



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

경제학 석사 학위 논문

동물성 단백질 식품에 대한
탄소세 부과에의 경제적 효과



2023년 2월

부경대학교 대학원

자원환경경제학과

우경원

경 제 학 석 사 학 위 논 문

동물성 단백질 식품에 대한
탄소세 부과에 경제적 효과

지도교수 신 용 민

이 논문을 경제학석사 학위논문으로 제출함.

2023년 2월

부 경 대 학 교 대 학 원

자 원 환 경 경 제 학 과

우 경 원

우경원의 경제학석사 학위논문을 인준함.

2023년 2월 17일



위원장 경제학박사 김봉태 (인)

위원 환경자원경제학박사 남종오 (인)

위원 경제학박사 신용민 (인)

<목 차>

I. 서론	1
1. 연구의 배경 및 목적	1
2. 연구방법 및 구성	3
3. 선행연구	5
II. 축수산업과 온실가스	9
1. 축수산업과 온실가스	9
2. 축수산업에 적용된 탄소 정책 사례	16
III. 연구의 분석모형 및 분석자료	21
1. 수요분석모형: 준이상수요체계(AIDS)	21
2. 공급분석모형: 다중회귀모형	25
3. 경제적 후생 추정	28
4. 분석자료 및 변수 선정	39
IV. 연구 분석 결과	44
1. 기초통계량	44
2. 수요함수 추정결과	46
3. 공급함수 추정결과	50
4. 경제적 후생 추정결과	58
V. 결론	73

1. 연구결과 요약	73
2. 연구의 시사점	76
3. 연구의 한계 및 의의	77
참고문헌	79



<표 목차>

<표 I-1> 수요분석 관련 선행연구	5
<표 I-2> 공급분석 관련 선행연구	6
<표 I-3> 탄소세 관련 선행연구	7
<표 I-4> 후생 관련 선행연구	8
<표 II-1> 단백질 100g당 온실가스 배출 강도	10
<표 II-2> 단백질 1kg당 온실가스 배출 강도	10
<표 II-3> 소 장내 발효 배출계수	12
<표 II-4> 기타 가축 장내발효 배출계수	12
<표 II-5> 주요 축산부문 온실가스 배출 추이	13
<표 II-6> 단백질 1kg당 탄소배출강도(본 연구 사용)	15
<표 III-1> 다중회귀의 기본가정	25
<표 III-2> 2021년 축산 경영비	40
<표 III-3> 2021년 어업 경영비	41
<표 III-4> 분석자료	43
<표 IV-1> 수요 기초통계량	44
<표 IV-2> 공급 기초통계량	45
<표 IV-3> Breusch-Pagan Test	46
<표 IV-4> 제약 LR검정	47
<표 IV-5> AIDS 계수 추정 결과	48
<표 IV-6> AIDS 비보상(마셜)가격탄력성 추정 결과	49
<표 IV-7> AIDS 보상(Hicks)가격탄력성 추정 결과	49
<표 IV-8> 공급함수 사전검정 결과	51

<표 IV-9> 쇠고기 공급함수 추정 결과	53
<표 IV-10> 돼지고기 공급함수 추정 결과	54
<표 IV-11> 닭고기 공급함수 추정 결과	55
<표 IV-12> 어류 공급함수 추정 결과	56
<표 IV-13> 수요공급탄력성	58
<표 IV-14> 평균 거래량 및 가격	58
<표 IV-15> 단백질 1kg 당 탄소배출강도	59
<표 IV-16> 적색육 적정 육류세율	60
<표 IV-17> 육류 및 가금류 적정 피구세	60
<표 IV-18> 1kg 생산에 따른 탄소배출량	61
<표 IV-19> 동물성 단백질 1kg에 부과되는 탄소세	62
<표 IV-20> 쇠고기 육류세 정책 시 시나리오(M. Springmann)	62
<표 IV-21> 육류세 정책 시 시나리오(F. Funke)	63
<표 IV-22> 탄소세 정책 시 시나리오(KAU 22)	65
<표 IV-23> 탄소세 정책 시 시나리오(세계은행)	66
<표 IV-24> 시나리오별 변화값 1	67
<표 IV-25> 시나리오별 변화값 2	68
<표 IV-26> 수산물 보조금 정책 시 시나리오	69
<표 IV-27> 수산물 보조금 강화 시나리오	71

<그림 목차>

[그림 I-1] 연구수행 체계도	4
[그림 II-1] 주요 축산부문 온실가스 배출 추이	14
[그림 III-1] 생산자에게 조세 부과 시의 공급곡선 이동	29
[그림 III-2] 소비자에게 조세 부과 시의 수요곡선 이동	29
[그림 III-3] 조세 부과 시 후생 변화	37
[그림 III-4] 대체시장의 후생 변화	38



Economic Effects of Imposing a Carbon Tax
on Animal Protein Foods

Kyeong Won Woo

Department of Resource and Environmental Economics,
The Graduate School, Pukyong National University

Abstract

The problem of climate change is gradually becoming more serious. In climate change, which was called global warming in the past, the increase in greenhouse gases does not simply increase the temperature of the earth, but causes abnormal weather such as floods, forest fires, typhoons, and droughts all over the world.

As a result, countries around the world are making great efforts to reduce greenhouse gas emissions. Unlike the Kyoto Protocol, which imposed reduction obligations mainly on developed countries, almost all countries are now participating in greenhouse gas reduction through the Paris Agreement. However, despite these efforts by countries around the world, the IPCC reports that climate change is accelerating over time.

Accordingly, the world is aiming for carbon neutrality that

completely eliminates greenhouse gases beyond simply reducing greenhouse gases. As a result, carbon-neutral policies are being discussed in areas such as agriculture, livestock, and fisheries, in addition to energy and manufacturing sectors with high carbon emissions. Therefore, there is a possibility that the carbon tax or emission trading system, which is a representative carbon reduction policy, can be applied to these industries.

This study analyzed greenhouse gas reduction policies for beef, pork, chicken, and aquatic products (fish) markets, which are major domestic animal protein markets. A total of four scenarios, from a scenario in which a carbon tax is imposed only in the beef market with the highest greenhouse gas emissions, to a scenario in which a carbon tax is differentially imposed in proportion to the carbon emissions of all animal protein markets, are assumed to reduce carbon emissions and economic welfare. analyzed.

As a result of the study, from an economic point of view, economic welfare decreased the least in the scenario in which the carbon tax was imposed by applying the domestic carbon credit price. However, from an environmental point of view, when the Pigou tax based on F. Funke's research was imposed, carbon emissions were reduced the most.

Based on the above results, it is thought that this study can be used as basic data when meat tax is introduced in Korea in the future.

I. 서론

1. 연구의 배경 및 목적

기후변화로 인한 문제가 전 세계적으로 심각해지고 있다. 2022년 들어 스페인, 포르투갈 등에서는 40°C 이상의 폭염을 기록했고, 곳곳에서 산불이 발생하였으며, 영국은 폭우로 인해 대홍수가 발생하였다.

우리나라 역시 기후변화로 인한 문제가 잦아지고 있다. 이상적으로 길어진 장마, 수온 상승으로 인한 대규모 태풍 피해가 발생했다. 2013년에 출간된 기후변화에 관한 정부 간 패널(The Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC)의 5차 보고서에 따르면, 온실가스 저감정책이 상당히 실행되어야 달성할 수 있는 RCP 4.5 시나리오가 실현되더라도 지구 평균기온이 1.5°C를 초과할 것으로 전망된다.

그러나 온실가스 배출량이 현재와 같이 진행된다면, 2052년에 지구 평균기온이 1.5°C 상승할 것으로 전망한 IPCC 1.5°C 특별보고서(2018)와 달리 IPCC 6차 보고서(2021)에서는 이보다 10년 앞당겨진 2040년에 1.5°C를 돌파할 것으로 예측되었다.

이처럼 기후변화 문제는 시간이 흐를수록 더욱 심각해짐에 따라 각국은 온실가스를 감축하기 위한 수단으로 탄소세를 부과하거나 배출권거래제를 도입하고 있으며, 감축을 유도하려는 목적으로 보조금을 지급하는 등의 경제적 유인수단을 확대하고 있다. 나아가 2015년 파리협정 이후 세계는 탄소 감축을 넘어 탄소 순배출량을 0으로 만드는 탄소 중립을 향해 나아가고 있다.

따라서 탄소 배출량이 많은 제조업뿐만 아니라 농림어업과 같은 1차 산

업에도 탄소 중립을 달성하기 위한 여러 정책들이 시도되고 있다. 그러나 현재 탄소배출은 경제와 매우 밀접하게 연결되어 있다. 현재 배출되는 대부분의 탄소는 모두 경제활동으로 인해 발생했다고 보아도 무방하다. 따라서 탄소를 저감하기 위한 정책은 필연적으로 경제적 후생에 영향을 미치게 된다.

농림어업과 같은 1차 산업 역시 산업활동의 대상이 되는 동식물들 스스로 메탄과 같은 온실가스를 배출하고 있다. 축산물 특히, 소나 양과 같은 반추동물에게서 배출되는 온실가스는 가금류, 어류와 같은 다른 가축에 비해 훨씬 많다. Poor and Nemeck(2018), R.W.R Parker et al.(2018) 등에 따르면, 소나 양과 같은 반추동물은 돼지나 가금류와 같은 다른 축종들에 비해 거의 10배에 달하는 온실가스를 배출하는 것으로 연구되었다.

반면 수산물은 온실가스를 상대적으로 적게 배출하는 것으로 나타났다. R.W.R Parker et al.(2018)에 따르면, 어로어업을 통해 생산되는 수산물은 단백질 1kg을 생산하기 위해 약 2.2kg의 온실가스가 배출되는 것으로 나타났다, Alice et al.(2022)에서 양식어류의 경우 1kg당 약 3.3kg의 온실가스를 배출하는 것으로 나타났는데, 이는 45~640kg을 배출하는 소나 51~750kg을 배출하는 양에 비해 압도적으로 낮고, 20~55kg을 배출하는 돼지나, 10~30kg을 배출하는 닭에 비해서도 낮다.

장기적으로는 농림어업과 같은 1차 산업에도 탄소저감정책이 강화될 것으로 예측된다. 이러한 상황에서 덤벨경제로 인해 단백질에 대한 수요가 점점 증가하고 있다.¹⁾ 식품산업통계정보시스템(aTFIS) 보도자료(2021)에 따르면, 단백질 시장규모는 2018년에 비해 2021년에는 약 4배 상승하였다.

이에 본 연구는 육류를 중심으로 한 동물성 단백질 시장에 탄소저감정책이 시행되었을 때의 경제적 후생 변화를 실증적으로 분석해보고자 한다.

1) 환경닷컴, <https://dic.hankyung.com>, “덤벨경제”, 검색일: 2022.09.10.

주요 동물성 단백질인 쇠고기, 돼지고기, 닭고기, 어류를 중심으로 수요 및 공급탄력성 추정 후 이를 이용하여 경제적 후생을 도출하고, 탄소저감정책이 시행되었을 때, 이러한 후생이 어떻게 변하는지를 분석하고자 한다.

2. 연구방법 및 구성

제1절에서 언급한 바와 같이, 본 연구에서는 국내 주요 동물성 단백질 시장의 수요 및 공급탄력성을 추정하고 나아가 탄소 저감 정책이 시행되었을 때 경제적 후생 변화를 추정하는 것에 목적이 있다.

제2장에서는 축수산업에 적용하고 있는 온실가스 인벤토리 배출계수에 대해 살펴본 후 국내 축수산업의 온실가스 배출량 추이를 살펴보도록 한다. 마지막으로 축산업이나 수산업에 탄소저감정책을 적용한 국내/외 사례에 관해 살펴본다.

제3장에서는 본 연구에서 사용된 분석모형과 분석에 사용된 데이터에 대해 소개한다. 우선 수요함수를 도출하기 위해 사용한 준이상수요체계(Almost Ideal Demand System, AIDS)을 설명한다. 다음으로 공급함수를 도출하기 위해 사용한 다중회귀모형과 다중회귀모형을 사용할 때 사전적으로 진단해야 할 여러 검정들을 설명한 다음 경제적 후생을 추정하기 위해 사용한 추정법에 대한 증명을 설명한다. 마지막으로 분석에 사용된 자료를 살펴본다.

제4장에서는 제3장에서 설명한 분석모형의 결과를 제시한다. 결과를 제시하기 전 분석에 사용된 자료의 기초통계량을 먼저 제시한 후 수요가격탄력성, 공급탄력성, 경제적 후생의 추정 결과를 제시한다.

제5장에서는 분석 결과에 대해 요약하고 본 연구의 시사점과 한계점을 서술하며 마무리한다. 본 연구의 수행체계 도식화가 [그림 I-1]에 제시되어 있다.



[그림 1-1] 연구수행 체계도

3. 선행연구

본 연구에서는 크게 3가지의 분석을 진행한다. 첫 번째로 준이상수요체계(AIDS)를 이용하여 가격에 대한 수요탄력성을 도출하고, 다중회귀모형을 이용하여 공급탄력성을 도출한 다음, 도출된 탄력성을 이용하여 경제적 후생을 측정한다. 우선 <표 I -1>에는 수요탄력성을 도출한 선행연구들이 제시되어 있다.

<표 I -1> 수요분석 관련 선행연구

연도	저자	제목	분석 방법(모형)
2012	노수정	로테르담 모형을 이용한 한국의 주요 과일류 수요분석	로테르담 수요모형
2012	노수정 외	수입 오렌지와 국내산 과일 수요의 가격 및 지출탄력성 추정	로테르담 수요모형
2012	김주희	역수요모형을 이용한 수산물 시장의 수요함수 추정	AIDS
2017	김원태	AIDS 모형을 이용한 육류수요변화 요인 분석	AIDS
2017	최순	완결수요체계를 이용한 채소류 수요함수 추정	AIDS
2018	박유정·박철형	AIDS를 이용한 주요 소비자종의 가격탄력성 추정에 관한 연구	AIDS
2020	강민성 외	청탁금지법이 국내 과일 수요에 미친 영향 분석	AIDS
2021	오승환·제상영	2차 준이상수요체계를 이용한 한국 육류상품시장의 대체관계 분석	QUAIDS
2022	우경원·신용민	냉동오징어 수요의 수입대체관계 비교분석-로테르담모형과 준이상수요체계를 중심으로	AIDS, 로테르담 수요모형

노수정(2012)과 노수정 외(2012)에서는 완결수요모형중 하나인 로테르

담모형을 이용하여 과일에 대한 수요탄력성을 도출하였다. 김주희(2012), 박유정·박철형(2018), 우경원·신용민(2022)에서는 AIDS를 사용하여 수산물의 수요가격탄력성을 도출하였으며, 김원태(2017), 오승환·제상영(2021)에서는 각각 AIDS와 2차 준이상수요체계인 QUAIDS를 이용하여 육류의 수요탄력성을 도출하였다. 그 외 최순(2017), 강민성 외(2020)에서는 AIDS를 이용하여 각각 채소류와 과일류의 수요탄력성을 도출하였다.

다음으로 공급에 관한 선행연구들은 <표 I-2>에 제시되어 있다.

<표 I-2> 공급분석 관련 선행연구

연도	저자	제목	분석 방법(모형)
2016	고봉현	수급모형을 이용한 양식넙치의 생산 및 출하조절 효과분석	동태수급모형
2017	조재성 외	한우 수급 및 가격 전망 모형 구축 연구	동태수급모형
2018	김충현 외	쇠고기이력제 자료를 이용한 한우 수급모형 구축	동태수급모형
2020	한석호 외	부분균형모형을 이용한 전복 수급전망모형 구축에 관한 연구	동태수급모형
2022	전상곤·박동주	암소도축률을 이용한 한우 중장기 수급모형 연구	동태수급모형

대부분 단순히 공급탄력성을 도출한 것이 아닌 입식단계부터 출하단계까지의 동태적인 수급모형을 이용하였다. 수산분야에서는 고봉현(2016)과 한석호 외(2020)가 대표적이며, 각각 넙치와 전복을 분석하였다. 축산에서는 거의 모든 연구가 쇠고기를 이용하여 분석을 진행하였으며, 조재성 외(2017), 김충현 외(2018), 전상곤·박동주(2022) 등이 있다.

두 번째로는 온실가스 저감 정책이 후생에 미치는 영향에 대해 분석한다. 온실가스 저감 정책과 관련된 연구는 <표 I-3>에 제시되어 있다.

<표 1-3> 탄소세 관련 선행연구

연도	저자	제목	분석 방법(모형)
2001	장재봉·권오상	탄소세가 농업부문에 미치는 일 반균형효과 분석	연산가능일반균형
2002	S. E. West and R. C. Williams III	Estimates from a Consumer Demand System : Implications for the Incidence of Environmental Tax	AIDS
2007	김창길 외	온실가스 의무감축 이행의 농업 부문 과급영향 분석	동태적 연산가능일반균형
2018	E.Greene	Silent but Deadly : An Economic Approach to Reducing the Negative Externalities of the Beef Industry to the Environment	다중회귀분석
2019	Gren et al.	Design of a Climate Tax on Food Consumption: Examples of Tomatoes and Beef in Sweden	선형계획법

국내 연구인 장재봉·권오상(2001), 김창길 외(2007)의 경우 연산가능일반균형모형인 CGE를 이용하여 분석을 진행하였다. CGE는 산업 전체에 미치는 충격에 대해 분석을 진행하기에 용이하다.

해외 연구의 경우 West and Williams III(2002)는 AIDS를 이용하여 수요함수를 도출한 후 이에 탄소세를 부과하였을 때의 효과를 분석하였다. Greene(2018)은 쇠고기 시장에 대해 다중회귀분석을 이용하여 함수를 도출한 후 이에 탄소세가 부과되었을 때의 후생변화를 분석하였다. 마지막으로 Gren et al.(2019)에서는 선형계획법을 이용하여 스웨덴의 토마토와 쇠고기 시장에 탄소세를 부과하였을 때의 모형을 가정하여 최적화하여 충격을 구하였다.

세 번째인 경제적 후생 도출에 관한 연구는 <표 I-4>에 제시되어 있다.

<표 I-4> 후생 관련 선행연구

연도	저자	제목	분석 방법(모형)
2007	김윤식	부분균형모델에서 대체효과를 고려한 FTA 효과 분석-쇠고기시장을 중심으로-	더블로그 수요함수
2017	김치운·양승룡	농산물 가격 책정방식에 따른 소비자 잉여 비교분석: 변동가격제 vs고정가격제	몬테카를로 시뮬레이션
2020	남경수·안병일	명절기간 주요 국내 과일의 수요함수 추정 및 생산자잉여 변화: 배와 사과를 중심으로	AIDS
2021	이용건 외	낙농산업의 온실가스 비용 추정 및 경제적 효과 분석	산업연관분석
2022	임채환 외	소득 및 후생 변화를 통한 농지 범용화 시범사업의 경제적 효과 분석	균형대체모형
2022	장재봉·김민경	학교 우유 급식사업의 후생효과	선행연구 참조

대부분의 연구에서 더블로그 수요함수, AIDS 등을 이용하여 탄력성을 도출한 후 이를 선형함수로 가정하여 후생을 도출하였다.

이처럼 대부분의 연구들은 수요, 공급, 후생을 모두 추정한 경우가 많지 않다. 따라서 본 연구에서는 주요 동물성 단백질 시장인 쇠고기, 돼지고기, 닭고기, 수산물(어류)의 수요가격탄력성과 공급탄력성을 도출하고 이를 이용한 후생과 온실가스 저감 정책이라는 충격이 후생 변화에 미치는 영향을 분석하고자 한다.

II. 축수산업과 온실가스

1. 축수산업과 온실가스

본 절에서는 축수산물의 온실가스 배출에 대해 살펴본다.

가. 축수산물과 온실가스 배출

가축산업에서 발생하는 온실가스는 크게 세 가지로 나누어 볼 수 있다 (김은중, 2012). 첫 번째는 가축의 소화과정에서 발생하는 경우로 이 경우에는 메탄(CH_4)이 주로 발생한다. 두 번째는 가축의 배설물(분뇨)에서 발생하는데, 이 경우에는 아산화질소(N_2O)가 주로 발생한다. 그 이외에는 유통과정이나 소비과정에서 발생하는 경우가 있다. 따라서 소나 양과 같은 반추동물의 경우 장내발효과정이 분뇨처리과정에 비해 훨씬 많은 온실가스를 배출하며, 돼지와 같은 가축에서는 분뇨처리과정에서 더욱 많은 온실가스를 배출한다(김은중, 2012).

수산물의 경우 어로어업은 자연상태에서 성장한 수산물을 포획, 채취하므로 입식이나 사육과정이 없어 대부분의 온실가스는 채포나 유통과정에서 발생한다고 할 수 있다. 반면 양식업은 입식, 사육, 유통 등 다양한 과정에서 발생할 수 있으므로 어로어업에 비해 상대적으로 많이 발생한다.

그동안 축수산물의 탄소 배출량을 도출하기 위한 연구들이 많이 진행되었다. Poor and Nemecek(2018)는 주요 식품의 탄소 배출량을 연구하였는데, 결과는 <표 II-1>에 제시되어 있다.

<표 II-1> 단백질 100g당 온실가스 배출 강도

(단위: kgCO₂eq)

구분	배출강도
쇠고기	50
양고기	20
돼지고기	7.6
가금류	5.7
양식어류	6

자료 : Poor and Nemecek(2018).

반추동물인 쇠고기와 양고기가 다른 종에 비해 훨씬 높은 강도를 보인다는 것을 알 수 있다.

다른 연구인 R. W. R Parker et al.(2018) 연구에서 역시 주요 식품의 탄소배출강도를 계산하였으며, <표 II-1>에 제시되어 있다.

<표 II-2> 단백질 1kg당 온실가스 배출 강도

(단위 : kgCO₂eq)

구분	배출강도
쇠고기	45 ~ 640
양고기	51 ~ 750
돼지고기	20 ~ 55
닭고기	10 ~ 30
어로어업	2.2

자료: R.W.R Parker et al.(2018).

연구 결과 앞선 Poor and Nemecek(2018)의 연구보다 더욱 높은 값을 가지는 것으로 나타났다.

그 외 Alice et al.(2022)에서는 양식 수산물의 온실가스 배출 강도를 연구하였는데, 양식어류는 톤당 3,271kg의 온실가스를 배출하는 것으로 나타났다. 즉 양식어류 kg당 3.271kg의 온실가스를 배출하는데, 식약처에 식품영양성분 데이터베이스에 따르면 어류의 평균 단백질 함유량은 100g당 20.3g이 포함되어 있다. 이를 이용 시 양식어류 단백질 1kg을 생산에 약 16.1kg의 온실가스를 배출한다고 볼 수 있다.

이처럼 식품의 온실가스 배출량을 추정하는 연구는 지속적으로 이루어지고 있으나, 현재 대부분의 국가는 온실가스 배출량을 산정하기 위해 IPCC의 지침을 따르고 있다. IPCC는 가축 부문에서 발생하는 온실가스 배출 범위를 장내 발효와 분뇨처리과정으로 나누었다. 배출계수는 IPCC에서 자체적으로 제공하는 Tier 1과 각 국가의 실정에 맞게 연구하여 적용하는 국가고유배출계수인 Tier 2가 있다.

현재 한국은 젓소와 한우의 장내 발효 과정 부문에서는 Tier 2를 사용하고 있으며, 그 외에는 Tier 1을 사용하고 있다.

장내 발효 배출계수는 <표 II-3>과 <표 II-4>에 제시되어 있다. IPCC에서는 젓소(Dairy Cattle), 육우(Other Cattle), 물소(Bufalo), 양(Sheep), 염소(Goats), 돼지(Swine), 말(Horse), 낙타(Camels), 노새 및 당나귀(Mules and Asses), 사슴(Deer), 타조(Ostrich), 가금류(Poultry), 라마 및 알파카(Llamas and Alpacas), 기타의 14개 부문으로 나누었다. 한국에서는 소, 물소, 양(면양), 양(산양), 낙타 및 라마, 말, 노새 및 당나귀, 돼지, 가금류, 기타(사슴)의 10개 부문을 적용하고 있다.

<표 II-3> 소 장내 발효 배출계수

(단위 : kgCH₄/head/yr)

구분	기준	배출계수
IPCC Tier1	북미기준	64
	서유럽기준	52
	동유럽기준	58
	오세아니아기준	63
	남미기준	56
	아시아기준	76
	아프리카기준	76
	중동기준	67
	인도기준	46
Tier2	암소(1세 미만)	47
	수소(1세 이상)	61
	수소(1세 미만)	43

자료 : IPCC(2019), 농촌진흥청(2021).

<표 II-4> 기타 가축 장내발효 배출계수

(단위 : kgCH₄/head/yr)

구분	기준	고생산성	저생산성
IPCC Tier1	양	9	5
	염소	9	5
	돼지	1.5	1
	말	18	
	낙타	46	
	라마 및 알파카	8	
	노새 및 당나귀	10	
	가금류	충분한 데이터 확보되지 않음	
	기타(사슴)	20	

자료 : IPCC(2019).

주 : 고생산성은 북미, 유럽, 오세아니아 기준이며 나머지는 저생산성.

다음으로 분뇨처리의 경우에도 한국은 IPCC의 Tier 1을 사용하고 있는데, IPCC는 가축분뇨처리시설에 따라 액비화시설(Liquid System), 퇴비화 시설(Solid Storage and Drylot) 등 다양한 분류를 이용하여 메탄발생계수와 아산화질소 배출계수를 제시하고 있다(농촌진흥청, 2018 ; IPCC, 2019)

그러나 수산부문의 온실가스는 따로 분류하지 않고 있는데, 수산부문은 에너지분야의 기타부문 중 농림어업에서만 적용하고 있다.

나. 한국 축산부문 온실가스 배출 현황

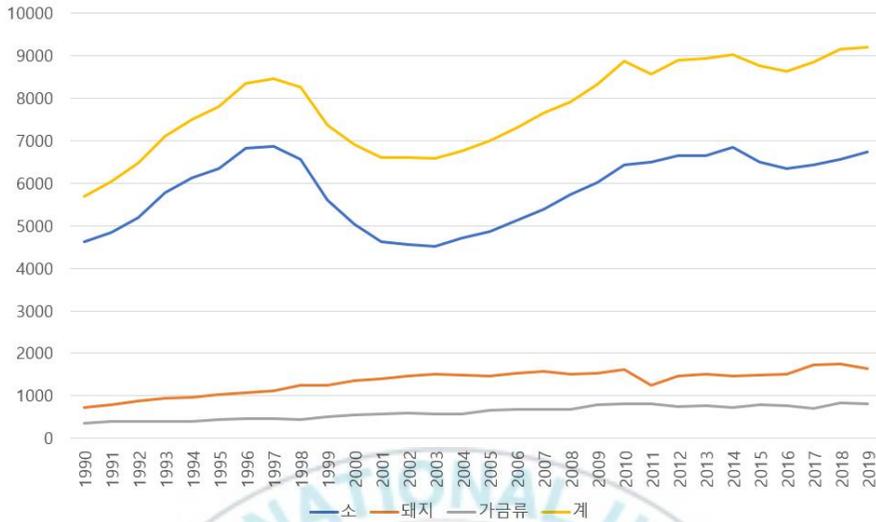
한국의 축산부문 온실가스의 대부분은 소, 돼지, 가금류(닭, 오리)이다. 주요 축산부문의 온실가스 배출 추이는 <표 II-5>와 [그림 II-1]에 제시되어 있다.

<표 II-5> 주요 축산부문 온실가스 배출 추이

(단위 : GgCO₂eq)

		2000	2005	2010	2015	2019
소	장내발효	3049.37	2949.79	3907.35	3979.89	4163.84
	분뇨관리	1984.53	1918.37	2533.09	2509.63	2579.05
	계	5033.9	4868.16	6440.44	6489.52	6742.89
돼지	장내발효	256.72	280.19	309.31	319.01	358.38
	분뇨관리	1090.18	1189.85	1313.51	1165.77	1277.04
	계	1346.9	1470.04	1622.82	1484.78	1635.42
가금류	장내발효	-	-	-	-	-
	분뇨관리	541.51	659.83	816.05	789.75	821.85
	계	541.51	659.83	816.05	789.75	821.85
계	장내발효	3306.09	3229.98	4216.66	4298.9	4522.22
	분뇨관리	3616.22	3768.05	4662.65	4465.15	4677.94
	계	6922.31	6998.03	8879.31	8764.05	9200.16

자료 : 국가 온실가스 인벤토리.



자료 : 국가 온실가스 인벤토리.

[그림 II-1] 주요 축산부문 온실가스 배출 추이

소의 경우에는 장내 발효가 분뇨관리에 비해 훨씬 높은 것을 알 수 있으며, 돼지는 분뇨관리가 더욱 높다. 전체 장내 발효 과정의 대부분은 소에 의해 발생하며 분뇨관리과정의 거의 절반을 차지한다.

[그림 II-1]을 보면 알 수 있듯이 축산부문의 온실가스 배출 추이는 대부분 소의 배출 추이와 유사하게 움직이고 있다. 전체적으로 온실가스 배출은 2000년대 초반 감소하다 다시 증가하는 추세를 보이고 있다.

본 연구는 탄소세 부과가 미치는 영향을 경제적 후생과 온실가스 배출의 관점에서 살펴보고자 한다. 따라서 주요 동물성 단백질 시장에서의 온실가스 배출량을 계산하기 위해 다음 <표 II-6>의 계수를 이용할 것이다.

<표 II-6> 단백질 1kg당 탄소배출강도(본 연구 사용)

(단위 : kgCO₂eq)

종류	탄소배출강도
쇠고기	343
돼지고기	38
닭고기	20
어로어류	2.2
양식어류	16.1
어류평균	3.3

자료 : R.W.R. Parker et al.(2018), Alice et al.(2022).

양식어류를 제외한 쇠고기, 돼지고기, 닭고기, 어획어류의 탄소배출강도는 R. W. R. Parker et al.(2018)의 연구를 이용하였다. 2.2kg으로 제시된 어획어류의 값은 그대로 사용하였으며, 쇠고기, 돼지고기, 닭고기와 같이 범위로 제시된 값은 최소값과 최대값의 평균을 이용하였다.

양식어류는 Alice et al.(2022)의 연구를 이용하였으며, 단백질 100g당 배출강도로 나타난 R. W. R. Parker et al.(2018)과 달리 중량당 배출강도로 제시되어 있어 이를 단백질당 강도로 맞춰주기 위해 식약처 식품영양 성분 데이터베이스를 참고하여 재계산하였다. 어류 평균은 통계청 어업생산동향조사에서 어류 생산량 중 양식어류가 차지하는 비중은 평균적으로 8% 정도를 차지하고 있다. 따라서 이를 가중평균한 결과, $(2.2 \times 0.92) + (16.1 \times 0.08) = 3.3$ 정도가 산출되었고, 이를 어류의 탄소배출강도로 이용하였다.

2. 축수산업에 적용된 탄소 정책 사례

가. 축산부문 탄소 정책 사례

축산업에서 발생하는 탄소를 줄이기 위한 방안은 크게 두 가지이다. 하나는 탄소 발생 원인인 축산물 생산 자체를 줄이는 것이고, 다른 하나는 축산물이 발생시키는 탄소를 줄이는 기술을 개발하는 것이다. 기존 축산 분야 저탄소 정책은 축산 농가의 반대로 인하여 대부분 탄소 저감 기술 개발 위주였으나, 최근 파리협정 등 온실가스 문제가 심각해짐에 따라 축산물 생산 자체를 감소시키려는 경향이 증가하고 있다.

(1) 축산부문 탄소 저감 기술 개발 정책 사례

IPCC의 온실가스 인벤토리 분류에 따르면 축산부문은 장내발효와 분뇨 관리로 나뉘어져 있다. 따라서 축산부문의 탄소배출을 감소시키기 위해서 위 두 과정에서 발생하는 온실가스를 줄이려는 정책으로 구분할 수 있다.

우선 유럽연합(EU)은 “종합 오염 방지 및 관리 지침”에 따라 대규모 가축 시설 및 운영으로 인한 환경 오염 문제를 해결하기 위한 정책을 시행 중이다. EU의 기본적인 기후변화 정책은 CAP(Common Agricultural Policy)에 의해 지원된다. CAP의 Pillar 2 방안은 농업의 생산적인 투자를 지원하게 되는데, 여기에는 가축농가의 축사, 분뇨 저장, 바이오매스 처리 개선 등이 포함된다(한국농촌경제연구원, 2021). 이외에도 소나 양과 같은 반추동물의 메탄 배출 감소, 저탄소 및 저질소 사료 첨가제, 메탄 생성 유발 박테리아 예방접종 등의 기술적인 지원을 수행하고 있다(한국농촌경제연구원, 2021a).

일본의 경우에는 온실가스 감축 목표로 “녹색 식량 시스템 전략”을 실시함과 동시에 일본의 육우 품종인 화우의 사육을 증대시키는 “화우 생산 배증정책”을 실시하였다(한국농촌경제연구원, 2021b). 따라서 일본은 온실가스 발생 원인인 소의 공급을 늘리면서도 온실가스 배출량을 감축시키기 위해 소가 배출하는 온실가스를 감축시키는 기술을 개발하고 있다. 일본의 농업·식품산업 기술종합연구기구는 소가 배출하는 아산화질소 배출량을 감소시키는 아미노산 균형 개선 사료를 개발하고 있고, 분뇨를 처리하는 기술을 함께 개발하고 있다(한국농촌경제연구원, 2021b). 또한 탄소를 적게 배출하는 새로운 소의 품종을 개발하려는 연구 또한 시도하고 있는 중이다.

한국은 지난 2021년 “2050 농식품 탄소중립 추진전략”에서 가축 사육과정의 저메탄사료 급여 및 축산분뇨의 저탄소 처리를 위주로 온실가스 감축 정책을 시행하겠다고 발표하였다. 이를 구체적으로 살펴보면, 국내외 연구 결과를 통하여 2025년까지 메탄 저감제와 저감제 검증을 추진하며, 사육과정에서 적정한 사육밀도를 유지하여 사육기간을 감소시켜 발생하는 온실가스를 감축하려는 저탄소 사양관리 프로그램을 개발하고자 한다. 또한 현재 개별 처리되는 가축 분뇨를 공동 처리하여 온실가스 배출량을 감소시키며, 분뇨를 에너지 등 타산업으로 재활용시키는 정책을 추진 중이다.

(2) 축산부문 탄소세 정책 사례

탄소세는 생산자나 소비자에게 부과되어 부정적 외부효과를 감소시키기 위한 목적으로 사용된다. 그러나 이는 경제 주체에게 직접적으로 부과되므로 그에 대한 반발이 있다. 그러나 과거부터 지금까지 온실가스 문제로 탄소세를 도입하고자 했던 사례가 존재한다.

에스토니아는 2009년부터 일명 방귀세(Fart Tax)를 도입하여 낙농농가

에 세금을 부과하였다(KAIST, 2015; 강남구, 2020). 이외에도 아일랜드나 덴마크 등에도 유사한 정책이 있으며, 아일랜드는 소 한 마리당 18달러, 덴마크는 110달러 수준의 세금을 부과하고 있다. 그러나 대부분의 경우 농가의 반발로 실패하는 경우가 많은데, 뉴질랜드는 2003년에 방귀세를 도입하고자 하였으나, 농가의 반발로 철회하였다(EU Commission, 2020).

그러나 기후변화 문제가 심각해짐에 따라 방귀세는 육류세(Meat Tax)의 이름으로 세계 각국에서 논의되고 있다. 영국의 채텀하우스는 육류 소비에 세금을 부과하는 것이 효과적이라고 주장했는데, 쇠고기 1kg당 1.76 파운드(약 2,835원)의 세금을 부과하면 소비량을 14% 줄일 수 있다고 주장하였다(Wellesley, L. et al., 2015; 한국농촌경제연구원, 2015).

스웨덴의 경우 농업위원회가 2013년에 식량에 대한 환경보전 세금 부과를 제안하며, 적색육 kg당 20크로나(약 2,553원) 정도를 제시하였다(한국축산경제연구원, 2018).

독일은 곡물, 채소, 과일과 같은 상품에 19%의 세금이 부과되며, 육류와 같은 동물성 단백질 제품에는 7%의 세금이 부과되었다. 그러나 2016년 연방환경청은 동물성 단백질의 세금도 곡물과 같이 19%로 인상하여야 한다고 제안하였다. 하지만 이 역시 반발이 심해 당시 해당 법안은 보류되었다(한국축산경제연구원, 2018).

그러나 파리협정 이후 온실가스 문제를 해결하기 위한 각국의 노력은 더욱 강해졌다. 2003년 농가의 반발로 철회되었던 뉴질랜드의 방귀세는 다시 법안이 제출되어 통과 시 2025년부터 시행될 예정이며, 네덜란드의 TAPP 연합(True Animal Protein Price Coalition)이 육류세에 대한 검토를 지속적으로 요구해왔다. 이에 유럽의 육류세에 대한 연구가 진행되었다(CE Delft, 2020).

네덜란드나 독일 역시 육류에 대한 세금을 논의해왔고, 결국 EU는 유

럽 의회에서 그린딜(Green Deal) 초안을 통해 육류에 대한 세금 부과 근거를 지속적으로 논의하였다(European Parliament, 2020).

나. 수산부문 탄소 정책 사례

수산물의 탄소 정책은 어로어업의 경우 어선이나 어구에서 발생하는 탄소를 줄이는 방법이 있고, 양식업의 경우 양식장 시설이나 어구, 혹은 양식 수산물 자체가 배출하는 탄소를 줄이는 방법이 있다. IPCC의 온실가스 인벤토리 분류에 따라 수산업은 축산업과 달리 따로 분류되어 있지 않고, 국내에서도 수산업에서 발생하는 탄소량은 에너지 부문에서 산출하고 있기 때문에, 수산업 탄소 저감 정책 역시 이를 중심으로 이루어지고 있다.

한국의 경우 2021년 해양수산부의 “2050 해양수산분야 탄소중립 로드맵”을 통해 수산분야의 탄소 저감 정책을 제시하였다. 로드맵에 따르면 기존 노후 어선이나 화석연료에 의해 움직이는 어선을 전기와 같은 친환경 어선으로 교체하는 정책을 추진하고 있으며, 또한 양식장 시설에 에너지 절감장비를 보급하여 탄소 저감형 수산업을 구축하고자 하고 있다.

이의 일환으로 현재 내수면 어선에 전기추진기를 보급하는 전기추진기 보급사업을 시행 중이며, 내수면 어업인 중 전기추진기를 설치하고자 하면 설치비용의 80%(국비 보조 60%, 지방비 20%)를 지원한다(해양수산부, 2022).

또한 국립수산과학원은 기존 어분으로 만드는 양어용 사료 대신 탄소 배출량이 적은 곤충을 이용하여 배합사료를 산업화하고 있는 등 축산과 유사하게 저탄소 사료를 만들기 위한 연구를 수행하고 있다(국립수산과학원, 2019).

일본의 경우 2020년 “2050 탄소중립 그린성장”을 발표했다. 해당 전략에서 일본은 어구의 재활용, 친환경 어선, 어분 대체 사료 개발 등을 통해 수산업에서의 탄소 저감을 추진 중이다(김봉태 외, 2022).

영국은 탄소 배출이 많은 업종인 끝이형 어업을 감축하고, 연료보조금을 없애 비효율적인 선박을 감척시킴과 함께 친환경 선박을 보급하는 정책을 추진하고 있다(WWF, 2021; 김봉태 외, 2022).

수산물의 경우 앞선 제2장 제1절에서 보았듯 축산물에 비해 탄소배출 강도가 낮아 수산물 그 자체에 적용되는 정책은 많지 않고 대부분 선박이나 시설에 관한 정책으로 이루어져 있다.



Ⅲ. 연구의 분석모형 및 분석자료

1. 수요분석모형: 준이상수요체계(AIDS)

준이상수요모형(Almost Ideal Demand System, AIDS)은 Deaton and Muealbauer(1980)에서 제시된 수요모형이다. 수요모형은 단일수요체계와 완결수요체계로 나누어볼 수 있는데, 단일수요체계는 개별시장에 대한 수요를 각각 분석하는 방식으로, 간편하다는 장점이 있긴 하나, 부분적인 역할만 수행 가능하다는 단점이 있다(최순, 2017).

그러나 완결수요체계는 일반적으로 수요함수의 제약인 동차성(Homogeneity), 가합성(Adding-Up), 대칭성(Symmetry)을 부과할 수 있고, 연립방정식 체계에 의해 분석되기 때문에, 상품 간 교차관계를 분석하는데 용이하다(최순, 2017). 이러한 완결수요체계에는 선형지출체계(Linear Expenditure System, LES), 로테르담수요모형(Rotterdam Demand Model), 준이상수요모형이 대표적이다.

수요모형은 그 체계에 따라 직접효용함수에서 출발하는 형태, 간접효용함수에서 출발하는 형태, 지출함수에서 출발하는 형태, 수요함수 그 자체로 정의되는 형태로 나눌 수 있다.

직접효용함수에서 출발하는 형태는 선형지출체계(LES)가 있고, 간접효용함수에서 출발하는 형태는 트랜스로그 수요모형, GL모형 등이 있다. 수요함수 그 자체로 정의되는 형태는 로테르담 수요모형, 더블로그모형 등이 있으며, 지출함수에서 출발하는 형태는 AIDS가 있다.

AIDS는 PIGLog형 지출함수에서 출발한다. PIGLog란 Price Independent Generalized Logarithmic의 약자이며, AIDS에서의 PIGLog

지출함수는 식 (1)로 나타난다.

$$\ln C(u, p) = u \ln a(p) + (1-u) \ln b(p) \quad (1)$$

이때 $\ln a(p)$ 와 $\ln b(p)$ 는 식 (2)와 같이 정의된다.

$$\ln a(p) = \alpha_0 + \sum_{i=1}^n \alpha_i \ln p_i + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \gamma_{ij} \ln p_i \ln p_j \quad (2)$$

$$\ln b(p) = \ln a(p) + \beta_0 \prod_{i=1}^n p_i^{\beta_i}$$

따라서 최종적인 지출함수는 식 (3)과 같다.

$$\therefore \ln C(u, p) = \alpha_0 + \sum_{i=1}^n \alpha_i \ln p_i + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \gamma_{ij} \ln p_i \ln p_j + u \beta_0 \prod_{i=1}^n p_i^{\beta_i} \quad (3)$$

위 식 (3)에서 $\ln C(u, p)$ 를 $\ln p_i$ 로 미분시 식 (4)가 도출된다.

$$\frac{\partial \ln C(u, p)}{\partial \ln p_i} = \frac{\partial C(u, p)}{\partial p_i} \frac{p_i}{C(u, p)} \quad (4)$$

식 (4)에서 $\partial C(u, p)/\partial p_i$ 는 셰퍼드의 보조정리에 따라 q_i 가 된다. 따라서 다음의 식 (5)로 정리되며, 이는 i 재화의 지출비중을 의미한다.

$$\frac{\partial C(u, p)}{\partial p_i} \frac{p_i}{C(u, p)} = q_i \frac{p_i}{C(u, p)} = w_i \quad (5)$$

$$\therefore \frac{\partial \ln C(u, p)}{\partial \ln p_i} = w_i = \alpha_i + \sum_{j=1}^n \gamma_{ij} \ln p_j + \beta_i u \beta_0 \prod_{i=1}^b p_i^{\beta_i}$$

이때 $\beta_i u \beta_0 \prod_{i=1}^b p_i^{\beta_i}$ 는 $\ln C(u, p) - \alpha_0 - \sum_{i=1}^n \alpha_i \ln p_i - \frac{1}{2} \gamma_{ij} \ln p_i \ln p_j$ 이며, 이중 $\alpha_0 + \sum_{i=1}^n \alpha_i \ln p_i + \frac{1}{2} \gamma_{ij} \ln p_i \ln p_j$ 는 가격지수 $\ln P$ 를 의미한다. AIDS에서 가장 많이 사용되는 가격지수는 일반적으로 Stone의 가격지수를 사용하는데, Stone 가격지수는 각 재화의 지출비중과 로그가격의 곱의 합인 $\sum w_i \ln p_i$ 로 근사하게 된다. 따라서 최종적인 AIDS 함수는 식 (6)으로 나타난다.

$$\begin{aligned} w_i &= \alpha_i + \sum_{j=1}^n \gamma_{ij} \ln p_j + \beta_i (\ln C(u, p) - \ln P) \\ &= \alpha_i + \sum_{j=1}^n \gamma_{ij} \ln p_j + \beta_i \ln \left(\frac{C(u, p)}{P} \right) \end{aligned} \quad (6)$$

AIDS와 같은 완결수요체계는 동차성, 가합성, 대칭성 제약을 부과할 수 있다. 0차 동차성은 모든 독립변수가 동일한 비율로 증가한다면 종속변수에 아무런 영향을 주지 않는다는 것으로, 모든 재화의 가격과 소득이 동일한 비율로 증가한다면 수요에 영향을 주지 않는다.

가합성은 엔겔조건이라고도 불리며, 각 재화의 가격과 수요량의 곱을 모두 더한 것이 소득과 같아야 한다는 것이다. 마지막으로 대칭성은 슬러츠키 대칭성을 의미한다. AIDS의 동차성, 가합성, 대칭성은 다음 식 (7)로 나타낼 수 있다.

$$\text{동차성 : } \sum_{j=1}^n \gamma_{ij} = 0$$

$$\text{가합성 : } \sum_{i=1}^n \alpha_i = 1, \sum_{i=1}^n \beta_i = 0, \sum_{i=1}^n \gamma_{ij} = 0 \quad (7)$$

$$\text{대칭성 : } \gamma_{ij} = \gamma_{ji}$$

식 (6)을 통해 수요함수를 도출한 후 탄력성을 구할 수 있다.

가격변화가 수요량에 미치는 효과인 가격효과는 대체효과와 소득효과로 나누어진다. 대체효과는 동일한 효용하에서 순수하게 가격변화가 수요량에 미치는 효과만을 말하는 것이고, 소득효과는 가격이 변화하였을 때 실질소득이 변화하여 수요량을 변화시키는 것을 말한다.

효용함수에서 대체효과와 소득효과를 모두 반영하여 도출한 수요함수를 보통수요함수(마셜수요함수)라고 하며, 소득효과를 제외하고 대체효과만을 반영하여 도출한 수요함수를 보상수요함수(Hicks수요함수)라고 한다.

탄력성 역시 마셜가격탄력성과 Hicks가격탄력성으로 구분할 수 있으며, AIDS의 지출탄력성, 비보상가격탄력성, 보상가격탄력성을 구하는 공식은 다음 식 (8)에 제시되어 있다.

$$\text{지출탄력성 : } 1 + \frac{\beta_i}{w_i}$$

$$\text{비보상가격탄력성 : } \frac{\gamma_{ij}}{w_i} - \beta_i \left(\frac{w_j}{w_i} \right) - \delta_{ij} \quad (8)$$

$$\text{보상가격탄력성 : } \frac{\gamma_{ij}}{w_i} + w_i - \delta_{ij}$$

δ_{ij} : 크로네커 델타 ($\delta_{ij} = 1$ if $i = j$, $\delta_{ij} = 0$ if $i \neq j$)

2. 공급분석모형: 다중회귀모형

공급함수를 추정하기 위해 다중회귀모형을 이용하였다. 다중회귀모형은 k개의 독립변수를 통해 종속변수를 설명하는 모형이며 기본적인 형태는 식 (9)와 같다.

$$\text{모집단회귀식 } Y_i = \beta_1 + \beta_2 X_{2i} + \dots + \beta_k X_{ki} + \epsilon_i$$

$$\text{표본회귀식 } Y_i = b_1 + b_2 X_{2i} + \dots + b_k X_{ki} + e_i \quad (9)$$

$$\beta_k = \frac{\partial Y_i}{\partial X_{ki}}$$

이러한 다중회귀모형은 다음 <표 III-1>에 제시된 6가지 가정이 성립하여야 최량선형불편추정량(Best Linear Unbiased Estimator, BLUE)이 충족하게 된다.

<표 III-1> 다중회귀의 기본가정

가정	내용
가정 1	회귀모형은 선형이어야 한다.
가정 2	설명(독립)변수는 비확률성을 가져야 한다.
가정 3	설명변수는 완전공선성을 가지지 않아야 한다.
가정 4	오차항의 평균은 0이다.
가정 5	오차항은 동분산을 가져야 한다.
가정 6	서로 다른 관측치 간의 오차항은 상관관계가 없어야 한다.

이때 회귀모형이 선형이어야 한다는 것은 함수 자체가 선형이어야 한다는 의미가 아닌, 추정 계수가 선형이어야 한다는 것이다. 따라서 식 (10)은 선형이 아니지만, 식 (11)은 선형으로 취급한다.

$$Y_i = \beta_1 + \frac{\beta_2 X_{2i}}{\beta_3 X_{3i}} + \epsilon_i \quad (10)$$

$$\ln Y_i = \beta_1 + \beta_2 \ln X_{2i} + \dots + \beta_k \ln X_{ki} + \epsilon_i \quad (11)$$

따라서 다중회귀분석을 수행할 때 위의 가정을 충족하는지에 대한 검토가 필요하며, 그중 가정 3의 다중공선성 검토, 가정 5의 동분산 검토, 가정 6의 자기상관검정을 주로 수행한다.

가. 다중공선성 진단

완전공선성은 설명변수들 간 완전한 선형관계를 말한다. 그러나 이는 극단적인 경우이며, 완전공선성이 존재한다면 계수를 도출할 수 없다. 보편적으로는 설명변수들 간 식 (12)와 같이 완전하지는 않으나 높은 선형관계를 가지는 다중공선성이 존재한다(남준우·허인, 2021).

$$X_{ki} = \alpha_1 X_{1i} + \alpha_2 X_{2i} + \dots + \alpha_{k-1} X_{k-1i} + v_i \quad (12)$$

확률변수인 v_i 로 인하여 완전한 선형관계는 나타나지 않지만, 높은 선형관계를 가지게 된다.

다중공선성이 존재하는 경우 계수가 최량선형불편추정량을 가지지만,

분산이 과다추정된다는 문제가 발생한다(D. Gujarati, 2014).

다중공선성이 있는지를 진단하는 방식은 변수 간 상관계수를 확인하는 방법, 결정계수는 높으나 t-value가 낮게 나타나는 경우 등이 있으나, 그 정도를 파악하는 것은 쉽지 않다.

대부분의 연구에서 수행하는 진단방법은 분산팽창계수(Variance Inflation Factor, VIF)를 이용하는 방법이다. VIF를 구하는 방법은 식 (13)에 나타나 있으며, 일반적으로 VIF가 10을 넘지 않으면 다중공선성이 심하지 않은 것으로 여긴다(D. Gujarati, 2014).

$$\frac{1}{1 - R_{ij}^2} \quad (13)$$

* R_{ij}^2 = 독립변수 i 와 j 간 상관계수

나. 이분산 진단

이분산은 관측치에 따라 오차항의 분산이 달라지는 것을 의미한다. 이분산이 존재하면 분산의 효율성이 떨어진다는 문제가 발생한다. 따라서 이분산이 존재하는 모형의 추정량보다 더 낮은 분산을 가지는 경우가 존재한다는 의미이다(남준우·허인, 2021).

이분산을 진단하는 대표적인 방법은 White 검정이나, Breusch-Pagan 검정을 수행할 수 있다. 이를 이용하여 이분산이 존재하는 것으로 나타난다면, 다른 방법으로 분석을 진행하여야 하는데, 대표적으로 가중된 최소제곱법(Weighted Least Squares, WLS)이나 실행가능 일반최소제곱법(Feasible Generalized Least Squares, FGLS)을 이용할 수 있고, 보다 간편하게 강건한(Robust) 표준오차를 이용하여 분석을 할 수 있다.

다. 자기상관 진단

서로 다른 관측치의 오차항 간 상관관계가 존재할 경우 자기상관이 발생하게 된다. 자기상관이 존재하면 이분산과 마찬가지로 분산의 효율성이 감소하는 문제가 발생하게 된다.

자기상관이 존재하는지를 진단하는 방법은 Durbin-Watson 검정방법이나 Breusch-Godfrey LM 검정을 수행할 수 있다. 자기상관이 존재하는 경우 1계 차분을 이용하거나, Cochrane-Orcutt 반복추정방법, 실행가능일반최소제곱법(Feasible Generalized Least Squares, FGLS) 등을 이용할 수 있다(D. Gujarati, 2014).

3. 경제적 후생 추정

온실가스를 감축하기 위해 식품시장에 탄소세 정책을 시행하였을 때 피규제시장과 대체시장의 소비자 후생을 추정하고자 한다.

분석의 간편화를 위해 앞서 구한 수요/공급탄력성을 이용하여 선형 수요 및 공급함수를 가진다고 가정한다.

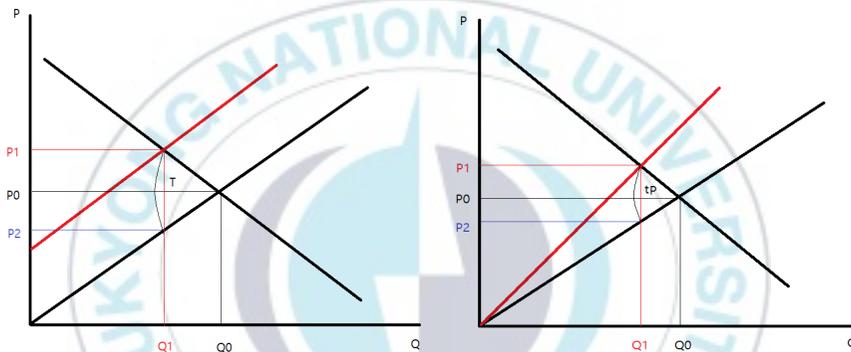
가. 대상 시장의 변화

한 시장의 생산자에게 조세를 부과한다고 하자. 이때 공급자는 재화가격을 늘어난 세금만큼 증가시키지만, 수요가 완전비탄력적이지 않은 경우 증가시킨 가격의 일부만 시장에 반영된다.

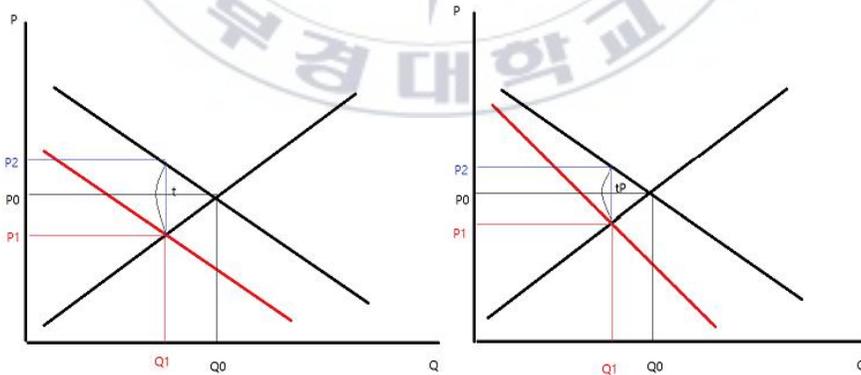
조세는 개별수량마다 부과되는 종량세와 가격의 일정 비율만큼 부과되는 종가세로 나눌 수 있다. 시장에서 공급자에게 종량세가 부과된다면 공

급곡선이 세액만큼 평행 상방 이동하고, 종가세가 부과된다면 공급곡선이 반시계 방향으로 이동된다. 이때 생산자의 수취가격과 소비자가 지불하는 가격에 차이가 발생하는데, 이를 그림으로 표현하면 [그림 III-1]과 같다.

또한 소비자에게 조세를 부과할 수도 있는데 이 경우 종량세가 부과된다면 수요곡선이 세액만큼 평행 하방 이동하고, 종가세가 부과된다면 수요곡선이 시계 방향으로 이동된다. 이를 그림으로 표현하면 [그림 III-2]와 같다.



[그림 III-1] 생산자에게 조세 부과 시의 공급곡선 이동



[그림 III-2] 소비자에게 조세 부과 시의 수요곡선 이동

(P_0, Q_0) 였던 균형은 공급곡선이 상방 이동하게 되면 (P_1, Q_1) 으로 이동

하게 된다. 이때 소비자가 지불해야 하는 가격은 P_0 에서 P_1 으로 증가하게 되므로 $\overline{P_0P_1}$ 이 소비자에게 전가되는 조세분이 된다. 반면 수취한 시장가격 중 조세를 제외한 순수 생산자 수취가격은 P_2 가 된다. 따라서 $\overline{P_2P_0}$ 가 생산자에게 전가되는 조세분이 된다. 또한 시장가격은 소비자가격인 P_1 이 된다.

반대로 소비자에게 조세가 부과되어 수요곡선이 이동하는 경우에는 반대로 생산자 수취가격이 시장가격이 된다.

종량세 형태의 조세 부과로 인한 시장가격의 상승을 수학적으로 나타내면 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
 P_s = r, P_d = P = r + T \\
 \text{시장균형조건 : } Q = Q_s = Q_d \\
 \therefore Q_d(P) = Q_s(P - T)
 \end{aligned}
 \tag{14}$$

* P_s = 생산자가격, P_d = 소비자가격, Q_s = 공급량, Q_d = 수요량, T = 종량세액

이때 시장균형조건의 양변을 전미분하면 다음 식 (15)와 같다.

$$\frac{\partial Q_d}{\partial P} dP = \frac{\partial Q_s}{\partial(P-T)} \frac{\partial(P-T)}{\partial P} dP - \frac{\partial Q_s}{\partial(P-T)} \frac{\partial(P-T)}{\partial T} dT
 \tag{15}$$

식 (16)을 만족하므로 식 (15)는 식 (17)과 같이 표현될 수 있다.

$$\frac{\partial(P-T)}{\partial P} = 1, \frac{\partial(P-T)}{\partial T} = -1
 \tag{16}$$

$$\frac{\partial Q_d}{\partial P} dP = \frac{\partial Q_s}{\partial(P-T)} dP - \frac{\partial Q_s}{\partial(P-T)} dT \quad (17)$$

또한 식 (16)에 의해 $\frac{\partial Q_s}{\partial(P-T)}$ 는 식 (18)처럼 변형시킬 수 있다.

$$\begin{aligned} \frac{\partial Q_s}{\partial(P-T)} &= \frac{\partial Q_s}{\partial(P-T)} 1 = \frac{\partial Q_s}{\partial(P-T)} \frac{\partial(P-T)}{\partial P} \\ &= \frac{\partial Q_s}{\partial P} \end{aligned} \quad (18)$$

따라서 식 (15)는 식 (19)와 같은 형태로 간단히 나타낼 수 있다.

$$\frac{\partial Q_d}{\partial P} dP = \frac{\partial Q_s}{\partial P} dP - \frac{\partial Q_s}{\partial P} dT \quad (19)$$

식 (20)의 균형조건을 식 (19) 양변에 곱해주면 식 (21)이 도출된다.

$$\begin{aligned} Q &= Q_d = Q_s \\ \therefore \frac{P}{Q} &= \frac{P}{Q_d} = \frac{P}{Q_s} \end{aligned} \quad (20)$$

$$\frac{\partial Q_d}{\partial P} \frac{P}{Q_d} dP = \frac{\partial Q_s}{\partial P} \frac{P}{Q_s} dP - \frac{\partial Q_s}{\partial P} \frac{P}{Q_s} dT \quad (21)$$

따라서 소비자의 조세전가도는 수요/공급탄력성을 통해 식 (22)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned}
 (\epsilon_d + \epsilon_s) dP &= \epsilon_s dT \\
 \therefore \frac{dP}{dT} &= \frac{\epsilon_s}{(\epsilon_d + \epsilon_s)}
 \end{aligned}
 \tag{22}$$

생산자의 조세전가도는 나머지인 $\frac{\epsilon_d}{(\epsilon_d + \epsilon_s)}$ 가 된다. 조세가 부과되었을 때의 시장가격은 다음 식 (23)과 같다.

$$\begin{aligned}
 \text{생산자에게 부과 : } P_1 &= \left(\frac{\epsilon_s}{(\epsilon_d + \epsilon_s)} \right) T + P_0 \\
 \text{소비자에게 부과 : } P_1 &= P_0 - \left(\frac{\epsilon_d}{(\epsilon_d + \epsilon_s)} \right) T
 \end{aligned}
 \tag{23}$$

해당 시장의 수요 변화분은 다음의 탄력성 공식을 이용해 쉽게 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned}
 \epsilon_s &= \frac{dQ_s}{dP_s} \frac{P}{Q}, \quad \epsilon_d = \frac{dQ_d}{dP_d} \frac{P}{Q} \\
 \therefore dQ_s \left(= \frac{dP_s Q \epsilon_s}{P}, \text{ 소비자부과} \right) &= dQ_d \left(= \frac{dP_d Q \epsilon_d}{P}, \text{ 생산자부과} \right) = dQ
 \end{aligned}
 \tag{24}$$

나. 대체 시장의 변화

한 시장의 가격변화 시 이와 교차관계에 있는 다른 시장에도 영향을 주게 된다. 연관 시장의 균형을 분석하기 위해 서로 교차관계인 X, Y재가 존재할 때 X재 시장의 수요 공급함수를 식 (25)와 같이 정의해보자.

$$\begin{aligned}
Q_X^d &= a - bP_X + cP_Y \\
Q_X^s &= d + eP_X \\
Q_X^d &= Q_X^s
\end{aligned}
\tag{25}$$

이러한 연립방정식을 풀면 다음과 같이 P_X 가 도출된다.

$$P_X = \frac{a-d}{b+e} + \frac{c}{b+e}P_Y
\tag{26}$$

따라서 Y재 가격이 X재 가격에 미치는 영향은 식 (27)과 같은데, 탄력성 공식을 이용하여 풀면 식 (28)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\frac{dP_X}{dP_Y} = \frac{c}{b+e}
\tag{27}$$

$$\begin{aligned}
b &= \frac{dQ_X^d}{dP_X} = -\epsilon_d \frac{Q_X}{P_X} \\
c &= \frac{dQ_X}{dP_Y} = \epsilon_{X,Y} \frac{Q_X}{P_Y} \\
e &= \frac{dQ_X^s}{dP_X} = \epsilon_s \frac{Q_X}{P_X}
\end{aligned}
\tag{28}$$

$$\therefore \frac{c}{b+e} = \frac{\epsilon_{X,Y} \frac{Q_X}{P_Y}}{-\epsilon_d \frac{Q_X}{P_X} + \epsilon_s \frac{Q_X}{P_X}} = \frac{\epsilon_{XY} \frac{P_X}{P_Y}}{-\epsilon_d + \epsilon_s}$$

이제 식 (26)을 P_X 를 종속변수로 다시 정의하면 식 (29)와 같다.

$$\begin{aligned}
P_X^d &= \frac{a}{b} - \frac{1}{b} Q_X + \frac{c}{b} P_Y \\
P_X^s &= -\frac{d}{e} + \frac{1}{e} Q_X \\
P_X^d &= P_X^s
\end{aligned} \tag{29}$$

연립방정식을 풀면 식 (30)이 도출된다.

$$\begin{aligned}
\left(\frac{b+e}{be}\right)Q_X &= \frac{ae+bd}{be} + \frac{c}{b}P_Y \\
\therefore Q_X &= \frac{ae+bd}{b+e} + \frac{ce}{(b+e)}P_Y
\end{aligned} \tag{30}$$

따라서 Y재의 가격이 X재 수요공급량에 미치는 영향은 식 (31)과 같다.

$$\begin{aligned}
\frac{dQ_X}{dP_Y} &= \frac{ce}{(b+e)} = \frac{\epsilon_{X,Y} \epsilon_s \frac{Q_X}{P_X} \frac{Q_X}{P_Y}}{(-\epsilon_d + \epsilon_s) \frac{Q_X}{P_X}} \\
\therefore \frac{\epsilon_{X,Y} \epsilon_s}{(-\epsilon_d + \epsilon_s)} \frac{Q_X}{P_Y}
\end{aligned} \tag{31}$$

다. 후생 추정

D. L. Alexander et al.(2000)은 소비자후생을 추정하기 위해 테일러 근사를 이용하였다. D. L. Alexander가 추정한 방법은 다음 식 (32)와 같이 수요함수를 1차 테일러 근사를 이용하였다.

$$P(Q) = P(Q_i) + P'(Q_i)(Q - Q_i) + \delta(Q) \quad (32)$$

소비자후생은 식 (33)과 같이 도출된다.

$$CS = \int_0^{Q_i} P(Q)dQ - P_i Q_i \quad (33)$$

1차 근사 수요함수를 적분하면 식 (34)와 같이 도출된다.

$$\begin{aligned} \int_0^{Q_i} P(Q)dQ &= \int_0^{Q_i} (P(Q_i) + P'(Q_i)(Q - Q_i) + \delta(Q))dQ \\ &= P(Q_i)Q_i + \frac{1}{2}P'(Q_i)Q_i^2 - P'(Q_i)Q_i^2 + \int_0^{Q_i} \delta(Q)dQ \\ &= P(Q_i)Q_i - \frac{1}{2}P'(Q_i)Q_i^2 + \int_0^{Q_i} \delta(Q)dQ \end{aligned} \quad (34)$$

이때 $\int_0^{Q_i} \delta(Q)dQ$ 항은 0에 근사하기 때문에 최종적인 소비자후생 근사치는 식 (35)와 같다.

$$\begin{aligned} CS &= P(Q_i)Q_i - \frac{1}{2}P'(Q_i)Q_i^2 + \int_0^{Q_i} \delta(Q)dQ - P_i Q_i \\ &\approx -\frac{1}{2}P'(Q_i)Q_i^2 \\ &= -\frac{1}{2} \frac{dP_i}{dQ_i} \frac{Q_i}{P_i} \frac{P_i}{Q_i} Q_i^2 \\ &= -\frac{P_i Q_i}{2\epsilon_d} \end{aligned} \quad (35)$$

D. L. Alexander는 이를 소비자후생에 적용했으나, 동일한 방법으로 생산자후생도 추정 가능하다. 마찬가지로 공급함수를 식 (36)의 1차 테일러 근사식이라고 가정하자.

$$P(Q) = P(Q_i) + P'(Q_i)(Q - Q_i) + \delta(Q) \quad (36)$$

생산자후생은 식 (37)로 나타낼 수 있다.

$$PS = P_i Q_i - \int_0^{Q_i} P(Q) dQ \quad (37)$$

마찬가지로 공급함수를 적분하여 계산하면 다음 식 (38)과 같다.

$$\begin{aligned} \int_0^{Q_i} P(Q) dQ &= \int_0^{Q_i} (P(Q_i) + P'(Q_i)(Q - Q_i) + \delta(Q)) dQ \\ &= P(Q_i)Q_i + \frac{1}{2}P'(Q_i)Q_i^2 - P'(Q_i)Q_i^2 + \int_0^{Q_i} \delta(Q) dQ \\ &= P(Q_i)Q_i - \frac{1}{2}P'(Q_i)Q_i^2 + \int_0^{Q_i} \delta(Q) dQ \\ &\approx P(Q_i)Q_i - \frac{1}{2}P'(Q_i)Q_i^2 \end{aligned} \quad (38)$$

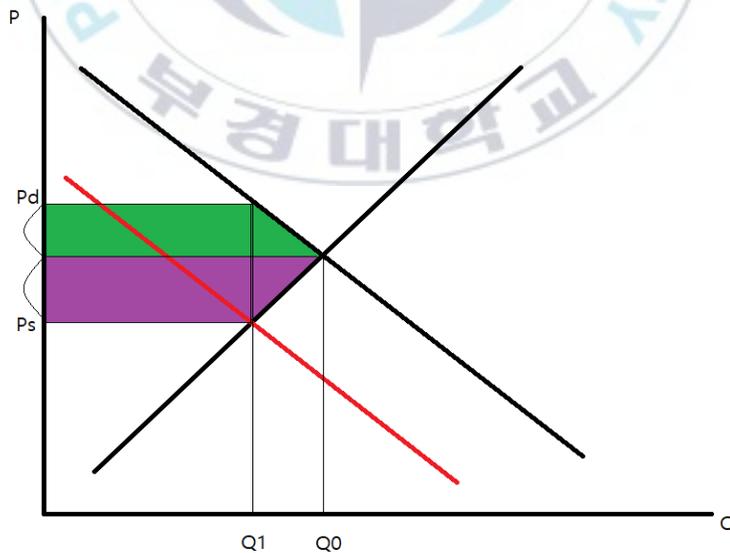
따라서 생산자후생의 근사치 역시 식 (39)와 같이 나타난다.

$$\begin{aligned}
 PS &= P_i Q_i - \left(P(Q_i) Q_i - \frac{1}{2} P'(Q_i) Q_i^2 \right) \\
 &\approx \frac{1}{2} P'(Q_i) Q_i^2 \\
 &= \frac{1}{2} \frac{dP_i}{dQ_i} \frac{Q_i}{P_i} \frac{P_i}{Q_i} Q_i^2 \\
 &= \frac{P_i Q_i}{2\epsilon_s}
 \end{aligned}
 \tag{39}$$

라. 후생 변화

(1) 해당 시장의 변화

조세 부과 시 해당 시장 및 대체시장의 균형가격과 균형거래량이 변하면 이에 따라 경제적 후생 역시 변하게 된다.



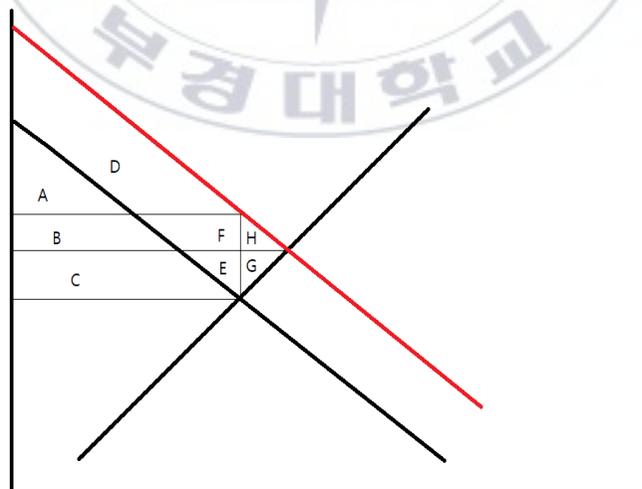
[그림 III-3] 조세 부과 시 후생 변화

[그림 III-3]을 보면 조세 부과로 인해 소비자후생은 초록색 사다리꼴만큼, 생산자후생은 보라색 사다리꼴만큼 감소하게 된다. 만약 수요공급함수를 선형함수라고 가정한다면, 후생 변화량은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \Delta CS &= \frac{1}{2}dP_d(Q_0 + Q_1) \\ \Delta PS &= \frac{1}{2}dP_s(Q_0 + Q_1) \end{aligned} \quad (40)$$

(2) 대체 시장의 변화

한 시장에서 조세 부과로 인해 수요가 줄어들고, 가격이 상승하면 이와 대체 관계에 있는 대체재의 수요를 증가시킨다. 따라서 해당 시장의 후생 변화 역시 발생하게 된다.



[그림 III-4] 대체시장의 후생 변화

이때 대체시장 역시 선형수요공급함수를 가정하면, 대체재의 가격은 외생변수이므로 수요함수를 모든 Q수준에서 동일한 값만큼 상방 이동시킨다. 따라서 [그림 III-4]에서 $A+B+C = A+D$ 와 같게 된다. 이로 인해 소비자후생은 $A+B+C$ 에서 $A+B+D+F+H$ 로 변하는데, $A+D = A+B+C$ 이므로 소비자후생은 $B+F+H$ 만큼 증가하게 된다. 생산자후생은 $C+E+G$ 만큼 증가하게 된다. 이때 생산자후생을 구하기 위한 사다리꼴 ($C+E+G$)의 높이는 변화한 시장가격인 dP 가 된다. 그런데, 소비자후생을 구하기 위한 사다리꼴 ($B+F+H$)의 높이는 공급함수가 완전비탄력적일 때의 가격변화에서 dP 를 제외한 가격이 된다. 즉 앞선 식 (28)의 $\frac{dP_X}{dP_Y} = \frac{\epsilon_{XY}}{-\epsilon_d + \epsilon_s} \frac{P_X}{P_Y}$ 에서 공급탄력성이 완전 비탄력적, 즉 0일 때의 값인 $\frac{\epsilon_{XY}}{-\epsilon_d} \frac{P_X}{P_Y}$ 이 된다. 이를 $\frac{P_X^*}{dP_Y}$ 라고 하자. 그렇다면 후생 변화를 식으로 표현하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \Delta CS &= \frac{1}{2} dP^* (Q_0 + Q_1) \\ \Delta PS &= \frac{1}{2} dP (Q_0 + Q_1) \end{aligned} \tag{41}$$

4. 분석자료 및 변수 선정

수요를 추정하기 위한 대상 시장은 주요 축산물인 쇠고기, 돼지고기와 가금류인 닭고기를 이용하였고, 수산물의 경우 어류를 반영하였다. 어류의 경우 소비하는 어종이 매우 다양하므로 어류라는 하나의 부문 자체를 분석에 이용하였다.

다음으로 공급변수를 선정하기 위해 축산 경영비와 어가경제조사를 참

고하였다. 2021년 한우 비육우, 비육돈, 육계의 평균 축산 경영비가 <표 III-2>에 제시되어 있다. 한우의 경우 입식비용인 가축비와 사료비가 총비용의 대다수를 차지했으며, 가축비가 가장 많은 비율을 차지했다. 비육돈과 육계 역시 가축비와 사료비가 대다수를 차지했으나 한우와 달리 사료비가 가축비보다 더 많은 비중을 차지했다. 따라서 공급변수로는 입식비용인 가축비와 사료비를 반영하여 입식가격과 사료가격을 사용하였으며, 추가로 구제역, 고병원성 조류인플루엔자 등 1급 가축 전염병을 더미변수로 사용하였다.

<표 III-2> 2021년 축산 경영비

(단위 : 천 원)

비용	한우 비육우 평균	비육돈 평균	육계 평균
비용합계	9,922,641	339,629	21,601
가축비	4,341,204	68,770	4,870
사료비	3,483,796	191,456	12,216
수도광열비	82,717	5,047	714
방역치료비	48,376	11,099	471
자동차비	58,044	1,385	69
농구비	252,171	7,213	592
영농시설비	196,123	7,573	688
기타재료비	116,741	1,675	316
차입금이자	60,079	3,358	205
토지임차료	2,826	25	17
고용노동비	64,460	13,890	242
분뇨처리비	14,444	9,730	130
자가노동비	917,786	9,137	833
자본용역비	190,682	4,261	57
토지용역비	23,741	1,474	9

자료 : 통계청, 농축산물 생산비 조사

주 : 비육우와 비육돈은 두당 생산비, 육계는 10수당 생산비임.

수산물의 경우 어로어가는 광열비와 노무비가 전체 지출의 거의 절반을

차지했고, 양식어가는 종묘비와 노무비가 전체 지출의 거의 절반을 차지했다. 따라서 수산물 공급함수를 도출하기 위해서 노무비를 반영하는 것이 보다 설명력이 있을 것이다. 노무비의 대리변수로 최저임금, 선원임금 등을 사용할 수 있겠으나, 이들 변수는 연간자료로 제공되며, 연간자료를 이용 시 소표본이 된다는 문제가 존재한다.

현재 수산물 중 어류 생산량의 대부분은 어로어업에 의해 공급됨에 따라 광열비의 대리변수로 유류가격(경유)을 사용하였으며, 그 외 계절 더미 변수를 이용하였다.

<표 III-3> 2021년 어업 경영비

(단위 : 천 원)

비용	어로어가	비용	양식어가
어로지출전체	29,382	양식지출전체	135,291
광열비	7,839	종묘비	36,632
노무비	7,163	노무비	31,748
조세 및 이자	4,536	조세 및 이자	17,815
어구구입 보수비용	3,549	사료비	13,901
미끼구입비	2,128	광열비	12,677
보험료 및 기타	1,869	어구구입 보수비용	7,605
판매비용	1,435	임차료	6,772
임차료	461	판매비용	3,365
물품비	314	물품비	2,580
얼음대	87	보험료 및 기타	2,198

자료 : 통계청, 어가경제조사.

자료는 2008년 1월부터 2022년 7월까지 월별자료를 이용하였다. 수산물의 경우 특정 품종이 아닌 어류 전체를 포괄적으로 분석에 사용함에 따라 수요/공급량은 통계청 어업생산동향조사에서 어류 생산량을 이용하였으

며, 가격은 어류 생산금액을 어류 생산량으로 나눈 생산단가를 이용하였다. 또한 유류가격은 오픈마켓에서 제공되는 면세유 평균판매가격이 2015년 자료부터 제공됨에 따라 월별 경유가격에 유류세(교통세, 개별소비세, 교육세, 주행세, 부가가치세)를 제외한 값을 대리변수로 사용하였다.

쇠고기의 수요/공급량은 축산물안전관리시스템에서 제공하는 월별 도축두수에 소 한 마리의 표준체중인 600kg을 곱한 후 소의 지육율인 0.597(59.7%)를 곱하여 이용하였으며, 쇠고기의 가격은 농협 축산정보센터에서 제공하는 월별 소비자가격을 이용하였다.

돼지고기의 수요/공급량 역시 축산물안전관리시스템에서 제공하는 월별 도축두수와 돼지 한 마리의 표준체중 110kg을 곱한 후 탕박 방식의 지육율 0.767(76.7%)를 곱하여 이용하였고, 가격은 농협 축산정보센터에서 제공하는 월별 소비자가격을 이용하였다.

닭고기의 수요/공급량은 축산물안전관리시스템의 도축두수에 닭 한 마리의 평균 출하체중인 1.5를 곱하여 이용하였다.

공급변수의 경우 공통적으로 사료가격은 농림축산식품부에서 제공하는 월별 배합사료가격을 이용하였고, 소 가축비용인 송아지가격은 농협 축산정보센터에서 제공하는 5~6개월령 송아지의 산지가격을, 닭 가축비용인 병아리가격은 한국 육계협회에서 제공하는 월별가격을 이용하였으며, 돼지의 경우 입식가격이 제공되지 않아 분석에 이용하지 못하였다.

또한 가축질병의 경우 국가가축방역통합시스템에서 제공하는 월별 가축질병발생통계를 이용하였다. 해당 월에 질병이 발생한 경우 1, 그렇지 않으면 0의 더미변수로 사용하였는데, 소는 구제역, 돼지는 구제역과 아프리카 돼지열병, 닭은 고병원성 조류 인플루엔자를 사용하였다.

<표 III-4> 분석자료

변수명	변수설명	자료출처
수산물 수요/공급량	어업생산동향조사 어류 생산량	통계청 어업생산동향조사
쇠고기 수요/공급량	소 도축두수*600*0.597	축산물안전관리시스템
돼지고기 수요/공급량	돼지 도축두수*110*0.767	축산물안전관리시스템
닭고기 수요/공급량	닭 도축두수*1.5	축산물안전관리시스템
수산물 가격	어류 생산금액/어류 생산량	통계청 어업생산동향조사
쇠고기 가격	쇠고기 소비자가격	농협 축산정보센터
돼지고기 가격	돼지고기 소비자가격	농협 축산정보센터
닭고기 가격	닭고기 소비자가격	농협 축산정보센터
소 사료 가격	비육용 배합사료가격	농림축산식품부
돼지 사료 가격	양돈용 배합사료가격	농림축산식품부
닭 사료 가격	육계용 배합사료가격	농림축산식품부
송아지 가격	5~6개월령 송아지 산지가격	농협 축산정보센터
병아리 가격	병아리 가격	한국육계협회
소 가축 질병	구제역 발생 더미변수	국가가축방역통합시스템
돼지 가축 질병	구제역, 아프리카 돼지열병 발생더미변수	국가가축방역통합시스템
닭 가축 질병	고병원성 조류 인플루엔자 발생 더미변수	국가가축방역통합시스템
유류가격	면세경유 가격	오피넷

IV. 연구 분석 결과

1. 기초통계량

수요함수에 이용된 변수의 기초통계량은 <표 IV-1>에 제시되어 있다.

<표 IV-1> 수요 기초통계량

(단위 : 톤, 원)

Variable	Mean	Std. Dev	Min	Max
어류 수요량	103,000	28,200	55,700	175,000
어류 가격	3,156	870	1,391	5,349
어류 지출비중	0.0902493	0.021686	0.0515052	0.1646274
쇠고기 수요량	26,600	6,712	10,600	47,600
쇠고기 가격	29,193	13,653	13,595	56,340
쇠고기 지출비중	0.2029033	0.0515004	0.120251	0.3454301
돼지고기 수요량	110,000	18,700	61,100	146,000
돼지고기 가격	17,800	5,665	7,810	39,356
돼지고기 지출비중	0.5355918	0.0455284	0.4302328	0.6641021
닭고기 수요량	107,000	28,700	44,700	178,000
닭고기 가격	5,622	915	2,654	8,542
닭고기 지출비중	0.1712556	0.0444744	0.0905938	0.2881985

제시된 표에서 수요량 단위는 톤으로 나타냈으나, 분석에는 kg으로 환산하여 사용하였다. 가격자료는 모두 kg당 가격으로 통일하였다. 돼지고

기의 경우 평균 11만 톤으로 가장 많은 양을 소비했고, 평균 지출비중 역시 약 54%로 가장 높았다.

쇠고기의 경우 평균적으로 2만 6,600톤을 소비하여 10만 톤 이상의 다른 동물성 단백질에 비해 매우 낮았으나, kg당 평균 가격이 26,600원으로 높아 평균 지출비중은 약 20%로 두 번째로 높은 비중을 차지했다.

닭고기의 경우 평균적으로 10만 7천 톤을 소비하였으며 평균 지출비중은 약 17%이다. 마지막으로 어류의 경우 평균 10만 3천 톤을 소비하였으나, 평균 단가가 다른 동물성 단백질에 비해 가장 낮았고, 이에 따라 평균 지출비중이 9%로 가장 낮게 나타났다.

<표 IV-2> 공급 기초통계량

(단위 : 톤, 원)

Variable	Mean	Std. Dev	Min	Max
어류 공급량	103,000	28,200	55,700	175,000
어류 가격	4,537	1,403	1,968	8,006
쇠고기 공급량	26,600	6,712	10,600	47,600
쇠고기 가격	35,377	14,636	16,182	67,596
돼지고기 공급량	110,000	18,700	61,100	146,000
돼지고기 가격	18,692	6,250	7,567	41,610
닭고기 공급량	107,000	28,700	44,700	178,000
닭고기 가격	6,010	1,414	2,762	10,181
소 사료가격	412	40	306	587
돼지 사료가격	587	50	427	781
닭 사료가격	514	53	342	628
송아지 산지가격	1,975	942	0	4,500
병아리 가격	405	199	100	860
면세경유 가격	1,172	534	326	2950

공급함수에 이용된 변수의 기초통계량은 <표 IV-2>에 제시되어 있다. 공급량의 경우 수요와 동일한 변수를 사용했기 때문에 동일한 수치가 나타났다. 가격의 경우에는 동일한 변수를 사용하였으나, 수요의 경우 소비자물가지수를 이용하여 실질화하였고, 공급의 경우 생산자물가지수를 이용하여 실질화하였기 때문에 차이가 발생하였다.

2. 수요함수 추정결과

가. 사전 검정

일반적으로 AIDS는 겉보기무관회귀(Seemingly Unrelated Regression, SUR)방식으로 추정된다. SUR은 A. Zellner(1962)에서 제시된 방법으로, 회귀식의 오차항 간 상관관계가 있을 때 사용하면 좋은 방법이다. 따라서 사전적으로 각 재화별 수요방정식의 오차항 간 상관관계가 있는지 검정이 필요하며, 이는 Breusch-Pagan 검정을 통해 진단할 수 있다. Breusch-Pagan 검정결과는 <표 IV-3>에 제시되어 있다.

<표 IV-3> Breusch-Pagan Test

Chi.2	Pr(>Chi.2)
122.657	0.0000***

주 : 귀무가설은 “각 회귀식의 오차항이 독립이다.” 임.

Breusch-Pagan 검정의 귀무가설은 “각 회귀식의 오차항이 독립이다.”이다. 검정결과 귀무가설이 기각됨에 따라 오차항 간 상관관계가 있는 것으로 나타났고, 이에 SUR 방법을 이용하여 추정을 진행한다.

다음으로 수요의 이론적 제약을 부과한 제약모형과 아무런 제약을 부과하지 않은 무제약모형 중 어떤 모형이 설명력이 더 높은가를 검정하여야 한다. 검정은 우도비(Likelihood - Ratio, LR) 검정을 이용하는데, 검정결과는 <표 IV-4>에 제시되어 있다.

<표 IV-4> 제약 LR검정

	동차성 제약	대칭성 제약	동차/대칭성 제약
Chi.2	82.99	18.93	111.09
Pr(>Chi.2)	0.0000***	0.0003***	0.0000***

검정결과 동차성만 부과한 제약, 대칭성만 부과한 제약, 동차성과 대칭성을 모두 부과한 제약 모두 기각되어 아무런 제약을 부과하지 않은 모형의 설명력이 높은 것으로 나타났다.

그러나 무제약 모형의 경우 재화시장 간 비대칭적 교차관계가 나타날 수 있다. 예를 들어 쇠고기 시장에 대한 닭고기 시장은 대체성을 가지는 반면, 닭고기 시장에 대한 쇠고기 시장은 보완성을 가지는 것과 같은 결과가 나타날 수 있다. 따라서 이를 방지하기 위해 본 연구에서는 대칭성 제약만을 부과하여 분석을 진행한다.

나. 계수 추정 결과

대칭성을 부과한 AIDS의 계수 추정 결과는 <표 IV-5>에 제시되어 있다. 대칭성을 부과하였기에 계수 행렬이 대칭행렬로 나타났다. Stone 가격지수와 상수항을 제외하면 전체적으로 (쇠고기 - 어류)를 제외하고는 모든 계수의 유의성이 유의한 것으로 나타났다.

<표 IV-5> AIDS 계수 추정 결과

	쇠고기	돼지고기	닭고기	어류
ln쇠고기가격	0.0929719 (13.11***)	-0.0355117 (-5.22***)	-0.0509675 (-10.71***)	-0.000829 (-0.21)
ln돼지고기가격	-0.0355117 (-5.22***)	0.120106 (11.44***)	-0.0513905 (-8.18***)	-0.0282715 (-5.54***)
ln닭고기가격	-0.0509675 (-10.71***)	-0.0513905 (-8.18***)	0.0951046 (12.40***)	0.0421779 (8.23***)
ln어류가격	-0.000829 (-0.21)	-0.0282715 (-5.54***)	0.0421779 (8.23***)	-0.0331777 (-4.82***)
Stone가격	0.0137005 (0.72)	-0.0532938 (-2.92***)	0.0259031 (1.83*)	0.0090986 (0.92)
상수	-0.2163729 (-0.59)	1.428621 (4.08***)	-0.4691817 (-1.74*)	0.1002766 (0.55)

주: * 10% 이하 유의, ** 5% 이하 유의, *** 1% 이하 유의.

다. 탄력성 추정 결과

수요의 자체가격탄력성이 음(-)을 가지는 경우 재화의 가격이 상승하는 경우 수요량을 감소시키므로 일반적인 수요의 법칙을 가진다. 수요의 교차가격탄력성의 경우 음(-)을 가지는 경우 한 재화의 가격이 상승할 때 다른 재화의 수요량을 감소시키므로 보완관계를 가진다고 해석할 수 있으며, 양(+)을 가지는 경우 한 재화의 가격이 상승할 때 다른 재화의 수요량을 증가시키므로 대체관계를 가진다고 해석할 수 있다.

대체효과와 소득효과를 모두 고려한 비보상가격탄력성은 <표 IV-6>에, 대체효과만을 고려한 보상가격탄력성은 <표 IV-7>에 각각 제시되어 있다.

<표 IV-6> AIDS 비보상(마셜)가격 탄력성 추정 결과

	쇠고기	돼지고기	닭고기	어류
쇠고기	-0.5554928 (-14.44***)	-0.0461138 (-3.30***)	-0.3283008 (-10.48***)	-0.0296415 (-0.68)
돼지고기	-0.2111823 (-3.41***)	-0.7224571 (-26.49***)	-0.3810914 (-6.60***)	-0.3672557 (-4.57***)
닭고기	-0.2627547 (-9.12***)	-0.0789102 (-5.98***)	-0.470566 (-9.78***)	0.450083 (7.48***)
어류	-0.0101795 (-0.47)	-0.0438053 (-4.18***)	0.2326355 (7.28***)	-1.376721 (-17.08***)

주: * 10% 이하 유의, ** 5% 이하 유의, *** 1% 이하 유의.

<표 IV-7> AIDS 보상(희스)가격 탄력성 추정 결과

	쇠고기	돼지고기	닭고기	어류
쇠고기	-0.338889 (-9.69***)	0.1365996 (10.74***)	-0.0947075 (-3.41***)	0.1937177 (4.51***)
돼지고기	0.360574 (10.74***)	-0.2401591 (-12.25***)	0.2355108 (6.42***)	0.2223322 (3.93***)
닭고기	-0.0799355 (-3.41***)	0.0753046 (6.42***)	-0.2734073 (-6.10***)	0.6386038 (11.24***)
어류	0.0861637 (4.51***)	0.0374639 (3.93***)	0.3365354 (11.24***)	-1.277373 (-16.73***)

주: * 10% 이하 유의, ** 5% 이하 유의, *** 1% 이하 유의.

비보상가격탄력성의 경우 쇠고기와 어류를 제외한 모든 계수의 추정치가 통계적으로 유의하게 나타났다. 자체가격탄력성의 부호는 모두 음(-)으로 나타나 수요의 법칙에 부합하는 것으로 나타났다. 그러나 (닭고기와 어류)의 경우를 제외한 교차탄력성 계수의 부호가 음(-)으로 나타나 동물성 단백질 시장 간 보완관계가 있는 것으로 나타났다.

보상가격탄력성의 경우 모든 계수가 통계적으로 유의하게 나타났고, 비보상가격탄력성과 마찬가지로 자체가격탄력성의 부호는 모두 음(-)으로 나타나 수요의 법칙에 부합하는 것으로 나타났다. 또한 (쇠고기와 닭고기)

의 경우를 제외하면 모든 교차탄력성의 부호가 양(+)으로 나타나 대체관계가 있는 것으로 나타났다. 따라서 이들 시장 간에는 소득효과를 제외시 대체성을 가지는 것으로 해석할 수 있다.

3. 공급함수 추정결과

쇠고기, 돼지고기, 닭고기 및 어류의 공급함수는 식 (42), (43), (44), (45)와 같이 정의하였다. 돼지고기의 경우 송아지나 병아리와 달리 입식종자의 가격이 제공되지 않고 있어 포함하지 않았다.

$$\ln \text{쇠고기공급량} = \ln \text{쇠고기가격}_{t-24} + \ln \text{비육사료}_{t-24} + \ln \text{송아지}_{t-24} + \text{질병더미변수} + \text{계절더미변수} \quad (42)$$

$$\ln \text{돼지고기공급량} = \ln \text{돼지고기가격}_{t-4} + \ln \text{양돈사료}_{t-4} + \text{질병더미변수} + \text{계절더미변수} \quad (43)$$

$$\ln \text{닭고기공급량} = \ln \text{닭고기가격}_{t-1} + \ln \text{육계사료}_{t-1} + \ln \text{병아리}_{t-1} + \text{질병더미변수} + \text{계절더미변수} \quad (44)$$

$$\ln \text{어류공급량} = \ln \text{어류가격}_{t-1} + \ln \text{경유가격} + \text{추세변수} + \text{계절더미변수} \quad (45)$$

소는 통상 30개월령이 출하되고 주로 5~6개월령을 이용함에 따라 입식과 출하 간 약 24개월의 시차가 발생한다. 따라서 쇠고기 공급함수를 추정하기 위해 24개월 전의 변수를 이용하였다.

돼지는 약 170~180일령의 110kg 비육돈을 출하하고, 통상 70일령의 이유자돈을 입식한다. 따라서 입식과 출하 간 약 100~110일의 시차가 발생함에 따라 4개월 전의 변수를 이용하였으며, 닭의 경우 사육기간이 약 35일이기 때문에 1개월 전의 변수를 이용하여 분석을 진행하였다.

어류의 경우 대부분은 완전비탄력성을 가정한다(이현동 외, 2018). 그러나 J. Hartmann et al.(2000)과 같은 연구에서 실제로 수산물의 공급탄력성을 구한 경우도 있어 본 연구에서는 어류의 공급탄력성을 추정하기로 한다. 그러나 어류의 생산과 출하 간 시차는 연안, 근해, 원양, 양식 등 그 생산 방식에 따라 다양하기 때문에 특정 시차를 선정하기가 어렵다는 문제가 존재한다. 하지만 이러한 이유로 시차를 설정하지 않으면 생산시점과 출하시점의 차이로 인해 탄력성의 왜곡이 발생할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 1개월의 시차가 존재한다고 가정한다.

가. 사전검정

공급함수를 OLS로 추정하기 전 이분산, 자기상관, 다중공선성 문제에 관해 각각 Breusch-Pagan 검정, Breusch-Godfrey 검정, 분산팽창계수를 이용하여 진단하였고, 그 결과는 <표 IV-8>에 제시되었다.

<표 IV-8> 공급함수 사전검정 결과

	이분산 검정	자기상관 검정	다중공선성 검정
쇠고기	1.72 (-0.1891)	1.658 (0.1979)	2.24
돼지고기	0.66 (-0.4148)	125.089 (0.0000***)	1.75
닭고기	14.22 (0.0002***)	141.584 (0.0000***)	1.91
어류	0.12 (0.7311)	20.566 (0.0000***)	2.10

주1: * 10% 이하 유의, ** 5% 이하 유의, *** 1% 이하 유의.

주2: Breusch-Pagan 검정의 귀무가설은 “오차항이 동분산이다” 임.

주3: Breusch-Godfrey 검정의 귀무가설은 “자기상관이 존재하지 않는다” 임.

우선 쇠고기 공급함수의 경우 Breusch-Pagan 검정, Breusch-Godfrey 검정에서 모두 귀무가설을 기각하지 못해 동분산 가정과 자기상관이 존재

하지 않는다는 가정을 충족하는 것으로 나타났으며, 분산팽창계수 역시 2.24로 다중공선성이 심하지 않은 것으로 나타났다.

돼지고기 공급함수의 경우 Breusch-Pagan 검정에서는 귀무가설이 기각되지 못해 동분산 가정을 충족하는 것으로 나타났고, 분산팽창계수 역시 1.75로 다중공선성이 심하지 않은 것으로 나타났다. 그러나 Breusch-Godfrey 검정에서 귀무가설이 기각되어 자기상관문제가 존재하는 것으로 나타났다. 따라서 자기상관 문제를 해결하기 위해 돼지고기 공급함수는 Cochrane-Orcutt 반복추정을 이용하여 분석을 진행하였다.

닭고기 공급함수는 분산팽창계수가 1.91로 나타남에 따라 다중공선성이 심하지 않은 것으로 나타났다. 그러나 Breusch-Pagan 검정과 Breusch-Godfrey 검정 모두 귀무가설이 기각되어 이분산 문제와 자기상관 문제가 존재하는 것으로 나타났다. 따라서 이를 해결하기 위해 닭고기의 공급함수는 FGLS를 이용하여 분석을 진행하였다.

어류의 공급함수는 이분산과 다중공선성은 존재하지 않고, 자기상관만이 존재하여 돼지고기와 마찬가지로 Cochrane-Orcutt 반복추정을 이용하여 분석을 진행하였다.

나. 공급함수 계수 추정 결과

앞선 사전검정 결과에 따라 쇠고기 공급함수는 일반 다중회귀모형을 이용해 분석을 진행하였고, 자기상관이 나타난 돼지고기 공급함수는 Cochrane-Orcutt 반복추정을 이용하여 분석을 진행하였다. 이분산과 자기상관이 모두 나타난 닭고기 공급함수는 FGLS를 이용하여 분석을 진행하였다.

공급함수 추정 결과는 <표 IV-9>, <표 IV-10>, <표 IV-11>, <표 IV-12>에 각각 제시되어 있다.

<표 IV-9> 쇠고기 공급함수 추정 결과

변수명	계수	Std.Error	t-value
쇠고기가격	0.1953696 (0.001***)	0.0600492	3.25
사료가격	-0.2014626 (0.376)	0.2265923	-0.89
송아지가격	-0.3017766 (0.000***)	0.0624734	-4.83
질병더미	-0.088212 (0.071*)	0.048473	-1.82
2월	-0.6610043 (0.000***)	0.0590436	-11.20
3월	-0.4991462 (0.000***)	0.0607635	-8.21
4월	-0.3901519 (0.000***)	0.0567654	-6.87
5월	-0.4414818 (0.000***)	0.0604638	-7.30
6월	-0.4629007 (0.000***)	0.0587701	-7.88
7월	-0.4314406 (0.000***)	0.0588827	-7.33
8월	-0.1939292 (0.001***)	0.0596087	-3.25
9월	-0.143244 (0.018**)	0.0597789	-2.40
10월	-0.437388 (0.000***)	0.0594519	-7.36
11월	-0.403516 (0.000***)	0.058413	-6.91
12월	-0.2534258 (0.000***)	0.0595921	-4.25
상수	18.93908 (0.000***)	1.616339	11.72
R-Square		0.6664	

주: * 10% 이하 유의, ** 5% 이하 유의, *** 1% 이하 유의.

<표 IV-10> 돼지고기 공급함수 추정 결과

변수명	계수	Std.Error	t-value
돼지고기가격	0.0096986 (0.866)	0.0574192	0.17
사료가격	-0.2197878 (0.515)	0.3370624	-0.65
질병더미	0.0047748 (0.815)	0.0203894	0.23
2월	-0.0882528 (0.001***)	0.0270691	-3.26
3월	0.013328 (0.683)	0.0325737	0.41
4월	-0.0341302 (0.354)	0.0367441	-0.93
5월	-0.0743269 (0.073**)	0.0411637	-1.81
6월	-0.1321535 (0.003***)	0.0433614	-3.05
7월	-0.1244168 (0.004***)	0.0420983	-2.96
8월	-0.1079119 (0.008***)	0.0398831	-2.71
9월	-0.0857099 (0.025**)	0.0379556	-2.26
10월	0.0334309 (0.351)	0.0357177	0.94
11월	0.0536215 (0.082*)	0.0306591	1.75
12월	0.0304948 (0.183)	0.0228172	1.34
상수	19.87186 (0.000***)	2.188447	9.08
rho		0.8641201	
R-Square		0.3370	

주: * 10% 이하 유의, ** 5% 이하 유의, *** 1% 이하 유의.

<표 IV-11> 닭고기 공급함수 추정 결과

변수명	계수	Std.Error	t-value
닭고기가격	0.2820889 (0.003***)	0.0923906	3.05
사료가격	-0.9524748 (0.000***)	0.1541078	-6.18
병아리가격	-0.0985375 (0.003***)	0.0321491	-3.07
질병더미	0.0726775 (0.012**)	0.0286654	2.54
2월	-0.1985027 (0.004***)	0.0685893	-2.89
3월	-0.0895266 (0.143)	0.0607897	-1.47
4월	-0.0112202 (0.871)	0.0689094	-0.16
5월	0.1329424 (0.014**)	0.0535707	2.48
6월	0.2271198 (0.000***)	0.0469318	4.84
7월	0.4340487 (0.000***)	0.0473754	9.16
8월	0.1658139 (0.004***)	0.0561251	2.95
9월	-0.0459874 (0.482)	0.0652294	-0.71
10월	0.0510089 (0.415)	0.0623912	0.82
11월	-0.0407605 (0.491)	0.0591007	-0.69
12월	0.0702528 (0.232)	0.0585593	1.20
상수	22.46259 (0.000***)	0.8735094	25.72
R-Square		0.6365	

주: * 10% 이하 유의, ** 5% 이하 유의, *** 1% 이하 유의.

<표 IV-12> 어류 공급함수 추정 결과

변수명	계수	Std.Error	t-value
어류가격	0.13209449 (0.041**)	0.064151	2.06
면세경유가격	-0.0094703 (-0.32)	0.029712	-0.32
추세	-0.0019782 (0.000***)	0.033138	-13.23
2월	-0.4385241 (0.000***)	0.0399799	-8.40
3월	-0.3359518 (0.000***)	0.042405	-11.77
4월	-0.4991415 (0.000***)	0.046814	-8.34
5월	-0.3904014 (0.000***)	0.045574	-6.91
6월	-0.3151216 (0.000***)	0.044529	-4.5
7월	-0.2002838 (0.000***)	0.043763	-2.48
8월	-0.1087298 (0.014**)	0.042815	1.05
9월	0.045024 (0.295)	0.041633	4.85
10월	0.2018269 (0.000***)	0.039371	3.98
11월	0.1568787 (0.000***)	0.033201	6.04
12월	0.2006137 (0.000***)	0.000416	-4.75
상수	17.69941 (0.000***)	0.5395796	32.80
rho		0.4075625	
R-Square		0.7733	

주: * 10% 이하 유의, ** 5% 이하 유의, *** 1% 이하 유의.

쇠고기 공급함수 추정 결과 쇠고기 공급량에 대한 쇠고기 가격탄력성은 0.1953696으로 비탄력적이며, 쇠고기 가격이 1% 상승하면 공급량은 약 0.2% 상승하는 것으로 나타났다. 중간재로 볼 수 있는 사료가격의 계수는 -0.2014626이나, 통계적으로 유의하지 않게 나타나 사료가격이 쇠고기 공급량에 통계적으로 유의한 영향을 미치지 않는 것으로 보인다. 입식가격인 송아지가격의 계수는 -0.3017766이며, 통계적으로 유의하다. 따라서 송아지가격이 1% 상승하면 공급량은 약 0.3% 감소하는 것으로 나타났다. 또한 질병(구제역)더미변수의 계수는 -0.088212이고, 통계적으로도 유의하여 구제역이 발생했을 때의 공급량은 감소하는 것으로 나타났다. 마지막으로 1월을 기준으로 한 월별 더미변수의 계수는 모두 음(-)이며, 통계적으로도 유의했다. 따라서 통계적으로 1월의 공급량이 가장 많은 것으로 보인다.

Cochrane-Orcutt 반복추정법에 의해 도출된 돼지고기 공급함수는 월별 더미변수의 일부를 제외하고는 모두 통계적으로 유의하게 나타나지 않았다. 공급 가격탄력성은 0.0096986으로, 계수 자체도 매우 비탄력적으로 나타났다으며, 통계적으로도 유의하지 않았다. 사료의 계수는 -0.2197878로 나타났으나, 통계적으로 유의하지 않았다. 이러한 현상의 이유는 양돈 경영비에서 가장 많은 비중을 차지하는 가축비용(자돈가격 등)이 자료 구축의 한계로 반영되지 못해 발생한 것으로 보인다. 따라서 돼지고기의 공급탄력성은 0으로 취급하여야 하나, 분석을 위해 선행연구(이계임 외, 2012)에서 국내산 돼지고기의 공급탄력성이었던 0.11을 사용하기로 한다.

FGLS를 이용하여 도출된 닭고기 공급함수는 대체로 변수들이 유의하게 나타났다. 공급 가격탄력성은 0.2820889로 닭고기 가격이 1% 오르면 공급량이 약 0.28% 증가하는 것으로 나타났다. 사료가격과 병아리가격의 계수는 각각 -0.9524748, -0.0985375로 병아리가격의 탄력성이 더 높게

나타났는데, 이는 육계 경영비 중 사료비의 비중이 더 높기 때문인 것으로 보인다.

마지막으로 Cochrane-Orcutt 반복추정법에 의해 도출된 어류 공급함수는 유류가격의 영향이 유의하게 나타나지 않았으나, 공급탄력성은 0.1301293으로 도출되었으며, 8월을 제외한 모든 계절더미는 유의하게 나타났다.

4. 경제적 후생 추정결과

후생을 추정하기 위해서는 수요가격탄력성, 공급탄력성, 각 재화의 거래량과 가격이 필요하다. 정책이 시행되기 전 기준거래량과 가격은 자료의 평균값을 사용한다. 후생을 추정하기 위해 사용된 탄력성과 기초자료는 <표 IV-13>과 <표 IV-14>, <표 IV-15>에 제시되어 있다.

<표 IV-13> 수요공급탄력성

구분	수요가격탄력성(보상)				공급탄력성
	쇠고기	돼지고기	닭고기	어류	
쇠고기	-0.34	0.14	-0.1	0.19	0.20
돼지고기	0.36	-0.24	0.24	0.22	0.11
닭고기	-0.08	0.08	-0.27	0.64	0.28
어류	0.09	0.04	0.34	-1.28	0.13

주: 소수점 세 자리에서 반올림함.

<표 IV-14> 평균 거래량 및 가격

(단위: 톤, 원)

Variable	평균거래량	평균 kg당 가격
쇠고기	26,600	29,193
돼지고기	110,000	17,800
닭고기	107,000	5,622
어류	103,000	3,156

<표 IV-15> 단백질 1kg 당 탄소배출강도

(단위: kgCO₂eq, g)

종류	탄소배출강도	100g당 단백질함유량
쇠고기	343	17.88
돼지고기	38	19.45
닭고기	20	24
어로어류	2.2	-
양식어류	16.1	-
어류	3.3	20.3

자료: R.W.R. Parker et al.(2018), Alice et al.(2022), 식품의약품안전처.

주1: 어류는 어로어류와 양식어류 평균생산비중(0.92 : 0.08)으로 가중평균함.

주2: 쇠고기, 돼지고기, 닭고기의 탄소배출강도는 (최소값+최대값)/2로 계산함.

정책은 가장 탄소배출이 많은 축산물인 쇠고기에 육류세를 부과하는 경우와 탄소배출이 적은 어류에 보조금을 지급하는 경우를 가정한다. 탄소배출량은 전체 거래량에 탄소배출강도를 곱한 후 100g당 단백질함유비중을 곱하여 계산하였다

조세정책은 종가세를 가정하는 경우가 종량세를 가정하는 것보다 현실적이지만 경제적 후생을 분석하기에 복잡하다는 단점이 있다. 부분 시장의 후생만을 분석하는 경우 공급주도 분석인 AH(Akino-Hayami)분석을 이용할 수 있겠으나(M. Akino and Y. Hayami, 1975), 한 시장의 변화가 다른 시장의 수요를 변화시키는 경우에는 해당 기법을 이용하여 분석을 하기가 곤란하다. 따라서 이러한 점을 반영하여 종량세를 가정하였다. 종량세액을 가정하기 위해서 다양한 연구를 참고하여 시나리오를 분석하고자 한다. 첫 번째 시나리오는 M. Springmann et al.(2018)에서 사용한 적정 육류세를 사용한다.

<표 IV-16> 적색육 적정 육류세율

(단위: %)

분류	세율
고소득 국가	21.36
중상위소득 국가	6.51
중하위소득 국가	2.16
저소득 국가	0.23
세계 평균	4.17

자료: M. Springmann et al.(2018).

한국은 고소득 국가임을 가정하고 종량세액을 평균 쇠고기 가격의 약 20%인 kg당 6천 원을 가정하도록 한다.

두 번째 시나리오는 F. Funke et al.(2022)의 연구를 참조하여 쇠고기 이외에 육류(가금류 포함) 전체의 생산에서 발생하는 외부비용을 시장가격에 반영한다. F. Funke et al.(2022)에서는 쇠고기, 돼지고기, 가금류 등 육류의 생산과정에서 발생하는 온실가스 및 각종 오염물질의 외부성을 감소시키기 위해 어느 정도의 소매가격을 인상하여야 하는가에 관하여 분석하였다. F. Funke et al.(2022)의 연구 결과, 쇠고기의 소매가격은 약 55%, 가금류는 24%, 돼지고기는 18% 인상되어야 한다고 하였다. 이를 국내시장에 적용하면 다음과 같다.

<표 IV-17> 육류 및 가금류 적정 피구세

(단위: 원, %)

분류	평균가격(A)	세율(B)	세액(A*B)
쇠고기	29,193	55	16,056
돼지고기	17,800	24	4,272
닭고기	5,622	18	1,012

자료: F. Funke et al.(2022).

세 번째 시나리오는 육류(가금류 포함) 및 수산물에서 배출하는 탄소에 가격을 매긴다고 가정한다. 실제로 탄소세나 배출권 거래제는 해당 시장에서 발생하는 탄소에 부과하는 제도이다. 쇠고기, 돼지고기, 닭고기, 어류의 중량 1kg을 생산할 때 발생하는 탄소배출량은 <표 IV-18>과 같다.

<표 IV-18> 1kg 생산에 따른 탄소배출량

(단위: kgCO₂eq, %)

종류	탄소배출강도	단백질함유비중	1kg당 탄소배출량
쇠고기	343	17.88	61.3
돼지고기	38	19.45	7.4
닭고기	20	24	4.8
어류	3.3	20.3	0.67

자료: R.W.R. Parker et al.(2018), Alice et al.(2022), 식품의약품안전처.

현재 한국은 배출권 거래제를 운영하고 있으며, 따라서 국내 탄소가격은 배출권 가격이라고 가정할 수 있다. 지난 1년 간(2021.11.01~2022.10.31) 국내 배출권(KAU 22)의 평균가격은 26,587원이었다(한국거래소, 2022). 또한 세계은행에서는 2°C 목표를 달성하기 위해서 고소득 국가의 적정 탄소가격은 톤당 50~100달러가 되어야 한다고 밝혔다(World Bank, 2022). 이를 지난 1년간(2021.11~2022.10) 평균환율인 1,270원으로 환산 시 온실가스 톤당 약 63,500원에서 127,000원을 부과하여야 한다.

<표 IV-19> 동물성 단백질 1kg에 부과되는 탄소세

(단위: kgCO₂eq, 원)

종류	1kg당 탄소배출량	탄소세 (배출권기준)	탄소세 (세계은행기준)
쇠고기	61.3	1,630.5	7,788.7
돼지고기	7.4	196.5	938.7
닭고기	4.8	127.6	609.6
어류	0.67	17.8	85.1

자료: 한국거래소 배출권시장 정보플랫폼, 세계은행(2022).

시나리오별 정책결과는 <표 IV-20>~<표 IV-25>에 각각 제시되어 있다.

<표 IV-20> 쇠고기 육류세 정책 시 시나리오(M. Springmann)

(단위: kg, 원, kgCO₂eq)

구분		정책 전	정책 후
쇠고기	거래량	26,600,000	25,911,555
	소비자가격	29,193	31,415
	생산자가격	29,193	25,415
	소비자후생	1,141,961,470,588	1,083,621,132,983
	생산자후생	1,941,334,500,000	1,842,140,172,605
	탄소배출량	1,631,335,440	1,589,114,204
돼지고기	거래량	110,000,000	110,368,429
	소비자가격	17,800	18,342
	생산자가격	17,800	18,342
	소비자후생	4,079,166,666,667	4,106,536,149,546
	생산자후생	8,900,000,000,000	8,959,719,844,259
	탄소배출량	813,010,000	815,733,061

(단위: kg, 원, kgCO₂eq)

구분		정책 전	정책 후
닭고기	거래량	107,000,000	106,585,344
	소비자가격	5,622	5,544
	생산자가격	5,622	5,544
	소비자후생	1,113,988,888,889	1,105,391,822,745
	생산자후생	1,074,203,571,429	1,065,873,743,013
	탄소배출량	513,600,000	511,609,652
어류	거래량	103,000,000	103,137,348
	소비자가격	3,156	3,188
	생산자가격	3,156	3,188
	소비자후생	126,979,687,500	127,356,986,940
	생산자후생	1,250,261,538,462	1,253,559,736,030
	탄소배출량	68,999,700	69,091,710
총 소비자후생		6,462,096,713,644	6,422,906,092,214
총 생산자후생		13,165,799,609,890	13,121,293,495,907
소비자후생 + 생산자후생		19,627,896,323,534	19,544,199,588,121
총 탄소배출량		3,026,945,140	2,985,548,627

<표 IV-21> 육류세 정책 시 시나리오(F. Funke)

(단위: kg, 원, kgCO₂eq)

구분		정책 전	정책 후
쇠고기	거래량	26,600,000	24,722,922
	소비자가격	29,193	34,893
	생산자가격	29,193	18,837
	소비자후생	1,141,961,470,588	987,320,504,361
	생산자후생	1,941,334,500,000	1,675,675,820,929
	탄소배출량	1,631,335,440	1,516,217,228

(단위: kg, 원, kgCO₂eq)

구분		정책 전	정책 후
돼지고기	거래량	110,000,000	110,819,359
	소비자가격	17,800	22,395
	생산자가격	17,800	18,123
	소비자후생	4,079,166,666,667	4,061,000,538,366
	생산자후생	8,900,000,000,000	8,940,710,356,659
	탄소배출량	813,010,000	819,065,880
닭고기	거래량	107,000,000	95,713,463
	소비자가격	5,622	7,765
	생산자가격	5,622	3,493
	소비자후생	1,113,988,888,889	891,821,815,215
	생산자후생	1,074,203,571,429	858,343,272,649
	탄소배출량	513,600,000	459,424,625
어류	거래량	103,000,000	105,876,268
	소비자가격	3,156	3,834
	생산자가격	3,156	3,834
	소비자후생	126,979,687,500	197,476,914,519
	생산자후생	1,250,261,538,462	1,254,456,744,180
	탄소배출량	68,999,700	70,926,512
총 소비자후생		6,462,096,713,644	6,137,619,772,460
총 생산자후생		13,165,799,609,890	12,729,186,194,417
소비자후생 + 생산자후생		19,627,896,323,534	18,866,805,966,877
총 탄소배출량		3,026,945,140	2,865,634,244

<표 IV-22> 탄소세 정책 시 시나리오(KAU 22)

(단위: kg, 원, kgCO₂eq)

구분		정책 전	정책 후
쇠고기	거래량	26,600,000	26,411,662
	소비자가격	29,193	29,790
	생산자가격	29,193	28,159
	소비자후생	1,141,961,470,588	1,125,850,496,346
	생산자후생	1,941,334,500,000	1,913,935,643,788
	탄소배출량	1,631,335,440	1,619,784,965
돼지고기	거래량	110,000,000	110,140,185
	소비자가격	17,800	18,083
	생산자가격	17,800	17,887
	소비자후생	4,079,166,666,667	4,083,427,863,886
	생산자후생	8,900,000,000,000	8,909,565,385,897
	탄소배출량	813,010,000	814,046,105
닭고기	거래량	107,000,000	106,428,515
	소비자가격	5,622	5,711
	생산자가격	5,622	5,515
	소비자후생	1,113,988,888,889	1,102,129,856,720
	생산자후생	1,074,203,571,429	1,062,729,000,497
	탄소배출량	513,600,000	510,856,872
어류	거래량	103,000,000	103,084,022
	소비자가격	3,156	3,194
	생산자가격	3,156	3,176
	소비자후생	126,979,687,500	130,521,704,760
	생산자후생	1,250,261,538,462	1,248,838,736,030
	탄소배출량	68,999,700	69,055,986
총 소비자후생		6,462,096,713,644	6,441,929,921,712
총 생산자후생		13,165,799,609,890	13,135,068,766,212
소비자후생 + 생산자후생		19,627,896,323,534	19,576,998,687,924
총 탄소배출량		3,026,945,140	3,013,743,929

<표 IV-23> 탄소세 정책 시 시나리오(세계은행)

(단위: kg, 원, kgCO₂eq)

구분		정책 전	정책 후
쇠고기	거래량	26,600,000	25,700,512
	소비자가격	29,193	32,041
	생산자가격	29,193	24,253
	소비자후생	1,141,961,470,588	1,066,098,449,233
	생산자후생	1,941,334,500,000	1,812,139,037,919
	탄소배출량	1,631,335,440	1,576,171,257
돼지고기	거래량	110,000,000	110,666,145
	소비자가격	17,800	19,167
	생산자가격	17,800	18,228
	소비자후생	4,079,166,666,667	4,098,172,075,593
	생산자후생	8,900,000,000,000	8,947,601,036,442
	탄소배출량	813,010,000	817,933,480
닭고기	거래량	107,000,000	104,275,148
	소비자가격	5,622	6,044
	생산자가격	5,622	5,105
	소비자후생	1,113,988,888,889	1,058,176,753,847
	생산자후생	1,074,203,571,429	1,019,494,617,607
	탄소배출량	513,600,000	500,520,710
어류	거래량	103,000,000	103,399,519
	소비자가격	3,156	3,336
	생산자가격	3,156	3,251
	소비자후생	126,979,687,500	143,962,827,207
	생산자후생	1,250,261,538,462	1,243,452,963,829
	탄소배출량	68,999,700	69,267,338
총 소비자후생		6,462,096,713,644	6,366,410,105,881
총 생산자후생		13,165,799,609,890	13,022,687,655,798
소비자후생 + 생산자후생		19,627,896,323,534	19,389,097,761,678
총 탄소배출량		3,026,945,140	2,963,892,784

<표 IV-24> 시나리오별 변화값 1

(단위 : 톤, 천원, tCO₂eq, %)

구분		M. Springmann et al.	F. Funke et al.
최 고 기	거래량	-688.4	-1,877
	소비자가격(원)	2,222	5,700
	생산자가격(원)	-3,778	-10,356
	소비자후생	-58,340,338	-154,640,966
	생산자후생	-99,194,327	-265,658,679
	탄소배출량	-42,221	-115,118
돼 지 고 기	거래량	368.4	819
	소비자가격(원)	542	4,595
	생산자가격(원)	542	323
	소비자후생	27,369,483	-18,166,128
	생산자후생	59,719,844	40,710,357
	탄소배출량	2,723	6,056
닭 고 기	거래량	-415	-11,287
	소비자가격(원)	-78	2,143
	생산자가격(원)	-78	-2,129
	소비자후생	-8,597,066	-222,167,074
	생산자후생	-8,329,828	-215,860,299
	탄소배출량	-1,990	-54,175
어 류	거래량	137.3	2,876
	소비자가격(원)	32	678
	생산자가격(원)	32	678
	소비자후생	377,299	70,497,227
	생산자후생	3,298,198	4,195,206
	탄소배출량	92	1,927
총 소비자후생 (변화율)		-39,190,621 ▽(0.61)	-324,476,941 ▽(5.02)
총 생산자후생 (변화율)		-44,506,114 ▽(0.34)	-436,613,415 ▽(3.32)
총 경제적 후생변화 (변화율)		-83,696,735 ▽(0.43)	-761,090,357 ▽(3.88)
총 탄소배출량 (변화율)		-41,397 ▽(1.37)	-161,311 ▽(5.33)

<표 IV-25> 시나리오별 변화값 2

(단위 : 톤, 천원, tCO₂eq, %)

구분		탄소세(KAU 22)	탄소세(세계은행)
최 고 기	거래량	-188	-899
	소비자가격(원)	597	2,848
	생산자가격(원)	-1,034	-4,940
	소비자후생	-16,110,974	-75,863,021
	생산자후생	-27,398,856	-129,195,462
	탄소배출량	-11,550	-55,164
돼 지 고 기	거래량	140	666
	소비자가격(원)	283	1,367
	생산자가격(원)	87	428
	소비자후생	4,261,197	19,005,409
	생산자후생	9,565,386	47,601,036
	탄소배출량	1,036	4,923
닭 고 기	거래량	-571	-2,725
	소비자가격(원)	89	422
	생산자가격(원)	-107	-517
	소비자후생	-11,859,032	55,812,135
	생산자후생	-11,474,571	-54,708,954
	탄소배출량	-2,743	-13,079
어 류	거래량	84	400
	소비자가격(원)	38	180
	생산자가격(원)	20	95
	소비자후생	3,542,017	16,983,140
	생산자후생	-1,422,802	-6,808,575
	탄소배출량	56	268
총 소비자후생변화 (변화율)		-20,166,792 ▽(0.31)	-95,686,608 ▽(1.48)
총 생산자후생변화 (변화율)		-30,730,844 ▽(0.23)	-143,111,954 ▽(1.09)
총 경제적 후생변화 (변화율)		-50,897,636 ▽(0.26)	-238,798,562 ▽(1.22)
총 탄소배출량 (변화율)		-13,201 ▽(0.44)	-63,052 ▽(2.08)

분석 결과 F. Funke et al.(2022)의 연구에서 도출한 외부비용만큼 육류세를 부과하는 것이 가장 많은 탄소를 저감하였다. 그러나 그만큼 경제적 후생 역시 가장 크게 감소한다는 문제가 존재하였다. 즉, 탄소를 저감하기 위해서는 경제적 후생의 감소라는 문제를 감수하여야 한다. 또한 육류세를 부과하는 경우 과거 많은 국가들이 직면했던 것처럼 낙농업계의 저항을 받을 가능성이 존재한다.

만약 대체효과를 이용하여 탄소 배출량이 가장 적은 수산물에 보조금을 지급한다면, 수산물과 대체관계에 있는 쇠고기, 돼지고기, 닭고기의 수요를 흡수하여 탄소 배출량을 줄일 수 있을 것으로 생각된다.

따라서 추가적으로 수산물 시장에 보조금을 지급하는 시나리오를 분석해보고자 한다. 보조금액은 수산물 가격의 20%인 600원을 가정한다. 분석 결과는 <표 IV-26>에 제시되어 있다.

<표 IV-26> 수산물 보조금 정책 시 시나리오

(단위 : 톤, 천원, tCO₂eq, %)

구분		정책 후	변화 값
쇠고기	거래량	26,584	-16
	소비자가격(원)	29,108	-85
	생산자가격(원)	29,108	-85
	소비자후생	1,140,627,422	-1,334,049
	생산자후생	1,939,066,617	-2,267,883
	탄소배출량	1,630,382	-953
돼지고기	거래량	109,976	-24
	소비자가격(원)	17,764	-36
	생산자가격(원)	17,764	-36
	소비자후생	4,077,369,134	-1,797,532
	생산자후생	8,896,078,111	-3,921,889
	탄소배출량	812,831	-179

(단위 : 톤, 천원, tCO₂eq, %)

구분		정책 후	변화 값
닭고기	거래량	106,675	-325
	소비자가격(원)	5,561	-61
	생산자가격(원)	5,561	-61
	소비자후생	1,107,239,503	-6,749,386
	생산자후생	1,067,695,235	-6,508,337
	탄소배출량	512,042	-1,558
어류	거래량	105,311	2,311
	소비자가격(원)	3,101	-55
	생산자가격(원)	3,701	545
	소비자후생	132,741,479	5,761,792
	생산자후생	1,307,026,265	56,764,727
	탄소배출량	70,548	1,548
총 소비자후생변화 (변화율)		6,457,977,537 -	-4,119,176 ▽(0.06)
총 생산자후생변화 (변화율)		13,209,866,228 -	44,066,618 △(0.33)
총 경제적 후생변화 (변화율)		19,667,843,765 -	39,947,442 △(0.20)
총 탄소배출량 (변화율)		3,025,803 -	-1,142 ▽(0.04)

수산물에 대한 보조금 지급 시 경제적 후생은 증가하고, 탄소 배출량은 감소하는 것을 알 수 있다. 그러나 줄어드는 탄소 저감량은 약 1,142톤으로 이는 기존 배출량의 약 0.04%에 불과하다.

그렇다면 육류세와 동일한 탄소 저감 효과를 가질 수 있는 수산물 kg당 보조금액은 어느 정도인지를 확인해보고자 한다. 분석 결과, 수산물 kg당 22,000원의 보조금을 지급 시 앞선 쇠고기에 6,000원의 조세를 부과하는 경우와 동일한 탄소 저감 효과를 가지는 것으로 나타났다. kg당 22,000원의 보조금 지급 시 약 4만 2천 톤의 탄소를 저감시켜, 앞선 쇠고기 육류세의 탄소 저감량인 4만 1천 톤과 유사한 결과를 나타냈다. 상세

한 내용은 <표 IV-27>에 제시되어 있다.

그러나 이는 평균 수산물 가격의 약 7배에 해당하는 보조금이다. 즉, 수산물 시장가격의 약 700%를 보조해야만 육류세와 동일한 효과를 가진다. 이는 현실적으로 불가능하다. 따라서 탄소 저감의 관점에서는 보조금보다 조세 부과가 더욱 효과적이다.

<표 IV-27> 수산물 보조금 강화 시나리오

(단위 : 톤, 천원, tCO₂eq, %)

구분		보조금 지급 후	변화 값
쇠고기	거래량	26,030	-570
	소비자가격(원)	26,066	-3,127
	생산자가격(원)	26,066	-3,127
	소비자후생	1,093,556,163	-48,405,308
	생산자후생	1,859,045,476	-82,289,024
	탄소배출량	1,596,387	-34,949
돼지고기	거래량	109,111	-889
	소비자가격(원)	16,493	-1,307
	생산자가격(원)	16,493	-1,307
	소비자후생	4,013,516,177	-65,650,489
	생산자후생	8,756,762,568	-143,237,432
	탄소배출량	806,441	-6,569
닭고기	거래량	95,097	-11,903
	소비자가격(원)	3,388	-2,234
	생산자가격(원)	3,388	-2,234
	소비자후생	879,921,746	-234,067,143
	생산자후생	848,495,969	-225,707,602
	탄소배출량	456,464	-57,136

(단위 : 톤, 천원, tCO₂eq, %)

구분		보조금 지급 후	변화 값
어류	거래량	187,734	84,734
	소비자가격(원)	1,128	-2,028
	생산자가격(원)	23,128	19,972
	소비자후생	421,837,458	294,857,770
	생산자후생	4,153,476,506	2,903,214,968
	탄소배출량	125,763	56,763
총 소비자후생변화 (변화율)		6,408,831,543 -	-53,265,170 ▽(0.82)
총 생산자후생변화 (변화율)		15,617,780,520 -	2,451,980,910 △(18.62)
총 경제적 후생변화 (변화율)		22,026,612,064 -	2,398,715,740 △(12.22)
총 탄소배출량변화 (변화율)		2,985,055 -	-41,890 ▽(1.38)



V. 결론

1. 연구결과 요약

기후변화의 문제는 시간이 흐를수록 더욱 심각해지고 있다. 과거 지구 온난화라 부르며 단순히 온실가스의 증가가 지구의 기온을 상승시킨다는 사람들의 인식과 달리 이제는 세계적으로 홍수, 산불, 태풍, 가뭄 등 이상 기후에 따른 자연재해로 이어지고 있다. 세계 각국은 온실가스를 감축하기 위해 노력하고 있다. 선진국들 위주로 감축의무를 부여하던 교토의정서와는 달리 이제는 파리협정을 통해 전 세계가 온실가스를 저감하는 데에 동참하고 있다.

그러나 이러한 세계 각국의 노력에도 불구하고 IPCC의 보고서는 최신 보고서일수록 더욱 어두운 전망을 하고 있다. 이에 전 세계는 단순히 온실가스를 저감하는 것을 넘어 탄소 중립을 목표로 하고 있다. 이로 인해 기존 탄소 배출량이 많은 에너지, 제조업 부문뿐만이 아닌 상대적으로 탄소를 적게 배출하는 농축수산 부문에도 탄소 중립을 위한 정책을 추진하고 있다. 특히 소나 양과 같은 반추동물은 막대한 양의 온실가스를 배출하고 있다. 따라서 탄소를 저감하기 위한 대표적인 정책인 탄소세나 배출권 거래제가 농축수산업에 적용될 가능성마저 있다.

과거 뉴질랜드 등 낙농업이 발달한 국가들을 중심으로 축산물에 세금을 부과하는 시도가 몇 차례 있었으나, 2차 산업에 비해 비교적 영세한 1차 산업 종사자들의 반발로 번번이 무산되었다. 그러나 기후변화 문제가 점점 심각해지고, 탄소중립 정책이 일반화되면서 네덜란드, 독일, 뉴질랜드 등에서 다시 육류에 탄소세를 부과하는 육류세 이슈가 생겨나기 시작했다

고, 유럽연합은 이를 받아들여 논의하고 있다. 이러한 정책 프레임은 우리나라에도 영향을 줄 수 있다. 한국 농업분야(에너지 제외)에서 배출하는 온실가스는 대한민국 전체 온실가스 배출량의 약 3%이며 그 중 축산업이 배출하는 온실가스는 전체의 약 1.5%내외에 불과하지만, 축산과정에서 기술적으로 탄소를 완전히 없애지 못하는 이상 육류세의 도입이 불가피해질 수도 있다. 해외에서는 영국의 싱크탱크인 Chatham House, 네덜란드의 TAPP Coalition 등에서 환경 측면에서의 육류세 도입의 효과에 관한 연구를 활발히 수행 중인 반면, 국내에서는 아직 이러한 연구가 활발하지 않다.

이러한 배경에 따라 본 연구에서는 국내 축산부문에서 가장 많은 온실가스를 배출하는 쇠고기에 육류세를 부여하였을 때 그 주요 대체재인 돼지고기, 닭고기, 수산물(어류) 시장에 미치는 영향 및 온실가스를 가장 적게 배출하는 수산물에 일종의 탄소 보조금을 지급하였을 때 다른 시장에 미치는 영향을 분석하였다.

국내 축산부문에서 온실가스 배출 비중이 높은 쇠고기를 비롯한 돼지고기와 닭고기 및 그 대체재로 고려될 수 있는 네 종류의 어류 시장을 선별하였다. 한 시장에 적용된 정책이 다른 시장에 미치는 영향을 분석하기 위해 우선적으로 이들 시장 간 대체관계를 규명하고, 보다 정확한 과급효과를 도출하기 위해 조세전가도를 알아야 함에 따라 공급함수를 함께 도출하였다.

본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다. 첫째, 현재 농축수산업에서 가장 많이 사용되고 있는 완결수요함수인 준이상수요체계(AIDS)를 이용하여 수요를 도출하였다. 시장 간 교차관계가 다르게 나타나면 안 되기 때문에 수요제약인 동차성, 대칭성, 가합성을 부과하지 않은 무제약 모형이 우수하였음에도 대칭성을 부과하여 분석하였다. 분석 결과, 보완관계가 나

타난 쇠고기와 닭고기 시장을 제외한 나머지 시장 간에는 모두 대체관계가 존재하였고, 수산물의 자체가격탄력성(보상) 제외 시 모두 비탄력적인 수요를 보였다.

둘째, 다중회귀분석을 이용하여 이들 시장의 공급함수를 도출하였다. 공급함수를 도출하기 전 다중회귀분석의 주요 가정 중 다중공선성 유무, 이분산 유무, 자기상관 유무를 진단하였고, 진단 결과 쇠고기 시장에서는 다중공선성, 이분산, 자기상관 모두 존재하지 않았으며, 돼지고기와 어류 시장에서는 자기상관이 존재했고, 닭고기 시장에서는 자기상관과 이분산 모두 존재하였다. 따라서 쇠고기 시장에서는 일반적인 다중회귀분석을 이용하였고, 돼지고기 및 어류 시장에서는 Cochrane-Orcutt 반복추정을 이용하여 분석하였다. 마지막으로 닭고기 시장에서는 FGLS를 이용하였다. 분석 결과, 돼지고기의 공급가격탄력성은 유의하지 않아 선행연구의 계수를 참고하였고, 쇠고기와 닭고기, 어류의 공급가격탄력성은 비탄력적으로 나타났다.

셋째, 경제적 후생을 추정하기 위해 소비자 후생과 생산자 후생은 1차 테일러 근사를 이용해 근사적으로 예측하였다. 다양한 선행연구를 참고하여 여러 경우의 탄소세 시나리오를 분석하였다. 육류세를 부과하는 경우 모두 경제적 후생이 감소하였으며, F. Funke et al.(2018)의 연구에서 주장한 외부비용만큼 조세를 부과하는 것이 가장 많은 경제적 후생을 감소시켰고, 수산물에 보조금을 지급하는 경우 경제적 후생을 증가시켰다.

마지막으로 온실가스 배출량은 육류세를 부과하는 경우 모두 줄어들었다. F. Funke et al.(2018)의 연구에서 가장 많은 세액이 부과됨에 따라 경제적 후생이 가장 크게 감소하였으나, 탄소 배출량 역시 가장 많은 비율로 감소하였다. 수산물에 보조금을 지급하는 경우에도 감소하였으나, 줄어드는 양은 미미하였다. 따라서 탄소중립 정책 관점에서는 육류세를 부

과하는 것이 가장 효과적이었다.

그러나 쇠고기 시장에 육류세를 부과한다면 축산농가의 반발이 심할 것으로 보여, 상대적으로 수산물 생산자에게 보조금을 지급하는 것이 정책 시행에 용이할 것으로 보인다. 이러한 점에서 육류세와 유사한 효과를 보이는 보조금액을 분석해본 결과, 현재 수산물 시장가격의 약 700%를 보조해야 육류세와 유사한 탄소를 저감하는 것으로 나타났다. 이에 따라 현실적으로 수산물에 대한 보조금 지급을 통해 온실가스를 저감하는 것은 어려운 것이라 판단된다.

2. 연구의 시사점

이와 같은 분석 결과를 이용하여 국내 주요 동물성 단백질 시장에서의 탄소 중립을 달성하기 위하여 다음과 같은 시사점을 도출하였다.

우선 탄소 중립을 달성하기 위해서는 상대적으로 반발이 심하더라도 대체시장에 보조금을 지급하는 것보다 탄소 배출량이 많은 시장에 직접적으로 조세를 부과하는 것이 가장 효과적이었다. 즉 생산과정에서 탄소 배출량이 많은 육류를 상대적으로 탄소 배출량이 적은 수산물로 대체하기 위한 정책으로 수산물에 대한 보조금을 지급하는 것보다 육류에 과세하는 것이 효과적인 것으로 추정되었다.

근본적으로는 탄소세 외에도 축산농가 및 어가의 생산과정에서 발생하는 온실가스를 최대한 적게 배출하는 기술을 개발하는 것이 가장 중요하다. 비록 연구 결과 상 쇠고기 시장에 탄소세를 부과하였을 때 온실가스 배출량이 감소하는 것으로 나타났으나, 그 효과는 현재 배출량의 일부에 불과하였다. 이용된 쇠고기 가격자료의 55%에 달하는 조세를 부과하였음에도 이러한 결과가 발생한 이유는 기본적으로 축산업과 수산업은 생산시점과 출하시점 간 시차가 발생하기 때문에 시장 자체가 비탄력적이고, 이

로 인해 조세를 부과하면서 발생하는 가격변화가 시장거래량에 크게 반영되지 않기 때문이다. 따라서 조세정책과 함께 축산물 생산과정에서 온실가스 배출량 자체를 줄일 수 있는 기술을 개발하는 것이 필요할 것으로 생각된다.

3. 연구의 한계 및 의의

본 연구의 한계는 다음과 같다. 우선 돼지고기의 공급함수 추정에 돼지의 입식종인 자돈이 반영되지 못해 공급탄력성이 유의하게 나타나지 않았다. 농협에서 2009년 2월까지 자돈가격을 조사하였으나, 그 이후로는 자돈가격이 조사항목에서 빠짐에 따라 자료를 구할 수 없었다. 축산경영비조사에서 돼지 경영비 항목 중 가축비용은 소와 달리 사료가격에 비해서는 낮았으나, 두 번째로 높은 비중을 차지함에 따라 공급함수 추정에 중요한 변수이다. 따라서 추후 돼지의 입식가격 자료를 얻을 수 있다면, 더욱 정확한 추정이 가능할 것으로 예상된다.

다음으로 어류를 하나의 항목으로 합쳤다. 어류 역시 횡감으로 주로 이용되는 넙치(광어), 조피볼락(우럭)과 같은 양식어류와 구이나 찌개, 조림 등으로 이용되는 고등어, 조기, 갈치 등 어획물이 있으나, 이를 모두 평균으로 계산하였다는 점에서 한계가 있다.

또한 현재 대부분의 조세가 증가세임에도 불구하고 분석의 편의를 위하여 종량세를 사용하였다. 현재 해외에서 사용하는 탄소세의 경우 배출되는 탄소량을 기준으로 조세를 부과하기 때문에 종량세가 큰 문제가 되지 않을 수 있으나, M. Springmann et al.(2018)이나 F. Funke et al.(2022)의 연구에서 사용한 연구는 증가세를 가정하고 있다.

본 연구에서는 최대한 증가세와 유사하게 분석하기 위하여 분석 가정 시 선행연구를 참조하여 평균가격의 일정 비율을 세액으로 책정하였으나,

일반 피구세의 성격을 가진 육류세는 종가세를 사용하는 것이 더욱 현실적인 설명력을 가질 수 있다.

마지막으로 현재 온실가스 인벤토리에서 사용하는 계수를 사용하지 않음에 따라 온실가스 저감 정책 효과가 과소평가 되었을 수 있다. 축산부문은 장내 발효와 분뇨처리 등 다양한 계수가 존재하고, 닭고기는 오리와 함께 가금류로 합쳐져 닭고기만의 계수를 도출하지 못했으며, 수산물은 따로 계수가 존재하지 않기 때문에 본 연구에서는 선행연구를 기초로 계수를 사용하였다. 이러한 계수는 해외연구를 기반으로 한 값임에 따라, 국내에 적용하기에는 어려울 수 있다. 따라서 실제로 탄소세나 보조금이 탄소 배출량에 주는 영향은 차이가 날 수 있다.

그러나 본 연구는 육류세(탄소세)나 수산물 보조금이 미치는 영향을 경제적 관점과 환경적 관점에서 분석을 진행하였다는 점에서 그 의의가 있다고 생각한다. 아직까지 국내 연구 중에서는 육류세에 관한 연구가 많지 않고, 특히 다른 대체시장까지 고려하는 연구는 거의 없다. 본 연구에서는 이러한 대체시장을 고려하여 수요와 공급을 통계적으로 분석하고 후생 추정을 수리적으로 접근하였다는 점에서 의의가 있다고 할 수 있다.

참고문헌

국내문헌

- 강남구청(2020), “기후변화 알기 쉬운 보고서”
- 강민성·남경수·안병일(2020), “청탁금지법이 국내 과일 수요에 미친 영향 분석”, 농촌경제, 43(4), 45-62.
- 고봉현(2016), “수급모형을 이용한 양식넙치의 생산 및 출하조절 효과분석”, 수산경영론집, 47(4), 65-75.
- 국립수산과학원(2019), “올해 수과원 최고 성과는 넙치용 곤충배합사료 산업화”
- 김봉태 외(2022), “어장환경 탄소중립 적용방안과 활용성 기획연구 (11-1192266-000360-01)”, 부산: 국립수산과학원
- 김윤식(2006), “부분균형모델에서 대체효과를 고려한 FTA 효과 분석-쇠고기시장을 중심으로-”, 농업경제연구, 47(3), 31-51.
- 김원태(2017), “AIDS 모형을 이용한 육류수요변화 요인 분석”, 농업경영·정책연구, 44(3), 389-409.
- 김은중(2012), “반추동물에서 발생하는 온실가스의 저감방안:총설”, 한국유기농업학회지, 20(2), 185-200.
- 김주희(2012), “역수요모형을 이용한 수산물 시장의 수요함수 추정”, 서울대학교 석사학위논문
- 김창길·김태영·조경엽(2007), “온실가스 의무감축 이행의 농업부문 파급영향 분석”, 농업경제연구, 48(2), 1-30.

- 김충현·서홍석·이형우·김진년(2018), “쇠고기이력제 자료를 이용한 한우 수급모형 구축”, 농촌경제, 41(3), 25-50.
- 김치훈·양승룡(2017), “농산물 가격 책정방식에 따른 소비자 잉여 비교분석 : 변동가격제 vs 고정가격제”, 농업경영·정책연구, 44(2), 301-314.
- 남경수·안병일(2020), “명절기간 주요 국내 과일의 수요함수 추정 및 생산자잉여 변화: 배와 사과를 중심으로”, 농업경영·정책연구, 47(2), 225-249.
- 남준우·허인(2021), 계량경제학 이론과 활용, 제2판, 홍문사.
- 노수정(2012), “로테르담 모형을 이용한 한국의 주요 과일류 수요분석”, 부산대학교 석사학위논문.
- 노수정 외(2012), “수입 오렌지와 국내산 과일 수요의 가격 및 지출탄력성 추정”, 농촌경제, 35(4). 81-96.
- 농림축산식품부(2021), “2050 농식품 탄소중립 추진전략.”
- _____ (2022), “월별 년도별 배합사료가격 (00년_22년) 8월.”
- 농촌진흥청(2021), “국내 축산분야 온실가스 고유 배출계수 3종 추가 개발 - 장내발효 메탄가스 배출계수 총 6종... 메탄 저감 사료 개발도 추진.”
- 박유정·박철형(2018), “AIDS를 이용한 주요 소비자종의 가격탄력성 추정에 관한 연구”, 해양비즈니스, 39, 49-71.
- 오승환·제상영(2021), “2차 준이상수요체계(QUAIDS)를 이용한 한국 육류 상품시장의 대체관계 분석”, 금융공학연구, 20(1), 143-158.
- 온실가스종합정보센터(2021), “2021년 국가 온실가스 인벤토리(1990 ~ 2019) 공표.”

- 우경원·신용민(2022), “냉동 오징어 수요의 수입대체관계 비교분석 - 로테르담모형과 준이상수요체계를 중심으로-”, 수산경영론집, 53(1), 55-72.
- 이계임·전상곤·김성훈·조소현(2012), “농축산물 원산지표시의 사회적 후생 영향 분석”, 농촌경제, 35(1), 49-67.
- 이용건·박기환·황윤재·정민국(2021), “낙농산업의 온실가스 비용 추정 및 경제적 효과 분석”, 농업경영·정책연구, 48(4), 641-667.
- 이유경·이성대·송재용·김민지, “2018년 축산부문 국가 온실가스 배출량 산정”, 농촌진흥청.
- 이현동·하현정·성진우·이기영·강효녕·김대영(2018), “수산부문 전망모형 「KMI-FOSIM」 구축 연구(1/2)-양식산업 전망모형 구축을 중심으로-, 한국해양수산개발원.
- 임채환·하용현·김도훈·안동환·이향미·김관수(2022), “소득 및 후생 변화를 통한 농지범용화 시범사업의 경제적 효과 분석”, 농촌계획, 28(2), 71-85.
- 장재봉·권오상(2001), “탄소세가 농업부문에 미치는 일반균형효과 분석 - 생산 및 후생효과-”, 농업경제연구, 42(3), 47-68.
- 장재봉·김민경(2022), “학교우유급식사업의 후생 효과”, 농업생명과학연구, 56(4), 125-134.
- 전상곤·박동주(2022), “암소도축률을 이용한 한우 증장기 수급모형 연구”, 농촌경제, 45(1), 21-38.
- 정학균·이용건·정선화(2021a), “주요국 저탄소농업 정책”, 한국농촌경제연구원.
- 조재성·이형우·서강철(2017), “한우 수급 및 가격 전망 모형 구축 연구”, 농

업경영·정책연구, 44(2), 210-235.

최순(2017), “완결수요체계를 이용한 채소류 수요함수 추정”, 석사학위논문, 서울대학교.

한국농촌경제연구원(2015), “세계농업”, 184.

_____ (2021b), “세계농업”, 243.

한국축산경제연구원(2018), “축산환경 부담금 도입방안.”

한석호·장희수·허수진·이남수(2020), “부분균형모형을 이용한 전복 수급전망모형 구축에 관한 연구”, 수산경영론집, 51(2), 51-69.

해양수산부(2021), “해양수산분야 2050 탄소중립 로드맵.”

_____ (2022), “2022년 해양수산 보조사업 시행지침서.”

KAIST미래전략연구센터(2015), “대한민국 국가미래전략.”

해외문헌

Alexander D. L, Kern. W, & Neil. J(2000), Valuing the Consumption Benefits from Professional Sports Franchises, Journal of Urban Economics, 48(2), 321-337.

Alice. R. J, Alleway. H. K, D. McAfee, P. R. Santos, S. J. Theuerkauf, & Jone. R. C(2022), Climate-Friendly Seafood: The Potential for Emissions Reduction and Carbon Capture in Marine Aquaculture, BioScience, 72(2), 123-143.

Akino, M, & Hayami. Y(1975), Efficiency and Equity in Public Research : Rice Breeding in Japan's Economic Development, American

Journal of Agricultural Economics, 57(1), 1–10.

CE Delft(2020), A sustainability charge on meat.

Deaton. A, & Muellbauer. J(1980), An Almost Ideal Demand System, The American Economic Review, 70(3), 312–326.

EU Commission(2020), Trade Sustainability Impact Assessment in support of FTA negotiations between the European Union and New Zealand, Final Report.

European Parliament(2020), The Green Deal and the CAP : Policy implications to adapt farming practices and to preserve the EU's natural resources.

Funke. F, Mattauch. L, Bijgaart. I. V. D, Charles. H, Godfray. J, Hepburn. C, Klenert. D, Springmann. M, & Treich. N(2022), Toward Optimal Meat Pricing: Is It Time to Tax Meat Consumption?, Review of Environmental Economics and Policy, 16(2), 219–240.

Greene. E(2018), Silent but Deadly : An Economic Approach to Reducing the Negative Externalities of the Beef Industry to the Environment, Senior Independent Study Theses, 8221.

Gren I. M, Moberg. E, Sall. S, & Roos. E(2019), Design of a Climate Tax on Food Consumption : Examples of Tomatoes and Beef in Sweden, Journal of Cleaner Production, 211, 1576–1585.

Gujarati. D(2014), *Econometrics by Example*, 2nd ed., Bloomsbury Academic.

Hartmann. J, Klijn. N, & Cox. A(2000), Seafood Trade Liberalization in the APEC Region, ABARE Research Report.

IPCC(2014), Summary for Policymakers, Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC, Geneva, Switzerland.

_____(2018), Summary for Policymakers. In : Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty, World Meteorological Organization, Geneva, Switzerland.

_____(2019), 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories.

_____(2021), Summary for Policymakers, In : Climate Change 2021 : The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press.

Parker. R. W. R, Blanchard. J. L, Gardner. C, Green. B. S, Hartmann. K, Tyedmers. P. H, & Watson. R. A(2018), Fuel use and greenhouse gas emissions of world fisheries“, Nature Climate Change, 8(4), 333-337.

Poore. J, & Nemeck. T(2018), Reducing food's environmental impacts

through producers and consumers, *Science*, 360(6392), 987-992.

Springmann. M, Mason-D'Croz. C, Robinson. S, Wiebe. K, Charles. H, Godfray. J, Rayner, M, & Scarborough. P(2018), Health-motivated taxes on red and processed meat : A modelling study on optimal tax levels and associated health impacts, *PLOS ONE*.

West. S. E, & Williams III. R. C(2004), Estimates from a Consumer Demand System : Implications for the Incidence of Environmental Taxes, *Journal of Environmental Economics and Management*, 47(3), 535-558.

Wellesley, L., Happer, C., & Froggatt, A.(2015), *Changing Climate, Changing Diets Pathways to Lower Meat Consumption*, Chatham House.

World Bank(2022), *State and Trends of Carbon Pricing 2022*.

WWF(2021), *Shifting Gears : Achieving Climate Smart Fisheries*.

Zellner. A(1962), An Efficient Method of Estimating Seemingly Unrelated Regressions and Tests for Aggregation Bias, *Journal of the American Statistical Association*, 57(298), 348-368.

인터넷

국가가축방역통합시스템, <https://kahis.go.kr/>, 소 구제역 발병건수, 월별, 검색일: 2022.09.08.

_____ , 돼지 구제역 발병건수, 월별, 검색일: 2022.09.08.

_____ , 돼지 아프리카돼지열병 발병
건수, 월별, 검색일: 2022.09.08.

_____ , 닭 고병원성조류인플루엔자
(HPAI) 발병건수, 월별, 검색일: 2022.09.08.

농협 축산정보센터, <https://livestock.nonghyup.com/>, 쇠고기 소비자가격,
월별, 검색일: 2022.09.05.

_____ , 돼지고기 소비자가
격, 월별, 검색일: 2022.09.05.

_____ , 닭고기 소비자가격,
월별, 검색일: 2022.09.05.

_____ , 5~6개월령 송아지
산지가격, 월별, 검색일: 2022.09.15.

축산물안전관리시스템, <https://lpsms.go.kr/>, 소 도축두수, 월별, 검색일:
2022.09.05.

_____ , 돼지 도축두수, 월별, 검색일:
2022.09.05.

_____ , 닭 도축두수, 월별, 검색일:
2022.09.05.

통계청, <https://kosis.kr/>, 어업생산동향조사, 월별, 검색일: 2022.09.05.

_____ , 농축산물생산비조사, 월별, 검색일: 2022.09.05.

_____ , 품목별 소비자물가지수, 월별, 검색일: 2022.09.05.

_____ , 품목별 생산자물가지수, 월별, 검색일: 2022.09.05.

한경닷컴, <https://dic.hankyung.com>, “덤벨경제”, 검색일: 2022.09.10.

한국거래소 배출권시장 정보플랫폼, 배출권 시세조회, 일별, 검색일:
2022,11,28.

한국육계협회, <https://chicken.or.kr/>, 병아리가격, 월별, 검색일: 2022.09.17.

