

# METEOROLOGICAL TECHNOLOGY & POLICY

기상  
기술  
정책

## 기상 기술 정책

METEOROLOGICAL TECHNOLOGY & POLICY

2019  
· 6

2019.

6

특집 기상정보 활용 확대와 기상청의 역할

칼럼 | 날씨, 국민 생활의 시작과 끝 |

정책초점 | 기상조건에 따른 이동수요의 변화 |

| 기상데이터로 알려주는 국민건강 알람서비스 |

| 신재생에너지 발전량 예측에서의 기상정보 활용 |

| ICT수목원과 기상기술 |

| 기후변화가 농작물 생산에 미치는 영향과 대응 |

| 4차 산업혁명 기술을 활용한 친환경 건축/도시 설계 기술 |

| 실시간 수(水)재해 예측을 위한 기상정보 활용 방안 |

포커스 | 복합재난대응 연구사례 중 도심지 침수 현상을 중심으로 |

Volume 12, Number 1

33, Seohobuk-ro, Seogwipo-si, Jeju-do, 63568, Korea

TEL. 064-780-6534 | FAX. 064-738-4914

<http://www.kma.go.kr>



『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: 김종석

편집기획: 국립기상과학원(책임운영기관) 미래전략연구팀

편집위원장: 주상원

편집위원: 하종철, 신동현, 정관영, 이은정,

박록진, 반기성, 홍진규, 김도우

편집간사: 이희춘, 이대근, 김인점

### 발행처

주소: (63568) 제주특별자치도 서귀포시 서호북로 33

국립기상과학원(책임운영기관)

전화: 064-780-6534 팩스: 064-738-4914

E-mail: dglee7@korea.kr

# CONTENTS

특집: 기상정보 활용 확대와 기상청의 역할

**칼럼** 03 \_ 날씨, 국민 생활의 시작과 끝 / 김종석

**정책초점** 06 \_ 기상조건에 따른 이동수요의 변화 / 이재호, 전재영

15 \_ 기상데이터로 알려주는 국민건강 알람서비스 / 한성욱, 전예슬

24 \_ 신재생에너지 발전량 예측에서의 기상정보 활용 / 이영미, 박다빈

33 \_ ICT수목원과 기상기술 / 이상용

44 \_ 기후변화가 농작물 생산에 미치는 영향과 대응 / 문경환

58 \_ 4차 산업혁명 기술을 활용한 친환경 건축/도시 설계 기술 / 이호영

70 \_ 실시간 수(水)재해 예측을 위한 기상정보 활용 방안 / 이병주

**포커스** 81 \_ 복합재난대응 연구사례 중 도심지 침수 현상을 중심으로  
/ 백용, 이동섭, 김형준



# 날씨, 국민 생활의 시작과 끝



김종석  
기상청장

기상청은 국민에게 ‘일기예보’로 대표되는 날씨 정보를 제공하는 전문 국가 기관이다. 우리가 일상생활에서 경험하는 날씨의 중요성이 커질수록 ‘일기예보 정확도 향상’은 기상청의 막중한 과제가 되었다. 슈퍼컴퓨터를 도입하고 자체 기상위성을 발사하며, 한국형 수치예보모델을 개발하는 등 일련의 노력들은 모두 ‘예보정확도 향상’ 목표로 귀결된다. 그 결과 현재 기상청의 초단기예보 정확도는 90%를 상회하고 있으며, 우리나라의 기상기술력은 세계 6위로 평가되는 등 기상청은 꾸준히 발전하고 있다. 하지만 기상정보를 활용하는 국민은 시시각각 변화하는 날씨정보를 보다 쉽고 빠르게 그리고 정확하게 제공받길 원하고 있다.

이에 기상청에서는 예보정보와 함께 날씨에 따른 지역별 재해 가능성과 위험도 등을 함께 제공하는 ‘영향예보’를 6월 1일부터 서비스하고 있다. 또한, 미래 사회에 대비하기 위해 4차 산업혁명 시대의 주요 화두인 빅데이터와 인공지능을 활용한 예보정확도 개선에 매진하고 있다.

최근에는 기상정보 가치를 이해하고 활용한 사례를 발굴하여 시상하는 ‘기상 정보대상’처럼 기상정보의 활용과 그 사회·경제적 가치 발굴에도 관심을 기울이고 있으며, 외부 산업현장의 생생한 목소리에 귀를 기울이고, 기상분야 영역확대를 도모하고 있다. 이를 통해 국민에게 더 다가가는 서비스를 개발할 수 있고,

궁극적으로 국민이 더 행복해 지는데 도움을 줄 수 있다고 믿기 때문이다.

최근 기상정보의 사회적 활용은 식물생육환경, 건강, 신재생에너지, 정보통신기술과 결합에서 두각을 나타내고 있다. 식물의 생육현황과 미기후 환경정보를 결합하여 식물의 최적 생육환경을 분석하거나 기후변화에 따른 농작물 생산량 변화를 예측함으로써 70% 이상 산지로 이루어진 우리나라의 삼림을 보존·개발하고, 미래의 식량안보 확보에 이바지할 수 있다.

건강 측면에서는 감기, 눈병, 식중독, 천식, 피부염 등의 질병 발생에 영향을 미치는 기상요소가 분석되어 날씨예보처럼 질병 발생을 예측하는 건강 알람 서비스를 개발할 수 있다.

기상정보 활용을 통한 풍력과 태양광 등의 신재생에너지 발전량 예측은 기후변화주범인 화석 연료에의 의존을 낮추고, 고층빌딩 사이의 바람길 분석은 신도시 개발 및 주거환경의 정주여건 개선에 기여할 수 있다.

마지막으로 ICT 기술과 결합한 기상에 따른 이동수단 수요 분석은 국민의 생활편의를 개선할 뿐만 아니라, 기업에게는 새로운 사업 기회를 제공할 수 있다. 물론 태풍, 집중호우로 인한 침수 위험의 취약성 등 국민 안전을 위한 기상정보의 가치와 의미는 두말할 나위 없을 것이다.

기상청은 지금껏 그래왔듯이 예보정확도 향상을 위한 기상기술력을 높이는데 모든 힘을 쏟을 것이다. 더 나아가 '사람중심 서비스'를 위해 보다 편리하고 보다 사회적 가치를 증진하는데 역량을 결집해 나갈 것이다. 지금이 순간에도 사회 각 분야에서 중요한 의사결정 도구로 활용되고 있는 기상정보의 가치는 비단 예보정확도 같은 수치적 결과만으로 평가될 수 없다. 기상정보가 국민에게 가치 있는 정보로서, 그리고 생명과 재산을 보호하는 필수재로서 인식이 확산되어 간다면 기상청은 기관의 비전 '신뢰받는 정보 제공으로 국민이 만족하는 기상서비스 실현'의 달성에 더욱 다가서게 될 것이다.

# 정책 초점

기상조건에 따른 이동수요의 변화

| 이재호, 전재영

기상데이터로 알려주는 국민건강 알람서비스

| 한성욱, 전예슬

신재생에너지 발전량 예측에서의 기상정보 활용

| 이영미, 박다빈

ICT수목원과 기상기술

| 이상용

기후변화가 농작물 생산에 미치는 영향과 대응

| 문경환

4차 산업혁명 기술을 활용한 친환경 건축/도시 설계 기술

| 이호영

실시간 수(水)재해 예측을 위한 기상정보 활용 방안

| 이병주

# 기상조건에 따른 이동수요의 변화

이재호 카카오모빌리티 디지털경제연구소 소장, ryan.jhl@kakaomobility.com  
전재영 카카오모빌리티 디지털경제연구소 연구원, jerome.1455@kakaomobility.com

- I. 연구배경
- II. 기상조건에 따른 택시수요의 변화
- III. 기상조건에 따른 공유자전거 수요의 변화
- IV. 결론 및 시사점

기상조건은 시민들의 이동수요와 특성에 영향을 미치는 중요한 요인 중 하나이다. 본고는 국내 대표적인 모빌리티 플랫폼 ‘카카오 T’ 앱을 통해 수집한 데이터를 기반으로 기상조건에 따른 이동수요의 변화를 관찰했다. 우선 기상 데이터와 모빌리티 데이터를 연계하여 기온, 강수량 또는 적설량에 따라 택시수요가 어떻게 변화하는지를 분석했다. 이와 함께 기상조건 및 대기질에 따라 공유자전거 수요가 변화하는 모습도 확인했다. 데이터를 기반으로 특정 시간, 장소, 그리고 기상조건에 따른 미래 이동수요를 예측할 수 있다면, 수요와 공급의 균형을 맞추고 서비스의 질을 크게 향상시킬 수 있을 것으로 기대한다. ■

## I. 연구배경

이동은 본래 시간과 장소에 따라 수요가 크게 변하는 서비스이다. 아침 출근시간과 저녁 퇴근시간에는 사람들의 이동수요가 폭발적으로 증가한다. 특히 대중교통이 끊기기 시작하는 심야시간에는 택시의 수요가 크게 증가한다. 출근시간에는 주택가에서, 퇴근시간이나 심야시간에는 업무시설 밀집지역이나 음식점, 술집이 모여 있는 지역에서 이동수요가 많다.

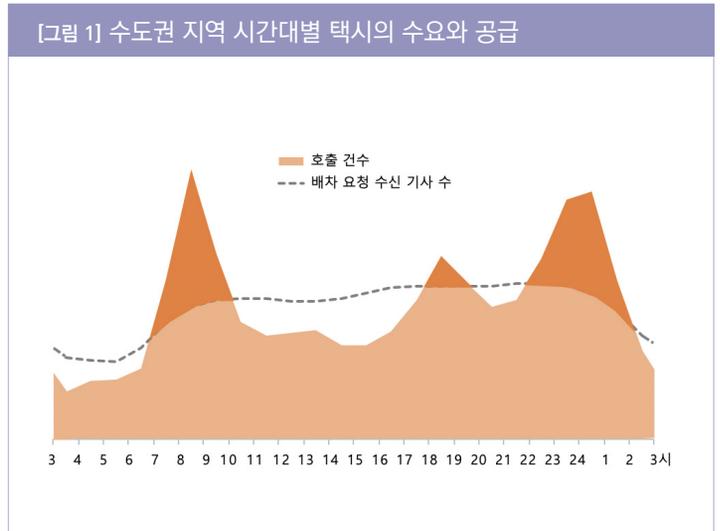
[그림 1]은 수도권에서 시간에 따른 카카오 T 택시 호출 수의 변화를 표현한 것이다. 카카오 T는 국내 대표적인 모빌리티 플랫폼으로 택시, 내비게이션, 대리운전, 주차, 공유자전거 등의 서비스를 제공하고 있다. [그림 1]에서 호출 건수는 이동의 수요, 배차 요청 수신 기사 수는 이동의 공급으로 볼 수 있다. 출근/퇴근/심야시간에는 이동의 수요가 공급을 초과하는 현상이 발생함을 확인할 수 있다. 한편 [그림 1]이 나타내는 수치는 수요와 공급의 절대량이다. 공급

이 있음에도 불구하고 기사가 배회영업 과정에서 승객을 발견하지 못했거나 원하는 목적지가 아니어서 승차를 거부하는 경우까지 감안하면 해당 시간의 수급 불일치는 그래프에 나타나는 것보다 더 클 것으로 예상된다.

이동 서비스의 가장 중요한 특성은 즉시성이다. 반드시 소비자가 원하는 시간에 바로 그 장소에서 서비스가 이뤄져야 한다. 만일 택시 사업자나 중개 플랫폼이 시간과 공간에 따라 이동수요가 얼마나 발생할지 미리 예측할 수 있다면, ‘그 시간, 그 지역’에 미리 택시를 배치할 수 있을 것이다. 그렇게 되면 소비자들은 더욱 빠르고

“ 카카오 T 택시 호출건수는 이동수요, 배차요청 수신 기사는 이동의 공급으로 가정 ”

[그림 1] 수도권 지역 시간대별 택시의 수요와 공급



※ 본고는 이재호(2019), 『스마트 모빌리티 사회』, 카카오모빌리티(2018), 『2018 카카오모빌리티 리포트』의 주요 내용을 수정·보완한 것입니다.

“ 기상예보와  
기상에 따른  
이동수요를  
연동하면 날씨에  
따른 이동량  
예측이 가능 ”

편리하게 택시를 이용할 수 있게 된다. 우버(Uber)나 그랩(Grab)처럼 탄력적인 공급까지 가능해진다면 수요가 폭발하는 시간과 장소에 이동 서비스의 공급량 자체를 늘릴 수 있다. 그 결과는 소비자들의 편리함이 더욱 증가하는 것이다.

이러한 예측 기반의 공급 조절을 가능하게 해주는 것이 바로 데이터이다. 과거의 시·공간적 수요 데이터와 공급 데이터를 활용하면, 미래의 수요를 예측하여 최적 공급이 가능하도록 배차 시스템을 설계할 수 있다. 모빌리티 서비스 기업들이 데이터 수집에 공을 들이는 이유도 여기에 있다. 앞으로 펼쳐질 자율주행택시 시대에는 이런 기능이 더욱 빛을 발할 것이다.

시간과 공간 외에 택시수요에 영향을 미치는 중요한 요인이 바로 기상조건이다. 2018년 여름은 평년에 비해 유난히 더운 날이 많았다. 이어지는 폭염은 시민들의 이동생활에도 큰 영향을 미쳤다. 평상시라면 도보로 이동하거나 대중교통을 이용했을 사람들도 더운 날씨를 피해 택시를 타고 싶어 했다. 날씨가 더운 날 뿐만 아니라 추운 날, 비가 내리는 날, 눈이 내리는 날에도 택시수요는 증가한다. 그러나 도로를 운행하는 택시의 수는 평상시와 크게 다르지 않다. 오히려 악천후에는 택시공급이 줄어드는 경우가 발생하기도 한다. 따라서 이동수요가 공급을 초과하는 상황이 발생할 수 있고, 결국 택시를 잡지 못하는 사람들이 생긴다.

과거의 데이터를 분석하여 기온, 강수량 또는 적설량에 따라 이동수요가 어떻게 변화하는지 미리 예측이 가능하다면, 시민들을 위한 택시 공급이 훨씬 용이해질 것이다. 기상청 예보와 기상조건에 따른 이동수요 데이터를 연동하면 날씨에 따른 이동량 예측이 가능해진다. 이런 시스템이 구현된다면 작년 여름처럼 날씨가 유난히 더운 날 택시를 타고 싶은 소비자들의 수요를 원활하게 충족시키는데 큰 역할을 할 것이다.

본고는 카카오 T 앱을 통해 수집한 모빌리티 빅데이터를 통해 기상조건에 따라 이동수요가 어떻게 변화하는지 분석해 보고자 한다. 우선 날씨가 더운 날, 추운 날, 비가 내리는 날, 눈이 내리는 날에 대해 택시 호출 수와 배차 가능 기사 수가 어떻게 변화하는지 살펴본다. 이어서 최근 인기를 끌고 있는 마이크로 모빌리티(micro

“ 일강수량 40mm 이상인 날 택시 수요는 80% 증가 ”

mobility) 수단 중 하나인 전기 공유자전거의 이용 패턴이 날씨에 따라 어떻게 변화하는지도 함께 분석한다.

## II. 기상조건에 따른 택시수요의 변화

우선 기상조건에 따른 택시 수요의 변화를 살펴보았다. 날씨가 더운 날, 추운 날, 비가 내리는 날, 눈이 내리는 날의 택시 호출을 평상시의 택시 호출과 비교하였다. 택시수요는 소비자들이 카카오 T 앱을 통해 택시를 호출한 건수로 간주했다. 앱을 통해 소비자가 택시를 호출했다는 것은 이동수요가 있다는 표시이다. 이 중에는 택시가 배차되어 운행이 완료된 건도 있지만 결국 택시를 잡지 못해 다른 교통수단을 이용한 건도 있을 것이다. 따라서 실제 운행완료된 건만 산입되는 교통카드나 신용카드 이용정보에 비해 소비자의 수요를 더욱 직접적으로 나타낸다고 할 수 있다. 분석의 단위는 일 단위이며 분석기간은 최근 1년인 2018년 6월 1일~2019년 5월 31일이다. 지역은 편의상 서울로 한정해 살펴보았다.

기상정보는 기상청에서 제공하는 국가기상정보 데이터를 활용했다. 날씨가 더운 날은 일 최고기온이 35도 이상인 날, 추운 날은 일 최저기온이 영하 10도 이하인 날로 설정했다. 한편 비가 내리는 날은 일 강수량이 40mm 이상인 날, 눈이 내리는 날은 일 최심 적설량이 1cm 이상인 날로 정했다. 위 기준에 따르면 해당 기간 더운 날은 22일, 추운 날은 9일, 비가 내리는 날은 7일, 눈이 내리는 날은 5일이었다. 비교의 대상으로 삼은 평상시는 해당 날을 제외한 나머지 날들로 정의했다.

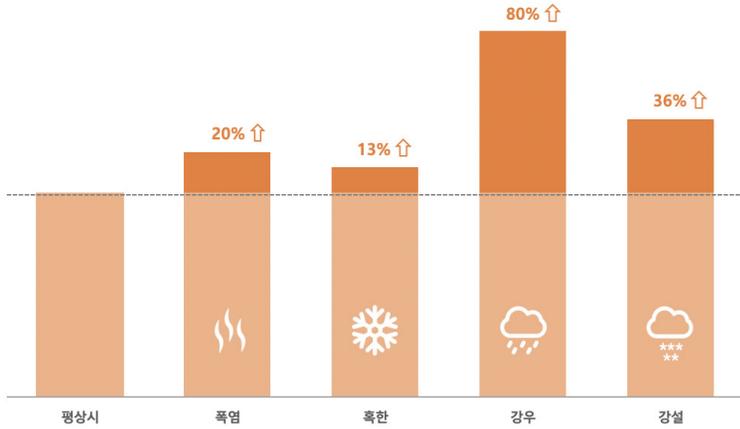
먼저 기상조건에 따라 택시수요가 얼마나 증가하는지 살펴보자. 앞의 기준에 따라 분석한 결과 평상시의 호출 건수에 비해 더운 날은 20%, 추운 날은 13%, 비가 내리는 날은 80%, 눈이

〈표 1〉 최근 1년간 서울의 기상조건

구분	일수	기준
더운 날	22일	일 최고기온 35도 이상
추운 날	9일	일 최저기온 영하 10도 이하
비가 내리는 날	7일	일 강수량 40mm 이상
눈이 내리는 날	5일	일 최심 적설량 1cm 이상

자료: 기상청, 「국가기상종합정보」를 이용해 산출. 분석기간은 2018.6.1.~2019.5.31

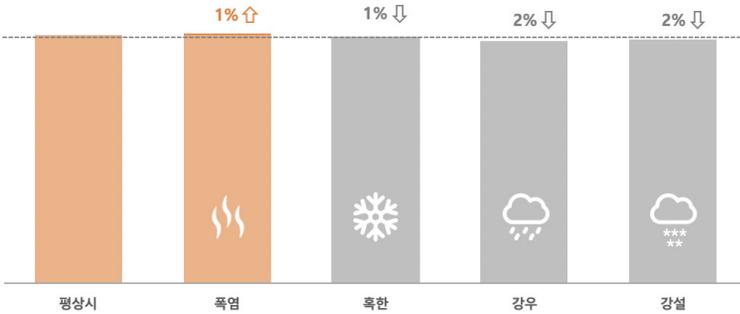
[그림 2] 서울지역 기상조건 악화시 택시수요의 증가



내리는 날은 36% 호출이 증가한 것을 확인할 수 있었다. 특히 비가 내리는 날 택시수요가 폭발적으로 늘어나는 것이 인상적이었다 [그림 2].

이번에는 택시공급을 살펴보자. 공급은 카카오 T 기사용 앱을 통해 확인한 해당일의 출근기사수로 간주했다. 공급은 수요에 비해 기상조건의 변화에 민감하게 반응하지는 않았다. 더운 날에는 1% 증가, 추운 날에는 1% 감소, 비가 내리는 날과 눈이 내리는 날에는 2% 가량 감소하는 것으로 나타났다. 택시공급이 수요에 비해 변화 폭이 적

[그림 3] 서울지역 기상조건 악화시 택시공급의 감소



은 것은 외부에서 굳은 날씨에 직접적으로 노출되는 수요자에 비해 차량 내부에 상주하는 공급자는 기상 상태에 따른 불편감에 상대적으로 둔감하기 때문인 것으로 추측해볼 수 있다[그림 3].<sup>2)</sup>

기상조건에 따른 택시 수요의 증가는 분석대상 기간을 어떻게 설정하느냐와 기상 조건의 기준을 어떻게 잡느냐에 따라 조금씩 달라질 수 있다. 그러나 기상 악화 시 수요가 증가하는 패턴 자체는 공통적으로 확인할 수 있었다.

2 서울지역은 기상조건 악화시 택시공급 감소가 거의 없었지만, 전국으로 확대하면 감소량이 커지기도 한다. 관련 내용은 카카오모빌리티(2018), 「카카오모빌리티 리포트」 참조

“ 2019년3월  
성남과 인천에서  
전기자전거 공유  
시범서비스 시작 ”

### III. 기상조건에 따른 공유자전거 수요의 변화

이번에는 여러 기상조건에 따라 공유자전거 수요가 어떻게 변화하는지 살펴보겠다. 카카오모빌리티는 2019년 3월 경기도 성남시와 인천광역시 연수구에서 전기자전거 공유시범서비스를 시작했다. 공유자전거는 도보로 이동하기에는 다소 멀고 택시나 대중교통을 이용하기에는 가까운 거리를 담당하는 새로운 모빌리티 서비스로 주목을 받고 있다. 카카오모빌리티의 공유자전거는 현재 성남시에 600대, 연수구에 400대가 운영되고 있으며, 별도의 거치대 없이 승하차 지점이 자유로운 것이 특징이다.

공유자전거 수요는 카카오 T 앱을 통해 운행이 완료된 자전거 이용 건수로 간주했다. 서비스 이용자는 스마트폰 앱 지도를 통해 자전거의 위치를 확인하여 그곳까지 직접 이동해 사용을 시작한다. 그러나 주변에 이용 가능한 자전거가 없는 경우에는 이동수요가 있음에도 불구하고 서비스를 이용하지 못할 수 있다. 이런 경우에 대해서는 데이터를 따로 수집할 수가 없다. 따라서 이동의 의사 자체를 수요로 간주했던 택시와는 다르게, 실제 이용을 수요로 볼 수밖에 없었다는 한계가 있다.

공유자전거 서비스는 최근에 시작했기 때문에 아직 더운 날, 추운 날, 눈이 내리는 날에 대한 데이터가 없다. 따라서 비가 내리는 날과 미세먼지가 심한 날에 대해서만 분석했다. 분석기간은 서비스 시작일인 2019년 3월 6일부터 가장 최근인 2019년 5월 31일까지로 설정했다.

기상정보는 택시와 동일하게 기상청이 제공하는 국가기상정보 데이터를 활용했다. 비가 내리는 날은 일 강수량이 10mm 이상인 날, 미세먼지가 심한 날은 예보등급 '나쁨'에 해당하는 일평균 미세먼지(PM<sub>10</sub>) 농도 80 $\mu$ g/m<sup>3</sup> 초과인 날로 설정했다. 위 기준에 따라 비가 내리는 날은 4일, 미세먼지가 심한 날은 2일이었으며, 이에 해당하는 날들을 제외한 나머지 날들은 평상시로 보았다.

분석에 사용된 데이터는 총 87일분으로 비교적 최근에 시작한 서비스이기에 축적된 데이터의 양이 많지 않다는 점을 고려해야 한다. 비가 내리는 날의 일 강수량 기준을 앞서 택시수요 및 공급 분석과 동일하게 설정할 경우 이에 해당하는 날이

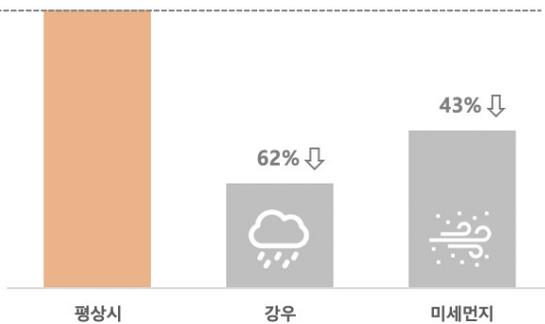
〈표 2〉 서비스 기간 경기도 성남시의 기상조건

구분	일수	기준
비가 내리는 날	4일	일 강수량 10mm 이상
미세먼지가 심한 날	2일	일 평균 농도(PM <sub>10</sub> ) 80 $\mu$ g/m <sup>3</sup> 초과

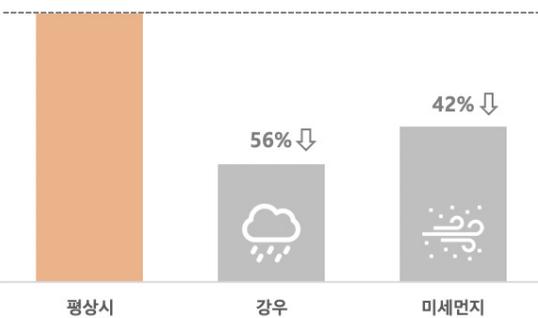
〈표 3〉 서비스 기간 인천 연수구의 기상조건

구분	일수	기준
비가 내리는 날	4일	일 강수량 10mm 이상
미세먼지가 심한 날	2일	일 평균 농도(PM <sub>10</sub> ) 80 $\mu$ g/m <sup>3</sup> 초과

〈그림 4〉 경기도 성남시 기상조건 악화시 공유자전거 수요의 감소



〈그림 5〉 인천광역시 연수구 기상조건 악화시 공유자전거 수요의 감소



없어 분석이 불가능하다. 때문에 부득이 비가 내리는 날의 기준을 일 강수량 40mm 이상에서 10mm 이상으로 낮추어 분석 결과를 살펴보았다. 미세먼지가 심한 날의 경우도 분석 기간이 짧아 기준값을 넘어가는 날이 적다는 한계점이 있었다.

이제 분석 결과를 살펴보겠다. 비가 내리는 날의 자전거 수요는 성남시의 경우 62%, 연수구의 경우 56% 가량 급감하는 모습을 보였다. 비가 내리는 날에도 평상시의 40% 내외로 이용 건수가 유지되는 것은 비 오는 날의 강수량이 많지 않았고, 하루 중 비가 오지 않는 시간대에는 자전거 이용이 꽤 있었기 때문이다(그림 4, 5).

한편 미세먼지가 심한 날에는 성남의 경우 43%, 연수구의 경우 42% 가량 수요가 감소했다. 비가 내리는 날에 비해서 감소폭이 적기는 하지만, 미세먼지 역시 자전거 수요 감소에 영향을 미친다는 점을 확인할 수 있었다. 최근대 기질 정보 제공 시스템의 첨단화로 미세먼지 정보를 언제 어디서나 쉽게 확인할 수 있게 되면서 자전거 이용 수요가 미세먼지 수준에 민감하게 반응하

“자전거 이동수요는  
단일 이동수단  
통행 정보 이상의  
가치를 가짐”

고 있는 것으로 보인다(그림 4, 5).

자전거 수요에 대한 분석은 짧은 서비스 기간 내 데이터를 이용한 분석 결과인 만큼 표본 수가 부족하고, 수집 시기상 더운 날, 추운 날, 눈이 내리는 날에 해당하는 기상 조건의 영향은 파악할 수 없다는 한계가 있었다. 그러나 비가 오거나 미세먼지가 심한 경우 평상시에 비해 수요가 눈에 띄게 감소하는 것을 데이터를 통해 확인할 수 있었다.

#### IV. 결론 및 시사점

지금까지 카카오 T 앱을 통해 수집한 데이터를 바탕으로 기상조건에 따라 택시와 공유자전거 수요가 어떻게 달라지는지 살펴보았다. 택시의 경우 날씨가 나쁠 때 이동수요가 증가했고, 특히 비나 눈이 내리는 날은 수요가 크게 증가하는 것을 확인할 수 있었다. 이에 반해 택시공급은 기상조건에 따라 크게 달라지지 않는 것도 확인했다. 한편 공유자전거는 비가 내리는 날에 이용량이 급감하는 모습을 보였다. 미세먼지가 심한 날에도 이용량이 상당히 줄어드는 것을 확인할 수 있었다.

악천후 조건에서 택시의 수요는 늘어나는 반면 공급은 변동이 없거나 오히려 소폭 줄어들기 때문에 수요와 공급의 불일치는 심화된다. 여기에 시간, 장소, 교통 상황 등에 따라 수급이 달라지는 것까지 감안하면 그 불일치는 더욱 크게 느껴질 수 있다. 안타깝게도 이때 생기는 불편과 피해는 대부분 수요자, 즉 소비자의 몫이다. 공급을 유인할만한 어떠한 수단도 가지지 못한 수요자는 불편을 감내하고 인내하며 공급자를 찾는 수밖에 없다.

자전거의 경우 기상조건에 따른 공급 변화는 없지만, 수요의 변화는 큰 것을 확인할 수 있었다. 충분한 기간 동안 수집된 서비스 이용 데이터와 기상 예보를 결합한다면 미래 특정 시점의 자전거 수요를 예측할 수도 있을 것이다. 퍼스트 마일과 라스트 마일 통행 수단으로 주목받고 있는 자전거의 이용 특성을 고려했을 때, 자전거 이용수요는 단순히 단일 수단 자전거 통행에 대한 정보 이상의 가치를 가진다. 자전

“ 경로·수단 배정,  
배차 알고리즘 개발에  
기상정보의 활용  
가치는 무궁무진 ”

거 이용여부에 따라 통행경로나 수단이 완전히 달라질 수 있기 때문이다. 예를 들어 맑은 날 자전거로 인근 지하철역까지 이동한 후 지하철을 이용하던 사람이, 비가 오는 날에는 집 근처에서 버스를 타고 이동할 수 있다. 이 경우 자전거 이용수요의 감소량은 다른 교통수단에 대한 수요증감을 파악하는 데 요긴하게 쓰일 수도 있다.

기상정보는 교통상황을 이해하고 예측하는 데 있어 매우 중요한 역할을 할 수 있다. 방대한 양의 이동 데이터가 수집되고 이를 다방면으로 활용하게 되면서, 여기에 연계할 수 있는 기상정보의 가치는 점점 높아질 것으로 예상된다. 비가 내리는 날 택시를 타려는 사람이 많아진다는 것, 그리고 비 맞으며 자전거를 타는 사람이 많지 않다는 것은 새로운 발견은 아니다. 하지만 수치화된 데이터를 통해 수요와 공급의 변화폭을 정량적으로 확인하는 것은 큰 의미가 있다. 장기적으로 다가올 서비스형 모빌리티(MaaS, Mobility as a Service) 및 자율주행 시대에 필요한 고도화된 경로·수단 배정 및 배차 알고리즘 개발 측면에서도 기상정보의 활용가치는 무궁무진하다.

#### 참고문헌

기상청, 「국가기상종합정보」

이재호, 2019: 스마트 모빌리티 사회.

카카오모빌리티, 2018: 2018 카카오모빌리티 리포트.

# 기상데이터로 알려주는 국민건강 알람서비스

한성욱 다음소프트 부장, hanpc@daumsoft.com  
전예슬 다음소프트 대리, jeons9677@daumsoft.com

- I. 국민건강 알람서비스의 배경
- II. 기상데이터와 질병과의 관계
- III. 빅데이터 측면에서 바라본 기상데이터의 효능
- IV. 향후 기상데이터 활용의 방향

국민건강 보험공단에서 발주한 국민건강 알람서비스 시범사업을 통해 질병 별 진료건수 데이터와 기상 및 환경 데이터 그리고 SNS 데이터를 결합해 질병 별 발생 건수를 예측하고 위험도를 국민에게 알려준다. 이 과정에서 기상데이터는 사람의 질병과 밀접하게 연계되어 있으며 질병 별로 기상변수에 영향을 받는 요인들을 살펴볼 수 있으며, 질병에 대한 이해를 넓혀갈 수 있다. 이번 프로젝트에서 사용된 기상데이터가 빅데이터의 5V와 어떻게 연결되어 가치를 띄는지를 국민건강 알람서비스를 통해 살펴봄으로써 기상데이터의 가치와 향후 활용 방향에 대해 이야기 하고자 한다. ■

“ 2013년 NIA와 NHIS가 「국민건강 알람서비스 시범사업」 시작 ”

## I. 국민건강 알람서비스의 배경

2013년 한국정보화진흥원과 국민건강보험공단에서 발주한 「국민건강 알람서비스 시범사업」을 시작으로 국민건강보험공단은 국민건강 알람서비스를 실용화 해나갔다. 국민건강 알람서비스(forecast.nhis.or.kr)는 국민건강보험공단에서 제공하는 서비스로 초기에는 감기, 눈병, 식중독, 천식, 피부염의 유행성 질환부터 현재는 만성 질환, 영유아 질환까지 확대되어 국민들에게 각 질병에 대한 위험도를 알리는 서비스이다. 위험도를 산출하기 위해 질병의 진료건수와 공공데이터로서 활용성이 가장 높은 기상 및 환경데이터를 결합하고 SNS에서 언급되고 있는 질병 관련 키워드를 결합하여 관계식을 산출하였다. 즉, 질병에 따른 진료건수와 발병추이 및 형태가 비슷하여 유의한 상관관계가 있는 기상 및 환경 변수들을 선별하고 트위터, 블로그 및 뉴스에서 발견되는 질병 관련 키워드들을 추출하여 관계를 살펴본 것이다. 알람 등급은 도출된 관계식을 활용하여 질병에 대한 이야기 및 질병 발생건수가 높게 추측되는 시점에 대해 과거 2년 동안의 실측 진료건수를 바탕으로 가정된 분포에서 차지하는 비율을 바탕으로 산출된다. 질병별 진료건수에 따라 가정된 분포로는 와이블분포, 지수분포, 정규분포 등이 존재한다. 이러한 분포는 2년 동안 축

적된 실측 진료건수를 바탕으로 가정하게 된다. 즉, 2년 동안 축적된 진료건수의 히스토그램 분포 모양이 따르는 통계적 분포를 가정하게 되는 것이다. 2년 동안 축적된 진료건수의 히스토그램을 살펴보면, 해당 진료건수가 전반적으로 축적된 히스토그램 내에서 큰 진료건수에 해당되는

[그림 1] 국민건강 알람서비스 개요

### ● 국민건강 알람서비스란?

국민건강보험공단이 보유한 국민건강정보DB와 식약처, 기상청, 환경부가 보유한 식중독자료, 기상기후자료, 환경자료를 연계하고 인간의 소셜미디어 정보 (트윗, 블로그, 뉴스 등)를 융합하여 주요 질병의 위험도 동향과 알람을 제공하는 서비스입니다. 본 서비스를 통해 주요 질병의 지역별 위험도와 위험단계별 행동요령 그리고 지역별 기상정보, 대기정보, 진료 동향과 트위터, 뉴스, 블로그와 같은 소셜정보를 확인하실 수 있습니다.



- 국민건강 알람서비스는 국민건강 증진 및 사회적 편익을 극대화하는 것을 목적으로 합니다.
- 현재 9개 질병에 대해 서비스 중이며, 추후 확대될 예정입니다.

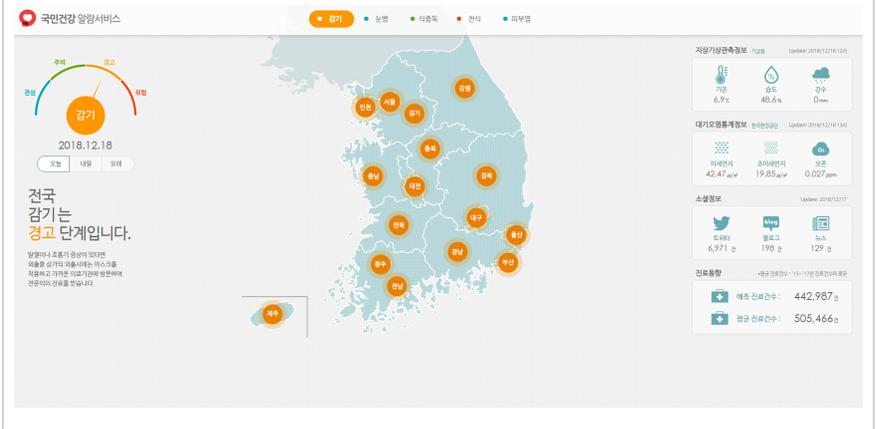
“ 과거의 추세를 바탕으로 질병 발생건수에 따라 4단계의 위험도를 구분 ”

지, 작은 진료건수에 해당되는지를 살펴볼 수 있으며 이 정도를 상대적으로 측정하  
값이 위험도 단계이다. 그 결과는 질병 별로 상이하지만, 대부분의 질병들은 40%,  
70%, 90%의 비율에 따라 관심, 주의, 경고, 위험을 구분한다. 예를 들어, 오늘의 진  
료건수가 과거 2년 동안의 분포 중에서 낮은 건수 순위로 30%에 해당된다면, 이는

위험도 단계 40% 미만인 ‘관심’ 단계로 알람이 되는 것이다. 과거 2년 동안의 추세를 살펴보고 이 분포 중에 예측되는 질병 발생건수가 속한 축에 따라 관심, 주의, 경고, 위험에 대한 알람을 진행하게 된다.

단순 알람의 형태를 넘어서 본 서비스를 통해 주요 질병의 지역별 위험도와 위험단계별 행동요령 그리고 지역별 기상정보, 대기 정보, 진료 동향과 트위터, 블로그, 뉴스와 같은 소셜 정보를 확인할 수 있다. 그림 1~5는 제공되는 알람서비스의 예시화면들이다.

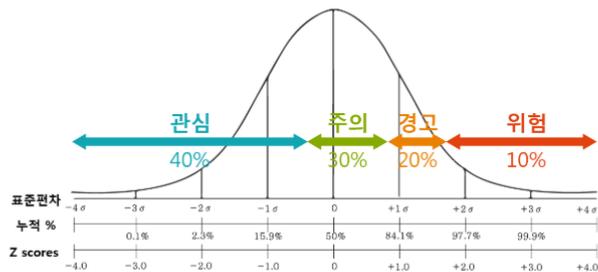
[그림 2] 실제 서비스되고 있는 국민건강 알람서비스 ‘감기’ 화면



[그림 3] (예시) ‘감기’ 위험도 단계 산출 기준 및 위험도 분포 형태

단계	구간	구간 확률	누적 확률
● 관심	$-\infty \leq Z \leq -0.11$	40.00%	40.00%
● 주의	$-0.11 < Z \leq 0.58$	30.00%	70.00%
● 경고	$0.58 < Z \leq 1.14$	20.00%	90.00%
● 위험	$1.14 < Z \leq \infty$	10.00%	100%

$\bullet Z = (X - \mu) / \sigma$  where  $\mu$ =평균,  $\sigma$ =표준편차



[그림 4] (예시) '감기' 위험도 단계별 행동요령

● 감기 위험도 단계별 행동요령

- **관심** 환기를 자주 시켜 깨끗한 환경을 유지하고 외출 후에는 반드시 손을 씻는 등 평소 손 씻기를 생활화합니다.
- **주의** 기침과 재채기를 할 때에는 반드시 휴지나 손수건으로 가리는 등 기침 에티켓을 지켜주시고 충분한 휴식 및 수분을 섭취합니다.
- **경고** 발열이나 호흡기 증상이 있다면 외출을 삼가되 외출시에는 마스크를 착용하고 가까운 의료기관에 방문하여 전문의의 진료를 받습니다.
- **위험** 고위험 집단(만성심장폐질환, 천식, 당뇨병 환자, 임산부, 65세 이상 어르신 등)은 중증으로 진행될 수 있으므로 발열, 호흡기 증상이 있으면 인근 의료기관에서 바로 진료를 받으시기 바랍니다.

[그림 5] (예시) 기상, 대기, 소셜 및 진료 정보 제공 화면

**지상기상관측정보** 기상청 Update: 2018/12/18 12시

기온 6.9℃	습도 48.6%	강수 0 mm
------------	-------------	------------

**대기오염통계정보** 한국환경공단 Update: 2018/12/18 13시

미세먼지 42.47 µg/㎥	초미세먼지 19.85 µg/㎥	오존 0.027 ppm
--------------------	---------------------	-----------------

**소셜정보** Update: 2018/12/17

트위터 25 건	블로그 8 건	뉴스 6 건
-------------	------------	-----------

**진료동향** \*평균 진료건수: '15-'17년 진료건수의 평균

예측 진료건수	: 35,184 건
평균 진료건수	: 38,871 건

**지상기상관측정보** 기상청 Update: 2018/12/18 12시

기온(℃)	6.9℃
습도(%)	48.6%
강수(mm)	0 mm
풍속(m/s)	2.61 m/s
기압(hPa)	1021.26 hPa

“ 최저기온,  
일교차, 습도는  
감기발생에 영향 ”

## II. 기상데이터와 질병과의 관계

모든 질병의 발병예측에는 기상데이터가 사용될 수 있다. 환경 데이터의 경우에는 특정 질병에 대해서만 유의한 영향을 미친다. 예를 들어, 호흡기 혹은, 직접적인 접촉과 관련되어 있는 눈병 및 천식은 환경 데이터가 유의한 영향을 미치는 반면 기상데이터는 감기, 눈병, 식중독, 천식, 피부염 모두와 관련성이 있는 것으로 나타났다. 표 1은 전국기준 질병별 유의한 관계를 나타낸 기상변수들의 구체적인 변인들이다. 질병별 구체적인 관계식 및 관계 정도는 본 알람서비스 사이트를 통해 확인할 수 있다(forecast.nhis.or.kr).

표 1에서 감기의 경우, 감기 진료건수는 최저기온, 일교차, 습도와 유의한 관계를 띄고 있는 것을 볼 수 있다. 그중에서 최저기온과는 음의 관계를 나타내고 있는데, 이는 최저기온이 낮아질수록 감기 진료건수가 늘어남을 의미한다. 마찬가지로, 일교차가 크고, 습도가 높을수록 감기 진료건수가 높아지는 추세를 나타낸다고 할 수 있다. 이러한 관계식을 통해 질병별로 기상변수에 영향을 받는 요인들을 살펴볼 수 있으며, 질병에 대한 이해를 넓혀갈 수 있다.

〈표 1〉 질병별 기상변수와의 상관관계

질병	기상변수	관계
감기	최저기온	음의 관계
	일교차	양의 관계
	습도	양의 관계
눈병	최고기온	양의 관계
	일교차	음의 관계
	강수량	음의 관계
식중독	기온	음의 관계
	최저기온	양의 관계
천식	미세먼지	음의 관계
	최저기온	음의 관계
피부염	일교차	양의 관계
	최고 기온	양의 관계
	습도	음의 관계

〈그림 6〉 ‘감기’ 진료발생건수 예측 모델 내 기상변수의 관계식 예시

● 감기 진료발생건수 예측모델

$$y = \exp(8.890e+00 - 2.447e-03 \cdot \text{최저기온} + 5.481e-03 \cdot \text{일교차} + 6.264e-04 \cdot \text{습도} + 8.171e-04 \cdot \text{뉴스} + 5.290e-06 \cdot \text{트위터} + \text{의료급여} + \text{요일효과} + \text{지역가중치})$$

• y = 예측진료건수

• e : 십의 자승을 의미합니다. (예 : 1.0E+03 = 1000 / 1.0E-02 = 0.01)

“ 다양한, 빠른, 가치적인, 대용량의, 정확성은 빅데이터의 5가지 특성 ”

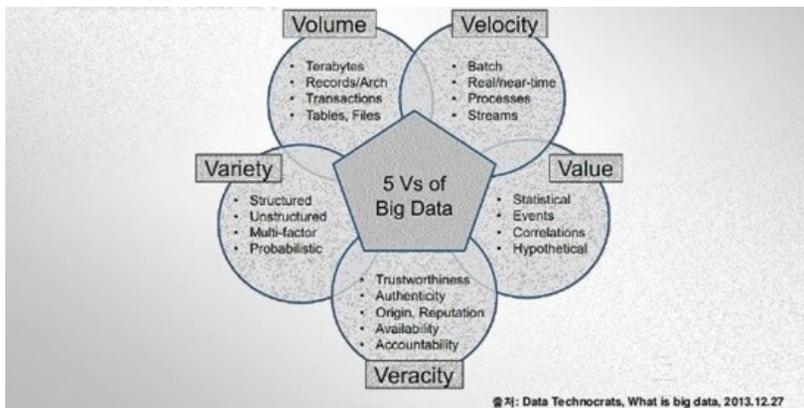
### III. 빅데이터 측면에서 바라본 기상데이터의 효능

다음은 프로젝트를 진행하면서 느꼈던 내용을 바탕으로 공공데이터 중 기상데이터의 효능성에 대해 이야기를 해보고자 한다. 먼저 기상데이터를 사용하면서 기상데이터야 말로 진정한 빅데이터가 아닐까라는 생각이 들었다. 빅데이터는 흔히 5V로 정의될 수 있다. 5V는 다양한 형태의(Variety), 빠른 생성 속도(Velocity), 가

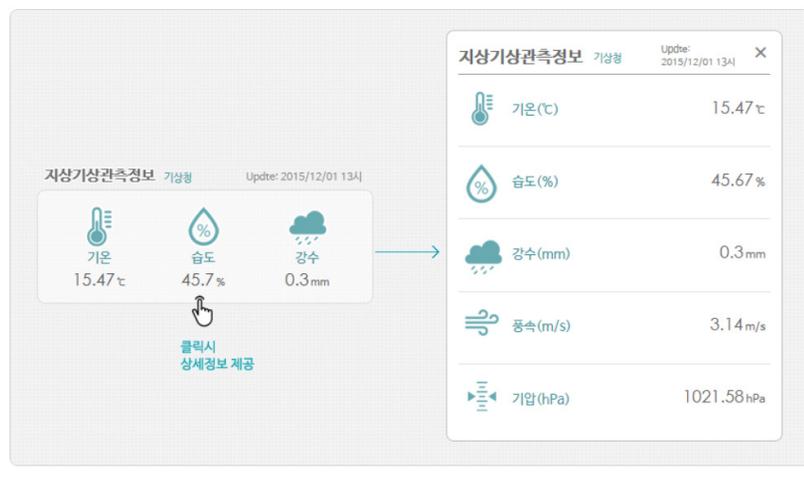
치(Value), 초대용량 데이터 (Volume), 그리고 진실성과 정확성(Veracity)을 내포한다. 이같은 빅데이터의 5V 특성은 기상데이터의 큰 효용성을 기대할 수 있게 한다.

이번 프로젝트에서 사용된 기상데이터가 빅데이터의 5V와 어떻게 연결되어 가치를 띠는지를 국민건강 알람서비스를 통해 이야기를 해보고자 한다. 국민건강 알람서비스는 Open API를 통해 질병별 유의미한 기상데이터를 수집하고, 국민들에게 해당 기상정보를 제공해주고 있다. 이러한 측면에서 속도(Velocity)는 Open API 제공을 통해 빠르게 기상데이터를 수집할 수 있다는 점에서 빅데이터의 정의에 적합하다.

[그림 7] 빅데이터의 정의



[그림 8] 위험도 예측에 사용되는 선택 질병 및 지역의 기상관측정보

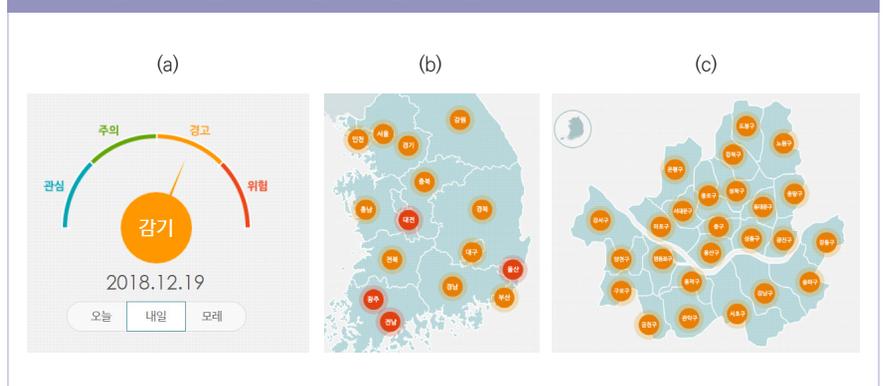


“ 기상예측자료로  
근미래의 발병(發病)  
예측이 가능 ”

또한 국민건강 알람서비스는 지역별로 위험도 단계를 알람 및 예보하며 특정 질병에 대해서는 일자별로 위험도 단계를 산출하고 있다. 이는 빅데이터의 데이터 양 (Volume)과 다양한 형태(Variety)의 특성과 일치한다. 먼저, 대용량 데이터의 양적 측면에서는 지역별, 일자별로 수집되는 방대한 기상데이터를 고려할 수 있다. 그럼에도 불구하고 Open API를 통해 데이터의 수집에 한계가 있지는 않았다. 단, 실측 데이터의 경우에는 Open API로 제공되지 않으므로 그 부분에 대해서는 다음 장의 기상데이터 활용 방향에 대해 더 논의하고자 한다. 다양한 형태(Variety)특성은 기상데이터의 큰 장점이라고 볼 수 있다. 기상데이터는 관측과 예보(예측) 데이터로 구분할 수 있다. 덕분에 현재 시점에서의 질병 알람서비스만 제공하는 것에서 벗어나 내일과 모래의 발병(發病)을 예측할 수 있고, 이는 서비스 제공 범위를 넓혀 주었다. 또한 기상데이터에는 최저기온, 최고기온, 일교차, 습도, 풍속, 강수량 등 다양한 기상데이터를 시간단위로 제공해주고 있다. 다양하게 제공되는 기상데이터로 인해 전국 기준의 질병별 위험도 예보 및 알람뿐만 아니라, 지역별 및 시·군·구단위로 위험도 단계정보를 제공할 수 있다. 그림9(a)는 감기의 예시 위험도 단계로서 오늘, 내일, 모래의 위험도 단계를 기상예보 데이터를 통해 산출할 수 있다. 그림 9(b)는 지역별로 위험도 단계가 산출된 화면을 나타내고, 이는 지역별 기상데이터를 기반으로 측정된다. 그림 9(c)는 시·군·구 단위의 세부 지역별 위험도 단계이다. 이 또한 시·군·구 단위 기상데이터가 제공되어 구현이 가능했다.

기상데이터를 활용하여 질병별 위험도 단계를 산출함으로써 서비스의 정확도가 높아졌다. 진실성, 정확성(Veracity) 측면에서는 기상데이터가 실시간으로 관측소에서 수집되고 있는 것을 생각할 수 있다.

그림 9 감기에 대한 위험도 단계 및 분포 화면 예시

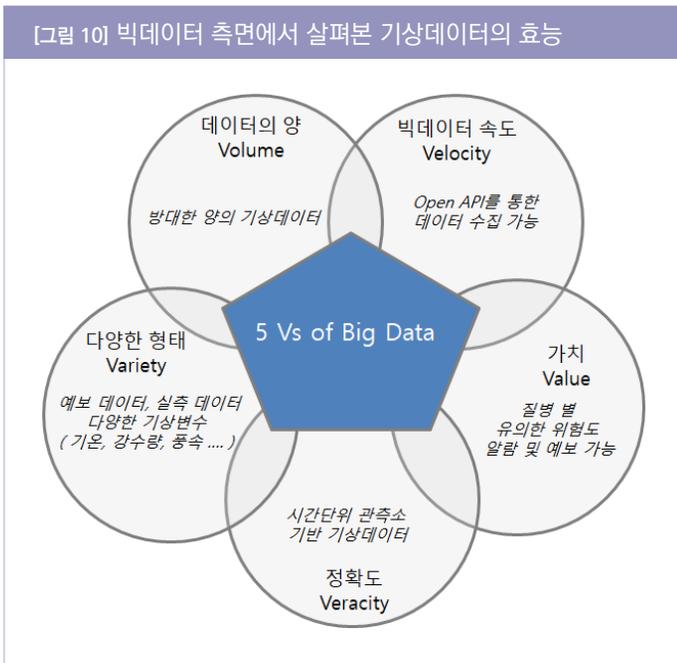


“ Open API를 통해  
누구나 정확하고,  
유용한 기상정보를  
사용 가능 ”

국민건강 알람서비스에 적용 시 질병별 예측에 사용되는 기상데이터를 현재 시간 및 기준에 맞춰서 사용함으로써 질병 위험도 예보 및 알람서비스의 정확도를 높일 수 있다. 마지막으로 국민들의 건강에 기상데이터를 활용하여 유의한 위험도 단계를 알람 및 예보할 수 있다는 가치(Value)를 파악할 수 있다. 요즘 들어 빅데이터라는 용어가 다방면에서 회자되고 있는데, 기상데이터 만큼이나 빅데이터 정의에 부

합하며, 빅데이터가 나아가야 할 방향성까지 내포하고 있는 데이터는 찾기 어렵다. 데이터를 수집하는데 한계가 있거나, 적은 양의 데이터로 분석의 폭을 넓힐 수 없는 경우가 많으며, 데이터간의 정렬 및 정의가 달라 외부 데이터와의 결합이 어려운 경우가 있다. 이런 경우에는 데이터로부터 충분한 의미를 추출하기 어려운 한계가 존재한다. 하지만 기상데이터는 다양한 정보가 담긴 방대한 데이터를 누구나 Open API를 통해 사용할 수 있으며, 정확하고 유용한 정보력을 담고 있는 데이터라는 측면에서 기상데이터의 효용성은 높다고 볼 수 있다.

[그림 10] 빅데이터 측면에서 살펴본 기상데이터의 효능



#### IV. 향후 기상데이터 활용의 방향

기상데이터가 가지고 있는 잠재 가능성은 높다고 판단된다. 잠에서 깨어나 가장 먼저 접하는 데이터 중의 하나가 '오늘 날씨'와 같은 기상정보이다. 사람들의 실생활과 활동에 가장 큰 영향을 미치기 때문에 기상정보는 많은 이들의 최대 관심사이다. 일부 질병에 대해서도 날씨의 영향력이 큰 이유는 해당 질병이 날씨로 인해 악화될 수 있으며, 날씨로 인해 해당 질병에 걸릴 확률이 연관되어 있기 때문이다. 기

상데이터는 사람들의 활동에도 영향을 미칠 수 있다. 예를 들어, 기상 상황이나 예보에 따라 주차난 및 교통사고의 발생추이, 교통 혼잡도 등을 관련지을 수 있을 것으로 보인다. 눈이나 비가 내리는 경우에는 교통 혼잡도가 올라갈 것이라는 가설에서 회귀식을 도출함으로써 기상과 사회현상을 연관지을 수 있다. 이렇게 기상 데이터가 가지고 있는 예보 데이터와 지역단위별 데이터는 사람들의 행동 및 활동 패턴을 파악하는데 유의미한 정보를 다양한 측면에서 제공해줄 수 있을 것이다. 앞으로 기상데이터가 나아가야 할 방향은 실생활에서 사람들의 행동을 고려하여 사회적 파급력이 큰 행동에 대해 상관관계식을 산출하고, 그 결과를 사람들에게 추천 및 정보로 제공한다면, 기상정보의 효용성뿐만 아니라 국민들의 생활에 편의성을 제공할 수 있을 것이다.

다만, 국민건강 알람서비스 프로젝트를 진행하면서 나타난 기상데이터 활용에서의 한계점을 짚고자 한다. 먼저, 관측 데이터는 Open API를 통해 제공되지 않고 있다. 때문에 기상청 관계자를 통해 필요한 데이터를 가상의 저장공간으로 제공받을 수 있었다. 관측 데이터까지 Open API로 제공된다면 부가적으로 가상공간을 통해 데이터를 주고받는 것보다 빠르게 데이터를 수집-처리-서비스 할 수 있을 것이다. 다음은 관측자료의 결측지점에 대한 보정 문제이다. 관측소기반으로 데이터를 수집할 경우 관측소 사이의 공백지역을 어떻게 추정하여 신뢰할만한 해당 지역의 기상값으로 산출할지에 대한 논의가 대두되었다. 관측소가 오래되어 해당 지역과는 거리가 멀거나 신규로 구분지어진 지역의 경우에는 정확한 기상데이터를 산출하는데 한계가 존재했다. 관측소를 지역별로 구분짓는 기준과 지역 간에 관측소 기반으로 규격화되어 있는 규칙이 존재한다면 보다 정확한 지역별 기상데이터를 제공할 수 있을 것이다.

“ 기상관측 자료의 Open API제공, 관측공백 자료에 대한 보정작업으로 기상정보의 활용 확대 가능 ”

# 신재생에너지 발전량 예측에서의 기상정보 활용

이영미 (주)에코브레인 대표이사, leeym@ecobrain.net  
박다빈 (주)에코브레인 전임연구원, dabin@ecobrain.net

- I. 신재생에너지 최근 동향
- II. 발전량 예측에서의 기상정보 활용
- III. 기상정보를 활용한 발전량 예측 기술
- IV. 신재생에너지 분야의 기상정보 활용 제언

전 세계적으로 전력에서 차지하는 신재생에너지의 비중이 증가하고 국내·외 신재생에너지 시장의 활성화가 이루어지고 있으며, 관련 정책과 제도가 수립되고 있다. 뿐만 아니라, '新기후체제'라는 표현이 등장하고 국제 회의 등을 통해서도 신재생에너지에 대한 각국의 참여와 정책마련이 요구되고 있다. 이에 따라 신재생에너지 발전량 예측 정보의 중요성과 활용도 또한 증가하고 있으며, 그 중에서도 청정에너지에 해당하는 태양광과 풍력에너지에 대한 관심이 뜨겁다. 태양광과 풍력에너지는 기상정보에 의한 영향을 가장 많이 받는 에너지원으로서 기상현상에 따른 변동성이 심하다. 때문에 태양광과 풍력에너지 발전량 예측에서 기상정보의 활용과 역할은 절대적이다. 본 원고에서는 신재생에너지 발전량 예측에서의 기상정보 활용 예측기술, 기상예측정보에 따른 발전량의 정확도 평가 등에 대해 살펴보고, 향후 기상정보 활용 방안 등을 제시한다. ■

## 1. 신재생에너지 최근 동향

최근 ‘新기후체제’라는 표현이 심심찮게 보이고 있다. 新기후체제는 고효율에너지 및 신재생에너지 시대의 시발점으로 국가 온실가스 감축목표 이행을 위해 당사국들의 참여를 본격화하는 체제를 의미한다. 2011년 유엔기후변화협약 당사국총회(COP17)를 통해 新기후체제 성립에 합의하고, 2015년 COP21을 통해 ‘파리기후협정(Paris Agreement)<sup>1)</sup>’을 도출하였는데, 이러한 국제적인 협약이 新기후체제 즉, 신재생에너지 시대의 본격적인 시작점으로 여겨지고 있다.

전 세계적인 동향이 이렇듯 국내·외 신재생에너지 시장 또한 활성화되고 있다. 해외의 경우 정부 차원에서 신재생에너지 산업을 확대 및 활성화하는 정책을 펼치고 있으며, 일찌감치 관련 정책을 도입하여 시행 중에 있다. 유럽은 2007년 EU 정상회의에서 ‘2020-CEP(2020 Climate and Energy Package)’를 발표하여 2020년까지 재생에너지 비중을 20%까지 늘리는 목표를 설정하였으며, 2014년 ‘2030-CEPF(2030 Climate and Energy Policy Framework)’를 통해 재생에너지 비중을 27%로 확대하고, EU 회원국별 비중 확대 목표 및 실행계획을 설정하는 공급목표를 발표한 바 있다.

반면 우리나라의 경우에는 최근에 들어서야 신재생에너지가 이슈화 되면서 정책과 규제가 생겨나고 있다. 산업통상자원부(2017)는 2030년까지 태양광과 풍력 등 재생에너지 비중을 20%까지 끌어 올리겠다는 계획인 ‘재생에너지 3020 이행계획’을 발표하고 신규 설비용량의 95% 이상을 태양광, 풍력 등의 청정에너지로 공급하겠다고 밝혔다. 이에 따라 각 지자체 또한 신재생에너지 보급 확대를 위한 로드맵을 수립하여 신재생에너지 설비 보급 사업을 추진하고 ‘태양광 미니 발전소보급을 추진하는 등 신재생에너지 확충에 노력을 기울이고 있다. 또한 기후변화 대응체계를 개편하고 분산전원 확대를 위한 전력중개시장, ESS(Energy Storage System), 연료전지 등의 육성 등 에너지신산업 창출에 힘쓰고 있다. 이렇듯 해외뿐만 아니라 국

“ 산업통상자원부는  
재생에너지 비중  
20%를 목표로  
‘재생에너지  
3020 이행계획’  
실시 ”

1 파리기후협정(Paris Agreement) : 전 세계 195개국이 온실가스 배출을 줄이기 위한 협약에 동의한 것으로 기후변화와 관련한 사실상 첫 번째로 이루어진 협약

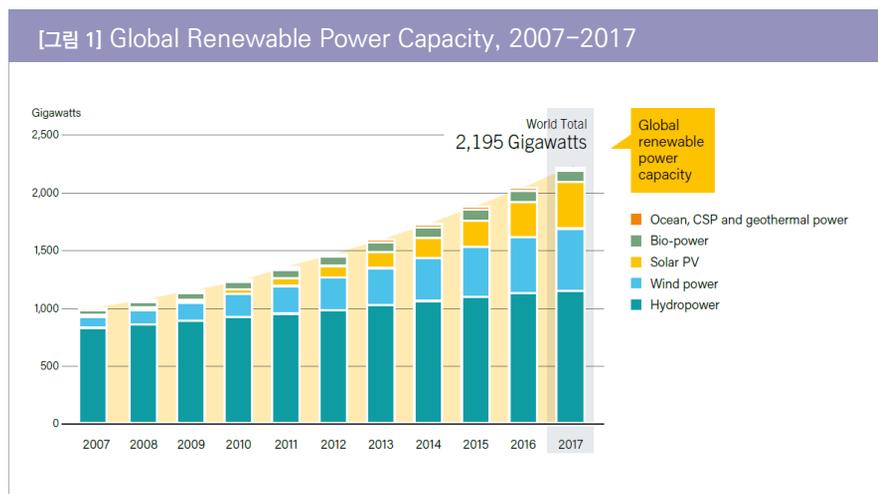
“ 전력중개시장에서 태양광 및 풍력에너지 예측기술은 매우 중요 ”

내 시장 또한 신재생에너지에 대한 관심이 꾸준히 증가하고 있고 열기 또한 뜨겁다. ”

신재생에너지 중에서도 단연 관심을 많이 끄는 에너지원은 태양광과 풍력이다. 2017년 기준 전 세계의 신재생에너지 설비용량<sup>2)</sup>은 2,195GW로 기록되었는데, 그 중 약 50%가 태양광과 풍력에너지의 설비용량으로 나타났다(그림 1). 특히 2007년부터 10년 간 태양광과 풍력에너지가 차지하는 비중에서도 가장 큰 증가가 있었다는 점을 주목할 필요가 있다(REN21, 2018).

한편, 산업통상자원부에서는 에너지 신사업의 하나인 '소규모 전력중개사업'을 본격 시행(2018.12.13. 전기사업법 및 하위법령 개정)함에 따라 2019년 2월부터 전력중개시장 개시 및 전력과 REC(Renewable Energy Certificate) 중개거래를 시작한다고 발표하였다. 전력거래 시장은 중개사업자의 발전량 예측정보가 시장에 제공됨에 따라 전력 및 REC 가격이 결정되므로 신재생에너지 특히, 태양광 및 풍력에너지 예측기술이 전력분야에서 차지하는 비중이 매우 크다. 그리고 기상 영향 많이 받는 에너지원의 특성 상 기상정보의 중요성 또한 날로 증가하고 있다. 본 원고에서는 발전량 예측에서의 기상정보 활용과 기상정보를 활용한 신재생에너지 발전량 예측 기술, 그리고 예측 오차율에 대해 짚어보고자 한다.

[그림 1] Global Renewable Power Capacity, 2007-2017



2 REN21, 2018, Renewables 2018 Global Status Report.

“ 발전량 입찰시장, 수요예측, 전력계통 등 전력시장 전반에서 신재생에너지 발전량 예측이 매우 중요 ”

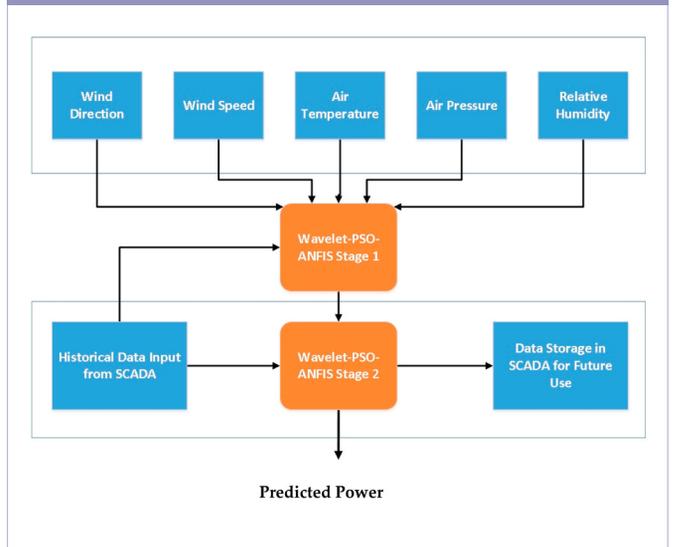
## II. 발전량 예측에서의 기상정보 활용

태양광과 풍력에너지는 태양과 바람 정보가 발전기 설치지점 선정부터 전력생산, 그리고 발전량 예측까지 대부분의 단계에서 영향을 미친다. 설치 단계에서는 태양의 고도각, 방위각과 주풍향을 고려해야 하며 예측 단계에서는 일사량과 풍속, 풍향을 비롯한 기상예측정보필요하다. 그림 2처럼 풍력에너지 발전량 예측 프로세스에서 풍속, 풍향, 기온, 기압, 상대습도 등 기상예측정보를 활용하여 발전량을 예측하는 것을 확인할 수 있다(Samuel et al, 2018).

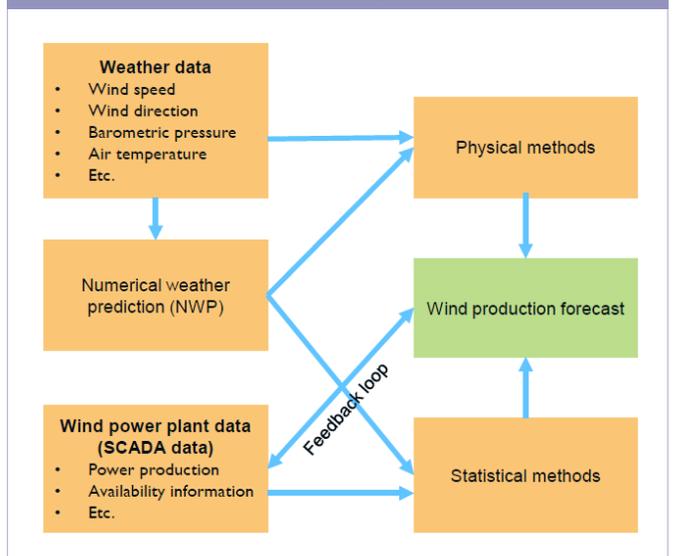
태양광과 풍력에너지 발전량 예측이 중요한 이유는 발전량 입찰시장, 수요예측, 전력계통 등 전력시장 전반에서 발전량 예측이 밀접한 연관을 가지기 때문이다. 일반적으로 전력시장은 하루 전 일별, 시간별 전력수요예측을 실시하고 발전원별로 공급 계획과 예비력 등을 구성한다. 우리나라의 경우 아직 전력수요 예측시 신재생에너지를 우선적으로 고려하고 있지 않지만, 해외에선 신재생에너지의 영향이 절대적으로 고려되기도 한다. 기상에 의한 변동성이 큰 특성 또한 태양광과 풍력에너지 발전량 예측 정보가 중요하게 고려되는 이유이기도 하다.

태양광과 풍력에너지 발전량 예측을 위해 필수적이면서 가장 중요한 정보인 기상예측정보를 보다 정확하게 예측하는 것이 중요하다. 그

[그림 2] Meteorological Element's Effect of Wind Power Forecasting Model



[그림 3] Wind Forecast Data Requirements and Methods



“ 전력수요예측에는  
초단기/단기예측이  
장기예측보다  
더 중요 ”

림 3과 같이 수치예보모델(NWP, Numerical Weather Prediction)을 통해 기상 예측정보를 생산하여 발전량 전망에 적용하는 방법이 일반적인 방법으로 사용되고 있다. 그에 더해 수치예보모델로 생산한 기상예측자료 정확도에서의 한계를 극복하기 위해 기상예측자료의 고도화 작업이 수행되고 있다. 주로 통계적 방법이 사용되며, 그 외에 물리적 방법 등이 적용되기도 한다(NREL, 2016).

예측 시간과 주기에 따라 기상예측자료의 고도화를 다르게 수행하는 경우도 있다. 태양광과 풍력에너지의 전력수요 예측에서는 보통 초단기, 단기 예측이 장기 예측보다 상대적으로 더 중요하다. 시시각각 변화하는 발전량 예측 정보를 반영하여 스케줄링에 활용해야하기 때문이다. 표 1처럼 실제 전력시장에서도 Intra-hour, Short term에서 통계적 분석이 주로 사용되는 것을 확인할 수 있다. 또한, 발전량의 급변 구간을 의미하는 Ramp와 발전량 부하 예측에도 통계적 방법을 적용하여 예측하고 있다(NREL, 2016).

통계적 방법은 주로 MOS(Model Output Statistics) 및 앙상블(Ensemble)기법을 적용하여 예측자료를 보정한다. MOS 기법은 예측자료의 격자자료를 추출하여 비교·검증하는 방법으로서 회귀분석방법을 활용하며, 앙상블 기법은 다중 모델을

〈표 1〉 Meteorological Elements Application Methods about Type of Forecasting

Type of Forecast	Time Horizon	Key Applications	Methods
Intra-hour	5-60 min	Regulation, real-time dispatch market clearing	Statistical, persistence
Short term	1-6 hours ahead	scheduling, load-following, congestion management	Blend of statistical and NWP models
Medium term	Day(s) ahead	scheduling, reserve requirement, market trading, congestion management	Mainly NWP with corrections for systematic biases
Long term	Week(s), Seasonal, 1 year or more ahead	Resource planning, contingency analysis, maintenance planning, operation management	Climatological forecasts, NWP Decision support
Ramp forecasting	Continuous	Situational awareness, Curtailment	NWP and statistical
Load forecasting	Day ahead, hour-ahead, intra-hour	Congestion management, demand side management	Statistical

“태양광에너지  
발전량 예측시스템  
개발”

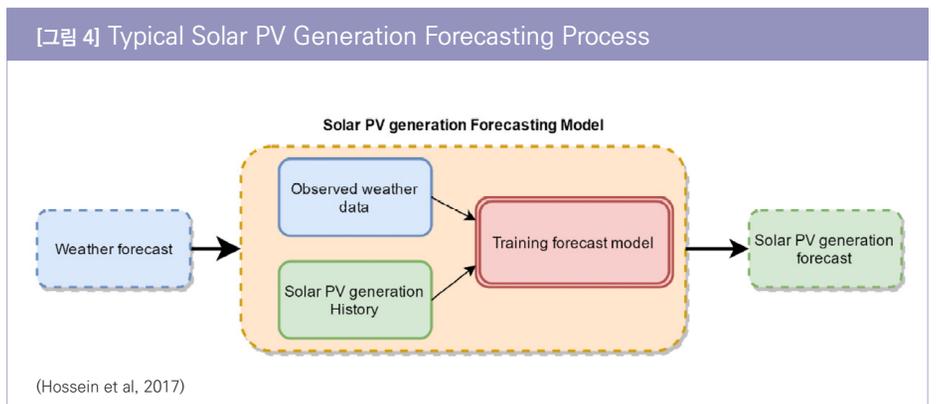
이용한다. 그밖에 인공신경망을 통한 예측자료의 고도화도 이루어지고 있다. 3장에서는 UM-LDAPS, WRF 수치예보모델의 예측자료를 활용하여 MOS 기법, 앙상블 예측 기법을 적용한 고도화된 기상예측자료와, 그를 통해 산정한 태양광에너지 발전량 검증 결과를 정리하였다.

### III. 기상정보를 활용한 발전량 예측 기술

본 장에서는 신재생에너지 발전량 예측기술 중 보급률이 가장 높은 태양광에너지를 중심으로 다루어보고자 한다. ‘도매시장 연계를 위한 대규모 자원 용·복합형 분산자원 통합운영 사업모델 개발 및 실증’사업 수행으로 구축된 ‘태양광에너지 발전량 예측시스템’을 중심으로 기상예측정보를 활용한 발전량 예측과 통계적 기법을 적용한 기상예측자료 고도화, 이에 따른 발전량 자료의 오차율을 확인하였다.

태양광에너지 발전량 예측의 전형적인 프로세스는 (그림 4)와 같다. 그림 4의 프로세스를 토대로 전국 태양광 발전단지에 대해 수치예보모델을 적용, 기상예측을 수행한다. 본 사에서 개발한 ‘태양광에너지 발전량 예측시스템’ 또한 기본적인 프로세스는 비슷한데, 기상예측자료 고도화 단계가 추가되었다. WRF와 UM-LDAPS 수치예보모델을 통해 기상예측자료의 정확도와 신뢰성을 향상시킨다. 또한 다양한 물리식과 물리과정 옵션을 적용하여 테스트 과정을 수행, 모델 수행결과와 실측값을 비교하여 기상 상태에 따른 물리모델의 최적화를 이루고자 하였다.

고도화 작업을 수행한 기상예보자료와 모듈표면온도, 출력온도 계수 등의 모듈변수를



“ 기상예측정보  
정확도 향상으로  
태양광 에너지  
발전량의 오차율  
감소 확인 ”

추가하여 발전량 산정에 적용하였다. 2017년의 분석기간 동안 선행시간 24시간의 일사량 예측자료를 비롯하여 기온, 풍속자료를 활용하여 발전량을 예측하였다. 그리고 2018년의 분석기간에 대해서는 고도화가 수행된 기상예측자료를 활용하여 발전량을 예측하였다. 분석기간이 정확하게 일치하지 않고 발전단지 수와 설비용량 등에 차이가 존재하는 한계가 존재하지만, 분석에 따른 발전량 예측 정확도의 향상 정도는 확인해 볼 수 있었다.

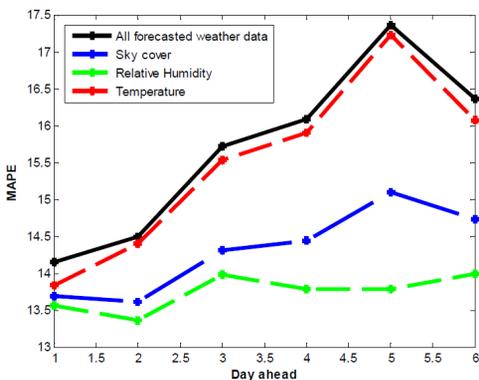
(표 2) Solar PV Generation Forecasting Analysis Result

	Raw data	Statistic Revision data	Slope Revision data
A	17.1%	15.7%	14.8%
B	14.5%	12.8%	11.2%

표 2는 기상예측자료의 고도화 없이 수행된 발전량 산정 결과를 A, 고도화 이후 발전량을 산정한 결과를 B로 설정하여 두 결과에 대해 3가지 방법(기본 데이터와, 통계보정을

실시한 데이터, 모듈의 경사일사량을 보정하여 산정한 경사보정 방법)으로 발전량 오차율을 정리한 것이다. 오차율 분석은 정규화된 평균 절대값 오차를 의미하는 MAPE로 산정하였다. A 결과에 따른 발전량 산정 결과보다 B 결과에 따른 발전량 산정 결과가 약 3% 정도 낮은 오차율을 보였음을 확인할 수 있다.

[그림 5] Sensitivity Analysis of Weather Variables



(Hossein et al, 2017)

기상예측정보의 정확도 향상, 즉 고도화가 태양광에너지 발전량의 오차율을 감소시키는 결과를 확인하였다. 기상예측정보의 정확도를 높이는 방법 외에 발전량 정확도를 높이기 위해서는 기상관측자료의 적절한 적용 또한 중요하다. 태양광에너지 발전량 예측에서의 기상예측 오차율에 대해 분석한 3연구에서는 태양광에너지 예측 모델에서 기상 변수의 정확도와 오류 개선에 대해 분석하였는데, 가장 영향력 있는 변수로 운량, 상대습도, 온도에 대한 3가지 시나리오를 구현하여 수행하였다(Hossein et al, 2017).

그림 5는 선행시간에 따른 기상요소별 오차율(MAPE) 변화를 나타낸 것이다. 검정색 실선은 기상예측자료만으로 분석한 결과이며 나머지 파선들은 각 기상변수를 관측자료로 적용하여 분석한 결과이다. 각각 기온(빨강), 상대습도(녹색), 운량(파랑)자료를 적용한 발전량 예측의 오차율 변화를 나타낸다.

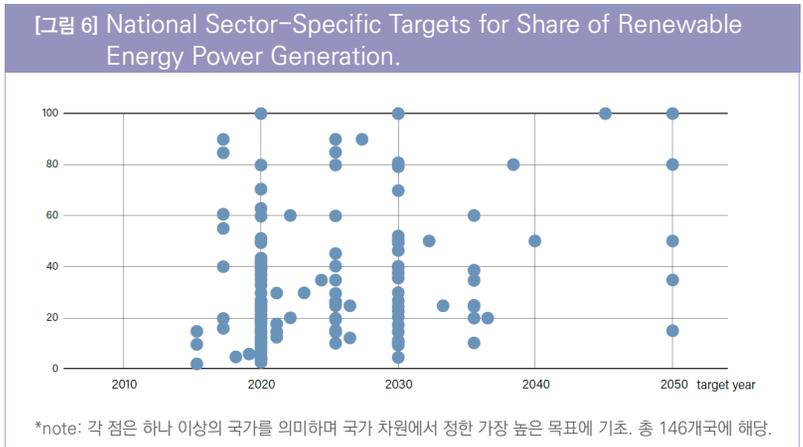
기상예측자료의 고도화를 통해 태양광발전량 정확도를 향상시킨 결과와 일부 기상변수를 기상관측자료로 대체·적용하여 정확도를 향상시킨 결과를 종합하면, 기상자료를 가공하는 것뿐만 아니라, 정확한 관측자료의 확보 또한 발전량 예측의 정확도를 개선할 수 있는 방안이 되는 것을 확인할 수 있다. 즉, 정확한 관측을 통한 기상관측자료와 이를 통한 기상예측자료, 그리고 기상변수의 특성에 따른 통계·물리적 방법을 고루 적용하고, 고도화된 기상예측자료를 적절하게 사용하면 태양광과 풍력에너지 발전량의 예측 정확도의 향상이 가능하다.

“ REN21은 2050년까지 전력생산의 100%를 신재생에너지로 대체하겠다는 국가가 4개국에 이른다고 발표 ”

#### IV. 신재생에너지 분야의 기상정보 활용 제언

기상자료가 신재생에너지 예측에 미치는 영향력은 본 원고에 작성된 것보다 훨씬 더 클 수 있다. 태양광과 풍력에너지가 각각 일사량, 바람에 의한 영향을 많이 받기 때문에 신재생에너지의 발전설비가 증가하고, 시장이 활성화됨에 따라 기상정보의 영향력은 더 증가할 것이다.

REN21에서 발표한 보고서에 따르면, 2050년까지 전력의 100%를 신재생에너지로 채우겠다고 조사된 국가는 4개국으로 나타났으며, 전 세계 146개국이 전력에서 신재생에너지의 비중을 증가시키겠다는 목표를 설정하고 계획을 추진 중에 있음을 알 수 있다(그림 6).



“ 산업용 기상정보,  
예보정보 종류 확대,  
시·공간 해상도  
향상 노력이 필요 ”

일부 국가에서는 이미 목표치를 초과하기도 하였다(REN21, 2018).

우리나라 또한 전 세계 신재생에너지 시장의 성장 규모와 추세에 따라 신재생에너지를 활용한 발전 규모를 늘려갈 것으로 보이며, ‘재생에너지 3020 이행계획’등이 그 근거가 된다. 신재생에너지의 시장 규모가 커지는 만큼, 신재생에너지 예측에 대한 준비를 갖출 필요가 있다.

먼저, 신재생에너지 맞춤형의 산업용 기상정보가 필요하다. 기상청에서 제공하는 예측정보는 기온, 습도, 풍속 등으로 대부분 일반인을 대상으로 제공되는 기상정보에 속한다. 하지만, 이보다 더 상세하고 다양화된 산업용 기상정보를 생산하면 신재생에너지 발전량 예측에 활용도가 클 것으로 사료된다. 또한 관측정보를 제공하고 있지만, 예보가 이루어지지 않는 기상변수에 대한 예측정보 제공노력이 필요하다. 예를 들면, NOAA가 제공하는 기상관측변수에는 기상 조건, 상대습도, 온도, 풍속, 강수량, 시정 등이 있는데 제공하는 기상예측변수는 기상 조건과 강수량, 시정을 포함하지 않는다. 마지막으로 기상예측자료의 시·공간적 범위 간격을 줄이고 예측자료 제공 시간의 확대 등 제공 범위와 주기에 대한 개선도 필요하다.

신재생에너지 예측에서 기상정보의 중요성과 활용도는 무궁무진하다. 어떠한 기상정보를 어떻게 사용하느냐에 따라 신재생에너지 예측정보의 정확도는 높아질 수도 혹은 낮아질 수도 있다. 신재생에너지 예측에 필요한 다양한 기상정보들을 통해 신재생에너지를 예측하고 정확도를 향상시킬 때, 기상정보의 필요성과 활용 가능성 또한 높아질 것이다.

### 참고문헌

REN21, 2018, RENEWABLES 2018 GLOBAL STATUS REPORT.

NREL, 2016, Forecasting Wind

David et al, 2017, Different Models for Forecasting Wind Power Generation: Case Study.

Hossein et al, 2017, Weather Forecasting Error in Solar Energy Forecasting.

Samuel et al, 2018, Short-Term Electric Power Forecasting Using Dual-Stage Hierarchical Wavelet- Particle Swarm Optimization- Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System PSO-ANFIS Approach Based On Climate Change.

# ICT수목원과 기상기술

이상용 국립백두대간수목원 전시교육사업부 팀장, sylee@bdna.or.kr

- I. 수목원이란?
- II. 우리나라의 기후변화와 생물다양성
- III. 앞으로의 방향

온실가스 배출로 인한 기후온난화는 1970년부터 2006년까지 지구상에 서식하는 생물종의 31% 멸종을 초래하였을 뿐만 아니라, 2050년경에는 전 세계 생물 다양성의 약 10% 감소에 영향을 줄 것으로 예상된다. 국내 자생식물 4,179종 가운데에서도 기후변화로 인해 멸종위험성이 높아진 식물종이 존재하는데, 571종은 희귀식물로 지정하여 보전에 힘쓰고 있는 실정이다. 이런 상황에서 수목원은 희귀식물 등을 비롯하여 자생 식물을 현지외(Ex-situ) 보전하는 기능을 가지고 있다. 식물의 효과적인 현지외 보전을 위해서는 식물의 생육 환경을 분석하는 것이 중요하다. 이때 환경에 높은 영향을 미치는 요인은 미기후이다. 국립백두대간수목원에서는 식물 생육환경에 영향을 미치는 미기후 데이터를 수집 분석하는 식물 생육환경 모니터링 시스템을 구축하여 식물 생육의 최적 조건을 찾아내고 효과적인 현지외 보전체계를 구축하였다. ■

“ 식물원은 16~17세기 상류층의 화초 감상, 수도원 약초 재배, 대학 교육 목적으로 출발 ”

## 1. 수목원이란?

정원을 의미하는 영단어 Garden은 “gan”과 “oden” 또는 “eden”의 합성어이다. “gan”은 울타리 또는 둘러싸는 공간이나 둘러싸는 행위를 의미하고 “oden”은 즐거움이나 기쁨을 의미한다. 곧 정원(Garden)이란 무엇을 둘러쳐 기쁨을 얻게 하는 공간이라는 뜻이다. 정원(庭園)에서 한자 ‘園’을 뜯어보면 흙(土), 연못(口), 꽃(花), 울타리(口)가 합쳐져 있는데 Garden과 그 맥락이 동일하다고 할 수 있다.

식물원(Botanic Garden)의 영어의미는 식물을 둘러쳐 기쁨을 얻는 공간이라 칭할 수 있을 것이다. 식물을 전시하는 공간은 전통적으로 수목 중심의 경우 수목원(Arboretum), 식물 중심의 경우 식물원(Botanic Garden)으로 구분한다. 최근에는 식물자원을 수집, 보전, 연구, 교육하는 기능과 역할 수행 측면에서 차이를 두기 어렵기 때문에 기관의 정체성과 역점을 두는 분야에 따라 유연하게 사용하고 있다. 국내에서는 산림청에서 『수목원·정원의 조성 및 진흥에 관한 법률』을 제정하여 수목원 및 식물원을 관리하고 있다(법률적으로는 식물원 또한 수목원의 범주에 해당).

식물원은 16~17세기 상류층의 진귀한 화초 감상과 수도원의 약초 재배, 일부 대학의 약용식물학 교육 목적으로 출발하였으며, 역사상 최초의 식물원은 1945년 Luca Ghini가 세운 이탈리아 피사 파도바대학의 부속 식물원이다. 18~19세기 식물원은 세계 곳곳에 있는 식물종을 수집하고 분류하기 위하여 표본관, 도서관 등

다양한 시설을 도입하여 학술연구 기능이 강화되었고, 오늘날에는 식물의 수집, 전시, 연구, 교육, 휴양, 현지의 보전 등 다양한 기

[그림 1] 16세기 파도바대학 부속식물원(삽화)



[그림 2] 현재 파도바대학 부속식물원



“ 수목원은  
수집, 증식, 보존,  
교육, 전시, 연구  
기능을 보유 ”

능을 수행하기 위한 기관으로 발전하였다.

국제식물원 보존 연맹(Botanic Gardens Conservation International; BGCI)에 의하면 1983년 전세계 798개에 불과했던 식물원이 2018년 현재 3,534개로 증가하는 등 30여 년 동안 다양성, 분포 면에서 괄목할 만한 성장을 보였다. 『수목원·정원의 조성 및 진흥에 관한 법률』에 의거 산림청에 등록된 국내 수목원(식물원)은 2018년 현재 국립 2개소, 공립 54개소, 사립 23개소, 학교 3개소로 총 82개소이다.

BGCI의 사무총장을 수년간 역임한 와이즈 잭슨(Wyse Jackson)박사는 수목원(식물원)을 「과학적 연구, 보존, 전시, 교육을 목적으로 정확하게 분류 및 이력관리(documented collections)된 식물(생체, living collection)을 체계적으로 관리하고 보존하는 기관」으로 정의하였다. 한편, 『수목원·정원의 조성 및 진흥에 관한 법률』에서는 수목원(식물원)을 다음과 같이 정의하고 있다.

‘수목원’이란 수목을 중심으로 **수목유전자원을 수집·증식·보존·관리 및 전시**하고 그 자원화를 위한 **학술적·산업적 연구** 등을 하는 시설

법에서 명시하고 있는 바와 같이 수목원은 수집, 증식, 보존, 교육, 전시, 연구의 기능을 가지고 있다. 이 기능 가운데 가장 먼저 이루어져야 하는 것은 수집이다. 수목원은 식물의 특정분류군, 분포지역, 용도, 생육환경 등에 따라 다양한 식물자원을 국내외로부터 탐사하여 수집한다. 최근에는 기후변화로 멸종위기에 처한 식물(멸종위기종, 희귀식물 등)을 수집하여 자생지외(Ex-situ)에서 안정적으로 보존하고 증식 및 관리를 통해 자생지가 훼손된 식물을 현지에 복원하는 역할을 수행하고 있다.

## II. 우리나라의 기후변화와 생물다양성

우리나라는 백두대간을 축으로 산림생태계가 근간을 이루고 있으며, 남북으로 긴 지리적 특성으로 인해 난대에서 한대에 이르기까지 다양한 식생대가 분포하고

“ 전 세계 식물종수  
297,326종 중  
약 5%의 식물이  
우리나라에서  
자생 ”

있고, 온대지역 국가 중 국토면적에 비해 상대적으로 식물다양성이 높다. 국내에서 자생하는 생물종 수는 약 10만종으로 추산되고 있으며, 「2018년 국가표준식물목록」에 의하면 우리나라에서 자라고 있는 식물종의 수는 자생식물 4,179종, 재배식물 10,344종, 귀화식물 321종으로 총 14,844종에 달한다. IUCN Red List에 보고된 전 세계 식물종수 297,326종 중 약 5%에 해당하는 식물이 우리나라에서 자라고 있다. 그러나 오존층 파괴, 기후온난화, 개발에 따른 서식환경의 악화, 남획·천적의 영향 등으로 생물종은 지속적으로 감소하고 있으며, 제3차 세계생물다양성 전망보고서(2010)에 따르면 1970년부터 2006년까지 지구상에 서식하는 생물종

의 31%가 이미 멸종하였다. OECD 2050 환경전망보고서에서는 전 세계 생물 다양성이 2050년도에는 약 10% 감소할 것으로 예상하고 있다. 국내 산림생태계 또한 산림의 지속적 전용과 기후변화 등으로 산림면적이 지속적으로 감소하고 있고, 종 풍부도 등이 감소하여 생물다양성 유지여건이 악화되고 있다. 우리나라 식물종의 약 11%는 IUCN 기준에 따른 희귀식물로 산림청에서는 571종을 위험등급별로 구분하여 희귀식물로 지정하였다(야생멸종(EW) 4종, 위급(CR) 144종, 위기(EN) 122종, 취약(VU) 119종, 약관심(LC) 70종, 자료부족(DD)).

생물다양성협약에서 다루고 있는 ‘생물다양성’은 생물종의 수라는

(표 1) 지구식물보전전략(GSPC) 목적 및 목표

목적	목표
1. 식물다양성 인식 증진	1. 알려진 모든 식물들에 대한 온라인 식물상 구축
	2. 보전활동 지침을 위한 알려진 모든 식물들에 대한 보전상태 평가
	3. 전략 수행을 위해 필요한 정보, 연구, 방법 등의 개발 및 공유
	4. 각 생태지역이나 식생유형의 최소 15%를 효과적인 관리와 복원을 통하여 확보
2. 식물다양성의 효율적 보전	5. 각 생태지역중 식물다양성이 가장 중요한 지역의 최소 75%를 보호하고 식물과 유전적 다양성 보전을 위해 효과적인 관리 확보
	6. 생산용 토지의 최소 75%는 생물다양성 보전과 일치되도록 지속가능하게 관리
	7. 알려진 위협종의 최소 75%는 현시대 보전
	8. 위협종의 최소 75%는 현지와 보전하고, 이중 최소 20%는 복원/복구 프로그램 추진
	9. 농작물(야생근연종과 사회경제적으로 가치 있는 식물종 포함)의 유전적 다양성의 70%를 보전하고, 이에 관련된 원주민 및 지역의 전통 지식을 존중, 보전 및 유지
	10. 새로운 침입종을 막고 식물다양성이 중요한 지역을 관리하기 위해 효과적인 관리계획을 수립
3. 식물다양성의 지속가능한 이용	11. 멸종위기에 처한 모든 야생식물의 국제거래 금지
	12. 야생에서 수확된 모든 식물기반 생산물은 지속가능하게 얻어야 함
	13. 관습적인 내용, 지속적인 생계유지, 지역 식량안보와 건강관리를 지원하기 위한 식물자원에 관한 토착 및 지역적 지식 및 이용 방법 등은 유지 또는 증진
4. 식물다양성 중요성 증진	14. 식물다양성의 중요성과 보전의 필요성은 소통, 교육 및 대중인식 프로그램과 결합
5. 역량 증진 및 대중 참여 촉진	15. 본 전략의 목표를 달성하기 위하여 식물보전분야의 적절한 시설에 일할 훈련된 인력 수는 국가적 요구에 충족하여야 함
	16. 본 전략의 목표를 달성하기 위해 국가적, 지역적, 국제적 수준에서 관련기관, 네트워크 및 협력체계를 구축하고 협력을 강화

“ 산림청과 국립수목원은 'GPC 2020'에 대응하여 'KSPC 2020'을 수립 ”

단순한 종 다양성 개념을 넘어 유전자에서 자연경관, 인간의 문화와 복지에 이르기 까지 다양한 개념과 관련되어 있다. 특히, 식물은 1차 생산자로서 지구 생태계를 유지 하는 근간일 뿐 아니라, 식량, 의약, 목재, 섬유, 연료 등 인류의 생활에 필요한 다양한 원료를 제공하고 있어 식물다양성은 가장 우선적으로 보전되어야 할 대상으로 인지 되고 있다. 식물다양성 보전을 위해 국제 사회에서는 2002년 네덜란드에서 개최된 「제6차 생물다양성협약 당사국총회」에서 「지구식물보전전략(Global Strategy for Plant Conservation; GSPC)」을 채택했으며, 2010년 일본에서 개최된 「제10차 당사국총회」에서 「GSPC 2010」 전략목표를 수정한 「GSPC 2020」을 수립하고 당사국 들에게 의무적으로 이행토록 하였다.

산림청과 국립수목원은 「GSPC 2020」에 대응하여 「한국식물보전전략(KSPC) 2020」을 수립하였고, 목표 이행을 위해 자체 연구진은 물론 국내외 연구기관, 국제 기구 및 네트워크와 협력관계 구축을 통해 공동연구, 기술교류 등 다양한 활동을 전개하고 있다.

「KSPC 2020」 목표 8번 「위협종의 최소 75%는 현지의 보전(ex situ conservation, 생물종 보전 전략으로 본래의 서식처가 아닌 곳에서 보존하는 활동)하고, 이중 최소 20%는 복원/복구 프로그램 추진」의 경우 2017년 희귀식물 442종류(77.2%)를 현지의 보전하여 국제 기준 일부를 조기에 초과 달성하였다.

수목원의 기능은 식물을 수집·증식·보존·관리 및 전시하고 그 자원화를 위한 학술적·산업적 연구 등을 하는 것이다. 이를 위해서는 식물이 정확하게 분류되고 이력관리가 된 식물을 체계적으로 관리·보전해야 한다. 현지의 보전 식물의 경우 효과적인 보전과 증식을 위해 식물의 생장에 영향을 주는 토양/대기 온·습도, 토양 EC, 기체 분압 등의 요소를 파악하고, 대량의 식물데이터를 확보하여 체계적인 관리와 모니터링을 해야 한다. 그러나 기후온난화 등으로 인한 식물 감소와 희귀식물 특성상 식물의 생육데이터를 자생지에서 모니터링 하는 것은 현실적인 어려움이 있어 자생지 환경에 가까워 식물관리를 체계적으로 수행할 수 있는 수목원에서 식물의 생육환경을 모니터링 하는 것이 효과적이다.

“ ICT 기반 식물  
생육 모니터링 및  
수목원안내 서비스  
추진 ”

국립백두대간수목원은 설립초기부터 자체 기상관측시설을 통해 기온, 상대습도, 강수 및 풍속 정보를 수집하고 있다. 수목원내의 주제전시원 19개소에 간이 기상관측장치(HOBO U23 Pro v2, 미국)를 설치하여 수집되는 정보를 인근지역의 기상정보와 비교분석하여 식물관리와 수목원 운영에 활용하였다. 또한 한국정보화진흥원에서 추진하는 「ICT기반 공공서비스 촉진사업」에 위의 내용을 기반으로 하는 'ICT기반 식물생육 모니터링 및 수목원안내 서비스' 사업을 제안, 선정되어 관련된 시스템을 구축하였다.

'ICT기반 식물생육 모니터링 및 수목원안내 서비스'는 IoT 기반의 식물생육환경 수집 분석 시스템 구축, 국립백두대간수목원 VR/AR 콘텐츠 구축, 서버/네트워크 구축 및 VR/AR 장비 도입, 식물생육환경 수집을 위한 센서 도입 등 4가지 항목으로 구축되었으며 총 10억원의 사업비로 추진되었다. 이 가운데 국립백두대간수목원 VR/AR 콘텐츠 구축 항목을 제외한 나머지 항목이 ICT기반 식물 생육환경 모니터링 시스템에 해당한다. ICT기반 식물 생육환경 모니터링 시스템(이하, 시스템)은 식물의 생육현황 및 미기후 환경정보를 수집하여 수집된 데이터를 기반으로 식물과 환경정보의 연관관계를 분석하여 식물의 최적생육환경을 찾아내는 시스템이다.

[그림 3] 국립백두대간수목원 기상관측시설



[그림 4] 간이 기상관측장치



식물은 주변 환경과 다른 국소지역 -암석의 그늘진 곳 같은 특별한 기후나- 지표면으로부터 지상 수 미터 사이(보통 1.5미터)의 기후인 미기후에 많은 영향을 받게 된다. 국립백두대간 수목원의 식물 생육모니터링 시스템에서는 이러한 미기후 환경 데이터를 수집한다. 수집되는 미기후 환경 정보는 토양/대기 온-습도, 토양 EC(전기전도도) 및 CO<sub>2</sub>, CO, O<sub>3</sub>, 광량, 기압, 수온, 미세먼지, 풍향/풍속 등이다. 센서가 부착된 미기후 수집 함체는 상시전원 연결 없이 태양광충전과 충전식 배터리로 운용이 가

능하도록 제작되었고, 미기후 센서노드, 미기후/풍향/풍속 센서노드, 기체분압/미세먼지 센서노드, 수온 센서노드 등 4가지 노드의 함체로 구분된다. 식물의 이미지 정보는 10megapixel 이미지센서로 촬영하여 수집된다. 미기후 수집 함체와 이미지 센서에서 수집된 생육환경 데이터는 LTE-M 통신을 이용하여 실시간으로 국립백두대간수목원내 데이터 수집서버에 수신 및 저장된다. 저장된 미기후 및 식물 이미지 데이터는 시스템에서 실시간으로 모니터링이 가능하며 미기후 수집 함체의 배터리 및 데이터 수신 상태 또한 시스템 내에서 확인할 수 있다.

〈표 2〉 ICT기반 식물생육 모니터링 및 수목원안내 서비스 내용

항목	세 부 내 용	
IoT 기반 식물 생육환경 수집 분석시스템 구축	식물 생육 환경정보 수집을 위한 센서 노드 제작	
	생육상태모니터링을 위한 이미지 모듈 제작	
	센서 데이터 수집을 위한 수집 기반 구축 (LTE-M)	
	실시간 데이터 수집서버 구축	
	생육환경과 생육상태의 상관관계분석 기능 (이미지 학습)	
	실시간 데이터 및 분석결과 시각화 (시각화 솔루션 사용)	
국립백두대간 수목원 VR/AR 콘텐츠 구축	웹 기반 식물생육 모니터링 시스템 구축	
	주제별 전시원, 호랑이 숲, Seed Vault, 방문자센터 VR 콘텐츠 구축	
	수목원 안내 서비스를 위한 AR 앱 개발 (길안내, 전시원, 식물 정보 등)	
	VR 콘텐츠 관리 기능 (VR콘텐츠 등록 기능)	
서버/네트워크 구축 및 VR/AR장비 도입	방문자 분석을 위한 동선, 체류시간 등 분석 기능 구축	
	서버 및 장비	분석용 웹, 관리용 웹, 데이터 수집, WAS, 분석WAS, 분석, DB Storage, LCD_KVM Switch, Backup Machine,
	Network	SAN Switch, Switch, Network Interface Card, Rack
	Kiosk	PC-Based Kiosk, VR HMD System
	솔루션	시각화 솔루션 도입 (Spot & Fire)
	데이터 수집 네트워크 구축 장비	센서 노드 데이터 수집용 LTE-M 라우터 도입
	Switch	이미지 모듈 데이터를 위한 POE허브, 라우터 등 도입
식물생육환경 수집을 위한 센서 도입	Switch	서버 운영을 위한 L3 스위치 도입
	센서 도입	서버 운영을 위한 L3 스위치 도입 대기 온습도, 토양 온습도, 광량, 기압, 수온, CO <sub>2</sub> , O <sub>3</sub> , CO 토양EC, 풍향, 풍속, 미세먼지
	노드	미기후, 미기후+풍향풍속, 기체분압+미세먼지, 수온 등 4가지 타입 센서 노드 (250), 이미지 모듈 (60)개 도입

“ 식물생육모니터링 시스템은 기계학습 방법으로 생육환경 인자를 검색 ”

시스템에 수집된 데이터는 생육환경 데이터 조합과 이미지를 통해 분석된 생육 상태 정보를 통계 분석하고, 생육상태에 영향을 미치는 유의미한 생육환경 인자를 기계학습 방법을 활용하여 찾아내게 된다.

이미지데이터의 경우 이미지 내 식물의 상태를 시스템 내에서 자동으로 개엽, 개화, 결실, 단풍, 낙엽 등의 생육상태를 분석하여 식물 생육상태 정보로 저장한다. 기존 국립수목원의 기후변화 취약 산림식물종 연구를 통해 수집된 수 만장의 이미지와 생육상태 데이터를 기반으로 AI 학습을 진행하였고, 진행된 학습데이터를 사용하여 분석하게 된다.

분석 저장된 데이터는 시스템 관리자가 수정할 수 있고, 수정되어 쌓인 데이터는 다시 AI 학습데이터로 활용되어 분석 성공률을 상승시키게 된다. 축적된 이미지는

새 잎이 나기 시작할 때부터 개화, 결실, 단풍, 낙엽까지 식물의 계절적 변화를 기록하게 되므로 저장된 이미지를 타임랩스 등의 방법으로 편집하면 관광객을 대상으로 한 홍보영상, 혹은 연구자의 계절별 식물 조사 등에 활용할 수 있다.

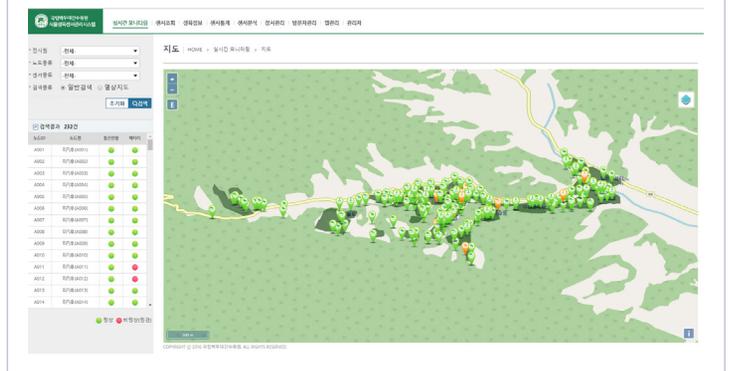
국립백두대간수목원은 전 시원 면적이 206ha로 27개 전시원으로 구성되어 있다. 국립백두대간수목원의 전지역에 총 232개의 미기후 수집함체가 설치되어 있으며, 미기후 센서노드 50개, 미기후/풍향/풍속 센서노드 50개, 기체

[그림 5] 국립백두대간수목원 식물 생육모니터링 시스템



분압/미세먼지 센서노드 87개, 수온 센서 노드 45개가 설치되어 전시원 내 미기후 환경 데이터를 수집하고 있다. 데이터 수집은 2018년 12월 현재 미기후 데이터는 10분, 이미지 데이터는 1시간 단위로 수집하고 있다. 데이터 수집 주기는 향후 데이터가 축적된 후 효율적인 시간 단위로 조정될 예정이다.

[그림 6] 식물 생육환경 모니터링 시스템



### III 앞으로의 방향

구축된 식물 생육환경 모니터링 시스템은 2018년 12월부터 국립백두대간수목원에서 운영 중에 있고, 2019년 초에 경기도 포천시에 있는 국립수목원, 세종특별자치시에 위치한 국립세종수목원(2021년 개원 예정) 조성지, 국립새만금수목원(2027년 개원 예정) 조성지에 추가 설치하여 운용할 계획이다. 향후 2~3년간의 운영을 통해 센서노드 설치 개수, 데이터수집 간격 등을 표준화하여 전국 공사립수목원에 확대할 계획이다. 전국적으로 식물의 생육환경 데이터가 수집되면 다양한 분야에 활용이 가능할 것으로 기대된다.

첫 번째, 각 수목원에서 효율적인 식물관리에 활용할 수 있다. 미기후 수집 함체 설치된 토양수분 센서를 통해 수목원 내 지역별 수분함량을 모니터링하면 수분이 부족한 지역과 풍부한 지역을 구분할 수 있게 되고, 수분이 부족한 지역에만 선택적으로 관수를 할 수 있게 된다. 또한 생육환경 데이터에 따라 식물에 맞는 환경에 식재가 가능해져 식물의

[그림 7] 미기후 수집 함체



[그림 8] 4가지 미기후 센서 노드



“ 식물생육환경  
모니터링 시스템으로  
효율적 식물관리,  
식물보전, 분석정보  
제공, 개화 시기  
예측이 가능 ”

고사, 생육 불량으로 인한 관리비용을 절감할 수 있을 것이다.

두 번째 활용방안은 현지외 보전 식물 생육의 최적 조건을 분석하여 효율적인 보전에 기여하는 것이다. 희귀식물의 생육 최적 조건을 찾아내면 그 식물에 맞는 환경을 설정하여 증식 및 보전이 가능하고, 재배농가로의 기술이전 등을 통하여 수익

창출 방안도 모색할 수 있다.

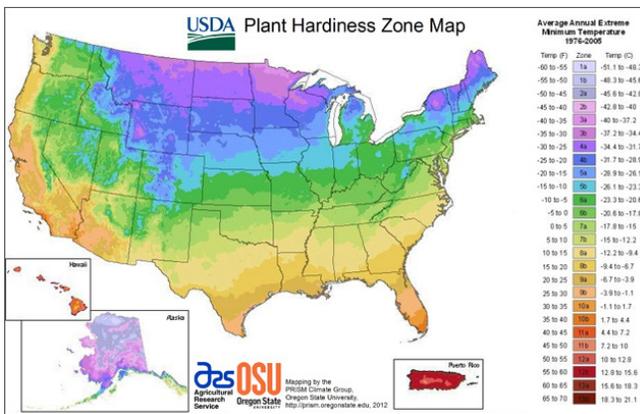
세 번째는 내한성 지도 등 분석자료를 활용한 정보를 제공하는 것이다. 미국 농무부(USDA)에서는 식물 내한성 지도(USDA Plant Hardiness Zone Map)를 제작하여 배포하였는데, 이 지도는 미국 각 주 및 도시별로 식물이 생존할 수 있는 최소한의 온도를 조사하여 각 지역에서 생육이 좋은 식물을 선별할 수 있게 만든 표준이라고 할 수 있다. 시스템이 전국에 설치가 된다면 국내 내한성 지도를 빠르고 정확하게 제작할 수 있을 것이다.

마지막으로 주요수종의 개화시기 예측이 가능해진다. 전국 공사립수목원에서 동일한 식물종에 대해 생육환경 모니터링을 진행하고, 식물과 미기후 간의 상관관계를 분석하면 과학적인 지역별 예측정보를 제공할 수 있을 것이다.

그 밖에 수집된 데이터들은 다양한 연구 분야에서 기초자료로 활용이 가능할 것으로 예상된다.

식물 생육환경 모니터링 시스템은 현재

[그림 9] 미국 농무부 식물 내한성 지도



[그림 10] 2015년 기상청 발표 벚꽃 개화 예상시기



시작단계로서 향후 많은 연구와 개선이 필요하다. 하지만 수동적으로 기상 환경에 영향을 받는 것이 아니라, 적극적으로 기상환경에 대응하는 수단으로 ICT 및 기상 기술을 적극 활용한다면 매우 효과적인 시스템이 될 것으로 확신한다.

### 참고문헌

- 국립수목원. 2015. 한국의 희귀식물.  
국립수목원. 2016. 국립수목원 「한국식물보전전략 2020」 이행 성과 보고서.  
산림청. 2014. 제 3차 수목원진흥기본계획  
산림청. 2017. 제 3차 산림생물다양성 기본계획 2018-2022.  
산림청. 2018. 임업통계연보.  
OECD. 2012. OECD 2050 환경전망보고서.  
BGCI Garden Search, 2018; [https://www.bgci.org/garden\\_search.php](https://www.bgci.org/garden_search.php)  
USDA Plant Hardiness Zone Map ; <https://planthardiness.ars.usda.gov/PHZMWeb/#>

# 기후변화가 농작물 생산에 미치는 영향과 대응

문경환 농촌진흥청 국립원예특작과학원 연구관, milestone@korea.kr

- I. 머리말
- II. 농업분야 기후변화 영향평가 방법
- III. 기후변화에 따른 작물 생산 영향
- IV. 기후변화에 대한 농업의 대응
- V. 맺는말

농업은 기후변화에 따른 영향을 크게 받는 산업이다. 이에 대응하여 우리나라에서는 국내에 적합한 농업용 전자기후도를 개발 및 이용하여 작물의 재배적지, 생물계절, 재배시기, 수량이나 품질의 변동에 중심을 두고 연구가 진행되어 왔다. 사과, 배 등 온대성 작물은 기온 상승으로 점차 재배가 불리해 지고, 특히 서늘한 기후에서 재배되는 배추, 무 등은 여름재배가 어려워 질 것으로 예상되었다. 반면에, 참다래, 난지형 마늘 등 일부 난대성 작물은 재배 적지가 늘어나고, 고추는 기온이 현재보다 2°C 상승할 때까지 생육과 수량에 긍정적인 것으로 예상된다. 기후변화 대응을 위해서는 농민이 기후변화에 잘 적응하는 것이 중요하다. 이를 위해 농장 수준의 세밀한 기후나 기상에 대한 정보를 제공하는 것은 기후 적응형 농업에서 중요한 토대가 될 것이다. 그리고 이들 정보를 바탕으로 작물 생육모형 등 다양한 농업기술의 활용이 요구된다. ■

“ 21세기말 한반도는  
기온 5.7℃ 상승,  
강수량 17.6% 증가  
예상 ”

## 1. 머리말

IPCC 제5차보고서의 기후변화시나리오(RCP8.5)에 의하면 산업화 이후 지구 대기 중에 이산화탄소, 메탄 등의 온실가스 농도가 지속적으로 높아지고 있으며, 이로 인하여 2100년도에는 지구의 평균기온 약 3.7℃, 해수면 약 63cm가 상승할 것으로 전망되고 있다. 과거의 A1B 시나리오와 최근의 RCP<sup>1)</sup> 시나리오 모두 정도의 차이는 있더라도 전반적으로 지구의 기온이 상승하는 온난화의 경향을 예측하고 있다. 지금 당장 온실가스의 배출을 중단하더라도 그 동안 증가된 대기 중 온실가스의 효과로 당분간은 전지구 기온상승이 불가피할 것이다. 이러한 지구온난화는 지구 생태계뿐만 아니라 환경, 에너지, 농업, 보건 등 다양한 산업분야에 큰 영향을 미칠 것으로 예상되고 있다. 우리나라 정부에서도 2008년부터 저탄소 녹색성장을 주요 국정방향으로 내세우고, 환경보전과 경제발전을 동시에 달성하려는 정책을 추진하고 있다. 2012년 말 기상청에서 발표한 RCP8.5 기후변화시나리오에 의하면 20세기말(1971~2000) 대비 21세기말(2071~2100) 경에는 한반도 전 지역에서 5.7℃의 기온이 상승하고, 강수량은 17.6% 증가하는 것으로 전망되었다(기상청, 2012). 특히, 기온은 내륙과 고위도 지역일수록, 겨울철이 가까울수록, 그리고 일 최고기온보다 일 최저기온의 상승이 더 클 것으로 예상하고 있다.

기후변화로 인해 농업도 큰 변화를 겪게될 것으로 예상된다. 기후가 농업에 미치는 영향을 생각할 때 기후변화와 이상기상은 구분할 필요가 있다. 기후변화란 특정 지역에서 장기간에 걸쳐 나타나는 기상특성, 즉 기후가 변화되는 것을 말하고, 이상기상이란 단기간에 일반적인 양상과 다른 예외적인 기상현상이 나타나는 것을 의미한다. 특히, 최근에 논의되는 기후변화는 장기간에 걸쳐 지속되는 지구온난화를 말하는 것으로 이해되지만, 단지 그러한 과정에 이상기상이 빈번하게 나타나기 때문에 일반인에게는 이상기상도 기후변화의 영향이라고 간주되고 있는 것으로 보인다. 우리가 기후변화에 의한 농업 대책을 마련하기 위해서는 장기간에 걸친 온난

1 RCP (Representative Concentration Pathway). 대표농도경로를 의미하며 지구 대기상의 온실가스의 농도를 기준으로 미래의 지구기후변화를 예측하고자 하는 기후변화시나리오. 8.5, 6.0, 4.5, 2.6의 네 가지 시나리오가 많이 알려져 있다.

“ 기후변화  
영향평가에는  
모형을 이용한 예측  
방법이 주로 이용 ”

화 경향의 작물 생산에 대한 영향을 분석하고, 대책을 마련하는 것이 우선되어야 할 것이다. 또 기후변화 적응에 있어서도 기후변화에 따른 충격에 따라 우선순위를 결정할 필요가 있고, 이에는 기후변화 민감 지역에 대한 분석이 포함되어야 할 것이다(Lobell et al., 2008). 반면에 예전부터 농업생산에 직접적으로 영향을 주었던 한파, 가뭄, 폭염 등 단기적으로 발생하는 이상기상에 대한 대응은 기후변화 영향과 분리하여 일반적인 농업 기술의 한 측면으로 이해될 필요가 있다.

본고에서는 장기간에 걸친 기후변화에 의한 작물 생산 영향에 대하여 알아보고, 이에 대응하기 위한 기술을 현재까지 국내의 농업분야에서 연구되고 있는 내용을 중심으로 사례를 들어가면서 알아보려고 하였다.

## II. 농업분야 기후변화 영향평가 방법

기후변화에 대한 농업분야 대응은 농작물 생산량에 미치는 기후변화의 영향을 예상하고 평가하는 것부터 시작된다. 세계적으로 기후변화 영향평가를 위해서 모형을 이용한 예측방법을 주로 이용하고 있다(Reilly and Schimmelpfennig, 1999; Rosenzweig and Parry, 1994). 이는 농장에서 직접 재배실험을 통해서는 미래 기후조건 하에서의 작물생육 및 생산량을 예상하는 것이 어렵기 때문이다. 기후변화에 관한 IPCC 보고서에서도 농업분야에 대한 영향평가에는 농업모형으로 예측된 결과를 주로 제시하고 있다. 이렇게 기후변화에 따른 미래 농업 생산의 변화를 예측하고자 할 때 반드시 필요한 조건이 있다. 첫째, 미래 기후에 대한 자료, 둘째, 미래의 기후 여건에서 작물 생산을 예측할 수 있는 기술의 확보이다.

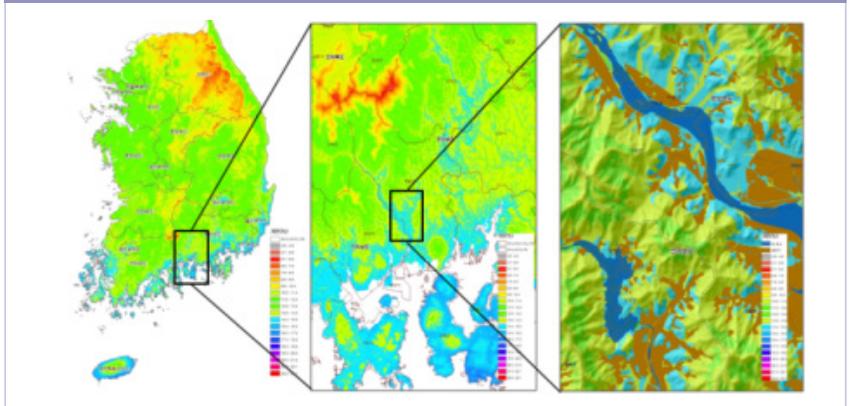
기후변화 대응을 위해서는 미래에 예상되는 기후조건을 정확하게 이해하는 것이 선행되어야 하며, 미래 기후에 대한 정보는 IPCC와 기상청에서 제공하고 있다. IPCC는 제5차보고서를 발간하면서 2100년의 대기 중 온실가스 예상농도를 기준으로 2100년까지의 기후 변동을 예상하고, 이에 관한 여러 가지 기후변화 시나리오를 제공하고 있고(Pachauri, et al., 2014; Houghton, 1995). 기상청에서는 우

“ 농촌진흥청은  
2013년 농업용  
미래 상세  
전자기후도를 제작 ”

리나라를 중심으로 2100년도 예상 온실가스 농도가 가장 높은 RCP8.5부터 가장 낮은 RCP2.6 상태를 가정하여 기후를 전망한 4종의 기후시나리오를 제공하고 있다. 농업에서는 미래 기후전망 자료를 활용하여 영향을 분석하는 것이 중요하며, 4종의 시나리오 중에서 RCP8.5와 RCP4.5의 두 시나리오를 주로 이용하고 있다. 그러나 제공되는 미래 기후시나리오를 농업에 직접 적용할 때의 문제는 자료가 너무 조방적으로 되어 있다는 점이다. 국토의 70%가 산지인 우리나라는 지형이 매우 복잡하여 비록 직선거리가 가깝더라도 기후가 서로 다른 특성을 보이는 경우가 많다. Reilly et al.(1999)도 기후변화 영향은 시간적인 영향보다 지역에 따른 영향이 크다고 주장한 바 있고, Meentemeyer(1989)는 위성영상으로 농작물 등의 변화를 파악하기 위해서는 최소 50m 이하 및 1개월 이하의 시·공간 해상도를 갖춘 자료가 필요하다<sup>2)</sup>고 하였다. 한국농림기상학회에서는 1990년대 말부터 농장 수준의 소기후를 나타낼 수 있는 통계적인 소기후모형 기술을 개발해 왔고, 2010년에는 농림축산식품부에서 전국을 대상으로 평년의 월 기후도를 제작한 바 있다. 이 기술을 응용하여 2013년 농촌진흥청에서는 기상청에서 제공하는 12.5km 기후변화시나리오<sup>2)</sup>와 평년의 고해상도 전자기후도를 결합하여 농업용 미래 상세 전자기후도를 제작하였다(농촌진흥청, 2013). 이 농업기후도는 2100년까지 10년 단위로 미래의 월 최고·최저기온, 평균기온 및 월 강수량을 30m, 270m의 해상도로 나타내고 있어 미래의 지역별 농업 생산 영향을 상세하게 분석할 수 있는 자료가 된다[그림].

농업 분야에서 활용할 수 있는 자료가 확보되면 이를 이용하여 미래 기후 여건에서

[그림 1] 농업용 미래 상세 전자기후도의 상세 기상정보



2 기상청은 2013년 IPCC의 RCP 온실가스 시나리오를 이용하여 전지구 기후모델(HadGEM2)을 구동하여 135km 해상도의 시나리오를 산출한 다음 이를 이용하여 지역기후모델(HadGEM3)을 구동하여 12.5km 해상도의 기후변화 시나리오를 생산하여 제공하였음.

“ 작물모형을 통한 분석은 기후변화에 따른 체계적 대책 마련에 도움 ”

의 작물생산에 대한 예측 및 영향평가를 수행할 수 있다. 작물 생육이 가능한 온도, 강수량 등의 기상학적 재배조건을 고려하여 미래 작물의 재배지나 재배시기를 예측하거나, 일별 기상자료로 작물의 생육과 수량을 상세하게 예측하는 작물 생육모형에 적용할 수도 있다. 농업 기후변화 영향 연구의 세계적인 연구협의체인 AgMIP<sup>3)</sup>에서는 전 세계에서 개발된 작물모형들을 수집하여 비교·개선을 통해 미래 기후에 적용하여 미래의 작물 생산성을 예측하고 영향을 평가하려고 시도하고 있다(Rosenzweig et al., 2013). 여기에서는 주로 옥수수, 밀, 벼, 보리, 콩, 감자 등 인류의 식량공급에 중요한 작물을 대상으로 미래 생산량 변화 예측 연구가 진행되고 있다(Rosenzweig and Parry, 1994; Olesen et al., 2011). 우리나라에서도 최근 벼를 대상으로 개발된 작물모형을 국내 여건에 맞게 수정하여 미래 생산성의 변화에 대해 연구하여 발표한 바 있다(이충근 외., 2012). 하지만 원예작물을 대상으로 한 작물모형은 세계적으로도 많지 않으므로 무, 배추, 고추, 마늘, 양파 등 주요 채소작물들을 대상으로 생산성 변화를 예측한 연구는 많지 않고, 현재 작물모형을 개발하는 단계이다. 앞으로 원예작물에 대한 작물모형이 만들어지면 이를 미래 기후에 적용해 생산성 변화 예측 연구도 수행할 수 있을 것이다. 작물모형을 통한 분석은 예측오차 및 미래 기후 전망자료의 오차를 구분해서 제시할 수 있으므로 보다 과학적인 근거를 제시할 수 있어 기후변화에 따른 체계적 대책 마련에 도움이 될 수 있다.

### III. 기후변화에 따른 작물 생산 영향

기후변화는 작물의 생산량뿐만 아니라 생물계절, 작기, 작형, 재배지역, 병해충 발생 양상의 변동 등 다양한 측면에서 영향을 미치게 된다. 다양한 기후변화 영향 중 우리나라에서는 작물 재배 적합지역, 생물계절, 재배시기 변동에 대한 연구와 함께 작물 생육을 예측하는 모형 개발 연구가 다수 진행되고 있다.

3 AgMIP: Agricultural Model Intercomparison and Improvement Project, 기후변화에 따른 농업분야 영향평가 및 IPCC 보고서 작성을 위해 전 세계 연구자들로 구성된 연구 프로젝트.

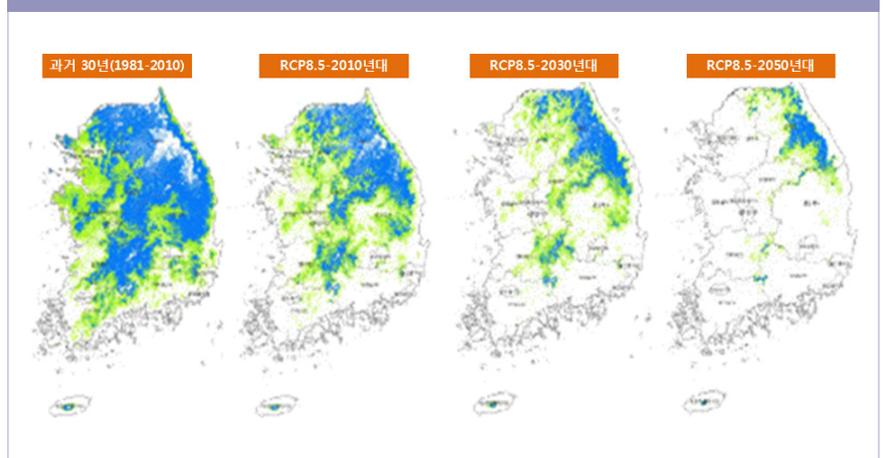
“ 사과, 배의 재배 적합지는 줄고, 단감, 참다래의 재배지역은 늘 것 ”

### 가. 작물 재배지역 변동 예측

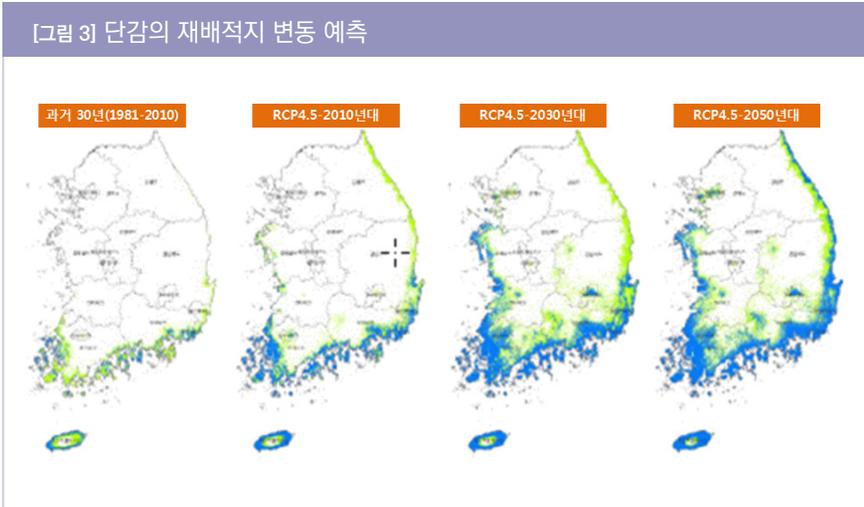
우리가 재배하는 작물은 생육에 적절한 온도범위가 있다. 온도에 따라서 재배가 가능한 지역과 시기가 결정된다. 예를 들어 감귤의 경우 여름철 고온이 생육을 저해하지 않으면서도 겨울철 잎이 얼어 죽지 않을 정도의 기온이 유지되는 지역인 아열대 기후대에서 재배되고 있으며, 사과와 같이 온대 낙엽과수의 경우에는 봄철 발아나 개화에 겨울철 저온이 필요하므로 겨울철 일정 수준의 저온요구를 충족시킬 수 있는 온대 기후대에서 재배가 가능하다. 좀 더 상세하게 살펴보면 겨울철 가장 추운 날의 최저기온이나 저온일수 등은 여러 가지 작물의 재배 가능 여부를 결정하는 중요한 기후요소가 되므로 이러한 정보를 이용하면 작물마다 기후학적으로 재배가 가능한 지역과 어려운 지역을 구분할 수 있다. 기상청에서 제공하는 기후변화 시나리오에 따르면, 우리나라는 온난화로 아열대 기후대가 확대되고 온대과수에 적합한 온대 기후대는 점차 감소할 것으로 예상되고 있다(기상청, 2012).

농촌진흥청에서는 농업용 미래상세 전자기후도를 이용하여 작물 재배에 영향이 큰 미래 농업기후도를 제작하고, 이를 이용하여 우리나라에서 재배되는 과수와 채소 등 주요 작물을 대상으로 온난화에 따라 재배적지 변동을 예측하는 지도를 제작한 바 있다. 이에 따르면 사과, 배 등 온대성이 강한 낙엽과수는 앞으로 기후적인 생육 환경이 악화되어 재배적합지가 줄어들 것으로 예상되었고, 단감, 참다래 등 겨울철에 보다 온화한 기후가 요구되는 작물은 재배가능지역이 점차 확대될 것으로 예상되었다 [그림 2, 3].

[그림 2] 사과의 재배적지 변동 예측



[그림 3] 단감의 재배적지 변동 예측



채소는 적은 범위가 좁아 여름철에는 고랭지에서만 재배하는 고랭지 여름배추의 재배 적합지역이 빠르게 감소하고, 겨울철 월동기간이 필요하지만 동해 피해엔 취약한 마늘, 양파 등은 앞으로 재배 적합지역이 증가될 것으로 예상되었다. 2018년 올리브의 재

배가능성을 분석한 결과 곧 남부 해안지방에서 올리브 재배가 가능해질 것으로 예상되기도 하였다. 이와 같이 농촌진흥청에서는 작물 재배지 변동에 대한 연구를 지속하고 있으며, 현재까지 연구된 12종의 작물에 대한 예측결과를 인터넷(<http://fruit.nihhs.go.kr/>)을 통하여 제공하고 있다.

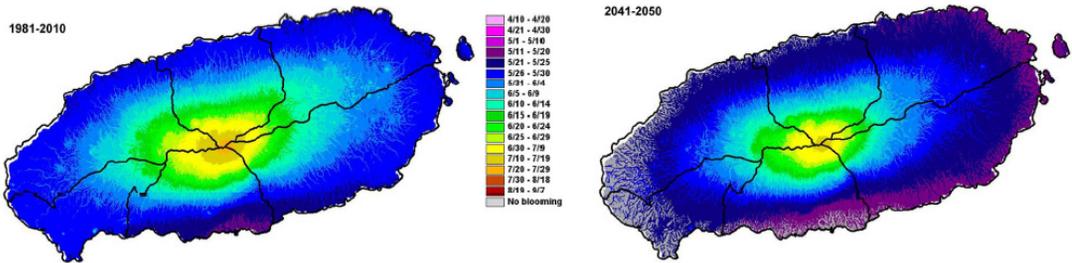
#### 나. 작물 생물계절의 변동 예측

발아-개화-결실 등 시기적으로 작물이 발육하는 현상을 생물계절이라고 하며, 이는 작물의 생육기간뿐만 아니라 기온, 일장 등 기상요소에 의해서도 영향을 받는다. 작물의 생물계절 변화는 재배 가능 여부뿐만 아니라 수량과 품질에도 밀접한 관련이 있다. 김광형 외(2016)은 참다래 품종인 해금이 주로 재배되는 지역에서 미래에는 개화시기가 현재보다 10일 이상 단축될 것으로 예상하였고, 권영순 외(2012)은 제주도에서 참다래 개화일이 앞당겨질 것이라고 하였다[그림 4]. 문경환 외(2012)은 온난화로 인해 감귤의 개화시기가 점차 빨라질 것으로 예측하였고, 이를 감귤 개화기 지도로 나타내었다. 또 송은영 외(2015)은 고추 생육기간 중 기온이 2℃까지 상승하면 가지치기 횟수와 개화시기가 빨라지고 수량이 증가하지만, 그 이상 상승하면 과실의 크기는 작아져 오히려 품질은 떨어질 것으로 분석한 바 있다.

“ 농업분야의 기후변화 대응 방법은 재배시기, 재배지역 변경으로 고려 가능 ”

이렇게 온난화에 의해 작물의 생물계절 변화가 예상되고, 이러한 변동은 수량, 품질 뿐만 아니라 재배관리 방법이나 재배 가능성에까지 영향을 미칠 것이다.

[그림 4] A1B 기후변화시나리오에 따른 제주도 참다래 만개기 이동



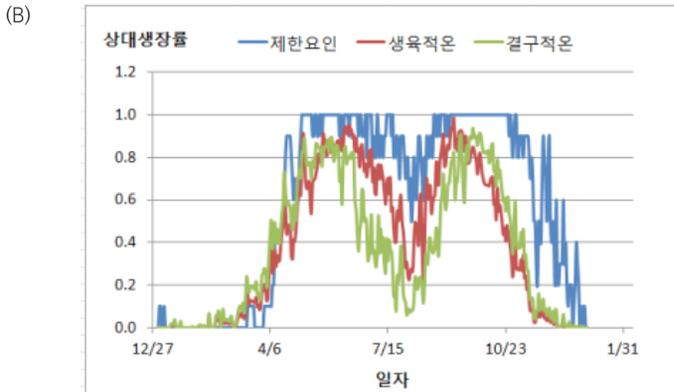
#### 다. 작물 재배시기 변동 예측

배추와 무 등 채소들은 시간상으로는 3~4개월 만에 수확할 수 있어 비교적 재배 기간이 짧은 작물이다. 이들 작물은 우리나라에서는 전국적으로 재배되기 보다는 주산지라고 불리는 몇몇 시·군 지역에서 집약적으로 재배되어 시장에 공급하고 있다. 예를 들어 고랭지배추는 강원도 산간지역에서 여름철에만 집중 재배되고, 김장 배추는 가을철 전남 해남지역에서 재배되고 있다. 이렇게 계절에 따라 특정 지역에서 집중적으로 재배되는 작물은 미래 기후변화가 진행될 경우 두 가지 선택을 강요 받는다. 재배시기를 유지하고자 할 경우에는 재배지역을 변경해야 하며, 재배지역을 고수하고자 할 경우에는 재배시기를 앞당기거나 늦추는 방식으로 변경하는 것이다. 작물의 재배시기 변경은 작물 재배에 적합한 기후가 되는 재배기간의 확보가 중요한 결정요인이 된다. 문경환 외(2015)은 일 기상자료를 이용하여 배추의 적정 재배시기를 판단하는 방법을 개발하였다. 이 방법으로 지역에 따라 기온이 상승하였을 때는 정식시기를 앞당기거나 늦추는 등 재배시기를 조절할 수 있다. 이 방법을 고랭지 여름배추 재배지에 적용하면 초기에는 정식시기가 점차 앞당겨지거나 늦추어지다가, 평균기온이 2℃ 상승하면 더 이상 여름재배가 어려워질 것을 예상하였다(그림 5).

[그림 5] 현재(A)와 2°C 상승 시(B) 대관령의 벼 재배시기 판단



	생육일	생육일(제한고려)	재배여부
봄재배			불가
초일			
말일			
가을재배			불가
초일			
말일			
여름재배	97	204	적합
초일	4월 25일	5월 19일	
말일	7월 31일	10월 25일	



	생육일	생육일(제한고려)	재배여부
봄재배	105	61	적합
초일	4월 4일	5월 3일	
말일	7월 18일	7월 3일	
가을재배	106	72	적합
초일	4월 4일	8월 21일	
말일	7월 19일	11월 1일	
여름재배			불가
초일			
말일			

## 라. 작물 생산성 변동 예측과 생육모형의 개발

### (1) 작물 생산성 변동 예측

앞에서 언급한 바와 같이 미래 기후변화에 따른 작물의 생산성 변동을 예측하기 위해서는 기상에 따른 생육과 수량을 예측할 수 있는 작물모형이 필요하다. 이충근 외(2012)은 국제미작연구소에서 개발한 ORYZA2000을 국내 품종에 맞게 개선한 벼 모형을 이용하여 기후변화로 벼 수량이 감소한다고 하였고, 기온상승, 재배시기, 이산화탄소 농도 순으로 벼 수량에 미치는 영향이 크다고 하였다. 김대준 외(2013)은 벼, 보리, 콩 모형을 이용하여 파종시기를 조절함으로써 온난화에 따른 수량감소를 어느 정도 회복시킬 수 있다고 하였다(그림 6). 심교문 외(2011)은 겨울철에 재배되는 쌀보리의 경우 온난화로 오히려 수량이 증가할 것으로 예상한 바 있다.

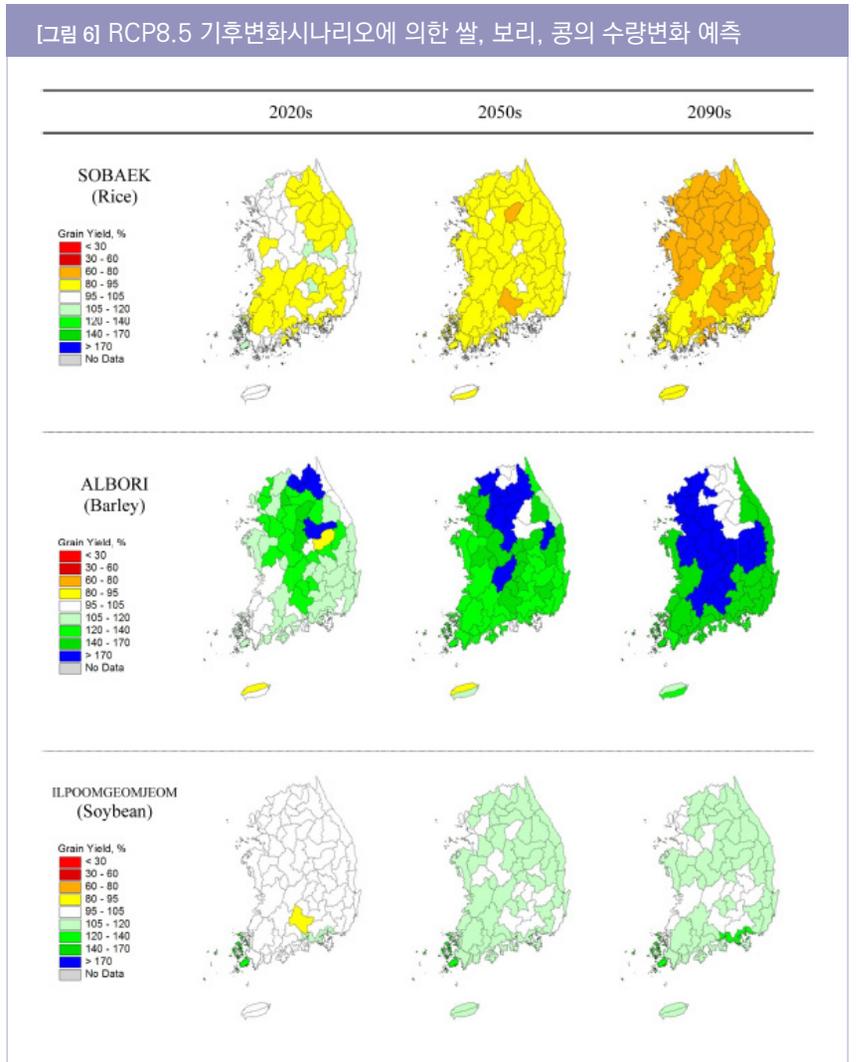
식량작물의 경우에는 생육과 수량을 예측할 수 있는 작물모형이 많이 개발되어 미래의 수량 변동에 대해 상세하게 예측한 연구가 진행되어 있다. 반면 채소 등 원예작물에 대한 생육모형이 없어 기후변화에 따른 수량 변동을 예측하는 연구는 미흡한 상태이다.

**(2) 작물 생육모형의 개발**

최근 농촌진흥청에서는 배추와 마늘을 대상으로 기상자료를 이용하여 일별로 생육상황을 표출할 수 있는 작물 생육모형을 개발하였다고 보고한 바 있다. 이번에 개발된 모형은 작물 재배기간 중의 기온, 일사량, 강우량, 풍속 및 상대습도 등의 시간별 기상자료를 입력하면 앞에서의 광합

성, 증산, 호흡 및 식물체의 발육과 분해 등 성장과정을 시간별로 순차적으로 계산하고, 이에 따른 일 단위의 생육상황(엽수, 엽면적, 생체중 및 건물중 등)을 수치로 나타낼 수 있게 제작되었다. 개발된 작물모형은 일종의 컴퓨터 소프트웨어이므로 파종시기 등 입력자료를 변경함으로써 마늘의 적정 파종시기를 예상하는 등 현재 조건에서 최적의 재배방법을 탐색하는 활동에 이용할 수 있다(그림 7).

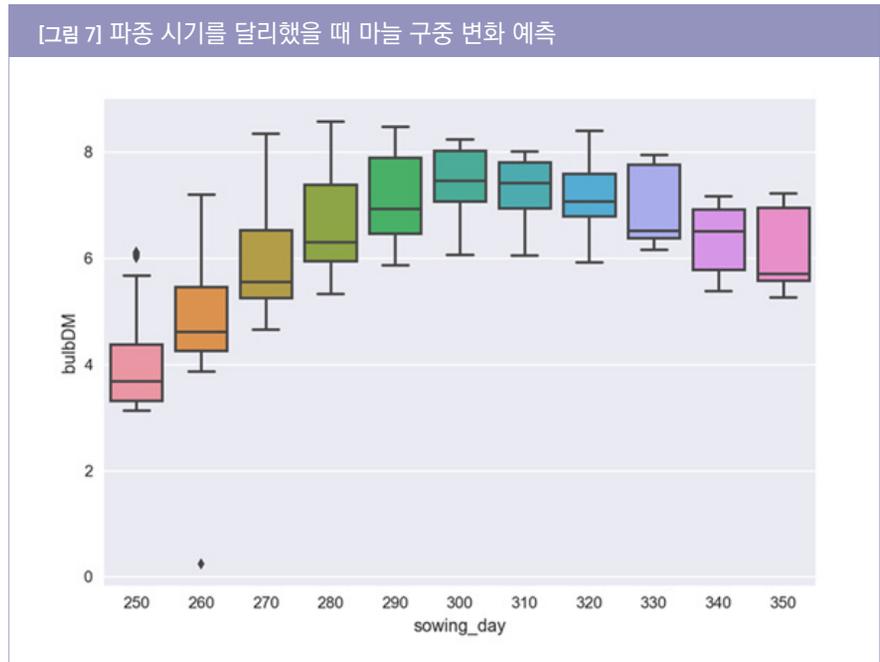
[그림 6] RCP8.5 기후변화시나리오에 의한 쌀, 보리, 콩의 수량변화 예측



“ 농촌진흥청은  
미래 작물 재배  
적합성 정보를  
제공 ”

그러나 현 단계는 배추와 마늘의 초기 모형을 개발한 상태로 앞으로 주산지역의 자료로 검증하여 보다 정교하게 조정할 필요가 있다. 주산지에서 충분히 개선된 이후에는 전국을 대상으로 기후변화에 따른 생산성 변동 예측에 활용될 수 있을 것이다.

[그림 4] 파종 시기를 달리했을 때 마늘 구중 변화 예측



#### IV. 기후변화에 대한 농업의 대응

기후변화로 작물 생산이 큰 영향을 받을 것으로 예측되고 있어 이에 대한 농업인의 대응대책에 대한 관심도 증가하고 있다. 전지구 규모의 기후변화를 인위적으로 조절하는 것은 거의 불가능하므로 농업에서의 기후변화 대응은 농업인 본인의 농지가 위치한 지역 기후에 잘 적응하는 방식이 될 수밖에 없다.

기후변화에 잘 적응하기 위해서는 기후와 기상을 잘 이해하는 것이 중요하다. 농촌진흥청에서는 농업기후 변동에 관한 자료와 함께 미래 작물 재배의 적합성에 대한 정보를 제공하고 있다. 즉, 농민이 농장의 지번을 입력하여 미래 작물에 대한 재

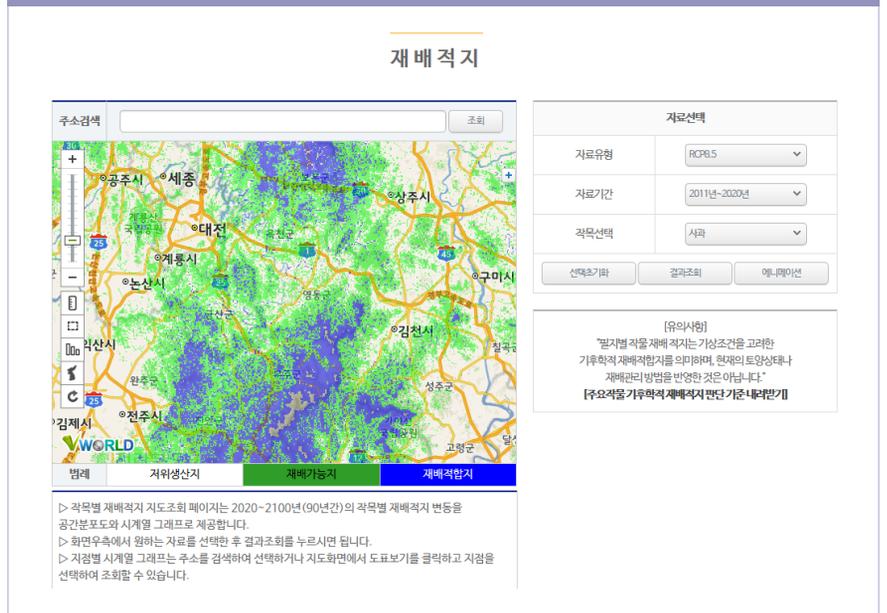
“ 농업과학원은 최근 농업기상재해 조기 경보시스템을 개발 중 ”

배적합성 변동 정보를 상세하게 알아볼 수 있어 장기적인 대응방안을 세우는데 도움을 얻을 수 있다.

앞에서 주로 장기간의 기후변화 영향에 대해서 연구된 결과를 제시하였지만, 최근에는 단기간의 이상기상에 대한 피해를 줄이기 위한 기술도 개발되고 있다. 최근 농촌진흥청 농업과학원에서는 농업기상재해 조기경보 시스템을 개발하고 있다. 이 시스템에 의하면 농장 수준의 농업기상을 예측함으로써 서리, 가뭄 등의 기상재해가 예상될 때 농업인들에게 미리 알려주는 역할을 하게 된다. 또 기상에 대한 작물의 반응을 예상하여 작물 생육상태에 따라 영농 기술을 제언하는 서비스도 함께 제공되고 있다. 현재 일부 지역에 국한하여 시범적으로 개발되어 있지만, 곧 전국으로 확대될 것으로 기대되고 있다. 시스템에서 제공하는 정보를 작물 또는 병해충 모형과 연결하여 생육과 병해충 발생을 예보하고, 농민이 적합한 재배기술이나 병해충 방제기술을 적용할 수 있도록 지원하면 농가의 실질적인 기후변화 적응력을 향상시킬 수 있을 것이다.

한편, 미래의 기후에 적합한 작물 품종의 육성, 아열대/열대 작물 등 대체할 수 있는 신규 작물의 발굴, 이상기상의 발생 시 즉각 대응할 수 있는 기반 시설의 구축 등 기후변화 적응력을 향상시키는 노력도 진행되고 있다. 최근 개발된 작물모형 기술을 발전시키면 여러 가지 기후여건에서 최상의 생산성을 나타낼 수 있도록 다양한 농업기술을 사전에 모의하여 탐색하고, 이를 직접 농장에 적용

[그림 8] 기후변화에 따른 작물 재배적지 변동 정보



“ 농장 수준의  
기상 정보 제공은  
기후 적응형  
농업의 중요한  
토대 ”

할 수도 있을 것이다. 즉, 주어진 환경에서 최적의 농업기술을 구사할 수 있도록 ‘적지작(適地適作)’ 기술을 현대적으로 적용하는 것이다. 최근 외국에서는 작물모형 모의를 통하여 여러 조건에서 가장 바람직한 품종을 육성하는 활용기술도 개발되고 있다.

## V. 맺는말

농업은 기후변화에 따른 영향을 크게 받는 산업이다. 이에 대응하여 우리나라에서는 국내에 적합한 농업용 전자기후도를 개발 및 이용하여 작물의 재배적지, 생물계절, 재배시기, 수량이나 품질의 변동에 중심을 두고 연구가 진행되어 왔다. 지금까지 연구된 결과에 의하면 주로 사과, 배 등 온대성 작물은 기온 상승으로 점차 재배가 불리해 지고, 특히 서늘한 기후에서 재배되는 배추, 무 등은 여름재배가 어려워 질 것으로 예상되었다. 이를 대비할 수 있는 품종 개발이나 대응 기술 개발에 대한 추가 연구가 필요할 것이다. 하지만 기후변화가 항상 부정적인 영향만 주는 것은 아니다. 참다래, 난지형 마늘 등 일부 난대성 작물은 재배 적지가 늘어나고, 고추는 기온이 현재보다 2℃ 상승할 때까지 생육과 수량에 긍정적인 것으로 예상된다.

기후변화 대응을 위해서는 농민이 기후변화에 잘 적응하는 것이 중요하다. 이를 위해 농장 수준의 세밀한 기후나 기상에 대한 정보를 제공하는 것은 기후 적응형 농업에서 중요한 토대가 될 것이다. 그리고 이들 정보를 바탕으로 작물 생육모형 등 다양한 농업기술의 활용이 요구된다. 앞으로 인공지능, 로봇기술, 빅데이터 이용 기술 등 최선의 기술을 농업 생산에 적용하는 노력은 기후변화에 대한 농업의 적응력을 한층 강화시켜줄 것이다.

## 참고 문헌

- 권영순, 김수옥, 서형호, 문경환, 윤진일, 2012: 지구온난화에 따른 제주도 내 참다래 개화일의 지리적 이동, 한국농림기상학회지, 14(4), 179-188.
- 기상청, 2012: 한반도 기후변화 전망 보고서
- 김광형, 정여민, 조윤섭, 정유란, 2016: 기후변화에 따른 국내 키위 품종 '해금'의 개화시기 변동과 전망에 대한 불확실성: 전남 키위 주산지역을 중심으로. 한국농림기상학회지, 18(1), 42-54.
- 김대준, 김수옥, 문경환, 윤진일, 2012: RCP8.5 기후조건에 따른 작물생육모의에 근거한 우리나라 곡물생산 전망, 한국농림기상학회지, 14(3), 132-141.
- 농업기상정보서비스: <http://weather.rda.go.kr>
- 문경환, 2015: 농촌진흥청 시험연구보고서
- 송은영, 문경환, 손인창, 위승환, 김천환, 임찬규, 오순자, 2015: 기후변화 시나리오에 근거한 온도상승이 고추의 생육양상 및 과실특성에 미치는 영향. 한국농림기상학회지, 17(3), 248-253.
- 심교문, 민성현, 이덕배, 김진엽, 정현철, 이슬비, 강기경, 2011: A1B 기후변화 시나리오가 국내 가을 쌀 보리의 잠재수량에 미치는 영향 모사. 한국농림기상학회지, 13(4), 192-203.
- 이충근, 김준환, 손지영, 양운호, 윤영환, 최경진, 2012: 생육모의 연구에 의한 한반도에서의 기후변화에 따른 벼 생산성 및 적응기술 평가. 한국농림기상학회지 14, 207-221.
- Houghton, J.T., 1995: Climate change 1994: radiative forcing of climate change and an evaluation of the IPCC 1992 IS92 emission scenarios, Cambridge University Press.
- Lobell, D.B., M.B. Burke, C. Tebaldi, M.D. Mastrandrea, W.P. Falcon and R.L. Naylor, 2008: Prioritizing climate change adaptation needs for food security in 2030. Science, 319, 607-610.
- Meentemeyer, V., 1989: Geographical perspectives of space, time and scale. Landscape ecology, 163-173.
- Olesen, J.E., M. Trnka, K. Kersebaum, A. Skjelvåg, B. Seguin, P. Peltonen-Sainio, 2011: Impacts and adaptation of European crop production systems to climate change. European Journal of Agronomy, 34, 96-112.
- Pachauri, R.K., M.R. Allen, V. Barros, J. Broome, W. Cramer, R. Christ, 2014: Climate change 2014: synthesis Report. Contribution of working groups I, II and III to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change, IPCC.
- Reilly, J.M. and D. Schimmelpfennig, 1999: Agricultural impact assessment, vulnerability, and the scope for adaptation. Climatic change, 43, 745-788.
- Rosenzweig, C. and M.L. Parry, 1994: Potential impact of climate change on world food supply, Nature, 367, 133-138.
- Rosenzweig, C., J.W. Jones, J.L. Hatfield and C.Z. Mutterl, 2013: The Agricultural Model Intercomparison and Improvement Project (AgMIP): Integrated regional assessment projects. Handbook of Climate Change and Agroecosystems, Global and Regional Aspects and Implications, 2, 263.

# 4차 산업혁명 기술을 활용한 친환경 건축/도시 설계 기술

이호영 (주)텐일리브 대표이사, hylee@1011.co.kr

- I. 들어가기
- II. 인공지능 기반 친환경 건축/도시 설계 솔루션
- III. 친환경 건축설계를 위한 패시브/액티브 설계에 대한 연구
- IV. 건축설계를 지원하는 가상현실 기반 협업 솔루션
- V. 맺음말

최근 4차 산업혁명 기술과 친환경에 대한 관심이 높아짐에 따라 건축분야에서도 인공지능/빅데이터/가상 현실/증강현실 기술 및 기후 데이터를 이용한 친환경 요소들을 적용하고자 하는 요구들이 증가하고 있다. 건축 업계에서는 일정규모 이상의 건축물을 시공할 경우, BIM 설계와 녹색건축인증을 필수사항으로 명시하고 있으며, 2025년부터는 모든 신축 건축물에 대하여 제로에너지화를 추진 중에 있다. 우리는 일조량에 친화적인 건축 설계 솔루션을 연구하였으며, 최근 4차 산업혁명 기술을 활용한 대규모 재개발 단지의 계획 설계에 참여 하여 국내 최초로 인공지능이 설계한 2,000세대급 아파트단지 설계 결과물을 도출하였다. 본고에서는 4차 산업혁명 기술과 기후데이터를 이용한 건축설계 기법들을 소개하고 이러한 기술들이 건축업계에 기여하는 부분을 소개하고자 한다. ■

“ 2014년 창업 최초 수행한 기상청의 바람길 가시화 도구 개발 프로젝트 ”

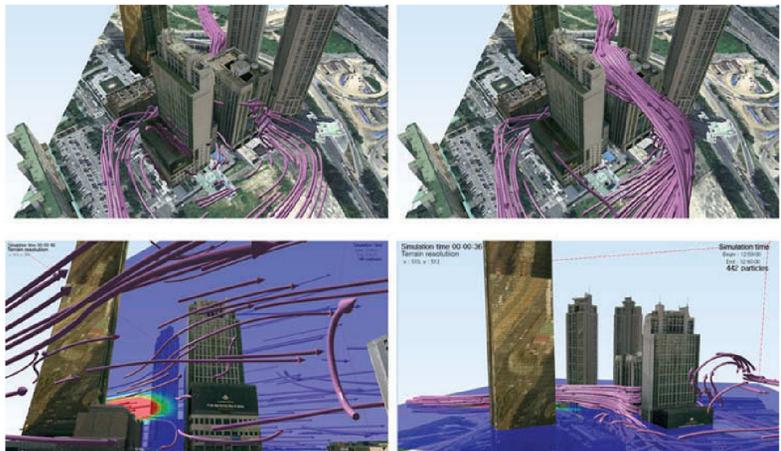
## 1. 들어가기

본 기고문을 본격적으로 들어가기에 앞서 간단히 본 저자와 소속 기업에 대한 소개를 하고자 한다. 본 저자는 기상/기후를 전공하지 않았으며, 오늘 소개하고자 하는 친환경 건축/도시공학을 전공하지도 않았다. 좀 생똥맛을 수도 있지만 컴퓨터공학을 전공하였으며, 다행히도 기상/기후와 다소 연계성이 있는 분야인 CFD(Computational Fluid Dynamics)를 세부전공 하였다. 그 덕분에 창업과 동시에 바람길 모의(Simulation) 솔루션을 개발하게 되었다. 엄밀히 얘기하자면 모의라기보다는 가시화(Visualization) 도구에 가깝다고 볼 수 있다. (주)텐알레브(이하 '본사')이 2014년 창업하여 최초 수행한 프로젝트가 이 바람길 가시화 도구 개발이었고, 그 발주처가 바로 기상청이었다. 당시 게재되었던 논문에 대해 소개를 하고 본문으로 들어가도록 하겠다. 첫 번째 논문은 'Geospatial spreadsheets with microscale air quality visualization, synchronization for supporting multiple-scenario visual collaboration'으로 3차원 지형공간정보 기반 미기후 분석도구로써 바람의 흐름이나 오염물질의 확산을 기존의 2차원적 분석에 그치지 않고 3차원적 분석을 제공하여 다양한 기상 시나리오를 실시간으로 판단하고 협업

할 수 있도록 도와주는 연구였다[그림1]. 3차원 지형공간정보를 활용한 기후분석 솔루션은 세계적으로 드문 사례여서 논문이 채택되었던 것으로 판단된다.

두 번째 논문은 'Three-dimensional point cloud based sky view factor analysis in complex urban settings'로 라이더

[그림 1] 3차원 국토지리정보 기반 대기환경 분석도구(여의도 63빌딩 인근)



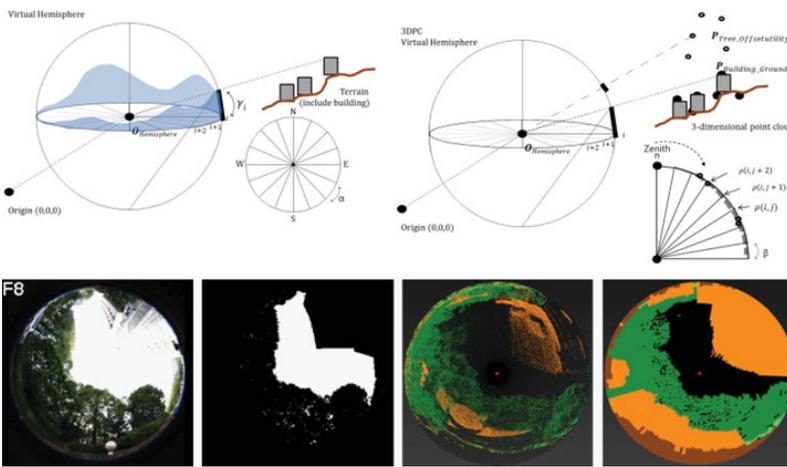
“ 2019년 현재 세계 스마트시티 시장은 1,300조원 규모로 성장 ”

에서 추출된 3차원 포인트 클라우드 정보를 기반으로 천개지수(Sky view factor)를 빠르고 정확하게 계산하는 결과물을 얻어내었다[그림2]. 이 프로젝트의 결과물은 현재 본사에서 진행하고 있는 인공지능 기반 친환경 건축설계에서 일조/일사시물레이션 알고리즘에 일부 포함되어 있고, 미기후분석에서 도시열섬현상 분석에도 활용이 가능할 것으로

생각된다.

서론은 본문에서 다룰 내용의 기반이 되는 기술들이 기상청에서 진행했던 연구들과 관련이 있음을 소개하였고, 다음 장에서는 본격적으로 4차 산업혁명 기술들이 친환경 도시와 건축을 설계하는데 어떻게 활용이 가능한지를 설명 하도록 하겠다.

[그림 2] 항공라이다 점군을 이용한 천개지수 계산 방법



## II. 인공지능 기반 친환경 건축/도시 설계 솔루션

최근 미래형 친환경 도시 건설계획에 따른 스마트시티 기술이 많은 관심을 받고 있다. 세계적으로 스마트시티 프로젝트 수가 4년 만에 700%이상 증가되고 있으며, 2019년 세계 스마트시티 시장은 약 1,300조원으로 성장하고, 관련 기술시장 규모도 연평균 16% 이상 고성장할 것으로 전망되고 있다. 그에 따라 스마트시티의 대상지 선정에 있어서 기후분석 및 에너지 절감은 큰 이슈이며, 스마트시티 건설시 스마트그리드는 필수적인 기술로 인식되고 있다. 제로에너지하우스를 넘어서 제로에너지시티 개념이 스마트그리드의 지향점이며, 전력을 소비하는 곳에서 전력을 생산

“ 일조량에 친화적인 건축물 배치설계를 통해 친환경 스마트시티 기초설계 혁신 도모 ”

하는 것이 핵심전략이라 하겠다. 이것은 곧 최적의 전력 생산 위치, 최소의 전력 소비 위치 또는 기술이 곧 스마트시티 건립에 대한 핵심기술이라 할 수 있다.

도시계획 건축 분야에서는 기초 설계 단계부터 최적의 건축물 배치가 매우 중요하다. 특히 우리나라는 2017년 1월부터 「제로에너지 건축물 인증제」를 시행하고 있으며, 2025년부터 모든 신축 건축물을 제로에너지화 하는 것이 의무사항으로 추진되고 있다. 하지만 현실적으로 현재의 건축 설계 기술로는 이를 구현하기가 매우 힘든 상황으로 우리는 먼저 일조량에 친화적인 건축물 배치설계 솔루션을 개발하여 건축설계, 더 나아가 친환경 스마트시티 기초설계의 작업속도를 혁신하고자 하였다.

현재 건축설계 시장에서 친환경 건축설계 부분은 따로 분리되어 있는 상황이다. 그렇기 때문에 건축설계 진행이 완료되면 일조분석을 별개로 진행하여 크게 설계 방향을 조정하기가 힘든 실정이다. 그 이유는 일조환경을 분석하는 편리성을 가진 3차원 시뮬레이션 도구가 부족하기 때문에 건축설계 분야의 종사자들은 아예 이 부분을 고려하지 않고 친환경 건축설계 컨설팅 회사에 외주용역을 맡기는 형태로 진행하고 있다. 뿐만 아니라 일조권 분석 솔루션은 대부분 외국산 소프트웨어가 차지하고 있어 건축 계획설계 단계부터 우리나라에 적합한 지수를 사용하여 시뮬레

[그림 3] 일조량 적응형 스마트시티 건물 배치 솔루션 개념도



“ 유전알고리즘을  
통해 일조 수인한도 내  
최대 세대 수 건물  
배치와 최대 일조량  
획득 기법 연구 ”

이전 할 수 있는 국산 기술이 절실히 필요한 상황이다. 그리고 일조권 분석에 필수적인 지형이나 건물정보를 분석도구에 입력하는데 한계가 있기 때문에 지형정보와 건물정보를 수작업으로 입력하는 번거로움과 그에 따른 모의 정밀도 저하 문제도 발생하고 있다. 사용자 편의성과 정밀한 일조량 분석 기술을 확보하기 위하여 본사는 전국의 지형공간정보와 58개 도시 건물정보를 DB화하여 최적의 스마트시티 내 건물 배치 대안들을 제시할 수 있는 솔루션을 만들게 되었다.

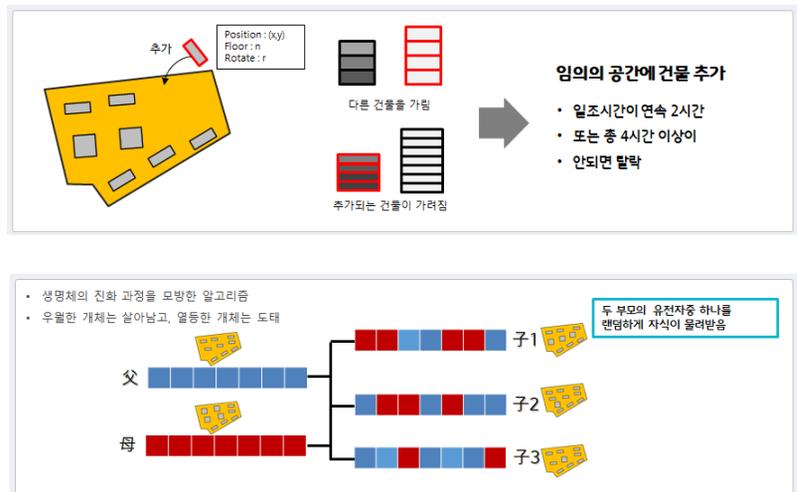
본사는 건물의 일조량을 계산하기 위해서 날짜, 시간, 위도, 경도, 해발고도 등을 입력받아 NREL (National Renewable Energy Laboratory)에서 제공하는 알고리즘을 참고하여 태양의 위치를 계산하였다. 지구 중심으로부터 현재 위치까지의 방향벡터에 수직인 지표면을 정의하고, 이 평면에서 사방위 벡터를 이용하여 태양의 천정각과 방위각을 계산하였다. 건축법에서 일조량의 수인한도는 동지기준 오전 9시에서 오후 3시 사이 연속 2시간 이상 또는 오전 8시에서 오후 4시 사이에 총 4시간 이상을 만족해야 하는 규정이 있으며, 우리는 공동주택에 대하여 각 세대의 창문 위치에서 분단위로 천정각과 방위각을 계산하여 태양까지의 가상광선을 설정하고 다른 건물 또는 지형과 충돌하는지 여부로 일조시간을 계산하였다.

일조량에 친화적인 건물 배치를 위하여 최적의 근사해를 계산하는 인공지능 기법 중 하나인 유전알고리즘을 이용하여 일조 수인한도 내에서 최대 세대수를 만족하는 건물의 배치와 정해진 세대수에 최대 일조량을 얻을 수 있는 기법을 연구하였다. 이 기법은 생명체의 진화과정을 모방한 알고리즘으로 우월한 개체는 살아남고 열등한 개체는 도태시키는 방식으로 도시/건물의 배치 설계를 진화시키는 과정에 사용하였다. 부모의 유전자 정보를 랜덤하게 섞어서 자식의 유전자를 생성하고 자식들 중 가장 우월한 개체를 남긴 후 다음세대에 유전자를 부여하는 방식이다. 유전 알고리즘을 이용하기 위해서는 개체 간 비교연산이 가능해야 하며, 하나의 개체는 유한개의 독립된 데이터 묶음으로 표현되어야 한다. 우리는 공동 주거 단지를 하나의 개체로 정의하고 단지 내 일조권을 점수화하여 이 점수를 통해 개체의 우월성과 열등성을 판단할 수 있었다. 최근에는 이 알고리즘을 더욱 발전시켜 주변

“ 3차원 지형공간 정보와 인공지능을 이용한 자동화 설계 기술 개발 ”

지형을 분석하여 조망까지 우월한 개체(도시/건축물 배치도)들을 추천해 주는 방식으로 진화하고 있다. 이렇게 수치화된 개체 중 점수가 높은 상위 개체들의 유전자를 이용하여 또 다른 단지를 생성하고 이렇게 반복하여 점수가 높은 최적의 건물 배치들을 사용자에게 추천한다. 여기서 유전자는 유한한 정보를 저장한 구조체이며, 하나의 모의 영역을 하나의 유전자로 정의하고 유전 알고리즘을 모델링하였다. 우리는 공동주택 단지의 유전자에 건물의 각도와 층수, 인동거리, 대지내 공지 등의 정보를 저장하여 건물높이와 방향을 건축법에 부합되도록 배치할 수 있도록 하였으며, 부모 단지의 유전자를 이용하여 [그림4]의 아래와 같이 교배하고 진화시키는 과정을 통해 최적의 건물 배치안을 도출할 수 있었다.

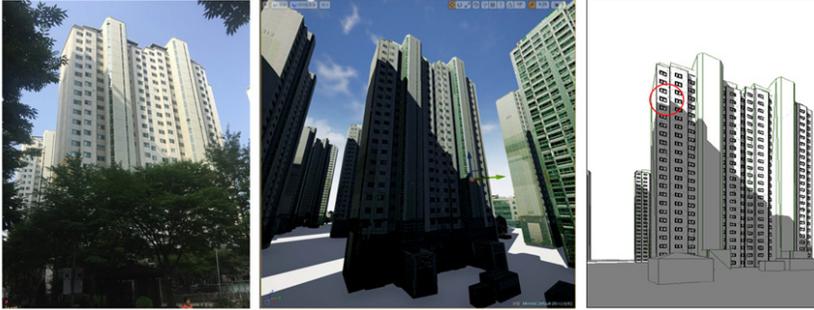
[그림 4] 유전알고리즘을 이용한 건물 배치 솔루션



### Ⅲ. 친환경 건축설계를 위한 패시브/액티브 설계에 대한 연구

2장에서 3차원 지형공간정보와 인공지능 알고리즘을 이용하여 건축법과 일조량을 만족시키는 자동화 설계 기술에 대해 알아보았다. 그 결과 건축법에 명시된 수인한도 내에서 최대의 세대수를 확보하는 최적의 배치안을 도출하는 과정을 소개하였다. 이번 장에서는 친환경 건축설계를 위한 패시브적인 설계 요소와 액티브적인 설계 요소를 추출하여 궁극적인 제로에너지 건축물을 도출하는 연구에 대해 소개한다.

[그림 5] 실사이미지(左), 우리의 일조시물레이션 음영분석(中), Revit 음영분석(右)



먼저 건축물의 패시브/액티브 디자인을 구현하기 위한 대표적인 친환경 요소인 일조시물레이션에 대한 검증을 하였다. 우리는 3차원 지형공간정보를 기반으로 건축물에 대한 일조시물레이션을 진행하고 비교군으로 기존 건축설계 프

로그램인 Autodesk Revit에서 건물을 모델링하여 동일시간과 동일 위치에 있는 건물의 음영 분석결과와 실제 동일시간 동일 위치에 있는 실사 이미지를 비교하는 실험을 하였다. 그 결과 본사가 개발한 일조시물레이터가 더 정확하고 분석 시간이 월등히 우수한 것을 확인하였다. 특히 건물과 지형정보 모델링 분야에서 Revit은 사용자가 직접 모델링을 수동으로 수행하기 때문에 정확도가 떨어진 반면 우리의 일조 시물레이터는 3차원 지형공간정보를 그대로 사용하였기 때문에 실사 이미지와의 비교에서 일치하는 결과를 얻어낼 수 있었다. 그 이유는 Revit은 사용자에 따라서 모델링의 개인차가 발생하여 매번 다른 결론이 도출될 수 있는 반면 우리의 시스템은 자동화된 전산처리로 모델링이 완성되기 때문에 항상 같은 결론을 도출할 수 있다. 일조 시물레이션에 대한 효율적인 측면에서도 Revit의 경우 음영분석에 걸린 시간이 6시간 소요(3층 중정형 건물 기준)된 반면 본사의 일조 시물레이터는 수 분만에 시물레이션이 완료되었다. 아래의 [그림5]는 2017년 8월 2일 오전 9시 19분에 잠실의 한 아파트 모습으로 Revit의 음영분석 결과는 실사와 약 2600mm 차이가 발생하는 반면 본사의 음영분석 결과는 실사와 동일함을 확인할 수 있다.

또 다른 친환경적 기후요소가 적용된 빅데이터 기반 일사, 바람길 시물레이터를 개발하기 위하여 TMY (Typical Meteorological Year) 기후데이터를 활용한 일사, 대기흐름 데이터를 추출하고 DB화 하였다. 공개된 데이터는 전국 16개 관측지

“ 한국형 지리 및  
도심 구조가  
고려된 일사분석  
시뮬레이터 개발 ”

점이 있으며, 임의지점의 기후데이터를 추출하기 위하여 정의된 16개 TMY 데이터를 이용하여 전국을 보간하였다. 다양한 고차보간법을 시도하였으나 최종적으로 기후 보간 분야에서 가장 많이 활용되고 있는 크리깅을 사용하여 전국을 1km 간격으로 격자화한 후 전일사량, 풍향, 풍속 데이터를 DB화 하였다. 특히 전일사량 데이터는 전국에 대하여 직달과 산란일사를 분리하였고, 이 데이터로 전국 1km 간격의 Sky patch를 생성하여 실시간 3차원 태양광자원 지도를 제작할 수 있었다. 그리고 바람길 시뮬레이터를 위한 풍향/풍속 데이터는 기상청 30년 풍향/풍속 데이터를 이용하여 TMY데이터 형식으로 자체 제작하여 DB화 하였다.

기상데이터는 건축물의 환경 분석에 활용할 계획으로 세밀도의 차이에 따라 해당지역의 1년, 1달, 1일, 1시간을 대표하는 기후데이터가 추출되도록 DB화 하였고, 여기서 1시간을 대표하는 값은 1년을 단위시간 기후데이터 값으로 총 8,760개 데이터로 구성하였다. 즉 1월 1일 1시의 기후데이터는 첫 번째 데이터가 되고, 12월 31일 24시 기후데이터 값이 마지막데이터가 되도록 저장하여 실시간으로 사용자가 원하는 기간선택에 대한 시간별/일별/월별/계절별/절기별 기상데이터의 실시간 추출이 가능하도록 하였다.

그 결과 한국형 지리 및 도심구조가 고려된 일사분석 시뮬레이터를 개발할 수 있었다. 정확한 일사분석을 위해 분석하고자 하는 대상지역의 지형과 주변건물의 공간정보를 자동으로 추출하는 기술을 개발하였고, 실시간으로 전국 어디든 시뮬레이션 할 수 있는 한국형 지리와 도심구조가 반영된 일사분석 모델을 완성하였다. 우리는 1km 간격으로 생성된 전국의 Sky patch를 이용하여 지형과 건물의 기하학적 관계에 따라 일사량이 산출되는 알고리즘을 개발하여 전국 임의의 위치에서의 기후를 고려한 일사분석이 가능하였다. 주변 지형과 건물의 음영효과를 고려한 일사분석 모델로 전국 원하는 임의의 지역의 일사량을 판단하여 건축물의 여름철 과열과 겨울철 열획득의 정도를 판단하는 것이 가능하여 PV패널의 발전효율이 높은 영역을 분석하는 용도로도 활용이 가능하다.

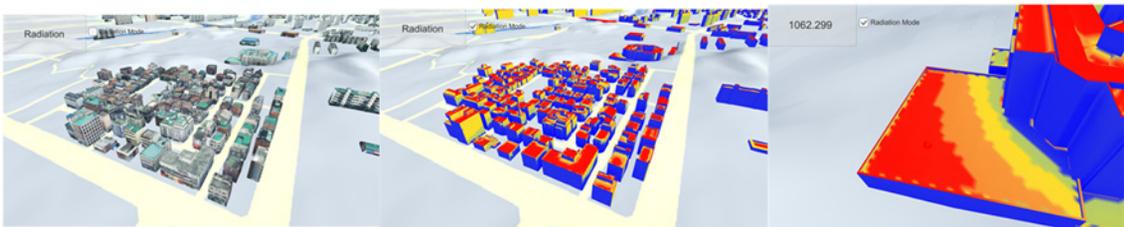
기존 태양광에너지 자원지도는 기상청과 한국에너지연구소에서 2차원적인 분

“ 3차원 태양광  
 자원지도는 BIPV  
 패널 설계의 기초  
 자료로 활용  
 가능 ”

석 사례가 있었고 서울시에서는 지면과 건물의 옥상면의 일사량을 분석하는 2.5차원의 햇빛지도를 서비스하고 있다. 하지만 건축물이 고층화되고 건물 전체 표면적에서 옥상면보다 입면의 비율이 높아짐에 따라 옥상면뿐만 아니라 입면의 일사량까지 표현되는 3차원 태양광에너지 자원지도가 필요하다고 판단하여 국내 최초로 대한민국 전역을 시뮬레이션할 수 있는 실시간 3차원 태양광 자원지도를 개발하였다. 이 솔루션은 건물의 옥상면뿐만 아니라 입면에 조사되는 일년 누적 일사량까지 제공하기 때문에 BIPV(Building Integrated Photovoltaic, 건물일체형태양광발전) 패널 설계시 기초 자료로 활용이 가능하다. 특히 직관적인 사용자 인터페이스를 제공하여 비전문가도 쉽게 3차원 태양광자원지도를 확인할 수 있게 되었다.

우리는 바람길 시뮬레이터도 일조 시뮬레이터와 마찬가지로 방식으로 전국 임의의

[그림 6] 건물의 입면까지 고려한 3차원 태양광자원지도



위치, 임의의 시간에서 모의영역에 대한 3차원 격자와 경계조건을 자동으로 생성하는 알고리즘을 개발하여 대기의 흐름을 계산하는 대기유동 시뮬레이터를 완성하였다. 이렇게 만들어진 일조, 바람길 시뮬레이터를 이용하여 건물의 입면체를 구성하는 형태를 변형함으로써 패시브적인 요소가 극대화된 건물의 모양을 결정할 수 있었으며, 일사 시뮬레이터를 이용하여 액티브적인 요소를 극대화 시키는 PV패널 위치를 모델링할 수 있었다. 현재는 건물의 단열재 및 창호 성능, 건물 구조 및 설비 등의 요소를 고려하여 건물 에너지 부하량, 에너지 소요량 등을 계산하여 제로에너지건축물 인증을 자동으로 계산하는 솔루션을 개발하고 있으며, 향후에는 인공지능이 사용자가 입력한 모의 영역에서 구현될 수 있는 최적의 제로에너지건축

물들을 추천해주는 서비스를 제공할 계획에 있다.

“ 원주민, 건축설계 사무소, MP, 공무원의 소통을 향상시키는 협업시스템 구축 ”

#### IV. 건축설계를 지원하는 가상현실 기반 협업 솔루션

4차 산업혁명 기술의 발전은 건축설계 과정에서 보다 창의적인 대안 도출에 더욱 힘을 쏟을 수 있는 시간을 확보하는 계기가 마련되고 있다. 우리는 기술발전으로 확보된 시간을 주민들이 참여하고 이해당사자들 간에 직관적으로 커뮤니케이션할 수 있는 가상현실 도구를 개발하였다. 특히 불광5구역 재개발단지에 적용하여 원주민과 건축설계사무소, MP(Master Planner), 행정공무원들의 소통능력을 향상시킬 수 있는 협업 시스템을 구축하였다.

불광5구역은 노후주택들이 밀집한 서울 은평구 소재 주거지로써 재개발 이후 약 2,200세대 규모의 아파트 단지를 추진하고 있다. 이곳의 재개발은 약 10년간 진행이 되고 있었으며 우리는 조합원들에게 빠른 피드백을 제공하기 위한 3차원 가상공간 가시화 및 실시간 편집 기술로 직관적인 상황판단을 할 수 있는데 도움을 주었다. 우리는 3장에서 소개한 인공지능 건축설계 솔루션을 이용하여 700여 개의 대안들을 도출하였으며, 그 중 세대수와 용적률, 일조량, 경관을 고려하여 3개의 최적안을 수립하였다.

이후 불광5구역에 대한 3차원 가상공간을 실시간으로 구축하였으며, 이것은 보다 직관적이고 현실감 있게 재개발 단지 시뮬레이션 영역을 체험할 수 있도록 도와 주었다. 이러한 가상공간 시뮬레이션 플랫폼을 구축하기 위하여 인공지능 건축설계 안에 대하여 게임엔진을 이용한 시뮬레이션 도구를 개발하였으며, 3차원 설계 정보 관리 및 편집이 가능하고 직관적인 사용성을 위하여 가상공간 조작기술을 개발하였다. 또한 언제 어디서든지 커뮤니케이션이 가능한 PC-스마트폰-VR기기 간 호환 가능한 멀티 플랫폼 솔루션과 기존 건축설계 시 활용되는 CAD 파일을 통한 정보 교환이 가능하도록 파일간 호환성 기술도 개발하였다.

그 결과 불광5구역에 대하여 3개 최종안을 도출하였으며, 그 중 조합원들이 원

[그림 4] 인공지능 건축설계 배치평면(左), 가상현실 기반 배치설계 대안들(右)



하는 세대수가 최대로 확보될 수 있는 3번째 안이 최종적으로 결정되었다. 인공지능이 건축 배치설계를 하고 이후 가상현실 기술을 이용하여 작업한 시간은 1시간 이하였으며, 이렇게 짧은 시간에 편집이 가능했던 이유는 건물의 이동/회전/층수조절에 따른 건축 법상 이격거리를 자동으로 반영하였기 때문이다.

## V. 맺음말

최근 4차 산업혁명 기술들이 발전함에 따라 건축산업에도 ICT 기술을 접목하려는 시도들이 등장하고 있다. 본사는 전통적인 건축설계 과정의 복잡성 및 반복성 극복을 위해 인공지능과 컴퓨팅파워를 이용함으로써 혁신적으로 시간을 단축시켜 주는 기술을 개발하였고, 건축설계 과정에서 기상/기후 데이터를 활용함으로써 친환경 건축 설계안들을 도출할 수 있었다. 그리고 인공지능과 가상현실, 빅데이터 등 4차 산업혁명 기술로 건축설계의 효율성뿐만 아니라 정확한 건물 에너지 계산을 통해 공사비 낭비요소를 제거하고 가능한 최적의 에너지 효율을 높일 수 있는 방향으로 건축 설계가 가능하도록 도움을 줄 수 있는 솔루션을 연구하였다. 최종적으로 개발된 기술들은 건축설계에 소요되는 시간과 비용을 크게 절감하고 도시 주거환경 관련 설계에서 검토와 계획에 불필요한 구조들을 최소화하여 건축설계자들의 친환경 디자인 능력과 전문성을 향상시키는데 기여할 것으로 예상된다.

## 참고문헌

- 안승만, 이호영, 성효현, 최영진, 우정현, 2011: 3D City모델과 CFD 모델을 통합한 대기환경 시각화 연구, 한국지형공간정보학회, 19(4), 13-21.
- 이호영, 2017: 인공지능 건축설계를 위한 학습용 도면 특징 추출에 관한 연구, 대한건축학회학술발표논문집, 37(2), 340.
- 이호영, 2018: 제로에너지향 건물일체형 태양광 최적 설계 솔루션, 대한건축학회학술발표논문집, 38(2), 270-271.
- S. M. An, B. S. Kim, H. Y. Lee, C. H. Kim, C. Y. Yi, J. H. Eum and J. H. Woo, 2014: Three-dimensional point cloud based sky view factor analysis in complex urban settings, *International Journal of Climatology*, 34(8), 2685-2701.
- S. M. An, H. Y. Lee, B. S. Kim, C. Y. Yi, J. H. Eum and J. H. Woo, 2014: Geospatial spreadsheets with microscale air quality visualization and synchronization for supporting multiple-scenario visual collaboration, *International Journal of GIS*, 28(12), 2511-2532.

# 실시간 수(水)재해 예측을 위한 기상정보 활용 방안

이병주 (주)핵코리아 이사, bjee0704@gmail.com

- I. 서론
- II. 도시침수 예측 시스템
- III. 가뭄전망 시스템
- IV. 제언

홍수와 가뭄을 비롯한 기상재해정보를 요리로 비유하면 기상정보는 메인 재료 중의 하나이다. 좋은 재료를 공급하는 것은 재료공급자의 의무이기는 하나 최종적으로 좋은 재료를 채택하고 요리를 얼마나 훌륭하게 만들지는 요리사의 몫이다. 현재 기상청은 AWS, ASOS, 레이더 QPF, 국지/지역 예보모델 등 수재해에 활용될 수 있는 다양한 종류의 강우 및 기상정보를 제공하고 있다. 수재해 예측분야에서는 현재 가용한 기상 정보와 재해모델링 기술을 최대한 접목하여 실시간 재해정보를 생산할 경우 그 결과물의 정확도와 현업에서의 활용정도가 어느 정도인지를 정확하게 파악할 필요가 있다. 또한 기상청은 기상정보를 활용하여 실시간으로 수재해 정보를 생산하는 수요기관(정부부처, 학계, 민간기업 등)의 커뮤니티를 활성화하여 지속적으로 수요자의 니즈를 파악하고 기상정보를 고도화하는 선순환 생태계를 조성함으로써 기상정보의 활용성과 가치가 높아 지기를 기대한다. ■

## 1. 서론

“ 수재해 피해  
저감 대책은  
구조적-비구조적  
대책으로 구분 ”

2016년 3월 이세돌과 알파고(AlphaGo)의 딥마인드 챌린지 매치에서 알파고가 4승 1패로 승리하면서 많은 사람들은 미래에 컴퓨터가 인간이 해결하지 못한 많은 숙제들을 해결하거나 기존 업무를 보다 효율적으로 정확하게 수행할 것이라는 기대 또는 우려를 했을 것이다. 대략 그 시점 이후에 국내에서는 응용과학 분야에서 인공지능(Artificial Intelligence; AI), 빅데이터(big data), 슈퍼컴퓨팅 기술 등의 관련 용어가 자주 등장하고 있다. 또한 2010년을 전후해서 최근까지 정보통신기술(ICT), 사물인터넷(IoT), 경량 센서, 플랫폼 구축에 대한 기술개발이 발전하면서 스마트 시티(Smart City) 개념이 도시개발에 도입되고 있다. 스마트 시티는 일반적으로 '도시에 ICT, 빅데이터 등 신기술을 접목하여 각종 도시문제를 해결하고 삶의 질을 개선할 수 있는 도시모델'로 정의되며 여기서 각종 도시문제는 교통, 환경, 에너지, 생활/복지, 경제, 안전 등 대부분의 도시문제를 포함한다. 이러한 시도는 농촌지역도 예외는 아닐 것이다. 특히 홍수와 가뭄에 대한 실시간 수재해 정보는 국민의 안전과 직결되므로 정보로서의 미래가치는 더 크다고 할 수 있다.

본 저자가 관심을 가지고 있는 수재해 분야는 크게 홍수와 가뭄으로 분류된다. 세부적으로 홍수는 대상지역 및 피해유형에 따라 하천범람, 내수침수, 산지돌발홍수, 연안홍수로 구분되고 가뭄은 원인을 해석하는 관점에 따라 기상학적, 농업적, 수문학적 가뭄으로 구분할 수 있다. 수재해 피해를 저감하기 위한 대책은 구조적 대책과 비구조적 대책으로 나뉜다. 구조적 대책은 홍수의 경우 홍수조절용 댐, 하천제방, 빗물펌프장, 빗물저류지, 우수관로 시설 등이며 가뭄에 대해서는 용수공급용 댐/저수지, 광역/지방 상수도 시설 등이 해당된다. 이러한 시설의 규모는 대부분 설계빈도 개념이 적용되어 설계 및 시공된다. 설계빈도는 구조물이 본연의 기능을 수행하지 못하는 경우 사회·경제적으로 미치는 영향 등 그 중요도에 따라 결정된다. 예를 들어 국토교통부에서 발간한 하천설계기준에 따르면 국가하천은 100년 빈도 이상, 지방하천은 50년 빈도 이상으로 규정되어 있다. 댐의 경우 2005년 국토교통부에서 발간한 「댐 설계기준」에 따르면, 댐높이 15m 이상의 대(大)댐은 가능

“ 비구조적 대책은  
홍수예측/가뭄전망,  
댐/저수지 최적운영,  
대피경보 체계가  
포함 ”

최대홍수량(PMF)으로 설계하도록 규정되어 있다. 소양강댐의 총저수용량은 29억 m<sup>3</sup>이며 댐 붕괴로 인해 일순간에 급류가 하류로 흘러내린다면 수많은 사상자와 이재민이 발생할 것이다. 2018년 7월에 발생한 라오스 댐 붕괴사례로부터 우리는 그 피해규모를 예상할 수 있을 것이다.

구조적 대책은 설계빈도 이하의 강우가 발생한 경우 안정적으로 물을 방류할 수 있다. 다만, 설계빈도 이상의 강우가 발생하면 더 큰 재앙이 발생할 수 있으므로 비구조적 대책이 수반되는 것이 바람직하다. 대표적인 비구조적 대책은 예측강우와 연계한 홍수예측체계 또는 가뭄전망 체계, 댐/저수지 최적 운영체계, 대피경보 체계 등이 해당된다.

통상적으로 구조적 대책을 수립하기 위해서는 확률강우량 개념을 적용하므로 장기간의 강우자료가 필요하며 비구조적 대책에서는 실시간 강우예측정보가 활

용된다. 본고에서는 저자가 소속 되어 있는 (주)핵코리아에서 운영하고 있는 수재해 관련 실시간 운영 시스템의 소개를 통해 기상청에서 제공하는 자료가 수재해 정보 생산에 어떻게 활용될 수 있는지를 소개하고자 한다.

[그림 1] 서울시 침수피해 사례

2010. 9.21 집중호우



- 시간당 강우량 98.5mm
- 피해건수 : 17,905건
- 서울 대부분 지역(도봉구, 노원구 제외)

2011. 7.27 집중호우



- 시간당 강우량 113.0mm
- 피해건수 : 14,806건
- 강남지역 대규모 침수(우면산 산사태)

2018. 8.28 집중호우

수도권 느닷없는 물폭탄...서울 곳곳 통제



- 시간당 강우량 95.5mm
- 피해건수 : 1,745건
- 강북구, 도봉구, 양천구, 은평구 등

2012. 8.15 집중호우

서울 여름철 집중호우 30년새 3배로 증가(종합)

평년 시간당 강우 시간당 30mm 이상 운양지



- 시간당 강우량 63.5mm
- 피해건수 : 447건
- 관악구, 강남구, 서초구 등

## II. 도시침수 예측 시스템

서울시는 2010년과 2011년 기록적인 호우로 인해 각각 만여 가구 이상에서 침수피해가 발생하였으며, 2018년 은평구를 포함한 강북지역에 30분 최대 59.5mm, 한

“ 서울시 도시침수  
예측시스템은  
10분~1시간 단위로  
강우/침수 정보를  
실시간으로 제공 ”

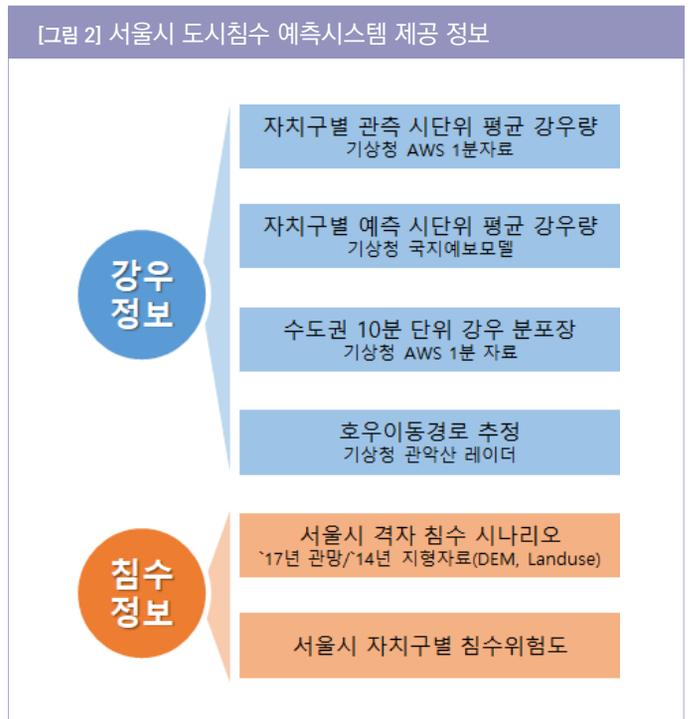
시간 최대 95.5mm의 강우가 발생하여 1,700건 이상의 침수피해가 발생하였다. 서울시는 집중호우에 따른 내수침수에 효율적으로 대응하기 위해 강우와 침수에 대한 예측정보를 활용하는 사업을 2018년부터 지속적으로 추진하고 있다. 2018년 사업명은 「서울시 강한 비구름 유입경로 및 침수위험도 예측 용역」이다. 본 사업의 목적은 다음과 같다.

- ▷ 수도권 강한 비구름의 서울시 유입경로 추정과 정량강우 예측정보를 이용한 자치구 단위의 효율적인 풍수해업무 지원체계 마련
- ▷ 도로단위 침수분석이 가능한 고해상도 침수해석기술을 통해 서울시 침수취약 지역 규명
- ▷ 정량강우 예측정보와 침수시나리오 정보를 이용한 침수위험지도 작성 및 실시간 풍수해 대응 업무 지원

집중호우 발생시 서울시는 자치구와 협력하여 대응하고 있으나 한정된 인적/물적 자원으로 인해 실질적으로 어려움이 존재한다. 따라서 관할 지역 내에서 발생한 강우량을 정확하게 파악하고 강우예측정보와 호우의 유입경로 추정을 통해 미래에 발생 가능한 침수지역을 대략적으로 추정할 수 있다면 대응자원을 효율적으로 운영할 수 있음에는 이견이 없을 것이다. 서울시 도시침수 예측 시스템은 접근의 용이성을 위해 웹기반으로 개발하였다(sims.hecorea.co.kr). 본 시스템에서는 [그림 2]와 같이 강우와 침수에 대한 정보를 실시간으로 제공하며, 시스템의 갱신주기는 강우정보의 종류에 따라 10분과 1시간으로 구분된다.

이를 위해 기상청으로부터 자동기상관측장

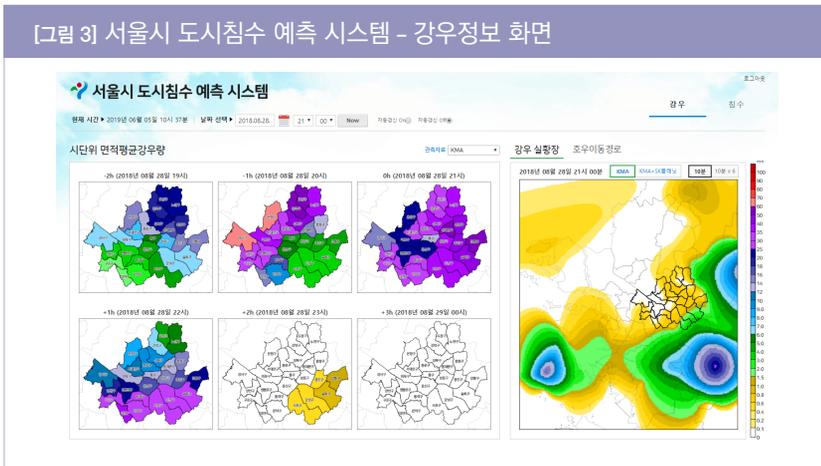
[그림 2] 서울시 도시침수 예측시스템 제공 정보



“ 기상청과 SK Planet  
강우자료를 결합한  
강우정보 생산 체계  
개발 ”

비(Automatic Weather System; AWS)의 1분 단위 강우관측자료, 국지예보모델(UM LDAPS) 강우예측자료, 관악산 레이더 원시자료(UF)를 실시간으로 수집하는 체계를 구축하였다. AWS 1분 강우자료로부터 10분 단위 강우분포장과 1시간 단위 자치구별 면적평균 강우량 자료를 생산하였다. 10분 단위 강우분포장은 서울을 포함한 수도권 지역에서 현재 집중호우가 발생하는 지역이 어디인지를 신속하게 파악할 수 있으며, 1시간 단위 자치구별 면적평균 강우량은 자치구별로 각각 관할 지역 내 발생한 강우량을 정량적으로 파악할 수 있는 정보가 된다. 추가적으로 민간기업인 SK Planet에서 서울시 영역 내에 250개의 우량계를 운영하고 있으며, 본 사업에서는 기상청 강우자료와 결합하여 강우정보를 생산할 수 있도록 개발하였다. 강우예측정보와 관련해서는 국지예보모델의 격자형태 예측자료로부터 자치구 단위 면적평균 강우량을 산정하여 미래 3시간 동안의 예측정보를 제공할 수 있도록 개발하였다.

[그림 3] 서울시 도시침수 예측 시스템 - 강우정보 화면



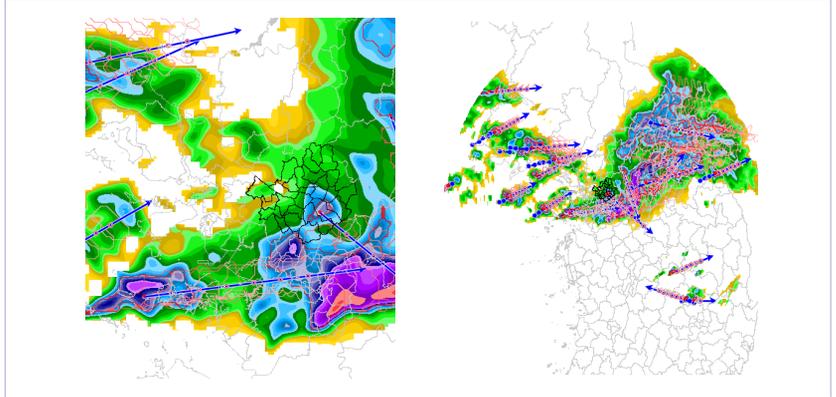
이상의 내용과 관련하여 개발된 시스템 화면은 [그림 3]과 같다. 좌측 6개 박스의 그림 중 상단 그림은 기상청 AWS로부터 과거 3시간에 대한 정시간 격 자치구 단위 면적평균 강우량을 의미하고, 하단의 그림은 국지예보모델의 미래 3시간에 대한 정보를 나타낸다. 우측의

강우실태장은 기상청 AWS 1분 자료를 이용하여 10분 단위 강우분포장을 생산한 결과이다.

호우이동경로는 레이더 원시자료로부터 TITAN (Thunderstorm Identification, Tracking, Analysis and Nowcasting)과 SCIT(Storm Cell Identification Tracking) 알고리즘을 결합하여 레이더 특성인자(최대반사도, 평균반사도, 최대

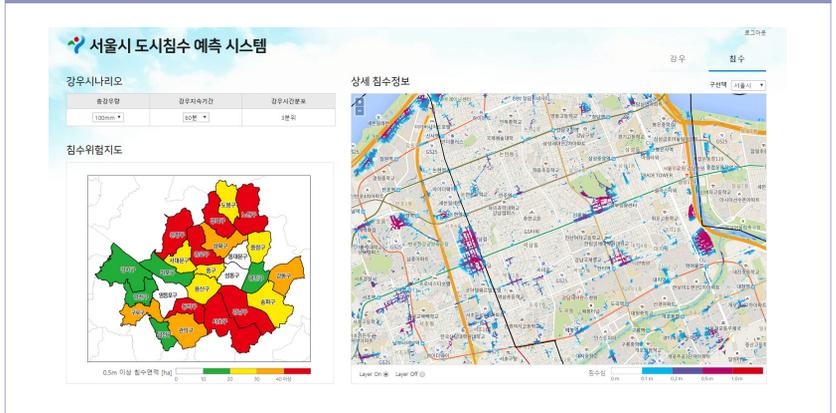
반사도 높이, 비구름 중심위치, 비구름 체적, 최대 수평크기, 최저고도, 최고고도 등)로부터 강한 호우를 정의하고 시간대별로 유사성을 분석하여 추정하였다. 화면 구성은 [그림 3]에서 우측 상단에 호우이동경로 메뉴를 통해 확인할 수 있다. 표출영역을 서울과 전국의 두 영역에서 확인할 수 있도록 구성하였다. [그림 4]는 서울(좌)과 전국(우) 표출 영역에 대한 2018년 8월 28일 호우사례이다.

[그림 4] 서울시 도시침수 예측시스템 - 호우이동경로: (좌) 서울시, (우) 전국 확대



침수정보는 서울시 전역에 대한 상세 침수정보와 자치구 단위 침수위험지도를 확인할 수 있도록 하였다. 최종적으로는 실시간으로 예측된 강우가 반영된 침수결과가 제공되는 것이 바람직하나 1차년도(2018년)에는 다양한 강우시나리오에 대한 침수결과를 제공하도록 사업범위가 확정되었다. [그림 5]에서 우측에 제공되는 상세침수정보는 서울시 전역에 대해서 6m 격자 크기의 침수정보를 제공하여 도로와 건물 단위의 침수 위험 정도를 파악하여 현장에서 저지대 주거민 대피 및 교통통제에 활용이 가능하며 좌측의 자치구별 침수위험지도는 자치구 단위에서 대략적인 침수위험도를 신속하게 파악하는데 활용이 가능할 것이다.

[그림 5] 서울시 도시침수 예측 시스템 - 침수정보



영된 침수결과가 제공되는 것이 바람직하나 1차년도(2018년)에는 다양한 강우시나리오에 대한 침수결과를 제공하도록 사업범위가 확정되었다. [그림 5]에서 우측에 제공되는 상세침수정보는 서울시 전역에 대해서 6m 격자 크기의 침수정보를 제공하여 도로와 건물 단위의 침수 위험 정도를 파악하여 현장에서 저지대 주거민 대피 및 교통통제에 활용이 가능하며 좌측의 자치구별 침수위험지도는 자치구 단위에서 대략적인 침수위험도를 신속하게 파악하는데 활용이 가능할 것이다.

“ 충청남도 가뭄전망 시스템은 8개 시·군, 소유역 436개, 농업용 저수지 129개의 정보를 생산 ”

### Ⅲ. 가뭄전망 시스템

가뭄은 점진적이고 광범위하게 발생하여 가뭄피해시점과 피해규모를 예상하기가 어렵다. 따라서 기상재해 중에서도 예측에 대한 불확실성이 상대적으로 크고 그 피해규모도 큰 특징을 가지고 있다. 2016년 국토교통부와 K-water에서 발간한 「2015년 가뭄기록조사보고서」에 따르면, 우리나라는 2000~2015년 동안 전국 또는 지역적으로 10년('00~'02, '06~'09, '12~'15년) 동안 가뭄피해가 발생할 정도로 가뭄이 빈번하게 발생하였다. 2000년에는 전남지역에 평년 강우량의 16~43%의 강수가 내려 184,411명이 제한급수 대상이 되었으며 연속해서 2001년에는 서울, 경기, 충청, 경북지역에 가뭄피해가 극심하여 86개 시·군, 93,615세대, 304,815명이 제한급수 대상이 되었다. 특히, 2015년에는 2014년부터 가뭄이 지속되어 2015년 11월 1일 기준 평년 대비 전국 평균 강수량이 62%, 중부지방은 45~54% 수준에 그쳐 전국적으로 가뭄이 극심하게 발생하였다.

본 절에서 소개할 충청남도 가뭄전망시스템(Drought Outlook System; DOS)은 2017년 환경부에서 발주한 「충청남도 가뭄조사 및 대책수립」사업의 수행결과

를 토대로 자체 개발한 웹기반 시스템(dos.hecorea.co.kr)이다. 시스템에 사용된 자료와 생산된 정보에 대한 현황은 [그림 6]과 같다. 대상영역은 충청남도 8개 시·군(보령, 서산, 당진, 서천, 청양, 홍성, 예산, 태안)이며, 소유역 436개, 농업용저수지 129개에 대한 정보를 생산한다. 최적 가뭄대응정보를 생산하기 위해서는 용수공급을 받는 수혜면적과 하천 및 저수지 현황을 고려하여 가능한 상세하게 구분해야 하고, 각 관리시설에 대한 가뭄정보를 제공하는 것이 바람직하다. 본 시스템은 일 단위로 실시간 운영된다.

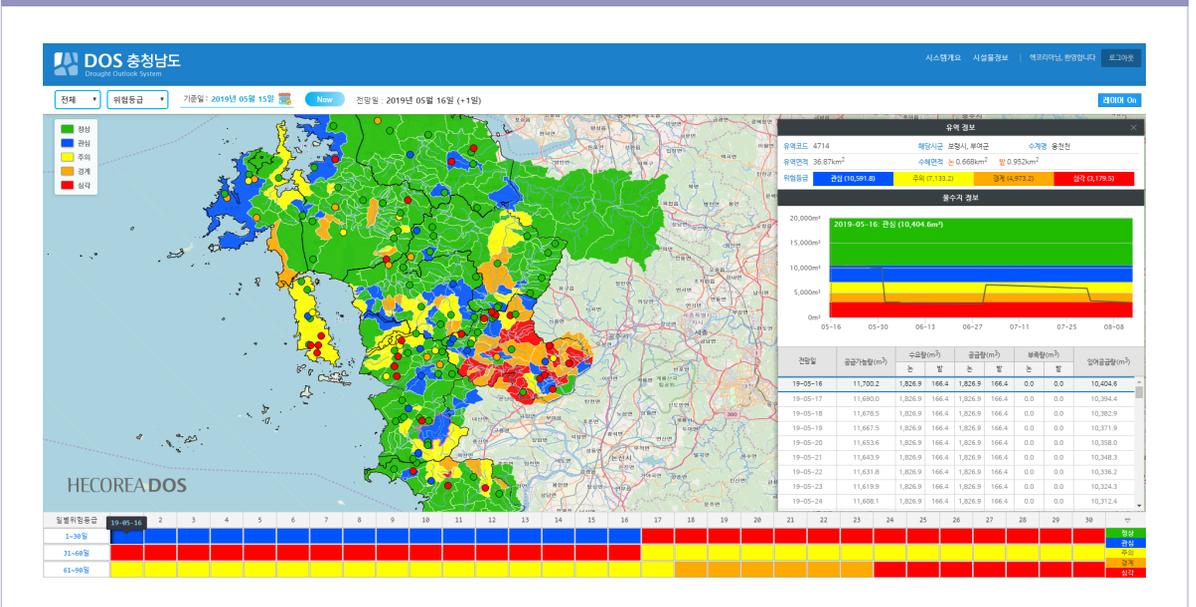
[그림 6] 충청남도 가뭄전망시스템 제공 정보



“ 현재일 기준 미래 90일의 무강수조건을 가정한 가뭄위험 등급 실시간 추정 ”

시스템에서는 미래에 대한 극한 가뭄상태를 전망하기 위해 현재일 기준 미래 90일의 무강수 조건에서 저수지와 하천의 물수지와 가뭄위험등급을 실시간으로 추정한다. 가뭄은 통상 기상학적, 농업적, 수문학적 가뭄으로 구분을 하고 다양한 가뭄지수(표준강수지수, 표준유량지수, 표준토양수분지수, 파머지수 등)로 표현이 된다. 다만, 현업에서 가뭄에 효율적·실질적으로 대응하기 위해서는 용수수요량에 대한 정량적인 물공급 가능성, 용수 부족량 정보가 필수적이라 할 수 있다. 이러한 가뭄정보를 생산하기 위해 본 시스템에서는 현재일 기준으로 과거 400일에 대해 기상청 AWS와 ASOS 일 단위 관측자료를 이용하여 소유역별 일 단위 면적평균 강수량과 잠재증발산량을 산정하고 미래 90일에 대해서는 무강수 조건과 일별 평균 잠재증발산량을 산정하여 적용하였다. 시계열 기상정보와 TANK 모델을 이용하여 각 소유역과 저수지에 대한 일 유량을 산정한다. 이수계통도 조사를 통해 각 소유역과 저수지에 대한 수요량을 파악하고 물수지 분석을 통해 미래 90일 내 수요량에 대한 공급가능량과 부족량을 산정하도록 시스템을 개발하였다. 또한 각 하천과 저수지는 각각 고유의 가뭄등급(관심/주의/경계/심각)에 대한 기준유량과 저

[그림 기 충청남도 가뭄전망시스템-주화면



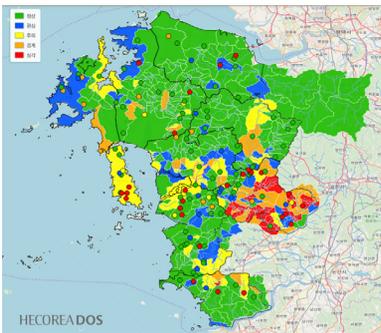
“ 가뭄전망시스템으로  
공급불량 발생 시점/  
부족량 추정,  
유역간 물 이동  
대책 가능 ”

수위 정보를 가지고 있으므로 시스템에서는 이를 활용하여 미래에 대한 일별 가뭄 등급을 제공한다.

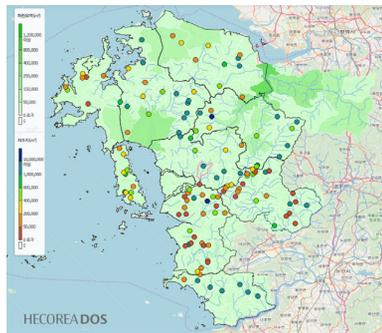
충청남도 가뭄전망시스템의 메인화면은 [그림 7]과 같다. 사용자는 지정한 날짜 기준 미래 90일에 대한 하천과 저수지의 가뭄위험등급과 물수지 정보를 확인할 수 있다. 좌측에는 공간정보를 이용하여 436개 소유역과 129개 저수지에 대한 가뭄 위험등급과 물수지 정보(공급가능량, 수요량, 공급량, 부족량, 잉여공급량)를 제공한다. [그림 8]은 각각의 물수지 정보별 공간분포를 예시한 결과이다. 우측에는 사용자가 지정한 시설물에 대한 제원정보와 지정된 날짜 기준 미래 90일에 대한 일 단위 시계열 물수지 정보를 제공한다. 하단에는 해당 시설에 대한 미래 90일의 일

단위 가뭄위험등급을 제공하도록 개발하였다. 가뭄 대응 업무 담당자는 본 시스템을 통해서 무강수가 지속되는 조건에서 각 하천 또는 저수지별로 공급불량이 발생하는 시점과 그 부족량을 추정할 수 있으며 잉여공급량 정보를 통해 유역간 물 이동 등의 대책을 수립할 수 있을 것으로 기대한다.

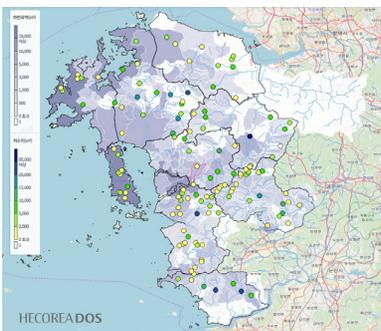
[그림 8] 충청남도 가뭄전망시스템-물수지정보 공간분포



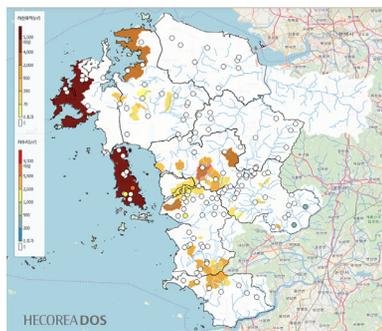
a) 가뭄위험등급



b) 공급가능량



c) 년 수요량



d) 년 부족량

“주어진 기상정보로  
유의미한 정보 및  
분석기능을 만드는  
것은 사용자의 몫”

## IV. 제언

최근 빅데이터 분석을 통한 유의미한 정보의 생산 및 활용이 활발해지면서 공공기관의 정보도 다양한 형태로 공개되고 있다. 기상청 또한 시대의 흐름에 맞게 AWS, ASOS, 레이더, 수치모델 등 다양한 소스의 기상정보를 실시간으로 제공하고 있다. 홍수와 가뭄을 비롯한 기상재해정보를 요리로 비유하면 기상정보는 메인 재료 중의 하나이다. 좋은 재료를 공급하는 것은 재료공급자의 의무이기는 하나 최종적으로 좋은 재료를 채택하고 요리를 얼마나 훌륭하게 만들지는 요리사의 몫이다.

홍수와 가뭄 등 수재해 정보에 국한해서 보면, 재해정보를 생산하는 그룹에서의 기상정보에 대한 요구사항은 작은 이점이 있을 수는 있겠으나 일반적으로는 다음과 같이 정리될 수 있을 것이다.

- ▷ 홍수: 미래 48시간, 격자 크기 1 km 이내, 자료시간간격 10분의 강우예측정보
- ▷ 가뭄: 미래 3개월, 격자 크기 1 km, 자료시간간격 일 단위의 기상전망정보

현재 기상청의 레이더 기반 정량강수예보, 국지예보모델, 지역예보모델 등은 민간에서 요구하는 기상정보의 제원은 현재 어느 정도 충족이 되며 또한 향후에 충족될 가능성이 매우 높다고 할 수 있다. 기상정보 수요자 입장에서 정보 제공이 충족되면 필연적으로 ‘정보의 정확도’로 관심이 옮겨간다. 우리가 요구하는 기상정보가 미래 어느 시점에서 홍수와 가뭄을 유발하는 극한의 기상상황에 대한 정량적인 끊임을 고려할 때, 정확한 기상예측은 기상청의 영원한 숙제일 것이다. 기상청이 지속적으로 기상예측기술의 고도화를 통해 기상예측정보의 정확도를 개선하기 위한 노력을 경주하고 있음을 믿는다. 주어진 기상정보를 활용하여 유의미한 정보 또는 분석기능을 만드는 것은 사용자의 몫이다. 우리는 현재 가용한 기상정보와 재해모델링 기술을 최대한 접목하여 실시간 재해정보를 생산할 경우 그 결과물의 정확도와 현업에서의 활용정도가 어느 정도인지를 정확하게 파악할 필요가 있다. 건물, 지형, 우수관로, 빗물펌프장/저류지, 외수위 등을 고려해야 하는 도시침수, 토지이용, 토양, 하천형상 등에 영향을 받는 하천홍수, 산지계곡(건천) 또는 소유역에서의 수

“ 강한 호우에 대한  
정량예측 정확도  
개선을 기대 ”

문반응해석이 필요한 산지돌발홍수 현상과 수문반응을 검증할 수 있는 관측자료의 부재를 고려할 때 지표현상을 해석하는 과정에서 발생하는 불확실성도 필연적이라 할 수 있다. 더불어 실시간 운영체계는 기상자료 구축, 자료 품질관리, 모델링, 자료동화, 후처리의 과정이 실시간으로 이루어져야 하므로 모의시간, 초기값 설정, 시스템 안정성 등 다양한 문제가 유발될 수 있다. 따라서 수재해 분야에서도 기상정보의 한계를 이해하는 노력과 함께 현재 기술수준을 정확하게 파악하고, 수재해 해석기법과 실시간 운영체계 구축에 대한 고도화를 지속적으로 경주해야 할 것이다.

기상청에서 제공하는 정보가 수재해 분야에서 어떻게 활용이 가능하며 그 정확도와 활용도가 어느 정도인지를 파악하는 것은 공급자 측면에서 매우 중요하다. 기상청에서도 자체적으로 이에 대한 노력을 하고 있으나 수재해 분야 전반에 대해서 지속적으로 그 활용성을 파악하는 것은 한계가 있을 것이다. 따라서 기상청은 기상정보를 활용하여 실시간으로 수재해 정보를 생산하는 수요기관(정부부처, 학계, 민간기업 등)의 커뮤니티를 활성화하여 지속적으로 수요자의 니즈를 파악하고 기상정보를 고도화하는 선순환 생태계를 조성함으로써 기상정보의 활용성과 가치가 높아지기를 기대한다. 마지막으로 수재해 분야에서 필요한 강한 호우에 대한 정량적인 강우예측정보의 정확도 개선이 지속적으로 이루어지기를 바란다.

# 복합재난대응 연구사례 중 도심지 침수 현상을 중심으로



백용 한국건설기술연구원 복합재난대응연구단 단장, baek44@kict.re.kr  
 이동섭 한국건설기술연구원 복합재난대응연구단 연구위원, dsrhee@kict.re.kr  
 김형준 한국건설기술연구원 복합재난대응연구단 수석연구원, john0705@kict.re.kr

- I. 현황 및 연구 필요성
- II. 대응방안
- III. 도심지 침수피해
- IV. 복합시설 침수대응 기술 개요
- V. 향후 전망 및 기대

## I. 현황 및 연구 필요성

최근 기후변화, 도시화, 산업화, 인구밀도 증가 등으로 재난발생요소 간의 상호작용 증대에 의한 위험성이 증가하고, 실제로 대형재난이 빈번하게 발생하고 있다. 단일재난이 발생한 후 다양한 요인으로 연속적 또는 동시다발적으로 2차 재난이 발생하는 복합재난의 형태가 증가하고 있다. 복합재난은 사회 전반에 영향을 미치고 피해규모가 천문학적일 뿐만 아니라 단일 지역 또는 국가를 넘어 국제적인 영향을 미칠 수도 있다. 국외에서 발생한 복합재난의 대표적인 사례로는 2005년 미국 뉴올리언즈의 허리케인 ‘카트리나’와 2011년 일본의 ‘동일본 대지진’이 있다. 허리케인 카트리나에 의한 주요 피해는 폰차트레인 호수의 제방붕괴로 인한 도시지역의 침수피해이지만, 이재민 수용시설과 폐허가 된 시가지에서 발생한 약탈, 방화 등의 범죄로 인한 피해도 발생하였다. 동일본 대지진의 경우 규모 9.0의 지진으로 건물붕괴, 지반침하, 대형화재가 발생했고, 대형 쓰나미로 인한 도시 침수와 원전폭발의 2차적인 재난이 동시에 발생해 2만여 명의 사망·실종자, 20여만 명의 이재민, 350조 원 이상의 재산피해를 가져왔다.

국내 또한, 집중호우, 태풍, 폭설 등과 같은 자연재난에 의한 피해를 해마다 겪고 있으며, 크고 작은 화재, 가스폭발, 원유유출 등과 같은 사회재난에 의한 피해도 지속적으로 발생하고 있다. 국내는 2003년 대구지하철 참사를 계기로 통합재난관리의 필요성이 제기되어 2004년 3월 「재난 및 안전관리 기본법」을 제정하고, 각종 재난 유형별로 분산되어 있던 주관기관의 임무를 통합·관리할 수 있는 근거를 마련하였다. 이후, 복합적으로 발생하는 재난을 통합할 수 있는 정부기관의 유기적인 운영은 다방면으로 모색되고 있으며, 이에 대한 기술적인 지원을 수행할 수 있는 연구개발이 필요하게 되었다.

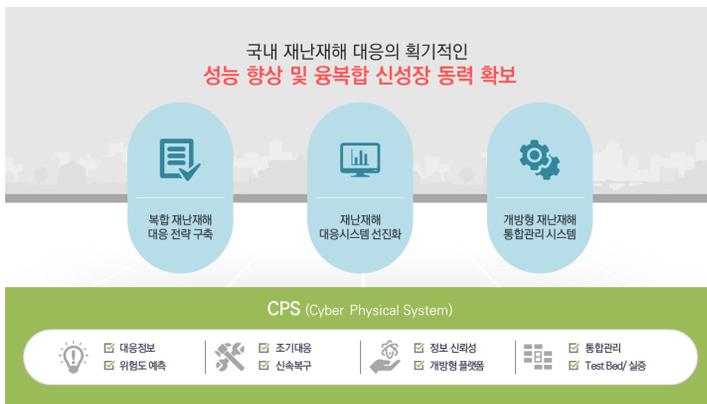
## II. 대응방안

한국건설기술연구원의 복합재난대응연구단에서는 지진, 화재, 침수에 의해 발생하는 복합재난으로부터 국민들의 안전한 생활을 도모하고자 한국과학기술정보연구원, 한국지질자원연구원, 한국철도기술연구원의 연구자들과 함께 해결책에 대한 연구를 수행하고 있다. 복합재난대응연구단은 재난재해 정보수집 시스템 개발, 복합재난 분석 및 거동 예측기법 개발, 조기대응 및 신속복구 기술 개발, 재난재해 대응 통합 정보플랫폼 개발 등 4개의 핵심 기술을 개발하고 있으며, 최종적으로는 통합된 형태의 CPS(Cyber Physical System) 구축을 목표로 개발 기술의 실용화를 추구하고 있다. 또한 초고층 복합시설의 재난에 대한 체계적 관리를 통해 피해 최소화

를 위한 대응 전략을 수립하고 있다[그림 1].

본 고에서는 기상이변과 관련하여 매년 문제가 되고 있는 도심지 돌발홍수와 침수피해 현상에 대하여 중점적으로 논의한다. 이외 연구단에서 수행하고 있는 재난연구에 대하여는 다음 기회에 게재하고자 한다.

[그림 1] 복합재난대응연구단 연구목표





### Ⅲ. 도심지 침수피해

국내의 대표적인 자연재난은 홍수로서 태풍과 호우에 의한 피해가 전체 자연재난의 90% 이상을 차지한다. 홍수피해는 기후변화로 인한 집중호우의 빈발로 하천홍수에서 점차 도시홍수로 그 발생장소가 변화하고 있는 상황이며 주요 도시에서도 매년 침수피해가 발생하고 있다. 2010년 중부지방 집중호우로 인하여 수도권 일대에 강물이 범람하고 저지대가 침수되어 주택 23,387채가 침수되었으며, 우면산 산사태로 인하여 다수의 사상자가 발생하였다. 2014년도에는 부산 및 경남지역에 내린 249mm 이상의 강수로 인하여 2 명이 사망하고 1,300억 원 이상의 재산 피해가 발생하였다. 부산지하철은 침수피해로 인하여 운행이 중단되었으며, 산지와 인접한 지역에서는 급류와 산사태로 인한 재산 및 인명피해가 발생하였다. 2016년 울산에서는 태풍 '차바'의 급습으로 시간당 최대 139mm의 비가 내려 도심이 마비되었다. 침수로 인하여 곳곳에 주민이 고립되었으며, 기업과 공장들은 장비가 침수되어 조업을 중단하기도 하였다. 2017년도에는 중부지방에 내린 집중호우로 인하여 충청도 일대가 홍수피해를 입었다. 청주시의 경우 3일간 290mm의 강우로 산사태 및 저지대 침수가 발생하였다. 이로 인해 주택과 건물이 80 채 이상 침수피해를 입고, 5 명이 사망하였으며, 780억 원 이상의 재산피해가 발생하였다(그림 2).

UN산하 기후변화 정부협의체인 IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change)는 기후변화 등의 영향으로 강수량이 크게 증가할 것으로 예상하였다. 21세기 중반까지 10.5%, 특히 우리나라는 13% 이상 증가할 것으로 보고 있다. 실제로 최근에는 단기간 집중호우로 인해 도시지역에서 광범위한 침수피해가 빈발하고 있으며, 상습수해지구의 73%가 대부분 도시지역인 것으로 확인되고 있다. 고밀화된 대도시의 지하공간은 지하철, 상가, 주차장, 변전소, 공동

[그림 2] 도심지역 침수발생 사례



구 등으로 다양하게 활용되고 있는데, 지하 침수피해가 발생하면 도시기능이 마비되고 인적/물적 피해가 복합적으로 발생하게 된다. 이와 같은 도심홍수에 의한 복합재난은 2014년 부산, 2016년 울산의 홍수를 통하여 이미 사례를 경험하였다. 하지만 홍수로 인하여 발생하는 복합재난에 대한 체계적인 연구나 대응방안은 부족한 실정이다.

## IV. 복합시설 침수대응 기술 개요

본 연구단에서는 11층 이상, 1일 수용인원 5천 명 이상인 지하역사 또는 지하도상가와 연결된 건축물을 대상으로 침수피해 저감을 위한 연구를 수행하고 있다. 침수대응을 위하여 ①재난/재해 정보수집 기술, ② 복합재난 분석 및 거동 예측 기술, ③조기대응 및 대피 기술의 3가지 분류의 요소기술을 개발하고 재난/재해 대응을 위한 통합정보 플랫폼과 관련기술의 성과를 연계하여 침수대응 효과를 극대화 하고자 한다.

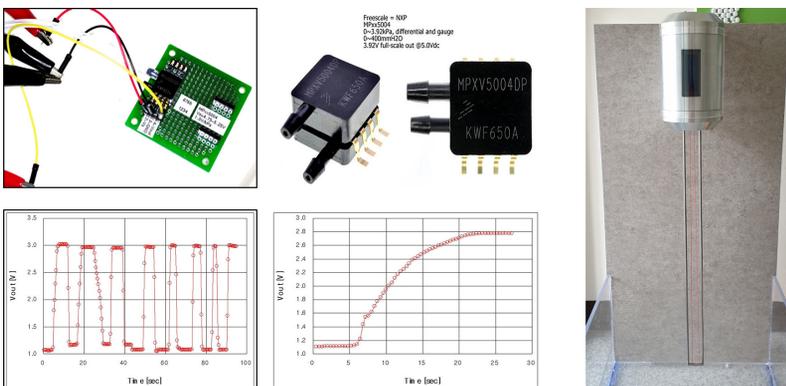
### 4.1 모니터링 기술

국내외적으로 수심 및 유량관측에 관한 기술은 하천의 홍수위 관측을 중심으로 발전하였으며, 도심지 및 건축물 내부에서 발생하는 침수 관측 기기의 개발은 미흡한 상태이다. 건축물의 지하공간 침수는 하천과 달리 낮은 수심의 관측이 필요하며, 작은 규모의 관측기기를 이용

할 수 있어야 한다. 아울러 소규모 전력 기기를 운영할 수 있어야 하며, 관측값을 관리시스템으로 전송할 수 있는 통신기능 탑재가 요구된다.

본 연구단에서는 각종 수위관측기기의 특성을 분석하고, 지하공간 침수관측에 적합한 센서형태를

[그림 3] IoT 기술을 접목한 침수관측 기기





선정하였다. 하천수위관측소에 설치되어 있는 대형 통신시설, 전원장치 등의 부대시설을 소형화하여 적용할 수 있는 기술이 필요하므로, 관측기기에 IoT기술을 적용한 소형 침수발생 모니터링 기기를 개발하였다(그림 3). IoT 센서를 이용하여 복합시설 주변 지역에서 발생하는 침수를 사전에 감지하고, 침수방지시설 및 CPS 시스템과 연계하여 침수예측 정보 제공 및 최적 대피로 도출을 위한 기본정보 제공 도구로 활용할 계획이다.

#### 4.2 침수 예측 기술

도심지에 내린 강우는 중력에 의해 저지대로 이동하며, 노면을 따라 유하하는 우수는 다양한 경로를 통해 지하로 침투한다. 출입계단을 통해 다량의 빗물이 복합시설로 유입되어 침수 피해가 발생하는 경우 아래층으로 향하는 물이 급류를 형성하여 낮은 수심에서도 매우 빠른 유속이 발생하고, 이에 따라 수압과 운동량이 증가하여 인명피해나 재산손실을 발생시킬 수 있다. 기존의 침수 예측 기술은 하천의 수위상승에 의하여 제방내의 농경지 및 인구밀집지역에 발생하는 범람홍수를 예측하는 기술을 중심으로 개발되었다. 도심지의 경우 과도한 강우량이 우수관거를 통하여 배제되지 못하여 노면잔류유량에 의한 침수를 예측하는 기술 위주 개발되었다.

이에 본 연구단에서는 건축물 지하공간에서 발생하는 침수현상을 모의할 수 있는 수치모형을 개발하고 테스트베드에 적용하여 침수진행 예측과 정량적 피해지수의 산정을 수행하고 있다. 다층으로 구성된 지하복합시설에 대하여 3차원 모형을 적용하는 경우 많은 계산자원이 필요하므로, 2차원 해석 기술을 기반으로 다층의 공간에 대한 침수해석을 수행할 수 있는 준

그림 4 준3차원 침수 예측 기술 개념



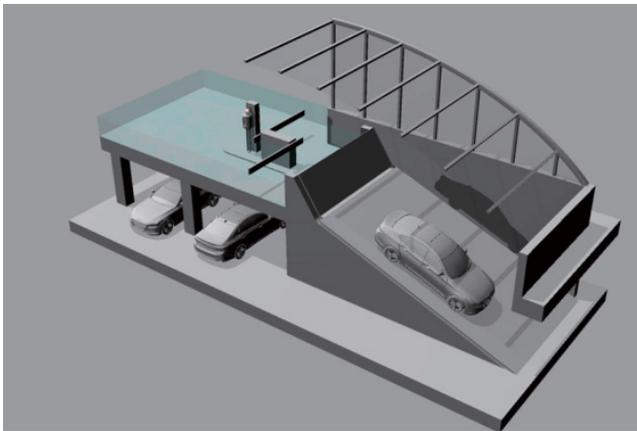
3차원 침수해석모형을 적용하였다. 적용된 모형의 정량적 정확성 검증을 위하여 수리모형실험을 같이 수행하고 있으며, 계산효율 향상을 위한 병렬처리기법의 도입도 모색하고 있다(그림 4).

### 4.3 침수방지시설

건축물 주변이 침수되어 지하공간으로 침수가 확산될 위험성이 있는 경우, 유입구로부터 침수를 차단하는 것이 가장 바람직한 침수대응 방법이다. 본 연구단에서는 침수방지시설을 설치하고 도심지역 침수상황이 해제되는 시간까지 침수를 지속적으로 방지할 수 있는 침수방지시설을 개발하고 있다. 도심지역의 우수처리시설의 설계빈도는 10~30년이므로 이를 상회하는 설계빈도에 대응할 수 있으며, 하천의 침수로 인하여 제내지가 침수되는 경우 수위가 저감되어 위험성이 감소하기까지의 시간을 목표로 최대 18시간 동안 침수방지성능이 구현될 수 있는 시설을 개발하고 있다(그림 5).

국내의 기존의 침수방지시설은 외수범람에 의한 도심지역 홍수범람구역의 확장을 제어하고 홍수류를 전환하여 홍수피해를 경감시키는 것을 주목적으로 하고 있다. 건축물 내부로 유입되어 지하공간에서 발생하는 홍수피해 경감을 위한 침수방지시설과 관련된 정량적인 연구사례는 부족하며, 기존에 설치되어 있는 침수방지시설에 대한 성능검증 또한 미흡한 상황이다. 이에 본 연구단에서는 차별화된 침수방지벽을 설계하고 성능검증을 위한 수리실험을 병행하며 기술을 개발하고 있다.

[그림 5] 침수방지시설을 활용한 침수대응





## V. 향후 전망 및 기대

본 연구단의 핵심목표는 재난/재해의 피해를 경감시키고 신속하게 정보를 제공할 수 있는 통합플랫폼을 개발하는 것이다. 지진/화재/침수 감지-예측-대응에 이르는 일련의 절차를 IT기술과 융합하여 기존의 '경험과 직관'의존적 대응에서 발전된 재난/재해 대응기술을 개발하고자 노력하고 있다. 그리고 개발기술의 실증을 위하여 운영 중인 시설물을 테스트베드로 설정하고, 재난/재해 관련 정보를 3차원 건설공간정보 기반으로 제공하는 CPS를 구축하고 있다.

본고에서는 침수 현상을 중심으로 개발기술에 대하여 소개하였다. 이외에도 국가가 지정한 자연재난과 인위재난을 대상으로 정보를 업로드할 수 있도록 플랫폼을 개발하여 제공할 것이다. CPS는 재난 발생시 미리 구축된 시나리오에 따라 실시간으로 재난의 종류와 위치, 규모 등을 산정하고, 산정된 단계에 적합한 대응이 시스템적으로 이뤄질 수 있도록 지원한다. 이러한 일련의 체계화된 재난/재해 대응기술은 담당자의 감각적 판단 능력에 더해져 독립적으로 재난 대응 활동이 신속하고 체계적으로 이뤄지는데 도움을 줄 수 있다. 본 연구단의 성과를 활용하면 통합 정보 기반의 피해예측분석 기술을 근거로 한 복합재난 확산 차단에 의한 피해 최소화를 실현해 재난 복구비용 절감에도 기여할 전망이다.

## 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
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 <sub>2</sub> ) 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	• 기후변화통합영향평가에 대한 국가기후정보의 역할	전성우	4-11
	• 친환경 도시 관리를 위한 기후 정보 구축 방안	권영아	12-22
	• 기상정보의 농업적 활용과 전망	심교문	23-32
	• 기상자료 활용에 의한 산불위험예보 실시간 웹서비스	원명수	33-45
	• 경기도의 기상·기후정보 활용	김동영	46-57
	• 국가기초풍속지도의 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
• 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
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	예상욱	6-17
	• 교통안전관리를 위한 도로기상정보 활용	손영태	18-30
	• 태풍 재해 리스크 관리를 위한 영향예보	이은주	31-40
	• 기상, 기후 그리고 숲과 사람	박주원	41-55
	• KISTI 재난대응 의사결정지원시스템(K-DMSS) 소개	조민수	56-70
논 단	• 기상예측정보를 활용한 농경지 물사용 영향예보	최진용, 홍민기, 이성학, 이승재	71-81
	• 화재 기상예보 서비스	류정우, 권성필	82-92
포 커 스	• 오픈데이터와 일본기상비즈니스 컨소시엄	정효정	93-107

### 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