

이상기후가 실물경제에 미치는 영향*

정 원 석** · 이 솔 빈*** · 조 은 정****

논문 초록 본 연구에서는 기온, 강수량 등의 이상기후 현상을 나타내는 우리나라 기후위험 지수(Climate Risk Index; 이하 CRI)를 제시함으로써 이상기후 현상이 국내 실물 경제에 미치는 영향에 대해 분석하였다. 우리나라 CRI의 특징을 분석한 결과 전국 및 지역별 CRI가 시간에 따라 상승하는 추세를 보이는 가운데 시간이 지날수록 지역별 편차가 확대되는 경향을 나타냈다. 이는 지구온난화 및 환경오염 등의 영향으로 이상기후의 빈도 및 강도가 높아졌기 때문으로 보인다. 이상기후 현상의 경우 최근들어 경제에 미친 영향력 및 지속성이 기준기간 대비 커지는 비대칭성이 관찰되었다. 또한 CRI를 활용하여 필립스 곡선을 추정해보면 이상기후 현상이 인플레이션에 미치는 영향력은 2010년 이후 대부분 품목에서 통계적으로 유의하게 나타났다.

핵심 주제어: 이상기후, 기후변화, 비대칭성

경제학문헌목록 주제분류: Q, D5, C5

투고 일자: 2024. 11. 6. 심사 및 수정 일자: 2024. 12. 18. 게재 확정 일자: 2025. 2. 14.

* 본 논문은 한국은행 BOK 이슈노트 2024-23호 '이상기후가 실물경제에 미치는 영향'중 일부를 수정, 보완한 연구임을 밝힙니다. 본 논문은 한국은행의 공식견해가 아닌 집필자 개인의 견해이므로 본 논문의 내용을 보도하거나 인용하는 경우에는 집필자 명을 반드시 명시해 주시기 바랍니다. 아울러 본 논문 작성에 많은 도움을 주신 채희권 (전)전북본부장님, 이승철 전북기획조사팀장님, 익명의 두 분 심사위원께 감사드립니다. 본 논문에 남아 있을 수 있는 오류는 전적으로 저자의 책임임을 밝힙니다.

** 제1저자, 한국은행 통화정책국 정책제도팀 과장, e-mail: wschung@bok.or.kr

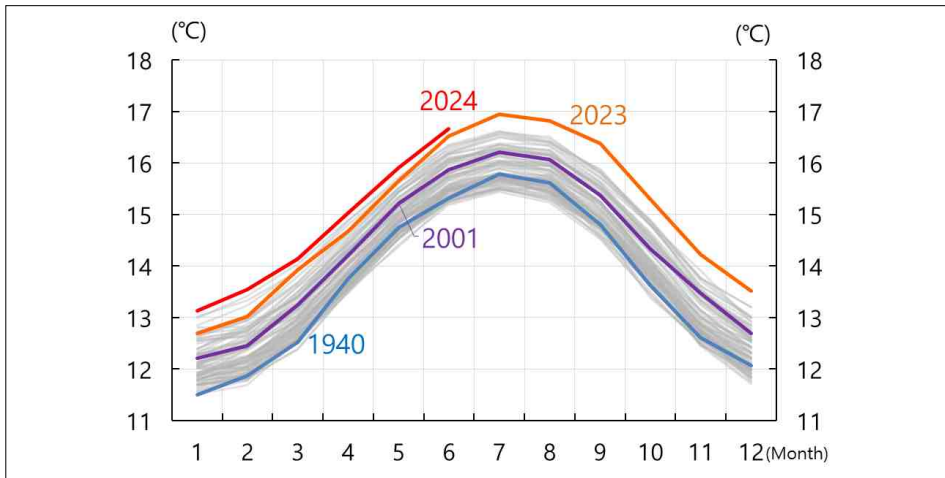
*** 공동저자, 한국은행 전북본부 기획조사팀 조사역, e-mail: solbins@bok.or.kr

**** 공동저자, 한국은행 금융안정국 은행분석팀 과장, e-mail: eunjeong@bok.or.kr

I. 서 론

최근 국내에서 이상기후 현상이 빈번하게 나타나고 있는 가운데 이와 연관된 기후변화에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다. 실제로 최근 글로벌 평균 기온이 지속적으로 상승하는 가운데 2023년~2024년의 평균 기온이 과거대비 매우 높은 편이었다(〈Figure 1 참조〉).

〈Figure 1〉 Trends in global average temperature change¹⁾²⁾



Note: 1) Jan 1940 ~ Jun 2024.

2) The gray line represents years other than 1940, 2001, and 2023 ~ 2024.

Source: Climate Reanalyzer.

Bilal and Kanzig (2024)는 글로벌 평균기온 상승 충격이 각 지역의 이상기후 증가에 큰 영향을 미친 것으로 분석했는데, 이 높아진 글로벌 평균기온이 국내 이상기후에도 큰 영향을 미친 것으로 보인다. 구체적으로 Bilal and Kanzig (2024)는 Hamilton (2018)에 의해 제시된 필터링 기법을 활용하여 글로벌 기온 충격을 식별한 후 Jorda (2005)의 국소투영법(Local Projection)을 통해 각 지역의 이상기후에 미친 충격반응 분석을 시도했다. 이와 유사하게 본고에서도 Bilal and Kanzig (2024)의 방법론을 활용하여 국내 이상기후에 미친 영향력을 간단히 분석해보았는데, 먼저 글로벌 평균기온 상승 충격은 식 (1)을 통해 식별했다.

$$\widehat{T_{t+h}^{shock}} = T_{t+h} - (\hat{\alpha} + \hat{\beta}_1 T_t + \dots + \hat{\beta}_{p+1} T_{t+p}) \quad (1)$$

식 (1)에서 $\widehat{T_t^{shock}}$ 는 글로벌 평균기온 충격, T_t 는 글로벌 평균기온, h 는 t 시점에서 떨어진 기간, p 는 회귀모형에서의 시차를 의미한다. Hamilton (2018)의 필터링 기법은 h 와 p 의 값 설정이 중요한데, 글로벌 평균기온을 연간 데이터로 사용했기 때문에 Bilal and Kanzig (2024)와 동일하게 $h = 2$, $p = 2$ 로 설정하였다. 자료는 Berkeley Earth Surface Temperature Database의 1954년~2023년 글로벌 평균기온을 활용하였고, <Figure 2(a)>는 글로벌 평균기온 충격을 식별한 결과를 보여준다.

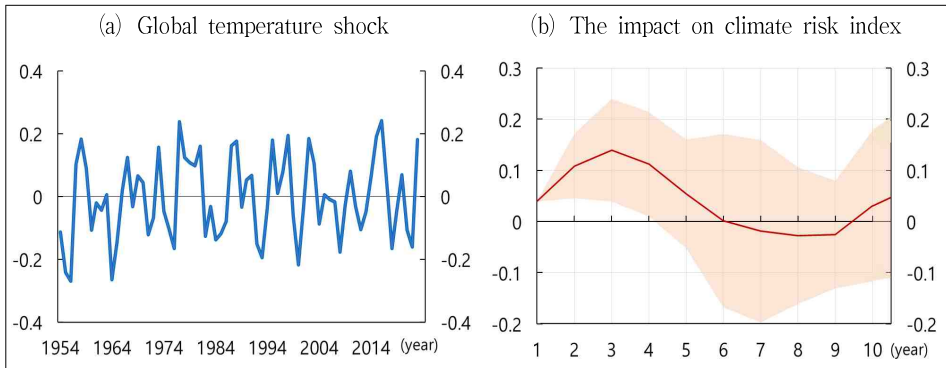
이 글로벌 평균기온 충격을 활용하여 식 (2)와 같이 회귀식을 만들고 이를 이용해 국소투영법을 실시하여 충격반응분석을 해보았다.

$$CRI_{t+h} = \alpha + \theta_h T_t^{shock} + \epsilon_{t+h} \quad (2)$$

식 (2)에서 CRI_t 는 기후위험지수, T_t^{shock} 는 글로벌 평균기온 충격, h 는 t 시점에서 떨어진 기간을 의미한다. 여기서 국내 이상기후 현상을 나타내는 데이터가 필요한데, 본고에서 개발한 기후위험지수(Climate Risk Index; 이하 CRI)¹⁾를 사용하였다. 이 CRI는 월간 데이터이긴 하지만 연간 데이터로 변경한 이후 1980년~2023년까지의 CRI와 글로벌 평균기온 충격(T_t^{shock})을 활용하여 국소투영법을 실시했다. θ_h 는 t 시점의 글로벌 평균기온 충격이 $t+h$ 시점의 이상기후에 미치는 영향을 나타내는 계수로 이를 활용하여 충격반응함수를 나타내면 <Figure 2(b)>와 같다. 충격반응분석 결과 글로벌 평균기온 상승 충격이 국내 이상기후 증가에 4년 정도 통계적으로 유의한 영향력을 미치는 것으로 나타나 최근 높아진 글로벌 평균기온이 국내의 이상기후 현상 확대에도 큰 영향을 미치고 있음을 알 수 있었다.

1) CRI 추정에 대한 자세한 설명은 제Ⅲ장에서 다루었고, CRI는 기후위험지수이지만 이상기후 현상을 나타낼 수 있는 지표이기 때문에 본고에서는 이상기후지수로 사용되기도 하였다.

〈Figure 2〉 Global temperature shock and the impact on climate risk index



Source: Authors' calculation.

해외는 1970년대부터 경제학적 모형을 통해 기후변화 영향에 대한 연구가 시작²⁾ 되었지만, 국내의 경우 최근들어 기후변화가 경제에 미치는 영향에 대한 논의가 시작되어 관련 연구가 부족한 실정이다. 특히 이상기후가 경제에 미친 영향을 파악하기 위해서는 이상기후 현상을 나타내는 지표가 필요한데, 우리나라의 경우 현재까지 저자들이 이는 범위 내에서 경제학적 분석을 위한 이상기후 지표가 산출된 적이 없다.

따라서 본고에서는 ACI(Actuaries Climate Index)³⁾의 방법론을 참고하여 우리나라 이상기후 지표를 개발하고, 이를 통해 이상기후가 실물경제에 미치는 영향에 대한 분석한 이후 시사점을 도출하였다. 또한 최근들어 이상기후 현상이 심화되었는데 이로 인해 실물경제에 미치는 효과가 과거에 비해 커졌는지를 점검해보았다.

본고의 구성은 다음과 같다. 제Ⅱ장에서는 기후변화에 대한 국내외 선행연구를 살펴본 다음, 제Ⅲ장에서는 본고에서 개발한 우리나라 기후위험지수(CRI)를 도출하고 그 지수의 특징을 시기별·지역별로 살펴보았다. 제Ⅳ장에서는 CRI를 활용하여 과거기간 대비 우리나라 성장 및 인플레이션에 미친 영향을 검토해보았고, 필립스 곡선을 활용하여 CRI가 품목별 물가에 미친 영향에 대해서도 분석하였다. 제Ⅴ장에서는 본 연구의 시사점을 간단히 언급하며 마무리를 지었다.

2) Nordhaus(1974), Nordhaus(1977), Nordhaus(1992), Nordhaus and Yang(1996) 등을 참고하기 바란다.

3) ACI는 미국과 캐나다 계리학회가 최신 기후변화의 영향력을 파악하기 위해 미국과 캐나다의 이상기후 및 해수면 자료를 이용하여 만든 월간지표이다.

II. 선행연구

기후변화의 영향은 그 자체가 초래하는 물리적 리스크(physical risks)와 기후변화 대응과정에서 발생하는 전환리스크(transition risks)로 나뉘는데, 본고의 경우 이상기후가 미치는 영향을 다루므로 전환리스크는 제외하기로 한다.

먼저 성장과 관련된 선행연구들은 기후변화가 평균기온 상승이나 강수량 증가 등을 통해 성장에 부정적 영향을 미친다고 분석하였다. Dell *et al.* (2012)는 평균기온이 상승할 경우 개발도상국을 중심으로 경제성장률에 부정적인 영향을 미치는 것에 대해 실증분석하였고, Colacito *et al.* (2019)는 미국의 경우 여름 평균기온이 1°F 높아지면 주(state)별 연평균 경제성장률이 0.15~0.25%p 감소한다고 주장하였다. 이지원(2023)은 우리나라의 경우 연강수량이 지역총생산의 장기성장에 부정적 영향을 미치나 연평균기온은 장기성장에 통계적으로 유의한 영향을 미치지 못하는 것으로 분석했다.

물가에 대한 선행연구들의 경우 자연재해, 이상고온과 같은 기후변화가 개발도상국 등의 농축산물 가격을 상승시켜 소비자물가 등에 영향을 미친다고 분석했다. Parker(2018)는 자연재해가 인플레이션에 미친 영향을 연구했는데, 선진국은 그 영향이 제한적인 반면 개발도상국의 경우 그 효과가 상대적으로 크고 지속성이 긴 것으로 나타났다. Faccia *et al.* (2021)은 여름의 이상고온이 단기적으로 식료품 관련 소비자물가를 크게 상승시키고 이는 무역상대국인 선진국의 수요를 감소시켜 중기적으로 개발도상국 생산자물가를 하락시킨다고 주장했다. 김재윤 외(2023)는 기후변화에 따른 해외 농축산물 공급충격이 국내 수입물가의 상승으로 이어져 생산비용과 소비자물가가 상승되는 현상을 분석했다. 이승희(2024), 조병수·민초희(2024)는 기온 및 강수량 등의 날씨 충격이 신선식품, 농산물, 가공식품 가격 상승에 미치는 영향을 분석했다.

한편 선행연구들은 기후변화의 영향을 분석하는데 있어 패널회귀분석, 국소투영법, 동태적 요인모형(Dynamic Factor Model), GaR(Growth-at-Risk) 등 다양한 계량경제모형을 사용했다. Pretis *et al.* (2018), Dell *et al.* (2012) 등 기존의 많은 연구들이 패널회귀분석을 활용하였으나, 최근 Berg *et al.* (2023), Metcalf and Stock(2023), Bilal and Kanzig(2024) 등은 국소투영법을 통해 분석을 시도하였다. Diebold *et al.* (2021)은 동태적 요인모형을 통해 북극해 빙하자료를 활용하여 기후

변화 관련 지표를 제시하였다. Kiley (2021)는 분위회귀(Quantile Regression)를 사용하여 기후가 성장에 미치는 영향력을 GaR로 분석하였다.

기후변화가 경제에 미치는 영향이 상태나 시간에 따라 비대칭적이 될 수 있는데 이에 대한 연구들도 존재한다. Burke *et al.* (2015)는 연평균 기온 13°C의 임계점을 중심으로 이 평균기온보다 높은 국가들의 경우 높은 기온이 경제성장에 부정적인 영향을 미칠 수 있다고 분석하였다. Kim *et al.* (2021)은 미국의 경우 과거에는 이상기후가 실물경제 및 물가에 통계적으로 유의한 영향을 미치지 못했으나, 최근에는 실물경제를 악화시키고 물가를 상승시키는 비대칭적 영향을 보인다고 주장하였다.

본고의 경우 이상기후 현상을 나타내는 우리나라 지역별·시기별 기후위험지수인 CRI를 저자들이 아는 범위내에서 국내 최초로 제시하고, 이 지수가 성장 및 물가에 미치는 비대칭적 영향을 검토하기 위해 국소투영법을 활용하였다. 또한 최근 기간의 경우 필립스 곡선을 활용하여 이상기후가 품목별 물가에 미친 영향도 분석하였다.

Ⅲ. 기후위험지수(CRI) 추정 및 특징

1. CRI 추정

기후위험지수(또는 이상기후지수)인 CRI는 ACI의 방법론을 참고하여 ① 이상고온(T90), ② 이상저온(T10), ③ 폭우(P), ④ 가뭄(D), ⑤ 해수면높이(S)와 같이 5개의 요인으로 구성하였다.

먼저 ① 이상고온(T90)은 기준기간(1980년 1월~2000년 12월)의 월별 상위 10%에 해당되는 기온보다 높은 날에 대한 빈도수를 의미한다. ② 이상저온(T10)은 기준기간의 월별 하위 10%에 해당되는 기온보다 낮은 날에 대한 빈도수를 나타낸다. ③ 폭우(P)⁴⁾는 매월 비가 가장 많이 내린 5일에 대한 강수량 합계를 의미하고, ④ 가뭄(D)은 매월 1mm 미만의 강수량이 연속된 날짜수 중 최대값을 나타낸다. 마

4) 엄밀히 말하면 폭우와 폭설은 구분해서 정의하는 것이 맞지만, 본고의 폭우는 넓은 의미에서 폭설까지 포함한다고 간주하고 있다.

지막으로 ⑤ 해수면높이(S)는 월별 평균 해수면높이(cm)를 의미한다.

CRI 추정방법은 16개의 시도별⁵⁾로 앞서 언급한 5개의 요인들을 구한 다음 기준 기간 대비 표준화한 값들을 평균하여 도출하는 방식이다. 구체적으로 5개의 요인들에 대한 측정단위가 다르기 때문에 표준화 작업이 필요하고 기준기간 대비 기후리스크의 증감을 표현하기 위해 표준화시 다음과 같이 기준기간(1980년 1월~2000년 12월)의 평균 및 표준편차를 활용하였다.

$$X_{i,t}^{std} = \frac{X_{i,t} - \mu_{X,i}^{1980 \sim 2000}}{\sigma_{X,i}^{1980 \sim 2000}} \quad (3)$$

이 때 X^{std} 는 구성요인의 표준화값, i 는 시도, μ 는 평균, σ 는 표준편차를 의미한다. 마지막으로 CRI를 산출하기 위해 다음과 같이 요인별로 평균하였다.

$$CRI_t = mean(T90_t^{std} - T10_t^{std} + P_t^{std} + D_t^{std} + S_t^{std}) \quad (4)$$

이상저온($T10_t^{std}$)의 경우 CRI 도출시 부호가 반대로 되어있는데, 이는 지구온난화로 인한 기후리스크가 크다는 것을 반영하기 위한 것으로 ACI 방법론과 동일한 방식을 사용하였다.

CRI의 평균과 표준편차를 통해 요약통계량(전국 기준)을 비교해보면 전반적으로 과거 기준기간(1980년 1월~2000년 12월) 대비 최근기간⁶⁾(2001년 1월~2024년 6월)의 이상기후 현상이 심화되었다는 사실이 관찰된다.⁷⁾

5) 서울, 인천, 대전, 대구, 광주, 울산, 부산, 경기, 강원, 충북, 충남, 전북, 전남, 경북, 경남, 제주를 의미하고, 세종시는 제외하였다.

6) 본고에서 언급하는 최근기간은 1년 이내의 최근기간을 의미하는게 아니라 기준기간의 다음 기간을 말한다. 일반적으로 기후변화 관련 분석은 30년 정도 해야하지만 본고에서는 데이터 제약상 20년 정도의 기간을 설정했다.

7) 이상저온은 지구온난화 심화로 인해 과거대비 낮아지고 있어 평균값이 낮아진 현상이 관찰되고 있다.

〈Table 1〉 CRI(national) and summary statistics of components

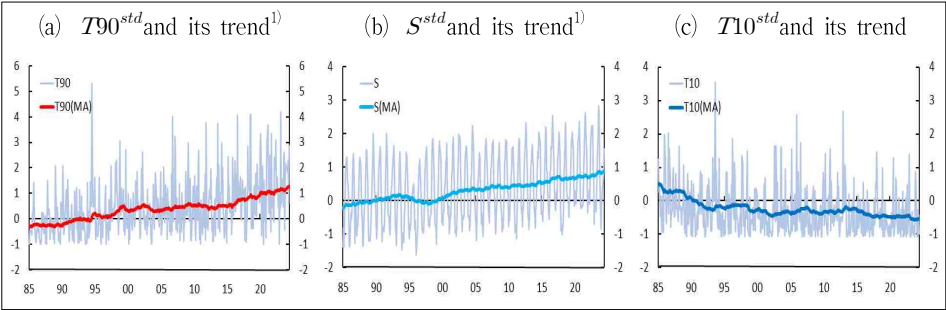
Reference period (Jan 1980~Dec 2000)						
	CRI	$T90^{std}$	$T10^{std}$	P^{std}	D^{std}	S^{std}
mean	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
SD ¹⁾	2.148	0.870	0.901	0.859	0.758	0.942
Recent period (Jan 2001~Jun 2024)						
	CRI	$T90^{std}$	$T10^{std}$	P^{std}	D^{std}	S^{std}
mean	1.754	0.736	-0.392	0.008	0.050	0.568
SD ¹⁾	2.175	1.130	0.701	0.870	0.761	0.954

Note: 1) Standard Deviation.
Source: Korea Meteorological Administration, Korea Hydrographic and Oceanographic Agency, Authors' calculation.

2. CRI 구성요인 및 특징

CRI 구성요인의 추세적 흐름⁸⁾을 살펴볼 경우 구성요인별로 조금씩 다른 양상이 나타났다. 이상고온 및 해수면 높이의 경우 추세가 시간에 따라 우상향하는 반면 이상저온은 추세가 우하향하는 모습이다(〈Figure 3 참조〉). 이는 온실가스 배출 증가로 인한 지구온난화가 이상고온 현상 증가 및 해수면높이 상승을 야기하고 이상저온 현상을 감소시켰기 때문인 것으로 보인다.

〈Figure 3〉 $T90^{std}$, S^{std} , $T10^{std}$ and their trend

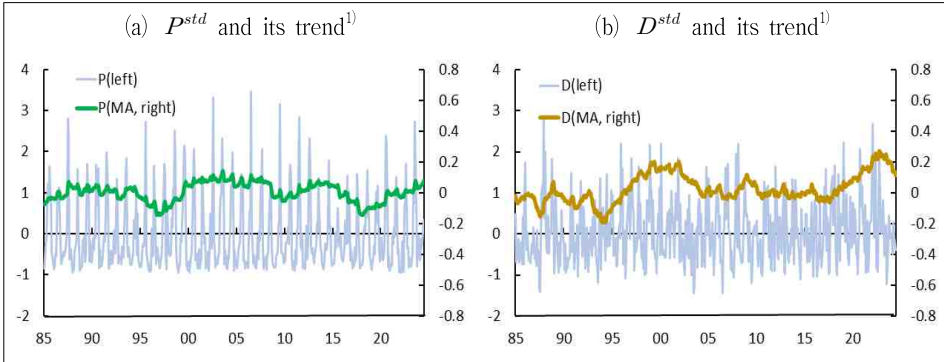


Notes: 1) Trend means 60-month moving average and this component is based on the national level.
Source: Korea Meteorological Administration, Korea Hydrographic and Oceanographic Agency, Authors' calculation.

8) 추세적 흐름을 나타내기 위해 5년(60개월) 이동평균을 활용하였다.

하지만 강수량 및 가뭄의 경우 기온과 해수면처럼 지속적으로 상승 또는 하락하는 추세가 보이지 않았다(〈Figure 4 참조〉). 다만 가뭄은 2015년 이후 전반적으로 우상향하는 추세가 관찰되었다.

〈Figure 4〉 P^{std} , D^{std} and their trend



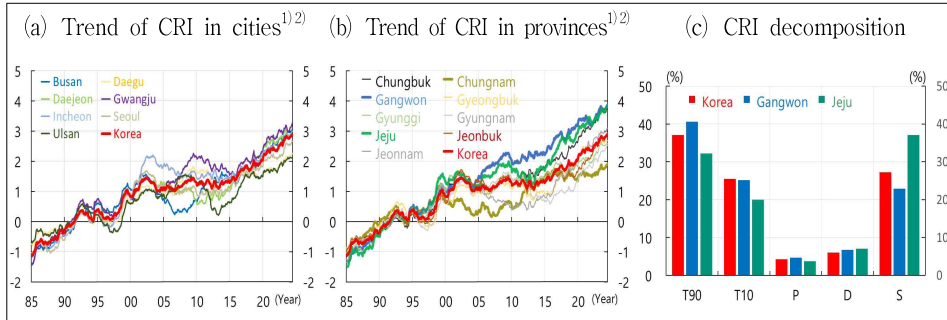
Notes: 1) Trend means 60-month moving average and this component is based on the national level.

Source: Korea Meteorological Administration, Authors' calculation.

CRI 특징의 경우 전국 및 지역별⁹⁾ CRI가 시간에 따라 상승하는 추세를 나타내는 가운데 시간이 지날수록 지역별 편차가 확대되는 경향이 있다(〈Figure 5(a), 5(b) 참조〉). 이는 지구온난화 및 환경오염 등의 영향으로 이상기후의 빈도 및 강도가 높아져 CRI가 지속적으로 상승하고 있기 때문으로 판단된다. 최근들어 지역별 편차도 확대되고 있는데 특히 강원과 제주가 전국 CRI 수준을 큰 폭으로 상회하고 있다. CRI 구성요인을 분해해보면 강원은 이상고온, 제주는 해수면높이가 전국에 비해 큰 비중을 차지한 것으로 확인된다(〈Figure 5(c) 참조〉).¹⁰⁾ 반면 충남의 경우 2000년 이후 CRI 수준이 대부분 기간에서 전국대비 낮은 수준을 유지하였다. 특히 CRI 구성요인중 이상고온이 전국에 비해 특히 낮은 것으로 나타났다.¹¹⁾

9) CRI 추정시 사용된 지역별 기상 및 해수면 높이 관측장소는 〈부록 A〉를 참조하기 바란다.
 10) 1985년~2023년 동안 강원은 타지역 평균기온 대비 1.3℃ 정도 높게 상승했고(강원: 4.3℃, 타지역 평균: 3.0℃ 상승), 같은 기간동안 제주는 해수면높이가 평균 8cm 더 높이 상승했다(제주: 19cm, 타지역 평균: 11cm 상승).
 11) 충남은 2000년~2011년중 월별 이상고온 발생일수가 타지역 평균을 하회(충남: 3.3일, 타지역 평균: 4.2일) 하였고, 2020년 이후 이상고온 발생일수는 전국에서 가장 낮았다(충남: 4.6

(Figure 5) Trends of CRI and CRI decomposition in Korea



Notes: 1) MA(60) process is used.

- 2) After calculating the CRI for each region using the factors T90, T10, P, D, and S standardized for each region, the nationwide CRI corresponds to the average of the CRI values from all regions.

Source: Authors' calculation.

한편 구성요소별 평균값(2001년 1월~2024년 6월)을 살펴보면 이상고온 심화는 강원, 충북, 제주 등에서 나타나고, 폭우 증가는 경남, 전남, 부산, 제주 등 남부 해안지방을 중심으로, 가뭄심화는 전북, 충북, 강원 등 중부권을 중심으로 나타났다. 해수면 상승의 경우 제주, 부산, 강원 등에서 높게 나타났다(〈Figure 6 참조〉). 동해안·남해안 해수면이 크게 상승하게 된 원인은 지구온난화로 인해 북극 빙하 감소의 영향을 많이 받는 가운데 동해를 중심으로 수온상승에 따른 열팽창효과가 컸기 때문으로 판단된다.

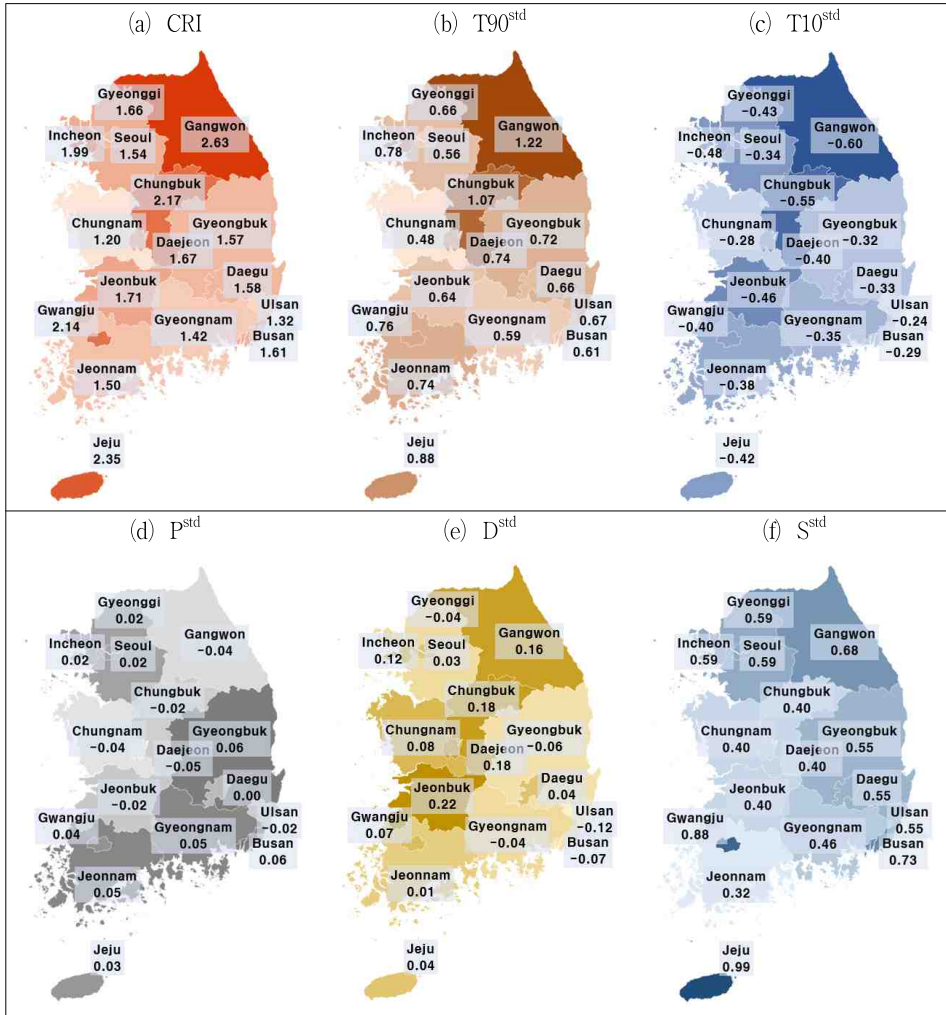
IV. 이상기후(CRI)가 경제에 미치는 영향

1. 비대칭성 분석

Jorda(2005)가 국소투영법에 의한 충격반응함수 추정방법을 개발한 이후 최근 많은 응용거시경제 분석에서 국소투영법이 활용되고 있다. 국소투영법의 경우 기본적으로 선형의 단순 회귀방정식을 통해 충격반응분석을 하기 때문에 추정 모형 설정에 대한 유연성이 높은 편이다. 또한 기본적인 구조적(Structural) VAR 모형의 경

일, 타지역 평균: 6.1일).

〈Figure 6〉 Average CRI and components by region¹⁾²⁾



Notes: 1) Values standardized using the mean and S.D. of each variable during the reference period (Jan 1980~Dec 2000).

2) In the case of T10, darker colors indicate lower values, while for other variables, darker colors indicate higher values compared to the reference period.

Source: Authors' calculation.

우 상태의존적인 (state-dependent) 비대칭성 분석이 안 되지만¹²⁾, 국소투영법을 이

12) 기본적인 Structural VAR 모형이 아니라 Auerbach and Gorodnichenko (2012b) 에서 사용된 smooth transition VAR (STAR) 의 경우 상태의존적인 비대칭성 분석이 가능하다.

용하면 Ramey and Zubary(2018), Ahmed and Cassou(2016), Ascari and Haber(2022) 처럼 비대칭성 분석을 상대적으로 용이하게 할 수 있는 장점이 존재한다.

본고에서도 비대칭성 분석¹³⁾을 위해 Jorda(2005), Ramey and Zubary(2018), Ahmed and Cassou(2016) 등을 참고하여 다음과 같은 국소투영법 모형을 설정하였다.¹⁴⁾

$$y_{t+s} = (1 - I_{t-1}) \left[\alpha_{before}^s + \sum_{i=1}^p B_{i,before}^{s+1} y_{t-i} \right] + I_{t-1} \left[\alpha_{after}^s + \sum_{i=1}^p B_{i,after}^{s+1} y_{t-i} \right] + u_{t+s}^s \quad (5)$$

단, $s = 0, 1, \dots, h$ 이고, $y_t = [CRI_t \ IP_t \ CPI_t \ call_t]'$ 에 해당된다. 구체적으로 CRI_t 는 본고에서 개발한 기후위험지수, IP_t 는 전국 광공업생산지수¹⁵⁾ 증가율(전년동월비), CPI_t 는 전국 소비자물가지수 증가율(전년동월비), $call_t$ 은 콜금리를 의미한다.¹⁶⁾ 식 (5)는 s 기 이후의 예측이 가능하게 만든 식인데 예측시계가 최대 h 만큼 된다고 가정하였다. 또한 이 식은 p 기 만큼 시차를 가진 과거의 y_t 들이 영향을 미치고 있음을 보여준다. 이 모형의 파라미터인 α_{before}^s 와 α_{after}^s 는 상수에 해당되는 4×1 벡터이고, $B_{i,before}^{s+1}$ 와 $B_{i,after}^{s+1}$ 는 4×4 정방행렬로서 과거의 y_t 와 연계된 파라미터이다. 한편 이상기후 효과의 비선형성을 나타내기 위해 기준기간(1980년 1월~2000년 12월)과 최근기간(2001년 1월~2024년 6월)에 해당되는 더미변수를 식

13) 비대칭성에 대한 정의를 다양하게 할 수 있는데, 본고에서는 충격반응분석 결과 통계적 유의성 유무, 상반된 부호, 크기 및 지속성의 차이 등 여러 가지 측면에서 살펴보고 있다.

14) Kim *et al.* (2021)은 미국 이상기후 지수 ACI를 사용하여 smooth transition VAR을 통해 기후변화의 비대칭성을 살펴보고 있다. 본고에서도 이와 유사하게 논의를 진행하였는데, Kim *et al.* (2021)과 달리 비선형 국소투영법을 사용하여 실증분석을 실시하였다.

15) 통계청 데이터중에 전산업생산지수가 있는데 이는 농림어업을 제외한 광공업, 건설업, 서비스업, 공공행정이 월별 데이터이다. 다만 2000년 이후부터 데이터가 존재하기 때문에 2000년 이전과 이후의 비대칭성 분석을 하는 본고의 경우 이 데이터 대신 광공업생산지수를 활용하였다. 본고의 이하 논의에서 산업생산지수라고 말하는 부분은 광공업생산지수를 의미한다.

16) CRI, IP, CPI 모두 계절조정(X-13-ARIMA-SEATS 사용)을 한 뒤, 불규칙 요인을 제거하기 위해 6개월 이동평균한 데이터를 사용하였다. 콜금리 자료는 1991년부터 이용이 가능하여 실제 기준기간을 추정할 때는 1991년 1월~2000년 12월의 자료가 활용된다.

(6) 과 같이 설정하였다.

$$I_t = \begin{cases} 0 & \text{기준기간(1980년 1월 ~ 2000년 12월)} \\ 1 & \text{최근기간(2001년 1월 ~ 2024년 6월)} \end{cases} \quad (6)$$

이 더미변수로 인해 두가지 상태에 따라 충격반응함수를 구할 수 있는데 충격반응함수 식은 아래와 같이 정의될 수 있다.

$$\hat{IR}^{before}(t, s, d_i) = \hat{B}_{1, before} d_i, \quad s = 0, 1, \dots, h \quad (7)$$

$$\hat{IR}^{after}(t, s, d_i) = \hat{B}_{1, after} d_i, \quad s = 0, 1, \dots, h \quad (8)$$

식 (7) 과 (8)에서 표준화에 의해 $B_{1, before}^s = I$, $B_{1, after}^s = I$ 에 해당되고, d_i 는 충격에 해당되는 4×1 벡터이다.

한편 잔차항에 자기상관의 문제가 있을 수 있는데 이를 해결하기 위해 Jorda (2005)는 Newey-West의 HAC (Heteroscedasticity and Autocorrelation Consistent) 표준오차 추정치를 사용했고, 본고에서도 이와 동일하게 HAC 추정치를 활용했다. 추정 파라미터에 대한 행렬인 $\hat{B}_{1, before}$ 와 $\hat{B}_{1, after}$ 에 대응되는 HAC 분산-공분산 행렬을 각각 $\hat{\Sigma}_{s, before}$, $\hat{\Sigma}_{s, after}$ 라고 정의하고 이를 활용한 68% (1-표준편차) 신뢰구간을 아래와 같이 나타낼 수 있다.

$$\hat{IR}^{before}(t, s, d_i) \pm \sigma(d_i' \hat{\Sigma}_{s, before} d_i) \quad (9)$$

$$\hat{IR}^{after}(t, s, d_i) \pm \sigma(d_i' \hat{\Sigma}_{s, after} d_i) \quad (10)$$

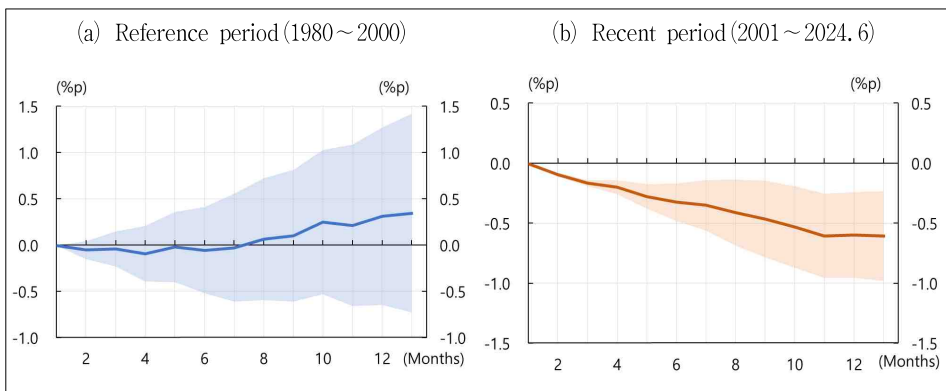
단, 식 (9) 와 (10)에서 σ 는 모든 원소가 1인 4×1 벡터이다. 본고의 충격반응분석을 그래프로 그릴 때 식 (9) 와 (10)를 통해 나온 신뢰구간을 같이 표시했는데 향후 본고의 분석에 있어 통계적 유의성을 언급할 경우 신뢰구간이 0을 통과하는지 여부로 판단하였다.

한편 이 모형 식별에 대한 주요한 가정은 이상기후 충격이 가장 외생적이기 때문에 다른 경제충격들이 당기 이상기후에 영향을 못 미친다는 점이다. 다른 경제변수

인 광공업생산지수, 소비자물가지수, 콜금리는 Christiano *et al.* (1999) 등과 같이 축차적 (Recursive) VAR 모형의 전통적인 변수 나열순서 (ordering) 를 사용하였다. 그 결과 $y_t = [CRL_t \ IP_t \ CPI_t \ call_t]'$ 의 변수 순서로 최종적인 나열순서를 정하였다.

이 모형을 통해 충격반응분석을 해본 결과, 이상기후 변화가 과거에는 산업생산에 통계적으로 유의한 영향을 미치지 못했지만 2001년 이후 부정적인 영향이 과거에 비해 크고 지속적인 것으로 분석되었다(〈Figure 7 참조〉). 최근기간(2001년 1월 ~ 2024년 6월)의 경우 이상기후 1 표준편차 충격이 산업생산 증가율을 12개월 후 약 0.6%p 정도 하락시킨 것으로 나타났다. 기후변화가 성장에 부정적인 영향을 미치는 원인에 대해 분석한 연구는 여러가지가 있는데, 박경훈 외 (2021)는 기후변화가 노동생산성을 하락시키고 농축수산물 생산량을 감소시킨다고 분석했고, 이지원 (2023)은 기후변화가 조업중단, 원자재 수급차질, 재고 유지비용 증가 등을 통해 산업에 부정적인 영향을 끼친다고 주장하였다.

〈Figure 7〉 Impulse responses of IP to a one standard deviation CRI shock¹⁾

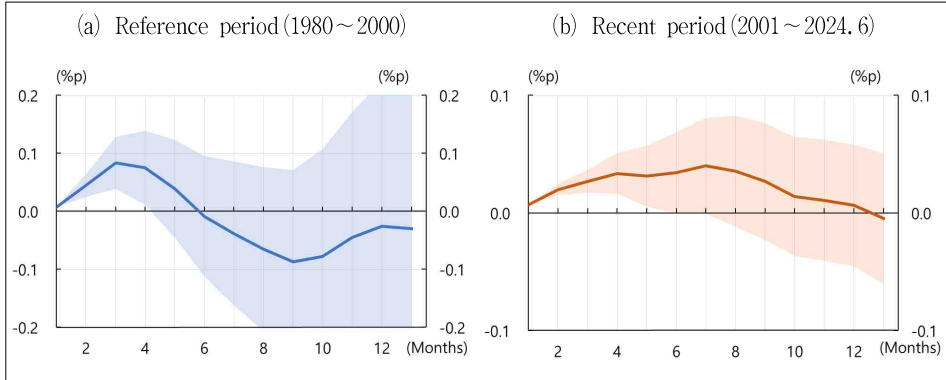


Notes: 1) Shaded areas represent 68% confidence band.

이상기후 변화는 과거와 최근기간 모두 인플레이션 상승에 영향을 미쳤지만 최근의 경우 영향력의 크기가 작은 반면 지속성이 상대적으로 긴 특성이 나타났다(〈Figure 8 참조〉). 최근의 경우 충격반응 정점 크기가 0.05%p 정도 낮지만(최근기간: 0.03%p vs 기준기간: 0.08%p) 그 지속기간은 2개월 정도 길게 나타났다. 이런 현상은 최근들어 FTA 등을 통한 수입증대에 따른 농축수산물 관련 대체효과¹⁷⁾가

커짐에 따라 이상기후 변화가 가격에 미치는 영향력이 상대적으로 낮게 나타났기 때문으로 생각된다.¹⁸⁾ 다만 이상기후 현상 심화로 인해 그 효과의 지속성이 과거대비 길어지고 있는 모습도 관찰되었다.

〈Figure 8〉 Impulse responses of CPI to a one standard deviation CRI shock¹⁾



Notes: 1) Shaded areas represent 68% confidence band.

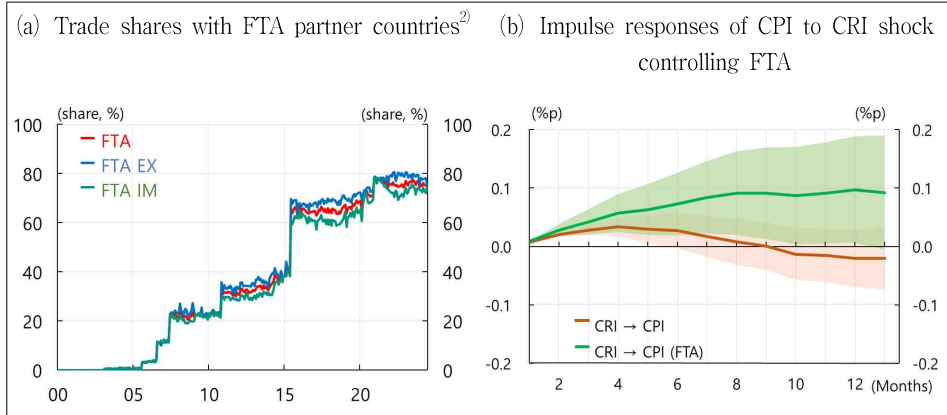
실제 이상기후 충격 발생시 FTA 관련 수입대체효과의 크기가 어느 정도 되는지 알아보기 위해 광노선·임호성(2018)을 참고하여 FTA 체결국과의 교역비중(〈Figure 9(a) 참조〉)을 통제변수로 추가한 뒤 국소투영법을 실시했다. 구체적으로 FTA 체결국과의 교역비중을 FTA_t 로 정의한 다음 $y_t = [CRI_t \ IP_t \ CPI_t \ call_t]'$ 의 변수 순서로 나열순서를 정하였고 FTA_t 는 외생변수로 설정하였다. 우리나라의 경우 2003년 이전은 FTA체결국이 없기 때문에 2003년 이후의 기간만을 사용하여 분석하였고, 이 기간동안 충격반응분석 결과를 기존 모형의 최근기간 충격반응분석과 비교하였다. 이 경우 이전 결과대비 인플레이션이 약 0.06%p(인플레이션 점점기준) 정도 상승하고, 지속기간이 4개월 정도 더 길게 나타났다(〈Figure 9(b) 참조〉). 다시 말해 FTA 등을 통한 수입대체효과를 통제한 경우와 하지 않은 경우 이상기후

17) 임웅지 외(2024)는 기후변화로 인한 국내 농산물 가격 변동성을 완화시키고 안정적 공급 여건을 확보하기 위해 추가적인 수입선 확보 등 공급채널의 다양성을 제고해야한다고 주장했다.

18) 이외에도 김재윤 외(2023)는 우리나라의 경우 임계치가 존재하여 일정한도에 도달할 때까지는 농축산수산물 가격이 하락하는 효과가 있다고 분석했기에 최근기간의 이상기후 영향력이 낮게 나타났을 가능성도 존재한다.

충격이 인플레이션에 미치는 영향력이 0.06%p 정도 차이가 나므로, 이 차이가 이상기후 발생시 인플레이션에 대한 수입대체효과의 간접적 크기라고 말할 수 있다.¹⁹⁾

〈Figure 9〉 FTA trade shares and Impulse responses of CPI to CRI shock¹⁾ controlling FTA



Notes: 1) Shaded areas represent 68% confidence band.

2) FTA refers to the ratio of trade volume with Korea's FTA partner countries to Korea's total trade volume. FTA EX and FTA IM indicate the ratio of exports to FTA partner countries to Korea's total exports, and the ratio of imports from FTA partner countries to Korea's total imports, respectively.

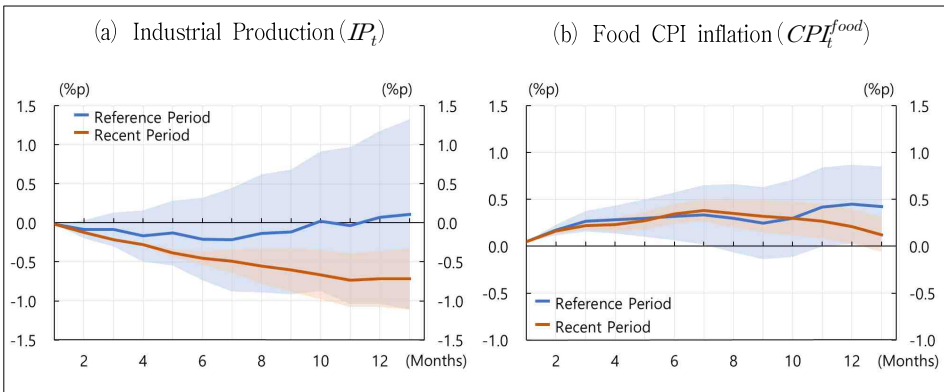
이상기후는 식료품에 미치는 영향력이 크기 때문에 전품목을 포함하는 소비자물가 대신 식료품 관련 소비자물가를 사용하여 국소투영법을 이용해보았다. 구체적으로 앞서 사용하였던 식 (5)와 동일한 국소투영법 모형이지만, y_t 에 관련된 데이터 중 소비자물가를 식료품 관련 소비자물가로 바꾸어 $y_t = [CRI_t \ IP_t \ CPI_t^{food} \ call_t]'$ 의

19) 엄밀히 말해서 FTA 관련 변수를 추가한 국소투영법을 통해 나온 결과와 변수를 추가하기 이전 결과(baseline 모형)와의 충격반응 차이를 수입대체효과 크기라고 할 수 없다. 다만 본고에서 분석한 이상기후 충격이 인플레이션에 미친 크기가 예상보다 작았기 때문에 이 문제를 일부 해결하고자 FTA 영향을 통제하여 이상기후 충격을 도출해보았다. 그 결과 기대했던 것처럼 이상기후 충격이 baseline보다 크고 지속적인 것으로 나타났고, 그 차이를 본고에서는 FTA로 인한 수입대체효과라고 간주했다. 이처럼 변수를 추가함으로써 충격반응분석의 문제를 해결하고자 하는 것은 경제학 분석에서 많이 이루어지고 있는 방법이다. 대표적으로 물가 퍼즐(price puzzle)을 해결하기 위해 Sims(1992)는 원자재 가격을 제안했고, 이를 통해 충격반응분석의 문제를 일부 완화시켰다.

변수 순서로 최종적인 나열순서를 정하였다.²⁰⁾

이 경우 전품목 소비자물가지수를 사용한 경우보다 과거대비 이상기후의 영향력이 더 크고 지속성이 더 길게 나타난다. 구체적으로 최근기간(2001년 1월~2024년 6월)의 경우 산업생산 증가율이 1년후 약 0.8%p 정도 하락하게 되고 식료품 인플레이션은 지속기간이 12개월 정도로 나타나는 것으로 분석되었다(〈Figure 10 참조〉).

〈Figure 10〉 Impulse responses of IP_t and CPI_t^{food} to a one standard deviation CRI shock¹⁾



Notes: 1) Shaded areas represent 68% confidence band.

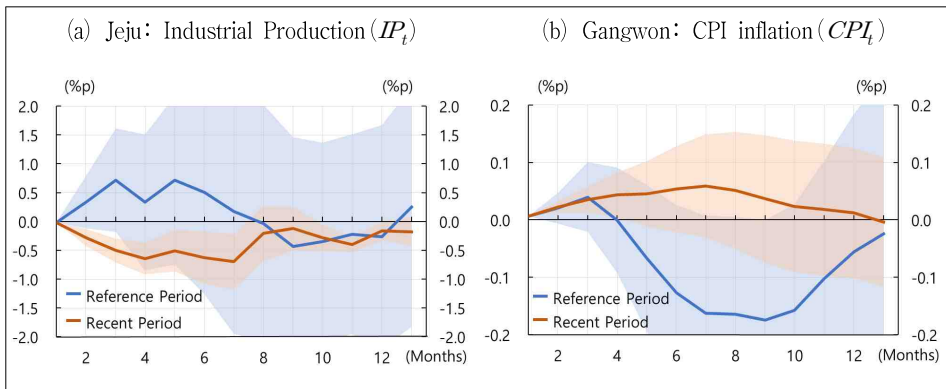
한편 이상기후가 지역경제에 미친 비대칭적 영향²¹⁾에 대해서도 살펴볼 수 있다. 본고의 경우 이상기후 현상이 타지역에 비해 심했던 제주와 강원에 대해 충격반응 분석을 시도하였다. 식 (5)처럼 동일한 국소투영모형을 사용하였지만 y_t 에 관련된 데이터에서 이상기후지수, 광공업생산지수, 소비자물가를 각 지역에 해당되는 자료를 활용하였고 그 변수 순서에 대한 나열순서는 동일하게 하였다. 그 결과 제주

20) 국소투영법 모형을 사용하기 위해 4변수 축차적 VAR 모형에서 이상기후 충격을 식별하였는데, 일반적으로 3변수 축차적 VAR에 사용되는 데이터는 거시데이터인 경우가 많다. 따라서 전품목 소비자물가지수 대신 식료품 소비자물가지수를 넣고 전국 산업생산지수와 콜금리의 일반균형적 연관관계를 고려하는 것에 대해 문제를 제기할 수도 있다. 이런 문제점을 일부 완화하기 위해 이상기후가 세부품목별 물가에 미치는 영향에 대한 효과를 'IV.3 품목별 물가영향 분석'에서 필립스 곡선을 통해 부분균형적으로 알아보았다.

21) 이상기후 충격이 제주 및 강원 지역이외에 다른 지역에 미친 영향을 추가적으로 알아보기 위해 전북 및 부산에 대해서도 살펴보았는데 이는 〈부록 B〉를 참고하기 바란다.

와 강원도의 경우 경제에 미치는 영향력 및 지속성이 과거대비 커지는 비대칭성이 관찰되었다. 제주는 전국과 유사하게 과거에는 이상기후가 산업생산에 큰 영향을 미치지 못했지만 최근에는 부정적인 영향이 확대되었다. 강원도의 경우 과거에는 이상기후가 인플레이션에 통계적으로 유의미한 영향을 미치지 못했지만 최근기간의 경우 단기적으로 인플레이션을 소폭 상승시키는 것으로 나타났다(〈Figure 11 참조〉).

〈Figure 11〉 Impulse responses of CRI shock on regional economy¹⁾



Notes: 1) Shaded areas represent 68% confidence band.

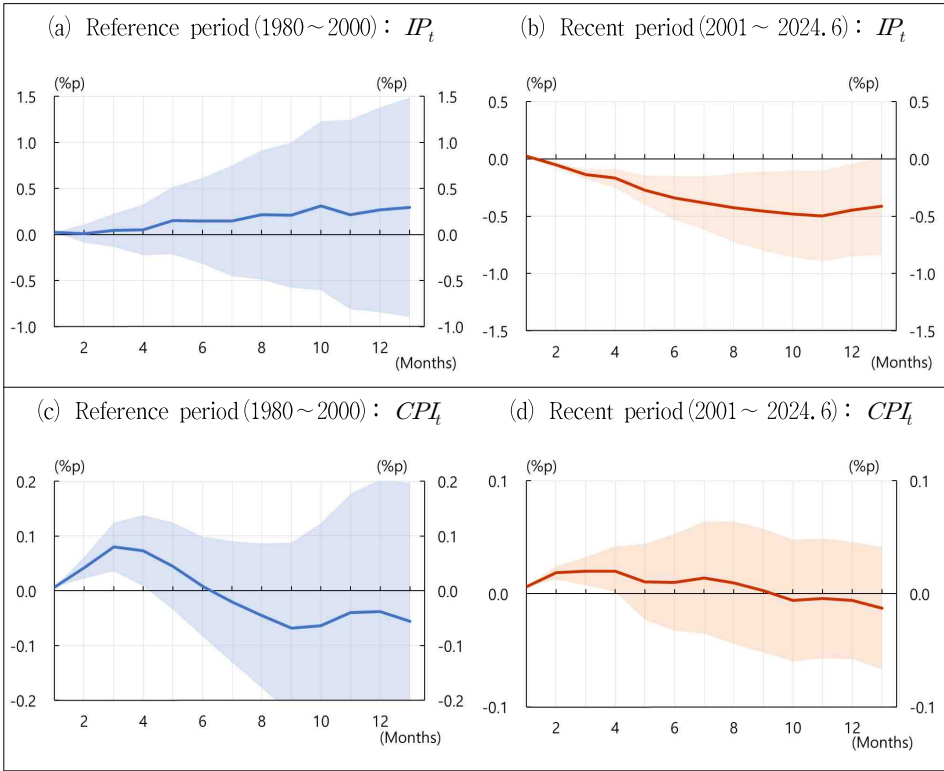
2. 강건성 검증

앞서 살펴본 식 (5)를 통한 국소투영법 모형의 비대칭성 분석 결과가 강건한지 검토하기 위해 몇 가지 사항들을 추가적으로 분석해보았다. 먼저 이상기후 지수인 CRI의 경우 추세가 존재하므로 이 추세가 실증분석의 결과에 영향을 미치는지 검토해보았다. 이 추세를 제거하기 위해 최근 많이 활용되고 있는 Hamilton (2018)의 필터링 기법²²⁾을 활용하였다. 식 (11)을 통해 CRI 추세를 제거하였고, CRI는 월간 데이터임을 감안하여 $h = 24$, $p = 12$ 로 설정하였다.

$$\widehat{CRI_{t+h}^{detrend}} = CRI_{t+h} - (\hat{\alpha} + \hat{\beta}_1 CRI_t + \dots + \hat{\beta}_{p+1} CRI_{t+p}) \quad (11)$$

22) 서론에서 글로벌 평균기온 추격을 구하는 방법으로 Hamilton (2018)의 필터링 기법을 이용하였는데, 추세를 제거하기 위해 동일한 Hamilton 필터링 기법을 많이 사용하는 편이다. Hamilton (2018)은 추세 제거시 HP 필터링 대신 Hamilton 필터링을 사용해야 한다고 주장했다.

〈Figure 12〉 Impulse responses of CRI shock (detrended) on real economy¹⁾



Notes: 1) Shaded areas represent 68% confidence band.

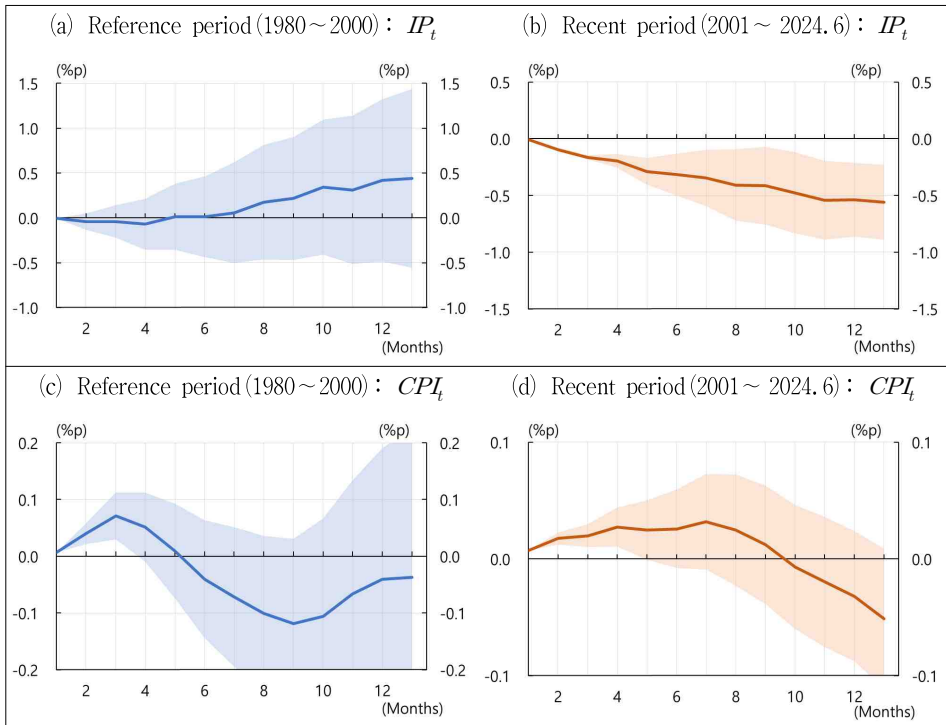
추세를 제거한 CRI를 활용하여 식 (5)를 통해 동일한 국소투영법을 실시할 경우 추세를 제거하지 않은 CRI를 사용한 결과와 대체로 유사하게 나타났다(〈Figure 12 참조〉).²³⁾ 이런 결과는 Kim *et al.* (2021)에서도 유사하게 나타났는데 CRI의 추세가 원래 설정한 모형의 체계적인 부분에 잘 반영되었기 때문으로 판단된다. 이로 인해 CRI 추세가 이상기후 충격 추정에 영향을 미치지 않았고, 추세를 제거한 CRI를 사용하더라도 결과에 큰 차이가 나지 않는 것으로 보인다. Kim *et al.* (2021)은 smooth transition 변수로 시간에 따라 선형으로 증가하는 단순한 형태를 가정하여 사용하였는데, 본고에서도 강건성 검정을 위해 더미변수 대신 선형의 smooth transition 변수를 사용하여 국소투영법을 실시해보았다. 그 결과 역시 본고의 주요

23) 소비자물가지수를 활용한 인플레이션의 경우 기준기간과 최근기간의 이상기후 영향력 지속기간은 유사하게 나온 점이 본고의 주요 결과와 다른 점이라고 볼 수 있다.

결과와 큰 차이는 없었다.²⁴⁾

본고에서는 CRI 추정시 ACI (Actuaries Climate Index)의 방법론에 따라 각 요인들을 평균하였는데 강건성 검정을 위해 평균대신 주성분 분해(principal component analysis)를 통해 CRI를 산출해보았다. 구체적으로 주성분 분해시 첫 번째 요인²⁵⁾을 활용하여 CRI를 도출했다. 주성분 분해를 통해 구한 CRI로 식 (5)의 국소투영법을 실시한 결과는 <Figure 13>에 나타나 있는데 이 결과 또한 본고의 주요 결과와 유사한 것으로 나타났다. 다시 말해 CRI를 산출하기 위해 집계하는 방식이 다르더라도 주요 결과에는 큰 영향을 미치지 않는다는 사실을 알 수 있다.

<Figure 13> Impulse responses of CRI shock (PCA) on real economy¹⁾



Notes: 1) Shaded areas represent 68% confidence band.

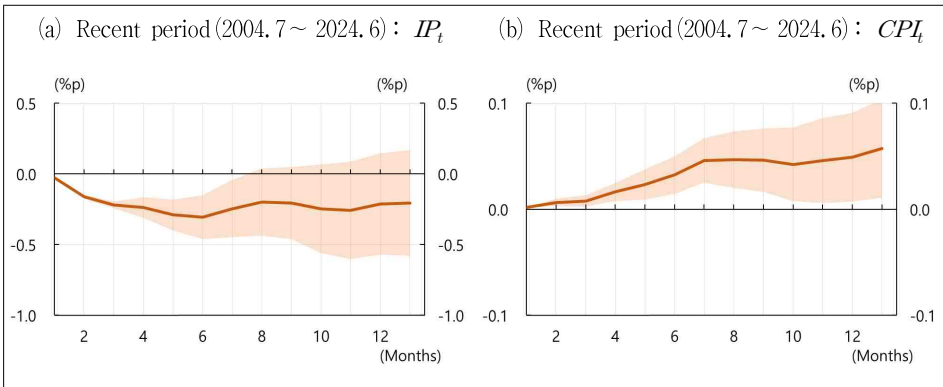
한편 본고에서 구한 CRI의 경우 기준기간을 1980~2000년으로 정하여 기준기간

24) 자세한 추정 결과는 <부록 C>를 참고하기를 바란다.

25) PCA의 첫 번째 요인은 기존의 CRI 구성요인의 변동성 중 약 69% 정도를 설명하고 있다.

의 평균 및 표준편차로 표준화한 지수인데, 최근 이상기후 현상의 발생빈도가 증가하는 추세가 있기에 2024년 6월을 기준으로 이전 20년 동안 평균 및 표준편차를 활용하여 새로운 CRI를 활용한 충격반응분석을 실시해보았다. 구체적으로 2004년 7월 ~ 2024년 6월의 20년간 평균 및 표준편차를 활용하여 표준화한 CRI를 산출한 다음, 2004년 이후 CRI 충격이 산업생산 및 인플레이션에 미친 영향을 검토했다. 그 결과는 <Figure 14>에 나타나 있는데 식 (5)를 통한 국소투영법 모형의 방향성은 대부분 유사하게 나타났다. 다만 기본 모형의 결과 대비 산업생산에 미친 영향의 지속성이 줄어든 반면 인플레이션에 미친 영향의 지속성이 길게 나타났다.

<Figure 14> Impulse responses of new CRI shock on real economy¹⁾



Notes: 1) Shaded areas represent 68% confidence band.

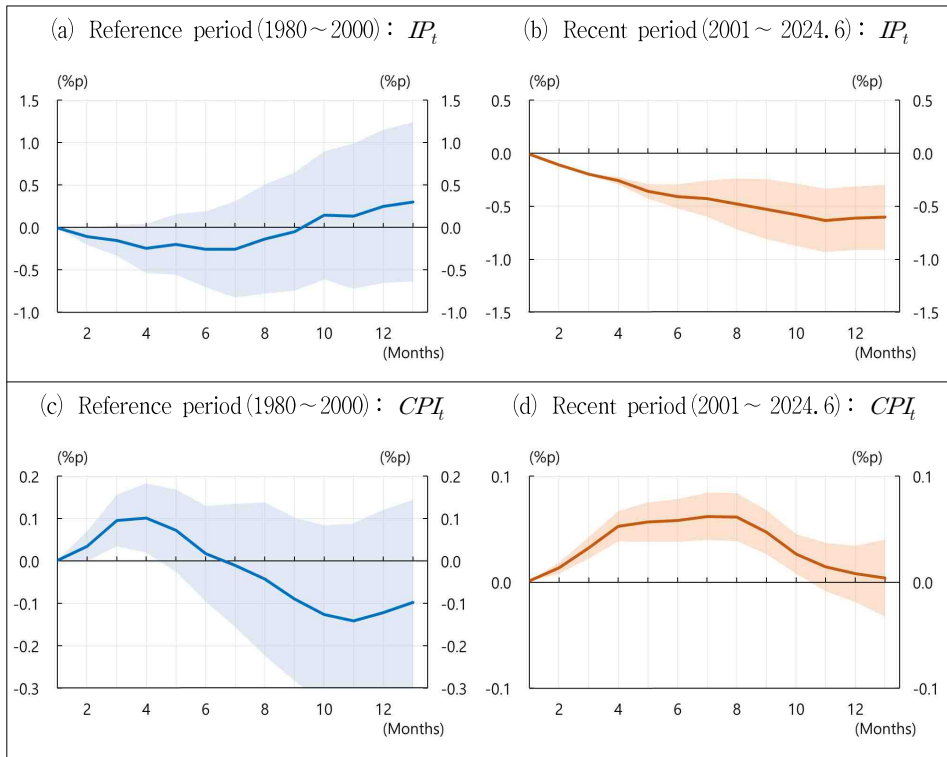
마지막으로 본고에서 사용한 거시 변수인 산업생산 증가율과 인플레이션율에 대한 추세 유무가 충격반응 분석결과에 영향을 미칠 가능성도 있기에 이 변수에 대한 단위근 검정을 실시해보았다. ADF 및 PP 단위근 검정을 둘 다 활용²⁶⁾하여 검토한 결과 산업생산 증가율은 단위근이 존재한다는 귀무가설이 기각되었고, 인플레이션율은 5% 유의수준에서 기각되었다.²⁷⁾ 따라서 인플레이션율만 Hamilton (2018)의

26) 단위근 검정시 상수항이 있는 경우, 상수항과 추세가 있는 경우, 상수항과 추세 모두 없는 경우를 나누어 다 살펴봤는데 각 케이스마다 결과는 큰 차이가 없는 것으로 나타났다.

27) 산업생산 증가율에 단위근이 존재한다는 귀무가설은 1% 통계적 유의수준에서 기각된 반면, 인플레이션율에 단위근이 존재한다는 귀무가설의 경우 인플레이션율은 5% 통계적 유의수준에서는 기각되었으나 1% 유의수준에서는 기각되지 못하는 결과가 나타났다. 본고의 강건성 검정에서 산업생산 증가율은 추세제거 없이 사용하기로 했고, 인플레이션율만 추세를 제거하

필터링 기법을 활용하여 추세를 제거²⁸⁾한 뒤 충격반응 분석의 결과를 살펴보았다. 〈Figure 15〉를 보면 대체로 본고의 기본 국소투영모형 결과와 유사하다는 사실을 알 수 있다. 다만 인플레이션의 경우 최근 기간에는 충격의 지속성이 기본 모형보다 길게 나타났다.

〈Figure 15〉 Impulse responses of CRI shock (detrended inflation) on real economy¹⁾



Notes: 1) Shaded areas represent 68% confidence band.

3. 품목별 물가 영향 분석

지금까지 이상기후가 시간에 따라 비대칭적으로 성장과 물가에 미치는 영향에 대해 알아보았는데 이상기후가 세부 품목에 미친 영향의 경우 이전의 분석 모형은 한

여 결과를 비교해보았다.

28) 앞에서 CRI에 대해 추세를 제거한 것처럼 $h = 24$, $p = 12$ 로 설정하였다.

계점²⁹⁾이 존재한다. 따라서 이상기후가 품목별 물가에 미친 영향을 부분균형 형태로 살펴볼 수 있는 부문별 필립스 곡선(Sectoral Phillips Curve)을 통해 살펴보았다. 부문별 필립스 곡선은 Gali and Gertler(1999)에 의해 이론적으로 유도되었고, 이후 Imbs *et al.* (2011) 등 여러 경제학자들에 의해 부문별 필립스 곡선을 이용하여 추정되었다. 먼저 본고에서는 다음과 같은 표준적인 필립스 곡선을 이용하였다.

$$\pi_t^{CPI} = c + \beta E_t \pi_{t+1}^{CPI} + \gamma \widehat{IP}_t + \epsilon_t \quad (12)$$

식 (12)에 따르면 CPI 인플레이션 π_t^{CPI} 는 기대인플레이션 $E_t \pi_{t+1}^{CPI}$ 와 산업생산을 이용한 산출갭 \widehat{IP}_t , 그리고 공급충격 ϵ_t 로 이루어져 있다. 본고에서는 필립스 곡선에 대한 추정을 간단히 하기 위해 기대인플레이션을 적응적 기대(Adaptive Expectation)로 가정하여 $E_t \pi_{t+1} = \pi_{t-1}$ 로 간주하였다. 또한 품목별로 물가에 미치는 영향을 분석하기 위해 식 (12)의 표준적인 필립스 곡선을 품목별로 변경하고, CRI를 추가하여 식 (13)과 같은 모형을 설정하였다.

$$\pi_{i,t}^{CPI} = c + \beta \pi_{i,t-1}^{CPI} + \gamma \widehat{IP}_t + \alpha CRI_t + \epsilon_t \quad (13)$$

단, π_i^{CPI} 는 i 품목의 전국 CPI 인플레이션(전년동월비), \widehat{IP} 는 해밀턴 필터링³⁰⁾을 활용한 전국 산업생산갭률을 의미한다. 앞서 살펴본 것처럼 2001년 이후 이상기후의 비대칭적인 영향이 존재하였기 때문에 필립스 곡선 분석의 경우 2001년 이후 기간의 데이터를 활용하였다.

〈Table 2〉에 따르면 2010년 이후 전품목, 식료품, 과일 등 대부분 품목에서 이상기후 현상이 인플레이션에 미치는 영향력이 통계적으로 유의하게 나타났다. 특히 이상기후가 식료품 및 과일에 미친 영향력이 각각 0.17과 0.4로 전품목(0.04)에 비해 크게 나타났다. 다만 채소의 경우 이상기후의 영향력이 과일에 비해 상대적으로

29) 이전의 비대칭성 분석모형은 성장, 물가, 금리간의 일반균형적 관계를 고려하였기 때문에 이상기후가 세부 품목별로 미친 영향력을 분석하기에는 한계점이 존재한다.

30) 해밀턴 필터링 사용시 월간 데이터를 사용했기 때문에 식 (11)과 유사하게 회귀식을 설정한 뒤 $h=24$, $p=12$ 로 간주하여 IP갭을 산출하였다.

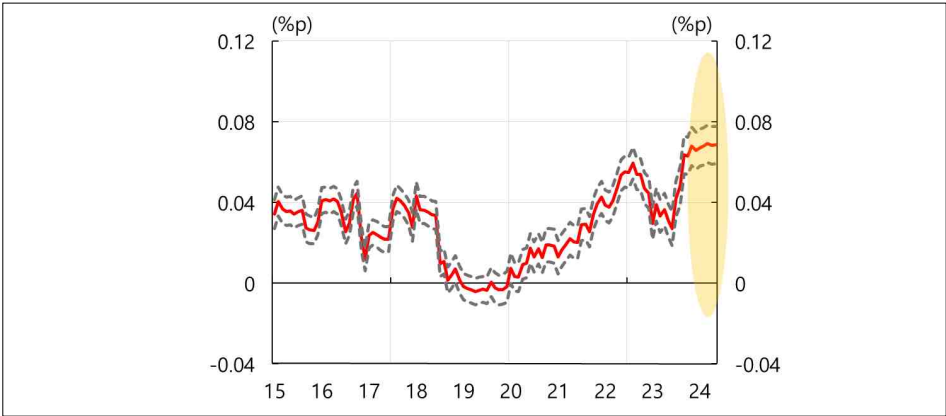
작을 뿐만 아니라 이상기후의 영향력 추정값이 통계적으로 유의하지도 않았다. 이는 일부 채소 작물들의 경우 시설재배가 가능하여 이상기후의 영향이 과실에 비해 상대적으로 적기 때문인 것으로 판단된다. 한편 2001년에서 2009년까지의 자료를 활용하여 필립스 곡선을 추정해본 결과 2010년 이후와 달리 이상기후가 인플레이션에 미친 영향력이 통계적으로 유의하지 않았다. 이를 통해 2010년 이후 이상기후가 인플레이션에 본격적으로 영향을 미치게 되었음을 간접적으로 유추해볼 수 있다.

〈Table 2〉 Sectoral Phillips curve estimation

	2010. 1 ~ 2024. 6				2001. 1 ~ 2009. 12			
	CPI	CPI food	CPI fruit	CPI vegetable	CPI	CPI food	CPI fruit	CPI vegetable
lagged inflation (β)	0.97***	0.87***	0.92***	0.81***	0.92***	0.79***	0.92***	0.71***
IP gap (γ)	0.02***	0.05*	0.20*	0.23	0.01	-0.09**	-0.17	0.08
CRI (α)	0.04**	0.17**	0.40*	0.27	-0.01	0.06	0.53	-0.70
constant (c)	-0.06	0.09	-0.49	0.17	0.21	1.10	-0.01	2.48

Notes: This table presents estimates of equation (13). *, **, and *** represent statistical significance levels of 10%, 5%, and 1%, respectively.

〈Figure 16〉 The impact of CRI on inflation across periods¹⁾²⁾³⁾



Notes: 1) 5-year window rolling regression.
2) The dotted line represents the 95% confidence band.
3) The shaded area represents the period during which the impact has recently increased.

Source: Author's estimation.

2010년 이후 시기별 영향력을 알아보기 위해 식 (13)에서 전품목 CPI 인플레이션에 대한 필립스 곡선을 5년간(60개월)의 윈도우 크기를 설정한 뒤 순차이동회귀 분석(rolling regression)을 해보았다. 〈Figure 16〉을 보면 2023년 중반 이후 이상기후가 인플레이션에 미친 영향력이 과거에 비해 확대된 현상이 나타났다.

필립스 곡선 추정에 대한 강건성 검정을 위해 Ahn and Lee (2023), Chang *et al.* (2016) 등을 참고하여 기대인플레이션을 향후 1년 기대인플레이션에 대한 한국은행 서베이 자료를 활용해보았다. 이 경우 12개월 후 인플레이션에 대한 기대값이기 때문에 $E_t\pi_{t+1} = E_t\pi_{t+12}$ 로 간주하여 식 (14)와 같은 모형을 설정하였다.

$$\pi_t^{CPI} = c + \beta E_t\pi_{t+12}^{CPI} + \gamma \widehat{IP}_t + \alpha CRI_t + \epsilon_t \quad (14)$$

다만 기대인플레이션의 경우 전품목에 대해서만 조사하기 때문에 품목별 기대인플레이션을 알 수가 없어서 부문별 필립스 곡선에 대한 추정 대신 전품목에 대한 필립스 곡선 추정만 실시하였다. 추정 결과 적응적 기대를 사용한 필립스 곡선의 추정과 유사하게 나타났다. 2010년 이후에는 이상기후가 인플레이션에 미친 영향력이 통계적으로 유의한 반면 2010년 이전에는 유의하지 않았다. 다만 기대인플레이션 자료를 사용한 필립스 곡선의 경우 이상기후가 인플레이션에 미친 영향력이 적응적 기대 필립스 곡선 추정보다 0.07%p 크게 나타난 것이 차이점이라고 볼 수 있다.

〈Table 3〉 Phillips curve estimation

	2010. 1 ~ 2024. 6	2002. 2 ~ 2009. 12
	CPI	CPI
expected inflation (β)	1.71***	0.61***
IP gap (γ)	0.04***	-0.04***
CRI (α)	0.11**	-0.01
constant (c)	-3.08	1.04

Notes: This table presents estimates of equation (14). *, **, and *** represent statistical significance levels of 10%, 5%, and 1%, respectively.

V. 결론 및 시사점

본 연구에서는 ACI 방법론을 참고하여 기온, 강수량 등의 이상기후 현상을 나타내는 우리나라 기후위험지수 CRI를 국내 최초로 제시하였다. 또한 이를 활용하여 이상기후 현상이 국내 실물경제에 미친 영향에 대해 실증분석하였다. 이 CRI는 16개의 시도별로 모두 산출되기 때문에 이상기후가 지역경제에 미친 영향에 대해서도 분석이 가능하다.

과거 우리나라 CRI의 특징을 분석한 결과 전국 및 지역별 CRI가 시간에 따라 상승하는 추세를 보이는 가운데 시간이 지날수록 지역별 편차가 확대되는 경향을 나타내었다. 이는 지구온난화 및 환경오염 등의 영향으로 이상기후의 빈도 및 강도가 높아졌기 때문으로 보인다. 또한 과거대비 지역별 편차도 최근들어 확대되고 있는데, 특히 강원과 제주가 전국 CRI 수준을 큰 폭으로 상회하였다. CRI 구성요인을 분해해보면 강원은 이상고온, 제주는 해수면높이가 전국에 비해 큰 비중을 차지한 것으로 확인되었다.

이상기후 현상의 경우 최근 들어 경제에 미친 영향력 및 지속성이 커지는 비대칭성이 관찰되었다. 이상기후 현상이 과거에는 산업생산에 큰 영향을 미치지 못했지만 2001년 이후 부정적인 영향이 과거에 비해 크고 지속적인 것으로 분석되었다. 인플레이션의 경우 이상기후 현상으로 인플레이션의 지속성이 과거대비 2개월 정도 더 길어지는 것으로 나타났다.

CRI를 활용하여 전품목, 식료품, 과일, 채소와 관련된 소비자물가지수의 필립스 곡선을 추정해보면 이상기후 현상이 인플레이션에 미치는 영향력은 2010년 이후 대부분 품목에서 통계적으로 유의하게 나타났다. 특히 식료품 및 과일가격에 미치는 영향력이 큰 것으로 나타나는 가운데, 2023년 중반 이후 이상기후가 인플레이션에 미친 영향력이 확대되고 있다.

■ 참 고 문 헌

1. 광노선 · 임호성, “FTA의 물가 안정화 효과 분석,” 『국제경제연구』, Vol. 24, No. 4, 2018.
(Translated in English) Kwark, Noh-Sun, and Hosung Lim, “Price Stabilizing Effects of the FTAs: The Case of Korea,” *International Economic Journal*, Vol. 24, No. 4, 2018.
2. 김재윤 · 정선문 · 이성태, “수출입경로를 통한 해외 기후변화 물리적리스크의 국내 파급영향,” 『BOK 이슈노트』, No. 2023-26, 2023.
(Translated in English) Kim, Jaeyoon, Sun-Moon Jung, and Sung-Tae Lee, “Spillover Effects of Foreign Climate-related Physical Risks via Trade Channels: Evidence from Korea,” *BOK Issue Note*, No. 2023-26, 2023.
3. 박경훈 · 박종욱 · 박상우 · 임준혁 · 김찬우 · 이종웅 · 박윤영, “기후변화 대응이 거시경제에 미치는 영향,” 『BOK 이슈노트』, No. 2021-23, 2021.
(Translated in English) Park, Kyunghoon, Jongwook Park, Sangwoo Park, Junhyuk Lim, Chanwoo Kim, Jongwoong Lee, and Yoon-Young Kwak, “The Impact of Climate Change Response on the Macroeconomy,” *BOK Issue Note*, No. 2021-23, 2021.
4. 이승희, “기상 여건 변화가 물가에 미치는 영향과 시사점,” 『KDI 현안분석』, 2024.
(Translated in English) Lee, Seunghee, “The Impact of Weather Condition Changes on Prices and Its Implications,” *KDI Analysis of Pending Issues*, 2024.
5. 이지원, “국내 기후변화 물리적 리스크의 실물경제 영향 분석,” 『BOK 경제연구』, No. 2023-26, 2023.
(Translated in English) Lee, Jiwon, “Climate Change Impacts on the Domestic Economy in Korea: A Chronic Risk Perspective,” *BOK Working Paper*, No. 2023-26, 2023.
6. 이솔빈 · 정원석 · 노정원, “이상기후가 전북지역 실물경제에 미치는 영향,” 한국은행 전북본부, 2024.
(Translated in English) Lee, Sol Bin, Won Suk Chung, and Jeongwon Noh, “The Impact of Extreme Weather on the Real Economy in Jeonbuk Region,” Bank of Korea, Jeonbuk Branch, 2024.
7. 임웅지 · 이동재 · 이윤수 · 박창현, “우리나라 물가수준의 특징 및 시사점: 주요국 비교를 중심으로,” 『BOK 이슈노트』, No. 2024-14, 2024.
(Translated in English) Lim, Woongji, Dongjae Lee, Yoonsoo Lee, and Changhyun Park, “Characteristics and Implications of Korea’s Price Levels: A Comparison with Major Countries,” *BOK Issue Note*, No. 2024-14, 2024.
8. 조병수 · 민초희, “기후변화가 국내 인플레이션에 미치는 영향,” 『BOK 이슈노트』, No. 2024-18, 2024.
(Translated in English) Cho, Byungsoo, and Chohee Min, “The Impact of Climate Change on Domestic Inflation,” *BOK Issue Note*, No. 2024-18, 2024.
9. 채여라 · 황진환 · 김보람 · 연정인 · 김지원, “기후변화 리스크의 부산지역 주요 산업에 대한 경제적 영향 분석,” 한국은행 부산본부, No. 2024-01, 2024.
(Translated in English) Chae, Yeora, Jin-Hwan Hwang, Boram Kim, Jung-In Yeon, and Ji-Won Kim, “An Economic Impact of Climate Change Risks on Major Industries in the

- Busan Region,” Bank of Korea, Busan Branch, No. 2024-01, 2024.
10. Ahmed, M. I., and S. P. Cassou, “Does Consumer Confidence Affect Durable Goods Spending During Bad and Good Economic Times Equally?” *Journal of Macroeconomics*, Vol. 50, 2016, pp.86-97.
11. Ahn, J., and J. Lee, “The Roles of Import Prices in Flattening the Phillips Curve: Evidence from Korea,” *Journal of Asian Economics*, Vol. 86, 2023.
12. Ascari, G., and T. Haber, “Non-linearities, State-dependent Prices and the Transmission Mechanism of Monetary Policy,” *The Economic Journal*, Vol. 132, No. 641, 2022, pp. 37-57.
13. Auerbach, A. J., and Y. Gorodnichenko, “Measuring the Output Responses to Fiscal Policy,” *American Economic Journal: Economic Policy*, Vol. 4, No. 2, 2012, pp.1-27.
14. Berg, K., C. Curtis, and N. Mark, “GDP and Temperature: Evidence on Cross-Country Response Heterogeneity,” *NBER Working Paper*, 2023.
15. Bilal, A., and D. Kanzig, “The Macroeconomic Impact of Climate Change: Global vs. Local Temperature,” *NBER Working Paper*, 2024.
16. Burke, M., M. Hsiang, and E. Miguel, “Global Non-linear Effect of Temperature on Economic Production,” *Nature*, Vol. 527, No. 7577, 2015.
17. Chang, M., C. Choi, and K. Park, “Inflation Dynamics in the Postcrisis Period: Korea’s Experience,” *BIS Paper*, Vol. 89, 2016.
18. Christiano, L., M. Eichenbaum, and C. Evans, “Monetary Policy Shocks: What Have We Learned and To What End?” *Handbook of Macroeconomics*, Vol. 1(A), 1999.
19. Colacito, R., B. Hoffmann, and T. Phan, “Temperature and Growth: A Panel Analysis of the United States,” *Journal of Money, Credit and Banking*, Vol. 51, No. 2-3, 2019.
20. Dell, M., F. Jones, and A. Olken, “Temperature Shocks and Economic Growth: Evidence from the Last Half Century,” *American Economic Journal: Macroeconomics*, Vol. 4, No. 3, 2012.
21. Diebold, X., M. Gobel, G. Coulombe, D. Rudebusch, and B. Zhang, “Optimal Combination of Arctic Sea Ice Extent Measures: A Dynamic Factor Modeling Approach,” *International Journal of Forecasting*, 2021.
22. Faccia, D., M. Parker, and L. Stracca, “Feeling the Heat: Extreme Temperatures and Price Stability,” *ECB Working Paper*, 2021.
23. Gali, J., and M. Gertler, “Inflation dynamics: A structural econometric analysis,” *Journal of Monetary Economics*, Vol. 44, No. 2, 1999, pp.195-222.
24. Hamilton, J. D., “Why You Should Never Use the Hodrick-Prescott Filter,” *Review of Economics and Statistics*, Vol. 100, No. 5, 2018, pp.831-843.
25. Hope, C., J. Anderson, and P. Wenman, “Policy Analysis of the Greenhouse Effect: An Application of the PAGE Model,” *Energy Policy*, Vol. 21, No. 3, 1993.
26. Imbs, J., E. Jondeau, and F. Pelgrin, “Sectoral Phillips Curves and the Aggregate Phillips Curve,” *Journal of Monetary Economics*, Vol. 58, No. 4, 2011, pp.328-344.
27. Jorda, O., “Estimation and Inference of Impulse Responses by Local Projections,” *American Economic Review*, Vol. 95, 2005.

28. Kiley, M., "Growth at Risk from Climate Change," *Fed Discussion Series*, 2021-054, 2021.
29. Kim, H., C. Matthes, and T. Phan, "Extreme Weather and the Macroeconomy," *Federal Reserve Bank of Richmond Working Paper*, 2021.
30. Metcalf, G., and J. Stock, "The Macroeconomic Impact of Europe's Carbon Taxes," *American Economic Journal: Macroeconomics*, Vol. 15, No. 3, 2023.
31. Nordhaus, W., "Resources as a Constraint on Growth," *American Economic Review*, Vol. 64, No. 2, 1974.
32. ———, "Economic Growth and Climate: The Carbon Dioxide Problem," *American Economic Review*, Vol. 67, No. 1, 1977.
33. ———, "An Optimal Transition Path for Controlling Greenhouse Gases," *Science*, Vol. 258, No. 5086, 1992.
34. Nordhaus, W., and Z. Yang, "A Regional Dynamic General Equilibrium Model of Alternative Climate-Change Strategies," *American Economic Review*, Vol. 86, No. 4, 1996.
35. Parker, M., "The Impact of Disasters on Inflation," *Economics of Disasters and Climate Change*, Vol. 2, No. 1, 2018.
36. Pretis, F., M. Schwarz, K. Tang, K. Haustein, and R. Allen, "Uncertain Impacts on Economic Growth When Stabilizing Global Temperatures at 1.5°C or 2°C Warming," *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, Vol. 376, No. 2119, 2018.
37. Ramey, V., and S. Zubairy, "Government Spending Multipliers in Good Times and in Bad: Evidence from U.S. Historical Data," *Journal of Political Economy*, Vol. 126, No. 2, 2018.
38. Sims, C. A., "Interpreting the Macroeconomic Time Series Facts: The Effects of Monetary Policy," *European Economic Review*, Vol. 36, No. 5, 1992, pp.975-1000.

〈부 록 A〉

〈Table A〉 Regional meteorological and sea level observation used for CRI estimation

Region	Temperature ¹⁾	Precipitation ¹⁾	Sea level ²⁾
Seoul	Seoul (108)	Seoul (108)	Incheon
Busan	Busan (159)	Busan (159)	Busan
Daegu	Daegu (143)	Daegu (143)	Ulsan
Incheon	Incheon (112)	Incheon (112)	Incheon
Gwangju	Gwangju (156)	Gwangju (156)	Mokpo
Daejeon	Daejeon (133)	Daejeon (133)	Gunsan
Ulsan	Ulsan (152)	Ulsan (152)	Ulsan
Gyeonggi	Suwon (119)	Suwon (119)	Incheon
Gangwon	Wonju (114)	Wonju (114)	Mukho
Chungbuk	Chungju (131)	Chungju (131)	Gunsan
Chungnam	Cheonan (232)	Cheonan (232)	Gunsan
Jeonbuk	Jeonju (146)	Jeonju (146)	Gunsan
Jeonnam	Yeosu (168)	Yeosu (168)	Yeosu
Gyeongbuk	Pohang (138)	Pohang (138)	Ulsan
Gyeongnam	Jinju (192)	Jinju (192)	Tongyeong
Jeju	Jeju (184)	Jeju (184)	Jeju

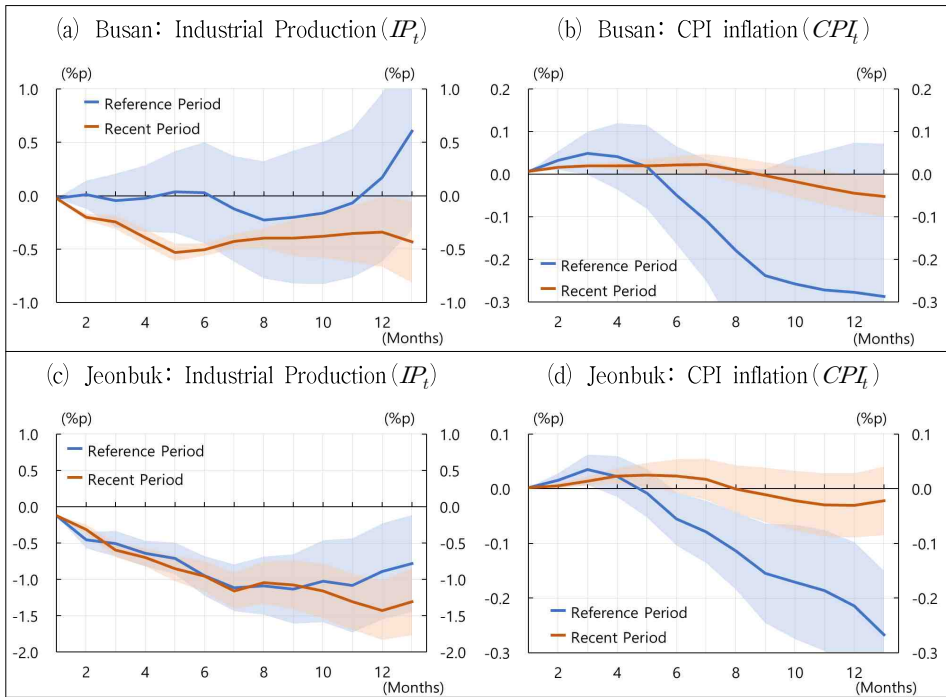
Note: 1) The number in parentheses is the Korea Meteorological Administration (KMA) station code, 2) Tide gauge station.

〈부 록 B〉

이상기후가 지역경제에 미치는 영향에 대한 추가적 사례로 부산과 전북을 살펴보기로 한다. 먼저 부산에 대한 충격반응분석 결과, 이상기후가 산업생산에 미치는 영향은 기준기간에는 통계적으로 유의하지 않았으나 최근기간에는 산업생산 증가율을 5개월 후 약 0.5%p 가량 하락시키는 것으로 나타났다(〈Figure B(a)〉 참조). 또한 인플레이션에 미치는 영향은 기준기간에 비해 지속기간이 약 4개월 늘어나는 것으로 분석되었다(〈Figure B(b)〉 참조). 이는 최근 들어 이상기후의 영향이 심화되고 있음을 시사한다. 부산지역은 바다에 인접하고 있는데다 채여라 외(2024)에서 지적하였듯이 조선업, 항만물류업 등 주력산업이 기온과 강수량과 같은 기상여건에 민감할 수 있어 이상기후의 영향이 유의하게 나타난 것으로 판단된다.

전북에 대한 분석결과도 과거에 비해 이상기후가 산업생산에 미치는 영향이 확대되고 그 지속기간이 약 8개월 가량 길어지는 비대칭성이 나타났다(〈Figure B(c)〉 참조). 특히 최근기간에 이상기후가 전북의 산업생산 증가율을 12개월 이후 약 1.4%p 감소시키는 것으로 나타났는데 이는 전북지역이 이상기후에 민감한 농림어업과 건설업 비중³¹⁾이 높은 산업구조를 가지고 있기 때문으로 보인다(이솔빈 외, 2024). 인플레이션에 미치는 영향의 경우에도 부산과 유사하게 최근기간에 지속기간이 늘어나는 모습을 보이고 있다(〈Figure B(d)〉 참조).

〈Figure B〉 Impulse responses of CRI shock on regional economy¹⁾



Notes: 1) Shaded areas represent 68% confidence band.

〈부 록 C〉

Kim *et al.* (2021)은 식 (C1)처럼 시간에 따라 선형으로 증가하는 형태의

31) 2022년 기준 전북의 농림어업 비중은 지역내총생산(GRDP) 대비 6.7%로 전국 평균(1.6%)의 4배 이상 높았으며 건설업 비중도 5.5%로 전국 평균인 4.5%를 상회하였다.

smooth transition 변수(\tilde{z}_t)를 가정하였다.

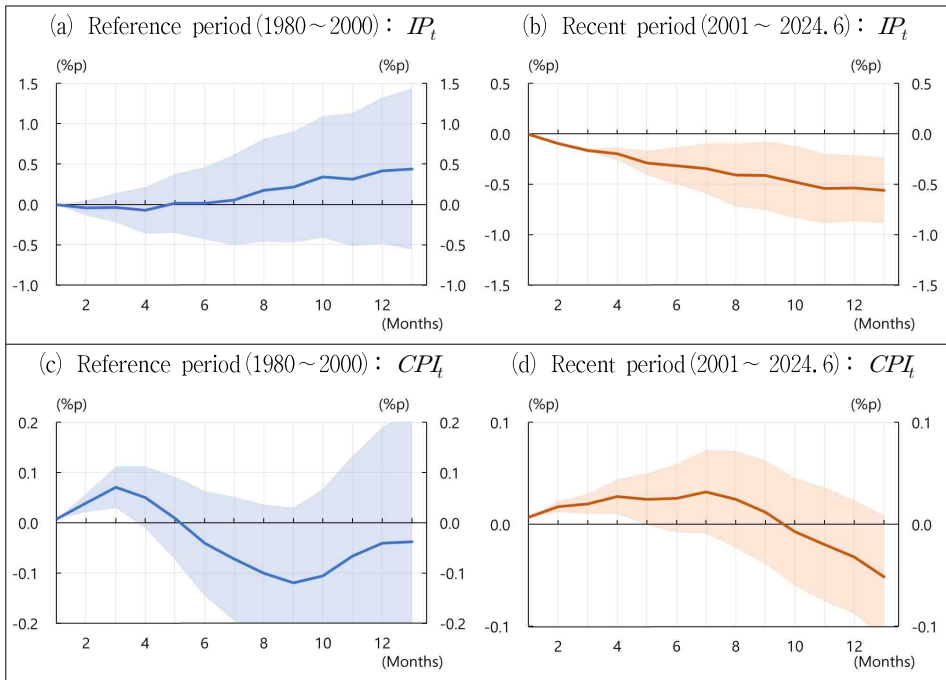
$$\tilde{z}_t = \frac{t}{T}, \quad \forall 0 \leq t \leq T \quad (C1)$$

식 (C1)을 이용한 국소투영법 모형은 아래와 같다.

$$\begin{aligned} y_{t+s} = & (1 - \tilde{z}_{t-1}) \left[\alpha_{before}^s + \sum_{i=1}^p B_{i,before}^{s+1} y_{t-i} \right] \\ & + \tilde{z}_{t-1} \left[\alpha_{after}^s + \sum_{i=1}^p B_{i,after}^{s+1} y_{t-i} \right] + u_{t+s}^s \end{aligned} \quad (C2)$$

식 (C2)의 국소투영법을 실시한 결과는 <Figure C>에 나타나 있는데 이 결과는 본고의 주요 결과와 유사하게 나타났다.

<Figure C> Impulse responses of CRI shock (smooth transition) on real economy¹⁾



Notes: 1) Shaded areas represent 68% confidence band.

The Impact of Extreme Weather on the Real Economy*

Won Suk Chung** · Sol Bin Lee*** · Eunjeong Jo****

Abstract

This study analyzes the impact of extreme weather, such as temperature and precipitation anomalies, on the domestic real economy by introducing the Climate Risk Index (CRI) for Korea, which captures climate-related risks. Analysis of the characteristics of Korea's CRI reveals an upward trend in both national and regional CRIs over time, along with an widening regional disparities. This trend likely reflects a heightened frequency and intensity of extreme weather events due to global warming and environmental pollution. In recent years, there has been asymmetry in the economic impacts and persistence of extreme weather, with these effects becoming more pronounced compared to the reference period. Additionally, estimating the Phillips curve using the CRI indicates that extreme weather events have had a statistically significant impact on inflation across most items since 2010.

Key Words: extreme weather, climate change, asymmetry

JEL Classification: Q, D5, C5

Received: Nov. 6, 2024. Revised: Dec. 18, 2024. Accepted: Feb. 14, 2025.

* This paper is a revised and supplemented version of 'The Impact of Extreme Weather on the Real Economy,' published as BOK Issue Note No. 2024-23 by the Bank of Korea. The views expressed in this paper are solely those of the author and do not represent the official stance of the Bank of Korea. When reporting or citing this paper, please be sure to attribute it to the author. The author extends sincere gratitude to Mr. Chae Hee Kwon, the former Head of the Jeonbuk Branch, Mr. Lee Seung Cheol, Head of the Jeonbuk Planning and Research Team, and two anonymous reviewers for their valuable assistance in the preparation of this paper. Any remaining errors are the sole responsibility of the author.

** First Author, Economist, Monetary Policy Framework Team, Bank of Korea, 39, Namdaemun-ro, Jung-gu, Seoul, 04531, Korea, Phone: +82-2-759-4250, e-mail: wschung@bok.or.kr

*** Co-Author, Junior Economist, Regional Economic Research Team, Bank of Korea Jeonbuk Branch, 325, Paldal-ro, Dukjin-ku, Jeonju, Jeonbuk State, Korea, Phone: +82-63-250-4081, e-mail: solbins@bok.or.kr

**** Co-Author, Economist, Bank Risk Analysis Team, Bank of Korea, 39, Namdaemun-ro, Jung-gu, Seoul, 04531, Korea, Phone: +82-2-750-6713, e-mail: eunjeong@bok.or.kr