

기상기술정책

METEOROLOGICAL TECHNOLOGY & POLICY

2016.

6



특집 영향예보의 현황 및 응용

칼럼 | 영향예보를 통한 기상재해 리스크 경감 |

정책초점 | 영향예보 비전과 추진 방향 |

- | 재해기상 영향예보시스템 현황 소개 |
- | 영향예보 지원을 위한 수치예보 개발 방향 |
- | 영향예보를 위한 수문기상정보 지원 |

논단 | 재해영향예보의 효과 |

포커스 | 확률 예보를 위한 양상분예측 기술 소개 및 현황 |



기상청

『기상기술정책』

Vol.9, No.1(통권 제23호)

2016년 6월 30일 발행

등록번호 : 11-1360395-000017-09

ISSN 2092-5336

원고모집

『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.

『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 연구기획운영과

편집위원장: 조천호

편집위원: 유민수, 김금란, 장동언, 전영신,
배덕효, 이우성, 박중훈, 반기성

편집간사: 김정윤, 이경미, 안숙희

발행처

주소: (63568) 제주특별자치도 서귀포시 서호북로 33

국립기상과학원

전화: 064-780-6533 팩스: 064-738-9071

E-mail: yjk@kma.go.kr

인쇄: 미래미디어

제9권 제1호(통권 제23호)

2016년 6월 30일 발행

기상기술정책

CONTENTS

특집 : 영향예보의 현황 및 응용

칼럼 03 _ 영향예보를 통한 기상재해 리스크 경감 / 고윤화

정책초점 06 _ 영향예보 비전과 추진 방향 / 정관영

23 _ 재해기상 영향예보시스템 현황 소개 / 최병철

32 _ 영향예보 지원을 위한 수치예보 개발 방향 / 김동준

41 _ 영향예보를 위한 수문기상정보 지원 / 이은정

논단 52 _ 재해영향예보의 효과 / 손철, 김건후

포커스 64 _ 확률 예보를 위한 양상불예측 기술 소개 및 현황 / 강지순

영향예보를 통한 기상재해 리스크 경감

고윤화
기상청장



지난 1월 제주도에서는 폭설과 한파, 강풍에 의해 비행기 296편이 결항되고 122편이 지연된 일이 있었다. 이로 인해 사흘 간 국내외 관광객 약 9만여 명의 발이 묶여버렸다. 그런데 당시 날씨는 제주보다 전남에서 더 위험했었다. 전남의 최저기온은 -12°C 로 제주에 비해 6°C 나 더 낮았고, 최고적설량은 약 21cm로 제주보다 10cm나 더 많았다. 그러나 많은 국민들의 관심과 걱정은 전남보다는 제주도에 집중되었다.

이는 국민들의 관심과 사회경제적 영향이 기상현상의 강도에 단순비례하지는 않다는 증거이다. 실제 국민들에게는 날씨가 어떠할 것인가를 넘어 무엇을 할 것인지가 더 중요한 요소인 것이다. 영향예보는 바로 이런 부분을 채워주기 위한 예보이다.

영향예보는 날씨로 인해 발생할 부정적인 영향을 최소화한다. 이를 위해 날씨의 영향을 분석하고, 그 영향이 위험할 것으로 예상될 경우 그 정보를 기준보다 훨씬 더 빠르게 전달해줄 것이다.

지금까지의 예보는 예측의 신뢰도나 정확도가 높지 않아 빨라야 하루 이틀 전에 위험기상에 대한 특보를 줄 수 있었다. 그러나 영향예보는 예측의 정확도가 낮더라도 그 영향이 클 것으로 예상되면 미리 정보를 전달한다. 이는 재해대비에 있어 매우 중요하다.

방재담당기관에서는 취약지역을 미리 점검하고, 구호물을 준비해두는 등에 필요한 사전 대응 시간을 충분히 확보할 수 있다. 각 개인들은 일정을 사전에 조율하고, 농작물과 시설물 피해에 미리 대비하는 등의 준비를 통해 피해를 최소화할 수 있다.

날씨로 인한 영향을 분석하기 위해서는 이와 관련된 데이터베이스(DB)가 필요하다. 여기에는 과거의 기상재해 발생이력과 그 원인이 되었던 기상현상에 관한 정보 등이 담길 것이다. 또한 수십 년간 예보업무를 수행해온 예보관들의 직감과 경험 역시 중요한 정보이다. 이를 바탕으로 기상재해가 발생할 것으로 예상되는 기상강도를 추정할 수 있다.

영향예보는 우리나라에서 생소한 단어이지만 기상선진국에서는 이미 대중에게 친숙한 것이다. 영국은 이미 2011년부터 영향예보를 시행하여 비, 바람, 눈, 결빙, 안개로 인해 나타날 영향의 강도를 4단계로 나눠 예보하고 있다. 미국 역시 2013년에 기상 현상 중심의 예보에서 영향을 해석하고 상담하는 서비스로의 전환을 선언한 바 있다. 이러한 흐름을 반영하여 세계기상기구(WMO)는 ‘복합재해 영향기반 예·특보 서비스에 관한 세계기상기구 가이드라인’을 발간하여 회원국들에 배포하였다.

세계 예보의 패러다임이 변하고 있다. 기상청 역시 2020년 영향예보 전면실시를 계획하고 있다. 이를 위해 날씨의 영향을 분석하기 위한 관련 기술의 개발과 DB 구축을 준비하고 있다. 생산된 정보가 적시에 적절하게 전달될 수 있도록 하는 전달체계를 마련하고 방재 유관기관과의 협업체계를 구축하는 일 역시 간과하지 않고 있다. 올 여름부터는 태풍 영향예보 시범 서비스를 실시하여 미흡점을 계속 보완해나갈 예정이다.

영향예보로의 전환을 통해 기상청은 국민이 더욱 안전한 대한민국을 만드는데 일조할 것이다.

정 책 초 점

영향예보 비전과 추진 방향

| 정관영

재해기상 영향예보시스템 현황 소개

| 최병철

영향예보 지원을 위한 수치예보 개발 방향

| 김동준

영향예보를 위한 수문기상정보 지원

| 이은정

영향예보 비전과 추진 방향

정관영 기상청 영향예보 TFT 팀장 kychung83@korea.kr

- I. 서론
- II. 배경
- III. 현황 및 시사점
- IV. 영향예보 개요
- V. 비전과 추진 방향
- VI. 기대효과

영향예보(Impact Forecasts)란, 국민의 안전과 행복을 위해 같은 날씨에서도 때와 장소에 따라 다르게 나타나는 영향을 과학적인 자료를 바탕으로 상세한 기상정보와 함께 전달하는 예보를 말한다. 기존의 예보는 위험기상 및 기상재해에 대한 유관기관의 대응을 지원하는 데 한계가 있었다. 따라서 조기경보체계(Early Warning System, EWS)와 사회경제적 영향분석 정보가 포함된 영향예보를 생산하여, 방재 유관 기관의 재해대응을 지원하는 것이 영향예보의 기본 개념이다. 같은 기상현상이라도 시간과 장소에 따라 달라지는 기상현상의 영향을 고려한 예보 서비스를 통해 기상 서비스의 가치를 향상시키고, 유관 기관과의 적극적 소통·협업체계 구축을 통해 상호 간 기상 및 방재 정보의 교류 체계를 구축할 것이다. 또한, 기상재해에 대한 사회기반시설의 취약성과 비상사태 시 사람들이 취할 것으로 예상되는 행동을 기상예보에 포함함으로써 재해로 인한 사망자, 피해 및 손실에 따른 부정적인 영향을 최소화하는데 기여할 것이다. ■

“ 적절한 예보와
특보에도 불구하고
기상재해 발생 ”

I. 서론

지난 1월, 제주 지역의 폭설 및 강풍 등의 위험기상이 발생하기 며칠 전부터 기상청은 ‘제주 지역에 10cm가 넘는 눈이 내리고 강풍이 불 것’이라고 예보했다. 그러나 제주공항의 항공기 전면 결항을 예상하지 못한 관광객들은 3일 동안 제주공항에 발이 묶여 큰 피해가 발생했다. 폭설과 강풍은 예보를 통해 알고 있었지만, 항공기와 여객선의 결항까지는 예상하지 못했던 것이다. 만약 기상청에서 “제주 지역에 폭설과 강풍으로 항공기가 결항될 가능성이 큽니다.”라고 발표했다면 어땠을까?

매년 전 세계에서 위험기상의 영향으로 인해 많은 인명과 재산 및 사회기반시설에 큰 피해가 발생하고 있으며, 이로 인해 지역 사회는 수년간 지속될 수도 있는 경제적인 타격을 받고 있다. 이러한 상황은 기상청이 적시에 적절한 위험기상 예보와 특보를 발표했음에도 불구하고 발생하기도 한다.

이는 실제 기상 예·특보와 시민의 보호 및 비상관리를 담당하는 기관과 대부분의 사람들이 이해하는 잠재적인 영향의 차이로 인해 발생한다. 다시 말해, 날씨가 어떠할 것이라는 인식은 있으나 그 날씨가 미치는 영향에 대한 이해는 부족한 것이다.

이와 같은 이해의 차이를 좁히기 위해서는 위험기상에 대한 관측, 모델링 및 예측에서부터 해당 현상으로 인한 위험요소와 이로 인한 영향에 이르기까지 전체를 아우르는 접근법이 개발되어야 한다. 이는 여러 전문영역과 고도의 통합 및 집중된 노력을 필요로 할 것이다. 또한 이는 가능한 최선의 과학과 최상의 서비스에 대한 접근성 보장, 오늘날의 복합재해에 대한 관리, 미래의 기후변화로부터 국민을 지킬 고(高)비용 인프라 구축과 관련된 의사결정에 대한 적절한 근거 제공에 있어 필수적이다.

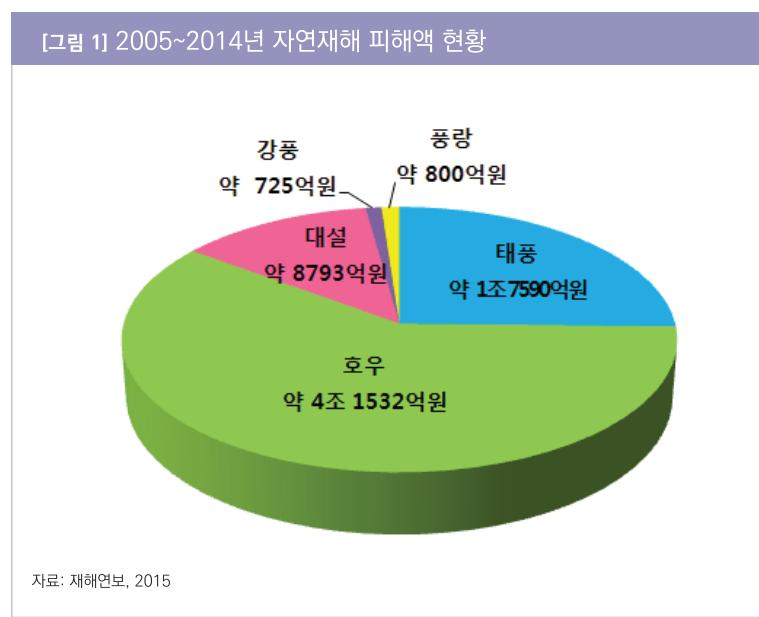
위험기상의 잠재적인 영향에 대한 이해도 향상은 기상청과 협업기관, 특히 방재 기관이 해결해야 할 과제이다. 이에 기존 예·특보에서부터 영향 예·특보 서비스로 나아가기 위한 기상청의 영향예보 비전과 추진 방향을 제시한다.

“ 기후변화에 따른
위험기상 발생 증가로
사회경제적
피해 증대 ”

II. 배경

1. 기상재해의 증가 추세

기후변화에 따라 전 세계적으로 태풍, 호우, 폭염 등 위험기상의 발생이 증가하고 있으며, 이로 인한 사회·경제적 피해도 증대되고 있다. 우리나라에서 최근 10년(2005~2014년) 간 자연재해로 인해 발생한 피해액은 약 6조 9천억 원이며, 호우, 태풍, 대설 순으로 큰 피해가 발생하였다(그림 1).



2011~2014년 기간 동안 우리나라에서 기상재해로 인한 연평균 재산 피해액은 약 5조 5천억 원으로 2001~2010년(약 2조 7천억 원) 대비 약 2배, 1991~2000년(약 7천억 원) 대비 약 7배 이상 증가하였다(표 1).

또한 도시화로 인한 인구 밀집, 인구 고령화, 소득 양극화 심화 등 사회구조 변화로 재해에 대한 취약성이 증가하고 있는 실정이다. 제2차 기후변화 적응대책에 따르면 고령인구(65세 이상)는 2010년 우리나라 전체인구의 11.0%, 2020년 15.7%, 2035년 28.4%로 증가가 전망되고 있으며, 특히 취약계층 증가는 재해위험사회로의 진입을 가속화시키고 재해로 인한 영향의 양극화 현상을 심화시킬 것으로 예상된다.

<표 1> 한국의 기상재해로 인한 연평균 재산 피해액 추이

| 기간 | 1961~1970 | 1971~1980 | 1981~1990 | 1991~2000 | 2001~2010 | 2011~2014 |
|------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 연평균 피해액 | 1,391.0 | 2,215.6 | 6,329.3 | 7,576.2 | 27,710.7 | 55,002.3 |

* 2014년 불변가격 기준(단위: 억 원)
자료: 재해연보, 2015

“ 안전한 사회를 위한
국민들의 요구 증대 ”

뿐만 아니라 산업 구조가 복잡·고도화됨에 따라 날씨에 의한 영향이 산업 전반으로 확산되고 있으며, 그 크기 또한 증대되는 추세이다. 기상재해로 인한 사회·경제적 피해는 2100년까지 세계 GDP의 5~20%에 달할 것으로 예상되고 있다(Stern, N., 2008). 한편 우리나라는 농림, 수산, 건설, 관광 등 날씨에 직·간접적인 영향을 받는 산업이 국내총생산(GDP)의 52%를 차지하고 있다(서울대학교, 2004).

2. 국내 환경 변화

세월호 사고 이후 안전한 사회를 위한 국민들의 요구가 증대됨에 따라 대한민국 정부는 현장 중심의 총체적 재난·재해관리 체계를 강화하고 있다. 국가안전의 컨트롤타워로서 국민안전처가 출범되면서 통합적·연속적 관리 체계가 구축되었으며, 범부처·지자체와의 협업을 통한 통합적 정보관리·공동이용에 대한 기반을 마련하고 실시간 현장 지원을 위한 대응 체계 구

축을 추진하고 있다.

또한 피해규모가 크고 재난발생 빈도가 높은 자연재해 관리 기술개발에 대한 수요가 증대되고 있다. 즉, 태풍, 홍수, 호우 등 기상재해 대응능력 향상을 위한 기술개발 요구가 높아지고 있는 상황이다(표 2).

<표 2> 자연재해 관리 기술개발 우선순위(제2차 재난 및 안전관리 기술 개발 종합계획)

| 구분 | 재난·재해 및 안전사고 유형 | 대처 수준 | R&D 수요 (A) | 위험수준 (B) | 총점 (A+B) | 종합순위 |
|-----|-----------------|-------|------------|----------|----------|------|
| 태풍 | | 3.1 | 68.7 | 80.9 | 149.5 | 1 |
| 홍수 | 자연재해 | 3.0 | 67.2 | 80.4 | 147.6 | 2 |
| 산사태 | | 2.9 | 68.7 | 75.2 | 143.9 | 3 |
| 화재 | 안전·사회적 재난 | 3.0 | 70.1 | 71.5 | 141.6 | 4 |
| 호우 | 자연재해 | 3.0 | 64.2 | 77.2 | 141.4 | 5 |

3. 현재 예보 체계에 대한 변화 요구 증대

날씨에 의한 지역별 사회·경제적 영향을 고려하지 않는 기존 현상 중심의 예보 서비스는 기상재해 대응을 위한 효과적인 의사결정 지원에 불충분하다는 인식이 증대되고 있다. 예를 들면, 2016년 1월 23~25일 제주 지역에 내린 눈과 강풍으로 대규모 항공기 결항이 발생하는 등 피해가 발생하였다. 기상청이 적시에 예·특보를 발표하였음에도 불구하고, 대규모 항공기 결항, 시설물 피해 등으로 인해 52.5억 원의

“ 날씨로 인한 리스크를
관리할 수 있는
예보 서비스 필요 ”

재산 피해와 9만여 명의 관광객 고립 등의 직·간접적인 피해가 발생했다는 점은 현재의 기상예보 체계의 변화가 필요하다는 것을 말해주고 있는 것이다.

이에 따라 사회·경제적 요구에 능동적으로 대처하고 국가 정책방향에 부응하는 기상예보에 대한 요구가 점차 증가하고 있다. 효과적인 의사결정 지원을 통해 날씨로 인한 리스크를 경감하는데 기여할 수 있는 예보 서비스를 위한 제도적·인식적 패러다임 전환이 필요하다는 것이다. 즉 날씨의 발생 가능성과 영향에 대한 확률 예측 정보 제공을 통해 날씨로 인한 리스크를 선제적으로 관리할 수 있는 예보 서비스가 필요하며, 이에 대한 사용자의 이해와 인식 제고가 필요한 시점이다. 또한 선제적이고 구체적인 정보를 제공함으로써 실질적 행동의사결정을 지원할 수 있는 협력기반의 예보 서비스가 필요할 것이다.

III. 현황 및 시사점

1. 국외 현황

세계기상기구(WMO)에서는 안전한 사회와 사회적 형평성을 기초로 한 공공기상 서비스 정책을 강조하고 있다(WMO 전략계획 2016-2019, 2015). 이에 기상현상의 사회·경제적 영향을 고려하는 영향예보의 필요성이 전 세계적으로 확산되고 있다. 세계기상기구는 좋은 예보가 나쁜 결과를 낳은 사례를 적시하고, 이에 대한 대안으로 영향예보를 도입할 것을 권고하고 있다(표 3).

<표 3> 좋은 일기예보가 왜 부실 대응을 낳는가?

기상재해가 잘 예보되었지만, 그 영향이 제대로 고려되지 않았거나 과소평가되어 부적절한 대응으로 이어진 사례는 많다. 아래 두 가지 사례는 기상특보 이상의 것이 필요함을 보여준다.

사례 1 : 태풍 하이엔

주목할 만한 가장 최근 사례는 2013년 11월 7일 필리핀을 강타한 5등급 태풍 하이엔이다. 2014년 1월 14일자로 보고된 바에 따르면, 사망 6,201명, 부상 28,626명, 실종 1,785명 등 총 1,600백만 명이 피해를 입었고, 사회기반시설 및 농경 피해액은 8억 2,700만 달러 이상으로 추산되었다.* 많은 사망의 원인은 10분 간 평균풍속 275km/h의 강풍으로 인한 폭풍 해일이었다.

이러한 폭풍이 주는 구체적인 영향을 더 잘 알고 있었다면, 더 많은 생명을 구할 수 있었을까?

아마도 그랬을 것이다. 필리핀 기상청이 늦지 않게 호우와 바람에 대한 정확한 특보를 발표했고, 필리핀 정부는 영향을 가장 많이 받을 것으로 예상되는 지역에 비행기와 헬리콥터를 배치했다. 하지만 이러한 조치도 충분하지 않았다. 위험에 대한, 특히 폭풍 해일에 대해 더 많이 알고 있었더라면 폭풍 해일에 노출된 지역의 더 많은 사람들이 더 빨리 대피했을 확률이 높다.**

사례 2 : 태풍 피토(Fitow)

태풍 피토는 하이엔보다 강도는 약했지만 기상특보가 지닌 몇 가지 한계를 잘 보여준다.

태풍 피토는 2013년 10월 중국 대륙에 영향을 미치기 시작해 상당한 피해를 주었다. 현지시각 10월 7일 20시에서 10월 8일 14시 사이, 상하이에는 총 156mm의 강우가 내렸는데, 이는 1961년 관측이래로 18시간동안 가장 많이 내린 양이었다. 이로 인한 피해는 매우 커다. 97개의 도로가 침수되고 900개 지역 마을이 물에 잠겨 많은 지하주차장과 자동차가 손상되었으며, 일부 홍수방지용 벽은 손상되거나 파괴되었다. 또한, 강이 범람하여 4개 구(district)가 침수됐다. 10월 11일까지 120만 명 이상이 직접적인 피해를 입었고 보고된 사망자는 1명이며, 약 2,800만 헥타르의 농지가 침수됐다. 직접적인 경제적 손실액은 8억 900만 위안으로 추산된다. 저장(Zhejiang)성에서는 7명이 사망한 것으로 보고되었으며, 직접적인 경제 손실액은 330억 위안으로 추정된다.

중국기상청 상하이기상국은 표준 운영절차 및 프로토콜에 따라 정확한 특보를 발표했으며, 상황이 악화됨에 따라 심각 수준을 파란색에서 적색으로 높였다. 1,800만 명 이상에게 특보가 전달되었다.

그러나 사람들의 반응은 ‘왜 이렇게 특보가 늦었나?’였다.

강우에 대한 황색 특보가 현지시각 10월 8일 5시 36분에, 적색 특보가 7시 38분에 발표됐다. 이날은 중국의 국경일 연휴가 끝나는 첫 등교 및 출근일이기도 했다. 가장 높은 단계의 특보가 발표된 시간은 러시아워 시간과 일치했으나, 많은 사람들이 상황의 심각성을 인식하기 전에 아침 출근이 진행되었다. 교통 정체로 인해 사람들이 목적지에 도착하거나 집으로 되돌아가지 못했다.

예보는 매우 정확했는데 왜 이러한 일이 발생했을까?

많은 국가들처럼 중국도 주로 기상학적 임계값에 근거한 특보시스템을 이용한다. 각 특보 수준에는 특보가 발표되었을 때 취해야 할 ‘권장 행동’이 요약되어 있다. 권장 행동은 보통 매우 일반적인 내용으로 특정 상황에 대한 구체적인 지침은 없다. 태풍 피토의 경우, 적절한 기상학적 임계값을 이미 초과한 아침 러시아워 시간에 훨씬 접어들어서야 최고 수준의 특보가 발효된 것과 같았다.

* National Disaster Risk Reduction and Management Council (2014)

** WMO, Post-Typhoon Haiyan (Yolanda) Expert Mission to the Philippines, Manila and Tacloban, 7–12 April 2014, Mission Report (2014)

“ 영국기상청,
위험가능성 도표를
기반으로 한
영향예보 수행 ”

아울러 미국, 영국 등 주요국 기상청은 의사결정을 지원할 수 있는 기상예보에 영향예보를 도입하여 서비스를 수행하고 있다(표 4).

영국기상청은 2011년부터 위험가능성 도표(그림 2)를 기반으로 한 특보를 수행

하고 있다. 발생 가능성과 영향의 정도에 따라 5가지 기상현상(비, 바람, 눈, 결빙, 안개)에 대해 최대 5일 전부터 특보를 발표하고 있다(그림 3).

또한, 향후 상세한 영향을 산출하기 위하여 기상재해와 재해 취약성·노출을 모두 고려할 수 있는 재해영향모델을 개발하여 영향예보에 활용하고자 추진하고 있다. 현재 영국기상청에서는 재해영향모델 중 하나인 VOT(Vehicle OverTurning) 모델을 개발해 강풍으로 인해 차량이 뒤집혀 발생

<표 4> 주요국 기상청 정책 방향

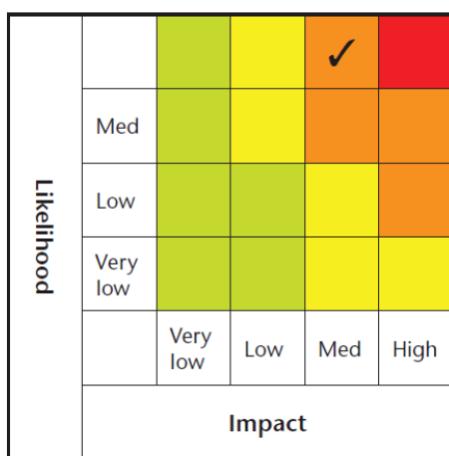
(영국) 영국기상청 과학전략 2016–2021('15년)은 국민 생활과 생계 보호를 위해 영향을 고려한 기상·기후 과학정보 제공을 위한 추진 전략을 제시

- ◇ 기본 방향 : 기상·기후 서비스를 통한 국민 보호와 정부·기업 지원
- ◇ 추진 전략 ① 양상을 기반의 시·공간적 상세예보 생산기술 고도화
 - ② 학·연·관 협업 및 소통 강화
 - ③ 역량강화를 위한 내부 교육 강화
 - ④ 응용기상 및 기후변화 관련 컨설팅 실시

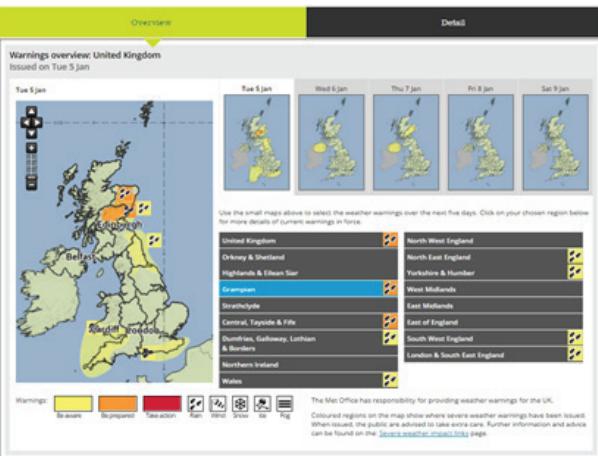
(미국) Weather Ready Nation 로드맵('13년)에서 영향기반 의사결정 지원 서비스를 포함하고, 이에 대한 추진 전략 제시

- ◇ 기본 방향 : 새롭게 진화하는 사회 니즈 대응을 위한 의사결정 지원
- ◇ 추진 전략 ① 산출물 기반에서 영향 기반의 의사결정 지원 서비스로 전환
 - ② 의사결정 지원을 위한 예보관 역량 강화
 - ③ 과학기술 고도화
 - ④ 지속적이고 신속·유연한 추진체계 구축

[그림 2] 위험가능성 도표(Risk Matrix)



[그림 3] 영국 위험기상 특보 화면



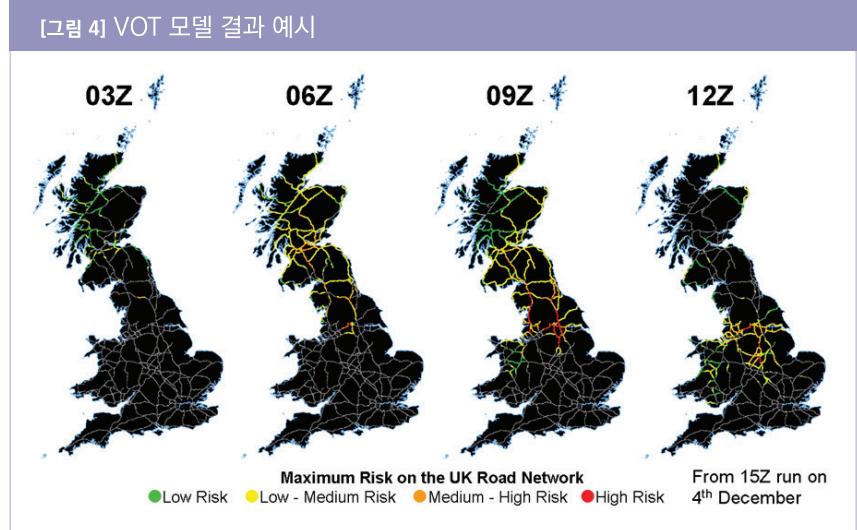
“ 미국기상청,
산출물 중심의
서비스에서 해석과
상담 서비스로 전환 ”

할 수 있는 교통사고나 도로혼잡 등의 영향을 시범적으로 예측하고 있다(그림 4). 또한, 재해관리를 위한 범부처 거버넌스인 NHP (Natural Hazard Partnership)를 구축하여 침수와 산사태에 관련한 재해모델을 개발 중이다.

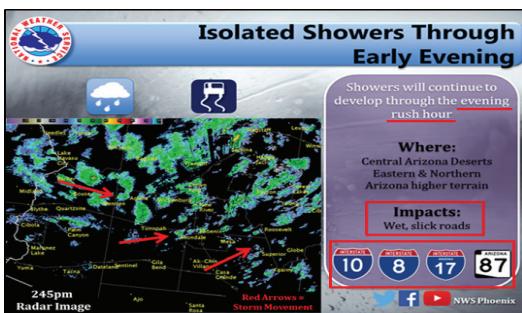
미국기상청은 2013년 발표한 Weather Ready Nation 로드맵에서 영향기반 의사결정 지원 서비스(Impact-based Decision Support Service)로 패러다임 전환을 선언하고, 산출물 중심의 서비스에서 해석과 상담 서비스로 전환을 추진하고 있다. 일부 지역의 지방

기상청(Weather Forecast Office)을 중심으로 시범 서비스를 시행하고 있다. 일례로 홈페이지나 SNS를 활용하여 기상예보 시 기상현상으로 인한 영향정보를 함께 제공하고 있으며(그림 5), 버지니아 주 기상청에서는 위험기상정보를 미리 전달해주기 위해 4~7일 후의 겨울폭풍 영향예보를 이번 겨울(2016년 1~4월) 동안 시범적으로 운영하였다(그림 6).

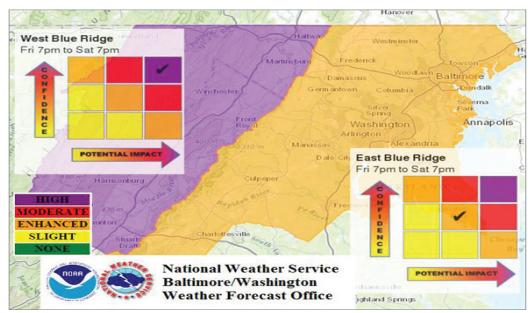
[그림 4] VOT 모델 결과 예시



[그림 5] Weather story(소나기로 인한 영향)



[그림 6] 버지니아 주 겨울폭풍 영향예보



“ 위험기상에 의해
발생 가능한
영향 정보의
조기 제공 필요 ”

2. 우리의 현황

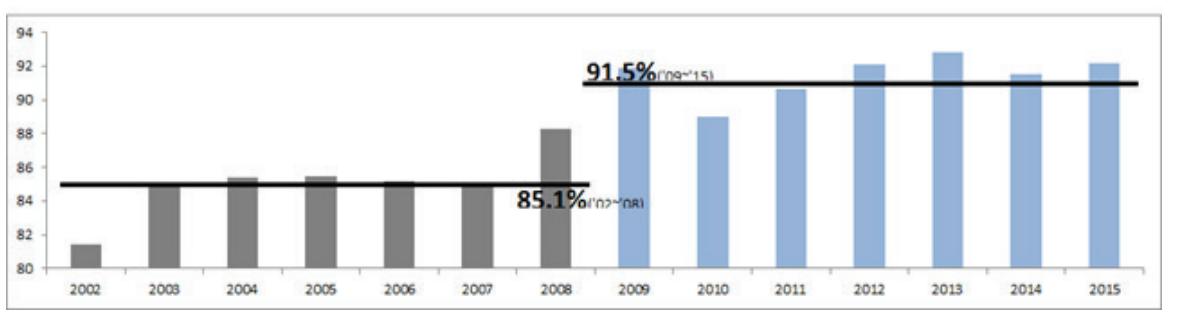
현재 기상청은 지역 특성, 인프라 등 다양한 조건에 따라 달라지는 기상현상의 영향 차이를 고려하지 않은 균일한 기준으로 특보를 운영하기 때문에 효과적 재해대응에 역부족일 수밖에 없다. 취약한 지역의 경우, 특보기준 미달의 기상현상에도 재해가 발생하여 큰 피해가 발생하고 있기 때문이다. 이는 앞서 말한 2016년 1월 23~25일 제주 지역의 사례를 들 수 있다. 이 기간 동안 제주 지역의 최고적설량(산간 제외)과 최저기온은 각각 12cm(대설주의보)와 -5.8°C로 같은 기간 광주 지역의 21.4cm(대설경보), -11.7°C에 비해 낮은 수준이었으나, 눈이 잘 오지 않는 제주 지역의 특성과 관광객이 몰리는 주말이라는 특수성으로 인해 제주 지역의 직·간접적인 피해는 광주보다 더 크게 나타났다.

또한, 현행 특보 및 예비 특보의 선행시간은 기상재해에 대한 선제적 대응을 지원하기에 부족한 실정이다. 최근 호우특보의 선행시간은 평균 104분이며, 예비특보의 선행시간은 최대 하루내지 이틀정도 전에 발표되고 있다. 따라서 지역적 취약성과 노출을 고려한 기상영향 분석을 통해 위험기상에 의해 발생 가능한 영향정보를 조기에 제공하는 것이 필요하다.

3. 현재 예보 체계의 문제점

단기예보 정확도(강수유무 기준)는 2008년 동네예보의 적용을 통해 한 단계 도약하였으나, 이후 현재까지 약 91.5% 수준에서 정체되고 있다(그림 7). 대기 자체의

[그림 7] 연도별 단기예보정확도(강수유무)



“ 기존의 예보 틀을 뛰어넘는 혁신적 변화 필요 ”

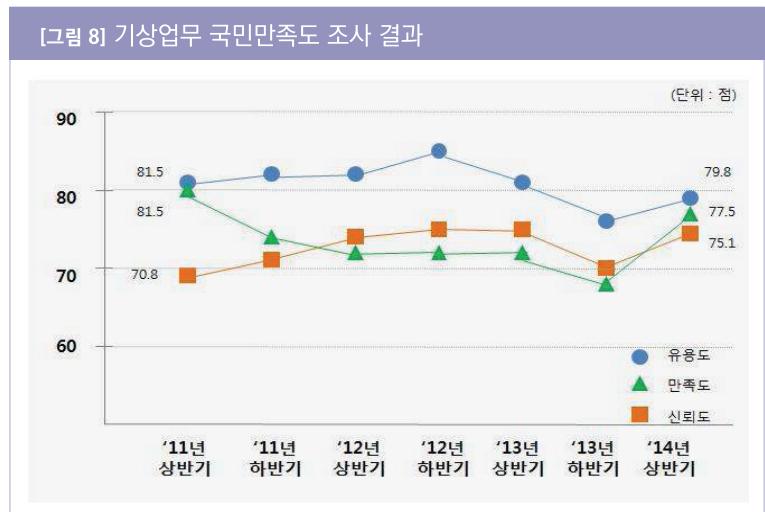
불확실성, 수치예측의 한계 등으로 인한 예측 불확실성으로 결정론적 예보는 정확도에 근본적인 한계를 지니고 있기 때문이다. 따라서 확률론적 예보를 통해 기상현상의 발생 가능성을 제공하여 리스크 저감을 위한 폭넓은 의사결정을 지원할 필요성이 존재한다.

또한 세계 주요국 수준의 예보 수준(단기예보 정확도(강수유무) 92.2%)에도 불구하고, 기상 서비스에 대한 체감은 이와 간극이 존재하고 있다. 2014년 기상업무 국민만족도 조사 결과에 따르면, 기상 서비스에 대한 국민만족도와 신뢰도는 각각 77.5점, 75.1점에 불과한 것으로 집계되었다(그림 8).

4. 시사점

따라서 기존의 예보 틀을 뛰어넘는 혁신적 변화가 필요하다. 같은 기상현상이라도 시간과 장소에 따라 달라지는 기상현상의 영향을 고려한 예보 서비스를 통해 기상 서비스의 가치를 향상시킬 수 있다.

아울러 유관 기관과의 적극적 소통·협업체계 구축을 통해 상호 간 기상 및 방재 정보의 교류 체계를 구축해야 한다. 즉, 영향정보를 기반으로 한 이음새 없는 체계를 구축하여 다가오는 위험 기상에 대한 정보를 조기에 제공하는 기상예보 패러다임의 변화가 필요하다(표 5).



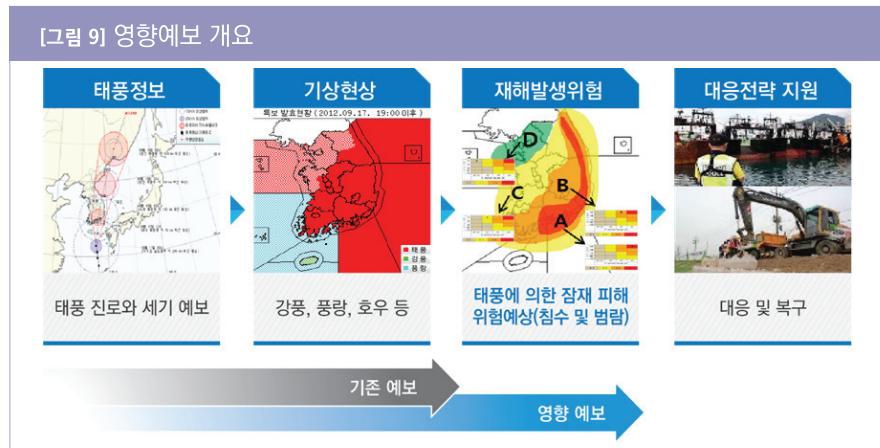
<표 5> 영향예보로의 기상예보 패러다임 전환

| | 지금까지(AS-IS) | 앞으로(TO-BE) |
|------|--|--|
| 특보 | 기상 임계값 기반 특보 (Meteorological Threshold-based Warning) | 영향 임계값 기반 특보 (Impact Threshold-based Warning) |
| 수치예측 | 결정론적 수치예측 (Deterministic: Best forecast) | 확률론적 수치예측 (Probabilistic: Uncertainty range) |
| 서비스 | 산출물 기반 서비스 (Products-based Services) | 의사결정 지원 서비스 (Decision Support Services) |

“ 구체적인 기상영향 정보를 분석하여 제공 ”

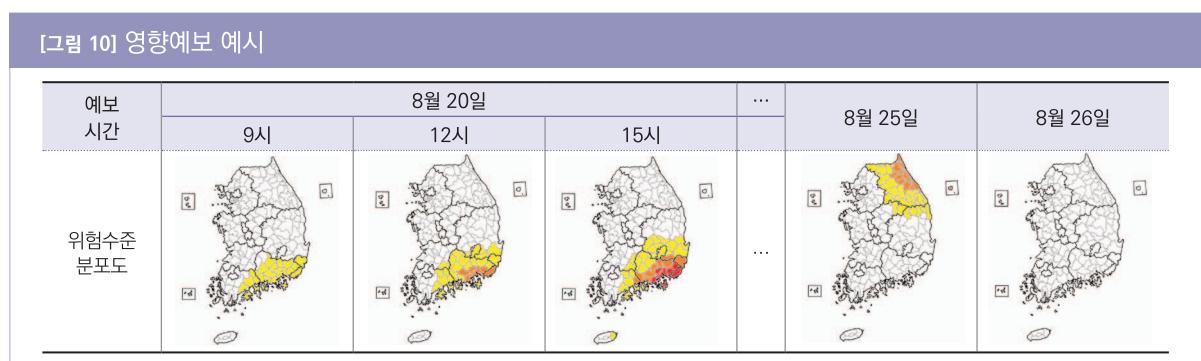
IV. 영향예보 개요

1. 영향예보 정의



<표 6> 영향예보 예시

| 현재 예보 체계 | 영향예보 체계 |
|---|---|
| 기상현상 중심의 정보 제공 제16호 태풍 OO의 영향을 받아, 동해안지역은 내일 오전까지 강한 바람과 너울에 의한 폭풍해일이 발생할 수 있겠음. | 기상현상과 날씨로 인해 예상되는 사회·경제적 영향을 함께 제공 제16호 태풍 OO의 영향을 받아, 동해안지역은 내일 오전까지 강한 바람과 너울에 의한 폭풍해일이 발생할 수 있겠음. 특히, 13~17시 사이 A시 OO동에서는 침수 위험이 높을 것으로 예상됨. |



“ 재해 영향 평가의
추정을 위한
영향예보 시스템 ”

둘째, 선제적인 위험기상정보를 제공한다는 점이다. 예상되는 위험기상의 영향수준과 발생 가능성을 바탕으로 위험수준을 판단하여, 최대 7일 전부터 위험수준 정보를 조기에 제공해 시설물 점검, 방재물자 확보 등 방재 전략 수립을 위한 시간을 확보할 수 있도록 지원한다(그림 10).

2. 영향예보의 적용

그림 11은 영향예보 시스템의 핵심 요소 간의 관계를 보여준다. 특정 수문기상 재해에 의한 영향 평가를 추정할 수 있는 방법에는 3가지가 있다.

① 실선 화살표는 각 요소가 명시적으로 계산되는 모델링 접근법을 나타낸다. 이를 위해서는 취약성과 노출에 대한 자세한 데이터가 필요하며, 이러한 데이터는 타 기관으로부터 수집해야 할지도 모른다.

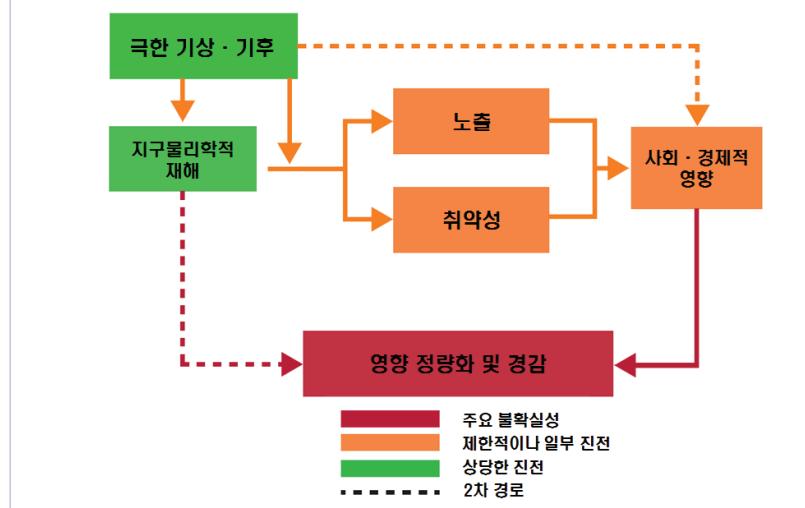
② 주황색 점선 화살표는 전문가 파트너로부터 정성적인 정보가 수집되는 보다 주관적인 접근법과 연관된다. 이러한 정보는 전문가 파트너들의 모든 경험을 나타내며, 재해의 규모에 따른 직접적인 영향을 추산할 수 있게 한다.

③ 적색 화살표는 발생할 수 있는 영향의 규모가 기상재해의 규모와 직접적으로 연관된 보다 전통적인 접근

법을 나타낸다. 이러한 접근법은 위험을 파악하고 줄이는데 도움이 될 수 있으나 기상재해 그 자체의 규모만을 고려할 뿐 노출이나 취약성은 명시적으로 고려하지 않는다.

이렇게 수문기상 재해에 의한 영향을 추정해 영향예보를 현업에 적용하기 위한 방법은 위험가능성 도표(Risk

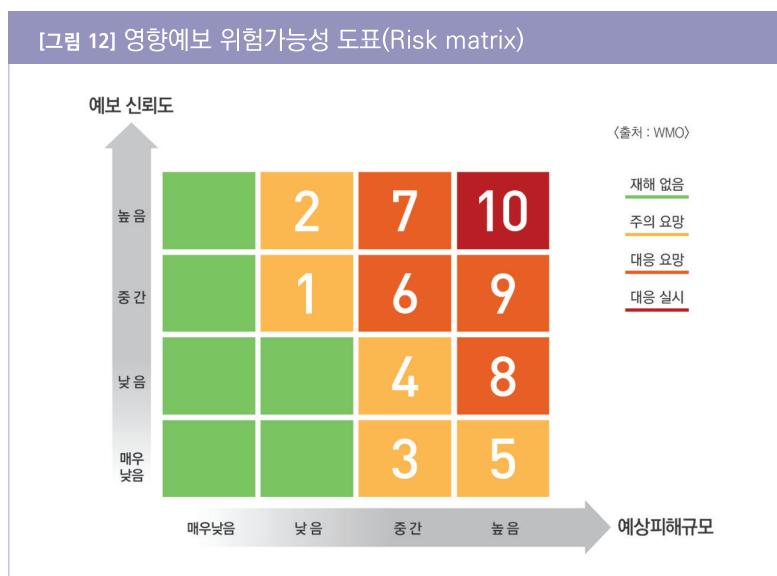
[그림 11] 영향예보 시스템의 중요 요소 간의 관계



“ 기상현상에 대한 사회경제적 영향이 복합적으로 고려된 영향예보 생산 ”

Matrix)를 이용하는 것이다. 그림 12는 같은 기상현상이라 할지라도 시간과 장소에

따라 달라지는 영향을 복합적으로 고려할 수 있도록 고안된 영향예보 위험가능성 도표이다(WMO, 2015). x축은 사회경제적 영향으로 위험기상 발생 시 나타날 예상피해규모이며, y축은 예보 신뢰도로 위험기상 발생 예보에 대한 신뢰도를 나타낸다. 이를 통해 기상현상에 대한 예보의 신뢰도와 사회경제적 영향이 복합적으로 고려된 영향예보를 생산할 수 있다.



V. 비전과 추진 방향

1. 비전

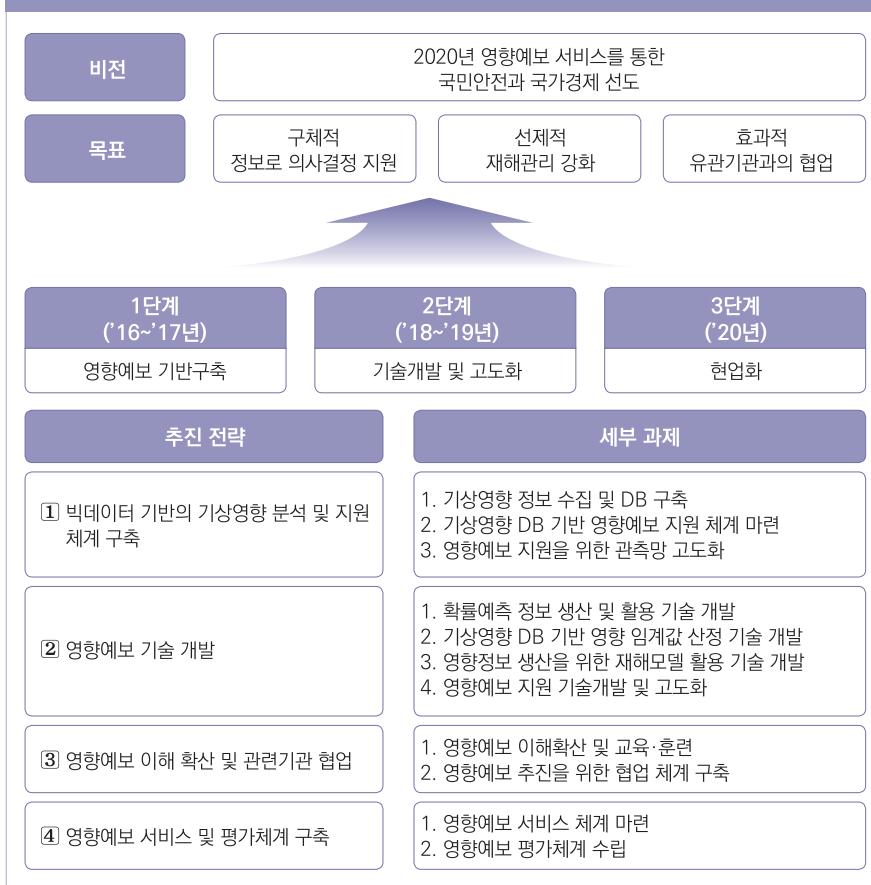
기상청은 2020년 영향예보를 본격적으로 수행하겠다는 비전을 수립하였으며, 이를 위하여 4가지 추진전략과 11개의 세부과제를 구성하였다(표 7).

2. 추진 방향

영향예보를 실현하기 위한 추진 방향은 크게 세 가지로 나뉜다. 우선 구체적인 기상영향 정보를 제공해 재해 담당기관의 의사결정을 지원한다. 이를 위해 다양한 영향의 기상 원인 분석체계 마련을 추진하고, 기상영향 DB와 재해모델 기반의 정량적 영향분석 체계를 구축한다. 둘째, 선제적 재해관리 강화를 위한 조기경보 체계를 구축한다. 위험기상의 발생 가능성과 그로 인한 영향을 분석하여, 최대 7일

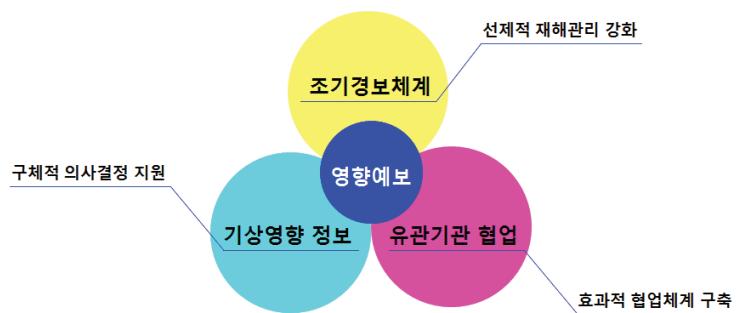
“ 위험기상의
발생 가능성 및
영향 분석을 통한
위험수준 기술 개발 ”

<표 7> 영향예보 비전과 추진 방향



까지의 위험수준 정보를 제공한다. 이를 위해 위험기상의 발생 가능성 및 영향 분석을 통한 위험수준 생산기술을 개발한다. 마지막으로 유관기관과의 효과적 협업 체계를 구축한다. 유관기관과의 협업을 통한 범정부 통합재난관리체계를 강화하여 영향예보 서비스 체계를 정립하고 이해의 확산을 추진한다(그림 13).

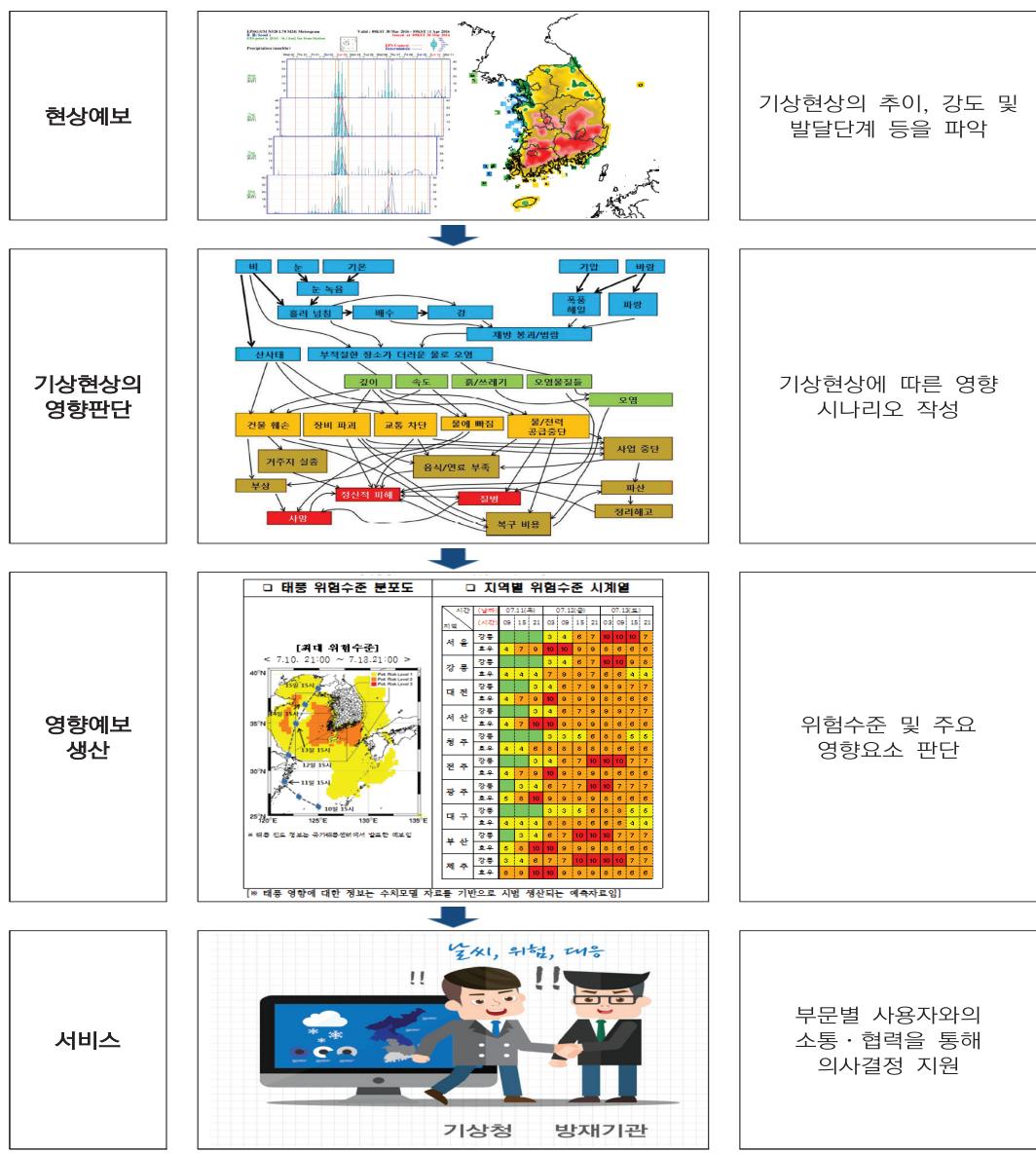
[그림 13] 영향예보 추진 방향



“ 수요자 맞춤형
영향예보 생산 ”

그림 14는 영향예보 서비스가 이루어지는 과정을 나타내고 있다. 우선 현상을 예측하고, 기상현상의 영향을 판단한다. 그리고 위험가능성 도표(Risk Matrix)를 이용하여 영향예보를 수요자 맞춤형으로 생산하고 서비스한다.

[그림 14] 영향예보 서비스 개념도



“ 확률정보를 활용하여 경고 선행시간 늘임 ”

VI. 기대효과

기존의 예보는 위험기상 및 기상재해에 대한 유관기관의 대응을 지원하는 데에 한계가 있었다. 유관기관이 충분한 대비를 하기에 선행시간이 부족했고, 함께 제공되는 주의사항은 일반적인 내용만을 담고 있어 이를 활용해 대응하기 어려웠다. 따라서 조기경보체계(Early Warning System, EWS)와 사회경제적 영향분석 정보가 포함된 영향예보를 생산하여, 방재 유관기관의 재해대응을 지원하는 것이 영향예보의 기본 개념이다.

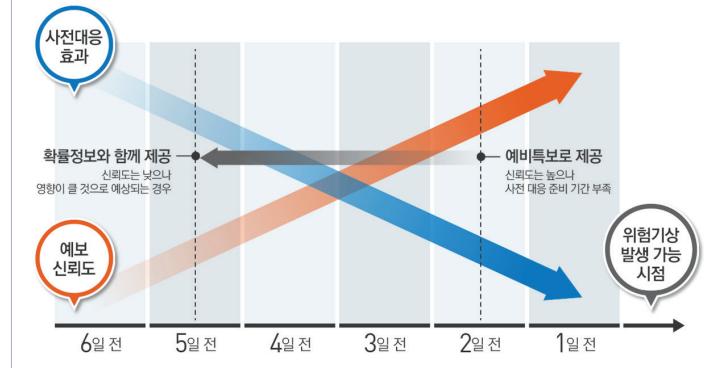
위험기상 현상의 발생 가능 시점에 가까워질수록 예보 신뢰도는 증가하는 반면, 방재대응기관의 사전대응 효과는 감소한다. 현재의 기상특보는 호우특보 기준으로 5년 평균 약 104분 수준이며, 예비특보 선행시간은 최대 하루에 불과하다. 그러나 방재유관기관 및 지자체에서 충분히 대응하기 위해서는 훨씬 더 긴 선행시간이 필요하다. 이를 극복하기 위해 신뢰도는 낮을지라도 그 영향이 클 것으로 예상되는 위험기상에 대해 확률정보를 활용하여 경고 선행시간을 늘이고자 한다.

그림 17은 영향예보의 효과를 나타낸다. 이 그림에서 사회가 갖는 기능성(Performance level)이 일상적인 상황에서 100(녹색 선)이라고 할 때, 파란 선은 현재의 예보체계에서 재해가 발생할 경우 그 수준이 감소하고 복구를 통해 일상으로 복

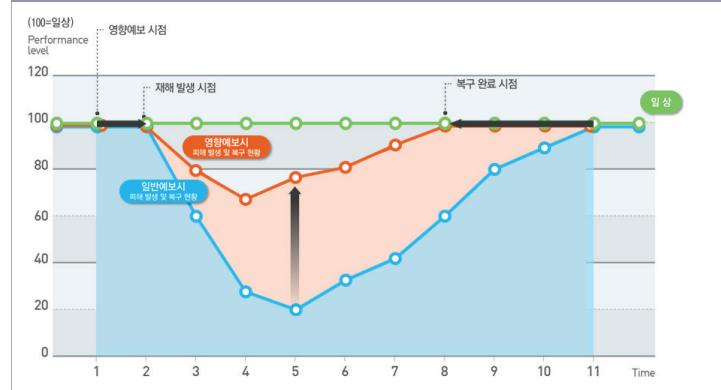
[그림 15] 영향예보 기대효과 1



[그림 16] 영향예보 기대효과 2



[그림 17] 영향예보 기대효과 3



“**조기경보와
영향분석을 통해
선제적 조치 지원**” 귀하는 것을 의미한다. 주황 선은 영향예보를 통해서 재해로 인한 피해의 발생 시점을 지연시키고, 피해의 총량을 감소시키며, 일상으로의 복구 완료 시점을 앞당기는 것을 의미한다.

영향예보는 재해발생에 대한 조기경보와 영향분석을 통해 선제적 조치를 지원하여 재해발생 시점을 지연시키는 역할을 담당한다. 이를 통해 재해 예방을 위한 방재 시스템을 지원하여 피해 총량을 감소시키고, 예상되는 피해의 종류와 규모에 대한 예측을 통해 복구에 필요한 인적·물질적 복구 체계 구축을 지원하여 일상으로의 복구를 지원하게 된다.

재해가 어떤 영향을 미칠 수 있는지에 대한 사람들의 이해를 돋기 위하여 기상청은 방재기관 뿐만 아니라 국민 및 이해관계자들과 함께 보다 효율적으로 일해야 한다. 복합기상 재해에 대한 사회기반시설의 취약성과 비상사태 시 사람들이 취할 것으로 예상되는 행동을 기상예보에 포함함으로써 재해로 인한 사망자, 피해 및 손실에 따른 부정적인 영향을 최소화하는데 기여할 수 있다.

참 고 문 헌

- 국가과학기술위원회, 2013: 제2차 재난 및 안전관리기술개발 종합계획, 30pp.
- 국민안전처, 2015: 2014 재해연보, 722pp.
- 서울대학교, 2004: 기상의 사회경제적 영향 및 상관관계.
- 환경부, 2015: 제2차 국가 기후변화 적응대책, 243pp.
- Met Office, 2014: *Hazard Impact Modelling*, 25pp.
- Met Office, 2015: *Met Office Science Strategy(2016~2021): Delivering Science with Impact*. 42pp.
- National Weather Service, 2013: *Weather-Ready Nation Roadmap 2.0*, 75pp.
- Stern, N., 2008: The economics of climate change. *American Economic Review*, 98(2), 1-37.
- WMO, 2015: *WMO Guidelines on Multi-hazard Impact-based Forecast and Warning Services*, 23pp.

재해기상 영향예보시스템 현황 소개

최병철 국립기상과학원 재해기상연구센터장 cbc123@korea.kr

08
09
10
11
12

- I. 서론
- II. 재해 및 지리정보 자료 수집, DB 구축 및 행정구역 경계 설정
- III. 재해기상분석시스템 소개
- IV. 결론

정확한 특보에도 불구하고 예상치 못한 피해가 나타나는 원인은 정보의 부족보다도 상세한 정보의 결여에서 찾을 수 있다. 정보를 필요로 하는 소비자에게 보다 정확하고, 확실하게 정보를 제공하기 위하여 기상청은 기상 현상에 의해 유발될 가능성이 있는 사회경제적 또는 직접적인 피해를 함께 예보하는 영향예보를 시작하였다. 재해기상연구센터는 지리정보와 기상정보의 융합과제를 진행하면서 ‘영향예보’의 기반을 마련하고자 노력했으며, 이를 위한 초기버전 시스템(이하 재해기상분석시스템)을 구축하고 지속적인 유지, 보수 및 연구, 관리 중에 있다. 과거기반의 피해학습 방법과 통계기반의 미래예측 방법으로 구축된 재해기상분석시스템은 향후 수집된 정보를 수정·보완하여 신뢰도를 높이고, 새로운 변수의 발굴과 기상 조건에 따른 영향력을 예보하기 위한 알고리즘을 검토하여 적용하는 등 지속적으로 개발될 예정이다. ■

“ 영향예보는
신뢰성 있는
정보전달의 시작 ” I. 서론

지난 2016년 1월 23일 제주도 지역의 유례없는 폭설은 무려 3일 동안 항공사의 대규모 결항을 유발해 많은 국민들이 의도치 않은 불편을 겪었다. 당시 기상청

[그림 1] 한국, 필리핀, 중국의 재해발생 상황



(a) 태풍 피토(2013.10)



(b) 제주 폭설(2016.1)



(c) 태풍 하이엔(2013.11)

은 제주 지역에 폭설이 있기 전부터 제주 지역의 폭설과 강풍을 예보했다. 이렇게 예보가 정확했더라도 국민의 생명과 재산에 피해를 주는 사례는 국내뿐만이 아니다. 2013년 11월 7일 필리핀에 상륙한 태풍 하이옌(Haiyan)의 경우, 필리핀 정부에서는 태풍 하이옌의 강풍과 호우에 대해 정확히 특보를 발표하였으나, 사망과 부상 등 인명 피해 1,600만 명, 재산 피해 약 8억 2,700만 달러의 막대한 피해를 입었다. 또한 2013년 10월 중국에 상륙한 태풍 피토는 경제적 손실액 약 8억 900만 위안의 피해를 남겼다. 그러나 당시에도 중국 기상청에서는 정확한 특보를 발표했고, 1,800만 명 이상의 사람들에게 특보가 알려졌다.

이처럼 정확한 특보에도 불구하고 예상치 못한 피해가 나타나는 원인은 정보의 부족보다도 상세한 정보의 결여에서 찾을 수 있다. 빅데이터의 시대가 오면서 인간이 접근할 수 있는 정보의 양은 방대해지고 있기 때문에 필요한 정보를 구분해서 취득하기가 점점 어려워지고 있다. 그렇다면 정보를 필요로 하는 소비자에게 보다 정확하고, 확실하게 정보를 제공할 수 있는 방법은 없을까? 영향예보는 바로 신뢰성 있는 상세한 정보전달의 시작이라고 생각한다. 영향예보란, 단순히 기상 현상만을 예보하는 것이 아니라, ‘기상 현상에 의해 유발될 가능성’이 있는 사회경제적 또는 직접적인 피해를 함께 예보

“**지리정보와 기상정보의
융합과제를 통해
영향예보의 기반 마련**”

하는 것’이라고 할 수 있다.

재해기상연구센터는 2010년 설립되어 2011년부터 현재까지 지리정보와 기상정보의 융합과제를 진행하면서 ‘영향예보’를 위한 기반을 마련하고자 노력했으며, 이를 위한 초기버전 시스템(이하 재해기상분석시스템)을 구축하고 지속적인 유지, 보수 및 연구, 관리 중에 있다. 여기에서는 재해기상연구센터에서 그동안 구축한 “재해기상분석시스템”에 대해 소개하고자 한다.

<표 1> 영향예보의 예시

| | |
|---------|--|
| 일반예보 예시 | “오늘밤 풍속 20m/s의 강풍이 발생할 것으로 예상된다.” |
| 영향예보 예시 | “오늘밤 풍속 20m/s의 강풍이 발생할 것으로 예상되며, 그로 인해 여객선 운항이 지연되거나 취소될 가능성이 있다.” |

II. 재해 및 지리정보 자료 수집, DB 구축 및 행정구역 경계 설정

기상 현상에 의한 영향을 예보, 학습하기 위해서는 기상자료와 지리정보의 융합이 필수적이라 판단하고, 기상, 재해, 사회경제적 지표 자료를 수집, 정리하여 DB를 구축했다.

구축된 DB는 ArcGIS 소프트웨어에서 동작하는 geodatabase 형식으로 저장되어 있으며, 현재 재해기상분석 시스템의 기초자료로 활용되고 있다. DB에 구축된 자료 이외에도 수자원, 시설물, 교통, 환경, 산림 등 많은 부문의 자료가 수집되었으며, 수집된 자료는 여러 자료와 연계 또는 해당부처에

<표 2> 영향예보를 위한 DB 목록

| | 구 분 | 구축기간 | 비고 |
|----------|--------------|------------------------------------|-----------------|
| 기상 | AWS_Hourly | 1994년 1월 1일 0시 ~ 2015년 6월 30일 | |
| | AWS_Minutely | 2012년 1월 1일 ~ 2012년 2월 18일 08시 09분 | |
| | ASOS_Daily | 1979년 1월 1일 ~ 2015년 6월 30일 | 기상청 |
| | ASOS_Hourly | 1979년 1월 1일 ~ 2015년 6월 30일 | |
| 재해 | 특보문 | 2014년 1월 1일 ~ 2015년 8월 27일 | |
| | 재해연보 | 1982년 ~ 2014년 | 국민안전처 |
| | 일일재난상황 | 2012년 8월 1일 ~ 2015년 6월 30일 | (구, 소방방재청) |
| | 산사태발생지점 | 2010년 ~ 2014년 | 산림청 국립산림과학원 |
| 사회 경제 | 교통사고발생지점 | 2010년 ~ 2014년 | 도로교통공단 교통연구원 |
| | 인구/세대 | 1992년 ~ 2014년 | |
| | 재정자립도 | 2000년 ~ 2014년 | |
| | 전국사업체 통계 | 2000년 ~ 2013년 | 통계청 |
| | 건축물 수 | 2010년 기준 건축물 | |
| | 토지피복면적 | 2010년 기준 | 환경부 |

* AWS (Automatic Weather System, 방재기상관측장비)

** ASOS (Automated Synoptic Observing System, 종관기상관측장비)

“기상, 재해 및 사회경제적 자료를 활용하여 재해기상 분석시스템 구축”

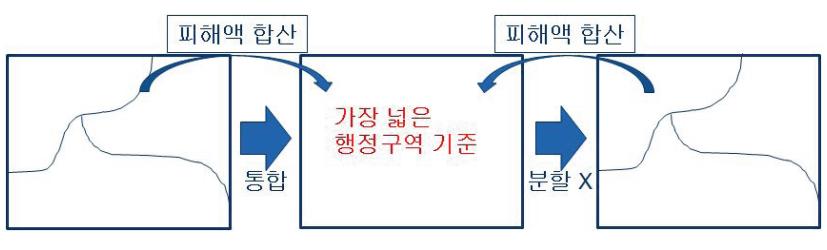
문의하여 시간, 위치, 오류를 수정하거나 제거하여 신뢰도를 높였다.

또한 영향예보 연구의 공간 및 시간 범위 지정을 위하여 여러 개의 행정구역 경계를 설정했다. 우리나라의 행정구역 경계는 시간이 지나면서 개편, 통합, 분리, 승격, 명칭 변경과 같은 변화가 있었다. 이중에서 개편, 승격, 명칭 변경과 같은 변화에 대해서는 가장 최근의 지역 명을 사용했으며 통합, 분할의 경우에는 연구 범위 내에서 가장 넓었던 행정구역을 기준으로 지정했다. 그 이유는 행정구역을 기반으로 각종 수집 자료를 연계시켜 분석해야하기 때문인데, 행정구역이 분할된 경우 그 이전에 발생했던 피해 자료를 분할된 행정구역으로 나눌 근거가 부족하기 때문이다.

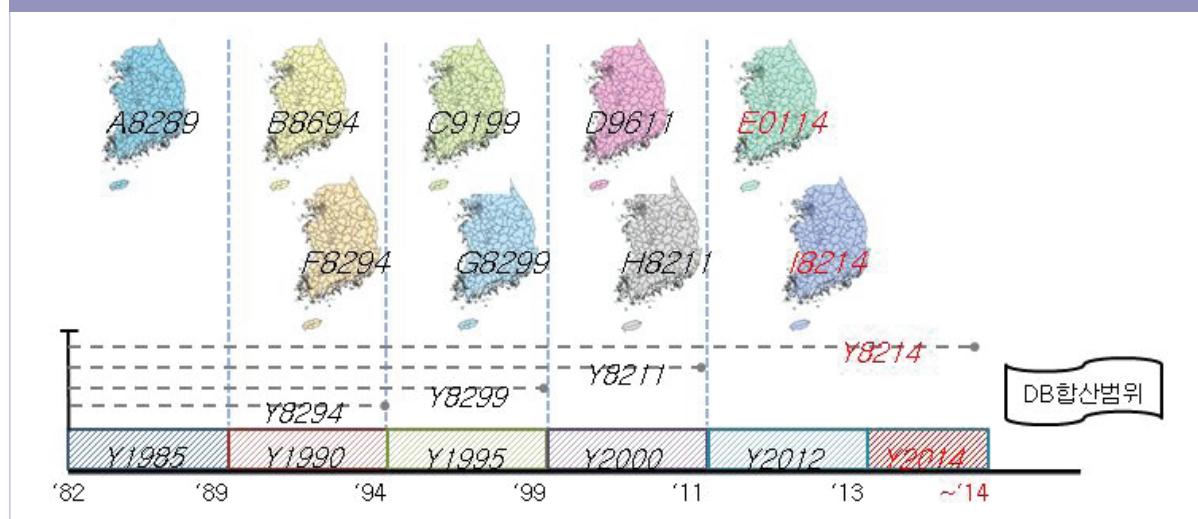
위와 같은 기준으로 1982년

부터 2014년까지 행정구역 경계를 고려하여 9개의 기본 행정구역 경계 지도를 제작했으며, 재해기상분석시스템의 분석 기간에 따라 적합한 경계를 선택할 수 있도록 구축되었다.

[그림 2] 기상청 ‘바다날씨’에서 제공하고 있는 해양기상정보



[그림 3] 재해기상분석시스템의 행정구역 경계 지도



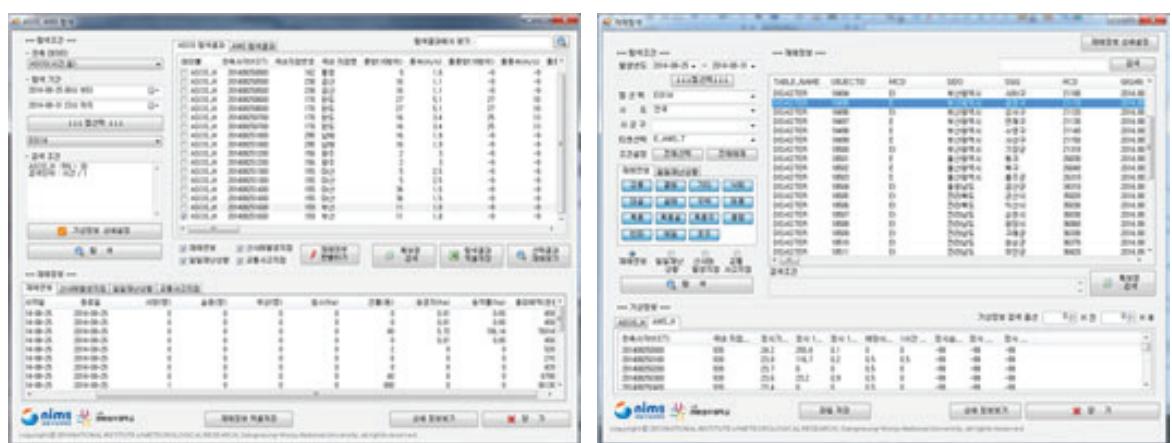
“ 과거 사례를 기반으로
재해 피해 학습 ”

III. 재해기상분석시스템 소개

재해기상분석시스템의 첫 번째 기능은 과거 사례를 기반으로 재해 피해 학습을 위해 구축되었다. 본 기능은 AWS와 ASOS 자료를 기반으로 기상현상의 규모를 입력하여 매칭되는 과거의 기상규모에서 재해 발생 유무와 피해 종류를 검색할 수 있는 기능과 발생했던 재해 정보를 탐색하여 해당 재해 기간 동안의 기상현상의 패턴과 강도를 검색할 수 있는 기능으로 나누어져 있다.

기상정보를 이용한 재해검색 기능은 확인하고자하는 기상정보를 AWS, ASOS 기반으로 일 단위, 시간 단위로 설정할 수 있으며, 조건문을 활용하여 누적시간 또한 검색할 수 있다. 검색정보는 재해연보, 일일 재난상황, 산사태 발생 지점, 교통사고 지점의 자료가 등록되어 있으며, 해당 날짜에 해당하는 특보문 검색도 가능하다. 표출되는 정보는 엑셀(excel) 파일로 저장하여 활용할 수도 있다. 재해정보를 이용한 기상검색 기능은 재해의 종류를 설정할 수 있으며, 해당 재해가 발생했던 지역을 선택하면 해당 지역을 대표하는 관측지점의 기상기록을 확인할 수 있다. 기상기록은 시간 단위로 검색할 수 있으며, 시간 조정을 통해 재해기간 전후의 기상 패턴도 확인할 수 있도록 구축되었다.

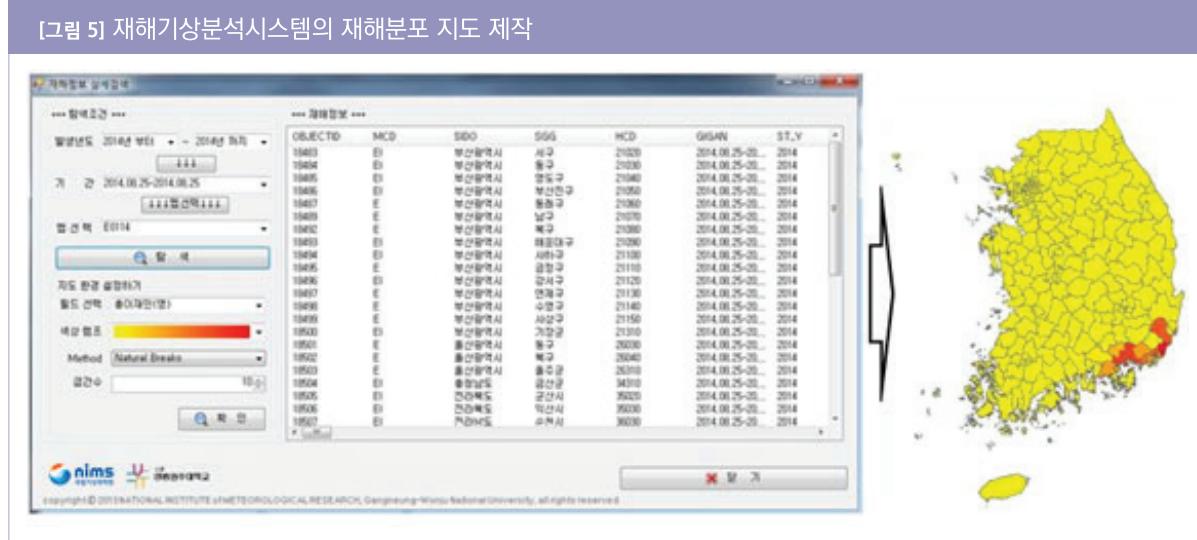
[그림 4] 재해기상분석시스템



“ 기상재해의 피해
공간 분포 파악 및
재산 피해 예측 ”

두 번째 기능은 기상재해의 피해 공간 분포를 파악하기 위해 구축되었다. 본 기능은 재해연보를 기반으로 1982년부터 2014년까지 발생한 자연재해의 약 40가지 피해 종류에 대해서 공간 분포를 빠르고 간편하게 확인할 수 있다.

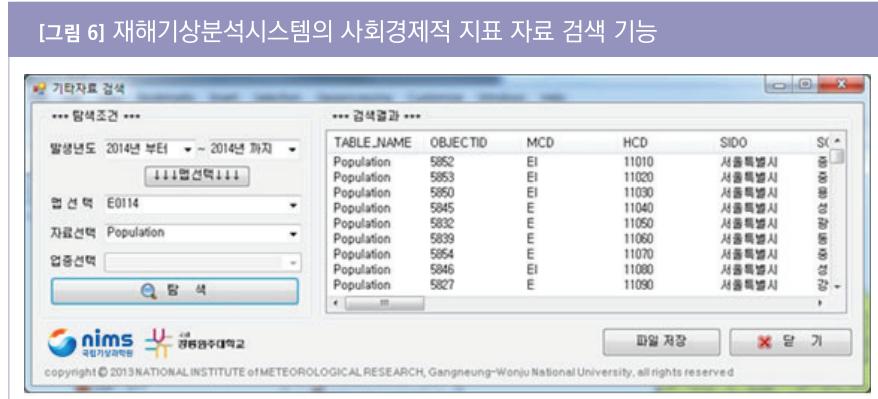
[그림 5] 재해기상분석시스템의 재해분포 지도 제작



세 번째 기능은 사회경제적 지표, 기상 자료, 피해 자료와의 연계를 위해 구축되었다. 본 기능은 통계청에서 제공하는 사회경제적 지표를 재해기상분석시스템에 사용되는 보정된 행정구역 경계와 매칭할 수 있게 도와준다. 해당 자료는 excel 형식으로 저장할 수 있으며, 저장된 자료는 사회경제적 취약지역 연구 및 공간 분포 도 제작을 위한 자료로 활용될 수 있다.

네 번째 기능은 과거 사례를 기반으로 통계분석 기법을 활용하여 재해 발생 시 재산 피해 예측을 위해 구축되었다. 통계분석 방법으로는 다중회귀분석

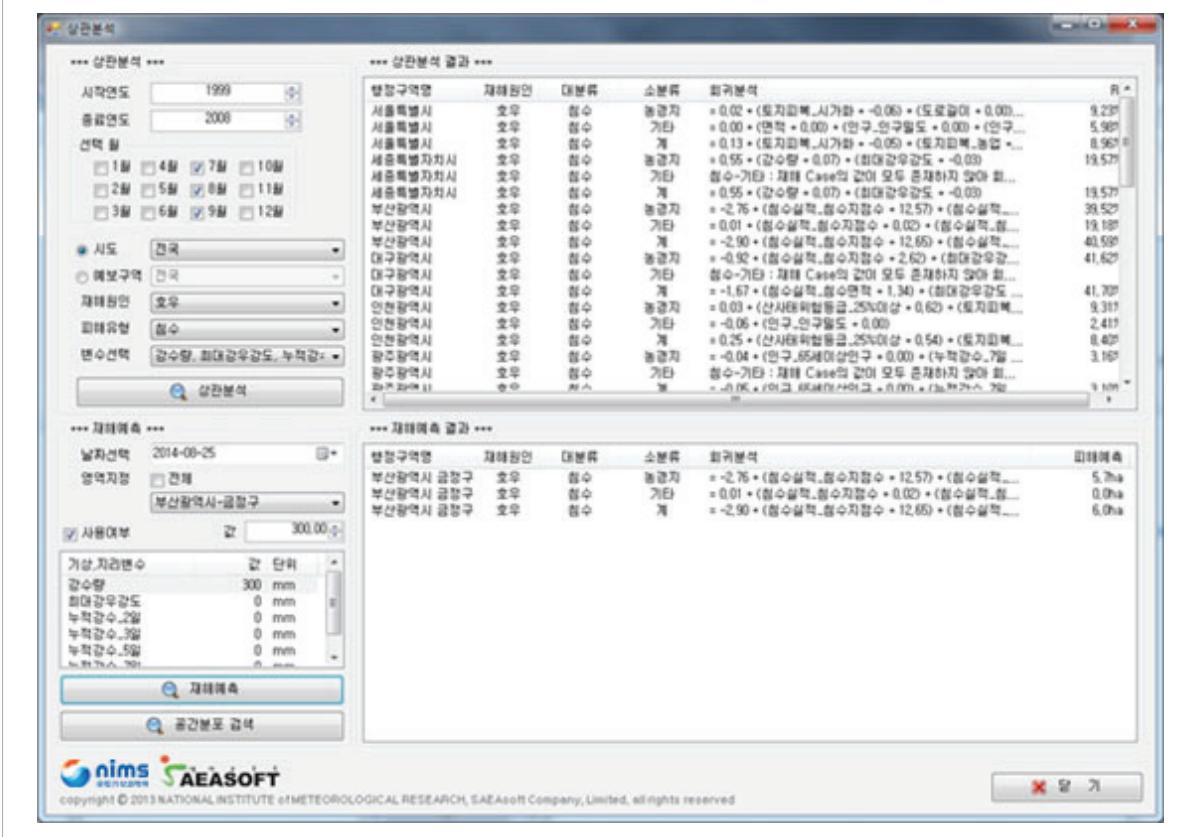
[그림 6] 재해기상분석시스템의 사회경제적 지표 자료 검색 기능



“ 다중회귀분석을 활용해 재산 피해액 예측 ”

(Multiple Regression Analysis)을 활용했다. 다중회귀분석에서 상관성이 없는 독립변수를 제거하는 방법으로 사용할 변수를 하나씩 선택 또는 제거하는 방법의 단계적 다중회귀 분석(Stepwise Multiple Regression Analysis)을 사용하여 설명력을 높였고, 선택된 독립변수들 사이에 상관관계가 있어 결과에 오류를 발생하는 다중공선성(Multicollinearity)의 문제를 해결하기 위해 분산팽창지수(Variance Inflation Factor, $VIF = 1 / (1 - R_j^2)$)를 사용했다. 여기서 R_j^2 은 독립변수 j의 결정계수이며, VIF가 5 또는 10보다 클 때 다중공선성이 있는 것으로 판단하고, 다중공선성이 의심되는 변수는 제외한다.

[그림 7] 재해기상분석시스템의 피해액 예측 기능

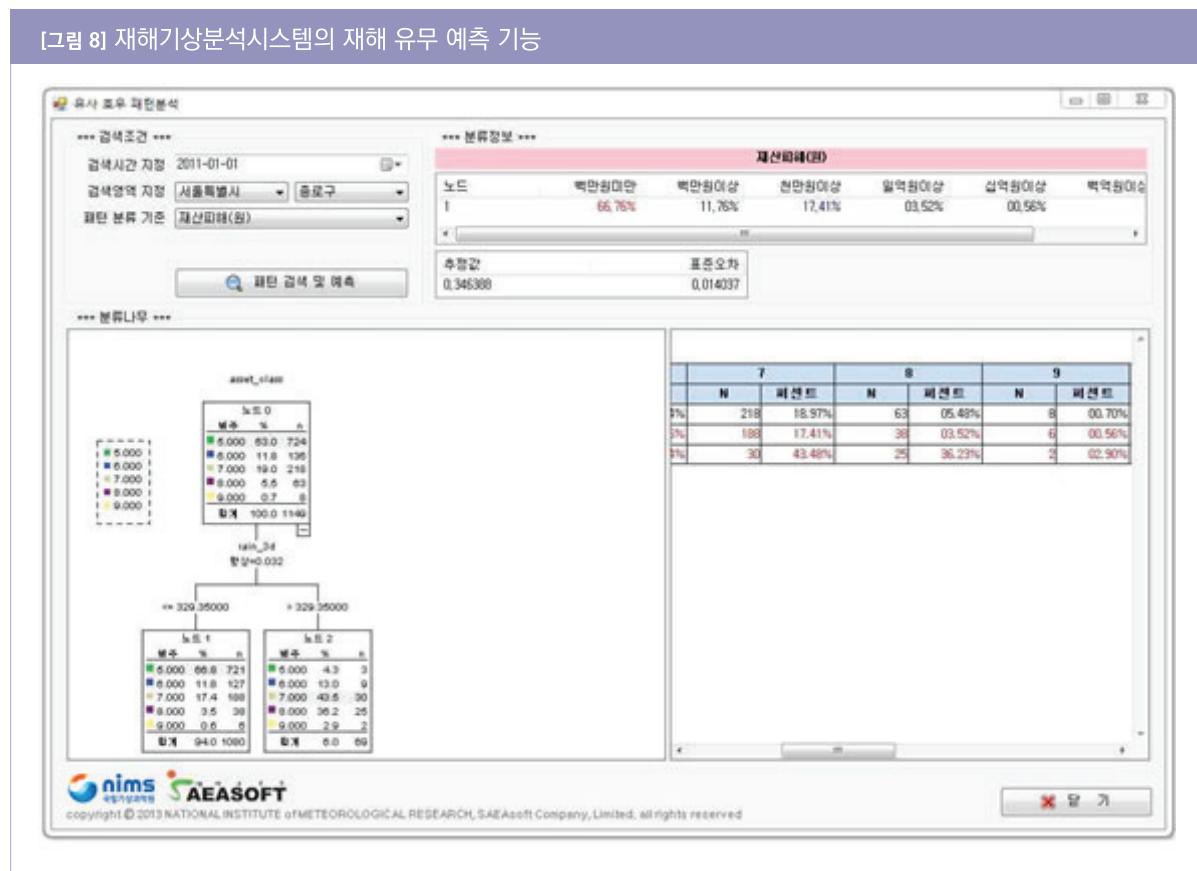


“ 의사결정나무 분석으로
재산 피해 예측 ”

피해액 예측 기능은 연구자가 공간 범위는 행정구역단위로, 시간 범위는 연, 월로 선택하여 분석할 수 있도록 구축되어있으며, 변수의 종류는 기상, 피해, 지리정보의 일부가 적용되어 연구자가 선택하여 분석할 수 있다. 연구자가 결정한 시·공간적 범위와 변수에 따라 각 지역의 회귀모델식이 도출되면 해당 모델식을 이용하여 과거 사례에 대한 검증과 예측을 시도할 수 있다.

마지막 기능은 기상현상의 규모에 따라 재해 피해의 유무를 예측하고자 구축된 기능이다. 본 기능은 데이터마이닝 기법의 한 종류로써 의사결정 규칙을 도표화해서 대상 집단을 분류하거나 예측하는 의사결정나무 분석방법을 이용했다. 의사결정나무는 신경망이나 회귀분석기법에 비해서 분석자가 분석 과정을 쉽게 이해하고 활용할 수 있는 장점을 가지고 있다. 의사결정나무 분석기법은 다시 여러 방법

[그림 8] 재해기상분석시스템의 재해 유무 예측 기능



“ 재해기상분석시스템은
지속적인 수정·보완을
통해 개발될 예정 ”

으로 나눌 수 있지만, 본 기능은 CART (Classification And Regression Tree) 알고리즘을 사용하고 있으며, 분석에는 5종의 피해관련 종속변수와 8종의 기상관련 독립변수를 사용했다.

IV. 결론

재해기상분석시스템은 영향예보를 실현하기 위한 여러 가지 방법론 중에서 과거 기반의 피해학습 방법과 통계기반의 미래예측 방법을 선택하여 구축되었다. 구축된 시스템 중에서 과거기반 피해학습 방법은 과거 사례의 조건을 이용한 기상규모, 패턴, 재해의 탐색 및 분포도의 제작 기능을 통해 과거에 있었던 사실을 표현하는 것으로 ‘해당지역에서 어느 정도의 규모에 어떤 피해가 있었다.’라는 사실을 학습하고 대비할 수 있는 정보 제공을 위한 시스템이다. 그러나 우리나라라는 선진국에 비해서 피해 자료를 수집하는 집계 목록이 적기 때문에 충분한 연구에 어려움이 많고, 피해 지역에서는 발생했던 피해를 고려하여 복구가 이루어지기 때문에 균일한 연구 자료를 얻기에도 어려움이 있어 영향예보를 위한 미래 예측은 정량적인 해석과 예측이 어렵다. 실제로 많은 부분에서 위험요소로 인식되는 지리적 요소가 분석을 통해서 상관성이 없는 것으로 나타나는 경우도 많다.

이런 문제점을 해결하기 위해서 재해기상연구센터에서는 추가적으로 세부적인 정보를 수집하고 검토하는 것에 노력을 기울이고 있으며, 침수, 봉괴 등 직접적인 피해를 미치는 영향력이 아니라 도로 정체, 휴교 등 간접적인 피해를 미치는 인자도 고려할 예정에 있다. 또한, 단일 인자와 함께 복합적 상황을 고려한 인자 발굴에도 힘쓰고 있다. 앞으로 재해기상분석시스템은 수집된 정보를 수정·보완하여 신뢰도를 높이고, 새로운 변수의 발굴과 기상조건에 따른 영향력을 예보하기 위한 알고리즘을 검토하여 적용하는 등 지속적으로 개발될 예정이다.

영향예보 지원을 위한 수치예보 개발 방향

김동준 국립기상과학원 수치모델개발과장 djkim@korea.kr

- I . 영향예보와 수치예보
- II . 영향예보 지원 도구로서의 양상블(확률)예측시스템
- III . 외국의 영향예보 지원 수치예보 서비스 – 영국기상청
- IV . 기상청 수치예보의 영향예보 지원 방향

최근 WMO WWRP (World Weather Research Programme, 세계기상연구프로그램) 산하 국제공동 연구개발 프로젝트의 세 가지 화두는 계절 내 및 계절 예측(Sub-seasonal to seasonal prediction, S2S), 극지역 예측(Polar Prediction Project, PPP), 위험기상 예측(High-impact Weather, HiW)이다. 위험기상 예측은 기상현상의 사회경제적 영향과 직접적인 관련이 있는 분야로 현재 전 세계적으로 핵심 추진과제로 삼고 있는 영향기반 예·특보 서비스가 위험기상 예측을 통한 기상재해의 효율적 방지를 위한 개발 방향이라 할 수 있다. 영향예보를 위해 기상청은 확률 예측이 가능한 양상블예측시스템과 다양한 미래지향적 수치모델링 기술이 접목된 수치예보모델을 개발 및 발전시키고 있으며, 특히 고해상도 수치예보 모델에 적용하여 위험기상 현상을 정확하고 상세하게 예측할 수 있는 물리모수화 방안 개발에 박차를 하고 있다. ■

“ 위험기상 예측을 통해
기상재해의 효율적
방지를 위한 영향기반
예·특보 서비스 ”

I . 영향예보와 수치예보

1960년대 중반부터 80년대 초반까지 20년 가까이 영국기상청장으로 재직했던 John Mason은 1966년 그의 논문에서 기상청의 예보 서비스가 국가 경제에 미치는 편익-비용의 비율(Benefit-Cost ratio)이 약 20:1에 이른다고 언급한 바 있다. 기상예보 서비스의 가치에 대한 이러한 추정치는 2002년에 유럽중기예보센터(ECMWF)의 Palmer 박사의 논문에서 다시 한 번 언급되었다. 재해기상의 위험성을 평가하는 도구로서 확률 예측이 가지는 경제적 가치에 관한 논문에서 Palmer 박사는 John Mason의 고전적인 추정치가 21세기에도 여전히 유효할 것이라고 강조하였다.

그로부터 또다시 강산이 한번 이상 변한 2016년 현재 전 세계적으로 기상 서비스는 일상적인 날씨 예보의 영역을 넘어서 다양한 응용 분야를 창출하며 그 영역을 지속적으로 확장하고 있고, 이러한 서비스가 국가 경제에 미치는 비용 대비 편익 비율은 이전보다도 훨씬 더 커졌을 것이라 짐작할 수 있다.

최근 세계기상기구의 세계기상연구프로그램(World Weather Research Programme, WWRP) 산하의 국제공동 연구개발 프로젝트는 크게 세 가지의 화두를 중심으로 추진되고 있는데, 이는 계절 내 및 계절 예측(Sub-seasonal to seasonal prediction, S2S¹⁾), 극지역 예측(Polar Prediction Project, PPP), 그리고 위험기상 예측(High-impact Weather, HiW)이다. 그 중 위험기상 예측 분야는 사람들의 일상생활 뿐만 아니라 기상현상의 사회경제적 영향과 직접적인 관련이 있는 분야이며, 현재 우리 기상청을 포함하여 전 세계적으로 핵심 추진과제로 삼고 있는 영향기반 예·특보 서비스 역시 위험기상 예측을 통한 기상재해의 효율적 방지를 위한 개발 방향이라 할 수 있다.

여기서는 현재 기상예보 생산에 있어서 가장 핵심적인 역할을 하는 수치예보가 어떤 방향으로 발전하고 있는지, 특히 향후 기상청에서 영향기반 예·특보 서비스

1. S2S 프로젝트는 기상분야 프로그램인 WWRP와 기후분야 프로그램인 WCRP의 공동 프로젝트이다.

“ 영향예보 구현에
가장 중요한 요소는
재해기상 현상의
발생 가능성과
영향 ”
(이하 영향예보)를 구현하는데 있어서 수치예보가 어떻게 나아갈 것인지에 대하여 소개하고자 한다.

II. 영향예보 지원 도구로서의 양상블(확률)예측시스템

사회·경제 분야에서 날씨와 관련된, 그리고 사회적, 경제적 이익이나 손해에 관련된 의사결정 과정은 일상적으로 발생할 수 있는 기상현상보다는 웬만해서 일어나지 않을 것 같지만 혹시 일어난다면 굉장한 인적·물적 피해를 일으킬 수 있는 현상의 가능성을 더 중요시하게 된다. 그래서 이러한 의사결정을 위해서는 예상 가능한 피해규모의 산정 뿐만 아니라 기상현상의 발생 가능성에 대한 정량적인 정보가 반드시 필요하다. 즉, 의사결정을 효율적으로 지원하는 정보 전달체계로서의 영향예보의 구현에 있어서 가장 중요한 두 가지 요소는 재해기상 현상의 “발생 가능성(확률, probability)”과 그것이 사회경제적으로 미치는 “영향도(impact)”이다. 그 중 기상현상의 발생 가능성에 대한 정보는 하나의 수치예보모델을 통해 얻어지는 단일 예측으로는 한계가 있어 복수의 수치예측 결과를 토대로 확률 예측을 수행하는 양상블예측시스템을 통하여 비로소 가능하게 된다.

일반적으로 수치예보 개발자와 수요자, 특히 기상 분야가 아닌 외부 수요자 간에는 기상예보의 정확도를 판단하는 관점에 큰 차이가 있다. 개발자들이 일반적으로 기상 예측 결과의 정량적인 오차-그 대표적인 예로 전지구예보모델의 가장 보편적인 정확도 검증지수인 500hPa 고도장의 평방근오차-를 줄이는데 집중하는 반면, 이 자료를 상업적으로 활용하는 최종 수요자들은 그것이 얼마만큼 경제적 이익을 일으킬 수 있는 가치가 있는지에 관심을 갖는다(Palmer, 2002).

이러한 개발자와 수요자 간의 관점의 차이에서 나타나는 간극을 줄여줄 수 있는 효율적인 도구가 바로 양상블예측시스템이다. 양상블예측시스템은 관측 자료의 공백, 관측 값의 오차, 수치예보모델의 각종 근사(approximation), 그리고 대기운동 자체에 내재된 불확실성 등이 파생하는 여러 가지 오차들이 시간에 따라 증폭되어

일으키는 예측성의 한계를 극복하기 위하여 개발된 수치예보시스템으로서 수치예보모델의 초기조건이나 경계조건 혹은 모수화 방안 등을 조금씩 다르게 한 여러 수치적분 결과의 확률밀도분포를 통해 기상 예측 정보를 생산한다.

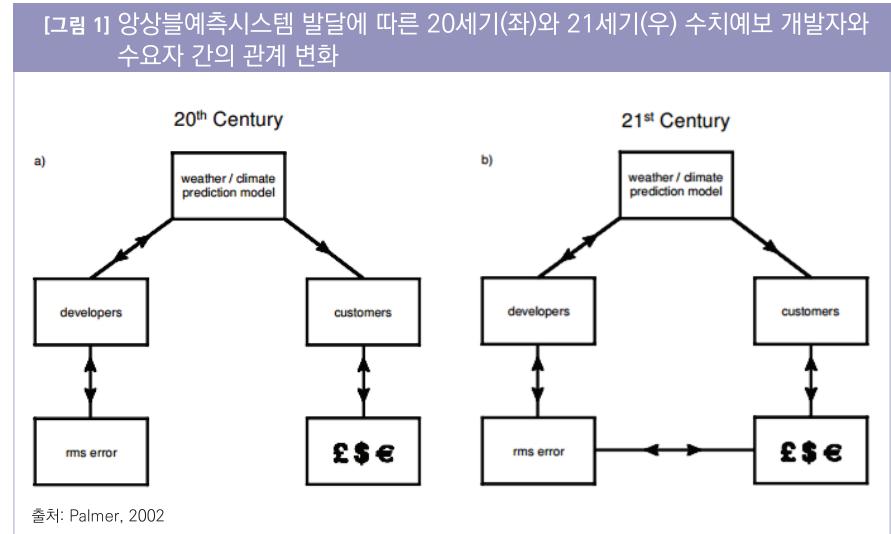
이러한 앙상블예측시스템은 여러 개의 수치적분을 동시에 수행하기 위해 소요되는 막대한 규모의 전산자원 때문에 전 세계적으로 도 현업적으로는 일부 기관에서만 운영하고 있다. 그렇지만 11년마다 약 1,000배

씩 계산용량이 증가하는 슈퍼컴퓨터의 발달에 힘입어 앙상블예측시스템은 점차 단일모델을 대체하는 보편적인 수치예보시스템으로 자리잡아가고 있다.

세계기상기구의 세계기상연구프로그램(WWRP)에서는 2006년부터 각 기관에서 생산되는 전지구 앙상블예측자료의 공유와 활용 체계인 TIGGE (THORPEX Interactive Grand Global Ensemble) 프로젝트를 추진하였다. 이 프로젝트에는 우리 기상청을 비롯하여 전지구 앙상블예측시스템을 현업으로 운영하는 10개 기관이 참여하였으며, 2014년에 프로젝트는 종료되었으나 현재까지 준실시간 자료의 공유는 지속되고 있다. TIGGE 프로젝트의 기본 목표는 하루부터 2주까지의 단·중기 위험기상에 대한 예측성 향상 연구를 통해 의사결정을 위한 예측정보의 품질을 향상시키고, 위험기상 현상에 대해 사회가 보다 탄력적으로 대비할 수 있도록 지원하는 것으로서 영향예보를 위한 도구로서의 앙상블예측시스템의 중요성을 알 수 있다.

현재 전 세계적으로 앙상블예측시스템은 지속적인 해상도의 향상 뿐만 아니라

“
앙상블예측시스템이
보편적인
수치예보시스템으로
자리잡고 있다”



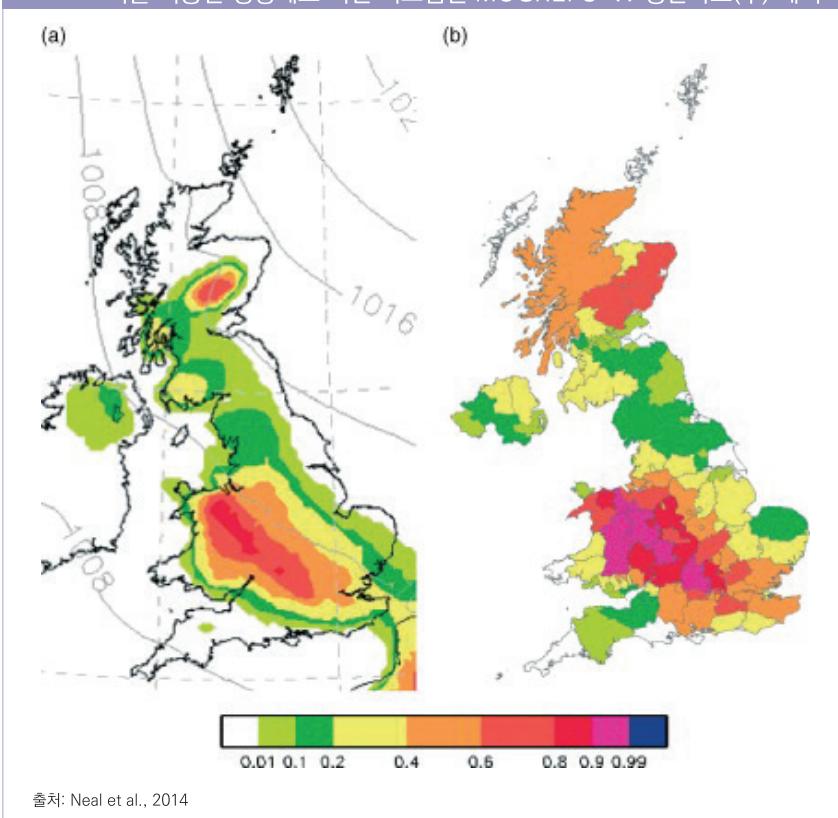
“ 영국기상청,
기상현상의
잠재적 영향에 대한
시스템 개발 ”

다양한 섭동 생산 과정과 화률 예측 정보에 대한 후처리 과정들의 과학적인 정교화를 통하여 단·중기 예측기간에 대한 불확실성을 점차 감소시키고, 예측 정확도를 향상시키는 방향으로 발전해나가고 있으며, 위험기상 현상의 예측성을 보다 강화하기 위한 1~2km 해상도 수준의 고해상도 국지 앙상블예측시스템의 개발과 활용도 점차 증가하고 있다.

III. 외국의 영향예보 지원 수치예보 서비스 – 영국기상청

영국기상청은 영향예보 분야에서 선도적인 서비스를 제공하고 있는 기관 중의 하나로서, 이미 십여 년 전인 2002년부터 유럽중기예보센터(European Centre for

[그림 2] 영국기상청의 지역 앙상블예측시스템(MOGREPS-R) 예측결과(좌)와 이를 이용한 영향예보 지원 시스템인 MOGREPS-W 생산자료(우) 예시



Medium-Range Weather Forecast, ECMWF)의 전자구 앙상블예측시스템 예측 자료를 이용하여 2~5일 미래의 초기추정 조기경보(First-Guess Early Warning, FGEW) 시스템을 운영해오고 있다.

2009년에 영국기상청은 기상 예·경보에 있어서 기상현상의 잠재적 영향에 대한 평가가 중요함을 파악하였고, 이를 구현하기 위하여 지속적으로 시스템을 개발하여 2011년 초에 본격적으로 영향에 기반한 국가재해기상경보서비스(National Severe Weather

“ 영국기상청의
시·공간적으로
이음새 없는
양상블예측시스템 ”

Warning Service, NSWWS)를 개시하였다. 이 새로운 영향예보 서비스를 위해서 MOGREPS-W (Met Office Global and Regional Ensemble Prediction System-Warning)라는 수치예보 후처리 과정을 개발하였는데, 초창기 MOGREPS-W 시스템에서는 18km 격자 간격으로 영국 영역을 예측하는 지역 양상블예측시스템(MOGREPS-R) 예측 결과를 규모상세화하여 영향예보 서비스에 이용하였으나, 현재는 2.2km의 고해상도 국지 양상블예측시스템(MOGREPS-UK) 자료를 원시 자료로 이용하고 있다.

영향예보 지원을 위한 영국기상청의 수치예보 기술개발 방향은 국지영역의 고해상도 대류 규모부터 전지구 규모까지를 포괄하는 시·공간적으로 이음새 없는 단·중기 양상블예측시스템의 완성을 목표로 하고 있으며, 아울러 수치예보모델이 제공하는 정보를 가장 효율적으로 활용하기 위하여 수치예측 자료를 가공하는 후처리 과정의 중요성이 지속적으로 강조되고 있는 추세이다.

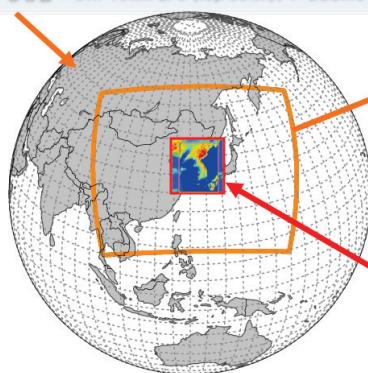
IV. 기상청 수치예보의 영향예보 지원 방향

기상청은 2016년 5월 현재 단·중기 기상예보 지원을 위해서 전지구예보모델(Global Data Assimilation and Prediction System, GDAPS)과 전지구 양상블예측시스템, 지역예보모델(Regional Data Assimilation and Prediction System, RDAPS)과 국지예보모델(Local Data Assimilation and Prediction

[그림 3] 기상청의 현업 단·중기 수치예보시스템

전지구 중기 수치예보시스템

- 단일모델 (GDAPS) : UM 25km L70 (Top:80km) / T+288hrs (00/12UTC) / Hybrid Ensemble 4DVAR
- 양상블 : UM 40km L70 (Top:80km) / T+288hrs (00/12UTC) / Members : 1(Control)+23



동아시아 단기 수치예보시스템

- 단일모델 (RDAPS) : UM 12km L70 (Top:80km) / T+87hrs (6 hourly) / 4DVAR

한반도 (초)단기 수치예보시스템

- 단일모델 (LDAPS) : UM 1.5km L70 (Top:40km) / T+36hrs / 3DVAR (3 hourly)
- 양상블 (LENS) : UM 3km L70 / T+72hrs / Members : 1(Control)+12+12(lagged)

“국지 앙상블예측
시스템은 상세하게
영향예보를 지원할
핵심 수치예보
시스템”

System, LDAPS), 그리고 국지 앙상블예측시스템(Local ENsemble prediction System, LENS) 등 총 5종의 수치예보모델을 혼합으로 운영하고 있다.

그 중 영향예보 생산을 위하여 직접적으로 활용할 수 있는 확률 예측 기반의 수치예보시스템으로는 중기 예측을 대상으로 하는 전지구 앙상블예측시스템과 단기 예측을 대상으로 하는 국지 앙상블예측시스템이 있다. 전지구 앙상블예측시스템은 총 24개의 앙상블 멤버가 40km의 수평해상도로 일 2회 12일까지의 중기 확률 예측을 수행하여 일반적인 확률 예측 자료 뿐만 아니라 강수, 바람, 기온 등의 극값 예측과 같은 재해기상에 특화된 정보를 예보관에게 제공하고 있다. 이 전지구 앙상블 예측시스템은 영국기상청의 전지구 앙상블예측시스템인 MOGREPS-G를 기반으로 구축되어 2011년부터 지속적으로 성능을 개선하며 운영되고 있다.

2015년에 기상용 슈퍼컴퓨터 3호기에 비해 7배 이상 계산 성능이 향상된 슈퍼컴퓨터 4호기(Cray XC40)가 성공적으로 기상청에 도입되어 보다 고해상도의 수치예보시스템을 운영할 수 있는 하드웨어적 기반이 마련되었다. 이에 따라 올해 하반기부터는 수평 격자 간격이 40km에서 32km로 조밀해지고 앙상블 멤버의 개수가 24개에서 49개로 늘어난 전지구 앙상블예측시스템을 혼합 운영함으로써 보다 상세한 확률 정보의 생산이 가능하게 된다. 이 새로운 고해상도 전지구 앙상블예측시스템은 25km에서 17km로 역시 해상도가 한층 강화된 고해상도 전지구예보모델과 더불어 중기 예보 지원에 활용될 예정이다.

국지 앙상블예측시스템은 국지예보모델과 함께 단기 예측을 지원하기 위해 개발되어 2015년 10월부터 새롭게 운영을 시작하였고, 국지예보모델과 유사한 한반도 영역에 대해서 총 13개의 앙상블 멤버가 3km의 조밀한 격자간격으로 72시간까지의 확률 예측 정보를 생산하고 있다. 이 시스템은 특히 강풍, 시정 등 사회적으로 영향이 큰 기상현상에 대해서 1시간 간격의 예측정보를 생산하고 있기 때문에 전지구 앙상블예측시스템에 비하여 시공간적으로 훨씬 상세하게 영향예보를 지원할 수 있는 핵심 수치예보시스템이다.

슈퍼컴퓨터 기술의 발달에 힘입어 다양한 시공간 규모에서 앙상블예측시스템의

개발과 운영, 그리고 예보 활용이 점차 보편화되어가는 추세에 맞추어 기상청에서도 단·중기 기상 예측용 앙상블예측시스템을 지속적으로 발전시켜 영향예보의 필수 요소인 기상현상의 발생 가능성 정보를 보다 정확하고 상세하게 예측하여 제공

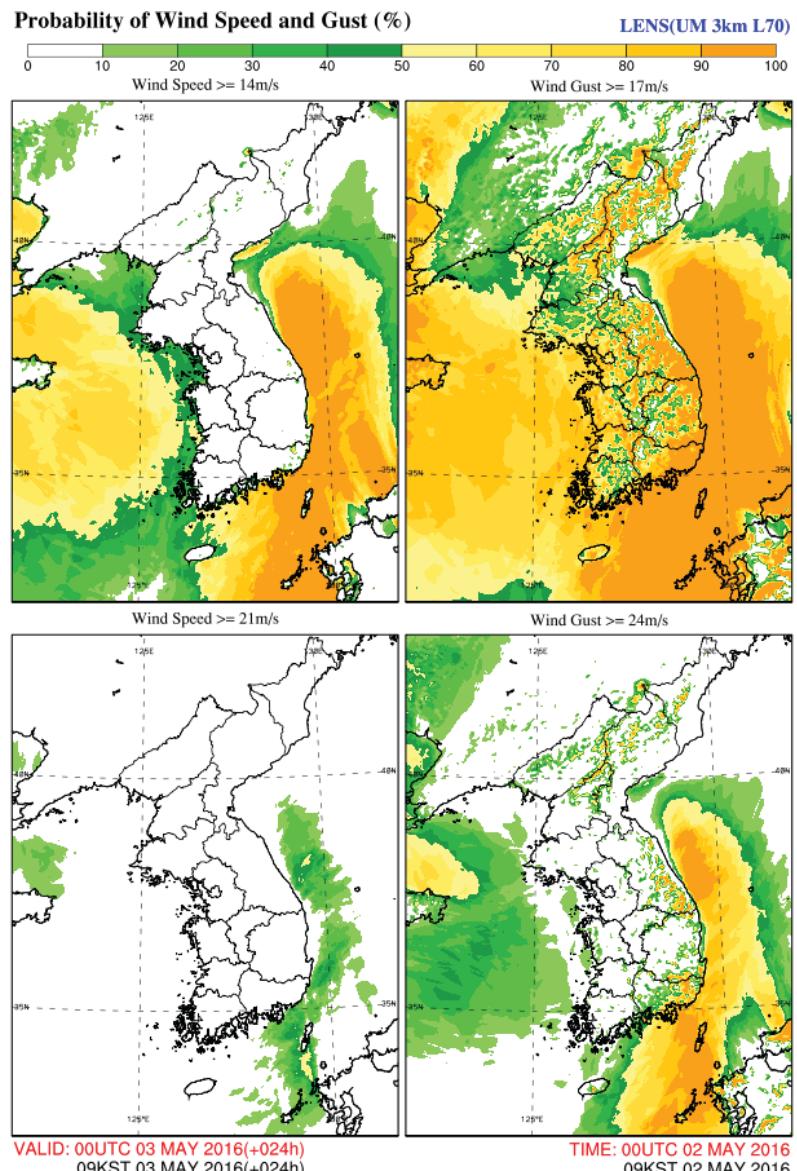
하고자 한다. 특히 규모가 작고 급격하게 발달하는 재해기상 현상에 대한 확률 예측을 보다 정확하게 수행하기 위하여 국지 앙상블예측시스템의 공간 해상도를 향상하고 국지적 기상현상의 관측 정보를 활용한 고품질 초기 자료를 생산, 입력하는 등 과학적 정교화를 지속적으로 추진할 예정이다.

한편 기상청에서는 2019년 완성을 목표로 한국형 수치예보모델의 개발을 추진 중에 있다. 이 사업은 수치예보 분야의 원천기술 개발부터 시작해 최종적으로 한반도의 기상 특성에 최적화된 10km 수준 해상도의 전지구 수치예보시스템을 독자적으로 개발하고 실용화하는 것을 목표로 하고 있다.

2020년대에 현업으로 운영

“ 2020년대 현업으로 운영할 수치예보모델 개발을 위해 미래지향적 모델링 기술 접목 ”

[그림 4] 기상청 현업 국지 앙상블예측시스템(LENS) 산출정보 예시(강풍 확률)



할 수치예보모델을 개발하기 위하여 다양한 미래지향적 수치모델링 기술이 접목되고 있다. 특히 고해상도 수치예보모델에 적용하여 위험기상 현상을 정확하고 상세하게 예측할 수 있는 물리모수화 방안 개발에도 박차를 가하고 있어 향후 영향 예보를 보다 효율적으로 지원할 수 있는 수치예보시스템으로서 무한한 활용 가능성이 기대된다.

참고문헌

- Neal, R. A., P. Boyle, N. Grahame, K. Mylne, and M. Sharpe, 2014: Ensemble based first guess support towards a risk-based severe weather warning service, *Meteorol. Appl.*, 21, 563-577.
- Palmer, T. N., 2002: The economic value of ensemble forecasts as a tool for risk assessment: From days to decades, *Q. J. R. Meteorol. Soc.*, 128, 747-774.
- TIGGE: <http://www.ecmwf.int/en/research/projects/tigge>
- WMO World Weather Research Program (WWRP, 세계기상연구프로그램): https://www.wmo.int/pages/prog/arep/wwrp/new/wwrp_new_en.html

영향예보를 위한 수문기상정보 지원

이은정 기상청 방재기상팀장 ejlee70@korea.kr

- I . 수문기상과 영향예보
- II . 기상청의 수문기상 업무 현황
- III . 수문기상분야 영향예보를 위한 해외사례
- IV . 영향예보를 위한 수문기상정보 지원 방향

대기로부터 비가 내려 지표에 홍수나 가뭄을 일으키거나 지표면에서의 증발로 대기 중의 수증기양이 늘어 나는 현상 등을 수문기상이라고 하며, 이러한 대기와 지표의 상호작용을 이해하기 위해서는 다양한 수문 기상정보가 필요하다. 수문기상정보는 기존의 기상정보를 한 번 더 가공하여 제공되는 정보이며, 대표적으로는 유역별 강수, 증발산, 토양수분 등이 있다. 이러한 정보를 통해 강수가 지표에서 발생하는 홍수와 가뭄에 미치는 영향을 분석·예측할 수 있기 때문에 영향예보와 밀접한 관계가 있다고 할 수 있다. 실제로 기상청에서 생산되는 수문기상정보는 부처 간 협업을 통해 수문기상재해의 위험을 분석하는데 활용되고 있다. 그러나 여전히 유관기관에서 이를 사용하는 데는 한계가 있기 때문에 자료제공의 수준을 넘어서 홍수 및 가뭄 대응에 바로 활용할 수 있는 형태로 가공된 분석 정보를 제공하여 사회·경제적 영향을 고려하는 영향예보 서비스에 기여하고자 한다. ■

“ 대기와 지표의
상호작용을 이해하기
위해 다양한
수문기상정보 필요 ”

우리나라 수문기상 관련 재해는 지난 10년 간 전체 재해 중 85%를 차지하며 재해에 따른 피해·복구비용은 약 16조 원에 이른다(국민안전처, 2014). 그나마 홍수로 인한 피해는 집계가 가능하지만 가뭄으로 인한 재해는 피해에 대한 정확한 기준조차 없어 그 규모를 가늠하기도 어렵다. 지금까지는 재해 발생 후 경험적인 대응과 복구가 주를 이뤘으며, 이러한 체계로는 증가하는 피해를 대응하기에 한계가 존재한다. 최근에는 사전 대응체계의 중요성을 인식하고 관련부처에서 다양한 대책을 추진하고 있다. 사전 대응체계로의 전환을 위해서는 무엇보다도 정확한 수문기상정보와 제공된 수문기상정보를 기반으로 기상재해의 피해를 예측하는 과정이 필요하다. 이에 여기서는 지금까지 기상청을 통해 제공되고 있는 수문기상정보의 현황을 소개하고 수문기상 분야에서 재해대응을 위한 효율적 의사결정을 위해 영향예보로 발전해 나아가기 위한 방향을 논의해 보고자 한다.

I. 수문기상과 영향예보

지구상에서 물은 끊임없이 순환한다. 대기 중에 수증기 형태로 존재하는 물은 비나 눈이 되어 땅으로 떨어지고, 하천, 지하수, 바다 등으로 흘러 들어갔다가 다시 수증기로 증발하여 대기 중으로 돌아간다. 이러한 과정을 물순환이라고 하며, 수문기상이란 물순환 과정 중에서 대기와 지표의 상호작용으로 인해 기상이 지표에 영향을 주는 여러 현상을 말한다. 예를 들어, 대기로부터 비가 내려 지표에 홍수나 가뭄을 일으키거나 지표면에서의 증발로 대기 중의 수증기양이 늘어나는 현상 등을 수문기상이라고 할 수 있다. 이러한 대기와 지표의 상호작용을 이해하기 위해서는 다양한 수문기상정보가 필요하다.

수문기상정보는 아래 표와 같이 기존의 기상정보를 한 번 더 가공하여 제공되는 정보로 대표적으로는 유역별 강수, 증발산, 토양수분 등이 있다. 이러한 정보를 통해 강수가 지표에서 발생하는 홍수와 가뭄에 미치는 영향을 분석·예측할 수 있기 때문에 영향예보와 밀접한 관계가 있다고 할 수 있다. 실제로 기상청에서 생산되는

“ 최근 국지성 호우로 인해
지방하천과 소하천에서의
홍수 피해 증가 ”

수문기상정보는 부처 간 협업을 통해 수문기상재해의 위험 정도를 분석하는 데 활용되고 있다.

<표 1> 기상정보와 수문기상정보의 차이점

| 구 분 | 기상정보 | 수문기상정보 |
|-------|---|-------------------------------|
| 목적 | 방재, 국민안전, 생활편의 등 | 물 관리 등 국가정책 지원 |
| 대상 | 국민 | 정부부처, 지자체, 물 관련 기관 |
| 주요 요소 | 기온, 강수량, 풍향/풍속, 강수학률, 하늘상태, 습도, 적설 등 기상요소 | 기상요소 외 증발산, 토양수분 등 수문관련 요소 포함 |
| 공간범위 | 시·군·구, 읍·면·동 등 행정구역 혹은 지점별 정보 생산 | 한강권, 금강권, 낙동강권 등 수계별 유역 정보 생산 |
| 관련재해 | 태풍, 호우, 대설, 해일, 한파, 폭염 등 | 홍수, 가뭄 등 |

II. 기상청의 수문기상 업무 현황

과거에는 국가하천의 범람으로 인한 대규모 침수피해가 많았으나, 최근에는 빈번히 발생하는 국지성 호우로 인해 국가하천보다는 지방하천과 소하천에서의 홍수 피해가 증가하고 있다. 이에 지방하천과 소하천에서 발생하는 홍수 피해를 사전에 대응하기 위해 기상청과 국민안전처, 국토지리정보원은 ‘국가 수문기상 재난안전 공

“ 가뭄으로 인한 영향과
피해여부 파악 어려워
연구 및 예측기술
발달이 늦어짐 ”

동 활용 시스템'을 구축하고 있다. 기상청에서 수문기상 예측 정보(수문기상예측정보시스템, <http://hydro.kma.go.kr>)를 생산하고, 국토지리정보원의 3D 공간 정보를 생산하면, 이를 활용하여 국민안전처가 홍수 침수피해 예측 정보를 생산한다. 이러한 정보들이 국가 수문기상 재난안전 공동 활용 시스템을 통해 지방자치단체, 방재 대응기관 등에 제공되어 사전에 피해 예상지역을 점검함으로써 홍수로 인한 피해를 최소화 할 수 있게 된다. 이러한 사업은 미래부의 지원 하에 2013년부터 부처 간 협업으로 추진되어 왔으며, 2018년 구축완료를 목표로 하고 있다.

[그림 1] 국가 수문기상 재난안전 공동 활용 시스템



홍수 피해와 더불어 최근에는 가뭄도 정확한 예보와 그 피해에 대한 사전 정보가 중요하다. 최근 기후변화 등의 영향으로 가뭄 발생빈도가 증가하고 있으며, 2015년은 10월까지 전국 강수량이 평년대비 62%로 1973년 전국 강수관측 이래 가장 비가 적어서 가뭄의 강도도 심해지고 있음을 알 수 있다. 홍수 피해가 즉각적으로 발생하는 것과 달리 가뭄은 넓은 지역에서 서서히 진행되는 특징을 보이고 있어 홍수와 달리 예측 가능성이 높은 재해이다. 그러나 가뭄으로 인한 영향과 피해여부를 파악

“ 2015년 10월부터 종합가뭄정보시스템을 통해 가뭄 정보 제공 ”

하기 어려워 홍수보다 발생 메커니즘에 대한 연구나 예측기술이 덜 발달되어 있다.

기상청에서는 2015년 10월부터 「종합가뭄정보시스템」(<http://drought.kma.go.kr>)을 통해 가뭄 감시 및 전망 정보를 제공하고 있다. 이 시스템에는 현재의 가뭄상태를 나타내는 가뭄지수와 1개월부터 3개월까지의 가뭄 전망이 표출되고 있으며, 가뭄관련 유관기관 관계자들에게 정보가 제공되고 있다.

제공되는 가뭄지수는 표준강수지수(SPI), 파마가뭄지수(PDSI), 강수평년비(PN) 등이며, 가뭄지수별 비교 분석과 달력형 분포도 등 가뭄 상세분석 기능과 텍스트 자료로 다운로드가 가능해 사용자가 원하는 정보를 쉽게 가공하여 사용할 수 있다. 가뭄 전망정보는 장기예보모델인 전지구 계절예측시스템(GloSea5)과 통계모델인 인공신경망 모델을 기반으로 산출되고 있다.

또한 가뭄감시를 위해 기상청 및 유관기관에서 관측한 다양한 가뭄관련 자료를 수집·표출하고 있다. 주요 자료로는 기상청의 강수량, 위성 등으로 관측한 토양수분량과 증발산량, 한국농어촌공사의 저수지 저수율, 한국수자원공사의 댐 저수율 등이 있다.

[그림 2] 가뭄전망정보 생산의 기반이 되는 전지구 계절예측시스템(좌)과 가뭄정보시스템(우)

◆ The GLObal SEASONal forecasting system version5
(전지구 계절예측시스템)

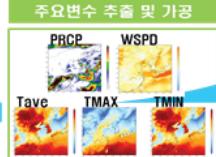
GloSea5



East Asia

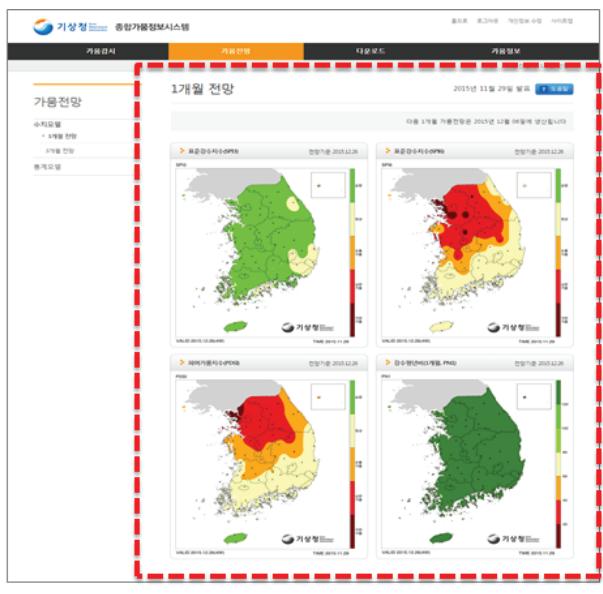
| |
|--------------------------------|
| 자료 제공 영역 정보 |
| 총 격자점 2808 × 54(lat) × 52(lon) |
| 경도 104.5250~149.7750 |
| 위도 21.275~52.0250 |

주요변수 주출 및 기공



PRCP WSPD
Tave TMX TMN

- ▶ 실시간 예측(forecast)과 과거기후(hindcast)자료 동시 생산
- ▶ 대기-해양 결합된 양상을 예측 시스템
- ▶ 고해상도 예측시스템(~60km)
- ▶ 일별 초기회(매일 수행)



The screenshot shows the IDIS interface with a red dashed box highlighting the '1개월 전망' (1-month forecast) section. It displays four maps of South Korea for different parameters: SPI, PDSI, PN, and PN. Each map includes a color scale from green to red, indicating drought levels. The top navigation bar includes tabs for '기상전망' (Weather Forecast), '기상현황' (Current Weather), '다운로드' (Download), and '기상정보' (Weather Information). The date range for the maps is 2015.11.29 to 2016.01.26.

“홍수 및 가뭄 대응에
바로 활용할 수 있는
형태로 정보 제공
필요”

기상청에서는 이와 같이 기본적인 기상 예측 정보를 홍수나 가뭄 피해를 예측하는 데 사용할 수 있는 정보로 1차 가공하여 제공하지만, 여전히 유관기관에서 이를 사용하는 데에는 한계가 있다. 따라서 자료 제공의 수준을 넘어서 홍수 및 가뭄 대응에 바로 활용할 수 있는 형태로 가공된 분석 정보를 제공하는 단계, 즉 영향예보 단계로 발전할 필요가 있다.

III. 수문기상분야 영향예보를 위한 해외사례

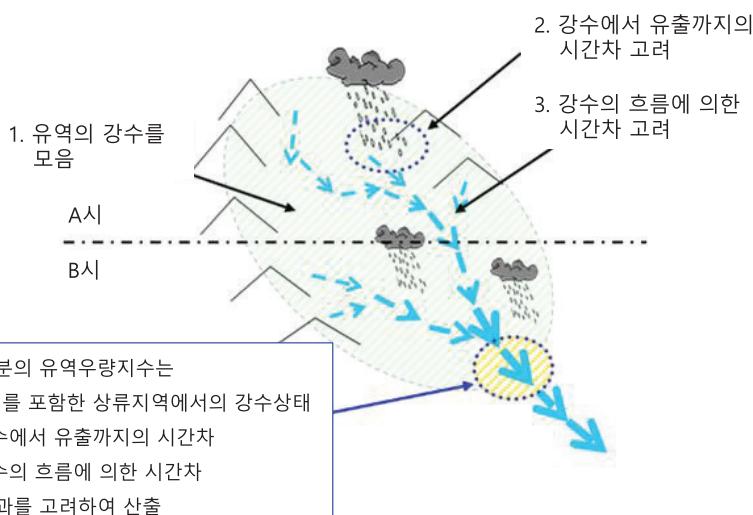
일본 기상청의 홍수경보와 미국 국가가뭄경감센터의 가뭄영향분석 사례를 통해 수문기상 분야의 영향예보가 나아갈 방향을 알아보고자 한다.

호우에 의한 영향예보라면, 내리는 강수시간, 강수량과 더불어 이로 인해 발생할 수 있는 위험정도를 제공해주는 것이라 생각할 수 있다. 현재 우리나라의 호우경보

는 강수량으로 결정되며, 이로 인한 영향은 고려하고 있지 않다. 일본기상청도 과거에는 우리와 비슷한 방법으로 호우 경보를 발표하였으나, 2008년 5 월부터 호우 경보에 유역강우량지수와 토양우량지수를 도입하여 호우로 인한 영향정보를 제공하고 있다.

유역강우량지수란, 상류 지역에서 내린 비의 양과 내린 비가 강으로 흘러들어가는 시간까지 고려하여 대상 지역의 홍수 위험도를 표현한 지수

[그림 3] 유역 강수량지수 산출과정



“
일본은 지역별
유역강수량지수와
토양우량지수에 따라
호우주의보와
경보 발령 ”

이다. 예를 들어, 강 하류지역에 내린 비가 적더라도 상류지역에 많은 비가 내려 강으로 유입되었다면 하류의 홍수 위험도가 높아질 수 있다. 토양우량지수란, 땅속에 쌓여있는 물의 양을 고려하여 토사재해(산사태 등)의 위험 정도를 나타내는 지수이다. 즉, 어느 지역에 며칠 전에 비가 내렸다면 같은 양의 비가 내려도 토양이 건조한 경우보다 토사재해 발생위험도가 더 높을 것이다. 일본에서는 지역별로 유역강우량 지수와 토양우량지수 기준을 설정해 놓고 이 기준을 넘었을 경우에 호우주의보와 경보를 발령하게 된다. 즉, 단순히 비가 내린 양이 아니라 내린 비로 인한 영향, 상류로부터 유입되어 흐르는 양, 토양의 상태를 고려하여 홍수 위험도가 큰 경우에 국민들에게 호우 경보를 내리는 것이다.

한편 가뭄영향예보로 활용할 수 있는 사례로는 미국 국가가뭄경감센터의 가뭄 영향보고를 들 수 있다. 미국 국가가뭄경감센터에서는 매우 체계적으로 가뭄에 대한 현황 및 3개월까지의 전망정보를 제공해 오고 있다. 이러한 가뭄정보와 더불어 언론 보도자료, 다른 유관기관 자료(화재, 제한급수 자료) 등 9가지 종류의 자료를

[그림 4] 미국 국가가뭄경감센터의 가뭄영향보고



“ 수문기상 분야의
영향예보를 위해
한계강우량 도입 ”

취합하여 과거 가뭄으로 인한 영향평가 결과를 제공하고 있다. 영향은 농업, 상업 및 공업, 에너지, 화재, 생태계, 대응, 공중보건, 관광, 상수도 및 수질, 일반적인 우려 사항 등 10개 항목에 대해 분석하였다. 영향의 정도는 6개 단계로 구분하여 평가하며 과거 자료 검색도 가능하다.

국가가뭄경감센터에서 제공하는 자료는 가뭄에 대한 영향예보까지는 아니지만, 과거 가뭄이 영향을 미치는 분야와 영향의 정도에 대한 분석 정보를 제공하고 있어 향후 가뭄영향예보의 기준으로 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

IV. 영향예보를 위한 수문기상정보 지원 방향

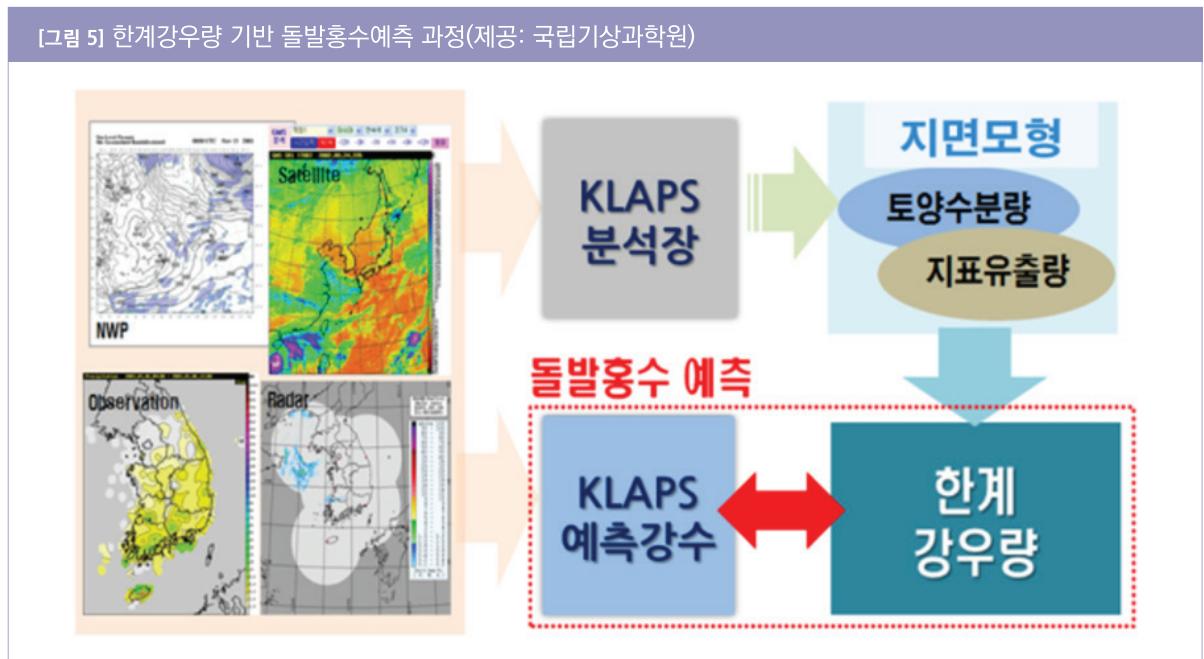
현재 기상청에서도 걸음마 수준이기는 하지만 수문기상 분야의 영향예보를 위한 준비를 진행하고 있다. 우선 집중호우나 태풍으로 인해 유발되는 산지지역의 돌발홍수(flash flood)를 예측하기 위해 한계강우량 개념을 도입하고 있다. 돌발홍수란, 지형이 좁고 경사가 급한 유역에서 집중호우나 태풍으로 인해 짧은 시간 내에 하천수위의 급격한 상승을 유발하는 홍수를 말한다. 한계강우량이란, 돌발홍수를 일으키는 데 필요한 강우량으로 산지지역의 경우 지면의 토양수분량과 지표유출량 등으로 결정된다.

국립기상과학원 응용기상연구과에서는 분포형 지표해석모형을 이용하여 지형 특성을 고려한 격자 기반 한계강우량을 산정하고 있다. 입력 자료로는 기상청 국지 모델 자료, 기상관측 자료(강수, 기온, 상대습도, 풍속, 기압, 복사량 등), 국토해양부 수치표고도, 토지피복도, 국립농업과학원 토양도 등을 사용한다. 이 자료들과 지면 모형을 이용하여 토양수분량을 계산하고, 토양의 침투능력을 초과하는 강수량인 지표유출량을 계산한다. 지표유출량의 발생 유무를 통해 한계강우량을 산정하고, 예측강우량이 한계강우량을 초과할 경우 돌발홍수가 발생할 수 있음을 예측할 수 있게 된다. 현재는 낙동강 유역에 대해 검증을 수행하고 있으며, 올해 전국으로 확대하여 분석할 예정이다.

“ 가뭄 분야 영향예보 기반
마련을 위해 노력 ”

이 자료가 생산되면 같은 지역에 같은 양의 비가 내리더라도 돌발홍수위험도의 차이를 예측할 수 있을 것이며, 수문기상 분야에서의 영향예보도 시범적으로 적용 할 수 있을 것으로 기대된다.

[그림 5] 한계강우량 기반 돌발홍수예측 과정(제공: 국립기상과학원)



가뭄의 경우는 예측 정보를 생산하기 시작한지 1년도 넘지 않았으며, 가뭄 영향 분석을 위해 필요한 가뭄 피해 정보도 충분치 않아 가뭄분야 영향예보를 위해서는 앞으로 많은 연구와 투자가 필요하다. 그 일환으로 올해 기상청은 농림축산식품부, 국토교통부, 환경부, 국민안전처 등 관련 부처와 함께 ‘가뭄 피해 최소화를 위한 선제적 가뭄관리체계 구축’을 위한 공동기획연구를 수행한 바 있다. 본 연구에서는 가뭄 모니터링 및 전망, 가뭄 피해에 대한 정량적 평가, 피해 최소화를 위한 기반 구축 등을 위해 필요한 기술, 부처의 역할과 협력 방안을 제시하고 있다.

기상청에서는 가뭄 분야의 영향예보 기반을 마련하기 위해 우선 가뭄전망 기술의 신뢰성을 확보하고, 현재 3개월까지만 제공하고 있는 가뭄 예측 정보의 기간을 확장하여 중장기적인 가뭄감시 및 전망 기술 개발을 추진하고자 한다. 또한 기상가

품의 발생원인 파악, 수문학적 가뭄, 농업가뭄 등으로 전이되는 메커니즘 분석 등을 통해 가뭄현상 예보를 넘어 사회·경제적 영향을 고려하는 영향예보 서비스에 기여할 수 있기를 기대한다.

[그림 6] 국가 가뭄대응 전략 방향(한국건설기술연구원, 2016)



참고문헌

국민안전처, 2015: 2014 재해연보, 722pp.

미국 국가가뭄경감센터: <http://drought.unl.edu>

수문기상예측정보시스템: <http://hydro.kma.go.kr>

종합가뭄정보시스템: <http://drought.kma.go.kr>

지희숙, 이병주, 배혜득, 이철규, 정현숙, 2013: 돌발홍수 예측을 위한 격자 한계강우량 산정기법 개발, 한국기상학회 가을학술대회 논문집, 248-249.

한국건설기술연구원, 2016: '가뭄 피해 최소화를 위한 선제적 가뭄관리 체계 구축' 공동기획연구 보고서, 미래창조과학부.

재해영향예보의 효과

손철 강릉원주대학교 도시계획부동산학과 교수 csohn@gwnu.ac.kr
김건후 강릉원주대학교 공간정보협동과정 박사과정 plan3308@gmail.com

- I . 재해영향예보의 정의 및 선행조건
- II . 재해영향예보의 적용사례
- III . 재해영향예보의 기대효과
- IV . 결론 및 제안

I. 재해영향예보의 정의 및 선행조건

Lindell과 Perry (2012)가 제안한 PADM (Protective Action Decision Model)은 개인이 환경재해에 대해 방어적 행동을 실천에 옮기는 과정을 설명하는 이론적 틀을 제공한다. 이 이론적 틀에 따르면 개인이 환경재해 (Environmental Hazard)에 대해 어떤 방어 행동을 택할지 결정하기 위해서는 환경재해가 본인에게 어떤 영향을 미칠 것인지를 인지하는 과정을 거쳐야 한다.

PADM에서는 이것을 위험지각(Perceptions of Threats)이라고 한다. 위험지각에 영향을 미치는 요인은 다양 한데 환경재해 자체의 특성과 그것이 유발할 영향에 대한 기대, 유사상황에 대한 경험, 개인의 교육수준 등이 그것이다. 예컨대 태풍의 경우, 위험지각은 발생한 태풍의 특징과 그것으로부터 개인이 받게 될 영향에 대한 기대 및 기타요인에 의해 결정된다.

PADM에 따르면, 위험지각이 방어적 행동을 선행하는 것이기 때문에 재해기상(Extreme Weather)의 발생이 예측될 경우 효과적인 위험지각이 이루어지기 위해서 재해기상 자체의 특성과 그것이 가져올 위험에 대한 정보를 영향권에 있는 사람들에게 통합적으로 전달하는 것은 필수적이다. 재해영향예보는 이런 필요성에서 재해기상에 대한 예보와 함께 재해기상이 초래할 수 있는 잠재적인 사회경제적 위험의 유형, 강도, 취약계층에 대한 정보를 제공하는 것이다.

재해영향예보는 크게 2가지 방법에 의해 제공될 수 있다(표 1). 첫 번째 방법은 재해기상 예측 후 예측된 재해기상과 가장 유사한 과거 사례를 찾아 유사 사례가 초래한 위험의 유형, 강도, 취약계층에 대한 정보를 일반인에게 예보문을 통해 제공하는 방법이다. 여기서 예보문을 통해 제공되는 위험정보는 미래에 대한 예측이라기보다는 과거 유사 사례에서 공통적으로 발생하는 사건들의 리스트로 안전을 위해 반드시 주의를 기울여야 할 항목들을 제시하는 것으로 이해하는 것이 타당하다.

현재 재해기상이 초래한 풍수해관련 사건·사고에 대해서는 국민안전처, 신문사, 경찰 등의 전산화된 기록이 존재하며, 이를 체계적으로 분석할 수 있는 텍스트 마이닝 기술이 존재한다. 따라서 기상청의 기상DB와 국민안전처, 신문사, 경찰 등의 DB를 통합하여 다양한 매칭 알고리즘과 데이터마이닝 기술을 적용한다면, 이로부터 특정 재해기상 상황과 관련된 모든 사건·사고의 유형을 체계적으로 파악할 수 있다. 그리고 이러한 사건·사고의 유형을 정제하여 유사한 기상 상황이 다가올 경우 기상청 발표 자료에 포함시켜 수요자에게 맞춤형 정보를 제공하는 것이 가능하다.

두 번째 방법은 기상(수문) 변수와 위험(재산 및 인명 손실, 혼란 등)과의 인과관계에 대한 통계적·수학적 인과모델을 구축하고 이를 통해 재해기상의 위험을 예측하여 그 결과를 수요자에게 제공하는 것이다. 두 번째 방법에서 예보문을 통해 제공되는 위험정보는 발생 가능한 위험의 유형, 강도, 취약계층에 대한 예측이다. 여기서 위험의 강도는 확정적 단일수치, 순위 범주화된 코드 값(예: 1-5, 1-10 등), 확률 값(신뢰구간) 등으로 제공될 수 있다. 두 번째 방법은 기상(수문)변수와 위험 간의 과학적 인과관계를 바탕으로 확률적 예측을 수행할 수 있어 재해영향예보의 성격을 가장 잘 반영하는 방법이다.



<표 1> 재해영향예보의 두 가지 접근

| 구분 | 과거 유사 사례에 기반한 방법 | 재해예측에 기반한 방법 |
|------|---|---|
| 기대효과 | <ul style="list-style-type: none"> 위험에 대한 학습 | <ul style="list-style-type: none"> 미래의 위험을 회피하기 위한 합리적 의사결정 |
| 예보내용 | <ul style="list-style-type: none"> 미래에 대한 예측이라기보다는 과거 사례에서 공통적으로 발생하는 사건들의 리스트로 안전을 위해 반드시 주의를 기울여야 할 항목 | <ul style="list-style-type: none"> 발생 가능한 위험의 유형, 강도, 취약계층에 대한 예측 |
| 장점 | <ul style="list-style-type: none"> 실제로 위험이 발생하지 않더라도 학습적 목적 달성 | <ul style="list-style-type: none"> 과학적 인과관계에 기초하여 본래의 재해영향예보 개념에 가장 적합 본질적으로 확률적 과정인 수문·기상학적 과정을 모사하여 위험에 대한 확률적 정보를 제공하는 것이 가능 |
| 단점 | <ul style="list-style-type: none"> 과거와 현재의 상황 변화로 인해 재해가 실제로 발생하지 않을 수 있음 | <ul style="list-style-type: none"> 위험이 실제로 발생하지 않을 경우 후속 예보의 신뢰성 저하 |

출처 : 기상청(2012)에서 수정

두 가지 유형의 재해영향예보가 가능하기 위해서는 공통적으로 과거의 재해기상이력과 재해기상이 초래한 피해이력에 대한 상세한 데이터베이스가 구축되어어야 한다. 그리고 데이터베이스를 이용하여 유사 사례와 패턴을 찾아낼 수 있는 매칭 및 데이터마이닝 알고리즘, 다양한 통계적·수학적 인과모델, 수치예보모델과 연동된 수문모델의 구축이 필요하다.

기상청이 풍수해 분야의 재해영향 예보를 확대해나가기 위해서는 다음과

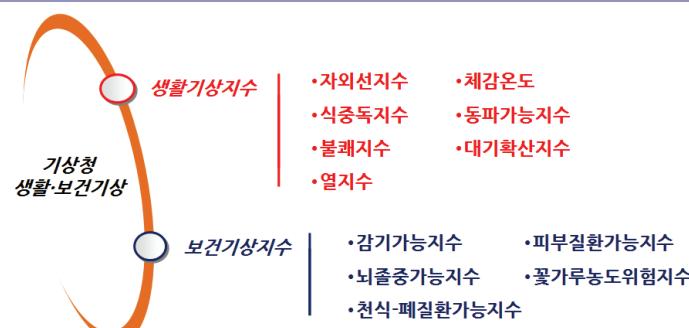
같은 선행조건이 충족되어야 한다. 첫째, 기상학·수문학·사회과학 분야의 전문가를 포함한 재해영향예보를 위한 통합적 전담조직이 구성되어야 한다. 둘째, 재해영향예보를 위한 기상·재해·사회 시스템에 대한 시·공간 통합DB의 구축이 필요하다. 기상현상과 풍수해는 모두 공간상에서 발생하는 현상으로 역시 공간에 기반을 둔 사회시스템에 영향을 미친다. 기상·재해·사회 시스템 사이의 상호관계를 파악해 예측에 이용하기 위해서는 세 가지 요소에 대한 정보가 공간정보시스템에 의해 데이터베이스화 되어 관리되어야 한다. 셋째, 시·공간 통합DB를 이용하여 재해영향을 예측·추론할 수 있도록 해주는 다양한 수학적, 통계학적 인과모델 및 수문기상 모델이 구축되어야 한다. 넷째, 효과적인 재해영향예보 커뮤니케이션 전략이 필요하다. 기상정보와 재해평가가 결합된 재해영향예보는 개별요소가 본질적으로 확률적 현상이기 때문에 이 역시 확률적 성격을 지닐 수밖에 없다. 궁극적으로 재해영향예보의 결과는 확률적 성격을 가진 수치로 수요자에게 전달되어야 하기 때문에 수요자에게 재해영향예보의 확률적 성격을 이해시키고 이 정보가 적절한 방법으로 사용될 수 있도록 하는 방안이 필요하다(기상청, 2011).

II. 재해영향예보의 적용사례

1. 국내

우리나라 기상청은 다양한 유형의 생활기상지수 및 보건기상지수를 개발하여 단순한 기상예보를 제공하는 것을 넘어 예보된 기상이 우리 생활에 어떤 영향을 주는가에 대해 유용한 부가적 정보를 제공하고 있다. 생활 및 보건 기상지수와 같이 전문적인 정보를 제공하는 데는 미치지 못하지만 기상청은 재해기상이 예측되는 시점에서 보도 자료, 예·특보문 등을 통해 예보 정보뿐만 아니라 예보된 기상 상황이 초래할 수 있는 위험의 유형 및 강도, 회피방안에 대한 정보를 간단하게 제공하고 있다. 이러한 정보의 제공은 초기 형태의 재해영향예보라 할 수 있다. 표 2는 2014년 2월에 발생한 강원도 영동지역의 기록적 폭설 시 2월 6일과 2월 7일 기상청이 제공한 보도 자료와 특보문으로 “비닐하우스 등 시설물 관리와 교통안전에 유의하시기 바람”, “제설작업, 시설물관리와 교통안전에 각별히 유의하기 바라며” 등의 구절을

[그림 1] 기상청 제공 기상지수



<표 2> 기상청 보도 자료와 특보문

| 일자 | 기상청 |
|------------|--|
| 2014.02.06 | <p>■ 보도 자료</p> <p>▶ 7일(금) 제주도남쪽해상을 지나는 기압골의 영향으로 낮부터 제주도에 비가 내리기 시작해, 밤에는 남해안과 경상남북도 내륙지방으로 눈이나 비가 확대되겠음. 특히, 동풍의 영향을 받는 강원도영동에는 6일(목) 밤부터 눈이 시작되어 9일(일)까지 매우 많은 양(강원도영동 최고 80cm 이상)이 쌓일 가능성이 있으니, 비닐하우스 등 시설물 관리와 교통안전에 유의하시기 바랍니다.</p> <p>▶ 특히, 우리나라 북쪽으로 고기압이 위치한 가운데 제주도남쪽해상에서 일본 남해안으로 기압골이 발달하며 이동함에 따라 한반도 주변으로 북고남저 형태의 기압계가 형성되겠고, 기압계가 조밀해지면서 동풍의 강도가 강해지는 7일(금), 8일(토) 밤 ~ 9일(일) 오전 사이에 강원도영동과 경북북부동해안을 중심으로 강하고 많은 눈이 내릴 가능성이 있음.</p> <p>▶ 또한, 9일(일) 이후에도 중국 북동지방으로 확장하는 대륙고기압의 가장자리를 따라 남하하는 차가운 북동기류가 동해상을 지나는 동안 눈구름대가 만들어져, 동해안을 중심으로 10일(월) ~ 11일(화)에도 눈이 단속적으로 내릴 가능성이 있음.</p> |
| 2014.02.07 | <p>■ 특보문</p> <ul style="list-style-type: none"> • 현재 적설(7일 3시~현재): 5~10cm • 예상 적설(현재~8일 밤): 15~30cm, 많은 곳 60cm 이상 • 총 예상 적설: 20~40cm, 많은 곳 60cm 이상 ▶ 강원도영동의 눈은 10일(월)까지 이어지면서, 매우 많은 눈이 쌓이겠으니, 제설작업, 시설물관리와 교통안전에 각별히 유의하기 바라며, 앞으로 발표되는 기상정보를 참고하기 바랍니다. |



통해 예보된 재해기상이 가져올 위험과 회피방안에 대해 간단하게나마 정보를 제공하고 있는 것을 볼 수 있다.

표 3은 2014년 2월 6일에서 2월 19일까지 발생했던 강원도 영동지역의 기록적 폭설 발생 시 기상청의 모든 보도 자료, 종합기상정보시스템(COMIS)의 예·특보문에 수록된 내용과 당시의 상황에 대한 뉴스 기사 내용을 정리한 것이다. 표 3에서 살펴볼 수 있는 바와 같이 기상청

은 동기간 중 폭설로 인해 시설물 안전 및 교통에 문제가 있을 것이며 이에 주의해야 한다는 점을 강조했다. 그런데 동기간에는 실제로 이런 문제 외에도 휴업, 수업 단축, 버스 운행 중단, 산간 지역 고립, 사망, 관광객 감소 등 다양한 사건이 발생하였다. 표 3에서 정리된 간단한 사례를 통해 기상청이 제공하고 있는 재해영향에 대한 정보가 실제 상황에 비해 지나치게 단순화된 것을 볼 수 있다.

<표 3> 기상청 발표 자료와 뉴스 기사

| 구분 | 기상청 | 뉴스 기사 |
|----|---|--|
| 내용 | <ul style="list-style-type: none"> ▣ 보도 자료(2.6, 2.16), 특보문(2.10) <ul style="list-style-type: none"> ▶ 비닐하우스 등 시설을 관리와 교통 안전에 유의하시기 바랍니다. ▣ 특보문(2.7, 2.9) <ul style="list-style-type: none"> ▶ 제설작업, 시설물관리와 교통안전에 각별히 유의하기 바랍니다. ▣ 특보문(2.13) <ul style="list-style-type: none"> ▶ 쌓인 눈으로 인한 비닐하우스와 지붕 붕괴 등 시설을 관리에 유의하시고, 그 밖의 지역에도 도로면이 미끄러운 곳이 많겠으니, 보행 및 교통안전에 유의하시기 바랍니다. | <ul style="list-style-type: none"> ▶ 학교 임시 휴업, 단축수업 (경향신문-2.7, 머니투데이-2.9) ▶ 시내버스 단축운행, 중단 (경향신문-2.7, 머니투데이-2.9, 연합뉴스-2.12) ▶ 산간 주민 고립 (머니투데이-2.9, 뉴시스-2.14) ▶ 시설물 붕괴 (머니투데이-2.9, 연합뉴스-2.10, 뉴시스-2.14) ▶ 인명구조, 사망 (뉴시스-2.14, MBC-2.17) ▶ 차량통제(연합뉴스-2.10) ▶ 강릉시장 호소문 발표 (경향신문-2.20) |

2. 국외

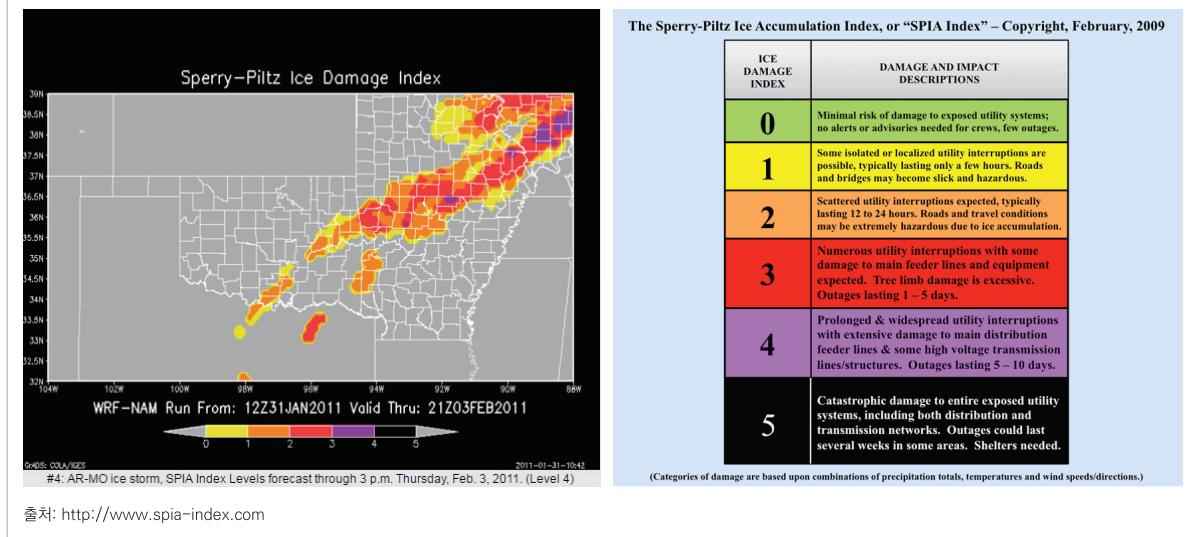
재해기상이 초래하는 풍수해에 대한 재해영향예보는 주로 미국이나 EU의 기상관련 기관에서 실험적으로 시도되고 있다. 미국기상청(National Weather Service, NWS)은 재해기상이 가져오는 위험의 유형 및 강도를 영향권에 있는 개인 혹은 기업들에 효과적으로 전달하기 위해 다양한 재해영향예보 수단들을 시험적으로 도입하고 있다.

2008년 허리케인 Ike의 폭풍해일이 텍사스 Galveston 지역을 강타할 당시 NWS는 주민들의 피난을 유도하기 위해 Ike가 유발하는 해일이 해안가에 거주하는 주민들의 생명을 위협하는 것을 강조하고 이를 위해 예보에 “certain death”라는 문구를 포함하였다. 예보에 “certain death” 문구를 포함한 것이 주민들의 피난결정에 어떤 영향을 미쳤는지를 연구한

Morss와 Hayden (2010)은 49명의 해안 거주자를 조사한 결과 이 가운데 70%가 “certain death” 경고에 대해 들었고 40% 정도가 긍정적인 의견을 가졌으며 37% 정도는 부정적인 의견을 가진 것을 발견하였다. 그리고 응답자의 71%가 이 경고가 자신의 대피결정에 영향을 미치지 않았다고 말했다. Wei et al. (2014)은 후속연구에서 허리케인 Rita와 Ike 사례에 대한 비교연구를 통해 “certain death” 문구가 주민들의 폭풍해일로 인한 대피 결정에 유의한 영향을 미치지 못한 것을 발견하였다.

NWS에서 시험적으로 운영하고 있는 “Sperry-Piltz Ice Accumulation Index (SPIA Index)”는 예보된 눈과 얼음을 동반하는 폭풍이 해당지역의 전력시스템에 미칠 영향을 지수화한 것이다. 지수는 0에서 5의 값을 가지는데 0은 위험이 최소화된 상태이며 5는 전력 송배전망에 재난적 손실이 발생하며 특정지역은 전력공급이 차단되어 수주간 이런 상황이 지속될 수 있음을 의미한다(SPIA Index, 2016). 이밖에도 NWS가 토네이도에 대해 시험적으로 운영하고 있는 “Impact Based Warnings”는 토네이도가 가져올 피해의 수준을 예측하여 상황의 경미함과 위중함을 일반인들이 분별할 수 있도록 경고메시지의 수준을 달리하고 있다(NWS, 2016).

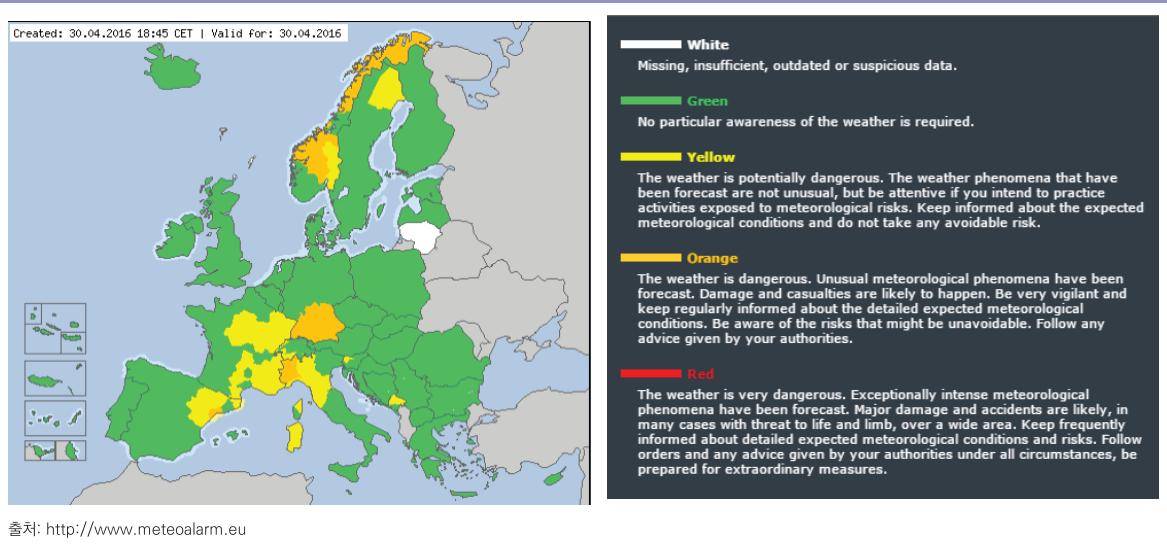
[그림 2] SPIA Index





유럽 31개 국가의 기상정보 서비스기관의 연합체인 EUMETNET이 운영하고 있는 Meteoalarm은 각국의 재해기상에 대한 정보를 5개의 Color Code로 구분하여 유럽전체에 대해 제공하고 있다. 5개의 Color Code 가운데 Green은 특별히 주의할 기상정보가 없는 것을 의미하며 Red는 생명과 재산을 위협할 만한 재해기상이 향후 예견되는 것을 의미한다.

[그림 3] Meteoalarm



앞서 사례연구에서 살펴본 바와 같이 기상예보 시 단순한 기상변수의 미래 수치에 대한 제공과 함께 기상변수의 수준이 실제로 의미하는 위험의 유형과 위험의 수준을 제공하는 것이 세계 각국의 기상관련 기관에서 시도되고 있다. NWS가 2008년 허리케인 Ike가 텍사스 해안에 접근할 때 “certain death”라는 경고를 발령한 사례, 그리고 현재 시험적으로 도입되고 있는 토네이도에 대한 “Impact Based Warnings”, 겨울철 결빙을 동반하는 폭풍에 대한 “Sperry-Piltz Ice Accumulation Index”, EUMETNET에서 제공하는 Meteoalarm 서비스는 모두 이런 사례에 해당한다. 이러한 서비스는 각국의 기상관련 기관들이 단순히 일반인들에게 기상정보를 제공하는 것을 넘어서 위험도에 대한 정보까지 수요자 친화적으로 제공하려는 노력을 반영한 것이다. 특정 재해기상이 가져오는 위험상황에 대한 판단을 수요자에게

만 맡기는 것은 옳지 않다. 재해기상이 초래하는 위험의 경증을 일반인이 이해할 수 있는 커뮤니케이션 방법을 통해 전달하고자 하는 것은 세계적 추세이다.

III. 재해영향예보의 기대효과

기상청은 생활·보건 기상지수, 예·특보문, 보도 자료를 통해 이미 미래 기상에 대한 정보와 함께 예보된 기상 상황이 가져올 위험의 유형 및 강도에 대한 정보를 제공하고 있다. 이런 측면에서 기상청은 이미 재해영향예보를 하고 있다고 볼 수 있다. 다만 생활·보건 기상지수는 체계화된 지수 산정방법을 가지고 있고 지수의 수치가 의미하는 바에 대한 해석이 명료하게 제공되어 있다. 그러나 재해기상이 초래하는 풍수해와 관련해서는 재해영향예보를 위한 명확한 방법론이 존재하고 있지 않다. 또한 예·특보문, 보도 자료에서 전형적인 위험사례와 회피방안에 대해서 비교적 간단하게만 언급하고 있는 실정이다.

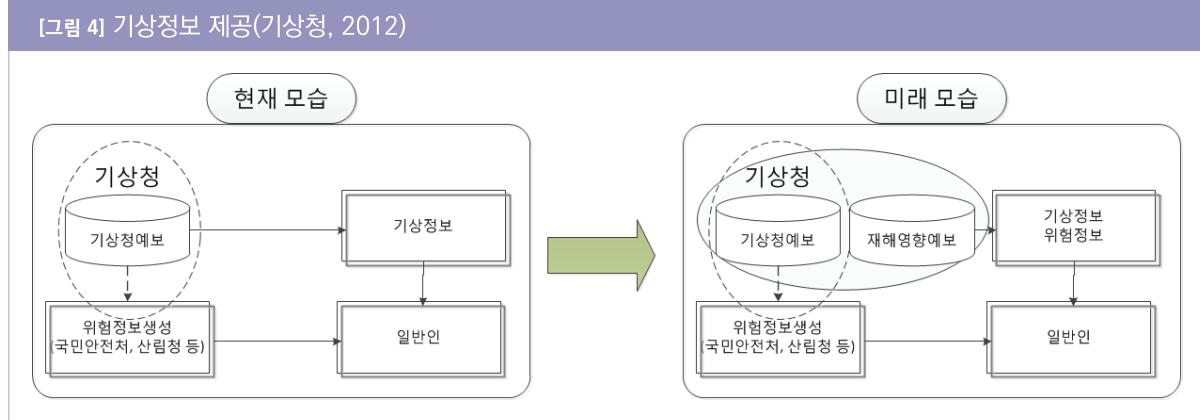
이미 앞서 강원도 영동지역의 2014년 대설사례에 대한 기상청 발표 자료와 뉴스 기사의 비교분석에서 드러난 바와 같이 기상청의 발표 자료는 재해기상이 초래하는 풍수해의 다양한 위험에 대해 충분한 정보를 제공하고 있지 않다. 즉, 현재의 기상청 발표 자료는 기상청이 가진 예보능력과 그동안에 축적된 재해관련 데이터베이스 수준에 비해 지나치게 비체계적이고 단순한 면이 있다. 따라서 앞서 서술한 바와 같이 재해영향예보를 위한 과학적 방법론을 개발하고 재해기상정보와 함께 위험정보를 체계적으로 제공한다면 다음과 같은 효과를 기대 할 수 있다.

■ 신속한 정보제공

우리나라의 모든 기관 중 재해기상에 대한 정보를 가장 먼저 접할 수 있는 기관은 기상청이다. 재해기상과 이것이 가져올 위험에 대한 정보를 상당한 정확도를 가지고 파악할 수 있다는 전제하에 기상청은 이러한 정보를 다른 어떤 기관보다 신속하게 수요자에게 제공하는 것이 가능하다. 신속한 정보제공은 수요자가 위험에 대한 방어 행동을 보다 신속하고 사려 깊게 결정하도록 해줄 수 있다.



[그림 4] 기상정보 제공(기상청, 2012)



■ 수요자 친화적 정보제공

대부분의 기상정보 수요자는 강우량, 강설량, 풍속에 대한 예보수치를 원하는 것이 아니라 그것이 자신의 삶에 미치는 영향을 알기 원한다. 기상변수의 미래수준에 대한 예측과 함께 이것이 우리의 생활에 어떤 실질적 의미를 가지는가를 해석해주는 것은 수요자 친화적이다. 특히 수요자 친화적 정보제공에서 중요한 것은 재해영향예보에서 확률(신뢰구간)의 개념을 사용하는 것이다. 개인은 자신만의 위험수준에 대한 임계치를 가지고 있다(NRC, 2006). 그리고 외부에서 전달된 위험도가 자신만의 임계치를 넘을 경우 방어적 행동을 취하게 된다. 따라서 재해영향예보에서 위험에 대한 확정적(deterministic) 단일수치 정보를 제공하는 대신 확률적(probabilistic) 범위의 정보를 제공한다면 위험에 민감하게 반응하는 개인이 좀 더 자신의 안전을 위해 보수적인 의사결정을 내리도록 할 수 있다.

■ 정확한 정보제공

대기환경의 변화를 예측한다는 것은 고도의 전문성을 요구한다. 대기환경의 변화가 가져오는 수문의 변화를 예측하는 것 역시 고도의 전문성을 요구한다. 이 두 가지 예측이 만나는 수문기상학적 예측(hydrometeorological prediction)은 많은 변수와 복잡한 메커니즘을 포괄하는 것으로 두 분야에 대한 고도의 융합적 전문성이 있어야 가능하다. 그리고 모든 것이 구비된 이후에도 필연적으로 예측의 오류를 수반하는 확률의 세계이다. 그동안 우리나라는 기

상과 수문분야의 분석에 대한 명확한 역할분담이 존재해 왔다. 그러나 재해영향예보가 본격화되면서 기상과 수문분석 사이의 담장이 허물어지고 두 분야의 전문성이 본격적으로 융합된다면 수문기상학적 예측의 정확성을 보다 높일 수 있다.

■ 위험정보가 전달되지 않을 가능성의 예방

우리나라는 풍수해 분야별로 위험정보를 생산하는 기관별 역할분담이 존재한다. 재해에 대한 위험정보 생산에서 우리나라와 같이 명확한 역할분담이 있는 경우, 각각의 전문성이 있는 기관이 정보생산을 담당함으로써 정보의 질을 높일 수 있는 장점이 있다. 그러나 이러한 시스템이 가진 치명적 약점은 담당기관이 적절한 위험정보를 생산하는 데 실패할 수 있다는 점이다. 이 경우 필요한 위험정보는 수요자에게 공급되지 않는다. 플랜B가 없기 때문이다. 만약 기존의 역할분담 구조와는 별도로 기상청이 어떤 형태로든 풍수해에 대해 재해영향예보를 실시한다면 플랜B의 역할을 담당할 수 있어 필요한 위험정보가 수요자에게 전달되지 않을 가능성을 예방할 수 있다.

■ 재해기상 현상의 사회적 라이프 사이클에 대한 학습

재해영향예보는 단순히 기상현상이 가져올 위험에 대한 정보를 제공하는 것으로 정의할 수 있다. 그러나 재해영향예보를 준비하는 기상청의 입장에서는 “하나의 현상이 다른 현상과의 상호작용 하에 어떻게 발생하고 어떻게 소멸하였으며 그 과정에서 어떤 사회적 영향을 끼쳤는지 파악하는 과정”이다. 따라서 이 과정이 반복되면 기상청은 점차 모든 기상현상을 사회적 영향이라는 측면에서 통합적으로 해석하는 능력을 키울 수 있을 것이다. 이러한 능력은 기상청의 모든 서비스가 사회적 수요를 충족하는 방향으로 개선되도록 하는 원동력이 될 것이다. 또한 일반인에 대한 재해영향예보의 제공은 “특정 대기환경의 변화가 어떤 위험을 초래하는지 설명해주는 과학적 인과의 전과정”을 학습할 수 있는 기회를 제공한다. 여기서 학습된 지식은 일반인이 재해기상 상황에서 합리적 의사결정을 하는 능력을 배양하는데 도움을 준다.



IV. 결론 및 제안

이 글에서는 재해영향예보가 어떤 맥락에서 필요한 것인지, 구체적으로 어떤 것인지 살펴보았다. 그리고 기상청의 재해영향예보가 실시될 경우 어떤 기대효과가 있는지 살펴보았다. 재해기상을 정확하게 예보하는 것은 어려운 일이다. 더욱이 이와 함께 재해기상이 가져올 위험을 정확하게 예측하는 것은 더욱 어려운 일이다. 그러나 이토록 어려운 과제를 추구해야 하는 이유는 기상정보가 수요자가 요구하는, 수요자의 안전에 도움이 되는 형태로 전달되어야 하기 때문이다. 미래의 대기환경이 어떻게 변화할지를 일반인들에게 전달하는 것은 별 의미가 없다. 일반인들이 안전한 삶을 사는 데 도움을 주는 것은 그 변화가 나에게 어떤 구체적 위험을 초래하는가에 대한 정보이다.

재해영향예보는 수요자가 원하는 정보를 제공하고자 하는 측면에서 수요자 친화적이지만 그 정보를 생성하는 담당자의 입장에서는 벽찬 과업이다. 특히 수문기상학적 예측에서 불확실성은 본질적인 것이기 때문에 이런 특성을 고려하여 과학적으로 견고한 확률적 예측모델을 구축하고 여기서부터의 결과를 일반인이 이해할 수 있는 형태로 전달하는 것은 많은 노력을 필요로 한다.

이 글에서는 재해영향예보가 두 가지 방법론에 의해 수행될 수 있음을 제시하였다. 재해영향예보를 현업에 도입하기 위한 현실적인 방안은 “과거 유사 사례에 기반한 방법”을 먼저 도입하고 이를 정착시킨 후, 장기적으로 우리나라 풍수해(강풍, 풍랑, 호우, 대설, 건조, 폭풍해일, 지진해일, 한파, 태풍, 황사, 폭염)의 각 분야별로 “재해예측에 기반한 방법”을 적용해나가는 것이다. “과거 유사 사례에 기반한 방법”은 현재 기상청의 보도 자료 및 예·특보의 내용을 재해기상과 관련된 위험의 유형, 강도, 취약계층 측면에서 체계적으로 강화하는 성격을 가지기 때문에 기상청 자체의 노력으로도 얼마든지 유용한 영향예보 시스템을 구축할 수 있다. 그러나 “재해예측에 기반한 방법”이 현실화되기 위해서는 우리나라 풍수해 담당기관 간의 역할조정이나 기관 간의 긴밀한 협력이 선행되어야 하기 때문에 많은 시간이 소요될 것으로 판단된다.

참고문헌

- 경향신문, 2014: “강릉 등 강원 영동지역 대설경보 일부학교 휴업”(2014.2.7)
- _____, 2014: “강릉여행이 곧 자원봉사입니다… 폭설피해, 최명희 시장 호소문 발표”(2014.2.20)
- 기상청, 2011: 기상재해와 사회시스템의 상호작용에 관한 기획연구, 국립기상연구소 재해기상연구센터.
- _____, 2012: 기상자료와 지리정보 중첩기술개발 (I), 국립기상연구소 재해기상연구센터.
- 뉴시스, 2014: “영동 폭설 고립가옥 붕괴사고 속출…대부분 고령자”(2014.2.14)
- 머니투데이, 2014: “영동지역 4일째 폭설…교통사고 · 낙상 · 고립 등 피해속출”(2014.2.9)
- 문화방송(MBC), 2014: “강원 영동, 또 대설주의보…추가 피해 우려”(2014.2.17)
- 연합뉴스, 2014: “닻새째 ‘눈 폭탄’ 진부령 109㎝…영동지역 피해 속출”(2014.2.10)
- _____, 2014: “민 · 관 · 군 동해안 제설 ‘총력’…정상화 안간힘”(2014.2.12)
- Lindell, M. K. and R. W. Perry, 2012: The Protective Action Decision Model: Theoretical Modifications and Additional Evidence, *Risk Analysis*, 32(4), 616-632.
- Meteoalarm: <http://www.meteoalarm.eu> (accessed April 30, 2016)
- Morss, R. E. and M. H. Hayden, 2010: Storm Surge and “Certain Death”: Interviews with Texas Coastal Residents following Hurricane Ike, *Weather, Climate, and Society*, 2, 174-189.
- National Research Council: *Completing the Forecast*, The National Academies Press, 124pp.
- National Weather Service: <http://www.weather.gov/impacts> (accessed April 30, 2016)
- SPIA Index: <http://www.spia-index.com> (accessed April 30, 2016)
- Wei, H. L., M. K. Lindell, and C. S. Prater, 2014: “Certain Death” from Storm Surge: A Comparative Study of Household Responses to Warnings about Hurricanes Rita and Ike, *Weather, Climate, and Society*, 6(4), 425-433.

확률 예보를 위한 양상블예측 기술 소개 및 현황



강지순 한국과학기술정보연구원 재난예측기술연구실 jskang@kisti.re.kr

- I. 서론
- II. 주요 양상블예보 기법 소개
- III. 현업예보센터들의 양상블예보 현황
- IV. 정리 및 토론

I. 서론

양상블예측이란 여러 개의 서로 다른 초기 조건으로부터 기상 예측모델을 시간에 대해 적분하여 다음 시각에 대한 여러 개의 예측 정보를 생산하는 것을 말한다. 막대한 계산 비용에도 불구하고 여러 개의 예측 정보를 생산하는 주된 이유는 내일의 날씨나 미래의 기후를 완벽하게 예측하는 모델이란 혼존하지 않으며, 우리는 아직 오늘의 날씨 현황 또한 완벽하게 알지 못하기 때문이다. 따라서 최적화된 단일예측 모델과 초기 조건을 사용한다 하더라도 기상이라고 하는 혼돈의 시스템에 대한 예측 결과는 경우에 따라 실제와 매우 다른 값을 나타낼 수 있다는 점에 기인한다. 초기 조건 혹은 모델의 불확실성 등에 의해 발생하는 오차는 아무리 작더라도 비선형 모델의 적분이 거듭될수록 오차의 크기가 기하급수적으로 증가할 수 있다(Lorenz 박사가 말한 나비효과가 바로 이 점을 강조한다). 따라서 모델의 초기 조건에 대한 여러 개의 초기 섭동을 생성, 그로부터 양상블예측을 수행하여 양상을 평균으로 불확실한 예측 정보를 걸러내는 방식을 통해 예측 가능성을 높일 수 있다. 이 때 모델의 초기 조건은 그 시각을 대변하는 가장 정확한 추정치로서 일반적으로 초기 시각에 대한 예측 정보에 자료동화를 통해 관측 정보를 반영한 분석장이 모델의 초기 조건으로 사용되고, 초기 섭동은 분석장의 오차 정보를 고려하여 생성된다. 즉,



초기 섭동의 크기는 분석장 오차가 크면 크게, 분석장 오차가 작으면 작게 결정된다고 쉽게 이해하면 된다. 초기 섭동 생성 방법에 따라 구분되는 앙상블예보 기법은 다음 절에서 자세히 다루기로 한다. 현재 통용되는 예측 모델의 성능이 어느 정도 담보된다는 가정 하에 앙상블 멤버 모두가 잘못된 예측을 내는 일은 거의 드물기 때문에 경우에 따라 예측이 틀릴 가능성이 있는 단일예측을 걸러낼 수 있는 앙상블예측 결과가 일반적으로 더 신뢰할 만하다.

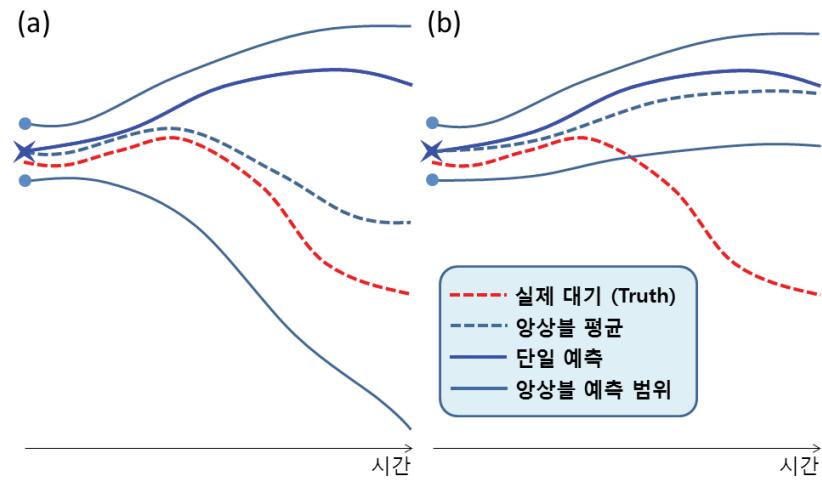
더불어, 앙상블예측은 앙상블 멤버들 간의 예측 일치/불일치 정도에 따라 예측 모델의 불확실성을 제시할 수 있다. 예를 들어, 앙상블예측이 서로 다른 초기 조건에서 출발했음에도 불구하고 각 앙상블 멤버들 간의 예측 결과가 비슷하다면, 그 시각 그 공간에 대한 예측은 신뢰성이 높다고 판단할 수 있다. 반대로 초기 섭동이 그리 크지 않은 앙상블예측 결과가 서로 매우 다른 양상을 보인다면, 그 시각 그 지역에 대한 모델의 예측성은 낮다고 판단하는 것이다. 이러한 앙상블예측의 불일치 성향은 실제로 관측 자료가 충분하지 못하거나 대기불안정성에 의해 예측 오차가 커지는 시공간에서 나타남을 여러 연구 및 현업 운영에서 보고되었다(Toth and Kalnay, 1993; 1996; 1997; Buizza, 1997; 2000). 그리고 앙상블예측에서 각각의 앙상블 멤버는 똑같은 확률가능성을 지니기 때문에 확률 예보의 정량적 기준을 제공한다. 예를 들어, 100개의 앙상블 예측 중에 70개의 앙상블예측이 비가 내릴 것이라는 결과를 산출한다면, 비올 확률을 70%라고 말할 수 있을 것이다. 그러나 앙상블 멤버 수가 제한적이라면 확률 정보 또한 크게 신뢰하기 어렵다는 것은 자명한 사실이다. 결국 기상 예측이 얼마나 정확한가에 대한 정보, 그 정보의 정확성 등을 앙상블예측시스템의 양적 질적 향상을 통해 높이는 노력이 필요하다.

II. 주요 앙상블예보 기법 소개

앙상블예보 기법에 대한 소개를 하기 전에 우선 좋은 앙상블과 나쁜 앙상블의 가장 간단한 예를 생각해보자(그림 1). 좋은 앙상블은 앙상블 평균이 단일예측 평균보다 실제 대기에 가깝고, 앙상블예측의 범위가 실제 대기를 포함해야한다(그림 1a). 물론 우리는 실제 대기를 정확히 파악할 수 없기 때문에 이러한 앙상블예측시스템의 검증은 또다른 중요한 주제로 다루어진다. 한편, 나쁜 앙상블은 실제 대기와 전혀 다른 앙상블예측들만의 기상/기후 패턴을 대변하는데 이는 예측 모델 자체의 오차가 지배적일 때 발생한다(그림 1b). 즉, 실제 대기가 어떻든 앙상블예측에

[그림 1] (a) 좋은 양상블과 (b) 나쁜 양상블의 예. 여기서 파란색 실선은 분석장에서 시작한 단일예측을 의미하고, 회색 실선은 초기 분석장에 섭동을 더하고 빼서 서로 다른 초기 조건에서 출발한 여러 개의 양상블예측 범위를 나타낸다. 빨간색 점선은 실제 대기(참값)로 우리는 정확한 값을 알지 못한다(그림 참조: Kalnay (2003)의 그림 6.5.1).

좋은 양상블 vs. 나쁜 양상블



초기 섭동을 구할 때 초기 조건 즉, 분석장의 오차 공분산 정보만을 반영하여 확률적 무작위 오차를 사용하던 Monte Carlo 섭동은 양상블예측 기술의 고전으로서 오차의 크기만을 만족 할 뿐 다른 현상에 내재된 진화하는 역학적 흐름을 고려하지 못한다. 따라서 Monte Carlo 섭동으로 출발한 양상블예측은 실질적인 예보 오차의 성장을 제대로 구현하지 못하고 대체로 오차를 과소평가하는 경향을 보였다. 따라서 이 절에서는 초기 섭동을 구할 때 양상블예측에 사용되는 모델을 이용하여 기상 현상의 흐름에 맞게 예측 오차의 성장률을 정확히 추정할 수 있도록 하는 기법을 소개한다.

1. 자람 벡터(Bred vector)

좋은 양상블을 위해서는 구조적으로 발달하는 기상학적 흐름의 역학에 대해 인지하고 있는 섭동들을 만들어야 한다. 미국 국립환경예측센터(NCEP)의 Toth와 Kalnay (1993; 1996; 1997)

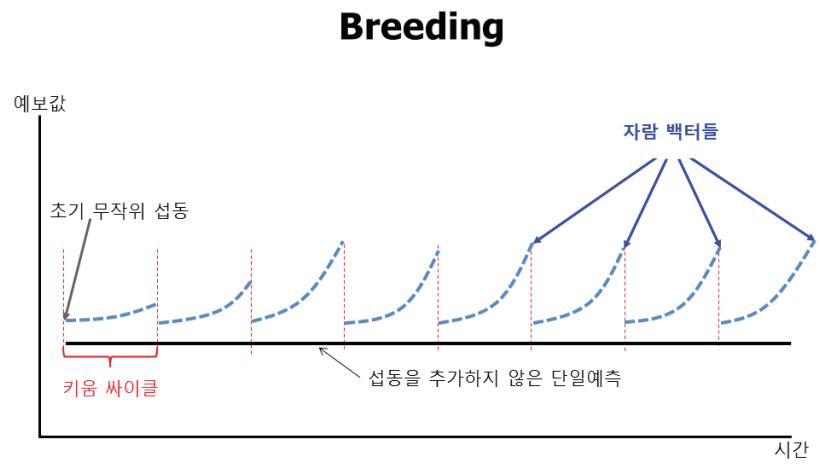
사용된 모델의 한계 때문에 같은 모델에서 생성되는 양상블 멤버들 간의 예측은 서로 일관되게 나타나는 것이다. 나쁜 양상블예측은 예측 정보로서는 쓸모가 없지만 모델 자체의 오차를 추정하는 데에 유의미한 정보를 제공한다고 알려져 있다.

예측 성능을 증진하고, 보다 정확한 확률 예보를 위한 좋은 양상블예측을 구현하기 위해서는 이 절에서 주로 논의하게 될 초기 섭동 생성 방법에 많은 과학적 노력이 뒷받침되어야 한다.



는 빠르게 자라나는 실시간 오차들을 앙상블예측들이 성공적으로 따라잡을 수 있도록 특별한 협업 사이클을 만들어낸다(그림 2). 시공간적으로 발달하는 대기의 흐름을 대변하는 단일예측을 하나 만들기 위해 가장 첫 섭동은 주어진 크기의 무작위 섭동을 유한개(앙상블 멤버 수만큼) 사용한다. 무작위 섭동은 가장 첫 사이클에만 단 한번 사용된다. 이 초기 섭동을 첨가한 초기 조건으로부터 단일예측에 쓰였던 동일 모델을 시간에 대해 키움 사이클 주기만큼 적분한다(섭동예측). 그리고 해당 예측 시작에 대한 단일예측 값을 섭동 예측 값에서 빼주어 다음 사이클 적분을 위한 초기 섭동을 갱신한다. 섭동의 크기는 무작위 초기 섭동과 같은 크기로 조정한다. 크기는 같지만, 사이클을 거듭할수록 무작위 섭동과는 다른 역학적 방향성을 가지는 섭동들이 계산된다. 이렇게 반복적으로 키움 사이클을 수행하여 초기 변환 기간인 3~4일이 지나면 적절한 사람 벡터를 얻게 되며, 이를 단일예측의 초기 조건으로 쓰이는 분석장에 더하고 빼주는 방식으로 앙상블예측에 활용 할 경우 Monte Carlo 예측보다 훨씬 더 빠르고 적절한 형태로 예측 오차를 대변하는 앙상블예측이 가능하게 된다. 키움 기법에 있어서 키움 사이클의 주기나 섭동의 크기 설정은 결과에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 알려져 있다.

[그림 2] 키움 사이클(breeding cycle)을 통한 사람 벡터(bred vector) 기법 소개 모식도(그림 참조: Kalnay (2003)의 그림 6.5.3a)

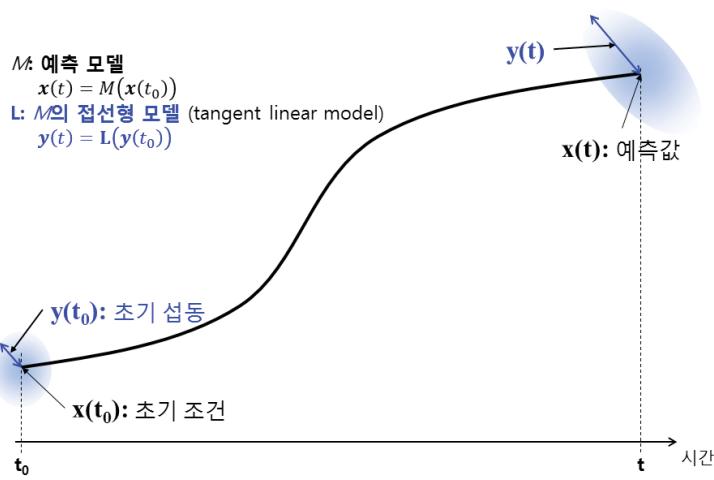


2. 특이 벡터(Singular vectors)

ECMWF에서는 앙상블예측시스템에서 초기 섭동을 48시간 접선형 모델의 특이 벡터들의 일차결합(linear combination)으로 구성한다(Buizza, 1997; 2000). 즉, 비선형 예측 모델(M)의 접선형 모델(L)과 수반 모델(LT)을 48시간 예측에 대해 구현하고, 특이 벡터 개수의 약 3배수만큼 접선형 모델과 수반 모델을 전방-후방 적분하여 만족할만한 특이 벡터를 계산해낸다. 그림

[그림 3] 비선형 예측 모델 M 이 초기 시각 t_0 에 대한 시각 t 의 예측 값을 계산한다면, 접선형 모델 L 은 섭동의 시간적 진화를 계산하며, 이는 M 의 비선형 해(nonlinear solution)에 의존하되 초기 섭동 값에는 무관한 모델이다. ECMWF의 초기 섭동 생성 특이 벡터법에 의하면 $t-t_0$ 는 48시간이다.

Singular vectors



3은 예측 모델의 접선형 모델을 설명하며, 수반 모델은 접선형 모델을 행렬 L 이라고 할 때 그 전치 행렬이라고 할 수 있다. 접선형 모델과 수반 모델의 전-후방 적분을 통해 가장 빨리 자라나는 섭동으로서의 특이 벡터를 계산하여 초기 섭동으로 사용하는 특이 벡터법의 경우, 예측 모델에 대한 접선형 모델과 수반 모델 구현이 필수적이다. 따라서 4차원 변분법을 자료동화 기법으로 사용하는 기관이라면 그 두 가지 모델의 사용이 가능할

것이므로 어렵지 않게 시도해볼 수 있다. 그러나 최근들어 다수의 협업 기관들이 병렬화장성을 고려하여 비정규 격자의 새로운 역학체계를 가진 차세대 기상/기후 예측 모델을 개발 중에 있어 수반 모델 구현이 현실적으로 매우 어려워지고 있는 실정으로 수반 모델을 필수적으로 요구하는 특이 벡터법은 고전적인 스펙트럼 모델과 4차원 변분법 자료동화를 고집하고 있는 유럽중기 예보센터(ECMWF) 외의 협업 기관에서는 거의 사용하지 않는다.

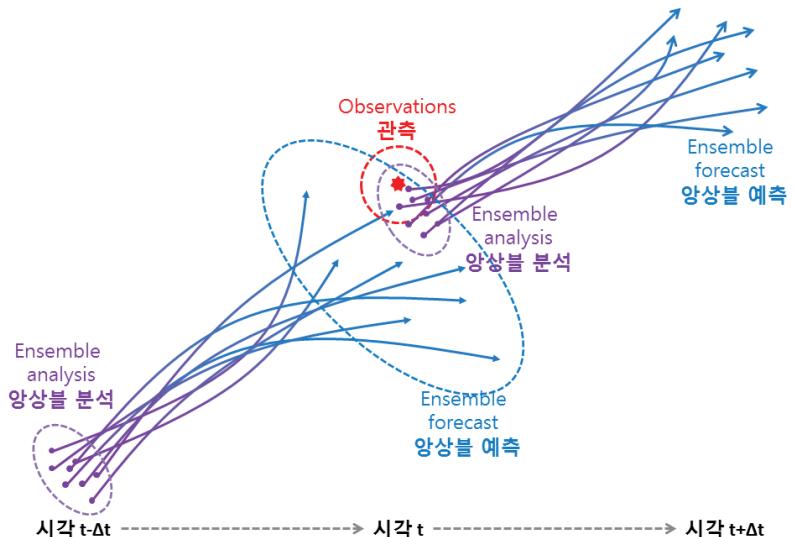
3. 양상블 자료동화

양상블 자료동화시스템에서 생성되는 양상블 분석장 또한 양상블 예측의 초기 조건으로 활용될 수 있다(Houtekamer et al., 1996; Hamil et al., 2000; Bishop et al., 2001). 양상블 자료동화는 양상블 예측을 통해 분석을 위한 모델의 오차를 실시간 추정하고, 추정된 오차와 관측 자료의 오차를 비교하여 두 정보 간의 적절한 가중치를 결정하여 양상블 분석장을 도출한다 (그림 4). 이 때 양상블 분석장의 섭동은 실시간 대기의 흐름을 반영한 모델의 오차와 관측 정보



의 양에 따라 결정된다. 즉, 대기가 불안정하여 모델의 불확실성이 큰 경우나 관측 정보가 성긴 지역일 경우에 분석장 오차가 크게 결정될 것이기 때문에 그에 따른 섭동을 자동적으로 갖게 되는 것이다. 그리고 각각의 양상블 멤버들에 대해 서로 다른 물리모수화 방안의 모수를 설정함으로써 모델 자체의 오차 또한 반영할 수 있어 더욱 현실적인 양상블 예측과 섭동을 얻을 수 있다 (Houtekamer et al., 1996).

[그림 4] 양상블 자료동화 모식도: 시각 t 에 대한 관측 정보와 양상블예측 정보를 통하여 양상블 분석장을 생성한다. 이 때 생성된 양상블 분석장을 다음 시각의 초기 조건으로 활용한다. 이 그림에서는 자료동화를 위한 Δt 시간 동안의 단기간 양상블예측만을 포함하나 양상블 분석장을 초기 조건으로 하는 중장기 양상블예측을 수행하면 된다.

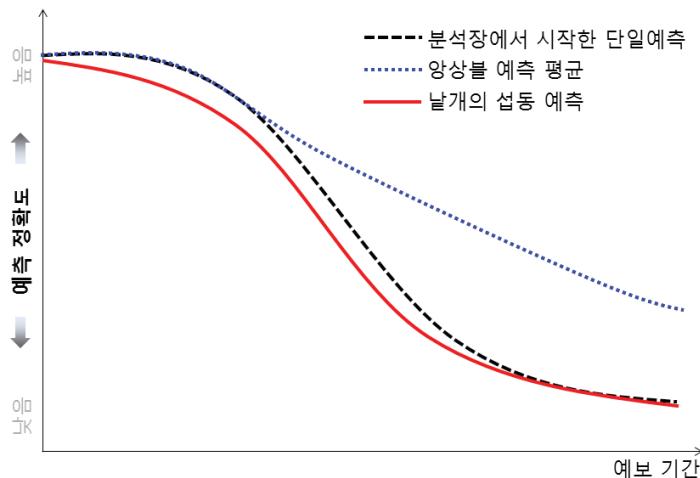


4. 다중시스템 양상블

단 하나의 예측 모델을 활용한 양상블 초기 섭동 생성법은 모델 자체의 오차로부터 자유로울 수 없다. 완벽한 예측 모델이란 존재하지 않고, 예측 모델의 오차 또한 완벽하게 추정할 수 없는 현실적 한계가 있다. 실제로 앞서 소개된 방안들은 모두 단일예측 모델을 활용하였고, 첫 두 가지 방안(자람 벡터와 특이 벡터법)은 분석장 즉, 가장 최적의 추정치에 섭동을 더하는 방식으로 양상블예측을 수행하였다. 따라서 양상블 평균은 분석장에서 출발한 단일 예보보다 더 나을지 몰라도 각각의 양상블 멤버들이 최적의 초기 조건인 분석장에서 섭동만큼의 오차가 더해진 초기 조건에서 출발한 셈이기 때문에 대체로 단일 예보에 비해 예측성이 다소 떨어짐이 목격되었다. 즉, 그림 5와 같이 섭동에 의해 분석장(최적의 초기 조건)으로부터 조금 거리가 있는 초기 조건에서 출발한 양상블 멤버의 예측 성능은 분석장에서 출발한 단일예측에 비해 성능이 다소 떨어질 수 있는 것이다.

그리고 세 번째 방안에서 잠시 언급된 물리모수화 방안에 서로 다른 모수 설정으로 섭동을

[그림 5] 양상블예측과 단일예측, 그리고 양상블 멤버 중 임의의 한 멤버 예측에 대한 시간에 따른 예측 정확도의 일반적인 경향성



더하는 방식 또한 분석장으로부터의 단일예측보다 예측 정확도가 다시 떨어지는 결과를 초래한다고 보고되고 있는데, 이는 물리모수화 방안 역시 최적의 상태로 세팅된 상태에서 변화를 강제한 경우에 초래될 수 있는 예보 오차라고 이해할 수 있다(Buizza et al., 1999; Houtekamer et al., 1996). 물론 양상블예측에 있어서 양상블 멤버 각각의 예측

성능이 주된 목적은 아니다. 그러나 양상블 멤버들이 더 좋은 예측 성능을 가지게 된다면 양상블 평균 또한 더 좋아지리라는 것은 당연한 이치다. 따라서 더 좋은 양상블예측을 위해 고안된 방안이 다중시스템 양상블 기법이다. 이는 각각의 협업 센터들에서 운영되는 예측 정보들을 각각의 양상블 멤버로 하여 양상블 평균을 구하는 것이다. 이를 super-ensemble 혹은 grand-ensemble이라고도 하며, 서로 다른 예측 모델이 최적의 세팅으로 도출한 예측 정보인 동시에 각각의 모델 특성이 조합되는 과정에서 모델 자체의 오차들이 상쇄되는 효과를 불러일으켜 매우 정확한 예측 정보를 생산할 수 있다.

III. 현업예보센터들의 양상블예보 현황

앞서 간략히 소개한 바와 같이 ECMWF는 특이 벡터법을 통해 50개의 섭동을 생성하여 단일 예측과 함께 51개 멤버로 양상블예측을 수행하고 있으며, 최근에는 양상블 자료동화시스템으로부터 산출된 섭동도 함께 이용한다고 알려져 있다(Buizza et al., 2008). 15일 예측을 위한 수평 해상도는 2016년도에 18km와 36km로 조밀해졌고, 연직층 또한 91개를 사용하여 하루 2번 12시간 간격으로 수행한다. 46일 예측을 위한 양상블시스템은 36km 해상도로 연직 62층의 모델



을 사용한다. 그리고 암상블 계절 예측을 위해서는 해양 모델과 결합된 버전으로 41개의 80km 수평해상도/91개 연직층을 갖는 모델로 7개월 예보를 한 달에 한 번꼴로 수행한다. 영국기상청의 경우, 단기 암상블예측을 위해서는 암상블 칼만 필터 기반의 섭동 생성 알고리즘을 사용하고, 중-장기 암상블예측은 ECMWF의 암상블예측 정보를 활용한다. 영국 암상블예측시스템은 전구 모델에 대하여 12개의 암상블로 7일 예측을 매 6시간마다 계산하는 33km 고해상도 버전과 23개 멤버로 15일 예측을 하루 2번씩 수행하는 60km 저해상도 버전을 운용하고 있으며, 지역 모델의 경우 2.2km의 고해상도로 12개의 암상블을 하루 4번 36시간 적분한다.

미국의 경우, 21개의 암상블 멤버로 매 6시간마다 16일 암상블예측을 시행하고 있다고 알려져 있고, 2015년 12월 자료에 근거하면 수평해상도를 192시간 예측까지는 기존 55km에서 33km로, 192시간부터 384시간 예측까지는 기존 70km에서 55km로 각각 해상도를 높이고, 연직해상도 또한 42층에서 64층으로 높였다고 보고된다. 기본적으로는 자람 벡터법을 사용하며 여기에 암상블 칼만 필터 기법을 섭동 생성에 반영한다. 자람 벡터 기법은 쉽고 계산 비용을 크게 요구하지 않기 때문에 미국기상청 외에 일본과 중국기상청의 암상블예측에서도 사용되고 있다. 일본기상청은 51개의 암상블 멤버로 전구 55km 수평해상도의 34일 예측, 110km 수평해상도의 7개월 예측 등 장기 예측을 실시하고 있으며, 1주일 예측 암상블시스템에서는 40km 수평해상도, 연직 100층의 모델을 25개 멤버로 운용하고 있다. 중국기상청은 수평해상도 약 30km의 모델을 이용하여 15개의 암상블로 15일 예측에 대한 정보를 생산하고 있으며, 태풍 예측에 있어서는 다중시스템 암상블예측을 활용함으로써 타 센터에 비해 작은 암상블 크기로 인한 결점을 보완하는 것으로 보인다. 마지막으로, 캐나다기상청은 일찍부터 암상블 자료동화시스템을 통한 초기 섭동 계산으로 암상블예측을 수행해왔다. 게다가 북아메리카 지역에 대한 다중시스템 암상블예측이 운영되고 있는데 캐나다, 미국, 멕시코의 암상블예측을 결합하여 14일 예측을 수행하고 있어 보다 양질의 예측 결과를 생산해내고 있다.

여러 현업예보센터에서는 이러한 암상블예측시스템을 통해 정량적 강수 예보(Quantitative Precipitation Forecast, QPF), 기상이변 및 극심한 대류 현상에 기인한 호우와 돌풍 예보, 태풍 진로 예측 등에 큰 효과를 거두고 있음을 보여주고 있다. 게다가, 앞서 소개된 기법들 외에도 여러 현업예보센터에서는 예측 과정에서 발생할 수 있는 모델 자체 오차를 적극 반영하여 암상블 섭동을 생성하기 위한 기법들을 추가 적용하고 있는데, 주로 통계적 기법을 통해 물리모수화 방

안에 섭동을 추가해주는 방식이다(Hou et al., 2006; Berner et al., 2009; Parlmer et al., 2009; Sanches et al., 2012; Sanchez et al., 2016). 이는 보다 적극적으로 앙상블예측시스템이 나쁜 앙상블(그림 1b)로 구성되지 않도록 하기 위한 과학적 기술이다.

IV. 정리 및 토론

지금까지 우리는 가장 효과적으로 앙상블예측 정보를 생산해내기 위한 초기 섭동 생성법에 대해서 몇 가지 기본적인 방안들을 소개하고, 각 협업센터들이 어떤 기법을 사용하고 있는지와 어떤 앙상블시스템을 운영하고 있는지를 보았다. 컴퓨터 자원의 확대로 인해 앙상블예측을 위한 멤버 수와 해상도가 빠른 속도로 증가하고 있고, 기상 예측 모델의 성능 또한 나날이 개선되고 있기 때문에 앙상블예측의 효용성 또한 크게 부각되고 있는 실정이다. 단순한 통계적 성질을 감안하더라도 앙상블예측에 있어서 앙상블 멤버의 수가 늘어나면 그 정확성이 높아지겠지만 그 만큼의 컴퓨팅 자원을 필요로하게 되는데, 현재 고성능컴퓨팅 시스템의 성능 개선 추세와 더불어 가속기 병렬환경까지 가세한 상황에서 고해상도 예측 모델의 충분한 앙상블 멤버를 포함하는 앙상블예측시스템은 더 이상 선택적 사항이 아니라고 판단된다.

서론에도 언급했듯이, 앙상블예측은 단일예측에 비해 더 정확한 예측을 생산할 수 있다는 점 뿐만 아니라 그림 1에서 “앙상블예측 범위”로 표현된 앙상블 멤버들 각각의 분포가 엄청난 정보들을 내포하고 있다. 따라서 단일예측을 보완하는 앙상블예측 평균만큼, 정밀하게 계산된 초기 섭동에서 출발한 앙상블예측 멤버들 간의 분포 또한 활용 가치가 무궁무진하다. 흔히, 앙상블 평균으로부터 각각의 앙상블 멤버가 펴진 정도를 표준편차로 계산하여 그 값을 모델의 불확실성으로 사용한다. 즉, 표준편차(앙상블 스프레드(ensemble spread)라고도 흔히 불림)가 매우 크면 모델 결과를 상대적으로 신뢰할 수 없기 때문에 관측 자료나 다른 독립 정보들로 예보를 보완해야 할 것이고, 그 반대의 경우 모델 예측 결과를 더 신뢰할 수 있게 되는 것이다. 일반적으로 관측 자료가 조밀하거나 대기 불안정도가 낮은 경우는 예측 정확도가 높고 앙상블 스프레드가 낮게 나타나지만, 관측 자료가 성기거나 대기 불안정도가 높아서 예측하기 어려운 시공간에 대해서는 앙상블 스프레드가 높게 나타나는 것이 타당하다. 다만, 앙상블이 모델 자체 오차에 의해 왜곡되지 않았을 경우에 한해서 우리는 앙상블예측의 스프레드 정보를 존중할 수 있다. 따라



서 무조건적인 다수의 암상블이 암상블예측의 정확성을 담보하는 것이 아니라, 앞서 설명했던 여러 가지 섭동 생성 및 오차 제거 방안들을 통해 암상블 멤버들을 건강하게 유지시켜주는 것이 암상블예측의 핵심 요소라고 할 수 있겠다.

암상블 크기가 충분히 크고 암상블 멤버들이 타당성 있는 확률 분포를 대표한다면, 암상블예측시스템은 어떤 기상 현상에 대한 확률 예보를 정의하는 데에도 요긴하게 쓰일 수 있다. 암상블을 이루는 각각의 멤버들이 모두 같은 확률을 가진 예측이라고 가정할 수 있으므로, 특정 온도를 넘을 확률, 특정 mm를 넘을 강수 확률 등 미리 정한 기준에 부합하는 암상블 멤버 수를 단순히 합산하여 총 암상블 크기로 나눠줌으로써 단순한 확률 예보가 가능하다.

또한, 암상블예측시스템은 모델 예측의 불확실성에 대한 시공간 정보를 미리 제공할 수 있기 때문에, “목표 관측(target observation 혹은 adaptive observation)” 설계에 활용 가능하다. 목표 관측이란, 암상블예측을 통해 사전에 어떤 시공간에서 예측 정보가 불확실할 것이라는 정보를 안다면 그 지역이나 그 상류 지역에 집중 관측을 수행하도록 하는 것이다. 즉, 주기적 혹은 상시적으로 관측되는 장비들 외에 추가적으로 특정 이벤트에 한하여 사용 가능한 관측 장비들이 존재할 때, 언제 어디에서 관측 정보를 추출하는 것이 예측 성능 개선에 가장 효과적인 것인가를 판단하는데 암상블예측으로부터의 스프레드가 매우 중요한 정보를 제공해줄 수 있다. 1997년 1~2월 사이클론(cyclone)의 라이프 사이클을 규명하기 위해 북대서양에서 시행된 FASTEX (The Fronts and Atlantic Storm-Track Experiments (Joly et al., 1997)) 프로그램과 1998년 1~2월 북태평양 기상 예측 성능 개선을 위해 실시한 NORPEX (The North Pacific Experiment (Langland et al., 1999)) 등이 그 예이다. Liu and Kalnay (2007)는 암상블 스프레드로부터 추출된 모델의 예측불확실성 정보를 통해 도플러 바람 레이더 자료의 선별적 자료 동화 방안을 제안하기도 하였다.

지금까지 보았듯이, 암상블예측은 단일예측의 단점을 보완하여 예측성능을 향상시킬 뿐만 아니라 예측 불확실성에 대한 다양한 정보를 미리 제공하기 때문에 그 활용 가치가 매우 높다. 고성능컴퓨팅의 기반 위에서 질적 발전이 거듭되는 기상 예측 모델 및 여러 과학적 기법들을 통한 좋은 암상블 멤버의 생성과 유지, 그리고 시기적절한 활용은 미래 기상 예측 기술의 발전에 핵심 요소로 다루어질 필요가 충분하다 하겠다.

참고문헌

- Berner, J., G. J. Shutts, M. Leutbecher, and T. N. Palmer, 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.
- Bishop, C. H., B. J. Etherton, and S. J. Majumdar, 2001: Adaptive Sampling with the Ensemble Transform Kalman Filter. Part I: Theoretical Aspects, *Mon. Wea. Rev.*, 129, 420-436.
- Buizza, R., 1997: Potential forecast skill of ensemble prediction, and spread and skill distributions of the ECMWF Ensemble Prediction System, *Mon. Wea. Rev.*, 125, 99-119.
- _____, 2000: Skill and economic value of the ECMWF Ensemble Prediction System, *Q. J. R. Meteor. Soc.*, 126, 649-668.
- _____, M. Leutbecher, and L. Isaksen, 2008: Potential use of an ensemble of analyses in the ECMWF Ensemble Prediction System, *Q. J. R. Meteor. Soc.*, 134, 2051-2066.
- _____, M. Miller, and T. N. Palmer, 1999: Stochastic representation of model uncertainties in the ECMWF Ensemble Prediction System, *Q. J. R. Meteor. Soc.*, 125, 2887-2908.
- Hamil, T. M., S. L. Mullen, C. Snyder, Z. Toth, and D. P. Baumhefner, 2000: Ensemble forecasting in the short to medium range: Report from a workshop, *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 81, 2653-2664.
- Hou, D., T. Zoltan, and Y. Zhu, 2006: A Stochastic Parameterization Scheme within NCEP Global Ensemble Forecast System, *18th AMS conference on Probability and Statistics*, Atlanta, GA.
- Houtekamer, P. L., L. Lefavre, J. Derome, H. Ritchie, and H. L. Mitchell, 1996: A system simulation approach to ensemble prediction, *Mon. Wea. Rev.*, 124, 1225-1242.
- Joly, A. et al., 1997: Definition of the Frants and Atlantic Storm-Track Experiment (FASTEX), *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 78, 1917-1940.
- Kalnay, E., 2003: *Atmospheric modeling, data assimilation, and predictability*, Cambridge University Press, 341pp.
- Langland, R. H. et al., 1999: The North Pacific Experiment (NORPEX-98): Targeted observations for improved North American weather forecasts, *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 80, 1363-1384.
- Liu, J. and E. Kalnay, 2007: Simple Doppler Wind Lidar adaptive observation experiments with 3D-Var and an ensemble Kalman filter in a global primitive equations model, *Geophys. Res. Lett.*, 34, L19808.
- Palmer, T. N., R. Buizza, F. Doblas-Reyes, T. Jung, M. Leutbecher, G. J. Shutts, M. Steinheimer, and A. Weisheimer, 2009: *Stochastic parametrization and model uncertainty*, ECMWF Research Department Technical Memorandum, 598, 42pp.
- Sanchez, C., K. D. Williams, and M. Collins, 2016: Improved stochastic physics schemes for global weather and climate models, *Q. J. R. Meteor. Soc.*, 142, 147-159.
- Toth, Z. and E. Kalnay, 1993: Ensemble forecasting at NMC, *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 74, 2317-2330.
- _____, and _____, 1996: *Ensemble forecasting at NCEP, Seminar Proceedings of a Workshop on Predictability*, Volume 2, ECMWF, Shinfield Park, Reading UK, 39-60.
- _____, and _____, 1997: Ensemble Forecasting at NCEP: the breeding method, *Mon. Wea. Rev.*, 125, 3297-3318.

기상기술정책지 발간 목록

창간호, 제1권 제1호(통권 창간호), 2008년 3월

| | | | |
|--------|---|---|---|
| 칼 럼 | · 기후변화 대응을 위한 기상청의 역할 · 기후변화감시 발전 방향 · 미국의 기상위성 개발현황과 향후전망 · 기상산업의 위상과 성장가능성 · 최적 일사 관측망 구축방안 · 국가기상기술로드맵 수립의 배경과 의의 | 권원태 김진석 안명환 김준모 이규태 김백조, 김경립 | 3-11 12-18 19-38 39-45 46-57 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 · 일본의 우주기상 기술 | 김상우 김지영, 신승숙 | 69-79 80-84 |

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

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

항공기 관측과 활용, 제1권 제3호(통권 제3호), 2008년 9월

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

기상기술정책지 발간 목록

| 전지구관측시스템 구축과 활용, 제1권 제4호(통권 제4호), 2008년 12월 | | | | |
|---|--|--|---|--|
| 칼 럼 | · 전지구관측시스템(GEOSS) 구축과 이행의 중요성 · GEO/GEOSS 현황과 추진 계획 · GEOSS 구축을 위한 전략적 접근 방안 · GEO 집행위원회에서의 리더십 강화 방안 · 국내의 분야별 GEOSS 구축과 발전 방안 - 재해 분야 - 보건 분야 - 에너지자원 분야 - 기상 및 기후 분야 - 수문 및 수자원 분야 - 생태계와 생물다양성 분야 - 농업 분야 - 해양 분야 - 우주 분야 | 정순갑 엄원근 김병수 허 은 신동철 박덕근 이희일 황재홍, 이사로 이병렬 조효섭 장임석 이정택 김태동 김용승, 박종욱 | 1-4 6-21 22-31 32-39 40-41 42-44 45-47 48-50 51-53 54-56 57-58 59-62 63-67 68-71 | |
| 정책초점 | | | | |
| 논 단 | · Taking GEOSS to the nest level | José Achache | 72-75 | |
| 해외기술동향 | · GEOSS 공동 인프라(GCI) 구축 동향 · 최근 주요 선진국의 GEO 구축 현황 | 강용성 이경미 | 76-83 84-95 | |
| 뉴스 포커스 | · 한국, GEO 집행 이사국 진출 | 이용섭 | 96-97 | |

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

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

기후변화와 수문기상, 제2권 제2호(통권 제6호), 2009년 6월

| 기후변화와 수문기상, 제2권 제2호(통권 제6호), 2009년 6월 | | | | |
|---------------------------------------|--|--|--|--|
| 칼 럼 | · 기후변화에 따른 수문기상 정책 방향 | 전병성 | 1-2 | |
| 정책초점 | · 기후변화와 물환경정책 · 기후변화에 따른 물 관리 정책 방향 · 기후변화에 따른 하천 설계빈도의 적정성 고찰 · 수문기상정보를 활용한 확률강우량 산정 방안 · 수문기상학적 기후변화 추세 · 기상정보 활용을 통한 미래의 물관리 정책 · 이상기온에 대응한 댐 운영 방안 | 김영훈 노재화 김문모, 정창삼, 여운광, 심재현 문영일, 오태석 강부식 배덕효 차기욱 | 4-15 16-27 28-37 38-50 51-64 65-77 78-89 | |
| 논 단 | · 기후변화의 불확실성 해소를 위한 대응방안 | 양용석 | 90-110 | |
| 해외기술동향 | · 미국의 기상-수자원 연계기술 동향 · NOAA의 수문기상 서비스 및 연구개발 현황 · 제5차 세계 물포럼(World Water Forum) 참관기 | 정창삼 김지영 · 박소연 김용상 | 111-121 122-131 132-140 | |

기상기술정책지 발간 목록

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

| | | | |
|--------|---|---|--|
| 칼 럼 | · 기상정보의 경제적 가치 제고를 위한 정책 방향 · 기후변화에 따른 에너지정책 · 기후변화 대응이 경제에 미치는 영향 · 기후변화가 농업경제에 미치는 영향 · 기상 재난에 따른 경제적 비용 손실 추정 · 기상산업 활성화와 과제 · 날씨 경영과 기상산업 활성화를 위한 정책 제언 | 전병성 박현종 박종현 김창길 김정인 이만기 김동식 | 1-2 4-18 19-29 30-42 43-52 53-59 60-69 |
| 정책초점 | | | |
| 논 단 | · 기후변화와 새로운 시장 | 이명균 | 70-78 |
| 해외기술동향 | · 기상정보의 사회 · 경제적 가치와 편익 추정 · 강수의 경제적 가치 평가 방법론 | 김지영 유승훈 | 79-85 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 · [건강] 지구온난화가 건강에 미치는 영향 · [해양] 기후변화에 있어서 해양의 중요성과 정책방향 · [산림] 기후변화에 따른 산림의 영향과 정책방안 · [관광] 기후변화 시대의 관광 활성화 정책방향 · [도시기후] 대구의 도시 기후 및 열 환경 특성 · [에너지] 태양에너지 소개와 보급의 필요성 · [디자인] 생활디자인과 기후 · 기상과의 연계방안 | 전병성 고상백 이재학 차두송 김의근 조명희, 조윤원, 김성재 김정배 김명주 | 1-2 4-19 20-29 30-41 42-50 51-60 61-72 73-88 |
| 정책초점 | | | |
| 논 단 | · 국민과의 '소통' - 어떻게 할 것인가? | 김연종 | 89-97 |
| 뉴스 포커스 | · 날씨공감포럼 발전을 위한 정책 워크숍 개최 후기 | 김정윤 | 98-101 |

기후변화와 산업, 제3권 제1호(통권 제9호), 2010년 3월

| | | | |
|--------|--|---|--|
| 칼 럼 | · 기후변화에 따른 기상산업의 성장가능성과 육성정책 · 기상이번의 경제학 · 기후변화 영향의 경제적 평가에 관한 소고 · 기후변화 정책에 따른 산업계 영향 및 제언 · 기후변화예측 관련 기술 동향 및 정책 방향 · 기후변화와 건설 산업 · 코펜하겐 어코드와 탄소시장 · 기후변화, 환경산업 그리고 환경경영 · 이산화탄소(CO ₂) 저감기술 개발동향: DME 제조기술 | 박광준 이지훈 한기주 이종인 이상현, 정상기, 이상훈 강운산 노종환 이서원 조원준 | 1-2 4-11 12-21 22-32 33-45 46-56 57-66 67-77 78-84 |
| 정책초점 | | | |
| 논 단 | · 기후변화와 정보통신 산업의 상관관계: 그린 IT를 중심으로 · 기후변화 대응을 위한 산업계 및 소비자의 책임 | 양용석 김창섭 | 85-99 100-109 |
| 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 | 내용 | 책임 저자 | 페이지 |
| 정책초점 | · 국가기후자료 관리의 중요성 | 켄 크로포드 | 1-2 |
| | · 기후변화통합영향평가에 대한 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 | 내용 | 책임 저자 | 페이지 |
| 정책초점 | · 장기예보 투자 확대해야 | 박정규 | 1-2 |
| | · 전력계통 운영 분야의 기상정보 활용 | 정응수 | 4-15 |
| | · 기상 장기예보에 대한 소고 | 박창선 | 16-23 |
| | · 패션미천다이징과 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 |
| | · 영국기상청(Met Office) 해들리센터(Hadley Centre)의 기후 및 기후 영향에 관한 서비스 현황 | 조경숙 | 90-101 |
| 해외기술동향 | · WMO 장기예보 다중모델 양상별 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 | 내용 | 책임 저자 | 페이지 |
| 정책초점 | · 시대의 요구에 부응하는 기상 · 기후서비스 | 권원태 | 1-3 |
| | · 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 문학 I(문명의 시작과 유럽문명을 중심으로) | 오성남 | 75-87 |
| | · 비타민 D의 새로운 조명 | 김상완 | 88-96 |
| | · G20서울정상회담과 경호기상정보 생산을 위한 기상청의 역할 | 이선제 | 97-105 |
| 논 단 | · 기상정보의 축적과 유통 활성화를 통한 국부 창출 | 김영신 | 106-115 |
| | · 날씨의 심리학 | 최창호 | 116-122 |
| 해외기술동향 | 기상정보의 사회 · 경제적 평가에 관한 해외동향 | 김정윤, 김인겸 | 123-130 |

기상기술정책지 발간 목록

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

| | | | |
|-------|--|------------------|-------|
| 발 간 사 | ·G20 국가에 걸맞는 기상산업 발전 방향 | 조석준 | 1-3 |
| 칼 럼 | ·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

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

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

| | | | |
|--------|---------------------------------|------------------|-------|
| 칼 럼 | ·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 |
| 논 단 | ·라이다 관측기술 활용 방안 | 김덕현 | 28-41 |
| | ·위성기술을 이용한 수문분야의 융합 정책 | 배덕효, 이병주 | 42-53 |
| 해외기술동향 | ·위성자료의 해양 환경감시 활용 | 황재동 | 54-65 |
| | ·우리나라의 융합기술발전 정책 방향 | 이상현 | 66-72 |
| 포 커 스 | ·일본의 원격탐사 활용 및 융합정책 | 윤보열, 장희욱, 임효숙 | 73-85 |
| | ·레이더 융합행정 포럼 : 레이더운영과 | 송원화 | 86-93 |

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

| | | | |
|--------|---|-------|-------|
| 칼 럼 | ·해양기상서비스의 의미 및 가치 확산 | 박관영 | 3-7 |
| 정책초점 | ·해양기상 융합서비스의 필요성 | 김민수 | 10-20 |
| | ·수자원 변동에 따른 해양기상서비스의 강화 | 김희용 | 21-29 |
| 논 단 | ·해양기상정보 관리의 선진화 방안 | 정일영 | 30-39 |
| | ·해양기상 · 기후변화 대응을 위한 정책제언 | 양홍근 | 40-47 |
| 해외기술동향 | ·해양기상서비스 현황과 정책 방향 | 김유근 | 48-57 |
| | ·선진 해양기상기술 동향 | 우승범 | 58-67 |
| 포 커 스 | ·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 | | | | |
|---|---|------------------|--------|--|
| 정책초점 | ·국민이 원하는 기상기후서비스 | 이일수 | 3-4 | |
| | ·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 | |
| 논 단 | ·자연재해 대응 서비스 기술 및 정책변화 | 허종완, 손홍민 | 48-59 | |
| | ·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 | | | | |
| 정책초점 | ·정부3.0에 따른 기상기후 빅데이터 활용 | 고윤화 | 3-4 | |
| | ·[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 | | | | |
| 정책초점 | ·기상기후 빅데이터를 활용한 날씨경영 | 고윤화 | 3-4 | |
| | ·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 | | | | |
| 정책초점 | ·위성을 활용한 전 지구적 관측 방안 | 고윤화 | 3-4 | |
| | ·기상위성 운영기술의 선진화 방안 | 김방엽 | 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 · 수자원 확보에 있어서 장마의 역할 | 고운화 | 3-5 |
| 정책초점 | · 장마가 농업생산에 미치는 영향 · 장마의 변동성과 예측성 향상 · 장마기간 유통산업 영향 및 전략 · 장마철 유의해야 할 건강 상식 | 박정수 최지현 서경환 김정윤 이준석 | 8-16 17-24 25-30 31-40 41-51 |
| 논 단 | · 장마·몰순 예측기술 향상 방안 | 허경자 | 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 | 고운화 | 3-4 |
| 정책초점 | · 겨울철 위험기상을 위한 에너지 정책 · 한국의 동절기 도로제설 현황 · 한파가 농업에 미치는 영향 · 겨울철 한파 대비 건강관리 | 김두천 양충현 심교문 송경준 | 6-17 18-29 30-41 42-56 |
| 논 단 | · 겨울철 위험기상의 예측능력 향상 · 미래 겨울철 위험기상의 변화 | 김주홍 차동현 | 57-68 69-75 |

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

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

『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 9, Number 1

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