

물-에너지-식량 넥서스를 통한 지속가능한 자원관리 *

최진용

(서울대학교 농업생명과학대학 지역시스템공학전공 교수)

1. 들어가며

인간이 필요로 하는 가장 기초적인 자원은 물이며, 물은 곧 생명이다. 물이 대지에 태양에너지와 더불어 생명을 불어 넣는다. 물이 없는 대지는 사막이고 뜨거운 태양에 너지는 오히려 생명을 위협한다. 물이 있어야 식량을 얻을 수 있다.

작물은 농지를 기반으로 물과 태양에너지를 가지고 식량을 생산한다. 인구 증가는 더 많은 식량 생산을 필요로 하였고 더불어 더 많은 물을 개발하여 식량생산에 사용하였다. 식량증산을 위하여 도입된 기술은 물뿐만 아니라 비료 생산과 기계, 수송 등을 위한 에너지 사용도 증가시켰다. 식품소비의 변화는 가공 식품의 생산을 증가시켰으며 이에 에너지 사용도 증가하였다. 경제발전을 위한 에너지 소비는 가공할 만큼 증가하였으며 수력과 화력 발전을 위한 물 소비도 급격히 증가하였다<그림 1>. 지속가능한 수자원관리에 대한 관심을 기울이게 된 것이다.

지속가능한 수자원 관리의 필요성은 인구증가에 따른 물자원의 무분별한 개발과 이용 그리고 낭비로 인하여 인류의 생존을 위협할 수 있다는 염려에서 비롯되었다. 지속가능한 수자원 관리를 위해서는 수자원의 균형 이용과 절약, 수자원의 적절한 분

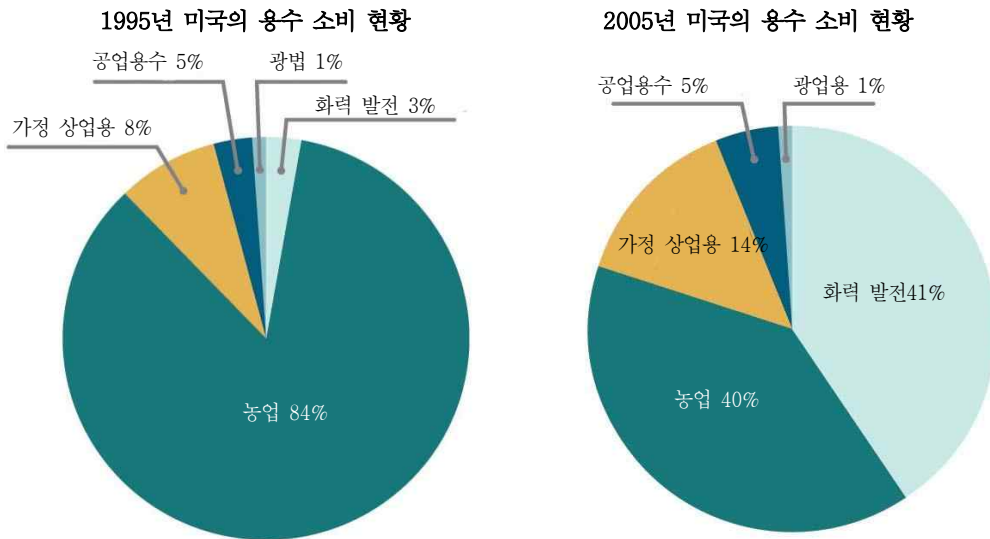
* (iamchoi@snu.ac.kr).

배 그리고 수자원 이용에 있어서 산업 간의 상호관계를 이해해야 한다.

앞서 언급한 바와 같이 인구 증가에 따른 식량 생산과 수자원 이용의 급격한 증가, 그리고 이를 공급하기 위한 수자원의 확장적 개발과 이용은 물과 식량 그리고 에너지라고 하는 인류 생존에 필요한 중요 자원과 재화의 지속가능한 이용과 생산이 한계에 이를 수 있다는 문제를 제기하였다. 특히 기후변화가 현실화되고 있는 상황에서 수자원의 지속가능한 관리는 수자원의 확보라는 하나의 관점이 아니라 물-에너지-식량 연관관계를 같이 살펴봐야 한다는 논의가 국제사회에서 급격히 이슈화되었다.

이와 같이 물-에너지-식량을 통합적으로 바라봄으로써 물 확보(water security) 문제를 재해석하고 물 확보를 위한 노력을 기울여야 한다는 주장이 제기되었으며, 이에 대한 접근법이 물-에너지-식량 넥서스(Water-Food-Energy Nexus) 이다. 따라서 이 글에서는 물-에너지-식량 넥서스의 형성 과정과 수자원의 지속가능한 관리를 위한 물-에너지-식량 넥서스 해석기법 그리고 사례를 소개하고자 한다.

그림 1. 미국의 농업과 화력발전간의 용수 소비 형태



자료: Solley 외(1998).

자료: Kenny 외(2009).

(<http://blog.ucsusa.org/john-rogers/how-much-water-do-power-plants-use-316>).

2. 넥서스의 태동

산업혁명 이후 인구의 폭발적인 증가는 더 많은 식량을 필요로 하였고 기술과 경제의 발전은 더욱 많은 에너지 소비를 가져왔다. 더욱 많은 식량을 생산하기 위해 토지 이용이 증가하였고, 관개 면적은 확대되어 지표수와 지하수를 포함한 수자원의 이용이 증가되었으며, 식량 증산을 위한 비료 생산과 기계화 그리고 교역과 가공을 위한 에너지 투입은 과거에 비하여 지속적으로 상승하였다. 인구의 증가와 더불어 에너지 사용도 증가하였는데, 광업, 수력화력 발전, 신재생에너지 발전 등 에너지 생산을 위한 수자원 사용량도 더불어 상승하였다.

이와 같이 인구 증가는 더 많은 식량과 에너지를 필요로 하였고 이를 지원하기 위한 수자원 개발은 더불어 증가하였다. 농업을 위한 수자원 개발과 에너지 생산을 위한 수자원 개발이 각각 이루어지기도 하였으며, 또는 복합적으로 개발되기도 하였다. 하지만 식량과 에너지 수요의 증가는 근본적으로 물 수요의 증가를 가져왔고 이는 경합이 되기도 하고 다른 용수 이용에 제약이 되기도 하였으며, 근본적으로는 수자원의 개발의 한계와 지속가능성을 걱정하는 결과를 빚게 되었다.

물, 식량 등의 자원 확보와 지속가능성과 관련하여 자원 관리를 위한 통합적인 논의는 세계적으로 다양하게 이루어져 왔으며, 물, 에너지, 식량 자원의 연계성을 해석하고 통합적인 관리방안을 제시하기 위한 넥서스(Nexus) 개념은 2011년에 비로소 구체화된 것으로 판단된다. 2011년 세계경제포럼(World Economic Forum)에서 물 확보(water security)¹⁾와 관련하여 기후, 인구, 교역 등의 다양한 주제와 각 주제들을 통합적으로 고려할 수 있는 새로운 의사결정지원 시스템의 필요성을 제안하였으며 이는 ‘Water-Food-Energy-Climate Nexus’로 제시되었다(2011 World Economic Forum). 이는 기후변화의 위협 아래서 물, 에너지, 식량을 주요 요인으로 설정하고, 요인들 간의 상호연관 및 관련 세부 요인들을 통합적으로 고려하는 넥서스 관련 연구의 발판이 되었으며, 현재 선진국을 중심으로 넥서스 관련 연구가 전 세계적으로 다양한 주제로 수행되고 있다.

한편 스톡홀름환경연구소(Stockholm Environment Institute, SEI)에서는 2011년 11월에 열린 Bonn2011 Nexus Conference의 기조 논문으로 “The Water, Energy and Food Security Nexus Solutions for the Green Economy”를 발표하여 넥서스에 대한 기본 개념과 틀을 제시함으로써 본격적으로 넥서스에 대한 논의에 시발점을 제공하였다.

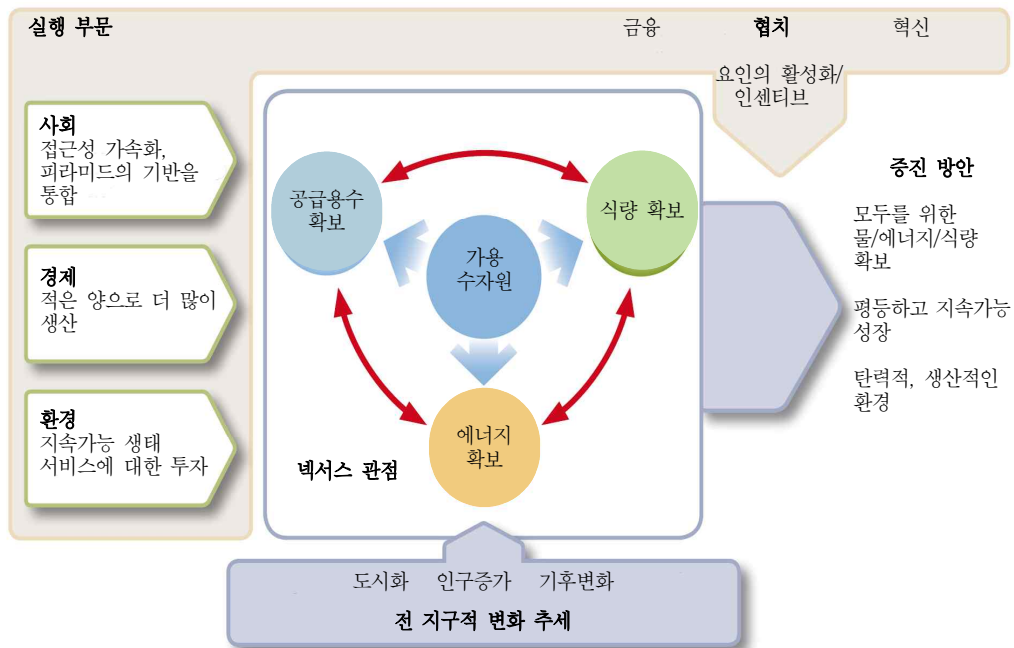
1) 이 글에서는 security를 “안보”보다는“확보”로 해석함.

3. 물-에너지-식량 넥서스와 지속가능한 수자원관리 개념

물-에너지-식량 넥서스와 지속가능한 수자원관리 개념은 SEIS(Stockholm Environment Institute) 보고서(2011)에 잘 나타나 있다. 이 보고서의 넥서스 개념도<그림 2>를 살펴보면, 넥서스 관점(Nexus perspective)을 가운데 놓고, 실행분야(Action Fields), 협치(Governance), 증진 방안(To promote)과의 관계를 설명하고 있으며, 영향 요소로서는 지구적 추세(Global trend)인 도시화(Urbanization), 인구 증가 그리고 기후변화를 들고 있다.

주목할 것은 Nexus perspective의 가운데에 가용수자원(Available water resources)이 있는 것이다. 이는 가용 수자원이 물공급 확보, 에너지 확보, 식량 확보의 중심에 있고, 세 가지 요소의 확보를 위해 가용 수자원이 공히 이용되고 있음을 보여주고 있다. 다시 살펴보면 실행 분야를 사회, 경제, 환경으로 구분하여 넥서스에 적용할 수 있고, 지구적 추세가 넥서스의 영향요소로 고려될 수 있으며, 협치(Governance)에서는 금융, 구동 요소와 장려제도, 혁신을 들고 있다. 결국 협치가 넥서스의 실행과정에 적용되면, 결과적으로 물확보-에너지확보-식량확보, 평등하고 지속가능한 성장, 회복탄력성, 생산적 환경보호가 증진할 수 있을 것으로 보는 것이다.

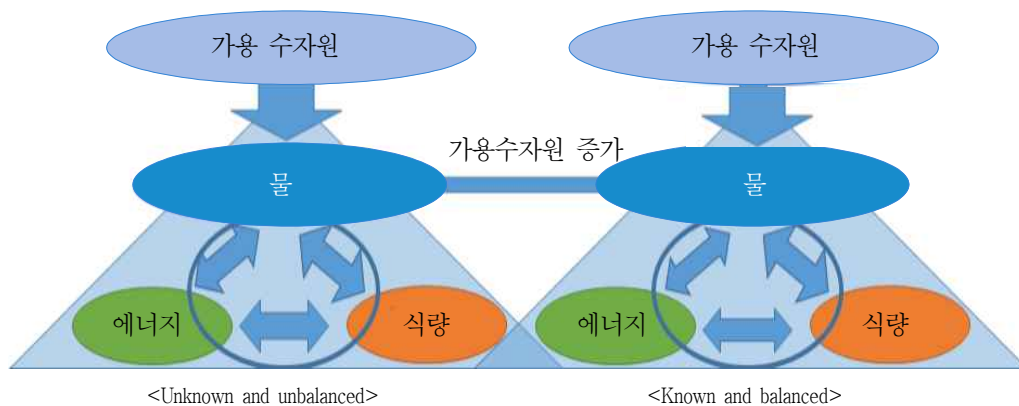
그림 2. SEI 보고서에 제시된 물-에너지-식량 넥서스 개념도



자료: Stockholm Environment Institute(2011).

<그림 3>에서 보는 바와 같이 물-에너지-식량 넥서스 연구는 기본적으로 한정된 수자원을 효율적으로 관리하여 지속가능성을 확보하는 것을 목표로 한다. 그림에서 왼쪽은 현재의 상태를 표현한 것으로 물-에너지-식량 연관관계가 명확하게 분석되지 않아(Unknown and unbalanced) 가용 수자원으로부터 생산을 위한 물로 많은 양을 사용하는 것을 보여주고 있으며, 오른쪽은 물-에너지-식량 관계가 밝혀지고 분석되면 균형 있는 수자원 이용이 이루어져서 가용 수자원으로부터 사용량이 감소하여 지속가능성이 확보되는 것을 나타낸다.

그림 3. 넥서스의 활용에 의한 가용 수자원의 증가



자료: 저자 작성.

4. SDGs와 넥서스 그리고 국제기관의 Nexus 이용 동향

국제연합(UN)은 세계 인류 공영 발전을 위한 목표를 15년마다 제안하는데 2000년에 제안한 밀레니엄개발목표(Millennium Development Goals, MDGs)가 2015년에 지속가능 목표(Sustainable Development Goals, SDGs)로 재설정되었다. 지속가능개발 목표는 2015년 9월 UN 총회에서 지난 2000년에 발표되어 진행되어 온 MDGs를 평가하고 2030 목표로서 새롭게 제안한 것으로 SDGs라고 지칭하며, 인류의 지속가능한 생존 목표를 달성하기 위한 노력이 국제기구를 중심으로 다양하게 전개되고 있다. SDGs는 국제사회가 인류의 행복과 복지를 증진하기 위하여 공통으로 추진해야 할 목표이며 2030년까지 국제협력과 개발 관련 의제들을 선도할 것이다. SDGs에는 총 17개의 목표가 포함되어 있는데, 이 중 2. Zero Hunger, 6. Clean Water and Sanitation 13. Climate Action은

물과 식량에 직접적인 관련이 있다. 이외에도 빈곤(1. No Poverty), 책임있는 소비와 생산(12. Responsible Consumption and Production), 그리고 등 다른 SDGs들도 직간접적으로 물과 관련이 있다.

그림 4. 2015 9월 UN에서 제시된 17개의 지속가능개발 목표



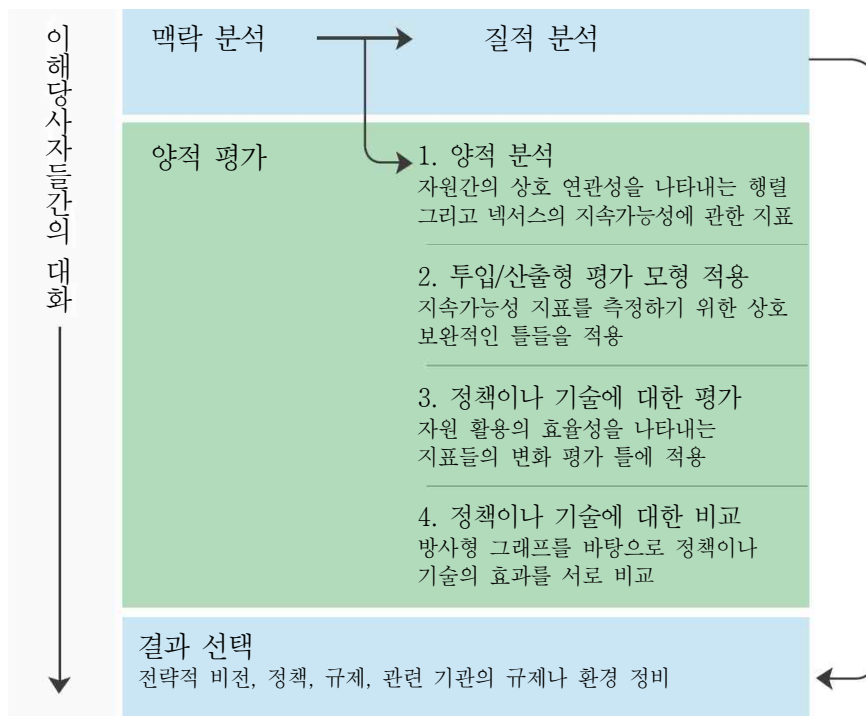
자료: Sustainable Development Goals(SDGs).

넥서스 관점에서 살펴보면 물과 식량과 비슷한 SDGs 목표들이 있는데 2. Zero Hunger, 6. Clean Water and Sanitation, 7. Affordable and Clean Energy는 물-에너지-식량 넥서스로 사업계획 수립 및 분석과 평가가 가능한 내용들이며, 빈곤(1. No Poverty), 책임 있는 소비와 생산(12. Responsible Consumption and Production), 그리고 기후 실행(13. Climate Action) 등의 SDGs들도 넥서스의 관점에서 사업계획을 수립하고 분석할 수 있어 국제협력 및 저개발국 개발에 활용할 수 있다. 물-에너지-식량 넥서스는 인류가 지속가능하게 발전하고 공영하기 위하여 필요한 세 개의 핵심 요소로서 물-에너지-식량의 상호관계를 바라볼 수 있는 개념을 제시하므로 물 확보, 에너지 확보, 식량 확보에 있어서 자원을 낭비 없이 효율적으로 활용하고 궁극적으로는 국제사회에서 발생하는 다양한 개발 사업을 지속가능하도록 하는 도구가 될 수 있다. SDGs의 각 목표는 결국 자원과 자연을 보전하고 인류의 생활환경을 개선하되 지속가능하도록 개발하자는 공감대를 기반으로 하므로 17개 목표의 효과성 있는 실행과 노력은 이와 같은 물-식량-자원의 상호 관계를 해석하고 이를 사업계획의 개념 정립, 수립, 사업 평가 도구로서 넥서스가 좋은 대안이 될 수 있을 것이다.

물-에너지-식량 넥서스는 앞서 언급한 전 지구적인 변화 추세로서 인구 증가, 경제

발전 그리고 기후변화와 더불어 물, 에너지, 식량, 인적자원 그리고 토지 자원의 요구 압력이 지속되고 있다. 이에 많은 의사결정 단계에서 여러 가지 개발과 자원관리에 있어서 서로 간의 상충관계(trade-offs)와 상승효과(synergies)에 대한 분석 결과와 정보가 필요하게 되었고, 유엔 산하 기관인 FAO와 비영리 국제단체 등의 기관에서 활발하게 진행하고 있다. 국제연합(UN)은 넥서스의 개념을 국가의 자원 분배와 개발 그리고 협력 부분에서 활용하려는 노력을 지속하고 있는데 그 중 대표적인 것이 FAO의 넥서스 분석 도구이다. Fammini 등(FAO 2014)은 국가별 또는 지역별 물-에너지-식량과의 관계를 평가하는 분석도구를 개발하여 제시하였다. FAO의 데이터베이스와 국가별 통계자료 등을 통합하여 자료기반을 구축한 후, <그림 5>와 같은 과정을 통하여 환경 분석과 정량분석 등을 통하여 물-에너지-식량-비용-토지에 대한 지표(indicator)를 계산할 수 있는 방법론을 제시하고 물, 에너지, 식량에 대한 넥서스 평가를 점수화하는 플랫폼을 제안하였다.

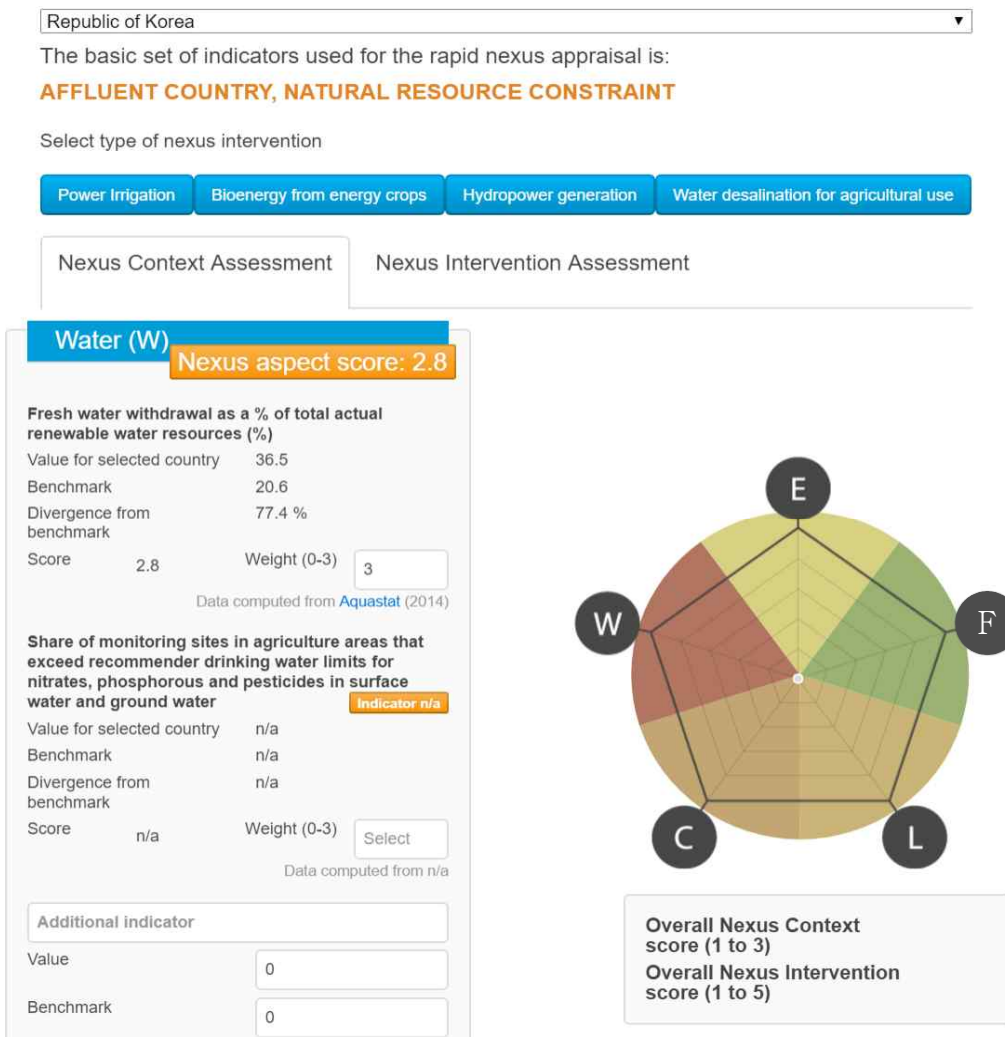
그림 5. Fammini 외(FAO 2014)가 제시한 넥서스 분석 절차와 내용



자료: 저자 작성.

이에 FAO는 Fammini 외(2014 FAO)에 의하여 개발된 평가도구를 이용하여 세계 100여개 이상 국가에 대한 넥서스 지표를 계산하고 그 결과를 제공하는 웹시스템을 개발하였다.²⁾ 이 시스템을 한국에 적용한 예는 <그림 6>과 같으며 한국의 넥서스분석 결과 풍족한 국가, 자연자원이 제한요소 (Affluent country, natural resource constraint)라는 평가와 함께 넥서스 관점 점수 2.8을 제시하였다.

그림 6. FAO Water-Energy-Food Nexus Rapid Appraisal 분석 도구에 의한 한국의 넥서스 분석과 점수



자료: Nexus aspect score: 2.8.

2) (<http://www.fao.org/energy/water-food-energy-nexus/en/>).

한편, 넥서스 개념을 수자원과 더불어 여러 가지 자원관리를 위한 플랫폼 구축 및 방법론 도출과 이를 적용하기 위한 연구가 진행되고 있다. 국제연합 유럽경제위원회(United Nations Economic Commission for Europe, UNECE)은 넥서스 접근법을 생태시스템 관리부분에 적용하기 위하여 넥서스 연계를 물-에너지-식량 생태시스템으로 구분하고 자원 간의 연계 해석 방법 및 넥서스 플랫폼 구축 등에 대한 연구(UNECE 2017)를 진행하였다. 국제신재생에너지기구(International Renewable Energy Agency, IRENA)에서는 기후변화에 대응하기 위한 탄소 감축 신재생에너지의 개발과 이용이 물-식량 확보에 주는 관련성 분석에 넥서스 접근법을 활용하였으며, 이를 정량적으로 해석하여 제시하였다(IRENA 2015). Dubois 외(2014)는 식량확보와 지속가능 농업을 위한 새로운 접근법으로서 물-에너지-식량 넥서스를 제시하고 Fammini 외(2014)가 제시한 내용을 재조명하였다.

UN의 World Water Development Report(UN 2014)에서는 물과 에너지 넥서스에 대한 접근법 제시와 분석을 실시하였으며, 이를 바탕으로 물과 에너지의 수자원 상호 관련에 의거, 식량 수요에 대한 영향을 분석하였으며, 에너지 확보를 위하여 이용되는 물-식량 확보의 상호 의존성과 관련성을 연구를 진행하여 보고서에 수록하였다. 한편 지속가능개발세계기업위원회(World Business Council for Sustainable Development, WBCSD)에서는 “Water, Food and Energy Nexus Challenges”라는 보고서를 출간하고 농업에 대한 관점에서 토지관리, 기후변화, 에너지 수요, 온실가스 배출 그리고 수질 등에 관하여 살펴보았다.

5. 지속가능한 자원관리를 위한 물-에너지-식량 넥서스 구축

물-에너지-식량 넥서스(Water-Food-Energy Nexus)는 각 요소의 생산과 확보를 위하여 자원의 이용에 상호 의존성과 상충관계(trade-off)가 있음을 전제로 한다. 이와 같은 요소 간 관계 분석을 위해서는 플랫폼(Platform, 분석 도구 또는 분석 기반)을 필요로 한다. 넥서스를 통하여 물-에너지-식량 통합 관리를 수행할 경우 먼저 다양한 물, 에너지, 식량 수요 시나리오가 적용되고, 다음으로 개별 시나리오에 따른 타 요소들과 상충관계(trade-offs) 분석을 통하여 물, 에너지, 식량의 지속가능성 등을 평가할 수 있다. 예를 들어 인구 증가에 의해 식량 수요가 증가하는 시나리오를 넥서스에 적용할 경우 단순히 식량 생산 필요량의 분석뿐만 아니라 식량 생산을 위해 소비되는 수자원과 에너지 자원의 이용량을 동시에 분석할 수 있다. 또한 식량 생산을 위한 요소별

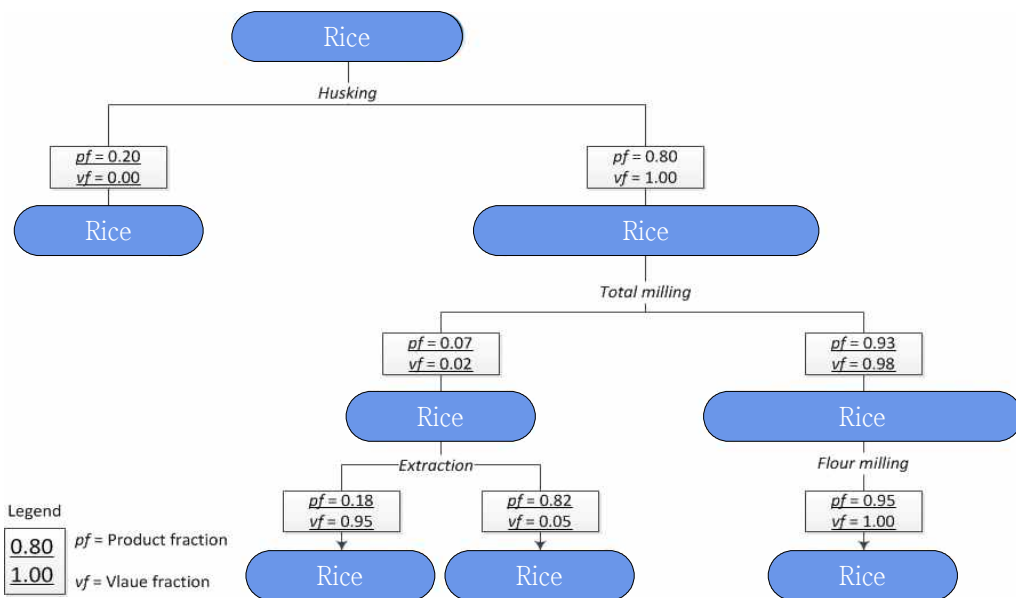
자원 이용량 증가에 따른 타 요소의 이용 제한이 발생할 수 있으며 이를 종합적으로 고려하여 자원별 지속가능성 및 확보 가능성 등을 평가할 수 있는 것이다.

물-에너지-식량 넥서스를 활용한 지속가능 자원관리 분석을 위한 플랫폼 개발은 3 단계로 구분할 수 있다. 먼저 각 요소를 확보하기 위해서 소요되는 자원과 그 필요량에 대한 다양한 기초자료의 수집 및 조사를 바탕으로 데이터베이스 구축과 인벤토리 작성 및 자원별 정량화를 통한 넥서스 포트폴리오(portfolio)를 구축하고, 두 번째는 관계 해석 프로그램 또는 시스템다이내믹스(system dynamics 동적시스템)를 활용하여 정량화된 자원간의 상충(trade-offs) 및 연계 관계 해석을 통하여 각 요소 간 영향이 어느 정도 되는 지를 파악할 수 있도록 해야 하며, 마지막으로는 정책, 사회경제 영향, 기후변화, 인구변화, 자원의 제안 등을 고려한 영향 지수나 시나리오를 적용하여 외부 요인의 영향을 평가할 수 있는 물-에너지-식량 넥서스 기반의 자원관리 평가 시스템을 개발할 수 있다.

(1) 물-에너지-식량 넥서스 자원의 인벤토리와 포트폴리오 구축

물-에너지-식량 넥서스 평가 기반의 구축은 기본적으로 자료를 수집하고 데이터

그림 7. 물발자국 산정을 위한 물이용 흐름을 나타낸 쌀의 생산 및 가공 흐름도



자료: Yoo 외(2014) 논문을 바탕으로 저자 작성.

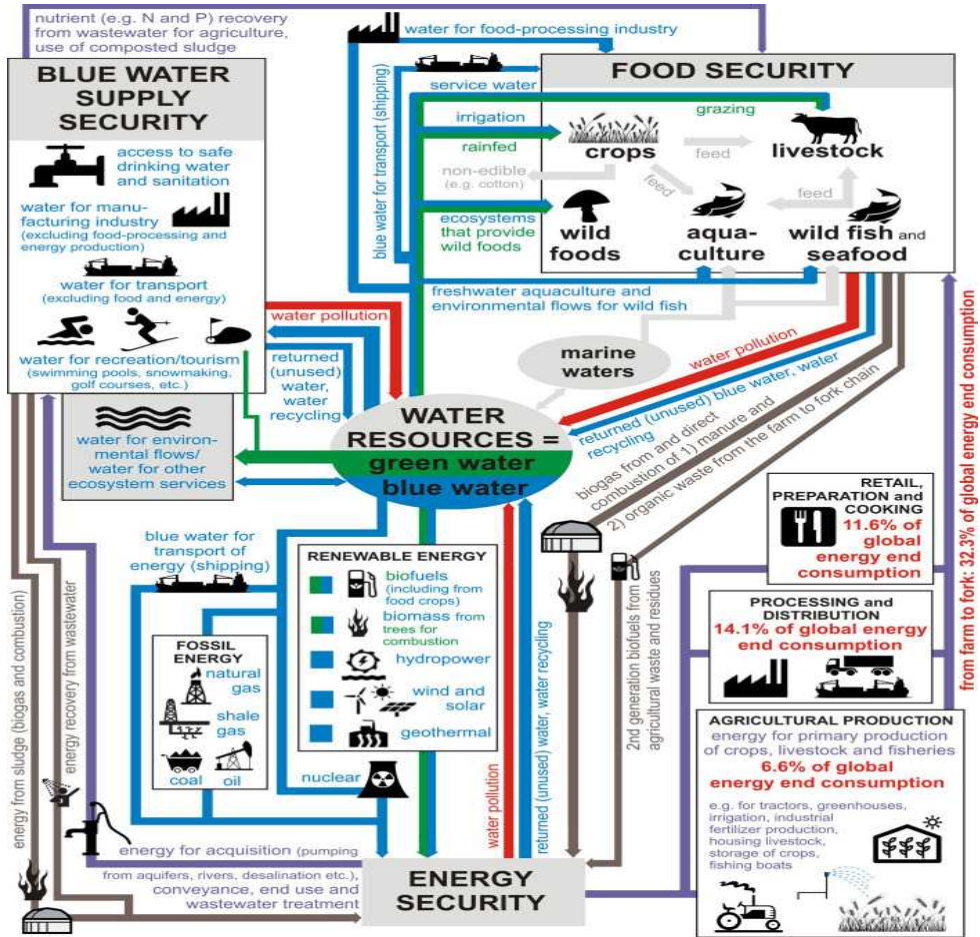
베이스화하는 것이며, 이는 인벤토리(Inventory) 구축으로 생각할 수 있다. 수자원 확보 가능성, 식량생산을 위한 수자원 이용량, 에너지 생산을 위한 수자원 이용량에 관련 자료를 수집하고 목록을 작성하는 일인데, 이 과정에서 생산품을 얻기 위한 과정과 그 과정에서 소요되는 자원의 양을 파악하는 것이 중요하다. 이 과정의 예를 들면 물 발자국 (Water Footprint) 개념이나 전과정평가(Life Cycle Assessment, LCA)와 같은 기법이 적용될 수 있다<그림 7>.

(2) 물-에너지-식량 넥서스 상충 및 연관애석

넥서스는 기본적으로 물-에너지-식량 넥서스의 요소 간 자원이용의 상충관계(Trade-offs)를 평가하여 자원의 지속가능성을 도출하기 위한 기반이다. 이를 위해서는 개별 자원의 사용이 타 자원에 미치는 영향 및 기후, 인구 등의 외부요인들의 변화가 자원 활용에 영향을 파악해야 하고 이를 위해서 자원들 간의 상충관계의 분석이 필요하다. 요인들은 네트워크 형태로 연결되어 상호작용 및 상충관계를 형성하는데 이를 개념화하고 형상화하는데 있어서 많이 사용되는 것이 시스템다이나믹스(system dynamics)이다. 시스템다이나믹스를 이용할 경우 복잡한 요인들의 단일 방향의 연계성뿐 아니라 피드백을 통한 쌍방향의 연계까지 분석할 수 있다. 즉, 물, 에너지, 식량, 기후와 관련된 다양한 요인들의 복잡한 연결을 시각화하고, 개별 요인들의 변화가 전체 시스템에 미치는 영향을 평가할 수 있다. 또한 시스템다이나믹스 모형은 개별 요소들의 임계치 및 변동성을 설정할 수 있으며, 자원들의 관계를 수식으로 표현하여 적용할 수 있다<그림 8>.

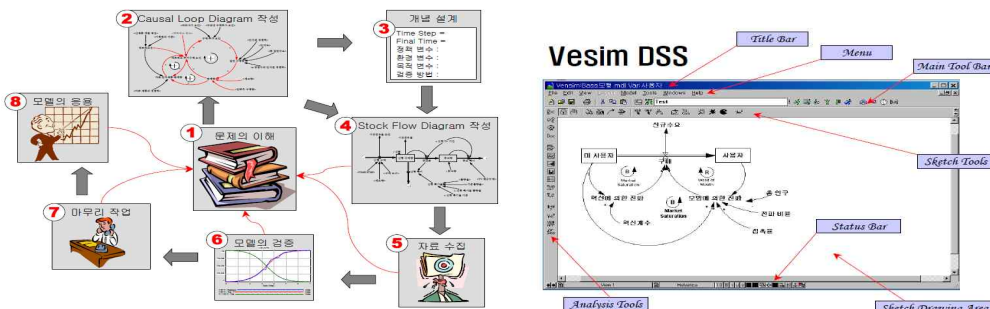
넥서스 플랫폼 개발에 관한 연구로서 Howells 외(2013)은 물, 에너지, 식량 문제에 초점을 맞추어 수문 모델과, 토지이용 모델, 에너지 모델을 통합할 수 있는 CLEW(기후, 토양, 에너지, 물) 모형을 개발하였고, Mohtar and Daher(2014)는 물, 에너지, 식량 요소간의 상충작용을 고려한 웹기반 WEF-Nexus시스템을 개발하여 요인별 다양한 시나리오의 적용이 가능하도록 플랫폼을 설계하였다. 한편 Vanham(2016)은 물발자국 개념으로 청색, 녹색, 회색 물발자국으로 물, 에너지, 식량 연관도를 구성하고<그림 8>을 물발자국이 넥서스 분석에 활용될 수 있음을 보여주었다.

그림 8. 물발자국을 활용한 넥서스 분석



자료: Vanham(2016).

그림 9. 시스템다이나믹스를 이용한 상충관계 및 연관성 해석 모듈 구축 모식도



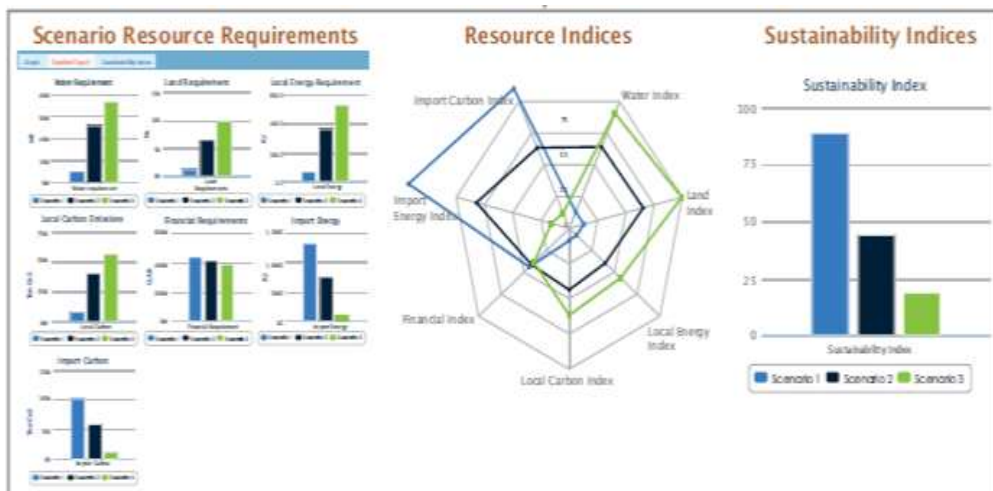
자료: 이상현, 최진용(2015)에서 재인용 (<http://vensim.co.kr>).

(3) 지속가능성 평가에서 물-에너지-식량의 넥서스 기반 활용

넥서스 연계해석 플랫폼의 최종단계는 다양한 자원 관리 시나리오를 적용하여 자원별 지속가능성을 비교·분석하는 것이다. 넥서스 시스템을 적용할 경우 식량 및 에너지, 수자원 관리 정책이 개별 자원 사용량뿐만 아니라, 탄소 배출, 경제적 효과 등에 미칠 수 있는 영향을 정량적으로 제시하고, 이를 종합하여 각 자원 관리 시나리오별 지속가능성 지수를 산출, 비교할 수 있다<그림 9>. 또한 식량 및 수자원 정책은 내·외부 요인들에 의해 다양하게 수립될 수 있다. 따라서 넥서스 연계해석 기반의 자원관리 의사결정지원 시스템은 기후 및 인구변화 등의 외부요인을 고려한 다양한 식량, 수자원, 에너지 정책 시나리오를 적용할 수 있으므로 정책 결정자들이 해당 자원뿐만 아니라 타 자원들의 변화를 고려한 종합적인 자원관리 정책을 수립할 때 이용될 수 있다.

미래 기후변화는 가뭄뿐만 아니라 식량 생산에도 영향을 미칠 수 있으며, 인구변화는 식량 소비, 에너지 수급에도 영향을 미칠 수 있다. 특히, 기후변화에 따라 수자원 이용 가능량의 변동성이 증가하게 되고, 인구 증가로 인하여 식량 및 에너지 소비가 증가할 경우 추가적인 수자원의 이용이 필요할 수 있다. 이와 같이 식량과 물 확보는 상당한 연관성을 지니고 있고, 자원 확보를 위한 에너지의 필요성 역시 증가하게 된다. 따라서 기후변화 대응형 자원관리를 위해서는 물-에너지-식량 넥서스를 통한 자

그림 10. 물-에너지-식량 넥서스를 통한 지속가능성 평가



자료: Mohtar and Daher(2014), 이상현, 최진용(2015)에서 재인용.

원 간 연계해석이 필요하며, 넥서스 시스템을 자원 관리에 활용할 경우 자원별 변동 요인에 따른 지속가능한 자원 관리 의사결정 지원이 가능해 질 수 있다<그림 10>. 이와 같은 넥서스 이용의 장점을 고려하여 넥서스 기반의 농촌자원관리와 기존의 농촌자원관리의 차이점을 <표 1>에 나타내었다.

표 1. 물자원 관리시스템과 넥서스시스템 적용의 차이

구분	기존의 자원관리	넥서스 시스템 기반의 자원 관리
수자원 수요/공급	<ul style="list-style-type: none"> 단위면적 당 필요수량 산정 작물별 재배면적 활용 	<ul style="list-style-type: none"> 식량 수요변화에 따른 수자원 사용량 <ul style="list-style-type: none"> 식량 소비 패턴 및 식량 자급률 적용 물발자국을 통한 수자원 사용 평가 작물 이용 중심의 공급량 평가
	<ul style="list-style-type: none"> 용수공급원 중심의 평가 (저수지, 지표수, 지하수) 	<ul style="list-style-type: none"> 토양수분 이용 가능 평가 (Green water) 추가 관개용수 공급 평가 (Blue water) Green water와 Blue water 연계해석
식량 수급 변화	<ul style="list-style-type: none"> 작물 재배면적을 통한 총 수수량 산정 	<ul style="list-style-type: none"> 식량 소비패턴에 따른 식량소비량 적용 식량 자급률 변화에 따른 Green/Blue water 필요량 산정
에너지 수급 변화	<ul style="list-style-type: none"> 산업중심 에너지 수요 위주의 관리 정책 	<ul style="list-style-type: none"> 농촌자원관리를 위한 에너지 정량적인 사용량 관계 적용 자원관리 정책을 위한 에너지 필요량 고려 가능 수자원 공급과 수력발전의 유기적 연계
기후 요소 적용	<ul style="list-style-type: none"> 빈도별 가뭄에 따른 수자원 수요 및 공급량 분석 기후변화에 따른 식량 생산가능 저하 분석 	<ul style="list-style-type: none"> 기후변화 적응을 위한 자원별의 기후변화 영향의 연계 가능 기후변화에 따른 수자원의 효율적 분배 분석 가능
자원간 연계	<ul style="list-style-type: none"> 개별 자원 단위의 분석 가뭄-수자원 가뭄-생산량 	<ul style="list-style-type: none"> 시스템다이나믹스를 이용한 물-에너지-식량 및 기후영향의 동시 적용 및 상호 피드백, 제한요소 기능 적용

자료: 이상현, 최진용(2015).

6. 결론

이 글에서는 자원관리에 있어서 지속가능성 확보를 위한 물-에너지-식량 넥서스의 동향과 기초 개념 그리고 활용성에 대하여 살펴보았다. 물-에너지-식량 넥서스는 세계적으로 증가하고 있는 인구의 자원 수요에 대응하고 경제 발전을 지속시키기 위한 개발과정에서 필수적인 세 가지 요소의 지속가능한 확보에 대한 통합적 접근 방법으로 대두되어 국제적인 관심이 높고 연구가 활발히 진행되고 있는 분야이다. 세계적으로 자원의 지속가능성 문제는 국제기구와 여러 연구자가 관심을 갖고 있는 것으로서 자원의 관리와 확보를 위하여 기초 필수 자원인 물-에너지-식량에 대한 상호 통합 및

연계 관리를 위한 연구의 필요성은 국내외에서 이미 충분히 제시된 것으로 볼 수 있다. 또한 접근방법과 해석방법에 있어서 다양한 논의가 진행되고 있으나 우리나라에서는 물-에너지-식량 넥서스 관련 연구는 개념적인 부분에 집중되어 있고, 요인들 간의 상호 연관성을 해석하는 기술적인 부분은 부족한 실정이다.

우리나라의 경우 식량은 자립도가 낮고 수자원 또한 기후변화 영향에 민감한 부분이 있으며, 에너지는 거의 수입에 의존하는 국가이다. 따라서 국가 단위와 국제단위의 넥서스 분석을 위한 넥서스 구축은 향후 정책 실행단계에서 효과성 평가 등에 유용하게 활용할 수 있다.

또한 넥서스 시스템의 활용을 위해서는 미래 물, 에너지, 식량 자원 수요 대응 정책 의사결정 분야와 접목될 필요가 있으며 이를 위하여 다양한 물, 에너지, 식량 자원 관리 시나리오를 적용할 수 있다. 자원이 부족한 우리나라의 경우 자원간 상충작용의 분석을 통하여 자원관리의 지속가능성을 평가할 수 있도록 우리나라에 적용 가능한 물-에너지-식량 넥서스 인벤토리 구축과 이를 기반으로 하는 플랫폼 구축이 필요하다.

참고문헌

- 이상현, 최진용. 2015. 지속가능개발과 식량확보 관점의 물-에너지-식량 넥서스의 개발 및 연구 동향. 한국수자원학회지/ 2005년 11월호, 32-41.
- Daher, B. and Mohtar, R.H., 2014. Water–energy–food (WEF) Nexus Tool 2.0: guiding integrative resource planning and decision-making, Water International, DOI:10.1080/ 02508060.2015.1074148
- Dai, A., 2013. Increasing drought under global warming in observations and models, Nature Climate Change, Vol. 3: 52-58.
- Dubois Olivier, Jean-Marc Faures, Erika Felix, Alessandro, Flammini, Jippe Hoogeveen, Lucie Pluschke, Manas Puri and Olcay Unver., 2014, The Water-Energy-Food Nexus. A new approach in support of food security and sustainable agriculture, FAO
- Flammini, Alessandro, M. Puri, L. Pluschke, and O. Dubois. 2014. Walking the Nexus Talk: Assessing the Water-Energy-Food Nexus in the Context of the Sustainable Energy for All Initiative. FAO
- Howells, M., Hermann, S., Welsch1, M., Bazilian, M., Segerstrom1 R., Alfstad, T., Gielen, D., Rogner, H., Fischer, G., Velthuisen, H., Wiberg, D., Young, C., Roehrl, R.A., Mueller, A., Steduto P., and Ramma, I., 2013. Integrated analysis of climate change, land-use, energy and water strategies, Nature Climate Change, Vol. 3: 621-626.
- International Renewable Energy Agency(IRENA). 2015. Renewable Energy in the Water, Energy & Food Nexus.
- Kenny, J. F., Nancy L. Barber, Susan S. Hutson, Kristin S. Linsey, John K. Lovelace, and Molly A. Maupin. 2005. Estimated Use of Waterin the United Statesin 2006. USGS
- Mohtar, R. and Daher, B., 2012. Water, energy, and food: The ultimate nexus. In Heldman, D.R. and Moraru, C.I.(Eds), Encyclopedia of agricultural, food, and biological engineering. CRC Press. Taylor and Francis Group
- Mohtar, R.H. and Daher, B., 2014. A Platform for Trade-off Analysis and Resource Allocation: The Water-Energy-Food Nexus Tool and its Application to Qatar's Food Security. a Valuing Vital Resources Research Paper. Chatham House.
- OECD-FAO. 2012. "OECD FAO Agricultural Outlook 2013-2022". OECD, Paris.
- Solley, W. B., R. R. Pierce, and H. A. Perlman. 1995. Estimated Use of Waterin the United Statesin 1998. USGS.
- UNECE. 2017. <http://www.unece.org/env/water/nexus>, 2017. 8 accessed.
- Vanham, D., 2016. Does the water footprint concept provide relevant information to address the water–food–energy–ecosystem nexus?, Ecosystem Services 17,

298-307

WBCSD(World Business Council for Sustainable Development). 2014. Water, Food, Energy Nexus Challenges. WBCSD.

WEF(World Economic Forum). 2011. Water security: The water–energy–food–-climate nexus: The world economic forum water initiative ed. by D. Waughray. Washington, DC: Island Press.

WEF(World Economic Forum). 2014. Global Risks 2014 Report.

Yoo, S.-H. J.-Y. Choi, S.-H. Lee and T. Kim. 2014. Estimating water footprint of paddy rice in Korea. Paddy and Water Environment 12(1), 43-54.