

해외출장(싱가포르) 요약

부서 : 기후변화연구실

과제코드 : 2023-ER-18

과제명 : 기후변화 피해비용 산정 통합평가 모형(1차년도, 5개년)

연구책임 및 자료제공 : 황인창, 백종락, 손지원

작성일 : 2024년 2월 26일

게시요망일 : 2024년 3월 4일

제목 : [해외출장노트] 2024 EcoMod GAMS 교육 참석

※ 서울연구원은 2012년 10월부터 해외출장보고서를 발췌, 요약하여 공개하고 있습니다.

1) 출장 개요

- 출장국: 싱가포르
- 출장기간: 2024년 1월 20일(토) ~ 2024년 1월 28일(일) / 8박 9일
- 출장 목적
 - 기후변화 피해비용이자 탄소의 사회적비용을 추정하는 통합평가모형은 MATLAB, GAMS 등 여러 플랫폼을 이용하여 구축되어 개별적으로 시뮬레이션한 후 결과값을 도출하기 때문에 연구자의 접근성이 제한됨
 - 특히, GAMS 기반인 모형은 타 언어로의 전환이 어려워 MATLAB, Julia 기반의 모형을 GAMS 언어로 통합이 필요함
 - 본 출장(EcoMod 교육)을 통하여 GAMS 언어를 이용한 모델링을 단계별로 구축하여 자체 모델을 구현하는 실무를 배우고자 함
 - 향후 본 과업의 PAGE, FUND 모형을 GAMS 언어로 코딩하고 최종적으로 GAMS 기반 하나의 플랫폼으로 통합시키는 한국형 앙상블 모형을 구축하고자 함

일자	활동지역	업무수행내용	비고
1. 20. (토)	인천/ 싱가포르	○ 인천 공항 출발 ○ 싱가포르 공항 도착	
1. 21. (일)	싱가포르	○ 서울대 연구진과 교육 사전 회의	
1. 22. (월)	싱가포르	○ GAMS의 기본 요소 및 GAMS-IDE 사용 ○ 표준 경제 일반균형 모델 구축하는 방법 ○ 데이터베이스 구축 및 모델 교정 방법	EcoMod School of Modeling and Data Science - Singapore January 2024
1. 23. (화)	싱가포르	○ CGE 모델링의 일반적인 기능적 형태 구축 ○ 표준 모델을 환경 CGE 모델로 변환하는 방법	EcoMod School of Modeling and Data Science - Singapore January 2024
1. 24. (수)	싱가포르	○ 온실가스 배출량 데이터베이스 구축 ○ 온실가스 배출량 GAMS 모델 구현 이후 교정	EcoMod School of Modeling and Data Science - Singapore January 2024

1. 25. (목)	싱가포르	○ 탄소세를 도입하는 방법 및 거래 가능한 오염 허가를 도입하는 방법 ○ GAMS를 이용한 모델 시뮬레이션 이후 교정	EcoMod School of Modeling and Data Science - Singapore January 2024
1. 26. (금)	싱가포르	○ GAMS를 이용한 역학 도입 및 교정 방법 ○ 백스톱 기술, 시나리오, 정책 분석을 위한 모델 생성 방법	EcoMod School of Modeling and Data Science - Singapore January 2024
1. 27. (토)	싱가포르	○ 서울대 연구진과 교육 이후 모델 구축 관련 논의	
1. 28. (일)	싱가포르/ 인천	○ 싱가포르 공항 출발 ○ 인천 공항 도착	

2) 출장 결과 요약

(1) GAMS 교육 사전 회의 및 모델 구축 회의

- 서울대 환경대학원 지속가능경제·정책연구소와 GAMS 교육 관련 사전 및 사후 회의 진행
 - 서울대학교 환경대학원 환경계획학과와 지속가능경제·정책연구소는 환경계획과 지속가능한 경제정책에 중점을 두고 있음
 - CGE 모형을 통해 주로 환경 관리 전략, 정책 수립, 도시 및 지역 계획의 지속 가능한 실행에 대한 연구를 수행하여 국내외 환경 정책의 지속 가능성 분석을 진행함

○ GAMS 교육 사전 회의

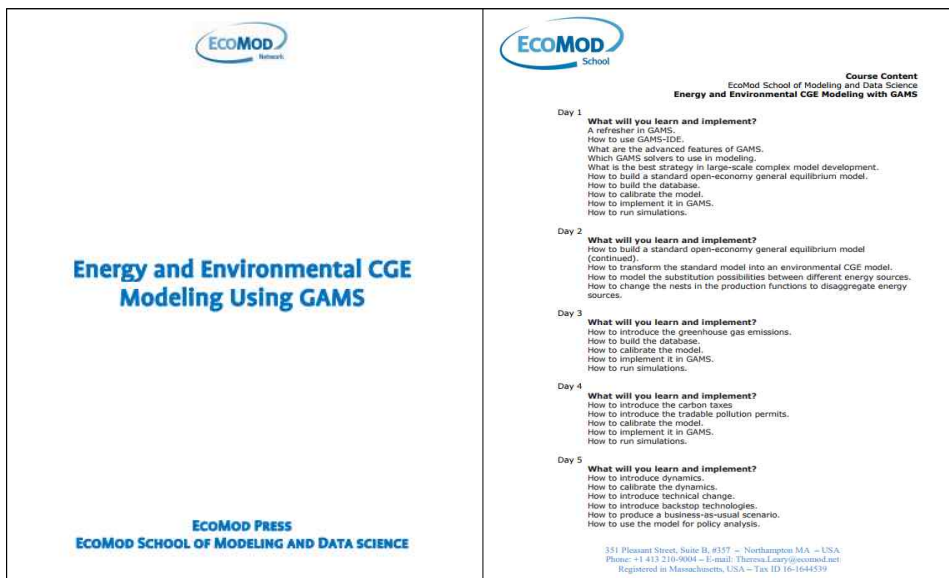
- EcoMod로부터 사전에 받은 교육 자료를 바탕으로 GAMS 프로그래밍 언어의 핵심 문법과 표준 CGE 모델의 기본 구조에 대한 이해를 높이고자 함
 - \$ 조건문을 사용하여 항목의 계산 여부, 방정식 내 용어의 포함, 집합 요소의 참조, 모델 내 방정식의 정의 등을 제어하는 방법이 포함됨
 - Excel과의 데이터 교환을 위한 XLIMPORT, XLDUMP, XLEXPOR 기능을 사용하여 데이터 시각화를 위한 플롯 기능의 사용법에 대한 지침 소개
 - CGE(Computable General Equilibrium) 모형은 일반균형 모형에 생산기술, 선호관계, 정부의 경제정책 등에 관한 구체적인 가정을 도입하여 경제의 일반균형을 방정식 체계로 표현함
 - CGE 모형은 폐쇄 경제를 위한 일반균형 모델 구축에 중점을 두었으며, 기본 구조는 2개의 회사(Firm)와 1개의 가구(Household)가 포함된 모델에 대한 설명과 수학적 공식을 포함하여 설명함
 - Cobb-Douglas 유틸리티 및 생산 함수, 시장 행동, 소득 정의, 소비자 수요, 자본 및 노동 수요에 대한 방정식 도출과 같은 측면을 다룸
 - Cobb-Douglas 기술의 매개변수 교정을 살펴보고 산업 간 흐름을 소개하며 기술 계수를 교정하는 방법을 설명함. 자본 및 노동 이동성, 저축 및 투자 부재, 폐쇄 경제 시나리오 등의 측면을 통합하여 가계 및 기업과 함께 경제의 일반균형 모델을 구축

○ GAMS 모델 구축 회의

- CGE 모형의 여러 구조를 바탕으로 제공된 기술 노트와 과제를 수행하여 모델 개발 방향에 대해 논의하고, GAMS 코드를 통해 모델 구축 경험을 공유하고자 함
- 현재 개발해야 하는 모델의 구조는 탄소세를 도입한 모형으로, 정부 부문을 포함하여 탄소 배출량에 대한 데이터를 기반으로 CO₂ 배출에 대한 세금을 부과하고 그 영향을 분석함
- 탄소세 도입을 적용한 시뮬레이션 결과는 시스템이 최적의 해답을 찾아냈으며, 정책 실행에도 불구하고 목표값의 변화가 없다는 점에서 모델의 안정성을 보여줌
- 탄소세의 부문별 영향은 CO₂ 배출량이 감소하고, 이에 따른 에너지 가격이 변화하고 정부의 세수가 증가함을 확인함. 이는 탄소세가 환경적 지속 가능성과 경제적 안정성을 동시에 추구할 수 있는 정책 도구로서의 잠재력을 시사함
- 향후 모델을 확장하고 정교화하기 위해 국가별로 온실가스 배출량 데이터를 최신 버전으로 업데이트하고, 다양한 정책 시나리오를 시뮬레이션하여 경제에 미치는 영향을 평가하는 것이 필요함

(2) GAMS 교육 과정 및 내용

- EcoMod School of Modeling and Data Science는 전 세계에서 가장 앞서가는 경제 모델링 분야의 전문 교육 프로그램을 제공함. 실습 중심의 강의로 진행되며, 공공 및 민간 부문 기관의 경제학자, 박사 과정 학생 및 학계 종사자들을 대상으로 설계됨
- Energy and Environmental CGE Modeling 2024 과정은 GAMS 언어의 기본 구문과 구조를 기반으로 에너지 및 환경 부문, 탄소세, 동적 요소를 순차적으로 통합하여 CGE 모델링 프레임워크를 완성



[그림] Energy and Environmental CGE Modeling 2024 교육 자료 표지 및 일정표

① 표준 모델을 환경 CGE 모델로 변환하는 방법

- 표준 CGE 모델에서 사용되었던 Cobb-Douglas 유틸리티 기능의 대안으로 LES(선형 지출 시스템)를 도입함. LES는 기본 소비량과 가격 탄력성을 고려하여 소비자의 효용을 최대화하므로 보다 유연한 효용 함수임
- LES를 통해 소비자들이 예산 제약 하에 두 가지 상품에 대한 소비를 최적화하는 과정을 모델링함. 그리고 두 개의 기업이 중첩된 생산 기능을 사용하며, 자본과 노동은 부문 간 이동이 가능하지만, 정부의 개입이나 외부 투자 없이 자체 자금으로만 운영되는 폐쇄 경제의 모습을 보여줌
- 저축, 투자, 실업의 개념을 일반균형 모델에 추가로 도입함. 이는 가계의 저축을 투자 수요에 연결하는 은행 부문을 포함시켜, LES를 적용한 모델을 확장시킨 것임
- 가계는 소득 중 일정 부분을 저축으로 적립하는 경향이 있으며, 이는 소비 예산을 결정하는 데 중요한 요소로 작용함
- 투자 수요는 은행이 가계의 저축을 바탕으로 총 투자 가능한 자원을 분배하는 방식을 통해 결정되는데, 여기서 은행은 Cobb-Douglas 효용 함수를 최대화하고자 함
- 또한, 실업률의 변화에 따라 실질임금이 어떻게 조정되는지를 분석하는 새로운 접근법을 모델에 통합함

② 온실가스 배출량 GAMS 모델 구현

- 환경 CGE 모형에서 에너지 부문을 도입하고 에너지 입력을 포함하도록 생산 기능을 확장하여 3단계 CES 생산 기능을 생성함. 이로 인해 모델은 에너지가 생산과 경제에 미치는 영향을 시뮬레이션할 수 있음
- 자본-에너지 묶음(capital-energy bundle)과 노동 사이, 그리고 묶음 내 자본과 에너지 사이의 대체 탄력성에 대한 새로운 매개변수가 보정되어 도입됨. 이러한 추가를 통해 이전 환경 CGE 모델과 달리 에너지와 기타 생산 요소 간의 상호 작용을 파악할 수 있음

③ 탄소세를 도입하는 방법

- 일반균형 모델에 정부 부문과 에너지 부문을 도입함. 정부 부문은 소비, 자본, 노동, 소득에 대한 세금을 징수하고 이전 및 실업 수당을 지급함. 에너지 부문은 모든 부문과 가계에서 사용하는 에너지를 생산하며, 이 과정에서 CO₂ 배출이 발생함
- 본 모델은 CO₂ 배출량을 추적하고, 발생한 배출량에 세금을 부과함으로써 시장 가격에 영향을 미침. 이 과정에서 자원이 재분배되며, 탄소 배출 감소를 유도하는 인센티브가 마련됨. 징수된 탄소세는 정부 지출에 활용되거나 가계에 재분배될 수 있으며, 이를 통해 세금으로 인한 경제적 영향을 일부 완화할 수 있음
- 탄소세를 도입한 모델에서 수출과 수입을 추가하여 무역 경제를 구현함. Armington 가정을 사용하여 국내 공급과 수입을 결합한 복합 상품의 생산 및 소비를 모델링하고, CET(Constant Elasticity of Transformation) 기능을 사용하여 국내 생산과 수출 간의 변환을 모델링함
- Armington 가정은 국내에서 생산된 상품과 수입된 상품이 서로 유사하지만 완벽한 대체품은 아니라고 가정함. 이는 소비자가 상대적 가격과 대체 가능성을 고려하여 국내 상품과 수입 상품 중에서 선택한다는 것을 의미함. 반면, CET 함수는 기업이 상대 가격 변

화와 제품 간 변환 탄력성을 바탕으로 국내 생산품을 국내 소비용이나 수출용으로 변환할 수 있는 방법을 설명함

- 이러한 접근법을 통해, 모델은 국내외 제품이 소비와 생산 과정에서 어떻게 서로 대체되는지 분석할 수 있음. 또한, 국제 수지를 통해 수입 가치가 수출 가치와 해외 저축의 합과 같아지도록 함으로써, 소규모 개방 경제가 글로벌 시장과 어떻게 상호 작용하는지를 반영함

④ GAMS를 이용한 역학 모델

- 기업이 CO₂ 배출량에 비례하여 배출권을 구매해야 하는 배출권 시장을 소개함. 정부로부터 일부 배출권은 무료로 제공되며, 이는 기업의 비용 구조에 영향을 줌
- 본 모델은 '소규모 개방 경제'라는 전제하에 설계되었으며, 국제적으로 배출권을 거래할 수 있는 가능성을 포함해 국내외 배출권 가격을 모두 고려함. 이 접근 방식을 사용하면, 탄소 가격 책정과 배출권 거래 시스템이 경제에 미치는 환경 정책의 효과를 분석할 수 있음
- 더 나아가, 경제 모델에 복지 분석을 위한 등가 및 보상 변동과 재귀 동적 요소가 도입됨. 이를 통해 시간 경과에 따른 경제 변화와 복지 정책 변화 평가가 가능해짐
- 최종 모델은 재귀 동적 분석을 사용하여 매년 경제가 어떻게 진화하는지 시뮬레이션하고자 함. 자본 축적을 통한 균형점 연결이 이 과정에서 핵심적인 역할을 하며, 시간에 따른 경제 시스템의 변화 과정을 이해하는데 도움을 줌

(3) 프로그램을 통한 인적 네트워크 구축

- General Equilibrium Modeling with GAMS, DSGE(Dynamic Stochastic General Equilibrium) Modeling, Energy and Environmental CGE Modeling with GAMS 등 3가지 과정에서 전문가와 소통
- GAMS를 사용한 에너지 및 환경 CGE 모델링 과정을 통해 포괄적인 CGE 모델 연구에 참여하고 일대일 상담을 통해 현재 연구 결과 및 개발 논의



[그림] EcoMod School of Modeling and Data Science - Singapore January 2024 참여진

- NUS(National University of Singapore), 서울대학교, 경희대학교 등 환경 분야 관련 연구그룹과 포괄적인 기후변화 피해비용 산정 모형 평가 및 적응/완화 전략을 포

함한 기후변화의 경제적 영향을 추정하기 위한 방법론 등 연구성과에 대해 공유 및 협력 방안 논의

- NUS 환경 연구소(NERI)는 환경 문제에 대한 통합 지속 가능성 솔루션 개발에 중점을 두고 있는 싱가포르 국립 대학교의 대학 수준 연구 기관임
- NERI는 실제 문제를 해결하기 위해 전 세계적으로 정부, 업계, NGO 및 학계 파트너와 협력하여 다방면으로 연구를 수행함. 환경 감시 및 처리, 환경 및 인간 건강, 자원 회수 및 순환 경제, 기후변화 및 환경, 도시 농업의 식량, 에너지 및 물 연계에 걸쳐 있음

자료제공 및 문의처 : 기후변화연구실 황인창 연구위원(2149-1096),
백종락 연구원(1436), 손지원 위촉연구원(1158)