

# 녹색 기술 관련 국가 연구 개발사업 동향 분석

정대현\* · 권영일\*\*

## I. 서론

녹색기술은 저탄소 녹색성장에 기여하여 환경보호와 경제 성장을 동시에 이루는 지속가능 성장을 위한 핵심기술로 정부는 2010년 총 1조 7,125억원을 녹색기술 연구개발에 투자하는 등 지속가능 성장을 위해 많은 노력을 기울이고 있다. 본 논문에서는 이러한 녹색기술에 대한 국가연구개발 정보(NTIS)를 이용하여 네트워크 분석을 수행하고, 이를 통해 녹색기술 분야에 대한 국가 연구개발 동향을 파악하여 녹색기술 분야에 대한 효율적인 투자 방향에 대해 고찰하고자 한다.

## II. 녹색 국가연구개발 사업 자료

국가연구개발사업(National R&D Program)이란 정부가 직접 연구개발(R&D)활동을 추진하는 사업으로 국가 차원에서 필요한 기술의 개발뿐만 아니라 지식의 창출, 인력양성, 인프라 구축, 제도 정비 등을 통해서 궁극적으로 기술을 혁신하고 경제를 발전시키며 국가 경쟁력을 고양하는 사업을 의미한다.

<표 1> 과학기술 표준 분류 (연구분야)

대분류	중분류
수학	대수학, 해석학, 위상수학, 기하학, 응용수학 등
물리학	통계물리, 원자핵물리, 유체물리, 광학 등
화학	물리, 유기화학, 무기화학, 분석화학, 고분자화학 등
지구과학(지구/대기/해양/천문)	지질과학, 대기과학, 기후학 등
생명과학	분자세포생물학, 유전학, 산업바이오기술, 바이오공정 등
농림수산식품	식량작물과학, 농색물학, 농화학, 산림자원학 등
보건의료	의생명과학, 치료/진단기기, 의료정보/시스템 등
기계	측정표준, 시험평가기술, 로봇, 에너지/환경기계시스템 등
재료	금속재료, 세라믹재료, 고분자 재료 등
화공	화학공정, 나노화학공정, 고분자 공정 기술 등
전기/전자	광응용기기, 반도체장비, 중전기, 전기전자부품 등
정보/통신	정보이론, RFID/USN, 정보통신 모듈/부품 등
에너지/자원	온실가스 처리, 수화력발전, 신재생에너지 등
원자력	원자력 관련 기술 분야
환경	대기질관리, 물관리, 생태계 복원, 친환경 공정 등
건설/교통	해양연전, 수공시스템, 건설재료, 도로교통 등

이러한 국가연구개발 사업은 공공적 성격을 가지는 대규모의 정부예산이 투입될 뿐만 아니라

\* 정대현, 한국과학기술정보연구원 프로젝트 연구원, 02-3299-6238, gregori79@kisti.re.kr

\*\* 권영일, 한국과학기술정보연구원 책임 연구원, 02-3299-6238, ylkwn@kisti.re.kr

과학기술 및 경제사회적으로 미치는 영향이 크기 때문에 사업의 기획 시 객관적이며, 정량적인 근거자료를 제시하는 것이 필수적이므로 NTIS를 통해 국가연구개발 사업을 효율적으로 관리하고 있다.

본 논문에서는 NTIS 데이터 중 녹색기술 세부과제로 선별된 13개 정부부처의 206개 사업에서 수행된 5,204개 세부연구과제를 중심으로 분석을 수행하였다.

주요 분류는 과학기술표준분류를 이용하였으며, 과학기술 표준분류 중 연구분야와 적용분야를 국가과학기술위원회에서 규정한 녹색기술 분류와 매칭하여 분석을 수행하였다. 각 분류에 대한 설명은 <표1>, <표2>와 같다.

<표 2> 과학기술 표준 분류 (적용분야)

대분류	분류기준
건강증진 및 보건	인류의 건강의 보호, 증진, 회복을 목표로 하는 연구
지구개발 및 탐사	지각 및 맨틀, 해양, 대기 및 이들의 탐사에 관한 연구
농업, 임업, 어업	농림, 산업, 어업, 식료품 생산 발전을 위한 연구
환경보전	오염관리, 오염원 및 원인의 분석 및 정의
에너지의 생산, 배분 및 합리적 이용	모든 에너지의 생산, 저장, 공급, 분배, 합리적 이용에 관한 연구
화학물질 및 화학제품	산업생산 및 기술의 개선을 위한 연구
전자부품, 컴퓨터 영상, 음향 및 통신장비	
전기, 가스 및 수도사업	
자동차 및 운송장비	
전기 및 기계장비	
의료, 정밀, 광학기기 및 시계	
하수폐기물처리, 원료재생 및 환경복원업	
건설업	
비금속광물 및 금속제품	
기타산업	

또한 2009년 국가과학기술위원회에서 규정한 녹색기술 분류는 <표 3>과 같은 기준으로 분류하여 분석을 수행하였다.

<표3> 녹색기술 분류

대분류	중분류	기술명	녹색 기술 번호
에너지원	재생에너지	실리콘계 태양전지의 고효율, 저가화 기술	3
		비실리콘계 태양전지양산 및 핵심원천기술	4
		바이오에너지 생산요소기술 및 시스템기술	5
		풍력 에너지	28
		태양열 에너지	29
		수력 에너지	30
		해양 에너지	31
		지열 에너지	32
	원자력/핵융합	개량형 경수로 설계 및 건설기술	6
		친환경 핵비확산성고속로 및 순환 핵주기 시스템 개발기술	7
		핵융합로 설계 및 건설기술	8
	수소연료전지	고효율 수소제조 및 수소저장기술	9
		차세대 고효율 연료전지시스템기술	10
친환경 농업	친환경 식물성장 촉진기술	11	
에너지 고효율화	화석연료 활용성 향상, 고효율화	석탄가스화 복합발전기술	12
	에너지 효율성 향상	조명용LED·그린IT기술	18
		전력IT 및 전기기기 효율성향상기술	19
		고효율 2차전지기술	20
산업/공간의 녹색화	수송부분 효율성 향상	고효율저공해차량기술	13
		지능형교통, 물류기술	14
	녹색국토	생태공간조성 및 도시재생기술	15
		친환경 저에너지 건축기술	16
	친환경 제조공정, 소재 효율성 향상	환경부하 및 에너지 소비 예측을 고려한 Green Process 기술	17
환경보호/ 자원순환	기후변화예측, 영향평가	기후변화 예측 및 모델링 개발기술	1
		기후변화 영향평가 및 적응기술	2
		CO <sub>2</sub> 포집, 저장, 처리기술	21
		Non-CO <sub>2</sub> (이산화탄소 제외 온실가스)처리기술	22
	수질환경	수계 수질평가 및 관리기술	23
		대체수자원 확보기술	24
	환경복원	유해성물질모니터링 및 환경 정화기술	26
	폐기물 처리	폐기물저감, 재활용 에너지화기술	25
무공해 경제활동	환경보건	가상현실기술	27

### III. 사회 네트워크 분석

네트워크 이론은 그래프 이론을 근간으로 하였고, 그래프 이론은 특정 집합의 원소 쌍(element pair) 사이의 관계를 나타내기 위한 수학적 모델이며 노드(nodes)들과 이를 연결하는 링크(link)들로 표현된다 (KISTEP, 2008:14). 이러한 노드나 링크의 형태를 분석하여 네트워크의 전체적인 구조나 링크의 특성, 노드들의 영향력 관계 등을 이해할 수 있다. 사회네트워크 분석은 이러한 네트워크 이론에 바탕을 둔 분석방법의 하나라고 할 수 있으며, 이는 오늘날, 사회학, 인류학, 지리학, 의학 등 다양한 분야에 걸쳐서 활용되고 있는 분석방법으로 자리매김해 가고 있다.

이러한 네트워크 분석의 목표는 개인, 조직, 국가와 같은 사회적 존재들 사이의 관계를 네트워크로 파악하고 네트워크 구조의 형태와 내용을 찾아내는 것으로 네트워크는 시스템 내의 노드간 관계를 그래프 기법이라는 시각적 표현을 통해 노드간의 상호작용을 분석하는 정량적 기법이다. 특히, 네트워크 분석에서 도입하는 밀도(Density), 중심성(Centrality) 및 구조적 등위성(Structural Equivalence) 등과 같이 구체화된 개념을 계량적으로 분석하여 사회적 유대관계, 연결관계, 네트워크 등을 연구하던 사회 네트워크 연구자들에게 강력한 분석 수단을 제공하였다. 조직론 및 정책 네트워크의 연구에서는 네트워크 분석(Social Network Analysis: SNA) 또는 연결망 이론으로 활용되어 왔다.

한편, 본 연구는 미시적 수준에서의 분석요소를 중심으로 살펴볼 예정이며, 연결 중심성이라는 지표를 중심으로 네트워크 이론을 살펴보고자 한다.

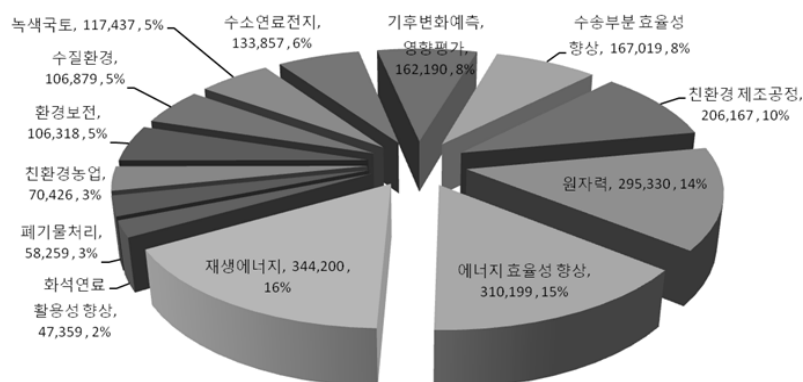
본 논문에서 사용된 연결 중심성은 네트워크를 구성하는 어느 하나의 점과 직접적으로 연결된 다른 점들과의 연결 정도를 측정하여, 각각의 점들이 네트워크에서 얼마나 중심에 위치하는 지를 분석할 수 있다. 이러한 중심성의 값이 높을 수록 점들간 연결자 혹은 허브 역할을 수행하고 있다고 볼 수 있다. (출처: 2012년 CAD/CAM 학술대회 연구그룹 분석, 이석, 부산대학교 기계공학연구정보센터)

### IV. 분석 결과

#### 1. 녹색분야간 국가 연구개발 투자 현황

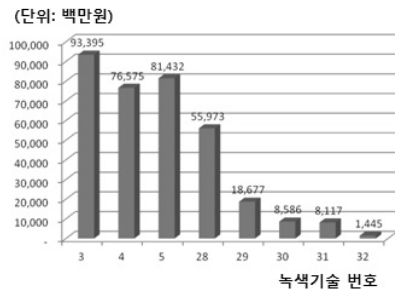
녹색기술 분야별 투자 현황을 살펴보면 (그림 1)에서와 같이 재생에너지, 에너지효율성 향상, 원자력 및 친환경 제조공정 분야에 대한 투자가 전체 55%를 차지하여 녹색기술 분야에 대한 투자 비중이 상당히 높은 것으로 나타났다.

(단위: 백만원)

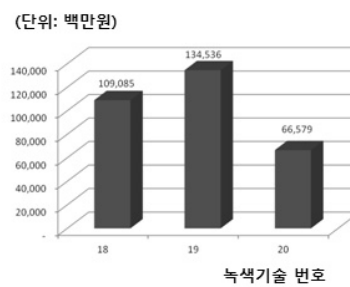


(그림 1) 녹색기술분야(대분류)별 투자비중 현황

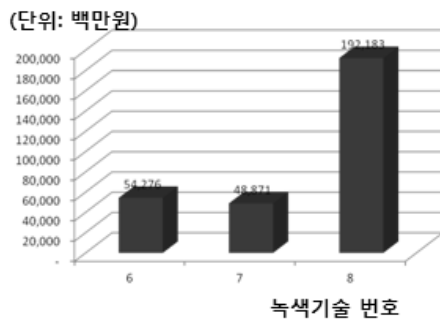
투자 비중이 높은 재생에너지 및 에너지효율성 향상, 원자력 분야에 대한 녹색 기술별 투자 현황을 살펴보면 재생에너지 분야의 경우, 실리콘 및 비실리콘계 태양에너지 분야에 대한 투자가 가장 높은 것으로 나타났으며, 원자력 분야의 경우 핵융합로 설계 및 건설기술 분야에 대한 투자가 가장 높은 것으로 나타났다. 에너지 효율성 향상 분야에 대한 투자 현황을 살펴보면 전력 IT분야와 조명용 LED 및 그린IT 분야에 대한 투자가 활발히 이루어지고 있는 것으로 나타났다. 그러나 단일 기술로 보았을 때는 환경부하 및 에너지 소비 예측을 고려한 Green Process기술분야가 전체 녹색기술의 11%를 차지하여 약 2,000억원의 투자가 이루어진 것으로 나타났다.



(그림 2) 재생에너지 분야 세부기술별 투자 현황



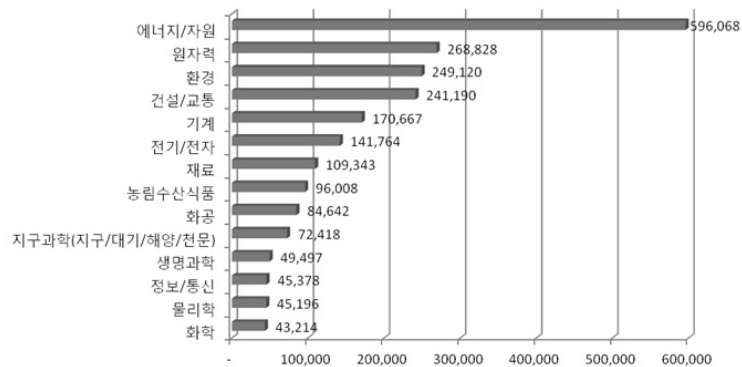
(그림 3) 에너지 효율성 향상 분야 세부기술별 투자 현황



(그림 4) 원자력 분야 세부기술별 투자 현황

과학기술표준분류(연구분야)별 투자현황을 살펴보면 에너지/자원 분야가 전체 연구개발 투자액으로 약 6,000억원을 사용한 것으로 나타났으며, 원자력, 환경 분야가 그 뒤를 잇고 있는 것으로 나타났다.

(단위: 백만원)



(그림 5) 과학기술표준분류별(연구분야) 투자 현황

과학기술 표준분류(적용분야)별 투자현황을 살펴보면 그림에서와 같이 에너지의 생산, 배분 및 합리적 이용 분야에 약 7,000억원의 투자규모를 보이고 있어서 타 분야 보다 국가 연구개발 사업에서 많은 투자가 이루어지고 있는 것으로 나타났다.

(단위: 백만원)



(그림 6) 과학기술 표준분류(적용분야) 투자 현황

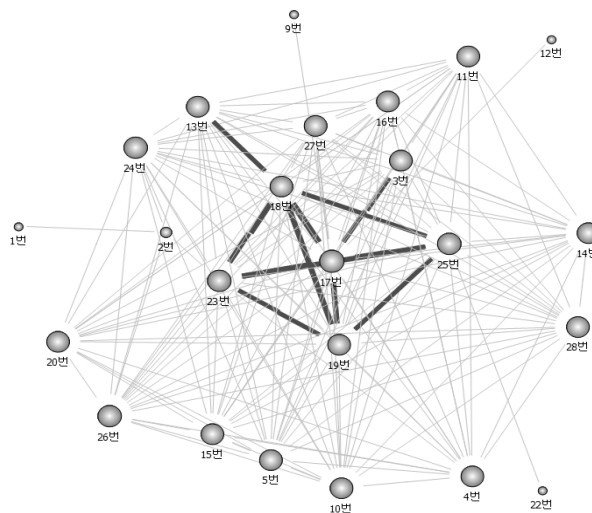
## 2. 녹색 분야 네트워크 분석

### 1) 녹색 기술 분야간 네트워크 분석

(그림 7)에서와 같이 녹색기술 관련 연구개발 사업간 녹색기술 적용 현황을 살펴보면 IT분야, 환경분야, 자동차 분야 및 태양에너지 분야 간 유사도가 높은 것으로 나타나 국가 연구개발에 있어서 해당 분야 간 연관성이 매우 높은 것으로 나타났다. 또한 전체 네트워크 조직에 있어서 환경 부하 및 에너지 소비 예측을 고려한 Green Process 기술의 중심성이 가장 높은 것으로 나타나 전체 녹색기술 분야에 대한 기술 개발에 있어서 핵심역할을 하고 있는 것으로 분석되었다.

이는 친환경 제조공정 및 친환경 재료 분야, 폐기물 저감 분야, 에너지 효율화 및 수질 환경개선 분야에 대한 연구개발이 유사도가 매우 높은 것으로 분석되었다.

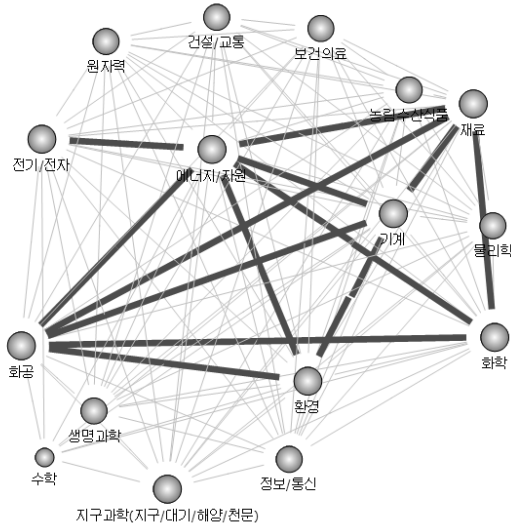
또한 친환경 제조공정 및 재료 분야와 재생에너지간의 공통적인 연구가 활발히 이루어지고 있는 것으로 보이며, 에너지 효율화 부분은 수송부분과 많은 연구가 진행한 것으로 나타났다.



(그림 7) 녹색기술 분류간 네트워크 분석

## 2) 과학기술 표준분류별 네트워크 분석

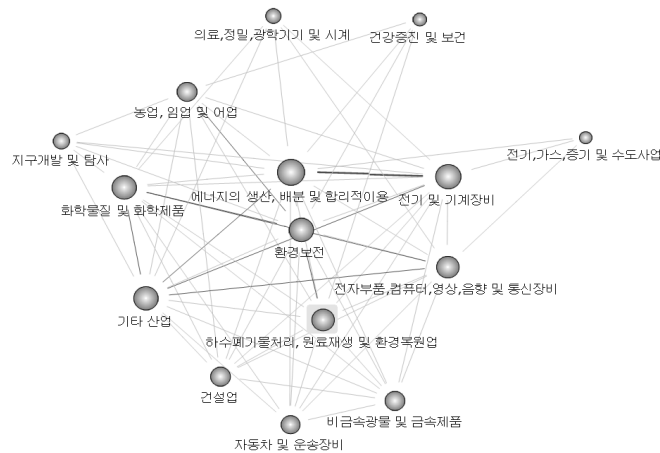
녹색기술 분야에 적용된 과학기술 표준 분류간 네트워크 구조를 살펴보면 그림에서와 같이 에너지/자원, 기계, 전기/전자 및 환경, 화학 등 다양한 기술 분야가 녹색기술 개발을 위해 필요한 것으로 나타났으며, 앞에서 언급한 기술 분야 모두 중심성이 매우 높게 나타나 녹색기술 분야가 특정 기술에 의해 개발되는 것이 아니라, 여러 기술 간 융합을 통해 기술개발이 진행된 것으로 분석되었다.



(그림 8) 녹색기술에 기반한 과학기술 표준분류간 네트워크

## 3) 적용분야간 네트워크 분석

국가연구개발 사업을 수행하는 수행 주체가 생각하는 녹색기술 분야를 통해 이루어진 적용분야에 관한 네트워크 구조를 분석해 보면 그림에서와 같이 환경보전, 화학물질, 전기 및 기계장비, 에너지의 생산, 배분 및 합리적 이용 분야 등 여러 산업분야간 연계성이 높은 것으로 나타났다. 이는 특정 녹색기술 분야가 한 산업에만 영향을 미치는 것이 아니라 다양한 산업에 영향을 미쳐 산업간의 파급효과가 매우 큰 것으로 나타났다. 특히 에너지 분야, 전기 및 기계장비 산업의 중심성이 매우 높은 것으로 나타나, 해당 산업의 발전이 다른 산업에도 많은 영향을 미치는 것으로 분석되었다.



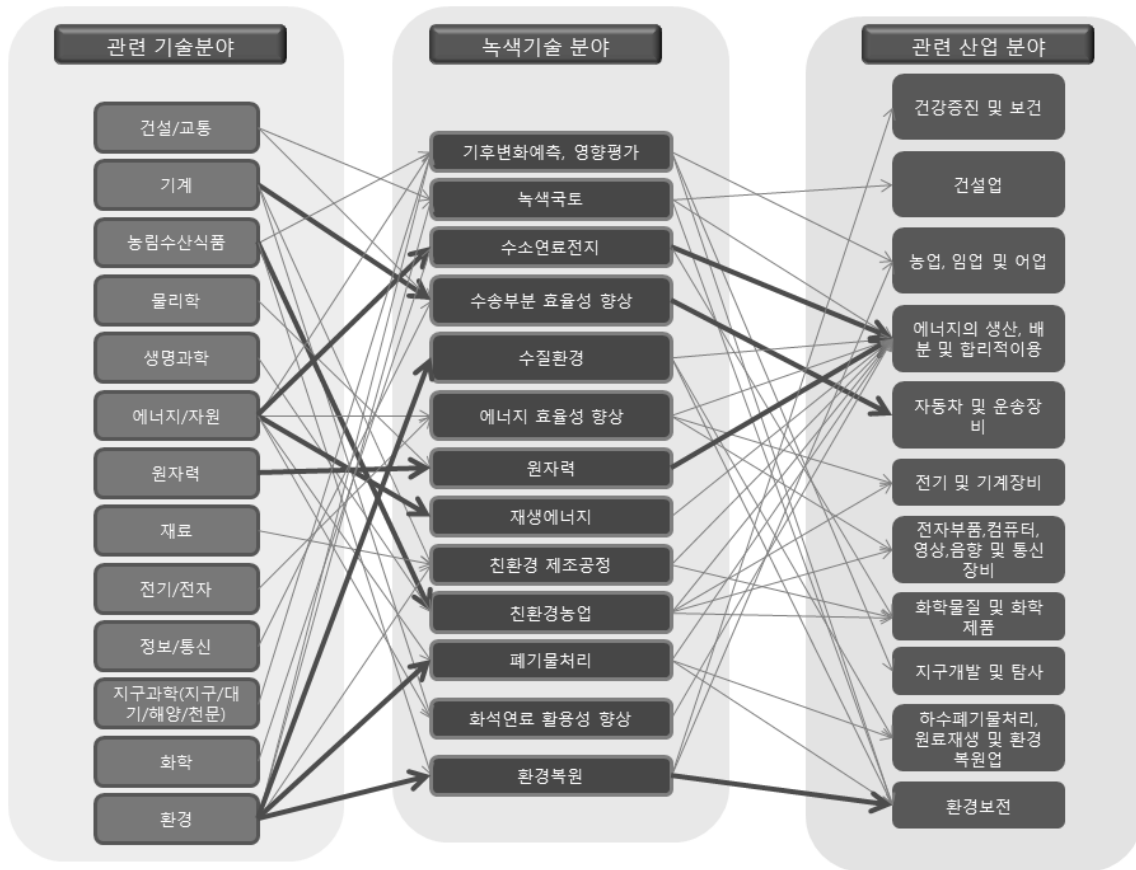
(그림 9) 녹색기술에 기반한 적용분야간 네트워크 구조

<표 4> 녹색기술분야, 과학기술표준분류, 연계분야 중심성 측정치

녹색 기술 분야	연결 중심성	과학기술 표준분류	연결 중심성	연계 분야	연결 중심성
환경부하 및 에너지 소비 예측을 고려한 Green Process 기술	0.63	화공	0.79	에너지의 생산, 배분 및 합리적이용	0.93
대체수자원 확보기술	0.59	에너지/자원	0.79	전기 및 기계장비	0.87
폐기물저감, 재활용 에너지화기술	0.59	지구과학(지구/ 대기/해양/천문)	0.79	기타 산업	0.80
수계 수질평가 및 관리 기술	0.59	기계	0.79	화학물질 및 화학제품	0.80
유해성물질모니터링 및 환경 정화기술	0.59	전기/전자	0.79	환경보전	0.80
가상현실기술	0.56	환경	0.79	하수폐기물처리, 원료재생 및 환경복원업	0.73
친환경 저에너지 건축 기술	0.56	재료	0.79	전자부품,컴퓨터,영상,음향 및 통신장비	0.73
생태공간조성 및 도시 재생기술	0.56	화학	0.79	비금속광물 및 금속제품	0.60
풍력 에너지	0.56	보건의료	0.74	건설업	0.60
지능형교통, 물류기술	0.56	건설/교통	0.74	농업, 임업 및 어업	0.60
실리콘계 태양전지의 고효율,저가화 기술	0.56	농림수산식품	0.74	자동차 및 운송장비	0.53
고효율 2차전지기술	0.56	생명과학	0.74	지구개발 및 탐사	0.40
바이오에너지 생산요소 기술 및 시스템기술	0.56	원자력	0.74	의료,정밀,광학기기 및 시계	0.33
차세대 고효율 연료전지시스템기술	0.56	정보/통신	0.74	건강증진 및 보건	0.27
비실리콘계 태양전지양산 및 핵심원천기술	0.56	물리학	0.74	전기,가스,증기 및 수도사업	0.20



#### 4) 녹색 연구개발 분야의 기술과 산업간 연계 관계 분석



(그림 10) 기술-녹색기술-산업간 흐름표

녹색기술 분야의 국가 연구개발에 있어서, 과학기술표준분류별 연구분야와 녹색기술 중분류, 과학기술표준분류별 적용분야를 통해 해당 분야가 차지하는 비중을 통해 연결관계를 나타내 보면 (그림 10)과 같다. 그 결과 그림에서와 같이 녹색기술 개발을 위해서는 다양한 기술이 필요한 것으로 나타났으며, 특히, 수송부분 효율성 향상 기술, 연료전지, 원자력, 친환경 농업, 폐기물 처리, 환경 복원 분야의 경우 기술 개발 실현을 위해서 반드시 필요한 특정 기술들이 존재하는 것으로 분석되었다.

이러한 기술 적용을 통해 이루어진 녹색기술 분야에 대해 연구자들이 생각하는 해당 산업과의 연계성은 대부분 에너지의 생산, 배분 및 합리적 이용 분야에 집중되어 있는 것으로 나타났으며, 에너지의 생산, 배분 및 합리적 이용 분야 이외의 환경보전 분야 역시 녹색기술 개발을 통해 많은 효과를 볼 수 있을 것으로 분석되었다.

## V. 결론

지금까지 국가연구개발 사업 중 녹색기술 분야에 대한 정보를 네트워크 분석을 통해 파악하였다. 그 결과 현재 우리나라 녹색기술은 에너지, 환경, 친환경 제조 공정을 중심으로 연구가 진행 중인 것으로 나타났으며, 관련 기술 및 산업 역시 에너지, 환경 분야와 연계되어 연구개발이 수행된 것으로 나타났다.

또한 녹색기술 간 유사도를 살펴보면 친환경 제조공정을 중심으로 관련 녹색기술 개발이 이루어지고 있는 것으로 분석되었으며, 녹색기술 개발을 위해 다양한 분야의 기술이 필요한 것으로 나타났다.

따라서 이러한 기술간 유사도를 바탕으로 하여 녹색기술 개발을 위해서는 과급효과가 높은 친환경 제조공정 분야에 대한 연구개발을 통해 타 분야의 개발 역시 활발히 이루어질 수 있을 것으로 판단된다. 또한 친환경 공정 및 재료 기술 분야에 대한 연구개발 투자 비중이 전체에서 10%를 차지하고 있는 것으로 나타났으며, 이와 관련된 투자가 상대적으로 활발히 이루어지고 있는 것으로 나타났다.

녹색기술 연구개발을 통해 적용될 산업 분야가 에너지 분야의 생산 배분 및 이용 분야에 집중되어 있고 투자 금액 역시 타 분야 보다 압도적으로 많은 액수를 투자하고 있는 것으로 나타났다. 또한 산업간 네트워크 분석을 통해 중심성이 높게 나타난 전기 및 기계장비 분야와 화학물질 및 제품, 전자부품 분야에 대한 비중은 상대적으로 크게 나타나지 않는 것으로 분석되었다.

이는 현재 국가연구개발 사업이 중·단기적인 녹색 산업화 부문에만 치우쳐 있으며, 공공적 특성을 가지는 분야에 대한 투자는 상대적으로 작아 미래 경제 및 환경·사회적 수요에 대비하기 위한 방안은 소홀한 상태로 분석된다.

따라서 지속 가능한 저탄소 녹색성장을 위해서는 기후변화 분야, 생태공간 조성 및 도시 재생기술 분야 등에 대한 투자가 활발히 이루어져야 하며, 연구개발의 성과가 확산되기 위해서는 현재 개발 중인 녹색기술분야와 유사도가 높은 분야에 대한 투자가 활발히 이루어져야 된다고 판단된다.

## 감사의 글

본 연구는 2012년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구 결과임(NRF-C1AAA002-2012-0001006)

## 참고문헌

- 국가과학기술위원회 (2009), “녹색기술 연구개발 종합대책”.
- 한국과학기술기획평가원 (2011), “녹색기술 국가연구개발사업 조사,분석 보고서”.
- 손동원 (2002), “사회 네트워크 분석”.