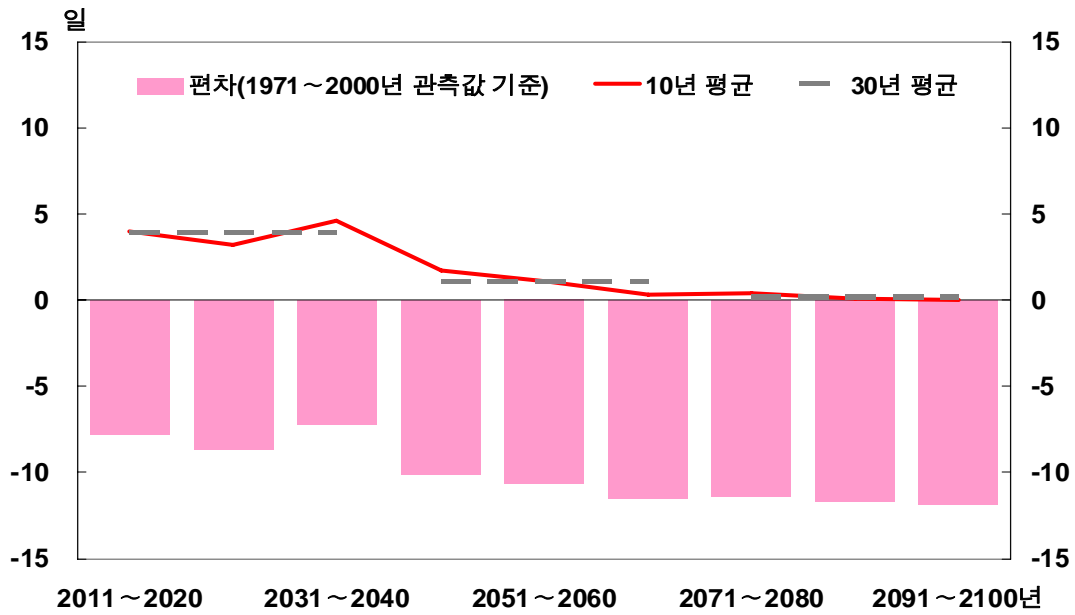


그림 4-3-5. 제주도 해안지역의 일최저기온 0°C미만 일수 미래전망(2011~2100)

표 4-3-5. 제주도 해안지역의 일최저기온 0°C미만 일수 미래전망(2011~2100) (단위: 일)

기간	1971 ~2000년	2011 ~2020년	2021 ~2030년	2031 ~2040년	2041 ~2050년	2051 ~2060년	2061 ~2070년	2071 ~2080년	2081 ~2090년	2091 ~2100년
북부해안	10.0	3.9	2.5	4.4	1.6	1.0	0.2	0.4	0.1	0.0
		3.6			0.9			0.2		
남부해안	12.1	3.9	3.3	4.4	2.2	1.3	0.4	0.5	0.3	0.0
		3.9			1.3			0.3		
동부해안	26.3	6.5	5.7	6.5	3.2	1.6	0.8	1.1	0.3	0.0
		6.2			1.9			0.5		
제주도 전체 해안	11.8	4.0	3.2	4.6	1.7	1.1	0.3	0.4	0.1	0.0
		3.9			1.0			0.2		

1971~2000년 값은 관측



일최고기온과 일최저기온의 날짜별 30년 자료에서 하위 10퍼센타일에 해당하는 절대적 임계치를 기준으로 한 한랭일(일최고기온이 기준기간의 일최고기온 10퍼센타일 미만인 날의 백분율)과 한랭야(일최저기온이 기준기간의 일최저기온 10퍼센타일 미만인 날의 백분율)의 발생빈도는 온난일과 온난야의 변화폭과 비교하여 작을 것으로 전망된다(그림 4-3-6; 표 4-3-6; 그림 4-3-7; 표 4-3-7). 2011~2040년 기간에는 과거 30년 평균에 비하여 한랭야는 1.4%로 8.7% 감소하고, 한랭일은 2.1%로 7.8% 감소할 것으로 전망된다. 이러한 감소폭은 온난일과 온난야의 변동폭의 30%수준이다. 21세기에는 극한저온현상의 감소현상은 지속적으로 진행되어 원(遠)미래에 해당하는 2071~2100년 기간에는 발생할 가능성이 거의 없을 것으로 전망된다.

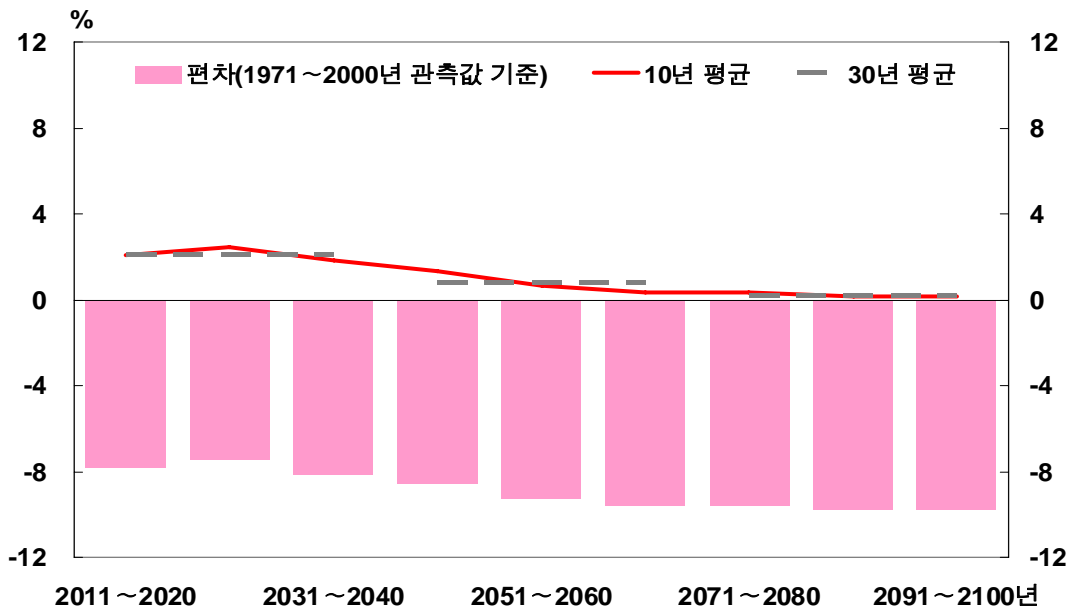


그림 4-3-6. 제주도 해안지역 한랭일을 미래전망(2011~2100)

표 4-3-6. 제주도 해안지역 한랭일을 미래전망(2011~2100) (단위: %)

기간	1971~2000년	2011~2020년	2021~2030년	2031~2040년	2041~2050년	2051~2060년	2061~2070년	2071~2080년	2081~2090년	2091~2100년
북부해안	10.3	1.2	1.6	1.2	0.6	0.4	0.2	0.12	0.1	0.1
		1.3			0.4			0.1		
남부해안	10.3	3.8	4.0	3.4	2.5	1.6	0.7	0.7	0.3	0.5
		3.7			1.6			0.5		
동부해안	10.8	1.5	2.1	1.5	0.9	0.6	0.2	0.2	0.1	0.1
		1.7			0.6			0.1		
제주도 전체 해안	9.9	2.1	2.4	1.8	1.4	0.7	0.3	0.3	0.1	0.2
		2.1			0.8			0.2		

1971~2000년 값은 관측

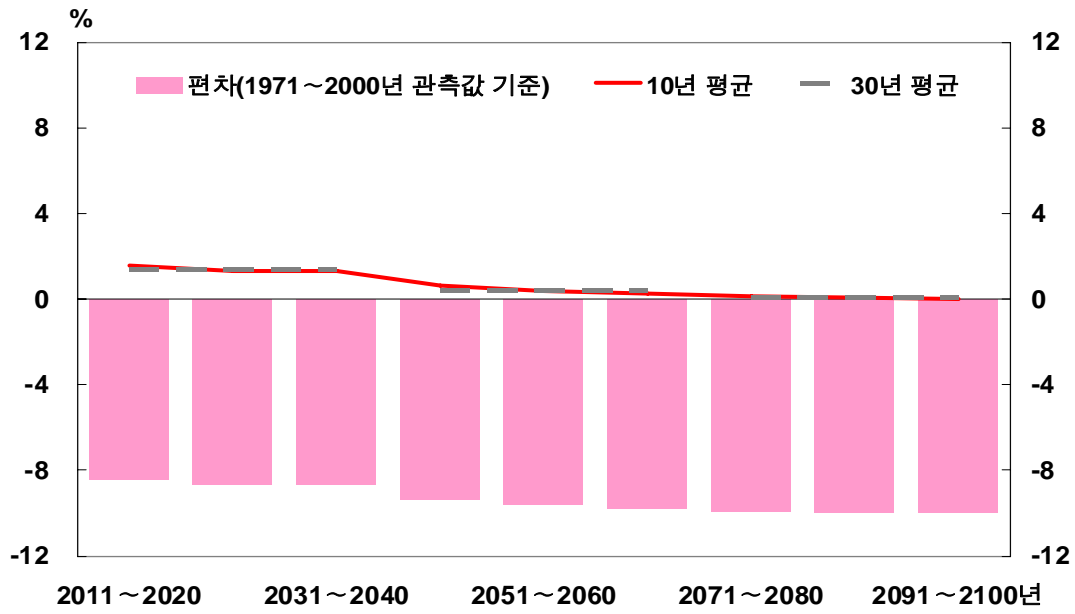


그림 4-3-7. 제주도 해안지역 한랭야을 미래전망(2011~2100)

표 4-3-7. 제주도 해안지역 한랭야을 미래전망(2011~2100) (단위: %)

기간	1971 ~2000년	2011 ~2020년	2021 ~2030년	2031 ~2040년	2041 ~2050년	2051 ~2060년	2061 ~2070년	2071 ~2080년	2081 ~2090년	2091 ~2100년
북부해안	10.4	1.8	1.6	1.6	0.7	0.4	0.2	0.1	0.1	0.1
		1.7			0.4			0.1		
남부해안	10.2	2.7	2.0	2.3	1.2	0.8	0.4	0.1	0.2	0.1
		2.3			0.8			0.1		
동부해안	11.0	0.5	0.6	0.7	0.4	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0
		0.6			0.2			0.0		
제주도 전체 해안	10.1	1.6	1.3	1.3	0.7	0.4	0.2	0.1	0.1	0.0
		1.4			0.4			0.1		

1971~2000년 값은 관측

고온극한 현상이 저온극한 현상의 변화폭보다 더 뚜렷하게 나타나고 있음은 장기간 평균 일최고기온 최고와 일최저기온 최고 등의 극한값 비교를 통해서도 알 수 있다. 과거 30년(1971~2000) 제주도 해안지역 일최고기온 최고값은 32.5℃ 이었으나, 근(近)미래기간(2011~2040년)에는 1.9℃ 증가하여 34.4℃, 원(遠)미래기간(2071~2100)에는 4.9℃ 증가하여 37.4℃를 나타낼 것으로 전망된다.(그림 4-3-8; 표 4-3-8). 일최저기온 최고값은 26.5℃이 었으나, 근(近)미래기간(2011~2040년)에는 1.1℃ 증가하여 28.6℃, 원(遠)미래기간(2071~2100)에는 5.0℃ 증가하여 31.5℃를 나타낼 것으로 전망된다.(그림 4-3-9; 표 4-3-9).

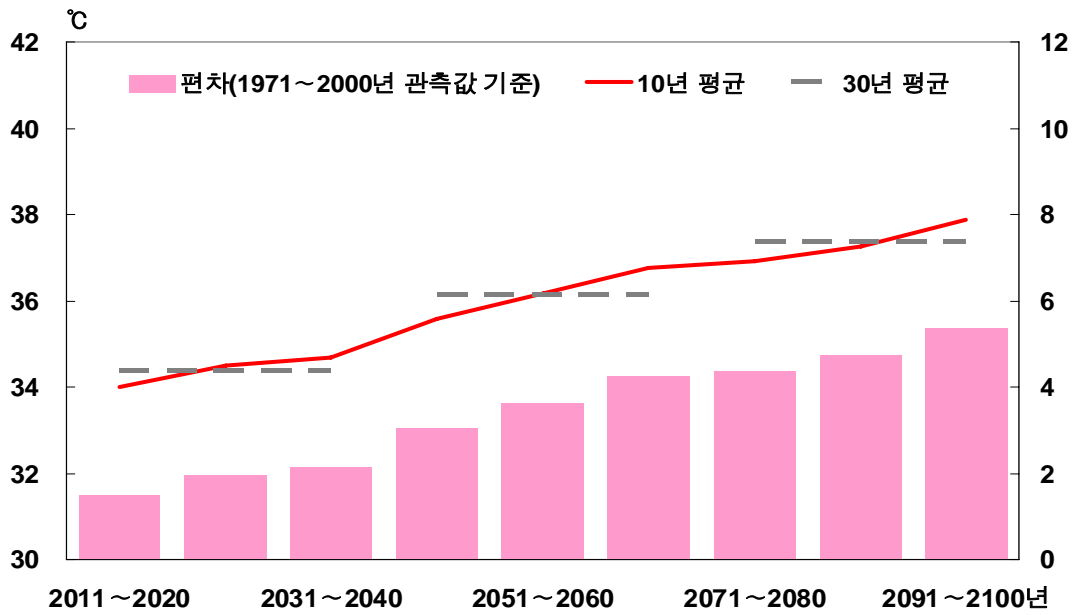


그림 4-3-8. 제주도 해안지역 일최고기온 최고 미래전망(2011~2100)

표 4-3-8. 제주도 해안지역 일최고기온 최고 미래전망(2011~2100) (단위: ℃)

기간	1971 ~2000년	2011 ~2020년	2021 ~2030년	2031 ~2040년	2041 ~2050년	2051 ~2060년	2061 ~2070년	2071 ~2080년	2081 ~2090년	2091 ~2100년
북부해안	34.5	34.0	34.5	34.7	35.6	36.3	36.9	36.8	37.4	38.0
		34.4			36.3			37.4		
남부해안	33.0	34.3	34.7	35.1	35.9	36.3	36.9	37.3	37.3	38.0
		34.7			36.3			37.6		
동부해안	33.0	34.3	34.7	34.7	35.7	36.4	36.9	36.9	37.6	38.0
		34.6			36.3			37.5		
제주도 전체 해안	32.5	34.0	34.5	34.7	35.6	36.2	36.8	36.9	37.3	37.9
		34.4			36.2			37.4		

1971~2000년 값은 관측

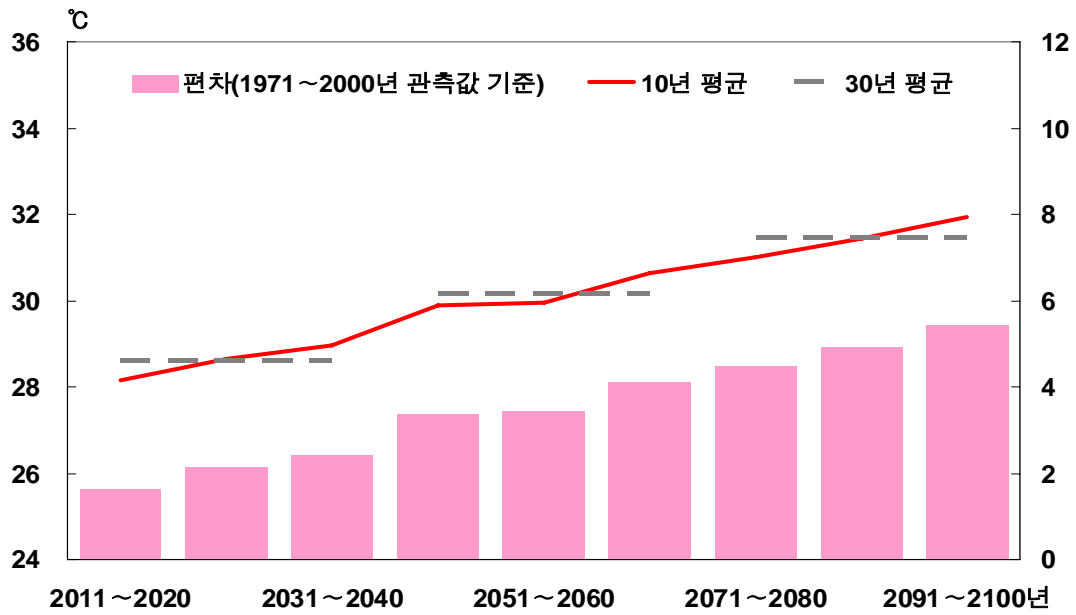


그림 4-3-9. 제주도 해안지역의 일최저기온 최고 미래전망(2011~2100)

표 4-3-9. 제주도 해안지역의 일최저기온 최고 미래전망(2011~2100) (단위: °C)

기간	1971 ~2000년	2011 ~2020년	2021 ~2030년	2031 ~2040년	2041 ~2050년	2051 ~2060년	2061 ~2070년	2071 ~2080년	2081 ~2090년	2091 ~2100년
북부해안	27.1	28.4	28.9	29.2	30.2	30.2	30.9	31.3	31.6	32.3
		28.8			30.5			31.8		
남부해안	26.9	28.5	28.8	29.3	30.2	30.2	30.8	31.2	31.8	32.1
		28.9			30.4			31.7		
동부해안	26.6	27.8	28.3	28.6	29.6	29.6	30.3	30.7	31.1	31.6
		28.2			29.8			31.1		
제주도 전체 해안	26.5	28.2	28.7	29.0	29.9	29.9	30.6	31.0	31.4	31.9
		28.6			30.2			31.5		

1971~2000년 값은 관측

일최고기온의 최저 및 일최저기온의 최저의 변동은 과거 30년에 비하여 일최고기온의 최고 및 일최저기온의 최고의 변동보다 작은 변화를 보일 것으로 전망된다. 일최고기온의 최저값은 2011~2040년 기간에 1.1℃, 2071~2100년 기간에 3.9℃ 증가할 것으로 전망된다. 일최저기온의 최저값은 2011~2040년과 2071~2100년 기간에 각각 1.3℃, 3.9℃ 증가할 것으로 전망된다(그림 4-3-10; 표 4-3-10; 그림 4-3-11; 표 4-3-11).

다른 기온극한지수들과 유사하게 이전과 이후 10년 간격별 변화 전망치를 살펴보면, 일최고기온의 최저 상승률은 2031~2040년 기간과 2041~2050년 기간에 가장 뚜렷한 상승폭을 보일 것으로 전망된다. 반면 일최저기온 최저는 2051~2060년 기간에서 2061~2070년에 가장 뚜렷한 상승폭을 보일 것으로 전망된다.

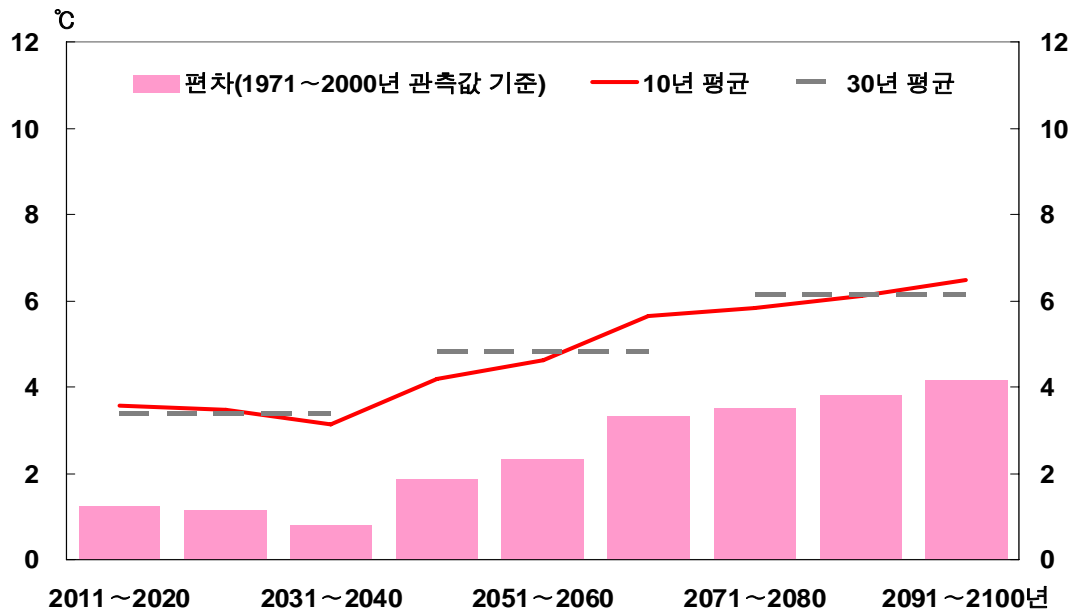


그림 4-3-10. 제주도 해안지역 일최고기온 최저 미래전망(2011~2100)

표 4-3-10. 제주도 해안지역 일최고기온 최저 미래전망(2011~2100) (단위: ℃)

기간	1971~2000년	2011~2020년	2021~2030년	2031~2040년	2041~2050년	2051~2060년	2061~2070년	2071~2080년	2081~2090년	2091~2100년
북부해안	1.7	3.3	3.1	2.8	3.9	4.3	5.3	5.5	5.8	6.1
		3.1			4.5			5.8		
남부해안	2.8	3.9	3.8	3.4	4.3	5.0	5.9	6.1	6.4	6.9
		3.7			5.1			6.5		
동부해안	1.3	3.1	3.1	2.8	3.8	4.2	5.3	5.5	5.8	6.0
		3.0			4.4			5.8		
제주도 전체 해안	2.3	3.6	3.5	3.1	4.2	4.6	5.7	5.8	6.1	6.5
		3.4			4.8			6.2		

1971~2000년 값은 관측

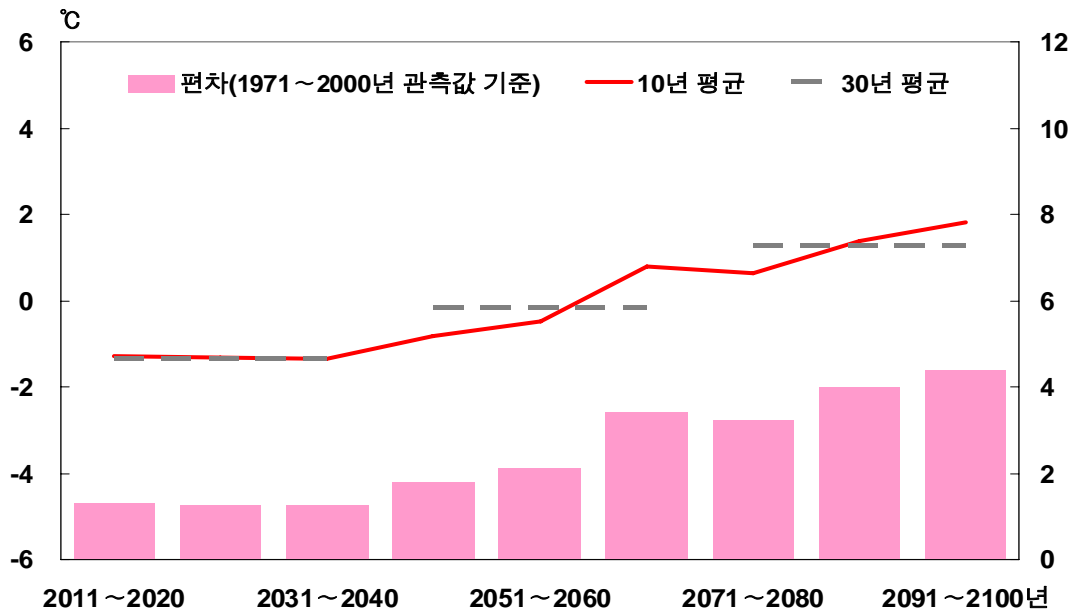


그림 4-3-11. 제주도 해안지역 일최저기온 최저 미래전망(2011~2100)

표 4-3-11. 제주도 해안지역 일최저기온 최저 미래전망(2011~2100) (단위: °C)

기간	1971~2000년	2011~2020년	2021~2030년	2031~2040년	2041~2050년	2051~2060년	2061~2070년	2071~2080년	2081~2090년	2091~2100년
북부해안	-2.5	-1.1	-1.1	-1.2	-0.6	-0.3	1.0	0.8	1.5	1.9
		-1.2			0.0			1.4		
남부해안	-2.8	-1.5	-1.4	-1.3	-0.9	-0.7	0.7	0.5	1.2	1.7
		-1.4			-0.3			1.7		
동부해안	-4.0	-1.7	-1.8	-1.8	-1.3	-0.9	0.3	0.1	0.9	1.4
		-1.8			-0.6			0.8		
제주도 전체 해안	-2.6	-1.3	-1.3	-1.3	-0.8	-0.5	0.8	0.6	1.4	1.8
		-1.3			-0.2			1.3		

1971~2000년 값은 관측

뚜렷한 여름철 기온상승과 상대적으로 약한 겨울철 기온상승의 경향으로 연중 최고기온과 최소기온의 차이를 나타내는 연극한 기온교차는 과거 30년에 비하여 2011~2040년 기간에 약 0.6℃증가하고, 원(遠)미래에 해당하는 2071~2100년 기간에는 1.0℃증가할 것으로 전망된다.(그림 4-3-12; 표 4-3-12)

다른 기온극한지수의 경우에는 21세기 동안 전반적으로 지속적으로 상승하는 경향이 나타났지만, 연극한 기온교차의 경우에는 2071~2100년 기간보다 2041~2070년 기간에 오히려 더 높은 값을 보일 것으로 전망된다. 이러한 경향은 주로 일최고기온 최고의 증가가 뚜렷하게 나타나고 상대적으로 일최저기온의 최저의 증가가 약하게 나타나는 것과 관련이 있을 것으로 전망된다.

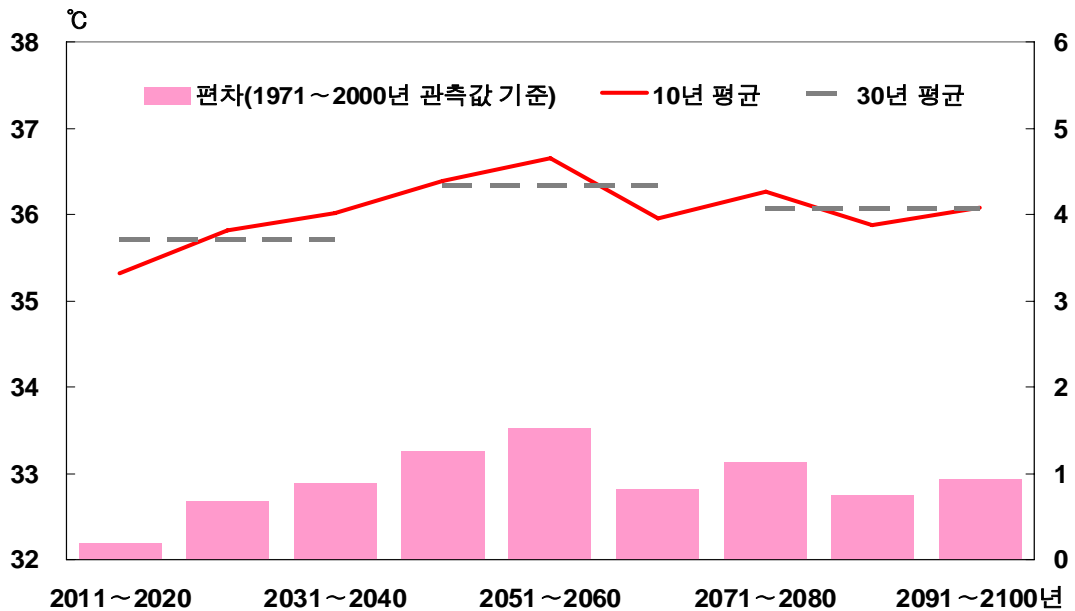


그림 4-3-12. 제주도 해안지역 연극한기온교차 미래전망(2011~2100)

표 4-3-12. 제주도 해안지역 연극한기온교차 미래전망(2011~2100) (단위: °C)

기간	1971~2000년	2011~2020년	2021~2030년	2031~2040년	2041~2050년	2051~2060년	2061~2070년	2071~2080년	2081~2090년	2091~2100년
북부해안	37.0	35.2	35.7	35.9	36.3	36.6	35.9	36.1	35.9	36.1
		35.6			36.2			36.0		
남부해안	35.7	35.8	36.2	36.5	36.8	36.9	36.2	36.8	36.1	36.3
		36.1			36.6			36.34		
동부해안	37.0	36.0	36.5	36.6	37.0	37.3	36.6	36.8	36.7	36.6
		36.4			37.0			36.7		
제주도 전체 해안	35.1	35.3	35.8	36.0	36.4	36.6	36.0	36.3	35.9	36.1
		35.7			36.3			36.1		

1971~2000년 값은 관측

제주도의 해안지역은 아열대 기후지역에 속해 있어 난대림의 전형적인 식생경관이 나타난다. 식물성장기간(일평균기온이 5℃ 보다 높은 날이 적어도 6일 이상 지속된 첫 날부터 일평균기온이 5℃ 미만인 날이 적어도 6일 이상 지속된 첫 날까지 사이의 연중 일수)은 1971~2000년 기간에 이미 363.4일로 연중 대부분이 식물성장기간에 해당한다.(그림 4-3-13; 표 4-3-13). 따라서 21세기 동안에 온난화가 진행되면 2041~2050년부터는 연 중 365일 내내 식물성장기간이 가능할 것으로 전망된다. 특히 1971~2000년 기간에 특정년도에 겨울철 시베리아 기단 확장에 기인하는 기온하강 현상에 의해 발생했던 연 중 수일동안 발생하는 식물성장기간에 해당하지 않는 경우는 21세기에는 거의 사라질 것으로 전망된다.

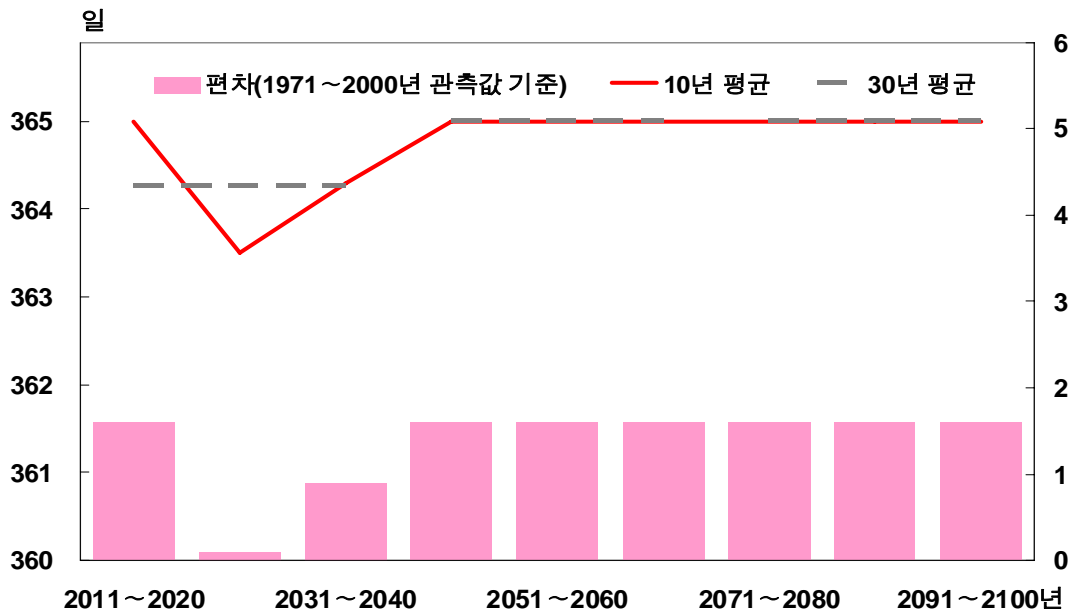


그림 4-3-13. 제주도 해안지역 식물성장기간 미래전망(2011~2100)

표 4-3-13. 제주도 해안지역 식물성장기간 미래전망(2011~2100) (단위: 일수)

기간	1971~2000년*	2011~2020년	2021~2030년	2031~2040년	2041~2050년	2051~2060년	2061~2070년	2071~2080년	2081~2090년	2091~2100년
북부해안	358.5	365.0	365.0	364.3	365.0	365.0	365.0	365.0	365.0	365.0
		364.8			365.0			365.0		
남부해안	362.6	365.0	365.0	365.0	365.0	365.0	365.0	365.0	365.0	365.0
		365.0			365.0			365.0		
동부해안	355.5	365.0	363.5	364.3	365.0	365.0	365.0	365.0	365.0	365.0
		364.3			365.0			365.0		
제주도 전체 해안	363.4	365.0	363.5	364.3	365.0	365.0	365.0	365.0	365.0	365.0
		364.3			365.0			365.0		

1971~2000년 값은 관측



과거 30년(1971~2000) 일최고기온 평균에 비하여 5℃이상 더 높은 값을 최소 5일 이상 지속하는 최대열파지속일수도 과거 30년(1971~2000)에 비하여 2011~2040년 기간에 1.8회로 증가하고 이 후 더 빠르게 증가하여 2071~2100년 기간에는 64일까지 증가할 것으로 전망된다(그림 4-3-14; 표 4-3-14).

제주도 해안지역의 이러한 증가경향은 2041~2050년대에 8.6일로 나타나고, 2061~2070년대에는 29.8일로 약 한 달간이 최대열파지속일에 해당할 것으로 전망된다. 이전 10년 기간에 대한 2061~2070년 기간의 뚜렷한 증가경향은 21세기 말에도 지속적으로 뚜렷하게 나타날 것으로 전망된다.

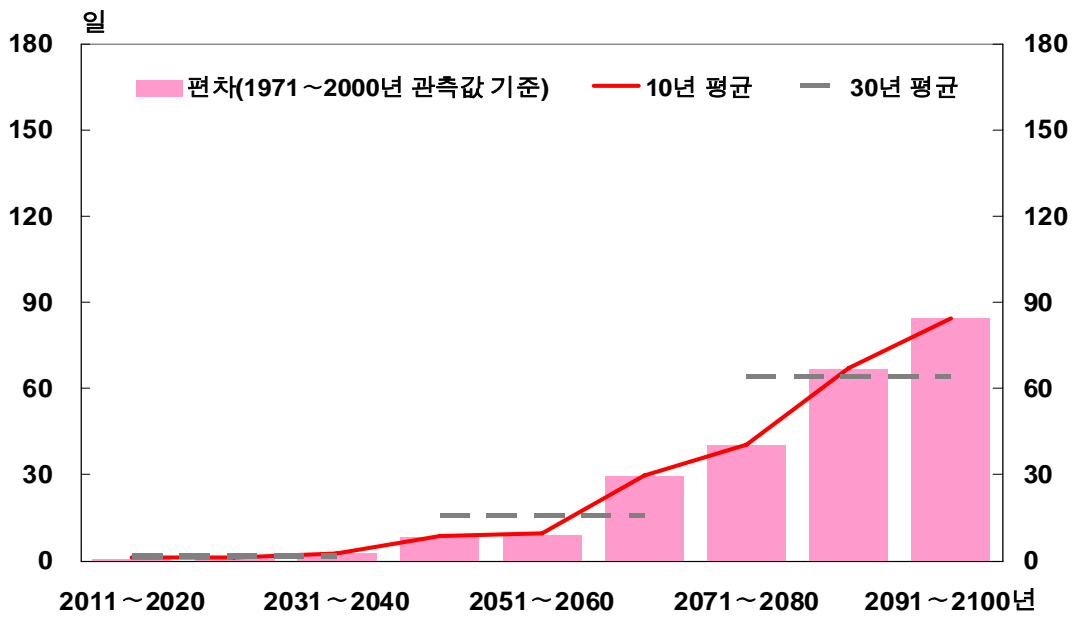


그림 4-3-14. 제주도 해안지역 최대열파지속일수 미래전망(2011~2100)

표 4-3-14. 제주도 해안지역 최대열파지속일수 미래전망(2011~2100) (단위: 일수)

기간	1971~2000년	2011~2020년	2021~2030년	2031~2040년	2041~2050년	2051~2060년	2061~2070년	2071~2080년	2081~2090년	2091~2100년
북부해안	0.2	1.8	3.0	3.9	8.8	11.6	36.4	49.8	82.7	94.6
		2.9			18.9			75.7		
남부해안	0.2	1.2	2.1	1.2	4.5	9.7	20.6	29.0	51.9	62.7
		1.5			11.6			47.9		
동부해안	0.4	1.2	1.4	3.6	9.1	13.5	29.8	43.7	75.1	85.4
		2.1			17.5			68.1		
제주도 전체 해안	0.2	1.2	1.4	2.7	8.6	9.6	29.8	40.5	67.0	84.5
		1.8			16.0			64.0		

1971~2000년 값은 관측

고온극한지수의 지속기간 변화와 관련하여 과거 30년(1971~2000) 일평균기온이 95퍼센타일 이상인 경우가 연중 가장 오래 지속된 사례를 나타내는 연속온난일의 장기간 변화 전망을 살펴보면 21세기에는 고온극한일의 지속기간이 증가할 것으로 전망된다(그림 4-3-15; 표 4-3-15). 연속온난일은 2011~2040년 기간에는 55.2일로 증가할 것으로 전망되고, 2041~2070년 기간에는 140.1일로 이전 30년 기간에 비하여 2배 이상 증가할 것으로 전망된다. 연속온난일은 2041~2070년 기간에는 210.5일로 2011~2040년 기간에 비하여 약 4배로 증가할 것으로 전망된다.

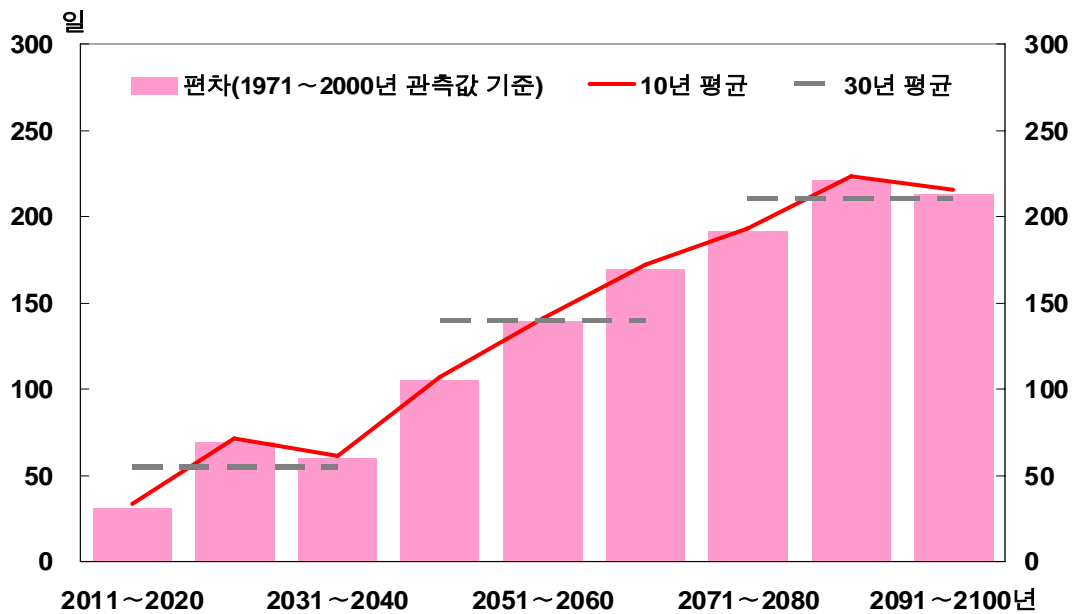


그림 4-3-15. 제주도 해안지역 연속온난일 지속기간 미래전망(2011~2100)

표 4-3-15. 제주도 해안지역 연속온난일 지속기간 미래전망(2011~2100) (단위: 일수)

기간	1971~2000년	2011~2020년	2021~2030년	2031~2040년	2041~2050년	2051~2060년	2061~2070년	2071~2080년	2081~2090년	2091~2100년
북부해안	0.4	20.0	35.0	33.9	61.8	91.0	118.6	141.8	175.5	179.4
		29.6			90.5			165.6		
남부해안	1.9	27.5	51.9	51.8	92.9	120.9	152.7	174.3	199.0	202.4
		43.7			122.2			191.9		
동부해안	1.6	23.5	51.7	46.5	90.7	126.7	159.2	177.0	208.7	205.5
		40.6			125.5			197.1		
제주도 전체 해안	1.9	33.1	71.0	61.4	107.1	141.3	172.0	193.1	223.0	215.4
		55.2			140.1			210.5		

1971~2000년 값은 관측

고온극한지수의 임계치 변화와 관련하여 연중 일최고기온의 99퍼센타일에 해당하는 값의 장기간 변화 전망을 살펴보면 21세기에는 고온극한값의 임계치들이 증가할 것으로 전망된다(그림 4-3-16; 표 4-3-16). 제주도 해안지역 최고기온 99퍼센타일 값은 과거 30년(1971~2000)에 비하여 2011~2040년 기간에는 1.7℃ 더 증가할 것으로 전망되고, 2041~2070년 기간에는 3.4℃ 더 증가할 것으로 전망된다. 최고기온 99퍼센타일 값은 과거 30년(1971~2000)에 비하여 2071~2100년 기간에는 4.6℃ 더 증가할 것으로 전망된다. 21세기 10년 단위 시계열을 살펴보면 대체로 전체기간의 고온극한 지수 임계치 증가는 지속적으로 나타날 것으로 전망된다.

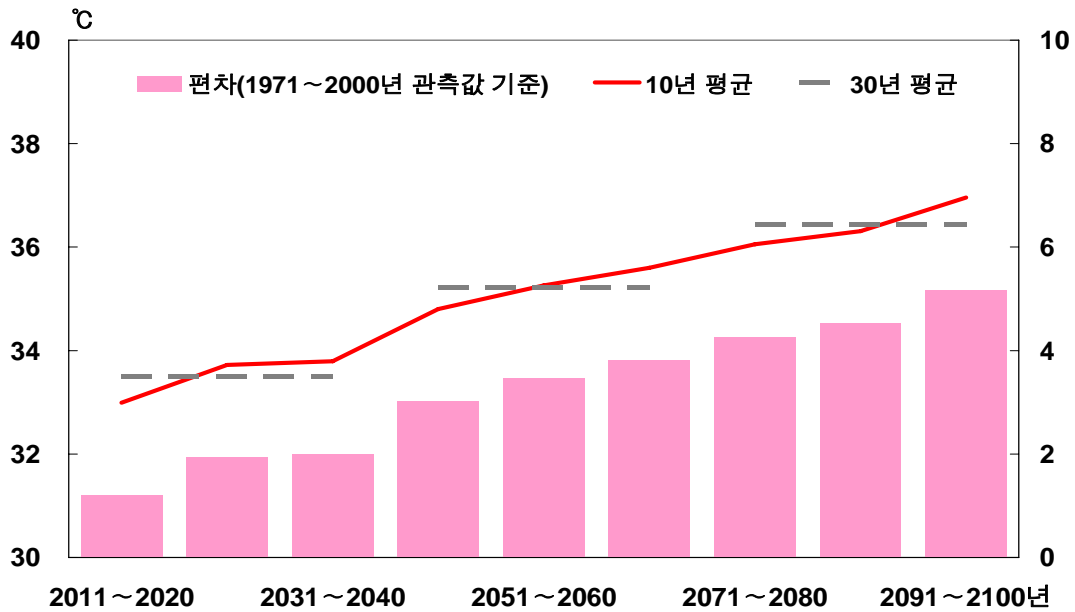


그림 4-3-16. 제주도 해안지역 최고기온 99퍼센타일 미래전망(2011~2100)

표 4-3-16. 제주도 해안지역 최고기온 99퍼센타일 미래전망(2011~2100) (단위: °C)

기간	1971~2000년	2011~2020년	2021~2030년	2031~2040년	2041~2050년	2051~2060년	2061~2070년	2071~2080년	2081~2090년	2091~2100년
북부해안	33.0	33.0	33.7	33.7	34.9	35.2	35.6	36.0	36.3	36.9
		33.5			35.2			36.4		
남부해안	31.8	33.2	33.9	33.9	34.8	35.4	35.7	36.2	36.5	37.0
		33.7			35.3			36.6		
동부해안	31.9	33.1	33.8	33.8	34.9	35.4	35.6	36.0	36.5	36.9
		33.6			35.3			36.5		
제주도 전체 해안	31.8	33.0	33.7	33.8	34.8	35.3	35.6	36.1	36.3	37.0
		33.5			35.2			36.4		

1971~2000년 값은 관측

고온극한지수의 임계치 변화와 관련하여 연중 일최고기온의 99퍼센타일과 유사하게 95퍼센타일에 해당하는 값도 21세기에는 지속적으로 증가할 것으로 전망된다(그림 4-3-17; 표 4-3-17). 제주도 해안지역 최고기온 95퍼센타일 값은 과거 30년(1971~2000)에 비하여 2011~2040년 기간에는 1.8℃ 더 증가할 것으로 전망되고, 2041~2070년 기간에는 3.6℃ 더 증가할 것으로 전망된다. 최고기온 95퍼센타일 값은 과거 30년(1971~2000)에 비하여 2071~2100년 기간에는 4.8℃ 더 증가할 것으로 전망된다. 21세기 10년 단위 시계열을 살펴보면 일최고기온 95퍼센타일 값은 2031~2040년 기간에만 이전 10년 기간에 비하여 변화가 둔화되었다가 21세기 말까지 지속적으로 증가할 것으로 전망된다.

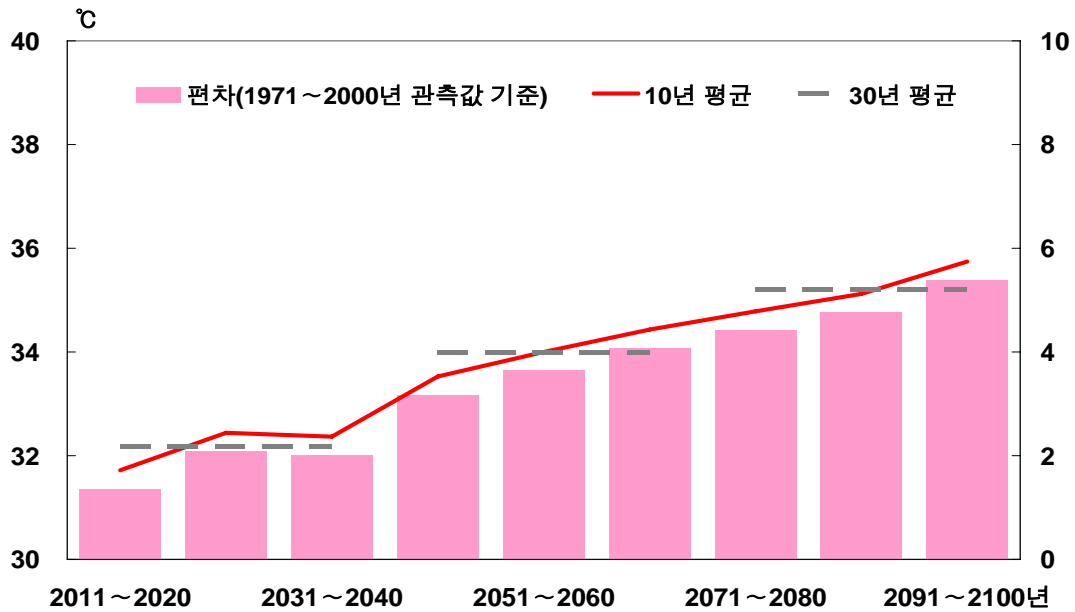


그림 4-3-17. 제주도 해안지역 최고기온 95퍼센타일 미래전망(2011~2100)

표 4-3-17. 제주도 해안지역 최고기온 95퍼센타일 미래전망(2011~2100) (단위: °C)

기간	1971~2000년	2011~2020년	2021~2030년	2031~2040년	2041~2050년	2051~2060년	2061~2070년	2071~2080년	2081~2090년	2091~2100년
북부해안	30.8	31.6	32.3	32.3	33.5	34.0	34.4	34.7	35.0	35.7
		32.1			33.9			35.1		
남부해안	30.3	31.7	32.5	32.4	33.5	34.0	34.3	34.8	35.1	35.7
		32.2			33.9			35.2		
동부해안	30.4	31.8	32.5	32.4	33.6	34.0	34.5	34.8	35.1	35.7
		32.2			34.1			35.2		
제주도 전체 해안	30.4	31.7	32.4	32.4	33.5	34.0	34.4	34.8	35.1	35.7
		32.2			34.0			35.2		

1971~2000년 값은 관측

저온극한지수의 임계치 변화와 관련하여 연중 일최저기온의 1퍼센타일에 해당하는 값의 장기간 변화 전망을 살펴보면 21세기에는 저온극한값의 임계치들이 증가할 것으로 전망된다(그림 4-3-18; 표 4-3-18). 제주도 해안지역 최저기온 1퍼센타일 값은 과거 30년(1971~2000)에 비하여 2011~2040년 기간에는 1.3℃ 더 증가할 것으로 전망되고, 2041~2070년 기간에는 2.6℃ 더 증가할 것으로 전망된다. 일최저기온 99퍼센타일 값은 과거 30년(1971~2000)에 비하여 2071~2100년 기간에는 3.9℃ 더 증가할 것으로 전망된다. 21세기 동안 저온극한현상 임계치도 지속적으로 증가하는 경향이 나타날 것으로 전망되지만 상승 예상정도는 고온극한현상의 임계치 상승 전망치보다는 작음을 알 수 있다

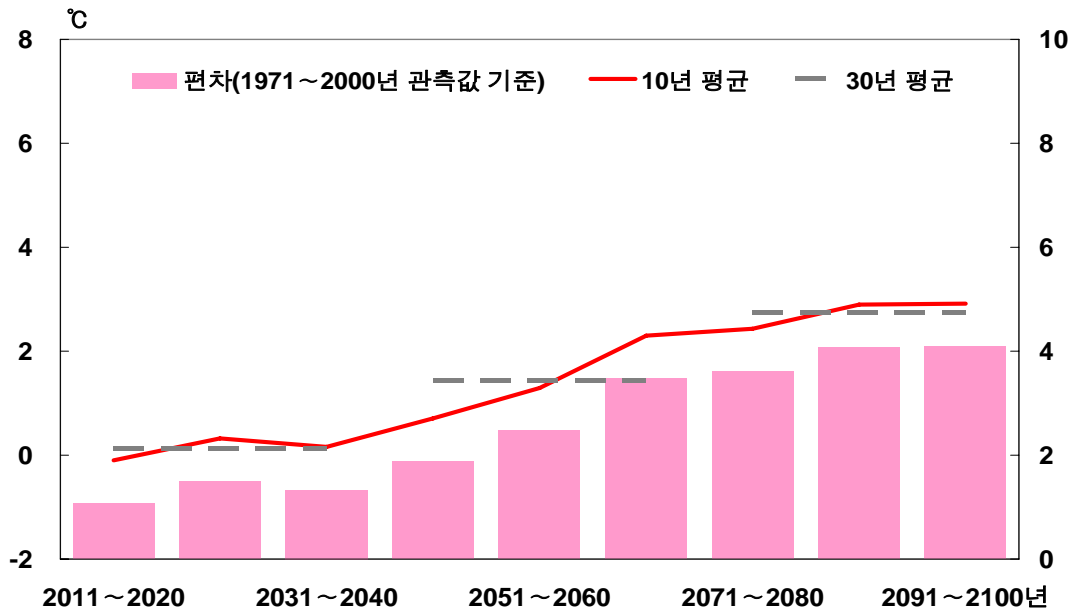


그림 4-3-18. 제주도 해안지역 최저기온 1퍼센타일 미래전망(2011~2100)

표 4-3-18. 제주도 해안지역 최저기온 1퍼센타일 미래전망(2011~2100) (단위: °C)

기간	1971 ~2000년	2011 ~2020년	2021 ~2030년	2031 ~2040년	2041 ~2050년	2051 ~2060년	2061 ~2070년	2071 ~2080년	2081 ~2090년	2091 ~2100년
북부해안	-0.8	0.1	0.5	0.3	0.9	1.5	2.4	2.6	3.1	3.0
		0.3			1.6			2.9		
남부해안	-1.1	-0.1	0.3	0.2	0.7	1.2	2.3	2.4	2.8	2.8
		0.2			1.4			2.7		
동부해안	-2.4	-0.5	-0.1	-0.3	0.3	0.9	1.8	2.0	2.5	2.4
		-0.3			1.0			2.3		
제주도 전체 해안	-1.2	-0.1	0.3	0.2	0.7	1.3	2.3	2.4	2.9	2.9
		0.1			1.4			2.7		

1971~2000년 값은 관측

저온극한지수의 임계치 변화와 관련하여 연중 일최저기온의 1퍼센타일과 유사하게 5퍼센타일에 해당하는 값도 고온극한지수의 임계치의 증가 전망치보다는 덜하지만 21세기에 지속적으로 증가할 것으로 전망된다(그림 4-3-19; 표 4-3-19). 제주도 해안지역 최저기온 5퍼센타일 값은 과거 30년(1971~2000)에 비하여 2011~2040년 기간에는 1.3℃ 더 증가할 것으로 전망되고, 2041~2070년 기간에는 2.6℃ 더 증가할 것으로 전망된다. 최저기온 5퍼센타일 값은 과거 30년(1971~2000)에 비하여 2071~2100년 기간에는 4.0℃ 더 증가할 것으로 전망된다. 10년 단위 시계열을 살펴보면 일최저기온 5퍼센타일 값은 21세기 중반에 가장 뚜렷하게 증가할 것으로 전망된다.

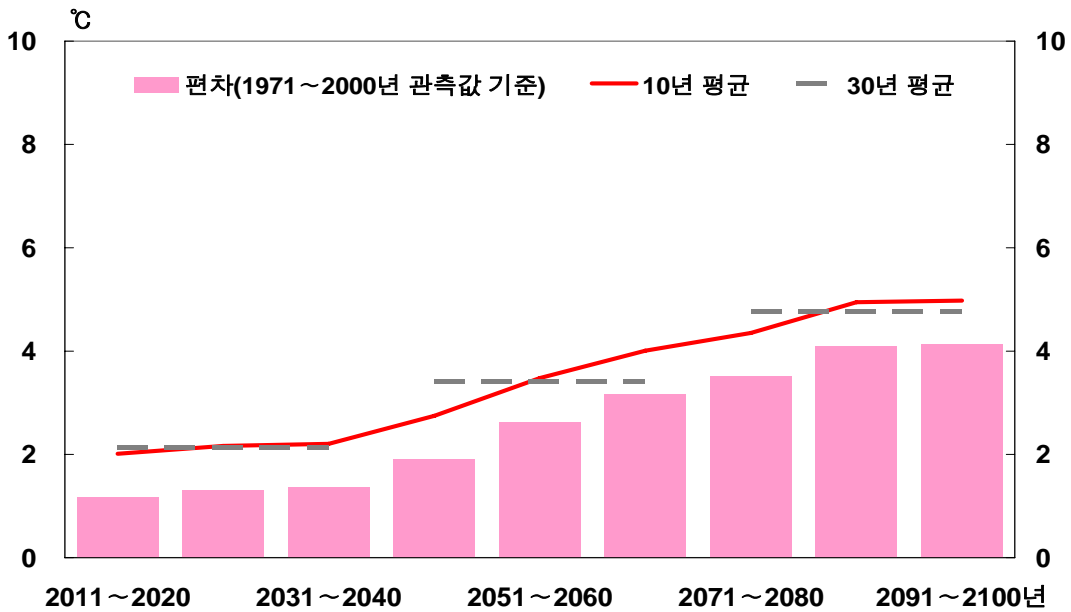


그림 4-3-19. 제주도 해안지역 최저기온 5퍼센타일 미래전망(2011~2100)

표 4-3-19. 제주도 해안지역 최저기온 5퍼센타일 미래전망(2011~2100) (단위: °C)

기간	1971~2000년	2011~2020년	2021~2030년	2031~2040년	2041~2050년	2051~2060년	2061~2070년	2071~2080년	2081~2090년	2091~2100년
북부해안	1.2	2.1	2.3	2.4	2.9	3.7	4.2	4.5	5.1	5.2
		2.3			3.6			4.9		
남부해안	1.1	2.1	2.2	2.2	2.8	3.5	4.1	4.4	5.0	5.0
		2.2			3.5			4.8		
동부해안	-0.5	1.6	1.7	1.8	2.3	3.1	3.7	3.9	4.6	4.7
		1.7			3.0			4.4		
제주도 전체 해안	0.8	2.0	2.2	2.2	2.7	3.5	4.0	4.4	4.9	5.0
		2.1			3.4			4.8		

1971~2000년 값은 관측

이상과 같이 상대적 임계치인 퍼센타일을 기준으로 한 기온극한 지수들과 고정된 임계치를 사용한 기온극한지수들 포함한 총 15개의 기온극한지수와 기상청의 온실기체 중배출 시나리오(A1B) 근거한 기온 미래 기후변화 시나리오 자료를 바탕으로 제주도 해안지역의 21말까지의 극한기후지수 변화 전망을 살펴보았다.

전체 15개 기온극한기후 지수에서 공통적으로 나타나는 내용을 요약하여 보면, 한반도 전체적으로 지난 과거 관측자료에서 저온 극한 현상들의 감소패턴은 대표적인 기후변화 양상중의 하나였지만, 21세기의 대표적인 기후변화 양상은 여름철 고온의 발생과 고온극한 현상의 뚜렷한 증가추세일 것으로 전망된다.





## **5. 제주도의 기후변화의 영향과 대응**

1. 기후변화와 관련된 주요 분야
2. 분야별 기후변화 영향 및 적응 사례
3. 기후변화 저감대책 수립 현황 및 활용방안

# 1. 기후변화와 관련된 주요 분야

제주도는 한반도 최남단에 위치하고 있으며, 아열대 기후의 북쪽 한계지역으로 지구온난화에 의해 기후대가 이동함에 따라 그 영향이 뚜렷하게 나타나고 있는 지역에 속한다. 제주도에서는 연중 온난한 아열대기후를 이용하여 감귤산업이 가능하였고, 최근에는 화산활동에 의해 형성된 한라산, 화산동굴, 오름 등 다양한 지형자원을 기반으로 세계적인 관광도시로 발돋움 하고 있다. 21세기에 화석연료 사용이 줄어들지 않는 한 기후변화는 제주도의 자연생태계 뿐만 아니라 사회, 경제적 활동에도 많은 영향을 미치게 될 것으로 예상된다. 특히 제주도에서는 농업, 수산업 등의 1차 산업과 관광업을 포함한 3차 산업이 기후변화에 의해 많은 영향을 받을 것으로 예상된다.

최근 제주도에서는 기후변화에 대비하여 농업, 산림, 해양, 수산업과 물 관리, 재난 및 재해 관리 측면에 초점을 맞추어 다양한 기후변화에 대한 영향평가 및 대응전략을 수립해 나가고 있다(그림 5-1-1). 제주도의 기후변화 적응 세부분야는 중앙정부 차원에서 국가 기후변화적응센터가 수립한 국가 기후변화 적응대책(2011-2015)을 기초로 한 것이다. 국가 기후변화 적응대책은 건강, 재난/재해, 농업, 산림, 해양/수산업, 물 관리, 생태계, 기후변화 감시예측, 적응산업 에너지, 교육홍보, 국제협력 등 총 10개 분야로 세분화 되어 있다(그림 5-1-2).

이 장에서는 제주도에서 현재 나타나고 있는 기후변화 영향 사례 및 이에 대한 대응체계 마련 사례들을 상세하게 소개하고자 한다. 10개 분야 이외에 제주도는 다양한 자연 및 문화 자원을 기반으로 한 관광업이 주요 수입원으로 자리 잡고 있기 때문에 기후변화가 관광업에 미치는 영향도 포함시켜 살펴볼 것이다.



그림 5-1-1. 제주도의 기후변화 영향 평가 및 적응대책 마련 중점 분야



그림 5-1-2. 국가 기후변화적응대책 세부 분야(출처: 국가 기후변화적응센터)

## 2. 분야별 기후변화 영향 및 적응 사례

### 1) 관광업

제주도의 관광업은 풍부한 화산지형과 잘 보존된 천연자원, 탐라문화 유산을 기반으로 한 관광문화 자산과 항공 및 해상 교통의 발달과 더불어 제주도의 주요한 산업 중의 하나로 자리 잡게 되었다. 현재 진행되고 있는 기후변화의 영향이 일부 관광자원에 영향을 미치고 있는 징후들이 나타나고 있고, 기후변화에 따라 이러한 기후변화 양상이 미칠 수 있는 긍정적인 효과와 부정적인 효과에 대한 다양한 전망들이 제시되고 있다. 제주발전연구원에서는 인위적 기후변화의 주요요인인 CO<sub>2</sub> 방출을 억제하기 위한 기후변화 저감정책의 일환으로 탄소세 제도가 도입된다면 유류비가 상승되기 때문에 제주도에 접근비용이 증가하게 되므로 관광객이 감소할 수 있다고 전망하였다. 이와 반대로 긍정적인 전망으로 현재 북위 25°에 위치한 최적의 관광지역이 지구온난화로 인해 북상하게 되면, 제주도 이 지역에 위치하게 되어 관광 수익의 증대를 가져 올 수 있다는 견해도 있다.

국립해양조사원의 연구에 따르면 지구온난화의 대표적인 영향인 해수면 상승현상은 1960년~2006년 사이에 5.6mm/년의 상승률이 나타나는 것으로 보고되었다. 제주도 주변 수역의 해수면 상승률은 같은 기간 동안의 동해안 상승률(1.4mm), 서해안 상승률(1.0mm) 및 남해안 상승률(3.4mm)보다 더 높다. 이러한 해수면 상승이 미래에도 지속적으로 진행된다면 제주도 해안 저지대에 위치한 관광자원들을 수몰시켜 해안지형을 활용한 관광업 운영도 큰 손실을 입게 될 것으로 예상된다. 대표적인 기후변화 Landmark 사례로 서귀포시 안덕면 사계리에 위치한 용머리 해안을 들 수 있다(그림 5-2-1). 용머리 해안은 제주도의 서쪽해안에서 해안지형을 이용한 대표적인 관광자원 중의 하나로 1987년 처음 산책

로를 설치한 이래로 방문객이 꾸준히 증가하고 있다. 1980년대 말 당시에는 만조 시에도 용머리 파식대<sup>1)</sup> 산책로가 침수되는 경우가 매우 드물었으나, 최근에는 만조 시 하루 8시간 이상 침수되어 관광객들에게 개방하지 않은 경우가 자주 발생하고 있다(그림 5-2-2).



그림 5-2-1. 산방산에서 바라본 용머리 해안의 모습  
(2011년 7월 이정호 촬영)



그림 5-2-2. 용머리 해안의 모습  
(2011년 7월 최광용 촬영)

2009-2010년 동안 높은 파고로 통제된 경우를 제외한 순수 만조 시에 부분 또는 전면 통제 기록을 살펴보면 연평균 약 93일에 달한다. 현재는 해수면 상승으로 이 지역 관광 가능시간이 단축되는 정도에 머물지만 지구온난화의 가속화로 해수면 상승속도도 더욱 빨라진다면 완전 침수되어 결국 관광자원으로서의 가치를 상실하게 될 것으로 예상된다. 향후 이 지역에 해수면 파식대가 새로 형성되는데 걸리는 시간보다 더 빠른 속도로 해수면 상승이 지속적으로 이루어진다면, 현재 드러난 파식대는 결국 평균해수면 아래로 침수될 것이다. 그 결과 21세기 말에는 그 후면에 위치한 해안절벽만이 수면위로 남게 되어 기암절벽 위에서 바다를 내려다보게 될 것이다.

## 2) 수산업

제주도는 오래전부터 도서지역이라는 특성으로 인해 어업이 주민들의 중요한 생계 수단이었다. 최근 지구온난화로 인한 제주도 주변해역의 수온상승으로 인해 어업에도 큰 변화를 가져오게 되었다. 국립해양조사원의 제주도 남북해안의 해수면 자료의 분석결과를 보면, 제주지역의 수온은 1970년대부터 2000년 후반까지 약 0.06℃/년의 비율로 상승하였고, 서귀포 지역의 경우 약 0.07℃/년의 비율로 상승하였다(그림 5-2-3). 이와 같은 해수온도의 상승은 전 세계 평균값 0.04℃/년에 비하여 1.5배 이상에 해당하는 높은 상승률을 보이고 있다.

1) 파식대(wave-cut platform, 波蝕臺) 파도의 침식과 풍화작용으로 생긴 해안에 가까운 해저에 생긴 평탄면.

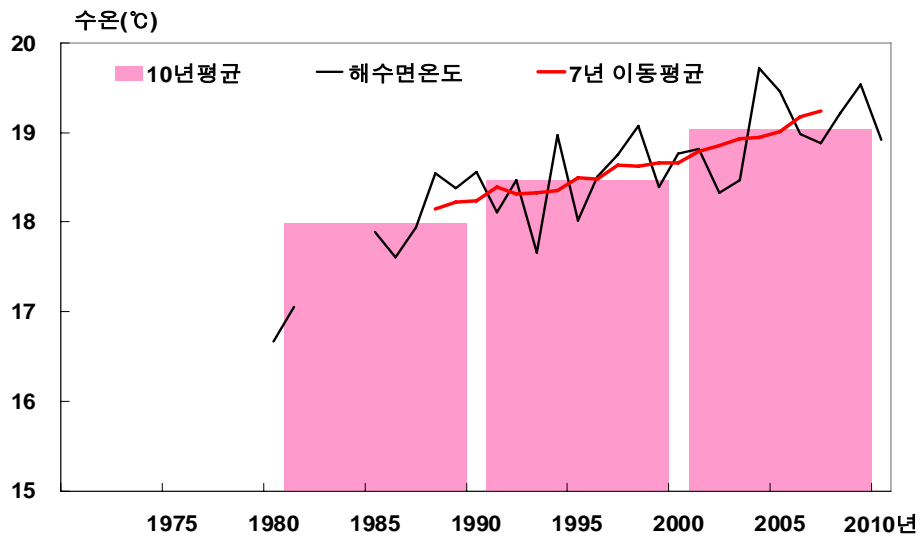
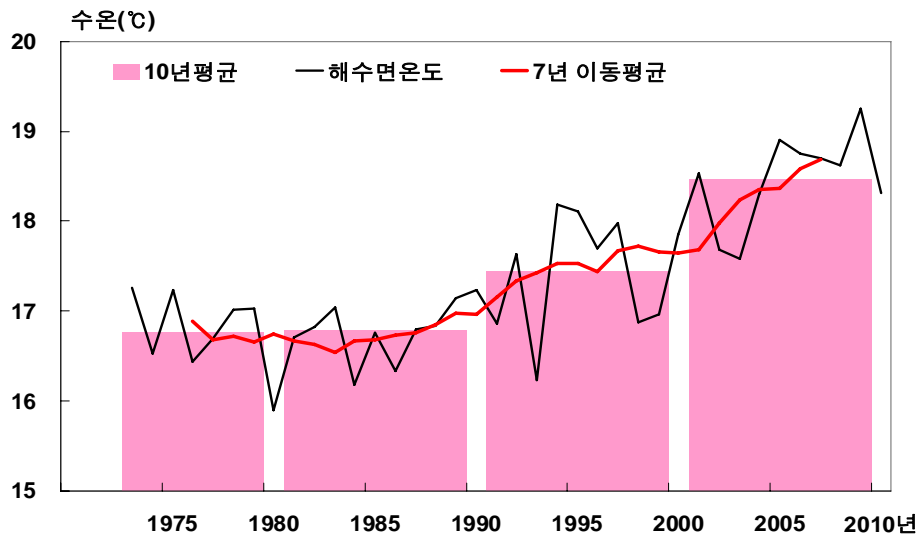


그림 5-2-3. 제주 지역(위), 서귀포 지역(아래)의 해수면 온도 변화(자료출처: 국립해양조사원)

이에 따라 해양 생태계에도 변화가 나타나 제주도 주변 해상의 어종, 어획량, 수확시기에도 많은 변화가 나타나고 있다(그림 5-2-4). 지난 20년(1990-2010) 어업통계에 따르면 제주도에서는 갈치와 같은 난류성 어종 어획량은 눈에 띄게 증가한 반면 한류성 해조류인 툇의 수확량은 눈에 띄게 감소하였다. 동북아시아에서는 최근 불규칙적인 한파 발생과 홍수로 중국 양쯔강 등에서 방류되는 차가운 담수의 영향으로, 일부 정반대로 난류성 어종이 제주도 서해상을 따라 감소하고 오히려 툇의 생산량이 증가한 해도 있었으나 장기적 관점에서는 난대성 어획량이 증가하고, 반대로 한대성 어획량은 감소하는 추세가 향후 지배적일 것으로 전망된다. 최근에는 수온상승으로 제주 남쪽 해안지역에서만 발견되던 아열대 산호가 북부 조천 해안지역에서도 발견되고 있다는 보도가 있었다.(경향신문 2011년 8월 9일자).

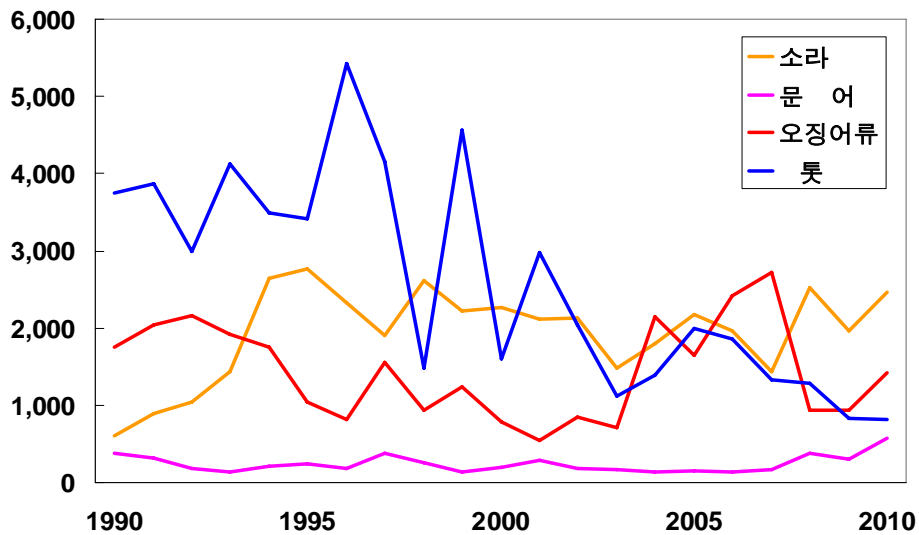
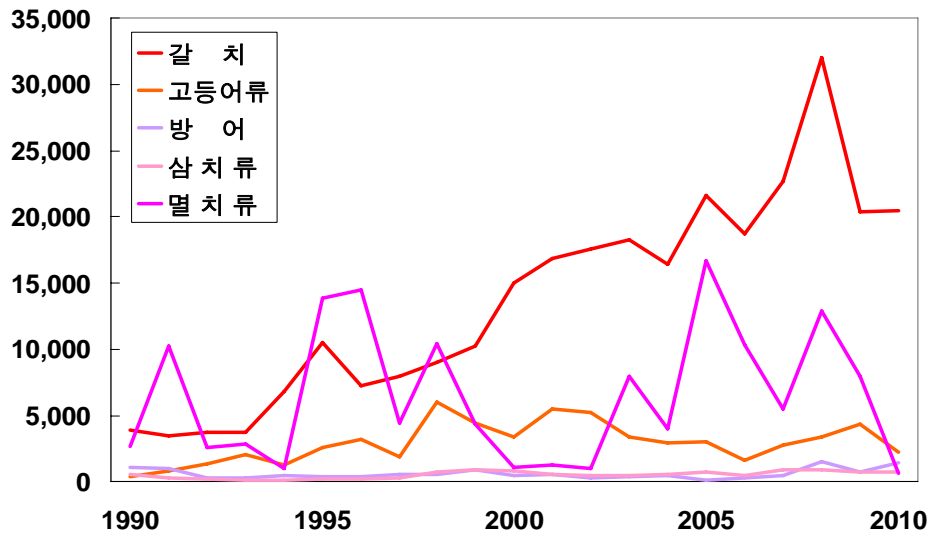


그림 5-2-4. 제주도 지역의 주요 어류(위)와 패류/연체동물/해조류(아래) 어획량 변화 (단위: 톤) (자료출처: 농림수산식품부 수산정보포털시스템)

### 3) 농업

제주지역은 연중 다습하고 온난한 해양성기후의 영향을 받아 예로부터 감귤산업이 매우 발달하였다. 제주도는 강수량이 풍부한 우리나라 다우지 중의 한 지역이지만 절리가 발달된 현무암으로 이루어진 화산섬이고, 하천과 지표면의 대부분이 얇은 화산토로 이루어져 있어 쉽게 투수되기 때문에, 논농사보다는 밭농사가 주로 이루어지고 있다. 재배기술의 발달로 기후변화가 제주지역의 감귤과 채소류 수확량에 미치는 영향이 뚜렷하게 관찰되고 있지는 않지만, 제주지역의 아열대 특산물들이 한반도 다른 지역에서도 재배가능하게 되었다. 이에 따라 제주지역에서 생산한 감귤이나 채소류가 우리나라 전국 시장에서 시장경쟁력을 잃을 가능성이 제기되고 있다.



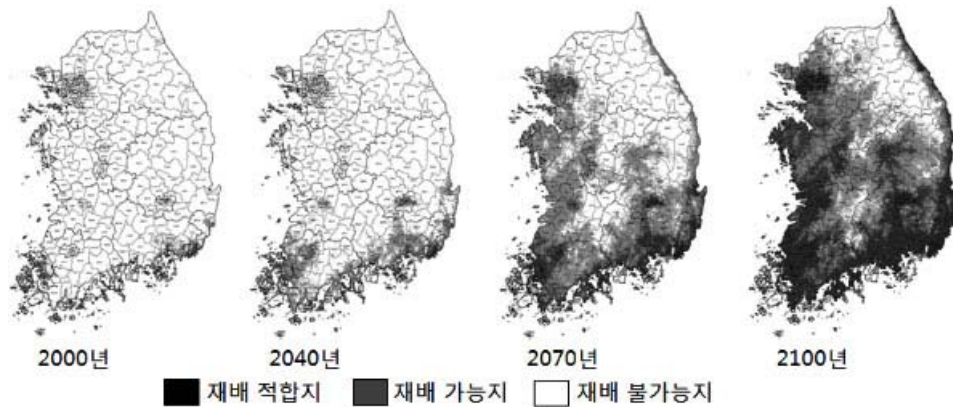


그림 5-2-5. 감귤 재배 적합지의 변화(출처: 한국 기후변화평가보고서, 환경부 국립환경과학원)

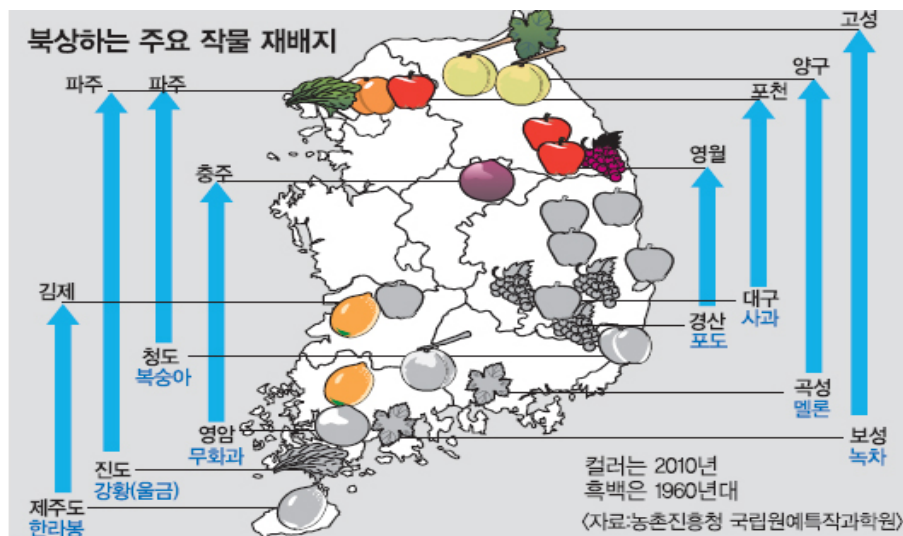


그림 5-2-6. 북상하는 주요 작물 재배지(출처: 농촌진흥청 국립 원예 특작과학원)

온난화로 아열대 농산물 재배 북방한계선이 점차 한반도 남부지역으로 북상하고 있으며 비닐하우스 등 재배기술의 발달로 이러한 변화를 더욱 가속화시키고 있다. 현대 농업이 점차 기업화되는 추세에 있기 때문에 남부지방에서도 점차 아열대 농작물 재배규모가 커진다면 제주도산 감귤이 시장에서 차지하는 비율이 점차 낮아질 것으로 전망된다. 지구 온난화가 가속화 된다면 감귤의 재배 적합지가 제주도에서 한반도 남부 및 중부의 해안 지역까지 북상할 것이라는 전망도 제시되었다(그림 5-2-5). 현재 한반도에서는 감귤이외에도 사과, 포도, 복숭아 등 다양한 과일 생산지가 점차 북상하고 있다고 보고되고 있다(그림 5-2-6).

기후변화가 지속되는 동안, 제주도의 감귤산업이 경쟁력을 확보하기 위해서는 맛과 당도가 우수한 감귤 품종을 특화시켜 재배할 필요성이 있다. 실제 제주도에서는 이미 상품화 고급화 전략의 일환으로 한라봉 이외에도 천혜향과 같은 새로운 품종을 개발하여 고소득을 올리고 있다. 향후 기온상승이 계속 진행된다면 한라산 해발고도 200m이하에서만 재배되던 감귤은 점차 해발고도가 높은 중산간 지역으로 이동하게 될 것으로 전망된다.

농촌진흥청 국립농업과학원은 감귤을 재배하기 가장 적합한 기온을 15.5℃ 이상으로 보고 향후 평균 기온이 2℃ 상승하면 제주도에서 감귤 재배 최적지는 3배 이상 늘어난다는 전망치를 제시하였다(표 5-1-1). 현재 감귤이 재배되고 있는 해안 저지대에는 오히려 열대작물의 재배도 가능하게 될 것으로 예상된다. 제주 온난화대응농업연구센터에서는 제주지역에 맞는 다양한 열대작물을 개발하기 위한 여러 연구들을 활발히 진행하고 있다. 최근에는 제주특별자치도에서도 농민들에게 참다래, 망고, 용과, 구아바, 아떼모아 등과 같은 열대 과수작물에 재배방법에 대한 교육을 시행하고 있다.

표 5-1-1. 온도상승에 따른 제주도 감귤 재배 면적 변화(자료: 농촌진흥청 국립농업과학원, 2011)

온난화 정도	최적지 (15.5℃이상)	적지 (14.5℃ ~ 15.5℃이상)	가능지 (13.8℃ ~ 14.5℃이상)
현재	31,679(1.0)	51,758(1.0)	22,975(1.0)
0.5℃ 상승할 경우	61,292(1.9)	39,566(0.8)	22,975(1.0)
1.0℃ 상승할 경우	83,434(2.6)	30,704(0.6)	18,024(0.8)
2.0℃ 상승할 경우	114,174(3.6)	20,303(0.4)	11,243(0.5)

#### 4) 산림생태계

제주도 중앙에는 해발고도가 최고 1,950m에 이르는 원추형의 한라산이 자리 잡고 있어 수직적으로 다양한 식생 경관이 나타난다. 해안 저지대의 난대림을 시작으로 해발고도가 상승함에 따라 점차 온대식물이나 아고산대 식물들이 나타난다. 이러한 한라산 식생경관은 지형경관과 더불어 관광자원으로써 그 가치를 인정받고 있다. 그러나 최근 기후변화로 인하여 한라산 아고산대 식생경관의 범위가 점차 축소되고, 온대림과 난대림의 서식지가 점차 해발고도가 더 높은 지역으로 확장하고 있다는 연구결과들이 보고되고 있다.

대표적으로 제주도 한라산 아고산지대의 구상나무(*Abies Koreana*)의 고사목의 수가 증가하면서 그 서식지가 점차 축소되고 있는 것이 기후변화의 Landmark로 큰 주목을 받고 있다. 국립산림과학원의 위성영상 분석결과에 따르면 구상나무의 활력도는 고도별로 동일하게 세력이 약해지는 것이 아닌, 특정 지역에서만 약해지는 모습을 확인할 수 있다(그림 5-2-7). 실제 한라산 어리목 코스를 통하여 한라산을 등산하면서 살펴보면 해발고도 1,400m 지역보다는 더 높은 지역에 위치한 윗세오름 대피소에 있는 구상나무 군락지에서 고사목의 분포가 더욱 많음이 뚜렷하게 관찰되고 있다(그림 5-2-8).



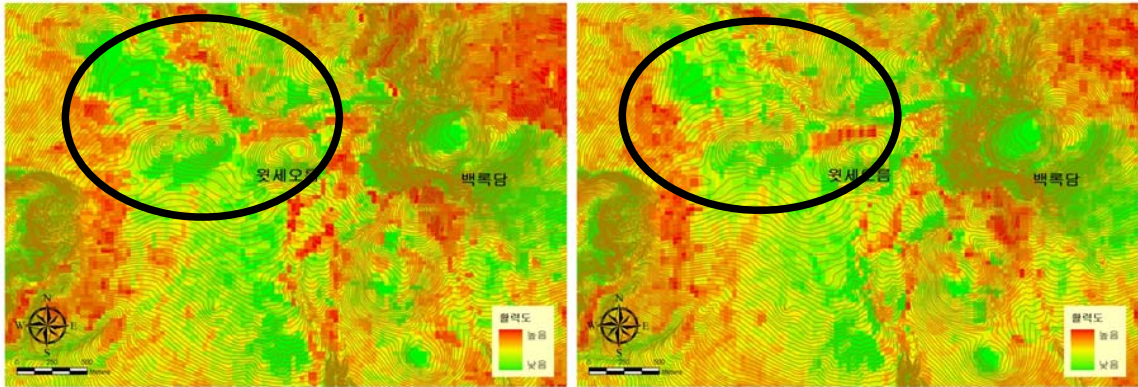


그림 5-2-7. 한라산 정상부 구상나무의 활력도(좌-1994년도, 우-2003년도) : 윗세오름 북서 방향(원 안)으로 활력도가 매우 낮아진 모습을 확인할 수 있음(자료제공: 국립산림과학원 산림생태연구과)



그림 5-2-8. 윗세오름 정상에 위치한 구상나무 고사목(2011년 7월 최광용 촬영)



그림 5-2-9. 한라산 어리목 코스 해발고도 약 1,700m 부근 구상나무 어린 개체 (2011년 7월 최광용 촬영)

구상나무 고사목이 증가하는 현상은 온난화의 직접적인 영향뿐만 아니라 간접적으로는 온난화에 따른 다른 수종들 침입에 의한 경쟁 생존 작용과도 관련되어 있다고 사료된다. 한라산연구소의 최근 연구 결과에 따르면, 저지대의 소나무 군락들이 과거에 비하여 점차 구상나무들이 있는 고산지역으로 이동해 나가고 있다. 따라서 구상나무 군락은 온대림과의 생존 경쟁해야 하는 환경에 놓여 있는 것이다. 현재 진행되고 있는 온난화에 의한 영향은 구상나무 고사목 발생의 수직적 분포 패턴보다는 새로운 어린 구상나무 개체들이 등장하는 고도와 관련하여 더욱 뚜렷하게 나타나고 있다. 실제 어리목 코스를 따라 등산하면서 조사해 보면, 현재 나이가 오래된 개체들이 있는 곳보다 고도가 더 높은 지역을 따라서 어린 구상나무 개체들이 새롭게 자라나고 있음을 관찰할 수 있다(그림 5-2-9). 이렇게 점차 나이든 구상나무가 공간적으로 불규칙하게 쇠퇴하고 어린 개체들도 해발고도가 높은 지역에서만 나타나게 된다면 결과적인 구상나무의 군락지는 점차 해발고도가 높은 지역으로만 한정될 것이다. 최근에 국립산림과학원에서는 점차 온난화가 더욱 오랫동안 강하게 지속된다면 21세기 말에 한라산에서는 구상나무를 찾아 볼 수 없게 될 것이라는 전망도 제시하였다(그림 5-2-10).

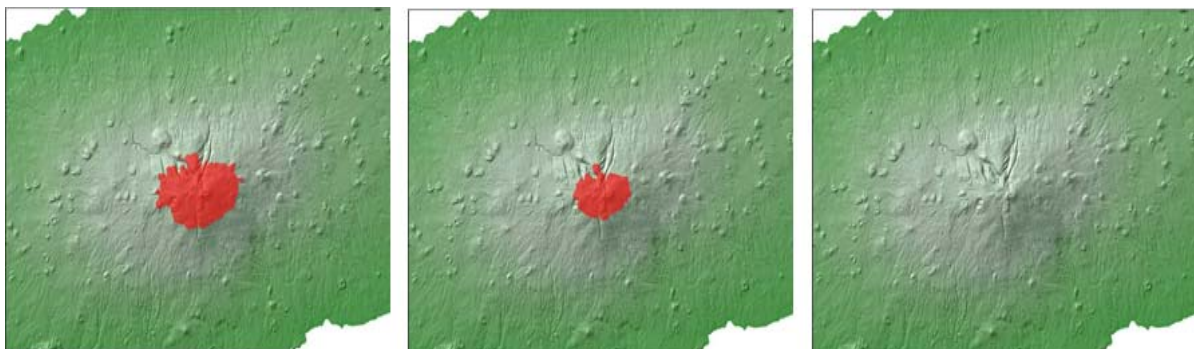


그림 5-2-10. 21세기 한라산의 구상나무 군락지의 변화 전망(좌에서 우로, 2020년, 2060년, 2090년)  
(자료제공: 국립산림과학원 산림생태연구과)

## 5) 재난 및 재해

우리나라의 자연재해는 대부분 기상재해에 해당하며, 특히 여름철에 집중호우에 의해 저지대가 범람하는 수해가 발생함으로써 인명과 재산에 큰 피해를 주고 있다. 최근 10년간 국내에서 발생한 145회의 기상재해에 따른 인명 피해는 사망자 1,058명, 이재민 16만 7,725명이며, 재산 피해는 침수 면적 49만 6,790ha에 피해 금액은 6조 8천억 원에 달하였다. 그 중 제주도에서는 51회의 기상재해가 발생하여 75명이 사망하고, 6천 8백억 원의 재산 피해를 입었다. 우리나라는 동아시아 몬순지역에 속하여 여름철 장마전선을 따라 저기압들이 연속적으로 발생하며, 열대 저위도 지역에서 발원하는 태풍이 북상하여 한반도 지역에 집중호우를 유발한다. 제주에서 발생하는 풍수해의 대부분은 태풍과 집중호우에 의한



것이다. 제주에서 발생한 51회의 자연재해 가운데 태풍과 호우로 인한 재해가 28회에 이른다. 현재까지 서태평양의 경우에는 태풍의 발생빈도나 강도에 뚜렷한 변화가 탐지되고 있지는 않지만 제주지역은 우리나라에 내습하는 태풍의 길목이며, 이러한 저기압 시스템의 강도를 증가시킬 수 있는 수온상승 현상이 뚜렷하게 나타나고 있으므로 다른 지역에 비하여 향후 잠재적인 강한 태풍 발생 시 나타날 수 있는 강풍과 집중호우에 의한 피해를 철저히 대비할 필요성이 있다.



그림 5-2-11. 태풍 나리 강타 시 제주시 침수 피해 발생 모습(출처: 뉴시스)



그림 5-2-12. 성읍 민속마을 내 팽나무가 넘어져 일관헌이 반파된 모습(2011년 8월 최광용 촬영)

최근 5년 동안(2000~2004) 태풍에 의한 제주시의 피해 현황을 살펴보면, 사망자는 2001년 1명, 2003년 2명 발생하였으며, 이재민은 2002년 186명, 2003년 185명, 2004년 98명 발생하였다. 호우에 의한 피해는 침수 면적은 2000년 2,091ha, 2002년 8,505ha, 2003년 7,496ha, 2004년 1,800ha로서 동부 해안지대에서 피해가 크게 발생하고 있다. 피해액은 2000년 91.3억원, 2001년 0.3억원, 2002년 170.6억원, 2003년 153.9억원, 2004년 46.2억원이

었다(디지털 제주시 문화대전). 특히 태풍의 의한 피해는 2002년의 태풍 ‘루사’는 511억원, 2003년의 태풍 ‘매미’는 493억원의 많은 재산 손실과 인명 피해를 주었다. 2007년 나리로 인해 제주시 저지대의 상당부분들이 침수되어 큰 피해를 유발하기도 하였다(그림 5-2-11). 올해(2011년) 제주도를 강타한 태풍 무이파(Muifa)는 성읍 민속 마을 내 문화재로 보호되어 온 800년 된 팽나무가 쓰러지면서 조선시대 관아인 일관헌(日觀軒)<sup>2)</sup>을 덮쳐 건물을 반파시키기도 하였다(그림 5-2-12). 태풍 무이파 내습 시 제주시의 한 초등학교에서는 건물 지붕이 날아가는 등의 피해를 입기도 하였다.

## 6) 수자원

제주도의 한라산 산간 지역의 연 강수량은 4,000~5,000mm로 한반도 평균 강수량에 비하여 3배 이상이며, 해안지역의 연 강수량도 한반도 평균보다 500mm 이상 많은 다우지역에 속한다. 그러나 기반암 대부분이 절리가 발달된 현무암로 이루어진 화산섬이기 때문에 강수현상이 발생하면 대부분이 지표에 의해 흡수 된다. 대부분의 강수는 지하수 대수층으로 흡수되지만, 집중호우나 태풍의 영향으로 많은 비가 오는 경우 일부 하천이 범람하지만 대부분의 경우에는 바로 바닥을 드러낸다. 따라서 과거 제주도 주민들은 해안지역의 용천수나 빗물에 의존하여 생활하였다. 정부에서는 이러한 제주도의 생활용수 부족상황을 해결하기 위하여 1960년대 후반에 제주특별자치도 제주시 해안동에 어승생 저수지 완공하였다.

제주도에서는 수분함유성이 낮은 기반암과 토양의 특성상 연 강수량이 풍부한 특성과는 무관하게 강수현상이 얼마나 연 중 시간적으로 분산되어 발생하는지가 산림생태계와 농작물 생산에 중요하다. 한라산생태계나 넓은 지역에 걸쳐 분산되어 있는 해안 저지대의 농업용수는 일정기간 내에 강수현상이 반복적으로 발생하지 않으면 가뭄이 발생한다. 특히 가을철을 중심으로 여름철의 풍부한 강수량에도 불구하고 가뭄에 의하여 제주도 지역에서는 농작물뿐만 아니라 산림생태계가 피해를 입는 사례들이 보고되고 있다. 한라산연구소의 백록담 담수 자료에 분석에 따르면 한라산 백록담도 연중 가을철에 물이 모두 말라 바닥을 드러나는 빈도가 가장 높다. 반면 겨울철에 한라산에 덮인 적설은 늦봄까지 해발고도가 높은 산간지역에 남아 서서히 녹으면서 주변생태계에 필요한 물을 제공하고 있다.

제주도 지하수는 수자원 균형에서 볼 때 강수에 의한 공급 측면에서 동부 해안 저지대를 제외하고 다른 해안지역에서는 강수량에 변화가 담지 되지 않고 있다. 반면 20세기 후반의 제주도의 인구증가와 지하수를 활용한 다양한 산업들이 활발하게 됨에 따라 제주도

2) 제주도 남제주군 표선면 성읍리에 있는 관아건물. 제주도 유형문화재 제7호. 조선시대의 정의현감이 정사를 보던 청사

수자원의 공급과 수요의 균형에 관한 연구들이 진행되고 있다. 물 공급 측면에서 강수량이 많은 산간 지역의 경우에는 장기간 관측된 강수 자료가 없기 때문에 최근 어떠한 변화가 나타나고 있는지 알 수 없다. 제주도 수자원 확보 기술개발 사업단에서는 최근 지하수의 사용량의 증가에 따라 장기간 측면에서 제주도 수자원을 확보하기 위해 여러 가지 대응 사업을 수행하고 있다. 대표적으로 2007년 J-ART 사업(제주도 친화형 지하수 인공함양 기술) 사업을 수행하여 하천에 보를 세운 뒤 넘치는 물을 저장했다가 재사용하는 기술을 시행하기 시작하였다(그림 5-2-13).

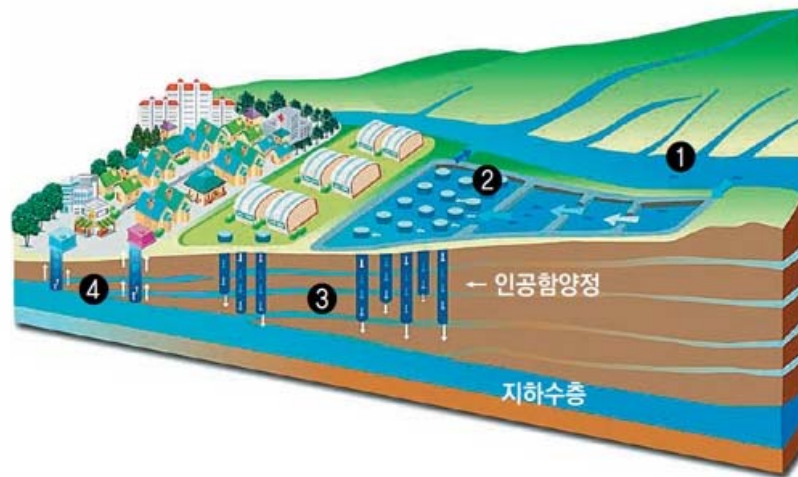


그림 5-2-13. 제주 친화형 지하수 인공함양 기술(수자원의 지속적 확보 기술개발 사업단)

## 7) 보건 및 건강

전 세계적으로 기후변화에 의해서 말라리아, 뎅기열 같은 열대 풍토병을 일으키는 매개체인 모기가 고위도로 북상하거나 고지대로 이동하고 있다. 우리나라에서도 이러한 아열대 풍토병 발생에 의한 국민 건강 위협에 대한 대응책을 수립하기 위하여, 질병관리본부에서는 전국 각 지점에 설치하여 모기매개체 중 이러한 풍토병을 일으키는 모기 발생률에 대해서 조사를 해오고 있다. 특히 아열대 기후대에 속하는 제주도 해안지역에 2개 관측 지점을 설치하고 관측을 해오고 있다. 질병관리본부에서 최근우리나라 말라리아 발생의 시공간적 패턴을 분석을 한 결과에 따르면, 말라리아 발생률은 방역활동이 제약된 DMZ 지역 주변에서 발생률이 높고, 위도 변화에 따른 변화 양상은 파악되지 않고 있다.

그러나 21세기의 온난화 경향이 지속적으로 진행된다면 열대 지방의 전염병을 일으키는 모기 매개체가 제주도로 북상할 가능성이 있다. 이러한 기후변화에 따른 제주도 주민 건강 위협 요소들을 사전에 탐지하고 대응책을 마련하기 위해 2010년 “기후변화 매개체 감시 제주거점센터”를 제주대학교에 설치하였다. 기후변화 매개체 감시 제주 거점센터는



질병관리본부의 지역거점 센터로 지역기후변화에 따른 잠재적인 매개체 전파 질환을 조사·감시하며, 전염병 매개체 및 병원체 감시활동을 벌여 나가고 있다.

### 3. 기후변화 저감대책 수립 현황 및 활용방안

제주도 해안지역은 저위도에 위치한 아열대 지역으로 여름철뿐만 아니라 가을철에도 데워진 해수가 쉽게 잘 식지 않아 연중 냉방장치를 사용하는 기간이 다른 지역에 비하여 길다. 가령, 일최저기온 25℃ 이상인 열대야 발생일도 전국 다른 지역에 비하여 높기 때문에 다른 지역에 비하여 냉방장치 사용에 따른 전력 사용량이 증가할 가능성이 높다. 현재 여름철 호우 현상의 증가로 여름철 평균기온에는 뚜렷한 증가양상이 나타나고 있지 않지만 강수가 발생하지 않는 무더운 날에는 일시적으로 전력사용량이 급증하여 전력차단(Blackout)의 재난상황에 처할 수 있다. 따라서 에너지 수급 현황을 늘리고 에너지 사용을 효율적으로 할 수 있도록 하는 노력이 요구된다.

최근 제주특별자치도에서는 에너지 생산과 사용에 있어서 효율적이고 무탄소의 친환경적인 정책을 펼침으로서 청정지역으로서의 이미지를 유지하기 위해 다각적인 노력을 하고 있다. 2008년부터 풍력, 태양에너지, 바이오 에너지 등 신재생 에너지를 확대 보급하여 화석 에너지 사용을 최소화 하려는 “Carbon Free Island 제주” 사업을 진행해 오고 있다.



그림 5-2-14. 제주도 동부해안의 풍력 단지(2011년 4월 최광용 촬영)



그림 5-2-15. 제주도 구좌읍 스마트 그리드 체험관(2011년 9월 최광용 촬영)

특히 풍력발전 개발을 확대 하고자 하는 노력의 결과로 현재 태양광 발전 시설 72개소가 가동 중이며, 39개소가 개발 중에 있다(그림 5-2-14). 이외에도 태양열 시스템과 지열, 해수열 에너지 공급시설, 바이오 가스 발전 시설, 소수력 발전 시설이 가동 중에 있다.

2009년부터 제주시 구좌읍에서는 재생 가능한 에너지를 생산하여 마을에 공급할 때 소비자에게 에너지 사용 효율을 최적화시킬 수 있는 정보를 제공하는 지능형 전력망을 구축한 제주 “스마트그리드(Smart Grid) 실증단지” 프로젝트를 진행해 오고 있다(그림 5-2-15). 스마트그리드 사업은 국가적 관점에서는 그린에너지 인프라를 구축하는 것으로, 소비자의 입장에서는 저탄소 녹색 생활을 실현하는 것이며, 산업 관점에서는 신성장 동력을 확보하는 것이다. 이 사업에는 스마트 가정, 전기 자동차, 신재생 에너지 등 5개 분야, 12개 컨소시엄에 168개 관련 업체들이 참여하고 있다. 제주특별자치도는 2013년까지 구좌읍을 실증 마을로 시험 시행한 후 제주 시내권의 상가, 아파트에도 확장시킬 계획을 가지고 있으며 청정에너지를 기반으로 한 제주도 형성에도 기여할 것으로 기대된다.

에너지 수요적 측면에서도 제주지역에서는 공공부문에서 에너지 절약을 선도적으로 추진하고 있어, 민간 부문에서도 에너지 절약운동에 동참하는 분위기가 확산되고 있다. 공공부문에서부터 에너지 절약운동이 지속적으로 추진되고 있으며 향후 공공 부문과 연계한 민간부문 에너지 절약 자율적 참여 추진을 권장해 나가고 있다. 가령, 에너지 사용 구조를 저소비형 구조로 전환하기 위하여 일반 교통신호등을 고효율 LED 등으로 교체사업을 완료하였고, 제주시 재래시장 일반 전구를 고효율 형광등으로 교체 보급하였다. 이외에도 제주특별자치도에서는 에너지 절약 조기교육학교를 10개교에서 운영하고 있으며, 에너지 절약 시범 지역을 4개 읍면동을 선정하여 운영하고 있다. 축산분야에서도 분뇨에서

발생하는 메탄가스들을 포집하여 자원화하고 있으며, 양질의 퇴, 액비를 이용한 친환경 농법을 확대시키려는 노력도 진행해 오고 있다.



## 참 고 문 헌

- 강동현, 2010, 제주도 기후계절변동 기초연구, 제주발전연구, 14, 153-178.
- 강상배, 1981, 제주도 남·북 지역 기후에 대한 비교연구, 논문집, 11, 29-44.
- 강상배, 1988, 제주도 지역의 태풍에 관한 연구, 논문집, 18, 7-34.
- 강태진, 2002, 한라산 고도에 따른 바람의 구조변화, 대기, 12(1), 217-219.
- 공우석, 1998, 한라산 고산식물의 분포특성, 대한지리학회지, 33(2), 191-208.
- 공우석, 1999, 한라산의 수직적 기온분포와 고산식물의 온도적 범위, 대한지리학회지, 34(4), 385-393.
- 과학기술처, 1991, 제주지역 농업기상 정보시스템의 개발 및 이용 III.
- 구경아, 박원규, 공우석, 2001, 한라산 구상나무의 연륜연대학적 연구: 기후변화에 따른 생장 변동 연구, 한국생태학회지, 24(5), 281-288.
- 구대영, 한경훈, 2000, 제주지방의 동계 최저기온 선행현상 조사, 제주기상특성집, 3, 237-254.
- 국립기상연구소, 2005, 제주지방의 기상관측 역사와 기후변동성 연구.
- 국립기상연구소, 2010, 기후변화 이해하기 6 제주의 기후변화.
- 국토지리정보원, 2004, 한국지리지 -전라 제주편.
- 권규철, 2003, 제주연안바다 열교환량에 따른 국지기상특성 연구, 제주지방기상청.
- 권지혁, 이연원, 김영덕, 박광열, 2006, 한라산 주변에 발생하는 Karam Vortex Street 재현, 한국풍공학회지, 10, 101-107.
- 기상연구소, 1988a, 제주도의 접지층 기상특성조사: 격자형 지형기후도 작성.
- 기상연구소, 1988b, 제주도 악기상 예보에 관한 연구: 강풍 및 난기류를 중심으로.
- 기상연구소, 2003, 제주연안바다 열교환량에 따른 국지기상특성 연구.
- 기상연구소, 2005, 제주도 풍력자원 특성분석을 통한 특화산업 기상서비스 활용방안 연구.
- 기상청 국립기상연구소, 2008, 레이더를 이용한 제주도의 국지적 강수 사례 분석.
- 기상청 국립기상연구소, 2009, 제주도 기후변화 경향 및 기후특성에 관한 연구.
- 기상청 기상연구소, 2004, 한국의 기후.
- 김강훈, 2001, 제주도 지역별 강수특성 조사 연구, 제주기상특성집, 4, 1-20.
- 김경보, 방익찬, 김길엽, 김동호, 이지미, 2005, 제주연안에 강설을 수반하는 대륙성 한기단 확장시 대기와 해양 간의 열교환 특성 사례연구, 한국지구과학회지, 26(5), 395-403.
- 김경호, 신지연, 고은희, 고기원, 이강근, 2009, 지구온난화에 따른 제주도 근해의 해수면 상승과 제주도 동부지역 지하수의 염수대 변화, 지하수토양환경, 14(3), 68-79.
- 김광식 외, 1974, 한국의 기후.
- 김기덕, 이승호, 2001, 기후 특성과 관련된 제주도의 민가 경관, 한국지역지리학회지, 7(3),

29-43.

- 김석중, 2004, 사상별 강수량과 지형변수와의 관계: 제주도 사례 연구, 한국지질자원연구원 논문집, 8(4), 18-25.
- 김성수, 장승민, 백희정, 최홍연, 권원태, 2006, 제주지역 기온과 강수량의 기후 변동 특성, 한국지구과학회지, 27(2), 188-197.
- 김연옥, 1994, 한국의 기후와 문화.
- 문자연, 박창용, 최영은, 2011, 레짐이동에 따른 우리나라 여름철 강수의 특성변화와 그 원인, 대한지리학회지, 46(3), 277-290.
- 문현숙, 1989, 제주와 서귀포의 기후 비교연구, 지리학연구, 14, 51-73.
- 박노옥, 장동호, 2008, 수치표고모델과 다변량 크리깅을 이용한 기온 및 강수 분포도 작성, 대한지리학회지, 43(6), 1002-1015.
- 박만규, 1970, 한라산 천연보호구역의 개관, 제주도, 44, 64-70.
- 박종철, 김만규, 2009, 공동크리깅을 이용한 강수 분포 작성에서 지형 사면 방향 변수 사용에 대한 연구: 제주도를 사례지역으로, 한국지형학회지, 16(3), 59-66.
- 박지은, 2008, 제주도 지역의 바람에 대한 지형의 효과, 부산대학교 석사학위논문.
- 산업자원부, 2006, 풍력발전단지 건설을 위한 지침서 및 지역수용성 제고방안 연구.
- 서희철, 전승중, 윤진일, 2008, 제주도 초지피복 기생화산(오름)의 방위별 일최고기온 분포, 한국농림기상학회지, 10(1), 25-31.
- 소방방재청, 2011, 재해연보.
- 손태성, 2010, 최저기온 변동분석을 이용한 제주도 기후변화 특성 조사 제주발전연구, 14, 179-206.
- 송성대 외, 2010, 제주지리론.
- 신만용, 윤진일, 1992, 지형-기후 관계식에 의한 제주도 월별 기온분포 추정, 한국임학회지, 81(1), 40-52.
- 오봉학, 2009, 제주시 일 최고기온의 변동특성 분석, 제주대학교 석사학위논문.
- 윤용훈, 2004, 제주연안바다 열수지에 의한 강설 해무 발생사례 연구, 제주지방기상청.
- 윤진일, 1990, 제주도의 농업기후 분석 II. 무인관측강에 의한 기상실황자료 수집 및 증발산위 계산, 한국작물학회지, 35(6), 504-511.
- 윤진일, 유근배, 이민영, 정귀원, 1989, 제주도의 농업기후 분석 I. 지형기후 추정법과 동계 일최저기온 분포, 한국작물학회지, 34(3), 261-269
- 이근옥, 2010, 여름철 제주도 북서지역에서 관측된 강수시스템의 발달 메커니즘, 부경대학교 석사학위논문.
- 이동규, 1988, 국제화시대의 제주도 연구: 제주도의 일기 및 기후, 제주도연구, 5, 79-86.
- 이병설, 1979, 제주도의 바람에 관한 연구, 지리학논총, 6, 11-18.
- 이성우, 2011, 바람지도를 이용한 제주도 해안마을의 돌담 높이에 대한 연구, 공주대학교

석사학위논문.

- 이승호, 1986, 제주도 해안지역의 겨울철 바람에 관한 연구, 제주도연구, 4, 219-259.
- 이승호, 이현영, 1995, 제주도 감귤 과수원의 야간 기온분포 II, 대한지리학회지, 30(3), 230-241.
- 이승호, 1999, 제주도 지역의 강수 분포 특성, 대한지리학회지, 34(2), 123-136.
- 이윤주, 2000, 제주도 해안지역의 기온 분포, 건국대학교 석사학위논문.
- 이찬구, 2001, 겨울철 제주도서부지역 기온예보 정확도 향상 방안, 제주기상특성집, 4, 97-114.
- 임승욱, 1992, 종관 바람장에 의한 제주도 해륙풍 순환의 수치 모델 연구, 서울대학교 석사학위논문.
- 임종환, 우수영, 권미정, 천정화, 신준환, 2006, 한라산 구상나무 건전개체와 쇠약개체의 온도변화에 따른 광합성능력과 수분이용효율, 한국임학회지, 95(6), 705-710.
- 장승민, 김성수, 최영찬, 김수강, 2006, 제주도 기온과 주변해역 해수면 온도와 상관관계에 관한 연구, 한국해양환경공학회지, 9(1), 55-62.
- 전승중, 2007, 지구온난화에 따른 감귤재배 변동과 금후의 연구방안, 난지농업연구, 5(2), 58-65.
- 정대연, 2009, 제주도의 기후변화 대응전략에 대한 비판적 평가, 한국사회, 10(1), 151-181.
- 정승목, 2002, LANDSAT-7 ETM+ 영상을 이용한 제주도 주변 바다의 온도 모니터링, 충남대학교 석사학위논문.
- 제주기상대, 1993, 제주도 기후요람: 1991-1990.
- 제주도농촌진흥원, 1991, 제주도중산간지 기상조사보고서.
- 제주지방기상청, 2007, 제주도 AWS 상세기후 특성집.
- 중앙기상대제주측후소, 1986, 제주지방기후요람.
- 진승환, 고정군, 2007, 한라산 정상일대 바람의 특성, 한라산연구소 조사연구 보고서, 6, 103-116.
- 최광용, 권원태, 2001, 20세기 우리나라 자연 계절 전이와 생활 기온 지수의 변화 지리교육논집, 45, 14-25.
- 최광용, 권원태, 2005, 우리나라 열대야 현상 발생의 시공간적 특징과 최근의 변화, 대한지리학회지, 40(6), 730-747.
- 최광용, 권원태, 2008, 현재와 미래 우리나라 겨울철 강수 형태 변화, 대한지리학회지, 43(1), 1-19.
- 최광용, 권원태, David A. Robinson, 2006, 우리나라 사계절 개시일과 지속기간, 대한지리학회지, 41(4), 435-456.
- 최병성, 김경보, 홍근도, 2001, 제주도 국지풍과 기온변화 조사: 해풍과 최고기온변화 조사,

- 제주기상특성집 4, 183-216.
- 한라산생태문화연구소, 2006, 한라산의 식물.
- 한라산연구소, 2006, 한라산천연보호구역 학술조사보고서.
- 한국생태학회, 2011, 생태계와 기후변화.
- 현동식, 2009, 제주도 기후변화 경향 및 기후특성에 관한 연구, 제주지방기상청.
- 환경부 국립환경과학원, 2011, 한국 기후변화 평가보고서 2010.
- Choi, G., Kwon W.T., Boo K.O., Cha Y.M., 2008, Recent spatial and temporal changes in means and extreme events of temperature and precipitation across the Republic of Korea, *Journal of the Korean Geographical Society*, 43(5), 681-700.

## 부록 1. 제주도 10년(2001-2010) 평균 기후값을 산출한 자동기상관측 (AWS) 지점정보

지점 번호	지점명	위도 (°N)	경도 (°E)	해발고도 (m)	관측개시일	법정동
182	제주(공)	33°31'	126°30'	24.4	2002.01.01	제주특별자치도 제주시 용담이동
328	충문	33°14'	126°24'	60.9	2001.10.23	제주특별자치도 서귀포시 색달동
329	아라	33°26'	126°33'	374.7	2001.10.23	제주특별자치도 제주시 아라일동
330	하원	33°17'	126°27'	407.2	2001.10.23	제주특별자치도 서귀포시 하원동
724	추자도	33°57'	126°17'	7.5	1991.10.22	제주특별자치도 제주시 추자면 대서리
725	우도	33°30'	126°57'	38.5	1990.06.01	제주특별자치도 제주시 우도면 서광리
726	마라도	33°07'	126°16'	25.5	1990.06.02	제주특별자치도 서귀포시 대정읍 가파리
727	유수암	33°24'	126°23'	422.9	1998.05.01	제주특별자치도 제주시 애월읍 유수암리
751	선흘	33°27'	126°42'	340.6	1991.10.24	제주특별자치도 제주시 조천읍 선흘리
752	서광	33°17'	126°18'	143.5	1992.11.30	제주특별자치도 서귀포시 안덕면 서광리
753	어리목	33°23'	126°29'	968.3	1992.11.30	제주특별자치도 제주시 해안동
779	한림	33°24'	126°16'	21.6	1994.12.01	제주특별자치도 제주시 한림읍 한림리
780	남원	33°16'	126°43'	17.2	1993.10.19	제주특별자치도 서귀포시 남원을 남원리
781	구좌	33°31'	126°51'	18.4	1993.10.21	제주특별자치도 제주시 구좌읍 세화리
782	성판악	33°23'	126°37'	757.4	1998.05.14	제주특별자치도 제주시 조천읍 교래리
792	표선면	33°21'	126°49'	77.2	1999.06.18	제주특별자치도 서귀포시 표선면 하천리
793	모슬포	33°13'	126°15'	11.4	1999.01.18	제주특별자치도 서귀포시 대정읍 하모리
855	가파도	33°09'	126°16'	12.2	2002.01.21	제주특별자치도 서귀포시 대정읍 가파리
870	진달래밭	33°22'	126°33'	1489.4	2002.12.16	제주특별자치도 서귀포시 남원을 하례리
871	윗세오름	33°21'	126°31'	1672.5	2002.12.16	제주특별자치도 제주시 애월읍 광령리

## 부록 2. 극한기후지수 정의

### 1) 세계기상기구(WMO) 권장 9개 극한기후지수

지수	정의
일 최저기온 0℃ 미만 일수	연중 일 최저기온이 0℃ 미만인 날의 수
연극한기온교차	연중 가장 높았던 일 최고기온과 가장 낮았던 일 최저기온과의 차이
온난야율	연중 일 최저기온이 1971~2000년의 일 최저기온 90퍼센타일을 초과한 날의 비율
식물성장기간	연중 일 평균기온이 5℃ 보다 높은 날이 6일 이상 지속되고 그로부터 일 평균기온이 5℃ 미만인 날이 6일 이상 지속되었을 때 사이의 일수
최대열파지속일수	연중 일 최고기온이 1971~2000년의 평균 일 최고기온보다 5℃ 높은 날이 6일 이상 지속되었을 때의 최장기간
10mm 이상 강수일수	연중 일 강수량 10mm 이상인 날의 수
일 강수량 1mm 미만인 날의 최대지속일수	연중 일 강수량 1mm 미만인 날의 최대지속일수(최대무강수지속기간이라고도 함)
5일 최대강수량	연중 5일 동안의 최대강수량
일 강수량도	연 강수량을 연 강수일수(일 강수량 1mm 이상 강수일)로 나눈 값
95퍼센타일 강수량 비율	연중 일 강수량이 1971~2000년의 일 강수량 95퍼센타일을 초과하는 강수일의 총 강수량이 연 강수량에서 차지하는 비율(일 강수량 0.1mm 미만의 강수일은 제외)

2) 세계기상기구(WMO) 극한기후 개발을 위한 세부분과인 기후변화탐지와의  
지수에 대한 협동 전문가팀 (joint Expert Team on Climate Change  
Detection and Indices; ETCCDI)에 의해 제시된 극한기후지수

지수	정의
일 최저기온 최저	연중 일최저기온의 최저값
일 최저기온 최고	연중 일최저기온의 최고값
일 최고기온 최저	연중 일최고기온의 최저값
일 최고기온 최고	연중 일최고기온의 최고값
일 최고기온 25℃ 이상 일수	연중 일최고기온이 25℃ 이상인 날의 수(여름일)
일 최고기온 0℃ 이하 일수	연중 일최고기온이 0℃ 이하인 날의 수(결빙일)
일 최저기온 25℃ 이상 일수	연중 일최저기온이 25℃ 이상인 날의 수(열대야)
일 최저기온 0℃ 이하 일수	연중 일최저기온이 0℃ 이하인 날의 수(서리일)
일 최저기온 20℃ 이상 일수	연중 일최저기온이 20℃ 이상인 날의 수
한랭일율	연중 일최고기온이 1971~2000년의 일최고기온 10퍼센타일을 미만인 날의 비율
온난일율	연중 일최고기온이 1971~2000년의 일최고기온 90퍼센타일을 초과한 날의 비율
한랭야율	연중 일최저기온이 1971~2000년의 일최저기온 10퍼센타일을 미만인 날의 비율
온난야율	연중 일최저기온이 1971~2000년의 일최저기온 90퍼센타일을 초과한 날의 비율
연속 한랭일 지속기간	연중 일최고기온이 1971~2000년의 평균 일최고기온보다 5℃ 높은 날이 6일 이상 지속되었을 때의 최장기간
연속 온난일 지속기간	연중 일최고기온이 1971~2000년의 평균 일최고기온보다 5℃ 높은 날이 6일 이상 지속되었을 때의 최장기간
일교차	일최고기온과 일최저기온의 차
식물성장기간	연중 일평균기온이 5℃ 보다 높은 날이 6일 이상 처음으로 지속된 날과 7월 1일 이후 (북반구) 일평균기온이 5℃ 미만인 날이 6일 이상 처음으로 지속된 날 사이의 일수
10mm 이상강수일 수	연중 일강수량 10mm 이상인 날의 수
20mm 이상강수일 수	연중 일강수량 20mm 이상인 날의 수
80mm 이상강수일 수	연중 일강수량 80mm 이상인 날의 수
1일 최다강수량	연중 1일 동안의 최다강수량
5일 최다강수량	연중 5일 동안의 최다강수량
일강수강도	연강수량을 연강수일수(일강수량 1mm이상 강수일)로 나눈 값
95퍼센타일 이상 연누적 강수량	연중 일강수량이 1971~2000년의 일강수량 95퍼센타일을 초과하는 강수일의 누적강수량(일강수량 0.1mm 미만의 강수일은 제외)
99퍼센타일 이상 연누적 강수량	연중 일강수량이 1971~2000년의 일강수량 99퍼센타일을 초과하는 강수일의 누적강수량(일강수량 0.1mm 미만의 강수일은 제외)
일강수량 1mm 미만인 날의 최대지속일수	연중 일강수량 1mm 미만인 날의 최대지속일수(최대무강수지속기간이라고도 함)
일강수량 1mm 이상인 날의 최대지속일수	연중 일강수량 1mm 이상인 날의 최대지속일수(최대강수지속기간이라고도 함)
총강수량	연중 일강수량의 총 누적값

### 부록 3. 제주도 ASOS지점 기후요소 30년(1981-2010) 월 평균값

관측 지점	기후요소	단위	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월	전년
제주 184	평균기온	℃	5.7	6.4	9.4	13.8	17.8	21.5	25.8	26.8	23.0	18.2	12.8	8.1	15.8
	일최고기온	℃	8.3	9.4	12.8	17.5	21.6	24.8	29.0	29.8	25.8	21.3	16.0	11.0	18.9
	일최저기온	℃	3.2	3.6	6.1	10.2	14.4	18.7	23.3	24.3	20.4	15.1	9.8	5.3	12.9
	일교차	℃	5.1	5.8	6.7	7.3	7.2	6.1	5.7	5.5	5.4	6.2	6.2	5.7	6.0
	습도	%	65.3	64.9	64.9	66.5	70.4	76.8	78.3	76.5	73.7	66.9	65.1	65.1	69.6
	강수량	mm	65.2	62.6	88.6	89.6	96.4	181.4	239.9	262.5	221.6	80.3	61.9	47.7	1497.6
	평균풍속	m/s	4.5	4.2	3.9	3.4	3.0	3.0	3.0	3.0	3.1	3.2	3.7	4.3	3.5
	운량	/10	7.3	6.6	6.1	5.5	5.6	6.8	6.2	5.9	6.0	5.1	5.6	6.5	6.1
	일조시간	hr	70.4	105.4	158.9	194.4	211.9	170.9	195.6	195.6	161.7	178.5	126.0	84.8	1854.1
	소형증발량	hPa	49.5	57.2	85.3	111.3	135.5	128.2	156.2	153.0	118.1	108.4	71.1	55.4	1229.4
고산 185	평균기온	℃	6.2	6.7	9.3	13.3	16.8	20.6	24.7	26.2	23.1	18.3	13.3	8.6	15.6
	일최고기온	℃	8.6	9.4	12.3	16.5	20	23.4	27.3	29.1	26.0	21.2	16.2	11.2	18.4
	일최저기온	℃	3.8	4.2	6.5	10.4	14.2	18.3	22.7	23.9	20.6	15.7	10.7	6.1	13.1
	일교차	℃	4.8	5.2	5.8	6.1	5.8	5.1	4.6	5.2	5.4	5.5	5.5	5.1	5.3
	습도	%	67.0	68.4	69.5	73.2	79.5	85.1	88.4	83.2	77.2	69.0	67.1	66.0	74.5
	강수량	mm	43.9	46.9	75.8	86.4	110.2	148.7	178.0	201.8	116.2	45.7	57.4	31.7	1142.8
	평균풍속	m/s	9.9	9.3	8.2	6.6	5.6	4.7	5.3	5.2	5.5	6.6	7.9	9.4	7.0
	운량	/10	7.1	6.4	6.1	5.6	5.9	7.2	7.0	5.9	5.7	4.7	5.3	6.3	6.1
	일조시간	hr	90.9	126.5	167.0	196.3	201.6	158.0	176.6	215.5	187.8	207.2	153.6	108.4	1989.2
	성산 188	평균기온	℃	5.2	6.1	9.2	13.6	17.5	20.9	25.1	26.4	23.0	17.9	12.4	7.4
일최고기온		℃	8.7	9.8	13.2	17.7	21.7	24.3	28.1	29.7	26.4	21.9	16.5	11.3	19.1
일최저기온		℃	1.6	2.3	4.9	8.9	13.1	17.5	22.4	23.5	19.8	13.9	8.1	3.5	11.6
일교차		℃	7.1	7.5	8.3	8.8	8.6	6.8	5.7	6.2	6.6	8.0	8.4	7.8	7.5
습도		%	67.9	66.4	66.8	69.4	73.9	82.3	85.3	81.4	77.1	70.4	69.6	68.6	73.3
강수량		mm	75.2	75.6	132.8	146.9	160.9	247.1	290.7	329.9	243.2	92.8	84.1	61.0	1940.3
평균풍속		m/s	3.5	3.7	3.5	3.1	2.8	2.5	2.8	2.8	2.9	2.9	3.0	3.2	3.1
운량		/10	6.6	6.2	5.8	5.4	4.7	7.3	7.1	6.6	6.7	5.1	5.5	5.8	6.0
일조시간		hr	122.2	139.4	171.6	196.0	211.3	157.6	173.0	196.8	170.2	195.3	153.6	130.5	2000.1
서귀 포 189		평균기온	℃	6.8	7.8	10.6	14.8	18.6	21.7	25.6	27.1	23.9	19.3	14.1	9.3
	일최고기온	℃	10.7	11.6	14.4	18.5	22.0	24.6	28.3	30.1	27.4	23.4	18.2	13.2	20.2
	일최저기온	℃	3.6	4.4	7.1	11.3	15.3	19.2	23.5	24.6	21.1	15.9	10.6	5.9	13.5
	일교차	℃	7.1	7.2	7.3	7.2	6.7	5.4	4.8	5.5	6.3	7.5	7.6	7.3	6.7
	습도	%	62.8	62.1	62.4	64.5	69.9	78.2	84.1	79.0	72.5	63.9	63.2	62.2	68.7
	강수량	mm	61.0	77.1	131.2	174.9	205.8	276.9	309.8	291.6	196.6	81.6	71.4	45.1	1923.0
	평균풍속	m/s	2.8	3.0	3.2	3.0	2.7	2.7	2.7	3.0	3.3	3.0	2.8	2.8	2.9
운량	/10	5.6	5.5	5.7	5.5	5.8	7.1	7.2	6.1	5.8	4.5	4.7	5.0	5.7	
일조시간	hr	152.2	152.6	174.0	190.9	199.0	144.2	142.1	184.2	176.1	207.1	170.5	161.8	2054.7	

\* 성산의 운량은 2000년 8월~2007년 3월 자료 미포함. \*\* 고산의 경우 1988~2010년 평균 자료임.

## 부록 4. 제주도 기상관측지점 특이현상 30년(1981-2010) 월 평균값

관측지점	기상요소	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월	전년
제주 184	눈	8.2	4.6	1.4								0.4	5.3	19.9
	서리	2.4	2.2	0.9	0.2							0.1	1.6	7.4
	얼음	7.3	6.9	1.8	0.1							0.1	2.2	18.4
	우박*	0.1 (0.1)		0.1 (0.1)	0.0 (0.0)						0.0	0.4 (0.1)	0.4 (0.2)	1.0 (0.5)
	안개	0.1	0.3	0.8	1.9	3.7	4.8	2.6	0.3	0.5	0.2	0.0		15.2
	황사	0.1	0.1	1.5	2.2	0.9					0.0	0.3	0.2	5.3
	뇌전	0.2	0.4	0.8	1.0	1.0	2.0	3.1	5.3	1.4	0.6	0.9	0.7	17.4
고산 185	눈	5.9	3.0	1.3								0.3	4.0	14.5
	서리	0.0	0.1	0.1									0.1	0.3
	얼음	3.0	3.0	0.6									0.6	7.2
	우박*					0.0 (0.0)					0.0 (0.0)	0.1 (0.1)		0.1 (0.1)
	안개	0.2	0.7	0.9	3.4	5.6	8.0	6.7	0.5	0.1		0.1		26.2
	황사	0.2	0.2	1.8	2.7	0.7					0.0	0.3	0.2	6.1
	뇌전	0.1	0.2	0.8	0.8	1.2	1.2	3.0	4.5	1.1	0.4	0.9	0.1	14.3
성산 188	눈	6.1	3.7	0.7	0.1							0.2	3.8	14.6
	서리	3.5	2.5	1.0	0.1							0.2	2.2	9.5
	얼음	10.3	10.5	2.3	0.1							0.1	3.3	26.0
	우박*	0.2										0.4 (0.2)		0.6 (0.3)
	안개		0.2	0.2	1.4	2.6	5.1	4.7	0.2		0.1			15.0
	황사	0.2	0.1	1.3	1.8	0.7					0.1	0.2	0.4	4.1
	뇌전	0.2		0.8	0.8	0.9	1.1	3.7	4.9	1.2	0.5	0.8	0.2	14.7
서귀포 189	눈	4.4	2.7	1.0								0.2	3.2	11.5
	서리	1.7	0.6	0.0									0.4	2.7
	얼음	10.4	6.8	2.1	0.0							0.1	3.3	22.7
	우박*	0.2 (0.2)	0.0 (0.0)	0.1 (0.1)	0.0						0.0 (0.0)	0.1 (0.0)	0.1	0.5 (0.3)
	안개	0.0	0.2	0.3	2.2	4.2	6.6	6.2	0.2	0.1	0.1			20.1
	황사	0.1	0.2	1.4	2.1	0.7					0.0	0.3	0.2	5.0
	뇌전	0.2	0.1	0.7	0.8	1.1	1.5	3.0	4.3	1.1	0.6	0.7	0.2	14.3

\*우박일수는 동우, 싸락우박, 우박이 나타난 일수를 포함하며, ()안에 표현된 일수는 우박이 나타난 일수만을 나타낸다.

\* 성산의 목측자료는 2000년 8월~2007년 3월 자료 미포함. \*\* 고산의 경우 1988~2010년 평균 자료임.



---

## 지역기후변화보고서(제주도)

2011년 11월 발행

▶ 자료처리 및 분석

제주대학교 지리교육전공  
최광용 · 이승욱 · 이정호 · 최슬기

▶ 검토 및 검수

제주지방기상청 기후과  
고정석 · 오영숙 · 이명훈

▶ 주소/전화

690-801 제주특별자치도 제주시 동문로 9길 13-1  
(064) 752-0364

---