

전파자원 활용을 위한 인과 관계 기반 정량적 경제 파급 효과 분석모형 비교 연구

Comparative Study of Causality based Quantitative Economic Impact Analysis Models for Utilizing Spectrum Resource

김태한*, 김태석**

한국전자통신연구원 및 과학기술연합대학원대학교*, 배재대학교 경영학과**

Taehan Kim(taehan@etri.re.kr)*, Tae-Suk Kim(itmkim@pcu.ac.kr)**

요약

본 논문에서는 전파자원 활용과 관련한 정책 및 투자 방안 수립에 대한 경제적 근거 및 기초자료로서의 파급 효과 분석 방법론에 관한 비교연구를 수행하였다. 정책 및 투자 방안 간 객관적 비교 및 선정을 위해 수치적 결과를 제공하는 방법론을 분석 대상으로 하였고 수학적인 모형에 기반을 둔 정량적 방법론인 계량 경제모형, 산업연관분석, 연산일반균형, 시스템 다이내믹스 방법에 대해 분석 비용 등 다양한 관점에서 효과와 한계를 비교 분석하였다. 또한, 전파자원 활용의 효과 분석 측면에서 이들 방법론을 비교하고, 분석된 방법론의 장점들을 활용하고 한계를 상쇄시키기 위해 단일 방법론들을 결합한 혼합형 모형에 대한 최근 연구결과를 논의하였다. 연구결과는 전과정책 및 투자 방안 실행의 효율성 검증에 위한 다양한 분석방법 중 분석의 목적과 우선순위에 부합하는 방법을 선정하는 데 참고 지표로 활용할 수 있다.

■ 중심어 : | 비교연구 | 파급 효과 분석 | 계량경제모형 | 산업연관분석 | 연산일반균형 | 시스템 다이내믹스 | 전파 자원 |

Abstract

In this paper, we conducted a comparative study on the methodology for impact analysis as the economic grounds for formulating policy and investment plan concerned with utilizing spectrum resource. In order to provide numerical results for objective comparison and selection among policy and investment planning, methods to be analyzed are focused on quantitative methodology based on mathematical models, consequently the utility and limits of econometric model, input-output analysis, computable general equilibrium and system dynamics are compared from various viewpoints including analysis cost. Besides, we compared the methodologies in the standpoint of utilizing spectrum and discussed the recent findings of mixed models combining multiple methodologies to exploit the advantages of each methodology and to offset the limit. Results of the research can be used as reference indicators to select the method that conforms to the purpose and priority of analysis verifying the efficiency of execution of policies and investment plans.

■ keyword : | Comparative Study | Impact Analysis | Econometric Model | Input-Output Analysis | Computable General Equilibrium Model | System Dynamics | Spectrum Resource |

* 이 논문은 2018년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기술진흥센터의 지원을 받아 수행된 연구임 (No.

2017-0-00066, 선제적 주파수 이용을 위한 시·공간적 스펙트럼 엔지니어링 기술 개발)

접수일자 : 2018년 09월 11일

심사완료일 : 2018년 10월 12일

수정일자 : 2018년 10월 12일

교신저자 : 김태석, e-mail : itmkim@pcu.ac.kr

I. 서론

미래사회는 제4차 산업혁명이 진행되면서 초연결 지능 정보사회(Hyper Connected Intelligent Information Society)를 지향할 것으로 예상되고 이에 따라, 모바일 인터넷, IoT(Internet of Things) 등 전파기반 기술의 다양한 응용이 제공될 것으로 전망되고 있다. 미래 초연결 사회에서는 모든 사물이 전파를 기반으로 연결되고 무선서비스가 4k UHD, Healthcare 등 삶의 질을 높이는 고차원의 서비스로 확장, 발전하게 될 것으로 예상된다. 결과적으로, 전파이용 산업의 발전은 한 국가의 경제성장과 생산량 증대를 촉진해 GDP 성장, 신규 일자리 창출 등 국가 경제성장에 큰 영향을 미칠 것으로 예상된다[1]. 전파 자원을 관리하는 국가 차원에서 수행되는 전파정책방안은 전파이용 산업이 가져올 경제성장의 규모를 결정하기 때문에 가장 효율적인 정책 방안 선정이 필요하다.

이처럼 전파 자원과 같은 사회 공공재의 활용, 혹은 국민경제에 영향을 미칠 수 있는 정책이나 투자 선정 문제는 사회적 효용을 극대화하기 위해 파급 효과 분석이 선행되어야 한다. 아래의 사례는 파급 효과 분석이 활용될 수 있는 일부 분야들에 대한 예시이다.

- **사회간접자본 투자:** 사회간접자본은 경제활동을 원활하게 하는 기반시설이며, 이에 대한 투자는 국가 재정정책의 대표적 수단으로 경기를 조절하는 기능을 가지고 있다. 사회간접자본 투자에는 막대한 재정지출이 소요되므로, 한정된 재원을 효율적으로 배분하기 위해서는 재정지출의 효율성 제고와 함께 효과분석이 필요하다[2].
- **연구개발 투자:** 연구개발 투자는 지식축적과 기술혁신을 통한 신제품 개발과 신산업 창출을 유도하고 연구인력에 대한 신규 일자리 창출에 이바지하는 등 경제성장에 중추적 구실을 할 뿐만 아니라 다양한 거시 경제적 파급 효과를 유발한다. 한정된 연구개발 예산 하에서 투자 효율화를 위해 연구개발에 대한 정부의 선택과 집중을 위

한 투자 우선순위를 선정할 필요성이 있다[3].

- **환경정책수립:** 기후변화 현상의 심화에 따라 탄소세와 같은 대규모 세수 증대가 가능한 환경정책은 정책 자체의 지출 및 수입과 더불어 정책 집행으로 인한 경제활동으로 재정 건전성에 복합적인 영향을 미치므로, 정책에 대한 효과성을 검증하기 위해서 재정적 파급 효과에 대한 분석이 필요하다[4].

위의 사례들은 복잡한 사회·경제 시스템에 대한 투자 및 정책 결정의 과정에 있어 파급 효과 측면에서 가장 효율적인 방안을 선택하는 문제를 공통으로 다루고 있다. 이 문제를 해결하기 위한 일반적인 접근 방법이 파급 효과 분석이다. 파급 효과 분석은 정책이나 투자 방안의 산업 성장 및 신산업 창출 기여도를 분석할 수 있고 사회·경제적인 파급 효과를 산정할 수 있어 국민경제에 얼마나 이바지하는지를 판단할 수 있는 지표작성을 가능하게 하여 정책 및 방안 간의 비교 선택을 가능하게 한다.

최근 저성장에 따른 경제성장 기회 창출의 하나로 4차 산업혁명과 관련한 국가적 정책과 사업 투자가 확대되고 있어 파급 효과 분석에 대한 요구가 커질 것으로 예상된다. 하지만, 이러한 요구와 맞물려 직면하게 되는 문제는 어떤 방법론을 선택해야 하는지에 관한 결정이다. 이를 위해서는 분석 대상과 목적에 부합하는 파급 효과 분석방법 선정을 위한 지침이 요구되지만 이에 관한 연구들은 많지 않은 실정이다.

본 논문에서는 정책 및 투자 방안을 선정하는 데 필요한 효과적인 분석 방법론을 선택하는 데 도움을 줄 수 있는 파급 효과 방법론 비교 연구를 수행한다.

이를 위한 본 연구의 내용으로서 2장에서는 파급 효과 분석 방법론을 분류하고 기존 선행연구에서 활용도가 높은 방법론들의 연구 현황을 기술하였다. 3장에서는 대표적인 인과 관계 방법론인 계량경제모형, 산업연관분석, 연산일반균형, 시스템 다이내믹스 모형에 대한 개요와 분석 절차에 대해 논의하였으며, 4장에서는 전장에서 기술한 방법론들의 효용과 한계를 비교 검토하

고 기존 방법론을 극복하기 위해 최근에 연구되고 있는 통합모형을 소개한다. 마지막으로 5장에서는 연구결과와 활용 및 한계점을 논의하고 추후 연구 방향을 도출한다.

II. 파급 효과 분석 방법론

1. 수요예측의 유형

파급 효과 분석의 목적은 궁극적으로 정책이나 방안과 관련한 의사결정을 내리기 위함이다. 이러한 의사결정의 근간이 되는 것이 수요예측인데 기업의 경우 시장 수요의 예측을 통해 경영 활동의 전략을 결정하고 정부의 경우 해당 산업에 대한 정책효과를 수요예측을 통해 분석할 수 있기 때문이다. 수요예측을 위해 다양한 기법이 개발되어 활용되고 있는데 어떤 방법을 선정하는냐는 예측의 정확성을 결정하는 중요한 문제이다. 모든 경우에 절대적으로 뛰어난 예측 성과를 얻을 수 있는 방법론(one size fit all solution)은 존재하지 않으며, 예측의 목적과 대상, 시기, 자료 등에 따라 적절한 수요예측 기법을 선택하는 것이 바람직하다.

[5]에 따르면 수요예측의 유형은 일반적으로 다음과 같은 몇 가지 기준에 따라 구분할 수 있다. 첫째, 예측 기법이 수치에 근거하여 이루어지는가에 따라 크게 정성적 모형과 정량적 모형으로 구분된다. 둘째, 예측 대상 기간에 따라 장기, 중기, 단기예측으로 구분될 수 있다. 단기예측은 통상 6개월 이내의 분기, 월, 주, 일 단위의 예측을 말하며, 중기예측은 6개월 ~ 2년, 장기예측은 2년 이상의 예측에 해당한다. 셋째, 수요예측에 활용되는 자료의 특성에 따라 크게 추세적 예측, 실험적 예측, 판단적 예측으로 구분한다. 추세적 예측은 과거의 경향이 미래에도 유지된다는 전제하에 과거 수요에 근거하여 미래의 수요를 예측하는 방법이다. 추세적 예측에 사용되는 방법론은 다시 시계열 모형(time-series model), 인과 관계 모형(casual model), 확산 모형(diffusion model)으로 세분화된다.

시계열 모형은 과거의 수요 자료로부터 시간에 따른 수요 변화 양상을 파악하고, 미래 시점에서의 변화 양

상을 추정하여 수요를 예측하는 방법이다. 인과 관계 모형은 수요에 영향을 미치는 다양한 경제변수 간에 인과 관계가 존재한다고 가정하고, 과거의 자료로부터 인과 관계를 모형화하여 미래수요를 예측하는 방법이다. 확산 모형은 과거 수요 관련 시계열 자료들이 S-curve 등과 같은 곡선 함수 모형을 따른다고 가정하고 자료에 가장 잘 맞도록 곡선의 형태를 수정해 이후의 확산 속도를 추정하여 미래수요를 예측하는 방법이다.

실험적 예측과 판단적 예측은 충분한 과거 데이터가 없는 경우 활용될 수 있는 기법으로, 실험적 예측은 미래에 발생할 수요를 시뮬레이션을 통해 예측하며 판단적 예측은 예측 대상 분야 전문가들의 주관적인 의견에 근거하여 예측한다. [표 1]은 예측 유형과 각 유형에 속하는 주요 수요예측 기법들을 정리한 것이다.

표 1. 자료 특성에 따른 수요 예측 기법 유형[5]

유형	수요예측 기법	
추세적 예측	시계열 모형	자기회귀모형, 이동평균법, 가중이동평균법, 지수평활법, 분해법, ARIMA, Kalman Filtering 모형 등
	인과관계 모형	회귀모형, 계량경제모형, 산업연관분석, 연산일관균형, 선도지표법 등
	확산 모형	Logistic 모형, Gompertz 모형, Linear Gompertz 모형, Weibull 모형, Mansfield-Blackman 모형, NSRL(Nonsymmetric responding logistics) 모형, Harvey 모형 등
실험적 예측	시스템 다이내믹스, 행위자 기반 모형 등	
판단적 예측	델파이법, 계층분석과정, 네트워크 분석과정 등	

2. 연구 현황

정책효과 예측과 파급 효과 분석은 정책 간 비교 및 선정을 위해 객관적 수치적 결과 또는 우선순위 조사가 필요하다. 일반적으로 이러한 필요를 만족시키는 방법론은 수학적인 모형에 기반을 둔 정량적 방법론이다. 나아가 수학적 모형은 분석 대상에 영향을 미치는 경제 변수들과 변수 상호 상호 간의 연관 관계를 수식화함으로 구현되는데 이는 수요예측 기법 중 인과 관계 모형에 해당한다[5].

이러한 배경에서 본 연구에서는 많은 예측 기법 중에서 정량적이며 인과 관계 모형에 해당하는 기법들로 분

석을 한정한다. 특별히, 인과 관계 모형 중 많은 활용이 되는 계량경제모형, 산업연관분석, 연산일반균형을 깊이 있게 분석한다. 아울러, 최근 파급 효과 분석을 위해 많이 활용되고 있는 시스템 다이내믹스 방법에 대해서도 분석한다. 시스템 다이내믹스는 실험적 예측 기법에 속하지만, 구성요소 간의 인과 관계를 나타내는 인과지도 작성이 분석을 위해 필수이기 때문에 인과 관계 모형의 성격을 많이 내포하고 있다.

[표 2]에 본 연구의 분석대상 모형인 계량경제모형, 산업연관분석, 연산일반균형, 시스템 다이내믹스를 활용하여 2000년 이후 국내외에서 진행한 파급 효과 분석 연구 중 전과자원의 이용이나 정보통신 기술을 포함한 관련 연구를 정리하였다.

표 2. 대표 방법론 관련 연구 현황

방법론	관련 연구
산업연관분석	[1],[2],[6],[7],[8],[9],[10],[11]
계량경제모형	[12],[13],[14],[15],[16],[17]
연산일반균형	[3],[4],[18],[19],[20],[21],[22],[23]
시스템 다이내믹스	[24],[25],[26],[27],[3],[28],[29],[30]

III. 인과형 방법론

1. 산업연관분석

1.1 개요

산업연관분석은 특정한 산업에서 생산된 상품이 다른 산업의 생산을 위한 원재료로 투입되어 발생하는 각 산업의 연관 관계를 계량적으로 파악하는 기법으로, 파급 효과 분석에 널리 사용된다[8]. 예를 들어, 스마트폰의 생산에 프로세서, 메모리, 디스플레이, 카메라, 각종 센서 등이 필요한데 이들 부품은 각종 반도체 소자들과 실리콘, 게르마늄 등의 원재료 투입이 필요하다. 이처럼 스마트폰 생산산업은 구성 부품 및 원재료를 생산하는 산업들과 직·간접적인 관계를 맺게 되고 한 산업의 변화는 연관된 다른 여러 산업에 영향을 미치게 된다.

산업연관분석은 한 산업의 생산이 최종 수요의 상품에 이르기까지 생산 기술 및 방법 측면에서 연관되어

있는 것에 주안점을 두고, 특정 생산자를 타 산업의 산출물을 구매하고 또다른 산업에 산출물을 판매하는 주체로 인식한다. 이러한 산업부문 간의 투입과 산출의 연관 관계를 분석하면 특정 산업부문의 수요 및 공급의 변화가 다른 산업부문의 수요 및 공급의 변화를 유발하는 정도를 계량화할 수 있으며, 또한 특정 산업부문의 수요 또는 공급이 생산, 고용, 소득 등 국민경제에 미치는 파급 효과를 예측할 수 있다. 이와 같은 배경에서, 산업연관분석을 투입산출분석(input output analysis)이라고도 한다[8].

1.2 분석 절차

산업연관분석은 분석 산업 간의 연관 관계를 행렬식으로 구조화해야 하는데 이를 위해 필요한 기초자료가 산업연관표이다[8]. 산업연관표는 각 산업부문의 생산 활동을 위해 각 산업 간에 발생하는 원재료의 거래 자료를 바탕으로 작성한 표로서, 한 국가 내에서 생산되는 재화와 서비스의 산업간 거래를 체계적으로 기록한 통계 자료를 이용한다. [표 3]은 산업연관표의 기본구조를 보여주고 있는데, 각 산업부문의 열은 비용을 구성하는 투입구조를 나타내며, 원재료의 투입을 나타내는 중간투입과 노동, 자본의 투입을 나타내는 부가가치 등 2개 부문으로 구성된다. 이 두 부문의 합은 각 산업의 총 투입액을 의미한다. 각 산업부문의 행은 생산물이 판매되는 배분 구조를 의미하며, 중간재로서 타 산업 생산을 위해 판매되는 중간수요와, 소비재, 자본재, 수출 상품 등의 최종수요 등 두 부문으로 구성된다. 중간수요와 최종수요를 합한 금액이 총수요액, 총수요액에서 수입을 차감한 것이 총산출액이며, 각 산업부문의 총산출액과 이에 대응하는 총투입액은 일치한다.

상기 표의 내생 부문에 해당하는 산업부문의 열벡터인 중간투입액(Z_{ij})을 해당 산업 j 의 총투입액(X_j)으로 나눈 값(Z_{ij}/X_j)을 투입계수(a_{ij})라 하며, 투입계수는 산업 j 의 생산물 1단위를 생산하기 위해 필요한 산업 i 의 중간재 비중을 의미한다. Y_i 는 산업 i 의 최종수요액이며, M_i 는 산업 i 의 수입액을 의미한다.

표 3. 산업연관표의 기본구조[8]

투입			내생부문				외생부문		총산출
			중간수요				최종수요	수입	
			산업 1	산업 2	...	산업 j			
내생 부분	중간 투입	산업 1	Z ₁₁	Z ₁₂	...	Z _{1j}	Y ₁	M ₁	X ₁
		산업 2	Z ₂₁	Z ₂₂	...	Z _{2j}	Y ₂	M ₂	X ₂
		⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
		산업 i	Z _{i1}	Z _{i2}	...	Z _{ij}	Y _i	M _i	X _i
외생 부분	부가 가치	W	W ₁	W ₂	...	W _j			
총투입		X	X ₁	X ₂	...	X _j			

산업연관분석 모형은 크게 수요유도형(demand-driven)과 공급유도형(supply-driven)으로 나눌 수 있는데, 수요유도형은 중간재의 수요자 측면에서 공급자와의 관계를 측정할 수 있으므로 후방연관 효과(backward linkage effects)를 분석하는데 사용되고, 공급유도형은 중간재의 공급자 측면에서 해당 상품의 수요자와의 관계를 측정할 수 있으므로 전방연관 효과(forward linkage effects)를 분석하는데 사용된다. 산업 파급 효과는 주로 수요유도형 모형을 활용한 후방연관 효과분석을 다루기 때문에, 본 논문에서는 수요유도형 모형에 대해 분석한다.

산업연관표에서 행은 각 산업부문 생산물이 판매되는 배분 구조를 나타내며, 열은 각 산업부문에 투입되는 비용 구조를 의미한다. 산업연관표의 행과 열의 기본구조를 나타내는 식은 식(1), 식(2)와 같다.

$$X_i = \sum_{j=1}^n Z_{ij} + Y_i - M_i = a_{ij}X_j + Y_i - M_i \quad (1)$$

$$X_j = \sum_{i=1}^n Z_{ij} + W_j = \sum_{i=1}^n a_{ij}X_j + W_j \quad (2)$$

위의 식에서 n은 산업부문의 개수를 의미한다. 식(1)은 총산출액(X_i)은 중간수요(Z_{ij})와 최종수요(Y_i)의 합인 총수요액에서 수입(M_i)을 차감한 것과 같음을, 식(2)는 총투입(X_j)은 중간투입(Z_{ij})과 부가가치의 합과 같음을 의미한다.

수요유도형 모형은 식(1)을 바탕으로 유도하는데, 이

를 행렬로 표현하면 식(3)과 같으며, 행렬식으로 간략히 표현하면 식(4)로 나타낼 수 있다.

$$\begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \\ \vdots \\ X_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_{11} + Z_{12} + \dots + Z_{1n} \\ Z_{21} + Z_{22} + \dots + Z_{2n} \\ \vdots \\ Z_{n1} + Z_{n2} + \dots + Z_{nn} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} Y_1 \\ Y_2 \\ \vdots \\ Y_n \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} M_1 \\ M_2 \\ \vdots \\ M_n \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} Z_{11} & Z_{12} & \dots & Z_{1n} \\ Z_{21} & Z_{22} & \dots & Z_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ Z_{n1} & Z_{n2} & \dots & Z_{nn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ \vdots \\ 1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} Y_1 \\ Y_2 \\ \vdots \\ Y_n \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} M_1 \\ M_2 \\ \vdots \\ M_n \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$X = Z \cdot 1 + Y - M \quad (4)$$

투입계수의 정의(a_{ij} = Z_{ij}/X_i)로부터 투입계수행렬(A)을 도입하여 균형식을 다시 정리하면 식(5)가 유도되며, 식(5)를 X에 대해 정리하면 식(6)을 유도할 수 있다.

$$X = AX + Y - M \quad (5)$$

$$X = (I - A)^{-1}(Y - M) \quad (6)$$

식(6)에서 (I - A)⁻¹는 레온티에프(Leontieff) 역행렬로서 (I - A)⁻¹ = I + A + A² + A³ + A⁴ + ...의 합이며, 우변의 단위행렬 I는 특정 산업부문 생산물의 수요를 1단위 증가시키기 위한 다른 각 산업부문의 직접적인 생산 증가 효과를 의미한다. 또한, A는 각 산업부문의 생산량을 1단위 증가시키기 위한 중간재의 투입단위로, 1차 생산 파급효과를 의미한다. A²는 1차 생산 파급효과에 따른 각 산업부문의 생산량을 충족시키기 위한 중간재의 투입단위로 2차 생산 파급효과를 의미하며, 이와 동일하게 A³는 3차 생산 파급효과, A⁴는 4차 생산파급효과를 의미한다.

표 4. 산업 2의 외생화[8]

투입			내생부문			외생부문		총산출	
			중간수요			최종수요	수입		외생
			산업 1	...	산업 j				
내생 부분	중간 투입	산업 1	Z ₁₁	...	Z _{1j}	Y ₁	M ₁	Z ₁₂	X ₁
		⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
		산업 i	Z _{i1}	...	Z _{ij}	Y _i	M _i	Z _{i2}	X _i
외생 부분	부가 가치	W	W ₁	...	W _j			W ₂	
총투입		X	X ₁	...	X _j				

산업연관분석에서는 분석대상 산업부문을 외생적인 것으로 보고 해당 산업부문이 내생적인 경제에 미치는 영향을 측정할 수 있는데, 이러한 과정을 외생화(exogenous specification)라고 부른다[8]. 외생화 작업은 산업연관표에서 분석 대상 산업의 중간수요 원소(열)를 외생 부분으로 처리하고 중간투입(행)을 제거하여 외생화하고, 남은 내생 부분을 이용하여 수행한다. [표 4]는 [표 3]의 산업 2를 분석 대상으로 정하여 외생화 작업을 수행한 결과이다.

식(6)에서 수입거래액을 제외하고 분석 대상인 산업부문을 외생화하여 정리하면 식(7)이 유도된다.

$$\Delta X_{en} = (I - A_{en})^{-1} (A_{ex} \Delta X_{ex}) \quad (7)$$

ΔX_{en} 은 분석대상 산업부문의 산출량 변화에 따른 내생부문의 산출 변화량을 의미하며, $(I - A_{en})^{-1}$ 은 투입계수행렬에서 분석대상 산업부문이 포함된 열과 행을 제외시켜 작성한 레온티에프 역행렬을 의미한다. 또한, A_{ex} 는 식(6)의 투입계수 행렬 A 에서 분석대상 산업부문의 투입계수(원소)를 제외한 열벡터이다. 식(7)의 $(I - A_{en})^{-1} A_{ex}$ 은 분석대상 산업부문을 외생화한 생산유발계수 행렬이며, 이는 분석대상 산업부문의 산출량 변화가 타 산업부문의 산출량 변화에 미치는 정도를 나타낸다.

1.3 분석 사례

산업연관분석을 활용한 분석 사례로는 광대역 주파수 할당의 타당성 검토[1], 사회간접자본투자의 국민경제적 파급 효과 분석[2], 전파방송산업의 파급 효과 분석[6], 산업별 공공정보의 상업적 활용에 따른 파급 효과 분석[7], 무선통신서비스 산업에 대한 파급 효과 분석[8], 전력산업 분야별 수출의 파급 효과 분석[9], ICT 융합 정책 도출을 위한 산업 파급 효과 분석[10], 데이터산업 관련 정책 수립을 위한 국내경제 파급 효과 분석[11] 등이 있다.

2. 계량경제모형

2.1 개요

계량경제모형은 경제 전체의 흐름을 경제이론에 바

탕을 두고 관련한 경제 주체들의 행태방정식(behaviour equations)으로 축약하여 표현한 분석방법이다[37]. 계량경제모형의 기본 모형은 다음과 같은 간단한 국민소득 결정모형을 통해서 확인할 수 있다.



그림 1. 국민소득결정모형

[그림 1]에서 C (소비), I (투자) 및 Y (소득)는 내생변수이고, G (정부지출)와 R (실질이자율)은 편의상 외생변수라고 가정한다. 또한 a 와 c 는 상수항, b 는 소비 관련 승수, d 와 e 는 투자 관련 승수이다.

모형에 따르면 G 와 R 의 값이 외생적으로 모형의 외부에서 주어지면 방정식의 구조상 Y , C 및 I 가 동시에 결정된다. 따라서 모형을 이용하여 G 와 R 의 예측값이 주어진다면, Y , C 및 I 의 예측값에 대한 추정과 G 와 R 의 변화에 따른 Y , C 및 I 의 영향도 살펴볼 수 있다.

결국, 계량경제모형은 경제의 전체적인 흐름을 체계적으로 구체화하고 경제 변화에 따라 변수들이 변화하는 정도를 파악하여, 정책의 효과를 분석하거나 향후 경제 변화를 예측하는 모형이라고 할 수 있다. 계량경제모형의 규모는 기본적으로 국민소득을 결정하는 요인들을 얼마나 세분화하느냐에 따라 결정된다[38]. 주요 측면에서 국민소득에 영향을 주는 요인은 소비, 투자, 수출, 수입 등이 있다. 소비는 주체별로 정부소비와 민간소비, 재화 형태별로 내구재 소비, 비내구재 소비, 서비스 소비로 구분할 수 있으며, 투자는 설비투자, 건설투자, 재고투자, 수출입은 재화별 및 산업별로 구분할 수 있다. 또한, 소득은 노동소득, 자본소득 등으로, 생산은 생산부문별로 구분할 수 있다. 따라서 이러한 구분을 세밀하게 할수록 모형의 규모는 커지게 된다. 그러나, 모형의 규모를 확대하더라도 현실 설명력과 미래 예측력이 높아지는 것은 아니며, 경제 현상의 상호인과 관계와 파급 효과에 대한 정교한 반영이 더 중요하다고 할 수 있다.

2.2 분석 절차

계량경제모형에 대한 개발과 실제 분석은 일반적으로 다음과 같은 6단계의 절차를 통해 수행된다.

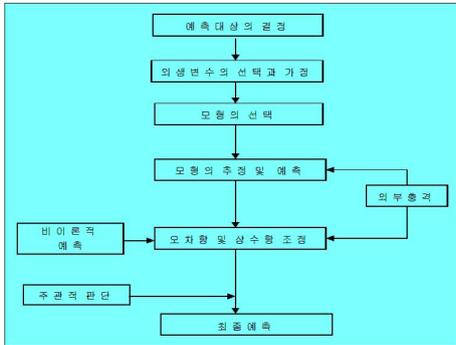


그림 2. 계량경제모형을 활용한 예측절차[31]

첫 번째 단계는 모형의 대상을 결정하는 것이다. 계량경제모형은 경제예측을 목적으로 하는 것과 정책의 파급효과를 분석하기 위한 것이 있으며, 예측 대상이 어떤 목적에 맞는지를 결정해야 한다. 두 번째 단계에서는 외생적으로 결정되는 요소에 대한 선택과 가정이 진행되는데, 국제유가, 해외 GDP 등과 같은 대외변수들이나 정부 재정지출, 중앙은행 콜금리 등 정부 관련 정책변수들이 그 대상이 된다. 세 번째 단계는 모형의 종류를 채택하는 단계로 모형의 규모나 계량적 추정방법, 사용하는 자료의 주기 등이 결정되며, 행태방정식과 정의식, 내생변수와 외생변수도 결정된다. 네 번째 단계는 모형의 계수를 선정하는 단계로, 이 단계에서 개별 방정식을 추정하여 전체 시스템이 결정된다. 경제변수 간 인과 관계의 정도를 나타내는 계수행렬을 구하여 개별모형에 대한 추정이 이루어지면, 각 모형을 전체 모형으로 통합하고 각 모형을 동시에 만족하는 변수들의 해를 구하게 된다. 계량모형은 여러 개의 미지수를 가진 연립방정식으로 표현되므로, 해를 구하기 위해 수치해석학의 방법론을 이용한다. 다섯 번째 단계에서는 시물레이션을 통해 모형의 안정성을 검증하며, 동태적 안정성을 확보하기 위해 네 번째 단계와 다섯 번째 단계를 반복하면서 모형을 수정한다. 여섯 번째는 모형의 예측 단계로, 예측할 기간에 대해 외생변수를 설정하고 시물레이션 등의 방법을 사용하여 예측한다. 특히 시물

레이션은 추정된 모형을 활용하여 분석 대상 기간에 해당하는 각 분석 대상인 경제 변수의 수학적 해를 구하고 실제값과 비교함으로써 모형의 유효성을 검증하는 과정이며, 추가요인과 상수항을 조정하면서 최종 예측치를 도출한다.

2.3 분석 사례

계량경제모형을 활용한 파급 효과 분석 사례로는 무역정책 수립을 위한 수출입 및 무역수지 반응에 대한 정책 모의실험[12], 외부요인(국제유가, 해외 GDP, 콜금리, 정부 재정지출, 총요소생산성 등)의 변화에 따른 국내 경제 파급 효과 분석[13-17] 등의 연구가 수행되었다.

3. 연산일반균형 모형

3.1 개요

경제에서 자원 배분의 문제는 균형의 문제로 해석할 수 있으며, 경제 주체들이 재화를 소비하고 공급하기 위한 최적의 의사결정을 하면 사회 전체적인 후생이 최대가 되고 균형이 달성된다. 국내에서 생산된 재화는 수출 또는 국내에 공급되며, 재화의 수출로 얻은 외화는 국내에 최소한 재화를 수입하는데 사용된다. 이렇게 수입된 재화는 국내 공급분과 합쳐져서 국내 총공급을 형성한다. 공급된 재화에는 다른 재화를 생산하기 위해 사용되는 중간재가 포함되어 있고, 최종 소비재는 각 가계가 구매하여 소비한다. 가계소비는 사회적 후생을 결정하며, 중간재 공급은 타 산업 산출량의 증가를 유도한다. 이와 같은 재화의 흐름은 [그림 3]에 묘사되어 있다.

가계와 기업 등 모든 시장 참여자들의 의사결정에 있어 가장 중요한 고려사항은 재화 및 생산요소의 가격이며, 이는 경제 시스템 내에서 각 시장 참여자들이 최적 의사결정을 통해 균형을 이루는 과정을 설명하는데 가장 중요한 변수가 된다. 연산일반균형모형은 이러한 가격이라는 변수를 중심으로 경제시스템을 정량적으로 표현하기 위해 고안되었다. 따라서, 연산일반균형모형은 가격 결정 문제를 중심으로, 가계의 예산제약 하에서의 소비를 통한 효용 극대화(최적화) 문제, 기업의 생산기술 및 자본 제약 하에서의 생산을 통한 이윤 극대화(최적화) 문제 등을 포함한다.

총수요와 총공급이 일치하는 것을 나타낸다. 복합재(수입재와 국내재)는 가계 및 정부의 소비, 투자 및 생산 중간재로 소비되며, 총저축은 가계저축, 정부저축, 해외저축으로 구성된다. [그림 5]는 연산일반균형모형의 방정식의 구조 예시를 나타낸 것이다.

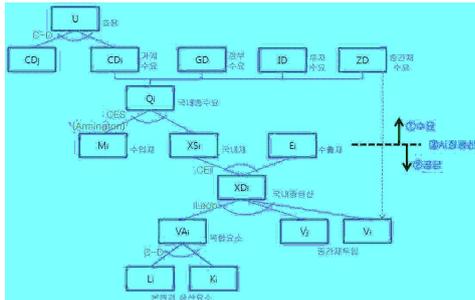


그림 5. 연산일반균형모형 방정식 구조 예시[32]

사회계정행렬과 방정식이 설정되면 일반균형의 최적화를 위해 모형 내의 모수들을 추정한다. 사회계정행렬과 방정식의 구조를 반복적으로 수정하며, 일반균형이 도출되면 효과를 분석하고자 하는 정책 시나리오를 대상으로 모의실험을 수행한다. 모의실험을 수행한 후에는 결과를 해석하게 되는데, 해석하기 어려운 추정 결과를 나타내는 경우가 많다. 이는 연산일반균형모형 내의 방정식의 수와 변수의 수가 많아서 최적해를 찾기가 쉽지 않고, 모서리해(Corner Solution)나 합리적 범위를 벗어난 추정을 하는 경우가 빈번하게 발생하기 때문이다. 따라서 모형을 개발하는 과정에서 방정식의 구성이나 사회계정행렬 항목들을 지속적으로 수정해야 한다.

3.3 분석 사례

연산일반균형모형을 활용한 분석 사례로는, R&D 투자 방향 및 배분 방향 수립에 필요한 우선순위 설정방법론 개발[3], 기후변화 및 대기오염 심화에 따른 환경정책의 재정적 과급 효과 분석[4], 온실가스 배출 규제가 국내 경제성장에 미치는 과급 효과 분석[18], 경유차 동차의 대기오염 배출규제가 국내 경제에 미치는 과급 효과 분석[19], 세계개편에 따른 국민경제 과급효과 분석[20], 내생적 성장 모형을 활용한 캐나다 R&D 정책

과급 분석 분석[21], 대만 R&D 투자 과급 효과 분석 [22], 미래 ICT융합의 경제적 기여도 분석[23] 등의 연구가 있다.

4. 시스템 다이내믹스

4.1 개요

시스템 다이내믹스는 분석하고자 하는 문제와 이와 연관된 변수로 시스템을 구성, 정의하고 변수들 간의 연관 관계를 정량적으로 모형화한 후 시물레이션을 통해 시스템의 동태적 특성을 규명하는 기법으로, 복잡한 시스템의 각 구성 요소간의 동태적 관계를 분석할 때 유용하게 사용할 수 있는 방법론이다[36]. 시스템 다이내믹스 모형을 구성하기 위해서는 분석 대상 시스템을 구성하는 여러 가지 요소들간의 작용 원리를 이해하고 그 상호관계가 시스템의 안정성과 행태에 미치는 영향을 파악해야 하므로, 과급 효과에 큰 영향을 미치는 주된 요인을 찾아낼 수 있을 뿐만 아니라 과급 효과를 극대화할 수 있는 각 요인의 값도 찾을 수 있게 된다.

특히 이 기법은 동태적 과급효과 분석이 가능함데, 시스템 다이내믹스에서 활용되는 상태변수, 증감변수, 보조변수 등의 모든 변수는 그 자체 내에 시간 변수를 파라미터로 포함하므로, 시간의 흐름에 따라 달라지는 경향을 분석할 수 있고 이를 통해 미래의 예측값을 도출할 수도 있다. 따라서 시스템 다이내믹스 기법은 국책 사업이나 정책의 효과를 정태적으로 분석하는 데 사용될 뿐만 아니라, 기존 정책에 대한 미래전망 분석, 신규 정책이 미치는 미래 상황에 대한 예측 등에도 사용될 수 있다.

4.2 분석 절차

시스템 다이내믹스를 이용한 분석은 [그림 6]에 표현된 바와 같이 여섯 단계로 이루어진다. 첫 번째 단계는 문제 정의 단계로, 분석의 목적을 고려하여 이를 포함하는 모델을 구현하기 위해 시스템의 문제점을 정의한다. 두 번째 단계는 시스템의 작동 과정에서 나타나는 피드백 현상을 정의하는데, 이 과정에서 시스템을 구성하는 변수간의 상호관계, 원인과 결과 관계를 인과지도(Causal Loop Diagram)로 작성한다. 세 번째 단계에서

는 이전 단계에서 정의한 시스템의 작동 메카니즘을 바탕으로 모델을 구축하며, 네 번째 단계에서는 이 모델이 변화하는 모습을 시뮬레이션을 통해 살펴본다. 다섯 번째는 모델을 검증하는 단계로, 주요 변수들의 시간적 변화를 과거 자료와 비교함으로써 모델의 타당성을 검사한다. 마지막에는 해당 모델을 이용하여 정책대안을 분석하는데, 다양한 정책 시행 시 시스템의 장기적 변화를 분석하여 정책 목적에 가장 부합하는 정책대안을 마련한다.

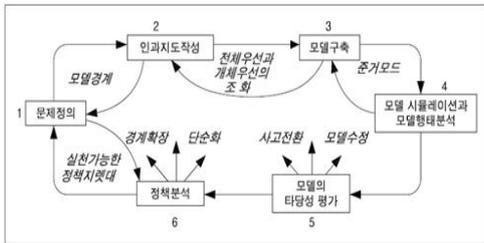


그림 6. 시스템 다이내믹스 분석 절차[33]

본 논문에서는 분석 절차 중 핵심 단계인 인과지도 작성을 소개한다. 인과지도는 시스템의 피드백 구조를 파악하고 이를 2차원의 평면상에서 도해한 것인데, 변수와 변수 간의 인과 관계를 나타내기 위해 화살표를 사용한다. 화살표의 출발점은 원인이 되는 변수이며 화살표가 끝나는 점은 영향을 받는 변수이다. [그림 7]에서 '실내 온도'는 '에어컨 사용량'에 영향을 준다. 반대로, '에어컨 사용량'도 '실내 온도'에 영향을 준다.

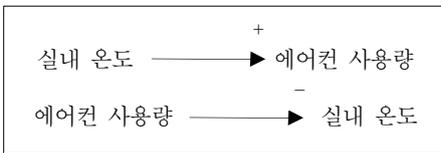


그림 7. 변수 간 인과 관계

아울러, 화살표와 함께 + - 기호를 사용하여 인과 관계의 방향을 표시할 수 있다. 화살표 머리 부분의 + 표시는 두 변수가 같은 방향으로 변화하는 양의 인과 관계에 있음을 뜻한다. [그림 7]에서 실내 온도가 높을수록 에어컨의 사용량은 증가한다. 화살표 머리 부분의

- 표시는 두 변수의 변화 방향이 서로 다른 음의 인과 관계에 있음을 의미한다. 에어컨 사용량이 많으면 실내 온도를 감소시킨다.

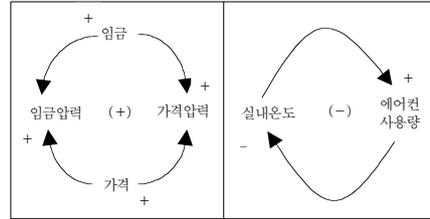


그림 8. 양의 피드백 루프와 음의 피드백 루프

여러 개의 인과 관계는 피드백 루프(feedback loop)라고 하는 하나의 닫힌 원을 형성할 수 있다. 피드백 루프는 양의 피드백 루프와 음의 피드백 루프로 구분된다. [그림 8]의 왼쪽 그림은 양의 피드백 루프의 예를 나타내고 있으며, 임금과 가격 간에는 서로를 증가시키는 양의 피드백 관계가 있음을 보여주고 있다. 원의 중심부에 +기호는 해당 피드백 루프가 양의 피드백 루프임을 나타낸다. 양의 피드백 루프는 종종 “자기 강화 피드백(self-reinforcing feedback)”, “일탈 강화적 피드백(deviation amplifying feedback)”으로 불린다. [그림 8]의 오른쪽 그림은 음의 피드백 루프를 보여주고 있다. 실내 온도의 상승은 에어컨 사용량의 증가를 유발하지만, 에어컨 사용량의 증가는 실내 온도의 하강을 가져온다. 이처럼 음의 피드백 루프는 양과 음의 인과 관계가 같이 존재하면서 음의 인과 관계가 흡수개로 존재할 때 성립하며 시스템이 발산하지 않고 일정한 목표치로 수렴해가는 안정화 경향을 보여주는 것이 특징이다. 이런 특성으로 인해 음의 피드백 루프는 “안정화 피드백(stabilizing feedback)”, 또는 “자기억제 피드백(self-restraining feedback)”으로 불린다. 음의 피드백 루프는 원의 중심부에 - 기호를 표시하여 나타낸다.

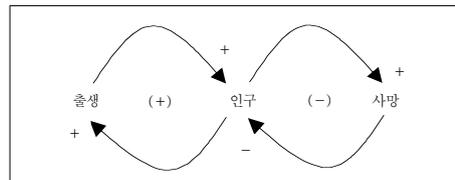


그림 9. 피드백 루프로 분석된 인구 증감 시스템

시스템은 다수의 양의 피드백 루프와 음의 피드백 루프의 결합으로 이루어지는데 이를 통해 시스템의 동적인 변화를 확인할 수 있다. [그림 9]는 인구, 사망, 출생이라는 세 요인으로 구성된 피드백 구조를 보여주고 있다. 이 시스템은 인구 → 사망 → 인구로 이어진 루프와 인구 → 출생 → 인구로 이어진 루프로 구성된다. 인구가 변화하면 사망자도 변화하며, 사망자의 변화는 또한 인구변화를 유발한다. 동일하게 인구가 변화하면 출생이 변화하며, 출생의 변화는 다시 인구변화를 유발한다. 이러한 시스템에서는 두 피드백 루프 중 지배적인 루프에 의해 시스템의 행태가 결정되는데, 음의 피드백 루프가 지배적이면 인구 감소가, 양의 피드백 루프가 지배적이면 인구증가가 유발될 것이다.

4.3 분석 사례

시스템 다이내믹스의 분석 사례로는 소기업 정보화의 국가 차원의 생산, 고용에 대한 기여도 분석[24], 국가연구개발 투자시스템의 전반적 흐름에 작용하고 있는 보이지 않는 동태적인 시스템적 구조를 파악하고 시뮬레이션을 통하여 정책적 대안을 제시[25], 수자원 계획 및 관리 분야에서의 적용사례 분석[26], 공공연구기관의 제품 상용화 과정 분석[27], 다양하고 복잡한 인과관계로 구성된 메가이벤트 개최 효과를 분석하기 위한 모델 구축[28], 미래 주파수 공유생태계 활성화 요인 분석 및 효과적인 정책 분석[29], 전파이용산업 생태계의 연관 관계 분석[30] 등의 연구가 수행되었다.

IV. 과급 효과 분석론의 효용과 한계

1. 분석 방법론 비교

과급 효과 평가를 위한 최적 모형설정은 이전 절에서 전술한 바와 같이 매우 다양하다. 과급 효과의 예측 기간의 길이, 분석하고자 하는 산업 환경의 분석 기간 내 변화 정도(급변하는가 안정적인가), 분석에 사용할 데이터의 축적 수준, 정책 시뮬레이션의 필요 여부, 분석 결과의 해석 중점 여부(인과 관계 혹은 시스템 구조), 분석 비용 등은 모형설정을 위한 고려 사항의 일부이

다. 분석자들은 분석의 목적과 분석 시 고려해야 할 사항들의 우선순위를 가려 적절한 방법론을 선택해야 하는데, 본 절에서는 진장에서 살펴본 방법론의 효용과 한계를 파악하여 최적의 모형을 선택하기 위한 기준을 살펴본다.

과급 효과 평가를 위한 최적 모형 선정을 위해 고려할 사항으로는 재정지출의 승수효과(multiplier effect)와 구축 효과(crowding out effect)를 포함하는 거시경제의 동태성 반영 여부, 다양한 재정지출 항목이 각 산업에 과급되면서 발생하는 산업별 산출, 부가가치 및 고용효과의 파악 여부 등을 들 수 있으며, 분석대상과 목적에 따라 연구자의 조정이 필요하다[34].

1.1 산업연관분석

산업연관분석은 국민경제를 구성하는 산업부문간의 유기적 결합을 통해 재화의 산업간 순환을 확인할 수 있어 경제구조를 분석하는 데 유용하다. 소비, 투자, 수출 등의 변화가 각 산업 부문별로 생산, 고용, 수입 등에 미치는 과급효과를 분석할 수 있으며, 경제 정책의 수립, 경제 예측, 산업 정책 수립 등을 위한 유용한 자료를 제공한다. 또한, 산업연관분석에서는 최종수요의 변동이 각 산업부문의 생산 및 수입에 미치는 과급 효과를 투입계수를 이용하여 분석할 수 있으므로, 정부의 정책이 생산, 고용, 수입 등에 미치는 과급효과를 측정하는데 유용하게 사용된다. 또한, 한국은행이 발행한 산업연관표를 이용하므로 간단하고 객관적으로 각종 계수값을 구할 수 있고 그 값을 통해 생산유발, 고용유발, 부가가치유발 등의 과급효과 규모를 측정할 수 있어 단기간 내에 과급효과 분석 결과를 산출하는데 유리하다.

그러나, 산업연관분석은 그 구조상 과급효과에 영향을 미치는 많은 설명 변수들이 외생화되어 있어 부분적인 균형 분석(partial equilibrium analysis)에 머무른다는 한계가 있으며, 산업간 중간재의 거래 관계를 중심으로 분석하므로 정부의 정책 변화를 분석 모형에 반영하기 어려운 문제가 있다. 또한, 모형 내의 변수들이 선형적인 비례관계를 가지므로, 각종 경제 변수간의 비선형성을 반영하지 못하여 비현실적인 결과를 도출할 가능성이 있다. 재정지출의 승수를 1로 가정한 정태적 분

석이므로 재정지출에 따른 승수효과, 구축 효과 파악 등 동태적인 분석이 불가능하며, 분석의 결과가 산업별 생산량, 고용유발규모 등 정태적으로 도출되므로 각 경제주체의 수입과 지출 변화를 예측하기 어려운 단점이 있다.

1.2 계량경제모형

계량경제모형은 경제 전체의 흐름과 각 부문의 변수들간 상호 관계를 체계적으로 파악할 수 있고, 분석결과를 각 변수들의 변동에 따른 결과로 합리적으로 설명할 수 있는 장점이 있다. 또한, 산업연관분석의 단점이었던 승수효과의 변동, 구축 효과 등의 파악이 가능하고, 시뮬레이션을 통해서 각종 경제정책이 전체 시스템에 미치는 영향을 사전에 예측할 수 있다. 계량경제모형은 거시경제 변수 간의 상호작용을 모형화한 행태방정식의 설정에 따라 경제 변수 간의 상호 인과 관계를 명확하게 규명함으로써 정책의 파급 효과를 거시적으로 파악할 수 있으며, 변수 간의 인과 관계를 바탕으로 미래를 예측할 수도 있다.

하지만, 계량경제모형에서는 다양한 정책이 각 산업에 미치는 산출증가효과, 부가가치효과, 고용효과 등을 파악하기 어렵다. 아울러, 기본적으로 과거의 자료에 바탕을 두고 있어 대외적인 경제여건이나 경제 구조가 크게 바뀌면 변수들사이의 연관관계가 바뀌어 예측력 및 설명력이 크게 떨어진다. 또한, 기본적으로 특정한 경제이론에 바탕을 두고 있으므로, 분석자의 선형적, 자의적, 주관적 판단에 따라 분석 결과가 크게 달라질 수 있다. 아울러, 분석 모형을 개발하고 유지하는데 많은 시간과 노력이 소요되어 비용-편익 측면에서 효율성이 낮아질 수 있다.

1.3 연산일반균형

연산일반균형의 주요 효용은 다음과 같다. 우선, 내생 변수 간의 상호작용을 허용하는 정교한 모형을 통해 수많은 변수의 변화를 파악할 수 있다는 점이다. 이를 통해 거시 경제적 파급 효과 분석과 정책 모의실험이 가능한데, 특히, 산업연관분석과 계량경제 분석 등 다른 모형과 비교하여 정책 모의실험에 유리한 것으로 평가

되고 있으며, 이는 산업연관분석이 한국은행에서 5년을 주기로 발표하는 산업연관표에 근거하여 특정 산업 분야의 경제적 파급 효과를 분석기에는 용이하나 진술한 바와 같이 정책의 모의실험에는 활용할 수 없기 때문이다. 또한, 계량경제모형이 변수간의 인과 관계를 사후적으로 분석하는 한계가 있는 반면, 연산일반균형 모형은 인과 관계를 사전적으로 분석할 수 있는 차이가 있다.

아울러, 연산일반균형은 투자로 인한 경제적 파급 효과를 분석하는 경우에도 적합하다. 정책 변화나 신기술에 대한 투자는 가시적인 성과가 달성되는 시기를 사전에 명확히 정의할 수 없으며 그 불확실성으로 인해 정책 또는 투자의 성공이 확률적으로 결정되므로, 분석 기간을 장기로 설정해야 한다. 연산일반균형 모형은 이러한 특성을 감안하여, 투자의 정태적 파급 효과뿐만 아니라 장기간 발생하는 동태적 파급 효과를 분석할 수 있다.

반면, 일반적으로 연산일반균형 모형을 구축하는데에는 많은 시간이 필요되며, 많은 시행착오 과정을 거치기 때문에 투입한 시간 및 비용에 비해 효과가 낮을 수 있다. 또한, 왈라스(Walras)의 일반균형과 마찬가지로 재화의 절대가격이 아닌 상대가격으로만 가격이 주어지므로, 인플레이션, 환율변동 등 화폐와 관련한 현상들을 제대로 반영할 수 없는 문제가 있다. 아울러, 모형의 결과가 통계적으로 검증될 수 없고, 모형이 정교할수록 내생 변수간의 긴밀한 상호작용은 파악되나 변동의 주된 원인을 정확히 밝히는 데는 어려움이 있다. 이 밖에도, 연구자가 임의로 설정한 변수값의 신뢰성 검증이 어려운 점, 예측력에 대한 사전점검이 어려운 점 등을 한계로 지니고 있다.

1.4 시스템 다이내믹스

시스템 다이내믹스는 기존의 해석적인 방법에서는 다루지 못하던 자기재강화(Self-Reinforcing), 비선형적 변화 등 복잡한 시스템의 동태적 변화과정을 분석할 수 있는 방법으로, 통계학에 기초한 예측모형들보다 더욱 현실적으로 모형을 구축할 수 있는 장점이 있으며, 이러한 특성에 따라 더욱 정밀한 예측모형을 구성할 수 있다. 또한, 시스템 다이내믹스를 통한 예측모형의 개발

은 전체 시스템에 대한 포괄적인 이해도를 높여준다. 시스템 내부의 변수들은 복잡한 순환 및 인과 관계를 가지고 있어 특정 변수의 변화에 어떤 요인들이 영향을 미치는지 판단하기 어려운데, 시스템 다이내믹스는 변수 간의 상호작용을 수리적으로 모형화함으로써 전체 시스템의 변화 및 진화 행태를 이해할 수 있게 해 준다. 또한, 시스템 다이내믹스는 정책 및 투자 등 특정 변수의 변화가 미치는 영향을 자유롭게 시뮬레이션해 볼 수 있는 장점을 가진다. 여러 가지 변수나 환경을 변화시킬 때, 이들 변화가 미래에 전체 시스템에 미치는 영향을 시뮬레이션을 통해 미리 살펴볼 수 있다.

하지만, 시스템 다이내믹스는 모형의 적합성과 파라미터 추정의 합리성을 사전에 검증하기 어려우며, 이를 위해 과거 데이터에 대한 설명력을 살펴보거나, 모형의 논리적 타당성을 검증하는 방법 등에만 의존하는 한계가 있다. 아울러, 연산능력의 제약으로 인해 모든 파라미터 공간을 탐색하여 모형을 위한 최적의 파라미터를 찾는 것은 불가능하다는 한계를 가진다. 파라미터가 가질 수 있는 값의 범위를 사전에 지정할 수 있다면 확실적인 실험을 통해 최적의 조합을 찾을 수 있으나, 진정한 해가 해당 범위를 벗어나게 된다면 이를 찾을 수 없는 단점이 있다. 전술한 방법론들의 효용과 한계를 요약하여 정리하면 [표 5]와 같다.

표 5. 경제적 파급 효과 분석 방법론 비교

모형	효용	한계
산업연관분석	<ul style="list-style-type: none"> 경제구조 분석에 유용 특정 산업분야나 조직의 경제적 파급효과 분석이 용이함 계산과정이 단순하여 짧은 시간 안에 결과를 얻을 수 있음 	<ul style="list-style-type: none"> 다양한 정책의 효과를 설명하지 못함 경제 현상의 비선형성 반영 못함 시간 경과에 따른 효과 파악 어려움 정태적 분석방법으로 정책 모의실험에 부적절함
계량경제모형	<ul style="list-style-type: none"> 예측결과에 대한 합리적 설명 가능 동태적 효과 파악 가능 정책 파급 효과의 거시적 파악 유리 단기적인 미래전망 가능 	<ul style="list-style-type: none"> 단일산업 체계에서만 가능 산출, 부가가치, 고용 효과 등의 파악이 불가능 연구자의 주요 변수에 대한 선택에 따라 예측 결과의 변동성이 큼 과거 자료에 의존하는 정태적 분석방법으로 장기적인 정책 모의실험에 부적절함

연산일평균형	<ul style="list-style-type: none"> 경제 현상의 비선형성 반영 가격 변동 설명 가능 다양한 정책에 대한 효과 분석 가능 정태적·동태적 정책 모의실험에 유용함 	<ul style="list-style-type: none"> 모형 구조와 모수 값에 따라 결과가 매우 민감하게 반응 인플레이션 등의 통화현상 반영 불가 모형의 구조와 계산과정이 복잡하여 비용 대비 분석 효과가 다른 모형에 비해 낮음
시스템 다이내믹스	<ul style="list-style-type: none"> 변수 간 영향 관계 파악 용이 시간 경과에 따른 변화 파악 용이 변화량 정도에 따른 시나리오 분석 가능 정책 도입과 미도입 시 분석값 비교용이 	<ul style="list-style-type: none"> 분석모델의 타당성 검증 어려움 분석결과의 해석이 어려움 분석모델 구축에 장기간 소요

2. 전파자원의 활용 측면에서의 각 모형 비교

2.1 산업연관분석

특정 산업을 위한 주파수 자원을 공급하고 활용할 때, 해당 산업의 투입 또는 산출량 변화가 다른 산업에 미치는 영향을 판단하는데 유용하게 사용할 수 있다. 즉, 전파자원을 확보하여 신규로 활용할 경우 전파자원과 직접적으로 연관되는 산업(예를 들어 이동통신산업이나 방송산업 등)뿐만 아니라 다른 산업에 미치는 영향까지도 분석하여 국가 경제 전체에 미치는 효과를 분석하고자 할 때 유용하게 활용할 수 있는 모델이다.

2.2 계량경제모형

새로운 전파정책의 시행이나 새로운 기술의 활용 등 전파자원과 관련한 국민경제의 요인이 변할 경우 소득, 소비, 투자, 수출입 등의 요인이 어떻게 변하고 균형을 이루는지를 파악할 수 있는 모형으로 평가된다. 또한, 반대로 외부 요인이 변할 경우 이들 변화가 전파자원의 활용에 어떤 영향을 미칠지에 대해서도 동태적으로 분석할 수 있을 것이다. 다만, 전파자원의 활용과 관련한 계량경제모형의 기존 적용사례는 찾아보기 어려우므로, 모형에서 사용하는 요인들과 전파자원 이용간의 면밀한 인과관계 분석이 필요하다.

2.3 연산일평균형 모형

연산일평균형 모형은 주어진 제약조건하에서 각 경제주체들이 효용을 극대화하기 위한 의사결정 과정을

거쳐 어떠한 수준에서 균형점을 찾는지를 파악할 수 있는 모형이다. 전파자원은 공급량에 제한이 있는 자원이므로 이를 제약조건으로 본다면, 한정된 전파자원을 어떻게 배분하고 효율적으로 활용할 수 있을 것인지, 또는 전파관련 정책 변화가 전파자원의 사용자에게 어떤 영향을 미칠지를 파악하는 용도로 사용할 수 있는 모형으로 판단된다.

2.4 시스템 다이내믹스

복잡한 경제주체들과 변수들간의 인과관계를 파악하여, 전파이용 주체의 결정 또는 정부의 전파정책 변화가 다른 요인과 주체에게 어떤 영향을 미칠지를 거시적으로 파악할 수 있는 모형이다. 특히 4차 산업혁명 시대를 맞아 사람과 사물간의 연결성이 중요한 이슈로 떠오름에 따라, 이를 매개할 핵심 자원으로서의 전파자원 활용이 경제 전체에 미치는 영향을 동태적으로 조망할 수 있는 모형이다. 시스템 다이내믹스를 활용하기 위해서는 각 변수간의 상호작용을 설명할 파라미터를 정교하게 지정해야 하므로, 전파자원의 활용과 관련한 여러 변수의 값들을 면밀하게 검증하여 확정하는 선행 작업이 필요하다.

3. 통합모형

이상에서 전술한 방법론의 선택은 분석을 위해 하나의 방법론을 활용한다는 전제이지만 이러한 단일 방법론 대신 [표 5]에서 기술된 각 방법론의 효용을 활용하고 한계를 상쇄시키기 위해 복수의 단일 방법론을 결합한 혼합형 모형도 분석의 효과를 극대화할 수 있는 방향이 될 수 있다. 본 절에서는 전파자원의 활용과 관련한 효과를 보다 정교하게 분석하기 위해 이러한 취지의 혼합 모형 두 가지를 살펴본다.

3.1 계량-산업연관 통합 모형

이 모형은 산업연관분석과 계량경제모형을 통합한 일체형 모형으로, 두 모형이 가지는 단점을 보완하고 장점을 활용할 수 있는 대안이다. 계량경제모형에 관해서는 케인즈(Keynes)의 경제이론에 기초한 동태·확률적 일반균형이론(dynamic stochastic general equilibrium

theory)이 최근 개발되어 다시 주목받고 있다[34]. 또한, 산업연관분석은 왈라스(Walras)의 일반균형이론에 이론적 기반을 두고 있으며, 시나리오 분석을 위한 모형 구축, 시뮬레이션 수행, 최적의 해 도출 등과 같은 정책 분석을 목적으로 다른 방법론과 결합하여 활용하기에 유리하다. 계량경제모형과 산업연관분석의 통합모형에 대해 국내에서는 많은 연구가 진행되지 않았으나, 최근 [34]에서는 계량-산업연관분석 통합모형을 제시하였는데, 통합모형의 기본구조는 케인즈의 거시경제모형을 통해 수요를 결정하고, 세부산업의 생산에 대해서는 레온티에프 체계에 기초하였다. 두 모형의 통합은 계량경제의 최종수요가 산업연관분석의 총부가가치로 이전되어 수요와 공급이 같아지게 함으로써 달성하고 있다.

이러한 두 모형의 통합은 거시 경제적 소득순환과 산업간 순환의 연계를 통해, 거시 및 미시 경제 변화, 경제 환경변화, 산업부문 변화 및 상호 영향을 동시에 파악할 수 있는 장점을 지닌다. 거시 경제적 소득순환 분석이 대상으로 하는 소비, 투자, 수출 등은 국민경제의 전체 수준에서는 파악할 수는 있으나 각 산업 수준에서의 분석은 불가능하다. 하지만, 계량경제모형과 산업연관모형을 통합할 경우, 소비, 투자, 수출 등 최종수요의 변화가 발생하였을 때 생산, 고용, 소득 등에 미치는 파급 효과를 각 산업별로 분석할 수 있게 된다. 특히 다양한 전파정책의 파급 효과, 장래의 경제예측 및 전파이용 계획수립에 있어서도, 거시경제 지표뿐만 아니라 개별 전파관련 산업 수준까지도 세분화하여 분석할 수 있는 장점이 있다. 아울러, 정부의 전파정책 시나리오에 따라 다양한 정책 시뮬레이션을 수행할 수 있다는 장점이 있는데, 이는 계량경제모형 단독으로는 분석이 불가능한 영역이다.

3.2 계량-연산일반균형 모형

연산일반균형 모형은 산업간에 발생하는 복잡한 연계 효과를 모두 고려할 수 있고 장기적인 파급 효과를 분석할 수 있는 장점이 있으나, 거시경제 변수 간 인과 관계에 대한 정확한 해석이 어려워 정책에 따른 파급 효과의 경로 파악과 거시경제전망이 불가능한 단점을 가지고 있다. 계량경제모형과 연산일반균형을 통합할

경우 이러한 한계를 극복하고 투자나 정책 시행 시의 파급 효과에 대해 단기 및 중장기적으로 분석할 수 있으며, 미래 전망을 포함한 거시경제 예측이 가능해진다. [35]에서는 과학기술정책이 거시경제에 미치는 파급 효과를 분석하고, 연구개발 투자에 따른 미래전망을 하기 위한 계량경제모형과 연산균형모형의 통합모형을 구축하였다. 제안된 모형은 과학기술정책의 거시경제 파급 효과와 예측뿐만 아니라 산업별 연구개발 투자의 정책 파급 효과 분석을 지원한다. 계량경제모형을 이용하여 과학기술정책의 거시 경제적인 파급 효과 분석을 통해 연구개발투자의 단기적인 미래전망과 예측을 수행하고, 연산일반균형 모형을 이용하여 정책효과가 거시경제에 중장기적으로 미치는 영향에 대해 분석하였다. 이러한 모형을 전과자원 활용의 효과 분석에 활용한다면, 전과관련 정책의 거시경제적 파급효과와 전과기술 개발을 위한 투자의 효과를 분석할 수 있을 것이다.

V. 결론

본 논문에서는 전과자원 활용 정책 및 투자 방안 수립을 위한 파급 효과 분석 방법론에 관한 비교연구를 수행하였다. 본 연구에서 수행한 파급 효과 방법론 비교분석은 분석의 목적과 분석 시 고려해야 할 사항들의 우선순위를 가려 적절한 방법론을 선택하는 데 지표로 활용할 수 있다. 최적의 방법론 선택은 정부 정책 수립이나 기업의 경영 전략과 같은 의사결정의 국민경제적 파급효과에 대한 계량화를 통해 의사결정 지원에 필요한 객관적 기준 및 근거를 마련하고 정책 혹은 전략 수립 및 집행에 활용함으로써 한정된 자원의 이용 효율 극대화를 가능하게 한다.

아울러, 분석 효과를 극대화하기 위해 제안된 혼합형 모형은 고려하는 정책 및 투자 방안의 산업에 대한 직접 효과, 시간에 따른 동태적인 효과, 간접적으로 파생된 효과 등을 반영한 모형으로 파급 효과 분석을 위한 새로운 연구 방향으로 제시될 수 있다.

하지만, 본 연구에서는 분석 방법론에 대한 개요와 절차 등의 개괄적인 분석을 제공하고 있을 뿐 같은 시나리오에 대해 네 가지 분석방법들의 자세한 분석 절차

수립 과정과 유도된 결과를 비교하는 등의 구체적인 분석을 제시하지 못한 한계가 있다. 그러나, 본 연구를 통해 제공된 비교분석 결과는 파급 효과 분석을 위한 초기 방향성 설정에 참고가 될 수 있을 것으로 기대한다.

추후 연구 방향으로는 단일 분석 방법론의 경우 모형 분석의 신뢰성을 높일 방안들에 관한 연구가 진행되어야 한다. 연산일반균형 모형의 경우 지속적인 사회계정행렬과 환경변화에 따른 기존 모형의 유지 보수 작업에 관한 연구가 필요하다. 산업연관모형의 경우, 계수 사용에 따라 초래되는 예측 오차의 확대를 최소화하는 다양한 기법의 개발이 필수적이다. 아울러, 거시 예측 방법론의 통합모형에 관한 연구가 확대되어야 한다. 계량경제모형과 산업연관분석 통합모형뿐만 아니라 계량경제-연산일반균형에 대한 통합모형 구축과 각 모형의 추정 성능과 모형 적합도를 위한 검정 방법 개발을 통해 분석 목적에 맞는 최적의 분석방법 구축을 위한 설계 및 검정 체계가 마련되어야 한다.

참고문헌

- [1] 장재혁, 여재현, “광대역 이동통신 주파수 할당의 경제적 효과: 투입산출분석,” 정보통신정책연구, 제21권, 제3호, pp.79-107, 2014.
- [2] 김재형, 안흥기, 이진면, 장육, *공공투자지출의 국민경제적 파급효과 분석* 한국개발연구원, 2001.
- [3] 안승구, *국가 R&D 투자 우선순위 설정 방법론 연구*, KISTEP, 2011.
- [4] 강성원, 김용건, 장기복, 김주희, *환경정책 파급효과 분석을 위한 일반균형 모형 개발* 한국환경정책 평가연구원, 2012.
- [5] 임성목, 설현주, 박찬호, 강동연, *전과정책의 국민경제 파급효과 분석 모형 연구* 한국전자통신연구원, 2016.
- [6] 유승훈, 허재용, 김기주, “투입산출표의 외생화를 이용한 전과방송산업의 산업파급효과 분석,” 산업경제연구, 제17권, 제5호, pp.1593-1612, 2004.
- [7] 양오석, 박성훈, 박노형, 김보선, 김우준, 민창근, *공공정보 상업적 활용의 경제적 가치측정 및 파*

- 급효과 분석 연구, 한국데이터베이스진흥센터, 2006.
- [8] 연권흠, *전과 이용 산업의 사회 경제적 효과 분석 - 무선통신서비스 산업을 중심으로*, 한국방송통신전파진흥원, 2011.
- [9] 서재영, 이중영, 이윤경, 김준형, 채재용, 김해인, 김우동, 권용오, 이경은, 이지애, *전력산업 해외수출의 국가경제적 효과 분석모형 개발에 관한 보고서*, 한국전력공사 경제경영연구소, 2012.
- [10] 이진우, *ICT산업의 연관구조 및 경제적 파급효과 분석*, 산업연구원, 2015.
- [11] 민서현, 진세준, 임태훈, 하진희, 유승훈, “데이터 산업의 경제적 파급효과 분석,” *한국혁신학회지*, 제12권, 제1호, pp.25-50, 2017.
- [12] 김원규, 변창욱, 수출입 및 무역수지 변화의 경제요인별 효과분석 분기별 거시경제모형을 중심으로-, 월간KIET산업경제, 2001.
- [13] 황상필, 문소상, 윤석현, 최영일, *한국은행 분기 거시계량경제모형의 재구조조사통계월보*, 2005.
- [14] 허찬국 외, *KERI 2005 한국경제 분기 거시모형*, 한국경제연구원, 2005.
- [15] 박종규, *93 SNA에 따른 분기별 거시경제모형: KIF05Q*, 한국금융연구원, 2006.
- [16] 신석하, *거시계량모형을 이용한 외생적 요인의 경제파급효과 분석 정책연구시리즈 2005-14*, 한국개발연구원, 2005.
- [17] 강희돈, 박양수, *한국은행 동태적 최적화모형 (BOKDSGE)의 개요*, MONTHLY BULLETIN 9월호, 한국은행, 2007.
- [18] 문영석, 조경엽, “독점적 경쟁시장 하에서 온실가스 배출규제가 장기 에너지 전환에 미치는 효과,” *경제학연구*, 제53권, 제1호, pp.121-153, 2005.
- [19] 김영덕, 조경엽, “대기오염물질 배출규제의 경제적 파급효과: 경유자동차의 NOx 배출규제를 중심으로” *규제연구*, 제14권, 제1호, pp.135-178, 2005.
- [20] 조경엽, *조세정책 평가모형 개발을 위한 연구*, 국회예산정책처, 2005.
- [21] Ghosh, “R&D Policies and Endogenous Growth: A Dynamic General Equilibrium Analysis of the Case for Canada,” *Review of Development Economics*, Vol.11, No.1, pp.187-203, 2007.
- [22] Y. J. Bor, Y. C. Chuang, W. W. Lai, and C. M. Yang, “A dynamic general equilibrium model for public R&D investment in Taiwan,” *Economic Modelling*, Vol.27, pp.171-183, 2010.
- [23] 서동혁, 황원식, 김상훈, 김승민, 오인하, *ICT 융합의 경제적 효과분석* 산업연구원, 2015.
- [24] 이윤석, 김진한, 김성홍, “시스템 다이내믹스를 이용한 우리나라 소기업의 정보화 파급효과 추정 및 지원 정책 방향 수립,” *한국경영과학회지*, 제29권, 제2호, pp.19-43, 2004.
- [25] 박현준, 오세홍, 김상준, “국가연구개발 투자시스템의 레버리지 전략: 시스템 다이내믹스 접근,” *한국시스템다이내믹스연구*, 제5권, 제2호, pp.33-66, 2004.
- [26] 박수완, *수자원 분야에서 시스템다이내믹스 방법론의 활용 현황과 전망* 수자원발언대, 2006.
- [27] 김순선, 김동환, “공공 R&D 기관의 기술 상용화 과정에 관한 시스템 사고 분석,” *한국시스템다이내믹스연구*, 제8권, 제2호, pp.191-207, 2007.
- [28] 박경열, 최승담, 김동환, “시스템다이내믹스를 이용한 메가이벤트 개최 효과분석: 대장경문화축전에의 적용,” *한국시스템다이내믹스 연구*, 제14권, 제1호, pp.31-53, 2013.
- [29] 송희석, 김재경, 김태한, “시스템 다이내믹스를 이용한 주파수 공유 생태계 활성화 정책대안 비교 분석 연구,” *한국데이터베이스학회지*, 제21권, 제4호, pp.431-447, 2014.
- [30] 박현민, 이휘, 조셉, 황지영, *전과이용산업 분석 체계 수립 연구* 한국전자통신연구원, 2016.
- [31] 이진면, 최용재, 변창욱, 이상호, *산업별 고용전망 계량모형에 관한 조사연구* 한국고용정보원, 2008.
- [32] 류태규, 추연옥, 김혜경, 서원철, 임소진, 정찬식, 박주완, 김재용, 김혜령, 윤정연, 정동욱, 정영근, *지식재산과 경제발전 연구 - CGE 모형을 이용*

한 지식의 경제적 효과분석, 특허청, 2012.

- [33] 김도훈, 문태환, 김동환, *시스템 다이내믹스*, 대영문화사, 2001.
- [34] 오상훈, 윤윤규, *재정지출사업의 고용영향평가를 위한 거사 I/O 통합모형 연구*, 한국노동연구원, 2014.
- [35] 이우성, 이재역, 황석원, 이정동, 황원식, 양희원, 홍찬영, 정성문, 김보현, 이슬기, *연구개발투자의 경제적 효과 평가 및 예측 모형 개발과과학기술정책연구원*, 2012.
- [36] Jay W. Forrester, "Lessons from System Dynamics Modeling," *System Dynamics Review*, Vol.3, No.2, pp.136-149, 1987.
- [37] R. S. Pindyck, and Daniel L. Rubinfeld, *Econometric Models and Economic Forecasts*, 3rd ed. NY: McGraw-Hill, 1998.
- [38] 김용택 외, *농업부문 중심의 거시계량경제모형 개발과 정책실험* 한국농촌경제연구원, 2005.

김 태 석(Tae-Suk Kim)

정회원



- 1998년 2월 : 한국과학기술원 산업경영학과(공학사)
 - 2000년 2월 : 한국과학기술원 산업공학과(공학석사)
 - 2005년 2월 : 한국과학기술원 산업공학과(공학박사)
 - 2005년 8월 ~ 2007년 8월 : UIUC Post-Doc
 - 2007년 8월 ~ 2009년 8월 : UCR Post-Doc
 - 2009년 10월 ~ 2016년 2월 : 삼성중합기술원 전문연구원
 - 2016년 3월 ~ 현재 : 배재대학교 경영학과 교수
- <관심분야> : 시스템 최적화, IT 경영

저 자 소 개

김 태 한(Taehan Kim)

정회원



- 1996년 2월 : 서울대학교 경영학과(경영학사)
 - 1998년 2월 : 한국과학기술원 산업공학과(공학석사)
 - 2005년 2월 : 한국과학기술원 산업공학과(공학박사)
 - 2004년 12월 ~ 현재 : 한국전자통신연구원 책임연구원
 - 2007년 10월 ~ 현재 : 과학기술연합대학원대학교 과학기술경영정책 전공 교수
- <관심분야> : 전파자원 이용정책 및 법·제도, 정보통신 비즈니스 모델