

물-에너지-식량 연계 (Water-Energy-Food Nexus) 기술 개발 기획 최종보고서

2017. 3.

주관연구기관 / 한국수자원공사
공동연구기관 / (주)날리지웍스

국 토 교 통 부
(전문기관) 국토교통과학기술진흥원

제 출 문

국토교통부장관(국토교통과학기술진흥원장) 귀하

'물-에너지-식량 연계(Water-Energy-Food Nexus) 기술 개발 기획 연구'(연구개발 기간 : 2015. 12. 23 ~ 2017. 3. 22) 과제의 최종보고서를 제출합니다.

2017. 8. 25.

주관연구기관명 : 한국수자원공사 (대표자) 이 학 수 (인)



공동연구기관명 : (주) 날리지웍스 (대표자) 이 재 희 (인)



주관연구기관책임자: 최병만 선임지원위원

공동연구기관책임자: 류형근 본부장

국토교통부소관 연구개발사업 운영규정 제38조에 따라 최종보고서 열람에 동의합니다.

보고서 요약서

과제 고유 번호	15RDPP- C107987-01	해당 단계 연구 기간	‘15.12.23 ~ ‘17.03.22	단계구분	(1)/(1)
연구사업명	중사업명				
	세부사업명	국토교통연구기획사업			
연구과제명	대과제명				
	세부과제명	물-에너지-식량 연계(Water-Energy-Food Nexus) 기술 개발 기획			
연구책임자	최 병 만	해당단계 참여 연구원 수	총: 14명 내부: 14명 외부: 명	해당단계 연구개발비	정부: 135,000 천원 기업: 천원 정부 외: 천원 계: 천원
		총 연구기간 참여 연구원 수	총: 14명 내부: 14명 외부: 명	총 연구개발비	정부: 천원 기업: 천원 정부 외: 천원 계: 135,000 천원
연구기관명 및 소속 부서명	한국수자원공사 K-water 융합연구원			참여기업명 (주) 날리지웍스	
국제공동연구	상대국명:			상대국 연구기관명:	
위탁연구	연구기관명:			연구책임자:	
요약				보고서 면수: 261p	

- I. 목적 : 물-에너지-식량 위기를 극복하기 위한 국가 자원확보와 지속가능한 성장을 위한 물-에너지-식량 자원의 효율적 연계기술 개발 기획
- II. 필요성 : 미래 기후변화 대응 및 국가 물안보 체계 구축을 위해 물관련 국정 아젠다로써의 Water-Energy-Food Nexus 국가 통합적 실행계획 필요
- III. 기술개발 내용
 - WEF 넥서스 지식화 인벤토리 설계 및 개발
 - WEF 넥서스 기술을 평가하고 상호 영향을 분석하기 위해서는 데이터 구축이 필요하나 이때 단순 DB 구축이 아닌 넥서스 DB를 기반으로 관련지식을 생성하여 국민들에게 전달할 수 있는 개량화된 지식 DB 개발
 - 물-에너지-식량 넥서스 Trade-off 평가 툴 개발
 - 각 자원간 상호작용에 대한 생산-공급-소비 단계에서의 평가를 수행하기 위한 툴을 개발하여 이를 통해 Trade-off, 시너지, 기술영향 등에 대한 다차원 평가 툴 개발
 - WEF 연계 효율 개선 및 운영 최적화 기술 개발
 - 수자원 및 수자원 인프라 시설을 활용한 자원 생산 극대화 및 효율성을 증진하고 자립형 에너지 생산기술과 식물공장 및 시설재배의 수자원 연계효율 최적화를 통한 생산성 증대를 도모하며 요소기술을 연계 및 운영하는 입체적 기술 개발
 - WEF 연계 검증 및 실증 기술 개발
 - 소규모 WEF 넥서스 실증 마을 구축을 위해 기존 기술 및 WEF Nexus 기술을 융합하여 실현할 수 있는 기술을 도출하며, 기술의 실증을 통한 WEF Nexus 기반 인문사회, 과학적 제도 및 정책 개선 및 실용화

국문 요약문

연구의 목적 및 내용	• 물-에너지-식량 위기를 극복하기 위한 국가 자원 확보 및 전략 기획 수립 • 지속가능한 성장을 위한 물-에너지-식량 자원의 효율적 연계기술 개발 기획 수립				
연구개발성과	□ WEF 넥서스 지식화 인벤토리 설계 및 개발 - WEF 넥서스 기술을 평가하고 상호 영향을 분석하기 위해서는 데이터 구축이 필요하나 이때 단순 DB 구축이 아닌 넥서스 DB를 기반으로 관련지식을 생성하여 국민들에게 전달할 수 있는 개량화된 지식 DB 개발 □ 물-에너지-식량 넥서스 Trade-off 평가 툴 개발 - 각 자원간 상호작용에 대한 생산-공급-소비 단계에서의 평가를 수행하기 위한 툴을 개발하여 이를 통해 Trade-off, 시너지, 기술영향 등에 대한 다차원 평가 툴 개발 □ WEF 연계 효율 개선 및 운영 최적화 기술 개발 - 수자원 및 수자원 인프라 시설을 활용한 자원 생산 극대화 및 효율성을 증진하고 자립형 에너지 생산기술과 식물공장 및 시설재배의 수자원 연계효율 최적화를 통한 생산성 증대를 도모하며 요소기술을 연계 및 운영하는 입체적 기술 개발 □ WEF 연계 검증 및 실증 기술 개발 - 소규모 WEF 넥서스 실증 마을 구축을 위해 기존 기술 및 WEF Nexus 기술을 융합하여 실현할 수 있는 기술을 도출하며, 기술의 실증을 통한 WEF Nexus 기반 인문사회, 과학적 제도 및 정책 개선 및 실용화				
연구개발성과의 활용계획 (기대효과)	• 객관화되고 검증된 자료 활용에 따른 국가보고서 신뢰성 향상 • 해외사업 원조시 맞춤형 평가 및 기술 지원 가능 • 평가툴을 활용한 자원간 연계 제약사항 및 대처방안 제공 • 국가, 지역별 자원간 연계 의사결정 타당성 제시 • 법, 제도, 정책의 개선 및 인증제 도입을 통한 자원 넥서스 국민 공감대 도출 가능 • 해외 수출시 검증된 맞춤형 플랫폼 기술 활용 • 자원연계기술의 실질적 검증 및 효과를 통한 넥서스 원천기술 확보 가능 • 실질적 기술 확보를 통해 자원자립도 향상 및 대외 의존도 탈피				
핵심어 (5개 이내)	물-에너지-식량	넥서스	평가툴	연계효율	기술실증

＜ SUMMARY ＞

Purpose & Contents	• Securing national resources and strategic planning to overcome the Water–Energy–food crisis • Planning and development of water–energy–food collaboration technologies for sustainable growth				
Results	□ WEF Nexus knowledge, inventory design and development – In order to evaluate WEF Nexus technology and analyze the mutual influence, it is necessary to construct data, at this time, it is not a simple DB construction, but based on the Nexus DB, related knowledge is generated, improved knowledge database development that can be conveyed □ Water–Energy–Food Nexus trade–off assessment tool development – Development of tools for evaluating at the production–supply–consumption stage for interaction among resources, through which development of multidimensional evaluation tools such as trade–off, synergy, influence of technology etc. □ Improvement of connection efficiency of WEF and development of optimization technique for operation – Promote maximization and efficiency of resource production utilizing water resources and water infrastructure facilities, Improve productivity through optimization of water resources connection efficiency of self–sustaining energy production technology, plant factory, facility cultivation, stereoscopic technology development to cooperate and operate elemental technologies □ Connection verification of WEF and development of demonstration technology – In order to construct a small scale WEF Nexus demonstration village, we derive technologies that can be realized by combining existing technology and WEF Nexus technology, improvement and practical application of WEF Nexus–based humanities / science institutions / policies through demonstration of technology				
Expected Contribution	• Improve reliability of national reports by utilizing objectively verified materials • Custom evaluation and technical support available when assisting overseas projects • Provide cooperation restrictions among resources and coping methods using assessment tool • Presentation of relevance of cooperation decision making among country, regional resources • Through improvement of law, institution, policy and introduction of certification system, people's empathic of resources Nexus derivation possible • Utilize verified custom platform technology when exporting overseas • Ability to secure Nexus source technology through substantial verification and effect of resource connection technology • Improvement of resource autonomy through ensuring substantial technology and shedding on external dependence				
Keywords	Water–Energy–Food	Nexus	Assessment Tool	Connection Efficiency	Verification of Technology

기 획 과 제 요 약 문

I. 제 목

- ☐ 물-에너지-식량 연계(Water-Energy-Food Nexus) 기술 개발 기획

II. 기획연구 목표

- ☐ 물-에너지-식량 위기를 극복하기 위한 국가 자원 확보 및 전략 기획 수립
- ☐ 지속가능한 성장을 위한 물-에너지-식량 자원의 효율적 연계기술 개발 기획 수립

<WEF Nexus 기술의 정의>

- 미래환경의 불확실한 자원흐름을 미리 예측하고 공격적이고 선제적인 대응을 위해 물-에너지-식량의 생산, 공급, 소비 과정에서 **자원간 연계(Nexus)**를 활용하여 **자원안보 및 경제적 효과**를 나타낼 수 있는 Industry 4.0기반 혁신적 기술 및 정책 연계 (기획연구)

III. 연구개발 필요성

☐ 연구개발 현황

- 프랑스 전력공사
 - 2000년 초반 EDF에서는 기존의 규정대로 물공급을 지속하면 발전에 어려움이 발생하는 것을 인식
 - 주요 농업 관개시설과 물절약협약 체결 → 물절약에 따른 금전적 보상
 - 1 m³ 당 생산할 수 있는 에너지 가치와 연계해 물의 가치를 측정하는 방법 개발
 - 물사용량 : 기존 관행과 관리방식 변화(30%↓), 효율적 물사용기술(70%↓)
 - 관개용수와 발전량의 효율적 물사용(3억2,500만m³ → 2억3,500만m³ 절감)
- 이매진 H2O
 - 넥서스 이워터 재활용장치 개발(캘리포니아 적용)
 - ※ 가정내 물사용량 34%↓, 하수용량 70%↓, 온수공급을 위한 에너지 75% ↓
 - 가정오수의 안전한 재생, 오수의 폐열을 추출해 온수탱크에 저장

○ 기업간 상호 협업

- (텍사스 3개회사 협업) 오스틴 수도회사, 텍사스 가수 서비스, 오스틴 에너지
- 다가구 에너지 및 물 효율 프로그램 개발 → 자원효율적 주택개조
- 연간 470만kWh의 전기와 3,785만 liter의 물절약

○ 베올리아

- 100% 에너지 자립형 폐수처리시설 운영
- 폐수의 농도를 예측하고, 생산되는 슬러지 처리과정에서 생산되는 열을 이용하여 폐수처리시설에 필요한 에너지 60% 공급 및 처리된 폐수는 농업용수 와 비료로 활용

○ 싱가포르(PUB)

- 생활하수를 다중 필터시스템으로 정화하여 재처리 : 초미세여과, 역삼투압, 자외선 소독 등 (하수재이용)
- 반도체나 LCD 제조와 같은 정제된 물을 사용하는 산업공정 등에 이용
- 산업용수 90%, 음용수 10% 활용
- Hyflux : 물과 에너지의 지속가능하고 최적화된 혁신적 해법을 찾는 동남아 최대 수처리 업체 (수처리, 해수담수화, 폐자원의 에너지 활용 등)

○ 댐운영관리 통합

- 기 건설되어 운영 중인 수력발전댐과 기존 댐과의 통합관리를 통한 수자원 관리 효율성 증대 필요
- (현황) 현재 전체 전력생산량에서 수력발전이 차지하는 비중은 1%도 채 안 될 정도로 낮음
- (효과) 한강수계에 있는 수력발전댐을 다목적화해 실시간 통합연계 운영하게 되면 약2.4억 m^3 의 홍수조절 용량 및 5.4억~8.8억 m^3 의 용수공급 능력을 추가로 확보할 수 있으며, 이는 최근 건설 중인 영주댐(저수용량 1.8억 m^3 , 1조1,000억원)을 3~4개 정도 추가로 건설하는 효과

○ 해수담수화

- 해수담수화 플랜트에서의 O&M 비용 중 전력비가 전체의 절반을 차지하며 생산 원가는 소비 전력 비용에 큰 영향
- 농어촌/도서지역 식수원 개발사업으로 도서지역에 해수담수화시설 건설 지원
- 국토교통 R&D로 부산 기장에 테스트베드 건설, 기장군 지역에 생활용수 공급 계획
 - ※ 시설용량 45,000 m^3 /일, 부산 기장군 대변리 일원 소재, 총 연구비 1,969억원

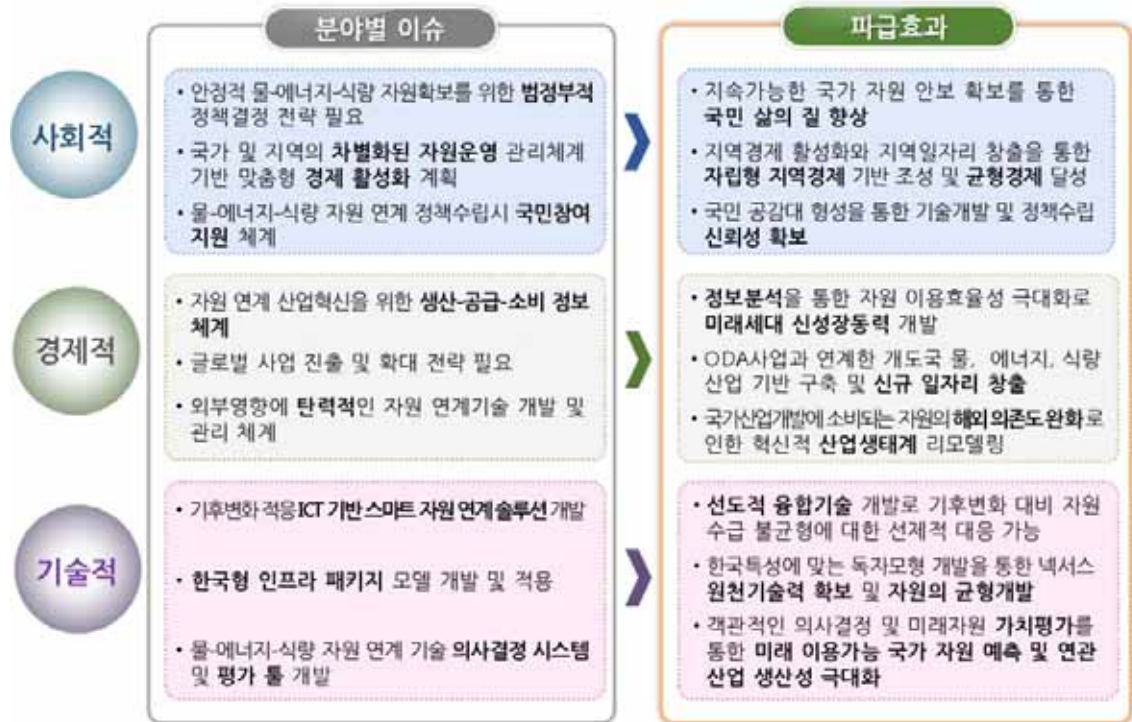
- 포스코건설이 광양제철소에 자체 수원 확보를 위해 건설
 - ※ 사업비 약 550억원, 시설용량 30,000m³/일, 생산원가 약 1,100원/m³
 - 광양시 포스코 광양제철소 부지 내
- 수상태양광
 - 태양광설비를 저수지 수면에 설치함으로써 산림 훼손이나 토지 점유 불필요
 - 태양빛 차단으로 저수지 녹조 현상 완화, 물고기 산란환경 조성, 육상 태양광보다 약 10%의 발전효율 향상 기대
 - 합천댐(500kW, 2012년), 보령댐(2MW, 2016년), 충주댐(3MW, 2017년)
 - 국내 수상태양광 개발 잠재량 : 약 5,300MW
 - ※ 1,000MW급 원전 5개 규모
- 수열에너지 냉난방 시스템
 - 댐 호소수, 광역원수 등 수열원의 풍부한 부존량을 활용하여 수열에너지 사업 활성화
 - (제2롯데월드) 댐 호소수, 광역원수 등을 활용하여 공동개발(제2롯데월드 3,000 RT)추진
 - 광역상수도 관로 안의 수온 차이(여름철에는 대기보다 차갑고, 겨울철에는 대기보다 따뜻한 현상)를 이용한 수온차 냉난방은 기존 냉난방 시설에 비해 에너지효율이 최대 40%높음

□ 한계점

- 물, 식량, 에너지의 관리를 주관하는 부처가 다르기 때문에(국토교통부(물), 산업통산자원부(에너지), 농림축산식품부(식량)) 자원연계의 정책 필요
- 현재까지 국내에서는 물-에너지-식량 넥서스 관련 연구는 개념적인 부분에 집중되어 있고, 요소간의 상호 연관성을 해석하는 기술적인 부분은 부족한 실정임
- 국내에서는 물-에너지-식량 넥서스 기술의 정의와 전략적 필요성에 대해서 정책적 보고서 수준으로 공공 및 민간부문에서 연구수행이 이루어진 바는 없음
- 물, 에너지, 식량안보에 대한 연구가 부처별로 독립적으로 일부 수행된 사례는 있음

□ 추진 필요성

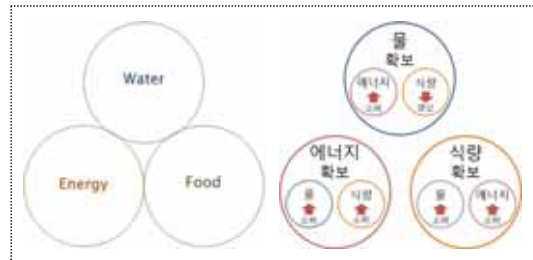
- 미래 기후변화 대응 및 국가 물안보 체계 구축을 위해 물관련 국정 아젠다로서의 Water-Energy-Food Nexus 국가 실행계획 필요
 - 세계적으로 물과 에너지, 식량의 수급 불균형이 심화되고 있으며, 인구 증가, 경제성장, 기후변화 등으로 인해 자원 변동성 또한 크게 증가하여 상호 위기를 증폭
 - 물/에너지/식량의 상호 연관성을 파악하고 생산 및 소비의 연계를 통해 자원 활용의 효율성 증대와 미래세대를 위한 자원의 확보 방안 필요
 - 정부 주도의 물/에너지/식량 관리체계의 통합연계 정책 수립 및 실행 계획 필요
- 기후변화 등으로 인해 국제적인 물부족 심화에 따라 물의 가치가 지속적으로 증대되고 있어 미래 스마트 물산업 대응 기술 확보 필요
 - 기후변화 및 물부족 현상에 대비하기 위해서는 기존의 물관리에서 탈피해 기후, 환경, 산업, 기술 정책 등을 포함한 통합적 관리 체계 필요
 - 세계 물시장 개방 확대에 의해 기술융합형 중심의 물-에너지-식량 연계 기술 확보 시급
 - Nexus를 통한 국가 자원안보 달성 및 신규시장 발굴 등 시너지 창출과 함께, ICT를 활용한 수요관리 시장 구축, 신서비스 산업 육성 및 일자리 창출 기여 필요
- 지속가능목표 실현 기여를 위한 국가 차원의 자원 연계형 국토 관리 정책 개발 및 추진 필요
 - 경제활동의 주요 투입 요소인 물과 에너지, 식량 등의 상호 연계 (Nexus)가 경제 성장 등에 미치는 영향을 예측하고, 장기적 관점에서 대응 필요



□ 미래상

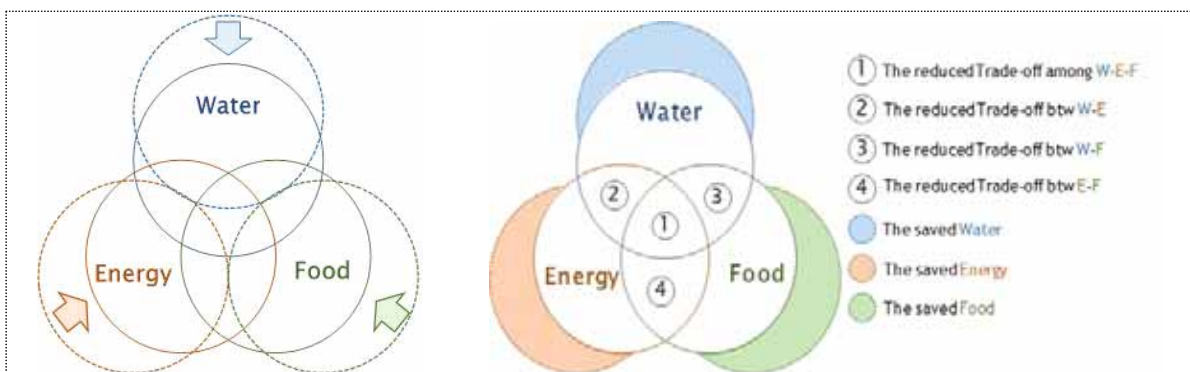
현 재

- 자원의 생산, 공급, 소비의 과정에서 발생하는 자원간 연계에 대한 효율성보다는 **단일 자원 확보**를 위한 **효율성**에 초점



미 래

- 산업생태계에서 순환되는 자원간 상호작용을 활용하여 **Trade-off**를 줄이거나 시너지를 확대하여 연계된 모든 자원의 생산, 공급, 소비 효율성 증대에 집중
- 기술, 사회, 정책, 법 등을 포함한 **다시각적 측면의 자원 효율성 증대**



IV. 핵심기술 및 성과 활용 방안

□ 핵심기술

핵심기술 요약	설명	최종성과물	개념도(관련사진)
WEF Nexus 지식 DB 인벤토리	넥서스 DB를 기반으로 넥서스 관련 지식을 생성하여 국민들에게 전달하기 위한 플랫폼 개발	국가 W-E-F 데이터베이스(DB) 및 자원 공정과정의 연계성 표출을 위한 표현 기술	
Trade-off 평가 툴	각 자원간 상호작용에 대한 영향 평가 툴 개발	물-식량-에너지간 Trade-off 최적평가 알고리즘 및 평가 툴 Software	
인프라 활용 물, 에너지, 식량 효율개선 및 연계 운영	수자원 및 수자원인프라를 활용한 자원 생산 극대화 및 효율성 증진, 수자원 연계효율 최적화를 통한 생산성 증대를 도모	수계별 수자원 인프라에 대한 맞춤형 WEF 연계기술	
WEF3.0 Village	소규모 WEF Nexus 실증마을 구축	물, 에너지, 식량 자립 마을 관리를 위한 Smart Water-Energy-Food Grid System	
Nexus 인증제	넥서스 기술 활성화를 위한 인증제 및 인센티브 방안	넥서스 성과 평가 및 인증시스템	
WEF Nexus 거버넌스 개발	WEF 넥서스의 관련부처, 참여자, 법령 계획 등의 격차를 분석하고 개선방안을 통한 사회적 갈등비용 및 경제적 거래비용의 감소를 위한 거버넌스 발전 방안 제시	국민참여 거버넌스 구축 방안 및 사회갈등 해소를 위한 컨센서스 도출 방안 제시	

□ 성과 활용 방안

○ 수요처 및 적용대상

- (국가 부처) 국가 장기계획 수립시 자원간 연계를 고려한 정책 수립
- (지자체) 지역별, 유역별 맞춤형 물,에너지, 식량 넥서스 마을 구축시 도출된 연계 기술 활용
- (관련기업) 물, 에너지, 식량의 자원의 연계를 통해 최적으로 확보하고 고효율 · 저비용으로 생산할 수 있는 원천기술 활용

○ 활용 방안

- 지식DB 모듈의 공공기관 공유 및 정책 수립 지원을 통한 자원간 연계 및 수급현황의 국가 장기 계획 수립 활용
- 국민중심 서비스 개발을 위한 가용범위 내 정보 개방
- 자원간 정보체계 구축의 국가, 공공기관, 국민 등 수요자 중심의 지식전달체계 확립
- 물, 식량, 에너지의 수급 정책 수립을 위한 최적화 방안 제시 및 국가, 공공기관, 지자체의 미래 자원관리 계획 활용
- 수자원 중심의 구조적, 비구조적 인프라 최적 구축 지원을 통한 국가시설물 및 부대시설 최적 연계 및 운영 지원
- 국가 산업단지 구축시 자원확보 최적화 기술 활용
- 시설물 중심의 자원연계 최적화 운영 및 활용 가능
- 대외 기술 지원시 연계 기술의 활용을 통한 국가 경쟁력 확보
- 지자체별 자립형 마을 구축을 위한 실증 기술 활용 및 도농 복합마을 구축을 위한 맞춤형 설계 기법 제시
- 자원간 연계 최적화를 위한 법, 정책, 거버넌스 수립방안 제시

□ 기대효과

○ 사회적 효과

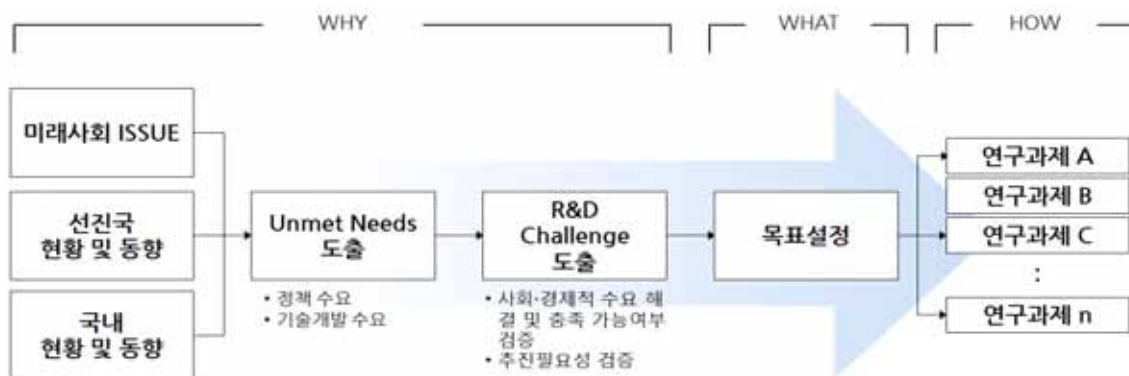
- 객관화되고 검증된 자료 활용에 따른 국가보고서 신뢰성 향상
- 해외사업 원조시 맞춤형 평가 및 기술 지원 가능
- 평가툴을 활용한 자원간 연계 제약사항 및 대처방안 제공
- 국가, 지역별 자원간 연계 의사결정 타당성 제시
- 법, 제도, 정책의 개선 및 인증제 도입을 통한 자원 넥서스 국민 공감대 도출 가능

- 경제적 효과
 - 해외 수출시 검증된 맞춤형 플랫폼 기술 활용
 - 자원연계기술의 실질적 검증 및 효과를 통한 넥서스 원천기술 확보 가능
 - 실질적 기술 확보를 통해 자원자립도 향상 및 대외 의존도 탈피

V. 기획연구 수행내용 및 결과

□ 추진방향 및 수행과정

- 연구/시장/정책 동향조사, 기술수요조사 및 기술예측 · 수준조사를 통한 기술개발 범위 설정
- 기 추진수행과제 및 부처간 업무의 중복성과 연계성 검토를 통한 우선 순위 과제 도출
- 산학연 전문가 기획위원 및 기획타당성 검토위원회 의견수렴을 통한 핵심기술 및 추진방향 수립
- 해결하고자 하는 문제(Unmet needs)의 정의, 문제 해결 수단으로서의 기술개발 과제 pooling, 사업의 컨셉 및 목표체계 수립, 추진과제 도출의 순서로 기획연구를 추진



< 기획연구 추진 프로세스 >

□ 기술개발 과제 및 세부내용 도출

- (1과제) WEF Nexus 지식화 인벤토리 설계 및 개발
 - Virtual WEF 기반 넥서스 데이터 모듈 설계 및 개발

- WEF Nexus 지식 DB 플랫폼 시범 개발
- (2과제) WEF Nexus Trade-off 평가 툴 개발
 - WEF 분야간 시공간적 수급 분석, 평가, 계획 수립 프로세스 개발
 - WEF Nexus 평가 툴 개발 및 평가
- (3과제) WEF 연계 효율 개선 및 운영 최적화 기술 개발
 - 수자원 인프라 활용 효율 및 운영 개선 기술
 - 에너지, 식량 생산 효율 개선 기술
- (4과제) WEF 연계 검증 및 실증 기술 개발
 - 한국형 물, 에너지, 식량 자립 마을(WEF3.0 Village) 구축을 위한 융합기술
 - WEF Nexus 기반 인문사회 과학적 제도 및 정책 개선

VI. 사업목표 및 추진방향

☐ 장기과제

비 전	국가 물-에너지-식량 연계를 통한 21C形 新산업인프라 기반 구축		
목 표	● 물-에너지-식량 분야 상호 연계를 통한 분야별「생산-가공-유통 처리」효율 30% 개선	● 20C SOC 시설산업기반에서 21C 사회 인프라 국민 서비스 산업으로 전환을 통한 국가 신산업기반 구축	● 4차 산업혁명의 Data Technology 분야에서 세계 최초의 공공기반 WEF 연계 패키지 기술 개발
	추진 방향	WEF 넥서스 의사결정지원 시스템	WEF 연계기술 개발 및 실증
			WEF 넥서스 거버넌스 수립 및 개선

□ 단기과제

비 전	국가 물-에너지-식량 연계를 통한 21C形 WEF Nexus 플랫폼 구축 기술 개발			
목 표	● 20C SOC 시설산업기반에서 21C 사회 인프라 국민 서비스 산업으로 전환을 통한 국가 WEF Nexus 기반 구축 ● 4차 산업혁명의 Data Technology를 통한 세계 최초 국민중심 데이터 서비스 및 WEF 연계 패키지 기술 개발			
추진 방향	WEF Nexus 지식화 인벤토리 설계 및 개발	WEF Nexus Trade-off 평가 툴 개발	WEF 연계 효율 개선 및 운영 최적화 기술 개발	WEF 연계 검증 및 실증 기술 개발

VII. 기타 주요 이슈 사항

- 본 과제 제안시 개별 과제의 구체화, 가시화 필요
- 국내 기술 활용에 적합한 실증적 연구 제시

Table of Contents

Chapter 1. Background and procedure of project	1
Section 1. Background and necessity of project	1
1. Background of project	1
2. Necessity of project	9
Section 2. Project planning system and procedure	29
1. Project planning system	29
2. Major promotion schedule for formulating project plan	31
Chapter 2. WEF Nexus concept and scope of project	36
Section 1. WEF Nexus concept	36
1. WEF Nexus definition in international organizations	36
2. WEF Nexus access direction and case	37
Section 2. Scope of project	52
1. WEF Nexus approach at the project	52
2. Scope of the WEF Nexus project at the project	53
Chapter 3. Major trend analysis in domestic and international	55
Section 1. Mega trend analysis of WEF Nexus	55
1. National Intelligence Council(NIC) Global Trends 2030, US	55
2. Global Risks 2014(World Economic Forum: WEF, 2014)	56
3. Climate change report(IPCC, 2014)	57
4. Trends analysis of domestic resources	59
5. Sub-conclusion	60

Section 2. Trends in domestic and international WEF Nexus related policies	61
1. Current status and prospects of domestic WEF related policies	61
2. Current status and prospects of international WEF related policies	67
3. Sub-conclusion	68
Section 3. Development trend of domestic and foreign WEF Nexus related technology	69
1. Development trend of domestic WEF Nexus related technology	69
2. Medium- to long-term R&D strategy analysis by ministry and agency	73
3. Development trend of overseas WEF Nexus related technology	85
4. The actual situation(Test Bed) reflects cases in Korea and overseas	92
5. Sub-conclusion	95
Section 4. WEF Nexus related market trends	96
1. Trends in the water Industry Market	96
2. Trends in the energy market	101
3. Trends in the food market	102
4. Sub-conclusion	104
Section 5. WEF Nexus-related thesis/patent trends	105
1. Trend of patent	105
2. Trend of thesis	110
3. Sub-conclusion	114
Chapter 4. Project contents	116
Section 1. Technical demand survey	116
1. Overview	116
2. Current status of survey	117
Section 2. Structure of project	122
1. Set the direction of project promotion	122
2. Issue and R&D Needs derived	123
3. Project field setting	125

Section 3. Project vision/goal and promotion strategy	127
1. Overview	127
2. Vision	127
3. Goal	127
4. Promotion strategy	128
5. Setting of priority promotion field	128
 Chapter 5. Promotion contents by priority promotion field	 129
Section 1. Field of WEF Nexus decision support system	129
1. Promotion background and necessity	129
2. Purpose and scope of detailed project	129
3. Current state of patents and thesis	129
4. Content of technical development	139
Section 2. Field of development and verification of WEF connection technologies	143
1. Promotion background and necessity	143
2. Purpose and scope of detailed project	143
3. Current state of patents and thesis	143
4. Content of technical development	154
Section 3. Field of WEF Nexus governance established and improvement	159
1. Promotion background and necessity	159
2. Purpose and scope of detailed project	159
3. Content of technical development	159
 Chapter 6. Technology roadmap	 162
Section 1. Overall roadmap	162
Section 2. Roadmap by project	163
1. WEF Nexus decision support system	163
2. Development and verification of connection technologies of WEF	164

3. WEF Nexus governance established and improvement	165
Section 3. Setting of short-term promotion field	166
1. Overview	166
2. Technology demand and setting assignment	168
Chapter 7. Consideration of preliminary validity	173
Section 1. Analysis of policy validity	173
1. Importance of national strategy	173
2. Compatibility with superior plan	175
Section 2. Analysis of technical validity	177
1. Appropriateness of technology development plan	177
2. Appropriateness of project structure	178
Section 3. Analysis of economic expectation effect	181
1. Overview	181
2. Economic effect of Nexus platform construction technology	182
Chapter 8. Estimation of human resources input and required budget	191
Section 1. Plan human resources input	191
Section 2. Required budget	193
Chapter 9. Creation of RFP and setting of evaluation criteria	196
Section 1. Request for proposal(RFP)	196
1. Overall RFP	196
2. RFP by project	200
Section 2. Setting of evaluation criteria	217
Reference	218

List of Table

<Table 1.1> Ranking by country energy consumption (2009 standard)	11
<Table 1.2> Comparing the difference between applying existing water-food resource management system and Nexus system	19
<Table 1.3> Dependence on energy overseas by fiscal year	20
<Table 1.4> Impact assessment of Mekong River dam construction project	22
<Table 1.5> Need for US DOE's Nexus technology and expected effect	23
<Table 1.6> Cause and effect of divisional crisis, impact, solution through WEF Nexus ..	27
<Table 1.7> Cause and effect on water quality, influence, solution through WEF Nexus ..	28
<Table 2.1> Security of WEF's elemental resources	37
<Table 2.2> Water consumption of main energy sector	43
<Table 2.3> Energy cost of vinyl house(1,050m ²)	45
<Table 2.4> Regional seawater desalination energy consumption and water production unit price	49
<Table 2.5> Energy consumption by the method of desalination process, production unit price of make-up water	50
<Table 3.1> Current situation of water-energy-food law in Korea and ministries concerned ..	62
<Table 3.2> Departmental water-energy-food related laws and the current state of court planning	63
<Table 3.3> Ministry of Land, Infrastructure and Transport Future, medium and long term R&D priority areas	76
<Table 3.4> Stars-related policy of national priority science technology by Ministry of Land, Infrastructure and Transport	78
<Table 3.5> Agriculture, Forestry and Livestock Foods Division, future medium- to long-term R&D priority areas	80
<Table 3.6> Future medium- and long-term R&D focus areas of the Ministry of Industry and Commerce	84
<Table 3.7> World water market trends	96

<Table 3.8> Current status of overseas construction policy support	98
<Table 3.9> 2014 Sales of Korean water industry	99
<Table 3.10> Current status of the water industry in the Netherlands (unit: EUR 1 billion) ·	101
<Table 3.11> Target of ratio of renewable energy by standard source (unit:%)	102
<Table 3.12> RPS Amendment of supply obligation ratio by year (draft) (unit:%)	102
<Table 3.13> Outline of patent analysis	105
<Table 3.14> Explanation of patent evaluation indicators	105
<Table 3.15> Outline of the analysis of thesis	110
<Table 3.16> Explanation of thesis evaluation indicators	110
<Table 4.1> WEF Nexus technical item	117
<Table 4.2> Set up project fields of WEF Nexus	119
<Table 5.1> Evaluation index of technical patent of WEF Nexus decision support system ·	133
<Table 5.2> Evaluation index of technical thesis of WEF Nexus decision support system ·	137
<Table 5.3> Development of collaboration technology of WEF and patent evaluation index of demonstration technology	147
<Table 5.4> Development of collaboration technology of WEF and thesis evaluation index of demonstration technology	152
<Table 8.1> Summary of human resources input	192
<Table 8.2> Summary of request budget	195
<Table 9.1> Criteria for selection of new project	218

List of Figures

[Fig. 1.1] Global stressors and resource crisis	1
[Fig. 1.2] The population of urban and rural areas by developed country groups(1950~2050) 2	
[Fig. 1.3] Current situation of world water shortages and starvation(UN, 2011-2012)	3
[Fig. 1.4] WEF Nexus approach for resource management	5
[Fig. 1.5] Concept of each footprint	6
[Fig. 1.6] Unification of Korean and necessity of WEF Nexus	8
[Fig. 1.7] The threat of domestic resource security associated with climate change	9
[Fig. 1.8] Flow of virtual water in the world(1996-2005, water footprint network report)	10
[Fig. 1.9] Energy demand forecast and targets(Source: Energy Climate Change Manual) ·11	
[Fig. 1.10] Energy Security Indicator(WEC 2015)	11
[Fig. 1.11] Food security index ranking(EIU 2014)	12
[Fig. 1.12] Trends in major countries' grain self-sufficiency rate and international price of cereals	12
[Fig. 1.13] Changes in WEF-related conditions	12
[Fig. 1.14] Water-energy-food interrelationship	13
[Fig. 1.15] Sustainable goals	17
[Fig. 1.16] Domestic food security and food self-sufficiency rate	21
[Fig. 1.17] Planning research promotion system	29
[Fig. 1.18] Structure of planning committee	30
[Fig. 1.19] Planning research promotion procedure	30
[Fig. 2.1] 'BONN2011 Nexus conference WEF framework	37
[Fig. 2.2] 'World Economic Forum 2011' WEF framework	38
[Fig. 2.3] 'ICIMOD2012' WEF framework	39
[Fig. 2.4] WEF elemental analysis framework presented in IISD	39
[Fig. 2.5] Extended WEF-NEXUS analysis framework presented in IISD	40
[Fig. 2.6] WEF Nexus planning process presented in IISD	41

[Fig. 2.7] Nexus concept presented by Aquasis Solution	41
[Fig. 2.8] Nexus system presented by Tony Allan et al.(2015)	42
[Fig. 2.9] Interrelationship among factors affecting livelihood, water, energy, food	42
[Fig. 2.10] Interrelationship between domestic and external resources	43
[Fig. 2.11] Overall of floating PV system	44
[Fig. 2.12] Installation status of floating PV system	45
[Fig. 2.13] Energy cost by vinyl house size	46
[Fig. 2.14] No-tillage agriculture method	46
[Fig. 2.15] Freshwater cultivation and SRI agriculture	47
[Fig. 2.16] Reused water collect tank and valve system	48
[Fig. 2.17] Air conditioning system using hydrothermal energy	49
[Fig. 2.18] Forward osmosis desalination process	49
[Fig. 2.19] Energy consumption and make-up water volume by the method of desalination process	50
[Fig. 2.20] Forward osmosis desalination process for the production of drinking water ..	51
[Fig. 2.21] Forward osmosis desalination process use of fertilizer solution for production of irrigation water	51
[Fig. 2.22] Conversion of direction toward improvement of resource efficiency	52
[Fig. 2.23] Industry 4.0 based domestic water-energy-food Nexus	53
[Fig. 2.24] Nexus element technology	54
[Fig. 3.1] Future prospect results(NIC)	55
[Fig. 3.2] Coordination among global risk factors(WEF, 2014)	57
[Fig. 3.3] Food security associated with climate change(IPCC, 2014)	58
[Fig. 3.4] Continental major risks and potential risk reduction potentials by climate change(IPCC, 2014)	59
[Fig. 3.5] Direction of medium- and long-term technical policy by ministries and agencies and role of WEF Nexus	61
[Fig. 3.6] WEAP-LEAP linkage technology(NOAA, 2012)	85
[Fig. 3.7] FAO's WEF Nexus promotion system	86

[Fig. 3.8] FAO food security components	86
[Fig. 3.9] Independent cooling and heating utilizing geothermal and hydrothermal	94
[Fig. 3.10] Small facility cultivation	94
[Fig. 3.11] Water-energy-food cooperation technology through improvement of irrigation technology	94
[Fig. 3.12] Water-related ODA Sector-specific support	97
[Fig. 3.13] Water-related ODA region support	97
[Fig. 3.14] Compared with the results of the entire ODA project, the actual trends in the water resources field(2005 - 2011)	98
[Fig. 3.15] Trend of international monthly crude oil prices for 10 years(2005.1-2015.1)	101
[Fig. 3.16] Proportion of agricultural and forestry production value and added value relative to GDP	103
[Fig. 3.17] Exports of agricultural and livestock products (2011)	103
[Fig. 3.18] Trade balance of agricultural and livestock products (2011)	103
[Fig. 3.19] WEF Nexus technology-related patent applications number by year('00 ~'16)	106
[Fig. 3.20] WEF Nexus technology-related patent applications number and proportions by year and country	107
[Fig. 3.21] WEF Nexus technology-related patent applications number by year(Korea)	107
[Fig. 3.22] WEF Nexus technology-related patent applications number by year(US)	108
[Fig. 3.23] WEF Nexus technology-related patent applications number by year(Japan)	108
[Fig. 3.24] WEF Nexus technology-related patent applications number by year(EU)	108
[Fig. 3.25] Growth stage of WEF Nexus-related technology	109
[Fig. 3.26] Growth stage curve of technology	109
[Fig. 3.27] WEF Nexus technology-related thesis publications number by year('00~'17.01)	111
[Fig. 3.28] WEF Nexus technology-related thesis publications number by year and country	111
[Fig. 3.29] WEF Nexus technology-related thesis publications number by year(Korea)	112
[Fig. 3.30] WEF Nexus technology-related thesis publications number by year(US)	112
[Fig. 3.31] WEF Nexus technology-related thesis publications number by year(Japan)	112
[Fig. 3.32] WEF Nexus technology-related thesis publications number by year(Germany)	113

[Fig. 3.33] WEF Nexus technology-related thesis publications number by year(France)	113
[Fig. 3.34] WEF Nexus technology-related thesis publications number by year(UK)	113
[Fig. 3.35] WEF Nexus technology-related thesis activity by country	114
[Fig. 4.1] Procedure of technical demand investigation	116
[Fig. 4.2] Setting the project field by classification	119
[Fig. 4.3] Setting direction of project promotion through SWOT analysis	123
[Fig. 4.4] WEF Nexus viewpoint issue	124
[Fig. 4.5] R&D needs by issue	125
[Fig. 4.6] Compatible technology items for R&D Needs	126
[Fig. 4.7] Project filed	126
[Fig. 5.1] Number of patent applications related to the technology of WEF Nexus decision support system by year('00~'16)	130
[Fig. 5.2] Number of patent applications related to the technology of WEF Nexus decision support system by year and country	130
[Fig. 5.3] Number of patent applications related to the technology of WEF Nexus decision support system by year(Korea)	131
[Fig. 5.4] Number of patent applications related to the technology of WEF Nexus decision support system by year(US)	131
[Fig. 5.5] Number of patent applications related to the technology of WEF Nexus decision support system by year(EU)	131
[Fig. 5.6] Number of patent applications related to the technology of WEF Nexus decision support system by year(Japan)	132
[Fig. 5.7] WEF Nexus decision support system technology percentage of applications by category	132
[Fig. 5.8] Growth stage of WEF Nexus decision support system technology	133
[Fig. 5.9] Number of thesis publications related to the technology of WEF Nexus decision support system by year('00~'17.01)	134
[Fig. 5.10] Number of thesis publications related to the technology of WEF Nexus decision support system by year and country	134

[Fig. 5.11] Number of thesis publications related to the technology of WEF Nexus decision support system by year(Korea)	135
[Fig. 5.12] Number of thesis publications related to the technology of WEF Nexus decision support system by year(US)	135
[Fig. 5.13] Number of thesis publications related to the technology of WEF Nexus decision support system by year(Japan)	135
[Fig. 5.14] Number of thesis publications related to the technology of WEF Nexus decision support system by year(Germany)	136
[Fig. 5.15] Number of thesis publications related to the technology of WEF Nexus decision support system by year(France)	136
[Fig. 5.16] Number of thesis publications related to the technology of WEF Nexus decision support system by year(UK)	136
[Fig. 5.17] WEF Nexus decision support system technology percentage of publications by category	137
[Fig. 5.18] Number of patent applications related to development and verification of WEF connection technologies by year('00~'16)	144
[Fig. 5.19] Number of patent applications related to development and verification of WEF connection technologies by year and country	144
[Fig. 5.20] Number of patent applications related to development and verification of WEF connection technologies by year(Korea)	145
[Fig. 5.21] Number of patent applications related to development and verification of WEF connection technologies by year(US)	145
[Fig. 5.22] Number of patent applications related to development and verification of WEF connection technologies by year(EU)	145
[Fig. 5.23] Number of patent applications related to development and verification of WEF connection technologies by year(Japan)	146
[Fig. 5.24] Development and verification of WEF connection technologies percentage of applications by category	146
[Fig. 5.25] Growth stage of development and verification of WEF connection technologies	147

[Fig. 5.26] Number of thesis publications related to development and verification of WEF connection technologies by year('00~'17.01)	148
[Fig. 5.27] Number of thesis publications related to development and verification of WEF connection technologies by year and country	149
[Fig. 5.28] Number of thesis publications related to development and verification of WEF connection technologies by year(Korea)	149
[Fig. 5.29] Number of thesis publications related to development and verification of WEF connection technologies by year(US)	149
[Fig. 5.30] Number of thesis publications related to development and verification of WEF connection technologies by year(Japan)	150
[Fig. 5.31] Number of thesis publications related to development and verification of WEF connection technologies by year(Germany)	150
[Fig. 5.32] Number of thesis publications related to development and verification of WEF connection technologies by year(France)	150
[Fig. 5.33] Number of thesis publications related to development and verification of WEF connection technologies by year(UK)	151
[Fig. 5.34] Development and verification of WEF connection technologies percentage of publications by category	151
[Fig. 6.1] Setting short-term priority issues	167
[Fig. 7.1] Four major project in short-term promotion field	181
[Fig. 7.2] Distribution of major dams in Korea	183
[Fig. 7.3] Monitoring network construction	184
[Fig. 7.4] TSK-energy saving equipment	185
[Fig. 7.5] Principle of heating and cooling utilizing hydrothermal energy	187
[Fig. 7.6] Economic ripple effect estimation of Ulleungdo autonomous island construction	188
[Fig. 7.7] Schematic diagram of Kapado autonomous island	189
[Fig. 7.8] Schematic diagram of Kasado autonomous island	190
[Fig. 7.9] Basic schematic diagram of forward osmosis-reverse osmosis	190

목 차

1장. 사업추진 배경 및 절차	1
1절. 사업추진 배경 및 필요성	1
1. 사업 추진 배경	1
2. 사업 추진 필요성	9
2절. 사업 기획수립 체계 및 절차	29
1. 사업 기획수립 체계	29
2. 사업 기획수립을 위한 주요 추진 일정	31
2장. WEF Nexus 개념 및 사업의 범위	36
1절. WEF Nexus의 개념	36
1. 국제기구에서의 WEF Nexus 정의	36
2. WEF Nexus 접근 방향 및 사례	37
2절. 사업의 범위	52
1. 동 기획에서의 WEF Nexus 접근방법	52
2. 동 기획에서의 WEF Nexus 사업의 범위	53
3장. 국내외 주요 동향 분석	55
1절. 국내외 WEF Nexus 관련 메가트렌드 분석	55
1. 미국 National Intelligence Council(NIC) Global Trends 2030	55
2. Global Risks 2014(World Economic Forum: WEF, 2014)	56
3. Intergovernmental Panel on Climate Change(IPCC, 2014) 기후변화 보고서	57
4. 국내 자원관련 트렌드 분석	59
5. 소결	60
2절. 국내외 WEF Nexus 관련 정책 동향	61
1. 국내 WEF 관련 정책 현황 및 전망	61

2. 해외 WEF 관련 정책 현황 및 전망	67
3. 소결	68
3절. 국내·외 WEF Nexus 관련 기술개발 동향	69
1. 국내 WEF Nexus 관련 기술개발 동향	69
2. 부처별 중장기 R&D 전략 분석	73
3. 해외 WEF Nexus 관련 기술개발 동향	85
4. 국내외 사례를 반영한 실정 적용 방안(Test Bed)	92
5. 소결	95
4절. WEF Nexus 관련 시장 동향	96
1. 물산업 시장 동향	96
2. 에너지 시장 동향	101
3. 식량 시장 동향	102
4. 소결	104
5절. WEF Nexus 관련 논문·특허 동향	105
1. 특허동향	105
2. 논문동향	110
3. 소결	114
4장. 사업 내용	116
1절. 기술수요조사	116
1. 개요	116
2. 조사현황	117
2절. 사업의 구조	122
1. 사업추진방향 설정	122
2. Issue 및 R&D Needs 도출	123
3. 사업영역 설정	125
3절. 사업 비전·목표 및 추진전략	127
1. 개요	127

2. 비전	127
3. 목표	127
4. 추진전략	128
5. 중점추진분야 설정(장기적 추진분야 및 단기적 추진분야)	128
5장. 중점추진분야별 추진내용	129
1절. WEF 넥서스 의사결정지원 시스템 분야	129
1. 추진 배경 및 필요성	129
2. 세부사업의 목적 및 범위	129
3. 특허 및 논문현황	129
4. 기술개발 내용	139
2절. WEF 연계기술 개발 및 실증 분야	143
1. 추진 배경 및 필요성	143
2. 세부사업의 목적 및 범위	143
3. 특허 및 논문현황	143
4. 기술개발 내용	154
3절. WEF 넥서스 거버넌스 수립 및 개선 분야	159
1. 추진 배경 및 필요성	159
2. 세부사업의 목적 및 범위	159
3. 기술개발 내용	159
6장. 기술로드맵	162
1절. 총괄로드맵	162
2절. 사업별 로드맵	163
1. WEF 넥서스 의사결정지원시스템	163
2. WEF 연계기술 개발 및 실증	164
3. WEF 넥서스 거버넌스 수립 및 개선	165

3절. 단기적 추진분야 설정	166
1. 개요	166
2. 기술수요 및 과제구성	168
7장. 사전타당성 검토	173
1절. 정책적 타당성 분석	173
1. 국가전략의 중요성	173
2. 상위계획과의 부합성	175
2절. 기술적 타당성 분석	177
1. 기술개발 계획의 적절성	177
2. 사업구조의 적절성	178
3절. 경제적 기대효과 분석	181
1. 개요	181
2. Nexus 플랫폼 구축 기술의 경제적 효과	182
8장. 인력투입 및 소요예산 산정	191
1절. 인력투입계획	191
2절. 소요예산	193
9장. 과제 제안요구서 작성 및 평가기준 설정	196
1절. 과제 제안요구서 (RFP)	196
1. 총괄 제안요구서	196
2. 과제별 제안요구서	200
2절. 평가기준 설정	217
참 고 문 헌	218

표 목 차

<표 1.1> 국가별 에너지소비 순위 (2009년 기준)	11
<표 1.2> 기존의 물-식량 자원 관리 시스템과 넥서스 시스템 적용의 차이 비교	19
<표 1.3> 우리나라 연도별 에너지 해외 의존도	20
<표 1.4> Mekong River 댐 건설사업의 영향 평가	22
<표 1.5> 미국 DOE의 Nexus 기술의 필요성 및 기대효과	23
<표 1.6> 부문별 위기 원인, 영향 및 WEF 넥서스를 통한 해소방안	27
<표 1.7> 수질에 관한 원인, 영향 및 WEF Nexus를 통한 해소방안	28
<표 2.1> WEF의 요소별 자원 안보	37
<표 2.2> 주요 에너지부문의 물 사용량	43
<표 2.3> 비닐하우스의 에너지 비용(1,050m ²)	45
<표 2.4> 지역별 해수담수화 에너지소모량 및 물생산단가	49
<표 2.5> 해수담수화 공정방법에 따른 에너지소모량 및 보충수 생산단가	50
<표 3.1> 한국의 물-에너지-식량 관련 법률 현황 및 소관부처	62
<표 3.2> 부처별 물-에너지-식량 관련 주요 법률과 법정 계획 현황	63
<표 3.3> 국토교통부 미래 중장기 R&D 중점분야	76
<표 3.4> 국토교통부 국가중점과학기술별 연관정책	78
<표 3.5> 농림축산식품부 미래 중장기 R&D 중점 분야	80
<표 3.6> 산업통상자원부 미래 중장기 R&D 중점 분야	84
<표 3.7> 세계 물시장 동향	96
<표 3.8> 해외건설 정책지원 현황	98
<표 3.9> 2014년 한국 물산업 매출액	99
<표 3.10> 네덜란드 물산업 현황(단위 : 10억유로)	101
<표 3.11> 신재생에너지기준원별 비중 목표 (단위 : %)	102
<표 3.12> RPS 연도별 공급의무비율 개정(안) (단위 : %)	102
<표 3.13> 특허분석 개요	105
<표 3.14> 특허평가지표 설명	105
<표 3.15> 논문분석 개요	110

<표 3.16> 논문평가지표 설명	110
<표 4.1> WEF 넥서스 기술아이템	117
<표 4.2> WEF 넥서스의 사업영역 설정	119
<표 5.1> WEF 넥서스 의사결정지원시스템 기술 특허평가지표	133
<표 5.2> WEF 넥서스 의사결정지원시스템 기술 논문평가지표	137
<표 5.3> WEF 연계기술 개발 및 실증 기술 특허평가지표	147
<표 5.4> WEF 연계기술 개발 및 실증 기술 논문평가지표	152
<표 8.1> 소요인력 총괄	192
<표 8.2> 소요예산 총괄	195
<표 9.1> 신규과제 선정평가 기준	217

그 림 목 차

[그림 1.1] Global Stressors와 자원위기	1
[그림 1.2] 개발국가 그룹에 따른 도시와 농촌의 인구, 1950~2050	2
[그림 1.3] 세계 물 부족 및 기아 현황 (UN, 2011-2012)	3
[그림 1.4] 자원관리 WEF 넥서스 접근방법	5
[그림 1.5] 각 발자국의 개념	6
[그림 1.6] 한반도 통일과 WEF 넥서스의 필요성	8
[그림 1.7] 기후변화에 따른 국내 자원안보의 위협	9
[그림 1.8] 세계 가상수 흐름(1996~2005년, 물발자국 네트워크 보고서)	10
[그림 1.9] 에너지수요 전망 및 목표도(출처: 에너지기후변화편람, 에관공)	10
[그림 1.10] WEC 2015 에너지 안보 지수	11
[그림 1.11] EIU 2014 식량안보지수 순위	11
[그림 1.12] 주요국 곡물자급률 및 곡물 국제가격 동향	11
[그림 1.13] WEF 관련 여건 변화	12
[그림 1.14] 물-에너지-식량의 상호관련성	13
[그림 1.15] 지속가능목표	16
[그림 1.16] 국내 식량안보 및 식량자급률 추이	20
[그림 1.17] 기획 연구 추진 체계	29
[그림 1.18] 기획위원회 구성	30
[그림 1.19] 기획 연구 추진 절차	30
[그림 2.1] ‘BONN2011 Nexus conference’ WEF 프레임워크	37
[그림 2.2] ‘World Economic Forum 2011’ WEF 프레임워크	38
[그림 2.3] ‘ICIMOD2012’ 에서 제시된 WEF 프레임워크	39
[그림 2.4] IISD에서 제시한 WEF 요소별 분석 프레임워크	39
[그림 2.5] IISD에서 제시한 확장된 WEF-NEXUS 분석 프레임워크	40
[그림 2.6] IISD에서 제시한 WEF Nexus 계획 수립 과정	41
[그림 2.7] Aquasis Solution이 제시한 Nexus 개념	41

[그림 2.8] Tony Allan et al.(2015)이 제시한 Nexus 체계	42
[그림 2.9] 생계, 물, 에너지, 식량에 영향을 주는 각 인자들의 상호관계	42
[그림 2.10] 국내·외 자원 간 상호 연관성	43
[그림 2.11] 수상태양광 개요	44
[그림 2.12] 수상태양광 설치 현황	45
[그림 2.13] 비닐하우스 면적별 에너지비용	46
[그림 2.14] 무경운 농법	46
[그림 2.15] 담수재배와 SRI 농법	47
[그림 2.16] 재이용수 수집 탱크 및 밸브 시스템	48
[그림 2.17] 수열에너지 냉난방 시스템	49
[그림 2.18] 정삼투 해수담수화 공정	49
[그림 2.19] 해수담수화 공정방법에 따른 에너지소모량 및 보충수량	50
[그림 2.20] 음용수 생산을 위한 정삼투 해수담수화 공정	51
[그림 2.21] 관개용수 생산을 위한 비료용액 활용 정삼투 해수담수화 공정	51
[그림 2.22] 자원의 효율성 증대 방향의 전환	52
[그림 2.23] Industry 4.0기반 국내 물-에너지-식량 넥서스	53
[그림 2.24] 넥서스 요소기술	54
[그림 3.1] 미래전망결과(NIC)	55
[그림 3.2] 글로벌 위험요인간의 연계도(WEF, 2014)	57
[그림 3.3] 기후변화에 따른 식량 안보(IPCC, 2014)	58
[그림 3.4] 기후변화에 의한 대륙별 주요 위험 및 위험 저감 잠재성 (IPCC, 2014)	59
[그림 3.5] 부처별 중장기 기술 정책 방향 및 WEF Nexus의 역할	61
[그림 3.6] WEAP-LEAP 연계기술 (NOAA, 2012)	85
[그림 3.7] FAO의 WEF Nexus 추진체계	86
[그림 3.8] FAO 식량 안보의 구성요소	86
[그림 3.9] 지열 및 수열을 활용한 냉난방 자립화	93
[그림 3.10] 소규모 시설재배	94
[그림 3.11] 관개기술 향상을 통한 물-에너지 식량 연계 기술	94
[그림 3.12] 물 관련 ODA 분야별 지원실적	97

[그림 3.13] 물 관련 ODA 지역별 지원실적	97
[그림 3.14] ODA 사업 전체실적대비 수자원분야 실적추이(2005~2011)	98
[그림 3.15] 10년간 국제 월별 유가 추이(2005.1~2015.1)	101
[그림 3.16] 농림업 생산액 및 GDP 대비 부가가치 비중	103
[그림 3.17] 농축산물 수출액 (2011)	103
[그림 3.18] 농축산물 무역수지 (2011)	103
[그림 3.19] WEF Nexus 관련 기술 연도별 특허출원건수('00~'16)	106
[그림 3.20] WEF Nexus 기술 관련 연도별 국가별 특허출원건수 및 비중	107
[그림 3.21] WEF Nexus 기술 관련 연도별 특허출원건수(한국)	107
[그림 3.22] WEF Nexus 기술 관련 연도별 특허출원건수(미국)	108
[그림 3.23] WEF Nexus 기술 관련 연도별 특허출원건수(일본)	108
[그림 3.24] WEF Nexus 기술 관련 연도별 특허출원건수(유럽)	108
[그림 3.25] WEF Nexus 관련 기술의 성장단계	109
[그림 3.26] 기술성장단계 곡선	109
[그림 3.27] WEF Nexus 기술 관련 연도별 논문게재건수('00~'17.01)	111
[그림 3.28] WEF Nexus 기술 관련 연도별 국가별 논문게재건수	111
[그림 3.29] WEF Nexus 기술 관련 연도별 논문게재건수(한국)	112
[그림 3.30] WEF Nexus 기술 관련 연도별 논문게재건수(미국)	112
[그림 3.31] WEF Nexus 기술 관련 연도별 논문게재건수(일본)	112
[그림 3.32] WEF Nexus 기술 관련 연도별 논문게재건수(독일)	113
[그림 3.33] WEF Nexus 기술 관련 연도별 논문게재건수(프랑스,)	113
[그림 3.34] WEF Nexus 기술 관련 연도별 논문게재건수(영국)	113
[그림 3.35] WEF Nexus 기술 국가별 논문활동도	114
[그림 4.1] 기술수요조사 절차	116
[그림 4.2] 분류에 따른 사업영역 설정	119
[그림 4.3] SWOT 분석을 통한 사업추진 방향 설정	123
[그림 4.4] WEF 넥서스 관점의 이슈	124
[그림 4.5] 이슈별 R&D Needs	125
[그림 4.6] R&D Needs 대응 기술아이템	126

[그림 4.7] 사업영역	126
[그림 5.1] WEF 넥서스 의사결정지원시스템 기술 관련 연도별 특허출원건수('00~'16) ..	130
[그림 5.2] WEF 넥서스 의사결정지원시스템 기술 관련 연도별 국가별 특허출원건수 ..	130
[그림 5.3] WEF 넥서스 의사결정지원시스템 기술 관련 연도별 특허출원건수(한국)	131
[그림 5.4] WEF 넥서스 의사결정지원시스템 기술 관련 연도별 특허출원건수(미국)	131
[그림 5.5] WEF 넥서스 의사결정지원시스템 기술 관련 연도별 특허출원건수(유럽)	131
[그림 5.6] WEF 넥서스 의사결정지원시스템 기술 관련 연도별 특허출원건수(일본)	132
[그림 5.7] WEF 넥서스 의사결정지원시스템 기술 중분류별 출원비중	132
[그림 5.8] WEF 넥서스 의사결정지원시스템 기술 성장단계	133
[그림 5.9] WEF 넥서스 의사결정지원시스템 관련 연도별 논문게재건수('00~'17.01)	134
[그림 5.10] WEF 넥서스 의사결정지원시스템 관련 연도별 국가별 논문게재건수	134
[그림 5.11] WEF 넥서스 의사결정지원시스템 관련 연도별 논문게재건수(한국)	135
[그림 5.12] WEF 넥서스 의사결정지원시스템 관련 연도별 논문게재건수(미국)	135
[그림 5.13] WEF 넥서스 의사결정지원시스템 관련 연도별 논문게재건수(일본)	135
[그림 5.14] WEF 넥서스 의사결정지원시스템 관련 연도별 논문게재건수(독일)	136
[그림 5.15] WEF 넥서스 의사결정지원시스템 관련 연도별 논문게재건수(프랑스)	136
[그림 5.16] WEF 넥서스 의사결정지원시스템 관련 연도별 논문게재건수(영국)	136
[그림 5.17] WEF 넥서스 의사결정지원시스템 대분류별 게재비중	137
[그림 5.18] WEF 연계기술 개발 및 실증 기술 관련 연도별 특허출원건수('00~'16)	144
[그림 5.19] WEF 연계기술 개발 및 실증 기술 관련 연도별 국가별 특허출원건수	144
[그림 5.20] WEF 연계기술 개발 및 실증 기술 관련 연도별 특허출원건수(한국)	145
[그림 5.21] WEF 연계기술 개발 및 실증 기술 관련 연도별 특허출원건수(미국)	145
[그림 5.22] WEF 연계기술 개발 및 실증 기술 관련 연도별 특허출원건수(유럽)	145
[그림 5.23] WEF 연계기술 개발 및 실증 기술 관련 연도별 특허출원건수(일본)	146
[그림 5.24] WEF 연계기술 개발 및 실증 기술 중분류별 출원비중	146
[그림 5.25] WEF 연계기술 개발 및 실증 기술 성장단계	147
[그림 5.26] WEF 연계기술 개발 및 실증 관련 연도별 논문게재건수('00~'17.01)	148
[그림 5.27] WEF 연계기술 개발 및 실증 관련 연도별 국가별 논문게재건수	149
[그림 5.28] WEF 연계기술 개발 및 실증 관련 연도별 논문게재건수(한국)	149

[그림 5.29] WEF 연계기술 개발 및 실증 관련 연도별 논문게재건수(미국)	150
[그림 5.30] WEF 연계기술 개발 및 실증 관련 연도별 논문게재건수(일본)	150
[그림 5.31] WEF 연계기술 개발 및 실증 관련 연도별 논문게재건수(독일)	150
[그림 5.32] WEF 연계기술 개발 및 실증 관련 연도별 논문게재건수(프랑스)	150
[그림 5.33] WEF 연계기술 개발 및 실증 관련 연도별 논문게재건수(영국)	151
[그림 5.34] WEF 연계기술 개발 및 실증 대분류별 게재비중	151
[그림 6.1] 단기적 중점과제의 구성	167
[그림 7.1] 단기적 추진분야 4대 세부과제	181
[그림 7.2] 우리나라 주요 댐의 분포(한국대댐회)	183
[그림 7.3] Monitoring network construction	184
[그림 7.4] TSK-에너지 절감형 기기	185
[그림 7.5] 수열에너지 냉난방의 원리	187
[그림 7.6] 울릉도 자립섬 구축의 경제적 파급효과 추정	188
[그림 7.7] 제주 가파도 자립섬 개념도	189
[그림 7.8] 전남 가사도 자립섬 개념도	190
[그림 7.9] 정삼투-역삼투 기본개념도	190

1장. 사업추진 배경 및 절차

1절. 사업추진 배경 및 필요성

1. 사업 추진 배경

가. 글로벌 자원 안보 확보 필요

- (Global Stressors) 범국가적 기후변화, 인구증가, 도시화, 자원고갈에 따른 물, 에너지, 식량 등 필수 자원의 수요량 증가로 인한 수급 불균형으로 글로벌 자원안보 위기 대두
- 국내의 경우 경제성장으로 인한 중산층 증가와 도시인구팽창에 따른 물, 에너지, 식량 등 필수 자원에 대한 수요 증가
- 국내 자원의 대외 의존성이 높아 국제자원시장에 크게 영향을 받기 때문에 WEF Nexus를 통한 자립적 자원확보 시급

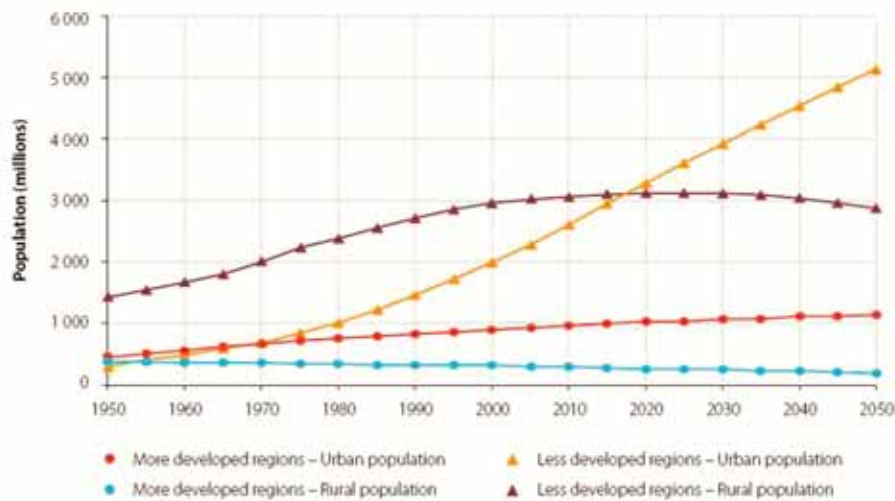


[그림 1.1] Global Stressors와 자원위기

- (인구증가) 세계인구의 증가추세에 따른 물, 에너지, 식량 자원의 부족현상 가중
 - US Dept. of Energy는 1980년부터 2010년에 걸쳐, 세계 인구가 45억 명에서 68억 명 가까이 증가한 것으로 보고(2050년까지 93억명, UNDESA(2012))
 - 1980년 대비 2010년 전기에너지 사용량은 약 2.6배, 원유 사용량은 약 1.4배, 석탄 연료 사용량은 약 2배 증가
 - 1980년 대비 2010년 물 사용량 약 1.4배가량 증가
 - WEF(2011)에서는 미래 인구 증가에 따른 농업용수 수요량의 증가로 2030년에는 현재 대비 40% 이상의 새로운 수자원이 필요할 것으로 예측

○ **(도시화)** 대부분의 인구가 도시지역에 주거하시 시작하면서 자원 사용량 변화에 영향

- 도시는 물질, 에너지, 식량, 용수와 같은 투입물과 폐기물, 폐수 및 환경을 둘러싼 오염물을 배출하는 복잡한 시스템임
- 과거에는 자원의 생산과 소비가 비교적 근거리에서 이루어졌다면, 현재는 자원의 생산지와 수요지가 점차 명확히 구분 되어 지면서, 운반과 공급에 소모되는 자원의 사용량이 증가
- 도시인구의 생활수준이 향상되면서 동일 인구 대비 물, 에너지, 식량자원의 사용량 역시 증가
- 이러한 도시화 현상은 각 자원의 단순 이용량 증가뿐만 아니라 각 자원을 이용하기 위해 다른 자원을 간접적으로 소비하는 간접 이용량의 증가의 원인



[그림 1.2] 개발국가 그룹에 따른 도시와 농촌의 인구, 1950~2050

○ **(자원고갈)** 화석연료의 고갈 및 가용수자원 등 감소현상 심화

- 현대 인류가 주 에너지 자원으로 사용하는 화석 연료는 그 매장량이 한정 되어 있기 때문에 이미 오래전부터 이러한 자원고갈에 대비해야 한다는 주장제기
- 전 세계적으로 다양한 지역에서 기후적, 경제적, 환경적인 요인으로 인해 물 부족현상이 발생
- 에너지 자원의 고갈 및 물 부족 현상은 인구 증가와 더불어 세계 식량 부족 현상을 야기
 - 비교적 인구밀도가 높은 아시아, 아프리카, 남아메리카 대륙에서 이미 식량부족 현상이 심각하게 발생하고 있으며, 기근발생 지역은 물부족 지역과 밀접한 연관성이 있음

- **(기후변화)** 현대화에 따른 이산화탄소와 같은 온실가스 발생량의 급격한 증가로 인해 기후변화가 뚜렷하게 발생
 - 세계 기후변화 시나리오(COP15, COPENHAGEN)에 의하면, 지구온난화로 인한 이상 고온 현상이 지속적으로 나타나고 있으며, 극한 홍수 및 가뭄, 사막화 등의 재난 발생 빈도가 전 세계적으로 증가하고 있는 것으로 조사
 - 이상기후 보고서(2014)에 의하면 국내의 경우 장마시기가 늦춰지고, 증가 추세를 보이던 연강수량이 급격히 평년에 못 미치는 강수량을 기록 하는 등의 뚜렷한 이상 기후가 발생했다고 분석
 - 최근 충남과 강원, 인천, 경북 등 중부권에 유례없는 가뭄이 이어지면서 물부족 현상이 나타남
 - 강우량, 강우강도, 빈도, 지속기간 등 현재 수문량 산정의 주요지표로 활용 되고 있는 다양한 요인들이 변화하고 있으며, 극단적인 기후현상이 더 잦은 빈도로 발생하게 되면서 수자원의 확보 및 효율적인 활용이 더욱 어려워짐
 - 우리나라는 각 자원별로는 높은 해외 의존도 등으로 수급불안 요소들이 내재



[그림 1.3] 세계 물 부족 및 기아 현황 (UN, 2011-2012)

- **(지속가능자원확보)** 지속가능한(Sustainable) 확보 및 적정 배분, 신기술 창출을 통한 자원 안보(Security) 확보 필요
- **(물안보)** 생계유지, 인간의 행복, 사회경제적 발전을 위해 자가오염(water-borne pollution)과 물관련 재앙을 예방하며, 정치적 안정과 기후학적 평화를 위해 생태계를 보존할 수 있도록 적절한 양과 질을 갖춘 물에 urm 지속적으로 접근할 수 있는 인류의 능력(UN Water, 2014)
- **(식량안보)** 활동적이고 건강한 삶을 영위하기 위하여 모든 사람들이 언제나 자신의 섭취욕구와 식품기호를 만족시킬 수 있을 정도로 충분하고 안전하며 영양가 있는 식량을 물리적, 사회적, 경제적으로 얻을 수 있는 상태 (FAO, 2002)
- **(에너지안보)** 수용 가능한 가격 수준에서 필요한 에너지의 지속적인 공급 가용성(IEA, 2001)

- **(자원수급불균형)** 세계적인 물, 식량, 에너지의 수급 불균형 심화 및 상호 위기 증폭
 - 세계 물공급량 중 농업용 70%, 에너지 15%가 소비되고 있으며, 유럽과 미국은 발전용 냉각수로 담수총량의 43%, 50%를 사용하고 있음
 - Bone2011 컨퍼런스를 기점으로 물-에너지-식량 넥서스(WEF Nexus)의 연구가 활발히 진행 중

- **(자원연계)** 세계적으로 물, 에너지, 식량을 별개의 자원으로 생산하고 소비해 왔으나, 최근 세 자원간의 상호 연계성이 부각되고 있음
 - 지금까지의 물-에너지-식량-기후 연계 관련 연구는 대부분 개별 요인들의 분석 또는 기후변화에 따른 영향 평가 등에 집중
 - 어느 한 자원의 수요, 공급의 변화가 나머지 자원에 미치는 영향을 분석하여 세 가지 자원을 통합, 관리할 수 있는 물-에너지-식량 연계해석 기법에 대한 필요성이 제기

- **(정보교환)** 세계 각국의 연구기관에서는 WEF Nexus 기술에 대한 개념을 정립하고, 각 자원간의 데이터베이스를 연계·통합하여 관리하려는 움직임을 보임
 - Water Security 보고서(WEF, 2011)에서는 각 요인간의 영향을 동시에 고려할 수 있는 넥서스 접근법을 새로운 방법론으로 제시하였고 UN Secretary General에서도 사회, 경제, 환경을 연계할 수 있는 넥서스 접근법의 활용을 제시
 - 2012년 Rio+20 UN conference에서도 물, 식량 안보와 지속가능한 농업과의 연계성의 중요함을 거론
 - 2012년 제6차 WWF(세계 물포럼,마르세유)에서는 ‘경제발전 기여’를 위한 합리적 물 사용을 통한 식량안보, 물-에너지-식량 NEXUS에 대한 필요성이 제시됨
 - ‘12년 제6차 세계물포럼(마르세유)에서 물-에너지-식량 Nexus 필요성이 대두되어, ‘15년 제7차 세계물포럼(대구경북)에서는 물-에너지-식량 Nexus가 중점주제로 제시됨
 - 2015년 제7차 대구경북 세계 물포럼에서는 행동목표(action goal)의 하나로 물-에너지 및 물-식량 Nexus가 제안된 바 있음
 - UNFCCC에서는 물-에너지-식량 Nexus를 기후변화 해결책으로 제시
 - 일부 WEF Nexus 기술을 선도하는 국가 및 기관에서는 WEF Nexus Model & Tool을 개발하여 도입하는 과정을 거치고 있음
 - 모형을 이용하여 인구증가, 기후변화, 자원고갈 등의 시나리오를 대상으로 물, 에너지, 식량 자원의 수요 및 공급이 어떻게 변화될 것인지를 예측
 - 정책 또는 대체 기술 도입을 통해 발생 가능한 자원 부족 현상을 대응하고 완화시킬 수 있는 의사결정시스템을 개발

- (자원통합관리) WEF 넥서스는 물, 에너지, 식량 자원의 연계성을 파악하고, 자원을 효율적으로 이용하기 위한 통합자원관리의 하나의 접근방법임
- 각각의 자원을 생산, 공급, 소비함에 있어 다른 자원들이 밀접하게 연관되어 있음을 알 수 있으며 실제로 각각의 자원을 생산, 공급하기까지 소모되는 타자원의 현황을 정량화하여 파악한다면 세 가지 자원의 생산, 공급, 소비에 대한 효율적 관리 가능



[그림 1.4] 자원관리 WEF 넥서스 접근방법

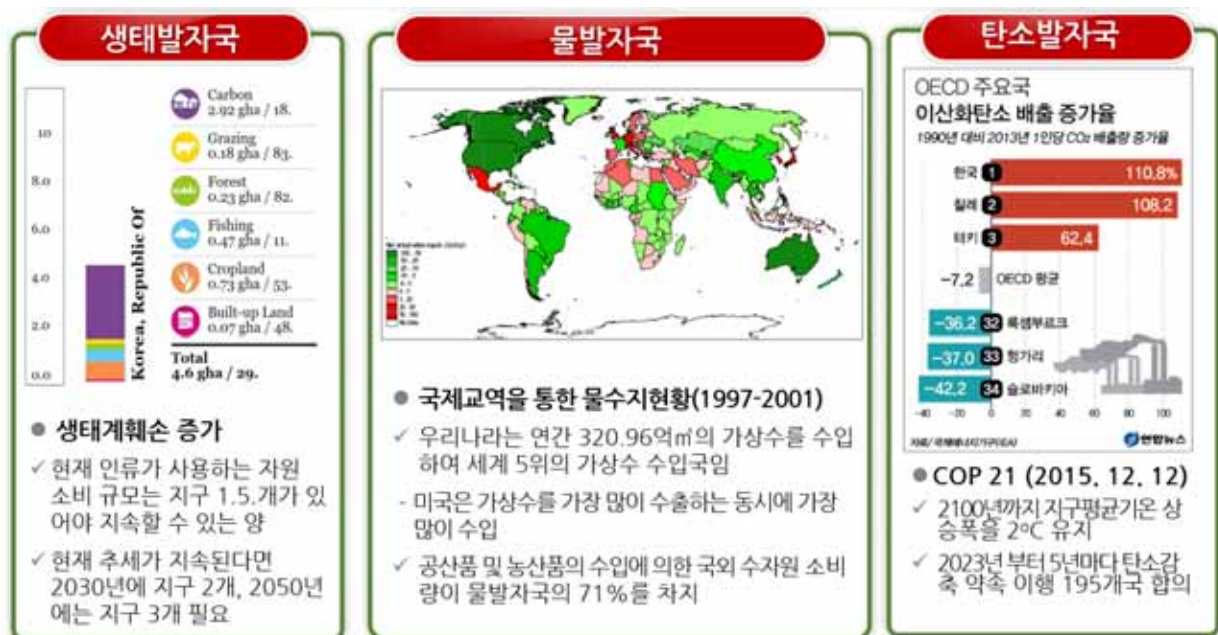
나. 국내 자원 환경 여건의 변화

- 미래 기후변화 대응 및 국가 필수 자원안보 체계 구축을 위해 물기반 국정 아젠다로서의 Water-Energy-Food Nexus 국가 실행계획 필요
- 인구증가, 경제성장, 기후변화 등의 미래 환경변화에 대응하기 위한 한정적인 자원들의 효율적인 활용이 어려움에 따라 자원간의 연계성을 활용한 지속 가능한 자원확보 시급
- 불확실한 미래 환경 대응 방안 마련 시급
 - 기후변화로 인한 수문기상학적 변동성 대응을 위한 안정적인 자원관리 필요
 - 전지구적 인구변화, 토지이용변화, 도시화, 산업고도화 등 환경변화에 따른 자원간 연계성을 이용한 자원안보
 - 국민 생활 패턴의 변화로 인한 자원소비의 형태에 따른 자원연계성의 변화 예측, 자원소비 예측, 자원공급 관리전략 필요
- 물/에너지/식량의 상호 연관성을 파악하고 자원간의 생산 및 소비 연계를 통해 자원 활용의 효율성 증대와 다음세대를 위한 자원의 확보 방안 필요
- 정부 주도의 물/에너지/식량 관리체계의 통합연계 정책수립 및 실행계획 필요
 - 정부 주도의 물/에너지/식량 연계를 통한 자원 자립도 개선 필요

- 기후변화로 인하여 발생하는 수자원부족(고갈) 문제와 물순환 왜곡 등을 해결하기 위한 수자원 자족·자립능력 향상 기술 개발 필요
- 2015년 가뭄으로 3일까지 강수량은 평년대비 62%(2015.11)에 불과, 중부지방을 중심으로 물부족 문제 심화

□ (발자국 개념 도입) 발자국(Footprint)는 인간에 의한 환경파괴를 나타내는 척도로 발자국 개념 도입이 필요

- (생태발자국) 국민 한사람의 일상생활이 자연생태계에 미치는 영향을 토지면적으로 환산한 수치(글로벌 헥타르, gha)
- (물발자국) 일상생활에서 사용하는 제품을 생산, 소비하는데 필요한 물의 양(Liter)
- (탄소발자국) 사업장에서의 직접 배출원과 간접배출원을 포함한 전 과정에서 이산화탄소 배출량(ton)



[그림 1.5] 각 발자국의 개념

- 수자원 자체만의 기존 기술 한계를 극복하기 위한 물-에너지, 물-식량 연계 신기술 개발과 지속가능한 활용방안 필요
- 미국, 일본, 유럽 등 주요 선진국을 중심으로 물관리 에너지의 효율화 및 수자원이 갖는 에너지의 회수와 적극적 활용이 적극적으로 추진되고 있음
- 국내의 경우 독립적으로 구분되는 이수, 치수, 물순환 건전화 등 주요 물관리 이슈에 대하여 에너지, 식량 분야를 연계한 통합적이고 효율적인 지속가능 방안 제시 필요

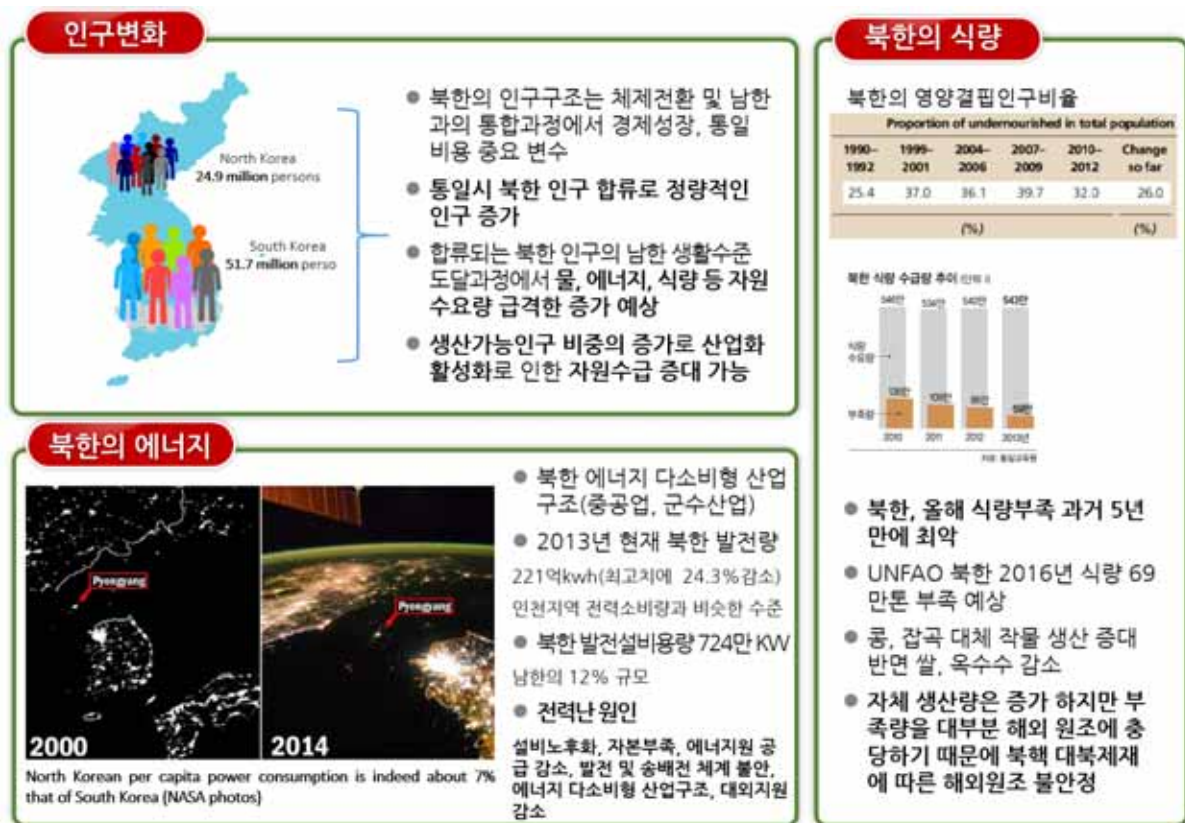
- 온실가스저감 및 에너지효율 개선 차원에서 에너지변환 효율이 높은 열에너지 활용도를 높이고, 신재생 열에너지 이용을 확대하기 위한 열 자원현황 조사 및 네트워크 인프라 구축 요구(기후변화 대응 확보 로드맵, 2016)
 - 정부의 정책방향을 저탄소 녹색성장으로 설정하였으며, 2020년 온실가스 감축 목표를 2020년 온실가스 배출 전망치 대비 30%를 감축 목표로 설정
 - 지속가능한 저탄소 녹색도시 조성을 위한 계획기준 (국토해양부, 2001)이 마련되고 친수구역특별법 (국토해양부, 2010.12)이 제정되어 물순환의 회복과 신재생에너지의 사용을 적극적으로 요구하는 개발 정책 확대
 - 유역 및 도시의 수자원·에너지 인프라 구축사업이 국제사회의 Emerging Industry로 급부상 되고 있음
 - 전 세계적으로 다양한 목적의 기술 융합 단지 개발 및 시티 프로젝트가 진행 중이며, 이를 통합하는 스마트 물관리의 시장이 동반성장하고 있음
 - 스마트 시티의 경우 전체시장 중 수자원 관리는 약 10~15%를 차지하며, 연평균 11% (2015 ~ 2023)의 시장성장 전망 (Navigant, 2014)
 - 물(에너지) 수요·공급, 물(에너지)순환, 재해 방지(수자원:가뭄, 에너지:전력 부족 등)가 종합적으로 이루어지는 정부차원의 수자원 중심 연계 통합 솔루션 필요
 - 물-에너지 자급률을 향상시키기 위해 국내 활용가능 수자원 다원화를 고찰하고, 미활용 에너지와의 연계를 확대하는 인프라 고도화 기술이 필요한 시점임
- 필수자원인 물, 에너지, 식량에 효율성에 대한 기술개발은 현재 국토부, 산자부, 농림부에서 개별적으로 추진되고 있으나 자원간 상호작용이 단절되어, 통합 및 연계효과에 따른 자원확보와 경제적 효과가 적어 새로운 WEF Nexus 기술이 시급
- 그간 분산·개별적으로 진행해 오던 자원효율성 개선 기술을 다른 자원 의 생산, 공급, 소비에 연계 하여 국가차원의 다부처 신자원관리 체계 구축이 목적
 - WEF Nexus는 사회적, 경제적, 환경적으로 서로 다르거나 경쟁관계에 있는 자원간 이해관계를 연계시킬 수 있음
- 기술융합형 물-에너지-식량 연계 기술 및 운영 Tool 확보 시급
- 세계 자원시장 개방확대로 인한 자원생산 및 소비 흔적추적을 위한 통합운영 관리시스템 필요
 - 자원안보 실현을 위한 자원이용의 효율성 증대를 위한 기술 필요
 - 지속가능한 물-에너지-식량 안보 연계를 위한 각 자원이 효율성이 다른 자원으로 전달될 수 있는 연계기술 및 운영 Tool 필요

- 한반도 통일 대비 및 지속가능목표(SDGs*) 실현 기여를 통한 국가적 차원의 자원연계형 국토관리 정책 개발 및 추진 필요

* SDGs : UN개발의제인 새천년개발 목표(MDGs) 이후 Post-2015 시대로 전환됨에 따라 글로벌 아젠다로 17개의 지속가능발전목표(Sustainable Development Goals, SDGs)를 협의, 공표('15. 9)하여 2030년까지 수행하는 국제사회의 새로운 개발 의제

□ 통일대비 한반도 국토 재창조 필요

- 통일시 북한 인구의 합류로 정량적인 인구가 증가하며, 합류되는 북한 인구의 남한 생활수준 도달과정에서 물, 에너지, 식량 등 자원 수요량 급격한 증가 예상
- 북한의 산업구조는 중공업, 군수산업의 에너지 다소비형 산업구조이며, 북한 발전설비용량은 724만 KW로 남한의 12% 규모임
- UNFAO에서 2016년 북한의 식량이 69만톤 부족할 것으로 예상

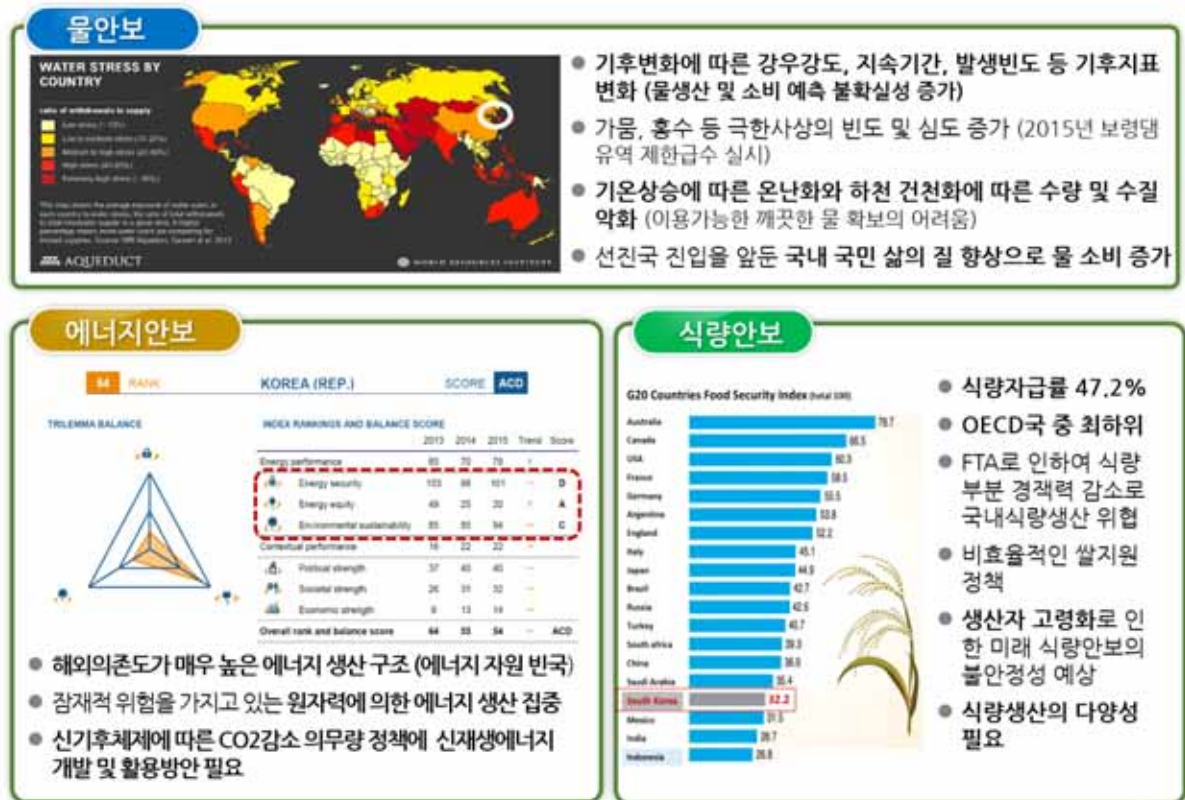


[그림 1.6] 한반도 통일과 WEF 넥서스의 필요성

□ 기후변화로 인한 국내 자원안보의 위협

- 기후변화에 따른 강우강도, 지속기간, 발생빈도 등 기후지표의 변화로 물생산 및 소비 예측의 불확실성이 증가하며, 이용가능한 깨끗한 물 확보의 어려움 발생

- 국내 에너지 생산은 해외의존도가 높고, 원자력에 의한 에너지 생산이 집중되며, 신기후체제에 따른 CO₂감소 의무량 정책에 신재생에너지 개발 및 활용방안 필요
- 식량자급률이 47.2% 수준이며, 비효율적인 쌀지원정책 및 생산자 고령화로 식량안보의 불안정성이 예상됨



[그림 1.7] 기후변화에 따른 국내 자원안보의 위협

2. 사업 추진 필요성

가. 사회경제적 측면

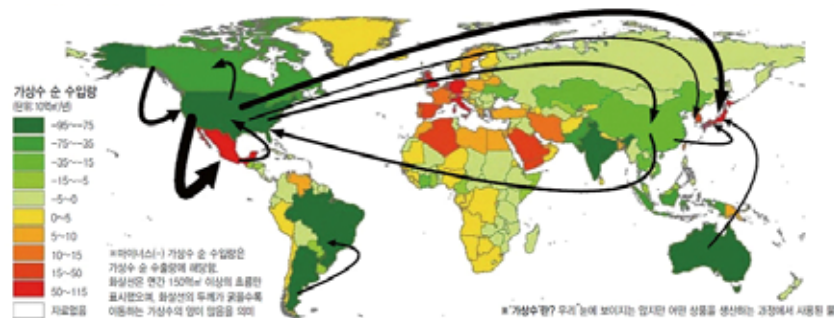
- 창조경제 기반의 자원 연계를 통한 국민 삶의 질 향상 필요
- 기후변화 등으로 인해 국제적인 물부족 심화에 따라 물의 가치가 지속적으로 증대되고 있어 미래 스마트 물산업 대응 기술 융합을 통한 창조경제 실현
- 기후변화 및 물부족 현상에 대비하기 위해서는 기존의 물관리에서 탈피해 기후, 환경, 산업, 기술 정책 등을 포함한 통합적 관리체계 필요
- 세계 물시장 개방 확대에 의해 기술융합형 중심의 물-에너지-식량 연계 기술 선점 시급
- Nexus를 통한 국가 자원안보 달성 및 신규시장 발굴 등 시너지 창출과 함

게, ICT를 활용한 수요관리 시장 구축, 신서비스 산업 육성 및 일자리 창출 기여 필요

- 경제활동의 주요 투입 요소인 물과 에너지, 식량 등의 상호 연계(nexus)가 경제 성장 등에 미치는 영향을 예측하고, 장기적 관점에서 대응 필요
- 물-에너지-식량 통합·연계운동을 통하여 에너지부문 비용을 연 5조원, 용수 생산 및 사용효율 증가와 식량 생산-가공-유통비용 20% 절감 기대

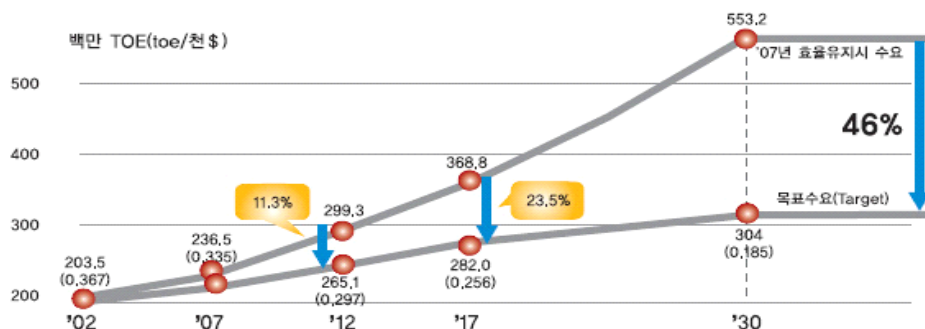
□ 세계 물-에너지-식량 시장환경에 대한 국내 여건

- 국내 수자원사업 시장규모는 2010년 기준 약 12조원 규모이며, 수자원 확보 곤란, 환경악화, 용수부족 심화 등으로 시장 규모는 더욱 증가될 것으로 예상됨. 최근 국제무역을 통한 물의 이동을 개념화 한 가상수(Virtual Water)이론이 주목을 받고 있음 (Allen, 1998). 우리나라 가상수 수출입량을 살펴보면 2007년 약 400억톤의 가상수를 수입한 것으로 조사되어 세계 5위의 가상수 수입국으로 수자원의 합리적 관리에 대한 필요성이 대두됨



[그림 1.8] 세계 가상수 흐름(1996~2005년, 물발자국 네트워크 보고서)

- 2014년 전체 에너지 수요는 287.7백만 TOE(석유 환산 톤)이며, 이는 세계 8위에 해당되는 수요량임. 에너지원으로는 석유 41.4%, 석탄 29.8%, 원자력 13.1%, 수력 0.3%, 신재생 0.2% 정도임. 한국 에너지 소비 연평균 증가율은 2.83%로, 독일·프랑스·일본·미국 등 주요 선진국이 마이너스 성장을 보이는 것과 대조적으로 계속 늘고 있음. 에너지의 수입의존도가 높은 국내 여건상 신규에너지원 창출과 에너지 생산 및 관리기술 개발이 필요함



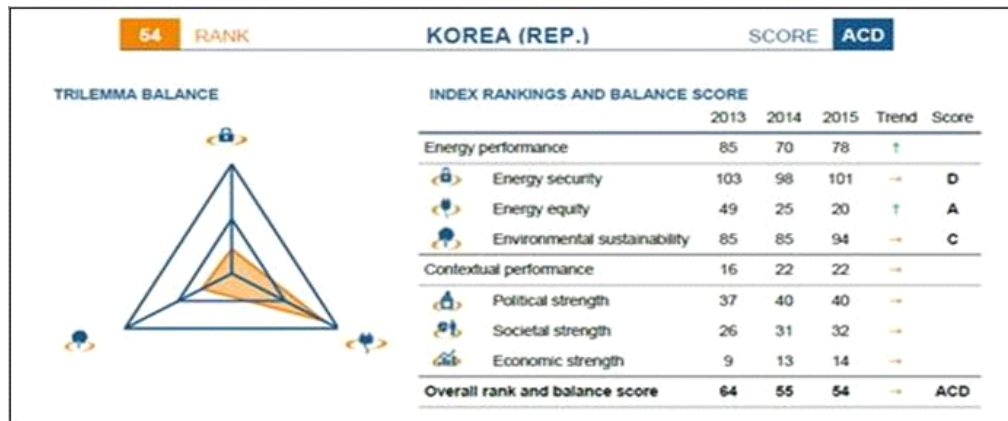
[그림 1.9] 에너지수요 전망 및 목표도(출처: 에너지기후변화편람, 에관공)

〈표 1.1〉 국가별 에너지소비 순위 (2009년 기준)

소비구분	1위	2위	3위	4위	5위	6위	7위	8위	9위	10위
에너지 (백만toe)	중국 (2,257)	미국 (2,163)	인도 (676)	러시아 (647)	일본 (472)	독일 (319)	프랑스 (256)	캐나다 (254)	브라질 (240)	한국 (229)
석유 (백만톤)	미국 (842)	중국 (405)	일본 (198)	인도 (149)	러시아 (125)	사우디 (122)	독일 (114)	한국 (104)	브라질 (104)	캐나다 (97)
전력 (TWh)	미국 (3,962)	중국 (3,503)	일본 (997)	러시아 (870)	인도 (690)	독일 (555)	캐나다 (522)	프랑스 (483)	한국 (438)	브라질 (426)

자료 출처 : IEA(Key statistics 2011), BP(Statistical review of world energy 2010)

- 세계에너지협의회(WEC, World Energy Council)에서 발표한 에너지안보, 에너지형평성, 환경적 지속가능성 등 3개 부문의 목표이행정도를 2015평가한 결과 2015년도에는 각각 101위, 20위, 94위로 심각한 에너지 안보의 위협



[그림 1.10] WEC 2015 에너지 안보 지수

- 서방 선진국들의 경우에는 최소한 자국의 주곡을 거의 자급하고 있는 상황
이므로 **쑈** 지구적인 식량위기는 아시아 및 아프리카 등의 저개발국가들 보
다 치명적일 것으로 예상됨. 반면, 국내의 식량자급율은 2014년 49.8%(곡물
자급률 24%)에 불과하며, 세계 6위의 곡물수입국으로 EIU 세계식량안보지
수는 26위를 기록하고 있으나 매년 하락세를 보이고 있음. 최근 국제 곡물
가격의 급등은 미국의 투기자본과 거대 곡물기업들이 가입 등은 국내 식량
안보에 위협이 되고 있음



[그림 1.11] EIU 2014
식량안보지수 순위



[그림 1.12] 주요국 곡물자급률 및
곡물 국제가격 동향

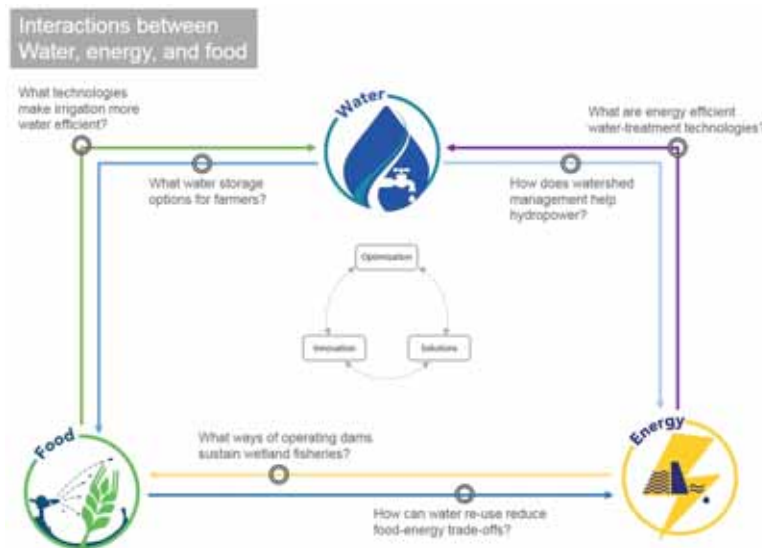
- 기후변화, 도시화, 인구 증가 등으로 물, 에너지, 식량 자원에 대한 수요가 증가함에 따라 이를 뒷받침할 기반 에너지의 필요성이 증대하고 있음
- 기후변화와 같이 기상학적 스트레스 증가와 더불어, 국제적으로 인구증가 및 도시화가 확대될 것으로 전망되며 세계경제포럼(world economic forum)의 “전 지구적 위험도 인지 조사”에서도 물, 식량, 에너지 위기에 대한 심각성을 강조함
- 전세계적으로 인구가 증가함에 따라 식량과 청정 식수에 대한 수요가 과거 대비 40% 증가함
- 도시화에 따라 에너지 및 수자원에 대한 수요가 50% 증가하였으며 도시 거주 중산층 증가에 따라 양질의 음식을 생산하기 위한 식재료와 산업/경제/여가 활동을 뒷받침하기 위한 기반 에너지의 필요성이 증대함



[그림 1.13] WEF 관련 여건 변화

- 물-에너지-식량은 상호 관련 있는 분야이므로 WEF의 문제 해결책을 제시하고 운영을 최적화 하며 창조적 혁신성을 도모하는 연구기획이 필요함
- 물(기상)-식량-에너지는 서로 밀접한 연관성을 가지고 있으며, 개별 분야에서의 문제는 그 자체로 위기로 그치지 않고 다른 타 분야의 위험도를 증폭시키는 원인으로 작용하게 됨
 - 과거와 다르게 교통, 물류 등의 발달로 물, 식량 및 에너지의 국가간 의존도가 더욱 증가하는 방향으로 전개되고 있으며, 세 가지 자원의 연계성 강화는 결국 상호 위기를 가중시킬 것으로 전망됨
 - 세계 수자원의 70%는 농업부문에서 이용되고 있으며, 에너지 분야에서도 자원개발단계, 화석 연료를 통한 발전 및 냉각용수로서 상당한 수자원이 이용되고 있는 등 물과 식량 및 에너지 분야는 연관성이 크게 증대되고 있음
 - 물, 에너지, 식량 넥서스에서 에너지와 식량은 필수 자원이자 2차적 생산물인 반면 물은 1차적인 자원으로써 물확보가 우선되어야 에너지, 식량이 확보될 수 있음. 넥서스는 자원확보에서 물, 에너지, 식량의 관계에서 연계를 통하여 효율성을 높이는 것임. 해수담수화도 해수라는 물이 있어서 가능
 - 바이오에너지 부문에서도 결국은 안정적인 수자원 확보가 가장 핵심적인 요소로 인지되고 있음

- 식량관련 국제기구 FAO에서도 물의 중요성을 인식함에 따라 식량-물-에너지 넥서스가 아닌 물-에너지-식량 넥서스라는 타이틀로 접근
- 물, 에너지, 식량 등 각 요소들간의 연계성을 고려한 효율성 증대 필요
 - 물과 식량의 관계는 주로 농업과 관련되어 있으며 관개용수를 저류하는 방법과 농업용수를 효율적으로 공급하는 기술이 핵심임
 - 물과 에너지의 관계는 수력발전 및 수처리 기술과 관련하여 효율적인 유역 관리 및 고효율의 가용수 확보 기술이 핵심임



[그림 1.14] 물-에너지-식량의 상호관련성

- 에너지 소비 증가가 예상됨에 따라 물 수요도 크게 증가할 것으로 전망됨에 따라¹⁾ 물-에너지-식량의 복합적 상관성을 고려한 연구가 필요함
- 에너지 소비는 2050년에는 2005년 대비 1.6배 늘어나는 것으로 예상되며 물수요도 11% 증가할 것으로 전망됨
 - 2010년 전 세계 물 사용량의 15%가 에너지생산을 위해 사용되는 것으로 분석 됨 (UN-Water, 2014)
- 세계적으로 석유, 석탄 및 가스 등의 자원개발과 더불어 에너지 발전의 냉각수 등이 주요 물 소비분야이며, 최근 바이오에너지와 셰일가스 등 비전통자원의 개발이 확대되면서 에너지와 물의 갈등이 더욱 심화되고 있음
 - 미국 및 유럽에서는 발전에너지 분야에 냉각수의 이용이 전체 담수 이용량의 40% 이상을 차지하고 있음 (UN-Water, 2014)
- 우리나라는 에너지 분야에서 국제 정치/경제적 상황에 따라 단기적 공급차질과 더불어 가격 안정성을 크게 위협받고 있으며, 특히, 에너지 자원의 높은 해외 의존도 등으로 수급불안 요소가 존재하므로 이를 보완하기 위한 복합 연구가 필요함

1) UN 세계 물개발보고서, 2012.

- 우리나라는 향후 물-식량-에너지 자원 부족이 예상되는 가운데 이를 해결하기 위한 순환자원경제 4.0 시대에 대한 대비가 필요함
 - 자원을 최소한 효율적으로 사용하면서도 사회기능을 제대로 지탱할 수 있는 연계기술을 개발하면서 지속가능한 물-식량-에너지 생산-가공-유통-소비시스템을 구축해 나가야 하는 시대가 도래 하고 있음
 - 순환자원경제 4.0은 물-식량-에너지 분야별 빅데이터 기반의 공학기술들을 결합해서 자원의 효율을 높이고 사용을 대폭 줄이는 것은 물론 분야별 자원 재활용 시스템까지를 포함해 사회기반을 구축하는 개념임
 - 자료결합(빅데이터), 기술결합(IoT), 자원결합(스마트그리드), 자원흐름(가상수) 분야의 결합을 의미함
 - 개별자원의 차원에서 벗어나, 자원확보, 자원확장(재생, 재활용), 자원간결합, 자원융합의 과정을 내포함
 - 자원의 생산, 가공, 유통, 소비, 환원에 대한 이해를 통해서, 공간자원(3차원)과 시간흐름(1차원)을 결합하여 세계흐름(4차원)으로의 경제를 의미함
- 물-에너지-식량 넥서스 기술의 도입은 자원 활용에 대한 통합적 분석 및 효율적 이용 제고를 위해 필요함
 - 동 기술 도입 시 자원 활용에 대한 통합적 분석이 가능할 것으로 예상됨
 - 현재 자원의 공급과 배분에 영향을 주는 기후변화와 인구변화 등으로 자원의 수요와 공급이 변화되는 것을 통합적으로 평가할 수 있음
 - 따라서 자원 공급에 영향을 주는 요소들을 고려한 시뮬레이션 분석이 가능하여 보다 효율적인 자원 정책을 수립할 수 있을 것으로 평가됨
 - 동 기술을 활용하여 특정 지역에 대한 자원 활용 효율성 평가 가능
 - 특정 지역의 물-식량-에너지의 배분을 통합적으로 평가할 수 있음
 - 특정 지역의 자원 배분의 효율성을 평가할 수 있는 기준을 제시할 수 있을 것임
 - 따라서 지역별 자원 배분의 효율성을 제고할 것으로 평가됨
- 물-에너지-식량 넥서스 기술은 세계 자원시장 진출 확대를 위해 필요함
 - 세계는 지속가능성 개발을 위한 연구와 기술 개발이 확대되고 있음
 - 특히 개발도상국을 중심으로 자원활용 기술에 대한 수요는 증대되고 있음
 - 따라서 스마트그리드 등을 비롯한 물-에너지-식량 넥서스 기술을 바탕으로 국내 자원 기업들이 세계 자원시장 진출을 확대할 수 있을 것임

나. 정책적 측면

- 국가과학기술심의회 운영위원회의 「정부 R&D 혁신방안 실행계획(2016.6)」

에 따르면 추적형 R&D 시스템에서 선도형 R&D 시스템으로 변화되고 있음

- 특히 관계부처 합동으로 기후변화대응기술의 체계적인 확보 및 활용을 위해 파리협정 이행을 국가 R&D 측면에서 효율적으로 지원하기 위해 「기후기술 확보 로드맵(CTR, Climate Technology Roadmap)」 수립하여 10대기후기술, 50개 세부기술군을 통해 ‘30년 44백만톤(연간)의 온실가스 감축 계획 수립

- 국토교통부 국토교통과학기술진흥원의 「국토교통 R&D 중장기 전략(2014.7)」에 따르면 2023년까지 4대 핵심전략 중 글로벌 시장 선도형 기술 개발, 융·복합 신산업 창출기반조성, 편리하고 안전한 국토공간조성 등 자원간 연계를 통해 도출할 수 있는 3개분야 6조4천3백원 규모 투자 계획

- 산업통상자원부 한국에너지기술평가원의 「2014 에너지기술 이노베이션 로드맵(2014.12)」에 따르면 17대 프로그램, 75개 프로젝트, 274개 중점기술 중 타자원과의 연계를 고려한 신재생에너지 하이브리드시스템 및 에너지네가와 트시스템 등 7개프로그램 30개 프로젝트의 1조9천억원 투자계획

- 농림축산식품부의 「제2차 농림식품과학기술 육성 종합계획(2016.1)」에 따르면, 4대 중점연구분야 50개 핵심전략기술 중 기후변화 대응 및 타자원과의 연계를 통한 기술력 확보사항인 바이오에너지 고효율 생산 및 산업화 기술 등 8개 핵심전략기술 계획 중

- 미래 기후변화 대응 및 국가 필수 자원안보 체계 구축을 위해 물기반 국정 아젠다로써의 Water-Energy-Food Nexus 국가 실행계획 필요

- 인구증가, 경제성장, 기후변화 등의 미래 환경변화에 대응하기 위한 한정적인 자원들의 효율적인 활용이 어려움에 따라 자원간의 연계성을 활용한 지속가능한 자원확보 시급

- 물/에너지/식량의 상호 연관성을 파악하고 자원간의 생산 및 소비 연계를 통해 자원 활용의 효율성 증대와 다음세대를 위한 자원의 확보 방안 필요

- ‘12년 제6차 세계물포럼(마르세유)에서 물-에너지-식량 Nexus 필요성이 대두되어, ‘15년 제7차 세계물포럼(대구경북)에서는 물-에너지-식량 Nexus가 중점주제로 제시됨

- UNFCCC에서는 물-에너지-식량 Nexus를 기후변화 해결책으로 제시

- 정부 주도의 물/에너지/식량 관리체계의 통합연계 정책수립 및 실행계획 필요

- 정부 주도의 물/에너지/식량 연계를 통한 자원 자립도 개선 필요

- 수량관리 측면에서의 WEF 정책 필요성

- (원인) 기후변화로 인한 강수패턴 변화와 함께 인구증가, 도시화로 인한 수자원 수요 증가

- (필요성) 현재와 같은 물 중심의 수자원정책은 물환경변화에 대응한 한계 비용이 증가할 뿐만 아니라 지속가능 발전 달성에 한계
 - 농업-에너지 분야의 물사용정책과 통합된 물분야의 정책 필요(WEF 넥서스)
 - 농업, 에너지, 물분야 등 다양한 물 수요를 고려한 물배분 정책의 정립 필요
 - 농업용담 재개발 등 기존 수자원의 효율적 활용 정책 필요, 해수담수화 같은 신규 물확보를 위한 에너지 비용을 고려한 수자원정책 수립 필요
- 지금까지는 물, 에너지, 식량을 별개의 자원으로 사용해왔으나, 최근 세 자원간의 상호 연계성이 부각되고 있음
 - 지금까지의 물-에너지-식량-기후 연계 관련 연구 및 정책은 대부분 개별 요인들의 분석 또는 기후변화에 따른 영향 평가 등에 집중
 - 한 자원의 순환 변화가 나머지 자원에 미치는 영향을 분석하여 세 가지 자원을 연계 관리할 수 있는 물-에너지-식량 연계해석 기법에 대한 정책적 필요성 제기
 - 세계 각국의 연구기관에서는 WEF Nexus 기술에 대한 개념을 정립하고, 각 자원간의 데이터베이스를 연계·통합하여 관리하려는 동향 보임
 - Water Security 보고서(WEF, 2011)에서는 각 요인간의 영향을 동시에 고려할 수 있는 넥서스 접근법을 새로운 방법론으로 제시
 - UN Secretary General에서도 사회, 경제, 환경을 연계할 수 있는 넥서스 접근법의 활용을 제시
- 한반도 통일 대비 및 지속가능목표(SDGs*) 실현 기여를 통한 국가적 차원의 자원연계형 국토관리 정책 개발 및 추진 필요
 - SDGs* : UN개발의제인 새천년개발 목표(MDGs) 이후 Post-2015 시대로 전환됨에 따라 글로벌 아젠다로 17개의 지속가능발전목표(Sustainable Development Goals, SDGs)를 협의, 공표('15. 9)하여 2030년까지 수행하는 국제사회의 새로운 개발 의제



[그림 1.15] 지속가능목표

- 부처간의 행정적인 간격으로 물-에너지-식량의 연계성 연구 및 정책수립이 어려움에 따라 다부처간 체계적인 협조 및 조직을 구성할 수 있는 정책 필요

- 에너지, 용수 해결 방안 및 서로를 고갈시킴이 없이 어느 한 자원을 증가시킬 수 있는 혁신적 기술들을 통합하는 새로운 국가 정책이 필요함
 - 전 세계적으로 물이용과 에너지 생산의 이해관계는 서로 상충함
 - 샌디아고는 해수담수화 시설 건설 희망하고 있으나, 많은 에너지가 소비되고, 전력 공급에 차질이 예상되기 때문에 지역 전문가들은 건설을 적극적으로 반대함
 - 런던도 같은 이유로 2006년 제안된 해수담수화 시설을 거부함
 - 우루과이 도시들은 저수지 용수를 식수로 사용할 것인지 발전용으로 사용할 것인지를 선택해야 문제에 직면함

- 에너지 및 물 안보는 식량 및 경제성장과 인과관계에 있으므로 에너지와 물이 갖는 기회 및 위험을 고려한 정책 추진이 필요함
 - 일반적으로 에너지 및 물 안보는 국가의 식량 및 경제성장과 통계학적으로 유의미한 인과관계에 있음
 - 에너지 공급과 수리학적 변동성은 경제 성장과 관련되는 핵심 에너지-수리-기후 요소로, 농업 뿐 아니라 경제 전반에 영향을 미침
 - 에너지와 물이 갖는 경제적 위험/기회의 규모를 고려한 정책 추진의 우선순위를 조율해야 하며, 에너지 리스크, 홍수·물부족 위험, 환경 비용, 식량의 가격(공급) 변동성 등을 통합적으로 고려해야 함

- 물과 에너지는 식량 생산의 제한요인이 되는 등 해결이 시급한 문제이므로 이의 해결을 위한 정책 마련 필요
 - 기후변화 등을 고려할 때 물과 에너지의 중요성을 동시에 중요하게 고려해야 하며, 상호의존성이 강화되고 있는 식량 안보에 있어서도 주요 문제임
 - 식량생산에 필요한 물과 에너지의 원단위를 통합적으로 관리해야 하며, 물 부족지역에서의 농작물 생산은 해당 지역의 물 부족을 심화시킬 수 있으므로, 식량생산 체계에서의 물-에너지 생산성에 관심 필요
 - 산업 측면에서는 가치사슬 관점에서 물과 에너지 문제를 이해해야 하며, 물-에너지 문제를 가용성 측면 뿐 아니라 경제 성장에 미치는 위험을 고려하면서 접근해야 함
 - 물-에너지-식량 분야는 강한 연계성을 갖기 때문에, 단순한 접근은 부정적인 영향을 유발할 수 있으므로 통합적·역동적 평가와 문제 지역 등 지역 세부사항을 고려한 접근 필요

- 물-에너지-식량 등의 상호 의존성을 고려한 인프라 투자, 보조금 등 인센티브, 조세 정책의 설계 필요
 - 물이 부족한 국가는 농작물 수출을 통해 가상의 물(virtual water)을 수출하고 있으며, 농업 보조금 등은 이들 국가 또는 지역의 물 부족을 악화시키고 장기적 경제성장에 장애 요인이 될 수 있음
 - 선진국 대부분은 물-에너지-식량 넥서스에서의 기술 혁신 유도, 넥서스를 고려하여 에너지 분야에 물 사용을 줄이기 위한 대책을 추진 중임

- 장기적 관점에서 우리나라의 신성장 동력을 확보하기 위한 넥서스 관련 정책 마련이 필요함
 - 우리나라의 수출 시장 확대 관점에서 정책의 효과를 파악하는 것이 중요하며, 넥서스는 장기적 관점에서 신성장동력 기회와 위기를 포착하는데 도움이 됨
 - 우리의 주요 수출시장인 아시아 지역은 물 사용의 비효율성과 낮은 비용회수(거의 무료)로 인해 물, 식량 문제가 가중될 것이며, 다양한 분야를 포괄하는 넥서스 관점을 도입한 통합물관리체계가 필요할 것임

- 식량 및 수자원 정책은 내·외부 요인들에 의해 다양하게 수립될 수 있으므로 넥서스 연계해석 기반의 자원관리 시스템 활용이 필요함
 - 넥서스 연계해석 기반의 자원관리 시스템은 다양한 식량, 수자원, 에너지 정책 시나리오를 적용할 수 있으며, 외부 요인으로 기후 및 인구변화 등을 동시에 적용할 수 있음
 - 물-식량-에너지 넥서스 기반 자원관리 시스템은 개별자원의 관리정책이 타 자원에 미치는 영향을 효율적으로 보여줄 수 있는 도구로서 활용도가 높을 것으로 기대되며, 나아가 각 자원관리 부처간의 효율적인 협업을 유도할 수 있을 것임
 - 물, 식량 안보 및 기후변화에 대한 다양한 시나리오를 적용하기 때문에 관련 정책 수립의 영향 평가 부분에서 활용될 수 있을 것임
 - 식량, 에너지의 연계해석 기술 뿐 아니라 개별 자원들의 임계치 및 변동성의 분석을 동시에 수행하기 때문에 개별 분야의 최적 관리 방안 도출을 위한 기초자료 제공이 가능할 것임
 - 넥서스를 통한 자원관리는 식량 수요의 변화와 기후변화가 자원 수요/공급 관리 부분에 미치는 영향 평가에 이용할 수 있으며, 개별 자원 관리 정책이 타 자원에 미치는 영향 평가에도 적용 가능함

〈표 1.2〉 기존의 물-식량 자원 관리 시스템과 넥서스 시스템 적용의 차이 비교

구 분	기존의 자원관리	넥서스 시스템 기반의 자원관리
수자원 수요/공급	• 단위면적 당 필요수량 산정 • 작물별 재배면적 활용	• 식량 수요변화에 따른 수자원 사용량 - 식량 소비 패턴 및 식량 자급률 적용 - 물발자국을 통한 수자원 사용 평가 • 작물 이용 중심의 공급량 평가
	• 용수공급원 중심의 평가 (저수지, 지표수, 지하수)	• 토양수분 이용 가능 평가 (Green water) • 추가 관개용수 공급 평가 (Blue water) • Green water와 Blue water 연계해석
식량 수급 변화	• 작물 재배면적을 통한 총 수요량 산정	• 식량 소비패턴에 따른 식량소비량 적용 • 식량 자급률 변화에 따른 가상수 필요량 산정
에너지 수급 변화	• 산업중심 에너지 수요 위주의 관리 정책	• 자원관리를 위한 에너지 사용량 관계 적용 • 자원관리 정책을 위한 에너지 필요량 고려 가능 • 수자원 공급과 수력발전의 유기적 연계
기후 요소 적용	• 빈도별 가뭄에 따른 수자원 수요 및 공급량 분석 • 기후변화에 따른 식량 생산가능 저하 분석	• 자원별의 기후변화 영향 평가 연계 가능 • 기후변화에 따른 수자원의 효율적 분배 분석 가능
자원간 연계	• 개별 자원 단위의 분석 가뭄-수자원 가뭄-생산량	• 시스템다이내믹스를 이용한 물-식량-에너지 및 기후영향의 동시 적용 및 상호 피드백, 제한요소 기능 적용

- ☐ 미래 기후변화 및 인구변화 등의 외부 요인들에 효율적으로 적응 및 대응하기 위해서는 넥서스 기반의 자원관리 정책 필요
 - 다양한 자원이 유기적으로 연계되어 있기 때문에 단일자원의 개별정책으로 관리하기에는 한계가 있음
 - 자원의 안보가 전 세계적으로 중요한 이슈로 거론되는 현 시점에서 농촌자원을 지속가능하게 활용, 보전할 수 있는 관리 정책 지원 시스템이 필요한 시점임
- ☐ 사회문화적 수용성을 바탕으로 진화해 가기 위해서는 처음부터 국민과 함께 하는 물-에너지-식량의 연계 기술 중요
 - 기술이 실제 국민의 삶과 국민이 지불해야 할 것에 대해 알리는 것 중요
 - 물-에너지-식량 연계 기술로 인해 편익을 누릴 수 있는 집단 혹은 지역과 피해를 감수해야 할 집단 혹은 지역에 대해 사전 분석 필요
 - 빅데이터 분석을 통해 국민들이 물, 에너지, 식량 각각에 대해 그리고 물-에너지-식량과의 연계에 대한 감성과 인식 고려
 - 물-에너지-식량의 연계기술에 대한 사회문화적 수용성에 영향을 미치는 요인 파악 필요

- 기후변화로 인한 강수패턴 변화와 함께 인구증가, 도시화로 인해 수자원 중심의 넥서스 전략 필요
- 우리나라의 경우 경제성장으로 인한 국민 삶의 질 증가를 위한 자원 필요와 도시인구 팽창에 따른 물, 에너지, 식량 등 필수자원에 대한 수요 증가
 - 서울의 인구밀도는 경제협력개발기구(OECD)에 가입한 선진국 대도시들 가운데 가장높아 균형발전 정책을 통한 지방으로의 인구분산 시급(국토연구원)
- 국내 자원의 대외 의존성이 높아 국제자원시장에 크게 영향을 받기 때문에 WEF 넥서스에 대한 자립적 자원 확보 시급

〈표 1.3〉 우리나라 연도별 에너지 해외 의존도

년 도	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
의존도(%)	97.22	97.20	97.33	97.14	96.87	96.74	96.62	96.49	96.56	96.45	96.22

자료 : 에너지경제연구원, 에너지통계연보

- 현재 우리나라는 기후변화 적응 기술개발에 대한 국가 전반의 현황 파악 및 전략이 부재하므로 체계적인 적응기술 관리 기반 구축과 더불어 적응정책의 수립 지원을 위한 국가 R&D 전략 및 방향이 필요한 시점 (수자원 중심의 넥서스 전략 필요)
- 제2차 국가 기후변화 적응대책('15.12)*의 성공적 추진과 효과적 이행을 국가연구개발사업을 통해 체계적으로 지원하기 위한 기술체계 및 실행전략 마련 시급
 - * 기후변화로 인한 영향을 최소화하고 국민의 안전과 재산을 보호하기 위해 매 5년마다 국가 기후변화 적응대책을 수립하며, ' 15년 제1차 국가 기후변화 적응대책 완료에 따라 제2차 국가 기후변화 적응대책(2016~2020)을 마련
- 우리나라의 쌀자급률은 2013년 현재 89.2%를 기록하지만, 사료를 제외한 곡물의 자급률, 즉 식량자급률은 지난해 47.2%, 사료를 포함한 곡물자급률은 23.1%
 - 미국 농무부의 추정 자료에 따르면 세계 130여 개국 중 한국의 밀·콩·옥수수 등 3대 곡물 자급률은 2013년 기준 1.6%로 하위 16번째에 불과했다.



[그림 1.16] 국내 식량안보 및 식량자급률 추이

다. 기술적 측면

□ 불확실한 미래 환경 대응 방안 마련 시급

- 기후변화로 인하여 발생하는 수자원부족(고갈) 문제와 물순환 왜곡등을 해결하기 위한 수자원 자족·자립능력 향상 기술 개발 필요
 - 인구증가로 식량과 에너지수요가 늘어나는 반면 기후변화로 인한 환경변화는 사막화 확산, 물 부족으로 물 공급력은 축소되고 있어 물관리가 더욱 어려운 실정임 (Pimentel and Pimentel, 2007)
 - 국내 2015년 가뭄으로 3일까지 강수량은 평년대비 62%(2015.11)에 불과, 중부지방을 중심으로 물부족 문제 심화
- 전지구적 인구변화, 토지이용변화, 도시화, 산업고도화 등 환경변화에 따른 자원간 연계기술을 이용한 자원안보
- 국민 생활 패턴의 변화로 인한 자원소비의 형태에 따른 자원연계성의 변화 예측, 자원소비 예측, 자원공급 관리 기술 필요

□ 물-에너지-식량 연계성에서 각 자원에 대한 관리 및 운영기술은 많은 사례 있지만 아직까지 연계성을 이용하여 자원간의 효율성을 찾는 관리 및 기술 필요

- 세계적으로 물, 에너지, 식량의 수급 불균형이 심화되고, 특히 세자원이 복합적으로 연계되어 상호 위기가 증폭될 수 있는 실정 (Helleger et al., 2008)
- 물-에너지-식량의 연계성 연구 및 정책수립에 있어서 분야에 걸친 자료를 통합할 수 있는 빅데이터 기반의 DB구축 및 인벤토리 정의 필요

□ 국제적으로 세자원의 연계상황이 선진국과 개도국간에 편차가 크고, 사막지대 등 자연조건이 열악한 지역에서 자원들간의 위기 연계성이 높은 상황이므로 우리나라도 물-에너지-식량의 연계위기 상황을 정확히 파악하고 미래 환경변화에 대한 대응 기술 방안 수립이 필요함

- 현재 국내 물관리에 있어 저수지나 수리시설 관리가 제대로 실행되지 못하고 있어 이를 방치할 경우 중장기적으로 식량생산에 있어 물 부족 우려 (이종원, 2002)

□ FAO는 Mekong River를 대상으로 Hydropower Dam 건설 사업의 효과를 WEF Nexus 관점에서 분석함²⁾

- FAO에 따르면 WEF 연계 해석 기술의 개발에 따라 자원 개발 및 사회기반 시설물 공급 추진 사업의 기대 효과를 보다 폭넓게 평가할 수 있는 것으로 조사됨

2) Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2014.

〈표 1.4〉 Mekong River 댐 건설사업의 영향 평가³⁾

카테고리	영 향
식량안보 (Food Security)	▪ 연간 \$ 476 million의 경제적 손실 ▪ riverbank garden의 54% 손실 ▪ 침수를 통해 농지의 20% 손실 ▪ 수산물 자원 16% 손실(연간 360,000톤) ▪ 농지의 7,962 헥타르 손실 ▪ 연간 22,475톤의 쌀 손실
에너지안보 (Energy Security)	▪ 2025년 예상수요의 6~8% ▪ 탄화수소 기반 전기 의존도 감소 ▪ 석유 및 가스 수입 감소 ▪ 전력 수출 및 세금으로 인한 정부수입 증가 ▪ 일부 지역의 관개 및 농업생산성 증가
물 발자국 (Water Footprint)	▪ 식품 재고 및 생산을 위한 물 사용 증가 ▪ 가축 생산에 필요한 물 7% 이상 요구 ▪ 논 17,866 헥타르를 위한 관개 증가
사회 경제적 이득 (Socio-economic benefits)	▪ 약 79억 달러 규모의 일자리 창출 ▪ 2010년부터 2030년까지 약 18억~25억 달러 규모의 프로젝트 수행 ▪ 저수지로 인해 6,942명은 직접 영향을 받으며 2백만 명은 더 높은 리스크에 노출됨
온실가스배출 (GHG Emissions)	▪ 2030년까지 온실가스(CO2) 저감효과 5,200만 톤

* 물발자국은 일상에서 직접 마시고 씻는데 사용한 물과 제품을 생산하고 소비하는데 직간접적으로 사용되는 가상수(Virtual water)를 합친 총량을 뜻함

□ 미국 DOE는 물, 에너지 자원의 연관성을 통해 자원 이용 시스템을 평가하고 미래 시나리오를 대상으로 미래 자원 현황을 예측하는 등 Nexus 기술의 효과를 조사·분석함⁴⁾

○ 미국 내에서 이용되고 있는 물, 에너지 자원의 용도별 현황을 통해 자원 간 연관성을 파악하고, 이를 기반으로 다가올 미래 자원 환경에 대한 검토를 실시

3) Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2014., Based on ICEM, 2010 and Orr et al., 2012

4) The Water-Energy Nexus: Challenges and Opportunities, U.S. Department of Energy.

<http://www.energy.gov/sites/prod/files/2014/07/f17/Water%20Energy%20Nexus%20Full%20Report%20July%202014.pdf>, WETT(Water Energy Tech Team, 2014.

〈표 1.5〉 미국 DOE의 Nexus 기술의 필요성 및 기대효과

Nexus 기술의 필요성 및 기대효과
▪ 물 에너지 넥서스는 수요와 공급, 토지의 이용 및 지표면, 인구/인구이동, 기술, 정책, 지역경제, 기후 등과 같은 많은 요소들에 영향을 받음 ▪ 여러 요소들에 걸쳐 향상된 통합 모델은 더 복잡한 시스템 간의 상호작용과 의존성의 역할을 반영할 수 있음 ▪ 사용가능한 데이터와 정보는 공간 및 시간 단위의 확장을 필요로 함 ▪ DOE 및 기타 기관을 중심으로 계층화된 데이터 지식은 에너지 및 물-에너지시스템의 복원력을 향상시킬 수 있는 통찰력을 제공할 수 있음 ▪ 이해관계자의 의사결정은 다음 사항을 고려한 통합 프레임워크를 요구함 - 질적, 양적 시나리오 - 확률론적 접근방법 - 시스템 충격 및 한계에 대한 통찰력 - 불확실성의 개선

□ 국내에서는 해외녹색산업 정책보고서(한국환경산업기술원, 2011)에서 W-E-E (Water-Energy-Environment) Nexus 사업의 일환으로 미국 남서부지역을 대상으로 실시된 물, 에너지 상호관계 평가 보고서에 대해 분석함⁵⁾⁶⁾

○ 동 연구에서는 물 절약, 탄소배출량 제한, 물과 탄소배출 제한 등의 시나리오를 바탕으로 해당 지역에 물을 공급하기 위한 적정 탄소, 전력, 물 비용을 분석하여 차후 당면할 발전소 건설 및 차세대 개발 계획 등의 타당성 검토 방안으로 Nexus 관련 기술을 활용함

○ 정기문 등(2015)은 WEF Nexus 기술의 발전방향 및 기능적 효과에 대하여 전망함

- WEF 연계해석을 통한 평가 대상지역 내부의 자원 이용효율 평가
- 자원 생산-분배 계획의 최적화를 통한 자원 이용효율 극대화
- 시나리오 기반 시뮬레이션을 통한 자원 수급상황 변동에 따른 사회-경제적 영향 평가
- 주요 정책 결정을 위한 기초자료 제공 및 의사결정 지원 시스템 개발

□ 가뭄으로 인한 용수공급의 우선순위를 결정할 때 사회경제적 파급효과를 고려한 의사결정을 위해 WEF Nexus 연구가 필요함

○ 미국의 경우 '15년 California 대가뭄시 제한급수를 결정하는 과정에서 사업장과 가정에 제한급수를 차별하여 면제하여 형평성 논란이 있었음

- 연간 7000만 갤런 (266,000톤)의 물을 사용하는 샌드오일 프래킹워터, 연간

5) 정기문, Albert Wicaksono, 강두선 (2015). WEF Nexus 기술이란? 한국수자원학회지 물과미래, 49(4), pp. 38-43.

6) 한국환경산업기술원 (2011). 물-에너지 결합(Water-Energy Nexus): 서부지역의 '물-에너지' 전망 2100, 해외 녹색산업 정책보고서 41(3).

- 11억톤의 물을 사용하는 아몬드농장, 152만톤의 병물을 생산하는 다국적 식품기업 네슬레 등 막대한 수자원을 사용하는 사업장은 제한급수를 면제함
- 플러쉬당 6리터의 물을 사용하는 가정용수는 제한급수 대상에 포함시킴
- 용수공급의 우선순위 결정은 정확한 경제효과분석에 따른 의사결정이 필요

□ 에너지 생산, 지하수 오염, 용수의 취득, 처리 등의 과정에서 물 및 에너지 사용에 있어서 가치평가 및 경제적으로 최적화된 의사결정 도출 필요

- 화석연료를 사용한 에너지 생산, 타르샌드나 셰일오일로부터의 원유생산을 위한 Hydraulic Fracturing 이나, 바이오연료 생산을 위한 식물재배 등은 많은 량의 물을 사용할 뿐 아니라 광범위한 지하수 오염을 유발함
- 화력 및 원자력발전소로부터의 배출되는 고온의 방류수는 생태계의 교란을 가져올 수 있지만 국가적으로 종합적 수요관리 및 예측 필요
- 용수의 취득, 이송, 배분, 처리과정에서 에너지를 필요로 함. 지표수는 지하수의 취득보다 적은 에너지를 필요로 하며, 관개농법이 천수답에 비하여 많은 에너지사용을 요구하므로 합리적 의사결정 도출 필요

□ 수자원 자체만의 기존 기술 한계를 극복하기 위한 물-에너지, 물-식량 연계 신기술 개발과 지속가능한 활용방안 필요

- * 미국, 일본, 유럽 등 주요 선진국을 중심으로 물관리 에너지의 효율화 및 수자원이 갖는 에너지의 회수와 적극적 활용이 적극적으로 추진되고 있음
- * 국내의 경우 독립적으로 구분되는 이수, 치수, 물순환 건전화 등 주요 물관리 이슈에 대하여 에너지, 식량 분야를 연계한 통합적이고 효율적인 지속가능한 방안 필요
- 물(에너지) 수요·공급, 물(에너지)순환, 재해 방지(수자원:가뭄, 에너지:전력부족 등)가 종합적으로 이루어지는 정부차원의 수자원 중심 연계 통합 솔루션 필요
- 물-에너지 자급률을 향상시키기 위해 국내 활용가능 수자원 다원화를 고찰하고, 미활용 에너지와의 연계를 확대하는 인프라 고도화 기술이 필요한 시점임
- 온실가스저감 및 에너지효율 개선 차원에서 에너지변환 효율이 높은 열에너지 활용도를 높이고, 신재생 열에너지 이용을 확대하기 위한 열 자원현황 조사 및 네트워크 인프라 구축 요구(기후변화 대응 확보 로드맵, 2016)
- * 정부의 정책방향을 저탄소 녹색성장으로 설정하였으며, 2020년 온실가스 감축 목표를 2020년 온실가스 배출 전망치 대비 30%를 감축 목표로 설정
- * 지속가능한 저탄소 녹색도시 조성을 위한 계획기준 (국토해양부, 2001)이 마련되고 친수구역특별법 (국토해양부, 2010.12)이 제정되어 물순환의 회복과 신재생에너지의 사용을 적극적으로 요구하는 개발 정책 확대
- 유역 및 도시의 수자원·에너지 인프라 구축사업이 국제사회의 Emerging Industry로 급부상 되고 있음

- * 전 세계적으로 다양한 목적의 기술 융합 단지 개발 및 시티 프로젝트가 진행 중이며, 이를 통합하는 스마트 물관리의 시장이 동반성장하고 있음
- * 스마트 시티의 경우 전체시장 중 수자원 관리는 약 10~15%를 차지하며, 연평균 11% (2015 ~ 2023)의 시장성장 전망 (Navigant, 2014)

□ 국제적으로 Water-Food-Energy Nexus를 학술적으로 비중 있게 다루고 있음⁷⁾

- '16년 AWRA Spring Specialty Conference 에서는 Water, Energy, Environment를 Conference theme으로 다룸

□ 국가의 사회·경제적인 파급효과를 고려하여 Nexus 연구를 통한 물, 식량, 에너지 안보 증대가 필요함

- 세계적으로 겪고 있는 물 부족 현상은 농업부분의 현저한 생산력 감소를 가져올 것임
- 넥서스 기술 중 물 자원의 지속성·효율성에 대한 연구는 전기요금 인하 등 사회 경제적인 분야로 파급되는 효과를 가져 올 수 있음
 - 태평양 연구소(Pacific Institute)에 따르면 가뭄으로 인하여 수력 발전 대체 수단으로 천연가스가 전력 생산의 주 에너지원이 되면서, 주민들은 전기요금을 24억 달러 더 납부한 것으로 나타남⁸⁾
- 자원경쟁시대에 도달하여 주목되는 기술인 WFE Nexus 기술 표준에 대한 선진기술 개발을 통해 국가 위상을 높일 수 있으며, 국가 자원 안보 증대를 위해 주요 정책 결정의 방향성을 제시할 수 있음
 - 자본은 풍부하나 자원이 부족한 일본, 싱가포르, 스위스 등의 선진국가 또는 자원은 풍부하나 효과적인 관리가 어려운 개발도상국들에 수출하여 국가 위상을 높일 수 있음
- 기술 적용 대상 지역 특성 및 영향 범위의 유의성을 고려한 WFE Nexus 기술 표준 개발은 향후 물, 식량, 에너지 산업에 국한되지 않고 관련 분야를 포괄하는 다양하고 광범위한 신수종 개발에 기여할 것임

□ 물-에너지-식량 문제 해결을 위해서는 6가지 융합기술이 필요함

- 6가지 융합기술은 신재생에너지 담수화, 워터그리드를 이용하는 전력 수요 관리, 초절수형 화력발전 기술, 용수 효율성 개선, 연료 효율성 개선, 고속 인공 광합성 기술(AAP: Accelerated Artificial Photosynthesis) 등임
 - 물-에너지 산업과 관련해서는 넓은 범위에서 다양하게 사용할 수 있는 신재생 담수화와 워터그리드를 이용한 전력수요관리 기술들이 가장 큰 파급력이 있고, 실현가능한 수익모델이 될 것임

7) 2016 AWRA Spring Specialty Conference (Sheraton Anchorage, Alaska, April 25-27, 2016)

8) Pacific institute, <http://pacinst.org/issues/water-energy-nexus>

- 신재생 담수화 기술은 우리나라의 주요 수출지역인 중동, 중국, 미국 같은 지역에서 시장기회가 예상됨
- 신재생에너지 융합 담수화는 화석연료 같은 전통적 에너지 발전방식에 대한 의존도를 낮춰주기 때문에 태양광발전, 풍력발전 같은 신재생 에너지기술 역시, 물을 이용한 융합기술 못지 않게 장기적으로 다양한 영역에서 널리 쓰일 것으로 예상됨

□ 농업부문 영향과 해소를 위한 WEF 연계

- 농업수익 증대를 위해 물을 집약적으로 사용하는 농법사용(수막재배, 수경재배 등)
- 하수의 부문별한 취수로 물순환에 부정적인 영향
 - 지하수사용에 대한 넥서스 → 지하수관리주체 명확화하는 물기본법 필요
 - 농업용수 사용 요금 면제 제도로 인한 농업용수 관리 미흡
 - 하천수회귀수량의 측정 부재로 인한 물관리 정책 수립이 어려움

□ 에너지부문 영향과 해소를 위한 WEF 연계

- 유역전체적인 물공급을 고려하지 않은 오직 발전 수익극대화를 목적으로 물 사용
 - 물의 다용도를 고려하지 않은 수력발전만을 목적으로 수력발전댐 운영
 - 전력 공급확보를 위한 발전소 건설에 따른 물공급 수요 증가
 - 발전을 위해 냉각수 사용 등 발전 극대화를 위해 물 사용
 - 충남서부지역 가뭄(2015년)당시 전력예비율(20% 이상)에 여유가 있었음에도 발전3사가 발전을 위해 보령댐의 물 23% 사용
 - 발전용수와 이수용수의 적절한 분배(예: 한강물관리 일원화)
 - 재생에너지를 활용한 물에 필요한 에너지 공급

□ 물분야 영향과 해소를 위한 WEF 연계

- 도심내 하천복원, 수변레저 수요 증가, 환경생태유지 등 물에 대한 신규 수요가 증대되는 반면 기후변화로 인해 물 공급 불안정성이 증가
 - 필요 수자원을 확보하기 위해서는 높은 사회적 비용 필요하며, 신규 수자원을 확보하는 것도 어려운 상황
 - 도심 하천유지용수 공급을 위해 에너지 필요
 - 농업, 에너지분야의 비효율적인 물사용에 대해 물공급 정책 어려움
 - 물의 지역간, 산업간 이동을 위한 정책 거버넌스 형성

〈표 1.6〉 부문별 위기 원인, 영향 및 WEF 넥서스를 통한 해소방안

	Energy	Water	Food
원인	- 기후변화로 인한 강수패턴 변화 - 인구증가, 도시화, 도심내 하천복원, 수변레저 수요 증가, 환경생태유지 등 물에 대한 신규 수요로 인한 수자원 수요 증가 - 물공급 불안정성 증가		
영향	☐ 수자원 → 에너지 (-) 수력발전량 감소 (-) 화력발전량 감소 (-) 수력발전용수와 이수용수의 상충 (-) 가뭄시 물공급을 위한 높은 에너지 필요 ☐ 에너지 → 수자원 (-) 신재생에너지 사용으로 인한 수자원 소비 증가 (-) 정수, 물재이용, 하수처리에 에너지사용 증가 (-) 해수담수화 전기에너지 과다 사용	- 생활용수 - 공업용수 - 농업용수 - 환경용수 - 하천유지용수 - (해수담수) - 하천회귀수	☐ 수자원 → 식량 (-) 작물생산에 영향 (-) 농업용수 확보를 위한 지역간 갈등 (-) 홍수로 인한 농업생산 감소 (-) 해수담수 배출수의 수산자원 영향 (-) 가뭄과 홍수 대응 수자원 이동성 (치수와 작물생산 영향) ☐ 식량 → 수자원 (-) 식량소비 증가로 인한 수자원 사용량 확대
해소 방안	- 전력에서 사용되는 수자원 정보 수집 - 전력과 수자원 통합관리 및 감시시스템 구축 - 수자원 사용을 최소화하기 위한 기술 개발 - 수자원 이용 우선순위 - 친환경 해수담수화 정책	물의 지역간, 산업간 이동을 위한 정책 거버넌스 → 광역-지방상수도 통합 지원	- 지하수 통합관리 : 수자원기본법 제정 - 적은 수자원으로 식량생산을 증대할 수 있는 기술개발 - 수리권 재정립을 통한 수자원의 효율성 확보 - 통합 홍수대책 수립 및 4대강 활용

☐ 수질분야 영향과 해소를 위한 WEF 연계

○ 수질관리를 위해 많은 정책을 입안하고 수행하고 있으나 많은 비용이 소요되고 근본적인 해결에는 한계

- 물 수질관리에 농업부문 및 에너지분야 참여 필요
- 유역관리 측면에서 통합적 수질관리 정책 필요
- 주변 토지 활용을 위한 통합적 상수원보호구역 정책
- 발전소, 농업, 친수공간활용을 위한 토지경합에 대한 통합적 정책 필요

○ 농업부문에서의 수질 영향

- 수익성 극대화 측면에서 가축 및 농작물 재배(비료사용 증가, 수자원 상류에서 농업활동 증가)로 수질 오염 악화
 - 가축분뇨 배출 등 비점오염관리 미흡, 고랭지 재배 등 수자원 상류에서의 농업활동 증가로 하류에 녹조 발생 및 탁수발생의 원인
 - 상수원보호를 위해 수변구역 매수를 통한 경지면적 감소
 - 비점오염원관리에 대한 넥서스 필요 → **친환경농업의 지원**

- 작물경작토지 감소를 고려한 수변관리 정책 넥서스 → Smart Farm

○ 에너지부문에서의 수질 영향

- 발전 냉각용수활용으로 인한 수질 악화 및 수온 증가로 인한 수생태계에 영향
 - 물이 필요한 발전소 조건에 따라 물확보 필요
 - 방류수질 기준 강화 등 수질 고려한 에너지 정책 필요

○ 물분야에서의 수질 영향

- 상수원보호구역으로 인한 수질관리 문제, 적정 수질기준 유지 (청계천과 같은 도심내 물을 이용한 수변 공간 창출, 상수원보호구역 규제로 인한 수변개발 제약 문제)
 - ‘용수공급을 위해 약품, 고도정수처리 등으로 인해 에너지증가 및 수질 관리 비용 증가
 - 정수, 하수처리에 에너지 사용 증가
 - 녹조로 인한 하천관리 비용 증가
 - 안전한 물공급 위험성 증가
 - 수변도시 등 물관리를 위한 물-에너지 정책 넥서스 → Smart Nexus City

<표 1.7> 수질에 관한 원인, 영향 및 WEF Nexus를 통한 해소방안

	Energy	Water	Food
원인	냉각수로 인한 수질 또는 수온 악화 농업비료사용(비점오염원)		
영향	☐ 수자원 → 에너지 (수질 악화) (-) 수질 확보를 위한 상당한 에너지 소비 (-) 정수, 물재이용, 하수처리에 에너지 소비 증가 (-) 상하수도 수질 개선을 위한 에너지 소비 증가 (-) 수변공간 확보를 위한 에너지 소비 증가 및 발전부지 감소 ☐ 에너지 → 수자원 (-) 냉각수 배출로 인한 수온 상승 및 수질 악화 (-) 발전시설로 인한 수변공간 수질 악화	수질 - 녹조 - 하천수질 - 상하수도수질 - (해수담수)	☐ 수자원 → 식량 (-) 작물 경작 토지 및 작물생산 감소 (-) 녹조 발생 (-) 해수담수 배출수로 인한 수산 자원 감소 (-) 수변공간 개발로 인한 수질 악화(수변과 수자원의 관계) ☐ 식량 → 수자원 (-) 농약 등 사용으로 인한 수질 악화, 건강 위험성 증가 (-) 농업용수 사용 증가
해소방안	- 소규모 댐과 소수력 - 냉각수 재활용 및 새로운 냉각기술의 개발 - 수변공간과 발전부지의 합리적 조정(이격거리 등)	분절화된 물관리 (→ 통합입법과 계획, 거버넌스, 대통령직속 위원회 설치 등),	- 농업용수 사용에 대한 정보 구축 - 농업용수에 대한 관행수리권 조정 및 합리화 - 친환경농업 정책 - 상수원보호구역 정책의 변화 - 수변공간과 농경지의 조정

※ 노후관망 개대체(→ 수질개선 및 물 이동 에너지 절감), 해외사업진출(→ WEF 연계 및 합작투자 진출), 신재생에너지(→ 수상태양광발전)

2절. 사업 기획수립 체계 및 절차

1. 사업 기획수립 체계

가. 사업추진을 위한 융합형 기획연구 추진

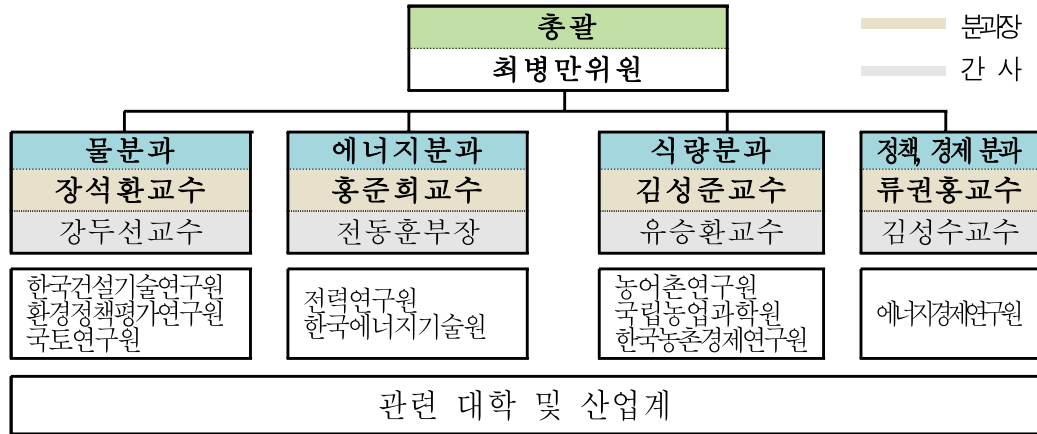
- 多學制간 연구진 구성이 필요하며, 타분야의 전문가들을 활용한 지속적이고 유기적인 협업을 통하여 융복합 기획연구 추진
 - 産·學·研·官 등의 분야별 역할별 활용 계획
 - (先)부처별 연구기관 → (後)다부처 협의를 통한 타분야 공감대 형성
- 기획 연구 추진 체계
 - 주관기관(K-water연구원)을 중심으로 자문위원회 및 기획위원회 구성
 - 분야별 전문가들로 구성되어 세부과제 및 추진체계 설정 및 타당성 분석을 위한 자문위원회 및 관, 학연, 산업계 및 국외 전문가 중심의 최종 목표 및 범위 설정을 위한 자문위원회 구성
 - 기술수요 및 시장분석, 정책적/기술적/경제적 타당성 분석을 위한 공동연구기관과 협업 추진
 - 자문위원회, 기획위원회, 공동연구기관과 능동적인 협력체계를 유지할 수 있는 주관기관내 분야별 전문가 구성



[그림 1.17] 기획 연구 추진 체계

나. 기획위원회, 자문위원회 구성 및 운영

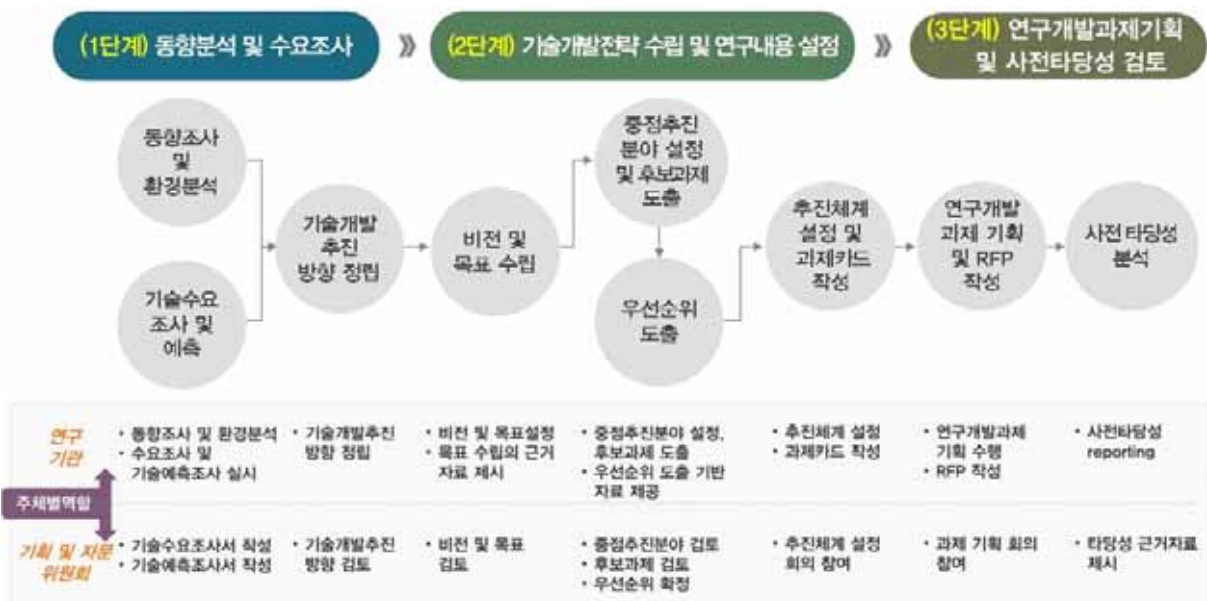
- 각 분과별 전문가를 통한 자원의 개별요소 및 연계기술 도출을 위한 기획위원회 구성 및 운영



[그림 1.18] 기획위원회 구성

다. 기획연구 체계 추진 절차

- 기획연구 체계추진 절차는 크게 동향분석 및 수요조사, 기술개발전략 수립 및 연구내용 설정, 연구개발과제기획 및 사전타당성 검토 등 3단계로 구성
- 기획연구는 연구기관과 기획 및 자문위원회로 구분하여 역할을 나누어 추진되며, 3단계의 추진일정에 의거하여 최종 RFP 및 사전타당성 분석 시행



[그림 1.19] 기획 연구 추진 절차

2. 사업 기획수립을 위한 주요 추진 일정

□ 내, 외부 기획연구진 회의('16.02.03)

- 어떤 연구, 어떤 결과물을 도출할 것인지에 대한 구체화 필요, 핵심은 데이터 관리 및 축적
- 타겟설정이 분명히 필요하며, 새로운 내용 제시, 정량화된 비전 및 목표설정 필요
- 부처별 핵심기술 파악 및 시너지 연계의 정량화 도출
- 외국의 평가틀에 대한 구체적 사례 조사 및 국내실정에 적합한 틀 개발

□ 분과장 및 간사 기획연구진 회의('16.03.23)

- K-water에서 먼저 콘텐츠를 설정 후 각 분야의 아이디어 취합 필요
- 국토부양능력 향상을 고려한 기술간 넥서스 추진 및 사회적 수용성 고려 필요
- 정책, 입법, 환경, 경제 전문가 참여 필요
- 금번 기획에서 기술개발과 정책제안이 병행되어야 함

□ 식량분과 기획연구진 회의('16.04.01)

- 4개의 세부 분야 설정 (①기후변화-WEF 연계 적응 기술 ② 식량분야 가상수 D/B 구축 및 활용기술, ③ 농업취약지역 WEF 연계 자립 기술 ④ 농업시설재배 WEF 최적연계기술)
- 물이용에 대한 식량 생산성 뿐만 아니라 배출된 용수 재활용 기술 개발 필요
- Smart water Grid 와의 연계 필요, 테스트베드(경기북부, 파주, 전남영산강), 도농복합농업 고려

□ 1차 서면자문 시행('16.04.01~13)

- 기획위원 및 관련전문가 서면자문 시행(총 25명 응답)
- 물-에너지-식량 연계 기술 개발 사업 추진 필요성 (사회적, 경제적, 정책적, 기술적 측면)
- 국내외에서의 일반적인 WEF 넥서스 개념 및 정의
- 국내외에서의 WEF 넥서스 기술 사례, 정책현황 및 전망, 기술 및 시장 동향

□ 경제정책분과 기획연구진 회의('16.05.02)

- 새로운 성장동력, 미래 신산업 측면 고려, 경제적 효과 필요, 환경/일자리/안보 등 구체적 정책 목표
- 정보 수집 및 분석, 정책의 연결(Top down), 경제적 효율성, 갈등해소 방안 고려
- W-E 의 경우 수력발전과 냉각수에 집중하여 여러 정책 이슈 발굴 필요
- 효율성(Efficiency), 정보공개 투명성(Transparency), 경제성(Economic), 갈등해소(Governance)

□ SWG 학회 기획세션('16.05.11)

- WEF 넥서스 평가 틀 필요, 큰 틀에서의 시각, 자원간 의존성 파악
- 메콩강 유역의 넥서스 개념 적용 해외진출 마련 필요(캄보디아 : 메콩강 상류 댐 건설에 따른 물부족)
- 벼 재배 방법 개선(SRI, System of Rice Intensification)을 통해 논용수 12억 톤(안동댐저수량) 확보 가능
- Inventory 구축, 모형개발, 적용성 평가의 순서로 진행 필요, Trade-off 의 명확한 정의 필요

□ SWG 학회 고위급 좌담회('16.05.11)

- 다부처, 학계 등의 통합 거버넌스를 통한 이니셔티브 형성 및 전략 마련
- 新기술과 연계한 WEF 자원의 효율성 증진 방안 반영
- WEF 넥서스 실행전략의 구체적 목표설정과 계량화 제시 필요
 - (구체화) 스마트팜 · 시티, 수출상품화 전략 기술개발과제 등
 - (계량화) WEF 넥서스 영향을 체감형 과학적 수치 산정으로 국민 공감 형성
- 국내 실정에 특화된 한국형 WEF 넥서스 실행을 위한 리딩 전략 수립

□ KWRA 기획세션('16.05.26)

- 효율성, 경제성과 함께 정의, 형평성, 빈곤퇴지도 함께 고려
- 스케일 설정 필요(글로벌 또는 로컬 적용), 각 자원간 연계간 흐름 파악이 중요
- 자원의 정확한 데이터 생산 및 효율적 연계, 정보공유 플랫폼 필요, 국민적 관점에서 접근
- 수요자 입장에서 고려 필요, 지자체, 소비자단체, 기업 등도 중요한 이해당사자임

□ 한국 몽골 워터 프로젝트 워크숍('16.06.22)

- 물-에너지-식량 넥서스 기술개발 기획과제 소개
- 몽골정부는 Nexus 컨셉을 국가 수자원정책 방향에 적극 반영하고자 노력
- 국토가 넓고 인구가 적은 몽골 특성상 ICT 기반의 마이크로스케일의 넥서스 적용 필요

□ AWC Nexus 분과 회의('16.08.11)

- WEF 넥서스의 물산업 사업화를 위한 방안 필요
- 추진 필요성에는 공감, 기존연구와의 차별성 부각 필요
- Smart City와의 차별성을 부각할 필요

□ 부산국제물포럼 기획세션('16.08.31)

- 제4회 부산국제물포럼 기획세션 K-water 주제
 - Asian Perspectives in Water-Energy Nexus
- 인도네시아 6대강에서의 WEF 넥서스 적용사례, WEF 개념 및 적용방안, 물-에너지의 협력방안 주제발표 및 전체 패널 토론

□ 1차 기획연구타당성 검토위원회('16.09.23)

- 동향 분석을 통한 문제 설정 및 방향 제시 필요
 - 개별 요소기술 위주로 사례분석이 되어 있어 실제 WEF 넥서스 관점으로 보완 필요
 - 각 자원간 넥서스 부재로 인한 문제를 먼저 설정하고 미래 넥서스의 수요와 넥서스를 통해 무엇을 해결할 수 있는지 제시 필요
- WEF 넥서스의 개념을 구체화하여 기술의 실체 제시 필요
 - 넥서스 기술의 적용 타겟(국내, 국외 등)의 설정, 기존 요소기술의 업그레이드인지 연계/통합인지 명확한 정의 필요
 - 기존에 추진되어온 각 분야별 해결 노력과 현재 제시하고 있는 방향 사이에 큰 차이가 없으므로 추가적인 기술수요조사 필요
 - 실현가능한 분야부터 단계적 접근을 통한 기획 필요
- 비전-목표-추진전략 간 연계를 강화 필요
 - 물안보, 자원 연계를 통한 효율 제고 등 다중의 관점에서 비전, 목표, 전략이 기술되고 있으므로 연계 강화 필요
 - 추진전략에서 기술과 정책을 나누어 제시하는 방안도 검토 바람

□ 후보과제 수요 조사 실시('16.10.12)

- 현재 기술수요조사는 2016년 11월 초까지 진행하여 다양한 전문가를 대상으로 조사 수행함
- 조사기간은 2016년 10월 10일부터 11월 4일(4주)간 진행
- 조사대상은 내부 기획연구진(K-water 연구원, 날리지웍스), 분과별 기획전문가위원(35명), 수자원학회, 농공학회, 신재생에너지학회, 상하수도학회 등 4개 학회 회원을 대상으로 함
- 조사방법은 E-mail을 통한 설문조사로 수행함
- 현재까지 43개의 기술아이템이 제안되었음

□ 대한민국국제물주간(KIWW) 2016 기획세션('16.10.20)

- KIWW에서의 WEF Nexus 국제 세션 K-water 주제
 - (주제) 아시아 지역의 물안보 및 지속가능개발목표 달성을 위한 물-에너지-식량 넥서스
- 토론 내용
 - 아시아 물안보를 위한 물-에너지-식량 넥서스 컨셉(대진대학교)
 - 성장의 새로운 패러다임-WEF 넥서스 (K-water)
 - 농업에서의 넥서스적 접근-농업관계분야의 넥서스 기술(FAO)
 - 아시아물위원회 몽골워터프로젝트 소개(GWP)
 - 에너지기술 전환의 사례연구(녹색기술센터)
 - 물발자국으로 본 한국에서의 물과 식량의 평가(한국농어촌공사)
- 아시아 및 세계적 물-에너지-식량 연계 기술 필요의 공감대 도출

□ 수요조사 보완 및 장단기 분석을 위한 서면자문 시행('17.01.09)

- 장기 추진과제의 비전, 미션, 과제 내용에 대한 적절성 및 수정/보완/추가사항 등 의견 제시
- 장기 추진과제 가운데 단기 추진과제를 위해 시급성을 고려한 우선 순위 도출

□ WEF Nexus 국제 컨퍼런스 개최('17.02.17)

- (주 제) 기후변화 대응 물-에너지-식량 넥서스 전략 국제 컨퍼런스
- (時 / 所) 2017. 2. 17(금) 13:00 ~ 18:00 / 서울 전경련회관 3층 에머랄드홀
- (참 석) K-water임직원, 국외전문가, 공기업, 학계 및 민간 120여명
- 발표자 및 패널토론

- 기조연설 : Ms. Louise Whiting (UNFAO)
- 주제발표 : 이을래박사(K-water융합연구원), 김수덕(아주대학교 에너지시스템), 김성준(건국대학교 농공학), 류권홍(원광대학교 법학전문대학원)
- 패널토론 : 장석환(대진대학교 토목공학, 좌장), 정관수(충남대학교 토목공학), 김정인(중앙대학교 자원경제학), 백영석(LG전자 에너지사업센터), 강두선(경희대학교 토목공학)

○ 컨퍼런스 주요 내용

- WEF 넥서스 기술 개발과 정책개선의 필요성과 공감대 확립
- WEF 넥서스 기술을 통한 미래 신성장동력 방향 논의

2장. WEF Nexus 개념 및 사업의 범위

1절. WEF Nexus의 개념

1. 국제기구에서의 WEF Nexus 정의

☐ BONN2011 Nexus conference

- Green economy에 대한 하나의 해법으로 물-에너지-식량 넥서스가 제시되었으며, 물, 에너지 토지의 생산성과 이용성은 지역간, 생산시스템간 상당히 변경될 수 있으며 생산과 소비에서 전체적인 자원 이용 효율성과 편익을 증가시킬 수 있는 방대한 잠재력이 있음(The Water, Energy and Food Security Nexus - Solutions for the Green Economy)

☐ UNESCAP 2013

- 넥서스의 관점은 어려움을 이해하고 기회를 모색함으로써 물 식량 에너지의 상호의존에 초점이 맞추어져 있으며, 넥서스 접근은 시공간의 물-식량-에너지의 상호 연결을 인지하여 물, 에너지, 식량의 안보를 개선하고 분야간 외부적 성질과 연계관점에서의 의사결정을 언급하고, 지속가능성에서의 이행을 지지하는데 그 목적이 있음

☐ FAO 2014

- 물-에너지-식량 넥서스는 복잡하고 상호관계가 있는 전지구적 자원시스템의 본성을 묘사하며, 온전한 생태계를 유지하는 동안 다른 자원 사용자 목적과 관심에 다른 자원들을 균형을 맞추는데 있음

☐ World Water Development Report 2014

- 물-에너지-식량은 불가분하게 연결되어 있으며 이러한 연결 속에 많은 시너지와 상호교환이 있으며, 이러한 시너지 인지 및 상호교환 균형은 물-에너지-식량 안보를 공동으로 보장하는데 중심이 있음

☐ International Renewable Energy Agency (IRENA) 2015

- 물-에너지, 식량 넥서스는 정책, 개발, 연구 글로벌 아젠다의 중심에 있으며, 이러한 관점은 넥서스가 자원 한계에 도달하는 국제상황에서 빠르게 증가하는 자원수급을 충족할 수 있는 노력이라는 것에 대한 결정적인 역할이라는 증거임.

2. WEF Nexus 접근 방향 및 사례

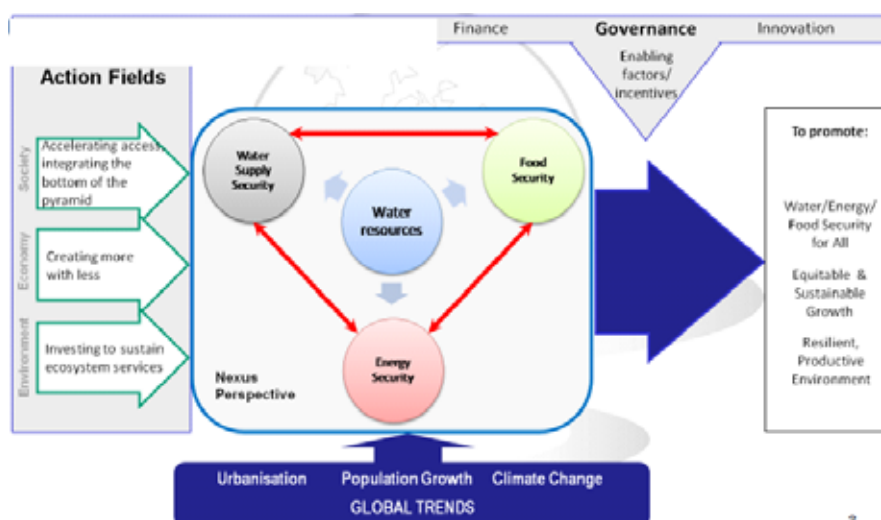
가. 국내외 WEF Nexus 접근 방향

- “BONN2011 Nexus conference”, “World Economic Forum 2011”, “International Centre for Integrated Mountain Development 2012” 등에서는 물-에너지-식량 (WEF)의 복합적 상호관계의 이해 및 연계 활용방안에 대해 논의함⁹⁾

〈표 2.1〉 WEF의 요소별 자원 안보

구분	내용
물 안보 (water security)	(1) 물에 대한 접근성(access), (2) 물의 안전성 (safety), (3) 물의 적정비용(affordability)
에너지 안보 (energy security)	(1) 수요에 대한 에너지 공급의 연속성(continuity), (2) 에너지 공급의 물리적 가용성(availability), (3) 적정비용에서의 수요에 대응하는 공급
식량 안보 (food security)	(1) 식량의 가용성(availability), (2) 식량에 대한 접근성(access to food), (3) 시간적 변화에 따른 식량의 안정성(stability)

- “BONN2011 Nexus conference” 에서 수자원으로 중심으로 물, 에너지, 식량 안보요소를 향상시킬 수 있는 프레임워크를 제안함

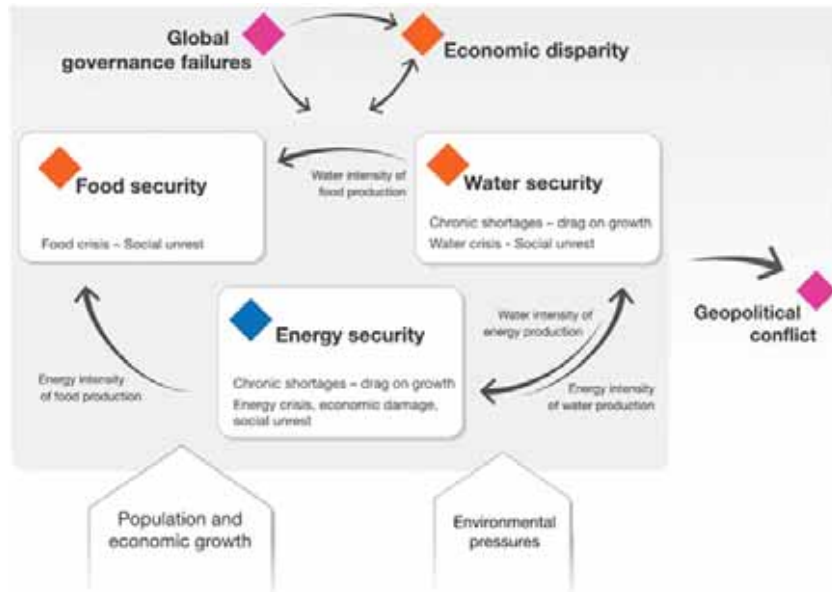


3

[그림 2.1] ‘BONN2011 Nexus conference’ WEF 프레임워크

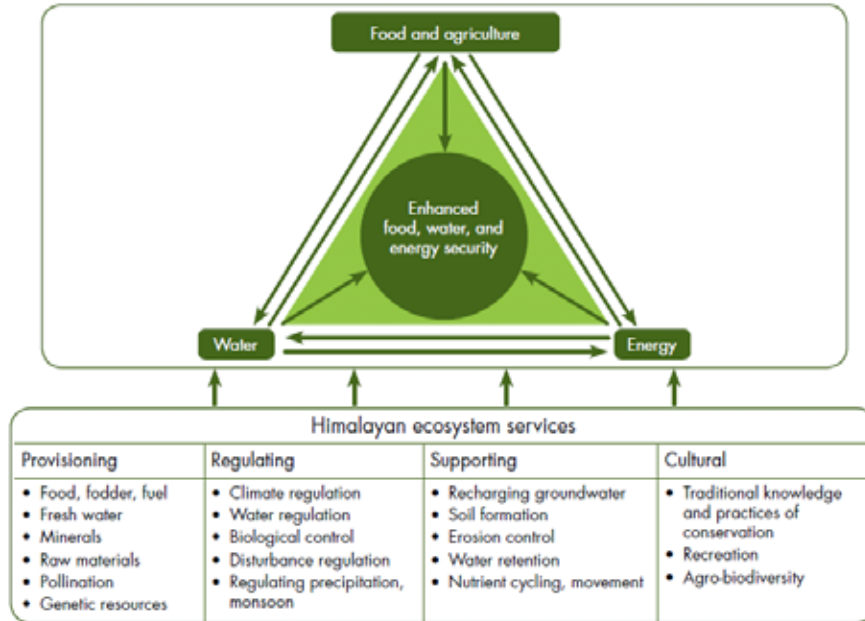
9) Livia Bizikova, Dimple Roy, Darren Swanson, Henry David Venema and Matthew McCandless (2013), The Water-Energy-Food Security Nexus: Towards a practical planning and decision-support framework for landscape investment and risk management, International Institute for Sustainable Development (iisd), p.28

- “World Economic Forum 2011”에서는 정책결정권자로 하여금 안보요소의 위기에 따른 경제적 위험성에 대한 이해를 돕고 대응할 수 있는 방안을 마련할 수 있는 틀을 제안함



[그림 2.2] ‘World Economic Forum 2011’ WEF 프레임워크

- “International Centre for Integrated Mountain Development 2012”에서는 환경 시스템 차원에서의 세 가지 안보요소의 역할에 대해 언급하고 있으며, 요소별 trade-off를 최소화하고, 이익(benefit)를 극대화할 수 있는 틀을 제공함
- 상기 프레임워크는 공통적으로 물-에너지-식량 요소별 trade-off 평가가 가능한 보다 능동적인 시스템 개발의 필요성에 대해 지적함
- 이를 위해서는 시·공간적으로 중·장기 차원에서 다양한 지역특성을 반영할 수 있는 멀티스케일(multiscale) 시스템이 요구된다고 분석함
 - 이러한 시스템 개발을 통해 요소별 trade-off를 감지하여 최적의 밸런스를 유지하고, 각 요소별 시너지를 극대화함으로써 지속가능한 개발이 촉진될 수 있음을 강조함
 - 목적을 달성하기 위한 고려사항을 제시함
 - 이해당사자간(관련 정책결정권자)의 WEF의 특성 및 연계성에 대한 이해를 높이고, 필요하다면 직접적으로 WEF 요소들의 혜택을 누리고 있는 직접적인 당사자들(일반인)의 WEF의 trade-off에 대해서 인지시키고 실질적인 action plan 제시
 - WEF 요소간의 trade-off를 반영한 정책개발(development), 정책조정(coordination), 정책조화(harmonization) 수행
 - 부처간 이해당사자(multistakeholder) 또는 필요에 따라 일반인 수준까지 WEF 요소에 대한 정보공개 및 공유·유통
 - 혁신적인 WEF 관련 연계기술 개발을 위한 투자확대



[그림 2.3] ‘ICIMOD2012’ 에서 제시된 WEF 프레임워크

- International Institute of Sustainable Development(IISD)는 기존 프레임워크를 수정 · 보완하여 생태시스템(ecosystem) 관리측면에서의 WEF 프레임워크를 제시하였으며, 동 프레임워크는 실제 실행가능성을 목적으로 보다 실질적인 연구, 정책, 투자, 행동에 대한 종합적인 접근법에 근거함¹⁰⁾
- IISD의 WEF 프레임워크 설계를 위해 각각의 WEF 요소에 대한 독립적인 원형 프레임워크를 설계하였으며 WEF 각 요소별 중심에 ‘이용(utilization)’을 위치시킴
- 그 위로 ‘접근(access)’에 대한 레이어가 있으며, 이는 어떻게 해당지역의 구성원이 물, 에너지, 식량에 접근하는지를 설명하고 있으며, 그 사례로서 구입, 물물교환, 자체생산 등의 내용을 포함하고 있음



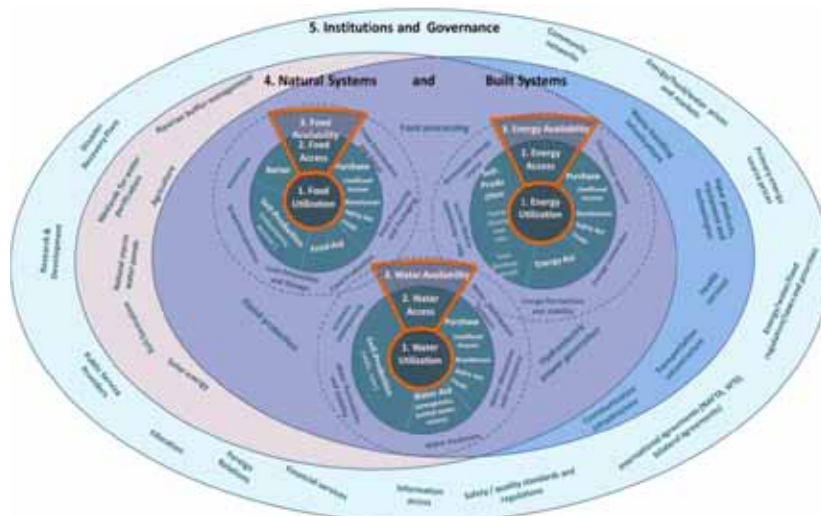
[그림 2.4] IISD에서 제시한 WEF 요소별 분석 프레임워크

10) Livia Bizikova, Dimple Roy, Darren Swanson, Henry David Venema and Matthew McCandless (2013), The Water-Energy-Food Security Nexus: Towards a practical planning and decision-support framework for landscape investment and risk management, International Institute for Sustainable Development (iisd), p.28

- 그 다음으로는 ‘가용(availability)’에 대한 레이어가 있으며, 이는 WEF 각 요소에 대한 ‘접근’은 각 요소의 가용성에 근거하고 있다고 정의하고 있으며, 그 사례로서 수량, 관개시설물, 농업생산, 식품가공, 에너지 생산 및 공급 등을 포함하고 있음

□ IISD는 WEF- nexus 실현을 위해 두 가지 외부요인을 고려하여 프레임워크를 확장함¹¹⁾

- IISD의 WEF 프레임워크를 이용하여 분석을 수행하기 위해서는 프레임워크의 중앙에서 바깥방향인 ‘이용’ → ‘접근’ → ‘가용’ 순으로 진행됨
- 정책결정권자는 각 요소에 포함되어 있는 다양한 세부요소들을 조합하여 WEF 개별 요소별 정책방향 또는 대응방안을 수립할 수 있음
- 두 가지 외부요인은 자연 및 인프라적(natural & built system) 요인과 인위적(human systems) 요인임
- 프레임워크는 WEF 연계성을 위한 기본적인 맞춤형 분석 틀을 제공하게 되며, 이는 투자계획, 정책마련, 피해평가 등 실제적인 계획수립 및 정책결정 지원을 위한 기본 정보를 획득할 수 있음



[그림 2.5] IISD에서 제시한 확장된 WEF-NEXUS 분석 프레임워크

- 동 프레임워크를 활용하여 WEF Nexus 계획을 수립함
 - (Stage 1) WEF 시스템 평가 (현재 현황분석, 과거 스트레스 요인 및 대응책 분석, 현 시스템 운영 시 미래 리스크 예측)
 - (Stage 2) 미래 시나리오 구체화 (미래 가용자원에 대한 정보수집, 불확실성 평가, 대응방안 수립)

11) Livia Bizikova, Dimple Roy, Darren Swanson, Henry David Venema and Matthew McCandless (2013), The Water-Energy-Food Security Nexus: Towards a practical planning and decision-support framework for landscape investment and risk management, International Institute for Sustainable Development (iisd), p.28

- (Stage 3) 미래 WEF를 위한 투자 (미래 시나리오 작성 및 정보공유, 계획수행을 위한 투자전략 수립)
- (Stage 4) WEF 시스템 변화 (시스템 변화를 위한 지속적인 커뮤니케이션, 실행, 모니터링후 적응 및 개선)



[그림 2.6] IISD에서 제시한 WEF Nexus 계획 수립 과정

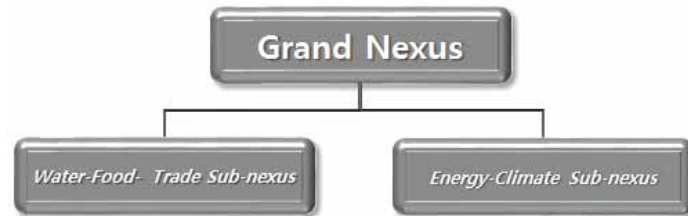
- Aquasis Solution은 물을 중심으로 하는 Nexus 프레임워크를 제시함¹²⁾
- Aquasis Solution은 비영리 단체이며 물의 보존이 현재 Nexus 문제에 본질적인 해결책이 될 것이라 주장



[그림 2.7] Aquasis Solution이 제시한 Nexus 개념

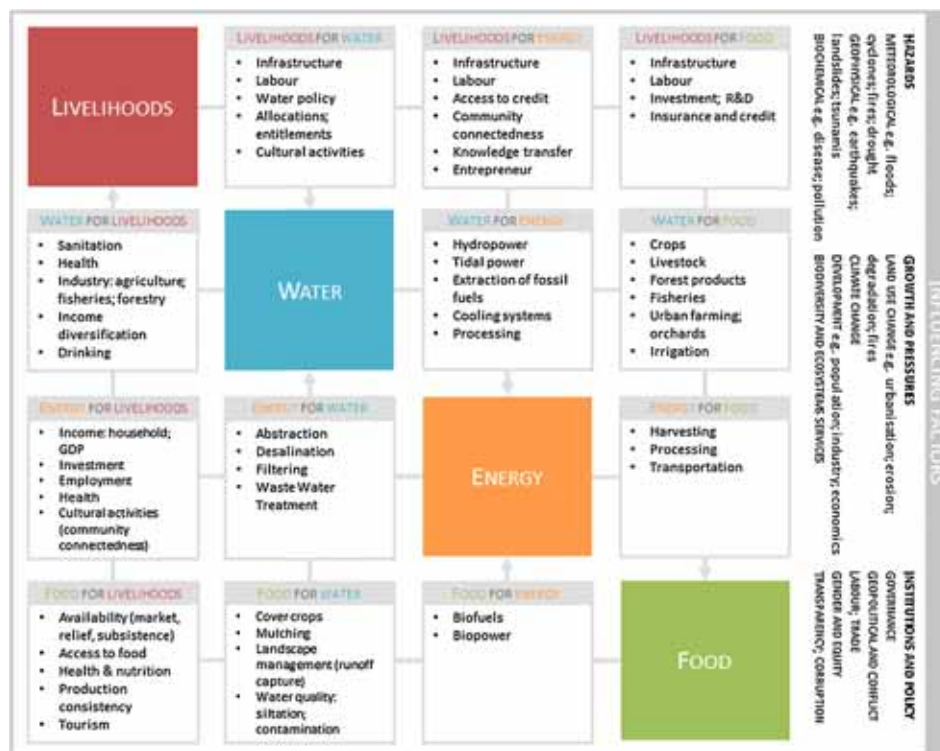
12) <http://www.aquasis-solutions.ch/about-us/who-we-are/>

- Tony Allan et al.(2015)은 기존의 Water-Food-Energy Nexus를 Grand Nexus라고 명명하고 세분화된 체계로 sub-Nexus를 제시함¹³⁾
- 각각의 sub-Nexus가 Grand-Nexus로 통합되는 것이 Water, Energy, Food 안보 문제 해결에 시작점이 될 것이라 주장함



[그림 2.8] Tony Allan et al.(2015)이 제시한 Nexus 체계

- Biggs 등(2015)은 생계가 지속적인 발전을 위한 중요한 요소로 언급하면서, 물, 에너지, 식량과 함께 더 나아가 생계와 관련된 각 인자들의 상호 관계를 프레임워크로 제시함¹⁴⁾
- 동 프레임워크는 정책결정자에게 있어 보다 확실한 의사결정을 가능하게 할 것으로 기대됨

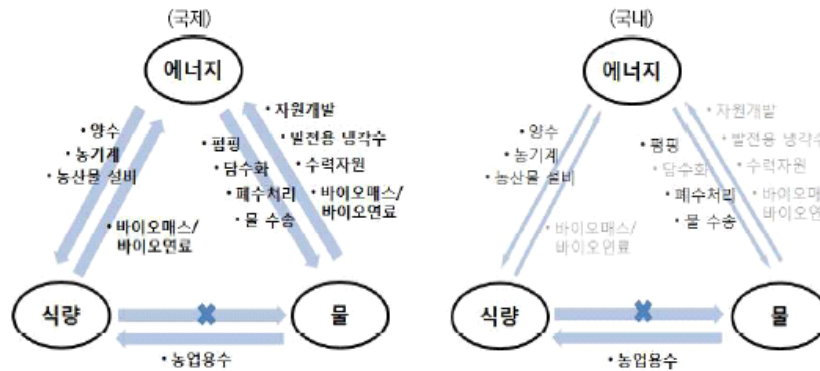


[그림 2.9] 생계, 물, 에너지, 식량에 영향을 주는 각 인자들의 상호관계

13) Allan, T., Keulertz, M., & Woertz, E. (2015). The water-food-energy nexus: An introduction to nexus concepts and some conceptual and operational problems. International Journal of Water Resources Development, 31(3), 301-311.

14) Biggs, E.M., Bruce, E., Boruff B., Duncan J.M.A., Horsley, J., Pauli, N., McNeill, K., Neef, A., Ogtrop, F.V., Curnow, J., Haworth, B., Duce, S., Imanari, Y. 2015. Sustainable development and the water-energy-food nexus: a perspective on livelihoods. Environmental Science & Policy 54, 389-397.

- 에너지경제연구원은 물, 에너지, 식량 등 각 자원의 이용과정에 의해 상호간에 영향을 미치는 주요 Activity를 국제 및 국내현황에 따라 구분함¹⁵⁾
- 동 연구원은 지역별 현황에 적합한 WEF Nexus 기술의 방향 및 개념을 정립하기 위해서는 자원의 이용과정에 따른 타 자원의 소모 현황을 체계화시키는 것이 중요함을 제시함



[그림 2.10] 국내·외 자원 간 상호 연관성

<표 2.2> 주요 에너지부문의 물 사용량

에너지원	주요 물 수요부문	물 사용량 (m ³ /GJ)
원유	생산 및 정제	1.058
석탄	생산	0.164
천연가스	생산 및 수송	0.109
우라늄	생산 및 가공	0.086

자료 : 자원고갈 가속화 전망과 국가안보차원의 대응방안 연구, 에너지경제연구원, 2014.

- 정기문 등(2015)은 WEF Nexus 기술의 정의 및 활용 방향을 제시함¹⁶⁾
- WEF Nexus 기술이란, 인류가 필요로 하는 다양한 자원 중, 물(Water), 에너지(Energy), 식량(Food) 자원의 연계성을 파악하고, 자원을 효율적으로 이용하기 위한 통합 관리 기술을 의미함
- 물, 에너지, 식량 세 가지 자원의 생산, 공급, 소비를 한눈에 분석하여 효율적인 관리를 통해 국가별, 지역별 정책 시나리오, 전 지구적인 자원의 이용 및 분배 전략을 결정하기 위한 기초 자료로 활용하여 각각의 자원을 효율적으로 관리할 수 있도록 해야 함
- 미래 물, 에너지, 식량 자원의 안보를 위협하는 요소와 그 위험성을 파악하고 이를 WEF Nexus의 특성을 통해 질적, 양적으로 개선하기 위한 움직임을 내포함

15) 자원고갈 가속화 전망과 국가안보차원의 대응방안 연구, 에너지경제연구원, 2014.

16) 정기문, Albert Wicaksono, 강두선 (2015). WEF Nexus 기술이란? 한국수자원학회지 물과미래, 49(4), pp. 38-43.

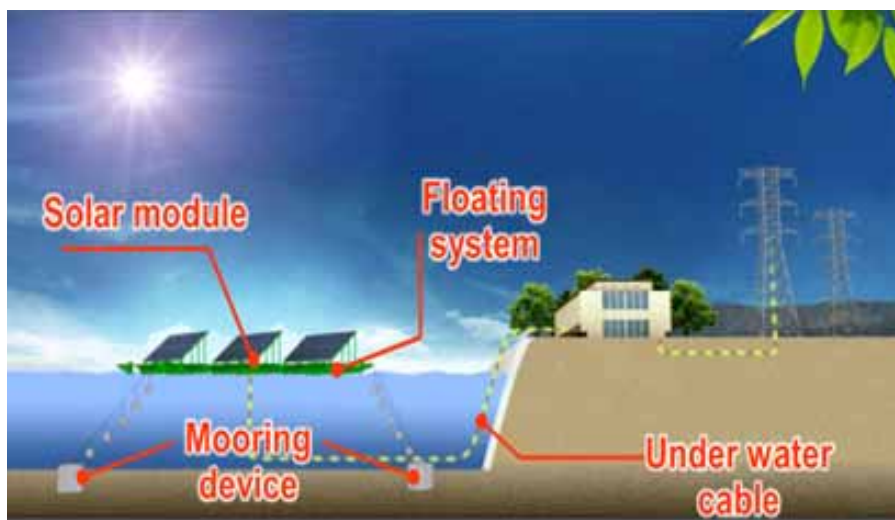
나. WEF Nexus 기술 실증사례

□ 수력댐 일원화를 통한 수자원 확보량 분석(물-에너지)

- (목적) 기 건설되어 운영 중인 수력발전 댐과 다목적 댐의 통합관리를 통한 수자원 관리 및 효율성 증대
- (현황) 현재 전체 전력 생산량에서 수력발전이 차지하는 비중은 1%도 채 안될 정도로 낮아졌고 전력 예비율에도 여유가 있음
- (효과) 한강수계에 한강수계에 있는 수력발전댐을 다목적화해 실시간 통합 연계 운영하게 되면 약2.4억㎥의 홍수조절 용량 및 5.4억~8.8억㎥의 용수공급 능력을 추가로 확보할 수 있으며, 이는 최근 건설 중인 영주댐(저수용량 1.8억㎥, 1조1,000억원)을 3~4개 정도 추가로 건설하는 효과

□ 수상태양광 발전

- 태양광설비를 저수지 수면에 설치함으로써 산림 훼손이나 토지 점유 불필요
- 태양빛 차단으로 저수지 녹조 현상 완화, 물고기 산란환경 조성, 육상 태양광보다 약 10%의 발전효율 향상 기대
- 합천댐(500kW, 2012년), 보령댐(2MW, 2016년), 충주댐(3MW, 2017년)
- 합천댐에 세계 최대 규모 40MW 수상태양광사업 추진
 - 57,400MWh/년 에너지 생산
 - 기존 일본 사이타마현 수상태양광 발전소(7.5MW)보다 5배 이상 큰 규모
- 국내 수상태양광 개발 잠재량 : 약 5,300MW
 - 1,000MW급 원전 5개 규모



[그림 2.11] 수상태양광 개요



< 합천댐 >



< 보령댐 >

[그림 2.12] 수상태양광 설치 현황

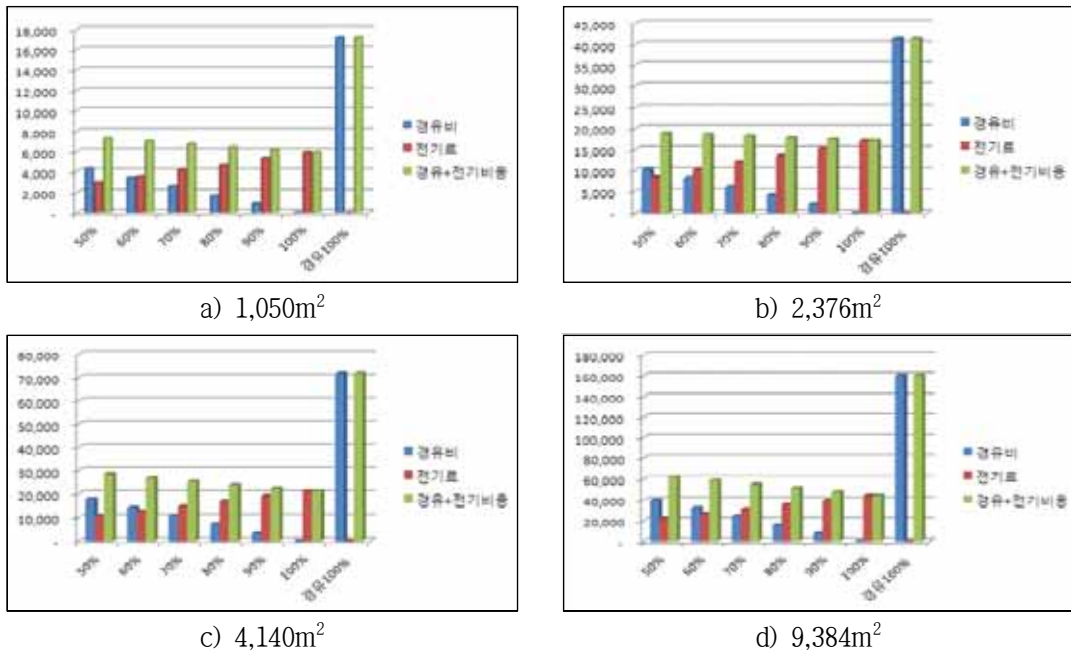
□ 시설원예의 지열 냉·난방 시스템 공급 사례 (에너지-식량)

- 국내 농업분야의 경우 대체 열원에 대한 관심 부족 및 온실에서 사용하는 경우 온풍기나 온수보일러에 비하여 상대적으로 큰 초기 투자비용으로 지열 냉·난방 시설의 적극적인 보급에 한계
 - 정부의 초기설치 자금지원지원제도 지속적 추진 → 지열보급 활성화
- 시설원예의 총 경영비 중 난방에 지출되는 비용은 재배작물에 따라 약 19~58%
 - 난방에너지원의 약 92%가 유류인 화석에너지
- (지열) 지중(토양, 지하수, 지표수 등)이 태양 복사에너지나 지구내부의 마그마 열에 의해 보유하는 에너지로서 연중 일정한 온도 유지
- 에너지사용료
 - 그림2.13 a)와 b)의 비닐 온실 에너지 사용료를 보면, 경유 난방설비만 100% 가동했을 때보다 지열을 90%~50%로 가동했을 때의 에너지 사용료가 2/3가량 절약되는 것으로 나타남

<표 2.3> 비닐하우스의 에너지 비용(1,050m²)

Sorting		Geothermal hearing pump system						Diesel 100%
		50%	60%	70%	80%	90%	100%	
diesel	l	3,821	3,056	2,292	1,528	764	-	15,282
	thousand-won	4,302	3,442	2,581	1,721	860	-	17,208
electricity	kWh	65,886	79,064	92,421	105,418	118,596	131,773	
	thousand-won	7,965	3,558	4,151	4,744	5,337	5,930	-
diesel+electricity thousand-won		7,267	6,999	6,732	6,465	6,197	5,930	17,208

경유비=경유소비량*경유면세가(1,1261/원)*0.001(천원단가), 전기료=전력소비량*전력요금(45kWh/원)*0.001(천원단가)



[그림 2.13] 비닐하우스 면적별 에너지비용

- 그림2.13 c)와 d)의 4,140m²과 9,384m² 유리 온실 에너지 사용료는, 경유 난방설비만 100% 가동했을 때보다 지열을 가동했을 때 에너지 사용료가 각각 1/3, 1/5수준으로 나타나 에너지 사용량이 절약되었고, 부하분담 비율은 클수록 에너지 사용료가 줄어드는 것으로 나타남
- (초기투자비용 회수) 온실 생애주기 기간(20년)동안 지열(70% 부하부담)냉·난방 시스템을 사용했을 시,초기투자비를 각각 5년(1,050m² 비닐온실), 7년(2,376m² 비닐온실), 4년(4,140m² 유리온실), 2년(9,384m² 유리온실)차에 회수¹⁷⁾

□ No-till Farming(무경운농업)

- 경운을 통한 토양의 교란 없이 해마다 작물을 재배하는 방법으로서 미국내 무경운재배와 같은 보존형 경운 재배의 증가로 토양 침식 약 10억 톤 감소 및 침전물 관리 비용이 35억 달러 절감(The Conservation Technology Information Center, 2002)



[그림 2.14] 무경운 농법

17) 류연수 등, 시설원예의 지열냉·난방시스템 경제성 분석, 한국태양에너지학회 논문집 Vol. 64 32, No. 6, 2012

- 무경운 재배의 다른 효과
 - 농기계 관리 비용 감소(에이커당 3.9 갤런의 연료 절감)
 - 농약 유출 70% 및 용수 유출 69% 감소
 - 탄소 배출이 줄어들면서 온실 가스 배출 감소
 - 새와 동물을 위한 개선된 서식지 제공

○ 국립식량과학원, 2012

- 저비용 · 저에너지 · 저탄소 벼 재배법 제시
 - 기계이앙 대비 약 50% 경영비 절감
- 기후변화 관련 물부족시 벼 재배양식별 물질약 대책 기술 제시
 - 연간 15.6억톤/892천ha 관개용수 절약

□ System of Rice Intensification(SRI)(벼 비담수화 관개)

○ 논의 농업(관개)용수 절감 및 생산성 향상을 위한 벼 재배 방법

- 농업용수 10% 줄이면 12.7억톤 확보 가능(2020년 기준 약 4.3억톤 용수 부족 전망(수자원장기종합계획, 2011))

○ 국립식량과학원, 2012

- 생산량: 관행대비 50-100% 이상 (동남아시아 저개발국가의 생산성 기준)
- 용수절약: 관행대비 약 25~50%의 관개용수를 절감
- 오염물저감: 20-50%의 비점오염부하 저감
- 볍씨의 사용량: 50-200% 절약

○ 농림식품부, 농어촌공사, 2011

- 관개용수 사용량: 관행대비 49.4%의 농업용수 절감
- 수확량: 관행 대비 109-120(백미기준), 120-130(완전미 기준)
- 온실가스: 관행대비 71.8% 온실가스 감축
- 만약 모든 논에 SRI방법을 적용하여 약 40%의 농업용수가 절감된다면 약 51억톤 용수 확보가능.



[그림 2.15] 담수재배와 SRI 농법

□ Nexus eWater Recycler 시스템

- 미국 샌디에고에 위치한 Nexus eWater 사(社)는 혁신적인 건물내 물재이용 시스템을 개발을 통하여 가정 물 사용량 34% 및 하수용수 70% 절감, 에너지 25% 절감
 - 지속적인 가뭄 등에 대처하고 정원용수 등을 확보하기 위한 새로운 대체수 자원의 욕구 증가
 - 대규모 주택개발 사업과 연계, 건축물 시공 초기에 빌트인(built-in) 시스템으로 단독 건물 단위로 물재이용 시스템을 설치, 공급
 - 건물내 목욕탕 배출수 및 세탁기 등 가전제품 배출수를 재이용하여 정원용수, 화장실용수, 청소용수 등으로 재활용하는 시스템(Nexus system)을 개발
- 미국 Tracy시(市)는 도시전체에 물재이용을 위한 파이프 매설과 재이용수 급수시스템을 계획 중 (재원 : \$33백만불)



[그림 2.16] 재이용수 수집 탱크 및 밸브 시스템

□ 역상수도 관로대 원수를 이용한 제2롯데월드 수열에너지 냉난방 시스템

- 추진배경
 - 댐 호소수, 광역원수 등 수열원의 풍부한 부존량을 활용하여 수열에너지 사업 활성화 R&D전략 수립 필요
 - 미국, 일본 등 선진국에서는 이미 하천수 등 담수를 신재생열원으로 지정, 도시 열공급원으로 활용하고 있음
 - 현재 선진국에서는 바다, 강, 하천, 호수 등의 온도차를 이용하는 대규모 신재생에너지의 기술개발·보급이 확대되고 있으나, 국내는 지하열의 온도차를 이용하는 소규모 형태가 대부분인 실정
- 수열에너지의 개요
 - 수열에너지 이용 원리
 - 하천수, 호수, 해수 등에 포함되어 있는 물의 온도에너지를 직접 또는 열펌프로 회수하여 건물의 냉난방 및 급탕에 이용하는 시스템
 - ※ 기존 냉난방시스템에 비해 20~40% 에너지절감 효과



[그림 2.17] 수열에너지 냉난방 시스템

□ 해수담수화(역삼투, 정삼투) 에너지 소모 절감 사례

○ 역삼투 해수담수화 에너지 소모 절감에 따른 물 생산단가 변화

- 분리막 제조기술의 발달, 에너지 회수장치 등을 비롯한 해수담수화 관련 공정 기술 발달로 에너지 소모량이 감소하는 추세
- 해수담수화 플랜트 에너지 소모 절감을 통해 물 생산단가 절감 가능

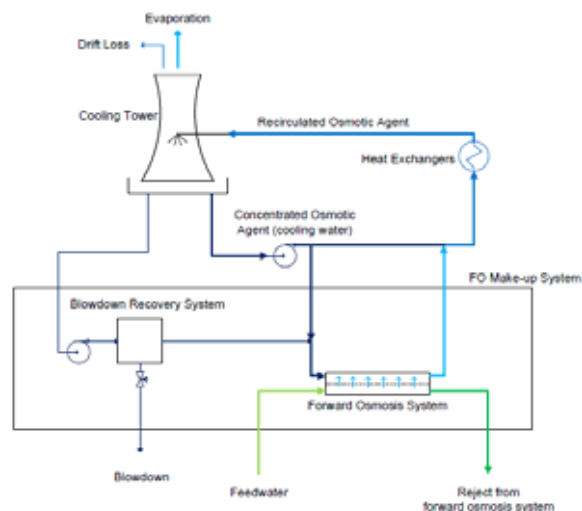
<표 2.4> 지역별 해수담수화 에너지소모량 및 물생산단가

구분	Ouat I 플랜트 (1972, 프랑스)	Liobregat (2009, 스페인)	Melbourne (2012, 호주)
에너지 소모량 (kWh/m ³)	9.8	3.9	3.6
물 생산단가 (원/m ³)	1,862	741	684

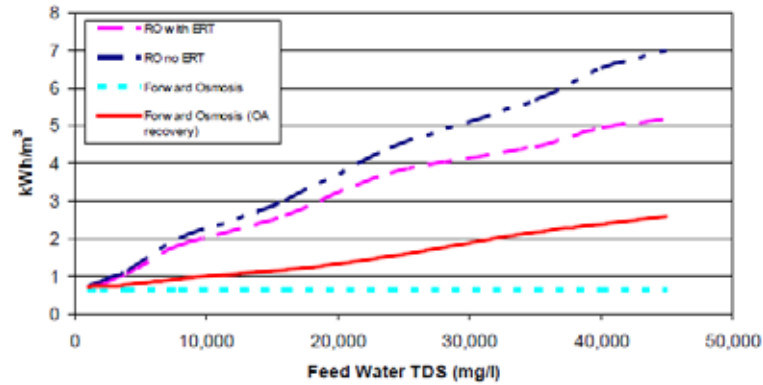
* 계약전력 300kW 이상 산업용(을) 고압A 하절기 최대부하 전력비용 190원/kWh 적용

○ 정삼투 해수담수화 공정 도입에 따른 물 생산단가 추가 절감

- 냉각탑 보충수 생산에 정삼투 공정을 사용할 경우 약 46%의 에너지 소모 절감효과 발생



[그림 2.18] 정삼투 해수담수화 공정¹⁸⁾



[그림 2.19] 해수담수화 공정방법에 따른 에너지소모량 및 보충수량

(참고: Nicoll P. et al, 'Manipulated Osmosis Applied To Evaporative Cooling Make-Up Water - Revolutionary Technology', Proceedings IDA World Congress, Perth, Western Australia)

<표 2.5> 해수담수화 공정방법에 따른 에너지소모량 및 보충수 생산단가

구분	역삼투 (에너지회수장치 포함)	역삼투 (에너지회수장치 미포함)	정삼투 (유도용액 재이용)
에너지 소모량 (kWh/m³)	4.1	5.0	1.9
보충수 생산단가 (원/m³)	779	950	361

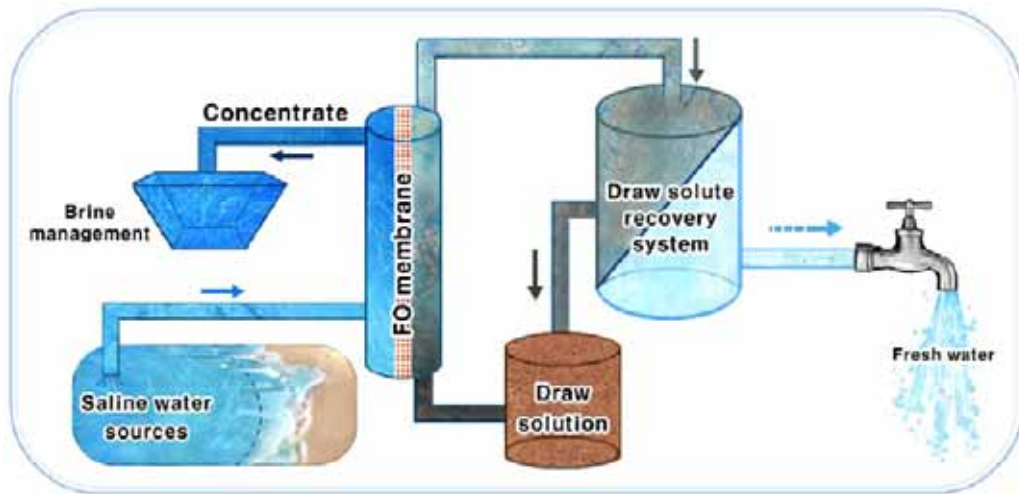
* 유입원수 TDS 30,000 mg/L 기준, 전력비용 190원/kWh 적용

- 물-에너지 동시 생산을 위한 역삼투-압력지연삼투 하이브리드 공정
 - 역삼투-압력지연삼투 하이브리드 공정 활용 시 물·에너지 동시 생산 및 역삼투 공정 농축수 회석 방류를 통한 환경영향 감소 가능
 - 압력지연삼투 공정에서 생산되는 에너지를 역삼투 공정 운영에 활용하여 전체 공정의 에너지 소모량 절감 효과 발생
- 혼합비료용액을 활용한 정삼투 해수담수화 공정
 - 정삼투 해수담수화 공정은 자연 삼투 현상을 이용하여 이론적으로 에너지가 필요치 않으나, 음용수 생산을 위해서는 에너지가 소모되는 유도용액(draw solution) 분리공정이 필요
 - 혼합비료용액 활용 정삼투 해수담수화 공정(Fertilizer drawn FO, FDFO)은 고농축 비료용액을 유도용액으로 사용하며, 회석된 혼합비료용액은 직접 혹은 나노여과를 거친 후 관개용수로 사용이 가능
- 호주 New South Wales주 Newstan Colliery에서 FDFO-NF 파일럿 시스템이 운영된 바 있으며, 전체 공정의 회수율 약 49%
 - 정삼투: 막모듈 총 면적 20.2m² (8040 CTA 막모듈 2개 병렬연결), 유입용액(feed solution)으로 광산오염 지하수 처리수, 유도용액(draw solution)으로

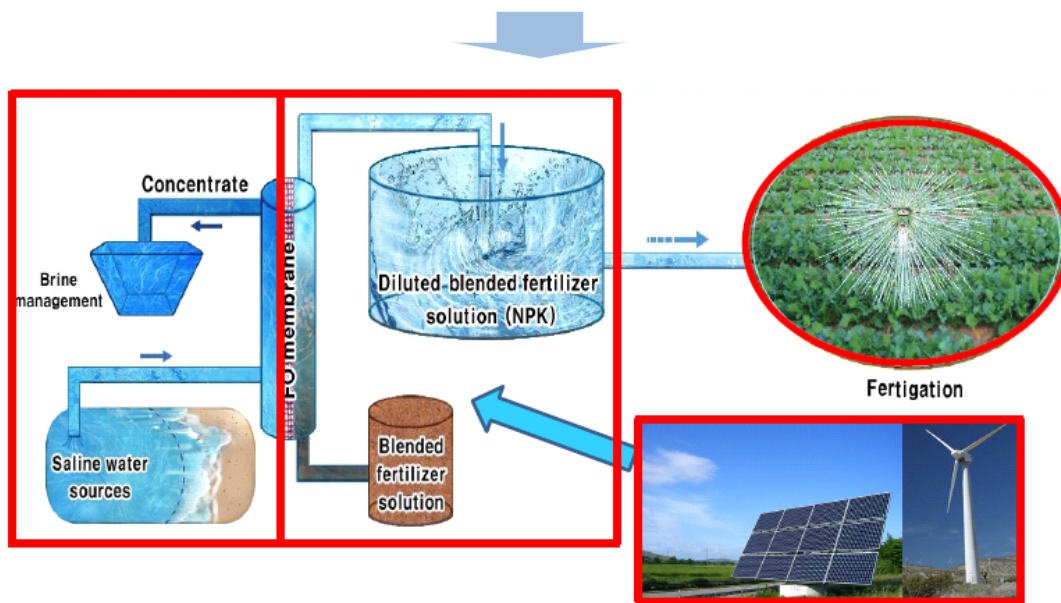
18) Nicoll P. et al, Forward osmosis applied to evaporative cooling make-up water, Cooling Technology Institute, 2012

SOA(비료) 이용

- 나노여과: 막모듈 총 면적 7.9m², 25 bar 운전(4040 TFC 막모듈 1개)



[그림 2.20] 음용수 생산을 위한 정삼투 해수담수화 공정



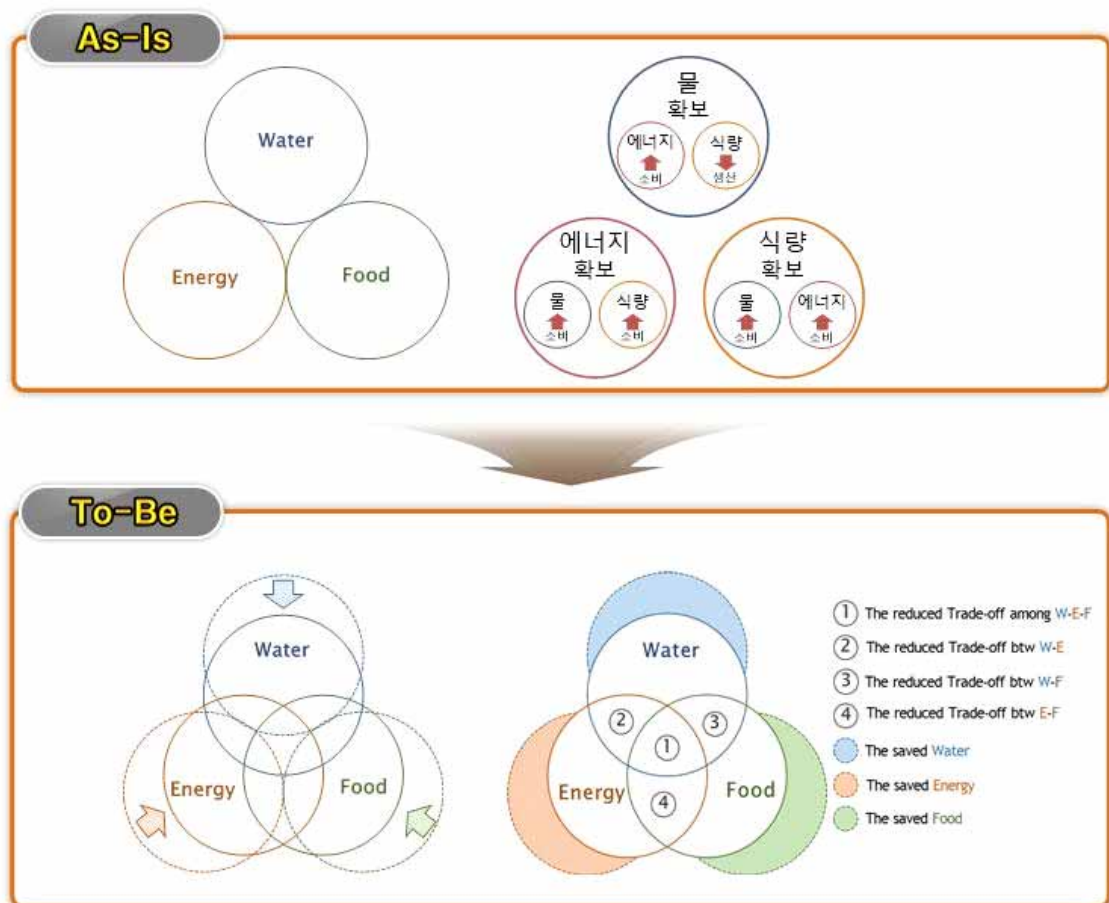
[그림 2.21] 관개용수 생산을 위한 비료용액 활용 정삼투 해수담수화 공정¹⁹⁾

19) Forward osmosis to desalinate saline water with minimum energy for fertigation, Ho Kyong Shon, IDW6 2014

2절. 사업의 범위

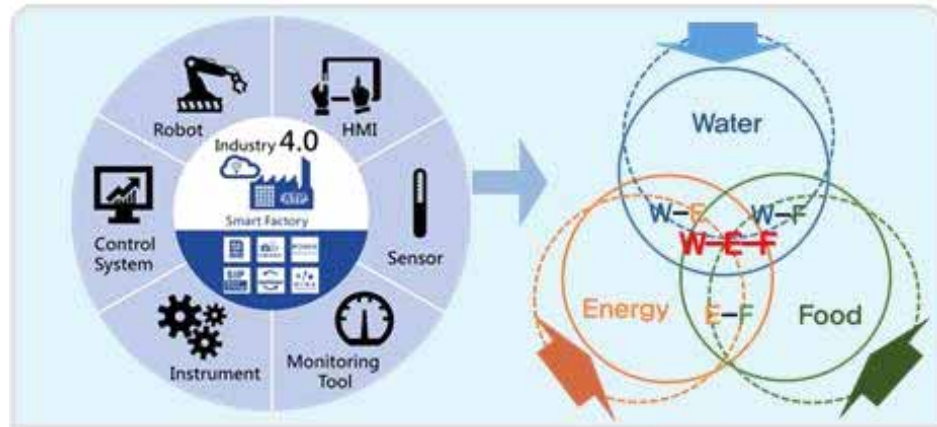
1. 동 계획에서의 WEF Nexus 접근방법

- 단일 자원 확보의 목적보다 연관된 모든 자원의 상호작용을 고려한 다각적 측면의 자원 효율성 증대를 고려함
- (As-Is) 자원의 생산, 공급 소비의 과정에서 발생하는 자원간 연계에 대한 효율성보다는 단일 자원 확보를 위한 효율성에 초점을 맞추어 기술적 측면에서 자원 효율성 증대를 강조
- (To-Be) 산업생태계에서 순환되는 자원간 상호작용을 활용하여 Trade-off를 줄이거나 시너지를 확대하여, 연계된 모든 자원의 생산, 공급, 소비 효율성 증대에 집중하여 기술, 사회, 정책, 법 등을 포함한 다각적 측면의 자원 효율성 증대



[그림 2.22] 자원의 효율성 증대 방향의 전환

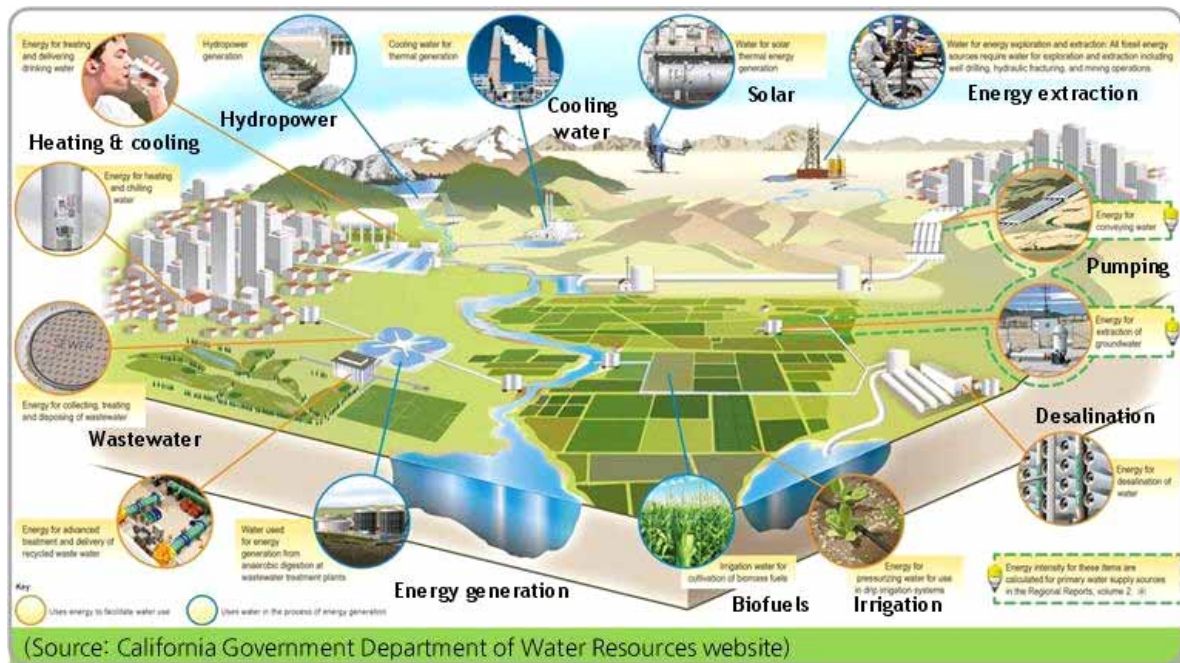
- 동 기획에서는 자원안보 및 경제적 효과를 나타낼 수 있는 Industry 4.0기반 WEF Nexus 기술 및 정책 연계를 고려함
- 미래환경의 불확실한 자원흐름을 미리 예측하고 선제적인 대응을 위해 물-에너지-식량의 생산, 공급, 소비 과정에서 자원간 연계(Nexus)를 활용함



[그림 2.23] Industry 4.0기반 국내 물-에너지-식량 넥서스

2. 동 기획에서의 WEF Nexus 사업의 범위

- 앞선 개념에서 정립한 WEF Nexus는 다각적인 자원 효율성 증대를 위해 기술, 사회, 정책, 법적인 요소들이 결합되어야 하므로 동 기획에서의 WEF Nexus 사업의 범위는 이를 포함할 수 있도록 설정함
- 사업의 범위는 향후 동 기획을 통한 사업영역으로 도출 가능한 모든 기술 분야를 포괄하는 프레임으로 제시함
- 동 기획을 통해 도출되는 사업영역은 대내외 환경분석, 내외부 전문가 논의 및 기술수요조사 등을 통해 구체적으로 설정함
- 동 기획 사업의 범위는 “넥서스 DB 공유체계 및 영향평가 툴(의사결정 지원시스템)”, “넥서스 요소기술 및 ICT 기반 연계기술”, “정책/제도 개선 및 新 물관리 거버넌스”의 3가지 범주로 구분함
- “넥서스 DB 공유체계 및 영향평가 툴”은 생산-공급-소비 정보체계 수립을 통해 탄력적인 자원 연계기술개발 및 관리체계를 구축하고 시나리오 기반 자원연계 영향 정량적·정성적 평가방안 제시를 위한 기술 분야임
- “넥서스 요소기술 및 ICT 기반 연계기술”은 자원 요소기술을 개선하거나 개발하고 기후변화 대응 맞춤형 자원연계 솔루션 및 의사결정 시스템 제시를 위한 기술 분야임
- 넥서스 요소기술 개선 및 개발을 통하여 1차적 자원효율성을 증대시키고 이러한 요소기술들을 연계함으로써 요소기술들에 내재되어 있는 효율성을 2차적으로 극대화 할 수 있음



[그림 2.24] 넥서스 요소기술

- “정책/제도 개선 및 新 물관리 거버넌스”는 한국형 Nexus 모델개발 및 현지 적정기술 개발 및 실증, 범정부적 정책결정전략 및 글로벌 사업진출 및 확대전략 도출을 위한 전략기술 분야임

3장. 국내외 주요 동향 분석

1절. 국내외 WEF Nexus 관련 메가트렌드 분석

1. 미국 National Intelligence Council(NIC) Global Trends 2030

- 확실히 예측 가능한 미래변화 4대 메가트렌드 중 하나로 ‘물, 에너지, 식량 위기’로 전망함



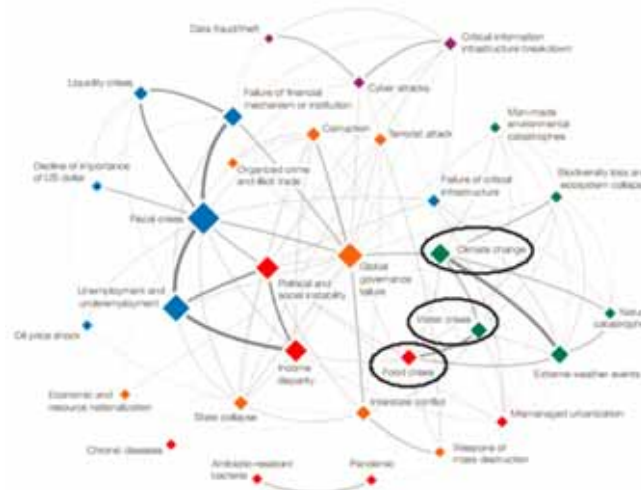
[그림 3.1] 미래전망결과(NIC)

- 2030년에 식량 수요는 현재보다 35% 이상 증가할 것으로 예상되나 생산성은 지속적으로 하락 중
 - 세계의 식량 생산성은 1970~2000년 2%에서 오늘날 1.1%로 감소했고, 지난 8년 중 7년은 식량 생산보다 소비가 많았음
- 세계의 연간 물 수요량이 현재 유지 가능한 물 공급량을 초과할 것으로 예상
 - 2030년 연간 물 수요량은 6조 9천억 m³에 달하며 이는 현재 공급량을 40% 초과되는 수준
- 향후 15~20년간 에너지 수요가 약 50% 증가할 것으로 예측되나 핵심 화석 연료 증산 및 새로운 에너지 개발로 대응 가능할 것이라는 낙관주의도 존재
 - OPEC의 증산 및 대규모의 비전통식 공급원(암석층에 존재하는 석유 및 가스)의 출현으로 2035년까지 세계 에너지 생산은 완만하게 상승할 것으로 예상
 - 미국은 막대한 양의 셰일 가스 확보가 가능해 짐에 따라 에너지 자립 및 수출국으로 전환도 가능할 것으로 예상

- 식량, 물, 에너지 관련 자원기술(Resource Technologies)은 전 세계적 수요 증가에 대응하여 생산성 향상을 가져다 줄 것으로 전망함
- 유전자 변형 작물 (Genetically Modified Crops) : 본래 유전자를 조작하여 생산성 및 상품의 질이 향상된 작물을 개발하는 기술
 - 인구 팽창과 기후 변화 문제에 직면한 세계에 충분한 식량과 연료를 공급해 줄 수 있음
 - 유전자 변형 작물의 시장 진입시기 단축과 안전성 확보가 중요
- 정밀농업 (Precision Agriculture) : 종자, 비료, 물 등 투입 요소의 사용을 줄여 환경을 보호하면서 작물의 수확량을 증대하고 품질을 향상시키는 기술
 - 비용효율화와 자동화가 실현된 정밀농업은 식량 안보 해결에 중요한 역할을 하게 될 것
 - 농업장비 가격 절감과 소규모 농장으로의 확장성이 주된 장애물
- 물 관리 (Water Management) : 물의 사용 효율성을 높일 수 있는 기술
 - 높은 효율성을 가지는 미량관개기술(micro-irrigation)¹³⁾은 농업용수 관리 향상을 위한 핵심 기술이 될 것
 - 미량관개기술 도입 비용을 줄이는 것이 중요한 과제
- 바이오기반 에너지 (Bio-Based Energy) : 생물량으로부터 에너지를 생산하는 기술
 - 비식품 생물량 기반의 바이오기반 에너지는 식량 안보 증진에 중요한 역할을 할 것
 - 기술의 비용 경쟁력 해결이 주된 장애 요소
- 태양 에너지 (Solar Energy) : 태양광 또는 태양열을 이용하여 전기에너지를 생산하는 기술
 - 다른 에너지원에서 생산되는 전력보다 가격 경쟁력을 갖추게 되면 새로운 에너지원으로 더욱 각광받을 수 있음
 - 태양광이 있을 때만 발전할 수 있는 간헐적 에너지원이라는 한계를 극복할 수 있는 에너지 저장 및 하이브리드 시스템 기술 필요

2. Global Risks 2014(World Economic Forum: WEF, 2014)

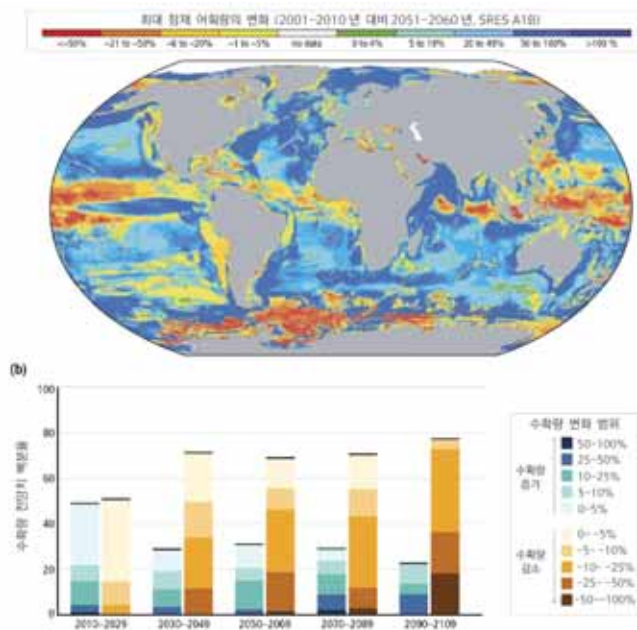
- Global Risks 2014에서 제시한 발생 가능성과 영향력이 큰 10대 글로벌 위험 요인 중에 4개의 항목이 직·간접적으로 물 안보, 식량 안보와 관련됨



[그림 3.2] 글로벌 위험요인간의 연계도(WEF, 2014)

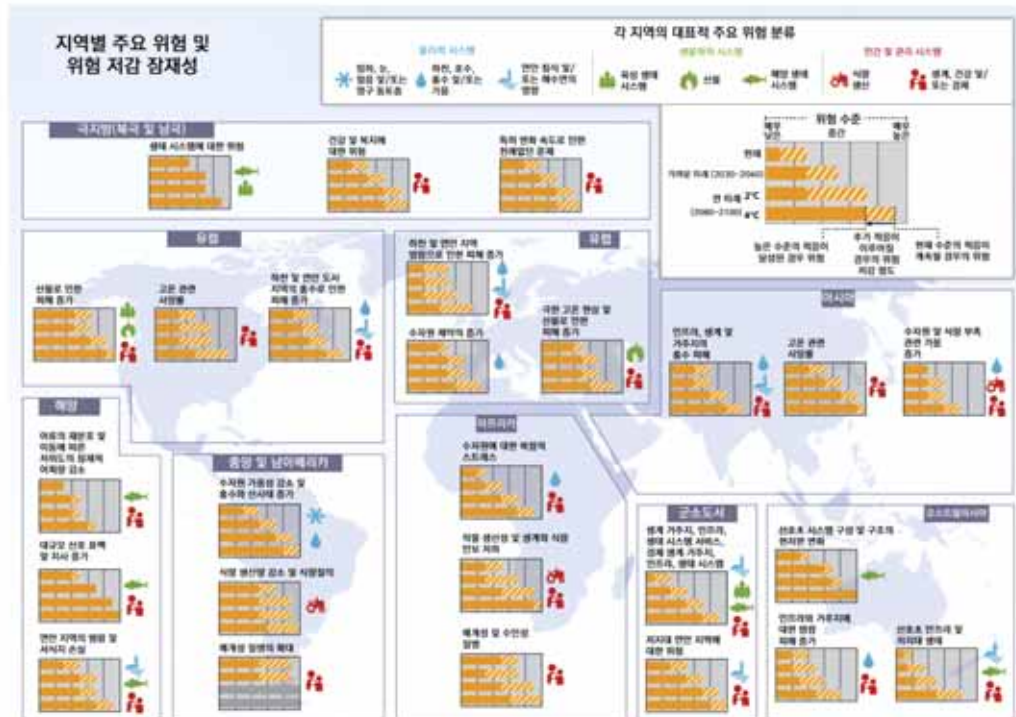
3. Intergovernmental Panel on Climate Change(IPCC, 2014) 기후변화 보고서

- 적응을 통해 기후변화 영향의 위험을 줄일 수 있지만, 기후변화의 규모가 커지고 진행 속도가 빨라질 경우 그 효과성은 제한될 수 있기 때문에 보다 즉각적 적응 행동을 할 가능성이 높아질 경우 미래의 선택권과 준비성 향상
- 완화와 적응 사이뿐만 아니라 각기 다른 적응 대응들 사이에도 부수적 이익, 시너지 효과 및 트레이드 오프(tradeoff)가 존재하며, 이러한 상호 작용은 지역 내와 지역 간 모두에서 발생
- 완화 및 적응노력이 증대될수록 이들 사이에 존재하는 상호작용 관계는 더욱 복잡해지며, 수자원, 에너지, 토지 이용 그리고 생물 다양성 간의 관계도 더욱 복잡해짐
- 기후변화 완화와 적응에 부수적 이익에 포함되는 Actions
 - 기후를 변형시켜 건강을 위협하는 대기오염물질의 배출을 고효율 에너지와 청정 에너지 자원을 통해 저감
 - 도시 녹지 확대 및 수자원 재활용을 통해 도시 지역의 에너지 및 수자원 소비를 감소
 - 지속 가능한 농업 및 임업
 - 탄소 저장과 기타 생태계 보호를 통한 생태계 서비스
- 기후변화에 대한 혁신적인 변화를 고려하지 않고 기존 시스템에 소극적인 변화는 오히려 적응 비용과 손실이 커질 수 있으며, 관련 기회를 충분히 활용할 수 없기 때문에 변형적 적응을 계획하고 이행하기 위해서는 관련 패러다임을 강화, 변경 및 조정해야 함



[그림 3.3] 기후변화에 따른 식량 안보(IPCC, 2014): a) 최대 잠재 어획량의 전지구적 재분포 전망; b) 기후변화에 의한 농작물 수확량의 변화 전망

- 온실가스로 인하여 기후 시스템을 이루는 모든 구성요소들은 장기적으로 변화하여, 결국 인간계 및 생태계에 심각하고 광범위한 부정적인 영향을 미칠 것으로 전망
- 기후변화는 미래 식량 안보에도 부정적인 영향을 미칠 것으로 예상되며 산업화 이전 수준과 비교하여 지역 기온이 2℃ 혹은 20 세기 후반수준 이상으로 상승한다면, 열대 및 온대 지역에서 밀, 쌀 및 옥수수의 수확량은 감소할 것으로 전망
- 전지구적으로 해양중이 재 분포될 것이며 기후변화에 민감하게 반응하는 지역에서는 해양의 생물다양성이 감소하여, 해양의 어업 생산성 및 기타 생태계 서비스가 지속되기 어려울 것으로 예상
- 대부분의 건조 아열대 지역에서 재생 가능한 지표수와 지하수 자원을 고갈시켜 지역 간 수자원 경쟁을 심화
- 도시 지역에서 기후변화로 인한 위험이 증가할 것으로 전망되는데, 기후변화는 폭염 스트레스, 폭우, 내륙과 연안지역의 범람, 산사태, 대기오염, 가뭄과 물 부족, 해수면 상승 및 폭풍 해일 등을 통해 도시 지역의 주민, 자산, 경제 및 생태계에 위험 초래
 - 필수적 사회 기반시설과 공공서비스가 갖추어지지 않았거나 기후변화에 대한 노출 정도가 높은 도시의 경우 기후변화 위험 증대
- 비 도시 지역에서 기후변화의 영향에 가장 민감한 부문은 수자원 가용성 및 공급, 식량 안보, 기반시설 등으로 예상



[그림 3.4] 기후변화에 의한 대륙별 주요 위험 및 위험 저감 잠재성 (IPCC, 2014)

4. 국내 자원관련 트렌드 분석

- 국내의 경우 경제성장으로 인한 중산층 증가와 도시인구팽창에 따른 물, 에너지, 식량 등 필수 자원에 대한 수요 증가
 - 국내 자원의 대외 의존성이 높아 국제자원시장에 크게 영향을 받기 때문에 WEF Nexus를 통한 자립적 자원확보 시급
 - 기후변화로 인하여 발생하는 수자원부족(고갈) 문제와 물순환 왜곡등을 해결하기 위한 수자원 자족·자립능력 향상 기술 개발 필요
 - 2015년 가뭄으로 3일까지 강수량은 평년대비 62%(2015.11)에 불과, 중부지방을 중심으로 물부족 문제 심화
- 수자원 자체만의 기존 기술 한계를 극복하기 위한 물-에너지, 물-식량 연계 신기술 개발과 지속가능한 활용방안 필요
 - 미국, 일본, 유럽 등 주요 선진국을 중심으로 물관리 에너지의 효율화 및 수자원이 갖는 에너지의 회수와 적극적 활용이 적극적으로 추진되고 있음
 - 국내의 경우 독립적으로 구분되는 이수, 치수, 물순환 건전화 등 주요 물관리 이슈에 대하여 에너지, 식량 분야를 연계한 통합적이고 효율적인 지속가능 방안 제시 필요
- 물(에너지) 수요·공급, 물(에너지)순환, 재해 방지(수자원:가뭄, 에너지:전력 부족 등)가 종합적으로 이루어지는 정부차원의 수자원 중심 연계 통합 솔루션 필요

- 물-에너지 자급률을 향상시키기 위해 국내 활용가능 수자원 다원화를 고찰하고, 미활용 에너지와의 연계를 확대하는 인프라 고도화 기술이 필요한 시점임
- 온실가스저감 및 에너지효율 개선 차원에서 에너지변환 효율이 높은 열에너지 활용도를 높이고, 신재생 열에너지 이용을 확대하기 위한 열 자원현황조사 및 네트워크 인프라 구축 요구(기후변화 대응 확보 로드맵, 2016)
 - 정부의 정책방향을 저탄소 녹색성장으로 설정하였으며, 2020년 온실가스 감축 목표를 2020년 온실가스 배출 전망치 대비 30%를 감축 목표로 설정
 - 지속가능한 저탄소 녹색도시 조성을 위한 계획기준 (국토해양부, 2001)이 마련되고 친수구역특별법 (국토해양부, 2010.12)이 제정되어 물순환의 회복과 신재생에너지의 사용을 적극적으로 요구하는 개발 정책 확대
- 유역 및 도시의 수자원·에너지 인프라 구축사업이 국제사회의 Emerging Industry로 급부상 되고 있음
 - 전 세계적으로 다양한 목적의 기술 융합 단지 개발 및 시티 프로젝트가 진행 중이며, 이를 통합하는 스마트 물관리의 시장이 동반성장하고 있음
 - 스마트 시티의 경우 전체시장 중 수자원 관리는 약 10~15%를 차지하며, 연평균 11% (2015 ~ 2023)의 시장성장 전망 (Navigant, 2014)

5. 소결

- 필수자원인 물, 에너지, 식량에 효율성에 대한 기술개발은 현재 국토부, 산자부, 농림부에서 개별적으로 추진되고 있으나 자원간 상호작용이 단절되어, 통합 및 연계효과에 따른 자원확보와 경제적 효과가 적어 새로운 WEF Nexus 기술이 시급
- 그간 분산·개별적으로 진행해 오던 자원효율성 개선 기술을 다른 자원 의 생산, 공급, 소비에 연계 하여 국가차원의 다부처 신자원관리 체계 구축이 목적
- 기후변화 및 자원안보의 위기 대응을 위한 국제적 트렌드가 변화하고 있으며, 특히 전 세계적으로 미래 국가 경제, 자원안보에 대한 기술 선점을 위해 국가차원의 과감한 투자 및 전략적 액션 플랜이 수립 중
 - (미국) 2012 NIC 글로벌 트렌드 2030, (중국) 2015 China's WEF Road Map
 - (EU) EU' s Horizon 2020 Programme (7년간 800억 유로)에 넥서스 주제 포함
- 자원간 연계 효율성 증대를 통한 지속가능 사회 조성 및 미래 신성장동력 창출 요구

2절. 국내외 WEF Nexus 관련 정책 동향

1. 국내 WEF 관련 정책 현황 및 전망

가. 관련 국가 상위계획

□ 본 사업의 주요 연구 내용인 물-에너지-식량 연계(Water-Energy-Food Nexus) 기술은 ‘13년 2월 박근혜정부 국정과제 중 「16 쾌적하고 지속가능한 환경조성」의 99. 기상이변 등 기후변화 적응, 100. 안정적인 에너지수급 및 산업구조 선진화, 101. 신재생에너지 보급 확대 및 산업육성 등과 밀접한 관련이 있음

□ 또한 기후변화 대응을 위한 에너지 신산업 육성의 구체적 성과를 창출하기 위해 관계 부처 합동으로 ‘에너지 신산업 활성화 및 핵심기술개발 전략 이행계획(‘15~’17)’을 수립하여 제8차 경제관계장관회의에서 발표하였으며 주요 사업들의 본격적 추진 및 성과도출을 위해 본 연구결과는 직접적으로 적용되어야 함

나. 부처별 관련 정책 계획과 WEF 넥서스의 역할

□ 물, 식량, 에너지의 관리를 주관하는 부처가 다르기 때문에(국토교통부(물), 산업통산자원부(에너지), 농림축산식품부(식량)) 자원연계의 정책 필요



[그림 3.5] 부처별 중장기 기술 정책 방향 및 WEF Nexus의 역할

○ 기후변화 대응을 위한 ‘에너지 신산업 및 핵심 기술 개발 전략’ 이행계획
(제8차 경제관계 장관 회의, ‘15.4.22)

- 기후변화 대응 기술혁신 과제, 에너지 신산업 추진계획, 주요 프로젝트

□ 국내 수자원 관련 법령은 통일된 수자원 관리에 관한 법률 없이 각 분야별 개별법 체제로 구성됨

○ 부처별 및 기능별 개별법이 수평적인 법체계를 구성하고 있어 수자원 계획 및 정책을 통합적으로 관리하기 곤란한 문제점을 안고 있음

- 환경부가 ‘환경정책기본법’, ‘수질 및 수생태계 보전에 관한 법률’ 등 11개 법률을 운영하고, 국토교통부는 ‘하천법’, ‘댐건설 및 주변지역 지원 등에 관한 법률’ 등 5개 법률을 운영중임

〈표 3.1〉 한국의 물-에너지-식량 관련 법률 현황 및 소관부처

분야	관련 법률명	소관부처
수질	○ 환경정책기본법	환경부
	○ 수질 및 수생태계보전에 관한 법률	
	○ 오수분뇨 및 축산폐수의 처리에 관한 법률	
	○ 하수도법	
	○ 4대강수계특별법	
	○ 먹는 물 관리법 ○ 수도법	
	○ 먹는 물 관리법	
	○ 하수도법(처리수재이용)	
	○ 4대강수계특별법	
수량	○ 지하수법(수질 부분)	국토교통부
	○ 하천법	
	○ 하천구역편입토지보상에 관한 특별조치법	
	○ 댐건설 및 주변지역지원 등에 관한 법률	
전력	○ 지하수법(수량 부분)	안전행정부
	○ 소하천정비법	
	○ 온천법	
식량	○ 해양심층수의 개발 및 관리에 관한 법률	해양수산부
	○ 전원개발촉진법	산업통상자원부
유역관리	○ 농어촌정비법	농림축산식품부, 해양수산부
	○ 4대강수계특별법	환경부
재해관리	○ 친수구역 활용에 관한 특별법	국토교통부
	○ 자연재해대책법	안전행정부(소방방재청)
	○ 재난 및 안전관리 기본법	
재해관리	○ 저수지·댐의 안전관리 및 재해예방에 관한 법률	농림축산식품부, 해양수산부
	○ 농어업재해대책법	

- 현재 하천법이 물 관리의 기본법적인 역할을 수행하고 있으나, 개별법이라는 한계로 통합 수자원 관리 체계 구축에는 미흡하여 이를 통합적으로 관리할 수 있는 법률 제정 필요성이 대두됨
- 소관 법령의 개별성과 분절성 때문에 소속 기관과 산하 기관은 물론 지방자치단체 역시 집행 과정에서 심각한 혼란에 빠지면서 높은 거래 비용을 지불하고 있는 것으로 나타남
 - 수질 관리와 수량 관리 관련 법령의 이원화로 인해서 중복 현상이 심화되기 때문에 환경부와 국토교통부의 조직 개편과 기능 조정이 선행된 후에 관련 법령의 체계화 작업을 수행하는 것이 요구됨

〈표 3.2〉 부처별 물-에너지-식량 관련 주요 법률과 법정 계획 현황

법 률		관련 계획	주요 내용
환경부	환경정책기본법	○ 국가환경종합계획(20년)	○ 국토계획과 환경계획의 연계성 강화
	수질 및 수생태계 보전에 관한 법률	○ 수질 및 수생태계 보전 계획(10년)	○ 수질 및 수생태계 보호
	4대강수계특별법	○ 오염 총량 관리 기본 계획	○ 4대 강 유역 통합 관리 및 주민 지원
	하수도법	○ 국가 하수도 종합 계획(10년) ○ 유역 하수도 정비 기본 계획(20년)	○ 수질 및 하수도 관리
국토부	하천법	○ 수자원 장기 종합 계획(20년) ○ 유역 종합 치수 계획(10년) ○ 하천 기본 계획(10년)	○ 이수·치수·하천관리 ○ 수질 오염의 측정(환경부)
	지하수법	○ 지하수 관리 기본 계획(10년)	○ 지하수의 이용 및 관리
	댐건설 및 주변지역 지원 등에 관한 법률	○ 댐 건설 장기 계획(10년)	○ 이수·치수, 댐 건설 및 주민 지원
행자부	소하천정비법	○ 소하천 정비 종합 계획(10년)	○ 소하천 관리
산업부	에너지기본법	○ 국가에너지기본계획(20년)	○ 에너지정책 기본방향 수립
농림부	농어촌정비법	○ 농어촌 용수 이용 합리화 계획	○ 농어촌 용수의 효율적인 개발·이용 및 보전

- 국내 물 관련 장기 계획은 부문별(수량 관리, 수질 관리, 재해 관리), 용도별(생·공용수, 농업용수) 또는 관리 대상별(지하수, 지표수, 해수)로 수립되고 있어, 각 기관의 정책을 효율적으로 조정하기 곤란함
- 각 부처별 근거 법에 의한 물-에너지-식량 관련 주요 계획을 분석해 보면, 환경부는 ‘수질 및 수생태계 보전 계획’, 국토교통부는 ‘수자원 종합 계획’, 안전행정부는 ‘소하천 정비 종합 계획’, 농림축산식품부는 ‘농어촌 용수 이용 합리화 계획’ 등을 소관 계획으로 관리하고 있음

- 전문가들은 이러한 물 관리 계획들이 상호 합의된 구조적 연계성(structural connectivity)을 갖지 못하고 별개로 운영되고 있다는 점을 지적하였으며 계획의 작성 주기는 물론 용어와 주된 관심 영역이 서로 다르기 때문에 관련 계획 간에도 커다란 벽이 존재함
- 계획의 조정은 단순히 업무 협조로 해결될 수 있는 부분이 아니기 때문에 조직 개편과 기능 조정이 선행되어야 함
 - 국토교통부와 환경부의 물 관리 관련 조직의 개편과 기능의 조정·통합이 먼저 이루어지고, 나아가 소관 법령의 통합과 소관 계획까지 통합이 이루어지는 것이 바람직함

다. 국내 수자원 정책 한계 및 전망

- 수자원장기종합계획(2011~2020)은 수자원의 생산 및 소비 양방향 정보를 실시간으로 관리하여 최적화된 활용의 필요성 및 수자원 개발 방향을 제시함
 - 동 계획에 따르면 국내 상수도 보급률 및 수력발전 시설 용량 증가에도 불구하고 이상기후에 의해 지역적 물 공급의 안정성 및 형평성이 취약하며 물 부족 대처능력이 부족할 수 있음.
 - 지역 간 물이용에 대한 합리적 조정 방안이 부재하여 물 부족 상황에 대한 국내 수자원 갈등 상황이 더욱 가중되고 있으므로 수자원 확보·관리 기술과 첨단 기술을 접목하여 수자원의 공급 신뢰성, 안정성 및 효율성을 향상 필요성을 제기함
 - 기후변화에 따른 국내 자원 안보 환경의 예측 및 공업(Energy) 및 농업(Food) 용수로 활용되고 있는 물 이용량을 파악하는 등 WEF Nexus 기술의 개념 및 필요성에 부합하는 수자원 개발 방향을 제시함
- 국토교통부 자원간 연계 개발 및 지원 정책 필요성
 - 세계 물시장 개방 확대에 의해 기술융합형 중심의 물-에너지-식량 연계 기술 개발과 물 위기 대응 및 스마트 물산업 선도를 위한 수자원 중심의 자원관리 기술 개발은 국토교통부에서 중점적으로 추진하고 있는 통합물관리(IWRM) 및 물안보(water security)에서 추구하고자 하는 목적과 부합하며, 이는 국토교통부의 핵심 업무임.
 - 특히 이상기후와 인구증가로 인해 식량과 에너지의 수요가 증가하는 반면 이러한 자원의 근본이 되는 물은 세계적으로 사막화 확산 및 국내의 가뭄 등으로 인해 물관리 부족으로 물공급력이 축소됨에 따라 수자원관리 및 효율적 개발을 주도하는 국토교통부에서 중심이 되어 자원간 위기증폭의 해법을 제시해야 함
- 국가 수자원의 관리자 및 국제사회 기여자로서 정부의 역할 중요
 - 자원 효율성과 효과성을 고려한 한반도 국토 재창조 사업 등과 연계한 인

프라 모델을 개발하고 새로운 글로벌 아젠다인 SDGs를 실현하기 위해서는 우리나라의 경제규모에 맞는 국제사회 기여 요구가 증대되고 있음

- 이를 위해 ODA 사업과 연계한 전략적이고 체계적인 개도국의 수자원개발, 식량확보, 에너지 기반 구축 등의 지원사업 등을 위해 정부지원 필요
- 우리나라는 천연자원으로 부터의 에너지원 발굴, 대규모 농업을 통한 부가가치 창출이 어려운 산업구조를 가지고 있으며, 상대적으로 수자원의 관리 기술과 인프라가 그동안 산업발전과 경제성장에 기여해왔고, 앞으로 4차 산업혁명(Industry 4.0)의 ICT기술과 연계한 첨단 물산업의 육성이 필요한 시점

- 따라서, 국가적으로 물 위기 대응 및 스마트 물산업 선도를 위한 수자원 중심의 물-에너지-식량 넥서스 기술개발을 통한 새로운 국가성장 동력화 추진을 위해서 국가 수자원을 관리하는 주체인 정부에 의한 주도적 연구가 수행되어야 함

라. 국내 에너지 정책 한계 및 전망

- 국내 에너지 안보 상황은 매우 취약한 것으로 평가됨
 - World Energy Council(2013)이 발표한 세계 각국의 에너지 안보 인덱스 순위에 따르면, 한국은 129개국 중 103위로 에너지 안보 상황 매우 취약
 - 님비(NIMBY)현상 확산에 따른 에너지 공급시설에 대한 수용성 악화로 대내적인 에너지 안보 위협 요인 확대
 - 에너지 시장 불안에 대해 우리나라의 에너지 안보를 강화하는 데 있어 공급대책 위주로는 한계가 있음
- 정부 주도의 에너지 안보정책과 병행해 위기에 대한 국내 에너지 시장 영향을 최소화하도록 에너지 시장구조의 패러다임 전환 필요
 - 에너지 가격의 시그널 기능 강화를 통해 시장중심의 탄력적 수요반응을 정책적으로 유도하고, 특히 기후변화, 신흥국 수요 증가 등 대외 여건변화에 시장이 스스로 신축적이고 효과적으로 대응하는 능력 배양 필요
 - 우리나라는 남북이 단절돼 모든 에너지를 해상을 통해 수입하는 에너지 섬(Energy island)의 형태이기 때문에 에너지 공급선을 다변화하고 국제시장과 연계된 거래를 확대하기 위해서는 러시아는 물론, 중국 및 중앙아시아 등 대륙과 연계된 에너지 시장 시스템으로의 전환 필요
- 국내에서는 '02년부터 '14년까지 국내 전력사업의 국제경쟁력 강화 및 기술개발의 촉진과 전력자원의 이용 효율 강화를 목적으로 사업 추진

- 총 사업비 1,255억원 규모의 스마트그리드, 원자력, 신재생 등의 세부 연구를 포함한 에너지연구기반 구축사업을 추진함
- 관련 부처에서는 본 연구로 인한 성과 확산 및 기술지원을 위해 추가로 예산을 확보하여 관련 사업을 추진하기 위한 개선권고방안을 밝혔으며, 이는 수자원 개발 측면과 더불어 최근 국내에서 주목 중인 WEF Nexus 기술과 일부 결부되는 측면이 있을 것으로 판단됨

마. 국내 식량 정책 한계 및 전망

□ 국내 식량 안보의 취약성

- 곡물자급율은 1990년 43.1%에서 2011년 22.6%로 낮아지고, 경지면적도 2,109ha에서 1,698ha로 감소
- OECD 국가 중 가장 자급률이 낮은 상황이며, 특히 쌀(83.0%)을 제외한 밀(1.1%), 옥수수(0.8%), 콩(6.4%) 등의 자급률 매우 저조한 실정
- 국내 밀을 제외한 옥수수, 콩 등은 70~80%가 특정 국가에 집중되고, 곡물 수입의 약 70% 이상을 곡물메이저와 일본계 종합상사에 의존

□ 국내에서는 곡물생산량을 늘이고 해외에서는 곡물의 안정적 도입기반을 구축하는 정책 추진 중

- 국내 추진 중인 식량 정책은 ① 자급률 목표설정 ② 공공비축 곡물확대 ③ 해외 농업개발 확대 ④ 농지보전 강화 ⑤ 국가곡물조달시스템 구축 등이 있음
- 그러나 우리나라의 농업은 소농중심·영세농업, 농가인구의 고령화 그리고 농지이용의 높은 장벽 등으로 식량 증산에 제한적인 구조적 문제 내재
- 좁은 국토와 사계절을 가진 우리나라로서는 로봇 시스템 확산, BT, ITC 등의 융합기술을 중심으로 하는 기술농업이 식량 위기에 대응하는 가장 효과적 대안이나 농업의 구조적 요인으로 기술확산이 부진한 실정
- 농업 부문의 ICT 융합모델 발굴 및 사업을 확산하고, 젊은 농민들을 대상으로 ICT 교육 및 실증·현장 경험의 기회를 제공하면서 농민과 ICT 사업자 간의 교류채널을 구축하고, 정부지원하에 양 부문이 정보와 경험을 교류하도록 다양한 프로그램을 개발하고 해외농업개발 진출 효율화를 위해 기술 및 타 산업과 연계하는 전략의 다양성 확대가 필요

2. 해외 WEF 관련 정책 현황 및 전망

가. 미국

- '09년 '에너지 및 물연구 통합법'이 발의되어 의회에서 논의되고 있음
 - 동 법은 제도측면에서 보다 효율적이고 신뢰도가 높고 지속가능한 에너지와 깨끗한 물 자원의 공급을 위해 에너지부(Department of Energy)의 연구, 개발, 실증 프로그램에서 물 집약도를 고려하도록 보장하는 법임
- 기존의 수권보유자와 새롭게 물에 대한 권리를 주장하는 에너지사업자 사이의 갈등 해소를 목적으로 제2차 리스트이트먼트를 제시함
 - 동 법은 물 사용의 목적, 사용방법의 적절성, 경제적 가치, 사회적 가치, 유해 정도, 유해한 결과의 회피 가능성, 기존 권리의 보호, 기존 권리자가 손실을 감수해야 할 정당성 등의 기준을 제시함
 - 우리나라의 하천법 제53조는 하천법에 따라 허가받은 허가수량의 조정에 관한 근거규정일 뿐, 민법의 공유하천용수권과 하천법상의 하천수사용허가권에 따른 권리의 상충을 조정할 수 있는 기준은 아님
- 수자원에 대한 정책 수립 시 에너지 문제를 간과하지 않기 위해 '09년 Omnibus Public Land Management Act를 제정함
 - 동 법은 국가 수자원 유용성 및 사용 평가 프로그램(National Water Availability and Use Assessment Program)을 내무부(Department of Interior)를 통해 실행하도록 규정함
 - 동 프로그램에 따르면 주무장관으로 하여금 수자원의 유용성에 대한 지속적인 평가를 시행하도록 하고 있는데, 이런 평가의 목적 중 하나로 에너지 생산에 필요한 수자원의 유용성을 예견할 수 있는 능력을 개선하기 위한 기반을 구축하는 것이 제시되어 있음

나. 캐나다

- 캐나다 앨버타 주는 다양한 이해관계자 사이에서 효율적인 수자원 분배를 목적으로 통합 수자원관리체계를 구축함
 - 캐나다 앨버타 주에서의 샌드 오일(Sand Oil) 생산의 경우 수질과 야생동물의 보호를 위한 법과 제도가 구축되어 있음
 - 강물의 저수위 기간 동안에는 최소한의 환경적 흐름을 유지하기 위해 샌드 오일 생산을 위한 취수량을 제한하는 합의가 실현되고 있음

3. 소결

- ☐ 과거에는 개별 자원(물, 에너지, 식량)의 정책 수립에 있어서 타자원의 생산, 공급, 수급 등 연계자원의 현황이 고려되지 않은 형태로 정책이 수립됨
- ☐ 특히 부처별 관련 정책 등이 상호 연관성이 있으나, 구체적인 협업체계가 구축되지 않고 개별자원의 확보 및 생산에 치중하고 있음
- ☐ 이에 반해 국외에서는 자원부처간 갈등해소 및 지속적 확보를 위한 거버넌스적 접근을 통한 해결책을 수행하고 있음
- ☐ 각 자원간의 흐름을 고려한 기술정책 방향성 제시, 중장기적 기술 계획 수립시 기후변화 대응 공동자원 관리의 장기종합계획 수립, 개별적 자원 기술 개발 계획 수립을 뛰어넘는 범부처 기술 정책 수립을 위해서 물-에너지-식량의 연계를 통한 정책 수립이 필요함

3절. 국내·외 WEF Nexus 관련 기술개발 동향

1. 국내 WEF Nexus 관련 기술개발 동향

가. 국내 기술 개발 동향

- 현재까지 국내에서는 물-에너지-식량 넥서스 관련 연구는 개념적인 부분에 집중되어 있고, 요소간의 상호 연관성을 해석하는 기술적인 부분은 부족한 실정임
 - 넥서스 연계해석의 활용을 위해서는 다양한 식량, 물 관리 정책 시나리오를 적용할 수 있는 넥서스 연계해석 기술이 필요함
- 국내에서는 물-에너지-식량 넥서스 기술의 정의와 전략적 필요성에 대해서 정책적 보고서 수준으로 공공 및 민간부문에서 연구수행이 이루어진 바는 없음
 - 해외 녹색산업 정책보고서 ‘물-에너지결합(한국환경산업기술원, 2011)
 - 미래사회 중장기 난제해결을 위한 기술사회적 대응방안 (에너지경제연구원, 2014)
- 물, 에너지, 식량안보에 대한 연구가 부처별로 독립적으로 일부 수행된 사례는 있음
 - 세 가지 자원안보의 복합적 연계상황을 고려한 연구는 진행된 사례가 없음
 - 수자원분야에서는 통합적 접근방식의 스마트워터그리드(SWG) 및 수자원통합관리(IWRM)와 개념적으로는 유사하나 타 부문별 연계는 미흡
 - 국토부 SWG 연구단에서는 첨단 정보통신기술(ICT)을 이용하여 고효율의 차세대 물관리 인프라 시스템 구축을 위하여, (1) 수자원의 안정적 확보 및 시공간적 격차 해소, (2) 수자원 및 수질의 안정적 공급, (3)저에너지, 고효율의 지능형 수자원 설계 및 관리, (4) 글로벌 물 산업 및 패러다임 변화에 능동 대응 및 선도화 연구가 진행중에 있음
 - 스마트그리드 통합실증기술 개발 및 Test Bed구축 사업단에서는 세계 최대, 최첨단 스마트그리드 실증단지를 구축, 스마트그리드 개발기술의 조기 상용화를 위하여, (1) 소비자 에너지 효율화, (2) 전기자동차 확대 기반 구축, (3) 녹색에너지 활용기반 구축 등의 연구를 진행하였음

나. 국내 WEF Nexus 관련 기술개발 현황

- **(K-water)** 국토의 효율적 이용으로 식생훼손 방지 및 친환경 부가가치 창출하고자 댐 호수의 수면을 활용하여 무공해 청정에너지 생산을 위해 수상태양광 사업 추진
 - 육상대비 발전량 10%이상 증대, 광차단 효과로 인한 녹조 증식억제 및 수분증발 방지 등 수상태양광의 장점을 활용하여 K-water에서 물-에너지간 상호 시너지 창출
 - 합천댐 수상태양광 발전시설(100KW) 설치를 시작으로 2030년까지 댐 수면에 1,815MW 규모의 수상태양광 발전소를 건설할 예정
 - 보령댐에 설비용량 2MW 규모의 대규모 수상태양광발전소 준공을 시작(2016년2월)으로 충주댐 3MW 등 수상태양광의 대형화를 본격적으로 추진
 - 보령댐 수상태양광 발전소는 댐 수면 위에 설치한 태양광설비로 연간 700가구가 사용할 수 있는 2,781MWh의 청정에너지를 생산, 4,650배럴의 원유수입 대체효과, 및 약 1,300톤의 CO2 감축효과
 - K-water의 신재생에너지 설비량은 2015년 국내 신재생에너지 설비 총량 7,420MW의 약 18% (1345MW)에 해당
- **(한국전력공사)** 상하수도망의 펌프(모터) 부하를 이용해 전력수요를 실시간 관리하는 지능형 수요관리 기술 개발 및 온실가스 배출량 저감 목적 사업을 추진중임
 - '16년 상하수도 시스템의 전력수요관리 자원에 대한 잠재량 평가 사업을 추진할 예정이며 상하수도 시스템을 전력수요관리 사업에 적용할 경우 그 효과를 정량적으로 평가하고, 이에 근거한 수요관리 인센티브를 설계할 계획임
 - 기존 상수도시스템의 에너지비용 절감을 위한 통합관리제어시스템 개발이 환경부 지원 하에 '14-'15년 간 추진되어, 정수장에 적용한 결과 15% 이상의 비용절감 효과를 거둔 사례가 있음
 - 농업부문의 전기효율 증대 및 온실가스 배출량 저감을 목적으로 농기계 전기화 관련 사업을 추진중임
 - 동 사업은 기존의 화석연료를 사용하는 농기계를 전기농기계로 전환하는 사업임
 - 동 사업을 통해 농업부문의 화석연료 보조금을 정상화하고, 농가의 소득이 증대되며 한전은 전기매출 증대와 농기계를 한전 배전망의 전력품질 관리에 활용하는 기술 개발을 추진함
 - 화력발전소에서 배출되는 온수를 인접한 시설농가에서 시설의 난방용으로 사용하는 기술을 개발을 통해 시설재배농가의 에너지비용을 대폭 절감하는 효과가 기대함

- **(한국지역난방공사)** 롯데타워 및 삼성동 현대자동차 빌딩 개발 계획에 상수도의 냉열을 이용하는 스마트 히트그리드 시스템 적용을 추진중임
 - 건물의 냉방에 상수도시스템의 물을 이용하는 방식으로 상당한 경제성이 확인된 사업모델임
- **(산업통상자원부)** 신재생발전 담수화 기술 개발을 추진함
 - 200톤/일 규모의 소형 담수화 플랜트를 대상으로 신재생발전의 간헐성을 해결하고 발전 전력을 100% 활용하도록 하는 최적제어시스템을 개발함
 - 개발된 기술은 기존 기술 대비 담수생산량이 30% 이상 더 증가하고, 생산수의 품질(TDS)도 개선되는 효과가 도출됨
- **(농어촌공사)** 자사가 보유하고 있는 저수지 등에 태양광발전 설비를 갖추고 이를 통해 한전에 생산전기를 판매(RPS 포함)하는 신재생발전사업을 추진중임
- **(한국환경정책평가연구원)** 물 안보와 관련된 7개 분야에 대한 핵심지표에 대한 검토를 수행함
 - 물 안보와 관련된 7대 분야는 수자원 확보, 홍수·가뭄 방어, 수질 개선, 수생태계 보전, 온실가스 감축, 물 갈등 극복, 정책 수립·이행임
 - 동 연구원의 핵심지표 검토 결과 하천·호소 수질개선'과 관련하여서는 지표가 마련되어 있으나, '온실가스 감축'이나 '물 갈등 극복'과 관련하여서는 지표가 부족하다고 지적됨

다. 국내 WEF Nexus 관련연구 개발 현황

- 기후와 수자원을 연계한 연구가 추진됨
 - PRMS, SWAT, SLURP를 이용하여 국내 전역에 기후변화에 따른 수자원의 영향을 평가함²⁰⁾
 - VIC 모형의 전 지구자료를 이용하여 동아시아지역의 수문해석을 수행함²¹⁾
 - 기후와 식량 생산과 관련된 연구로는 2014년 한국기후변화 평가 연구가 수행되었고, 기후변화에 따른 농업분야의 취약성을 분석한 바 있음(ME, 2014)

20) Bae, D.H., Jung, I.W., Lee, B.J., and Lee, M.H., 2011. Future Korean Water Resources Projection Considering Uncertainty of GCMs and Hydrological Model, Korea Water Resources Association (KWRA), Vol. 44(5): 389-406.

21) Son, K.H., Lee, M.H., and Bae, D.H., 2012. Runoff Analysis and Assessment Using Land Surface Model on East Asi, Korea Water Resources Association (KWRA), Vol. 45(2): 165-178.

- ‘12년 “기후변화 대응을 위한 지속가능한 물관리 법제에 관한 연구”를 통해 지속가능한 물관리를 위한 법제개선을 제안함
 - 동 연구는 국토교통부, 환경부 소관의 기후변화로 인한 홍수 및 가뭄 대응 관련 법령을 분석함
 - 국토해양부는 국토기본법 및 공유수면관리법에 의해 국토의 이용 및 개발 보존, 재해의 방재, 바다/하천/호소에 대한 적절한 보호와 효율적인 이용을 도모함
 - 환경부는 수질 및 수생태관리를 위해서, 환경정책기본법을 비롯하여 7개의 법률에 의해서 환경보전 장기종합계획의 수립, 수변구역 지정 및 관리 등을 추진함
 - 동 연구는 세대간 형평성, 생물학적 다양성의 보존, 지속가능한 한도의 관리, 위험의 평가와 같은 네 가지 기준을 두고 지속가능한 물관리를 위한 법제개선을 제안함

- Nexus와 관련하여 수문분석 연구, 토지이용변화 예측, 용수공급 지속가능성 등과 관련된 연구가 추진됨
 - 하천유지용수, 유입 및 유출량 등과 같은 미래 수문분석의 연구가 주를 이루고 있음(안소라 등. 2013; 조재필 등. 2015; 이재남과 노재경. 2015a)
 - 토지이용변화를 예측(김학관 등. 2011), 미래 용수공급에 대한 지속가능성 연구(남원호 등. 2014b)등이 수행됨

- 미래 기후변화 관련 연구는 강수량, 기온, 증발산량이 증가하는 경향을 보인다는 연구결과가 일반적임
 - 다양한 연구에서 예측 경향은 유사하나 특정기간과 지역, 시나리오, GCM모델 등에 따라 결과는 상이하게 나타남
 - 미래 수문인자에 대한 예측 결과로 저수지 유출량 및 유입량 등이 시나리오, 저수지별로 결과가 상이하게 나타남(조재필, 2015)

- 가뭄전망 연구에서는 일반적으로 가뭄지수 PDSI²²⁾, SPI²³⁾, SWSI²⁴⁾ 등이 주로 적용되었으며(유승환 등, 2012) 적용되는 가뭄지수의 종류에 따라 가뭄평가 결과가 상이하게 나타남
 - 현재까지 국내 연구에서 가장 많이 활용된 가뭄지수는 SPI 가뭄지수임(김병식 등, 2011; 이주현 등, 2012)
 - 다른 GCM과 동일한 기후변화 시나리오에서도 앞서 예측된 결과와 달리 각 모델에 따라 가뭄발생 지역의 결과가 상이하며, 시나리오별로도 가뭄의 시공간적 분포가 다르게 나타남(박범섭 등, 2013)

22) Palmer Drought Severity Index

23) Standardized Precipitation Index

24) Surface Water Supply Index

- 농업적 가뭄을 예측 및 평가하기 위한 가뭄지수로는 토양수분가뭄지수 (Soil Moisture Drought Index, SMDI), 작물수분지수 (Crop Moisture Index, CMI) 등이 있음
 - 식생이나 작물이 받는 수분 스트레스를 잘 나타낼 수 있도록 개발되었지만 이를 이용한 국내 연구는 미흡한 실정임(오국열과 유인상, 2014)
- 적용되는 가뭄지수의 종류에 따라 가뭄평가 결과가 상이하게 나타남
 - SPI 가뭄지수의 경우 강수량을 통해서만 가뭄을 평가하기 때문에 기온 증가에 따른 증발산량을 고려하지 않아 다른 가뭄지수와 상이한 결과를 나타낼 수 있음

2. 부처별 중장기 R&D 전략 분석

가. 국토교통 R&D 중장기 전략(2014) 및 동향조사(2015)

□ 주요배경

- 사회적 패러다임 변화에 선제적으로 대응할 수 있는 국토교통 R&D 중장기 전략 필요
 - 국민의 생명과 재산을 확실하게 보호하는 안전중심의 사회적 패러다임 변화에 선제적 대응이 가능한 국토교통 과학기술 육성이 필요
 - 기후변화와 에너지 고갈 등으로 미래사회에 대한 불안요소가 급증함으로 인해 국민 삶의 안전성 강화 필요
 - ※ 매년 자연재해로 인적·물적 피해 발생, 이를 복구하는데 많은 비용과 시간이 소요되며 최근 10년간(2000~2009) SOC 복구비용은 피해액의 약 2.2배 수준
 - 삶의 질에 대한 만족을 중시하는 사회적 니즈가 확대됨에 따라 국민 생활편리 및 복지에 직접적으로 기여할 수 있는 기술 역량 강화 및 시급성 증대
 - ※ 2012년 행복지수(Quality of life, IMD) 평가결과 우리나라는 59개국 중 22위
- 사회의 모든 분야에서 ICT·BT·NT 등 과학기술과의 융·복합 진행
 - 정보통신기술, 생명공학, 나노기술, 문화기술 등 기술융합을 기반으로 새로운 혁신 기술 출현 및 융합기술의 미래 경쟁력 주도 전망
 - ICT 기반의 선택적 융합을 통해 신개념 기술, 제품과 신산업 창출 강화
- 에너지·기후변화 등으로 환경 이슈가 증가
 - 지구 온난화 심화, 이상기후 현상 증가 및 경제발전에 따른 대기, 토양, 지하수 오염 등 환경오염 심화
 - 환경오염, 기상이변, 물부족 등에 따른 환경안보의 중요성 부각 및 쾌적한 생활환경에 대한 욕구 증대
 - ※ 국내 자연재난 피해현황(인명/재산) : (2008) 11명/637억원 → (2012) 16명/1조 892억원

○ 에너지·자원 확보 경쟁

- 전세계적 화석 에너지 고갈 및 신흥국 중심의 자원 수요급증 등으로 국가 간 에너지·광물자원 확보 경쟁 심화
- 지속가능한 경제활동의 패러다임 전환과 태양열, 풍력 등 신재생·대체에너지 및 이용 효율화 기술 개발 가속화

※ 2035년 세계 에너지 수요 1/3 이상 증가 예상(세계에너지전망, 2012)

○ 안전하고 편리한 국토공간 조성

- (현황) 국민소득 증대로 안전·편의 등 삶의 질 제고에 대한 욕구가 커지고, 각종 공공 서비스에 대한 기대치가 높아지고 있으나,
- 도시화 및 인구밀집으로 인해 자원의 효율적 배분·관리 문제는 물론, 안전과 편의를 저해하는 각종 사회문제 발생
- 또한, 이상기후 현상과 맞물려 도시침수, 토사재해, 가뭄 등 재난·재해 발생 위험 및 피해규모가 커지고 있어 대책 마련 시급

○ 에너지소비 증대 및 석탄/석유 자원 고갈 우려, 온실가스 배출규제에 따라 각국은 기존 석탄/석유 자원을 대체하는 에너지 보급 확대를 추구

- 현재 석탄/석유 자원 의존도는 80%에 육박하고 있으나 '50년을 전후하여 석탄/석유 자원 고갈이 예상됨에 따라 기존 에너지자원을 대체하는 에너지 자원 개발에 초점
- 후쿠시마 원전사고 이후 각국은 일시적으로 원전신규건설계획을 보류하였으나, 현재는 전반적으로 안전성을 강화하여 기존 건설계획을 유지하려는 추세
- 새로운 에너지 발전 플랜트 기술은 주로 경제성 문제로 인해 상용화 및 보급에 어려움을 겪고 있으며, 건설 및 운영비용을 저감할 수 있는 기술개발과 함께 신재생에너지 보급 확대를 위해 세제혜택, 구축 비용 지원 등 보급 확대 정책을 병행하여 추진

○ 온실가스 배출저감 정책, 화석에너지의 고갈에 따라 각국은 신재생에너지 기술개발 투자에 집중

- 노후플랜트의 안전성 및 정밀성 향상 기술개발이 추진 중
- 미래자원 고갈에 대비한 심해저자원개발, 비전통 석유가스자원개발 연구가 진행중이며, 특히 메탄하이드레이트 관련기술이 주목
- 각국은 지형적 특성에 맞는 신재생에너지기술개발을 추진중이며, 국내에서는 해상에너지분야에 집중

○ 해수담수화 플랜트는 담수생산능력을 증대하기 위해 RO막의 대형화, 공정 최적화, 전처리시설의 수처리 성능향상 기술 등이 개발되고 있으며, 국내는 역삼투막 기반 해수담수화 공정 및 초순수 공정을 개발하여 실증시설을 구축하여 운영중

□ 주요분야 및 핵심기술 (Nexus 관점)

- (기술동향) 도시내 각종 시설물과 자원 등을 안전하고 효율적으로 관리하기 위해 ICT, 센싱, 빅데이터 등 첨단기술 적극 활용
 - 복잡한 도시의 기능들을 센싱을 통해 실시간 모니터링함으로써 사고를 예방하고, 사고 발생시에도 자동 응급 복구 시행
 - 또한, 수자원 등 도시 내 자원·에너지 등을 순환·재활용하고, 사람·사물의 실시간 흐름을 빅데이터로 관리
- (중점 프로젝트) 도시·국토 공간이 안전하고 편리해질 수 있도록 첨단기술을 활용하여 도시와 시설물 자동관리, 수자원의 안정적·효율적 관리 도모
 - (국토·도시공간) 교통물류 최적화, 자원·에너지 순환·재활용, 사고·재해 상황 실시간 관리 등 스마트하고 친환경적인 도시·국토 구현
 - (인프라 관리) 사물통신을 기반으로 시설물 성능·안전성을 실시간 모니터링하고, 자동으로 유지보수하여 안전사회 구현
 - (물관리) 도시 내 수자원을 자급자족하고, 재해를 예방하기 위해 분산형 물 관리 추진

〈표 3.3〉 국토교통부 미래 중장기 R&D 중점분야

중점분야		정 의
1	설계엔지니어링 및 글로벌 표준화기술	- 사업의 타당성 조사, 기획, 설계, 분석, 구매, 조달, 시험, 감리, 시운전, 평가, 자문, 지도 등 건설사업관리 활동 및 이에 대한 글로벌 표준화
2	건설재료 개발 및 활용기술	- SOC 시설물의 구조를 구성하는 콘크리트, 강재 등의 주요 재료에 대해 기존보다 성능이 우수하고 유지관리가 용이하며 친환경적인 고성능·다기능 신소재 및 복합재료를 개발하여 건설분야에 활용
3	시공자동화·효율화 및 특수구조물 구축기술	- 기계화, 자동화, 로봇기술 등 첨단기술을 건설분야에 도입하여 시공프로세스를 효율화하고, 미래형 신공간 창출을 위한 특수구조물 (초장대 교량, 터널 등)을 구축하는 기술
4	재난·재해대비 시설물 유지관리 및 건설안전 기술	- SOC 시설물의 효율적인 유지관리를 통해 사회적 비용을 절감하고, 건설 및 자연재해를 예방·대비하기 위한 선제적 대응체계 구축 기술
5	안정적 수자원 확보	- 한정된 수자원을 효율적으로 활용하고 가용수자원의 시·공간적 불균형을 극복 함으로써 물 부족으로 인한 국민 피해를 예방 또는 최소화하여 국민 물 복지를 극대화 할 수 있는 기술
6	지능형 수자원 관리	- 기존 수자원 관리 시스템이 지니는 한계성 극복 및 관리 효율성 제고 를 위해 ICT 등 첨단 기술과 융합된 지능형 수자원 관리 기술
7	지속 가능한 하천 관리	- 하천의 지속가능한 통합관리 를 위한 자연친화형 하천조성 및 유역과 하천특성을 고려한 수리시설물의 설계·시공 및 유지관리 기술
8	기후변화 대응 수재해 예방	- 도시 및 유역을 대상으로 수재해 대응 및 방어시스템을 구축하고 기후변화 에 따른 미래 수문·수자원 변동 및 극한 수재해에 유연하게 대응 할 수 있는 사전 예방차원의 적응 기술
9	담수화 기술	- 해수나 저급수 등을 전처리, 증발, 막방식(역삼투, 정삼투, 나노필터, 막증발 등) 공정을 구성하여 담수를 생산 하는 기술
10	가스·비전통 자원화 기술	- 가스·오일·비전통 에너지원 부존지역에 대한 채굴 원료의 처리·전환 을 통하여 유용한 에너지원으로 활용 하기 위한 기술
11	자원 이송 및 순환기술	- 원격지의 가스, 오일 등을 수요처로 이송, 지역 내 유틸리티 (에너지, 물, 물질 등)의 생산·공급, 순환이용 기술로서 주로 장거리 배관계통이나 중계기지 및 핵심설비, 운영 및 유지보수 기술
12	플랜트건설 자원인프라기술	- 플랜트 건설사업의 효율적인 수행을 위한 설계·해석·사업관리, 원격 시공·운영, 친환경적인 발전시설 의 핵심설비 탑재를 위한 기초·구조물, 단지 규모의 계획 및 건설과 운영, 개발기술의 활용성 제고와 중소기업의 글로벌 진출 에 필요한 지원 기술
13	건축계획 및 디자인	- 건설기술 및 환경 변화에 신속하게 대처할 수 있는 선진국 수준의 국내 설계기준 및 시방서 마련, 한스타일 건축공간 창출을 위한 목조건축 및 한옥 기술력 강화
14	건축 환경 및 설비	- 거주자 쾌적성 향상을 위한 건축 환경·설비 기초원천 및 핵심기술 개발
15	건축재료·구조·시공	- 건설기술 및 환경 변화에 신속하게 대처할 수 있는 선진국 수준의 건축구조 첨단화 및 고부가가치화 기술

중점분야		정 의
16	건축공정·운영·유지관리	- 안정적인 국가 에너지 수요 관리 및 건축 부문 온실가스 저감을 위한 건물에너지 통합 관리 기반 구축 기술, 통합발주 기반의 공정관리 핵심기술 및 국내 리모델링 및 해체시장 확대를 위한 해체 및 복원 기술 국산화
17	융·복합 건축	- 해외건설시장 진출 확대를 위한 미래 특수건축기술 확보로 고부가가치 신성장 동력 및 건설산업 일자리 창출
18	도시공간 계획 및 조성	- 도시환경 변화를 수용할 수 있는 도시 기획, 계획 및 설계, 시공, 운영관리 등 도시조성 과정 전반을 패키지화 하는 도시공간 생활인프라 및 실행체계 구축
19	스마트 친환경 도시	- 첨단기술(ICT)과 친환경 및 생태 친화적 도시 조성기술 을 융합한 지속가능한 스마트 도시 조성
20	도시 운영 및 관리	- 기후변화 대응 을 위해 에너지 및 자원순환 , 탄소저감 및 열환경 관리, 안전한 도시공간 조성 등 효율적인 도시 운영 및 관리 실현
21	도시재생	- 경제·사회·문화 등 도시의 종합적인 기능 회복을 통한 주거복지 실현 및 지역경제 활성화 를 위한 기술개발 및 실증
22	지속가능한 복지주택	- 주거복지 사각지대 해소 및 살기 좋은 주거환경 조성을 위한 지속가능한 복지주택 기술
23	미래형 스마트주택	- 미래지향적 주거공간 창출을 위하여 융·복합 기술 을 기반으로 에너지 사용관리, 건강관리, 재해·재난의 예방 및 대응 등이 가능한 미래형 스마트 주택 구현
24	수요자 맞춤형 주택	- 주택공급 중심에서 품질관리로 주택관리방향 전환 및 수요자의 다양한 요구에 대응 할 수 있는 수요자 맞춤형 주택 기술
25	자산가치 창출형 주택	- 주택의 생애주기 대응 유지관리 및 노후주택 리모델링을 통해 중고주택의 사용수명 연장 및 자산 가치를 향상 시킬 수 있는 자산가치 창출형 주택 기술
26	주택 인프라 기반구축	- 주택의 균등한 품질관리를 위한 주택표준화 기술과 선진 주거환경 조성을 위한 주택관련 인프라 구축
27	공간정보 인프라기술	- 국토공간정보를 효율적이고 체계적으로 생산 및 가공하기 위한 국토공간정보 인프라 기술
28	공간정보 응용기술	- 국토공간정보 기본기술과 데이터를 연계 하여 시각화, 지식전달 및 의사결정을 지원하기 위한 국토공간정보 응용기술
29	공간정보 융합 서비스 기술	- 국민의 안전, 복지와 편의를 향상 시키고 산업발전에 기여하는 다양한 국토공간정보 서비스 활용 및 융합 서비스 기술
30	사고없는 안전교통	- 교통사고 최소화 및 사망자 Zero”의 목표를 달성하기 위하여 운전자-차량-도로환경을 고려한 사고예방 및 피해경감 기술
31	막힘없는 첨단교통	- 국민에게 막힘없는 도로주행환경을 제공하기 위하여 교통-차량-도로-통신 등의 융·복합을 통한 차세대 교통 기술
32	공해없는 청정교통	- 온실가스를 획기적으로 감축 하기 위하여 친환경 도로 교통수단·운영체계 등 쾌적한 교통환경 제공기술
33	차별없는 복지교통	- 소득, 거주지역, 신체상태와 관계없이 국민 누구나 공정하고 편안하게 이용이 가능한 인간중심의 교통서비스

중점분야		정 의
34	단절없는 물류교통	- 수송·하역·보관·포장 등 물류분야 프로세스 개선 및 물류에너지 감소 등을 통한 물류비용 최소화 기술
35	철도 수송력 향상 기술	- 철도의 대용량·고속화와 고밀도 철도 운영을 통한 철도 수송분담률을 향상시키고, ICT 등 타분야와의 융·복합 기술 및 신개념 철도 추진·제어 기술 개발을 통한 철도 산업·기술경쟁력 제고
36	철도 안전·편의 향상 기술	- 철도사고 발생을 원천 차단하여 철도안전성을 확보하고, 철도 이용객 혼잡도·접근성을 개선하는 등 철도 이용의 편의성과 쾌적성 향상
37	철도건설·운영비 절감 기술	- 건설비 저감기술을 개발하여 경제적인 방법으로 철도망을 확충할 수 있도록 하고 유지보수비·에너지 절감 등 철도 운영 효율화
38	철도 소재·부품·장치 고도화 기술	- 철도 운영 및 유지보수 효율화를 위한 철도 핵심부품·장치의 설계 및 제작기술, 신뢰성 확보 기술
39	항공기 시스템	- 항공기 개발단계에서 설계·제작·인증 등 항공기 안전인증 기술을 확보하고, 개발 후 운항중인 항공기의 정비·수리·개조 등 운항안전 정비기술 확보
40	항공기 사고예방	- 세계 최고의 항공교통 안전수준을 달성하기 위해, 매년 사망사고가 발생하고 있는 민간 항공기 사고예방 기술
41	항행관제	- 안전하고 효율적인 항공기 운항을 관리·운영하기 위한 항공통신(C), 항공항법(N), 항공감시(S), 항공교통관리(ATM) 분야 기술
42	공항운영	- 공항을 이용하는 국민의 편의 증진을 위한 여객 처리 프로세스, 공항관리·운영 효율성 향상 및 안전성 보장을 위한 운영체계

〈표 3.4〉 국토교통부 국가중점과학기술별 연관정책

국가중점과학기술		중점분야 연관성 검토
1	지능형 교통시스템 기술	- 사고없는 안전교통, 막힘없는 첨단교통, 공해없는 청정교통, 차별없는 복지교통
2	지능형 물류체계 기술	- 단절없는 물류교통
3	첨단철도기술	- 철도수송력 향상 기술, 철도안전·편의향상기술, 철도건설·운영비 절감 기술, 철도소재·부품·장치고도화기술
4	ICT기반 친환경 도로 기술	- 사고없는 안전교통, 막힘없는 첨단교통, 공해없는 청정교통, 차별없는 복지교통, 단절없는 물류교통
5	첨단플랜트 원천기술	- 담수화기술, 가스·비전통 자원화 기술, 자원이송 및 순환 기술 , 플랜트건설 자원인프라 기술
6	환경친화 자동차기술	- 공해없는 청정교통
7	스마트 자동차 기술	- 사고없는 안전교통, 막힘없는 첨단교통
8	미래형 유인항공기 기술	- 항공기시스템, 항공기 사고예방
9	지능형 무인 비행체 기술	- 항공기시스템, 항공기 사고예방

국가중점과학기술		중점분야 연관성 검토
10	수자원 통합관리시스템 기술	- 기후변화 대응 수재해 예방, 담수화기술
11	기후변화 감시 예측 적응 기술	- 지속가능한 하천관리, 기후변화 대응 수재해예방
12	지능형 건물제어기술	- 지속가능한 복지주택, 미래형스마트주택
13	서비스 로봇 기술	- 시공자동화/효율화 및 특수구조물 구축기술, 건축재료·구조·시공
14	고효율 에너지 빌딩 기술	- 설계엔지니어링 및 글로벌 표준화 기술, 건축환경 및 설비, 건축재료·구조·시공, 건축공정·운영·유지관리
15	슈퍼 건설재료 및 자재 기술	- 건설재료 개발 및 활용기술, 건축환경 및 설비, 건축재료·구조·시공, 지속가능한 복지주택
16	초고층 건물 건설 기술	- 설계엔지니어링 및 글로벌 표준화 기술, 건축계획 및 디자인, 건축공정·운영·유지관리, 융·복합건축
17	최첨단 인프라 구조물 건설 기술	- 설계엔지니어링 및 글로벌 표준화 기술, 시공자동화/효율화 및 특수구조물 구축기술, 주택인프라 기반구축
18	국토정보 구축 활용기술	- 철도건설·운영비 절감 기술, 공간정보 응용기술, 공간정보 융합서비스 기술, 단절 없는 물류교통, 항행관제, 공항운영
19	미래첨단 도시 건설 기술	- 설계엔지니어링 및 글로벌 표준화 기술, 도시공간계획 및 조성, 스마트 친환경도시, 도시운영 및 관리, 도시재생 주택인프라 기반구축
20	복합 지하 대공간 활용기술	- 건축계획 및 디자인, 건축재료·구조·시공, 융·복합건축
21	자연재해 모니터링 예측 대응기술	- 재난·재해대비 시설물 유지관리 및 건설안전기술, 기후변화 대응 수재해 예방
22	재난 정보통신 체계 기술	- 지속가능한 복지주택, 미래형 스마트주택, 주택인프라 기반구축, 공간정보 인프라기술, 공간정보 응용기술, 공간정보융합 서비스기술, 철도안전·편의향상기술, 항공기 사고예방
23	기반시설 기능 유지 및 복구 복원 기술	- 재난·재해대비 시설물 유지관리 및 건설안전기술, 철도건설·운영비 절감기술, 항행관제, 공항운영
24	사회적 복합재난 예측 대응기술	- 재난·재해대비 시설물 유지관리 및 건설안전기술, 기후변화 대응 수재해 예방, 사고없는 안전교통, 철도안전·편의향상 기술, 항공기 사고예방, 공항운영

나. 제2차 농림식품과학기술 육성 종합계획

□ 주요배경

- (농가인구 감소 및 고령화) 농가인구 감소, 고령화 등으로 인해 농림업 저성장 구조 지속

- 65세 이상 농가인구 비중('90년 11.5% → '14년 39.1), 도·농간 소득격차 비율('90년 97.4% → '14년 62.2)
- (한·중 FTA 등 시장개방 확대) FTA 등 시장개방 확대에 따른 국내 농산업 글로벌경쟁력 강화와 수출 지원을 위한 연구개발 필요성 증대
 - FTA 추진현황('15.1) : 발효 및 타결 16건(54개국), 진행 3건(인도네시아, 한중RCEP), 재개 여건 조성 3건(8개국), 준비 또는 공동연구 4건(12개국)
- (농업에 대한 인식전환 및 여건조성) 미래의 성장동력 산업으로서 농업에 대한 인식전환 등 과학기술 기반 농업 여건이 조성
- 기술수준 향상에 대한 농업현장의 낮은 체감도) R&D 투자 확대('08년 5,709억 원 → '14년 8,934)에 따른 기술수준 향상에도 불구하고, 농업 현장의 체감도는 낮은 상황
 - 농림식품 분야 기술수준 : 세계최고 대비 ('09) 67.4% → ('12) 75.4 →('14) 76.1
- (R&D 정책 연계 통합조정 필요) 부·청 등의 다양한 농림식품 R&D 정책의 연계·통합 및 효율적 조정을 위한 R&D 시스템 개편 필요
 - 추진내용의 중복성이 높은 농식품부·농진청의 중장기 계획의 연계 또는 통합 권고(2013년 과학기술분야 중장기계획 조사분석, 국과심)

□ 주요분야 및 핵심기술 (Nexus 관점)

- 동 종합계획(안)에서는 4대 중점, 14대 분야, 50대 핵심전략기술을 제시하였으며, Nexus 관점에서 고려할 수 있는 핵심전략기술은 12개 기술임
 - 이 중 물-식량, 식량-에너지 관점이 연계된 기술은 4, 7, 11, 14, 15, 16, 28, 29, 30, 31, 48, 50번 핵심전략기술임

〈표 3.5〉 농림축산식품부 미래 중장기 R&D 중점 분야

4대 중점	14대 분야	50대 핵심전략기술
글로벌 경쟁력 강화	농산업 체질개선	1. 축산물 품질 고급화 및 생산성 향상 기술
		2. 친환경 통합 가축분뇨 처리 기술
		3. 첨단 친환경 축사 개발
		4. 신선 농산물 수확후 관리 및 선도유지 저장유통 기술
		5. 환경내성/복합병 저항성 고품질 원예특용작물 신품종 육성
		6. 원예용 첨단 자재 산업화 기술 개발
		7. 원예작물 안정생산 및 시설원예 에너지 절감 기술
	고부가 가치식품	8. 질량개선 고부가가치 기능성 식품개발 기술
		9. 고품질/고소득 발효식품 소재화 및 실용화 기술
		10. 농식품 편이가공 및 식재료 해동기술
		11. 식품가공공정 효율성 향상 통합 생산관리 시스템
		12. 체질별 맞춤형 장기능 개선 천연소재 개발
	ICT 융합	13. 첨단 농림기계 기반기술
		14. 지능형 정밀농업 생산구현 기술
		15. 수익형 식물공장 비즈니스 모델 개발
		16. 지능형 농업용수 통합제어 시스템

4대 중점	14대 분야	50대 핵심전략기술
신성장 동력 창출	농생명 신소재	17. 안전한 식품 유통관리를 위한 항미생물 신소재 개발
		18. 환경 친화요소 “Zero“화 바이오 플라스틱
		19. 기능성 아미노산 소재 개발 및 대량 생산
		20. 목질자원 친환경 신소재 개발
	농생명 바이오 의약 미용 소재	21. 고부가 의약·미용 소재개발 및 제품화
		22. 동물바이오 이중장기 개발 및 실용화 기술
		23. 동식물유래 유용소재 대량 생산기술 개발
	농생명 유전체	24. 농생명 유전체 정보분석 및 응용기술 개발
		25. 유용 유전자 특성 규명 및 활용 연구
	Golden Seed 프로젝트	26. 수출 및 수입대체 맞춤형 종자 개발
농업/농촌 에너지	27. 고효율 종자 생산·가공·처리 및 실용화 시스템	
	28. 바이오에너지 원료작물 대량 생산 기술	
	29. 바이오에너지 고효율 생산 및 산업화 기술	
	30. 목질계 바이오에너지 및 목질성분 활용 기술	
안정적 식량 공급	식량 자급률 제고	31. 고품질/고생산성 주곡 신품종 개발 및 안정 생산 기술
		32. 발작물 생산성 증대 기술
		33. 조사료의 품질 및 생산성 향상 기술
	기후변화 대응	34. 기후변화 적응 품종 개발 및 생산기술 개발
		35. 농림축산 기상재해 실시간 첨단 예측정보 시스템
		36. 농림축산 기후변화 영향 평가 및 예측 기반 기술 구축
	재해질병 방제	37. BIT 융복합 병해충·질병 신속진단 기술
		38. 농림축산 질병 역학적 특성 규명 기술
		39. 가축질병(인수공통감염병 포함) 예방 및 치료기술
		40. 국내외 통합 질병 방역체계 구축
국민 행복 제고	농업·농촌 가치제고	41. 농촌경관·전통자원 보전 및 문화콘텐츠화 기술
		42. 농업인 안전재해 원인구명 및 예방기술 개발
		43. 그린타운 조성 및 첨단 도시농업 모델 개발 기술
		44. 귀농·귀촌 정착 지원 기술
	산림경영 에너지 등 고도화	45. 산림복지 서비스 증진 기술
		46. 고부가가치 산림자원 조성 및 육성 기술
		47. 임산소득자원 신품종 개발 및 재배기술
	안전한 먹거리 생산	48. 농림 생산물 및 위해 물질 안전관리
		49. 전주기 축산식품 안전관리체계 구축 기술
		50. 농식품 유통단계 안전 및 품질관리

○ 농림부의 핵심전략 기술 중 Nexus 관점에서 확인이 가능한 기술은 ICT 융복합을 통한 지능형 정밀농업기술, 지구온난화 등 기후변화에 따른 안정적 식량 수급 대응기술, 농업분야에 신재생에너지 활용 확대 기술 등으로 구분할 수 있음

- ICT 융복합을 통한 지능형 정밀농업 관련기술은 4, 7, 14, 16번 기술과 연계됨
- 4. 신선 농산물 수확후 관리 및 선도유지 저장유통 기술’은 지능형 수확후 관리기술, 에너지 절감형 수배송 시스템, ICT 융합 유통관리 시스템 등으로 구분됨
- 7. 원예작물 안정생산 및 시설원예 에너지 절감 기술’은 ICT 융복합화 기술 활용 시설환경 제어기술, 친환경 에너지 활용 재배 시스템 등으로 구분됨

- 14. 지능형 정밀농업 생산 구현 기술'은 정밀농업 정보처리 기술, 한국형 정밀농업 현장적용 기술 등으로 구분됨
- 16. 지능형 농업용수 통합제어 시스템'은 농촌용수 실시간 예측·대응 및 운영기술, IoT 기반 수리시설 원격제어 시스템 등으로 구분됨
- 기후변화에 따른 안정적 식량 수급 대응 관련기술은 11, 15, 31, 48, 50번 기술과 연계됨
- 11. 식품가공공정 효율성 향상 통합 생산관리 시스템'은 환경친화형 고효율을 저에너지 식품제조 공정 기술, 고효율 수확후 생산·유통모델 기반 구축 등으로 구분됨
- 15. 수익형 식물공장 비즈니스 모델 개발'은 식물공장 복합환경조절시스템 개발 및 표준화, 에너지 자립형 식물공장 수익모델 등으로 구분됨
- 31. 고품질·고생산성 주곡 신품종 개발 및 안정생산 기술'은 벼 고품질 우량 품종 육성 및 고품질 쌀 생산 기술, 밀 초다수성 품종육성 및 생산비 절감재배기술 등으로 구분됨
- 48. 농림 생산물 및 위해물질 안전관리'는 저투입 및 자원순환형 친환경·유기농업 기술 등으로 구분됨
- 50. 농식품 유통단계 안전 및 품질관리'는 고효율/표준화 물류 안전시스템 기술, 안전기반 스마트 식품유통시스템 기술 등으로 구분됨
- 농업분야에 신재생에너지 활용 확대 관련기술은 28, 29, 30번 기술과 연계됨
- 28. 바이오에너지 원료작물 대량생산 기술'은 고생산성 바이오에너지 작물 육종 기술, 원료작물 고효율·저비용 생산 기술 등으로 구분됨
- 29. 바이오에너지 고효율 생산 및 산업화 기술'은 섬유질 및 목질계 열화학적 바이오연료 생산 확대 기술, 통합 바이오매스 에너지화 단지 실증 등으로 구분됨
- 30. 목질계 바이오에너지 및 목질성분 활용 기술'은 기체, 액체, 고체 바이오에너지 생산기반 기술, 목질계 고형 바이오연료 품질 제고 등으로 구분됨

다. 2014 에너지기술 이노베이션 로드맵

□ 주요배경

- (공유경제 사회) ICT 기술발전으로 자동차 등 개인소유물뿐만 아니라, 에너지인터넷을 구축하여 에너지를 주고받으면서 사회적 이윤을 나눠가지는 사회
- ICT기술을 적용한 에너지수요관리 플랫폼을 구축하면, 지역 공동체 사람들 간 에너지라는 공공재를 거래하는 에너지 공유경제 등장 가능(The zero marginal cost society, Jeremy Rifkin, 2014)
- (초연결 사회) 사물인터넷(IoT), M2M 등의 기술발전으로 인간과 기계, 기계와 기계 등 연결 범위가 확대되는 사회

- 2025년 80억 명이 온라인으로 활동(The new digital age, Eric Schmidt, 2013), CISO(2011)는 2020년 네트워크에 연결된 디바이스가 500억 개로 예상
- (제로에너지 지향 사회) 대체에너지, 친환경에너지 사용 등으로 에너지 사용을 최소화하고, 온실가스를 줄이면서 지속가능성장이 중요시되는 사회
- 에너지 문제의 삼중고(Trilemma), Security(에너지안보), Equity(에너지평등), Environmental Sustainability(환경 지속성)를 돌파하여 지속가능한 성장이라는 미래 사회가 직면한 문제를 해결(2013년 WEC 대구에너지총회)

□ 주요분야 및 핵심기술 (Nexus 관점)

- 동 로드맵에서는 17대 프로그램, 75개 프로젝트, 274개 중점기술로 구분되었으며, Nexus 관점에서 고려할 수 있는 기술은 고효율화 기술, 바이오매스 관련기술, 에너지 수요·공급 안정성 확보기술, IoT+Big Data 활용기술 등으로 구분할 수 있음
- 2014 에너지기술 이노베이션 로드맵의 경우 중점기술을 시스템, 품목으로 구분하여 에너지-물, 에너지-식량 관점에서 직접적으로 관련기술을 판단하기 어려운 측면이 있음
- 다만 Nexus 관점에서 고려할 수 있는 기술은 적은자원 투입을 통해 많은 공급량을 생산하는 개념인 고효율화 기술, 식물자원을 활용한 에너지 생산 기술, 에너지 수요·공급 안정성 확보 기술, IoT+Big Data를 기반으로 한 통합관리 시스템 등으로 구분할 수 있음
- 고효율화 기술로는 기존 화력발전대비 고효율화를 도모하는 고효율 청정화력 발전, 인프라기기 효율향상을 도모하는 스마트 FEMS, 전력사용의 저비용/고효율을 증진시키는 수요대응형 ESS, 채2의 저비용·고효율 포집을 도모하는 CCUS, 고효율 소형발전 시스템인 미래형 에너지 발전, 에너지 변환 및 저장 효율화를 도모하는 미래형 고효율 에너지 변화·저장 등이 포함됨
- 식물자원을 활용한 에너지 생산기술은 바이오매스를 활용하여 재생가능한 연료를 생산하는 차세대 청정연료 등이 포함됨
- 에너지 수요·공급 안정성 확보기술은 양방향 전력 Network 최적 운영지원 기술이 포함된 차세대 송배전, 전력망 연계를 통한 스마트 마이크로그리드, 국가차원의 에너지수요/공급 안정성을 도모하는 에너지 네가와트시스템 등이 포함됨
- IoT+Big Data 활용기술로는 개방형 정보관리기술인 에너지 IoT + Big Data 플랫폼이 포함됨

〈표 3.6〉 산업통상자원부 미래 중장기 R&D 중점 분야

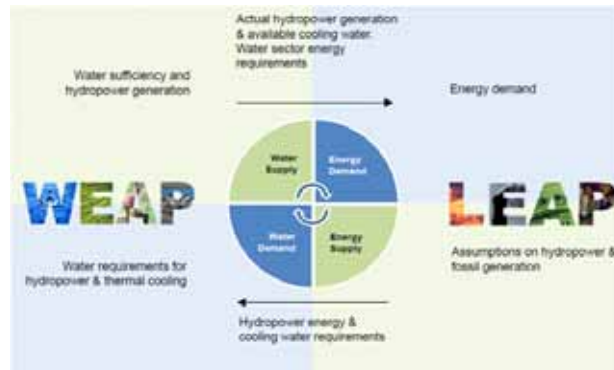
분야	프로그램	주요내용
에너지공급분야	차세대 전략 자원개발	- 차세대 전략 자원 확보를 위한 비전통 자원의 탐사, 시추, 생산 기술 및 전략광물 탐사·개발 기술
	고효율 청정화력 발전	- 저급 연료 등 연료다변화를 활용하여 기존 화력발전 대비 고효율화 및 CO2 저감을 달성할 수 있는 기후변화 대응형 청정화력 발전시스템
	국민안심 원자력발전	- 국민 수용성에 기반한 안전성 최우선으로 변화하는 원전산업의 패러다임에 대응할 수 있는 ‘원전안전 및 수용성’ 강화 기술 및 시스템
	신재생에너지 하이브리드 시스템	- 발전단가 저감을 위해 신재생에너지를 포함하는 둘 이상의 발전 장치를 전력저장장치와 결합한 전력공급 기술 및 시스템
	차세대 청정연료	- 바이오매스 , 유기성폐자원 등 비화석원료 자원을 화학적-생물학적 전환기술을 이용하여 재생가능한 연료를 생산함 으로써 화석 연료를 대체하는 기술 및 저등급 석탄, 비재래형 유분, 가스 등으로부터 액체 화석연료를 생산하는 기술
	차세대 송배전	- 고전압의 AC 전력 송전 또는 DC로 변환하여 송전하는 기술로, 국가간 전력연계, 대용량 풍력연계, 대규모 전력계통 분리 및 양방향 전력 Network 최적 운영 지원 기술
에너지수요관리	스마트 홈·빌딩	- 전통건축기술과 ICT 등 첨단기술 융합을 통한 건물 산업의 신시장 비즈니스 모델 창출 및 핵심 기술
	스마트 FEMS	- 에너지 다소비 산업군에서 공통으로 사용되고 있는 공장 인프라 기기의 효율향상 및 에너지 설비들의 효율 분석 기반 에너지 절감 솔루션
	스마트 마이크로그리드	- 충분한 양의 분산자원과 부하가 지역적으로 통합, 관리되어 기존 전력망과 연계 혹은 독립 운전이 가능한 하나의 제어 가능한 Entity로서의 전력망
	에너지 네가와트시스템	- ICT 기술을 기반으로 ESS, EMS, TEN, 분산발전 자원 등의 에너지 (전기, 열)를 통합하여 국가 차원의 에너지 수요/공급 안정성을 확보하고, 공급인프라 확충 부담을 줄여주는 Total Energy Solution Service
	수요대응형 ESS	- 저비용으로 생산된 전력을 전력저장시스템에 저장했다가 전력부족 시기에 공급하거나, 전력의 품질이 불안정한 경우 안정화하여 전력 계통에 공급하여 전력사용의 저비용/고효율/안정화를 증진 시키는 에너지 저장시스템
	CCUS	- 발전소/제철소 등 대형 배출원에서 CO2를 저비용·고효율 로 포집 하고 안전하게 저장하거나, 포집된 CO2를 직접 또는 전환하여 활용하는 사업
에너지혁신	미래형 에너지발전	- 중소형 분산발전 방식에 대비한 고효율 소형 발전 시스템 및 에너지 자립형 발전 시스템
	무선전력 송수신	- 전기에너지를 무선 전송이 가능한 전자기파 또는 광파로 변환하여 무선으로 전력을 전달하는 기술

분야	프로그램	주요내용
	미래형 고효율 에너지 변환·저장	- 열에너지, 전기에너지 등을 화학에너지 형태로 효율을 최대화 하여 변환하거나 저장하는 기술
	3D 프린팅 기반 최신회조공정	- 3D 프린팅 기술 적용을 통한 에너지 소자 및 부품의 제조공정 혁신 기술
	에너지 IoT + Big Data 플랫폼	- IoT 에너지 데이터 수집과 분석용 빅데이터 SW를 기반으로 한 개방형 정보관리 및 에너지 효율화 기술

3. 해외 WEF Nexus 관련 기술개발 동향

가. 기관별 WEF Nexus 기술개발 동향

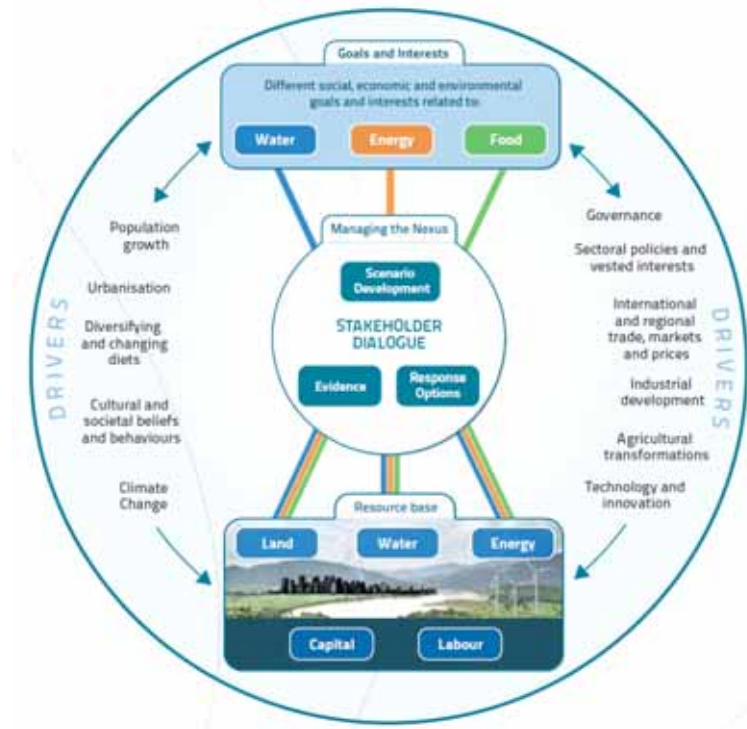
- NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration)
 - NOAA와 California Energy Commission의 공동연구를 통해 수자원 해석모형인 WEAP와 에너지 평가모형인 LEAP를 연계한 기술을 개발
 - Water-Energy nexus, Water-Food nexus, Water-Food-Energy nexus, Water-Food-Energy-Climate nexus 등 많은 연계기술들이 개발되고 있음.



[그림 3.6] WEAP-LEAP 연계기술 (NOAA, 2012)

- FAO (Food and Agriculture Organization)
 - FAO에서는 넥서스 시스템 구축을 위해서는 먼저 넥서스 요소들을 정립하고, 다음으로 요소별 정량화, 자료의 입출력 시스템을 구축하고, 요소간 연계성 분석과 정책적 대응 방안을 순차적으로 설계할 것을 제시하고 있음 (OECD-FAO, 2012)
 - FAO는 식량안보 측면에서 넥서스의 개념을 가용성, 접근성, 이용성, 안정성 측면에서 고려 요소와 함께 정리함²⁵⁾

25) The Water-Energy-Food Nexus - A new approach in support of food security and sustainable agriculture, FAO, 2014.



[그림 3.7] FAO의 WEF Nexus 추진체계



[그림 3.8] FAO 식량 안보의 구성요소

□ USDOE (United States Department of Energy)

- 미국 DOE는 수자원회 회소화, 변동성 및 불확실성 문제를 해결하기 위해 전략기술을 선별하고 다양한 프로그램/사업들을 추진중임
- DOE는 미국 에너지 시스템의 취약성을 극복하고자 여섯 가지 전략기술 개발을 추진함
 - 에너지 생산, 전기 생산 및 최종 사용 시스템의 담수 이용 효율의 최적화 기술

- 물 관리, 처리, 분배 및 최종 사용 시스템의 에너지 이용 최적화 기술
- 에너지 및 물 시스템의 신뢰성 및 탄력성 향상 기술
- 비전통적인 수자원의 안정적이고 생산적인 사용 향상 기술
- 물 품질, 생태계 및 지진 영향에 따른 책임 있는 에너지 운용의 촉진 기술
- 물과 에너지 시스템간의 생산적인 시너지 추구 기술
- DOE는 수자원 관련 기술연구, 개발, 시연 및 정착을 위한 프로그램/사업을 기획하여 추진중임
 - 버려지는 에너지 회수 프로그램
 - 냉각 시스템 개선 프로그램
 - 탈염(desalination) 및 비전통적 수자원 활용 사업
 - 폐수 무방출 시스템 실증사업
 - 장비 및 기기의 효율화 사업
- DOE는 물이용, 발전, 담수 등과 관련된 기술개발을 추진함
 - 물 사용과 관련하여 더 효율적인 전력 사이클(예, 밀폐형 재압축 Brayton cycle)을 통한 폐열 생성의 감소 기술을 개발해서 열전기(thermo-electirc) 및 다른 냉각 수요를 감소시킴
 - 열전물질의 사용, 열교환기술의 개선과 같은 폐열 이용의 향상과 저온 지열발전 기술
 - 에너지 시스템에서 물 사용 최적화 기술
 - 수압파쇄(hydraulic fracturing), 지열발전 등에서 가공 및 담수 대신에 대체 유체를 사용하는 기술
 - CCS, 바이오에너지 생산원료 공급 및 산업공정에서의 담수 이용 공정 향상 기술
 - 물 사용의 효율성 향상 기술: 냉각 시스템에서의 공기 흐름 최적 설계, 물 회수 시스템, 하이브리드 혹은 건조 냉각 및 블로우 다운(blowdown)에서 발생하는 물 처리 기술

□ 프랑스(EDF, 전력공사)

- 프랑스 전력공사(EDF²⁶⁾)는 물, 에너지, 식량을 서로 연계된 시스템으로 보고 에너지 발전과 관개시설 간에 물을 할당하기 위한 효과적 방법 및 물 절약을 촉진하는 정책(협약)을 개발함²⁷⁾
- EDF는 '90년대 후반까지 법을 기준으로 저수지 물을 지역 내 사용자들에게 할당하였으나, '00년대 초반에 들어서며 기존의 규정이 수자원 낭비를 방지하는데 효과적이지 못하다는 것을 인지함

26) Electricite de France

27) Xavier Ursat, "EDF - An energy leader committed to a sustainable water resources management" (presentation given at the Budapest Water Summit, October 10, 2013, Budapest)

Personal communication from EDF executive Laurent Bellet, April 12, 2015.

Ursat, "EDF-An energy leader committed to a sustainable water resources management." Ibid.

Organisation for Economic Cooperation and Development, OECD Studies on Water Stakeholder Engagement for Inclusive Water Governance(OECD Publishing, April 13, 2015)

- EDF는 프랑스의 현재 및 미래의 예상 에너지 가격을 근거로 EDF가 1m³ 당 생산할 수 있는 에너지 가치와 연계해 물의 가치를 측정하는 방법을 개발함
 - 동 계산법으로 각 이해관계자가 물 사용을 조절함으로써 얻는 이익과 관개시설이 물을 절약함으로써 얻는 보수의 측정이 가능해졌고 EDF는 물 사용 조절의 혜택을 확실히 보여줄 수 있게 됨
 - 비즈니스의 혼란이나 중단의 위험을 줄이고 지속적으로 전기를 생산할 수 있다는 혜택을 생각하면 EDF가 관개시설에 지불하는 돈은 높은 이득에 비해 상대적으로 소소한 투자임
- EDF는 지역의 주요 농업 관개시설 두 곳과 물 절약 협약(Water Saving Convention)을 체결하고, 이 협약에 따라 관개시설은 물 사용량을 줄이고 EDF는 절약된 양에 따라 보상을 지급함
 - 협약의 핵심은 관개시설들이 물을 절약하도록 금전적 보상을 제공했다는 점이며, 이러한 장려책 제공은 관개시설이 그 동안의 사업관행을 바꾸도록 동기를 부여하고, 매년 목표치를 자유롭게 수정할 수 있게 함
 - 동 협약을 통해 '00년부터 '06년까지 연간 3억 2,500만m³였던 농업용수 소비량이 현재 2억3,500만m³까지 감소하였으며 절약된 물의 약 84%가 자연생태계 유지에 사용돼, 환경에 가해지는 압박이 경감됨
 - 프랑스 론-메디테라니-코르시카(Rhone-Mediterranee-Corse) 물 관리국은 2014년 EDF와 동일한 기술을 듀랑스 강 유역 전체에 총괄적으로 적용하고 물을 절약하도록 장려하는 통합관리 기술을 적용하기 시작함

□ 미국 이매진 H2O(Imagine H2O)

- 이매진 H2O(Imagine H2O)는 “엑셀러레이터 프로그램(Accelerator program)”을 통해 기업가들의 아이디어를 확장 가능한 기술로 실현시키고 넥서스 생태계의 일원이 되도록 지원함²⁸⁾
 - 동 기관은 농업, 물 효율, 오수 재사용, 에너지 및 자원 회복분야에서 넥서스 기술의 혁신을 추진하는 단체이며 기술기업, NGO 등으로부터 투자 지원을 받음
 - 웰스 파고(Wells Fargo) 등 금융기관, 오토데스크(Autodesk) 등 첨단기술기업, 버클리 에너지 및 자원 협력체(Berkeley Energy and Resources Collaborative) 등 NGO, 어그테크 실리콘밸리(AgTech Silicon Valley)와 같은 기관들이 이매진 H2O를 지원함
- H2O 경진대회 우승자인 넥서스 이워터(Nexus eWater)는 물과 에너지 절약을 위한 기술로 넥서스 이워터 재활용장치(Nexus eWater Recycler)를 개발함

28) Imagine H2O, “The water-energy nexus competition: Water businesses that save energy”, April 13, 2015.

Imagine H2O, “Select company profiles”, April 13, 2015

KB Home, “KB Home doubles up on water and energy efficiency with debut of ‘double’ ZeroHouse 3.0 in Northern California”, press release, October 2, 2014.

Nexus eWater, “The technology behind grey water and home water recycling”, April 13, 2015.

- 동 기술을 이용하면 가정 내 물 사용을 34%, 하수용량을 70% 줄이고, 기존의 기술에 비해 75%가 적은 에너지를 사용해 온수를 공급할 수 있음
- 정수와 급탕 기능이 결합된 시스템으로 설계된 넥서스 이워터 재활용장치는 가정오수를 잔디밭이나 변기에 사용해도 안전할 정도로 재생하는 동시에 오수의 폐열을 추출해 온수탱크에 저장함

□ 프랑스 베올리아(Veolia Water)

- Veolia Water는 100% 에너지 자립형 폐수처리시설을 건설하여 활용하고 있음²⁹⁾
 - 동 시설에 유입되는 폐수의 농도를 예측하여 생산되는 슬러지 고온 소화(thermophilic digestion) 과정에서 생산되는 열을 이용하여 폐수처리시설에 필요한 에너지의 60%를 공급함
 - 나머지 에너지는 매립지 가스에서 얻으며, 소화된 슬러지와 처리된 폐수는 근처의 농업용수와 비료로 사용됨

□ CHEVRON (정유회사)

- 미국 캘리포니아에서 오일 1배럴을 생산할 때마다 10배럴의 물을 생산하여 오일생산 과정에 이용하며 182km² 면적의 농장에 농업용수 공급
- California 오일 추출과정에서 물과 오일을 분리하고 그 과정에서 발생한 물을 재이용하기 위하여 수처리과정을 통하여 매일 2,650 m³의 물 생산

□ 수자원 및 에너지 기업간 상호 협업

- 2008년 캘리포니아의 투자자 소유 에너지 공급회사인 PG&E는 같은 주의 여러 수도 회사와 협력해 고효율 세탁기에 대한 보상 프로그램 개발
 - 이러한 협력으로 개별 기업들이 따로 프로그램을 운영할 때 보다 사용자에게 더 많은 보상을 제공
 - PG&E는 수도회사들이 프로그램에 참여한 후 고객참여도가 63% 증가하는 것을 목격했고, 수도회사들 역시 고객 참여도가 30% 상승
- 텍사스 세 기업 오스틴 수도회사, 텍사스 가스 서비스, 오스틴 에너지 협업
 - 이들은 함께 다가구 에너지 및 물 효율 프로그램(Multifamily Energy and Water Efficiency Program) 개발
 - 미국 에너지부(US Department of Energy)의 일부 지원을 받는 이 프로그램은 물, 전기, 가스자원의 보존을 목적으로 설계되었으며 다가구 주거시설에 자원 효율적 주택개조를 지원
 - 1,900여 개 다가구주택을 개조할 예정이며, 이를 통해 연간 약 470만kWh의 전기와 3,785만 l의 물을 절약

29) Water, Energy and Climate Change - A contribution from the business community, World Business Council for Sustainable Development(WBCSD), 2009.

- 이 프로그램은 하나가 아닌 세 가지 자원 모두의 효율달성을 목표로 총괄적인 접근을 했다는 점에서 혁신적
- 이다. 이는 개조비용을 주택 소유주가 부담하지만 자원 효율성 개선의 혜택은 세입자가 얻어 개선 사업을 좌절시키는 원인이 되는 “인센티브 분할 (Split incentive)” 이슈를 해결

나. 국가별 WEF Nexus 기술개발 동향

□ 메콩강 위원회

- 메콩강 유역 (중국, 미얀마, 라오스, 베트남, 캄보디아, 태국)의 수자원, 수력 발전, 식량 등의 종합적 접근 필요
- 메콩강 상류 중국의 대규모 수력발전건설에 따른 자원위기의 주요 문제 제기
- 협의체의 접근방법 (Sector based approach, Governance, Science- Policy Interface)

□ 베트남 Red 강

- 베트남의 근대화 및 산업화를 위해 많은 물과 전기가 필요함에 따라 물사용을 규제하였고, 이로 인해 농작물의 재배에 영향이 가면서 물 사용에 대한 분배를 위해 장기적/다방면 전략이 필요함을 깨닫고 수립 중

□ 인도에서는 물-에너지-식량 넥서스와 관련하여 지하수 분야에서 활발한 연구가 이루어지고 있으며 상황에 맞는 넥서스 적용의 필요성이 대두됨³⁰⁾

- 인도 West Bangal 주에서는 Metering 시스템을 도입하여 전기세 감소, 물 공급 시간 단축, 물 절약이 가능해짐
 - 인도 West Bangal 주에서는 모든 관정에 대하여 일반적으로 적용되는 일사용량 계측시스템을 적용하고 있으며 동 시스템의 90%가 원격 전기 계측임
 - 물의 이용적 측면에서는, 물 공급 배분에 필요한 플라스틱 파이프의 적용이 증가되었으며, 수로의 관리가 개선되고, 지하의 물 공급 Line이 설치됨
- 인도 Karnataka 주의 경우 넥서스의 적용을 위한 시도가 이루어졌으나, 계량기 설치가 미흡하여 에너지 사용량에 대한 추정이 정확하지 않았으며, 공급자 입장에서 정확한 진단이 불가하였고, 물과 에너지의 불법적 활용이 발생하는 등의 문제가 나타남

□ 네덜란드, 캐나다, 일본, 프랑스, 독일, 이스라엘 등의 선진국들은 시설원예 재배 기술을 개발 및 활용중임

- 시설원예는 각종 원예작물의 재배에 필요한 온도, 광, 수분, 무기영양, 가스 등의 환경조건을 작물 생육에 적합하게 인위적으로 제어하는 자본집약적 기술임

30) Aditi Mukherji, International Centre for Integrated Mountain Development, held on the Bonn 2014 Nexus Conference, “Sustainability in the Water-Energy-Food Nexus” , 19-20 May 2014

- 시설원예는 환경조절인자를 작물생장에 최적화하여 농가소득과 농업생산상 향상에 기여하지만, 필수적으로 적정 에너지와 물 공급이 필요함
 - 재배환경을 제어하기 위한 냉·난방 시설의 운용이 필요한 시설원예는 에너지 의존도가 높기 때문에 에너지 효율 향상 기술이 필요함
 - 시설원예는 토양을 이용하는 방법(토경재배)과 토양을 이용하지 않는 방법(수경재배)으로 구분되며 작물 종류, 주변 환경 등에 따라 재배방법을 선택함
 - 수경(양액)재배는 필요한 영양 성분을 작물이 적절하게 흡수 할 수 있도록 알맞은 농도로 조절된 배양액에 식물을 심어 산소를 공급해주며 재배하는 방법으로 오이, 토마토, 방울토마토, 고추, 상추, 미나리, 장미, 카네이션 등의 재배에 이용함
 - 네덜란드는 유리온실을 이용한 시설원예재배 기술을 개발하여 활용중이며 Agriport와 Greenport 지역을 중심으로 대규모화 추세임
- 캐나다는 에너지 절감형 플라스틱온실 개발 및 구조안전성 향상 기술 개발에 관한 연구 진행 및 보급중임
- 지리적인 특성을 고려하여 영하 40° C까지 내려가는 악조건에서도 저비용의 에너지 절감형 플라스틱온실과 천연구사를 이용한 CHP로 현재 파프리카 생산량은 25kg/m²(250톤/ha, 네덜란드 300톤/ha)로 네덜란드 제품과 경쟁 중임
- 일본은 에너지 절감형 플라스틱온실 개발 및 구조안전성 향상 기술 개발에 관한 연구가 활발히 진행 중이며 현재 보급중임
- 간척지에 조성된 대규모 온실단지(가고매)는 지진 등에 의한 피복재의 이탈을 방지하기 위하여 유리보다는 불소필름을 피복재로 이용함
- 프랑스, 독일, 이스라엘 등의 선진국들의 온실 특징은 기본적으로 갖추어야 될 주요성능(투광성, 환기, 실내 환경 조절, 에너지효율 제고, 유지관리 편의성 등)을 겸비한 최적구조 및 자재 표준화 기술을 개발중임
- 국외에서는 넥서스 개념이 중요해지면서 물-식량-에너지 자원들 간의 연계해석 방법 및 넥서스 플랫폼 구축 등에 대한 연구가 진행중임
- Howells et al. (2013)은 물, 식량, 에너지 문제에 초점을 맞추어 수문 모델과, 토지이용 모델, 에너지 모델을 통합할 수 있는 CLEW(기후, 토양, 에너지, 물) 모형을 개발함³¹⁾
 - Mohtar and Daher (2014)는 물, 식량, 에너지 요소간의 상쇄작용(trade-off)를 고려한 웹기반 WEF-Nexus 시스템을 개발하여 배포하고 있으며, 요인별 다양한 시나리오의 적용이 가능하도록 플랫폼을 설계함³²⁾

31) Howells, M., Hermann, S., Welsch, M., Bazilian, M., Segerström 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.

4. 국내의 사례를 반영한 실정 적용 방안(Test Bed)

가. 소규모 넥서스 구축 기술 도출

☐ 세종시 (친환경 녹색도시)

- 건축물, 도로 등 도심 곳곳의 태양광 발전 을 통한 에너지 자족 도시화
- 국립세종도서관(도서관 전체의 33%를 신재생 에너지 활용)
 - 태양광을 이용한 전기절약, 빗물을 정원수로 활용, 지열로 냉난방
- 전체에너지의 15%를 스스로 생산하는 에너지 자족도시 목표

☐ 대구시

- 정주민구 5만의 테크노폴리스와 국가산업단지를 신재생에너지와 스마트그리드, ICT기술이 융합된 분산전원형 에너지자족도시로 조성하기 위한 에너지자립화 방안과 사업구체화 방안 등을 수립하고, 본격적으로 사업을 추진할 계획이며, 향후 대구 전역으로 확대
- 연료전지와 태양광 발전시설로 시간당 70메가와트의 전력을 생산해 자체 공급한다는 계획

☐ 인천(덕적도)

- 하이브리드 에너지-물 자립형 마을공동체 모델*
- 인천시가 한국건설기술연구원과 공동으로 개발한 풍력·태양광·수력터빈 등을 활용한 발전시스템 이용
- 2020년까지 디젤발전으로 전기를 공급하고 있는 서해5도 등 인천지역 14개 도서를 대상으로 사업을 진행할 계획”

☐ 울릉도 에너지자립

- 1단계 사업으로 2017년까지 신재생에너지 비중 확대를 위해 디젤발전을 축소하고 수력, 풍력, 태양광, ESS 설치를 통한 연계시스템 구축
- 2단계 사업으로는 2018~2020년까지 울릉도의 우수한 지열자원을 활용한 지열발전, 연료전지, ESS 설비 추가로 디젤발전을 Zero화 하고 전기차와 전기어선 등을 보급해 세계 최초의 100% 탄소 ZERO 친환경 에너지자립 섬을 구축 계획

☐ 홍천(친환경타운)

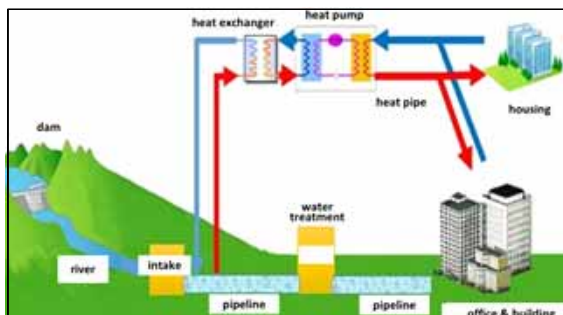
- ‘기피시설’ 을 ‘에너지시설’ 로 전환

32) 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.

- ‘폐기물’을 ‘자원화’ ⇒ 친환경에너지 신사업 창출
- 바이오가스 정제시설을 통해 가축분뇨와 음식물 찌꺼기로 바이오가스 생산 (퇴비와 액비를 생산해 판매)
- 이를 또다시 도시가스로 정제해 인근 주민과 군부대에 공급 (국내 첫 사례)
- 신재생에너지인 태양광발전과 소수력발전- 홍천군 소매곡리 주민들에게 연간 1억4,000만 원의 수익 기대

나. 소규모 넥서스 구축 기술 도출

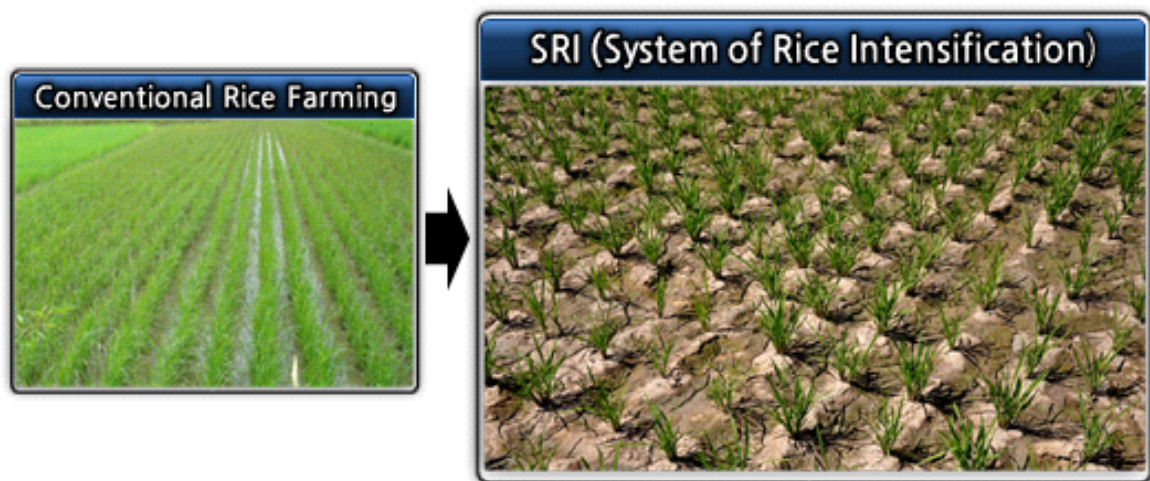
- 한국형 물, 에너지, 식량 자립마을(WEF 3.0) 구축을 위한 융합 기술
 - (정의) 한국의 환경에 적합한 물, 에너지, 식량의 연계를 통한 고효율, 저비용의 자족형 자원 생산 및 소비를 갖춘 자립형 마을 구축
 - 3R(Reuse, Recycle, Reduce)를 통한 자원 효율 극대화
 - 유역 이해당사자들의 협의를 통한 소규모 자족 마을 실현
 - 물, 에너지, 식량 자립 기술 활용 검증
 - (물) 최저 에너지 및 식량 생산을 통한 물 확보 방안
 - (에너지) 국내 에너지 자립섬 프로젝트 확대 전파 (태양광, 풍력, 지열 연계 Net Zero 에너지 자립섬 구현)
 - (식량) 물 소비 최소화/물순환 활용 극대화 방안을 적용한 작물 재배 시설 구축
 - 물, 에너지, 식량 자립 마을 관리를 위한 Smart Water-Energy-Food Grid System 구축



[그림 3.9] 지열 및 수열을 활용한 냉난방 자립화



[그림 3.10] 소규모 시설재배



[그림 3.11] 관개기술 향상을 통한 물-에너지 식량 연계 기술

- 지역 특성에 적합한 물, 에너지, 식량 자급률 향상
 - 자원, 에너지의 선순환(Recycle, Reuse, Reduce)을 통한 자원 이용효율 극대화
 - CO2 Zero 및 자원 활용, 효율 및 시너지 극대화를 위한 맞춤형 물, 에너지, 식량 넥서스 기술 개발 및 적용
 - 물, 에너지, 식량 연계를 통한 자원 연계형 소규모 넥서스 Village 가시화
 - 자원의 자립도 및 에너지효율 95% 달성 가능성을 위한 기술

5. 소결

- 국외에서의 물, 에너지, 식량 연계기술은 대규모 국가적인 사업의 형태보다는 소규모의 가시화 등을 통하여 이해당사자들간의 협의를 통해 자원안보의 효과를 창출하고 있음
- 특히 부처별 관련 정책 등이 상호 연관성이 있으나, 구체적인 협업체계가 구축되지 않고 개별자원의 확보 및 생산에 치중하고 있음
- 메콩강 위원회, 베트남 RED강 및 관련기업간 상호협업 등 물, 에너지, 식량 넥서스의 기술 및 실용화를 위해 거버넌스의 협업체계가 바탕이 된 기술이 다수임
- 국외에서는 넥서스 개념이 중요시 되면서 물-에너지-식량 자원들간의 연계 해석 방법 및 넥서스 플랫폼 구축 등에 대한 연구가 활발히 진행 중에 있음
- 국내에서도 대규모 넥서스 산업단지의 구축을 위해 먼저 소규모 패키지형태의 넥서스 플랫폼 구축을 통한 단기적 가시화를 통해서 점차 장기적 대규모 사업으로 확장할 필요가 있음
- 한국형 물, 에너지, 식량 자립마을(WEF 3.0) 구축을 위한 융합 기술을 통한 넥서스기술의 가시화 및 실용화에 중점을 두어야 함
 - (정의) 한국의 환경에 적합한 물, 에너지, 식량의 연계를 통한 고효율, 저비용의 자족형 자원 생산 및 소비를 갖춘 자립형 마을 구축
 - 3R(Reuse, Recycle, Reduce)를 통한 자원 효율 극대화
 - 유역 이해당사자들의 협의를 통한 소규모 자족 마을 실현

4절. WEF Nexus 관련 시장 동향

1. 물산업 시장 동향

□ 세계 물시장의 동향 및 트렌드

- GWI(2016)³³⁾에 따르면, 세계 물 시장은 2016년 기준 7,139억불로 추정되며, 2020년까지 연평균 3.8%(자본 지출 5.3%, 운영 지출 2.8% 성장예상)로 성장할 것으로 기대

〈표 3.7〉 세계 물시장 동향

구분	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2030
합계	678,983	685,498	694,112	713,916	738,489	767,252	800,021	834,109	1,130,617
1)수자원개발	24,351	18,876	17,904	17,337	18,040	19,789	21,257	22,702	20,539
2)해수, 기수 담수화	4,260	3,281	2,717	2,873	3,021	3,966	4,708	4,988	6,248
3)상수도	270,426	271,012	277,326	285,821	294,998	304,428	314,223	325,605	425,344
-상수도관망	55,275	53,710	55,358	57,927	61,318	64,277	67,245	70,849	101,005
-정수시설	27,111	25,933	26,335	27,255	28,649	29,875	31,215	32,767	42,954
-운영유지	188,041	191,370	195,634	200,639	205,031	210,276	215,764	221,989	281,385
4)하수도	250,065	257,168	264,088	274,414	286,637	298,659	312,944	326,536	480,332
-하수도관망	69,204	72,075	73,634	77,724	81,986	86,799	91,189	96,772	156,237
-하수처리 시설	38,785	38,862	39,787	41,027	42,963	45,175	47,382	49,903	71,531
-슬러지처리	9,583	9,953	10,641	11,183	11,874	12,621	13,145	13,859	23,476
-운영유지	132,493	136,279	140,026	144,481	149,814	154,063	161,228	166,002	229,088
5)산업용수	129,881	135,161	132,077	133,471	135,793	140,410	146,889	154,278	198,155
-산업용수 설비	20,438	21,174	19,609	20,274	21,539	23,210	25,063	27,087	40,506
-운영유지	109,444	113,987	112,468	113,197	114,254	117,201	121,826	127,191	157,650

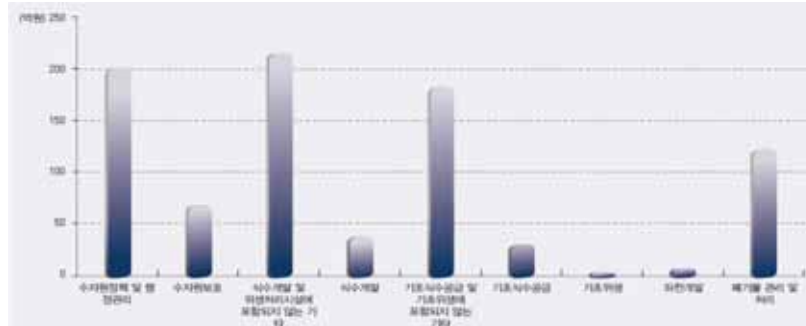
* 출처 : Global Water Market 2017(GWI 2016) 수정 인용(2020년까지: GWI 2016 자료인용, 2030년 : 2013~2020 가중평균성장률 산정하여 항목별 추정 후 합산)

□ 물 관련 공적개발원조(ODA)

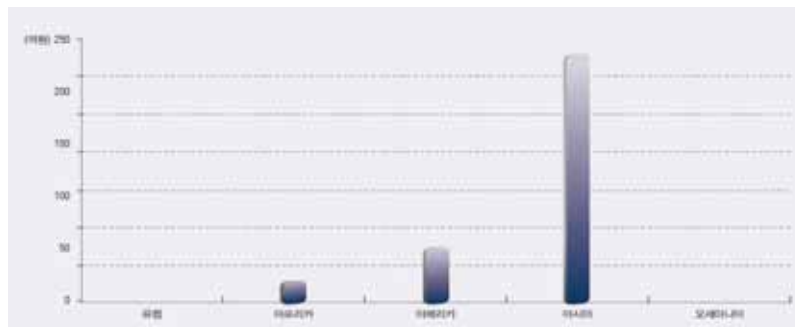
- 외교통상부 산하 한국국제협력단(KOICA), 유엔개발프로그램(UNDP)을 중심으로 한 개도국 지원사업과 기타 정부부처, 국영기업체에서의 개발사업을 말하며, 우리나라의 공적개발원조 중 수자원분야의 실적은 상대적으로 미미

33) Global Water Market 2017(GWI)

- 공적개발원조 중 수자원 분야의 지원규모는 ' 11년 기준 22개국 총 862억원 규모³⁴⁾이다.
- 물 관련 분야 ODA 중 ‘식수개발 및 위생처리시설에 포함되지 않는 기타’ 분야가 213억원으로 가장 많은 비율을 차지하고 있으며,
- 지원 지역 중 아시아 지역의 지원 실적이 657억원으로 가장 많은 비율



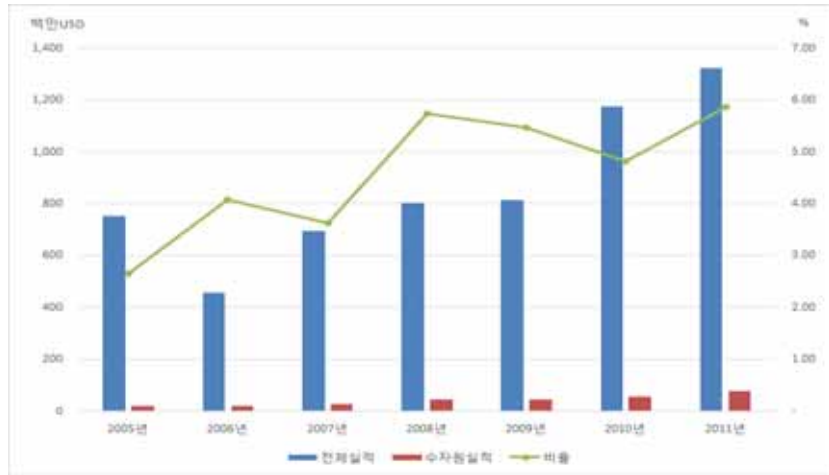
[그림 3.12] 물 관련 ODA 분야별 지원실적



[그림 3.13] 물 관련 ODA 지역별 지원실적

- ' 05년 이후 KOICA의 공적개발원조(ODA)는 전체 사업비의 평균 4.6% 정도만이 수자원과 관련된 분야에 지원

34) 통계로 보는 한국의 수자원(2013, 국토교통부)



[그림 3.14] ODA 사업 전체실적대비 수자원분야 실적추이(2005~2011)

<표 3.8> 해외건설 정책지원 현황

구분	해외건설시장개척지원	국토부 인프라 MP 지원	글로벌 인프라 펀드(GF)
성격	중소기업중심 해외시장 개척 지원	ODA중점협력국 중심 패 키지형 인프라 수출 ※MP+후속사업연계	민간차원 해외투자개발 촉진
대상	미진출 또는 최근 5년간 수주실적 4억불 미만 국가	ODA 중점협력국 우선 대상, 업계 진출이 유망한 국가	해외 인프라건설 관련 사업
지원 내용	개별기업 시장개척비용 (타당성조사, 국외활동비 등)	인프라 MP 비용	지분(Equity) 또는 대출채권 (Loan) 투자
지원 규모	건당 최대 2~5억원 (타당성조사는 3억원)	건당 10억원 내외	건당 5억원 이내
주요 실적	- 알제리 통합물관리시스템 구축 FS - 태국 프랑유역 통합물관리시스템 구축 FS - 이란 SWMI 구축 - 이란 Karun2 수력 발전 FS - 태국 지역단위 통합 물관리시스템 구축 FS	- 미얀마 에아와디 수자원 MP - 페루 리막강 복원 MP - 인니 술라웨시 수자원 MP - 태국살라윈 짜오프라야강 수 자원 MP	파키스탄 파트린드 수력 발전 사업
운영 규모	약60~70억 원 (2회/년)		민관공동 투자 3,500억원 조성
주관	해외건설협회, 국토교통부		

□ 정부의 다양한 물관련 지원 사업

- 중소기업 중심의 개별 시장개척 비용을 지원하는 해외건설시장 개척 지원 사업
- 우리 기업 참여 확대를 위한 인프라 마스터플랜 사업 지원
- 글로벌인프라펀드(GIF)를 조성하여 투자개발형 인프라건설사업 지분 투자 및 타당성조사 지원

□ 한국의 물산업 현황

- 2014년 국내 물기업 매출액은 약 30조원 (환경부 물산업 통계조사(2015))
- 국내기업 해외진출은 2015년 기준 약43억 달러, 세계 물시장의 약 0.62%
- 해외건설종합정보서비스의 해외건설 실적자료 중 물분야 해외건설 실적을 산정
- 물 분야 ODA 규모는 2014년 기준 약 313억원 규모(전체의 6.9%, KOICA)
- GWI(2017)에 따른 한국의 물시장 규모(상하수도 분야 위주)는 2015년 약 121억 달러, 2020년 137억 달러 규모 전망하여 연평균 약 2.8% 성장 전망

〈표 3.9〉 2014년 한국 물산업 매출액

구 분	2014년 물산업 매출액(백만원)
물산업 전체	30,675,106
병물(먹는샘물, 해양심층수등)	498,399
이온교환수지	1,120,977
응집제	795,863
활성탄	45,320
부식억제제	106,715
ph조절제 및 기타	17,719
살균소독제	22,709
media 여과시스템	106,093
플라스틱관	1,091,428
콘크리트관	570,712
주철관	376,842
강관	3,824,782
동관	330,782
기타 비철금속관	199,808
유량계	221,446
제어/주입 시스템	289,802
이온교환/EDI	40,776
소독/산화시스템	7,406
펌프	1,140,057

구 분	2014년 물산업 매출액(백만원)
벨브	1,285,490
스크린 설비	946,022
하수고도처리장치	35,276
멤브레인	90,884
정수기	1,499,622
표준처리 장치 및 시스템	94,774
슬러지 처리장치	68,405
수도꼭지	269,759
저수조	426,432
종합건설(수자원)	347,114
종합건설(수질오염방지법)	708,726
상하수도 설비공사법	1,717,881
기계설비법	2,004,253
정수장시설 운영	5,219,684
하수처리장 운영	2,525,604
개인 하수처리시설 관리 및 운영	19,383
하폐수 재이용 운영	388,360
축산분뇨처리시설 운영	55,363
측량	98,015
구조물 검사	31,629
수도관 갱생	66,244
시설물 유지관리	381,707
설계(상하수도 시설)	363,303
컨설팅	78,258
조사업(cctv, 누수탐사)	2,240
수질시험 및 분석	195,634
분뇨, 오니수집 및 운반	383,861
저수조 청소	966
지하수 정화	12,731
슬러지처리	549,851

* 주) 물산업통계조사(환경부, 2015)

□ 네덜란드 물산업

- 자국의 강점과 미래 시장기회를 바탕으로 2005년 물산업 개념을 새롭게 정립, 크게 상하수도기술과 델타기술(Delta technology)로 분류

〈표 3.10〉 네덜란드 물산업 현황(단위 : 10억유로)

구 분	국 내	해 외	합 계
전체 물산업	10.7	6.5	17.2
델타기술	3.5	4.0	7.5
하이드로 엔지니어링(Hydraulic Engineering)	1.2	3.8	5.0
물관리(Water management)	1.6	0.1	1.7
물과 녹색(Water & Green)	0.7	0.1	0.8
상하수도기술	7.2	2.5	9.7
상수도	4.1	1.2	5.3
하수도	2.7	1.2	3.9
센서링 및 모니터링	0.4	0.1	0.5

* source : Netherlands Water Partnership(2011), Water 2020 | Wereldleiders in water

2. 에너지 시장 동향

□ 국제 유가 전망

- 2014년 상반기까지 100달러선을 유지하던 국제유가가 최근 급락세를 나타내며 2009년 4월 이후 최저치 수준으로 하락
- (뉴욕상업거래소) 서부텍사스원유(WTI) 선물가격이 배럴당 \$46.25, 북해산 브렌트유 \$47.67, 두바이유 \$44.48 기록(1.15 기준)
- WTI유 105달러, 브렌트유 112달러, 두바이유 108달러 (2014. 6)



[그림 3.15] 10년간 국제 월별 유가 추이(2005.1~2015.1)

* 자료 : 국가에너지통계종합정보시스템(KESIS, 2015. 1.15 기준)

□ 신재생에너지 시장 동향

- 2014년 신재생에너지시장은 제도개선과 새로운 정책 도입

- 제4차 국가 신재생에너지 기본계획 확정(' 14.9)
 - 1차 에너지의 11%(2035년 기준)를 신재생에너지로 공급
 - 2035년까지 태양광(2.7→14.1)과 풍력(2.2→18.2)을 핵심 에너지원으로 육성
 - 발전사 의무이행 3년 범위에서 연기 가능

〈표 3.11〉 신재생에너지기준원별 비중 목표 (단위 : %)

구 분	2012	2014	2025	2035	연평균 증가율
태양열	0.3	0.5	3.7	7.9	21.2
태양광	2.7	4.9	12.9	14.1	11.7
풍력	2.2	2.6	15.6	18.2	16.5
바이오	15.2	13.3	19.0	18.0	7.7
수력	9.3	9.7	4.1	2.9	0.3
지열	0.7	0.9	4.4	8.5	18.0
해양	1.1	1.1	1.6	1.3	6.7
폐기물	68.4	67.0	38.8	29.2	2.0

* 자료 : 제4차 신재생에너지 기본계획(산업통상자원부, 2014.7)

- 신재생에너지 공급의무화 제도 (RPS, Renewable Portfolio Standard)³⁵⁾ 관리 및 운영지침 개정 (' 14.9)
 - 수상태양광 설치장소 확대 (기존 다목적댐, 발전용댐, 저수지에서 용수댐과 담수호로 확대)
 - 수상 설치시 규모에 따라 REC (Renewable Energy Certificate) 가중치를 상향조정 (수상 설치시 1.5 가중치)
- RPS 연도별 공급의무비율 조정으로 공급의무자 이행률 제고
 - RPS 공급의무자(발전사)들의 의무이행률(64.7%(2012년), 67.2%(2013년))
 - RPS 의무이행목표(총 전력생산량의 10%) 달성시기를 2년 연장 ('22년→' 24년)

〈표 3.12〉 RPS 연도별 공급의무비율 개정(안) (단위 : %)

연도	'15	'16	'17	'18	'19	'20	'21	'22	'23	'24
현행	3.5	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0		
개정	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0

* 자료 : 제4차 신재생에너지 기본계획(산업통상자원부, 2014.7)

3. 식량 시장 동향

□ 국내 농업 현황

- 지난 10여 년간('03~12년) 전통적인 1차 산업인 농업 부문의 국내총생산(GDP) 기여율이 지속적으로 감소
 - 2012년 기준으로 10년 전에 비해 농림업 생산액은 '03년 33조 160억원에서

35) 50만Kw 이상의 설비용량을 갖춘 대형 발전사들이 연간 전력생산량 가운데 태양광, 풍력 등 신재생에너지로 채워야 하는 물량으로 이를 충족하지 못하면 과징금 부담

’12년 46조 3,570억원으로 40.4% 증가

- GDP 대비 농림업 부가가치 비중은 ‘03년 3.2%에서 ’12년 2.2%로 감소하였으며, 장기적으로 정체 상태를 보임



[그림 3.16] 농림업 생산액 및 GDP 대비 부가가치 비중

○ 현재 우리나라 농업은 농업선진국에 비해 경쟁력이 낮은 수준

- 미국, 네덜란드 등 농업선진국과 비교했을 때, 우리나라 농업은 농축산물 수출액이 저조하여 내수에 그치고 있으며 무역수지적자 등 농업에 대한 위상이 하락
- 네덜란드에 비해 우리나라 농업은 재배 및 생산환경관리 기술의 미흡으로 생산비의 투입이 많아 소득률이 19~27% 수준으로 낮음

※ 파프리카 생산성 : 네덜란드 300톤/ha, 한국 190톤/ha (선도농 기준)



[그림 3.17] 농축산물 수출액 (2011)



[그림 3.18] 농축산물 무역수지 (2011)

4. 소결

- ☐ 중소기업 중심의 개별 시장 개척 비용을 지원하는 해외건설 시장 개척의 지원은 활발히 진행될 것으로 예상됨
- ☐ 저탄소 생산을 위한 수상태양광 및 풍력, 태양열 등 신재생에너지의 필요성이 증대함에 따라 물, 식량 등과 연계한 다양한 신재생에너지의 확보가 필요함
- ☐ 현재 해외의존도가 매우 높은 에너지 생산구조에서 잠재적 위험을 가지고 있는 원자력에 의한 에너지 생산 집중 현상에서 신기후체제에 따른 CO2 감소 의무량 정책을 반영한 신재생에너지 개발 및 활용방안 필요
- ☐ 현재 식량자급률이 47.2%로서 OECD 국가 중 최하위로서 식량생산의 다양성을 통한 국내 식량 시장에 선도할 필요가 있음
- ☐ 향후 통일대비 한반도 국토에 대한 북한 인구 증가에 따른 자원 수급의 증대가 예상됨에 따라 자원 확보를 통한 자족형 자원시장 형성이 가능

5절. WEF Nexus 관련 논문·특허 동향

1. 특허동향

가. 특허분석 개요

- WEF Nexus 사업범위로 설정한 “넥서스 DB 공유체계 및 영향평가 툴”, “넥서스 요소기술 및 ICT 기반 연계기술” 을 대상으로 수행함
- 한국, 미국, 일본, 영국, 독일, 프랑스의 6개국 특허청에 ‘00년 이후 출원된 공개, 공고/등록된 특허를 분석 대상으로 함
- 사용 DB는 FOCUST 특허검색시스템을 이용하여 소분류별, 출원국별 특허정보를 수집하고, 유효특허를 대상으로 특허활동도, 특허집중도, 특허시장력, 특허경쟁력, 특허영향력의 5개 항목을 분석/평가함

〈표 3.13〉 특허분석 개요

분석대상	내용
국가	한국, 미국, 일본, 영국, 독일, 프랑스
DATA	공개, 공고/등록 특허
적용기간	출원일 기준 2000. 01. 01. ~ 2016. 12. 31.
평가지표	특허활동도, 특허집중도, 특허시장력, 특허경쟁력, 특허영향력
활용DB	FOCUST DB (focust.wosdomain.net)

- 특허는 특허활동도 및 특허집중도 등 양적지표와, 특허시장력, 특허영향력 등의 질적지표를 분석/평가함

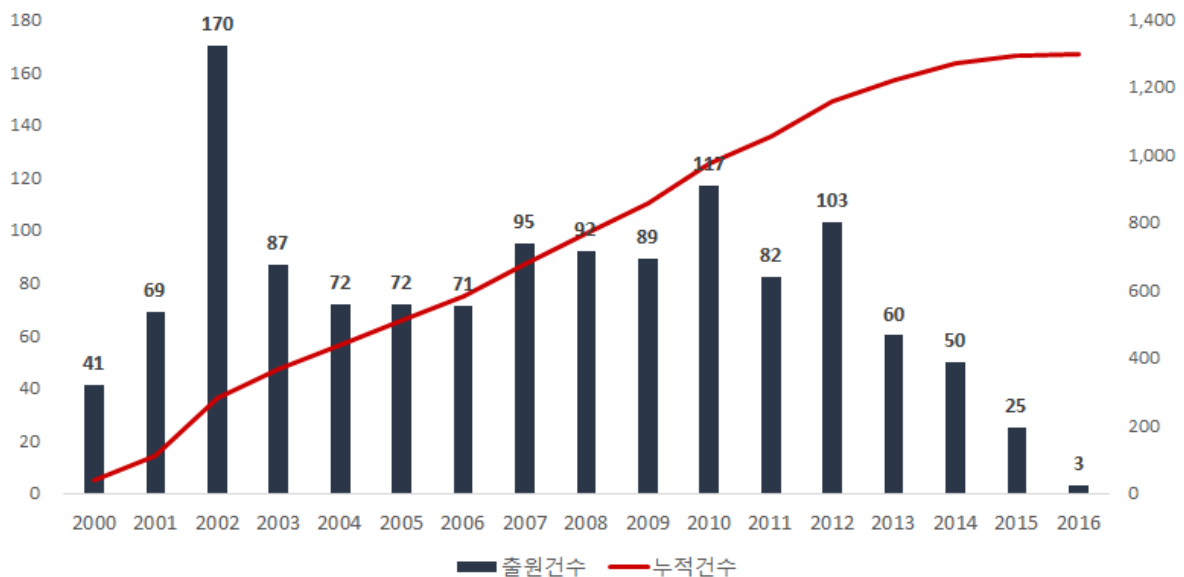
〈표 3.14〉 특허평가지표 설명

평가지표	내용 설명
양적지표	특허활동도 (PAI) 특정 국가의 해당 기술분야에서 얼마나 많은 특허가 출원되는지를 양적으로 측정하는 지표로서, 특허활동도가 높을수록 특허 출원수가 양적으로 많다는 것을 의미함 $PAI = \frac{\text{특정국가 특허출원수}}{\text{전체 특허출원수}}$
	특허집중도 (PII) 특정 국가의 상위기술분야 출원 특허 중에서 해당 기술분야의 특허 출원이 차지하는 비중을 측정하는 지표로서, 특허집중도가 높을수록 특정 국가의 특허출원이 해당 기술분야에 집중되어 있다는 것을 의미함 $PII = \frac{(\text{특정국가의 특정기술 전체 특허수} / \text{특정기술 전체 특허수})}{(\text{특정국가의 전체 출원건수} / \text{전체 특허수})}$
질	특허 특정 국가의 해당 기술분야에서 출원된 특허 중 패밀리특허수가 차지하는 비중을

적지표	시장력 (PMI)	측정하는 지표로서 특허시장력이 높을수록 출원된 특허 당 패밀리특허*가 많다는 것을 의미함 (* 패밀리특허란 동일한 내용의 특허를 2개 이상의 국가에 출원한 것을 의미함) $PMI = \frac{\text{특정국가 평균 특허 Family 국가수}}{\text{전체 평균 특허 Family 국가수}}$
	특허 경쟁력 (PSI)	삼극특허(유럽, 일본, 미국 특허청에 모두 출원된 특허) 건수를 통해 해당 특허의 경쟁력을 판단함 $PSI = \frac{\text{특정국가 삼극특허수}}{\text{전체 삼극특허수}}$
	특허 영향력 (PCI)	특정 국가의 해당 기술분야에서 등록된 특허 중 특허 당 피인용 횟수를 측정하는 지표로서 특허영향력이 높을수록 등록된 특허 당 피인용횟수가 많다는 것을 의미함 (피인용횟수가 많은 특허는 원천기술에 가까워, 향후 해당 특허를 기반으로 많은 응용이 예상되는 핵심적인 특허로 볼 수 있음) $PCI = \frac{(\text{특정국가의 피인용횟수} / \text{특정국가의 등록특허건수})}{(\text{전체 피인용횟수} / \text{전체 등록특허건수})}$

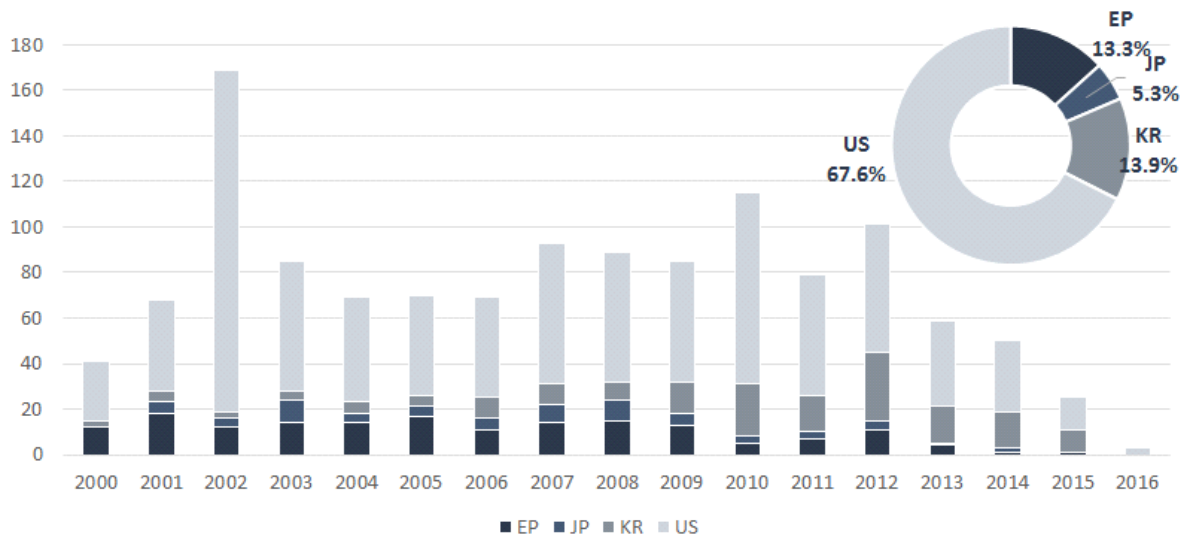
나. 특허분석결과

- “WEF Nexus” 관련 특허출원건수는 ‘00년 41건에서 등락을 거듭하고 있음
- “WEF Nexus” 관련 특허는 ‘00년부터 ‘16년 12월까지 총 1,298건 출원된 것으로 나타남
- ‘02년 170건으로 매우 많은 특허가 출원되었으며, ‘13년까지 연간 100건 내외의 출원건수를 보이다가 최근에는 감소하는 경향임
- ‘16년 12월 기준 출원일 이후 1년 6개월이 경과하지 않아 검색되지 않은 특허출원이 존재하는 것을 감안하면 최근 출원건수는 정확히 확인되지 않음



[그림 3.19] WEF Nexus 관련 기술 연도별 특허출원건수(‘00~’16)

- “WEF Nexus” 관련 특허출원건수 중 미국이 가장 큰 비중을 차지하고 있으며 한국을 제외한 국가들은 출원건수가 정체중인 것으로 나타남
- 미국(67.6%)에 이어 한국(13.9%), 유럽(13.3%), 일본(5.3%) 순으로 높은 비중을 차지하고 있음



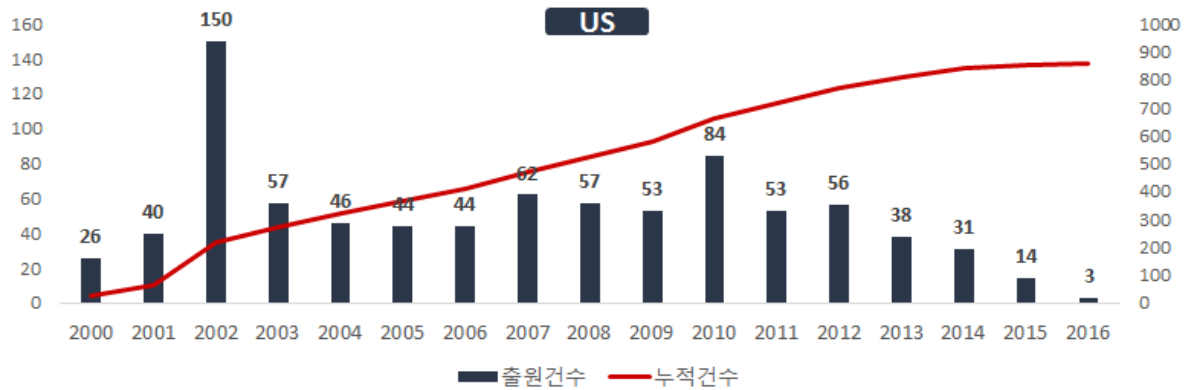
[그림 3.20] WEF Nexus 기술 관련 연도별 국가별 특허출원건수 및 비중(’00~’16)

- 한국의 특허출원건수는 ’00년 3건에서 ’12년 30건으로 증가하여 전반적으로 증가하는 추세를 보임



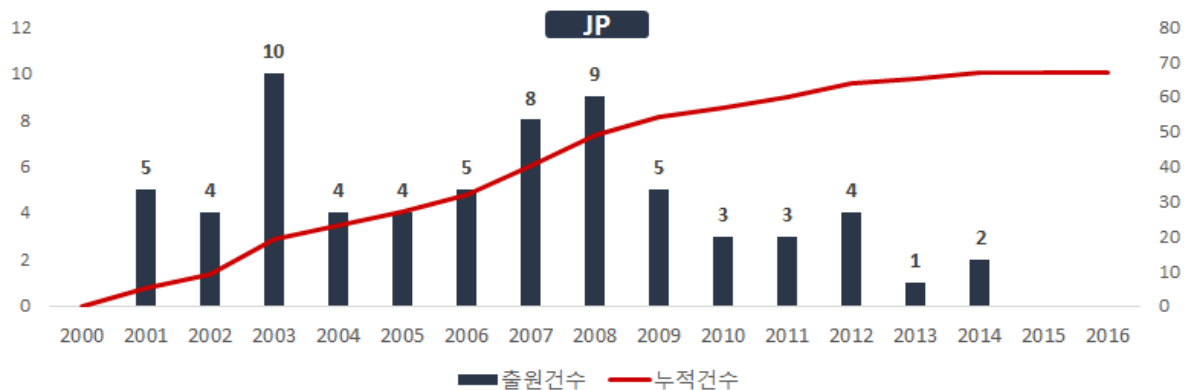
[그림 3.21] WEF Nexus 기술 관련 연도별 특허출원건수(한국, ’00~’16)

- 미국의 특허출원건수는 ’00년 26건에서 ’02년 150건으로 증가한 후 정체되는 움직임을 보임



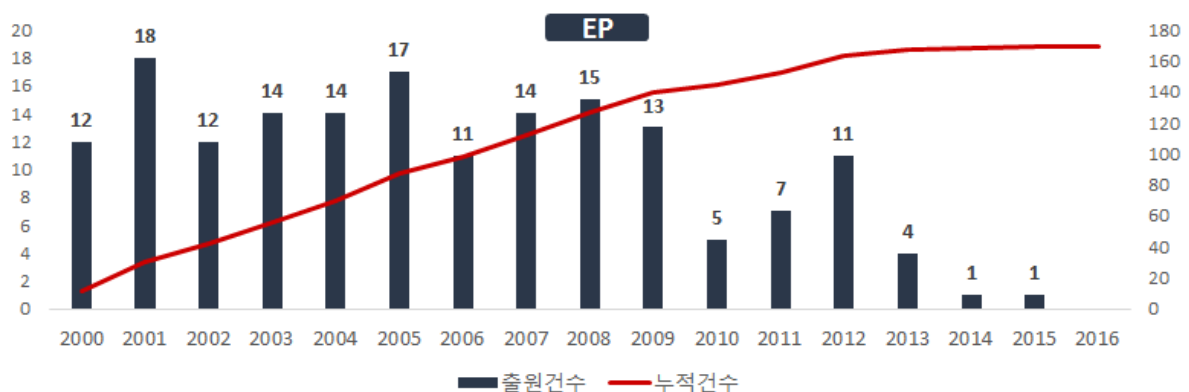
[그림 3.22] WEF Nexus 기술 관련 연도별 특허출원건수(미국, '00~'16)

○ 일본의 특허출원건수는 '01년 5건에서 '03년 10건으로 증가한 후 전반적으로 하락하는 추세를 보임



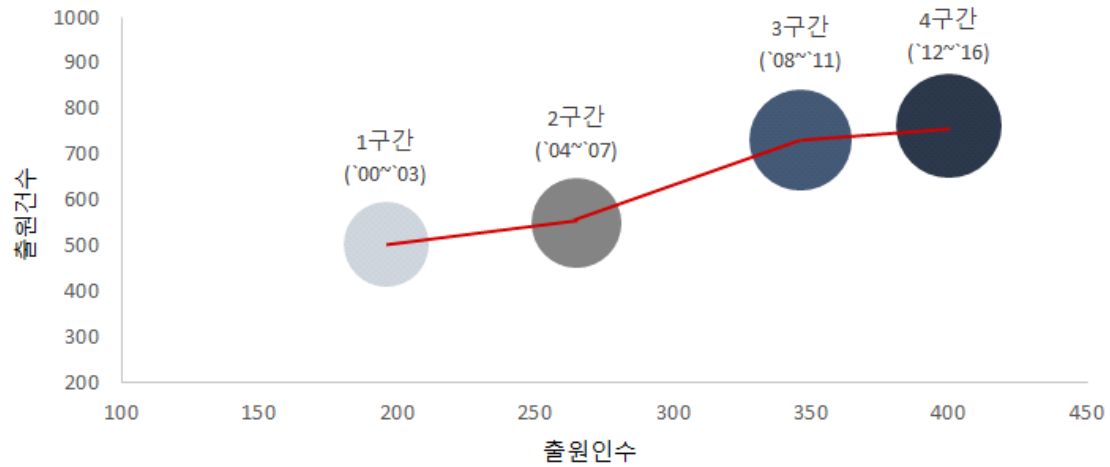
[그림 3.23] WEF Nexus 기술 관련 연도별 특허출원건수(일본, '00~'16)

○ 유럽의 특허출원건수는 '00년 12건에서 '09년 15건으로 10건 이상의 출원수를 보이다가 이후 전반적으로 하락하고 있음



[그림 3.24] WEF Nexus 기술 관련 연도별 특허출원건수(유럽, '00~'16)

□ WEF Nexus 관련 기술은 특허출원건수와 특허출원인수가 빠르게 증가하고 있는 “성장기” 단계인 것으로 분석됨



[그림 3.25] WEF Nexus 관련 기술의 성장단계



[그림 3.26] 기술성장단계 곡선

2. 논문동향

가. 논문분석 개요

- ☐ WEF Nexus 사업범위로 설정한 “넥서스 DB 공유체계 및 영향평가 틀”, “넥서스 요소기술 및 ICT 기반 연계기술”을 대상으로 수행함
- ‘00년 이후 게재된 논문을 분석 대상으로 함
- ☐ 사용 DB는 Thomson DB 논문검색시스템을 이용하여 소분류별로 논문 정보를 수집하여 추이 분석을 수행하고, 국가별 논문정보를 수집하여 유효논문을 대상으로 논문활동도, 논문집중도, 논문영향력의 3개 항목을 분석/평가함

〈표 3.15〉 논문분석 개요

분석대상	내용
국가	한국, 미국, 일본, 영국, 독일, 프랑스
DATA	Thomson DB 등재 논문
적용기간	발간일 기준 2000. 01. 01. ~ 2017. 01. 31.
평가지표	논문활동도, 논문집중도, 논문영향력
활용DB	Thomson DB (www.thomsoninnovation.com)

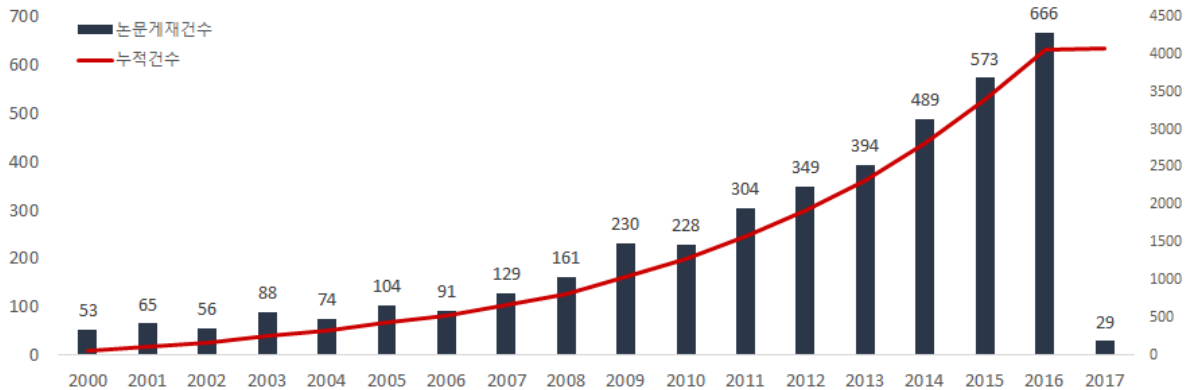
- ☐ 논문은 논문활동도 및 논문집중도 등 양적지표와, 논문영향력의 질적지표를 분석/평가함

〈표 3.16〉 논문평가지표 설명

평가지표	내용 설명
양적 지표	논문 활동도 (PAI) 특정 국가의 해당 기술분야에서 얼마나 많은 논문이 게재되었는지를 양적으로 측정하는 지표로서, 논문활동도가 높을수록 논문 게재수가 양적으로 많다는 것을 의미함 $PAI = \frac{\text{특정국가 논문수}}{\text{전체 논문수}}$
	논문 집중도 (PII) 특정 국가의 상위기술분야 논문 게재 중에서 해당 기술분야의 논문 게재가 차지하는 비중을 측정하는 지표로서, 논문집중도가 높을수록 특정 국가의 논문게재가 해당 기술분야에 집중되어 있다는 것을 의미함 $PII = \frac{(\text{특정국가의 특정기술 논문수} / \text{특정기술 논문수})}{(\text{특정국가의 전체 논문수} / \text{전체 논문수})}$
질적 지표	논문 영향력 (PCI) 특정 국가의 해당 기술분야에서 게재된 논문 중 논문 당 피인용 횟수를 측정하는 지표로서 논문영향력이 높을수록 등록된 논문 당 피인용횟수가 많다는 것을 의미함 (피인용횟수가 많은 논문은 원천기술에 가까워, 향후 해당 논문을 기반으로 많은 응용이 예상되는 핵심적인 논문으로 볼 수 있음) $PCI = \frac{\text{특정국가의 논문 인용수}}{\text{전체 논문 인용수}}$

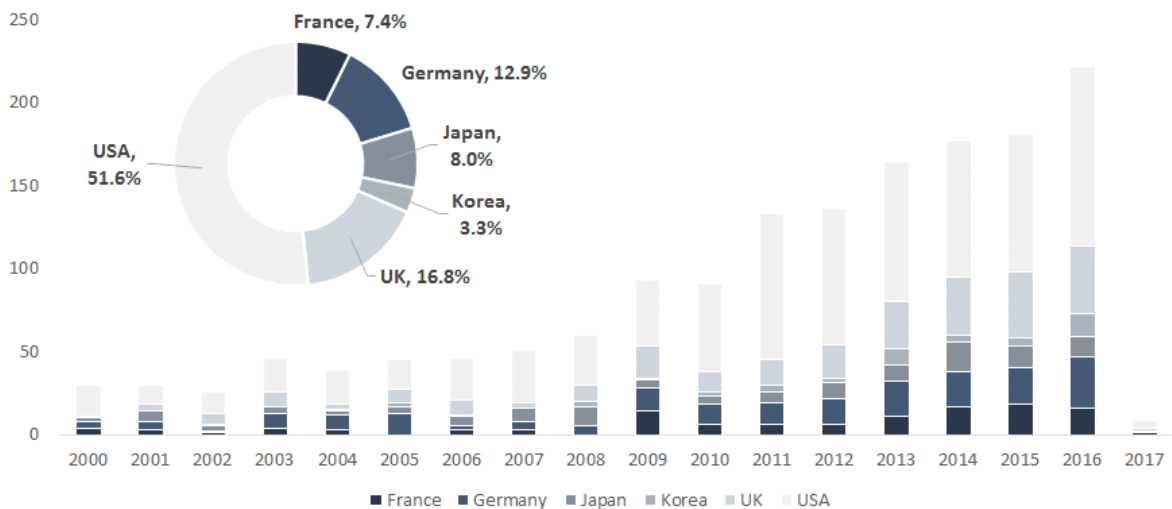
나. 논문분석 결과

- “WEF Nexus 기술” 관련 논문게재건수는 ‘00년 53건에서 ‘16년 666건으로 증가함
- “WEF Nexus 기술” 관련 논문은 ‘00년부터 ‘17년 1월까지 총 4,083건 게재된 것으로 나타남
- ‘00년부터 ‘06년까지 대체로 100건 미만의 게재건수를 기록하였으나, ‘10년 이후 매년 게재건수가 급격히 증가하고 있음



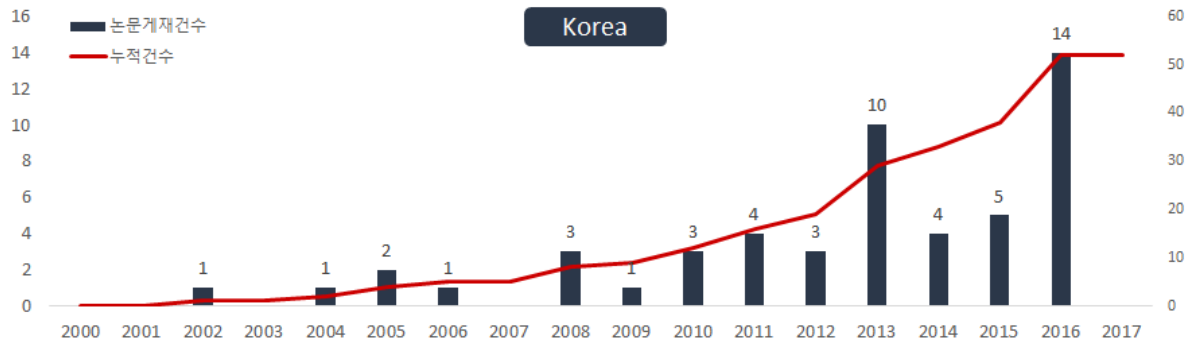
[그림 3.27] WEF Nexus 기술 관련 연도별 논문게재건수(‘00~‘17.01)

- “WEF Nexus 기술” 관련 주요 6개국의 논문게재건수 1,578건 중 미국이 가장 큰 비중을 차지하고 있으며 게재건수가 증가하는 것으로 나타남
- 미국(51.6%), 영국(16.8%), 독일(12.9%), 일본(8.0%), 프랑스(7.4%), 한국(3.3%) 순으로 높은 비중을 차지하고 있음



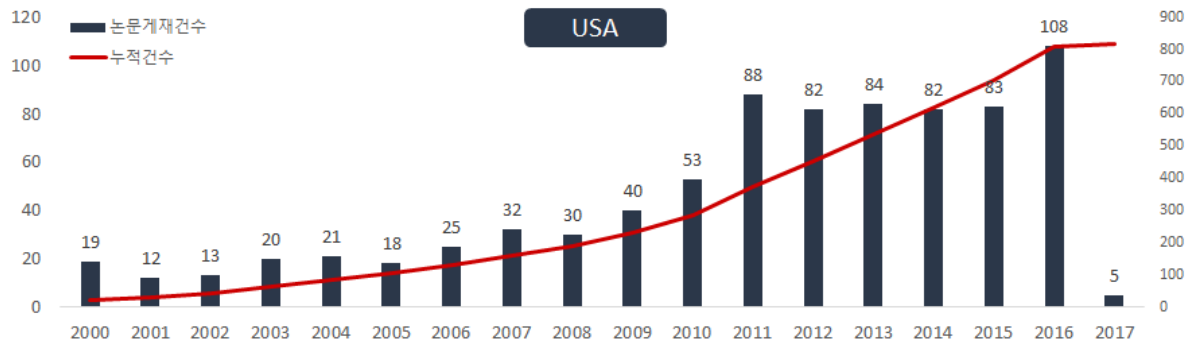
[그림 3.28] WEF Nexus 기술 관련 연도별 국가별 논문게재건수(‘00~‘17.01)

- 한국의 논문게재건수는 ‘07년까지 거의 게재되지 않다가 ‘08년 이후 꾸준히 상승세를 보이고 있음



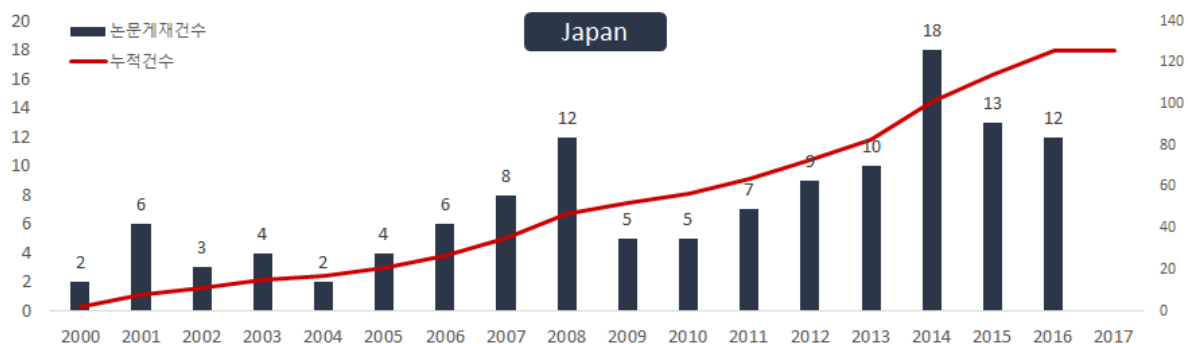
[그림 3.29] WEF Nexus 기술 관련 연도별 논문게재건수(한국, '00~'17.01)

○ 미국의 논문게재건수는 '00년 19건에서 '16년 108건으로 증가하였으며 '11년부터 크게 증가하여 연간 80건 이상 게재되고 있는 추세임



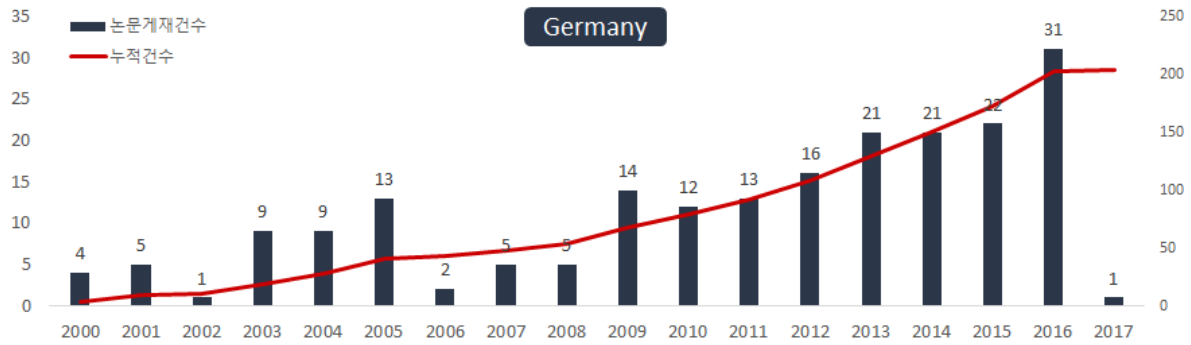
[그림 3.30] WEF Nexus 기술 관련 연도별 논문게재건수(미국, '00~'17.01)

○ 일본의 논문게재건수는 '08년까지 꾸준한 증가세를 보이다 '09년 5건으로 하락한 후 다시 건수가 증가하는 중임



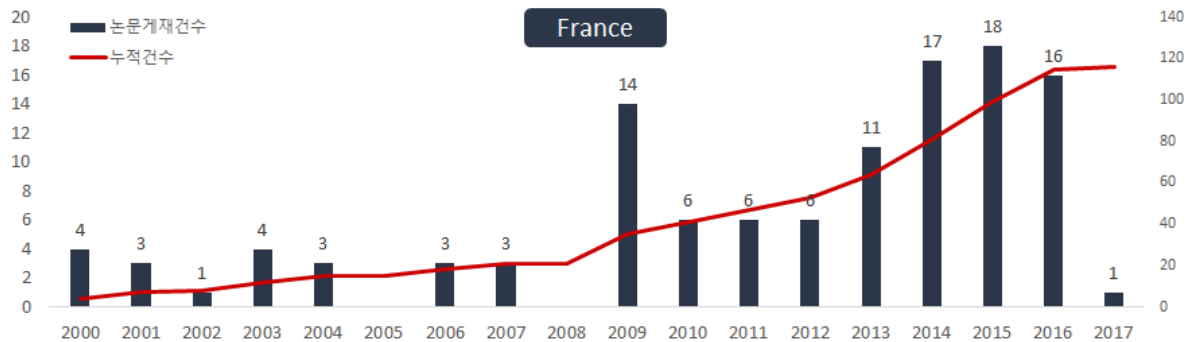
[그림 3.31] WEF Nexus 기술 관련 연도별 논문게재건수(일본, '00~'17.01)

○ 독일의 논문게재건수는 '00년 4건에서 '16년 31건으로 대체로 증가함



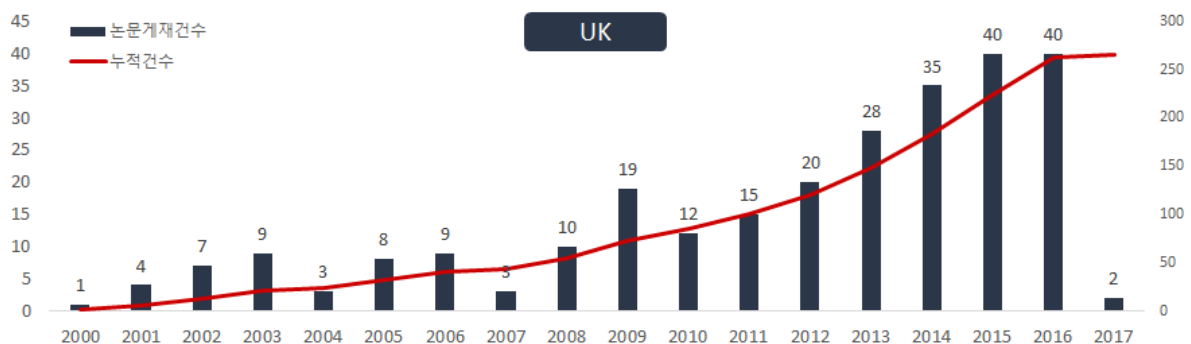
[그림 3.32] WEF Nexus 기술 관련 연도별 논문게재건수(독일, '00~'17.01)

○ 프랑스의 논문게재건수는 '12년까지 보통 5건 내외의 건수를 보이다가 '13년부터 높은 수치를 보이고 있음



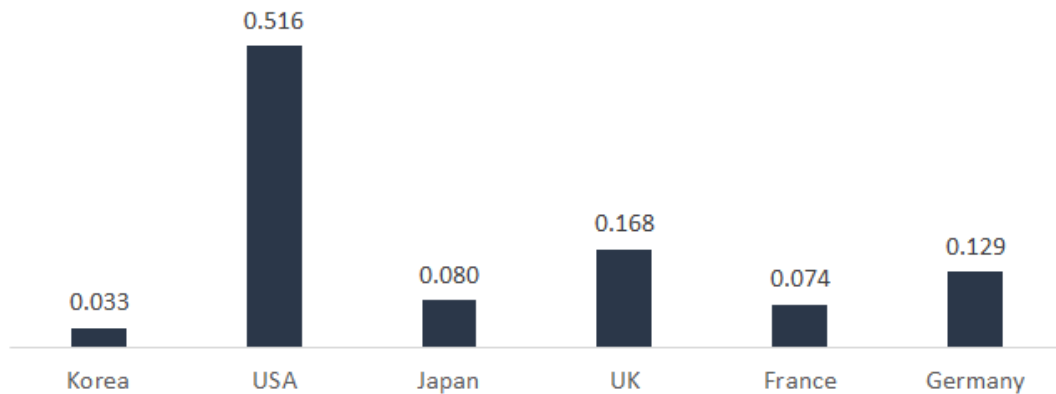
[그림 3.33] WEF Nexus 기술 관련 연도별 논문게재건수(프랑스, '00~'17.01)

○ 영국의 논문게재건수는 '00년 1건에서 '16년 40건으로 꾸준한 증가세를 보이고 있음



[그림 3.34] WEF Nexus 기술 관련 연도별 논문게재건수(영국, '00~'17.01)

- WEF Nexus 기술의 국가별 논문활동도는 미국이 가장 높은 것으로 나타남
- 논문활동도는 미국, 영국, 독일, 일본, 프랑스, 한국 순임



[그림 3.35] WEF Nexus 기술 국가별 논문활동도

3. 소결

- “WEF Nexus 기술”은 최근 세계적으로 주목받고 있는 기술분야로 지속적인 기술개발을 통해 세계시장을 선점할 수 있는 유망한 기술분야임
- 특허출원으로 성장단계를 평가할 때 WEF Nexus 관련 기술은 특허출원건수와 특허출원인수가 빠르게 증가하고 있는 “성장기” 단계인 것으로 분석됨
 - 특허출원은 ‘00년 이후 등락을 거듭하고 있으며 미국이 67.6%로 가장 높은 비중을 차지하나, 한국의 특허출원 건수가 가장 높은 증가율을 보임
 - 미국의 경우 양적 지표뿐 아니라 질적 지표에서도 가장 높은 위치를 차지하는 것으로 분석됨
 - 반면 특허출원에 비해 특허출원건수의 증가율은 크지 않은 것으로 분석됨에 따라 아직 개념 및 기초연구가 중심을 이루 있는 것으로 판단됨
- 논문게재건수는 ‘00년 53건에서 ‘16년 666건으로 증가하였으며 미국이 51.6%로 과반 이상의 비중을 차지하여 가장 높은 논문활동도를 보였음
 - 대부분의 나라에서 논문게재는 높은 증가율을 보이고 있으며 한국은 2016년에 급격히 많은 논문이 게재되기까지 꾸준히 상승세를 보이고는 있으나 타국에 비해 눈에 띄는 증가율을 보이지는 않았음
- 최근 특허출원분석결과 물, 에너지, 식량에 대한 연계측면 보다는 개별 자원에 대한 수요예측 및 에너지 분야에 초점이 맞추어진 관리 및 생산기술개발이 주를 이루고 있음

- 미래 수요 예측, 에너지-물 동시 발생 시스템, 폐수 여과 물 발자국 시스템 등이 개발되어 미래 수요예측에 기반한 물-에너지 생산에 대한 연구가 활발히 진행되고 있음이 확인되었으며, 에너지 관리 및 생산, 재생에너지를 이용한 전기 생산 시스템 등에 대한 특허가 출원이 확인되었음
- 최근 논문게재분석결과 물, 에너지, 식량의 연계부문에 대한 기초연구가 활발하게 진행되고 있으나, 3개 자원의 통합적인 연계해석에 대한 구체적인 연구는 확인되지 않고 있음
- 물 발자국에 대한 영향 및 데이터베이스 구축, 지속 가능한 물-에너지 회수 공정 등에 대한 논문이 발표되었으며, 특정 지역에서의 물-에너지-식량에 대한 연계 연구 및 기후변화 등 환경적 요인에 대한 대응책, 농업 분야에서 에너지-식량의 연계에 대한 연구가 이루어지고 있는 것으로 확인되고 있음

4장. 사업 내용

1절. 기술수요조사

1. 개요

- 동 기술수요조사는 WEF Nexus 사업영역을 구성하고 기술개발이 필요한 기술아이템 도출을 목적으로 함
- 산·학·연 전문가를 대상으로 국내 WEF Nexus 기술 확보를 위해 기술개발이 필요한 기술아이템에 대한 기술수요를 조사함
- 기술수요조사는 기술개발 우선순위를 파악하고 기술개발 과제간의 효율적인 자원배분 방안을 마련하기 위한 사전 조사에 해당됨

조사 절차



[그림 4.1] 기술수요조사 절차

- 기술수요조사는 기술수요조사 설계, 기술수요조사 수행, 기술수요조사 결과 분석, 기술수요조사 결과 활용 순으로 추진함
- 기술수요조사 설계단계에서는 기술수요조사서 항목을 결정하고 기술수요조사 대상자를 설정함
- 기술수요조사 수행단계에서는 기술수요조사 대상자에게 조사서를 발송하고 회신함

- 기술수요조사 결과분석단계에선 기술분류체계와 회신된 기술아이템을 매칭하고, 응답현황 및 기술분류체계별 기술수요를 분석함
- 기술수요조사 결과활용단계에서는 회신 조사서 내용으로 동향 및 환경분석 내용을 보완하고, 기술아이템은 중점분야별 후보과제 구성에 활용함

2. 조사현황

- 현재 기술수요조사는 2016년 11월 초까지 진행하여 다양한 전문가를 대상으로 조사 수행함
- 조사기간은 2016년 10월 10일부터 11월 4일(4주)간 진행
- 조사대상은 내부 기획연구진(K-water 연구원, 날리지웍스), 분과별 기획전문가위원(35명), 수자원학회, 농공학회, 신재생에너지학회, 상하수도학회 등 4개 학회 회원을 대상으로 함
- 조사방법은 E-mail을 통한 설문조사로 수행함
- 현재까지 43개의 기술아이템이 제안되었음

〈표 4.1〉 WEF 넥서스 기술아이템

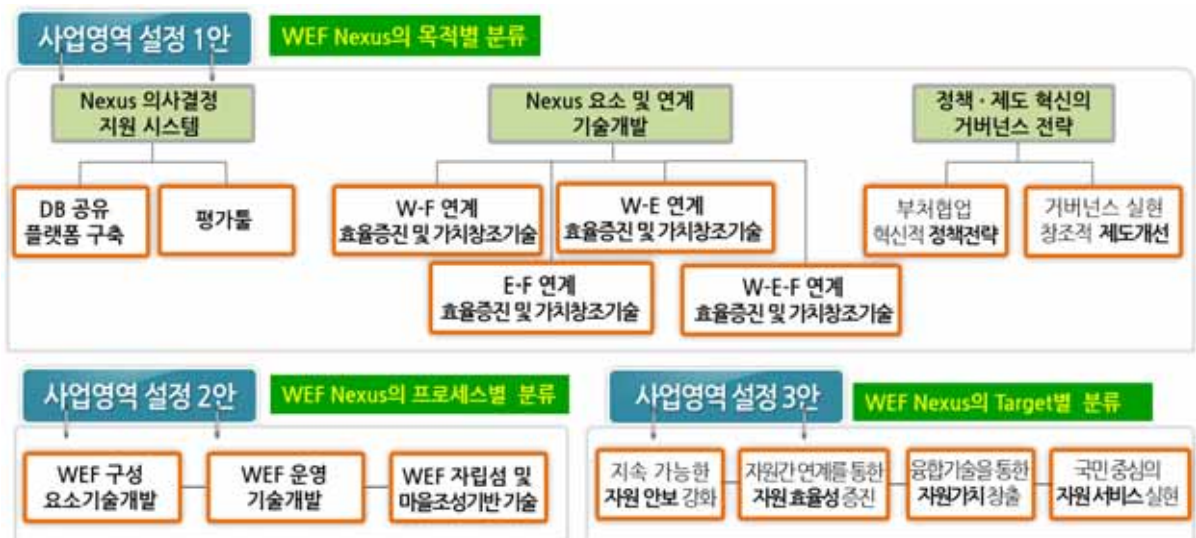
연번	기술명	연계분야		
		Water	Energy	Food
1	국내 맞춤형 W-E-F 연계 해석 및 평가 모형 Tool 개발	O		
2	물-에너지-식량 자립섬(WEF 3.0 Island) 구축을 위한 융합 기술	O	O	O
3	도심 친환경 열에너지 공급을 위한 Water Heat Grid 시스템 구현 기술	O	O	O
4	물, 에너지, 식량 자립형 마을(WEF 3.0 Village) 구현 기술	O	O	O
5	광역적 복합유역(유역, 하구 및 연안, 지표수-지하수) 물질순환 해석기술	O		
6	상수도 시스템 스케줄링을 통한 수요반응 전력거래	O	O	
7	한국형 WEF 모델 구현 및 친환경 에너지/물/식량 자립섬 구축	O	O	O
8	농업분야 물-식량-에너지 연계 계획수립 및 평가 시범시스템 개발	O	O	O
9	미시적 물-에너지-식량 넥서스 평가시스템 개발	O	O	O
10	다중 최적화 알고리즘을 이용한 물-에너지-식량 Trade-Off 평가기법 개발	O	O	O
11	WEF Nexus 거버넌스 개발	O		
12	다단 저류시스템과 부력신축 가변형수차가 결합된 다단 저류식 수력발전시스템 개발	O	O	
13	WEF 관련 법·제도에 대한 해외 사례 분석 및 법·제도적 개선사항 제시	O	O	O
14	신재생 에너지를 활용한 에너지 자립 해수담수화 SWRO(Sea Water Reverse Osmosis) with Solar+ESS	O	O	

연번	기술명	연계분야		
		Water	Energy	Food
15	W-E-F Nexus 데이터베이스 구축 및 평가모형 개발	○	○	○
16	W-E-F 개별 요소 모델간의 데이터 공유를 통한 다이내믹 모델 평가 플랫폼 기술 개발	○	○	○
17	물-에너지 통합 검토를 위한 발자국의 변화 분석 (Analysis of footprint change to study water-energy coordination)	○	○	
18	W-E-F를 연계한 마이크로 그리드 단위의 최적 기술 상용화	○	○	○
19	기상-수자원-에너지-식량 넥서스 영향 평가 및 최적화를 위한 Key Modeling 체계 구축 및 실험적 연구	○	○	○
20	도시(지역)단위 물-에너지 순환(이용)과제 자원(Resource) 실시간 감시 및 관리시스템 개발	○	○	
21	수자원 사용 용도별 맞춤형 수원활용 및 연계 체계 구축.	○		
22	자가 에너지 생산형저류조 설계 및 운영 기술	○	○	
23	물-에너지-식량 넥서스 통합관리를 위한 시스템다이내믹스 기반 의사결정지원시스템	○	○	○
24	해수 및 우수를 활용한 자립형 WATER-ENERGY SYSTEM 구축	○	○	
25	해수와 우수를 활용한 수소 생산 및 저장 SYSTEM 구축	○	○	
26	유역 단위의 저영향개발 기법 생애주기비용 및 에너지 최적 관리 기술 개발	○		
27	GCAM(Global Change Assessment Model)을 이용한 Water-Energy-Food Nexus모형구축	○	○	○
28	WE create Feature. 약칭 WEF(Water, Energy &Food) 여기서 Feature는 미래의 먹거리를 상징	○	○	○
29	하천변홍수터를 활용한 저심도 간접취수원 기술 개발	○		
30	수력 발전과 연계한 W-E-F Nexus 향상 및 최적 자원 배분 기술 개발	○	○	○
31	유역별 에너지 자립형 친환경 통합유역관리	○	○	○
32	WEF Nexus의 효율 극대화를 위한 빅데이터 적용 연구	○	○	○
33	WEF Nexus의 인문사회과학적 영향 조사 및 분석	○	○	○
34	WEF Nexus 제도-정책 수립 연구	○	○	○
35	WEF 자원연계 효율화 평가 및 장기적 자원 관리를 위한 빅데이터 기반 NEXUS DB 구축	○	○	○
36	다목적댐 보유에너지를 활용한 친환경 Hydro-Cooling DB Town 구축방안 연구	○	○	
37	댐과 보의 저층 수열에너지를 활용한 녹조확산 방어 방안 연구	○	○	
38	WEF-Nexus 기술을 적용한 기존댐 댐(다목적, 발전용, 농업용) 리모델링 및 연계운영 방안 수립	○	○	○
39	도시형 에너지-식량 넥서스 기술: 음식물 쓰레기를 활용한 에너지 및 비료 생산 공급 시스템 개발		○	○
40	기후변화대비 발작물의 안정적인 생산성 향상을 위한 물-식	○	○	○

연번	기술명	연계분야		
		Water	Energy	Food
	량-에너지 연계효율개선 기술 개발			
41	농업의 영농기술(SRI) 적용을 통한 물-식량 연계 방안 연구	O		O
42	WEF Nexus를 위한 컴포넌트별 발자국 인벤토리 및 정보 체계 구축	O	O	O
43	CO2 에너지자원화 기반 대규모 해수냉방 · 담수 · 식물 공장 재배 융 · 복합 기술	O	O	

□ 분류에 따른 사업영역의 설정

- 사업영역 설정 1안 : WEF 넥서스의 목적별 분류
- 사업영역 설정 2안 : WEF 넥서스의 프로세스별 분류
- 사업영역 설정 3안 : WEF 넥서스의 Target별 분류



[그림 4.2] 분류에 따른 사업영역 설정

<표 4.2> WEF 넥서스의 사업영역 설정

연번	기술명	사업영역 설정 (1안)						사업영역 설정 (2안)			사업영역설정(3안)				
		Nexus 의사결정지원 시스템		Nexus요소 및 연계기술 개발				정책 제도	WEF 구성 요소기술 개발	WEF 운영기술개발	WEF 자립성 및 마을 조성 기술개발	안보	효율	가치	서비스
		DB 공유 및 플랫폼구축	평가툴	W-E	W-F	E-F	W-E-F								
1	국내 맞춤형 W-E-F 연계 해석 및 평가 모형 Tool 개발		O							O			O		
2	물·에너지·식량 자립섬(WEF 3.0 Island) 구축을 위한 융합 기술						O				O		O		
3	도시 친환경 열에너지 공급을 위한 Water Heat Grid 시스템 구현 기술						O		O					O	

연번	기술명	사업영역 설정 (1안)						사업영역 설정 (2안)			사업영역설정((3안)					
		Nexus 의사결정지원 시스템		Nexus요소 및 연계기술 개발				정책 제도	WEF 구성 요소기술 개발	WEF 운영기술 개발	WEF 자립성 및 마을 조성 기술개발	안보	효율	가치	서비스	
		DB 공유 및 플랫폼구축	평가틀	W-E	W-F	E-F	W-E-F									
4	물, 에너지, 식량 자립형 마을 (WEF 3.0 Village) 구현 기술						O				O	O				
5	광역적 복합유역(유역, 하구 및 연안, 지표수-지하수) 물질 순환 해석기술	O	O						O							
6	상수도 시스템 스케줄링을 통한 수요반응 전력거래			O					O				O			
7	한국형 WEF 모델 구현 및 친환경 에너지/물/식량 자립섬 구축						O				O	O				
8	농업분야 물-식량-에너지 연계 계획수립 및 평가 시범시스템 개발						O				O			O	O	
9	미시적 물-에너지-식량 넥서스 평가시스템 개발		O							O						O
10	다중 최적화 알고리즘을 이용한 물-에너지-식량 Trade-Off 평가 기법 개발		O							O			O			
11	WEF Nexus 거버넌스 개발							O		O						O
12	다단 저류시스템과 부력신축 가변형수차가 결합된 다단 저류식 수력발전시스템 개발			O					O				O	O		
13	WEF 관련 법·제도에 대한 해외 사례 분석 법·제도적 개선사항 제시							O		O						O
14	신재생 에너지를 활용한 에너지 자립 해수담수화 SWRO(Sea Water Reverse Osmosis) with Solar+ESS			O					O			O				
15	W-E-F Nexus 데이터베이스 구축 및 평가모형 개발	O	O							O			O			O
16	W-E-F 개별 요소 모델간의 데이터 공유를 통한 다이내믹 모델 평가 플랫폼 기술 개발		O							O			O			O
17	물-에너지 통합 검토를 위한 발자국의 변화 분석		O							O					O	
18	W-E-F를 연계한 마이크로 그리드 단위의 최적 기술 상용화						O		O				O			
19	기상-수자원-에너지-식량 넥서스 영향 평가 및 최적화를 위한 Key Modeling 체계 구축 및 실험적 연구		O							O			O			O
20	도시(지역)단위 물-에너지 순환(이용)과제 자원(Resource) 실시간 감시 및 관리시스템 개발			O						O						O
21	수자원 사용 용도별 맞춤형 수원 활용 및 연계 체계 구축.							O	O				O			O
22	자가 에너지 생산형저류조 설계 및 운영 기술			O					O						O	

연번	기술명	사업영역 설정 (1안)						사업영역 설정 (2안)			사업영역설정((3안))				
		Nexus 의사결정지원 시스템		Nexus요소 및 연계기술 개발				정책 제도	WEF 구성 요소기술 개발	WEF 운영기술 개발	WEF 자립성 및 마을 조성 기술개발	안보	효율	가치	서비스
		DB 공유 및 플랫폼구축	평가툴	W-E	W-F	E-F	W-E-F								
23	물-에너지-식량 넥서스 통합관리를 위한 시스템다이나믹스 기반 의사결정지원시스템		O							O				O	O
24	해수 및 우수를 활용한 자립형 WATER-ENERGY SYSTEM 구축			O					O			O			
25	유역 단위의 저영향개발 기법 생애주기비용 및 에너지 최적 관리 기술 개발			O					O				O		
26	GCAM(Global Change Assesment Model)을 이용한 Water-Energy-Food Nexus모형구축	O	O							O			O		
27	WE create Feature. 약칭 WEF(Water, Energy &Food) 여기서 Feature는 미래의 먹거리를 상징						O			O				O	
28	하천변홍수터를 활용한 저심도 간접취수원 기술 개발				O				O						O
29	수력 발전과 연계한 W-E-F Nexus 향상 및 최적 자원 배분 기술 개발						O		O			O	O		
30	유역별 에너지 자립형 친환경 통합유역관리						O		O						O
31	WEF Nexus의 효율 극대화를 위한 빅데이터 적용 연구	O								O			O		
32	WEF Nexus의 인문사회과학적 영향 조사 및 분석							O		O				O	
33	WEF Nexus 제도-정책 수립 연구							O		O					O
34	WEF 자원연계 효율화 평가 및 장기적 자원 관리를 위한 빅데이터 기반 NEXUS DB 구축	O								O		O	O		
35	다목적댐 보유에너지를 활용한 친환경 Hydro-Cooling DB Town 구축방안 연구			O					O					O	O
36	댐과 보의 저층 수열에너지를 활용한 녹조확산 방어 방안 연구			O					O				O	O	
37	WEF-Nexus 기술을 적용한 기존 댐 댐(다목적, 발전용, 농업용) 리모델링 및 연계운영 방안 수립						O		O			O			O
38	도시형 에너지-식량 넥서스 기술: 음식물 쓰레기를 활용한 에너지 및 비료 생산 공급 시스템 개발					O			O						O
39	기후변화대비 발작물의 안정적인 생산성 향상을 위한 물-식량-에너지 연계효율개선 기술 개발						O		O			O	O		
40	농업의 영농기술(SRI) 적용을 통한 물-식량 연계 방안 연구				O				O				O		
41	WEF Nexus를 위한 컴포넌트별 발자국 인벤토리 및 정보 체계 구축	O						O	O					O	
42	CO2 에너지자원화 기반 대규모 해수냉방 · 담수 · 식물공장 재배 용 · 복합 기술						O				O			O	O

2절. 사업의 구조

1. 사업추진방향 설정

- WEF Nexus 사업추진 방향 설정을 위해 내외부 환경분석을 통한 강점, 약점, 기회, 위협요인을 분석 및 SWOT분석을 수행함
- SO 전략은 기회요인을 활용하여 강점을 극대화 하는 전략이며, ST 전략은 강점을 활용하여 위협요인을 극복하는 전략임
- WO전략은 약점을 최소화하여 기회요인을 활용하는 전략이며, WT 전략은 위협요인을 회피하면서 약점을 최소화 하는 전략임



- WEF Nexus 관련 메가트렌드분석, 정책·시장·기술 및 논문·특허분석, 기술수요조사 등 내외부 환경분석 결과를 기반으로 주요 강점, 약점, 기회, 위협요인을 분석함
- 주요 강점, 약점, 기회, 위협요인 분석을 기반으로 한 SWOT 분석을 통해 WEF Nexus 사업 추진을 위한 방향을 설정함
- (SO-1) 자원 인프라 및 데이터 시스템 연계 자원효율 개선 기술 개발 추진
- (SO-2) 글로벌 물 관련 산업을 선도할 수 있는 넥서스 핵심기술 개발 추진
- (ST-1) 효율적 자원 인프라 및 자원순환시스템 운영을 통한 저탄소 자원위기 극복
- (ST-2) 인력난, 자원손실, 비용구조 악화를 해결할 수 있는 자원 순환 시스템 첨단화
- (WO-1) 기 개발된 넥서스 단일기술 조합을 통한 새로운 넥서스 패키지 기술

및 평가툴 기술개발 추진

- (WO-2) 부처간 공공이익 창출을 위한 자원간 넥서스 패키지 기술 개발 추진
- (WT-1) 미래 환경변화에 대응력 향상을 위한 부처간 물-에너지-식량 협의체 구성
- (WT-2) 지역 특성에 맞는 Flexible 넥서스 패키지 기술 개발 추진

		S1. 물, 에너지, 식량 자원인프라 및 데이터 시스템 체계화 S2. 인터넷 강국으로서 세계최고 수준의 자원 순환 정보공유 기반 및 정부 정보공개 확대 정책 S2. 집약형 자원 생산 및 소비 구조	W1. 물-에너지-식량 연계를 위한 부처간 협의 인식 부족 W2. 넥서스 영향분석을 위한 국내 평가툴 미비 W3. 기 개발된 각분야 넥서스 기술에 대한 저평가
		STRENGTH	WEAKNESS
O1. 물-에너지-식량 연계를 통한 물 관련 산업/시장 확대 O2. 통일후 자원간 연계고려한 북한지역 인프라 효율성 증대 O3. 물-에너지-식량 넥서스의 필요성에 대한 국제적 공감대	OPPORTUNITY	SO1. 자원 인프라 및 데이터 시스템 연계 자원효율 개선 기술 개발 추진 SO2. 글로벌 물 관련 산업을 선도할 수 있는 넥서스 핵심기술 개발 추진	WO1. 기 개발된 넥서스 단일기술 조합을 통한 새로운 넥서스 패키지 기술 및 평가툴 기술개발 추진 WO2. 부처간 공공이익 창출을 위한 자원간 넥서스 패키지 기술 개발 추진
T1. 기후변화 및 도시인구 증가로 인한 자원 부족 T2. 신기후협약으로 인한 탄소배출 저감 의무 부여 T3. 선진국 및 저개발 국가별 넥서스 기술 개발	THREAT	ST1. 효율적 자원 인프라 및 자원순환시스템 운영을 통한 저탄소 자원위기 극복 ST2. 인력난, 자원손실, 비용구조 악화를 해결할 수 있는 자원 순환 시스템 첨단화	WT1. 미래 환경변화에 대응력 향상을 위한 부처간 물-에너지-식량 협의체 구성 WT2. 지역 특성에 맞는 Flexible 넥서스 패키지 기술 개발 추진

[그림 4.3] SWOT 분석을 통한 사업추진 방향 설정

2. Issue 및 R&D Needs 도출

- 사업추진방향에 따른 사업추진시 자원간 수급분석 및 상호영향평가, 자원 활용 효율 극대화, 넥서스 운영 최적화, 인문융합중심 국민공감대 형성의 4가지 Issue가 발생할 것으로 분석됨
- Issue 1 : 자원간 수급분석 및 상호영향 평가
 - 물, 에너지, 식량의 필수자원에 대한 생산, 공급, 소비체계의 프르세스별 흐름 분석 및 각 자원간 상호 연관성 분석 및 평가
- Issue 2 : 자원활용 효율 극대화
 - 미래 자원확보의 위기가 고조됨에 따라 타 자원을 고려한 자원의 효율적 활용방안 및 저비용·고효율을 기대할 수 있는 연계 기술
- Issue 3 : 넥서스 운영 최적화
 - 기존 및 신규인프라의 운영방법 개선을 통한 필수 자원의 확보 방안
- Issue 4 : 인문융합중심 국민공감대 형성
 - 부처 및 지역간 벽을 허물로 국민적 공통된 컨센서스 도출과 거버넌스

실현을 통한 연계 기술의 필요성 도출



[그림 4.4] WEF 넥서스 관점의 이슈

□ 이러한 Issue 해결을 위한 R&D Needs는 아래와 같이 도출되었음

- R&D Needs 1 : 데이터 수집/분석 및 지식플랫폼 개발 필요
- R&D Needs 2 : 평가 Tool 개발
- R&D Needs 3 : 수자원 및 수자원 인프라 활용 효율화
- R&D Needs 4 : 에너지 생산 효율화
- R&D Needs 5 : 식량 생산 시 물·에너지 소비 효율화
- R&D Needs 6 : 수자원 인프라 운영 최적화
- R&D Needs 7 : 그리드 기반 운영
- R&D Needs 8 : 국민중심 자원연계 활용
- R&D Needs 9 : 인문융합중심 자원연계 시너지 극대화



[그림 4.5] 이슈별 R&D Needs

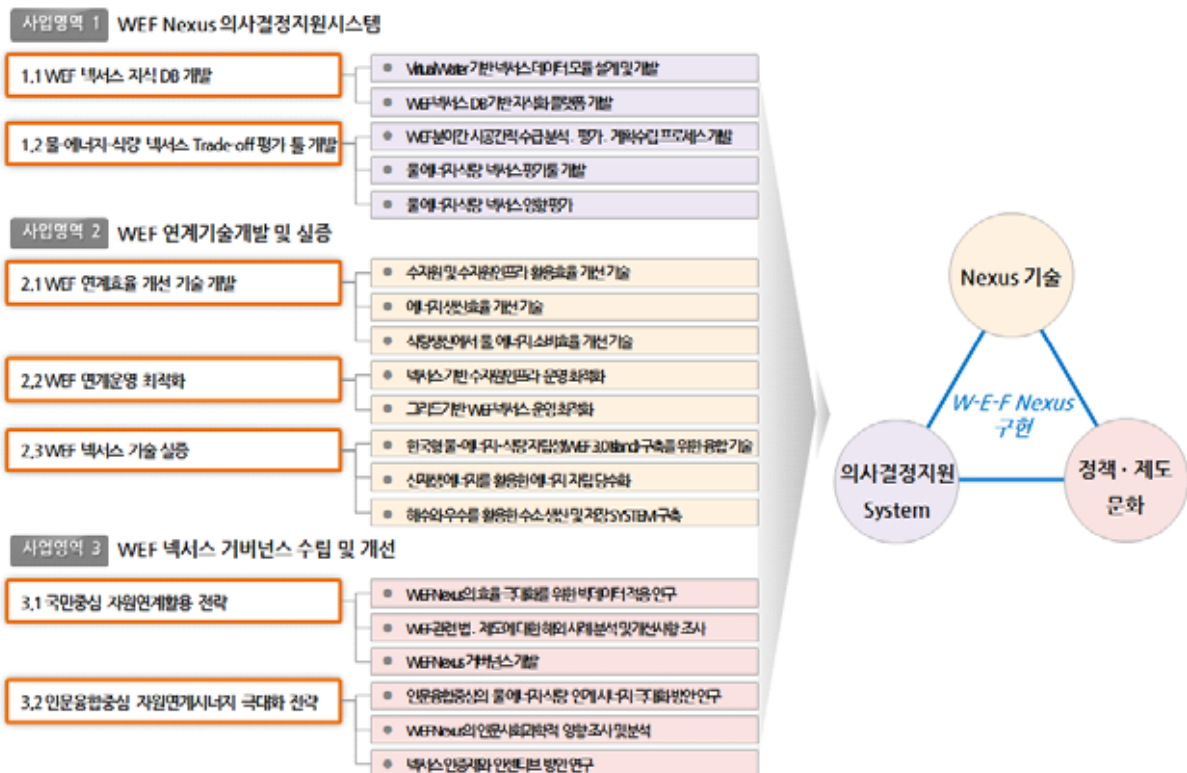
3. 사업영역 설정

- 9개 R&D Needs에 따라 앞서 조사되었던 기술수요조사 결과를 토대로 전문가위원회 논의를 거쳐 관련 기술아이템을 매칭하였음
- 수요조사결과 기존 국가 R&D 사업과 중복과제 유무를 확인하여 중복일 경우 제외함
- 기술아이템간 유사성 및 위계검토를 통해 세분화, 병합작업을 거쳐 최종 기술아이템을 도출함
- 9개 R&D Needs에 직접적으로 연결되는 기술아이템 외에 이들 기술의 실증을 위한 기술아이템을 별도로 설정함



[그림 4.6] R&D Needs 대응 기술아이템

□ 기술아이템간 목적과 유형을 고려하여 3가지 사업영역과 7가지 세부사업 영역을 도출함



[그림 4.7] 사업영역

3절. 사업 비전 · 목표 및 추진전략

1. 개요

비 전	국가 물-에너지-식량 연계 를 통한 21C形 新산업인프라 기반 구축		
목 표	● 물-에너지-식량 분야 상호 연계를 통한 분야별 「생산-가공-유통 처리」 효율 30% 개선 ● 20C SOC 시설산업기반에서 21C 사회 인프라 국민 서비스 산업으로 전환을 통한 국가 신산업기반 구축 ● 4차 산업혁명의 Data Technology 분야에서 세계 최초의 공공기반 WEF 연계 패키지 기술 개발		
추진 방향	WEF 넥서스 의사결정지원 시스템	WEF 연계기술 개발 및 실증	WEF 넥서스 거버넌스 수립 및 개선

2. 비전

- ☐ 국가 물-에너지-식량 연계를 통한 21C形 新산업인프라 기반 구축

3. 목표

- ☐ 물-에너지-식량 분야 상호 연계를 통한 분야별 「생산-가공-유통 처리」 효율 30% 개선
- ☐ 20C SOC 시설산업기반에서 21C 사회 인프라 국민 서비스 산업으로 전환을 통한 국가 신산업기반 구축
- ☐ 4차 산업혁명의 Data Technology 분야에서 세계 최초의 공공기반 WEF 연계 패키지 기술 개발

4. 추진전략

- ☐ WEF Nexus 기술적용의 효율성 검증을 위한 단기추진과제 우선 추진
- ☐ 국민적 공감대 형성을 위한 정기적 성과공유회 개최
- ☐ 부처간 연계·협력 네트워크 구축을 위한 성과물의 활용성 제고 등

5. 중점추진분야 설정(장기적 추진분야 및 단기적 추진분야)

- ☐ 기술의 도출을 위해 먼저 전문가들의 의견을 바탕으로 한 기술 수요조사를 시행하였으며 총50편의 수요조사 중 의미있는 기술수요조사서 43개 기술 분류
- ☐ 사업영역설정 및 연계성을 통해 과제를 분류하였으며, 이를 바탕으로 기획위원 등 외부전문가 의견 및 자체기획연구진의 논의를 통해 장단기 과제를 정리하였음

5장. 중점추진분야별 추진내용

1절. WEF 넥서스 의사결정지원 시스템 분야

1. 추진 배경 및 필요성

- ☐ 넥서스 기술을 평가하고 자원간 상호영향을 평가하기 위해서는 반드시 데이터 구축이 필요함. 이를 위해 가상수에 기반한 데이터들을 어떠한 형식으로 무엇을 수집하고 관리해야 하는지에 대한 연구 필요
- ☐ 여러 가지 넥서스 기술 가운데 지역 특성에 따라 필요로 하는 넥서스 기술을 찾고자 넥서스 기술 적용을 했을 때 각자원에 대한 영향을 평가하는 방법을 체계화 필요

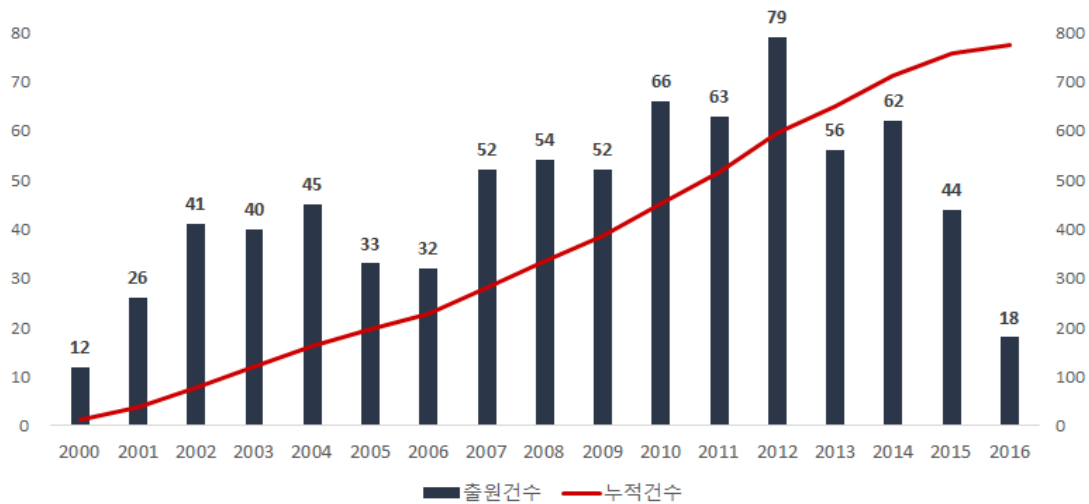
2. 세부사업의 목적 및 범위

- ☐ WEF 넥서스 지식 DB 개발
 - Virtual Water 기반 넥서스 데이터 모듈 설계 및 개발
 - WEF 넥서스 DB 기반 지식화 플랫폼 개발
- ☐ 물-에너지-식량 넥서스 Trade-off 평가 툴 개발
 - WEF 분야간 시공간적 수급 분석 · 평가 · 계획수립 프로세스 개발
 - 물-에너지-식량 넥서스 평가툴 개발
 - 물-에너지-식량 넥서스 영향 평가

3. 특허 및 논문현황

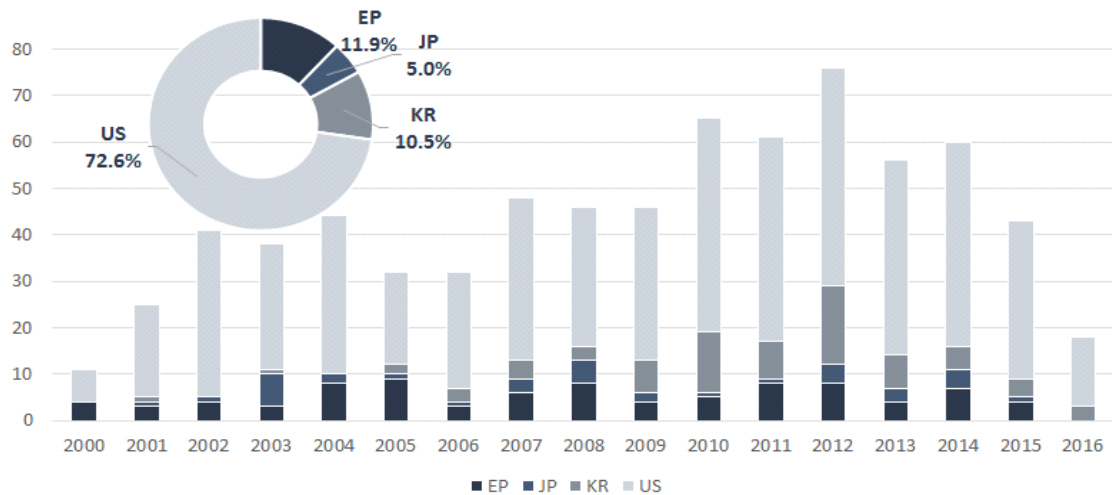
가. 특허현황

- ☐ “WEF 넥서스 의사결정지원시스템” 관련 특허출원건수는 ‘00년 12건에서 ‘15년 44건으로 증가함
 - WEF 넥서스 의사결정지원시스템 기술 관련 특허는 ‘00년부터 ‘16년 6월까지 총 775건 출원된 것으로 나타남
 - ‘00년부터 ‘09년까지 연간 40~50건 수준의 출원건수를 기록하였으나, ‘10년 이후 매년 60건 이상의 출원건수를 기록하고 있음



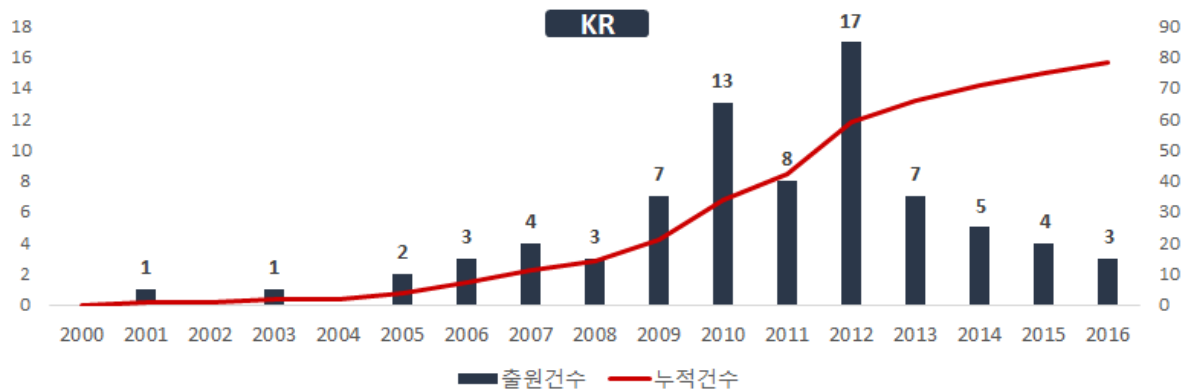
[그림 5.1] WEF 넥서스 의사결정지원시스템 기술 연도별 특허출원건수('00~'16)

- WEF 넥서스 의사결정지원시스템 관련 한국, 미국, 일본, 유럽 특허청의 특허출원건수 742건 중 미국이 가장 큰 비중을 차지하고 있음
- 미국(72.6%)에 이어 유럽(11.9%), 한국(10.5%), 일본(5.0%) 순으로 높은 비중을 차지하고 있음



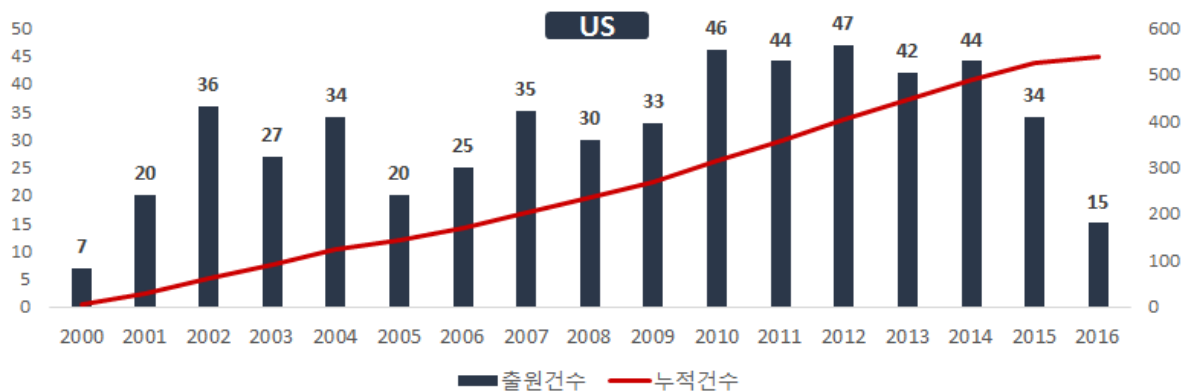
[그림 5.2] WEF 넥서스 의사결정지원시스템 기술 관련 연도별 국가별 특허출원건수('00~'16)

- 한국의 특허출원건수는 '00~'04년까지 거의 출원되지 않다가 '12년 17건으로 증가하였으며 이후 감소하는 추세를 보임



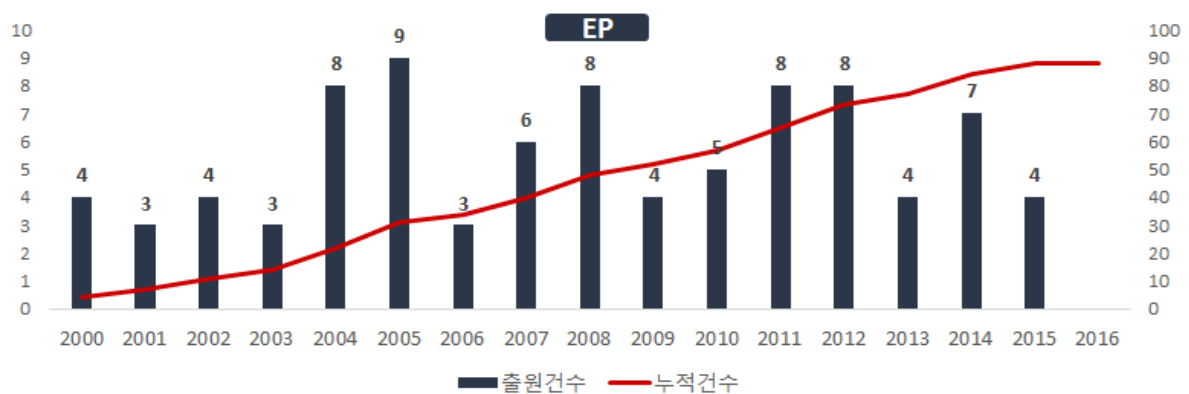
[그림 5.3] WEF 넥서스 의사결정지원시스템 기술 관련 연도별 특허출원건수(한국, `00~`16)

○ 미국의 특허출원건수는 '00년 7건에서 '14년 44건으로 증가하였으며 꾸준히 연간 40건 이상의 특허가 출원되고 있음



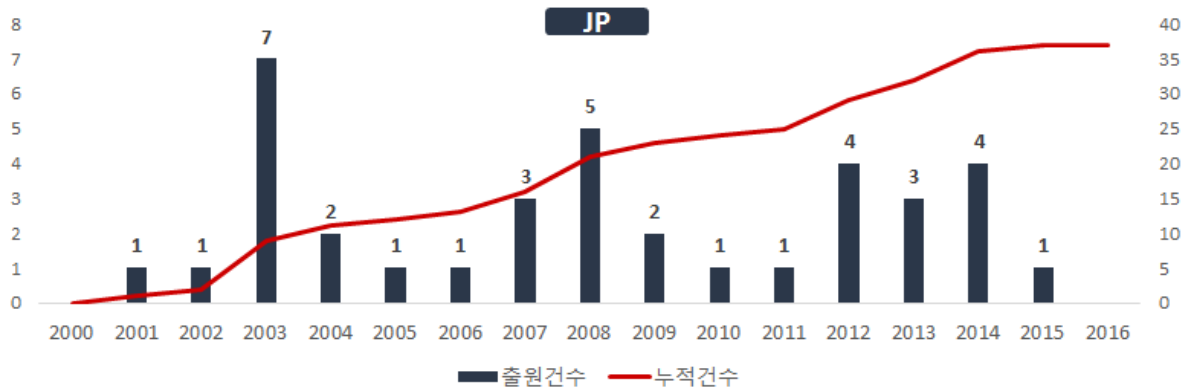
[그림 5.4] WEF 넥서스 의사결정지원시스템 기술 관련 연도별 특허출원건수(미국, `00~`16)

○ 유럽은 매년 등락을 거듭하고 있으며 대체로 10건 내로 출원되고 있음



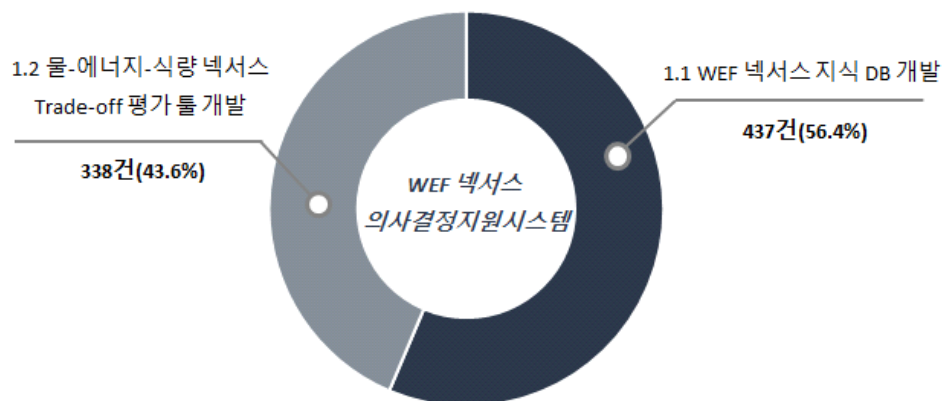
[그림 5.5] WEF 넥서스 의사결정지원시스템 기술 관련 연도별 특허출원건수(유럽, `00~`16)

○ 일본의 특허출원건수는 '03년 7건으로 급격히 많은 특허가 출원되었으며, 전반적으로 5건 미만의 출원건수를 보임



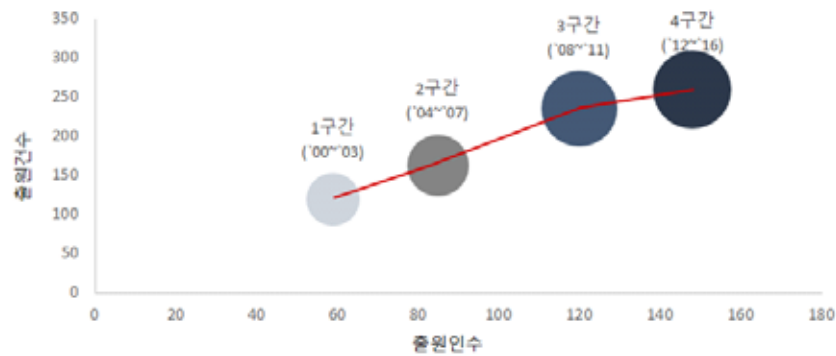
[그림 5.6] WEF 넥서스 의사결정지원시스템 기술 관련 연도별 특허출원건수(일본, `00~`16)

- ‘00년부터 ‘16년 기간 동안 WEF 넥서스 의사결정지원시스템 기술의 특허출원은 WEF 넥서스 지식 DB 개발 분야에서 가장 많은 출원활동이 이루어지고 있는 것으로 나타남
- WEF 넥서스 지식 DB 개발 기술은 총 437건(56.4%), 물-에너지-식량 넥서스 Trade-off 평가를 개발 기술은 338건(43.6%) 출원된 것으로 나타남



[그림 5.7] WEF 넥서스 의사결정지원시스템 기술 중분류별 출원비중

- WEF 넥서스 의사결정지원시스템 관련 기술은 특허출원건수와 특허출원인수가 빠르게 증가하고 있는 “성장기” 단계인 것으로 분석됨



[그림 5.8] WEF 넥서스 의사결정지원시스템 기술 성장단계

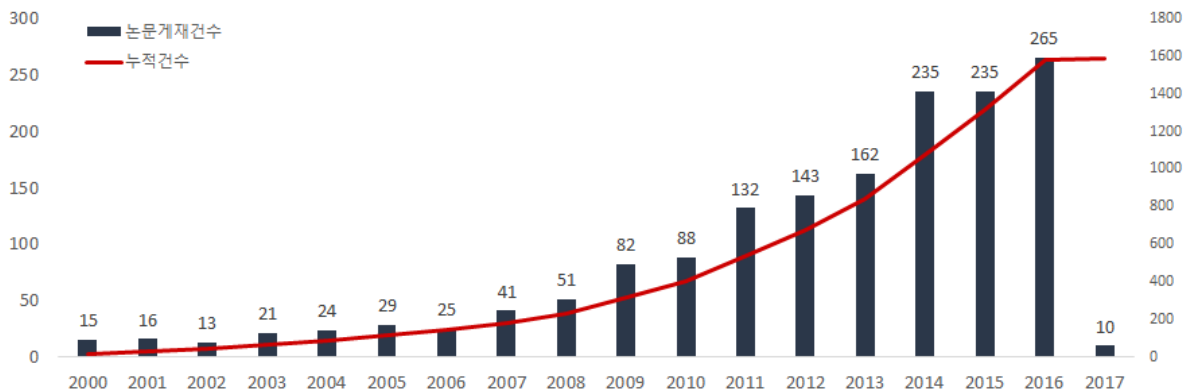
- 기술 특허평가지표는 대부분 미국이 가장 높은 것으로 나타났으며 특허시장력에서 일부 유럽 국가들이 두각을 드러내고 있음
- 한국은 1.2.1(WEF 분야간 시공간적 수급 분석·평가·계획수립 프로세스 개발) 분야의 특허활동도와 1.1.2(WEF 넥서스 DB 기반 지식화 플랫폼 개발) 분야의 특허집중도에서 높은 수치를 보임
- 유럽 일부 국가에서 특허시장력이 높은 것으로 나타났으며, 독일은 특허영향력이 상대적으로 높게 나타났음

<표 5.1> WEF 넥서스 의사결정지원시스템 기술 특허평가지표

평가지표	기술분류	KR	US	JP	GB	FR	DE
특허활동도	1.1.1	0.070	0.699	0.063	0.042	0.028	0.098
	1.1.2	0.156	0.594	0.109	0.000	0.031	0.109
	1.2.1	0.600	0.236	0.109	0.000	0.018	0.036
	1.2.2	0.182	0.764	0.018	0.000	0.000	0.036
	1.2.3	0.170	0.426	0.021	0.043	0.043	0.298
특허집중도	1.1.1	0.724	1.049	0.814	1.448	0.965	0.965
	1.1.2	1.617	0.891	1.415	0.000	1.078	1.078
	1.2.1	1.847	0.495	2.141	0.000	0.952	0.317
	1.2.2	0.560	1.310	0.145	0.000	0.000	0.383
	1.2.3	0.524	0.891	0.418	3.340	2.227	2.598
특허시장력	1.1.1	0.605	1.267	0.721	1.008	1.232	1.168
	1.1.2	0.447	1.642	0.827	0.000	2.106	0.978
	1.2.1	0.295	1.538	0.614	0.000	0.526	3.026
	1.2.2	0.906	2.827	1.360	0.000	0.000	0.906
	1.2.3	0.787	1.614	0.394	1.771	0.394	1.040
특허경쟁력	1.1.1	0.022	0.800	0.067	0.022	0.022	0.067
	1.1.2	0.000	0.850	0.050	0.000	0.100	0.000
	1.2.1	0.000	0.625	0.250	0.000	0.000	0.125
	1.2.2	0.067	0.933	0.000	0.000	0.000	0.000
	1.2.3	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000
특허영향력	1.1.1	0.225	1.121	0.154	0.193	0.000	9.119
	1.1.2	0.070	1.524	0.128	-	-	2.760
	1.2.1	0.619	1.503	0.459	-	-	-
	1.2.2	0.024	1.352	0.027	-	-	-
	1.2.3	0.900	1.100	0.000	-	0.000	-

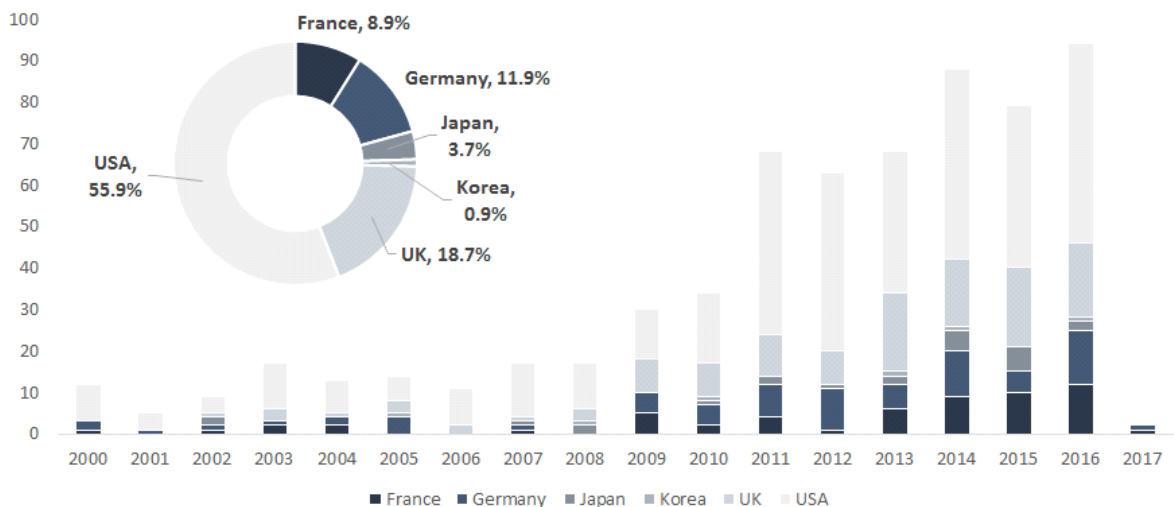
나. 논문현황

- “WEF 넥서스 의사결정지원시스템” 관련 논문게재건수는 ‘00년 15건에서 ‘16년 265건으로 증가함
- “WEF 넥서스 의사결정지원시스템” 관련 논문은 ‘00년부터 ‘17년 1월까지 총 1,587건 게재된 것으로 나타남
- ‘00년부터 ‘16년까지 꾸준한 증가세를 보이고 있으며, ‘14년 이후로는 매년 200건 이상의 게재건수를 보이고 있음



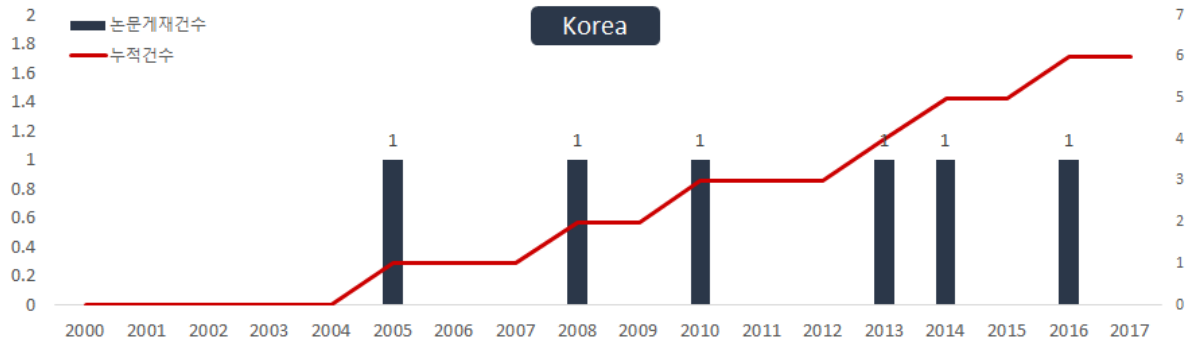
[그림 5.9] WEF 넥서스 의사결정지원시스템 관련 연도별 논문게재건수(‘00~‘17.01)

- “WEF 넥서스 의사결정지원시스템” 관련 주요 6개국의 논문게재건수 641건 중 미국이 가장 큰 비중을 차지하고 있으며 한국을 제외하고 대체적인 증가세를 보이고 있음
- 미국(55.9%), 영국(18.7%), 독일(11.9%), 프랑스(8.9%), 일본(3.7%) 순이며, 한국의 게재 비중은 0.9%에 불과함



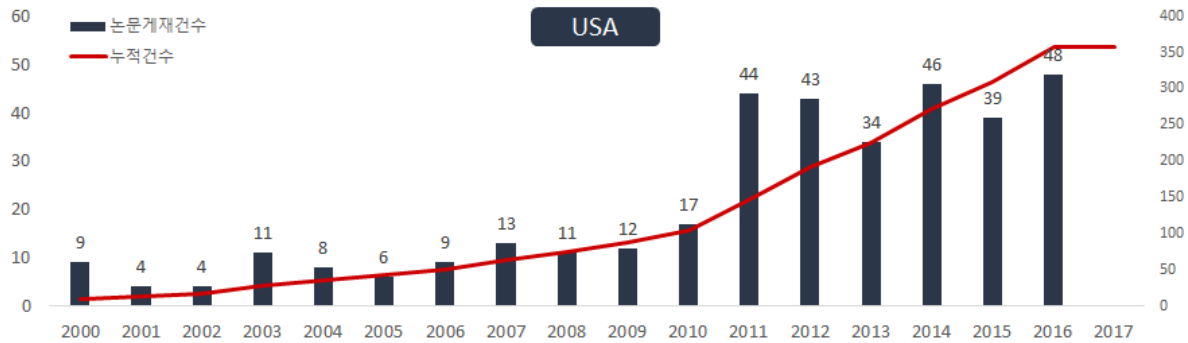
[그림 5.10] WEF 넥서스 의사결정지원시스템 관련 연도별 국가별 논문게재건수(‘00~‘17.01)

○ 한국은 대부분 연도에서 논문이 게재되지 않았으며, 논문게재건수는 1건 이상 게재된 해가 없이 매우 저조한 것으로 나타남



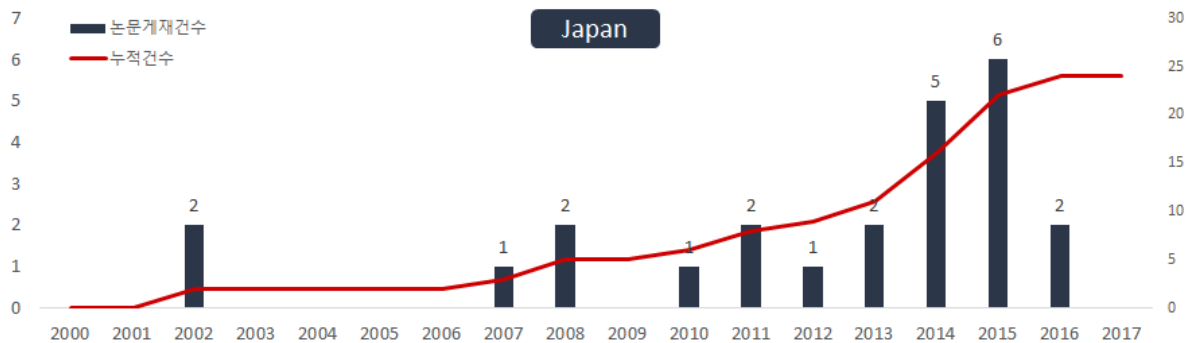
[그림 5.11] WEF 넥서스 의사결정지원시스템 관련 연도별 논문게재건수(한국, '00~'17.01)

○ 미국의 논문게재건수는 '00년부터 '10년까지 10건 내외의 게재건수를 보이다가 '11년 이후 급격히 증가하여 매년 40건 내외로 게재되고 있는 추세임



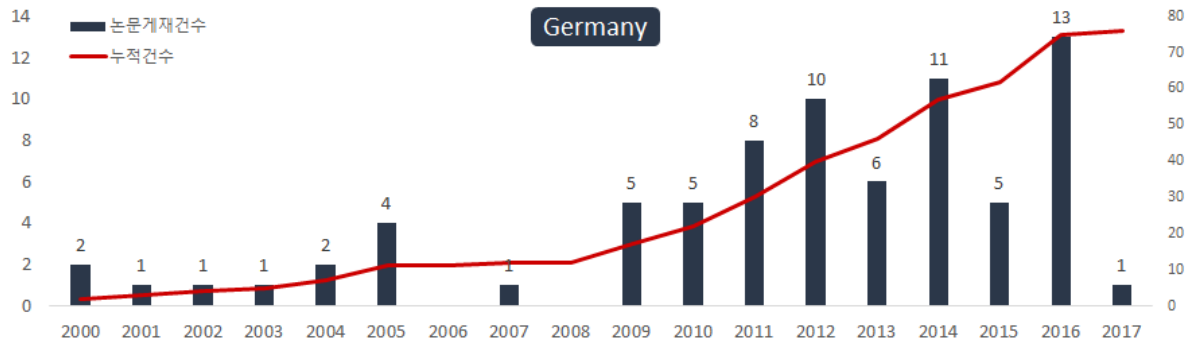
[그림 5.12] WEF 넥서스 의사결정지원시스템 관련 연도별 논문게재건수(미국, '00~'17.01)

○ 일본의 논문게재건수는 '13년까지 저조한 수치를 나타냈으나 최근 게재 건수가 증가하는 중임



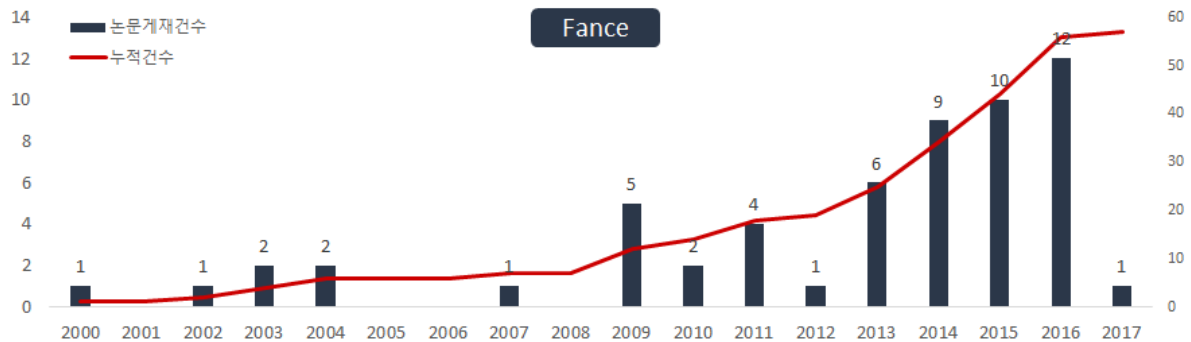
[그림 5.13] WEF 넥서스 의사결정지원시스템 관련 연도별 논문게재건수(일본, '00~'17.01)

○ 독일의 논문게재건수는 '00년 2건에서 '16년 13건으로 대체로 증가함



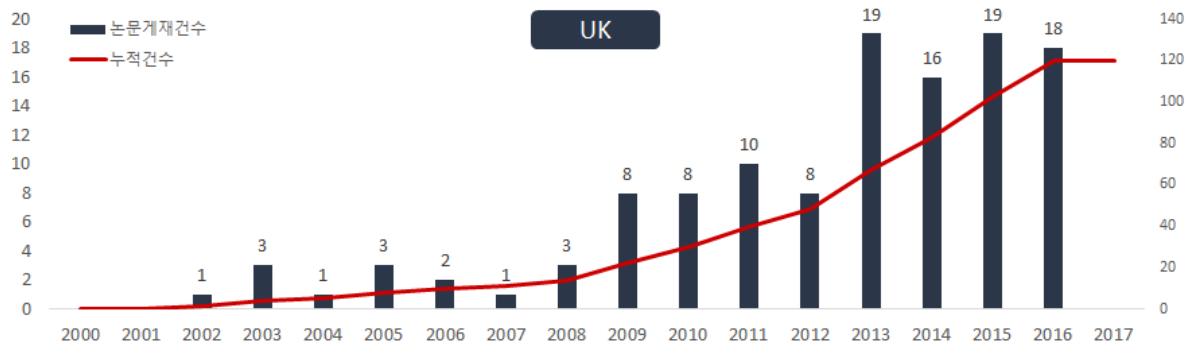
[그림 5.14] WEF 넥서스 의사결정지원시스템 관련 연도별 논문게재건수(독일, '00~'17.01)

○ 프랑스의 논문게재건수는 '08년까지 거의 게재되지 않았으나 이후 증가세를 보이기 시작하여 최근에는 매년 10건 내외의 건수를 보이고 있음



[그림 5.15] WEF 넥서스 의사결정지원시스템 관련 연도별 논문게재건수(프랑스, '00~'17.01)

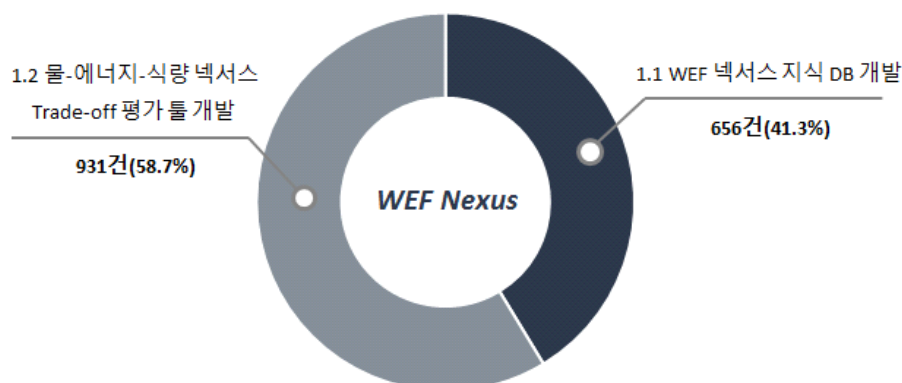
○ 영국의 논문게재건수는 '02년 1건에서 '16년 18건으로 높은 증가세를 보이고 있음



[그림 5.16] WEF 넥서스 의사결정지원시스템 관련 연도별 논문게재건수(영국, '00~'17.01)

□ '00년부터 '16년 기간 동안 WEF 넥서스 의사결정지원시스템의 논문은 물-에너지-식량 넥서스 Trade-off 평가 틀 개발 분야에서 가장 많은 게재활동이 이루어지고 있는 것으로 나타남

- WEF 넥서스 지식 DB 개발 관련 논문은 총 656건(41.3%)이며, 물-에너지-식량 넥서스 Trade-off 평가 틀 개발 관련 논문은 총 931건(58.7%) 게재되어 약 1.5배의 격차를 보임



[그림 5.17] WEF 넥서스 의사결정지원시스템 대분류별 게재비중

- WEF 넥서스 의사결정지원시스템의 국가별 논문활동도 및 논문영향력은 미국이 가장 높은 것으로 나타남
- 모든 분야에서 미국의 활동도와 영향력이 가장 높은 것으로 나타났으며, 한국은 1.1.1(Virtual Water 기반 넥서스 데이터 모듈 설계 및 개발), 1.2.2 (물-에너지-식량 넥서스 평가틀 개발) 분야에 집중도가 높음

<표 5.2> WEF 넥서스 의사결정지원시스템 기술 논문평가지표

평가지표	기술분류	Korea	USA	Japan	UK	France	Germany
논문활동도	1.1.1	0.011	0.568	0.071	0.180	0.055	0.115
	1.1.2	0.000	0.719	0.053	0.018	0.140	0.070
	1.2.1	0.000	0.512	0.024	0.220	0.049	0.195
	1.2.2	0.043	0.348	0.043	0.130	0.261	0.174
	1.2.3	0.006	0.561	0.016	0.226	0.080	0.111
논문집중도	1.1.1	1.311	0.941	1.066	1.273	0.729	1.102
	1.1.2	0.000	1.191	0.789	0.124	1.871	0.674
	1.2.1	0.000	0.964	1.223	1.024	0.502	1.534
	1.2.2	4.359	0.655	2.179	0.608	2.682	1.367
	1.2.3	0.639	1.055	0.798	1.054	0.819	0.876
논문영향력	1.1.1	0.004	0.603	0.072	0.182	0.048	0.092
	1.1.2	0.000	0.670	0.044	0.006	0.213	0.067
	1.2.1	0.000	0.518	0.004	0.168	0.089	0.221
	1.2.2	0.012	0.392	0.027	0.130	0.253	0.186
	1.2.3	0.002	0.565	0.015	0.221	0.097	0.100

다. 소결

- “WEF 넥서스 의사결정지원시스템” 관련 특허출원건수는 ‘00년 12건에서

- ‘15년 44건으로 증가하였으며 대부분 미국을 중심으로 기술이 개발 중임
- WEF 넥서스 의사결정지원시스템 기술 관련 특허는 ‘00년부터 ‘16년 6월 까지 총 775건 출원되었으며 미국이 72.6%로 대부분의 특허를 출원하였음
 - 중분류 단위에서는 WEF 넥서스 지식 DB 개발 기술이 총 437건, 56.4%로 상대적으로 높은 출원 비율을 보였음
- 전체적으로 WEF 넥서스 의사결정지원시스템 관련 기술은 “성장기” 단계로 평가되지만, 미국을 제외하고 특허 출원 건수는 크게 증가하지 않고 있으며 특히 우리나라는 ‘12년 이후 오히려 감소하는 추세를 보이고 있음
 - 기술특허평가지표에서도 대부분 미국이 가장 높은 것으로 나타남
- “WEF 넥서스 의사결정지원시스템” 관련 논문게재건수는 ‘00년 15건에서 ‘16년 265건으로 증가하였으며 특허분석결과와 유사하게 대부분 미국을 중심으로 논문이 발표 중임
- WEF 넥서스 의사결정지원시스템 기술 관련 논문은 ‘00년부터 ‘17년 1월 까지 총 1,587건 게재되었으며 미국이 55.9%로 절반 이상의 논문을 게재함
 - 중분류 단위에서는 특허와 달리 물-에너지-식량 넥서스 Trade-off 평가툴 개발 관련 논문이 총 931건(58.7%)로 높은 게재 비율을 보였음
- 전세계적으로 국가별 논문 게재 건수는 매우 높은 성장세를 보이고 있으나, 한국에서는 논문 게재가 매우 저조하며 전체 건수에서도 비중이 매우 낮아 이 분야에 대한 연구가 미진한 것으로 판단됨
 - 논문활동도 및 논문영향력에서도 대부분 미국이 가장 높은 것으로 나타남
- 최근 출원, 게재된 특허, 논문 분석결과 “의사결정지원 시스템 분야”에서는 물-에너지-식량 연계해석 부분 보다는 개별 자원에 대한 수요예측 및 생산효율화 측면의 연구가 중심을 이루고 있는 것으로 판단됨
- 물발자국, 가상수와 관련된 DB구축 및 시나리오 분석관련 연구는 상당히 거시적인 관점에서 이루어지고 있어, 향후 물, 에너지, 식량간의 상호영향평가를 위한 국가, 지역 차원의 DB구축 및 해석연구가 진행될 것으로 예상됨
 - 넥서스 기술을 평가하고 자원간 상호영향을 평가하기 위해서는 반드시 데이터 구축 및 해석기술이 필요함
 - 최근 물 발자국에 대한 영향 및 데이터베이스 구축, 지속 가능한 물-에너지 회수 공정 등에 대한 연구가 진행되고 있음을 확인함
- 또한 물-에너지-식량 간의 연계분석의 경우 물을 중심으로 한 에너지 소비특성 및 효율화 연구, 농장의 유형 및 관리, 강우량의 영향평가 시뮬레이션 등의 연구가 진행되고 있어 각 지원간 상호작용에 대한 영향평가(Trade-off, Synergy) 측면의 연구가 필요할 것으로 판단됨
 - 이를 위해서는 자원의 순환 흐름 분석을 위한 물, 에너지, 식량의 공급, 저장,

소비 등에 대해 분석, 평가, 계획에 대한 프로세스를 구체화 하고, 생산-가공-유통-소비 등 각 단계별 효율 최적화 프로세스에 대한 연구가 필요함

- 최근 에너지에 대한 미래 수요 예측, 에너지-물 동시 발생 시스템, 폐수 여과 물 발자국 시스템 등이 개발되어 미래 수요예측에 기반한 물-에너지 생산에 대한 연구가 활발히 진행되고 있음이 확인됨

4. 기술개발 내용

가. 기간 및 예산 : 10년/150억

세부사업		개요	결과물	기간 (총년)	소요 예산 (억원)
1.1 WEF 넥서스 지식 DB 개발				10	70
1.1.1	Virtual Water 기반 넥서스 데이터 모듈 설계 및 개발	넥서스 기술을 평가하고 자원간 상호영향을 평가하기 위해서는 반드시 데이터 구축이 필요함. 이를 위해 가상수에 기반한 데이터들을 어떠한 형식으로 무엇을 수집하고 관리해야 하는지에 대한 연구	• 자원별 가상수 현황자료 • 기후변화에 따른 가상수 흐름 체계 • 자원간 생산 및 소비의 변화율 • 물발자국 DB • 물발자국 DB 관련 정보 시스템	8	30
1.1.2	WEF 넥서스 DB 기반 지식화 플랫폼 개발	DB구축이 목적이 아니라 넥서스 DB를 기반으로 넥서스 관련 지식을 생성하여 국민들에게 전달하기 위한 플랫폼 개발	• 정보 연계 지식 콘텐츠 • 지식 DB 생산, 제공시스템 • 지식 DB 표준화 및 제공 프로세스 • WEF 연계 지식콘텐츠 시범DB • WEF 연계 시범지식DB 시스템	10	40
1.2 물-에너지-식량 넥서스 Trade-off 평가 툴 개발				8	80
1.2.1	WEF 분야간 시공간적 수급 분석 · 평가 · 계획수립 프로세스 개발	자원의 순환 흐름 분석을 위하여 물, 에너지, 식량의 공급, 저장, 소비 등에 대해 분석, 평가, 계획에 대한 프로세스 개발	• 소비자 중심 물, 에너지 별 소비-유통-가공-생산 역흐름 수요공급 분석, 평가 프로세스 개발 (개인, 공동체, 지역, 국가 스케일 문제 해결) • 물-에너지별 수요공급 계획 프로세스 개발 (개인, 공동체, 지역규모별) • 물-에너지 연계 소비자 중심 생산-가공-유통-	5	20

세부사업		개요	결과물	기간 (총년)	소요 예산 (억원)
			소비 단계별 효율 최적화 프로세스 개발 • 농업용수, 농업에너지, 식량생산 시공간 수급 프로세스 개발		
1.2.2	물-에너지-식량 넥서스 평가툴 개발	각 자원간 상호작용에 대한 영향 평가 (Trade-off, Synergy, 넥서스 기술 영향)	• 국가 WEF Nexus 평가 모형(SW, 웹기반), 기술 보고서 등 • WEF간 Trade-off 최적 평가 알고리즘 및 표준매뉴얼 • WEF Nexus 평가 툴 Software • 표준화된 WEF DB • Trade-off 해석을 위한 목적함수별 시나리오 • GUI기반의 Trade-off 평가 툴	8	35
1.2.3	물-에너지-식량 넥서스 영향 평가	넥서스 DB와 평가툴을 활용하여 영향 평가 수행 연구	• 기후변화, 환경변화, 인문 사회변화 등 외부환경의 변화가 WEF 자원의 수급에 미치는 영향 평가 및 대안 제시 • WEF ClimateChange, WEF CarbonEmission 등 WEF 모형을 확장하여 영향평가 및 정책결정에 활용	8	25

나. 세부사업별 내용

(1) WEF 넥서스 지식 DB 개발

□ Virtual Water 기반 넥서스 데이터 모듈 설계 및 개발

- 넥서스 기술을 평가하고 자원간 상호영향을 평가하기 위해서는 반드시 데이터 구축이 필요함. 이를 위해 가상수에 기반한 데이터들을 어떠한 형식으로 무엇을 수집하고 관리해야 하는지에 대한 연구

○ 국내 물발자국 산정방안 연구

- 물발자국을 줄이는 것이 넥서스 기술 목표의 핵심이기도 함. 따라서 이러한 물발자국이 어떻게 구성되었는지 또한 산정방법에 대한 연구 필요
- 물, 에너지, 식량 분야 컴포넌트별 DB 인벤토리 및 정보 체계 구축
 - 넥서스관련 데이터는 양이 너무 방대하기 때문에 이를 체계적으로 구성하기 위해서는 인벤토리들과 정보체계를 구축하는 것이 필요하기 때문에 이에 대하여 상호간 영향평가 및 정보를 비교 분석할 수 있도록 컴포넌트별 (물, 에너지, 식량) DB 인벤토리와 정보체계(메타데이터) 구축 필요
- 물-에너지 및 물-식량 연계 규모일치 설계
 - DB구축에 있어 자원간 자료의 활용의 극대화를 위해서 표준화 설계 기본
- WEF 넥서스 DB 기반 지식화 플랫폼 개발
 - DB구축이 목적이 아니라 넥서스 DB를 기반으로 넥서스 관련 지식을 생성하여 국민들에게 전달하기 위한 플랫폼 개발
- 물-에너지 및 물-식량 시공간 수지 산정기술 개발
 - 물, 에너지, 식량 등의 시공간적 스케일이 다르기 때문에 이를 고려하여 물-에너지, 물-식량 수지를 산정할 수 있는 시공간적 수지 산정기술 개발 필요
- WEF 넥서스 DB-평가툴 연계 지식정보 제공 시스템 개발
 - 구축된 넥서스 DB를 평가툴에 바로 연결하고 사용하여 지식화할 수 있는 일종의 모듈 형태의 시스템 개발
- WEF 넥서스 지식화 콘텐츠 설계 및 개발
 - 플랫폼내에서 운영할 수 있는 넥서스 자료에 대한 평가 및 분석을 통하여 지식화할 수 있는 콘텐츠의 관리 및 제공에 대한 설계 및 개발
- WEF 분야간 시공간 GIS 기반 분석결과 표출 모듈 설계 및 개발
 - 넥서스 플랫폼내에서 End-users(관리자, 국민)가 보다 이해하기 쉽게 시공간적으로 넥서스 지식화 결과물을 표출할 수 있는 모듈 설계 및 개발

(2) 물-에너지-식량 넥서스 Trade-off 평가 툴 개발

- WEF 분야간 시공간적 수급 분석 · 평가 · 계획수립 프로세스 개발
 - 자원의 순환 흐름 분석을 위하여 물, 에너지, 식량의 공급, 저장, 소비 등에 대해 분석, 평가, 계획에 대한 프로세스 개발
- 생공용수-생활/산업에너지 시공간적 수급 프로세스 개발
 - 생활용수 및 공업용수 vs 생활에너지 및 산업에너지
- 농업용수-농업에너지-농업식량생산 시공간적 수급 프로세스 개발
 - 농업분야에서 식량생산을 위하여 소비되는 물과 에너지의 순환 프로세스 정립하며, 식량 생산에 대하여 식량 생산량과 이에 소비되는 수자원과 에너지의 관계 정립

□ 물-에너지-식량 넥서스 평가툴 개발

- 각 자원간 상호작용에 대한 영향 평가 (Trade-off, Synergy, 넥서스 기술 영향)

○ 넥서스 DB 연계 기반 다이내믹 평가모델 개발

- 넥서스 DB에 연계해 자료가 업데이트 될 때 마다 새롭게 영향 평가를 할 수 있는 다이내믹 평가모델 개발

○ 물-에너지-식량 넥서스 Trade-Off 평가기법 개발

- 자원간 Trade-off(예. 물의 사용을 줄였을 때 식량과 에너지의 생산량)를 줄일 수 있는 방안 찾기 위해서 Trade-off 평가 기법 필요

○ 넥서스 기술에 따른 WEF 효율성 평가방법 개발

- 여러 가지 넥서스 기술 가운데 지역 특성에 따라 필요로 하는 넥서스 기술을 찾고자 넥서스 기술 적용을 했을 때 각자원에 대한 영향을 평가하는 방법을 체계화 필요

○ 넥서스 기술 연계 평가 처리 모듈 개발

- 어느 한 unit (구역 or 행정구역)의 주어진 조건에 대하여 어떠한 기술들을 조합하였을 때 목적을 달성할 수 있는가를 찾을 수 있는 최적화 평가 처리 기술 개발

□ 물-에너지-식량 넥서스 영향 평가

- 넥서스 DB와 평가툴을 활용하여 영향 평가 수행 연구

○ WEF 생태서비스 영향평가

- 물, 에너지, 식량 자원이 인간에게 주는 생태서비스 영향 평가

○ WEF 기술 적용 영향평가

- 개발된 넥서스 기술이 기존 환경(물, 에너지, 식량 순환)에 적용되었을 때의 영향 평가

○ 기후변화와 WEF 개별 및 통합 영향분석

- 기후변화가 자원에 미치는 영향과 기후변화에 대한 넥서스 기술의 대응력 분석

2절. WEF 연계기술 개발 및 실증 분야

1. 추진 배경 및 필요성

- ☐ 물 분야에서 수자원과 수자원인프라를 활용하여 에너지와 식량 생산에서 물의 사용 효율을 개선시킬 수 있는 기술
- ☐ 해수 및 폐수를 이용가능한 물로 담수하는데 있어 최고 등급의 수질을 목표로 생산하는 것이 아니라 사용목적에 따라 수질등급을 선정하고 각 등급의 목표 수질을 달성하는 데 있어 저에너지소비 高물생산의 담수 기술 개발
- ☐ 신재생 에너지를 기반으로 자립적으로 에너지를 생산, 저장, 공급할 수 있는 독립적 에너지 공급체를 구성 및 개발하여 마이크로스케일의 식량생산과 물 이동시 에너지 공급 (신재생에너지 생산, ESS)

2. 세부사업의 목적 및 범위

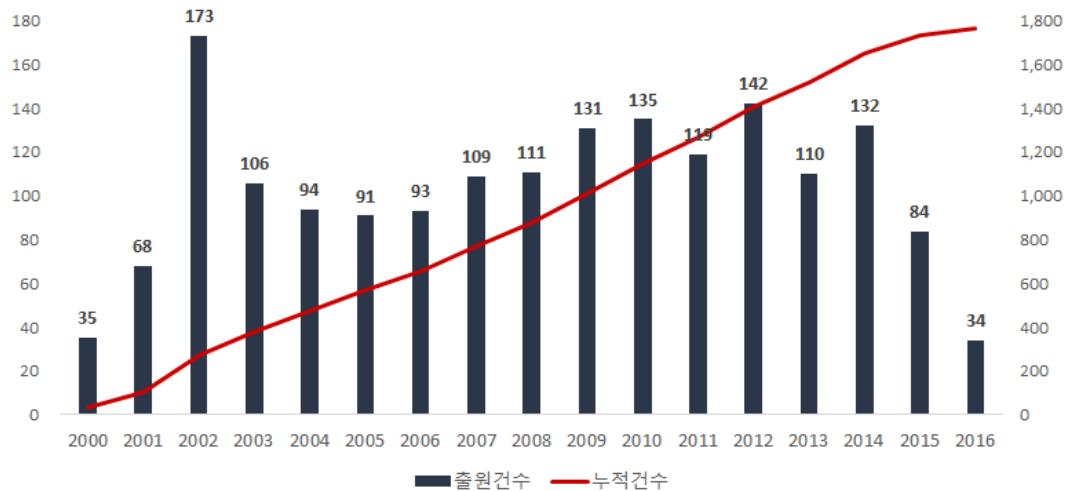
- ☐ WEF 연계효율 개선 기술 개발
 - 수자원 및 수자원인프라 활용효율 개선 기술
 - 에너지 생산효율 개선 기술
 - 식량생산에서 물, 에너지 소비효율 개선 기술
- ☐ WEF 연계운영 최적화
 - 넥서스 기반 수자원인프라 운영 최적화
 - 그리드기반 WEF 넥서스 운영 최적화
- ☐ WEF 넥서스 기술 실증
 - 한국형 물·에너지·식량 자립섬(WEF 3.0 Island) 구축을 위한 융합 기술
 - 신재생 에너지를 활용한 에너지 자립 담수화
 - 해수와 우수를 활용한 수소 생산 및 저장 SYSTEM 구축

3. 특허 및 논문현황

가. 특허현황

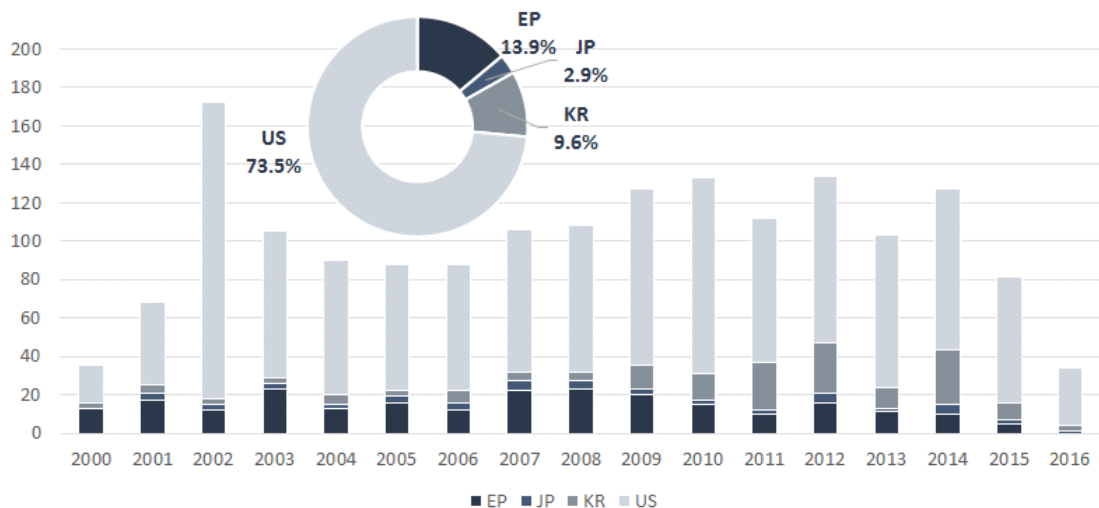
- ☐ “WEF 연계기술 개발 및 실증” 관련 특허출원건수는 ‘00년 35건에서 ‘14년 132건으로 증가함

- WEF 연계기술 개발 및 실증 기술 관련 특허는 총 1,767건 출원되었으며 '02년 173건으로 매우 높은 출원건수를 보였으나, 전체적으로는 소폭의 상승세를 보이고 있음
- '07년부터는 매년 100건 이상의 출원건수를 보이고 있음



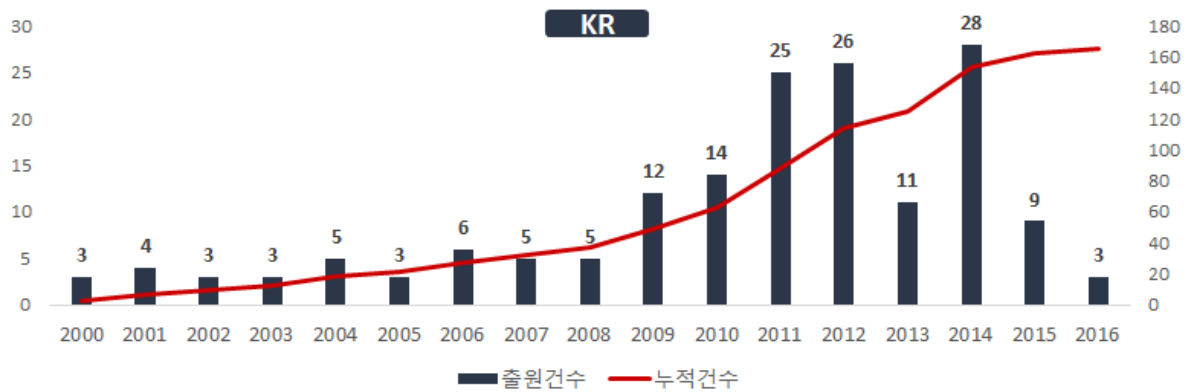
[그림 5.18] WEF 연계기술 개발 및 실증 기술 관련 연도별 특허출원건수('00~'16)

- WEF 연계기술 개발 및 실증 관련 한국, 미국, 일본, 유럽 특허청의 특허출원건수 1,711건 중 미국이 가장 큰 비중을 차지하고 있음
- 미국(73.5%)에 이어 유럽(13.9%), 한국(9.6%), 일본(2.9%) 순으로 높은 비중을 차지하고 있음



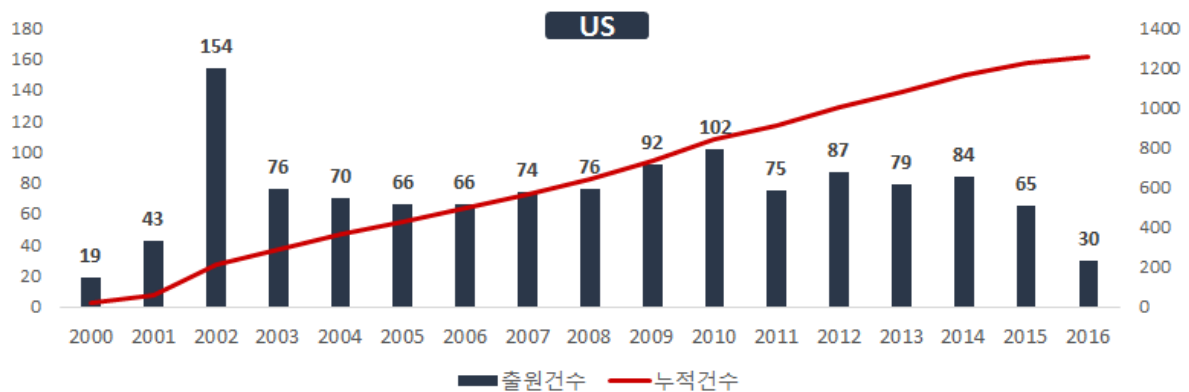
[그림 5.19] WEF 연계기술 개발 및 실증 기술 관련 연도별 국가별 특허출원건수('00~'16)

- 한국의 특허출원건수는 '00~'08년까지 5건 내외의 출원수를 보이다가 이후 높은 증가세를 보이고 있음



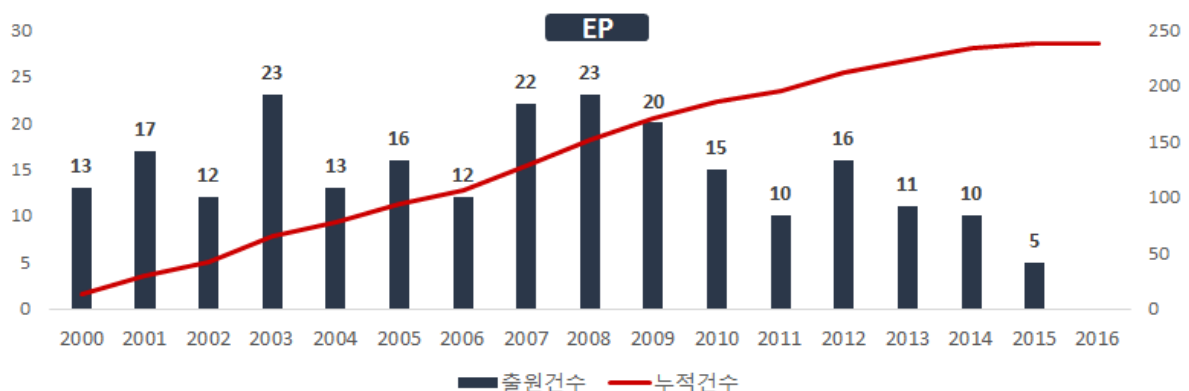
[그림 5.20] WEF 연계기술 개발 및 실증 기술 관련 연도별 특허출원건수(한국, '00~'16)

○ 미국의 특허출원건수는 '00년 19건에서 '02년 154건으로 매우 높은 특허출원수를 보인 후 연간 평균 70~80건 내외로 꾸준히 특허가 출원되고 있음



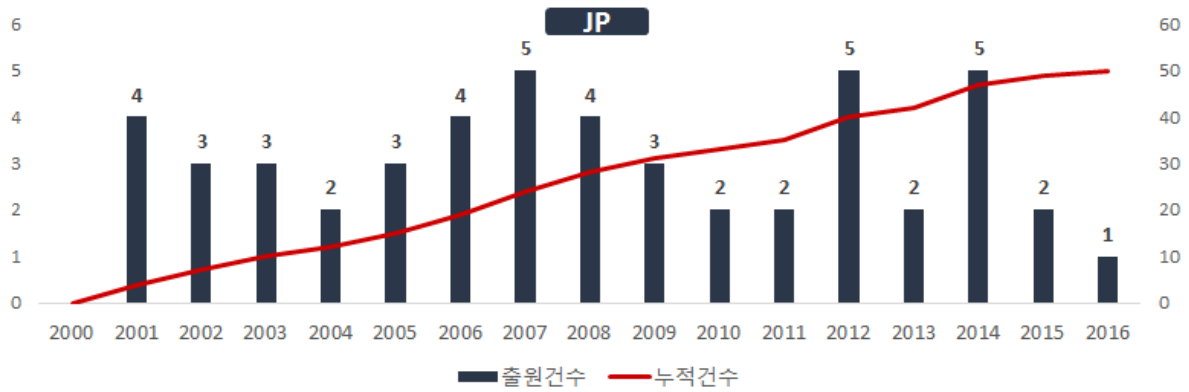
[그림 5.21] WEF 연계기술 개발 및 실증 기술 관련 연도별 특허출원건수(미국, '00~'16)

○ 유럽은 매년 등락을 거듭하고 있으며 대체로 10~20건 내로 출원되고 있음



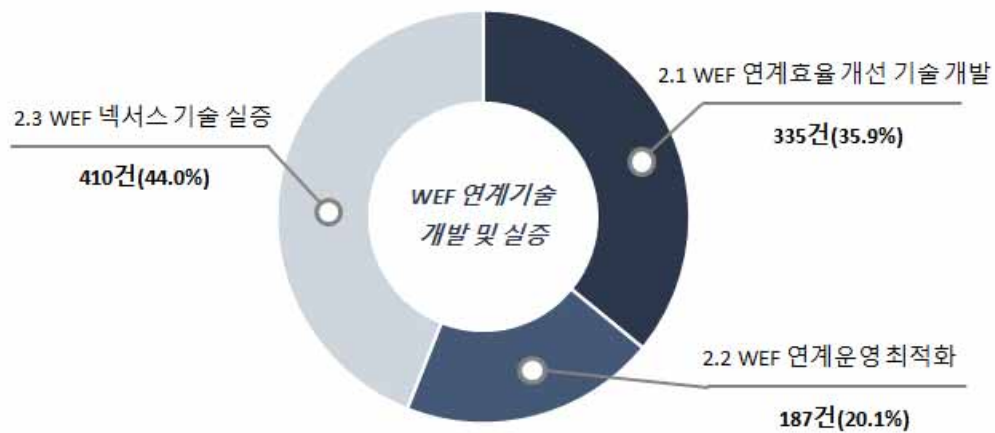
[그림 5.22] WEF 연계기술 개발 및 실증 기술 관련 연도별 특허출원건수(유럽, '00~'16)

○ 일본의 특허출원건수는 소폭의 등락을 거듭하고 있으며 매년 5건 미만으로 출원되고 있음



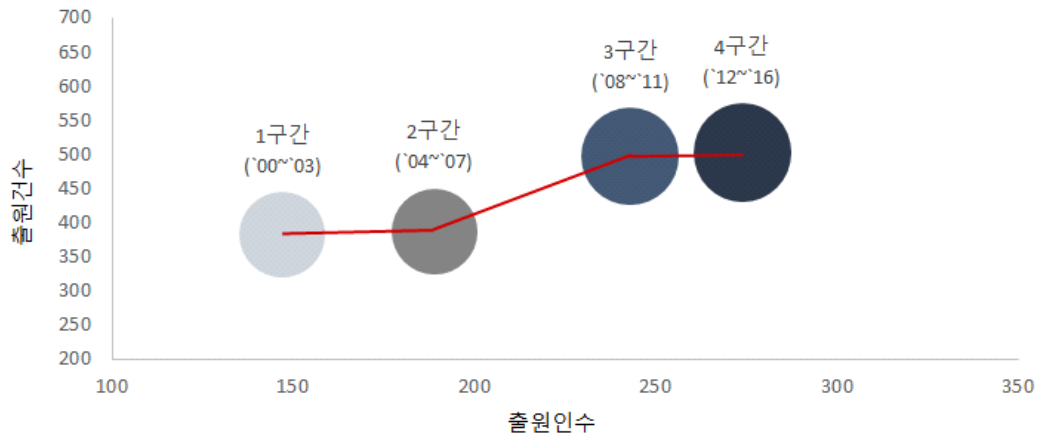
[그림 5.23] WEF 연계기술 개발 및 실증 기술 관련 연도별 특허출원건수(일본, '00~'16)

- '00년부터 '16년 기간 동안 WEF 연계기술 개발 및 실증 기술의 특허출원은 WEF 넥서스 기술 실증 분야에서 가장 많은 출원활동이 이루어지고 있는 것으로 나타남
- WEF 넥서스 기술 실증 분야는 총 410건(44.0%), WEF 연계효율 개선 기술 개발 분야는 총 335건(35.9%), WEF 연계운영 최적화 기술 분야는 총 187건(20.1%) 출원되었음



[그림 5.24] WEF 연계기술 개발 및 실증 기술 중분류별 출원비중

- WEF 연계기술 개발 및 실증 관련 기술은 특허출원건수와 특허출원인 수가 느리게 증가하고 있는 “태동기” 단계인 것으로 분석됨



[그림 5.25] WEF 연계기술 개발 및 실증 기술 성장단계

- 기술 특허평가지표는 미국이 가장 높은 것으로 나타났으며 특허시장력 및 특허영향력 등의 질적지표는 일부 일본과 유럽이 높은 것으로 나타남
- 한국은 2.3.2(신재생 에너지를 활용한 에너지 자립 담수화) 분야에서 가장 높은 특허활동도를 보이고 있음
- 질적지표에서 일부 일본과 독일이 높은 수준을 보이고 있으며, 한국은 특허시장력과 특허경쟁력, 특허영향력 등의 질적지표에서 매우 낮은 수준을 보임

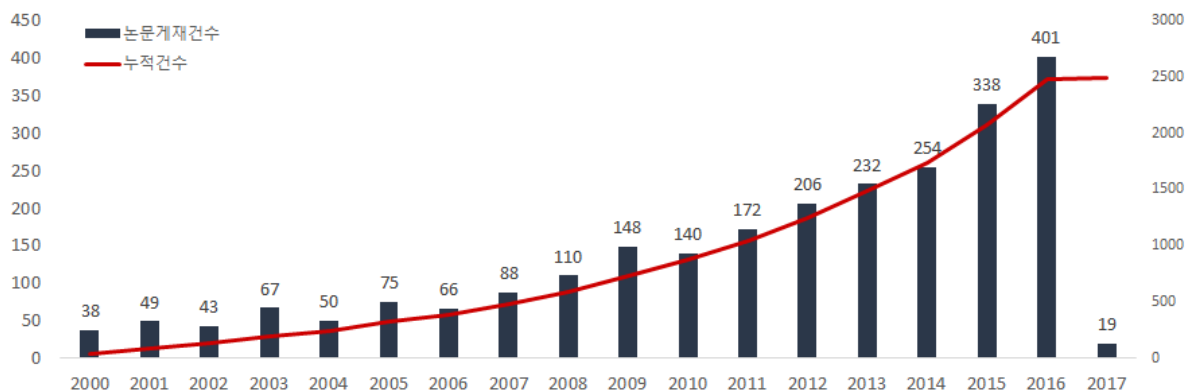
<표 5.3> WEF 연계기술 개발 및 실증 기술 특허평가지표

평가지표	기술분류	KR	US	JP	GB	FR	DE
특허활동도	2.1.1	0.082	0.677	0.070	0.032	0.019	0.120
	2.1.2	0.225	0.441	0.225	0.020	0.010	0.078
	2.1.3	0.229	0.571	0.086	0.029	0.057	0.029
	2.2.1	0.164	0.787	0.000	0.000	0.000	0.049
	2.2.2	0.211	0.237	0.316	0.013	0.145	0.079
	2.3.1	0.133	0.400	0.200	0.067	0.033	0.167
	2.3.2	0.343	0.257	0.029	0.143	0.057	0.171
	2.3.3	0.216	0.408	0.223	0.053	0.046	0.053
특허집중도	2.1.1	0.552	1.162	0.555	1.167	0.934	1.267
	2.1.2	1.512	0.757	1.798	0.723	0.482	0.826
	2.1.3	1.532	0.980	0.683	1.054	2.810	0.301
	2.2.1	0.864	1.633	0.000	0.000	0.000	0.749
	2.2.2	1.109	0.492	1.803	1.803	1.803	1.202
	2.3.1	0.601	1.021	0.991	1.052	0.723	2.224
	2.3.2	1.545	0.656	0.142	2.253	1.239	2.288
	2.3.3	0.975	1.040	1.107	0.839	1.000	0.710
특허시장력	2.1.1	0.438	1.211	1.036	1.297	0.590	1.428
	2.1.2	0.467	1.498	1.089	1.491	0.298	1.156
	2.1.3	0.241	1.171	1.207	1.207	0.241	1.932

평가지표	기술분류	KR	US	JP	GB	FR	DE
	2.2.1	0.479	3.923	0.000	0.000	0.000	1.597
	2.2.2	0.344	0.637	1.377	1.763	1.182	0.698
	2.3.1	0.318	2.198	1.006	0.635	0.635	1.207
특허경쟁력	2.3.2	0.219	0.899	0.219	0.874	0.765	3.024
	2.3.3	0.317	1.111	1.052	1.676	1.176	0.668
	2.1.1	0.022	0.696	0.152	0.065	0.000	0.065
	2.1.2	0.136	0.545	0.273	0.000	0.000	0.045
	2.1.3	0.000	0.800	0.100	0.000	0.000	0.100
	2.2.1	0.000	0.938	0.000	0.000	0.000	0.063
	2.2.2	0.038	0.038	0.731	0.038	0.154	0.000
	2.3.1	0.000	0.625	0.375	0.000	0.000	0.000
	2.3.2	0.000	0.333	0.000	0.000	0.000	0.667
	2.3.3	0.029	0.388	0.466	0.068	0.039	0.010
특허영향력	2.1.1	0.504	1.027	-	0.504	0.000	0.504
	2.1.2	0.220	1.408	0.255	-	0.000	9.698
	2.1.3	0.955	1.064	-	-	0.000	-
	2.2.1	0.153	1.073	-	-	-	0.000
	2.2.2	0.419	0.886	16.295	-	0.000	5.432
	2.3.1	0.780	1.050	1.300	0.000	0.000	-
	2.3.2	0.208	1.475	0.000	-	0.000	-
	2.3.3	0.587	0.885	3.758	1.274	-	4.247

나. 논문현황

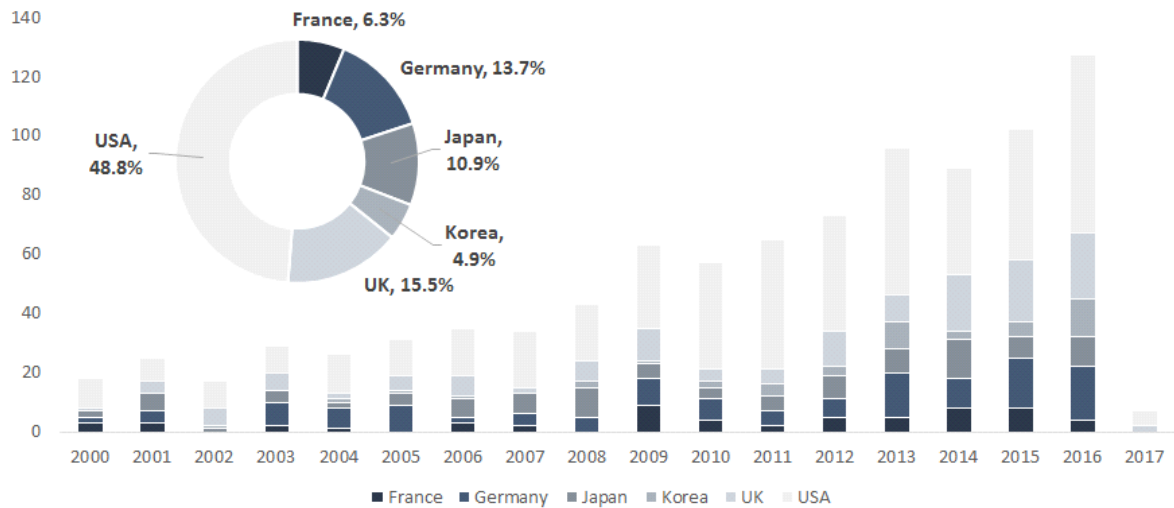
- “WEF 연계기술 개발 및 실증” 관련 논문게재건수는 ‘00년 38건에서 ‘16년 401건으로 증가함
- “WEF 연계기술 개발 및 실증” 관련 논문은 ‘00년부터 ‘17년 1월까지 총 2,496건 게재된 것으로 나타남
- ‘00년부터 ‘16년까지 꾸준한 증가세를 보이고 있으며, 특히 최근 3년 간의 상승세가 두드러짐



[그림 5.26] WEF 연계기술 개발 및 실증 관련 연도별 논문게재건수(‘00~‘17.01)

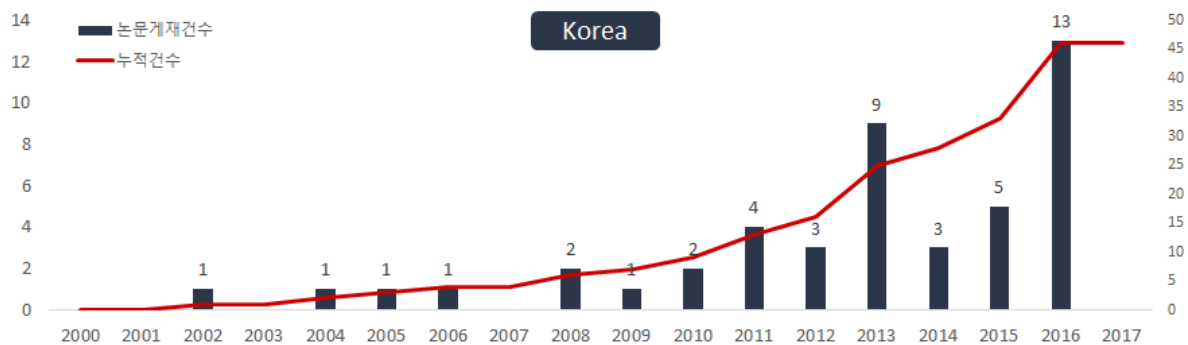
□ “WEF 연계기술 개발 및 실증” 관련 주요 6개국의 논문게재건수 641건 중 미국이 가장 큰 비중을 차지하고 있으며 한국을 제외하고 대체적인 증가세를 보이고 있음

○ 미국(55.9%), 영국(18.7%), 독일(11.9%), 프랑스(8.9%), 일본(3.7%) 순이며, 한국의 게재 비중은 0.9%에 불과함



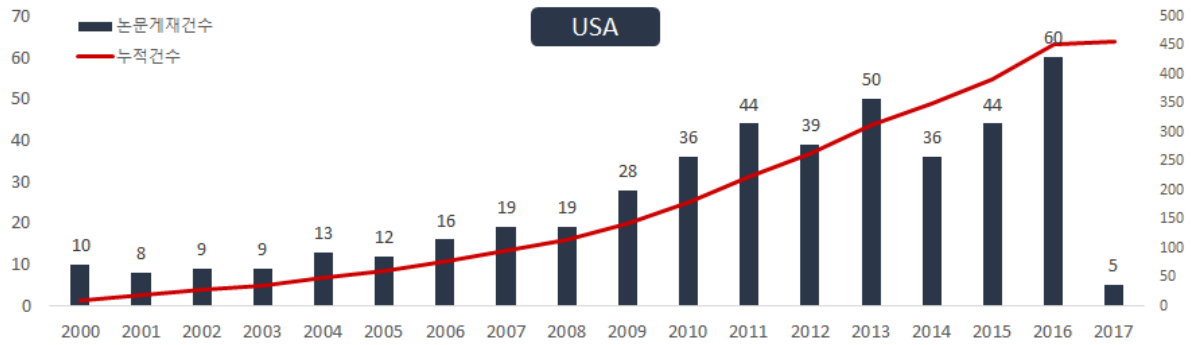
[그림 5.27] WEF 연계기술 개발 및 실증 관련 연도별 국가별 논문게재건수(‘00~’17.01)

○ 한국의 논문게재건수는 특별히 증가세를 보이지는 않으나, ‘13년도와 ‘16년도에 일시적으로 매우 많은 논문이 게재되었음



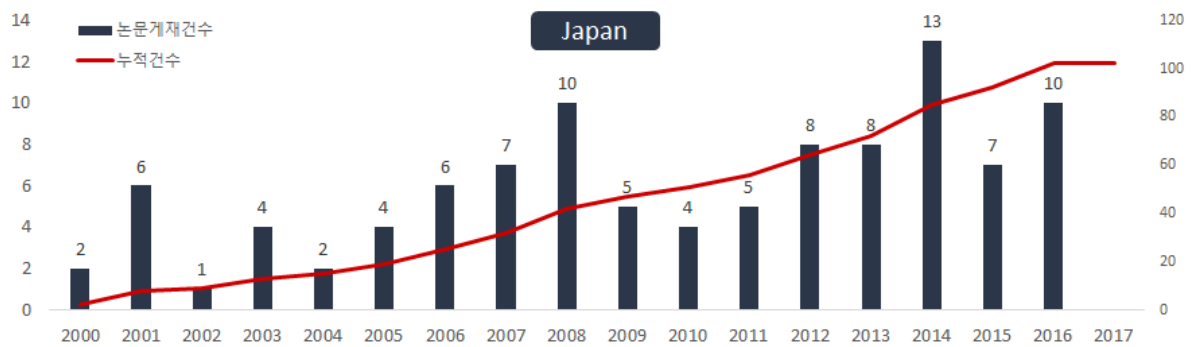
[그림 5.28] WEF 연계기술 개발 및 실증 관련 연도별 논문게재건수(한국, ‘00~’17.01)

○ 미국의 논문게재건수는 ‘00년 10건에서 ‘16년 60건으로 꾸준한 증가세를 보이고 있음



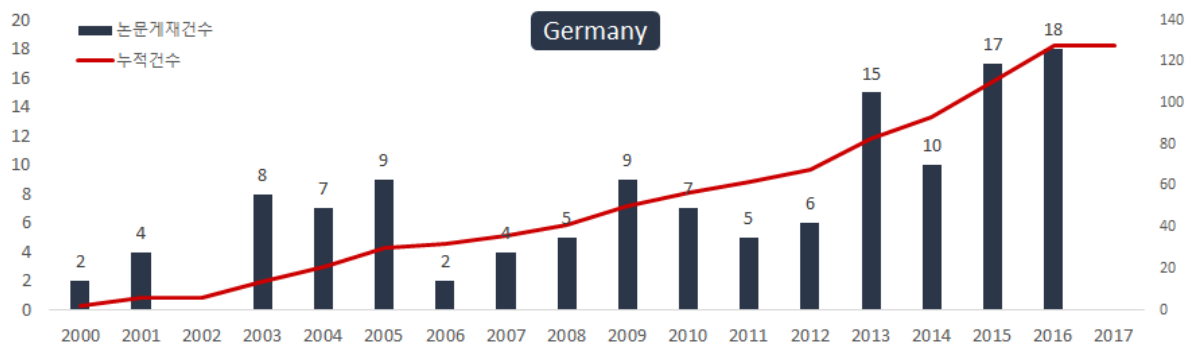
[그림 5.29] WEF 연계기술 개발 및 실증 관련 연도별 논문게재건수(미국, '00~'17.01)

○ 일본의 논문게재건수는 등락을 반복하고 있으나 대체로 증가세를 보임



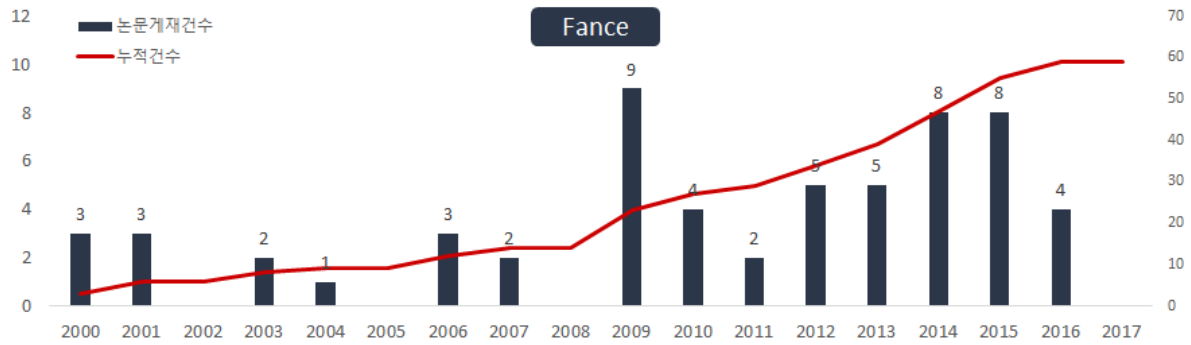
[그림 5.30] WEF 연계기술 개발 및 실증 관련 연도별 논문게재건수(일본, '00~'17.01)

○ 독일의 논문게재건수는 '00년 2건에서 '16년 18건으로 대체로 증가함



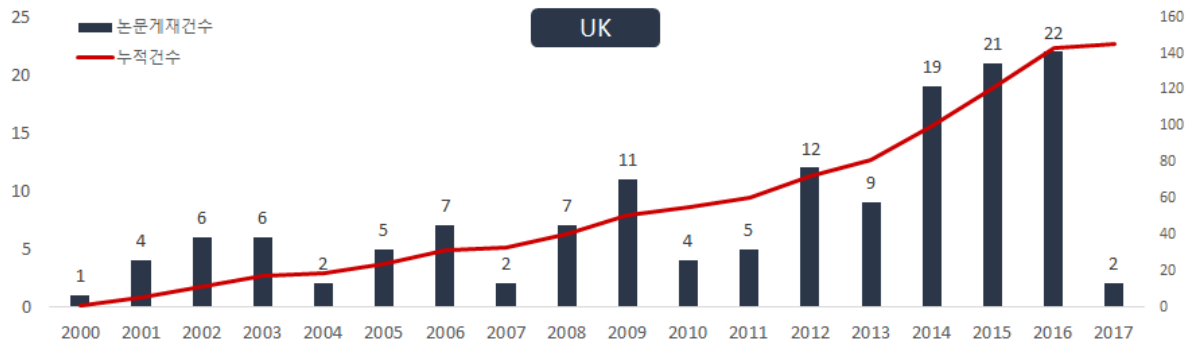
[그림 5.31] WEF 연계기술 개발 및 실증 관련 연도별 논문게재건수(독일, '00~'17.01)

○ 프랑스의 논문게재건수는 '08년까지 거의 게재되지 않았으나 이후 점차 증가하기 시작하여 최근에는 10건 미만의 게재 건수를 보이고 있음



[그림 5.32] WEF 연계기술 개발 및 실증 관련 연도별 논문게재건수(프랑스, '00~'17.01)

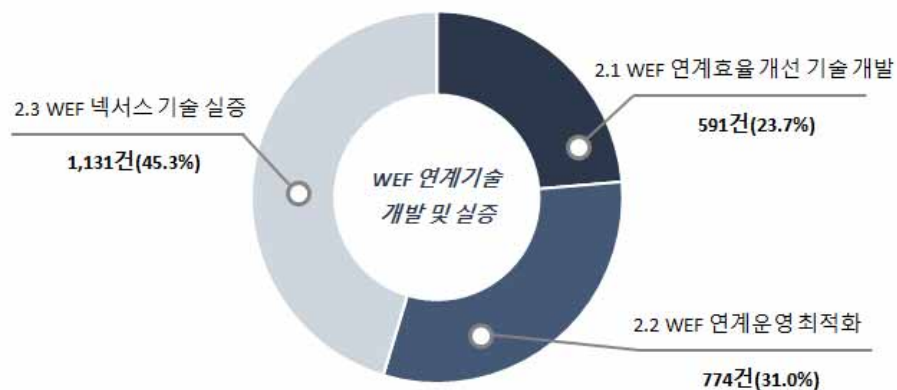
○ 영국의 논문게재건수는 '00년 1건에서 '16년 22건으로 높은 증가세를 보이고 있으며 특히 최근 3년 간 게재 건수가 많은 것으로 나타났다



[그림 5.33] WEF 연계기술 개발 및 실증 관련 연도별 논문게재건수(영국, '00~'17.01)

□ '00년부터 '16년 기간 동안 WEF 연계기술 개발 및 실증의 논문은 WEF 넥서스 기술 실증 분야에서 가장 많은 게재활동이 이루어지고 있는 것으로 나타났다

○ WEF 연계효율 개선 기술 개발 관련 논문은 총 591건(23.7%)이며, WEF 연계운영 최적화 관련 논문은 총 774건(31.0%), WEF 넥서스 기술 실증 관련 논문은 총 1,131건(45.3%) 게재되었음



[그림 5.34] WEF 연계기술 개발 및 실증 대분류별 게재비중

□ WEF 연계기술 개발 및 실증의 국가별 논문활동도 및 논문영향력은 미국이 가장 높은 것으로 나타남

○ 모든 분야에서 미국의 활동도와 영향력이 가장 높은 것으로 나타났으며, 한국은 2.1.1(수자원 및 수자원인프라 활용효율 개선 기술), 2.3.2(신재생 에너지를 활용한 에너지 자립 담수화) 분야에 집중도가 높음

〈표 5.4〉 WEF 연계기술 개발 및 실증 기술 논문평가지표

평가지표	기술분류	Korea	USA	Japan	UK	France	Germany
논문활동도	2.1.1	0.114	0.557	0.029	0.114	0.114	0.071
	2.1.2	0.055	0.548	0.110	0.137	0.082	0.068
	2.1.3	0.042	0.604	0.042	0.167	0.083	0.063
	2.2.1	0.018	0.613	0.049	0.153	0.074	0.092
	2.2.2	0.066	0.285	0.265	0.185	0.060	0.139
	2.3.1	0.000	0.632	0.070	0.088	0.053	0.158
	2.3.2	0.079	0.397	0.026	0.265	0.033	0.199
	2.3.3	0.031	0.491	0.152	0.094	0.054	0.179
논문집중도	2.1.1	1.559	0.985	0.455	0.840	1.213	1.049
	2.1.2	0.748	0.969	1.744	1.006	0.872	1.006
	2.1.3	0.568	1.068	0.663	1.224	0.884	0.918
	2.2.1	0.445	1.347	0.321	0.909	1.101	0.803
	2.2.2	1.600	0.625	1.733	1.099	0.891	1.213
	2.3.1	0.000	1.324	0.722	0.574	1.137	0.863
	2.3.2	1.807	0.833	0.272	1.734	0.715	1.086
	2.3.3	0.711	1.030	1.561	0.614	1.157	0.976
논문영향력	2.1.1	0.083	0.615	0.039	0.094	0.085	0.083
	2.1.2	0.020	0.565	0.027	0.242	0.071	0.074
	2.1.3	0.012	0.584	0.025	0.184	0.075	0.120
	2.2.1	0.010	0.610	0.034	0.201	0.044	0.101
	2.2.2	0.053	0.342	0.188	0.222	0.052	0.145
	2.3.1	0.000	0.665	0.061	0.084	0.065	0.124
	2.3.2	0.096	0.517	0.014	0.209	0.076	0.088
	2.3.3	0.020	0.507	0.096	0.104	0.047	0.226

다. 소결

□ “WEF 연계기술 개발 및 실증” 관련 특허출원건수는 ‘00년 35건에서 ‘14년 132건으로 증가하였으나 특허출원건수와 특허출원인 수가 느리게 증가하고 있는 “태동기”로 판단되었음

○ 전체 출원건수 1,711건 중 미국이 73.5%로 대부분을 차지하고 있으며, 기술특허평가지표에서도 미국이 대부분 가장 높은 것으로 나타났음

- 대부분의 국가에서 특허출원의 추이가 눈에 띄는 증가는 없으며, 한국은 ‘08년까지 출원이 저조하다가 ‘09년 이후 증가세를 보이고 있음

- 중분류로는 WEF 넥서스 기술 실증에 관한 특허가 44.0%로 가장 높은 비중을 차지하였음

- “WEF 연계기술 개발 및 실증” 관련 논문게재건수는 ‘00년 38건에서 ‘16년 401건으로 증가하였으며 ‘00년부터 ‘16년까지 꾸준한 증가세를 보임
- 주요국 중 미국의 비중이 가장 높으며, 한국은 매우 저조한 것으로 나타남
 - 특허와 마찬가지로 중분류로는 WEF 넥서스 기술 실증에 관한 특허가 45.3%로 가장 높은 비중을 차지하였음
 - 미국의 논문활동도 및 논문영향력이 가장 크게 나타났으며 한국은 2.1.1 (수자원 및 수자원인프라 활용효율 개선 기술), 2.3.2(신재생 에너지를 활용한 에너지 자립 담수화) 분야에 집중도가 높음
- 최근 출원, 게재된 특허, 논문 분석결과 “넥서스 연계기술개발 및 실증분야”에서는 물과 에너지 또는 물과 식량에 대한 효율화 연구가 중심을 이루고 있는 것으로 판단됨
- 아직까지 전 세계적으로 물, 에너지, 식량 3가지 자원을 종합적으로 고려한 연계기술 및 실증연구는 뚜렷하게 확인되지 않고 있으나, 2가지 자원을 고려한 효율화 시스템 및 공정연구는 활발하게 이루어지고 있는 것으로 분석됨
 - 특허에서는 개별 에너지원의 효율화 시스템 및 공정연구가 주를 이루고 있으나, 논문에서는 특정 지역에서의 물-에너지-식량에 대한 연계 연구 및 기후변화 등 환경적 요인에 대한 대응책, 농업 분야에서 에너지-식량의 연계에 대한 연구가 이루어지고 있음을 확인함
 - 최근 메콩강 지역의 수자원-에너지-식량자원 관계분석 및 DEA 모델 기반 물-에너지-식량 입출력 효율과 관련된 개념 연구가 진행되고 있음을 확인함
 - 아직 넥서스 연계기술개발 및 실증분야가 태동기임을 고려하면, 앞서 분석한 넥서스 의사결정지원 시스템 분야와 같이 선제적인 기술개발 투자를 통해 해외시장을 선점할 수 있을 것으로 판단됨
- 특히 넥서스 연계기술 및 실증분야의 경우 특허보다는 논문 중심의 개념연구가 주를 이루고 있기 때문에 다목적 댐, 자립섬, 담수화, 수소생산 및 저장 시스템과 같이 대상을 구체화한 연구를 통해 기술의 실증을 고려하는 것이 필요함
 - 국내에서는 스마트 워터 그리드에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있으며, 자립섬, 담수화, 신재생에너지에 대한 관심이 높아지고 있음
 - 특히 섬의 경우 물, 에너지, 식량 자원순환에 대한 넥서스 관계를 규명하고 넥서스 기술을 적용 평가할 수 있는 좋은 장소이기 때문에 넥서스 기술을 실증할 수 있는 좋은 여건이 될 수 있을 것으로 판단됨

4. 기술개발 내용

가. 기간 및 예산 : 10년/250억

세부사업		개요	결과물	기간 (총년)	소요 예산 (억원)
2.1 WEF 연계효율 개선 기술 개발				8	65
2.1.1	수자원 및 수자 원인프라 활용 효율 개선 기술	물 분야에서 수자원과 수자원인프라를 활용하여 에너지와 식량 생산에서 물의 사용 효율을 개선시킬 수 있는 기술	• 물 공급, 에너지 생산 최 대화를 위한 다목적댐 최 적 운영률 • 물 공급과 에너지 공급을 고려한 다목적댐 연계운 영 방안 • 수계별 수자원 인프라에 대한 맞춤형 WEF 연계 기술 • 수력댐-용수댐-다목적 댐이 연계된 물공급 극대 화 기술 • 극한기후시의 비상용수 확보 • 댐-댐, 댐-보의 연계운 영 기술	8	30
2.1.2	에너지 생산효율 개선 기술	자립형 신재생 에너지 생산 기술 개발	• IoT, Cloud, Big Data 기 술을 이용한 저온열수 관 리용 통신 아키텍처 개발 • 분산 저온열수 및 열에너 지 저장 기술의 개발과 통합 구축 • 새로운 유연 관망 기술과 열 교환기술 기반의 양방 향 열 제어 기술 • 열수 활용 솔루션 • 신재생 열수와 분산 열수 이용 기술	8	20
2.1.3	식량생산에서 물, 에너지 소비효 율 개선 기술	물, 에너지 소비를 최소화하면서 식량생산량을 증대시킬 수 있는 기술 개발	• 시설재배 근권부의 토양 수분 실시간 모니터링 및 필요수량 산정 기술 개발 • 시설재배 작물의 관개 기 술 개발 • 최적 에너지 관리 시뮬레 이션 알고리즘 개발 • 에너지 절감에 미치는 온	5	15

세부사업		개요	결과물	기간 (총년)	소요 예산 (억원)
			실 구조 설계 인자 도출 • 환경조건에 따른 효율적인 물-에너지 관리 시나리오 개발		
2.2 WEF 연계운영 최적화				6	55
2.2.1	넥서스 기반 수자원인프라 운영 최적화	넥서스 개별 기술 조합으로 수자원인프라 운영 최적화 실현	• 수원 용수 연계활용 기술 • 맞춤형 수원연계 의사결정지원시스템 • 공간적 분포에 따른 물확보 가이드라인 • 물-에너지순환 자원 실시간 감시 및 관리 시스템	6	35
2.2.2	그리드기반 WEF 넥서스 운영 최적화	그리드(유역, 행정구역) 기반으로 자원간 순환을 관리 운영	• 농가단위의 실시간 농업용수, 전력사용량, 작물 생산량 파악 기술 제시 • 도시 및 농산어촌에 적용 가능한 범용 W-E-F 연계 제품 출시 및 상용화	5	20
2.3 WEF 넥서스 기술 실증				10	130
2.3.1	한국형 물·에너지·식량 자립섬 (WEF 3.0 Island) 구축을 위한 융합 기술	섬은 물, 에너지, 식량 자원순환에 대한 넥서스 관계를 규명하고 넥서스 기술을 적용 평가할 수 있는 좋은 장소이며, 물, 에너지, 식량 넥서스 기술을 개발하여 자립적으로 섬주민이 거주할 수 있는 융합기술을 개발	• 100kW급 규모 자립형 Water-Energy System 구축 • 수전해 및 신재생에너지 생산&저장 플랜트 혼성 공정 운영 및 설계 매뉴얼 제작 • 에너지 생산&저장 Process Automation 및 Monitoring System Control 연속공정 관리 프로그램	8	55
2.3.2	신재생 에너지를 활용한 에너지 자립 담수화	신재생 에너지를 활용해 물, 에너지, 식량 생산이 어려운 지역에 적용하여 자립적으로 자원확보를 할 수 있는 기술 개발	• GUI가 구성된 WEF Island 평가모델 Software • 개발과정에서 취득한 RE 시스템 정보 등 구축DB	5	30
2.3.3	해수와 우수를 활용한 수소 생산 및 저장 SYSTEM 구축	에너지 생산을 위해 필요로하는 수소를 해수와 우수를 활용하여 수소를 생산하고 저장할 수 있는 system 구축	• 해수담수화 및 LID 물순환 복원기술 활용 물순환 성능 개선 • 집수된 우수의 정화를 통한 수자원 확보 • 확보된 수자원의 수전해를 통한 수소가스 생산	7	45

나. 세부사업별 내용

(1) WEF 연계효율 개선 기술 개발

□ 수자원 및 수자원인프라 활용효율 개선 기술

- 물 분야에서 수자원과 수자원인프라를 활용하여 에너지와 식량 생산에서 물의 사용 효율을 개선시킬 수 있는 기술

○ 다목적댐 보유에너지를 활용효율 극대화 기술

- 다목적댐에 되어 있는 에너지 (위치에너지 및 열에너지)를 활용하여 에너지 효율을 높이고 식량생산량을 증대할 수 있는 공급 기술

○ 수자원 인프라간 연결을 통한 물 공급 효율 개선 기술

- 댐 보의 연결을 통하여 계절별 에너지 및 식량 생산에 대한 지역 특성을 고려하여 물을 공급할 수 있는 기술 개발

○ 쌀생산에서의 물 소비효율 개선 방안 연구

- 물사용이 많이 소요되는 쌀생산에서 물을 적게 사용하면서도 쌀생산량을 증대시킬 수 있는 기술 개발

○ 등급별 수질을 고려한 고효율 담수화 기술 개발

- 해수 및 폐수를 이용가능한 물로 담수하는데 있어 최고 등급의 수질을 목표로 생산하는 것이 아니라 사용목적에 따라 수질등급을 선정하고 각 등급의 목표수질을 달성하는 데 있어 저에너지소비 高물생산의 담수 기술 개발

○ 수자원인프라 및 수변지역을 활용한 식량,에너지 생산 극대화 기술 개발

- 댐 및 보의 저류된 물의 활용도를 높이며 이러한 수자원 인프라 주변의 수변 지역을 활용하여 식량 생산 및 에너지 생산을 높일 수 있는 기술 개발 (예 data 센터, 시설재배)

□ 에너지 생산효율 개선 기술

- 자립형 신재생 에너지 생산 기술 개발

○ 자가 에너지 생산형 저류조 설계 및 운영 기술

- 저류조 건설에 있어 자가 에너지를 생산할 수 있는 저류조 설계 및 저류조 운영에 있어 에너지를 절감할 수 있는 운영 기술 개발

○ 물-에너지-식량 연계 자립형 에너지 생산, 저장, 공급 기술 개발

- 신재생 에너지를 기반으로 자립적으로 에너지를 생산, 저장, 공급할 수 있는 독립적 에너지 공급체를 구성 및 개발하여 마이크로스케일의 식량생산과 물 이동시 에너지 공급 (신재생에너지 생산, ESS)

○ 해안 지역 및 도서지역 에너지 공급을 수소에너지 연구

- 해수로부터 발생하는 수소를 저장하고 이를 에너지로 전환하여 해안지역과 도서지역에 깨끗하고 충분한 에너지를 공급하기 위한 연구

□ 식량생산에서 물, 에너지 소비효율 개선 기술

- 물, 에너지 소비를 최소화하면서 식량생산량을 증대시킬 수 있는 기술 개발

○ 도시 식물공장 물-에너지 소비 연계효율 최적화기술

- 도시지역의 빌딩 특성, 형태, 위치에 따른 최적 물-에너지 연계효율을 최적화한 식물공장을 설계하고 이를 통하여 신선한 야채를 도시민에게 발 공급할 수 있는 공급 체계 개발

○ 시설재배 물-에너지 소비효율 기술개선

- 시설재배에 있어 스케줄링을 통한 물, 에너지 사용을 최소화 할 수 있는 방안 및 에너지 소비에 있어 물의 열에너지와 연계하여 에너지 사용 효율성을 높일 수 있는 기술 개발

(2) WEF 연계운영 최적화

□ 넥서스 기반 수자원인프라 운영 최적화

- 넥서스 개별 기술 조합으로 수자원인프라 운영 최적화 실현

○ 수자원 사용 용도별 맞춤형 수원활용 및 연계 체계 구축

- 지역 특성에 맞추어 계절별 필요 용수량과 등급을 구축하여 수원간 연결을 통한 기술 및 이를 통하여 효율을 극대화 할 수 있는 넥서스 기술들을 조합한 패키지형태의 운영기술 개발

○ 식량, 에너지 생산의 공간적 분포에 따른 물확보 방안 수립

- 지역별 식량, 에너지, 생산에 소요되는 용수량을 시간별 공간별로 파악하여 효율적인 물을 확보할 수 있는 방안 마련

○ WEF-Nexus 기술을 적용한 기존댐 댐(다목적, 발전용, 농업용) 리모델링 및 연계운영 방안 수립

- 기존 댐을 리모델링과 연계운영을 하여 댐의 역할을 확대하고 안정한 용수 공급 및 에너지 생산에 필요로 하는 조건을 개선하고자 하는 기술

○ 도시(지역)단위 물-에너지 순환(이용)과제 자원(Resource) 실시간 감시 및 관리시스템 개발

- 스마트 미터링과 연결해 물-에너지 순환을 실시간으로 감시하고 관리할 수 있는 시스템 개발

□ 그리드기반 WEF 넥서스 운영 최적화

- 그리드(유역, 행정구역) 기반으로 자원간 순환을 관리 운영하는 것이 목적

○ W-E-F를 연계한 마이크로 그리드 단위의 최적 기술 상용화

- 마이크로 그리드 단위의 WEF자원순환에 넥서스 기술을 적용하여 운영할 수 있는 최적 기술 상용화. 이는 추후 스케일을 넓히기 위해 필요함.

- 도심 친환경 열에너지의 공급을 위한 Water Heat Grid 시스템 개발
 - 도시지역에서 공급되어지는 열에너지의 효율성을 극대화하기 위해 grid형태의 시스템을 개발하여 생산, 재이용, 소비에 있어 에너지 효율을 극대화 할 수 있는 기술. 기존 Smart Grid 및 Smart water grid와 연계 가능함

(3) WEF 넥서스 기술 실증

- 한국형 물·에너지·식량 자립섬(WEF 3.0 Island) 구축을 위한 융합 기술
 - 섬은 물, 에너지, 식량 자원순환에 대한 넥서스 관계를 규명하고 넥서스 기술을 적용 평가할 수 있는 좋은 장소이며, 물, 에너지, 식량 넥서스 기술을 개발하여 자립적으로 섬주민이 거주 할 수 있는 융합기술을 개발하고자 함
- 신재생 에너지를 활용한 에너지 자립 담수화
 - 신재생 에너지를 활용해 물, 에너지, 식량 생산이 어려운 지역에 적용하여 자립적으로 자원확보를 할 수 있는 기술 개발
- 해수와 우수를 활용한 수소 생산 및 저장 SYSTEM 구축
 - 에너지 생산을 위해 필요로하는 수소를 해수와 우수를 활용하여 수소를 생산하고 저장할 수 있는 system 구축

3절. WEF 넥서스 거버넌스 수립 및 개선 분야

1. 추진 배경 및 필요성

- ☐ Water, Energy, Food의 효율 극대화를 위한 데이터 조사, 수집 및 통계분석 등을 통한 빅데이터 분석 방법 및 구체적 활용방안 연구
- ☐ WEF 넥서스의 관련부처, 참여자, 법령 계획 등의 격차를 분석하고 개선방안을 통한 사회적 갈등비용 및 경제적 거래비용의 감소를 위한 거버넌스 발전 방안 제시
- ☐ WEF 넥서스 기술이 인문사회과학적으로 미치는 영향 분석을 위한 인벤토리 선정 및 영향 평가 지표 개발
- ☐ 넥서스 기술 활성화를 위한 인증제 및 인센티브 방안 연구

2. 세부사업의 목적 및 범위

- ☐ 국민중심 자원연계활용 전략
 - WEF Nexus의 효율 극대화를 위한 빅데이터 적용 연구
 - WEF 관련 법·제도에 대한 해외 사례 분석 및 개선사항 조사
 - WEF Nexus 거버넌스 개발
- ☐ 인문융합중심 자원연계시너지 극대화 전략
 - 인문융합중심의 물-에너지-식량 연계 시너지 극대화 방안 연구
 - WEF Nexus의 인문사회과학적 영향 조사 및 분석
 - 넥서스 인증제와 인센티브 방안 연구

3. 기술개발 내용

가. 기간 및 예산 : 10년/100억

세부사업	개요	결과물	기간 (총년)	소요 예산 (억원)
3.1 국민중심 자원연계활용 전략			10	50
3.1.1 WEF Nexus의 효율 극대화를 위한 빅데이터 적용 연구	Water, Energy, Food의 효율 극대화를 위한 데이터 조사, 수집 및 통계분석 등을 통한 빅데이터 분석 방법 및 구체적 활용방안 연구	• 국민중심 빅데이터 생산 • 자원활용을 위한 생산, 공급, 소비체계에서의 자료관리 시스템	5	13

세부사업		개요	결과물	기간 (총년)	소요 예산 (억원)
3.1.2	WEF 관련 법·제도에 대한 해외 사례 분석 및 개선사항 조사	국외 WEF 넥서스 기술과 관련하여 해외의 법, 제도의 수립현황 및 실질적 운영에 따른 문제점 및 개선사항 조사 및 국내현실에 부합하는 추진전략 도출	• 해외 법제도 사례조사 • 국내 적용방안	7	20
3.1.3	WEF Nexus 거버넌스 개발	WEF 넥서스의 관련부처, 참여자, 법령 계획 등의 격차를 분석하고 개선방안을 통한 사회적 갈등비용 및 경제적 거래비용의 감소를 위한 거버넌스 발전 방안 제시	• 국민참여 거버넌스 구축 방안 • 사회갈등 해소를 위한 컨센서스 도출 방안	6	17
3.2 인문융합중심 자원연계시너지 극대화 전략				10	50
3.2.1	인문융합중심의 물-에너지-식량 연계 시너지 극대화 방안 연구	국가 정책에 있어 Water, Energy, Food 넥서스 기술이 기술적 성장뿐만 아니라 사회적으로 국가 성장 및 국민 삶의 질을 향상시키기 위한 현실적인 적용방안 연구	• 인문융합 중심의 국민적 넥서스 접근 전략 • 거버넌스를 통한 시너지 극대화 방안	7	19
3.2.2	WEF Nexus의 인문사회과학적 영향 조사 및 분석	WEF 넥서스 기술이 인문사회과학적으로 미치는 영향 분석을 위한 인벤토리 선정 및 영향 평가 지표 개발	• 인문사회적 인벤토리 구축 • 국민 공감대 형성 방안	7	19
3.2.3	넥서스 인증제와 인센티브 방안 연구	넥서스 기술 활성화를 위한 인증제 및 인센티브 방안 연구	• 넥서스 성과 평가 및 인증 시스템 • 넥서스 인센티브 부여 시스템	5	12

나. 세부사업별 내용

(1) 국민중심 자원연계활용 전략

☐ WEF Nexus의 효율 극대화를 위한 빅데이터 적용 연구

○ Water, Energy, Food의 효율 극대화를 위한 데이터 조사, 수집 및 통계분석 등을 통한 빅데이터 분석 방법 및 구체적 활용방안 연구

- WEF 관련 법·제도에 대한 해외 사례 분석 및 개선사항 조사
 - 국외 WEF 넥서스 기술과 관련하여 해외의 법, 제도의 수립현황 및 실질적 운영에 따른 문제점 및 개선사항 조사 및 국내현실에 부합하는 추진전략 도출
- WEF Nexus 거버넌스 개발
 - WEF 넥서스의 관련부처, 참여자, 법령 계획 등의 격차를 분석하고 개선방안을 통한 사회적 갈등비용 및 경제적 거래비용의 감소를 위한 거버넌스 발전 방안 제시

(2) 인문융합중심 자원연계시너지 극대화 전략

- 인문융합중심의 물-에너지-식량 연계 시너지 극대화 방안 연구
 - 국가 정책에 있어 Water, Energy, Food 넥서스 기술이 기술적 성장뿐만 아니라 사회적으로 국가 성장 및 국민 삶의 질을 향상시키기 위한 현실적인 적용방안 연구
- WEF Nexus의 인문사회과학적 영향 조사 및 분석
 - WEF 넥서스 기술이 인문사회과학적으로 미치는 영향 분석을 위한 인벤토리 선정 및 영향 평가 지표 개발
- 넥서스 인증제와 인센티브 방안 연구
 - 넥서스 기술 활성화를 위한 인증제 및 인센티브 방안 연구

6장. 기술로드맵

1절. 총괄로드맵



요소기술별 Pilot Test

- ✓ 지식화 인벤토리
- ✓ 평가 툴 개발
- ✓ 효율개선 및 운영 최적화
- ✓ 연계 검증 및 Pilot Test

자립마을 구축

- ✓ 자원 자립형 자립 마을
- ✓ 개발도상국 기술 수출용
자립마을구축패키지기술
- ✓ 현장 맞춤형자립마을구축
적용성평가

시범도시 구축

- ✓ 시범 도시 구축을 위한
자원연계기술적용
- ✓ 시범단지구축 및 도시형
자원자립도능력평가

2절. 사업별 로드맵

1. WEF 넥서스 의사결정지원시스템



2. WEF 연계기술 개발 및 실증

사업영역			1차 년도	2차 년도	3차 년도	4차 년도	5차 년도	6차 년도	7차 년도	8차 년도	9차 년도	10차 년도	
2.WEF 연계기술 개발 및 실증	21.WEF 연계기술 개선 기술 개발	211 수자원 및 수자원인프라 활용효율 개선 기술	일생애에서의 물 소비효율 개선 방안 연구										
			다목적댐 보유에너지 활용효율 극대화 기술										
			수자원 인프라간 연결을 통한 물 공급 효율 개선 기술										
			수자원인프라 및 수변지역을 활용한 식량에너지 생산-수자원 기술 개발										
							등급별 수질을 고려한 고효율 담수화 기술 개발						
	212 에너지 생산효율 개선 기술		물-에너지 연계사업에 따라 생산 차질 공급 기술 개발										
							자기 에너지 생산량 저류 및 운영 기술						
							해안 지역 및 도서지역 에너지 공급을 위한 에너지 저장 연구						
	213 식량생산에서 물 에너지 소비효율 개선 기술		도시 식물공장 등 에너지 소비 연계를 최적화 기술										
			사업장에 물-에너지 소비효율 기술개선										
	22.WEF 연계운영 최적화	221 넥서스 기반 수자원인프라 운영 최적화		수자원 사용 용도별 맞춤형 수위변화 및 연계 체계 구축									
				식량 에너지 생산의 공급에 따른 불확실성 관리 수립									
		WEF Nexus 기술을 적용한 기반에 다목적 방한을 농업용 리모텔링 및 연계운영 방안 수립											
		도시지역단위 물-에너지 순환이용과 재자원(Recycle) 실시간 시뮬레이션 시스템 개발											
23.WEF 넥서스 기술 실증	222 그리드 기반 WEF 넥서스 운영 최적화		WEF를 연계한 마이크로 그리드 단위의 최적 기술 상용화										
			도시 친환경 열에너지의 공급을 위한 Water Heat Grid 시스템 개발										
	231 한국형 물-에너지-식량 자립섬(WEF 3.0 Island) 구축을 위한 용량 기술					한국형 물-에너지-식량 자립섬(WEF 3.0 Island) 구축을 위한 용량 기술							
	232 신재생 에너지를 활용한 에너지 자립 담수화	신재생 에너지를 활용한 에너지 자립 담수화											
	233 해수와 우수를 활용한 수소 생산 및 저장 SYSTEM 구축					해수와 우수를 활용한 수소 생산 및 저장 SYSTEM 구축							

3. WEF 넥서스 거버넌스 수립 및 개선

사업영역			1차 년도	2차 년도	3차 년도	4차 년도	5차 년도	6차 년도	7차 년도	8차 년도	9차 년도	10차 년도
3 WEF 넥서스 거버넌스 수립 및 개선	31 국민중심 자립언 개발을 전략	31.1 WEF Nexus의 효율 극대화를 위 한 빅데이터 적용 연구	WEF Nexus의 효율 극대화를 위한 빅데이터 적용 연구									
		31.2 WEF 관련 법· 제도에 대한 해외 사례 분석 및 개선 사항 조사				WEF 관련 법제도에 대한 해외 사례 분석 및 개선사항 조사						
		31.3 WEF Nexus 거 버넌스 개발				WEF Nexus 거버넌스 개발						
	32 인문융합중심 자 립언제시너지 극대 화 전략	32.1 인문융합중심 의 물-에너지-식 량 연계 시너지 극 대화 방안 연구				인문융합중심의 물-에너지-식량 연계 시너지 극대화 방안 연구						
		32.2 WEF Nexus의 인문사회과학적 영향 조사 및 분석				WEF Nexus의 인문사회과학적 영향 조사 및 분석						
		32.3 넥서스 인증제 와 인센티브 방안 연구	넥서스 인증제와 인센티브 방안 연구									

3절. 단기적 추진분야 설정

1. 개요

비 전	국가 물-에너지-식량 연계를 통한 21C形 WEF Nexus 플랫폼 구축 기술 개발			
목 표	● 20C SOC 시설산업기반에서 21C 사회 인프라 국민 서비스 산업으로 전환을 통한 국가 WEF Nexus 기반 구축			
	● 4차 산업혁명의 Data Technology를 통한 세계 최초 국민중심 데이터 서비스 및 WEF 연계 패키지 기술 개발			
추진 방향	WEF Nexus 지식화 인벤토리 설계 및 개발	WEF Nexus Trade-off 평가 툴 개발	WEF 연계 효율 개선 및 운영 최적화 기술 개발	WEF 연계 검증 및 실증 기술 개발

가. 기술명

- 국가 물-에너지-식량 연계를 통한 21C形 WEF Nexus 플랫폼 구축 기술 개발
 - 플랫폼은 용도에 따라 다양한 형태로 활용될 수 있는 공간으로서, 다양한 사업영역에서 기업 및 기술보유자, 개발자가 WEF 넥서스와 관련된 사업, 상품을 설계하고 개발, 보급하는데 있어 공통요소를 찾아내고 이들의 상호 공유와 활용을 통한 지렛대 역할을 할 수 있는 구축기술

나. 도출 경위 및 세부과제별 기술 정의

- 단기적 추진분야 도출
 - 중장기적 추진과제 중 단기적(3~4년)으로 성과를 도출할 수 있고, 필수적이고 가시화 할 수 있는 과제들을 도출함
 - 기존의 요소기술의 개발사례들을 바탕으로 2개 또는 3개의 연계를 통해 저비용, 고효율의 넥서스 기술을 도출할 수 있는 과제들을 중심으로 발굴함
 - 향후 법, 제도 및 정책에 대한 각 부문별 협업의 충분한 토대가 마련되었을 때를 대비한 WEF nexus 기술의 플랫폼 구축을 위한 기술을 중심으로 선정함

□ 1세부 과제 : WEF 넥서스 지식화 인벤토리 설계 및 개발

- WEF 넥서스 기술을 평가하고 상호 영향을 분석하기 위해서는 데이터 구축이 필요하나, 이때 단순한 DB 구축이 아닌 넥서스 DB를 기반으로 넥서스 관련지식을 생성하여 국민들에게 전달할 수 있는 개량화된 지식 DB

□ 2세부 과제 : WEF 넥서스 Trade-off 평가 툴 개발

- 각 자원간 상호작용에 대한 생산-공급-소비단계에서의 평가를 수행하기 위한 평가툴을 개발하며, 이를 통해 Trade-off, 시너지, 기술영향 등에 대한 다차원 평가 툴 개발

□ 3세부 과제 : WEF 연계 효율 개선 및 운영 최적화 기술 개발

- 수자원 및 수자원인프라 시설을 활용한 자원 생산 극대화 및 효율성을 증진하고 자립형 에너지 생산기술과 식물공장 및 시설재배의 수자원 연계효율 최적화를 통한 생산성 증대를 도모하며, 요소기술을 연계 및 운영하는 입체적 기술 개발

□ 4세부 과제 : WEF 연계 검증 및 실증 기술 개발

- 소규모 WEF Nexus 실증마을 구축을 위해 기존 기술 및 WEF Nexus 기술을 융합하여 실현할 수 있는 기술을 도출하며, 기술의 실증을 통한 WEF Nexus기반 인문사회 과학적 제도 및 정책 개선 및 정책적 실용화

단위 과제명	WEF 넥서스 지식화 인벤토리 설계 및 개발	WEF Nexus Trade-off 평가 툴 개발	WEF 연계 효율 개선 및 운영 최적화 기술 개발	WEF 연계 검증 및 실증 기술 개발
주요 연구 내용	- Virtual WEF 기반 넥서스 데이터 모듈 설계 및 개발 - 물, 식량, 에너지 발자국 연계 산정 방안 연구 - 물, 에너지, 식량 컴포넌트별 DB 인벤토리 및 정보체계 구축 - WEF Nexus 지식 DB 플랫폼 시범 개발 - WEF 넥서스 지식 DB 제공 시스템 개발 - WEF 넥서스 지식화 콘텐츠 발굴 및 표현기술 개발	- WEF 분야간 시공간적 수급 분석 평가 계획 수립 프로세스 개발 - 용수-에너지-식량 시공간적 수급 프로세스 개발 - 넥서스 기술 연계 평가 처리 모듈 개발 - WEF 넥서스 평가 툴 개발 및 평가 - 넥서스 DB 연계 기반 다이내믹 평가 모델 개발 - WEF 넥서스 Trade-Off 평가 기법 개발 - WEF 넥서스 영향 평가	- 수자원 인프라 활용 효율 및 운영 개선 기술 - 다목적댐 보유에너지 활용 효율 극대화 기술 - 수자원 인프라간 연결을 통한 물 공급 효율 개선 기술 - 자원인프라 및 수변 지역을 활용한 식량, 에너지 생산 극대화 기술 - 에너지, 식량 생산 효율 개선 기술 - 물-에너지-식량 연계 자립형 에너지 생산, 저장, 공급기술 - 도시식물공장/시설재배물-에너지 소비연계효율 최적화 기술 - 쌀 생산에서의 물 소비효율 개선 방안 연구	- 한국형 물, 에너지, 식량 자립마을 (WEF3.0 Village) 구축을 위한 융합기술 - 물-에너지-식량 자립 기술 활용 실증 - WEF Nexus 기반 인문사회 과학적 제도 및 정책 개선 - WEF Nexus 실현을 위한 정책 개선 도출 - WEF Nexus 인증제와 인센티브 방안 연구
주요 결과물	- WEF 정보연계 지식컨텐츠 시범 DB - 국가 WEF DB 및 자원 공정 과정의 연계성 표시 표현 기술	- 물-식량-에너지연계 WEF Nexus 평가 툴 Software - 물-에너지-식량간 Trade-off 최적평가 알고리즘 및 표준매뉴얼	- 수계별 수자원 인프라에 대한 맞춤형 WEF 연계기술 - 넥서스 산업단지 최적 다목적댐 선정 기술	- WEF Nexus 자립형 모델 실현을 위한 세부 기술 - 넥서스 성과 평가 및 인증, 인센티브 시스템
수요처	- 정부부처 - 지자체 및 공공기관	- 정부부처 - 지자체 및 공공기관	- 정부부처 - 지자체 및 공공기관	- 정부부처 - 지자체 및 공공기관

[그림 6.1] 단기적 중점과제의 구성

2. 기술수요 및 과제구성

세부사업	개요	결과물	기간 (총년)	소요 예산 (억원)
(1세부) WEF Nexus 지식 화 인벤토리 설계 및 개발			4	35
1.1 Virtual WEF 기반 넥 서스 데이터 모듈 설계 및 개발	넥서스 기술을 평가하고 자원간 상호영향을 평가하기 위해서는 반드시 데이터 구축이 필요함. 이를 위해 가상수에 기반한 데이터들을 어떠한 형식으로 무엇을 수집하고 관리해야 하는지에 대한 연구	- 물-식량-에너지 정보연 계 지식컨텐츠 시범 DB - 물-식량-에너지연계 시 범 지식 DB 모듈	4	17.5
1.2 WEF Nexus 지식 DB 플랫폼 시범 개발	DB구축이 목적이 아니라 넥서스 DB를 기반으로 넥서스 관련 지식을 생성하여 국민들에게 전달하기 위한 플랫폼 개발	- 기후변화의 영향에 따른 단위 물/에너지/식량 생산 의 변화량 - 국가 W-E-F 데이터베이 스 (DB) 및 자원 공정과정 의 연계성 표출을 위한 표 현기술	4	17.5
(2세부) WEF Nexus Trade-off 평가 툴 개발			4	40
2.1 WEF 분야간 시공간적 수급 분석, 평가, 계 획 수립 프로세스 개발	자원의 순환 흐름 분석을 위하여 물, 에너지, 식량의 공급, 저장, 소비 등에 대해 분석, 평가, 계획에 대한 프로세스 개발	- 시·공간적 넥서스 최적화 프로세스 - WEF 넥서스 연계 평가처 리 모듈 기술 알고리즘	4	18.5
2.2 WEF Nexus 평가 툴 개발 및 평가	각 자원간 상호작용에 대한 영향 평가 (Trade-off, Synergy, 넥서스 기술 영향)	- 물 - 식량 - 에 너 지 연 계 WEF Nexus 평가 툴 Software - 물 - 에 너 지 - 식 량 간 Trade-off 최적평가 알고 리즘 및 표준매뉴얼	4	21.5
(3세부) WEF 연계 효율 개선 기 및 운영 최적화 기술 개발			4	55
3.1 수자원 인프라 활용 효율 및 운영 개선 기술	물 분야에서 수자원과 수자원인프라를 활용하여 에너지와 식량 생산에서 물의 사용 효율을 개선시킬 수 있는 기술	- 수계별 수자원 인프라에 대한 맞춤형 WEF 연계기 술 - 물 공급, 에너지 생산 최대 화를 위한 다목적댐 최적 운영률	4	25

세부사업	개요	결과물	기간 (총년)	소요 예산 (억원)
3.2 에너지, 식량 생산 효율 개선 기술	자립형 신재생 에너지 및 식량생산 극대화 기술	• 환경조건에 따른 효율적인 물-에너지 관리 시나리오 개발 • 다목적댐별 생산가능한 에너지 생산량 산정 기술 • 넥서스 산업단지 최적 다목적댐 선정 기술	4	30
(4세부) WEF 연계 운영 최적화 및 실증			4	70
4.1 한국형 물, 에너지, 식량 자립 마을 (WEF3.0 Village) 구축을 위한 융합기술	소규모 WEF Nexus 실증마을 구축을 위해 기존 기술 및 WEF넥서스 기술을 융합하여 실현할 수 있는 기술 도출	• WEF Nexus 자립형 모델 실현을 위한 세부 기술 • WEF Nexus기반 수자원 활용 기술 개발	4	52
4.2 WEF Nexus 기반 인문사회 과학적 제도 및 정책 개선	기술의 실증을 통한 WEF Nexus 기반 인문사회 과학적 제도 및 정책 개선 및 정책적 실용화	• 넥서스 성과 평가 및 인증 • 인센티브 시스템	4	18

가. 1세부 과제 : WEF 넥서스 지식화 인벤토리 설계 및 개발

☐ Virtual Water 기반 넥서스 데이터 모듈 설계 및 개발

- 넥서스 기술을 평가하고 자원간 상호영향을 평가하기 위해서는 반드시 데이터 구축이 필요함. 이를 위해 가상수에 기반한 데이터들을 어떠한 형식으로 무엇을 수집하고 관리해야 하는지에 대한 연구

☐ 물, 식량, 에너지 발자국 연계 산정 방안 연구

- 물발자국을 줄이는 것이 넥서스 기술 목표의 핵심이기도 함. 따라서 이러한 물 발자국이 어떻게 구성되었는지 또한 산정방법에 대한 연구 필요

☐ 물, 에너지, 식량 분야 컴포넌트별 DB 인벤토리 및 정보 체계 구축

- 넥서스관련 데이터는 양이 너무 방대하기 때문에 이를 체계적으로 구성하기 위해서는 인벤토리들과 정보체계를 구축하는 것이 필요하기 때문에 이에 대하여 상호간 영향 평가 및 정보를 비교 분석할 수 있도록 컴포넌트별 (물, 에너지, 식량) DB 인벤토리와 정보체계(메타데이터) 구축 필요

☐ WEF 넥서스 지식 DB 플랫폼 시범 개발

- DB구축이 목적이 아니라 넥서스 DB를 기반으로 넥서스 관련 지식을 생성하여 국민들에게 전달하기 위한 플랫폼 개발

- WEF 넥서스 지식 DB 제공 시스템 개발
 - 구축된 넥서스 DB를 평가툴에 바로 연결하고 사용하여 지식화할 수 있는 일종의 모듈 형태의 시스템 개발
- WEF 넥서스 지식 콘텐츠 발굴 및 표현 기술 개발
 - 플랫폼 내에서 운영할 수 있는 넥서스 자료에 대한 평가 및 분석을 통하여 지식화할 수 있는 콘텐츠의 관리 및 제공에 대한 설계 및 개발

나. 2세부 과제 : WEF 넥서스 Trade-off 평가 툴 개발

- WEF 분야간 시공간적 수급 분석 · 평가 · 계획수립 프로세스 개발
 - 자원의 순환 흐름 분석을 위하여 물, 에너지, 식량의 공급, 저장, 소비 등에 대해 분석, 평가, 계획에 대한 프로세스 개발
- 용수 - 에너지 - 식량 시공간적 수급 프로세스 개발
 - 생공용수 - 생활용수 및 공업용수 vs 생활에너지 및 산업에너지
 - 농업분야에서 식량생산을 위하여 소비되는 물과 에너지의 순환 프로세스 정립하며, 식량 생산에 대하여 식량 생산량과 이에 소비되는 수자원과 에너지의 관계 정립
- 넥서스 기술 연계 평가 처리 모듈 개발
 - GUI 기반 손쉬운 기능 사용을 통한 연계 평가 및 처리 사용자 환경 개발
- WEF Nexus 넥서스 평가툴 개발
 - 각 자원간 상호작용에 대한 영향 평가 (Trade-off, Synergy, 넥서스 기술 영향)
- 넥서스 DB 연계 기반 다이내믹 평가모델 개발
 - 넥서스 DB에 연계해 자료가 업데이트 될 때 마다 새롭게 영향 평가를 할 수 있는 다이내믹 평가모델 개발
- 물-에너지-식량 넥서스 Trade-Off 평가기법 개발
 - 자원간 Trade-off(예. 물의 사용을 줄였을 때 식량과 에너지의 생산량)를 줄일 수 있는 방안 찾기 위해서 Trade-off 평가 기법 필요
- WEF 넥서스 영향 평가
 - 물, 에너지, 식량 자원이 인간에게 주는 생태서비스 영향 평가

다. 3세부 과제 : WEF 연계 효율 개선 및 운영 최적화 기술 개발

- 수자원인프라 활용 효율 및 운영 개선 기술
 - 물 분야에서 수자원과 수자원인프라를 활용하여 에너지와 식량 생산에서

물의 사용 효율을 개선시킬 수 있는 기술

○ 다목적댐 보유에너지를 활용효율 극대화 기술

- 다목적댐에 되어 있는 에너지 (위치에너지 및 열에너지)를 활용하여 에너지 효율을 높이고 식량생산량을 증대할 수 있는 공급 기술

○ 수자원 인프라간 연결을 통한 물 공급 효율 개선 기술

- 댐 보의 연결을 통하여 계절별 에너지 및 식량 생산에 대한 지역 특성을 고려하여 물을 공급할 수 있는 기술 개발

○ 자원인프라 및 수변지역을 활용한 식량,에너지 생산 극대화 기술 개발

- 댐 및 보의 저류된 물의 활용도를 높이며 이러한 수자원 인프라 주변의 수변 지역을 활용하여 식량 생산 및 에너지 생산을 높일 수 있는 기술 개발 (예 data 센터, 시설재배)

□ 에너지, 식량 생산 효율 개선 기술

- 자립형 신재생 에너지 생산 기술

○ 물-에너지-식량 연계 자립형 에너지 생산, 저장, 공급 기술 개발

- 신재생 에너지를 기반으로 자립적으로 에너지를 생산, 저장, 공급할 수 있는 독립적 에너지 공급체를 구성 및 개발하여 마이크로스케일의 식량생산과 물 이동시 에너지 공급 (신재생에너지 생산, ESS)

○ 도시 식물공장/시설재배 물-에너지 소비 연계효율 최적화 기술

- 도시지역의 빌딩 특성, 형태, 위치에 따른 최적 물-에너지 연계효율을 최적화한 식물공장을 설계하고 이를 통하여 신선한 야채를 도시민에게 발 공급할 수 있는 공급 체계 개발
- 시설재배에 있어 스케줄링을 통한 물, 에너지 사용을 최소화 할 수 있는 방안 및 에너지 소비에 있어 물의 열에너지와 연계하여 에너지 사용 효율성을 높일 수 있는 기술 개발

○ 쌀 생산에서의 물 소비효율 개선 방안 연구

- 현행 담수재배에 의한 SRI 는 물 사용량을 약 25~50%를 줄일 수 있으며, 논에 SRI를 적용할 경우 적지 않은 용수확보가 가능할 것으로 판단됨

라. 4세부 과제 : WEF 연계 검증 및 실증 기술 개발

□ 한국형 물, 에너지, 식량 자립 마을(WEF3.0 Village) 구축을 위한 융합기술

- 소규모 WEF Nexus 실증마을 구축을 위해 기존 기술 및 WEF넥서스 기술을 융합하여 실현할 수 있는 기술 도출

○ 물, 에너지, 식량 자립 기술 활용 실증

- 물-에너지-식량 자립 마을 관리를 위한 Smart Water-Energy-Food Grid

System 구축(Big Data기반의 물/에너지 수요 예측 및 작물 재배 환경에 대한 지능형 생육/물/에너지 소비 관리 시스템)

- 기존 인프라 및 시스템과의 자원간 연계 기술

□ WEF Nexus 기반 인문사회 과학적 제도 및 정책 개선

- 기술의 실증을 통한 WEF Nexus 기반 인문사회 과학적 제도 및 정책 개선 및 정책적 실용화

○ WEF Nexus 실현을 위한 정책 개선 도출

- Water-Energy, Water-Food, Energy-Food의 각 Nexus 및 법·제도적 개선사항 정리

○ WEF Nexus 인증제와 인센티브 방안 연구

- 넥서스 효과에 대한 사회, 경제적 평가를 위한 인증시스템 구축 및 인센티브 부여 방안, 절차 및 기준수립

7장. 사전타당성 검토

1절. 정책적 타당성 분석

1. 국가전략의 중요성

- 미래 기후변화 대응 및 국가 필수 자원안보 체계 구축을 위해 물기반 국정 아젠다로서의 Water-Energy-Food Nexus 국가 실행계획이 필요한 시점임
- 전 세계적인 기후변화, 인구증가, 도시화, 자원고갈에 따른 물, 에너지, 식량 등 필수 자원의 수요 증가 및 공급 불균형으로 글로벌 자원안보 위기가 고조되고 있어 이에대한 국가차원의 대비가 필요함
- 국내의 경우 자원의 대외 의존성이 높기 때문에 국제자원시장 변화에 크게 영향을 받고 있어, 주요 자원에 대한 안보문제 해결이 필요한 시점임
- 인구의 도시화 현상으로 인해 자원 사용량이 집약적이고 밀집되어, 도시 지역에 대한 자원의 효율적 사용 필요성이 증가함
- 기후변화로 인하여 발생하는 수자원부족(고갈) 문제와 물순환 왜곡 등을 해결하기 위한 수자원 자족·자립능력 향상 기술 개발이 필요한 시점임
 - 특히 '15년 가뭄으로 3일까지 강수량은 평년대비 62%(2015.11)에 불과, 중부 지방을 중심으로 물부족 문제 심화되고 있음
- 물, 에너지, 식량은 생산 및 사용 과정에서 연계성이 높은 자원이므로 지속 가능한 확보 및 적정 배분, 신기술 창출을 통한 자원 안보 확보와 연계 효율에 대한 미래 기술 개발의 필요성이 국가 전략적으로도 매우 중요함
- 기후변화에 따른 강우강도, 지속기간, 발생빈도 등 기후지표의 변화로 물생산 및 소비 예측의 불확실성이 증가하며, 이용가능한 깨끗한 물 확보의 어려움이 발생하고 있음
 - 우리나라 가상수 수출입량을 살펴보면 2007년 약 400억톤의 가상수를 수입한 것으로 조사되어 세계 5위의 가상수 수입국으로 수자원의 합리적 관리에 대한 필요성이 대두됨
- 국내 에너지 생산은 해외의존도가 높고, 원자력에 의한 에너지 생산이 집중되며, 신기후체제에 따른 CO₂감소 의무량 정책에 신재생에너지 개발 및 활용방안이 필요함
 - 2014년 전체 에너지 수요는 287.7백만 TOE(석유 환산 톤)이며, 이는 세계 8위에 해당되는 수요량임
 - 한국 에너지 소비 연평균 증가율은 2.83%로, 독일·프랑스·일본·미국 등 주요 선진국이 마이너스 성장을 보이는 것과 대조적으로 계속 늘고 있음

- 식량자급률이 47.2% 수준이며, 비효율적인 쌀지원정책 및 생산자 고령화로 식량안보의 불안정성이 예상됨
- 우리나라에서는 분단 상황의 특수성으로 인해 통일시 북한 인구의 합류로 정량적인 인구가 증가하며, 합류되는 북한 인구의 남한 생활수준 도달과정에서 물, 에너지, 식량 등 자원 수요량 급격한 증가가 예상됨
 - 북한의 산업구조는 중공업, 군수산업의 에너지 다소비형 산업구조이며, 북한 발전설비용량은 724만 KW로 남한의 12% 규모임
 - UNFAO에서 2016년 북한의 식량이 69만톤 부족할 것으로 예상하고 있으며, 특히 쌀, 옥수수 생산이 감소되고 있음
 - 향후 통일대비를 위해서는 국가적 차원의 자원연계형 국토관리 정책 개발 및 추진이 필요함
- 세계 각국의 연구기관에서는 WEF Nexus 기술에 대한 개념을 정립하고, 각 자원간의 데이터베이스를 연계·통합하여 관리하려는 움직임을 보이고 있는 반면 국내에서는 여전히 개별적으로 관리되고 있음
 - 물, 에너지, 식량에 효율성에 대한 기술개발은 현재 국토부, 산자부, 농림부에서 개별적으로 추진되고 있으나 자원간 상호작용이 단절되어, 통합 및 연계효과에 따른 자원확보와 경제적 효과 개선이 필요함
 - 그간 분산·개별적으로 진행해 오던 자원효율성 개선 기술을 다른 자원의 생산, 공급, 소비에 연계 하여 국가차원의 다부처 신자원관리 체계 구축이 필요함
 - WEF Nexus는 사회적, 경제적, 환경적으로 서로 다르거나 경쟁관계에 있는 자원간 이해관계를 연계시킬 수 있음
 - 미래 기후변화 대응 및 국가 필수 자원안보 체계 구축을 위해 물기반 국정 아젠다로써의 Water-Energy-Food Nexus 국가 실행계획의 필요성이 대두되면서 우리나라도 Nexus를 통한 자원의 상호 연계 관리가 매우 중요해짐
 - 인구증가, 경제성장, 기후변화 등의 미래 환경변화에 대응하기 위한 한정적인 자원들의 효율적인 활용이 어려움에 따라 자원간의 연계성을 활용한 지속가능한 자원확보가 시급한 상황임
 - 수자원 자체만의 기존 기술 한계를 극복하기 위한 물-에너지, 물-식량 연계 신기술 개발과 지속가능한 활용방안을 개발해야 함
- 물(기상)-식량-에너지는 서로 밀접한 연관성을 가지고 있으며, 개별 분야에서의 문제는 그 자체로 위기로 그치지 않고 다른 타 분야의 위험도를 증폭시키는 원인으로 작용하게 됨
 - 과거와 다르게 교통, 물류 등의 발달로 물, 식량 및 에너지의 국가간 의존도가 더욱 증가하는 방향으로 전개되고 있으며, 세 가지 자원의 연계성 강화는 결국 상호 위기를 가중시킬 것으로 전망됨

- 세계 수자원의 70%는 농업부문에서 이용되고 있으며, 에너지 분야에서도 자원개발단계, 화석 연료를 통한 발전 및 냉각용수로서 상당한 수자원이 이용되고 있는 등 물과 식량 및 에너지 분야는 연관성이 크게 증대되고 있음
- 물, 에너지, 식량 Nexus에서 에너지와 식량은 필수 자원이자 2차적 생산물인 반면 물은 1차적인 자원으로써 물확보가 우선되어야 에너지, 식량이 확보될 수 있음
- 해수담수화, 바이오에너지 부문에서도 결국은 안정적인 수자원 확보가 가장 핵심적인 요소로 인지되고 있음
- 이러한 국제적인 동향에 맞추어, 어느 나라보다 자원의 효율적 이용이 중요한 국내에서도 넥서스와 같은 종합적인 자원의 관리 기술 개발이 매우 중요한 실정임

2. 상위계획과의 부합성

- 자원의 효율성 향상은 우리나라의 국정과제에서 매우 중요한 부분을 차지하는 아젠다로, 정부와 부처 등에서 이와 관련된 기술 개발 청사진을 수립함
- 물-에너지-식량 연계(Water-Energy-Food Nexus) 기술은 ‘13년 2월 정부 국정과제 중 「16. 쾌적하고 지속가능한 환경조성」의 99. 기상이변 등 기후변화 적응, 100. 안정적인 에너지수급 및 산업구조 선진화, 101. 신재생에너지 보급 확대 및 산업육성 등과 밀접한 관련이 있음
- 또한 기후변화 대응을 위한 에너지 신산업 육성의 구체적 성과를 창출하기 위해 관계 부처 합동으로 ‘에너지 신산업 활성화 및 핵심기술개발 전략 이행 계획(‘15~’17)’을 수립하여 제8차 경제관계장관회의에서 발표된 바 있음
- 물, 식량, 에너지의 관리를 주관하는 부처가 다르기 때문에(국토교통부(물), 산업통상자원부(에너지), 농림축산식품부(식량)) 자원연계 정책이 필요함
- 국토부는 사회적 패러다임 변화에 선제적으로 대응할 수 있는 국토교통 R&D 중장기 전략을 수립하고, 특히 기후변화 및 에너지 고갈 대응, 수자원의 안정적 확보를 도모하고 있음³⁶⁾
- 국토부는 도시 내 각종 시설물과 자원 등을 안전하고 효율적으로 관리하기 위해 ICT, 센싱, 빅데이터 등 첨단기술을 적극 활용하여 도시와 시설물 자동관리, 수자원의 안정적·효율적 관리를 도모함
- 복잡한 도시의 기능들을 센싱을 통해 실시간 모니터링함으로써 사고를 예방하고, 사고 발생시 자동 응급 복구가 가능하도록 추진중임
- 수자원 등 도시 내 자원·에너지 등을 순환·재활용하고, 사람·사물의 실시간 흐름을 빅데이터로 관리하는 등의 기술이 활용 중임

36) 국토교통 R&D 중장기 전략(2014) 및 동향조사(2015)

- 프로젝트의 개발을 통해 교통물류 최적화, 자원·에너지 순환·재활용, 사고·재해 상황 실시간 관리 등 스마트하고 친환경적인 도시·국토를 구현함
 - 사물통신을 기반으로 시설물 성능·안전성을 실시간 모니터링하고, 자동으로 유지보수하여 안전사회에 이바지함
 - 도시 내 수자원을 자급자족하고, 재해를 예방하기 위해 분산형 수자원 관리를 추진함
- 제2차 농림식품과학기술 육성 종합계획에서는 농업 체질개선, 고부가가치 식품, ICT 융합, 농업/농촌 에너지 등과 관련한 중장기 R&D 중점분야를 선정함
- 농업체질 개선과 관련하여 신선 농산물 수확후 관리 및 선도유지 저장유통 기술, 원예작물 안정생산 및 시설원에 에너지 절감 기술 등을 제시하고 있음
 - ICT 융합과 관련하여 지능형 정밀농업 생산구현 기술, 수익형 식물공장 비즈니스 모델 개발, 지능형 농업용수 통합제어 시스템 등을 제시하고 있음
 - 농업/농촌 에너지와 관련하여 바이오에너지 원료작물 대량 생산 기술, 바이오에너지 고효율 생산 및 산업화 기술, 목질계 바이오에너지 및 목질성분 활용 기술, 고품질/고생산성 주곡 신품종 개발 및 안정 생산 기술
- 2014 에너지기술 이노베이션 로드맵에서는 고효율화 기술, 바이오매스 관련 기술, 에너지 수요·공급 안정성 확보기술, IoT+Big Data 활용기술 등에 대한 중장기 R&D 중점분야를 선정함
- 고효율화 기술로는 기존 화력발전대비 고효율화를 도모하는 고효율 청정화력 발전, 인프라기기 효율향상을 도모하는 스마트 FEMS, 전력사용의 저비용/고효율을 증진시키는 수요대응형 ESS, CO₂의 저비용·고효율 포집을 도모하는 CCUS, 고효율 소형발전 시스템인 미래형 에너지 발전, 에너지 변환 및 저장 효율화를 도모하는 미래형 고효율 에너지 변화·저장 등이 포함됨
 - 식물자원을 활용한 에너지 생산기술은 바이오매스를 활용하여 재생가능한 연료를 생산하는 차세대 청정연료 등이 포함됨
 - 에너지 수요·공급 안정성 확보기술은 양방향 전력 Network 최적 운영지원 기술이 포함된 차세대 송배전, 전력망 연계를 통한 스마트 마이크로그리드, 국가차원의 에너지수요/공급 안정성을 도모하는 에너지 네가와트시스템 등이 포함됨
 - IoT+Big Data 활용기술로는 개방형 정보관리기술인 에너지 IoT + Big Data 플랫폼이 포함됨

2절. 기술적 타당성 분석

1. 기술개발 계획의 적절성

- 동 사업은 내외부 환경분석을 기반으로 한 SWOT 분석을 통해 사업 추진방향을 설정하고 이에따른 Issue 및 R&D Needs도출을 통해 사업영역을 설정하여 사업내용의 논리성 및 적절성을 확보하였음
- 국내외 WEF Nexus 접근 방향, WEF Nexus 관련 메가트랜드 분석, 정책/시장/기술동향 분석, 논문특허분석 및 기술수요조사를 수행함
 - 국내외 WEF Nexus 접근 방향의 경우 BONN2011 Nexus conference”, “World Economic Forum 2011”, “International Centre for Integrated Mountain Development 2012” 등에서 다루고 있는 WEF Nexus에 대한 이해 및 연계활용방안에 대해 분석함
 - 메가트랜드 분석에서는 미국 NIC, WEF, IPCC 등 주요기관에서 발행한 메가트랜드 분석 보고서 중 WEF Nexus와 관련된 주요 메가트랜드를 분석함
 - 정책/시장/기술동향에서는 국내외 관련 정책현황 및 기술동향, 물산업, 에너지산업, 식량산업에 대한 시장동향을 분석하여 기술개발의 현황 및 향후 추진 방향성 설정을 위한 근거자료로 활용함
 - 특허분석에서는 2000년 이후 출원된 관련 특허를 대상으로 특허활동도, 특허집중도, 특허시장력, 특허경쟁력, 특허영향력의 5개 항목을 분석/평가하였으며, 논문분석에서는 2000년 이후 게재된 관련 특허를 대상으로 논문활동도, 논문집중도, 논문영향력의 3개 항목을 분석/평가함
 - 기술수요의 경우 2016년 10월 10일~11월 4일(4주간) 기획연구진, 분과별 기획전문가, 수자원학회, 농공학회, 신재생에너지학회, 상하수도학회 등 4개 학회 회원을 대상으로 수행하여 기술개발이 필요한 분야, 기술 Item 조사를 통해 기술개발 필요성 및 방향성 수립에 대한 근거를 확보하였음
- 물, 에너지, 식량 Nexus 사업추진 방향 설정을 위해 내외부 환경분석을 통한 강점, 약점, 기회, 위협요인을 분석 및 SWOT분석을 수행함을 통해 8개 사업 추진방향을 설정함
- 사업추진방향에 따른 사업추진시 자원간 수급분석 및 상호영향평가, 자원활용 효율 극대화, 넥서스 운영 최적화, 인문융합중심 국민공감대 형성의 4가지 Issue를 도출하고 이를 위한 9개의 R&D Needs를 도출함
- 최종 도출된 사업구조는 도출된 기술개발 추진방향, 국내 유관계획과의 연계성, 각 기술분야 연구의 효과성 제고 및 성과연계 등을 고려하여 3가지 사업영역과 7가지 세부사업 영역을 도출함
 - 9개 R&D Needs에 따라 앞서 조사되었던 기술수요조사 결과를 토대로 전문가위원회 논의를 거쳐 관련 기술아이템을 매칭하였음

- 도출된 세부사업간의 선후관계를 고려하여 그려보고 선행되어야 할 연구를 우선 추진하기 위해 단기적 추진분야인 ‘21C形 WEF Nexus 플랫폼 구축 기술’을 설정하고 4개 세부과제를 제시함
- 동 사업의 비전은 국가 물-에너지-식량 연계를 통한 21C形 新산업인프라 기반 구축으로 이에대한 목표를 분명하게 제시하였음
 - 비전 달성을 위한 목표는 ‘물-에너지-식량 분야 상호 연계를 통한 분야별 「생산-가공-유통 처리」 효율 30% 개선’, ‘20C SOC 시설산업기반에서 21C 사회 인프라 국민 서비스 산업으로 전환을 통한 국가 신산업기반 구축’, ‘4차 산업혁명의 Data Technology 분야에서 세계 최초의 공공기반 WEF 연계 패키지 기술 개발’로 제시함
- 동 사업추진의 위험요소 및 공헌요소 등을 고려하여 추진전략을 수립하였음
 - 목표달성을 위한 추진전략으로는 ‘WEF Nexus 기술적용의 효율성 검증을 위한 단기추진과제 우선 추진’, ‘국민적 공감대 형성을 위한 정기적 성과공유회 개최’, ‘부처간 연계·협력 네트워크 구축을 위한 성과물의 활용성 제고’로 제시함

2. 사업구조의 적절성

- 동 사업에서 도출한 단기적 과제는 4대 세부과제로 구성되어 있으며, 각 세부과제는 넥서스 기술이 상용화되고 운영되는데 있어 필수적으로 선행되어야 할 3개 세부과제와 최적화 및 실증을 위한 1개 세부과제로 유기적으로 구성됨
 - 3개 세부과제는 ‘WEF 넥서스 지식화 인벤토리 설계 및 개발’, ‘WEF Nexus Trade-off 평가를 개발’, ‘WEF 연계 효율 개선 및 운영 최적화 기술 개발’로 데이터베이스의 구축, 평가 Tool, 효율 개선 기술개발이 주 내용이며, 이는 4번째 세부과제인 ‘WEF 연계운영 검증 및 실증 기술 개발’을 통해 구현될 수 있도록 과제가 구성됨
- ‘WEF 넥서스 지식화 인벤토리 설계 및 개발’은 넥서스 DB를 기반으로 넥서스 관련지식을 생성하여 국민들에게 전달할 수 있는 개량화된 지식 DB 구축을 목표로 함
 - 넥서스 기술을 평가하고 자원간 상호영향을 평가하기 위해서는 반드시 데이터 구축이 필요하므로 이를 위해 가상수에 기반한 데이터들을 어떠한 형식으로 무엇을 수집하고 관리해야 하는지에 대한 연구 수행하도록 구성함
 - 넥서스 기술 목표의 핵심인 물발자국을 줄이기 위하여 물, 식량, 에너지 발자국 연계 산정 방안 연구가 선정되었음
 - 넥서스관련 데이터는 양이 너무 방대하기 때문에 이를 체계적으로 구성하

기 위해서는 인벤토리들과 정보체계를 구축하는 것이 필요하기 때문에 이에 대하여 상호간 영향 평가 및 정보를 비교 분석할 수 있도록 컴포넌트별(물, 에너지, 식량) DB 인벤토리와 정보체계의 구축이 필요함

○ 넥서스 DB를 기반으로 넥서스 관련 지식을 생성하여 국민들에게 전달하기 위한 플랫폼 개발 단계에서 WEF 넥서스 지식 DB 제공 시스템과 WEF 넥서스 지식 콘텐츠 발굴 및 표현 기술을 연구내용을 포함함

- 구축된 넥서스 DB를 평가틀에 바로 연결하고 사용하여 지식화할 수 있는 일종의 모듈 형태의 시스템을 개발을 목표로 함

□ ‘WEF 넥서스 Trade-off 평가 틀 개발’은 각 자원간 상호작용에 대한 생산-공급-소비단계에서의 평가를 수행하기 위한 평가틀을 개발하며, 이를 통해 Trade-off, 시너지, 기술영향 등에 대한 다차원 평가 틀 개발을 목표로 함

○ WEF 넥서스의 성능이 원활히 이루어지도록 하기 위해 자원의 흐름 분석을 위한 WEF 분야간 시공간적 수급 분석 · 평가 · 계획수립 프로세스를 개발 및 최적화된 모듈 개발을 연구내용을 포함함

- 자원의 순환 흐름 분석을 위하여 물, 에너지, 식량의 공급, 저장, 소비 등에 대해 분석, 평가, 계획에 대한 프로세스 개발하며 용수 - 에너지 - 식량 시공간적 수급 프로세스 개발을 목표로 함

○ 또한 WEF Nexus 넥서스 평가틀 개발을 통해 각 자원간 상호작용에 대한 영향 평가 (Trade-off, Synergy, 넥서스 기술 영향), 넥서스 DB 연계 기반 다이내믹 평가모델, 넥서스 DB에 연계해 자료가 업데이트 될 때 마다 새롭게 영향 평가를 할 수 있는 다이내믹 평가모델 연구를 포함함

- 자원간 Trade-off(예. 물의 사용을 줄였을 때 식량과 에너지의 생산량)를 줄일 수 있는 방안 찾기 위해서 Trade-off 평가 기법이 도입되며, 물, 에너지, 식량 자원이 인간에게 주는 생태서비스 영향에 대해서도 평가 기법의 연구도 연구내용에 포함함

□ ‘WEF 연계효율 개선 및 운영 최적화 기술 개발’은 수자원인프라 시설을 활용한 자원 생산 극대화 및 효율성을 증진하고 자립형 에너지 생산기술과 식물공장 및 시설재배의 수자원 연계효율 최적화를 통한 생산성 증대를 도모하는 입체적 기술 개발을 목표로 함

○ 수자원인프라 활용효율 개선 기술은 물 분야에서 수자원과 수자원인프라를 활용하여 에너지와 식량 생산에서 물의 사용 효율을 개선시킬 수 있는 기술임

- 다목적댐에 되어 있는 에너지(위치에너지 및 열에너지)를 활용하여 에너지 효율을 높이고 식량생산량을 증대할 수 있는 공급 기술 개발

- 댐 보의 연결을 통하여 계절별 에너지 및 식량 생산에 대한 지역 특성을 고려하여 물을 공급할 수 있는 기술 개발

- 댐 및 보의 저류된 물의 활용도를 높이며 이러한 수자원 인프라 주변의 주변 지역을 활용하여 식량 생산 및 에너지 생산을 높일 수 있는 기술 개발 (예 data 센터, 시설재배)
- 에너지, 식량 생산효율 개선 기술은 물, 에너지, 식량 연계자립형 기술, 도시 식물공장/시설재배의 물, 에너지 소비 연계효율 최적화, 쌀생산에서의 물 소비효율 개선방안 연구 등으로 구성함
- ‘WEF 연계 검증 및 실증 기술 개발’은 소규모 WEF Nexus 실증마을 구축을 위해 기존 기술 및 WEF 넥서스 기술을 융합하여 실현할 수 있는 기술을 도출하고 기술의 실증을 통한 WEF Nexus 기반 인문사회 과학적 제도 및 정책 개선 및 정책적 실용화를 목표로 함
- 도출된 넥서스 기술들을 패키지화하여 적용하고 기술을 실증하는 방안으로 한국형 물, 에너지, 식량 자립마을(WEF3.0 Village) 구축을 제시함
 - 마을은 물, 에너지, 식량 자원순환에 대한 넥서스 관계를 규명하고 넥서스 기술을 적용 평가할 수 있는 좋은 장소이며, 물, 에너지, 식량 넥서스 기술을 개발하여 자립적으로 마을주민이 거주 할 수 있는 융합기술을 개발하는 것은 우리나라의 지형적, 환경적 특성을 고려하여 최적의 자원 연계 운용 활용의 예가 될 것임
 - 신재생 에너지를 활용해 물, 에너지, 식량 생산이 어려운 지역에 적용하여 자립적으로 자원확보를 할 수 있는 기술을 개발하도록 하고 있음
- 신뢰성이 담보된 넥서스 기술의 파급을 위하여 민간기업 참여 유도를 위해 인증제도와 인센티브 지급 등 역시 포함하고 있음

3절. 경제적 기대효과 분석

1. 개요

- 동 기획에서는 사업영역 설정 이후 단기적 추진분야로 4개 세부과제를 선정하였으며, 경제적 타당성의 산정과 기대효과를 함께 분석하였음
- 동 기획에서는 ‘WEF 넥서스 지식화 인벤토리 설계 및 개발’, ‘WEF Nexus Trade-off 평가툴 개발’, ‘WEF 연계 효율 개선 및 운영 최적화 기술 개발’, ‘WEF 연계 검증 및 실증 기술 개발’의 4가지 세부과제를 도출함
- ‘WEF 넥서스 지식화 인벤토리 설계 및 개발’, ‘WEF Nexus Trade-off 평가툴 개발’, ‘WEF 연계 효율 개선 및 운영 최적화 기술 개발’ 세부과제는 데이터베이스의 구축, 평가 Tool, 효율 개선 기술로 3가지 세부과제에서 연구하는 기술들은 4번째 세부과제인 ‘WEF 연계 검증 및 실증 기술 개발’을 통해 구현될 수 있음



[그림 7.1] 단기적 추진분야 4대 세부과제

- 따라서, 동 기획에서 제시한 단기적 추진분야 중 실증을 통해 구현되는 ‘WEF 연계운영 검증 및 실증 기술 개발’ 세부과제를 통해 구현되는 효과 분석 및 기존 유사사례를 통해 동 기획사업을 통한 경제적 효과를 개략적으로 제시함
- 단기적 과제인 ‘21C形 WEF Nexus 플랫폼 구축 기술’의 4대 세부과제는 개별 기술로서도 경제적 효과가 기대되나, DB, 평가 Tool, 효율개선 기술에 대한 정량적인 경제적 효과분석을 위해서는 구체적인 적용대상 및 규모, 성능 수준 등이 제시되어야 함
- 1, 2, 3세부과제에서 개발된 기술이 실증을 통해 구현되는 과제는 4세부과제인 ‘WEF 연계 검증 및 실증 기술 개발’으로, 유사 실증 및 적용 사례에 대한 경제적 효과분석을 통해 단기적 과제에 대한 개략적인 경제적 효과를 확인할 수 있음

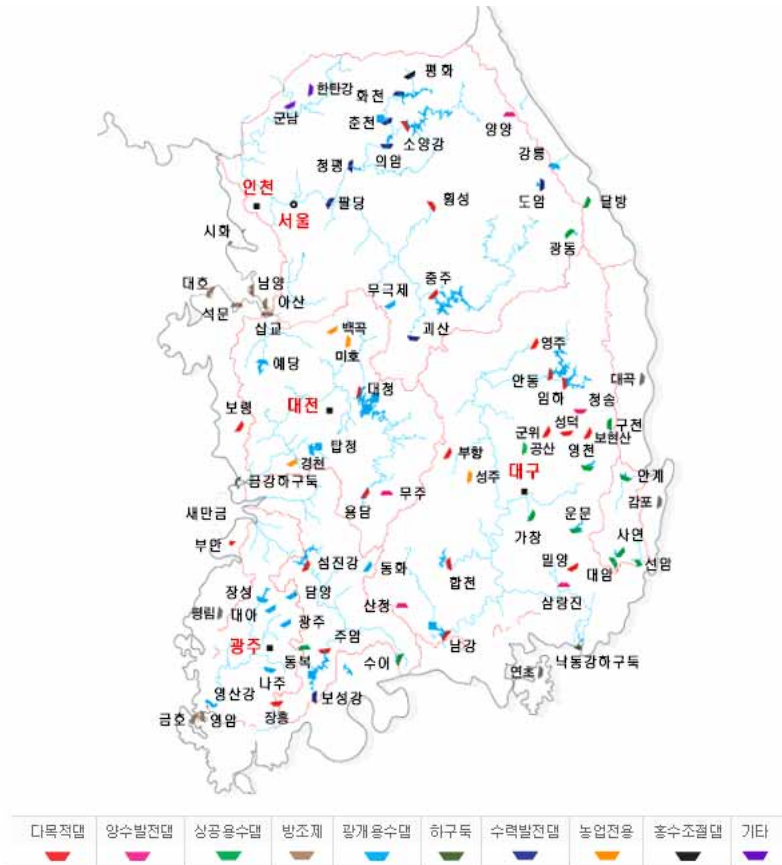
- 이에따라 4세부과제의 세세부과제인 ‘한국형 물, 에너지, 식량 자립 마을 (WEF3.0 Village) 구축을 위한 융합기술’, ‘WEF Nexus 기반 인문사회 과학적 제도 및 정책 개선’에 대한 유사사례의 경제적 효과를 분석하고, 해당 사례를 토대로 넥서스 플랫폼이 구축되었을 경우 경제적 효과를 분석함

2. Nexus 플랫폼 구축 기술의 경제적 효과

가. 넥서스 기반 수자원 인프라 운영 최적화 기술

- 넥서스 기반 수자원 인프라 운영 최적화 기술은 댐 통합관리를 통한 추가용수 확보 및 건설비용 절감, 식량 및 에너지 생산에 필요한 용수절감 및 하폐수처리에 소요되는 전력사용량 절감 등의 경제적 효과를 기대할 수 있음
- ‘수자원 사용 용도별 맞춤형 수원활용 및 연계 체계 구축’ 연구결과를 댐 관리에 적용할 경우 추가 용수확보 및 댐 건설비용 절감 등의 경제적 효과를 기대할 수 있음
- ‘식량, 에너지 생산의 공간적 분포에 따른 물확보 방안 수립’ 연구를 통해서 식량 및 에너지 생산에 필요한 용수절감을 통한 경제적 효과를 기대할 수 있음
- ‘도시(지역)단위 물-에너지 순환(이용)과제 자원(Resource) 실시간 감시 및 관리시스템 개발’ 연구를 통해서 하수처리장 등에 적용될 경우 하폐수처리에 소요되는 전력사용량 절감을 통한 경제적 효과를 기대할 수 있음
- 수자원 사용 용도별 맞춤형 수원활용 및 연계 체계 구축 기술의 경우, 기 건설되어 운영 중인 수력발전 댐과 다목적 댐의 통합관리를 통한 수자원 관리 및 효율성을 증대시킬 수 있음³⁷⁾
- 국내에는 79개의 댐이 존재하며, 다목적댐, 양수발전댐, 상공용댐, 방조제, 관개용수댐, 하구둑, 수력발전댐, 농업전용댐, 홍수조절댐 등 다양한 댐이 존재함
- 한강수계에 있는 수력발전댐을 다목적화해 실시간 통합연계 운영하게 되면 약 2.4억³m의 홍수조절 용량 및 5.4억~8.8억³m의 용수공급 능력을 추가로 확보 가능함
 - 이는 최근 건설 중인 영주댐(저수용량 1.8억³m, 1조1,000억원)을 3~4개 정도 추가로 건설하는 효과와 동일함
- 따라서 수자원의 사용 용도별 연계 체계 구축 기술이 전국적인 수자원 활용에 적용되면 상당한 분량의 용수 확보 및 경제적으로 댐 건설 비용을 절감을 통한 경제적 효과가 기대됨

37) 절실한 다목적댐 · 관리 일원화, 서울경제, 2016.04.03.



[그림 7.2] 우리나라 주요 댐의 분포(한국대댐회)

- 에너지 생산의 공간적 분포에 따른 물확보 방안 수립 기술은 농업용 저수지에 적용할 경우 용수절감효과 등의 경제적 효과를 기대할 수 있음³⁸⁾
- 기존 농업용 저수지 관개지구의 물이용에 대한 불확실성을 줄이고 수요/공급량의 정량화를 위하여 경제적 가치를 고려한 최적의 수문계측망 구축기술의 경제성 분석결과 20% 이상의 용수절감 효과가 발생함
 - 동 기술을 충청북도 진천군 내의 무수저수지(舊 구암저수지)와 그 관개지구인 금곡간선, 회죽간선을 대상지구에 적용했을 경우 경제성 평가를 수행하였음
- 손실수량(수로손실 및 관리손실 등) 및 회귀수량의 절감을 통하여 용수절감효과를 분석한 결과, 연도별 총 공급량에 대하여 2011년도에는 23.4%, 2012년도에는 21.5%, 2013년도에는 23.3%의 용수절감율이 산정됨
 - 이에따라 평균 공급량 7백 44만 톤 중 약 23%인 1백 69만 톤의 용수절감효과가 도출되었음
- 해당 용수절감량을 생활용수 및 공업용수로 전환할 경우 발생하는 경제적인 가치를 대체비용법으로 산정한 결과, 연평균 용수절감량인 1백 69만 톤을 생활용수로 전환할 경우 약 8억 4천 5백만원/년의 경제적 가치를 가지고 있으며, 공업용수로 전환할 경우 약 17억 7천 5백만 원/년의 경제적 가치를 가지고 있는 것으로 평가되었음

38) 농업용수 정량화를 위한 경제적 수위계측망 설계, 김선주 외, 2016

- 국내 농업용 저수지에 동 기술을 적용할 경우 저수지 관개지구의 농업용수를 20% 가량 절감하고 추가 수자원의 확보가 가능할 경우 높은 용수절감 효과 등의 경제적 파급효과를 기대할 수 있음



[그림 7.3] Monitoring network construction

- 도시(지역)단위 물-에너지-순환(이용) 자원 실시간 감시 및 관리 시스템 기술을 통해 하수처리장의 감시 및 에너지 절감이 가능함³⁹⁾
- (주)티에스케이워터는 2011년 11월부터 2013년 11월까지 2년여 간 환경부가 추진 중인 ‘글로벌탑 환경기술개발사업’을 통해 하·폐수고도처리기술개발사업단과 함께 총 연구비용 13억 9천만 원을 지원받아 개발을 주도함
 - 에너지절감 시스템은 하수처리장 전력 사용량의 60%를 사용하는 송풍기와 펌프의 전력을 절감하는 기술로 본 시스템에서는 △하수처리장 전력모니터링 시스템 구축 △송풍량 산정 OUR 기기 설치 △송풍기 제어 프로그램 개발 △송풍기 개발 및 테스트베드 설치 △펌프 개발 및 테스트베드 설치 △송풍기 제어 프로그램 테스트베드 설치 등이 수행되었음
- 이 시스템을 2011년 12월 도양 하수처리장에 적용하였으며, 2013년 평균 전력 사용량이 2011년 평균 전력사용량(6만4천352kWh)보다 17.6% 줄어든 5만 3천80kWh를 기록했고 2013년 전력 요금은 월 평균 147만 원, 연간 1천770만 원 절감 효과를 보였음

39) 워터저널, 2014.01.08. (<http://www.waterjournal.co.kr/news/articleView.html?idxno=18854>)

- 하폐수 처리 비용 부담이 높은 공업지역에 넥서스 플랫폼을 적용한 시스템을 구축하여 하폐수 처리 효율을 높일 경우 환경적 편익뿐 아니라 해당 공장에도 상당한 크기의 전력사용 절감 효과가 있을 것으로 보임
- 국내 하폐수 처리 전력 사용량을 일괄적으로 17.6% 절감한다면 전력 수요의 큰 감소 효과가 있을 것으로 예상됨



[그림 7.4] TSK-에너지 절감형 기기

나. 그리드 기반 WEF 넥서스 운영 최적화 기술

- 그리드 기반 WEF 넥서스 운영 최적화 기술은 에너지 절감효과, 온실가스 저감효과 및 용수절감효과 등의 경제적 효과를 기대할 수 있음
 - ‘W-E-F를 연계한 마이크로 그리드 단위의 최적 기술을 상용화’ 연구결과가 농업지역에 적용될 경우 에너지비용 절감, 온실가스 배출 저감, 농업용수 절감 등의 경제적 효과를 기대할 수 있음
 - ‘도심 친환경 열에너지의 공급을 위한 Water Heat Grid 시스템 개발’ 연구를 통해서도 수열에너지 냉난방 시스템에 적용될 경우 기존 냉난방 시스템 대비 에너지절감효과 등의 경제적 효과를 기대할 수 있음
- W-E-F를 연계한 마이크로 그리드 단위의 최적 기술 상용화 기술을 농업지역에 적용할 경우 물-에너지의 사용량 절감의 경제적 효과가 발생함
 - 시설원예 난방으로 활용된 화석에너지 대신 지열에너지로 대체할 경우 상당한 에너지사용량 절감 효과를 기대할 수 있음
 - 시설원예의 총 경영비 중 난방에 지출되는 비용은 재배작물에 따라 약 19~58%로 난방에너지원의 약 92%가 유류인 화석에너지이며, 경유 난방설

비만 100% 가동했을 때보다 지열을 90%~50%로 가동했을 때의 에너지 사용료가 2/3가량 절약되는 것으로 나타남⁴⁰⁾

- 온실 생애주기 기간(20년)동안 지열(70% 부하부담)냉·난방 시스템을 사용했을 경우, 초기투자비를 각각 5년(1,050㎡ 비닐온실), 7년(2,376㎡ 비닐온실), 4년(4,140㎡ 유리온실), 2년(9,384㎡ 유리온실)차에 회수하게 됨

○ 경운을 행하지 않고 토양의 지력을 유지할 경우 상당한 토양 침식 및 관리 비용을 절감할 수 있음

- 무경운농법이란 경운을 통한 토양의 교란 없이 해마다 작물을 재배하는 방법으로 미국내 무경운재배와 같은 보존형 경운 재배의 증가로 토양 침식 약 10억 톤 감소 및 침전물 관리 비용이 35억 달러 절감됨⁴¹⁾

- 그 외에 미국 기준 에이커당 3.9갤런의 연료가 절감되어 농기계 관리 비용이 감소하며 연간 15.6억 톤/892천ha의 관개용수가 절약됨

- 또한 농약 유출 70% 및 용수 유출 69% 감소 등의 효과가 있고 탄소 배출이 줄어들면서 온실가스 배출이 감소하여 환경적 편익도 상승하게 됨

○ 비 담수화를 통하여 벼의 관개를 이행하면 농업용수를 절감할 수 있음

- 벼 비담수화 관개는 논에 농업(관개)용수 절감 및 생산성 향상을 위한 벼 재배 방법으로 농업용수 10% 줄이면 12.7억 톤 확보 가능함

- 만약 모든 논에 SRI방법을 적용하여 약 40%의 농업용수가 절감된다면 약 51억톤 용수가 확보됨

○ 위 사례로 볼 때 W-E-F를 연계한 마이크로 그리드 단위의 최적 기술이 상용화 된다면 에너지비용절감, 온실가스저감, 용수절감 등 다양한 경제적 효과를 기대할 수 있음

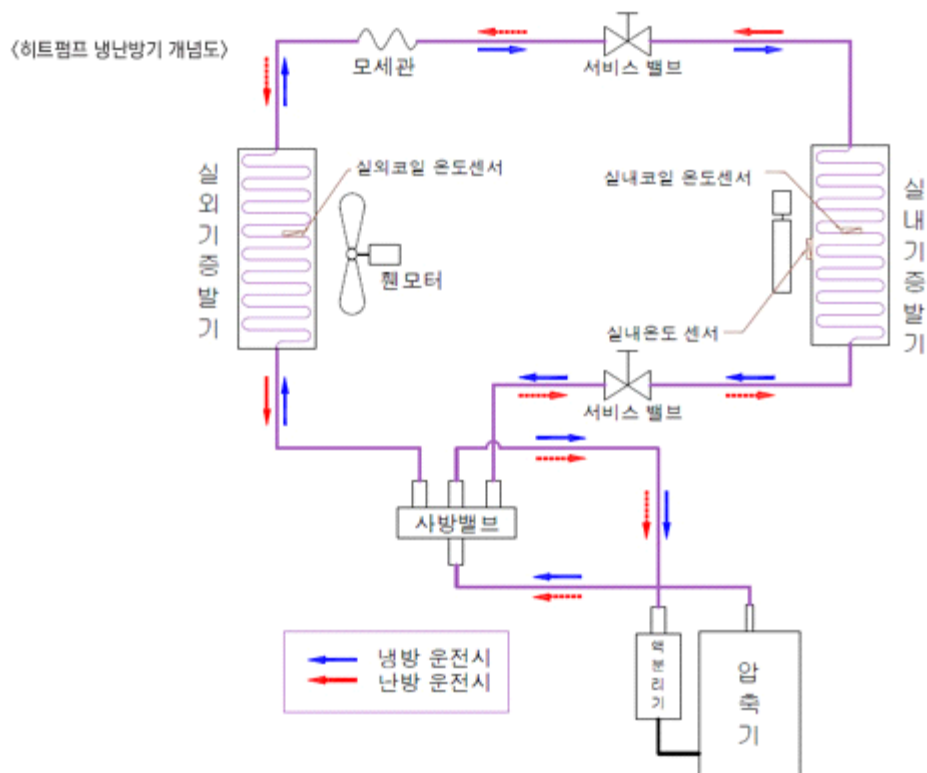
□ 도심 친환경 열에너지의 공급을 위한 Water Heat Grid 시스템은 냉난방에 소요되는 에너지 비용을 절감할 수 있음

○ 수열에너지는 하천수, 호수, 해수 등에 포함되어 있는 물의 온도에너지를 직접 또는 열펌프로 회수하여 건물의 냉난방 및 급탕에 이용하는 시스템으로 기존 냉난방시스템에 비해 20~40% 에너지절감 효과가 있음

- 현재 선진국에서는 바다, 강, 하천, 호수 등의 온도차를 이용하는 대규모 신재생에너지의 기술개발·보급이 확대되고 있으나, 국내는 지하열의 온도차를 이용하는 소규모 형태가 대부분인 실정으로, 해당 기술을 개발하여 냉난방에 소요되는 에너지를 획기적으로 절감 가능할 것임

40) 류연수 등, 시설원예의 지열냉·난방시스템 경제성 분석, 한국태양에너지학회 논문집 Vol. 64 32, No. 6, 2012

41) The Conservation Technology Information Center, 2002



[그림 7.5] 수열에너지 냉난방의 원리

- 도심 친환경 열에너지의 공급을 위한 Water Heat Grid 시스템은 위 사례에서도 볼 수 있듯이 열에너지 효율성 극대화를 통한 경제적 효과를 기대할 수 있으며, 기존 Smart grid, Smart water grid와 연계될 경우 에너지절감, 용수절감 등의 경제적 파급효과를 기대할 수 있음

다. WEF 넥서스 기술 검증

- WEF 넥서스 기술 검증 기술은 자립섬 구현을 통한 에너지절감효과, 온실가스 저감효과 및 담수기술과의 결합을 통한 경제적 효과를 기대할 수 있음
- ‘한국형 물, 에너지, 식량 자립섬(WEF3.0 Island) 구축을 위한 융합기술’ 연구를 통해서는 에너지소비 절감효과, 신재생에너지 활용을 통한 온실가스 저감효과 등 다양한 경제적 효과를 기대할 수 있음
- ‘신재생에너지를 활용한 에너지자립형 담수 기술’ 연구를 통해서는 에너지 절감효과 및 기존 담수화 기술력과의 결합을 통한 해외시장 선점을 통한 경제적 효과를 기대할 수 있음
- ‘넥서스 인증제와 인센티브 방안 연구’는 직접적인 경제적 효과를 산정하기는 한계가 있으나, 동 기획에서 다루고자하는 모든 기술의 적용 활성화에 기여하므로 타 기술의 경제적 효과달성에 기반이 되는 연구로서의 의미가 있음

- 한국형 물, 에너지, 식량 자립섬(WEF3.0 Island) 구축을 위한 융합기술의 경우 최근 구축되고 있는 자립섬과 같이 에너지 절감효과 뿐만아니라, 용수 확보 및 식량생산에 필요한 자원절감효과 등의 경제적 효과가 발생할 것으로 예상됨
- 국내 최대 자립섬 구축 프로젝트인 울릉도에서는 자립섬 구축이 2020년까지 2단계로 추진될 예정으로, 우선 1단계 사업으로 2017년까지 태양광, 풍력, 소수력 발전설비 및 ESS, EMS를 활용하여 울릉도 전체전력의 30%를 신재생 에너지로 공급할 예정임⁴²⁾
- 울릉도 신재생에너지 SPC설립을 통한 사업파급 효과는 3.1조원, 계통운영 편익으로 1.7조원(정전회피 비용, 발전 설비투자회피, 경제급전, 신재생 이용률 향상)이 추정되며 신재생발전구축효과가 1.4조원(에너지소비 절감, 생산유발, 고용/부가가치창출, CO2 절감) 발생할 것으로 기대되고 있음
 - 그 외 국내외 도서지역 확산효과가 총 19.9조원이 발생될 것으로 추정됨
 - 울릉도 자립섬사업은 세계 최초 ICT가 결합된 Microgrid Global Track Record 달성을 통해 해외 진출의 기반이 마련될 것으로 기대하고 있음



[그림 7.6] 울릉도 자립섬 구축의 경제적 파급효과 추정

- 제주 가파도 자립섬은 하루 약 3,000kWh의 전력을 소비하는 작은 섬으로 태양광과 풍력의 신재생에너지를 활용하여 에너지 자립 시스템을 구축하고 있음⁴³⁾
- 가파도 가정집에는 독거노인이 사는 집을 제외하고 거의 빠짐없이 태양광 모듈이 설치되어 48가구에 설치된 3kW급 태양광 발전설비와 30kW급 2개소를 포함해 태양광발전 총 용량은 174kW, 풍력발전기는 250kW급 2대가 가동되어 500kW의 전력을 생산함

42) 한전, 세계 최대규모 친환경 에너지자립섬 조성 시동, KEPCO 보도자료, 2015.09.11

43) 전자신문, 2016.07.12. (<http://www.etnews.com/20160712000291>)

- 가파도의 하루평균 전력소비량은 약 3,000kWh으로 총 발전량의 약 84%를 풍력이 담당하고, 나머지는 태양광 발전이 담당함
- 주민들은 가구당 발전설비 설치비용 800만원 중 10% 정도를 부담하여 신재생 에너지로 섬에 전기를 공급하기 전 12만원이 넘었던 전기요금이 2~2.3만 수준으로 절감되었음
- 또한 가파도 연간 관광객 수는 2011년 6,900명에서 2015년에는 9,400명으로 36% 증가하여 경제적으로 직접 편익도 발생함



[그림 7.7] 제주 가파도 자립섬 개념도

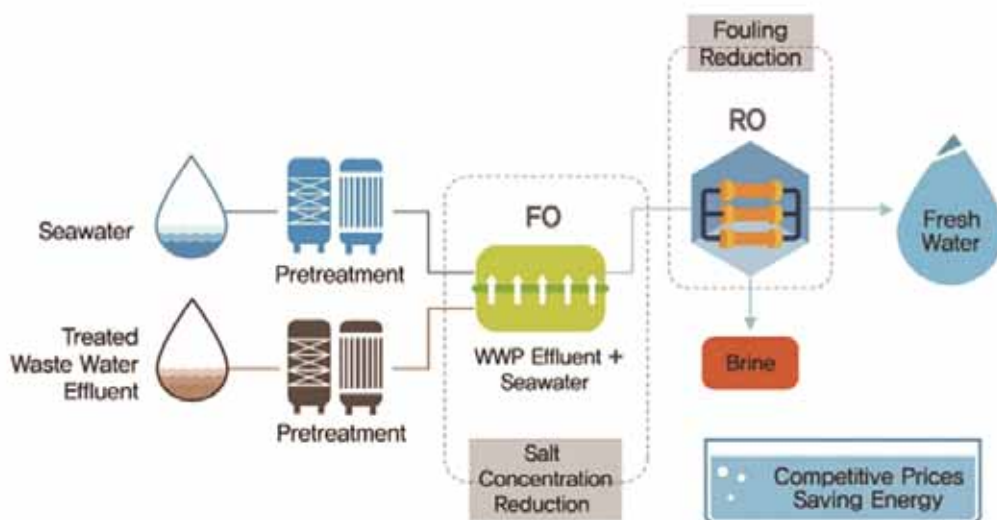
- 전남 가사도에서는 디젤발전기를 신재생에너지로 대체하여 연료비용을 획기적으로 절감하고 있음⁴⁴⁾
 - 한국전력은 가사도에 92억원을 투자해 풍력발전소 4곳과 태양광발전소 8곳을 설치하여 풍력은 최대 400kW, 태양광은 314kW의 전기를 생산하도록 함
 - 2014년 10월부터 기존 디젤발전으로 생산하던 전력의 81%를 풍력과 태양광이 대체되었으며, 기존에 디젤발전기를 사용했을 때는 발전연료비 및 유지보수비로 8억 6,000만원 소요, 연간 7억원 적자에서 마이크로그리드 구축 이후엔 발전연료비가 절반 이상 줄어 연간 3억 2,000만원 가량을 절감가능함
- 에너지 자립섬의 구축은 초기 투자비용에 대한 빠른 회수가 실증되었을 뿐 아니라, 환경적인 편익도 고려할 경우 섬이 많아 전력 수급에 불안을 겪는 국내 지형에 매우 적합한 대안이 될 수 있음

44) 이데일리, 2015.06.02. (<http://www.etnews.com/20160712000291>)



[그림 7.8] 전남 가사도 자립섬 개념도

- 신재생 에너지를 활용한 에너지 자립 담수화 기술은 정삼투와 역삼투를 융합한 플랜트 기술과 같이 물생산에 필요한 에너지비용 절감효과가 발생함⁴⁵⁾
 - 1톤의 물을 생산하는데 사용되는 에너지는 3kWh 수준으로, 현재 중심기술인 역삼투 공정에서의 에너지 절감 기술은 성숙기에 들어가 기존의 방식으로는 더 이상의 감소를 기대하기 어려운 실정임
 - 정·역삼투 융합 공정 연구를 통하여 1,000m³/day 규모의 실증 파일럿 플랜트를 구축하였으며 소요 전력량을 톤당 2.5 kWh/m³ 으로 저감할 경우 세계 담수화 플랜트 시장을 주도할 수 있는 탈추격형 정삼투-역삼투 융합 공정 기술력을 확보할 수 있을 것으로 기대됨



[그림 7.9] 정삼투-역삼투 기본개념도

45) 기술선도형 정삼투-역삼투 융합 플랜트 기술 개발, 손진식, 2016

8장. 인력투입 및 소요예산 산정

1절. 인력투입계획

- 소요인력의 단위 1명은 12M/M에 해당되며, 1M/M는 연구원 1명이 1개월간 100% 참여함을 뜻함
- 본 기획과제는 4개의 세부과제로 구성되어 있으며, 1세부 WEF Nexus 지식화 인벤토리 설계 및 개발, 2세부 WEF Nexus Trade-off 평가 툴 개발, 3세부 WEF 연계 효율 개선 및 운영 최적화 기술 개발, 4세부 WEF 연계 검증 및 실증 기술 개발로 구성되어 있음

(단위 : 명)

1 세부과제	2 세부과제	3세부과제	4세부과제
지식화 인벤토리	Trade-off 평가를	연계효율 최적화 기술 개발	검증 및 실증
< 1-1 > 발자국 산정방안 (19) DB 인벤토리 및 정보체계 (16)	< 2-1 > 시공간적 수급 프로세스 (20) 기술 연계 평가처리 모듈 (17)	< 3-1 > 댐보유 에너지 활용 효율극대화 기술 (15) 수자원 인프라연결을 통한 물공급효율 개선 (20) 인프라 연결활용 식량, 에너지생산 극대화 (15)	<4-1> 자립 기술 활용 실증 (104)
< 1-2 > 지식DB 제공 시스템 (17) 지식컨텐츠 발굴 및 표현기술 (18)	<2-2> 연계 기반 다이나믹 평가모델 (15) Trade-off 평가기법 (17) 넥서스 영향 평가 (11)	<3-2 > 자립형 에너지 생산, 저장 공급 기술 (20) 도시 식물 시설 재배를 위한 물-에너지 연계 효율 최적화 (25) 쌀 생산의 물소비효율 개선 (15)	<4-2> 정책개선 도출 (18) 인증제, 인센티브 (18)

- 각 세부과제에서 1세부와 2세부는 기술성과 도출을 위해 필요한 자원의 연계 부분이며, 3세부는 기술의 연계, 4세부는 현장 검증을 위한 Pilot Test 로서 이를 고려하여 전체 소요 인력 중 세부과제별 각각 18%, 20%, 28%, 35%로 구성하여 배분하였음
- 지식화 인벤토리 부분은 자원 프로세스의 통합적 관리 및 지식 DB의 연계를 도출하는 과정으로 자료의 취합, 분석, 운영 및 변환 등을 위한 처리과정으로 총 소요인력의 18%, Trade-off 평가 틀 개발은 현재 우리나라에서는 소유역단위로 개발되고 적용된 사례가 전무하므로 시스템의 개발 및 평가부분에 20%, 1세부와 2세부에서 도출된 다양한 자료 및 평가틀을 활용하여, 자원간 연계를 통한 구체적 기술개발도 아직 국내외 적으로 이루어진 사항이 많지 않으므로 기술개발 및 효율극대화에 28%, 1,2 그리고 3세부과제에서 도출된 많은 결과들을 실질적으로 소규모 Test Bed에 적용하고 효과를 분석하는 과정이 4세부로서 자립기술 및 실증 부분에 많은 예산 및 인력이 소요되고 더불어 정책개선 및 인센티브, 인증제 제시 부분에 소요되는 인력 등을 고려하여, 4세부과제에서는 35%의 인력을 배분함
- 각 세부과제는 현재 국내에서 구체적으로 제시된 바가 없는 이유로 1~2차년도 동안 기초자료 및 적용성을 위한 기술태동기 단계이며, 3차년도는 실질적인 기술 도출, 4차년도는 적용 및 가시화 부분으로 이를 반영하여 인력구성이 되었음

〈표 8.1〉 소요인력 총괄

(단위 : 명)

세부	세세부	추진일정				
		1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	계
1	1-1	5	9	10	11	35
	1-2	5	9	10	11	35
	소 계	10	18	20	22	70
2	2-1	6	10	10	11	37
	2-2	8	11	11	13	43
	소 계	14	21	21	24	80
3	3-1	8	13	14	15	50
	3-2	10	16	16	18	60
	소 계	18	29	30	33	110
4	4-1	14	28	30	32	104
	4-2	6	9	10	11	36
	소 계	20	37	40	43	140
총 계		62	105	111	122	400

2절. 소요예산

- 본 기획과제는 4개의 세부과제로 구성되어 있으며, 1세부 WEF Nexus 지식화 인벤토리 설계 및 개발, 2세부 WEF Nexus Trade-off 평가 툴 개발, 3세부 WEF 연계 효율 개선 및 운영 최적화 기술 개발, 4세부 WEF 연계 검증 및 실증 기술 개발로 구성되어 있음
- 각 세부과제에서 1세부와 2세부는 기술성과 도출을 위해 필요한 자원의 연계 부분이며, 3세부는 기술의 연계, 4세부는 현장 검증을 위한 Pilot Test로서 이를 고려하여 전체 연구비 200억 중 세부과제별 각각 18%, 20%, 28%, 35%로 구성하여 배분하였음
- 지식화 인벤토리 부분은 자원 프로세스의 통합적 관리 및 지식 DB의 연계를 도출하는 과정으로 자료의 취합, 분석, 운영 및 변환 등을 위한 처리과정으로 총 소요인력의 18%, Trade-off 평가 툴 개발은 현재 우리나라에서는 소유역단위로 개발되고 적용된 사례가 전무하므로 시스템의 개발 및 평가부분에 20%, 1세부와 2세부에서 도출된 다양한 자료 및 평가툴을 활용하여, 자원간 연계를 통한 구체적 기술개발도 아직 국내외 적으로 이루어진 사항이 많지 않으므로 기술개발 및 효율극대화에 28%, 1,2 그리고 3세부과제에서 도출된 많은 결과들을 실질적으로 소규모 Test Bed에 적용하고 효과를 분석하는 과정이 4세부로서 자립기술 및 실증 부분에 많은 예산 및 인력이 소요되고 더불어 정책개선 및 인센티브, 인증제 제시 부분에 소요되는 예산 등을 고려하여, 4세부과제에서는 35%의 예산을 총예산율 기준으로 배분함
- 각 세부과제는 현재 국내에서 구체적으로 제시된 바가 없는 이유로 1~2차년도 동안 기초자료 및 적용성을 위한 기술태동기 단계이며, 3차년도는 실질적인 기술 도출, 4차년도는 적용 및 가시화 부분으로 이를 반영하여 예산구성이 되었음

(단위 : 백만원)

1 세부과제	2 세부과제	3세부과제	4세부과제
지식화 인벤토리	Trade-off 평가를	연계효율 최적화 기술 개발	검증 및 실증
< 1-1 > 발자국 산정방안 (950) DB 인벤토리 및 정보체계 (800)	< 2-1 > 시공간적 수급 프로세스 (1,000) 기술 연계 평가처리 모듈 (850)	< 3-1 > 댐보유 에너지 활용 효율극대화 기술 (750) 수자원 인프라연결을 통한 물공급효율 개선 (1,000) 인프라 연결활용 식량, 에너지생산 극대화 (750)	<4-1> 자립 기술 활용 실증 (5,200)
< 1-2 > 지식DB 제공 시스템 (850) 지식컨텐츠 발굴 및 표현기술 (900)	<2-2> 연계 기반 다이나믹 평가모델 (750) Trade-off 평가기법 (850) 넥서스 영향 평가 (550)	<3-2 > 자립형 에너지 생산, 저장 공급 기술 (1,000) 도시 식물시설재배를 위한 물-에너지 연계 효율 최적화 (1,250) 쌀 생산의 물소비효율 개선 (750)	<4-2> 정책개선 도출 (900) 인증제, 인센티브 (900)

〈표 8.2〉 소요예산 총괄

(단위 : 백만원)

세부	세세부	추진일정				
		1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	계
1	1-1	250	450	500	550	1,750
	1-2	250	450	500	550	1,750
	소 계	500	900	1,000	1,100	3,500
2	2-1	300	500	500	550	1,850
	2-2	400	550	550	650	2,150
	소 계	700	1,050	1,050	1,200	4,000
3	3-1	400	650	700	750	2,500
	3-2	500	800	800	900	3,000
	소 계	900	1,450	1,500	1,650	5,500
4	4-1	700	1,400	1,500	1,650	5,200
	4-2	300	450	500	550	1,800
	소 계	1,000	1,850	2,000	2,450	7,000
총 계		3,100	5,250	5,550	6,100	20,000

9장. 과제 제안요구서 작성 및 평가기준 설정

1절. 과제 제안요구서 (RFP)

1. 총괄 제안요구서

총괄 과제명	20C形 WEF Nexus 플랫폼 구축 기술 개발
1. 연구개발 목표	○ WEF Nexus 지식화 인벤토리 설계 및 개발 ○ WEF Nexus Trade-off 평가 툴 개발 ○ WEF 연계 효율 개선 및 운영 최적화 기술 개발 ○ WEF 연계 검증 및 실증 기술 개발
2. 연구개발 필요성 및 기술동향	□ 연구개발의 필요성 ○ 물, 식량, 에너지 분야가 지난 25년간 각각 정보화시킨 결과들을 상호 연계시켜 분야간 정보의 공유 가치를 창출시키기 위한 공유 DB의 설계 및 구축 필요 ○ 각 분야별 생산-가공-유통-소비 단계별 DB 구축을 위한 정보표준화 및 분야 내 링크, 분야 간 연계가 가능한 콘텐츠 발굴 필요 ○ WEF 넥서스를 통한 공유정보들의 다양한 정보표현을 통한 지식 콘텐츠 개발 및 분야 간 활용기반 구축 필요 ○ 국가별 자원(물, 에너지, 식량) 사용량은 공급 및 처리 공정에 따라 다르게 계산되며, 자원간의 가치는 국가의 경제능력, 기후 등에 영향을 받으므로 국내에 맞는 자원 가치를 분석해야 함 ○ 국내 생공용수-산업에너지 수요-공급 상황을 시공간적으로 연계시켜 이들의 상황을 DB화하고 GIS기반 표출시스템을 개발하여, 유역별로 수급흐름상황을 파악, 분석 평가 ○ 넥서스 관련 요소기술 선정 및 기존 관련기술의 고도화를 위해서는 해당 기술의 사회적, 경제적 효용성을 판단할 수 있는 평가 툴의 개발이 선행되어야 함 ○ 기후변화, 환경변화, 인문사회변화 등 외부요인의 변화가 물, 에너지, 식량 자원수급에 미치는 영향을 평가하기 위한 모형 개발이 요구됨 ○ 지역 간 혹은 국가 간 자원교역을 위한 의사결정지원 시스템의 개발이 필요함 ○ 독립형 수자원 인프라로 건설된 시설에서 연계형 수자원 인프라로의 개선을 통하여 수자원 공급능력, 에너지 생산능력 등의 최적화를 도모할 필요성이 있음

	○ 준공후 오랜 기간의 운영 및 유지관리 경험과 기록을 바탕으로 기존 시설에 대한 재평가를 통하여 새로운 인프라 시설로의 재생이 필요한 상황임 ○ 기관별/시설별로 관리되는 수자원 인프라에 대한 범국가차원에서의 연계운영 및 최적화 방안의 수립이 절실한 상황임 ○ 댐 용수의 경우 수원의 수질이 양호함에도 불구하고 농업, 공업, 하천유지용수 등 다양한 목적으로 활용되고 있는데, 이는 수자원이 가지는 가치와 특성이 고려되지 않는 상황에서 이용 중 ○ 지역적 에너지 및 식량 생산을 위한 물확보를 통하여 공간적인 특성을 파악하여 보다 유기적인 물-에너지-식량 연계 방안 수립 ○ 물-에너지 Nexus를 통한 국내 실증 Site 구축을 통해 동일한 물부족/고가의 물생산 비용 구조를 가지고 있는 동남아시아 섬 국가를 대상으로 관련 기술 확대 전파 및 사업 수출 기회 확보
□ 기술동향	○ 국가적으로, 물은 수자원장기종합계획, 에너지는 국가에너지 기본계획, 식량은 식량수급계획, 그리고 국가물류기본계획 등 각종 공인통계자료, 공개된 정보시스템들을 대상으로 자료분석 체계 및 정보시스템을 구축하여 국가 정책수립 및 한정된 대국민서비스를 시행하고 있음 ○ 2011년 Bonn 2011 conference를 기점으로 다수의 해석모형이 개발되고 있음 ○ 대부분의 넥서스 평가모형은 자원 간 복잡한 연계상황 및 기후변화 등 외부요인이 자원수급에 미치는 영향을 정량적으로 판단하기 위한 목적으로 개발되었음 ○ 기존 연구에서는 최적 수자원량 확보, 발전량 최대화 등 독자적인 목적을 추구하는 최적 댐 운영 기법 개발 연구가 다수를 이루었지만 최근에는 WEF Nexus의 관점으로 접근하여 용수 공급과 발전량을 함께 고려한 운영 방안에 대한 연구로 발전되는 양상을 보임 ○ 가뭄과 같은 비상시 공간적 이동을 통한 물확보 방안은 수립 중에 있으나 이는 비상시에만 가능하며 식량 및 에너지 생산에 대한 공간적 물 필요량에 따른 물확보 방안은 아직 미흡함.
3. 연구개발 내용	[제1세부과제] WEF 넥서스 지식화 인벤토리 설계 및 개발 (1-1) Virtual WEF 기반 넥서스 데이터 모듈 설계 및 개발 - 물, 식량, 에너지 발자국 연계산정 방안 연구 - 물, 에너지, 식량 컴포넌트별 DB 인벤토리 및 정보 체계 구축

	(1-2) WEF 넥서스 지식 DB 플랫폼 시범 개발 - WEF 넥서스 지식 DB 제공 시스템 개발 - WEF 넥서스 지식화 콘텐츠 발굴 및 표현기술 개발 [제2세부과제] 물-에너지-식량 넥서스 Trade-off 평가 툴 개발 (2-1) WEF 분야간 시공간적 수급 분석 . 평가 . 계획 수립 프로세스 개발 - 용수-에너지-식량 시공간적 수급 프로세스 개발 - 넥서스 기술 연계 평가 처리 모듈 개발 (2-2) WEF Nexus 평가 툴 개발 및 평가 - 넥서스 DB 연계 기반 다이내믹 평가 모델 개발 - WEF 넥서스 Trade-Off 평가기법 개발 - WEF 넥서스 영향 평가 [제3세부과제] WEF 연계 효율 개선 및 운영 최적화 기술 개발 (3-1) 수자원 인프라 활용 효율 및 운영 개선 기술 - 다목적댐 보유 에너지를 활용한 효율 극대화 기술 - 수자원 인프라간 연결을 통한 물 공급 효율 개선 기술 - 자원 인프라 및 수변지역을 활용한 식량, 에너지 생산 극대화 기술 (3-2) 에너지, 식량 생산 효율 개선 기술 - 물-에너지-식량 연계 자립형 에너지 생산, 저장, 공급 기술 개발 - 도시 식물공장/시설재배 물-에너지 소비 연계효율 최적화 기술 - 쌀 생산에서의 물 소비효율 개선방안 연구 [제4세부과제] WEF 연계 검증 및 실증 기술 개발 (4-1) 한국형 물, 에너지, 식량 자립 마을(WEF3.0 Village) 구축을 위한 융합기술 - 물, 에너지, 식량 자립 기술 활용 실증 (4-2) WEF Nexus 기반 인문사회 과학적 제도 및 정책 개선 - WEF Nexus 실현을 위한 정책 개선 도출 - WEF Nexus 인증제와 인센티브 방안 연구
4. 연구개발 추진방법 ☐ 추진전략	○ 단계별 목표를 수립하고 그에 적합한 추진전략 및 일정계획 수립(연구단의 단계별 전략에 따른 세부추진전략 수립) ○ 연구성과의 실용화 성공률 극대화를 위한 전략 수립 ○ 정부(국토부, 농림부, 통상자원부 등) 및 공사, 유관기업 등 기술수요처와의 유기적 협조체계 구축

□ 추진체계	○ 기수행 및 현재 수행 중인 관련 연구개발결과와의 구체적 연계, 통합 및 활용방안을 구축 ○ 본 공모과제는 연구단 전체 연구내용, 연구성과, 연구전략 등과 유기적 연계성을 확보하여야 하며, 이와 관련하여 과제 연구책임자는 연구단장 및 세부과제 연구책임자와 지속적 유대관계를 확립해야 함 ○ 참여기관간 협력을 통한 기술개발 과제간 연계성 확보 및 협조체계 구축이 필요함 ○ 실용화 및 사업화 중심의 연구개발 사업임을 감안하여야 함 ○ 정부, 지자체 및 관련기업 등 기술수요처와 유기적 협조체계 구축
5. 최종 성과물	○ WEF Nexus 지식화 인벤토리 설계 및 개발 ○ WEF Nexus 넥서스 Trade-off 평가 툴 개발 ○ WEF 연계 효율 개선 및 운영 최적화 기술 개발 ○ WEF 연계 검증 및 실증 기술 개발
6. 사업기간 및 소요예산	○ 사업기간 : 4년 ○ 사업예산 - 총 사업비 : 정부 200억원
7. 기타	(기대효과) - WEF 자원 간 연계의 직관적인 파악 및 정량화 가능 - 부처 간 투명성 확대 및 자료공유 확대 - 웹기반 서비스 제공을 통한 대국민 홍보 효과

2. 과제별 제안요구서

□ (제1과제) 제안요구서

핵심(세부)과제명	(1 과제) WEF 넥서스 지식화 인벤토리 설계 및 개발
1. 연구개발 목표	○ WEF Nexus 기술을 평가하고 상호 영향을 분석하기 위한 넥서스 DB 기반 개량화된 지식화 DB 모듈 구축 ○ Virtual WEF기반 넥서스 데이터모듈을 설계하고 개발하여 각 자원간 자료의 활용 및 공유를 용이하게 하는 기술 개발 ○ WEF 넥서스 지식DB 플랫폼 구축을 위한 설계 기술 개발
2. 연구개발 필요성 및 기술동향	□ 연구개발의 필요성 ○ 물, 식량, 에너지분야가 지난 25년간 각각 정보화시킨 결과들을 상호연계시켜 분야간 정보의 공유 가치를 창출시키기 위한 공유 DB의 설계 및 구축 필요 ○ 물의 중요성에 대한 인식의 전환을 위하여 가상수(Virtual Water)에 대한 정의 및 개념 정립 필요 ○ 물발자국은 물의 소비이력을 나타냄으로써 물 사용의 효율성을 평가하는 지표로서 활용될 수 있으며, 물관리 정책 우선순위 결정 및 정책 혹은 기술의 평가에 활용 가능 ○ 식량 부문에 대한 물발자국을 산정하는 것은 작물 및 식량 생산 등의 부문의 물 사용량을 추정하는데 반드시 필요 ○ 각 분야별 생산-가공-유통-소비 단계별 DB 구축을 위한 정보 표준화 및 분야내 링크, 분야간 연계가 가능한 콘텐츠 발굴 필요 ○ WEF 넥서스를 통한 공유정보들의 다양한 정보표현을 통한 지식 콘텐츠 개발 및 분야간 활용기반 구축 필요 ○ 국가별 자원(물, 에너지, 식량) 사용량은 공급 및 처리 공정에 따라 다르게 계산되며, 자원간의 가치는 국가의 경제능력, 기후 등에 영향을 받으므로 국내에 맞는 자원 가치를 분석해야 함 ○ 주요 자원 등에 대한 물발자국을 평가하기 위한 기술적인 방법론을 정립하고, 품목 및 지역별로 물발자국의 변화를 분석하고 평가하기 위한 기술체계 정립과 DB구축을 위한 연구 필요 ○ 부처별, 기관별로 산재되어 관리되고 있는 물-에너지-식량 관련 자료들을 하나의 데이터베이스로 통합하여 관리하고 표출할 수 있는 통합관리시스템 필요 □ 기술동향 ○ 국가적으로, 물은 수자원장기종합계획, 에너지는 국가에너지기본계획, 식량은 식량수급계획, 그리고 국가물류기본계획 등 각

중 공인통계자료, 공개된 정보시스템들을 대상으로 자료분석체계 및 정보시스템을 구축하여 국가 정책수립 및 한정된 대국민서비스를 시행하고 있음

- 현재 물은 물관리정보유통시스템(WINS), 국가수자원관리종합정보시스템(WAMIS), 국가지하수정보센터(GIMS), 농촌용수종합정보시스템(RAWRIS), 하천수사용관리시스템(RWUMS), 수자원통합정보시스템(WRIS), 발전종합정보시스템(eps), 전력통계시스템(EPSIS), 수도통합시스템(WIIS), 지방상수도통합정보시스템(Water-INFOS), 실시간수도정보시스템(RWIS), 국가상수도정보시스템(NWIS), 물정보포털(MyWater), 에너지는 국가에너지통계종합정보시스템(KESIS), 폐자원에너지종합정보관리시스템(SRF-INFO), 식량은 농업관측통계시스템(OASIS), 그 외 KOSIS 국가통계포털 등 분야별로 따로 정보시스템을 구축 또는 통합수준(자료모음)의 정보화가 진행되어 옴
- 가상수 개념의 물 관리 및 국가간 가상수의 거래(유네스코, 2003)과 가상수 산정에 대한 지침과 흐름에 대한 분석 및 중요성을 제시 (Water Footprint Network, 2011)
- 기후변화 시나리오에 따른 국내외 곡물 수급여건 분석 및 식량안보체계 구축방안 제시(한국농촌경제연구원, 2012) 및 해외 물시장의 기업진출 활성화 전략을 위한 국제 물 거래에 대한 가상수 기반을 구축하기 위해 연구 중 (기후변화 대비 수자원 적응기술개발 연구단, 2014~)
- 가상수(virtual water) 개념은 특정 상품 생산을 위해 필요한 물의 양을 의미하는 것으로 Tony Allan 교수에 의해 1993년 처음 제안되었고 이후 상품의 운반/소비 과정에 포함된 물을 추가적으로 고려한 물발자국(water footprint)개념으로 발전하였음
- 산업적 측면에서는 생산 과정에서 발생하는 물 소비를 단계적으로 산정하고 이를 분석함으로써 낭비되는 물의 양을 줄이기 위해 노력하는 기업이 늘어나고 있는 추세임
- 호주에서는 2006년부터 WELS(Water Efficiency Labelling Scheme)를 통해 제품의 물 소비효율, 소비유량을 보여주는 제도를 실시하고 있음
- 현재까지 국내외에서 WEF 넥서스 관련 신뢰성 있는 국가 단위의 데이터베이스 구축 사례는 전무함 (관련 부처 및 기관의 적극적인 협조와 협력이 필요함)

3. 연구개발 내용

- (1-1) Virtual WEF기반 넥서스 데이터모듈 설계 및 개발
 - 물, 식량, 에너지 발자국 연계산정 방안 연구
 - 물, 식량, 에너지별 생산-가공-유통-소비 단계별 발자국 데이터 산정기술 (대표 공산품, 농축수산물 선정)

	• 분야간 발자국 데이터 연계산정 및 콘텐츠 표현기술 (연계 산정 알고리즘 개발 및 단계별 GIS DB화 로직 개발) • 기후변화에 따른 물/에너지/식량 발자국(footprint)의 변화 분석 • 국내외 주요 발자국 (물, 생태, 탄소 등)에 대한 조사 및 비교·검토 - 물, 에너지, 식량분야 컴포넌트별 DB 인벤토리 및 정보체계 구축 • 분야별 단계별 지식DB 구축을 위한 인벤토리 작성기술 • 분야간 단계별 연계DB 인벤토리 작성기술 • 분야별/분야간 단계별 DB정보 표준화/수집 자동화기술 • 넥서스 DB관리 및 분야간 연계운영체계 수립 • 컴포넌트별 발자국 인벤토리 데이터베이스 구축 • 자료 접근 및 활용이 용이한 빅데이터 기반 시스템 구축 (웹기반의 온라인 시스템 가능) ○ (1-2) WEF 넥서스 지식DB 플랫폼 시범개발 - WEF 넥서스 지식DB 제공시스템 개발 • WEF 넥서스 지식DB 제공시스템 기반설계 • WEF 넥서스 지식DB 제공시스템 메뉴설계 • 물, 식량, 에너지분야별 Virtual Water, Virtual Energy, Virtual Food 지식제공 프로세스 개발 • 넥서스 평가툴 연계 자원별 생산-공급-소비 전 과정 지식화 설계 - WEF 넥서스 지식컨텐츠 발굴 및 표현기술 개발 • 넥서스 지식DB를 활용한 지식컨텐츠 발굴 • 넥서스 지식컨텐츠 텍스트 및 그래픽 표현기술 개발 • 물, 식량, 에너지분야별 Virtual Facility, Virtual Land, Virtual Environment 개념 개발 • DB + 평가Tool 형태의 플랫폼을 개발하여 End-users를 대상으로 결과물 표출 및 대국민 홍보 (웹기반의 온라인 포털 서비스 가능)
4. 연구개발 추진방법	☐ 추진전략 ○ 단계별 목표를 수립하고 그에 적합한 추진전략 및 일정계획 수립(연구단의 단계별 전략에 따른 세부추진전략 수립) ○ 연구성과의 실용화 성공률 극대화를 위한 전략 수립 ○ 정부(국토부, 농림부, 통상자원부 등) 및 공사, 유관기업 등 기술수요처와의 유기적 협조체계 구축 ○ 기수행 및 현재 수행 중인 관련 연구개발결과와의 구체적 연계, 통합 및 활용방안을 구축

☐ 추진체계	○ 본 공모과제는 연구단 전체 연구내용, 연구성과, 연구전략 등과 유기적 연계성을 확보하여야 하며, 이와 관련하여 과제 연구책임자는 연구단장 및 세부과제 연구책임자와 지속적 유대관계를 확립해야 함 ○ 참여기관간 협력을 통한 기술개발 과제간 연계성 확보 및 협조체계 구축이 필요함 ○ 실용화 및 사업화 중심의 연구개발 사업임을 감안하여야 함 ○ 정부, 지자체 및 관련기업 등 기술수요처와 유기적 협조체계 구축
5. 최종 성과물	○ (1-1) 최종성과물 - 물-식량-에너지 정보연계 지식컨텐츠 시범 DB 구축 - 물-식량-에너지연계 시범 지식 DB 모듈 개발 - 단위 에너지 생산을 위한 물 사용량 산정 기법 및 표준화 - 단위 물 생산을 위한 에너지 사용량 산정 기법 및 표준화 - 단위 식량 생산을 위한 물/에너지 사용량 산정 기법 및 표준화 ○ (1-2) 최종성과물 - 지식 DB 제공 기반 프로세스 및 시스템 설계 및 개발 - 국가 W-E-F 데이터베이스 (DB) 및 자원 공정과정의 연계성 표출을 위한 표현기술
6. 활용방안 및 기대효과	○ 활용방안 - 지식DB 모듈의 공공기관 공유 및 정책 수립 지원 - 국민중심 서비스 개발을 위한 가용범위 내 정보 개방 - 자원간 연계 및 수급현황의 국가 장기계획 수립시 지원 ○ 기대효과 - 객관화되고 검증된 자료 활용에 따른 국가보고서 신뢰성 향상 - 타자원간의 연계에 의한 국가정책 수립시 활용 - 자원간 정보체계 구축의 국가, 공공기관, 국민 등 수요자 중심의 지식전달체계 확립
7. 사업기간 및 소요예산	○ 사업기간 : 4년 ○ 사업예산 - 총 사업비 : 정부 35억원
8. 기타	-

□ (제2과제) 제안요구서

핵심(세부)과제명	(2 과제) WEF 넥서스 Trade-off 평가 툴 개발
1. 연구개발 목표	○ 각 자원간 상호작용에 대한 생산-공급-소비 단계에서의 평가를 수행하기 위한 툴을 개발하여 이를 통해 Trade-off, 시너지, 기술영향 등에 대한 다차원 평가 툴 개발 ○ W-E-F 개별 요소 모델링 결과의 독립적 운영에 비해 단계별 모델 산정 결과 공유를 통해 W-E-F 최적 결과 도출 기술 개발
2. 연구개발 필요성 및 기술동향	○ 국내 생공용수-산업에너지 수요-공급 상황을 시공간적으로 연계시켜 이들의 상황을 DB화하고 GIS기반 표출시스템을 개발하여, 유역별로 수급흐름상황을 파악, 분석 평가 ○ 국내 농용용수-농업에너지-농업식량의 시공간적 DB 화 ○ 현재 수치모델들 간의 연동이 되지 않아 수치모델 간의 데이터 연동을 통해 높일 수 있는 정확도에 대한 손실이 큼 ○ 다양한 모델들을 통합 관리할 수 있는 플랫폼의 부재로 각 각의 모델들을 업데이트하고 관리하는데 소비되는 비용이 중복적으로 지출되고 있음 ○ 물-식량-에너지간의 기술적, 경제적 넥서스 평가를 위해서는 물리적 모델기반 및 빅데이터 기반의 평가툴(Evaluation Tool)의 개발이 필수적임 ○ WEF 넥서스의 기본요소인 개인 Trade off를 기반으로, 공동체, 지역단위 및 국가전체의 Trade off까지의 Nested 평가체제 개발이 필요함 □ 연구개발의 필요성 ○ 이미 해외에서는 10여년 이상 비슷한 기능을 제공하는 플랫폼을 중심으로 이러한 서비스 개발 및 활용을 통해 정확도 높은 모델링 기술을 보유하고 있으나 이러한 부분들이 한국 실정에 맞지 않아 한국형 서비스 개발이 필요 ○ WEF 넥서스 개념을 정량화하고 국가 정책에 반영하기 위해서는 DB구축(제1과제)과 더불어 평가모형의 개발이 반드시 이루어져야 함 ○ 넥서스 관련 요소기술 선정 및 기존 관련기술의 고도화를 위해서는 해당 기술의 사회적, 경제적 효용성을 판단할 수 있는 평가 툴의 개발이 선행되어야 함 ○ 기후변화, 환경변화, 인문사회변화 등 외부요인의 변화가 물, 에너지, 식량 자원수급에 미치는 영향을 평가하기 위한 모형개발이 요구됨 ○ 지역 간 혹은 국가 간 자원교역을 위한 의사결정지원 시스템의 개발이 필요함

□ 기술동향	○ 2011년 본(Bonn)에서 개최된 넥서스 회의(Nexus Conference)를 계기로 물-에너지-식량 넥서스(WEF Nexus)가 공식적으로 국제 의제화된 이후, 지난 몇 년간 FAO(Food and Agriculture Organization, 유엔식량농업기구)는 지속가능한 농업활동, World Bank(세계은행)는 지속가능한 개발투자, OECD (Organization for Economic Co-operation and Development, 경제협력개발기구)의 지속가능한 경제지원의 목적 하에 후진국, 개발도상국들을 대상으로 WEF 넥서스 기반 현지 맞춤형 문제 해결방안을 가지고 실행에 옮기는 사업들을 진행하여 왔음 ○ 이러한 WEF 넥서스의 평가들을 위하여, 외국은 기후, 물, 토지 이용 모델 기반의 넥서스 프레임워크(CLEWS)(Welsch et al., 2014, Karlberg et al., 2015), WEF Nexus Tool 2.0 Key Concepts (Nano Technologies LTD, 2013), '물 발자국 네트워크' 홈페이지(www.waterfootprint.org) 등 WEF 넥서스 평가를 위한 기술적 Tool의 개발 및 보급에 노력을 기울이고 있음 ○ 해외에서는 OpenMI 와 같은 플랫폼 개발에 관한 연구가 수행되어 오고 있으나, 국내 다양한 특성 반영하여 적용하는데 한계가 있으며 지속적인 지원 여부 불투명 ○ 대부분의 넥서스 평가모형은 자원 간 복잡한 연계상황 및 기후 변화 등 외부요인이 자원수급에 미치는 영향을 정량적으로 판단하기 위한 목적으로 개발되었음 ○ WEF Nexus Tool 2.0 모형의 경우 카타르 자국 내 안정적인 식량공급을 위해 필요한 에너지와 물 요구량 등을 결과로 도출함 ○ 그 밖에, ANEMI(2011), MuSIASEM(2013), WESim(2012)등 다수의 모형이 개발되어 활용되고 있음 ○ 국내 넥서스 평가모형의 개발은 자료수집 등 시작단계이며, 아직 정책결정 등에 활용되고 있지 않은 상황임
3. 연구개발 내용	○ (2-1) WEF 분야간 시공간적 수급 분석, 평가, 계획 수립 프로세스 개발 - 용수 - 에너지 - 식량 시공간적 수급 프로세스 개발 • 소비자 중심 물, 에너지별 소비-유통-가공-생산 역흐름 수요 공급 분석, 평가 프로세스 개발 (개인, 공동체, 지역, 국가 스케일 문제 해결) • 물-에너지별 수요공급 계획 프로세스 개발 (개인, 공동체, 지역규모별) • 물-에너지 연계 소비자 중심 생산-가공-유통-소비 단계별 효율 최적화 프로세스 개발 • 소비자 중심 물, 에너지, 식량생산별 소비-유통-가공-생산 역흐름 수요 공급 분석, 평가 프로세스 개발 (개인, 공동체, 지역 스케일 문제 해결)

	• 물-에너지-식량생산별 수요공급 계획 프로세스 개발 (개인, 공동체, 지역규모별) • 물-에너지-식량생산 연계 소비자 중심 생산-가공-유통-소비 단계별 효율 최적화 프로세스 개발 - 넥서스 기술 연계 평가 처리 모듈 개발 • 수치 모델 사이의 인자값, 결과값 공유 기능 개발 • GUI 기반의 손쉬운 기능 사용을 위한 사용자 환경 개발 • 모델 업데이트 관리 플랫폼 개발 ○ (2-2) WEF Nexus 평가 툴 개발 및 평가 - 넥서스 DB 연계 기반 다이나믹 평가모델 개발 • 자원 간 연계의 직관적인 파악 및 정량화를 위한 평가모형 개발 • 제1세부과제에서 개발될 넥서스 DB와의 실시간 연동을 통해 자원 수급량 계산 및 분석 • 웹기반 모의가 가능하도록 DB + 평가Tool 형태의 플랫폼 개발 - 물-에너지-식량 넥서스 Trade-off 평가 기법 개발 • 시나리오 기반 미래 자원 확보 예측 및 경제성 분석 • 자원생산 효율성 증진기술(요소기술)의 경제적 효용성 평가 • 기술고도화가 필요한 핵심기술 선정 및 평가 • 국내 지역 간 혹은 해외 국가와의 자원 교역을 위한 모듈 구성 - WEF 넥서스 영향 평가 • 기후변화, 환경변화, 인문사회변화 등 외부환경의 변화가 물-에너지-식량 자원의 수급에 미치는 영향 평가 및 대안마련 • W-E-F-ClimateChange, W-E-F-CarbonEmission 등 WEF모형 확장 평가
4. 연구개발 추진방법	
☐ 추진전략	○ 단계별 목표를 수립하고 그에 적합한 추진전략 및 일정계획 수립(연구단의 단계별 전략에 따른 세부추진전략 수립) ○ 연구성과의 실용화 성공률 극대화를 위한 전략 수립 ○ 정부(국토부, 농림부, 통상자원부 등) 및 공사, 유관기업 등 기술수요처와의 유기적 협조체계 구축 ○ 기수행 및 현재 수행 중인 관련 연구개발결과와의 구체적 연계, 통합 및 활용방안을 구축
☐ 추진체계	○ 본 공모과제는 연구단 전체 연구내용, 연구성과, 연구전략 등과 유기적 연계성을 확보하여야 하며, 이와 관련하여 과제 연구책임자는 연구단장 및 세부과제 연구책임자와 지속적 유대관계를 확립해야 함

	○ 참여기관간 협력을 통한 기술개발 과제간 연계성 확보 및 협조체계 구축이 필요함 ○ 실용화 및 사업화 중심의 연구개발 사업임을 감안하여야 함 ○ 정부, 지자체 및 관련기업 등 기술수요처와 유기적 협조체계 구축
5. 최종 성과물	○ (2-1) 최종성과물 - 시·공간적 넥서스 최적화 프로세스 - WEF 넥서스 연계 평가 처리 모듈 기술 알고리즘 - 수요자 중심 자원간 연계 흐름도 ○ (2-2) 최종성과물 - 물-식량-에너지연계 WEF Nexus 평가 툴 Software - 국가 WEF Nexus 평가모형기반 적용결과 및 기술보고서 - 물-에너지-식량간 Trade-off 최적평가 알고리즘 및 표준매뉴얼
6. 활용방안 및 기대효과	○ 활용방안 - 물, 식량, 에너지의 수급 정책 수립을 위한 최적화 방안 제시 - 국가, 공공기관, 지자체의 미래 자원관리 계획 활용 - 해외사업 원조시 맞춤형 평가 및 기술 지원 가능 ○ 기대효과 - 평가툴을 활용한 자원간 연계 제약사항 및 대처방안 제공 - 자원 수급 프로세스를 통한 향후 국가장기계획 수립 지원 - 국가, 지역별 자원간 연계 의사결정 타당성 제시
7. 사업기간 및 소요예산	○ 사업기간 : 4년 ○ 사업예산 - 총 사업비 : 정부 40억원
8. 기타	-

□ (제3과제) 제안요구서

핵심(세부)과제명	(3 과제) WEF 연계 효율 개선 및 운영 최적화 기술 개발
1. 연구개발 목표	○ 수자원 및 수자원 인프라 시설을 활용한 자원 생산 극대화 및 효율성을 증진할 수 있는 WEF 넥서스 기술 개발 ○ 자립형 에너지 생산기술과 식물공장 및 시설재배의 수자원 연계 효율을 최적화를 통한 생산성 증대를 도모하는 입체적 기술 개발 ○ 넥서스 기반 자원 인프라 운영의 최적화를 통한 타 자원의 확보방안 및 그리드 기반 넥서스 운영 기술 최적화 도모
2. 연구개발 필요성 및 기술동향	○ 독립형 수자원 인프라로 건설된 시설에서 연계형 수자원 인프라로의 개선을 통하여 수자원 공급능력, 에너지 생산능력 등의 최적화를 도모할 필요성이 있음 ○ 준공후 오랜 기간의 운영 및 유지관리 경험과 기록을 바탕으로 기존 시설에 대한 재평가를 통하여 새로운 인프라 시설로의 재생이 필요한 상황임 ○ 기관별/시설별로 관리되는 수자원 인프라에 대한 범국가차원에서 연계운영 및 최적화 방안의 수립이 절실한 상황임 ○ 현행인 담수재배에 비해 SRI는 물 사용량을 약 25~50%를 줄일 수 있는 것으로 보고된 바 있음. 따라서 논에 SRI를 적용할 경우 적지 않은 용수확보가 가능할 것으로 생각되기 때문에, 이에 대한 평가가 이루어질 필요가 있음. ○ 댐 방류시 효율적인 하천수 에너지 및 농업용수로서의 재활용 방안이 필요함
□ 연구개발의 필요성	○ 물은 에너지 생산에 꼭 필요하지만 제한된 용량으로 에너지 관련 기관과 종종 대립관계가 만들어지며 이를 해결하기 위해서는 댐에 저장된 물을 이용하여 에너지 생산을 최대화할 수 있는 기술 개발이 필요 ○ 시설재배는 각종 작물의 재배관리를 할 수 있는 공간으로써 온도, 광, 수분, 무기영양, 가스 등의 환경조건을 작물 생육에 적합하게 인위적으로 제어하여 기후변화 대응 필요 ○ 기상·자연재해 발생시 자원별 trade-off가 발생하지 않도록 물-에너지-식량 자원간의 상호 연결 및 효율성 극대화를 통한 Nexus 기반의 지속·안정적인 식량 생산 필요 ○ 다목적댐이 보유하고 있는 잠재에너지를 생산하며 이를 활용하여 댐의 기능 확대 및 댐 주변지역 경제 활성화 ○ 다목적 댐 및 주변지역에 친환경에너지 타운과 같은 “넥서스 에너지 타운”을 설립하여 국민과 민간기업에게 친환경 물, 에너지뿐만 아니라 새로운 문화공간 제공 필요

	○ 댐 용수의 경우 수원의 수질이 양호함에도 불구하고 농업, 공업, 하천유지용수 등 다양한 목적으로 활용되고 있는데, 이는 수자원이 가지는 가치와 특성이 고려되지 않는 상황에서 이용 중 ○ 용수의 용도에 맞는 수자원을 연계하여 개발, 이용하는 새로운 수자원 관리체계 필요
□ 기술동향	○ 수력발전댐의 경우에는 생,공,농업용수공급, 하천유지용수 공급 등을 위하여 상하류에 연계된 댐과의 연계운영이 적극적으로 검토된 사례가 전무함 ○ 댐-댐, 댐-보간의 연계운영 기술개발을 위한 기존의 연구성과는 존재하지만 극한가뭄시의 비상용수 확보, 수력발전 및 용수 공급과 연계된 효율화 방안은 시도되지 못함 ○ 수계별 댐/보 및 WEF의 부존자원을 반영한 수자원인프라의 연계기술에 대한 검토는 전무한 실정임 ○ 2016년 현재 40개 국가에서 SRI 채택 중: SRI의 효과입증 ○ 211년 3월 SRI 특별세션으로 PWE 학술지에 17편의 SRI 관련 논문이 게재됨 ○ 대부분의 SRI 연구는 수확량 증가, 물절약 그리고 노동력감소 등과 관련 연구에 초점을 맞춰 진행됨 ○ 주요 농업 관개시설과 물절약 협약을 체결하고 에너지 가치와 연계해 물의 가치를 측정하는 방법을 개발함으로써 물 사용 효율성 증대(프랑스 전력 공사, 2000) ○ 지금까지 여러 가지 최적화 모형(선형계획법, 비선형계획법, 동적계획법 등)을 활용한 발전량 최적운영 방안에 관한 연구가 활발히 진행되어 왔음 ○ 기존 연구에서는 최적 수자원량 확보, 발전량 최대화 등 독자적인 목적을 추구하는 최적 댐 운영 기법 개발 연구가 다수를 이루었지만 최근에는 WEF Nexus의 관점으로 접근하여 용수 공급과 발전량을 함께 고려한 운영 방안에 대한 연구로 발전되는 양상을 보임 ○ 국내 농업 생산성 수준은 선진국 대비 40~60%로 미흡한 상태이며, 특히 네덜란드 등 주요 농업 선진국에서도 농업분야에 ICT를 적극 활용하여 세계 최고 수준의 경쟁력 확보(네덜란드 파프리카 생산성 300톤/ha, 우리나라 선도농 190톤/ha)하고 있음 ○ 네덜란드 등의 시설원예, 축산, 기계 등의 제조업체에서는 수십 년 이상의 누적된 데이터와 재배환경 최적화 노하우 및 우수 기술 등의 농업 생산량 및 품질 최적화 도모 ○ IT산업에 대한 정부의 집중투자를 통하여 세계 최고 수준의 ICT 인프라 구축 및 인터넷경제 확대로 농업과 IT 기술을 연계하는 스마트팜 기술 개발 및 보급 여건이 조성됨(2014년 기준 ICT 융복합 모델 1,280농가 보급)

	○ 스마트팜은 ICT 기반의 기술과 농업을 연계하여 작물 생산량 증대 및 노동력 절감에 기여하였으나, 시설작물 생산에 필수적인 물-에너지 효율에 관한 기여는 미비함 ○ 댐에 잠재되어 있는 수열을 이용한 냉난방 에너지 활용 및 수상태양열 발전과 같은 단일기술 개발은 이미 시작되었으나, 이를 다목적댐 방류 조절과 같은 통합관리와 연계된 시스템은 아직 존재하지 않으며 댐에서 생산될 수 있는 에너지를 종합적으로 관리할 수 있는 시스템도 아직 부재
3. 연구개발 내용	○ (3-1) 수자원 인프라 활용 효율 및 운영 개선 기술 - 다목적 댐 보유 에너지를 활용 효율 극대화 기술 • 다목적댐 보유에너지 활용 친환경 Hydro-Cooling DB Town 구축 설계 기술 • 수력에너지에 사용된 용수와 관개(농업)용수 연계 운영 • 물 공급과 에너지 생산을 최적화하는 다목적댐 운영률 개발 • ESS와 연계한 다목적댐 에너지 저장 및 활용 기술 개발 • 냉난방시스템에서 수열에너지 효율성 정량화 - 수자원 인프라간 연결을 통한 물공급 효율 개선 기술 • 댐-보(댐-댐) 간의 연계운행을 통한 계절별 물공급 극대화 기술 개발 • 댐-보의 연계운행을 통한 극한가뭄시 비상용수 확보방안 개발 • 수계별 다목적댐-생공용수댐-수력발전댐의 연계운행을 통한 국가하천, 지방하천, 소하천의 유지유량(환경생태유량) 확보 방안 수립 • 수자원 컨트롤 타워를 통한 WEF 차원에서의 효율적인 물 배분 도모 • 수원의 특성(수량, 수질, 생태 등)과 용수사용 용도를 고려한 수원-용수 연계 활용 기술 • 농업, 생활, 공업용수에 적합한 맞춤형 수원연계 의사결정지원 기술 • 다수원-다용도 용수 맞춤형 수자원 개발 및 운영체계 기술 - 자원 인프라 및 수변 지역을 활용한 식량, 에너지 생산 극대화 기술 • 수계별 WEF 부존 특성을 감안한 맞춤형 연계기술 개발 (WE-EF-WF-WEF 등) • 동일수계 수력에너지 생산성-농업생산성 상관관계 분석을 통한 Energy-Food 생산성 극대화 기술 개발 • 동일수계 수력에너지 생산성-하천수이용율 상관관계 분석을 통한 Water-Energy 생산성 극대화 기술 개발 • 다기능보와 농업용저수지의 연계운행을 통한 수변지역 농업용수 확보방안 개발

	• 수공 시설물 및 수변지역의 현 상태 조사 • WEF 생산 극대화를 위한 수자원 시설물의 효율적인 운영 방안 제시 및 설치 검토 ○ (3-2) 에너지, 식량 생산효율 개선 기술 - 물-에너지-식량 연계 자립형 에너지 생산, 저장, 공급 기술 개발 • 신재생에너지원과 ESS를 연계한 에너지 자립 기술 • 에너지 생산, 공급, 저장 관련 상세 에너지 시스템구축 - 도시 식물공장/시설재배 물-에너지 소비 연계효율 최적화 기술 • 물 절약을 위한 시설재배 기반 다양한 관개기술 조사 및 DB 구축 • 근권부 수분 환경 실시간 모니터링 및 필요수량 산정기술 개발 • 최적 에너지 관리 시뮬레이션 알고리즘 개발 및 검증 • 온실 구조 설계 인자들이 에너지 절감에 미치는 영향 평가 • 환경조건에 따른 효율적인 물-에너지 관리 시나리오 개발 - 쌀 생산에서의 물 소비효율 개선 방안 연구 • 기후변화 시나리오 요소기술 • 식량 생산량 요소기술 • 에너지 가치분석 요소기술 • 경제성 분석 요소기술
4. 연구개발 추진방법	
☐ 추진전략	○ 단계별 목표를 수립하고 그에 적합한 추진전략 및 일정계획 수립(연구단의 단계별 전략에 따른 세부추진전략 수립) ○ 연구성과의 실용화 성공률 극대화를 위한 전략 수립 ○ 정부(국토부, 농림부, 통상자원부 등) 및 공사, 유관기업 등 기술수요처와의 유기적 협조체계 구축 ○ 기수행 및 현재 수행 중인 관련 연구개발결과와의 구체적 연계, 통합 및 활용방안을 구축
☐ 추진체계	○ 본 공모과제는 연구단 전체 연구내용, 연구성과, 연구전략 등과 유기적 연계성을 확보하여야 하며, 이와 관련하여 과제 연구책임자는 연구단장 및 세부과제 연구책임자와 지속적 유대 관계를 확립해야 함 ○ 참여기관간 협력을 통한 기술개발 과제간 연계성 확보 및 협조체계 구축이 필요함 ○ 실용화 및 사업화 중심의 연구개발 사업임을 감안하여야 함 ○ 정부, 지자체 및 관련기업 등 기술수요처와 유기적 협조체계 구축

5. 최종 성과물	○ (3-1) 최종성과물 - 수계별 수자원 인프라에 대한 맞춤형 WEF 연계기술 - 수력댐-용수댐-다목적댐이 연계된 물공급 극대화 기술 - 극한가뭄시의 비상용수 확보 및 댐-댐, 댐-보 연계운영 기술 - 댐 보유 에너지 자원 도출을 통한 WEF 넥서스 기술에서의 잠재력 및 활용 기술 보고서 - 물 공급, 에너지 생산 최대화를 위한 다목적댐 최적 운영률 - 넥서스 산업단지 최적 다목적댐 선정 기술 ○ (3-2) 최종성과물 - 시설재배 근권부의 토양수분 실시간 모니터링 및 필요수량 산정 기술 개발 - 최적 에너지 관리 시뮬레이션 알고리즘 개발 - 환경조건에 따른 효율적인 물-에너지 관리 시나리오 개발 - 다목적댐별 생산가능한 에너지 생산량 산정 기술 - 쌀 생산 최적화를 위한 물 소비효율 개선 기술
6. 활용방안 및 기대효과	○ 활용방안 - 수자원 중심의 구조적, 비구조적 인프라 최적 구축 지원 - 국가시설물 및 부대시설 최적 연계 및 운영 지원 - 국가 산업단지 구축시 자원확보 최적화 기술 활용 ○ 기대효과 - 시설물 중심의 자원연계 최적화 운영 및 활용 가능 - 식량생산의 자립화를 통한 대외 의존도 탈피 - 대외 기술 지원시 연계 기술의 활용을 통한 국가 경쟁력 확보
7. 사업기간 및 소요예산	○ 사업기간 : 4년 ○ 사업예산 - 총 사업비 : 정부 55억원
8. 기타	

□ (제4과제) 제안요구서

핵심(세부)과제명	(4 과제) WEF 연계 검증 및 실증 기술 개발
1. 연구개발 목표	○ 소규모 WEF Nexus 실증마을 구축을 위해 기존 기술 및 WEF 넥서스 기술을 융합하여 실현할 수 있는 기술 도출 ○ 기술의 실증을 통한 WEF Nexus 기반 인문사회 과학적 제도 및 정책 개선 및 정책적 실용화
2. 연구개발 필요성 및 기술동향	○ 2015년 충남 서북부지역의 극한가뭄으로 보령댐 저수율이 낮아 생·공용수 공급 중단 발생 ○ 가격이 상대적으로 저렴한 농업용 전기요금으로 인해 에너지 낭비 요소가 많음 ○ 지역적 에너지 및 식량 생산을 위한 물확보를 통하여 공간적인 특성을 파악하여 보다 유기적인 물-에너지-식량 연계 방안 수립 ○ 낮은 계통 한계로 인한 간헐성/돌입전류 문제와 높은 발전 원가 ○ 국내 도서 127개 중, 21개 도서에 신재생발전 설비구축 운영중 ○ 도서 디젤발전소 운영 손실액 : 252원/kWh에서 19,484원/kWh 정도로 연간 1,216억원 적자 ○ 도서 지역 온실가스 저감과 디젤 발전소 운영비 절감을 위해 신재생 에너지의 도입은 반드시 필요함 ○ 기술적 한계에 도달한 담수 설비 자체의 고효율화와 함께, 운영 방법의 효율화를 통해 추가적인 20%(total 30%)의 에너지 비용의 절감 필요 ○ 물-에너지 Nexus를 통한 국내 실증 Site 구축을 통해 동일한 물부족/고가의 물생산 비용 구조를 가지고 있는 동남아시아 섬 국가를 대상으로 관련 기술 확대 전파 및 사업 수출 기회 확보 ○ 기존의 열 공급 네트워크와 인프라는 신기후체제의 스마트시티에 대한 열 및 냉방 서비스를 위해 최적화된 설계가 아니며, 개선의 여지가 큼 ○ 도시의 전반에서 수열에너지를 이용한 열 및 냉방 수요의 성장에도 불구하고 열 공급 네트워크와 인프라의 확장과 설비 투자는 어려움이 큼 ○ 열 공급원을 확장하거나 증설하는 일이 스마트시티에서 예상되는 열 수요 증대에 미치지 못하고 있고, 다양한 소비자 간의 열 거래를 효과적으로 지원하지 못하고 있음 ○ 수열에너지를 이용한 공급 네트워크는 분산 열에너지원, 열에너지 저장기술 등과 같은 신기술의 적용과 활용을 위한 유연성이 부족하고, 열거래 및 소비에 대한 빅데이터 기반의 다양한 애플리케이션으로부터 혁신적인 비즈니스 기회를 창출하기 어려움

□ 연구개발의 필요성

	○ 넥서스 기술의 적용을 촉진하고 객관적인 검증을 위해서는 해당 기술이 넥서스 기술이라는 객관적인 인증을 받아야 하며, 해당 기술의 적용에 따른 효과를 분석하여 적절한 인센티브가 부여되어야 함 ○ 현재 우리나라 뿐만 아니라 전 세계적으로 WEF Nexus가 구체적으로 구축-운영된 사례가 부재한 상황에서, 새로운 개념인 WEF Nexus를 사회적으로 성공리에 정착시키고 활용을 확산시키기 위해서는 국민과의 접촉점을 분석하고 파악하는 것이 매우 필요함 ○ WEF Nexus의 실질적 구현을 위한 인문 사회적 개선을 위한 국민적 공감대 필요
□ 기술동향	○ W-E-F는 우리나라의 소관부처별로 각각 연구되고 기술이 개발되어 왔음 ○ Water는 수량과 수질관리 부분이 구분되어 수량은 국토부, 수질은 환경부에서 관리하며 부처별 주도권 분쟁이 지속적으로 발생하고 있음 ○ Smart Water Grid 연구단의 연구성과는 물의 수요와 공급차원에서 물부족 예측에 따른 원활하고 경제적인 공급방안을 제시하는 기술을 개발하고 적용하였으나, 넓은 범위의 실증화 지역을 선정하여 적용함으로써 그 효율성을 증명하기에는 부족하였음 ○ Food는 농업진흥청에서 ICT 기술을 이용하여 영농활동의 효율성을 극대화하여 작물생산량을 최대화하는데 집중하고 있을 뿐이며, 작물 생산을 위한 효율적이고 초저에너지를 활용한 W-E-F에 관한 연구는 전무한 실정임 ○ Energy는 태양 집전판에 의한 에너지 공급기술에 집중되어 있어 W-E-F 연계 기술 개발을 통해 양질의 최종성과물을 생산해야함 ○ 가뭄과 같은 비상시 공간적 이동을 통한 물확보 방안은 수립 중에 있으나 이는 비상시에만 가능하며 식량 및 에너지 생산에 대한 공간적 물 필요량에 따른 물확보 방안은 아직 미흡함. ○ 유압을 필두로 고온과 저온의 수열에너지 및 열수를 이용하는 4세대 지역난방 기술이 개발되고 있음 ○ 저온수(30~70°C)와 소각로 CHP, 지열, 연료전지, 바이오매스 등 다양한 신재생에너지를 융합하는 기술을 적극적으로 개발 적용 중 ○ 정부 산업부/환경부/국토부에서도 복합 에너지 플랜트 사업 등 추진하고 있으며, 도에서의 수열에너지 활용 기술을 개발 중 ○ 신재생융합 4세대 수열에너지 플랫폼이 기획 추진되고 있음 ○ 기존 수열 에너지원과 신재생 4세대 융합 복합에너지를 통합하는 플랜트를 개발하고 있음

3. 연구개발 내용	○ (4-1) 한국형 물, 에너지, 식량 자립 마을(WEF3.0 Village) 구축을 위한 융합기술 - 물, 에너지, 식량 자립 기술 활용 실증 • 물 : 최저 에너지 및 식량 생산을 위한 물확보 방안 • 에너지 : 국내 에너지 자립 섬 프로젝트 확대 전파 (태양광, 풍력, 지열연계 Net Zero 에너지 자립섬 구현) • 식량 : 물 소비 최소화/물 순환 활용 극대화 방안을 적용한 작물 재배 시설 구축 • 물-에너지-식량 자립 마을 관리를 위한 Smart Water-Energy-Food Grid System 구축(Big Data기반의 물/에너지 수요 예측 및 작물 재배 환경에 대한 지능형 생육/물/에너지 소비 관리 시스템) • 기존 인프라 및 시스템과의 자원간 연계 기술 • 자원의 자립도 및 에너지효율 95% 달성 가능성을 위한 기술 ○ (4-2) WEF Nexus 기반 인문사회 과학적 제도 및 정책 개선 - WEF Nexus 실현을 위한 정책 개선 도출 • WEF Nexus 관련 물-에너지-식량 확보-활용 국민 인식도 분석 • WEF Nexus 사업 성과 활용-확산을 위한 거버넌스 체계 분석 • 우리나라에 적합한 WEF Nexus 원칙의 수립 • Water-Energy, Water-Food, Energy-Food의 각 Nexus 및 법·제도적 개선사항 정리 - WEF Nexus 인증제와 인센티브 방안 연구 • 넥서스 효과에 대한 사회, 경제적 평가를 위한 인증시스템 구축 • 인센티브 부여 방안, 절차 및 기준수립
4. 연구개발 추진방법	☐ 추진전략 ○ 단계별 목표를 수립하고 그에 적합한 추진전략 및 일정계획 수립(연구단의 단계별 전략에 따른 세부추진전략 수립) ○ 연구성과의 실용화 성공률 극대화를 위한 전략 수립 ○ 정부(국토부, 농림부, 통상자원부 등) 및 공사, 유관기업 등 기술수요처와의 유기적 협조체계 구축 ○ 기수행 및 현재 수행 중인 관련 연구개발결과와의 구체적 연계, 통합 및 활용방안을 구축 ☐ 추진체계 ○ 본 공모과제는 연구단 전체 연구내용, 연구성과, 연구전략 등과 유기적 연계성을 확보하여야 하며, 이와 관련하여 과제 연구책임자는 연구단장 및 세부과제 연구책임자와 지속적 유대관계를 확립해야 함

	○ 참여기관간 협력을 통한 기술개발 과제간 연계성 확보 및 협조체계 구축이 필요함 ○ 실용화 및 사업화 중심의 연구개발 사업임을 감안하여야 함 ○ 정부, 지자체 및 관련기업 등 기술수요처와 유기적 협조체계 구축
5. 최종 성과물	○ (4-1) 최종성과물 - WEF Nexus 자립형 모델 실현을 위한 세부 기술 - WEF Nexus기반 수자원 활용 기술 개발 - 도심 친환경 Smart Heat Grid 시스템 - 농가단위의 실시간 농업용수, 전력사용량, 작물생산량 파악 기술 - 도시 및 농산어촌에 적용 가능한 범용 W-E-F 연계 제품 출시 및 상용화 - 농업 및 에너지 생산에 따른 물 공급 우선순위 ○ (4-2) 최종성과물 - 넥서스 적용을 위한 국민 체감형 거버넌스 확립 기술 - 각 자원간 넥서스 체계 구축을 위한 법, 제도, 정책 개선 기술 - 넥서스 성과 평가 및 인증, 인센티브 방안 및 시스템
6. 활용방안 및 기대효과	○ 활용방안 - 지자체별 자립형 마을 구축을 위한 실증 기술 활용 - 도농 복합마을 구축을 위한 맞춤형 설계 기법 제시 - 자원간 연계 최적화를 위한 법, 정책, 거버넌스 수립방안 제시 - 해외 수출시 검증된 맞춤형 플랫폼 기술 활용 ○ 기대효과 - 자원연계기술의 실질적 검증 및 효과를 통한 넥서스 원천기술 확보 가능 - 실질적 기술 확보를 통해 자원자립도 향상 - 법, 제도, 정책의 개선 및 인증제 도입을 통한 자원 넥서스 국민 공감대 도출 가능
7. 사업기간 및 소요예산	○ 사업기간 : 4년 ○ 사업예산 - 총 사업비 : 정부 70억원
8. 기타	

2절. 평가기준 설정

- 신규과제 선정, 성과평가 등 연구관리는 국토교통과학기술진흥원의 일반적인 연구개발과제 관리기준에 따름

〈표 9.1〉 신규과제 선정평가 기준

평가기준	세부항목	배점
연구개발 목표 (20점)	• 최종 목표 및 연차별 달성 목표의 명확성·타당성	10
	• 연차별 성과지표의 목표 적정성	5
	• RFP 연구목표와의 부합성	5
연구개발 내용 (20점)	• 연구개발 내용의 목표실현 가능성	15
	• 연구개발 내용의 독창성 및 차별성	5
추진전략 및 계획 (25점)	• 연구추진 전략 및 체계의 적정성 (관련 전문기관이 각 세부별로 참여하는지 평가) (실용화를 위한 연구추진체계의 적정성)	15
	• 연구 Site 확보 방안의 적절성	5
	• 연구기간 및 연구개발비의 적절성	5
국제공동연구 (5점)	• 국제 공동연구 또는 국외 전문가 활용계획의 적정성	5
연구성과물 활용계획의 구체성 및 달성가능성(25점)	• 연구성과물의 활용계획 및 방안의 구체성	15
	• 연구성과물의 기대효과(정책적, 사회적, 경제적 파급효과)	10
연구진 구성의 전문성	• 연구진의 전문성 및 구성의 적정성	5

참 고 문 헌

- 김기봉, 최태정 (2014) 美 NIC 「Global Trends 2030」 주요 내용 및 시사점
- 박평식, 이철희 (2008) 국제적인 식량위기와 우리의 대응방안. 농촌진흥청 농업경영정보, 1-26.
- 박병원 외. (2014) 미래사회 중장기 난제해결을 위한 기술사회적 대응방안
- 성명환, 권대흠, 윤재웅, & 윤병삼. (2012) 국제곡물선물시장의 분석과 활용방안. 한국 농촌경제연구원 기본연구보고서, 1-121.
- 이종원 (2002) 물관리 효율화로 식량의 안정적 생산에 기여, 한국농어촌공사
- 한국환경산업기술원 (2011) 해외녹색산업 정책보고서
- ADB (2016) Asian Water Development Outlook 2016: Strengthening Water Security in Asia and the Pacific. Asian Development Bank.
- Allan, J. A. (1998) Virtual water: A strategic resource global solutions to regional deficits. Groundwater, 36(4), 545-546.
- FAO (2014) The Water-Energy-Food Nexus: A new approach in support of food security and sustainable agriculture, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Italy.
- Gleick, P. H., & Palaniappan, M. (2010) Peak water limits to freshwater withdrawal and use. Proceedings of the National Academy of Sciences, 107(25), 11155-11162.
- Hellegers, P., Zilberman, D., Steduto, P., & McCornick, P. (2008) Interactions between water, energy, food and environment: evolving perspectives and policy issues. Water Policy, 10, 1.
- IEA (2014) Energy Supply Security 2014
- IRENA (2015) Renewable Energy in the Water, Energy & Food Nexus
- ISO 14046 (2014) Environmental management-Water footprint-Principles, requirements and guidelines. ISO 14046:2014(E). International Organisation for Standardisation. Geneva, Switzerland.
- Krchnak, K.M., Smith, D.M. and Deutz, A. (2011) Putting Nature in the Nexus: Investing in Natural Infrastructure to Advance Water-Energy-Food Security. Bonn2011 Conference.
- NIC (2012) GLOBAL TRENDS 2030 : ALTERNATIVE WORLDS
- OECD-FAO (2012), "OECD FAO Agricultural Outlook 2013-2022", OECD,

Paris, www.oecd.org/site/oecd-faoagriculturaloutlook/highlights-2013-EN.pdf.

Ozment, S., DiFrancesco, K. and Gartner, T. (2015) Natural Infrastructure in the Nexus.

Pimentel, D., & Pimentel, M. H. (Eds.). (2007) Food, energy, and society. CRC press. New York, USA.

Shifflett, S.C., Turner, J.L., Dong, L., Mazzocco, L. and Yunwen, B. (2015) China' s Water-Energy-Food Roadmap: A Global Choke Point Report

UN ESCAP (2013) Water, Food and Energy Nexus in Asia and the Pacific

UN water (2014) Water Security & the Global Water Agenda : A UN-Water Analytical Brief

Waskom, R., Akhbari, M. and Grigg, N. (2014) U.S. Perspective on the Water-Energy-Food Nexus. Colorado Water Institution Completion Report No. 116.

World Energy Council (2013) World Energy Trilemma 2013: Time to get real – the case for sustainable energy investment, World Energy Council, UK.

World Water Forum (2015) Water-Energy-Food Nexus

WWF and SABMiller (2014) The Water-Food-Energy Nexus: Insights into resilient development

주 의

1. 이 최종보고서는 국토교통부에서 시행한 국토교통연구기획사업의 연구보고서입니다.
2. 이 최종보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 국토교통부에서 시행한 사업의 연구개발성과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀 유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안 됩니다.

비매품/무료



9 791187 701019
ISBN 979-11-87701-01-9