

기술정책 기상리영책

METEOROLOGICAL TECHNOLOGY & POLICY



2018.

6

특집

여름철 위험기상의 영향과 대응

칼럼 | 국민의 안전을 위협하는 여름철 폭염과 대응 |

정책초점 | 기후변화로 심화되는 폭염 대응을 위한 경보체계의 개발 |

| 재난정보관리 표준화 기술 개발 |

| 지표홍반자와선정보 제공 및 향후 대응 |

| 스마트 폭염대응을 위한 기상 전문가의 역할 |

| 인공지능을 활용한 재해기상 저감·예측 기술 |

논단 | 미래 여름철 기온변화에 의한 건강영향 예측 |

포커스 | 폭염 피해와 정책 동향 |



기상청

『기상기술정책』

Vol.11, No.1(통권 제27호)

2018년 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 연구개발 전략 수립에 기여하고자 정기적으로 발행되고 있습니다.

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

원고모집

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

▶ 원고매수: A4 용지 10매 내외

▶ 원고마감: 수시접수

▶ 보내실 곳 및 문의사항은 발행처를 참고 바랍니다.

☞ 더 자세한 투고방법은 맨 뒷편의 투고요령을 참고바랍니다.

『기상기술정책』편집위원회

발행인: 남재철

편집기획: 국립기상과학원(책임운영기관) 미래전략연구팀

편집위원장: 류상범(원장 직무대리)

편집위원: 하종철, 신동현, 정관영, 이은정,

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 : 여름철 위험기상의 영향과 대응

칼럼 03 _ 국민의 안전을 위협하는 여름철 폭염과 대응 / 남재철

정책초점 06 _ 기후변화로 심화되는 폭염 대응을 위한 경보체계의 개발 / 이명인

19 _ 재난정보관리 표준화 기술 개발 / 김병식

35 _ 지표홍반자외선정보 제공 및 향후 대응 / 박상서

44 _ 스마트 폭염대응을 위한 기상 전문가의 역할 / 권용석

54 _ 인공지능을 활용한 재해기상 저감·예측 기술 / 김동훈

논단 70 _ 미래 여름철 기온변화에 의한 건강영향 예측 / 이재영, 김호

포커스 78 _ 폭염 피해와 정책 동향 / 김도우

국민의 안전을 위협하는 여름철 폭염과 대응



남재철
기상청장

“소리 없는 살인자”

뉴스나 방송을 보면, 종종 이런 자극적인 표현으로 시청자의 주의를 환기시키는 것을 보게 된다. 증상이 심각해지기 전까지 알아차리지 못하는 질병이나 심각성을 간과하기 쉬운 미세질환 이슈를 가리킬 때 주로 쓰는 표현이다. 그렇다면 위험기상 현상 중 ‘소리 없는 살인자’는 무엇일까. 그것은 바로 ‘폭염’이다. 폭염은 사람들이 쉽게 인지하지 못하는 사이 건강과 생명을 위협할 수 있는 위험기상이다.

현재 지구는 ‘기후변화’라는 이견의 여지가 없는 전 지구적인 재난 상황을 겪고 있다. 우리는 지진, 화산, 허리케인, 토네이도, 우박 등 재해성 기상 현상으로 인한 전 세계의 피해 상황을 다양한 매체를 통해 목격하고 있다. 폭염으로 인한 피해도 마찬가지이다. 약한 폭염은 일상생활에서 불쾌지수를 유발하거나 노동자의 노동 생산성을 낮추는 것에 그친다. 하지만 강도가 심해지면 각종 열사병과 일사병 등의 온열 질환을 유발하고 심지어 사망에 이르게까지 하는 무서운 기상 현상이다.

질병관리본부의 2017년 보고서에 따르면, 2017년 5월 29일부터 9월 8일의 15주 동안 온열 질환 신고 건수는 1,574건에 달하고 이 중 11명은 사망하기도 하였다. 한 번에 수천 명이 목숨을 잃기도 하는 다른 재난에 비교하면 11명의 사망자는 적은 것이 아니냐고 생각할 수도 있다. 그러나 2003년 유럽에서는 40℃가 넘는 폭염

이 이어지며 약 7만 명이 사망한 기록도 있다. 지구온난화로 인해 고온현상이 더욱 심해지고 잦아질 것으로 전망되는 만큼, 대책 마련에 각별한 노력이 요구된다.

국내 다양한 기관과 연구자들이 폭염에 대응하기 위해 힘쓰고 있다. 기상청 또한 그들의 연구와 협력하여 폭염 정보 서비스를 지속적으로 개선해 나갈 계획이다. 그 일환으로, 더욱 효과적인 폭염 정보를 위해 열 스트레스를 지역별로 분석하여 차별적인 경보 체계를 개발하고, 맞춤형 정보를 생산 및 제공할 예정이다. 또한, 재난정보관리를 표준화하는 기술을 개발해 다양한 사회시스템과의 유연한 연계와 공동 활용이 가능하도록 조정할 것이다. 도시 개발 분야에서는 해당 도시의 기상 특성을 고려한 열환경 분석을 계획 단계부터 도입할 수 있도록 기상 전문가의 역할을 정립할 것이다. 마지막으로, 대규모 기후현상인 엘니뇨와 라니냐의 예측성 향상을 위해 인공지능 기술을 적용하고, 자외선 강도에 따른 위험도 및 대응 지침을 통해 여름철 폭염 피해를 최소화할 수 있도록 안내할 것이다. 그동안 시행한 정책 동향과 미래의 기후변화에 따른 건강 영향 예측 연구는 환경변화에 대비한 정책 마련에 길잡이가 될 것으로 기대된다.

기상청은 작년부터 매년 5월~9월 동안 '더위체감지수'를 발표함으로써 다양한 사회계층과 지역 사회가 고온 환경에 대한 보건피해를 줄이는 데 도움을 주고 있다. 더위체감지수란, 기존의 더위 지수(WBGT: Web-Bulb Globe Temperature)를 기반으로 다양한 더위 취약 대상과 환경에 따라 더위 위험도 정보를 나타낸 것이다. 아울러, 국민의 온열 질환 예방과 안전을 위해 더위 위험 단계별로 대응요령을 함께 제공하고 있다.

'사이언스 뉴스'는 많은 사람이 더위를 '위협'보다 '가벼운 골칫거리'로 여기고 있다고 보도했다. 앞으로는 사람들의 인식이 개선되어 법-제도를 정비하고 관련 연구를 통해 그동안 겪은 폭염 피해가 재발하지 않기를 바란다. 그러나 전혀 없던 기상 현상과 피해가 지속적으로 보고되고 있는 현재, 미래에 어떤 상황이 펼쳐질지 쉽게 예단하기는 어렵다. 이러한 상황 속에서 기상청은 국민의 안전과 생명을 충실히 지키기 위해 지속적으로 연구하고, 사용자 맞춤형 기상서비스를 성공적으로 제공하기 위해 최선을 다할 것이다.

정책 초점

기후변화로 심화되는 폭염 대응을 위한 경보체계의 개발

| 이명인

재난정보관리 표준화 기술 개발

| 김병식

지표홍반자외선정보 제공 및 향후 대응

| 박상서

스마트 폭염대응을 위한 기상 전문가의 역할

| 권용석

인공지능을 활용한 재해기상 저감·예측 기술

| 김동훈

기후변화로 심화되는 폭염 대응을 위한 경보체계의 개발

이명인 울산과학기술원 교수, 폭염연구센터* 센터장 milee@unist.ac.kr

*기상청 국립기상과학원 지정 특이 기상센터

- I. 기후변화와 폭염
- II. 폭염경보체계의 개념
- III. 폭염경보체계의 개발 방안
- IV. 향후 개발 방향

기후변화와 함께 최근 빈발하는 폭염과 열대야에 의한 피해를 경감하고 체계적으로 대응하기 위한 효율적인 폭염경보체계 개발이 시급하다. 본 원고에서는 세계기상기구와 세계보건기구가 공동으로 작성한 폭염경보체계 개발에 대한 가이드스를 분석하고, 우리나라에 적용 가능한 폭염경보체계의 개발 방안과 추가적인 고려 사항, 향후 개선점 등을 토의하였다. ■

“ 폭염을 정의하는
단 하나의 기준은
존재하지 않음 ”

1. 기후변화와 폭염

폭염은 침묵의 암살자로 불린다. 거친 날씨와 함께 내습하는 태풍이나 집중호우 등은 눈으로 직접 확인 가능한 재난 상황을 연출하며 큰 대중적 관심을 받지만, 폭염이나 열대야는 이에 비해 상대적으로 적은 관심을 끈다. 그러나 폭염과 열대야로 인해 우리나라에서도 매년 사망자가 꾸준히 발생하고 있으며, 최근 들어 여름철 온열환자 수가 급속히 증가하고 있다는 점을 주지한다면(기상청, 2017), 이러한 현상들이 단순히 여름철을 상징하는 더운 날씨라는 고정적인 관념을 넘어 매우 심각한 자연재해 중의 하나로 인식되어야 한다.

소리 없이 다가오는 폭염은 아직까지 뚜렷한 과학적 메커니즘이 밝혀진 바 없어 예측이 어렵다. 또한 폭염이 인체에 미치는 위해성과 사회경제적 영향이 복잡하고 다양하여 폭염이 어떻게, 어느 정도의 피해와 영향을 주는지 아직까지도 포괄적이고 정량적인 평가 결과가 없는 실정이다. 이것은 폭염의 정의조차 간단하지 않은 것에서 시작된다고 볼 수도 있다. 우리나라에서는 일최고 기온이 33℃ 이상인 날이 이틀 이상 지속될 때를 폭염으로 정의하고 있으나, 이러한 기준은 미국, 유럽, 일본, 호주 등의 정의와 다르다. 폭염을 정의하는 단 하나의 기준은 존재하지 않으며, 따라서 한 지역에서는 폭염이지만, 다른 지역에서는 폭염이 아닌 것으로 간주될 수도 있다. 이것은 폭염을 단순히 날씨 현상의 하나로 국한할 것이 아니라, 폭염이 유발하는 인체, 생태계, 사회경제 시스템 등의 전반적인 영향과 결과를 포괄적으로 고려해야 한다는 것을 시사한다.

폭염과 열대야로 인한 피해는 기후변화가 심화됨에 따라 향후 더욱 증가할 것으로 예상된다. 대다수의 전문가들은 폭염에 의한 피해가 앞으로 불가피하다고 전망하고 있다(Coumou et al. 2013). 2013년 발간된 IPCC 5차 보고서는 지난 50년간 관측 자료를 근거로 이미 폭염과 열대야가 더욱 빈발해지고 있음을 보였다(IPCC, 2013). IPCC 특별보고서(2012)는 기후변화 시나리오를 바탕으로 21세기 대부분의 육지 지역에서 폭염의 지속기간, 빈도, 강도가 증가할 것이라고 예상하였다. 최근에 발간된 연구결과(Mora et al. 2017)에서도 현재 전세계 30% 이상의 인구가 연간

“ WMO와 WHO는 열-건강 경보체계의 개발 가이드언스를 제시한 바 있음 ”

20일 이상 발생하고 있는 폭염의 위협에 노출되어 있으며, 온실가스가 이대로 계속 증가한다면 2100년까지 지구상 3/4 이상의 인구가 치명적인 위협에 직면할 것으로 예측하였다. 우리나라 역시 비슷한 전망이 제시된 바 있다(기상청, 2012).

더욱 심화되는 기후변화와 폭염으로 인한 피해를 경감하기 위해서 폭염경보체계를 체계적으로 개발하여 의사결정자나 이해당사자에게 관련 정보를 조기에 제공하려는 노력이 최근 활발하게 진행되고 있다. 세계기상기구(World Meteorological Organization, 이하 WMO)는 세계보건기구(World Health Organization, 이하 WHO)와 공동으로 열-건강 경보 체계(Heat-Health Warning System, 이하 HHWS)의 개발에 대한 가이드언스를 제시한 바 있으며(WMO and WHO, 2015), 본 연구에서는 이를 바탕으로 우리나라에 적용 가능한 폭염경보체계의 개념과 이를 개발하기 위한 방안을 논의하고자 한다.

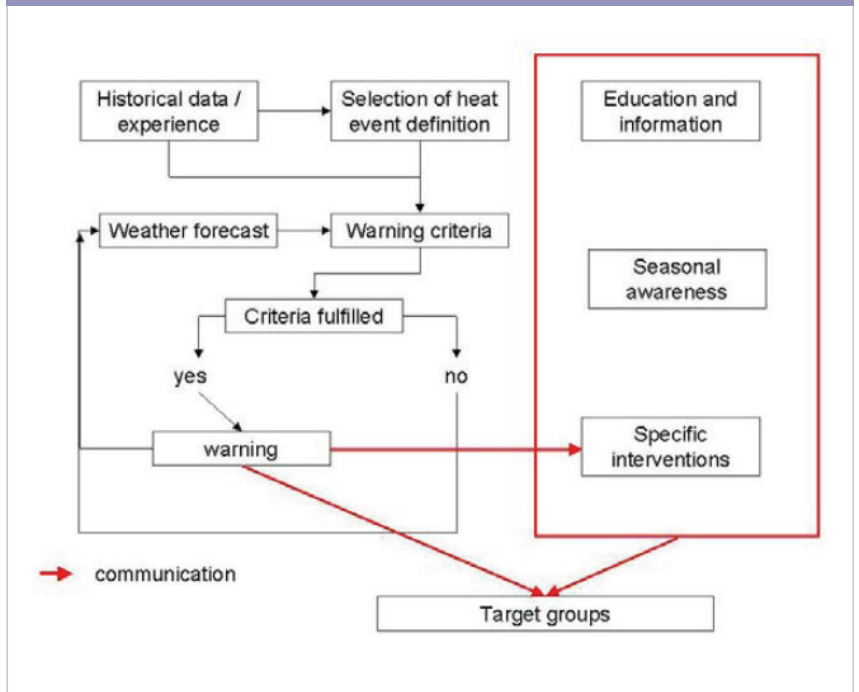
II. 폭염경보체계의 개념

폭염경보체계(이하 HHWS)의 목적은 기상 및 기후 예측 정보에 근거하여 인체에 치명적인 위협을 가할 수 있는 고온 현상의 발생 가능성에 대한 정보를 정보가 필요한 곳에 조기 제공하는 것이다. HHWS는 1995년에 미국 필라델피아에서 시행된 기록이 최초라고 알려져 있다. HHWS는 온도 및 습도에 대한 날씨 예측정보, 고온에 따른 온열질환 발병 및 사망률 등의 폭염 영향 평가, 의사결정을 지원하기 위한 열 스트레스(heat stress)의 등급별 정의, 그리고, 일반인, 특정 집단, 혹은 정부 단위에 대해 이러한 위협 정보를 전달하는 체계 등을 포함한다(그림 1). 특정지역에 적합한 HHWS를 개발하기 위해서는 지역별로 축적된 고유한 자료를 생명기상학(biometeorology), 역학(epidemiology), 공공보건(public health) 등의 과학적, 의학적 기법 등을 이용하여 분석하고, 특정 지역의 환경에 맞는 효과적인 위험 전달(risk communication) 방법 등을 개발해야 한다.

“ HHAP는 다양한 전략적 대응방법, 비상관리계획 등과 평가체계를 포함 ”

HHWS는 더 넓은 범위에서의 포괄적인 대응 체계인 열-건강 행동 계획 (Heat-Health Action Plan, 이하 HHAP)의 일부로서 날씨와 관련된 부분으로 볼 수 있다. 궁극적으로 HHAP는 대중에게 폭염정보 제공 및 경계심 강화, 이해당사자에게 맞춤형 정보 제공, 폭염 피해 회피와 경감을 위한 개인 단위에서의 행동 요령, 지자체나 국가 단위에서 다양한 범위의 전략적 대응 방법, 사회기반 시설 (infrastructure)의 비상 관리 계획 제공 등을 포함한다. 또한 위기관리에 대한 사후 평가, 실시간 보건 감시, 장기적으로 열 위험을 저감할 수 있는 건축물 및 도시 계획 수립과의 연계, 폭염관리를 위한 적극적 개입 효과를 지속적으로 관찰하고 효율성과 개선사항을 평가 할 수 있는 체계 등이 포함되어 있다.

[그림 1] 폭염경보체계(Heat-Health Warning System, HHWS)의 흐름도 및 열-건강 행동 계획 (Heat-Health Action Plan, HHAP)과의 연계도 (적색 상자는 HHAP를 나타내며, 빨간 선은 정보의 전달 방향을 나타냄)



III. 폭염경보체계의 개발 방안

폭염에 의한 영향 및 위험도는 국가별, 지역별로 다르기 때문에, 효율적이고 체계적인 폭염경보체계를 개발하기 위해서는 지역별로 열 스트레스(heat stress)의 분석을 통해서 차별적인 경보체계를 개발해야 한다. 본 장에서는 열 스트레스 평가, 폭염경보체계의 개발, 폭염경보 전달 등으로 세분화하여 방법론을 토의하였다.

“ HHWS의 주요 개발 단계 중 하나는 단계별 임계값을 설정하는 것임 ”

1. 열 스트레스 평가 모델

HHWS의 주요 개발 단계 중 하나는 열 스트레스의 단계를 어떻게 나누고, 기상 및 기후예측 정보를 각 단계에 어떻게 대응시킬지, 단계별 임계값(threshold)을 찾

는 것이다. 단계별 임계값이 설정되면 이에 기초하여 향후 폭염의 실황이나 예측값이 제공될 때 HHWS에 근거한 의사 결정을 하게 된다.

열 스트레스를 평가하기 위한 모델로는 통계적 자료에 근거한 단순 지수 형태의 모델부터 인체의 열 출입을 수치적으로 재현하는 인체 열수지 모델(human heat-budget model)에 이르기까지 다양하다.

이에 반해 인체 열수지 모델은 인체와 주위 환경 간의 열 교환을 에너지 평형에 따라 수치적으로 계산한 모델로서, 표준 유효 온도(Standard effective temperature), 예측 평균 투표(Predicted mean vote), 인지온도(Perceived temperature), 상당 온도(Physiological equivalent temperature), 일반 열 기후

[그림 2] 국가별 폭염경보체계에서 사용하는 지수와 폭염의 기준 비교

Table 4. A selection of operational Heat-Health Systems showing the varying nature of system structure, heat-event definition and type of threshold used for triggering warnings (✓ indicates the presence of the system element but detail on the nature of this is lacking)

Country	Threshold	Thresholds based on historical mortality	Excess mortality forecast	Duration of heat event included	Seasonality or adaptation included	Regionally variable thresholds	Human expertise
Australia (Queensland)	AT			2 days		✓	✓
Belarus	T						
Belgium	Tmax/Tmin/Ozone			3 days			
Canada (Toronto region)	Airmass	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Canada (Montreal)	Tmax/Tmin			✓			
Canada (all others)	Humidex			✓			
China (Hong Kong)	NET			✓			
China (Shanghai)	Airmass	✓	✓	✓	✓		✓
France	Tmax/Tmin	✓		3 days		✓	✓
Germany	PT			2 days	✓	✓	✓
Greece	Tmax			✓			
Hungary (Budapest only)	Tmean	✓					
Italy	Airmass/Tapp	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Republic of Korea	Airmass	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Republic of Korea (Seoul*)	Airmass	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Latvia	Tmax			✓			
Netherlands	Tmax			✓			
Poland	Tmax/Tmin						
Portugal	Tmax	✓	✓	✓		✓	✓
Romania	ITU						
Slovenia	Forecaster						✓
Spain	Tmax/Tmin	✓				✓	✓
Switzerland	HI						
United Kingdom (England and Wales)	Tmax/Tmin			✓		✓	
USA (synoptic**)	Airmass	✓	✓	✓	✓	✓	✓
USA (all others)	HI			2 days		✓	✓

where:
 T temperature
 AT or Tapp apparent temperature
 Tmax maximum temperature
 Tmin minimum temperature
 Tmean mean temperature
 HI Heat Index
 PT perceived temperature
 ET equivalent temperature
 ITU Temperature Humidity Index

* Seoul has been subdivided into five regions based upon unique climatology and health response. This represents the only subdivided urban HHWS currently in operation.
 ** Seattle (Washington), Portland (Oregon), San Francisco and San Jose (California), Phoenix and Yuma (Arizona), Dallas and Houston (Texas), Minneapolis (Minnesota), Chicago (Illinois), St. Louis (Missouri), Dayton, Columbus and Cincinnati (Ohio), Philadelphia (Pennsylvania), Washington (DC), Baltimore (Maryland), New Orleans, Monroe, Shreveport, and Lake Charles (Louisiana), Little Rock and Fort Smith (Arkansas), Memphis (Tennessee), Jackson and Meridian (Mississippi)

“ 폭염경보체계에
기단의 유형에 따른
종관적 일기특징을
접목하려는 시도가
증가 ”

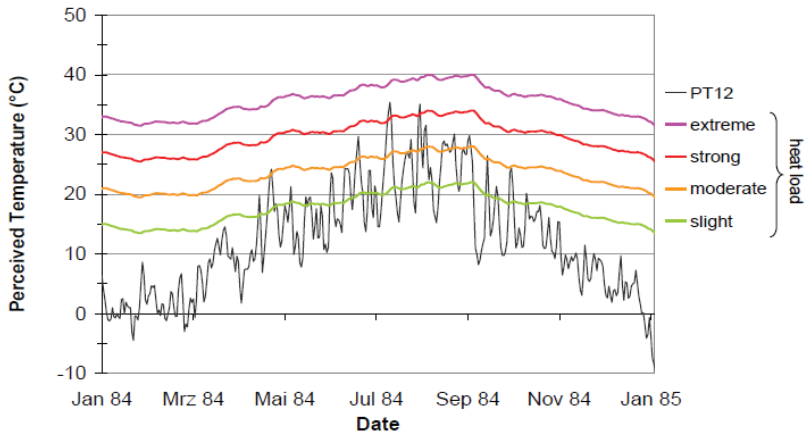
지수(Universal thermal climate index) 등이 이 범주에 해당된다. 그림 3은 독일의 폭염경보체계에서 사용하고 있는 인지온도의 일별 변화와 4단계(약함, 중간, 강함, 매우 강함)로 구분된 임계값의 계절적 변화를 나타낸 것이다. 독일 기상청에서는 임계값의 기준을 계절별, 지역별로 다르게 적용하고 있다.

최근 들어서 폭염경보체계에 기단의 유형에 따른 종관적 일기 특징을 접목하려는 시도가 늘고 있다. 미국, 캐나다, 중국, 이탈리아 등에서는 현업에 적용 중이며, 우리나라에서도 기상과학원이 개발 중에 있다(Lee et al. 2011). 이러한 방법은 한 지역의 날씨에 영향을 주는 주요 기단의 유형을 사전에 분류하고, 기단

별로 여름철 평균 사망률과의 관련성을 도출하여 폭염경보체계를 개발한다. 사망률 증가와 관련 있는 기단은 지역별로 차이가 있을 수 있으나, 대개 열대 건조 기단(Dry Tropical, DT), 혹은 열대 습윤 기단(Moist Tropical Plus, MT+)등에 의해 지배된다. 같은 고온이라고 하더라도 높은 습도와 최저기온의 증가, 야간의 운량 증가 등도 특정 지역의 폭염피해를 증가시킬 수 있다.

다양한 열 스트레스 모델로부터 어떠한 모델을 선택할 지는 대상 지역에서 모델 적합에 필요한 변수들을 얼마만큼 제공하는 지에 따라 다르다. 생명기상학적 접근 방법이 잘 정립되어 있는 독일의 경우에는 인체 열수지 모델 기반의 연구가 많이 이루어진 반면, 미국과 같이 광범위한 지역에서는 아직까지 단일한 열지수 기반의 열

[그림 3] 독일의 폭염경보체계에서 사용하고 있는 인지온도 (Perceived Temperature)의 일별 변화(검은 실선)와 단계별 임계값의 예시(경보의 단계는 약함(slight, 연두색), 중간(moderate, 주황색), 강함(주홍색), 매우 강함(보라색)의 네 등급으로 구분하며, 실제 경보는 강함(strong), 혹은 매우 강함(extreme) 단계에서 발령)



“ HHWS의 목적은
 폭염 위험성 경고와
 피해저감 조언
 제공 ”

스트레스 모델에 의존하고 있다. 우리나라의 경우, 기상과학원에서 우리 국민의 신체 조건과 열 환경에 적합한 인체 열수지 모델 등을 개발 중에 있으나, 아직까지는 미국에서 개발된 열지수를 생활기상지수 예보에 사용하고 있으며, 현업 폭염 특보에는 일최고기온을 이용한 기준만 사용하고 있다.

2. 폭염경보체계 개발 방법

HHWS는 대중과 이해당사자, 의사결정자 등에게 폭염의 위험성에 대해 경고하고 피해를 경감하기 위한 조언을 제공하는 것을 목적으로 한다. HHWS는 날씨 예보와 결합된 열 스트레스 모델의 예측값이 특정한 임계값을 넘을 것으로 예상될 때, 주의보(watch) 혹은 경보(warning) 등을 발령하는 것이다. HHWS의 최적화를 위해서는 지역의 특성에 맞는 열-건강 상관성이 과거 기상 및 보건 통계자료로부터 도출되어야 하며, 이에 따라 지역별로 차별적인 HHWS가 현업에 도입될 수 있다.

지역별 특성에 맞는 HHWS를 개발하기 위해서 고려해야 할 몇 가지 사항이 있다. 우선 한 국가에서 운영되는 HHWS 시스템은 기상조건, 인구분포, 도시구조 등의 지역별 특성 차이를 반영해야 한다. 왜냐하면 하나의 통일된 폭염경보체계가 모든 지역에 적용 가능하지 않은 경우가 많기 때문이다. 예를 들어, 1990년대 미국에서는 Apparent temperature를 이용하여 일중 온도가 41°C를 넘는 기간이 3시간 이상, 그리고 이러한 현상이 이틀 이상 지속되는 경우에 폭염경보를 시행한 바 있다. 그러나 이와 같이 통일된 폭염의 정의를 사용하는 경우 특정 지역에서 상대적인 날씨의 영향을 고려할 수 없게 된다. 둘째, HHWS에서 사용하는 임계값은 실제로 관측된 자료를 바탕으로 산출되어야 하며, 인체에 미치는 실제적인 영향을 고려하여야 한다. 이러한 영향은 지역별로 다를 수 있으며, 같은 장소라도 초여름과 한여름이 다를 수 있다. 셋째, HHWS에서 사용하는 용어나 경보문이 대중과, 이해당사자, 의사결정자 등에게 명확히 이해될 수 있어야 한다. 국가적으로 표준화된 명칭과 이해가 쉬운 경보문을 제공해야 정보전달이 효과적으로 이루어질 수 있다. 넷째, 모든 HHWS 시스템이 대응 및 피해 경감 계획과 연결되어야 한다. 끝으로, HHWS의

“ HHWS에서의 폭염
임계값을 초여름에
낮게, 한여름에
높이는 등 시간을
고려할 필요가 있음 ”

효율성에 대한 평가가 가능해야 한다. 경보체계의 적정성 및 실제적으로 피해 경감이 이루어 졌는지에 대한 사후 평가 체계가 필요하다.

효과적인 폭염경보를 위해서는 임계값을 정하는 것이 중요하다. 대상 지역에서의 열 스트레스 모델이 정립되고, 이를 바탕으로 과거의 일별 값이 산출되면, 이를 보건 통계 자료(일별 사망자 수, 환자 발생자 수)에 적합한다. 이 때, 특정한 값을 넘어서 위험도가 급격히 증가하는 임계값을 찾게 된다. 보건 통계자료로는 사망률이 폭넓게 사용되고 있다. 이는 국가별로 사망률 자료가 안정적으로 관리되고 있으며, 또한 장기간 축적된 자료를 얻을 수 있기 때문이다. 미국의 경우에는 임계값 산정에 24년 이상의 사망 통계 자료를 사용하며, 프랑스에서는 33년 이상의 통계를 사용하고 있다.

한편, 사망률을 이용한 임계값 산출에는 한계점이 있을 수 있다는 것을 인지해야 한다. 인체 내에 축적되는 열은 다양한 형태의 합병증을 유발할 수 있기 때문에, 온열질환에 의한 사망자수는 직접적인 피해만을 고려하며, 폭염으로 인한 전반적인 피해를 과소 추정하는 경향이 있을 수 있다. 이를 보완하기 위해서 캐나다 토론토 같은 경우에는 온열질환에 상대적으로 더 취약한 65세 이상 고령자들의 사망률을 대상으로 임계값을 결정하거나, 이탈리아의 경우에는 사고에 의한 사망자를 제외 한 모든 질병에 의한 사망 통계자료를 사용하기도 한다.

또한 일부 HHWS 시스템에서는 임계값의 시간적(계절별) 변화를 고려하고 있다. 과거 선행연구 등에 따르면 인체는 계절의 진행 정도에 따라 고온에 취약한 정도가 다르다. 특히 이른 여름의 폭염에 인체가 더 취약하다는 연구들이 있으며, 이에 따라 초여름에는 임계값을 낮게, 한여름에는 임계값을 높게 하는 등의 방식으로 임계값의 시간적 변화를 고려할 필요가 있다(그림 3).

폭염경보체계의 등급은 대개 2단계, 혹은 3단계 체계를 가지고 있으나, 국가별로 다양하게 적용되고 있다. 일반적으로 낮은 단계의 경보는 일상생활에 불편을 주는 수준, 중간 정도의 단계에서는 인체에 위험한 수준, 최상급 단계에서 인체에 치명적 영향을 줄 수 있어 다양한 피해 경감 대책을 시행할 필요가 있는 수준으로 나눌

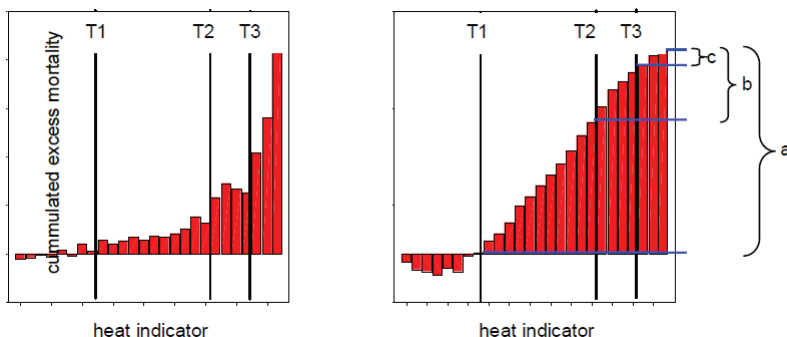
“ 많은 경보체계에서 사망률이 5-10% 증가하는 시점을 경보 제공시점으로 사용하고 있음 ”

수 있다. 폭염경보의 성격 또한 국가별로 다양하다. 대부분의 국가에서 폭염 경보(alert)는 예보·경보가 발령되면 특정 지역에서의 폭염 발생 가능성이 증가하는 것을 의미한다. 예를 들어 영국에서의 폭염경보는 향후 3일 이내에 폭염이 발생할 수 있음을 의미한다. 반면 벨기에의 경보는 현재 진행 중인 폭염의 상황을 반영한다. 일부 국가에서는 폭염경보의 등급을 단순히 1, 2, 3등급 등으로 나타내거나, 녹색, 황색, 주황색, 적색 등으로 표현하고 있어서 미리 등급의 의미를 파악하지 못하면 정보의 전달이 충분하지 않아 비효율적일 수 있다.

폭염경보의 제공 시점과 주기에 대해서도 충분한 고려가 필요하다. 대개 폭염경보는 고온 현상이 “충분히 위협적”인 단계에서 제공된다. 여기에서 충분히 위협적이라는 기준은 주관적이며, 폭염경보의 목적에 따라 달라질 수 있다. 예를 들어, 사망피해를 최소화하기 위하여 그림 4의 T1과 같이 상대적으로 낮은 임계값을 사용하면 누적 확률 분포에서 a 만큼의 피해 경감 효과를 기대할 수 있다. 그러나 이에 따른 비용이 증가할 수 있으며, 임계값이 낮아서 생기는 잦은 경보에 따라 예보 피로도도 증가하게 된다. 반대로 임계값을 T3와 같이 매우 극심한 경우에 대해서만 적용하게 되면 피해 경감을 위한 비용은 적을 수 있으나, 누적 분포에서 c 만큼의 상대적으로 낮은 피해 경감 효과를 기대할 수 있다. 현재 국가별로 시행되는 폭염

경보체계에서 임계값 기준은 매우 다양하다. 대부분의 현업에서 운영되는 경보체계에서는 사망률이 5-10% 증가하는 시점을 경보 제공 시점으로 사용하고 있다. 이러한 수준은 50년 이상의 장기간 자료를 분석한 캐나다 토론토 사례에 적용해 보면 연간 4.5 회 정도(3.1회 정도의 낮은 등

[그림 4] 기온과 초과 사망률(왼쪽), 기온과 누적 초과 사망률(오른쪽)의 분포 예시 (T1, T2, T3는 폭염경보를 위한 다양한 임계값을 나타내며, a, b, c는 각 임계값을 사용하는 경우 기대되는 사망 피해 경감의 확률을 의미(Koppe, 2005))



“ 캐나다는 폭염해제 경보를 따로 발표함 ”

급과 1.4회 정도의 높은 등급)로 발령되는 수준에 해당된다. 이 기준은 적게는 0회에서 많게는 19회 정도의 연별 변화 폭을 보인다. 반면 프랑스와 같이 사망률이 50-100% 등으로 높아지는 임계값을 쓰게 되는 경우에는 연간 1회 미만의 빈도를 갖는 수준에 해당된다.

폭염경보 제공 주기 또한 국가별로 다양하다. 일부의 시스템들은 예비 경보나 경보 등 특정한 등급을 만족하는 경우에만 발령하며, 또 다른 시스템들은 발생 여부와 관계없이 매일 폭염에 대한 정보를 제공하는 것도 있다. 제공 주기는 오전 1회가 일반적이며, 오전, 정오, 오후 3회에 걸쳐 제공하는 경우도 있다. 폭염경보의 해제 또한 다양한 사례가 있다. 폭염이 종료되거나, 예보가 바뀌는 경우 자동으로 해제되는 경우 혹은, 캐나다와 같이 해제 경보(deactivation notice)를 발표하는 곳도 있다.

3. 폭염경보의 전달

폭염경보의 목적은 폭염의 실제 혹은 잠재적으로 예상되는 위험에 대해 대중이나 이해당사자, 의사결정자들이 미리 인지하게 하는 것이다. 어떠한 정보를 어떻게 전파하는 가는 폭염경보체계의 성패를 좌우하는 중요한 요소로서, 효과적인 통신 체계가 없다면 사망이나 온열질환 피해 경감에 기여하는 정도가 낮을 것이다.

폭염경보는 뚜렷하고, 모호하지 않은 용어로 작성되어야 한다. 이를 위해서는 경보문의 성격 및 내용, 범위에 대한 명확한 정의가 필요하다. 경보문은 단순하고 쉬운 용어를 사용하여 다수가 이해할 수 있어야 한다. 전문적인 용어나 약어의 사용은 지양하고, 쓰더라도 사전에 교육이 필요하다. 축약으로 인한 내용의 왜곡이 없도록 전달되어야 하며, 정보의 중요도 순위와 함께, 안전수칙, 행동 요령 등, 폭염피해 경감을 위한 적절한 대응방법을 제시하는 것이 좋다. 특히, 단계별 경보에 따라 사람의 행동에 어떠한 영향을 미칠 수 있을지 정확하게 이해하여 작성되어야 한다.

경보문은 피해 경감 계획과 잘 연계되어야 하며, 이를 위해서 여러 부처와 합동으로 작성하는 것이 좋다.

“ HHWS는 실제로
변화하는 기후조건에
맞게 개선되어야 함 ”

IV. 향후 개발 방향

폭염경보체계(HHWS)는 기상예보 발전, 열에 대한 인체 반응의 과학적 이해, 정보통신의 발전, 사회 기반시설과 생활환경의 변화 등으로 인하여 앞으로 더욱 복잡해지며 많은 보완이 예상된다. 중기 및 장기예보 기술의 발전과 함께 피해 경감을 위한 조기 의사결정, 그리고 다양한 영향 부문에서의 피해 경감을 위한 장기적인 사전 계획 수립이 가능할 것이다.

현재 운영 중인 대다수의 폭염경보체계는 과거의 기상자료와 보건의료 간의 통계적 관련성에 기초하고 있으나, 미래에 심화될 기후변화의 영향을 고려한다면, 정상적인 범위를 넘어가는 폭염 상황에 대해 대비해야 하며, HHWS 또한 실제로 변화하는 기후조건에 맞게 개선해야 한다. 미래의 열환경에 대한 인체의 취약성도 변화할 수 있다. 인구가 더운 기후에 적응할 수도 있고, HHWS를 적극적으로 사용하여 폭염에 대한 피해가 줄어 취약성이 감소할 수도 있다. 이와 함께 사회경제적 환경 변화에 따라 개인의 위험도가 변화할 수 있다. 미국에서의 연구결과를 보면, 사회 기반시설과 생활환경의 개선에 따라 폭염에 대한 취약성은 1970년대에 비해 1990년대에 감소하는 것으로 나타났으나, 이러한 취약성 감소가 미래에도 이어질지는 불확실하다. 한 가지 예로서, 일부 국가에서 빠르게 진행되고 있는 고령화는 향후 폭염피해에 대한 취약성을 증가시키는 주요 요소가 될 것으로 예상하는 연구들이 있다.

현재 HHWS 체계와 같이 과거에 관측된 기온 자료의 극값을 이용하여 폭염을 정의하는 경우, 미래에는 더욱 더 많은 경보의 발령을 피할 수 없어 보인다. 잦은 예경보는 대중적인 관심을 줄이고, 심지어 대중에게 예보가 외면되는 상황을 초래할 수도 있다. 물론, 이를 감안하여 미래의 더운 기후에서 임계값을 상향할 수 있겠지만, 폭염경보체계의 근본적인 목적을 어디에 두는지에 대한 고려가 필요하다. 개인 단위의 위험을 최소화해야 할지, 사회 전체의 사망률 증가를 막아야 할지에 대한 가치판단이 중요할 수 있다.

“ 폭염경보체계에
대기질 요소를
반영할 필요가 있음 ”

수백만의 인구가 거주하는 거대도시(Megacity)나 동북아시아 지역과 같이 대기 오염이 심각한 지역에서는 폭염과 대기질 저하가 복합적으로 작용하여 사망 및 질병피해를 증가시킬 수 있어서, 폭염경보체계에 대기질 요소를 반영할 필요가 있다. 특히 대기오염에 따른 질소산화물은 고온에서 오존의 전구물질로 작용하며, 이에 따라 호흡기 질환의 증가를 유발할 수 있다.

HHWS는 정보 사용자의 개별적 취약성의 차이에 따라 좀 더 세분화되고 맞춤형화된 정보를 제공하는 쪽으로 발전해야 한다. 현재는 대다수 인구가 거주하고 있는 도시 지역을 중심으로 개발되고 있으나, 대상에 따라 노약자/유아 등의 연령별, 도시/농촌 등의 지역별, 그리고 경제적 환경에 따른 저소득 계층을 고려한 맞춤형 경보 시스템이 요구된다. 또한 현재의 HHWS에서는 실내와 실외의 환경을 고려하지 않고 있다. 냉방시설이 있는 실내에서 생활하는 사람은 취약성이 감소하지만, 냉방이 어려운 실외에서 근무하는 사람의 경우에는 피해를 경감할 수 있는 방법이 없어 개인단위에서 충분한 실내공기 환기 및 수분 섭취를 할 수 있는 맞춤형 경보가 필요하다. 지역사회에서의 도우미(buddy) 체계, 그늘집이나 마을회관을 중심으로 한 냉방 건물(cooling center)로의 이동 등에 대한 의사결정을 지원해야 한다. 이를 위해서는 실내·외의 기온 및 도심 내부에서의 열 환경에 대한 추정 기법의 개발이 필요하다.

궁극적으로 폭염경보체계는 HHAP(열-건강 행동계획)과 연계되어 폭염피해 경감을 위한 장기적인 대비를 지원해야 한다. 도시 열섬효과는 열 스트레스를 더 강화시키는 원인이 되기 때문에, 기후변화에 적합한 건축물 계획, 도시의 온도를 효과적으로 떨어트릴 수 있는 도시계획 등과 연계되어야 한다.

참고문헌

기상청, 기후변화 전망보고서, 2012

기상청, 2016년 이상기후 보고서, 2017.

Coumou, D., Robinson, A., and Rahmstorf, S., 2013: Global increase in record-breaking monthly-mean temperatures, *Climatic Change*, 118: 771-782.

IPCC, AR5 WG I: Climate Change 2013: The Physical Science Basis, Cambridge University Press, 2013.

- IPCC, 2012: Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change. C.B. Field, V. Barros, T.F. Stocker, D. Qin, D.J. Dokken, K.L. Ebi, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, G.-K. Plattner, S.K. Allen, M. Tignor and P.M. Midgley (eds.), Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom, and New York, pp582.
- Koppe, C., 2005: Gesundheitsrelevante Bewertung von thermischer Belastung unter Berücksichtigung der kurzfristigen Anpassung der Bevölkerung and die lokalen Witterungsverhältnisse. Berichte des Deutschen Wetterdienstes 226, Offenbach, Germany.
- Lee, D.-G., Y.-J. Choi, K.R. Kim, L.S. Kalkstein and S. Sheridan, 2011: Regional characteristics of heat-related deaths and the application of a heat-health warning system in Korea. *Epidemiology*, 22(1): S180.
- Mora, C., and Coauthors, 2017: Global risk of deadly heat, *Nat. Clim. Change*, 7, 501-506.
- WMO and WHO, 2015: Heatwaves and Health: Guidance on Warning-System Development. WMO-No. 1142, pp96.

재난정보관리 표준화 기술 개발

김병식 강원대학교 도시환경방재 전공 교수 hydrokbs@kangwon.ac.kr

- I. 배경 및 목적
- II. 기술의 필요성 및 차별성
- III. 개발 대상 기술의 정의
- IV. 기술별 주요 연구내용 및 연계
- V. 활용방안 및 기대효과

재난정보관리 담당자의 업무지원을 위해 재난안전데이터를 코드체계에 맞춰 DB를 구축하고, 시스템 개발을 통해 재난안전데이터의 조회, 검색 및 시각화 정보를 제공함과 동시에 재난안전데이터를 타 부처와 공동으로 활용 및 지원할 수 있는 전략을 수립하였다. 본 연구는 3개의 세부로 나누어져 있으며, 각 세부가 독립적으로 연구 수행이 진행되면서도, 각각의 성과가 기술적으로 연결되어 하나의 연구 성과를 도출하도록 계획되어 있다. 1세부는 재난안전 데이터 코드체계 및 DB를 구축하여 2세부에 전달하고, 3세부는 표준화 전략수립을 통해 시스템의 운영 및 데이터 유통을 위해 내·외부 환경적으로 어떻게 구성되어야 하는지를 제시한다. 연구결과 구축된 시스템을 통해 과학기술적 측면에서 선도형 재해정보 제공 체계 구축, 재난정보관리 기술 수준 향상, 자연 및 인적재난 관리 기술 수준의 향상을 기대할 수 있다. ■

“ 국립재난안전연구원은 2016년 ‘재난정보관리 기술 마스터플랜수립 기획 연구’를 수행 ”

1. 배경 및 목적

최근 기후변화 영향으로 예측 불가능한 재난 발생의 역학 속에서 적극적이고 노련한 대처를 위해서는 그간 다양하고 풍부한 경험을 지닌 재난정보관리 담당자들의 역할이 대단히 중요하다 할 수 있다. 현재까지의 재난관련 정보는 재난안전통합DB센터를 구축함에 따라 우선적으로 관리되도록 개발되었으나, 현장에서 직접적으로 필요한 정보를 제공해줄 수 있는 업무와의 연계성이 결여되어 적재적소에 정보가 제공되고 있지 못하다고 할 수 있다. 또한 시시각각 발생하면서도 변화되는 재난의 대응 및 피해, 복구현황의 관리체계도 상황실에서 제공하는 일일상황보고 외에는 따로 관리되고 있지 않다. 지금까지의 상황관리 업무는 결국 재난이 발생하면 즉각적으로 대응하기 위한 조직과 인력을 구성하고, 재난상황에 대한 모니터링과 상황전파를 하기 위해 노력하고는 있으나, 유사재난에 대한 과거 경험을 배제한 채 업무경험이 상이한 담당자들의 의사결정에 의해 업무수행이 이뤄지고 있는 실정이다. 이에 국립재난안전연구원에서는 지난 2015년과 2016년 두 차례에 걸쳐 각각 ‘재난정보관리기술개발 기획 연구’와 ‘재난정보관리기술 마스터플랜 수립 기획 연구’를 수행하였다. 기획연구에서는 재난안전정보를 제공하는데 있어

재난의 심각성과 피해양상, 범위 등을 분석하여 우선 대응해야 하는 정보를 제공하는 기술(DMPISS, Disaster Management Priority of Information Service System)을 개발하고, 2024년까지 재난경험관리체계(EDMC, Experience based Disaster Management

[그림 1] 재난정보관리 표준화 기술 연구추진 배경



“ 재난관리 정보를
인공지능화하는
연구는 사례를 찾기
힘든 유일무이한 기술 ”

Center)를 구축토록 하였다. 본 연구의 배경은 재난정보를 우선 제공하는 기술의 첫 번째 단계로서 재난안전데이터를 코드체계로서 구축하여 기초자료로서 활용토록 하는데 있다.

그간 재난정보와 업무의 불일치에 따라 재난의 피해양상과 확대범위가 달라지는 등의 재난정보관리 업무 수행 시 각 담당자의 경험과 노하우가 중요함이 인식되었다. 이에 상황관리에 투입되는 관계자들에게 필요한 각종 데이터를 쉽게 파악할 수 있도록 과거에 활용된 업무데이터를 축적하고, 진행되는 각종 재난의 상황관리 관련 데이터를 지속적으로 축적할 수 있는 시스템을 구축하는데 목적이 있다. 이를 위해 궁극적으로는 재난정보관리 담당자의 업무지원을 위해 재난안전데이터를 코드체계에 맞춰 DB를 구축하고, 시스템 개발을 통해 재난안전데이터의 조회, 검색 및 시각화 정보를 제공함과 동시에 재난안전데이터를 타 부처와 공동으로 활용 및 지원할 수 있는 전략을 수립하는데 본 연구의 실질적인 목적이 있다 할 수 있다.

II. 기술의 필요성 및 차별성

재난정보관리 업무 담당자의 유·무형적 지식과 정보, 경험 등을 전산화(코드체계 구축 및 시스템 개발)하여 서비스하고, 추후 지속적으로 데이터를 업데이트 하여 순환보직에 따른 재난정보관리 담당자의 업무 수준을 일정 수준 이상으로 확보할 수 있도록 하는 기초 기술을 개발하는데 목적이 있다. 이 같은 기술은 현재 전세계적으로 이슈가 되고 있는 4차 산업혁명 중 인공지능 기술과 그 궤를 같이 하고 있으나, 금번 연구처럼 재난관리 분야의 전문성을 지닌 정보를 인공지능화 하는 기술과 연구는 현재까지 존재하지 않고 있어 국내뿐만 아니라 국외에서도 사례를 찾아볼 수 없는 유일무이한 기술이라 할 수 있다. 다만 재난안전 정보 관련 국내 기술과 공동 활용 측면에서는 다음과 같은 문제제기 및 차별성을 갖는다.

첫째, 기존 재난 정보의 수집과 분석만으로는 재난 예방, 대응 및 복원과 다른 사회 시스템과의 연계 등의 추진에 근본적인 한계를 지니고 있다. 둘째, 892개의 관

“ 892개 기관에서 수집중인 2,000여 개의 정보 중에서 약 30개 기관만이 상호연동 가능함 ”

런 기관에서 약 2,000여 개의 정보가 수집·관리·운영되고 있으며, 이중 약 30개 기관만이 상호 연동이 가능한 상태이나 표준화되지 않은 이유로 공동 활용에 어려움이 발생되고 있다. 셋째, 국가재난관리정보시스템(NDMS) 및 재난정보 공동 활용 시스템(39개기관, 214종의 정보)에 부처별 시스템 및 데이터가 연계되도록 하고 있지만, 정보연동 프로토콜이 미흡하여 실질적인 통합관리 운영·관리에는 많은 제약이 있다. 넷째, 현재 재난 관련 정보를 생성하는 기관은 892개로 추정되고 있으며, 다양한 정보의 수집 및 생성과 별도의 시스템 운영, 데이터 표준화 미비로 정보 연계 및 공동 활용을 위한 기반이 취약하여 재난에 대한 종합관리 및 재난감소에 한계가 있다. 다섯째, NDMS는 기본적인 데이터 수집, 모니터링과 일부 분석 기능만을 수행하고, IoT 기반의 실시간 데이터 공유 및 빅데이터 처리가 불가능한 기술적 한계가 있다. 결국 주로 현장의 정보를 실시간으로 제공하여 재난을 예측·평가 및 관리하는 기술 위주의 개발이 진행되고 있다고 볼 수 있으며, 특히, 단순 요소기술형 개발 위주에서 재난정보 및 대응기술을 통합 운영할 수 있는 기술로의 개발이 진행되고 있다 할 수 있다.

이에 본 연구의 기술은 다음과 같은 기술 개발 및 개선의 필요성이 요구된다. 첫째, 대형·복합재난 발생 시 중앙부처 별로 분산된 재난 안전정보체계 데이터의 활용성을 높이기 위한 정보체계연동 기술 개발이 필요하다. 둘째, 최근 인공지능 기술의 발전은 대용량 데이터를 활용하여 프로그램 스스로 학습하여, 인간의 의사 결정에 도움을 줄 수 있을 정도로 발전하였기 때문에 이를 활용하기 위한 기술 개발이 필요하다. 셋째, 실시간 데이터 수집·연계·연동 정보 확산에 따른 데이터 동기화 사례 증가 및 확대가 예상되므로 데이터의 정합성 및 높은 관리수준에 맞는 구조 도입이 필요하다.

본 연구는 앞서 설명한 바와 같이 국내의 유사한 기술이 존재할 수는 있으나 재난정보관리를 위한 전문적 경험기반의 노하우를 전산화 하는 기술은 존재치 않으며, 앞선 국내의 기술유통과 공동 활용을 위한 문제 및 현재 본 기술이 개발 가능한 여지를 파악할 수 있는 필요성에 따라 기술의 차별성이 현저하다고 판단된다.

“ 재난정보관리는 정보수집, 상황전파, 초동조치 및 지휘로 구분할 수 있음 ”

III. 개발 대상 기술의 정의

1. 재난정보관리의 정의

본 연구는 재난정보관리 업무 담당자 지원을 위한 기술 개발로서 우선적으로는 재난정보관리에 대한 정의가 필요하다. 따라서 본 연구에서의 재난정보관리는 재난 상황실에서 각종 재난 발생시 인명 및 재산피해를 최소화하거나 방지하기 위하여 재난 정보의 수집 및 신속한 상황전파와 초동조치 및 지휘 등의 업무를 수행하기 위한 모든 활동을 의미한다. 이러한 재난정보관리에는 크게 재난정보의 수집, 상황전파, 초동조치 및 지휘로 나뉘며 재난정보의 수집은 재난발생 전부터 발생이후까지 모니터링을 통해 재난 발생에 대한 예측과 피해상황 등에 대한 정보를 수집하는 행위를 의미한다. 상황전파는 보고, 통보, 대응지시로 나뉘며, 보고는 지휘계통별 재난상황과 응급조치 및 수습 내용을 정기·수시(실시간)으로 보고하는 행위를 의미하고, 통보는 인적·물적 자원의 수습, 재난상황의 수습 등을 위하여 필요한 사항을 통보하는 행위를 의미한다. 초동조치 및 지휘는 대응시지에 따른 지휘계통별 우선 대응할 수 있도록 조치를 취하고, 의사결정을 하는 행위로 정의한다(그림 2).

[그림 2] 재난정보관리의 정의



2. 재난정보관리 표준화의 정의

본 연구에서의 재난정보관리 표준화를 개발하고 수행하는데 있어 용어의 정의

“ 재난정보관리
표준화는 상황실
대응 업무와 관련 ”

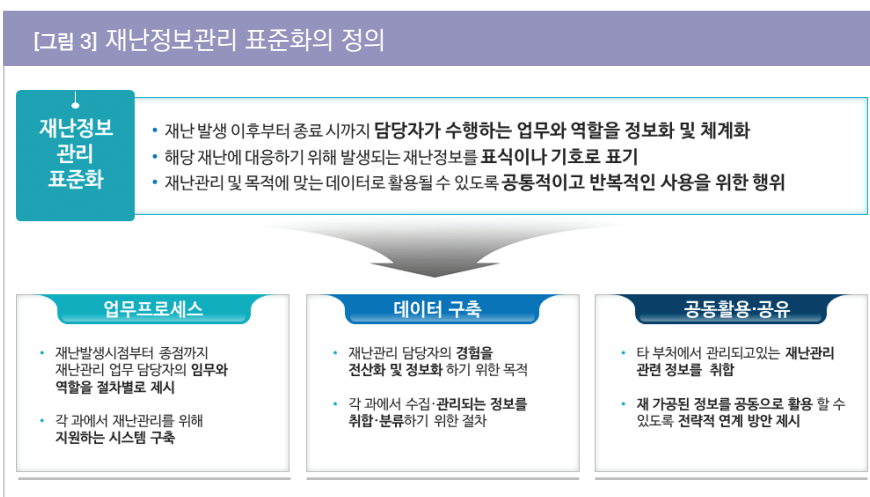
를 우선 사전적 의미에서 표준화(Standardization)를 살펴보면, 사물, 개념, 방법 및 절차 등에 대해서 합리적인 표준(Standard)을 설정하고, 이를 활용하기 위한 규칙, 지침 가이드 등을 만드는 조직적인 행위로 정의된다. 여기에 방재적 의미와의 연계성을 살펴보면, 재난안전 정보를 본 연구의 목적에 맞는 데이터로 활용할 수 있도록 공통적이고 반복적인 사용을 위한 정의 및 행위로 구별되며, 재난안전 정보의 생산, 소비, 유통에 대한 정보의 통일성 및 일관성을 확보하는 것이 표준화의 방재적 의미라고 정의할 수 있다. 코드체계와의 연관성을 고려한 전산적 의미를 정의하면, 재난안전 데이터를 표준화된 코드로 변환하고 분류하여 재난안전 정보의 의미와 요건을 규정하고, 재난안전 데이터의 종류 및 규칙에 대한 표준을 정하는 행위로 정의할 수 있다.

재난정보관리 표준화는 재난정보관리 업무 및 상황실 대응 업무와 관련되며, 정보의 관리 및 업무프로세스와의 연계성을 고려할 때, 크게 세 가지로 나눌 수 있다. 첫 번째는 재난 발생 이후부터 종료 시까지 재난정보관리 담당자가 수행하는 업무와 역할을 체계화하는 것을 의미한다. 둘째는 해당 재난에 대응하기 위해 발생하는 정보를 표식이나 기호로 표기하는 행위를 의미하며, 세 번째는 재난정보관리 목적에 맞는 데이터로 활용될 수 있도록 공통적이고 반복적인 사용을 위한 행위를 의미한다. 이러한 재난정보관리 표준화는 크게 업무 프로세스와 데이터 구축, 공동활용 및 공유로 나

누어지며 각각의 의미는 다음과 같다.

업무 프로세스는 재난발생 시점부터 종점까지 재난정보관리 업무 담당자의 업무와 역할을 절차별로 제시하는 것이며, 각 과정에서 재난정보관리를 위해 지원

[그림 3] 재난정보관리 표준화의 정의



“ 재난안전은 자연
재난 14개, 사회
재난 8개가 대상 ”

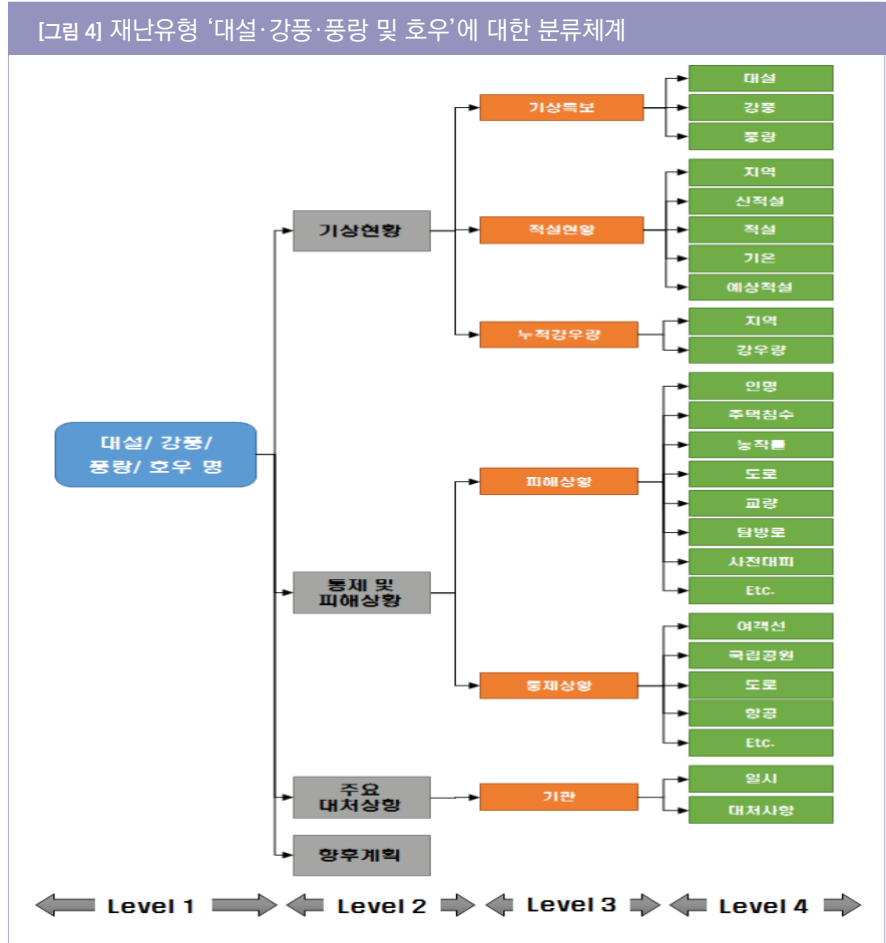
하는 시스템을 구축하는 목적을 지닌다. 데이터 구축의 경우 재난정보관리 담당자의 경험을 전산화하는데 목적이 있으며, 각 과에서 수집 및 관리되는 정보를 취합·분류하기 위한 절차를 의미한다. 마지막으로 공동활용 및 공유는 타부처에서 관리되고 있는 재난정보관리 관련 정보를 취합하고, 재가공된 정보를 공동으로 활용할 수 있도록 전략적 연계방안을 제시하는데 의미가 있다.

3. 재난안전 데이터 코드의 정의

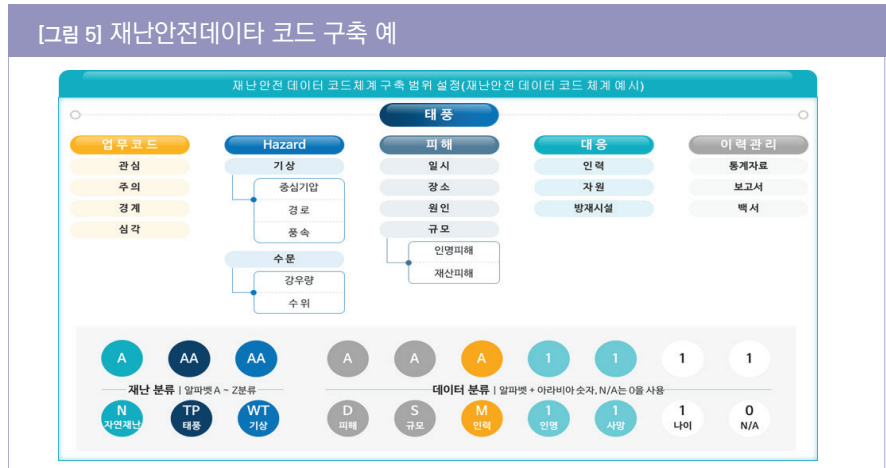
재난안전데이터를 정의하기 위해 앞서 우선 정의해야 하는 용어는 대상데이터로 설정되어 있는 재난안전과 재난안전데이터이다. 재난안전은 「재난 및 안전관리 기본법」 제3조1항에서 제시하는 자연재난 14개(호우, 대설, 낙뢰, 지진, 태풍, 황사, 홍수, 가뭄, 강풍, 풍랑, 해일, 조류대발생, 조수, 화산활동, 우주재난)와 사회재난 8개(화재, 붕괴, 폭발, 교통사고, 화생방사고, 환경오염사고, 감염병 또는 전염병)의 총 22개 재난을 대상으로 한다. 재난안전 데이터는 재난정보관리 업무와 관련하여 우선 재난정보 수집단계부터의 모든 자료와 정보수집부터 생산되는 활동과 관련된 모든 자료(보고용 문서 등), 그리고 사후 기 구축된 재난관리 통계자료(재해연보, 재난연감 등)을 대상으로 한다. 재난안전 데이터코드는 재난안전 데이터에 대한 정보를 표식이나 기호로 표기하여 정보의 원활한 공동이용을 위해 체계적으로 표준화한 것을 의미한다.

현재 재난안전데이터 코드체계는 22개 재난에 대하여 모두 구축하였으며, 이중 지진, 태풍(호우), 화재, 감염병 및 전염병 등 4개의 DB를 구축 중이다. 그림 4는 태풍(호우)의 분류체계 예시이다. 그림 5와 표 1은 재난안전데이터 코드 구축 예시와 호우의 재난안전 코드체계이다.

[그림 4] 재난유형 ‘대설·강풍·풍랑 및 호우’에 대한 분류체계



[그림 5] 재난안전데이터 코드 구축 예



〈표 1〉 호우(HR_0000000) 코드체계

중분류	소분류	세분류
10 기상현황	1010 기상특보	101010 대설
		101020 강풍
		101030 풍랑
	1020 적설현황	102010 지역
		102020 신적설
		102030 적설
		102040 기온
	1030 누적강우량	102050 예상적설
		103010 지역
30 통제 및 피해상황	3010 피해상황	103020 강우량
		301010 인명
		301020 주택침수
		301030 농작물
		301040 도로
		301050 교량
		301060 탐방로
		301070 사전대피
		301080 달리 분류되지 않은 분류
		3020 통제상황
	302020 국립공원	
	302030 도로	
	302040 항공	
	302050 달리 분류되지 않은 분류	
	50 주요 대처상황	5000 ¹⁾ 기관명
		500020 대처사항
60 향후 조치계획	6000 하위 분류 없음	600000 하위 분류 없음

4. ADVI3S 시스템 구축

재난안전데이터 시각화 정보제공 시스템(ADVI3S: Advanced Disaster Visualized intelligent, interactive and Information System)은 데이터 검색분야의 선진화된 기술을 기반으로 사용자에게 재난정보를 질의응답형식의 시각화된 형태로 제공 가능하다. 질의응답형의 시각화 정보제공 기술은 재난대응 업무프

1 5000 : 뒤 두 자리는 각 기관의 고유번호로 부여

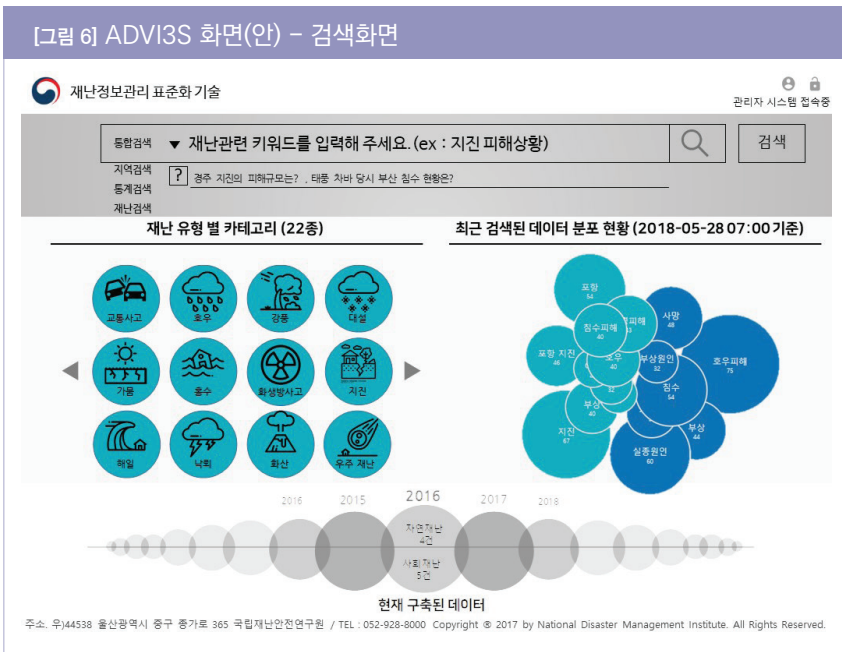
“ ADVI3S는 검색, 재난코드 지도, 재해 통계로 구성 ”

로세스를 기반으로 업무의 진행상황과 특성에 맞춰 사용자에게 최적화된 재난관리 업무 수행이 가능하도록 지원하도록 도입되었다. ADVI3S 화면은 재난대응 담당자의 업무특성을 고려하여

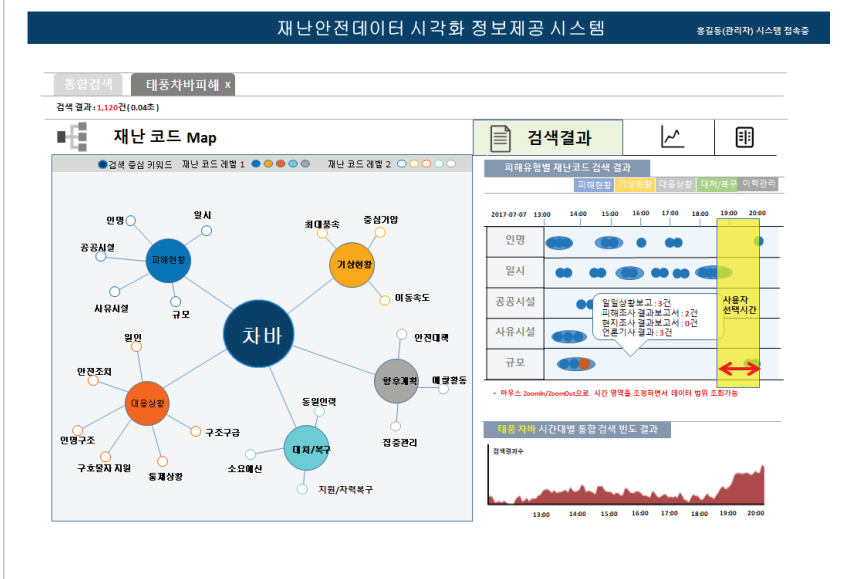
콘텐츠를 기획하였으며, 화면의 레이아웃은 크게 검색, 재난코드 지도, 재해 통계로 이루어져 있다.

검색화면은 검색 입력창, 재난 유형별 카테고리, 최근 검색된 데이터 분포 현황으로 구성되어 있으며, 통합 검색어와 유사한 검색어 및 질문을 제공하는 연관 검색어도 배치하였다. 재난코드 지도는 사용자가 검색한 정보와 연결되는 재난안전 데이터 코드체계를 한 눈에 파악할 수 있도록 설계하였으며, 재난코드 지도를 통해 검색어와 연결되는 상위 레벨의 코드를 선택하여 이동할 수 있다. 또한 사용자가 검색을 통한 검색 결과에 대한 정보를 표, 그래프 등으로 제공하며, 세부 조건에 따른 시계열 데이터의 결과 정보도 그래프로 제공한다. 재해 통계

[그림 6] ADVI3S 화면(안) - 검색화면



[그림 7] ADVI3S 화면(안) - 재난 코드 지도(map)



“ 연구의 주된 성과는 재난안전 데이터 시각화 정보 제공 시스템 개발임 ”

화면에서는 사용자의 검색어에 따른 기존 재해통계를 제공한다. 재해연보 및 재난연감의 피해 원인별, 기간별 및 지역별 통계를 표, 그래프 등으로 제공하도록 기획하였다.

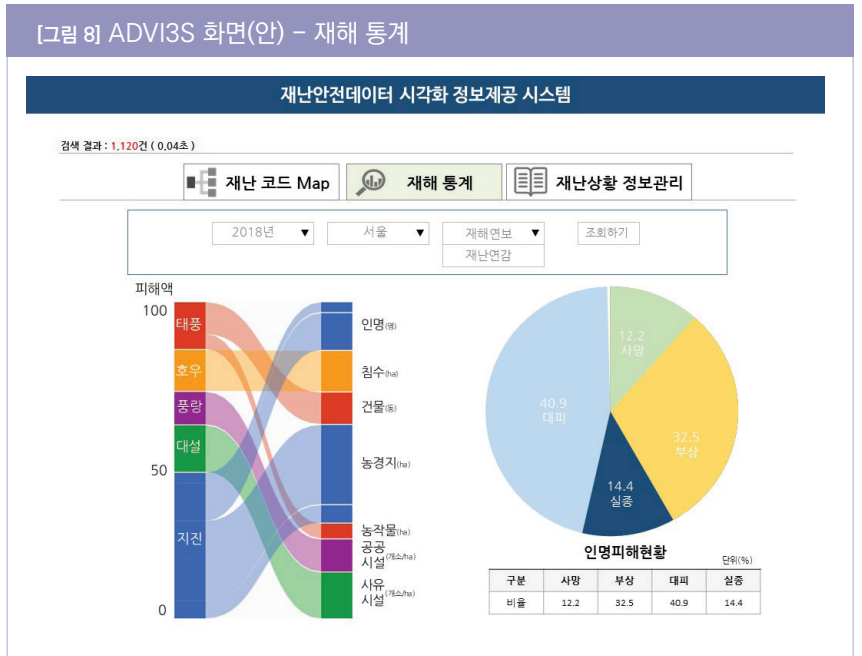
IV. 기술별 주요 연구내용 및 연계

본 연구는 3개의 세부로 나누어져 있으며, 각 세부가 독립적으로 연구 수행이 진행되면서도, 각각의 성과가 기술적으로 연결되어 하나의 연구 성과를 도출하도록 계획되어 있다. 그 하나의 연구 성과는 궁극적으로 2세부에서 개발하

고 있는 재난안전 데이터 시각화 정보 제공 시스템(ADVI3S, Advanced Disaster Visualized Intelligent, Interactive and Information System)이 해당되며, 1세부는 재난안전 데이터 코드체계 및 DB를 구축하여 2세부에 전달하고, 3세부는 표준화 전략수립을 통해 시스템의 운영 및 데이터 유통을 위해 내·외부 환경적으로 어떻게 구성되어야 하는지를 제시한다. 각 세부별 기술적 연계를 설명하면 다음과 같다.

1세부는 앞서 설명한 바와 같이 재난안전 데이터 코드 체계 구축과 기술의 안전화 및 활용성 제고 방안을 제시할 예정이며, 국내외 표준화 사례 및 코드체계 시스템 구현 방향을 수립하여 제시하고, 재난안전 데이터 코드체계를 개발하여 ADVI3S 마스터플랜 수립 시 요구사항 분석에 연구성과를 공유한다. 이후 재난안전 데이터 시범구축을 하여 ADVI3S의 조회화면과 선택모형 등의 기능 개발에 연

[그림 8] ADVI3S 화면(안) - 재해 통계

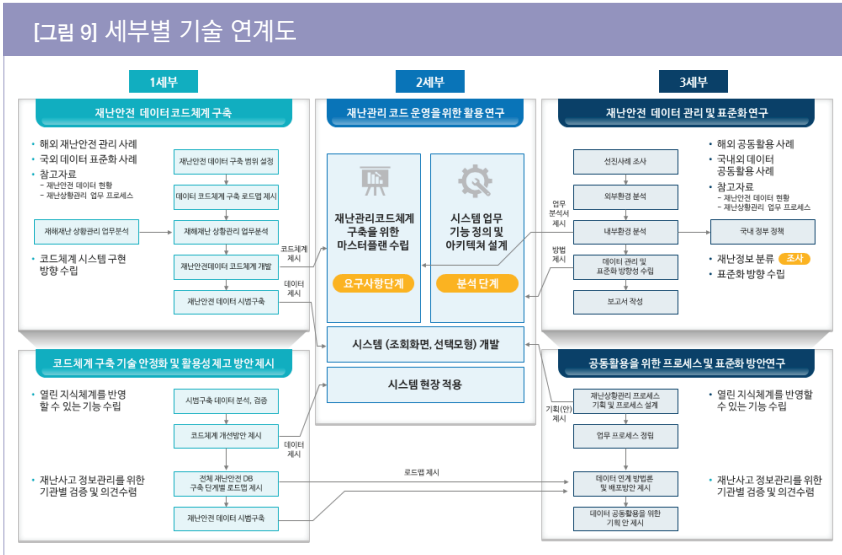


“ 개발된 시스템을 통해
신규 업무 담당자의
역량강화가 가능 ”

계성을 갖는다. 또한 코드체계 개선방안을 제시함으로써 시스템의 현장 적용에 데이터를 제시하고, 재난안전 DB 구축 로드맵 제시와 시범 구축된 데이터를 통해 3세부의 데이터 연계 방법론 및 배포방안 제시를 위한 기술적 연계성을 확보하도록 연구 성과를 공유한다. 3세부는 재난안전 데이터 관리 및 표준화 전략 수립을 위해 내부 환경 분석 단계에서 ADVIS 요구사항 수집을 위한 업무 분석서를 제시하고, 데이터관리와 표준화 방향수립에 대한 방법론을 2세부와 연계토록 한다. 그

리고 궁극적으로는 재난정보 관리 프로세스 설계를 통해 ADVIS 개발 시 연구성과를 공유하여 지속적이고 연속적으로 시스템이 내외부망을 통해 유지관리 될 수 있도록 기술적 방안과 전략을 제시한다. 2세부는 시스템 개발로서 앞선 1, 3세부의 연구성과를 활용하여 마스터플랜 수립과 시스템 개발 및 현장적용시 활용할 수 있도록 한다.

[그림 9] 세부별 기술 연계도



V. 활용방안 및 기대효과

우선 재난정보관리지원을 위한 활용방안으로는 첫째, 신규 재난정보관리 업무 담당자의 업무 역량 강화를 들 수 있다. 본 연구는 기존 상황관리의 노하우와 경험을 전산화하여 서비스하는 것으로 신규 업무 담당자 역량 강화에 가장 초점이 맞춰져 있다. 둘째, 빠른 의사결정을 통한 골든타임 확보이다. 기존의 재난정보관리 단계를 본 연구개발을 통해 단순화하고, 축소시킬 수 있는 만큼 의사결정지원을 통해

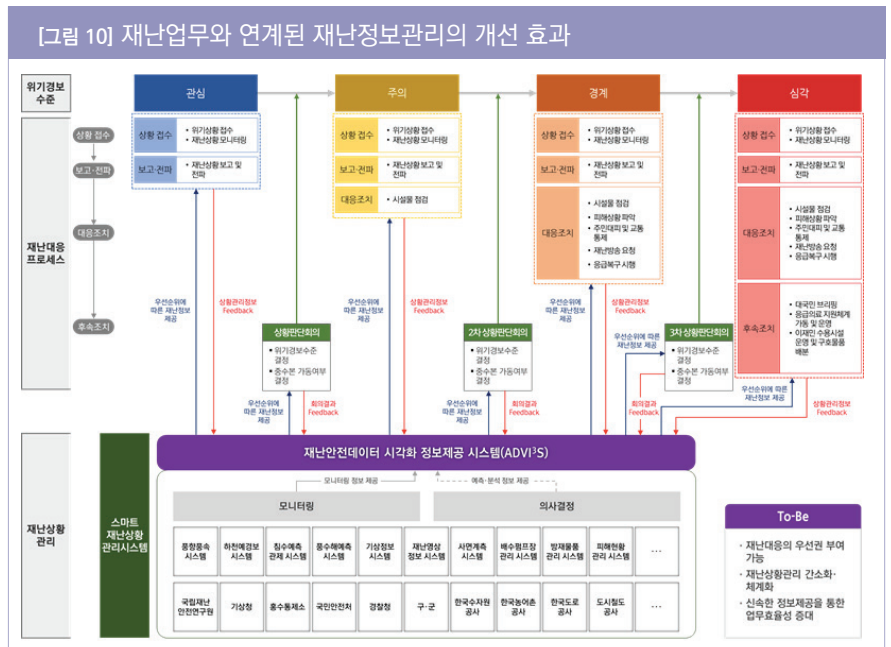
“ 재난정보관리 시스템 개발을 통해 과학기술적 및 경제·산업적인 효과가 기대됨 ”

대응 시간 확보가 가능할 것으로 전망된다. 셋째, 재난상황 보고 및 전파 시 재난 비 교분석 결과 정보 제공이 가능하다. 재난 발생에 따라 과거 유사 재난의 형태와 경 험을 조회해 봄으로써 대상 재난에 대한 예측과 대응력을 강화시킬 수 있는 장점을 지닌다. 넷째, 현장대응 및 응급복구 수행을 위한 효율적 자원(인력, 장비 등)의 활 용 정보 제공이 가능할 수 있다. 자원의 운영은 재난정보관리에 있어 가장 중요한 의사결정 사항 중의 하나로서 과거 경험정보를 활용하여 보다 효과적인 자원 활용 전략을 수립할 수 있다. 마지막으로 재난별 대응전략 수립을 위한 전문가 업무지원 이 가능하다. 이것은 결국 전문성 확대를 통해 재난정보관리 업무 담당자의 능력 고취에 활용될 수 있을 것으로 전망할 수 있다.

다음은 재난관리 단계별 활용 방안이 있을 수 있다. 우선 재난별, 지역별, 분야별 피해 특성 분석결과를 제공할 수 있다. 그리고 피해 발생에 따른 해당 지역 과거 유 사 피해 이력 정보와 피해 예상지역에 대한 규모와 대응방안을 위한 경험 정보 제 공이 가능하다. 또한 대응 업무 지원을 위한 인력 및 자원관리가 가능하며, 마지막 으로 복구정책 및 투자우선순위 선정을 위한 기초자료로서 활용이 가능할 것으로 기대한다.

재난정보관리 시스템의 개발을 통해 기대되는 효과는 크게 과학기술적 측면과 경제·산업적 측면으로 나눌 수 있다. 과학기술 적 측면의 기대효과에 대해 기술하면 다음과 같다.

첫째, 선도형 재해정보 제 공 체계 구축이다. 선도형 재해정보 제공 체계는 현행 선진국의 기술을 능가하는



“ 최근의 복합재난
발생으로 재난상황
분석 및 예측 기술의
한계에 봉착 ”

기술 개발의 실현이 가능할 것으로 기대하는 측면이 있으며, 재해정보 제공 기술의 향상 및 재난발생 상황에 따른 맞춤형 정보 제공을 실현할 수 있을 것으로 기대한다. 또한 세계 시장 선점 및 기술 우위를 확보하는데 일조할 것으로 기대한다. 둘째는 재난정보관리 기술 수준 향상이다. 차세대 재난정보관리를 위한 방향제시와 함께 상황관리업무 지원을 위한 맞춤형 정보제공, 그리고 인력·조직·비용 등의 정보 공유 및 추적·활용이 가능할 것으로 기대한다. 셋째, 자연 및 인적재난 관리 기술 수준의 향상이다. 재난별 재난관리에 따른 피해 예측 정보 서비스 향상 및 재난 발생에 따른 의사결정지원, 상황판단회의를 위한 정보 지원 등이 가능 크게 개대할 수 있다.

경제·산업적 측면으로는 일자리 창출 및 산업구조 개선과 경제적 효율성 증대, 그리고 기술 수출에 따른 부가가치 창출이 있으며, 일자리 창출은 재난 업무의 전문 인력과 피해분석, 취약산업분야 추가 정보 제공이 가능할 것으로 기대한다. 국가적으로는 예산의 효율적 집행과 손실 감소, 투자 우선순위 결정지원을 경제적 효율성 증대의 기대효과라 할 수 있으며, 마지막으로 기술수출로 인한 부가가치 창출과 시장 개발 등이다.

또한 연구의 향후 활용성 측면에서 중요한 점은 최근 각광을 받고 있는 인공지능 시스템 구현 측면에서 활용될 수 있다는 점이다. 인공지능은 알파고 이후로 다양한 분야에서 활용되고 있으며, 특히 재난상황에서 인공지능을 활용해 재난상황을 이해하고, 재난상황을 분석하며, 피해를 예측할 수 있는 방안에 대하여 많은 연구가 이루어지고 있다. 하지만 최근 재난상황은 단일재난으로 나타나지 않고 자연재난이 사회재난으로 연결되는 형태인 복합재난이 자주 발생하고 있어 재난상황 분석 및 예측의 기술적 한계에 봉착해 있다. 또한 인공지능 분석을 위한 학습데이터의 비정형성, 한글인식의 한계 등 여러 요인으로 인해 재난상황을 신속히 대응할 수 있는 '재난상황 맞춤형 인공지능 시스템 구현'에 어려움을 겪고 있는 것이 현실이다. 재난안전데이터의 코드화 및 DB구축은 광의적 의미에서 인공지능의 재난상황이

“ 인공지능이 재난 상황을 이해하기 위해선 온톨로지 계층구조 구성이 필수적으로 요구 ”

해측면에서 수반되어야하는 핵심기술인 온톨로지(Ontology)구현과 재난상황분석 및 예측모형 학습에 필요한 정형화·코드화된 데이터 제공 측면에서 인공지능 시스템으로의 발전과정 중 필수적인 기술 확보의 의미를 가진다고 볼 수 있다. 이를 자세히 살펴보면, 인공지능이 재난상황을 정확히 이해(시멘틱 웹 구성 및 다양한 질의어 이해)하기 위해서는 온톨로지 계층구조의 구성이 필수적이며 이와 관련하여 본 연구의 1세부 재난안전데이터 표준화과제는 재난데이터를 효과적으로 활용하기 위하여 데이터의 코드화와 계층화를 진행하고 있다. 이는 향후 인공지능 구현 시 재난과 재난, 재난과 원인, 재난과 대응 프로세스 등 다양한 재난안전 데이터간의 연관관계를 규명(온톨로지 계층트리)하기 위한 연구과정에서 기본 계층구조로 활용될 수 있다. 또한 이를 통해 기존 데이터 계층화 방법에 비하여 각종 데이터 간의 계층화 구현, 검증에 소요되는 전문가 활용 비용 및 시간을 절감하고 표준화된 데이터의 활용으로 분석 정확도를 높이는 효과를 나타낼 것으로 전망하고 있다. 또한 재난상황을 분석하고 예측하기 위한 인공지능 모형을 구현하기 위해서는 데이터의 수치화가 선행되어야 하며 이는 3세부의 이미지→텍스트 변화기술과 1세부의 표준화 기술을 활용한다면 데이터의 전처리(수치화 및 재분류, 추가필요항목 생성 등)를 위한 기준이 마련되어 보다 정확하고 신속한 분석이 가능한 인공지능 예측모형의 알고리즘 구현 및 학습이 가능해 질 것이다.

이와 같이 본 연구는 수집된 재난안전데이터를 표출하는 단순시스템의 한계를 벗어나 향후 구현될 재난상황 인공지능 분석 시스템의 기초기술 확보와 미래지향적 분석시스템 개발의 기준을 제시하고 있다.

감사의 글

본 기사는 행정안전부 극한재난대응기반 기술개발의 연구비 지원(2017-MOIS31-004)에 의해 수행 되었습니다.

참고문헌

- 강인석, 박서영, 문현석, 2006: 시설물 재해관리를 위한 재해정보분류체계 구성 방안, 한국철도학회논문집, 9(4), 335-342.
- 국가건설기술연구원, 2013: 건설공사기준의 코드체계 도입방안 연구
- 국가과학기술심의회, 2014: 2014년도 기술수준평가(120개 국가전략기술)
- 국가과학기술심의회, 2014: 재난 대응 과학기술 역할 강화 3개년 실천전략(안)
- 국립재난안전연구원, 2014: 안전정보통합관리시스템 구축 ISP
- 국립재난안전연구원, 2013: 재난 대피·구호 기술개발 상세기획 연구
- 국립재난안전연구원, 2015: 재난상황관리기술개발 기획연구
- 국립재난안전연구원, 2016: 재난원인 과학조사 활용체계 구축.
- 한승희, 양금철, 2007: 자연재해 분류 표준안에 관한 고찰, 한국콘텐츠학회논문지, 7(11), 309-319.
- ISO, 2005: INTERNATIONAL CLASSIFICATION FOR STANDARDS, pp.112.
- 하천관리지리정보시스템: www.river.go.kr

지표홍반자외선정보 제공 및 향후 대응

박상서 서울대학교 지구환경과학부 연구교수 sangseopark@snu.ac.kr

- I. 지표자외선의 관심
- II. 지표홍반자외선의 정의 및 위험성
- III. 지표홍반자외선정보의 제공 현황
- IV. 자외선정보의 개선 및 향후 대응 방향

홍반발생 및 피부암의 유발과 같은 인체에 대한 위험성이 알려지면서 지표자외선은 오존층 파괴가 이루어진 1970년대 이후부터 지속적인 관심을 받아왔다. 생체에 영향을 주는 자외선 복사량의 정량화를 위해 전세계적으로 홍반자외선량의 개념을 도입하여 자외선의 강도에 따른 위험도와 대응 지침을 정의하였다. 또한 지속적인 감시와 연구를 위하여 관측 측기에 대한 기준을 설정하여 관측망을 확대하여 왔다. 기존에는 측기의 파장 범위 한계로 인해 모든 파장 범위를 고려하지 못하였으나, 새로운 측기 도입 확대로 인해 홍반자외선량의 정의에 근접한 새로운 자외선지수의 개념을 도입하고, 관측과 예보에 반영하여 보다 정확한 생활정보지수를 제공할 수 있게 되었다. 그러나 최근 들어 실내 활동 시간과 자외선 차단제 사용이 증가하면서 여름철의 자외선 위험도뿐만 아니라 자외선 부족 시기에 대한 영향도 함께 고려가 필요하다. 이러한 이유로 일변화를 고려한 자외선량과 적정노출시간 정보의 산출에 대한 개선이 지속적으로 필요하다. ■

“태양복사에너지는 50%의 가시광선, 40%의 근적외선, 10%의 자외선이 지표에 도달”

I. 지표자외선의 관심

태양복사에너지는 지구대기에 도달할 때에는 50%의 가시광선, 40%의 근적외선 외에 10% 가량의 자외선이 도달하게 된다. 그러나 파장이 짧아 생체조직에 위해를 가할 수 있는 자외선은 대부분 성층권에 존재하는 오존층과 그보다 높은 고도에서 대부분 감쇄하기 때문에 지표에는 주로 장파영역인 자외선A(320~400 nm)만 도달하게 된다. 일부 자외선B(280~320nm) 영역의 복사도 지표면으로 도달하긴 하지만 그 절대적인 값은 미미하다. 생체피부나 DNA에 미치는 영향은 자외선 내에서 단파일수록 위협적이기 때문에, 지표면에 도달하는 자외선량은 보건적인 측면에서 전 자외선 영역이 고려되어야 한다. 특히 1980년대 연구에서 많은 발표가 이루어진 인위적인 영향에 의한 오존층 파괴 문제는 지표에 도달하는 자외선의 증가에 영향을 주기 때문에 오존층의 변화와 함께 지표에 도달하는 자외선에 대한 감시 또한 지속적으로 관심이 이루어졌다(Crutzen et al., 1986).

생체 조직의 영향력에 대해서 자외선은 파장별로 다르게 나타나게 된다. 자외선 B 영역은 직접적인 영향으로 면역계의 손상과 피부암 등의 유발을 일으킬 수 있으며, 자외선A 영역에서는 피부노화와 같은 장기적인 형태로 영향을 주게 된다. 따라서 자외선에 의한 인체의 종합적인 영향력을 평가하기 위해 피부홍반발생에 대한 파장별 가중치를 적용한 홍반자외선(Erythemal UV; EUV) 개념을 도입하여 지표 도달자외선에 대한 인체 유해성을 정량화하였다.

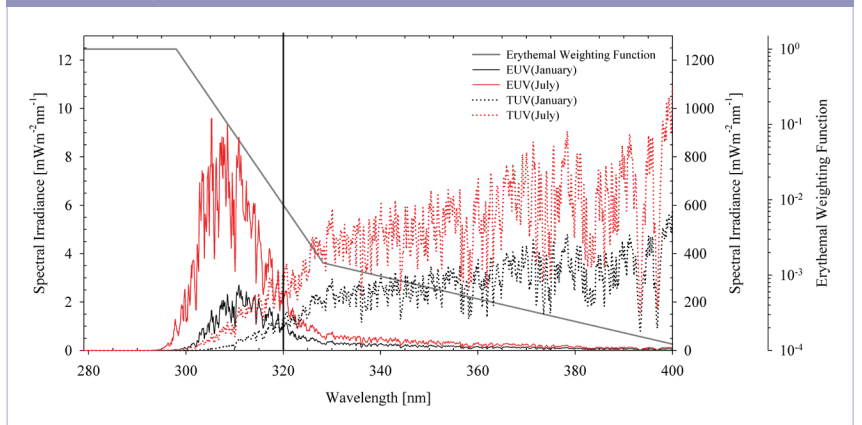
II. 지표홍반자외선의 정의 및 위험성

지표홍반자외선은 피부에 홍반을 발생시킬 수 있는 자외선에 대해서 파장별 가중치를 적용하여 만들어진 자외선량으로 파장별 자외선 복사량에 홍반가중합수를 곱한 값을 파장별로 적산하여 계산된다(Mckinlay and Diffey, 1987). 홍반가중합수는 자외선B와 A 영역인 280~400nm의 전 영역에 대하여 정의가 되어 있으

“ 지표홍반자외선
관측 및 연구에서
자외선B 파장
영역이 가장 중요 ”

며, 가중함수의 변화는 300nm보다 긴 파장에 대해서 기하급수적으로 감소하는 형태로 나타난다. 따라서 그림 1에서 보이는 바와 같이 지표면에 도달하는 홍반가중함수가 적용된 홍반자외선(EUV)은 가중함수를 적용하기 전인 총자외선(Total UV; TUV)에 비해서 파장별 특성이 다른 것을 알 수 있다. 특히 320nm 이하인 자외선B 영역에서 TUV기준 복사량은 10% 미만으로 나타나고 있지만, EUV기준으로 볼 경우에는 80% 이상의 값이 자외선B 영역에 해당하기 때문에 자외선B 파장 영역이 지표홍반자외선 관측 및 연구에서 가장 중요한 파장 영역으로 이용되어 왔다.

[그림 1] 지표에 도달하는 파장별 총자외선과 홍반가중함수를 적용한 홍반자외선량 (복사전달모델을 통한 계산 결과이며, 1월과 7월의 서울 평균 대기상태를 가정)



지표홍반자외선을 정확하게 파악하기 위해서는 해당 자외선 파장 영역을 모두 관측할 수 있는 고해상도의 관측 장비가 필요하다. 그러나 고해상도의 자외선 파장영역 모니터링 장비는 운용과 비용 측면에서 많은 한계점이 존재하기 때문에 폭 넓은 관측망의 확보와 관측지점의 확대를 위하여 자외선 영역을 하나의 관측 채널로 관측하는 광대역 측기에 대한 기준이 제시되고 있다(WMO, 2011). 이를 바탕으로 지표홍반자외선 관측만을 목적으로 하는 광대역 광학계가 보급되기도 하였다(Solar Light Co., 2006). 이러한 광학계는 파장별 총자외 정보를 정확하게 확보할 수는 없으나, 측기의 안정성만 확보되어 있다면 지표홍반자외선량을 별도의 사후 처리없이 측정할 수 있도록 설계되었다.

지표홍반자외선의 기본 단위는 복사휘도와 동일한 단위로 정의된다. 그러나 복사량을 통한 보건적인 영향력을 확인할 경우에는 직관적인 이해에 어려움이 존재

“ 5~9월 동안 서울의 자외선지수가 높음 이상으로 나타남 ”

하기 때문에 홍반자외선량을 지수화하여 이를 ‘자외선지수’로 정의하였다(Kerr et

〈표 1〉 자외선지수별 구분 및 대응방법

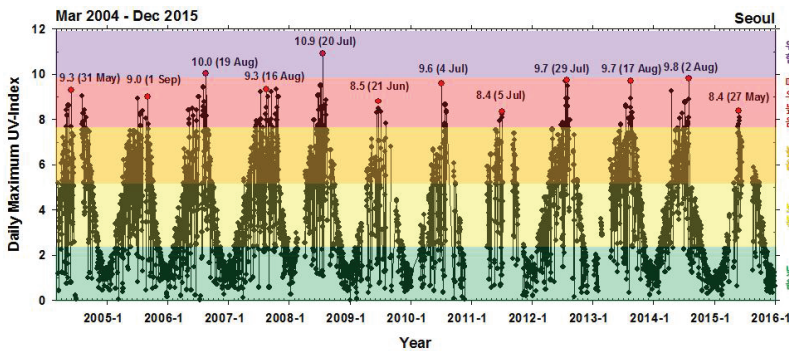
구분	자외선지수 범위	의미 및 대응
낮음	0~2	특별한 보호조치 불필요
보통	3~5	2~3시간 노출시 화상 가능성
높음	6~7	1~2시간 내에도 화상 가능성
매우 높음	8~10	수십 분 내에 피부 화상
위험	11~	가능한 실내에 머무르기를 권장

al., 1994). 그리고 자외선지수를 이용하여 각 지수별로 위험도를 구분하였으며, 그 위험도는 왼쪽의 표 1과 같이 정의된다(WMO, 2002).

그림 2는 실제 고해상도 관측을 통해 얻어진 일별 자외선지수의 최대값에 대한 시계열 결과이다. 서울 지역을

기준으로 5~9월에 걸쳐서 일 최대값에서 높음 이상의 자외선지수가 나타나고 있음을 알 수 있다. 또한 보통인 자외선지수도 3~11월 동안 나타나고 있기 때문에 비교적 홍반자외선량이 적은 겨울철을 제외하고는 지속적인 관심이 필요하다.

〈그림 2〉 지표홍반자외선 복사량의 지수별 분류 및 일 최대값 시계열 (2004.3.~2015.12., 연세대학교)



출처: 지구대기감시보고서 2015(기상청, 2016)

III. 지표홍반자외선정보의 제공 현황

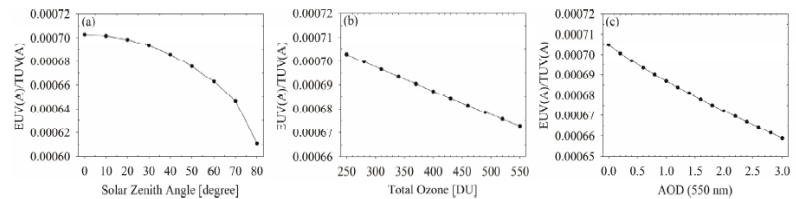
현재 기상청에서는 생활기상지수 중의 하나로 자외선지수를 채택하고 3~11월에 걸쳐서 예보정보를 제공하고 있다. 또한 ‘종합기후변화감시정보시스템’을 통해 현재 관측이 이루어지고 있는 지점에 대한 자외선지수 정보를 일 최대값과 실시간정보를 동시에 제공하고 있다. 과거에는 지표홍반자외선을 관측하는 측기가 자외선 B 영역으로만 한정되었기 때문에, 홍반자외선정보를 제공하기 위해 필요한 전 파장 영역을 모두 관측하지 못하는 한계가 존재하였다. 현재는 자외선A 영역에 대해서

“ 자외선A 영역의 TUV정보가 홍반 자외선정보로 변환될 경우 8%의 자외선량이 증가 ”

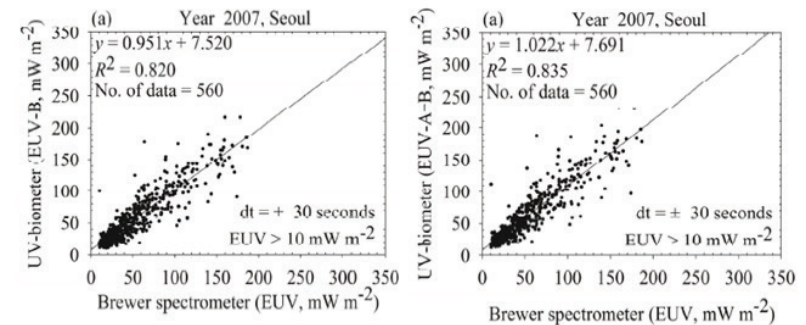
총자외선을 광대역으로 관측하는 측기가 도입되면서 자외선A와 B영역을 동시에 고려한 지표홍반자외선정보를 제공할 관측 여건이 갖추어졌다. 그러나 자외선A 영역의 측기는 TUV 정보를 제공하기 때문에 홍반자외선정보로의 변환이 필요하다.

최근 지표면에 도달하는 자외선복사량에 대해서 자외선A 영역의 TUV 정보를 홍반자외선정보로 변환하기 위한 변환계수 도출을 위해 태양천정각, 오존전량, 에어로졸 광학두께를 고려하는 연구가 이루어졌으며(그림 3), 이 연구를 통해서 자외선A 영역에서의 TUV 정보가 홍반 자외선정보로 변환되어 반영될 경우, 8%가량의 홍반자외선량이 증가하는 것으로 나타났다(Park et al., 2015). 이러한 연구 결과를 바탕으로 기존 ‘자외선지수’관측자료에서 파장 범위를 모두 고려한 ‘총 자외선지수’의 형태로 지표홍반자외선 정보를 수정하여 제공하고 있다.

[그림 3] 모의계산을 통한 자외선A영역의 TUV로부터 홍반자외선량으로의 변환계수(Park et al., 2015)



[그림 4] 고해상도 파장 관측을 통한 홍반자외선량 (EUV, 가로축)과 자외선B 영역의 홍반자외선(좌) 및 자외선A 영역을 고려한 홍반자외선량(우) (Park et al., 2015)



IV. 자외선정보의 개선 및 향후 대응 방향

지금까지 자외선정보의 제공은 홍반자외선과 같이 자외선의 해로운 영향에 대한 정보 제공이 주된 목적이었다. 그러나 최근 들어 생활 패턴의 변화로 인한 주간 실

“ 자외선이 부족하면
우울증, 혈압저하,
비타민D 합성에
영향을 줄 수 있음 ”

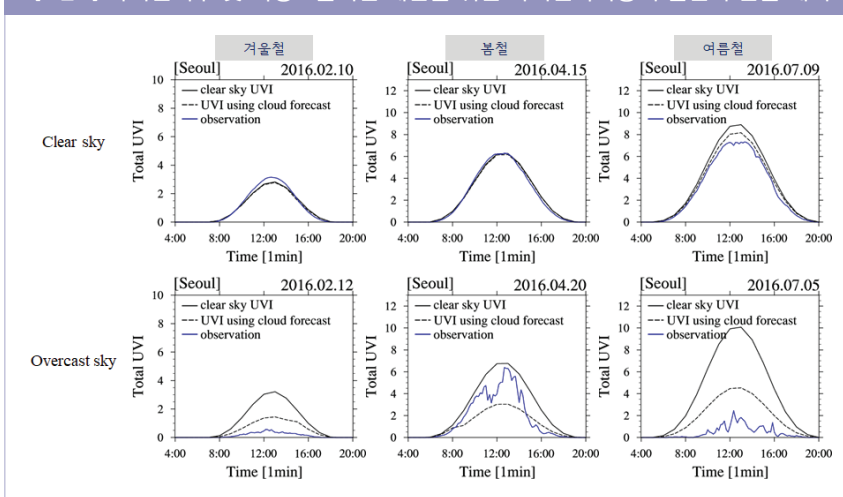
내 생활의 증가와 과도한 자외선차단제의 사용 등으로 인해 역으로 자외선 노출이 부족해지는 현상이 발생하고 있다. 자외선은 노출이 부족할 경우에는 우울증이나 혈압 감소 등을 일으킬 수 있으며, 인체 내에서의 비타민 D의 합성에도 영향을 주게 된다(Albert and Ostheimer, 2002). 따라서 여름철 자외선 노출에 대한 위험성을 알리기 위한 정보 제공과 함께 상대적으로 지표에 도달하는 자외선이 약한 겨울철에 대해서도 별도의 정보가 제공되어야 한다.

자외선 노출 측면에서 볼 때 적절한 노출시간은 결국 충분한 비타민 D 합성을 위한 최소의 노출시간이면서 자외선노출에 의한 홍반·화상 등이 발생하지 않는 최대 노출시간 사이에서의 정해져야 한다. 이러한 목적을 위하여 비타민 D의 적정 합성과 함께 피부 화상 등에 영향을 주지 않는 범위로의 자외선 적정 노출시간을 예보하고, 관측에서도 동일한 정보를 제공할 수 있는 차기 시스템 개선이 기존 자외선지수 정보 제공과 동시에 이루어져야 한다. 또한 노출시간 측면에서 기존 자외선지수의 예보가 일 최대값만을 제공했던 것에 반해 노출시간 계산을 위해 일 변화를 최대한 고려하여 분 단위의 자외선량 예보가 제공되어야 한다. 시간해상도의 개선을 통해 보다 정밀한 생활정보지수의 제공이 가능해질 것이다(그림 5, 6).

그림 7은 기존 자외선정보 예보 시스템에서 노출시간 계산을 개선한 적정 노출

시간의 전국 예보 결과이다. 지표홍반자외선의 시공간적 변화는 오존전량, 에어로졸, 지표면 반사도 및 고도 정보와 구름에 의한 차광에 의해서 영향을 받게 된다. 이러한 영향 등을 예전보다 정밀히 고려하여 지역별 조건이나 기상조건에 따른 공간적 변화를 보다 세밀하게 산출할 수 있을

[그림 5] 자외선지수 및 적정노출시간 계산을 위한 자외선복사량의 일변화 산출 예시

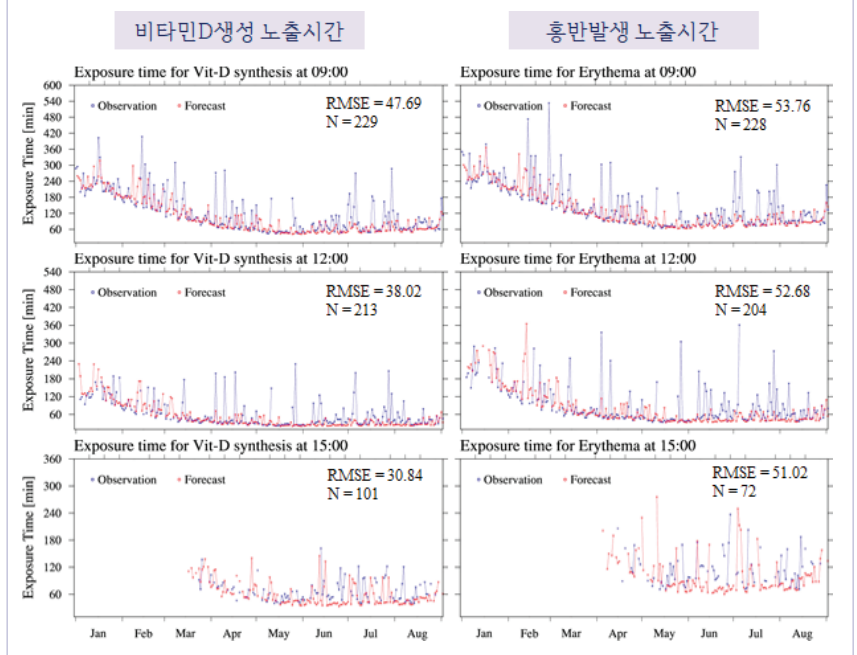


것으로 기대하고 있다.

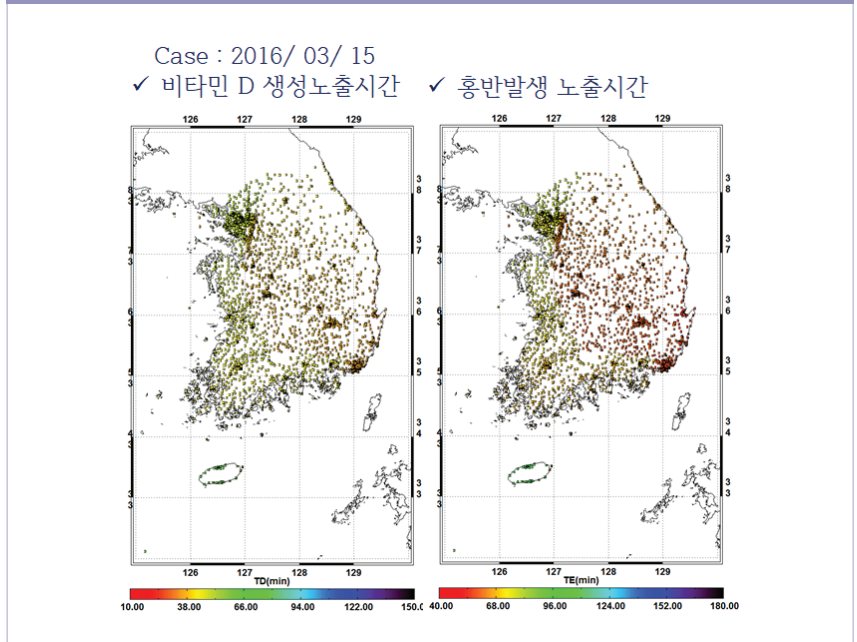
그러나 현재 구름 예보 정보의 시간규모는 3시간이기 때문에 보다 세밀한 계산에는 한계가 존재한다. 그 외에도 운량 정보는 복사량의 감쇄 정보와 정비례하지 않는 문제가 있어 예보에서 산출되는 운량 결과를 자외선 감쇄로 변환하는 구름보정계수(Cloud Modification Factor; CMF)에 대한 도입이 필요하다. 이 계수정보는 현재 운량에 대한 함수로만 가정되어 있지만, 동일 운량이라 하더라도 구름의 두께와 모양에 따라서 자외선량 감쇄에 주는 영향이 매우 다르기 때문에 단순히 운량 정보로만으로는 그 값을 특정 지을 수가 없다. 따라서 자외선지수 관측이 이루어진 지점의 장기 관측 정보를 통해 보다 정밀한 구름보정계수를 재계산하는 노력이 계속해서 필요할 것으로 보인다(표 2).

그리고 총자외선지수의 활

[그림 6] 자외선량의 일변화를 고려하여 계산된 자외선 적정노출시간



[그림 7] 비타민 D 합성 및 홍반발생을 고려한 노출시간 예측결과의 전국 분포



“ 현재 제공되는
총자외선지수는
15개 지점에서
관측된 자료를
사용 ”

용으로 인하여 고려할 파장 범위가 확대됨에 따라 자외선량 변화에 영향을 주는 요소에 대한 보정계수도 자외선B와 A의 구분이 필요하게 되었다. 그림 8은 에어로졸 광학두께(Aerosol Optical Depth; AOD)와 구름광학두께(Cloud Optical

〈표 2〉 자외선정보 계산시 사용하는 구름보정계수와 관측값과의 비교

운량	예보 CMF	관측 CMF	
		평균	표준편차
0~2	0.984	0.841	0.178
3~5	0.918	0.750	0.189
6~8	0.784	0.609	0.189
9~10	0.579	0.309	0.187

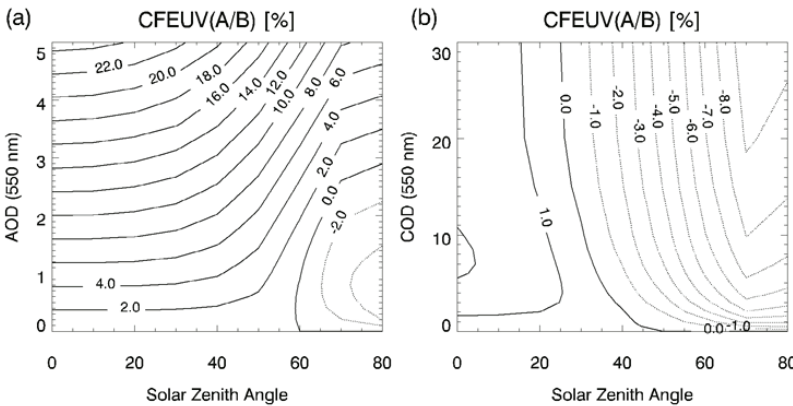
Depth; COD)에 따른 홍반자외선 감쇄보정계수의 파장의존도를 나타낸 것이다(Park et al., 2016). 기존의 관측과 예보에서는 홍반자외선의 주 파장영역인 자외선B 영역만을 고려하였기 때문에 보정계수에 대한 파장의존

성이 크지 않았으나, 파장범위가 커지면서 구름과 에어로졸에 의한 감쇄 효과에 대해서 파장의존성을 고려할 필요성이 있을 것으로 보인다.

현재 종합기후변화감시정보시스템을 통해 제공되고 있는 총자외선지수 관측 지점은 전국 15개 지점으로 구성되어 있다. 그러나 에어로졸이나 구름 정보는 지역적으로 매우 큰 변동성을 보이기 때문에 인구

밀집지역이나 야외활동이 자주 있는 지역을 중심으로 관측망의 확장과 측기의 안정된 관측값 산출을 위한 지속적인 관리가 필요하다. 현재는 홍반자외선에 관련된 총자외선지수만을 제공하기 때문에 상대적으로 겨울철의 관리가 소홀할 수 있으나, 겨울철 적정노출시간을 위한 관측 정보의 필요성이 확대될 경우, 관측망의 활용범위가 확대될 수 있을 것으로 보인다.

〔그림 8〕 AOD와 COD의 변화에 따른 자외선감쇄의 보정계수의 파장의존도 (Park et al., 2016).



참고문헌

- Paul J. Crutzen and Frank Arnold, 1986: Nitric acid cloud formation in the cold Antarctic stratosphere: a major cause for the springtime 'ozone hole', Nature.
- Mckinlay and Diffey, 1987: A reference action spectrum for UV induced erythema in human skin, Human Exposure to Ultraviolet Radiation: Risks and Regulations.
- WMO, 2011: GAW Report No. 198 : Data Quality Objectives (DQO) for Solar Ultraviolet Radiation Measurements (Part 1).
- Solar Light Co., 2006: 501 UV Biometer Owners Manual.
- Kerr et al., 1994: The Canadian Ozone Watch and UV-B advisory programs. Proceedings of the Quadrennial Ozone Symposium 1992, 794 - 797.
- WMO, 2002: Global Solar UV Index: A Practical guide.
- Sang Seo Park, Yun Gon Lee and Jung Hyun Kim, 2015: Impact of UV-A Radiation on Erythral UV and UV-index Estimation over Korea, Adv. Atmos. Sci., 32, 1639-1646.
- Albert and Ostheimer, 2002: The evolution of current medical and popular attitudes towards ultraviolet light exposure: Part 1. J. Am. Acad. Dermatol., 47, 930-937.
- Sang Seo Park, Yeonjin Jung and Yun Gon Lee, 2016: Spectral dependence on the correction factor of erythral UV for cloud, aerosol total ozone, and surface properties: A modeling study, Adv. Atmos. Sci., 33, 865-874.

스마트 폭염대응을 위한 기상 전문가의 역할

권용석 대구경북연구원 미래전략연구실 부연구위원 kwon@dgi.re.kr

- I. 들어가기
- II. 폭염 도시, 대구시 소개
- III. 폭염 대응관련 대구시 도시 미기후 관리 실태
- IV. 대구시 도시 미기후 관리 고도화의 필요성과 시급성
- V. 현명한(smart) 폭염 대응 위한 제언

폭염은 도시화·산업화와 기후변화로 인해 그 강도와 빈도가 증가하고 있는 기상재해 중 하나이다. 최근 근거법 개정에 따라 폭염은 ‘자연재해’ 위상을 지니게 될 것으로 예상됨에 따라 앞으로 한층 더 체계적인 관리가 이루어질 필요가 있다. 본고에서는 대구시를 예시로 하여 현재 지자체 단위 폭염대응 실태를 살펴보고, 이어 도시계획과정에서 도시의 기상적 특성에 대한 충분한 고려가 배제된 상태에서 발생한 대구시의 도시열환경 문제를 지적하면서 이러한 문제가 재발되지 않도록 향후에는 도시계획과정 중에 기상 전문가들의 적극적인 참여가 요청됨을 알리고자 하였다. ■

“ 1994년 폭염으로 인한 사망자는 3,384명으로 집계 ”

1. 들어가기

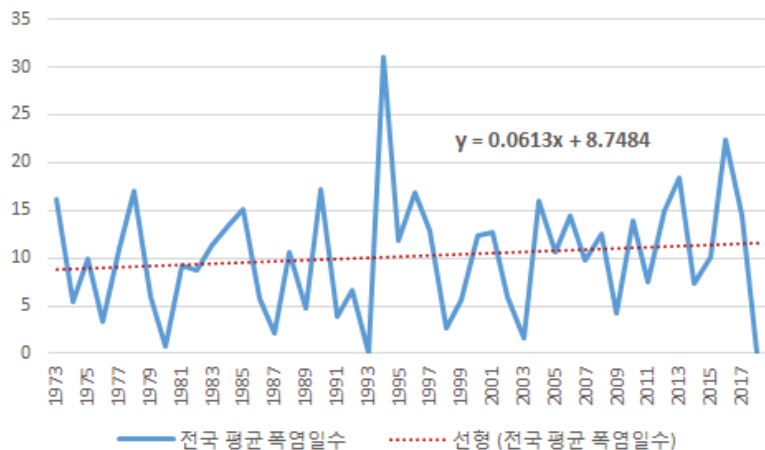
폭염은 지속적으로 그 강도가 증가하고 있으며, 이로 인한 피해 또한 동반상승하는 추세를 보인다. 폭염 발생은 계절변화에 따라 자연적으로 나타나는 것으로 발생 자체를 인위적으로 막을 수는 없다. 다만 그 강도는 도시화, 산업화 등에 따른 인위적인 요인에 의해 지속적으로 강해지고 있는 것이 일반적인 사실로 받아들여지고 있다.

그림 1은 지난 30년간 폭염 발생 일수를 표시한 것으로서 이를 살펴보면 시기적으로 많고 적음의 편차는 있지만 전반적으로 추세가 증가하고 있음을 확인할 수 있다. 한편, 유독 폭염이 심각했던 1994년에는 폭염으로 인한 사망자가 3,384명 집계되었고, 이는 태풍, 홍수와 같은 역대 다른 기상재해보다 훨씬 큰 피해였다.

이상 언급한 두 가지 사실, 즉 도시화와 산업화로 인한 폭염강도 증가추세와 폭염이 끼칠 수 있는 막대한 피해정도를 감안했을 때 폭염은 언제든지 예상치 못한 막대한 피해를 유발할 수 있는 위험요소로 우리사회 발전에 큰 걸림돌로 작용할 수 있다.

게다가 인구고령화와 같은 사회적 현상까지 추가로 감안하면, 그 사회적 손실은 앞으로 더욱 커질 것으로 예상된다. 따라서 우리사회의 지속 가능한 발전을 실현하기 위해서는 지금부터라도 폭염 대응 방안에 대한 면밀하면서도 차분한 검토가 필요하다. 이처럼 중요한 폭염 문제에 대해 그간 우리사회의 대처는 어떠하였는가?

[그림 1] 우리나라 지난 30년간의 평균 폭염일수



출처: 기상자료개방포털(<https://data.kma.go.kr>)

“ 영남권에서 대구, 구미, 포항, 영천 등 도시 지역에서 잦은 폭염 발생 ”

본 글에서는 대구시를 예시로 삼아 현재의 폭염 대응 실태를 통해 아직까지 미흡한 도시미기후 관리 측면을 짚어보고자 한다. 그리고 이를 통해 도시계획과 기상 두 분야의 공조가 아직까지 미흡했으며, 앞으로 더욱 긴밀한 협력 하에 도시계획과 정 중에서 기상전문가들의 보다 적극적인 참여가 요구된다는 점을 알리고자 한다.

II. 폭염 도시, 대구시 소개

[그림 2] 최근 3년간 폭염 빈도 TOP5 지자체

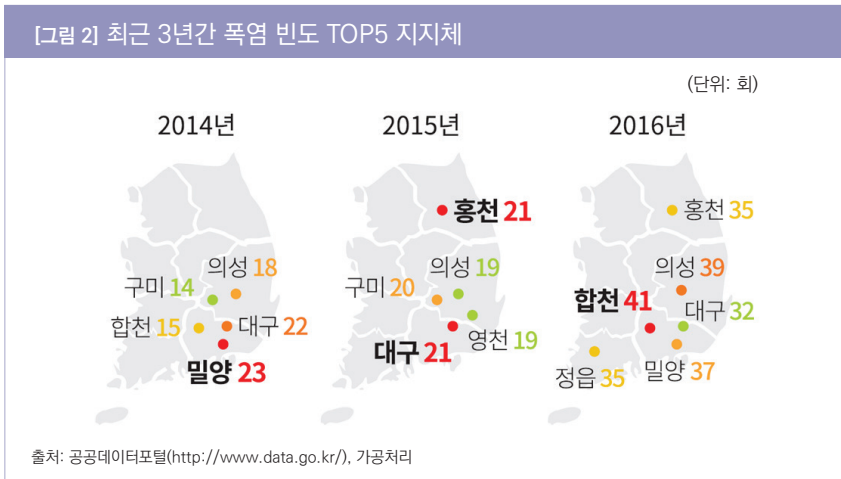
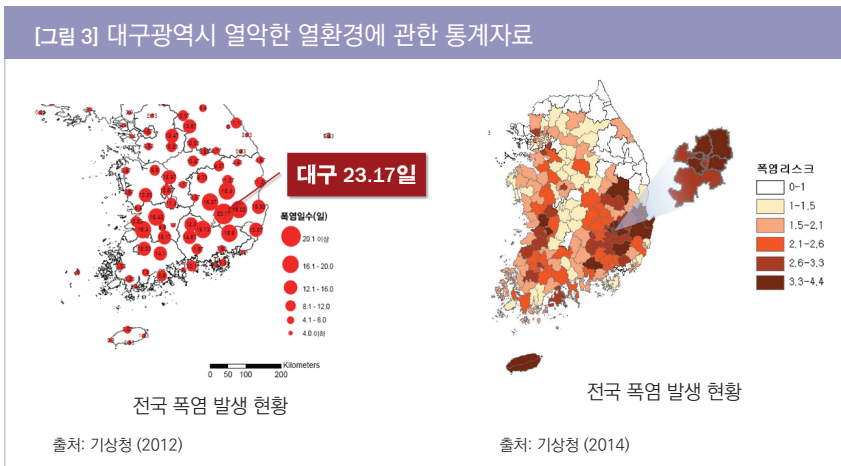


그림 2는 2014년부터 2016년까지 3년간 폭염 발생 빈도가 높은 지역을 보여주고 있다. 폭염은 그 정도가 지역적으로 편차를 보이는데, 그 중에서 영남지역의 폭염 빈도가 잦다. 지역적 특성을 봤을 때는 도시화지역에서 폭염의 빈도와 강도가 강하다. 대구·경북 지역을 예로 살펴보면 대구, 구미, 포항, 영천 등 도시지역에서 폭염이 많이 발생하고 있다.

[그림 3] 대구광역시 열악한 열환경에 관한 통계자료



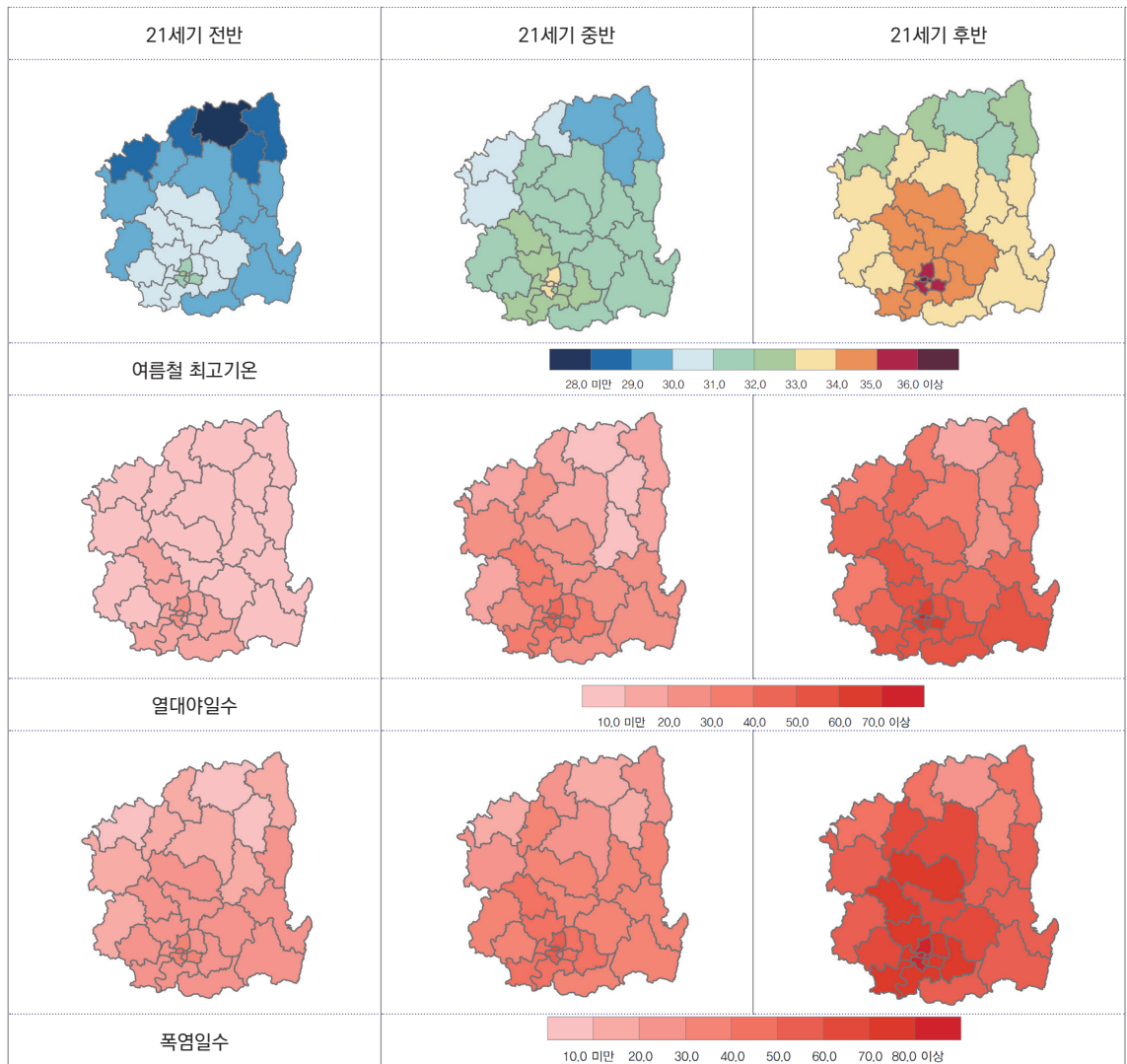
이미 앞서 언급한 바와 같이 대구시는 지난 30년 간(1981-2010년) 남한 내 폭염이 가장 심한 도시로서, 대구시 모든 구군이 폭염위험도¹⁾ 전국 상

1 독거노인 수, 폭염일수, 농림어업 종사자 수, 열대야일수를 독립변수로 폭염사망자 수를 구하고 이를 기초로 사망 위험도를 추정한 값

위 10위 내에 속해있다.

그리고 이처럼 폭염이 심한 도시로서 유지되어온 대구의 명성은 앞으로도 지속 될 것으로 예상된다. 기상청 자료에 따르면, 21세기말 경 대구지역 여름철 평균 일

그림 4 대구광역시 및 경상북도 기후변화 영향



자료: 기상청, 2012, 대구·경상북도 기후변화 전망보고서.
 주) RCP 8.5 시나리오²⁾ 적용 시

2 RCP 8.5 시나리오: 현 추세대로의 온실가스 배출을 가정한 기후변화시나리오

“ 금세기 후반
대구의 평균
폭염일수는
55일 증가할
것으로 추정 ”

최고기온은 36°C를 초과하며, 현재 6.1일 수준의 열대야 일수는 60.5일 수준으로 대폭 증가할 것으로 예상된다. 그리고 대구의 평균 폭염일수는 금세기 후반 55일이 증가할 것으로 추정되었다.

이상 살펴본 물리적 영향 외에도 폭염은 인문사회적으로도 영향력을 발휘하고 있는데, 더위는 대구시의 도시 이미지를 결정하는 주요 요소이다. 엄봉훈&김금용(2013)에 따르면 최근 들어 팔공산, 섬유, 사과 등 과거 대구를 대표했던 이미지를 제치고 더위가 가장 대표적인 이미지로 부각되고 있다. 게다가 최근에는 ‘대프리카’라는 신조어까지 등장하면서 더위로 인해 지역 이미지가 실추되고 있다. ‘대프리카’는 대구의 더위를 아프리카에 빗대어 부르는 신조어로서 정주여건의 열악성을 함축한 단어이다.

[그림 5] ‘대프리카’ 신조어 관련 기사

대구신문

2015년 08월 05일 목요일 006면 사회

용암에 휩싸인 시청...‘대프리카’의 위엄

(대구-아프리카 협상)

대구 더위 패러디물 나와 누리꾼 “그림 인형” 폭소

지난달 말부터 전국에 불볕더위가 찾아오며 무더위로 유명한 대구를 풍자한 사진들이 인터넷에 쏟아지고 있다.

5일 소셜네트워크서비스(SNS)와 인터넷 커뮤니티 게시판 등에는 그림에 대구라는 설명을 달며 패러디들이 다양하게 올라와 있다. 도시가 불에 휩싸인 채 있는 그림 밑에는 ‘혼란 대구의 열대야나 대프리카의 위엄’이라는 제목이 달렸다. 건물이 불에 타고 길거리에는 넓은 용암이 파도처럼 흐르고 있는 그림은 ‘대구의 장마철 모습’이라고 돼 있다. 도사에 불길이 치솟고 있는

그림은 ‘대구 타워에서 보는 대구의 야경’이라고 적혀있다. 용암이 휩싸인 큰 건물 그림은 ‘대구 시청’이라고 쓰였다. 대구 시민을 패러디한 그림들도 많았다. 불을 내뿜고 있는 로봇 캐릭터와 온몸에 불이 붙은 개 두 마리가 등장하는 그래픽 그림에는 ‘개들과 산책 나온 대구 시민’이라는 설명이 달렸다. 불길에 치솟는 건물에 사람 두 명이 올라가는 그림은 ‘대구 의생동이 등교하는 모습’, 불길에 차량 수십 대가 타고 난 곳에는 ‘한 사람이 서 있는 그림에는 대구 시민이 혼란한 주차장에서 자신의 차량을 찾고 있다고 썼다. 이밖에도 대구는 낮 최고기온이 36도 밑으로 떨어지지 않고 있다. 대구는

이미 지난달 25일 폭염주의보와 폭염경보가 내려졌고, 지난 3일부터는 폭염 특보가 발령된 상태다. 대구는 기온도 높지만, 불지 지열이라는 열기가 도시를 잘 채워나가지 못한다. 온라인에서는 이런 대구를 ‘대프리카’라고 부르고 있다. 대구와 아프리카를 합친 말이다.

인터넷에서 이런 패러디물을 본 누리꾼들은 재밌는 반응을 보이고 있다. ‘일본 한국이 몇나 의심스럽다. 역시 대프리카’, ‘대구가 20년 남게 살고 있지만 여름이 올 때마다 죽음이 안 된다. 그림은 모두 인장, 나무 옷이다’, ‘대구 놀러갔을 때 숨이 안 쉬어지더라. 대구 폭염 대단!’하는 등 패러디 사진에 이런 댓글을 달며 즐거워하고 있다.

김지홍기자 kjh@daegu.co.kr



각종 SNS와 온라인 커뮤니티 협제.

<대구신문 2015.8.6.>

영남일보

2015년 08월 05일 수요일 002면 종합

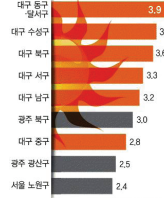
폭염지도 보니 ‘대프리카’ 맞네

(대구-아프리카 협상)

대구 7개區 모두 高위험 10위권 달성군은 郡단위서 최고로 더위

폭염 위험도가 높은 지역은 대구와 경북, 제주도도 집중 분포돼 있는 것으로 나타났다. 4일 국민안전처 국립재난안전연구원의 ‘폭염정보 수집 연계를 통한 폭염 위험지도’ 관련 보고서에 따르면, 대구지역 8개 구·군이 폭염 위험도가 높은 것으로 조사됐다. 폭염 위험도가 높은 폭염·광역시 상위 10개 기초단체에 대구지역의 7곳이 포함돼 있다. 대구 동구와 달서구의 폭염 위험도가 3.0으로 가장 높았다. 이어 수성구(3.7), 북구(3.0), 서구(3.0), 남구(3.2), 중구(3.0), 남포구(2.8), 중구(2.5), 서대구(2.4)

폭염 위험도 높은 특별·광역시 10개 기초단체



(자료: 국립재난안전연구원)

(3.2) 순이었다. 중구(2.8)는 광주 북구(3.0)보다는 낮고, 광주 광산구(2.5), 서울 노원구(2.3)보다는 높았다. 시 단위에선 제주와 포항(각 4.4)이 가장 높았으며, 이어 경주(4.3)가 그 뒤를 이었다. 인동(3.4)과 경산(3.3)도 폭염 위험도가 높은 상위 10개 시에 포함됐다. 단 단위에서는 달성군(3.2)이 가장 높았고 의성(3.1), 청도(2.8), 고령(2.4)도 상위 10개 군에 포함됐다. 재난안전연구원은 지자체별로 전체 인구를 고려하지 않았기 때문에, 이번 연구 결과에서 폭염위험도가 높은 지자체가 폭염으로 인한 사망 위험이 높다고 단정할 수는 없다고 설명했다.

폭염재기자 mischo2@yeongnam.com

<영남일보 2015.8.5.>

Ⅲ. 폭염 대응관련 대구시 도시 미기후 관리 실태

타 지역에 비해 폭염 위험도가 높은 대구시는 폭염 저감을 위해 다양한 도시 미기후 관리 사업들을 추진 중에 있다. 그 중 대표적인 사업은 도시녹화사업, 쿨링포그 설치사업, 쿨루프 사업이다. 다음은 대구시 대표 폭염 대응 사업의 내용을 살펴

“ 대구의 폭염대응 사업들은 즉각적, 소규모 조치에 집중 ”

봄으로서 대구시 도시 미기후 관리 실태를 가늠해 보고자 한다.

첫 번째, 도시녹화사업과 관련하여, 대구광역시는 담장허물기 운동의 발상지로 1996년 서구청 담장허물기 사업을 시작으로 경산감영공원, 국채보상운동기념공원 등으로 확대해가며 녹화사업을 선도하였다. 그 결과 대구광역시 가로수는 2013년 현재 195,294그루로 서울 다음으로 가로수가 많은 광역지자체다.

두 번째, 쿨링포그 설치사업은 2015년 시범사업을 통해 대구시 2곳의 공공장소에서 시작된 이래 지속적으로 확대되었고, 2017년 현재 13곳에 이르고 있다. 쿨링포그란 노즐을 통해 작은 물입자를 분출하는 것으로 분무된 물입자의 잠열로 인한 온도 저감은 물론 시각적 쾌적감을 주는 효과가 있다. 초기에는 공설시장에 설치하는 방안이 고려되었지만 분무된 물로 인한 진열상품의 훼손 및 수질과 관련된 보건상의 우려가 제기되며 난항을 겪었다. 하지만 2015년 실시한 시범사업 결과 시민들의 반응이 좋아 공원과 같은 개방된 공간을 중심으로 사업이 확대 추진되어 왔다.

세 번째, 쿨루프 사업은 건물 옥상부분의 채도를 높게 하여 건물에 흡수되는 태양복사광을 최소화하는 목적으로 수행된다. 대구시는 쿨루프사업을 2016년에 시범사업으로 추진하였다. 건물에 채색을 해야 하는 본 사업은 재산권과 밀접히 관련되어 현시점에서는 사업 대상이 공공건물에만 제한되어 있으나 차츰 은행, 사립학교와 같은 공공성 민간시설로 확대할 예정이다.

대구시 폭염 대응 사업들을 살펴본 결과 주로 개별 사안별로 즉각적이거나 건물 단위 수준의 소규모 조치에 집중되어 있음을 알 수 있다. 반면, 바람길이나 찬공기 생성지 조성과 같은 장기적이면서 광역적인 차원에서의 도시 미기후 관리는 사실상 이루어지지 못하고 있다.

IV. 대구시 도시 미기후 관리 고도화의 필요성과 시급성

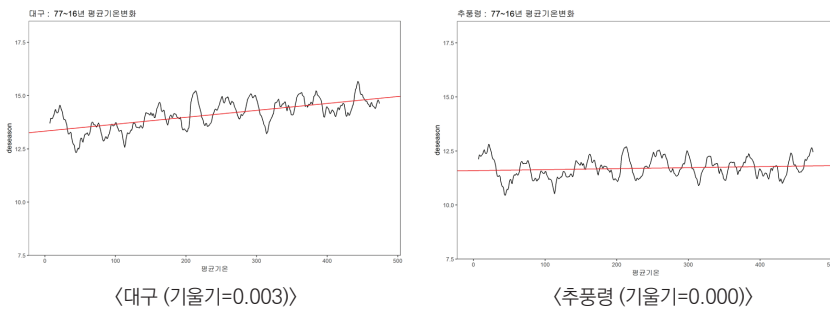
기후변화 현상에 대한 많은 홍보와 객관적이고 과학적인 연구결과들을 통해 기후변화가 앞으로 지속적으로 폭염의 강도와 빈도를 높여 우리사회 발전의 큰 걸림

“ 지역의 온도변화는 도시화와 산업화가 기후변화보다 더 직접적인 원인 ”

둘로 작용할 것이라는 점에는 큰 이견이 없을 것이다. 다만, 최근 몇 년간 또는 앞으로 몇 십 년간 폭염을 가중시키는 원인으로 기후변화만을 특정할 경우 대책마련에 장기적이고, 추상적인 해결책만이 강구될 위험성이 있다. 반면, 도시열섬현상은 구체적인 폭염 가중의 한 원인으로서는 사람들에게 직접 체감될 수 있다. 그림 6은 대구시와 추풍령 지역의 지난 30년간 온도변화이다. 대구시의 경우 지속적으로 온도가 상승한 반면, 추풍령의 경우 지난 30년간 온도변화가 거의 없다. 이처럼 상이한 온도변화 추세는 기후변화보다는 도시화·산업화가 온도상승에 더 직접적인 영향을 미치는 것을 보여준다.

기후변화는 그에 대한 대처가 전세계적인 반면, 도시열섬현상은 국지적이기에 대응책 마련이 한결 용이하다. 실제로 도시열섬은 폭염을 가중시키는 요인 중 도시화·산업화와 밀접한 현상으로서 이를 제어하기 위한 다양한 노력들이 꾸준히 시도되어 왔다. 그 중 하나가 ‘바람길’ 조성과 같은 도시 미기후 관리이다. 독일 주요 도시들의 경우 이미 도시계획 단계에 바람길을 고려한 개발이 진행되고 있다. 하지만 대구시를 포함하여 우리나라는 전국적으로 바람길 조성의 필요성에 대한 논의와 바람길 구축방안에

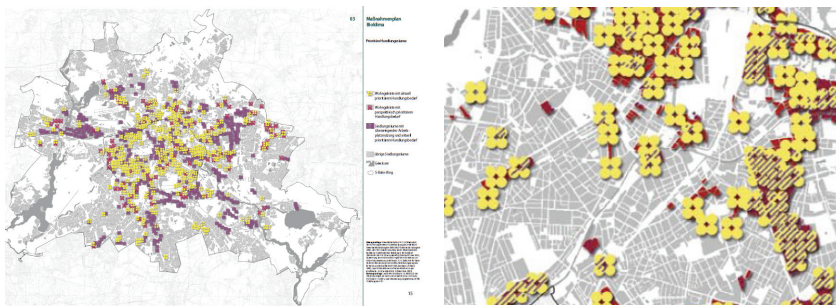
[그림 6] 대구시 주변 주요도시 기온변화



출처: 기후정보포털(<https://ccs.climate.go.kr/>)
주: 1. 기상청 종관기상관측장비(ASOS)에서 관측한 자료를 시계열 분석
2. 분석자료는 1977~2016년 평균기온변화 (1977.01~2016.12) 자료
3. 종단기상관측소: 대구(143), 추풍령(135)

시열섬현상은 국지적이기에 대응책 마련이 한결 용이하다. 실제로 도시열섬은 폭염을 가중시키는 요인 중 도시화·산업화와 밀접한 현상으로서 이를 제어하기 위한 다양한 노력들이 꾸준히 시도되어 왔다. 그 중 하나가 ‘바람길’ 조성과 같은 도시 미기후 관리이다. 독일 주요 도시들의 경우 이미 도시계획 단계에 바람길을 고려한 개발이 진행되고 있다. 하지만 대구시를 포함하여 우리나라는 전국적으로 바람길 조성의 필요성에 대한 논의와 바람길 구축방안에

[그림 7] 독일 베를린시 도시 미기후 관리계획도



출처: Umweltatlas(<https://www.stadtentwicklung.berlin.de/umwelt/umweltatlas/>)

후 관리이다. 독일 주요 도시들의 경우 이미 도시계획 단계에 바람길을 고려한 개발이 진행되고 있다. 하지만 대구시를 포함하여 우리나라는 전국적으로 바람길 조성의 필요성에 대한 논의와 바람길 구축방안에

“ 대구에서 인공열이 주로 발생하는 지역은 도시의 서측 ”

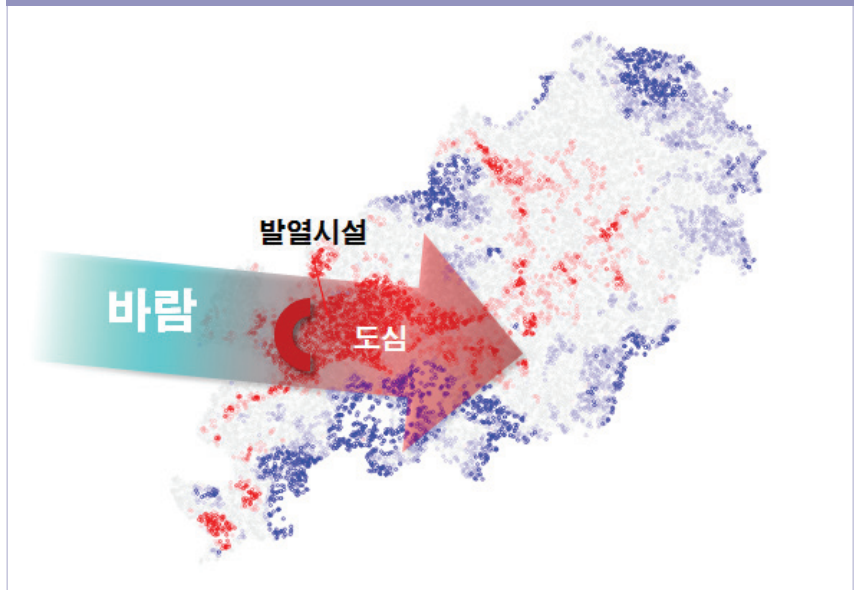
대한 기술적 접근은 활발히 진행되어 왔지만, 법·제도적으로는 큰 진전을 이루지 못한 상태이다.

대구시는 폭염에 직접적으로 연관된 도시열섬현상을 관리하는 데에 특별한 관심을 가질 필요가 있다. 그 이유는 대구시의 기상조건과 도시구조적 특징이 복합되어 심화되는 도시열섬현상에서 찾을 수 있다.

대구의 여름철 국지풍의 주풍향은 그림 8과 같이 서풍이고, 폭염이 발생하는 특정시점에도 유사한 풍향이며, 도시 내 인공열이 주로 발생하는 지역은 대구 서측지역이다. 이는 폭염 발생 시 발생하는 서풍이 도시 서측에서 발생된 인공열을 도시 밖으로 빼내기는커녕 오히려 도시 안쪽으로 이동시키기 때문에 대구 도심의 열환경을 필요 이상으로 악화시키는 문제를 야기한다.

폭염의 효과적인 관리를 위해서는 도시 내 발생하는 인공열에 대한 모니터링이 필수이나 대구 도시 내 인공열에 대한 실태는 아직 조사되지 않은 상태이다. 하지만, 대구시 에너지 과소비업체 통계를 통해 폐열 발생이 심한 금속, 섬유업체는 대구 서측에 밀집되어 있어 이 부분에서 대규모 인공열이 발생함을 유추할 수 있다. 이러한 구조적 문제가 발생한 원인은 도시계획 및 시설인허가 등 도시계획과정에서 대구시 고유의 기상특성이 충분히 고려되지 못했기 때문으로 판단된다.

[그림 8] 도시구조에 기인한 대구 대도시권의 열환경 악화



“ 도시공간구조 형성시
기상특성을 고려한
발열 시설 입지 및
폐열의 배출 확보가
검토되어야 함 ”

V. 현명한(smart) 폭염 대응 위한 제언: 도시계획과 기상과의 협력 절실

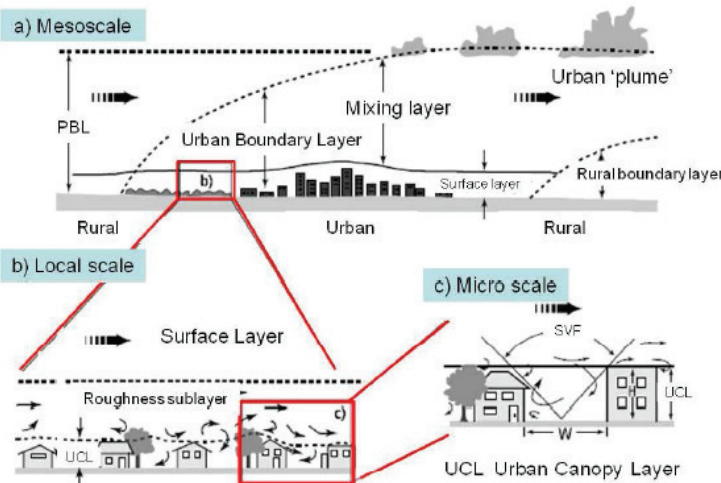
폭염은 언제든지 우리사회에 엄청난 재앙이 될 수 있는 기상재해이다. 그만큼 폭염에 대한 준비가 평소에 이루어질 필요가 있다. 2018년은 폭염이 태풍, 홍수와 같이 「재난 및 안전관리 기본법」상에 명시된 자연재해로 규정될 예정이다. 이에 따라 폭염에 대한 대응 또한 근거법에 따라 한층 더 ‘체계적’으로 이루어질 것으로 기대된다. 그리고 여기서 ‘체계적’이란 말의 의미는 폭염을 더이상 개별 사안으로 간주하여 임시방편적으로 대처하는 것이 아니라 환경과의 연관성 속에서 근본적인 원인을 찾아 해결방안을 모색하게 된다는 뜻이다.

한편, 폭염을 가중시키는 주요 요인인 도시열섬현상은 개별 건물 및 시설물 단위부터 전 도시 차원에 이르기까지 다양한 수준에서 발생한다. 따라서 해결노력 또한 공간을 고려한 다수준(multi-level) 차원에서 이루어져야 한다(그림 9).

특히 거시적 도시공간 차원에서의 각별한 검토가 중요하다. 왜냐하면 도시공간 구조가 한 번 형성된 이후에는 변경이 쉽지 않기 때문이다. 도시공간 구조를 형성

하는 과정에서 도시 고유의 기상·기후 특성이 제대로 반영되지 못할 경우 도시열섬문제는 더욱 가중되는데, 도시공간구조 형성시 기상특성을 고려하여 발열 시설의 입지나 폐열의 배출로 확보 등을 사전에 면밀히 검토해야 할 것이다. 그리고 이러한 검토과정이 충분한 전문성을 갖추기 위해서는 무엇보다도 도시계획 과정에서의 기상전문가의 적극적인 참여가 절대적으로 필요하다.

[그림 9] 다수준적인 도시열섬현상



출처: van Hove et al. 2011

참고 문헌

- 권용석, 2015: 환경도시 대구를 위한 도시열섬현상 저감 방안, 대구경북연구원.
- 권용석, 정군우, 최용준, 2017: 기후변화시대, 대구 대도시권 도시지역 폭염 대응방안 연구, 대구경북연구원.
- 기상청, 2012: 한반도 기후변화 전망보고서.
- 김도우, 정재학, 이종설, 이지선, 2014: 우리나라 폭염 인명피해 발생특징, 대기, 24(2), 224-234.
- 엄봉훈, 김금용, 2013: 대구광역시 도시이미지에 대한 지역 내외 주민 의식의 경시적 변화 비교, 한국조경학회지, 41(3), 12-21.
- van Hove, L.W.A., G.J. Steeneveld, C.M.J. Jacobs, B.G. Heusinkveld, J.A. Elbers, E.J. Moors and A.A.M. Holtslag, 2011: Exploring the Urban Heat Island Intensity of Dutch cities, Wageningen, Alterra report, pp63.
- 공공데이터포털: <https://www.data.go.kr/>
- 기후정보포털: <https://ccs.climate.go.kr/>
- Umweltatlas: <https://www.stadtentwicklung.berlin.de/umwelt/umweltatlas/>

인공지능을 활용한 재해기상 저감·예측 기술

김동훈 인하대학교 경기씨그랜드센터 부센터장/연구교수 mail@dhkim.info

- I. 인공지능망 딥러닝의 최근 기술 동향
- II. 인공지능망 딥러닝 활용 방안
- III. 활용 예: 엘니뇨 및 초단기풍속 예측 연구

인공신경망 딥러닝은 기상-해양 환경의 여러 분야에서 그 응용 가능성을 찾아 볼 수 있다. 위험기상의 자동 판별, 위성자료와 같은 원격 관측 자료의 자동 분석, 기후모형 자료의 분석, 시계열 분석, 기후 변화 경향 예측, 날씨 예측, 기상-해양 물리과정 모의, 자료동화의 성능 개선, 불확실한 해양물리변수의 개선, 이종간 모델 예측 자료의 앙상블 예측 등을 예로 들 수 있다. ■

“인공지능이 그동안 정체되었던 기상-해양 환경 예측 성능 개선의 돌파구가 될 가능성이 높음”

1. 인공지능망 딥러닝의 최근 기술개발 동향

알파고를 개발한 구글은 “알파고는 궁극적으로 인간이 해내기 어려운 복잡한 질병의 예측과 진단, 기후 변화 예측을 통한 재난 재해 예방, 우주 탐사와 같은 문제를 해결하기 위한 프로그램”이라고 설명하였다. 이미 인공지능(Artificial Intelligence, AI) 기술은 사회의 많은 부분에서 사용되고 있으며, 감염병 전파나 금융·사이버 위기 대응, 의료 재난, 자연 재난 등 거대 규모의 사회현상을 이해하고 재난 저감 대응 기술로 활용할 수 있는 가능성이 점점 높아지고 있다. Nicola Jones는 최근 Nature지에 “How machine learning could help to improve climate forecasts”를 게재하면서 다음과 같은 내용을 발표하였다(Jones, N. 2017).

“인공지능 딥러닝 시스템은 그 예측 방법을 사람이 알 수 없으나 기존의 수치순환 모형들 보다 더 나은 예측성능을 보여주는 사례들이 늘고 있다. 예측 방법을 알 수 없다는 문제 때문에 단기적으로 이 시스템은 독자적으로 운용하기보다는 기존의 수치순환모형의 예측성능 향상 가이드로써 활용될 가능성이 높으며, 대부분의 기후학자들은 여전히 기존의 방법을 사용하고 있지만 앞으로는 인공지능 시스템으로의 전환이 확실 시 된다.”

또한, Liu, Y. et. al (2016)은 기상·기후자료로부터 위험기상의 전조현상 또는 패턴 분석을 인간의 지식 및 이론을 바탕으로 판별하던 것에서 벗어나, 인공지능이 자신만의 분석방법으로 판별하는 방법을 제안하였다. 인공지능 예측 방법이 단기간에 기상-해양 순환모형의 성능을 크게 뛰어 넘지는 않겠지만, 그 동안 정체되어 왔던 기상-해양 환경 예측 성능 개선의 돌파구가 될 가능성이 높다. 인공지능 기술을 활용한 지구과학 분야 응용기술 개발의 최근 동향을 미국과 일본, 국내 등으로 나누어 조사해 보았다.

“ 마이크로소프트사는 인공지능 Cortana를 활용해 홍수방재 솔루션을 개발 중 ”

1. 미국의 기술 개발 동향

미국은 브레인 이니셔티브 등 국가적 차원에서 R&D 정책을 추진 중이며, IBM의 Watson과 구글의 AlphaGo 등의 민간기업 주도로 개발되고 있다. 빅데이터(Big Data)에 기반한 인공지능 응용분야는 구글이나 페이스북과 같이 플랫폼을 가지고 있을 경우는 관련 자료의 취득이 쉬우므로 기술 개발이 쉬운 반면, IBM은 자료의 선점에 불리하기 때문에 국제적 공조에 의해서 취득할 수 있는 기상-해양 자료를 이용한 응용 분야의 개발에 적극성을 보이고 있다. IBM의 인공지능 컴퓨터인 Watson의 글로벌 총괄사장인 David Kenny는 2016년 5월 방한 당시 다음과 같은 말을 전하였다. “대기 중 난류를 인공지능으로 분석하면 항공기 조종사는 난기류를 피해 운항할 수 있습니다. 또한, 심해에 센서를 부착하면 지구의 온도변화를 예측해 태풍과 같은 피해도 줄일 수 있을 것입니다.” 마이크로소프트의 경우는 인공지능 Cortana를 활용해 미국 정부와 함께 홍수 방재솔루션(National Flood Interoperability Experiment, NFIE) 개발에 참여하고 있다. 또한, Cortana는 아프리카 케냐 오지에서 식수문제 해결도 연구하고 있다. 모든 마을의 우물에 센서를 부착해서 우물의 깊이 변화를 분석하는 방식으로 가뭄을 예측하고 식수 공급 정책에 활용하는 것이다.

구글과 IBM 등 글로벌 기업들은 빅데이터 기반의 인공지능 기술을 통해 수 천년간의 자연변화와 과거 재해 기록을 분석해 대형 자연재해의 전조를 미리 예측하는 연구를 본격화 하고 있다. 구글의 엔지니어링 부분 부사장을 역임했던 Andrew Moore는 “인공지능 기술은 자연재해에 관련된 방대한 양의 정보를 실시간으로 처리할 것으로 예상된다. 실제로 예기치 못한 자연재해 발생 시에 모든 정보를 실시간으로 처리하고 대처해내는 것이 현실적으로 어려움이 있지만, 향후 5년 내에 인공지능은 이를 해결할 것으로 전망한다.” 라고 말하였다(2015년 12월). 이는 질병 발생 예측이나 완전 무인자율주행이 10년 내에 개발될 것이라는 예상보다 빠른 것이어서 자연재해 관련 응용분야는 구현 가능성이 더 높은 것으로 이해할 수 있다.

“ 위성과 인공지능을
통해 산사태, 건물
붕괴 예측기술을
준비 중인 일본 ”

2. 일본의 기술 개발 동향

자연재해에 민감한 일본은 특히 자연재난 예측을 위한 인공지능 기술 개발에 적극적인 행보를 보여 주고 있다. 일본 총무성은 인공위성으로 지구관측 정보를 수집하고 재해를 예측하는 시스템을 만들어 2018년 실험을 진행한 후 2년 뒤에 현장 적용을 할 예정이다(니혼게이자이신문, 2017년 7월 30일). 이 자연재해 예측 시스템은 산과 바다, 도시의 건물 등 다양한 정보를 파악해 산사태나 건물 붕괴 등이 발생하기 전에 나타나는 이상 변화를 인공지능으로 분석하는 것이다. 인공위성 자료로부터 지형과 건물 등의 변화를 일정주기로 분석하고, 산사태나 건물 붕괴가 발생할 경우 전후의 지형 또는 주변 변화에 관한 자료를 축적한 뒤 인공지능을 학습시킨 후 그 전조 현상을 이용하여 미리 예측하겠다는 것이다.

3. 그 외 국가의 기술 개발 동향

유럽연합은 25개국 135개 기관이 참여하는 ‘휴먼 브레인 프로젝트’를 착수하였다. 이는 인간의 지능에 중점을 둔 연구로 향후 10년간 11억 9,000만 유로(약 1조 8,000억)가 투입될 예정이다. 중국 역시 국가차원의 인공지능 전략인 ‘차이나 브레인 프로젝트’를 추진하고 있으며, 바이두(인공지능연구소 3억 달러 투자), 알리바바(딥 러닝으로 비주얼 검색 기능 강화) 등 ICT 기업들의 투자여건이 형성되어 경쟁력을 한층 강화하고 있다. 2018년 1월에는 중국이 자체 개발한 인공지능 바둑 프로그램인 ‘쥘이’가 프로 바둑기사인 커제에게 두 점을 접고도 77수 만에 완승하여 중국의 인공지능 기술 개발 속도가 그 어느 나라 보다 빨리 이루어지고 있다는 것을 확인하였다. 중국의 대규모 자원이 인공지능 기술을 적극적으로 추진하고 있는 만큼 그 기술 수준은 세계적인 것으로 알려져 있으나 정보공개는 제한적이다.

4. 국내의 기술 개발 동향

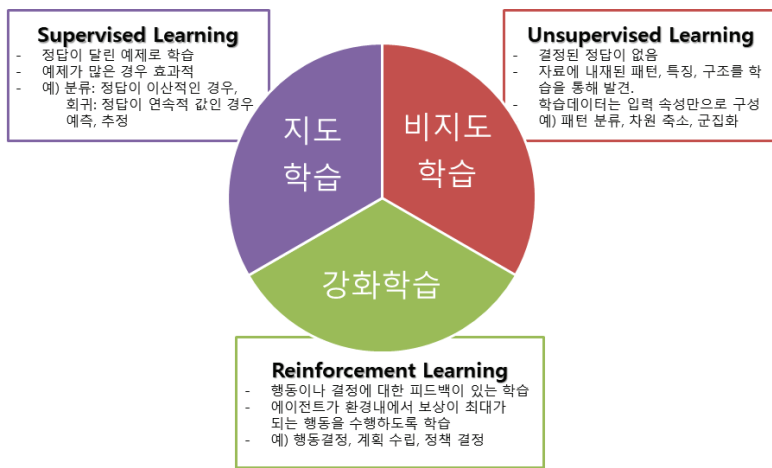
우리나라는 정부차원에서 ‘엑소브레인 프로젝트’를 추진 중이며, 민간기업으로

“ 기계학습은 지도 학습, 비지도학습, 강화학습으로 구분 ”

는 네이버, 카카오, 클디, 솔리드웨어 등이 선두 주자이다. 부산시는 IBM이 사회공헌 프로그램으로 진행하는 ‘2017 Smarter Cities Challenge’에 최종 선정되었으며 (2017년 7월 24일), 인공지능과 빅데이터로 재난대응 체계를 구축해 나갈 계획이라고 한다. 인공지능 기술을 적용한 국내의 대표적 사례는 빅데이터를 활용한 전염병 확산 차단을 예로 들 수 있다. KT는 빅데이터를 활용해 조류인플루엔자와 구제역-메르스와 같은 전염병 확산 징후를 미리 포착해 효과적인 대응책을 제시하고 있다. 한국전자통신연구원에서는 재배작물의 병해를 조기 진단 및 예측하고 스마트팜 환경 내 각종 센서 및 구동기의 오작동을 사전에 진단하는 머신러닝/딥러닝 기반 스마트팜 기술을 개발하고 있다. 기상-해양 분야에서는 인공지능을 활용한 국내 사례들이 그리 많지 않으나 본 저자가 연구한 ‘인공신경망 딥러닝을 이용한 엘니뇨 예측성 연구’와 ‘인공지능 딥러닝을 이용한 영종도의 초단기 풍속 예측성 연구’가 대표적 사례라고 할 수 있으며, 자세한 내용은 III장에서 설명하도록 하겠다.

II. 인공신경망 딥러닝 활용 방안

[그림 1] 기계학습(Machine Learning)의 세 가지 학습 모드



인공지능을 구현하는 기계학습(Machine Learning, ML)은 지도학습(Supervised Learning)과 비지도학습(Unsupervised Learning), 그리고 강화학습(Reinforcement Learning)으로 크게 분류된다(그림 1). 지도학습은 ‘정답’을 알고 있는 자료를 이용해 학습시키는 것인데, 회귀분석(regression)과 분류(classification) 등 많은 기계학

“ 딥러닝은 사람의 사고방식을 컴퓨터에 가르치는 기계학습의 한 분야 ”

습 기법들이 이 학습에 해당된다. 비지도학습은 ‘정답’ 이 특별히 존재하지 않을 경우에 학습시키는 방법이다. 그러므로 이 경우는 주어진 자료만으로 학습을 하게 되는데, 대표적으로 군집화(clustering)가 해당된다. 강화학습은 지도학습이나 비지도학습과는 또 다른 성격을 가진다. 정답이 주어진 것은 아니지만, 그저 주어진 데이터에 대해 학습하는 것도 아니기 때문이다. 강화학습은 ‘보상’을 통해 학습한다. 이 보상이란 직접적인 답은 아니지만 학습 프로그램에게는 간접적인 정답의 역할을 한다. 다시 말해서, 지도학습에서는 직접적인 정답을 통해 오차를 계산해서 학습하지만, 강화학습에서는 자신의 행동의 결과로 나타나는 보상을 통해 학습한다.

딥러닝(Deep Learning) 또는 심층학습(深層學習)은 ‘여러 비선형 변환기법의 조합을 통해 높은 수준의 추상화(abstractions, 다량의 데이터나 복잡한 자료들 속에서 핵심적인 내용 또는 기능을 요약하는 작업)를 시도하는 기계학습 알고리즘의 집합으로 정의되며, 큰 틀에서 사람의 사고 방식을 컴퓨터에게 가르치는 기계학습의 한 분야이다.¹⁾ 딥러닝의 역사는 1970-80년대까지 거슬러 올라갈 정도로 오랜 역사를 가지고 있지만, 그 성능에 있어서 몇 가지 약점을 가지고 있었기 때문에 최근까지 큰 인기를 끌지 못하고 있었던 기술이다. 가장 큰 문제는 느린 계산 속도 때문에 실용화하기 어려웠다는 것이며, 불연속 시뮬레이션에서 초기 상태에 따라 수렴의 여부가 바뀌고, 훈련 자료에 너무 학습이 되어버린 과적합(overfitting) 문제로 실제 사용 시에는 충분한 성능이 나오지 않는 문제, 그리고 원론적으로는 생물학적 신경망과는 다르다는 이슈들로 관심이 점점 멀어지고 있었다.

그러나 딥러닝은 2006년을 기점으로 그 패러다임이 바뀌면서 2010년 이후에 새로운 전성기를 누리고 있다. 이 전에 심층신경망(Deep Neural Network, DNN)이라고 불리웠던 이 기술은 패러다임이 바뀌면서 그 명칭마저 새로운 이름인 딥러닝이라고 불리워질 만큼 기본 원리는 같지만 성능에서 큰 차이를 보이고 있는데, 그 이유는 크게 세 가지로 꼽힌다. 첫 째로, 기존 인공신경망 모형의 중요한 단점들이 극복되었다. 과적합을 방지할 수 있는 Drop-out 기법이 개발되면서 기존의 방

1 https://ko.wikipedia.org/wiki/딥_러닝

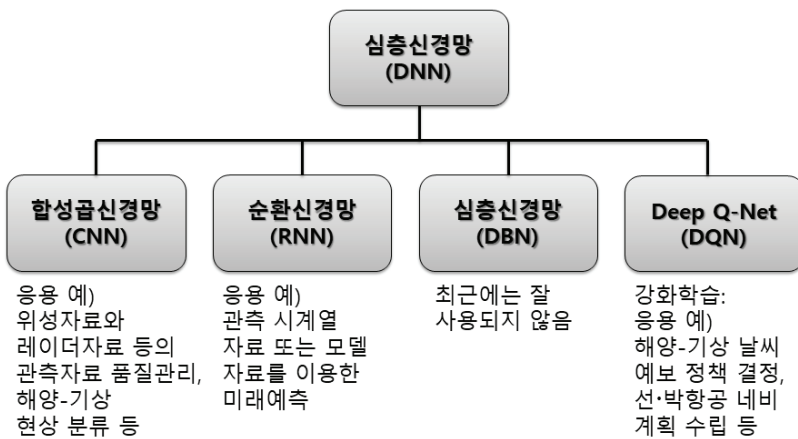
“ 최근 인기가 가장 높은 것은 합성곱 신경망과 순환 신경망 ”

법들 보다 훨씬 간단하면서 강력한 형태로 딥러닝의 성능을 대폭 향상시켰다. 이미 지 분석에 뛰어난 성능을 보이는 합성곱신경망(Convolutional Neural Network, CNN)에서는 비선형 변환에 쓰이는 알고리즘으로 ReLU(Rectified Linear Unit) 함수가 개발되면서 그 성능을 더욱 향상시키게 되었다. 두 번째 이유로는, 이러한 문제 해결들이 느린 학습시간을 줄이지는 못하고 있었는데, 이를 해결한 것이 하드웨어의 급속한 발전이다. 특히, 빠른 CPU와 병렬화 컴퓨터의 개발과 더불어 강력한 GPU의 개발로 딥러닝에서의 복잡한 행렬 연산에 소요되는 시간을 크게 단축시켰다. 마지막 이유로는 빅데이터의 축적과 활용성이라고 할 수 있다. 빅데이터는 딥러닝이 부활하는데 가장 중용한 역할을 했다고 할 수 있으며, 대량으로 쏟아져 나오는 데이터들은 딥러닝의 학습 능력을 높이는데 필수 조건이라고 할 수 있다.

다양한 종류의 심층 신경망 구조가 존재하지만, 대부분의 경우 대표적인 심층 신뢰망(Deep Belief Network, DBN)과 합성곱신경망, 순환신경망(Recurrent Neural Network, RNN)의 구조에서 파생된 것들이다(그림 2). 어떠한 판단기준도 주어지지 않고 학습하는 비지도학습을 기반으로 한 방법들(e.g. Deep Belief Network, Deep Auto-encoder)과, 합성곱신경망의 다양한 변형들, 시계열 데이터를 위한 RNN의 확장 모형들(e.g. Long-Short Term Memory(LSTM), Gated

Recurrent Unit (GRU))이 있으며, 여기에서는 최근에 가장 인기가 높은 합성곱신경망과 RNN에 대하여 기상 분야의 관점에서 간단하게 설명해 보도록 하겠다. 합성곱신경망과 순환신경망은 판단기준이 주어지는 지도학습인 것에 비하여 심층신뢰망은 비지도학습 모형이며, 앞으로도 더 많

[그림 2] 딥러닝의 기술적 분류



“ 합성곱신경망은
문자 및 영상인식에
성공적으로 적용 ”

이 연구되어야 할 주제가 될 것이다.

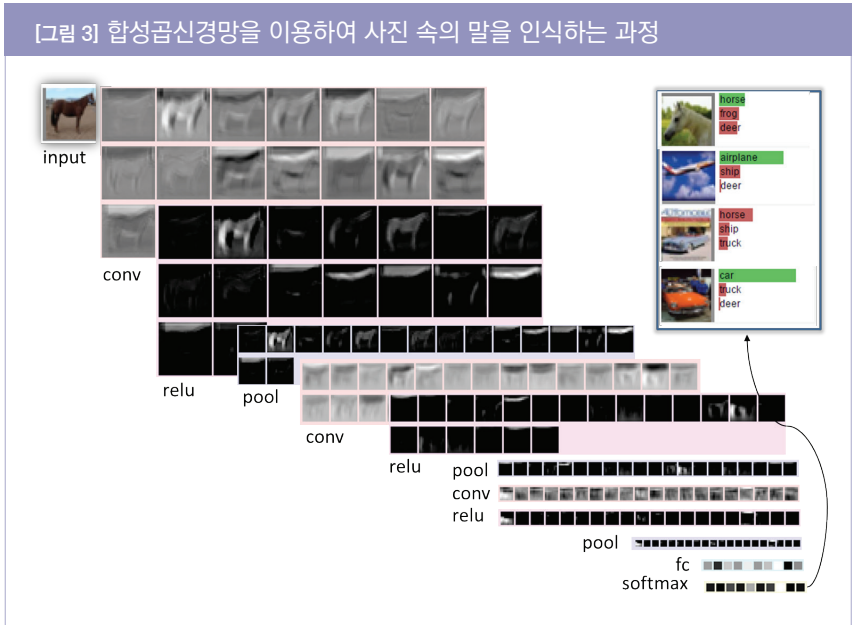
1. 합성곱신경망(Convolutional Neural Network, CNN) 활용 방안

인공신경망 중에서 가장 인기있는 것이 합성곱신경망이며, 사람이나 동물의 시각 처리 과정을 모방하여 개발된 신경망이다. 기본적인 합성곱신경망은 세 종류의 계층으로 이루어진다. 첫 번째 층은 자료의 특징을 추출(convolution)하고 두 번째 층에서 추상화(max-pooling)하면서 점차로 높은 수준의 특징을 추출한다. 세 번째 층에서는 최종의 특징을 판별(fully-connected)하여 결과를 선택하게 된다. 그 구체적인 과정은 그림 3과 같다.

합성곱신경망은 문자인식과 다양한 형태의 영상인식(얼굴인식, 물체인식 등)에 성공적으로 적용되어 왔다. 특히 음성판별과 문서읽기, 필기체문자인식 등의 분야에서는

사람과 비슷한 수준 또는 보다 월등한 수준의 성능을 보이고 있다. 이미지 또는 영상의 식별 및 구별에서 월등한 성능을 보이고 있는 합성곱신경망은 검색포털에서의 이미지 검색에서부터 자율주행 및 자유주차에서 피조물의 식별까지 응용 분야가 무궁무진하다.

기상·해양 분야에서는 인공위성 자료를 사용한 구름 및 해무 식별과 해양의 선박식별, 어류 이동, 플랑크톤 식별 등 다양한 분야에 적용할 수 있다. 또한, 자연재해의 경우는 태풍과 홍수, 폭설, 가뭄, 지진 등의 대규모 재해를 감식하는데 사용



“ 순환신경망은
미래예측 분야에서
탁월한 성능 ”

될 수 있다. 예를 들어, 지진의 경우는 시계열로 축적된 인공위성 자료들에서 지진이 일어난 시점의 전후 자료를 비교하여 학습시킨 후 실시간으로 인공위성 자료를 분석하여 지진 발생의 전조를 알아 낼 수 있을 것이다. 이러한 방법으로 홍수 또는 폭설이 발생한 곳의 위치를 실시간으로 빠르게 식별할 수 있으며, 산불 및 산사태, 농작물 피해, 토양 유실, 침수피해 등의 실시간 판별에 유용하게 사용될 수 있다. 또한, 인공위성과 항공기 관측, 각종 지상관측 기기들로부터 수집되는 수많은 자료들에서 발생하는 기계적 오류와 관측오차 등을 합성곱신경망 방법으로 학습시켜서 관측자료에 대한 효율적이고, 정확한 품질관리에도 탁월한 성능을 발휘할 수 있을 것으로 예상된다.

합성곱신경망의 특정 현상의 특징 추출과정 중에서 생산되는 결과들은 자연 현상의 과학적 이해를 높이는데 중요한 정보가 될 수 있으므로 과학적으로 아직 밝혀 내지 못한 자연현상의 인과관계를 분석하고 이해하는 데에도 한 몫을 할 것으로 예상된다.

2. 순환신경망(RNN) 활용 방안

일반적인 신경망 모형들은 여러 개의 입력 패턴이 있을 경우에 이들을 서로 무관한 독립적인 정보로 처리한다. 그런데, 여러 개의 신호가 연속적으로 들어오고 앞뒤의 신호가 서로 상관관계를 가질 경우는 입력 패턴들 간의 관계를 모델링 할 필요가 있다. 이러한 시계열 자료를 사용하는 대표적인 분야가 미래 예측 분야이며 이 분야에 탁월한 성능을 보여주는 딥러닝 방법이 순환신경망이다. 순환신경망은 과거와 현재로 전달되는 정보들을 결합하여 새로운 상태를 결정하게 되는데 순차적으로 정보를 반영하기 때문에 메모리의 역할이 필요하다. 그런데 기본적인 순환신경망이 과거의 정보를 반영하기는 하지만 현재로부터 시간적으로 멀어질수록 정보의 강도가 약화되기 때문에 시간 거리가 먼 정보간의 상관관계는 잘 학습하지 못하는 단점이 있다. 이러한 문제를 해결한 새로운 순환신경망 모형이 제안되었는데, 최근 가장 우수한 성능을 보이고 있는 모형은 LSTM (Long Short-Term memory)과

“ 순환신경망은 음성 및 언어 인식과 같은 순차적 정보 처리에 적합 ”

GRU (Gated Recurrent Unit)이다. 이 두 가지 순환신경망의 특징은 과거의 정보를 현재에 전달할 때 망각게이트(forget gate)를 가지고 있어서 정보를 유지할 것인지 버릴 것인지 여부를 판단하여 전달함으로써 오랜 시간이 지남에도 기억해야 할 정보들을 계속 전달할 수 있다는 특징을 가지고 있다. 합성곱신경망으로도 시계열

자료를 사용한 예측이 가능하지만 순환신경망에 비하여 성능이 떨어지는 것이 보통이다.

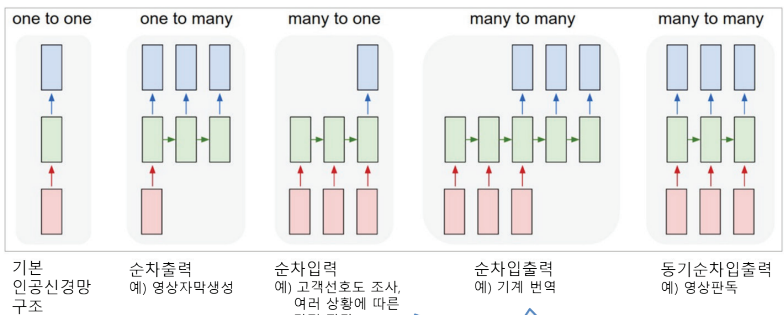
순환신경망은 음성인식이나 언어인식 등과 같은 순차적인 정보를 처리하는데 적합하다. 따라서, 기계번역 혹은 동영상의 주석 달기 등에 적용되는 경우가 많고 좀 더 나아가서 로봇 컨트롤과 동작인식, 사람의 감성 분석, 시간적 예

측 등에도 활용될 수 있다. 순환신경망은 시계열 자료를 사용하는 만큼, 기상-해양 분야에서는 분석보다는 예측에 사용하기 적당한 기법이다.

기상-해양의 각종 시계열 관측자료를 사용하여 태풍과 홍수, 폭설, 가뭄, 지진 등의 대규모 재해를 예측하는데 사용될 수 있다. 예를 들어, 과거 태풍 진로 자료를 학습하여 태풍 발생 시점에서 그 진로를 예측하거나, 홍수 발생 가능 지역 예측, 산불의 진로 방향 예측, 선박사고 유출 기름띠 흐름 예측, 조류독감 전파 경로 예측 등 자연 현상의 수많은 예측 분야에 활용할 수 있다.

또한, 점점 많아지는 기상-해양 관측기기들은 유지보수가 점점 중요해 지는데, 관측자료의 시계열 분석을 통하여 관측기기의 이상 징후를 판별하거나, 기계적 오류와 관측 오차 등의 품질관리에도 활용할 수 있다. 자연 현상의 미래 예측에는 수치 순환모형이 주로 사용되는데 전지구 순환모형이나 지역순환모형, Wave 모형 등이

[그림 4] 순환신경망(RNN)의 응용 예시



엘니뇨 예측은 "many to one" 또는 "many to many" 적용 가능

“ GRU는 순환 신경망 방법 중에서 장기기억을 잘 반영 ”

도출한 미래 예측 자료의 오차를 학습하여 수치순환모형의 예측 성능을 더욱 높일 수 있으며, 더 나아가서 수치순환모형을 대신하여 인공지능 예측모형을 개발할 수 있을 것이다.

III. 활용 예: 엘니뇨 및 초단기풍속 예측 연구

기상-해양 분야의 인공지능을 활용한 국내 사례들은 그리 많지 않으므로 활용 가능성과 성능을 가늠할 수 있는 연구결과는 현 시점에서 매우 소중한 자료라고 할 수 있다. 여기에서는 본 저자가 한국기상학회와 한국해양학회의 학술대회에서 발표한 내용들을 소개하면서 그 가능성을 가늠해 보고자 한다.

1. 인공신경망 딥러닝을 이용한 엘니뇨 예측성 연구

엘니뇨와 라니냐는 그 현상이 강화될 때 전 지구에 영향을 미치는 자연 현상이므로 정확한 미래 예측은 매우 중요하며, 우리나라를 포함하여 선진국에서는 슈퍼컴퓨터를 사용하여 그 예측 성능을 높이기 위한 노력을 계속하고 있다. 그러므로 딥러닝을 활용하여 소규모의 클러스터 계산기만으로 비교할 만한 예측성능을 내는 것은 매우 고무적인 결과라고 할 수 있다.

합성곱신경망과 심층신뢰망은 이미지 인식과 같은 독립자료의 처리에 적합하며, 순환신경망은 언어 인식과 같이 자료의 순서가 중요한 시계열 자료의 처리에 적합하다. 따라서, 시계열의 연속성을 고려하기 위하여 본 연구에서는 순환신경망의 방법을 사용하였으며, 특히 순환신경망의 방법 중에서 장기 기억을 잘 반영할 수 있는 GRU 방법을 사용하였다. 사용된 도구는 알파고를 개발한 구글로부터 개방형으로 제공하는 딥러닝 라이브러리인 Tensorflow를 사용하였다.

RNN-GRU는 입력층과 은닉(hidden)층, 출력층으로 구성되는데 입력층에 필요한 입력자료는 전지구 월별 시계열(1979년 1월-2017년 6월, 38년 6개월간) 기간에 대하여 엘니뇨와 관계가 깊을 것으로 판단되는 ECMWF 재분석 자료인

“ 실험에서 수행한
예측기간은 3년으로
매월 미래 8개월을
전망한 결과를
분석함 ”

ERA-Interim 자료 중 SST와 GODAS (NCEP Global Ocean Data Assimilation System)의 수심 20m에서의 해수온(T20m)을 위경도 방향으로 20도씩 bin으로 나누어 사용하였다. 각 bin은 육지가 10% 이상 포함되어 있는 지역을 제외한 63개의 분할지역에 대하여 지역 평균 시계열 자료로 구성하였다.

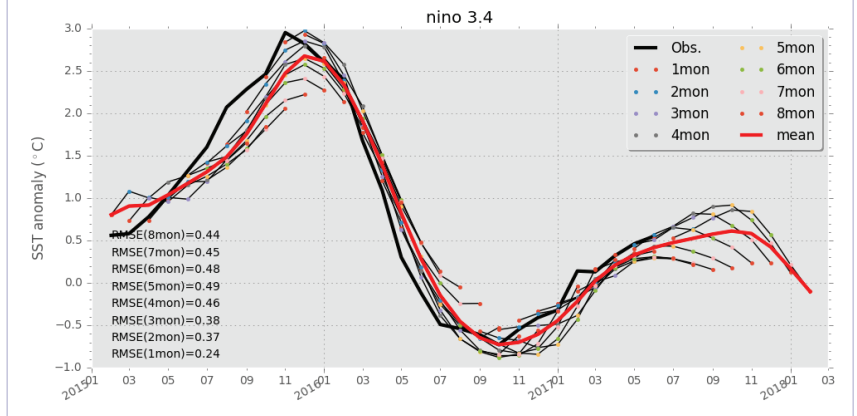
또 다른 방법으로 전지구 주요 해역을 5개 지역으로 나누어 각 지역에 대하여 경험직교함수(Empirical Orthogonal Function, EOF) 분석 시계열자료를 사용한 실험도 함께 수행하여 비교해 보았으나, 2015년처럼 엘니뇨가 강했던 해는 예측성이 떨어졌으며, 그 원인은 원 자료를 2차로 가공하면서 딥러닝 모형의 예측성능을 떨어뜨리는 것으로 보인다.

출력자료로 사용되는 Nino 3.4 지역의 SSTA는 OISST(version 2)와 ERSST(version 4), HadISST 등의 기관에서 제공하고 있는데, 자료 제공 기간과 자료의 품질이 조금씩 차이를 보이고 있다. 각 자료를 비교·분석한 결과, 본 연구의 예측 자료 비교에 주로 사용한 NCEP CPC에서 사용한 SSTA와 가장 유사한 것이 OISST 자료인 것으로 판단되어 이를 출력층 자료로 사용하였다.

실험에서 예측한 기간은 지난 3년간(2015년-2017년 6월)으로 매월마다 분석을 하였으며 각각의 분석에 대하여 미래 8개월까지 전망을 하였다. 예측기간과 입력 자료들의 불일치 기간을 제외한 1980년부터 2014년까지의 35년간 자료를 딥러닝 모형의 학습에 사용하였으며, 한 번 예측에 미래 8개월을 동시에 예측하도록 many-to-many 방법을 사용 하였다. 매월 단위로 미래 8개월을 예측하는 방법으로 지난 3년간에 대하여 관측치와 예측치를 비교하여 보았다(그림 5).

검은 실선은 OISST에서 제

[그림 5] Nino 3.4 SST Anomaly 시계열(관측치: 검은 실선, 예측치 평균: 붉은 실선)



“인공지능으로 학습한 해수면 온도 결과는 실제 현업에 사용할 수 있을 정도의 완성도를 보여줌”

공하는 관측치이며, 매월마다 그려진 짧은 실선과 점들은 각 달의 8개월 예측을 나타낸다. 그러므로 해당 월에는 지난 8개월동안 예측한 8개의 예측치가 있으므로 이에 대한 앙상블 평균치를 붉은 실선으로 나타내었다. 2015년 2월-5월 사이에는 11월의 강한 anomaly의 trigger가 되는 시점으로, 많은 예측 모델들이 이에 대한

예측에 어려움을 겪었었는데, 딥러닝 모델에서는 이를 잘 포의한 것으로 나타났다. 좀 더 자세한 비교를 위하여 같은 기간에 대하여 국립환경예측센터(NCEP)의 기후예측센터(CPC)에서 제공하는 우수 연구소들의 예측결과들과 비교해 보았다(그림 6).

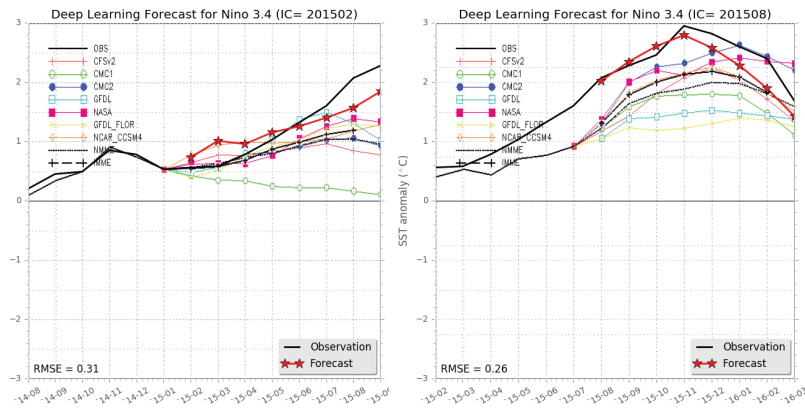
본 연구에서는 딥러닝을 이용한 해수면 온도 예측 시스템을 개발하였으며, 이를 이

용하여 과거 38년간의 관측 재분석 자료를 기반으로 RNN-GRU 방법으로 Nino 3.4 지역의 해수면 온도 이상을 정량적으로 예측해 보았다. 학습된 모형으로 지난 3년간(2015년 1월-2017년 6월)에 대하여 수행한 예측 결과들은 선진국의 예측결과들과 비교할 수 있을 정도의 높은 성능을 보여 주고 있으며, 실제 현업에 바로 사용할 수 있을 정도의 완성도를 보여 주고 있다.

2. 인공지능 딥러닝을 이용한 영종도의 초단기 풍속 예측성 연구

기상관측장비로부터 수신되는 관측자료들은 운영의 복잡함에 따라 수신이 지연되는 경우가 발생한다. 이는 관측지점이 많아질수록 모든 자료가 수신되는 데에 그 만큼 지연시간이 커지게 된다. 그러므로 기준시간을 넘어서 미수신되는 관측자

[그림 6] NCEP CPC에서 제공하는 모델별 앙상블 예측 결과들과 딥러닝 모델의 예측결과 (검은실선: 관측치, 붉은별표실선: 딥러닝예측결과의 앙상블평균) 예측시점: 2015년2월(좌), 2015년8월(우)



“ RNN-GRU는
입력층, 은닉층,
출력층으로 구성 ”

료를 대체할 수 있다면 여러 가지로 큰 의미를 부여할 수 있을 것이다. 예를 들어, 기상예측 성능에 가장 큰 영향을 미치는 자료동화에 있어서 미수신되는 관측자료를 대신하여 자료동화의 품질 향상에 기여할 수 있으며, 수신된 관측자료의 1차 품질 관리에도 사용될 수 있을 것이다. 또한, 바람 관측자료의 10분에서 60분 내의 미래 관측치를 예측한다는 것은 항공기 이착륙과 같은 초단기 예측이 필요한 분야에서 큰 의미를 가질 수 있다.

기상청에서는 레이더 자료와 위성 자료 등을 이용한 실황 또는 초단기 예측 시스템을 개발하여 예보에 사용하고 있다. 이 예측 시스템들은 기본적으로 내·외삽 방법을 기반으로 하고 있다. 초단기 순환모형을 사용하는 경우도 있지만 우리나라와 같이 국지적으로 짧은 시간에 발생 또는 소멸되는 기상 시스템에는 예측성능을 높이는데 어려움을 겪고 있다. 따라서, 본 연구에서는 그 동안의 개발 방법과는 다른 인공신경망 딥러닝을 이용한 초단기 예측의 가능성을 진단해 보았다.

딥러닝 방법 중에서 시계열 예측에 적합한 순환신경망을 사용하여 예측시스템을 개발하였다. 특히 순환신경망의 방법 중에서 장기 기억을 잘 반영할 수 있는 GRU 방법을 사용하였다. RNN-GRU는 입력층과 은닉층, 출력층으로 구성되는데 입력층에 필요한 입력자료는 기상청에서 운영하고 있는 자동기상관측장비(Automated Weather Station, AWS)의 관측자료를 사용하였다. AWS는 1분 단위로 지상의 풍속과 풍향, 기온, 강수량 등을 관측하여 실시간으로 제공하는데, 개발된 딥러닝 모델이 10분 단위로 예측하기 편리하도록 시계열 자료를 10분 평균으로 재구성하여 사용하였다.

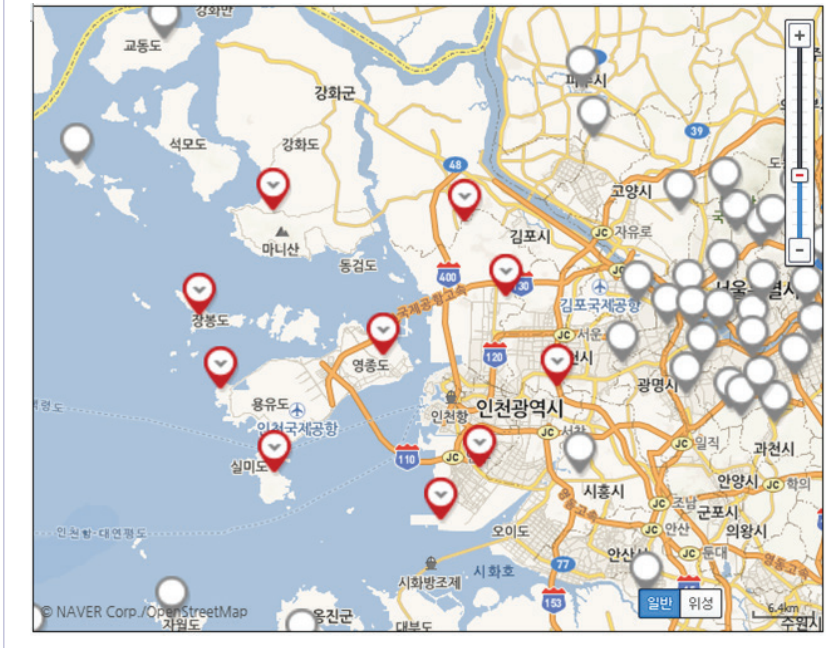
본 연구에서 실험한 예측 지점은 인천공항에서 가까운 영종도 지점(지점번호:543)이며, 이 지점을 포함한 주위의 10개 AWS 관측 지점들의 관측 자료(풍속, 풍향, 기온, 강수량)를 예측인자로 사용하였다(그림 7).

온라인에서 제공받을 수 있는 자료의 한계로 딥러닝 모델의 학습에 사용한 자료는 2016년 1월 1일 00:00부터 1년간인 2016년 12월 31일 23:59까지의 자료를 사용하였다. 10분 단위의 1년간 학습기간은 지점 당 하나의 변수가 5만개가 넘기 때문

“ 초단기 풍속
예측모델은
10분 이상의
예측에는 한계 ”

에 자료의 양은 많으나 그기간이 충분치 않은 면이 있다. 그러나 2016년과 2017년
의 기후가 크게 다르지 않다는 가정하에 2016년으로 학습한 모델을 가지고 2017

[그림 7] 예측 지점인 영종도 지점(543)을 포함한 주위 10개의 AWS 관측 지점

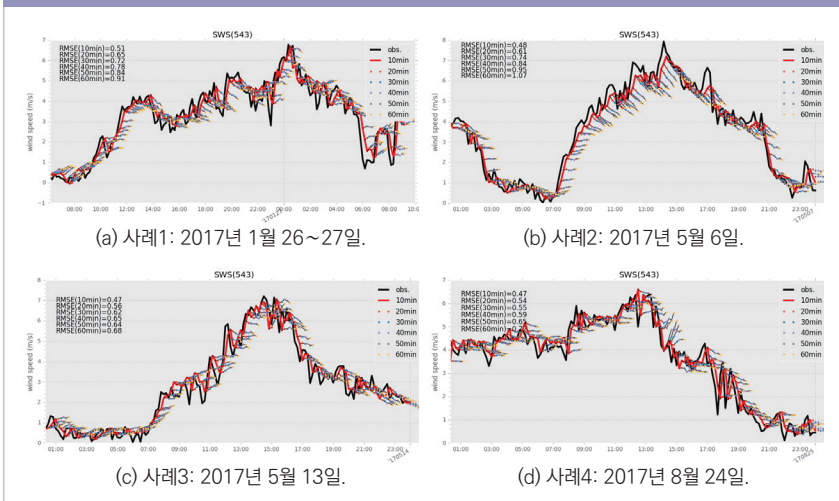


년의 특정일에 대하여 예측해 보았다. 2017년 1월부터 8월
까지의 기간 중 인천지역의 최
대 풍속이 발생하였던 2017
년 1월26-27일과 5월6일, 5월
13일, 8월24일에 대하여 각각
예측을 시도하였다.

초단기 풍속 예측모델은 사
용하는 자료가 지상으로 한
정되어 있으므로 10분 이상
의 예측에는 한계가 있을 것
으로 예상되어 관측치의 10
분 후 예측을 주요 목표로 삼
았으나 확장 가능성을 진단
하기 위하여 20분부터 60분
까지의 예측도 함께 실시하
였다. 2017년 1월부터 현재(8
월)까지 영종도 지점의 순간
풍속이 7-8m/s에 달하였던
1월 26~27일과 5월 6일, 5월
13일, 8월 24일에 대하여 각각
실제 관측자료와 예측 자료를
비교하여 보았다(그림 8).

검은 실선은 AWS 관측치이

[그림 8] 2017년 영종도 지점의 순간풍속 예측값과 관측치 비교



며, 매 10분마다 그려진 짧은 실선과 점들은 각 해당 시점에서의 60분까지의 예측을 나타낸다. 붉은 실선은 매 10분마다 10분 후의 관측치를 예측한 결과를 이은 선이다. 관측 시각으로부터 10분 예측의 경우는 평균제곱오차가 각각 0.51(1월 26-27일), 0.48(5월 6일), 0.47(5월 13일), 0.47(8월 24일)로 나타났으나, 60분으로 갈수록 예측성능은 급격히 떨어지는 것으로 나타났다. 주위의 20km 내외의 지상바람과 기온, 강수량만으로 60분 후의 바람을 예측한다는 것은 일반적으로 어려운 것으로 예상할 수 있으며, 기상자료뿐만 아니라 상층의 관측자료와 함께 딥러닝 모델을 훈련시키면 좀 더 예측성능을 높일 수 있을 것으로 판단된다. 그럼에도 불구하고 10-20분 예측 결과는 상당히 고무적으로 나타나고 있어서 초단기 예측에의 활용 가능성은 높다고 할 수 있다.

참고문헌

- Jones, N., 2017: How machine learning could help to improve climate forecasts, *Nature*, 548, 379-380, doi:10.1038/548379a.
- Liu, Y., E. Racah, Prabhat, J. Correa, A. Khosrowshahi, D. Lavers, K. Kunkel, M. Wehner, W. Collins, 2016: Application of Deep Convolutional Neural Networks for Detecting Extreme Weather in Climate Datasets, ABDA'16, arXiv:1605.01156.

미래 여름철 기온변화에 의한 건강영향 예측

이재영 서울대학교 보건환경연구소/연구부교수 jaeyoung.lee@alumni.stanford.edu

김호 서울대학교 보건대학원/원장 hokim@snu.ac.kr

I. 서론

II. 미래 기온 및 인구 변화 예측

III. 미래 기온 및 인구 변화에 의한 건강영향 예측

IV. 고찰 및 향후 대응 방안

I. 서론

기후변화와 그로 인한 건강영향은 최근 중요한 화제로 대두되고 있으며, 그에 대한 연구는 끊임없이 진행되고 있다. 특히, 미래 기후변화에 의한 건강영향 예측은 Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) 보고서의 미래시나리오 발표 이후로 지속적으로 진행되고 있고(IPCC, 2014), 다양한 기후모델, 인구 변화 또는 인간의 적응 시나리오 등을 고려한 건강영향 예측 연구로 발전되고 있는 실정이다.

현재까지의 기후변화에 의한 미래 건강영향 예측 연구는 여름철 기온 상승에 의한 건강영향을 예측하는 연구들이 대부분을 차지한다. 또한, 폭염에 의한 효과보다는 전반적인 기온의 상승에 의한 건강영향을 예측하는 연구가 중점적으로 시행되고 있다. 이들 연구는 주로 미국과 유럽에서 가장 활발히 이루어지고 있으며, 아시아지역의 상황을 예측하는 연구는 상대적으로 적은 편이다(e.g., Lee et al., 2018; Petkova et al., 2017; Gosling et al., 2016; Kingsley et al., 2016; Marsha et al., 2016; Stone et al., 2014).

기후변화에 의한 미래 건강영향 예측을 위해서는 과거의 데이터를 이용하여 온도와 건강 사이의 상관관계를 추출하는 것이 필요하다. 즉, 온도의 증감 시 사망과 같은 건강영향이 어떻게 달라지는지 알아보게 되는데, 많은 연구들이 Generalized Linear Models, Generalized Additive Models, 그리고 Distributed Lag Nonlinear Models 등과 같은 통계적 시계열 분석 방법 등을 이용하여 그 관계를 도출해 내고 있다. 이러한 방법을 바탕으로 도출된 온도와 건강과의 상관관계는 미래의 기온 예측 결과와 더해져서 미래의 건강영향 예측이 가능하게 되는 것이다. 미래의 건강영향 예측은 지역별로 이루어져야 하는데, 이는 통계적인 분석을 통해서 얻어진 온도와 건강의 상관관계와 미래의 기온변화 양상이 지역별로 모두 상이하기 때문이다. 이와 더불어, 지역별로 다른 미래의 인구증감 및 인구 구조의 변화도 많은 영향을 미친다. 예를 들어서 고령화가 진행되는 사회에서는 상대적으로 온도 변화에 취약한 노인층 인구의 증가가 기온 상승에 의한 사망자 수를 가파르게 증가시킬 수 있다.

그래서 본 연구에서는 기본적으로 인구변화를 고려한 미래 기온변화에 따른 사망예측을 실행하였으며, 특히 여름철(6월-8월)의 비사고사망, 심혈관계 사망, 호흡기계 사망에 대해 더 자세히 분석하여 살펴보았다. 분석 대상 지역은 서울이다.

II. 미래 기온 및 인구 변화 예측

IPCC는 2014년에 발표된 5차 보고서에서 미래의 대기 중 온실 가스 농도를 예상한 RCP (Representative Concentration Pathway) 시나리오를 발표하였다. 이 시나리오에는 RCP 2.6, RCP 4.5, RCP 6.0, RCP 8.5 총 네 가지가 있으며, 각각 2100년의 복사강제력(Radiative



〈표 1〉 APEC 기후센터로부터 수집된 25개 기후모델 정보

GCM Name (Alphabetical order)	Modelling Center Name	Modeling Country
BCC-CSM1.1 BCC-CSM1.1-M	Beijing Climate Center Climate System Model	China
CanESM2	Canadian Centre for Climate Modelling and Analysis	Canada
CCSM4	National Center for Atmospheric Research	USA
CESM1-BGC CESM1-CAM5	Community Earth System Model Contributors	USA
CMCC-CM	Centro Euro-Mediterraneo sui Cambiamenti Climatici	Italy
CNRM-CM5 FGOALS-s2	Centre National de Recherches Météorologiques	France
GFDL-ESM2G GFDL-ESM2M	NOAA Geophysical Fluid Dynamics Laboratory	USA
HadGEM2-AO HadGEM2-CC HadGEM2-ES	National Institute of Meteorological Research Met Office Hadley Centre for Climate Science and Service	S. Korea UK
INM-CM4	Institute for Numerical Mathematics	Russia
IPSL-CM5A-LR IPSL-CM5A-MR IPSL-CM5B-LR	Institut Pierre-Simon Laplace	France
MIROC-ESM MIROC-ESM-CHEM	Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, Atmosphere and Ocean Research Institute	Japan
MIROC5	Atmosphere and Ocean Research Institute	Japan
MPI-ESM-LR MPI-ESM-MR	Max Planck Institute for Meteorology	Germany
MRI-CGCM3 NorESM1-M	Meteorological Research Institute Norwegian Climate Centre	Japan Norway

Forcing)이 산업혁명 이전 수준 대비 2.6, 4.5, 6.0, 8.5W/m² 증가한다고 하여 이름 붙여진 것이다. 이 시나리오를 다양한 기후모델(Global Circulation Models)에 적용하여 미래의 기후변화를 예측할 수 있다. 본 연구에서는 위와 같은 방식으로 예측한 한국의 미래 기온을 APEC Climate Center로부터 제공받았다. 이 자료에는 두 개의 RCP 시나리오(RCP 4.5와 8.5)에 대해서 총 25개의 기후모델에 적용하여 예측한 기온 데이터가 포함되어 있으며, 자세한 기후모델에 대한 정보는 표 1에 나와 있다. 그림 1은 RCP 4.5와 RCP 8.5에 대해서 서울의 평균 여름철 일 최대기온이 어떻게 변화하는지를 보여주고 있다. 그림 1에서 RCP 4.5 시나리오에서는 2090년대의 평균 여름철 일 최대기온은 2000년대 대비 약 2°C 상승하며, RCP 8.5 시나리오에서는 약 3.8°C 상승하는 것을 알 수 있다. 또한

25개의 다양한 기후모델이 가지는 차이로 인하여, 예측된 미래 기온은 일정한 범위를 가지며, 이는 그림 1에서 Boxplot으로 도식화되어 있다. 25개 기후모델 중, INM-CM4에 의해 예측된 기온 증가량이 가장 작으며, HadGEM2-CC에 의해 예측된 기온 증가량이 가장 크다.

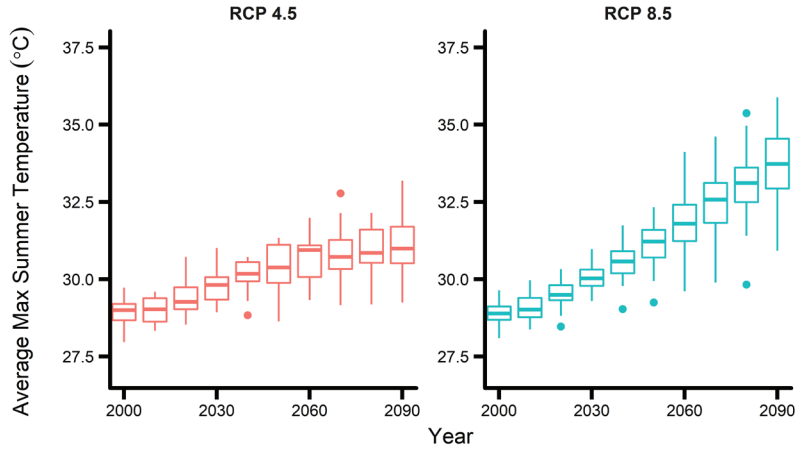
미래의 인구 변화 예측에는 출산율, 나이별 사망률과 이주(Migration) 비율을 기반으로 예측하는 Cohort-Component 방법을 사용한다. 본 연구에서는 Cohort-Component 방식

으로 예측한 UN 데이터를 확보하였으며, 그림 2에 High, Medium, Low 출산율 시나리오에 대해서 65세 미만과 65세 이상의 두 그룹으로 나누어 도식화하였다. 그림 2에서 나타나는 바와 같이 65세 이상의 인구는 2060년경까지 빠르게 증가하다가 유지되거나 감소하는 모습을 보이며, 65세 미만의 인구는 증가없이 유지되거나 감소하는 경향을 보인다.

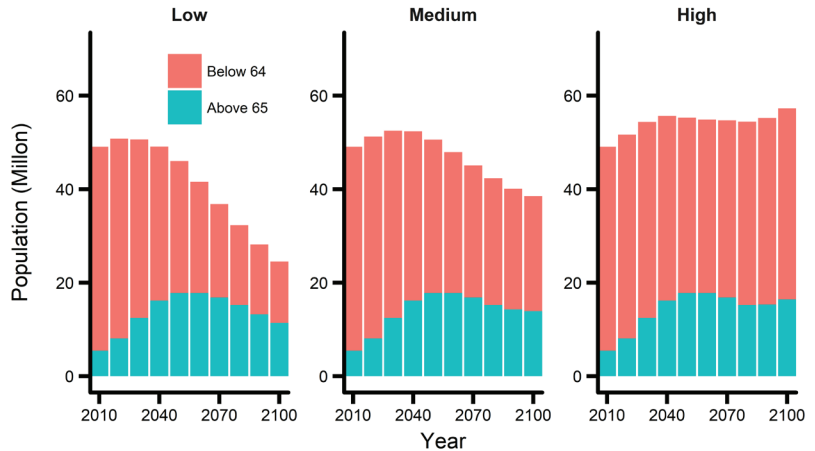
III. 미래 기온 및 인구 변화에 의한 건강영향 예측

본 연구에서는 앞서 언급된 기온 변화와 인구 변화 예측 데이터를 기반으로 미래의 여름철 비사고 사망, 심혈관계 사망, 호흡기계 사망을 예측하였다. 이는 비사고 사망과 구체적인 질환에 의한 사망을 파악함으로써 미래 기후변화에 의한 건강부담을 미리 예측해 보고 그에 대한 정책 및 대응마련을 지원한다는 데에 의의를 둘 수 있다. 이 예측에 필요한 기온과 사망자 수와의 상관관계는 25년간의(1991-2015년) 데이터

[그림 1] 서울에서의 RCP 시나리오(4.5, 8.5)에 따른 여름 최고기온 전망

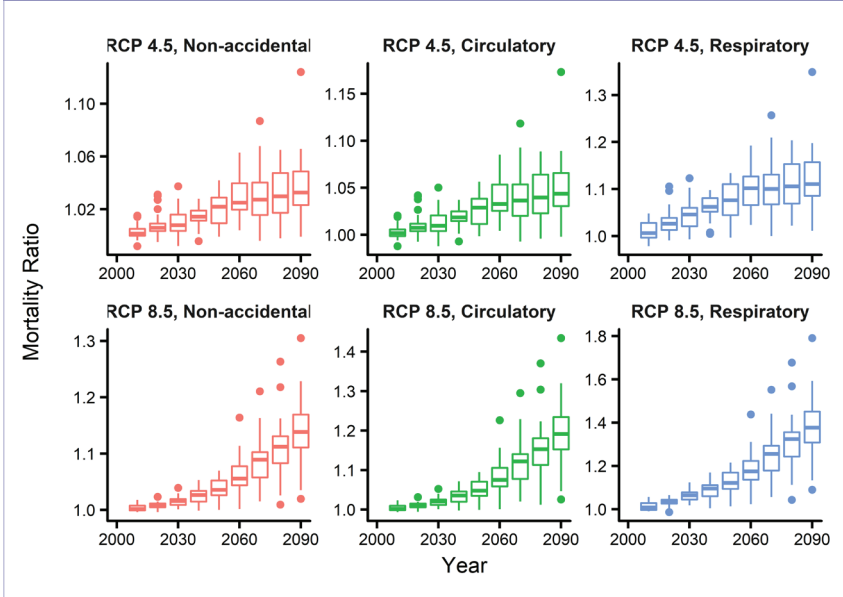


[그림 2] High, Medium, Low 출산율 시나리오에 따른 총 인구 변화 전망





[그림 3] RCP시나리오에 따른 여름철 비사고 사망, 심혈관계 사망, 호흡기계 사망자 수 전망(기온변화 단일 요소 고려)



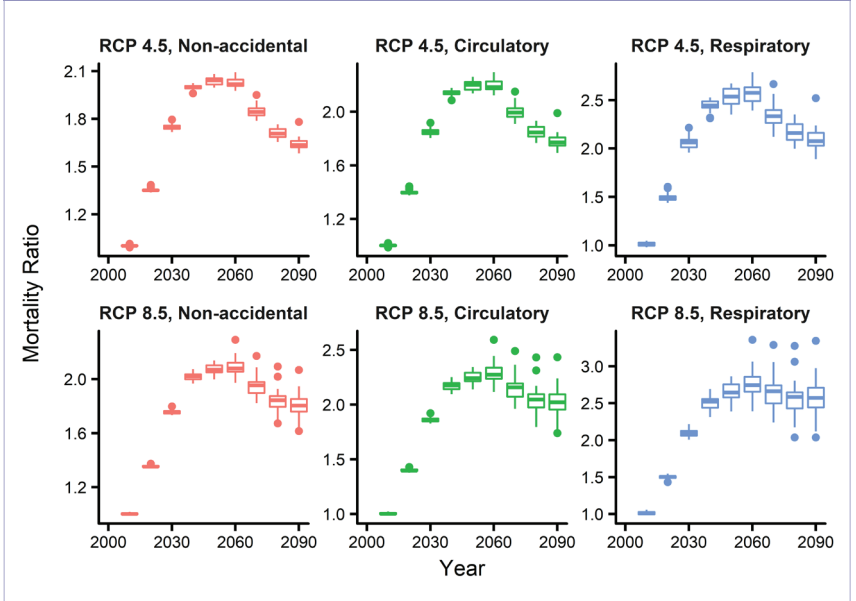
를 기반으로 Distributed Lag Nonlinear Models을 이용하여 추출하였다. 또한, 총 인구의 변화뿐만 아니라, 인구 구조의 변화에 의한 영향까지 반영하기 위하여 인구를 65세 미만과 65세 이상의 두 그룹으로 나누어 분석을 진행하였다. 과거 대비 사망자수가 얼마나 증가했는지를 파악하기 위하여 Mortality Ratio (=Future daily mortality count/Baseline daily mortality count)를 지표로

하여 분석하였다.

그림 3은 RCP 4.5와 8.5 시나리오에서 서울의 여름철 온도 변화에 따른 비사고 사망자, 심혈관계 사망자, 호흡기계 사망자가 1991-2015의 평균 사망자 대비 미래에 어떻게 변화하는지를 Mortality Ratio (MR)로 나타내었다. 그림 3의 경우, 오직 온도변화만 고려한 분석결과로 기온이 상승함에 따라 모든 사망이 증가할 것으로 예측됨을 알 수 있다. 그림 3에서 나타난 바와 같이, 2090년대까지 약 2°C 증가하는 RCP 4.5의 경우 비사고, 심혈관계, 호흡기계 사망자는 과거 대비 2090년대에 각각 1.03배, 1.04배, 1.11배 정도 증가하며, 약 3.8°C 증가하는 RCP 8.5의 경우 각각 약 1.14배, 1.19배, 1.38배 정도 증가하는 것으로 예측되었다. 그림 4에서는 기온뿐만 아니라 인구 변화도 가정하고 여름철 사망을 예측하였는데, 이 때 인구 변화는 Medium 출산율 시나리오를 가정하였다. 그림 4에서 볼 수 있듯이, RCP 4.5 와 8.5 두 시나리오에서의 사망 예측은 2060년대까지 가파르게 증가하다가 그 이후 2100년까지 다소 떨어지는 모습을 보인다. 이는 그림 2에서 나타난 것처럼 온도 변화에 상대적으로 더 취약

한 65세 이상의 노인 인구가 2060년대까지 증가하다가 그 이후 감소하기 때문이다. 그림 4에서 나타난 바와 같이 사망 원인 별로 MR 값은 서로 다르게 예측되는데, 심혈관계 사망은 RCP 4.5에서 과거 대비 2090년대에 약 1.8배 증가하지만, 호흡기계 질환은 2.1배 증가하는 것으로 예측된다. RCP 8.5에서도 이러한 경향은 같으며, 심혈관계 사망자는 약 2.0배, 호흡기계 사망자는 약 2.6배 증가하는 것으로 예

[그림 4] RCP시나리오에 따른 여름철 비사고 사망, 심혈관계 사망, 호흡기계 사망자 수 전망(기온변화와 인구구조 변화 요소 고려)



측되었다. 심혈관계 사망보다 호흡기계 사망이 더 많을 것이라고 예측된 이유는 과거 25년 데이터(1991년-2015년)를 기반으로 분석해볼 때, 호흡기계 사망자수가 기온 상승에 따라 더 민감하게 반응하여 증가했기 때문이다. 이러한 현상은 과거 연구에서도 관찰된 바 있는데, Liu (2011)의 연구에 따르면 과거에 기온이 5°C 상승함에 따라 중국 베이징의 심혈관계 사망자수는 1.098배 증가한 반면, 호흡기계 총 사망자수는 1.134배 증가하는 것으로 나타났다. 이는, 본 연구와 비교하여 볼 때, 심혈관계보다 호흡기계 사망자가 더 크게 증가하는 경향이 일치하며, 단위 온도 증가에 대한 사망자 증가율은 다소 작게 나타난 것이다.

IV. 고찰 및 향후 대응방안

본 연구에서 도출된 결과에 따르면, 미래의 기온에 따른 사망자수는 기후변화와 인구변화에 모두 큰 영향을 받는 것으로 드러났다. 기온의 상승에 따른 사망자수 증가와 더불어, 인구



변화에 있어서는 전체인구는 감소함에도 불구하고, 온도에 취약한 노년층의 인구가 증가하기 때문에 총 사망자수는 증가하게 되는 것이다. 특히 성공적인 저감 활동 없이 온실가스가 지속적으로 배출되는 상황을 가정하는 RCP 8.5 시나리오에서는 기온 및 인구 변화에 의해서 비사망 사망자, 심혈관계 사망자, 호흡기계 사망자가 각각 약 1.8배, 2.0배, 2.6배 수준으로 증가함을 알 수 있었다.

미래 사망을 예측하는 데 있어서 본 연구에는 몇 가지 한계점이 있음에 주의할 필요가 있다. 우선 과거 데이터로부터 도출된 노출-반응 관계(Exposure-Response Relationship)가 변하지 않는다는 가정을 했다. 이는, 곧 미래에 있을 온도에 대한 인간의 적응을 고려하지 않았다는 것인데, 의료기술의 발달, 에어컨의 보급, 극한기후를 위한 대피소, 극한기후의 경보 알람 등이 더 발전하지 않고 현재의 상태와 동일하다고 가정하는 것이다. 최근에는 다양한 적응 시나리오를 가정하고 미래 건강영향을 예측하는 연구가 많이 발표되고 있지만, 여전히 기온에 대한 적응의 정도와 속도가 어떠한지에 대해서는 알려진 바가 없다. 따라서 본 연구에서는 적응에 의한 영향을 배제하였으며, 그 결과로 미래의 사망자 예측에 과대평가된 부분이 있을 수 있다. 또한 본 연구에서 노출-반응 관계를 추출할 때 사용한 과거 기온 자료는 서울의 대표 관측소 한 곳에서 측정되었기 때문에 개개인의 노출온도와는 차이가 있을 수 있다. 이러한 차이는 노출-반응 관계를 약화시키는 결과를 가지고 올 수 있으며, 이로 인하여 미래의 사망자 예측에 과소평가된 부분이 있을 수 있다.

앞으로는 미래 기후변화에 대한 건강영향 예측 연구에서 있어서, 좀 더 추가적인 연구가 필요하다. 다양한 지역의 영향을 분석하고 메타분석기법을 활용하여 통합적인 영향을 분석하는 연구, 적응의 정도와 속도를 고려한 건강영향의 예측, 또는 기후변화와 더불어 미래의 사회경제적 변화를 고려한 건강영향을 예측하는 연구가 더 필요할 것으로 사료된다.

본 연구의 결과를 바탕으로 볼 때, 미래 여름철 기온상승을 대비한 사회적 인프라의 조성, 국민에게 정보를 알려주기 위한 Risk Communication 강화, 주의보/경보 등의 알람 강화 등 다양한 정책 및 대응이 필요하다. 더 나아가, 본 연구 결과는 정책 입안자들에게 온실가스의 배출 등을 제한하는 정책과 온도변화에 취약한 그룹을 위한 정책을 수립하는 데에 도움이 될 것이다.

감사의 글

본 연구는 2017년도 대한민국 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 글로벌연구실사업의 연구결과입니다 (#K21004000001-10A0500-00710). 미래 기후모델에 의한 일최고 기온자료를 제공해 주신 APEC climate center (APCC)의 이우섭 박사님께 감사드립니다.

참고문헌

- Gosling, S. N., Hondula, D. M., Bunker, A., Ibarreta, D., Liu, J., Zhang, X., Sauerborn, R., 2017: Adaptation to climate change: a comparative analysis of modelling methods for heat-related mortality, *Environmental Health Perspectives*, 125(8), 087008.
- IPCC, 2014. *Climate Change 2014: Impact, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.* Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Kingsley, S. L., Eliot, M. N., Gold, J., Vanderslice, R. R., Wellenius, G. A., 2016: Current and projected heat-related morbidity and mortality in Rhode Island, *Environmental Health Perspectives*, 124(4), 460-467.
- Lee, J.Y., Choi, H., Kim, H., 2018: Dependence of future mortality changes on global CO2 concentrations, A review. *Environ. International*, 114, 52-59.
- Liu, L., Breitner, S., Pan, X., Franck, U., Leitte, A.M., Wiedensohler, A., von Klot, S., Wichmann, H.E., Peters, A., Schneider, A., 2011: Association between air temperature and cardio-respiratory mortality in the urban area of Beijing, China: a time-series analysis, *Environmental Health*, 10:51, 1-11.
- Marsha, A., Sain, S. R., Heaton, M. J., Monaghan, A. J., Wilhelmi, O. V., 2018: Influences of climatic and population changes on heat-related mortality in Houston, Texas, USA, *Climate Change*, 146, 471-485.
- Petkova, E. P., Vink, J. K., Horton, R. M., Gasparrini, A., Bader, D. A., Francis, J. D., Kinney, P. L., 2017: Towards More Comprehensive Projections of Urban Heat-Related Mortality: Estimates for New York City under Multiple Population, Adaptation, and Climate Scenarios, *Environmental Health Perspectives*, 125, 47-55.
- Stone, B., Vargo, J., Liu, P., Habeeb, D., DeLucia, A., Trail, M., Hu, Y., Russell, A., 2014: Avoided heat-related mortality through climate adaptation strategies in three US cities. *PLOS One* 9, e100852.

폭염 피해와 정책 동향

김도우 국립재난안전연구원 기상연구사 dow1112@korea.kr



- I. 들어가며
- II. 폭염 피해 동향
- III. 그간 폭염 정책의 변화 및 최근 동향
- IV. 나오며

I. 들어가며

폭염은 우리나라에 가까운 미래 발생할 수 있는 가장 심각한 재난 중 하나이다. 기후변화와 관련하여 이미 2003년에 유럽에서 폭염에 의해 직·간접적으로 35,000명이 초과사망 한 바 있으며, 우리나라와 사회적, 기후적 환경이 비교적 유사한 일본에서는 기후변화뿐만 아니라 고령화와 관련하여 과거보다 열사병 사망자가 26배 증가하여 극심한 폭염이 발생한 2010년에는 열사병으로 인해 1,731명(여름 동안 1,684명)이 사망한 바 있다(그림 1). 국내에서도 각종 폭염관련 피해자료에서 최근 피해가 증가하고 있음이 제시되고 있다. 이에 따라 폭염에 대한 국민들의 관심도 급격히 증가하고 있는 추세이다. 그림 2는 뉴스 데이터에서 매년 '폭염' 키워드가 얼마나 높은 비율로 출현하는지를 나타낸다. 2004년을 기점으로 언론이 폭염을 다루는 비중이 급속히 증가하고 있으며, 최근 심한 폭염이 발생했던 2016년에는 폭염에 대한 국민들의 관심이 역사상 가장 더운 해로 평가되는 1994년을 넘어서는 수준이었음을 알 수 있다. 이렇게 폭염에 의한 피해가 증가하고 국민들의 관심 역시 커지고 있는 상황에서 그간 국내 폭염피해가 실제로 어느 정도 증가하였고 그에 따라 국가 폭염 정책에는 어떤 변화가 있었는지, 더 나아가 최



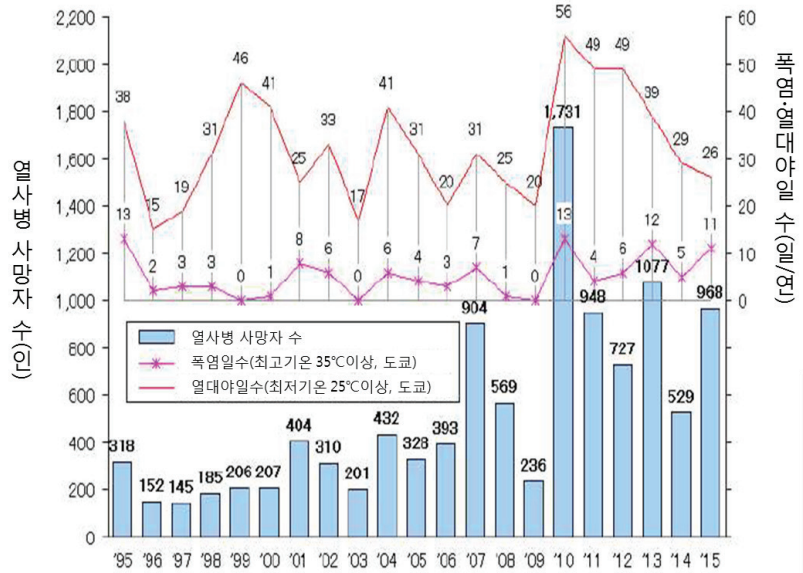
근폭염 정책과 관련하여 어떤 이슈가 부각되고 있는지, 마지막으로 국가 폭염 정책의 방향은 무엇인지를 살펴볼 필요가 있다.

II. 폭염 피해 동향

폭염으로 인해 간접적으로는 심혈관질환, 호흡기질환 등의 기저질환이 악화될 수 있으며, 직접적으로 열사병, 일사병 등 온열질환의 피해를 입을 수 있음은 이미 널리 알려진 사실이다. 이 중 폭염 상황 관리와 폭염 대책 개발을 위해 사용되고 있는 피해 통계는 온열질환에 의한 환자 및 사망자 수이다. 그림 3은 국민건강보험공단에 집계되는 온열질환자 수와 통계청 사망원인통계에서 집계되는 온열질환 사망자 수이다. 먼저 여름(6-9월)동안 발생한 온열질환 사망자 수를 살펴보면, 연 평균 25명 수준이며 2003년경을 기점으로 최근에 사망자 수가 증가하고 있음이 나타난다. 온열질환 사망자 수가 가장 많았던 해는 역사적으로 가장 더운 해로 기록된 1994년이며 총 93명

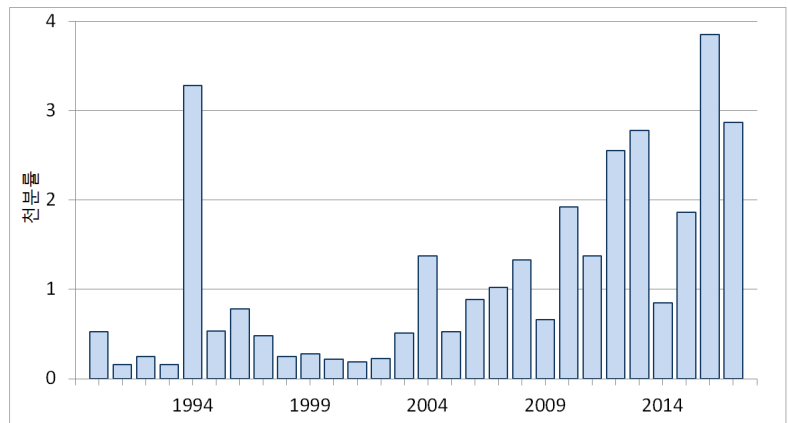
[그림 1] 일본의 열사병 사망자 및 폭염 발생일 수의 변화

열사병 사망자 수 추이

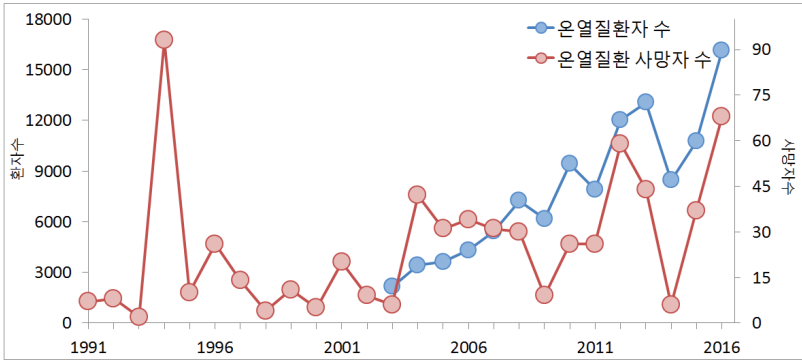


(주) 열사병 사망자 수는 후생노동성, 폭염·열대야 일은 기상청 자료
출처: 도쿄신문 자료집, 2011.6.12. 인구동태통계

[그림 2] 뉴스에서 '폭염' 키워드가 언급되는 빈도(네이버 포털 뉴스 기준 천분률)



[그림 3] 우리나라 여름(6~9월)동안 온열질환자 수(국민건강보험 자료)와 온열질환 사망자 수(통계청 사망원인통계)



이 사망하였다. 그 다음으로 피해가 컸던 해는 비교적 최근인 2016년이며 총 68명이 사망하였다. 온열질환자 수를 살펴보면 매년 꾸준히 증가하고 있음이 나타난다. 2003년 2,150명에서 2016년에는 16,159명까지 약 7.5배 증가하였다. 다만 이러한 온열질환자 수의 증가는 일부 폭염 일수의

변화를 반영하기도 하지만, 시간에 따른 선형적인 증가 추세는 자세히 살펴보면 앞서 제시된 언론의 폭염에 대한 관심 변화와 매우 유사한 패턴을 보인다(상관계수: 0.91). 따라서 실제로 시간에 따라 최근 순수하게 온열질환자가 증가한 것인지, 아니면 언론에 의해 폭염과 관련된 온열질환 정보가 대중들에게 널리 알려지면서 대중들이 온열질환이 의심되면 좀 더 병원을 적극적으로 찾은 결과인지 혹은 진단자인 의사들의 온열질환에 대한 인지도가 높아지면서 여름동안 온열질환이라고 진단하는 사례가 많아진 결과인지를 판단하기 위해서는 좀 더 심층적인 고찰이 필요할 것이다.

(표 1) 주요 폭염 정책의 변화 및 최근 동향

	주요정책	소관부처
2005년	폭염 종합대책	행정안전부
2008년	폭염특보제	기상청
2010년	폭염 건강피해 감시체계	보건복지부
2012년	농어업재해대책법 상 농업재해 유형으로 명시	농림축산식품부
2015년	재난기금, 특별교부세를 폭염대책을 위해 활용	행정안전부
2014~2017년	옥상녹화 지원 조례	지자체
2017년	아외노동자 보호지침	고용노동부
2017년	폭염 예측 및 영향평가 R&D (폭염연구센터 개소, 다부처 영향예보 R&D)	기상청
검토중	「재난 및 안전관리 기본법」 상 자연재해 유형으로 명시	행정안전부

III. 폭염 정책의 변화 및 최근 동향

2005년에 국가규모의 폭염 대응 정책인 「폭염 종합대책」이 소방방재청(現 행정안전부)에 의해 처음 수립되었다. 2018년 현재 14개 중앙부처 및 전국 지자체가 참여하고 있으며, 범정부 대응체계 구축, 인명피해 저감(안전한



생활환경 조성), 시설물 및 재산 피해 예방, 그리고 대국민 인식 개선 및 인프라 구축 등 폭염에 대한 광범위한 대응체계가 담겨져 있다.

2008년에는 기상청 기상특보제에 폭염이 포함되었다. 당초는 일최고기온과 함께 열지수(heat index: 기온과 함께 습도를 바탕으로 계산)를 고려하여 특보를 발효하였으나, 수년간 운영 결과 대부분의 폭염특보가 열지수 보다는 일최고기온에 의존되어 발효되며 단순히 일최고기온만을 기준으로 하는 것이 국민들이 좀 더 쉽게 이해할 수 있기 때문에 최근에는 일최고기온만을 고려하여 발효되고 있다.

- 폭염 주의보: 33℃ 이상의 일최고기온이 2일 연속 이어질 것으로 예상
- 폭염 특보 : 35℃ 이상의 일최고기온이 2일 연속 이어질 것으로 예상

2010년부터는 실제 여름동안 폭염에 의한 피해가 얼마나 심하게 발생하고 있는지 모니터링 할 수 있는 폭염 건강피해 감시체계가 질병관리본부에 의해 수행되고 있다. 2010년에는 전국 460 개에서 2017년에는 529개 전국 응급실 의료기관에서 접수되는 열사병 등 온열질환자에 대한 정보가 실시간(응급실 내용 다음날 신고)으로 집계되고 있다. 국가지정 응급의료기관(권역응급 의료센터, 전문응급의료센터, 지역응급의료센터, 지역응급의료기관, 종합병원응급실, 응급실 운용신고기관 등 전국 응급실 의료기관의 약 95% 이상이 참여하고 있다. 다만, 최근 국정감사 등에서 질병관리본부의 온열질환감시체계가 실제 온열질환의 전부를 대표하지 못하고 있음이 지적되고 있는데(온열질환 감시체계-실제 환자 수 최대 1만 1천여 명까지 차이, 2017.10.13. 메디컬투데이) 이는 신고대상 외 의료기관 및 타기관(경찰서 등)에서 인지한 온열질환자의 정보는 실시간으로 집계되지 못하기 때문이다 (표 2). 하지만 이러한 문제점은 질병관리본부의 감시체계에 내재된 한계라기 보다는 우리나라의 사망자 및 환자 정보 집계체계의 한계로부터 기인하며, 일본의 경우도 폭염 피해 실시간 감시에 있어 우리나라와 유사한 한계를 가지고 있다.

〈표 2〉 질병관리본부 온열질환 감시체계에 의한 사망자 수(실시간 집계)와 통계청 사망원인통계에서 집계되는 온열질환 사망자 수(집계하는데 1년 이상 소요)

온열질환 사망자 수	2011	2012	2013	2014	2015	2016
질병관리본부 (전국 응급실)	6	15	14	1	11	17
통계청 (사망원인통계)	24	54	46	6	39	68

○ 일본의 경우

이례적인 폭염이 발생한 2010년 여름 방재청이 실시간으로 집계하여 발표한 열사병 구급 사망자 수는 171명이었으나, 이후 전국 사망 통계가 모두 집계된 시점인 2011년에 발표한 후생노동성의 2010년 여름 열사병 사망자수는 1,684명이었음

〈표 3〉 폭염 관련 법규 현황

재난 및 안전관리 기본법	제3조(정의) 이 법에서 사용하는 용어의 뜻은 다음과 같다. 1. "재난"이란 국민의 생명·신체·재산과 국가에 피해를 주거나 줄 수 있는 것으로서 다음 각 목의 것을 말한다. 가. 자연재난: 태풍, 홍수, 호우(豪雨), 강풍, 풍랑, 해일(海溢), 대설, 낙뢰, 가뭄, 지진, 황사(黃砂), 조류(藻類) 대발생, 조수(潮水), 화산활동, 소행성·유성체 등 자연우주물체의 추락·충돌, 그 밖에 이에 준하는 자연현상으로 인하여 발생하는 재해
농업재해대책법	제2조(정의) 이 법에서 사용되는 용어의 뜻은 다음과 같다. 1. "재해"란 농업재해와 어업재해를 말한다. 2. "농업재해"란 가뭄, 홍수, 호우(豪雨), 해일, 태풍, 강풍, 이상저온(異常低溫), 우박, 서리, 조수(潮水), 대설(大雪), 한파(寒波), 폭염(暴炎), 대통령령으로 정하는 병해충(病害蟲), 일조량(日照量) 부족, 유해야생동물("야생생물 보호 및 관리에 관한 법률" 제2조제5호의 유해야생동물을 말한다), 그 밖에 제5조제1항에 따른 농업재해대책 심의위원회가 인정하는 자연현상으로 인하여 발생하는 농업용 시설, 농경지, 농작물, 가축, 임업용 시설 및 산림작물의 피해를 말한다.
산업안전보건기준에 관한 규칙	제566조(휴식 등) 사업주는 근로자가 고열·한랭·다습 작업을 하거나 폭염에 직접 노출되는 옥외장소에서 작업을 하는 경우에 적절하게 휴식하도록 하는 등 근로자 건강장해를 예방하기 위하여 필요한 조치를 하여야 한다. <개정 2017.12.28.> 제567조(휴게시설의 설치) ① 사업주는 근로자가 고열·한랭·다습 작업을 하는 경우에 근로자들이 휴식시간에 이용할 수 있는 휴게시설을 갖추어야 한다. ② 사업주는 근로자가 폭염에 직접 노출되는 옥외 장소에서 작업을 하는 경우에 휴식시간에 이용할 수 있는 그늘진 장소를 제공하여야 한다. <신설 2017.12.28.> ③ 사업주는 제1항에 따른 휴게시설을 설치하는 경우에 고열·한랭 또는 다습작업과 격리된 장소에 설치하여야 한다. <개정 2017.12.28.>
자연재난구호 및 복구비용 부담기준 등에 관한 규정	제2조(적용 범위) 이 영은 "재난 및 안전관리 기본법"(이하 "법"이라 한다) 제3조제1호가목에 따른 자연재난으로 인하여 발생하는 피해의 구호 및 복구에 적용한다. 제3조(정의) 이 영에서 사용하는 용어의 뜻은 다음과 같다. 2. "재난지원금"이란 국가 또는 지방자치단체가 법 제3조제1호가목에 따른 자연재난으로 인하여 사망하거나 실종된 사람, 부상을 당한 사람, 주택이나 주생계수단인 농업·어업·임업·염생산업(鹽生産業)에 재해를 입은 자에 대하여 재난복구 및 이재민 구호를 위하여 지원하는 금액을 말한다.

2012년에는 비록 농업재해에 국한되지만 처음으로 폭염이 재해의 개념으로 「농업재해대책법」에 명시되었다(표 3). 이를 근거로 폭염에 의한 농업 피해를 국가에서 지원받을 수 있는 기반이 마련되었다. 하지만 「농업재해대책법」의 상위법의 성격을 지니는 「재난 및 안전관리 기본법」 상에는 태풍, 홍수, 호우(豪雨), 강풍, 풍랑, 해일(海溢), 대설, 낙뢰, 가뭄, 지진, 황사(黃砂), 조류(藻類) 대발생, 조수(潮水), 화산활동, 소행성·유성체 등 자연우주물체의 추락·충돌만이 직접적으로 자연재난으로 지정되어 있으며 폭염은 명시적으로 표현되지 않는 한계점을 지니고 있다.

2015년에는 폭염이 「재난 및 안전관리 기본법」상 재난으로 명시되어 있지는 않지만 '그 밖에 이에 준하는 자연현상으로 인하여 발생하는 재해'로 해

석하여 각 지자체에서 적립하고 있는 재난관리기금을 폭염피해 저감을 위해 활용할 수 있게 제도적 장치를 마련하였다. 재난관리기금은 무더위 쉼터 냉방비 지원 및 폭염 대응 시설 등에 활용할 수 있다. 폭염 대응 시설로는 쿨루프, 쿨링포그, 쿨 페이브먼트, 옥상녹화, 그늘막, 벽면녹



화, 가로수, 도심공원 등이 있으며(그림 4), 최근 이 중 그늘막이 국민생활 밀착형 정책으로 크게 호응을 받아 2017년 8월 기준으로 전국 124개 시군구에서 2000여개의 그늘막이 설치되었고(국민권익위원회 조사 결과), 올해 2018년에는 그 수가 크게 증가할 것으로 예상된다.

2014년부터 2017년에는 민간 및 공공에서 수행하는 옥상녹화 사업에 지자체가 예산

을 지원할 수 있는 조례들이 여러 지자체들에서 작성되었다(표4). 이렇게 제도적 장치가 마련되기 시작되었지만 아직은 옥상녹화, 쿨루프 등의 건축물 열저감 사업들이 민간과 활발히 협력되어 진행되기 보다는 우선은 공공건물이나 민간소유임에도 공공성이 높은 건물(경로당 등)을 중심의 시범사업 규모로 진행되고 있는 실정이다.

2017년에는 폭염에 특히 취약한 야외노동자를 보호할 수 있는 제도적 근거인 「산업안전보건기준에 관한 규칙」에서 사업주는 폭염에 노출되는 옥외장소 근로자가 적절하게 휴식을 할 수 있도록 그늘진 장소 등의 예방조치를 취하는 것이 의무로 지정되었다. 그리고 폭염과 관련된 R&D도 크게 강화되

[그림 4] 폭염피해 저감시설의 대표적인 예시



<표 4> '옥상녹화' 관련 지자체 조례 현황

지역	조례명	공포일자
부산광역시 서구	부산광역시 서구 옥상 녹화 등 권장 및 지원 조례	2008.8.1.
인천광역시 동구	인천광역시 동구 옥상녹화 등 건축물상의 경관조성 권장 및 지원에 관한 조례	2009.1.8.
충청남도 천안시	천안시 건축물 옥상녹화 지원 조례	2014.11.21.
광주광역시 서구	광주광역시 서구 건축물 옥상녹화 지원에 관한 조례	2014.11.24.
울산광역시 중구	울산광역시 중구 건축물 옥상녹화 지원에 관한 조례	2014.12.29.
충청북도 청주시	청주시 건축물 옥상녹화 지원에 관한 조례	2015.10.8.
경기도 부천시	부천시 옥상 녹화 지원에 관한 조례	2015.12.30.
광주광역시 북구	광주광역시 북구 건축물 옥상녹화 등 권장 및 지원조례	2015.3.27.
전라남도	전라남도 건축물 옥상녹화 권장 및 지원 조례	2016.10.27.
대구광역시 수성구	대구광역시 수성구 건축물 옥상녹화 지원에 관한 조례	2016.6.10.
대전광역시 서구	대전광역시 서구 건축물 옥상녹화 지원에 관한 조례	2016.6.20.
경기도 성남시	성남시 옥상녹화 권장 및 지원에 관한 조례	2016.6.20.
경상남도 거제시	거제시 건축물 옥상녹화 지원 조례	2017.11.9.
대구광역시 서구	대구광역시 서구 건축물 옥상녹화 지원에 관한 조례	2017.6.30.

었는데, 폭염과 열대야 예측력 향상을 위한 폭염연구센터(기상청)가 개설되었으며, 폭염에 의한 보건 및 사회적 영향을 연구하는 다부처 R&D 사업(기상청, 행정안전부)도 기획되어 현재 진행 중에 있다.

2018년 현재 「재난 및 안전관리 기본법」상 폭염을 자연재난 유형으로 명시하는 법안이 의원 입법발의(윤영석/이명수(자유한국당), 정병국(바른정당), 김두관(더불어민주당) 의원)로 심사 중에 있다. 이 개정안이 통과할 경우, 폭염과 관련된 정책 개선에 좋은 기회를 제공할 것으로 기대된다. 먼저 지자체 등 현장에서 폭염과 관련된 정책을 적극적으로 개발하고 이행할 수 있는 법적 근거가 마련될 수 있으며, 매년의 대응에 초점이 맞춰진 「폭염 종합대책」이 외에도 폭염피해를 근본적으로 저감시킬 수 있는 중장기적 대책 수립도 가능할 것으로 생각된다. 가뭄의 경우 「재난 및 안전관리 기본법」상 자연재난의 한 종류로 명시되어 있으며, 그 하위 법인 「자연재해대책법」에 의해 ‘가뭄 방재를 위한 조사·연구’, ‘상습가뭄재해지역 해소를 위한 중장기대책’ 등을 의무적으로 수행하게 되어 있다. 한편 폭염의 재난 명시에 따라 우려되는 점도 있다. 「자연재난 구호 및 복구비용 부담기준 등에 관한 규정」에 의해 자연재난으로 인해 사망하는 경우 국가가 일정 금액 지원하도록(세대주: 10,000천원, 세대원: 5,000천원) 되어있는데, 폭염에 의한 열사병 등 온열질환 사망의 경우 그 사망원인을 명확히 진단하기에 어려움이 있다. 뿐만 아니라 온열질환은 폭염특보가 발효되지 않은 날, 혹은 여름이 아니라도 적지 않게 발생하는 질환으로 자연재난과 그 피해의 직접적인 상관성을 태풍과 같은 타 자연재난 만큼 명확히 찾기 힘든 특징이 있다.



IV. 나오며

기후변화가 진행됨에 따라 폭염특보 첫 발효일이 점점 빨라지고 있는 추세이며, 2016년에는 폭염이 8월 중순 이후까지 지속되는 이상 현상이 발생하기도 하였다. 동시에 우리나라는 2025년 경 초고령사회에 진입할 정도로 폭염에 취약한 인구가 급증하고 있다. 본 원고에서는 폭염 피해를 줄이기 위해 그간 정부가 해온 다양한 노력들을 간략히 정리하였다. 향후 이러한 노력들은 더욱 강화될 계획이며, 재난관리에 있어 부처 및 지자체의 활동 기준이 되는 기상청의 기상정보에 대한 중요성은 어느 때보다 더 강조될 것이다. 이러한 흐름에 발맞추어 기상청은 폭염특보 뿐만 아니라 동네예보를 통한 상세 지역별 정보, 중기예보를 통한 향후 10일간의 정보, 계절예보를 통한 당해 연도 여름철 전망, 기후변화시나리오를 통한 향후 100년 간의 폭염전망 등 다양한 정보를 제공하고 있다. 이 중 특히 중단기적 예보정보는 국민 스스로가 폭염 피해를 예방하고 재난 관리 업무자가 재난관리 자원을 효율적으로 분배·활용하는 데 있어 없어서는 안 될 중요한 역할을 하고 있다. 향후 현재 시도별 주요도시에 한해서만 제공되는 중기예보의 일최고/최저기온 정보가 전국 시·군 수준까지 상세히 제공되고, 기온이 '평년보다 유사/낮음/높음'의 3단계로 제공되는 계절예보에 폭염 발생에 관한 정보가 추가된다면, 이를 토대로 정부의 폭염대책의 발전을 더욱 더 이끌어 낼 수 있을 것이라 기대된다.

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	이중우	5-13
	• 기후변화가 산업에 미치는 경제적 영향과 적응대책	한기주	14-22
	• 기후경제학의 대두와 대응 전략	임상수	23-33
	• 기후변화와 신재생에너지 산업	구영덕	34-45
	• 기상산업 육성을 위한 정책대안 모색	김준모, 이기식	46-54
	• 미국 남동부의 응용기상산업 현황	임영권	55-64
	• 최근 황사의 특성 및 산업에 미치는 영향	김지영	65-70
	논 단	• A brief introduction to the European Cooperation in the field of Scientific and Technical Research (COST)	Radan Huth
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	85-93
해외기술동향	• 미국의 첨단 기상관측 항공기(HIAPER) 운영 현황	김지영, 박소연	94-99
	• 미국의 탄소 추적자 시스템 개발 현황 및 전략	조천호	100-108
	• 미국의 우주기상 예보와 발전 방향	곽영실	109-117
뉴스 포커스	• 한국, IPCC 부의장국에 진출	허은	118-119

기상기술정책지 발간 목록

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), 2017년 6월

칼 럼	• 영향예보 서비스 개발과 활성화	고윤화	3-4
정책초점	• 영향예보 서비스 확대를 위한 제언	예상옥	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

4차 산업혁명과 미래 기상기술, 제10권 제2호(통권 제26호), 2017년 12월

칼 럼	• 기후변화 저감을 위한 미래 기상기술	남재철	3-4
정책초점	• 4차 산업혁명과 미래 기후변화 대응기술	김형주	6-15
	• 4차 산업혁명 시대의 기후변화 대응	채여라	16-25
	• 인공지능 기술 발전을 위한 제도 및 정책	김윤정	26-43
	• 기후변화 대응을 위한 에너지 정책	전재완	44-54
논 단	• 기후변화에 대응하기 위한 농업과 과학기술의 융합	이현숙	55-65
포 커 스	• 4차 산업혁명과 미래 전문직	윤상후	66-73

여름철 위험기상의 영향과 대응, 제11권 제1호(통권 제27호), 2018년 6월

칼 럼	• 국민의 안전을 위협하는 여름철 폭염과 대응	남재철	3-4
정책초점	• 기후변화로 심화되는 폭염 대응을 위한 경보체계의 개발	이명인	6-18
	• 재난정보관리 표준화 기술 개발	김병식	19-34
	• 지표홍반자외선정보 제공 및 향후 대응	박상서	35-43
	• 스마트 폭염대응을 위한 기상 전문가의 역할	권용석	44-53
	• 인공지능을 활용한 재해기상 저감·예측 기술	김동훈	54-69
논 단	• 미래 여름철 기온변화에 의한 건강영향 예측	이재영, 김호	70-77
포 커 스	• 폭염 피해와 정책 동향	김도우	78-85

『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 11, Number 1

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