

05

SNAK을 위한 경제학적 모델 개발



성재훈
한국농촌경제연구원 / 부연구위원
jsung@krei.re.kr

1. 정책 평가를 위한 경제학적 모형의 필요성과 한계

FAO(2014)는 지금까지 개발된 벡서스 평가 툴(tool)을 정리하고 이들을 투입/산출형(input-output tool), 모델링 형(modelling tool), 그리고 정보제공형(information resources)으로 구분하였다.¹⁾ 그 중 투입/산출형 형에는 우리가 물-에너지-식량 벡서스 연구에서 자주 접하는 MuSIASEM(FAO, 2013), Nexus assessment methodology(FAO, 2014), 그리고 The Water, Energy, Food Nexus Tool 2.0(Mohtar and Daher, 2013) 등이 속한다. 투입/산출형 평가 툴의 가장 큰 장점은 분석의 단순함 혹은 간편함이다. 구체적으로 투입/산출형 평가 툴은 복잡한 모형의 구성없이 대상 지역의 자원 흐름과 각 자원의 중요도에 대한 평가만을 바탕으로 정책 평가가 가능하다. 하지만 투입/산출형은 평가 툴은 주로 생태물리학적인 측면만을 강조하고 있어, 정책 대상자들의 경제적 선택을 고려하는 데에는 한계가 있다.

인간의 경제적 선택은 주변 환경에 직간접적으로 많은 영향을 끼친다. 따라서 정책 분석에서 분석 대상의 경제적 선택을 고려하지 않은 경우, 정책 분석 결과의 신뢰도와 정확도가 떨어질 수밖에 없다. 예를 들어, 정책 목표를 달성하기 위해서는 정책 수요자들의 반응을 고려해야만 한다. 또한 정책 수요자들의 반응 여부에 따라 정책이 물-에너지-식량 자원에 미치는 영향 역시 달라질 수밖에 없다.

1) 정보제공형의 경우, 사용자에게 관련 자료들을 지도 등의 형태로 제공해주며, 생성된 결과물은 다른 분석의 투입물로 이용됨.

경제학적 모형은 분석 대상의 경제적 행위를 분석할 수 있으며 정책에 대한 평가가 주로 경제적 변수, 예를 들어 GDP의 변화, 농업부문 부가가치의 증가 등으로 이루어진다는 장점이 있다. 하지만 정책 대상의 경제학적 선택과 주변 자연환경과의 관계를 고려하지 않은 정책 분석은 정책의 의도치 않은 결과를 고려하지 못한다. 예를 들어, 에너지 비용이 적게 드는 펌프를 개발하고 이를 지하수를 이용하는 시설농가에 보급하였을 경우, 농가의 소득은 분명 좋아질 수 있을 것이다. 하지만 에너지 비용의 감소는 지하수 이용에 드는 비용을 감소시키고 이로 인해 농민들의 지하수 사용은 증가할 수 있을 것이다. 이는 자칫 지하수 수위를 낮춰 지하수를 이용하는 데 드는 비용을 오히려 증가시킬 수 있다.

현재 국제기구를 중심으로 개발된 넥서스 평가 모형들은 실제 경험적 연구에 사용되고 있다. 이들의 특징은 경제학적 모형과 생태물리학적 모형의 결합을 통해 보다 포괄적이고 정확한 정책 평가를 추구하는 것이다. 본 글에서는 국제기구의 넥서스 평가 모형과 이들의 특징을 분석하고자 한다. 또한 이를 바탕으로 SNAK프로젝트에서 구축 중인 경제학적 모형 소개하고, 생태물리학적 모형과의 연계 방안에 대해 논의하고자 한다.

2. SNAK을 위한 경제학적 모형

OECD는 넥서스 평가 모형으로 ENV-Linkages-IMAGE 모형을 구축하여 자원제약의 경제적 비용을 추정하였다. 구체적으로 OECD(2015)는 ENV-Linkages - IMAGE 모형을 바탕으로 지하수 사용의 제한, 도시화로 인한 농지감소, 수력발전량 증가, 기후변화와 같은 외부환경 변화의 경제학적 가치를 2060년을 기준으로 계측하였다.

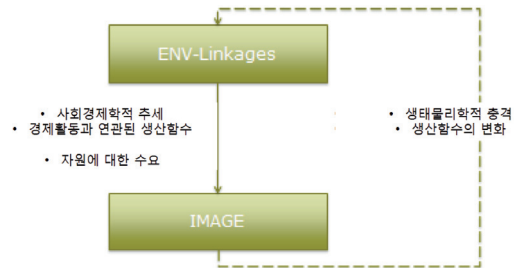


그림 1. ENV-Linkages모형과 IMAGE모형의 결합 (자료 : OECD 2015)

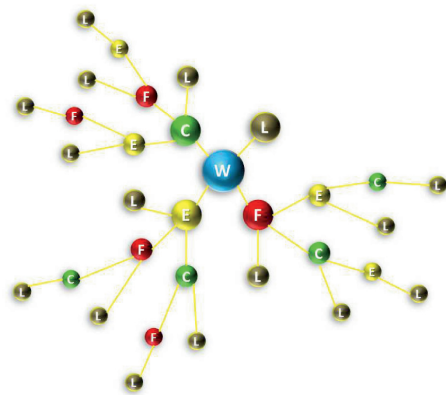


그림 2. SIM4NEXUS의 NEXUS 트리 예시(수자원 변화가 토지자원에 미치는 영향)
 주 : W는 수자원, F는 식량자원, L은 토지자원, E는 에너지 자원, C는 기후를 뜻함. 수자원의 변화가 토지자원에 미치는 직간접적인 경로를 나타냄.
 자료 : Laspidou et al.(2017)

EU는 2016년 6월부터 Sustainable Integrated Management FOR the NEXUS of water-land-food-energy-climate for a resource-efficient Europe(SIM4NEXUS) 프로젝트를 진행 중에 있다. SIM4NEXUS의 넥서스 평가 모형은 현재까지 개발된 넥서스 평가 모형 중 가장 발전된 모형이라 할 수 있다. 구체적으로 SIM4NEXUS의 넥서스 평가 모형은 지역(local)에서 국가, 유럽, 그리고 세계 전체까지 분석이 가능하며, 넥서스를 구성하는 물-에너지-식량-토지-기후의 직간접적인 상호연계성을 충분히 고려

하였다. 예를 들어, 수자원의 변화는 토지에 직접적으로 영향을 미치기도 하지만 다른 에너지·식량·기후를 거쳐 간접적으로 토지에 영향을 줄 수 있다. 이러한 직·간접적인 영향을 고려하기 위해 SIM4NEXUS의 넥서스 모형은 수자원이 토지에 영향을 미치는 직·간접인 경로 20가지를 식별하고 전문가의 자문을 바탕으로 자원간의 상호연관성을 모형에 반영하였다(그림 2 참조).

OECD와 EU의 넥서스 평가모형의 특징은 경제학적 모형과 생태물리학적 모형과의 결합이다. 구체적으로 OECD의 넥서스 평가 모형을 구성하는 ENV-Linkages 모형은 무역을 포함한 전 세계 경제적 활동을 모형화한 동태적 경제모형이며, 생태물리학적 조건을 포함한 외부여건 변화가 경제성장 등에 미치는 영향을 분석할 수 있다. IMAGE 모형은 인간 활동과 자연 환경과의 관계를 나타내는 모형으로, 토지 이용, 수자원 그리고 에너지 부분에 대한 분석이 가능하다. IMAGE모형은 지역을 격자 형태(grid)로 나누어 각 격자 안의 기후, 토질 등과 같은 생태환경정보를 제공하며, 이러한 격자 형태의 정보 제공은 ENV-Linkage모형의

투입요소로 이용된다. SIM4NEXUS의 넥서스 평가 모형은 표 2과 같이 7개의 주제별 모형으로 구성되어 있다. 이중 4개의 모형은 경제학적 모형이며, 농업부문 모형에서부터 무역까지 포함하는 연산일반균형모형까지 다양한 수준과 특징을 가진 경제학적 모형이 포함되어 있다.

앞서 소개한 OECD와 EU의 넥서스 평가 모형은 다음과 같은 공통점 혹은 특징을 가지고 있다. 우선, 모형에 투입되는 자료의 양과 질에 따라 생태물리학적 모형과 경제학적 모형간의 연계와 결과 값의 신뢰도가 달라진다. 예를 들어, OECD(2015)의 경우, 자료의 한계로 인해 수자원과 에너지 부문과의 연관성을 충분히 반영하지 못했으며, 수자원 부족이 경제에 미치는 영향은 단수 모형에 의해 간접적으로 추정하였다. 두 번째로는 특정 부문에 관한 정책, 예를 들어 농업부문 정책을 분석하기 위해서는 한 국가의 경제 전체를 반영한 모형보다는 특정 부문의 모형이 더 적합할 수 있다. 세 번째로는 현재까지 정책으로 인한 생태계 서비스의 변화나 외부효과를 넥서스 평가 모형에 포함시키는 것에는 한계가 있다. 이는

표 1. Thematic models in SIM4NEXUS
[자료 : Brouwer et al. (2018), Fazekas et al. (2017)]

Models	Model type	Main topics
E3ME-FIT	Macroeconomic simulation model	Power, transport, land, industry and households under development
MAGNET	Global computational equilibrium model	Trade, agriculture, climate bioenergy policies
CAPRI	Global agro-economic model	EU agricultural, trade and environmental policies
IMAGE and GLOBIO	Integrated modelling framework of global environmental change	Society-biosphere climate system, climate change, land-use changes, food and energy production, Biodiversity
QSeMOSYS	Systems cost optimization model	land use, water availability and climate change
SWIM	Eco-hydrological semi-distributed model	hydrological processes, crop/ vegetation growth, nutrients and erosion at the river basin and regional scales
MAGPIE-LPJmL	Global land use allocation model	land use patterns, crop yields and total costs of agricultural production

생태계 서비스나 외부효과에 대한 시장 거래 자료가 부족할 뿐만 아니라 생태계 서비스나 외부효과의 가치는 맥락특이적이기 때문이다. 마지막으로 생태학적 모형과 경제학적 모형을 한꺼번에 모형화한 것이 아니라 SIM4NEXUS의 넥서스 평가 모형과 같이 주제별 모형 각각을 모듈화시켜 연결한다는 것이다. 모듈화의 장점은 모형의 확장성이 뛰어나다는 점이다. 즉, 분석이 추가적으로 필요한 대상에 대해서는 새로운 모듈을 만들어 연결함으로써, 기존 모형에 대한 수정 없이 모형을 확장할 수 있다.

SNAK프로젝트 역시 보다 포괄적이며 정교한 정책 분석을 위해 농가들의 경제적 선택을 모형화한 농업부문모형을 구축하였다. 농업부문 모형은 특정 지역의 농업 시스템을 하나의 농가(Representative farm)로 가정하고, 외부여건 변화에 따른 농가의 최적화된 영농형태 변화를 분석한다. 농업부문 모형의 장점은 농업생산조건, 부존자원현황, 다양한 품목 특성, 생산조건의 가변성 등을 모형에 반영이 가능하며, 가용한 자료의 양과 질, 그리고 연구 목적에 따라 다양하게 적용이 가능하다는 점이다. 단, 현재 SNAK프로젝트의 분석대상이 국가 전체가 아닌 특정 시범지구인 점을 감안하여 농업부문 밖에서 결정되는 경제변수, 예를 들어 에너지 가격, 국내외 농축산물 가격 등은 외생적으로 주어진다 가정하였다.

SNAK프로젝트의 농업부문모형은 Positive mathematical Programming(PMP)을 이용하여 구축하였다. PMP는 농업부문 모형의 최적화(optimization) 과정에서 빈번히 일어나는 과잉특화문제(Corner solution problem)를 극복하기 위해 Howitt(1995)에 의해 개발되었다. 과잉

특화문제는 기준 연도에서 실제로 관측되는 경제변수의 값이 모형이 예측하는 값과 완전 일치하지 않는 것을 뜻한다. PMP는 Hydro-economic model 혹은 Bio-economic model을 구축하는 데에 광범위하게 사용되어 왔으며(Merel & Howitt 2014), 최근 지역단위 물-에너지-식량 넥서스 평가를 위한 통합적 모형 구축에 유용한 방법으로 주목 받고 있다(Kling et al. 2017).

SNAK프로젝트에서는 농어촌연구원에서 제공하는 단목지구 작부체계 자료(품목별 재배면적, 품목별 지하수 사용량)와 설문조사와 인터뷰, 그리고 농축산물 소득자료집(경남지역, 2017)을 바탕으로 단목지구를 대상으로 한 농업부문모형을 구축하고 고추와 호박의 단수가 10% 감소하는 시나리오를 시범적으로 적용하였다. 분석결과, 생산성 감소로 인해 호박의 재배면적은 약 8% 감소한 반면, 고추의 재배면적은 생산성 감소에도 불구하고 14% 증가한 것으로 분석되었다. 또한 농업부문의 총 이윤은 생산성 감소에도 불구하고 증가한 것으로 나타났다. 이는 고추의 수익성이 다른 작물에 비해 크기 때문에 단수 감소로 인한 수익성 감소에도 불구하고 재배면적이 증가하였기 때문이다.

3. 마치면서 : 경제학적 모형과 생태물리학적 모형의 연계

SNAK프로젝트의 넥서스 평가 모형 구축을 위해 서울대 연구팀과 전남대 연구팀이 개발 중인 생태물리학적 모형과 한국농촌경제연구원이 개발 중인 농업부문모형 각각을 모듈화하였으며, 시나리오 분석은 세 모형의 연계를 바탕으로 이루어진다. 구체적으로 모형간의 연계는 모형간의 투입요

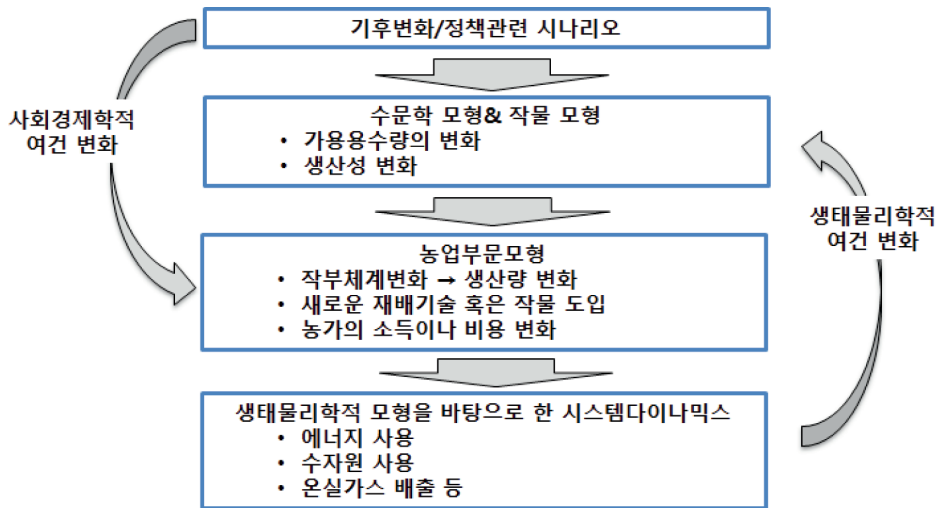


그림 3 농업부문모형과 생태물리학적 모형과의 연계

소와 산출요소를 조정을 통해 이루어진다. 서울대 연구팀의 작물모형과 수문학 모형의 산출요소는 경제학적 모형의 목적식과 제약식의 투입요소로 이용되며, 농업부문모형의 결과물인 재배면적의 변화는 이후 생태물리학적 모형의 투입요소로 사용된다(그림 3 참조). SNAK 프로젝트의 넥서스 평가 모형은 이러한 모형간의 연계를 통해 정책과 기후변화의 영향을 보다 정교하고 통합적으로 분석할 수 있을 뿐만 아니라 정책의 의도치 않은 정책 효과를 식별할 수 있을 것으로 생각된다.

향후 SNAK 프로젝트가 시범지구가 아닌 국가 단위 혹은 유역단위로 분석 대상을 확장하기 위해서는 농업부문모형 뿐만 아니라 국가의 전 부문을 모형화한 연산일반균형모형이나 무역모형을 모듈화하여 추가해야 할 것으로 생각된다. 또한 생태학적 모듈(예를 들어 양분수지)을 추가적으로 개발함으로써 정책의 보다 다양한 환경적 영향을 SNAK 프로젝트를 통해 식별할 수 있을 것으로 기대된다.

사사 : 본 성과물은 농촌진흥청 공동연구사업(세부과제번호 : PJ01343504)의 지원을 받아 연구되었음.

참고문헌

1. Brouwer, F., Avgerinopoulos, G., Fazekas, D., Laspidou, C., Mercure, J.F., Pollitt, H., Ramos, E.P. and Howells, M., 2018. Energy modelling and the Nexus concept. *Energy Strategy Reviews*, 19, pp.1-6.
2. Fazekas et al. 2017. *D1.3: SIM4NEXUS - REVIEW OF THEMATIC MODELS AND THEIR CAPACITY TO ADDRESS THE NEXUS AND POLICY DOMAINS*. SIM4NEXUS.
3. FAO. 2013. *An Innovative Accounting Framework for the Food-Energy-Water Nexus: Application of the MuSIASEM approach to three case studies*, Rome: FAO of the UN.
4. FAO. 2014. *Walking the Nexus Talk: Assessing the Water-Energy-Food Nexus in the context*

of the sustainable Energy for all Initiative. Rome: FAO of the UN.

5. Howitt, R. E., 1995. Positive Mathematical Programming. *American Journal of Agricultural Economics* 77, 329–342
6. Kling, C.L., Arritt, R.W., Calhoun, G. and Keiser, D.A., 2017. Integrated assessment models of the food, energy, and water nexus: A review and an outline of research needs. *Annual Review of Resource Economics*, 9, pp.143–163.
7. Lapidou, et al. 2017. D1.1: *Scientific inventory of the Nexus*. SIM4NEXUS
8. Mérel, P. and Howitt, R., 2014. Theory and application of positive mathematical programming in agriculture and the environment. *Annual Review of Resource Economic*, 6(1), pp.451–470.
9. OECD. 2015. *Economic Impacts of the Land–Water–Energy Nexus: A joint OECD/PBL report on exploring the feedbacks of bottlenecks in the nexus on the global economy*. EVN/EPOC(2015)25. Environment Directorate/Environment Policy Committee, OECD.