

한국 기후변동 패턴과 제조업 총요소생산성의 관계 분석[†]

최영준* · 박현용**

요약 : 본 연구는 기후변수들의 변동 특성이 한국 제조업의 총요소생산성에 미치는 영향을 분석하였다. 대표적인 기후변수인 기온, 강수량, 습도는 노동효율성에 부정적인 영향을 미칠 것으로 예상되므로 기온, 강수량, 습도의 변동특성이 한국 광역자치단체 제조업 총생산성에 미치는 영향을 분석하였다. 본 연구는 최근 기후변화로 기후 변동성이 높아지는 현상을 고려하기 위해 기후변수들의 평균값뿐만 아니라 최고값을 고려하여 분석하였다. 선형회귀분석 결과 선행연구 결과와 달리 기온과 습도가 제조업 생산성에 유의미한 영향을 미치지 않았다. 강수량의 평균적 증가는 부정적 영향을 미치는 것으로 분석되었다. 패널자료를 분석한 결과에서는 기온, 강수량 모두 제조업 총생산에 유의미한 영향을 주지 않는 것으로 나타났다. 반면 평균 습도의 상승은 제조업 총생산에 증가시키는 것으로 나타났다. 실내 작업이 많은 제조업의 경우 기후자체의 변화보다도 기업체들의 적응능력이 생산성 변화와 직접적인 관련이 있다. 한국 제조업의 경우 기온이나 습도의 변화가 급격하게 이루어지지 않고 있고, 냉난방 시스템 구축 등을 통해 기후변화에 잘 적응하고 있는 것으로 분석된다.

주제어 : 기후변동, 총요소생산성, 제조업, 적응능력

JEL 분류 : Q50, Q54

접수일(2016년 5월 4일), 수정일(2016년 6월 8일), 게재확정일(2016년 6월 8일)

[†] 이 연구는 2013년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임.
(NRF-2013S1A5B6043772)

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

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

Analysis on the Relationship Between Climatic Variation and Total Factor Productivity of Manufacture Industries of Korea

Young Jun Choi* and Hyun Yong Park**

ABSTRACT : This study is to analyze the effects of changing pattern of climate variables on total factor productivity of Korea manufacture industry. Changes in temperature, rainfalls and humidity which are the representative climate variables are used as main factors. 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 unlike to previous literature that temperature and humidity had no significant impact on manufacturing productivity. An increase in the amount of precipitation was analyzed that impact negatively impacted. The analysis of panel data showed that temperatures and precipitation all that does not significantly affect the manufacturing. While the increase of the average humidity is shown to increase the total productivity of manufacture industry. In Korea, adaptation capability is important in determining the effects of climate change on productivity of manufacture industry.

Keywords : Climate change, Climate variable, Total factor productivity, Manufacturing, Adaptation capability

Received: May 4, 2016. Revised: June 8, 2016. Accepted: June 8, 2016.

* Professor, Kyung Hee University, Dept. of Int'l business and trade(e-mail: yjchoi@khu.ac.kr)

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

I. 서론

2014년 IPCC 보고서에 따르면 지구는 1900년 이후 지난 112년간(1901~2012년) 평균기온이 0.89°C ($0.69\sim 1.08^{\circ}\text{C}$) 상승하였다. 평균기온의 상승은 농작물의 생육에 활성화시켜 농업 생산성은 증가할 것으로 예상된다. 우리나라에서 나타나는 기후변화 현상을 보면 기온은 올라가고 강수량은 증가하고 강설량은 줄어들어 겨울이 짧고 따뜻해지고 있는 반면 여름은 더 길어지고 더워지고 있다. 이러한 기후변화 현상은 농업부문을 보면 생산량을 증가시키는 효과도 있지만 동시에 병충해의 피해를 확산시키고 재배적지가 변화하여 부정적인 영향도 나타난다(심교문 외, 2013; 최철만·문성기, 2009; 이승호 외, 2008). 이러한 이유 때문에 IPCC도 기후변화로 인한 농업생산량의 변화추이를 판단하기는 쉽지 않다고 하였다(IPCC 2007). 제조업의 경우 평균 기온의 상승은 근로자의 근로의욕과 집중력을 떨어뜨려 생산의 효율성이 하락하는 것으로 예상된다. 그리고 기온이 일정 수준 이상으로 상승하면 질병 발생률이 높아지고 사망률도 높아져 생산성은 감소한다(최광용 외 2005; 이대근 외, 2007).

최근 기후변화가 산업별로 어떠한 영향을 미치는가에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다. 선행연구 결과들을 보면 기후변화로 인해서 가장 직접적인 영향을 받는 산업은 농림어업임을 알 수 있다. 하지만 기후변화의 영향에 대해서는 연구자마다 상이한 결과를 제시하였다. Mendelsohn and Diner (1999)는 기후변화가 농업에 미치는 영향에 관한 43개 선행연구에 대한 메타분석을 실시한 결과 개발도상국(중국, 아프리카, 남아시아, 라틴아메리카)의 경우 25개 연구에서 부정적인 영향을 6개 연구에서는 긍정적인 영향을 미치는 것으로 나타났다. 선진국(미국, 유럽, 일본, 호주 등)의 경우 9개 연구는 긍정적인 영향이 3개 연구에서는 부정적인 결과가 나타나는 것으로 분석하였다.

광업 및 제조업 등 야외 근로가 중심이 되는 산업은 기후변화로 인해서 노동생산성이 떨어져서 생산성 하락이 나타날 수 있다. 높은 기온이나 습도는 불쾌지수를 높여 근로자의 생산성을 저하시키고 야외 근로자의 경우 탈진을 예방하기 위해 자주 쉬어야 하는 등 생산 효율성이 악화될 수 있다(Easterly and Levine, 2003). 서비스업 중에서는 보건·의료서비스 산업의 경우에도 기온 상승으로 인해 바이러스에 의한 질환이 많아지고 폭염 등 극한 기온으로 인한 열사병이나 고령자의 사망률을 높이면서 의료 서비스 수요 자체

가 증가하면서 산업전체의 총생산이 증가할 수 있다. 자연자원을 바탕으로 하는 관광산업은 기후변화로 인해서 지역별로 상이한 영향을 받는 것으로 나타나고 있다. 예를 들면 알프스산맥의 겨울 레저스포츠는 기온이 상승하고 강설량이 줄어들면서 심각한 위기에 있으며 반면 북극이나 툰드라 지역은 지구온난화로 여행객은 증가하면서 관광레저산업이 활성화되고 있다(Agnew and Viner, 2001; Belle and Bramwell, 2005).

이처럼 기후변화는 기후변화의 정도와 특성에 따라 그리고 산업별 특성과 적응역량에 따라 산업별 총생산성에 영향을 미칠 것이다. 특히 최근 기후 변화의 패턴으로 나타나고 있는 기후변동성이 확대되는 것은 산업별 생산성에 영향을 줄 것으로 예상되어 본 연구는 기후요소의 평균적 변동뿐만 아니라 극한의 변화 즉 기온과 강수량의 평균값과 최고와 최저의 극한 값의 변화가 미치는 영향을 분석하였다. 기후변화는 평균 기온의 상승 이외에도 호우, 가뭄, 태풍 및 한파 등 기후재해의 빈도와 강도도 점점 강해지고 있다. 기후변화로 인해 재해가 발생하거나 하는 사회적 비용의 발생뿐만 아니라 산업의 구조와 대응 역량에 따라 국가의 생산성 및 경제성장에도 영향을 미치고 있다. 따라서 지금까지 나타난 기후변화 요소들이 개별 산업별로 어떠한 영향을 미치는지 분석하는 것이 필요하다.

우리나라의 경우 겨울이 짧아지고 따뜻해지면서 야외 근로일수가 늘어나고 근로여건도 개선되어 생산량이 증가할 수도 있다. 서비스업종에서도 근로자의 생산성 저하도 있지만, 추운 겨울이 짧아지면서 비수기가 짧아지면서 전체적인 산업규모가 증가할 수도 있다. 본 연구는 최근에 발생하고 있는 기후 변화가 우리나라 제조업 생산성에 미치는 영향을 분석하려고 한다. 그리고 본 연구는 Dell et al. (2012)의 연구와 다르게 평균값이 아닌 기후 변수들의 최고값의 변화가 제조업 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. 본 연구에서는 우리나라 16개 광역자치체의 제조업을 대상으로 기후변화가 광역자치체의 제조업 총요소 생산성에 어떠한 영향을 미쳤는가를 분석하였다. 분석자료는 우리나라 제조업에 심각한 충격을 주었던 IMF 외환위기 이후인 2000년부터 2012년까지 자료를 바탕으로 기후

변화와 제조업 총요소생산성간의 관계를 분석하였다. 이를 통해 향후 제조업 생산성을 높이기 위해서 어떠한 적응방안이 필요한지를 알 수 있을 것이다.

본 연구는 먼저 기후변화가 산업에 미치는 영향에 대한 선행연구들의 고찰을 통하여 기후변수와 제조업 생산성과의 연관성에 대해서 분석하였다. III장에서는 총요소생산성 모형을 이용하여 기후변화가 우리나라 제조업에 미치는 영향을 분석하는 모형을 설정하였다. 그리고 IV장에서는 자료의 구성과 분석결과를 설명하였다. 마지막으로 본 연구를 요약하고 연구의 한계에 대해서 논의하였다.

II. 기후변수와 산업생산성의 관계

1. 기후변수와 총요소생산성과의 관계

총요소생산성은 노동, 자본, 중간재 등 요소투입량 이외에 총생산에 미치는 요인을 의미하며, 동일한 생산요소의 투입에도 불구하고 생산성에 차이가 나는 이유를 의미하며 일반적으로 설명되지 않는 잔차(unexplained residual)라고 한다(김영수, 2002). 지금까지 총요소생산성 결정요인과 관련하여 크게 연구개발(R&D), 인적자본의 축적, 정부 지출 그리고 대외개방 등 국제화 요소 등에 대한 연구가 진행되었다(Hall and Mairesse, 1995).

기후환경과 총요소생산성에 관한 연구는 기후변화의 정도가 심화되면서 기후환경과 총요소생산성과의 관계에 대한 연구가 진행되었다. 최영준 외(2015a)는 기후변화 국가별 총요소생산성의 관계를 전세계 83개국의 자료를 활용하여 분석하였다. 분석결과 강수량은 총요소생산성과 정(+)의 관계가 있으나 평균기온은 부(-)의 관계가 있는 것으로 나타났다. 반면 기후변동의 크기의 경우는 강수량의 변동이 큰 경우 총요소생산성과(-)의 관계가 있으나 기온은 정(+)의 관계가 있는 것으로 나타났다. 또한 최영준 외 (2015b)는 한국의 광역지역 단위로 분석하였다. 분석결과 평균기온의 상승이 국가별 총요소생산성에 긍정적 영향을 미치나 다른 요소는 크게 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다. 기후환경의 변화가 국가별로 미치는 것과 국가의 지역에 미치는 영향이 서로 다를 수 있다. 이는 기후변화에 대한 적응능력과 관련성이 있는 것으로 분석된다. 즉 총요소생산

성은 환경의 변화에 대해 경제가 어떻게 대응하는가에 따라 달려 있다. 구체적으로 기온, 강수량, 습도의 평균 및 한계 기후의 변화는 동식물 생육환경의 변화, 해수면 상승과 지구 생태계 전반적인 변화를 통해 전염병의 확산, 농작물이나 가축의 피해 그리고 인간의 영양결핍, 신진대사의 문제를 통해 질병, 부상, 사망을 유발한다(McMichael et al., 2006). 따라서 기후변화는 국가의 중요소생산성에 영향을 미칠 수 있는 중요한 요인이다.

2. 기후변수와 농업 및 서비스업 생산성과의 관계

기후변수가 산업에 미치는 영향에 대해서는 농업과 서비스업을 중심으로 연구가 활발하게 이루어지고 있다. 국내는 물론 해외에서도 기후변화가 농업에 미치는 영향에 대한 연구가 가장 활발히 이루어지고 있다. 농업에 기반을 둔 인류의 4대 문명인 이집트문명, 티그리스-유브라테스문명, 인더스문명 그리고 황하문명이 기온이 따뜻하고 큰 강 유역에서 시작되었다는 것을 보더라도 농업과 기후변수는 밀접한 관련성이 있다는 것을 알 수 있다. 실제로 기후변화는 곡물의 생산량에 영향을 미쳐 농업생산성에 직간접적으로 영향을 끼치고 있다(Meza and Silva, 2009; 김대준 외, 2013). 기후변화가 우리나라 농업에 미치는 영향에 대한 연구를 보면 기온 상승에 따른 긍정적인 영향에 대한 연구가 많다(심교문 외, 2008; 정유란 외, 2006). 기온이 상승하면 겨울이 짧아지고 노지 재배 농작물의 생육기간이 길어져 전체적으로 생산량이 증가한다(최철만·문성기, 2009; 이승호 외, 2008). 사과와 같은 경우도 주산지가 1970년대에는 경북 및 경남지역에서 2005년엔 장수, 무주 등 고랭지 및 산간지역으로 확대되면서 국가 전체적으로 생산량이 확대되고 있다(한국농촌경제연구원, 2009). 하지만 이러한 기온 상승은 농업에 부정적인 영향을 주기도 한다. 월동해충의 종류와 수가 늘어나고 아열대성 병해충을 중심으로 농작물에 심각한 피해를 주는 현상이 나타나고 있다(심교문 외, 2008). 또한 우리나라에서도 기후변화로 인해 폭염, 폭우, 폭설, 한파 등 극한 기후의 빈도가 증가하면서 농업 피해 규모가 매년 증가하는 것으로 나타났다(윤성탁, 2005). 강원도 태백지역의 경우 기후변화로 인해 고랭지 지대에서 주로 재배되는 고랭지 무와 배추의 고온장해 가능성이 과거보다 높아졌고, 실제 2010년 배추 값 폭등은 2010년 8월 고랭지 평균기온이 평년보다 3.2°C 높아 배추의 결구에 아주 불리한 기상조건이 형성되었기 때문이라고 주장하였다(이덕

배·심교문, 2011). 농작물 생육에 장애를 가져오는 대표적인 기상이변은 여름철 저온으로 인한 냉해, 갑작스런 고온으로 인한 결실 불량, 따뜻한 겨울 다음 해의 병해충의 피해 그리고 여름 태풍으로 인한 낙과 피해라고 할 수 있다(심교문 외, 2013). 이처럼 농업부문에 있어서 기후변화는 긍정적인 효과와 부정적인 효과를 동시에 발생시키면서 산업 전체적으로 어떠한 영향을 미칠지는 명확하지 않다. 실제로 IPCC (2007) 보고서에서도 농업은 기후에 크게 영향을 받지만 기후의 다양한 요인들과 비 기후요소들이 복합적으로 영향을 미치기 때문에 기후변화로 인한 농업생산량의 변화추이를 판단하기는 쉽지 않다고 하였다.

서비스업 중에서는 보건·의료산업과 관광산업을 중심으로 기후변화가 서비스 산업과의 관계에 대한 연구가 다수 수행되었다. 먼저 보건·의료산업분야에서는 기후변화와 관련하여 발생한 열대야와 폭염이 여름철 사망률을 증가시키기에 따라 온열지수, 열지수, 인지온도, 불쾌지수 등과 같은 응용기상지수에 대한 많은 연구를 진행하였다(장유정 외, 2012). 관광산업의 경우 기후변화로 인해서 국가마다 긍정적인 효과와 부정적인 효과가 다를 것으로 예측되고 있다. 우리나라에서는 북한산국립공원과 태안해안국립공원을 대상으로 기온 및 강수량과 2003년 1월부터 204년 12월까지 일별 관광객수와의 관계를 분석한 결과 북한산국립공원은 유의미한 관련성이 없었지만 태안해안국립공원은 기온이 높을수록 관광객 수가 증가하는 현상이 나타나는 경향을 보임을 밝혔다. 또한 기온차이가 클 경우 관광객수가 줄어들었고, 강수량의 경우 음(-)의 상관관계를 보여 비가 오지 않거나 강수량이 적을수록 관광객이 많아지는 것으로 나타났다(전희진·이경미, 2006). 또한 울릉도 관광객을 분석한 결과 울릉도의 경우 강수량, 강수일수와 동해 중부상의 특보로 인해서 관광객의 감소현상이 나타나고 있다고 분석하였다(공상민 외, 2013). 지구 온난화가 진행되고 있는 현시점에서 기후는 관광자원인 동시에 관광객이 관광지를 선택하는데 있어서 중요한 고려요소가 되기도 한다. 여름이 길어지고 추운 겨울이 짧아지면서 레저스포츠를 즐길 수 있는 기간이 늘어나면서 전체적으로 국내 관광산업이 활성화되는 반면 스키 등 겨울스포츠를 주로 하는 강원도 일부 지역은 관광객이 줄어들고 있다.

3. 기후변수와 제조업 생산성과의 관계

농업과 서비스업에 비해서 기후변수와 제조업 생산성간의 관련성에 대한 연구는 상대적으로 그 수가 많지 않다. 이는 제조업의 경우 평균 기온이 상승하면서 야외 근로자의 경우 자주 휴식을 취해야 하므로 노동생산성은 떨어질 것이 당연하다고 생각하기 때문일 것이다. 경제학자이자 철학자인 몽테스키외는 ‘법의 정신(The spirit of Laws)’에서 “기온이 높으면 사람들이 나태하게 된다”라고 하면서 기온과 생산성간에는 부(-)의 관계가 있다고 주장하였다. 경험적 연구에서도 Horowitz (2009)도 100개국에 대하여 기온과 생산성간의 관계에 대한 실증분석을 평균 기온과 국가별 1인당 총생산을 항목으로 분석한 결과 평균기온이 1°C 높을수록 1인당 총생산은 12퍼센트나 감소한다고 발표하였다. 기온의 상승은 노동의 의욕을 저하시켜 생산성을 하락시킬 수 있다.

기후변수와 제조업의 생산성과의 관계에 대한 연구에서는 온도와 함께 습도가 중요한 변수가 되고 있다. 높은 온도와 습도는 냉방장치가 구비되지 않은 실내 제조업 종사들의 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(Bernard and Pourmoghani, 1999; Kjellstrom et al., 2008). 특히, 평균 기온의 상승보다도 26°C 이상의 한계 온도에 장시간 노출될 경우 노동생산성에 급격히 저하된다고 분석하였다. 이러한 연구결과를 바탕으로 체계적으로 온도와 습도를 결합한 WBGT (Wet Bulb Globe Temperature) 지수를 도출하여 기후변화로 인해서 2080년까지 11~27%의 노동생산성 감소가 예상된다고 분석하였다.

제조업을 비롯한 산업의 생산성과 관련하여 불쾌지수가 가장 큰 연구의 대상이다. 불쾌지수가 사람들과 각 분야 연구기관에서 많은 관심이 되는 이유는 기온변화와 대기 중 습기로 인한 더위가 호흡기 및 기관지 기능장애와 함께 불쾌감을 유발하여 인체에 상당한 영향을 미치고, 범죄 및 교통사고 발생률, 작업능률 등 여러 현상의 발생빈도 원인으로 작용하기 때문이다(Pell and Cobbe, 1999). 김해동(1999)은 여름철(6월~8월) 불쾌지수를 지역별로 분석한 결과 속초가 불쾌지수가 가장 낮고, 제주도가 가장 높은 것으로 나타났다. 특히 7~8월의 경우 내륙지역은 지역에 관계없이 불쾌지수가 대체로 높게 나타난다고 분석하였다. 변재영(2008)은 우리나라의 경우 내륙지방의 경우 고위도로 갈수록

불쾌지수는 감소하고, 동해안 지역에서 불쾌지수는 최소값을 나타내는 것으로 나타났다. 강철성(2010)은 여름철 불쾌지수가 높게 나타나는 이유를 위도, 고도 등 지형적인 이유와 함께 고온다습한 북태평양 고기압의 영향 때문이라고 분석하였다. 김금지 외(2011)는 폭염 발생빈도와 불쾌지수간의 관계를 살펴보았는데 폭염은 불쾌지수와 매우 높은 양(+)의 상관관계를 보였고, 상대습도도 양(+)의 관계를 보였다. 이처럼 기온 상승, 강수량 증가로 대변되는 우리나라 기후변화 현상이 개별 산업에 미치는 영향은 상이할 것으로 예상된다. 따라서 본 연구에서는 우리나라에서 발생하는 기후변화 현상이 우리나라 제조업의 생산성에 어떠한 영향을 미치는 지를 실증적으로 분석하였다.

III. 분석 모형 및 자료

기후변화는 인간의 행동에 영향을 미치고 이는 산업 생산성에 직접적인 영향을 미치는 중요한 환경변수이다. 본 연구는 한국 광역자치단체를 대상으로 지난 15년간에 걸친 기후변동이 광역자치단체의 제조업 생산성에 영향을 미치는 영향을 분석하는 데 목적이 있다. 특히 제조업 생산성에 영향을 미치는 중요한 변수인 기온, 강수량, 습도의 변동성의 크기가 미치는 영향을 분석하기 위해서 한계기후변수를 동시에 고려하였다. 기온의 경우 월간 평균 기온과 월간 최고기온과 최저기온을 지표로 사용하였고, 강수량의 경우 연평균강수량과 한계 강수량은 시간당 최대강수량 데이터를 활용하였다.

1. 분석 모형

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

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

Y : 지역총생산(GRDP)

A : 총요소생산성(TFT : Total Factor Productivity)

L : 노동투입(총인구 수 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

지역총생산의 차이는 지역별 요소투입량과 지역별 생산시스템의 효율성에 따라 결정된다. 본 연구에서는 자본, 노동 등 양적 투입변수는 일정하다고 상정하고, 총요소생산성의 변화가 총생산에 미치는 영향을 분석하고자 한다. 본 연구는 연구개발 변수와 인적자본변수를 통제변수로 설정하고 기후요소가 지역별 제조업 총요소생산성에 미치는 영향을 분석하였다.

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, 평균 습도)

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

2. 분석 자료

본 연구는 우리나라 16개 광역지자체를 대상으로 2000년부터 2012년까지 총 13년의

기온, 강수량 및 습도 자료를 분석하였다. 본 연구에서의 분석을 위하여 선택된 분석의 단위(unit of analysis)는 광역자치단체 차원이고, 분석을 위하여 시간의 영향과 개별 국가의 영향을 통제하기 위해서 패널 모형을 채택하였다. 데이터는 2000년부터 2012년까지 총 13년간의 정보가 수집되어 결과적으로 총 표본수는 208개이다. 기후변화변수와 관련된 자료는 기상청자료(<http://www.kma.go.kr/>)를 이용하였다. 또한, 지역별 연구개발투자, 생산활동인구 그리고 지역별 총생산 자료는 통계청(<http://www.kosis.kr/>) 지역계정의 경제활동별 지역내 총생산 자료를 이용하였다.

IV. 실증분석 결과

1. 변수의 기술통계

<표 1>은 패널자료의 요약통계량을 나타내고 있다. overall은 전체 표본자료의 변동을 의미하고 between은 광역지자체간 변동으로 총 16개 광역지자체의 13년에 걸친 시계열 평균 변동을 나타낸다. 그리고 within은 개별 광역지자체의 13년간 평균의 중심경향을 나타낸다. 이를 통해 시간에 다른 집단 간 변동과 집단 내에서 이질적 특성을 파악할 수 있다.

16개 광역지자체를 기준으로 1인당 제조업 총생산은 평균 1,193만원이었다. 최소 56만원에서 최대 7,400만원으로 나타났다. 지역별 차이보다 경기변동에 의한 차이가 큰 것으로 나타났다. 평균기온은 17.50°C로 광역지자체별로 평균기온은 최소 11°C에서 최고 16.5°C로 나타났다. 연 평균 강수량은 1,385mm이고 광역지자체별로 최소 761mm에서 2,328mm까지 나타나 강수량의 편차가 크게 나타났다. 평균 습도는 65%이고 광역지자체별로 최소 54%에서 81%까지로 나타났다. 극한 기후변수 중 월평균 최고기온은 18.35°C이고 최소 15.6°C에서 최대 20.5°C로 나타났다. 월평균 최저기온은 9.38°C이고 최소 5.5°C에서 최대 13.8°C로 나타났다. 시간당 최대 강수량 평균은 47mm이고 최소 20mm에서 최대 100mm까지 편차가 크게 나타났다. 생산활동인구 일인당 연구개발투자 규모는 평균 102만원으로 나타났고, 최소 8.8만원에서 최대 753만원으로 광역지자체간, 연도별로 차이가 크게 나타났다. 전반적으로 기후변수와 통제변수 모두 그룹내

차이는 크기 않았지만 그룹간 차이가 더 큰 것으로 나타났다.

〈표 1〉 변수의 기초통계량

| Variable | | Mean | Std. Dev. | Min | Max |
|--------------------------------|---------|--------|-----------|----------|----------|
| 1인당 제조업총생산 (천원) | overall | 11,936 | 12,269 | 564 | 74,712 |
| | between | | 11,427 | 903 | 47,158 |
| | within | | 5,247 | -3,882 | 39,489 |
| 평균 기온 (°C) | overall | 13.50 | 1.28 | 11 | 16.5 |
| | between | | 1.26 | 11.63 | 15.96 |
| | within | | .38 | 12.52 | 14.49 |
| 평균 강수량 (mm/연) | overall | 1,385 | 322 | 761 | 2,328 |
| | between | | 142 | 1,122 | 1,586 |
| | within | | 290 | 713 | 2,283 |
| 평균 습도 (%) | overall | 65.07 | 4.67 | 54 | 81 |
| | between | | 4.09 | 57.38462 | 75.07692 |
| | within | | 2.45 | 59.23077 | 72.23077 |
| 최고 기온 (°C) | overall | 18.36 | 1.01 | 15.6 | 20.5 |
| | between | | .91 | 16.75 | 19.56 |
| | within | | .48 | 17.21 | 19.60 |
| 최저 기온 (°C) | overall | 9.38 | 1.87 | 5.5 | 13.8 |
| | between | | 1.8 | 6.37 | 13.191 |
| | within | | .40 | 8.24 | 10.34 |
| 시간당 최대 강수량 (mm) | overall | 47.16 | 16.36 | 20.5 | 106 |
| | between | | 5.75 | 38.90 | 58.44 |
| | within | | 15.38 | 17.44 | 101.15 |
| 생산 활동 인구 1인당 연구개발투자 (천원) | overall | 1,023 | 1,247 | 88 | 7,537 |
| | between | | 1,157 | 228 | 4,912 |
| | within | | 540 | -764 | 3,647 |

(N=208, n=16, T=13)

2. 분석결과

1) 회귀분석 결과

본 연구는 두 가지 모형을 OLS를 통해 분석하였다. 첫 번째 모형은 평균 기후변수가 지역별 제조업 총요소생산성에 미치는 영향을 분석하였다. 그리고 두 번째 모형은 변동성의 효과를 분석하기 위해 극한 기후변수를 포함시켰다. 분석 결과는 <표 2>와 같다.

<표 2> 회귀분석 결과

| Variable | 모형 1 (평균 기후변수 모형) | 모형 2 (평균 및 극한 기후변수) |
|-------------------|---------------------|----------------------|
| | Pooled OLS | Pooled OLS |
| 1인당 연구개발투자(천원) | .4570589 (0.523) | .5781035 (0.429) |
| 평균 기온(°C) | 275.0252 (0.701) | -3755.785 (0.670) |
| 평균 강수량(mm/연) | -5.971474** | -3.414426 (0.228) |
| 평균 습도(%) | 176.8789 (0.350) | 255.0509 (0.189) |
| 최고 기온(°C) | | 4068.674 (0.325) |
| 최저 기온(°C) | | 1192.786 (0.796) |
| 시간당 최대 강수량(mm) | | -74.64328 (0.169) |
| 상수항 | 4517.41 (0.799) | -32192.1 (0.228) |
| Prob > F | 0.2139 | 0.0753 |
| R-squared | 0.0281 | 0.0616 |
| Adj R-squared | 0.0089 | 0.0287 |
| Rood MSE | 12215 | 12092 |

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

회귀분석결과 평균 강수량만이 지역별 제조업 총요소생산성에 부정적 영향을 미치는 것으로 나타났다. 평균 강수량이 음(-)의 값으로 5% 유의수준에서 유의성이 있는 것은

로 나타났다. 반면, 평균 기온, 평균습도, 최고 기온, 최저 기온은 두 모델에서 모두 제조업 총요소생산성에 유의미한 관련성을 미치지 않는 것으로 나타났다.

2) 패널분석 결과

패널분석은 동일한 현상에 대해 특정 패널을 여러 시점에 걸쳐 지속적으로 반복 측정하여 연구하는 것이다. 패널분석은 시계열분석과 횡단면 분석을 동시에 수행하는 분석 모형으로 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. 합동 OLS분석의 경우 시계열 특성을 무시하고 횡단면데이터의 특성만 사용하고 있기 때문에 효율적 추정량(efficient estimator)을 얻지 못한다. 반면 패널분석은 시계열 특성을 고려할 수 있고 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 따른다고 할 수 없다(민인식·최필선, 2012).

모형 1은 평균 기후변수의 추정치를 보여주고 있다. 평균기온의 경우 추정계수는 고정효과모형과 확률효과 모형에서 각각 -1327.822과 -1021.819로 음(-)의 값으로 나타났지만 유의하지 않았다. 평균 강수량에 대한 추정값도 음(-)의 관계는 있으나 유의하지 않았다. 평균 습도에 대한 추정값은 459.129(Fixed effect), 445.527(Random effect)로 1% 유의수준에서 유의미한 관련성이 나타났다. 제조업의 경우 평균 습도가 높아질수록 총요소생산성은 증가한다고 볼 수 있다.

〈표 3〉 패널 분석 결과

| 변수 | 고정효과모형 | | 확률효과 모형 | |
|-----------------------|----------------------|---------------------------|----------------------|---------------------------|
| | 모형 1 (평균 기후변수) | 모형 2 (평균 및 극한 기후변수) | 모형 1 (평균 기후변수) | 모형 2 (평균 및 극한 기후변수) |
| 1인당 연구개발투자 (천원) | 4.394*** | 4.231*** | 4.154*** | 4.014*** |
| 평균 기온 (°C) | -1327.822 | -7545.834 | -1021.819 | -7399.459 |
| 평균 강수량 (mm/연) | -1.253 | -1.985 | -1.174 | -1.916 |
| 평균 습도 (%) | 459.129*** | 449.608*** | 445.527*** | 436.344*** |
| 최고 기온 (°C) | | 1891.554 | | 1964.634 |
| 최저 기온 (°C) | | 4241.767 | | 4230.139 |
| 시간당 최대 강수량 (mm) | | 30.506 | | 29.050 |
| 상수항 | -2769.992 | -2756.157 | 7039.377 | 4886.539 |
| Hausman test | Prob > chi2 = 0.1169 | | Prob > chi2 = 0.4356 | |

모형 2는 한계 기후변수를 추가했을 때의 모형의 추정치를 보여주고 있다. 평균 기후변수의 추정치와 유사하게 평균 기온과 평균 강수량은 음(-) 관계는 있으나 유의하지 않았다. 반면 평균습도는 추정값이 $\beta=449.608(p < 0.01)$, $\beta=463.344(p < 0.01)$ 로 1% 유의수준에서 유의한 값이 도출되었다. 제조업의 경우 평균 습도가 증가하면 총생산이 증가하는 것으로 나타났다. 하우스만 검정(Hausman test)을 이용하여 추정 모형을 선택한 결과 값을 보면 p값이 0.01보다 크기 때문에(Prob > chi2 = 0.1116, 0.4356) 고정효과 모형의 추정량은 일치추정량이 아니며 확률효과 모형을 선택하는 것이 적절하다.

<표 4>는 하우스만 검정(Hausman test) 결과를 바탕으로 확률효과 모형에 의한 결과를 종합한 것이다. 평균기온과 평균 강수량은 음(-)의 방향성은 있으나 유의하지 않았고, 평균 습도의 추정치는 $\beta=449.608(p < 0.01)$, $\beta=463.344(p < 0.01)$ 로 1% 유의수준 하에

서 매우 높은 관계가 도출되었다. 평균 습도가 1% 상승하면 44만원 정도의 생산량의 증가가 예상된다.

본 연구 결과를 보면 기온의 상승은 제조업의 생산성에 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다. 이는 기온의 상승은 총요소생산성에 부정적 영향을 미칠 수 있지만 이러한 효과는 국가별 기후변화 적응능력에 따라 그 효과가 달라진다는 것을 알 수 있다. Mendelsohn and Dinar (1999)의 연구를 보면 기온의 상승은 산업의 생산성에 부정적 영향을 줄 수 있지만 이는 기후변화에 대한 국가별 적응능력에 따라 다른 영향을 받는다고 하였다. Dell et al. (2008)의 연구에서도 개도국의 경우 기온의 상승은 산업의 생산성 저하를 초래하였지만 선진국의 경우에는 유의미한 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다.

〈표 4〉 패널 분석 결과(확률효과모형)

| 변수 | 모형 1 (평균 기후변수) | | 모형 2 (평균 및 극한 기후변수) | |
|--------------------|----------------|-----------|---------------------|-----------|
| | 계수 | P 값 | 계수 | P 값 |
| 1인당 연구개발투자 (천원) | 4.154411 | 0.000 | 4.014277 | 0.000 |
| 평균 기온(°C) | -1021.819 | 0.217 | -7399.459 | 0.182 |
| 평균 강수량(mm/연) | -1.174348 | 0.317 | -1.915657 | 0.131 |
| 평균 습도(%) | 445.5265 | 0.001 | 436.3439 | 0.001 |
| 최고 기온(°C) | | | 1964.634 | 0.397 |
| 최저 기온(°C) | | | 4230.139 | 0.199 |
| 시간당 최대 강수량(mm) | | | 29.05036 | 0.182 |
| 상수항 | -5881.112 | 0.693 | 4886.539 | 0.798 |
| sigma_u | | 11870.617 | | 11645.226 |
| sigma_e | | 4663.2719 | | 4657.3598 |
| rho | | .96200911 | | .86210627 |
| Prob > F | | 0.0000 | | 0.0000 |
| R-sq: | within | 0.2824 | | 0.2958 |
| | between | 0.0029 | | 0.0132 |
| | overall | 0.0026 | | 0.0003 |

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

본 연구 결과를 보면 우리나라 제조업의 경우 기온이나 강수량의 변화가 부정적인 영향을 미칠 것으로 예상은 되지만 통계적으로 유의미한 수준은 아닌 것으로 나타났다. 제조업은 대부분 옥내 작업으로 온도, 습도 등 내부 환경이 작업자의 생산성 향상에 큰 영향을 미친다. 광역자치단체의 기업들의 경우 기온과 강수량의 변화에 적응할 수 있는 공조시스템이나 냉난방기기 등의 시설을 갖추고 있는 것으로 판단된다. 그리고 평균 습도가 70% 이상일 경우 사망률이 높아지므로 현장관리자의 특별한 관리가 요구되지만(손창백 등, 2005) 우리나라의 경우 평균습도가 65% 이하 수준으로 아직까지는 습도의 증가가 부정적인 영향 대신 긍정적인 영향을 미치는 것으로 분석된다. 실내 근로자의 경우 적정 습도의 유지가 작업 환경을 개선시키는 효과가 있기 때문으로 분석된다.

본 연구에서 수행한 선형회귀분석과 패널분석의 결과를 종합적으로 분석하면 다음과 같다.

첫째로, 단순선형회귀 모형과 일반선형회귀 모형의 분석 결과를 보면 우리나라 제조업의 경우 평균 기온, 평균 습도, 최고 기온, 최저 기온 모두 생산성에 유의미한 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다. 다만 평균 강수량의 증가는 5% 유의수준에서 총 생산에 부정적인 영향이 있는 것으로 나타났다.

둘째로, 패널분석의 결과를 보면 우리나라 제조업의 경우 기온이나 강수량의 변화가 부정적인 영향을 미칠 것으로 예상은 되지만 통계적으로 유의미한 수준은 아닌 것으로 나타났다. 평균 습도 1% 상승하면 44만원 정도의 제조업 생산량의 증가가 예상된다. 현재 우리나라 평균 습도는 65% 이하 수준으로 아직까지는 습도의 증가가 부정적인 영향 대신 긍정적인 영향을 미치는 것으로 분석된다. 이는 기후변화는 환경적인 변수로 그의 효과는 국가별 적응능력에 따라 그 효과가 다르게 나타난다는 것이다. 기후변화는 점진적으로 진행되므로 산업별로 적응할 수 있는 시간이 있는 경우 기후변화의 효과는 다르게 나타날 수 있다. 따라서 기후변화 그 자체의 효과도 중요하지만 기후변화에 대한 적응이 더욱 중요하다는 것을 알 수 있다.

V. 결론

기후환경은 인간의 경제활동에 영향을 미친다. 기후환경의 변화로 인해 농작물의 생

산량이 변화하고, 근로자의 업무효율에도 영향을 미친다. 이러한 변화는 각 산업별로 상이한 효과를 보이고 무엇보다도 산업별 기후변동에 대한 적응능력이 산업별 총생산에 영향을 미친다는 것이다.

따라서 본 연구는 기후변수의 변동성이 한국 제조업 총요소생산성에 미치는 영향을 분석하였다. 제조업 생산성에 영향을 미치는 대표적 기후변수인 기온, 습도, 강수량의 변동성이 한국 광역자치단체 제조업 총생산에 미치는 영향에 대해서 분석하였다. 이를 위해 기존 연구와는 달리 절대적인 기후 차이뿐만 아니라 기후의 변동성을 고려하여 기후변수들의 평균값뿐만 아니라 최고값을 고려하였다.

선행연구 결과를 보면 기온의 상승, 강수량 증가 그리고 습도의 상승은 불쾌지수를 높여 노동생산성을 떨어뜨려 제조업 총요소생산성에 부정적인 영향을 미치는 것으로 나타났다. 본 연구 결과를 보면 먼저 전통적인 선형회귀분석을 시행한 결과 평균 기온, 평균 습도, 극한 기온 등은 제조업 생산성에 유의미한 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다. 반면 평균 강수량의 증가는 제조업의 생산성을 감소시키는 효과가 있는 것으로 나타났다.

하지만 패널분석을 시행한 결과에서도 평균 기온, 평균 강수량, 최고 기온, 최저 기온 모두 제조업 총요소생산성에 유의미한 영향을 주지 않는 것으로 분석되었다. 또한 평균 습도의 상승도 제조업 총요소생산에 긍정적 영향을 주는 것으로 나타났다. 이는 기후변화 자체보다도 기업체들이 기후변화에 어떻게 적응하는가에 따라서 그 부정적인 효과를 상쇄할 수 있음을 알 수 있다. 우리나라 제조업의 경우 공조시스템이나 냉난방 기기의 보급을 통해 기온, 강수량, 습도의 변화에 잘 적응하고 있는 것으로 판단된다.

본 연구를 통해 향후 한국 제조업의 기후변화 적응역량에 대한 연구의 필요성이 제기되었다. 기후변화는 그 자체의 영향보다도 산업별, 기업체별 적응능력이 생산성에 영향을 미치기 때문이다. 특히 기후변화 적응능력이 취약한 개발도상국의 경우 기후변화가 제조업 생산성의 약화로 이어질 수 있다는 점에서 기후변화 적응능력을 위한 노력이 필요하다.

[References]

- 김영수, “지역산업의 생산성과 결정요인 분석: 지식기반 제조업을 중심으로”, 산업연구원, 2002, pp. 1~287.
- 심교문·김건엽·노기안·정현철·이덕배, “기후변화에 따른 농업기후지수의 평가”, 한국농림기상학회지, 제10권 제4호, 2008, pp. 113~120.
- 윤성탁, “지구온난화가 농업생산에 미치는 영향과 대응책”, 「한국국제농업개발학회지」, 제17권 제3호, 2005, pp. 199~207.
- _____, “지구온난화가 농업생산에 미치는 영향과 대응책”, 한국국제농업개발학회, 제17권 제3호, 2005, pp. 199~207.
- 이성희·김정곤, “기후변화 적응을 위한 도시계획 방안 연구”, 「한국기후변화학회지, 제5권 제3호, 2014, pp. 257~266.
- 이승호·허인혜·이경미·김선영·이윤성·권원태, “기후변화가 농업생태에 미치는 영향”, 대한지리학회지, 제43권 제1호, 2008, pp. 20~35.
- 최영준·박현용, “기후변화와 국가별 총요소생산성의 관계”, 자원환경경제연구, 제24권 2호, 2015, pp. 343~363.
- _____, “기후환경변수와 한국의 지역별 총요소생산성의연관성에 관한 연구”, 생산성논집, 제29권 2호, 2015, pp. 121~141.
- 최철만·문성기, “시계열 분석을 이용한 부산지역 계절식물의 개화시기 변화”, 한국환경과학회지, 제18권 제4호, 2009, pp. 369~374.
- 황윤섭·최영준, “단계별 R&D가 총요소생산성에 미치는 영향에 관한 분석”, 「생산성논집 제23권 제4호, 2009, pp. 279~300.
- Agnew M. and D. Viner, “Potential Impacts of Climate Change on International Tourism,” *Journal of Travel Research*, Vol. 3, No. 1, 2001, pp. 37~60.
- Auld, D. H., Maclver and J. Klaassen, “Heavy Rainfall and Waterborne Disease Outbreaks: The Walkerton Example,” *Journal of Toxicology and Environmental Health*, Vol. 67, 2010, pp. 20~22.
- Belle N. and B. Bramwell, “Climate Change and Small Island Tourism: Policy Maker and Industry Perspectives in Barbados,” *Journal of Travel Research*, Vol. 44, No. 1, 2005, pp. 32~41.

- 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.
- Burton. I., R. W. Kates, and G. F. White, "The Environment as Hazard" (2nd edition), New York: Guilford press, 1993.
- Curriero Frank, C. Karlyn, S. Heiner, Jonathan M. Samet, Scott L. Zeger, Lisa Strug and Jonathan 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.
- Dell, M., B. F. Jones, and B. A. Olken, "Climate Change and Economic Growth: Evidence From the Last Half Century," *NBER working paper*, 2012.
- 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.
- Easterly, W. and R. Levine, "Tropics, Germs, and Crops: How Endowments Influence Economic Development," *Journal of Monetary Economics*, Vol. 50, No. 1, 2003, pp. 3~39.
- Hall, B. H. and J. Mairesse, "Exploring the Relationship Between R&D and Productivity in French Manufacturing Firms," *Journal of Econometrics*, Vol. 65, No. 1, 1995, pp. 263 ~293.
- Hodell, D. A., J. H. Curtis, and M. Brenner, "Possible Role of Climate in the Collapse of Classic Maya Civilization," *University of Florida*, 1995.
- 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.
- Huynen, M. M., P. Martens, D. Schram, M. P. Weijenberg, 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.
- IPCC, "Climate Change, 2007: Impact, Adaptation and Vulnerability," Cambridge, UK, Cambridge University Press, 2007.
- Isaksson, "Determinants of Total Factor Productivity: A literature Review," UNIDO, 2007.
- Kjellstrom, T., Kovas R. Sari, Lloyd, Simon J., Holt Tom, Tol, and S. J. Richard, "The Direct Impact of Climate Change on Regional Labor Productivity," *Archives of Environmental and Occupational Health*, Vol. 64, No. 4, 2009, pp. 217~227.

- 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.
- Masahiro, Hashizume, Ben, Armstrong, Hajat Shakoor, Wagatsuma Yukiko, Faruque Abu S.G., and Hayashi Taiichi, Sack David A., "The Effect of Rainfall on the Incidence of Cholera in Bangladesh." *Epidemiology*, Vol. 19, No. 1, 2008, pp. 103~110.
- Mendelsohn Robert and Dinar Ariel, "Climate Change, Agriculture, and Developing Countries: Does Adaptation Matter?," *World Bank Research Observer*, Vol. 14, No. 2, 1999, pp. 277~293.
- 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.
- Ramsey, J. D., "Effects of Workplace Thermal Conditions on Safe Working Behavior," *Journal of Safety Research*, Vol. 14, 1983, pp. 105~114.
- Rooney, A. J., McMichael R., 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.
- 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.