

## 06

# SNAK(Smart Nexus for Agriculture in Korea)을 위한 자원 요인 조사 및 실증기반구축



최은희  
한국농어촌공사 농어촌연구원  
/ 박사  
ehchoi@ekr.or.kr



이승현  
한국농어촌공사 농어촌연구원  
/ 박사  
shyi@ekr.or.kr

## 1. 머리말

전 세계적으로 지속적인 인구증가와 도시화 및 산업화의 영향으로 물, 에너지, 식량의 수요증가와 공급부족이 예상되는 가운데, 급격한 기후변화와 자원고갈로 인해 이러한 현상은 더욱 가속화되고 심화될 위기에 직면하고 있다. 특히 물에 대해서는 수요는 증가하나 공급은 제한되어 있어 지속가능한 인류의 생존을 위하여 인간에게 꼭 필요한 에너지와 식량의 문제를 물을 중심으로 상관성을 찾고 효율적인 물 활용 방법을 개발하고 정책화할 필요성이 제기되고 있다(이을래 등, 2015). 물-에너지-식량 넥서스(이하 WEF 넥서스)란 자원간의 상쇄작용(trade-off)과 상승효과(synergy)를 분석하여 외부 요인이 물-식량-에너지에 끼치는 영향을 통합적으로 평가하고 이를 의사결정에 이용하는 것으로, 물 확보, 에너지 확보, 식량 확보에 있어서 자원의 효율적인 이용을 달성하고 궁극적으로는 지역-유역-범 지구적으로까지 다양한 공간에서의 지속 가능한 발전을 이룩하자는 데 목적을 두고 있다.

WEF 넥서스 관리를 위해서는 물, 에너지, 식량 자원에 대한 정량화와, 정량화된 자원간의 상호연계 해석 그리고 이를 기초로 구성된 시나리오를 바탕으로 기후 및 인구 등의 외부요인의 영향까지 동시에 적용할 수 있는 WEF 넥서스 기반 자원관리 의사결정지원 시스템(모델)의 구축이 필수적이다.

## 기후변화에 대응한 자원의 지속가능한 효율적 이용

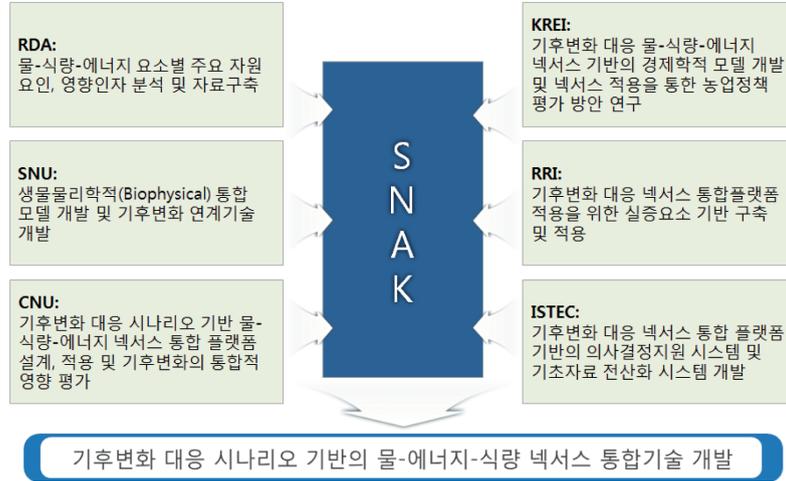


그림 1. SNAK 연구진 구성 및 역할

농촌진흥청에서는 국립농업과학원을 주관연구 기관으로 하여 서울대학교, 전남대학교, 농촌경제연구원, 농어촌연구원, (주)ISTEC 등 총 6개 기관이 합동으로 '기후변화 대응 시나리오기반의 물-에너지-식량 넥서스 통합기술개발(Smart Nexus for Agriculture in Korea, SNAK)' 연구를 수행하고 있다(그림 1 참조).

SNAK 연구의 핵심 내용은 '기후변화 대응 시나리오 기반의 WEF 넥서스 평가 플랫폼 개발과 이를 활용한 자원별 지속가능성 평가 시스템 구축'에 있으며, 이를 통해 정책집단에 물-에너지-식량의 연계성을 고려하는 의사결정시스템 및 정책 시나리오를 제공하는 것을 목적으로 한다.

본 고에서는 자원관리 의사결정지원 시스템개발을 위해 필요한 자원요인을 조사·분석하고, SNAK 연구에서 개발된 WEF 넥서스 통합플랫폼의 적용을 위한 시범지구 자료 구축을 위해 수행

된 결과를 제시하고, 본 결과의 향후 활용방안에 대해 소개하고자 한다.

## 2. 실증요소 기반구축

### 2.1 연구개발 절차 및 방법

#### 2.1.1 연구개발 절차

시나리오 기반의 WEF 넥서스 통합 플랫폼을 통한 의사결정지원 시스템 개발은 그림 2와 같이 3단계로 진행된다. 1단계로 식량자원, 에너지자원, 수자원 및 기후변화에 대한 개별 자원요인을 조사하여 DB를 구축하고, WEF 넥서스 플랫폼 개발을 위한 시나리오 설정을 위한 자료 수집을 위해 시범지구를 선정하여 모델링을 위한 기초자료를 조사하게 된다. 1단계에서 구축된 DB를 이용하여 2단계에서는 넥서스 시스템을 통한 자원관리 시나리오를 평가하고, 3단계에서는 넥서스 분

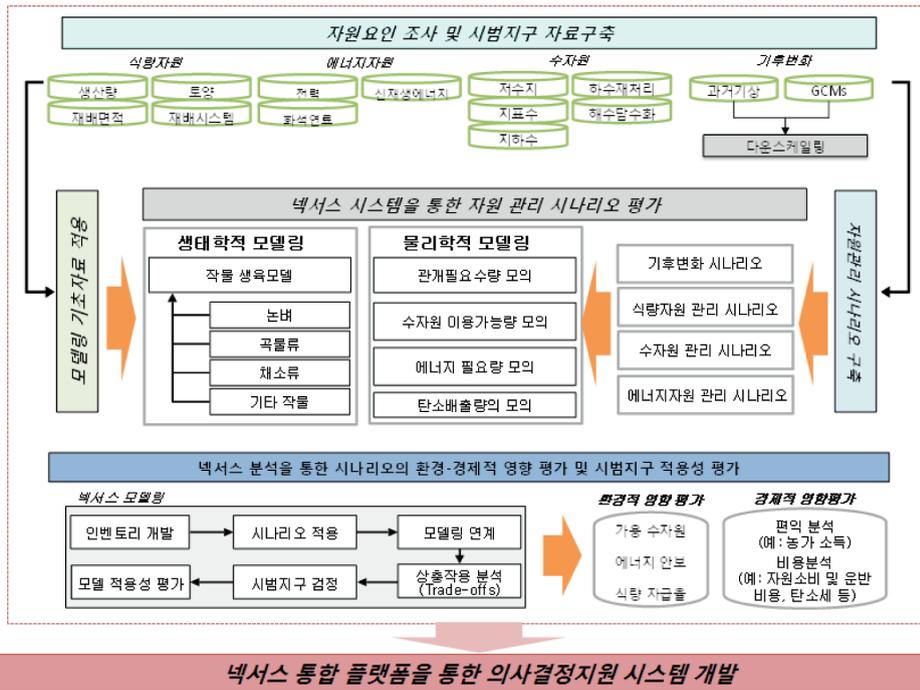


그림 2. WEF 넥서스 통합플랫폼 개발 추진체계

석을 통한 시나리오의 환경·경제적 영향 평가 및 시범지구 적용성 평가를 수행하게 된다.

WEF 넥서스 통합플랫폼에서는 생태학적 모델, 물리학적 모델 및 경제적 모델이 연계되는데, 개별 모델들의 모델링을 위해서는 표준단위의 자료가 필요하다. 예를 들어 단위 작물 생산을 위해서 필요한 관개수량, 에너지 소비량, 비료량 등 개별 parameter 별 표준화된 자료를 통해 신뢰성 있는 모델링이 가능하다. 이전의 연구에서는 개별 자원에 대한 모델개발 과정에서 다양한 parameter들에 대한 자료구축이 이루어졌지만, 자원간의 연계를 고려한 parameter의 정량화, 표준화를 위한 연구는 미흡했던 것으로 판단된다. 본 연구에서는 앞서 설명한 연구개발 단계에서 1단계인 자원요인 조사 및 시범지구 자료 구축을 중심으로 연구를 수행하였다.

## 2.1.2 연구방법

자원요인 조사 및 시범지구 자료 구축은 물-에너지-식량 자원요소별 자원요인을 조사하고 분석하였다. 조사대상 자원요인은 1) 관개용수공급에 영향을 미칠 수 있는 요인 2) 농경지 에너지 이용 관련 주 소비요인 3) 식량자원 생산성 영향인자였으며, 조사대상 자원요소별 자원요인은 표 1의 내용에 따라 조사하였다. 조사는 현장조사, 설문조사 및 문헌조사로 통해 수행되었다.

시범지구 고려 대상지역은 물과 에너지요소를 구분하여 중심으로 선정하였으며, 용수사용 현황을 기준으로 3지역을 검토하였는데, 농업용저수지 또는 양수장을 기반으로 농업용수를 공급하는 논 농업지역, 지하수에 의존하는 수막재배를

포함하는 시설원에 농업지역 및 하수재처리이나 기수(해수)담수화 시설을 이용하여 대체용수를 이용하고 있는 농업 지역을 대상으로 하였다. 에너지요소는 농업기반시설 활용 재생에너지 생산, 지열 등 재생에너지 생산을 조사대상으로 하였다.

자원요인 자료 수집은 작물재배 적기 기준, 자료수집 용이성을 고려하였고, 용수 공급측면(저수지, 양수장, 관정 등 종류별 복수 용수원), 수요측면(용수의 경합이 있는 지구, 선별, 노지와 시설재배 등으로 복합적 토지이용이 있는 지구, 에너지 측면에서 시설농업과 시설이 없더라도 에너지 이용이 많고 현재 신재생에너지가 이용되고 있거나

개발 가능성이 있는 지역 등을 특성을 고려하여 수행하였다.

## 2.2 시범지구 선정 및 자원요인 분석

### 2.2.1 시범지구 선정

시범지구 선정은 물 및 에너지 요소 중심으로 구분하여 기준을 설정하였고, 대상지역에 대한 조사를 통해 지역을 선정하였다.

표 2와 같이 물중심 지역은 1) 농업용저수지 또는 양수장 기반 농업용수를 공급하는 논 농업지

표 1. 물-에너지-식량 요소별 자원요인 및 조사

| 일반특성               |             |                      |                      |                  |                  |                   |
|--------------------|-------------|----------------------|----------------------|------------------|------------------|-------------------|
| 영농방식               | 작물종류        | 수원                   | 토양물리특성               | 관개방법             |                  |                   |
| water              |             |                      |                      |                  |                  |                   |
| 논                  |             |                      |                      |                  |                  |                   |
| 관개량 (mm)           | 강우 (mm)     | 평균담수심 (mm)           | 침투량 (mm)             | 배수량 (mm)         | 잠재증발산량_수정penman법 |                   |
| 밭                  |             | 시설재배                 |                      | 용수생산비            |                  |                   |
| 용수공급량 (ton/ha/day) |             | 양액용수량 (ton/ha/day)   | 수막용수량 (ton/ha/day)   | 시설순공사비 (백만원/ton) | 유지관리비 (백만원/yr)   | 생산단가 (원/톤)        |
| Energy             |             |                      |                      |                  |                  |                   |
| 일반(농기구)            |             |                      | 관정에너지                |                  |                  |                   |
| 에너지 투입분야           | 에너지 종류      | 투입에너지량 ((L, kwh)/yr) | 양정깊이 (m)             | 양수량 (ton)        | 에너지사용량 (w)       | 에너지 생산단가 (천원/kwh) |
| 시설난방에너지            |             |                      |                      |                  |                  |                   |
| 난방종류               | 난방에너지 종류    | 시설순공사비 (백만원/MW)      | 에너지사용량 ((L, kwh)/yr) | 에너지생산단가 (천원/kwh) | 실내설정온도 (°C)      |                   |
| Food               |             |                      |                      |                  |                  |                   |
| 재배면적 (ha)          | 생산량 (kg/ha) | 투입기자재                |                      | 수확주기             |                  |                   |
|                    |             | 투입기자재 종류             | 구입비                  | 파종~첫수확기간 (일주)    | 수확주기 (일, 주)      |                   |
| 투입노동력              |             |                      | 부산물 생산 및 처리          |                  |                  |                   |
| 노동력                | 노동투입량 (man) | 인건비단가 (백만원/인.년)      | 부산물 종류               | 부산물 발생량 (ton/yr) | 부산물 처리방법         |                   |

표 2. 시범지구 조사대상 현황

| 구분     | 기준  | 대상지역(시설)      | 위치    |
|--------|---|---------------|-------|
| 물중심    | 농업용저수지 또는 양수장 기반 농업용수 공급하는 논 농업지역             | **지 및 인근 농업지역 | 경기 화성 |
|        | 지하수 활용 시설원에 농업시설                              | **지구          | 경남 진주 |
|        | 하수재처리나 기수(해수)담수화 시설을 이용하여 대체용수를 이용하고 있는 농업 지역 | 김해 **         | 경남 김해 |
| 에너지 중심 | 농업기반시설활용 재생에너지생산                              | ** 수상태양광      | 충남 보령 |
|        | 지열 등 재생에너지 활용시설                               | *****         | 충남 홍성 |
|        | 자연광 이외 에너지 이용                                 | ***           | 경기 평택 |

표 3. 시범지구 세부조사대상 선정 현황

| 구분            | 물 중심                                      |                                 |   | 에너지중심                      |                       |               |
|---------------|---|---------------------------------|---|----------------------------|-----------------------|---------------|
|               | 농업용저수지 또는 양수장을 기반으로 농업용수를 공급하는 논 농업지역     | 지하수에 의존하는 수막재배를 포함하는 시설원에 농업 지역 | 하수재처리나 기수(해수) 담수화 시설 이용, 대체용수 생산 및 이용 농업 지역 | 농업기반시설 활용 재생에너지 생산         | 지열 등 재생 에너지 활용시설      | 자연광 이외 에너지 이용 |
| 대상지역 (시설)     | **지 및 인근 농업지역                             | 진주 **지구                         | 김해 **                                       | ** 수상태양광                   | *****                 | ***           |
| 넥서스 구성요소      | W-(E)-F                                   | W-E-F                           | W-E   | -<br>(기후변화)                | E-F                   | E-F           |
| 적용기술          | 간단관개                                      | · 지하수이용 시설 원에<br>· 과거수막재배 적용    | 해수 담수화를 통한 농업용수 생산                          | -                          | 지열히트펌프                | 지열히트펌프        |
| 수집자료 및 수집 용이성 | · 단위면적당 농산물 지배현황<br>· 용수 사용량<br>· 에너지 사용량 | · 시설원예에서 W-E-F관련 대 부분의자료        | · 담수화 공정<br>· 단위 용수생산을 위한 에너지소요량, 비용 등      | 재생에너지 생산 이외 다른 요소와의 연관성 없음 | 민간 기업으로 자료 습득 어려움이 있음 |               |
| 조사대상 선정유무     | ○   | ○                               | ○   | X                          | X                     | X             |

역, 2) 지하수 활용 시설원에 농업시설 3) 하수재 처리나 기수(해수)담수화 시설을 이용하여 대체용수를 이용하고 있는 농업 지역을 대상으로 하였으며, 에너지 중심지역은 1) 농업기반시설활용 재생 에너지생산 2) 지열 등 재생에너지 활용시설 3) 자연광 이외 에너지 이용 시설을 대상으로 하였다.

조사결과는 표 3과 같이, 물-에너지-식량 자원 요소 포함여부, 적용기술, 수집자료 종류 및 수집 용이성 등을 고려하여 3지구를 선정하였다.

## 2.2.2 자원요인 자료 수집 및 분석

### 농업용 저수지 기반 논농업 용수공급과 에너지 사용 관계

양수 시스템을 이용하는 농업용수 생산과 에너지 사용의 상관관계를 도출하기 위해 먼저 국내 논 농업에 공급되는 농업용수를 지역별, 공급형태 별로 구분하여, 공급량, 에너지사용량 등의 자료를 분석하였다.

지역별 총 공급되는 농업용수 중 무동력으로 공

급되는 용수량은 지역별로 큰 차이를 보이는데, 그림 3과 같이 강원도는 공급하는 농업용수 중 70%를 저수지에서 무동력으로 간선 및 지선 등 용수로를 이용해 공급하고 있지만, 경기와 충남은 각각 19%와 26%의 용수만 무동력으로 공급하고 나머지 농업용수는 에너지를 사용하는 양수장을 통해 공급되는 것으로 분석되었다.

무동력 용수공급 형태와는 달리 지역별 단위 양수량당 에너지 사용량을 분석한 결과를 보면, 강원도가 타 지역에 비해 높은 에너지 사용량을 보이는데, 이것은 강원도의 지리학적 특성에 따라 저수지에서 직접 용수를 공급 받을 수 있는 지역은 양수장을 거치지 않고 바로 농업용수를 공급받지만, 그 외 지역은 농업용수 중계 양수장을 통해

용수를 공급 받음으로써 단위 양수량당 에너지 소비량은 61.9 kWh/천m<sup>3</sup> ~ 422.5 kWh/천m<sup>3</sup>로 지역별 편차가 심한 것으로 분석되었다.

그림 4는 연도별 지역별 단위용수 공급시 발생하는 온실가스 배출원단위 산정결과를 보여주고 있는데, 단위 용수량 공급시 발생하는 온실가스는 경기도가 평균 0.036 tCO<sub>2</sub>eq/천톤, 강원도가 0.185 tCO<sub>2</sub>eq/천톤과 같이 용수공급 특성의 차이로 인해 지역별 발생 원단위가 차이는 것으로 분석되었다. 온실가스 원단위는 동일 지역내에서는 유사한 값을 보일 것으로 예상되었지만 동일 지역의 단위용수량 공급시 발생하는 온실가스 배출량이 연도별 차이를 보이는데, 특히 충청북도 및 경상북도는 매년 배출량이 증가하는 결과를 보이고 있다.

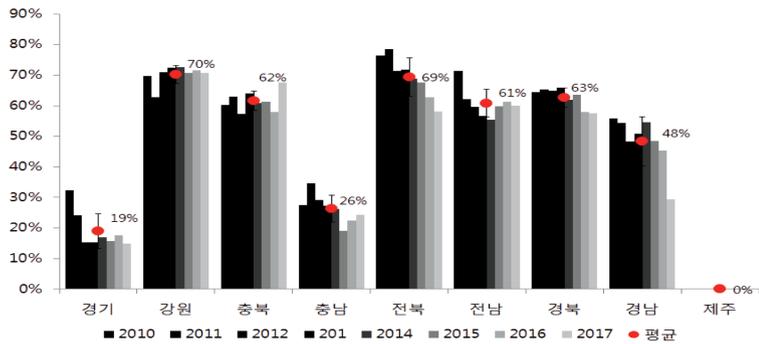


그림 3. 총 공급 농업용수 중 저수지 기여율(무동력)

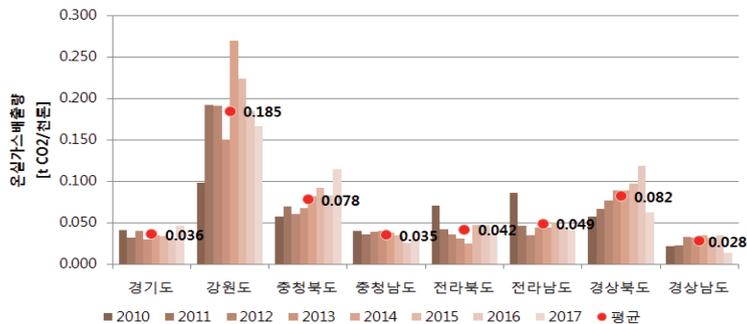


그림 4. 지역별 수리시설 온실가스 배출원단위 추정

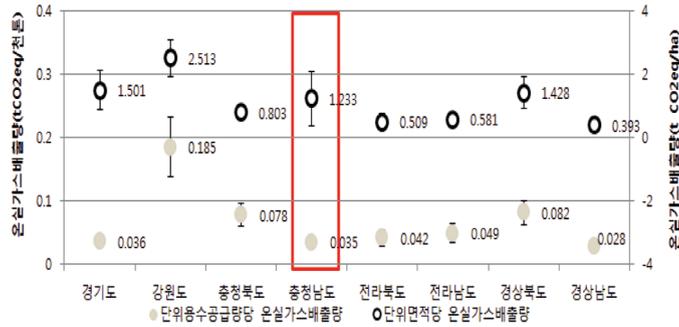


그림 5. 단위 농경지 면적당 온실가스 배출원단위 산정

용수공급으로 인한 년 평균 단위농경지당 온실가스 배출량도 증가 추세를 보이고 있는데, 그림 5에서와 같이 전국 평균이 2011년에는 1.5 tCO<sub>2</sub>eq/ha였으나, 2016년에는 2.0 tCO<sub>2</sub>eq/ha으로 증가하였다. 따라서 추후 연구에서는 시공간적 단위 용수공급당 온실가스 배출량이 차이가 나는 원인을 규명하고, 이를 통해 온실가스 감축 방안 모색이 필요하다.

대상으로 조사하였다. 국내에서 농업용수로 사용하기 위한 해수 담수화나 하수재처리하는 현재까지는 일반적인 적용은 아니지만, 최근 몇 년 동안 기후변화로 인한 농업용수의 절대 부족사태가 벌어지는 상황에서 비상용 농업용수 공급원으로서의 활용도가 있었으며, 향후 기상이변 등으로 인한 농업용수 부족을 고려할 때 자원요인의 요소기술로 고려할 필요가 있다.

#### 해수담수화를 통한 농업용수 생산 시스템의 용수 생산과 에너지 관계 분석

해수담수화 시설을 이용하여 대체 용수를 이용하는 농업지역은 김해\*\*을 대상으로 하였고, 하수재처리수를 이용한 대체용수 이용은 제주\*\*을

표 4는 개발된 기술 중 국내에 적용된 사례를 통해 수집된 자료를 분석하여 도출한 결과를 사례로 보여주고 있으며, 향후 지속적인 자료 수집과 분석을 통해 물-에너지-식량 모델들에 활용할 데이터베이스를 구축할 계획이다.

표 4. 해수담수화 및 하수재처리를 통한 농업용수 생산 시스템 분석

| 구분  | 일반특성                |       | 용수            |              |          |       | 에너지           |          |                   |
|-----|---------------------|-------|---------------|--------------|----------|-------|---------------|----------|-------------------|
|     |                     |       | 시설재배          | 용수생산비        |          |       | 투입에너지 일반(농기구) |          |                   |
|     | 영농방식                | 수원    | 용수량 (ton/day) | 시설순공사비 (백만원) | 유지관리비    | 생산 단가 | 에너지 투입분야      | 에너지 종류   | 투입에너지량 (L,kwh)/yr |
| 담수화 | 김해 ** <sup>1)</sup> | 시설 원예 | 500           | 54           | 145      | 1,223 | 담수화 설비 (고정식)  | 경유       | 99,860 L          |
|     |                     |       |               |              | 백만원/y    | 원/톤   |               |          |                   |
|     | 제주 ** <sup>2)</sup> | 밭     | 3000          | 1600         | 12.4원/톤  | (전처리) | 담수화 설비 (고정식)  | 전기       | 0.11kw/톤          |
|     |                     |       |               | 30.7원/톤      | (UF 시스템) | 전기    |               | 0.14kw/톤 |                   |
|     |                     |       |               | 47.5원/톤      | (RO 시스템) | 전기    |               | 0.33kw/톤 |                   |

[출처] 1) 농어촌연구원 내부자료, 2) 환경부, 2016]

### 3. 마치면서

현재 세계적인 화두는 기후변화와 식량안보이며, W-E-F 넥서스를 통해 기후변화, 식량안보 및 농업환경변화 문제를 극복하고자 하는 요구가 증대함에 따라 기후변화에 대응하며 식량 안보를 위한 지속가능한 새로운 농업모델의 개발이 필요하다.

1년차 연구를 통해 W-E-F 넥서스의 대표적인 요소인 식량, 물, 에너지 자원에 대한 자료 조사가 수행되었고, 향후에는 이를 개별 자원 모델링을 위한 기초자료로 구축할 예정이다. 기후변화의 영향을 고려하기 위하여 수집되고 구축된 시스템에 연계될 수 있도록 자원의 인벤토리를 구축할 계획이다.

사사 : 본 성과물의 일부자료는 농촌진흥청 연구사업(세부 과제번호 : PJ01343505)의 지원에 의해 이루어진 것임.

### 참고문헌

1. 농어촌연구원, 2016, 농업용수 비상급수를 위한 담수화시스템 실증화연구
2. 이상현, 최진용, 2015, 지속가능개발과 식량확보 관점의 물-에너지-식량 넥서스의 개발 및 연구 동향, 물과미래, Vol.48(11), 32-41
3. 이을래, 최병만, 채효석, 정영훈, 박정은, 2015, 지속가능한 물-에너지-식량 넥서스를 위한 추진전략 및 체계도출, 물과미래, Vol.48(11), 42-49
4. 환경부, 2016, 융·복합 분리막 물 처리 기술을 이용한 재이용 공정개발 및 실증화