

학부생을 위한 중력모형

Yoto V. Yotov

Translated into Korean by:

Jaerim Choi

Ohyun Kwon



DREXEL UNIVERSITY

Center for

Global Policy Analysis

LeBow College of Business

CGPA 워킹페이퍼는 학술적 논의를 활성화하고 의견 교환을 촉진할 목적으로 배포됩니다. 수록된 논문은 동료심사(peer review)나 CGPA 운영위원회의 공식적인 심의를 거치지 않은 잠정적인 연구 결과물입니다. 따라서 논문의 내용과 정확성에 대한 책임은 전적으로 저자에게 있으며, 이는 CGPA의 공식적인 입장과 다를 수 있습니다.

강의자께 드리는 말씀

이 강의 노트를 수업에 활용해 주셔서 진심으로 감사드립니다. 저자는 이 자료를 완성하기 위해 상당한 시간과 노력을 기울였으며, 부디 유용하게 사용되기를 바랍니다. 강의 노트의 본문, 실습용 데이터와 코드, 그리고 연습문제와 해답은 모두 무료로 제공되는 공공재(public goods)입니다. 다만, 자료를 활용하실 때 다음 몇 가지 사항을 고려해 주시면 감사하겠습니다.

- 학생들이 본 강의 노트의 본문과 데이터 및 코드를 다음 웹사이트에서 직접 다운로드하도록 안내해 주시기 바랍니다: https://yotoyotov.com/Gravity_Undergrads.html. 이는 저자가 본 자료의 활용도를 파악하고 이 작업을 지속할 가치가 있는지 판단하는 데 큰 도움이 됩니다.
- 본 강의 노트의 내용이나 함께 제공되는 데이터 및 코드에서 우려되는 점이나 불일치, 오타자, 오류 등을 발견하시면 언제든지 알려주시기 바랍니다. 본 강의 노트를 더욱 유용하게 개선하기 위한 제안 역시 yotov@drexel.edu로 보내주시면 언제나 환영입니다.
- 강의 노트 마지막에 포함된 연습문제의 해답이 필요하신 경우, yotov@drexel.edu로 이메일을 보내주시기 바랍니다.
- 마지막으로, 학생들이 본 강의 노트를 연구 프로젝트에 활용할 경우, 올바른 방식으로 출처를 인용하도록 지도해 주시기 바랍니다.

저자 및 번역자 소개



이 강의 노트는 제가 오랫동안 품어온 두 가지 학문적 열정, 즉 가르침에 대한 애정과 국제무역의 중력모형 연구에 대한 헌신이 어우러진 결실입니다. 그런 만큼 이 작업은 세계 가장 보람 있는 학문적 기여 중 하나이며, 국제무역의 중력모형을 처음 접하는 학부생과 대학원생은 물론, 중력모형에 입문하는 모든 분들께 좋은 길잡이가 되기를 바랍니다.

교육과 중력모형에 대한 열정은 제가 박사과정에 진학하고 연구자의 길을 걷게 된 계기였습니다. 이후 저의 학문적 여정은 중력모형 연구에 온전히 바쳐졌습니다. 그동안 저는 이론 모형 개발에서부터 추정 기법, 계산 방법론, 그리고 중력 데이터 구축에 이르기까지 연구의 폭을 넓혀왔습니다. 저의 연구 성과들은 여러 저명 학술지에 게재되었으며, 이를 바탕으로 다양한 국제기구, 정부 기관, 싱크탱크를 대상으로 정책 자문을 수행해 왔습니다.

특히 저는 전 세계 130여 개국에서 온 수백 명의 학생, 연구자, 정책 입안자들을 대상으로 중력모형을 여러 차례 강의할 기회가 있었습니다. 또한 학부생들의 관련 연구를 직접 지도하며, 중력모형이 학부생들도 충분히 이해하고 활용할 수 있는 유용한 분석 도구라는 확신을 갖게 되었습니다. 따라서 저는 이 강의 노트가 최첨단 연구 방법론과 실용적인 정책 분석 기법을 학부 교육 현장에 소개하는 소중한 기회라고 생각하며, 이 책을 집필하게 된 것을 큰 영광으로 생각합니다.



최재림은 현재 연세대학교 경제학부 부교수로 재직 중이다. 연세대학교에서 경제학과 응용통계학을 전공한 뒤, 한국은행에 입행하여 근무하였으며, 이후 미국 캘리포니아대학교 데이비스(UC Davis)에서 경제학 박사학위를 취득하였다. 박사학위 취득 후 하와이대학교 경제학과에 조교수로 임용되어 5년간 재직하며 부교수로 승진하고 중신직을 부여받았고, 현재는 모교인 연세대학교로 돌아와 학생들을 가르치며 연구를 이어가고 있다.

그의 주요 연구 분야는 국제경제학과 응용미시경제학이다. 《Journal of International Economics》, 《Journal of Development Economics》, 《International Economic Review》, 《Economic Theory》 등 국제 저명 학술지에 다수의 논문을 게재하였다. 이러한 학문적 성과를 인정받아 매년 만 45세 이하의 역량 있는 경제학자에게 수여되는 제14회 다산젊은경제학자상을 수상하였다.

더라면 훨씬 더 효율적으로 연구를 수행할 수 있었을 것"이라고 밝히며, 이번 자료가 국제경제학에 관심과 열정을 가진 한국의 학생들이 중력모형의 개념을 이해하고 이를 다양한 분석에 자유롭게 응용하는 데 도움이 되기를 기대하고 있다.

그의 주요 연구에서는 중력모형을 활용하여 해외직접투자, 기업 간 공급망 형성, 국경 간 특허 인용 등을 분석하였다. 그는 “이 자료가 연구 당시 존재했더라면 훨씬 더 효율적으로 연구를 수행할 수 있었을 것”이라고 밝히며, 이번 자료가 국제경제학에 관심과 열정을 가진 한국의 학생들이 중력모형의 개념을 이해하고 이를 다양한 분석에 자유롭게 응용하는 데 도움이 되기를 기대하고 있다.



권오현 교수는 현재 미국 드렉셀대학교(Drexel University) 경제학과 조교수로 재직 중이며, 같은 대학 글로벌정책분석센터 연구원을 겸하고 있다. 그는 북경대학교 경영대학(광화관리학원)에서 금융학을 전공한 뒤, 미국 위스콘신대학교 매디슨(University of Wisconsin-Madison)에서 경제학 박사학위를 받았다. 이후 다트머스대학교(Dartmouth College)에서 방문 연구원으로도 활동했다. 주요 연구 분야는 국제 무역, 환경 및 무역 정책, 경제 제재 등이다.

국제 무역 연구의 초석인 중력모형(Gravity Model)은 그 중요성은 두말할 나위가 없으며, 계량경제학 이론과 계산 기술이 발전함에 따라 그 활용 또한 한층 편리하고 효율적이 되었다. 이 교육 자료는 중국의 학생과 신진 학자들이 중력모형의 핵심 개념과 최신 응용 방법을 빠르게 익혀, 국제 무역 연구의 최신 흐름에 더 쉽게 동참할 수 있도록 돕고자 마련되었다.

권 교수는 이 자료가 국제경제학에 열정을 가진 많은 학생에게 실질적인 도움이 되기를 바라고 있다. 그는 학생들이 이 자료를 통해 이론적 토대를 깊이 이해하는 것은 물론, 실용적인 데이터 분석 기술을 익혀 실증 연구 역량을 크게 키울 수 있기를 기대한다.

또한 이 자료가 학생들의 향후 대학원 진학이나 국제기구, 정부, 기업 등에서의 활동에 굳건한 디딤돌이 될 것이라 믿으며, 나아가 학생들이 학문적으로 성장하고 국제 무역 분야에서 혁신적인 기여를 하는 데 보탬이 되기를 희망하고 있다.

© 2025, Y. V. Yotov. 무단 전재와 복제를 금합니다.

감사의 글 및 면책 안내

이 강의 노트에 직간접적으로 기여해 주신 많은 동료와 친구들에게 진심으로 감사드립니다. Delina Agnosteva, James Anderson, Scott Baier, Richard Baldwin, Richard Barnett, Jeff Bergstrand, Cosimo Beverelli, Ingo Borchert, Sebastien Bradley, Federico Carril-Caccia, 최재림, Carsten Eckel, Peter Egger, Gabriel Felbermayr, Lisandra Flach, Javier Florez, Lionel Fontagné, Rebecca Freeman, Gene Grossman, Jean Grossman, James Harrigan, Beno Heid, Inga Heiland, Julian Hinz, Peter Herman, Paul Ko, 권오현, Mario Larch, Maia Linask, Jeff Luckstead, Martina Magli, Inma Martínez-Zarzoso, Xenia Matschke, Jose Antonio Monteiro, Arne Nagengast, Sergei Nigai, Kevin O'Rourke, Jordi Paniagua, Blake Peters, Roberta Piermartini, Ray Riezman, Fernando Rios-Avila, Ana Maria Santacreu, Mauricio Sepulveda, Serge Shikher, João Santos Silva, Bob Staiger, Costas Syropoulos, Angelos Theodorakopoulos, Farid Toubal, Joschka Wanner, Erdal Yalcin, 윤장수, 그리고 Tom Zylkin에게 감사드립니다. 강의 노트의 모든 측면에 걸쳐 귀중한 도움을 준 Blaize Giangulio에게 특별한 감사를 전합니다. 또한 드렉셀대학교(Drexel University) Center for Global Policy Analysis의 지원과 격려에도 깊이 감사드립니다. 대부분의 학부 교재와 마찬가지로, 이 자료에서는 참고문헌의 수를 최소화했습니다. 다만, 독자들이 더 깊이 있는 학습을 위해 참고할 수 있도록 강의 노트 전반에 걸쳐 몇몇 핵심 논문과 총괄 연구(survey)를 언급하였습니다. 마지막으로, 이 자료에 포함된 모든 내용과 혹시 있을지 모를 오류에 대한 책임은 전적으로 저자에게 있음을 밝힙니다.

본 강의 노트의 한국어 번역을 기꺼이 맡아주신 권오현 교수님과 최재림 교수님께 깊이 감사드립니다. 이 번역본이 많은 학생들에게 도움이 되기를 바랍니다.

학부생을 위한 중력모형

중력 방정식(gravity equation)은 국제무역 연구의 핵심적인 분석 도구이자, 무역 정책의 효과를 분석하는 데 가장 널리 사용되는 모형입니다. 예를 들어, 2025년 초 미국 도널드 트럼프 행정부의 관세 정책, 브렉시트(BREXIT)의 경제적 영향, 그리고 러시아의 우크라이나 침공 이후 시행된 대러시아 무역 제재 효과 등 언론에서 비중 있게 다루어진 정량 분석들은 모두 다양한 형태의 중력모형에 기반합니다. 이러한 이유로 중력 방정식은 국제무역에서 가장 중요한 실증 분석들로 자리 잡았으며, 파이낸셜 타임즈(Financial Times) 1면에 등장한 거의 유일한 계량경제학 모형이라는 사실은 그 중요성을 단적으로 보여줍니다(그림 1 참조).

그림 1: 파이낸셜 타임즈에 소개된 중력모형



출처: The Financial Times, 2016년 4월 19일. Peter Neary의 2019년 RES 회장 취임 연설에서 영감을 받음.

중력 방정식이 이처럼 널리 사용되는 주된 이유는 다음과 같습니다. (i) 다른 어떤 모형과도 비교할 수 없는 탁월한 예측력, (ii) 견고한 이론적 기반, (iii) 학부생도 쉽게 이해할 수 있는 직관성, (iv) 다양한 정책 분석에 쉽게 적용할 수 있는 실용성입니다. 이처럼 이론적 깊이, 실증적 성과, 직관적 명료함, 그리고 구현의 용이성을 모두 갖추었음에도 불구하고, 중력 방정식은 학부 무역 교과서에서 그 중요성에 비해 충분히 다루어지지 않았습니다. 이 강의 노트는 바로 그 간극을 메우는 것을 목표로 하며, 구체적인 내용은 다음과 같습니다.

- 학부생들에게 국제무역의 중력모형을 소개하고, 이 모형이 성공적인 분석들로 자리 잡게 된 배경과 특징을 설명합니다. (1장)
- 단순 중력 방정식(naive gravity equation)의 이론적 배경을 제시하고, 이를 구조적 중력모형(structural gravity model)으로 발전시킵니다. 또한, 중력 이론이 실증 분석에 미치는 중요한 시사점을 강조합니다. (2장)
- 이론적 중력 방정식을 실제 데이터로 분석할 수 있는 계량경제 모형으로 전환하는 과정을 다룹니다. 이 과정에서 발생하는 주요 계량경제학적 문제들을 논의하고, 이를 해결하기 위한 직관적이고 실용적인 지침을 제시합니다. (3장)
- 실제 데이터와 간단한 코드를 이용한 실습 분석을 통해, 이론을 실제 정책 분석에 적용하는 경험을 제공합니다. 나아가 계량경제학 수업, 세미나, 학부 졸업 논문 등 후속 연구에 활용할 수 있는 연습문제와 데이터도 함께 제공합니다. (4장 및 연습문제)

1. 중력모형, 왜 배워야 하는가?

동료 교수들과의 논의, 중력모형을 접해본 학생들의 피드백, 그리고 저의 오랜 강의 및 자문 경험을 통해, 저는 중력모형을 학부 과정에서 반드시 가르쳐야 한다고 확신하게 되었습니다. 이어지는 박스 1에서는 학부 과정에서 중력모형을 배워야 하는 이유와 그 유용성을 구체적으로 정리했습니다.

박스 1. 학부 과정에서 중력모형을 배워야 하는 이유

- 학부 국제무역 교과서에서 다루는 다른 표준 모형들과 비교할 때, 중력모형은 무역 흐름을 예측하는 능력이나 학계 및 정책 현장에서의 실용성 측면에서 월등히 뛰어납니다.
- 고전 무역 이론을 보완하는 강력한 실증 분석 도구로서, 학생들은 중력 방정식(gravity equation)을 통해 이론이 실제 무역 현상을 얼마나 잘 설명하는지 직접 확인할 수 있습니다.
- 높은 실용성과 넓은 응용 범위 또한 중력모형의 큰 장점입니다. 무역 비용(trade costs)을 엄밀하게 분석하면서도 실제 데이터로 쉽게 구현할 수 있어, 이론 중심의 학부 무역 강의에 실증적 깊이를 더해줍니다.
- 모형의 구조가 직관적이고 수식이 간결하여, 학부생을 포함한 폭넓은 독자들이 쉽게 접근하고 이해할 수 있습니다.
- 최근 계량경제학과 컴퓨팅 기술의 발전 덕분에, 기초적인 계량 지식(OLS, 고정효과(fixed effects) 등)만으로도 최신 실증 중력모형을 직접 구현해 볼 수 있습니다. 이를 위해 이 강의 노트에서는 실제 데이터와 분석 코드, 단계별 실습 과정, 그리고 정책 응용력을 키울 수 있는 연습문제까지 모두 제공합니다.
- 중력모형의 분석틀은 무역을 넘어 폭넓게 응용될 수 있습니다. 이 강의 노트에서 배우는 직관과 분석 기법은 국가 간 인구 이동(bilateral migration flows), 해외 직접 투자(FDI), 특히 이진(cross-border patents) 등 다양한 양자 간 흐름(bilateral flows)을 분석하는 데에도 그대로 적용 가능합니다.
- 중력모형은 국제무역론뿐만 아니라 계량경제학, 세미나 수업에서도 훌륭한 교육 도구가 됩니다. 나아가 학부 논문이나 개별 연구 프로젝트를 수행하는 학생들에게도 매우 유용한 분석틀을 제공합니다.

국제무역의 중력모형 국제무역의 중력 방정식(gravity equation)은 두 국가 간의 무역 흐름(X_{ij} , 즉 j 국이 i 국으로부터 수입하는 규모)이 양국의 경제 규모(수출국 Y_i , 수입국 Y_j)의 곱에는 비례하고, 양국 간의 무역 마찰(T_{ij})에는 반비례할 것이라고 예측합니다.

$$X_{ij} = \tilde{G} \frac{Y_i Y_j}{T_{ij}^\theta}, \quad (1)$$

여기서 \tilde{G} 는 중력 상수(trade gravitational constant)이며, θ 는 무역 마찰에 대한 무역의 탄력성(elasticity)으로, 무역 마찰이 1% 변할 때 무역량이 몇 퍼센트 변하는지를 나타내는 민감도 지표입니다. 따라서 식 (1)은 두 국가의 경제 규모가 클수록, 그리고 양국 간 거리가 가까울수록(즉, 무역 마찰이 작을수록) 더 많이 교역한다는 직관적인 사실을 수식으로 보여줍니다. 이처럼 단순하면서도 직관적이라는 점이 중력모형이 널리 사랑받는 이유 중 하나입니다.

중력모형이 널리 사용되는 이유 중력 방정식이 경제학자들과 정책 실무자들 사이에서 이토록 폭넓게 활용되는 데에는 네 가지 주된 이유가 있습니다. 첫째, 앞서 살펴보았듯이, 중력모형은 뉴턴의 만유인력 법칙과의 유사성을 통해 매우 직관적으로 이해할 수 있습니다.

1. 중력 방정식은 그 형태가 매우 직관적입니다.

무역의 중력 방정식과 뉴턴의 만유인력 법칙 사이의 놀라운 유사성은 박스 2에 잘 나타나 있습니다. 이는 두 국가(‘물체’) 간의 무역(‘인력’)이 양국의 경제 규모(‘질량’)의 곱에는 비례하고, 두 나라 사이의 무역 마찰(‘거리의 제곱’)에는 반비례한다는 것을 보여줍니다. 간단히 말해, 두 나라의 경제 규모가 클수록, 그리고 서로 가까울수록 더 많이 교역한다는 의미입니다.

박스 2. 물리학의 중력 vs. 무역의 중력모형

<p>물리학의 중력</p> $F_{ij} = G \frac{M_i M_j}{D_{ij}^2}$ <p>여기서:</p> <p>F_{ij}는 물체 i와 j 사이의 인력이며,</p> <p>G는 물리학의 중력 상수이고,</p> <p>M_i와 M_j는 각각 물체 i와 j의 질량이며,</p> <p>D_{ij}는 i와 j 사이의 거리이며,</p> <p>2는 거리에 대한 인력의 탄력성을 의미합니다.</p>	<p>무역의 중력모형</p> $X_{ij} = \tilde{G} \frac{Y_i Y_j}{T_{ij}^\theta}$ <p>여기서:</p> <p>X_{ij}는 국가 i와 j 간의 무역액이며,</p> <p>\tilde{G}는 무역의 ‘중력 상수’를 의미하고,</p> <p>Y_i와 Y_j는 각각 국가 i와 j의 경제 규모를 나타내고,</p> <p>T_{ij}는 i와 j 사이의 무역비용(마찰)을 의미하며,</p> <p>$\theta > 0$는 무역 비용에 대한 무역액의 탄력성을 나타냅니다.</p>
--	---

이러한 유사성이 더욱 흥미로운 점은, 무역의 중력 방정식이 단순히 물리학 법칙과의 유추(analogy)에 그치는 것이 아니라, 견고한 미시경제학 이론으로부터 직접 도출될 수 있다는 사실입니다.

중력 방정식이 널리 사용되는 두 번째 이유는, 이 실증 모형이 양자 간 무역 흐름을 놀라울 정도로 정확하게 예측하는 매우 뛰어난 예측력을 보여주기 때문입니다.

2. 중력 방정식은 예측력이 매우 뛰어납니다.

중력 방정식은 실제 데이터와 예측치 간의 높은 적합도를 일관되게 보여줄 뿐만 아니라, ‘표준 중력 변수(standard gravity variables)’ 들에 대해 이론적 예상과 부합하는 부호와 크기를 갖는 타당한 추정치(plausible estimates)를 제공합니다. 이러한 표준 변수들에는 대표적으로 양국 간 거리(로그값)와, 국경 인접 여부, 공용어 사용, 식민지 관계, 지역무역협정(RTA) 체결 여부 등을 나타내는 더미 변수(dummy variables)가 포함됩니다. 예를 들어, 추정 결과는 대부분 거리가 멀수록 무역이 감소하고, RTA를 체결하면 무역이 증가하는 것과 같이 직관적인 상식과 일치합니다.

그림 2는 중력모형의 예측값이 실제 무역 데이터를 얼마나 정확하게 설명하는지를 시각적으로 보여줍니다. 이 그림은 1990년부터 2023년까지 전 세계 100대 수출국 간의 총무역 흐름에 대해, 모형이 예측한 값과 실제

데이터를 비교한 산점도입니다. 그림에 사용된 예측값은 이 강의 노트의 4장에서 다룬 현대적 계량 중력모형을 통해 얻은 것으로, 실제 무역과 예측 무역 간의 상관관계가 0.99에 달하는 것에서 볼 수 있듯이 현대 중력모형의 실증적 성과는 매우 뛰어납니다. 그러나 4장과 강의 노트 말미의 연습문제에서 확인하겠지만, 단 세 개의 독립 변수만을 가진 단순 중력모형(**naive gravity model**)조차도 양자 간 무역 흐름을 상당히 성공적으로 예측합니다.

그림 2의 예측 결과는 1990년부터 2023년까지의 패널 데이터(**panel data**)를 기반으로 하지만, 중력 방정식의 강점은 특정 데이터 형태에만 국한되지 않습니다. 이 모형은 특정 시점의 횡단면 데이터(**cross-section data**)에서도 잘 작동하며, 국가 전체의 총계 데이터(**aggregate data**)뿐만 아니라 제품, 산업, 부문 등 세분화된(**disaggregated**) 데이터 수준에서도 일관되게 높은 설명력을 보여줍니다.

중력 방정식이 독보적인 위상을 갖게 된 세 번째 주된 이유는 다양한 분석 목적과 데이터에 맞게 변형하여 적용할 수 있는 뛰어난 유연성 때문입니다.

3. 중력모형은 다양한 분석 목적과 데이터에 맞게 변형할 수 있는 매우 유연한 특성을 가집니다.

중력모형은 수백 편의 학술 논문에서 무역 흐름의 결정 요인과 그 영향을 정량적으로 분석하는 데 사용되어 왔습니다. 또한, 무역 정책 분석에서 가장 널리 사용되는 핵심적인 분석틀이기도 합니다. 박스 3에서는 무역 흐름에 영향을 미치는 요인들을 ‘전통적(**traditional**)’ 요인과 ‘비전통적(**more exotic**)’ 요인으로 나누어 제시합니다. 결국 무역 흐름이나 그로 인해 파생되는 경제적 결과를 연구하기 위해서는, 어떤 형태로든 중력모형을 활용하는 것이 필수적이라고 할 수 있습니다.

박스 3. 중력 방정식의 응용 사례

전통적 무역 결정 요인. 거리, 인접성, GDP, 인구, 경제 발전 수준, 특혜 무역 협정, 관세, 관세 전쟁, 수출 보조금, 지리적 특성, 비관세 장벽, 세계무역기구(WTO) 회원국 지위, 관세 동맹, 유럽연합(EU), 공동 통화 및 통화 동맹, OECD 회원국 지위, IMF 회원국 지위, 해외 직접 투자, 이민, 문화적 유대, 식민지 관계, 공용어 및 언어 공유 등.

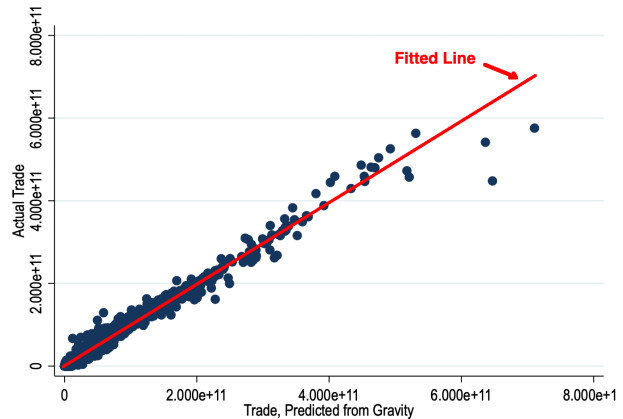
비전통적 무역 결정 요인. 제도의 질, 대외 원조, 신뢰, 국가 및 제품 평판, 환율, 코로나19, 브렉시트, 수출 진흥 정책, 특히, 무역기술장벽(TBT), 위생 및 식물위생 조치(SPS), 법인세, 부가가치세, 메가 스포츠 이벤트(올림픽, 월드컵 등), 금수 조치 및 경제 제재(예: 대리 제재), 분쟁 및 전쟁, 해적 행위, 빙하 용해, 수에즈 운하 폐쇄, 트럼프 행정부의 관세 전쟁 등.

위에 제시된 응용 사례들에 대한 더 자세한 참고 문헌은 [Yotov \(2024\)](#)를 참조하기 바랍니다.

중력모형의 유연성은 단순히 다양한 무역 결정 요인을 포괄하는 데 그치지 않고, 다음과 같은 여러 측면에서도 잘 드러납니다. 첫째, 중력모형은 제품, 산업, 부문 등 어떠한 집계 수준(**level of aggregation**)의 데이터에도 적용할 수 있습니다. 둘째, 무역 분야만큼 이론적 기반이 잘 정립되지는 않았지만, 해외직접투자(FDI), 인구 이동(**migration**), 국제 기술 이전(**international technology transfers**) 등 다른 양자 간 흐름(**bilateral flows**)을 분석하는 데도 성공적으로 활용되고 있습니다. 셋째, 이 강의 노트의 뒷부분에서 직접 확인하겠지만, 표준 통계 소프트웨어를 이용하면 현대적인 실증 중력모형을 매우 쉽게 구현할 수 있습니다. 마지막으로, 중력모형은 물적 자본 투자, 환경, 노동 시장 모형 등 보다 포괄적인 분석틀에 유연하게 결합될 수 있습니다.

중력모형이 이처럼 성공적인 분석틀로 자리 잡은 네 번째 주된 이유는, 이 모형이 견고한 미시경제이론으로부터 도출될 수 있다는 점입니다.

그림 2: 중력모형은 실제 데이터를 설명하는 능력이 매우 탁월합니다.

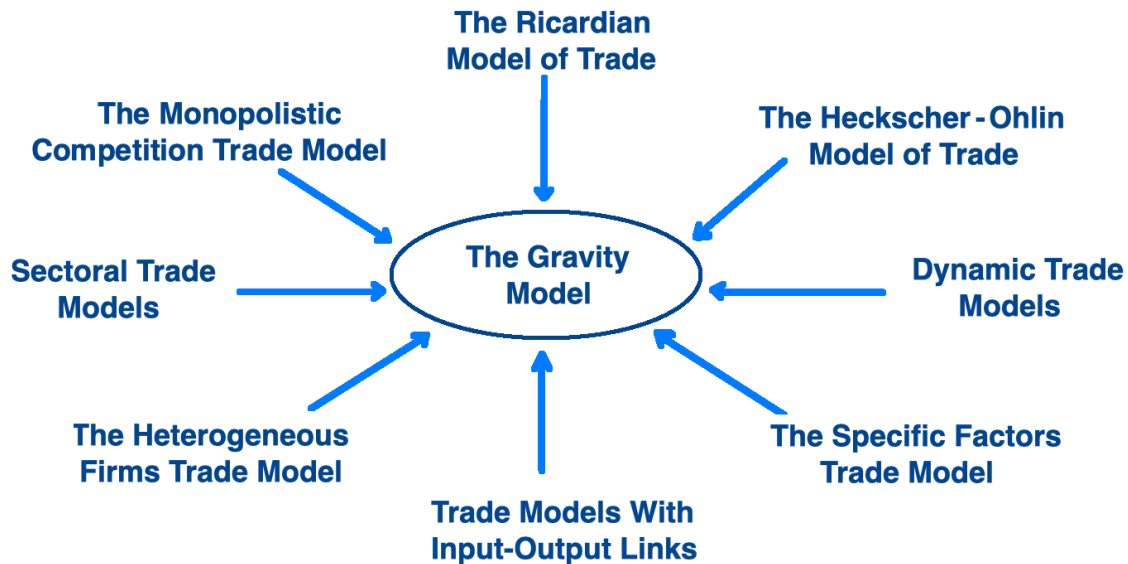


출처: 저자. 4장의 분석 결과.

4. 중력 방정식은 견고하며 다양한 이론적 기반을 가지고 있습니다.

무역에 관한 중력 방정식의 가장 주목할 만한 특징 중 하나는, 비교적 일반적인 가정하에서 서로 다른 여러 미시경제학적 이론들로부터 동일한 형태의 방정식이 도출된다는 점입니다. 그림 3에서 보듯이, 중력 방정식은 학부 교과서에서 흔히 다루는 리카르도 모형(Ricardian model), 헉셔-올린 모형(Heckscher-Ohlin model), 독점적 경쟁 모형(Monopolistic Competition model), 특정 요소 모형(Specific Factors model)과 같은 고전 무역 이론에서 모두 유도될 수 있습니다. 뿐만 아니라, 부문별 무역 모형(sectoral trade models), 동태적(dynamic) 무역 모형, 산업연관(input-output linkages)을 포함한 모형, 그리고 이질적 기업(heterogeneous firms)을 고려한 무역 모형에서도 동일한 중력 방정식이 도출됩니다.

그림 3: 무역 중력모형의 여러 이론적 기반



출처: 저자, Yotov et al. (2016)을 참고하여 재구성.

이처럼 서로 다른 수많은 무역 이론들이 결국 하나의 단순하고 직관적인 중력 방정식으로 수렴한다는 사실을 무역학계가 깨닫기까지는 오랜 시간이 걸렸습니다(박스 4 참조). 하지만 돌이켜보면, 무역을 추동하는 요인이 수출국, 수입국, 그리고 양국 간의 요인이라는 세 가지 직관적인 요소로 요약될 수 있다는 점은 어쩌면 당연한 일일지도 모릅니다. 이러한 직관은 비단 무역뿐만 아니라 모든 사회경제적 양자 관계에 그대로 적용될 수 있습니다. 따라서 3장과 4장에서 다룬 실증 분석 방법론과 기법들은 해외직접투자, 인구 이동, 기술 이전 등 다른 분야에도 폭넓게 응용될 수 있을 것입니다.

중력모형의 이론적 기반은 실증 분석에 여러 중요한 시사점을 제공합니다. 예를 들어, 이론적 토대를 충실히 반영할수록 중력모형의 전반적인 예측력이 향상되고 무역 정책의 효과를 더 정확하게 추정할 수 있습니다. 이와 관련하여, 중력모형의 핵심 이론적 특징들을 고려함으로써 국제무역 분야의 오랜 난제(puzzle)들을 해결하는 실마리를 찾을 수 있었습니다. 대표적으로는 시간이 지나도 무역에 대한 거리의 효과가 줄어들지 않는다는 직관과 상충되는 결과나, 중력모형이 양자 간 무역 불균형을 제대로 설명하지 못한다는 문제 등이 있습니다. 또한 중력 이론은 실증 분석 시 다자간 무역 비용(multilateral trade costs)을 반드시 고려해야 한다는 등 중요한 지침을 제시하며, 이에 대해서는 다음 절에서 자세히 다룰 것입니다. 마지막으로, 중력 이론은 무역의 효과를 노동 시장, 환경, 물적 자본 투자, 경제 성장 등 다른 경제적 결과와 연결하여 분석할 수 있는 틀을 제공합니다.

다음 논의로 넘어가기 전에, 다른 많은 위대한 발명과 마찬가지로 중력모형 역시 처음부터 학계의 인정을 받았던 것은 아니라는 점을 짚고 넘어갈 필요가 있습니다. 박스 4에 요약된 바와 같이, 중력모형이 무역 경제학자들의 신뢰를 얻고 국제무역 분석의 핵심 도구로 자리매김하기까지는 오랜 시간이 걸렸습니다.

박스 4. 중력모형의 발전

2025년 현재, 중력모형은 국제무역 분야에서 가장 중요한 분석틀로 자리매김했습니다. 하지만 이 자리에 오르기까지의 여정은 결코 순탄치 않았습니다. 경제학에 중력모형이 처음 도입되었을 때는 물리학 법칙과의 유사성에 착안했을 뿐, 별도의 이론적 기반은 없었습니다. 많은 학자들은 1969년 노벨 경제학상 수상자인 Tinbergen (1962)의 연구를 국제무역 흐름에 중력모형이 적용된 최초의 사례로 꼽습니다. 하지만 그보다 훨씬 앞서 Ravenstein (1885)은 이미 인구 이동(migration) 현상 분석에 중력방정식을 활용했습니다. 1960년대와 1970년대에 Tinbergen의 제자들이 연구를 이어가기도 했지만, 당시 대부분의 경제학자들은 이론적 기반이 부족하다는 이유로 중력모형을 엄밀한 무역 모형으로 여기지 않았습니다.

경제학에 중력모형을 처음 적용한 이가 누구인지에 대해서는 논란이 있지만, 오늘날 우리가 사용하는 형태의 무역 중력방정식에 최초로 이론적 기반을 제공한 학자가 Anderson (1979)이라는 점에는 무역 경제학자들 사이에 이견이 없습니다. 실로 놀라운 점은, 이후 약간의 이론적 보완이 이루어지기는 했지만 1979년에 제시된 Anderson의 중력모형이 현대의 모든 실증 중력모형 분석과 완벽하게 일치한다는 사실입니다.

중력모형은 직관적 매력과 뛰어난 실증 분석 결과, 그리고 이미 갖추어진 견고한 이론적 기반에도 불구하고 1980년대는 물론 1990년대까지도 주류 무역 경제학자들의 마음을 얻지 못했습니다. 당시 무역 연구의 '나침반' 역할을 하던 *Handbook of International Economics*에 실린 여러 영향력 있는 논문들은 중력모형에 대해 호의적이지 않았습니다. 이들은 중력모형의 이론적 정통성에 의문을 제기하며 국제무역 연구에 아무런 영향을 미치지 못할 것이라고 예측했습니다. 훗날 Anderson (2011)은 이 시기 중력모형이 처했던 상황을 '지적 고아(an intellectual orphan)'에 비유했습니다.

2000년대 초반까지 정책 분석의 실용적 도구로만 여겨지며 주류 경제학계의 주목을 받지 못했던 중력모형은, 몇 가지 중요한 학문적 진전을 계기로 '구조적 중력모형(Structural Gravity)'의 황금기(2002-2012)를 맞이합니다. 그 전환점의 중심에는 첫째, Eaton and Kortum (2002)과 Anderson and van Wincoop (2003)의 이론 연구가 있었습니다. 이들의 연구는 중력모형에 견고한 미시경제학적 토대를 부여했습니다. 둘째, 이론적 기반이 마련되자 Frankel and Romer (1999)과 Rose (2000) 등 영향력 있는 실증 연구들이 등장하며, 중력모형이 엄밀한 학술 연구에 유용하다는 인식이 확산되었습니다. 셋째, 이러한 변화는 양질의 대규모 데이터 구축과 계량 분석 및 컴퓨팅 기술의 발전이 있었기에 가능했습니다 (Baldwin and Tagliani, 2006).

'중력모형의 황금기'(2002-2012) 동안 중력모형은 국제무역 연구의 핵심(workhorse) 모형으로 확고히 자리 잡았고, 응용 연구, 이론 개발, 추정 기법 개선, 새로운 데이터셋 구축 등 수백편의 논문에서 활용되었습니다. 이 시기 연구의 대부분은 자유무역협정(FTA), 세계무역기구(WTO) 가입, 거리, 식민지 관계 등 양자 간 무역 흐름에 영향을 미치는 다양한 정책과 결정 요인들의 효과를 추정하는 실증 분석이었습니다. 비록 여전히 많은 연구가 중력모형을 직관적으로만 적용했지만, 이론에 보다 충실한 연구들은 무역 성장의 동인을 더 깊이 이해하고 더 설득력 있는 추정 결과를 도출하는 데 기여했습니다.

'중력모형의 황금기'에는 이론 분야에서도 중요한 발전이 있었습니다. 부문별 중력모형, 이질적 기업(heterogeneous firms)을 고려한 중력모형, 동태적 중력모형 등이 대표적입니다. 이론과 응용에 대한 관심이 높아진 배경에는 비약적인 컴퓨팅 성능의 향상이 있었으며, 이는 새로운 추정 기법의 개발로도 이어

졌습니다. 예를 들어, 다음 절에서 다룰 수출국, 수입국, 국가쌍 고정효과(fixed effects)의 사용이 보편화되었고, Santos Silva and Tenreyro (2006)이 제안한 포아송 중위대우도(PPML) 추정량은 훗날 중력모형 분석에 가장 적합한 추정 방법으로 확고히 자리 잡게 되었습니다.

Arkolakis et al. (2012)의 획기적인 연구는 서로 다른 미시 이론들이 결국 동일한 하나의 중력 방정식으로 수렴함을 보임으로써, 구조적 중력모형의 지위를 표준 모형으로 확고히 했습니다. 이후 수많은 응용 및 이론 연구가 이어졌고, 마침내 중력모형은 1980년대와 1990년대에 자신을 낮게 평가했던 바로 그 *Handbook of International Economics*의 2014년판에서 비중 있게 다루어지는 성과를 거두었습니다. 또한 2018년 *Handbook of International Trade and Transportation*과 무역 정책 및 세계화의 영향을 다루는 여러 전문 서적에서도 핵심 분석틀로 소개되었습니다.

실증 중력 방정식은 새로운 응용 연구를 위한 핵심 도구로 계속 사용되었고, 기존 연구 결과를 역시 새롭게 더 나은 방법론을 통해 재검토되었습니다. 예를 들어, 무역 비용을 측정하고 통화동맹, 해적 행위, 공용어, 환율, 경제 제재 등 다양한 무역 결정요인의 영향을 정량화하기 위한 개선된 기법들이 도입되었습니다. 국가, 부문, 기간 면에서 더 풍부해진 데이터는 지역무역협정(RTA), 통화동맹, 경제 제재 등 여러 무역 정책이 미치는 실질적인 효과를 다차원적으로 탐색할 수 있게 해주었습니다. 또한 중력모형은 상품 무역뿐만 아니라 서비스, 광업, 농업 무역에서도 잘 작동하며, 개별 제품 수준에서부터 국가 총무역 수준에 이르기까지 모든 집계 수준에서 적용 가능하다는 사실이 입증되었습니다. 이제 무역 흐름의 결정 요인을 연구하기 위해서는 어떤 형태든 중력모형에 의존해야 한다는 것이 분명해졌습니다. 나아가, 무역 분야의 발전에 힘입어 학자들과 정책 입안자들은 무역 중력모형을 인구 이동, 해외직접투자(FDI), 국가 간 특허 출원 등 다른 양자 간 흐름 연구에 적용하기 시작했습니다.

이 시기에는 추정 방법론, 데이터, 이론 모든 면에서 중요한 발전이 있었습니다. 추정 방법론 측면에서는 PPML 추정량이 중력 이론과 완벽하게 일치한다는 사실이 증명되었고, 덕분에 연구자들은 별도의 프로그래밍 없이 표준 통계 소프트웨어만으로도 포괄적인 무역 정책 분석을 수행할 수 있게 되었습니다. 이론적으로는 산업연관(input-output linkages) 구조나 양자 간 동태(bilateral dynamics)을 고려한 새로운 중력모형들이 등장했습니다. 이러한 이론적 발전은 중력모형의 뛰어난 실증적 성과 및 새로운 계량·컴퓨팅 도구와 결합하여, 무역의 효과를 기술 확산, 실업, 탄소 배출 등 다양한 경제 현상과 연결하는 연구로 확장되었습니다. 또한, 이러한 이론적 발전과 새로운 응용 연구의 수요를 뒷받침하기 위해, 중력모형의 설명 변수들과 다양한 집계 수준의 국제 및 국내 무역 데이터를 포괄하는 차세대 중력 데이터베이스가 구축되었습니다.

중력모형의 위력과 유용성은 2025년 미국 트럼프 대통령의 잦은 관세 정책 변화(예: 3월 9일 오전에 캐나다산 철강에 관세를 부과하고 같은 날 오후에 철회한 사건)에 대응하는 과정에서 다시 한번 입증되었습니다. 중력모형 연구의 눈부신 발전 덕분에, 우리는 무역 정책이 미치는 총체적인 효과(부분균형 및 일반균형 효과 포함)를 거의 실시간으로 분석하는 것이 가능해졌습니다.

여기에 요약된 중력모형의 발전 과정은 Yotov (2024)을 바탕으로 정리한 것이며, 더 자세한 논의와 참고문헌은 해당 논문을 참조하기 바랍니다.

2. 이론적 기반을 갖춘 중력모형: 구조적 중력모형(Structural Gravity Model)

이 장에서는 다음 세 가지를 학습 목표로 합니다. 첫째, 무역에 관한 이론적·구조적 중력모형을 소개합니다. 둘째, 단순 중력 방정식과 구조적 중력 방정식을 비교하며 이론에 기반한 핵심적인 차이점을 설명합니다. 셋째, 이론과 관련된 방식으로 무역 흐름을 모형화하고 실증 분석을 수행하는 데 필요한 몇 가지 중요한 시사점을 도출합니다.

2.1. 모든 길은... 구조적 중력모형으로 통한다

앞서 논의했듯이, 무역 중력모형의 가장 주목할 만한 특징 중 하나는 동일한 형태의 중력 방정식이 여러 대안적인 미시경제학적 이론으로부터 도출될 수 있다는 점입니다. 그중 일부는 학부 국제무역론 교과서에서 표준적으로 다루는 이론들입니다(그림 3 참조). 이론 중력모형 연구의 발전 과정을 따라, 현대적인 구조적 중력모형을 두 단계로 나누어 소개하겠습니다. 먼저, 고전 무역 이론에 부합하는 횡단면(cross-section) 구조적 중력 방정식은 다음과 같습니다:¹

$$X_{ij} = \frac{Y_i E_j}{Y} \left(\frac{t_{ij}}{T_j T_i} \right)^{-\theta} \quad (2)$$

구조적 중력 방정식 (2)는 앞에서 본 단순 중력 방정식 (1)과 비교하여 이론에 기반한 세 가지 중요한 특징을 갖습니다. 첫째, 단순 모형의 중력상수 \tilde{G} 에 해당하는 이론적 항은 세계 총생산(Y)의 역수($1/Y$)입니다. 이는 양자 간 무역량이 두 교역 상대국의 경제 규모의 곱이 세계 총생산에서 차지하는 비중에 비례한다는 것을 의미합니다.

둘째, 이론적 중력 방정식은 수출국의 경제 규모를 총생산(Y_i)으로, 수입국의 경제 규모를 총지출(E_j)로 명확히 구분하여 사용합니다. 직관적으로 수출국의 잠재적 공급 능력은 생산으로, 수입국의 잠재적 수요 능력은 지출로 측정하는 것이 더 타당하기 때문입니다. 이러한 구분은 특히 부문별(disaggregated) 분석에서 더욱 중요해집니다. 특정 산업에 대한 특화(specialization)로 인해, 부문별로는 수출과 수입의 차이, 즉 무역 불균형이 매우 크게 나타날 수 있기 때문입니다.

셋째, 식 (1)의 무역비용항(T_{ij})은 식 (2)에서 세 가지 구조적 요소로 분해됩니다. 구체적으로, t_{ij} 는 양국 간의 거리, 관세, 무역 협정, 경제 제재 등 두 나라 사이의 무역 흐름에 직접적으로 영향을 미치는 모든 양자 간 무역 마찰(bilateral trade frictions)을 나타냅니다. T_i 와 T_j 는 각각 수출국과 수입국 측면의 다자간 무역 비용(multilateral trade costs)입니다. 이는 양국 간의 무역이 두 나라의 경제 규모와 직접적인 양자 간 무역 마찰뿐만 아니라, 각국이 다른 모든 나라와 교역하는 것이 얼마나 어려운지에도 영향을 받는다는 사실을 포착합니다. 이러한 이유에서 ‘다자간’ 무역 비용이라고 부릅니다.

다자간 무역 비용의 개념을 직관적으로 이해하기 위해 그림 4와 같이 미국과 캐나다가 화성으로 순간이동했다고 상상해 봅시다. 두 나라의 경제 규모(Y_i 와 E_j)와 직접적인 양자 간 무역 마찰(t_{ij} , 예: 물리적 거리)이 지구에서와 동일하더라도, 두 나라가 화성에 있다면 서로 더 많이 교역할 것입니다. 왜 그럴까요? 화성에서는 다른 모든 나라로부터 완전히 고립되어 있기 때문입니다. 따라서 미국과 캐나다 간의 무역은 양국 사이의 무역 비용뿐만 아니라, 이들이 다른 모든 나라와 교역하는 데 드는 비용에도 의존합니다. 이것이 바로 단순 중력모형과 구조적 중력모형의 핵심적인 차이점 중 하나입니다. 단순 중력모형은 오직 직접적인 양자 간 무

그림 4: 다자간 무역비용(Multilateral Trade Costs)



출처: 저자. Krugman (1995)에서 영감을 얻음.

¹ 이 방정식은 Eaton and Kortum (2002)과 Anderson and van Wincoop (2003)의 영향력 있는 주요 중력모형 연구들과 일치하며, 동일한 표기법을 사용한 대안적인 중력모형 유도 과정은 Yotov et al. (2016)을 참조하기 바랍니다.

역 비용만이 중요하다고 (잘못) 가정하는 반면, 구조적 중력모형은 다자간 무역 비용까지 함께 고려합니다. 여기에 이론에 기반한 두 가지 조정을 더하면 아래와 같은 현대적인 구조적 중력모형이 완성됩니다.

$$X_{ij,t}^k = \frac{Y_{i,t}^k E_{j,t}^k}{Y_t^k} \left(\frac{t_{ij,t}^k}{T_{j,t}^k T_{i,t}^k} \right)^{-\theta^k}, \quad \forall i, j, t, k. \quad (3)$$

첫째, 중력모형은 제품, 산업, 부문 등 어떠한 집계(aggregation) 수준에서도 도출될 수 있습니다. 이는 식 (3)의 위첨자 k 로 표현되며, 여기서 k 는 특정 제품, 산업, 또는 부문을 나타낼 수 있습니다. 둘째 조정은 아래첨자 t 를 추가한 것입니다. 이는 무역 흐름뿐만 아니라 식 (3)에 포함된 경제 규모 변수와 무역 비용 항들도 시간에 따라 변한다는 사실을 반영합니다. 또한 아래첨자 t 의 도입은 동태적 무역 이론과도 관련이 있습니다. 이 이론들에 따르면 무역 및 무역 자유화는 생산 요소의 축적으로 이어질 수 있는데, 미국-멕시코 국경에 위치한 제조 공장인 마킬라도라(Maquiladoras)와 같은 물적 자본의 축적이 대표적인 예입니다. 참고로, 위첨자 k 와 아래첨자 t 가 없다면 식 (3)은 식 (2)과 동일합니다. 마지막으로, 중력모형의 기반이 되는 각각의 이론들은 중력 방정식이 국가 간 무역($i \neq j$)뿐만 아니라 국내 무역($i = j$)에도 동일하게 적용된다는 점을 시사합니다.

2.2. 중력모형 이론의 실증적 함의

중력모형의 이론적 기반은 실증 분석의 성공과 올바른 계량 모형의 설정(specification)을 위해 매우 중요한 의미를 갖습니다. 여기서는 주요 이론적 함의들을 하나씩 살펴보겠습니다.

다자간 무역 비용(Multilateral Trade Costs). 다자간 무역 비용은 무역 정책의 효과를 정량화하는 데 두 가지 중요한 시사점을 줍니다. 첫째, 실증 분석에서 다자간 무역 비용을 제대로 통제하지 않으면, 다른 나라들로부터 상대적으로 고립된 국가 간의 무역은 실제보다 적게 예측되고, 유럽 국가들처럼 주변에 교역 상대국이 많은 국가 간의 무역은 실제보다 많게 예측되는 오류가 발생합니다. 둘째, 다자간 무역 비용은 특정 국가와의 교역이 어려워졌을 때 다른 나라로 무역을 전환하는 것이 얼마나 쉬운지를 나타냅니다. 이는 현대의 많은 정책 효과를 분석하는 데 매우 중요합니다. 예를 들어, 우크라이나 침공으로 러시아에 부과된 경제 제재의 효과가 제한적이었던 주된 이유 중 하나는 러시아가 제재에 동참하지 않은 중국, 인도, 터키 등으로 교역의 방향을 쉽게 틀 수 있었기 때문입니다. 이러한 무역 전환 효과가 바로 다자간 무역 비용에 반영됩니다. 2025년 미국이 캐나다에 부과한 관세 역시 또 다른 예시가 될 수 있습니다. 이 관세는 캐나다에 특히 큰 타격을 줄 수 있는데, 이는 캐나다가 지리적으로 다른 교역 상대국들로부터 상대적으로 고립되어 있기 때문입니다.

세분화된 중력모형(Disaggregated Gravity). 이론적으로 중력모형은 개별 제품 수준에서부터 국가 전체의 총 무역 수준에 이르기까지 어떠한 집계(aggregation) 수준에서도 성립합니다. 이러한 이론적 특성이 갖는 가장 중요한 실증적 함의는 중력모형이 매우 유연하게 적용될 수 있다는 점입니다. 따라서 연구자는 분석 목적에 따라 특정 제품, 산업, 부문에 초점을 맞추거나, 더 넓게는 재화와 서비스 무역을 구분하여 분석할 수 있습니다. 이처럼 산업이나 부문별로 무역 흐름을 나누어 분석하는 것이 중요한 이유는 운송비와 같은 무역 비용이 부문별로 상이하고, 관세와 같은 많은 무역 정책이 세분화된 수준에서 부과되고 실행되기 때문입니다. 전면적인 무역 금수 조치처럼 정책이 국가 전체 수준에서 시행되더라도, 그 효과는 제품, 산업, 부문에 따라 크게 달라질 수 있습니다. 따라서 세분화된 중력모형을 사용하는 것이 바람직한 경우가 많으며, 중력모형 이론은 이러한 분석의 타당성을 명확하게 뒷받침합니다.

시계열(패널) 중력모형(Time-varying Gravity). 중력 방정식에 시간 차원을 도입하는 것은 실증 분석에 여러 중요한 이점을 제공합니다. 첫째, 분석 기간을 늘려 더 많은 연도의 데이터를 포함할수록 추정의 정확성이 높아집니다. 둘째, 다음 절에서 보겠지만, 여러 시간에 걸친 패널(panel) 데이터를 사용하면 국가 간 거리처럼 시간에 따라 변하지 않는 모든 양자 간 무역 비용의 효과를 유연하고 포괄적이면서도 간단하게 모형에 반영할 수 있습니다. 셋째, 패널 데이터는 시간에 따른 양자 간 무역 비용의 변화와 다양한 정책 효과의 전개 및 조정 과정을 포착할 수 있게 해줍니다. 예를 들어, 지역무역협정(RTA)의 효과는 체결 즉시 나타나는 것이 아니라 시간을 두고 점진적으로 발생하는데, 패널 분석을 통해 이러한 무역 흐름의 조정 과정을 파악하는 것은 정책적으로 매우 유용합니다. 또한, 1990년대에 체결된 RTA의 효과와 최근 RTA의 효과는 매우 다를 수 있는데, 이러한 차이는 시계열 변화를 고려하지 않고서는 분석할 수 없습니다.

총생산(Output) 대 총지출(Expenditure). 중력모형 이론이 제시하는 총생산과 총지출의 구분은 실증 분석에 몇 가지 중요한 시사점을 줍니다. 첫째, 만약 국가 간 거리처럼 무역 비용이 대칭적인데 총생산과 총지출의 차이를 모형에 반영하지 않는다면, 중력모형은 항상 양국 간 무역량이 같다고 예측하게 되어 현실 설명력이 떨어집니다. 둘째, 총생산과 총지출의 구분은 국가별 생산과 소비의 차이가 훨씬 더 뚜렷하게 나타나는 세분화된(disaggregated) 수준의 분석에서 더욱 중요합니다. 셋째, 국가 전체 수준의 데이터를 사용하더라도 GDP는

경제 규모를 나타내는 최적의 대리 변수가 아닐 수 있습니다. 이론적으로 무역수지 불균형을 고려해야 할 뿐만 아니라, GDP는 부가가치(value added) 기준으로 측정되는 반면 무역 통계는 총액(gross value) 기준으로 작성되어 측정 기준의 불일치 문제가 발생하기 때문입니다. 다행히 다음 장에서 배우겠지만, 이러한 측정 문제나 추가적인 데이터 수집의 어려움 없이도 경제 규모 변수들의 효과를 손쉽게 통제할 수 있는 간단한 계량 기법이 있습니다.

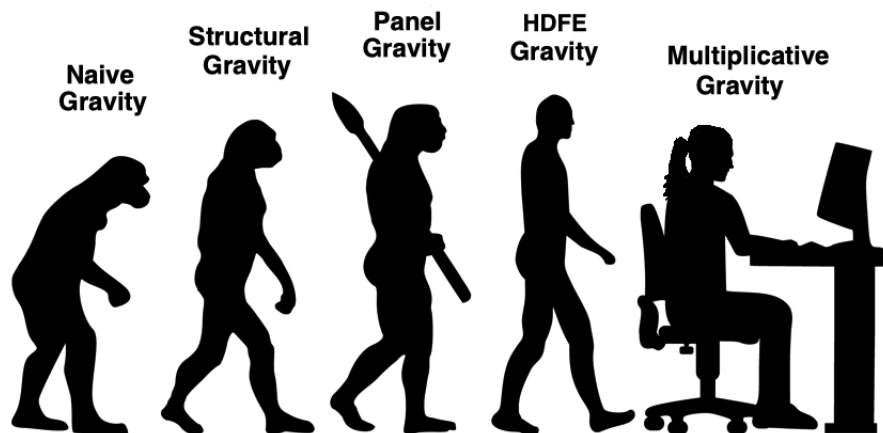
국내 무역(Domestic Trade). 무역 이론에 따르면 중력 방정식은 국제 무역뿐만 아니라 한 국가 내에서 이루어지는 국내 거래(domestic sales)에도 적용됩니다. 더 나아가, 국내 무역 데이터를 분석에 포함하면 많은 이점이 있습니다. 예를 들어, 무역 협정이 비회원국과의 교역에 미치는 무역 전환 효과(trade-diversion effects), 경제 제재가 제3국에 미치는 역외 효과(extraterritorial effects), 그리고 모든 교역 상대국에 비차별적으로 적용되는 정책의 효과 등을 식별할 수 있습니다. 하지만 현실적으로 데이터 확보의 어려움 때문에 대부분의 중력모형 연구는 여전히 국제 무역 데이터만을 사용하여 수행되고 있으며, 국내 무역까지 포함하는 분석은 아직 일반화되지 않았습니다. 따라서 이 강의 노트에서도 기존의 연구 흐름에 맞추어 국제 무역 흐름에 초점을 맞추어 논의를 진행하겠습니다.

3. 단순 중력모형에서 현대적 중력모형 추정까지

중력모형이 큰 성공을 거둔 주된 요인 중 하나는 탁월한 예측력과 다양한 응용 가능성을 뒷받침하는 유연성입니다. 이 절의 목표는 단순한 실증 중력 방정식을 현대적 계량경제학 모형으로 전환하여, 무역 흐름에 영향을 미치는 여러 결정 요인들의 효과를 추정하는 방법을 배우는 것입니다. 이 장의 내용을 이해하기 위해서는 최소자승법(OLS)이나 고정효과(fixed effects) 모형과 같은 기초적인 계량경제학 지식만 필요합니다. 따라서 계량경제학 과목을 이수한 학생이라면 누구나 쉽게 따라올 수 있을 것입니다. 나아가 이 장은 계량경제학이나 경제학 세미나 과목을 수강할 학생, 또는 학부 졸업 논문이나 독립적인 연구 프로젝트를 계획하고 있는 학생들에게도 큰 도움이 될 것입니다.

지금까지 축적된 중력모형의 이론적 토대와 지식을 활용하여, 우리는 계량경제학적 중력 방정식을 5단계에 걸쳐 발전시켜 나갈 것입니다. 이 과정은 그림 5에 묘사된 것처럼 중력 방정식 추정 방법의 역사적 발전 단계를 순서대로 따릅니다.²

그림 5: 중력모형 추정 방법의 발전 과정



출처: 저자.

²중력모형 추정에 관한 권고 사항과 더 자세한 설명은 Larch et al. (2025)을 참조하기 바랍니다.

단순 중력모형(Naive Gravity). 앞 장에서 단순 중력 방정식을 구조적 중력모형으로 발전시켰던 것과 마찬가지로, 먼저 추정이 가능한 단순 중력 방정식부터 설정해 보겠습니다. 이는 세 가지 간단한 단계로 이루어집니다. 첫째, 식 (1)의 양변에 로그를 취해 선형으로 변환하면 다음과 같습니다:

$$\ln(X_{ij}) = \ln(\tilde{G}) - \theta \ln(T_{ij}) + \ln(Y_i) + \ln(Y_j). \quad (4)$$

둘째, 식 (4)의 이론적 변수들을 실제 데이터에서 관측 가능한 대리 변수(proxy variable)로 대체하여 계량 모형으로 전환합니다. 구체적으로, 수출국의 경제 규모(Y_i)는 GDP(GDP_i)로, 수입국의 경제 규모(Y_j)는 GDP(GDP_j)로 나타냅니다. 그리고 양자 간 무역 비용(T_{ij})은 두 국가 간의 물리적 거리($DIST_{ij}$)와 지역무역협정(RTA_{ij}) 체결 여부로 대신합니다. 거리와 RTA는 중력모형 연구에서 무역 비용의 대리 변수로 가장 널리 사용됩니다.³ 거리와 RTA를 대표적인 대리 변수로 사용하는 것은 교육적 관점에서도 좋은 예시가 됩니다. 거리는 연속적인 값을 갖는 연속 변수(continuous variable)인 반면, RTA는 0 또는 1의 값만 갖는 더미 변수(dummy variable)이기 때문입니다. 구체적으로, 특정 연도에 두 국가 간에 RTA가 발효 중이면 RTA_{ij} 변수는 1의 값을 갖고, 그렇지 않으면 0의 값을 갖습니다.

마지막으로, 중력상수(\tilde{G})에 해당하는 상수항(β_0)과 통계적 오차를 반영하는 오차항(ϵ_{ij})을 추가하여, 다음과 같이 첫 번째 계량 중력 방정식을 완성할 수 있습니다:

$$\ln(TRADE_{ij}) = \beta_0 + \beta_1 RTA_{ij} + \beta_2 \ln(DIST_{ij}) + \beta_3 \ln(GDP_i) + \beta_4 \ln(GDP_j) + \epsilon_{ij}. \quad (5)$$

식 (5)은 계량경제학에서 가장 널리 사용되는 형태의 중력모형입니다. 이 방정식은 최소자승법(Ordinary Least Squares, OLS)으로 추정할 수 있으며, 그 결과는 다음과 같이 해석합니다. 거리나 GDP와 같은 연속 변수(continuous variable)의 계수 추정치는 탄력성(elasticity)을 의미합니다. 예를 들어, 거리 변수의 계수 추정치 β_2 가 -0.8이라면, 이는 다른 조건이 일정할 때(ceteris paribus) 두 국가 간의 거리가 1% 증가하면 양자 간 무역량은 0.8% 감소한다는 것을 뜻합니다. RTA와 같은 더미 변수(dummy variable)의 효과를 해석하기 위해서는 $[\exp(\beta_1) - 1] \times 100$ 이라는 공식을 적용할 수 있습니다. 예를 들어, RTA 변수에 대한 계수 추정치 β_1 이 0.5라면, 이는 분석 기간 동안 발효된 RTA가 회원국 간의 무역을 약 65% $[\exp(0.5) - 1] \times 100 \approx 64.87\%$ 증가시켰음을 의미합니다(ceteris paribus).

구조적 중력모형(Structural Gravity). 다음으로, 식 (2)의 이론적 함의를 반영하여 계량 모형을 한층 더 발전시켜 보겠습니다. 여기서 해결해야 할 이론적 과제는 두 가지입니다. 첫째, 각국의 총생산(output)과 총지출(expenditure)의 차이를 반영해야 하고, 둘째, 다자간 무역 비용(multilateral trade costs)을 통제해야 합니다. 원칙적으로는 관측 가능한 데이터를 사용하여 이 두 과제를 직접 해결할 수도 있습니다. 하지만 이 두 가지를 모두 해결하는 더 효율적이고 이론적으로도 일관된 방법은, 바로 다음과 같이 수출국 고정효과(exporter fixed effects)와 수입국 고정효과(importer fixed effects)를 사용하는 것입니다:

$$\ln(TRADE_{ij}) = \beta_0 + \beta_1 RTA_{ij} + \beta_2 \ln(DIST_{ij}) + \pi_i + \psi_j + \epsilon_{ij}. \quad (6)$$

여기서 π_i 와 ψ_j 는 각각 수출국과 수입국 고정효과를 나타내며, 이는 데이터에 포함된 모든 국가의 고유한 특성을 흡수하는 더미 변수들의 집합입니다. 예를 들어, 100개국 데이터라면 100개의 수출국 고정효과와 100개의 수입국 고정효과가 모형에 포함됩니다.⁴ 고정효과를 사용하는 주된 장점은 다음과 같습니다. (i) 고정효과는 경제 규모와 다자간 무역 비용을 포함하여, 관측 가능하거나 불가능한 모든 수출국별 및 수입국별 특성을 완벽하게 통제합니다. 따라서 누락 변수(omitted variables) 문제를 걱정하거나 관련 데이터를 일일이 수집할 필요가 없습니다. (ii) 고정효과는 표준 통계 소프트웨어를 사용하여 실증 분석에서 매우 쉽게 구현할 수 있으며, 이는 다음 절에서 직접 확인해 보겠습니다. 반면, 고정효과 사용의 단점은 GDP처럼 특정 국가에만 해당하는 변수의 효과는 개별적으로 식별할 수 없다는 점입니다. 이러한 변수들은 그 효과가 고정효과에 의해 흡수되기 때문입니다. 하지만 우리의 주된 목표는 거리나 RTA와 같은 양자 간(bilateral) 변수의 효과를 추정하는 것이므로, 이러한 단점은 분석 목적에 영향을 주지 않습니다.

패널 중력모형(Panel Gravity). 다음 단계는 간단합니다. 이제 우리의 계량 모형에 시간 차원을 도입하는 것입니다. 이에 따라 오차항과 모든 변수(시간이 지나도 변하지 않는 거리는 제외)에 시간 아래첨자 t 가 붙게 됩니다:

³이 강의 노트의 마지막에 있는 연습문제에서는 다른 무역 비용 대리 변수와 정책 변수들도 다룰 예정입니다.

⁴엄밀하게는, 완전한 다중공선성(perfect collinearity) 문제를 피하기 위해 수출국과 수입국 고정효과 중 하나씩이 각각 기준 변수(baseline)로 설정되어 추정에서 제외됩니다. 하지만 이는 우리가 관심을 갖는 독립변수들의 계수 추정치에 아무런 영향을 미치지 않습니다.

$$\ln(\text{TRADE}_{ij,t}) = \beta_0 + \beta_1 \text{RTA}_{ij,t} + \beta_2 \ln(\text{DIST}_{ij}) + \pi_{i,t} + \psi_{j,t} + \epsilon_{ij,t}. \quad (7)$$

앞 절에서 논의했듯이, 계량 분석에 시간 차원을 추가하는 것은 이론적으로도 타당하며, 더 많은 데이터를 활용함으로써 모형 추정의 정밀도를 높일 수 있습니다. 또한, 시간 차원을 도입하면 지역무역협정(RTA)이 발효되기 전과 후의 효과 변화를 추적할 수 있을 뿐만 아니라, 1990년대에 체결된 RTA와 2000년대에 체결된 RTA의 효과가 어떻게 다른지 등을 비교 분석하는 것도 가능해집니다.

고차원 고정효과(HDFE) 중력모형. 시계열 데이터(panel data)를 사용하면 모형에 국가쌍 고정효과(country-pair fixed effects, γ_{ij})를 추가로 포함할 수 있습니다. 이 때문에 이 모형을 고차원 고정효과(High-Dimensional Fixed Effects, HDFE) 중력모형이라고 부릅니다. 국가쌍 고정효과는 데이터에 포함된 각각의 국가쌍(i, j)에 대해 1의 값을 갖고 그 외에는 0의 값을 갖는 더미 변수들의 집합입니다. 이를 반영한 HDFE 중력모형은 다음과 같습니다:

$$\ln(\text{TRADE}_{ij,t}) = \beta_0 + \beta_1 \text{RTA}_{ij,t} + \gamma_{ij} + \pi_{i,t} + \psi_{j,t} + \epsilon_{ij,t}. \quad (8)$$

수출국 및 수입국 고정효과와 마찬가지로, 국가쌍 고정효과는 두 국가 간의 거리, 국경 인접 여부 등 시간에 따라 변하지 않는 모든 양자 간 무역 비용 요인을 완벽하게 통제합니다. 다만 국가쌍 고정효과를 사용하면, 그 효과에 흡수되는 거리나 다른 시간 불변적인 양자 간 변수들의 효과를 개별적으로 추정할 수 없다는 단점이 있습니다. 이러한 이유로 식 (8)에서는 거리 변수($\ln(\text{DIST}_{ij})$)가 더 이상 나타나지 않습니다. 하지만 분석의 주된 목적이 관세, RTA, 경제 제재 등 시간에 따라 변하는 정책의 효과를 추정하는 것이라면, 국가쌍 고정효과를 사용하는 것이 강력히 권장됩니다. 국가쌍 고정효과는 잠재적인 누락 변수 문제를 효과적으로 통제하고, 광범위한 데이터 수집의 필요성을 줄여주며, 중력모형의 예측력을 크게 향상시키기 때문입니다. 이러한 장점은 다음 절의 실증 분석을 통해 더욱 명확하게 확인할 수 있을 것입니다.

곱셈형 중력모형(Multiplicative Gravity). 가장 바람직한 최신 계량 모형으로 나아가는 마지막 단계는 한 가지 중요한 문제를 해결하는 것입니다. 바로 로그-선형(log-linear) 중력 방정식은 무역량이 0인 관측치를 분석에서 제외시킨다는 점입니다(0의 로그값은 정의되지 않기 때문입니다). 이 문제를 해결하는 간단한 방법은 계량 방정식의 양변을 지수화(exponentiate)하는 것입니다. 그 결과는 다음과 같습니다:

$$\text{TRADE}_{ij,t} = \exp[\beta_0 + \beta_1 \text{RTA}_{ij,t} + \gamma_{ij} + \pi_{i,t} + \psi_{j,t}] \times \epsilon_{ij,t}. \quad (9)$$

이 곱셈형 계량 모형은 두 가지 추가적인 장점을 갖습니다. 첫째, 다음 절에서 보게 될 것처럼, 곱셈형 중력모형은 표준 통계 패키지에 내장된 명령어를 사용하여 빠르고 쉽게 추정할 수 있습니다. 둘째, 추정된 계수를 해석하는 방식이 OLS로 추정한 로그-선형 모형과 동일하게 유지됩니다.

식 (9)는 오늘날 학계 연구자들과 정책 분석가들이 다양한 정책 효과를 추정하기 위해 사용하는 현대적 계량 중력모형을 나타냅니다. 박스 5에서는 이 식을 바탕으로 중력모형의 이론적 함의들이 실제 실증 분석에서 어떻게 구현되는지를 요약하여 보여줍니다.

박스 5. 요약: 이론에서 실증 분석으로

이론적 고려사항	실증 분석 방법
총생산(Output)과 총지출(Expenditure)의 구분	수출국(-시간) 및 수입국(-시간) 고정효과 사용
다자간 무역 비용(Multilateral Trade Costs) 통제	수출국(-시간) 및 수입국(-시간) 고정효과 사용
시간 불변(Time-invariant) 양자 간 무역 비용 통제	국가쌍 고정효과 (또는 시간 불변 변수) 사용
시간 가변(Time-varying) 양자 간 무역 비용 반영	패널(Panel) 데이터 및 시계열 정책 변수 사용
0의 무역값(Zero Trade Flows) 처리	곱셈형 PPML(Poisson Pseudo Maximum Likelihood) 추정량 사용

다음으로 넘어가기 전에, 이론적으로 중력 방정식은 어떠한 집계 수준(level of aggregation)에서도 적용될 수 있다는 점을 다시 한번 강조합니다. 따라서 식 (9)는 개별 제품, 산업, 부문별 데이터는 물론 국가 전체의 총무역 데이터로도 추정할 수 있습니다. 중요한 점은 식 (9)를 표준 통계 소프트웨어를 사용하여 매우 쉽게 구현하고

추정할 수 있다는 것입니다. 다음 장에서는 간단하지만 가장 최신의 방법론을 적용한 예제를 통해 이를 직접 확인해 보겠습니다.

4. 중력모형 실습 분석: 거리, RTA, 그리고 EU의 효과

이 장에서는 앞서 설명한 추정 방정식들을 순서대로 적용해보는 실습 분석을 진행합니다. 한 가지 차이점은, 거리와 지역무역협정(RTA)의 효과를 추정하는 것 외에, 모든 RTA 중에서 유럽연합(EU)의 효과를 별도로 분리하여 분석한다는 점입니다. 이를 위해, 두 국가 i 와 j 가 특정 연도 t 에 모두 EU 회원국이면 1의 값을, 그렇지 않으면 0의 값을 갖는 새로운 더미 변수(indicator variable) $EU_{ij,t}$ 를 모형에 도입합니다. 따라서 RTA 변수는 EU를 제외한 다른 모든 무역 협정을 포함하며, EU의 효과는 이 새로운 변수를 통해 별도로 측정됩니다. 이렇게 EU를 따로 구분하여 분석하는 데에는 네 가지 이유가 있습니다. 첫째, EU 회원국 지위가 무역에 미치는 영향은 학계와 정책 결정가 모두에게 중요한 관심사였습니다. 둘째, EU의 효과는 다른 일반적인 RTA의 효과보다 더 강력할 것으로 예상됩니다. 셋째, 이는 특정 무역 협정의 효과를 개별적으로 분리하여 분석하는 좋은 예시가 됩니다.⁵ 넷째, 방법론적 관점에서 EU는 매우 강력하게 통합된 국가들의 집합체(cluster)이므로, 앞서 이론 부분에서 논의했듯이 다자간 무역 비용이 EU 효과 추정에 중요한 영향을 미칠 수 있습니다.

이 절의 실증 분석은 Stata를 사용하여 진행하며, 결과 도출에 필요한 모든 명령어와 함께 그 배경 및 결과 해석을 제공합니다. 분석에 사용된 모든 명령어와 데이터셋은 하나의 “do” 파일로 정리되어 https://yotoyotov.com/Gravity_Undergrads.html에서 내려받을 수 있습니다. 중요한 점은 여기서 소개하는 명령어들이 다른 표준 통계 패키지(무료 프로그램 포함)에서도 쉽게 구현 가능하다는 것입니다. 따라서 계량경제학을 수강한 학부 고학년 학생이라면 누구나 쉽게 따라올 수 있습니다. 접근성을 더욱 높이기 위해, 해당 웹사이트에는 R에서 사용할 수 있는 데이터와 코드도 함께 제공됩니다.

중력모형 데이터. 이 강의 노트를 위해, 저자는 “학부생을 위한 중력모형(Gravity for Undergraduates)” (GU) 데이터베이스를 구축했습니다. 이 데이터베이스는 2025년 3월 기준으로 학계와 정책 분석가들이 이용할 수 있는 가장 최신의 무역, 정책, 그리고 중력모형 관련 데이터를 기반으로 합니다. 따라서 이 절의 실증 분석과 강의 노트 마지막의 연습문제에 사용되는 데이터는 실제 정책 분석이나 연구 프로젝트에도 적합합니다. GU 데이터셋은 1990년부터 2023년까지의 기간 동안 세계 100대 수출국을 대상으로 하며, 이들 국가는 전 세계 수출의 98.9%, 수입의 97.7%, GDP의 98.3%를 차지합니다. 데이터는 국가총량(aggregate) 수준의 무역 및 중력 변수들을 포함합니다. 아래 목록은 이 장의 분석에 사용된 변수들과 그에 대한 간략한 설명 및 데이터 출처입니다. 나머지 변수들은 강의 노트 마지막의 연습문제 절에서 다루겠습니다.

Exporter	수출국 i 의 ISO 국가 코드. 식별 변수.
Importer	수입국 j 의 ISO 국가 코드. 식별 변수.
Year	연도 t , 1990-2023. 식별 변수.
Trade	연도 t 기준, i 국과 j 국 간의 양자 간 총무역액 (명목 미 달러). 출처: UN COMTRADE database, https://comtradeplus.un.org/ .
Distance	i 국과 j 국 간의 인구 가중 거리 (km). 출처: USITC DGD database, https://www.usitc.gov/data/gravity/dgd.htm .
RTA	연도 t 기준, i 국과 j 국 간에 지역무역협정(RTA)이 발효 중이면 1, 아니면 0. 출처: Mario Larch's database, https://www.ewf.uni-bayreuth.de/en/research/RTA-data/ .
EU	연도 t 기준, i 국과 j 국이 모두 유럽연합(EU) 회원국이면 1, 아니면 0. 출처: 저자. 유럽연합 집행위원회(European Commission) 자료 기반.
GDP_Exporter	수출국 i 의 연도 t 기준 명목 GDP (미 달러). 출처: 세계은행(World Bank) WDI database, https://datacatalog.worldbank.org/home .
GDP_Importer	수입국 j 의 연도 t 기준 명목 GDP (미 달러). 출처: 세계은행(World Bank) WDI database, https://datacatalog.worldbank.org/home .

⁵이 강의 노트의 마지막에 있는 연습문제에서 더 많은 예시를 다룰 예정입니다.

그림 6은 GU 데이터의 일부로서, 세 국가(캐나다, 멕시코, 미국)의 3개년(1993-1995)치 자료를 보여줍니다. 이 자료를 통해 세 국가 간의 무역이 규모가 크고 비대칭적이며, 시간에 따라 변한다는 것을 알 수 있습니다. 데이터 구성상, 각 국가쌍 간의 거리는 대칭적입니다. RTA 변수는 1989년 발효된 캐나다-미국 자유무역협정의 영향으로 캐나다와 미국 간의 교역에서는 모든 연도에 걸쳐 1의 값을 갖습니다. 반면, 미국-멕시코, 캐나다-멕시코 간의 RTA 변수는 1994년 북미자유무역협정(NAFTA)이 발효되면서 0에서 1로 바뀝니다. 세 국가 모두 EU 회원국이 아니므로 EU 변수는 항상 0입니다. GDP 변수는 각국의 경제 규모 차이를 나타냅니다. 마지막으로, 실제 분석에서는 독자가 직접 고정효과(fixed effects)를 만들 필요는 없지만, 이해를 돕기 위해 그림 6에 네 가지 고정효과를 예로 포함했습니다. ‘CAN_exp_1993’은 1993년 캐나다의 수출국 고정효과, ‘USA_imp_1995’는 1995년 미국의 수입국 고정효과, ‘CAN_MEX’는 캐나다의 멕시코로의 수출에 대한 국가쌍 고정효과, 그리고 ‘MEX_CAN’은 멕시코의 캐나다로의 수출에 대한 국가쌍 고정효과를 의미합니다.

그림 6: 중력모형 데이터의 구조

	Exporter	Importer	Year	Trade	Distance	RTA	EU	GDP_Exporter	GDP_Importer	CAN_exp_1993	USA_imp_1995	CAN_MEX	MEX_CAN
1	CAN	MEX	1993	9.882e+08	3472.085	0	0	5.791e+11	5.302e+11	1	0	1	0
2	CAN	MEX	1994	1.620e+09	3472.085	1	0	5.799e+11	5.536e+11	0	0	1	0
3	CAN	MEX	1995	1.374e+09	3472.085	1	0	6.060e+11	3.802e+11	0	0	1	0
4	CAN	USA	1993	1.136e+11	2134.945	1	0	5.791e+11	6.859e+12	1	0	0	0
5	CAN	USA	1994	1.319e+11	2134.945	1	0	5.799e+11	7.287e+12	0	0	0	0
6	CAN	USA	1995	1.483e+11	2134.945	1	0	6.060e+11	7.640e+12	0	1	0	0
7	MEX	CAN	1993	2.785e+09	3472.085	0	0	5.302e+11	5.791e+11	0	0	0	1
8	MEX	CAN	1994	3.274e+09	3472.085	1	0	5.536e+11	5.799e+11	0	0	0	1
9	MEX	CAN	1995	3.901e+09	3472.085	1	0	3.802e+11	6.060e+11	0	0	0	1
10	MEX	USA	1993	4.072e+10	2492.907	0	0	5.302e+11	6.859e+12	0	0	0	0
11	MEX	USA	1994	5.033e+10	2492.907	1	0	5.536e+11	7.287e+12	0	0	0	0
12	MEX	USA	1995	6.275e+10	2492.907	1	0	3.802e+11	7.640e+12	0	1	0	0
13	USA	CAN	1993	8.804e+10	2134.945	1	0	6.859e+12	5.791e+11	0	0	0	0
14	USA	CAN	1994	1.002e+11	2134.945	1	0	7.287e+12	5.799e+11	0	0	0	0
15	USA	CAN	1995	1.098e+11	2134.945	1	0	7.640e+12	6.060e+11	0	0	0	0
16	USA	MEX	1993	4.832e+10	2492.907	0	0	6.859e+12	5.302e+11	0	0	0	0
17	USA	MEX	1994	5.481e+10	2492.907	1	0	7.287e+12	5.536e+11	0	0	0	0
18	USA	MEX	1995	5.397e+10	2492.907	1	0	7.640e+12	3.802e+11	0	0	0	0

출처: “학부생을 위한 중력모형” 데이터셋.

그림 6의 자료는 총 18개의 관측치(observation)를 포함합니다. 3개 국가가 각각 다른 2개국과 3년 동안 서로 수출입을 했기 때문입니다. 즉, (3 국가) × (2 상대국) × (3 년) = 18입니다. 따라서 만약 모든 국가쌍과 모든 연도에 대한 데이터가 존재한다면, GU 데이터셋의 총관측치 수는 $100 \times 99 \times 34 = 336,600$ 개가 될 것입니다. 하지만 GU 데이터는 완전한 균형 패널(fully balanced panel)이 아닙니다. 구소련에 속했던 공화국들처럼 일부 국가들은 1990년대 초에 독립 국가가 아니었기 때문에 해당 시기의 무역 및 GDP 데이터가 존재하지 않기 때문입니다. 그 결과, GU 데이터셋의 실제 관측치 수는 320,920개입니다.

계량 분석에 앞서, 무역액(Trade), 거리(Distance), GDP와 같은 일부 변수들을 로그(log) 형태로 변환해야 합니다. 이는 다음과 같은 간단한 Stata 코드로 실행할 수 있습니다.

```
generate ln_trade=ln(Trade)
generate ln_dist=ln(Distance)
generate ln_gdp_exp=ln(GDP_Exporter)
generate ln_gdp_imp=ln(GDP_Importer)
```

단순 중력모형 추정. 아래의 Stata 명령어는 식 (5)에 해당하는 단순 OLS 모형을 이용하여 가장 ‘전통적인’(하지만 ‘단순한’) 형태의 중력모형을 추정합니다.

```
regress ln_trade ln_dist RTA EU ln_gdp_exp ln_gdp_imp if Year==2023
```

이 명령어의 각 요소는 다음과 같습니다. ‘regress’는 OLS(최소자승법) 회귀분석을 실행하는 Stata의 기본 명령어입니다. ‘ln_trade’는 종속변수이며, ‘ln_dist’, ‘RTA’, ‘EU’, ‘ln_gdp_exp’, ‘ln_gdp_imp’는 독립변수들입니다.

니다. 마지막으로, ‘if Year==2023’ 조건문은 2023년 데이터만을 사용하여 분석을 수행하도록 지정합니다. 이 연도를 1990년부터 2023년 사이의 다른 연도로 바꾸면 해당 연도의 횡단면 분석을 수행할 수 있습니다.

이 모형의 추정 결과는 표 1의 (1)열에 제시되어 있습니다. 전반적으로 결과는 이론적 예상과 일치하며, 주요 내용은 다음과 같이 다섯 가지로 요약할 수 있습니다. 첫째, 거리가 무역에 미치는 효과는 음(-)의 값으로 통계적으로 유의하며, 거리가 1% 증가할 때 무역은 1.179% 감소하는 것으로 나타났습니다. 둘째, RTA와 EU의 효과는 모두 양(+)의 값으로 통계적으로 유의합니다. RTA의 추정 계수는 다른 조건이 일정할 때, RTA가 회원국 간의 무역을 94% ($[exp(0.664) - 1] \times 100 \approx 94.25\%$) 증가시켰음을 의미합니다. 셋째, EU는 매우 높은 수준의 경제 통합을 추구하므로, 무역에 미치는 효과 역시 RTA보다 훨씬 더 큰 것으로 나타났습니다. (RTA의 효과를 계산한 것과 같은 방식으로, EU가 회원국 간 무역을 얼마나 증가시켰는지도 확인할 수 있다.) 넷째, 수출국과 수입국의 GDP 계수가 모두 크고 통계적으로 유의한 양(+)의 값으로 추정되어, 경제 규모와 무역 간의 강력한 양의 관계를 다시 한번 확인시켜 줍니다. 마지막으로, R^2 값이 0.64로, 단 5개의 표준적인 설명변수만으로도 단순 중력모형이 데이터를 매우 잘 설명하고 있음을 알 수 있습니다.

표 1: 중력모형 추정의 발전 과정

	(1) Naive Gravity	(2) Structural Gravity	(3) Panel Gravity	(4) HDFE Gravity	(5) Multiplicative Gravity
ln_dist	-1.179 (0.032)**	-1.473 (0.034)**	-1.583 (0.006)**		
RTA	0.664 (0.049)**	0.236 (0.051)**	0.147 (0.010)**	0.103 (0.013)**	0.076 (0.012)**
EU	0.900 (0.112)**	-0.261 (0.117)*	-0.526 (0.022)**	0.427 (0.030)**	0.273 (0.024)**
ln_gdp_exp	1.352 (0.015)**				
ln_gdp_imp	1.143 (0.015)**				
Constant	-37.864 (0.600)**				
<i>N</i>	9564	9564	288085	288085	320920
R^2	0.643	0.759	0.772	0.897	

출처: 저자. 괄호 안은 표준오차. + $p < 0.10$, * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$. 각 모형에 대한 자세한 설명은 강의 노트 본문을 참조.

구조적 중력모형 추정. 식 (6)에 해당하는 구조적 중력모형을 추정하기 위해, 이전의 추정 명령어에 두 가지를 변경합니다.

```
reghdfe ln_trade ln_dist RTA EU if Year==2023, absorb(Exporter Importer)
```

첫째, ‘reghdfe’ 명령어를 사용합니다.⁶ 이전 모형에서 사용했던 표준 ‘regress’ 명령어를 사용해도 무방하지만, ‘reghdfe’는 다수의 고정효과(fixed effects)를 쉽게 처리할 수 있어 여기서 더 선호됩니다. 이는 두 번째 변경 사항과 직접적으로 관련이 있습니다. 즉, ‘absorb(Exporter Importer)’ 옵션을 사용하여 모형에 수출국(Exporter)과 수입국(Importer) 고정효과를 포함시키는 것입니다. 이 고정효과들은 수출국 측의 관측 가능하거나 불가능한 모든 특성(예: 총생산)과 수입국 측의 모든 특성(예: 총지출), 그리고 양자 간 무역에 영향을 미칠 수 있는 다자간 무역 비용을 완벽하게 통제합니다. 그 결과, 표 1의 (2)열에 제시된 새로운 추정 결과에서는 더 이상 GDP 변수들의 효과가 나타나지 않습니다.⁷

(1)열과 (2)열의 추정 결과를 비교해 보면 네 가지 주목할 만한 차이점이 있습니다. 첫째, (2)열에서 거리의 효과는 여전히 통계적으로 유의한 음(-)의 값이지만, 그 절대값은 더 커졌습니다. 둘째, EU의 효과 추정치는

⁶이 강의 노트에서 사용하는 ‘reghdfe’ 명령어와 고차원 고정효과 추정을 위한 또 다른 빠른 명령어인 ‘ppmlhdfe’는 각각 Correia (2016) 과 Correia et al. (2020)에 의해 개발되었습니다.

⁷고정효과가 포함되면 상수항은 그 표준적인 의미를 잃게 되므로 결과에서 함께 생략됩니다.

훨씬 작아졌을 뿐만 아니라 음(-)의 값으로 바뀌었습니다. 이 결과는 앞 절에서 논의한 다자간 무역 비용의 이론적 함의와 일치합니다. 즉, 이론의 예측대로 다자간 무역 비용을 통제하고 나니 EU의 효과가 크게 감소한 것입니다. 셋째, RTA의 효과 추정치 역시 작아졌지만, 여전히 통계적으로 유의한 양(+)²의 값을 유지하고 있습니다. 마지막으로, (2)열의 R^2 값이 더 커졌습니다. 이는 물론 예상된 결과로, 수출국 및 수입국 고정효과가 각 측면에서 무역 흐름에 영향을 미치는 관측 가능하거나 불가능한 모든 결정 요인들을 흡수했기 때문입니다.

패널 중력모형 추정. 식 (7)에 해당하는 패널 중력모형의 추정 결과를 얻기 위해, 이전의 추정 명령어에 두 가지를 변경합니다.

```
reghdfe ln_trade ln_dist RTA EU, absorb(Exporter#Year Importer#Year)
```

첫째, 데이터에 포함된 모든 연도를 분석에 사용하기 위해 'if Year==2023' 조건문을 제거합니다. 둘째, 계량 모형의 고정효과가 시간에 따라서도 변할 수 있도록 허용합니다. 즉, 이제는 수출국-연도(Exporter#Year) 고정효과와 수입국-연도(Importer#Year) 고정효과를 사용합니다. 이러한 패널 구조의 고정효과 설정은, 수출국별 및 수입국별 변수들(즉, 국가 규모 변수와 다자간 무역 비용)이 시간에 따라 변한다고 가정한 패널 중력모형의 이론(식 (3))과도 일치합니다.

패널 추정 결과는 표 1의 (3)열에 보고되어 있습니다. 첫째, 예상대로 (3)열의 관측치 수(N)가 크게 증가했습니다. 이와 관련하여, 더 많은 데이터를 사용한 덕분에 (3)열의 표준오차(standard error)가 더 작아진 것을 확인할 수 있습니다. 거리의 효과 추정치는 (2)열의 횡단면 분석 결과와 비슷한 수준입니다. RTA의 효과 추정치는 더 작아졌지만 여전히 통계적으로 유의한 양(+)²의 값을 보입니다. 하지만 (3)열에서 EU의 효과 추정치는 크고 통계적으로 유의한 음(-)의 값으로 나타났습니다. 이 결과는 정책적 관점에서는 매우 놀랍지만, 방법론적 관점에서는 그리 놀랍지 않습니다. 그 이유는 이 패널 모형 설정이 잠재적으로 중요한 여러 양자 간 무역 비용 요인들을 누락하고 있기 때문입니다. 이 문제는 다음 단계의 모형에서 해결됩니다.

HDFE 중력모형 추정. 패널 중력모형을 개선하는 다음 단계는 국가쌍 고정효과(country-pair fixed effects)를 도입하는 것입니다. 이는 추정 명령어의 'absorb' 옵션에 국가쌍 고정효과를 나타내는 'Importer#Exporter'를 추가하기만 하면 되므로 매우 간단합니다. 즉, 기존의 수출국-연도 및 수입국-연도 고정효과에 국가쌍 고정효과를 더한 것입니다. 해당 추정 명령어는 다음과 같습니다.

```
reghdfe ln_trade RTA EU, absorb(Exporter#Year Importer#Year Importer#Exporter)
```

새로운 추정 명령어에서 'ln_dist' 변수가 사라진 점에 주목할 필요가 있습니다. 이는 국가쌍 고정효과를 도입하면 거리(distance)를 포함한 모든 시간 불변적(time-invariant) 양자 간 무역 비용 요인들이 이 고정효과에 흡수되어 완벽하게 통제되기 때문입니다. 양자 간 무역 비용의 상당 부분이 지리적 요인에 의해 결정된다는 점을 감안할 때, 국가쌍 고정효과는 측정하거나 관찰하기 어려운 수많은 변수들을 통제하는 매우 강력한 계량경제학적 도구입니다. 덕분에 우리는 이 분석의 관심사인 EU와 RTA와 같이 시간에 따라 변하는 양자 간 정책 변수의 효과에만 집중할 수 있게 됩니다. 반대로, 만약 거리, 국경 인접 여부, 공용어 사용 등과 같이 시간에 따라 변하지 않는 무역 결정 요인의 효과를 분석하는 것이 목적이라면, 국가쌍 고정효과를 사용해서는 안 됩니다. 고정효과가 해당 변수들의 효과까지 흡수해 버려 개별적인 효과를 추정할 수 없기 때문입니다. 이러한 분석은 이 강의 노트의 마지막에 있는 연습문제에서 다룹니다.

국가쌍 고정효과를 포함한 추정 결과는 표 1의 (4)열에 제시되어 있습니다. 이 모형 설정은 EU의 효과 추정치에 매우 큰 변화를 가져왔습니다. 구체적으로, EU의 효과는 이제 이론적 예상과 부합하게 크고 통계적으로 유의한 양(+)²의 값으로 나타납니다. RTA의 효과 추정치는 이전보다 다소 작아졌지만, 여전히 통계적으로 유의한 양(+)²의 값을 유지합니다. 앞서 언급했듯이, 정책 변수들의 추정치가 이처럼 바뀐 이유는 이전 모형들이 일부 중요한 시간 불변적 독립변수들을 누락했기 때문입니다. 이제 국가쌍 고정효과가 이러한 요인들을 완벽하게 통제함으로써, 정책 변수들의 순수한 효과를 더 정확하게 식별할 수 있게 된 것입니다. 따라서 분석의 주된 관심사가 RTA, EU 회원국 지위, 관세, 경제 제재 등과 같은 양자 간 정책 변수의 효과라면, 국가쌍 고정효과를 포함한 모형을 사용하는 것이 강력히 권장됩니다. 또한, 국가쌍 고정효과를 사용함으로써 모형의 전반적인 설명력이 크게 향상되어 R^2 값이 0.9에 달하는 것을 볼 수 있습니다.

곱셈형 중력모형 추정. 마지막으로, 중력모형을 곱셈형(multiplicative form)으로 추정합니다. 해당 추정 명령어는 다음과 같습니다.

중력모형을 곱셈형으로 추정하기 위해서는 단 두 가지만 간단히 조정하면 됩니다. (i) ‘reghdfe’ 명령어를 ‘ppmlhdfe’로 바꾸고, (ii) 종속변수로 로그를 취한 무역액(‘ln_trade’) 대신 원래의 무역액(‘Trade’)을 사용하는 것입니다. 새로운 ‘ppmlhdfe’ 명령어는 OLS 대신 곱셈형 PPML(Poisson Pseudo Maximum Likelihood) 추정량을 사용한다는 것을 의미합니다. PPML 추정량은 여러 계량경제학적 장점 덕분에 오늘날 중력모형 분석의 표준적인 방법으로 자리 잡았습니다. 가장 중요한 장점 중 하나는, 곱셈형 모형의 특성상 무역액이 0인 관측치(zero trade flows)를 자연스럽게 분석에 포함할 수 있다는 점입니다.⁸ 중요한 점은, PPML로 추정된 계수 역시 OLS로 추정된 로그-선형 모형의 계수와 동일하게 해석할 수 있다는 것입니다. 또한, 최근 계산 기술의 발달로 PPML 추정은 매우 강건(robust)하면서도 빠른 속도로 수행될 수 있습니다.

마지막 추정 결과는 표 1의 (5)열에 제시되어 있습니다. 곱셈형 중력모형의 결과에 따르면, RTA의 계수는 0.076으로, 이는 다른 조건이 일정할 때(ceteris paribus) 분석 기간 동안 발효된 RTA가 회원국 간의 무역을 약 8% 증가시켰음을 의미합니다. EU의 추정치는 약 31%의 무역 증진 효과를 시사합니다. 두 정책 변수의 효과가 다소 작아 보일 수 있지만, 다음의 사항들을 고려해야 합니다. 첫째, 국가쌍 고정효과를 사용했기 때문에, 이 추정치들은 1990년 이후에 체결된 RTA와 1990년 이후에 EU에 가입한 회원국으로 인한 효과만을 포착합니다. 둘째, EU와 RTA의 효과는 협정의 내용이나 대상국에 따라 매우 이질적(heterogeneous)일 수 있습니다. RTA 효과의 이질성에 대해서는 이 강의 노트의 마지막 연습문제에서 더 자세히 다룰 것입니다. 마지막으로, (5)열에는 R^2 값이 보고되지 않은 것을 볼 수 있습니다.⁹ 대신, 이 모형의 전반적인 적합도는 이 추정 결과를 바탕으로 그려진 그림 2를 통해 가늠할 수 있습니다.

마지막으로 고려할 점. 지금까지 논의한 곱셈형 중력모형의 각 구성 요소가 갖는 의미, 이론적 배경, 그리고 실증적 함의를 모두 이해했다면, 여러분은 중력모형 분석의 전문가로 나아가는 큰 걸음을 뗀 것이니, 스스로를 자랑스럽게 여겨도 좋습니다. 이 강의 노트의 마지막 연습문제에서 확인하겠지만, 이제 여러분은 이 추정식에 관심 있는 독립변수를 추가하는 것만으로도 경제 제재, 관세 동맹 등 시간에 따라 변하는 다양한 양자간 정책이 무역에 미치는 영향을 직접 추정할 수 있습니다. 또한, 거리, 식민지 관계, 공용어 등 시간에 따라 변하지 않는 요인들의 효과에 관심이 있다면, 국가쌍 고정효과를 사용하는 대신 해당 변수들을 직접 모형에 포함시켜 분석하면 됩니다. 이로써 여러분은 현대적 실증 중력모형을 사용하여 다양한 정책이 무역 흐름에 미치는 영향을 분석할 수 있는 충분한 역량을 갖추게 되었습니다.

마치기 전에, 지금까지 다루지 않았던 계량 중력모형의 마지막 한 가지 요소를 짚고 넘어가겠습니다. 바로 중력모형 추정에서 표준오차(standard error)를 어떻게 다룰 것인가의 문제입니다. 이 주제를 이제야 다루는데에는 세 가지 이유가 있습니다. 첫째, 이 내용은 이 강의 노트의 범위를 다소 벗어나는 고급 주제일 수 있습니다. 둘째, 이 문제에 대해 학계에서 확고하게 정립된 단일한 처리 방식이 아직 없습니다. 셋째, 표준오차를 처리하는 방식은 계수 추정치 자체에는 영향을 주지 않고 표준오차의 크기만을 변화시키는데, 그로 인한 결과의 차이도 대부분 크지 않기 때문입니다. 따라서 자세한 설명은 생략하고, 가장 널리 사용되는 방법 중 하나를 추천하고자 합니다. 바로 추정 명령어의 마지막에 ‘cluster(Exporter#Importer)’ 옵션을 추가하는 것입니다. 저명한 계량경제학자들 사이에서도 아직 이 문제에 대한 합의가 이루어지지 않았으므로, 여러분은 이 조정을 적용하는 것에 대해 크게 걱정할 필요가 없습니다. 만약 누군가 왜 이 옵션을 사용했는지 묻는다면, 그냥 이렇게 대답하세요. “Yotov 교수님께 여쭙보세요!”

⁸PPML 추정량의 장점과 중력모형 분석에서의 유용성에 대한 더 자세한 논의는 Santos Silva and Tenreyro (2006)과 Larch et al. (2025)를 참조하기 바랍니다.

⁹그 이유는 비선형(non-linear) 추정 방식인 PPML이 산출하는 ‘유사 R^2 (pseudo- R^2)’는 OLS 모형의 R^2 와 직접 비교할 수 없기 때문입니다. 자세한 내용은 <https://www.statalist.org/forums/forum/general-stata-discussion/general/1528609-ppmlhdfe-pseudo-r2>를 참조하기 바랍니다.

References

- Anderson, James E.** 1979. "A Theoretical Foundation for the Gravity Equation." *American Economic Review* 69 (1): 106–116.
- Anderson, James E.** 2011. "The Gravity Model." *Annual Review of Economics* 3 133–160.
- Anderson, James E., and Eric van Wincoop.** 2003. "Gravity with Gravititas: A Solution to the Border Puzzle." *American Economic Review* 93 (1): 170–192.
- Arkolakis, Costas, Arnaud Costinot, and Andrés Rodríguez-Clare.** 2012. "New Trade Models, Same Old Gains?" *American Economic Review* 102 (1): 94–130.
- Baldwin, Richard E., and Daria Taglioni.** 2006. "Gravity for Dummies and Dummies for Gravity Equations." *NBER Working Paper No. 12516*.
- Correia, Sergio.** 2016. "A Feasible Estimator for Linear Models with Multi-Way Fixed Effects." *unpublished manuscript available at <http://scoreia.com/research/hdfe.pdf>*.
- Correia, Sergio, Paulo Guimarães, and Thomas Zylkin.** 2020. "Fast Poisson Estimation with High-Dimensional Fixed Effects." *The Stata Journal* 20 (1): 95–115. [10.1177/1536867x20909691](https://doi.org/10.1177/1536867x20909691).
- Eaton, Jonathan, and Samuel Kortum.** 2002. "Technology, Geography and Trade." *Econometrica* 70 (5): 1741–1779.
- Frankel, J.A., and D. Romer.** 1999. "Does Trade Cause Growth?" *American Economic Review* 89 (3): 379–399.
- Krugman, Paul.** 1995. "Increasing returns, imperfect competition and the positive theory of international trade." In *Handbook of International Economics*, edited by Grossman, G. M., and K. Rogoff Volume 3. 1st edition, Chap. 24 1243–1277.
- Larch, Mario, Serge Shikher, and Yoto Yotov.** 2025. "Estimating Gravity Equations: Theory Implications, Econometric Developments, and Practical Recommendations." Working Papers 2025001, Center for Global Policy Analysis, LeBow College of Business, Drexel University, <https://ideas.repec.org/p/drx/wpaper/2025001.html>.
- Ravenstein, Ernest George.** 1885. "The Laws of Migration: Part 1." *Journal of the Statistical Society of London* 48 (2): 167–235.
- Rose, Andrew K.** 2000. "One money, one market: the effect of common currencies on trade." *Economic Policy* 15 (30): 08–45.
- Santos Silva, João M.C., and Silvana Tenreyro.** 2006. "The Log of Gravity." *Review of Economics and Statistics* 88 (4): 641–658.
- Tinbergen, Jan.** 1962. *Shaping the World Economy: Suggestions for an International Economic Policy*. New York: The Twentieth Century Fund.
- Yotov, Yoto V.** 2024. "The evolution of structural gravity: The workhorse model of trade." *Contemporary Economic Policy* 42 (4): 578–603.
- Yotov, Yoto V., Roberta Piermartini, Jose-Antonio Monteiro, and Mario Larch.** 2016. *An Advanced Guide to Trade Policy Analysis: The Structural Gravity Model*. Geneva: UNCTAD and WTO.

연습문제

이 장의 연습문제는 다음의 목표에 따라 구성되었습니다. 첫째, 이 강의 노트에서 다른 내용과 분석 도구들을 복습하고 심화하는 것을 목표로 합니다. 둘째, 코딩 실습을 통해 데이터 분석 역량을 기르고 확장하는데 도움을 줍니다. 셋째, 보다 현실적인 정책 사례를 다루어 볼 기회를 제공합니다. 문제들은 난이도 순으로 배열되어 있으며, 각 문제는 독립적입니다. 일부 문제는 여러 부분으로 나뉘어 있지만, 각 부분은 몇 줄의 코드만으로도 해결할 수 있습니다. 모든 연습문제는 “학부생을 위한 중력모형(Gravity for Undergraduates)” 데이터베이스만을 사용하여 해결할 수 있습니다.

1. **물리학과 무역.** GU 데이터셋의 2023년도 수출국 및 수입국 GDP와 거리(Distance) 변수를 사용하여, 이 강의 노트의 단순 중력모형 (1)식에 따라 이론적인 무역액을 계산해 보시오. 기존 무역 연구 문헌에 따라, 거리에 대한 무역의 탄력성(θ)은 -1로 가정하시오. 또한, 여기서의 주된 관심은 이론적 무역액과 실제 무역액 간의 상관관계를 보는 것이므로, 중력상수(\bar{G})는 1로 가정하시오. 이렇게 계산된 이론적 무역액과 데이터상의 실제 무역액 간의 상관관계수(correlation coefficient)는 얼마입니까? 이제 두 변수의 평균을 비교해 보고, 그 차이가 발생하는 이유는 무엇인지 설명해 보시오.

2. **연도별 횡단면 추정.** GU 데이터베이스를 사용하여, 4절의 “단순 중력모형”(즉, 표 1의 (1)열 모형)을 1990년, 2000년, 2010년, 2020년 각 연도에 대해 추정하시오. 다섯 개 중력 변수들의 추정치가 시간에 따라 어떻게 변해왔는지 논의하시오. (힌트: 4개의 회귀식을 각각 실행하거나, 반복문(loop)을 작성하여 한 번에 추정할 수 있습니다.)

3. **표준 중력 변수들.** 양자 간 거리(로그값), 국경 인접 여부, 공용어 사용 여부, 그리고 과거 식민지 관계는 무역 연구에서 시간에 따라 변하지 않는 무역 비용의 대리 변수로 가장 널리 사용됩니다. 이 문제에서는 GU 데이터베이스를 사용하여 이러한 ‘표준’ 중력 변수들이 무역에 미치는 영향을 추정해 봅시다.

3.a. 4절의 “곱셈형 중력모형”(즉, 표 1의 (5)열 모형)에 ‘ln_dist’, ‘Contiguous_Border’, ‘Common_Language’, ‘Colonial_Ties’ 변수들을 직접 추가하여 추정해 보시오. 이 변수들의 효과를 식별할 수 있습니까? 그 이유는 무엇입니까?

3.b. 이제 동일한 모형에서 국가쌍 고정효과(country-pair fixed effects)를 제외하고 다시 추정해 보시오. 여러분이 사용한 모형 설정에서 국가쌍 고정효과를 추가하는 부분은 어디입니까? 그 부분을 제거하시오. 이제 3.a에서 추가했던 새로운 변수들의 추정치를 얻을 수 있습니까? 새롭게 얻은 추정치들의 부호와 크기를 해석하시오.

4. **관세 동맹(Customs Unions)의 효과.** 관세 동맹은 RTA의 한 형태로, 회원국들이 비회원국에 대해 공동의 대외 무역 정책을 채택한다는 특징이 있습니다. 따라서 관세 동맹은 일반적인 RTA보다 ‘더 깊은(deeper)’ 형태의 협정이며, 무역 증진 효과도 더 클 것으로 기대됩니다. 이 문제에서는 GU 데이터베이스를 사용하여 이 가설을 검증해 봅시다.

4.a. GU 데이터를 불러온 후, 4절의 “곱셈형 중력모형”(즉, 표 1의 (5)열 모형)에 ‘Customs_Union’ 변수를 추가하여 추정하시오. ‘Customs_Union’ 변수의 추정치를 해석하고 그 의미를 논의하시오.

4.b. 정의상 관세 동맹은 RTA의 한 종류이므로, RTA 변수에는 이미 관세 동맹이 포함되어 있습니다. 따라서 4.a에서 얻은 ‘Customs_Union’의 추정치는 RTA의 평균적인 효과에 더해지는 추가적인 효과(deviation)로 해석해야 합니다. 관세 동맹 자체의 효과(level effect)를 추정하기 위해, ‘Customs_Union’ 변수가 1일 때는 RTA 더미 변수가 0이 되도록 데이터를 수정한 후, 4.a와 동일한 모형을 다시 추정하시오. 4.a와 4.b에서 얻은 ‘Customs_Union’의 추정치를 비교하고, 새롭게 얻은 추정치를 해석하시오.

5. 무역 제재의 효과. 경제 제재는 현대 외교정책의 중요한 일부가 되었습니다. 이 문제에서는 GU 데이터베이스를 사용하여 전면적인 무역 제재의 효과를 추정하고, 특히 러시아에 대한 제재 효과를 분리하여 분석합니다.

5.a. GU 데이터를 사용하여 4절의 “곱셈형 중력모형”(즉, 표 1의 (5)열 모형)에 ‘Trade_Sanction’ 변수를 추가하여 추정하시오. 제재의 효과에 대한 추정치를 해석하고 논의하시오.

5.b. 5.a의 모형을 바탕으로 러시아에 대한 제재 효과를 분리하시오. 이를 위해, ‘Trade_Sanction’ 변수를 이용하여 러시아가 제재 대상에 포함될 경우 1의 값을, 그렇지 않을 경우 0의 값을 갖는 새로운 변수 ‘Russia_Sanction’을 만드시오. 그런 다음, ‘Russia_Sanction’이 1일 때는 기존의 ‘Trade_Sanction’ 변수값이 0이 되도록 수정한 후, ‘Russia_Sanction’ 변수를 추가하여 5.a의 모형을 다시 추정하시오. 결과를 해석하시오.

5.c. 러시아의 우크라이나 침공으로 인해 2022년에 부과된 제재의 효과를 분리하여 분석하시오. 이를 위해, 이전 단계에서 만든 ‘Russia_Sanction’ 변수를 2022년 이전의 제재(‘Russia_Sanction_Old’)와 2022년에 부과된 새로운 제재(‘Russia_Sanction_New’)를 나타내는 두 개의 변수로 나누시오. 그런 다음, 5.b의 모형에서 ‘Russia_Sanction’ 변수 대신 이 두 개의 새로운 변수를 사용하여 추정하시오. 결과를 논의하고 해석하시오.

6. RTA의 이질적 효과. 강의 노트 본문에서 도출한 단일한 RTA 추정치는 RTA가 갖는 효과의 이질성(heterogeneity)을 제대로 반영하지 못할 수 있습니다. 이 문제에서는 GU 데이터베이스를 사용하여 RTA 효과의 여러 이질적 측면을 탐구합니다.

6.a. GU 데이터를 사용하여 4절의 “곱셈형 중력모형”(즉, 표 1의 (5)열 모형)을 기반으로, RTA의 효과가 1990-1999년, 2000-2009년, 2010-2023년의 세 기간에 걸쳐 다르게 나타나도록 모형을 설정하여 추정하시오. (힌트: 단일 RTA 변수를 각 기간에 해당하는 세 개의 RTA 변수로 나누어야 합니다.) 결과를 논의하시오.

6.b. 4절의 “곱셈형 중력모형”(즉, 표 1의 (5)열 모형)을 이용하여, 2015년부터 발효된 호주-중국 FTA(ChAFTA)의 효과를 분리하여 추정하시오. 이를 위해, 2014년 이후 호주와 중국 간의 무역에 대해 1의 값을 갖는 지표 변수 ChAFTA를 만든 후, 이 변수를 “곱셈형 중력모형”에 추가하시오.

6.c. 6.b 모형에서 얻은 ChAFTA의 추정치는 RTA의 평균 효과 대비 추가적인 효과를 의미합니다. RTA 변수에 이미 ChAFTA가 포함되어 있기 때문입니다. ChAFTA의 전체 효과를 추정하려면, ChAFTA가 1일 때 RTA 변수값이 0이 되도록 데이터를 수정한 후 6.b의 모형을 다시 추정하시오. 두 모형에서 얻은 ChAFTA 추정치를 비교하고, 새롭게 얻은 추정치를 해석하시오.

6.d. ChAFTA의 효과가 비대칭적인지(즉, 무역 방향에 따라 다른지) 검증하시오. (힌트: ChAFTA 변수를 무역 흐름의 방향에 따라 두 개의 변수로 분리하시오. 즉, 하나는 호주에서 중국으로의 수출에, 다른 하나는 중국에서 호주로의 수출에 해당하는 변수를 각각 만든 후, 이전 모형에서 ChAFTA 변수 대신 이 두 변수를 사용하여 그 추정치를 비교하시오.)