

기후변화와 국가별 총요소생산성의 관계[†]

최영준* · 박현용**

요약 : 본 연구는 기후변화가 국가의 총요소생산성에 미치는 영향을 분석하였다. 구체적으로 대표적 기후변수인 기온과 강수량이 국가의 총요소생산성에 미치는 영향을 분석하였다. 기존 연구와는 달리 본 연구는 최근 기후변화의 패턴인 기후 변동성이 높아지는 현상을 고려하기 위해 기후변수들의 평균값뿐만 아니라 최고값을 고려하여 분석하였다. 선형회귀분석 결과 평균기온의 상승은 생산성에 부정적 영향을 미치는 것으로 나타났으나 강수량의 평균적 증가는 긍정적 영향을 미치는 것으로 분석되었다. 하지만 최대 강수량은 평균 강수량과는 달리 총요소생산성을 증가시키는 것으로 분석되었다. 이러한 결과는 기존의 연구와 부합하는 것으로 나타났다. 하지만 패널자료를 분석한 결과 평균기온 이외에 다른 기후변수들(평균 강수량, 최대기온, 최대 강수량)은 유의미하게 영향을 주지 않는 것으로 나타났다. 또한 평균기온의 상승은 총요소생산성을 증가시키는 것으로 분석되었다. 이는 본 연구가 장기시계열 자료를 이용하여 국가들의 기후변화 적응능력에 의해 영향을 받은 것으로 분석된다.

주제어 : 기후변화, 기후 변수, 총요소생산성

JEL 분류 : C4

접수일(2015년 5월 21일), 수정일(2015년 6월 17일), 게재확정일(2015년 6월 23일)

[†] 본 논문은 2014년 정부재원으로 한국연구재단의 지원을 받았음(NRF-2013S1A5B6043772).

* 경희대학교 무역학과 교수, 제1저자(e-mail: yjchoi@khu.ac.kr)

** 경희대학교 무역연구소 연구원, 교신저자(e-mail: sakai2002@naver.com)

Relationship Between Climate Change and Total Factor Productivity

Young Jun Choi* and Hyun Yong Park**

ABSTRACT : This study is to analyze the effects of climate change on national total factor productivity. Changes in temperature and rainfalls which are the representative climate variables are used as main factors to measure climate change. Not only average values of the variables but those highest values are used as independent variables in the model, in order to consider the characteristic pattern of recent climate change, the high volatilities. The OLS results are corresponding to previous literature that average temperature has a negative relationship with productivities while average rainfalls have a positive relationship. However, the results of panel analysis contradict the argument of the negative relationship between average temperature and productivities since human beings can adapt the climate change. Therefore adaptation capacity is important to forecast the effects of climate changes on economies.

Keywords : Climate change, Climate variable, Total factor productivity

Received: May 21, 2015. Revised: June 17, 2015. Accepted: June 23, 2015.

* Department of International Trade of Kyung Hee University, Professor(e-mail: yjchoi@khu.ac.kr)

** Trade Research Institute of Kyung Hee University, Researcher(e-mail: sakai2002@naver.com)

I. 서론

삼천년 이상을 이어온 거대 문명인 마야 문명이 원인을 모르게 한 순간에 폐허가 되었다. 멸망의 원인에 대해서 연구가 진행되고 있으며 역사학자들의 다양한 주장이 제기되고 있다. 그 중에 흥미로운 주장이 갑작스런 기후변화가 마야 문명 멸망의 직접적 원인이라는 주장이 설득력을 얻고 있다. Hodell *et al.* (1995)은 유카탄 반도의 치칸카나브 호수의 지질구조를 분석한 결과 마야문명이 멸망했던 홀로세(Holocene)기에 이 지역에 극심한 가뭄이 계속되었고 마야문명은 이에 대응하지 못해 멸망했다는 주장이다.

이와 같이 기후 환경의 변화는 단순히 온도의 변화만을 의미하지 않으며 생명체의 존속과도 연관되어 매우 중요하다. 2014년 IPCC 보고서에 따르면 지구는 1900년 이후 지난 112년간(1901~2012년) 평균기온이 0.89°C(0.69~1.08°C) 상승하였다. 지구의 평균기온이 1.5~2°C 이상 상승한다면 세계 동식물의 20~30%가 멸종위협에 처할 수 있다고 보고했다(IPCC, 2007). 이러한 예상은 현실로 나타나고 있다. 벵골 만에 서식하는 벵골호랑이가 맹그로브 지대의 해수면 상승으로 위협을 받고 있으며, 킬리만자로 산악지역의 만년설이 녹은 물이 하천 주변에 서식하는 고유종의 생존을 위협하고 있다고 보고되고 있다(Kristin Dow, 2007).

IPCC(2007)는 지구 대부분의 지역의 평균기온과 최고 및 최저기온이 상승하고 있다고 분석하였다. 또한 기후변화는 전 지구적으로 발생하고 있지만 각 대륙별로 상승폭이 다르게 나타나고 있는 것으로 나타났다. 기온뿐만 아니라 호우, 가뭄, 태풍 및 한파 등 기후재해의 빈도와 강도도 점점 강해지면서 경제적으로도 영향을 미치고 있다. 기후 환경의 변화로 인해 재해가 발생하거나 하는 사회적 비용의 발생뿐만 아니라 산업의 구조와 대응 역량에 따라 국가의 생산성 및 경제성장에도 영향을 미치고 있다.

지금까지 경제성장은 생산요소의 양적 능력과 기술수준, 교육수준, 제도의 안정성 등 질적인 요소에 의해서 영향을 받는 것으로 여겨져 왔다. 하지만 한 나라의 생산성은 환경의 변화에 대해 경제가 어떻게 대응하는가에 따라 달려 있다. 따라서 기후 환경의 변화와 그에 대한 국가의 대응에 따라 한 나라의 생산성 및 경제성장을 결정

된다. 예를 들면 기온의 상승은 새로운 질병의 발생율이 높아질 뿐만 아니라 폭염은 열사병이나 폐혈관질환을 발생시켜 사망자를 증가시킨다. 따라서 기온의 상승은 노동자들의 생산성의 저하를 초래할 수 있어 산업의 생산성에 영향을 미치게 된다. 또한 강수량의 변화로 인한 자연재해의 발생은 물의 공급뿐만 아니라 사회간접자본 형성에 변화를 일으켜 투자에도 영향을 미치게 된다.

따라서 본 연구는 최근에 발생하고 있는 기후 변화가 각 국가의 생산성에 미치는 영향을 분석하려고 한다. 특히 진행되고 있는 기후변화에 적절히 대응하기 위하여 기후 변수들과 국가의 생산성에 미치는 영향을 분석하는데 목적을 두고 있다. 기온과 강수량의 변화가 국가의 생산성에 어떤 영향을 미치는지 분석하였다. 특히 최근 기후 변화의 패턴을 반영하기 위해 평균적 변동뿐만 아니라 극한의 변화 즉 기온과 강수량의 최고 값의 변화가 미치는 영향을 분석하였다. 이를 위해 본 연구는 전 세계 83개국의 21년간 기후 변화의 패널자료를 이용하여 분석하였다.

본 연구는 Dell *et al.* (2012)의 연구와 다르게 평균값이 아닌 기후 변수들의 최고 값의 변화가 생산성에 미치는 영향을 분석하였다는 것에 차별성이 있다. 기존의 연구들은 기후 변수들의 평균값의 변화를 통해 기후 패턴의 장기적 변화가 생산성에 미치는 영향만을 분석하였다는 한계를 가지고 있다. 하지만 본 연구는 기후 변화의 장기적 변화뿐만 아니라 최근 기후변화의 가장 중요한 특징인 단기적 변동이 생산성에 미치는 영향을 분석하였다는 것이 의미를 가지고 있다.

따라서 본 연구는 먼저 기후변화와 생산성과의 관계에 대한 선행연구들의 고찰을 통하여 기후변수와 생산성과의 연관성에 대해서 분석하였다. III장에서는 총요소생산성 모형을 이용하여 기후변화가 생산성에 미치는 영향을 분석하는 모형을 설정하였다. 그리고 IV장에서는 자료의 구성과 분석결과를 설명하였다. 마지막으로 본 연구를 요약하고 연구의 한계에 대해서 논의하였다.

II. 기후변수와 생산성의 관계

1. 기온과 생산성의 관계

기온이 생산성에 영향을 준다는 것은 분명한 증거는 인류 문명의 발원 지역이다. 인류의 4대 문명인 이집트문명, 티그리스-유브라데스문명, 인더스문명 그리고 황하 문명이 큰 강 유역에서 발생하였다는 것뿐만 아니라 기온이 온난한 지역에서 발생하고 있다는 것이다. 인류의 생산 활동이 농업에 기초하고 있었기에 물 공급과 기온은 중요한 요소이기 때문이다. 뿐만 아니라 온대 지역에 있어 인간이 생존하기에 적합한 환경이었기 때문이다. 또한 생산활동이 산업에 기초한 지금의 시대에도 대부분의 선진국들은 적도지역이 아닌 온대와 약하게 서늘한 지역에 위치하고 있는 현상은 기온과 생산성간에 관련이 있음을 보여주고 있다.

기온과 생산성의 관계에 대한 연구의 시작은 경제학자이자 철학자인 몽테스키외가 그 저서 ‘법의 정신(The spirit of Laws)’에서 “기온이 높으면 사람들이 나태하게 된다”라고 하면서 기온과 생산성간에는 부(-)의 관계가 있다는 것을 주장하였다. 경험적 연구로 Horowitz (2009)도 100개국에 대하여 기온과 생산성간의 관계에 대한 실증분석을 평균 기온과 국가별 1인당 총생산을 항목으로 분석한 결과 평균기온이 1°C 높을수록 1인당 총생산은 12퍼센트 감소한다고 발표하였다. 이러한 연구들은 기온이 높을수록 생산성이 저하된다는 주장에 의견을 같이하고 있다.

하지만 기온의 상승이 국가의 생산성에 미치는 영향은 국가의 적응능력에 따라 영향을 받는다고 주장하는 연구들이 있다. Mendelsohn and Dinar (1999)은 기온의 변화로 인해 농업 기반의 경제를 가지고 있는 국가의 생산성에 미치는 영향을 분석하였다. 기온의 상승은 농업의 생산성을 하락시킬 것으로 예상하고 있으나 이는 국가의 적응능력에 의해 영향을 받는다고 주장하였다. 또한 Dell *et al.* (2008)은 1950년부터 2003년까지의 전 세계 주요 국가의 연도별 평균 기온과 평균 강수량 데이터와 국가별 경제성장간의 관계를 분석하였다. 분석결과 기온의 변화가 생산성에 미치는 패턴은 저개발국과 선진국에서 다르게 나타나고 있다고 주장하였다. 저개발국의 경우 평균기온이 1°C 오르면 경제성장률도 1.1% 하락하는 반면, 선진국은 기온

과 경제성장률간에는 유의한 결과가 없다고 주장하였다. 이러한 결과는 Dell and Jones (2012)에 의해서 지지를 받았다. 개도국은 온도가 높으면 경제성장률이 떨어지는데 비해서 선진국은 온도와 경제성장간에 관련성이 없는 것으로 분석되었다.

다음으로 기온의 변화와 생산성이 어떻게 연관되어 있는지를 분석한 연구들이 있다. 먼저 사회적으로 기온의 상승은 한 국가의 정치, 경제, 사회, 문화 전 영역에 있어서 불확실성을 높여 생산성을 하락시킨다는 주장이 있다. 아프리카 지역에서 기온 상승과 가뭄으로 발생하는 물 부족으로 인해 종족간 분쟁이 높아지는 현상이 발생하고 있다. Dell and Jones and Olken (2012)과 Weitzman (2009) 또한 기온의 상승은 지속적인 상승과 함께 기후의 변동성이 높아지면서 사회적 불안이 증가하고 있다는 주장이 있다. Luber and McGeehin (2008)는 기온의 지속적인 상승과 함께 열파, 가뭄, 태풍, 한파 등 극한 기상현상의 빈도와 강도가 증가하면서 사회적 불안정성이 심화되고 있음을 설명하고 있다.

사회적으로 경로뿐만 아니라 기온 상승이 보건환경에 영향을 통해 생산성에 영향을 줄 수 있는 연구들이 있다. 평균기온과 극한 기온이 상승하면서 열사병, 심장병, 호흡기질환, 뇌혈관 질환 등 인간의 생명과 관련된 질환을 악화시켜 최종적으로 사망률을 높이고 있다는 연구가 있다(Rooney *et al.*, 1998; Huynen, 2001; Curriro *et al.*, 2001; Deschênes and Greenstone, 2007; Confalonieri *et al.*, 2007). Deschênes and Greenstone (2007)은 평균기온의 상승은 미국 연평균 사망률을 상승시키는 원인이 된다고 분석하였다. 이러한 기온의 변화로 사망률과 질병유발율의 증가는 생산성에 영향을 미치게 된다.

이와 같이, 기온의 상승은 생태환경의 변화를 일으켜 경제적 효과를 발생시키고 있다. 직접적으로 기온의 상승은 노동의 의욕을 저하시켜 생산성을 하락시킬 수 있다. 또한 기후변화로 인해 생태계의 변화로 인해 농업의 생산성의 저하 등을 통해서 생산성이 저하될 수 있다. 이러한 생산성의 변화는 국가의 기후적응능력과 연계되어 있음을 알 수 있다. 그리고 기후 변화는 사회적 변동성을 높여 불확실성을 높이면서 생산성을 하락시킬 수 있다. 또한 기후 변화는 사망률과 질병 유발율을 높여서 생산성을 하락시킬 연계성이 있다.

2. 강수량과 생산성의 관계

강수량과 생산성과의 관계는 아프리카의 발전에 관한 연구부문에서 주로 이루어졌다. Nicholson (1994)은 아프리카 국가들의 주요산업을 분석하면서 강수량과 농업의 관계를 분석하였다. 아프리카지역은 강수량이 적고 특히 관개시설이 매우 부족하기 때문에 강수량의 감소는 생산량이 감소하는 것으로 나타났다. Magadza (1996)는 강수량 감소는 농업의 생산뿐만 아니라 전략 공급의 차질을 일으켜 총생산이 하락한다고 분석하였다. 강수량의 변화는 지역의 내전을 통해서 아프리카지역의 생산성에 영향을 미친다. Barrios *et al.* (2010) 1970년대 이후 아시아 주요 국가들과 경제성장에서 큰 차이를 보이는 원인이 종족이나 종교 등으로 인한 내전 등 정치적 불안이 아니라 급격히 줄어든 강수량 때문이라고 설명하였다. 실제 아프리카지역은 1980년대 급격한 강수량 감소현상이 나타나고 있고, 정확히 그 기간 동안 아프리카 주요 국가의 1인당 총생산이 감소하였다. Dell and Jones (2012), Connel and Ndulu (2000), Bloom and Sachs (1998)는 강수량 부족으로 인해 아프리카에서는 식수확보를 위한 부족 간, 국가 간 갈등이 나타나고 이는 잦은 정권교체와 내전 등 정치사회의 불안정으로 이어지고 결국 이러한 불안정이 국가총생산 감소로 이어진다고 설명하였다.

또 강수량은 자연재해를 발생시켜 생산성에 영향을 미친다. Burton *et al.* (1993)은 전 세계 총생산에 영향을 미치는 재해의 약 90%가 홍수(40%), 허리케인(20%), 지진(15%), 가뭄(15%) 네 가지 요소에서 발생한다고 하였고, 기후변화로 인한 효과인 홍수, 허리케인, 가뭄이 전 세계적인 재해의 70%에 해당된다고 할 수 있다. 그 중에서 UNESCO (2009)의 연구에 의하면 1900년부터 2006년까지 세계적으로 피해가 심했던 1,000건의 재해를 조사한 결과 90% 이상이 기상재해 중 물과 관련한 재해였다. 특히 홍수와 가뭄 그리고 폭염에 의한 피해가 컸다고 분석하였다. 이성화·김정곤(2014)의 연구에서도 우리나라에서도 최근 10년간 폭염으로 2,127명이 사망하였고 유럽에서는 2003년 폭염으로 인해서 3만 5천명의 사망자가 발생하는 등 기상재해로 인한 피해가 점점 커지는 현상을 알 수 있다.

또한 강수량의 변화는 질병 유발을 통해서도 생산성에 영향을 미친다. Masahiro

et al. (2008), Auld Heather *et al.* (2010). Masahiro *et al.* (2008)은 방글라데시를 대상으로 1996년부터 2002년까지 콜레라 환자와 강수량 간의 관계를 분석한 결과 강수량이 평균 강수량보다 10mm 증가할 경우 약 14%의 콜레라 환자가 증가하고, 10mm 감소할 경우 약 24%의 환자가 증가하여 U자형의 관계가 있음을 밝혀내었다. 특히 강수량의 증가는 강의 수위가 높아지거나 범람으로 인해서 콜레라균에 감염될 확률이 높아지는 것으로 나타났다. 또한 강수량의 변화는 작업환경에 영향을 주어 제조업 및 서비스업의 노동생산성에 영향을 미친다. 온도와 습도는 야외작업장에서 근무하는 건설업 종사자나 냉방장치가 구비되지 않은 실내 제조업 종사자들의 노동생산성간에 직접적인 영향을 미친다. 국내외 많은 연구에서 높은 온도와 습도는 거의 모든 업무분야에 있어서 집중력을 떨어뜨리고 피로도를 높여 자주 휴식을 취하면서 노동생산성 하락을 가져온다고 분석하였다(Ramsey, 1983 ; Bernard and Pourmoghani, 1999; Kjellstrom *et al.*, 2008)는 체계적으로 온도와 습도를 결합한 WBGT(Wet Bulb Globe Temperature) 지수를 도출하여 2080년까지 11~27%의 노동생산성 감소가 예상된다고 분석하였다. 특히, 평균 기온의 상승보다도 26°C 이상의 한계 온도에 장시간 노출될 경우 노동생산성에 급격히 저하된다고 분석하였다.

3. 기후요소와 총요소생산성에 관한 선행연구

총요소생산성은 노동, 자본, 중간재 등 요소투입량 이외에 총생산에 미치는 요인을 의미하며, 동일한 생산요소의 투입에도 불구하고 생산성에 차이가 나는 이유로서 설명되지 않는 잔차(unexplained residual)를 의미한다(김영수, 2002). 총요소생산성은 생산함수의 상향(하향)이동에 영향을 미치는 모든 요인을 의미하며 이는 기술진보(하락)이외에도 다양한 비기술적 요인들을 포함한다. 지금까지 총요소생산성의 결정요인과 관련된 연구는 크게 연구개발(R&D) 등을 통한 지식의 축적, 인적자본의 축적, 정부 지출 그리고 대외개방 등 국제화 요소 등에 대한 연구가 다수 진행되었다. 총요소생산성을 결정하는 데 있어서 지식 축적의 역할이 중요하게 다루어져 왔다(Hall and Mairesse, 1995; Guellec and Potterie, 2004; Cameron *et al.*, 2005). 또 다른 요소로 정부지출과 대외개방도 등이 중요한 역할을 하는 것으로 연구되었다.

하지만 기후변화가 총요소생산성간의 관계에 대한 연구는 많지 않다. Nadiri (1970)는 총요소생산성 측정에 있어 기술적 변화나 사회 환경의 변화에 따라 총요소생산성 결정요인에 대한 재검토가 이루어져야 한다고 주장했다. 즉 기후변화는 인간의 생활환경에 직간접적인 경로를 통해 부정적인 영향을 미쳐 결국 1인당 생산성의 하락을 유발한다는 것이다. 구체적으로 기온, 강수량, 습도, 풍향 등 평균 및 한계 기후요소의 변화는 이상 기후현상(열파, 홍수, 태풍, 대규모 화재), 동식물 기후생태계의 변화, 해수면의 상승, 지구환경의 변화를 통해 결국 인간의 사망, 부상, 질병을 유발하고 식수부족으로 인한 세균 감염이나 말라리아, 뎅기열 등으로 인한 전염병의 확산, 농작물이나 가축의 피해로 인한 영향 그리고 인간의 영양결핍, 신진대사의 문제 그리고 정신질환을 유발한다고 설명하였다(McMichael *et al.*, 2006). 따라서 기후변화는 국가의 총요소생산성에 영향을 미칠 수 있는 중요한 요인이다.

III. 분석 모형 및 자료

기후변화는 인간의 행동에 영향을 미치는 중요한 환경변수이다. 본 연구는 국가의 총생산성을 결정하는 기후변화 요인을 분석하는 데 목적이 있다. 특히 기후변화의 패턴을 고려하여 기존 연구와 차별적으로 평균 자료뿐만 아니라 변동성의 크기가 미치는 영향을 분석하려고 한다. 구체적으로 본 연구는 기온과 강수량을 기후변화 요소로 하였고, 평균기온은 많은 선행연구와 마찬가지로 국가별 연평균기온으로 측정하였고 한계기온은 월간 최고기온을 설정하였다. 강수량의 경우 평균기후요소는 연평균강수량 지표를 사용하였고, 한계 강수량은 월간 최대강수량 데이터를 활용하였다.

1. 분석 모형

본 연구는 기후변화가 국가별 총요소생산성에 미치는 효과를 분석하기 위해 콥-더글라스 생산함수를 이용하였다. 콥-더글라스 생산함수에 의하면 국가별 총생산(Y)은 노동투입(L), 자본투입(K) 그리고 국가별 총요소생산성(A)의 함수이다.

$$Y = A \cdot L^\alpha \cdot K^{(1-\alpha)} \quad (1)$$

Y : 국가총생산(GDP)

A : 총요소생산성 (TFT : Total Factor Productivity)

L : 노동투입(총인구수 or 총종사자수)

K : 자본투입(총자본금 또는 자본투자액)

$$Y = F(K, L, TFT) \quad (2)$$

$$Y = (TFT) e^{\delta t} K^\alpha L^{1-\alpha} \quad (3)$$

δ : t 기의 생산성 진보율

α : 자본투입비중

국가별 총생산의 차이는 각 요소투입량과 각 국가의 생산시스템의 효율성에 따라 결정되며 본 연구에서는 자본, 노동 등 양적 투입변수는 일정하다고 상정하고, 총요소생산성의 변화가 총생산에 미치는 영향을 분석하고자 한다. 총요소생산성 결정요인을 메타 분석한 Isaksson (2007)에 의하면 (1)창조성과 습득능력(Creation, transmission and absorption of knowledge), (2)생산요소와 효율적 배분(Factor supply and efficient allocation), (3)경제개방과 환경(Institutions, integration and invariants), (4)경쟁과 사회분화(Competition, social dimension and Environment)가 중요한 요소로 분류되었다. 따라서 본 연구는 연구개발 변수와 인적자본변수를 통제변수로 설정하여 기후요소가 총요소생산성에 미치는 영향을 분석하려고 한다.

따라서 본 연구를 위한 분석 모형은 (식 4)와 (식 5)와 같다.

$$\text{모형 1: } TFT_t = F((RD_t/Hum_t), Clim_t^1) \quad (4)$$

$$\text{모형 2: } TFT_t = F((RD_t/Hum_t), Clim_t^1, Clim_t^2) \quad (5)$$

여기서,

RD_t / Hum_t : 통제변수 (t 기의 연구개발투자금액/ t 기의 인적자원투입량)

$Clim_t^1$: t 기의 평균기후 변수(평균 기온, 평균 강수량)

$Clim_t^2$: t 기의 극한 기후 변수(최고기온, 최대 강수량)

2. 분석 자료

본 연구는 총 83개 국가를 대상으로 1990년부터 2010년까지 총 21년의 기온과 강수량 자료를 분석하였다. 본 연구에서의 분석을 위하여 선택된 분석의 단위(unit of analysis)는 개별 국가차원이고, 분석을 위하여 시간의 영향과 개별 국가의 영향을 통제하기 위해서 패널 모형을 채택하였다. 데이터는 1990년부터 2010년까지 총 21년간의 정보가 수집되어 결과적으로 총 표본수는 1,743개이다. 기후변화변수와 관련된 자료는 Dell and Jones (2012)의 연구에서 같이 University of Delaware의 Center for Climate Research(<http://climate.geog.udel.edu>)의 Global Air Temperature and Precipitation: Regrided Monthly and Annual Climatologies Version 2.01을 이용하였다. 또한, 국가별 연구개발변수와 인적자본변수 그리고 국가별 총생산 자료는 World Bank(<http://www.worldbank.org/>)의 World Development Indicators 데이터를 이용하였다. 조사 대상 국가는 국제표준화기구(www.iso.org)에 국가별 위도와 경도를 등록한 104개 국가를 대상으로 하였고, 그 중에서 World Bank에 총생산, 연구개발 변수, 인적자본변수에 누락이 있는 21개 국가를 제외하고 총 83개 국가를 대상으로 분석하였다. 최종적으로 조사대상 국가는 북반구 국가가 50개, 남반구 국가가 33개 국가가 선정되었다.

〈표 1〉 조사대상 국가

순번	국가명	위도	경도	비고	순번	국가명	위도	경도	비고
1	Tonga	-20	-175		53	Angola	-12.5	18.5	제외
2	Samoa	-13.5833	-172.3333		54	Slovak Republic	48.6667	19.5	제외
3	Mexico	23	-102		55	Poland	52	20	
4	United States	38	-97		56	Hungary	47	20	
5	Canada	60	-95		57	Greece	39	22	
6	Costa Rica	10	-84		58	Lithuania	56	24	제외
7	Panama	9	-80		59	Botswana	-22	24	
8	Ecuador	-2	-77.5		60	South Africa	-29	24	
9	Bahamas, The	24.25	-76		61	Latvia	57	25	제외
10	Peru	-10	-76		62	Romania	46	25	
11	Colombia	4	-72		63	Bulgaria	43	25	제외
12	Chile	-30	-71		64	Congo, Dem. Rep.	0	25	
13	Puerto Rico	18.25	-66.5	제외	65	Finland	64	26	
14	Venezuela, RB	8	-66		66	Lesotho	-29.5	28.5	
15	Bolivia	-17	-65		67	Rwanda	-2	30	
16	Bermuda	32.3333	-64.75	제외	68	Burundi	-3.5	30	
17	Argentina	-34	-64		69	Zambia	-15	30	제외
18	St. Kitts and Nevis	17.3333	-62.75		70	Zimbabwe	-20	30	제외
19	Antigua and Barbuda	17.05	-61.8		71	Swaziland	-26.5	31.5	
20	Grenada	12.1167	-61.6667		72	Cyprus	35	33	
21	St. Lucia	13.8833	-61.1333		73	Malawi	-13.5	34	
22	Trinidad and Tobago	11	-61		74	Israel	31.5	34.75	
23	Barbados	13.1667	-59.5333		75	Turkey	39	35	
24	Paraguay	-23	-58		76	Tanzania	-6	35	
25	Suriname	4	-56		77	Mozambique	-18.25	35	
26	Uruguay	-33	-56		78	Lebanon	33.8333	35.8333	
27	Brazil	-10	-55		79	Comoros	-12.1667	44.25	
28	Iceland	65	-18		80	Saudi Arabia	25	45	
29	Mauritania	20	-12	제외	81	Madagascar	-20	47	
30	Ireland	53	-8		82	Azerbaijan	40.5	47.5	제외
31	Portugal	39.5	-8		83	Bahrain	26	50.55	
32	Spain	40	-4		84	Qatar	25.5	51.25	
33	United Kingdom	54	-2		85	United Arab Emirates	24	54	
34	France	46	2		86	Seychelles	-4.5833	55.6667	
35	Belgium	50.8333	4		87	Oman	21	57	제외
36	Netherlands	52.5	5.75		88	Mauritius	-20.2833	57.55	
37	Luxembourg	49.75	6.1667	제외	89	Kazakhstan	48	68	제외
38	Switzerland	47	8		90	India	20	77	
39	Germany	51	9		91	Russian Federation	60	100	제외
40	Norway	62	10		92	Singapore	1.3667	103.8	
41	Denmark	56	10		93	China	35	105	
42	Equatorial Guinea	2	10		94	Malaysia	2.5	112.5	
43	Gabon	-1	11.75		95	Macao SAR, China	22.1667	113.55	
44	Italy	42.8333	12.8333		96	Hong Kong SAR, China	22.25	114.1667	
45	Austria	47.3333	13.3333		97	Brunei Darussalam	4.5	114.6667	제외
46	Malta	35.8333	14.5833		98	Indonesia	-5	120	
47	Sweden	62	15		99	Korea, Rep.	37	127.5	
48	Slovenia	46	15	제외	100	Australia	-27	133	
49	Czech Republic	49.75	15.5	제외	101	Japan	36	138	
50	Croatia	45.1667	15.5	제외	102	Papua New Guinea	-6	147	
51	Libya	25	17	제외	103	New Zealand	-41	174	
52	Namibia	-22	17	제외	104	Fiji	-18	175	

출처 : 국제표준화기구(www.iso.org)

IV. 실증분석 결과

1. 변수의 기술통계

<표 2>는 패널자료의 요약통계량을 나타내고 있다. overall은 전체 표본자료의 변동을 의미하고 between은 국가간 변동으로 총 83개 국가의 21년에 걸친 시계열 평균 변동을 나타낸다. 그리고 within은 개별 국가의 21년간의 평균의 중심경향을 나타낸다. 이를 통해 시간에 다른 집단 간 변동과 집단 내에서 이질적 특성을 파악할 수 있다.

<표 2> 변수의 기초통계량

Variable		Mean	Std. Dev.	Min	Max
1인당 총생산 (US \$)	overall	13,251.53	1,4510.84	103	95,190
	between		13,101.65	156.2857	48,752.14
	within		6,393.889	-8,095.613	62,615.29
평균 기온 (°C)	overall	17.53603	10.03183	-39.9	29.2
	between		10.06588	-35.71905	27.95714
	within		.6920683	8.207458	20.79793
최고 기온 (°C)	overall	23.65915	.323542	-21.8	37.6
	between		7.295229	-16.96667	35.39524
	within		1.012386	13.06391	27.85439
최저 기온 (°C)	overall	11.08124	13.48588	-54.8	27.8
	between		13.49376	-49.0619	26.41905
	within		1.370367	-10.93781	17.57172
평균 강수량 (mm/month)	overall	102.2444	81.13841	1	484
	between		79.19909	6.333333	375.619
	within		19.56937	8.57774	268.292
최대 강수량 (mm/month)	overall	237.3236	168.748	8	1,111
	between		155.0198	30.04762	626.1905
	within		68.70698	-113.9621	780.9426
연 평균 강수량 (mm/year)	overall	1,224.762	963.6938	17	5,064
	between		943.2322	78.33333	4,508.429
	within		221.8858	98.572	2,487.524
1인당 자본 (US \$)	overall	2,069.915	4,275.455	0	45,553
	between		3,540.049	4.333333	23,230.1
	within		427.231	-12,040.18	33,927.25

(N=1,743, n=83, T=21)

83개 국가의 1인당 총생산은 평균 13,251달러(USD)이고, 최소 103달러(USD)에서 최대 95,190달러(USD)로 나타났다. 평균기온은 17.53℃로 최소 영하 39.9℃에서 최고 영상 29℃로 나타났다. 극한 기후변수 중 월평균 최고기온은 23.65℃이고 최소 영하 21.8℃에서 최대 영상 37.6℃로 나타났다. 월 평균 강수량은 102mm이고 국가별로 최소 1mm에서 484mm까지로 나타나 강수량의 편차가 크게 나타났다. 월간 최대강수량 평균은 237mm이고 연평균 강수량은 1,224mm였다. 1인당 자본스톡은 평균 2,069 달러(USD)로 나타났다. 최소 0달러(USD)에서 최대 45,553달러(USD)로 변수 중 조사대상 그룹간 변수의 편차가 가장 크게 나타났다. 전반적으로 기후변수와 통제변수 모두 그룹간 차이가 컸고, 그룹 내 차이는 상대적으로 크지 않은 형태이다.

2. 분석결과

1) 회귀분석 결과

본 연구는 두 가지 모형을 OLS와 GLS를 시행하였다. 첫 번째 모형은 평균 기후변수가 총요소생산성에 미치는 영향을 분석하였다. 그리고 두 번째 모형은 극한 기후변수를 포함시켜 분석하였다. 분석 결과는 <표 3>과 같다.

<표 3> 회귀분석 결과

Variable	모형 1 (평균 기후변수 모형)		모형 2 (평균 및 극한 기후변수)	
	Pooled OLS	GLS	Pooled OLS	GLS
1인당 자본량	1.636962***	1.872399***	1.549683***	1.713981***
평균 기온	-407.6818***	-496.7407***	-1,205.696***	-1,075.144***
연평균 강수량	-31.74259***	-17.06843***	35.2295***	15.13546***
최고 기온			1,157.22***	996.8497***
월평균 최대강수량			-25.14266***	-10.15188***
상수항	20,257.78	18889.16	6,173.019	4456.015
Prob> F	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
R-squared	0.3716		0.4348	
Adj R-squared	0.3705		0.4332	
Rood MSE	11513		10925	
Wald χ^2		2737.97		2137.63

legend: * $p < .1$, ** $p < .05$, *** $p < .01$

분석결과 기온의 상승은 중요소생산성에 부정적 영향을 미치는 것으로 나타났다. 평균기온의 상승은 두 모델에서 모두 (-) 값을 가져 평균기온이 오르면 중요소생산성이 감소하였다. 이는 기존의 연구들이 도출한 평균 기온의 상승은 생산성을 하락시킨다는 연구결과와 동일한 결과이다(Mendelsohn and Diner (1999), Dell and Jones (2012), Dell *et al.* (2008)). 하지만 최고기온의 상승은 중요소생산성을 개선시키는 것으로 나타났는데 이는 예상과 다른 결과이다. 이는 최고 기온의 상승으로 농업 등은 생산성이 개선될 수 있는 효과가 부정적인 효과를 상쇄하는 것으로 분석된다. 최고 기온의 상승은 냉방기기 수요 증가, 에너지 소비 증가 그리고 관광 레저 및 여가서비스 증가를 통해 전반적인 산업에 긍정적인 영향을 미칠 것이라는 선행 연구 결과를 뒷받침한다(Ceron and Dubois, 2005; Hamilton *et al.*, 2005; Deschênes and Greenstone, 2007).

두 번째로는 강수량은 중요소생산성에 미치는 효과도 평균과 극한변수가 서로 다른 것으로 나타났다. 평균기후변수만 사용할 때는 부정적인 효과가 나왔지만 최대 강수량을 고려한 모형에서는 평균기후는 긍정적 효과를 최대 강수량은 부정적 효과를 미치는 것으로 나타났다. 이는 강수량이 증가하면 물의 공급이 개선되어 전력의 공급 등이 개선되어 생산성이 제고되는 효과가 있지만, 최대 강수량이 증가하게 되면 위험요소가 증대되어 오히려 생산성에 부정적인 영향을 주기 때문인 것으로 분석된다.

2) 패널분석 결과

패널분석은 동일한 현상에 대해 특정 패널을 여러 시점에 걸쳐 지속적으로 반복 측정하여 연구하는 것이다. 패널분석은 시계열분석과 횡단면 분석을 동시에 수행하는 분석모형으로 실증분석에 있어서 매우 유용한 모형이다. 패널 회귀분석은 횡단면 분석에서 불가능한 개별특성효과(individual effect)와 시간특성효과(time effect)를 동시에 통제할 수 있기 때문에 단순 회귀분석 등 횡단면 분석에서 확인하기 어려운 다양한 상황을 포착할 수 있다. 즉 패널데이터로 구성이 되면 국별 중요소생산성과 관련하여 관찰되지 않는 이질성(unobserved heterogeneity)까지 통제할 수 있다. 합동 OLS분석과 GLS분석의 경우 패널데이터의 시계열 특성을 무시하고 횡단면데이터의 특성만 사용하고 있기 때문에 효율적 추정량(efficient estimator)을 얻지 못한

다. 반면 패널분석 중 고정효과모형은 패널 그룹내에서의 현상을 추정할 수 있고, 확률효과 모형은 패널 그룹간 그리고 패널 그룹내에서의 현상을 동시에 설명할 수 있다.

패널 선형회귀모형 분석에서 고정효과 모형과 확률효과 모형의 설정에 대해 결정할 필요가 있다. 즉 모형의 오차항 u_i 를 고정효과 또는 확률효과로 볼 것인지에 따라 추정방법이 달라지기 때문이다. 고정효과 모형은 상수항을 패널 개체별로 고정되어 있는 모수로 해석한다. 확률효과 모형에서는 상수항이 확률분포를 따르는 확률변수가 된다. 고정효과 모형인지 확률효과 모형인지 판단할 때 일차적으로 중요한 기준은 데이터에서 패널 개체의 특성을 의미하는 u_i 는 대한 추론이다. 패널 개체들이 모집단에서 무작위로 추출된 표본이라면 오차항 u_i 는 확률분포를 따른다고 할 수 있다. 그러나 패널 개체들이 특정 모집단 그 자체라면 오차항 u_i 는 확률분포를 따르다고 할 수 없다(민인식·최필선, 2012). 본 연구에서 패널들은 ISO 등록 국가 전체를 대상으로 하였기 때문에 오차항 u_i 를 고정효과로 간주하는 것이 보다 적절하다.

〈표 4〉 패널 분석 결과(고정효과모형)

	고정효과모형		확률효과 모형	
	모형 1(평균기후)	모형 2 (평균 및 극한 기후변수)	모형 1(평균기후)	모형 2 (평균 및 극한 기후변수)
1인당 자본량	1.251***	1.249***	1.291***	1.287****
평균 기온	658.709***	550.324***	-222.343**	-531.812****
평균 강수량	4.279	4.019	-5.878	-2.795
최고 기온		138.966		396.594***
최대 강수량		0.311		-0.707
상수항	-1325.557	-2756.157	15079.204***	10984.350***
Hausman test	Prob > chi2 = 0.0000		Prob > chi2 = 0.0000	

실제로 하우스만 검정(Hausman test)을 이용하여 추정 모형을 선택한 결과 값을 보면 p값이 0.01보다 작기 때문에(Prob > chi2 = 0.0000) 1% 유의수준에서 확률효과 모형의 추정량은 일치추정량이 아니며 고정효과 모형을 선택하는 것이 적절하다.

고정효과 모형 분석결과 평균기온만이 총요소생산성에 유의미한 영향을 미치는

것으로 나타났으며, 그 외 다른 기후변수들은 영향이 없는 것으로 나타났다. 또한 평균기온의 상승은 중요소생산성을 증가시키는 것으로 분석되었다. 이는 기존의 연구들에서 평균기온의 상승은 중요소생산성에 부정적으로 영향을 준다는 결과와는 상반된 결과이다.

이는 평균기온의 상승은 질병을 유발하는 등 중요소생산성에 부정적 영향을 미칠 수 있지만 이러한 효과는 국가의 기후변화 적응능력과도 연결되어 있다. Mendelsohn and Dinar (1999)의 연구에서도 기온의 상승은 농업 생산성에 부정적 영향을 줄 수 있지만 이는 국가의 적응능력에 영향을 받는다고 하였다. 또한 Dell *et al.* (2008)의 연구결과 개도국의 경우 기온의 상승이 생산성의 저하를 초래하였지만 선진국의 생산성에는 영향을 미치지 못하는 것으로 나타났다. 따라서 기온의 변화는 국가들의 적응 능력에 있다고 할 수 있다. 따라서 본 연구의 결과는 국가가 기후변화에 적응할 수 있는 능력에 의해 영향을 받았다고 할 수 있다. 본 연구는 장기 시계열 자료를 사용하고 있어 국가들이 기후변화에 적응할 수 있는 시간이 존재하는 상황으로 국가들이 기온 변화에 대해서는 적응하고 있는 것으로 분석된다. 그리고 평균강수량과 최고 강수량은 모두 중요소생산성에 유의미한 영향을 주지 못하는 것으로 분석되었다.

〈표 5〉 패널 분석 결과(고정효과모형)

변수	모형 1 (평균 기후변수)		모형 2 (평균 및 극한 기후변수)	
	계수	P 값	계수	P 값
1인당 자본량	1.250506	0.000	1.248739	0.000
평균 기온	658.7092	0.001	550.3237	0.020
평균 강수량	4.278983	0.542	4.018546	0.643
최고 기온			138.9663	0.390
최대 강수량			.3105955	0.900
상수항	-1325.557	0.712	2756.157	0.485
sigma_u	15931.03		15716.952	
sigma_e	5725.271		5727.4065	
rho	.8856196		.88277282	
Prob > F	0.0000		0.0000	
R-sq:	within	0.2373	0.2377	
	between	0.0057	0.0026	
	overall	0.0002	0.0012	

(N=1743, n=83, T=21)

본 연구에서 수행한 선형회귀분석과 패널분석의 결과를 종합적으로 분석하면 다음과 같다.

첫째로, 단순선형회귀 모형과 일반선형회귀 모형의 분석은 기존의 연구들과 일치하는 결과가 도출되었다. 즉 평균기온의 상승은 총생산성에 부정적인 영향을 미치고 있는 것으로 나타났다. 즉 기온의 상승은 국가의 총요소생산성에 부정적 영향을 미치는 것으로 나타났다. 또한 평균 강수량의 증가는 국가의 총요소생산성에 긍정적 영향을 미치는 것으로 나타났다. 하지만 극한 기후변수를 고려할 때 최대강수량의 증가는 총요소생산성에 부정적인 영향을 주는 것으로 나타났다.

둘째로, 패널분석의 결과는 기존 연구와는 차별적인 결과가 도출되었다. 평균기온만이 총요소생산성에 영향을 미치는 것으로 나타났으며 그 외의 기후변수들은 유의미한 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다. 특히 평균기온의 상승이 총요소생산성을 증대시키는 것으로 나타났다. 이는 기후변화는 환경적인 변수로 그의 효과는 국가의 적응능력에 따라 다르게 나타날 수 있다. 기후변화는 점진적으로 진행되고 있어 국가가 적응할 수 있는 시간이 있는 경우에는 기후변화의 효과는 다르게 나타날 수 있다. 따라서 본 연구의 결과는 기후변화의 방향도 중요하지만 기후변화에 대한 적응력도 매우 중요하다는 것을 의미한다.

V. 결론

기후는 인간의 삶의 환경에서 중요한 요소로 저출산, 고령화, 에너지수급, 식량안보, 수자원 등 미래 환경에 큰 영향을 미치는 요소이다. 또한 지구 환경의 변화로 인해 기후 변화는 진행되고 있으며 인간의 삶에도 영향을 미치고 있다. 특히 기후변화는 인간의 경제활동에도 영향을 주고 있다. 즉 기후변화로 인해 경작 작물이 변화되고 있으며, 생산방식의 변화가 있으며 또한 수자원의 공급과 발생하는 질병이 변화하고 있다. 이러한 변화는 국가들의 생산성에 영향을 미치게 되어 국가의 경제발전에도 영향을 미치게 될 것이다.

따라서 본 연구는 기후변화가 국가의 총요소생산성에 미치는 영향을 분석하였다. 구체적으로 본 연구는 대표적 기후변수인 기온과 강수량이 국가의 총요소생산성에

미치는 영향에 대해서 분석하였다. 특히 본 연구는 기존의 연구와는 차별적으로 기후 차이가 아니라 기후의 변동성이 높아지는 현상을 고려하기 위해 기후변수들의 평균값뿐만 아니라 최고값을 고려하였다.

전통적인 선형회귀분석을 시행한 결과 평균기온의 상승은 생산성에 부정적 영향을 주는 것으로 나타났다. 반면 평균 강수량의 증가는 중요소생산성을 증가시키는 효과가 있는 것으로 나타났다. 평균 강수량과는 다르게 최대 강수량은 중요소생산성에 부정적 영향을 주는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 기존의 연구결과와 부합하는 것이다.

하지만 시계열자료를 이용하여 패널분석을 시행한 결과는 기존의 연구결과와 차별되고 분석되었다. 장기 시계열자료를 활용하여 분석한 결과 평균 기온을 제외한 다른 변수들은 중요소생산성에 유의미한 영향을 주지 않는 것으로 분석되었다. 또한 평균 기온의 상승도 기존 연구와 다르게 중요소생산성에 긍정적 영향을 주는 것으로 나타났다. 이는 기후변화가 국가의 중요소생산성에 미치는 효과는 기후변화로 인한 경제활동의 전환에서 발생하는 부정적 효과뿐만 아니라 국가가 기후변화에 적응하는 효과의 크기에 따라 결정된다는 것을 알 수 있다. 본 연구에서는 장기 시계열을 분석하여 국가가 기후변화에 적응할 수 있어 기후변화가 발생하는 효과를 상쇄하는 것으로 분석된다. 따라서 본 연구에서는 평균기온의 상승이 중요소생산성에 긍정적 효과를 발생시키는 것으로 나타났다. 따라서 본 연구의 결과는 기후변화에 있어 국가의 적응력이 매우 중요한 요소라는 것을 의미한다.

본 연구를 통해 향후 기후변화와 국가의 적응력에 대한 연구의 필요성이 제기되었다. 따라서 향후 기후변화 적응력을 위한 정책연구가 필요하다. 기후변화 적응능력은 국가의 정책에 의해 영향을 받는 것으로 환경에 따른 적응정책의 개발이 필요하다. 특히 개발도상국의 녹색성장을 위해서는 기후변화뿐만 아니라 기후변화 적응능력 정책 개발이 필요하다.

[References]

1. 김영수, “지역산업의 생산성과 결정요인 분석: 지식기반 제조업을 중심으로”, 산업연구원, 2002, pp. 1~287.
2. 윤성탁, “지구온난화가 농업생산에 미치는 영향과 대응책”, 「한국국제농업개발학회지」, 제17권, 제3호, 2005, pp. 199~207.
3. 이성희·김정곤, “기후변화 적응을 위한 도시계획 방안 연구”, 「한국기후변화학회지」, 제5권, 제3호, 2014, pp. 257~266.
4. 황윤섭·최영준, “단계별 R&D가 총요소생산성에 미치는 영향에 관한 분석”, 「생산성논집」, 제23권, 제4호, 2009, pp. 279~300.
5. Auld, D., H. MacIver, and J. Klaassen, “Heavy Rainfall and Waterborne Disease Outbreaks: The walkerton Example.” *Journal of Toxicology and Environmental Health*, Vol. 67, 2010, pp. 20~22.
6. Bernard T. E., and M. Pourmoghani, “Prediction of workplace wet bulb globe temperature, Applied Occupational and Environmental Hygiene.” Vol. 14, No. 2, 1999, pp. 126~134.
7. Burton. I., R. W. Kates, and G. F. White, “The Environment as Hazard” (2nd edition), New York: Guilford press, 1993.
8. Frank C., C. Karlyn, S. Heiner, J. M. Samet, S. L. Zeger, L. Strug and J. A. Patz, “Temperature and Mortality in 11 Cities of the Eastern United States.” *American Journal of Epidemiology*, Vol. 155, No. 1, 2001, pp. 80~87.
9. Dell, M., B. F. Jones, and B. A. Olken, “Climate change and economic growth: Evidence from the last half century.” *NBER working paper*, 2012.
10. Deschênes, O., and M. Greenstone, Climate change, mortality, and adaptation: Evidence from annual fluctuations in weather in the US.” *NBER Working Paper* No. 13178, 2007.
11. Hodell, D. A., J. H. Curtis, and M. Brenner, “Possible role of climate in the collapse of Classic Maya civilization.” University of Florida, 1995.
12. Horowitz, J. K., “The Income-Temperature Relationship in a Cross-Section of Countries and its Implications for Predicting the Effects of Global Warming.” *Environ Resource*

- Economics*, Vol. 44, 2006, pp. 475~493.
13. Huynen, M. M., P. Martens, D. Schram, M. P. Weijnenberg, and A. E. Kunst, "The impact of heat waves and cold spells on mortality rates in the Dutch population." *Environ Health Perspect*, Vol. 109, No. 5, 2001, pp. 463~470.
 14. IPCC, "Climate change, 2007: Impact, Adaptation and Vulnerability." Cambridge, UK, Cambridge University Press, 2007.
 15. Isaksson, "Determinants of Total Factor Productivity: A literature Review." UNIDO, 2007.
 16. Kjellström T., R. S. Kovats, S. J. Lloyd, T. Holt and R. S. J. Tol, "The Direct Impact of Climate Change on Regional Labor Productivity." *Archives of Environmental and Occupational Health*, Vol. 64, No. 4, 2009, pp. 217~227.
 17. Magadza, C. H. D., "Climate change: some likely multiple impacts in southern Africa. In: Climate Change and World Food Security [Downing, T.E. (ed.)]. Springer-Verlag, Dordrecht, The Netherlands, 1996, pp. 449~483.
 18. Hashizume, M., B. Armstrong, S. Hajat, Y. Wagatsuma, A. S. G. Faruque, T. Hayashi and D. A. Sack, "The Effect of Rainfall on the incidence of Cholera in Bangladesh." *Epidemiology*, Vol. 19, No. 1, 2008, pp. 103~110.
 19. Mendelsohn, R. and A. Diner, Climate Change, Agriculture, and Developing Countries: Does Adaptation Matter? *World Bank Research Observer*, Vol. 14, No. 2, 1999, pp. 277~293.
 20. Nadiri M. Ishaq, "Some Approaches to the Theory and Measurement of Total Factor Productivity: A Survey." *Journal of Economic Literature*, Vol. 8, No. 4, 1970, pp. 1137~1177.
 21. Ramsey, J. D., Effects of workplace thermal conditions on safe working behavior, *Journal of Safety Research*, Vol. 14, 1983, pp. 105~114.
 22. Rooney, A. J., R. McMichael, S. Kovats, and M. P. Coleman, "Excess mortality in England and Wales, and in Greater London, during the 1995 heatwave." *Journal of Epidemiology and Community*, Vol. 52, No. 8, 1998, pp. 482~486.
 23. Weitzman, M., "On modeling and interpreting the economics of catastrophic climate change." *Review of Economics and Statistics*, Vol. 91, No. 1, 2009, pp. 1~19.