

기상기술정책

METEOROLOGICAL
TECHNOLOGY &
POLICY



“기상산업의 현황과 전략”

칼럼

- 기후변화시대, 기상산업 발전상

정책초점

- 기상산업의 중요성과 전략적 위치
- 기후변화가 산업에 미치는 경제적 영향과 적응대책
- 기후경제학의 대두와 대응 전략
- 기후변화와 신재생에너지 산업
- 기상산업 육성을 위한 정책대안 모색
- 미국 남동부의 응용기상산업 현황
- 최근 황사의 특성 및 산업에 미치는 영향

논단

- A brief introduction to the European Cooperation in the field of Scientific and Technical Research (COST)
- 우주환경의 현황과 전망

해외기술동향

- 유럽의 기후변화 시나리오 불확실성 평가
- 미국 NOAA의 지구 감시 현황

2008.6



기 상 청
Korea Meteorological Administration

『기상기술정책』

제1권 제2호(통권 제2호)

2008년 6월 24일 발행

등록번호 : 11-1360395-000017-09

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

본 『기상기술정책』지는 기상과 기후 분야의 주요 정책적 이슈나 현안 과제에 대하여 집중적으로 논의하고, 이와 관련된 해외 정책동향과 연구 자료를 신속하고 체계적으로 수집하여 제공함으로써 기상청의 정책 입안과 연구개발 전략 수립에 기여하고자 정기적으로 발행하고 있습니다.

본지에 실린 내용은 집필자 자신의 개인 의견이며, 기상청의 공식의견이 아님을 밝힙니다. 본지의 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 채택되신 원고에 대해서는 소정의 원고료를 지급하고 있습니다.

▶ 원고매수: A4 용지 10매 내외

▶ 원고마감: 수시접수

▶ 보내실 곳 및 문의사항은 발행처를 참고 바랍니다.

『기상기술정책』 편집위원회

발행인 : 정순갑

편집기획 : 국립기상연구소 정책연구팀

편집위원장 : 최치영

편집위원 : 권원태, 김백조, 김성균, 서명석,
전용수, 조석준, 최영진

편집간사 : 김지영

발행처

주소 : (156-720) 서울시 동작구 기상청길 45 기상청

전화 : (02) 6712-0235 팩스 : (02) 849-0668

E-mail : jykim@kma.go.kr

인쇄 : 미래미디어

Contents



“기상산업의 현황과 전략”

칼럼

- | | |
|--------------------------|---|
| • 기후변화시대, 기상산업 발전상 / 봉종현 | 1 |
|--------------------------|---|

정책초점

- | | |
|------------------------------------|----|
| • 기상산업의 중요성과 전략적 위치 / 이중우 | 5 |
| • 기후변화가 산업에 미치는 경제적 영향과 적응대책 / 한기주 | 14 |
| • 기후경제학의 대두와 대응 전략 / 임상수 | 23 |
| • 기후변화와 신재생에너지 산업 / 구영덕 | 34 |
| • 기상산업 육성을 위한 정책대안 모색 / 김준모, 이기식 | 46 |
| • 미국 남동부의 응용기상산업 현황 / 임영권 | 55 |
| • 최근 황사의 특성 및 산업에 미치는 영향 / 김지영 | 65 |

논단

- | | |
|--|----|
| • A brief introduction to the European Cooperation in the field of Scientific and Technical Research (COST) / Radan Huth | 71 |
| • 우주환경의 현황과 전망 / 안병호 | 82 |

해외기술동향

- | | |
|---|-----|
| • 유럽의 기후변화 시나리오 불확실성 평가 :
EU(유럽연합) 기후변화 프로젝트를 중심으로 / 임은순 | 93 |
| • 미국 NOAA의 지구 감시 현황 / 전영신 | 104 |

기후변화시대, 기상산업 발전상

봉 중 헌

한국기상산업진흥원 원장

bongjh@freechal.com

인류 역사가 시작된 이래 날씨와 기후는 인간의 생활과 밀접하고 산업 및 경제전반에 걸쳐 큰 영향을 미쳐 왔다. 생활이 발전함에 따라 기상변화는 인간 활동에 많은 영향을 주고 있으며 특히, 최근 전 세계적으로 기상이변이 빈발하고 재해규모가 대형화되면서 날씨가 각 산업분야에 미치는 파급효과는 더욱 커지고 있다.

최근 5년간을 살펴보아도 전 세계적으로 태풍, 지진, 홍수, 폭설, 폭염 등 자연재해가 끊임없이 발생하고 있으며, 2003년 유럽 폭염으로 3만 5천여명의 인명피해와 130억 달러에 이르는 경제적 피해가 발생하였다. 2005년 8월 뉴올리언스를 강타한 허리케인 ‘카트리나’는 1,300여명의 사망자와 2,000억 달러에 이르는 경제적 피해를 발생시켰으며, 이에 따른 보험피해액도 600억 달러에 이르는 등 역대 최고치를 경신하였다. 올해는 5월 2일에 미얀마 사이클론과 5월 13일 중국 쓰촨성에서는 7.8규모의 대지진으로 각각 수만에서 수십만 명의 인명피해가

발생하였다. 이들로 인한 유가 급등, 관광산업 부진, 식량 부족등 자연재해로 인한 그 여파 또한 크다고 할 수 있다.

한편, 우리나라도 예외가 아니어서 2003년 9월 12일에 태풍 ‘매미’가 한반도를 상륙하면서 인명피해는 사망·실종이 130명, 재산피해는 4조 2천억여 원이나 되어 우리나라에서 가장 강한 태풍으로 기록되었다. 하지만 아직까지도 이러한 기상재해에 대해서 단순히 재해대비시설의 미비나 일기예보의 문제라고 인식하는 차원에 머물고 있다. 이러한 국가적인 문제를 해결하기 위해서는 「기상산업」이라는 분야를 발전시켜 나가지 않고서는 근원적인 기상재해 극복은 영원히 불가능하다고 본다.

기상산업은 기상관련 상품 또는 용역을 생산 또는 공급하는 산업을 총칭한다. 이를 좀 더 세분화하면 기상정보의 가공 또는 원시자료 형태로 보급·판매하는 기상예보업, 기상현상에 관한 감정을 행하는

기상감정업, 기상측기의 제조·판매·설치 등을 담당하는 기상장비업, 기상관련 경영지원 및 전략수립 등에 관한 서비스를 제공하는 기상컨설팅업, 기상 관련 보험 상품의 개발·판매, 파생상품 거래 등을 행하는 기상금융업 등이 포함된다. 좀 더 넓은 의미로 보면 기상재해 예방 및 복구산업은 물론 기후변화 감시 및 분석사업, 온실가스 감축을 위한 기후변화 대응사업, 기상영향평가사업 등도 포함된다.

우리나라에 기상사업자 제도가 태동한 1997년만 해도 돈을 주고 기상정보를 구매하는 기업이 드물었고, 기상정보도 방송과 FAX를 통해 대부분 유통되었다. 그러나 현재는 기상 및 기후변화가 기업경영에 있어 중요한 역할을 담당하게 되었고, 인터넷 및 모바일 서비스는 물론이며, DMB, 네비게이션 등 첨단 통신 및 다양한 매체를 통한 서비스가 확대되면서 기업들도 기상정보를 구매해야 한다는 인식이 점차 높아지고 있다. 기상사업자제도는 앞에서 말했듯이 1997년 7월에 처음으로 도입되어 2008년 현재 13개 업체가 영업활동을 하고 있다. 1997년 4억 7천만 원에 불과하던 매출 규모가 최근 2006년에 192억 원, 2007년에는 290억 원으로 약 40~50배 정도 성장하는 등 우리나라 기상산업의 연간 매출액 규모는 점진적인 증가 추세를 보이고 있다. 그러나 미국(연간 1조 원)이나 일본(연간 5,000억 원) 등 기상선진국과 비교할 경우 각국의 경제규모를 감안하더라도 우리나라 기상산업 시장규모는 대단히 미약한 수준에 머물러 있음을 알 수 있다. 기업의 기상정보 활용 형태는 일차적으로 무상의 기상정보를 필요로 할 때 활용하는 초급 수준, 기상사업자로부터 기상정보를 유료로 제공받으며 적극적으로

활용하는 중급 수준, 그리고 날씨에 민감한 업종에서 자체 기상정보 시스템 개발을 위해 투자하고, 기상정보를 활용하여 대책 수립으로부터 기상재해 극복기술 및 날씨관련 신기술 등이 적극 개발되는 고급 단계로 나눌 수 있다. 현재 우리나라에서는 기상정보를 건설, 놀이공원, 해운업, 제조업, 유통업 등의 일부 기업들만이 활용되고 있는 실정이다. 이에 반해 미국에서는 동네 슈퍼마켓에서도 그날 진열할 상품을 선택할 때 유려의 맞춤형 기상정보를 활용하며, 선진국의 경우는 기상정보는 이미 경제 침체를 헤쳐 나가기 위한 대안으로 블루오션 산업으로 성장하고 있는 것을 감안한다면 잠시 거론된 우리나라 기업들의 기상정보의 활용가치는 매우 미비한 것이다.

앞으로 기상산업의 발전을 위해서는 기상정보의 경제적 가치 평가에 관한 연구를 강화하고 각 산업분야에서 기상정보 활용효과에 대한 분석연구를 지속적으로 추진해야 할 것이다. 또한 기업체 관계자를 대상으로 날씨정보를 기업경영에 활용하는 기법을 안내하기 위한 교육과정을 운영하고, 산업현장에서 날씨정보를 효과적으로 활용하여 비용을 절감하고 부가적인 이익을 얻은 사례를 발굴하여 언론을 통하여 홍보함으로써 일반국민이나 산업계가 기상정보의 경제적 가치를 새롭게 인식하도록 노력해야 한다.

이를 위해서 첫째, 민·관은 바람직한 역할분담을 통해서 기상산업을 발전시켜 나가는 동반자라는 인식으로 각자의 역할을 다해야 할 것이다. 둘째, 기상관측장비의 국산화를 통해서 해외 의존도를 줄

여나가야 한다. 셋째, 기상컨설팅 및 날씨보험 등 다양한 기상산업분야를 창출하고 확대 시켜 나가야 한다. 넷째, 기상산업에 필요한 인재를 육성하고 키워야 한다. 국내 기상관련 대학 및 학과는 조금씩 늘어나는 추세이며 학부 및 석사 졸업생들이 해마다 배출되고 있지만, 기상청을 제외한 기상관련 회사에 취업한 인원은 극소수에 지나지 않고 학교에서도 주로 순수과학에 대해 배우고 있다. 따라서 응용기상, 날씨마케팅 분야 등 기상산업에 필요한 인력을 키우기 위해서는 새로운 커리큘럼이나 교육 과정을 통해서 육성해야 하며 향후 이들이 다양한 기상산업 분야에 근무하게 된다면, 체계적인 기상산업 육성 및 발전이 가능하게 될 것이다.

올해는 국경을 초월하여 글로벌 트렌드로 다가오는 기후변화에 대한 관심이 다른 어느 때보다 높은 해인 듯싶다. 기후변화에 의한 온난화의 주범중 하나인 온실가스에 대한 우리의 태도도 2005년도에 발효된 교토의정서에 따라 온실가스 배출 감축의무가 부과되므로 더 이상 남의 일처럼 생각하고 행동한다면 안 될 것이다. 그렇다면 국가를 지탱하는 다수의 기업이, 기업을 이루는 다수의 개인이 어떻게 해야 할 것인가? 그 해답이전에 기상산업의 발전이 이루어져야 할 것이다. 기상산업 발전을 위한 노력은 우리가 요즘에 주장하는 개혁보다 더 중요한 살아남기 위한 생존 문제임을 직시하며, 기상산업이 곧 국가 차원의 강력한 힘이라는 것을 인식하여야 한다. 특히, 글로벌시대를 여는 블루오션에는 기상산업이 서서히 빛을 보게 되어 앞으로 기후변화시대에 최고로 각광 받는 산업으로 평가될 것으로 믿는다.

정책 초점

기상산업의 중요성과 전략적 위치 / 이종우

기후변화가 산업에 미치는 경제적 영향과 적응대책 / 한기주

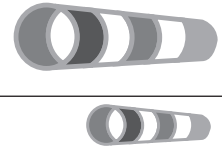
기후경제학의 대두와 대응 전략 / 임상수

기후변화와 신재생에너지 산업 / 구영덕

기상산업 육성을 위한 정책대안 모색 / 김준모, 이기식

미국 남동부의 응용기상산업 현황 / 임영권

최근 황사의 특성 및 산업에 미치는 영향 / 김지영



기상산업의 중요성과 전략적 위치

이 중 우

인제대학교 부총장/경영학부 교수

busiljw@inje.ac.kr

1. 기후변화의 사회, 경제적 영향

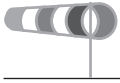
최근 국내 태안반도에서의 이상 해일을 비롯해 미얀마 사이클론 등 지구온난화로 인한 기상이변과 기후변화에 따른 태풍, 호우·홍수, 가뭄, 폭설, 이상 고온·저온 등의 악기상 현상이 빈번히 발생하고, 그로 인한 피해는 대규모로 확대되고 있다. 전 세계적으로 기후변화는 자연재해뿐만 아니라 자연 생태계, 인간의 보건, 주거환경과 농·축산업 및 산업 활동 등 인간과 자연 시스템의 전반에 막대한 영향을 미치고 있다. 이러한 변화로 인해 인간이 살아가는 사회, 경제적 활동에까지 변화와 파급효과를 주게 되었다.

2007년 발간된 기후변화에 관한 정부간 패널

(IPCC) 제 4차 보고서에 의하면 2100년에는 지구의 평균기온이 최대 6.4℃까지 상승하고, 해수면의 높이가 최고 59cm까지 높아질 것으로 예측하며 지구온난화에 의한 기후변화의 심각성을 경고하고 있다.

우리나라에서도 기후변화로 인한 4대 악기상 현상인 황사, 태풍, 집중호우, 폭설이 빈번히 발생하고 있으며, 하루 평균기온이 5℃이하인 겨울이 과거 연평균 135일에서 107일로 겨울이 1달 정도 짧아지면서 한반도가 아열대로 변하고 있다는 예측도 나왔다.

따라서 정부와 국민들은 사회, 경제적 발전과 안정을 위해 기후변화로 인하여 발생하는 피해에 대비



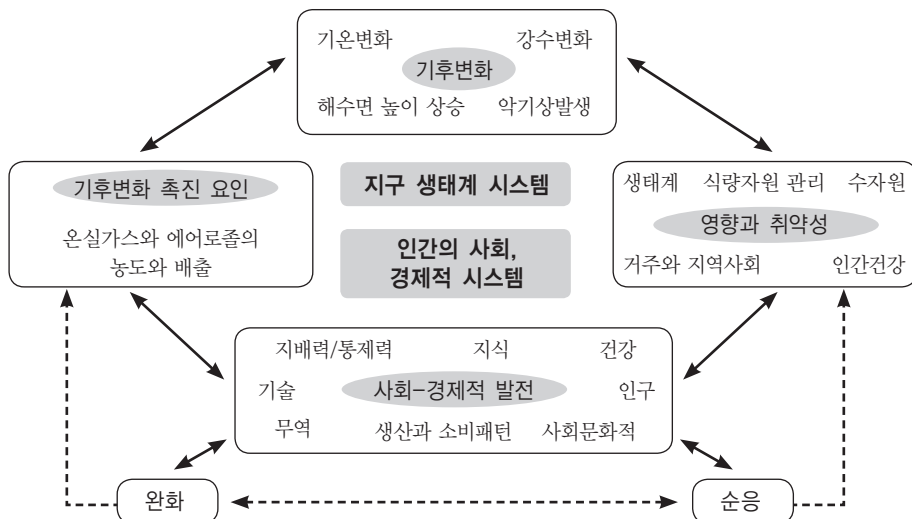
하기 위하여 지구온난화를 가속화하는 활동을 억제하고 현재의 기후를 유지하기 위한 활동들도 강화하고 있다. 이러한 지구생태계의 시스템과 인간의 사회, 경제적 시스템이 순환적으로 맞물려 하나의 통합 프레임(그림 1 참조)을 형성하고 있다.

2. 기후변화에 따른 기상정보의 중요성

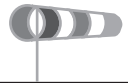
기후변화와 기상정보는 어떠한 관계에 있을까? 기후변화는 오랜 기간에 걸쳐 진행되는 기상의 변화를 의미한다. 즉, 기후는 기상이라는 사건으로 이루어진 분포로 평균과 분산을 가지고 나타나는 것이다. 그러므로 기상과 기후변화의 현상을 정보로 국민들이 접할 수 있고 국민들에게 인식시켜주는 것이 바로 기상정보이다. 이러한 기후변화에 따라 기상정보가 미치는 영향력은 국가 경제의 성장과 국

민소득 수준의 향상에 따른 국민의 여가생활 및 다양한 산업분야에 점차적으로 확대되고 있다. 또한, 기상정보의 중요성은 이제 국가안보의 중요한 요소로까지 인식되고 있다.

기상현상과 자연재해에 대한 기상정보가 중요한 이유는 그것이 인류의 건강과 삶에 필수불가결한 자원의 원천과 직결되어 있기 때문이다. 기상현상은 인간에게 필요한 물과 식량 공급체계에 막대한 영향을 미쳐 국민의 생존을 위협할 뿐만 아니라 이러한 기상현상에 대한 기상정보는 경제적인 측면에서 기업의 원재료확보와 관련된 생산과 판매의 전략적 수량조절, 제품개발과 품질유지, 소비자 행위 등과 같은 민간경제 뿐만 아니라 에너지 수급계획 및 수자원관리 등의 국가 경제에도 아주 중요한 영향을 미치기 때문이다.



[그림 1] 기후변화와 사회, 경제적 영향의 통합 프레임
자료 : IPCC (2007)



과거에는 기상정보가 단순한 정보였지만 이제는 기상정보가 지식으로까지 그 의미가 확대되고 있다. 이러한 기상정보는 의료, 보건 분야의 생명기상과 유통, 보험, 레저/관광, 교통, 수자원관리, 건설, 조선, 제조업 등의 산업기상 분야에서 다양하게 활용되고 영향을 미치고 있다. 이렇게 기상정보가 국민의 사회생활 및 다양한 분야의 산업에 미치는 영향력은 점차적으로 확대되고 있다. 이처럼 기상정보에 대한 관심과 수요가 증가함에 따라 기상정보의 사회적, 경제적 활용도 및 파급효과도 증대하여 날씨가 세계 경제의 80%를 좌우한다는 주장이 나오고 있다(Freidheim Schwarz, 2005).

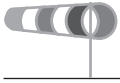
미국의 상무부는 한 가구가 기상예보에 지출하는 돈은 연간 16달러에 불과하나 혜택은 109달러에 이른다고 분석했다. 그리고 우리나라의 기상정보 활용가치는 연간 3조 5000억원으로 파악되며, 그 활용도가 선진국 수준으로 높아지면 6조 5000억원까지 높아질 것으로 예상하고 있다. 또한, 미국의 경우 농업, 건설, 레저 등 기상의 영향을 직접적으로 받는 산업의 규모는 GDP의 10%로 추정하고 있으며, 간접적인 영향을 포함한다면 42%가 영향을 받고 있다. 일본의 경우 지형적인 특성으로 인해 전체 산업에 80%가 영향을 받는다.

특히 우리나라의 경우 전체 산업의 52%가 기상의 직·간접적인 영향을 받는 것으로 조사되고 있다. 그리고 국내 기업들에 의한 기상정보 활용의 경제적 영향은 1조원으로 추정되며, 기상정보의 활용으로 인한 매출액 상의 이익은 3~7배로 추정하고 있다. 세계기상기구(WMO, 1994) 보고서에 의하면 기

상부문에 대한 투자 대비 편익은 국가별로 다소 차이는 있으나 약 5~10배 정도라고 분석 발표하였다. 예를 들어 2002년의 기상재해 피해액은 6조 1천억원이었으므로, 총 기상의 사회경제적 영향은 약 7조 1천억 원으로 총 GDP의 약 1% 이상을 차지하고 있다(양영민 외, 2004). 또한, 기상재해로 인한 피해액은 지난 10년간(1996년~2005년) 19조 9148억원으로 그 규모는 교통사고의 5배이며, 화재 피해액의 12배에 달했다.

3. 기상정보와 관련된 기상산업의 현황

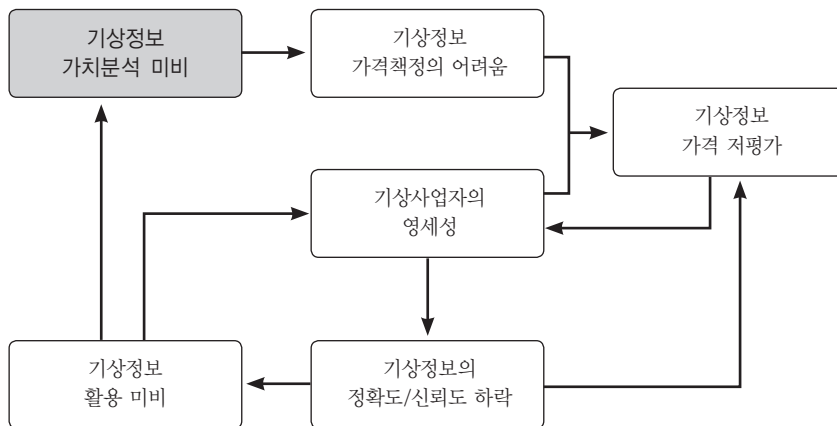
기상정보는 아무리 사용하더라도 고갈되지 않는 무형의 자원이자 높은 부가가치를 창출할 수 있는 사회간접자본의 하나로 공공재적 자원이다. 그러나 다른 관점은 우리나라는 국민소득 2만 달러의 경제 성장과 함께 주5일제 근무로 인하여 국민의 생활수준이 향상됨에 따라 산업 부문은 물론 국민들의 기상정보에 대한 다양한 수요와 관심이 증가하고 있다. 이에 따라 기상정보를 생산하기 위하여 기상업무의 기본이 되는 관측과 국가간 관측자료의 교환 및 공공대중을 위한 서비스는 국민 전체의 이익보호를 위해 기상청이 수행하고, 기상청이 개별적으로 서비스할 수 없는 특정의 수요자를 대상으로 기상예보를 판매할 수 있도록 제도화한 기상사업자제도를 1997년 시행하게 되었다. 이를 계기로 특정 지역이나 장소에 대한 상세예보를 기상사업자가 서비스함으로써 기상정보 사용자의 필요와 욕구를 파악해 특화된 서비스를 제공하며, 정부는 공공재적 기상정보의 신뢰도 향상을 위한 새로운 기술개발을



촉진함으로써 조화와 균형을 이룰 수 있다.

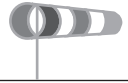
기상청에서는 기상사업자를 중심으로 기상현상의 관측 및 예보업무와 기상현상에 관한 통계정보의 교환, 조사, 분석, 연구 및 그 부대업무를 수행하여 기상관련 상품 또는 용역을 제조, 공급하는 기상산업을 4개의 범위로 분류하여 정의하고 있다. 첫째, 기상청이 생산한 기상정보를 가공 또는 원시자료 형태로 보급 판매하는 기상예보업, 둘째, 기상관측 및 정보의 전달, 전파과정에 관련된 기기들을 생산, 유지/보수하는 기상관측 및 관련 장비 기기의 생산업, 셋째, 기상정보가 경제활동에 기여하도록 여러 산업체 및 농업무문에 경영지원 및 전략 수립에 관련된 서비스를 제공하는 컨설팅업, 넷째, 금융자산 및 서비스를 활용하여 기상 및 재해관련 보험업무를 담당하는 금융보험업으로 구분하여 정의하고 있다.

우리나라는 1997년부터 기상사업자 제도를 시행한 이후 한국기상정보, 케이웨더, 웨더뉴스 3개의 업체가 최초로 기상사업자로 허가를 받고 활동을 시작한 이후 오늘에 이르기까지 21개 업체가 사업허가 또는 등록을 하였다. 이중 8개의 업체가 경영난으로 폐업하였고 2개의 업체는 휴업으로 2008년 3월 현재 13개의 등록업체 중 11개 업체에 303명의 인력이 종사하고 있다. 그 동안 IMF 경제위기에 따른 기업들의 구조조정으로 기상정보 서비스와 기상 컨설팅과 같은 수요를 창출하지 못하여 기상산업 시장의 외소함에 따라 기상사업자는 영세성을 벗어나지 못하고 있다. 또한, 기상정보 사용자의 기상정보 유료화에 대한 인식부족과 이 사업제도의 시행 초기에 여러 악재로 인하여 사업이 활성화되지 못하여 매출액이 저조하였다. 그러나 기상청의 꾸준한 기상산업 육성정책과 기상사업자의 영업활동으로 인하여 매출액은 꾸준히 증가하고 있으나 아직



[그림 2] 기상산업의 악순환 구조

자료 : 국립기상연구소 (2007), 기상정보의 신뢰도 향상에 관한 연구



시장규모가 작고 기상정보 유료화 문화가 정착되지 못하여 취약한 산업구조를 나타내고 있다.

이러한 상황에 처해있는 우리나라 기상산업은 전반적으로 악순환 구조가 반복되고 있는 실정이다. 이러한 악순환구조는 기상정보에 대한 명확한 가치 분석이 미비한 것에서부터 출발한다. 기상정보의 가치분석이 미비함으로써 기상정보의 가격을 제대로 측정할 수 없고 이와 동시에 기상사업자의 영세성으로 인해 기상장비와 인력 등에 대한 투자가 부족해 가공되는 기상정보의 정확도가 하락하여 기업사용자가 원하는 신뢰성 높은 맞춤형 기상정보를 제공하지 못함으로써 기상정보의 가격이 저평가 받고 있다. 이는 다시 기상사업자의 영세성으로 이어지고 기업사용자가 원하는 특화된 기상정보 서비스를 충족시키지 못함으로써 기업사용자의 기상정보 신뢰도 또한 하락해 기상정보 활용을 미진하게 하고 있다. 그리고 기상정보의 활용이 미진함으로써 기상정보의 가치분석이 미비한 악순환 구조를 반복하고 있는 실정이다.

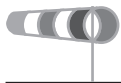
그러나 기상사업자들의 매출액 추이를 살펴보면 기상산업 시장의 성장 잠재력을 파악할 수 있다. 1997년 기상사업자는 4개의 업체로 4.9억원의 매출액을 기록했지만, 10년 후인 2007년에는 11개의 업체가 290억원의 매출액 규모를 창출하고 있다. 업체수는 1997년에 비해 약 3배가 증가한 반면 매출액은 60배 정도의 가파른 성장을 이루고 있다. 특히 2000년 이후 기상사업자의 매출액은 매년 30%의 성장을 거듭하고 있다. 이러한 추세를 유지한다면 2012년에는 기상산업의 시장규모가 1,000억원대를 형성

할 것으로 예측하고 있다(인수위 환경부 보고자료, 2008. 2). 이러한 기상산업의 시장규모를 기상선진국과 비교하여 본다면 더욱 매력적인 시장으로 볼 수 있다. 기상선진국인 미국의 경우 기상산업 시장규모가 1조원의 크기이며, 일본은 5,000억원의 시장규모를 형성하고 있다. 우리나라의 경제규모가 미국의 1/16, 일본의 1/5인 것을 감안하더라도 성장 잠재력이 충분한 시장으로 볼 수 있다.

4. 기상선진국의 기상산업 현황

우리나라의 기상산업 시장규모는 290억원(2007년 기준)으로 미국 1조원, 일본 5,000억원에 비해 매우 미진하다. 이는 기상정보의 가치평가 미비로 인한 기상정보의 가격책정의 어려움과 기상사업자의 영세성 그리고 기상정보 활용의 미비라는 악순환적 구조가 형성되어있기 때문이다. 그렇다면 기상선진국들은 기상산업 발전을 위해 어떠한 활동을 하고 있는지 살펴보자.

기상선진국인 미국은 기상산업 발전을 위해 국민은 물론 정부기관과 산업분야에 대해 종합적인 기상정보 서비스를 향상시키고 양자 간의 파트너십을 보다 강화시켜 전통적 기상정보 서비스 기능을 유지하면서 기상정보 서비스의 유연성을 동시에 추구하는 방향으로 발전시키기 위해 1991년 “미국 기상청과 민간 기상산업-공공·민간 파트너십”기준서를 발간하였다. 이를 통해 실질적으로 발생 가능한 혼란을 최소화하며, 기상산업의 발전을 추구하였다. 또한, 기상정보의 비용 대비 편익을 평가한 경제적



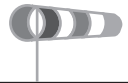
[표 1] 기상선진국의 기상산업 현황

구 분	미 국	일 본	독 일	호 주
법적제도	1991년 미국 기상청과 민간기상사업간의 공공-민간 파트너십-기상정보서비스의 전통성과 유연성 확보	· 1950년 재단법인 일본기상협회 설립 · 1994년 기상예보사 제도 신설 및 비영리 재단인 기상산업진흥원(JMBSC) 설립	· 독일 연방기상청과 교통부, 국방부가 협력 · 기상정보서비스는 무료 서비스를 최소화하는 규정 제정	기상청의 상업화 부서(Special Service Unit)와 기상사업자간 경쟁 체제
기상사업자 역할	수문기상정보를 기반으로 특수한 기상 및 수자원 등 개개인의 사용자에게 적합한 정보 제공	기상산업진흥원이 주축이 되어 기상정보의 실용화에 증진	기상청이 기상사업자의 역할을 함께 함	SSU의 틈새시장을 기상사업자가 담당
시장규모	1조원	5천억원	1,070억원(기상자료 판매액) *기상청 예산: 3,147억원	-
특징	· 경제적 측면: 민간기상사업의 발전을 위해 비용 대비 편익을 평가 · 기술적 측면: 기상, 통신 위성의 기능확대와 항공산업의 성장 · 정책적, 군사적 측면에 복합적 시너지 효과 창출	· 일반대상 예보업체와 특정이용자대상 예보 · 웨더뉴스 3차원 예보 방송을 24시간 실시	· 2002년 기상사업자 협회 설립 · 연방기상청의 원시 자료 제공이 유료로 사업의 어려움	· 기상청은 기본적인 기상정보를 일반인에게 무료로 제공 · SSU를 통해 부가적 기상정보서비스 제공 · SSU의 업무를 점진적으로 기상사업자에게 이양
사업체수	400여개	56여개	18개	-

측면과 컴퓨터 기술의 발전을 바탕으로 하여 기상, 통신위성의 기능 확대와 항공 산업의 성장으로 인한 기술적 측면, 그리고 정책적, 군사적 측면이 복합적으로 연계되는 시너지 효과를 창출하게 함으로써 기상산업이 발전하고 있다.

일본의 기상산업은 1950년 재단법인 일본기상협

회(Japan Weather Association, JWA)의 활동을 시작으로 출발하였다. 그리고 1994년에는 기상업 무법의 전면 개정을 통한 기상예보사 제도를 신설하고 비영리법인인 일본 기상산업진흥원(Japan Meteorological Business Support Center, JMBSC)을 설립하여 그 토대를 마련하였다. 기상청 산하기관인 일본 기상산업진흥원은 기상정보를 국민들의



공공복지 증진을 위해 활용할 뿐만 아니라 기상정보의 실용화를 증진시키기 위해 경영활동과 관련된 다양한 연구 활동을 수행하고 있다.

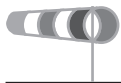
독일 기상산업의 주체는 연방기상청(Deutsche Wetterdienst)으로 독일 교통부에 소속이 되어 있으며, 기상관측 및 예보업무는 국방부의 공군의 업무영역과 중복되어 있다. 이에 따라 법령으로 독일연방교통부와 국방부는 기상업무의 영역에서 절약적인 재정운용과 업무의 중복을 방지하기 위해 상호 협력하도록 규정하고 있다. 그리고 1998년 독일 기상청은 “기상정보 서비스는 무료서비스를 최소화하는 방향으로 이루어져야 한다.”라는 법령을 제정하여 기상정보의 유료화 제공을 뒷받침하였다. 이처럼 독일연방기상청이 서비스 제공에 비용을 이사회가 기업경영상의 비용계산을 기초로 하여 설정하되 경우에 따라서는 경제적 가치에 따라 증액하거나 특별한 공익에 기초하여 감액하거나 국제적 협약에 따라 조건부로 요금을 미리 정할 수 있도록 하고 있다. 다만 각 주의 기상청에 대한 협력서비스만 무료로 제공하고 있다.

호주의 기상산업은 기상청 산하의 상업화부서(SSU: Special Service Unit)와 기상업자 간의 경쟁체제를 구축하고 있다. 기상청은 기본적인 기상정보를 일반 국민에게 무료로 제공하고 있으며, 부가적인 기상정보 서비스는 상업화부서를 통해 제공함으로써 수익성이 증대되면서 기상사업자들의 경영환경이 기상산업의 선순환 구조로 변화되고 있다. 현재 기상사업자는 기상정보보다 고객의 욕구를 더욱 많이 충족시킬 수 있고, 상업화부서가 수행하지 못

하는 틈새 영역의 서비스를 제공하고 있지만, 향후 상업화부서의 업무를 점진적으로 기상사업자에게 이양시켜 기상청과 기상사업자의 역할을 점차적으로 분리하고 있다.

이러한 기상선진국의 사례를 통해 알 수 있듯이 유료의 기상정보에 대한 국민들의 거부감을 없애기 위해 법령이나 제도적 장치로 이를 뒷받침해 주고 있다. 우리나라에서도 기상산업의 활성화를 위해 2005년 12월 기상업무법을 기상법으로 전면개정 한바 있으며, 기상청장의 기상산업 진흥의무에 관한 선언적 조항을 신설하였으나 기상산업의 진흥 및 발전을 위하여 현행 기상법의 몇몇 조항만으로는 역부족이라고 판단하여 특별법으로서 기상산업진흥법을 제정하여 입법화하려고 국회에 상정해 있다.

기상산업진흥법에는 기상산업진흥을 위한 기본계획 및 시행계획의 수립, 기술개발사업 지원 및 기술개발 성과의 사업화, 금융 및 세제지원 등 특정산업 진흥을 위한 유사 입법례에서 볼 수 있는 내용을 담고 있다. 기상산업진흥법이 필요한 이유는 미래 기상산업이 활성화될 경우를 대비하여 기상예보사, 기상감정사 등 새로운 자격제도의 도입과 기상관련 상품의 신뢰도 제고를 위한 기상관련 상품과 용역의 품질 인증 및 기상에 영향을 미치는 환경영향평가 내실화 등에 기준을 마련하여야 하기 때문이다. 이는 궁극적으로는 기상산업 육성과 기상산업 시장 확대에 반드시 필요한 사항이기도 하다.



5. 미래 기상산업의 전략적 위치

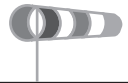
전세계적으로 지구온난화로 인한 기상이변이 빈발하면서 기상인 국민생활은 물론 기업경영에까지 미치는 영향이 증대되어 기상산업은 새로운 블루오션으로 인지되고 있다. 그러나 아직 기상의 중요성은 인지하고 있으나 유료의 기상정보 서비스에 대한 거부감과 국내 기상정보에 대한 국민 체감신뢰도가 낮기 때문에 우리나라의 경우 기상산업 시장은 2007년 기준으로 연간 290억원에 불과하다. 그러나 기상선진국인 미국, 일본, 캐나다 기상산업의 매출액은 각각 1조원, 5천억원, 4천억원의 시장규모를 형성하고 있다. 각 나라의 경제규모를 감안하면 우리나라의 기상시장 규모는 대략 800~1,000억원의 시장으로 성장할 것으로 추정하고 있다. 그러므로 현재 국내 기상산업 시장의 매출액 290억원은 경제규모의 발전가능성과 기상 서비스의 잠재가치를 고려하면 기상정보 서비스 시장은 확대될 가능성이 매우 높다고 할 수 있다. 기상산업이 경제 전체에 미치는 파급효과가 점차적으로 확대되기 때문에 국가 정책적으로 시급히 육성해야 할 산업분야라고 판단된다.

최근 미국국립대기과학연구소(NCAR)에 따르면 미국의 기상관련 산업의 규모는 매출액 기준으로 연간 300조원의 시장이 형성되었다는 보고가 있었다. 이는 기상산업의 범위를 어디까지 포함하느냐에 따라 달라질 수 있지만 분명한 것은 기상산업의 범위와 규모가 확대되고 있다는 것이다. 과거 기상산업은 기상정보를 가공, 판매하는 수익모델에 중점을 두었지만 현재 기상이 사회, 경제적으로 미치는 영

향력과 파급효과가 점차적으로 확대되면서 기상산업은 기상정보의 생산, 가공과 더불어 전략적으로 기상정보를 변환하여 활용하는 기업들이 많아지고 있다.

향후 기상산업에서 가장 중요한 부분은 기상정보를 전략적으로 활용하는 기업경영의 부분이다. 기업은 이제 더 이상 날씨를 통제 불가능한 변수로 두지 않고 적극적인 대응과 함께 전략적 의사결정에 활용하고 있다. 기업들의 날씨경영 도입은 기업의 새로운 패러다임이 되면서 기상정보를 활용한 공급사슬관리(Supply Chain Management), 리스크 경영(Risk Management) 등을 통해 기상경영체제를 구축함으로써 기업들은 기상현상으로부터의 손실을 감소시키고 이익을 극대화시킬 수 있다. 또한, 그에 따른 신사업으로 날씨 금융·보험시장의 규모가 점차적으로 확대되면서 새로운 블루오션시장으로 성장하고 있다.

2008년 2월 대통령직 인수위원회는 기후변화에 대응하기 위해 앞으로 5년간 신·재생에너지나 원자력 등 기후산업을 집중 육성하여 경제와 환경의 조화를 이루고 국가경쟁력을 강화하겠다는 계획을 밝혔다. 이를 위해 기후산업을 집중적으로 육성해 2010년부터는 매년 25조원 이상의 부가가치와 35만개의 일자리를 창출하겠다고 하였다. 이러한 계획의 핵심은 기후변화에 따른 에너지 효율화, 신·재생에너지 개발, 원자력 경쟁우위를 바탕으로 목표를 달성하는 것으로 에너지 산업분야에 초점을 맞추고 있다. 현재 우리나라의 에너지 수입액은 945억달러로 GDP의 10%에 해당함으로 에너지 사용의 효율을



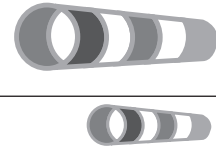
높이고, 기후변화 산업을 육성할 경우 매년 GDP의 3% 안팎의 성장 효과를 거둘 수 있을 것으로 전망하고 있다. 이러한 기후변화와 관련된 기후산업의 성장을 위해서는 기상산업이 가지는 전략적 위치는 매우 중요하다. 기후산업 시장이 형성되기 위해서 반드시 기상청과 기상사업자들이 정확하고 신뢰도 높은 특화된 기상정보를 제공해야 하는 막중한 임무를 발휘할 수 있는 선순환 구조가 되어야 기후산업이 성장할 수 있다. 이렇게 기상산업의 기능적 구조가 밑바탕이 되어야 기후산업과 기상산업은 서로 상생할 수 있는 협력관계에 있다고 볼 수 있다.

기후산업에서 기상산업의 기능적 역할의 중요성을 사례로 들면, 기후 금융시장의 경우 기상정보에 따라 가격이 결정되고, 기후 보험시장의 경우 보험료 산출과 보험금 지급에 정확한 기준을 산정하는데 기상정보가 가지는 중요성이 매우 크다. 그리고 기후산업 육성의 핵심 분야인 에너지 산업도 기상정보와 매우 밀접한 연관이 있다. 전력수요량을 예측할 경우 기온, 조도, 습도, 체감온도 등의 기상정보를 활용하여 예측함으로써 전력의 적정 공급량과 예비량을 확보할 수 있다. 이는 전력 과잉생산에 따른 이산화탄소 배출량을 감소하여 탄소배출권의 기회비용을 창출할 수 있고, 추가발전설비의 건설에 따른 비용의 절감으로도 이어질 수 있다. 또한 신·재생에너지의 발전설비 설치시 규모, 적정 생산량과 예비량을 산출할 때 기상정보가 활용된다. 이처럼 기상산업의 기능적 역할과 관련된 기후산업의 시장규모는 급격하게 확대되고 있다.

이처럼 기후산업과 기상산업은 서로 상생적 관계에

있으며, 서로간에 유기적인 상호작용을 통해 발전을 추구할 수 있다. 즉, 기후산업을 육성하기 위해서는 핵심하부구조인 기상산업의 육성이 우선적으로 이루어져야 한다.

결론적으로 기상산업의 악순환적 연결고리를 선순환적 구조로 전환하고, 기후산업과의 상생적 관계에서 전략적 위치를 확보하기 위한 방안으로는 첫째, 기상정보의 경제적 가치에 대한 인식 제고가 필요하다. 아직까지 우리 국민과 기업들은 유료로 기상정보를 이용한다는 것에 강한 거부감을 갖고 있는데, 이를 극복하고 기상정보의 경제적 가치를 정량화해 가격을 현실화해야 한다. 둘째 기상산업진흥법의 법제화다. 현재 특별법으로 입법화하려고 국회에 상정돼 있는 기상산업진흥법이 이른 시일 내에 통과된다면 기상산업 활성화에 촉매제가 될 것이다. 셋째 기상장비 산업 육성이다. 기상장비 특성상 국내시장 수요가 한정되고 특수한 장비로 초기 개발비용이 많이 소요되기 때문에 기업들이 장비 산업에 관심을 보이지 않고 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해서는 국가적 차원의 지원책이 마련돼야 한다. 넷째 기상청과 기상사업자의 역할 정립을 통한 기상서비스 시장 활성화다. 기상서비스 시장의 활성화와 기상정보 사용자의 신뢰도 향상을 위해 기상청과 기상사업자 간 역할을 재정립할 필요가 있다. 기상청은 주요 악기상 현상인 황사, 태풍, 집중호우, 폭설 등에 대한 정확한 기상정보 제공에 역량을 집결하고, 기상사업자는 기상정보 사용자 개개인의 욕구를 충족시킬 수 있는 맞춤형 기상정보를 제공하도록 역할을 구분해야 한다.



기후변화가 산업에 미치는 경제적 영향과 적응대책

한 기 주

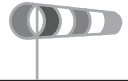
산업연구원 선임연구위원

hankju@kiet.re.kr

1. 서론

‘기후변화에 관한 정부간 패널(IPCC)’은 2007년에 발간한 제4차 보고서에서 지구온난화와 이에 따른 육지 및 해양 온도 상승, 해수면 상승, 생태계의 변화, 물공급 감소 등의 현상이 더욱 더 분명해지고 있다고 밝히고 있다. 이상 기후 현상은 이미 세계 도처에서 인간의 건강과 건물, 생활, 인프라 등에 대해 심각한 피해를 미치기 시작하고 있다. 그 결과 그 동안 일부 과학자들에 의해 제기되었던 “기후변화가 인간의 활동에 의한 것이 아닐 수 있다”는 주장은 더 이상 쟁점의 대상이 되지 못하게 되었고, 대신 “기후변화에 어떻게 대응 또는 적응을 해야 할 것인가?”가 기후변화를 둘러싼 논의의 중심에 서게 되었다.

선진국 기업 가운데는 이미 온실가스 배출 저감 및 정부의 향후 기후변화 정책에 따라 대응될 가능성이 있는 잠재적인 위험과 기회의 요인을 충분히 인식하고, 이러한 여건 변화가 기업의 현재와 미래 경영성과에 미치는 영향을 경영전략에 적극 반영하려는 기업이 늘고 있다. 그러나 기후변화 자체가 가져 올 물리적 영향을 적극 검토하여 이를 경영전략에 반영하는 기업은 선진국에서도 아직 소수에 그치고 있다. 이는 기후변화의 영향이 일부 농림·어업 분야를 제외한 여타 산업에서는 아직 뚜렷이 나타나지 않고 있기 때문이다. 그러나 장기적으로는 기후변화가 제조업 분야에 대해서도 다각적이고 상당한 규모의 영향을 미칠 것으로 예상이 된다. 다만 이에 대해 적절히 대응을 해 나가면 피해를 크게 줄일 수 있을 것이다. 이는 기후변화로 인한 피



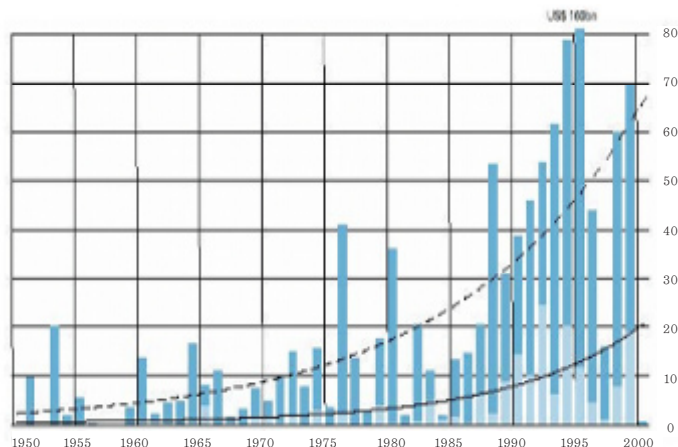
해가 현재로서는 가시적이지 않지만 이를 미리 예측하고 이에 대한 대비책을 모색하는 것이 중요함을 시사한다. 본고는 이러한 시각에서 기후변화가 제조업에 미칠 것으로 예상되는 영향과 이에 대한 적응 대책 마련의 중요성을 살펴보았다.

2. 기후변화로 인한 총체적 경제적 손실

IPCC의 2001년도 보고서 “Climate Change 2001”에 따르면 기후변화나 기상이변으로 인한 재난으로 인해 사회가 입는 직접적인 경제적 피해의 크기가 1950년대에는 매년 30억 달러 정도에 불과했으나 1990년대에는 매년 400억 달러정도로 현저히 증가하였다. 그리고 이 400억 달러 중에서 96억 달러는 사회 기반 시설 파괴로 인한 비용으로 추정되었

다. 한편 매년 기상재해에 대한 피해 보고서를 발간하고 있는 MunichRe사는 현재와 같은 기상이변이 지속된다면 21세기에는 연간 피해액이 1,000억 달러에 이를 것이며, 이 중 사회 기반 시설 파괴로 인한 피해는 매년 250억 달러에 달할 것으로 전망하였다.

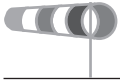
여러 기상재해 가운데 기후변화의 영향으로 보이는 홍수와 태풍으로 인한 피해는 해가 갈수록 더욱 증가하는 추세를 보이고 있다. Freeman and Warner (2001)는 소규모의 기후변화라고 해도 막대한 경제적 손실을 초래할 수 있다고 주장하고 있다. 이들은 초속 40~60미터의 강풍은 건물의 2~10%에 대해 재산 손실을 가져오고, 초속 60~80미터의 강풍은 재산 손실 규모를 75% 정도 증가시키는 것으로 추정하였다.



[그림 1] 20세기 자연 재해로 인한 경제적 손실 (1950-2000) : 그래프의 청색 부분은 경제적 손실(2000년 불변가격 기준), 회색 부분은 보험손실액의 크기, 사진은 경제적 손실과 보험 손실 추이를 각각 의미.

자료 : MunichRe, “Topics 2000, Natural Catastrophes: The Current Position,”

Munich Reinsurance Company, 1999



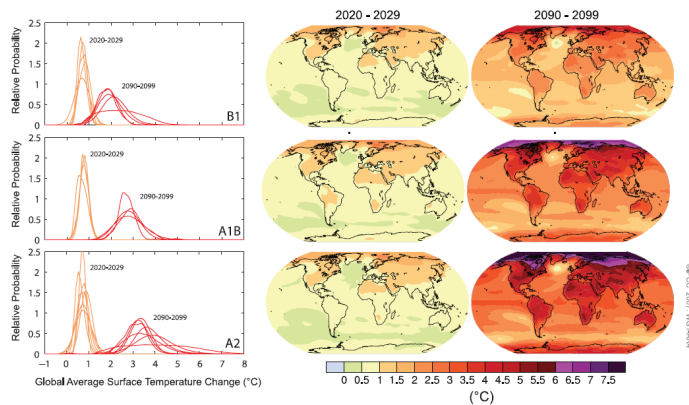
우리나라도 기후변화의 경제적 피해가 급속히 증대되고 있는 것으로 나타났다. 소방방재청 집계에 따르면 국내 기상재해 피해액(2005년 불변가격 기준)이 '60년대에는 연간 1천억 원을 약간 상회하는 정도였으나, 2000년대 들어서는 2조7천억원 정도로 20배 이상 증가하였다. 이러한 피해규모의 급증은 그 동안의 경제성장으로 인해 기후변화의 피해 대상이 증대된 것이 일부 요인이 되었지만, 기상재해의 발생 건수나 파괴력이 과거보다 더 커진 것에도 상당부분 기인하는 것으로 분석되고 있다.

3. 기후변화 - 위험과 기회의 요인

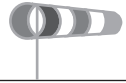
기후변화 산업부문에 대한 영향은 두 가지 경로를 통해 나타난다. 첫 번째는 기후변화 협약에 따른 온실가스 배출저감 의무 부담에 따른 정부의 온실가스 배출 규제와 이로 인한 경제적 영향이며, 다

른 하나는 기후변화 자체로 인한 것이다. 전자는 기후변화를 억제하고 사회 및 경제가 기후변화의 부정적 영향에 적응하여 피해를 덜 입도록 하기 위한 모든 정책과 조치, 기후변화로 인한 원자재의 세계 수요, 공급 및 가격의 변화, 그리고 이에 대한 시장 참여자들의 대응 등을 말한다. 후자는 기온 및 기후 변화, 물 공급 변화 등과 같은 기후변화의 물리적 현상이 기업의 의사결정 과정, 건물과 같은 고정 자산, 그리고 석유, 철강 등 자원 시장에 영향을 미치는 것을 의미한다.

기후변화는 해수면 상승, 기온 및 강수 패턴의 변화, 극심한 이상기후 현상 등 다양한 결과를 초래할 것으로 예측되고 있다([표 1] 참조). 이는 다시 생태계, 인간의 건강, 건물, 생산 공정, 수송, 에너지 공급 및 수요, 그리고 인프라 등과 같은 인간의 시스템에 영향을 미친다. 현재의 경제 구조, 생산 공정 및 이를 뒷받침하는 경제 및 사회 시스템은 그



[그림 2] 20세기 말 지구 표면 기온 전망
IPCC Fourth Assessment Report, 2007.



[표 1] 예상되는 기후변화 현상

■ 기온 상승

- 지구 평균 기온은 향후 20여년 간 0.2℃ 정도 상승
- 장기적으로는 기온이 2~4.5℃정도 상승
- 지구 온난화 결과 추운 날 수가 줄어들고 더운 날 수는 증가
- 중부 유럽, 미국 서부지역, 동아시아, 한국 등은 혹서 기간, 정도 및 빈도 증가를 경험

■ 해수면 상승

- 빙산 및 육지 얼음의 녹는 속도가 증가하면서 해수면은 지속적으로 상승
- 해수면은 21세 중 18~59cm 상승
- 온실가스의 대기 중 농도가 안정된 이후에도 지구 평균 기온은 수세기 동안 계속 상승하여 해수면도 지속적으로 상승

■ 강수량 및 습도

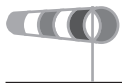
- 고위도 지역은 다습한 날 수와 강수량 증가, 아열대 지역은 건기 증가
- 북유럽 대부분 지역, 캐나다, 미국 북동부, 북극 지역에는 연간 강수량 증가
- 아시아 북부, 티베트 고원 지역은 겨울철 강수량 증가
- 지중해 지역, 오스트레일리아, 뉴질랜드는 건기 빈도 및 기간 증가로 빈번한 한발 발생

■ 극심한 태풍

- 보다 강력한 열대지역 사이클론 발생 증가
- 많은 지역에서 대규모에 걸쳐 발생하는 호우 후 갑작스런 홍수 발생 빈도 증가
- 오스트레일리아, 뉴질랜드 동부 지역, 지중해 지역은 한발 위험 증가, 중부 유럽과 중미 지역은 계절적 가뭄 위험 증가
- 오스트레일리아, 미국 서부지역과 같은 건조 또는 반건조 지역의 산불 및 들불 증가

■ 기타 영향

- 대부분의 유럽 및 북미 지역에서는 강설 기간 및 강설량 감소
- 추운 날 수 감소와 이에 따른 서리 감소
- 향후 수십년간 빙하 감소 가속화
- 영구 동토층 감소



동안 비교적 안정적인 기후 조건 하에서 발전되어 온 것이다. 따라서 기업은 이러한 조건들이 어떻게 변하고 있으며 이러한 변화가 사회 각 부문과 산업에 어떤 영향을 미치는 지를 이해함으로써 기후변화에 대한 적응 조치를 취해야 할 것인지, 취해야 한다면 어떻게 해야 할 것인지를 결정할 수가 있을 것이다.

앞에서 지적한 바와 같이 기후변화는 기업에 대해 기회와 위험의 요인이 되고 있다. 건설 산업의 경우 극심한 이상 기후 현상으로 인한 건설현장 파괴와 수송 인프라에 대한 피해로 인한 건설 자재 공급 상의 차질 등의 어려움에 직면하는 기업이 증가할 것이다. 폭염은 또한 건설 근로자들이 안전하게 작업을 할 수 있는 시간을 감축시킬 것이다. 기후변화는 그러나 추위로 인한 작업 중단 일 수를 줄여 줄게 하여 건설 기업에 대해 기회 요인이 될 수도 있다. 기후변화에 대한 적응은 이상 기후 대응을 위한 건설자재와 건물 디자인과 같은 새로운 시장을 창출하고, 건설 자재의 운반 시간을 단축할 필요성을 증대시킴으로써 지역에서 생산되는 자재에 대한 수요로의 수요 이전이 촉진될 것으로 보인다.

다른 많은 산업부문에도 기후변화는 기회와 위험 요인에 다 같이 제공함으로써 기후변화로 인해 이익을 보는 기업도 있고 손실을 입는 기업도 있을 것이다. 농업의 경우, 기온과 강수 패턴의 변화는 각 지역 특성에 맞는 곡물의 변화를 가져오고 새로운 곡물과 기후변화에 적합한 농업기술의 개발 촉진이 예상된다. 관광산업도 기회와 위험 요인을 모두 직면할 것이다. 온난화로 인해 겨울철 관광자원은 줄

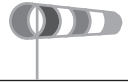
어늘게 되겠지만 봄과 여름철 레크레이션 기회가 증가할 것이기 때문이다. 보험 산업은 기후변화로 인해 보험 청구 건수의 증가, 역사적 손실 데이터를 기초로 한 보험료 및 보험액에 대한 신뢰도 감소 등 다양한 위험에 직면하게 된다. 그러나 새로운 상품 개발, 기후변화에 대한 적응활동을 통해 손실을 줄이려는 개인 및 기업의 보험 가입 증가 등은 기회 요인이 될 수 있다.

기후변화로 인한 위험은 또한 다른 기업보다 잘 관리될 수 있다면 피해규모를 줄일 수가 있다. 기후변화로 인해 발생할 가능성이 있는 위험을 경쟁 업체보다 앞서 파악함으로써 잠재적 피해를 보다 적게 받을 수 있기 때문이다. 예를 들면, 해수면 상승, 극심한 가뭄, 이상 기후 현상 등의 피해에 취약한 지역에는 투자를 하지 않음으로써 경쟁기업보다 피해 규모를 줄일 수가 있다.

4. 기후변화의 산업별 경제적 영향

1) 에너지 부문

에너지 부문(발전부문 포함)은 가장 커다란 온실가스 배출원이라는 점에서 정책적 측면에서 기후변화의 영향에 대해 가장 주목받는 부문이다. 전 세계적으로 발전 산업은 전 세계 온실가스 배출의 1/4 이상을 차지한다. 따라서 많은 국가들이 화석연료를 사용하는 발전소에 대한 규제를 강화하는 반면 신재생에너지를 이용한 발전에 대해서는 각종 보조금 지급을 늘려나가고 있다. 그러나 신재생에너지



분야는 아직 효율과 규모의 경제가 화석연료 발전에 비해 떨어지기 때문에 이를 개선하기 위한 기술 개발의 중요성이 매우 커질 것이다.

그러나 신재생에너지의 공급이 충분히 확대될 때까지는 아직 상당한 기간이 소요될 것이므로 화석연료 발전소가 단기간에 없어지지는 않을 것이다. 따라서 화석연료 발전의 효율개선과 온실가스 배출을 줄이는 기술개발의 중요성이 대단히 커질 것으로 예상된다. 효율이 높은 설비와 기술은 개도국에 대한 수출을 늘릴 수 있다는 점에서도 중요하다. 개도국의 경우 신재생에너지 기술이 부족하고 비용적 측면에서도 앞으로도 상당기간 동안 화석연료에 의존하지 않을 수 없을 것이기 때문에 비용 측면에서나 환경적 측면에서 효율개선이 시급히 요구되고 있기 때문이다.

기후변화는 또한 온실가스 배출이 적은 바이오에너지에 대한 수요 증가를 가져오고 있어 앞으로는 바이오에너지의 중요성이 전력 및 열 공급 뿐 아니라 수송부문에 있어서도 더욱 커질 것으로 전망되고 있다. 그러나 바이오에너지의 공급 증대는 식량생산 감소를 수반하기 때문에 한계가 있어 수요가 증대되면서 가격 상승이 불가피하여 화석연료와의 가격 경쟁이 심화될 것이다. 따라서 경쟁력을 향상시킬 수 있는 기술 발전과 규모의 경제 실현이 신재생에너지 분야의 핵심과제로 등장하고 있다.

신재생에너지 가운데 가장 각광을 받고 있는 풍력 및 태양 에너지 발전 시설은 입지가 좋은 곳이 에너지 수요가 적거나 또는 아주 없는 곳인 경우가 많

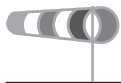
다. 따라서 에너지를 보관하고 수송하는 기술의 중요성이 대단히 크다. 한편, 원자력 발전은 국가에 따라서는 다소 상이하지만 온실가스 배출 저감 및 안정적인 에너지 공급 확보 측면에서 앞으로 그 중요성이 더욱 커질 것이다. 그러나 핵폐기물 문제가 여전히 남아있기 때문에 발전시설의 수명을 증가시키는 기술의 중요성이 증대될 것으로 예상되고 있다.

기후변화가 에너지 부문에 미치는 영향은 이와 같이 관련 정책에 의해 커다란 영향을 받지만 기후변화 자체에 의해서도 영향을 받는다. 발전시설 및 송배전 시설의 경우 폭우, 한발 등 이상기후의 영향을 많이 받기 때문에 보험료가 상승하여 전력 단가 상승 요인으로 작용을 할 것으로 보인다. 따라서 이상 기후에 보다 안전한 에너지 생산시설 및 공급망 기술의 중요성이 커지고 있다.

이상의 결과를 종합해보면, 에너지 부문에 대한 기후변화의 영향은 신재생에너지의 발전 정도에 따라 상이할 것이나 기본적으로는 화석연료 사용에 대한 규제로 인해 에너지 가격이 상승할 것이라는 점이 가장 크게 부각이 되고 있다.

2) 제조업 부문

기후변화가 제조업에 미치는 영향은 역시 기후변화를 억제하기 위한 규제조치 및 이에 따른 시장여건의 변화에 의한 것과 기후변화 자체에 의한 것으로 나누어 볼 수 있다. 전 세계 온실가스 배출의 20% 가량이 제조업 부문으로부터 발생하고 있기 때문에 제조업 부문은 기후변화 대응 규제 및 시장 여건



변화의 영향을 당연히 크게 받는다. 물론 그 영향의 방향과 크기는 산업별로 매우 다양하기 때문에 일반화하기는 어렵지만, 온실가스 배출을 저감하기 위한 화석연료의 생산과 소비에 대한 규제 강화는 에너지 가격 상승을 유발할 것이기 때문에 모든 제조업은 그 영향을 받을 수 밖에 없다.

업종별로는 에너지를 많이 사용하는 철강, 건축자재, 종이, 화학 산업 등이 에너지 비용이 총 비용에서 차지하는 비중이 작은 기계류, 자동차 산업 등에 비해 기후변화 대응 규제조치의 영향을 훨씬 많이 받을 것이다. 이러한 에너지 가격의 상승은 에너지 효율의 중요성을 더욱 높임으로써 생산 공정에서 에너지 효율을 개선하기 위한 투자 증대를 유발할 것으로 예상된다.

한편, 기후변화의 직접적인 영향으로는 기후변화로 인한 제품 수요 변동으로 인한 것과 기후변화가 생산 시설에 미치는 영향 및 생산요소에 미치는 영향으로 나누어 볼 수 있다. 냉방기기, 청량음료 등 일부 상품은 지구평균 기온 상승으로 수요가 증가하여 기후변화의 혜택을 받을 것이나, 난방기기 산업 등은 수요 감소에 직면할 것이다. 폭우, 폭설, 한발 등 이상기후는 생산 시설에 피해를 미칠 수가 있다. 또한 물과 같은 생산요소의 공급에 영향을 미칠 가능성이 있다. 예를 들면, 물을 많이 사용하지만 기후변화로 인해 물 공급이 더욱 어려워지게 될 지역에 위치한 공장은 다른 지역으로 공장을 이전할 수 밖에 없다. 따라서 이상기후 현상의 빈도와 강도가 심화되면 많은 공장들은 타 지역으로의 생산시설 이전을 검토하지 않으면 안 될 것이다.

가. 식품 산업

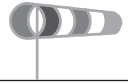
식품 산업은 바이오연료 생산 증대에 따른 농산물 가격 상승으로 생산비 상승의 부담이 커질 전망이다. 그러나 식품 산업은 대체로 경쟁이 치열하여 생산비 상승을 가격상승으로 전가하기가 어려워 생산비 상승은 곧 수익성 감소로 이어진다. 특히 스낵, 초콜릿 등 일부 품목은 수요의 과거 실적에 비추어 볼 때 가격탄력성이 높아 약간의 가격 상승도 커다란 판매 감소로 이어져 다른 식품 업종에 비해 더 커다란 피해를 받을 것으로 예상되고 있다. 그러나 청량음료, 아이스크림과 같은 일부 제품은 여름철 기온 상승으로 수요가 증가하여 기후변화로부터 혜택을 받게 될 것이다.

나. 섬유·의류 산업

섬유·의류 산업은 기후변화 영향이 품목별로 상이할 것으로 예측되고 있다. 특히 패션 제품의 경우에는 이상 기후 현상이 나타날 경우 예측이 매우 어려울 것으로 예측이 되나, 동계 의류는 기온상승으로 수요가 증가할 것이다. 한편, 무게를 줄이고 기능을 향상시키는 고기능 섬유에 대한 수요는 증가할 것으로 예상된다.

다. 목제품 산업

에너지 비용 증가는 섬유산업과 마찬가지로 목제품 산업에 대해서도 많은 영향을 미칠 것으로 예측되고 있다. 목제품 산업은 일반적으로 경쟁이 치열해서 원가상승을 가격상승으로 전가하기 어려울 것이기 때문에 수익성 감소가 예상된다.



라. 정유 산업

온실가스 배출규제로 인해 정유 산업은 생산비 상승과 수요 감소에 직면하게 될 것이다. 그러나 바이오 연료는 정부 보조로 이익이 증대될 것이며, 이로 인해 바이오 연료 생산에 참여하는 기업이 증가할 것이다.

마. 화학산업

기후변화는 화학산업에 대해 긍정적인 영향과 부정적인 영향을 모두 미칠 것으로 전망된다. 화석연료 가격 상승은 화학산업에 부담을 주지만 새로운 화학물질 개발과 연료전지, LEDs, 표면도금 등 기술 발전을 촉진하는데 화학제품의 사용이 증대됨으로써 수요를 증대시키는 측면도 있다. 이밖에 살충제와 비료 수요와 기후변화에 따른 질병 증가로 인한 의약품 수요 증가도 예상이 된다.

바. 금속 산업

철강 산업은 에너지를 많이 사용하므로 에너지 가격 상승은 생산비를 크게 증가시키는 요인으로 작용을 한다. 그러나 기후변화로 인해 많은 시설들이 새로 건설될 것으로 예상되고 있어 철강 수요 증가 요인이 될 것이다.

사. 기계류 산업

기후변화로 에너지 효율을 향상시킬 필요성이 높아진다는 점은 기계 및 전기기기 산업이 기후변화의 혜택을 가장 많이 받는 산업 가운데 하나로 만들 것이다. 이 산업은 에너지 비용 상승으로 인한 부담이 상대적으로 적으며, 기후변화로 에너지 효율이 높은 시설에 대한 수요가 증가할 것이기 때문이다.

아. 자동차 산업

자동차 산업은 기후변화에 대응하기 위한 자동차 연비 향상 규제 등 기후변화 대응을 위한 정책규제의 영향을 많이 받는다. 이러한 정부의 조치는 자동차 산업의 연구·개발 투자를 크게 촉진할 것이다. 따라서 자동차 산업에 부품 또는 소재를 공급하는 기업들은 상대적으로 혜택을 받을 가능성이 있다.

3) 서비스 산업

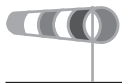
에너지 가격 상승은 서비스 산업에도 비용 증가 요인으로 작용을 한다. 기후변화의 영향은 그러나 제조업 보다는 덜 받게 될 것이다.

가. 도소매 산업

빈번한 이상기후 현상과 바이오 에너지 사용 증가는 공산품 가격 상승을 가져올 것으로 보인다. 특히 기후에 민감한 식료품의 도소매 산업은 기후 변화의 영향을 가장 크게 받을 것이며, 의류 산업도 기후변화에 신속하게 대응해야 한다는 어려움에 직면할 것으로 보인다. 한편, 에너지 가격 상승은 도소매업의 운송비를 증가시키는 요인이 될 것이다.

나. 수송업

기후변화 대응 규제로 가장 큰 영향을 받게 될 서비스 분야 가운데 하나는 수송분야이다. 수송부문은 전 세계 온실가스 배출의 13% 정도를 차지하는데 그치고 있으나, 각국의 경제성장으로 수송서비스에 대한 수요가 증가함으로써 수송부문으로부터의 온실가스 배출은 더욱 증가할 것이며, 이에 따



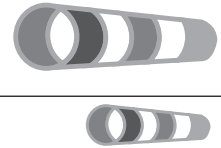
라 수송부문에 대한 온실가스 배출 규제는 더욱 강화될 것으로 예상된다.

다. 보험업

기후변화의 영향은 정확히 예측하는 것이 매우 어렵기 때문에 보험요율을 예측하는 것이 대단히 힘들다. 따라서 이상기후 현상은 보험회사나 피보험자 모두에게 예상치 못한 손실과 이익을 가져다주는 경우가 증대될 것이다.

5. 시사점

기후변화의 영향은 예측하는 것이 어렵지만 기후변화에 대응하기 위한 정책적 규제 강화는 에너지 비용 증가를 통해 정도는 다르겠지만 모든 산업에 경제적 부담을 가져다 줄 것임은 분명하다. 한편, 기후변화의 직접적인 영향은 긍정적인 요소와 부정적인 요소를 모두 갖는다. 그러나 대부분의 경우에는 부정적인 영향이 긍정적인 영향보다 크게 나타날 것으로 예측되고 있다. 따라서 기후변화 대응 조치가 정책 차원에서 뿐 아니라 기업 차원에서도 필요하다. 특히 선진 기업들의 경우에는 기후변화의 부담을 기회의 요인으로 삼기위해 연구개발에 더욱 박차를 가할 것이기 때문에 우리 기업도 이에 대한 보다 적극적인 대응이 요구된다.



기후경제학의 대두와 대응 전략*

임 상 수

현대경제연구원 연구위원

happylims@hri.co.kr

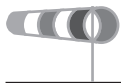
1. 기후경제학의 대두

1) 기후경제학의 정의

기후변화는 성장과 발전, 혁신과 기술 변화, 제도, 국제 경제, 금융 시장, 정보와 불확실성 등과 같이 경제학의 여러 분야와 관련 되어 있어, 기후 변화에 따른 영향을 경제학적으로 접근할 필요성이 있다. 이 때문에 기후경제학 또는 기후변화의 경제학이라는 용어가 생겨났다. 따라서 기후경제학은 기후 변화에 따른 영향을 경제학적으로 접근하는 학문이라 정의할 수 있으며, 이 때문에 기후변화의 경제학이라 불리기도 한다. 특히 최근 전 세계은행

부총장이었던 영국의 Stern이 “기후변화의 경제학 (Economics of climate change)”이라는 검토 보고서를 발간함으로써 기후변화의 경제학이라는 용어 및 이론은 더욱 확산되고 있다. 기후변화란 기후 시스템을 구성하는 각 요소의 변화 또는 요소간의 복잡한 상호작용에 의해 발생한다. 주요 기후변화로는 지구온난화, 엘니뇨 및 라니냐, 사막화 등이 있다. 이러한 기후변화의 요인은 자연적 요인과 인위적 요인으로 나누어진다. 자연적 요인으로는 태양활동의 변화, 화산 폭발, 지구궤도의 변화, 조산 운동, 조류운동, 해양의 순환 등이 있으며, 인위적 요인으로는 삼림파괴, 온실가스 방출 등이 있다.

* 현대경제연구원의 VIP Report(2008년 1월)를 재구성함.

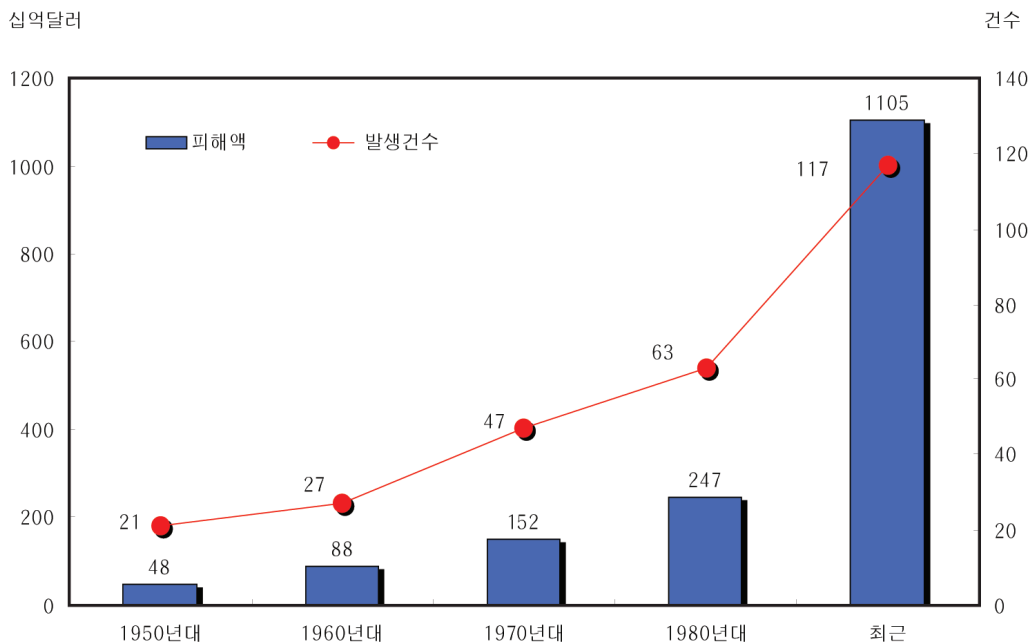


2) 기후경제학 대두 배경

이와 같이 기후경제학이 주목을 끌고 있는 이유는 기후변화의 영향으로 기상이변의 강도가 강해지고 있으며, 지구온난화로 인해 생태계가 파괴되고 세계 경제시스템이 변하는 등 부작용이 발생하고 있기 때문이다.

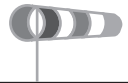
기상이변은 드물게 발생하지만 최근 반복되고 있어 정상적인 기상으로 받아들여지고 있는 추세이다. 또한 발생 건수에 비해 피해액이 급증하고 있는 것은 재해의 강도가 커지고 있음을 보여준다. [그림 1]은 기상재해 발생 건수와 피해액 추이를 나타낸 것

이다. 1990년대 이후 2005년까지의 기상재해 연평균 발생 건수는 7.3건으로 1950년대의 2.1건에 비해 3.5배 증가하였다. 반면 기상재해로 인한 연평균 피해액은 1950년대 48.1억 달러에서 1970년대 151.7억 달러, 그리고 1990년대 이후 최근까지 690.6억 달러로 지속적인 증가세에 있다. 1990년대 이후 2005년까지 기상재해로 인한 연평균 피해액은 690.6억 달러로 1950년대의 48.1억 달러에 비해 14.4배 증가하였다. 이처럼 1950년대 이후 기상재해 발생 건수는 연평균 36.6% 증가한데 반해 그로 인한 피해액은 연평균 94.7% 증가한 것은 기상재해의 강도가 시간이 지남에 따라 커지고 있음을 보여준다.



[그림 1] 기상재해 발생 건수 및 피해액

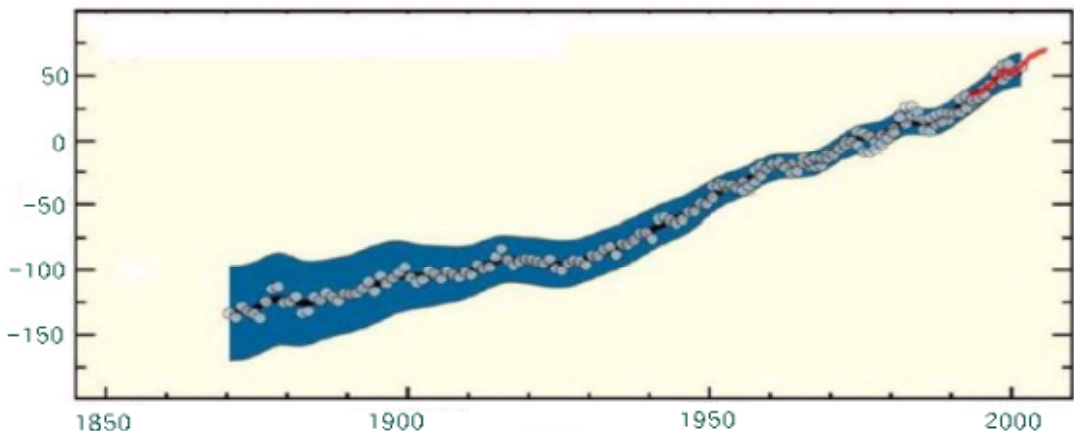
자료 : Munich Re, Topics Geo Annual Review : Natural catastrophes 2005



또한 지구 온난화에 따라 해수면이 상승하고 생태계가 파괴되고 있다. 지구 온난화로 빙하와 고도가 높은 산에 쌓였던 눈이 녹으면서 전 세계적으로 해수면이 상승하고 있다. 전 세계적으로 1961년부터 2003년까지 연평균 1.8mm의 해수면이 상승했고, 1993년부터 2003년까지는 연평균 3.1mm 상승했다. 또한 말라리아와 뎅기열 같은 열대 지방의 풍토병이 중위도 지역으로 확산되어 인간의 생명에 위협을 가할 것으로 예상된다. 그리고 생태계는 기후변화에 취약하기 때문에 섭씨 2도만 올라가도 생물종의 15~40%가 멸종에 처할 수 있다.¹⁾ 이처럼 지구 온난화는 열대지방의 풍토병이 중위도로 확산되고, 온도에 민감한 생물종이 멸종하는 등의 악영향을 미치고 있다.

기후변화 특히 지구 온난화로 인한 피해를 최소화하기 위해 환경 규제가 생겼고, 이는 세계 경제시

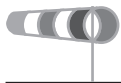
스템의 변화를 야기하였다. 기후변화 특히 지구 온난화의 피해가 확산됨에 따라 일부 선진국과 개발도상국을 중심으로 지구 온난화 방지를 위한 국제협약 및 국내 규제를 도입하게 되었다. 2005년 교토 의정서의 발효로 선진국을 중심으로 온실가스 배출 감축 의무가 책정되었으며, 이로 인해 탄소배출권 시장이라는 새로운 시장이 형성되었다. 또한 2007년 말 발리 로드맵이 채택되면서 2013년 이후 온실가스 배출 감축 의무가 전 세계적으로 확산될 것으로 예상된다. 그리고 EU를 중심으로 한 온실가스 감축 규제는 이미 온실가스 감축에 있어 경쟁력이 있는 EU 내의 기업에게 보이지 않는 인센티브를 제공하는 것이어서 여타 지역의 국가들과 통상마찰을 야기할 것으로 예측된다.



[그림 2] 해수면 상승 편차 추이

자료 : Intergovernmental Panel on Climate Change 2007 참조

주 : 1961년부터 1990년까지 해수면 평균을 중심으로 편차 산출



3) 기후변화와 한반도

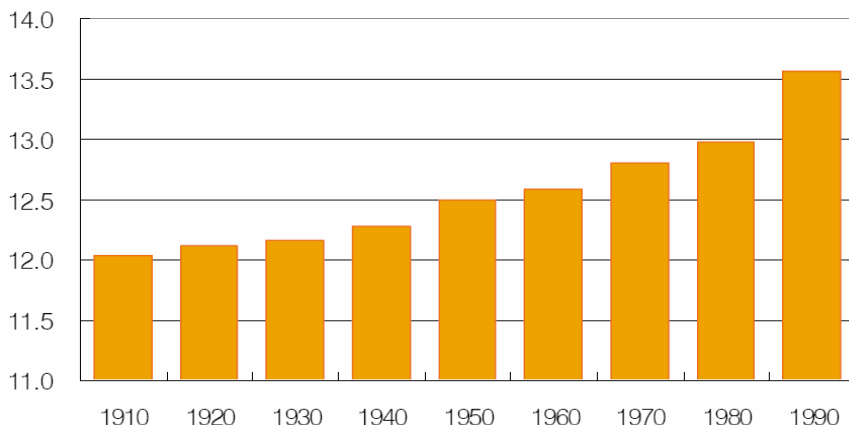
이와 같은 기후변화는 한반도 역시 예외가 될 수 없다. 기후변화 중 가장 주목을 받고 있는 온난화는 한반도에서도 빠르게 진행되고 있는 것으로 보고되고 있다.

한반도의 온실가스의 농도도 시간이 지남에 따라 증가하고 있는 추세이다. 온실가스 중 메탄(CH_4)과 아산화질소(N_2O)의 2006년 연평균 농도는 각각 1,889ppb²⁾, 320.7ppb로서 2005년에 비해 각각 3ppb, 0.5ppb 증가했다. 특히 이산화탄소(CO_2)의 경우, 1990년 이후 2004년까지 배출량은 연평균 약 5.1%씩 증가했으며, 이로 인해 한국은 CO_2 총 배출량 세계 10위, 1인당 CO_2 배출량 세계 6위를 기록했다. 또한 개발에 따른 산림파괴로 한국의 임야 면적은 1995년 645,2ha에서 2006년 638,9ha로 연평균 8.8%씩 감소했으며, 이 또한 한반도의 온난화를

진행시키는 요인으로 작용했다.

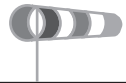
이와 같이 경제 성장을 위한 개발에 따른 온실가스 배출량 증가와 산림파괴가 한반도에서 일어나고 있다.³⁾ [그림 3]은 한국의 연평균 기온 추이를 나타낸 것으로 1991년부터 2000년까지 한반도의 연평균 기온은 13.5℃로 1912년부터 1920년 동안의 12℃에 비해 약 1.5℃ 상승하였으며, 이는 동기간 세계 평균 기온이 0.6℃ 상승한 것에 비해 약 2.5배가 상승한 수준이다.

이처럼 한반도 역시 온난화가 진행됨에 따라 자연재해로 인한 피해액 역시 증가하고 있다. [표 1]은 기상재해의 종류별로 한국의 피해액 추이를 나타낸 것이다. 1997년부터 2006년까지 10년 동안 자연재해로 인한 한국의 피해액은 19조 6,418억 원을 기록했다. 특히 자연재해 중 태풍의 피해액이 10조 4,279억 원으로 가장 많았으며, 다음으로 호우가



[그림 3] 한국의 연평균 기온 변화

자료 : 기상연구소 기후연구실, “한반도 기후 100년 변화와 미래 전망”참조.
정예모, “기후변화, 이제는 적응”재인용



[표 1] 기상재해로 인한 피해액 현황

(단위: 억 원)

연도	1997	2000	2005	2006	합계
태풍	105	1,462	1,385	118	104,279
호우	1,288	2,472	3,520	19,063	57,478
대설	0	0	5,500	52	12,291
폭풍	0	0	0	0	49
호우, 태풍	0	2,520	0	0	13,011
폭풍설	210	0	0	0	8,653
기타	307	0	93	197	857
합계	1,909	6,455	10,498	19,430	196,418

자료 : 소방방재청.

주 : 합계는 1997년부터 2006년까지 피해액을 합산한 금액임

5조 7,478억 원을 기록했다. 1997년부터 2006년 중 2002년과 2003년의 피해액이 각각 6조 1,529억 원, 4조 4,082억 원으로 가장 컸으며, 이는 태풍 루사와 매미에 의한 것이었다.

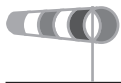
2. 기후변화의 손익 분석

기후변화는 동전의 양면처럼 기업 및 산업에 있어 위협요인이자 기회요인이 될 수 있다.

1) 위협 요인

기후변화는 기업이 경영을 하는데 있어 불확실성을 높이고, 생산비용이 증가하고, 통상마찰이 발생하는 등 위협요인으로 작용할 수 있다.

먼저 기후변화는 경영상의 애로를 증가시킬 것이다. 기상재해로 인한 피해로 제품 생산의 지연이 있을 뿐만 아니라 날씨 변동 확대에 따라 생산계획 수립에 있어 어려움이 발생한다. 기상재해로 인한 기업시설 피해는 물론 조업중단 등으로 기업의 경제적 손실이 발생한다. 실제로 2001년부터 2005년까지 기상재해로 인한 중소기업이 입은 직접적인 피해액은 1조 2,074억 원에 달했으며, 생산 중단 등을 감안한 간접적인 피해액을 고려할 경우 이보다 더 큰 손실을 본 것으로 판단된다.⁴⁾ 또한 기후변화로 인해 날씨 변동성이 커지고 소비패턴의 변화가 생김에 따라 제품 판매 예측 및 신상품 개발 등의 생산계획 수립에 어려움이 생긴다. 날씨의 변동성이 커지기 때문에 날씨 예측뿐만 아니라 제품 판매 예측 역시 어려워 생산계획을 수립하기가 더욱 어려워졌다. 예를 들어, 한국의 경우 봄과 가을이 짧



[표 2] 중소기업의 기상재해 피해 현황

(단위: 억 원)

연도	2001	2002	2003	2004	2005	합계
피해액	1,019	2,094	5,735	1,161	1,255	12,074
주요 태풍	파북	루사	매미	메기	나비	

자료 : 중소기업청, 정덕훈(2007) 재인용.

고 겨울이 온난한 아열대성 기후⁵⁾로 바뀌어가고 있어 춘추용 양복에 대한 수요가 줄어드는 등 소비패턴의 변화가 생김으로써 신상품 개발 및 생산계획 수립에 어려움이 발생한다.

두 번째로 기후변화 특히 지구 온난화의 속도를 줄이기 위해 온실가스 감축 규제가 생겨났으며, 이에 따라 기업의 생산 비용이 증가할 것으로 전망된다. 이와 같은 온실가스 감축 규제에 따른 탄소배출권 구매나 온실가스 감축 시설 도입 또는 기술 개발 등과 같은 행위는 기업의 생산비용을 증대시킬 것

이다. 실제로 발리 로드맵에 따라 한국이 1990년 온실가스 배출량에서 10%를 감축한 2억 360만 톤을 2020년에 유지한다면, 이를 위해 탄소배출권을 구매하는데 필요한 비용은 최저 28억 2,320만 달러에서 최고 277억 1,820만 달러에 이를 것으로 전망된다.⁶⁾ 또한 온실가스 감축 규제로 인해 생산 비용이 증가할 것으로 예상된다. 이는 환경규제의 강화는 기업에게 있어 생산 비용을 증대시키고, 이로 인해 경쟁력이 취약한 중소기업에게 부정적인 요인으로 작용할 것으로 판단되기 때문이다. EU 집행위원회는 신차의 CO₂ 배출량을 2012년부터 km당 120g

[표 3] 한국의 온실가스 감축을 위한 부담 비용(전망치)

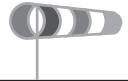
(단위: 억 원)

연도	CO2 감축량 (CO2 백만 톤)	부담 비용		
		54달러 예상	27달러 예상	5.5달러 예상
2010년	395.2	213.4	106.7	21.7
2015년	445.8	240.7	120.4	24.5
2020년	513.3	277.2	138.6	28.2

자료 : 이부형, 이해정(2007), “탄소 배출권 시장 현황과 전망”참조

주1. CO₂ 감축량은 1990년의 온실가스 배출량을 기준으로 10% 삭감한 수준인 2억 360만 톤을 기준으로 계산하였음

주2. 2010년의 예상 가격을 각각 54달러, 27달러, 5.5달러로 예상했을 때의 온실가스 감축 비용



으로 줄이는 것을 의무화할 것이며, 이는 현행 기준보다 25% 정도 강화된 것이다. 미국 역시 2020년까지 미국 내에서 판매되는 모든 자동차의 연비를 현행 기준보다 40% 가량 높아진 35mile/gallon로 강화할 것이다. 이에 따르는 기술 개발을 위해 자동차 회사들의 비용이 증가함으로써 채산성이 악화될 것으로 전망되고 있다. 또한 이러한 환경규제는 자동차 산업에서 제조업 전체로 확산되어, 모든 제조업에 속하는 기업의 생산비용이 증가할 것으로 예상된다.

세 번째로 지구 온난화 방지를 위한 선진국의 강도 높은 환경규제는 선진국으로 수출하는 개발도상국과의 통상마찰을 유발할 수 있다. 지구 온난화와 관련된 환경 규제는 주로 EU를 중심으로 시행되고 있다. EU의 환경규제는 유해물질 사용제한지침(RoHS : Restriction of the use Hazardous Substances), 전기·전자제품 폐기물처리지침(WEEE : Waste Electrical and Electronic Equipment), 에너지 사용 제품의 친환경 설계 지침(EuP : Ecodesign requirements for Energy-Using Products), 신화학물질관리정책(REACH : Restrictions, Evaluation, Authorization of Chemical), 폐자동차처리지침(ELV : End-of-Life Vehicles) 등이 있다. 이와 같은 선진국의 강도 높은 환경규제는 이미 환경문제에 있어 경쟁력을 확보한 선진국의 산업을 보호한다는 측면에서 비관세 무역 장벽의 역할을 할 것으로 보이며, 이에 따라 무역 마찰이 발생할 전망이다.

2) 기회 요인

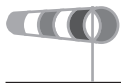
기후변화에 따른 위협은 크게 환경, 금융, 리스크 관리의 세 분야에 있어 새로운 비즈니스 창출의 기회 요인으로 작용할 수 있다.

첫 번째, 기후변화는 新 유망산업의 등장이라는 기회요인이 될 수 있다. 온실가스 배출억제 사업, 화석연료 대체 사업, CO₂ 분리, 저장 및 재이용 분야 등의 사업이 유망 사업으로 예상된다.

온실가스 배출을 줄이기 위해 에너지효율 관련 기술 및 재활용 기술에 대한 수요 증가가 예상되기 때문에 온실가스 배출억제 사업이 부상할 것으로 전망된다. 에너지효율 관련 기술은 전기·하이브리드 자동차 기술과 낭비되는 에너지를 줄이고 남은 에너지를 저장해두었다가 필요할 때 쓰는 기술 등을 말한다. 또한 온실가스와 관련된 폐기물의 재활용 기술은 생산 비용 절감 및 온실가스 감축의 2중 효과가 있다.

발전소 및 공장 등에서 배출되는 CO₂를 분리·회수한 후 저장하는 CCS(Carbon Capture and Storage) 관련 기술에 대한 수요 역시 증가할 것으로 예상된다. 이미 일본, 미국과 같은 선진국은 석탄 화력 발전소에서 배출되는 CO₂를 지하에 저장하는 기술을 개발하고 있다.

또한 화석연료는 온실가스를 유발하는 주요 원인 중 하나이므로 화석연료를 대체할 수 있는 친환경 에너지 기술 개발에 대한 수요가 증가하고 있다. 특



히 최근 고유가는 화석연료 대체 에너지 개발에 대한 관심을 증가시키고 있으며, 또한 환경문제와 연결하여 친환경 에너지의 개발로 새로운 수익원을 창출할 수 있어 주목을 끌고 있다. 이러한 친환경 에너지 기술에는 태양광발전, 풍력발전 등과 같은 新 재생에너지와 바이오 연료 등과 같은 청정연료가 있다.

두 번째로 파생금융 상품 개발이 확산될 것으로 전망된다. 따라서 증권사와 은행의 경우 날씨 파생상품 및 탄소배출권을 통한 상품 개발을, 보험사의 경우 날씨 위험을 담보로 하는 보험 상품 개발을 통해 새로운 수익원을 창출할 수 있다.

증권사와 은행은 날씨 파생상품 개발과 탄소배출권 관련 상품 개발을 통해 신규 사업을 창출할 수 있다.⁸⁾ 규격화된 시장에서 거래되는 날씨선물 뿐만 아니라 장외에서 거래되는 스왑, 옵션 등과 같은 파생상품 개발에 대한 수요가 증대할 것으로 예상된다. 또한 탄소배출권 관련 상품 시장 역시 활황을 나타낼 것으로 전망된다. 이미 세계적으로 탄소펀드 및 대체에너지 펀드 상품들이 개발되고 있다. World Bank는 2000년 4월 세계 최초로 조성한 PCF(Prototype Carbon Fund)를 통해 6년 만에 3억 4,900만 달러 상당의 크레딧을 확보했으며, UBS는 연평균 매출액 증가율이 30~40%인 고성장 온난화 방지 관련 기업에 투자하는 펀드를 2007년 출시하여 순자산총액이 6천억 원 규모로 성장했다.

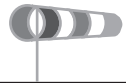
보험사는 기상재해를 담보로 하는 보험 상품과 날씨로 인한 매출감소 및 비용증가를 담보로 하는 보

험 상품을 개발할 수 있을 것으로 판단된다. 그동안 다양한 규제로 보험 상품을 개발하는데 한계가 있었으나, 자본시장통합법을 통해 네거티브 방식으로 규제가 바뀔에 따라 탄력적으로 상품을 개발할 수 있어 다양한 날씨 및 기상재해 보험을 개발할 수 있다. 또한 기후변화에 따른 위험이 확산되고 있으므로, 단순한 이벤트성(눈이 내리면 보험금 지급 등) 보험이 아닌 기업의 매출감소 및 비용증가를 담보로 하는 보험 상품에 대한 수요가 증가할 것으로 예상 된다.

세 번째로 리스크 관리 산업의 중요성이 증대할 것이다. 기업이 처한 날씨 위험을 측정하고 이에 대한 솔루션을 제공해주거나 온실가스감축에 대한 자문을 해주는 기후변화 위험 관련 컨설팅 사업이 발전할 것으로 전망된다.

기업은 온도, 강수량, 적설량 등과 같은 날씨 요인에 의해 매출과 비용이 크게 변동하기 때문에 이를 측정하고 사전적 위험과 사후적 위험을 관리할 수 있는 수단을 제공할 필요성이 있다.

온실가스 감축 프로젝트의 발굴, 소개, 컨설팅을 종합적으로 수행하는 비즈니스가 확대될 것으로 예상된다.⁹⁾ 낫소스는 렘슬, 도쿄가스 등 26개 기업과 함께 탄소 배출권 투자를 목적으로 4억 5천만 유로(6,500억 원) 규모의 투자펀드를 조성했다. 일본의 기업 연구소 미즈호 정보종합연구소는 탄소비즈니스 관련 정보제공, 배출권 개발지원, 배출권 관리 및 회계 지원 등을 수행하며, 미쓰비시 종합연구소는 탄소관련 컨설팅 업무를 수행하고 있다. 오



슬로에 본사를 둔 세계 최대의 탄소시장 정보 및 컨설팅 제공업체인 포이트카본은 150여개 국가의 15,000 회원 기업을 보유하고 있다. 세계적인 컨설팅 업체인 맥킨지 역시 온실가스 감축에 따른 경제성 및 에너지원별 온실가스 감축비용 등에 대한 컨설팅을 수행하고 있다.

3. 시사점 및 대응 전략

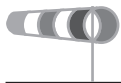
기후 변화에 따른 영향은 동전의 양면과 같이 위험과 기회가 동시에 존재하기 때문에, 기업과 정부는 적극적인 대응 방안 마련으로 위험 요인은 축소하고, 새롭게 창출될 경제적 이윤은 확대해야 할 것이다.

먼저 정부는 기업의 피해를 최소화하고, 기업의 온실가스 감축 기술 개발 및 관련 新 산업 진출을 위해 지원하며, 날씨 금융 시장을 활성화시켜야 한다. 첫 번째로 정부는 기상재해로 인한 기업의 피해를 최소화하기 위한 노력을 해야 할 것이다. 기상 관련 교육을 강화하고, 기상재해 관련 조기경보시스템을 가동하며, 온실가스 감축 규제 관련 전문 인력을 양성해야 한다. 이를 위해 기상과 산업에 대한 과학적 연구를 통해 나온 결과를 기업에게 교육시킴으로써 기상을 경영에 적극 활용할 수 있는 여건을 만들어 주어야 한다. 또한 집중 호우 및 폭염 등과 같은 기상재해에 대한 신속한 탐지를 통해 조기경보시스템을 가동함으로써 사전에 피해를 최소화할 수 있도록 해야 한다. 온실가스 관련 협상 전문가 양성을 통해 온실가스 감축 규제가 국내 산업에 유리하게 작용할 수 있도록 노력해야 한다.

두 번째로 기후변화에 적극적으로 대응하는 기업에 대한 지원을 강화해야 할 것이다. 온실가스 감축 기술 개발 기업에게 인센티브를 제공하고, 온실가스 감축 관련 다양한 정보를 기업에게 제공해야 한다. 온실가스 감축 기술 개발 기업의 세금 감면이나 정부출연 연구기관과의 연계를 도와줌으로써 기업이 온실가스 감축 기술을 개발하고자하는 동기를 유발시켜야 한다. 또한 온실가스 감축 기술 담당 부서를 신설하여, 국내 기업에게 다양한 선진 정보를 제공함으로써 新 산업 진출을 위한 여건을 조성해야 한다.

세 번째로 날씨 금융시장의 활성화를 유도해야 할 것이다. 기업의 날씨 위험 관리를 유도하고, 정부의 기상재해 보험을 확대하며, 날씨선물의 상장을 도와주어야 한다. 기업이 날씨 위험을 회피하기 위해 날씨 금융 시장을 활용할 경우, 세금 중 일부분을 감면해주는 정책을 통해 기업의 날씨 위험 관리를 유도해야 한다. 농작물재해보험이나 자연재해보험과 같이 정부 관련 보험의 확대를 통해 날씨 위험에 대한 인식을 확산시켜야 한다. 또한 금감위, 증권거래소를 중심으로 HDD, CDD, CAT 등과 같은 날씨를 담보로 한 날씨선물 시장 개설을 위한 법적·제도적 여건을 검토함으로써 기업이 날씨 위험을 회피할 수 있는 수단인 날씨선물의 상장을 도와야 할 것이다.

기업 역시 기후변화에 적극적으로 대응해야 한다. 이를 위해 기업은 날씨위험을 관리하고, 환경경영을 추진하며, 기후변화 및 날씨위험 관련 新 비즈니스를 개척해야 할 것이다.



먼저 기업이 처한 날씨 위험을 분산시키고, 날씨 정보를 생산 및 구매, CRM(Customer Relationship Management)에 적극 활용함으로써 날씨 위험을 관리해야 한다. 날씨는 통제 불가능하지만 리스크를 최소화할 수 있기 때문에 날씨 파생상품 및 보험을 통해 날씨변동에 따른 위험을 분산시켜야 한다. 또한 날씨 변동에 따른 위험이 제품의 생산·판매·소비 패턴 등에 어떠한 영향을 미치는지 분석하고, 이를 통해 생산 및 구매 계획에 활용하며 날씨 관련 이벤트를 통해 고객의 충성도를 높여야 할 것이다.

두 번째로 기업은 국제 기준보다 엄격한 환경규제를 바탕으로 온실가스 배출량을 줄임으로써 상품 가격에 있어 국제 경쟁력을 확보하고 수출에 있어 제약을 최소화해야 할 것이다.

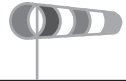
세 번째로 기업은 온실가스 저감 연구개발투자를 강화하고, 온실가스 감축 및 날씨위험 관련 다양한 비즈니스를 개척해야 할 것이다. 이를 위해 온실가스 감축은 중장기적인 측면에서 자산 관리라는 인식 하에, 온실가스 저감 연구개발투자를 강화해야 한다. 또한 온실가스 감축과 관련하여 펀드 및 파생상품과 같은 다양한 비즈니스를 국내에서 개척하고, 향후 전 세계를 대상으로 하는 비즈니스 영역으로 확대함으로써 신 시장을 선점해야 할 것이다. 그리고 날씨위험 및 기상재해는 단순히 위험이 아니라 재해 복구 사업, 파생상품 및 보험 상품 개발, 날씨 위험 관리 컨설팅과 같이 新 분야의 비즈니스를 개척하는 기회로 활용해야 한다.

[주]

- 1) Nicllas Stern(2007), "The Stern Review : The Economics of Climate Change" 참조.
- 2) ppb(parts per billion)는 10억분의 1을 의미함.
- 3) 과학기술자문회의(2007), "기후변화의 현황과 전망"참조.
- 4) 정덕훈(2007), "기업측면에서의 재난관리 대책방안"참조.
- 5) 정덕훈(2007), "기업측면에서의 재난관리 대책방안"참조.
- 6) 이부형, 이해정(2007), "탄소 배출권 시장 현황과 전망"참조.
- 7) 김현진 외(2007), "탄소시장의 부상과 비즈니스 모델"참조.
- 8) 김현진 외(2007), "탄소시장의 부상과 비즈니스 모델"참조.
- 9) 김현진 (2006), "포스트 교토의정서 논의와 한국의 대응" 및 김현진 외(2007), "탄소시장의 부상과 비즈니스 모델" 참조

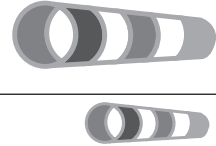
참고 문헌

- 국가과학기술자문회의, 「기후변화의 현황과 전망」, 2007년, 10월.
- 김현진, 강희찬, 박준, 「탄소시장의 부상과 비즈니스 모델」, 『CEO Information』, 삼성경제연구소, 2007년, 11월.
- 김현진, 「포스트 교토의정서 논의와 한국의 대응」, 『CEO Information』, 삼성경제연구소, 2006년, 3월.
- 모집 라티프(지), 이해경(역), 「기후의 역습」, 현암사, 2007년.
- 민승규, 「기상이변과 기업경영」, 『CEO Information』, 삼성경제연구소, 2002.
- 신익순, 김호석, 「기후변화협약과 기후정책」, 집문당, 2005년.
- 윤원태, 「기후변화 현황과 전망」, 『Green Samsung 웹진』, 삼성지구환경연구소, 2007
- 이명균, 「기후변화가 산업에 미치는 영향」, 『Green Samsung 웹진』, 삼성지구환경연구소, 2007
- 정덕훈, 「기업측면에서의 재난관리 대책방안」, 『Green Samsung 웹진』, 삼성지구환경연구소, 2007
- 정예모, 「기후변화, 이제는 적응」, 삼성지구환경연구소, 2007.
- 황진택, 「금융파생상품을 통한 날씨위험관리」, 『Green Samsung 웹진』, 삼성지구환경연구소, 2002
- Jack Cogen, "What is weather risk", 『PMA OnLine Magazine』, 1998.5.
- Nicholas Stern, "The Stern Review : The Economics of Climate Change", Cambridge University Press, 2007.



[참고] 기후변화에 따른 위험관리 방안

- 기후변화에 따르는 위험 관리는 지구의 온난화 속도를 줄이는 광의의 관리 방안과 이윤 극대화를 위해 날씨 위험을 관리하는 협의의 관리 방안으로 나눌 수 있음
- (광의의 관리 방안) 교토 의정서의 발효를 통해 온실가스 감축 목표가 설정되었으며, 온실 가스 감축 시 유연성을 부여하기 위해 교토 메커니즘이 도입됨
 - 교토 의정서 발효에 따른 감축 방안 : 2005년 교토 의정서의 발효로 선진국을 중심으로 온실가스 배출 감축 의무가 책정됨
 - 교토 의정서의 의무이행 대상 국가들은 2008년부터 2012년까지 온실가스 배출량을 기준 년인 1990년보다 5.2% 감축해야 함
 - 발리 로드맵의 채택으로 그동안 교토 의정서 비준을 거부해 온 미국 역시 온실가스 감축에 동참하게 되었으며, 또한 2013년 이후 포스트 교토의정서의 윤곽이 드러남
 - 교토 메커니즘 : 온실가스 감축의 의무 이행과 관련되어 효율성과 경제성을 제고하기 위해 도입한 배출권거래제도, 공동이행제도, 청정개발체제의 3가지 체제를 말함
 - 배출권거래제(ET : Emission Trading) : 온실가스 감축 의무 대상 국가가 의무 감축량을 초과할 경우 이 초과분을 다른 국가에게 매매할 수 있으며, 반대로 의무를 달성하지 못한 국가는 부족분을 구매할 수 있는 제도를 말함
 - 공동이행제도(JI : Joint Implementation) : 부속서 I 국가들 사이에서 온실가스 감축 사업을 공동으로 수행하여 발생한 온실가스 감축량의 일부분을 투자국의 감축실적으로 인정하는 체제
 - 청정개발체제(CDM : Clean Development Mechanism) : 부속서 I 국가가 비부속서 I 국가에서 온실가스 감축 사업을 수행하여 달성한 실적의 일부를 부속서 I 국의 감축량으로 허용하는 것을 말함
- (사전적 위험 최소화) 예보를 활용하여 회사의 의사결정에 반영함으로써 매출을 극대화하고 비용을 최소화하는 방법
 - 제조업 : 날씨와 매출과의 관계를 분석한 후, 예보를 활용하여 생산 계획을 수립함으로써 이윤을 극대화할 수 있음
 - 서비스업 : 매장을 방문하는 고객 수를 예측하고 이를 대비함으로써 고객의 편의를 증진시켜 자사에 대한 충성도를 높이고, 이윤을 극대화할 수 있음
- (사후적 위험 최소화) 날씨에 의한 사후적 위험을 파생상품 및 보험과 같은 금융 상품을 통해 관리할 수 있음
 - 날씨위험 담보 : 날씨 파생상품 및 보험은 날씨를 담보로 위험을 관리하는 방법으로 현재 담보되고 있는 날씨에는 온도, 서리, 강우량, 적설량 등이 있음
 - 날씨 파생상품의 기초 자산에는 온도, 서리, 강우량, 적설량 등이 있으며, 온도는 HDD, CDD, CAT로 구분됨
 - HDD(Heating Degree Days) : 18.3℃에서 하루 평균 온도를 뺀 값 중 양의 값을 합산한 것을 말하며, 인간이 18.3℃ 이하로 온도가 내려갈 경우 추위를 느껴 난방을 하므로 난방도일이라 불림
 - CDD(Cooling Degree Days) : 하루 평균 온도에서 18.3℃를 뺀 값 중 양의 값을 합산한 것을 말하며, 인간은 온도가 18.3℃ 이상으로 올라가면 더위를 느껴 냉방을 하므로 냉방도일이라 불림
 - CAT(Cumulative Average Temperature) : 여름철 평균 온도의 합계
 - 강우량(Rainfall) 및 적설량(Snowfall) : 해지 기간 동안 일정 수준 이상의 비나 눈이 내릴 경우 이를 담보할 수 있음
 - 서리(Frost Day) : 11월부터 3월까지 주별로 기록된 서리가 내린 날의 수
 - 기상재해(Climatic Disaster) : 태풍, 해일 등과 같은 기상재해로 인한 피해를 담보할 수 있음



기후변화와 신재생에너지 산업

구영덕

한국과학기술정보연구원 책임연구원

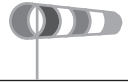
ydkoo@kisti.re.kr

지금 세계는 기상이변과 자연재해가 빈발하면서 기후변화에 대한 우려가 날로 커지고 있다. 이에 세계 각국에서는 태양 및 풍력 등의 신재생에너지의 이용확대를 기후변화와 에너지 문제의 해결책으로 제시하고 있다. 그러나 이들 신재생에너지의 상용화가 쉽지 않음에 따라, 그 대안으로서 원자력 발전 또는 석탄화력발전의 회귀문제가 다루어지고 있다.

최근 미국과 더불어 유럽을 중심으로 원자력발전이 재검토되고 있지만, 그의 위험성 등으로 인하여 건설 확대가 지연되고 있다. 그리고 석탄발전의 경우 온실가스 배출을 줄이는 청정에너지 생산방식의 발전기술을 개발 및 채택하고 있지만, 정치적 및 법적 문제와 더불어 탄소포획 저장기술의 상용

화 문제 등으로 인하여 실용화에는 최소한 10년 정도가 더 걸릴 것으로 전망되고 있다.

현재 64억명에서 2030년까지 약 80억명으로 전세계 인구 증가가 예상되는 상황에서 안정적이고, 저렴하며, 저탄소 에너지를 어떻게 공급할 것인가? 이 문제는 에너지 산업, 에너지 이용자, 정책 결정자가 골몰하고 있는 사안이다. 사람들의 생활수준이 향상되고 지구촌 경제가 발전함에 따라 에너지 수요는 증가하고 있다. 이와같이 에너지 수요가 증가함에 따라, 전세계는 2030년까지 최소 40~50% 정도의 에너지를 더 필요로 할 전망이다. 그러나 만약 지금의 에너지생산 공급체제가 새로운 혁신없이 계속된다면 대기중의 온실가스 배출 증가에 따른 기후변화는 계속될 것이다.



이에 세계 각국에서는 에너지 안보, 저렴한 에너지에 대한 접근, 기후변화와 관련된 우려 등으로 새로운 에너지 경로로의 전환을 시도하고 있다. 그러나 이러한 에너지 모델 변화의 시도들은 과학자, 공학자, 기업 지도자들과 전세계 정치지도자들의 책임, 창의성, 협력을 요구한다. 또한 이러한 시도들이 성공하기 위해서는 혁신적인 사고, 자본의 대량 투입, 행운 등이 필요하다. 혁신은 새로운 생각을 만드는 것뿐만 아니라, 새로운 생각들을 행동으로 옮기는 능력도 해당된다.

향후 인류의 에너지를 책임질 새로운 에너지 개발을 위해 세계 각국은 재생에너지의 개발에 엄청난 연구개발 투자를 실시하고 있다. 2005년 세계적으로 재생에너지 개발 및 보급에 투자된 금액은 약 380억달러에 이르고 있다. 유럽은 2020년까지 1차 에너지 가운데 재생에너지의 비중을 25%로, 2040년까지 50%로 확대할 계획이다. 특히 영국은 2010년까지 재생에너지 사용비율을 10%까지 증가시키기로 발표한바 있으며, 독일은 2020년까지 재생에너지의 전력공급 비중을 20% 이상으로 확대할 계획이다. 미국은 2017년까지 휘발유의 15%를 재생에너지로 대체한다는 계획이다.

우리나라는 2006년 기준으로 재생에너지가 천연자원 상태에서 공급되는 1차 에너지를 대체하는 비율이 2.27% 수준으로 덴마크(14.6%), 프랑스(6.3%), 미국(4.5%), 독일(4.3%), 일본(3.4%)에 비해 매우 낮다. 따라서 정부는 오는 2011년까지 1차 에너지의 5%를 재생에너지로 대체하겠다고 발표한바 있으나, 선진국 수준을 따라가기 위해서는 갈 길이 먼 상태이다.

이에 여기에서는 세계적으로 가장 진척도가 빠르고 연구개발이 활발한 풍력발전과 태양광 발전(태양전지) 그리고 조·파력 발전을 중심으로 다양한 방법들을 소개하고자 한다.

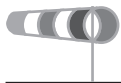
1. 풍력발전

1) 세계 각국의 풍력발전 산업

2008년 2월 세계풍력에너지협회(GWEC)는 2007년의 세계풍력발전 신규 설치용량이 20GW를 넘었다고 발표했다. 미국, 중국 및 스페인이 시장을 선도해 2007년 말 세계 총 설비용량은 94GW가 되었다. 2006년말과 비교하면 약 27%가 증가한 것이다.

미국은 2007년 신규 설치용량을 5.2GW라고 발표했다. 이것은 2006년에 비해 2배 이상이다. 미국의 풍력발전 총 설비용량은 2007년에 45% 성장했고, 현재는 16.8GW이다. 이와같은 급성장은 강력한 수요증가, 호조를 보이는 경제성장, 연방정부의 세금 공제 정책 등의 영향을 받았기 때문이다.

중국의 2007년도 신규 설치용량은 3.5GW이며, 시장성장률은 2006년보다 156% 증가하였다. 그 결과로 2007년말 현재 총 설비용량은 전년보다 134% 증가해 6GW 이상으로 세계 5위를 차지했다. 중국의 재생가능에너지산업연맹(CREIA)은 2015년까지 약 50GW에 이를 것으로 전망하고 있다. 중국 풍력발전 시장의 성장원인은 풍력터빈의 국내제조가 가능하여, 40여개 이상의 풍력터빈관련 기업의 영향을 받고 있기 때문이다.



유럽은 스페인이 유럽시장을 크게 점유하고 있다. 스페인은 2007년에 3.5GW를 신규로 도입하여 신규 설치용량 측면에서 미국에 이어 세계 2위를 차지하였다. 현재 풍력발전 총 설비용량은 15GW이다. 2007년말 현재 유럽의 풍력발전 총 설비용량은 57GW이며, 이는 이산화탄소의 배출량을 연간 약 9,000만톤 방지하는 효과를 나타낸다. 현재 유럽의 풍력에너지는 다른 어느 발전분야보다 큰 증가추세에 있고, 신규 도입되는 설비용량의 약 40%를 점유하고 있다. 유럽은 현재 풍력발전 시장을 선도하고 있으며, 2007년말 현재 총 설비용량은 57GW로 세계 61%를 점유하였다.

풍력에너지는 온실효과 및 기후변화 문제에 큰 영향력을 갖고 있다. 세계 풍력발전의 총 설비용량은 94GW로, 매년 CO2 배출을 약 1억 2,200만톤 방지할 수 있다. 현재 세계풍력에너지협회는 2020년까지 매년 이산화탄소를 15억톤 삭감하는 것을 목표로 하고 있다.

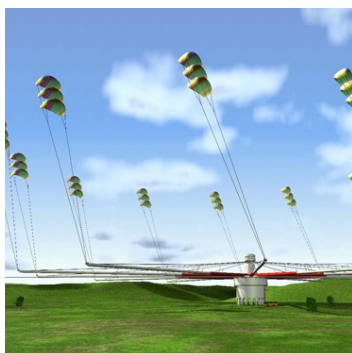
2) 풍력발전의 주요 사례

□ 풍선 또는 연(kite)에 의한 풍력발전

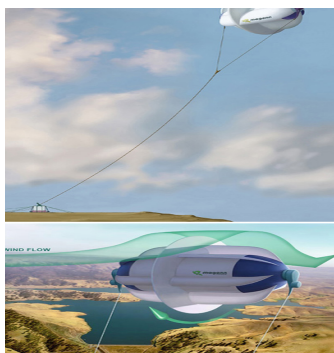
캐나다의 마젠파워사는 최근 지상 300m에서 강한 바람으로 전기를 얻는 풍선형 비행선 풍력 발전기를 선보인바 있다. 이 비행선 풍력발전기는 수십 m 높이에 철탑에 커다란 풍차가 달린 기존 풍력 발전기와는 달리 헬륨가스를 채운 비행선을 하늘에 띄우는 방식이다. 거센 바람에 따라 비행선이 제자리에서 돌때의 회전력을 이용하여 비행선에 탑재된 발전기를 돌려 전기를 얻는 원리이다.

또한 이탈리아에서는 연(kite)을 이용하여 전기를 생산하는 Kite Wind Generator(이하 KiteGen)를 개발하였다. 이 장치는 연에 부착된 폴(pole)이 바람에 의해 회전을 시작하면 KiteGen의 중심부에서 발전이 시작된다.

이들 신개념의 발전기들은 아직 개선의 여지가 많

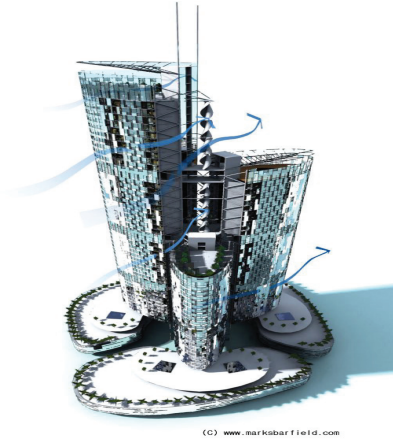
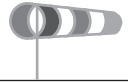


〈Kite Wind Generator〉



〈Magenn Power System〉

[풍선 및 연 등으로 전기를 만드는 시스템]



[막스 바필드의 스카이하우스]

이 있기는 하지만, 우리에게만 방패연, 가오리연 등을 생각할 때 새로운 기회로 작용할 수 있지 않을까 생각된다.

□ 고층 건물에 부는 바람에 의한 풍력발전

영국 런던의 설계사무소 막스 바필드(Marks Barfield)에서는 새로운 초고층 아파트 프로젝트로

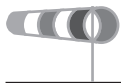
서 스카이하우스(Skyhouse)를 발표하였다. 3개동으로 구성된 이 건물은 타고 오르는 상승기류의 바람을 이용해 파배기 모양의 풍력 발전기를 돌린다는 것이 이번 프로젝트의 획기적인 아이디어라고 한다.

그리고 현재 바레인에서 건축되고 있는 세계무역센터(BWTC) 쌍둥이 빌딩도 건물과 건물 사이에 대형 발전용 터빈을 설치해 전기를 생산하는 세계 최초의 건물로 주목받고 있다. 바레인 국제무역센터는 바레인의 랜드마크를 담당하는 국가적으로 상징적인 구조물로서 건축적인 조형미 측면에서도 아름다운 건물이다.

이러한 바레인 국제 무역센터는 세계 최초로 풍력 발전을 장착한 빌딩으로서, 2008년 4월에 새 역사를 열었다. 바레인 국제 무역센터는 두 동의 건물로 이루어진 빌딩인데, 이 두 개의 타워 사이에는 일정한 간격으로 세 개의 다리가 설치되어 있으며, 여기



[바레인의 세계무역센터]



[중앙분리대를 이용한 풍력발전]

에 29미터 직경의 블레이드를 장착한 터빈이 설치되어 있다.

이 풍력발전이 완전히 가동할 경우, 두 개의 건물에 필요한 전력의 11~15%에 해당하는 에너지를 제공할 것으로 예상되고 있다. 타원형으로 생긴 두 동의 건물이 마치 비행기 날개와 같은 역할을 함으로써, 주변의 해안 지역으로부터 불어오는 미풍을 가속화시켜 풍력발전에 도움이 되도록 구조적인 역할을 한다.

□ 고속도로 중앙분리대에 의한 풍력발전

얼마전 미국의 라이스대학(Rice University)에서는 고속도로의 중앙분리대에 자동차가 진행하는 방향과 수직축을 이루는 풍력 터빈(Vertical-axis Wind Turbine)을 설치하여 전기를 만드는 풍력터빈을 선보인바 있다. 이 장치에서 찾아볼 수 있는 흥미로운 점은 자연 발생적인 바람에 의존하여 풍력 발전을 생산하는 것이 아니라 고속도로를 경유하는 자동차에 의해 발생하는 바람을 이용한다는 점이다. 이 대학에 따르면, 이 프로젝트가 아직 연구 단계에 있으나 가까운 시일 내에 효율성을 갖춘 재생 에너지원을 선보일 것이라고 전했다. 그리고 이 아이

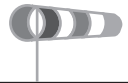
디어가 방벽이 있는 지하철이나 경전철에도 적용될 수 있다고 덧붙였다. 대도시 지역에서 수많은 인구를 수송하는 대중교통에 풍력 발전을 적용할 수 있다면 그 파급 효과는 엄청날 것으로 보인다.

□ 패러글라이더에 의한 화물선용 풍력발전

독일 브레멘의 Beluga Shipping사는 세계 최초로 화물선에 이용될 수 있는 풍력동력원 시스템 스카이세일(SkySail)을 개발하였다. 이 시스템은 예선기구(氣球)를 이용하는 새로운 개념의 동력형태로 화물선의 적재량을 제한하지 않고 설치가 가능한 대체동력원이다. 이 스카이세일 시스템은 패러글라이더(paraglider)와 비슷한 대형 기구를 이용하는 것으로서, 풍력을 이용한 화물선의 보조동력원으로서 화물선과 로프로 연결되어 100~500미터 상공에 떠서 항해 1일당 최대 10~15%의 디젤연료 절약을 기대하고 있다.



[풍력에너지를 이용한 화물선의 대체동력원 "SkySails"]



2. 태양광 발전(태양전지)

1) 세계 각국의 태양광 발전 산업

미국 태양에너지 컨설팅업체 솔라버즈에 따르면, 2007년 전세계 태양에너지 시장은 172억달러 규모로 각국의 전력생산량을 합하면 총 2,826MWh에 이르는 것으로 나타났다. 이는 2006년보다 무려 62% 증가한 것이다.

국가별 태양에너지 총 생산량은 독일이 2007년에 1,328MWh로 세계 시장의 약 47%를 차지하였다. 스페인은 2006년보다 480%로 급격하게 성장하여 640MWh로 2위에 올라섰다. 그리고 일본은 2006년보다 23% 감소한 230MWh를 기록하여 3위를 차지하였고, 미국이 220MWh로 4위를 차지하였다.

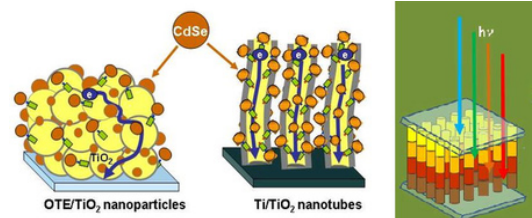
한편, 2007년 태양전지 생산량은 전력규모기준 총 3,436MWh로 2006년 2,204MWh에 비해 155% 성장하였다. 특히 중국이 세계 시장의 약 35%를 차지하며 26%를 기록한 일본을 제쳤다.

2) 세계 태양전지의 주요 사례

□ 크기가 다른 양자점들을 이용한 태양전지

미국 노트르담 대학의 연구진은 크기가 다른 양자점들을 일정하게 정렬하여 태양빛을 효율적으로 이용할 수 있는 태양전지를 개발하였다. 반도체 양자점을 이용한 태양전지는 양자점의 크기를 조절함으로써 태양 전지가 특정한 파장의 빛만을 흡수하게 만들 수 있는 특징이 있다. 작은 크기의 양자점은

단파장의 빛을 흡수하고 크기가 더 큰 양자점은 장파장의 빛을 흡수한다. 이를 잘 조절하면, 기존의 벌크 반도체로 만들어진 태양전지에 비해서 더 효율적으로 전력을 생산해 낼 수 있다.

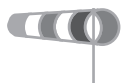


[크기가 다른 양자점들을 이용한 태양전지 구조]

□ 잉크젯으로 인쇄한 유기 박막 태양전지

태양광 발전 기술을 다루는 미국 Konarka Technologies사는 잉크젯 인쇄를 이용하여 매우 낮은 비용으로 제조할 수 있는 유기 태양전지를 개발하였다. 유기 태양전지는 실리콘 전지와 달리 클린룸에서의 생산 공정이 불필요하고 간단하면서 염가로 제조할 수 있기 때문에 태양 발전의 용도를 확대할 것으로 기대하고 있다. 환경 지향형 기술의 개발로 발표된 이 유기전지는 매우 경량이며 유연하여 일회용 병에 플라스틱제 태양전지를 붙일 수 있다고 한다.

종래 실리콘 태양전지가 태양 에너지의 15~20%를 전력으로 변환하는데 비하여, 유기 박막 태양전지는 에너지 변환 효율이 5% 정도에 머무르며 무기 태양전지에 비해 내구성도 뒤떨어지므로 건축에 적합하지 않는 것으로 평가되었다. 그러나 유연성이



뛰어나 질러나 투명, 그리고 화려한 패턴 등에서의 인쇄가 용이함에 따라 Konarka Technologies사는 자가 발전하는 군용 텐트에 응용개발을 착수하였다.

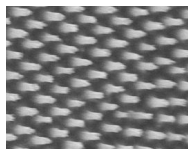
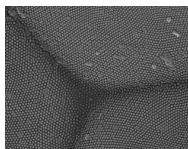


[잉크젯으로 인쇄한 유기 박막 태양전지]

□ 모기 눈의 구조를 이용한 태양전지

미국 플로리다 대학에서는 모기 눈의 구조에서 영감을 얻어 효율을 높일 수 있는 구조를 가진 태양전지를 개발하였다. 이 태양전지는 제작과정이 단순하고 비용이 저렴하여 기존의 태양전지보다 여러 면에서 우수한 것으로 알려지고 있다. 모기의 눈은 각막에 정렬된 융기들이 있는 데, 이러한 구조는 반사율이 낮아 빛을 반사하지 않음으로써 야간에 천적으로부터 보호될 수 있는 이점이 있다.

기존의 태양전지는 반사 방지 코팅이 비효율적이며 제작이 어렵고 비용이 많이 드는 데 비하여, 이 새로운 방법은 반사율이 2% 미만으로 우수하고 제작공정이 간단하고 비용이 저렴하다는 장점이 있다고 한다.



[모기 눈의 구조를 이용한 태양전지 구조]

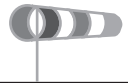
□ 태양전지로 만든 비키니 수영복

뉴욕대학교가 개발한 태양열 패널로 재단된 수영복은 MP3 플레이어를 충전할 만큼 충분한 전기를 만들 수 있기 때문에, 수영복을 입은 사람은 해변에 누워 일광욕을 즐기면서 다양한 여가 활동을 할 수 있다고 한다.

이 수영복은 충분한 전력을 공급해 맥주나 음료수 한 캔 정도는 얼마든지 시원하게 유지할 수 있다고 한다. 따라서 해변에 가서 음악을 들으며, 시원한 음료를 즐기고 싶지만, 물에는 들어가고 싶지 않은 사람들에게 태양광 수영복은 유용한 선택이 될 수 있을 것이다. 그러나 해변을 즐기는 멋진 선남선녀들이 민감한 부위에 전기 충격을 받지 않고 새로운 수영복을 입고 수영을 할 수 있을지는 아직 분명하지 않다.



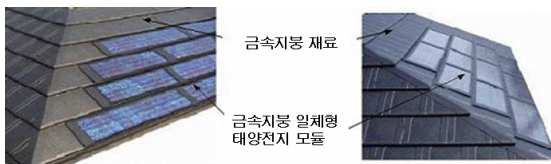
[태양전지로 만든 비키니 수영복]



□ 금속지붕 일체형 태양전지 모듈

일본 샤프는 금속 지붕재와 태양전지 모듈을 일체화하여 기존 주택의 슬레이트 지붕에 덮는 방법으로 단기간의 설치가 가능하며 격조 높은 서양풍 평기와의 디자인을 채용한 금속 지붕 일체형 태양전지 모듈을 개발하였다.

샤프는 태양광 발전에 있어 선두적인 회사로서 새로운 수요를 발굴해야 할 필요성이 급증하고 있는 가운데, 지붕 리모델링 시장에 착안, 디자인, 시공성, 설치 효율이 우수하면서 리모델링 폐재 처리가 거의 불필요한 금속 지붕 일체형 태양광 발전 시스템을 JFE 강관회사와 공동으로 개발하였다.



[금속 지붕 일체형 태양전지 모듈]

□ 시금치로 만든 태양전지

미국 MIT에서는 식물 단백질을 이용하여 전기를 생산할 수 있는 전지를 만들었다. 생물학적 원리를 바탕으로 빛을 전기에너지로 바꾸는 이 태양전지는 제작비가 싸고 효율적이라고 한다. 따라서 들고 다니며 사용할 수 있는 환

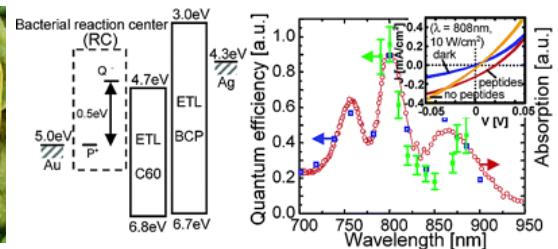


경친화적인 에너지원으로서 노트북 컴퓨터 같은 것에 응용될 수 있을 것으로 예상되고 있다.

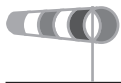
이 전지는 시금치의 앞에서 분리된 단백질 분자를 얇은 금박 위에 올려놓고 투명한 전도체막에 부착시킨 후, 그 위에 유기 전도물질을 덮는 방법으로 제작되었다. 또한 이 전지는 흡수한 빛 에너지의 약 12%만을 전기 에너지로 전환하는데, 연구진은 향후에 효율을 20%까지 높일 수 있을 것으로 믿고 있으며, 이렇게 되면 시중에 나와 있는 실리콘 태양전지의 효율보다도 더 좋은 것이 될 수도 있을 것으로 기대하고 있다.

□ 유리창이 가능한 투명한 태양전지

일본 산업기술종합연구소는 인체에 유해한 자외선만을 흡수해 발전하는 투명한 태양전지를 개발하였다. 이 연구팀은 시작품(始作品)의 제작도 성공했으며 면적을 크게 할 수 있으면 유리창에 쳐 발전할 수도 있다고 밝혔다. 종래의 태양전지는 실리콘으로 되어 있고, 가시광선을 흡수해 발전하기 때문에 약간 검은 색을 띄고 있다. 그런데 산업기술종합연구소가 개발한 이 전지는 산화 아연 반도체와 알루미늄 산화물의 반도체를 조합해 만들어졌으며, 직



[시금치로 만든 태양전지의 효율]



경 15mm, 두께 0.001mm의 둥근 막상(膜狀)을 하고 있다. 투명한 태양전지는 도시바가 3년 전에 산업기술종합연구소의 것과는 다른 방식으로 개발에 성공한 바 있지만 반도체 그 자체가 투명한 태양전지로는 이것이 세계 최초이다.

자외선을 이용한 이 발전기가 대형화에 성공하면 빌딩이나 자동차의 유리창으로도 발전을 할 수 있게 되며, 자외선을 흡수하기 때문에 썬텐의 걱정이 없어질 것으로 예상되고 있다.



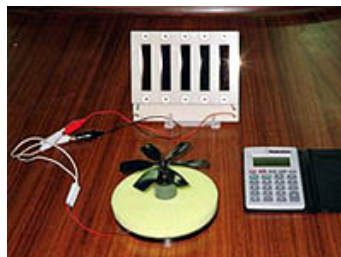
[투명한 태양전지]

□ 컬러 태양전지

일본 하야시바루(林原) 생물화학연구소는 티탄에 기능성 색소를 조합하고 전해질에 도전성(導電性)이 높은 상온 용해소금을 사용함으로써 다양한 색을 내는 컬러 태양전지를 개발하였다. 이 태양전지는 향후에 간판이나 회화, 계산기 패넌 등에 실용화될 것으로 전망되고 있다.

하야시바루 연구소가 개발한 컬러 태양전지는 실리

콘 대신 티탄을 사용하는 것으로서 제조비용이 싸고 다양한 착색이 가능하다. 따라서 태양광 발전의 목적뿐만 아니라 장식용으로서 간판이나 회화, 창 등 폭넓은 분야에 응용될 것으로 기대되고 있다.



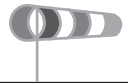
[컬러 태양전지]

3. 조력 및 파력 발전

1) 조·파력 발전 산업

조력발전이란 해역 또는 해양의 조류 에너지를 이용하여 전력을 변환하는 기술로서, 조력의 경우 새로운 댐이 하구를 횡단하도록 설치된다. 조류가 출입할 때 물이 터널을 통해 유입되어 터빈을 돌리든지 파이프의 공기를 밀어 넣어 터빈을 구동하여 발전한다. 그 이외에 조력활용 방법으로서 근해에 설치된 터빈(수중 Wind Farm)이나 수직축 터빈을 사용하는 경우도 있다.

일반적으로 조류발전은 시스템을 한번 구축하면 무한의 조력자원을 이용하기 때문에 온실가스효과 등의 폐기물이 배출되지 않고 연료가 불필요하여



환경에 영향이 적은 장점이 있다. 그러나 하구를 막는 건설비용이 많이 들고 상/하류 수 km에 걸친 지역에 환경적인 영향을 줄 가능성이 있다. 또한 어떠한 조력기술이 사용되어도 전력공급이 가능하게 되는 시간은 하루에 조위가 변화하는 10시간 정도로 한정되는 단점이 있다.

파력발전은 해역 또는 해양상의 바람 효과로부터 얻는 에너지를 활용하는 기술로서 다종다양한 파력활용방법이 연구되고 있다. 한편, 파력발생장치는 파도의 수위가 상하로 움직임으로써 공기의 출입에 의해 터빈을 회전시켜 발전기를 돌리는 구조이다. 파력발전은 한번 구축해두면 비용이 들지 않고 온실가스효과 등의 폐기물을 배출하지 않는 이점이 있다. 연료도 필요없고 운영유지비용이 낮고 다량의 에너지를 생산할 수 있다. 그러나 파력발전은 파도의 의존도가 높고 파도의 상태에 따라 에너지의 생산량이 크게 변동된다. 그리고 높은 파도가 충분히 있는 적절한 입지를 결정할 필요가 있다. 설계적으로 소음이 심한 경우도 있고, 심한 파도에도 견딜 수 있는 시스템도 필요하다.

2) 세계 각국의 조력·파력 발전 사례

□ 영국의 스트랭포드 협만 조력발전소

영국 북아일랜드의 스트랭포드 협만(Strangford Lough)에 설치되고 있는 시젠(SeaGen) 조력발전기는 향후 10년 안에 영국에너지 공급의 10%를 공급하게 될 것으로 전망되고 있다. 만일 이 지역의 강력한 조수 흐름을 이용하여 전력을 생산하는 시스템이 성공한다면 영국뿐 아니라 세계 다른 곳에서도 사용될 수 있을 것으로 예상되고 있다.

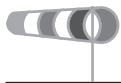
영국 기업인 마린 커런트 터빈(Marine Current Turbine, MCT)사가 건설하고 있는 시젠 발전기는 약 1,000가구에 전력을 공급할 수 있는 전기를 생산하며 이러한 종류의 발전기로서는 세계에서 가장 큰 규모이다. 이 발전기의 전력발전 능력은 1.2 MW로 다른 조력 발전 터빈보다 4배 정도 많은 전력을 생산할 수 있는 것이다.

□ 프랑스의 랑스 조력발전소

생말로(Saint-Malo) 만에 세워진 프랑스 랑스(Rance) 조력발전소는 1966년 당시 첨단 기술을 동



[영국 북아일랜드의 스트랭포드 협만 조력발전소]



원하여 건설되었으며, 40년이 지난 현재도 랑스 조력발전소는 여전히 가동되고 있다.

랑스(Rance)강 하구에, 중세시대의 물레방아에서 영감을 받아 세워진 240MW의 랑스 발전소는 브르탄뉴 지방에서 생산되는 전력의 90%를 담당하고 있다.

□ 중국의 압록강 조력발전소

중국 정부가 압록강 입구의 조류석호(潮流潟湖 : tidal lagoon)에 300MW급 조력발전소 건설을 추진



[프랑스의 랑스 조력발전소]



[중국의 압록강 조력발전소]

하고 있다. 압록강에 이 조력발전소가 건설되면 이는 현재 최대의 조력발전소인 프랑스 랑스(Rance)의 240MW급 설비를 능가하는 세계 최대의 조력발전소가 될 전망이다.

기존의 조력발전소와 같이 중국이 제안한 이 조력 설비는 석호(lagoon)로 유입 및 유출되는 조류를 막고, 간조시 이 조류가 터빈을 통과하도록 함으로써 전기를 생산한다.

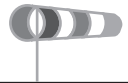
□ 포르투갈의 아구카도라 파력발전소

포르투갈은 세계 최초로 상업용 파력발전소를 건설중에 있다. 라틴어로 바다뱀이라는 뜻의 펠라미스(Pelamis)는 파력발전기를 생산하는 스코틀랜드의 기업에 의해 개발되었다. 이 펠라미스는 일련의 붉은 색 튜브로, 각 튜브는 작은 기차크기로 각각 연결되어 있으며 파도가 오는 방향으로 배치된다. 파도가 튜브를 통해 쏟아져 들어가면 빠르게 상하로 움직이게 되고 수압시스템은 이러한 운동을 전기로 전환시키게 된다.

이 발전기는 북부 포르투갈 북부 아구카도라(Agucadoura)해안에서 3마일 떨어진 바다에 배치



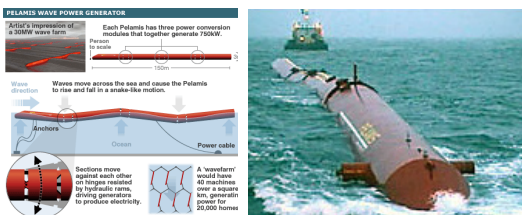
[포르투갈의 아구카도라 파력발전소]



될 것이다. 이 기계는 스코틀랜드의 펠라미스 파력 발전(Pelamis Wave Power, PWP)사에 의해 개발되었지만, 포르투갈 정부의 프로젝트 실행결정으로 인해 실제 적용이 가능해졌다. 재생에너지회사인 에너지스(Energis)사는 아구카도라 파력발전소의 목표를 500MW 정도로 계획하고 있으며, 이 정도의 전력은 35만가구에 전력을 공급할 수 있을 것으로 예상하고 있다.

□ 영국의 오크니섬 파력발전소

영국은 1,300만파운드의 연구비를 지원하여 스코틀랜드 북부 오크니 섬에 2,000가구 정도가 사용할 수 있는 파력발전기 건설을 계획하고 있다. 이 펠라미스 파력발전기는 앞에서 언급한 포르투갈의 북부해안에 설치를 목적으로 수출하고 있다.



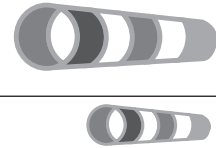
[영국 오크니섬의 파력발전소]

지금까지 제시된 최근의 여러 발전 방법은 기존의 전통적인 사고를 전환시키거나 고전적인 형식의 틀을 깨는 발상의 전환으로 그 잠재력을 높이고 있다. 아직 인류를 책임질 새로운 재생에너지는 등장하지 않았다. 따라서 세계 어느 국가도 재생에너지에서의 우승자로서 정해지지 않았다.

앞으로 우리가 기존 천연 자연에서만이 아니라 새로운 분야 및 방법으로서의 모색도 같이 도모한다면, 미래에는 남의 나라 석유사정에 눈치를 보지 않고 남의 나라들이 우리의 에너지 사정에 눈치를 보는 시대가 오지 않을까 생각해 본다.

참고문헌

- 글로벌동향브리핑(GB): <http://www.yeskisti.net/yesKISTI/Briefing/Trends>
 동향지식지(TLD) : <http://www.yeskisti.net/yesKISTI/Briefing/TLD>
 전자신문 “태양에너지 시장, 폭발적 성장세”, 2008.3.20
 디지털타임즈, “세계는 지금 태양 광풍”, 2008.3.3
 김상도, “풍력발전, 태양전지, 조력발전”, 한국과학기술정보연구원, 2008.1
 에너지관리공단 신재생에너지센터, “신재생에너지 RD&D 전략 2030 태양광 분야”, 산업자원부, 2007.11.
 에너지관리공단 신재생에너지센터, “신재생에너지 RD&D 전략 2030 태양열 분야”, 산업자원부, 2007.11.
 에너지관리공단 신재생에너지센터, “신재생에너지 RD&D 전략 2030 지열 분야”, 산업자원부, 2007.10.



기상산업 육성을 위한 정책대안 모색

김 준 모

건국대학교

junmokim@konkuk.ac.kr

이 기 식

한중대학교

elee@hanzhong.ac.kr

1. 들어가면서

지식정보사회는 다양한 형태의 정보를 요구하고 있고, 지식 내지 정보가 사회를 유지시키는 기반이 된다. 이는 기상정보의 경우도 예외가 아니다 (Anaman & Lellyett, 1996; Zillman, 1999; Banks & Re, 2002). 국민들은 기상정보의 중요성을 인식하고 있으며(봉종현, 1997), 기상정보에 대한 욕구도 내재되어 있다. 다만 기상정보의 활용도가 높은 수준은 아니다. 이것은 현재의 우리나라 기상산업의 현 주소를 말해준다. 우리나라는 지난 10년 간 기상장비현대화사업 추진과 더불어 수치예측기술 등 선진기술의 전수, 기상용 슈퍼컴퓨터 도입 등을 통하여 기상기술력을 크게 신장시켜왔다. 그러나 그간의 외형적인 성장과 발전에도 불구하고 집중호

우 등 악천후현상에 대한 예보능력은 아직까지 국민의 기대 수준에 미치지 못하고 있으며, 민간예보사업자가 담당하는 맞춤형예보기술도 아직은 미흡하며, 지진방재기술은 예지기술개발에 필요한 장비의 설치를 추진하는 단계에 있다. 따라서 1997년이래 우리나라의 민간기상업체는 아직 큰 진전을 보이고 있지 못하고 있으며, 업체간의 실적상의 편차도 크게 존재하고 있다. 한편 수요와 공급측면에서 볼 때에도 아직은 기상정보의 수요가 부족하며, 동시에 기상정보의 공급도 제때 이루어지고 있지 않고 있다.

기상산업은 우리 국가경제에 미치는 영향을 큼에도 불구하고, 활용도 측면이나 수요공급 측면 등에서 여러 가지 한계를 가지고 있으며, 관련 연구 또



[표 1] 기상산업전반에 대한 환경분석

내부 여건 : 강점(Strength)	내부 환경 : 약점(Weakness)
① 세계적 관측망 및 정보통신시설 확보 ② 전국적 네트워크·인프라 구축 ③ 탁월한 정보화 능력 ④ 성과 중심의 조직관리체계 기반 구축	① 기술업무 집행 중심의 사업 추진 ② 고객 중심의 차별화 전략 부재 ③ 중장기 전략의 수행체계 미흡 ④ 혁신에 대한 직원의 낮은 만족도
외부 환경 : 기회(Opportunity)	외부 환경 : 위협(Threat)
① 기상정보의 새로운 패러다임 도래 ② 기상기술 선도국 지위 확보 ③ 독립적이고 전문적인 업무영역 구축 ④ 혁신을 통한 일하는 방식의 획기적 개선	① 지구 온난화에 따른 기상이변 증가 ② 이상기상 현상의 예측 불확실성 증가 ③ 국민의 기상정보에 대한 높은 요구 수준 ④ 국가 기상재해 리스크 관리 수준 미흡

자료 : 기상청, 2007.3. 07년 기상청혁신관리기본계획.

한 부족하였다. 이러한 점에 착안하여 본 글은 현재의 기상산업의 실태를 분석하고, 이를 기반으로 기상부문이 국가경제발전에 기여할 수 있도록 유도하는 정책대안을 탐색하였다. 따라서 본 글은 기상부문을 종합적인 의미의 기상산업으로 육성할 수 있는 정책적 방안을 제시하는데 그 목적이 있다. 이러한 목적을 달성하기 위해 현 기상산업을 SWOT¹⁾ 분석을 통해 진단하였고, 이것을 기초로 정책대안을 제시하였다.

- 1) 조직내부의 강점과 약점을, 조직외부의 기회와 위협을 대응시켜 조직의 목표를 달성하려는 SWOT분석에 의한 전략의 특성은 다음과 같다.
- SO 전략(강점-기회전략) : 시장의 기회를 활용하기 위해 강점을 사용하는 전략을 선택한다.
 - ST 전략(강점-위협전략) : 시장의 위협을 회피하기 위해 강점을 사용하는 전략을 선택한다.
 - WO 전략(약점-기회전략) : 약점을 극복함으로써 시장의 기회를 활용하는 전략을 선택한다.
 - WT 전략(약점-위협전략) : 시장의 위협을 회피하고 약점을 최소화하는 전략을 선택한다.

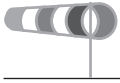
2. 기상청 및 기상산업 전반에 대한 환경분석

우선 기상청 및 기상산업전반에 대한 환경을 분석하면 [표 1]과 같다. 표에서 보는 바와 같이 세계적인 관측망 및 정보통신시설을 확보하여 기상기술선도국으로서의 지위를 확보하려고 노력하고 있다. 다만 국민의 기상정보에 대한 높은 요구수준을 적절히 충족시키지 못하고 있는 것이 안타까운 현실이다.

3. 기상산업 발전을 위한 분야별 정책대안

1) 기상예보산업

우선 민간기상업계를 SWOT형태로 분석하면 [표 2]와 같다. 따라서 기상예보산업의 발전을 위해서는 우선 기상청과의 오랜 유대관계와 성장가능성의 증



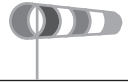
[표 2] 민간기상업계의 SWOT 분석

내부환경 외부환경	Strengths	Weaknesses
	- 기상청과의 오랜유대관계 - 기상시장 접근도 높음 - 정부정책의 영향인지도높음	- 초기시장개척미흡 - 영세한 규모 - 기상청과의 관계설정애매
Opportunities - 성장가능성의 증대 - 정부의 육성 의지 - 진입장벽 낮음	SO전략	WO전략
Threats - 유료이용 심리적거부감 - 기상시장의 개념 미정립	ST전략	WT전략

대를 바탕으로 기상예보산업의 잠재성장가능성을 극대화하는 전략이 필요하다. 또한 정부(기상청)의 육성 의지를 기반으로 기상시장의 접근도를 높혀 산업의 잠재성장가능성을 높이는 것이 필요하다(SO 전략). 그리고 기상예보산업이 영세한 규모이며, 초기시장개척이 미흡한 점을 타파하기 위해 기상예보 산업자에 대한 세금지원 등의 인센티브제도의 도입이 필요하다(WO전략). 또한 기상정보의 유료이용의 심리적 거부감을 해소하고, 기상시장의 개념을 정립하는 전략이 필요하다(ST전략). 끝으로 기상산업육성에 관한 특별법의 제정이 필요하다(WT전략). 초기시장개척이 미흡하며, 영세한 규모이며, 동시에 기상시장의 개념이 정립되어 있지 않기 때문에 특별법의 제정 등에 의하지 않고서는 다른 뾰족한 정책대안의 마련이 어려운 것이 현실인 것이다.

2) 기상컨설팅산업

기상컨설팅산업을 SWOT분석한 결과는 [표 3]과 같다. 이를 바탕으로 기상컨설팅산업의 발전전략을 제시하면, 우선 날씨마케팅의 중요성을 인식시키는 정책이 필요하며, 동시에 기상컨설팅기관의 가격경쟁력을 높이는 전략이 필요하다(SO전략). 또한 컨설팅업체가 영세하고, 컨설팅기법 및 컨설턴트의 능력문제를 해소하기 위해 컨설팅업의 능력을 향상시키기 위한 프로그램의 개발이 필요하다(WO전략). 그리고 컨설팅산업에 대한 정부지원이 있어야 하며, 컨설팅기관의 대한 신뢰구축을 위한 인증제의 도입 등이 검토되어야 한다(ST전략). 끝으로 기상예보산업의 경우와 마찬가지로 기상컨설팅산업의 육성을 위한 특별법의 제정이 필요하다(WT전략).



[표 3] 민간기상컨설팅업계의 SWOT 분석

내부환경 외부환경	Strengths	Weaknesses
	- 컨설팅기관의 가격경쟁력 - 기상에 관한 노하우축적	- 컨설팅업체의 영세성 - 홍보부족 - 컨설팅기법 개발부재 - 컨설턴트의 능력평가문제
Opportunities - 날씨위험회피노력증가 - 날씨마케팅중요성인식	SO전략	WO전략
Threats - 컨설팅기관의 신뢰미흡 - 정부지원미흡 - 컨설팅산업자체의 미흡	ST전략	WT전략

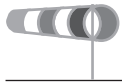
3) 기상장비산업

기상장비산업을 SWOT분석해보면 [표 4]와 같다. 이를 바탕으로 기상장비산업의 정책대안을 제시하면, 우선 기상장비의 수요창출을 위한 전략이 필요하다(SO전략). 특히 기상장비업은 규모의 경제가 미흡하며, 관측표준화가 미흡하기 때문에 이를

해소하기 위한 프로그램의 개발이 필요하다(WO전략). 또한 수요를 창출하기 위해 기상산업자체의 육성을 위한 정책개발이 필요하다(ST전략). 그리고 기상예보산업과 기상컨설팅산업의 경우와 마찬가지로 M&A 혹은 기상산업육성에 관한 특별법의 제정이 필요하다(WT전략).

[표 4] 기상장비업계의 SWOT 분석

내부환경 외부환경	Strengths	Weaknesses
	- 장비의 고객사양반영 - 유지보수서비스 상품화	- 규모의 경제미비 - 유지보수미비 - 관측표준화의 미비
Opportunities - 수요창출가능성	SO전략	WO전략
Threats - 수요의 제한성 - 수요창출미흡	ST전략	WT전략



4) 기상금융산업

기상금융업계를 SWOT분석하면 [표 5]와 같다. 이를 바탕으로 기상금융산업의 정책대안을 제시하면 우선 날씨의 변동이 심한 것을 활용하여 기상금융상품을 개발하는 것이 필요하다. 즉, 외국의 기상금융산업의 벤치마킹 등을 통해 기상금융상품을 개발 및 홍보하는 것이 필요하다(SO전략). 특히 날씨와 관련한 기초자료, 날씨가 미치는 영향 등에 대한 분석프로그램의 개발이 필요하다(WO전략). 뿐만아니라 수요창출을 위한 프로그램이 필요하며(ST전략), 종합적이고, 체계적인 기상금융산업발전을 위한 정책로드맵(Roadmap)이 필요하다(WT전략).

4. 기상산업의 발전을 위한 종합적 정책대안

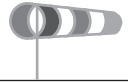
개별전략이 아니라 기업산업의 육성을 위한 종합적 정책대안은 다음의 두 가지를 생각해 볼 수 있다(Zillman, 1999; Anaman & Lellyett, 1996). 하나

는 M&A이며, 다른 하나는 특별법의 제정이다.

우선 기상산업의 육성을 위해 M&A를 고려해 봐야 한다. 현재 기상산업은 다른 산업에 비해 그 규모가 영세하고 매출액영업이익률이 상대적으로 낮아 과도한 자본 투자는 오히려 경쟁력을 약화시킬 우려가 있다. 따라서 지금의 중소기업체의 M&A 전략을 유도함으로써 다수의 업체가 공동화·복합화하여 보다 양질의 기상서비스를 생산해 내고 경쟁력을 갖출 수 있는 시장구조를 마련할 필요성이 있다. 특히 인수합병 또는 전략적 제휴 등을 통한 기상업계의 규모확대 혹은 공동화·협업화는 부족한 경영자원을 보완하여 경쟁력을 높일 수 있는 방안으로 추진될 수 있다. 또한 이러한 전략을 통해 기상서비스의 다양화 및 사업영역의 확대를 지속적으로 추진해야 할 것이다. 이를 위해서는 기상업체간 인수합병과 전략적 제휴의 바람직한 방향에 대한 연구조사사업을 수행하고, 이에 근거하여 기상업체에 대한 권고안 및 지침을 제시하는 것도 필요할 것이다. 이와 같은 M&A 및 전략적 제휴의 가능성을

[표 5] 기상금융업계의 SWOT 분석

내부환경 외부환경	Strengths	Weaknesses
	- 농작물재해보험제도 도입 - 수량의 위험 헤징	- 날씨와 관련한 기초자료 미흡
Opportunities	SO전략	WO전략
- 사계절이 뚜렷 - 날씨의 변동이 심함		
Threats	ST전략	WT전략
- 수요의 미흡 - 수요측정수단 미흡		



제고하기 위해서는 민간기상업체간의 통합(합병, 사업 양도·양수, 기업인수 등)이 확대될 수 있도록 관련 업체에 대한 세제지원혜택과 기존에 경쟁력을 갖춘 기업을 선도기업(Leading Company)으로 육성하여 한시적인 지원을 통해 보다 경쟁력 있는 시장구조로의 전환을 유도해야 할 것이다. 구체적인 전략은 다음과 같다(Anaman & Lellytett, 1996; Aiello, Watkins, Eccles, Rappaport & Carey, 2001; DePamphilis, 2002).

i) M&A를 통한 경쟁력강화가능성에 대한 인식의 공유이다. 기존의 군소 기상업체는 선도기업을 중심으로 한 통합화를 통해 자본, 운영시설, 재고, 인력 등의 경영자원을 효율적으로 활용할 수 있고, 규모의 경제효과에 의해 효율성·생산성 향상의 실현이 가능하고, 기업간에 축적된 운영·관리기술 및 노하우로 전문성을 강화할 수 있고, 고품질의 기상 서비스를 개발·제공함에 따라 보다 높은 수익률을 확보할 수 있다는 것에 대한 인식의 공유가 요구된다.

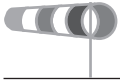
ii) 인수·합병 등을 통한 물류업체의 통합화·대형화 유도이다. 민간기상시장의 경쟁을 제한할 가능성이 있는 기업간 인수합병(M&A)은 규제하되, 기상산업의 발전에 기여할 수 있는 기상기업간 인수합병을 적극적으로 유도하여 기상전문업체의 대형화·통합화를 촉진하도록 한다. 이를 위해 인수합병 과정에서 발생하는 양도소득세 등의 관련세제 부담(인수기업측)이 인수 협상의 걸림돌로 작용하지 않도록 이에 대한 세제 지원방안이 마련되어야 할 것이다.

iii) M&A 유도를 위한 선도적인 민간기상업체에 대

한 전략적 지원이다. 기상업체의 M&A를 유도하기 위해서는 전략적으로 양질의 기상서비스를 수행할 만한 내부 역량을 갖춘 기상업체에 대한 정책적 지원을 한시적으로 확대할 필요가 있다. 기상산업의 육성을 위한 지원체계를 시행함에 있어서 모든 기상업체에 대한 균등한 지원보다는 양질의 기상서비스를 제공하고 보다 경쟁력을 갖춘 기상업체에 대해 한시적으로 전략적으로 지원 혜택이 집중되도록 하는 차등 지원전략이 필요하다.

iv) 기상산업에 대한 수요기반의 확충이다. 기상산업과 연계된 관련산업과의 전략적 제휴에 대한 자금지원을 확대함으로써 기상산업의 생산물에 대한 수요를 촉진할 수 있는 기반을 조성할 필요가 있다. 특히 기상업체가 주도·참여하는 공동화사업에 대하여 우선적으로 지원하도록 해야 한다.

기상산업의 발전을 위한 또 다른 정책대안은 기상산업육성법(특별법)을 제정하는 것이다. 중소기업육성의 범주하에서의 기상산업육성에 관한 법률(중소기업기본법(제5529호), 중소기업진흥 및 제품구매촉진에 관한 법률(제6675호), 중소기업창업지원법(제6893호), 중소기업청 고시(제99-8호), 중소기업기술혁신촉진법(제6482호), 벤처기업기술혁신촉진법(제6195호), 소기업 및 소상공인지원을 위한 특별조치법(제17791호) 등)의 한계를 간략하게 정리하면 다음과 같이 요약된다. 즉 i) 자금 및 금융지원 부문의 한계가 있으며, ii) 중소기업 육성을 위한 인력지원이 다양하게 이루어지기는 하지만 기업업체들에게 해당되는 경우가 드물어 인력지원부문의 한계가 있고, iii) 판로 및 국제화부문에서의 한계가



있으며, iv) 기타 다른 분야에 대한 지원사업이 주종을 이루고 있어 기상업에 대한 정보화지원부문의 한계가 있고, v) 벤처창업지원 부문에서의 한계가 있고, vi) 중소기업의 기술지원을 위해 다양한 제도가 있기는 하지만 기상업체들이 경우에는 기술지원부문에서의 한계가 있어 별 도움이 되지 못하고 있다. 그리고 기타 부문에 있어서도 기상사업체에게는 별다른 도움을 주지 못하고 있는 실정이다.

따라서 기존법으로는 한계가 있다는 해석이 가능하다. 그리고 가칭 기상산업육성법은 특정한 분야의 산업을 국가적으로 육성하는 것이 아니므로 WTO협정에 의한 특정성있는 지원금지 항목에 저촉되지 않는다. 또한 문화산업, 영상산업 등이 다각적인 지식사업으로 사업화되는 추세에서 기상으로 인한 재해방지를 통한 국민경제의 보호의 기반이 되는 산업으로서 기상산업의 육성은 필요하다. 따라서 기상산업의 육성 및 발전기반조성에 필요한 사항을 정함으로써 기상재해로부터 국민의 생명과 재산을 보호하고, 국가경쟁력 강화에 이바지하도록 하기 위하여 기상산업특별법의 제정이 필요하다.

5. 정책구현을 위한 로드맵(Road Map)

기상관련산업발전에 대한 로드맵은 전술한 정책대안을 전략적으로 선택해야 할 것이며, 또한 지금 당장 해야 할 것과 나중에 해야 할 것을 정하는 우선순위가 마련되어야 한다. 우선 단기적으로 시행될 수 있는 육성 관련 대안은 기상 장비의 유지 보수 분야, 인프라 사업에 현 업체들이 참여하는 방안을

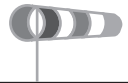
고려할 수 있다. 여기서 특히 중요한 것은 기상업체들이 스스로 노력하여 발굴해 나가는 것이며, 정부의 역할은 보조적인 것에 머물러야 한다는 점이다. 정부의 역할은 기상산업육성법안에 제시될 기술개발자금의 지원이 주요 지원책이 될 수 있을 것이다.

둘째, 중기적 대안으로는 컨설팅 분야의 활성화를 들 수 있다. 이 분야는 기상부문이 갖는 중요성을 사회에 알리는 중요한 분야라 할 수 있다. 우리나라에서는 기상컨설팅이 아직 초기에 머물러 있어, 기상이 돈으로 연결된다는 인식을 사회적으로 심어 주지 못하고 있는 실정인데, 미국의 경우 우리보다 이 측면에서 앞선 예들을 보여 주고 있다. 이러한 컨설팅 분야의 노하우는 업계가 스스로 축적하여야 하는 분야라 할 수 있다.

셋째, 장기적 대안인데, 이 부분은 날씨 파생 상품, 보험업 등이 기상부문에 진출하는 시기로서, 기상시장이 궁극적으로 지향해 나갈 분야가 된다. 이 분야는 금융 부문의 적극적인 참여가 관건이 된다고 볼 수 있다.

6. 맺음말

본 글은 우리나라 기상산업의 육성을 위한 정책대안을 SWOT분석을 토대로 제시하였다. 특히 기존의 기상예보업 수준에서 머물러 있는 기상업계의 범위를 기상산업으로 확대하여 분석하였다. 이를 통해 기상컨설팅, 예보업, 장비제조는 물론 점점 보험업까지도 향후의 기상산업계에 진입할 수 있는



정책적 근거를 마련하고 하고자 하였다. 본 글을 통해 도출된 결론을 요약하면,

첫째, 기상산업과 관련된 정책적 환경변화에 적절히 대응해야 한다. 생산기술과 영역이 고도화되고 확장되어 가는 21세기를 맞아 '기후환경이 산업에 미치는 영향력은 날로 증대하고 있다. '날씨가 시장을 움직인다'라는 말이 바로 그것이다. 해외선진국에서는 이미 1980년대부터 날씨를 적극적으로 활용하여 마케팅 전략을 세우고 있는 점(Leigh, 1995; Zillman, 1999; Field & Pitt, 2000)을 감안하여 우리나라도 이에 적절히 대응하는 것이 필요하다.

둘째, 기상시장의 잠재성을 확인하고 표출시켜야 한다. 우리나라에 있어서도 정책적 환경의 변화가 일어나고 있다. 가장 큰 변화는 경제적인 환경의 변화로서, 과학기술 및 정보처리기술의 급격한 발전으로 고도 지식기반 사회화가 빠르게 진행되고 있으며, 이것은 우리 사회가 '산업사회에서 지식사회 그리고 U사회로의 변화를 체험하고 있음을 의미한다. 이러한 환경변화속에서 기상시장의 잠재성을 충분히 감지할 수 있다. 제조업뿐 아니라 고도 서비스분야에서도 향후에 기상수요가 급증할 것을 의미하며, 또한 과거에 고정된 "상수로 또는 자연재해로만 이해되던 기상이 돈으로 이해되기 시작하여 민간기상 시장의 잠재 가능성을 확인하고 있다고 할 것이다.

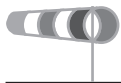
셋째, 기상산업은 미래형 업종이라는 인식이 필요하다. 우리나라에서는 1997년 민간예보사업자가 기상부문의 첫 사업자 군으로 등장한 짧은 민간부문

의 역사를 가지고 있으며, 이러한 짧은 역사는 일천한 경쟁력으로 귀결되는 어려운 현실을 나타내고 있다. 디지털경제기반사회에서 고부가가치자인 기상은 매우 중요한 자원이며, 활용여부에 따라서 기상산업은 향후의 경제활동에 미치는 기여도가 상당히 확대되는 미래형 업종이라는 점을 간과해서는 안된다. 이러한 맥락에서 이제는 기상산업 부문도 기술적인 한 부분만으로는 총체적인 서비스를 사회에 제공할 수 없으며, 고부가가치를 창출하는 산업형태로 거듭나야 한다.

넷째, 기상산업에 대한 특별법의 제정이 필요하다. 우리의 경우, 관련되는 법규체계를 모두 정비하는 것보다 특별법으로 제정하는 것이 실익이 있다고 판단되며, 이러한 맥락에서 가칭 기상산업육성법과 같은 특별법의 제정이 필요하다.

다섯째, 기상산업의 미래에 대한 로드맵의 작성이 필요하다. 기상산업은 아직 태동단계에 있으므로 민간부문이나 공공부문이 기상산업의 속성과 잠재력을 충분히 이해하고, 이를 기반으로 장단기적으로 투자하며, 아울러 양자에게 비전을 제시할 수 있는 로드맵(roadmap)의 작성이 반드시 필요하다. 본 글에서도 간략하게 제시되긴 했지만 더 구체적으로 공급 및 수요규모, 공급 및 수요의 효과, 추진체계 및 추진과정, 투자규모, 변화환경의 예측과 변용 등 기상산업의 미래를 수평적, 수직적으로 분석된 통합 로드맵의 작성이 필요하다.

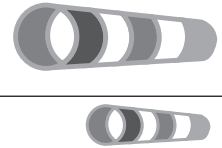
끝으로 기상산업이 사회 전체에 미칠 긍정적인 파급효과와 국가경쟁력향상에 기여할 잠재효과를 고



려할 때(Ahrens, 1999; Maunder, 1989), 기상관련 연구가 더 많이 이루어지며, 더 많은 관심을 가질 것이 요청된다.

참고문헌

- 봉종현, 1997, '추천의 글', 이우진지, 『정보화사회의 기상서비스』, 문예당
- 기상업무법. (법률제5235호)
- 기상업무법시행령. (대통령령 제15415호)
- 기상업무법시행규칙. (총리령 제648호)
- 기상청. 2007.3. 07년 기상청혁신관리기본계획
- _____. 2007.11. World Best 365 PLUS 추진계획
- 한국행정연구원, 2001. 『기상정보지원업무 전담기관 설립운영 방안』. 연구보고서
- _____. 2002.7. 『민·관 역할부담을 통한 기상서비스 활성화방안연구』. KIPA 연구보고서
- Ahrens, D.C. (1999). *Meteorology Today*, Brooks Cole, Teacher edition
- Aiello, Robert J. Watkins, Michael D. Eccles, Robert G. , Rappaport, Alfred & Carey, Dennis C. (2001). *Harvard Business Review on Mergers & Acquisitions*, Harvard Business School Press
- Anaman, K.A. and Lellyett, S.C. (1996). Contingent valuation study of the public weather service in the Sydney metropolitan area, *Economic Papers*, 15(3), 64-77
- Banks, E. & Re, E. (2002). *Weather Risk Management: Market, Products and Applications*, Palgrave Macmillan
- DePamphilis, D. (2002). *Mergers, Acquisitions, and Other Restructuring Activities*, Second Edition, Academic Press.
- Field, R, Pitt, R & Heaney, J.P(editors). (2000). *Innovative Urban Wet-Weather Flow Management Systems*, CRC Press
- Leigh, R.J. (1995). Economic benefits of terminal aerodrome forecasts (TAFs) for sydney airport, Australia. *Meteorol. Appl.*, 2:239-247
- Maunder, W.J. (1989). *The Human Impact of Climate Uncertainty: Weather Information, Economic Planning, and Business Management*, Routledge.
- Zillman, J.W. (1999). The National Meteorological Service, *World Meteorological Organization Bulletin*, 48, (2), 129-159.



미국 남동부의 응용기상산업 현황 : 기후 정보를 1차 산업과 허리케인 재난 방지로 활용

임 영 권

Assistant Scholar Scientist

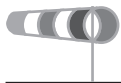
Center for Ocean-Atmospheric Prediction Studies (COAPS), Florida State University

lim@coaps.fsu.edu

1. 들어가는 말

기후변화와 변동이 우리의 생활 환경에 미치는 영향에 대한 관심은 20세기 후반 이후로 기후학자들 뿐만이 아닌 일반인들에게까지 폭넓게 확산되고 있다. 지구촌 곳곳에서 관측되는 기후 변화 및 변동의 결과들은 많은 사람들로 하여금, 기후 변동 예측력 향상 이외에도 기후 변동이 가져다 줄 수 있는 결과에 대한 대비가 더욱 절실히 필요함을 깨닫게 하고 있다. 이러한 대비는 자연과 인간에게 닥칠지 모르는 재난을 예방하고 피해를 경감하는 좋은 효과를 가져다 줄 수 있다. 또한 이러한 대비를 각종 산업 및 인간 환경 분야에 적용할 경우 최대한의 산업 생산성이나 이윤 창출, 안전하고 편리한 삶의 분위기 형성등을 기대할 수 있다. 이러한 응

용 노력들이 20세기 후반 이후에 들어 더욱 증대됨으로써 다양한 모습의 응용기상 사업들이 발달하고 있음을 우리는 많이 목격하게 된다. 제조산업에 종사하는 기업인들이 당해년도 기후 예측 정보를 활용해 생산량을 조절하는 것은 이제 더 이상 신선한 소식이 아닌 보편적 현상이 되고 말았다. 더욱 복잡해지는 현대 사회의 인간 환경과 산업 활동들을 고려할 때 기후 변동에 대한 예측 연구는 단순히 예측력을 향상하는 노력을 넘어 각종 산업 및 인간 환경에 미치는 영향력에 대한 응용 연구로까지 이어질 필요가 있다. 응용기상 사업의 보다 나은 발전을 위해 체계적인 사업 체제를 갖추도록 노력하고, 다른 나라와의 정보 교류를 통해서도 유용한 아이디어들을 교환하는 것이 요구되는 것 같다. 이에 본 기고에서는 기후 예측 결과에 대한 미



국 남동부에서의 응용 사례를 소개함으로써 응용 기상에 대한 중요성을 다시 한번 뒤집어 보고, 응용기상 사업 발전을 도모하는데 유용한 정보로 활용될 수 있기를 기대 한다.

2. 미국 남동부 기후와 산업의 지역적 특성

1) 기후 특성

먼저 미국 남동부의 지리적 경계는 정의하기에 따라서 다소의 차이가 있을 수 있다. 본 글에서의 지리적 영역은 플로리다(Florida), 조지아(Georgia), 알라배마(Alabama) 주를 포함하는 지역으로 정한다. 세 주를 합한 면적은 남한의 약 4.5배 정도이고, 위도는 북위 25도부터 35도에 이른다. 특히 플로리다 주의 대부분과 알라배마 주 남부는 위도상 우리나라 서귀포보다 더 남쪽에 위치하고 있다. 남동부내에서도 지역적 차이가 있지만 열대성 대기 순환의 영향을 받아 섭씨 35도를 넘는 높은 기온과 뇌우를 동반한 국지적 소나기가 5개월 내외의 긴 여름 기후를 대표한다. 한 해의 절반 가까이 허리케인을 포함한 열대성 폭풍우의 영향을 직간접적으로 받게 되어, 이에 따른 인적 물적 피해를 해마다 입고 있다. 남서쪽은 멕시코만(Gulf of Mexico), 동쪽은 대서양과 접해 있기 때문에 해안 지역은 폭풍우 피해에 더 많이 노출되어 있는 실정이다.

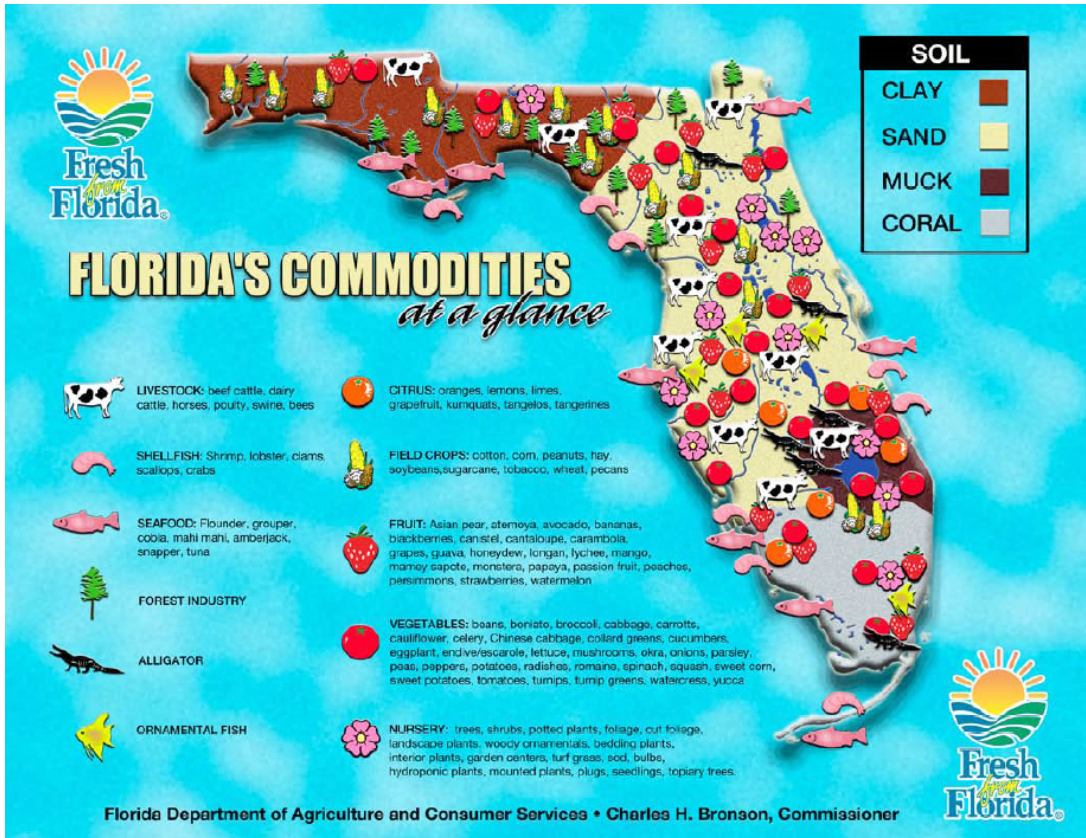
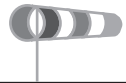
반면 겨울철은 조지아 주와 알라배마 주가 전형적인 겨울 날씨를 보이는데 비해 플로리다 주는 눈이 거의 내리지 않고, 특히 중부 이남의 경우 최저

기온이 영하로 내려가는 사례가 매우 드물다. 엘니뇨/라니냐 효과가 겨울철 기후를 반영하기도 하는데, 엘니뇨(라니냐)가 평년보다 습(건조)하고 추운(따뜻)한 겨울 기후를 나타낸다. 여름철에 나타나는 엘니뇨(라니냐) 효과는 겨울철에 비해 상대적으로 뚜렷하지 않은 편이다.

2) 산업 구조

남동부의 산업은 타지역과 비교했을때 1차 산업에 대한 의존도가 높다. 멕시코만과 대서양으로 둘러싸여 있는 지리적 특성과 고온 다습한 열대 기후 특성으로 인해 농업과 수산업이 크게 발달되어 있고, 농경지뿐 아니라 울창한 산림 구조가 광활하게 펼쳐져 있어 임업이나 원목 생산에서도 미국내에서 큰 비중을 차지하고 있다 [그림 1]. 관광을 비롯한 3차 서비스 산업 또한 플로리다 지역을 중심으로 오랜 기간 동안 정착되어 있다. 다만, 제조 산업과 같은 공업 계통의 산업은 다른 지역에 비하면 상대적으로 덜 발달되어 있다.

남동부 지역의 1차 산업의 영역은 다른 지역과 비교할 수 없을 만큼 매우 다양하며, 그 생산량에 있어서도 큰 비중을 차지한다. 예를 들어 2004/05년에 보고된 오렌지의 경우 미국내 생산량(오렌지 농사 + 주스를 비롯한 오렌지 가공품)의 70~75%를 차지하며(2위는 캘리포니아), 미국이 세계에서 두번째로 많은 약 15%의 오렌지를 생산하는 나라임을 감안할 때(1위는 브라질(25~30%)) 플로리다는 세계 오렌지 생산량의 약 10~12%를 차지하는 셈이다. [그림 1]에 제시된 바와 같이 과실류를 비롯한 매우



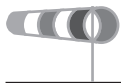
[그림 1] 플로리다 지역의 농업, 수산업, 목축, 임업의 분포 현황

다양한 농작물들이 플로리다 지역에서 재배되고 있으며, 조지아, 알라배마까지 포함하면, 세계적인 양의 복숭아, 면화, 땅콩 재배가 이 지역에서 이루어지고 있다.

3. 기후 예측과 그 응용 사업

1) 사업 시작의 계기

미국 남동부의 발달된 1차 산업 구조를 고려할 때 생산량 증대를 위한 연구는 무엇보다 중요하다 할 수 있다. 특히 미국뿐 아니라 세계 전체 생산량의 상당 부분을 차지하는 농수산물들을 고려할 때 이 지역에 대한 정확한 기후 예측은 그 정확성 여부를 넘어 이 지역 산업의 경제적 손익 문제에까지 깊이 연계되어 있다. 기후 예측과 이 지역 1차 산업(농업, 축산업, 수산업, 임업)의 깊은 관련성에 대한 인식이 미국 남동부에 있는 학자들 사이에 확산되



면서, 이 부분에 대한 보다 조직적, 체계적인 연구를 하자는 합의에 도달하게 되었다. 그 결과 1990 년대에 이르러 Southeast Climate Consortium (SECC)이라는 단체가 발족하게 되었다. 이 단체는 미국 남동부의 6개 대학내 기후, 농업, 경제 관련 연구 기관(플로리다 주립 대학(Florida State University), 플로리다 대학(University of Florida), 마이애미 대학(University of Miami), 조지아 대학 (University of Georgia), 알라배마 대학(University of Alabama), 오번 대학(Auburn University))학생

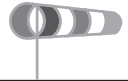
들이 협력을 주도하여 운영하고 있다([그림 2]의 웹사이트 참조).

2) 활동 사례

각 분야별 활동을 살펴보면 먼저 기후 연구 분야는 기후 분석과 예측, 기후 모델링, 기후 자료 생산과 관리등의 연구 활동을 하면서, 예측 정확도를 향상시키는 것에 일차적 목표를 둔다. 그 예측 결과는 농작물 생산 예측 모델(예: Decision Support



[그림 2] Southeast Climate Consortium (SECC)의 메인 홈페이지
SECC의 목적, 구성, 응용 기상 연구 대상과 활동, 회원, 후원등의 정보들을 공개하고 있다.

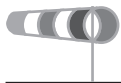


[그림 3] AgClimate의 메인 홈페이지

기후와 농업, 목축, 산림등과의 응용 연구 사업들의 결과 자료들을 일반인들에게 제공하도록 구축되어 있다.

System for Agrotechnology Transfer(DSSAT model) 전문가와 경제, 정책 전문가들에게 제공되며 그 자료가 그들의 목적에 맞게 이용되도록 협력하고 있다. 농작물 생산 예측 모델과의 연계는 미국 남동부의 농업 발달을 고려할 때 매우 중요하다. 기후 전문가들의 모델 시뮬레이션을 통해 얻어지는 지표 온도, 강수, 대기 복사 관련 변수들(예: 일사량, 플럭스 변수)의 예측치를 농작물 모델에 입력함으로써 각종 농작물들의 생산량 극대화를 위

한 결정들을 세우는데 길잡이를 제공해 주는 것이다. 예컨대, 최대의 생산 이윤을 창출하기 위해 재배 대상 농작물 선정, 농작물들의 파종 시기, 관개 활동의 필요성 정도, 병충해 방지를 위한 대책 수립, 서리나 가뭄등의 악기후 가능성 정도등의 정보들을 모델 결과를 통해 얻고 이에 따라 어떠한 대비와 판단을 내려야 할 지를 결정하게 해 준다. 이러한 기후와 농업의 체계적 연계 사업은 아직 10년이 되지 않는 짧은 역사를 가지고 있지만, 앞서 소



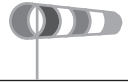
개한 6개 연구 기관들의 활발한 협력을 통하여 급속하게 발달되어 가고 있다. SECC내에 독립적으로 AgClimate이라는 그룹을 구성하고, 기후 예측을 통한 농업과 그 밖의 1차 산업(예: 수산업, 축산, 임업, 산림 관리와 화재 예방) 정보를 온라인을 통해 무료로 제공하여, 이 분야 관계자들이 유용한 정보를 쉽게 접할 수 있도록 하고 있다.

[그림 3]에 보이는 바와 같이 AgClimate 웹사이트에 기후와 이 지역 1차산업간의 연구 결과들을 기

반으로 한 정보들을 쉽게 찾을 수 있도록 구축되어 있다. 플로리다, 조지아, 알라배마 지역의 대표적 농작물, 과실, 축산, 산림 관리들의 대표적 목록이 있고, 예를 들어 농작물 관련 목록을 클릭해서 들어가면 올해 기후 예측치와 토양의 조건, 품종, 관개 시설 정도등의 조건들을 고려할 때 가장 이상적인 파종 시기와 예상 수확량, 기간별 작물 성장 추이, 서리와 같은 악기상 발생 가능성등의 정보들을 발견할 수 있다. 한 예로 토마토에 관한 정보를 찾고자 할 때 [그림 4]에 보는 것처럼 라니냐의 지배를



[그림 4] AgClimate를 통해 기후, 토양, 품종, 지역등의 조건을 고려했을때 토마토의 품종시기별 예상 수확량을 비롯한 정보들을 보여주는 한 사례



받는 올해, 품종과 토양의 종류, 파종 시기에 따른 예측 생산량등을 비롯한 정보를 쉽게 접할 수 있도록 공개되어 있다. 농부, 농업 경제, 행정 전문가들은 기후와 농작물 모델 과학자들이 제공하는 이 정보들을 토대로 올해의 농업 활동을 결정하고 일년 간의 계획을 세우는데 도움이 되도록 활용한다.

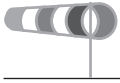
이러한 정보 제공으로 그치지 않고, 교육과 홍보 활동을 통해 농업 종사자들과 일반인들에게 응용 기후 연구의 필요성과 유익함을 전달하고 기본 지식들을 교육하는 프로그램도 추진 중에 있다. 실제로 이러한 정보 제공에도 불구하고, 농부들은 자신들의 과거 감각적 경험에 의존하여 1년이라는 긴 시간동안의 농사 계획표를 세우려 하는 경향이 있다고 한다. 따라서 이러한 추진은 그들에게 기후 정보의 활용을 통한 과학적인 농업활동에 관심과 신뢰를 갖게 하는데 큰 기여를 하게 된다.

AgClimate를 통해 농업 관계자에게 제공된 예측 자료가 부정확하여 종사자들이 개인적 손실을 보게 될 경우를 대비한 보험 부분에 대해서도 현재 체계적인 구조를 갖추고 웹사이트를 통해 안내하고 있다. 이렇게 기후 모델링과 예측으로부터 시작하여 농업 정보 산출과 공개, 잘못된 정보 제공으로 인한 손실 보상 보험까지 체계를 갖춰서 어느 농업 관계자들이라도 AgClimate을 통해 제공하는 정보 자료를 안심하고 사용할 수 있도록 유도하고 있다.

4. 허리케인 피해 모델링과 보험 정책 판단으로의 응용

앞서 미국 남동부의 기후 특성에서 제시하였듯이 이 지역은 일년의 절반 가까이를 허리케인을 포함한 열대성 폭풍우의 영향권내에서 지내야 한다. 그러다보니 아무리 대비를 하지만 해마다 인명과 재산 피해를 입지 않고 지나가는 해가 없다. 이 글에서 정의한 남동부에서는 벗어나지만 루이지애나 주에 닥친 2005년 8월의 카트리나(Hurricane Katrina)는 허리케인이 인간에게 가져올 위력의 무시무시함을 크게 각인시켜주기도 하였다. 카트리나 외에도 2004년과 2005년에는 Charley, Francis, Ivan, Dennis, Wilma등의 허리케인들이 남동부 지역을 통과해 지나감에 따라 큰 피해를 입히기도 하였다. 따라서 현재의 기후 조건을 고려할 때 예상되는 당해년도 허리케인의 발생 횟수, 강도, 예상되는 주경로들의 예측은 이 문제가 인명과 재산 피해에 직접적으로 연관되어 있는 만큼 매우 절실하며 중요한 사항이다.

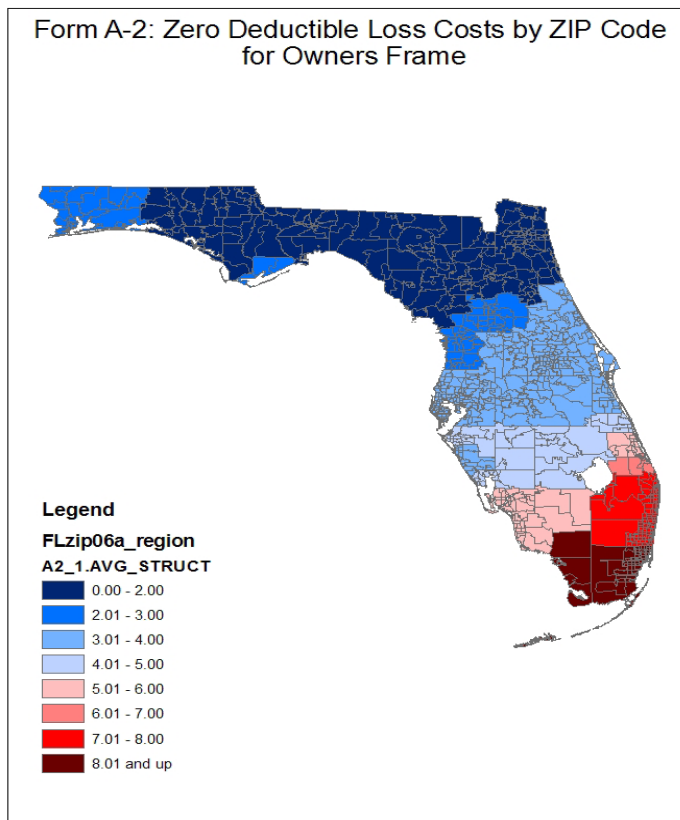
플로리다 주립 대학 산하의 연구소 COAPS(Center for Ocean-Atmospheric Prediction Studies)에서는 이러한 허리케인 연구를 다양한 방법으로 시행하고 있다. 예를 들어 허리케인의 기후적 예측, 허리케인 risk model, 허리케인으로 인한 해양 순환과 파고(storm surge) 모델이 그것들이다. 첫째 허리케인의 기후적 예측은 기후 모델의 허리케인 모사 능력을 향상시켜서 올해의 허리케인 빈도와 강도, 주 예측 경로등을 모사하는 것이다. 2008년 여름에 저널(Journal of Climate)을 통해 보고될 허리



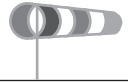
케인의 기후적 예측 결과들은 신뢰할 수 있을 만큼 그 예측력이 향상되었음을 보여 주고 있다.

허리케인 예측에 대한 순수 기후학적 측면의 연구와 더불어 허리케인 risk model은 허리케인으로 발생될 수 있는 경제 효과, 특히 보험 산업과 관련된 부분에 유용한 정보들을 제공하는데 주 목적을 두고 사용되고 있다. 허리케인 risk model을 간단히 소개하면, 이 모델은 플로리다 지역의 과거 100여년

간의 허리케인 접근과 피해 사례들을 토대로 각 세부 지역별로 허리케인으로 인한 피해 가능성에 대해 어느 정도 노출되어 있는지 지역적 분포를 계산해 내는데 일차적 역할이 있다([그림 5]의 사례 참조). 매 해 허리케인 접근과 피해 사례가 어떻게 발생하느냐에 따라 이 지역적 분포는 조금씩 변화할 수 있다. 허리케인 risk model이 다른 모델과 비교하여 고유한 점은 이 모델이 피해 가능성의 지역적 분포 뿐 아니라 피해 액수로의 환산을 같이 수행한



[그림 5] 과거 통계를 근거로 허리케인으로 인한 주택 (목재 건축)피해 가능액 분포의 사례
(COAPS Dr. Steven Cocke 제공)



다는 점이다. 이 점은 허리케인으로 인해 플로리다 지역에 과다하게 매겨질 수 있는 보험 회사들의 보험액 책정에도 합리적인 가이드라인을 제공함으로써 보험 회사의 폭리를 막고, 보험 회사 입장에도 합리적인 보험 계획을 수립할 수 있게 유도하는 효과를 주고 있다.

이 일에는 플로리다주 정부의 정책 담당자가 함께 관여를 한다. 즉, 허리케인 risk model은 기후학자의 모델 개발을 시작으로, 경제학자들의 허리케인 손실 가능액 산출, 정책 전문가들의 관여, 그리고 보험 회사들의 참여등으로 이어지는 연결고리 속에서 활용된다. 다시 말해 허리케인 피해 사례와 앞으로의 피해 가능성등에 따라 보험료의 변동이 합리적으로 이뤄질 수 있도록 허리케인 전문 기후학자, 경제학자, 그리고, 정책 담당자들이 함께 협력하는 것이다. 허리케인 risk model이 객관적인 자료를 생산하여 제시할 수 있도록 주 정부에서는 참여 희망 연구 기관으로부터 접수된 모델들을 심사하고 선정하며, 선정된 모델 결과를 바탕으로 플로리다 주의 허리케인과 관련된 보험 분야에 대한 정책 수립을 나가는 것이다. FSU/COAPS에서는 현재 Dr. Steven Cocker의 주도와 마이애미 대학과의 협력 연구로 허리케인 risk model을 완성하고, 플로리다주 정부로부터 채택을 받아 연구 사업을 시행해가고 있다.

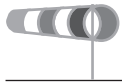
만약 어떤 해에 허리케인 피해가 크면 그 지역의 다음해 보험료는 대폭 인상이 불가피할 것이다. 이 경우에 보험료 납부가 어려운 주민들, 특히 해안가 주택에 거주하여 보험료 인상이 가계에 큰 부담이 되

는 주민을 구제하기 위한 일종의 대체적인 보험체계 또한 주 정부에서는 갖추고 있다. 이 보험은 민영화된 보험이 아니고 주 정부가 부분적으로 참여하는 보험으로서 거액의 보험금 납부 부담을 갖게 되는 주민들에게 그 부담을 해소시켜 주기 위해 저렴한 값의 보험료를 책정해서 제시한다. 또한 막대한 허리케인 피해로 인한 보상으로 일반 민영 보험회사가 큰 타격을 입는 것에 대비해 보험 회사를 위한 보험체계도 세워져 있다.

5. 정리하는 글

응용기상 사업은 여러 분야에서 관심의 대상이며, 앞으로도 그 관심과 주목은 더 커지리라 전망된다. 다양한 형태의 응용 사업이 펼쳐지고, 그것이 체계적으로 잘 운영될 수 있도록 연구하는 노력이 무엇보다 필요한 것 같다. 이미 갖춰져 있는 체계는 잘 보전하고, 새로운 분야에 대해서는 그 사례들을 다른 곳에서 찾고 조사하면서 사업의 영역을 넓혀간다면, 점점 더 두드러지게 나타나고 있는 기후변화와 변동에 더 현명하게 대응하고 우리 삶에 유익한 방향으로 이용할 수 있게 될 것이다.

본 글에서 미국 남동부, 특히 플로리다 지역의 응용 사업 사례를 소개했지만 사실 미국 남동부의 이러한 지역기후 응용 사업 조직은 다른 지역에서도 찾아볼 수 있다. [그림 6]에 나타나 있는 바와 같이 RISA(Regional Integrated Sciences and Assessments)라는 큰 이름 아래 각 지역별로 조직들이 구성되어 있으며, 각 조직에서는 그 지역의 요

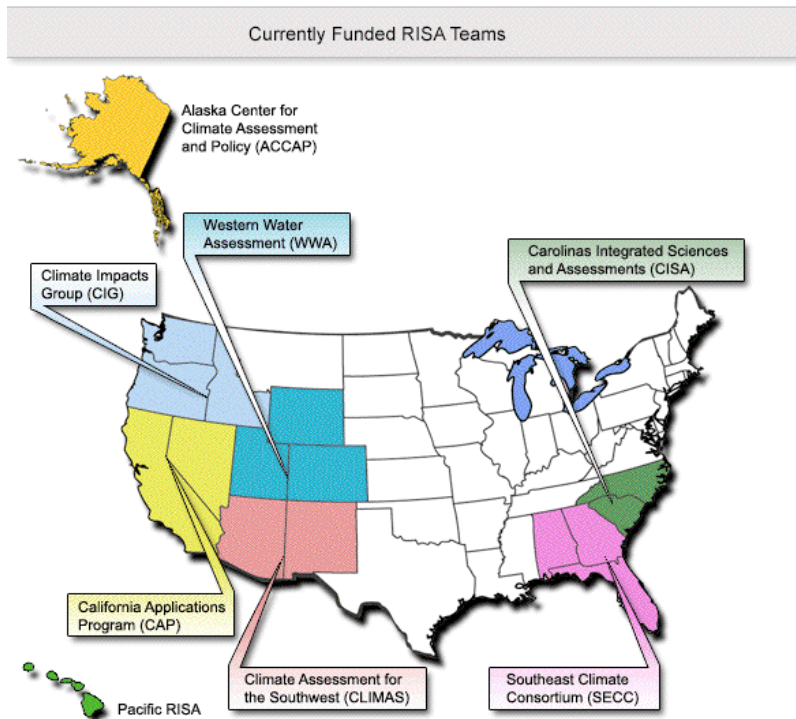


구에 맞는 응용기상 사업들을 추진하고 있다. SECC도 그림에서 보는 것처럼 그러한 조직 중의 하나이다. 이 RISA 조직망은 NOAA(National Oceanic and Atmospheric Administration)에서 전체적으로 관리하며, 각 조직에서의 활동 및 정보 교환이 체계적으로 이뤄질 수 있도록 유도해가고 있다.

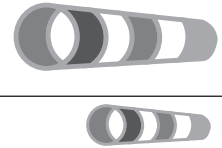
기후와 친숙해 지는 것은 우리 주변의 산업, 환경, 인간 활동등의 모든 분야가 더 편안하고 운택해 진다는 의미가 된다. 따라서 이 분야는 단지 기후학자들만이 연구하는 영역이 아닌 일반인들도 많은 관심을 가질 필요가 있다. 일반인들이 관심을 갖고

참여하며, 투자할 수 있는 분위기가 정착될 때 응용 기상 사업의 발전은 더욱 가속력이 붙을 거라 전망한다.

우리나라도 이제 예보 자체로 끝나는 단순한 수준을 넘어선지 오래다. 따라서 앞으로의 응용기상 사업 연구 방향은 다양한 아이디어들을 개발해서 선진적인 사업 체제들을 계속 창조하고, 다른 국가들과의 교류를 통해서도 좋은 정보들을 교환할 수 있어야 할 것 같다. 이 글이 우리나라의 응용기상 사업 촉진에 참고가 되는 사례 소개가 되었기를 바란다.



[그림 6] 미국내 지역 기후와 그 응용 연구를 담당하는 연구 조직 분포



최근 황사의 특성 및 산업에 미치는 영향

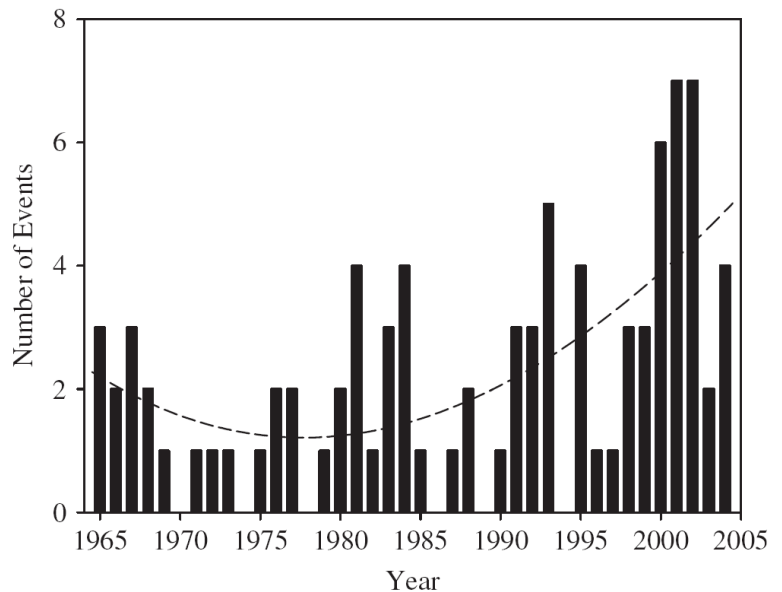
김 지 영

국립기상연구소 정책연구팀

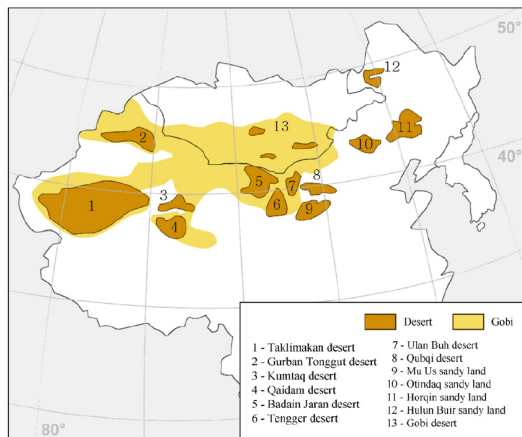
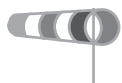
jykim@kma.go.kr

1. 들어가며

예전에는 주로 봄철에만 나타나던 황사가 요즘 들어서는 여름철을 제외한 모든 계절에 자주 관측되고 있다. 최근 40년 동안 기상청의 황사관측 자료를 분석한 결과에 따르면[그림 1], 1980년대 이후부터 황사의 발생 빈도가 이전에 비하여 크게 증가하고 있고, 2000년 이후부터는 매우 강한 황사가 우리나라에 자주 나타나고 있는 것으로 나타났다(Kim et al., 2008). 이와 같은 황사 패턴의 변화는 최근



[그림 1] 최근 40년(1965~2004년) 동안 서울에서 관측된 황사 현상의 연간 발생 빈도 추이. 1980년 이후부터 급격한 증가 추세를 보이고 있다. 그림에서 파선은 선형회귀선을 나타냄(그림 출처: Kim, 2008)



[그림 2] 우리나라에 영향을 주는 황사의 주요 발원지 (Kim et al., 2007)

들어 내몽고나 만주 지역 등이 황사의 주요 발원지로 작용하여 우리나라에 직접적인 영향을 주고 있고, 황사 발원지에서의 풍속의 강화, 대기 상층의 기류 방향 변화 등이 복합적으로 작용한 결과로 분석되고 있다.

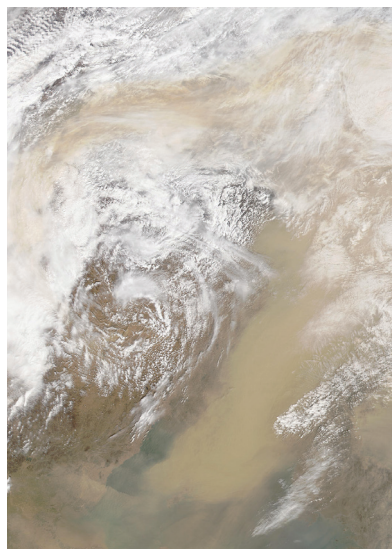
잘 알려진 바와 같이, 황사는 중국 및 몽골의 사막 지역이나 지표가 건조한 황토고원 등에서 직경이 수십 마이크로미터(μm , 백만분의 1미터) 이하인 미세한 토양 입자가 바람에 날려 공중으로 부유하였다가 대기 상층의 바람에 의하여 수송되면서 서서히 낙하하는 대기 현상이다.

과거에는 우리나라에 영향을 주는 황사의 발원지가 주로 고비사막이나 타클라마칸 사막 지역으로 알려져 있었으나, 최근의 연구 결과에 따르면 아시아 대륙 내의 사막화와 기후변화 등으로 인하여 우리

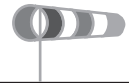
나라와 근접해 있는 내몽고와 만주 지역에서 발생한 황사의 영향이 점점 더 커지는 것으로 보고되고 있다(Kim, 2008). 특히, [그림 2]에 나타난 바와 같이 내몽고와 만주 북부(그림에서 10번과 11번 지역)의 모래 지역으로부터 발생한 심한 황사가 2000년 이후에 한반도 지역에 자주 영향을 주고 있다. [그림 3]은 NASA의 인공위성에서 촬영한 2002년 4월 8일 황사의 위성사진을 나타낸 것이다.

사진 상에서도 뚜렷하게 나타난 바와 같이 우리나라 북서쪽으로부터 심한 황사 피가 유입되고 있음을 확인할 수 있다. 또한, 거대한 황사와 구름의 덩어리가 서로 혼재되어 분포하여 있음을 볼 수 있다.

그렇다면 우리나라에 도달하는 황사는 어떠한 특



[그림 3] 인공위성(Terra/MODIS)으로 촬영한 2002년 4월 8일의 동아시아 지역 황사 사진 (사진 출처: 미국 NASA, <http://www.gsfc.nasa.gov>)



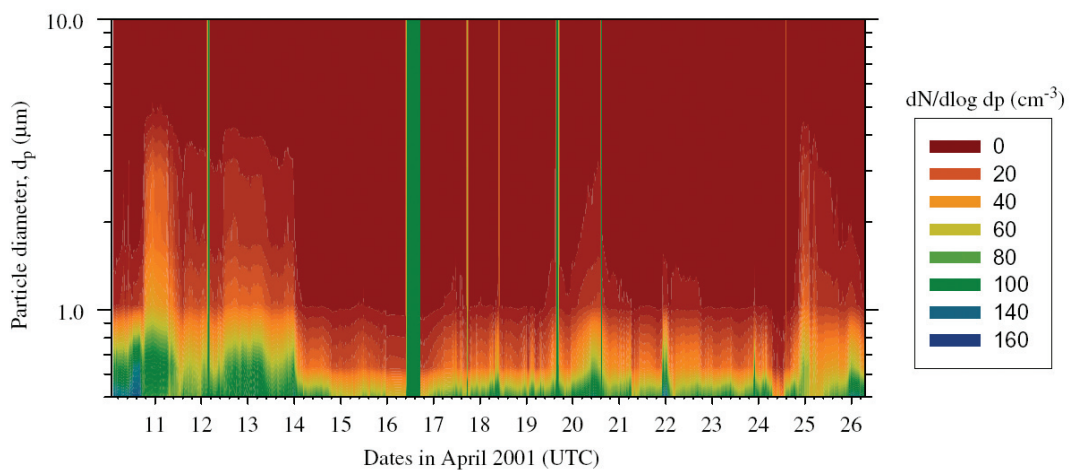
성을 가지고 있으며, 산업에는 어떠한 영향을 미치는 걸까? 미세한 황사입자가 중국의 산업지역을 통과하면서 대기오염 물질을 동반한 다량의 미세먼지 입자가 이동하여 오기 때문에 기상청에서 황사 특보가 발령되면 반도체와 정밀기계 생산 관련 산업 분야, 농·축산업 분야 등 다양한 분야에 영향을 주게 된다. 이 글을 통하여 우리나라에 영향을 주는 황사의 특성을 살펴보고 황사가 산업에 미치는 영향에 대하여 선행연구를 중심으로 개략적으로 소개하고자 한다.

2. 황사의 물리 화학적 특성

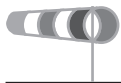
황사가 산업에 미치는 영향을 살펴보기 전에 먼저 황사의 물리 화학적 특성을 간단하게 소개하고자 한다. 잘 알려진 바와 같이 황사란 아시아 내륙의

사막이나 황토 고원 지대에서 발생하는 미세한 토양입자이다. 따라서, 황사의 크기 분포와 화학 조성은 발원지가 어디냐에 따라 어느 정도 달라질 수 있다. 발원지가 우리나라로부터 멀리 떨어진 경우에는 보다 황사입자의 중력침강의 영향으로 미세한 입자가 도달할 가능성이 크다. 아래의 [그림 4]에 나타난 바와 같이 우리나라에 영향을 주는 황사의 크기는 주로 수 마이크로미터 크기 범위에서 분포한다. [그림 4]에 제시된 결과는 2001년 4월 제주도 고산 관측소에서 국립기상연구소의 광학입자 계수기로 측정한 황사의 크기별 수농도 분포를 나타낸 결과이다(Kim et al., 2007).

황사입자의 화학조성은 주로 규소와 알루미늄, 철 등 석영, 장석 등의 광물을 이루는 성분이 주를 이루며, 황사를 포함한 기단의 이동 경로에 따라 황산염, 질산염 등이 황사입자에 흡착되어 이동되기



[그림 4] 황사의 크기별 수농도 분포. 2001년 4월 우리나라 제주도 고산에서 광학입자계수기로 측정한 자료



도 한다. 그러나, 최근의 연구 결과에 의하면 황사와 오염입자는 기상조건에 따라서 약 12 시간의 시간차를 두고 서로 분리되어 이동(오염물질이 먼저 이동됨)하는 사례도 보고되고 있어(Choi et al., 2008), 황사 시 유해물질의 수송 과정에 대해서는 앞으로 보다 심도있는 연구가 필요함을 시사하고 있다.

3. 황사가 산업에 미치는 영향

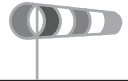
황사가 산업에 미치는 영향 중 대표적인 사례가 정밀산업 분야이다. 미세한 먼지 입자에 민감한 반도체 산업, 휴대폰 공장, PCB(인쇄회로기판) 생산라인 등 전자업체들은 황사가 있을 때 제품 불량률이 평소보다 크게 증가하기 때문에 이에 대한 다양한 대비책을 강구하고 있다. 또한, 황사는 조선업체나 자동차 업체의 도장작업에도 영향을 주며, 건설업체의 안전사고 위험률을 증가시킨다. 황사가 정밀제조업 등 다양한 분야의 제품생산 라인에 영향을 주는 것으로 알려져 있지만, 황사의 발생강도와 지속시간 등에 따른 각 업종별로의 정량적이고 종합적인 피해액 산출에 관한 연구 사례는 드물다. 다만, 현재까지는 TV 브라운관, 반도체, 전자 등 11개 업종을 대상으로 한 설문과 방문 조사를 통한 사례 연구가 보고된 바 있다(추장민 등, 2003). 따라서, 향후에는 제조업을 비롯한 산업 전 분야에 걸친 황사의 경제적 피해 규모에 대한 연구가 수행될 필요가 있다.

황사는 항공 산업에도 많은 영향을 미치는데 항공

기 제트 기관의 손상을 일으키기도 하며, 황사입자가 태양 빛을 산란시켜 시정거리의 감소를 가져옴으로 인해서 항공기의 이착륙을 지연시키거나 결항의 원인을 제공하기도 한다. 2002년의 황사발생으로 인한 항공운송산업이 입은 손실액 추정에 대한 연구결과에 따르면(표 11 참조), 4일간의 황사에 따른 항공기 결항으로 약 20억원의 매출 손실이 발생한 것으로 보고된 바 있다. 황사로 인한 시정장애 현상은 도로에서의 교통사고 증가의 한 부분으로 작용하는데, 이에 대한 피해 비용 산출에 대한 연구는 아직까지 미비한 실정이다.

황사는 태양복사의 산란이나 흡수를 통하여 지표에 도달하는 일사량을 감소시켜 식물의 광합성 작용을 방해한다. 또한, 식물 잎의 기공을 막아 식물의 생육에 지장을 초래하는 것으로 알려져 있다. 이러한 물리적 과정은 황사가 농업 생산성을 저하시키는 영향을 주게 된다. 하지만, 황사입자 속에 포함된 알칼리 성분은 산성비를 중화시키고 토양의 산성화를 막는 등 긍정적인 측면의 작용도 한다. 황사가 농작물의 종류별 생산성에 미치는 영향에 대한 다양한 조사와 경제적인 편익분석은 대기오염(오존 등 유해가스, 산성비, 산성 에어러솔 등)이 농업 생산성에 미치는 경제적 영향 평가와 아울러 앞으로 수행되어야 할 중요한 연구 분야의 하나이다.

황사는 미세먼지 농도의 급격한 증가로 인하여 보건에 미치는 영향이 큰 것으로 알려져 있다. 특히, 호흡기, 심혈관, 안과, 이비인후과의 진료환자수가 증가한 것으로 나타났다. 특히, 아동 및 청소년 층의 호흡기 질환자 수가 비황사시보다 더 증가함으



로써, 이들 연령층이 황사에 더 민감한 것으로 보고된 바 있다. 또한 황사가 보건에 미치는 영향은 일차적으로 황사입자의 크기분포와 농도, 오염물질의 동반여부에 따라 달라질 수 있다. 하지만 각 연령 별 및 질환의 유형, 황사에 대한 적극적 대처 방법 등에 따라 영향의 정도가 많이 달라질 수 있을 것이다(예를들어, 황사 시 공기청정기의 사용 등). 국외의 일부 연구결과에 따르면 황사가 보건에 미치는 영향은 대부분의 황사입자들이 인체 호흡기관의 입구 부분에서 차단되기 때문에 그리 심각하지 않음을 보고한 결과도 있는 등 아직까지 과학적으로 분명한 결론에 도달한 상태는 아니라고 할 수 있다. 따라서, 황사를 제외한 미세먼진 등 다양한 대기오염의 종류 별 인체의 위해성에 대한 연구를 통하여 황사 현상이 인체에 얼마나 위험한 현상인지에 대한 객관적인 상호 비교 분석 연구가 필요하다.

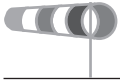
기상청의 황사특보가 발령될 경우 각급 학교에서는

황사의 강도에 따라 휴교 및 단축수업 등 황사로부터 학생의 건강을 보호할 수 있는 필요한 조치를 취할 수 있도록 하고 있다. 2002년 3월과 4월 발생한 황사로 인한 전국적인 유치원, 초·중·고등학교에서의 휴업조치 결과는 유치원 1,557회, 초등학교 2,310회, 중학교 19회에 달하여, 총 1,063회의 단축수업이 실시된 것으로 보고된 바 있으며, 휴업과 단축수업을 합할 경우 약 11,372,310 시간의 수업 손실이 난 것으로 보고 되었다.

황사는 산업에 항상 피해를 주는 것이 아니라 일부 산업과 업종에서는 매출증대 등 긍정적 효과를 가져오기도 한다. 예를들어, 황사 시 PC 방의 매출증대, 홈쇼핑 매출액 증가, 공기청정기의 매출증대, 사막화 방지용 중장비 수출, 날씨 마케팅업 성장, 구강청정제, 안경, 선글라스, 마스크 생산업체의 매출 급증 등이 그 대표적 예라 할 수 있다. 아래 [표 1]은 황사에 따른 산업별 피해 현황을 요약한 것이다.

[표 1] 황사 현상에 따른 산업별 피해 현황 요약

산업 부문	피해내용	피해규모 또는 금액
항공업	항공기 결항(4일간 205편)	약 20억원 매출 손실
초정밀산업 (전자, 반도체 등)	반도체 불량률 증가 공기순환 제어장치 중단 및 필터교체주기 변화	불량률 약 4배 증가 교체주기가 약 1.6배 빨라짐
유통업	백화점 매출 증가율 감소	약 10% 감소
조선업	페인트칠 중단으로 조업 일수 증가	약 1.2% 증가
자동차 산업	수출차량에 대한 추가 왁스칠	대당 23,000원 증가
기타	레저산업 매출액 감소 유리산업의 불량률 증가	약 20%의 매출액 감소 약 8배의 불량률 증가



4. 맺는 말

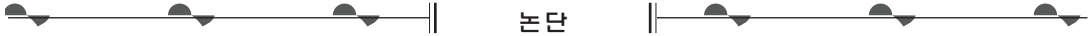
최근들어 우리나라에 도달하는 황사의 강도가 예년에 비해 매우 강하고, 빈도 또한 크게 늘고 있는 추세이다. 이는 황사 발원지에서의 사막화 등 자연적, 인위적 변화와 무관하지 않다. 또한, 그에 따른 황사의 주요이동 경로에 대한 변화도 있는 것으로 보인다. 황사는 우리나라의 국가산업에 직·간접적으로 다양하게 영향을 미치고 있고 특히, 국민 보건에 미치는 영향에 대한 사회적 관심 또한 매우 높다. 황사에 대한 사회경제적 피해를 최소화하기 위해서는 황사에 대한 특성을 명확하게 이해하고, 정확한 예측 정보의 제공과 아울러 산업적 피해에 대한 효과적인 대비책 마련이 현재보다 더욱 면밀히 이루어져야 할 것이다.

사사

이 연구는 기상청의 R&D사업 (METRI-2008-B-10)의 연구비 지원으로 수행되었다. 자료 수집에 수고하여 준 박소연 연구원에게 감사 드린다.

참고문헌

- 강광규, 추장민, 정희성, 한화진, 유난미, 2004: 동북아지역의 황사 피해 분석 및 피해저감을 위한 지역 협력 방안(II). 한국환경정책평가연구원 연구보고서, RE-01, 241pp.
- 삼성경제연구소, 2003: 황사의 피해와 대응방안. Issue paper, 35pp.
- 전상일, 1999: 서울시 대기오염이 건강에 미치는 영향과 질병비용에 관한 연구. 서울대학교 박사학위 논문
- 추장민, 정희성, 강광규, 유난미, 김미숙, 2003: 동북아지역의 황사 피해 분석 및 피해저감을 위한 지역 협력 방안(I). 한국환경정책평가연구원 연구보고서, RE-01, 208pp.
- 홍종호, 2003: 황사가 우리나라에 미치는 경제적 피해 추정. 한·중국제학술회의 “황사와 한·중협력”, 서울세종문화회관, 2003.4.11.
- Choi, I.-J., S.-W. Kim, J. Kim, S.-C. Yoon, M.-H. Kim, N. Sugimoto, Y. Kondo, Y. Miyazaki, K.-J. Moon, and J.S. Han, 2008: Characteristics of the transport and vertical structure of aerosols during ABC-EAREX2005. Atmospheric Environment, in press.
- Kim, J., C. H. Jung, B. C. Choi, S. N. Oh, F. J. Brechtel, S. C. Yoon, and S. W. Kim, 2007: Number size distribution of atmospheric aerosols during ACE-Asia dust and precipitation events. Atmospheric Environment, 41(23), 4841-4855.
- Kim, J., 2008: Transport routes and source regions of Asian dust observed in Korea during the past 40 years (1965-2004). Atmospheric Environment, 42(19), 4778-4789.
- Kwon, H. J., 2002: Effects of the Asian dust events on daily mortality in Seoul, Korea. Environmental Research, 90, 1-5.



A brief introduction to the European Cooperation in the field of Scientific and Technical Research (COST)

Radan Huth

Institute of Atmospheric Physics, Prague, Czech Republic
Pavol Nejedlík, Slovak Hydrometeorological Institute, Bratislava, Slovakia
huth@ufa.cas.ca, pavol.nejedlik@shmu.sk

The aim of this contribution is to inform the Korean community on one of the mechanisms of funding scientific cooperation in Europe.

Basic information

COST, which is an acronym for Cooperation in Science and Technology, represents one of the instruments to run the cooperation within the European Research Area. It was established in 1971 at a time when European Communities had no competence for research matters and still proceeds as an independent initiative being based on the intergovernmental agreement. COST aims at promoting and coordinating pre-competitive both applied and basic research in

the areas defined by scientists with regard to national needs, while reducing the fragmentation in research investments in Europe. The basic aim of the COST activities is to function as a tool optimizing the directions of the research activities within the European Research area and serving as a certain precursor in the defined fields.

All the COST activities are performed via COST Actions. Originally 17 western European countries, Yugoslavia and Turkey participated to COST. 34 members and one associated country (Israel) cooperate in COST programme now, and as such represent the biggest intergovernmental agreement in Europe and also the oldest existing research programme



organized by the European Union (EU). COST is one of European programmes which are open to a broader cooperation. It has a geographical scope beyond the EU and welcomes the participation of interested institutions from non-COST member states without any geographical restriction. The scientists from scientific bodies from non-member countries are invited to cooperate on the basis of mutual benefits and COST issues a special status for cooperating institutions. Mainly the researchers from Canada, Russia, USA and Japan cooperate in COST Actions. Around thirty thousands of scientists covering all scientific branches were involved in COST programme in 2007.

COST represents one of the widest science networks in Europe. There were only 10 COST Actions in run in the first half of seventies but this number has increased ten times since the beginning of eighties. Many of the COST Actions have brought important scientific results and contributed to the scientific and technical development in Europe and in the world by bringing widely accepted methods, procedures and parameters. One example in this direction is COST Action 713, which strongly contributed to the definition of the UV Index widely accepted and used since the second half of nineties. Some of the Actions acted as a nucleus for further establishment of various scientific centres

and networks. COST Action 70 is a very good example of such achievements: The idea of the European Centre for Medium-Range Weather Forecast (ECMWF) created by COST Action 70 has materialized in seventies. ECMWF became an independent organization with its own structure and headquarters and has grown to one of the most important bodies in this field in the world.

As the COST programme does not keep the status of any legal body, the European Science Foundation provides COST with the financial management and administrative support.

COST programme is funded by the European Commission within the Framework Programmes as their integral part. The 7th Framework Programme (FP7) gives financing to COST in the period of its duration from 2007 to 2013. 210 million of Euro is the funds provided by FP7 with the possibility of further 40 million Euro increase depending on the mid-term evaluation. This means the annual funding in between 35 and 41.5 million of Euro to approximately 230 to 250 running COST Actions.



Principles of COST

It is an exclusive feature of the COST arrangement that any institution from a COST member country can freely join an appropriate COST Action by signing the Memorandum of Understanding (MoU). This document is an agreement among the cooperating countries that offers a big portion of flexibility without applying any formal binding. The MoU brings the governance of each COST Action and the terms of participation, describes the activities to be executed, defines the goals and the deliverables of the Action and also protection of the intellectual property of the Action, if needed.

There are following principles of the COST programme:

1. Bottom up approach - the COST Action can be proposed by any organization or by a group of scientists coming from a COST country via an Open Call. Launching a COST Action requires a minimum of five participating countries. Despite the fact that any COST Action is proposed by a scientist via a certain organization or association of research institutes, the MoU is signed by the country officials (by the ambassador of a particular country to the European Communities) and the country ensures the research capacities and sources for the cooperation within each COST Action.
2. Participation is voluntary – the participation is fully voluntary and a la carte and involves the possibility to end the membership in the Action, following the general principles and COST regulations. Each country can freely enter any COST Action within one year after the MoU was approved by the Committee of Senior Officials (top body of COST). After this period, any participation is subjected to the approval of the Management Committee of the particular Action.
3. The cooperation within the COST Action takes the form of concerted activities based on the concentration of national research efforts focused on the specific topics. The work in the Actions is organized by the Management Committees. The members of Management Committees are nominated by participating countries.
4. Cooperation within the Action is funded by COST while the research activities are funded nationally.
5. COST welcomes the participation of interested institutions from non-COST countries and international organizations. COST provides them with a special status of a non-COST participant, but COST does not fund such a participation.



COST instruments

All scientific activities in COST are run by the COST Actions. A COST Action is a European Concerted Research Action based on a Memorandum of Understanding (MoU) accepted on behalf of the Governments of the COST Countries or Cooperating States wishing to participate in the Action. Each COST Action is identified by a number and a title.

Each COST Action is represented by a joint group of at least five COST countries represented by the scientific institutions which nominated their representatives to the Management Committee of the Action. The work of each COST Action is based on the Memorandum of Understanding.

This contains the agreement of the Parties to carry out the Action in accordance with the provisions of the present document, as well as the specific information and provisions pertaining to the Action. Namely:

- the main objective of the Action,
- the anticipated economic dimension of the Action, estimated on the basis of information available during the planning of the Action,
- the Parties who intend to participate,
- the period of time for which the MoU remains in force, calculated from the date of the first

meeting of the Management Committee,
- any additional provisions of sufficient importance to be included.

Further to that the Technical Annex of the MoU defines the goals and deliverables and also gives the subtopics of the Action and the mechanisms of how to obtain its results and deliverables.

The duration of an Action is generally 4 years from the first Management Committee meeting. COST Actions are supervised by rapporteurs from the respective Domain Committee who also organizes the evaluation of the Action after it is completed.

A COST Action is usually characterized by targeting a scientifically clearly focused objective. Nevertheless, many of the Actions are interdisciplinary scientific networks bringing together scientist from different fields of research.

The members of the Management Committees do not act only as the scientist but mainly as the communicators incorporating the research activities at the national level into the European frame.

Each COST Action forms a few working groups dealing with specific parts of the Action's



objective. The members of the working groups are nominated by the Management Committee members. The activity of each COST Action is run by the Management Committee, including the organization of scientific meetings and conferences and participation in other events in the field. COST programme supports the Actions also in organizing individual short term scientific missions, which increases the mobility of researchers across Europe, and in publishing results of their work.

(Fig.1).

Structure and bodies of COST

The overall strategy of COST is set up by the ministerial conference of COST member countries each 4-5 years. Further to that there are the COST structures running daily management. The COST structure is schematically displayed in Fig.2.

The number of the COST Actions has rapidly grown mainly in the nineties and after 2003

CSO

The highest deciding body in COST programme

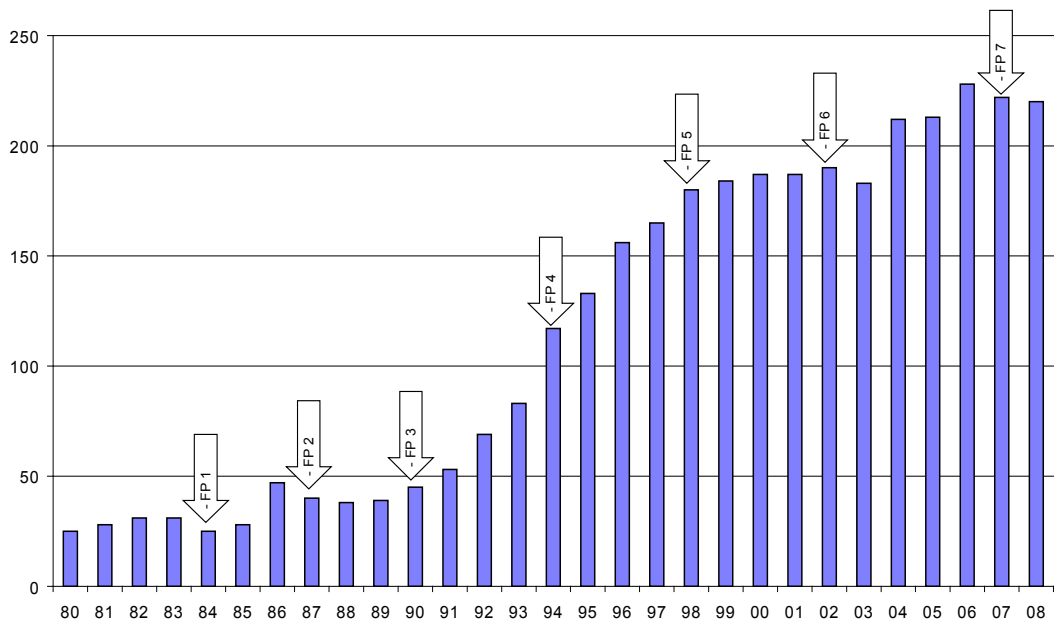


Fig.1. Number of COST Actions running in individual years. Arrows indicate starting years of Framework Programmes (FPs) of European Communities / European Union



is the Committee of Senior Officials /CSO/. Each COST member country has its representative in the CSO. CSO members act as the liaison between the scientists and institutions in the respective country and the Council COST secretariat. The CSO takes care of the overall strategy of COST programme, makes the frame for external contacts to other European and international programmes, designs the structure of the programme, approves the proposals for new COST Actions before they are opened for signing and also approves non-COST participation of the institutions from non-COST countries and international institutions to the particular COST Action.

COST Domains

The real COST activities are organized within nine key COST Domains:

- Biomedicine and Molecular Biosciences (BMBS)
- Chemistry and Molecular Sciences and Technologies (CMST)
- Earth System Science and Environmental Management (ESSEM)
- Food and Agriculture (FA)
- Forests, their Products and Services (FPS)
- Information and Communication Technologies (ICT)
- Individuals, Societies, Cultures and Health

(ISCH)

- Materials, Physical and Nanosciences (MPNS)
- Transport and Urban Development (TUD)

Each Domain forms the Domain Committee (DC) composed of nominated national representatives. The DCs assess new MoU proposals and are responsible for continuous monitoring, coordination, scientific quality control and final evaluation of the actions in their Domain. The DCs have also the responsibility to form the space for new COST Actions in the most important research fields.

Management Committees of COST Actions

Each ongoing COST Action is led by the Management Committee (MC). It is composed of maximally two representatives of each member state participating in the particular COST Action. The MCs are responsible for the overall performance of the Action including the financial planning. More scientists can participate through the working groups, which are set up by the MCs in order to carry out the work programme of the Action. The MC chair reports to the relevant Domain Committee on the activities being performed by the Action.

Scientific Secretariat (COST Office)

The necessary administrative support to the Actions, MCs and DCs is provided by the COST Office, located in Brussels and currently lodged

in the European Science Foundation (ESF). The secretariat takes care about the administrative procedures, organizes the COST meetings, gives the support in publishing activities and makes the external contacts to the European Commission and other relevant bodies.

General Secretariat of the Council

It provides the CSO with administrative support and makes the direct line to the European Council.

COST Funding

COST funding covers the coordination costs associated with organizing and attending meetings, workshops and conferences; short-term scientific missions as well as publications and other dissemination activities. It has to be stressed that the research activities themselves must be supported through national funds and are not supported by COST. The participation to any COST Action requires an endorsement of the particular institution ensuring that the particular scientific activity related to the

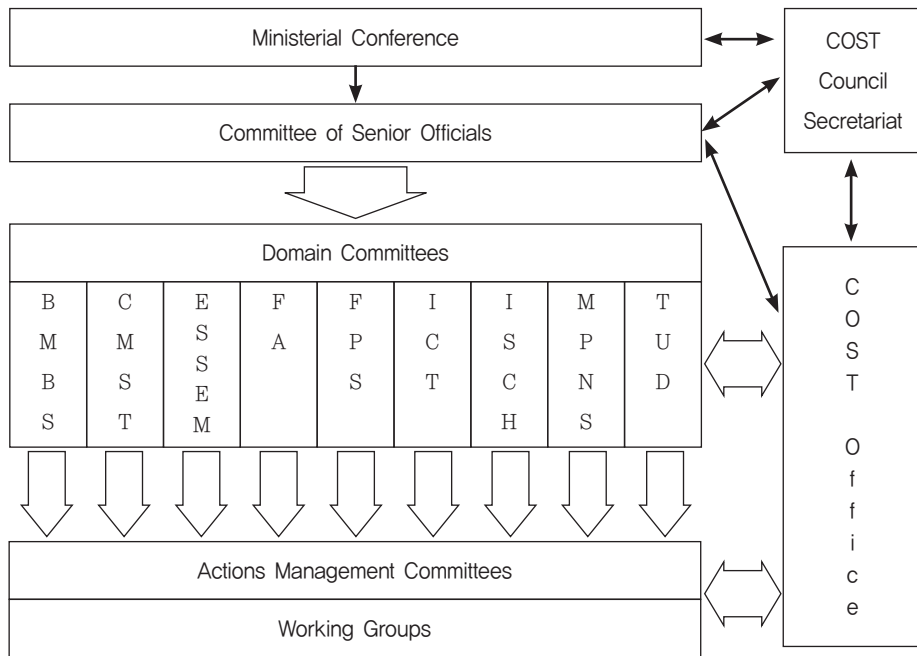


Fig.2. Structure of COST



concrete COST Action is funded at the national base for the duration of the Action. The average annual funding of the scientific cooperation within one COST Action is around one hundred thousands of Euro. This covers the expenditures for travelling, organization of meetings, support to the conferences organized by the Action or in which the Action members participate, short term scientific missions, and supporting publications and other dissemination activities including training schools.

In general, researchers from Institutions from non-COST countries do not receive economic support from COST. However, the experts from non-COST countries can be occasionally invited to the COST meetings to address a concrete topic on the COST Action's agenda with COST reimbursement, and participants from near-neighbouring non-COST countries may be occasionally reimbursed for attendance at the meetings of COST Actions. Further to this support COST has set up a reciprocal arrangements with some countries (Australia, New Zealand).

The provisions of non-COST participation

An institution from a non-COST country participates in the Action on the same basis as

the Parties to the MoU concerned, except of two points:

- the representatives of such institutions do not have the right to vote either in the MC of the Action or in the Working Groups
- participants from non-COST institutions are not eligible for COST reimbursement, unless there are special provisions decided by the CSO

Each non-COST participation has to be approved by the MC of the particular Action, by the respective Domain Committee, and by the CSO. The main criterion for approving the non-COST participation to any COST Action is the mutual benefit coming out from such a cooperation. The MC and DC have to agree with the non-COST participation before it is approved by the CSO. The application for a non-COST participation has to be addressed to the president of the CSO. However, in order to make the process of admission smoother and to speed it up it is recommended to address also the MC Chair of the Action to which the non-COST institution intends to participate, and the Science secretary of the respective Domain who arranges the approval procedure.

The letter to the CSO and to the MC has to show the profile of the requesting body, its expertise and working capacity in the field of research of the particular Action to which the membership



is requested, and the description of mutual interests and benefits coming out from such a collaboration.

• Example of a running COST Action

In the end, a personal experience of the first author, R.H., with his participation in a COST Action is exposed in brief. The first author is involved in the COST733 Action “Harmonisation and Applications of Weather Types Classifications for European Regions” where he acts as its vice-chair. The MoU of the COST733 Action states that its aims include, among others, (i) to overview the existing circulation classification methods and their applications in Europe, (ii) to enhance the knowledge on linkages of the atmospheric circulation to weather, climate, and environmental variables, (iii) to analyze strengths and weaknesses of the classification methods for different applications, (iv) to provide tools for comparison and evaluation of different classifications, and (v) to assess different methodologies for the comparison of circulation classifications. The declared ultimate goal of the activity is to achieve a general objective method for assessing, comparing and classifying synoptic situations in European regions, which would be scalable to any European (sub)region with daily time scales

and spatial scales of 200 to 2000 km.

At present, the Action joins 20 European countries, with one country having expressed the intention to cooperate. The number of participating countries ranks the COST733 Action among those of a slightly-larger-than-average size. The Action started by its kick-off meeting in April 2005 and officially commenced its operation in September 2005 at its first Management Committee meeting held in Utrecht, the Netherlands. Its duration is five years, so at present we are slightly beyond the half of its existence. The work proceeds in four working groups (WGs), dealing with different aspects of classifications. WG1, whose aim was to make up an inventory of classification methods available in Europe, already successfully finished its operation. WG2 concentrates on the development of circulation classifications, WG3 is responsible for their evaluation, and WG4 deals with various applications of classifications in meteorology and climatology.

During the course of the Action, we have had Management Committee (MC) meetings approximately every half a year in different countries. This allows a good contact with national scientific communities who are not directly involved in the field of classifications, but their work is linked to it in some way. Usually, the



MC meetings are accompanied by individual WG meetings; and additional separate WG meetings have also been conducted. Our experience is that separate WG meetings (with slightly over 10 people usually present) are more effective than MC meetings with about 40 people; therefore in near future, we plan to organize more frequent WG meetings at the expense of more formal MC meetings. However, to ensure the communication between WGs, an idea of organizing successive meetings of two or three WGs at the same place came up recently; it will be tested in the beginning of the next year.

Three of the MC meetings of our COST Action were organized in conjunction with the annual meeting of the European Meteorological Society, which is one of major scientific meetings of the European community working in the atmospheric sciences. This did not appear to be a good idea because of an interference between the conference and the COST meeting; simply speaking, it was not clear where the COST meeting starts and the conference ends. We therefore decided not to connect the upcoming WG and MC meetings with major scientific conferences.

There are other activities conducted within the COST733 Action. The short-term scientific missions (STSMs) are one to several weeks

long stays funded from the budget of the COST Action. The STSMs are especially beneficial for young scientists and PhD students, but are not limited to them: for example, two STSMs were successfully devoted to writing a review paper on circulation classifications, which is one of the major achievements of the Action so far. COST Actions are supposed to organize their mid-term conference, devoted to the main topics they deal with. The mid-term conferences are open to scientists outside the COST Action, the audience usually counting to several tens to more than one hundred persons. Another instrument used within COST Actions are training schools, targeted at the dissemination of knowledge in one particular aspect or problem from within the COST Action. Before finishing, the Actions are supposed to organize their final workshop, at which the main achievements of them are presented.

Trying to summarize, the COST Actions are useful tools for coordinating research on a European-wide level in specific areas, even quite narrow or interdisciplinary. Informal personal contacts gained during them frequently become cores of future bilateral or international cooperations on different platforms and funded from various sources.



About the authors:

Radan Huth: director of the Institute of Atmospheric Physics, Prague, Czech Republic; and vice-chair of the COST733 Action

Pavol Nejedlík: director of the Meteorology Division of the Slovak Hydrometeorological Institute, Bratislava, Slovakia; and former science officer of the Meteorology and ESSEM domains in COST

Norway: NO

Poland: PL

Portugal: PT

Republic of Serbia: RS

Romania: RO

Slovakia: SK

Slovenia: SI

Spain: ES

Sweden: SE

Switzerland: CH

Turkey: TR

United Kingdom: UK

• Annex 1 COST participation

COST Member States

Austria: AT

Belgium: BE

Bulgaria: BG

Croatia: HR

Cyprus: CY

Czech Republic: CZ

Denmark: DK

Estonia: EE

F.Y.R.of Macedonia: MK

Finland: FI

France: FR

Germany: DE

Greece: GR

Hungary: HU

Iceland: IS

Ireland: IE

Israel: IL

Italy: IT

Latvia: LV

Lithuania: LT

Luxembourg: LU

Malta: MT

Netherlands: NL

Participating Non-COST countries

Algeria: DZ

Argentina: AR

Armenia: AM

Australia: AU

Bosnia-Herzegovina: BA

Brazil: BR

Canada: CA

China: CN

Colombia: CO

Cuba: CU

Egypt: EG

Georgia: GE

Hong Kong: HK

India: IN

Japan: JP

Republic of Korea: KR

Republic of Moldova: MD

Malaysia: MY

New Zealand: NZ

Russia: RU

Tunisia: TN

South Africa: ZA

Ukraine: UA

United States of America: US

Vietnam: VN

우주환경의 현황과 전망

안 병 호

경북대학교 사범대학 과학교육학부 지구과학교육전공

bhahn@knu.ac.kr

1. 서론

태양은 가시광선 영역 이외에 극소량이지만 자외선 및 X-선 영역의 복사에너지와 주로 양성자와 전자로 구성된 태양풍이라 불리는 입자 복사에너지를 방출한다. 이들 중에서 전자기복사는 전리층을 그리고 입자복사는 지구 자기장과의 상호작용을 통하여 자기권이라는 독특한 환경을 야기한다. 우주환경(space environment)이란 이렇게 형성된 영역으로 지표부근의 전리층으로부터 자기권 나아가 행성간 공간에 이르는 우주공간을 통칭한다. 그러나 가시 광선과는 달리 상기 영역의 에너지는 태양 활동에 따라 그 방출량이 수배에서 수십 배에 걸쳐 변화한다. 따라서 우주환경은 대류권과는 달리 그 상태가 단시간에 극심하게 변한다. 이와 같은 우주환경의 급격한 변화는 우주공간 및 지상에 설치된 최첨단 기기의 성능과 신뢰성에 영향을 미

치고 인간의 생명이나 건강을 해치므로 인류에게 다양한 경제-사회적인 손실을 유발한다(National Space Weather Program, 1997).

특히 21세기에는 인류는 인공위성으로 대표되는 최첨단 기기에 더욱 의존하게 될 것이므로 우주 공간은 더 이상 우리들에게 무의미한 공간이 아니라 인류의 사회·경제활동이 직접 일어나는 무대가 될 것이다. 그래서 우주환경의 갑작스러운 변화에 기인된 피해를 최소화할 수 있는 조치를 강구하여야 할 것이다. 그 첫 걸음으로 최근에 우주환경의 급변을 예측하는 우주환경예보, 우주기상예보 혹은 우주천기예보(space weather forecasting)라는 분야가 도입되었다. 본 장에서는 본 저서의 결론으로 우주환경의 급격한 변화로 인해 야기되는 사회·경제적인 문제점을 지적하고 이 분야에 관한 연구의 중요성을 일깨우고자 한다.



2. 우주환경의 급격한 변화가 야기하는 문제점

지구를 둘러싸고 있는 우주환경은 태양활동에 따라 매우 역동적으로 변화한다. 변화의 종류에 따라 차이는 있겠지만 지구 주변 우주환경은 태양면에서 교란현상이 발생한 후 짧게는 수분에서 길게는 수 일간의 시간지연 이후에 반응을 나타낸다. [그림 1]은 태양면에서 발생한 교란 현상이 지구에 도달하여 우주환경변화를 일으키는데 걸리는 시간을 보여준다. 우주환경변화는 다음과 같은 측면에서 사회·경제적으로 영향을 미친다.

1) 통신: 많은 통신 시스템은 장거리 교신을 위해 전리층에서의 반사를 이용한다. 그러나 지자기활동에 따른 전리층의 교란은 불필요한 흡수나 반사를 일으키기 때문에 전파신호의 요동과 비정상적인 전파(傳播)현상을 야기한다. 태양활동이 증가하면 태양전파 잡음(solar radio noise)은 100 MHz 이하에서 100배나 증가한다. 비록 TV나 상업 라디오방송 등은 태양활동의 영향을 비교적 적게 받지만 HF 파장대(3-30 MHz)를 사용하는 지대공 통신, 선박-해안간 교신, 단파방송 그리고 아마추어 무선 등은 교란을 받는 경우가 자주 있다. 그 외에 군사적인 목적으로 사용되는 전파 감지시스템이 영향을 받는다. 특히 태양 플레어에 수반된 자외선 및 X-선 혹은 오로라 발생으로 인한 극전리층의 전자 밀도의 이상 증가 등이 전파의 전파에 영향을 미친다. 태양에서 방출되는 고에너지 하전입자는 극관 영역을 과도하게 이온화시킴으로써 극관 흡수 현상(polar cap absorption; PCA)을 일으키기도 한다. 이러한 상태가 수일간 지속되기도 한다. 이때 극지

방에서는 HF통신이 불가능해 진다.

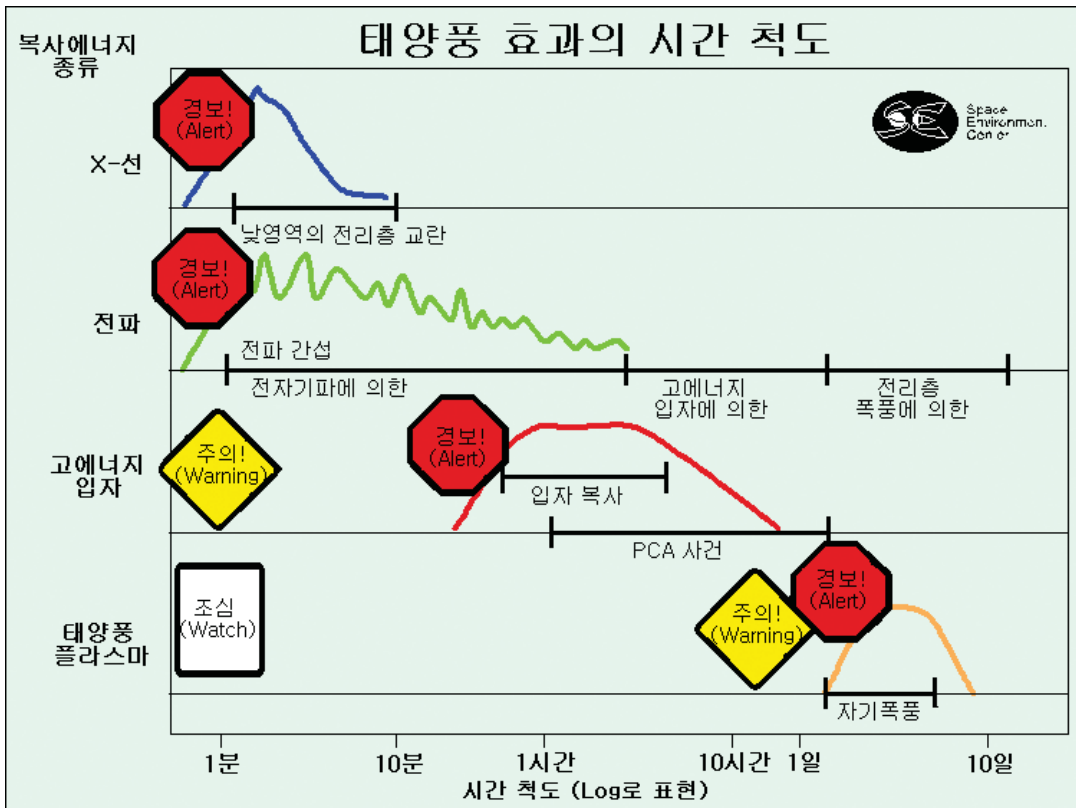
지자기 교란 기간 중에 나타나는 전리층 전자밀도의 급격한 변화는 전파의 단주기 요동을 야기하는데 이를 전리층 깜빡임(scintillation)이라 하고 GPS 신호나 인공위성으로 교신하는데 사용되는 VHF나 UHF 대역(30 MHz-3 GHz)에 간섭현상을 일으킨다. 한편 태양과 항공기 등이 일직선상에 놓이게 될 때 태양전파 파열(solar radio burst)로 인한 항공기 관제전파 주파수가 불통되기도 한다. 이 문제는 인공위성, 위성 지구국 및 태양이 일직선상에 오는 춘추분에 발생한다(Davis, 1990).

2) 항법: 전파를 이용해서 지구상의 위치를 결정할 때 단거리의 경우에는 매우 정밀한 측정이 가능하다. 그러나 거리가 수백 km를 능가하면 전리층의 반사를 이용할 수 밖에 없다. 따라서 전리층의 변화는 거리 측정의 정밀도에 영향을 미친다. 따라서 LORAN(Hefley, 1972)이나 OMEGA 시스템은 태양활동에 의해서 영향을 받는다. OMEGA 시스템은 8개의 송신기로 구성되어 있으며 VLF신호(10-14 kHz)를 사용하여 전세계에 걸쳐 선박이나 항공기의 위치를 알려준다. 전리층 전자밀도의 밤낮에 따른 차이는 보정이 가능하지만 태양면 폭발이나 자기폭풍 시에는 수 km에 해당하는 위치상의 오차가 야기된다. 특히 전리층에 의한 전자기파의 신호 약화 및 반사현상은 HF 주파수대를 이용하여 수평선 너머에 위치한 항공기나 선박을 추적하는데 지대한 영향을 미친다. 최근에는 20,200 km 상공에 위치한 30개의 위성(2007년 기준)으로 구성된 GPS(Global Positioning System) GHz 주파수대의

전파를 이용하여 위치를 측정하고 있다. 태양활동에 따른 전리층의 전자밀도 증가는 그 속을 통과하는 전파신호의 시간적인 지연을 일으켜 GPS의 정확도와 신빙성에 영향을 미친다. 그 외 전리층의 불균일은 전파신호에 잡음을 유발하기도 한다.

3) 인공위성: 자기권 내의 고에너지 전자의 존재로 말미암아 인공위성이 대전된다. 대전 자체가 인공위성을 손상시키는 것은 아니지만 각 부위마다 대

전 정도가 달라져서(differential charging) 마침내 방전현상이 일어나고 이로 인해 인공위성 내부로 전류가 흐르면 전자부품을 손상시킬 수 있다. 그것보다 더 심각한 것은 방전시 방출되는 전자기파가 위성의 명령접수 수신기에 잘못된 명령을 내려 위성을 오작동 시키게 된다. 이러한 오작동을 위성 이상(spacecraft anomaly)라 부른다. 위성 대전현상은 주로 지방시로 22-07 LT 사이에서 일어나며 서브스톰(substorm) 발생 시 자기권 꼬리로부터 공



[그림 1] 태양면 교란으로 발생하는 여러 가지 물리량이 지구주변 우주환경에 영향을 미치는데 걸리는 시간 (NOAA, 우주환경예보센터 제공)

급된 고온의 플라스마로 인하여 발생하는 것으로 추정하고 있다. 그 외 주로 방사선대 전자들(killer electrons, >수백 keV)은 인공위성을 투과하면서 캐이블이나 기판 등 내부 부품들을 대전시킨다(bulk charging 혹은 deep dielectric charging). 어떤 절연체 부품이 절연한계 이상으로 대전되면 다른 부품으로 방전이 일어난다. 이것은 인공위성의 전자회로에 매우 심각한 영향을 미칠 수 있다(Robinson, 1989).

고에너지 양이온은 인공위성 내부의 규소 재질의 부품을 직접 이온화시킬 수 있다. 이로 말미암아 디지털 회로의 비트(bit)를 바꾸는 현상(bit flip)을 단일 사건 고장(single event upset, SEU)이라 부른다. SEU는 저장된 데이터나 소프트웨어를 손상시키고, CPU를 멈추게 하고 또는 잘못된 명령을 하달하기도 한다. 우주선(cosmic ray)의 일종인 은하 우주 방사선(galactic cosmic radiation, GCR >50 MeV)이나 태양 플레어 발생시 방출되는 고에너지 입자(solar proton event, >10 MeV) 등이 SEU를 일으킨다.

자기폭풍의 발생이나 태양 자외선(EUV) 복사에너지의 증가는 상층대기를 가열시켜 이를 팽창시킨다. 자기폭풍 기간에는 극지방 전리층으로 하전입자가 다량 유입되어 고도 100 km부근을 가열시킨다. 이로 인하여 인공위성이 운행되는 고도를 포함해서 약 1,000 km 상공까지 대기 밀도의 변화를 야기한다. 가열 효과는 지자기 교란 후 서너 시간 후에 나타나기 시작하여 12~24시간까지 지속되곤 한다. 강력한 연자기력선 전류 및 오로라 제트전류도

대기를 가열하는 데 기여한다. 이러한 가열은 주로 오로라 지역에서 발생하기 때문에 자기폭풍 시 극궤도 위성에 큰 영향을 미친다. 오로라 서브스톰 발생시 양이온들은 극관의 2개의 전위세포 주위로 대류운동을 한다. 이 과정에서 양이온과 중성대기의 충돌로 야기되는 중성풍은 1~2 km/sec의 속도를 얻게 되는 데 공전속도 6~7 km/sec의 극궤도 위성에 영향을 미친다(Tascione, 1994). 대기 항력은 근지점 부근에서 현저하며 원지점에서는 무시할 수 있을 정도로 작다. 따라서 근지점에서의 속도 감소는 원지점의 고도를 감소시켜 위성의 궤도를 점차적으로 원형으로 바꾸려는 경향을 보인다.

대기 밀도의 변화를 추정하기 위해서 대기밀도 모델을 사용하는 데 여기에 사용되는 입력 자료는 태양의 EUV 복사량을 대변하는 10.7 cm 전파속과 지자기 활동지수를 사용한다. 10.7 cm 전파속이 >250 이고 $Kp \geq 6$ 인 경우 저궤도 위성은 상당한 항력 효과가 나타난다. 태양활동 극소기와 극대기를 비교했을 때 400 km 상공에는 대기의 밀도가 최대 100배 이상 차이가 나기도 한다. 따라서 인공위성을 발사할 때 운용기간 내의 상층대기의 변화를 고려해야한다.

4) 우주비행사: 태양 플레어에 수반된 고에너지 입자는 방사선 붕괴시 방출되는 저에너지 복사만큼이나 인간에게 해로울 수 있다. 지상에 거주하는 우리들은 지구의 대기나 자기권에 의해 이로부터 보호받지만 우주선 밖 외계 활동(extra-vehicular activities; EVAs)을 하는 우주비행사들은 치명적인 피폭을 받을 수 있다. 세포 속을 투과

한 고에너지 입자는 염색체를 파괴시켜 암을 유발할 수 있다. 다량의 고에너지 입자의 피폭은 생명을 위협할 수도 있다. 에너지가 30 MeV 이상의 태양기원의 양성자가 특히 유해하다. 태양이 양성자를 다량 방출할 경우(proton event), 극관지역 상공을 비행하는 초음속 제트기의 승객들은 고단위의 방사능 피폭에 노출될 수 있다. 이 경우 미연방항공청(FAA)은 고위도 지방 40,000 피트 상공에서 20 microsievert(인체에 미치는 방사선의 피폭량을 측정하는 단위로 10 km 상공의 경우 평균 5 microsievert 정도의 피폭이 예상됨) 이상의 방사선의 노출이 예상될 때 태양복사경보(solar radiation alert)를 발표하고 비행고도를 낮추어 방사능 피폭을 줄일 수 있도록 조치한다(Harding, 1989).

정지궤도 위성의 고도까지를 포함해서 지구주변 우주환경에 영향을 미치는 입자 복사선은 주로 은하우주 방사선(GCR), 지구 자기권에 포획된 하전입자 그리고 태양 플레어 발생시 방출되는 고에너지 입자 등이 있다. GCR은 에너지가 0.1 GeV를 능가하는 양성자, 전자 및 중원소 입자로 별이나 먼 은하로부터 기원된 것이다. 공간적으로는 이들은 자기력선이 열려 있는 극지방으로 많이 유입된다. 한편 이들은 태양흑점 주기 11년을 주기로 시간적으로 변화한다. 태양흑점 극대기에는 행성간 자기장이 강화되어 우주선 입자는 지구로 접근하는 것이 용이하지 않다. 이와 같이 GCR 입자속이 흑점 극대기에 극소를 나타내는 현상을 포브시 감소(Forbush decrease)라 부른다. 반대로 흑점 극소기에는 GCR 입자속이 극대가 된다. 정지궤도 상에서 측정할 경우 흑점 극소기와 극대기에서의 GCR 입자속은 2

배 정도의 차이를 나타낸다. 그러나 GCR 입자속은 저궤도 위성에는 별 영향을 미치지 않는다. GCR 입자속은 매우 에너지가 크기 때문에 투과력이 매우 높지만 그 양이 적기 때문에 우주인에게 큰 영향을 미치지 않는다. 독자 여러분도 이 부분을 읽고 있는 동안 몇 개의 GCR 입자에 피폭이 되었을 것이다. 인공위성이 운행되는 고도에서 총 방사선 피폭량의 5-10%가 GCR에 의한 것으로 이처럼 소량의 방사선을 배경 복사라 부른다.

반 알렌 내대에 포획된 고에너지 양성자가 500 km 이상의 상공 특히 남대서양 이상 지역(South Atlantic Anomaly)을 운행하는 위성에게 주요한 방사선 피폭의 원천이 된다. 내대의 양성자 밀도는 태양의 흑점주기에 따라 변하는 데 극소기 때 내대는 최대로 팽창하고 입자의 밀도는 2배 정도 차이가 난다. 외대의 경우 낮 쪽은 편평하고 반대로 밤 쪽은 늘어난 형태로 비대칭적인 모습을 하고 있다. 일반적으로 입자의 에너지와 밀도는 11년을 주기로 변한다. 태양활동 극대기에는 외대의 경계가 지구 쪽으로 수축하는 대신 입자의 에너지는 증가한다. 외대의 전자 밀도는 수주일 내에 열배 이상으로 변하기도 한다. 지자기 활동이 활발한 기간 중이나 직후에 외대는 팽창하며 이 때 고에너지 전자들이 방사선 피폭의 위험성을 상당히 증대시킨다. 포획된 방사선대 입자들은 우주인에게는 치명적일 수 있다. 가장 위험한 지역에 대한 정보를 사전에 숙지하고 가능한 한 이 지역을 통과하는 궤도를 최소화하는 조치를 취해야 한다.

태양 양성자(solar proton)는 자연 방사선 피폭 요인 가운데 가장 변화가 심한 복사선이다. 태양 우주선(solar cosmic rays, SCR)라고도 불리며 주로 양성자, 전자 및 중원소로 구성되어 있고 태양 플레어 발생시 10 MeV에서 1 BeV 정도까지 가속된다. 이들이 단시간에 피폭량을 수천 배까지 증대시키는 요인이 된다. 태양으로부터 입자복사는 11년 흑점주기와 연관이 있고 대규모의 입자복사는 보통 흑점극대기 다음 달에 나타난다. 보통 몇 몇 개의 대규모 플레어의 발생시 방출되는 입자복사가 전 태양 흑점주기 동안 방출된 양을 능가한다. 인공위성이 받는 피폭량은 궤도에 따라 달라진다. 적도궤도의 경우 양성자에 의한 피폭량이 낮다. 반면 위도 50° 이상 그리고 고도가 지구 반지름의 수배 이상의 상공을 운행하는 경우 양성자에 의한 피폭 위험이 상당하다. 플레어 발생시 수반되는 양성자에 의한 피폭이 대기권 밖에서 활동하는 우주인에게 가장 치명적이다.

5) 기타: 지질학자들은 자기장을 이용해서 지하의 유용광물, 예를 들면, 석유, 천연가스 및 광물자원 등을 탐사한다. 이것은 지자기 활동이 매우 낮을 때만 가능하다. 그래야만 실제 지구자기장의 이상을 판단하는 것이 가능하다. 반면 어떤 지구물리탐사는 지자기 교란시기를 선호하는 경우도 있다. 예를 들면 지자기 교란시 지하에서 흐르는 전류가 정상 값으로부터 얼마만큼 벗어나는가를 이용해서 석유나 광맥의 구조를 밝힌다. 이러한 이유 때문에 물리 탐사팀은 조사계획을 수립할 때 지자기예보를 활용한다(Whitham and Loomer, 1957).

자기장을 도체에 접근시키면 도체 내에는 유도전류가 발생한다. 이러한 현상은 자기폭풍기간 중 송전 설비에도 대규모로 일어난다. 전력회사는 전기를 교류의 형태로 장거리 송전선을 통해서 소비자에게 보낸다. 자기폭풍 기간 중 천천히 변하는 유도 직류전류는 교류를 수송하도록 설계된 송전장비를 비정상적으로 가열시키고 마침내 이를 손상시킨다. 이와 같이 예고 없이 발생하는 정전은 막대한 사회·경제적인 손실을 야기할 것이다. 전력회사들은 자기폭풍예보나 경보를 이용함으로써 송전설비의 보호와 단전을 최소화할 수 있을 것이다(Kappenman and Albertson, 1991).

급격히 요동하는 지자기장은 송유관에 유도전류를 발생시킬 수 있다. 이 경우 몇 가지 문제점이 발생한다. 먼저 송유관에 설치된 계기판의 오작동으로 송유관을 통과한 유량에 대한 그릇된 정보를 제공하게 된다. 그리고 송유관을 부식(corrosion)시키기도 한다(Campbell, 1986).

3. 우주환경 변화에 기인된 역사적인 사건

우주환경에 관한 연구 중에서 무엇보다도 중요한 것은 우주환경의 급격한 변화가 사회·경제적으로 막대한 손실을 끼친다는 점을 일반대중 뿐만 아니라 관계 정책 입안자들에게 홍보하는 일이다. 이러한 목적을 위해서 가장 효과적인 방법은 실제 우주환경의 급격한 변화로 말미암아 야기되는 사회·경제적인 손실의 예를 수집하여 홍보하는 것이다. 이를 위하여 다음에 태양-지구계의 우주환경 변화와

관련된 몇 가지 역사적인 사건들을 소개한다.

(1) 1940년 3월 24일 발생한 대규모의 자기폭풍은 미국 Minnesota주 Minneapolis시의 거의 80%에 해당하는 시외 전화선을 불통되게 했다.

(2) 1958년 2월 9-10일에 발생한 자기폭풍은 Western Union사의 North Atlantic 전신 케이블에 심각한 장애를 유발했다. 그리고 Bell 전화회사의 경우는 Newfoundland에서 Scotland에 이르는 대서양횡단 케이블에 의한 음성통신의 장애가 발생했다. 캐나다의 Toronto에서는 일시적인 정전현상이 나타났다.

(3) 1972년 8월 4일에 발생한 강력한 자기폭풍은 Bell 전화회사의 Illinois주 Plano시와 Iowa주 Cascade시를 연결하는 동축케이블을 30분간 불통시켰다. 그리고 캐나다의 British Columbia 수력발전소의 변압기의 기능이 마비되었다.

(4) 1982년 11월 26일 발생한 태양플레어는 고에너지 양성자를 다량 방출했다. 이때 운량 (cloud cover)을 조사하는 GOES 4호 기상위성의 가시광선 및 적외선 spin-scan radiometer가 45분 동안 작동을 멈추었다. 공교롭게도 이 사건은 강력한 폭풍우가 California주 해안을 강타하는 기간에 일어났기 때문에 문제의 심각성이 부각되었다.

(5) 1989년 3월 13-14일에 일어난 강력한 자기폭풍은 캐나다의 Quebec주 전역의 송전시설에 영향을 미쳐 약 20,000 MW의 전력손실을 야기했다. 이로

인하여 수백만 주민이 9시간이나 전력공급을 받지 못했다. 문제의 발단으로부터 송전시설의 마비까지 약 90초가 소요되었을 뿐이다. 뿐만 아니라 전세계적으로 HF영역의 주파수대는 거의 사용불능 상태가 되었다. 반면 VHF(very high frequency) 방송은 비정상적으로 멀리 전파되기도 하였고 또한 심한 간섭현상이 유발되기도 했다. 그리고 일본 통신위성의 dual redundant command circuit가 절반이나 파손되었다. 공교롭게도 이 사건은 동계올림픽대회 중 일본선수가 high-jump 스키경기를 하는 도중에 일어났기 때문에 일본에서 우주환경의 중요성을 알리는 매우 중요한 계기가 되었다. 미국 NASA가 운영하는 인공위성 중의 하나가 열권의 대기밀도 증가로 말미암아 약 5 km나 운행고도가 낮아졌다. 이 자기폭풍은 그 외 무수히 많은 현상을 유발했다. 우주환경에 관한 연구가 시작된 이래 가장 잘 조사된 사례이다.

(6) 1991년 4월 29일 미국 Main주 Yankee 핵발전소의 변압기가 자기폭풍 시작 수 시간 내에 심각하게 파손되었다.

(7) 1994년 1월 20-21일에 걸쳐 Canada 인공위성 Anik E1과 E2가 고장 나서 전화, TV 및 라디오가 수 시간동안 장애를 받았다. 이로 인해서 약 4억 달러의 손실이 발생하였다. 이 사건은 인공위성의 운행궤도 상에서 전자의 밀도가 장시간 증가한 후에 야기되었다.

(8) 1997년 1월 6-11일 걸쳐 일어난 대규모의 코로나 물질분출 때문에 정지궤도상을 운행하던 미국

AT&T사의 통신위성 Telstar 401호의 회로가 절단되었다. 이로 인하여 수명이 9년이나 단축되는 바람에 2억 달러의 손실이 발생했다.

(9) 2001년 4월 15일에 나타난 태양 양성자 방출로 말미암아 디트로이트-베이징 사이를 운행하는 항공기가 극 항로의 방사선 피폭을 피하기 위해 항로를 변경함으로써 10만불의 추가 경비와 3시간 이상 지연되어 도착하였다. 같은 기간 뉴아크와 홍콩구간의 운항에도 차질이 빚어졌다.

지난 25년간 인공위성의 고장으로 인한 미국의 총 손실액은 19개의 민간위성 대체비용으로 40억 달러 그리고 21개의 통신위성의 기능저하로 야기된 손실액 8억 달러를 포함해서 총 48억 달러에 달했다. 현재 우주환경 변화와 관련된 상업위성의 연간 손실액은 미국의 경우 약 1억 달러로 추산된다. 비록 공개적인 발표는 없었지만 군용위성의 손실액도 거의 연 1억 달러에 육박하는 것으로 알려졌다. 1995년 미국의 상용위성의 총 매출액이 75억 달러이고 연간 성장률이 50%라는 점을 감안한다면 향후 우주환경과 관련되어 일어나게 될 손실액을 짐작할 수 있을 것이다. 최근 궤도상을 운행 중인 인공위성의 수가 급격히 증가했다는 점을 감안하면 2011년경에 극대기에 도달하는 태양주기 24 동안에 발생할 손실액은 상상을 초월할 것이다. 참고로 NOAA에 의하면 1994년부터 1999년 사이 우주환경변화에 기인된 인공위성의 고장 및 손실로 청구된 보험료가 5억 달러에 달했다(DiGregorio, 2008).

4. 실시간대의 우주환경 관련자료

우주환경예보를 수행하기 위해서 가장 필요로 하는 것은 관련 자료이다. 현재 무수히 많은 연구소, 관측소 및 대학들이 지상과 우주에서 우주환경의 변화를 계속적으로 관측하고 있다. 우리나라도 여기에 참여하여 관측 자료를 생산해야 하지만 예보에 필요한 모든 자료를 우리가 독자적으로 획득한다는 것은 거의 불가능한 일이다. 따라서 우리들도 한편으로 관측 자료를 생산하고 다른 한편으로 여러 국가나 기관에서 생산한 자료를 유효적절하게 사용하는 방법을 강구해야 할 것이다. 현재 우주환경예보에 필수적인 실시간(real time)대의 관측 자료는 라그랑즈 평형점(Lagrangian equilibrium point)에 위치한 인공위성에서 연속적으로 관측되는 태양풍 정보이다. 현재 이 정보는 SOHO 및 ACE 위성에서 관측되어 NOAA를 통해서 실시간대로 제공되고 있다. 현재 각국에서 제공하고 있는 실시간대의 우주환경 관련 관측 자료들을 일부 소개한다.

- 한국천문연구원 사이버 우주환경 감시실이 제공하는 우주환경 모니터링 시스템
<http://sos.kasi.re.kr>
- 정보통신부 산하 전파연구소 이천분소가 운영하는 오늘의 우주전파 환경
<http://solaradio.rrl.go.kr>
- NOAA 산하 우주환경예보센터(Space Weather Prediction Center, SWPC)가 제공하는 '오늘의 우주기상(Today's Space Weather)
<http://www.swpc.noaa.gov/today.html>
- 일본 국립정보 및 통신기술 연구소(NICT) 산하

Hiraiso 우주환경정보 서비스가 제공하는 우주환경 예보(Space Environment Information Service) <http://hirweb.nict.go.jp>

- 미국 Iowa 대학이 제공하는 인공위성 POLAR에서 관측된 가장 최근의 가시광선 영역의 오로라 영상(Most Recent POLAR Auroral Visible Image)

<http://eiger.physics.uiowa.edu/~vis/images/>

- NOAA 산하 우주환경예보센터(Space Weather Prediction Center, SWPC)가 제공하는 실시간대의 태양풍 자료

<http://www.swpc.noaa.gov/ace/>

- SOHO 인공위성의 실시간대의 태양 영상 자료 <http://sohowww.nascom.nasa.gov>

- NASA가 제공하는 다양한 파장대의 현재의 태양 영상(Current Solar Images)

<http://umbra.gsfc.nasa.gov/images/latest.html>

- 우주환경 및 지구물리자료를 제공하는 NOAA의 미국립 지구물리자료센터(NGDC)

<http://www.ngdc.noaa.gov/stp/stp.html>

- 캐나다 Dominion Radio Astrophysical Observatory의 Penticton 10.7 cm 태양 전파속 자료

http://www.drao.nrc.ca/icarus/www/sol_home.shtml

우주환경에 관한 정보 및 자료들이 가장 잘 기술된 website를 소개한다.

- 미국 텍사스주 Rice 대학교가 운영 <http://space.rice.edu/ISTP/>

5. 우주환경예보

우주환경예보를 위해서 국제우주환경 서비스(International Space Environment Service, ISES; <http://www.ises-spaceweather.org/>)라는 기관이 운영 중에 있다. 이 기관은 1996년 이전에는 International URSIgram and World Days Service(IUWDS)이라 불렸다. ISES의 주 임무는 우주환경의 국제적인 실시간대의 모니터링과 예보를 권장하고 촉진시키는 것이다. 이를 위해서 우주환경에 관한 정보를 신속하게 교환하고 우주환경에 관련된 관측과 자료처리 방법의 표준화를 구현하며 우주환경이 인류에게 미치는 충격을 경감시키는 데 필요한 서비스를 제공한다.

ISES는 세 가지의 기본적인 기능을 수행한다. 첫째 국제 URSIgram은 지역정보센터(Regional Warning Centers, RWC)를 통해서 표준화된 우주환경 정보를 신속하게 교환한다. 둘째 ISES는 매년 국제 지구물리 달력(International Geophysical Calendar, IGC)을 발행한다. 이 달력은 세계일(World Days)을 지정하여 과학자들로 하여금 일관된 관측을 수행하도록 권장한다. 셋째 Spacewarn Bulletins을 발간한다. 여기에는 지구궤도를 운행하는 인공위성에 관한 정보와 행성간 공간의 상태가 기술되어 있다.

현재 전 세계에 다음과 같이 11개의 지역정보센터(RWC)가 운영 중에 있다. 팔호 속은 센터가 위치한 도시를 나타낸다. 중국(Beijing), 미국(Boulder), 러시아(Moscow), 인도(New Delhi), 캐나다(Ottawa),

체코(Prague), 일본(Tokyo), 호주(Sydney), 스웨덴(Lund), 벨기에(Brussels), 폴란드(Warsaw). 이 중에서 미국 Colorado 주 Boulder시에 위치한 RWC가 World Warning Agency로 관측 자료와 예보를 교환하는 전 세계의 RWC의 중심 역할을 수행하고 있다. 각 RWC의 주 임무는 해당 지역의 과학자 및 예보 이용자들에게 신속한 서비스를 제공하는 데 있다. 서비스는 우주환경의 예보 및 정보로 구성되어 있다.

예보 이용자로는 고주파 전파(HF) 사용자, 지구물리 탐사를 이용하는 탐사팀, 송전 및 파이프라인 운용 당국과 인공위성 운용팀 등이 있다. 오늘날 사용하는 기기들이 점점 복잡하고 정교해짐에 따라 우주환경의 영향을 점차 많이 받기 때문에 이러한 서비스의 영역이 확대되는 추세에 있다. 초창기에 ISES는 정보를 교환하기 위해서 텔렉스(telex)를 사용했으나 오늘날 인터넷의 발달로 혁명적인 변화를 맞이하고 있다. 따라서 더 많은 자료를 그리고 영상을 포함한 더 복잡한 자료를 대량으로 그리고 신속하게 교환하는 것이 가능해졌다. 한편 ISES는 국제학술연맹(International Council of Scientific Union, ICSU)과 긴밀하게 협력하며 또한 세계자료센터(World Data Center, WDC) 중 태양-지구계의 자료를 담당하는 STP World Data Center(Solar-Terrestrial Physics)와도 공동 연구를 수행하고 있다. ISES에서 취급한 준실시간대(quasi-real time)의 자료는 영구적으로 WDC에 보관된다.

6. 전 망

우주환경이란 통상의 일기와 같이 우리가 살아가는 환경의 일부이다. 마치 대류권의 일기가 태풍이나 홍수 등에 의한 피해에 국한된 것이 아닌 것과 마찬가지로 우주환경 역시 인공위성의 고장이나 기능장애, 송전설비의 파괴 혹은 우주비행사의 피폭에 한정된 것이 아니다. 기상이 우리가 살고 있는 대기의 상태를 정의하는 것과 같이 우주환경이란 인공위성이나 우주선이 운행하는 지구 근방의 우주환경의 상태를 규정한 것이다. 우주환경은 우주시대를 맞이하는 인류에게 필연적으로 생활의 일부가 될 수밖에 없으며 전통적인 기상현상과 마찬가지로 피해가 발생했을 때에 비로소 그 중요성이 부각된다.

우주환경을 연구하는 학자들은 지구 및 주변 우주공간으로 구성된 물리적인 시스템이 어떻게 작동하는가를 이해하고자 한다. 그 노력의 일환으로 우리에게 가장 중요한 항성인 태양의 활동을 해독하고 지구주변 우주공간이 행성간 공간과 어떻게 연관되어 있는가를 조사한다. 지구에 영향을 미치는 에너지가 바로 두 영역간의 상호작용을 통해서 유입되기 때문이다. 이러한 연구의 결과는 실용적인 측면에서 우주환경예보, 인공위성이나 통신 운용상의 문제해결 등에 이용될 뿐만 아니라 우주공간 내에서 지구를 조망할 수 있는 안목을 제공한다. 지구란 태양 주위를 공전하는 행성이므로 지구상의 인류는 지구란 우주선을 타고 우주여행을 하는 셈이다. 따라서 항성주위를 공전하는 모든 행성에게 우주환경이란 공통된 현상이다. 우주환경은 인류의

기원과 깊은 연관을 가지고 있으며 나아가 인류의 운명에 중대한 영향을 미칠 것이다.

예보와 경보의 목적으로 ISES가 운영되고 있는 한편 미국에서는 과학재단(NSF), 항공우주국(NASA), 해양대기청(NOAA) 및 미공군과 해군을 중심으로 한 국방성(DOD)이 통상적인 연구 활동의 일환으로 우주환경 연구를 지원하고 있다. 이러한 연구과정에서 이들 기관들은 우주시대를 지향하는 국가의 경우 지구 주변 우주환경을 보다 심도 있게 이해할 필요가 있다는 사실을 인식하게 되었다. 과거에는 우주환경의 연구 및 적용이 각 부처별로 아무런 교류 없이 독자적으로 진행되어왔다. 그러나 최근 수년 사이에 우주환경에 대한 새로운 인식과 함께 다양한 연구 계획들을 공동으로 수행하고자 하는 노력이 시작됐다. 이러한 집합적인 노력의 산물이 바로 미국과학재단이 시작한 국립 우주환경 프로그램(National Space Weather Program; NSWP, 1997)이다. NSF는 정부 부처간의 모든 가용 자원을 효율적으로 동원할 수 있도록 행정적인 지원을 펴으로써 우주환경 분야가 심도 있게 연구될 수 있도록 지원하고 있다. 이 프로그램의 주요한 목표 중의 하나는 전문가뿐만 아니라 관심 있는 일반인들에게 우주환경에 관한 정보를 제공할 수 있도록 국립우주환경 예보국(National Space Weather Service)을 설립하는 것이다. 현재 미국에서 우주환경예보는 민간부분에서 NOAA 산하우주환경예보센터(SpaceWeatherPredictionCenter; SWPC, <http://www.swpc.noaa.gov>)가 그리고 군사 부분에서는 미공군이 담당하고 있다. 최근 우리나라에서도 천문연구원에서 “사이버 우주환경 감시실(<http://sos.kasi.re.kr>)”과 전파연구소 이천 분소의 “오늘의 우주전파 환경(<http://solaradio.rrl.go.kr>)”이 운영 중에 있다.

7. 참고문헌

- Campbell, W. H., An interpretation of induced electric currents in long pipelines caused by natural geomagnetic sources of the upper atmosphere, *Surveys in Geophysics*, No.8, pp. 239, 1986.
- Davis, K., *Ionospheric Radio*, P. Peregrinus, London, 1990.
- DiGregorio, B. E., *Space Weather*, 5, 14, 2008.
- Harding, R., *Survival in Space*, Routledge, New York, 1989.
- Hefley, G., The Development of LORAN-C navigation and Timing, National Bureau of Standards, Monograph, No. 129, p.118, 1972.
- Kappenman, J. G., and V. D. Albertson, Cycle 22: Geomagnetic storm threats to power systems continue, *IEEE Power Engineering Review*, 3, Sept. 1991.
- National Space Weather Program, Implementation Plan, FCM-P31-1997, Washington, D.C., 1997.
- Robinson, P. A., Jr., *Spacecraft Environment Anomalies Handbook*, Report # GL-TR-98-0222, Air Force Systems Command, Hanscom AFB, MA 901731, Aug. 1989.
- Tascione, T. F., *Introduction to the Space Environment*, 2nd Ed., Krieger Publishing Company, Malabar, Florida, 1994.
- Whitham, K., and E. I. Loomer, Irregular magnetic activity in northern Canada with special reference to aeromagnetic survey problems, *Geophysics*, No. 22, 646, 1957.



유럽의 기후변화 시나리오 불확실성 평가 : EU(유럽연합) 기후변화 프로젝트를 중심으로

임 은 순

국제이론물리연구소 지구시스템물리부

eim@ictp.it

1. 들어가는 말

“유명인사들 ‘기후변화’ 배우기에 나선다”라는 고국으로부터의 뉴스는 흥미롭다. 기후변화리더십과정에 이만의 환경부 장관과 오세훈 서울시장, 유인촌 문화장관, 엄기영 MBC 사장, 그리고 국민배우 안성기씨까지 분야를 막론한 사회 각계 저명인사 80명이 수강생으로 참가한다. 이제 지구온난화에 의한 기후변화는 그 분야에 종사하는 특정 과학자들에 제한되는 화두가 아닌 것이다. 그도 그럴 것이, 최근 들어 이전에 경험하지 못했던 극단적인 기후재난들과 다양한 이상기후 현상들을 목격하면서 기후변화가 더 이상 먼 미래의 판세상 일이 아니라는 인식이 저변에 확산되고 있다.

그렇다면, 기후가 정말 변하고 있을까? 매일의 날

씨가 변화하듯, 기후도 장기간의 주기를 가지고 변한다. 그러나, 문제는 그 변화의 수준이 자연적 주기현상을 벗어나 지구시스템에 특별한 강제력이 주어지지 않고는 발생할 수 없을 정도의 극단적인 수준으로 치닫고 있다는데 그 심각성이 있다. 유엔산하 정부간 기후변화위원회(International Panel on Climate Change, IPCC)는 4차에 걸친 보고서를 통해 그 특별한 강제력을 인간활동에 의해 발생하는 이산화탄소를 비롯한 온실가스라고 단정지었다. 경제활동의 동력이 되는 에너지의 85% 가량이 이산화탄소를 배출하는 화석연료이기에 향후 온실가스의 농도는 계속 증가할 것이며, 이로 인한 지구온난화는 불가피한 것으로 전망되고 있다. 또한 가능하지도 않겠지만, 지금 당장 산업혁명 당시 수준으로 온실가스 배출을 줄인다 하더라도 이미 배출된 온실가스와 지구시스템의 관성으로 인해 지구



온난화는 피할 수 없을 것이다. 때문에 이러한 변화의 부정적인 영향을 최소화하고 능동적으로 대처하기 위해서는 불확실성(uncertainty)이 크다 할지라도 과연 미래 기후가 어떠한 방향과 강도로 변화해 나갈 것인가에 대한 연구의 필요성이 대두되고 있다.

기후변화 연구의 중심에 기후모델링을 이용한 기후변화 시나리오가 자리잡고 있다. 기후모델을 이용하여 온실가스와 에어로솔 등의 인위적 강제력에 대한 기후시스템의 반응을 살펴봄으로써 기후변화에 대한 과학적 이해를 도모하고, 수 십년에서 심지어는 수 백년 후의 기후에 대한 가상의 시나리오를 작성할 수 있다. 실제로 필자는 최신의 지역 기후모델을 (RegCM3) 도입해 한반도에 초점을 맞춘 20km 해상도의 상세한 기후변화 시나리오를 생산하고 분석한 연구를 수행한 바 있다. 현재는 유네스코 산하의 국제이론물리연구소(International Centre for Theoretical Physics) 지구시스템물리부(Earth System Physics Section)의 방문연구원으로 유럽연합(European Union)의 기후변화 프로젝트(ENSEMBLS)에 참여하고 있다. 본 원고를 통해 현재 진행되고 있는 유럽연합의 가장 핵심적인 기후변화 프로젝트인 ENSEMBLES(Ensemble-based Predictions of Climate Changes and their Impact, <http://www.ensembles-eu.org/>)와, 이의 모체이자 기후변화 연구에 있어 한 획을 이룬 프로젝트 PRUDENCE(Prediction of Regional scenarios and Uncertainties for Defining European Climate change risks and Effects, <http://prudence.dmi.dk/>)를 소개하고자 한다. 유럽

연합의 기후변화 프로젝트가 현재 전세계적인 기후변화 연구를 선도하고 있다는 점을 고려할 때, 이에 대한 고찰은 최신의 연구 흐름을 읽는데 유용하다고 하겠다. 부족한 글이지만, 본 원고가 기후변화 시나리오에 대한 전반적인 이해를 향상시키고, 기후변화 연구의 동향을 파악하는데 조금이나마 보탬이 된다면 더할 나위 없겠다.

2. 기후변화 시나리오와 그 불확실성 평가

먼저, 기후변화 연구에 적용하는 ‘시나리오(scenario)’라는 용어의 의미를 이해할 필요가 있다. 시나리오는 향후 발생 가능한 인구, 기술, 사회, 경제의 변화를 가정해 만든 가상의 전망을 의미한다. IPCC의 배출시나리오에 대한 특별 보고서(Special Report on Emission Scenarios, SRES)에서 제시한 다양한 온실가스 배출시나리오는 미래의 온실가스 배출에 핵심이 되는 요소가 어떻게 변할지 그 가능성을 제시한 것이다. 구체적으로, SRES는 세계가 나아갈 방향을 경제중심적인지 환경중심적인지, 세계화의 진전인지 지역주의의 강화인지에 따른 4가지 서술적 시나리오를 기반으로 미래 배출문제의 원동력이 되는 요소들을 4개 그룹(A1, A2, B1, B2)으로 분류하여 제시하였다. 예를 들어 ‘A1 시나리오’는 빠른 경제 성장과 인구 증가가 21세기 중반에 정점에 이르면서 더 효율적인 기술이 등장할 거란 가정을 했고 ‘B2 시나리오’는 사회 전체가 친환경적으로 변할 거라고 가정했다. 하지만 SRES 배출시나리오에 모든 사회, 경제, 기술, 환경적 부분을 완벽하게 고려할 수 없기 때문에 상



당한 불확실성이 포함되어진다는 사실을 염두에 두어야 한다. 이러한 온실가스 배출시나리오에 기후시스템이 어떻게 반응하는지를 수치적으로 풀어내어 해석하는 일련의 과정을 일컬어 기후변화 시나리오 연구라고 한다. 기후변화 시나리오로부터 미래 기후를 전망(projection)한다는 것은 현재기후모사(simulation) 결과(보통 최근 30년 평균값으로 기준시나리오라고 함) 대비 온실가스 강제력에 반응한 미래 기후의 변화 정도를 정량적으로 도출해내는 것을 의미한다. 따라서 현재 시점으로부터 하루나 이틀 뒤 대기운동이 어떻게 변할지 예측하는 일기예보와는 접근방법이 달라야 한다. 기후전망의 목적은 '2100년 1월'과 같은 미래 어느 특정 시점의 기후를 예측하는 것이 아니라 미래의 기후변화양상을 가장 그럴듯한 확률빈도의 형태로 재구성해내는 것이다. 이러한 특성상 확률론적인 접근이 이루어져야 하며, 이는 가능하면 다양한 경우의 수를 고려할수록 불확실성의 범위를 줄일 수 있다는 것을 의미하기도 한다. 때문에 다양한 배출 시나리오, 다양한 모델을 이용한 앙상블(ensemble) 실험이 필수적이다. 하지만 기후를 모사한다는 것은, 내일이나 모레 날씨를 예보하듯이 계산시간이 2-3일에 그치는 것이 아니라, 적어도 수년에서 보통은 수십년 이상의 장기간에 걸친 평균 상태의 통계적 특성을 만들어 내야 하기 때문에 엄청난 양의 적분이 요구된다. 적분에 필요한 방대한 계산량과 이에 따라 기하급수적으로 증가하는 자료의 양을 고려할 때, 급속도로 발전하는 컴퓨팅 파워로도 어느 한 연구조직에 의해 수행되기에는 한계가 있다. 이에 대한 극복 방안으로 유럽연합의 프로젝트와 같은 공동연구가 활발히 이루어지고 있는 것이다.

본 원고에서 소개하고자 하는 두 프로젝트는 모두 지역기후모델(Regional Climate Model, RCM)을 이용한 역학적 상세화(dynamic downscaling)를 통해 고해상도 앙상블 시나리오를 구축하고 그 불확실성을 평가하는 것을 주요 목표로 하고 있다. 따라서, 프로젝트의 추진체계와 앙상블 기법의 필요성에 대한 이해를 돕기 위해, 기후변화 시나리오가 가지는 불확실성의 원천과 그 평가방법을 간단히 언급하고자 한다.

일반적으로 기후변화 시나리오의 불확실성을 논의할 때 크게 두가지로 분류한다. 첫째는 필연적으로 내재되어 인간의 능력으로는 도저히 예상할 수 없는 불확실성이다. 대표적인 예로써 대규모 화산 폭발이나 기후시스템의 비선형적 피드백(nonlinear feedback)과 미래의 사회적/기술적 발전 가능성을 들 수 있다. 둘째로 개선의 여지가 있는 불확실성으로 기후모델이 그 대표적인 예이다. 기후모델은 연속적인 대기의 흐름을 차분화된 수치방정식을 통해 풀어내야 하기 때문에 원천적으로 오차(관측과의 차이)를 만들어낼 수 밖에 없으며, 물리적 모수화방안의 불완전한 이해로 어떤 모델이든지 현실기후를 완벽하게 재현할 수 없다. 같은 온실가스 배출 시나리오에 대한 기후시스템의 반응이라고 하더라도 서로 다른 기후모델은 극단적으로 반대의 결과를 도출할 수 있다. 따라서 일반적으로 기후변화 시나리오 연구에 있어서 불확실성의 범위를 줄인다는 의미는 기후모델에 의해 기인하는 불확실성의 범위를 줄인다는 의미로 받아 들일 수 있다. 따라서 모델링 부분에 의한 불확실성을 좀더 확대해서 살펴보기로 하자.



온실가스 증가에 따른 기후변화 시나리오 연구에 있어 전지구후모델(Global Climate Model, GCM)이 가장 광범위하게 적용되고 있다. 이는 GCM이 역학적/물리적 과정에 기초한 대기/해양/지면의 3차원 자료를 객관적으로 제공할 수 있어 인위적 요인에 의한 복사 강제력의 변화에 따른 지구 기후시스템의 변화를 모의하거나 전망하는데 유용하기 때문이다. 그러나 GCM의 경우 계산상의 부담으로 수평분해능이 100~300km 정도여서 전지구나 큰 대륙규모의 기후특성은 잘 묘사하지만, 상세한 지역기후를 현실적으로 묘사하기에는 많은 문제점이 있다. 가령 예를 들어, 한반도의 남한 영역의 경우 대부분의 GCM에서 한 개나 두 개의 격자로 표현되기 때문에, 서울과 부산이 같은 격자에 속할 수가 있다. 이는 두 지역에서 같은 기후값을 가진다는 의미인데, 사실은 그렇지 않다. 상세한 격자정보에 대한 기후값의 필요성이 요구되는 부분이다. 이에 관심이 있는 특정지역을 세밀하게 묘사할 수 있는 RCM을 이용한 역학적 상세화가 고품질의 지역기후변화 시나리오를 생산하는데 있어 중요한 도구로 이용되고 있다. 특히 우리나라와 같이 지형적으로 복잡한 형태를 띠는 경우 지역기후모델의 활용 가치는 극대화된다. 실제적으로 RCM은 고해상도 지형처방과 세밀한 격자에 알맞은 물리 과정의 표현으로 장기간의 지역기후 묘사에 있어 GCM보다 우수한 성능을 보이며, 재해와 관련된 집중호우나 가뭄 등 극한현상의 묘사에 있어서도 GCM보다 향상된 결과를 제시한다는 연구 보고가 있다. 일반적으로 특정 지역의 상세한 기후변화 시나리오 자료를 생산하기 위해 온실가스 배출시나리오에 대한 GCM 결과를 RCM의 초기 및 경계조건으로 이용하여 역학적으

로 상세화하는 기법이 적용된다. (주의: 통계적 기법에 의한 상세화 연구도 이루어지고 있으나, 본 원고에서는 다루지 않는다). 궁극적으로는 이러한 단계를 거침에 따라 오차의 누적으로 불확실성의 범위가 커지는 경향을 보인다.

RCM에 의해 생산된 미래 기후자료의 신뢰도를 객관적으로 평가하기 위해서 일반적으로 3가지 기준을 제시한다. 첫째, 관측과의 비교를 통해서 현재 기후를 얼마만큼 정확하게 묘사할 수 있는가를 평가한다. 이를 위해서 완벽한 경계조건, 즉 관측자료를 초기 및 경계조건으로 사용하여 실제 기간에 대한 적분을 수행하고 이를 관측자료와 비교한다. 이러한 재현실험을 통하여, 적어도 경계조건으로 제공되는 강제력에 대한 오차는 최소화시켰다고 가정하고 모델에 의한 계통오차 및 모델의 기본적인 성능을 평가할 수 있다. 두번째로, 기후모델이 20세기(혹은 그 이전부터)의 변화 양상을 묘사할 수 있는지를 평가한다. GCM을 초기 및 경계조건으로 사용하며 20세기의 온실가스 강제력을 가하여 근래의 기후패턴에서 보여주었던 유의미한 아노말리(anomaly)와 기온의 상승을 제대로 묘사할 수 있는지 평가한다. 하지만, 어떤 모델이든지 현실기후를 완벽하게 재현할 수 없기 때문에 관측과의 비교만으로 모델에 대한 모의수준을 가늠할 수 없다. 또한 현재 기후를 그럴듯하게 잘 묘사하는 모델이라고 해서 미래 기후도 반드시 잘 묘사할 것이라는 보장은 없다. 현재 기후에 대한 묘사 정확도는 미래 기후의 신뢰도를 판단하는 필요조건은 되지만, 충분조건은 아닌 것이다. 시나리오 자료를 이용한 기후변화 연구에 있어 서로 다른 모델간의 결과 비교



와 그 결과들간의 양상불이 중요한 이유이다. 따라서 세번째로 서로 다른 모델에 의해 모사된 전망 결과를 비교하고 그 흩어진 편차로부터 불확실성의 정도를 평가한다. 서로 다른 모델이 현기후의 모사에 있어서는 서로 다른 특성을 보인다 할지라도, 온실가스 배출 강제력에 대한 변화의 방향과 강도에 있어 유사성을 보인다면 그 변화에 대한 믿음(robust)이 강해지지 않겠는가? 미래의 기후, 그것도 수 십년에서 심지어는 수 백년 후를 가늠한다는 것은, 어차피 피할 수 없는 불확실성이 포함되어 있음을 인정하는데서 시작해야 한다. 따라서 기후변화 연구의 핵심은 그 불확실성을 이해하고 줄여가는 과정, 그래서 합의점(consensus)을 도출해 나가

는 과정이라고 말할 수 있다. 이를 위해 유럽의 기후변화 연구팀들이 뭉치고 있다.

3. 유럽연합의 기후변화 프로젝트

PRUDENCE는 2001년 11월부터 2004년 10월까지 3년에 걸쳐 수행된 유럽연합의 기후변화 프로젝트로써 유럽대륙에 속한 9개국의 21개 연구팀이 참여하였다. PRUDENCE의 궁극적인 목표는 지역기후모델을 이용한 역학적 상세화 기법을 통해 21세기 후반의 유럽지역에 대하여 고해상도 기후변화 시나리오 자료를 제공하는 것이다. 양상불 시나리오 생

[표 1] PRUDENCE를 구성하는 7개 워킹그룹 및 주요 담당 역할

WP no.	WorkPackage title
WP1	European regional climate simulations for 2071-2100 and their analysis : 4 GCM, 8 RCM을 이용하여 현재(1961-1990)와 미래(2071-2100) 30년 기간의 기후 자료 생산 및 분석
WP2	Uncertainty assessment of European regional climate model responses to common forcing, model formulation and resolution : 모델의 해상도 및 구성과 외부 강제력에 대한 유럽 지역기후모델의 불확실성 평가
WP3	Impacts on hydrology : 미래 기후변화 시나리오에 대한 수문학적 영향평가
WP4	Impacts on agriculture, forestry, and ecosystems : 미래 기후변화 시나리오에 대한 농업, 임업, 생태계 영향평가
WP5	Risk assessment of European weather and climate extremes in future regional forecast scenarios : 미래 지역기후 시나리오에 나타나는 일기현상과 극한 기후에 대한 위험성 평가
WP6	Assessment of the role of PRUDENCE on European climate policies : 유럽지역 기후정책 결정에 있어 PRUDENCE의 역할 평가
WP7	Management, data, reporting and dissemination : 프로젝트 관리 및 프로젝트에서 산출된 결과물의 홍보 및 전파

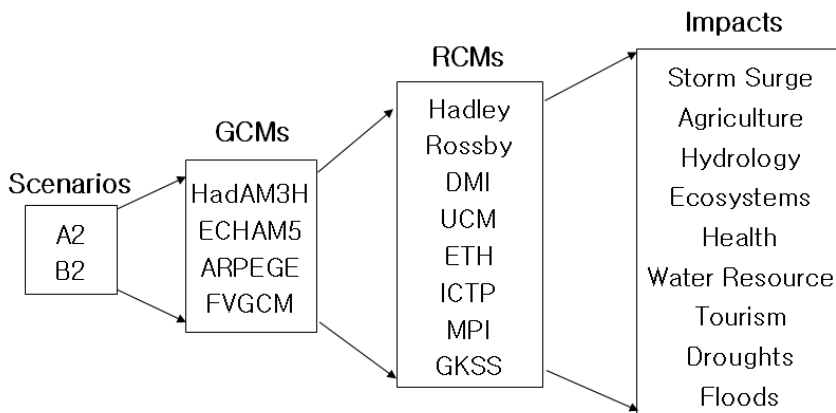


산으로 불확실성 범위를 정량적으로 제시하고, 기후변화에 따른 적응과 완화 정책 결정에 기여할 수 있는 종합적인 평가 자료를 제공하는 것을 동반한다. PRUDENCE는 최초로 대륙규모의 고해상도 앙상블 시나리오를 구축하여 체계적으로 검증하고, 영향평가 모델링 부분과의 연계도 성공적으로 시도한 것으로 평가받고 있다. 더불어, 이와 관련된 수많은 우수 논문들이 발표되어 세계적인 기후변화 연구의 흐름을 주도하고 있다.

[표 1]은 PRUDENCE에 참여한 7개 워킹그룹의 주요 역할을 요약한 것이다. WP1을 통해 최종적으로 산출해야 하는 결과물은 현재(1961-1990) 및 미래(2071-2100)의 각 30년 기간에 대한 유럽 전역의 고해상도 (50km) 기후자료이다. 21세기 후반의 기후 변화 양상은 기준시나리오(1961-1990) 대비 미래 시나리오(2071-2100)의 변화량으로부터 유추된다. WP1에서 생산된 기후자료는 WP2의 체계적인 검증과 비교작업을 통해 외부강제력(e.g. 온실

가스 배출시나리오)이나 모델의 내부변동성에 대한 불확실성이 정량적으로 평가된다. 고해상도 기후변화 시나리오는 다양한 영향평가 모델의 입력자료로 사용되어 기후변화에 따른 수자원, 농업, 임업 등 생태계 전반에 대한 영향평가가 수행된다(WP3과 WP4). 또한 미래 발생 가능한 극한기후로부터 입을 피해와 위험성에 대한 객관적 평가가 이루어진다(WP5). 이러한 기후변화 시나리오로부터 도출된 과학적 근거들은 사회/경제의 제반 정책 결정에 반영되어진다(WP6).

PRUDENCE에 의해 생산된 기후변화 시나리오가 기존 프로젝트의 결과물과 차별되는 주요 가치는 [그림 1]의 연구추진체계로부터 확인할 수 있다(Christensen et al. 2007). 신뢰도 높은 기후변화 시나리오를 생산하기 위해 2개의 배출 시나리오, 4개의 GCM, 그리고 8개의 RCM이 적용되었으며, 이를 통해 생산된 고해상도 앙상블 시나리오 자료는 다양한 영향 평가모델의 입력자료로 이용되었다.



[그림 1] 기후변화 시나리오의 불확실성 평가를 위한 PRUDENCE 프로젝트의 연구 추진체계

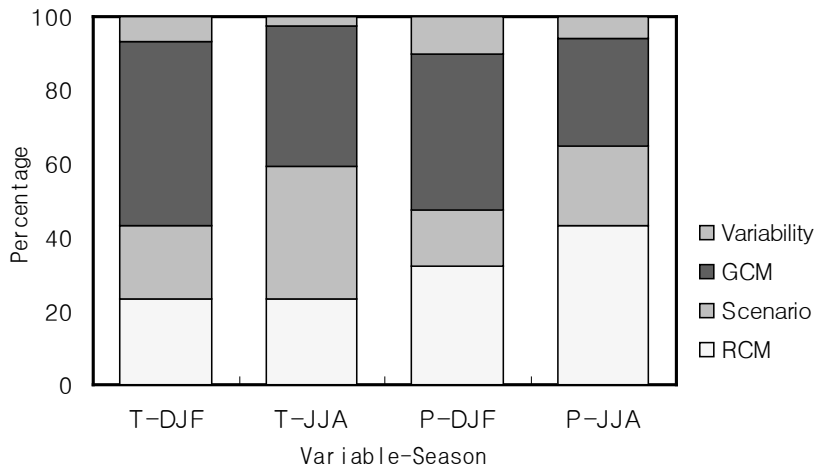


이러한 연구추진체계는 각 단계별로 발생 가능한 다중의(multiple) 불확실성 원천(source)에 대한 체계적인 평가를 가능하게 해준다.

[그림 2]는 PRUDENCE에서 생산된 다양한 앙상블 기후변화 시나리오로부터 불확실성의 주요 원천을 정량화하여 도식화한 것이다. 이러한 연구결과는 단일 기후모델이나 단일 배출시나리오만으로는 도출할 수 없으며, [그림 1]과 같은 연구추진체계가 있었기에 가능한 훌륭한 산출물이다. 다양한 요소에 의한 앙상블 기후변화 시나리오로부터 불확실성의 주요 원천을 배출시나리오, GCM, RCM, 그리고 모델 자체의 자연적 변동성(Variability)으로 나누어 각각의 기여도를 계산하였다. 구체적으로, 배출 시나리오에 의한 불확실성은 배출시나리오(A2, B2)를 제외한 나머지 조건이 동일한 경우, 배출 시나리오에 따라 달라지는 변동성을 의미하는 것이다.

연구 보고(Deque et al. 2007)에 따르면 일반적으로 GCM에 기인한 불확실성이 가장 크게 나타났으며, 여름철 강수량의 경우만 RCM에 의한 불확실성이 가장 크게 기여하고 있다. 이는 여름철 강수의 경우 지역적 국지패턴에 지배되는 경향이 크기 때문이다. [그림 2]에서 제시하고 있는 연구결과는 단일 GCM에 의한 전망 결과는 그 불확실성으로 인해 신뢰도 있는 결과를 도출하기 어렵다는 것을 시사한다. 지역기후변화 시나리오 산출에 있어 다양한 GCM 시나리오의 상제화에 의한 앙상블의 중요성이 다시 한번 강조되고 있는 부분이다.

그래서일까? PRUDENCE 프로젝트의 후속으로 현재 진행 중에 있는 ENSEMBLES는 아예 프로젝트 제목이 ‘앙상블’이다. ENSEMBLES는 2004년부터 2009년까지 5년 계획으로 진행되고 있으며, 20개국의(미국, 호주 포함) 79개 연구팀이 참



[그림 2] 계절별(DJF:겨울철, JJA:여름철)로 전망된 기온 및 강수 변화량 (1961-1990대비 2071-2100)의 불확실성 원천 (Adapted from Deque et al. 2007)



여한 초대형 종합 프로젝트이다. 궁극적으로는 PRUDENCE 프로젝트의 최종 목표를 고스란히 계승하면서도, 보다 체계적이고 확장된 의미를 내포한다. PRUDENCE에서는 기후변화 시나리오의 생산과 분석에 초점이 맞추어졌다면, ENSEMBLES에서는 기후변화 시나리오의 생산을 위한 모델 시스템의 구축과 메커니즘의 이해 등 기후모델링에 대한 총체적인 부분을 다룬다. 자료 생산에 있어서

도 다양한 시간 규모(계절부터 수백년까지)를 아우르고 있으며, 특히 PRUDENCE에서는 시간단면(time-slice: 1961-1991/2071-2100)적으로 시나리오 자료를 생산하였던 것에 반하여 ENSEMBLES에서는 1950-2050(대부분의 모델은 2100년까지 확장)까지 연속적인 적분을 계획하고 있다. 이는 강수 변화와 같이 수십년 변동성(interdecadal variation)이 강한 변수의 정확한 특성 파악에 중요하다.

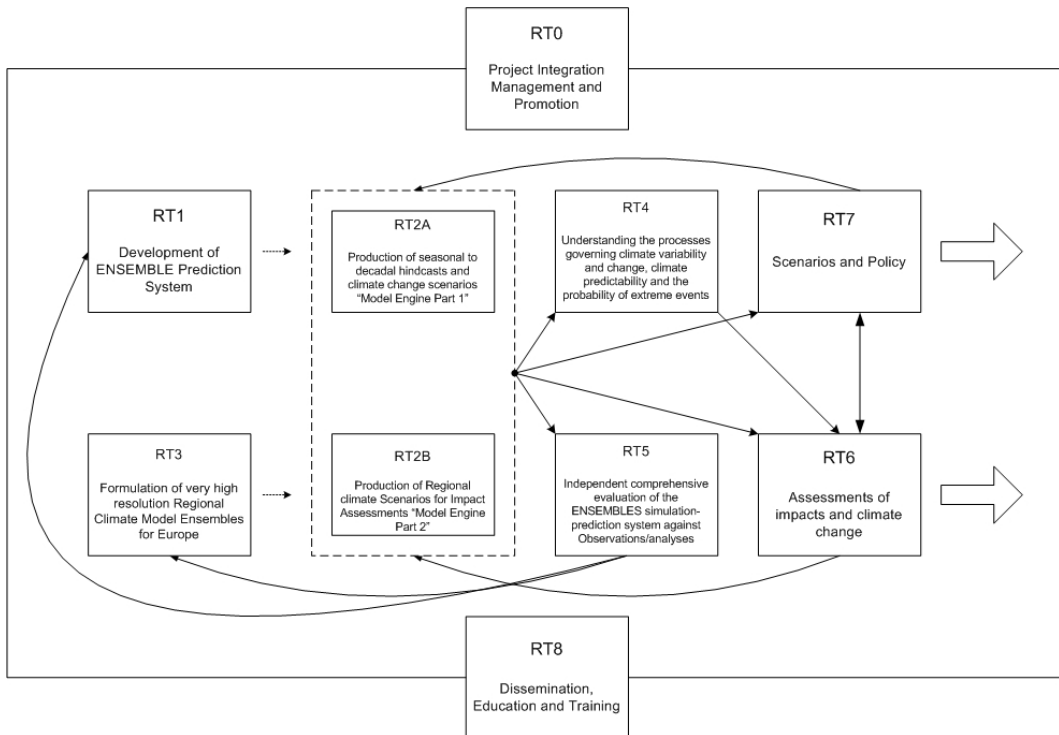
[표 2] ENSEMBLES를 구성하는 연구테마 목록 및 주요 담당 역할

RT no.	Research Theme title
RT0	Project integration, management and promotion : 프로젝트 관리 및 총괄
RT1	Development of the Ensemble Prediction System : 전구 모델을 이용한 앙상블 예측 시스템 개발 및 시험
RT2A	Production of seasonal to decadal hindcasts and climate change scenarios : 계절에서 수십년 시간규모의 과거 기후자료 생산
RT2B	Production of regional climate scenarios for impact assessments : 영향평가를 위한 지역기후시나리오 생산
RT3	Development of very high resolution regional climate model ensembles for Europe : 고해상도 지역기후모델 앙상블 시스템 개발
RT4	Understanding the processes governing climate variability and change, climate predictability and the probability of extreme events : 극한현상, 기후변동 및 변화의 메커니즘 이해
RT5	Independent comprehensive evaluation of the ENSEMBLES simulation/prediction system against observations/analyses : 관측자료와의 종합적인 비교를 통한 앙상블 시스템 성능 평가
RT6	Assessments of impacts of climate change : 기후변화 시나리오와 다양한 영향평가 모델과의 연계
RT7	Scenarios and policy Implications : 온실가스 배출 및 식생변화에 대한 시나리오 채택 : 온실가스 배출 감소 정책에 따른 기후변화 민감도 평가
RT8	Dissemination, education and training : 교육 및 전파를 통한 ENSEMBLES 연구팀과 일반인(정책결정자, 비정공자 포함)의 인터페이스 역할



[표 2]는 ENSEMBLES를 구성하고 있는 9개의 주요 연구테마(Research Themes, RT)들의 목록과 그 주요 역할을 나타낸 것이며, 이들간의 유기적인 상호관계가 [그림 3]에 제시되어 있다. 각 연구테마들간의 명확한 관계 설정이 자칫 산만하게 분산될 수 있는 거대 프로젝트를 조직적으로 움직이게 하는 원동력이 된다. 프로젝트를 총괄 지휘·관리하는 RT0와 프로젝트에서 생산한 결과를 홍보하고 일반인들과의 통로 역할을 하는 RT8의 큰 테두리 안에서 7개의 과학적 연구테마들이 유기적인 상호협력/보완 관계를 형성하고 있다. 고해상도 앙상블 기후

자료를 생산할 수 있는 통합적인 모델링 시스템을 구축하여 자료를 생산하고, 생산된 자료는 체계적 검증을 거쳐 불확실성이 평가된다. 이렇게 신뢰도를 확보한 자료는 다양한 영향평가 모델과의 연계를 통해 여러 정책과 배출시나리오의 채택에 영향을 미칠 수 정보를 제공하고, 온실가스 배출 및 식생 변화에 대한 시나리오는 기후모델의 개선과 지구시스템 메커니즘 이해를 도모하는데 역으로 기여할 수 있는 되먹임 관계가 형성된다.



[그림 3] ENSEMBLES를 구성하는 9개 연구테마들간의 유기적인 상호관계도



필자는 이 거대한 ENSEMBLES 프로젝트의 한 축을 담당하는 RT3에서 미력을 보태고 있다. ENSEMBLES 프로젝트 속에서 RT3의 역할은 전 유럽 지역에 대하여 현재 최선(state-of-the-arts)의 지역기후모델을 이용한 멀티모델 앙상블(multi-model ensemble) 시스템을 구축하여 향상된 고해상도 지역기후 시나리오 자료를 제공하는 것이다. 프로젝트 전반에는 50km 수평해상도의 자료가 생산되지만, 후반에는 20km까지의 고해상도 자료 생산을 계획하고 있다. 15개 연구기관이 고유의 RCM을 가지고 참여하고 있으며, 각 기관에서 생산된 모든 자료는 약속된 공통의 포맷(format)으로 배포된다. 다시 말해, 유럽 지역에 대하여 15개 RCM의 다양한 시나리오 결과를 공유할 수 있는 것이다. 각 모델의 성능 평가는 RT5에서 제공해주는 관측자료를 통해 일자료의 검증까지 가능하다. 이쯤 되면, 자료의 부족이 연구의 걸림돌이 된다고 이야기하기 힘들지 않겠는가?

4. 마무리

유럽대륙의 PRUDENCE 프로젝트의 성공으로부터 보고 느낀 바가 많았던지, 북아메리카 대륙에는 NARCCAP(North American Regional Climate Change Assessment Program: www.narccap.ucar.edu) 프로젝트가 구축되었다. 관심 지역은 옮겨졌지만, NARCCAP가 궁극적으로 추구하는 바는 PRUDENCE나 ENSEMBLES와 같은 선상에 있다. 미국, 캐나다, 북멕시코를 포함한 지역의 신뢰도 있는 고해상도 기후변화 시나리오의 생산과 불확실성

평가가 최종목표이다(2개 배출시나리오, 4개 GCM, 5개 RCM이 적용). 여기에 미국과 캐나다 기후모델링 그룹의 협력 증진과 유럽지역 모델링 커뮤니티와의 협력도 중요한 목표로 자리잡고 있다. 상호 협력에 의한 공동연구의 중요성과 필요성을 인지하고 있는 것이다. 한반도가 포함된 아시아 지역에도 RMIP(Regional Climate Model Intercomparison Project for Asia) 프로젝트가 현재 진행 중이다(Fu et al, 2004). 하지만 유럽대륙의 ENSEMBLES나 북아메리카 대륙의 NARCCAP과 비교하면 아쉬운 점이 많다. 지역기후모델의 성능 평가가 주 목적이기 때문에, 체계적인 실험 설계에 의한 시나리오의 불확실성 평가에 한계가 있다. 또한 다양한 영향평가 모델과의 연계 등도 제한되어 있다.

우리나라는 지난 20세기에 평균기온이 약 1.5℃ 상승하여 전지구 평균기온의 상승폭(0.74℃)을 상회하고 있다. 강수량의 경우도 수십년 변동성이 크지만 증가추세를 보여 향후 온난화에 취약한 지역으로 분류된다. 기후변화 대응을 위한 다방면의 노력이 통합적인 관점에서 시도되어야 한다. 이에 대한 구체적인 방안으로 2가지 부분을 제언한다. 첫번째는 국제적인 협력이다. 이미 살펴본 바와 같이 기후변화 프로젝트들이 범국가차원의 전폭적인 지원 하에 대형화, 조직화, 통합화되는 추세이다. 아시아-태평양을 아우르는 지역에 대한 기후변화 연구의 장기 계획이 수립되고 긴밀한 협력체계를 형성하는데 우리가 리더십을 발휘할 수 있길 바란다. 세계적인 연구 추세에 발맞추기 위해서는 IPCC에서 제시하는 다양한 배출시나리오와 적어도 2개 이상의 최신의 GCM과 RCM을 적용한 앙상블 고해상도 시나



리오의 생산, 그리고 그 불확실성의 정량적 평가가 체계적으로 이루어져야 한다. 다양한 앙상블 멤버의 확보는 상호협력을 통한 자료의 공유로 그 수행 시간을 단축시킬 수 있다. 이러한 결과는 IPCC 보고서 작성에 반영됨으로써 국가 위상 제고에 큰 역할을 담당할 수 있을 것이다. 두번째는 학제간 협력 부분이다. ENSEMBLES에서 보여준 유기적인 상호협력체제에 주목할 필요가 있다. 기후변화 시나리오 자료의 부가가치를 극대화하기 위해서는 기후자료 자체의 과학적 이해뿐만 아니라 기후변화로 인해 발생될 2차적 영향평가에 적절히 활용될 수 있어야 한다. 기후에 의해 직접적으로 영향을 받지 않는 생태영역은 없다. 가령 예를 들어, 수자원의 변화는 강수량의 변화에 절대적으로 의존하기 때문에, 기후변화에 의한 미래 수자원 영향평가는 수문모델의 입력자료로 이용되는 기후변화 시나리오의 신뢰도에 의해 좌우된다고 해도 과언이 아니다. 때문에 기후변화 시나리오 자료들은 다양한 영향평가모델의 입력자료로 신속히 제공되어야 하며, 이를 위해 긴밀한 학제간/분야간 협력은 필수적이다. 이러한 측면에서 유럽연합의 프로젝트가 하나의 좋은 예시가 될 수 있다.

참고문헌

- Christensen, J. H. et al., 2007: Evaluating the performance and utility of regional climate models: the PRUDENCE project, *Climatic Change*, 81, 1-6.
- Deque, M. et al., 2007: An intercomparison of regional climate simulations for Europe: assessing uncertainties in model projections, *Climatic Change*, 81, 53-70.
- Fu, C. et al., 2005: Regional climate model intercomparison project for Asia, *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 86, 257-266.



미국 NOAA의 지구 감시 현황

전 영 신

전 국립기상연구소

현 NOAA 방문연구자

Youngsin.chun@noaa.gov

해마다 5월이면, NOAA 지구시스템연구소/지구감시부(Global Monitoring Division)는 연차 모임을 갖는다.

올해에는 미국 내의 25개 주와 전세계 20개국에서 모인 전지구모니터링 전문가 140여명이 5월14일부터 15일까지 이틀간, 콜로라도 보울더에 있는 NOAA 강당을 꽉 매운 상태에서 진행되었다.

온실기체, 복사와 에어러솔, 할로 카본과 하이드로 카본, 오존, 특별 분야로 나누어, 39편의 구두발표와 48편의 포스터 발표가 있었다.

이번 모임에서 특이했던 것은 최근 퇴임한, 지구감시부 부장 David J. Hofmann의 연구 성과를 되짚어보고 기리는 시간을 마련한 것으로 동료 과학자

들의 성의있는 발표와 기념 만찬을 곁들인 점이다.

남극 오존 연구의 대가라 할 수 있는 Hofmann (사진)은 15년간 기후감시 및 진단연구를 책임져 온 학자이자 행정가로, 성층권 오존 감소, 청정지역의 대기질 관리, 기후 변화 감시를 이끌어 왔다.



그는 연차모임 첫째 날의 첫 발표에서, 이산화탄소의 변화량을 해석한 새로운 관점을 제시하였다. 즉 이산화탄소의 계절 변화값을 제거하고, 산업혁명 이전의 이산화탄소값인 280ppm을 빼내면, 인위적으로 방출된 대기 중의 이산화탄소 농도가 나오는데, 마우나로아관측소에서 측정한 값과 전지구 관측망에서 나온 값이 매우 비슷하여, [그림 1]

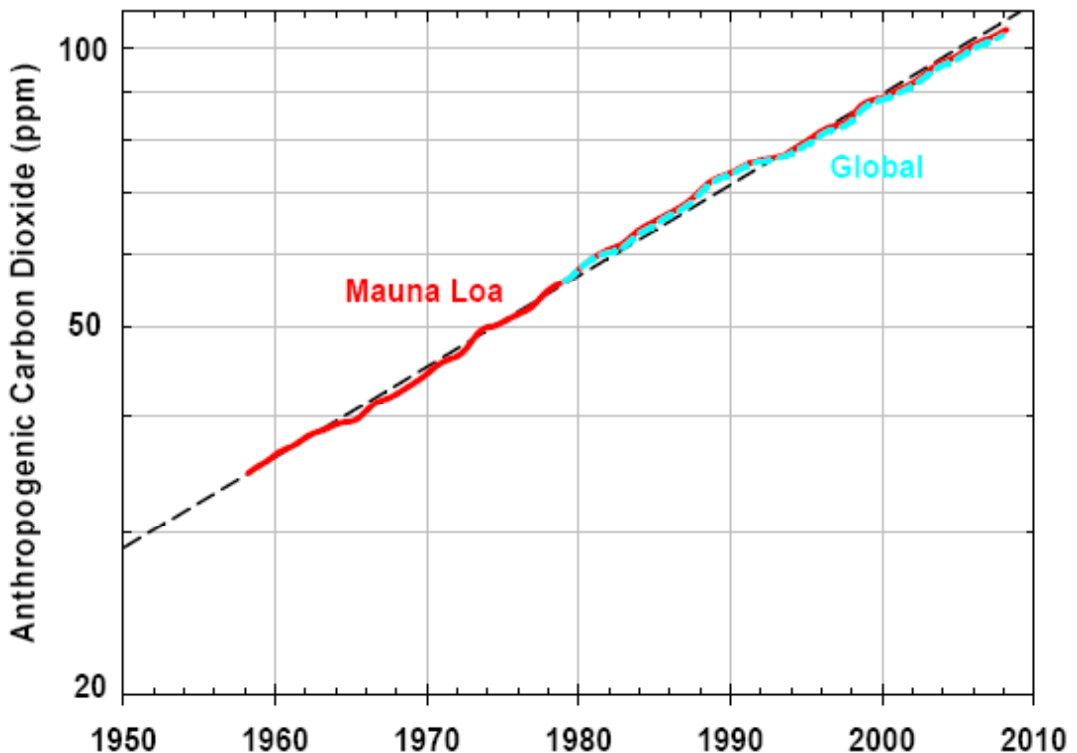


에서와 같이 약 30년만에 두 배(연간 2.3%)로 증가하는 것이 뚜렷하게 보인다. 이와 같은 속도로 인위적인 이산화탄소 배출량이 전 지구에서 증가한다면, 2050년에는 지금의 이산화탄소값이 두배로 증가하는 것은 너무나도 빠른 것이다.

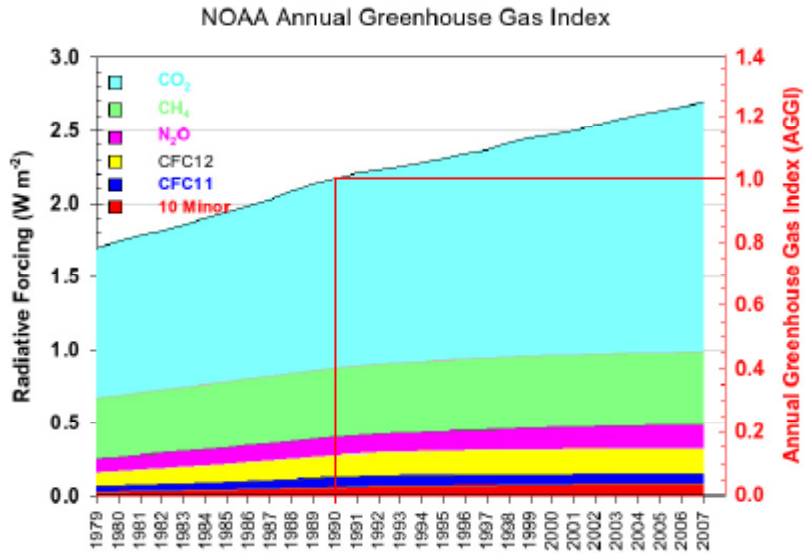
이산화탄소, 메탄을 비롯한 5종 온실가스와 미량 온실가스의 복사 강제력을 합산하여, 1990년도 교토의정서 때를 기준(1.0)으로 삼아, 2007년에는 1.2에 육박하고 있음을 간결하게 표현하였다(그림 2 참조).

또한, 현재 GMD 부장(직무대리)인 Jim Buttler는 NOAA 지구대기시스템연구소 /지구감시부 에서 관측하는 온실기체들의 정량적인 값을 활용하여, AGGI(annual Greenhouse Gas Index)를 고안하여

이 ‘온실기체지수’는 복잡하고 다양한 온실기체들의 관측값을 일반인과 정책입안자들이 쉽게 이해할 수 있도록 정량화한 데에 그 의미가 있겠다.



[그림 1] 하와이 마우나로아 관측소와 전지구관측망에서 측정된 대기중의 인위적 이산화 탄소농도 (After Hofmann and, Tans)



[그림 2] 온실 기체에 의한 복사 강제력과 연 온실기체지수값 (after Jim Butler, 2008)



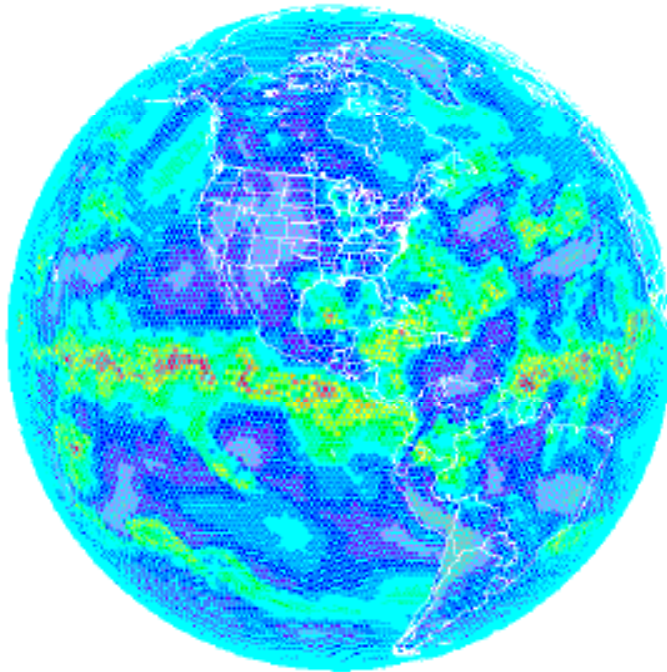
[그림 3] 오존존데 관측 실험 위치 (2008년 4월 1일부터 20일간)



최근, 미국 지구시스템연구소와 캐나다 환경청의 협력으로 극지방과 중위도 대류권의 대기 성분과 특징을 조사하기위해, 특별 실험의 일환으로 오존존데 관측이 수행되었다 [그림 3]. 이 관측값은 위성에서 감시하는 오존의 연직 값과 비교하는 데 쓰일 것이며, 특히 극지방을 중심으로 수행된 비행기 관측 자료는 극지방의 변화를 조사하는데 활용될 예정이다.

현재 지구시스템 연구소 소장인 A. E. MacDonald는 비정역학 20면체 모델(NIM; Nonhydrostatic Icosahedral Model)을 소개하는 포스터를 발표하였다.

NIM은 국가기상국에서 현업용 전지구예측 앙상블의 하나로 시험 중인 FIM(the Hydrostatic Flow-following Icosahedral Model)을 개선하여 Earth System 모델링에 활용할 목적이다.



[그림 4] FIM (hydrostatic Flow-following Icosahedral Model)