

기술정책 기상

METEOROLOGICAL TECHNOLOGY & POLICY



2017.

6

특집

영향예보 서비스 확대

칼럼 | 영향예보 서비스 개발과 활성화 |

정책초점 | 영향예보 서비스 확대를 위한 제언 |

| 교통안전관리를 위한 도로기상정보 활용 |

| 태풍 재해 리스크 관리를 위한 영향예보 |

| 기상, 기후 그리고 숲과 사람 |

| KISTI 재난대응 의사결정지원시스템(K-DMSS) 소개 |

논단 | 기상예측정보를 활용한 농경지 물사용 영향예보 |

| 화재 기상예보 서비스 |

포커스 | 오픈데이터와 일본기상비즈니스 컨소시엄 |



기상청

『기상기술정책』

Vol.10, No.1(통권 제25호)

2017년 6월 30일 발행

등록번호 : 11-1360395-000017-09

ISSN 2092-5336

『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 연구 개발 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: 고윤화

편집기획: 국립기상과학원(책임운영기관) 연구기획운영과

편집위원장: 조천호

편집위원: 유민수, 김금란, 장동언, 전영신,

배덕효, 이우성, 박중훈, 반기성

편집간사: 김정윤, 이대근, 김인겸

발행처

주소: (63568) 제주특별자치도 서귀포시 서호북로 33

국립기상과학원(책임운영기관)

전화: 064-780-6533 팩스: 064-738-9071

E-mail: yjk@kma.go.kr

인쇄: 미래미디어

CONTENTS

특집 : 영향예보 서비스 확대

칼럼 03 _ 영향예보 서비스 개발과 활성화 / 고윤화

정책초점 06 _ 영향예보 서비스 확대를 위한 제언 / 예상욱

18 _ 교통안전관리를 위한 도로기상정보 활용 / 손영태

31 _ 태풍 재해 리스크 관리를 위한 영향예보 / 이은주

41 _ 기상, 기후 그리고 숲과 사람 / 박주원

56 _ KISTI 재난대응 의사결정지원시스템(K-DMSS) 소개 / 조민수

논단 71 _ 기상예측정보를 활용한 농경지 물사용 영향예보 /
최진용, 홍민기, 이성학, 이승재

82 _ 화재 기상예보 서비스 / 류정우, 권성필

포커스 93 _ 오픈데이터와 일본기상비즈니스 컨소시엄 / 정효정

영향예보 서비스 개발과 활성화



고윤화
기상청장

『햇빛은 달콤하고, 비는 상쾌하고,
바람은 시원하며, 눈은 기분을 들뜨게 한다.
세상에 나쁜 날씨란 없다.
서로 다른 종류의 좋은 날씨만 있을 뿐이다.』

- John Ruskin -

존 러스킨의 저 명언은 우리로 하여금 얼굴에 미소를 머금게 하며, 잠시나마 행복한 감정이 들게 하는 힘이 있다. 생각해 보면 당연한 말이다. '좋다, 나쁘다'란 판단은 지극히 인간적인 감정의 산물로서 자연현상 그 자체는 '나쁜' 것이 있을 수 없다. 하지만, 이는 동시에 틀린 말이기도 하다. 태풍, 집중호우(홍수), 폭염, 폭설 등 인간 사회에 손실을 야기하는 극한기상현상까지 지구적 관점만을 고려하여 그저 '좋다'고만 할 수는 없을 테니까. 인간이 삶을 영위하는 한 기상현상이 우리에게 미치는 영향을 고려하지 않을 수 없다.

기상청은 지금껏 기상현상의 발생가능성에 초점을 맞춘 예보서비스 제공에 힘써왔다. 하지만 해수면 상승으로 인한 연안지역 도시의 취약성 증가, 도시 열섬현상과 인구고령화로 인한 온열질환의 위험성 증가, 산업의 고도화로 인한 재해 피해액 증가, 교통량 증가와 맞물린 사고 위험성 증가, 돌발성 기상으로 인한 레저객의 사고 위험성 증가 등 기상현상으로 인한 영향이 다양화, 대형화되면서 늘어가는 사회적 요구에 대응할 필요성이 대두되었다.

이에 기상청은 2020년을 목표로 본격적인 영향예보 서비스 시행을 추진하고 있다. 영향예보는 '기상현상으로 인해 예상되는 사회·경제적 영향을 위험 및 취약성을 고려한 기상정보와 함께 전달하는 예보체계'로 정의할 수 있다. '위험 및 취약성'은 동일한 기상현상이라도 발생 지역의 위험노출 정도에 따라 서로 다를 수 있기 때문에, 극한기상의 빈발이 예상되는 기후변화시대에 재해로 인한 손실을 줄이기 위해선 이를 고려한 영향정보 제공이 필수적이라 할 수 있다.

현재는 시범서비스 기간으로 태풍/호우침수/폭염 영향예보 서비스 등이 제공·보완·개발 단계에 있는데, 수요자 맞춤형 서비스의 개발, 영향예보의 안정적인 정착 및 활용 확대를 위해선 예보를 실제로 활용하는 현장과 협력을 통한 서비스가 개발되어야 한다. 외부의 기 개발된 의사결정지원시스템과 연계를 통한 중복투자 방지 및 성능 향상, 일반화재 및 산불연무의 발생 과정과 확산을 고려한 예보 개발, 도로기상 예보의 정확도 향상을 위한 관측망 통합 및 전달체계 완비, 가뭄피해 최소화를 위한 관개계획 수립에 필수적인 농업용수 사용/공급 예측 등의 분야는 기상청에서 독자적으로 수행할 수 없기 때문이다.

빅데이터를 비롯한 최신 기술을 활용한 취약성 평가 및 예보기술의 발전, 유관 기관 간 긴밀한 협력체계와 더불어 확률로 제공될 '영향'예보정보의 의미에 대한 대국민 홍보도 병행되어야 한다. 단순한 기상예보의 오류와 달리 영향예보는 재해예방 측면에서 10번에 1번만 맞춰도 다행이라는 인식 개선 노력을 기울여 나가야 할 것이다. 그와 함께 전문 인력 양성과 교류를 통해 지속적으로 영향예보기술을 개선해 나간다면, 기상청은 아직 그 실행 역사가 길지 않은 전세계 영향예보분야에서 선도적 역할을 할 수 있을 것이다.

국민의 안전을 책임지고 자연재해와 사회적 재난으로부터 국민을 보호하려는 기상청의 부단한 노력은 기후변화시대 효율적인 재해예방을 가능하게 하고, 관련 산업분야가 확대·성장을 도모하는데 도움을 줄 것으로 기대한다.

정책 초점

영향예보 서비스 확대를 위한 제언

| 예상욱

교통안전관리를 위한 도로기상정보 활용

| 손영태

태풍 재해 리스크 관리를 위한 영향예보

| 이은주

기상, 기후 그리고 숲과 사람

| 박주원

KISTI 재난대응 의사결정지원시스템(K-DMSS) 소개

| 조민수

영향예보 서비스 확대를 위한 제언

예상욱 한양대 해양융합공학과 교수 swyeh@hanyang.ac.kr

- I. 서론
- II. 영향예보 서비스의 필요성
- III. 영향예보의 해외 사례
- IV. 제언 및 결론

위험기상의 영향에 대한 이해부족은 국민들을 재해에 취약하게 하고, 유관기관의 유기적인 대응책 수립을 어렵게 할 수 있다. 결국 위험기상으로 인한 피해가 가중되는 현 시점에서 기상청은 특보(주의보 및 경보) 수준의 경보문 발표에 그치는 것이 아니라, 특정 기상현상으로 인한 위험요소와 이로 인한 영향을 통합한 정보를 제공해야 한다. ‘영향예보’로 정의되는 새로운 서비스의 성공적인 실현을 위해서는 예보업무를 담당하는 기상청의 적극적 주도 아래 영향예보에 필요한 기술개발을 고도화 할 필요가 있다. 이를 위해서는 정확하고 상세한 기상정보 생산은 물론 영향예보의 성공적인 도입을 위해 국민들의 관심과 지원이 요구되며 다양한 기관들 간의 긴밀한 협조체계가 중요할 것이다. 지속적인 대국민 홍보와 함께 영향예보 분석에서 관련기관 전달에 이르는 효율적인 범부처 협의체를 추진하고, 학계 및 전문가 집단들과의 지속적인 교류 및 협업을 확대해야 한다. 협력체계 구축을 통한 새로운 전문 인력풀의 교육과 양성은 정밀한 영향예보 기술 개발에 밑거름이 될 것이며, 나아가 기상청이 다양한 분야에서 새로운 산업의 개척을 주도하는데 도움을 줄 수 있을 것이다. ■

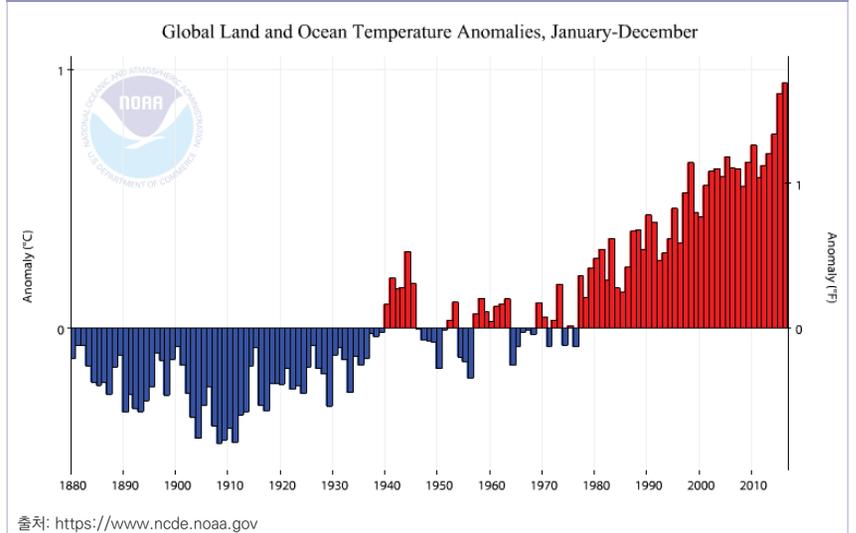
I. 서론

인간 활동의 증가로 인해 대기 중 대표적 온실 기체(greenhouse gas)인 이산화탄소의 농도가 최근 400ppm 이상의 값을 보이면서 산업혁명 이전의 대기 중 이산화탄소 평균 농도값과 비교하여 거의 2배 이상 증가하였다. 온실 기체 농도의 증가는 온실 효과(greenhouse effect)를 통해 해양과 육지 지역 평균 온도를 증가시키고 있으며 그 결과 2016년 전지구 해양과 육지의 평균 온도에 대한 편차는 지난 150여년 기간 동안 최고치를 기록한 것으로 나타났다(그림 1).

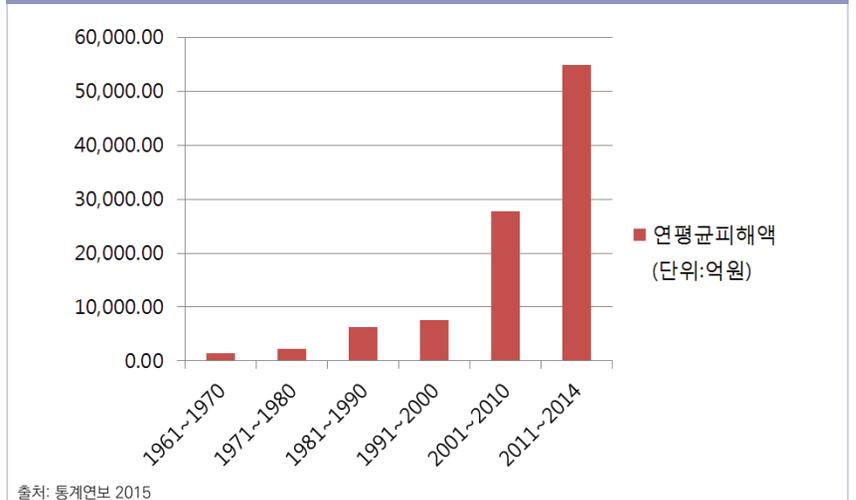
다수의 과학자들은 지구온도 증가에 기인한 기상변화의 하나로 극한기상(extreme weather events)의 빈도 증가 및 강도 상승을 주목하고 있다. 우리나라도 예외가 아니어서 2016년 8월의 경우 기록적인 폭염과 열대야 일수를 기록하여 전 국민이 불면의 밤을 보내기도 하였다. 극한기상(열파, 한파, 가뭄, 집중호우, 홍수, 폭설, 강풍) 현상은 인간 활동의 증가와 맞물려 기상재해의 복합 및 대형화를 야기

“ 2016년 전지구 해양과 육지의 평균온도 편차가 지난 150년 동안 최고치를 기록 ”

[그림 1] 1880년-2016년 기간 동안 전 지구 해양과 육지의 평균 온도 편차의 시계열



[그림 2] 한국의 기상재해로 인한 연평균 재산 피해액 추이



“ 2011-2014년 동안
기상재해로 인한
연평균 재산 피해액은
약 5조 5천억 원 ”

하고 있으며 이로 인해 사회·경제적 피해는 지속적으로 증가하고 있다(그림 2). 통계연보(2015)에 의하면 2011-2014년 간 우리나라에서 기상재해로 인한 연평균 재산 피해액은 약 5조 5천억 원으로 추정되며, 이는 2001-2010년(약 2조 7천억 원) 대비 약 2배, 1991-2000년(약 7천억 원) 대비 약 7배 이상 증가하였다.

우리나라뿐만 아니라 전 세계적으로도 극한기상 및 재해기상의 증가로 인한 인명피해는 크게 증가하고 있는 것으로 보고되고 있다. 2013년 세계 기상기구(World Meteorological Organization, WMO) 보고서에 의하면 극한기상을 크게 열파(heat wave), 한파(cold wave), 가뭄(drought), 폭풍(Storm) 그리고 홍수(Floods) 다섯 영역의 범주로 분류하였고 2001-2010 년 기간 동안 극한기상에 의한 사상자 수는 1991-2000년 기간 동안의 사상자 수보다 약 20% 증가하였다(WMO, 2013). 이와 같은 자연적 요인에 기인한 극한기상 또는 위험기상의 발생과 그에 따른 피해 증가의 감소를 위해 기존 현상 중심 예보의 한계에 대한 인식이 확대되고 있으며 현재 기상현상의 영향에 대한 정보를 낱씨 정보와 함께 제공하는 ‘영향예보’ 도입의 필요성이 크게 대두되고 있다. 즉 극한기상 및 위험기상이 동반하는 다양한 사회·경제적 피해로 인한 리스크 경감을 위하여, 영향예보로의 패러다임 전환 추진이 요구되고 있는 실정이다. 기상청에서도 이와 같은 필요성을 인지하여 2016년도에 영향예보 도입방안에 관한 기획연구를 통해 영향예보의 정책적 타당성 및 기대효과를 분석하였으며 향후 영향예보 도입을 위한 중장기 로드맵을 구체적으로 제시한 바 있다(기상청, 2016).

이에 본 고에서는 기상청에서 수행된 기획연구 결과를 중심으로 영향예보 서비스가 필요한 구체적인 이유를 좀 더 자세하게 살펴보고 현재 영향예보를 시행하고 있는 영국과 미국의 국외 사례를 소개한 다음 영향예보 서비스 확대에 필요한 정책적 타당성을 제시하고자 한다.

II. 영향예보 서비스의 필요성

서론에서 언급한바와 같이 지구온난화에 기인한 극한기상 및 위험기상 증가로 인한 피해는 기상정보와 함께 그 영향을 함께 예보할 때 그 손실의 크기를 줄일 수 있기 때문에 기상청의 영향예보 서비스는 중요한 당위성을 가지고 있다. 이와 함께 사회 및 산업 구조적 요인과 현행 일기예보 시스템의 구조적 원인 또한 영향예보 서비스의 필요성을 시사하고 있다.

먼저 위험기상 및 재해에 따른 사회·경제적 피해는 실제 기상예·특보에 대해 시민의 보호 및 재난관리를 담당하는 유관기관과 대중이 이해하는 잠재적인 영향의 차이에서 기인할 수 있다. 유관기관과 대중은 날씨가 어떠한 것이라는 인식은 있으나, 그 날씨가 미치는 영향에 대한 이해는 현재까지 부족하다고 할 수 있다. 이와 같은 이해의 차이는 결국 유관기관의 극한기상 및 위험기상의 대응책을 수립하는데 직접적인 영향을 줄 수 있으며 나아가 대중들 또한 이와 같은 기상에 대한 영향을 파악하지 못할 때 직접적인 피해를 입을 수 있다. 따라서 기상과 영향에 대한 이해의 차이를 줄이는 것은 손실을 완화하는 것과 직접적인 관련성을 가지고 있다. 결국 위험기상을 특보(주의보 및 경보) 수준 발표에 그치지 않고, 해당 현상으로 인한 위험요소와 이로 인한 영향에 이르기까지 통합적인 정보를 제공하는 것이 필요하다고 할 수 있으며 이와 같은 정보를 제공할 때 그 피해를 크게 줄일 수 있을 것이다.

도시화로 인한 인구밀집, 인구 고령화 및 1인 가구의 증가 등 사회 구조의 변화와 국민소득 향상으로 인한 레저 인구의 증가 또한 위험기상에 따른 기상재해 영향을 야기 할 수 있다. 사회적 요인의 변화는 위험 및 돌발기상과 재해에 대한 취약성을 증가 시킬 수 있기 때문에 이에 대한 효과적인 대응이 필요하다고 할 수 있다. 구체적인 예로 우리나라는 고령화 사회로 빠르게 진입하고 있다는 것은 잘 알려져 있다(그림 3). 우리나라의 고령인구(65세 이상)는 2010년 11.0%에서 2020년 15.6%로 그리고 2050년에는 38.2%로 증가할 것으로 전망되고 있는데 이와 같이 고령인구의 증가는 재해 위험사회로의 진입을 가속화 시키는 한편, 재해로 인한 영향의 양극화 현상을 심화시킬 것으로 예상되기 때문에 영향예보의 필요성은 더욱 시급하

“ 재해에 따른 사회/
경제적 피해는
재난관리 담당기관과
대중이 이해하는
영향의 차이에서 기인 ”

“ 2035년 1인 가구 중 60세 이상 노년층 비중이 과반을 넘을 것으로 예상 ”

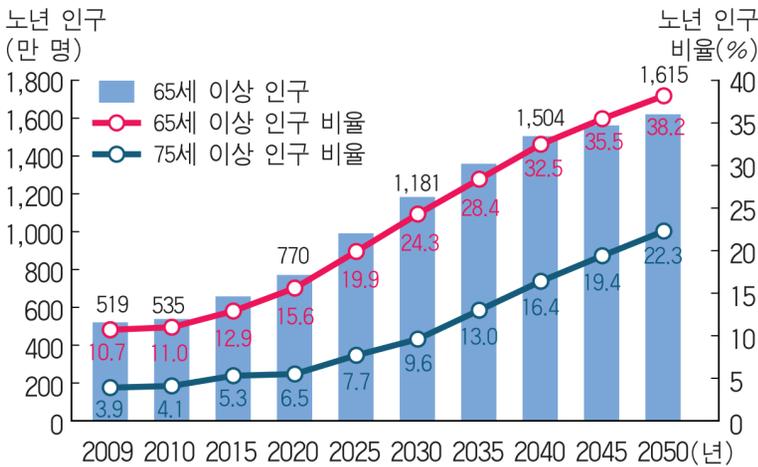
다고 할 수 있다.

고령인구의 증가와 함께 우리나라는 1인가구의 증가가 가속화 되고 있다(그림 4). 통계청의 조사에 의하면 1990년 까지만 해도 1인 가구가 전체 가구에서 차지하는 비중이 약 9%에 불과하였으나, 2010년에는 약 24%에 달하고 있다. 더욱이 인구 고

령화와 함께 2035년이 되면 1인 가구 중 60세 이상의 노년층이 절반의 비중을 넘길 것으로 예상된다. 앞에서 언급한 바와 같이 고령인구로 구성된 1인 가구의 증가는 위험기상 및 돌발 기상에 효과적으로 대처할 수 없는 사각지대가 될 가능성이 충분히 크며 그로 인한 인명 피해 또한 크게 증가할 수 있기 때문에 이에 대한 효과적인 대응이 필요하다.

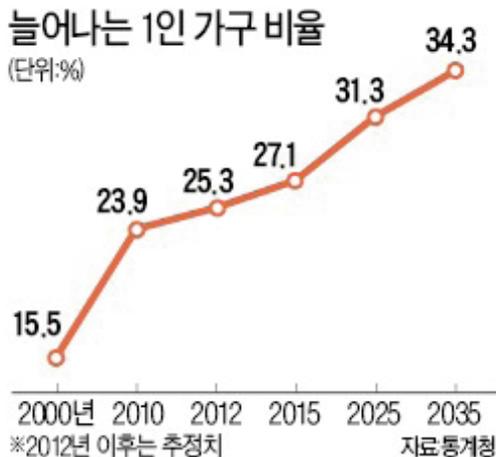
고령인구와 1인 가구의 증가와 더불어 레저 산업의 발달 또한 영향예보의 필요성을 증대시키고 있다. 2004년 7월 주5일 근무제의 시행에 따른 다양한 여가 활동(등산, 수상, 여행 등) 인구의 급증은 위험기상 및 재해의 노출 빈도를 증가시키고 있기 때문에 이에

[그림 3] 우리나라 노년인구 비율



출처: <http://study.zum.com/book/11476>

[그림 4] 우리나라 1인 가구 비율 및 추정치



“ 날씨에 직·간접적인 영향을 받는 산업이 GDP의 52%를 차지 ”

대한 대응으로 영향예보로의 전환이 필요하다.

한편, 우리나라의 사회 구조적인 변화와 함께 산업 구조가 복잡·고도화됨에 따라 날씨에 의한 영향이 산업 전반으로 확산될 수 있다. 특히, 우리나라는 농업, 수산, 건설, 관광 등 날씨에 직·간접적인 영향을 받는 산업이 국내총생산(GDP)의 52%를 차지하므로 위험기상에 따른 기상재해 영향이 증가할 수 있기 때문에 이를 최소화하기 위해 기상재해의 영향을 정확하게 파악하고 전달할 수 있는 예보체계의 도입이 요구된다고 할 수 있다.

산업적인 측면뿐만 아니라 경제적인 측면에서도 영향예보의 필요성이 고려될 수 있다. 경제적인 영향예보는 거시적 경제성뿐만 아니라 미시적으로 국내 민간 기상산업에 직접적인 영향을 미칠 것으로 생각할 수 있다. 기상정보는 항공/선박, 수산, 유통, 보험, 레저/관광, 교통, 수자원관리, 건설, 조선, 제조업 등 거의 모든 분야에서 활용되고 있으며 그 영향력이 점차 확대되고 있는 추세이다. 표 1은 2011년 산업별 기상관련 부가가치 창출의 예를 보여주고 있다. 지방자치단체 및 공/사기업들은 이미 기상정보를 자체적으로 활용해 방재, 에너지 및 농/수산업 등에 적용하고 있으며, 그 경제적 가치는 매우 크다. 특히 영향예보는 민간 기상산업의 기여가 필요하게 되는데, 이는 기상산업체의 수익 모델이 될 수 있다. 이미

〈표 1〉 산업별 기상관련 경제적 부가가치 창출 사례(한국기상산업진흥원, 2011)

산업 분야	기상관련 경제적 부가가치 창출 (산업 전체 매출액에서 기상현상에 종속적인 요인 도출)
방재	<ul style="list-style-type: none"> 자동화된 기상정보 시스템 구축을 통한 비용절감 재해경보시스템 구축을 통한 인명피해 재산 피해 방지 재난 대비 관련 상품 수요에 원활한 대응으로 매출 증대
농림 수산업	<ul style="list-style-type: none"> 파종/농약살포/관개/수확/출하시기 등 기상정보 활용을 통한 비용절감 병해방지, 이상기온 대비 등 농작물 피해 대비
에너지	<ul style="list-style-type: none"> 전력의 안정적 생산 및 공급관리로 비용절감
관광/레저/스포츠	<ul style="list-style-type: none"> 고객관리 : 예약/취소를 절감 시설관리 : 내부시설물/조경/공사/용수/전기/연료 등 비용절감 안전관리 : 낙뢰/호우/결빙/안개 등에 사전 대비 비용절감 인건비 절감, 공사비 절감, 원료비 절감 등 서비스/마케팅/이벤트 제공 할인행사 통한 매출 증대
항공/해운	<ul style="list-style-type: none"> 항공기, 선박의 안전운항으로 인한 피해액 절감 효율적인 도로 관리 결항/운항/회항/지연 등 사전예측을 통한 기회비용 절감
유통/물류	<ul style="list-style-type: none"> 최적의 유통 경로 추천, 재고관리, 판매량예측, 날씨에 따른 입점객수 변화 통계, 폐기물량 감축 등 효율적인 경영으로 인한 비용절감 계절상품의 수요예측을 통한 매출 증대 상품 구색 및 전략상품 선정으로 매출 증대
건설/조선	<ul style="list-style-type: none"> 기상예보를 통한 공사 스케줄 작성 - 공사중단에 따른 손실비용, 작업 불능 일수, 현장 안전관리 대비 등의 공정관리비용 절감 부실공사예방
보험	<ul style="list-style-type: none"> 재정손실보험, 행사취소보험, 컨틴전시보험, 풍수해보험/물가전망, 손실 피해액산정 등 날씨관련 보험
미디어	<ul style="list-style-type: none"> 일상생활에 필수적인 기상정보를 제공함으로써 기상정보 수요자를 광고에 노출시키고, 상품의 접근 매개체로 기상정보를 활용하여 광고비용 수익을 창출

“ 위험기상에 대한 영향 가이드라인 수립과 선제적 의사결정 지원시스템이 요구 ”

일부 민간 기상산업체에서 기상청의 일기예보 및 계절예보 자료를 이용해 컨설팅을 수행하고 있으나, 아직 시장이 활성화 되진 않은 상태이다. 영향예보를 통한 기상청과 기상산업의 역할 분담(예를 들면, 기상청은 중앙 부처 및 도 단위 지방자치단체, 민간 사업체는 시·군단위 지자체 및 공/사기업체 등)은 국가기관과 민간 사업자간의 동반 성장 계기가 될 수 있을 것으로 사료되며 특히 기상정보의 유용성에 대한 인식 개선과 저변 확대는 민간 기상산업체가 고부가가치 사업 모델을 구축하는데 크게 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

마지막으로 현행 일기예보 시스템의 구조적 원인 또한 영향예보로의 전환을 요구하고 있다. 기상현상에 대한 예보가 중심이 되어 있는 현행 일기예보를 활용하기에는 유관기관이 빠른 의사결정과정을 통해 위험기상 및 재해에 대비할 수 있는 충분한 시간이 부족하다. 또한 기존의 일기예보에서 제공되는 재해기상에 대한 특보(주의·경보)에 대해 각 유관기관이 해당 사항에 대한 영향을 주관 혹은 임의적으로 판단/대응할 수 있다. 따라서 기상재해가 발생할 수 있는 위험기상에 대한 객관적이며 구체적인 영향 가이드라인 수립과 그에 맞는 선제적 의사결정지원시스템이 요구된다. 즉 기상재해에 따른 사회·경제적 리스크 경감을 위해서는 동일한 날씨에서도 때와 장소에 따라 다르게 나타나는 기상현상의 영향을 상세한 기상정보와 함께 조기 전달하는 것이 필요하다고 할 수 있다.

III. 영향예보의 해외 사례

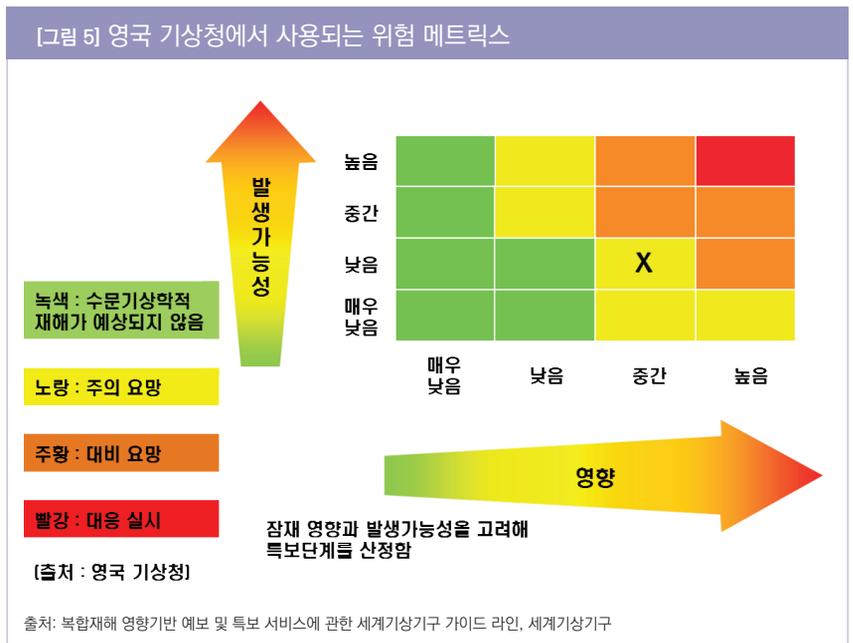
WMO는 이미 재해 영향을 파악하여 예보서비스에 관한 가이드라인을 구축하고, 각국 기상청에 영향예보의 중요성을 강조하고 있다. 실제로 영국과 미국을 비롯한 기상 선진국에서는 이미 ‘영향예보’를 부분적으로 실시하고 있다. 영국의 경우 비, 바람, 눈, 결빙, 안개 등 5개 현상에 대해 영향기반 특보를 수행 중이다. 위험기상 발생가능성과 영향 정도에 따라 특보를 발표하고 있으며, 세부적인 영향 산출을 위해 기상재해·취약성·노출을 모두 고려한 ‘재해영향모델’ 구축을 추진하고 있다. 미

“ 비, 바람, 눈, 결빙, 안개에 대한 위험 매트릭스 기반 특보를 발표하는 영국 ”

국의 경우, 토네이도와 뇌우 등 특정 위험기상에 대한 영향기반 특보를 수행 중에 있으며 영향예보를 다양한 분야로 확장하고 있다. 다음절에서는 영국과 미국의 영향예보 사례에 대해 좀 더 구체적으로 살펴보도록 한다.

1. 영국

영국은 위험기상 발생가능성과 영향 정도에 따라 비, 바람, 눈, 결빙, 안개 등 5가지 기상현상에 대해 최대 5일 전부터 위험 매트릭스 기반의 특보를 발표하고 있다 (그림 5). 위험 매트릭스는 크게 발생가능성과 영향을 두 축으로 하고 있으며 잠재적인 영향과 발생 가능성을 고려해 특보단계를 산정하고 있다. 예를 들면 강우 현상이 예보되었을 경우 수문기상학적 재해를 야기할 수 있는 강도의 폭우 발생가능성이 낮고 재해가 예상되지 않을 경우 녹색 계통의 특보 결과가 발표되는 반면, 그 영향과 발생 가능성이 높을 경우 붉은색 계통의 예보가 발표되어 즉각적인 대비와 대응을 수행하도록 유도한다.

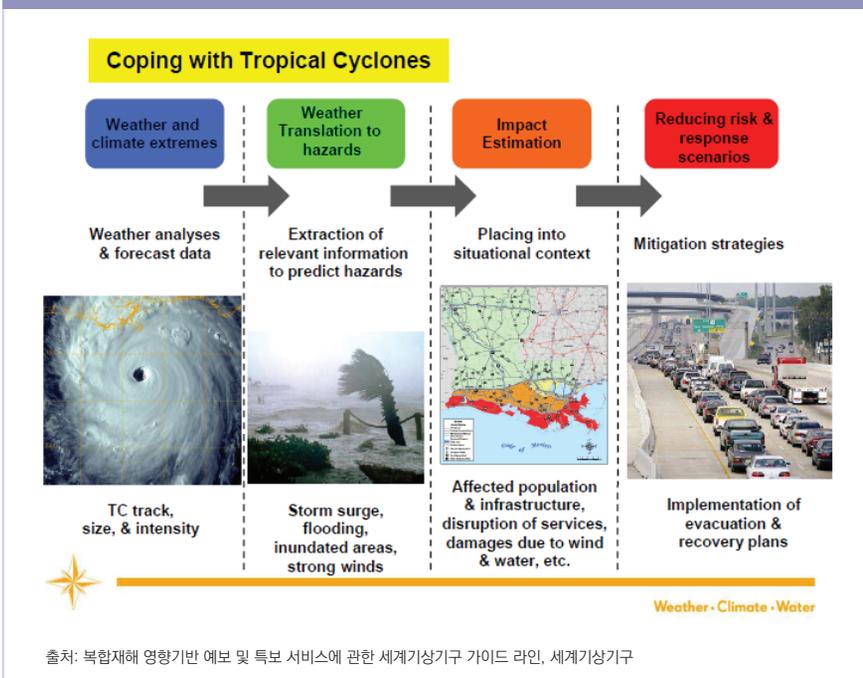


좀 더 구체적으로 열대성 저기압(tropical cyclone)에 대처하는 영향예보 체계를 그림 6이 보여주고 있는데 기상청에서 열대성 저기압에 대해 강도, 크기 및 진로에 대한 구체적인 예보가 발표되면 이를 통해 재해를 예측할 수 있는 구체적인 정보를 생산하는 시스템의 기초 자료로 사용된다. 즉 열대성 저기압으로 말미암아 야기될 수 있는 폭풍 해일(storm surge), 홍수, 강풍, 돌풍 등의 재해기상 및 예측 정보가

“ 재해·취약성·노출을 모두 고려한 '재해영향모델' 구축 ”

함께 고려되면서 그에 따른 영향을 추정하게 된다. 이 과정에서 구체적으로 재해의 직접적인 영향을 받을 수 있는 지역이 정해지고 해당 지역의 사회·경제적인 요소가 고려된 피해 정보가 발표된다. 그 결과 피해를 최소화하기 위한 구체적인 대응 전략이 함께 실행되면서 즉각적인 예방활동이 이루어지는 것이다.

[그림 6] Tropical cyclone 과 관련된 영향예보 체계도



출처: 복합재해 영향기반 예보 및 특보 서비스에 관한 세계기상기구 가이드 라인, 세계기상기구

특히 영국에서는 세부적인 영향 산출을 위해 기상 재해·취약성·노출을 모두 고려한 '재해영향모델'구축을 추구하고 있다. 이를 위해 2011년 영국에서는 정부 부처 간 재해관리의 일관성, 품질과 재해에 대한 계획, 준비, 특보 및 대응을 향상시키기 위해 자연 재해 파트너십(NHP, Natural Hazards Partnership)을 설립하였으며 이 파트너십에 참여하고 있는 기관들

은 영국 내부에서 재해 관련 연구에 선두적인 역할을 하고 있다. 특히 영국에서 영향예보의 기본방향은 기상·기후 서비스를 통한 국민 보호와 정부·기업 지원에 있으며 향후 추진전략으로는 앙상블 기반의 시·공간적 상세예보 생산 기술 고도화, 학·연·관 협업 및 소통 강화, 역량강화를 위한 내부교육 활성화 및 응용기상/기후변화 관련 컨설팅 실시가 있다. 나아가 미래 계획으로는 상세한 영향을 산출하기 위하여 기상재해·취약성·노출을 모두 고려할 수 있는 재해영향모델을 개발 중에 있는 것으로 알려져 있다.

“ NSW는 기후현상에 대한 영향을 국민들에게 전달하는 IDSS도입 예정 ”

2. 미국

미국은 2012년부터 5개 Weather Forecast Office에서 토네이도와 뇌우 등 특정 위험기상에 대한 영향기반 특보를 수행 중에 있으며, 일부지역 기상청에서는 홈페이지나 SNS를 활용하여 기상예보 시 기상현상으로 인한 영향정보를 함께 제공하고 있다. 현재 영향예보를 다양한 분야로 확장하고 있으며 특보문 내에 위험기상의 영향에 대한 개괄적 정보를 포함하여 제공하고 있다. 미국 영향예보의 기본 방향은 새롭게 진화하는 사회 니즈 대응을 위한 의사결정 지원을 큰 목표로 하고 있으며, 이 목표를 수행하기 위한 기본 추진전략으로 산출물 기반에서 영향기반의 의사결정 지원 서비스로 전환, 의사결정 지원을 위한 예보관 역량 강화, 과학기술 고도화 및 지속적이고 신속·유연한 추진체계 구축이 있다. 특히 향후 미국에서 영향예보의 미래 계획으로 National Weather Service (NWS)에서는 날씨, 수문 및 기후 현상에 대한 사회, 경제 및 환경적 영향을 국민들에게 전달하기 위한 서비스의 일환으로 현재 소위 Impact-based Decision Support Service (IDSS) 개념을 도입할 예정이다(그림 7). 구체적인 예로 전통적인 NWS의 기상예보가 ‘오후에 ○○ 지역에 뇌우가 발생할 가능성이 60%’였다면, IDSS는 “오후 2시에서 4시 사이에 발생할 뇌우로 인해 30-60분의 비행 지연이 일어날 것으로 예상되며 뇌우로 인한 낙뢰 가능성이 있기 때문에 해당 지역 주민들은 대피소로 피신해야 한다.”의 형태로 예보된다.

그림 7 IDSS (Impact-based Decision Support Service) 개념을 보여주는 모식도



“ 국민이 필요로 하는
영향예보 제공,
정확하고 상세한
기상정보 생산,
한 발 빠른 국가
재난 관리 지원 ”

IV. 제언 및 결론

최근 기후변화로 인한 극한기상의 발생빈도 증가와 도시화, 인구 고령화, 1인 가구의 증가, 그리고 레저 산업의 발달 등과 같은 사회 구조의 변화와 함께 산업구조의 복잡, 고도화로 위험 및 재해기상현상이 사회·경제에 끼치는 영향은 날로 증가하고 있다. 이에 따라 기존의 기상현상 중심의 수동적인 정보제공에서 나아가 기상현상의 사회·경제적 영향을 직접적으로 분석하고 전달하는 영향예보의 필요성이 어느 때보다 시급하다고 할 수 있다.

영향예보는 기상현상으로 인해 예상되는 사회·경제적 영향을 위험 및 취약성을 고려하여 상세한 기상정보와 함께 전달하는 예보로 정의할 수 있다(기상청, 2016). 즉 재해기상으로 인한 위험 및 취약성은 같은 현상이라도 지역 및 제반 환경에 따라서 발생하는 영향이 다르게 나타날 수 있기 때문에 이를 고려한 기상정보와 영향을 함께 전달하는 것이 필요하다. 이를 위해서는 우리나라 전 지역의 재해기상에 기인한 위험 및 취약성 분석 자료가 기본적으로 필요하다. 즉 주요 재해기상에 대해 다양한 사회, 경제 및 산업적 요소가 고려된 위험 및 취약성 지도를 구축해야 한다. 위험 및 취약성 지도가 구축되면 영향예보의 불확실성이 크게 감소될 것으로 생각된다.

또한 기상청은 효과적인 영향예보를 위해서 1)“국민이 필요로 하는 영향예보 제공”, 2)“정확하고 상세한 기상정보 생산”, 3)“한발 빠른 국가재난 관리 지원”의 세 가지 중점 목표를 수립하였다(기상청, 2016). 특히 영향예보의 형태로 전달되는 정보의 추가적인 경제적 가치를 크게 위험기반 예보와 영향기반 예보 두 가지 사항을 고려해 분석한 결과 직접적 편익은 앞으로 25년간 총 13조 2,771억 원 수준으로 분석되었으며, 간접적 편익은 연평균 4,744~5,513억 원에 이르는 것으로 평가되었다. 이와 같은 편익은 영향예보 정보를 향후 어떻게 활용하느냐에 따라 크게 증가할 수도 있을 것이다.

영향예보의 성공적인 실현을 위해서는 예보업무를 담당하는 국가기관인 기상청의 적극적 주도 아래 영향예보에 필요한 기술개발을 고도화 할 필요가 있다. 이를

“ 국민들의 관심,
기관간 협조체계,
교류 및 협업을
통한 영향예보 발전 ”

위해서는 무엇보다도 정확하고 상세한 기상정보 생산은 두말할 나위 없이 선행되어야 할 중요한 과제라 할 수 있겠다. 영향예보의 성공적인 도입을 위해서는 국민들의 관심과 지원 아래 영향예보와 연관된 다양한 국가기관들의 긴밀한 협조체계가 중요할 것으로 생각된다. 이를 위해서는 지속적인 대국민 홍보와 함께 영향예보 분석에서 관련기관 전달에 이르는 효율적인 범부처 협의체를 추진해야 할 것이다. 나아가 영향예보 기술의 고도화를 위해서는 관련 학계 및 전문가 집단들과의 지속적인 교류 및 협업을 확대할 필요가 있다. 이러한 협력체계 구축을 통한 새로운 전문 인력풀의 교육과 양성은 보다 정밀한 영향예보기술 개발의 밑거름이 될 것이며, 나아가 기상청이 다양한 분야에서 새로운 산업의 개척을 주도하는데 도움을 줄 수 있을 것으로 사료된다.

참고문헌

- 기상청, 2016: 영향예보 도입방안에 관한 기획연구, 187pp.
한국기상산업진흥원, 2011: 기상산업 현황조사 및 전망분석 기획연구.
WMO, 2013: The Global Climate 2001 - 2010: A Decade of Climate Extremes, 110pp.

교통안전관리를 위한 도로기상정보 활용 - 영향예보 비전과 추진 방향 -

손영태 명지대학교 교통공학과 교수 son@mju.ac.kr

- I. 서론
- II. 도로기상정보시스템 개요
- III. 도로기상정보시스템의 국내외 활용사례
- IV. 도로기상정보시스템의 발전방향
- V. 맺음말

도로기상정보시스템은 도로변 기상현상 및 변화에 대한 정보를 수집하고 일부 구간에서는 노면상태를 측정하는 등 도로운영과 관리에 필요한 기상정보를 수집하고 가공하여 이용자에게 정보를 제공하는 기술을 의미한다. 도로기상정보는 광역 기상자료와 도로변에 구축되어 있는 계측장비를 통해 수집된다. 정확한 정보를 수집하기 위해서는 계측장비를 도로변에 조밀한 간격으로 설치하는 것이 필수적이지만, 이는 현실적으로 불가능하다. 도로기상 자료의 수집 및 활용 한계를 극복하기 위한 다양한 시도가 요구되는데, 첫 번째로 도로를 주행하는 수많은 차량들의 유사 기상계측 장비를 활용한 빅데이터 기반 수집 방법, 두 번째, 방대한 자료를 효율적으로 처리·배포하기 위한 IoT의 적극적 활용이다. 관련기술의 발달은 현재 방송이나 도로전광판을 통해 간헐적으로 전달되는 지엽적 필요정보를 운전자의 위치에 따라 실시간으로 전송할 수 있게 되고, 적절한 도로 및 교통관리를 신속하게 수행하게 되어 도로교통 안전도를 획기적으로 개선하게 될 것이다. ■

“ 도로상의 위험기상은 도로시설물 파손, 교통혼잡 등의 사회적 손실을 야기 ”

I. 서론

기상은 인간 생활 전반에 걸쳐 영향을 주는 요소로, 도로 및 교통과도 밀접한 관계를 가진다. 특히 기상악화에 대한 적절한 대응체계 부족은 도로시설물의 파손과 같은 직접적인 피해 이외도 교통혼잡과 같은 사회적 비용 증가 및 손실로 이어지게 된다. 특히 겨울철에는 기온저하와 강설 등의 기상악화로 인한 도로의 결빙 등이 겹치면서 계절 특유의 교통사고 등의 문제가 발생한다. 겨울철 도로결빙현상은 교통사고의 주요 위험요소로서 2016년 1월 호남고속도로에서 발생한 60중 추돌사고와 2004년의 충청권 폭설로 인한 고속도로 마비현상 발생이 그 사례이다. 이처럼 도로결빙은 대형사고를 유발하고 도로가 마비되어 그 피해가 막대하다 할 수 있다.

[그림 1] 호남고속도로 60중 추돌사고 (2016년1월)



자료: 공감언론 뉴시스(<http://www.newsis.com>)

[그림 2] 충청권 폭설로 인한 고속도로 마비(2004년3월)



자료: 조선일보(<http://www.chosun.com>)

재난에 가까운 이러한 대형사고들은 극심하게 변하는 기상상태에 따른 것으로 1990년대 까지만 해도 자연현상에 따른 피해는 어쩔수 없는 것으로 인식되어 왔다. 그러나 최근 기상예측기술과 정보통신기술의 발달로 도로주변에서 발생하는 기상현상 및 이에 따른 도로상태의 변화를 예측하는 기술이 진보하고 있다. 예측된 도로주변 기상상태와 노면의 상태를 운전자에게 알려주어 대비하게 하고 도로관리당국은 적절한 도로·교통관리를 사전에 수행하여 그 피해를 최소화할 수 있다. 이런 측면에서 도로기상정보시스템은 도로관리를 위한 핵심기능인 주요 정보수집을

“ 도로변 기상정보를 수집하여 이용자에게 제공하는 기술인 RWIS ”

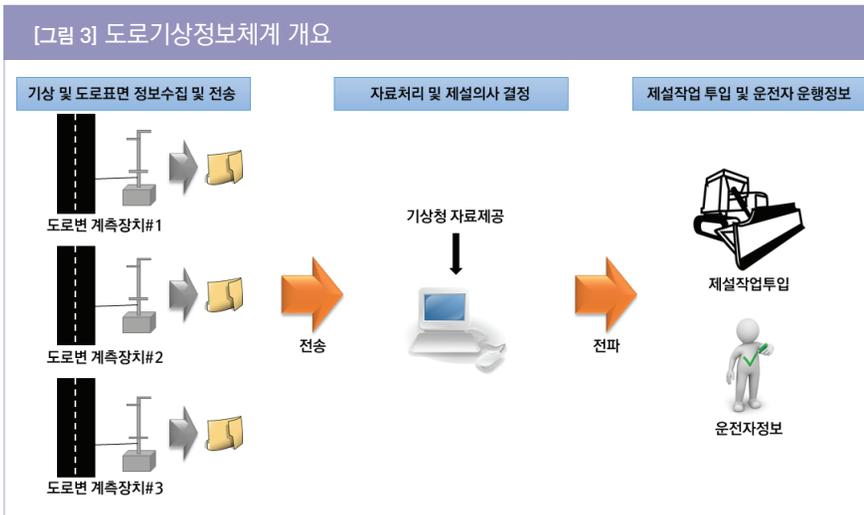
수행하고 있어, 그 중요성이 날로 커지고 있다. 본 고에서는 현재 도로기상정보시스템의 현황과 국내외 활용사례를 기초로 최근의 연구동향을 살펴보고 앞으로 도로기상정보시스템의 발전방향을 살펴본다.

II. 도로기상정보시스템 개요

현재 기상자료는 도로관리 분야에서 방송, 인터넷, 등의 예보를 통해 작업관리자 대기, 작업방법 결정 등에 활용되고 있다. 하지만 예보보다는 현황을 파악하는 수준에서 주로 활용되고 있고, 도로관리당국은 도로변에 기상정보수집시스템을 설치하여 도로관리 및 운전자를 위한 기상정보를 관측하고 있다. 일반적으로 도로기상

정보시스템(RWIS, Road Weather Information System)은 도로변 기상현상 및 변화에 대한 정보를 수집하고 일부 구간에서는 노면상태를 측정하는 등 도로운영과 관리에 필요한 기상정보를 수집하고 가공하여 이용자에게 정보를 제공하는 기술을 의미한다.

[그림 3] 도로기상정보체계 개요



도로기상정보시스템은 도로 및 교통문제를 첨단기술을 활용하여 효율적으로 해결하려는 지능형 교통체계(Intelligent Transport System; ITS)사업은 1990년대 초반 시작되어 기획단계 및 현장시험, 시범운영을 거쳐 현재 서비스 제공단계에 이르고 있다. 도로기상정보시스템은 도로상태와 관련된 모든 정보 즉, 기상자료와 노면의 관측자료를 수집하고, 이를 바탕으로 정밀한 예측기술을 통해 미래 기상과 노

“ RWIS의 수행을 위해 도로변 기상 관측장비와 노면온도 측정센서가 활용 ”

면상태를 예측하며 예측된 도로관련 상태를 도로관리자에게 전송하는 한편, 운전자에게 관련 정보를 제공하는 등 필요한 도로관리 작업(제설작업 투입 여부와 제설제 사용량, 그리고 교통통제 여부 등)을 수행하게 된다. 도로노면 및 대기상태를 관측하여 실시간으로 모니터링할 수 있기 때문에, 특히 겨울철 노면 온도변화 추이, 제설 투입시간, 작업량 등의 예측이 가능해져 보다 효율적이고 체계적인 도로운영이 가능하게 한다. 뿐만 아니라 교통통제여부, 제한속도 변화에 적용함으로써 보다 안정적인 교통류상태 유지가 가능하다.

도로기상정보시스템의 성공적인 수행을 위해 다양한 기상자료와 도로 및 노면에 대한 정보를 수집해야 하는데, 그림 4와 5처럼 도로변에 설치된 계측장비 및 노면상태 수집장비가 활용되고 있다.

현장에서 수집한 자료가 현재의 도로 기상 상태인 반면, 이를 예측하여 선제적인 대응을 하기 위해서는 향후 2-3시간 후의 자료가

도움이 될 것이다. 노면온도 및 상태의 예측은 그림 6에 나타난 바와 같이 주로 열수지와 열전도에 의해 산출되는데, 예측정확도는 모형의 입력자료인 기상자료의 예측정확도에 의존하게 된다.

[그림 4] 도로변 기상관측장비



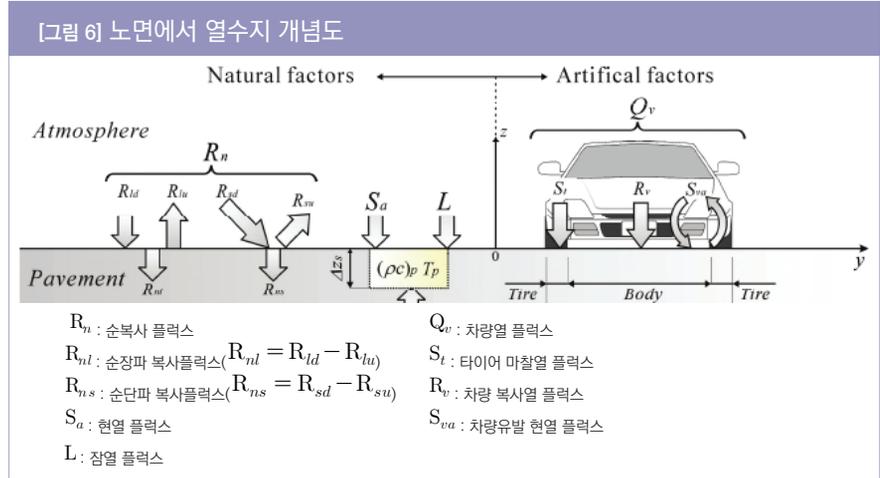
[그림 5] 노면온도 측정센서



<표 1> 도로기상정보 수집자료

구분	수집장비	수집자료
기상자료	도로변 기상관측장비	대기온도, 강수량, 강수형태, 시정거리, 대기압, 대기습도, 풍속, 풍향
도로노면자료	접촉식/비접촉식 노면상태 관측장비	노면온도, 노면상태(습윤, 건조, 결빙, 셔벗, 적설)
미기상정보	기상청	대기온도, 기압, 습도, 하향복사에너지, 장파복사에너지
교통량자료	교통량 정보 수집장비 (Vehicle Detect System)	교통량

“ 미국은 온·습도, 시정거리, 풍향/풍속, 노면온도, 결빙온도 등을 활용 ”



III. 도로기상정보시스템의 국내외 활용사례

1. 국외 도로기상 정보시스템 구축현황

1) 미국

미국은 기상변화에 관계없이 도로의 최적상태를 유지하기 위한 노력의 일환으로 수년전부터 도로기상정보시스템과 도로관리지원시스템을 구축하여 운영 중에 있다. 시스템을 위해 대기 온·습도, 시정거리, 풍속, 풍향, 강수형태 및 강수량, 운량, 노면온도, 결빙온도, 노면상태, 지중온도, 도로변 강이나 호수의 수위 정보 등의 기상자료를 수집하여 활용하고 있다. 미국기상청(National Weather Service)은 국가해양대기청(National Oceanic and Atmospheric Administration)에 소속되어 있고 1995년에 미국 연방도로관리청과 국가 해양 대기청간의 MOU 체결에 따라 도로기상과 관련된 다양한 조사·연구를 수행하며, 도로기상정보 시스템을 구축하여 도로변 기상자료 전송 및 수집, 현재상태/예보 등의 상황을 도로관리자와 운전자에게 제공하고 있다. 미국 연방도로관리청에서는 도로기상정보시스템에 대

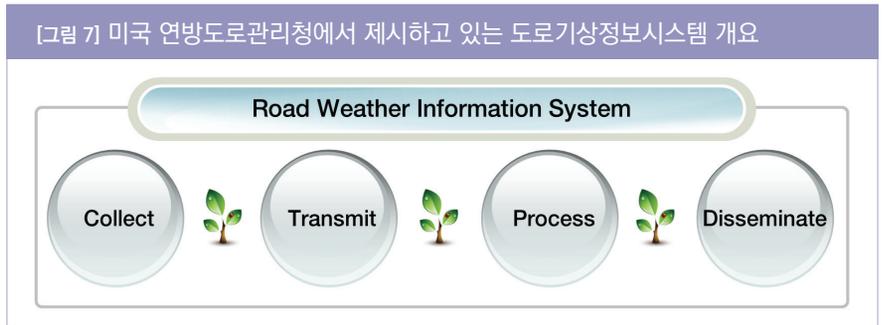
한 개요를 그림 7과 같이 제시하고 있는데, 센서로부터 데이터를 수집하고(collect), 수집된 데이터를 센터로 전송(transmit), 수집된 데이터를 처리하여 노면 결빙정보나 미끄럼 정보 등 의사결정에 필요한 결과물로 처리(process), 처리된 결과를 제공(Disseminate)하는 절차 등을 총칭하여 도로기상정보시스템으로 구분하고 있다.

미국의 도로기상정보 시스템은 특히 겨울철 도로 관리의 효율화에 크게 기여한 것으로 나타나고 있다. 아이다호 주에서는 도로기상정보시스템 구축 전후를 비교·분석한 결과 제설제 사용량 83%, 인력 투입시간 62%, 사고건수 83%가 감소하는 등 3가지 효과척도에서 모두 긍정적인 결과를 보여주었다.

도로기상정보시스템의 효과를 바탕으로 미국 연방도로관리청(Federal Highway Administration; FHWA) 교통국에서는 2001년에 겨울철 도로관리지원시스템(winter road Maintenance Decision Support System; MDSS)을 개발하여 기술적 진보에 따라 2007년 11월부터 자동 차량위치 데이터, 트럭 카메라 영상, 고정된 장소의 웹캠 이미지, 그리고 RWIS 지점 등의 지점 기상예측데이터를 활용한 ver 6.0이 가동 중이다. 기상 예측 데이터는 포장 열평형 모델(METRO 등)에 활용되며, 도로 노면과

“ 제설제사용량 83%, 인력투입시간 62%, 사고발생건수 83% 감소에 기여한 RWIS ”

[그림 7] 미국 연방도로관리청에서 제시하고 있는 도로기상정보시스템 개요



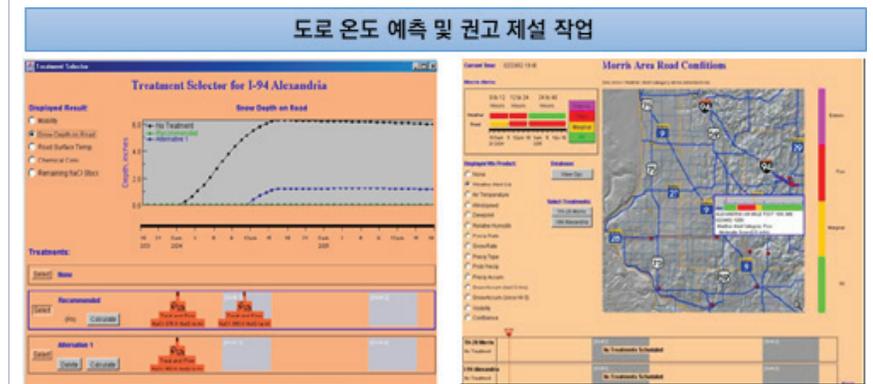
[그림 8] 미국의 주간 고속도로 기상정보 제공 사례



“ 무선통신망을 통해 제설차량 위치, 제설제 사용량 등을 실시간으로 파악 ”

지중 온도, 각 시간대별로 도로에 쌓인 눈의 깊이, 가정된 시나리오에 따른 도로 상태의 결과 등을 예측하고 시간대별 제설제 권고 살포량을 제시해준다.

[그림 9] 미국 MDSS 시스템



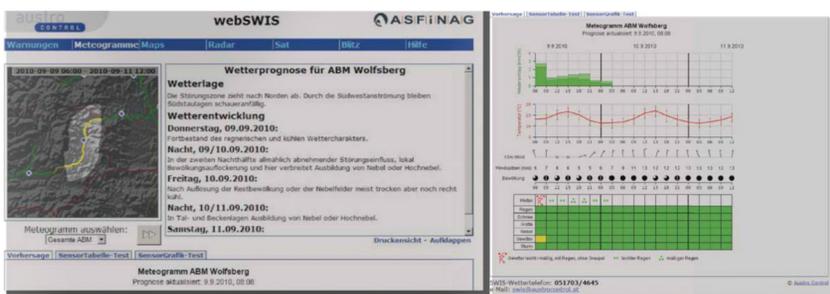
자료: https://www.researchgate.net/figure/228705685_fig3_Figure-5

3) 오스트리아

전국적인 도로 기상정보 관측 장비가 설치·운영되고 있으며, 오스트리아 정부의 자회사인 ASFiNAG의 자체 통신망을 이용하여 도로변 기상 정보를 수집하고 있다. 또한, 무선통신망을 통해 제설 차량의 작업 위치, 제설 spreader의 동작 여부, 사용한 제설제량의 실시간 파악이 가능하다. 제설제를 도로에 살포한 후, 도로노면에

설치된 능동형 결빙감지센서를 통해 도로노면의 결빙점을 실시간으로 파악하고 있으며, 자료를 축적을 통해 다음 제설작업 수행 결정에 사용하고 있다. 미국의 경우와 유사하게, 의사결정지원시스템에 의한 제

[그림 10] 오스트리아 webSWIS



자료: <https://www.yumpu.com/en/document/view/5734549/>

“ JMA가 기상정보 수집, JMBSC는 제공, 민간기업이 구입하여 일반에 판매하는 구조 ”

어와 기상청에서 제공하는 자료, 도로변 기상관측장비에서 취득한 자료를 통해 정확한 기상 및 노면상태 예측을 수행하고 이를 운전자에게 제공하고 있다.

현재 도로기상정보시스템의 지속적인 데이터베이스 구축과 함께 비용-편익 분석을 수행하고 있다.

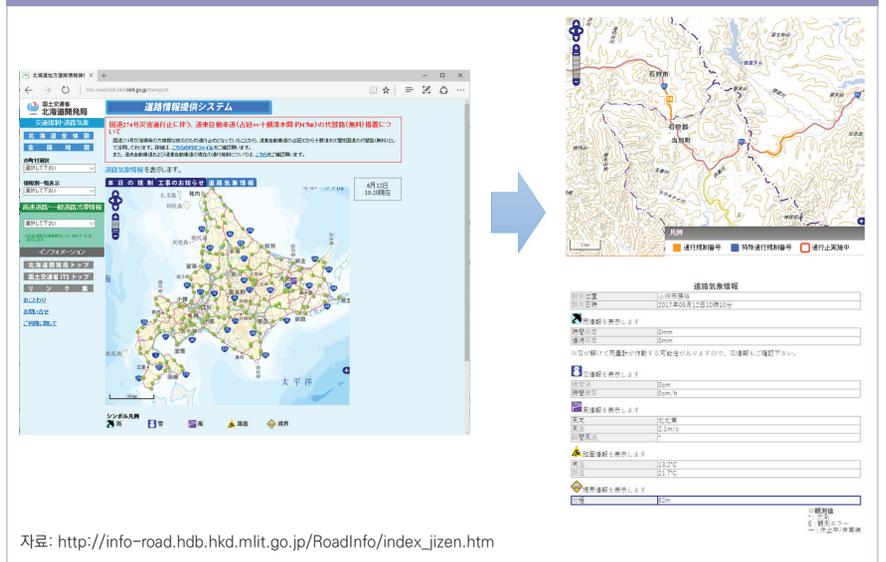
4) 일본

일본은 국토교통성(Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism) 산하 도로관리국에서 도로를 관리하고 있으며, 총 1,000여개의 도로기상관측장비가 설치되어 있다.

일본은 특히 북해도를 중심으로 도로기상에 대한 연구가 활발히 진행되고 있는데, 주요 도로기상정보는 일본의 기상청인 Japan Meteorological Agency에서 수집·예측하여 JMBSC(Japan Meteorological Business Support Center)에 제공하고, 민간 기상회사에서 이를 구입하여 고객에게 필요한 자료로 변환·제공한다.

국토교통성은 도로정보시스템을 구축하여 인터넷을 통해 각 지방 정비국이 관리하는 도로 정보를 제공하고 있다. 일본은 지형 특성상 산악지형이 많은 곳에 도로정보와 별도로 기상정보를 제공하고 있다. 현재 제공되는 기상정보의 경우 노면온도 예측을 제공하고 있으며, 동절기 노면 마찰력 정보에 대해서는 현재 시스템을 구축하고 있다. 노면온도예측 정보의 경우 GIS를 이용하여 제공

[그림 11] 일본의 동절기 유지관리 시스템(북해도의 예)



“ 국내 도로기상관측
간격은 고속도로
122km, 일반국도
343km로 상세
관측은 무리 ”

하고 있으며, 노선에 대한 예측뿐 아니라, 한 지점에 대한 예측정보를 제공할 수 있다. 이 때 노선에 대한 예측의 경우 수많은 thermal mapping 정보를 누적하여 지점 온도와 연관성을 찾아 활용하고 있다.

2. 국내 도로기상 정보시스템

현재 도로관리를 위한 기상자료는 TV, 인터넷 등의 예보를 통해 작업관리자 대기, 작업방법결정 등에 활용되고 있다. 도로관리청은 기상예보와 더불어 도로변에 도로기상정보수집시스템을 설치하여 도로관리 및 운전자를 위한 기상정보를 관측하고 있는데, 수집시스템은 풍향·풍속센서, 대기온·습도, 대기압, 강우, 강우량, 시정계 등 다양한 센서를 통합적으로 설치하여 도로구간 중 특정 지점에서의 기상정보를 수집하고 있다. 국내의 도로변 기상관측은 외국에 비하면 아직 인프라 구축면에서 다소 부족한데, 고속도로의 경우 평균 설치간격이 122km당 1개소, 일반국도는 343km당 1개소가 설치되어 있어 다양한 도로변 기상상황을 관측하기에는 무리인 상태이다.

그러나 특정 목적을 가진 도로기상정보시스템이 고속도로에 존재하는데, 주로 결빙이 자주 발생하는 곳을 위주로 설치되어 있는 것이 특징이다. 한국도로공사가 관할하고 있는 청원-상주 간 고속도로의 경우, 총 6개 지점에 도로변 기상관측장비가 설치·운영되고 있는데 이 구간 중 문의교, 화서교, 청원방향 24km 지점에 설치된 센서들은 결빙취약구간으로 선정되어 설치된 곳이다. 각 지점에서 측정된 노면온도와 기상청에서 제공하는 동네예보를 통해 제설작업투입 여부에 대한 의사결정에 활용되고 있다.

인천대교에서는 5개 지점에 관측장비를 설치하여 풍향, 풍속, 노면온도, 가시거리 등의 자료를 수집하고 있다. 또한, 순찰차량과 제설차량에 GPS를 장착하였고, CCTV, VDS, 레이더 검지기를 설치하여 1)도로변 기상관측장비 및 기상청 제공 기상정보 수집, 2)중앙상황판 표시, 3)도로 관리자가 상황판 내용 확인, 4)관리자 판단 후 관련 정보를 VMS에 표출하는 체계가 구축되어 있다.

“ 차량의 레인센서를 활용하여 전국 도로망의 강우자료 수집에 활용 가능 ”

IV. 도로기상정보시스템의 발전방향

도로기상정보는 전통적으로 미기상정보를 기반으로 한 광역 기상자료와 도로변에 구축되어 있는 도로변 계측자료를 통해 수집된다. 따라서 정확한 정보를 수집하기 위해서는 무엇보다 계측장비를 도로변에 조밀한 간격으로 설치하는 것이 필수적이다. 그러나 이는 전국의 도로망을 감안할 때 천문학적인 비용이 소요되며, 운영 및 관리 측면에서도 부담이 클 수밖에 없다. 따라서 국내뿐만 아니라 국외에서도 이와 같은 계측장비들은 고속도로 등 교통량이 많거나 국가의 기간망에 해당되는 주요 간선도로 위주로 설치되는 경향이 있다. 이와 같이 도로기상 자료의 수집 한계를 극복하기 위한 다양한 시도가 요구되는데, 그 한 가지 방안은 도로를 주행하는 수많은 차량들의 유사 기상수집 장비를 활용한 빅데이터 기반 수집을 고려할 수 있다. 최근 다양한 센서를 장착한 차량들이 판매되고 있는데, 차량에 장착된 기기들 중 기상 관련 센서를 통해 기상자료를 수집·처리 하는 것이다. 또 다른 한 가지 방법은 도로관리를 위해 도로에 설치되어 있는 기존 장비를 활용하는 것이다.

1. Big Data 를 이용한 도로기상자료 수집

도로에는 하루에도 수많은 차량이 주행하고 있으며, 차량들에는 안전하고 편리한 운전을 위해 다양한 센서가 장착되어 있다. 특히 최근에 출시되는 거의 모든 차량에는 강우와 강우량을 자동으로 감지하는 장치(Windshield wiper)가 장착되어 강우정도에 따라 wiper의 작동속도가 변하도록 설계되어 있다. 따라서 각 차량들이 사용하고 있는 레인센서를 활용할 경우 개별 차량은 일종의 이동식 센서역할을 하게 되고, 전국적으로 수백만 대의 차량에서 수집된 강우정보는 Big Data로서 전국 도로망의 강우자료 수집에 활용될 수 있다. 각 차량의 강우센서를 기상정보수집에 활용하기 위해서는 보다 정확한 강우정보를 생산하기 위해 측정 정확도를 높여야 하는데, 이를 위해 강우센서의 감지량과 실제 강우량과의 관계를 정의하여 와이퍼 속도-센서감지량-강우량과의 관계를 규명하기도 하였다(이석호 외, 2016). 또

“ 기존 교통량 정보, 도로소통상황 수집의 CCTV 활용범위 확대 필요 ”

한 수많은 데이터를 원하는 정보로 가공하기 위해 자료수집 방향으로서 텔레매틱스 개념을 도입하는 방안이 고려되고 있으며, 추후 기술의 고도화를 통해 적극 활용될 것으로 전망된다.

[그림 12] 실시간 강우모니터링 시스템



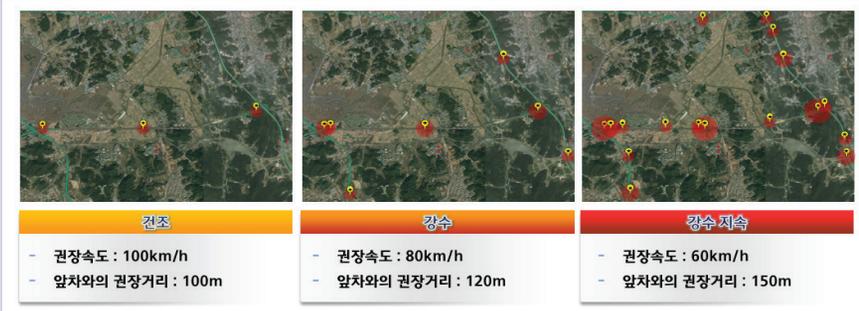
2. 기상정보 수집의 다양화와 통합정보

전술한 바와 같이 국민 생활수준 향상으로 여가 활동이 증가함에 따라 도로상의 상세한 위험기상정보에 대한 수요가 증가하고 있으나, 기존 지상관측망과 동네예보로는 한계가 존재한다. 이에 따라 다양한 분야의 빅데이터 분석 기술을 활용한 도로기상정보 생산을 위한 기술 개발이 진행되고 있다. 특히 기존에 도로관리를 위해 주요 도로구간마다 설치되어 있는 CCTV를 활용하는 방안이 지속적으로 연구되고 있다. 기존의 교통량 정보 및 도로소통상황 수집을 위한 CCTV의 활용범위를 확대하여 기상관측용 판별

[그림 13] CCTV를 활용한 기상정보수집



[그림 14] 도로관리자 및 운전자를 위한 정보표출



“ 도로기상 빅데이터 활용으로 전국단위 정보 제공 및 경로별 정보생산이 가능할 것 ”

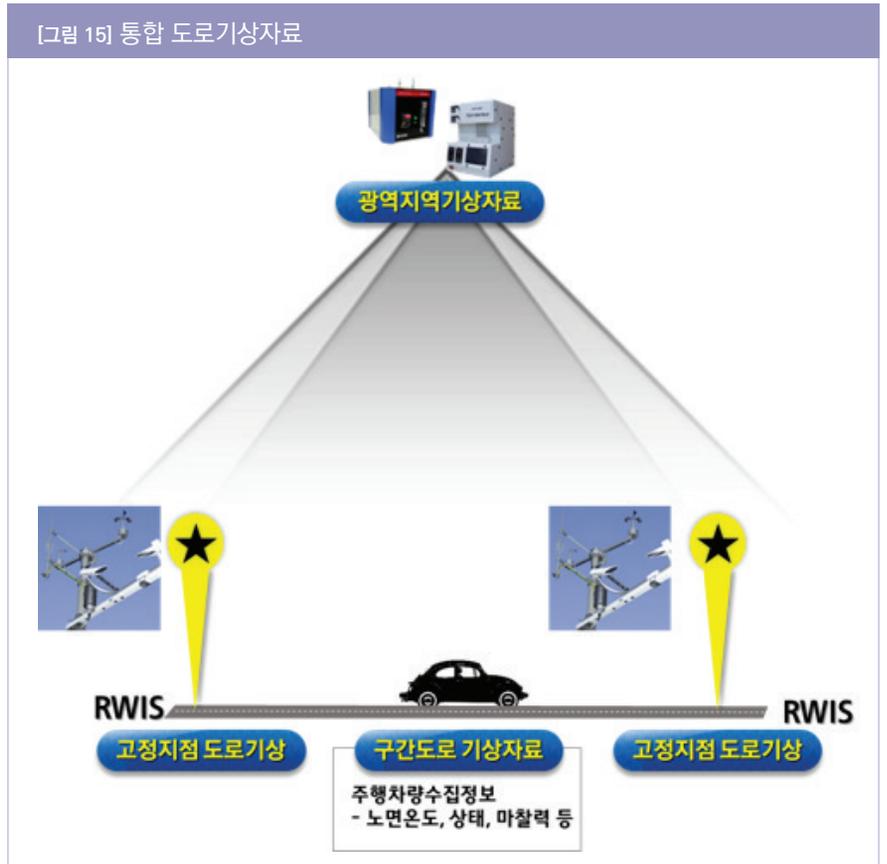
자료로 재가공하여 도로기상자료로 수집·활용하고 있다.

도로기상 빅데이터 실시간 수집·처리 기술의 발달로 고정식 장비(AWS, RWIS, 레이더 등) 및 이동식 차량 관측, CCTV 영상 등을 통합 활용한 도로경로별 정보의 생산이 가능하다. 이를 통해 궁극적으로 전국단위 정보 제공 및 확산과 도로 경로별 정보생산이 가능하게 되어 향후 기상에 따른 도로 및 교통관리방안에 획기적 발전이 이루어질 수 있을 것이다.

V. 맺음말

기상은 인간 생활 전반에 걸쳐 영향을 주는 요소로서 도로 및 교통과도 밀접한 관계를 가지고 있는데 특히 기상악화에 대한 적절한 대응체계 부족은 교

통안전성 저하 및 교통혼잡과 같은 사회적 비용손실로 이어지게 된다. 따라서 기상예보를 토대로 철저한 대비가 필요한데, 기상악화시 제한된 기상정보를 이용한 도로관리작업은 주관적 판단에 의해 결정되어 교통혼잡, 과도한 제설제 사용으로 인한 환경오염, 제설차량에 의한 도로시설물 파손 등의 문제를 야기하기도 한다. 따라서 기상악화에 대한 적절한 대응체계 구축을 위해 미기상 관측과 도로/교통 현황 예측 모델 개발 및 정보 제공의 필요성이 증대되고 있다. 이를 위한 원천기술을 개



“ 실시간 관측과
예측, IoT기반의
자료수집 및
제공을 통한
도로운영 효율화 ”

발하여 도로관리 및 교통운영 단계에서 기존에 제한적으로만 이용되던 도로관측 정보를 효율적으로 사용하고, 안전성 향상과 더불어 운영 효율성을 증대시켜야 한다. 이때 두 가지 요소가 필수적인데, (1)실시간으로 급변하는 도로주변의 기상상태 관찰과 예측이다. 기존의 도로기상 관측장비는 한정된 위치에 제한된 숫자만이 설치되어 기상자료의 완전성을 기대하기 어렵다. 해당 문제를 해결하기 위해서는 현재 도로를 주행하고 있는 수많은 차량을 이동식 수집장치로 활용하는 방안을 생각할 수 있다. 정확도 향상을 위해 기존에 차내에 장착되어 있는 센서의 정밀도를 높이고, 필요한 센서를 추가적으로 부착하면 충분한 양의 자료를 실시간 수집 가능할 것이다. 그리고 이를 가공하여 도로기상정보시스템에 필요한 데이터로 전환한다. 한편, 기존의 교통관측장비를 활용하여 기상정보 취득이 가능하도록 기능개선을 통해 지점의 도로기상정보를 수집하고, 해당 자료를 기준으로 다양한 기상정보를 보정하면 정확도 향상을 기대할 수 있다. (2)방대한 자료를 효율적으로 수집하기 위한 IoT 기반의 자료수집 및 제공이다. IoT 기술이 발전되면 개별 수집자료를 이용하여 도로관리자뿐 아니라 도로를 주행하고 있는 운전자에게 필요한 정보를 신속하게 전달할 수 있게 된다. 이렇게 되면 현재 방송이나 도로전광판을 통해 간헐적으로 전달되는 지엽적 필요정보를 도로를 운행하는 운전자의 위치에 따라 실시간으로 전송할 수 있게 되고, 적절한 도로 및 교통관리를 신속하게 수행하게 되어 도로 교통 안전도를 획기적으로 개선하게 될 것이다.

참고문헌

- 이석호, 정세진, 김병식, 2016: 차량용 강우센서를 이용한 빅데이터 개념 기반의 실시간 강우정보 생산 기술 개발, 한국수자원학회논문집, 49(2), 14-21.
- 손영태, 2013: 도로기상정보시스템의 소개 및 국내외 활용사례, 대한토목학회지, 61(10), 82-85.
- 양충현, 윤덕근, 성정곤, 2010: 동절기 도로관리를 위한 도로기상정보체계개요, 한국도로학회지, 12(1), 41-52.
- 손영태, 전진숙, 황준문, 2015: 교통량을 고려한 열수지법에 의한 노면온도 예측모형의 구축, 한국ITS 학회지, 14(2), 30-38.

태풍 재해 리스크 관리를 위한 영향예보

이은주 기상청 예보국 영향예보팀 사무관 ejlee01@korea.kr

- I. 서론
- II. 태풍에 의한 재해 특성
- III. 적시의 태풍 예·특보, 그리고 나쁜 결과
- IV. 사례를 통해 본 태풍 영향예보의 필요성
- V. 태풍 영향예보를 위한 개발 사항들
- VI. 결론

한반도에 영향을 미치는 태풍의 발생빈도는 호우보다 적지만, 재해규모액은 호우보다 약 2배 가까이 높다. 태풍에 의한 재해는 폭우, 강풍, 해일 등에 의한 복합재해 형태로 나타나고, 도미노적으로 여러 분야에 파급되어 발생하는 영향도 있다. 한편, WMO는 날씨가 어떠한 것인가에 초점을 맞춘 기존 기상서비스에서 영향에 대한 예측에 초점을 맞추는 영향예보로의 패러다임 전환을 제시하고 있다. WMO가 제시하는 영향예보 패러다임에 비추어 볼 때, 태풍예보는 기존의 ‘태풍에 의한 특정 강수량과 바람세기’ 정보를 ‘태풍에 의한 특정 강수량과 바람세기가 인명과 재산에 미칠 수 있는 잠재적 영향’ 정보로 변환하여 전달되는 것을 의미한다. 기존 기상예보에서 영향예보로의 전환을 위해서는 (1)위험가능성 도표(Risk Matrix)의 개발, (2)태풍에 따른 재해 정의와 취약성 평가, (3)영향 테이블(impact table) 및 그에 따른 권고사항 테이블(advisory table) 개발이 필요하다. 그리고 태풍 영향예보는 기상청만의 노력으로 이루어질 수 없으며, 기상/기후/수문/방재학 등 다양한 학문적 협력뿐만 아니라 사회기반시설 관리기관, 재해관리유관기관, 지자체, 서비스를 전달하는 언론기관 등 다양한 관련 분야 기관들과의 긴밀한 협력이 필수적이다. ■

“ 2006-2015년간
일평균 재해액은
태풍이 227억원 ”

I. 서론

우리나라에 영향을 미치는 다양한 위험기상현상들 중에서도 태풍은 단연 강력한 현상이다. 태풍으로부터 인명과 재산을 보호하기 위해 전세계 각국의 기상청들은 태풍예보와 특보 업무를 수행하고 있지만, 이러한 노력에도 불구하고 여전히 태풍에 의한 피해는 발생하고 있다. 이에 기존 태풍 예·특보의 한계점과 이를 극복하기 위한 태풍 영향예보의 가능성에 대해 살펴보고자 한다.

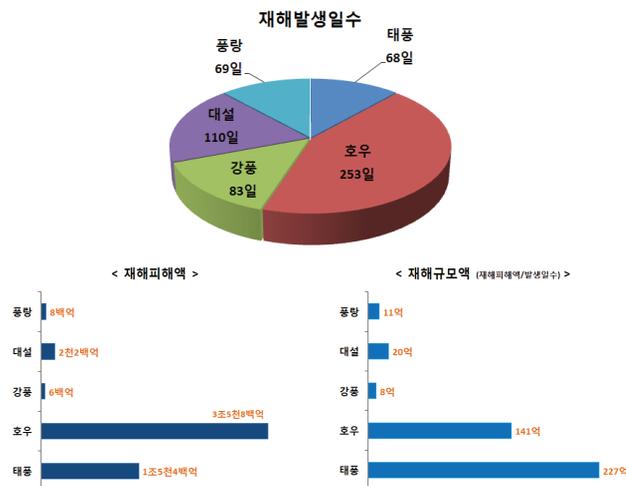
II. 태풍에 의한 재해 특성

호우, 태풍, 강풍, 대설 등 한반도에는 연중 다양한 위험기상 현상들이 나타나고 있으며 그에 따른 사회·경제적 피해가 발생하고 있다. 국민안전처의 재해연보를 활용하여 과거 10년간(2006-2015년) 우리나라에 발생한 5대 풍수해(호우, 강풍, 대설, 풍랑, 태풍)를 분석한 결과를 그림 1에 나타내었다.

과거 10년(365일×10년) 동안의 원인별 재해발생일수는 호우가 253일로 1위를 차지하였고, 태풍은 68일로

5위를 차지하였다. 10년간의 총 재해피해액 역시 호우가 3조5천8백억 원으로 1위를 차지하고 있으며, 태풍은 1조5천4백억 원으로 2위를 차지하고 있다. 반면, 총 재해피해액을 재해발생일수로 나눈 재해규모액은 태풍이 1재해일당 227억 원으로 1위를 차지하였다.

[그림 1] 2006-2015년 5대 풍수해에 의한 재해발생일수, 재해피해액 및 재해규모액

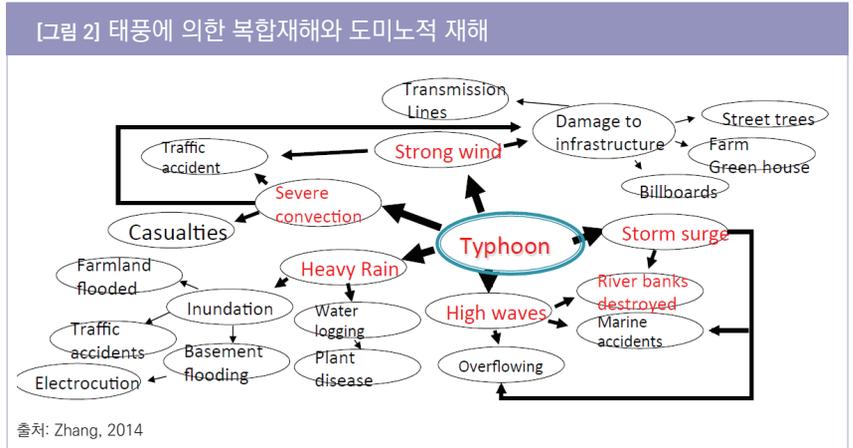


출처: 국민안전처 재해연보

“ 태풍에 의한 재해는 복합재해, 도미노적으로 여러 분야에 파급 ”

즉, 한반도에 영향을 미치는 태풍의 발생빈도는 호우보다 적지만, 재해규모액은 호우보다 약 2배 가까이 높게 나타났다. 이는 태풍 내습시 동반되는 강력한 폭우와 강풍 등에 의해 큰 규모의 재해가 발생하는 측면도 있기 때문이다. 또한 태풍에 의한 재해는 폭우, 강풍, 해일 등에 의한 복합재해 형태로 나타나고, 그림 2처럼 도미노적으로 여러 분야에 파급되어 발생하는 영향도 있다.

이러한 태풍에 의한 재해 피해를 감소시키기 위해서 기상청은 적절한 태풍예보와 적시에 태풍특보를 발표하여 피해를 줄이고자 노력하고 있지만, 항상 좋은 결과로 이어지는 것은 아니다.



III. 적시의 태풍 예·특보, 그리고 나쁜 결과

적시에 정확한 태풍특보를 발표하였음에도 불구하고, 태풍 예·특보에 대한 비난이 쇄도했던 사례로는 태풍 피토(FITOW) 발생 당시 중국에서 있었던 사례가 있다. 태풍 피토는 2013년 9월 30일 21시에 필리핀 마닐라 동쪽 약 1,230km 부근 해상에서 발생하여 그림 3과 같이 이동하였고, 10월7일 03시에 중국 푸저우 북동쪽 육상으로 상륙하며 빠르게 약화된 태풍이다(기상청 국가태풍센터, 2014). 태풍 피토에 의해 상하이에는 10월 7일 20시-10월 8일 14시 사이에 156mm의 비가 내렸는데, 이것은 1961년 관측 이래로 18시간 동안 가장 많은 비가 내린 것이다. 이 비로 인해 97개의 도로와 900개의 마을이 침수되었고, 많은 지하주차장과 자동차 손상 등의 피해가 발생하였다. 중국 기상청의 상하이 기상국은 표준절차에 따라, 10월 8

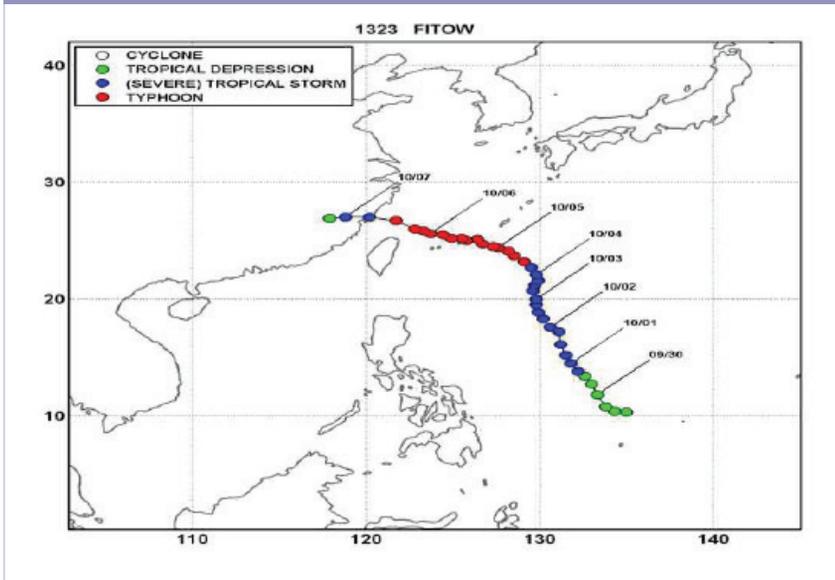
“ 적색 특보가 발표된
시간에 기상상황의
심각한 영향을
인지하지 못한채
출근과 등교를
시작 ”

일 05시 36분에 황색 특보를 발표하였고, 07시 38분에 적색 특보를 발표하였다. 하지만 적색 특보가 발표된 시간에 사람들은 기상상황의 심각한 영향을 인지하지 못한채 출근과 등교를 시작하게 되었다. 이후 상하이 시민들은 ‘왜 이렇게 기상특보

가 늦었나?’라는 반응을 보였고, 결국 상하이 기상국에 대한 비난으로 이어졌다(WMO, 2015).

한편, 직접적인 태풍 예·특보에 대한 비난은 아니지만 참고할만한 폭우 사례가 있다. 2013년 6월 인도 북부 우타라 칸드(Uttarakhand) 주에 예상보다 2주 빨리 몬순이 시작되었다. 2013년 6월 15일-17일까지 이 지역에서는 일반적인 몬순기간의 강수량보다

[그림 3] 2013년 제23호 태풍 피토(FITOW)의 이동경로



375% 많은 폭우가 내렸다. 이로 인해, 강 수위의 급격한 증가에 의한 범람과 산사태가 발생하였으며, 계속된 비로 광범위한 지역에 심각한 피해가 발생하였다.

인도 기상국(Indian Meteorological Department, IMD)에서는 매우 심한 폭우에 대한 시간별 특보를 발표하였지만, 잠재적 영향에 대한 이해부족으로 적절한 대응이 이루어지지 못했고 그로인해 많은 인명피해가 발생하였다.

이에 인도 국가방재당국(The National Disaster Management Authority)는 「IMD가 준 ‘very heavy rain’이라는 정보가 무엇을 의미하는가?」라는 질문을 하였는데, IMD는 「‘very heavy rain’은 ‘very heavy rain’을 의미할 뿐, 이렇게 단시간에 내리는 많은 양의 비를 의미하지는 않았다.」고 말할 뿐이었다(GFDRR, et al., 2016).

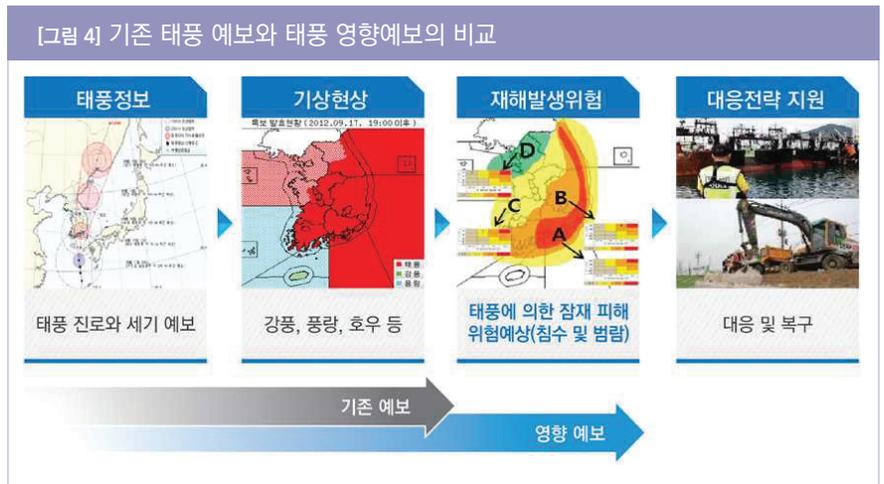
“영향에 대한 예측에 초점을 맞추는 영향예보로의 패러다임 전환을 제시”

IV. 사례를 통해 본 태풍 영향예보의 필요성

위의 두 사례를 통해 위험기상의 잠재적 영향을 예보함으로써 사전에 재해 리스크 관리를 위한 조기경보로서의 ‘영향예보’가 필요함을 실감할 수 있다. 앞선 두 사례 모두 날씨가 어떠한 것이라는 기존 기상서비스에 초점을 맞추어 정확한 예보와 적시의 특보를 발표하였지만, 날씨의 잠재적 영향에 대한 정보 부족으로 효과적인 재해대응을 위한 의사결정을 지원하지 못하였다. 즉, 태풍에 의한 강수량이나 바람의 세기에 대한 예보, 또는 강수량 등에 따른 특보만으로는 지역사회에 어떠한 피해가 발생할 수 있으며, 예방을 위해 어느 정도의 조치를 취해야 하는가에 대한 정보로 충분치 않다는 것이다.

WMO는 관측과 예보시스템 및 특보 서비스의 품질 향상이 이루어져야 하지만 이것만으로는 부족하다고 언급하고, 날씨가 어떠한 것인가에 초점을 맞춘 기존 기상서비스에서 영향에 대한 예측에 초점을 맞추는 영향예보로의 패러다임 전환을 제시하고 있다(WMO, 2015).

WMO가 제시하는 영향예보 패러다임에 비추어 볼 때, 태풍예보는 기존의 ‘태풍에 의한 특정 강수량과 바람세기’ 정보를 ‘태풍에 의한 특정 강수량과 바람 세기가 인명과 재산에 미칠 수 있는 잠재적 영향’ 정보로 변환하여 전달되는 것을 의미한다(그림 4).



최근 5년간(2011-2015년) 호우특보와 예비특보의 선행 시간은 각각 104분, 최대 하루로 집계되고 있다. 태풍과 같이 강력하고 큰 규모의 복합재해와 그에 따른 피해가 발생할 수 있는 경우에는 현재의 특보 선행시간으로는 사전 대응을 통한 태풍

“ 태풍 영향예보는 시설물 사전점검 등 선제적 재해대비와 관리에 도움을 줄 것 ”

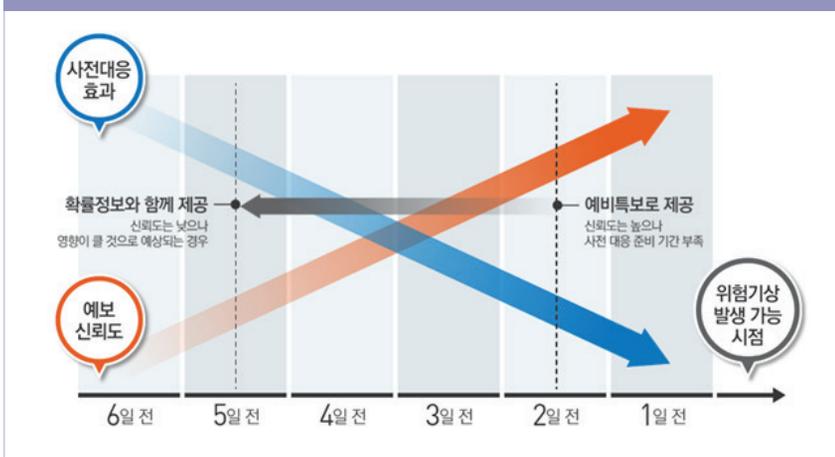
재해 리스크 관리가 어려운 상황이다.

그림 5와 같이 1주일 전부터 태풍 영향예보가 조기경보로서 제공된다면, 배수시설 사전점검, 비/바람 취약시설물 점검, 제방하수도 사전점검 등 선제적 태풍 재해 대비와 관리가 가능해 질 것이다. 그리고 출퇴근 시간 조정, 학교 등하교 결정, 여행

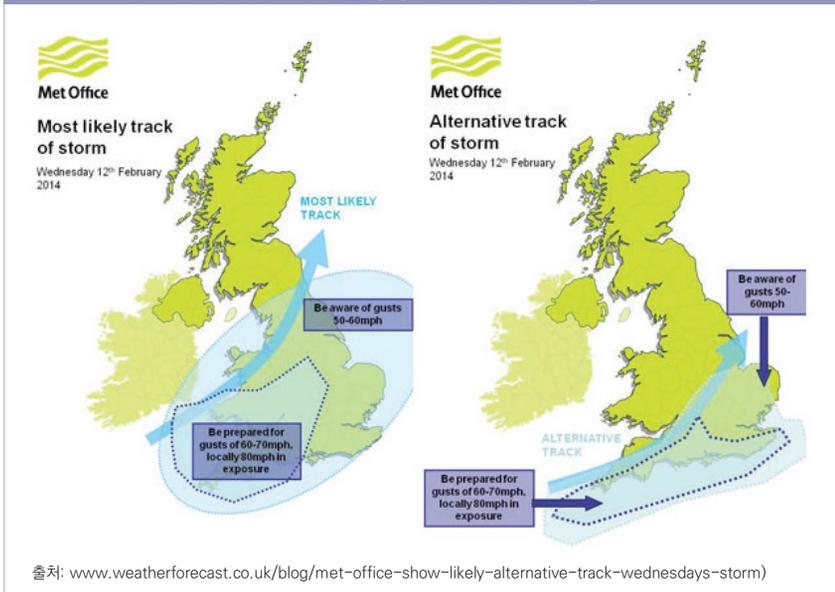
계획 조정 등을 통해 국민 개인에 의한 태풍 재해 리스크 관리가 가능해 질 것이다.

영국 기상청의 경우도, 조기경보 측면에서 1주일 전부터 영향예보를 제공하고 있는데, 주목할 것은 영국의 겨울 스톰 진로에 따른 영향예보이다. 스톰의 예측 불확실성을 고려하여, 'Most likely track'과 'Alternative track'에 따른 영향예보 시나리오를 제공함으로써(그림 6), 시나리오별 태풍 재해 리스크 관리 계획을 세우고 만약의 사태에 대비를 할 수 있게 하고 있다. 이를 참고하여 한반도에 영향을 미치는 태풍의 예측 불확실성 역시 매우 높은 편이므로, 가장 확률이 높은 태풍 예상진로와 확률은 낮지만 영향이 클 것으로 예상되는 예상진로, 두

[그림 5] 조기경보로서의 영향예보 효과



[그림 6] 영국기상청의 겨울 스톰에 대한 영향예보, Most likely track과 Alternative track에 따른 영향예보 시나리오 제공



“ GFDRR은 보고서에서 태풍 영향예보를 위한 단계별 개발 필요 사항을 제시 ”

가지 예상 진로에 대한 영향예보 시나리오를 제공할 필요가 있을 것으로 판단된다.

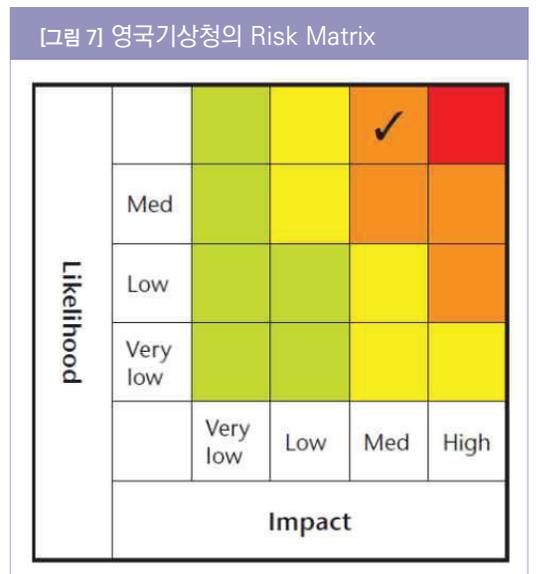
V. 태풍 영향예보를 위한 개발 사항들

태풍에 의한 재해는 복합재해 특성을 가지고 있으며, 이로 인해 다양한 분야에 걸쳐 재해피해가 발생할 수 있으므로 태풍 영향예보를 위해서는 각 분야별로 구체적인 영향정보를 제시할 필요가 있다.

GFDRR and World Bank(2016)의 보고서에서는 태풍 영향예보를 위한 단계별 개발 필요 사항들을 간단히 제시하고 있다.

1. 위험가능성 도표(Risk Matrix)의 개발

기존 기상예보에서 영향예보로의 전환을 위해서는 영국 기상청과 같은 위험가능성 도표(Risk Matrix)의 개발이 필요하다. 위험가능성 도표의 y축은 앙상블 모델의 확률예측으로부터 결정되는 위험기상의 발생확률이고, x축은 위험기상현상의 잠재적 영향을 의미한다. 그림 7에서는 위험가능성 도표의 4개 색깔(녹색, 노랑, 주황, 빨강)로 잠재적 영향의 심각성을 표현하고 있다. 특보의 경우 x축의 잠재적 영향이 Medium 또는 High일 때, 발표하는 것이 권장되고 있다.



2. 태풍에 따른 재해 정의와 취약성 평가

보통 위험기상에 따른 재해(hazard)는 1, 2, 3차 재해로 구분하여 정의할 수 있다. 태풍 그 자체는 재해라기보다는 위험 기상이며, 태풍에 동반된 강풍, 폭우 등에 의한 직접적인 피해를 1차 재해, 1차 재해와 관련이 있는 재해를 2차 재해라고 한다. 3차 재해는 1차 또는 2차 재해에 기 인하지만 수문기상학적 재해는 아니며, 사람의 실수로 발생할 수도 있는 재해를 의

“영향 테이블과 그에 따른 권고사항 테이블을 통해 의사결정 지원”

미한다.

이와 같은 태풍에 의한 재해들을 단계별로 구분하고(표 1), 각 재해와 관련하여 구체적 기반시설 및 서비스에 대한 취약성 평가가 요구된다. 취약성 평가는 객관적인 정보를 바탕으로한 정량적 평가와 경험 있는 전문가에 의한 정성적 평가로 구분

될 수 있다.

〈표 1〉 태풍(event)에 따른 단계별 재해 구분

위험기상(event)	1차 재해	2차 재해	3차 재해
태풍	- 강한 바람 - 폭우 - 뇌전 - 토네이도	- 강 범람 - 침수 - 산사태 - storm surge - 저수지 수위 상승 - 제방 붕괴	- 댐 및 부속구조물 피해, 제방, 관개/배수시설에 피해 - 피해지역 이주 - 음식 부족 - 기반시설 및 서비스(피난처 제공, 대중교통, 학교 병원, 에너지 등) 손실

3. 영향 테이블(impact table) 및 그에 따른 권고사항 테이블(advisory table) 개발

각 재해별로 평가된 취약성에 따라 구체적으로 어떤 잠재적 영향이 있을 것인가를 정리한 영향 테이블을 개발하여야 한다. 태풍에 동반된 폭우에 의해 발생하는 홍수에 대한 영향테이블을 개발할 때는 댐 운영자, 물관리자, 관개 전문가들이 관여할 수 있다.

마지막 요소는, 정의된 영향 테이블을 바탕으로 위험가능성 도표의 4단계(녹색, 노랑, 주황, 빨강)에 대한 행동 권고사항 테이블을 만드는 것이다. 이러한 테이블은 각 수요자(국민, 재난관리담당자 또는 주요 정책결정자)의 의사결정을 위해 구체적으로 기술되어야 한다.

〈표 2〉 영국 기상청의 대국민용 홍수 영향 테이블

Very low	Low	Medium	High
- 일반적으로 예상되는 영향 없음 - 저지대 지역 또는 도로 일부지역에 범람 가능 - 해안방조제를 넘는 일시적 파도 발생 가능 - 도로에 물이 있더라도 약간의 이동 불편이 있거나 또는 영향 없는 정도	- 지역적 범람 또는 도로 침수 - 지역적 범람으로 개개인의 사유지가 영향을 받을 수 있음 - 해안가 개인 사유지가 높은 파도로 영향을 받을 수 있음 - 지역적으로 철도, 전기/가스/수도 등의 원할치 못한 공급 발생 가능 - 지역적으로 여행이 어려울 수 있음	- 홍수로 지역사회 일부와 개인 재산이 영향을 받을 수 있음 - 기반시설 및 빌딩에 피해 발생 가능성 있음 - 홍수로 인한 빠른 유속/수위상승/해안가 storm surge/산사태 등으로 생명에 위협 발생 가능성 있음 - 여행에 어려움이 있을 수 있고, 몇몇 도로는 폐쇄될 수도 있음 - 물에 의한 전염병 발생 가능성 있음 - 지역적 물 오염 발생 가능성 있음	- 폭넓은 지역에서 많은 사유지와 전체 지역사회가 홍수 영향을 받음 - 기반시설과 빌딩의 붕괴 가능성 있음 - 홍수로 인한 빠른 유속/수위상승/해안가 storm surge/산사태 등으로 인한 생명에 위협 발생 - 여행에 심각한 어려움 - 큰 규모의 지역민 대피가 이뤄질 수 있음 - 물에 의한 전염병 발생이 예측됨

〈표 3〉 영국 기상청의 대국민용 권고사항 테이블(위험가능성 도표의 4단계별 특보와 행동지침을 담고 있음)

Very low risk	Low risk	Medium risk	High risk
<ul style="list-style-type: none"> - Alert: 태풍이 이 지역에 영향을 미치지 않을 것으로 예상 - Action: 날씨 및 홍수예보에 계속 관심 가질 것 	<ul style="list-style-type: none"> - Alert: 태풍이 일부 지역 홍수 및 강풍 피해를 가져올 것으로 예상 - Action: 최신 날씨예보를 접할 수 있도록 해야하며, 인명과 재산을 지키기 위해 조치를 취할 준비를 할 것 	<ul style="list-style-type: none"> - Warning: 태풍에 의해 넓은 지역에 홍수와 강풍 피해가 발생할 수 있음 - Action: 재산과 생활자산의 안전에 유의. 만약의 경우를 위한 대비 준비 필요. 당신의 지역에서 산사태 및 범람의 가능성이 있다는 것을 인지할 것. 지자체의 지시를 따를 것. 최신 뉴스를 들을 수 있도록 라디오/방송시청을 유지할 것 	<ul style="list-style-type: none"> - Warning: 확실히 태풍에 의해 넓은 지역에 홍수와 강풍 피해 발생할 것으로 예상 - Action: 지자체에 의해 대피 명령이 떨어지면 대피할 것. 생명과 재산을 보호할 방법을 강구 할 것

〈표 4〉 영국 기상청의 댐 운영자를 위한 권고사항 테이블(위험가능성 도표의 4단계별 특보와 행동지침을 담고 있음)

Very low risk	Low risk	Medium risk	High risk
<ul style="list-style-type: none"> - Alert: 태풍이 이 지역에 영향을 미치지 않을 것으로 예상 - Action: 날씨 및 홍수예보에 계속 관심 가질 것 	<ul style="list-style-type: none"> - Alert: 태풍이 일부 지역 홍수 및 강풍 피해를 가져올 것으로 예상 - Action: 현재 예상되는 수위는 별다른 조치 필요 없음. 하지만 수위가 증가할 수 있는 잠재적 위험이 있다는 것을 인지할 것 	<ul style="list-style-type: none"> - Warning: 태풍에 의해 넓은 지역에 홍수와 강풍 피해가 발생할 수 있음 - Action <ul style="list-style-type: none"> : 댐과 부속구조물의 위험을 완화하기 위해, 주황색 경고단계(orange alert)에 수반되는 표준 운영 절차를 가동시킬 것 : SOPs¹⁾에 따라, 잠재적 영향을 받을 수 있는 사람들에게 경고메시지를 보내기 위한 모든 방법 고려 	<ul style="list-style-type: none"> - Warning: 확실히 태풍에 의해 넓은 지역에 홍수와 강풍 피해 발생할 것으로 예상 - Action <ul style="list-style-type: none"> : 댐과 부속 구조물의 위험을 완화하기 위해, 심각단계(read alert)에 수반되는 표준 운영 절차를 가동시킬 것 : SOPs에 따라, 잠재적 영향을 받을 수 있는 사람들에게 경고메시지를 보내기 위한 모든 방법 고려

VI. 결론

조기경보 차원의 태풍 영향예보를 통한 태풍 재해 리스크 관리, 태풍의 잠재적 영향을 예보하는 영향예보를 통한 태풍 재해대응 의사결정 지원의 가능성, 그리고 태풍 영향예보를 위한 단계별 개발 요소들에 대해서 살펴보았다.

기상청 예보국 영향예보팀은 이미 2016년에 제주 지역에 대한 태풍 영향예보 시범서비스를 실시해 태풍 영향예보의 가능성을 확인하였고, 개선사항들에 대한 의

1 SOPs: standard Operating Procedures. 모든 가능한 시나리오마다 조치를 취할 모든 담당자 및 이해당사자의 책임과 역할을 정리하여 적어놓는 것이며, 영향예·특보가 효과적으로 수행되기 위한 주요 요소임.

“영향예보 파트너십의 좋은 사례는 영국의 Natural Hazards Partnership ”

전을 수렴한 바 있다.

성공적인 태풍 영향예보를 위해서는 태풍에 의해 발생하는 각 재해분야에 대한 구체적인 영향 및 취약성 평가가 이루어져야하며, 각 수요자에게 구체적인 행동 권고사항이 전달되어야 한다. 이러한 관점에서 볼 때, 태풍 영향예보는 기상청만의

노력으로 이루어질 수 없으며, 기상/기후/수문/방재학 등 다양한 학문적 협력뿐만 아니라 사회기반시설 관리 기관, 재해관리유관기관, 지자체, 서비스를 전달하는 언론기관 등 다양한 관련 분야 기관들과의 긴밀한 협력(Partnership)이 필수적이다.

영국 자연재해 파트너십(NHP, Natural Hazards Partnership)은 영국의 정부 부처 간 재해관리의 일관성, 재해에 대한 계획·준비 및 특보 발표와 대응을 향상시키기 위한 협력체로서, 영향예보 파트너십의 좋은 사례가 되고 있다.

[그림 8] 영국의 자연 재해 파트너십(NHP, Natural Hazards Partnership)



참고문헌

국민안전처, 2006-2015: 2006-2015년 재해연보.
 기상청 국가태풍센터, 2014: 2013년 태풍 분석보고서, 301pp.
 WMO, 2015: WMO Guidelines on Multi-hazard Impact-based Forecast and Warning Services, 23pp.
 Zhang, J., 2014: Concept of Multi-Hazard Early Warning in China and Overview of Shanghai MHEWS.
 GFDRR and World Bank, 2016: Implementing Multi-Hazard Impact-based forecast and Warning Services, 76pp.

기상, 기후 그리고 숲과 사람

박주원 경북대학교 임학전공 조교수 joowon72@knu.ac.kr

- I. 들어가며
- II. 기후변화 대응 시대의 산림과 기상정보
- III. 산림재난대응을 위한 기상정보의 활용
- IV. 산악기상관측망의 구축 현황과 활용
- V. 마치며

산림분야에서의 기후변화 적응을 위해서는 기온상승에 따른 식생분포의 변화를 정밀하게 예측하는 모델이 개발되어야 한다. 기후변화로 인해 침엽수림의 쇠퇴 및 복상, 혼효림의 증가, 활엽수림의 복상을 예상할 수 있는데, 이때 농림·관광업 등 다양한 연관 분야로의 파생적 영향을 고려해서 대응책을 마련해야 할 것이다. 한편, 기상자료는 산불연무영향예보시스템을 구축하는데 활용될 수 있다. 산불연무는 단기적으로는 항공 및 차량의 교통안전 측면에서 악영향을 주고, 장기적으로는 호흡기 질환을 일으키기 때문에 공중보건 측면에서도 대응이 필요하다. 평지와 비교하여 산악에서의 기상이 큰 차이를 보이기 때문에 국립산림과학원은 산악기상 모니터링 및 자료수신 체계를 갖춘 산악기상관측망을 전국적으로 설치하고 있다. 미래에는 수목의 생리적 현상과 환경, 미기상 관련 정보를 수집하고 빅데이터와 AI를 활용하여 자료의 분석과 의사결정을 수행함으로써 모든 나무를 개별적으로 관리하고, 조밀화된 산악기상관측망, 우주·항공 원격탐사기술과 AI 기술의 결합을 통해 다양한 산림재해에 대해 보다 신속·정확한 대응시스템이 마련될 것으로 기대한다. ■

“ 문명 앞에 숲이 있고, 문명 뒤에 사막이 남는다 ”

I. 들어가며

현대사회에 살고 있는 우리가 숲, 산림(山林)을 이야기할 때면 캠핑과 등산으로 즐거운 시간을 보내는 휴양림이나 마법사들의 모험이 넘치는 호그와트의 금지된 숲처럼 우리 삶으로부터 멀리 떨어진 곳을 머릿속에 그리고는 한다. 그러나 우리의 기억을 잠시 돌아보면 숲은 얼마 전까지만 해도 인간의 삶에서 그렇게 멀리 떨어져 있는 곳에 존재하던 것이 아니었다.

우리나라의 역사만 봐도 국내의 숲 가운데 사람의 손길이 닿지 않은 원시림은 극히 일부이며, 지금 살고 있는 곳에서 주위를 둘러봤을 때 보이는 대부분의 산림은 얼핏 보면 모를 수 있지만, 자세히 보면 사람이 심은 흔적들이 있는 경우가 많다.

이렇게 사람들이 나무들을 심어야 했던 이유는 우리 산림이 얼마 전까지 황폐했었기 때문이다. 일제강점기와 한국전쟁을 겪으면서 황폐지가 급속도로 증대하기도 하였지만, 그 전부터도 조상들은 땀과 건축자재 등의 재료로 남벌을 한 경우가 많아 산림 황폐지가 많았었다. 산림

[그림 1] 우리나라 산림은 남벌과 전란 등의 다양한 요인에 의해 황폐화되었다. 이후 국민들의 적극적인 산림녹화사업을 통해 유엔에서 인정하는 황폐지를 복구한 대표적인 국가가 되었다



출처: 산림과학원

황폐화로 인한 대표적 영향이 바로 가뭄과 홍수와 같은 기상재해였다.

산림황폐화로 인한 자연재해는 비단 우리나라만의 문제가 아니었다. 인류의 삶과 불가분의 관계였던 숲을 인간이 어떻게 이용하느냐에 따라 그 문명의 운명도 결정되고는 하였다. 그래서 프랑스와 르네 샤토브리앙 (1768-1848)은 “문명 앞에 숲이 있고 문명 뒤에 사막이 남는다.”라는 명언을 남기기도 하였다. 아울러 숲과 인류 문명의 흥망성쇠를 연결시켜 John Perlin(1989)은 ‘A Forest Journey: The Role

“ 산업혁명 이전
세계 모든 문명의
주요 에너지원이자
원자재는 목재였다 ”

of Wood in the Development of Civilization’를 저술하였고, 우리나라에서도 ‘숲의 서사시’라는 번역서로 출간된 바 있다. 저자는 사실 산림학자가 아니라 역사학자이다. 역사학자로서 저자는 문명의 발전과정을 산림의 이용과 그로 인한 영향을 주요 동인으로 놓고 수많은 문헌자료와 고고학적 증거 등을 동원하여 메소포타미아 문명에서 산업혁명 언저리까지 다루었다. 내용을 간단히 요약하면 다음과 같다.

증기기관이 발명되어 석탄을 주요 에너지원으로 삼게 된 산업혁명의 이전에는 세계 모든 문명의 주요 에너지원이자 원자재는 다름이 아닌 목재였다는 것이다. 어떻게 보면 너무나 당연한 것인데 지금은 석유나 석탄이라는 화석연료가 에너지원이고 철광석이나 다양한 지하광물자원들이 주요 원자재여서 이를 이용해 건물도 짓고 문명의 첨단 기기(利器)들을 만들지만, 산업혁명 이전에는 건축재, 생필품, 농기구, 혹은 장인의 도구와 같은 생산수단이나 마차, 선박 같은 운송수단 등이 대부분 목재를 기본으로 제작되었다. 더욱 중요한 것은 숲, 나무가 인류문명의 주요 에너지원이었다는 것이다. 인간이 살아가는데 필요한 음식을 준비하고 난방에 사용된 에너지원의 대부분이 나무였다. 단지 개인의 생활에 필요한 에너지뿐만 아니라 산업적 에너지원이었다. 우리가 청동기나 철기문화로 구분 짓듯이 금속광물은 문명의 발전과정에서 매우 중요하다. 그러나 금속광물을 생산하기 위해서는 원광을 제련 혹은 제철하기 위해 엄청난 에너지가 필요한데 많은 경우 앞서 말했듯이 땀감을 이용하였다. 이로 인해 초기 도시문명은 울창한 산림이 주변에 많은 곳에서 시작되었다고 한다. 그러다가 도시가 성장하면서 인구가 늘고 생산이 늘면서 자연히 목재소비량도 증가하게 된다. 목재소비량을 충당하기 위해 벌채가 증가하여 산림의 황폐화가 진행되는 반면 인구증가에 따라 농지나 주거용지 수요 증가로 산림의 전용이 확대되었다. 그로 인해 숲은 감소하는 반면 줄어드는 숲에서의 벌채는 증가하여 재생산능력이 감소한다. 결국 도시 주변의 산림이 더 이상 필요한 만큼의 목재를 공급하기에 부족할 정도로 황폐화되거나 사라지게 된다. 따라서 주요한 에너지원이자 원자재인 목재를 더 먼 곳에서 조달하게 되고 목재의 비용이 상승하거나 아예 수요를 충족하지 못하는 경우가 발생하여 도시 문명은 구조적으로 취약해진 상태가 된

“ 평균기온 1°C 상승시
중위도 지역은
남방한계선이
북쪽으로 약 150km
이동할 것 ”

다. 여기에 산림황폐화가 진행됨에 따라 발생하는 가뭄이나 홍수와 같은 기상재해로부터 완충적 역할 수행 능력이 저하되고, 미기후의 변화로 물의 흐름이 변하여 도시와 농경지에 용수공급을 악화시키고, 그 피해로 도시 쇠퇴를 더욱 부채질한다는 것이 이 책에서 바라본 문명의 발전과 쇠퇴과정인 것이다.

II. 기후변화 대응 시대의 산림과 기상정보

산림을 제대로 관리하지 못하여 인류 문명이 쇠퇴를 겪었던 일이 비단 먼 과거만의 일은 아니다. 산업혁명을 통해 석탄과 석유와 같은 재생불가능한 자원을 에너지원으로 이용하여 산림을 황폐화시키며 산업문명을 발전시킨 인류는 이제 그 비용을 치르고 있다. 산림이 줄어들고 화석연료의 연소를 통해 대기 중에 방출된 이산화탄소와 등의 온실가스들이 지구의 기후에 주는 영향과 기상변화로 인한 피해를 우리는 목도하고 있다. IPCC의 기후변화 시나리오에서는 100년 후 지구평균기온이 2°C 이상 상승할 때, 인류가 심각한 문제에 봉착하게 될 것이라고 경고하고 있다. 이러한 경고를 무시할 경우 John Perlin이 묘사한 인류문명 흥망성쇠가 다시 한번 반복될지도 모른다.

평균기온이 변하게 되면 산림을 구성하는 나무들은 수종에 따라 서로 다른 생리적 반응 특성으로 인해 수종 간에 경쟁력이 현재와는 달라진다. 수종 간 경쟁 균형이 달라지면 식생천이 과정과 방향도 기존의 흐름에서 달라져서 결과적으로는 현재의 식물군집구조와는 다른 산림구조로 변한다. 일반적으로 평균기온이 상승하게 되면 북반구의 식생대는 남쪽에서 북쪽으로, 저지대에서 고지대로 이동하게 된다. 지질학적 연대기분석을 통해 수종의 이동속도는 나무의 종자 크기 등의 요인에 따라 100년 동안 약 4-200km 정도 이동하는 것으로 밝혀지고 있다. 한편 평균기온이 1°C 상승하면 중위도 지역의 경우 현재 기후대의 남방한계선이 북쪽으로 약 150km, 해발고도에 따른 분포는 위쪽으로 약 150m 정도 이동하게 된다. 따라서

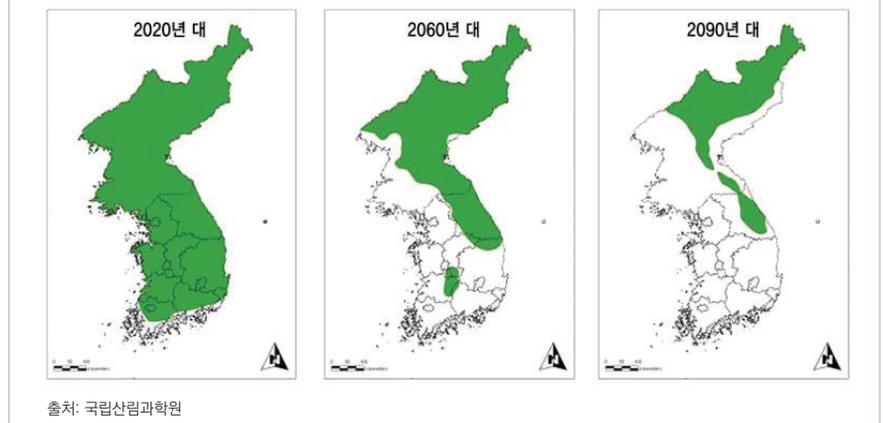
“ 우리나라는 2080년 활엽수림과 혼효림이 각각 56.9%, 8.3% 증가하고 침엽수림은 11.2% 감소할 것 ”

100년 사이에 평균기온이 2℃ 상승할 경우, 현재 기후대에 적응한 식생은 300km 이상 북상해야 생존할 수 있는 운명에 처한다는 뜻이다. 이러한 기후대 이동에 관련된 예측이 실현된다면 장거리 이동이 가능한 미세한 크기의 종자를 가진 수종을 제외하고는 많은 수종이 현재 예상되는 기후변화의 속도를 따라 잡지 못하고 점차 사라질 것이다. 또한 고산지대에만 서식하는 식물들도 분포하는 범위가 줄어들거나 소멸될 위험성이 높아지게 된다.

이러한 기후변화에 따른 산림 식생분포의 변화를 정밀하게 예측하는 모델을 개발하는 것이 산림분야 기후변화 적응노력의 중요한 부분 중 하나이다. 기후변화에 따른 산림분포변화 모델을 구성함에 있어서 토양염기포화율, 토양유기물함량 등과 같이 토양 입지 조건자료와 함께 최한월온도, 여름 평균 강수량 등과 같은 다양한 기상자료가 핵심적인 역할을 한다. 이들 기상정보 변수들과 식생 분포가능 여부와의 관계식을 도출한 뒤 일본환경과학원(NIES)이 A1B 기후시나리오를 이용하여 우리나라 산림식생분포변화를 전망한 결과, 미래 여름강수량과 최한월온도는 현재보다 지속적으로 증가할 것으로 예상되며, 이에 따라 2080년대에는 현재에 비해 활엽수림과 혼효림이 각각 56.9%, 8.3% 증가하고 침엽수림은 11.2% 감소하는 것으로 전망하였다. 지역적으로는 섬진강과 영산강 유역에서 침엽수림 감소와 활엽수 혼효림 증가를 확인할 수 있었고, 한강유역에서는 침엽수림 증가와 활엽수 혼효림 감소를 확인하였다(신형진 외, 2012).

아울러 우리나라 대표 수종으로 소나무가 손꼽히는데 이를 언젠가는 바꿔 할지도 모른다. 현재 우리나라 거의 전역에 분

〈그림 2〉 IPCC A2 기후변화시나리오에 따른 소나무림의 적정 생육분포 범위 변화



“ 우리나라는 다양한 식생이 좁은 면적에 조밀하게 분포하여 전지구 기후모형을 적용하기 어려움 ”

포하고 있는 소나무림의 생육과 갱신능력이 유지되는 적정생육범위가 IPCC의 A2 기후변화 시나리오에 따르면 2060년대에는 지리산, 덕유산 등 남부 고지대 일부와 경북 북부 및 강원도에 국한되고 나머지 지역에서는 점차 쇠퇴하거나 개체군의 축소가 예상된다. 2090년대에 이르러서는 생육에 적절한 환경이 더욱 줄어들어서 강원산간지역으로 국한될 것으로 예상된다(산림청, 2009).

우리나라는 침엽수, 활엽수, 혼효림 등 다양한 식생이 좁은 면적에 조밀하게 분포하고 있어 전지구 기후모형을 적용하기 어렵다. 현재 많은 연구에서 쓰이는 DGVM을 비롯한 식생모형들은 미국에서 개발한 모형으로, 우리나라에 적용할 경우 상당한 오차가 발생하는 것을 확인하였다(권선순 외, 2012). 전지구 기후모형의 우리나라 적용으로 인한 오차를 개선하기 위해서는 우리나라 고유의 생태계 구조와 기능을 반영할 수 있는 독자적인 모형 연구가 필요하다(김순아 외, 2009).

이에 따라 TAG와 HyTAG 등이 한국형 산림분포 모델로서 제시되었다. 이들 모델을 기반으로 IPCC 기후변화 시나리오 A2, B1에 따른 산림분포 취약성을 평가해 본 결과, A2 시나리오에서는 시간이 지남에 따라 아고산림 및 냉온대림의 분포가 줄어들며 온난대림은 북상하여 분포하는 것으로 나타났으며, 남서해안 지역과 동해안 해안선 일부지역의 취약성은 30.78%로 나타났다. B1 시나리오에서는 시간이 지남에 따라 아고산림 면적은 감소하며 온난대 상록수림의 면적이 증가하는 것으로 나타났고, 남서해안 지역과 동해안 해안선 일부지역의 취약성은 49.45%로 나타났다(이상철 외, 2011). 이중 HyTAG은 국내 수종별 온량지수(Warmth Index)와 최저기온지수(Minimum Temperature of the Coldestmonth Index)를 이용하여 개발된 수종 분포예측 모형으로 미래에 소나무와 잣나무의 서식지가 감소하고, 상록성 활엽수림이 이를 대체할 것으로 예측하였다(Choi et al., 2010). 그러나 4차 임상도 자료를 통해 모델을 검증하였을 때 약 57%의 낮은 정확도를 보였는데, 이는 다양한 인자가 고려된 모델 개발 및 연구가 필요함을 시사한다.

물론 기온상승으로 인해 적정생육범위를 벗어난다고 해서 특정 수종으로 구성된 산림이 완전히 멸종하지는 않겠지만 병해충과 가뭄피해로 인한 고사가 늘고 후

“기상정보를 활용하는 산림관리 분야는 임업적 측면과 함께 방재 측면에서도 중요한 분야로 꼽힘”

대로의 갱신이 어렵거나 다른 수종과의 경쟁에서 더욱 불리해져 개체수와 유전적 다양성이 크게 감소할 것이 예상된다. 특히, 우리나라는 한국 전쟁 이후 집중적인 조림정책으로 산림이 형성되었는데 당시의 주 식재 수종은 잣나무와 낙엽송이었다(강길남 등, 2010). 따라서 기후변화로 인한 침엽수림의 쇠퇴 및 복상, 혼효림의 증가, 활엽수림의 복상과 같은 예상은 우리나라 조림수종 선택의 변화와 쇠퇴압력에 직면한 기존의 침엽수림에 대한 새로운 관리방안 모색이 필요함을 의미한다. 이때 침엽수림의 쇠퇴로 인한 농림업이나 관광업 등 다양한 연관 분야로의 파생적 영향을 고려해서 대응책을 마련해야 할 것이다. 예를 들어 경북 봉화나 울진 지역의 대표 임산물이며 지역 주민들에게 높은 소득 원천이던 송이버섯은 소나무림이 쇠퇴한다면 필연적으로 그 생산량이 대폭 감소할 것이고, 송이버섯으로 인한 농가소득이나 송이축제 등을 통한 지역 관광업 수익도 부정적 영향을 받을 것이다. 이에 따라 차후 보다 정밀한 기후변화에 따른 산림분포모델의 개발과 더불어 기후변화와 그에 따른 임상 변화에 대한 적응노력 차원에서의 산림관리방법 및 파생적 영향 완화를 위한 연구가 요구된다.

III. 산림재난대응을 위한 기상정보의 활용

기후변화에 대응하는 부문처럼 수십 년 혹은 수백 년 먼 미래의 후손들에게 필요한 산림관리에 기상정보가 필요한 것만은 아니다. 바로 지금 현시대를 사는 우리들을 위한 산림관리에서도 기상정보는 매우 유용하다.

기상정보를 활용하는 산림관리 분야에는 산림의 입목생장예측이나 생태계 변화 등 임업적 측면도 있지만 산림에서 발생하는 재난의 방재분야가 특히 일반인들의 생명 및 재산과 직결된다는 측면에서 중요한 분야로 꼽힌다. 산림재난에는 산불, 산사태, 산지돌발홍수 등이 있다. 산지돌발홍수는 국지성 집중호우에 의해 경사가 급하고 유로 폭이 좁은 산지 계류에서 일시에 많은 양의 유량이 하류로 유출됨에 따라 발생한다. 산지돌발홍수는 홍수 도달시간이 짧고 유속이 빨라 홍수 예측 및 해

“최고기온 10-20℃, 상대습도 40-60%, 평균풍속 2m/s 이하 조건에서 산불 발생 가능성이 높아짐”

석이 어렵다. 예측이 어려운 산지돌발홍수에 의한 급격한 하천유량의 증가는 인명 및 재산 피해를 유발하고, 토석류로 인해 교량 등 시설물이 파손되는 등 2차 피해를 유발하고 있으며 전체 홍수피해의 50% 정도를 차지하는 것으로 추정된다(김양수 등 2000). 근래에는 도심생활권의 확대로 인해 산지에 인접한 주거 시설 등이 많이 늘어나서 주거지역의 홍수위험이 높아지고, 특히 산악에서의 레저·휴양활동 증가로 인해 돌발홍수로 인한 산림휴양객의 인명 피해도 증가하고 있다. 산악지형에서의 국지성 집중 강수정보에 대한 예보기간이 길어지고 예측이 보다 정밀해지면 이러한 산지돌발홍수로 인한 피해를 줄일 수 있을 것이다.

산지돌발홍수 외에 산불대응을 위한 노력에도 기상자료가 많이 필요하다. 물론 우리나라에서는 산불발생에 가장 큰 영향을 미치는 요소가 환경기상적인 요인보다 입산자 실화 등 사람들의 부주의에 의한 영향이 크지만 기상요인 역시 중요한 역할을 하고 있다. 산불 발생에 영향을 미치는 것으로 나타난 대표적인 기상요인은 습도, 온도, 풍속 등이고 그 외 요인으로는 산림 내 낙엽의 건조 정도로 나타났다. 아울러 산불 발생 빈도와 기상변수의 상관관계를 분석한 결과 최고기온 10-20℃, 상대습도 40-60%, 평균풍속 2m/sec 이하 등의 조건에서 산불 발생가능성이 높은 것으로 나타났다.

언급된 연구 결과들은 산불발생에 대한 예보모델들을 개발하여 실생활에 도움이 되도록 기여하게 되는데 여기서도 기상정보가 다양하게 사용된다. 산불발생예보 모델들 가운데는 산불이 발생하였을 때 대형산불로 발전가능성이 있는 소나무림인지 여부를 판단하여 대형산불 위험지역을 선정하는 대형산불판정모델이 로지스틱 회귀식을 기반으로 개발되기도 하였는데, 해당 모델에서는 온도, 풍속, 무강우일수와 같은 기상자료가 고도, 경사 편차, 산림면적 등과 함께 독립변수인자로 사용되었다(이병두 & 김경하, 2013). 모델에서 산출된 모든 정보는 '손에 잡히는 산불 위험정보' 웹서비스(<http://forestfire.kfri.go.kr/mobile>)를 통해 제공받을 수 있다. 이와는 별도로 우리나라 전 지역에 대한 산불 발생 위험도를 예측하는 모델이 개발되어 서비스하고 있는데 이 모델은 기상청 디지털예보에서 제공하는 정보 중 최고

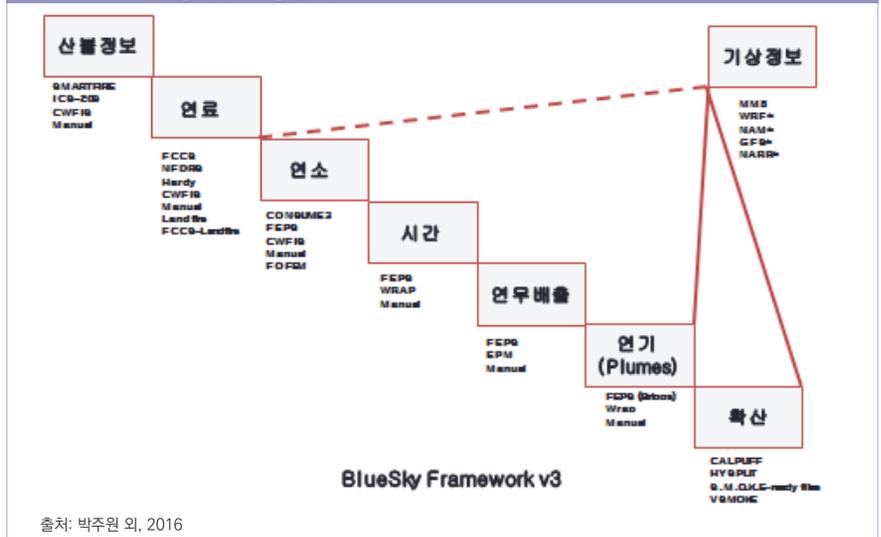
기온과 실효습도를 이용해 산출한 기상지수를 바탕으로 개발된 산불발생확률식을 적용하였다(원명수 외, 2012).

한편, 기상자료는 산불연무영향예보시스템을 구축하는데도 광범위하게 사용된다. 산불연무는 단기적으로는 항공 및 차량의 교통안전 측면에서 악영향을 주고, 장기적으로는 호흡기 질환 등과 연계성이 있기 때문에 공중보건적 측면에서도 대응이 필요하다. 따라서 선진국에서는 산불연무영향예보체계를 개발하여 예보를 실시하는데, 산불연무영향예보체계는 산불연무발생량을 산출하는 모델과 발생한 연무의 확산범위와 농도를 예측하는 산불연무확산모델이 필요하다. 산불연무발생량 산출시스템은 산불연무확산모델에 투입될 연무량을 산정하기 위하여 연무확산 모델보다 선행하여 여러 단계의 과정으로 구성된다. 즉, 산불이 발생했을 때 숲에 있는 특정 종류의 나무가 얼마나 있느냐에 따라 산불 연료량(Fuel Loading), 연료 소비량(Fuel Consumption), 연무발생량(Emissions)을 산정하는 모델이 필요하다. 여기서 산정된 연무발생량이 대기 중에 퍼져 나갔을 때 기상조건에 따라 연무의 확산 정도를 예측하여 연무의 확산 및 그 위험성에 대한 예경보를 할 수 있다. 이 때

동일한 산림이라도 연료의 건조정도나 당일 습도, 지표면 풍속 등이 연소형태, 연소시간, 연무가 배출되는 특징 등에 영향을 미치며 배출된 연무는 연직 고도별 풍향과 풍속에 따라 확산범위가 달라진다. 따라서 산불연무량 및 산불연무확산을 기상정보와 통합적으로 연산하여 산불연무영향을 예보하는 체계를

“ 산불연무영향예보 체계는 산불연무 발생량 산출모델과 산불연무확산 모델이 필요 ”

[그림 3] BlueSky Framework v3 의 개념도. 기상정보는 연료의 연소상태에서부터 연무배출까지 연무발생에 대한 예측모델과 배출된 연무의 확산에 대한 예측까지 다양하게 사용된다



출처: 박주원 외, 2016

“ 미국, 캐나다는 모듈구성 형식의 산불연무확산 및 영향예보체계를 개발 ”

구축해야 한다. 이를 위해 미국과 캐나다의 경우 BlueSky Framework (Goodrick et al., 2013) 등과 같은 모듈구성 형식의 산불연무확산 및 영향예보 체계를 개발하여 연무확산모델에 대한 운용의 접근성을 용이하게 했을 뿐만 아니라 연무확산 모델 결과를 이용한 빠른 의사결정을 통해 산불연무확산에 따른 피해를 줄이는데 도움을 주고 있다.

국내에서는 BlueSky Framework 수준의 대규모 연무확산예측 모델이 개발되지는 않았다. 그러나 우리나라는 산불발화가 소규모 면적에서 발생하고, 미국 등에 비하여 신속하게 진화되어 연무확산예측을 보다 신속하게 하기 위해 가우시안 모델 기반으로 산불연무확산시뮬레이션 모델을 개발하여 기존의 산불확산예측모델과 통합 운영하는 노력을 진행 중이다. 이를 통해 산불진화 헬기의 운행 통제에 기여할 것이며 피해예상지역 주민들에게 보다 신속히 피해지역 이탈을 안내 및 지원하는 시스템이 구축될 것으로 예상된다. 더 나아가 근래 문제가 되는 대기질 관측에도 기여할 수 있을 것이라 생각된다. 앞서 예시를 든 BlueSky Framework 역시 해당 국가들의 대기질 모니터링 시스템과 연동되어 있다.

IV. 산악기상관측망의 구축 현황과 활용

그런데 산림 혹은 산악 지역의 기상상태는 우리가 일상적으로 생활하는 지역에서의 기상상태와 상당한 차이가 있다. 특히 우리나라 산악지형은 수평 거리에 비하여 수직적 고도분포 범위가 크고, 지형이 복잡하여 해발고도가 낮은 평지에 비해 기상상태의 변화 양상이 더 다양하고, 극단적인 형태를 보인다. 한 예로 해발고도 79m의 평지지역에 해당하는 북강릉과 수평거리 기준으로는 인접하다고 할 수 있는 해발고도 485m의 사기막과 1,157m에 위치한 선자령에서 측정한 풍속과 강수량 자료들을 비교하면 고도차이가 심할수록 차이가 크게 나타남을 알 수 있다. 특히 최대풍속은 평지보다 3배, 최대강수량은 2배까지 차이가 나타난다.

이렇게 평지에서의 기상과 비교하여 산악에서의 기상이 큰 차이를 보이기 때문

“ 국립산림과학원은 산악기상관측망을 전국적으로 설치 ”

에 평지지역에 주로 설치된 기상청의 기상관측망을 통해 측정된 기존의 기상정보만을 활용하여서는 산악지역에서 발생하는 다양한 재난을 예방하거나 대응하는데 한계가 있다. 따라서 기존의 기상관측망과는 별도로 우리나라 국토의 약 63% 이상을 차지하는 산림 및 산악지역의 기상정보를 집중적으로 관측하는 기상관측망의 필요성이 대두되었다. 이에 국립산림과학원은 산악기상 모니터링 및 자료수신 체계를 갖춘 산악기상관측망을 전국적으로 설치하고 있다. 2016

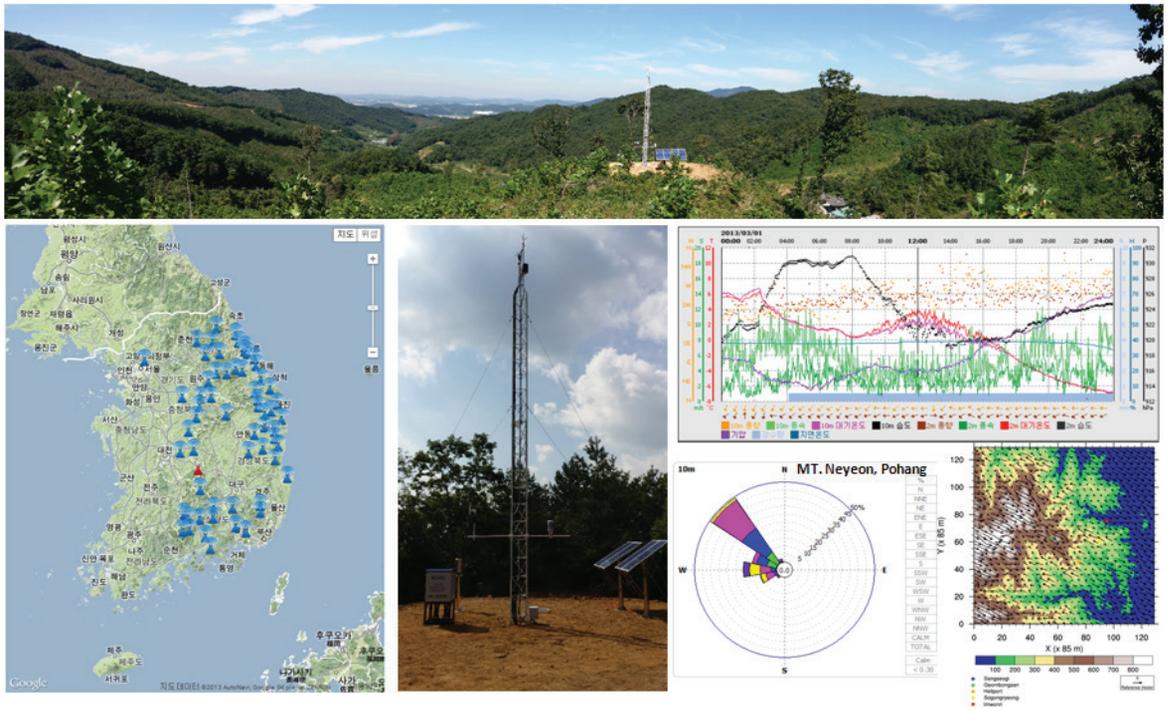
〈표 1〉 일반지역 기상과 산악기상과의 풍속(위) 및 강수량(아래) 비교

구분 (%)	기상청		산악기상			
	북강릉(79m)		사기막(485m)		선자령(1157m)	
	평균풍속	최대풍속	평균풍속	최대풍속	평균풍속	최대풍속
평균	2.0	5.0	1.6	5.7	7.9	15.5
최대	5.6	13.4	4.4	21.9	21.8	38.0
최소	0.8	1.6	0.1	1.4	1.6	3.7

강수량 (mm)	기상청	산악기상	
	북강릉(79m)	사기막(485m)	선자령(1157m)
평균	2.8	3.9	4.7
최대	65.0	76.0	120.5

출처: 산림청, 2016

〈그림 4〉 산악기상관측망 현장 모습(상), 전국 산악기상관측망 분포도(좌하), 산악기상관측망 전경(중하), 산악기상정보시스템에서 표출되는 산악기상정보(우하)

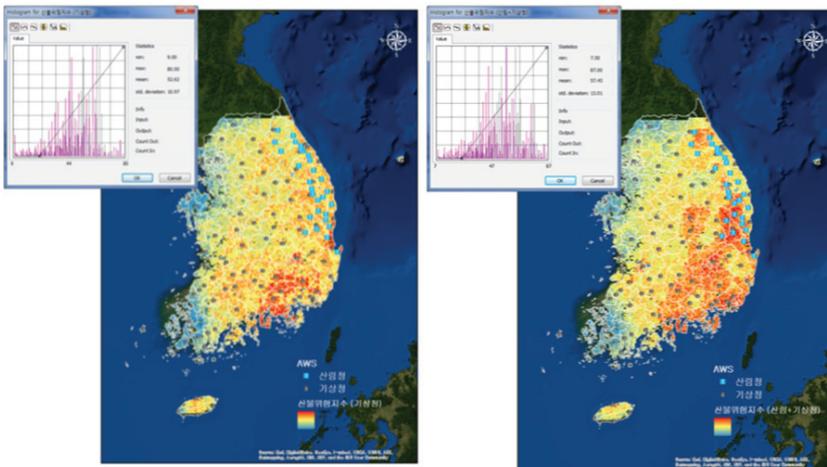


“ 산악기상정보 시스템을 통해 실시간 정보공유 체계를 강화 ”

년 9월 현재 전국 주요산악지역에 총 128개의 산악기상관측망 설치를 완료하였다. 앞으로 2017년 말까지 총 200개의 산악기상관측망을 설치하는 것을 목표로 하고 있으며 추가적으로 400여개 이상 더 구축할 계획이다. 2017년 말까지 산악기상관측망 구축이 완료되면 복잡지형이 많은 우리나라의 기상관측소 간 평균거리가 6.3km에서 5.3km로 1km 이상 줄어들고 산악지형 맞춤형 상세 기상관측이 가능해 진다. 그림 4의 지도(좌하)는 우리나라 산악기상관측망의 분포를 나타낸 것으로 우리나라의 대표적 산악지대인 백두대간과 지리산 권역에 집중적으로 배치된 것을 볼 수 있다.

관심대상 지역의 정보를 탐지하는 센서를 통해 수집된 자료들은 사용자 간의 공유와 정보가공을 통해 의미를 갖는다. 따라서 산악기상관측망을 통해 관측된 정보를 통합적으로 운영하고 정보로 가공하기 위해 산악기상정보시스템이 개발되었다. 산악기상정보시스템을 통해 실시간으로 기온, 습도, 바람(2m, 10m), 강수량, 지면 온도, 기압과 같은 산악기상 상세정보를 분/시간/일/월/연평균 주기로 정부 3.0 빅데이터로 제공하고 있으며, 기상청·국방부 등과 업무협약(MOU)를 통해 부처 간에 정보공유체계를 강화하고 있다.

[그림 5] 기상청 AWS만을 적용한 경우(왼쪽)와 기상청 AWS와 산악기상자료를 함께 적용한 경우(오른쪽) 산불발생위험성 평가 결과



산림청은 타부처와의 공유 외에도 산악기상관측망으로부터 수집한 자료를 보다 적극적으로 활용하기 위한 노력의 일환으로 산림 미기상 해석 최적모델 개발에 대한 연구를 진행하였다. 이 연구는 단방향 등지격자망을 이용한 증규모 모형인 WRF v3.5.1 모형과 모의 WRF 모형의 결과를

“산림미기상 시뮬레이션에 의한 산림재해 예측 정확도가 2014년 대비 10%p 향상”

MUKLIMO 모형의 입력 바람장으로 사용하여 고해상도(100m) 3차원 바람장을 산출하였다(이석준 외, 2015). 또한 산악기상관측망의 측정값을 사용한 고도에 따른 기온감율 효과 분석 및 산림지역의 산불발생확률 평가에 관한 연구 등이 진행되었다.

산림과학원은 산악기상자료와 다른 부처 기상정보를 융합하여 산림미기상 시뮬레이션에 의한 산림재해 예측의 정확도를 2014년 대비 10%p 향상시켰다고 한다. 앞으로도 산악기상관측망을 전국적으로 확대하려는 노력과 함께 산악기상관측망으로부터 생성되는 기상자료들을 활용하는 노력이 계속될 것이다. 활용체계 및 방향은 산림의 바람과 습도 자료를 바탕으로 산불발생위험성 평가의 정확도를 높이고 산불과 연관된 미기상의 해석과 산불 및 산불연무확산 예측 모델을 보다 정교하게 구성하여 산불 관련 피해예방 및 진화작업의 효율성을 증대하는데 초점이 맞춰질 것이다. 아울러 폭염 등 기온 패턴과 수목스트레스 등의 연관성 연구를 통하여 활용하여 수목고사율이나 병해충 발생 가능성에 대한 예측력도 향상시키며 산악에서의 국지성 집중호우 등 강수패턴의 특성과 지형적 특성에 따른 산사태나 돌발홍수와 같은 재해 발생확률예측, 피해범위 및 강도 등에 예측모델을 개발하고자 한다. 이를 통해 궁극적으로 산불, 산사태 및 돌발홍수 등 산림재해에 대한 효과적인 대응과 병충해 및 수목고사에 대한 예측을 통해 산림휴양이나 임산물 생산 부문에 대한 피해를 최소화하는데 산악기상관측망이 기여할 수 있을 것으로 기대한다.

[그림 6] 산악기상관측망의 활용방안



“ 기상정보의 고도화와
다양화는 4차 산업
혁명의 기술적 진보와
어울려서 산림관리
분야에 크게
기여할 것 ”

V. 마치며

인류문명의 흥망성쇠와도 맥이 닿아 있는 숲은 기후와 기상으로부터 많은 영향을 받는다. 따라서 인간의 삶을 보다 윤택하고 건강하게 하기 위해서는 숲과 기상·기후와의 연계성을 보다 심도 깊게 이해할 필요가 있다. 그 동안에도 많은 발전이 있었으나 앞으로의 발전은 아마 우리의 기존 관념을 뛰어 넘는 혁신이 될 것이다. 주지하다시피, 4차 산업에 대한 논의가 백가쟁명 식으로 다양한 분야에서 활발히 진행되고 있다. 발달된 센서 기술들과 거기에서 생성되는 방대한 정보들을 결합하여 과거에는 꿈꾸지 못했던 영역과 공간을 뛰어넘는 초연결사회를 실현하는 빅데이터, ICT, IoT, AI 기술들이 인류의 삶에 또 다른 큰 변화를 만들어 내고 있는 중이다.

이는 산림관리 분야에서도 마찬가지이다. 기존 산림관리는 공간적으로 접근하기 어렵고 그 수가 너무 많아 포괄적인 측면에서 시도되어 왔다. 그래서 수종, 수령이나 비슷한 나무들로 이루어지고 산림구조가 유사한 숲을 한 묶음으로 하는 임분이라는 단위로 관리가 이루어져 왔다. 개별적인 나무들을 식재할 때 RFID 혹은 IoT 기술과 결합하여 수목의 생리적 현상과 환경, 특히 수목이 식재된 지역의 미기상 관련 방대한 정보를 수집하고 빅데이터와 AI를 활용하여 자료의 분석과 의사결정을 수행함으로써 모든 나무를 개별적으로 관리할 수 있는 시대가 올 것이라 생각한다. 또한 조밀화된 산악기상관측망, 우주 혹은 항공 원격탐사기술과 AI 기술의 결합을 통해 산악기상에 따라 보다 정밀하게 예측되는 다양한 산림재해에 대해 모바일이나 로봇 기술과 결합하여 보다 신속하고 정확한 대상을 가장 효율적인 자원을 동원하여 대응하는 시스템이 마련될 것이다. 그러한 기술혁신의 흐름 속에서 보다 정밀한 산림관리를 위해서 이제까지와는 양적으로뿐만 아니라 질적으로도 비교할 수 없는 기상정보에 대한 수요가 생길 것이다. 이제까지 인류 문명은 사막을 남겼지만, 우리 시대의 문명은 보다 더 훌륭한 숲을 남겨야 할 것이다. 이를 위해 기상정보의 고도화와 다양화는 4차 산업혁명의 기술적 진보와 어울려서 산림관리 분야에 크게 기여할 것이라 믿어 의심치 않는다.

참고문헌

- 강길남, 박관수, 이상진, 이항구, 김준성, 김연태, 2010: 충남 공주지역 잣나무림과 낙엽송림의 지상부와 뿌리에 의한 탄소고정. 농업과학연구, 37(1), 45 - 52.
- 권선순, 최선희, 이상돈, 2012: 기후변화에 따른 수도권 산림의 순일차생산량과 토양탄소저장량의 시공간적 변화 추정. 환경영향평가, 21(5), 757 - 765.
- 김순아, 이우균, 손요환, 조용성, 이미선, 2009: 산림에 대한 기후변화 영향평가 모형의 국내 적용성 분석. 한국임학회지, 98(1), 33 - 48.
- 박주원, 윤호중, 이병두, 우충식, 김영빈, 이복남, 2016: 우리나라 산불연무영향 예보체계 개발을 위한 산불연무확산모델 고찰 및 제언. 한국방재학회논문집, 16(6), 197-208
- 산림청, 2009: 기후변화와 산림, 244pp.
- 신형진, 박근애, 박민지, 김성준, 2012: 미래 기후변화시나리오 MIROC3.2 A1B에 따른 우리나라 산림 식생분포의 변화 전망. 한국지리정보학회지, 15(1), 64 - 75.
- 원명수, 이명보, 이우균, 윤석희, 2012: 디지털예보자료와 Daily Weather Index (DWI) 모델을 적용한 한반도의 산불발생위험 예측. 한국농림기상학회지, 14(1), 1 - 10.
- 이동근, 2014: 한국기후변화 평가보고서 2014 - 기후변화 영향 및 적응 -, 303pp.
- 이병두, 김경하, 2013: 로지스틱 회귀식을 이용한 대형산불판정 모형 개발. 한국임학회지, 102(3), 415-419.
- 이상철, 최성호, 이우균, 박태진, 오수현, 김순아, 2011: 기후변화 시나리오에 따른 산림분포 취약성 평가. 한국임학회지, 100(2), 256 - 265.
- 이석준, 최용한, 정재희, 원명수, 임규호, 2015: 산림 미기상 해석을 위한 최적모델 개발. 한국농림기상학회지, 17(2), 165-172.
- 천정화, 이창배, 2013: 소나무의 지리적 분포 및 생태적 지위 모형을 이용한 기후변화 영향 예측. 한국농림기상학회지, 15(4), 219-233.
- Berner, J., Shutts, G. J., Leutbecher, M., and Palmer, T. N., 2009: A spectral stochastic kinetic backscatter scheme and its impact on flow-dependent predictability in the ECMWF ensemble prediction system, J. Atmos. Sci., 66, 603-626.
- Choi, S., Lee, W. K., Son, Y., Yoo, S., and Lim, J. H., 2010: Changes in the distribution of south Korean forest vegetation simulated using thermal gradient indices, Science China Life Sciences, 53(7), 784-797.
- Goodrick, S.L., Achtemeier, G.L., Larkin, N.K., Liu, Y. and Strand, T.M., 2013: Modelling Smoke Transport from Wildland Fires: A Review, International Journal of Wildland Fire, 22(1), 83-94.
- Perlin, J., 1989: A Forest Journey: The Role of Wood in the Development of Civilization, Harvard University Press, 446pp.

KISTI 재난대응 의사결정지원 시스템(K-DMSS) 소개

조민수 KISTI 재난대응HPC연구센터장 msjoh@kisti.re.kr

- I. 서론
- II. K-DMSS 주요 특징
- III. 결론

KISTI의 재난대응 의사결정지원시스템(K-DMSS)은 과학기술과 정보통신기술이 융합된 시스템으로서 시나리오 기반으로 각종 데이터를 수집하여 미래 예측정보를 생산하고, 사회·경제적 영향을 분석하여 과학적인 방법으로 표출할 수 있는 통합 소프트웨어 체계이다. K-DMSS는 (1)자료동화와 고해상도 모델링·시뮬레이션 기술을 적용하여 태풍, 해일, 홍수를 예측하는 시스템, (2)시나리오 기반으로 관측·예측 데이터를 교환 또는 저장·관리하는 재난정보통합 시스템, (3)관측·예측 데이터로부터 사회·경제적 영향을 분석하는 시스템, (4)관측·예측·분석 데이터를 2·3차원으로 표출하는 시스템으로 구성되어 있다. 기상청의 태풍 영향예보와 K-DMSS를 구성하는 HPC 기반 고해상도 풍수해 통합예측 시스템 및 빅데이터 분석플랫폼 기반 재난피해예측 시스템이 목표로 하는 자연재해 유형과 영향 분석 내용은 매우 유사하다. 기상청과 KISTI의 기술을 공유하고 협력을 추진한다면 세계 최고 수준의 태풍 영향예보를 실현도 무리는 아닐 것이다. ■

“ 국민안전처는
풍수해를 풍해,
수해, 해일,
설해로 구분 ”

I. 서론

자연재해 발생 자체를 막을 수는 없지만, 자연재해가 언제 발생하고 어떤 영향을 미칠 것인지 미리 알고 효과적으로 대응할 수 있다면 재난피해규모와 사후복구비용을 최소화시킬 수 있다. 따라서 자연재해로 인한 재난대응을 위한 의사결정 과정에서는 위험기상 발생정보가 정확해야 할뿐만 아니라, 위험기상이 초래할 영향 정보도 적시에 제공되는 것이 중요하다. 기상현상의 사회·경제적 영향을 고려하는 영향예보의 필요성이 전 세계적으로 확산되고 있는 가운데, 우리나라 기상청에서도 ‘2020년 영향예보 서비스를 통한 국민안전과 국가경제 선도’를 비전으로 제시한 것은 기상재해의 효율적 대응 측면에서 발전적인 추진 방향이라고 할 수 있다.

자연을 모사하고 미래를 예측하기 위한 수치모델링 및 시뮬레이션 분야에서뿐만 아니라 복잡·다양하고 급속히 증가하는 대규모의 데이터로부터 유용한 정보를 찾아내기 위한 애널리틱스 분야에서 초고성능컴퓨팅¹⁾의 활용은 선택이 아닌 필수 사항이다. 한국과학기술정보연구원(이하 KISTI)은 ‘국가초고성능컴퓨터 활용 및 육성에 관한 법률’²⁾ 시행령 제11조에 따라 ‘국가초고성능컴퓨팅센터’로 지정받았으며, ‘초고성능컴퓨팅 활용을 통해 과학기술과 국가사회 발전에 기여’를 목적으로 다양한 연구개발 사업을 수행하고 있다. 세부과제로 풍수해 재난대응 의사결정 지원시스템 개발이 진행되고 있는데 1단계(2014~2018)에는 태풍, 홍수, 폭풍해일이 대상이다.

국민안전처에서는 풍수해³⁾의 종류와 특징을 풍해(태풍, 강풍, 풍랑), 수해(호우, 홍수), 해일(폭풍해일, 지진해일), 설해(대설)로 구분하고 있다. 국민안전처가 발간한 ‘2015 재해연보’에서 최근 10년(2006-2015)간 우리나라 자연재해 피해액은 약 5.5조 원이며, 호우(약 3.6조 원), 태풍(약 1.5조 원), 대설(약 0.2조 원) 순으로 큰 피

1 HPC(High Performance Computing). 1년에 2차례(6월, 11월) 발표되는 TOP500 목록에 포함되는 고성능컴퓨팅 시스템을 우리나라에서는 슈퍼컴퓨팅(또는 초고성능컴퓨팅) 시스템이라고 부르고 있음
(자료출처: TOP500포털 <http://www.top500.org>)

2 초고성능컴퓨터법(약칭)은 2011년 6월7일에 제정되었으며, 시행령은 2011년 12월8일부터 시행됨
(자료출처: 국가법령정보센터포털 <http://www.law.go.kr/main.html>)

3 국민재난안전포털 http://www.safekorea.go.kr/idsiSFK/index_web.jsp

“ KISTI는 풍수해
재난대응을 위한
의사결정지원
시스템을 개발 ”

해가 발생했다. 이처럼 우리나라 자연재해는 주로 풍수해이다. 이에, 2016년 기상청 영향예보 시범서비스로 태풍 영향예보가 제일 먼저 실시된 바 있고, 2018년 신규 국가연구개발사업으로 기획한 ‘자연재해 영향예보 생산기술 개발’ 사업에도 태풍 영향예보가 포함되어 있다.

한편, 재난대응HPC연구센터는 2015년에 처음 만들어진 조직이지만, 고성능컴퓨팅 활용 계산과학 전문가 그룹과 빅데이터 활용 정보분석 전문가 그룹이 모여서 의사결정지원시스템 개발을 위한 다학제간 융합연구가 활발히 이루어지고 있다. 센터에서는 기상청 영향예보 중에서도 특별히 태풍에 의한 침수 영향예보 의사결정 과정에서 필요한 각종 정보를 수집·생산 및 분석할 수 있는 소프트웨어 체계로써 활용이 가능할 것으로 기대되는 풍수해 재난대응을 위한 ‘KISTI 의사결정지원 시스템(이하 K-DMSS)⁴⁾을 개발한 바 있다. 본 고에서는 K-DMSS에 대한 소개를 바탕으로 기상정보의 영향예보 활용 방법을 같음하고자 한다.

II. K-DMSS 주요 특징

1. 시스템 개요

K-DMSS는 시나리오 기반으로 각종 데이터를 수집하여 미래 예측정보를 생산하고, 사회·경제적 영향을 분석하여 과학적인 방법으로 표출할 수 있는 통합 소프트웨어 체계이다. K-DMSS는 KISTI가 보유하고 있는 고성능컴퓨팅 인프라, 고해상도 모델링·시물레이션 기술, 코드 최적·병렬화 기술, 빅데이터 분석 기술, 대용량 데이터 가시화 기술 등을 기반으로 개발되었다.

K-DMSS 구성은 다음과 같다(그림1): (1)자료동화와 고해상도 모델링·시물레이션 기술을 적용하여 태풍, 해일, 홍수를 예측하는 시스템, (2)시나리오 기반으로 관측·예측 데이터를 교환 또는 저장·관리하는 재난정보통합 시스템, (3)관측·예측 데

⁴⁾ K-DMSS(KISTI Decision-Making Support System)
(KISTI: Korea Institute of Science and Technology Information)

“ 테스트베드 클러스터
시스템의 전체 이론
성능은 176.4TFlops ”

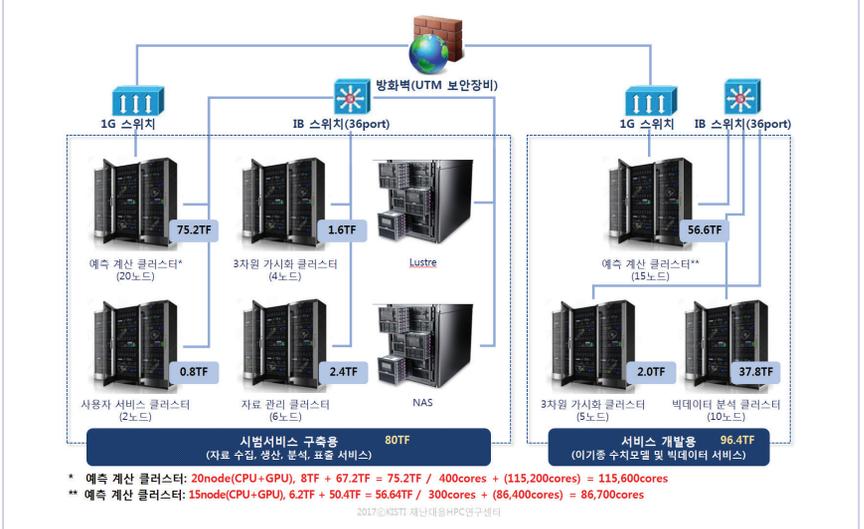
이더로부터 사회·경제적 영향을 분석하는 시스템, (4)관측·예측·분석 데이터를 2·3
차원으로 표출하는 시스템.

고해상도 모델링·시뮬레이션
을 위한 빠른 계산능력이
중요한 예측 시스템은 HPC
테스트베드를 이용하고, 복
잡하고 다양한 대규모 데이
터의 동시 처리능력이 중요
한 분석 시스템은 빅데이터
테스트베드를 이용하여 개
발되었다. 테스트베드 클러
스터 시스템의 전체 이론 성
능은 176.4TFlops이며, 서
비스 개발용(96.4TFlops)과
시범서비스 구축용(80TFlops)
으로 분리되어 있다. 예측·
분석 과정에서 원활한 데이
터 교환 및 정보 관리를 위
해서 고성능 네트워크 통신
이 지원되는 인피니밴드 스
위치를 사용하여 내부 네
트워크를 구성하였고, 방대
한 데이터의 저장을 위하여
1,152TByte의 Lustre 파일
시스템을 구축하였다(그림
2).

그림 1 KISTI 의사결정지원시스템(K-DMSS) 구성도



그림 2 K-DMSS 테스트베드 클러스터 시스템(CHAOS) 구성도



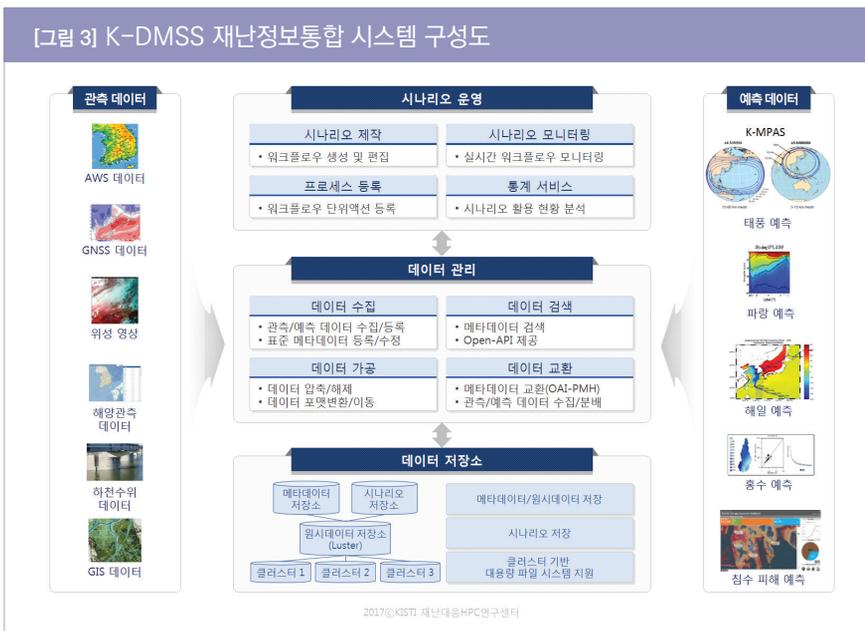
“ Open API는
사용자가 에이전트
프로그램을 통하여
재난정보통합
시스템에 접속이
가능하게 함 ”

2. 재난정보통합 시스템과 재난정보 웹 포털

K-DMSS를 구성하는 예측·분석·표출 시스템에서 필요로 하는 데이터를 수집·저장·가공·교환하는 업무를 전담하는 재난정보통합 시스템의 주요 특징은 다음과 같다(그림3). 첫째, 서로 다른 분야의 데이터를 통합적으로 활용하기 위해서 각 분야 데이터를 공통의 메타데이터를 기반으로 일관성 있게 표준화하여 관리한다. 둘째, 개별적으로 수집되어 보관되고 있는 다양한 관측 데이터를 효과적으로 공유하고 활용하기 위해서 OAI-PMH와 같은 표준 메타데이터 교환 프로토콜을 이용하여 메타데이터 수집 및 분배 기능을 제공한다. 셋째, Open API를 제공함으로써 사용자가 브라우저를 이용하여 웹에 접속하지 않고도 에이전트 프로그램을 통하여 재난정보통합 시스템에서 제공하는 데이터를 검색하고 상세 정보를 가져갈 수 있다. 넷째, 대용량 데이터를 실시간으로 교환하기 위해서 빅데이터 플랫폼의 특성을 고려한 자료 저장 및 메시지 교환 체계를 지원한다. 저장소의 수평적 확장이 가능한 분산 파일 시스템을 이용하여 데이터를 저장·관리하고 있으며, 수많은 사용자들의 요청을 실시간으로 처리하기 위해서 메시지 교환도 분산·병렬 처리 프레임워

크를 기반으로 동작한다. 다섯째, 재난정보통합 시스템은 데이터 수집, 데이터 변환, 모델 시뮬레이션, 결과 가시화, 예측 데이터 분배와 같은 여러 복잡한 처리 과정들을 개념 기반으로 설계된 워크플로우 디자인 도구를 이용하여 통합적인 시나리오를 설계하고 운영할 수 있는 환경을 제공한다.

[그림 3] K-DMSS 재난정보통합 시스템 구성도



“ 재난정보통합 시스템의 모든 기능은 메인 페이지와 7개의 서브 페이지로 구성 ”

재난정보통합 시스템의 모든 기능은 메인 페이지와 7개의 서브 페이지로 구성된 재난정보 웹 포털을 통하여 사용자에게 제공된다(그림4). 메인 페이지는 키워드 검색과 요약 통계 화면으로 구성되어 있고, 서브 페이지는 (1)메타데이터 검색을 위한 검색 페이지, (2)시나리오의 진행 상황을 파악하는 모니터링 페이지, (3)메타데이터 등록 및 관리를 위한 메타데이터 페이지, (4) 각종 등록 자원들에 대한 메타데이터 및 원시데이터를 보여주는 자원 페이지, (5)수집 자원 및 애플리케이션 현황에 대한 정보를 보여주는 통계 페이지, (6) 프로세스들을 워크플로우 기반으로 결합하여 시나리오 생성을 도와주는 시나리오 페이지, (7)워크플로우 상의 프로세스 정보와 파라미터 제약 조건을 입력하는 프로세스 페이지로 구성되어 있다.

재난정보 웹 포털은 데이터의 수집 및 분배와 관련된 여러 편의 기능을 제공하고 대용량 관측·예측 데이터의 안정적인 관리를 수행함으로써 재난정보 공유 및 확산 체제 구축에 기여하는 것을 추구하고 있다. 특히 워크플로우 기반으로 시나리오를 생성하고 운영하는 것이 편리하게 구현되어 있어서 향후 풍수해뿐만 아니라 다른 유형(산불/산사태 등)의 재난정보 서비스 개발까지 확대할 계획이다.

그림 4 K-DMSS 재난정보 웹 포털 메인 페이지와 시나리오 페이지



“ SVD와 SVT
알고리즘을 내재화하여
세계최고 수준 대비
100.12% 정확도
달성 ”

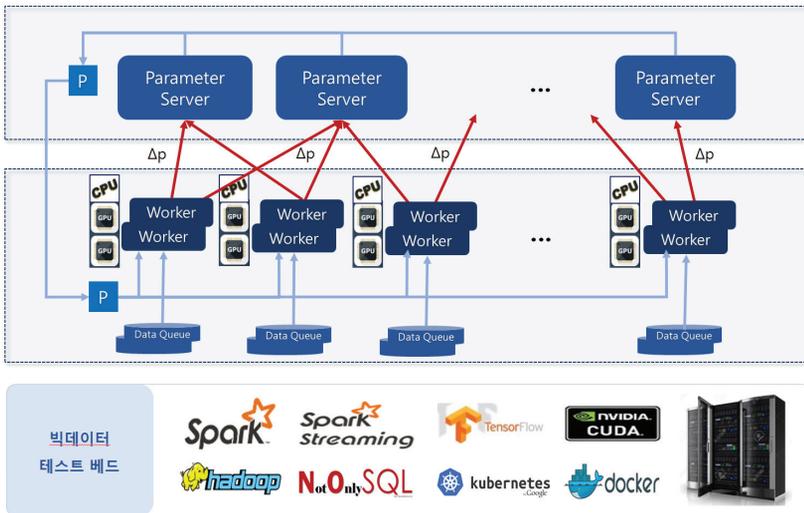
3. 분산 딥러닝 플랫폼 기반 재난 지식탐지

실시간/주기적으로 생산되는 센서 데이터를 분석하여 발생한 재난의 강도 및 피해 정도를 미리 예측하는 재난 지식탐지 시스템을 개발하였다. 2015년부터 태풍, 홍수, 침수와 관련한 재난 예측 정보, 기상 센서 데이터, 재난 이력 데이터 등의 스트림 빅데이터를 통합 분석하여 피해상황을 조기에 탐지하고, 지식탐지의 정확성과 적시성을 확보하였다. 그리고 세계 최고 수준의 지식탐지 알고리즘(RRPR)⁵⁾을 벤치마킹한 SVD⁶⁾ 및 SVT⁷⁾ 알고리즘을 내재화하여 시스템에 적용하였다(세계최고 수준 대비 100.12% 정확도).

현재 최고의 정확성을 보이고 있는 딥러닝 기술을 적용하기 위한 알고리즘 및 플랫폼 개발을 진행 중이다(그림5). 다양한 형태의 딥러닝 알고리즘들을 탑재할 수 있

는 범용 딥러닝 플랫폼의 모습을 지향하고, 위성 영상 데이터와 기상 센서 데이터 등 대용량 데이터(70 TByte)를 고속으로 학습할 수 있는 분산 형태로 플랫폼을 설계하였다. 분산 딥러닝 플랫폼을 활용하여 재난 상황정보를 신속, 정확하게 제공함으로써 재난대응 의사결정 지원의 효과를 제고할 것으로 기대한다.

[그림 5] 재난 지식탐지를 위한 분산 딥러닝 플랫폼 구성도



2017 © KISTI 재난대응 HPC 연구센터

5 RRPR(Reduced Rank Penalized Regression): 지식 추론 및 탐지에서 세계 최고로 정확한 알고리즘
6 Singular Value Decomposition: 행렬에서 missing value를 추정하기 위해 원본 데이터셋과 추정치 간 오차를 최소화해 주는 행렬 분해 방법
7 Singular Value Thresholding: SVD 알고리즘에 thresholding 값을 적용하여 행렬 곱의 수를 줄이는 방식으로 행렬 분해의 신속성까지 확보할 수 있는 방법

“ 분산 딥러닝 플랫폼을 이용한 주요 지식탐지 대상은 태풍진로 예측 ”

분산 딥러닝 플랫폼을 이용한 주요 지식탐지 대상은 태풍진로 예측이다(그림 6). 딥러닝 기반 태풍진로 예측 연구에는 WRF⁸⁾ 모델에 의한 기상예측 데이터, 태풍진로 예측 데이터, 기상위성영상 데이터가 활용되고 있으며, 기존의 모델기반 6시간 예측 정확도보다 더 정확한 결과를 도출하는 것을 1차 목표로 하고 있다. 이를 위해 CNN⁹⁾ 및 RNN¹⁰⁾이 결합된 형태의 Wide/Deep 인공신경망 예측 모델을 개발 중이다.

수치모델 데이터를 이용하는 경우에는 기상변수와 예상 진로 데이터를 학습 데이터로 활용한다. 위성영상 데이터를 이용하는 경우에는 입력(End)은 과거 태풍

위성영상, 출력(End)은 미래 태풍 위성영상을 활용하는 End-to-End 학습을 실시한다. 과거 태풍 사례에 대해 5개의 WRF 모델이 생산한 6시간 이후의 주요 기상변수와 예상 진로 데이터(3TByte 이상)를 확보하여 딥러닝 모델 학습을 진행하고 있다. 또한 천리안 위성영상 데이터에서 태풍 중심 좌표를 CNN을 이용하여 찾아내고 있다.

수치모델과 딥러닝 모델을 결합한 태풍진로 예측은 국내에서는 처음 시도되는 일이다. 딥러닝 모델 학습에서는 대규모 데이터를 사용하는 것이 필수적이어서 다수의 고성능 GPU를 탑재한 분산 딥러닝 플랫폼에서 학습을 수행할 예정이다. 성



8 Weather Reserach and Forecasting
 9 Convolutional Neural Network (합성곱신경망)
 10 Recurrent Neural Network (순환신경망)

“ 빅데이터 분석 플랫폼 기반으로 매출 데이터를 이용해 재난피해 예측시스템 개발 ”

공적인 연구 수행을 통해, 재난 예측기술 개발에 딥러닝 기법을 적용한 초석이 될 것이며, 재난예측 정확도 향상에 기여한 우수사례가 될 수 있을 것으로 기대한다.

4. 빅데이터 분석 플랫폼 기반 재난 피해예측

빅데이터 분석 플랫폼 기반으로 매출 데이터를 이용해, 침수 상황에서 발생할 수 있는 운영피해를 추정하는 재난 피해예측 시스템을 개발하였다(그림7). 이를 위해, 지역별로 실제 매출 데이터를 이용하여 평시 매출 추정 모델을 개발하였다.

운영피해는 평시 매출 결과에 침수 피해 수준과 지역 취약성을 고려하여 블록 단위를 기준으로 추정한다. 침수심에 따른 매출 피해 정도는 일본 치수경제 조사 매뉴얼에 따라 영업 정지 또는 정체 기간을 산정하여 추정하고, 해당 블록의 과거 피해 이력 통계자료를 근거로 지역 취약도를 계산하여 최종 운영피해를 추정한다. 과거

[그림 7] 빅데이터 분석 기반 재난 피해예측 시스템 구성도



피해 이력 자료는 재해연보¹¹⁾, 재난보고문서¹²⁾ 등에서 수집하고, 빅데이터 분석 기술을 이용하여 수집된 문서로부터 지역 기반의 피해 발생 이벤트를 분석한 후에 재난 유형에 따른 지역의 취약 정도를 계산한다.

재난 피해예측 시스템은 재난정보통합 시스템을 통해 예측 시스템과 연계되어 있어서 재난이 발생하기 전에 미래 재난발생 상황에서의 운영피해를 미리 추정할 수 있다. 따라서 지역 소상공인 또는 재난 대응 관계자들에게 더욱 구체적인 정보를 전

11 · 국민안전처 재해연보로부터 수집

12 · 국민안전처안전관리일일상황 <http://www.mpss.go.kr/home/news/disasterInfo/safetyDailySituation/>

“ K-MPAS는 60-15km, 15-3km 2종의 가변격자체계를 적용 ”

달할 수 있고, 이를 통해 지역 사회의 적극적인 재난 대응을 이끌어 내는 데에도 활용될 수 있을 것으로 기대한다.

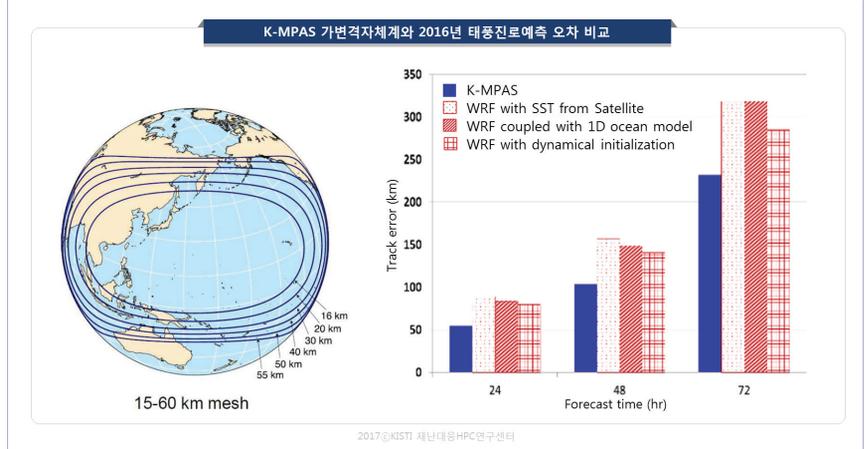
5. K-MPAS 기반 태풍 진로 예측

태풍 진로 예측 정확도가 향상된 기상모델 개발을 위해, 2014년부터 NCAR¹³⁾와 국제공동연구를 수행해 오고 있으며, 그 결과로 2016년에는 동아시아 지역 태풍 예측에 특화된 전구 모델 K-MPAS¹⁴⁾와 지역모델(r-MPAS) 개발이 완료되었고, 현재 일반 기상현상 모의 능력과 태풍 모의 능력을 평가 중이다.

K-MPAS는 60-15km와 15-3km의 2종의 가변격자체계가 적용되어 있으며, 서태평양 지역을 중심으로 고해상도 격자 영역을 설정하고 있다. 또한, Davis et al. (2008)에 의해 제안된 지표속 계산 방식이 적용되어 기존의 MPAS에서 너무 강한 태풍이 자주 모의되는 거짓경보 경향성이 크게 개선되었고, 태풍 예측 정확도 향상을 위해 추가적인 수정을 거친 Tiedtke 적운 모수화 방안이 탑재되었다.

K-MPAS의 태풍 모의 능력을 평가하기 위해서 2014년부터 여름철(7-9월)에 발생하는 태풍에 대하여 준현업예보를 수행하고 있는데 진로 예측에서 좋은 성능을 보여주고 있다. KISRI가 개발중인 WRF 모델 기반의 태풍 예측 시스템(위성 추출 해수면온도를 적용한

그림 8 (좌) K-MPAS의 격자체계, (우) K-MPAS 및 WRF 기반 3종의 태풍 예측 시스템 간 2016년 여름철(7-9월) 발생 태풍에 대한 진로 예측 오차 비교



13 National Center for Atmospheric Research(미국국립대기연구센터): 대기 및 관련 과학 분야의 서비스, 연구 및 교육을 위해 미국 연방 기금으로 조성된 연구 개발 센터

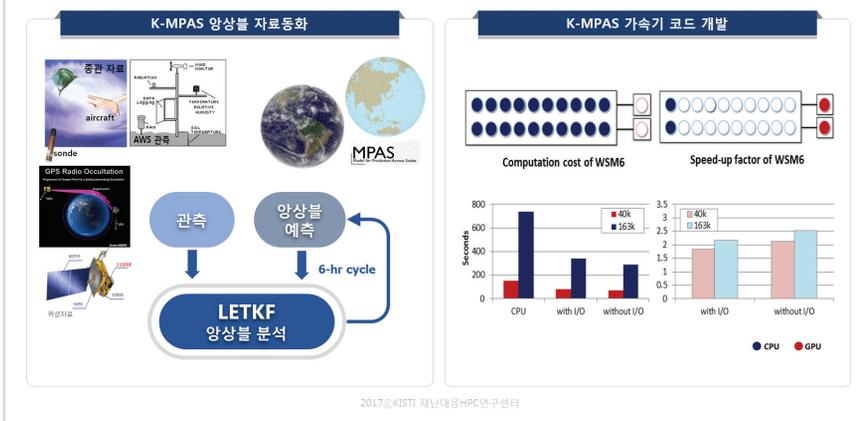
14 KISTI Model for Prediction Across Scales: NCAR가 개발중인 MPAS를 기반으로 하고 있으나, KISTI의 요구를 반영하여 동아시아 지역 태풍 진로 예측에 특화된 모델로 격자체계와 모수화 방안을 개선하여 개발된 것임(NCAR에서 커뮤니티에 제공하는 MPAS와 세부 내용이 다름)

“ K-MPAS가 WRF기반의 태풍 예측시스템보다 50-90km의 진로 오차개선을 보임 ”

WRF, 1차원 해양모델 접합 WRF, 역학적 초기화를 적용한 WRF)과 2016년 여름 철 발생 태풍 사례에 대한 모델 비교 검증에서, 72 시간 예측을 기준으로 K-MPAS가 WRF 기반 3종의 태풍 예측 시스템보다 50-90km 정도의 진로 오차 개선을 보였다(그림8).

K-MPAS의 예측 정확도 향상을 위한 노력의 일환으로, 앙상블 자료동화시스템을 개발하고 K-MPAS에 접합을 완료하였다. 재난을 유발하는 기상현상의 비선형성과 불안정성으로 인해 실시간 모델 오차가 급격하게 변하는 경향이 있는데, 앙상블 자료동화시스템은 모델 오차를 실시간으로 추정하여(오차를 줄여주는 방안인) 관측자료의 동화에 활용할 수 있기 때문에 예측 정확도 향상에 결정적인 역할을 한다. 다양한 앙상블 자료동화 기법 중에서 병렬확장성이 우수한 LETKF¹⁵⁾가 우선적으로 K-MPAS에 접합이 완료되었으며, 현재 현업 종관(고층관측, 지상관측, 위성 바람벡터, 항공기 관측 등) 자료동화가 가능하다. 추후 위성 복사자료를 추가하여 K-MPAS의 예측 정확도를 더욱 향상시킬 계획이다.

[그림 8] (좌) 앙상블 자료동화시스템 모식도, (우) CPU 만을 사용한 경우와 CPU와 GPU를 함께 사용한 경우의 WSM6에 대한 계산효율 비교



아울러 기상모델의 계산 속도를 향상시키기 위해 병렬 계산에 탁월한 성능을 보이는 GPGPU¹⁶⁾를 이용한 GPU 가속 컴퓨팅을 위해서 K-MPAS의 미세물리 모수화 방안 중 계산시간을 많이 차지하는 WSM6¹⁷⁾에 대하여 CPU와 GPU를 함께 활용할 수 있는 가속

15 Local Ensemble Transform Kalman Filter

16 General-Purpose computing on Graphic Processor Units: GPGPU를 이용한 GPU 가속 컴퓨팅은 그래픽 처리 장치(GPU)와 CPU를 함께 이용하여 애플리케이션의 처리속도를 높이는 것을 말한다. NVIDIA에 의해 2007년도에 개척된 GPU 가속은 현재 전세계 정부 산하의 연구소, 대학교, 대기업 및 중소기업의 에너지 효율적인 데이터센터에 사용되고 있음

17 Wideband Sub-Mini Transponder/Responder 6

“ 통합 예측시스템은
적용 지역과
사용자 요구에 따라
맞춤형으로 구축 ”

기 코드를 개발하였다. 현재 GPU 가속기를 활용할 경우, WSM6에 대한 계산소요 시간이 절반가량의 수준으로 감소되는 것을 확인할 수 있다(그림9).

GPU 가속기 코드 개발을 RRTMG, YSU 등 다른 물리모수화 방안에도 확대 적용중이며 2017년 말까지 완료할 계획이다. GPU 가속 컴퓨팅을 통해 고해상도 K-MPAS의 병렬 계산 효율이 크게 개선될 것으로 기대한다.

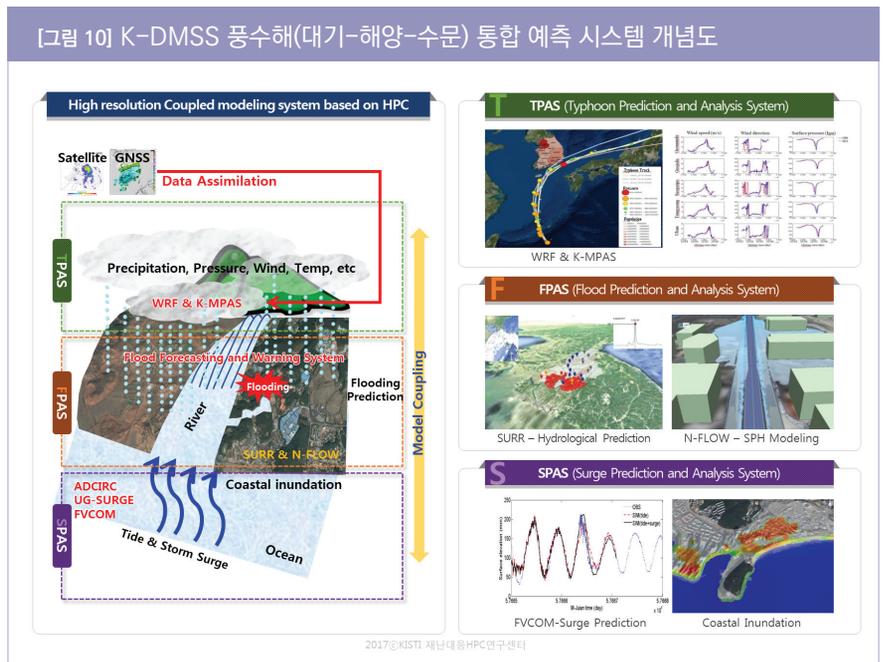
6. HPC 기반 고해상도 풍수해 통합 예측 시스템

이전보다 더욱 신속하고 정확한 풍수해 예측 정보 생산을 목적으로, 지난 3년간 (2014-2016) 고해상도 대기, 해양, 수문 모델링&시뮬레이션 기술과 개별 예측 시스템을 KISTI 보유 HPC 테스트베드와 미국 NCAR 슈퍼컴퓨터를 이용하여 개발하였다. 2017년에는 개발이 완료된 개별 예측 시스템을 연계하여 사용 목적에 부합하는 통합 예측 시스템 개발을 완료하고, 2018년에는 사용자를 대상으로 시범서비스를 제공하여 통합 예측 시스템의 효용성을 평가받을 계획이다(그림10).

통합 예측 시스템은 적용 지역과 사용자 요구에 따라 맞춤형으로 구축하고 있다.

군수분야 활용을 목적으로 임진강 침수 재난 대응을 위한 태풍-조석-홍수 통합 예측 시스템이 공군기상단과 협력하여 구축중이며, 민수분야 기술 및 시스템 활용 확대를 위해 해운대 침수 재난 대응을 위한 태풍-파랑-해일 통합 예측 시스템을 부산지자체 및 유관기관과 협력하여 구축중이다.

[그림 10] K-DMSS 풍수해(대기-해양-수문) 통합 예측 시스템 개념도



2017©KISTI 재난대응HPC연구센터

“ 기후변화로
서태평양 지역에서
태풍의 빈도는
줄어들지만, 강도는
강해질 것으로
전망 ”

태풍 진로와 강도 예측에는 K-MPAS와 WRF 기반으로 개발된 3종의 모델을 활용하고, 조석/해일 예측에는 공동연구기관인 KIOST에서 개발한 독자 태풍해일 예측모델과 KISTI가 ADCIRC¹⁸⁾와 FVCOM¹⁹⁾을 사용하여 국내 환경에 특화된 시스템으로 개발 중인 SPAS²⁰⁾를 활용할 계획이다.

III. 결론

각종 자연재해에 대한 예방 및 대응 체계가 미흡한 상태에서는 천재와 인재가 혼합되어 국가·사회적 피해가 확대될 수 있으므로 자연재해에 대한 적극적인 대응이 필요하다. 특히 우리나라에 큰 피해를 입힌 자연재해 상위그룹에 속하는 태풍의 경우, 기후변화가 가속화되면서 서태평양 지역에서 태풍의 발생 빈도는 줄어들지만, 강도는 강해질 것으로 전망되고 있어 더욱 적극적인 예방 및 대응체계 마련이 요구된다.

2016년 태풍 ‘차바’로 인한 피해가 크게 발생했을 적에 한 언론사에서는 능력 정보, 대응 시스템 미비, 재난 컨트롤타워의 부재 등 정부의 재난대응 문제가 여전히 해소되지 않았음을 지적하였다. 다른 언론사에서는 우리에게 닥치는 자연재해의 양상이 바뀌고 있음에 주목하기도 했다. 역대로 큰 피해를 안겨준 태풍이었던 1959년의 ‘사라’와 2003년의 ‘매미’가 모두 가을 태풍이었는데, 공교롭게도 ‘차바’ 역시 ‘이례적인 가을 태풍’이었다. 가을 태풍이 더 위험하다는 것은 경험으로 알고 있다.

기상청이 2020년 전면실시를 계획하고 있는 영향예보는 국민의 안전과 행복을 위해 같은 날씨에서도 때와 장소에 따라 다르게 나타나는 사회·경제적 영향에 대해 과학적인 자료를 바탕으로 상세한 기상정보와 함께 전달하는 예보서비스이다. 영향예보의 예측 정확도가 낮더라도 그 영향이 클 것으로 예상되면 미리 정보를 전달하여 재해에 대비할 수 있도록 한다는 점에서 적극적인 예방 및 대응 체계 마련에

18 Advanced Circulation Model

19 Finite Volume Community Ocean Model

20 Surge Prediction and Analysis System

“ 기상청과 KISTI가
협력한다면 태풍
영향예보의
안정화가 촉진될 것 ”

기여하는 바가 클 것으로 기대된다. 또한, 2016년에 시범서비스를 실시한 태풍 영향예보도 향후 정확도가 향상되고 예보가 안정화된다면, 태풍 위험으로부터 안전한 대한민국을 만드는 데 일조할 것으로 기대된다.

극한기상현상이 초래하는 재난에 효과적으로 대응하기 위해서 자연현상을 이해하고 미래를 예측하여 영향을 분석할 수 있는 과학기술 역량뿐만 아니라 각종 데이터를 수집하고 분석하여 가치 있는 정보를 신속하게 생산할 수 있는 정보통신기술 활용 역량도 중요하다. K-DMSS는 과학기술과 정보통신기술이 융합된 시스템이다. 기상청 태풍 영향예보의 잠재 피해 위험 예상이 범람과 침수를 대상으로 하고 있다는 점에서, K-DMSS를 구성하는 HPC 기반 고해상도 풍수해 통합예측 시스템과 빅데이터 분석플랫폼 기반 재난피해예측 시스템이 목표로 하는 자연재해 유형과 영향 분석 내용은 매우 유사하다. 기상청이 보유한 기상기술 및 예보경험과 KISTI가 보유한 과학기술 및 정보통신기술을 공유하고 협력을 추진한다면 태풍 영향예보의 안정화가 더욱 빨라질 수 있을 뿐만 아니라, 세계 최고 수준의 태풍 영향예보를 실현할 것으로 기대된다.

참고문헌

- 기상청, 2016: 기상기술정책, 9(1), 74pp.
- KIS 한국신용평가, 2016: KIS 신용카드 분석보고서, 40pp.
- 일본 국토교통성 하천국, 2005: 치수 경제 조사 매뉴얼.
- 한국은행경제통계시스템: <http://ecos.bok.or.kr/>
- 황선영, 이형민, 한정선, 2009: GIS 활용 증대를 위한 블록의 구성과 활용방안에 관한 연구 -삼성생명 사례를 중심으로-, 한국GIS학회학술대회논문집, 259-261.
- Barbieri, D., Braga, D., and Ceri, S., 2010: Deductive and Inductive Stream Reasoning for Semantic Social Media Analytics, IEEE Intelligent Systems, 25, 32-41.
- Davis, C., Wang, W., Chen, S. S., Chen, Y., Corbosiero, K., DeMaria, M., Dudhia, J., Holland, G., Klemp, J., Michalakes, J., Reeves, H., Rotunno, R., Snyder, C., and Xia, Q., 2008: Prediction of Landfalling Hurricanes with the Advanced Hurricane WRF Model, Mon. Wea. Rev., 136, 1990-2005.
- Hunt, B. R., Kostelich, E. J., Szunyogh, I., 2007: Efficient data assimilation for spatiotemporal chaos: A local ensemble transform Kalman filter, Physica D, 230, 112-126.
- Lotter, W., Kreiman, G., and Cox, D., 2017: Deep Predictive Coding Networks for Video Prediction and Unsupervised Learning, Center for Brains Minds and Machines, 18pp.
- Racah, E., Beckham, C., Maharaj, T., and Pal, C., 2017: Semi-Supervised Detection of Extreme Weather Events in Large Climate Datasets, ICLR.
- Tiedtke, M., 1989: A Comprehensive Mass Flux Scheme for Cumulus Parameterization in Large-Scale Models, Mon. Wea. Rev., 117, 1779-1800.
- Zhang, C., Wang, Y., and Hamilton, K., 2011: Improved Representation of Boundary Layer Clouds over the Southeast Pacific in ARW-WRF Using a Modified Tiedtke Cumulus Parameterization scheme, Mon. Wea. Rev., 139, 3489-3513.

기상예측정보를 활용한 농경지 물사용 영향예보

최진용 서울대학교 지역시스템공학과 교수 iamchoi@snu.ac.kr
 홍민기 서울대학교 지역시스템공학과 대학원 arsl159@snu.ac.kr
 이성학 서울대학교 지역시스템공학과 대학원 hacktan@snu.ac.kr
 이승재 국가농림기상센터 연구개발부 부장 sjlee@ncam.kr

- I. 서론
- II. 농경지 물관리 영향예보 국내외 기술개발 현황
- III. 기상예측자료를 활용한 농경지 물관리 영향예보

I. 서론

기후변화로 인해 가뭄 빈도가 증가하고 강도가 세지고 있다. 가뭄에 의한 피해를 저감하기 위해서는 우리나라 농경지에 적합한 가뭄지수를 개발하고 이를 현장에 적용하는 과정이 필수적이다. 한편, 이상 기후 현상의 빈발로 인하여 농경지 관리를 위한 안정적인 수자원 운용 필요성이 제기되고 있다. 이는 혼합 농경지의 물 사용량을 예측함으로써 수자원 활용 계획을 세우는 방식으로 도모할 수 있으나, 현재까지는 인근 관측소의 기상자료를 일괄적으로 활용하는 등 기상자료의 품질로 인해 지역별 차이를 고려한 관계계획을 세우는 데 어려움이 있어 왔다.

농경지의 관개 계획을 수립함에 있어 과거 자료를 기반으로 한 통계적 방법이 주로 이용되고 있는데, 이러한 방법은 평년치와 다른 기상현상이 발생할 경우 관개 계획 수립을 어렵게 한다. 효과적인 농경지 관개계획 수립을 위해 기상정보는 공간적 상세성과 시간적 예측성을 가져야 한다. 공간적 상세성은 좁은 지역의 상이한 기상현상들



을 반영해야 함을 의미하고, 시간적 예측성은 단·중·장기의 시간규모 기상예측정보를 사용해야 함을 의미한다. 즉, 고해상도 기상예측정보가 요구된다. 최근 기상청의 차세대 농림 융합 스마트 기상서비스 개발 사업으로 고해상도 기상자료의 예측 및 제공이 어느 정도 가능해진 것은 고무적이다. 농경지역의 지역별 기상 차이를 고려한 단기 및 중기 물사용 예측을 통하여 지역단위의 상세 토양수분 및 필요 수량정보를 제공함으로써 농경지의 효율적인 관개 계획 수립에 도움이 되고 있다.

II. 농경지 물관리 영향예보 국내외 기술개발 현황

오늘날의 기상예측은 수치예보모델에 의해 수행되고 있다. 수치예보는 전자계산이 가능한 컴퓨터의 발명과 더불어 수치해석이 가능해짐으로써 발달하였다. Charney(1948)는 다루고자 하는 대기현상의 복잡성에 따라 지배방정식을 단순화하는 기법이 필요함을 주장하고 준지균큰 모델(Quasi-geostrophic model)을 개발하였으며, Eliason(1953)은 대기중층기압골의 이동과 발달과정을 정량적으로 예측하여 처음으로 수치예보의 가능성을 제시하였다(이승재 외, 2012). 수치예보모델은 컴퓨터의 속도와 메모리 성능이 향상됨에 따라 더욱 정교한 물리과정을 고려할 수 있는 경압모델로 발전되었다. 우리나라의 경우 1980년대부터 수치예보를 기상업무에 도입한 이래 한국형 수치예보모델 개발에 관한 연구가 지금 현재 활발하게 이루어지고 있다. 수치예보모델의 격자단위 기상자료 생산과 검증에 관한 연구로는 Daly et al.(1994)의 경우 PRISM 모델을 개발하여 다양한 기후인자들의 영향을 고려하는 고해상도 격자형 기후자료 산출 도구를 개발하였다. 이후 각 기후인자에 대한 가중치 조절 등을 통해 격자형 자료의 산출 수준을 개선시키고 있다(Daly et al., 2003; Daly, 2006). 국내 연구로 신만용 외(1999)는 격자 단위 기후자료 추정을 위한 통계적 방법을 제시하였으며 김용상 외(2002)는 초기자료 개선을 위해 객관분석 기법의 필요성을 제기하였다. 또한 홍기옥 외(2007)는 한반도의 GIS 정보와 지상관측 기온자료를 PRISM 모델에 적용함으로써 고해상도 기온자료를 산출하였으며 김맹기 외(2013)는 MK-PRISM 모델을 활용하여 남한 1km 해상도의 격자형 일 기상자료를 생산하고 모의 성능을 검증하였다.

수치모델에 의해 생산된 기상자료가 수문학적 분석에 활용된 사례로서 Abatzoglou(2011)은 PRISM 모델에서 생성된 4km 단위 격자기상자료를 이용하여 생태 모델링을 시행한 바 있으며 Peter et al.(2013)은 WRF-Noah 모델을 이용하여 프랑스 남부 지역의 토양수분모의를 실시하고 이를 실측치와 비교함으로써 모델의 토양수분 모의 성능을 평가한 바 있다. 또한 Rasmussen et al.(2014)은 미국 콜로라도 지역의 WRF 기상자료를 이용하여 수문분석을 실시함으로써 기후변화가 콜로라도 지역의 상류부 물수지에 끼치는 영향을 분석하였다. 국내 연구로 백종진 외(2012)가 WRF-ARW(Advanced Research WRF) 모형을 이용한 공간 분포형 강우 자료를 수문 모형인 HEC-HMS와 연계 활용함으로써 유출 모의를 시행한 바 있으며 홍민기 외(2015)는 WRF 기상자료를 활용하여 발 지역 토양 물수지를 분석함으로써 기상 에 따른 토양수분과 필요수량의 지역적 분포를 밝힌 바 있다.

격자기반 토양수분 모형이 발달함에 따라 타 응용분야로의 적용 연구가 활발하게 진행 되어왔다. Reed et al.(1997)은 5km 단위의 강우량 자료와 500m 단위의 수치 표고자료 (DEM)을 이용하여 미국 텍사스 지역의 연간 유출량과 증발량의 분포도를 작성한 바 있으며, Vorosmarty et al.(1998)은 미국 전역에 대하여 격자 단위 토양 물수지를 분석함으로써 증발산량을 산정하는 11개의 식들의 증발산량 모의 성능을 비교하였다. Todini(1996)은 토 양수분 모형인 ARNO 모형을 이용하여 강우에 따른 유역 유출량을 모의한 바 있으며 다양 한 유역에 대해 적용함으로써 유역 형상 인자에 따른 모델의 적용성을 평가한 바 있다. 또한 Arnell(1999)은 유럽 전반에 걸쳐 24개 대표 유역에 대한 격자 자료를 추출하고 토양 물수지 방식에 근거하여 일별 유출량을 산정 및 검증함으로써 거시적 토양 물수지 모델의 이점과 한 계를 제시한 바 있으며, David et al.(2003)은 강우에 따른 유출량을 평가하기 위해 토양수분 모형을 적용하여 토양수분함량을 기준으로 지역 유출량 모의 및 홍수 예측을 시도한 바 있 다. Croke and Jakeman(2004)는 산림에서의 토양수분 모형을 개발하고 토양수분 부족량 에 대한 분석을 실시함으로써 유역에서 발생하는 유출량에 대해 분석한 바 있다. 이처럼 대 부분의 연구들이 유역 유출량 산정을 위해 토양수분 모형을 적용해 왔음을 알 수 있으며 치 수 측면에 국한되어 있음을 확인할 수 있다.

국내 연구로는 김성준과 채효석(2000)에 의해 격자기반 토양수분추적모형을 이용하여 지



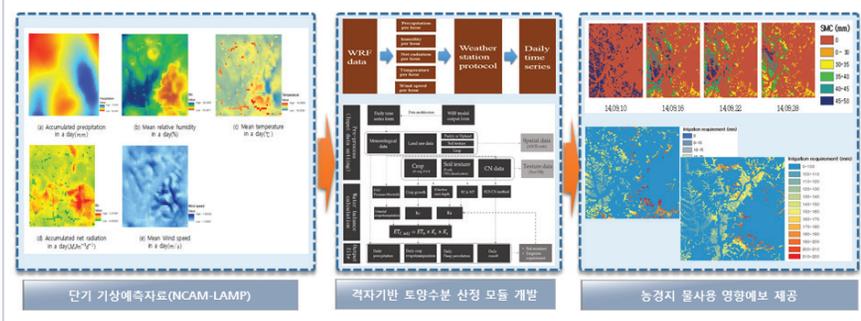
하수 함양량에 대한 분석 및 추정이 실시된 바 있으며, 안중기 외(2006)은 제주도 북부지역에 대하여 물수지 분석법에 근거한 모형을 통해 지하수 함양량 및 지하수위 상승량에 대한 모의 능력을 평가한 바 있다. 또한 김수진(2014)은 지리정보시스템 연계형 격자기반 토양물수지 모형을 개발함으로써 토양수분 추정을 실시하고 밭 가뭄의 경향 및 심도를 정의할 수 있는 농업가뭄지수를 제시한 바 있으며, 홍민기 외(2015)는 격자기반 토양물수지 모형을 개발하고 고해상도 격자 기상자료를 적용함으로써 지역적 기상차이를 고려한 밭 토양수분 및 필요수량 산정을 실시한 바 있다.

III. 기상예측자료를 활용한 농경지 물관리 영향예보

본 논고에서는 고해상도 기상예측모델로써 NCAM-LAMP(이승재 외, 2016)의 고해상도 기상예측자료와 토양수분산정 모형을 활용하여 농경지 물수지를 분석하고, 이를 활용하여 관개계획 수립에 활용할 수 있는 농경지 물사용 영향예보 제공에 도움을 주고자 한다. 이를 위하여 고해상도 기상예측자료 및 지리정보시스템 기반 토지피복도, 토지이용도와의 연계적 활용이 가능한 격자기반 토양수분 모델을 개발하였으며, 이를 통해 일별 토양수분 예측 모의를 실시한다. 미래 토양수분 모의 결과를 토양수분 장력으로 전환함으로써 작물 및 토성에 따른 농경지 물사용 및 작물별 가뭄정보를 제공하고 이를 통해 물관리 의사결정을 지원한다. 따라서 본 논고의 분석은 NCAM-LAMP 모델과 토양수분 모델을 연계함으로써 토양

수분장력 기반 중·단기 관개계획을 수립하고 작물별 가뭄정보 제공이 가능한 모델을 개발하며 이를 통해 밭작물 재배의 기후변화에 대한 대응력을 높이고 물 사용 효율을 개선하는 것을 목적으로 한다.

[그림 1] NCAM-LAMP를 활용한 농경지 물사용 영향예보 개요

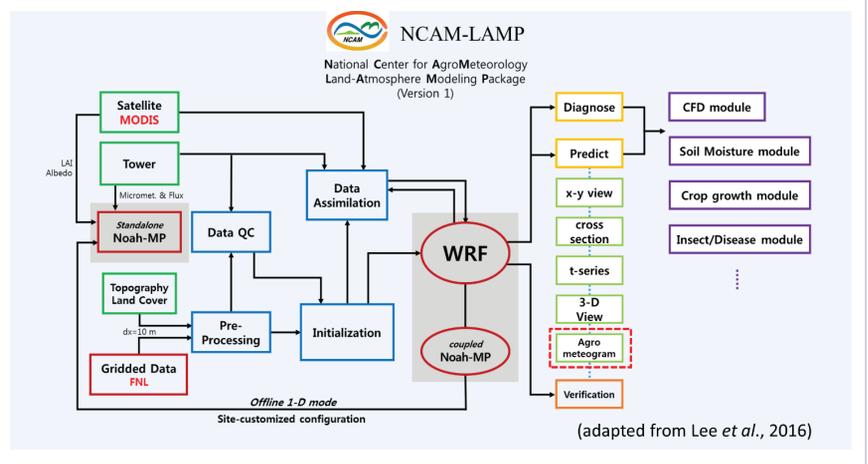


1. 기상예측자료(NCAM-LAMP) 생성

NCAM-LAMP 기상예측자료는 국가농림기상센터(National Center for Agro Meteorology)에서 농림 지원용으로 구축한 고해상도 수치모델링시스템(Land-Atmosphere Modeling Package, LAMP)을 통해 생성되었으며, NCAM-LAMP 자료 생성과정 및 산출물 활용은 그림 2와 같다(이승재 외, 2016). LAMP는 WRF 모형에 Noah-MP 지면모형을 적용하여 구축한 고해상도 수치모델링시스템으로써 다중등지격자체계를 활용하여 모델링을 수행한다. Noah-MP 지면모형은 토양과 식생을 결합하여 하나로 취급하는 기존의 Noah 모형과는 달리 토양과 식생을 분리하여 처리하며 복사전달 방안, 기공저항 방안 및 단기 동적 식생 방안 등이 추가된 버전이다(송지애 외, 2014). 또한 LAMP는 국내 농림지의 소규모 복잡성과 비 균질성을 반영하고 다양한 농림 분야 응용 모델과 연계되도록 전후처리 과정이 개발 중에 있다(홍민기 외, 2015). 대기의 수치모의에 있어 바다 조건인 지형자료는 운동학적 강제력이 있으므로 지형자료가 정확하고 세밀할수록 정확한 모의에 유리하다. 일반적으로 대상 영역의 해상도와 입력 자료로 활용되는 지형자료의 해상도가 일치할수록 대기모의가 잘 이뤄지는 것으로 평가된다(Skamarock et al. 2008). 모의를 위해 경기도 농경지 지역을 초점으로 맞춘 6중 등지격자체계로 도메인을 구성하였으며 도메인 1부터 도메인 3까지는 WRF 모형에 기본적으로 장착되

어 있는 미국 지질조사국(USGS)의 30초 해상도의 지형고도 및 토지피복 자료, 도메인 4부터 도메인 6까지는 국토지리정보원과 환경부에서 남한 지역에 대해 각기 개발한 1/3초 고해상도 수치지형고도 자료와 토지이용 자료를 적용하였다(송지애 외, 2014).

그림 2 NCAM-LAMP 자료 생성 과정 및 산출자료 활용 과정



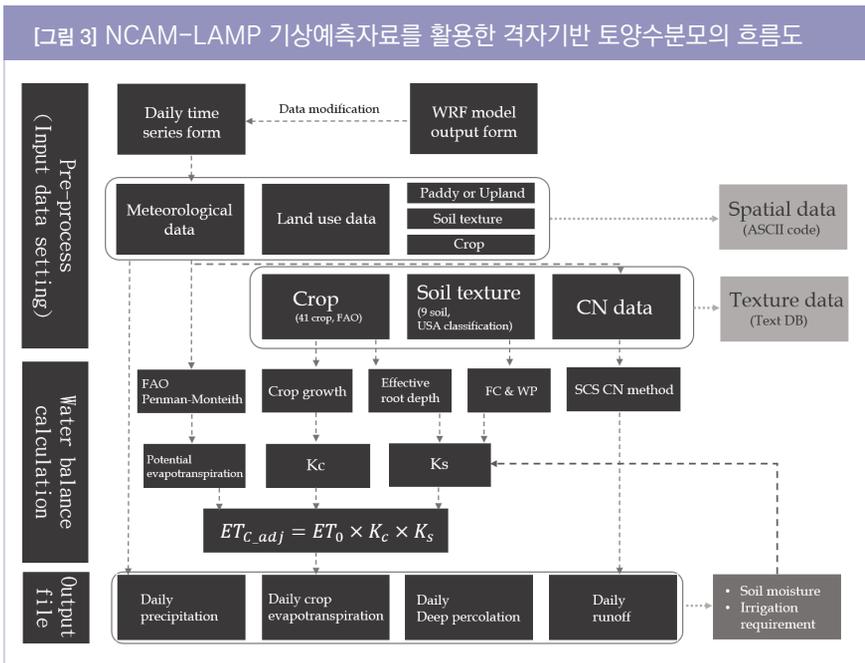


2. 농경지 토양수분모의 모형 개발

토양수분 모형에 의한 토양수분 모의는 각 격자에 해당하는 토성과 작물에 관한 입력자료를 사용하여 물수지 분석을 수행한다. 토양수분 모형의 모의 과정은 그림 3과 같은 전처리, 물수지 분석, 분석결과 표출의 3가지 단계로 구성되었다. 이 물수지 분석은 격자마다 진행되며 격자 간 수분이동은 고려되지 않는다. 물수지 방정식을 구성하는 증발(산)량, 유효우량, 침투량(infiltration by layers) 및 침투량(deep percolation), 지표·하 유출량의 수문인자들이 일단위로 모의되어 토층별 값으로 산정된다. 토층별로 산정된 토양수분 정보를 통해 층별 토양수분 장력을 추정할 수 있다. 이를 통하여 대상 지역의 토성 및 작물의 공간적인 분포를 고

려한 토양수분 및 토양수분 장력의 토층별 값의 분포를 파악할 수 있으며 이를 기반으로 필요수량을 산정하고 관개 계획 및 작물 가뭄분석에 필요한 수분 정보를 분석하는 것이 가능하다. 농경지 물사용 영향예보를 위한 격자기반 토양수분 모의는 시계열적 모의와 공간 분포형 모의가 수행되며, 토양수분 분포도 및 토층별 토양수분

[그림 3] NCAM-LAMP 기상예측자료를 활용한 격자기반 토양수분모의 흐름도



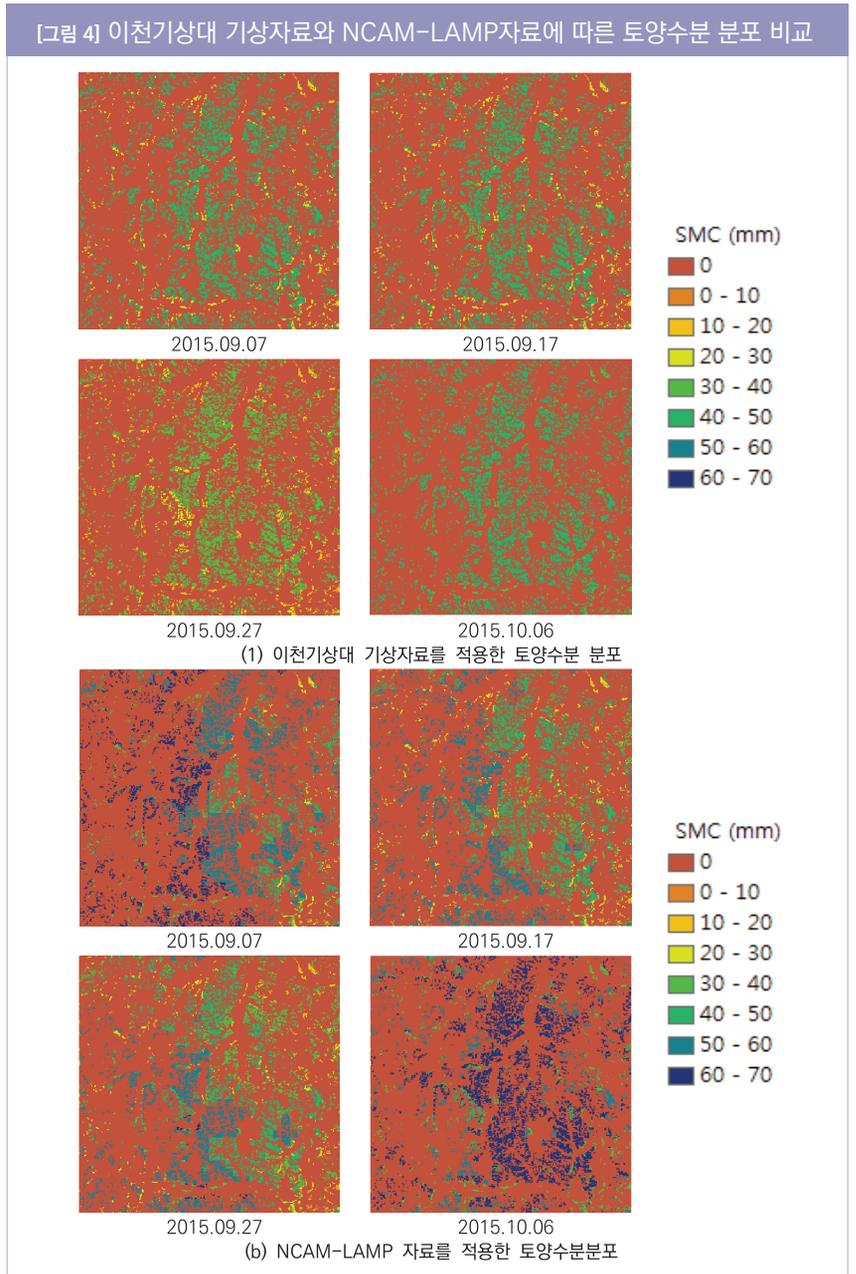
분포 양상 역시 모의가 가능하다.

3. NCAM-LAMP를 활용한 농경지 물사용 분석

농경지 토양수분모의 모형과 NCAM-LAMP 기상예측자료를 활용하여 여주의 농경지를 대상지역으로 적용하였다. 분석시점은 2015년 9월 7일, 17일, 27일 및 10월 6일의 10일 간

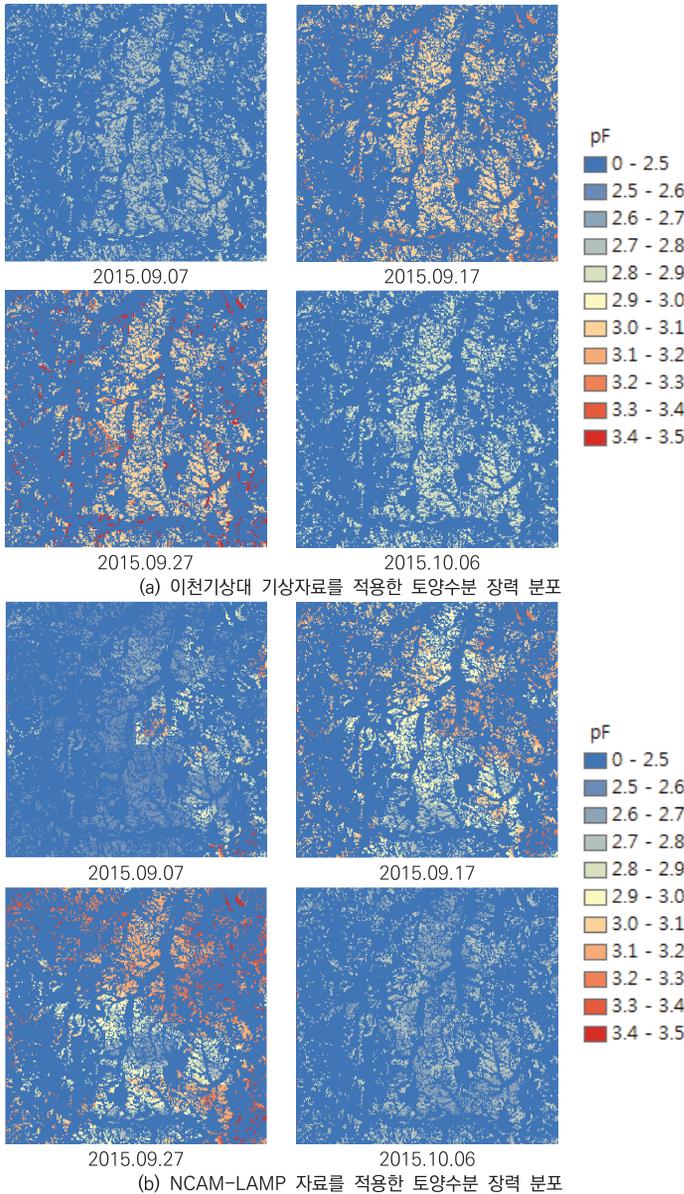
적이며, 토양수분모의 모형의 기상입력자료는 NCAM-LAMP자료와 대상지역 지배관측소 인 이천기상대 기상자료를 각각 적용하여 비교하였다. 그림 4는 토양수분 모의결과를 공간적으로 비교하여 나타낸 것이다. 그림 4(a)는 이천기상대 기상자료를 적용한 토양수분 모의 결과로 인근 기상대의 기상자료를 전 영역에 걸쳐 동일하게 적용하고 토성과 작물의 변화만을 고려하여 토양수분 분포가 산정된 결과를 나타내며, 지역적 토성과 작물의 종류가 같을 경우 지역에 상관없이 동일한 토양수분 모의 결과를 나타내었다. 반면 그림 4(b)는 NCAM-LAMP 격자기반 기상자료를 적용하여 토양수분모의를 수행한 결과이며, 국소적으로 발생하는 강수 및 기온과 풍속 등의 기상인자의 지역적 차이가 고려되므로 각 격자별로 작물과 토양이 동일한 조건이라도 상이한 토양수분 상태를 나타낸다. 따라서 관계계획의 수립 시 지역별로 적합한 계획의 수립이 가능하고 가뭄 등의 물부족 현상이 발생할 경우 대책 적용 우선순위 결정에 도움이 될 것으

그림 4 이천기상대 기상자료와 NCAM-LAMP자료에 따른 토양수분 분포 비교





[그림 5] 이천기상대 기상자료와 NCAM-LAMP자료에 따른 토양수분 장력 분포 비교



로 판단된다.

작물에 따른 토양수분 스트레스 및 포장용수량 분석에 있어 토양수분 장력기반으로 표시하면 활용하기가 더 용이하다. 격자기반 토양수분 모의 결과를 van Genuchten 방정식을 활용하여 토양수분 장력으로 환산하였으며, 결과는 그림 5와 같다. 모의 기간 중 강우가 적은 북동지역 토양수분장력이 크게 모의되었으며, 격자별 강우 편차에 따른 지역별 토양수분장력 차이를 나타낸 결과라 할 수 있다. 관개 실시 여부에 가장 직접적인 기상 인자인 강수 및 토양수분 상태에 영향을 끼치는 기온, 습도, 풍속 및 일조량의 기상인자들의 지역적 차이를 고려하는 것은 관개가 필요한 지역과 그렇지 않은 지역을 구분하고 필요수량 예측을 통해 필요한 관개량 및 관개시기를 파악함으로써 효과적인 물관리

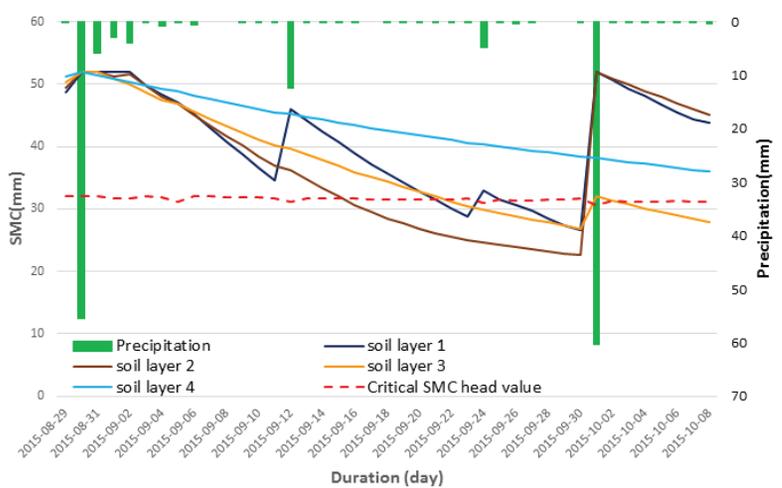
리 운용 계획을 세우는 데에 기여할 것으로 기대된다.

4. 농경지 물사용 영향예보를 활용한 관개계획 수립

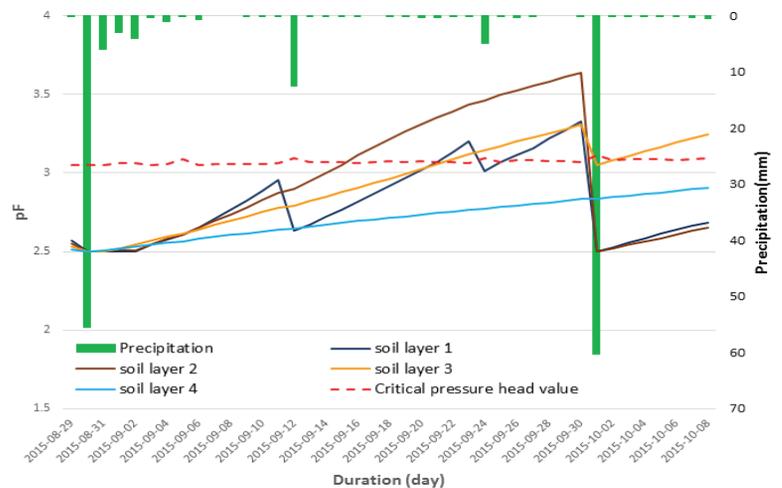
본 고에서는 토양수분장력 정보를 활용하여 필요수량을 산정하였으며, 토양수분장력 모의 결과를 활용하여 작물과 토성 조합에 따른 수분 스트레스 구간을 파악하였다. 당일의 필요수량에 따른 임계토양수분장력의 변화를 고려하여 토양수분장력 모의를 실시한 결과는 그림 6과 같다. 그림 6(a)는 NCAM-LAMP자료를 적용

하여 고추가양토에 심긴 조건 하의 토양수분모의 결과를 나타낸 것이며, 그림 6(b)는 그림 6(a)의 토양 수분모의 결과를 토양수분 장력으로 환산한 결과를 나타낸다. 그림 6은 관개를 실시한 직후의 포장용수량 상태를 초기조건으로 하여 모의가 진행되었으며 양토의 포장용수량 상태에서의 토양수분장력 값은 pF 2.54이다. 각 토층에서의 토양수분이 감소함에 따라 토양수분장력의 상승하였고, 임계토양수분장력에 도달하면 작물이 수분 스트레스를 받게 되므로 관개를 실시하여야 한다. 이는 적정 관개 시점 및 관개량을 결정하는 자료로 활용이 가능하다. NCAM-LAMP자료를

그림 6 NCAM-LAMP자료를 활용한 시계열 토양수분 및 장력 모의결과 비교 (고추, 양토)



(a) NCAM-LAMP 토양수분 모의 (고추, 양토)



(b) NCAM-LAMP 토양수분 장력 모의 (고추, 양토)



활용할 경우 단기적인 강우량의 예측을 통한 유효우량 사용을 극대화 할 수 있어 관개량을 줄일 수 있는 장점을 가진다.

참고문헌

- 김맹기, 이대희, 김진욱, 2013: 남한 1km 해상도의 격자형 일 기상자료 생산과 검증, 기후연구, 8(1), 13-25.
- 김성준, 채효석, 2000: 격자기반의 토양수분추적에 의한 지하수함양량 추정기법 개발, 한국수자원학회지, 33(1), 61-72.
- 김수진, 2014: 발작물 가뭄분석을 위한 격자단위 토양물수지 모델의 개발, 경상대학교 석사학위논문.
- 김용상, 박옥란, 황승언, 2002: 기상연구소의 국지규모 기상 분석 및 예측 시스템(KLAPS)의 실시간 운영, 한국기상학회지, 38(1), 1-10.
- 백종진, 정용, 최민하, 2012: 중소규모(WRF-ARW) 기후모델을 이용한 지역유출 모의 평가: 청미천 지역을 중심으로, 대한토목학회논문집B, 32(1B), 29-39.
- 송지애, 이승재, 강민석, 문민규, 이정훈, 김 준, 2015: 2014년 특별관측 기간 동안 청미천 농경지에서의 WRF/Noah-MP 고해상도 수치모의, 한국농림기상학회지, 17(4), 384-398.
- 신만용, 윤진일, 서애숙, 1999: 공간통계기법을 이용한 전국 일 최고/최저기온 공간변이 추정, 대한원격탐사학회, 15(1), 9-20.
- 안중기, 최무용, 2006: 지하수위를 이용한 물수지분석법의 매개변수추정과 함양량 산정, 한국수자원학회지, 39(4), 299-311.
- 이승재, 강지순, 유혜립, 2012: 대기모델링, 자료동화, 그리고 예측가능성, ㈜시그마프레스, 392pp.
- 이승재, 송지애, 김유정, 2016: 국가농림기상센터 지면대기모델링패키지(NCAM-LAMP) 버전 1: 구축 및 평가, 한국농림기상학회지, 18(4), 307-319.
- 홍기욱, 서명석, 나득균, 장동호, 김찬수, 김맹기, 2007: GIS와 PRISM을 이용한 고해상도 격자형 기온자료 추정, 대기, 17(3), 255-268.
- 홍민기, 이상현, 최진용, 이성학, 이승재, 2015: WRF 기상자료의 토양수분 모형 적용을 통한 밭 토양수분 및 필요수량 산정, 한국농공학회논문집, 57(6), 173-183.
- Abatzoglou, J. T., 2011: Development of gridded surface meteorological data for ecological applications and modelling, International Journal of Climatology, 33(1), 121-131.
- Arnell, N. W., 1999: A simple water balance model for the simulation of streamflow over a large geographic domain, Journal of Hydrology, 217, 314-335.
- Charney, J. G., 1948: On the scale of atmospheric motions, Geofysiske Publikasjoner, 17(2), 251-265.
- Croke, B. F. W., and A. J. Jakeman, 2004: A catchment moisture deficit module for the IHACRES rainfall-runoff model, Environmental Modelling & Software 19(1), 1-5.
- Daly, C., 1994: Modeling climate, vegetation, and water balance at landscape to regional scales, Ph.D dissertation, Oregon state university, USA.
- Daly, C., E. H. Helmer, and M. Quiñones, 2003: Mapping the climate of Puerto Rico, Vieques and Culebra, International Journal of Climatology, 23(11), 1359-1381.
- Daly, C., 2006: Guidelines for assessing the suitability of spatial climate data sets, International Journal of

Climatology, 26, 707-721.

David, A., C. Loumagne, L. Oudin, 2003: Sequential assimilation of soil moisture and streamflow data in a conceptual rainfall-runoff model, *Journal of hydrology*, 280(1-4), 145-161.

Ellison, T. H., 1953: Atmospheric turbulence, University of Cambridge.

Peter, G., K. W. Sagi, and V. Wulfmeyer, 2013: Evaluating soil water content in a WRF-Noah downscaling experiment, Institute of Physics and Meteorology, University of Hohenheim, Stuttgart.

Rasmussen, R., K. Ikeda, C. Liu, D. Gochis, and M. Clark, 2014: Climate change impacts on the water balance of the colorado headwaters: High-resolution regional climate model simulations, *Journal of Hydrometeorology*, 15, 1091-1116.

Reed, S. M., D. R. Maidment, and J. Patoux, 1997: Spatial water balance of Texas, CRWR Online Report, 97-1.

Skamarock, W. C., J. B. Klemp, J. Dudhia, D. O. Gill, D. M. Barker, M. G. Duda, X. Y. Huang, W. Wang, J. G. Powers, 2008: A description of the advanced research WRF version 3, U.S. National Center for Atmospheric Research, Colorado.

Todini, E., 1996: The ARNO rainfall-runoff model. *Journal of Hydrology*, 175(1-4), 339-382.

Vörösmarty, C. J., C. A. Federer, A. L. Schloss, 1998: Potential evaporation functions compared on US watersheds: Possible implications for global-scale water balance and terrestrial ecosystem modeling, *Journal of Hydrology*, 207, 147-169.

화재 기상예보 서비스

류정우 어니컴(주) 빅데이터사업부 분석컨설팅 팀장 ryu0914@onycom.com
 권성필 한국소방산업기술원 소방기술연구소 선임연구원 kwon@kfi.or.kr

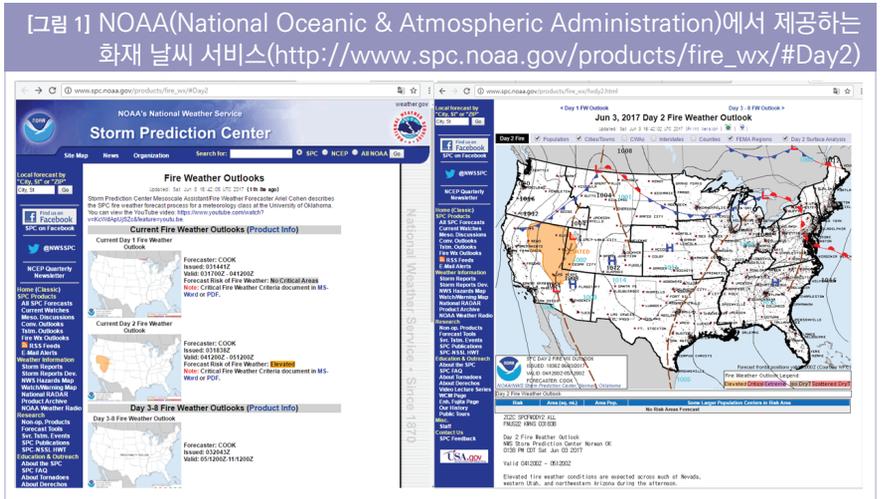
- I. 서론
- II. 본론
- III. 결론

I. 서론

날씨가 우리 일상생활에 미치는 영향은 매우 크다. 기상청에서 서비스로 제공하고 있는 생활지수의 종류를 보면 그 영향력을 가늠할 수 있다 (<https://www.weatheri.co.kr/forecast/forecast08.php?mNum=1&ridcode=1>). 송동우 외(2014)는 2007-2012년까지 국내의 월별 화재 발생 건수를 분석한 결과 고온다습한 여름철에 화재발생 건수가 감소하고 저온저습한 겨울철에 화재발생 건수가 증가하는 경향을 확인하였다. 이를 통해 국내에서 발생한 화재들이 습도와 온도에 영향을 받는다는 것을 알 수 있다. 국외에서 발표된 기상과 화재간의 연구결과를 살펴보면, Tanskanen & Venäläinen(2008)은 5°C이상의 일일 평균 온도의 누적합을 이용하여 핀란드 내에서 기상과 산불 또는 기상과 임야화재의 관계를 분석하였고, Carvalho et al.(2011)은 포르투갈의 기후변화에 따른 산불 예측에 대한 연구 결과를 발표하였다. Chau & Corlett(1993)은 홍콩에서 국립공원, 농장, 산림지대 등과

같이 옥외에서 발생될 수 있는 화재와 기상과의 관계성을 분석한 결과, 평균 상대습도가 화재와 음의 상관관계를 가지고 있음을 확인하였다. 뉴질랜드 Auckland 대학교에서는 2004-2007년까지 3년간에 수집한 2,752건의 데이터를 가지고 기온과 날씨의 변화에 따른 굴뚝화재(chimney fires) 발생률의 변화를 조사하여 온도가 감소할수록 굴뚝화재는 증가하는 경향을 보이고 습도는 약간의 비선형 관계를 나타냄을 증명하였다.

미국 해양대기청(National Oceanic and Atmospheric Administration; NOAA) 홈페이지에서는 그림 1과 같이 화재 날씨(fire weather)를 서비스하고 있다. 지도에서 각 지역별로 화재발생 위험등급이 표시되고, 위험등급이 표시된 지역을 클릭하면 사용자는 해당 지역의 세부 날씨정보를 확인할 수 있을 뿐만 아니라, 언제까지 위험등급이 유효한지 그리고 그 이유가 무엇인지 확인할 수 있다. 예를 들어 '13시부터 23시까지 해당 지역에 돌풍과 낮은 상대습도로 화재위험 등급이 적색입니다와 같은 정보가 제공된다.



국내에서는 국민안전처 국가화재정보센터(<http://www.nfds.go.kr/index.jsf>)에서 '화재위험 예측 네비게이터'를 통해 주민들이 각 시군구별로 화재위험지수를 확인할 수 있다. 제공되는 화재위험지수는 식 (1)과 같은 회귀식(regression equation)으로 계산된다. 해당 회귀식의 독립변수를 살펴보면, 기상과 직간접적으로 관련 있는 변수는 "월"이 전부이다. 나머지 변수들은 그 갱신 주기가 짧게는 1년, 길게는 5년이기 때문에 동일한 월에 각 지역별로 추정되는 화재건수는 동일하게 추정되는 단점이 있다.

$$\begin{aligned}
 \text{화재 건수} = & -12.7149 \times \text{월} + 0.00059 \times \text{인구} + 0.00957 \times \text{면적} - 21201 \times \text{농업체수} \\
 & + 39413.8 \times \text{건설업체수} + 2238 \times \text{기업체수} + 56244.9 \times \text{교육업수} \\
 & + 22617.6 \times \text{공장수} - 2810.5 \times \text{가구수} - 678806 \times \text{어업체수} + 783.4
 \end{aligned} \tag{1}$$



II. 본론

화재 기상예보 서비스란 기상예보에 따라 각 지역별 화재 위험등급을 제시하여 일상생활에서 화재에 대한 주민의 경각심을 고취시킬 수 있는 범국민 서비스이다. 제안한 서비스는 [1단계]기상예보에 따라 화재가 일어날 확률을 추정하는 단계, [2단계]추정된 화재발생 확률을 가지고 화재 위험성을 평가하는 단계로 구분된다.

1. 기상조건에 따른 화재발생 확률 추정

[표 1] 화재조사데이터와 기상데이터를 통합한 데이터

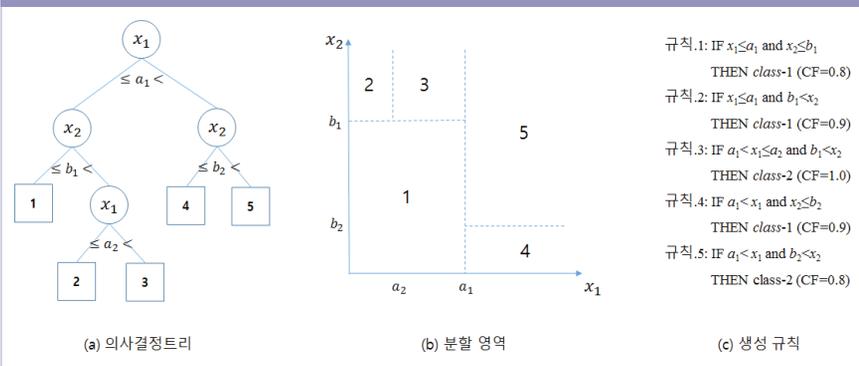
일시	강수량	온도	풍향	풍속	습도	화재발생 여부
2017010100	0.0	0.9	NE	1.2	50.6	YES
2017010101	0.0	0.4	NE	1.6	54.0	YES
2017010101	0.0	0.4	NE	1.6	54.0	YES
2017010102	0.0	0.5	NE	0.8	51.4	NO
2017010103	0.0	0.4	NE	1.1	54.3	YES

기상조건에 따른 화재발생 확률을 추정하기 위한 예측모델을 생성하기 위해 과거에 발생한 화재조사 데이터와 관측된 기상데이터를 표 1과 같이 시간을 기준으로 두 데이터 집합을 통합하여 학습데이터(training data)¹⁾를

생성한다. 통합데이터는 여섯 개의 속성(attribute)으로 구성되어 있으며, 그 중 ‘화재발생 여부’는 예측모델을 생성하기 위한 종속변수(dependant variable)로 사용하기 위해 화재

조사 데이터로부터 생성한 것이다. 만약 2017년 1월 1일 1시대(1시부터 2시까지)에 화재가 2건 발생하였다면, 그림 2와 같이 해당 시간대에 동일한 데이터를 화재 건수만큼 생성하여 통합데이터를 생성한다. 이렇게 생성된 통합데이터로부

[그림 2] 의사결정트리에 의해 생성된 분할영역과 생성규칙



1. 학습데이터란 예측모델을 생성하기 위한 데이터 집합이다.

터 종속변수인 '화재발생 여부'와 독립변수인 기상데이터 간의 관계분석을 통해 화재가 발생한 기상조건을 분석할 수 있다. 특정 기상조건에서 화재발생 확률이 높은지를 화재 기상예보에서 알려주기 위해서는 데이터마이닝 기법 중 모델의 가독성이 높은 의사결정트리(decision tree)를 활용하여 예측모델을 생성한다.

의사결정트리 모델은 노드(node)와 링크(link)로 형성되어 있으며, 노드는 트리(tree)를 생성하기 위한 학습데이터의 부분집합(subset)을 의미하고, 링크는 부분집합의 데이터들을 분할하여 새로운 부분집합들을 생성하기 위한 기준을 의미한다. 부분집합이 학습데이터의 전체집합일 경우 해당 노드를 루트노드(root node)라 하고, 더 이상 분할되지 않은 부분집합을 단말노드(leaf node)라 한다. 가장 많이 사용되는 의사결정트리 생성 알고리즘인 C4.5 알고리즘은 무질서도(entropy) 개념으로 부분집합들을 생성하기 위한 분할 기준을 결정한다. 예를 들어, 두 개의 독립변수 모두가 온도(x_1)와 습도(x_2) 같이 수치적 속성이고 양의(positive) 값을 가질 때 문제영역(problem space)은 2차원 벡터공간이 된다. 문제영역에 분포된 학습데이터를 가지고 그림 2의 (a)와 같은 의사결정트리가 생성되었다면, 의사결정트리에 의해 생성된 각 부분집합의 학습데이터가 분포된 영역은 그림 2(b)와 같이 형성된다. 그림 2(b)에서 각 분할영역은 그림 2(a)에서 사각형으로 표현된 5개의 단말노드를 의미한다.

의사결정트리의 단말노드들은 그림 2(c)와 같이 각각 IF~THEN~ 형식의 생성규칙(production rules)들로 표현할 수 있다. 즉, 의사결정트리에서 규칙은 루트노드에서 단말노드에 이르는 하나의 경로를 말한다. Quinlan(1987)은 각 단말노드를 규칙으로 표현할 때 규칙의 신뢰성을 나타내는 확신도(Certainty factor, CF)를 식 (2)로 계산하였다. 여기서 $LeafNode_i$ 는 단말노드 i 에 포함된 학습데이터 집합을 의미하고, $LeafNode_k$ 는 단말노드 i 에 포함된 데이터 중에 클래스 k 인 데이터 집합을 의미한다. CLASS는 클래스의 집합이다. 즉, 단말노드에 포함된 데이터 중 가장 많은 비율의 클래스로 규칙의 확신도를 계산한다. 예를 들어 표 1에서 "화재발생 여부"를 클래스(종속변수)로 설정하였을 때, 그림 2(a)에서 '단말노드 1'(또는 그림 2(b)에서 '분할영역 1')에 포함된 학습데이터가 100개이고 그 중 '화재발생 여부'가 'NO'인 데이터 개수가 80개, 'YES'인 데이터 개수가 20개일 경우, 해당 단말노드로부터 추출된 '규칙.1'(그림 2(c)에서)의 확신도는 0.8이 된다.



$$CF_i = \max_{k \in \text{CLASS}} \left(\frac{|LeafNode_i^k|}{|LeafNode_i|} \right) \quad (2)$$

의사결정트리에서 추출된 IF~THEN~ 규칙의 확신도는 규칙의 조건부(IF 절)인 기상조건에서 과거에 화재가 발생한 비율을 의미하기 때문에 해당 기상조건에서 화재가 발생할 확률로 활용할 수 있다. 그러나 시간을 기준으로 화재조사 데이터와 기상데이터를 통합하였기 때문에 지역(region)에 대한 정보가 통합데이터에는 없다. 다시 말하면, 서울지역에서 '0≤온도<10 이고 습도<5'일 때 화재발생 비율이 0.8이면 서울지역에서 해당 기상조건을 만족할 때가 10번 있었다고 가정할 경우 그 중에 8번이 화재가 발생하였다는 의미이다. 그러나 서울지역 모든 곳에서 화재 발생확률이 0.8이라는 것은 현실적으로 타당하지 않다. 따라서 지역별 화재발생 확률을 고려하기 위해 식 (3)과 같이 인구밀도에 따른 화재발생 확률을 계산하였다. 즉 각 단말노드 $LeafNode_i$ 에서(규칙의 결론부에서) 화재발생 확률을 식 (3)과 같이 정의된 확률함수, $P_{region}(LeafNode_i)$ 로 계산한다. $N(NO_i)$ 과 $N(YES_i)$ 는 단말노드 i 에 포함된 "화재발생 여부"가 'NO'인 데이터 개수와 'YES'인 데이터 개수를 각각 나타낸다. $N_t(YES_i)$ 는 단말노드 i 에 포함된 '화재발생 여부'가 'YES'인 데이터 중에 시간대가 서로 다른 데이터의 개수를 의미한다. 예를 들어, 매시간 기상데이터가 관측된다면, 서울지역에서 하루 동안 생성될 수 있는 관측데이터는 24개이다. 만약 14시부터 15시 사이에 화재가 5건 발생되었다면 $N(NO_i)$ 는 23이고 $N(YES_i)$ 은 5가 된다. 그리고 $N_t(YES_i)$ 는 1이 된다.

$$P_{region}(LeafNode_i) = \frac{N(YES_i)}{[N(NO_i) + N_t(YES_i)] \times Unit_{region}} \quad (3)$$

정확한 화재발생확률을 계산하기 위해 해당 지역을 일정 인구수의 셀(cell) 단위로 나누어 적용함으로써 일반 사람들에게 좀 더 의미 있는 확률 정보를 제시할 수 있다. 따라서 식 (3)의 $Unit_{region}$ 를 식 (4)와 같이 해당 지역의 인구수를 이용하여 결정하였다. 이것은 해당 지역을 십만 명이 거주할 수 있는 영역으로 세분화한다는 의미를 가지고 있기 때문에 $P_{region}(LeafNode_i)$ 은 십만 명이 거주하는 지역에서 화재가 발생할 확률을 의미한다.

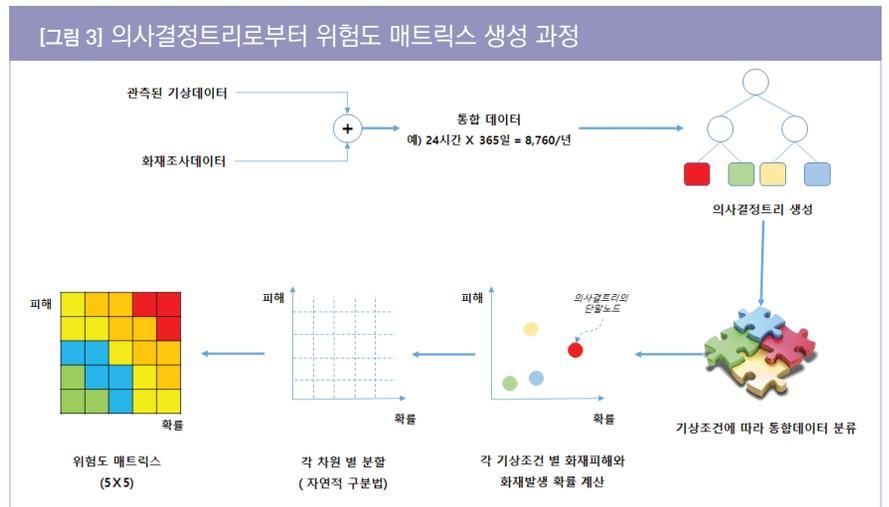
$$Unit_{region} = \frac{\text{인구수}_{region}}{100,000\text{명}} \quad (4)$$

2. 화재 위험성을 평가

화재 기상예보 서비스는 화재 위험성 평가를 통해 식중독지수나 부패지수와 같은 생활 안전지수처럼 날씨에 따라 지역의 화재 위험등급을 제공하고, 기상조건 하에서 주변 화재요인들의 선택 여부에 따라 위험등급을 저감(低減)시킬 수 있는 시뮬레이션을 제공한다.

기존 화재 위험성 평가는 주택, 고층건물, 다중영업소와 같이 점검항목이 명확한 대상에서 정성적(定性的)으로 체크리스트(check list)의 항목을 결정하고, 이를 통해 대상에 대한 위험성을 평가한다. 이와 같은 체크리스트 방법은 점검 대상에 대한 화재요인을 도출할 수 있을 때만 사용 가능하기 때문에 기상조건에 따른 지역의 화재 위험성을 체크리스트로 평가하기는 어렵다. 위험을 정량화하는 기법으로 가장 널리 사용되고 있는 위험도 매트릭스(risk matrix)를 활용하여 화

재 위험등급을 산출한다. 위험도 매트릭스는 확률(probability)과 피해(consequences)로 구성되어 있으며, 그림 3과 같이 위험도 매트릭스를 생성하여 기상조건에 따라 지역의 화재 위험등급을 산출한다.



화재조사데이터와 기상데이터가 통합된 특정지역의 데이터로부터 생성된 의사결정트리에서는 해당 지역에서 화재가 발생할 수 있는 기상조건들을 추출할 수 있다. 의사결정트리에서 기상조건이란 루트노드에서부터 단말노드까지의 경로를 말한다(규칙의 IF절). 따라서 각각의 기상조건에서는 식 (3)과 같이 화재가 발생할 확률 값을 계산할 수 있고, 해당 기상조건을

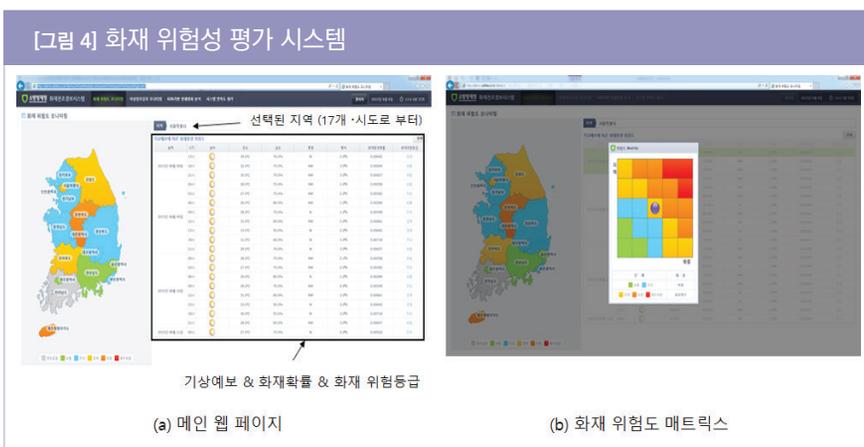


만족하는 화재조사데이터로부터 화재피해(재산피해와 인명피해)를 산정할 수 있다. 즉 그림 3과 같이 확률과 피해로 구성된 이차원 벡터공간에 의사결정트리의 단말노드, 즉 화재가 발생할 수 있는 기상조건들을 표현할 수 있다. 이러한 산점도(scatter plot)는 화재확률과 화재피해로 표현된 기상조건들의 분포를 보여주고 있으며, 자연적 구분법(Jenks 최적화 방법)으로 데이터 분포에 따라 화재확률과 화재피해를 각각 5등급으로 구분한다.

1) 화재 위험성 평가 시스템

기상예보에 따라 화재 위험등급을 제시하는 서비스가 구현 가능한지 확인하기 위해 화재 위험성 평가 시스템을 개발하였다. 개발된 시스템은 기상청에서 제공되는 실시간 기상예보 서비스를 이용하여 각 시도별로 화재 위험등급을 산출하고, 사용자는 온라인상에서 시스템을 통해 거주 지역에서의 화재 위험등급을 기상예보와 함께 확인할 수 있을 뿐만 아니라 자기 주변에 있는 화재요인을 가지고 해당 기상조건에서 화재 위험성을 평가할 수 있다. 그림 4는 개발된 시스템에서 제공되는 화재 기상예보 서비스를 보여주고 있다. 그림 4(a)처럼 시스템 메인화면에서는 전국 시도별로 가장 가까운 시간대의 기상예보에 따른 각 시도별 화재 위험등급을 지도상에 표시하고, 왼쪽 테이블에서는 선택된 지역에서 기상예보별 화재 위험등급

을 확인할 수 있다. 여기서 제시한 위험등급을 클릭하면 그림 4(b)같이 사용자는 위험도 매트릭스 상에서 현재 화재 위험등급의 정도를 확인할 수 있으며, 이를 통해 해당 위험등급의 의미가 화재발생 확률이 높거나 화재피해 정도가 큰지 여부를 확인할 수 있다.



또한 시스템에서는 사용자가 세부정보를 확인할 수 있도록 그림 5와 같은 웹 페이지를 개

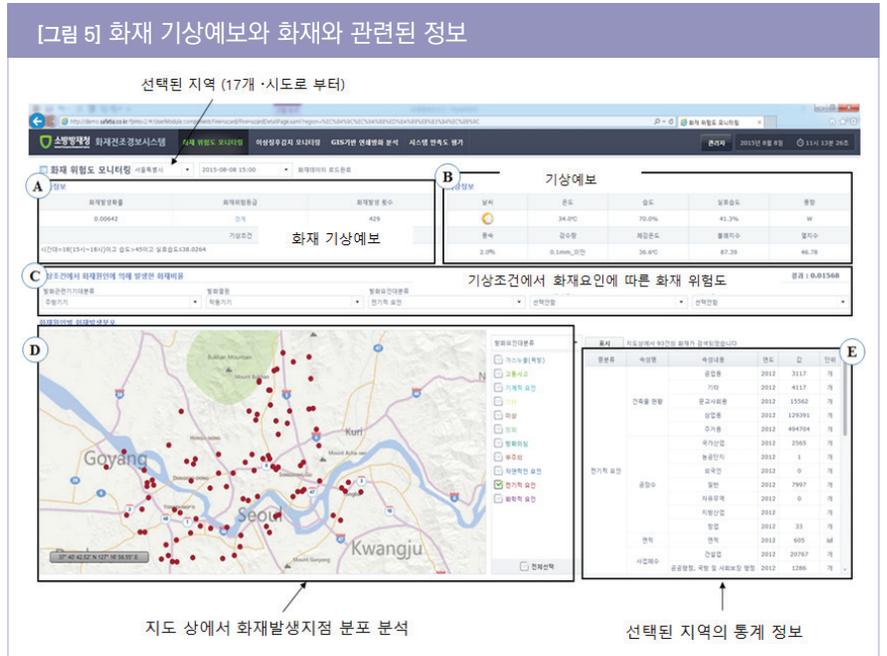
발하였다. 제공되는 세부 정보로는 ①화재 기상예보, ②기상예보 ③화재요인에 따른 화재위험도 ④ 화재 발생지점 분포, ⑤선택된 지역의 통계정보이다.

화재 기상예보인 ①에서는 화재 기상조건, 해당 기상조건에서 화재발생 확률과 화재 위험등급 그리고 지금까지 해당 기상조건에서 발생한 화재건수를 확인할 수 있고, ②에서는 기상청에서 제공되는 기상예보를 확인할 수 있다. ①영역에서는 ①에서 제시된 해당 기상조건에서 과거에 화재사고가 일어난 지점을 사용자가 지도상에서 확인할 수 있으며, 화재요인별로 발생 분포를 지도상에서 분석할 수 있다. ⑤영역에서는 선택된 지역의 건축물 현황, 공장수와 같은 지역적 통계정보를 보여줌으로써 기상이외의 화재요인을 분석할 수 있도록 제시한다.

화재 위험성 평가 시스템에서는 화재요인의 빈도를 가지고 식 (5)와 같이 화재위험도를 평가한다. 표 2는 특정 기상조건에서 발생한 총 133건의 화재를 ‘발화열원’과 ‘발화요인’의 항목별로 화재빈도를 조사한 표이다. 식 (5)에서 x_i 은 화재요인 i 에 대한 비율을 의미한다. 예를 들어 표 2에서 총 133건의 화재 중에 ‘작동기기(actuated equipment)’에 의해 발생한 화재 건수는 81건으로 x_i 작동기기는 $0.61(=81/133)$ 된다. 따라서 작동기기에 의한 화재 위험성은 $0.61(=1.0 - 0.39)$ 이 된다.

$$\text{화재 위험성} = 1.0 - \prod_{i=1}^n (1.0 - x_i) \quad (5)$$

[그림 5] 화재 기상예보와 화재와 관련된 정보





만약에 주변에 작동기기와 담뱃불이 있다면 그 때의 화재 위험성은 아래 계산식에 의해 0.68로 계산되고, 만약 주변에 작동기기와 담뱃불 그리고 전기적 요인까지 존재한다면 그 때의 화재 위험성은 0.83이 된다. 이와 같이 같은 공간에 화재요인이 많을수록 화재 위험성이 커지는 것을 확인할 수 있다. 반대로 화재 위험성을 저감시키기 위해서는 같은 공간에서 화재 요인을 제거하면 된다.

$$\begin{aligned} \text{화재 위험성 (작동기기, 담뱃불)} &= 1.0 - ((1.0 - 0.61) \times (1.0 - 0.19)) = 0.68 \\ \text{화재 위험성 (작동기기, 담뱃불, 전기적 요인)} &= 1.0 - ((1.0 - 0.61) \times (1.0 - 0.19) \times (1.0 - 0.47)) \\ &= 0.83 \end{aligned}$$

〈표 2〉 화재요인 별 “화재 빈도수” & “화재 비율” & “화재 위험성”

Source of ignition	Fire frequency	Fire rate(xi)	1-xi	Cause of ignition	Fire frequency	Fire rate(xi)	1-xi
Actuated equipment	81	0.61	0.39	Gas leak-explosion	0	0.00	1.00
Cigarette & lighter	25	0.19	0.81	Traffic accident	0	0.00	1.00
Flame, sparks	7	0.05	0.95	Mechanical factor	12	0.09	0.91
Chemical combustion	0	0.00	1.00	other	0	0.00	1.00
other	5	0.04	0.96	unknown	9	0.07	0.93
unknown	10	0.08	0.92	Careless	50	0.38	0.62
Friction, conduction, radiation	5	0.04	0.96	Electrical factor	62	0.47	0.53
Spontaneous combustion	0	0.00	1.00	Chemical factor	0	0.00	1.00
Explosive, fireworks	0	0.00	1.00	Sum	133	1.00	7.00
Sum	133	1.00	8.00				

III. 결론

화재 기상예보 서비스 실행 가능성 여부를 확인하기 위해 화재 위험성 평가 시스템을 개발하였다. 화재 기상예보 서비스란 기상청에서 제공되는 기상예보를 이용하여 각 지역별로 화재 위험등급과 해당 기상조건에서 화재 가능성이 높은 화재요인들을 확인할 수 있는 서비스이다. 또한 날씨와 관련된 생활지수처럼 활용한다면, 화재 기상예보 서비스를 통해 주민들은 자신의 거주 지역에 대한 화재 위험성을 확인하고 관련된 정보를 제공받음으로써 화재예방

에 대한 경각심을 높일 수 있다.

화재 기상예보 서비스가 기여한 점은 (1)화재조사데이터와 기상데이터를 가지고 데이터마이닝 기법인 의사결정트리를 이용하여 정량적 위험성 평가를 수행했다는 점이다. 정량적 위험성 평가는 정성적 위험성 평가보다 정확한 위험도 평가가 가능한 것으로 알려져 있다. 의사결정트리 알고리즘으로 화재 기상조건을 생성하고 생성된 각각의 화재 기상조건은 화재발생 확률과 화재피해 정도를 갖는다. 이와 같은 값들을 이용하여 위험도 매트릭스를 생성하고, 위험도 매트릭스의 등급 간격은 자연적 구분법을 이용하여 데이터 분포에 따라 화재확률과 화재피해를 각각 5 등급으로 구분하였다. (2)동일한 시공간에서 존재하는 화재요인을 가지고 화재위험도를 계산할 수 있다. 화재 기상조건에 따라 화재 위험등급을 제시하고, 해당 화재 기상조건에서 발생한 화재요인의 빈도를 분석하여 화재위험성을 계산한다. 제안한 화재위험성은 사용자 주위에 존재하는 화재요인에 따라 위험성이 평가되기 때문에 사용자가 화재요인을 공간에서 제외 혹은 다른 공간으로 옮긴다면 화재 위험성은 저감된다. 따라서 화재 기상예보 서비스는 사용자의 상황에 따라 화재를 예방할 수 있는 조치 사항을 제시할 수 있다.

향후에는 화재 기상조건에 따른 화재 위험등급과 화재요인에 따른 화재위험성을 통합하여 보다 효과적으로 화재의 위험성을 평가할 수 있는 방법론을 개발할 수 있다. 화재 기상조건은 화재조사 데이터가 한 건도 없는 지역에 대해서는 추출될 수 없다. 이러한 문제를 화재요인에 따른 화재위험성 평가 방법을 적용하여 해결할 수 있을 것이다.



참고문헌

- D-W Song, K-S Kim, S-K Lee, 2014: An Relational Analysis between Humidity, Temperature and Fire Occurrence using Public Data, *Journal of Fire Science and Engineering*, 28(2), 82-90.
- Heidi Tanskanen and Ari Venäläinen, 2008: The relationship between fire activity and fire weather indices at different stages of the growing season in Finland, *Boreal Environment Research*, 13, 285-302.
- A.C. Carvalho, A. Carvlho, H.Martins, C. Marques, A. Rocha, C. Borrego, D.X. Viegas, 2011: Fire weather risk assessment under climate change using a dynamical downscaling approach, *Environmental Modelling & Software*, 26, 1123-1133.
- L.K.C. Chau and R. T. Corlett, 1993: Fire and Weather in Hong Kong, *Proc. 12th Conference on Fire and Forest Meteorology*, 442-452.
- M. Holmes, Y. Wang, I. Ziedins, 2009: The application of data mining and statistical techniques to identify patterns and changes in fire events, *Technical report, University of Auckland*.
- J. W. Ryu, Y. J. Kim, E. J. Kim, M. W. Kim, 2014: A Generation Method of a Fire Probability Prediction Model Based on Weather Forecast, *Journal of KIISE: Computing Practices and Letters*, 20(2), 68-79.
- Y. J. Kim, J. W. Ryu, W. M. Song, M. W. Kim, 2013: Fire Probability Prediction Based on Weather Information Using Decision Tree, *Journal of KIISE: Software and Applications*, 40(11), 705-715.
- X. Wu, V. Kumar, J. R. Quinlan, J. Ghosh, Q. Yang, H. Motoda, G. J. McLachlan, A. Ng, B. Liu, P. S. Yu, Z-H Zhou, M. Steinbach, D. J. Hand, D. Steinberg, 2008: Top 10 algorithms in data mining, *Knowledge Information System*, 14, 1-37.
- J. R. Quinlan, 1987: Generating Production Rules From Decision Tree, *Proceedings of the 10th international joint conference on artificial intelligence*, 1, 304-307.
- Y-S Kim, 2011: The Study of Risk Matrix Development for Urban Metro EMU, *Journal of the KOSOS*, 26(6), 111-117.

오픈데이터와 일본기상비즈니스 컨소시엄



정효정 국립기상과학원 기후연구과 kukuri345@korea.kr

- I. 서론
- II. 빅데이터와 오픈데이터
- III. 오픈데이터 현황
- IV. 일본기상비즈니스 컨소시엄과 오픈데이터
- V. 결론

I. 서론

인터넷의 보급과 IT기술의 진화 등 디지털 경제의 확산은 기하급수적인 데이터 양산을 유발했고, 방대하게 축적된 데이터를 취급할 수 있는 기술이 점점 발전함에 따라 기존의 민간 기업에서의 경영활동뿐만 아니라, 정부를 포함한 공공부문에서도 혁신을 포함하는 새로운 스마트시대로의 패러다임이 생겨났다.

미국, 영국 등의 주요선진국에서는 빅데이터 시대를 맞아 공공정보의 전면적인 개방과 데이터 활용을 통한 가치창출을 국가전략으로 삼고 있는데, 이는 데이터를 미래 산업을 발전시킬 새로운 자산으로 인식하고 있기 때문이다. 미국의 맥킨지, 영국의 경제경영연구소 등 각국의 전문컨설팅 기관들이 분석보고서를 통해 밝히고 있듯이 국가기관의 빅데이터 시장으로의 적극적 진입과 발전은 비용절감을 통한 경제 활성화 및 국가경쟁력 강화에 기여할 것으로 예측된다. 데이터 기반의 국정운영은 당면한 사회현안 해결은 물론 더 나아가 전 세계적으로 더 나은 미래상의 구현을 위한 실천방법으로서도 중요한 의미를 가진다.

본 고에서는 빅데이터를 이용하여 오픈데이터정책을 성공적으로 추진하고 있는 영국의 사례를 살펴보고, 2017년 3월 개최된 일본 기상비즈니스포럼 참관기를 통해 빅데이터 환경 하에서 일본기상청과 민간기업들 그리

고 전문가들이 기상비즈니스 컨소시엄을 통해 어떻게 협력하며 기상비즈니스의 활성화를 이끌어가고 있는지에 대한 내용을 소개하고자 한다.

II. 빅데이터와 오픈데이터

1. 빅데이터의 정의

빅데이터란, 데이터의 양, 생성주기(실시간), 형식(수치형 데이터 외에 문자와 같은 비정형 데이터도 포함) 등에서 과거 데이터에 비해 규모가 크고, 형태가 다양하여 기존 방법으로는 수집, 저장, 검색, 분석이 어려운 방대한 크기의 데이터를 의미하지만, 정의하는 기관이나 조직에 따라 약간씩 의미가 바뀌기도 한다. 빅데이터가 미래사회에서의 핵심동력으로 주목받는 이유는 이전과 차별화되는 대용량 데이터의 분석과 추론을 통해 새로운 서비스 개발의 가능성이 무한하다는 점에 있다.

2. 공공데이터의 정의

정부, 공공기관 등이 보유하고 있는 기상, 지리, 교통, 식품, 경제, 재난안전 등 막대한 양의 공공데이터에 대해 비즈니스와 생활밀착형의 공공서비스로의 활용을 위한 개방이 추진되고 있다. 공공데이터의 개방이란, 국가기관이 보유, 관리하는 광범위하고 지속적이며 신뢰성 있는 데이터를 민간이 영리적, 비영리적 목적으로 재이용(Reuse)할 수 있도록 공개 및 제공하는 것을 의미하며, 이러한 공공데이터 개방은 다양한 서비스 개발을 가능하게 함으로써 새로운 비즈니스기회의 창출과 국민 삶의 질 개선은 물론 국가발전에 지대한 영향을 미칠 수 있다.

3. 오픈데이터의 정의

공공데이터(public data)와 오픈데이터(open data)는 용어사용에 있어 구분이 모호한 경우도 있다. 그러나 “오픈데이터”를 정확하게 표현하면 “Open Government Data Movement”로서, 정부와 지자체 등이 작성, 관리하는 모든 데이터를 기계판독이 가능한 형태로 공개하고 영리, 비영리를 불문하고 사용할 수 있도록 하는, 새로운 가치를 창출해가는 움직임이라 할 수 있

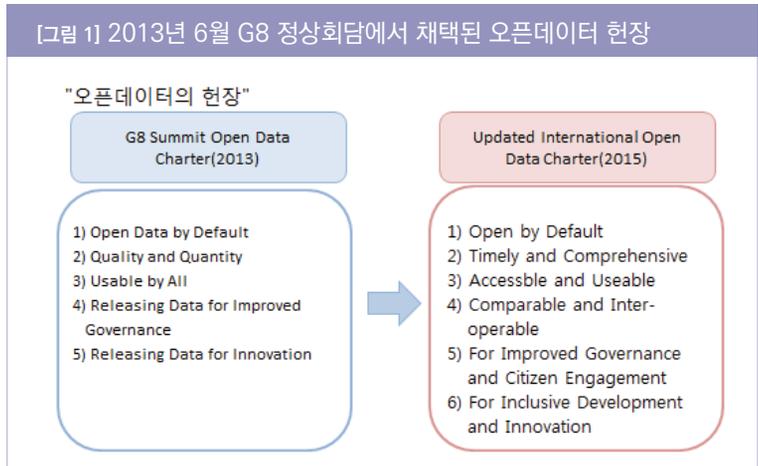


다. 일본 총무성의 정의에 따르면, 공공데이터의 활용 촉진이 곧 오픈데이터이며, 향후 공공데이터의 오픈데이터화에 대한 당위성을 설명하고 있다. 아래에 소개된 오픈데이터화가 되어가는 데이터 형식 및 공개상태 단계에 대한 도식을 참고해보면 아래 3~5단계의 기계판독이 가능한 공개데이터를 오픈데이터로 정의할 수 있을 것이다.

오픈데이터와 공공데이터를 활용하여 더 나은 세계를 만들기 위한 '전 세계적인 움직임'도 진행 중인데, 그 중 한 사례는 2013년 6월 영국에서 개최된 주요 8개국(G8) 정상회의에서 오픈데이터 헌장이 채택된 것이다. 헌장 채택의 배경에는 오픈데이터가 시민들의 요구를 보다 잘 충족시키며, 혁신과 번영으로 나아갈 수 있도록, 더욱 강력하게 상호 연결된 사회구축을 장려할 수 있는 거대하고 잠재적인 미개척 자원임에 대한 동의가 있었고, 이 헌장 채택은 자료의 오픈데이터화가 도전과제로서의 도입단계를 지나, "국제적 임무"를 수행해나가는 성숙단계로 들어섰음을 의미하기도 한다. 이후 오픈데이터 헌장은, 전 세계적 적용과 합의를 위한 개선필요성이 지적되어 각 기관의 전문가들에 의해 2015년 "국제 오픈데이터헌장 International Open Data Charter"으로 개정되었다. G8에서 채택된 오픈데이터 헌장의 내용과 2015년 개정된 내용은 그림 1과 같다.

〈표 1〉 오픈데이터의 5개 단계와 데이터 형식

단계	공개 상태	데이터 형식 예시	참고)Linked Open Data 5 Star	
1단계	오픈라이선스 하에서 데이터를 공개	PDF, JPG	OL-Open License (계산기에서 참고할 수 있는 가독)	인간이 이해하기 위한 공개문서 (편집 불가능)
2단계	1단계에 더하여, 컴퓨터에서 처리 가능한 데이터로 공개	xls, doc	RE-Readable (컴퓨터에서 데이터 편집 가능)	공개문서 (편집 가능)
3단계	2단계에 더하여, 오픈으로 이용가능한 포맷으로 데이터 공개	XML, CSV	OF-Open Format (어플리케이션에서 데이터 편집 가능)	
4단계	Web표준(RDF 등)의 포맷으로 데이터 공개	RDF, XML	URI-Universal Resource Identifier (리소스의 유니크과, Web 링크)	기계판독이 가능한 공개 데이터
5단계	4단계가 외부연계 가능한 상태에서 데이터를 공개	LoD, RDF, Schema	LD-Linked Data (데이터 간의 융합정보가 규정, 검색 가능)	



III. 오픈데이터 현황

1. Open Data Barometer

월드와이드웹(WWW)재단은 2013년 77개국으로 시작하여 2017년 현재 115여 개국을 대상으로, 각국 정부의 다양한 오픈데이터 이니셔티브 현황 및 효과를 밝히기 위한 목적으로, 오픈데이터 지표보고서인 「Open Data Barometer Global Report」를 매년 발표하고 있다. 이 보고서에서는 오픈데이터의 글로벌 트렌드를 분석하고, 오픈데이터 혜택을 확보하기 위한 준비도(Readiness), 실행수준(Implementation), 이니셔티브 효과(Impact) 등 3개 항목을 고려한 심층분석을 통해 국가 및 지역 별 순위를 책정한다. 오픈데이터의 실질적인 수준과 능력은 실행력에 의해 좌우된다.

[그림 2] 월드와이드웹 재단이 매년 발표하고 있는 오픈데이터 보고서인 「Open Data Barometer」



그림 2에서 보고서 상의 순위를 보면 영국이 1위를 차지하고 있는데, 이 등수는 2013년 보고서를 시작한 이래로 변동이 없었다. 보고서의 분석평가기준과 그 수준 등에 대해서는 향후 좀 더 파악을 해보아야 하겠지만, 이 보고서가 단

적으로 보여주듯, 가장 성공적으로 오픈데이터 정책을 수행해온 국가는 영국이라고 단언할 수 있을 것이다.

2. 영국의 오픈데이터 정책

투명한 정부를 만들고 데이터를 이용한 혁신기반 경제성장을 도모하기 위해 영국에서는 내각사무국을 비롯한 범 부처가 2010년부터 오픈데이터 정책을 본격적으로 추진해오고 있다. 우선 2000년 정보자유법(Freedom of Information Act)의 개정으로, 공공기관이 소유하는 모



든 기록정보에 대한 국민의 접근권을 보장하고 예외항목과 공공기관의 의무를 명시하여 우선 정보공개에 대한 법적 기반을 마련했다. 2009년 스마트 정부구현을 위한 실행계획을 담은 보고서 「Putting the Frontline First : Smarter Government」를 발표하고 해당 보고서에 공공데이터(public data)를 개방하고 투명성을 높인다는 세부 실행계획을 수록했으며, 2010년 1월 정부 데이터에 대한 단일 온라인 접속 창구인 'data.gov.uk'를 개설하여 무료로 데이터를 재활용할 수 있도록 했다. 2012년 3월 기업혁신기술부(BIS)는 공공정보 공개 및 데이터 가치창출을 위해 '데이터전략위원회(Data Strategy Board)'를 설립했다. 같은 해 오픈데이터연구소(Open Data Institute : ODI)가 설립되었고 정부 예산 지원 하에 정부 데이터 활용을 위한 민간협력이 추진되기 시작했다. 2013년 5월 셰익스피어 검토에서 공공데이터는 정부가 아닌 개인의 소유물이라는 소유권에 관한 원칙을 확인하고, 기회를 극대화할 수 있는 국가데이터전략을 개발함으로써 맞춤형 빅데이터 분석에서 영국이 글로벌리더가 되기 위한 방향을 설정했다.

2013년 11월 G8 오픈데이터현장에 합의하고, 각국의 액션플랜을 만들어 공유하도록 합의했으며, 2014년부터는 1,171개 기관에서 14,020개의 데이터셋을 'data.gov.uk'를 통해 주제, 라이선스, 제공형태, 제공기관별로 분류해 제공하기 시작했다. 14년 기준으로 환경, 정부지출, 지도, 사회, 건강, 교육, 범죄 등 10개 주제별 자료와 공공데이터를 이용한 322개의 서비스앱 정보가 제공되었고, 데이터셋의 44.8%는 CSV, XML, RDF등의 오픈포맷이었다. 영국 빅데이터 정책과 추진관련 주요기구에 대한 정리된 표를 보면 각 주요기관에 대한 참고가 될 것이다(표 2).

1) 오픈데이터 연구소(ODI)

ODI는 정부와 사업체가 각국으로부터 필요한 데이터를 얻도록 돕고, 오픈데이터 활용기업의 배양과 육성에 주력하고 있다. 이 조직은 2012년 Tim Berner-Lee와 Nigel Shadbolt에 의해 설립된 독립적이고 비영리, 초당적

〈표 2〉 영국의 오픈데이터 정책 추진 개요

	내각사무국	기업혁신기술부(BIS)	데이터전략위원회	오픈데이터연구소
설립	1916년 12월	2009년 6월	2012년 3월	2012년 12월
조직의 성격	의사결정기구	전담기구	BIS가 설립한 추진기구	독립적 추진기구
빅데이터 관련 업무	<ul style="list-style-type: none"> 투명성과 오픈데이터 어젠다 선도 모든 정부 부처에 오픈데이터 추진 권고 관련 법제 추진 	<ul style="list-style-type: none"> 기존 공공정보의 경제적 영향 제거 및 새로운 공공정보 공표에 전념 오픈데이터 의제 지원과 예산 관리 	<ul style="list-style-type: none"> 공공데이터그룹(PDG)과의 계약 관리 조종 오픈데이터 관련 장관들에게 조언 	<ul style="list-style-type: none"> 오픈데이터 활용 기업의 배양과 육성에 주력
주요 정책	<ul style="list-style-type: none"> 오픈데이터 백서 국가정보인프라(NII) 정책 등 	<ul style="list-style-type: none"> 정보경제전략 데이터 역량 강화 전략 오픈데이터 전략 2014~2016 등 	-	-

[그림 3] 기상데이터인프라구조백서



인 단체인데, 전 세계적 네트워크를 통해 데이터의 가능성을 탐색하기 희망하는 조직들을 위해, 교육, 연구, 전략적 어드바이스를 제공한다.

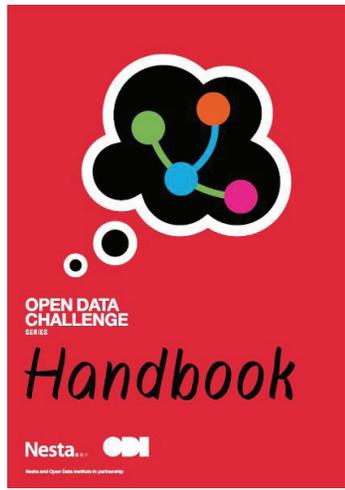
또한 ODI는 2017년 4월 Met Office와 「The state of weather data infrastructure」를 발간하여, 기상데이터 인프라구조가 어떻게 진화해 왔고, 앞으로 지속가능할지, 또한 사회로 중요한 가치를 제공할 지에 대한 전망에 대한 의견을 내놓기도 했다.

2) 오픈데이터 활용을 위한 지원

정부주도의 오픈데이터 환경이 잘 마련되어도, 사회적으로 이용이 되지 않으면 큰 효과를 거둘 수 없다. 따라서 영국정부

에서는 오픈데이터 활용을 지원하기 위한 여러 가지 정책도 동시에 실시하고 있는데, 표 3의 지원책이 그 사례에 해당한다. 또한 사이트를 통해 성공사례에 대한 꾸준한 홍보를 통해 지속적으로 많은 오픈데이터가 범죄 예방, 교육, 에너지, 부동산, 식생활 등의 다양한 범주에서 실생활에 도움이 되는 프로젝트로 재생산될 수 있도록 지원하고 있다.

[그림 4] 오픈데이터 활용 지원 핸드북



<표 3> 영국의 오픈데이터 활용 기업 지원책

지원책	주요 내용
Open Data Challenge Series	<ul style="list-style-type: none"> • BIS는 오픈데이터를 사용하여 새로운 상품 및 서비스를 개발하는 기업 지원 위해 120만 파운드(한화 약 21억 원) 제공 • Open Data Institute가 주관, 중소기업 및 스타트업들이 응모
Innovation Vouchers	<ul style="list-style-type: none"> • 2013~2015 기간에 기업이 사용할 수 있는 150만 파운드(한화 약 26억 원)를 정부가 마련 • 기업은 오픈데이터를 사용한 비즈니스 아이디어 개발에 5천 파운드 신청 가능
Connected Digital Economy Catapult	<ul style="list-style-type: none"> • 5천만 파운드(한화 약 870억 원) 펀드 조성, 창의적이고 혁신적인 디지털 사업을 개발하고 촉진하도록 지원



IV. 일본기상비즈니스 컨소시엄과 오픈데이터

1. 일본의 오픈데이터 정책

일본의 빅데이터 추진체계의 중심에는 총무성이 있다. 민간위원으로 구성되는 총무성 산하 ‘ICT기본전략위원회’에서 빅데이터 활용특별부회를 운영하여, 빅데이터 활용을 위한 전략수립 등 다양한 활동을 추진해오고 있다. 2012년 7월 총무성이 발표한 차기 ICT 전략인 ‘Active Japan ICT’를 통해 민간분야를 고려하면서 빅데이터 활용 활성화 정책을 추진하며, 이를 위해, 데이터개방, 기반기술연구개발, 표준화, 활용인재확보, 사물간 통신촉진, 규제개선, 산·학·관 제휴, 성과평가방법 등이 마련되었다. 그 외 IT종합전략본부도 과학기술 이노베이션·정보통신전략을 통한 공공데이터 전략을 세웠고, 이러한 전략 등을 통해 2015년까지 2조엔 규모의 새로운 시장창출과 2020년 약 10조 엔의 관련시장 육성을 계획하고 있다.

또한 IT종합전략본부는 ‘전자행정 오픈데이터전략’에 근거한 로드맵을 책정·공표하고, 2013년 공공데이터의 자유로운 2차이용(Reuse)을 인정하는 이용방침을 검토하여 기계판독에 적합한 국제표준 데이터형식에서의 공개를 확대해나가고 있다. 이 ‘전자행정오픈데이터 전략’은 공공데이터의 활용을 촉진하기 위해 신속하게 착수하고 그것을 널리 전 개함으로써 국민생활의 향상, 기업 활동 활성화 등을 도모하고, 사회 경제 전체의 발전에 기여하기 위한 전략이다.

2. 「기상비즈니스추진컨소시엄」

일본국토교통성은 저출산, 고령화 사회에서 일본 내 생산성유지를 위한, 생산성혁명프로젝트를 진행 해오고 있는데, 「기상비즈니스시

[그림 5] 제1회 기상비즈니스포럼



장의 창출이 그 프로젝트의 일환으로 채택되었다. 2017년 3월 7일 설립된 '기상비즈니스추진 컨소시엄'도 기상비즈니스 시장창출을 위한 하나의 실행방안이다. 이 컨소시엄은 산학관 연계에 의한 기상비즈니스의 추진을 목적으로 하여, 기상, IoT, AI 등의 전문가 및 폭넓은 산업분야의 기업, 기상관계자 등을 구성원으로 하여 발족되었다.

기상은 소비자의 행동, 농수산물과 에너지 생산, 서비스, 금융 등 다양한 분야에 큰 영향을 주고 있으나 기상데이터분석을 경영에 활용하고 있는 기업은 여전히 소수에 불과하다. 따라서 일본기상청 주도의 '기상비즈니스추진컨소시엄'은 기상데이터의 활용을 논의하고, 미래를 이야기하는 장을 제공하고, IoT, AI 등의 첨단기술을 활용한 선진적인 비즈니스모델의 창출과, 기상위성, 레이더 등의 기술적 진보에 대응한 새로운 기상정보의 활용을 추진함과 동시에, 기상정보가 산업분야에서 고도로 이용되도록 지속적인 정보개선, 인재육성 등의 환경정비를 실시할 목적을 가지고 있다.

1) 기상비즈니스포럼

컨소시엄 설립 당일 개최된 기상비즈니스 포럼은, 동경대학 코시즈카 교수의 기초연설을 시작으로, 일본기상청과 각 산업계 및 기상사업자 패널들이 기상정보를 이용한 비즈니스현황에 대한 간단한 발표와 토론의 자리를 갖고, 또한 관련 기상비즈니스업체들이 각자 기상정보 활용에 대해 소개하는 포스터발표가 이루어진 자리였다.

○ 기초강연 「오픈데이터, AI 및 IoT의 최신동향」 (코시즈카 노보루/동경대학대학원정보학환 교수)

기상-기후데이터가 경제와 사회적 리스크 경감에 어떻게 기여해갈지는 오래전부터의 공공연한 과제이다. 아울러 지구온난화를 포함하는 기후변동은 리스크임과 동시에 다른 부가 가치를 창출하는 산업의 기회가 될 수 있기 때문에, 보다 효율적으로 기상데이터를 활용할 수 있는 환경의 정비가 매우 중요하다.

이러한 맥락에서 기상청이 보유하고 있는 기상-기후 빅데이터를 누구라도 자유롭게 이용하고, 재이용-재배포할 수 있는 오픈데이터화 작업이 지속적으로 이루어져야한다. 그 이유는 이 데이터가 일반에게 오픈되어 사용됨으로써, 보다 다양하고 창의적 어플리케이션이 구상될 수 있기 때문이다.

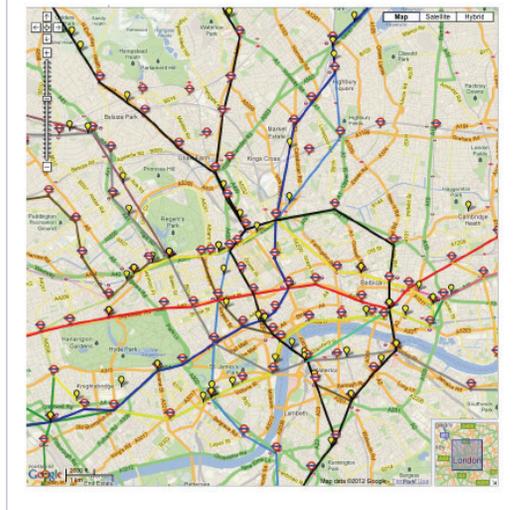


공공기관이 보유하고 있는 빅데이터를 오픈데이터화함으로써 어떠한 사회·경제적 효과를 거둘 수 있는지에 대해 코시즈카 교수가 소개한 몇 가지 사례들을 살펴보면 다음과 같다.

*** 성공사례1 복잡한 런던 지하철 운행 실시간 맵 개발 (2014)**

이 앱은 오픈데이터를 이용하여 무료 TfL (Transport for London) API로 Matthew Somerville라는 일반개발자가 개발하여 제공하고 있는데, 이 실시간 운행맵의 경제효과는 약 250억~980억 원으로 추산된다. 이 철도운행상황의 실시간 앱은 이후 스위스, 체코, 핀란드, 슬로바키아 등 여러 나라로 보급되었다.

[그림 6] 런던지하철 운행 실시간 맵 화면



*** 성공사례2 오픈데이터를 이용한 도쿄메트로 활용 컨테스트(2014년)**

도쿄메트로의 오픈데이터 활용 컨테스트 당시, 약 200만 엔 상금에 대해 281건의 어플리케이션이 응모되었다. 만일 자체적으로 이들 어플리케이션들을 개발했다면 약 9~10억 엔의 비용이 들었을 것으로 추산되는 사례이다.

[그림 7] 도쿄메트로 컨테스트광고 화면과 응모된 어플리케이션들

Tokyo Metro Co. Ltd., Open Data Contest Now



코시즈카 교수는 위의 사례에서와 같이, 보다 많은 국가/공공기관의 빅데이터가 오픈데이터로 제공되어 자율적으로 기술자들이 육성되어 나갈 수 있는, 즉 궁극적으로 서비스의 다양화, 부가가치화, 더 나아가 통합·종합서비스를 제공할 수 있는 데이터 환경이 조성되어야 한다고 주장했다.

○ 패널발표 「기상데이터활용촉진을 위한 노력」 (오바야시 마사노리/일본기상청 총무부 기획과장)

일본기상청에서는 일반인들이 자주 접하는 통상의 날씨예보와 관측정보, 각종 경보, 태풍 정보 등에 더하여 다양한 기상·기후정보를 제공하고 있다. 기상데이터가 일상생활에 이용되고 있기는 하지만, 일반에게 알려져 있지 않은 부분이 많다는 판단 하에 프레젠테이션에서는 기상데이터의 빅데이터로서의 특성이 소개되었고, 기상청이 제공하는 주요 정보와 데이터, 그리고 최근 정확도가 높아진 재해정보의 발표형식 등에 대한 소개가 이루어졌다.

마지막으로는 2017년 3월 3일 개설된 '일본기상데이터 고도이용 포털사이트([http:// www.data.jma.go.jp/developer/index.html](http://www.data.jma.go.jp/developer/index.html))'에 대한 소개가 이어졌다. 이 기상데이터 고도이용 포털사이트는 기상청 빅데이터의 오픈데이터화를 위해 개설된 사이트로서 앞서 설명한 각종 데이터를 포함하고, 일본기상청이 제공하는 데이터를 해설한 기상정보 카탈로그와 관측지점 위치데이터 등 기상데이터와 조합하여 분석이 가능한 데이터, 기상데이터의 이용과 활용사례 등이 게재되어 있으며 공개되는 데이터는 기계판독에 적합한 데이터형식(XML, CSV)으로 설계되었다.

[그림 8] 일본 기상데이터 고도이용 포털사이트 화면구성 예시

気象データの取得	
<p>気象庁防災情報XMLフォーマット形式電文の提供</p> <p>気象庁が発表する気象情報を、2つの手段によってXML電文形式で提供しています。 気象庁防災情報XMLフォーマットの詳細はこちら</p> <p>なお、ご利用に当たっては以下の点にご留意ください。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・サーバーメンテナンス等により、配信が停止・遅延する場合があります。 ・利用者が公開XML電文を用いて行う一切の行為について気象庁は何ら責任を負うものではありません。 ・気象情報の迅速かつ確実な配信については（一財）気象業務支援センターや情報業務許可事業者等にお問合せください。 <p>■「Push型」の提供 XML電文の更新情報をオープンなプロトコル（PubSubHubbub）を用いて通知します。 ユーザーは通知を受けて電文を取得します。通知の受信にはユーザー登録が必要です。</p> <p>■「Pull型」の提供 XML電文の更新情報をHP上に掲載します。 掲載された更新情報をもとに、ユーザーは任意のタイミングで電文の取得が可能です。ユーザー登録は不要です。</p>	<p>기상청이 발표하는 기상정보를 XML전문 형식으로 제공</p> <ul style="list-style-type: none"> - 'Push형' - 'Pull형'
<p>気象観測データファイルのダウンロード</p> <p>気象庁のアメダスで観測した気象観測データを機械判読に適したデータ形式（CSV形式）で提供しています。</p> <p>■最新の気象データ・ダウンロード 全国のアメダスの最新の降水量、最高・最低気温、最大風速、積雪深などのデータを、機械判読に適したデータ形式（CSV形式）でダウンロードすることができます。</p> <p>■過去の気象データ・ダウンロード 昨日までのアメダスの気象観測データについて、取得したい地点や期間、データの種類等を選択し、CSVファイルとしてダウンロードすることができます。</p>	<p>기상관측·예측 데이터를 기계판독에 적합한 데이터형식(CSV)으로 취득 가능</p>
<p>気象予測データファイルのダウンロード</p> <p>■過去の1か月予報気温ガイダンスデータ・ダウンロード 1か月予報の基となる過去の気温予測データをCSVファイルとして取得することができます。過去に遡った事例検証に必要なとよ予測データで、予報精度を調べる際に活用できます。</p>	<p>수치예보·관측, 예보 등에 관한 정보와 계산결과는 GPV(Grid Point Value) 데이터 샘플 게재</p>
<p>GPVデータのサンプルのダウンロード</p> <p>気象庁が作成・提供する数値予報や観測、予報に関するデータには、規則正しい格点データ（Grid Point）に区切って計算をしているものがあります。この計算結果であるGPV（Grid Point Value）データのサンプルを掲載しています。</p> <p>■サンプル</p>	



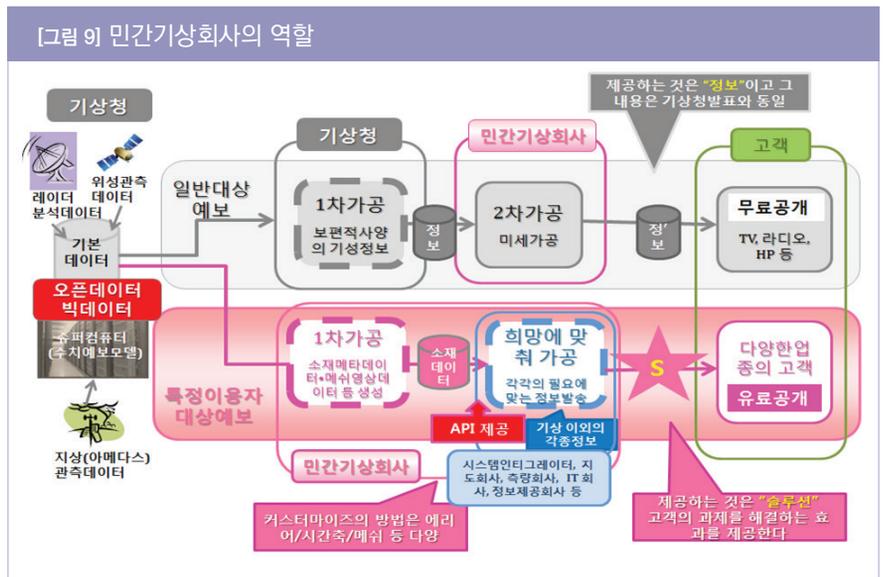
○ 패널발표 「기상데이터로부터의 열중증 대책」
(후카자와 마사루/오오츠카제약 업무관리부 차장)

오오츠카제약은 '포카리스웨트'를 중심으로 자사제품과 함께 열중증 예방정보 사이트와 앱을 운영하고 있는 토탈 헬스케어회사이다. 지구온난화로 점차 기온이 상승함에 따라 열중증으로 인한 사망자가 증가하고 있어 문제가 되는 열사병대책을 위한 지수인 'WBGT(더위지수/열중증 예방을 위한 지표로서, 온도, 복사량, 기온을 포함)와 기온정보를 활용하여 더운 환경 아래에서 작업하는 경우의 리스크 평가와 대응·대책정보 등을 사이트와 앱을 통해 일반에 제공하고 있다. 이와 아울러 기상데이터를 이용하여 자사상품의 자동판매기 판매 등에 있어서의 수급을 예측하여 고객만족도(CSR)를 높이고 있다.

○ 패널발표 「Analytics로 다시 태어나는 기상정보비즈니스」
(오치 마사아키/HALEX 대표이사)

(※)HALEX는 민간 종합기상정보회사로서 기상청의 슈퍼컴퓨터로부터 출력되는 다양한 기상정보데이터, 전국 1,300개소 이상에 설치된 아메다스¹⁾ 등에서 시시각각 수집되는 관측데이터, 실시간으로 전송되는 기상레이더 데이터 등의 빅데이터와 오픈데이터를 이용하여 각 사업자가 안고 있는 다양한 과제를 해결해나가며 그 가치를 인정받고 있다.

아무리 막대한 양의 데이터가 있다고 해도 정보 그 자체가 가치를 갖는 것이 아니라, 사람들이 그 정보를 사용하여 analytics를 통해 다양한 판단과 행동을 취함으로써 자신들의 다양한 과제와 문제를 해결했을 때 비로소 가치가 있다고 할 수 있다.
(※)HALEX는 100명 가가



1 일본기상청의 지역 기상 관측 시스템(AMe DAS)

운 기상전문가와 IT전문가가 기상데이터를 가공하여 소비자 맞춤형의 정보, 즉 차별화된 부가가치를 가진 솔루션을 만들어 고객에게 제공하고 있다.

○ 기타 패널발표 요약

(주) 미츠이물산전략연구소(기술, 이노베이션정보부 히라다 쇼이치로)는 미래가 기대되는 기상 데이터비즈니스의 이용에 대해 국내외의 현황과 아울러 과제와 이후의 기대가능성에 대해 발표했다.

2015년 10월 IBM사가 20억 달러라는 막대한 자금을 지불하며 The Weather Company를 인수한 예를 들며, 미래 기후산업의 무한한 성장가능성에 대해 많은 기대를 표시했다. 아직 중장기 예측정확도 향상과 기상데이터의 새로운 제공방법 개발 등의 과제가 남아있기는 하지만, GPS를 이용하는 새로운 기상관측기술 등의 개발과 인공강우나 태풍진로 변경 등의 기상조절 기술이 미래에 가능할 것으로 기대되며, 그 외 자율주행기술, 의료분야에서의 기후데이터 활용(ex. 생명기상학, 생명보험)도 가능할 것으로 기대를 표시했다.

(주) 로손(경영전략본부 본부장보좌 하타노 요시히로)는 국민의 생활인프라로서 중요한 존재가 되어있는 편의점에서 기상데이터가 어떻게 활용되고 있는지 소개했다. 연간계절변동과 매일의 날씨, 또는 돌발적인 기상이벤트에 의해 점포에서의 판매가 크게 변동하기 때문에, 이러한 요인을 포함시킨 판매예측을 하는 것이 예측정확도를 높이기 위해 중요한 과제임을 지적했다. 또한 2015년 태풍이 일본에 도착했을 때 각 지역에서 소비자들의 매우 다른 구매패턴이 보인 사례를 들며, 기상정보에 다른 데이터(인구, 지리, 교통 정보, 행동과학 등)이 융합되어야만 사업적 측면에서 보다 가치 있는 정보를 얻을 수 있다고 설명했다.

야후(주)(날씨·재해 서비스매니저 타나카 신지)는 날씨·재해서비스를 소개했다. 야후는 1996년부터 인터넷을 통해 날씨정보를 제공해왔고, 그 후 방재정보 등으로 확대되어 왔다. 타사와의 기상, 방재서비스와 차별을 도모하고자, 2015년 7월부터 'myThings' 플랫폼서비스를 시작했다. 이 myThings는 connect everything을 테마로 IoT제품·서비스를 채널로서 조합하여 IoT의 허브 역할을 하는 개방형 플랫폼이다. 샤프의 가전제품 및 야후 서비스, 타 소프트웨어 등 48종류의 제품 및 서비스와 연결되어 있다. 사업자는 플랫폼에 모인 API(Application Programming Interface)를 이용, 새 제품개발이나 기존제품의 부가가치 창출이 가능하며 그 중에서도 기상정보의 수요가 상당히 높은 이용률로 밝혀져 기상정보가 갖는 잠재력이 확인되었다.



2) 「기상비즈니스추진컨소시엄」설립 이후의 활동

「기상비즈니스추진컨소시엄」은 2017년 5월 1일 현재, 196개 법인 또는 단체회원, 10명의 교수 등 전문가회원, 그리고 기상청, 내각부, 총무성 등의 5개 특별회원으로 구성되어 있으며, 다양한 산업계에서의 기상데이터의 활발한 활용을 추진하고 있다.

인재육성과 신규 기상비즈니스 창출을 위한 각각의 Working Group들이 컨소시엄 내에 추가로 설립되었고, 세미나, 강습회 등의 개최, 각 신규비즈니스 창출을 위한 구체적 프로젝트 진행 등도 검토 중에 있다. 또한 일사(예측·관측)데이터 활용 프로젝트 및 전국 청량음료 공업회와 연계한 실증프로젝트에 대한 제안도 검토 중에 있으며 특히 기상위성 ‘히마와리’ 8호·9호에 의한 운용체제가 갖춰진 현재, 거대한 데이터 활용을 위한 심포지엄의 7월 개최를 결정하는 등 활발한 활동을 이어나가고 있다. 모든 활동소식은 Newsletter의 발행을 통해 매월 메일링 시스템을 통해 회원사에 공유되고 있다.

기상서비스/기상산업에 인공지능이나 IoT는 아직 도입초기로서 미성숙한 상황으로 보일 수 있으나, 기상청 주도로 이루어진 산학관 컨소시엄의 구성으로 향후 보다 많은 대화와 발전의 장이 마련되게 되어, 인재육성과 신규비즈니스의 창출에 대한 각 분야의 기대가 높아지고 있다. 일본기상청 또한 그러한 기대와 수요에 부응하기 위해 보다 많은 기상자료를 오픈데이터로서 제공해나가기 위한 노력을 지속하고 있다.

V. 결론

ODB(Open Data Barometer)의 2017년 보고서에서 한국은 5위로서, 2013년 12위였던 것을 고려하면, 현재 상당히 높은 순위에 랭크되어 있고 Readiness, Implementation, Impact 부분에서 모두 고르게 높은 평가를 받고 있다. 이는 2011년 ‘빅데이터를 활용한 스마트정부 구현안’을 발표한 이래로 한국정부가 꾸준히 추진해온 빅데이터 발전전략이 그 성과를 낸 것으로 보인다.

그러나 ODB는 평가보고서에서 많은 국가에서 오픈데이터 정책을 펴고 있고, 공개포털 등을 운영하고 있으나, 오픈데이터현장에 명시된 ‘Open by Default’가 전체적으로 잘 이루어지지 않고 있다는 점, 그리고 각국이 오픈한 데이터들이 오래되거나 저품질, 또는 기계판독이 불가능하

거나 엄격한 라이선스 조항을 포함하는 등 여전히 개선되어야 할 문제점이 많다고 지적하고 있다. 실제로 한국 내에서의 오픈데이터를 이용한 민간 기상서비스시장은 아직 영세한 수준에 머물러 있는데, 예를 들어 세계 기상산업 시장규모의 경우 미국 9조 원(09), 일본 4,300억 원(11)에 비해 국내시장은 1,618억 원(14)으로 낮은 수준이며, 기상서비스 분야에서 미국, 일본(11)의 경우 77%~82%인 것에 비해, 한국(14)은 9%(44억 원) 수준에 머무르고 있고, 대부분의 한국기상산업은 기상장비(91%)에 치우쳐있는 현실이다.

이상기상현상이나 기후변화로 인한 사회·경제적 피해가 증가하고 있는 상황에서, 기후변화 등의 위기상황에 적극적으로 대처하여 현재의 위기를 기회로 바꾸어 나가기 위해서는 정부, 민간 기업, 학계가 머리를 맞대고, 보다 지속적으로 기상비즈니스분야를 발전시켜 나가야 할 것으로 보인다. 가치 있는 오픈데이터 활용의 필요성은 국내뿐만 아니라, 2015년 UN에서 결의된 2030년까지의 전 세계적 빈곤퇴치, 불평등해소, 기후변화 대응 등에 대한 목표를 포함하는 지속가능발전목표(Sustainable Development Goals: Sags)의 달성을 위해서도 필수불가결하다. 아직 소수의 국가들만이 오픈데이터를 무상으로 공개하고 있지만, 한국도 Open Government Data Movement, 즉 오픈데이터화 작업에 적극적으로 대응함으로써, 국제적인 데이터선진국으로서의 위상을 확립할 수 있을 것이다.



참고문헌

- 한국기상산업진흥원, 2016: 미래유망 융합신기상서비스 기술개발사업 기획연구 보고서.
- 차영일, 노근배, 김종배, 한경석, 2014: 공공데이터 개발을 위한 오픈데이터 플랫폼의 동향, 한국정보통신학회지, 15(2), 37-42.
- 정용찬, 한은영, 2014: 빅데이터 산업 촉진전략연구 - 해외주요국 정부사례를 중심으로-, 정보통신정책연구원, 171pp.
- 한은영, 2014: 영국 오픈데이터 정책의 특징 및 시사점, 정보통신정책연구원, 26(23), 24pp.
- 한국정보화진흥원 과학기술정책 192호, 윤미영, 주요국의 빅데이터 추진전략 분석 및 시사점, 2013
- 한국정보화진흥원, 2011: 신가치창출 엔진, 빅데이터의 새로운 가능성과 대응전략, IT & Future Strategy, 18, 30pp.
- Open Data Institute, 2017: The State of weather data infrastructure, 19pp.
- Open Data Institute, 2015: Open Data Challenge Series “Handbook”, 19pp.
- World Wide Web Foundation, 2016: Open Data Barometer Global Report 3rd edition.
- World Wide Web Foundation, 2017: Open Data Barometer Global Report 4th edition.
- 일본 총무성 ICT 이활용의 촉진: <http://www.soumu.go.jp/>
- GOV.UK: www.gov.uk/data-strategy-board
- Open Data Institute: www.theodi.org
- Open Data Charter: <http://opendatacharter.net>
- UN지속가능발전(SDGs): <http://ncsd.go.kr>
- 기상데이터고도이용: <http://www.data.jma.go.jp/>

기상기술정책지 발간 목록

창간호, 제1권 제1호(통권 창간호), 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	봉종헌	1-3
정책초점	• 기상산업의 중요성과 전략적 위치	이종우	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
해외기술동향	• 우주환경의 현황과 전망	안병호	82-92
	• 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, 구삼욱	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
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

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

칼 럼	• 전자구관측시스템(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
	• 이상기름에 대응한 댐 운영 방안	차기욱	78-89
	논 단	• 기후변화의 불확실성 해소를 위한 대응방안	양용석
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	김익근	42-50
	• [도시기후] 대구의 도시 기후 및 열 환경 특성	조명희, 조유원, 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?	김연중	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	주요 내용	저자	페이지
	• 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
	• 국가기본풍속지도의 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	주요 내용	저자	페이지
	• 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	주요 내용	저자	페이지
	• 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	유현종	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
• 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

해양기상서비스의 현황 및 전망, 제5권 제2호(통권 제16호), 2012년 12월

칼럼	• 해양기상서비스의 의미 및 가치 확산	박관영	3-7
정책초점	• 해양기상 융합서비스의 필요성	김민수	10-20
	• 수자원 변동에 따른 해양기상서비스의 강화	김희용	21-29
	• 해양기상정보 관리의 선진화 방안	정일영	30-39
	• 해양기상·기후변화 대응을 위한 정책제언	양홍근	40-47
논단	• 해양기상서비스 현황과 정책 방향	김유근	48-57
해외기술동향	• 선진 해양기상기술 동향	우승범	58-67
포커스	• 제4차 WMO/IOC 해양학 및 해양기상 합동기술위원회(JCOMM) 총회	해양기상과	68-73

기상기술정책지 발간 목록

국민의 행복 증진을 위한 "기상기후서비스 3.0", 제6권 제1호(통권 제17호), 2013년 6월

칼 럼	• 국민이 원하는 기상기후서비스	이일수	3-4
정책초점	• 기상기후분야 과학과 서비스 발전 방향	전종갑	6-14
	• 지진조기경보 역량 강화를 위한 정책적 제언	최호선	15-30
	• 기상기후 서비스 혁신을 위한 기술경영 전략	박선영	31-47
	• 자연재해 대응 서비스 기술 및 정책변화	허종안, 손흥민	48-59
논 단	• 수요자 맞춤형 서비스를 위한 기상기술 고도화 방안	김영준	60-72
포 커 스	• 국민행복서비스 포럼 개최 후기	국립기상연구소 정책연구과	73-78

빅데이터 활용 기상융합서비스, 제6권 제2호(통권 제18호), 2013년 12월

칼 럼	• 정부3.0에 따른 기상기후 빅데이터 활용	고윤화	3-4
정책초점	• [정책] 정부3.0 지원을 위한 빅데이터 융합전략	안문석	6-13
	• [정보] 스마트국가 구현을 위한 빅데이터 활용방안	김현곤	14-31
	• [서비스] 빅데이터 분석 기반 기상예보의 신뢰도 향상 방안	이기광	32-46
	• [경영] 빅데이터 기반 날씨경영 성과 제고 방안 - 공항기상정보 활용사례 -	방기석	47-58
	• [농업] 기후변화시나리오 활용 농업 기상 과학 융합 전략	김창길, 정지훈	59-76
	• [재난] 재난관리의 새로운 해결방안, 빅데이터	최선화, 김진영, 이종국	77-87
논 단	• 기상기후데이터를 품은 빅데이터	이재원	88-97
	• 한국형 복지국가의 전략적 방향성안	안상훈	98-111

기상기후 빅데이터와 경제, 제7권 제1호(통권 제19호), 2014년 6월

칼 럼	• 기상기후 빅데이터를 활용한 날씨경영	고윤화	3-4
정책초점	• 기상기후정보의 사회경제적 역할	안중배	6-11
	• 미래 재난재해 해결을 위한 기상기후 서비스	김도우, 정재학	12-19
	• 빅데이터의 사회경제적 파급효과	김진화	20-30
	• 기상기후 빅데이터의 산업경영 활용과 전략	김정인	31-41
	• 기상기후 빅데이터 기반 기상산업육성	송근용	42-56
논 단	• 빅데이터 기반의 미래 산업	황종성	57-71
	• 기상기후정보 효율성 제고를 위한 융복합 연구	이성종	72-77
포 커 스	• 위험기상에 따른 기상기후 빅데이터 활용	국립기상연구소 정책연구과	78-93

위성 기술과 활용, 제7권 제2호(통권 제20호), 2014년 12월

칼 럼	• 위성을 활용한 전 지구적 관측 방안	고윤화	3-4
정책초점	• 기상위성 운영기술의 선진화 방안	김방업	6-15
	• 관측위성기술의 현황 및 전망	김병진	16-24
	• 연구개발용 위성의 현업 활용성 제고 방안	안명환	25-43
	• 위성을 이용한 국가재난감시 체계 구축	윤보열, 염종민, 한경수	44-56
	• 위성영상서비스 시장 빅뱅과 새로운 관점	조황희	57-67
논 단	• 우주기상의 연구 현황 및 발전 방향	김용하	68-81
해외기술동향	• 기상위성 기술·정책 정보 동향	국가기상위성센터 위성기획과	82-92
	• 위성기반 작전기상 소개	안숙희, 김백조	93-100

기상기술정책지 발간 목록

장마의 사회경제적 영향, 제8권 제1호(통권 제21호), 2015년 6월

칼 럼	• 장마와 날씨경영	고윤화	3-5
정책초점	• 수자원 확보에 있어서 장마의 역할	박정수	8-16
	• 장마가 농업생산에 미치는 영향	최지현	17-24
	• 장마의 변동성과 예측성 향상	서경환	25-30
	• 장마기간 유통산업 영향 및 전략	김정윤	31-40
	• 장마철 유의해야할 건강 상식	이준석	41-51
논 단	• 장마-몬순 예측기술 향상 방안	하경자	52-59
해외기술동향	• 동아시아 여름강수 예측기술 현황	권민호	60-65

겨울철 위험기상의 영향과 대응, 제8권 제2호(통권 제22호), 2015년 12월

칼 럼	• 겨울철 위험기상 예보의 중요성	고윤화	3-4
정책초점	• 겨울철 위험기상을 위한 에너지 정책	김두천	6-17
	• 한국의 동절기 도로제설 현황	양충현	18-29
	• 한파가 농업에 미치는 영향	심교문	30-41
	• 겨울철 한파 대비 건강관리	송경준	42-56
	• 겨울철 위험기상의 예측능력 향상	김주홍	57-68
논 단	• 미래 겨울철 위험기상의 변화	차동현	69-75

영향예보의 현황 및 응용, 제9권 제1호(통권 제23호), 2016년 6월

칼 럼	• 영향예보를 통한 기상재해 리스크 경감	고윤화	3-4
정책초점	• 영향예보 비전과 추진 방향	정관영	6-22
	• 재해기상 영향예보시스템 현황 소개	최병철	23-31
	• 영향예보 지원을 위한 수치예보 개발 방향	김동준	32-40
	• 영향예보를 위한 수문기상정보 지원	이은정	41-51
	• 재해영향예보의 효과	손철, 김건후	52-63
포 커 스	• 확률 예보를 위한 앙상블예측 기술 소개 및 현황	강지순	64-74

인공지능을 접목한 기상 분야 활용, 제9권 제2호(통권 제24호), 2016년 12월

칼 럼	• 기상서비스를 변화시키는 인공지능	고윤화	3-4
정책초점	• 인공지능의 발달이 몰고 오는 변화상	진석용	6-20
	• 4차 산업혁명과 기상예보시스템의 혁신	최혜봉	21-30
	• 인공지능 시대를 살아가기 위한 인간 능력은?	구본권	31-50
	• 인공지능의 기상정책 개발 활용	국립기상과학원	51-63
	논 단	• 인공지능 도입으로 정확도를 혁신하는 기상예보	고한석

기상기술정책지 발간 목록

영향예보 서비스 확대, 제10권 제1호(통권 제25호), 2017 6월

칼 럼	• 영향예보 서비스 개발과 활성화	고윤화	3-4
정책초점	• 영향예보 서비스 확대를 위한 제언	예상욱	6-17
	• 교통안전관리를 위한 도로기상정보 활용	손영태	18-30
	• 태풍 재해 리스크 관리를 위한 영향예보	이은주	31-40
	• 기상, 기후 그리고 숲과 사람	박주원	41-55
	• KISTI 재난대응 의사결정지원시스템(K-DMSS) 소개	조민수	56-70
논 단	• 기상예측정보를 활용한 농경지 물사용 영향예보	최진용, 홍민기, 이성학, 이승재	71-81
	• 화재 기상예보 서비스	류정우, 권성필	82-92
포 커 스	• 오픈데이터와 일본기상비즈니스 컨소시엄	정효정	93-107

『기상기술정책』 투고 안내

투고방법

1. 본 정책지는 기상기술 분야와 관련된 정책적 이슈나 최신 기술정보 동향을 다룬 글을 게재하며, 투고된 원고는 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
 - 3) 글자크기 : 본문 11pt, 표:그림 10pt
 - 4) 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-mail 등을 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(reference)
 - 1) 참고문헌 표기 양식
 - 참고문헌은 본문의 말미에 첨부하되 국내문헌(가나다 순), 외국문헌(알파벳 순)의 순서로 정리한다.
 - 저자가 3인 이상일 경우, '등' 또는 'et al.'을 사용한다.
 - 제1저자가 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

Volume 10, Number 1

33, Seohobuk-ro, Seogwipo-si, Jeju-do, 63568, Korea
TEL. 064-780-6533 | FAX. 064-738-9071
<http://www.kma.go.kr>