

세계 기후변화 실태와 농업부문 과제 *

김 백 조
(국립기상연구소 정책연구과장)

1. 세계 기후변화 실태

1.1. 기후변화와 온실가스

기후변화는 농업, 수산업, 건설업, 에너지업, 금융보험업, 레저업, 요식업, 숙박업 등 산업, 경제 및 생활양식 전반에 걸쳐 지대한 영향을 미친다. 특히 기후변화에 따른 기온 상승은 농작물의 수확량과 품질에 직접적으로 영향을 주어 농업의 지속가능성을 위협하고 있다.

기후변화란 자연적 또는 인위적 요인에 의해 현재 유지되고 있는 기후 시스템에서 벗어나는 현상을 말한다. 정부간기후변화협약체(Intergovernmental Panel on Climate Change) 4차 평가보고서(2007)에 따르면, 지구온난화는 명백하며 20세기 이후 관측된 대부분의 지구온난화는 인간이 배출한 온실가스의 증가에 의해 유발됐을 가능성이 아주 높다는 점을 제시해 주고 있다.

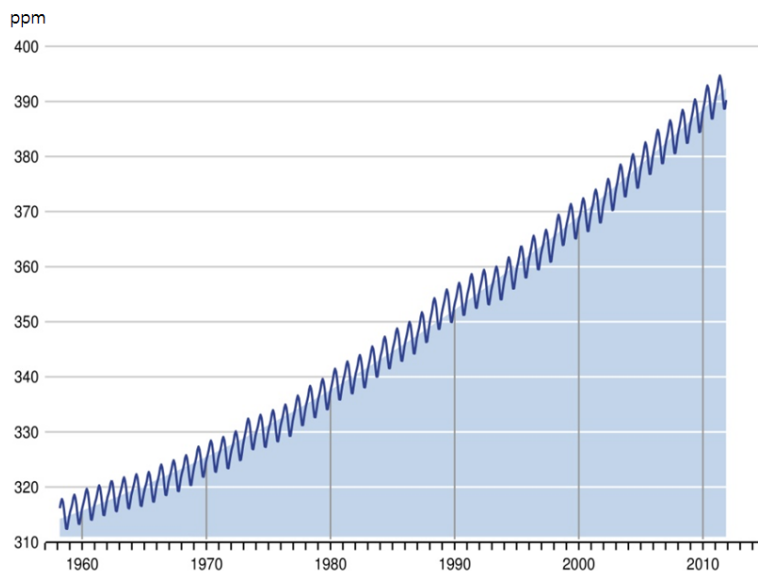
온실가스의 57%를 차지하는 이산화탄소는 화석연료가 연소할 때 주로 생성된다. 2009년 국가별 이산화탄소 배출 비율은 중국(24.0%), 미국(18.1%), 인도(5.6%), 러시아(5.1%), 일본(3.7%) 순이며¹⁾, 미국의 경우 현재 약 60억 톤의 이산화탄소를 매년 대기

* (bjkim@kma.go.kr)

중에 방출하고 있다. 전 세계적으로 인간에 의해 발생되는 이산화탄소의 양은 약 305억 톤에 해양에서 해수면 온도 상승에 따라 방출되는 이산화탄소의 양을 더할 경우 상당한 양의 이산화탄소가 매년 대기 중에 방출되고 있다는 것을 알 수 있다.

이러한 이산화탄소 농도가 산업혁명 이전에 280ppm이었던 것이 2010년 389ppm으로 약 39%정도 증가하였다. 이산화탄소 농도 변화에 영향을 미치는 환경요인이 적은 하와이 마우나로아의 경우, 1958년에 미국 하와이 마우나로아에서 처음 관측될 당시에는 315.97ppm이었던 이산화탄소의 농도가 2012년 현재 394ppm까지 증가하였다<그림 1 참조>. 일반적으로 광합성이 활발한 여름철의 경우는 이산화탄소의 농도가 낮고, 광합성이 적게 이루어지는 겨울철의 경우는 이산화탄소의 농도가 높게 나타난다. 이러한 결과로 나타난 연중 변화를 포함하더라도 1958년 이후 매년 이산화탄소 농도가 약 1.45ppm정도 지속적으로 상승한 것으로 나타나고 있다.

그림 1 미국 하와이에서 관측된 월별 이산화탄소 농도 변화(1958-2012)



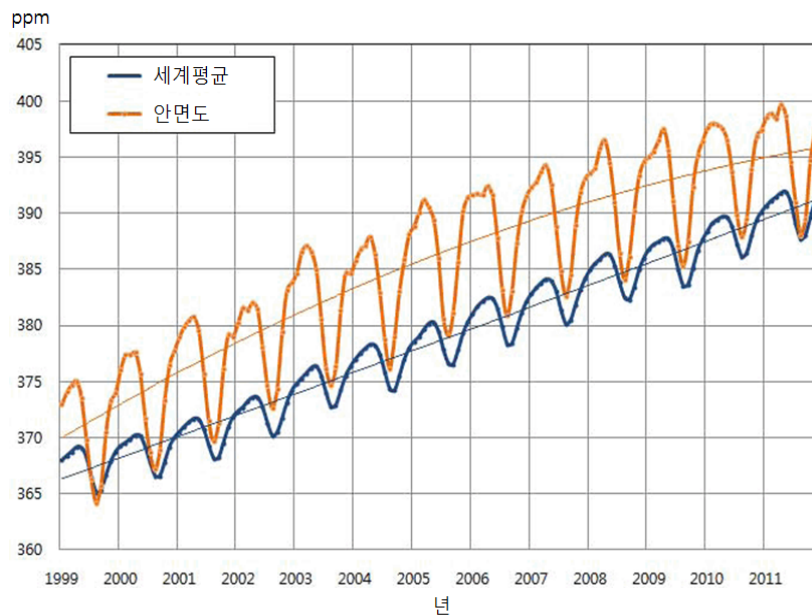
자료 : 미국해양대기청, 2012.

우리나라의 경우, 2011년 안면도에서 관측된 이산화탄소 연평균 농도가 395.7ppm으로 2010년 394.5ppm에 비해 1.2ppm 증가한 것으로 나타났다<그림 2 참조>. 이는 관측

1) Energy Information Administration, 2011.

을 시작한 1999년 370.7ppm이래 지난 13년 동안 총 25.0ppm 증가한 값으로 매년 약 2.1ppm씩 증가하였음을 의미한다. 또한 1999년 이산화탄소 농도 관측을 시작한 이후 지속적으로 전 세계 평균 이산화탄소 농도보다 더 높은 값을 보여주고 있다. 이는 우리나라가 북반구 유라시아 대륙의 동안에 위치하여 내륙의 식생 영향을 많이 받아 연중 변화폭이 크고 이산화탄소 농도 증가에 영향을 주는 주변 토지이용 변화와 인접국의 대기오염물질 유입 등 환경요인들이 많기 때문이다.

그림 2 우리나라 안면도에서 관측된 월별 이산화탄소 농도 변화(1999-2011)



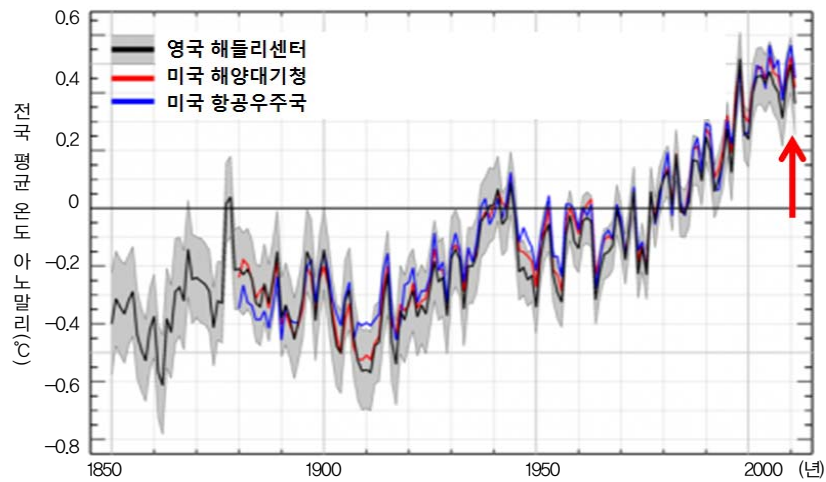
자료 : 기후변화정보센터, 2012.

1.2. 기후변화 연왕과 전망

1.2.1. 기후변화 연왕

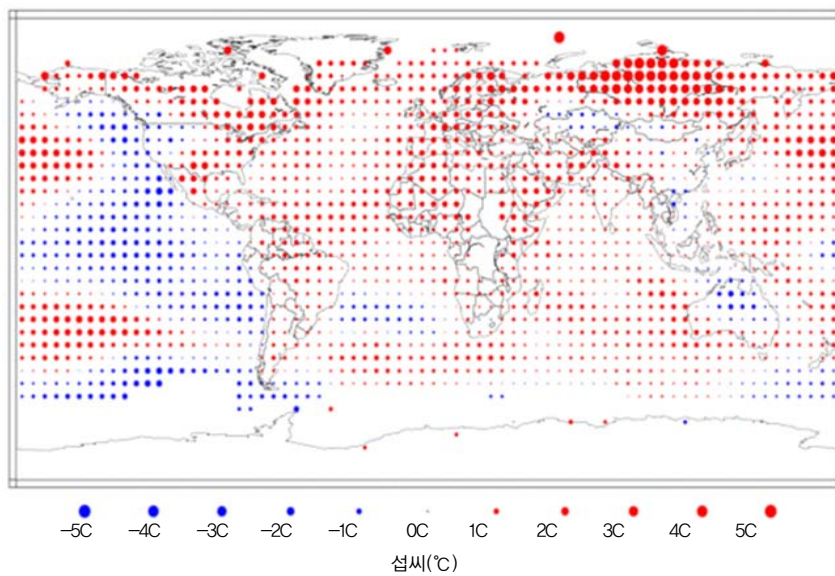
지난 100년(1906-2005)간 전 세계 평균기온은 약 0.74℃ 상승하였으며, 기록상으로 가장 더웠던 해의 12회 중에서 11회가 지난 12년 동안에 발생하였다(IPCC, 2007). 또한 미국의 해양대기청(National Oceanic and Atmospheric Administration)과 항공우주국(National Aeronautics and Space Administration)의 자료에 의하면 2010년이 역사상 가장 더웠던 해였다<그림 3 참조>. 2011년의 경우 지난 30년(1971-2000) 평균 기온 대비 대부

그림 3 전 지구 평균기온 변화(1850-2011)



자료 : 미국해양대기청 & 항공우주국, 영국 해들리센터, 2012.

그림 4 지난 30년(1971-2000) 평균 대비 2011년 기온 편차도

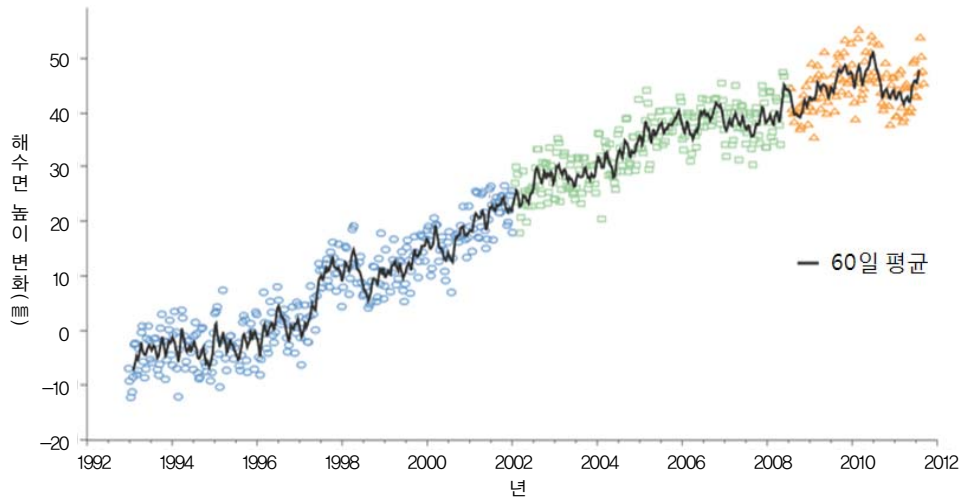


자료 : 2011년 지구분석보고서, 미국해양대기청, 2012.

분의 지역에서 기온이 증가하는 경향을 보이고, 특히 영구 동토대가 밀집되어 있는 러시아 지역의 온난화가 큰 것으로 나타났다. 하지만 동기간 우리나라의 기온변화는 지구 평균에 비해 온난화가 뚜렷하게 나타나지 않았다<그림 4 참조>.

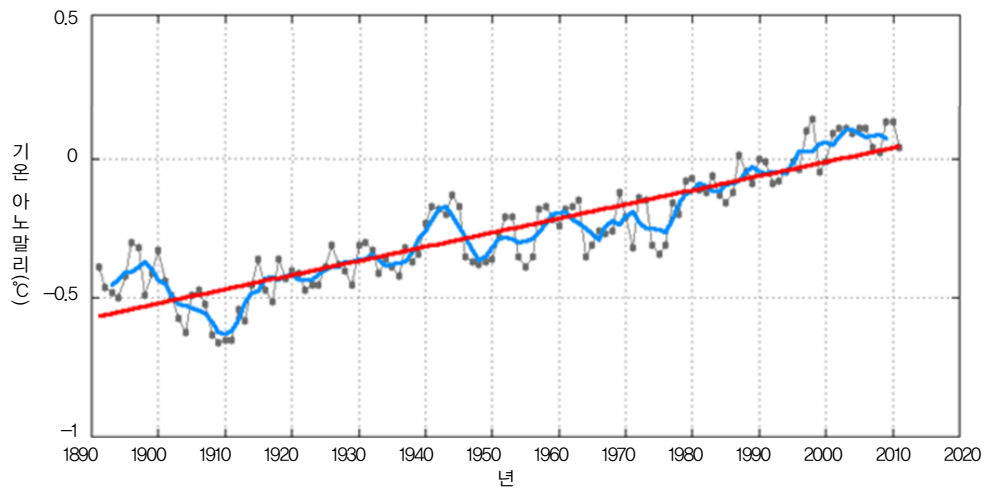
지구의 70%를 덮고 있는 해양의 경우, 대기와의 상호관계에 있어 중요하게 다루어져야 한다. 특히 해수면 온도와 고도의 상승 문제는 인류와 환경에 직접적인 영향을 주는 부분이다. 지난 100년(1906-2005)간 약 17cm의 해수면 고도 상승이 있었으며, 이와 같은 상승속도가 증가하고 있는 추세이다<그림 5 참조>. 해수면 온도의 경우

그림 5 전 세계 해수면 고도 변화(1993-2012)



자료 : 미국해양대기청, 2012.

그림 6 전 세계 해수면 온도 편차 변화경향(1891-2011)



자료 : 일본기상청, 2012.

1981-2010년대 평균보다 2011년에 약 0.04°C 높게 나타났으며, 전 세계 해수면 온도변화 경향은 100년에 0.51°C 씩 증가하고 있는 것으로 나타났다<그림 6 참조>.

그 밖에 고산빙하와 적설면적이 감소하고 있으며, 영구동토와 계절동토의 온난화가 캐나다, 시베리아, 티베트고원, 알래스카, 북부유럽에서 관측되었다. 북극의 해빙은 여름에 10년당 7.4%씩 감소하고 있는 것으로 나타났으며 북반구 적설면적은 매 10년당 2.7%씩 감소하고 있음을 보고하고 있다²⁾.

한편, 우리나라의 경우, 장기간 기상관측자료가 있는 서울, 인천, 강릉, 대구, 부산, 목포지점의 자료를 분석한 결과, 1912-2100년의 기온 상승폭이 1.8°C 정도로 나타났다. 이는 도시화 효과에 따른 증가 폭 20-30%를 배제하더라도 지난 100년간 지구 평균기온 상승폭 0.74°C 를 크게 상회하는 값으로 지구온난화에 따른 영향이 우리나라에 상당한 것으로 나타났다.

우리나라의 평균기온은 엘니뇨가 발생한 1998년에 13.5°C 로 가장 높았고, 1980년에 11.2°C 로 가장 낮았다<그림 7 참조>. 10년 평균값의 경우 지속적으로 증가하는 추세에 있으며, 2001-2010년대에 12.8°C 로 가장 높게 나타났다. 연평균기온의 변화 추세는 $0.27^{\circ}\text{C}/10\text{년}$ 으로 상승 추세가 뚜렷하였다. 계절별로 살펴보면, 여름철의 기온상승이 가장 적고 겨울철과 가을철의 상승폭이 가장 크게 나타났다. 또한, 관측지점이 내륙지역에 위치할수록 기온 상승폭이 크고 해안지역에 위치할수록 기온 상승폭이 작은 것으로 나타났다.

우리나라 주변의 해수면 온도는 지난 30년간 약 1°C 상승한 것으로 나타났다. 특히 최근 43년간(1968-2010)의 해수면 온도 상승폭이 지난 88년간(1923-2010)의 상승폭을 3배 이상 상회하는 등 상승률이 크게 증가하고 있다³⁾. 또한 동해안과 서해안의 해수면 고도도 평균적으로 매년 $1.44\sim 2.54\text{mm}$ 와 $1.08\sim 1.76\text{mm}$ 의 상승을 각각 보이고 있으며, 특히 제주도는 지난 33년(1978-2010)간 매년 평균 5.97mm 의 높은 상승을 보이고 있다⁴⁾. 이처럼 제주도를 포함한 남해안과 동해안의 상승률이 높게 나타나는 원인으로는 바닷물의 열팽창과 쿠로시오 해류의 유량과 수온변화로 보이며, 서해안의 경우는 낮은 수심과 발달된 갯벌 등 지형적 원인으로 보인다.

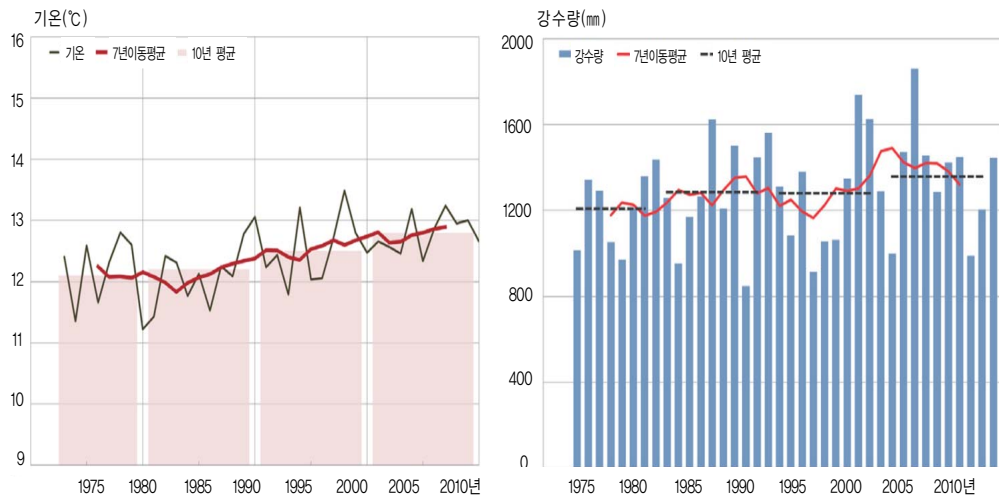
최근 10년 평균 강수량(2001-2010)은 과거 30년 평균 강수량에 비해 약 97.4mm 증가하였으며, 이는 여름철 강수량의 빈도와 강도의 증가 때문에 발생하였다. 그러나

2) 권원태, 기후변화 시나리오와 농업적 활용, 농업전망 2012, 2012.2.2.

3) 국립수산과학원, 2012

4) 국립해양조사원, 2012

그림 7 우리나라의 연평균 기온(좌)과 강수량(우) 변화(1973-2010)



자료 : 한국기후변화백서, 기상청, 2011.

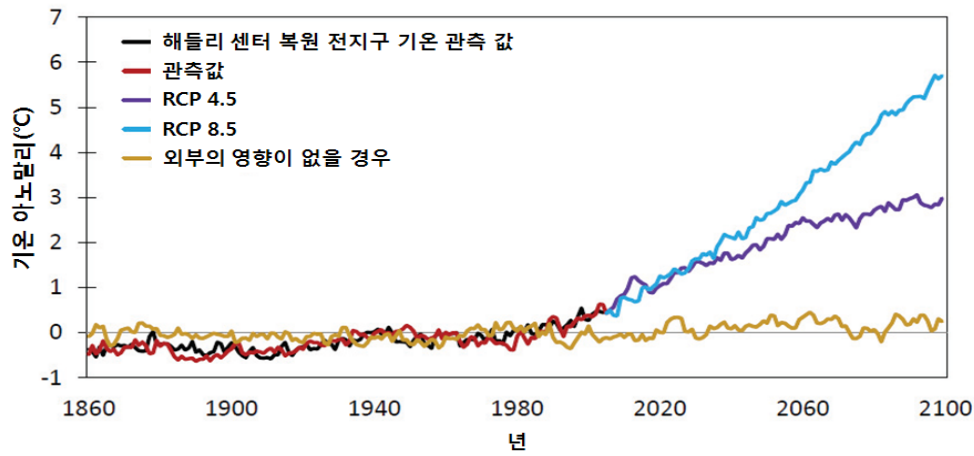
강수량의 경우는 기온과는 달리 변화경향이 뚜렷하지 않고 증가와 감소를 반복하고 있어 여름철 강수량 증가를 제외하고는 통계적으로 유의한 결과를 찾을 수 없었다. 우리나라 연평균 강수량은 2003년에 1,861mm로 가장 많았고, 1988년에 849mm로 가장 적었으며, 10년 이동 평균값에서는 2001-2010년대가 1,359mm로 가장 크게 나타났다<그림 7 참조>.

우리나라 주변의 해수면 온도는 약 1°C 상승한 것으로 나타났고, 해수면의 고도 역시 상승하는 것으로 관측되었다. 특히 제주지역의 경우 지난 40여 년(1964-2006년)동안 약 22cm의 해수면 높이 상승이 있었다.

1.2.2. 기후변화 전망

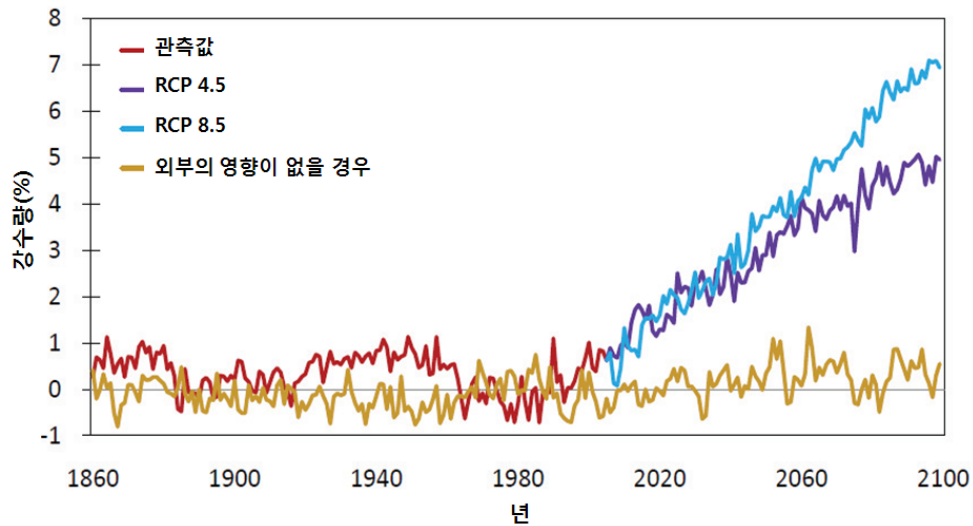
미래 기후변화 전망은 일반적으로 기후모델과 이에 따른 시나리오에 의해 산출된다. 국립기상연구소(2011)에 따르면, 온실가스 감축 없이 현재의 추세가 유지된다면(RCP 8.5), 21 세기말 전 세계 평균기온은 약 4.8°C 상승하고 평균 강수량은 6.0% 증가할 것을 전망하였다<그림 8과 그림 9 참조>. 그러나 온실가스 정책이 어느 정도 정착될 경우(RC P4.5) 기온은 약 2.8°C 상승하고 강수량은 4.5% 증가하는 것으로 나타났다.

그림 8 기온(1.5m) 변화 전망(1971-2000년 대비 1860-2099년)



자료 : 기후변화 시나리오 보고서 2011, 국립기상연구소, 2011.

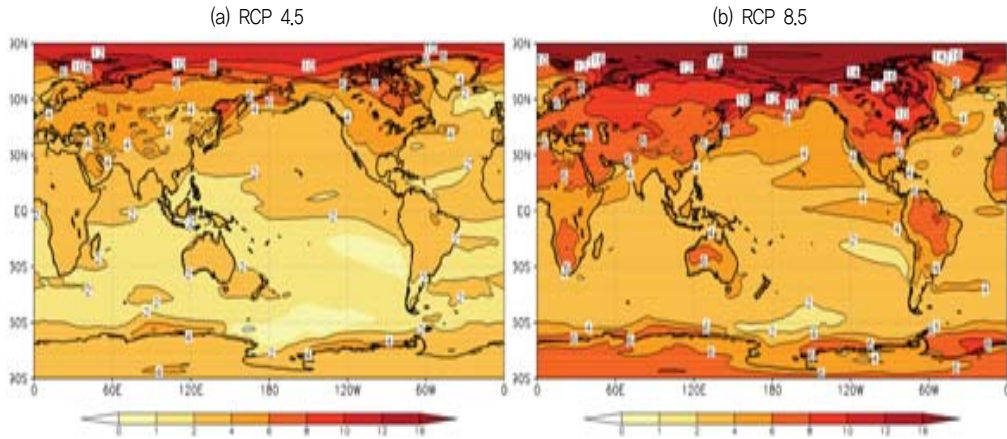
그림 9 강수량 변화 전망(1971-2000년 대비 1860-2099년)



자료 : 기후변화 시나리오 보고서 2011, 국립기상연구소, 2011.

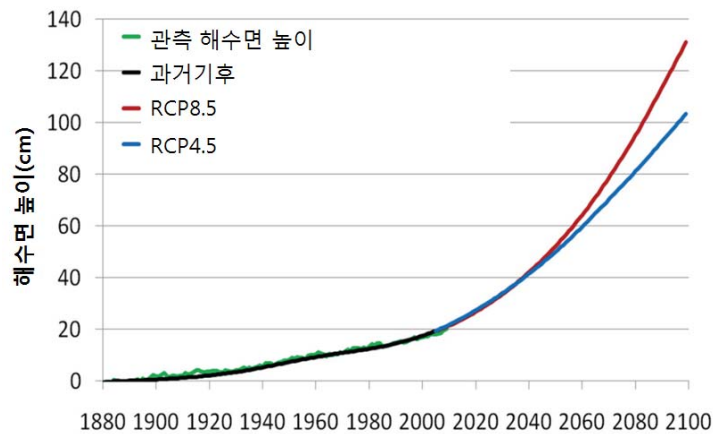
전 세계 기온 상승은 지역에 따라 차이는 있으나 대부분의 지역에서 증가할 것으로 전망하고 있다<그림 10 참조>. 특히 위도가 높은 극 지역의 기온 상승이 적도나 중위도 지역에 비해 3~4배 높을 것으로 나타났다.

그림 10 전 세계 기온 변화 전망



자료 : 기후변화 시나리오 보고서 2011, 국립기상연구소, 2011.

그림 11 전 세계 해수면 고도 변화 전망

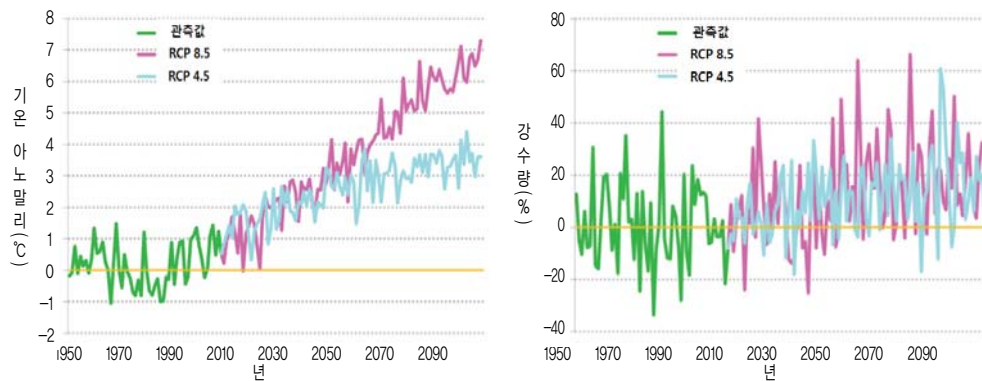


자료 : 기후변화 시나리오 보고서 2011, 국립기상연구소, 2011.

평균 해수면 고도의 경우, RCP 8.5 시나리오에서는 약 90cm 상승하며, RCP 4.5 시나리오의 경우는 72cm로 증가 폭이 감소할 것으로 전망하였다<그림 11 참조>.

우리나라의 경우, 기후변화의 완화 노력 없이 현재의 온실가스 배출 경향이 유지된다면(RCP 8.5), 21세기 말 한반도 평균 기온은 6.0℃ 상승하고, 강수량은 20.4% 증가할 것으로 예측하였다<그림 12 참조>. 그러나 어느 정도의 저감 정책이 실현된다면(RCP 4.5) 기온 상승폭이 3.4℃, 강수량 상승폭이 17.3%로 다소 낮아질 것으로 전망하였다.

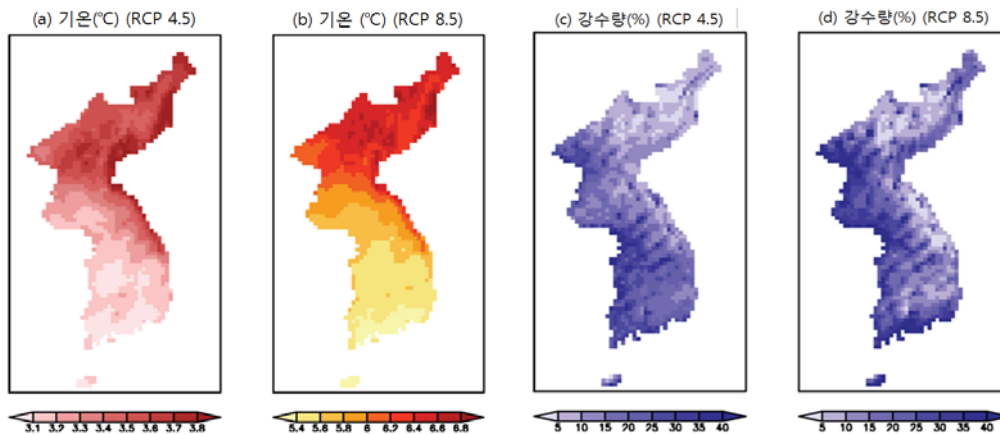
그림 12 기온(1.5m)과 강수량 변화 전망(1971-2000년 대비 1950-2099년)



자료 : 기후변화 시나리오 보고서 2011, 국립기상연구소, 2011.

이는 전 세계 평균기온 상승폭보다 약 1~2℃ 높고, 전 세계 평균강수량 상승폭보다는 약 4배정도 높은 값이다. 연평균 기온의 10년 평균값은 2081-2090년대와 2091-2100년대에 16.8℃로 가장 높을 것으로 전망됐고, 30년 평균값도 2071-2100년대에 16.6℃로 가장 높을 것으로 예상하였다. 연평균 강수량의 경우, 변동성이 커서 증가와 감소를 반복하며, 10년간 평균값은 2091-2100년대에 1,584mm로 가장 크고 30년간 평균값은 2071-2100년대에 1,560mm로 전망하였다. 이 값은 현재와 대비해 약 15% 증가한 값이다. 또한 기온과 강수량 변화 전망을 지역별로 살펴보면, 기온 상승은 중북부 지역에서

그림 13 지역별 기온 및 강수량 변화 전망(1971-2000년 대비 2070-2099년)



자료 : 기후변화 시나리오 보고서 2011, 국립기상연구소, 2011.

뚜렷할 것으로 나타났고 강수량 증가는 남해안과 중서부 지역에서 크게 상승할 것으로 전망되었다<그림 13 참조>. 이러한 지역별 변화 전망은 앞으로의 농산물 생산량 변화와 최적 재배지를 선정함에 있어 중요한 자료로 활용될 수 있다.

현재(1980-2009년) 대비 폭염⁵⁾, 열대야⁶⁾, 영하일수⁷⁾, 난방도일⁸⁾, 냉방도일⁹⁾과 같은 극한기후의 변화 전망을 살펴보면<표 1 참조>, 연평균 폭염일수는 현재 연평균 9.0일인데, RCP 4.5 시나리오에 따르면 21세기 후반(2070-2099년)에는 29.6일로 3.3배 증가하고, RCP 8.5 시나리오에서는 64.7일로 7.2배로 크게 상승할 것으로 예상하였다. 연평균 열대야 일수의 경우, 현재 연평균 4.0일에서 가까운 미래(2020-2049년)에는 3.7~5.2배로 증가하고 먼 미래(2070-2099년)에는 32.2~59.9일로 크게 증가할 것으로 예측하였다. 연평균 영하일수는 현재 98.0일인데 RCP 4.5에 의하면 68.3~76.6일, RCP 8.5에 의하면 44.5~76.6일로 감소할 것으로 전망하였다. 이처럼 미래에는 폭염, 열대야 등 극한기후의 발생 빈도가 더욱 증가할 것으로 예상되고 있다.

표 1 극한기후 변화 전망

요소	현재(1980-2009) 연평균일	RCP4.5		RCP8.5	
		2020-2049	2070-2099	2020-2049	2070-2099
폭염일수	9.0일	16.5일	29.6일	23.0일	64.7일
		1.8배	3.3배	2.6배	7.2배
열대야일수	4.0일	14.8일	32.2일	20.6일	59.9일
		3.7배	8.1배	5.2배	15.0배
영하일수	98.0일	76.6일	68.3일	76.6일	44.5일
		0.8배	0.7배	0.8배	0.5배
난방도일	2,609.9도일	2,177.8도일	1,971.2도일	2,140.8도일	1,517.6도일
		0.8배	0.8배	0.8배	0.6배
냉방도일	95.6도일	171.7도일	291.6도일	223.8도일	531.7도일
		1.8배	3.1배	2.3배	5.6배

자료 : 기후변화 시나리오 이해 및 활용 사례집, 기상청, 2011.

5) 폭염일: 일 최고기온이 33℃ 이상인 날.

6) 열대야일: 일 최저기온이 25℃ 이상인 날.

7) 영하일: 일 최저기온이 0℃이하인 날.

8) 난방도일: 1년 중 일 평균기온이 18℃ 이하인 날을 골라 기준이 되는 18℃에서 그날의 일 평균기온을 뺀 값을 적산시킨 값.

9) 냉방도일: 24℃ 이상인 날의 기온과 24℃와의 차를 합한 값.

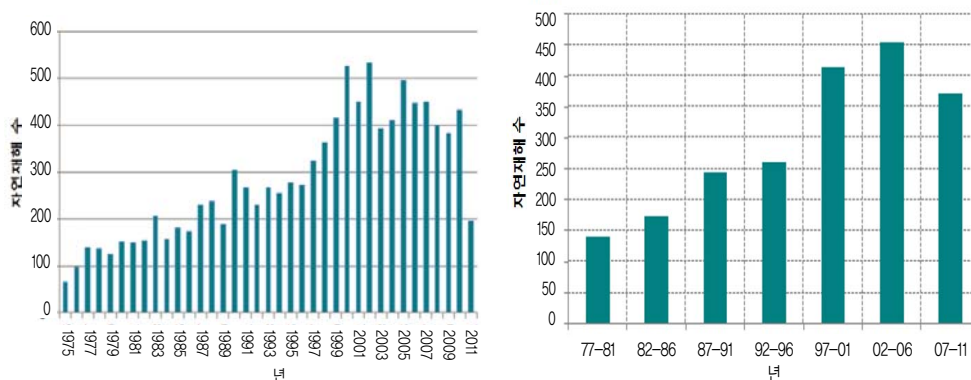
1.3. 기후변화 영향

1.3.1. 자연재해

현재의 지구온난화는 자연적으로 가장 변화가 컸던 빙하기 말 기온 상승폭보다 약 30 배 빠른 속도로 진행되고 있다. 이로 인하여 지구생태계에 급격한 변화를 요구하고 있는데, 지구온난화는 단순한 기온 상승을 의미하는 것 이상으로 전 세계에 걸쳐 막대한 영향을 미친다는 데에 그 심각성이 있다. 특히 이상기상과 극한기후의 빈도와 강도가 증가할 것으로 예측되어 전 세계적으로 자연재해 피해가 더욱 커질 것으로 보고 있다.

1975-2011년 전 세계 자연재해 변화 경향을 살펴보면, 자연재해의 발생빈도는 1970년대 후반부터 2000년대 초반까지 꾸준히 증가하여 2000년대(2001-2010년)에는 매년 400여 회가 발생한 것으로 나타났다<그림 14 참조>. 5년 누적평균에서 2002-2006년에는 450회로 가장 많았고 1977-1981년이 150회 이하로 가장 적었다. 특히 지난해에 발생한 자연재해는 196회로 지난 10년 평균의 절반 수준으로 급격히 감소하였다.

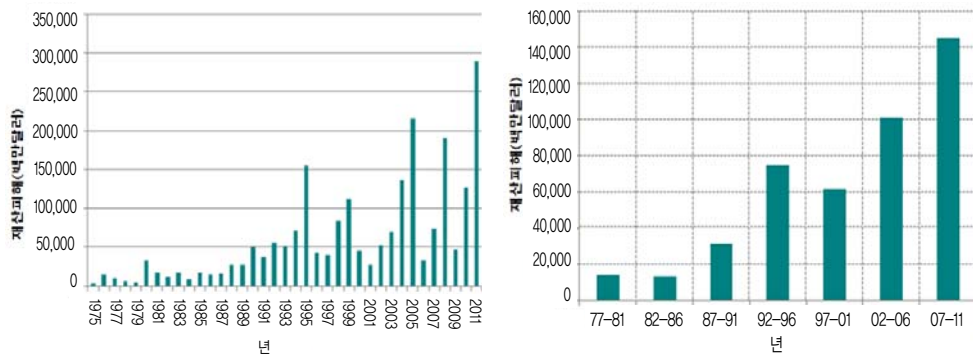
그림 14 전 세계 자연재해 발생빈도 변화(1975-2011)



자료 : Natural Disaster Data Book, Asian Disaster Reduction Center, 2011.

자연재해에 따른 경제적 피해액(2011년 현재가치로 환산)의 경우, 최근 특정 해에 발생한 대규모 자연재해의 영향으로 전체적으로 증가하는 추세를 보이고 있다. 2011년이 2,900억 달러로 1975-2011년 기간 중 가장 컸던 것으로 나타났으며, 5년 누적평균에서도 2007-2011년대에 1,400억 달러로 가장 높게 나타났다<그림 15 참조>.

그림 15 전 세계 자연재해 경제적 피해액 변화(1975-2011)



자료 : Natural Disaster Data Book, Asian Disaster Reduction Center, 2011.

특히 2011년 아시아에서 발생한 주요 자연재해를 살펴보면¹⁰⁾, 지난해의 동일본 대지진을 제외하고는 모두 이상기상현상과 직결된 것으로 나타났다. 2011년 아시아의 자연재해 발생 유형별 비율은 홍수(41.4%), 지진(20.7%), 태풍(19.5%), 산사태(9.2%), 폭염(3.4%), 가뭄(2.3%) 순이었으며, 앞으로 태풍, 홍수(집중호우), 폭염 등의 발생빈도와 강도가 증가할 것으로 전망하고 있다.¹¹⁾

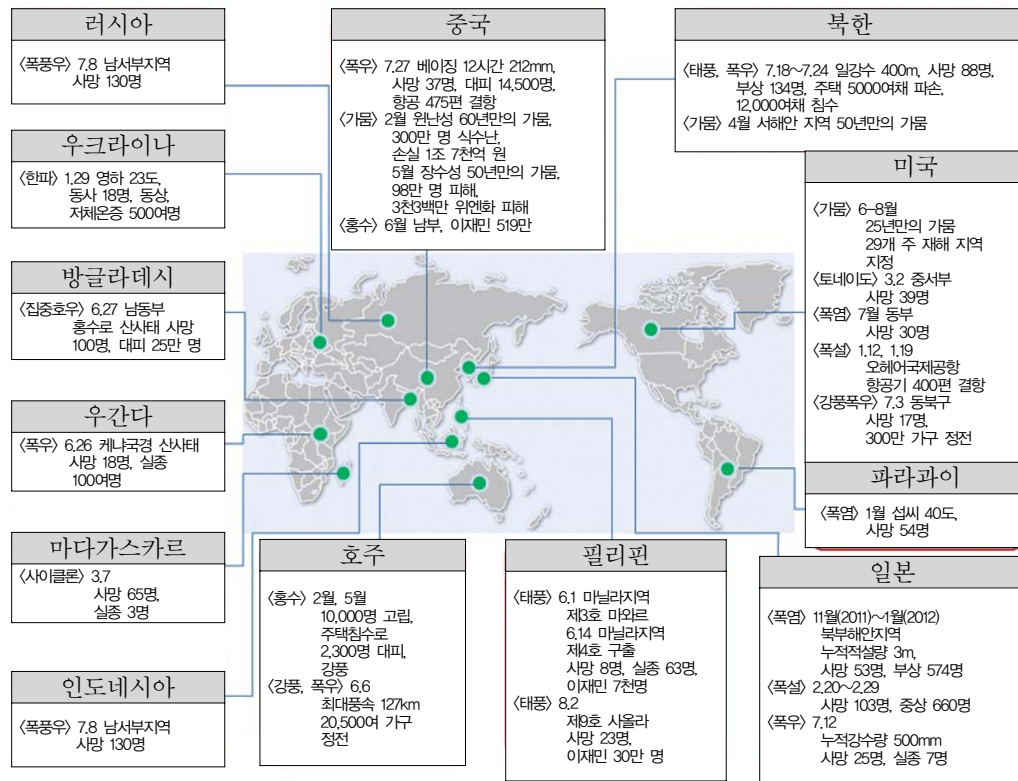
2012년에 발생한 이상기상현상의 경우 역시 세계적으로 막대한 사회적·경제적 피해를 초래하였다<그림 16 참조>. 지난해에 중국 산둥성에는 60년 만의 겨울 가뭄이 발생하여 24만 명이 식수난을 겪었으며, 400만 ha 농경지가 물 부족을 경험하였다¹²⁾. 이러한 가뭄현상이 지속되어 2012년 2월 중국 윈난성에 60년만의 가뭄으로 3,000만 명의 식수난을 겪게 되고 그 피해액이 1조 7,000억 원에 달하였다. 또한 7월 27일 베이징에서 12시간 동안 212mm의 집중호우가 발생하여 사망 37명, 대피 14,500명이 있었고 항공기 475편이 결항되기도 하였다. 미국은 6-8월 25년만의 가뭄으로 29개 주가 재해 지역으로 지정되었으며, 7월 동부지역에서는 폭염이 발생하여 39명이 사망하였다. 일본에서는 겨울철에 누적적설량이 3m인 폭설이 발생하여 사망자 53명, 부상자가 574명에 달하였다. 호주에서는 2월과 5월에 홍수와 강풍이 발생하여 10,000여명이 고립되었고 주택침수 등으로 2,300여명이 대피하였다. 러시아 남서부지역에서 발생한 폭풍우는 사망자만 130여명으로 집계될 정도로 큰 피해를 주었다.

10) Natural Disaster Data Book, Asian Disaster Reduction Center, 2011.

11) IPCC, 기후변화 적응을 위한 극한현상과 재해의 위험관리 특별보고서, 2011.11.

12) 2011년 이상기후 보고서, 기상청, 2011.12.

그림 16 전 세계 이상기상현상 발생 현황(2012)



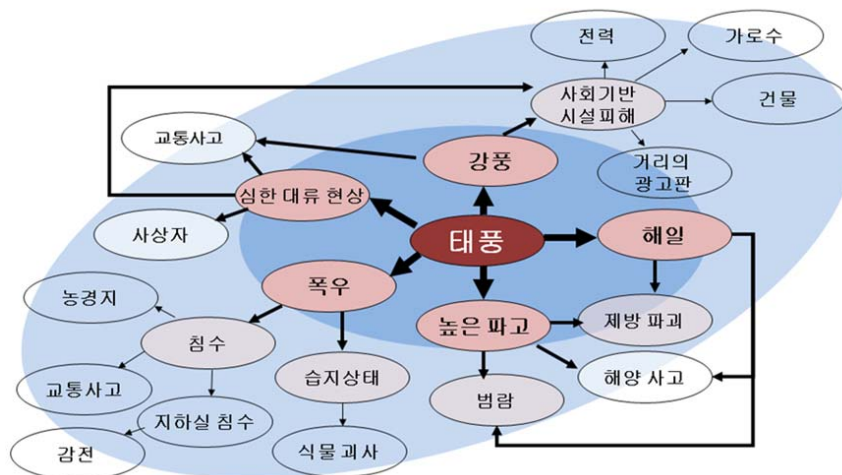
자료 : 기상-농업 융합연구 공동 심포지엄, 국립기상연구소, 2012.

1.3.2. 태풍

자연재해 중 태풍으로 인한 피해가 가장 크며, 특히 태풍은 사회·경제 전반에 걸쳐 복합적으로 그 파급효과가 크다<그림 17 참조>. 지난 2001년부터 2010년까지 우리나라에서의 태풍과 집중호우 등의 자연재해는 총 133회에 달한다. 이 기간 자연재해로 인한 인명피해는 684명, 재산피해액은 17조 440억 원으로 집계되었다. 특히 1990년대 우리나라에 영향을 준 태풍의 연평균 개수는 3.8개(총 38개)였지만 2000년대 들어 2.8개(총 27개)로 1.0개 감소하였다<표 2 참조>. 1990년대에는 평균 최대풍속이 초속 36.2m이었는데 2000년대에는 초속 41.7m으로 상승하였고, 중심기압도 1990년대 평균 963.4hPa이었던 것이 2000년대에는 949.6hPa으로 13.8hPa정도 낮아져 태풍 강도도 강해

졌음을 알 수 있다. 강풍 반경 역시 평균 382km(1990년대)에서 590km(2000년대)로 태풍이 피해를 주는 범위가 208km로 넓어졌다.

그림 17 태풍에 의한 기상재해와 파급효과



자료 : 태풍예보 중장기 기술개발 계획, 기상청, 2012.3.

표 2 1990년대와 2000년대의 태풍 특징

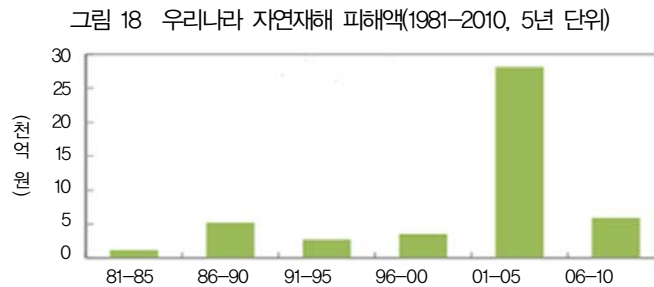
1990년대	항목	2000년대
3.8	한반도에 영향 준 연평균 태풍 수(개)	2.7
36.2	평균 최대풍속(m/s)	41.7
963.4	평균 중심기압(hPa)	949.6
208	평균 강풍반경(km)	590

자료 : 하영철, 금오공대, 2012.5.

지난 100여년(1904-2009년)동안 태풍 일 최대 순간풍속 순위에서 상위 5개의 태풍은 ‘매미’(2003년, 초속 60.0m), ‘쁘라삐룬’(2000년, 초속 58.3m), ‘루사’(2002년, 초속 56.7m), ‘나리’(2007년, 초속 52.4m), ‘볼라벤’(2012년, 초속 51m)이었으며, 모두 2000년 이후에 발생하였다. 2000년 이후 발생한 태풍은 과거와 비교하여 규모나 풍속 면에서 크게 강화된 모습을 보여주고 있다¹³⁾. 태풍 ‘볼라벤’과 ‘산바’에서 보는 것처럼 태풍에 동반된 강풍으로 인한 낙과 등 농작물 피해에 직접적인 영향을 미친다.

13) 기상청, 2012.

우리나라에서 발생하는 자연재해에 따른 피해액은 뚜렷한 증가 추세를 보이지 않으나 태풍의 강도 증가에 의해 특정 해에 막대한 피해액을 보여주고 있다<그림 18 참조>. 예를 들면 2002년 태풍 ‘루사’의 경우 약 5.1조원의 재산피해를 발생시켰으며, 2003년에는 태풍 ‘매미’에 의해 4.2조원의 피해가 발생하였다.



자료 : 재해연보 (1981-2010), 소방방재청, 2011.

올해 발생한 태풍은 빈도와 강도에 있어서 이전과는 차이를 보이고 있다. 8월에는 14호 태풍 ‘덴빈’과 15호 태풍 ‘볼라벤’이 이틀 간격으로 연이어 한반도에 상륙하였고, 가장 최근에는 16호 태풍 ‘산바’까지 한반도에 직접적인 영향을 주었다. 현재까지 직·간접적으로 영향을 준 태풍은 5개로 이는 한해 평균 3.1개 보다 많은 수치이다. 또한 서해를 통해 북상하여 한반도 전역에 영향을 준 태풍의 수가 증가하였다는 것도 눈여겨보아야 할 점이다.

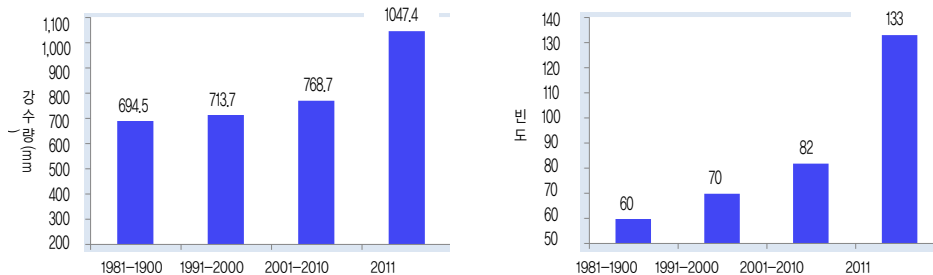
최근 기후변화 등으로 인하여 태풍 강도는 강해지는 추세이다. 미래 시뮬레이션 결과에서도 태풍 강도는 지속적으로 증가할 것으로 예측하고 있다. 그러나 이에 대한 농업 등 산업별 중장기적 대응 전략은 아직 미흡한 실정이다. 앞으로의 태풍 및 다양한 자연재해 피해를 줄이기 위해서는 태풍관련 기상정보와 농업, 수문, 방재 등을 통합하는 국가적 차원의 정보 전달체계의 개발이 반드시 수반되어야 할 것이다.

1.3.3. 집중호우

우리나라의 여름철 평균 강수량은 1980년대에 700mm를 밑돌았으나, 2000년대에는 750mm 이상으로 증가하였다. 특히 2011년에는 1,000mm가 넘는 많은 비가 내렸다. 시간당 30mm이상의 집중호우 발생빈도 또한 1980년대에 비해 2000년대에 약 30%정도 증가하였다. 이는 여름철 평균 강수량보다 빠르게 증가한 수치로, 2010년과 2011년에 발생한 광화문 및 서울 도심 침수 등 다양한 문제를 야기하였다. 이와 같이 과거와 비

교해 단시간 안에 강한 호우를 동반하는 경향이 증가해 가고 있다. 통계상으로도 1981-1990년대 평균 60회이던 30mm 이상의 강수빈도가 2011년에는 133회로 2배 이상 증가한 것으로 나타났다<그림 19 참조>. 한국기후변화백서(2011)에 따르면 향후 30년(2011-2040년)간 연평균 강수량은 200mm 이상 증가하고, 2040년 이후에는 300mm 이상 증가할 것으로 전망하고 있다. 이 같은 연강수량의 증가와 시간당 30mm 이상의 강한 비의 증가는 자연재해 증가의 가능성을 내포하고 있다.

그림 19 여름철(6-8월) 평균 강수량(좌)과 시간당 30mm 이상 강수량(우)의 발생 빈도



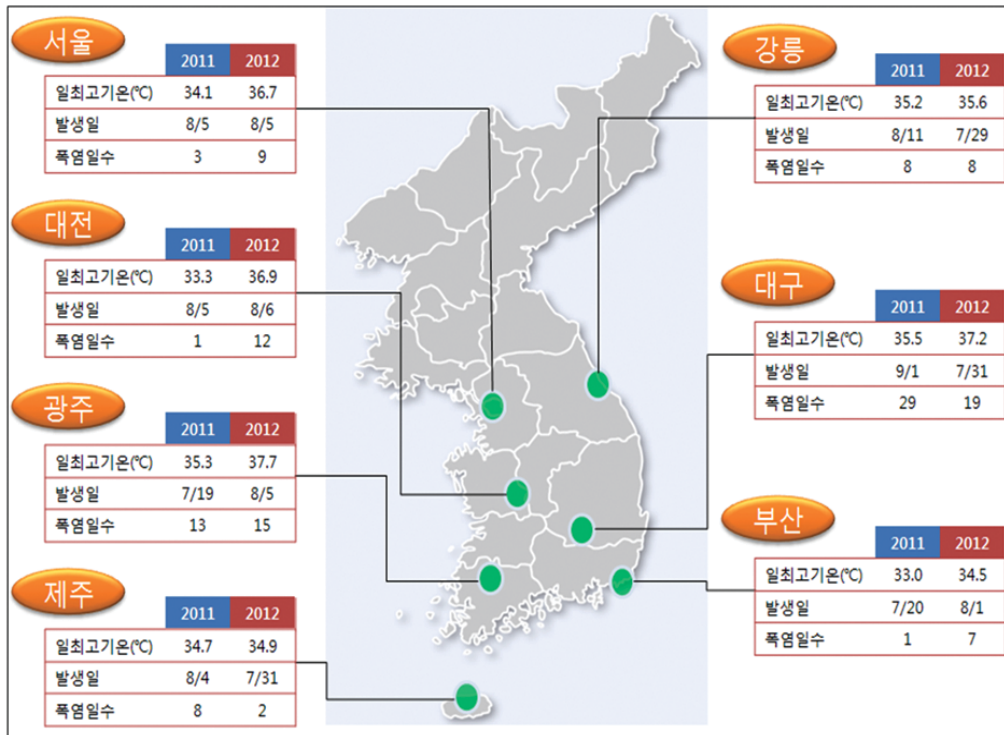
자료 : 최근 20년 사례에서 배운다: 집중호우 Top10, 기상청, 2012, 6.

1.3.4. 폭염

올해 우리나라는 7월 하순과 8월 상순에 최악의 가뭄과 폭염을 경험하였다. 폭염의 경우 서울, 부산, 대전 등에서 빈번히 발생한 것으로 나타났는데, 서울, 대전, 부산의 폭염일수는 각각 9회, 12회, 7회로 2011년에 비해 크게 증가하였다<그림 20 참조>. 이에 반해 대구와 제주는 각각 19회, 2회의 폭염이 발생하여 전년도에 비해 크게 감소하였다. 이와 같이 지역별로 폭염이 다양한 변화 양상을 보이고 이와 동반된 가뭄으로 인해 농작물 생육조건과 재배여건 변화와 농작물 수급에 적극적으로 대응하기 위한 관련 기관들 간의 협력체계 구축이 요구된다.

특히 2012년에 발생한 폭염으로 14명의 사망자가 발생했고, 폭염에 따른 농작물과 가공식품의 값도 큰 폭으로 상승하였다. 국립기상연구소(2012)에 따르면 낮 최고기온이 35.5℃에 달하면 평소보다 사망률이 20%증가하고, 37.5℃를 넘을 시에는 사망자가 50% 늘어난다고 보고하고 있다. 헨슨 박사(NASA 고다드우주연구소장)는 1950년대부터 1980년까지 폭염과 같은 이상기온이 발생할 가능성이 1/300이었던 반면 지금은 온난화에 의해 1/10로 급증했다고 밝히고 있다. 기후학자들은 이와 같은 최근 일련의 세

그림 20 우리나라의 최고기온 발생일 및 폭염일수(2011-2012)



자료 : 기상-농업 융합연구 공동 심포지엄, 국립기상연구소, 2012.8.

계적 폭염과 가뭄의 증가를 온난화의 영향으로 여기고 있다. 폭염에 대한 정부차원의 대응시스템을 재정비하여 폭염을 재난의 범주에 포함시켜 기후변화에 따른 국민들의 적응대책이 필요한 시점이다.

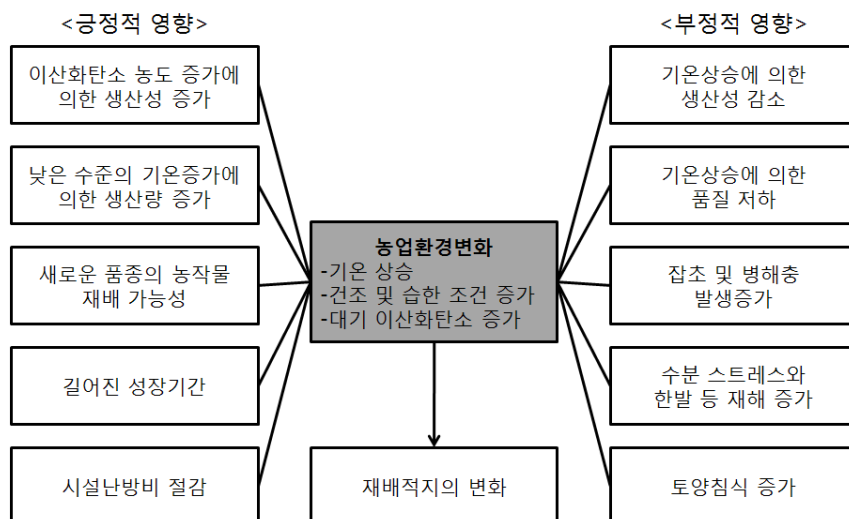
2. 기후변화의 농업부문 영향과 과제

2.1. 농업부문의 영향

기후변화는 농업 생태계에 긍정적, 부정적 측면 모두에 영향을 준다<그림 21 참조>. 긍정적인 측면으로는 이산화탄소 증가에 따른 시비효과로 작물의 생산성 증가, 새로운 고온성 작물의 재배 가능 지역의 확대, 벼의 이모작 재배, 월동 작물의 저온피해 감소 및 시설재배 농작물의 난방비 감소 등이 있다. 부정적인 측면으로는 기온상승

에 따른 생육기간 단축으로 농작물의 수량감소와 품질저하, 잡초 및 병해충의 증가, 유기물의 분해 촉진으로 인한 지력 저하, 토양유실의 심화 등을 들 수 있다.

그림 21 온난화가 농업부문에 미치는 잠재적 영향



자료 : 기상기술정책지, 기상청, 2009.

일반적으로 여름철 강우의 증가는 농림어업의 생산 위축, 인프라 파괴, 물가 불안 등의 부정적 영향을 준다.¹⁴⁾ 농림어업의 경우 약 -0.6%의 생산 활동 위축을 일으키는 것으로 알려져 있고, 또한 강우의 직접적인 영향을 받는 채소류의 물가 상승은 전반적인 물가 상승을 주도하는 것으로 나타났다. 이 외에도 집중호우는 곡물 피해, 토양유실, 경작지 감소, 지표 및 지하수 수질의 악화를 야기한다.¹⁵⁾

이러한 농업의 부정적 영향을 해소하기 위해 온실가스 배출시나리오에 따른 농업 부문 예측 시나리오의 작성이 현재 활발히 진행되고 있다<그림 22 참조>. 이에 따르면 우리나라의 경우 기온 상승으로 인해 각 작목별 재배적지가 북상하고 돌발 병해충 및 외래 잡초가 증가할 것으로 예상하고 있으며, 농경지 침수와 토실유실 등으로 농업 생산 기반이 악화될 가능성이 증가하고 있다.

14) 현안과 과제-비와 경제, 현대경제연구원, 2012.7.18

15) 농업·농촌의 길 2012, 농업·농촌의 길 2012 조직위원회, 20122

그림 22 지구온난화 정도에 따른 농업 부문별 영향 전망

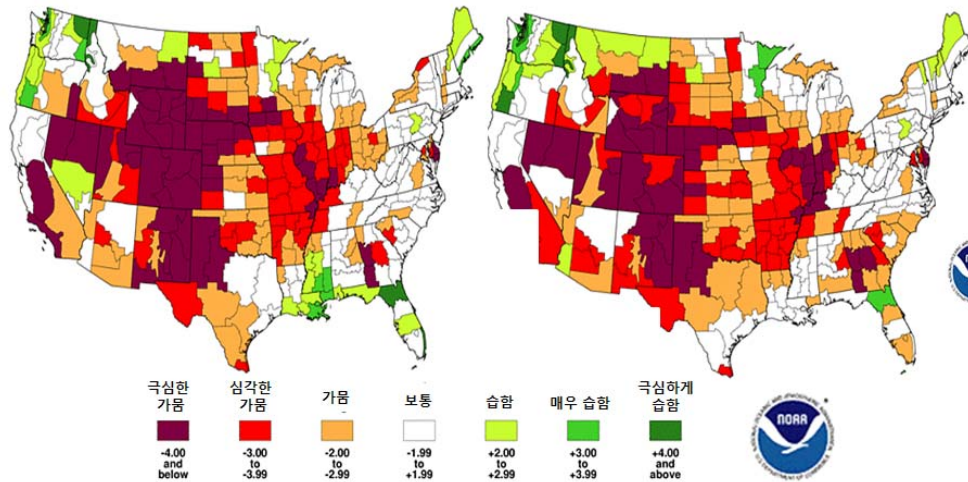
	2000s	2030s(A1B)	2050s(A2)	2080s(A2)	2100s(A2)	2100s(A1F1)
	0	1	2	3	4	5°C
식량생산		고위도 북부지역 쌀 생산 증가	쌀 불임률 증가로 15%-35%까지 생산 감소	벼, 과수, 채소의 최적지 변화로 지속적인 재배적지 이동	온대 과채류 감소와 아열대 과채류 증가	가축 스트레스 증가로 번식율, 증체량, 우유량 감소
병해충		남방계 병해충 증가 및 해충 증식속도 증가	가축 질병 및 전염병 출현 확률 증가			
생태계		생물종 30%까지 멸종위기 가능성(개구리 등)	생물계절 변화로 먹이사슬 교란 가속			취약 생물종 소멸
수자원		산간내륙지역 가용 수자원 감소 및 증발량 증가로 가뭄 피해 증가				
농경지, 토양			홍수와 태풍으로 연안 농경지 침수피해 증가	연안 습지 및 저지대 농경지의 30% 손실	여름철 경사지 토양침식 증가 및 비료성분 감소	농경지 일부 사막화 진행
기반시설			해수면 상승에 따른 연안 기반시설 붕괴 우려 증가	강수량 증가로 저수시설 붕괴 우려 증가	태풍 및 폭우로 시설하우스·축사 붕괴 심화	

주 : 연도()는 IPCC 제4차보고서에서 제시한 온실가스 배출 시나리오의 종류로 A1B는 '모든 자원이 균형을 이루는 상태' , A2는 '인구증가가 크고 저성장·저기술 상태' , A1F1는 화석연료의 지속적 및 집약적 이용의 경우 '를 의미.
 자료 : 기후변화와 우리 농업, RDA interrobang(33호), 농촌진흥청, 2011.9.

전 세계적으로는 다양한 형태의 이상기상·극한기후가 발생하고 있는 가운데 올해 세계 최대 옥수수 생산국인 미국이 극심한 가뭄에 시달렸다<그림 23 참조>. 이번 가뭄은 미국 본토의 약 63%가량이 영향을 받았을 정도로 광범위하게 진행되었는데 특히 콘벨트(corn belt) 또는 브레드 바스켓(bread basket)으로 불리는 지역의 가뭄이 심했다. 이에 따라 옥수수, 밀, 콩 등의 작물 생산량이 급감하였다. 이러한 작물들의 생산량 감소는 자연스레 소비자들의 식탁물가에 부담으로 다가왔으며, 세계 식량 수급에 부정적 영향을 줬다. 또한 농산물 가격 상승에 의한 애그플레이션¹⁶⁾을 일으킬 위험도 가져왔다.

16) 애그플레이션(Agflation): '농업' (agriculture)과 '인플레이션(inflation)의 합성어로, 농산물의 가격이 상승함에 따라 일반 물가도 함께 오르는 현상.

그림 23 팔머 가뭄지수(2012년 7월(좌), 8월(우))

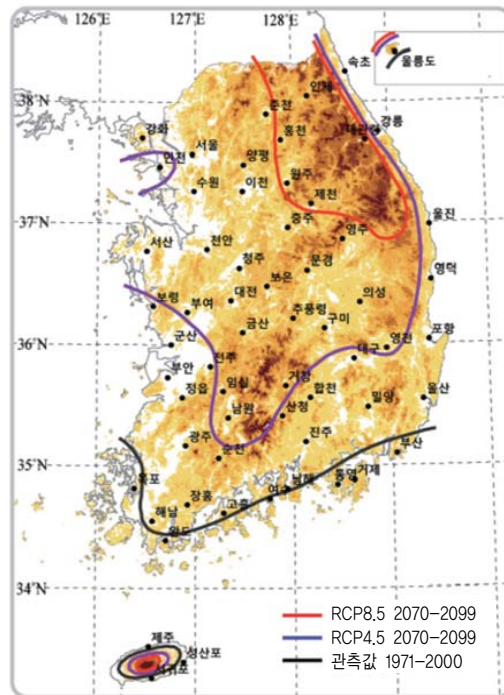


자료 : 미국해양대기청, 2012.

우리나라의 경우도 기온 상승으로 인한 작물, 과수, 산림 등의 재배 및 분포지역이 이동하게 되면서 기후가 아열대화 될 가능성이 제기되고 있다. 이에 따라 현재 육상 및 해양 생태계 분포 특성과 비교적 유사한 분포를 보이는 트레와다의 기준을 이용하여 아열대 기후지역의 변화를 전망하였다. 21세기 말 아열대 기후지역을 파악하기 위하여 평년값(1971-2000년)에 트레와다 아열대 기준¹⁷⁾을 적용하면 제주도와 부산, 거제, 통영, 목포, 완도, 여수 관측지점을 중심으로 한 남해안 지역이 아열대 기후지역에 포함되는 것으로 나타났다. RCP 4.5 시나리오에 의하면 미래(2070-2099년)에 아열대 기후 지역이 북위 36도까지 확대되며, RCP8.5 시나리오에 의하면 미래(2070-2099년)에는 강원도 일부 내륙지역을 제외한 전 지역이 아열대 기후지역에 포함될 것으로 전망된다 <그림 24 참조>. 실제로 현재 우리나라는 점차 겨울이 짧아지고 여름이 길어지고 있으며, 강수량 30mm에 달하는 폭우가 잦아지는 등 아열대기후의 특징이 늘고 있는 추세에 있다. 지금과 같은 온난화가 지속된다면 태백산과 소백산 인근을 제외한 대부분 지역이 아열대기후로 변할 것이다. 이러한 전망을 바탕으로 변해가는 기후에 빠르게 적응하여 새로운 소득을 창출하는 기회로 삼고, 새로운 핵심 산업으로 농산업 영역을 개척하여 기후변화에 대응하여야 할 것이다.

17) 최한월 평균 기온이 18℃ 이하이면서 월평균기온이 10℃ 이상인 달이 8-12개월인 것으로 아열대를 정의하였다(Trewartha and Horn, 1980).

그림 24 아열대 기후지역의 미래 변화 전망



자료 : 기후변화 시나리오 이해 및 활용 사례집, 기상청, 2011.

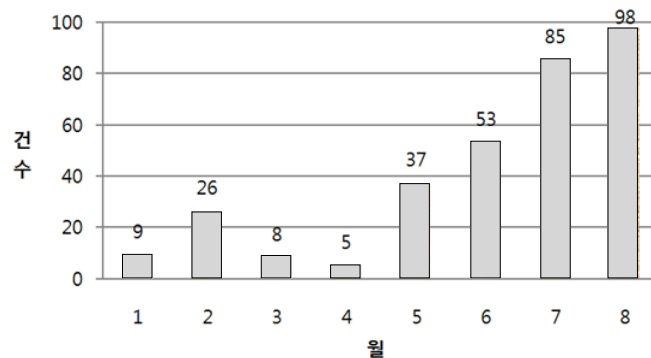
2.2. 기상이변과 농작물

최근 들어 호우와 가뭄, 폭염과 한파와 같이 서로 상반된 극한 현상이 전 지구적으로 자주 발생하고 있다. 이는 온실가스 증가로 인해 지구가 충격을 받아, 새로운 기후로 변하는 과정에서 이상기상의 발생 횟수가 늘어났기 때문이다. 기후변화에 따른 이상기상이 빈발함에 따라 세계 주요 곡창지대의 수확량 감소로 국제곡물가격의 변동성이 확대되고 식량안보의 중요성이 부각되고 있다. 우리나라도 기후변화에 따른 폭우와 폭염 등 이상기상으로 채소류의 수급불균형이 발생하여 단기간의 가격급등 현상이 반복되고 있고, 이상기상이 빈발함에 따라 향후 농산물가격의 불안정이 심화될 것으로 전망된다. 세계 농산물 가격에 정통한 네덜란드 라보뱅크 보고서에 따르면 미국을 덮친 76년 만의 최악의 가뭄과 러시아, 남미의 농업용수 부족 등으로 세계 식량 가격은 2013년 1-4분기 안에 사상최고치를 경신할 것으로 보고 있다¹⁸⁾.

2012년 이상기상에 따른 농작물에 미치는 영향에 관한 언론 동향(총 321개 기사)을

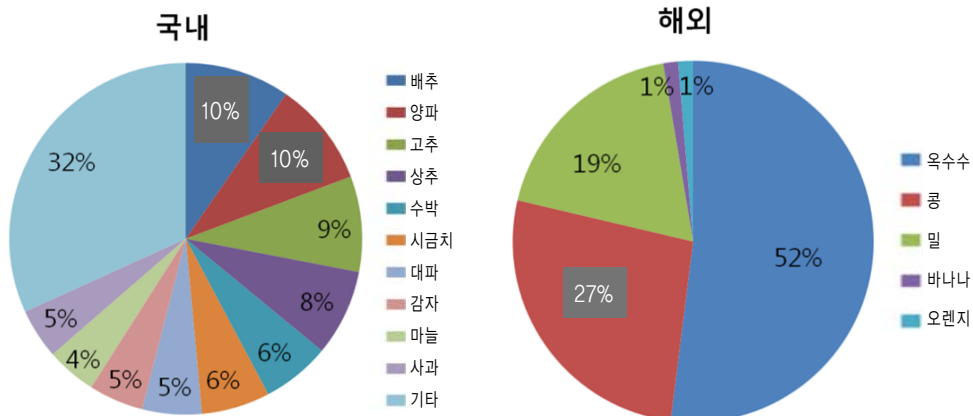
분석한 결과<그림 25 참조>, 농작물 관련 언론보도는 이상기상이 빈번했던 7월과 8월에 가장 많았으며, 비교적 재배작물이 적은 1월, 3월, 4월에는 적었다. 이상기상에 따른 농작물 생산량 감소가 대부분(97%)을 이루었으며, 기온 및 일사량 증가에 따른 생산량 증가도 3%정도 있었다. 농작물 종류별로는 국내의 경우 배추, 양파, 고추, 상추의 비율이 높게 나타났는데, 이는 폭염과 가뭄에 따른 이들 농작물의 생산량 감소와 이상한파에 의한 피해 증가 등에 관한 내용이 많았기 때문이다. 해외의 경우 미국의 가뭄에 따른 옥수수관련 내용이 50%이상 되었다<그림 26 참조>.

그림 25 이상기상관련 농작물 월별 언론보도



자료 : 기상-농업 융합연구 공동 심포지엄, 국립기상연구소, 2012.

그림 26 국내외 언론에 보도된 농작물의 분포 비율



자료 : 기상-농업 융합연구 공동 심포지엄, 국립기상연구소, 2012.

18) 서울경제, 세계 식량 가격 반년 후 최고치, 2012.9.25.

2012 년 봄철의 경우 이상한파에 의한 농작물의 생산량 변화와 관련된 언론 보도가 가장 많았으며, 6월과 8월의 경우 가뭄과 폭염과 관련된 농작물의 생육 및 수급관련 내용이 많았다<표 3 참조>. 7월에는 장마 및 태풍에 의한 농작물의 피해 및 대책 마련관련 언론기사가 많았다. 월별 농작물의 내용을 살펴보면, 먼저 지난 8개월 동안 대부분 배추와 관련된 내용이 있었으며, 5월에는 양파, 사과, 6월에는 고구마, 대파, 양파, 7월에는 배추, 상추, 양파, 8월에는 고추, 배추, 상추에 관한 내용이 주로 나타났다.

표 3 월별 농작물 및 이상기상

구분 \ 월	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월
농작물	밤, 배, 사과	배추, 감귤, 상추, 시금치, 온실딸기, 청양고추	감자, 냉이, 달래, 미아리, 배추, 불독, 참외, 취나물	배추, 고추	양파, 사과, 감자, 배추, 수박	고구마, 대파, 양파, 감자, 무, 배추, 수박	배추, 상추, 양파, 시금치, 오이, 애호박	고추, 배추, 상추, 감자, 깻잎, 마늘, 보리, 수박, 시금치, 옥수수, 참외, 배, 사과 등
이상기상	한파, ※지난해 장마장기화	한파	한파	이상저온	우박, 이상저온	고온, 가뭄	장마, 태풍	가뭄, 폭염, 폭우, 태풍

자료 : 기상-농업 융합연구 공동 심포지엄, 국립기상연구소, 2012.

이와 같이 기후변화가 농업에 미치는 가장 직접적인 영향은 잦은 기상이변으로 인한 농산물 수급의 불안정이다. 기상이변으로 인한 집중호우와 태풍으로 농지가 침수되고, 폭염이나 가뭄으로 농작물의 생산량이 급감하는 현상을 야기한다.¹⁹⁾ 2010년 6월, 폭우로 인해 중국 중·남부 지역 94만 6,500ha의 농지가 침수되었으며, 채소와 벼의 생산량이 30%이상 감소하였다. 2010년 세계적 밀 재배지인 러시아의 경우 서부에 폭염이 지속되면서 밀의 공급량이 전년 대비 약 27% 감소하였다. 우크라이나는 보리 수출을 2009년 대비 50%가량으로 제한하였고, 파키스탄은 양파가격이 2배 이상 뛰자 2010년 1월 양파 수출을 중단하였다. 이와 같은 기상재해로 인한 농산물 가격 급등은 세계적인 애그플레이션을 야기하여 소비자 물가 상승 및 사회적 문제를 발생시킨다.

앞으로 폭설, 기습한파, 봄철 이상저온과 일조부족, 고랭지 가뭄, 국지성 집중호우, 태풍, 여름철 고온 등과 같은 다양한 이상기상현상에 대한 예측성을 높여 기상재해에 대한 선제적 대응이 필요하다. 또한 이상기상 등 자연재해로 인한 농업분야 피해 예방 및 피해 최소화를 위해 기상재해 경감 및 돌발병충해 관리기술, 기후변화 적응 품종(육

19) 농총진흥청, 기후변화와 우리 농업 RDA interrobang(17호), 2011.5.

종) 및 재배법, 농업생산 취약성 평가 및 저감기술 개발이 필요하다²⁰⁾. 이를 위한 구체적인 실천과제로 원예작물 동해 안전재배 한계선 규명, 식량, 내재해성, 내병성, 내충성 원예작물 품종 및 재배기술 개발, 기상재해에 따른 농업 생산기반 피해저감기술 개발, 이상기온에 따른 주요 노지 채소작물의 피해 평가 및 대응 기술 개발이 요구된다.

2.3. 기상-농업 융합연구과제

기후변화는 국가 농업 경제뿐만 아니라 미래 식량안보에도 지대한 영향을 미치는 관계로 이에 대한 대응마련이 시급한 실정이다. 먼저 기후변화에 대비한 체계적이고 장기적인 민관 합동 연구개발 시스템을 육성하여 안정적인 대응체제를 구축할 필요가 있다<그림 27 참조>. 따라서 기후변화 관련 농업부문 연구 시스템과 체계를 구축하여, 안정적 자원과 체계적 시스템 내에서 연구의 효율성을 확보할 필요가 있다. 또한 기상기후정보와 기술을 기반으로 한 융·복합연구를 토대로 다양한 현장 및 산업화 연구도 강화할 필요가 있다.

그림 27 농업분야 기후변화 영향과 대응 체계



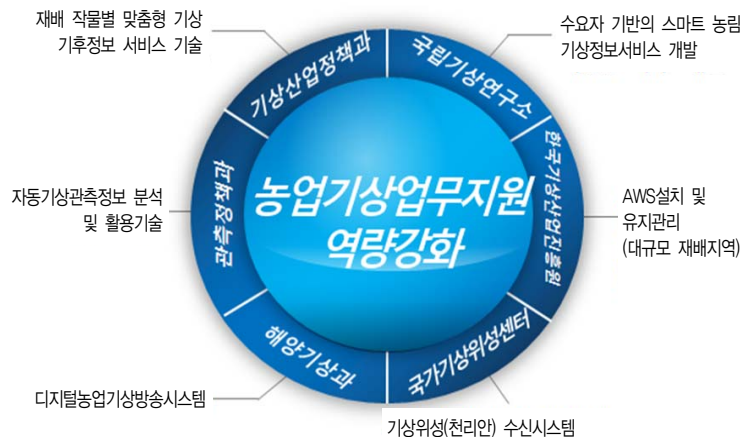
자료 : 기후변화와 우리 농업, RDA interrobang (17호), 농촌진흥청, 2011.5.

첫째, 정부 및 지방단위의 대응책 마련을 위해서 농업분야에서 기상과 기후현상에 대한 이해를 증진시키고 보다 손쉽게 관련 정보를 활용할 수 있는 체계를 구축하는 것이다. 이를 달성하기 위한 핵심적인 사항이 바로 기상과 농업 분야의 융합연구이며, 가장 우선적으로 추진해야 할 것이 다양한 품종과 지역에 최적화된 맞춤형 기상·기후 서비스 체계를 구축하는 것이다. 여기에는 대규모 원예작물의 재배지역에 대한 특화

20) 2011년 이상기후보고서, 기상청, 2011.12.

된 기상관측시스템 구축과 더불어 영세/산지농가에 대한 맞춤형 농업기상정보 서비스를 개선하고, 동아시아 및 한반도 지역에 대한 재배작물 작황 및 토양 수분에 대한 감시 능력을 강화하는 것이 포함될 수 있다. 기상청 내·외부 기관들이 유기적으로 협력하여 농업기상업무 지원 역량강화를 위한 정책과 관련 기술을 도식적으로 설명하고 있다<그림 28 참조>.

그림 28 농업기상업무지원 역량강화를 위한 기상청 내 기관별 업무역할



자료 : 기상-농업 융합연구 공동 심포지엄, 국립기상연구소, 2012.8.

미국의 경우 기상과 농업 융합연구 활성화를 위해 다양한 자료를 수집 및 활용하려는 노력을 하고 있다. 대표적으로 날씨와 농산품의 가격 그리고 교통정보를 결합해 실시간으로 도소매 업체들에게 정보를 제공해 주는 서비스가 그 예이다. 네브라스카 오마하에 있는 ‘DTN’이라는 회사는 인공위성을 통해 정보를 실시간으로 취합한 후 판매 업체들에게 분 단위로 날씨 및 농산품 가격 정보 등을 공급해 줌으로써 큰 수익을 올리고 있다. 또한 미국의 ‘Zedxinc²¹⁾’의 경우 다양한 농작물 관련 상품과 서비스를 개발하여 수익을 올리고 있다. 크게 3종류의 날씨 관련 시스템이 이용되고 있는데, 첫 번째 시스템은 ‘Skybit’으로 특정 지역의 농업과 관련된 날씨정보를 제공하고 있으며, 이러한 서비스를 통해 날씨 의존적인 문제들에 결정을 내릴 때 유용하게 이용될 수 있다. 두 번째 시스템은 ‘Morgen&Vorgen’으로 특정 지역에 영향을 주는 농작물 관련 질병을 모델을 이용하여 정보를 제공해 주고 있다. 마지막 시스템은 ‘WxEnngine’으로

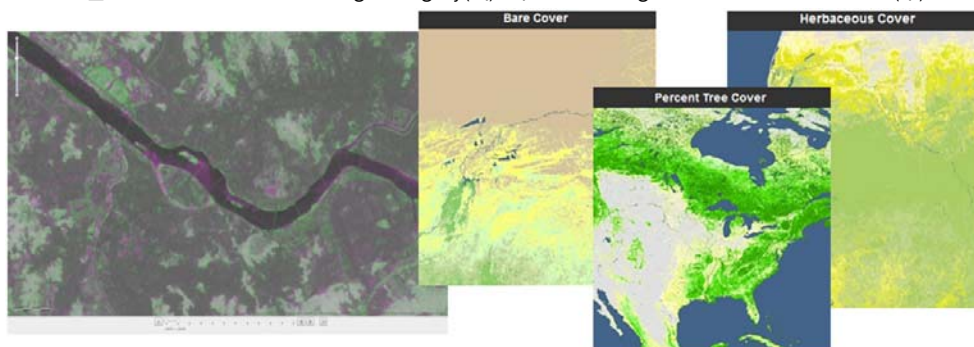
21) <http://www.zedxinc.com>

특정 지역에 관한 과거와 현재, 미래에 대한 날씨정보를 위성자료와 레이더, 기상관측소에서 제공되는 자료를 지속적으로 업데이트하여 최신의 자료를 제공한다. 이외에도 다양한 서비스를 제공해 주는데 ‘Cropforecaster’라는 상품의 경우 위성과 모델을 이용하여 농산물 재배에 관한 의사를 결정할 때 도움을 주며 ‘Irrigation Scheduler’라는 상품의 경우 농작물 재배에 중요한 수자원 공급 및 활용의 효율성을 높여준다. 이와 같이 선진국에서는 다양한 기상-농업 정보를 융합하여 가치 있는 정보를 창출함으로써 수익을 창출해 내고 있다. 이러한 서비스에 있어 학·관·연 협력을 기반으로 다양한 기상-농업 융합연구를 통해 국내 농업분야의 경쟁력을 향상시켜야 할 것이다.

둘째, 전 지구 기후서비스체제(Global Framework for Climate Services, GFCS)의 농업 분야 정보에 대한 활용을 확대하는 것이다. 여기에는 농업과 관련한 정부, 기업, 개인 등 모든 분야에 적합하고 시의 적절한 정보를 제공하기 위하여 기상기후정보를 농업사용자와 연계하는 사용자 인터페이스를 위한 플랫폼이 포함된다. 기상청은 이를 위하여 국내에서 생산되는 기상·기후 감시, 응용, 예측, 정보를 수집, 보관하고 메타데이터화하여 국내·외 사용자와 공유할 수 있는 국가기후자료센터(National Climate Data Center, NCDC)를 구축하고 있다. 농업분야에서는 NCDC에서 생산되는 다양한 자료 및 정보기술을 활용·융합하여 토지구입, 관개 설계, 새 농업시스템 채택, 가뭄에 저항력이 더 큰 종자 도입, 목축에서 고부가가치의 원예업으로의 이동 등 의사 결정에 활용할 수 있을 것이다.

셋째, 위성영상과 지상관측 정보를 결합함으로써 표준화된 차별식생지수 (Normalized Difference Vegetation Index) 지도 정보를 생산하는 등 농업-기후지수를 개발하는 것이다 <그림 29 참조>. 본 지수를 통하여 농업부문에서는 식생을 모니터하고 지역·국가의

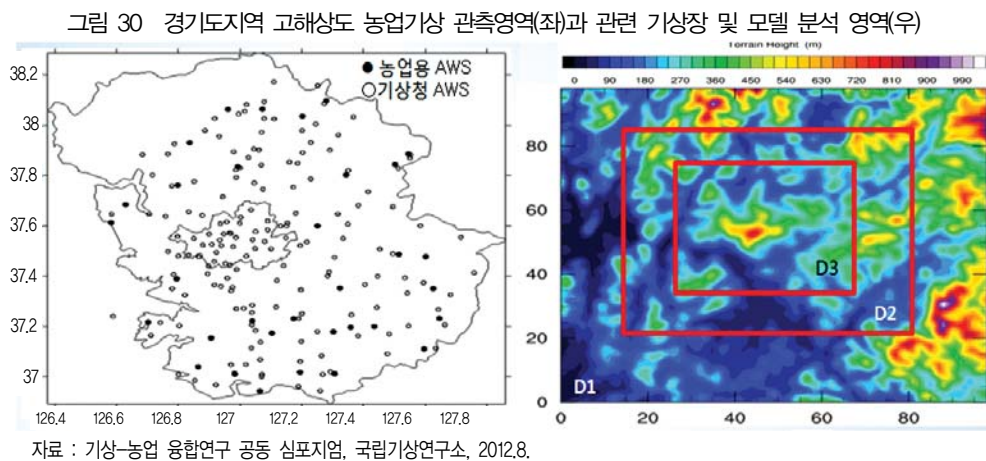
그림 29 Landsat NDM Change Imagery(좌) 와 MODIS Vegetation Continuous Fields(우)



자료 : 기상-농업 융합연구 공동 심포지엄, 국립기상연구소, 2012.8.

수확량을 평가·예측할 수 있으며, 사회·경제자료를 포함할 경우 농촌인구의 기후 위험에 대한 취약성 연구에도 도움을 줄 수 있다. 해마다 농산물 파동을 겪고 매년 5조 5000억 원이나 되는 곡물을 수입하면서도 위성을 이용한 농산물 생산량 예측 보고서 하나 없다. 위성으로 녹조·적조를 예측해 어민들에게 도움을 줄 수 있지만 그런 예보 시스템도 만들지 못했다.

마지막으로 고해상도 지역 맞춤형 농업기상 분석 및 예측시스템을 구축하는 것이다 <그림 30 참조>. 현재 국립기상연구소에서는 경기도 지역을 대상으로 농업기상 AWS(33지점) 자료를 추가하고, 10m 해상도의 고해상도 지형자료를 모델에 입력하는 시스템을 개발하였다. 또한 이러한 고해상도 농업기상자료를 기반으로 벼 병해 예측 정보를 웹기반으로 배포하는 시스템을 구축하고 있다.



참고문헌

- 국립기상연구소, 2011, 기후변화 시나리오 보고서 2011.
- 국립기상연구소, 2012, 날씨보험 활성화 심포지엄.
- 국립기상연구소, 2012, 기상-농업 융합연구 공동 심포지엄.
- 기상청, 2009, 기상기술정책지.
- 기상청, 2011, 2011년 이상기후 보고서.
- 기상청, 2011, 한국기후변화백서.
- 기상청, 2011, 기후변화 시나리오 이해 및 활용 사례집.

기상청, 2012, 태풍예보 증장기 기술개발 계획.
기상청, 2012, 최근 20년 사례에서 배운다: 집중호우 Top10.
권원태, 2012, 기후변화 시나리오와 농업적 활용, 2012 농업전망.
농촌진흥청, 2011, 기후변화와 우리 농업, RDA Interrobang (17호).
소방방재청, 2011, 재해연보(2010).
손재근, 2010, 기후변화에 따른 식량생산 안정화 방안, 2010 한국토양비료학회 추계학술대회.
이인희, 2012, 기후변화시대의 농촌개발 방향, 농업농촌의길 2012.
하영철, 2012, 우리나라 태풍의 특성에 따른 1990년대와 2000년대의 변화 비교 분석.
Asian Disaster Reduction Center, 2011, Natural disaster data book 2011.
IPCC, 2007, Climate Change. the Fourth Assessment Report (AR4) of IPCC
IPCC, 2011, 기후변화 적응을 위한 극한현상과 재해의 위험관리 특별보고서.
NOAA, 2012, 2011년 지구분석보고서.

참고사이트

기상청 (<http://www.kma.go.kr/>)
기후변화정보센터 (<http://www.climate.go.kr>)
미국에너지정보국 (<http://www.eia.gov/>)
미국항공우주국 (<http://www.nasa.gov/>)
미국해양대기청 (<http://www.noaa.gov/>)
소방방재청 (<http://www.nema.go.kr/>)
영국 해들리센터(Hadley Centre) (<http://www.metoffice.gov.uk/>)
일본기상청 (<http://www.jma.go.jp>)
IPCC (<http://www.ipcc.ch/>)