

기술정책 기상리영책

METEOROLOGICAL TECHNOLOGY & POLICY



2012.

6

특집

원격탐측기술(레이더, 위성, 고층) 융합정책 실용화 방안

칼럼 | 원격탐측의 융합정책과 기상자원 가치 확산 |

정책초점 | 레이더-위성 융합 강수정보 생산 기술 |

| 위성과 첨단기술 융합을 통한 미래 기상서비스 발전 방향 |

| 라이다 관측기술 활용 방안 |

| 위성기술을 이용한 수문분야의 융합 정책 |

| 위성자료의 해양 환경감시 활용 |

논단 | 우리나라의 융합기술발전 정책 방향 |

해외기술동향 | 일본의 원격탐사 활용 및 융합정책 |

포커스 | 레이더 융합행정 포럼 |



기상청

Korea
Meteorological
Administration

『기상기술정책』지는 범정부적인 기상·기후 분야의 정책 수요에 적극적으로 부응하고, 창의적인 기상기술 혁신을 위한 전문적인 연구 조사를 통해 기상·기후업무 관련 분야의 발전에 기여할 목적으로 발간 기획되었습니다.

본 『기상기술정책』지는 기상·기후 분야의 주요 정책적 이슈나 현안에 대하여 집중적으로 논의하고, 이와 관련된 해외 정책동향과 연구 자료를 신속하고 체계적으로 수집하여 제공함으로써 기상 정책입안과 연구개발 전략 수립에 기여하고자 정기적으로 발행되고 있습니다.

본지에 실린 내용은 집필자 자신의 개인 의견이며, 기상청의 공식의견이 아님을 밝힙니다. 본지에 게재된 내용은 출처와 저자를 밝히는 한 부분적으로 발췌 또는 인용될 수 있습니다.

원고모집

『기상기술정책』에서는 기상과 기후분야의 정책이나 기술 혁신과 관련된 원고를 모집하고 있습니다. 뜻있는 분들의 많은 참여를 부탁드립니다. 편집위원회의 심사를 통하여 채택된 원고에 대해서는 소정의 원고료를 지급하고 있습니다.

▶ 원고매수: A4 용지 10매 내외

▶ 원고마감: 수시접수

▶ 보내실 곳 및 문의사항은 발행처를 참고 바랍니다.

☞ 더 자세한 투고방법은 맨 뒷편의 투고요령을 참고바랍니다.

『기상기술정책』 편집위원회

발행인 : 조석준

편집기획 : 국립기상연구소 정책연구과

편집위원장 : 권원태

편집위원 : 김백조, 김금란, 이동일, 전영신,

배덕효, 이우성, 박중훈, 만기성

편집간사 : 이영곤, 김정윤, 박소연

발행처

주소 : (156-720) 서울시 동작구 여의대방로16길 61 기상청

전화 : 070-7850-6557 팩스 : (02) 849-0668

E-mail : ni_pol@kma.go.kr

CONTENTS

특집 : 「원격탐측기술(레이더, 위성, 고층) 융합정책 실용화 방안」

칼럼 03 _ 원격탐측의 융합정책과 기상자원 가치 확산 / Kenneth Crawford

정책초점 10 _ 레이더-위성 융합 강수정보 생산 기술 / 신동빈

19 _ 위성과 첨단기술 융합을 통한 미래 기상서비스 발전 방향 / 은종원

28 _ 라이다 관측기술 활용 방안 / 김덕현

42 _ 위성기술을 이용한 수문분야의 융합 정책 / 배덕효, 이병주

54 _ 위성자료의 해양 환경감시 활용 / 황재동

논단 66 _ 우리나라의 융합기술발전 정책 방향 / 이상현

해외기술동향 73 _ 일본의 원격탐사 활용 및 융합정책 / 윤보열, 장희욱, 임효숙

포커스 86 _ 레이더 융합행정 포럼 : 레이더운영과 / 송원화

원격탐측의 융합정책과 기상자원 가치 확산



Kenneth Crawford
기상청 기상선진화추진단장
crawford@kma.go.kr

기상에서 원격탐측이라 하면 직접적이고 물리적인 접촉 없이 관측 대상 물체의 물리·화학적 특성에 대한 정보를 구할 수 있는 과학기술을 말한다. 최근 기상 분야가 크게 발전하면서 원격탐측 분야에서도 융합행정이 이루어지는 등 괄목할 변화가 있었다.

2009년 6월 기상청은 행정안전부, 국방부, 국토해양부와 함께 레이더 융합행정을 추진하였다. 그 결과 전국의 레이더 관측망을 통합하여 범국가적으로 공동 활용하는 기상레이더센터를 설립하게 되었다. 이번 사례는 범부처 융합행정 최우수 사례로 선정되었고, 이를 통해 레이더 관측 기반을 비약적으로 향상하는 전기를 마련하였다. 2013년부터는 기상청이 운영하고 있는 현업용 기상관측 레이더(10곳)와 기술시험 목적으로 신설하는 레이더 테스트베드(1곳)를 차례로 동일 기종의 이중편파 레이더로 교체하는 사업을 본격시행하게 된다. 기상기술 선진화를 위해 반드시 필요한 사업이고, 이 역시 관계기관과 융합정책을 통해 이룬 것이다. 2010년 6월에 발사되어 우리나라를 세계에서 7번째 기상위성 보유국으로 만든 천리안위성 역시 기상청이 교육과학기술부, 방송통신위원회, 국토해양부와 협력하여 이루어낸 융합행정의 결과이다.

■ 원격탐측을 위한 융합정책 방향

이처럼 다양하고 적극적인 융합행정으로 기상청은 이제 원격탐측의 새로운 시대를 맞이하고 있다. 부처 간 융합정책이 없었으면 불가능했을 이러한 성과는 향후 기상정책에 지속가능한 발전을 가져올 것이다. 지금까지의 융합정책 성과를 확산하기 위해 원격탐측 자료의 생산자로서 기상청이 앞으로 주도해 나갈 융합정책의 방향을 제시하고자 한다. 위험기상 초단기예측, 기후변화 감시, 원격탐측 자료 표준화 및 품질관리, 통합네트워크 구축, 원격탐측 자료동화, 자료의 공개정책에 관한 것이다.

➔ 위험기상 초단기예측

우선, 여타의 기상관측 자료 및 슈퍼컴퓨터가 생산한 기상예측자료들과 함께 원격탐측 자료를 종합적으로 이용하여, 급격히 발생하는 위험기상을 적시에 탐지하는 알고리즘을 개발하고 성능을 향상시켜 나가야 한다. 원격탐측 자료를 활용하여 돌발적으로 발생하는 위험기상에 대한 예측 정보 생산 알고리즘 개발도 지속해야 한다. 위험기상 탐지와 예측 알고리즘은 새롭게 제공되는 원격탐측 관측자료를 활용할 수 있어야 하며 지속적으로 발전할 수 있는 유연성을 가져야 한다. 이를 통해 예보관들은 위험기상이 발생할 전조를 인지하고 대응할 수 있는 역량을 키울 수 있을 것이다.

➔ 기후변화 감시

기후변화는 전 세계적 이슈다. 기후변화 대응정책 수립, 기후과학정보 생산, 다양한 기후응용분야를 위한 기후서비스 등이 많은 국가의 핵심 어젠다가 되고 있다. 지구환경의 변화를 감시하고 원인을 규명하며 변화를 예측하고 과학적 정보를 기반으로 하는 대응정책이 추진되어야 한다. 이를 위해 전 지구적인 기상관측이 필요하다. 현재 위성관측은 기후·기상현상, 특히 구름과 강수에 대한 감시뿐만 아니라 엘니뇨의 변동과 영향, 전 지구적인 자연재해, 홍수와 가뭄과 같은 극한 현상, 식생의 변화상, 작물의 성장, 적설 및 해빙, 삼림의 훼손, 지표면 피복의 변화, 산불, 도시화, 그 밖에 지구상의 다양한 변화를 관측하여 기후변화 감시에 기여하고 있다.

➔ 원격탐측 자료 표준화 및 품질관리

원격탐측 자료는 관측 플랫폼(위성, 항공기, 지상 레이더), 관측 파장대(가시, 적외, 마이크로파), 관측방법(수동형, 능동형)에 따라 다양한 정보를 제공한다. 자료의 구성, 내용, 형식도 자료의 종류에 따라 매우 다양하다. 따라서 다양한 원격탐측 자료를 효율적으로 활용하기 위해서는 자료 표준화가 이루어져야 한다. 이미 해외에서는 다양한 원격탐측 자료를 종합적으로 이용하는 기술이 연구대상이 되고 있다. 이는 신호처리, 인공지능, 패턴인식, 통계기법 등 다양한 분야의 기술이 결합되어야 한다. 원격탐측 융합을 통한 시너지를 얻기 위해서 표준화와 다양한 분야의 기술결합은 반드시 해결해야 하는 과제이다.

지상관측은 극지, 사막, 산악 등 관측이 어려운 곳을 제외한 지구표면의 3분의 1에 해당하는 지역에서만 가능하다. 그나마 북반구에 집중되어 있어 전 지구적인 관측은 한계가 있다. 이 한계를 원격탐측이 해소해줄 수 있다. 하지만 원격탐측 자료는 관측하고자 하는 물리량을 직접 측정하지 않고 관측센서로 입사되는 전자기파를 원하는 물리량으로 변환하여 산출하기 때문에 관측자료의 품질관리가 중요하다. 원격탐측 자료의 품질을 높이기 위해서는 원격탐측 자료의 품질 측정이 필요하고 이를 위해서는 비교 대상 자료가 있어야 한다. 또한 원격탐측 자료 품질관리에 대한 연구 개발도 지속적으로 추진되어야 한다. 이러한 활동의 일환으로, 유사한 위성자료를 상호 비교하여 품질정보를 얻는 국제협력 프로그램인 'GSICS(Global Space-Based Inter-Calibration System)'가 있다. 기상청은 이러한 프로그램에 참여하여 위성자료 품질관리와 자료 표준화 기술을 국제 수준으로 향상시켜야 한다.

➔ 통합 네트워크 구축

전국에 분산되어 있는 여러 기관들이 보유한 다양한 관측기기나 관측네트워크를 하나로 통합한 것이 '네트워크의 네트워크(Network of Networks, NoN)'이다. NoN은 3차원 공간정보, 시간정보, 자료종류(위성, 레이더, 지상자동관측 등), 변수정보, 관측값, 품질정보 등을 가진 자료를 생산하고 모든 관측지점의 관측 관련 정보를 수록한 메타데이터를 관리·운영한다. 또 관측자료에 대한 엄격한 품질보증을 수행한다. NoN은 모든 기관이 생산하는 모든 자료를 수록할 수 있는 공통의 플랫폼이기도 하다. NoN을 통해 수요자가 원하는 정보를 쉽게 추출하여 이용할 수 있다. 수록

된 자료는 품질평가 기준보다 높은 고품질 자료이며, 완전한 메타데이터(자료의 자료)를 가지고 있어야 한다.

➔ 원격탐측 자료동화

슈퍼컴퓨터가 기상을 예측하기 위해서는 최근의 기상 상태를 초기값으로 입력해야 한다. 이러한 과정을 ‘자료동화’라 한다. 원격탐측은 지상관측의 공백을 메우며, 전 지구에 대한 3차원 관측을 수행하기 때문에 자료동화에 있어 매우 중요하다. 대기의 연직 온습도 분포, 식생, 해빙, 강수 등 다양한 지구관측 정보를 기상예측에서 이용할 수 있는 기술력 확보가 필요하다.

➔ 원격탐측 자료 공동활용

원격탐측 융합을 위한 가장 중요한 정책방향은 원격탐측 자료의 공동 활용이다. 국가 차원의 공동 활용을 넘어, 전 세계적인 자료 공유가 필요하다. 공동 활용은 ‘바람직한’ 이 아닌 ‘필수적’ 인 정책방향이다.

■ 기상자원 가치 확산

원격탐측 자료를 활용하는 응용분야는 기상예보, 기후예측, 환경 감시, 작황 관리, 수자원 관리, 에너지 관리, 도시 계획, 산림 계획, 수산업, 자연재해의 조기경보, 국민 건강관리 등 매우 다양하다. 환경분야에서는 원격탐측 자료가 자연적 또는 인위적인 요인으로 시시각각 변화를 겪고 있는 지구표면의 변화를 탐지할 수 있기 때문에 토지 이용, 강유역 지도, 습지 분석, 채석 현장 모니터링, 폐기물 확인, 사막화 분석 등에 활용될 수 있다. 농업분야는 원격탐측으로 얻을 수 있는 거의 모든 종류의 지구관측 자료를 이용한다. 작황 감시, 작물 자원조사, 토양 조건 모니터링, 지원금 산정 등에 다양하게 이용된다. 또한 수문 분야에서는 지구상의 물과 에너지 분포, 지구대기와 지층, 해양, 생태계 사이의 상호작용과 변화 과정 등에 대한 이해가 필요하며, 이를 위하여 원격탐측을 통해 얻어지는 복사에너지, 강수, 적설, 식생, 지표온도 등의 정보가 활용된다. 이렇듯 다양한 분야에 응용할 수 있는 원격탐측 자료가 기상자원으로서 가치를 확산하려면 다음과 같은 노력이 필요하다.

➔ 이용하기 편리한 자료서비스

국가기후자료센터를 구축하여 정확하고 신뢰도 높은 자료를 생산하고 대국민 서비스를 획기적으로 향상하여야 한다. 자료는 철저한 품질관리를 통해 얻어진 고품질의 것이어야 하고 반드시 메타데이터가 있어야 한다. 그래야 자료로서 가치를 가지며, 중요한 의사결정을 할 때 신뢰를 얻을 수 있다. 또한 기상자원은 기상청의 보물창고 안에 담겨 있는 채로는 그 가치를 확산할 수 없다. 소중한 기상자원은 국민 누구나 사용할 수 있어야 하며, 한발 더 나아가 국가의 경계를 넘어 원하는 사람은 누구라도 사용할 수 있도록 해야 한다. 쉽게 찾아서 쉽게 이해하고 쉽게 이용할 수 있는 자료 서비스여야 한다는 것이다. 이처럼 자료 개방정책과 자료서비스 창구 일원화 정책은 기상자원의 가치를 확산하기 위하여 반드시 추진되어야 한다. 앞으로 국가기후자료센터는 ‘One-Stop Shopping’과 ‘Open-Data Policy’를 핵심적인 가치로 할 것이다. 정보를 필요로 하는 정부기관, 학계와 민간분야 등의 사용자에게 향상된 서비스를 제공할 것이다. 현재 웹기반 서비스 시스템을 재구성하고 있다. 이것이 완성되면 방대한 양의 원격탐측 자료를 포함한 다양한 기상·기후자료를 보다 편리하게 온라인으로 서비스할 수 있게 될 것이다. 이렇게 되면 한국의 국가기후자료센터는 세계적인 경쟁력을 가질 수 있을 것이라고 생각한다. 기상자료 활용 기술을 기반으로 기상 산업계도 국가기후자료센터와 함께 성장할 수 있는 더 좋은 기회를 맞게 될 것이다.

➔ 기상정보를 사용자가 원하는 정보로 변환하는 방법론 개발

자료를 이용하는 사용자의 활동을 지원하는 정책이 수행되어야 한다. 현재 기상정보를 자유롭게 이용하면서 부가가치를 창출할 수 있는 사용자는 많지 않다. 자료를 이용하는 방법론 개발이 시급하다. 사용자들이 원하는 자료는 기상자료 그 자체가 아니다. 기상자료가 의사결정에 중요한 요인이 되는 다른 요소들과 결합하여 새로운 정보로 가공되었을 때, 사용자가 중요한 의사결정 또는 행동지침으로 삼을 수 있는 정보로 변환된다. 이러한 과정에 대한 연구개발 활동이 필요하다. 예를 들어보자. 미국의 조지아 주에서는 기후자료를 이용해 가뭄지수를 개발하였다. 주정부는 이 가뭄지수를 기준으로 가뭄을 예측하고, 이에 대응하는 농작물 재배면적을 조정하는 법안을 발효한다. 이와 같은 주정부의 조정 활동으로 얻어지는 경제적인 가치는 해에 따라 변동이 있겠으나, 1억에서 3

억 5천만 달러로 추산되었다! 이처럼 의사결정에 사용되는 것은 기후예측자료가 아니라 가뭄지수이다. 따라서 기상자원의 가치를 확산하기 위해서는 응용분야에 적합한 형태의 정보를 제공하는 의사결정 지원시스템의 개발이 필요하다. 의사결정 지원시스템을 구축하는 과정은 기상자료 생산자와 자료 이용자가 서로의 전문분야에 대한 이해를 바탕으로 상호 협력함으로써 만들어지는 것이다. 다시 말하건대, 기상자료의 가치를 확대하기 위해서는 기상자료를 자원으로서 가치를 가지는 정보로 변환하는 방법론에 대한 연구개발 과정이 필요하며 이를 뒷받침하는 정책이 필요하다.

➔ 적극적인 기상자료 사용자 양성

자료를 이해하고 이를 활용하여 부가가치를 만들어 내는 사용자, 즉 파트너 양성이 필요하다. 이는 기상자원의 가치 확대를 위해 가장 중요한 요소라 할 수 있다. 자료를 적극적으로 이해하고 사용하려는 사용자가 있다면 기상정보의 가치는 이들의 노력을 통하여 확산된다. 현재 자료를 이용하고 있는 사용자뿐만 아니라 잠재적인 사용자를 포함하여 사용자의 의견을 수렴하고 이를 정책에 반영하여, 적극적인 사용자를 육성하는 과정을 지속적으로 발전시켜 나가야 할 것이다.

기상자원의 가치를 확산하는 일은 기상청이 어떻게 고품질의 기상정보를 생산하는지, 자료를 누구나 이용할 수 있도록 편리하게 자료 서비스 체계를 운영하는지, 자료를 필요로 하는 사용자의 요구를 얼마나 적극적으로 수용하여 정책에 반영하는지, 사용자가 자료를 활용하는 창의적인 방법을 개발하도록 사용자와 함께 노력하는지 등에 달려 있다. 이러한 노력은 기상자원을 이용하는 사람들과 소통을 하면서 함께 만들어 가야 한다. 기상정보와 타 분야의 정보들을 결합하여 그 분야의 중요한 의사결정에 기상자료가 활용될 때 기상정보의 가치가 확산된다. 그리고 보면, 융합정책과 별개로 기상청 단독으로 할 수 있는 일은 그리 많지 않다. 기상정보 생산자의 틀을 넘어 사용자와 함께 자료 활용을 발전시키는 정책을 펼쳐갈 때에 기상자원을 생산하는 노력은 더 큰 결실로, 더 큰 가치로 돌아올 것이다.

1 출처 : Steinemann, A.C. 2006: Using climate forecasts for drought management. Journal of Applied Meteorology and Climatology, 45(10), 1353-1361

정책 초점

레이더-위성 융합 강수정보 생산 기술

| 신동빈

위성과 첨단기술 융합을 통한 미래 기상서비스 발전 방향

| 은종원

라이다 관측기술 활용 방안

| 김덕현

위성기술을 이용한 수문분야의 융합 정책

| 배덕효, 이병주

위성자료의 해양 환경감시 활용

| 황재동

레이더-위성 융합 강수정보 생산 기술

신동빈 연세대학교 대기과학과 교수 dbshin@yonsei.ac.kr

- I. 도입
- II. 원격강수관측 장비의 특성
- III. 위성간, 레이더-위성 융합 활용 현황
- IV. 레이더-위성 융합 활용에 대한 고찰

레이더는 다른 원격 탐사장비보다 직접적인 방법으로 3차원 강수 정보를 생산할 수 있다. 그러나, 지상레이더의 경우 관측 영역이 제한적이며 지형 등의 영향으로 인한 비관측 지역이 발생 할 수 있다. 하지만 위성 관측의 경우, 관측 영역에 한계가 없다는 장점이 있다. 따라서 해상을 포함한 레이더 비관측 지역의 강수정보는 위성의 융합을 통해 생산하여야 한다. 향후, 위성강수 관측 시 불확실성을 이해하고 정확도를 향상시키기 위해, 물리변수들을 활용하여 레이더와 위성을 융합하여 강수를 생성할 수 있는 진보된 기술이 개발되어야 할 것이다. ■

I. 도입

우리나라에서 발생하는 기상관련 자연재해는 2001년부터 2010년의 기간을 기준으로 태풍, 호우, 대설, 강풍 순으로 큰 피해를 주고 있다. 이들 중 집중호우만의 경우를 살펴봐도 4조 6천억원에 가까운 경제적 손실과 236명에 이르는 인명피해가 발생하였다. 기상청 자료에 따르면, 서울의 연평균 강수량은 147.2 mm/10년의 비율로 증가하였으며 집중 호우 등 극한 강수의 경우도 보다 빈번히 발생하고 있다. 강수의 유무에 대한 기상청의 오늘-내일의 단기예보 정확도는 89%로 일본의 84.9% 보다 앞선다고 한다. 그러나 큰 피해를 주고 있는 극한 강수현상 등에 대해 적절히 대비를 하기 위하여서는 강수 유무와 더불어 강수 강도의 정확한 진단과 이를 통한 예측이 함께 발전해야 할 것이다. 강수는 지상의 전통적 강수계 및 레이더와 위성의 다양한 센서로부터 직·간접적으로 관측되고 있다. 특히 레이더는 시·공간적으로 조밀한 정보를 제공할 수 있어 초단기 강수 예측 등에 중요한 요소이다. 그러나 지상 레이더의 관측 영역은 육지 및 인근 해상에 국한 되고 있어 해상에서부터 시작되는 극한 강수 현상의 초기 진단과 추적에 제한점을 가지고 있다. 이러한 제한점은 시공간에 제약을 받지 않는 정지궤도 위성과 재방문 주기의 제한을 가지고 있지만 보다 정확한 강수의 관측이 가능한 저궤도 위성의 융합을 통하여 개선하는 연구들이 진행 중이다. 우리나라는 2010년 부터 정지궤도상에 천리안 위성을 운용함으로써 세계 7번째 기상위성 보유국이 되었다. 이러한 위성과 조밀하게 분포되어 있는 지상 레이더의 복합 활용 방안이 필요 할 것으로 보인다. 본 기고에서는 지상레이더 및 위성의 다양한 관측 센서에 대한 특성과 이를 혼용하여 사용한 주요 사례를 살펴보고 융합강수장 생산에 있어 우리나라 차세대 레이더의 활용 방향을 간략히 살펴본다.

“ 시·공간적으로
조밀한 정보를 제공할
수 있어 초단기 강수
예측 등에 중요한
요소인 레이더 ”

“ 마이크로파 센서는 구름을 통과하여 복사량 측정이 가능 ”

주고 있다.

최근에는 단일편파 레이더의 단점을 보완하기 위하여 이중편파 도플러 레이더가 적극 활용되고 있다. 기상청도 그림 1에서 나타낸 바와 같이 현재의 레이더를 2017년까지 S-밴드 이중편파 도플러 레이더로 교체될 예정으로 있다고 한다. 이중편파 도플러 레이더는 수평 및 수직 반사도를 관측할 뿐 만아니라 차등 반사도(Differential Reflectivity), 비차등위상(Specific Differential Phase), 수평수직 상관계수 및 선형편광비(Linear Depolarization Ratio) 등을 얻을 수 있다. 이러한 변수들은 수상체의 분류 및 입자크기 정보 획득에 활용 될 수 있고 이를 통해 보다 정확한 강수를 산출 할 수 있다. 특히 차등 반사도 및 비차등위상 등과 같은 수평수직성분의 상대적 값을 강수 산출에 활용 함으로써 단일편파 레이더에서 주요 관측에러로 분류 될 수 있는 절대보정에도 비교적 덜 민감하다.

한편, 기상위성으로부터의 강수관측은 주로 가시광선영역으로부터 마이크로파 영역까지의 전자기파를 관측하여 이를 지상의 강수 값으로 변환하여 이루어진다. 저궤도 기상위성 중에 하나인 Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) 위성으로부터 가시, 적외 및 마이크로파 영역에서 동시에 관측된 사례를 그림 2-a,b,c에 제시 하였다. TRMM 위성에 장착된 Ku-밴드 레이더로부터 관측된 지상 강수량은 그림 2-d에서 볼 수 있다.

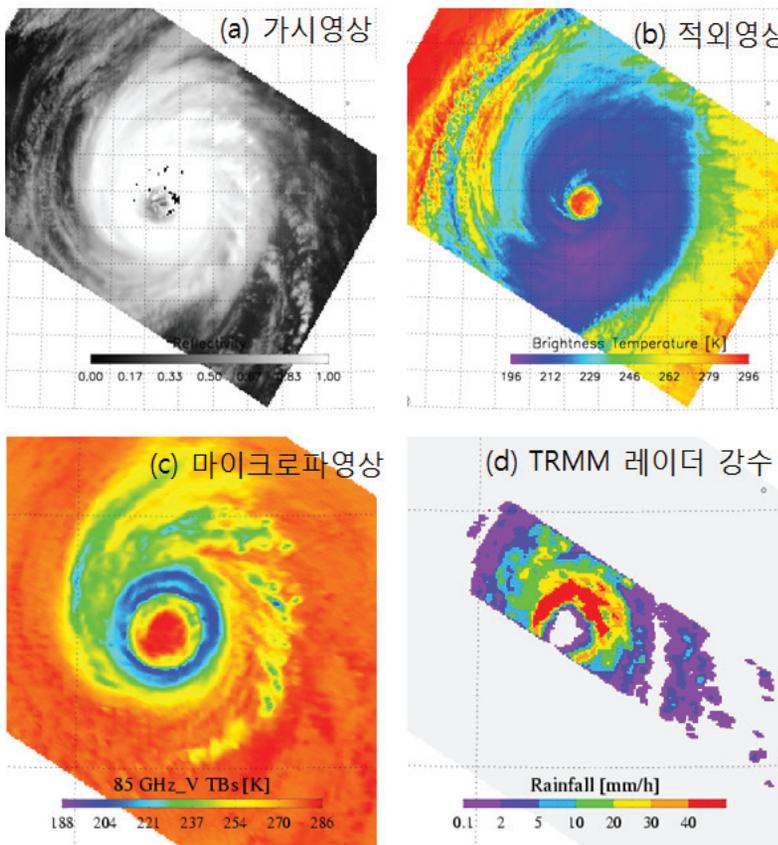
가시광선은 사람의 눈으로 인지할 수 있는 전자기파의 영역으로, 0.4 μm 에서 0.7 μm 의 파장대를 갖는다. 기상위성에서는 지표 또는 대기에 의해 반사되는 태양복사-에너지를 측정하여 지표의 상태와 구름 및 에어로졸의 분포 등을 관측하게 된다. 또한 구름의 유효 크기, 에어로졸의 광학두께, 황사, 산불, 연무 및 대기운동 벡터 산출에 활용될 수 있다. 반면 지상 강수 관측 측면에서 가시영역의 활용은 극히 제한적이다. 그 이유는 강수 구름의 정상에서 반사되는 반사도가 지상 강수강도간의 물리적 또는 경험적 관계가 뚜렷하지 않기 때문이다. 가시영역의 파장을 원격탐사에 이용할 경우 높은 해상도로 대상을 탐지할 수 있으나, 태양이 존재하는 낮에만 그 관측을 이용할 수 있는 점에서도 한계를 가지고 있다.

“ 마이크로파 파장대의 관측을 이용하여 보다 정확한 관측 값 획득 가능 ”

적외선 영역은 가시광선의 영역보다 파장대가 긴 0.7 μm 에서 1 mm의 파장대를 갖는 전자기파로서 물질이 방출하는 열을 탐지하여 다양한 용도로 이용할 수 있다. 표적 탐지 및 추적의 용도로 군사용으로 사용되기도 하고, 강한 적외선 방출을 이용하여 공업 및 의료용으로 이용하기도 한다. 이러한 방출 특성을 이용하여 기상 원격 탐사에서는 구름의 상부표면 온도를 측정하여, 그 온도가 낮을수록 강수로 전환될 가능성이 높다는 가정 하에 강수량 추정에 이용하고 있다. 그러나 구름 상단의 온도와 지표의 강수는 그 물리적 관련성이 적게 나타나고 있다.

반면 마이크로파 센서는 구름의 상층온도에 기인한 복사량만을 측정하는 적외선 센서와 달리 구름을 통과하여 복사량을 측정할 수 있어 구름, 강수 및 지표인자 측정에 보다 효과적이다. 마이크로파를 이용한 강수측정은 마이크로파와 대기 중 수상체 사이의 두 가지 물리적 상호 과정에 근거를 두고 이루어진다. 첫째로 강수입자로부터 방출되는 열적 복사에너지의 측정을 통해서 강수를 관측 할 수 있으며, 둘째로 강수시스템의 상층에 분포한 얼음입자 등에 의한 산란효과로 인해 열적 복사에너지의 감소를 측정함으

[그림 2] TRMM 위성으로부터 동시 관측된 가시(a), 적외(b) 및 마이크로파(c) 영상 사례와 등 위성에 장착된 Ku-밴드 레이더로부터 관측된 지상 강수량 분포(d).



“ 복합위성
및 다중센서를
융합하는 방향으로
진행되고 있는
원격탐사에 의한
강수 관측 ”

로써 강수를 측정하는 것이다. 방출효과에 근거를 둔 강수측정은 약 50 GHz이하의 마이크로파를 이용하며 방출율이 작은 해양과 같은 복사적으로 차가운 배경에서 효과적이다. 산란효과에 의한 강수측정은 육지와 같이 방출율이 높아 강수 입자로 부터의 방출에너지가 구별이 어려운 경우 이용되고 있다. 위성으로부터의 강수추정에 있어 마이크로파 파장대의 관측을 이용한다면 보다 정확한 관측 값을 획득 할 수 있게 된다.

III. 위성간, 레이더-위성 융합 활용 현황

앞에서 살펴본 바와 같이 마이크로파 센서는 지표면과 대기 중 수상체 들에 의해 방출된 복사에너지, 즉, 밝기 온도를 관측한다. 이는 마이크로파가 대기 중 구름 및 에어로졸 등으로 부터의 영향을 거의 받지 않고, 오직 강수와 연관된 물과 얼음 입자에만 직접적으로 반응하는데 그 기초를 두고 있으며, 현재 위성 강수관측의 핵심적인 역할을 수행하고 있다. 하지만, 마이크로파 센서는 저궤도 위성에서만 운용되고 있어 저궤도 위성의 특성인 위성의 재방문 시간(동일한 지점에 대하여 하루 2~3회)에 따르는 낮은 관측주기가 존재한다. 반면에 천리안 위성과 같은 정지 궤도 위성에 실린 적외 센서의 경우는, 강수와 관련된 인자들과의 직접적인 반응은 아니지만, 구름상부 온도에 대한 정보를 통해 강수와 간접적으로 연결될 수 있으며, 높은 시간해상도(동일지역에 대해 30분 이내의 관측주기)를 갖는다. 따라서 시·공간적으로 변동성이 큰 강수 관측의 경우 저궤도의 마이크로파 센서와 정지궤도의 적외센서는 상호 보완적으로 사용, 최적의 효과를 가져 올 수 있다. 이러한 이유로 원격탐사에 의한 강수관측은 복합위성 및 다중센서를 융합하는 방향으로 진행되고 있다.

Climate Prediction Center MORPHing technique (CMORPH)은 복합위성 및 다중센서를 융합하여 높은 시·공간 해상도의 전 지구 강수자료를 산출하는 대표적인 원격탐사 알고리즘으로서 미국 국립해양대기청 산하 기후예측센터

“ 위성자료(전 지구 1시간
간격 강수자료)의
높은 공간해상도를
통해 홍수, 가뭄 등
자연재해의 빠른
감시 가능 ”

(NOAA/CPC)에서 개발되었다. CMORPH은 저궤도 위성에 탑재된 마이크로파 센서 자료만을 이용하여 강수를 추정하고, 정지궤도 위성에 탑재된 적외 센서로부터는 구름 이동 벡터 (CSAVs, Cloud System Advection Vectors)를 산출하여 강수 시스템의 이동 방향을 설정한다. 주어진 영역과 시간의 마이크로파 강수 자료가 없을 경우 적외 이미지로 산출한 이동 벡터를 사용하여 전 시간의 마이크로파 강수시스템을 이동 시킨다 (forward propagation). 이후에 관측된 마이크로파 강수 자료가 존재할 경우 이동 벡터를 반대로 적용하여 나중에 관측된 마이크로파 강수 패턴을 역으로 이동 시킨다 (backward propagation). 따라서 30분 시간 간격마다 마이크로파 강수 관측이 없을 경우 forward propagation 한 자료와 backward propagation 한 강수를 시간에 따른 비중을 주어 보간한다. 이 방법을 “모핑(morphing)” 이라고 한다. 이 모핑 방법을 통해 매 30분 간격마다 공간적으로 완전한 강수 자료를 생산할 수 있다. CMORPH을 사용하여 북위 60도 남위 60도 영역에 이르는 위·경도 0.0727, 30분 간격의 시공간해상도를 갖는 강수자료와 위·경도 0.25 해상도를 갖는 3시간 간격의 강수 자료를 제공한다. CMORPH과 같이 높은 시공간 해상도를 갖는 전 지구 강수자료는 재난 감시와 수치모델의 초기 입력 자료, 강수의 일변화 관측, 모델 강수 예측 검증 등에 유용하게 쓰일 수 있다.

복합위성 및 다중센서 활용의 다른 예로서, 2002년부터 개발되어 현재 운영 중에 있는 일본의 Global Satellite Mapping of Precipitation (GSMaP)이 있다. GSMaP은 위성자료를 이용한 시, 공간적 고해상도(1시간 간격, 0.1°)의 전구 (60° S ~ 60° N) 강수 자료로서, 2002년부터 2007년 까지 Japan Science and Technology Agency (JST)의 Core Research for Evolutional Science and Technology (CREST)에 의해 개발되었으며, 2007년 이후 Japan Aerospace Exploration Agency(JAXA)의 Precipitation Measuring Mission(PMM) 팀에 의해 운영되고 있다. 위성자료를 통한 전 지구에 대한 1시간 간격의 강수자료는 높은 공간해상도를 통해 홍수, 가뭄 등 자연재해의 빠른 감시를 가능하게 하며, GSMaP 강수 산출물은 개발도상국에 자연재해 감시 자료로서 제공되고 있다.

“ 관측 영역에 한계가 없는 위성 자료 ”

레이더와 위성자료의 융합 활용은 주로 정지궤도위성의 가시 및 적외 영상으로부터 얻어지는 강수 값을 레이더에서 관측된 강수자료를 통해 보정하는 분야에서 이루어졌다. 그 대표적인 예로서 National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) National Environmental Satellite, Data, and Information Service (NESDIS) Office of Research and Application (ORA)에서 기상예보 지원 등을 위해 만들어진 현업용 강수 알고리즘 Auto-Estimator (AE)가 있다. AE는 북미의 대류형 강수(convective rain)에 초점을 맞추어 개발되었으며 Geostationary Operational Environmental Satellite (GOES) 정지궤도위성의 10.7 μm 밝기 온도 관측 자료를 사용하며, 1998년 Gilberto A. Vincente 등에 의하여 개발되었다. AE는 지상의 강수 레이더를 기초로 강수량과 GOES 위성의 10.7 μm 채널의 밝기 온도간의 관계를 이용하여 강수를 추정한다. 또한, 시간적으로 연속된 관측 자료에서의 10.7 μm 밝기 온도 변화를 통해, 강수와 비슷한 신호를 나타내는 비 강수 권운을 구별해내며, 수치 모델에서 얻어진 가 강수량 값과 상대습도 값을 곱한 지표를 이용하여 구름 내 증발과정을 고려한다. 2002년에는 관측 자료의 시차(parallax)와 지형효과에 대한 보정과, 2001년 Joyce 등이 발표한 방법에 기반한 limb darkening(정지궤도 위성의 관측 영역 가장자리에서 나타나는 전자기 신호의 왜곡 현상) 보정 기능이 추가되었다. 강수를 동반하지 않은 권운 구름의 신호를 강수와 구별해내는 것이 알고리즘의 가장 취약한 부분인데, 이의 보완을 위해 추가적으로 레이더 자료를 사용한다. AE에서 산출되어 현업에 이용되는 강수 자료는 시간 해상도에 따라 실시간, 1시간 평균, 3시간 누적, 6시간 누적, 24시간 누적 강수량이 있으며, 공간 해상도에 따라서는 세 가지 형태, 12 \times 12 km, 48 \times 48 km, 그리고 100 \times 100 km 로 제공되고 있다.

“ 다른 원격탐사장비
보다 직접적인
방법으로 3차원
강수 정보의 생산이
가능한 레이더 ”

IV. 레이더-위성 융합 활용에 대한 고찰

레이더는 다른 원격탐사장비 보다 직접적인 방법으로 3차원 강수 정보를 생산할 수 있다. 그러나 지상레이더의 경우 약 200 - 300 km 정도로 관측 영역이 제한적이며 지형 등의 영향으로 인한 비 관측 지역도 발생 할 수 있다. 반면 위성 자료는 지상 관측보다는 간접적인 방법을 통해 강수를 관측하지만 관측 영역에 한계가 없다는 장점이 있다. 따라서 해상을 포함한 레이더 비관측지역의 강수정보는 위성과의 융합을 통하여 생산하여야 한다. 융합과정은 레이더와 위성에서 독립적으로 관측된 강수를 단순 통계적으로 합성 할 수도 있을 것이다. 그러나 이러한 방법은 강수유형 또는 특성에 무관하게 얻어 질 수 있는 것으로서 물리적인 분석이 없어 레이더 및 위성관측 방법의 향상 또는 강수의 물리적인 과정의 이해에 대한 기여를 기대하기는 어렵다. 이에 따라, 융합과정에서 레이더의 보다 적극적 활용이 필요하다. 특히, 기상청이 2017년 까지 확보하여 한반도 전역과 인근 해상을 관측하게 될 S-밴드 이중편파 레이더는 수상체의 모양 및 종류, 입자크기분포 등의 구름강수미세물리 과정을 이해 할 수 있는 주요 변수들을 산출 할 수 있다. 이러한 변수들은 위성강수관측의 불확실성을 이해하고 정확도를 향상시키기 위해 필수적이다. 즉, 이러한 물리변수들을 활용하여 레이더와 위성을 융합하여 강수를 생성 할 수 있는 보다 진보된 기술이 개발되어야 할 것이다.

위성과 첨단기술 융합을 통한 미래 기상서비스 발전 방향

은종원 남서울대학교 정보통신공학과 교수 jweun@nsu.ac.kr

정부는 법 부처와 협력하여 기상재해 및 재난으로부터 국민의 생명과 재산을 보호하기 위한 정지궤도 위성 뿐만아니라, 지구관측위성인 다목적위성 혹은 소형위성의 위성체(Bus) 모델을 이용하여 다양한 기상센스가 탑재된 저궤도 기상위성 개발 정책을 수립하고, “차세대 기상서비스 네트워크”를 구축하는 전략을 세워야 한다. 이를 통해 우리나라의 “위성과 첨단 기술 융합을 통한 차세대 기상서비스 발전 방향”을 도출해야한다. 또한, 위성과 첨단 기술 융합을 통한 “차세대 기상서비스 네트워크”는 경제, 산업, 사회적인 기대효과를 가져올 것이다. ■

“ 기상, ST, IT 기술들이
융합되어 새로운 기술과
서비스 창출 ”

자연재해는 인간에게 영향을 미치는 재해 가운데 자연의 예상치 못한 변동이 원인이 되어 인간에게 피해가 발생하는 재해로 천재라는 의미를 가진다. 천재의 키워드는 태풍, 가뭄, 홍수, 지진, 쓰나미, 화산폭발, 황사, 산불, 한파 등 대부분 기상 재해로부터 나온다.

2011년 3월 일본 동북부 지역의 대지진과 쓰나미로 인해 세계는 자연재해의 무서움을 다시 한 번 느끼게 되었다. 쓰나미 피해 현장은 대한민국 최초의 지진해일을 소재로 한 영화 ‘해운대’의 한 장면과도 같았으며, 이로 인해 어찌면 영화와도 같은 일들이 실제로 일어날 지도 모른다는 두려움이 밀려왔다.

2011년 세계 각지의 자연재해 피해액은 역대 최대인 3천500억 달러, 우리 돈으로 402조 원이다.

2011년 7월 말 서울 지역의 100년 만의 집중호우는 서초구 우면산에 산사태를 유발했으며, 이로 인해 16명이 숨지는 참사를 불러오기도 했다. 뿐만 아니라, 얼마 전에는 동남아 이상고온으로 인한 태국의 대홍수는 국토의 3분의 1을 물바다로 만들었고, 전 세계 40%의 하드디스크드라이브[HDD; Hard Disc Drive]를 생산하는 HDD 업체의 생산 공장을 파괴했다.

범세계적으로 일어나는 중규모 악 기상으로 인한 집중호우는 지난 35년간 그 빈도가 2 배 상승한 것으로 나타나고 있다. 이러한 이상 기후 현상은 지구 온난화 등의 영향과 관계가 있는 것으로 이해되고 있으며, 기후변화에 따라 증가되고 있는 자연재해는 인명 및 경제·사회적으로 막대한 피해를 주고 있다.

필자는 자연재해의 피해를 최소화하기 위하여 다음과 같은 자조적인 질문을 해 본다. “일기 예보 서비스를 어떻게 개선해야 할까? 일기예보 서비스는 어디까지 와 있는가? 며칠 앞의 일기를 정확하게 예측할 수 있을까? 날씨 예측 서비스는 왜 한계가 있을까?” 그 답은 “기상+ST+IT 융합”, “위성과 첨단 기술융합을 통한 차세대 기상서비스 네트워크”에서 찾을 수 있다. “기상+ST+IT 융합”은 독립적으로 연구·개발되어 활용되어온 기상, ST, IT 기술들이 융합되어 새로운 기술과 서비스를 창출하는 것이다.

“저궤도 기상위성
개발을 통한
기상관측수행”

현재 우리가 사용하고 있는 “ST+IT 융합” 사례는 원격회의, 원격진료, 원격교육 서비스 등이 있다. 반면에 “기상+ST+IT 융합”의 결과물인 “차세대 기상서비스 네트워크”는 저궤도 기상위성이 재해 관련인자 영상을 정확히 획득 할 수 있도록 고정밀 자세제어를 유지시켜 주는 위성체(Bus), 가시광선(380~780 nm), 적외선(780 nm ~ 1 mm), 그리고 극초단파 및 마이크로파 대역(300 MHz ~ 300 GHz)에서 관측이 가능한 탑재체 센서, 지상에서 위성을 정교하게 제어하고 감시하는 위성관제시스템, 그리고 태풍, 산불, 화산폭발, 지진, 쓰나미 같은 재해 정보를 위성 및 지상무선망으로부터 수신·처리하여 재난 정보를 언제, 어디서나 정확하게 준 실시간으로 국민에게 전송하는 기상재해 통신서비스 네트워크로 정의된다.

미국, 유럽, 러시아 그리고 중국은 저궤도 기상위성에 적외선 및 마이크로파 대역 탑재체 센서를 탑재, 기상재해 인자를 관측하여 날씨예보에 필수적인 수치예보 모델의 주요입력 자료를 제공하고 있다.

국외 저궤도 기상위성 개발 현황을 살펴보면, 미국은 NOAA-19 위성에 적외선 영상기(AVHRR-3)와 적외선 탐측기(HIR-3), 수동형 마이크로파 탐측기(AMSU-A1/A2/B)를, 유럽은 METOP-A 위성에 수동형 마이크로파 탐측기(MHS)와 적외선 탐측기(IASD)를, 러시아는 METEOR-3M 위성에 적외선 영상기(Killmaat)와 수동형 마이크로파 영상기/탐측기(MTVZA)를 탑재하여 기상관측을 수행하고 있다. 마지막으로 중국은 FY-3B위성에는 수동형 마이크로파 영상기(MWRD)와 적외선 탐측기(IRAS), 그리고 수동형 마이크로파 탐측기(MWHS)를 탑재하여 운용하고 있다.

이렇게 기상 선진국들이 적외선 및 마이크로파 대역 탑재체를 운용하는 저의는 가시광선 대역을 이용하는 광학 센서는 야간이나 구름 등이 끼어 있을 때 목표지역 촬영이 어렵지만 적외선 및 마이크로파 대역 탑재체 센서는 야간이나 악천후에도 관측이 가능하기 때문이다. 또한, 마이크로파 대역 탑재체 원천 기술은 진일보된 군사첩보위성 개발에 활용이 가능하다.

일본 정부는 일본을 먹여 살릴 ‘꿈의 10대 기술’ 가운데 우주기술인 “고품질 고정밀 위치측정시스템”, “지구와 달 및 화성 사이의 수송을 가능하게 하는 우주수

“ 위성의 복합 활용을 통한 시너지 효과 창출 ”

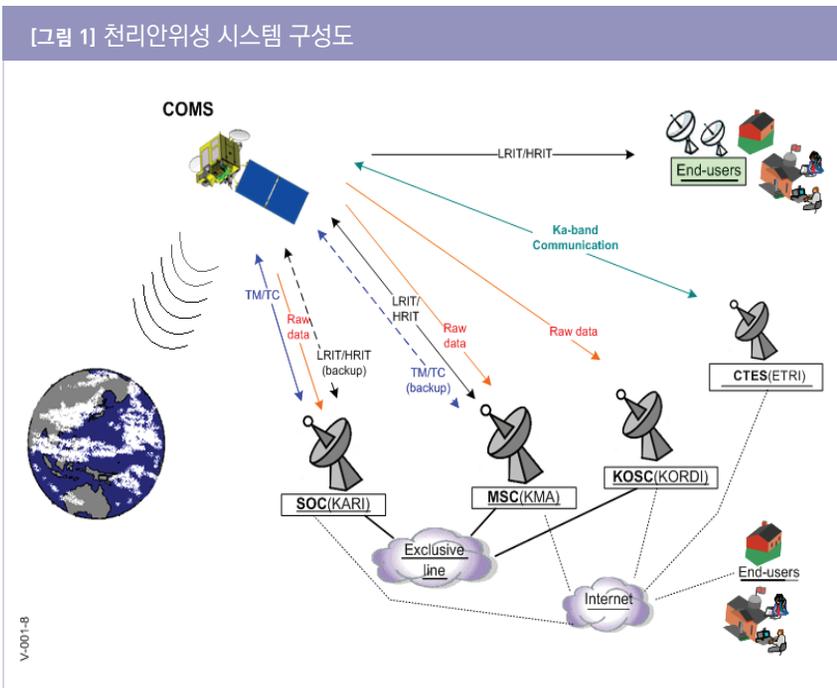
송시스템 및 우주정거장”, 그리고 “위성(ETS-VIII, WINDS, Superbird-D)을 활용한 지진, 쓰나미 등의 자연재해 통합 관측·감시시스템”을 선정하여 연구를 수행하고 있다.

그렇다면 우리는 어떠한가? 기상청은 2003년부터 교육과학기술부, 국토해양부, 방송통신위원회와 공동으로 정지궤도 통신해양기상위성(이하, 천리안 위성) 개발을 추진하여 2010년 6월 27일 발사에 성공하였고, 2011년 상반기부터 천리안 위성의 광학 및 적외선 탑재체 센서를 이용하여 독자적인 기상 및 재난 관측임무를 수행해 오고 있다.

저궤도 기상위성은 정지궤도 보다 낮은 고도에서 다양한 기상센서를 활용 할 수 있으며 전 지구를 관측 할 수 있는 장점이 있다. 이러한 저궤도 기상위성은 기상예보의 중요 입력 및 참고자료를 제공하고 수증기, 해빙, 토양수분, 해수면온도, 대기온도, 수문순환 등 다양한 인자의 기후적 변동과 이들과 연관된 기후변화의

이해에 결정적인 자료를 제공할 수 있어 그 활용성이 증대되고 있다. 또한 저궤도 기상위성은 정지궤도 기상위성인 천리안위성과 복합적으로 활용하여 상호 장단점을 보완하는 시너지 효과를 창출할 수 있을 것으로 사료된다. 하지만 우리는 저궤도 기상위성을 보유하지 못하고 있다. 우리는 저궤도 기상위성 탑재체 관련 핵심기술 또한 미비하여 국가적 기상재

[그림 1] 천리안위성 시스템 구성도



V-001-8

“『차세대 기상서비스 네트워크』 구축의 중요성 ”

난 감시 및 경감을 위한 주요 자료를 미국 및 일본 등에 전적으로 의존하고 있는 실정이다.

우리나라 우주개발진흥세부실천계획(2010)에 의하면 기상 및 기후변화 감시위성이 “정지궤도” 복합위성에 국한되어 있어, 국민의 삶에 지대한 영향을 미치는 집중호우, 가뭄, 태풍, 황사, 산불 등 기상재해 예방 및 기후변화 분야의 역량을 강화하기 위하여 우리가 축적한 기상, ST, 그리고 IT의 융합을 통해 기상재해 및 재난에 대응하는 유용한 수단으로 활용할 수 있는 정책 대안이 필요하다.

정부는 범 부처와 협력하여 기상재해 및 재난으로부터 국민의 생명과 재산을 보호하기 위하여 정지궤도 위성뿐만 아니라 지구관측위성인 다목적위성 혹은 차세대 소형위성의 위성체(Bus) 모델을 이용하여 다양한 기상센서가 탑재된 궤도 기상위성 개발 정책을 수립, “차세대 기상서비스 네트워크”를 구축하여야 한다.

“차세대 기상서비스 네트워크” 구축의 중요성은 다음과 같다.

- 기상재해 통신 인프라는 국민의 생명, 재산권 등을 보호하는 차원에서 반드시 필요한 가장 근본적인 통신 인프라이다.
 - 군 통신, 국가비상통신망과도 연동이 가능한 분야이므로 국내 기술 확보 필요
 - 미국, 유럽, 일본 등 선진 기상 국가들은 독자 기상재해 통신 기술을 확보하고 있으며 국내의 경우 기상 선진국 입지를 강화하기 위해 적절한 대응 필요
- 지식융합사회로 발전하기 위한 균형적 통신 인프라 기술개발이 필요하다.
 - 국내기술 선도 분야인 위성 및 이동통신을 융합한 기술개발 필요
- 일본 동북부 지역의 대지진과 쓰나미 등을 통하여 국제적인 체계적인 기상재해 통신 수단 구축에 관심이 고조되어 있다.
 - 유비쿼터스사회로 진화로 인하여 모든 통신 인프라가 융합되어 정보 전달되는 통신 인프라 관련기술 발전 추이

“『차세대 기상서비스 네트워크』 활성화 필요 요인 분석 및 전략 요구 ”

- 4세대 이동통신 기술진화에 따른 기상재해 통신 분야에서 광대역화 필요성이 대두되고 있다.

우리나라의 “위성과 첨단 기술 융합을 통한 차세대 기상서비스 발전 방향”을 도출하기 위해서 우리나라 “차세대 기상서비스 네트워크”의 활성화 필요요인을 먼저 분석하고, 이와 연계하여 “차세대 기상서비스 네트워크” SWOT 분석(그림 2) 및 전략(그림 3)이 요구된다.

우리나라 “차세대 기상서비스 네트워크”의 활성화 필요요인을 살펴보면

첫째, 최근 기상재해 피해규모의 대형화와 더불어 국지적 악기상이 빈발함에 따라 체계적인 대응체제 강화 필요. 짧은 시간에 돌발적으로 발생하는 집중 호우, 폭설 등 이상기상의 출현빈도가 증가하는 추세이다.

둘째, '80년 이후 국내에서 지진발생 빈도가 점차 증가하고 있으며, 규모 5.0이상 지진 발생주기도 짧아져 지진에 의한 피해발생 대비가 필요하다.

셋째, 지구 평균 기온의 상승 추세와 한반도 기후 환경의 급속한 변화로 미래의 기후변화 적응과 대응에 대한 필요성이 급증하고 있다.

- 지난 100년간 평균기온의 상승 추세: 전 지구 0.6°C, 한반도 1.5°C

넷째, 기상과 긴밀한 연계를 갖는 자연 자원의 고갈과 부족에 대비한 국가적 대응에 기상업무의 역할이 필요하다.

다섯째, 국민생활 및 경제활동에 있어서 기상정보에 대한 의존도가 더욱 커지고 있으며, 기상정보가 방재, 환경, 교통, 수자원 관리 등 많은 분야에 큰 영향을 주고 있기 때문에 국가차원에서 기상정보의 제공 및 활용 체제를 고도화 할 필요가 있다.

- 기상정보를 활용하는 관련 부처의 기상·방재 업무의 효율적 추진을 위한 국가 기상업무의 체계화 필요

“ 국가기상재해통신
인프라 해외업체와
공동개발을 통한
기술수준 단축 ”

우리나라의 “차세대 기상서비스 네트워크” SWOT 분석 주요결과는 다음 [그림 2]와 같다.

[그림 2] “차세대 기상서비스 네트워크” SWOT 분석 주요결과

	강점 요인(S)	약점 요인(S)
내부 역량 요인	<ul style="list-style-type: none"> - 최고 수준의 이동통신인프라 구축 - 다양한 콘텐츠 개발 가능 - 단말기 설계기술 보유 - 양방향 위성 멀티미디어 전송기술 및 능동안테나 기술 보유 - 이동통신 4G 핵심 기술보유 	<ul style="list-style-type: none"> - 기상재해통신 시장규모가 이동 통신에 비해 적음 - 위성이동통신 서비스 국외 의존 - 위성통신 관련 민간투자 미미 - 보안, LBS기술 기반 미약 - 내수기반 미약, 시장진출 부담
	기회 요인(O)	위협 요인(T)
외부 환경 요인	<ul style="list-style-type: none"> - 중국, 동남아 등 기상재해통신 시장 역할 가능성 - 재해재난 분야에서 위성이용 확대 - 이동 광대역 위성통신 기술 확대 - 국가 간 기상재해통신 인프라 연동 기술 필요성 증대 - 연동/융합 관련기술 활성화 	<ul style="list-style-type: none"> - 선진국의 위성/무선 기상재해 통신 기술이전 기피 - 일본의 아시아 시장 관심 - 일본의 선진화된 기상재해통신 기술 - 자국 통신망을 이용 기상재해 통신 망 구축 및 기술주도 예상

우리나라의 “차세대 기상서비스 네트워크” SWOT 분석결과에 따른 주요 전략 다음과 같다.

[그림 3] “차세대 기상서비스 네트워크” SWOT 분석에 따른 주요전략.

SO 전략: 공격적 전략	ST 전략: 다각적 전략
<ul style="list-style-type: none"> - 기술개발을 조기 추진 미국, 유럽, 일본 등의 기술 격차 최소화 - 근거리망, 광역망, 확장망 기술개발 집중 - 위성통신 기술을 활용한 이동위성통신기술개발 및 기상재해통신 확장망 기술로 적용 - 양방향 이동통신 및 위성기반 기상재해 통신 표준화 추진 	<ul style="list-style-type: none"> - 아시아지역 국가들과 협력, 광대역 기상 재해 주파수 확보 노력 - 기존 개발기술을 활용한 저 비용 기상 재해통신 위성 인프라 개발 - 국가기상재해통신 인프라 국내환경 적용 기술 발굴 및 개발 - 차세대 기상서비스 관련 전문가 양성 및 핵심원천 기술 발굴
WO 전략: 변환적 전략	WT 전략: 방어 전략
<ul style="list-style-type: none"> - 일본과 협력 강화를 통한 위성/무선융합/연동 분야 협력 강화 - 국내 우위의 위성통신 및 이동통신기술을 접목하여 유럽과의 기술격차 해소 - 고속 이동통신 인터넷 기술 개발 및 서비스 활성화로 관련 기상재해 인프라 기술로 전환 - 국가 위성망을 활용한 기상재해통신 인프라 구축 운용 및 국가 간 기상재해 위성통신 확장망 조정 	<ul style="list-style-type: none"> - 기술종속의 우려를 낮추기 위해 관련 기술 조기 개발 - 일본의 경우 기상재해통신의 위성분야 집중 협력 유도(위성 DMB 등) - 아시아지역 관련 기술 표준화 적극 참석 - 국가 보유 위성망을 이용한 기상재해 통신 인프라 구축 및 운영(천리안 위성) - 미국, 유럽, 일본 등의 틈새시장 발굴 - 국가기상재해통신 인프라 해외업체와 공동개발을 통한 기술수준 단축

“수출 증대, 기술경쟁력 강화, 기상재해 강조 등의 기대효과”

[그림 3]과 같은 주요전략을 통해 도출된 위성과 첨단 기술 융합을 통한 차세대 기상서비스 발전 방향은 다음과 같다.

- (1) ST 전략을 통한 국제 표준 활동을 강화로 SO 전략 수행토록 한다
- (2) 국내 기술발전 추이를 볼 때 근거리망, 광역망, 확장망을 중점 확보 기술 항목으로 선정하여 국가기상재해 통신망 구축에 활용한다
- (3) 국가기상재해 통신망 구축을 위하여 국내 우수기술 분야들을 융합하여 새로운 기술영역을 창출하는 방향으로 추진한다
- (4) 국가기상재해 통신망 기반기술 개발 및 관련인력 양성을 통하여 기상 재난통신 확장망을 위한 기반기술 제정활동을 수행한다
- (5) 국가 간 기상재해통신 확장망 서비스 지역 확대 및 국가 간 기상재해 통신망 표준화 국제 공동개발 및 선도를 한다.
- (6) 국가 위성망을 이용한 기상재해통신 인프라 구축운용으로 인한 기술 제정 선점 및 국가 기상재난통신 무선인프라 표준 공동개발 및 참여에 따라 지적재산권을 확보 한다.

위성과 첨단 기술 융합을 통한 “차세대 기상서비스 네트워크”는 다음과 같은 기대효과를 나타낼 것으로 생각된다.

- 경제적 기대효과
 - “차세대 기상서비스 네트워크”를 국가적인 차세대 전략산업으로 육성하게 되면 기상재해, 공공안전 등의 세계시장에 신속하게 진입함으로써 수출 증대가 가능하다
- 산업적 기대효과
 - 미개척 분야의 집중적 핵심개발을 통한 지적재산권 확보 및 국내 기술 개발의 결과가 관련기술 국제 표준 규격으로 반영되도록 주력하여 기술 경쟁력을 강화하게 된다

“ 위성과 첨단기술 융합을 통한 미래기상서비스 발전 방안 필요 ”

• 사회적 기대효과

- 국제적으로 기상재해의 피해를 최소화하기 위한 협력체계 강화로 국제적인 기상재해 예방효과가 나타날 것이다

우리나라도 이제 경제적으로 선진국 대열에 진입하였고 우리국민의 과학 문화적 안목도 향상되었다. 이에 따라 기상재해에 대한 관심과 예방에 대한 목소리가 우리사회 도처에서 커지고 있다. 우리나라의 경우 중국 연안의 많은 원자력발전소, 백두산 화산폭발, 황사, 태풍, 집중호우, 한파, 가뭄 등 기상재해로부터 안전지대가 아니다. 따라서 기상재해에 대한 국민의 경각심을 일깨우고 각 단위 지역별로 기상재해에 대한 대비활동을 강화하여 인명을 구하고 피해를 최소화 할 수 있도록 관련 정책을 점검하고 우리현실을 고려한 위성과 첨단 기술 융합을 통한 “차세대 기상서비스” 발전 방안을 모색하여야 한다.

마치 군인들이 적성국가의 침략에 대비하여 고도의 최첨단 무기 운용 및 훈련을 통하여 국가를 방위하는 것처럼, 미해양대기국(NOAA)은 돌풍, 장기간의 혹서, 홍수, 허리케인 그리고 전기 및 통신 시스템을 위협하는 태양 폭풍과 같이 극한 기상에 대비하여 “더 많은 인명을 구하고 생계를 보호함으로써 미국이 더 안전하도록 “기상재해에 대비하는” 국가로 만들기 위한 종합적인 계획을 착수”하고 있다고 한다.

극한 기상 등의 자연재해와 싸우는 기상청의 임무는 자연재해로부터 국가와 국민의 인명과 재산을 보호하는데 필요한 정확한 기상정보를 준 실시간으로 제공하는 것이다. 이를 위해서 기상청은 1달 후나 1년 후의 정확한 기상예보가 불가능한 것이 과연 나비효과의 영향이 미치기 때문인가(?)를 재고하여야 한다. 우리 정부는 24시간 국가의 안위를 위하여 노력하는 국민들처럼 음지에서 일할 ‘기상+ST+IT’ 융합 전문 인력 양성에 많은 관심과 투자가 필요한 시점이다.

라이다 관측기술 활용 방안

김덕현 한밭대학교 교양학부(물리학 전공) 교수 dhkim7575@paran.com

라이다 기술을 이용한 다양한 기상변수 측정 및 방법론을 소개하고 이로부터 측정 가능한 기상(후) 변수들을 나열한 후 현장에서 유용하게 사용하기 위하여, 어떤 것이 필요할 것인지 간략하게 소개하였다. 이를 위하여 각 라이다 장비의 간단한 특성이나 사양을 소개하고 이를 활용하기 위한 방안들을 논하였다. 본 기고에서 소개된 장비는 기상 요소에 따라, 구름의 광학적 특성 측정 장비, 에어로졸 특성 측정 장비, 바람장 측정, 수증기를 포함함 가스 밀도 측정 장비, 그리고 온도를 포함한 기타 기상요소 측정 장비로 나누어 살펴보았으며, 마지막으로 국내 라이다 장비 활성화를 위한 방안을 강조하였다.



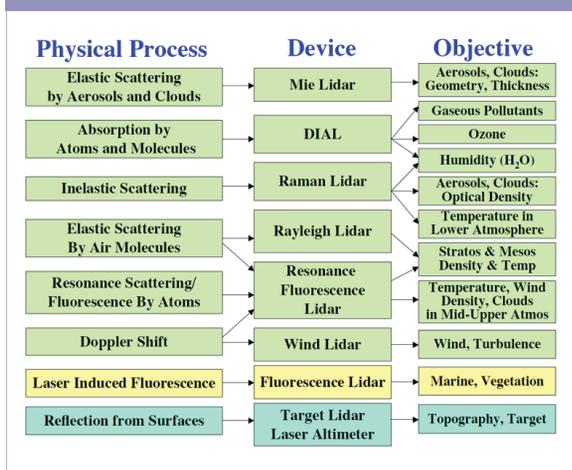
“ 최근 24시간
모니터링용으로
상용화되어 시판되고
있는 라이다기술 ”

I. 국내외 라이다 개발 응용 사례 특징

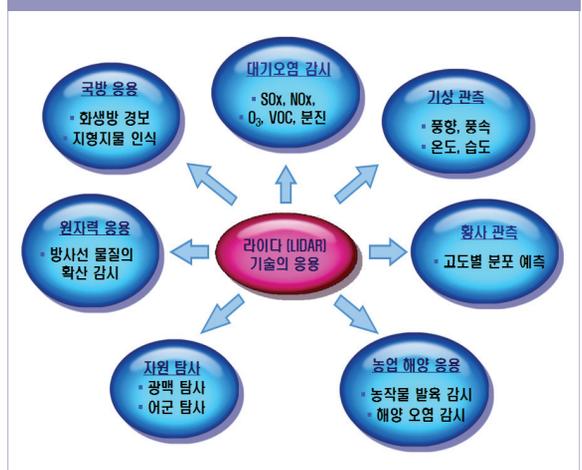
라이다 기술은 레이저의 개발과 함께 1960 년 이후 비약적으로 발달하였고, 최근엔 24 시간 모니터링용으로 상용화된 장비들이 시판되고 있다. 그림 1과 2 는 라이다의 종류 및 그 응용 분야를 나타낸다.

국내의 경우 환경부, 국방부, 그리고 기상청에 라이다 장비가 공급되어 황사나 기타 에어로졸, 오존 등의 밀도에 대한 정성(량)적인 측정이 이루어지고 있으나, 아직 국내에서 기상변수를 구체적으로 측정할 사례는 아직 없다. 장비개발 측면에서 학계나 연구소 등에서 연구용으로 제작되어 각종 기상변수(온도, 습도, 구름 특성)에 대한 활용이 이루어지고 있으나, 아직 24 시간 연속 측정 데이터 활용으로는 보고된 바가 없으며 국외에서 도입된 연구용 장비도 현업에서처럼 장시간 측정된 예는 없다. 반면에 국외의 경우, 특히 중국의 경우 일본의 지원 하에 1990 년까지는 1 차 데이터(에어로졸의 산란계수) 생산단계에 머물렀으나, 최근에 관련 기초과학 기술의 발달을 통한 2차 데이터(온도, 바람, 기타 해양 및 환경물질 정보) 생산 및 분석과정이 이루어지고 있으며 이를 구체화하기 위한 H/W 개발 등 비약적 발전

[그림 1] 라이다 기술의 물리적 특성 및 종류



[그림 2] 라이다 응용 분야



“ 현업에서 연중 24시간
측정할 수 있는 라이다
장비 개발 필요 ”

을 이루고 있다. 예를 들어 칭다우 해양대학에서 개발한 라이다 장비는 현재 중국 기상청으로 장비를 이전하여 각종 데이터를 생산하고 있으며, 인공위성의 발사, 공항, 기타 인공강우 등과 같은 곳에 직접 이용하고 있는 것으로 알려져 있다. 독일, 일본, 미국, 프랑스, 영국 이탈리아 등에서는, 몇몇 라이다 장비(바람장, Mie 라이다 등)를 제외한 대부분의 라이다 장비를 기상연구 기관에서 자체 제작하여 활용하고 있다. 이는 기상현상과 같이 특수 목적의 라이다 장비들이 아직 범용으로 생산되거나 시판되는 장비가 부족하기 때문이며, 이로 인하여 수요자(기상연구 관련학교, 기상청, 연구소(NASA 등))가 필요에 의해서 자체 제작하여 라이다 장비를 활용하고 있는 실정이다. 이러한 점은 장비 개발자와 실수요자가 같기 때문에 장비의 오차와 신호의 특성을 동시 확인을 통해 기상 변수를 빠르게 추출할 수 있는 장점이 있다. 하지만 현업에서 연중 24 시간 측정할 수 있는 장비 개발에는 소홀함 점이 있었다.

II. 라이다 기술 기본 이론 및 활용 방향

라이다 기술은 짧은 펄스폭(수 nsec)을 가진 UV ~ IR 파장의 레이저를 대기 중에 조사하여, 조사된 방향에 있는 각종 물질에 의해 산란된 신호(Mie, Rayleigh, Raman, Fluorescence)를 발생시키고, 산란 신호 중에서 후방으로 산란되는 신호를 수신하여 그 지점에서의 물리적 특성 변화(파장변화, 편광변화), 신호 크기 변화를 분석하여 대기를 구성하는 특정 분자와 에어로졸의 분포 특성(밀도), 물리적 특성(온도, 속도, 크기, 모양, 입자의 정렬 방향)을 추출하는 기술이다. 이러한 추출 기술의 근간은 산란 과정과 투과 과정이 대기의 물리적 특성(온도, 습도, 바람)과 그 밀도에 의존하기 때문이다. 즉, 라이다 기술은 산란되어 되돌아오는 미세 신호의 파장을 구별하여 측정하는 H/W 기술과 추출된 신호로부터 원하는 기상변수를 추출하는 분석 및 해석기술(기상학적 물리량 추출 기술)로 나눌 수 있다. 분석 기술은 빛의 산란 메커니즘, 빛의 흡수 및 전파 이론 등과 같은 기초적인 이론에서

“ 개발자 및 수요자
입장에서의 장비
개발 과정 필요 ”

출발하며, 동시에 라이다 신호를 검출하는데 필요한 광학센서의 분광학적 센서의 특성과 센싱 과정을 이해하여 신호 특성을 알 수 있을 때 가능하다. 라이다 신호 크기는 거리에 따른 신호 크기만을 제공하지만, 파장에 따른 신호의 변화는 레이저가 진행하고 있는 전파 공간에 대한 모든 흡수, 산란 물질의 정보를 제공할 수 있으며, 산란 과정은 입자의 경계면에서 일어나는 전자기파의 성질에 의하여 결정되기 때문에 입자의 모양, 크기, 그리고 방향에 대한 정보를 제공한다. 또한 미세 신호 검출과정에서 이러한 신호는 많은 오차를 포함하고 있기 때문에 목적에 맞도록 신호를 검정(calibration) 및 보정(correction)하기 위해선 신호의 후처리과정도 필요하다. 지금까지는 신호 획득 및 분석을 통한 기상정보 추출 등을 대부분 H/W 개발자의 몫으로 이해되어 왔다. 그러나 기존의 선진국 장비 개발자나 이용자 그룹의 인적 자원을 살펴보면 개발자가 가진 물리적 기초 지식만으로는 기상학적 활용에 한계가 있었던 것은 분명하며, 이용자와 개발자 간의 중간 매개 역할을 하면서 동시에 공동연구를 수행하지 않으면 동종의 라이다 장비라 하더라도 구하고자 하는 기상 정보를 찾아 활용하는 데 많은 제한이 따르며, 하나의 장비에서 많은 종류의 정보를 추출 할 수 있음에도 불구하고 다수의 고가 장비를 구입해야하는 예산 낭비를 초래할 수 있다. 즉, 개발자 입장에서 혹은 수요자의 입장에서 장비를 구축(구매)하고 개발하는 과정이 필요할 것으로 판단된다.

Ⅲ. 라이다와 레이더 융합 활용 방안

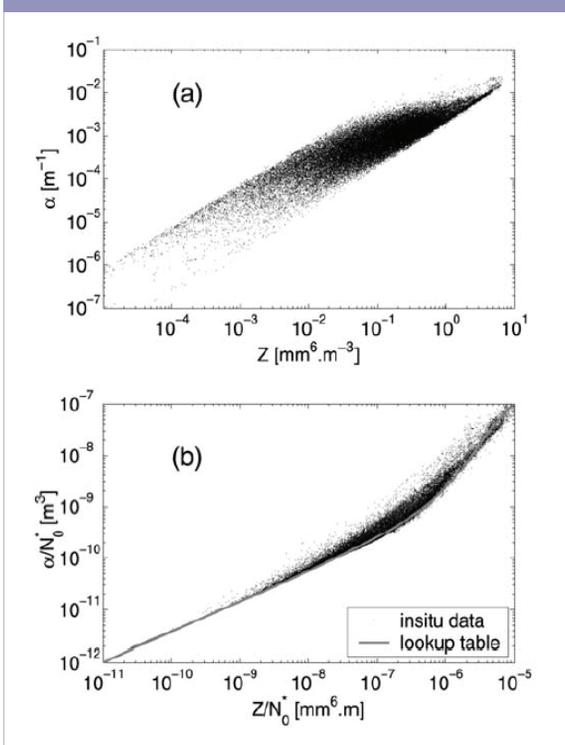
라이다 기술과 레이더 기술은 근본적으로 큰 차이는 없으나 크게 3 가지 다른 특징을 지니게 된다. 첫째, 라이다는 에너지가 높은 짧은 파장의 전자기파를 사용하기 때문에 레이더에 사용하는 전파 파장에서 얻을 수 없는 각종 비탄성 산란(라만 및 형광 등) 신호를 얻을 수 있고, 둘째는 파장이 짧아서 크기변수($x=2\pi r/\lambda$; r 입자의 크기, λ 전자기파의 파장) 값의 차이 때문에 산란 효율이 달라 산란 단면적(scattering cross-section)이 다르며, 셋째 굴절률이 다르기 때문에 흡수율

“ 구름과 관련하여 제한적인 측정 분야만 고려하더라도 라이다와 레이더는 다른 물리량을 측정하고 다른 독립된 물리적 변수를 제공 ”

차이가 커서 대기 투과 특성이 크게 차이가 난다. 첫 번째의 특징은 레이더에서는 불가능한 현상이라 비교가 불가능하며, 두 번째의 차이 때문에 레이더의 경우 대부분의 대기 부유 입자 크기에서 산란신호의 세기 $\langle n(r)Q(r)r^2 \rangle$ 는 $Q(r)=r^4$ 에 근사되어 입자 크기의 6승에 비례하는 Rayleigh 산란 과정을 거치고 라이다 파장의 경우 일반적으로 $\langle n(r)Q(r)r^2 \rangle$ 는 $Q(r)=2$ 에 근사되어 2 승에 비례하는 물리량을 얻는다. 물방울과 얼음 구름입자에서 얻어지는 비탄성 라만 라이다의 경우 때론 3 승에 비례하는 물리량을 얻을 수도 있다. 마지막 경우로 파장에 따른 흡수율 차이는 최대 측정 거리에 영향을 준다. 일반적으로 레이저 빛의 경우 산란 단면적이 커서 측정 거리가 레이더의 측정 거리보다 짧으나 대기 투과창이 넓어서 다양한

파장 선택이 가능하고 파장에 따른 차분흡수 원리를 이용한(DIAL : Differential Absorption Lidar) 설계와 차등산란 (Differential scattering) 라이다 설계가 가능하다. 라이다와 레이더의 교집합 상에서 가장 특이한 점은 두 장치가 다른 물리량(r^6, r^3, r^2)에 관계된 값을 측정하기 때문에 동시에 측정하면 많은 시너지 효과를 얻을 수 있다.¹ 활용 사례로는 [그림 3]에 나타낸 것처럼, 레이더 신호(Z)와 라이다로 얻을 수 있는 소광계수(α)는 1 : 1 대응관계가 아니지만(그림3(a)) 규격화된 입자수(Normalized number concentration)로 다시 규격화 하면 (그림3(b)) 1 : 1 대응관계를 찾을 수 있으며, 소광계수만으로 반사도를 얻을 수 있고, 역으로 소광계수와 레이더 반사도를 알면 규격화된 입자수를 알 수 있다. [그림 4]도 같은 맥락에서 두 장비를 동시에 이용할 경우 많은 정보를 얻을 수 있는 예를 보여주는 것이다.

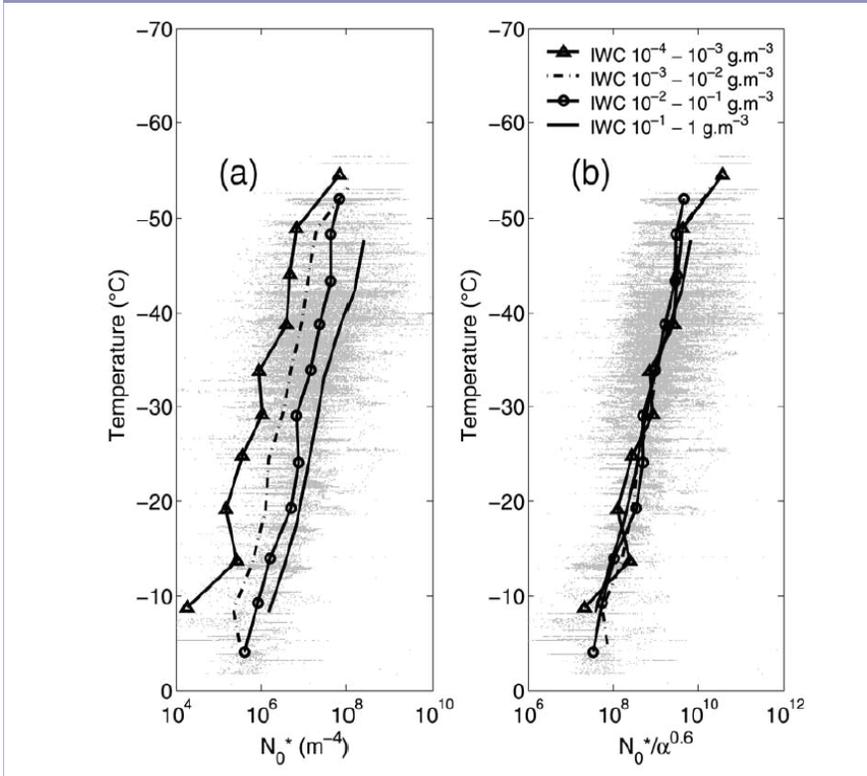
[그림 3] 소광계수(α)와 레이더 반사도(z)¹⁾



1 Julien Delanoë and Robin J. Hogan, "A variational scheme for retrieving ice cloud properties from combined radar, lidar, and infrared radiometer", JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH, VOL. 113, D07204, doi:10.1029/2007JD009000, 2008

“ 얼음의 dynamics
를 실시간 측정하는
기술로 분류
가능 ”

[그림 4] 소광계수와 온도¹⁾



IV. 구름 특성 측정 라이다 기술 분야

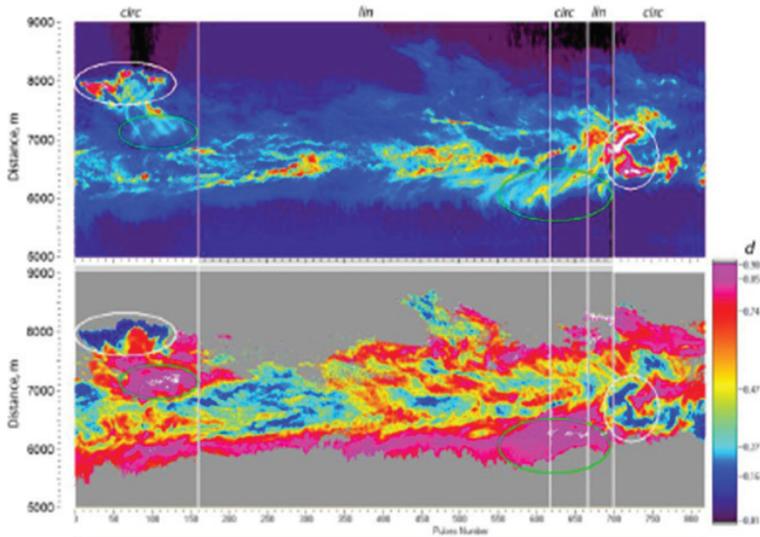
구름의 기상학적 정보는 물방울 구름의 총량, 물방울 구름입자의 크기(), 얼음 구름의 경우 얼음 모양, 얼음의 정렬 방향, 이러한 정보로부터 얼음의 dynamics를 실시간으로 측정하는 기술로 나눌 수 있다.

라이다 기술을 이용한 각종 측정 사례 중 구름을 측정하는 기술은 라이다 개발 초기인 1960년대부터 잘 알려졌다. 간단하게는 구름의 높이, 구름의 광학적 계수(후방산란 계수, 소광계수) 등이 주로 측정되었으며, 운고계의 경우 이미 국내에 50여 곳 이상에 배치되어 활용되고 있는 실정이다. 그 후 편광신호를 이용하여 물방울상태의 구름과 얼음 상태의 구름 구별, 최근 다중산란 현상을 이용한 물방울 구름의 광학적 깊이 및 소광계수 측정, 그리고 물방울 구름의 입자 크기 및 양 등을 측정하는 다양한 연구 결과들이 발표 되고 있다. 이러한 방법은 주로 라만 신호를 획득함으로써 가능한데, Raman 신호의 특성상 측정거리가 짧고 낮 시간 측정의

“ 구름 라이다 기술을 통한 구름의 성장 예측 및 인공강우와 같은 제어기술에 활용 가능 ”

어려움 때문에 현재 산란 물질의 산란변수(Muller 매트릭스) 전체 값을 Mie 산란 신호로 구하고 이로부터 구름의 상, 얼음 구름의 배열상태(방향),²³ 그리고 기타 얼음 입자의 통계적 특징을 측정하는 노력들이 이루어지고 있다. 이러한 노력은 입자의 기하학적 모양뿐만 아니라 그 방향성에 대한 정보를 제공하기 때문에 기존의 편광라이다의 한계를 극복(특정 방향으로 얼음 입자가 배열되면 조사된 빛의 편광에 의존하여 비편광도가 결정됨)하고, 얼음 구름 내부의 움직임, 바람장 등에 대한 간접적인 정보도 동시에 얻을 수 있다. 특히 권운의 경우 기후학적으로 매우 중요하지만 그 측정이 어려운 이유로 권운의 물리적/형상적(Morphological) 특징이 잘 알려지지 않아서, 단순히 특정 파장에서의 산란 계수 값만으로는 다른 파장에 대한 산란계수를 알 수 없어 전체 열순환 모델에서 권운 역할에 대한 정보가 많은 오차를 나타내고 있다. [그림 5]는 권운에서 획득된 비편광도를 나타내고 있다

[그림 5] 얼음 구름에서 얻어지는 다양한 비편광도³⁾



또 다른 특이 사항으로⁴ 물방울 구름의 경우 1.5 μm 과 장에서 그 굴절률의 흡수계수가 입자의 크기에 의존한다는 특성을 이용한 라이다 기술이 소개되었다. 이 기술을 이용하여 구름입자의 크기 및 가강수량을 측정할 수 있게 되었다. 다만, 아직 1.5 μm 레이저가 고가이고, 출력이 크지 않기 때문에 국내에서는 아직 연구된 사례

2 Massimo Del Guasta, Edgar Vallar, Olivier Riviere, Francesco Castagnoli, Valerio Venturi, and Marco Morandi, "Use of polarimetric lidar for the study of oriented iceplates in clouds", APPLIED OPTICS Vol. 45, 4878(2006)

3 Yurii Balin, Bruno Kaul, Grigorii Kokhanenko, and David Winker, "Application of circularly polarized laser radiation for sensing of crystal clouds," Opt. Express 17, 6849-6859 (2009)

4 C. D. Westbrook, R. J. Hogan, E. J. O'Connor and A. J. Illingworth, "Estimating drizzle drop size and precipitation rate using two-colour lidar measurements", Atmos. Meas. Tech., 3, 671-681, 2010

는 없다. 이런 구름 라이다 기술은 구름의 물리적 특성을 실시간으로 제공하기 때문에 구름의 발달과정을 직접 관측할 수 있어 구름의 성장 예측 및 인공 강우와 같은 제어 기술에 활용이 가능하다.

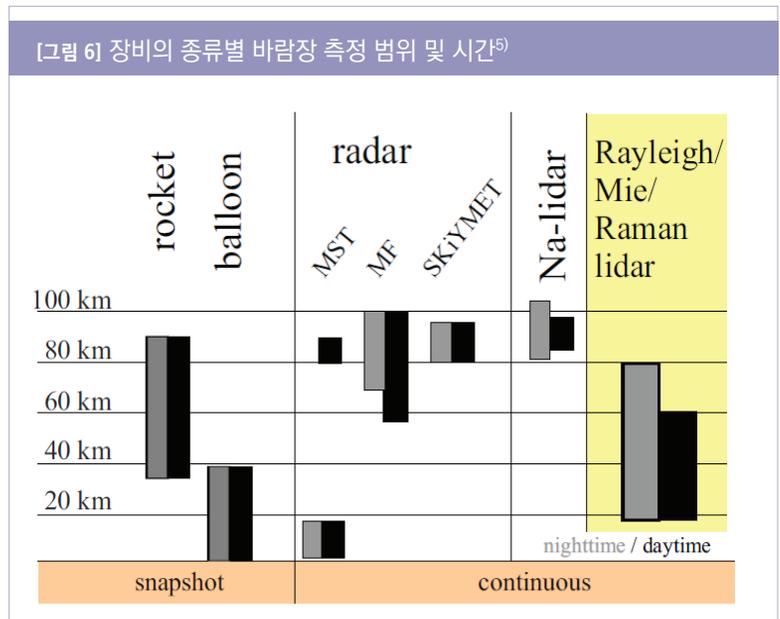
“ 측정 고도에 따른 다른 산란 신호를 이용한 라이다 바람장 측정 기술 ”

V. 바람장 측정 기술 분야

라이다에서 바람장 측정 기술은 측정 고도에 따라 서로 다른 산란 신호를 이용한다. 10 km 이하의 고도에서는 에어로졸의 Mie 산란을, 그 이상의 고도(5~40 km)에서는 에어로졸의 양이 급감하기 때문에 Rayleigh신호를, 마지막으로 그 이상(35~80 km)의 고도에서는 Na의 공명 흡수선을 이용한 도플러 라이다 기술이 이용되고 있다. 24 시간 연속으로 전 영역의 바람장 모니터링을 위해서 [그림 6]과⁵ 같이 다양한 기술들이 동시에 이용되고 있다. 라이다의 경우 모든 영역 측정이 가능한 장점이 있다. 라이다는 공기분자와 에어로졸의 산란을 이용하기 때문에 레이

더와 달리 날씨 조건에 상관없이 원거리까지 측정이 가능하나, 비가 오는 경우 빗방울에 의한 감쇄와 구름의 감쇄 때문에 원거리 측정에는 한계가 있다. 국내의 경우 바람장 측정 라이다 관련 핵심기술들이 개발되었으며, 최근엔 고가의 레이저를 사용하지 않고도 바람장을 측정하는 방법이 제시되어 연구 중에 있다.

외국의 경우 차량이나 항공기 등의 이동형 장치뿐만 아니라 인공위성에 바람장 라이다를 장착하여 광



5 G. Baumgarten, "Doppler Rayleigh/Mie/Raman lidar for wind and temperature measurements in the middle atmosphere up to 80km", Atmos. Meas. Tech., 3, 1509(2010)

“ DIAL 기술을 활용한
가스상 물질 측정 ”

범위한 측정이 시도되고 있는데, 이는 목적 관측을 통하여 일기 예보⁶나, 위험악
기상의 조기감지 등과 같은 곳에 직접 사용이 가능하기 때문이다. 이미 공항의 바
람장 shear나 Vortex 측정을 통한 공항안전 확보, 태풍의 진로 예측, 항공기의 안
전 확보 및 항공기 운송효율 증대 등과 같은 곳에서 바람장 라이다 시스템이 활용
되고 있지만, 고가이고 시스템이 커서 많은 수요가 있음에도 활용분야는 아직 제
한적인 상황이다.

VI. 수증기, 오존, 이산화탄소 등 가스상 측정 라이다 기술 분야

라이다를 이용한 분자 상태의 각종 온실가스나 환경가스의 측정 기술은 가스의 고도별 밀도를 측정하는 기술이 주요 관심 분야이며, 주로 DIAL 기술이 적용된다. 다만 그 양이 많은 수증기의 경우 라만 라이다 기술로도 측정이 가능하다.

가스 밀도를 측정하는 라이다의 대표적인 방법은 DIAL 기술이다. 차분흡수 라
이다는 기본적으로 특정 분자에 의하여 흡수가 강하게 일어나는 공명파장과 흡수
가 적게 일어나는 비공명 파장을 가진 레이저 시스템을 이용하여 원하는 지역에
측정하고자 하는 가스 밀도 및 분포를 측정한다. DIAL 기술로 측정되는 가스상 물
질은 수증기, 오존, 메탄, 이산화황, 이산화질소 그리고 기타 주요 온실가스인 SF₆
등을 측정하는 연구들이 보고되었다. 수증기의 경우는 다른 온실가스보다 그 양
이 많아서 라만 신호로도 충분히 얻을 수 있기 때문에 시스템이 비교적 간단한 라
만 라이다 시스템이 많이 적용되고 있으나 최대 측정거리가 3 km 정도로 낮기 때
문에 주로 DIAL 방법이 이용된다. 그러나 수증기의 흡수 선폴이 800 nm 근처에
서 0.026 nm 정도로 매우 좁기 때문에 씨앗발진된(injection seeded) 좁은 선폴
의 파장 가변 레이저가 필요하기 때문에 시스템이 복잡하고 상용으로 구축하여 현
업에서 사용하기엔 아직 부족한 면이 있다. 국내 원자력연구원에서 5 km 이내의
수증기의 경우 10 분 간격으로 라만 신호를 이용하여 측정한 경험이 있으며, 장치
가 복잡하지 않고 장비가 기계적으로 안정하여 현업에 활용 가능하다.

최근 유럽각지에서 오존홀과 온실가스의 관심이 다시 대두되면서 대기 중 가스

6 M. Weissmann, R. Busen, A. Dornbrack, S. Rahm, and O. Reitebuch, "Targeted Observations with an Airborne Wind Lidar", J. Atmos. Ocean. Technol. 22, 1706 2005.

“ 실시간/고도별
일도측정에 매우
적합한 라이다
기술 ”

상 물질에 대한 측정 중요도가 증가되고 있다. 국내에는 이미 성층권 오존 측정용 라이다 시스템이 구축되어 기상청에서 관측을 수행하고 있다. 대류권 오존의 경우 국내에서 개발된 연구에⁷ 의하면 오존 밀도는 그 전날 야간의 고도에 따른 오존 밀도와도 관계가 있는 것으로 밝혀졌는데, 이러한 점에서 대류권의 오존 측정도 오존 경보를 예보하는 기상청의 입장에서 매우 중요하다. 이러한 조건을 만족하는 장비는 실시간/고도별 밀도 측정이 가능하여야 하기 때문에 라이다 방법이 매우 적합한 것으로 판단된다. 라이다를 이용한 가스상 물질 원격 측정 기술은 열린 형태 FTIR 기술(Open Path FTIR), 인공위성을 이용한 IR기술, GNSS 기술, Radiometer를 이용한 기술에 비하여 역산의 문제로 인한 오차, 기준값의 필요성 등과 같은 요소들이 필요치 않아 보다 정확한 측정값을 얻을 수 있다. 기존 측정 기술과 라이다 기술을 동시에 관측할 경우 각 장비의 검교정용으로 활용이 가능할 것으로 사료된다. 물론 이러한 모든 장비들은 장단점이 존재하는데, 예를 들어 라이다의 경우 근거리 수증기량을 정확히 측정할 수 있는 반면 GNSS 장비는 근거리에서 취약함을 보이나, 전체 연직 총량에 대한 정보를 정확하게 줄 수 있어서, 두 장치의 장점을 살린다면 5 km 이상의 수증기량 변화에 대한 보다 정확한 값을 얻을 수 있다. 이산화탄소의 경우 그 수명이 길고 고도별 밀도 차이가 크지 않기 때문에 고정밀도를 요구하므로 라이다 기술보다는 다른 OP-FTIR 등 다른 기술을 적용하는 것이 더 적합할 것으로 판단된다.

VII. 에어로졸 측정 라이다 기술 분야

라이다를 이용한 에어로졸 측정은 구름의 고도에 관계없이 측정이 가능하였으나, 하나의 파장만(Mie 라이다)을 측정하는 경우 하나의 신호에 두 개 이상의 미지수(후방산란계수, 소광계수)가 포함되어 있어 근본적으로 한계를 나타낸다. 이

7 Sung-Chul Choi, Young-Joon Kim, Duk-Hyeon Kim, Hyung-Ki Cha, Do-Kyeong Ko and Jongmin Lee, "A Differential Absorption Lidar (DIAL) for Ozone Measurements in the Planetary Boundary Layer in an Urban Area", Journal of the Korean Physical Society, Vol. 44, No. 6, June 2004, pp. 1432.

“ 한계를 극복하기 위한 다양한 신호를 이용한 측정 기술 ”

러한 문제를 해결하기 위해 Ansmann⁸ 등은 라만 신호를 이용한 방법을 제시하였다. 그 후 많은 연구자들이 질소나 산소에 의하여 라만 산란된 신호들을 얻어서 에어로졸의 후방산란계수 및 소광계수를 얻기 위해서 노력하였다. 그러나 질소나 산소의 진동 라만 신호 역시 원래 파장보다 2000 cm^{-1} 이상 떨어져 있어서 적절한 가정(assumption)을 통하여만 에어로졸의 특성을 알 수 있다. 이를 보완하기 위해 회전라만 방법이 제안⁹되었으며 이러한 과정을 통하여 좀 더 에어로졸의 산란계수가 정확히 측정되게 되고 있다. 정확한 에어로졸 산란계수 측정은 에어로졸의 물리/화학적 특성을 역산하는데 있어서 잘 정의되지 않는(ill-posed) 문제로 측정 오차가 매우 중요하기 때문에 정밀한 측정은 매우 중요한 요소이다.^{10 11} 최근엔 Tatarov¹² 등은 라만 라이다 신호를 32 개 이상의 채널에서 얻어 대기를 구성하는 입자의 화학적 구성을 구하고자 하였다. 이 기술은 이론적으로 에어로졸의 구성 성분을 알 수 있다는 장점이 있으나, 측정소요 시간이 길고 물질간의 간섭이 있어 분석상 어려움을 야기 된다. 에어로졸의 특성 중에서 그 입자의 크기와 굴절률에 대한 연구가 가장 많이 진행되었는데, 역산되는 에어로졸은 크기 분포, 성분, 광학적 굴절률 등이 있고 이로부터 얻어지는 에어로졸의 종류 예컨대, 검댕(soot), 에어로졸의 흡습성 유무, 미네랄, 모래, 인공적인 에어로졸 등에 대한 정보를 제공할 수 있어, 기상학이나 환경학 측면에 활용이 가능하다.

8 A. Ansmann, U. Wandinger, M. Riebesell, C. Weitkamp, and W. Michaelis, "Independent measurement of extinction and backscatter profiles in cirrus clouds by using a combined Raman elastic-backscatter lidar", Appl. Opt. 31, 7113 (1992).

9 D. Kim and H. Cha, "Suggestion for qualitative lidar identification of different types of aerosol using the two wavelength rotational Raman and elastic lidar", OPTICS LETTERS, 31, 2915(2006)

10 Veselovskii, I. A. Kolgotin, V. Griaznov, D. Müller, U. Wandinger and D. N. Whiteman, "Inversion with regularization for the retrieval of tropospheric aerosol parameters from multiwavelength lidar sounding", Appl. Opt., 41(18), 200(3685).

11 Martin de Graaf1, David P. Donovan1, Arnold Apituley2, "REFRACTIVE INDEX AND INTEGRAL AEROSOL PROPERTIES RETRIEVAL FROM RAMAN LIDAR DATA USING PRINCIPLE COMPONENT ANALYSIS"

12 Tatarov etc., "Multi channel lidar spectrometer for atmospheric aerosol typing on the basis of chemical signature in Raman spectra", 25 international laser radar conference, 47P(2010)

“정확한 고도별 측정값 제공을 통한 활용도 증가”

VIII. 온도 측정 라이다 기술 분야

대기 온도 측정 방법은 공기분자의 회전라만 신호를 이용하는 방법(0~10 km), 고층의 공기분자 밀도의 Rayleigh 산란으로 공기밀도를 측정하여 온도를 산출하는 방법(5~40 km), Potassium의 공명 흡수 형광라이다 방법으로 (35~100 km) 측정할 수 있어 대기권 모든 영역의 온도를 측정할 수 있다고 볼 수 있다¹³. 온도는 수증기 혼합비 측정과 함께 수증기의 상변화에 영향을 주고 있으므로 대기의 다양한 정보를 활용하여 기상변화를 연구하고 예측하기 위해선 공기분자의 회전 라만 신호를 이용하는 방법이 적용되어야 할 것으로 판단된다. 라이다 방법으로 얻은 온도 분포를 예보 모델에 적용하기 위해서 보다 정확한 고도별 측정값을 제공함으로써 그 활용도가 증가될 것이다. 이러한 정보는 기상 예보자나, 예보 모델을 연구하는 연구자들과 충분한 검토가 있어야 할 것으로 판단된다. 특히, 경계 고도 부근과 지표면 근처에서 라이다를 통해 측정된 온도 측정값은 다른 장비에 비해 그 신뢰도 높고, 측정 시간도 24 시간 가능하기 때문에 그 활용도가 높을 것으로 판단된다.

IX. 국내 라이다 기술 활용 방안 및 제언

대기 광학적 현상은 일찍이 많은 일반인으로부터 관심이 대상이 되었으며, 과학이 발달하기 이전엔 이를 통하여 일기의 특성을 예보하기도 하였다. 현재는 가시광 영역뿐만 아니라 UV에서 전파의 영역까지 다양한 파장에서 이러한 대기과 전자기파의 상호 작용을 연구하고 있다. 라이다 장비는 이러한 상호 작용을 레이저를 이용하여 그 현상을 관측하는 것으로 대기의 각종현상(온난화, 냉각화, 대기 유동, 구름의 성장 발달 등)을 이해하는데 매우 중요한 장치로 입지를 넓혀하고 있는 시점에 있다. 이러한 이유로 국내에서도 운고계를 포함한 여러 종류의 라이다

13 M. Alpers, R. Eixmann, C. Fricke-Begemann, M. Gerding, and J. Höffner, "Temperature lidar measurements from 1 to 105 km altitude using resonance, Rayleigh, and Rotational Raman scattering", Atmos. Chem. Phys. Discuss., 4, 923(2004)

“ 라이다 장비의
도입과 활용을 위한
필요조건의 만족 ”

시스템이 구축되어 있으며, 앞으로 더 많은 시스템이 도입되어 구축될 것으로 판단된다. 이러한 시점에 라이다 장비를 도입하고 활용함에 있어서 그 효율을 극대화하고 비용을 절감하기 위하여 다음의 몇 가지 필요조건이 만족되어야 할 것으로 판단된다.

- 기상학을 연구하는 분야와 기상 장비를 개발하는 분야 간의 직접적인 교류의 장이 마련되어야 한다. 구체적으로 장비를 개발하는 분야의 인력이 서로 연구 정보를 교환하고 기상학자가 기상장비를 활용함에 있어서 기상장비의 특성과 한계를 정확히 인식하기 위하여 기상 학회에 기상장비 분야의 새로운 분과가 마련된다면 이러한 문제를 조금이나마 해결할 수 있을 것으로 판단된다. 비록 기상장비가 간단한 원리에 의하고 이를 바탕으로 공학적으로 시스템이 구성되는 것이라 할지라도 개발 중간 과정에서 나타나는 많은 문제점과 오차를 모르고는 측정값으로 표시된 값을 정확히 이해하고 새로운 기상학적 결과물을 추출 할 수 없을 것으로 판단된다.
- 빛의 산란 메커니즘이 고전적인 전자기파의 원리에 의하여 이루어지고 그 이해과정이 간단할 지라도, 대기와 같이 다양하고 복잡한 물질들이 존재할 경우 아직 해결하지 못한 각종 공학적인 문제가 있다. 최근의 선진 장비들은 이러한 복잡한 산란 메커니즘을 응용하는 장비들이 소개되고 앞으로 상용화될 예정이다. 라이다는 광학적 현상을 이용한 장비이며 이러한 광학현상을 이해하는 것은 최종 결과물을 이해하는데 많은 도움을 준다. 개발자의 입장에서는 장비의 최종 결과물을 가능한 간단하게 표현하고, 수요자의 입장에서 신뢰도가 높은 디지털화된 최종 값만 요구한다면, 중간과정에 있는 많은 현상들은 사장될 것이며, 이러한 것은 기상발전에 도움이 되지 못한다. 이러한 점에서 중간자 역할을 할 수 있는 인력들이 기상전문가 그룹에 포진되어 같이 연구가 진행되어야 할 것이다. 즉 기상청이나 기상연구소에 광학이나 기타 전파 공학을 전공한 다양한 인력의 배치가 장기적으로는 필요한 것으로 생각된다.

“장비의 장단점 보완과 전략적 구매와 개발자의 협조 필요”

- 모든 장비가 그러하듯이 라이다 장비도 단점과 장점을 골고루 갖추고 있다. 특히 능동형(active) 원격측정분야에서는 레이더가 중요한 파트너임에 틀림없다. 레이더 장비가 넓고 빠르게 측정할 수 있고, 라이다 장비는 비교적 좁은 범위(scanning을 할 경우 관측범위 확장)에서 낮은 시간 분해능으로 그 정보를 수집하는 장비이기 때문이다. 그러나 앞에서 살펴보았듯이 라이다 장비는 입자 크기(r)의 $\langle r^2 \rangle$ 과 $\langle r^3 \rangle$ 그리고 레이더의 경우는 $\langle r^6 \rangle$ 에 비례하는 정보를 거리에 따라 얻는다. 마찬가지로 GNSS나 OP-FTIR 등은 고도별 정보 없이 누적된 가강수량 정보를 얻는다. 장비의 시너지 효과를 높이기 위하여 몇 가지 장비를 동시에 이용하고 장단점을 보완하는 것은 필수적이다. 라이다 장비도 이러한 점에서 기존의 장비를 보조하고 검증하는데 충분히 활용될 수 있고, 그 시너지 효과도 배가 될 것이다.
- 이론적으로 라이다 신호는 레이저에 의하여 수 십 가지 정보를 포함하고 있다. 355 nm 의 파장을 조사하면, 수증기, 물방울, 얼음알갱이, 산소, 질소 등에 의하여 산란된 신호를 동시에 얻을 수 있다. 장비 개발자와 수요자가 고립된다면, 혹은 국외의 장비들만으로 장비를 구축한다면, 이러한 많은 정보가 사장될 수밖에 없으며, 이러한 것을 방지하고 하나의 장비에서 그 효율을 극대화 하고 비용의 절감을 위하여 장비 구축 후 계속적으로 사용자의 분석 프로그램의 개발과 함께 장비 개발자가 이러한 분석 프로그램을 뒤받침 할 만한 장치의 재구성을 도와주는 전략적인 구매와 개발자의 협조가 필요하다. 이러한 협조 체제는 레이저 가격이 라이다 시스템의 주요 아이টে이며, 새로운 라이다 기상변수를 측정하는 시스템은 수신광학계의 적절한 보정으로 충분히 가능하기 때문이다.

위성기술을 이용한 수문분야의 융합 정책

배덕호 세종대학교 토목환경공학과 교수 dhbae@sejong.ac.kr

이병주 국립기상연구소 응용기상연구과 수문자원연구팀 연구원 bjlee0704@korea.kr

I. 서론

II. 위성영상의 수문학적 활용분야

III. 제언

현재 위성영상 기반의 정보 생산 및 수문분야 연계를 통한 활용은 주로 미국, 유럽, 일본 등에서 주도하고 있다. 국내의 경우 위성영상 보정기술, 위성영상 기반의 수문정보 생산, 생산된 정보의 정확도 평가에 대한 어려움으로 타 분야에 비해 그 활용도는 매우 낮은 실정이다. 하지만, 위성영상에 대한 수문학적 활용실태를 고려하여, 수문분야에서 공간지형정보 추출기술, 수문성분 추출기술, 기상재해 감시 및 전망기술, 시계열 위성정보 구축 및 표준화 기술 분야 등의 다양한 기술력을 확보하여 위성영상 기반의 정보들의 활용이 용이해지면, 수자원 계획·관리 능력이 증대될 것이다. ■

“ 위성을 활용한 수문기상 관측 노력 ”

1. 서론

최근 지구온난화, 엘니뇨 및 라니냐 등 지구환경 변화에 따른 기후변화의 영향으로 짧은 시간에 매우 높은 강도를 가진 집중호우와 홍수, 그리고 가뭄 피해가 빈번히 발생하고 있다. 특히, 이러한 위험기상은 광범위한 지역에서 발생하기 때문에 조기대응을 위해 넓은 지역에 대하여 수문기상정보를 효율적으로 획득하기 위한 노력이 행해지고 있다. 이와 관련한 활용가능성이 가장 높은 분야가 위성분야라 할 수 있으며 이러한 이유로 선진국에서는 보다 정확한 수문기상 관측을 위하여 다양한 종류의 관측용 센서 및 기상위성 개발에 많은 자원을 투자하고 있다. 대표적인 위성 선진국으로는 미국, 유럽연합, 일본 등이 있다.

미국은 현재 각기 다른 목적을 갖는 정지궤도 위성과 극궤도 위성을 운영하고 있으며 각 위성 관측자료들의 혼용을 통해 방대한 활용분야를 개척하고 있다. 주로 미국해양대기청(National Oceanic and Atmospheric Administration; NOAA)에 의해 기상 및 지구관측 위성의 운영, 자료의 활용 및 분배가 수행되고 있다. NESDIS(National Environmental Satellite, Data and Information Service)는 NOAA의 산하기관으로 기상정보 및 서비스의 향상, 기후서비스의 확대, 해안정보 서비스의 개선 및 제공, 재해방지 지원활동 등의 업무를 수행하고 있다. 뿐만 아니라 NOAA는 콜로라도 주립대, 위스콘신 주립대와 협력하여 각각 CIRA(Cooperative Institute for Research in the Atmosphere)와 CIMSS(University of Wisconsin/ Cooperative Institute for Meteorological Satellite Studies)를 통해 위성과 관련한 연구를 수행하고 있다(기상청, 2009b).

유럽연합(European Union; EU)의 EUMETSAT(European Organization for the Exploitation of Meteorological Satellites)은 정지궤도 및 극궤도 위성의 운영과 자료의 처리, 분배 등을 수행하며, 기상 및 기후와 관련있는 위성데이터와 영상을 지속적으로 제공함으로써 기상예보와 악기상 경보 그리고 기후변화의 감시 등을 지원하고 있다.

“ 위성산업발전 및 정보개발에 발맞춰 수문분야에 위성의 활용성을 높이는 계기 마련 ”

마지막으로 일본은 대표적인 정지궤도 기상위성인 MTSAT 시리즈를 운영하고 있으며 일본 기상청 산하 기상위성센터(Meteorological Satellite Center; MSC)에 의해 운영되고 있다. MSC는 위성 운영과 함께 자료 처리 및 분배도 수행하고 있다(기상청, 2009a).

이에 발맞추어 우리나라도 2010년 6월 27일에 다목적 용도의 천리안위성(Communication Ocean and Meteorological Satellite, COMS)을 발사하여 현재 운영중에 있다. COMS는 국내에서 개발된 최초의 정지궤도 위성으로 적도 36,000 km 상공, 동경 128.2도에서 비행하고 있으며, 1개의 가시채널과 4개의 적외채널을 가진 기상탐재체를 통해 365일 24시간 동안 최대 8분 간격으로 한반도와 아시아 태평양 지역의 기상상태를 관측할 수 있다. COMS를 통해 독자적으로 우리가 원하는 시간에 한반도 주변을 세밀하게 관측할 수 있어 기상예보와 태풍, 집중호우 등 위험기상을 조기 예측하는 데 큰 도움을 받게 될 전망이다.

이와 같이 다양한 위성과 센서 및 파장대의 위성영상정보의 획득이 가능해지면 서 수문분야에서도 이들을 이용한 연구가 이루어지고 있으나 국내의 경우 위성영상 보정기술, 위성영상 기반의 수문정보 생산, 생산된 정보의 정확도 평가에 대한 어려움으로 인해 타 분야에 비해 그 활용도는 매우 낮은 실정이다. 따라서 본 원고에서는 현재 수문분야에서 위성영상의 활용분야를 조사하고 수문분야 활용을 위한 중점기술을 도출하여 향후 위성산업 발전 및 다양한 위성정보 개발에 발맞추어 수문분야에서 위성영상 활용성을 높일 수 있는 계기를 마련하고자 한다.

II. 위성영상의 수문학적 활용분야

1. 지표정보

국가 수자원관리와 계획을 위해 각 유역별 수자원 현황을 파악하는 것이 매우 중요하며 이를 위한 방법으로 수문모형이 많이 이용되고 있다. 수문모형을 구

“ 지표정보획득에
활용되어온 위성 ”

측하기 위해서는 통상 수에서 수천 제곱킬로미터를 갖는 유역에 대해 지표에서 물의 이동에 영향을 미치는 토지피복형태, 토양형태, 정규식생지수(Normalized Difference Vegetation Index; NDVI), 엽면적지수(Leaf Area Index; LAI) 등과 같은 공간지형정보를 구축해야 하는데 이들 정보를 현장 관측을 통해 구축하기에는 시간과 비용 측면에서 어려움이 따른다. 따라서 이러한 문제점을 극복하고 보다 손쉽게 광범위한 지역의 지표면 정보를 획득하기 위하여 1960년대부터 위성영상이 활용되었다.

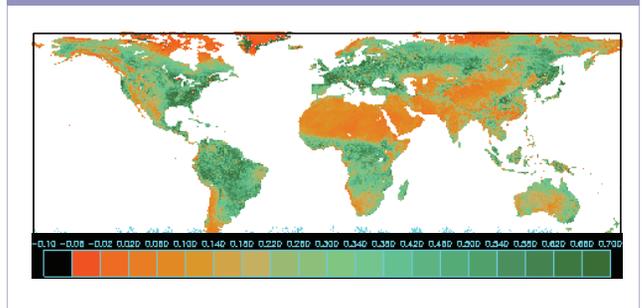
1) 정규식생지수

NDVI는 식생활력도나 LAI 등 식생과 관련된 정보를 생산하는데 이용되는 대표적인 위성기반 정보이다. NDVI는 가시영역과 적외영역의 반응값을 가지고 있는 모든 위성영상에서 산정이 가능하며 특히 전지구 규모로는 NOAA/AVHRR 영상과 MODIS 영상이 많이 이용되고 있다. 대표적인 제공 기관으로는 NOAA/NESDIS가 있으며 일(daily)과 주(weekly) 단위로 NOAA/AVHRR 영상을 이용한 NDVI, FV(Fractional Vegetation), PWI(Precipitation Water Index)를 제공하고 있다. 이들 자료 중 NDVI는 -0.1~0.703 값의 범위를 가지며 0.1보다 큰 값은 식생의 활성도를 나타내고 0~0.1 사이의 값은 암반, 나대지, 0 이하의 값은 구름, 비, 눈을 나타낸다. [그림 1]은 2010년 6월 4일의 영상을 이용하여 작성된 NDVI 결과를 예시한 것이다.

2) 엽면적지수

LAI는 식물의 엽층에서 발생하는 에너지, 이산화탄소, 질소의 교환과 식물의 구조적 특징을 나타내는 중요한 지수로서 단위면적(m²) 당 총 엽면적(m²)의 비로 정의되며 LAI 값은 대략 0~8까지

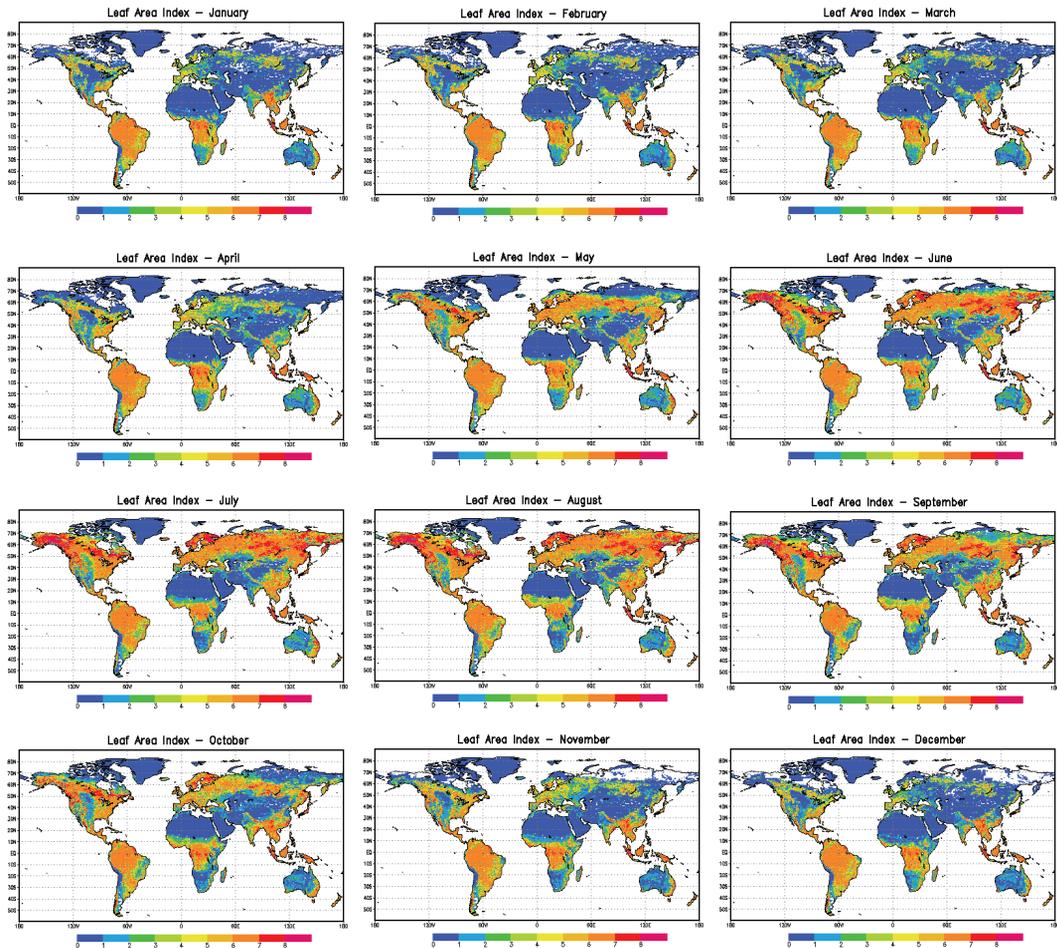
[그림 1] NOAA/AVHRR 영상을 이용한 NDVI 분포도



“ 환경생태와 기상 및 수문분야 등 다양하게 활용 ”

의 범위를 가진다. 일반적으로 환경생태나 기상 및 수문분야에서 다양하게 활용되고 있으며 특히, 증발산량을 비롯한 유역 수문변화 모의 시 필수적인 매개변수로 알려져 있다. LAI 정보를 제공하는 대표적인 기관으로 NASA에서 운영하고 있는 LDAS(Land Data Assimilation System)가 있다. 이 기관은 지표면해석모형(land surface model)과 자료동화기법을 이용하여 위성영상과 관측자료를 이용하여 지구에 대해 [그림 2]와 같이 월별 LAI를 제공하고 있다.

[그림 2] NASA/GLDAS에서 제공하는 월별 LAI

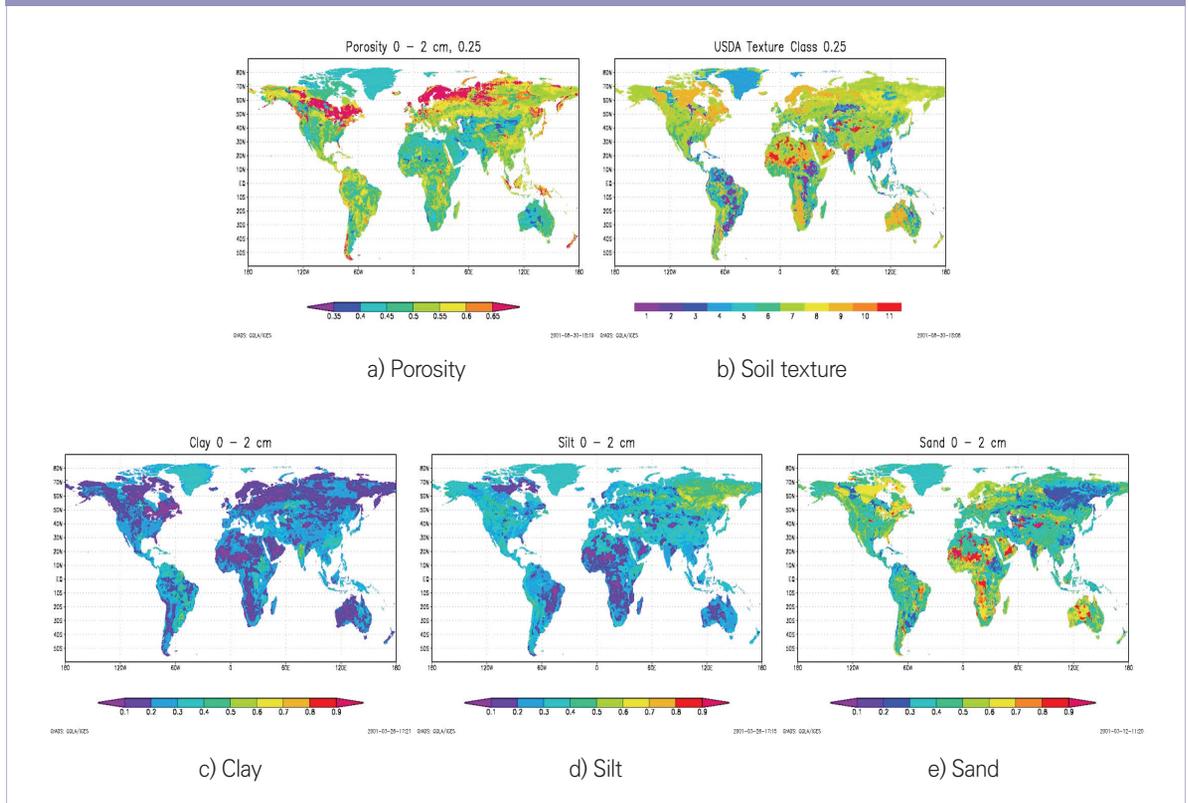


“ 위성영상을 통한 토양 정보 파악 ”

3) 토양특성정보

또한, 위성영상은 토양정보를 파악하는데도 널리 활용되고 있으며 토양정보를 제공하는 대표적인 기관으로는 NASA/NGDC(National Geophysical Data Center)가 있다. 이 기관에서는 전지구 토양정보를 토대로 작성한 토양공극률, 토성(soil texture), 점토, 실트, 모래에 대한 입경비 등의 정보를 제공하고 있다. [그림 3-a)]는 지표면에서 20 mm까지의 토양층에 대한 공극률을 나타낸 것이며 [그림 3-b)]는 11개의 USDA 토성 분류 결과를 나타낸다. 또한 [그림 3-c)]~[그림 3-e)]는 지표면에서 20 mm까지의 토양층에 대한 점토, 실트, 모래에 대한 분포비를 도시한 것이다.

[그림 3] NASA/GLDAS에서 제공하는 토양속성정보



“ 위성기반 강수정보
- 지구밖 구름정보,
광범위한 지역의
정보 생산 ”

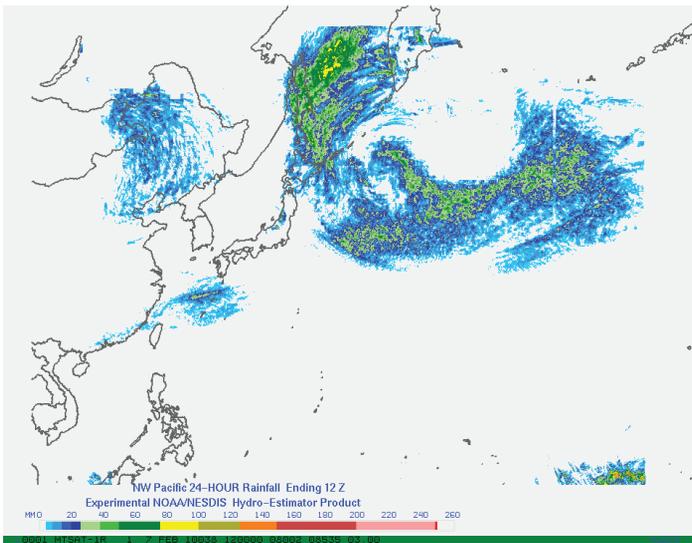
2. 강수량

물관리에 있어 가장 중요한 인자는 강수량이다. 강수량정보는 지상관측, 레이더, 위성, 기상모델 등을 이용하여 파악할 수 있다. 이들 방법 중 위성기반의 강수정보는 지구밖에서 구름의 상태를 안정적으로 파악할 수 있고 광범위한 지역에 대한 정보를 생산할 수 있다는 측면에서 장점이 있다. 다만, 지표에 내린 실제 강우량을 추정하기에는 여전히 많은 연구가 필요하며 공간해상도가 작다는 단점이 있다.

위성자료를 이용하여 강수를 추정하는 방법은 크게 두 가지로 가시광선과 적외선 자료를 이용하는 방법과 마이크로파를 이용하는 방법으로 나눌 수 있다 (Kidder and Vonder Harr, 1995). 가시광선과 적외선 자료를 이용한 강수 추정은 강수와 관련된 구름의 반사도, 운정온도, 그리고 구름의 면적 등을 탐지하는 간접적인 방법이며, 마이크로파를 이용한 방법은 마이크로파가 강수층을 통과할 때 강수 입자에 의해 산란되거나, 흡수 또는 방출되는 성질을 이용하는 직접적인 강수량 추정 방법이다. 그러나

현재 마이크로파는 극궤도 위성에만 이용할 수 있으므로 하루 2회 정도의 관측자료만을 얻을 수 있기 때문에 연속적인 강수 추정에 어려움이 있다. 반면 MTSAT-1R 위성은 관측주기가 준 30분 간격이고, IR1(infrared; 10.3~11.3 μm) 채널의 경우 4 km, VIS(visible; 0.55~0.75 μm) 채널의 경우 1km의 공간 분해능을 가지고 있어 시·공간적 분해능이 좋기 때문에 집중 호우와 같이 단시간에 급격히 발달한 후 소멸하는 악기상을 관측하기에는

[그림 4] MTSAT-1R 영상과 HE를 이용한 동아시아 지역의 24시간 누적 강우 분포



“ 수문현상들을 연결하는 중요한 고리역할을 하는 토양 수분 관측 ”

상당히 좋은 조건의 위성이라고 할 수 있다.

위성강수에 대한 연구 및 정보를 제공하고 있는 대표기관으로는 NOAA/NESDIS가 있으며 여기서는 자동 강우량 추정기법 AE(Auto-Estimator)와 HE(Hydro-Estimator)를 개발하여 위성강수 산정에 활용하고 있다. [그림 4]는 NOAA/NESDIS의 HE product에서 제공하고 있는 영상정보로서 MTSAT-1R 영상과 HE로부터 추정된 2010년 2월 7일의 동아시아 지역의 24시간 누적강우 추정 결과를 예시한 것이다.

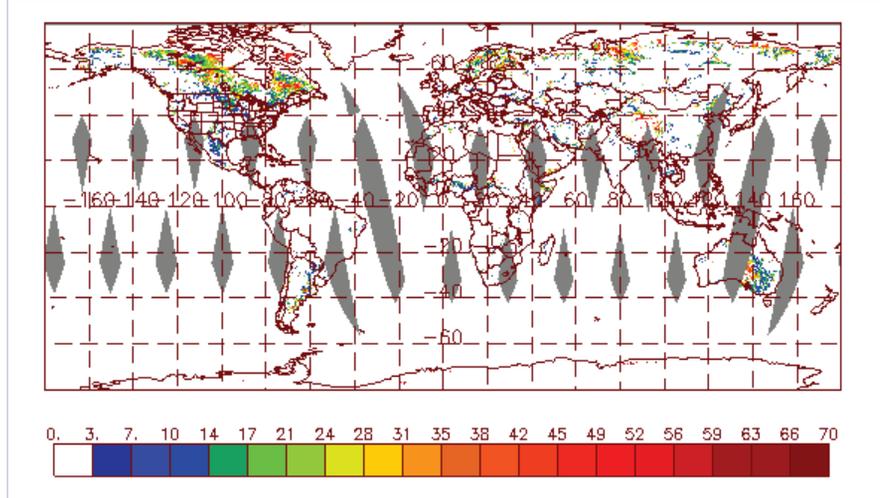
3. 토양수분

토양수분은 지구상에서 담수의 약 0.15%라는 작은 구성비를 가짐에도 불구하고 여러 수문현상을 연계하는 주요 변수이다. 이는 증발을 통해 대기 중에 수증기를 공급하고, 증발된 수증기는 응결하면서 잠열을 방출하여 대기를 가열시켜 대류를 형성하는 등 강수가 일어날 수 있는 확률을 높여준다. 또한, 강우가 있을 때에는 토양수분이 증가하여 지표온도의 상승을 억제하고, 기온을 하강시키는 역할을 한다(England, 2003). 즉, 토양수분은 여러 수문현상들을 연결하는 중요한 고리 역할을 한다고 하겠다.

현재 운영되고 있는 위성관측 기기들 즉, Special Sensor Microwave/Imager(SSM/I), Tropical Rainfall Monitoring Mission(TRMM) Microwave Imager(TMI), Advanced Microwave Scanning Radiometer(AMSR)는 토양수분 측정을 목적으로 설계되지는 않았지만 SSM/I 자료 등을 이용하여 토양수분을 추정하는 연구가 수행되었다(Jackson, 1997). NOAA/NESDIS의 Surface & Hydrology Products 에서는 SSM/I의 7번 채널을 이용하여 토양수분비 정보를 제공하고 있다. [그림 5]는 2012년 6월 6일의 토양수분 정보의 제공형태를 예시한 것이다. 범례는 백분율이며 토양수분이 70% 이상인 값은 오류가 있는 값에 해당한다.

“ 정확한 수자원 관리 및
계획 수립을 위한
다양한 정보(적설)
파악 ”

[그림 5] SSM/I로부터 산정된 토양수분량 분포



4. 적설면적 및 적설깊이

적설역은 지구의 지표면과 대기의 에너지평형을 유지하는데 대단히 중요한 역할을 할 뿐만 아니라 적설로 인한 융설은 봄철 가뭄을 대비하는 중요한 수자원이 되며 적설이 많은 지역에서 급격한 기온상승이 발생할 경우 융설로 인해 홍수가 발생하기도 한다. 따라서 보다 정확한 수자원 관리 및 계획을 수립하기 위해서는 적설면적, 적설깊이, 융설 등 적설과 관련된 여러 가지 정보들을 파악할 필요가 있다.

적설에 대한 정보를 획득하기 위해서는 우선적으로 현장 측정을 통한 방법이 있으나 광범위한 지역에 대한 정보를 수집하기에는 한계가 있다. 따라서 다양한 위성영상과 관측정보를 결합하여 적설정보를 획득하기 위한 연구가 많이 이루어지고 있다.

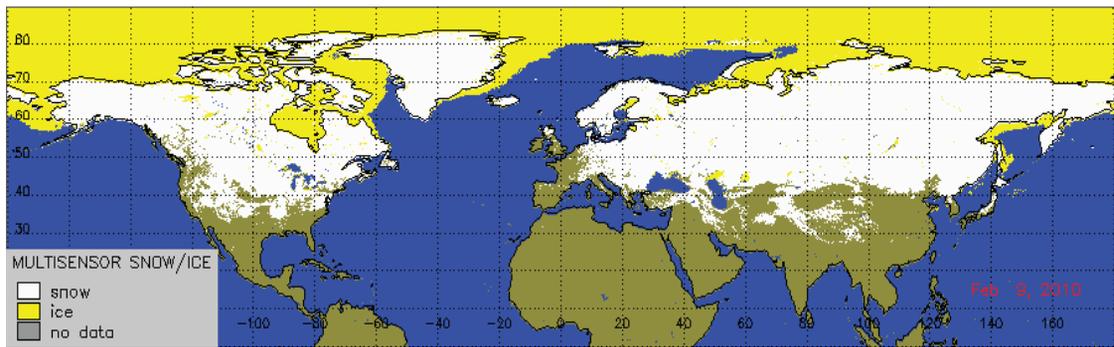
위성관측을 이용한 적설 탐지기법은 MODIS 등의 광학센서를 이용하는 방법과 SSM/I 등의 마이크로파 채널을 이용하는 방법이 있다. 광학센서를 이용하는 방법은 가시채널을 이용하기 때문에 주간에 구름이 없을 때에만 탐지가 가능하고, 마이크로파 채널을 이용하는 방법은 공간분해능이 낮아 적설역 탐지 시 상대적으로

“ 가뭄 모니터링
연구에 활용 ”

많은 오차를 가질 수 있다. 적설역은 태양광에 대해서 대단히 높은 반사도를 가지고 있으며, 가시채널의 이미지는 구름이 없는 지역에서 지구 지표면과 상관하여 적설역과 매우 밀접한 관계를 보이는 것으로 알려져 있다(Walsh, 1984).

NESDIS의 Snow and Ice Products에서는 적설지역과 적설깊이에 대한 정보를 제공하고 있으며, [그림 6]은 2010년 2월 9일 북반구에 대한 적설 및 얼음 면적 포출정보를 예시한 것이다. 이 정보는 NOAA AVHRR, MSG SEVIRI, GOES Imager and DMSP SSM/I의 영상을 결합하여 작성된 것으로 4 km의 공간해상도를 갖는다.

[그림 6] 다중 센스를 이용한 북반구의 눈/얼음 면적 분포



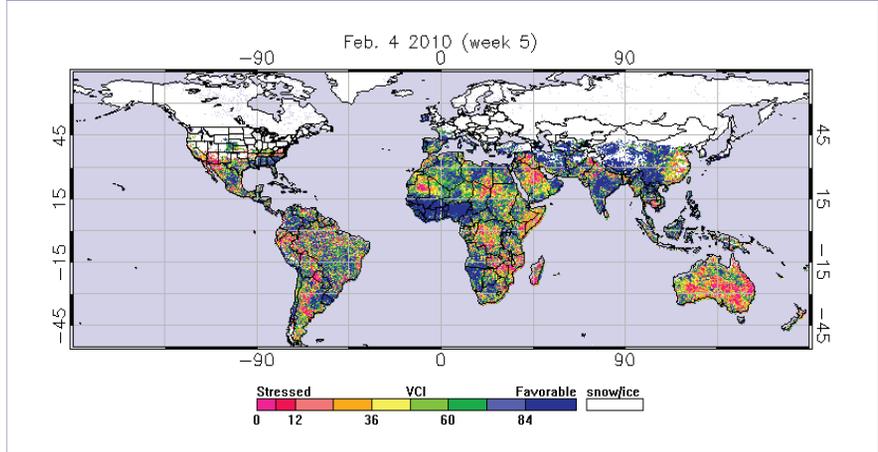
5. 가뭄정보

위성영상은 넓은 지역에 대한 지표면 정보를 주기적으로 동시에 획득할 수 있는 장점이 있어 가뭄 모니터링 연구에 많이 활용되고 있다. 미국 NOAA/NESDIS STAR에서는 NOAA/AVHRR 영상을 이용해서 NDVI와 유사한 VCI(vegetation condition index), VHI(vegetation health index), TCI(temperature condition index) 등의 지수를 생산하여 가뭄감시에 활용하고 있다.

대표적으로 VCI는 Kogan(1995)이 제안한 가뭄평가지수로서 과거기간동안 최대와 최소, 현재의 NDVI로부터 산정할 수 있다. VCI는 기후변동과 관계하여 0에서 100까지 변화하며 VCI가 0에 가까울수록 식생의 활력에 문제가 발생하고 있음

“ 수문학적 활용 실태를 고려한 기술 개발 요구 ”

[그림 7] NOAA/AVHRR 영상을 이용한 VCI 분포도



을 나타낸다. Kogan(1995)은 가뭄 분석을 위한 VCI의 범위를 결정하기 위하여 농작물 생산성과의 상관관계를 분석하였다. 그 결과, VCI 값이 0에서 35 사이의 값으로 나타날 경우 가뭄에 의해 농작물의 생산성이 20% 감소된다는 것을 도출한 바 있다. [그림 7]은 2010년 2월 4일 현재 제공하고 있는 지수를 예로 도시한 것이다.

III. 제언

위성영상은 광범위한 지역에 고해상도의 격자단위 정보를 제공할 수 있고 다양한 센서의 개발과 함께 생산할 수 있는 정보의 분야도 확대되고 있다. 특히, 수문 분야에서는 앞서 소개한 바와 같이 지형정보, 강수량, 토양수분, 적설면적과 깊이, 가뭄정보 뿐만 아니라 홍수피해지역 추정, 수문모형의 정확도 향상을 위한 위성기반 시계열 정보의 자료동화 등에 활용될 수 있다.

현재 위성영상 기반의 정보 생산 및 수문분야와의 연계분야는 대부분 미국, 유럽, 일본 등의 선진국에서 주도하고 있는 실정이다. 앞으로 우리나라도 위성산업의 발전과 다양한 위성정보의 생산 및 활용이 가능해짐이 명백하므로 수문분야에서도 이러한 환경을 고려하여 기술개발을 추진할 필요가 있다. 위성영상에 대한

“ 위성영상기반 정보 활용을 통한 위험기상에 대한 효율적인 조기 대응 가능 ”

우리나라의 수문학적 활용실태를 고려하여 수문분야에서 앞으로 개발해야 할 기술 분야는 크게 공간지형정보 추출기술, 수문성분 추출기술, 기상재해 감시 및 전망기술, 시계열 위성정보 구축 및 표준화 기술 분야로 나눌 수 있다. 공간지형정보 추출기술 분야에서는 한국형 식생 및 토양정보 추출기술, 적설면적, 적설량, 용설량 추정기술의 개발 및 수문학적 활용이 요구되며, 수문성분 추출기술 분야는 강우이동 및 강우강도 산출기술, 잠재증발산량과 상층 수증기량 산출기술 개발, 관측자료동화를 통한 토양수분산정기술 개발이 요구된다. 기상재해감시 및 전망기술 분야에서는 위성기반의 홍수예측 및 가뭄감시기법, 한국형 가뭄평가지수 개발, 홍수침수지역 분석기술 개발이 요구되며, 시계열 위성정보 구축 및 표준화 기술 분야에서는 장기 시계열 위성정보 수집 및 데이터베이스 구축, 수자원 활용을 위한 위성정보 표준화 방안 등이 도출되어야 할 것이다.

향후 이러한 기술력이 확보되고 다양한 위성영상 기반 정보들의 활용이 용이해지면, 수문분야에서는 위성영상의 활용성 증대를 통해 수자원 계획·관리능력이 증대될 것이다. 또한 실시간 위험기상 감시 및 전망의 정확도 향상을 통해 위험기상에 대한 효율적인 조기대응이 가능할 것으로 판단된다.

참고문헌

- 기상청 (2009a). 기상위성의 활용성 증대와 이를 위한 연구개발 협력체계 구축 연구, 기상지진기술개발사업.
- 기상청 (2009b). 기후변화 대응 수문·기상 통합시스템 구축 및 추진방안(5개년) 마련, 기상지진기술개발사업.
- Engeland K, Braud I, Gottschalk L, Leblois E. (2006). "Multi-objective regional modelling", Journal of Hydrology, 327, pp.339-351.
- Jackson, T.J. (1997). Soil moisture estimation using Special Satellite Microwave/Imager Satellite data over a grassland region, Water Resources Research, Vol. 33, No. 6, pp.1475-1484.
- Kidder, S Q, T H Vonder Haar (1995). Satellite Meteorology Academic Press England, A W, Xiaohua Lin, Jason Smderdon, Henry Pollack (2003) The influence of soil moisture upon the geothermal climate signal.
- Kogan, F N (1995). "Application of vegetation index and brightness temperature ofr drought detection" adv in Space Res, Vol 15, pp.91-100.
- Walsh, J. E. (1984). Snow cover and atmospheric variability. Amer. Sci., 72, pp. 50-57.

위성자료의 해양 환경감시 활용

황재동 국립수산과학원 수산해양종합정보과 jdhwang@nfrdi.go.kr

- I. 들어가는 말
- II. 우리나라 해역의 장기수온변동 경향
- III. 국립수산과학원 위성정보 수신 및 활용
- IV. 인터넷을 통한 위성자료의 제공
- V. 맺음말

국립수산과학원에서는 1923년 이후 주기적으로 해양환경을 조사하고 있으며, 1961년 이후부터 현재까지 우리나라 영해에 대해 조사정점을 확대하여, 연 6회의 주기로 해양환경을 조사하고 있다. 또한, 인공위성에서 해양관측이 실시된 이후 우리나라 영해에 대한 현장조사는 물론 위성을 활용한 관측기법을 도입하였다. 현재 직접 수신하는 위성으로는 미국 NOAA 위성, Terra/Aqua 위성 및 일본 MTSAT 위성이 있으며, 향후에는 천리안 위성의 기상자료를 안테나를 통해 추진할 예정이다. 현재 사용하고 있는 위성을 통해 장단기 수온 변동과 수자원의 변동, 해양에 악영향을 미치는 저염분 발생 여부 등 해양생태계의 변동성을 파악하고 있으며, 향후 위성자료 분석을 통한 실시간 감시를 시행할 것이다. ■

“ 주기적인 해양
환경 조사를 통해
생태계 변동 파악 및
기초자료 활용 ”

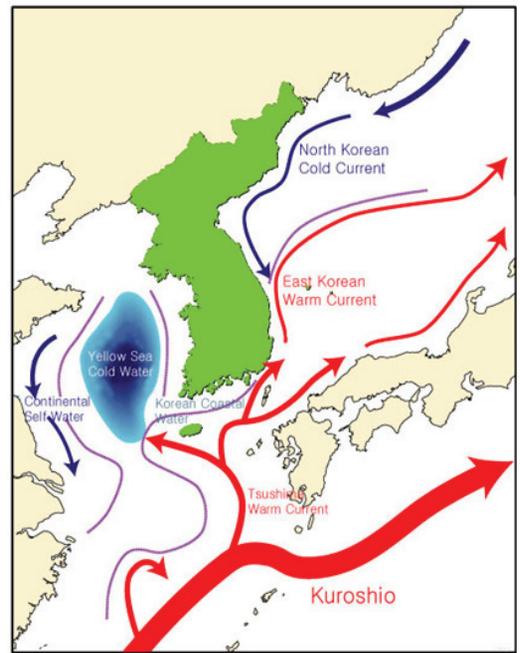
1. 들어가는 말

우리나라 주변해역은 크게 동해, 서해 및 남해로 구분할 수 있으며, 각각의 해역은 다른 특성을 가지고 있다(국립수산진흥원, 2001). 각해역의 특성을 보면 동해의 경우 면적은 1,007,600 km² 이며, 수심은 대부분 1,000 m 이상으로서 평균수심은 1,700 m이고 최고수심은 4,049 m이다. 대한해협에서 유입되어 우리나라 동해안을 따라 북상하는 쓰시마 난류수의 제3지류인 동한난류와 북한 동해안을 따라 남하하는 북한한류의 영향을 받는 해역으로 동한난류와 북한한류에 의해 극전선이 형성되며, 형성위치는 동한난류와 북한한류의 세기에 따라 차이를 보인다. 서해의 경우 면적은 404,000 km² 이며, 평균수심은 44 m이고 최고수심은 103 m이다. 제주도 서쪽 해역을 통해 쿠로시오 해류의 일부 지류가 서해 내부로 유입되며, 중국연안 및 우리나라 서해안을 따라 남하하는 흐름이 보인다. 또한 여름철 저층에서 수온 10°C 이하의 저층 냉수가 존재 한다. 남해의 경우 면적은 75,400 km² 이며, 평균수심은 101 m이고 최고수심은 227 m이다. 따뜻한 물인 쿠로시오 해류의 영향을 받는 해역이다 [그림 1.]

우리나라로 유입되는 난류수나 한류수의 변동은 해양 생태계의 변동을 초래하며, 생태계의 변동에 따라 어느 시기에는 따뜻한 물에 사는 난대성 어류가 많이 잡히는 반면, 어느 시기에는 차가운 물에 사는 한대성 어류가 많이 잡히기도 한다. 따라서국립수산과학원에서는 주기적인 해양환경의 조사를 통해 생태계의 변동을 파악하고, 수산자원의 변동에 기초자료로 활용하기도 한다.

국립수산과학원에서는 1923년부터 우리나라 해역에 대해 일정한 조사 정점을 설정하여 주기적으로 해양환경을 조사하였으며, 1961년 이후부터 현재까지 [그림 2]에

[그림 1] 우리나라 주변해역의 해류모식도
(붉은색: 난류수, 푸른색: 한류수).

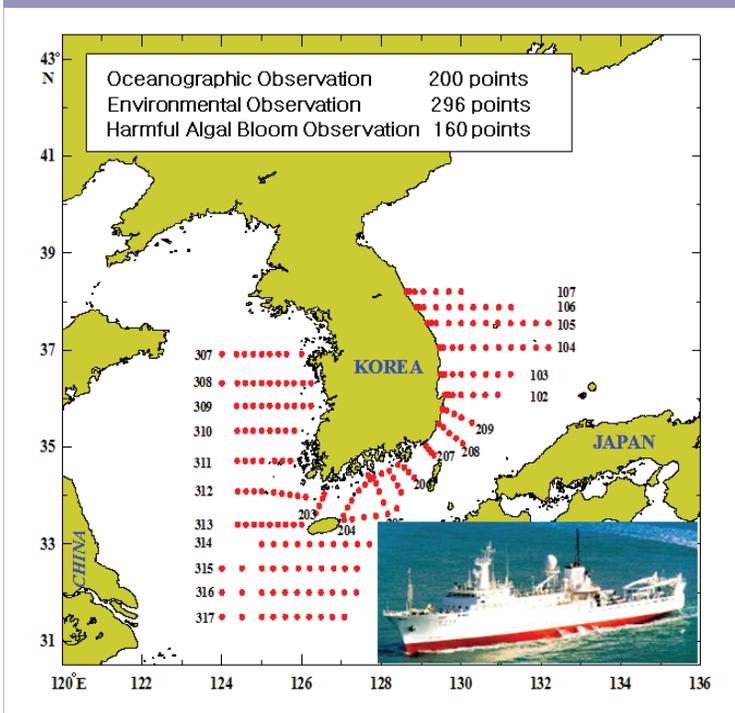


“ 시험 조사선과 인공 위성을 활용한 해양 조사 및 관측 ”

나타낸 것처럼 우리나라 영해에 대해 조사정점을 확대하여, 연 6회의 주기로 해양 환경을 조사하고 있다. 그러나 시험조사선을 이용한 현장조사는 우리나라 영해로 국한되어 있어, 우리나라 영해를 벗어난 해역에서의 해양환경변동의 조사가 필요한 실정이었다. 인공위성에서 해양관측이 실시된 이후 국립수산과학원에서도 우리나라 영해에 대한 현장조사는 물론 위성을 활용한 관측기법을 도입하였다.

국립수산과학원에서는 1990년대부터 미국 NOAA 위성의 AVHRR 를 직접 수신하여 분석 및 처리한 후 우리나라 연안 및 근해역에 대해 표면수온 자료를 생산하여 제공하고 있다. 또한 2000년 이후로는 미국 Terra/Aqua 위성의 MODIS 자료도 수신하고 있으며, MODIS 자료를 분석한 후 Chlorophyll 자료를 제공하고 있다. 2005년 이후로는 미국 DMSP/OLS 위성에서 관측되는 야간불빛자료를 활용하여 조업어선의 위치자료를 제공하고 있다.

[그림 2] 국립수산과학원에서 1961년 이후로 관측하고 있는 해양환경 조사정점도.



II. 우리나라 해역의 장기 수온변동 경향

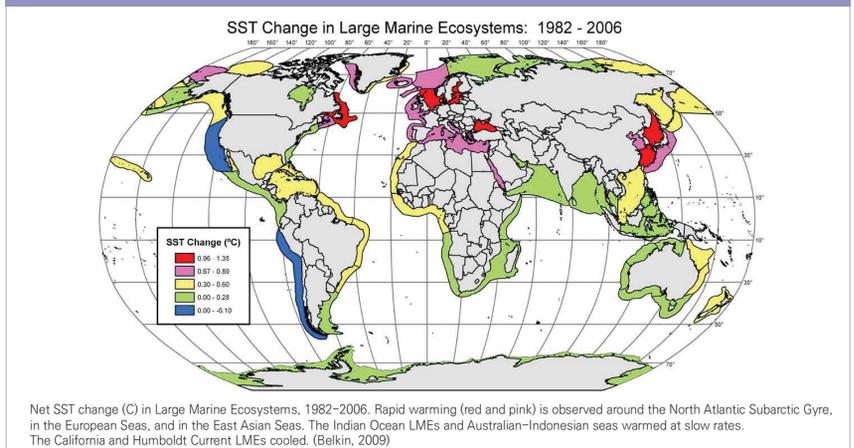
미국 하와이에서 Keeling이 대기 중 이산화탄소 농도를 측정 한 이후 이산화탄소와 같은 온실가스의 증가와 기후변화에 대해 활발한 연구가 이루어 졌으며(Khalil and Rasmussen, 1984; Thompson and Cicerone, 1986; Novelli et al., 1994), 우리나라 연안 및 근해역에 대한 수온의 장기변동에 대해서도 많은 연구가 이루어 졌다 (Hahn, 1997; 국립수산진흥원, 1998; Kang, 2000).

“ 연간 0.032°C 상승 중인 우리나라 표층 수온 ”

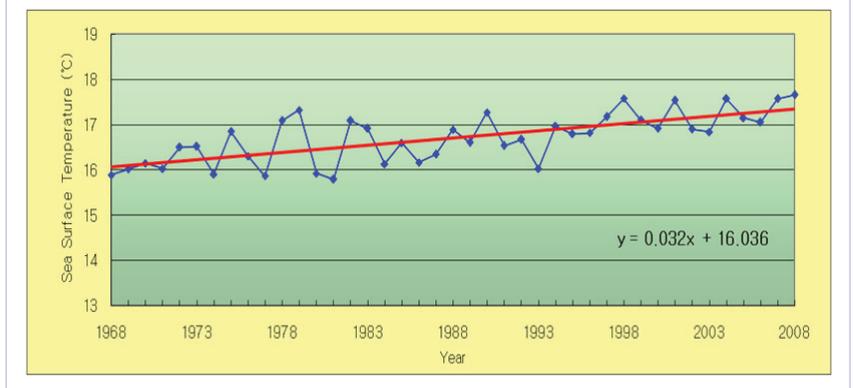
Belkin(2009)이 분석한 전 지구적 장기 표층수온 변동의 경향을 [그림 3]에 나타내었다. 지구온난화와 관련되어 연안역 표층수온의 변동을 보면, 지역적으로 변동성이 상이하게 나타남을 알 수 있다. 대부분의 연안역에서는 표층수온이 상승하는 경향을 나타내었으나 한류수의 영향을 받는 미국 캘리포니아 연안 및 남미 칠레 연안의 경우 표층수온의 장기변동 경향은 오히려 하강하는 경향을 나타내었다. 표층수온이 상승하는 경향을 보인 연안역 중 우리나라 해역, 미국 동부연안역 및 유럽 연안역은 표층수온의 상승정도가 매우 빠르게 나타나 지구 평균 상승률보다 3배나 빨리 상승하는 것으로 나타났다.

우리나라 주변해역의 장기수온변동의 경향을 파악하기 위해 [그림 2]의 관측점에서 국립수산과학원에서 1961년부터 관측한 우리나라 주변해역의 수온자료 중 1968년부터 2008년까지 표층수온 자료를 분석한 결과를 [그림 4]에 나타내었다. 기후변화와 관련된 지구온난화현상으로 인해 우리나라 표층수온도 상승하는 것으로 나타났으며, 상승정도는 연간 0.032°C로써, 지난 41년(1968~2008년) 동안 약 1.3°C 상승한 것으로 나타났다. 지난 41년간 각 해역별

[그림 3] 전 지구적 표층수온의 장기변동 경향.



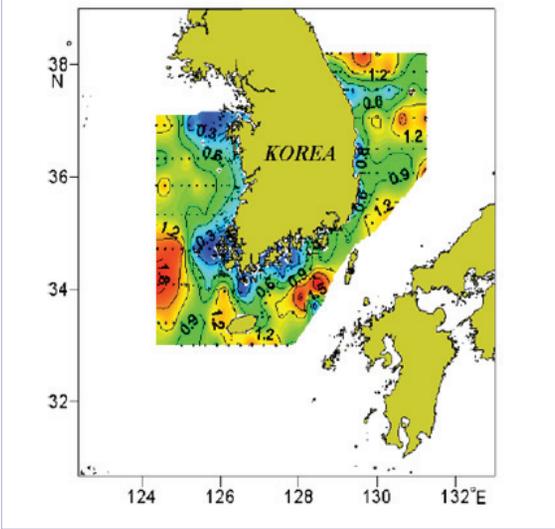
[그림 4] 우리나라 근해역에서 지난 41년간(1968~2008년) 표층수온의 장기변동 경향.



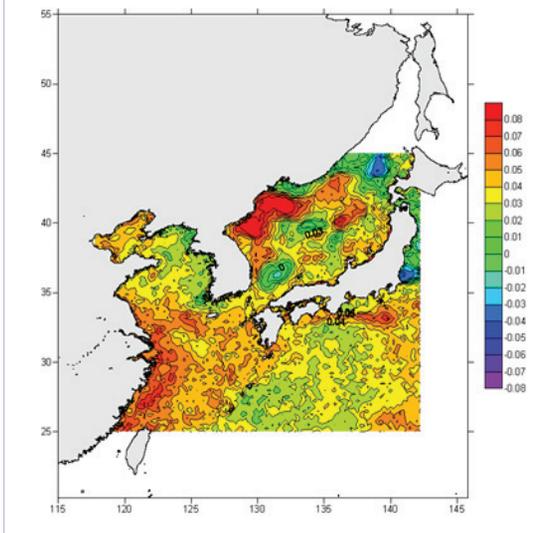
“ NOAA 위성을
활용한 광역해역에
대한 표면수온
장기변동성 분석 ”

표층수온의 변동을 보면 동해의 경우 1.39°C, 남해의 경우 1.27°C 및 서해의 경우 1.23°C 상승한 것으로 나타나 해역별로 다소 상이함을 알 수 있다(성기탁 등, 2010).

[그림 5] 최근 41년간(1968~2008년) 우리나라 근해역 표층수온상승 분포도(현장조사자료).



[그림 6] 최근 19년간(1990~2008년) 우리나라 주변해역에서 표면수온의 연간 상승률(NOAA 위성자료).



현장조사자료와 위성자료를 사용하여 표층수온의 공간적인 장기 변동성을 분석하였다. 공간적인 변동을 파악하기 위해 [그림 2]의 관측정점에서 조사한 정점별 표층수온의 장기변동성을 분석을 수행한 결과를 [그림 5]에 나타내었다. 그러나 현장조사는 우리나라 영해로 한정되어 있기 때문에 보다 넓은 해역의 변동을 파악하기는 힘든 단점이 있다. 따라서 광역에 대해 NOAA 위성에서 관측한 표면수온자료를 사용하여 광역해역에 대한 표면수온의 장기변동성을 분석하였다. 분석에 사용된 NOAA 위성의 관측기간은 최근 19년간(1990~2008년) 자료이며, 분석결과를 [그림 6]에 나타내었다.

[그림 5]의 결과를 보면 우리나라 연안 및 근해역은 대체로 수온이 상승하였음을 알 수 있다. 그러나 공간적으로는 차이를 보였는데, 지난 41년간 연안역의 수온 상승은 1°C이하를 근해역의 수온 상승은 1°C이상을 보여 연안역이 근해역에 비해 상승정도가 낮게 나타났다. 연안역에서 수온 상승이 낮은 것은 조석에 의한 연직혼합효과(서해 및 남해연안)와 하계 연안용승(동해)과 같이 저층의 차가운 해수가 표층에 영향을 주었기 때문이라 생각된다(성기탁 등, 2010)

[그림 6]의 결과를 보면 대체로 북서 태평양에서 수온 장기변동은 수온이 상승하는 것으로 나타났다. 특히 동중국해 해역과 동해 원산만 해역에서 수온의 상승률은

“ 직·간접 수신
방법을 통한
위성 자료 수집 ”

인접해역에 비해 상대적으로 높게 나타났다. 특히 Belkin(2009)은 지구온난화에 의해 육지의 온도도 상승하기 때문에 중국대륙을 흐르는 양자강의 수온도 장기적으로 상승하게 되며, 수온의 상승 경향을 보이는 양자강이 동중국해로 유입되기 때문에 동중국해 해역에서 높은 수온 상승률이 나타난다고 하였다.

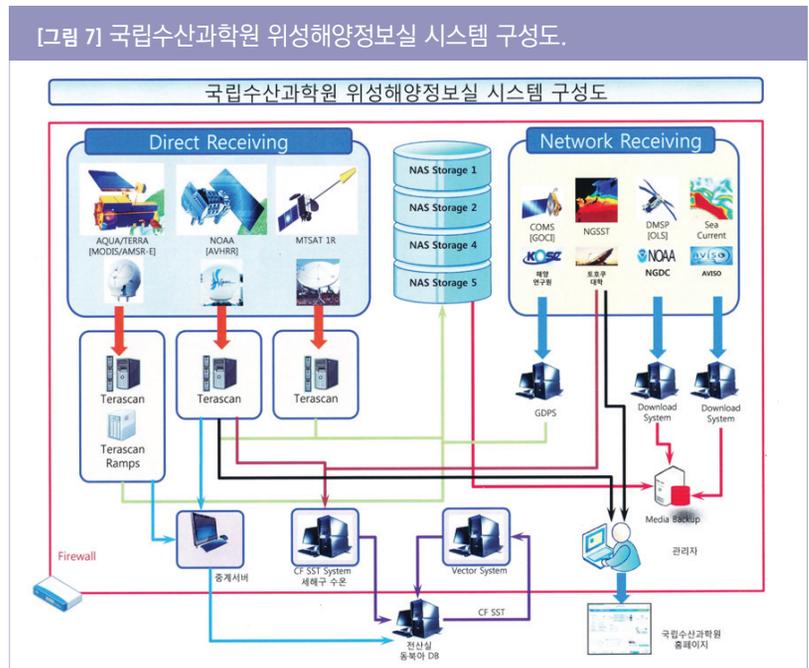
III. 국립수산과학원 위성정보 수신 및 활용

1. 위성자료의 수신 및 처리

국립수산과학원에서는 위성수신안테나를 통해 위성에서 관측한 자료를 직접 수신하는 직접수신방법과 다른 지상국을 통해 수신된 자료를 네트워크를 통해 전송받는 간접수신방법을 통해 위성자료를 수집하고 있다. [그림 7]에 직접 및 간접 수신하는 위성의 종류와 위성 수신 후 최종 사용자에게 제공하기까지의 자료처리 과정을 나타내었다.

현재 직접 수신하는 위성으로는 미국 NOAA 위성, Terra/Aqua 위성 및 일본 MTSAT 위성이 있으며, 향후에는 천리안 위성의 기상자료를 안테나를 통해 수신할 예정이다. 네트워크를 통해 수신하는 위성자료로는 천리안 해상색(Ocean color) 자료, NOAA DMSP/OLS, AVISO 해류벡터 자료 등이 있다. 이들 수신 자료는 각각의 자체 처리 프로그램을 통해 유용한 해양환경 정보로 분석

[그림 7] 국립수산과학원 위성해양정보시스템 구성도.



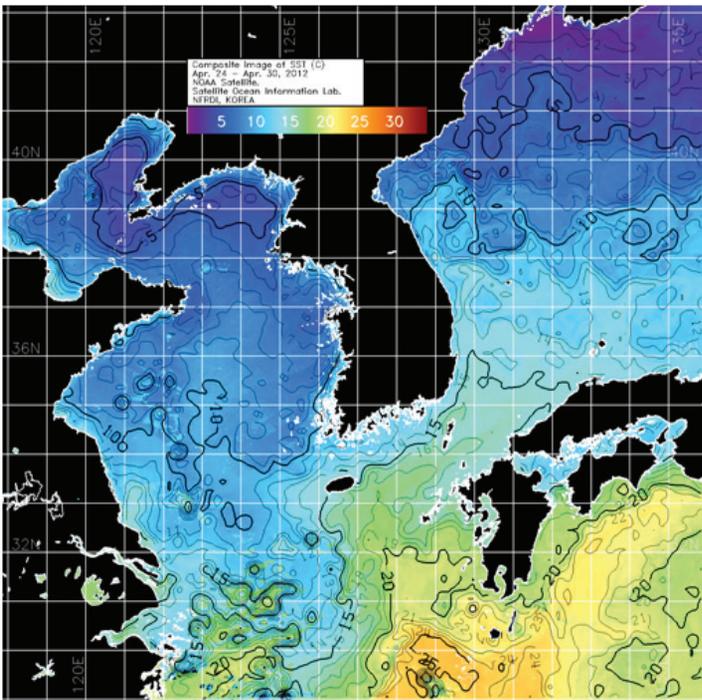
“ NOAA 위성 자료를 활용하여 수온 정보 자료 제공 ”

이 되며, 분석된 자료는 대용량 저장장치에 저장됨과 동시에 데이터 베이스로 전송된다. 데이터 베이스로 전송된 자료는 최종 사용자가 인터넷을 통한 검색에 활용되며, 최종 사용자는 인터넷을 통해 원하는 자료를 얻을 수 있다.

2. NOAA 위성 표면수온자료

국립수산과학원에서 수신하는 NOAA 위성의 경우 135° E 와 35° N을 중심으로 2000×2000 개의 격자로 구성된 기본자료구역에 대해 자료를 처리한 후 표면 수온자료를 제공하고 있다. 하루 중에 수신한 개별 NOAA 위성자료에 대해 최대치 방법을 적용하여 구름의 영향을 제거한 1일 자료로써 합성하여 제공하고 있다. 또한 최대치 방법을 사용하여 합성한 매일의 표면 수온자료를 이용하여 주간자료

[그림 8] NOAA 위성에서 관측된 표면수온자료를 사용하여 합성한 주간수온분포도(2012.04.24-04.30).



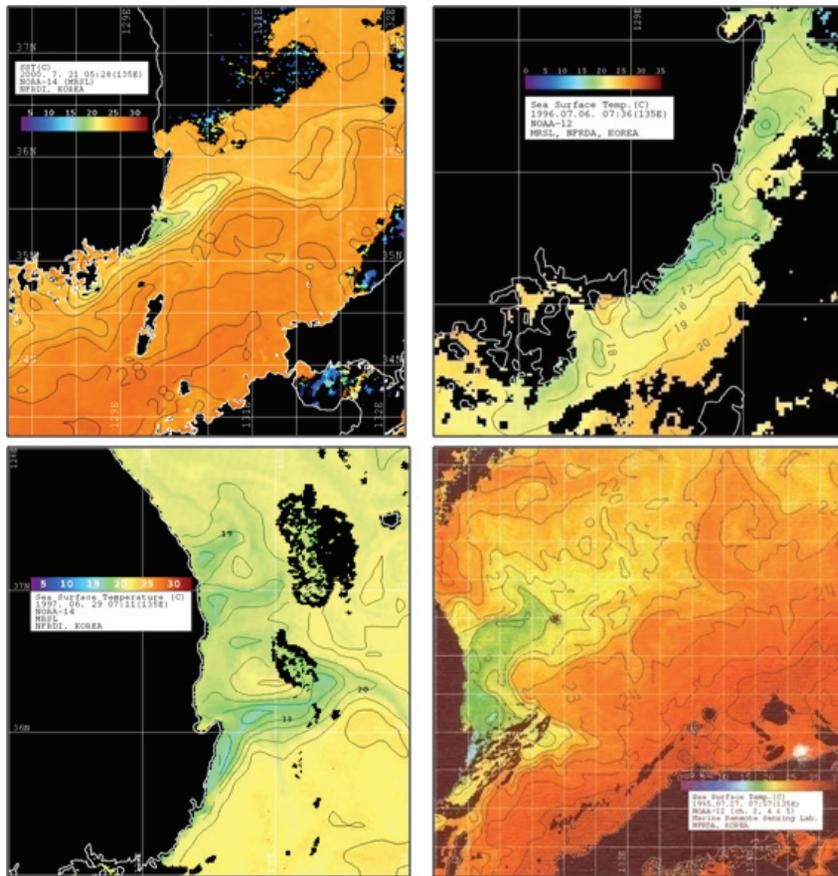
로 재 합성한 후 [그림 8]과 같이 주간 수온정보자료로 제공한다. 따라서 주간 수온정보는 매일의 수온정보에 비해 구름의 영향을 더 많이 제거할 수 있는 장점이 있으나 1주일 이내의 수온의 단기변동 성분은 제거되는 단점이 있다.

우리나라 동해 중부연안 및 동해 남부연안의 경우 하계에 주변해역에 비해 수온이 낮게 나타나는 냉수대가 형성되기도 한다. 냉수대는 주로 남풍계열의 바람에 의해 저층의 차가운 해수가 표층까지 용승하여 나타나는 현상으로 알려져 있다. 발생된 냉수대는 해류에 의해 이동되어 다양한 분포 경향을 나타내고 있으

“ 냉수대의 발생시 분석정보를 인터넷 및 FAX로 제공 ”

며, NOAA 위성에서 관측한 표면 수온자료를 통해 냉수대의 다양한 분포특성을 쉽게 파악할 수 있다 [그림 9]. 현장조사 및 위성관측을 통해 냉수대 발생이 확인되면 냉수대의 발생강도와 분포역에 대한 분석 정보를 인터넷 및 FAX를 통하여 사용자에게 제공하고 있다.

[그림 9] NOAA 위성에서 관측한 냉수대 분포 특성.



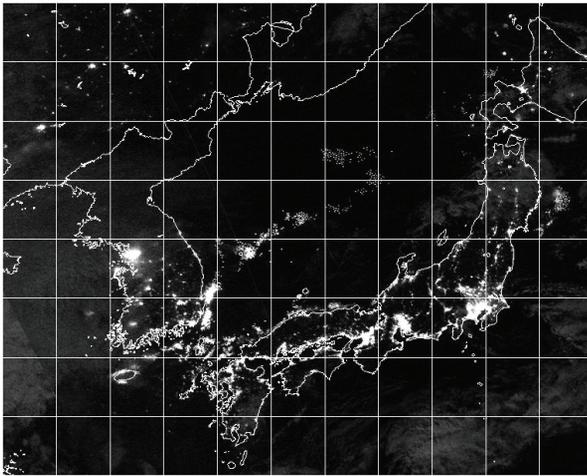
3. DMSP/OLS 위성자료 활용

야간불빛 관측위성인 DMSP/OLS에서 관측한 야간 불빛의 분포를 [그림 10]에 나타내었다. 우리나라 동해에서 주로 불빛이 많이 관측되는데, 이는 오징어 채낚

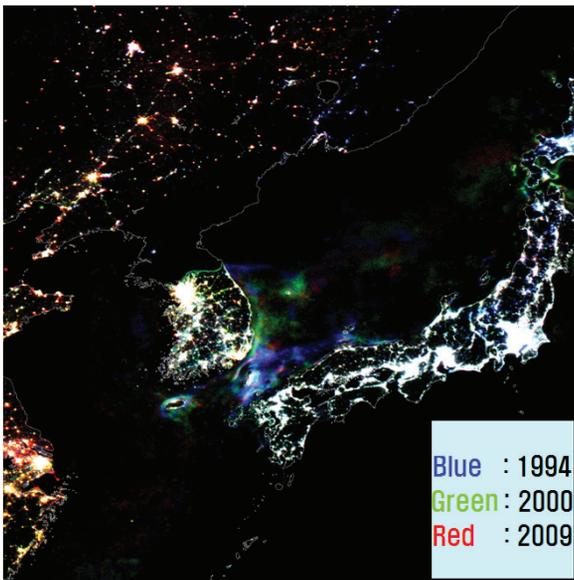
“ DMSP/OLS 위성 관측 자료를 이용하여 조업 분포 파악 ”

이 어선이 오징어 조업 시 켜는 불빛이 위성에 감지되기 때문이다. 따라서 [그림 10]을 보면 동해에서 조업 중인 어선의 분포를 알 수 있다. 이 시기 우리나라 울산에서

[그림 10] DMSP/OLS 위성에서 관측한 야간불빛 분포도.



[그림 11] 특정연도별 야간불빛 분포 특성.



측산까지 동해 중부 및 남부 연안역과 울릉도 부근에서 대화퇴까지 해역에서 오징어 어업이 활발히 행해지고 있음을 잘 알 수 있다.

DMSP/OLS 위성에서 관측한 야간불빛 자료를 이용하여 특정 연도별로 색깔을 달리 적용한 결과를 [그림 11]에 나타내었다. 본 분석에서는 1994년, 2000년 및 2009년의 자료를 적용하였다. 1994년은 푸른색을 2000년은 초록색을 그리고 2009년은 붉은색을 사용하였는데, 이 세가지 색을 합치게 되면 하얀색이 된다. 따라서 [그림 11]에서 하얀색으로 되어 있는 부분은 공통으로 오징어 어업이 잘 되는 해역인 반면 각각의 색으로 나타난 지역은 그 해의 해양환경에 따라 어업이 이루어지는 해역이 달리 나타남을 알 수 있다.

IV. 인터넷을 통한 위성자료의 제공

NOAA 위성에서 관측한 표면수온자료의 경우 국립수산과학원 홈페이지를 통해 영상 형태로 제공하고 있다. 그러나 영상자료는 어민들이 실제 어업이 이루어지는 수역에 대해 수온이 얼마가 되는지 알아보는 힘든 단점을 가지고 있었다. 또한 실제 어업활동에 제한이 되는 기상 상황(풍랑주의보 등)에 대한 정보도 필요한 실정이었다. 이에 따라

국립수산과학원에서는 어업활동에 도움이 되는 정보를 종합적으로 표출할 수 있도록 기상청으로부터 네트워크를 통해 받는 기상정보와 영상자료에서 수온값을 추출하여 지역별 또는 해구별 수온자료로 변환시킨 자료를 동시에 표출하는 종합 상황정보를 구현하였다 [그림 12].

[그림 12]와 같은 종합상황정보를 통해 관심 해역에 대해 날씨, 풍향, 풍속, 파고 는 물론 위성관측 표면 수온도 함께 제공하고 있으며, 지속적으로 관측된 자료를

“ 기상청의 기상정보와 수온값 추출을 통한 『종합상황정보』 구현 ”

[그림 12] 국립수산과학원 홈페이지를 통한 종합상황정보 제공도.



“ 지속적인 현장 조사
 및 위성 관측정보를
 종합 수집하고,
 장단기 변동추이
 예측 제공 ”

사용하여 과거 표면수온의 변화 추이등과 같은 시계열 자료도 제공하고 있어 여러 곳에 있는 자료를 일일이 찾아다니지 않고 한곳에서 손쉽게 정보를 얻을 수 있는 편리함을 구현하였다. 향후 천리안 기상자료의 활용을 통해 하루에 한번 제공하는 위성수온정보를 준 실시간적으로 제공하여 지금 현재의 수온이 얼마인지에 대한 정보를 제공하고자 한다.

V. 맺음말

우리나라 주변해역은 난류수 및 한류수와 같은 해류에 의한 영향을 직접적으로 받고 있으며, 이들 해류의 세력변동은 단기적인 수온변동을 발생시키기도 한다. 또한 장기적으로 관측된 자료의 분석결과 지역적으로 다소 차이를 보이지만 지구온난화 효과에 의해 우리나라 주변해역의 표면수온이 상승하는 경향을 보이고 있는 것으로 나타났다.

단기 및 장기적인 수온 변동은 해양생태계의 변동을 유발하며, 수산자원의 변동을 가져오기도 한다. 한가지 예로 우리나라 주변해역의 수온이 평년에 비해 낮아지면 청어 등과 같은 한류성 어종이 많이 잡히는 반면 난대성 어종은 감소를 보인다. 그러나 지구온난화에 의해 수온의 상승이 지속적으로 이루어질 경우 우리나라 주변해역은 마침내 아열대 해역의 특성을 보이게 되며, 한대성 어종의 감소는 필연적이라 볼 수 있다.

따라서 해양생태계의 변동성을 파악하기 위해 지속적인 현장조사 및 여러 위성에 의한 관측정보를 종합적으로 수집할 필요가 있으며, 수집된 정보를 바탕으로 단기 및 장기적인 변동추이를 예측하여 사용자에게 제공할 필요가 있다.

또한 표면수온변동과 같은 해양환경의 변동 이외에도 저염분수가 해양에 미치는 영향도 중요하다. 특히 하계 중국 양자강에서 유출된 담수가 쿠로시오해류를 타고 북동진하면서 제주도에 많은 영향을 주고 있다. 현재는 현장조사에 의해 저

염분의 발생 여부를 파악하고 있으나, 향후 위성자료의 분석을 통해 실시간적인 감시를 하고자 한다.

참고문헌

- 국립수산진흥원. 1999. 한국해양연보 1998, p46.
- 국립수산진흥원. 2001. 한국해양편람 제4판, p436.
- 성기탁, 황재동, 한인성, 고우진, 서영상, 이재영. 2010. 한국 연근해 수온의 시공간적 장기변동 특성. 해양환경안전학회지 16(4). 353-360.
- Belkin I.M. 2009. Rapid warming of Large Marine Ecosystems. Progress in Oceanography. 81, 207-213.
- Hahn, S.D. 1997. Role of SST warming for living resources in Korean coastal waters. KODC Newsletter, 30, 19-28.
- Kang, Y.Q. 2000. Warming trend of coastal waters of Korea during recent 60 years (1936-1995). J. Fish. Sci. Tech. 3(3,4), 173-179.
- Khalil, M.A. and R.A. Rasmussen, 1984. Carbon monoxide in the Earth's atmosphere: Increasing trend, Science, 224, 54-56.
- Novelli, P.C., K.A. Masarie, P.P. Tans, and P.M. Lang, 1994. Recent changes in atmospheric carbon monoxide, Science, 263, 1587-1590.
- Thompson, A.M. and R.J. Cicerone, 1986. Possible perturbation of CO₂, CH₄ and OH, J. Geophys. Res. 91, 10853-10864.

우리나라의 융합기술발전 정책 방향

이상현 한국과학기술기획평가원(KISTEP) 사업조정본부 녹색공공사업실장 shlee@kistep.re.kr

- I. 왜 융합기술인가?
- II. 융합기술의 정의
- III. 주요국의 융합기술발전 전략
- IV. 우리나라의 융합기술발전 정책 방향 고찰

I. 왜 융합기술인가?

21세기에 들어서며 세계 주요국들은 과학기술 투자에 따른 사회·경제 발전을 유도할 수 있는 국가발전전략 및 정책 수립의 필수불가결성을 인식하고 있으며, 그 기반으로 ‘융합기술’을 주목하고 있다. 왜냐하면 이미 ‘정보화 시대’를 넘어 기초·응용 기술, 제조업, 서비스업 등의 물리·화학적 결합으로 새로운 부가가치를 창출하는 ‘융합의 시대’로 전환되고 있기 때문이다. 따라서 현재 과학기술 혁신의 보편적 현상으로 융합기술을 바라보고 있으며, 그 혁신의 주체를 육성·지원 할 수 있는 정부의 국가발전전략 수립은 국가의 미래생존을 좌지우지 할 수 있다고 해도 과언이 아니다. 이는 융합화 추세가 가속되고 있는 새로운 환경에서는 기업 차원의 기술혁신이나 경영혁신만으로는 국가의 사회·경제적 발전에 한계가 있기 때문이다.

II. 융합기술의 정의

융합기술발전 정책 방향을 고민함에 있어 선행되어야 할 것이 ‘융합기술’에 대한 정의가 아닌가 생각된다. 우선 ‘융합기술’란 용어는 1963년 미국에서 ‘Technological Convergence’라는 용어로 사용되기 시작하여, 일본에서는 1995년에 ‘Technology Fusion’이라는 용어로 각색되었다. 이는 신산업 창출이라는 목적성을 가진 이종 기술, 지식 또는 이종 분야 간 포괄적 결합을 의미하는 것으로 판단되었다.

이에 대해 우리나라에서는 2008년 국가과학기술위원회가 ‘융합기술’이라 함은 『NT, BT, IT 등의 신기술간 또는 이들과 기존 산업·학문 간의 상승적인 결합을 통해 새로운 창조적 가치를 창출함으로써 미래 경제와 사회·문화의 변화를 주도하는 기술』로 정의하였다. 조영준(2010)은 좀 더 세분화된 정의를 하였는데, ‘융합기술’은 『신기술간 또는 타 분야와의 상승적 결합을 통해 새로운 창조적 가치를 창출함으로써 미래사회 변화를 주도하는 기술이라는 의미의 ‘Convergence Technology’로 정의』된다. 즉, 서로 다른 분야의 ‘복수학제 연구(Multidisciplinary Research)’보다 진일보한 개념으로, 공통의 목표를 해결하기 위해 성질이 서로 다른 기술들 간의 『다학제간 연구(Interdisciplinary Research)를 의미 한다고 하였다』. 여기에 ‘범학문적 연구(Transdisciplinary Research)’의 개념을 포괄하면, ‘방법과 개념 등 서로 다른 학문분야 또는 전문지식의 배경을 갖고 있는 연구자들 간의 협력적 연구’를 일컫는 ‘융합연구’를 지칭한다.

한편, 지경부는 2009년 융합 측면과 가치 측면을 고려한 4가지의 융합기술 유형을 발표하였는데 다음과 같다.

융합 기술의 유형		
유형 가치창출	기술기반 융합 (Technology Driven Convergence)	제품, 서비스 융합 (Market Demand Driven Convergence)
기존가치제고 (Value-added)	• 기술진화형 융합: 2개 이상의 기술이 융합, 기존기술에 적용	• 시장고도화형 융합: 2개 이상의 제품, 서비스가 융합, 기존시장 확장
신 가치창출 (Value-created)	• 돌파기술형 융합: 2개 이상의 기술이 융합, 기존기술의 한계 극복	• 신산업 창출 유형: 2개 이상 제품, 서비스가 융합, 신산업 창출

자료 : 지식경제부(2009)



이러한 정의들은 기술의 전문화와 고도화가 서서히 한계를 보이면서 이를 극복하고 새로운 성장 모멘텀을 확보하기 위한 이종 기술 간의 융합이 새로운 패러다임으로 인식되는 것과 ‘국가융합기술발전 기본계획(’09~’13)’에서 ‘융합기술’을 『단지 기술의 한계를 극복하고, 이종 기술의 효용성을 융합하는 기술들이 다양한 형태로 발전하면서 새로운 제품 및 서비스 시장의 창출영역(Blue Ocean)』으로 인식한 것과 일맥상통된다. 이호성(2009)은 융합(convergence)이라는 관점에서 봤을 때 ‘융합기술’은 『단지 신기술(NT, BT, IT) 사이에서만 창출되는 것이 아니라, 어떤 측면에서는 기존에 있던 전통기술에 새로운 기술이 접목되어 창출되는 경우가 더 많을 수 있다』고 하였는데, 앞으로의 융합기술발전 정책 방향을 고민할 때 새삼 본심으로 돌아가는 잠언으로 삼아야 할 것이다.

Ⅲ. 주요국의 융합기술발전 전략

미국의 융합기술 및 융합연구의 전략은 NT, BT, IT, CT의 범위에서 인간사회의 지속가능한 발전을 위한 방향성을 제시하고 있는 것이 특징이며 이를 위해서 교육계, 정부, 민간기업 등 사회적인 관심과 확산을 유도하고 있다. 또한, NIH, FDA, DOD, NASA, DOC, NSF 등 6개 주요 정부기관을 중심으로 ‘Vision for 2020: Regenerative medicine(2004)’을 추진하여 다각적인 연구개발을 추진하고 있으며, 연구주제에 따라 각 분야마다 관련 정부기관이 융합연구에 대한 로드맵 수립과 투자에 앞장서고 있다. 이와 함께 21세기를 대비하는 미국의 과학기술에 대한 4대 주요 임무는 첫째, 과학적 발견의 장려 및 국가연구개발의 지속가능한 탁월성, 둘째, 국가 차원의 도전에 대한 시의성 있는 혁신적 대처, 셋째, 국민혜택의 증대를 통한 과학기술 혁신가속화와 투자증대, 넷째, 과학기술 교육 및 인력의 탁월성 성취로 구분된다.

EU는 ‘지식사회건설을 위한 융합기술 발전전략(CTEKS, 2004)’에서 융합연구의 방향을 제시하였는데, 중장기적으로 해결해야 할 공통의 목표와 과제에 대하여 서로에게 가능성을 주는 구현기술(Enabling Technology) 및 지식체계(Knowledge System)로 융합연구 분야를 설정하고 있다. EU의 융합연구 범위는 미국의 NBIC 이외에도 넓은 의미의 인문사회과학

을 포함하고 있어 보다 포괄적이고 광범위한 융합연구의 가능성을 열어두고 있다. 또한 기술 개발, 연구환경 조성과 사회적·윤리적 책임강화 등 융합기술 발전을 위한 가이드라인을 제시하면서 융합기술을 통해 산업경쟁력 강화, 유럽사회 및 국민의 욕구충족이 가능하다는 점을 강조하고 있는 것이 특징이다.

영국의 융합연구 가능성은 영국연구회연합(RCUK)을 통해서 진행되어 왔으며, 연구 분야 별 소통을 중시하는 것을 시작으로 융합연구의 기본인 학문의 다양성을 통합적인 발전의 틀에 놓고 소통과 교류를 우선으로 하고 있다. 영국의 융합연구 특징은 삶의 질, 환경, 보안 등 한 국가의 경계는 물론 한 학문의 경계에도 국한되지 않는 범세계적 문제들을 해결하기 위한 학제 간 접근을 모색하는 뚜렷이 문제 중심적이며, 향후 10~20년을 내다보며 진행된다는 점에서 장기연구 중심적이라는 것을 알 수 있다.

일본은 전통적으로 산업형 융합기술에 강점을 가지고 있는 제조기술을 기반으로 NT, BT, IT, ET를 활용하여 단기간에 실용화할 수 있는 융합기술발전 전략인 'Focus21'을 수립하여 추진하고 있다. 또한 'Innovation25'를 통해 '평생 건강한 사회'를 위한 정보통신 분야 융합기술에 대한 국가적 중요성 및 이노베이션 창출이 사회·경제적 요구를 해결하는 데 효과적임을 인식하고, 이노베이션 창출 시스템의 강화를 위한 첨단 융합영역 연구거점 형성에 박차를 가하고 있다. 이는 기본적으로 일본이 세계적으로 국가기술경쟁력을 선도하는 동시에 상업화 추구하여 경제적으로도 우위에 설 수 있는 기능적인 측면에서의 융합기술발전 정책을 채택하고 있음을 알 수 있다.

IV. 우리나라의 융합기술발전 정책 방향 고찰

우리나라는 2008년 교과부와 6개 부처가 합동으로 '국가융합기술 발전 기본계획(2009~2013)'을 수립하고, 융합연구 진흥을 위한 부서의 설치를 비롯하여 부처별로 융합기술 개발 관련 육성정책 수립 및 추진을 강조해 오고 있다. 2008년 이후 특히, 출연(연)의 융합기술 연구조직 구성을 통해 강점분야를 기반으로 한 융합연구를 추진하며, 향후 출연(연) 거버넌스 개편과정에 강소형 연구 및 연구기관 간의 융합 필요성을 강조하고 있다. 이는 연구



개발사업의 추진만으로는 진정한 의미의 융합기술발전이 어렵다는 것을 파악하고, 융합기술이 개인의 역량, 사회구조, 국가시스템 등을 변혁시키는 새로운 기술 패러다임이라는 인식이 필요하다는 과학기술계의 의견을 수용한 것에서 비롯된 결과이기도 하다.

단, 우리나라는 융합기술을 기술적인 확장의 개념과 기능적인 측면에서 해석하고 있어 ‘융합기술의 본질적 의미’를 퇴색시킬 우려가 있음을 간과해서는 안 된다. 또한 우리나라 융합기술발전의 큰 문제점으로 지적되어 온 연구자 수급과 융합연구를 위한 협력의 부재를 해결하기 위해서는 ; (1) 연구자 집단 간 융합과 창의성 있는 연구 활동을 수행하여 새로운 기술 원천을 창출하도록 하고 있고, 이를 통해 기술력 향상과 신산업 창출이라는 이노베이션을 이끌어내도록 지원하는 일본의 경우와 (2) 융합연구를 지원하는데 있어 각 연구주제별로 관련된 연구팀 내에 다양한 학문적 전문가들을 참여시키도록 의무화하고 이를 예산지원의 필수요소로 설정하고 있는 미국의 경우를 눈여겨보아야 할 것이다.

우리나라의 융합연구는 상업적이면서 실용화할 수 있는 기술창조에 대한 융합을 지향한다는 점에서 일본과 매우 흡사하나, 각 융합기술 분야에 대한 기초과학과 원천기술의 부재를 가지고 올 수 있다는 점에서 전통적으로 기초·원천기술에 강점을 가지고 있는 일본과는 다른 환경임을 통찰해야 할 것이다. 또한 미국은 실제로 융합연구 주제 간 다 학문적 연구자들의 연구소통과 이종 간 연구문제를 매개할 연구자를 반드시 참여시키고 있는데, 예를 들자면 이종 학문간 연구언어를 표준화시킬 계량분석 전문가나 각 학문적 아이디어를 종합하여 통합적으로 도출 할 수 있는 컴퓨터 모델링 시뮬레이션 기법 전문가, 국제협력 전문가 등을 다학제 연구팀에 반드시 참여토록 하는 것이다. 우리는 이러한 점을 매우 흥미로운 일로만 받아들이지 말고, 그 지향점 또한 통찰해 내야한다.

따라서 융합기술의 개념을 사회전반에 걸친 지속가능한 발전을 지향하면서 기초과학과 산업 간에 조화를 이루는 방향으로 발전시켜 나아가야 할 것이다. 이를 위해서는 법과 제도, 융합기술에 대한 문화를 사회전반으로 확산시키도록 정책방향을 설정해야 할 것이다. 실제로 위에서 서술한 바와 같이, 미국의 경우는 ‘인간수행능력 향상을 위한 융합기술전략’을 국가적 어젠다로 추진하면서 원천기술과 기초과학에 대규모 투자하고 있다. 일본의 경우도 우리나라와 크게 다르지 않는 개념을 가지고는 있으나 일본 특유의 제조업 장점을 살려 장기

적인 정책으로 일본이 세계적인 기술적, 과학적 우위를 차지할 수 있는 분야에 융합기술을 접목시키도록 투자하고 있다.

기초과학과 산업 간 조화의 관점에서 융합기술을 바라 볼 때, 우리나라는 지난 10년 간 융합기술발전을 위한 잠재력은 매우 잘 쌓아 왔다고 볼 수 있다. 왜냐하면, 융합기술 창출을 위한 기반인 기초기술 연구개발에 대대적인 투자를 해 왔기 때문이다. 실제로 정부는 기초 비중 산정대상 정부R&D예산을 기준으로 2003년 약 1조 200억원(18.4%)에서 2012년 약 3조 8900억원(35.2%)을 국가연구개발 기초연구 분야에 예산을 증액 책정해 왔다. 이는 무려 4배 가까이 증액된 예산으로 지금까지 우리나라 과학기술계의 기초체력 증진에 이바지 해 왔으며, 앞으로의 융합기술 발전에도 큰 원동력이 되리라 믿어 의심치 않는다. 또한 원천연구 분야에는 2012년 현재 약 1조 670억원(15.1%)의 예산을 책정하였다. 즉, 기초·원천 연구 분야에 기초·원천비중 산정대상 정부R&D예산(약 11조 635억원, 2012년)의 50% 이상(약 5조 5600억원, 2012년)을 책정한 것이다.

우리나라는 이러한 잠재력을 바탕으로 융합의 진화에 따라 차세대 신성장동력화가 가능한 융합기술 신산업 발굴을 게을리 하지 않고, 지속적인 융합연구 인프라 확충을 통해 신성장산업화 할 수 있는 전략 마련에 관심을 집중해야 할 것이다. 즉, 융합기술의 인프라 조성을 위해서는 산·학·연 간 연구협력 및 융합조직 확대가 매우 중요하므로, 공공연구기관 간 대형 프로젝트 추진, 자발적 조직융합에 대한 지원확대 등 연구개발 주체들 간의 융합기술 조직 구성의 활성화를 위한 방안 마련에 관심을 가져야 할 것이다.

또한, 융합기술 연구의 글로벌 경쟁력을 제고하기 위해서는 융합기술과 관련된 새로운 R&D 환경 조성의 중요성을 간과하지 않고, 융합기술의 국제 표준이 될 수 있도록 제도적 여건을 포함한 융합 신산업 창출전략 마련도 적극 추진해야 할 것이다. 여기에는 정부 부처 별 역할분담에 대한 기본방향을 제시하고 중·장기적으로 실행력 있는 융합기술 발전을 이루기 위해서는 국가·연구기관·기업이 함께 참여할 수 있는 통합형 융합기술 생태계 조성도 포함되어야 한다.

위에서 언급한 우리나라 융합기술발전 정책 방향에 맞게 융합기술을 발전시키기 위해서는 구체적인 실행 가이드라인이 있어야 할 것이다. 실무적으로 고려해야 할 몇 가지를 살펴



본다면, (1) 현재 우리나라에서 추진되고 있는 융합연구를 이제라도 세밀하게 조사·분석하여, 융합기술발전의 단계가 협동, 복합화, 융합화의 단계로 진행되도록 정책적 지원을 아끼지 말아야 할 것이다. (2) 융합연구개발조직은 기존 연구개발조직에 비해 보다 유연한 구조 및 운영전략이 필요하므로 연구 목적 및 수행 과정상에서 다양한 이해관계가 공존할 수 있도록 보다 많은 유연성 확보가 필요할 것이다. 이를 위해서는 연구개발 조직 내·외부 간 연구자 교류·이동, 통합과 다양성의 균형 조화, 핵심인력의 전략적 종합관리, 연구조직 간 수평화 된 조직문화 등이 활성화 되어야 할 것이다. (3) 융합연구의 선진화를 위해서는 이업종 간, 학문 분야 간 및 융합학문 분야 내·외의 교류와 의사소통, 융합 관련 연구 성과물 공유, 개방화된 연구주체들의 네트워크 연계 등의 활성화를 위한 적극적이고 실질적인 지원이 이루어져야 할 것이다. (4) 융합연구 분야는 연구 과정 및 성과의 불확실성이 기존의 연구 분야 보다 상대적으로 더 높고, 이에 비례하여 연구 참여자들이 직면하는 연구자원, 전문영역 구축 등과 관련된 연구관리 위험이 증가하므로, 연구비 예산지원의 안정성 문제와 연구 참여자들의 성과평가 방식이 보완되어야 하고, 성실실패 용인도 함께 이루어져야 할 것이다.

결론적으로, 우리나라는 융합기술에 대한 국가적 어젠다 설정을 통한 기초·원천기술 확보와 이를 기반으로 하는 융합기술 창출 및 이를 확산시켜 상용화, 산업화의 생태계를 창조할 수 있는 실용성이 균형을 이룰 수 있는 다학제적 융합연구를 장려해야 할 것이다. 이를 위해서는 융합연구 주제가 차별적이지 않아야 하고, 연구팀의 다 학제성과 다 학문적 연구자의 참여가 보장되어야 하며, 학제적 소통과 교류가 빈번해야함은 물론 정책적인 지원과 함께 안정적인 투자가 지속적으로 필요한 시점이다.

일본의 원격탐사 활용 및 융합정책

윤보열 한국항공우주연구원 위성정보연구센터 선임연구원 byoon@kari.re.kr
장희욱 국방과학연구소 항공체계개발단 jang@add.re.kr
임효숙 한국항공우주연구원 위성정보연구센터 위성활용실 실장 hslim@kari.re.kr

서론

위성 원격탐사는 위성에 탑재된 센서를 통해 지표면, 해양, 구름 등에 반사되거나 스스로 방사한 전자파(빛이나 전파)를 관측하여 수집된 자료를 해석하는 것으로써 토지피복 이용, 산림, 농작물 등의 작황이나, 해수면의 온도나 색, 구름 상태나 강우 강도 등, 여러 가지 정보를 가공하여 다양한 분야에 활용이 가능하게 된다.

통상적으로 가시광선 파장대역 광학 센서 또는 레이더 신호를 이용하여 육상·해양을 포함하는 지구 표면을 사진과 같은 영상으로 촬영하는 육상·해양 관측 위성이 있으며, 온실 효과 가스 농도, 강수량의 예측이나 구름의 상황 등 주로 대기 중의 여러 물질에 관한 자료를 취득하는 지구 환경관측용 위성 또는 기상위성이 있다.

이러한 지구관측 위성시스템을 도입하고 효율적으로 활용하기 위해 사전 기획 및 정책을 기반으로 관련법과 기본계획 등이 제정되고 개발계획에 충실히 반영되어야 한다.

일본의 경우 원격탐사 정책 및 관련분야에 큰 영향을 미치는 우주 기본법 및 우주기본계획이 제정되었다. 이를 제정하게 된 계기는 국제 정세를 고려했을 때 일본 우주개발의 활용에 관한 문제점을 인식하고 있다는 해석이 작용하였다고 할 수 있다. 그 문제점으로는 첫 번째, 국가차원의 우주에 대한 종합적인 전략이 없다는 점이다. 우주개발 결과물의 활용에 명확한 ‘국가 전략’이 부여되지 않았기 때문에 연구 개발이 그 이용이나 산업 진흥과 충분히 연계되지 못했고 우주 개발 활용성과도 정부 전체적으로 최대한 활용하지 못했다는 해석이다.

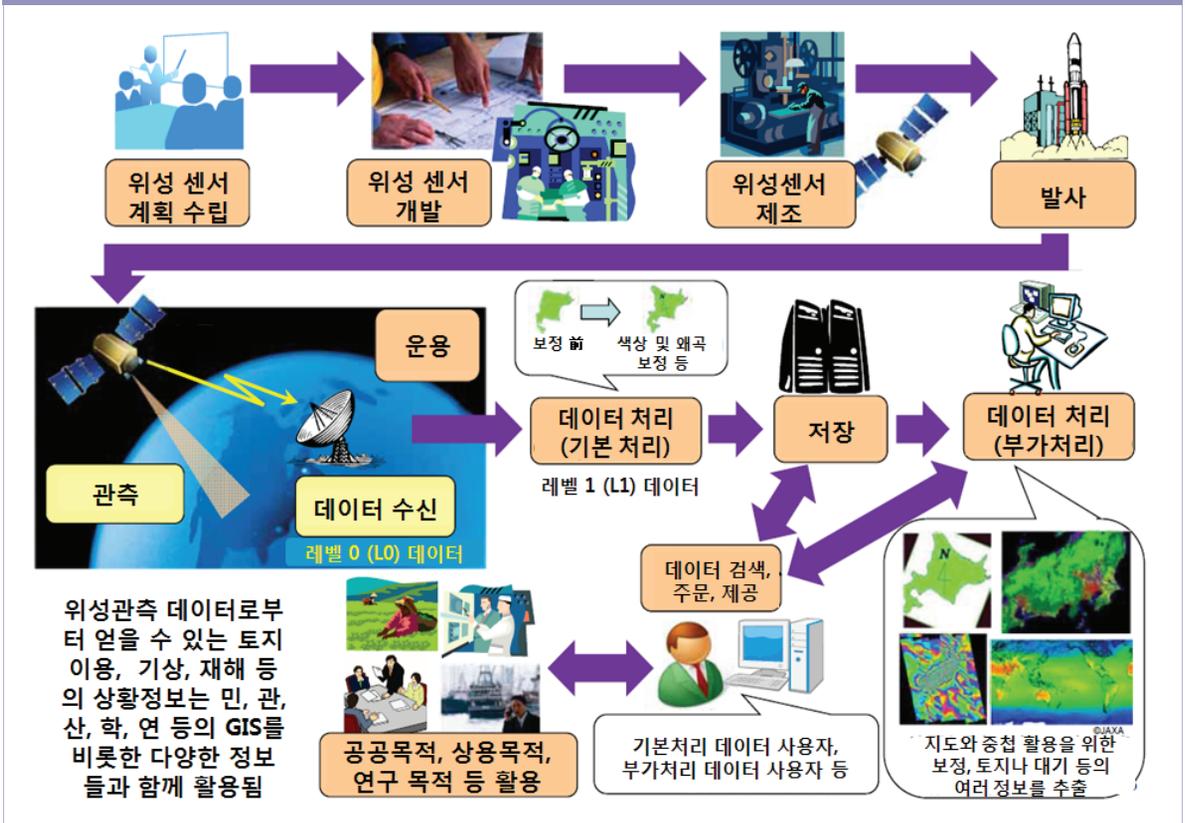
두 번째로 우주기반 기술의 활용 실적이 부족하다는 점이다. 미국, 러시아, 중국 등 많은 나라에서는 위성을 이용하여 안전 보장 관련 정보 등을 수집하는 것을 우주 정책의 큰 임무를 부여하고 있다. 한편 일본은 기상, 통신, 방송 등 일부 민간 분야에서만 우주를 활용하고 있으며 그 밖의 활용 분야나 외교적 측면에서 향후 실적을 축적해 나갈 필요가 있다. 특히 안전 보장 측면에서는 그 활용이 일반화된 범위로 한정되어 있다. 마지막으로 우주관련 산업의 국제 경쟁력이 부족하다는 인식이다. 민간 조사에 따르면 일본의 우주 산업 규모는 수익에서 약 40%, 인력에서 30% 정도가 감소되었다. 주요 기술, 부품, 시스템과 관련하여 우주 산업은 아직 국제 경쟁력을 충분히 갖추고 있는 상황은 아니며, 이러한 우주 산업의 국제 경쟁력 부족은 실적과 경험 부족이 반영된 것이라 할 수 있다. 위성 방송용 위성과 같은 실용위성은 대부분 외국에서 수입한 것으로 일본의 인공위성이나 로켓이 외국에 수출되는 사례는 찾아보기 힘들다.

우주 기본법은 전술된 3가지 항목의 문제 해결을 목적으로 1998년 5월에 제정되었고, 6개의 기본이념으로서 우주의 평화적 이용, 국민 생활의 향상 및 기여, 우주관련 산업의 진흥, 인류 사회의 발전, 국제협력, 그리고 환경에의 배려로 제시되었다(六川修一, 2011).

우주 기본법에서는 우주 전략 또는 우주개발 활용을 「연구개발 중심에서 우수한 기술력 기반의 활용 중심으로 전환」하기 위해 우주 기본계획(2009년 6월 수립)의 작성도 의무화 했다.

이것은 전술한 우주 기본법의 이념을 구체적으로 실현하기 위해 향후 실시해야 할 정책이나 추진 체제 등을 정리한 실행 계획이다. 우주 기본계획의 6개의 목표와 개요는 다음과 같다. 1) 안전하고 풍요로운 사회의 실현, 2) 안전 보장의 강화, 3) 우주 외교의 추진, 4) 첨단 연구개발 기반의 미래 창조, 5) 21세기의 전략 산업의 육성, 6) 환경에의 배려이다.

[그림 1] 위성센서 개발부터 위성자료 활용까지의 일반적인 흐름



따라서 우리 생활에 밀착한 우주기술의 실용화를 추진하고, 우주 및 지상 시스템의 양측으로부터 사회적 요구에 부응하는 우주개발의 활용을 목표를 삼고 있다고 볼 수 있다. 이 때문에 위성개발의 연속성을 추구하거나 다목적으로 활용될 수 있도록 추진하는 것을 장려하게 된다. 또한 재해재난 대응을 위해 국제협력을 강화하고, 기반 기술의 역량 확보 및 21세기 전략 사업으로서 우주기기 및 우주 활용관련 산업의 강화를 추진하기 위한 방향으로 진행되어야 할 것을 명시하고 있다.

해 외 기 술 동 향

일본의 위성 원격탐사 활용 현황

일본의 위성 원격탐사 활용 현황은 크게 세 분야로 나뉘서 생각해 볼 수 있다. 첫 번째로 연구 분야의 활용으로 일본의 위성센서는 미국과의 협력을 기반으로 지구과학 연구, 지구환경 연구,

기상 연구 등의 분야에 있어서는 국내외의 연구자에게 폭넓게 활용되고 있다.

두 번째로 공공분야 활용으로 현업에 적용되기 위해 실무 활용에 접목될 수 있는 수준의 실용화를 추구하고 있다.

공공목적의 활용을 위해 다양한 방식으로 검증단계를 거쳐야 비로소 실무에 적용될 수 있기 때문에 현재는 위성자료에 관한 전문 지식을 보유한 사용자가 그 중심이 되고 있는 추세이다.

구체적인 실제 활용은 ALOS 위성자료 등을 이용하여 지도 제작·갱신 작업을 통해서 일본의 기본도인 2만 5천분의 1 지형도를 대상으로 경년 변화정보를 추출하는데 활용되기도 하였다. ALOS 영상은 항공사진에 비해 공간해상도는 떨어지지만 광범위한 지역을 촬영가능 하고, 영상 왜곡이 상대적으로 적은 영상을 자주 수집할 수 있기 때문에 인공물 등의 경년 변화정보 추출에 유용하게 활용될 수 있다. 통상 항공사진과 현지 조사에 의한 지형도의 갱신 작업에 비해 효율성 측면에서 크게 기여하고 있다. 낙도나 남극 등의 항공사진 촬영이 어려운 지역을 대

으로 정확한 표고 자료가 필요한 경우에는 ALOS 위성의 PRISM 센서로 관측한 위성 자료로 동일한 지역을 세 방향으로 촬영하여 스테레오 영상에 의한 입체 관측을 실시하여 지형도의 작성 및 갱신 작업이 가능하게 된다.

이 외에도 선박 운항 등에 영향을 주는 해빙 감시, 석유나 광물자원 조사, 기상위성인 MTSAT 위성을 활용한 기상예보 등이 있다.

활용을 위한 검증 및 연구단계에 있는 사례로는 방재 지도로서의 활용이나 피해 상황의 파악 등의 방재·재해 대응이 있으며, 방재 관련 기관과 함께 방재 지도 제작 등의 방재 계획에의 활용, 지진이나 화산 모니터링, 지역별 재해 정보 공유 등 방재 활동에 활용하고 있다.

<표 1> 일본 위성 원격탐사의 주요 활용사례

활용분야	주요 활용사례
지도 제작	국토 지리원이 일본 지도 갱신에 ALOS 자료를 활용, 일본국제협력기구에서 해외 지형도 작성 프로젝트로 ALOS 자료를 활용
농업	농림 수산성이 ALOS 자료를 작황 면적 파악에 활용, 농업 공제 조항 연합회 등이 손해 평가 산정을 위해 ALOS 자료를 활용
어업	어업정보 서비스 센터가 위성에 의한 해면 수온 자료를 어황정보 발신에 정상적으로 활용. 어업 조업 효율화(연료, 시간 등 10~15% 절감)에 공헌
해양	해상보안청이 동계 호흐츠크해 해빙 감시에 ALOS 자료를 활용
재해	ALOS 위성으로 국내외의 긴급 관측을 실시해 방재 관계 기관 등에 정보를 제공. 아이티 지진에서 방위성·PKO 선발대가 현지 구호 활동에 활용
화산	기상청 화산분화 예측부서에서 일본 주요 활화산의 관측에 ALOS를 활용. 영국정부의 요청으로 아이슬란드 화산분화 및 연기를 관측한 GOSAT 위성자료를 제공, 영국은 화산재 상황 확인 및 예측 모델의 검증에 활용
지진	문부과학성 지진조사 연구추진 부서는 지진 메카니즘 조사에 ALOS 자료를 활용. 활단층 기본도 작성에 ALOS 입체 영상을 이용.
기상	기상청에서 수치 일기예보나 태풍진로 해석 등의 입력 정보로서 AMSR-E 등의 위성자료 활용
산림	일본국제협력기구가 브라질이나 인도네시아의 산림 감시에 관한 국제 기술 협력에 대해 ALOS 자료를 활용
환경	환경성이 자연 환경 보전 기초 조사에 있어서의 식생도 작성, 난세이제도로부터 동남아시아에 걸친 산호초 분포도 작성에 ALOS 자료를 활용. 이와테현 등이 산업 폐기물 불법투기의 감시에 ALOS 자료를 활용

주 : 주로 JAXA 위성자료 활용, 그 밖에 민간 제공 기관으로부터의 상업판매에 의한 활용(안전 보장, 민간기업에 의한 지도 제작 등이 있다)

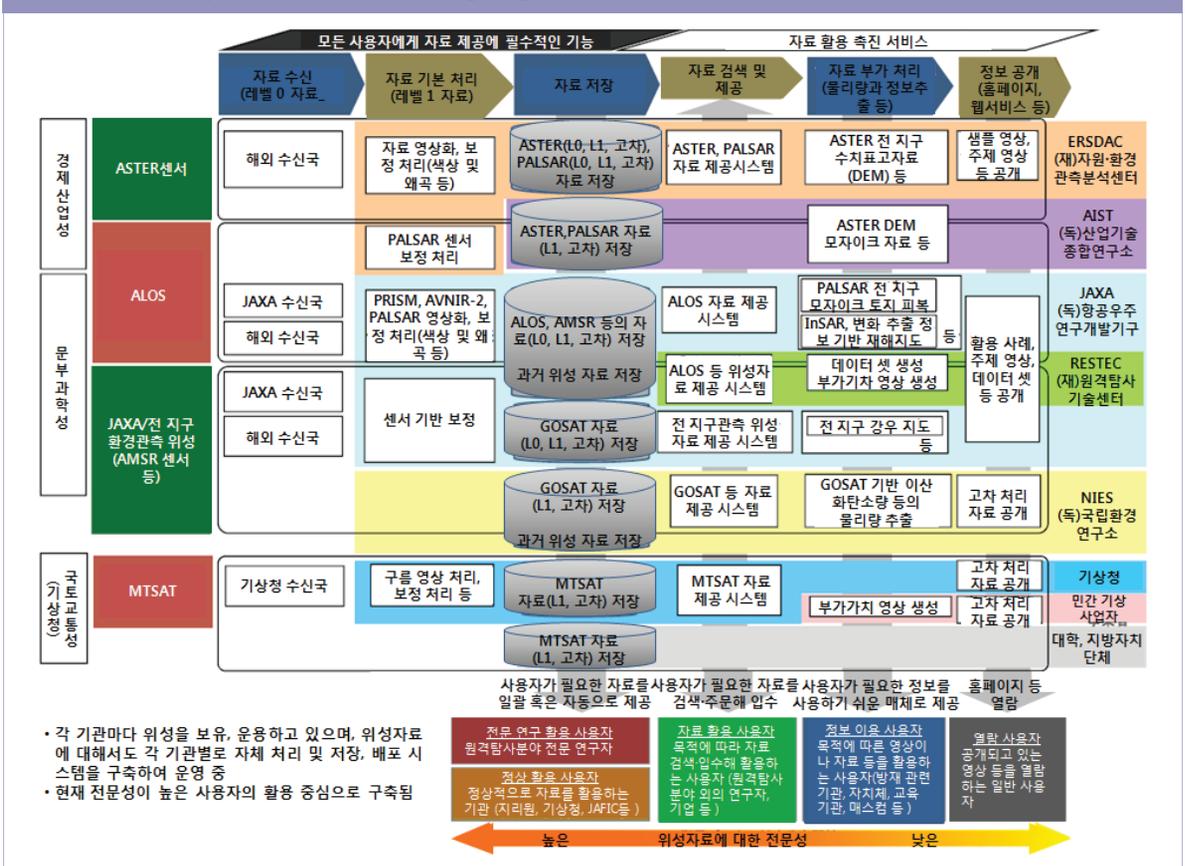
또한 위성영상으로부터 재해 상황을 신속히 파악하기 위해 재해 전후에 촬영된 두 영상에 대해 특징적인 동일점을 추출하기 위한 위치좌표 보정을 실시한 후에 영상의 밝기 값을 비교하여 재해 발생 장소의 변화정보 추출에 활용한다.

방재 지도 작성을 위해 ALOS가 촬영한 일본 열도의 영상 위에 지형도를 중첩하여 재해 발생 시의 현지 확인이나 복구 및 복원 대책 마련, 방재 훈련 등의 방재를 목적으로 활용하기도 한다.

또한 지진이나 화산활동과 관련되는 지각변동의 감시, 하천이나 댐 등의 수자원 관리, 산림 현황 및 변화 분석 등의 산림자원 관리, 세계 주요 곡창 지역 곡물의 작황 면적, 작황시기·수확 시기 등의 곡물 생산 동향 파악, 산호초의 백화 현상 등의 모니터링이나 산업 폐기물의 불법투기 감시 등의 환경감시가 있다.

세 번째로 민간분야 활용이 있으며, 작물의 생육 상황 파악이나 식림 사업 등의 농림업, 민간

[그림 2] 일본의 위성 시스템에 따른 부처별 활용 현황



예외 기술 분야

기상 정보 제공 업체에 의한 기상 예보, 업체에서 자원조사나 자원개발에 요구되는 환경영향 평가 등이 있지만, 실질적으로 널리 활용되고 있다고는 말하기 어려운 상황이다. 실시간(수시간~1일 정도) 정보를 필요로 하는 목적으로는 기상 업무에 대해서만 한정되어 있는 수준이다.

원격탐사 자료 활용의 문제점

원격탐사 자료는 조사형 기술이기 때문에 산업적 측면에서 다음과 같은 애로사항이 존재하게 된다. 우선 최종 수익(경제적 이익)과 괴리감이 있어 그 가치를 측정하기 어려운 시스템이다. 비즈니스의 통상적인 프로세스 구조는 조사, 타당성 분석, 개발 그리고 수익으로 연결되지만, 원격탐사 기술이 수익에 결합되는 논리가 미성숙 되었고, 다음 공정에의 연결 체계 등이 애매한 상황으로 형성되어 있다는 점이다.

두 번째로 원격탐사의 조사에 어느 정도 투자해야 할 것인가의 판단을 하기 어렵다.

이것은 최종수익에 대한 원격탐사의 공헌도, 필연도의 정량화가 애매하기 때문에 경영적인 판단을 할 수 없는 것을 의미하고 있다. 따라서 기술경영에 대해서는 해당 관련 기술의 효율화, 최적화로서의 정량화, 필수정도(그 밖에 대체 수단이 없을 경우)에 대한 근거 등 의사결정에 직결하는 평가항목이 제시될 수 있는 방안을 모색해야 한다. 결국 최종 수익에 대해서 조사형 기술로의 투자에 대한 경제 개념이 반영될 수 있도록 고려되어야 할 것이다.

세 번째로 지속적인 모니터링이나 조사가 되기 어렵다는 점이다. 일반적으로 자원·지질 관련 관측은 대체로 몇년에 1회 정도의 관측으로 충분하고, 또 환경 등의 모니터링에서도 1년에 1번 정도의 관측도 충분히 활용되는 경우도 많다. 하지만 정밀농업 등에 활용되기 위해서는 활용 가능한 위성수가 한정되어 있고, 궤도 위성이라는 제약이 있기 때문에 필요할 때 시기적절한 관측이 불가능하고, 일정한 주기로 반복되는 조사업무에 활용되기 어려운 점이 있다.

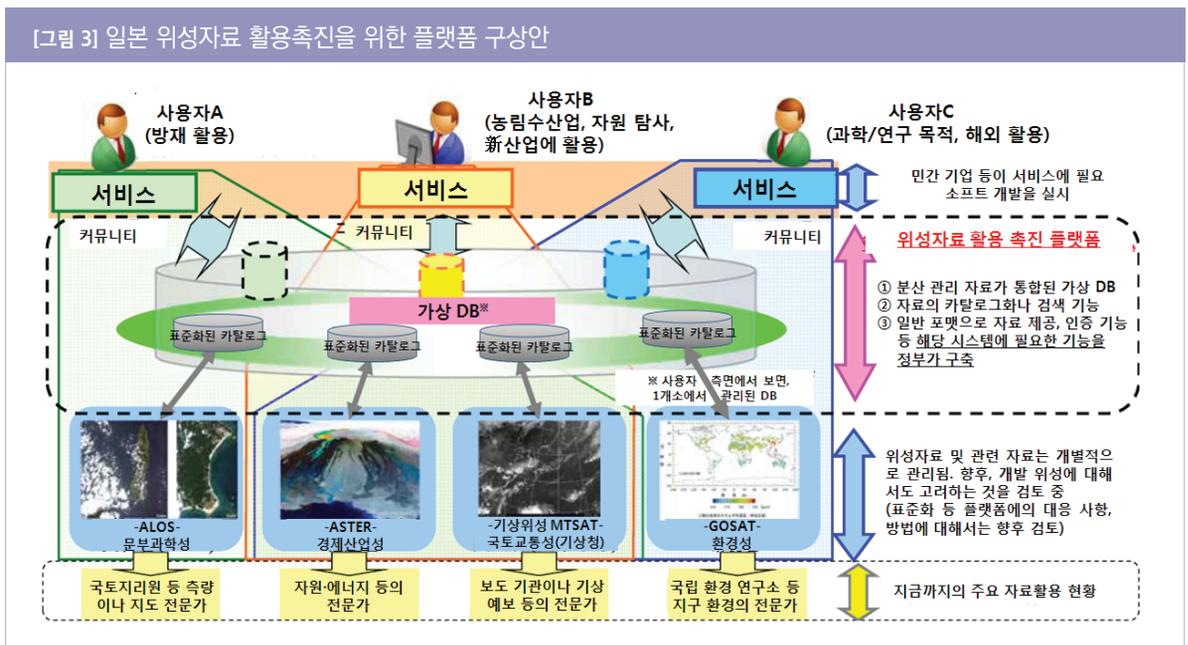
위성으로부터 수집된 영상이나 자료는 국민 생활, 행정, 산업, 과학기술, 우주 외교 등의 다방면에서 큰 편익을 가져올 것으로 기대된다. 하지만 이러한 자료들은 각 기관으로 따로 따로 관리되어 전문가에 의해 개별적으로 이용되고 있는 상황으로 위성자료 자체의 보유보다 유기적인 이익 활용을 촉진하기 위해 「위성자료 활용촉진 플랫폼」의 구축이 추진될 필요가 있다. 활용 촉진을 위한 플랫폼의 구축을 위해 아래와 그림과 같이 요구조건을 정의하였다. 사용자가 어느

위성인지 고민할 필요 없이 통합적으로 위성자료를 검색, 활용하는 것을 가능케 하는 가상 DB를 구축해야 할 필요가 있다는 점이다.

또한 위성자료 활용의 문턱을 낮추기 위해 기존의 web상의 지도와 중첩해 활용할 수 있는 일반적인 포맷으로 자료를 제공해야 한다. 이와 같은 플랫폼을 구축하여 한층 효과적인 재해 대응을 가능으로 하는 등 공공의 안전을 향상시킬 수 있으며, 농림수산업 등의 생산성 향상이나 산림 또는 수자원 관리 등의 환경문제를 시작으로 하는 사회 문제 대응형의 신산업 창출을 촉진할 수 있게 된다. 또한 활용촉진에 의한 아시아 지역 등에 있어서 일본 우주 시스템의 기여 및 해외 활용 확대를 가능하게 도와준다.

이러한 시스템은 2011년도에 프로토타입을 완료하였고, 해당 플랫폼 구축을 위한 시스템 운영개념 등을 정의한 후에 2012년도부터 운용이 개시되어 현재 Web에서 서비스 중에 있다.

[그림 3] 일본 위성자료 활용촉진을 위한 플랫폼 구상안



예외 기술 동향

Geo Grid 개요

GEO Grid는 Global Earth Observation Grid (지구관측 그리드)의 의미로 그리드 기술을 이용하여 아카이브된 지구관측 위성자료의 부가처리를 수행하여 각종 관측 DB와 지리정보시스

템(Geographic Information Systems, GIS)자료와 결합하여 사용자가 손쉽게 활용할 수 있도록 지원해 주는 것을 목표로 한 시스템이다. “전 지구를 대상으로 한 대용량 위성자료에 대응한 부가처리 기술”, “협력 기관과의 보안 상호 운용성”, “다양한 사용자에게 대한 보안 유지”를 가능하게 하는 시스템을 개발한 것이다. “표준 Web 서비스 인터페이스”를 사용하여 네트워크에 분산된 각종 지구관측 자료(지상관측 자료와 지도 정보 등) 및 대용량 위성자료의 통합 활용을 위한 실용화 연구를 기반으로 구축하였다.

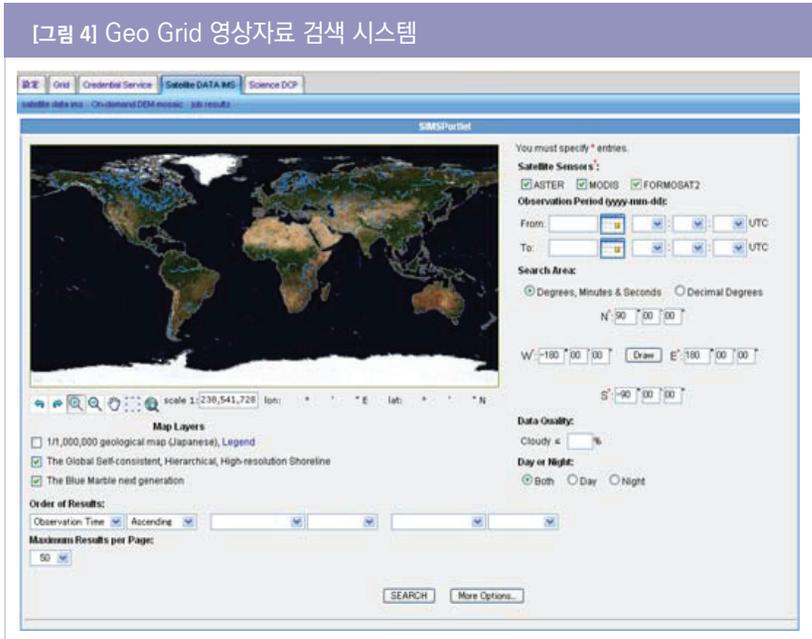
지구관측 위성자료를 기본도로 하여 지구과학 정보(지질 및 환경)를 통합하고 국제 표준을 준수하는 그리드 기술은 다음과 같은 특징을 가진다.

- 1) 고정밀 기본맵 생성 : 지구관측 위성에서 수집된 대용량 위성자료에 기하·방사·대기보정을 추가로 처리하여 고정밀의 기본맵을 생성
- 2) 다양한 관측 자료의 맵핑 : 생성된 기본맵 및 기타 기관에 의해 분산 관리 되고 있는 관측자료를 가상으로 통합하여 맵핑
- 3) 안전한 상호 운용 : Web 서비스와 그리드 표준화된 기술과 프로토콜 채용
- 4) 기존의 맵정보와의 호환 : 표준 Web 서비스(인터페이스)를 사용하여 GIS 자료, 현지 측정 자료, 기존의 지리 정보와의 결합
- 5) 가상 조직(Virtual Organization, VO) 디자인 개념 도입 : 각종 자료와 계산 표준 프로토콜 및 인터페이스를 통해 사용 가능한 “서비스”가 제공되고, 방재, 환경 문제, 자원 탐사 등 연구 커뮤니티의 요구에 따라 통합된 필요한 서비스를 제공하는 VO의 프레임 워크를 개발

종합과학기술회의 “지구관측 추진 전략”의 기본 전략 중의 하나인 “수요 중심의 통합 지구관측 시스템의 구축”이 논의되었고, 지구관측 정상회의인 지구관측시스템(GEOSS : Global Earth Observation System of Systems)에서는 중앙관리 방식이 아닌 상호 운용성을 가지는 자율 분산 공조 체계가 강조되고 있는 추세이다. 즉 다양하고 분산된 대용량 자료를 활용 수요에 맞는 정보로 제공할 수 있는 시스템이 요구되고 있으며, GEO Grid는 이를 구체화한 것이다.

한편 최근의 위성영상 포털 사이트의 활용에서 보면 지구관측 위성자료 인프라(공간 정보 기
반)로 새로운 가치(비즈니스 모델)가 기대되고 있으며, 새로운 가능성을 위한 염두해두고 있는
현 시점에서 GEO Grid의 연구 개발에 대한 중요성은 커지고 있다.

향후 일본은 지구관측 분야에
서 국내외 유관기관과 협력하면
서 차세대 지구관측 위성도 포
함시켜 지구환경 보전, 지구자
원 탐사 및 자연재해 경감·위기
관리 등 지구 규모의 사회적 문
제 해결에 공헌하는 것을 목표
로 하고 있다. 또한 도시정보, 지
리정보, 사회 뉴스 등과 함께 새
로운 정보 서비스를 지원하기 위
해 GEO Grid의 연구 개발을 지
속적으로 진행할 계획에 있다.



Geo Grid 추진 체계

GEO Grid 프로젝트는 산업기술종합연구소 주도로 추진되고 있으며, 운영위원회는 산업기
술종합연구소 및 외부 전문가로 구성되어 GEO Grid 프로젝트의 추진에 관한 기획 및 조정에
관한 의사 결정을 담당한다.

3개의 분과위원회를 구성하여 연구 교류를 촉진하고 GEO Grid 추진에 관한 자문역할을 담
당하고 있다. 각 분과위원회를 살펴보면 방재·지질연구 분과위원회는 GEO Grid 개념에서 각종
방재 응용 프로그램(지진·화산·지반 움직임·해일·홍수 등)에 관한 연구 개발을 통해 재난 대응
관계자에 방재 정보를 제공하는 것을 목적으로 있다. 방재·지질 VO Geohazard(GHZ)의 관리·
운용을 통해 위성정보의 원격탐사 자료, 분산 측정 자료, 현지조사 자료와 같은 다양한 DB 및
지리정보의 통합을 제공하고, 다양한 조직과의 연계를 도모하여 지역과 국가를 넘어 재해 경감

에 관한 활동을 목표로 하고 있다.

환경연구 분과위원회는 전 지구 규모의 지구 환경에 관한 정확한 데이터 제공을 목표로 하고 있다. 자료 관리 및 처리 결과물의 정밀도 향상과 더불어 지구 온난화 연구 등 전 지구 규모의 환경 문제에 관심이 있는 연구자에게 안정적인 지구 환경 데이터를 Environmentally COncious (ECO) VO를 통해서 운영, 관리, 서비스를 제공한다. 본 분과위원회에서는 지구환경 연구에 크게 기여할 전 지구 토지 피복도를 개선하는 연구를 진행하고 있다. 또한 이렇게 만들어진 토지 피복도를 검증하기 위한 시스템도 구축 중에 있으며 전 지구 현지답사를 추진하고 있다. DCP Project 와 산업기술종합연구소가 보유한 ASTER 위성자료와 DB 연계 시스템이 이 작업에 활용된다.

정보 비즈니스 GIS 연구 분과위원회는 이중 자료 통합 및 보안 관리를 구현하기 위한 기반 기술 개발을 목적으로 한다. Business, IT, GIS (BIG) VO에서 구체적인 응용 사례의 하나로 다중 위성 관측 DB 연계를 구현하였으며, 향후 사업에 직접 적용될 수 있는 환경을 구축하고자 한다.

Geo Grid 활용 사례

신속 지진평가 시스템 (QuiQuake : Quick estimation system for EarthQuake map triggered by observed records)은 산업기술종합연구소가 추진하는 GEO Grid 재해 경감 연구의 일환으로 지자체 및 기업의 BCP(비즈니스 연속성 계획)와 효과적인 지진 재해 대응을 위한 기초 정보로 활용하기 위하여 추진되고 있다. 지진 후 지진 기록이 공개되는 즉시 일본 전국의 지진 움직임을 평가하고 결과를 공개하는 시스템이다. 방재과학기술연구소가 공개하는 지진관측 기록을 측정 장비로 지반의 흔들림을 측정한 자료(Vs30 맵)와 통합 처리함으로써 250 m 공간 해상도에서 최대 지반 움직임의 속도를 측정하여 진도 분포를 계산하게 된다. QuiQuake 지진 관측 기록의 공개 기준의 차이에 따라 다음과 같은 두 종류의 지도(QuakeMap과 QuickMap)를 제공한다. QuakeMap은 방재과학기술연구소의 강진 관측망의 K-NET, KiK-net에서 관측된 지진기록 중 FTP 사이트에서 공개하고 있는 자료를 이용한다. 진도 3 이상의 지진에 대해서는 지진 발생 후 신속하게 공개하고, 다른 지진에 대해서는 약 한달 후에 공개되는 자료를 사용하여 계산한다. 또한 게시된 자료가 업데이트된 경우에도 순차적으로 계산 결과를 업데이트 한

다. 1996년 6월 이후의 주요 지진에 대해 이미지 파일 및 KML 파일로 지진 움직임 지도를 공개하고 있다.

QuickMap은 방재과학기술연구소와 공동 연구를 통해 K-NET에서 얻은 실시간 지진을 검색하고 QuakeMap보다 더 신속하게 지진 움직임 정도를 계산한다.

250 m 해상도 지도를 통해서 전국을 대상으로 지형에 따른 지반 흔들림 측정 자료(Vs30 맵)를 이용하여 지진계가 없는 지역을 포함한 넓은 면적을 대상으로 자세하게 지반의 움직임 분포 정도를 추정할 수 있게 된다. 본 시스템의 개요 및 계산 절차는 [그림 5]와 같다. 지진 후 방재과학기술연구소에서 제공하는 강진 관측망(K-NET, KiK-net)의 지진관측 기록을 검색하여 지진의 최대 지표면 속도(PGV : Peak Ground Velocity) 및 측정된 진도를 산출한다.

이 값은 지진계가 설치되어있는 표층 지반의 흔들림을 반영하고 있기 때문에, 우선은 그 진동성을 Vs30지도에서 추출하여 제거하고 경질 지반의 PGV 및 측정 진도를 추정한다. 그리고 QuickMap은 IDW(반대 거리 하중 보간)을 사용하여 QuakeMap에 대해서는 지진 진원에서 거리 감쇠 특성을 트렌드 성분으로 한 Simple Kriging 의한 보간 계산함으로써 경질지반에서의 PGV 및 측정 진도의 분포를 얻을 수 있다.

재난 대응을 위해 신속한 정보 공개를 목표로 하고 있기 때문에 지진 평가는 단순한 방식을 기반으로 하였다. 이에 따라 예상되는 PGV는 실측값의 0.5~1.9배 정도의 오차(대수 표준 편차로 약 0.28), 측정 진도는 ± 0.45 정도의 오차를 가지고 있다는 점을 감안해야 한다.

결론

위성 지구관측과 관계되는 분야에는 크게 관측 기기 개발 분야와 위성자료 기반의 부가가치를 창출하는 분야가 있다. 하지만 관측 기기 개발 분야와 위성자료의 부가가치 정보로 창출될 수 있는 수익에 대해서는 거리감이 존재하는 것이 사실이다.

향후에는 위성을 활용해 생산되는 부가가치 정보를 이용하여 비즈니스 솔루션과 같은 사업으로 진화해 나가는 것이 필요할 것으로 판단된다.

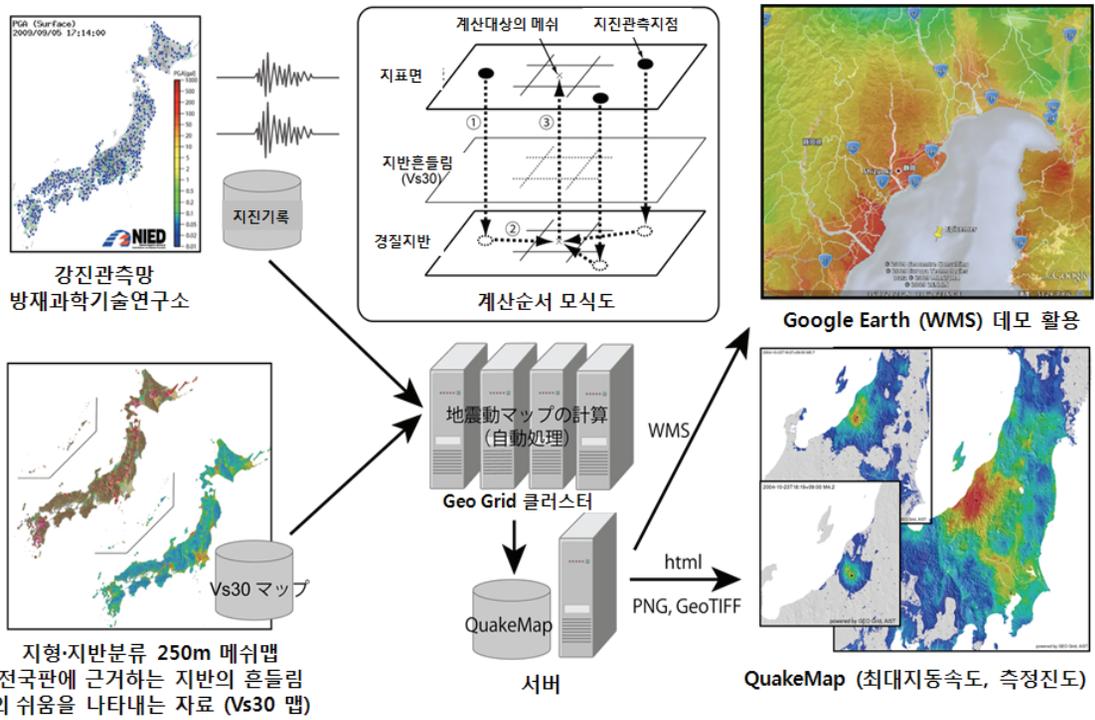
일본의 원격탐사 활용현황과 융합 활용에 관한 인프라와 운영현황을 조사하면서 우리나라에 적용 가능한 분야와 문제점을 다시금 되돌아 볼 수 있는 계기가 되었다. 우리나라에도 수요자

관점이 부각되는 전략, 기술 및 활용이 삼위일체 되는 접근 방식을 채택하여 전 세계 표준 결과물이나 모델이 될 수 있는 자료처리의 개발실적 등이 기반으로 작용하여 하여 새로운 우주 활용의 패러다임을 구축하는 것이 필요한 시점이라 할 수 있다.

위성 발사뿐만 아니라 자료 활용의 관점에서부터 우주 활용의 추진을 꾀하는 것이 중요하며 발전의 기본 프레임 측면에서 우주개발의 발전은 연구기관 및 대학에서의 연구개발, 공공재로서의 인프라 제공 그리고 민간 분야 활성화에 의한 다양한 부가 가치 창출이 동시에 진행되는 것이 일반적이라 할 수 있다. 위성개발 및 자료 활용의 측면에 대해서도 이 순환이 다면적·다층적으로 발전되는 것이 바람직한 방향으로 판단된다.

사용자의 입장에서 보면 바람직하는 것은 최종적으로 자료는 아니고 정보인 것은 당연하다. 원격탐사 자료는 전 세계 공통으로 처리 레벨에 대한 프로덕트가 명확하게 정의되어 있다. 앞으로의 시대는 보다 정밀한 주제정보나 의사결정 지원 가능 수준에 도달할 수 있는 고차원·고정밀 결과물의 생성 및 제공에 연구개발의 초점을 맞추는 것이 바람직 할 것이다.

[그림 5] 지진 움직임지도 신속 추정 시스템(Quake) 운영 방식



현재 국가 주도의 프로젝트는 국민의 동의와 이해를 얻지 못하면 더 이상의 지속은 힘들어지는 추세이다. 지구관측 분야에 있어서도 국민 생활에 기여할 수 있는 공익적 가치와 활용을 개선하는 노력을 게을리해서는 안된다. 현재 우리나라도 위성자료 또는 위성자료 처리를 통한 결과물은 많은 기관으로부터 수집 또는 생성되고 있다. 이러한 자료들의 축적으로 인해 효율적으로 관리, 운영, 서비스를 지속시킬 수 있는 장기적인 안목의 계획과 정책 수립이 반드시 필요한 시점이라 할 수 있다.

사용자의 입장에서는 우리나라에서 개발된 위성자료만으로는 활용의 폭이 상당히 좁다고 할 수 있다. 이러한 한계를 해외 위성자료와의 상호 공동 활용 등의 추진을 통해 극복하고 활용 결과물의 다변화에 대한 고민도 필요할 것이다.

참고문헌

- 內閣官房宇宙開發戰略本部事務局, 2011, 我が國及び海外のリモートセンシングの現状と動向, リモートセンシング政策検討ワーキンググループ第1回會合
- 六川修一, 2011, 我が國の宇宙利用技術戰略について, 第二回 SJAC講演會を開催, (社)日本航空宇宙工業會
- 松浦重和, 2011, リモートセンシングの今後の方向性と, 文部科學省/JAXAの基本的役割
- <http://www.geogrid.org/jp/first.html>

레이더 융합행정 포럼 : 레이더운영과

송원화 기상레이더센터 레이더운영과 ingraman@korea.kr



- I. 서론
- II. 2011 레이더 융합행정 포럼
- III. 2012 기상-강우레이더 융합행정 포럼
- IV. 맺음말

I. 서론

작년 여름 우면산 산사태를 다들 기억할 것이다. 7월 25일부터 28일까지 내린 집중호우로 서울을 비롯한 수도권, 강원도, 경상도 지역에 침수와 산사태로 많은 피해가 발생했다. 서울에서만 사망자가 30여 명이나 된다고 한다. 2011년은 우리나라 뿐만 아니라 태국의 대홍수 등 사상최악의 기상재해로 전세계가 몸살을 앓은 한 해였다. 이처럼 최근 기후변화로 인한 위험기상이 빈번하게 발생함에 따라 이를 철저히 감시하여 대처하기 위한 범정부적인 움직임이 활발해지고 있다. 그 선두에서 융합행정의 모범을 보이는 것이 “범정부적 기상-강우레이더 공동활용”이다.

레이더는 위험기상을 조기에 탐지하고 신속한 분석을 통해 초단기 예측을 하는데 효과적으로 활용된다. 현재 기상청을 비롯한 국방부, 국토해양부는 기상와 홍수예·경보 및 군작전 지원 등 각각의 목적에 맞게 레이더를 설치하여 운영하고 있다. 기상청은 전국에 11대의 레이더를 설치하여 관측하고 있으나 우리나라의 협준



한 산악지형의 영향으로 낮은 고도의 강수현상을 정밀하게 관측하는 데는 한계가 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해 2010년 6월 기상청, 국방부, 국토해양부, 행정안전부와 “기상-강우레이더 공동활용 업무협약”을 체결하고, 범정부적으로 국가레이더자료의 공동활용을 추진하고 있다.

이에 작년부터 매년 국내외 레이더 기술동향을 파악하고, 유관기관과의 소통과 협력의 장을 마련하기 위해 “기상-강우레이더 융합행정 포럼”을 개최하고 있다. 2011년 “위험기상과 돌발강우 대응역량 향상을 위한 범정부적 레이더 공동활용 촉진”, 2012년 “레이더 자원의 융합과 가치 창출”이라는 주제로 열린 포럼에는 국내외 레이더 전문가들과 유관기관, 산·학·연 관계자들이 한자리에 모여 토론의 장을 이어갔다.

II. 2011 레이더 융합행정 포럼

『2011 레이더 융합행정 포럼』은 ‘위험기상과 돌발강우 대응역량 향상을 위한 범정부적 레이더 공동활용 촉진’을 주제로, 범정부적 레이더 공동관측 전략 등 7개 과제에 대한 주제발표와 김창완 리버텍연구소장, 김형수 인하대 교수, 유철상 고려대 교수, 정주호 방위사업청 중령, 조정원 前 공군 제73기상전대장로 구성된 패널토론으로 진행되었다.

2011 레이더 융합행정 포럼 기념촬영 및 초청강연



1. 미국 레이더운영센터(ROC) 역사와 레이더 통합운영 효과

미국 ROC의 Mr. Richard Joel Vogt 센터장은 미국도 예전에는 3개 부처가 서로 다른 모델과 낙후된 시스템을 가지고 비체계적으로 레이더를 운영하였다. 그러나 전국을 커버하는 레이더를 공동으로 사용하기 위해, 현재 160여개의 레이더를 상무부, 국방부, 교통부 등 3개 부처가 함께 협력하여 레이더운영센터(ROC)에서 공동운영하고 있다. 미국 ROC의 임무는 첫째, 레이더를 원활하게 운영하고, 둘째, 레이더의 성능을 유지하면서 새로운 기술 및 과학의 발전에 맞춰 레이더를 향상시키는 것이다. 미국은 ROC의 성공적인 운영으로 비용절감 측면에서도 큰 성과를 보았으며, 고급 레이더정보를 제공하여 항공교통, 기상예보 및 홍수예보 등에 적극적으로 대차함으로써 국가경제에 크게 이바지하고 있다고 강연했다.

2. 예·경보와 기상레이더 50년 역사, 현재 대한민국은 어디에?

Dr. Kenneth C. Crawford 기상청 기상선진화추진단장은 한국은 재해기상에 집중하기 위해 2010년 기상레이더센터를 설립하고, 이중편파레이더 도입을 추진하는 등 새로운 길에 접어들기 시작하였다. 이중편파레이더 네트워크를 효과적으로 운영하기 위해서는 레이더 테스트베드를 비롯한 다양한 기술들을 테스트할 수 있는 테스트베드의 설립이 필요하며, 신세대 예보 관교육 프로그램과 1 km 스톱규모의 모델 개발이 필요하다. 재해기상 예·경보 프로그램의 성공적 운영을 위해서는 중관규모 기상학에서 탈피하여 미시규모현상에 관심을 기울여야 한다고 권고했다.

3. 레이더 공동활용 무엇이 중요한가?

주제발표 및 토론에 참석한 전문가들은 3개 부처가 부처별 목표와 역할분담을 합의하고 부처별 세부추진계획을 수립하였기 때문에 레이더 융합행정 목적에 대해서는 더 이상 논의가 필요하지 않으며, 부처별 레이더자료를 상호 비교, 오차 분석 후 부처별 고유 관측전략 허용 여부를 검토해야 함을 상기했다. 레이더 융합행정 관계부처 간 실질적인 이익과 손해에 대한 진솔한 대화가 필요하며, 상호 양보하는 자세가 매우 중요함을 강조하였다. 국방부는 군 작전에 필요한 양질의 레이더자료와 관련 알고리즘 기술 확보 등을 위하여 레이더 융합행정에 적극 참여하고 있



으며, 국토해양부는 레이더 융합행정에 도장을 찍은 사실이 이미 양보하겠다는 것이므로, 향후 어떻게 할 것인가의 논의가 더 중요하며, 국토해양부가 주관하는 레이더 관측전략은 전체 레이더를 하나의 세트론으로 가고자 하는데 의의가 있음을 인식시켰다.

레이더와 지상 강우량과의 보정관계, 하층의 홍수와의 관계 분석, 불확실성 등에 대한 컴비네이션이 중요하므로 공동연구가 필요하며, 레이더 테스트베드 구축은 관·산·학·연·군이 공동 활용할 수 있도록 폭넓게 의견을 수렴하여 추진할 것을 건의하였다. 돌발홍수에서는 레이더자료가 매우 중요하므로, 레이더자료 품질관리와 QPE 기술을 동시에 발전시켜야 함을 강조하였다.

III. 2012 기상-강우레이더 융합행정 포럼

『2012년 기상-강우레이더 융합행정 포럼』은 ‘레이더 자원의 융합과 가치창출’이라는 주제로 5월 22일 공군회관에서 개최되었다. 4개의 과제발표와 과제에 대한 패널토론이 이어졌으며, 패널로는 기상선진화추진단 김금란 과장, 곽영길 항공대 교수, 배덕효 세종대 교수, 임규호 서울대 교수, 정성원 유량조사사업단장이 참석하였다.

1. 융합행정의 현재와 발전 과제

명지대학교 박천오 교수는 우리나라는 최근 기능적으로 분화된 정부부처 간 협력 부족으

2012 레이더 융합행정 포럼 기념촬영 및 환영사



로 정부조직의 효율성이 전반적으로 저하되고 복합적 행정수요의 증가에 신속히 대응하지 못한다는 인식이 확산되어 있다. 우리나라의 융합행정은 현재 정부기관 간 협업에서 출발하고 있지만, 중장기적으로 비영리 주체나 자원봉사체 등과 협력하는 연계형 거버넌스(joined-up governance)로 발전될 수 있다. 성공적 융합행정을 위해서는 참여기관 최고관리자의 관심과 지지, 선도 기관의 존재와 역할, 참여기관의 역량 및 성과 강화, 참여기관 간 명확한 책임 및 권한의 분담 등이 필요하다고 강연했다.

2. 중국기상청의 레이더 운영

중국기상청의 Pei Chong 관측센터 운영과과학기술과장은 중국은 '11년 말까지 172개의 레이더를 설치하였으며, 그 중 143대의 현업용 레이더망을 통해 전 국토면적의 30% 이상을 관측하고, 서쪽 사막지역보다는 주로 동부 쪽에 레이더 관측망이 집중되어 있으며, 태풍과 폭풍우가 자주 발생하는 해안지역에 S-밴드 레이더를 설치하는 반면, 강수량은 적지만 잦은 우박과 심한 대류 현상이 있는 서부 및 내륙지방은 C-밴드 레이더를 배치하여 운영 중이라고 소개했다.

3. 미국과 한국의 레이더자료 공동활용 정책분석

Dr. Kenneth C. Crawford 기상청 기상선진화추진단장은 기상청, 국토해양부, 공군, 항공우주연구원, 미공군 등이 각 기관별 목적과 방법에 따라 독자적으로 레이더(총 27대)를 운영하고 있다. 레이더 융합행정을 통해 이중편파 레이더로 기종을 통일함으로써 하드웨어 및 엔지니어링 기술 향상, 유지보수 및 예비품 관리 체계화 등 국가예산 중복투자 및 운영경비 낭비를 막을 수 있다. 기상레이더센터는 레이더 표준운영절차(SOP) 개발, 관측 및 자료 품질 개선, 레이더 기본·응용 산출자료의 실용화, 공동활용시스템 구축 및 중앙관제시스템의 안정화 등이 중요하다고 권고했다.

4. 레이더 공동활용 주요 과제는 무엇인가?

1) 레이더 공동활용시스템 최적화 구축

기관별로 고유업무에 맞는 역할 분담이 필요하며, 기상청이 센터 역할을 담당하고 국토해양



부와 국방부는 하나의 축으로 네트워크를 공유하는 것이 바람직하다. 기관 사용자 외에 일반 사용자 중심의 시스템 구축이 필요하며, 관측사각지대 해소, 고품질의 자료생성 및 표준알고리즘의 표준화가 선행되어야 한다. 중첩되는 부분의 자료를 어떻게 처리하며 어떤 기관의 자료를 이용할 것인지에 대한 우선순위를 정해야 한다.

시스템 구축 후 자료에 대한 객관성 확보를 위해 주기적인 사후평가 및 모니터링도 필요하다. 공군 임호영 대위는 국방부 항공작전 측면에서 초단기 레이더가 부각되고 있어, 향후 국방부의 교체될 레이더는 최적화 방안을 수립하는데 RFP 작성부터 부처별 실무자들이 참여해 공동추진하는 방안을 제시하였다.

2) 레이더-위성자료 융합 강수량 정보생산 기술

레이더 관측자료는 수치모델과 연계했을 때 3시간 전까지 강수량 예측이 가능했으나 위성자료와 동화하며 8시간까지 예측이 가능해진다. 레이더·위성자료의 융합은 레이더 차폐지역을 보완할 수 있을 것으로 판단되므로 유역별 평균강수량 예측 등 수문학적 측면에서의 자료 활용 방안도 검토되어야 한다. 정성원 유량조사사업단장은 레이더 관측 자료는 지상관측망과의 캘리브레이션이 중요하며 캘리브레이션을 위해서는 테스트베드가 필요함을 피력하였다.

3) 레이더 관측자료 품질의 전자공학적 조명

레이더 원시자료를 가지고 정확한 정보를 추출하기 위해서는 한국형 지형모델에 맞는 지도 및 알고리즘 개발이 필요하다. 현재 기관별 모델이 다르므로 어떤 방법으로 균질한 관측자료를 생산할 것인지에 대한 검토가 필요하며, 미국의 경우에는 동일 장비를 사용하여 균질한 자료를 생산하고 있다.

4) 레이더 국산화 기술 현황

국산화 개발은 아주 고무적이며 기상청 데이터베이스를 기반으로 한국 지형 특성에 맞는 국지성 강우 관측이 가능한 모델 개발이 필요하다. 국토부에서는 '16년까지 X밴드의 소형레이더를 설치할 예정이며 국산화 사업과 보조를 맞추어 추진될 가능성도 있어 관측 사각지대 해소, 고해상도를 위한 감쇄 처리 방안 등 설계 반영이 필요하다.

IV. 맺음말

『기상-강우레이더 융합행정 포럼』은 부처별 레이더 융합행정의 추진 성과와 향후 일정 재정립의 기회를 제공하고, 선진 사례 공유 및 의견 수렴을 통하여 범정부적 레이더자료의 공동활용을 촉진하는 계기가 되었다. “기상-강우레이더 공동활용”은 2010년 범정부적 창의·실용 제도개선 우수사례 및 2011년 융합행정 최우수과제로 선정되어 국무총리상을 수상하는 등 융합행정의 대표적 성공사례로 자리매김하고 있다. 이러한 성과가 행정상으로 끝나는 것이 아니라, 레이더 자원의 사용자들도 체감할 수 있도록 다양한 분야의 레이더자료 사용자들을 위한 컨퍼런스도 해마다 개최하여 좋은 반응을 얻고 있다.

기후변화 등으로 인한 기상재해는 해마다 되풀이될 것이다. 이에 대응하기 위해서는 뛰어난 분야보다는 다양한 분야의 융합으로 시너지 효과를 발휘할 수 있을 것이다. 범정부 차원의 레이더자료 공동활용시스템 구축 사업이 2011년 시작되어 2015년 완료를 목표로 진행되고 있다. 약 70억 원의 예산이 투입될 예정으로 이 비용은 레이더 2대를 추가 설치하는 비용과 비슷하지만, 그 효과는 부처별 각각 10대 이상의 레이더를 설치하는 효과와 맞먹을 것으로 예상된다. 예산 절감 뿐 아니라 국민의 생명과 재산을 보호하기 위한 레이더 융합행정은 앞으로도 지속될 것이며, 더 발전해 나갈 것이다.



2011 레이더 융합행정 포럼

NAVER 뉴스

만세하기 취소

'레이더 공용' 기상 시각자료 70% 줄여

연방뉴스 | 기사입력 2011-04-21 14:54

(서울=연방뉴스) 한승호 기자 = 기상청은 지난해 10~12월 기상청 11개과 국토해양부 2개, 국방부(공군) 2개의 레이더를 공동 활용한 결과 관측 시각(死角)을 대폭 줄이는 효과가 나타났다고 21일 밝혔다.

기상청은 자체 레이더 자료를 일체했을 때는 저고도의 강수 현상을 입체적으로 관측하기 어려웠으나 다른 기관 레이더 관측자료를 함께 활용함으로써 70% 가량 관측 시각(死角)이 해소됐다고 설명했다.

특히 국토해양부 비술산레이더는 비와 눈 등 강수형태를 구분할 수 있는 기능을 갖고 있어 지난 겨울철 방재 기상업무에 유용하게 사용되기도 했다.

기상청은 지난해 6월 국방부, 국토해양부, 행정안전부와 '기상-강우레이더 공동 활용 업무협약'을 맺고 국내에 있는 22대 레이더 자료의 공동 활용을 추진하고 있다.

오는 29일엔 '레이더 융합행정 포럼'을 열어 부처별 레이더 협력 추진 성과와 향후 계획, 선진 사례 등에 대해 논의한다.

hsh@yna.co.kr

<뉴스의 새 시대, 연방뉴스 Live> <모바일 애플리케이션> <포토 매거진>

<저작권자(c)연방뉴스. 무단전재-재배금지.>

이 기사 주소 <http://news.naver.com/main/read.nhn?mode=LPOD&mid=etc&oid=001&aid=0005024358>

만세하기 취소

2012 레이더 융합행정 포럼

환경일보

2012년 05월 30일 수요일 001면 종합

기상재해 증가, 범정부적 대처 필요

미국 기상센터 자료, 10초 만에 사용자들에 전달

최근 기상청 기상레이더센터 주 최로 열린 기상-강우 레이더의 공동 활용 포럼은 '레이더 자원의 통합과 가치 창출을 주제로 레이더 정보의 고부적인 활용을 위한 공동행동을 제재 마련을 논의하는 자리였다.'

융합행정에 대한 관심 확대
산술융합의 계획은 현재로 진행되고 있음이 확인됐다. 특히 우리나라는 기상자원을 각 부처에 분산시켜 관리하고 있어, 이를 대대적으로 통합하고, 이를 통해 기상-강우 레이더의 통합행동에 대해 관심이 높아지고 있다.

융합행정에 관한 시각자료 해소, 비정규직 고용 확대

미국 기상센터 자료, 10초 만에 사용자들에 전달

기상청은 기상레이더센터 주 최로 열린 기상-강우 레이더의 공동 활용 포럼은 '레이더 자원의 통합과 가치 창출을 주제로 레이더 정보의 고부적인 활용을 위한 공동행동을 제재 마련을 논의하는 자리였다.'

포인팅을 추진하고 있다"고 밝혔다. 주 박 교수는 "융합행정에 대한 관심 확대, 특히 우리나라는 기상자원을 각 부처에 분산시켜 관리하고 있어, 이를 대대적으로 통합하고, 이를 통해 기상-강우 레이더의 통합행동에 대해 관심이 높아지고 있다."



▲레이더 운영과
▲레이더 운영과
▲레이더 운영과

환경일보

2012년 05월 30일 수요일 005면 종합

▶ 기상재해 증가, 범정부적 대처 필요 1면에 이어서

중첩 기상자료, 부처 간 조율 필요

우리 정부 부처들도 다양한 방법으로 융합행정 정책을 진행 중에 있다. 기상청은 산악지역 등 레이더 관측 시각(死角)이 대부분 해소되고, 지표면 가까이에서 변화되는 강수정보를 보다 정확히 관측할 수 있게 돼 초단기 기상예보의 정확률이 높아질 것으로 기대되고 있다. 또 국토해양부는 내륙, 해양 및 상층부의 대기 관측정보 추가를 흡수예보 선형시간 확대 및 정확도 향상으로 효과적인 수문관리 등 홍수대응태세 강화에 기여한 바 있다.



▲기상선진화추진단
켄 크로포드 단장

단장은 "융합 행정으로 인한 비정규직 고용 확대는 영세기업에 자원을 제공할 수 있는 기회가 된다"면서 융합 행정의 필요성에 대해 언급했다.

도 상당하다. 안전이나 환경적으로도 상당한 장점이 있는데 이러한 부분도 원활한 교류를 통해 많은 비정규직을 이룰 수 있다. 단장은 "융합 행정으로 인한 비정규직 고용 확대는 영세기업에 자원을 제공할 수 있는 기회가 된다"면서 융합 행정의 필요성에 대해 언급했다.

레이더 공동활용 가능

한편 (주)비스다임 이호준 소장 역시 박천호 교수와 의견을 같이 했다. 그는 "기후변화에 따른 기상재해 증가로 기상, 흡수예보의 정확도 향상을 위한 범정부적 공동대처의 필요성이 대두되고 있다"면서 "국가 기상 예측 자원의 효율적 활용을 통한 3대 분야 9개의 과제가 중점적으로 추진 중"이라고 설명했다.

이와 관련해 기상청, 국토해양부, 국방부가 서로 긴밀한 협조 체계를 갖추고, 기상청은 기상예보용, 국토해양부는 흡수예보용, 국방부는 자진지원용을 설치 운영하고 이를 각 기관 데이터를 공동으로 활용하는 데 합의했다.

이 소장은 "통합자료처리 관리도구를 통해 단계별 지연시간을 최소화하고 관측자료 포맷, 산출물들을 표준화 등을 통해 국가에서 추진 중인 과제를 좀더 효율적으로 진행할 수 있게 해야 한다"고 강조했다.

정성원 유망조사사업단장 역시 융합행정에 대한 논의는 상당히 고무적인 현상이라며 국토해양부, 국방부, 기상청, 세 주체가 주주적, 의무적으로 사후 평가를 하는 것이 필요하다고 강조했다. 또 그는 "기상자료는 대국민 서비스로 세 부처의 입장 조율을 위한 사업 평가 노력이 필요하다"면서 "생산자료를 위주로 하는 것도 방법"이라고 언급했다.

세종대 토목환경공학과 백덕호 교수 역시 융합행정에 대한 논의에 한 마디를 덧붙였는데 "우리의 레이더 자료는 외국과 비교했을 때 흡수예보까지 연결되는 수준에 이르지 못한 것"이라며 "우선 상이한 부처 간의 레이더자료 정확도를 확보해야 하며 기관 레이더 자료가 중첩되기 쉬운데 이 부분에 있어 어느 자료를 쓸 것인지 우선순위를 정하는 것도 필요하다"고 강조했다.

(이민선 기자)



▲최근 공군회관에서 기상-강우 레이더 융합행정 포럼이 개최됐다. 이날 포럼에서는 '레이더 자원의 통합과 가치 창출'을 주제로 관련 전문가들이 참석한 가운데 발표 및 토론이 이어졌다. (사진=이민선 기자)

기상기술정책지 발간 목록

참간호, 제1권 제1호(통권 참간호), 2008년 3월

칼 럼	·기후변화 대응을 위한 기상청의 역할	권원태	3-11
정책초점	·기후변화감시 발전 방향	김진석	12-18
	·미국의 기상위성 개발현황과 향후전망	안명환	19-38
	·기상산업의 위상과 성장가능성	김준모	39-45
	·최적 일사 관측망 구축방안	이규태	46-57
	·국가기상기술로드맵 수립의 배경과 의의	김백조, 김경립	58-61
논 단	·A New Generation of Heat Health Warning Systems for Seoul and Other Major Korean Cities	L.S. Kalkstein, S.C. Sheridan, Y.C.Au	62-68
해외기술동향	·프랑스의 에어로솔 기후효과 관측 기술	김상우	69-79
	·일본의 우주기상 기술	김지영, 신승숙	80-84

기상산업의 현황과 전략, 제1권 제2호(통권 제2호), 2008년 6월

칼 럼	·기후변화시대, 기상산업 발전상	봉종현	1-3
정책초점	·기상산업의 중요성과 전략적 위치	이중우	5-13
	·기후변화가 산업에 미치는 경제적 영향과 적응대책	한기주	14-22
	·기후경제학의 대두와 대응 전략	임상수	23-33
	·기후변화와 신재생에너지 산업	구영덕	34-45
	·기상산업 육성을 위한 정책대안 모색	김준모, 이기식	46-54
	·미국 남동부의 응용기상산업 현황	임영권	55-64
	·최근 황사의 특성 및 산업에 미치는 영향	김지영	65-70
논 단	·A brief introduction to the European Cooperation in the field of Scientific and Technical Research (COST)	Radan Huth	71-81
	·우주환경의 현황과 전망	안병호	82-92
해외기술동향	·유럽의 기후변화 시나리오 불확실성 평가 : EU(유럽연합) 기후변화 프로젝트를 중심으로	임은순	93-103
	·미국 NOAA의 지구 감시 현황	전영신	104-107

항공기 관측과 활용, 제1권 제3호(통권 제3호), 2008년 9월

칼 럼	·기상 관측 · 연구용 항공기 도입과 활용	정순갑	1-4
정책초점	·무인항공기 개발 현황 및 응용 방안	오수훈, 구삼옥	6-18
	·해외 기상관측용 항공기 운영 및 활용 실태	김금란, 장기호	19-34
	·항공기를 이용한 대기물리 관측 체계 수립 방안	오성남	35-45
	·효과적인 항공기 유지 관리 방안	김영철	46-56
	·공군에서의 항공관측 현황과 전망	김종석	57-66
	·항공기를 이용한 대기환경 감시	김정수	67-74
	·항공/위성 정보를 활용한 재해 피해 조사	최우정, 심재현	75-84
논 단	·유/무인항공기를 이용한 기후변화 감시	윤순창, 김지영	85-93
해외기술동향	·미국의 첨단 기상관측 항공기(HIAPER) 운영 현황	김지영, 박소연	94-99
	·미국의 탄소 추적자 시스템 개발 현황 및 전략	조천호	100-108
	·미국의 우주기상 예보와 발전 방향	곽영실	109-117
뉴스 포커스	·한국, IPCC 부의장국에 진출	허은	118-119

기상기술정책지 발간 목록

전지구관측시스템 구축과 활용, 제1권 제4호(통권 제4호), 2008년 12월

칼 럼	· 전지구관측시스템(GEOSS) 구축과 이행의 중요성	정순갑	1-4
정책초점	· GEO/GEOSS 현황과 추진 계획	엄원근	6-21
	· GEOSS 구축을 위한 전략적 접근 방안	김병수	22-31
	· GEO 집행위원회에서의 리더십 강화 방안	허 은	32-39
	· 국내의 분야별 GEOSS 구축과 발전 방안	신동철	40-41
	- 재해 분야	박덕근	42-44
	- 보건 분야	이희일	45-47
	- 에너지자원 분야	황재홍, 이사로	48-50
	- 기상 및 기후 분야	이병렬	51-53
	- 수문 및 수자원 분야	조효섭	54-56
	- 생태계와 생물다양성 분야	장임석	57-58
- 농업 분야	이정택	59-62	
- 해양 분야	김태동	63-67	
- 우주 분야	김용승, 박종욱	68-71	
논 단	· Taking GEOSS to the next level	José Achache	72-75
해외기술동향	· GEOSS 공동 인프라(GCI) 구축 동향	강용성	76-83
	· 최근 주요 선진국의 GEO 구축 현황	이경미	84-95
뉴스 포커스	· 한국, GEO 집행 이사국 진출	이용섭	96-97

기상장비의 녹색산업화 전략, 제2권 제1호(통권 제5호), 2009년 3월

칼 럼	· 녹색산업으로서의 기상장비 산업 육성 정책 방향	전병성	1-2
정책초점	· 기상장비의 산업여건과 국산화 전략	김상조	4-13
	· 기상장비 수출 산업화를 위한 성공전략	이종국	14-21
	· 기상레이더 국산화 추진 방안	장기호, 석미경, 김정희	22-29
	· 기상레이더의 상용화 현황과 육성 방안	조성주	30-41
	· 기상장비의 시장성 확보 전략 및 방향	이부용	42-51
논 단	· 외국의 기상레이더 개발 동향과 제언	이규원	52-72
해외기술동향	· 유럽의 기상장비 산업 현황: 핀란드 바이살라를 중심으로	방기석	73-80
	· 세계의 기상장비 및 신기술 동향	김지영, 박소연	81-89

기후변화와 수문기상, 제2권 제2호(통권 제6호), 2009년 6월

칼 럼	· 기후변화에 따른 수문기상 정책 방향	전병성	1-2
정책초점	· 기후변화와 물환경정책	김영훈	4-15
	· 기후변화에 따른 물 관리 정책 방향	노재화	16-27
	· 기후변화에 따른 하천 설계빈도의 적정성 고찰	김문모, 정창삼, 여운광, 심재현	28-37
	· 수문기상정보를 활용한 확률강우량 산정 방안	문영일, 오태석	38-50
	· 수문기상학적 기후변화 추세	강부식	51-64
	· 기상정보 활용을 통한 미래의 물관리 정책	배덕호	65-77
	· 이상기후에 대응한 댐 운영 방안	차기욱	78-89
논 단	· 기후변화의 불확실성 해소를 위한 대응방안	양용석	90-110
해외기술동향	· 미국의 기상-수자원 연계기술 동향	정창삼	111-121
	· NOAA의 수문기상 서비스 및 연구개발 현황	김지영 · 박소연	122-131
	· 제5차 세계 물포럼(World Water Forum) 참관기	김용상	132-140

기상기술정책지 발간 목록

기상 · 기후변화와 경제, 제2권 제3호(통권 제7호), 2009년 9월

칼 럼	· 기상정보의 경제적 가치 제고를 위한 정책 방향	전병성	1-2
정책초점	· 기후변화에 따른 에너지정책	박현종	4-18
	· 기후변화 대응이 경제에 미치는 영향	박종현	19-29
	· 기후변화가 농업경제에 미치는 영향	김창길	30-42
	· 기상 재난에 따른 경제적 비용 손실 추정	김정인	43-52
	· 기상산업 활성화와 과제	이만기	53-59
	· 날씨 경영과 기상산업 활성화를 위한 정책 제언	김동식	60-69
논 단	· 기후변화와 새로운 시장	이명균	70-78
해외기술동향	· 기상정보의 사회 · 경제적 가치와 편익 추정	김지영	79-85
	· 강수의 경제적 가치 평가 방법론	유승훈	86-96
뉴스 포커스	· 기상정보의 경제적 가치 평가 워크숍 개최 후기	이영곤	97-103

날씨 · 기후 공감, 제2권 제4호(통권 제8호), 2009년 12월

칼 럼	· 날씨공감포럼의 의의와 발전방향	전병성	1-2
정책초점	· [건강] 지구온난화가 건강에 미치는 영향	고상백	4-19
	· [해양] 기후변화에 있어서 해양의 중요성과 정책방향	이재학	20-29
	· [산림] 기후변화에 따른 산림의 영향과 정책방안	차두송	30-41
	· [관광] 기후변화 시대의 관광 활성화 정책방향	김의근	42-50
	· [도시기후] 대구의 도시 기후 및 열 환경 특성	조명희, 조운원, 김성재	51-60
	· [에너지] 태양에너지 소개와 보급의 필요성	김정배	61-72
	· [디자인] 생활디자인과 기후 · 기상과의 연계방안	김명주	73-88
논 단	· 국민과의 '소통' - 어떻게 할 것인가?	김연종	89-97
뉴스 포커스	· 날씨공감포럼 발전을 위한 정책 워크숍 개최 후기	김정윤	98-101

기후변화와 산업, 제3권 제1호(통권 제9호), 2010년 3월

칼 럼	· 기후변화에 따른 기상산업의 성장가능성과 육성정책	박광준	1-2
정책초점	· 기상이변의 경제학	이지훈	4-11
	· 기후변화 영향의 경제적 평가에 관한 소고	한기주	12-21
	· 기후변화 정책에 따른 산업계 영향 및 제언	이종인	22-32
	· 기후변화예측 관련 기술 동향 및 정책 방향	이상현, 정상기, 이상훈	33-45
	· 기후변화와 건설 산업	강운산	46-56
	· 코펜하겐 어코드와 탄소시장	노종환	57-66
	· 기후변화, 환경산업 그리고 환경경영	이서원	67-77
· 이산화탄소(CO ₂) 저감기술 개발동향: DME 제조기술	조원준	78-84	
논 단	· 기후변화와 정보통신 산업의 상관관계: 그린 IT를 중심으로	양용석	85-99
	· 기후변화 대응을 위한 산업계 및 소비자의 책임	김창섭	100-109
뉴스 포커스	· 기후변화미래포럼 개최 후기	김정윤	110-115

기상기술정책지 발간 목록

국가 기후정보 제공 및 활용 방안, 제3권 제2호(통권 제10호), 2010년 6월			
칼 럼	·국가기후자료 관리의 중요성	켄 크로포드	1-2
정책초점	·기후변화통합영향평가에대한 국가기후정보의 역할	전성우	4-11
	·친환경 도시 관리를 위한 기후 정보 구축 방안	권영아	12-22
	·기상정보의 농업적 활용과 전망	심교문	23-32
	·기상자료 활용에 의한 산불위험예보 실시간 웹서비스	원명수	33-45
	·경기도의 기상 · 기후정보 활용	김동영	46-57
	·국가기분풍속지도의 필요성	권순덕	58-62
	·국가기후자료센터 구축과 기상산업 활성화	김병선	63-74
	·국가기후자료센터 설립과 민간의 역할 분담	나성준	75-83
	·가치있는 기후정보	김윤태, 정도준	84-99
논 단	·기상청 기후자료 활용 증대 방안에 관한 제언	최영은	100-110
뉴스 포커스	·국가기후자료센터의 역할	임용한	111-119
장기예보 정보의 사회경제적 가치와 활용, 제3권 제3호(통권 제11호), 2010년 9월			
칼 럼	·장기예보 투자 확대해야	박정규	1-2
정책초점	·전력계통 운영 분야의 기상정보 활용	정응수	4-15
	·기상 장기예보에 대한 소고	박창선	16-23
	·패션머천다이징과 패션마케팅에서 기상 예보 정보의 활용	손미영	24-33
	·장기예보의 사회 · 경제적 가치와 서비스 활성화 방안	김동식	34-43
	·기상 장기예보의 농업적 가치와 활용	한점화	44-53
	·장기예보 정보의 물관리 이수(利水) 측면에서의 가치와 활용	우수민, 김태국	54-64
	·기상예보와 재해관리	박종윤, 신영섭	65-81
	·장기예보 업무의 과거, 현재, 그리고 미래	김지영, 이현수	82-89
해외기술동향	·영국기상청(Met Office) 해들리센터(Hadley Centre)의 기후 및 기후 영향에 관한 서비스 현황	조경숙	90-101
	·WMO 장기예보 다중모델 앙상블 선도센터(WMO LC-LRFMME)	윤원태	102-106
뉴스 포커스	·영국기상청과의 계절예측시스템 공동 운영 협정 체결	이예숙	107-109
사회가 요구하는 미래기상서비스의 모습, 제3권 제4호(통권 제12호), 2010년 12월			
칼 럼	·시대의 요구에 부응하는 기상 · 기후서비스	권원태	1-3
정책초점	·기상학의 역사	윤일희	6-16
	·지질학에서 본 기후변동의 과거, 현재, 그리고 미래	이용일	17-29
	·예보기술의 성장 촉진을 위한 광각렌즈	변희룡	30-44
	·전쟁과 기상	반기성	45-55
	·날씨와 선거	유현중	56-64
	·기후변화와 문학	신문수	65-74
	·기후변화와 문화 I (문명의 시작과 유럽문명을 중심으로)	오성남	75-87
	·비타민 D의 새로운 조명	김상완	88-96
	·G20서울정상회담과 경호기상정보 생산을 위한 기상청의 역할	이선제	97-105
논 단	·기상정보의 축적과 유통 활성화를 통한 국부 창출	김영신	106-115
	·날씨의 심리학	최창호	116-122
해외기술동향	기상정보의 사회 · 경제적 평가에 관한 해외동향	김정윤, 김인겸	123-130

기상기술정책지 발간 목록

신규 시장 창출을 통한 기상산업 육성 방안, 제4권 제1호(통권 제13호), 2011년 6월

발간사	·G20 국가에 걸맞는 기상산업 발전 방향	조석준	1-3
칼럼	·대학과 공공연구소의 기상기술 이전 활성화 및 사업화 촉진을 위한 기술이전센터(TLO) 발전 방안	박종복	4-13
	·새로운 기상산업 시장창출과 연계된 금융시장 활성화에 대한 소고 - 보험산업의 입장에서	조재린, 황진태	14-23
정책초점	·신규 기상시장 창출을 통한 기상산업 육성 방안 연구	국립기상연구소 정책연구과	26-63

도시기상관측 선진화방안, 제4권 제2호(통권 제14호), 2011년 12월

발간사	·도시기상 선진화, 미래의 약속입니다.	조석준	1-3
칼럼	·도시기후 연구의 과거, 현재, 미래	최광용	6-18
	·기후변화로 인한 도시 재해기상의 특성 변화 및 기상관측 선진화 방안	박민규, 이석민	19-30
	·도시열섬의 환경평가와 도시기상관측시스템 구축방안	김해동	31-42
	·수치모델을 이용한 도시기상 연구의 현재와 한계	이순환	43-50
	·도시 기상 관측 연구 현황	박영산	51-62
정책초점	·도시기상 관측 선진화 방안 연구	이영곤	64-73

「원격탐측기술(레이더, 위성, 고층) 융합정책 실용화 방안」, 제5권 제1호(통권 제15호), 2012년 6월

칼럼	·원격탐측의 융합정책과 기상자원 가치 확산	Kenneth Crawford	3-8
정책초점	·레이더-위성 융합 강수정보 생산 기술	신동빈	10-18
	·위성과 첨단기술 융합을 통한 미래 기상서비스 발전 방향	은종원	19-27
	·라이다 관측기술 활용 방안	김덕현	28-41
	·위성기술을 이용한 수문분야의 융합 정책	배덕호, 이병주	42-53
	·위성자료의 해양 환경감시 활용	황재동	54-65
논단	·우리나라의 융합기술발전 정책 방향	이상현	66-72
해외기술동향	·일본의 원격탐사 활용 및 융합정책	윤보열, 장희욱, 임효숙	73-85
포커스	·레이더 융합행정 포럼 : 레이더운영과	송원화	86-93

『기상기술정책』 투고 안내

투고방법

1. 본 정책지는 기상기술 분야와 관련된 정책적 이슈나 최신 기술정보 동향을 다룬 글을 게재하며, 다른 간행물이나 단행본에서 발표되지 않은 것이어야 한다.
2. 원고의 특성에 따라 다음과 같은 5종류로 분류된다.
(1) 칼럼 (2) 정책초점 (3) 논단 (4) 해외기술동향 (5) 뉴스 포커스
3. 본 정책지는 연 2회(6월, 12월) 발간되며, 원고는 수시로 접수한다.
4. 원고를 투고할 때는 투고신청서, 인쇄된 원고 2부, 그림과 표를 포함한 원본의 내용이 담긴 파일(hwp 또는 doc)을 제출하며, 일단 제출된 원고는 반환하지 않는다. 원고접수는 E-mail을 통해서도 가능하다.

원고심사

1. 원고는 편집위원회의 검토를 통하여 게재여부를 결정한다.

원고작성 요령

1. 원고의 분량은 A4용지 10매 내외(단, 칼럼은 A4용지 3~5매 분량)로 다음의 양식에 따라 작성한다.
 - 1) 워드프로세서는 ‘아래한글’ 또는 ‘MS Word’ 사용
 - 2) 글꼴 : 신명조, 글자크기 : 본문 11pt, 표·그림 10pt
 - 3) 줄간격 : 160%
2. 원고는 국문 또는 영문으로 작성하되, 인명, 지명, 잡지명과 같이 어의가 혼동되기 쉬운 명칭은 영문 또는 한자를 혼용할 수 있다. 학술용어 및 물질명은 가능한 한 국문으로 표기한 후, 영문 또는 한문으로 삽입하여 표기한다. 숫자 및 단위의 표기는 SI규정에 따르며, 복합단위의 경우는 윗 첨자로 표시한다.
3. 원고 첫 페이지에 제목, 저자명, 소속, 직위, E-mail등을 명기하고, 저자가 다수일 경우 제1저자를 맨 위에 기입하고, 나머지 저자는 그 아래에 순서대로 표시한다.
4. 원고의 계층을 나타내는 단락의 기호체계는 I, 1, 1), (1), ①의 순서를 따른다.
5. 표와 그림은 본문의 삽입위치에 기재한다. 표와 그림의 제목은 각각 원고 전편을 통하여 일련번호를 매겨 그림은 아래쪽, 표는 위쪽에 표기하며, 자료의 출처는 아랫부분에 밝힌다.
예) [표 1] [표 2]...[그림 1] [그림 2]
6. 참고문헌
 - 1) 참고문헌 표기 양식
 - 참고문헌(reference)은 본문의 말미에 첨부하되 국내문헌(가나다 순), 외국문헌(알파벳 순)의 순서로 정리한다.
 - 저자가 3인 이상일 경우, ‘등’ 또는 ‘et al.’을 사용한다.
 - 제1 저자가 반복되는 경우 밑줄(_)로 표시하여 작성한다.
 - 2) 참고문헌 작성 양식
 - 단행본 : 저자, 출판년도: 서명(영문은 이탤릭체). 출판사, 총 페이지 수.
 - 학술논문 : 저자, 출판년도: 논문명. 게재지(영문은 이탤릭체), 권(호), 수록면.
 - 학술회의(또는 세미나) 발표논문 : 저자, 발표년도: 논문명, 프로시딩명(영문은 이탤릭체), 수록면.
 - 인터넷자료 : 웹 페이지 주소

METEOROLOGICAL TECHNOLOGY & POLICY

The background of the cover features several overlapping, wavy, translucent blue lines that create a sense of movement and depth. These lines are set against a light blue gradient background that transitions from a darker shade at the top to a lighter shade at the bottom.

Volume 5, Number 1

61, Yeouidaebang-ro 16-gil, Dongjak-gu, Seoul, 156-720, Korea
TEL. 070-7850-6557 | FAX. 02)849-0668
<http://www.kma.go.kr>