

녹색기술 연구개발전략

과학기술정책연구원
장진규

제1절 배경

정부의 저탄소 녹색성장 비전에 상응하여 녹색기술이 부각되고 있으나 그 개념 및 추진전략이 협소하고 장기적 시각이 부족한 것으로 보인는 바, 녹색기술 개념 및 분류가 저탄소 사회의 가치와 장기적 전략을 담보하는데 미흡하고 평면적이며, 녹색기술의 R&D 우선순위를 설정하는 데 있어 저탄소 사회 패러다임의 추동가치 또는 ‘녹색기준’을 반영하기에는 어려움이 있다. 궁극적으로 그린 에너지 기술 붐의 진작은 올바른 방향의 제시와 더불어 전체 과학기술의 녹색화에 대한 전략이 필요하다.

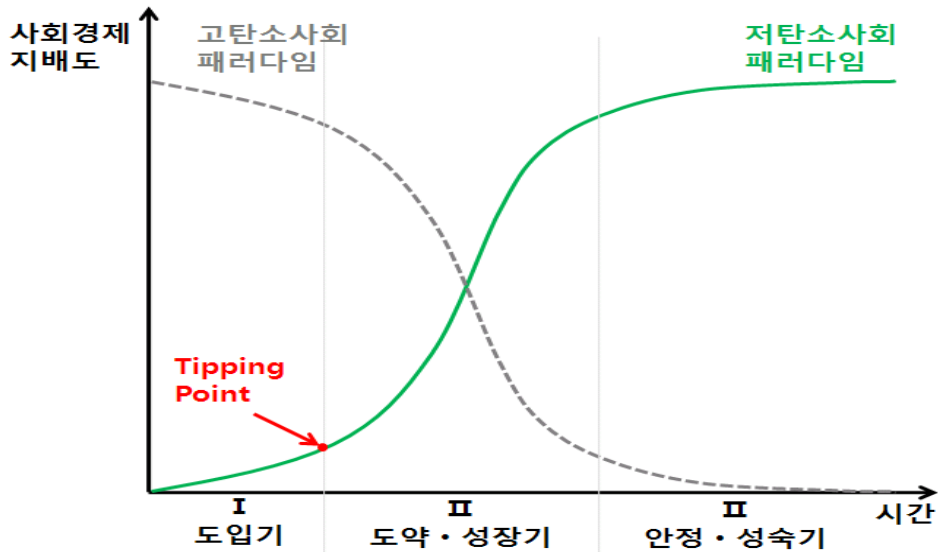
이러한 배경에서 본고는 녹색기술이 가동하는 저탄소 사회의 패러다임과 녹색혁신 시스템의 동력(dynamics)과 구조를 살펴본 후 그에 상응한 녹색기술의 특징 및 분류, 기술의 ‘녹색도(Degree of Green)’ 개념을 도출하고자 한다. 이어서 우리나라의 녹색기술개발을 위한 R&D전략 설계방안을 살펴보고자 한다.

제2절 저탄소 사회 패러다임

최근 관심이 집중되고 있는 저탄소사회¹⁾(Low-Carbon Society) 패러다임은 기존의 고탄소사회 자체의 문제 때문에 등장했다고 볼 수 있다. 즉, 에너지·자원을 최대 이용하는 고탄소 산업경제로 인한 에너지·자원 수요 급증과 온실가스 배출의 급속한 증가에 따른 기후변화의 가속화 때문이다.

이에 대응하는 저탄소사회 패러다임은 기존의 지배적인 고탄소사회 패러다임과의 길항 속에서 뿌리를 내려야 한다(그림2 참조). 초기에는 특히 두 패러다임의 충돌이 클 것으로 예상된다.

[그림 1] 저탄소사회와 고탄소사회 패러다임간 전이의 역동적 관계



자료 : STEPI, (2008) 「저탄소 사회의 방향과 기술적 실현 경로」, STEPI

저탄소사회 패러다임의 도입기(I)에는 저탄소사회 패러다임이 초기에 고탄소 사회의 인프라와 가치사슬 위에서 정착해야 하므로 불리한 위치에 처해 있다. 따라서 저탄소사회 패러다임의 열세를 바쳐줄 정책과 시민사회

1) 저 탄소 사회는 저탄소 경계를 포괄

의 썬기역할(wedge-role)이 필요하다. 구체적인 수단으로는 녹색기술개발 등 과학기술적 추동, 정책을 통한 신 패러다임의 사회 경제적견인 (Socio-economic pull)과 교육 및 의식전환을 통한 시민사회의 지원 등이다.

또한 도입기(I)가 얼마나 빨리 도약·성숙기(II)를 위한 티핑포인트 (Tipping point)에 도달하는가는 다음 두 요소에 의해 결정된다. 하나는 신 구 패러다임의 사회경제 지배도 격차이며, 다른 하나는 신 패러다임 지지 썬기의 강도이다.

<표 1> 고탄소 사회와 저탄소 사회의 패러다임의 비교

구분	고탄소 사회 High-Carbon Society	저탄소 사회 Low-Carbon Society
가 치	- 물질	- 휴머니티
경제-환경 관계	- 연동(Coupling): 경제 성장이 환경 부하 증가를 동반 - Trade-off	- 탈연동/분리(Decoupling): 경제 성장이 환경 부하 증가를 수반하지 않음 - 경제는 환경용량 안에서 가동
환경관리목표	- Environmental Performance - 환경 기준 충족	- Environmental Sustainability - 미래세대 고려 - 사회적 지속가능성도 연관
관리 강조점	- 공급 측면(Supply-side)	- 수요 측면(Demand-side)
혁신체제	- 물질중심 자원소비형 혁신체제 - 추격형 혁신체제	- 인간 및 가치중심 녹색혁신 체제 - 창조형 혁신체제
게임 틀	- 경쟁 - Zero-Sum	- 상생 - Win-Win
경쟁력	- 가격 - 품질	- 가격 - 품질 - 녹색도
주력 기술/산업	- 석유화학기반 산업 - 제조업 - IT 산업 - 금융업	- 에너지-환경 산업 - 에너지-환경 산업 + IT 산업 - 지식기반 서비스 산업
시장 기회 Boom Market	- 제조업 시장 - IT, 일부 신기술 시장 - 금융 시장	- 탄소 시장 - 에너지-환경시장 (물 포함) - 신기술의 에너지-환경 산업과의 연계 시장 성장(예: IT)
국제관계	- 남북문제 상존 - 선진국 위주 국제관계	- 지구적 이슈에 대한 선진국과 개도국의 협력 - 다자협력

자료 : STEPI(2008)

저탄소사회 패러다임의 도약·성장기기(Ⅱ)에는 새 패러다임이 티핑포인트를 넘어 급속히 확대된다. 즉, 새 패러다임이 시장 경쟁력을 확보하며, 고용창출도 커진다. 나아가 소비패턴 변화를 포함한 사회문화 상부구조 전환도 진척되며, 경쟁력이 커진 일부 저탄소기술의 정책 지원을 줄여 취약 저탄소기술 지원도 가능(빼기지원 점감)하다. 저탄소사회 패러다임의 안정·성숙기(Ⅲ)에는 경제 하부구조와 사회 상부구조 모두 새 패러다임 하에서 가동되며, 패러다임 재생산 구조가 공고해진다.

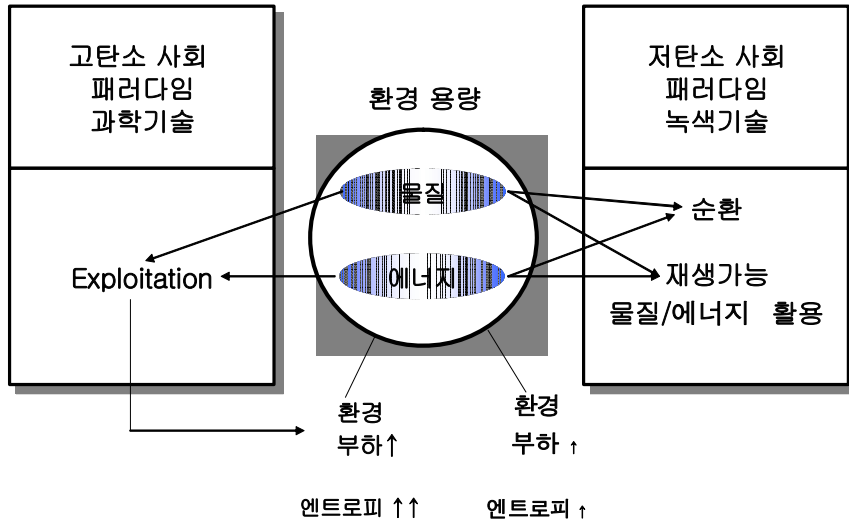
경제와 환경의 탈연동(decoupling)은 상대적 및 절대적 탈연동으로 나뉘는데 경제와 환경의 상대적 탈연동의 한 예는 덴마크인 바, 1981년 이래 경제가 70% 성장하였지만 에너지 소비량은 거의 그대로 유지되고 있다(Friedman, T. L., 2008: Hot, Flat, and Crowded, Farrar, Straus and Giroux, New York, p. 18).

제3절 녹색기술(GT, Green Technology)의 특징 및 분류

1. 녹색기술의 특징

고탄소 사회 패러다임에서의 과학기술과 저탄소 사회 패러다임에서의 녹색기술을 비교하면 다음과 같다. 고탄소 사회 패러다임에서의 과학기술은 자연환경에서 물질과 에너지를 최대한 추출·활용하는데 집중하여 커다란 환경부하와 급속한 엔트로피 증가를 야기한다([그림 4] 참조). 그러나 저탄소 사회 패러다임의 녹색기술은 물질 및 에너지 소비를 최소화하고 순환(Recycling)과 재생가능 물질 및 에너지(Renewable material & energy) 활용을 통해 환경부하를 줄이고 엔트로피 증가를 약화시킨다. 특히 복지 수준을 유지하거나 향상하면서도 물질 및 에너지 사용을 근본적으로 제로화하는 기술은 더 욱 바람직하다.

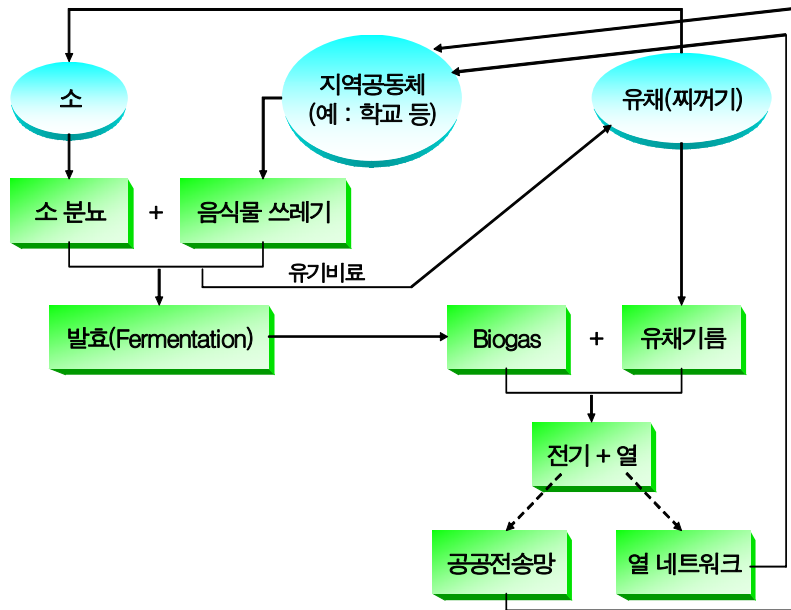
[그림 2] 고탄소 사회 패러다임의 과학기술과 저탄소 사회 패러다임의 녹색기술



자료: STEPI (2007)에서 보완

한편, 녹색기술의 특성과 기여가능 영역을 살펴보면, 녹색기술은 자연 원리의 모방(Bio-Mimic 등)을 포함하여 자연의 원리를 따르고 촉진하는 것을 장기적으로 지향한다. 녹색기술의 기조는 다음과 같이 설명할 수 있다. 첫째는 순환인데 녹색기술은 물질순환을 촉진시키고 복원시키는 기술이다 ([그림 2] 참조). 무로타 외 (2002)는 경제순환은 장기적으로 자연계의 물질순환의 범위 내에 있다고 하였다.

[그림 3] 물질·에너지의 순환 예(Mass-Energy Closed Circulations) :
 역공동체와 농업(소, 유채)의 Supply Chain Management

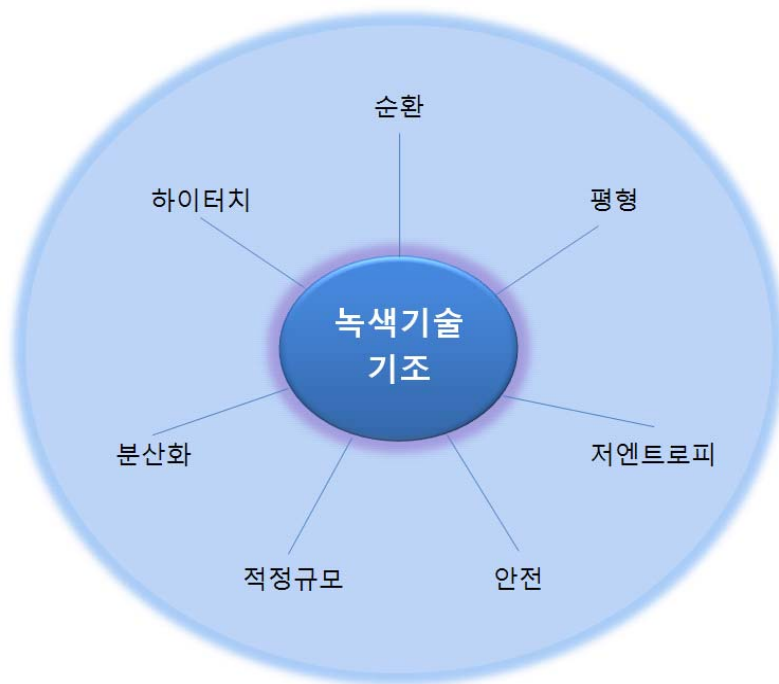


[자료] Wuppertal Institute의 내용을 수정·보완

둘째는 평형인데 녹색기술은 자연계의 동적 평형을 따르고 촉진하는 바, 예컨대 온실가스로 지구 열수지의 평형이 훼손되는 데 녹색기술은 지구 복사열 평형을 회복하여 기후변화 완화에 기여한다. 셋째는 저엔트로피의 특성인데 녹색기술은 재생가능 에너지 기술과 같이 과학기술의 적용에 수반되는 에너지 및 물질 이용과 엔트로피(무질서)의 최소화를 지향한다. 넷째는 적정 규모 및 속도인데 녹색기술은 자연생태계에서 처리할 수 있는 범위 내의 적정 규모와 속도로 영향을 주는 바, 예컨대 녹색기술은 대기에 수세기 이상 잔류하는 온실가스나 자연계에서 쉽게 분해되지 않아 장기간에 걸쳐 독성을 주는 잔류성 유기오염물질(Persistent Organic Pollutants: POPs)의 배출을 피하거나 대체한다. 다섯째는 안전인 바, 녹색기술은 인류와 자연생태계의 안전을 도모한다. 여섯째는 분산화인데 녹색기술은 가능하면 분산화를 통해 적정 규모와 속도를 유지하며 리스크를

분산하고 지역경제에도 기여하는것을 지향한다. 마지막으로 하이터치인 데 이는 미래에 특히 강조되는 추세로 Eco-design처럼 인간의 얼굴을 한 기술을 추구하여 감성적 터치와 사회적 약자 보호에도 중점을 두게 된다.

[그림 4] 녹색기술의 기초



자료 : STEPI(2007)에서 보완

어떤 기술이 녹색기술이냐를 추적할 시에는 전생애주기(Life Cycle)적인 접근방식이 필요하다. 즉 기술의 사전준비(원료 채취 등), 개발, 확산, 활용, 폐기에서 녹색기술 기초를 충족하는지 점검할 필요가 있다.

환경 매체별 이슈별 녹색기술의 기여 가능 영역의 경우 먼저 녹색기술은 온실가스를 예방 또는 저감하고 대기, 담수, 토양, 해수 등 환경매체에 침투하는 독성물질(잔류성 유기오염물질, 중금속 등)을 예방하고 저감하는

데 기여(<표 2> 참조)할 수 있다.

<표 2> 환경 매체 vs. 온실가스/독성물질 매트릭스

독성물질 매체	잔류성 유기 오염물질 (POPs*)	중금속	질소 산화물 (NOx)	황 산화물 (SOx)	인 산화물 (POx)	미세 먼지**	휘발성 유기 오염물질 VOC	오존	온실 가스 ***
대기		0	0	0		0	0	0	0
담수 -지하수 -하천	0	0	0		0		0		
토양	0	0							
해수 - 갯벌 - 연안/원양	0	0	0		0		0		

주) * 잔류성 유기오염물질 대부분이 환경호르몬임
 ** 미세먼지는 중금속이나 잔류성 유기오염물질도 함유
 *** 온실가스 중 이산화탄소 등은 그 자체로 독성물질은 아니나, 대기 중 농도가 높아져 생태계에 큰 영향을 주는 기후변화를 야기하므로 여기에 포함

<표 3> 환경이슈별 녹색기술의 기여 가능 영역

- | | |
|---|-------------|
| ○ 지구 온난화 | ○ 오존층 파괴 |
| ○ 산성비 | ○ 사막화와 황사 |
| ○ 물부족 및 수질 오염 | |
| ○ 폐기물(그 양과 독성물질): 미래 전자 폐기물(e-waste) 증가도 큰 이슈 | |
| ○ 해양 오염 및 부영양화 | ○ 생물 다양성 파괴 |
| ○ 대기질 저하 | ○ 토양오염 |

이러한 환경매체와 온실가스/독성물질의 조합이 빚어내는 산성비, 지구 온난화, 사막화, 물부족, 생물다양성, 토양오염 등 환경 이슈를 푸는 데 녹색기술은 이바지한다.

2. 녹색기술의 분류

녹색기술에 대한 분류는 다음과 같이 할 수 있다.

가. 기존 환경·에너지 기술

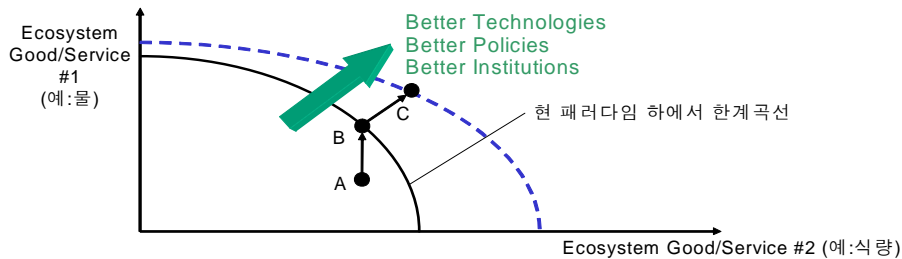
- 기존의 환경오염 예방 및 처리 기술, 환경 복원기술
- 환경문제의 이해·제고 기여 기술(예 : 기후변화 예측기술)
- 기존의 환경친화적 에너지 생산, 저장, 유통, 이용기술(예:소수력 기술)
- 전생애주기 측면에서 녹색기술 기초 충족 필요

나. 환경친화적 보완기술(또는 환경성 보완기술)

- 생태효율(Eco-efficiency) 향상 기술
 - ※ 에너지 및 물질 투입 저감(예 : 수송 및 빌딩 에너지 효율 기술)
- 환경친화적 혁신기술이기도 함.
 - ※ OECD의 정의에 따르면 환경친화기술은 자원 사용시 생태적 효율성이 높고, 환경보전 능력이 보다 개선된 기술임.
 - ※ 환경친화기술로의 혁신은 현 패러다임 하에서 유용자원 이용의 한계곡선을 넓혀 줌(그림 5 참조)
- 신기술의 융복합도 환경성 보완에 기여 가능(예 : IT활용 스마트 전력망 기술)

[그림 5] 과학기술, 정책, 제도의 향상을 통한 지속가능한 발전
 : 생태시스템의 유용자원간의 이용최적화 (예, 물과 식량)

생태시스템의 유용 자원간의 이용 최적화
 (Trade-offs among Ecosystem Goods and Services)



- A : Output of water is far less than is possible for the given level of food production
 e.g. because of excessive nutrients or farming in erosion-prone slopes
- B→C : Output of both water and food are increasing
 with new technologies (e.g. 세류 관개, 신 수확 다양화)
 with new policies (e.g. 비료 정부보조금 중단, 식량가격 조정)

[자료] Millenium Ecosystem Assessment 내용을 보완

다. 대안기술 / 대체기술

- 대안기술은 사전예방적 성격이 강한 녹색기술
 - ※ 재생가능 에너지 기술은 고탄소 화석에너지 기술의 대안기술
 - ※ 예 : PVC를 제조할 때 맹독성물질 다이옥신이 배출되며, PVC가 소각 처분될 때도 다이옥신이 배출됨. 따라서 PVC의 독성처리 연구뿐 아니라 원천적으로 PVC의 대안물질 개발 필요
- 대안기술의 활성화를 위해 정합적인 사회·경제·문화구조(교통 시스템, 도시 인구, 생산/소비 시스템 등)가 전제되거나 최소한 병행적으로 요구됨(앞절의 패러다임 길항 참조)
- 대안기술 적용에도 신기술의 융복합이 시너지 효과 발휘 가능
- 중간기술과 Low-Tech도 강조됨

라. 연성적 해결책(Soft Solutions)

- 연성적 해결책은 hard solutions(하드웨어, 설비공급 등)을 피하는 기술로 장기적으로 탈물질화 지향 기술의 접근방식
- 방법적 개선, 수요관리의 강화, 최적관리 방안의 모색 등을 통한 해결 방식임
- 지식기반 서비스가 중요하게 부상(예 : 환경·에너지 지식 기반 컨설팅)
 - ※ 예 : 도시 전체 녹색화 컨설팅
- IT 등 신기술이 연성적 해결에 일조

교육과학기술부(2008)에서 발표한 자료에 의하면, 녹색기술이란 지속가능 성장을 달성하기 위해 필요한 기술을 의미한다. 녹색기술의 효과로는 첫째, 녹색기술은 경제 번영과 환경의 지속가능성을 동시에 보장할 수 있는 유일한 통로이라는 것이다. 둘째, 녹색기술을 통해 경제활동에 있어서 환경부하를 최소화하거나 사전에 방지하며 한정된 자원을 효율적으로 활용 가능하다. TechNet(미국의 초당적 정책네트워크)의 경우 녹색기술은 재생 및 청정 에너지 자원을 포함하는 환경 친화적 자원 활용 기술을 의미하는 것으로 정의하였다.

결론적으로 녹색기술은 기후변화대응 기술, 에너지·자원 확보 및 활용 기술, 환경보호 기술을 망라한다. 녹색기술의 특징으로는 기후변화대응기술의 경우 지구온난화에 대응하기 위한 범지구적첨단 에너지 및 환경기술의 집합체이다.

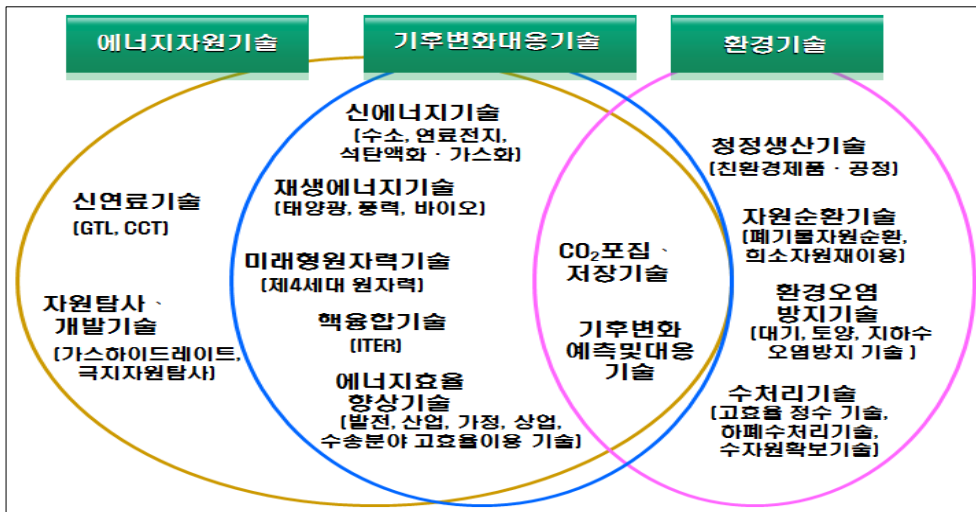
이에 해당하는 기술로는 ①석유, 석탄, 천연가스 등 화석연료를 대체하여 이산화탄소 발생을 억제하거나 감축할 수 있는 석연료대체 에너지기술, ②에너지원의 전환 및 이용 시 발생된 이산화탄소를 포집하여 저장하는 기술, ③이산화탄소 발생 감축을 위한 에너지전환 및 이용효율을 향상시킬 수 있는 기술, ④기후변화 메커니즘을 이해·예측하여 대응하기 위한 기술

등이다.

여기서 에너지·자원기술은 에너지 위기를 극복하고 에너지 독립국 실현 및 석유 의존도 감소를 위해 확보해야 하는 기술이다. 예로 GTL(Gas To Liquid)기술을 통해 액체연료를 확보하고 CCT(Clean Coal Technology)로 친환경적인 석탄 활용도를 제고하거나, 동해 가스하이드레이트 및 극지 자원을 적극 탐사·개발하여 자원개발 선도국으로 진입하는 것 등이다.

환경기술은 선진 복지국가에 걸맞은 삶의 질 향상을 위해 개발 및 보급이 시급한 분야이다. 첫째, 친환경 제품·공정을 통해 청정생산기반을 구축하고, 폐기물자원 및 희소자원의 재이용·재활용을 통해 자원순환 사회를 확립, 둘째, 대기·토양·지하수오염을 사전에 방지하고 양질의 먹거리 확보 및 하폐수 처리기술을 통해 국민이 안심하고 경제활동을 영위할 수 있는 환경을 조성하는 목표이다.

[그림 6] 녹색기술(GT, Green Technology)의 분류(기존 사례)



제4절 제 언

1. 녹색혁신체제(Green Innovation System)로의 전환

환경친화적 혁신정책은 크게 3단계의 과정을 거쳐 발전해왔다.

- 1단계(산출물 관리) : 유해물질 배출을 억제하는 ‘end of pipe’ 관리를 위해 규제와 경제적 유인 요인을 제시
- 2단계(사전에방적 접근) : 공정과 제품혁신을 통해 환경문제를 ‘사전적’으로 회피할 수 있는 기술개발
- 3단계(시스템적 접근) : 친환경적 혁신이 지속적으로 창출되고, 사회적으로 수용될 수 있는 녹색혁신체제(Green Innovation System)의 구축

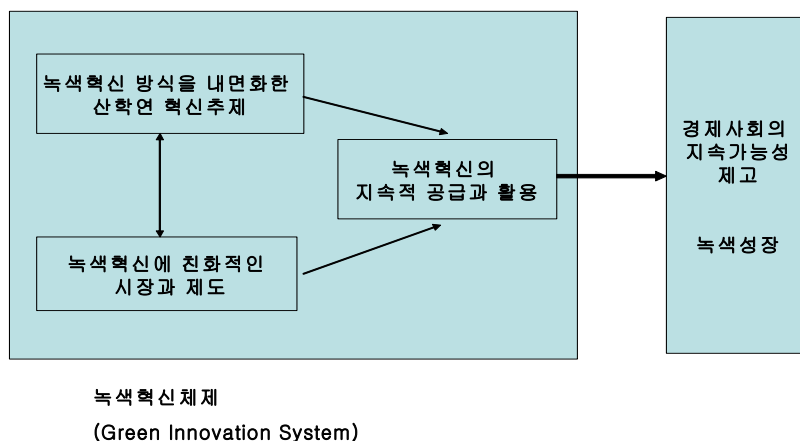
우리나라는 현재 2단계 초입 단계에 있다고 할 수 있다. 녹색성장을 본격적으로 추진하기 위해서는 3단계인 녹색혁신체제로의 전환이 필요하다. 2단계에서는 혁신주체들의 활동을 통해 개별적으로 환경친화적 기술이 개발되는 단계이다. 그러나 2단계에서는 이런 기술들이 계속적으로 창출되고 사회에 수용될 수 있는지는 명확하지 않다. 3단계에서는 환경친화적 기술이 지속적으로 창출되고, 사회적으로 수용되는 시스템이 구축되는 단계이다. 이를 토대로 환경기술혁신이 새로운 성장동력으로 발전하고 경제·사회의 지속가능성을 향상시킬 수 있다. 3단계 환경친화적 혁신정책을 수행하기 위해서는 기술혁신 주체들이 혁신활동을 수행시 주요 원리로서 환경친화성을 설정해야 한다. 또한 기업이 기술혁신 관련 투자 결정을 할 때, 국가연구개발사업을 기획·평가할 때, 환경친화성이 중요한 우선순위 선정 기준으로 작동해야 한다.

녹색혁신체제는 개발되는 기술의 성격, 혁신주체들의 조직활동, 시장과 제도의 작동방식이 환경친화적으로 배열(align)된 혁신체제라고 할 수 있다. 첫째, 기술혁신의 성격면에서는 환경친화적 기술패러다임에 의해 기술혁신이 수행되고, 환경친화적 연구개발 촉진을 위한 노력이 필요하며, 정

부연구개발사업의 선정 및 평가기준으로서 환경친화성을 중요하게 고려되어야 한다. 둘째, 혁신주체들의 조직루틴 측면에서는 기업들과 대학·연구소의 일하는 방식에서 환경친화적 조직구조가 확립되어 환경을 규제가 아니라 사업기회로 인식해야하고, 환경적 가치가 조직의 의사결정에서 중요한 기준으로 자리잡을 수 있게 하는 것이 필요하다. 셋째, 기술혁신을 지원하는 시장과 제도 측면에서는 환경친화적 혁신을 유도할 수 있는 시장구조와 인센티브 제도가 작동해야 한다.

구체적으로는 먼저 구체적인 기술, 산업, 마케팅 등에 대한 체계적 로드맵 확보하고, 기술에서 사업화까지 일관체제를 선도할 ‘융합형 기술경영 전문가’를 투입할 필요가 있다. 아이디어로부터 연구개발 과정을 거쳐 시장에 제품이나 서비스를 출시함으로써 비로소 혁신이 완성되는 일련의 가치사슬 윗기를 담당할 기술경영 전문가가 절실하다. 기술과 서비스, 시장, 표준화, 특허와 사업화 관련 법규, 리더십, 비즈니스 능력 등에 대한 융합적 지식을 갖춘 동시에 혁신 과정에서 상호 소통을 원활하게 이루어낼 수 있는 전문가를 의미한다.

[그림 7] 녹색혁신체제의 구성과 역할



녹색혁신체제를 구축하기 위해서는 ‘시스템 전환’의 관점에서 접근하는 것이 필요하다. 기존의 자원 다소비형 기술과 조직, 제도·시장으로 구성된 혁신체제는 새로운 시스템의 형성을 저지하려는 속성이 있다. 이를 저항을 뚫고 녹색혁신체제를 구축하기 위해서는 기술과 혁신주체들의 조직과 네트워킹, 시장과 제도의 환경친화성을 강화시키면서 공진화(co-evolution)할 수 있는 전략 구축이 필요하다.

한편 시스템 전환은 장기적 비전하에 지속적으로 이루어지는 활동으로 소규모의 성공적인 실험을 확산시키고 학습함으로써 이루어질 수 있다. 새로운 기술-조직-제도를 형성하고 있는 니치(지역, 영역)를 개발하여 그것을 효과적으로 확산시키는 '전략적 니치 관리(Strategic Niche Management)가 필요하다. 이는 기술개발 만이 아니라 혁신주체, 사회적 수용과 관련된 제도와 시장이 공동 진화하는 과정이다.

이를 위해서는 “환경친화적 기술 - 혁신주체들의 기술개발 - 시장·제도”가 공진화될 수 있는 니치 영역을 발굴하여 실험을 추진해야 한다. 특정 지역이나 영역에서 관련 산학연 혁신주체 - 지역사회가 협력하여 시범사업을 성공적으로 구현하는 것이다. Eco-city사업과 같은 지역개발사업이나 국가연구개발사업을 이런 실험의 장으로 활용할 수 있다. 다양한 혁신주체들이 혁신체제의 발전 비전과 구체적인 궤적을 협의하고 대안을 도출하는 플랫폼(green platform) 구축은 사업의 지속성을 확보할 수 있는 좋은 수단이 될 수 있다.

2. 기술혁신 전주기 사이클 및 가치사슬(Green Innovation Cycle & Green Value Chain)에 녹색전략 도입

저탄소 패러다임 하에서 우리가 기대하는 국민 삶의 질 향상 및 국가경쟁력의 제고를 위해서는 미래 기술예측, 기술로드맵 작성 등 기술개발의 기획단계에서부터 연구개발단계, 기술실용화단계 등 기술혁신 전주기에 걸쳐 녹색전략을 도입할 필요가 있다. 공공부문에 있어서는 무엇보다도 국

가연구개발사업의 기획·평가·사후관리 등에 있어 녹색전략을 도입할 필요가 있는 바, 현재 추진 중인 국가연구개발사업 조사·분석·평가사업에 녹색도(Degree of Greening)의 개념 및 관련 평가지표를 도입할 필요가 있다. 또한 매년 수행하는 국가연구개발사업의 총 투자액 중 Green R&D 투자도(%)를 지표로 도출하여 발표할 필요도 있으며, 이를 위해 2009년도 사업부터 시범적으로 사업을 선정하고 녹색도를 반영한 사업기획을 추진할 필요가 있다. 기업부문에 있어서는 현재의 수익정보다는 미래의 성장 가능성에 주목할 필요가 있는바, “녹색컴퍼니” 개념을 도입하여 비즈니스 모델의 친환경적인 전환, 그린 제품기획에서 그린 마케팅까지, 원재료의 구매에서 제품의 폐기까지 녹색개념을 적용하도록 한다.

가. 기술의 녹색도(Degree of Greening) 도입의 필요성

기술의 녹색도 제고는 우리나라 국민의 삶의 질 향상에 필요하며, 저탄소 사회 패러다임 하에서 기술 녹색도 제고는 국가경쟁력의 강화로 이어진다. 기술 녹색도 제고는 미래 수익원(Green is green)이 될 수 있으며, 기술녹색도 제고가 무역 환경장벽(예 : EU의 자동차 배출 오염물질 규제 (Euro III/IV))을 뚫는 터널이 될 수 있고, 기술녹색도 제고는 세계적 미래 추세인 탄소 및 환경비용 내부화의 대응책이며, 기술 녹색도는 쟁점이 되는 주요 기술의 투자 우선순위를 가르는 기준이 될 가능성이 있기 때문에 (<표4>참조) 기술에 대한 ‘녹색도’ 개념을 정의하고 도입·활용할 필요가 있다.

〈표 4〉 에너지 기술옵션을 둘러싼 쟁점의 예

기술옵션	쟁 점
• 태양에너지	<ul style="list-style-type: none"> • 단가저감 • 에너지 효율 향상 • 단속적(intermittent) 전력생산 • 설치 확장에 따른 공간 확보(농지와의 경쟁 포함)
• 풍력	<ul style="list-style-type: none"> • 단가저감 • 단속적(intermittent) 전력생산 보완 • 설치 확장에 따른 공간 확보(농지와의 경쟁 포함) • 미관 및 소음 문제
• 바이오매스: 1세대 바이오 연료	<ul style="list-style-type: none"> • 식량 생산과의 경쟁 • 생태계 파괴(열대우림 등) • 물질 및 에너지 효율(물질 연쇄 이용 포함)
• 탄소 포획·저장	<ul style="list-style-type: none"> • 탄소 저장의 기술적 어려움(수 km 지하 암반층) • 탄소 포획·저장의 경제성 • 탄소 누출 가능성
• 수소	<ul style="list-style-type: none"> • 단가 저감 • 생산과정의 환경성 • 저장의 어려움(고압력 고비용) • 수소 연료 전지 수명

자료 : STEPI(2008a)에서 보완

나. 기술의 ‘녹색도(Degree of Greening)의 정의

기술의 녹색도(Degree of Green)는 기술이 얼마나 저탄소사회 패러다임에 장기적으로 정합적이며 사회적 지속가능성이 있는지 그 정도를 비교하는 척도이다. 기술의 녹색도는 녹색 기술의 기초(순환, 평형, 저엔트로피, 적정규모 및 속도, 하이터치)를 반영하는 정량적 및 정성적 요소로 구성된다. 정량적 요소는 녹색경제도, 탄소배출 강도, 에너지 소비 강도, 물질 소비강도, 엔트로피이며, 정성적 요소는 생태계 간섭도, 사회적 지속 가능성 등이다.

※ 생태계 간섭도의 예 : 열대우림 파괴

※ 사회적 지속 가능성의 예 : 식량안보 위협성

기술의 녹색도는 기술적, 경제적, 사회적/생태적 요소로 구분된다. 기술

적 요소는 주로 환경 기술적 요소로 탄소배출 강도, 오염물질 배출강도 (NOx, SOx, PM, POPs, 중금속 등), 에너지 소비 강도, 물질 소비 강도, 엔트로피로 구성된다. 경제적 요소는 녹색경제로 기술의 소요비용, 탄소외부 비용 및 다른 오염물질 외부비용 등의 합으로 나타내 지는데, 우선적으로 탄소 외부비용을 적용하고 단계적으로 다른 외부비용의 적용이 가능하다. 한편, 기술의 경제성은 환경 외부 비용 반영시 달라질 수 있다(표 참조). 예컨대, 에너지 기술의 경우 탄소 외부 비용 반영이 가능한데, 석탄 발전 단가는 3.7~6.2 센트/kwh 이나 탄소비용 포함시 5.6~8.7 센트/kwh 까지 상승하여 일부 풍력평가보다 경쟁력 하락할 가능성도 있다.

〈표 5〉 녹색경제도 비교 예시 : 에너지원별 전력단가

구분	석탄	가스	풍력	태양광	바이오 매스	원자력	자료원/비고
단가 (US센트/KWh)	3.7~5.0 (pulverised) 4.4~5.6 (fluidized) 5.0~6.2 (IGCC)	4.4~5.6 (combined cycle)	4.4~13.7 (연안) 7.5~18.7 (해양)	17.8~53.6	3.1~10.6	5.0~5.6	a* (2005년 기준)
	4.7~4.8 (pulverized)	-	-	-	-	6.7~7.0(85% 가동률 기준)	b, c
탄소 비용** 포함 단가 (US센트/KWh)	5.6~7.5 (pulverised) 6.2~8.1 (fluidized) 6.9~8.7 (IGCC)	5.0~6.9	3.5~10.0 (연안) 5.0~15.0 (해양)	6.9~32.4	3.1~9.4	5.0~5.6	a (2030년 전망)
	7.3~8.2 (pulverized) (CCS 설치 또는 탄소세 부과시)	-	-	-	-	-	b
매장량	155년분	64년분	재생가능	재생가능	재생가능	85년분	a

주) * 2005년 유로화의 달러화 전환 환율 1.25 적용 ** 탄소비용은 이산화탄소 1톤당 25~37달러로 계상
 · 전력 단가는 가동율, 설비 수명, 연료 가격, 발전 방식, 발전 구조(집중형/분산형), discount rate, 인플레이션을 등의 변수에 따라 달라짐에 유의 비교
 · pulverised, fluidized, IGCC는 석탄 발전 방식, combined cycle은 가스 발전 방식의 일종
 · CCS: 탄소 포획저장

자료원: a: EC(2007), b: MIT(2007), c: MIT(2003) ; STEPI(2008)에서 재인용

마지막으로 사회적 / 생태적 요소는 사회적 지속 가능성과 생태계 간섭도 등이다.

[그림 8] 기술 녹색도의 구성요소

	기술적	기술적	사회적 / 생태적
정량적	◇ 탄소 배출 강도 (C-Intensity) ◇ 오염물질 배출강도 (Pollutant-Intensity) ◇ 에너지 소비 강도 (Energy-Intensity) ◇ 물질 소비강도 (Material-Intensity)	◇ 녹색경제도 - 소요비용 - 탄소 외부비용 - 다른 오염물질 외부비용	
준정량적	◇ 엔트로피(Entropy)		◇ 생태계 간섭도 (Disruption of Eco-system)
정성적			◇ 사회적 지속 가능성(Social Sustainability)

주) 기술적 요소에 정량적 요소로 물질 및 에너지 매장량을 고려 가능

정성적요소의 일부는 정량화 가능하다(예 : 열대우림 파괴면적). 엔트로피는 정량적 요소이나 현실적으로 세부 정량화가 어려워 준정성적으로 판단 가능한데, 예를들면 기술 부산물 발생 여부와 처리 복잡성 및 위험성 여부 등을 판단할 수 있다.

녹색도 공식	
$G_{total} \equiv G_{정량적} \& G_{정성적}$	(1)
$G_{정량적} \equiv \sum[\text{기술적}] + \sum[\text{녹색경제적}] + \sum[\text{사회적 / 생태적}]$	(2)
$G_{정성적} \equiv \sum[\text{기술적}] + \sum[\text{사회적 / 생태적}]$	(3)

주) \sum : 합산을 의미

≡ : 동치의 의미(정량적 증가를 의미하지는 않음)

녹색도의 구성요소 중 많은 부분이 이론적으로는 경제적 화폐가치로 환산이 가능하다. 특히 정량적 요소는 대부분 환산 가능한데, 예를 들면 탄소 및 오염물질 배출 강도, 물질 및 에너지 소비강도 등은 경제적 화폐가치로의 환산이 가능하다. 정성적 요소의 일부도 경제적 화폐가치로 환산 가능한데, 예로써 생태계 간섭도를 들 수 있다. 중장기적으로 녹색도 구성요소의 정량화 및 경제가치 환산 작업 필요하다.

다. 기술 ‘녹색도’의 활용

기술 ‘녹색도’의 활용의 기본방향은 우선 핵심 기술비교에서 단계적 많은 기술로 적용을 확대해 나갈 수 있다. 비교가 가능한 구성요소 적용으로부터 장기적 작업이 필요한 구성요소의 적용으로 확대해 나갈 수 있다. 또한 정량적 구성요소에서 정성적 요소로 확대하면서 정성적 요소도 정량화하려는 노력이 필요하다.

1) 기존 환경에너지기술 녹색도 점검

에너지기술의 경우 kwh 당 투입금액 외에 정량적 녹색도인 탄소배출 강도를 비교하며 엔트로피를 비교한다. 아울러 정성적 녹색도인 생태계 간섭도와 사회적 지속 가능성을 비교한다.

2) 보완기술의 녹색도 점검

예를 들어 일반 자동차 vs. 하이브리드 자동차와 같이 일반기술과 보완기술의 비교가 가능하고, 하이브리드 a기술 vs. 하이브리드 b기술처럼 보완기술간 비교도 가능하다.

3) 대안기술의 녹색도 점검

PVC 기술 vs. 바이오 기반 물질(Bio-based material) 기술의 비교처럼 일

반기술과 대안기술의 비교가 가능하고, 1세대 vs. 2세대 바이오 연료 기술 비교처럼 대안기술간의 비교도 가능하다.

4) 연성적 해결책의 녹색도 점검

에너지 공급 기술과 에너지 수요 최적관리 방안과의 비교처럼 일반기술과 연성적 해결책 비교가 가능한데, 연성적 해결책의 녹색도 점검과 그 효용 분석은 전체 사회경제 맥락에서 수행되어 어렵지만 장기적으로 중요

3. 녹색기술 연구개발 전략의 설계

녹색기술개발을 위한 연구개발 전략은 장기적인 녹색도를 반영하는 연구개발전략이 되어야 한다. 첫째, 대안기술 및 연성적 해결책 범주의 녹색기술 R&D 포트폴리오의 강화가 필요한 바, 중장기적으로 기존 환경·에너지 기술 및 환경성 보완 기술에서 대안기술 및 연성적 해결책의 R&D로 투자를 확대해 나가야 한다.

[그림 9] 녹색기술의 발전 방향



둘째, 장기적 지속가능성 잠재력이 큰 저엔트로피(Low-Entropy Tech)의 R&D 강화가 필요한 데, 첨단소재 활용 태양전지기술(박막 기술, Spray-on PV 등), 태양에너지 집적 기술과 같은 고효율 태양광 모듈 등 태양에너지 R&D, 2세대 바이오 연료 R&D, 해양 풍력기술 등 풍력 R&D, 에너지 저

장 기술(단속에너지원 보완) 등을 예로 들 수 있다. 셋째, 녹색 Low-Tech의 진작을 위한 R&D도 강화될 필요가 있다. 이는 녹색 Low-Tech과 신기술과의 융합 촉진 등을 포함한다. 넷째, 녹색기술과 정책을 연결하는 연구를 강화해야 한다. 예컨대, 저탄소 실현 사회경제적 시스템 및 패턴 개혁 정책연구, ‘기술개발’과 ‘확산정책’의 최상의 혼합공식을 마련하기 위한 연구 등을 수행할 필요가 있다. 마지막으로 녹색기술 기반 지식 향상 연구를 강화해야 할 필요가 있는데, 기후변화 예측 및 적응 연구, 녹색기술 지식은행관련 연구와 같이 녹색기술 지식 흐름 활성화 연구 등을 수행할 필요가 있다.

한편, 녹색도와 다양한 양극을 고려하는 녹색기술 연구개발전략이 마련되어야 한다. 녹색도(사회경제적 지속 가능성 포함)를 고려한 R&D 우선순위 설정은 기술의 장기적 지속 가능성을 고려하는 것인 바, 전생애주기(Life Cycle) 상에서의 녹색도(Degree of Green)를 고려한 R&D 우선순위 설정이 되어야 한다. 기술 녹색도와 다양한 양극 고려 포트폴리오를 반영한 장기 R&D 시나리오 정립이 중요한 데, 기술 녹색도와 집중-분산 Tech, 기존-신기술, High-Low Tech, 대기업-중소기업, 선진국-개도국 협력 등 다양한 양극을 고려하여 R&D 포트폴리오 구성이 되어야 하며, 녹색도 포트폴리오를 기초로 단·중장기 녹색기술 R&D 시나리오 창출 및 기술녹색도 세부 구성요소별로 포트폴리오 세부화도 가능하다. 예를 들어 녹색기술은 거대기술 공동 R&D 등 선진국 협력 R&D도 중시되지만 지구적 이슈에 대한 개도국 협력이 필수이며, 이는 녹색기술의 실용화 및 전파 측면 뿐 아니라 재생가능에너지 기술의 적용공간 측면에서도 중요하다(EU 사하라사막 국가 태양열 기술 R&D 협력 참조).

[그림 10] 녹색기술이 흐르는 양독 / 양극



이하에서는 개념적 차원에서 예시적으로 과학기술기본계획 및 「577전략」 상의 50개 중점육성기술 및 40개 중점육성후보기술에 대하여 “녹색성장”의 “녹색” 및 “성장”이라는 2개의 척도에 따라 기술을 분류하고 각각의 기술영역에 대해 필요한 개발전략을 간략하게 제시하고자 한다.

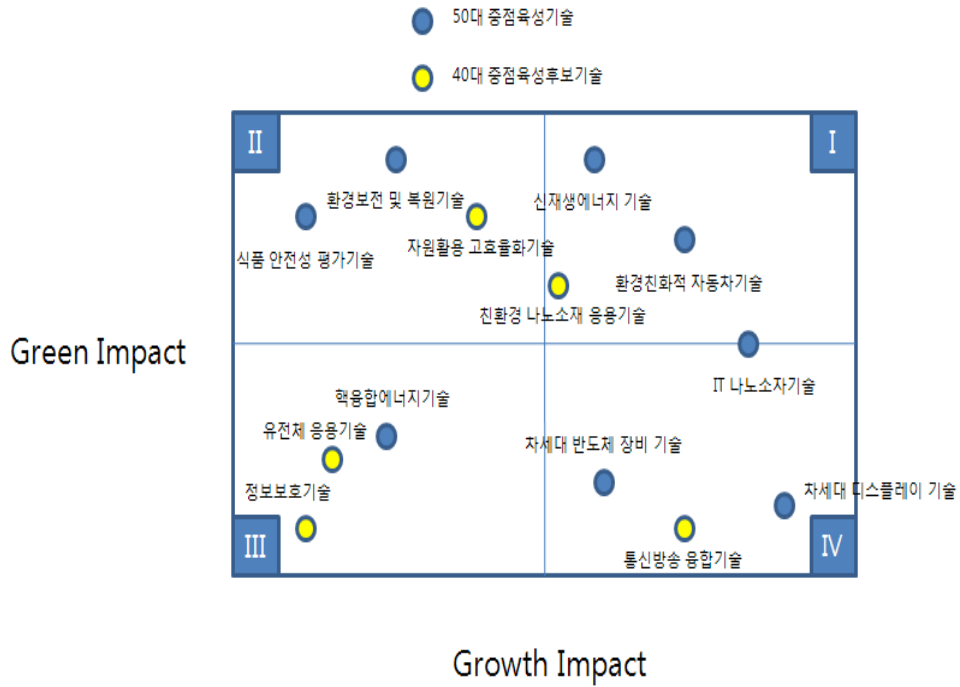
앞에서도 살펴본 바와 같이 ‘녹색성장’ 키워드와 관련한 ‘녹색기술’의 정의는 기후변화대응기술, 에너지·자원 확보 및 활용기술, 환경보호기술 등을 포함하고 있다.

따라서 ‘녹색’과 관련한 기준을 적용할 때 중점육성기술이 목표하고 있는 개발 목표가 기준에 부합할 때 green impact로 큰 것으로 가정할 수 있다.

한편, 중점육성기술의 개발 목표가 가지는 시장 파급효과 및 성장잠재력이 클수록 growth impact가 큰 것으로 가정한다.

이러한 두 기준에 따라 2x2 matrix 상에 중점육성기술들의 위치선이 결정되게 되고 이에 따라 차별화된 연구개발전략을 수립할 수 있다.

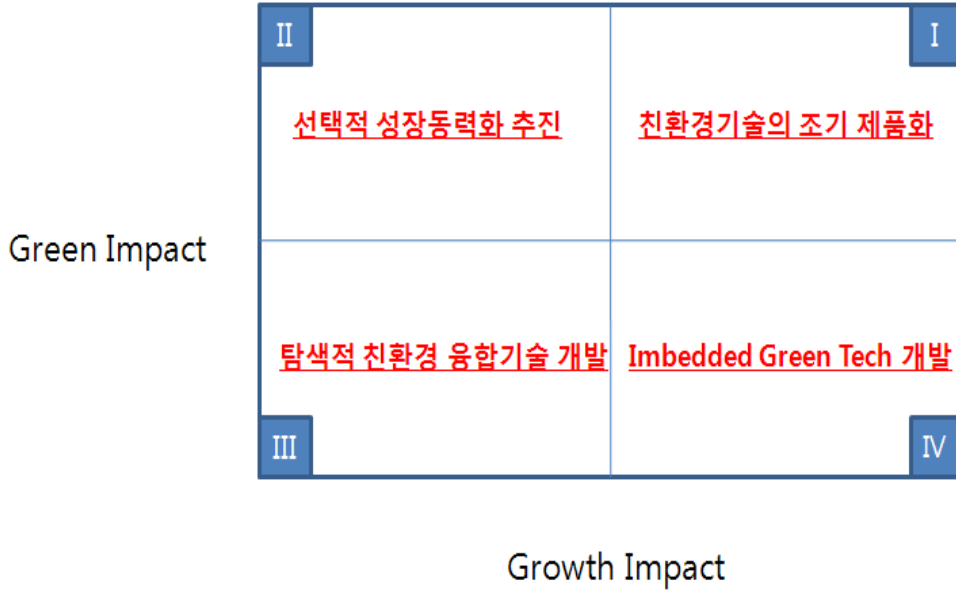
[그림 11] 녹색성장과 중점육성기술과의 관계(예시)



주 : 1. 577 과학기술기본계획 상의 중점과학기술의 “녹색성장” 척도에 따른 분류
 2. 분류 대상 : 577 과학기술기본계획 상의 90개 중점과학기술(50개 중점육성기술 + 40개 중점육성 후보기술) 중 주요 과학기술

Green impact(앞에서 정의한 “그린도(Degree of Greening)”)와 Growth impact를 기준으로 분류한 기술개발과제에 대한 연구개발추진전략은 다음과 같이 제시할 수 있다.

[그림 12] 녹색성장 관점에서의 연구개발추진전략



○ Area I : 친환경기술의 조기 제품화

- green impact가 크고 산업성장 가능성이 높은 기술군에 대해서는 친환경기술이 조기 제품화될 수 있도록 집중적인 자원 투입에 의한 연구개발추진 필요함.
- 특히 이 영역에서의 기술개발은 경쟁국도 동시에 진행할 가능성이 높으므로 기술의 조기 제품화에 의한 상용화 추진이 요구되며, 이를 통한 시장 진입을 앞당겨 관련 분야의 시장지배력을 강화시키는 것이 필요함.
- 또한 관련 제품의 시장 진입을 위한 제반 제도적 환경도 우호적으로 만들어 주는 것이 필요함.

○ Area II : 선택적 성장동력화 추진

- green impact가 크지만 산업성장 가능성이 크지 않은 기술군은 기술의 공공성이 강한 특성을 가지고 있으므로, 이 분야의 기술군에 대해서는

시장실패를 보완할 수 있는 정책적 지원과 더불어 상용화 가능성이 높은 기술에 대해서는 선택적으로 성장동력화를 추진하는 것이 필요함

- 특히 이 영역에서의 기술개발은 글로벌 아젠다로 부상할 가능성이 높으므로 국제협력에 의한 연구개발을 꾸준히 추진하도록 하며, 시장 창출 가능성이 높은 기술들에 대해서는 원천기술 확보에 주력하는 것이 필요함

○ Area III : 탐색적 친환경 융합기술 개발

- green impact가 크지 않고 가까운 시간 내에 급격한 산업성장성이 높지 않은 기술군에 대해서는 여타 친환경 기술과의 융합기술 개발을 촉진시키고 이들의 산업적 응용성을 탐색할 수 있는 모험적 과제 발굴이 필요함
- 특히 이 분야 기술들의 green impact를 높이기 위해서는 동 기술군에서의 친환경기술로의 기술적 파급효과를 극대화시켜 활용 정도를 높이는 것이 요구됨
- 또한 관련 산업의 성장성을 높이기 위해서는 공공섹터에서의 연구개발 성과를 자본화하여 시장에서의 활용 가능성을 높이는 것이 필요함

○ Area IV : Imbedded green technology 개발

- green impact는 크지 않으나 가까운 시간 내에 높은 산업성장성을 보일 것으로 예견되는 기술군에 대해서는 상용화 제품의 연구개발, 제조에서 시장 진입까지 다양한 단계에서 친환경성을 가질 수 있는 green technology를 접목시키는 것이 필요함
- 동 분야의 기술군은 대부분 뚜렷한 제품화 목표를 가지고 있기 때문에 제품의 기능 구현 시 친환경성·저에너지소비 등을 강조할 수 있는 green technology의 개발 및 접목이 필요하며, 제품의 제조 공정 개발에 있어서도 환경오염이나 피해를 최소화할 수 있고 에너지소비를

줄일 수 있는 green technology의 개발 및 접목이 요구됨

한편 녹색성장을 위한 기술혁신에 관한 국가적 전략에 있어서는 녹색기술혁신 결과의 실용화 증대를 위한 공급사슬 성과 관리 모델을 구상해야 할 필요성이 증대되고 있다. 그것은 민간부문뿐 만이 아니라 녹색기술 연구개발사업에 있어서도 연구개발 성과의 활용을 극대화시켜야만이 본연의 기능을 하는 것으로 받아들여지기 때문이다.

여기서 녹색기술혁신 결과의 실용화 증대를 위한 공급사슬 성과 관리 모델의 기본 개념은 한마디로 공급기능 중심의 녹색기술 연구개발사업 추진에서 수요 중심의 성과 관리를 추진한다는 개념으로 녹색기술 연구기획 단계에서부터 연구개발 수행단계 그리고 녹색기술 연구성과의 활용단계 등 일련의 과정에서 수요 중심의 성과 관리가 최우선적으로 고려되는 것을 의미한다.

효율적 녹색기술혁신 추진기능 구축을 위한 21세기형 정부사업 추진의 기본 관점은 첫째, 정부가 반드시 주도적으로 행할 필요가 있는가?, 둘째, 효율성, 서비스 관점에서 지방자치단체, 민간에서 주도적으로 추진해야만 실효성이 높은 경우에는 위임할 필요가 있으며, 셋째, 정부주도 녹색기술 개발사업은 최소 비용으로 추진해야하며, 각 사업 내용의 설명과 개발주도 기관의 책임을 부과하는 것 등이다.

참 고 문 헌

- 교육과학기술부, 『녹색기술의 개념 및 추진전략(안)』, 2008.
- 김병윤, 『전환 및 전환관리 배경과 논리』, STEPI Working Paper Series WP 2008-07.
- 김유진·김수덕, 『국내 신·재생전원보급지원제도의 평가 및 개선방향』, 한국경제연구, 제20권, pp.107-133., 2008.
- 박동오·송위진, 『지속가능한 기술을 향한 새로운 접근전략 : 전략적 니치관리 (Strategic Niche Management)』, STEPI Working Paper Series WP 2008-05.
- 벵체르, J.-L., 「에너지 전쟁」, 청년사, 2007.
- 성지은·송위진, 『정책조정의 새로운 접근: 정책통합』, STEPI Working Paper Series WP 2008-01.
- 송위진·강운재·박동오, 『탈추격형 기술혁신의 불확실성 대응적 전략』, 과학기술정책연구원, 2007.
- 송위진 외, 『한국국가혁신체제발전방안연구』, 과학기술정책연구원, 2004.
- 송위진, 『기술혁신과 과학기술정책』, 르네상스(서울), 2006.
- 영국 해들리 센터, 『기상청: 기후변화 현황과 과학분야 대응방안』에서 재인용, 2007.
- 유의선, 『기후변화 협약 대응의 이슈와 의제, 과학기술정책연구원』, 2006.
- 유의선, 『지속가능발전에 기여하는 과학기술의 역량평가 지표 틀 탐색』, 과학기술정책연구원, 2007.
- 유의선 외, 『기후변화 대응 과학분야 연구개발 발전전략에 관한 연구』, 기상청, 2008.
- 이정전, 「환경경제학」, 박영사, 2002.
- 칸턴, J., 「극단적 미래 예측」, 김영사, 2007.
- 플래너리, T., 「기후 창조자」, 황금나침반, 2006.
- Berkhout, Frans, Adrian Smith and Andy Stirling(2003), "Socio.technological regimes and transition contexts", SPRU Electronic Working Paper Series. 106.
- Geels, Frank W. (2006), "Multi.Level Perspective On System Innovation: Relevance For Industrial Transformation", in Xander Olshoorn and Anna J. Wicczorek (eds), Understanding Industrial Transformation: Views from Different Disciplines (the Netherlands: Springer): 163.86.
- Geels, Frank. W. and Johan. Schot (2007), "Typology of sociotechnical transition

- pathways", *Research Policy* 36/3: 399.417.
- Hofman, Peter S., Boelie E. Elzen and Frank W. Geels (2004), "Sociotechnical Scenarios as a New Policy Tool To Explore System Innovations: Co.Evolution of Technology And Society in the Netherlands Electricity Domain", *Innovation: Management, Policy & Practice* 6/2: 344.60.
- Kemp, Rene and Derk Loorbach (2006), "Transition management: a reflexive governance approach", in Jan-Peter Voss, Dierk Bauknecht and Rene. Kemp (eds), *Reflexive Governance for Sustainable Development* (Cheltenham, UK: Edward Elgar).
- Kemp, Rene, Jan Rotmans and Derk Loorbach (2007), "Assessing the Dutch Energy Transition Policy: How Does it Deal with Dilemmas of Managing Transitions?" *Journal of Environmental Policy & Planning* 9/3: 315.31.
- Loorbach, Derk (2008), 'Why and how transition management emerges', presented at 2008 Berlin Conference on the Human Dimensions of Global Environmental Change: "Long.Term Policies: Governing Social.Ecological Change" (Berlin, Germany: CENTOS).
- Stern, N.(2006), *Stern Review: The Economics of Climate Change*.
- Verbong, Geert and Frank Geels (2007), "The ongoing energy transition: Lessons from a socio.technical, multi-level analysis of the Dutch electricity system (1960-2004)", *Energy Policy* 35/2: 1025.37.

녹색기술 연구개발전략의 구상

2008. 11. 13.

발표자: 장진규 박사
소속: 과학기술정책연구원

I. 배경

II. 저탄소 사회 패러다임

III. 녹색기술의 특징 및 분류

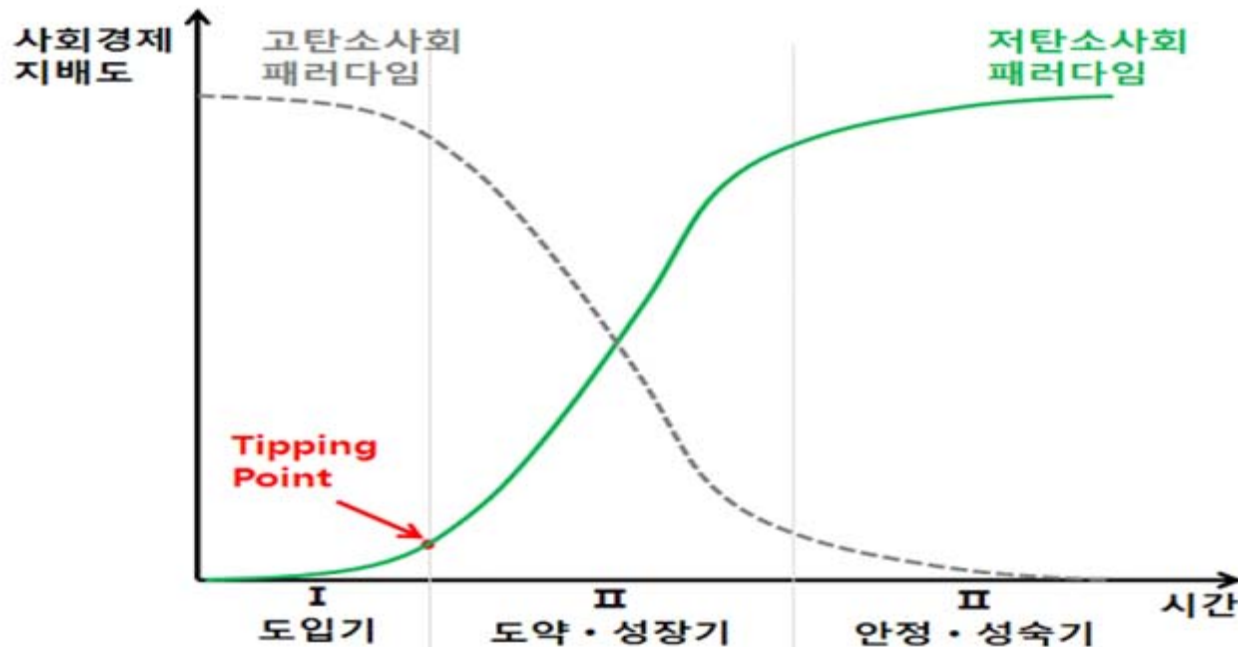
IV. 제 언

1. 녹색혁신체제로의 전환
2. 기술혁신 전주기 사이클 및 가치사슬에 녹색 전략 도입
3. 녹색기술 연구개발 전략의 설계

- 정부의 저탄소 녹색성장 비전에 상응하여 녹색기술이 부각되고 있으나 그 개념 및 추진전략이 미흡하고 장기적 시각이 부족
 - 녹색기술 개념 및 분류가 저탄소 사회의 가치와 장기적 전략을 담보하는 데 미흡하고 평면적
 - 녹색기술의 R&D 우선순위에 저탄소 사회 패러다임의 추동가치 또는 '녹색기준' 반영 필요
 - 에너지 기술 붐의 진작은 올바른 방향이나 전체 과학기술의 녹색화에 대한 전략 필요
- 이러한 배경에서 본고는 녹색기술이 가동하는 저탄소 사회의 패러다임과 녹색 혁신 시스템의 동력(dynamics)과 구조를 살펴본 후 그에 상응한 녹색기술의 특징 및 분류, 기술의 '녹색도(Degree of Greening)' 개념을 제시함
 - 이어서 우리나라의 녹색기술 연구개발전략 설계방안을 개략적으로 살펴봄

II. 저탄소 사회 패러다임

- 저탄소사회(Low-Carbon Society) 패러다임은 기존의 고탄소사회 자체의 문제 때문에 등장
 - 에너지·자원을 최대 이용하는 고탄소 산업경제로 인한 에너지·자원 수요급증
 - 온실가스 배출의 급속한 증가에 따른 기후변화 가속화
- 저탄소사회 패러다임은 기존의 지배적인 고탄소사회 패러다임과의 길항 속에서 뿌리를 내려야 함(<그림1> 참조)
 - 초기에는 특히 두 패러다임의 충돌이 큼



저탄소사회 패러다임의

- 저탄소사회 **도입기(I)** 초기에 고탄소 사회의 인프라와 가치사슬 위에서 정착해야 하므로 불리한 위치
- 저탄소사회 패러다임의 열세를 받쳐줄 기술, 정책, 시민사회의 **쇄기역할(wedge role)**이 필요
 - 과학기술적 추동(Technological Push) : 녹색기술
 - 정책을 통한 신 패러다임의 사회 경제적 견인(Socio-economic pull)
 - 교육 및 의식전환을 통한 시민사회의 지원(소비패턴 변화)
- 도입기(I)가 얼마나 빨리 도약·성숙기(II)를 위한 티핑포인트(Tipping point)에 도달하는가는 다음 두 요소에 의해 결정
 - 신규 패러다임의 사회경제 지배도 격차
 - 신 패러다임 지지 쇄기의 강도

저탄소사회 패러다임의 도약·성장기(II)

- 새 패러다임이 티핑포인트를 넘어 급속히 확대
- 새 패러다임이 시장 경쟁력 확보
- 고용창출도 커짐
- 소비패턴 변화를 포함한 사회문화 상부구조 전환도 진척
- 경쟁력이 커진 일부 저탄소기술의 정책 지원을 줄여 취약 저탄소기술 지원 가능(쇄기지원 점감)

저탄소사회 패러다임의 안정·성숙기(III)

- 경제 하부구조와 사회 상부구조 모두 새 패러다임 하에서 가동
- 패러다임 재생산 구조 공고

II. 저탄소 사회 패러다임

구분	고탄소 사회 (High-Carbon Society)	저탄소 사회 (Low-Carbon Society)
가치	- 물질	- 휴머니티
경제·환경 관계	- 연동(Coupling): 경제 성장이 환경 부하 증가를 동반 - Trade-off	- 탈연동/분리(Decoupling): 경제 성장이 환경 부하 증가를 수반하지 않음 - 경제는 환경용량 안에서 가동
환경관리목표	- Environmental Performance - 환경 기준 충족	- Environmental Sustainability - 미래세대 고려 - 사회적 지속가능성도 연관
관리 강조점	- 공급 측면(Supply-side)	- 수요 측면(Demand-side)
혁신체제	- 물질중심 자원소비형 혁신체제 - 추격형 혁신체제	- 인간 및 가치중심 녹색혁신 체제 - 창조형 혁신체제
게임 틀	- 경쟁 - Zero-Sum	- 상생 - Win-Win
발전지표	- GDP	- 녹색GDP - 사회·생태·경제 지표

II. 저탄소 사회 패러다임

구분	고탄소 사회 (High-Carbon Society)	저탄소 사회 (Low-Carbon Society)
경쟁력	- 가격 - 품질	- 가격 - 품질 - 녹색도
주력 기술/산업	- 석유화학기반 산업 - 제조업 - IT 산업 - 금융업	- 에너지·환경 산업 - 에너지·환경 산업 + IT 산업 - 지식기반 서비스 산업
시장 기회 Boom Market	- 제조업 시장 - IT, 일부 신기술 시장 - 금융 시장	- 탄소 시장 - 에너지·환경 시장 (물 포함) - 신기술의 에너지·환경 산업과의 연계 시장 성장(예: IT)
국제관계	- 남북문제 상존 - 선진국 위주 국제관계	- 지구적 이슈에 대한 선진국과 개도국의 협력 - 다자협력

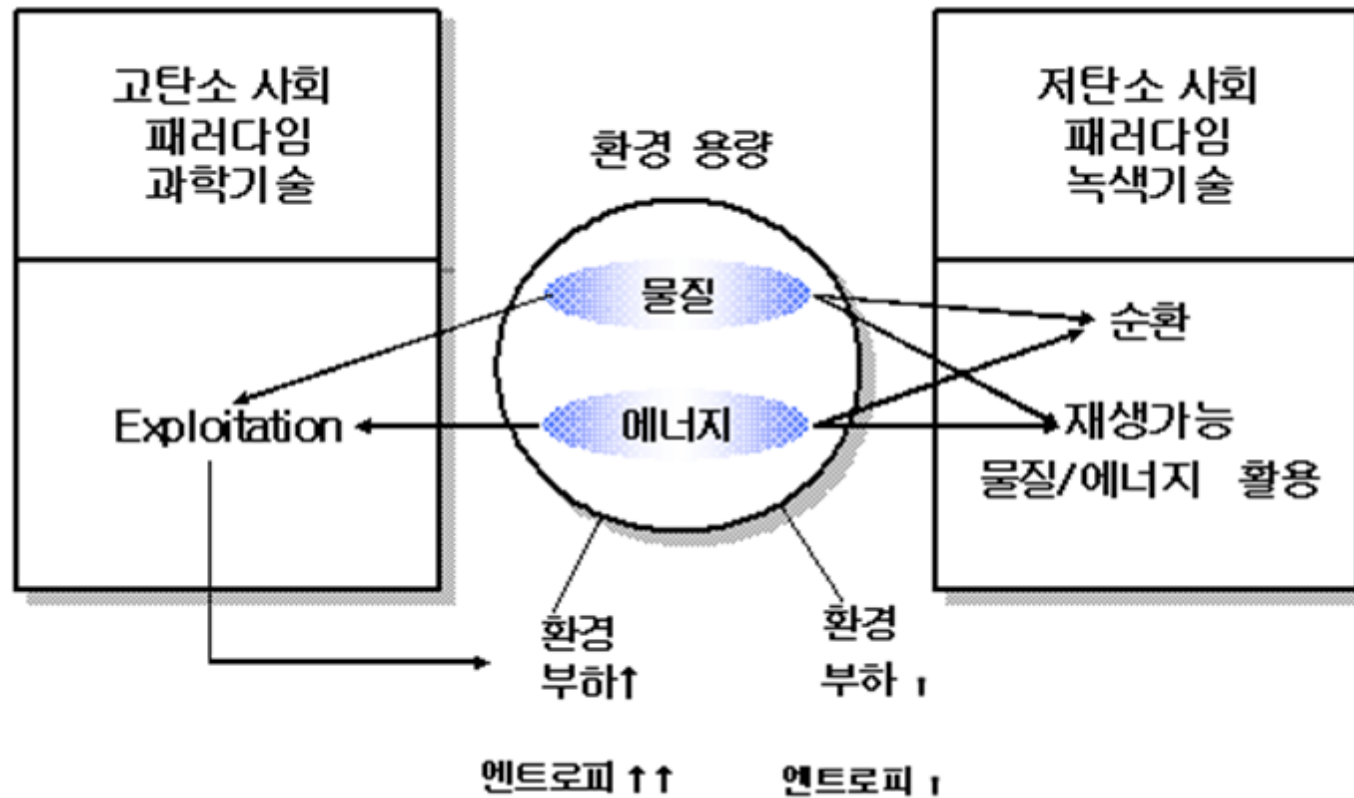
◦ 경제와 환경의 상대적 탈연동의 한 예는 덴마크임

-1981년 이래 경제가 70% 성장하였지만 에너지 소비는 거의 그대로임
(Friedman, 2008).

□ 고탄소 사회 패러다임의 과학기술과 저탄소 사회 패러다임의 녹색기술

- 고탄소 사회 패러다임의 과학기술은 자연환경에서 물질과 에너지를 최대한 추출·활용하는데 집중하여 커다란 환경부하와 급속한 엔트로피 증가를 야기 ([그림 2] 참조)
- 저탄소 사회 패러다임의 녹색기술은 물질 및 에너지 소비를 최소화하고 순환 (Recycling)과 재생가능 물질 및 에너지(Renewable material & energy) 활용을 통해 환경부하를 줄이고 엔트로피 증가를 약화시킴
 - 복지 수준을 유지하거나 향상하면서도 물질 및 에너지 사용을 근본적으로 제로화하는 기술은 더 바람직

Ⅲ. 녹색기술의 특징 및 분류



자료: STEPI(유의선, 2007)에서 보완

□ 녹색기술의 특성과 기여가능 영역

1. 특성

- **녹색기술은 자연의 원리를 따르고 촉진하는 것을 장기적으로 지향**

 - ※ 자연 원리의 모방 포함(Bio-Mimic 등)

- **녹색기술의 기조**

 - **순환**: 녹색기술은 물질순환을 촉진시키고 복원시키는 기술(그림 3 참조)

 - ※ 경제순환은 장기적으로 자연계의 물질순환의 범위 내에 있음(무로타 외, 2002)

 - **평형**: 녹색기술은 자연계의 동적 평형을 따르고 촉진

 - ※ 예 : 온실가스로 지구 열수지의 평형이 훼손. 녹색기술은 지구 복사열 평형을 회복하여 기후변화 완화에 기여

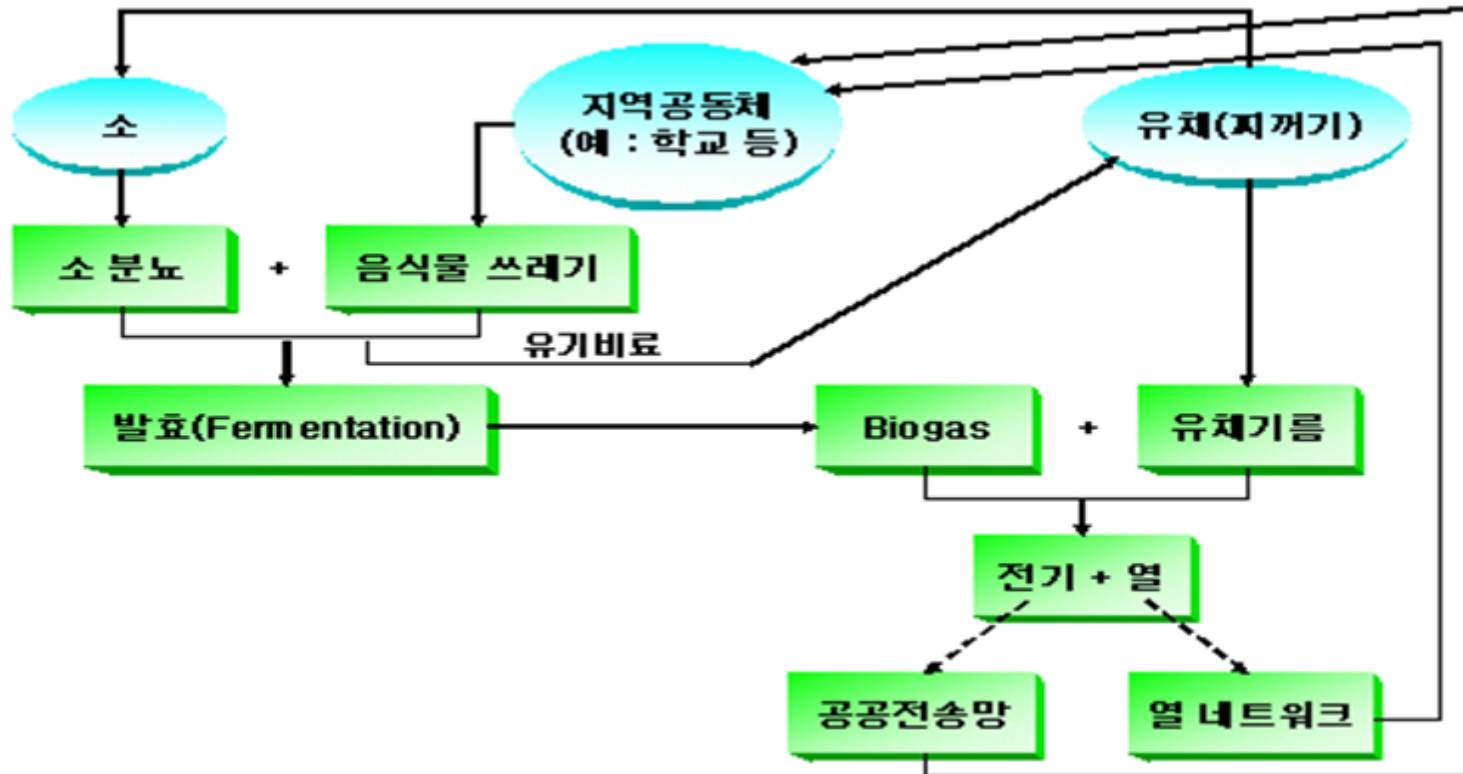
 - **저엔트로피**: 녹색기술은 과학기술의 적용에 수반되는 에너지 및 물질 이용과 엔트로피(무질서)의 최소화 지향

 - ※ 예: 재생가능에너지 기술

Ⅲ. 녹색기술의 특징 및 분류

- **적정 규모 및 속도**: 녹색기술은 자연생태계에서 처리할 수 있는 범위 내의 적정 규모와 속도로 영향을 줌
 - ※ 예 : 녹색기술은 대기에 수세기 이상 잔류하는 온실가스나 자연계에서 쉽게 분해되지 않아 장기간에 걸쳐 독성을 주는 잔류성 유기오염물질(Persistent Organic Pollutants: POPs)의 배출을 피하거나 대체
- **안전**: 녹색기술은 인류와 자연생태계의 안전을 도모
- **분산화**: 녹색기술은 가능하면 분산화를 통해 적정 규모와 속도를 유지하며 리스크를 분산하고 지역경제에도 기여 지향
- **하이터치**: 미래에 특히 강조되는 추세로 인간의 얼굴을 한 기술 추구하여 감성적 터치와 사회적 약자 보호에도 중점 ※ Eco-design도 중시
- **녹색기술이나를 추적시 전생애주기(Life Cycle) 접근방식 필요**
 - 기술의 사전준비(원료 채취 등), 개발, 확산, 활용, 폐기에서 녹색기술 기조를 충족하는지 점검

Ⅲ. 녹색기술의 특징 및 분류



[자료] Wuppertal Institute의 내용을 수정·보완

2. 환경 매체별 이슈별 녹색기술의 기여 가능 영역

- 녹색기술은 온실가스를 예방 또는 저감하고 대기, 담수, 토양, 해수 등 환경매체에 침투하는 독성물질(잔류성 유기오염물질, 중금속 등)을 예방하고 저감하는데 기여(<표 3> 참조)

- 이러한 환경매체와 온실가스/독성물질의 조합이 빚어내는 산성비, 지구온난화,

사막화, 물부족, 생물다양성, 토양오염 등 환경 이슈를 푸는 데 녹색기술은

이바지

- 지구 온난화
- 산성비
- 물부족 및 수질 오염
- 폐기물(그 양과 독성물질): 미래 전자 폐기물(e-waste) 증가도 큰 이슈
- 해양 오염 및 부영양화
- 대기질 저하
- 오존층 파괴
- 사막화와 황사
- 생물 다양성 파괴
- 토양오염

Ⅲ. 녹색기술의 특징 및 분류

매체 \ 독성물질	잔류성 유기 오염물질 (POPs*)	중금속	질소 산화물 (NOx)	황 산화물 (SOx)	인 산화물 (POx)	미세 먼지**	휘발성 유기 오염물질 VOC	오존	온실 가스***
대기		○	○	○		○	○	○	○
담수 - 지하수 - 하천	○	○	○		○		○		
토양	○	○							
해수 - 갯벌 - 연안/원양	○	○	○		○		○		

주) * 잔류성 유기오염물질 대부분이 환경호르몬임

** 미세먼지는 중금속이나 잔류성 유기오염물질도 함유

*** 온실가스 중 이산화탄소 등은 그 자체로 독성물질은 아니나, 대기 중 농도가 높아져 생태계에 큰 영향을 주는 기후변화를 야기하므로 여기에 포함

Ⅲ. 녹색기술의 특징 및 분류

□ 녹색기술의 분류

환경·에너지 기술

- 기존의 환경오염 예방 및 처리 기술, 환경 복원기술
- 환경문제의 이해·제고 기여 기술(예 : 기후 변화 예측기술)
- 기존의 환경친화적 에너지 생산, 저장, 유통, 이용기술(예 : 소수력 기술)
- **재생에너지 기술**은 **사척에 있어 상극적이거나 적어도 충족 필요** 재생가능 에너지 기술은 고탄소 화석에너지 기술의

대안기술 / 대체기술

- ※ 예 : PVC를 제조할 때 염색공정할 다이옥신이 배출되며, PVC가 소각 처분될 때도 다이옥신이 배출됨. 따라서 PVC의 독성처리 연구뿐 아니라 원천적으로 PVC의 대안물질 개발 필요
- 대안기술의 활성화를 위해 정합적인 사회·경제·문화구조(교통시스템, 도시 인구, 생산/소비 시스템 등)가 전제되거나 최소한 병행적으로 요구됨
- 대안기술 적용에도 신기술의 융복합이 시너지효과

환경친화적·보완기술(or 환경성 보완 기술)

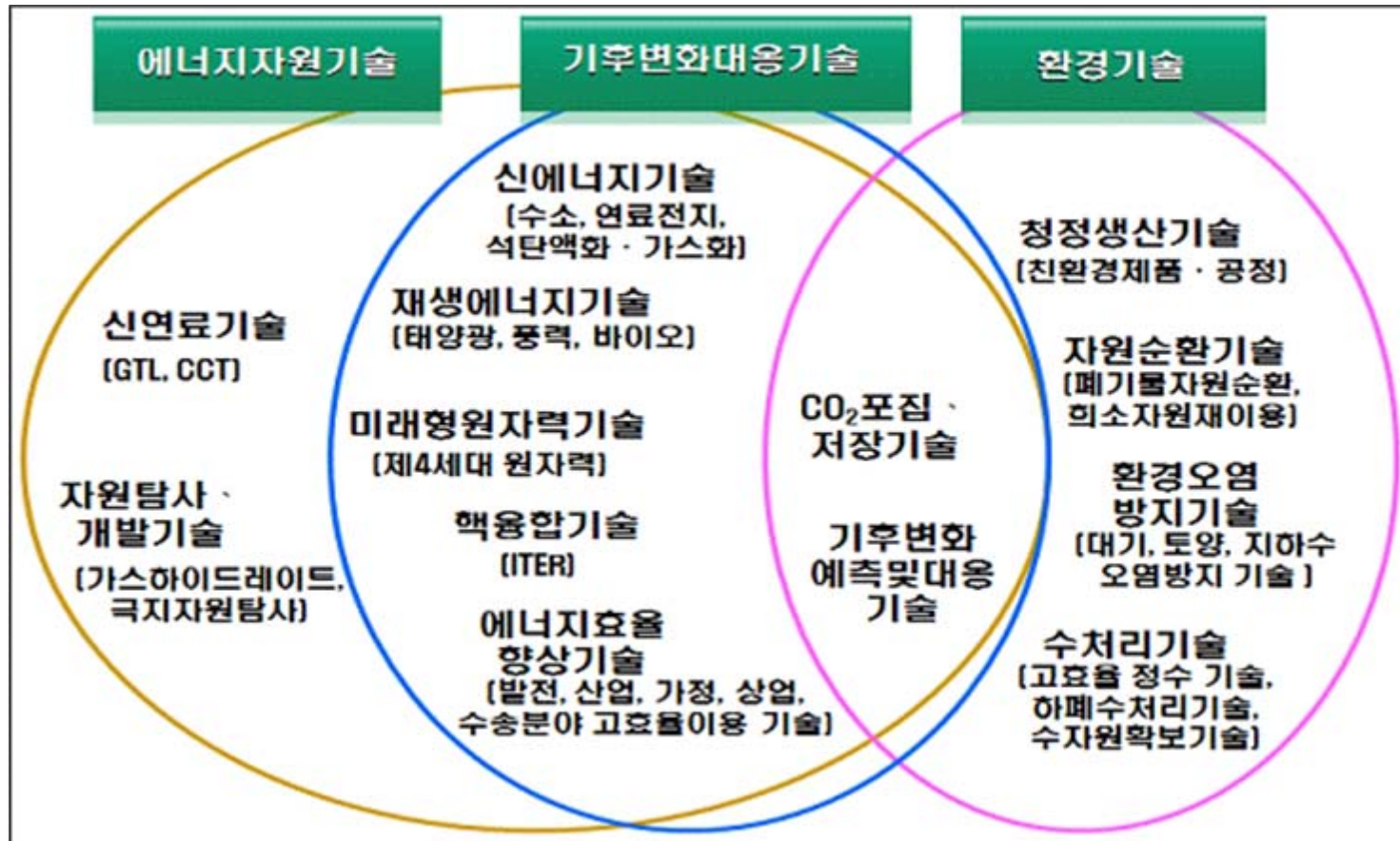
- ※ 에너지 및 물질 투입·저감(예 : 수송 및 빌딩에너지 효율 기술)
- 환경친화적 혁신기술이기도 함.
 - ※ OECD의 정의에 따르면 환경친화기술은 자원 사용 시 생태적 효율성이 높고, 환경보전 능력이 보다 개선된 기술임.
 - ※ 환경친화기술로의 혁신은 현 패러다임 하에서 유용자원 이용의 한계극선을 넓혀 줌

연성적 해결책(Soft Solutions)

- 연성적 해결책은 hard solutions(하드웨어, 설비 공급 등)을 피하는 기술로 장기적으로 탈물질화 지향 기술의 접근방식
- 방법적 개선, 수요관리의 강화, 최적관리 방안의 모색 등을 통한 해결 방식임
- 지식기반 서비스가 중요하게 부상(환경·에너지 지식 기반 컨설팅 등)
 - ※ 예 : 도시 전체 녹색화 컨설팅
- IT 등 신기술이 연성적 해결에 일조

Ⅲ. 녹색기술의 특징 및 분류

녹색기술 분류 사례



자료: 교육과학기술부, 「녹색기술의 개념 및 추진전략(안)」, 2008. 8. 25에서 인용

1. 녹색혁신체제로의 전환

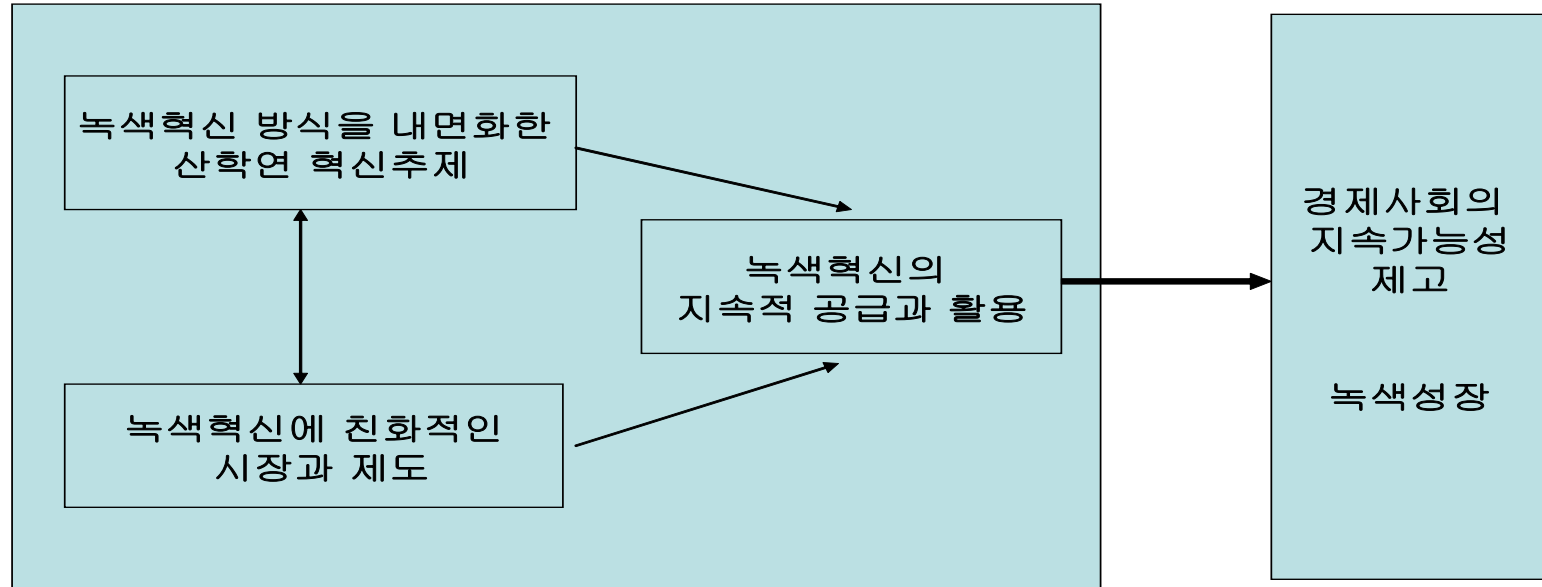
□ 환경친화적 혁신정책은 크게 3단계의 과정을 거쳐 발전해왔음

1단계	2단계	3단계
산출물 관리	사전에방적 접근	시스템적 접근
-유해물질 배출을 억제하는 'end of pipe' 관리를 위해 규제와 경제적 유인 요인을 제시	-공정과 제품혁신을 통해 환경문제를 '사전적'으로 회피할 수 있는 기술개발	-친환경적 혁신이 지속적으로 창출되고, 사회적으로 수용될 수 있는 녹색혁신체제(Green Innovation System)의 구축

□ 우리나라는 현재 2단계 초입 단계에 있다고 할 수 있음. 녹색성장을 본격적으로 추진하기 위해서는 3단계인 녹색혁신체제로의 전환이 필요함

- 2단계에서는 혁신주체들의 활동을 통해 개별적으로 환경친화적 기술이 개발되는 단계임. 그러나 2단계에서는 이런 기술들이 계속적으로 창출되고 사회에 수용될 수 있는지는 명확하지 않음

- 3단계에서는 환경친화적 기술이 지속적으로 창출되고, 사회적으로 수용되는 시스템이 구축되는 단계임. 이를 토대로 환경기술혁신이 새로운 성장동력으로 발전하고 경제·사회의 지속가능성을 향상시킬 수 있음
 - 기술혁신 주체들이 혁신활동을 수행시 주요 원리로서 환경친화성을 설정
 - 기업이 기술혁신 관련 투자 결정을 할 때, 국가연구개발사업을 기획·평가할 때, 환경친화성이 중요한 우선 순위 선정 기준으로 작동
- 녹색혁신체제는 개발되는 기술의 성격, 혁신주체들의 조직활동, 시장과 제도의 작동방식이 환경친화적으로 배열(aligned)된 혁신체제라고 할 수 있음
 - 기술의 성격
 - 환경친화적 기술패러다임에 의해 기술혁신이 수행
 - 환경친화적 연구개발 촉진을 위한 노력이 필요
 - 정부연구개발사업의 선정 및 평가기준으로서 환경친화성을 중요하게 고려
 - 혁신주체들의 조직루틴
 - 기업들과 대학·연구소의 일하는 방식에서 환경친화적 조직구조가 확립되어 환경을 규제 가 아니라 사업기회로 인식
 - 환경적 가치가 조직의 의사결정에서 중요한 기준으로 자리잡을 수 있게 하는 것이 필요
 - 시장과 제도
 - 환경친화적 혁신을 유도할 수 있는 시장구조와 인센티브 제도가 작동

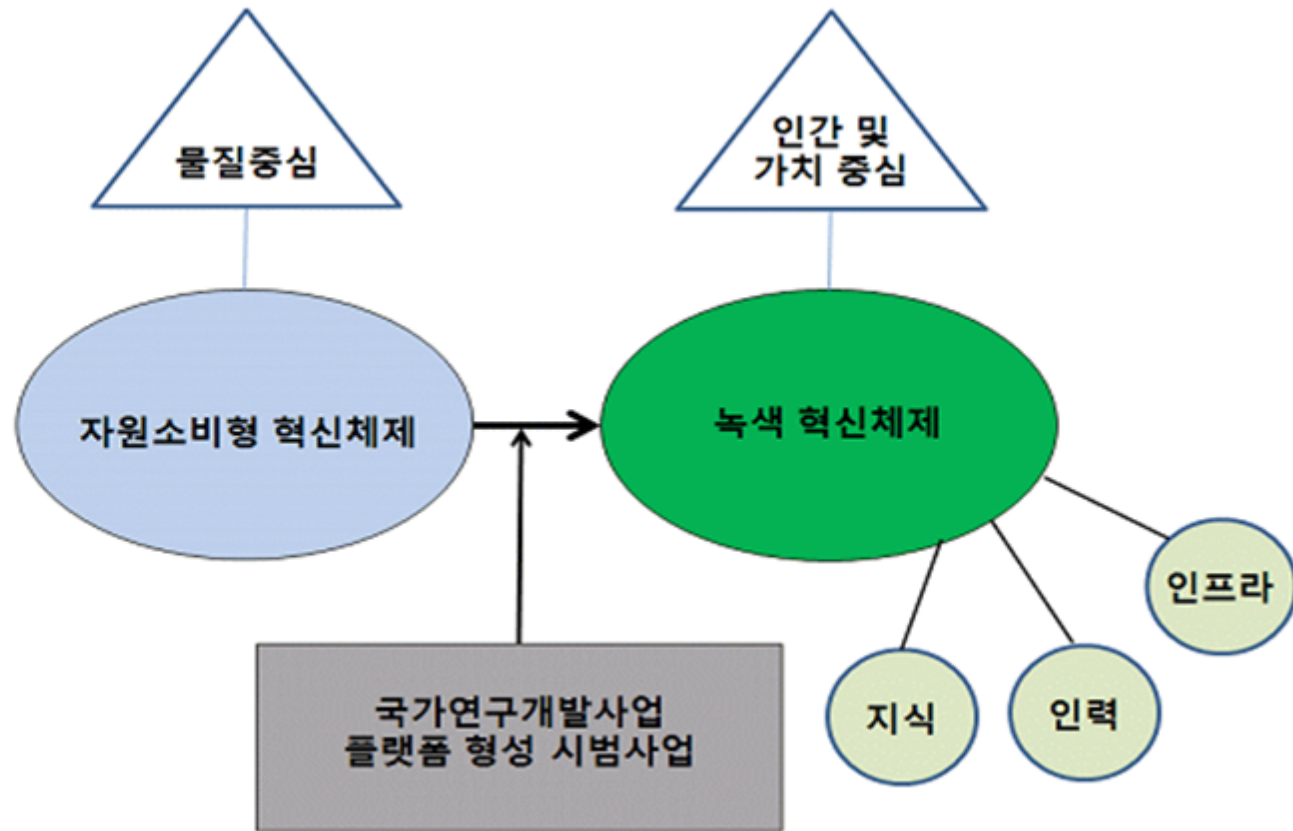


녹색혁신체제
(Green Innovation System)

□ 녹색혁신체제를 구축하기 위해서는 '시스템 전환'의 관점에서 접근하는 것이 필요

- 기존의 자원 다소비형 기술과 조직, 제도·시장으로 구성된 혁신체제는 새로운 시스템의 형성을 저지하려는 속성이 있음
- 이를 저항을 뚫고 녹색혁신체제를 구축하기 위해서는 기술과 혁신주체들의 조직과 네트워킹, 시장과 제도의 환경친화성을 강화시키면서 공진화(co-evolution) 할 수 있는 전략 구축이 필요
- 시스템 전환은 장기적 비전 하에 지속적으로 이루어지는 활동으로 소규모의 성공적인 실험을 확산시키고 학습함으로써 이루어질 수 있음
 - 새로운 기술-조직-제도를 형성하고 있는 니치(지역, 영역)를 개발하여 그것을 효과적으로 확산시
키는 '전략적 니치 관리(Strategic Niche Management)'가 필요
 - 이는 기술개발 만이 아니라 혁신주체, 사회적 수용과 관련된 제도와 시장이 공동 진화하는 과정임

- 이를 위해서는 “환경친화적 기술 - 혁신주체들의 기술개발 - 시장·제도”가 공진화될 수 있는 니치 영역을 발굴하여 실험을 추진
 - 특정 지역이나 영역에서 관련 산학연 혁신주체 - 지역사회가 협력하여 시범사업을 성공적으로 구현
 - Eco-city사업과 같은 지역개발사업이나 국가연구개발사업을 이런 실험의 장으로 활용
 - 다양한 혁신주체들이 혁신체제의 발전 비전과 구체적인 궤적을 협의하고 대안을 도출하는 플랫폼
 - (green platform) 구축은 사업의 지속성을 확보할 수 있는 좋은 수단이 될 수 있음
- ※예 : **네덜란드의 에너지 전환**(STePI 워킹페이퍼 참조)



주) 녹색혁신 체제에서는 지식, 인력, 인프라의 녹색화도 요구. 인력의 경우 기술에서 사업화까지 일관체제를 선도할 '융합형 기술 경영 전문가' 요구가 일례

2. 기술혁신 전주기 사이클 및 가치사슬에 녹색 전략 도입 (Green Innovation Cycle & Green Value-Chain)

- 미래기술예측 단계가 출발점
- 국가연구개발사업 기획 · 평가 · 사후관리
 - 조사 · 분석 · 평가활동의 녹색도(Degree of Greening) 개념 및 평가지표 도입
 - 매년 정부연구개발사업 중 Green R&D 투자도(%)를 지표로 발표
 - 일반 연구개발사업의 녹색도(Degree of Greening) 평가 방안 마련
 - 2009년도 시범사업 기획 추진
- 기업은 현재의 수익성보다는 미래의 성장 가능성에 주목
 - 비즈니스 모델의 친환경적 전환 : '녹색 컴퍼니'
 - 그린 제품기획에서 그린 마케팅까지
 - 원재료의 구매에서 폐기까지

■ 기술의 녹색도 개념 및 활용

□ 녹색도 개념 도입의 필요성

- 기술 녹색도 제고는 국민 삶의 질 향상에 필요
- 저탄소 사회 패러다임 하에서 기술 녹색도 제고는 경쟁력의 강화로 이어짐
- 기술 녹색도 제고가 미래 수익원
 - Green is green
- 기술녹색도 제고가 무역 환경장벽을 뚫는 터널
 - 예 : EU의 자동차 배출 오염물질 규제(Euro Ⅲ/IV)
- 기술녹색도 제고는 세계적 미래 추세인 탄소 및 환경비용 내부화의 대응책
- 기술 녹색도는 쟁점이 되는 주요 기술의 투자 우선 순위를 가르는 기준이 될 가능성([표 5]참조)

[표 4] 에너지 기술옵션을 둘러싼 쟁점의 예

기술옵션	쟁 점
•태양에너지	<ul style="list-style-type: none"> • 단가저감 • 에너지 효율 향상 • 단속적(intermittent) 전력생산 • 설치 확장에 따른 공간 확보(농지와의 경쟁 포함)
•풍력	<ul style="list-style-type: none"> • 단가저감 • 단속적(intermittent) 전력생산 보완 • 설치 확장에 따른 공간 확보(농지와의 경쟁 포함) • 미관 및 소음 문제
•바이오매스: 1세대 바이오 연료	<ul style="list-style-type: none"> • 식량 생산과의 경쟁 • 생태계 파괴(열대우림 등) • 물질 및 에너지 효율(물질 연쇄 이용 포함)
•탄소 포획·저장	<ul style="list-style-type: none"> • 탄소 저장의 기술적 어려움(수 km 지하 암반층) • 탄소 포획·저장의 경제성 • 탄소 누출 가능성
•수소	<ul style="list-style-type: none"> • 단가 저감 • 생산과정의 환경성 • 저장의 어려움(고압력 고비용) • 수소 연료 전지 수명

자료 : STEPI(유의선, 2008)에서 보완

□ 녹색도(Degree of Greening)의 정의

- 기술의 녹색도(Degree of Greening)는 기술이 얼마나 저탄소사회 패러다임에 장기적으로 정합적이며 사회적 지속가능성이 있는지를 비교하는 척도임
- 기술의 녹색도는 녹색 기술의 기초(순환, 평형, 저엔트로피, 적정규모 및 속도, 안전, 하이터치)를 반영하는 기술적, 경제적, 사회적/생태적 요소로 구성
 - 기술적 요소는 주로 환경 기술적 요소로 탄소배출 강도, 오염물질 배출강도 (NO_x, SO_x, PM, POPs, 중금속 등), 에너지 소비 강도, 물질 소비 강도, 엔트로피로 구성
 - 경제적 요소는 녹색경제도로 기술의 소요비용 + 탄소외부 비용 + 다른 오염물질 외부비용
 - ※ 우선 탄소 외부비용을 적용하고 단계적으로 다른 외부비용 적용 가능
 - 기술의 경제성은 환경 외부비용 반영시 달라질 수 있음
 - ※ 에너지 기술의 경우, 석탄 발전 단가는 3.7 ~ 6.2 센트/kwh 인데 탄소비용 포함시 5.6 ~ 8.7 센트/kwh 까지 상승하여 일부 풍력단가보다 경쟁력 하락
 - 사회적/생태적 요소는 사회적 지속 가능성과 생태계 간섭도

- 기술의 녹색도는 정량적 및 정성적 요소로 구성(표 5 참조)
 - 정량적 요소는 탄소배출 강도, 오염물질 배출강도, 에너지 소비 강도, 물질 소비강도, 엔트로피, 녹색경제도 임
 - 정성적 요소는 생태계 간섭도, 사회적 지속 가능성임
 - ※ 생태계 간섭도의 예 : 열대우림 파괴
 - ※ 사회적 지속가능성의 예 : 식량안보 위협
 - 정성적요소의 일부는 정량화 가능(예 : 열대우림 파괴면적)
 - 엔트로피는 정량적 요소이나 현실적으로 세부 정량화가 어려워 준정성적으로 판단 가능
 - ※ 예 : 기술 부산물 발생 여부와 처리 복잡성 및 위험성 여부 등을 판단

[표 5] 기술 녹색도의 구성요소

	기술적	경제적	사회적 / 생태적
정량적	<ul style="list-style-type: none"> ◇ 탄소 배출 강도 (C-Intensity) ◇ 오염물질 배출강도 (Pollutant-Intensity) ◇ 에너지 소비 강도 (Energy-Intensity) ◇ 물질 소비강도 (Material-Intensity) 	<ul style="list-style-type: none"> ◇ 녹색경제도 <ul style="list-style-type: none"> - 소요비용 - 탄소 외부비용 - 다른 오염물질 외부비용 	
준정량적/ 준정성적	<ul style="list-style-type: none"> ◇ 엔트로피(Entropy) 		<ul style="list-style-type: none"> ◇ 생태계 간섭도 (Disruption of Eco-system)
정성적			<ul style="list-style-type: none"> ◇ 사회적 지속 가능성(Social Sustainability)

주) 기술적 요소에 정량적 요소로 물질 및 에너지 매장량을 고려 가능

[표 6] 녹색경제도 비교 예시 : 에너지원별 전력단가

구분	석탄	가스	풍력	태양광	바이오매스	원자력	자료원/ 비교
단가 (US센트/KWh)	3.7~5.0 (pulverised) 4.4~5.6 (fluidized) 5.0~6.2 (IGCC)	4.4~5.6 (combined cycle)	4.4~13.7 (연안) 7.5~18.7 (해양)	17.8~53.6	3.1~10.6	5.0~5.6	a* (2005년 기준)
	4.7~4.8 (pulverized)	-	-	-	-	6.7~7.0(85% 가동률 기준)	b, c
탄소 비용** 포함 단가 (US센트/KWh)	5.6~7.5 (pulverised) 6.2~8.1 (fluidized) 6.9~8.7 (IGCC) 7.3~8.2	5.0~6.9	3.5~10.0 (연안) 5.0~15.0 (해양)	6.9~32.4	3.1~9.4	5.0~5.6	a (2030년 전망)
	(pulverized) (CCS 설치 또는 탄소세 부과시)	-	-	-	-	-	b
매장량	155년분	64년분	재생가능	재생가능	재생가능	85년분	a

자료원: a: EC(2007), b: MIT(2007), c: MIT(2003) ; STEPI(2008)에서 재인용

녹색도 공식

$$G_{\text{total}} \equiv G_{\text{정량적}} \& G_{\text{정성적}} \quad (1)$$

$$G_{\text{정량적}} \equiv \sum[\text{기술적}] + \sum[\text{녹색경제적}] + \sum[\text{사회적 / 생태적}] \quad (2)$$

$$G_{\text{정성적}} \equiv \sum[\text{기술적}] + \sum[\text{사회적 / 생태적}] \quad (3)$$

- 녹색도의 구성요소중 많은 부분이 이론적으로 경제적 화폐가치로 환산 가능
 - 특히 정량적 요소는 대부분 환산 가능
 - ※ 예 : 탄소 및 오염물질 배출 강도, 물질 및 에너지 소비강도 등
 - 정성적 요소의 일부도 환산가능
 - ※ 예 : 생태계 간섭도
 - 중장기적으로 녹색도 구성요소의 정량화 및 경제가치 환산 작업 필요

□ 활용

◦ 기본방향

- 우선 핵심 기술비교에서 단계적 많은 기술로 적용 확대
- 비교가 가능한 구성요소 적용으로부터 장기적 작업 필요한 구성요소의 적용으로 확대
- 정량적 구성요소에서 정성적 요소로 확대
- 정성적 요소도 정량화 노력

◦ 기존 환경에너지 기술 녹색도 점검

◦ 에너지기술의 경우 kwh 당 소요비용 외에 정량적 녹색도인 탄소배출 강도를 비교하며 엔트로피 비교

- 아울러 정성적 녹색도인 생태계 간섭도와 사회적 지속가능성을 비교

- 보완기술의 녹색도 점검
 - 일반기술과 보완기술의 비교(※ 예 : 일반 자동차 vs. 하이브리드 자동차)
 - 보완기술간 비교(※ 예 : 하이브리드 a vs. 하이브리드 b 기술)

- 대안기술의 녹색도 점검
 - 일반기술과 대안기술의 비교
(※ 예 : PVC 기술 vs. 바이오 기반 물질(Bio-based material) 기술)
 - 대안기술간의 비교(※ 예 : 1세대 vs. 2세대 바이오 연료 기술)

- 연성적 해결책의 녹색도 점검
 - 일반기술과 연성적 해결책 비교
(※ 예 : 에너지 공급 기술 vs. 에너지 수요 최적관리 방안)
 - 연성적 해결책의 녹색도 점검과 그 효용 분석은 전체 사회경제 맥락에서 수행되어 어렵지만 장기적으로 중요

3. 녹색기술 연구개발 전략의 설계

□ 장기적 녹색도 반영 R&D 전략

- 녹색도(사회경제적 지속가능성 포함)를 고려한 R&D 우선순위 설정
 - 녹색도 고려는 기술의 장기적 지속 가능성의 반영
 - 전생애주기(Life Cycle) 상에서의 기술 녹색도를 고려한 R&D 우선순위 설정
- 대안기술 및 연성적 해결책 범주의 녹색기술 R&D 포트폴리오의 강화
 - 중장기적으로 기존 환경·에너지 기술 및 환경성 보완 기술에서 대안기술 및 연성적 해결책의 R&D로 투자 확대

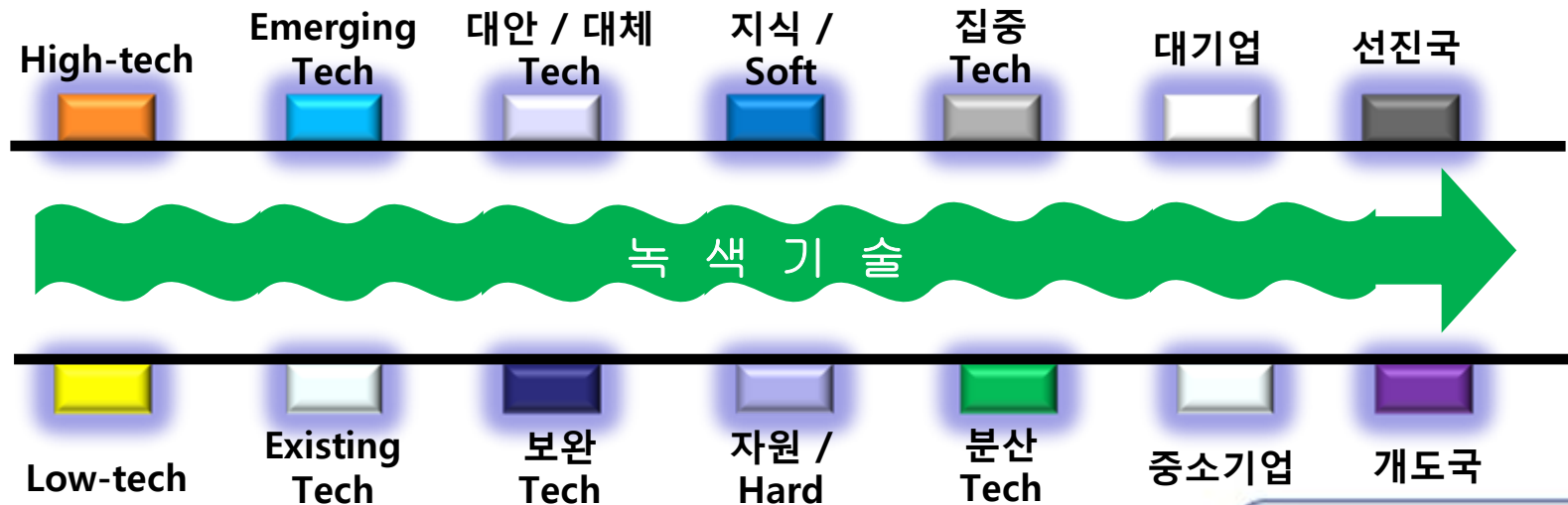


[그림 7] 녹색기술의 발전 방향

- 장기적 지속가능성 잠재력이 큰 저엔트로피(Low-Entropy Tech)의 R&D 강화
 - 고효율 태양광 모듈 등 태양에너지 R&D, 2세대 바이오 연료 R&D, 해양 풍력기술 등 풍력 R&D, 에너지 저장 기술(단속에너지원 보완)
- 녹색 Low-Tech의 진작 R&D 강화
 - 신기술과의 융합 촉진 등
- 녹색기술-정책 연결 연구 강화
 - 저탄소 실현 사회경제적 시스템 및 패턴 개혁 정책연구
 - '기술개발'과 '확산정책'의 최상의 혼합공식을 마련하기 위한 연구
- 녹색기술 기반지식 향상 연구 강화
 - 기후변화 예측 및 적응 연구
 - 녹색기술 지식 흐름 활성화 연구(※ 예 : 녹색기술 지식은행)

□ 녹색도와 다양한 양독/양극 고려 R&D 전략

- 기술 녹색도와 다양한 양극 고려 포트폴리오를 반영한 장기 R&D 시나리오 정립
 - 기술 녹색도와 집중-분산 Tech, 기존-신기술, High-Low Tech, 대-중소기업, 선진국-개도국 협력 등 다양한 양극을 고려하여 R&D 포트폴리오 구성
 - 녹색도 포트폴리오를 기초로 단중장기 녹색기술 R&D 시나리오 창출
 - 기술녹색도 세부 구성요소별로 포트폴리오 세부화



[그림 8] 녹색기술이 흐르는 양독 / 양극

□ R&D 전략 관련 중점 고려사항

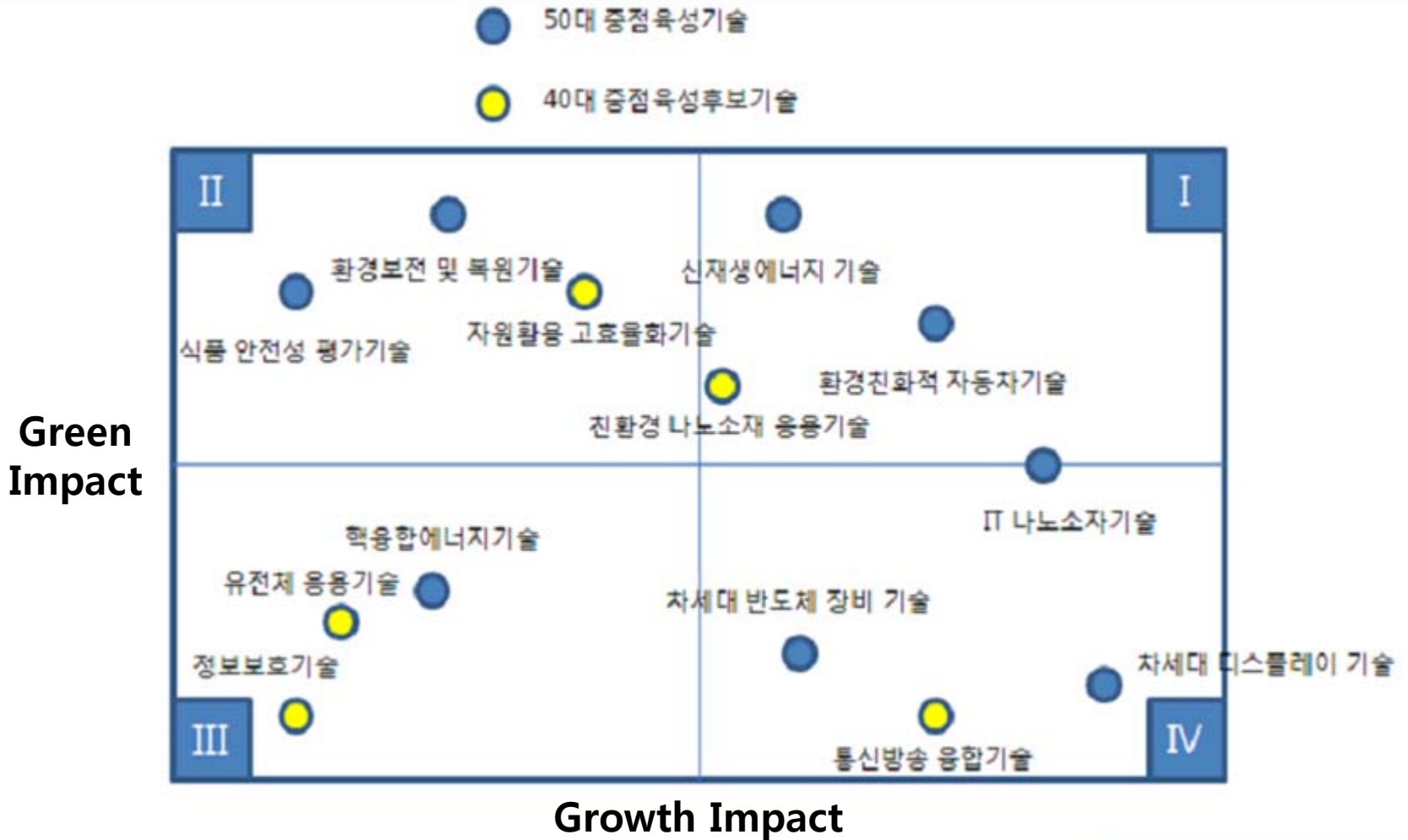
- 다양한 측면(기준)을 고려한 녹색기술개발 자원배분 방안
- 기업, 대학, 출연(연)의 역할 분담 및 R&D 추진 방안
- Open Innovation System 구축 방안
- 녹색기술 친화적 시장, 제도 설계
- ∴



녹색기술개발을 위한 국가연구개발사업 추진체계 개선
(기획, 평가, 사후관리 등)

- 577 과학기술기본계획 상의 중점육성기술의 “녹색성장” 척도에 따른 분류
 - 분류 대상 : 577 과학기술기본계획 상의 90개 중점육성기술(50개 중점육성기술 + 40개 중점육성후보기술) 중 주요 과학기술
 - 분류 기준
 - ‘녹색성장’ 키워드와 관련한 ‘녹색기술’의 정의는 기후변화대응기술, 에너지자원 확보 및 활용기술, 환경보호기술 등을 포함하고 있음
 - 따라서 ‘녹색’과 관련한 위의 기준을 적용할 때 중점육성기술이 목표하고 있는 개발 목표가 기준에 부합할 때 green impact로 큰 것으로 가정
 - 한편, 중점육성기술의 개발 목표가 가지는 시장 파급효과 및 성장잠재력이 클수록 growth impact가 큰 것으로 가정
 - 두 기준에 따라 2×2 matrix 상에 중점육성기술들의 포지션이 결정되게 되고 이에 따라 차별화된 연구개발전략을 수립할 수 있음

IV. 제 언



[그림 9] 녹색성장과 중점과학기술과의 관계(예시)

□ 분류에 의한 연구개발추진전략



[그림 10] 녹색성장 관점에서의 연구개발추진전략

◦ Area I : 친환경기술의 조기 제품화

- green impact가 크고 산업성장 가능성이 높은 기술군에 대해서는 친환경 기술이 조기 제품화될 수 있도록 집중적인 자원 투입에 의한 연구개발추진 필요함
- 특히 이 영역에서의 기술개발은 경쟁국도 동시에 진행할 가능성이 높으므로 기술의 조기 제품화에 의한 상용화 추진이 요구되며, 이를 통한 시장 진입을 앞당겨 관련 분야의 시장지배력을 강화시키는 것이 필요함
- 또한 관련 제품의 시장 진입을 위한 제반 제도적 환경도 우호적으로 만들어 주는 것이 필요함

- Area II : 선택적 성장동력화 추진

- green impact가 크지만 산업성장 가능성이 크지 않은 기술군은 기술의 공공성이 강한 특성을 가지고 있으므로, 이 분야의 기술군에 대해서는 시장실패를 보완할 수 있는 정책적 지원과 더불어 상용화 가능성이 높은 기술에 대해서는 선택적으로 성장동력화를 추진하는 것이 필요함
- 특히 이 영역에서의 기술개발은 글로벌 아젠다로 부상할 가능성이 높으므로 국제협력에 의한 연구개발을 꾸준히 추진하도록 하며, 시장 창출 가능성이 높은 기술들에 대해서는 원천기술 확보에 주력하는 것이 필요함

- Area III : 탐색적 친환경 융합기술 개발
 - green impact가 크지 않고 가까운 시간 내에 급격한 산업성장성이 높지 않은 기술군에 대해서는 여타 친환경 기술과의 융합기술 개발을 촉진시키고 이들의 산업적 응용성을 탐색할 수 있는 모험적 과제의 발굴이 필요함
 - 특히 이 분야 기술들의 green impact를 높이기 위해서는 동 기술군에서의 친환경기술로의 기술적 파급효과를 극대화시켜 활용 정도를 높이는 것이 요구됨
 - 또한 관련 산업의 성장성을 높이기 위해서는 공공섹터에서의 연구개발 성과를 자본화하여 시장에서의 활용 가능성을 높이는 것이 필요함

◦ Area IV : Imbedded green technology 개발

- green impact는 크지 않으나 가까운 시간 내에 높은 산업성장성을 보일 것으로 예견되는 기술군에 대해서는 상용화 제품의 연구개발, 제조에서 시장 진입까지 다양한 단계에서 친환경성을 가질 수 있는 green technology를 접목시키는 것이 필요함
- 동 분야의 기술군은 대부분 뚜렷한 제품화 목표를 가지고 있기 때문에 제품의 기능 구현 시 친환경성, 저에너지소비 등을 강조할 수 있는 green technology의 개발 및 접목이 필요하며, 제품의 제조 공정 개발에 있어서도 환경오염이나 피해를 최소화할 수 있고 에너지소비를 줄일 수 있는 green technology의 개발 및 접목이 요구됨

□ 녹색기술 연구개발투자 규모 (경제사회목적 기준)

구 분	2005년		2006년		2007년		증감	
	금액	비중(%)	금액(A)	비중(%)	금액(B)	비중(%)	B-A	%
환경보전	3,218	4.1	2,535	2.9	2,647	2.8	113	4.4
에너지의 생산, 배분 및 합리적 이용	6,507	8.4	6,939	7.9	8,551	8.9	1,612	23.2
지구개발 및 탐사	1,242	1.6	1,726	2.0	1,782	1.9	56	3.3
건강증진 및 보건	6,992	9.0	7,256	8.3	8,017	8.4	761	10.5
사회구조 및 관계	3,024	3.9	2,274	2.6	1,901	2.0	△373	△16.4
농업생산 및 기술	5,073	6.5	5,608	6.4	5,482	5.7	△126	△2.3
산업생산 및 기술	26,076	33.5	30,024	34.3	32,211	33.6	2,187	7.3
하부구조 및 토지의 계획적 사용	856	1.1	1,037	1.2	1,463	1.5	426	41.1
우주개발 및 탐사	2,392	3.1	3,075	3.5	2,767	2.9	△308	△10.0
비목적 연구	3,812	4.9	4,354	5.0	4,030	4.2	△324	△7.4
국 방	9,676	12.4	10,239	11.7	12,734	13.3	2,495	24.4
기 타	9,036	11.6	12,574	14.3	14,160	14.8	1,586	12.6
합 계	77,904	100.0	87,639	100.0	95,745	100.0	8,106	9.2

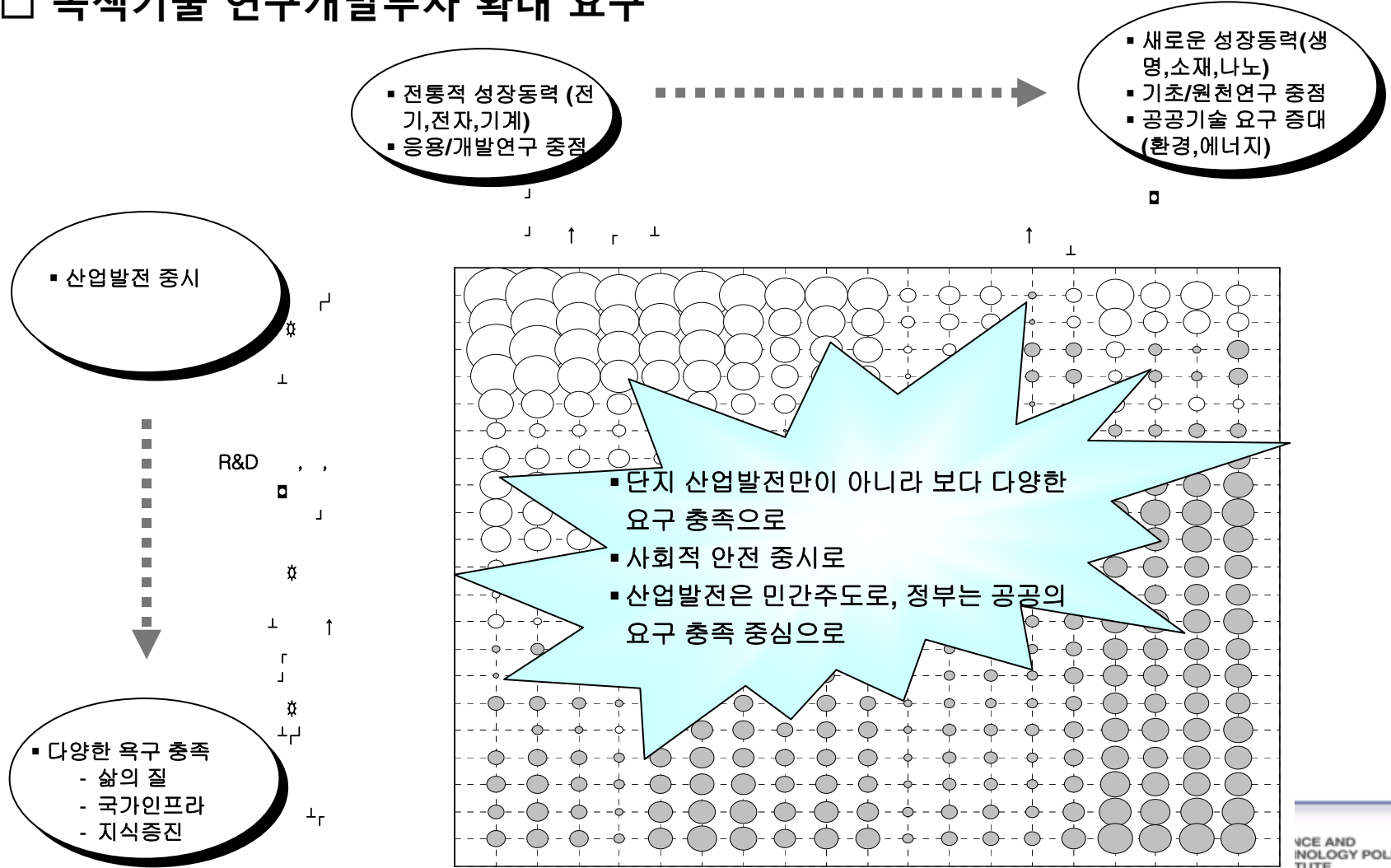
자료: 2007년도 국가연구개발사업 조사·분석 보고서

- 녹색기술 연구개발투자 규모 (6T 신기술별 투자 기준, ET의 범주)
 - 환경기반(대기오염물질, 자연환경오염토양·지하수의 정화·복원기술 등)
 - 에너지(에너지소재기술, 미활용 에너지 이용기술 등)
 - 청정생산(청정원천공공기술, 환경친화형 소재 개발기술 등)
 - 해양환경(해양환경 관련기술, 연안생태계 복원기술 등)

6T	2005년		2006년		2007년		증감	
	금액	비중(%)	금액(A)	비중(%)	금액(B)	비중(%)	B-A	%
IT	14,748	20.4	16,260	20.2	19,079	21.8	2,818	17.3
BT	10,967	15.2	13,019	16.2	15,063	17.2	2,044	15.7
NT	3,191	4.4	3,432	4.3	4,186	4.8	754	22.0
ST	4,270	5.9	6,745	8.4	5,960	6.8	△785	△11.
ET	6,842	9.5	9,440	11.7	10,817	12.3	1,377	14.6
CT	541	0.7	483	0.6	623	0.7	140	29.0
소계	40,560	56.2	49,380	61.4	55,727	63.5	6,348	12.9
기타	31,658	43.8	31,013	38.6	31,977	36.5	964	3.1
합계	72,218	100.0	80,393	100.0	87,704	100.0	7,311	9.1

자료: 2007년도 국가연구개발사업 조사·분석 보고서

□ 녹색기술 연구개발투자 확대 요구



□ 녹색기술관련 기초 연구 투자 확대

- 핵심 녹색기술을 선점한 선진국과 경쟁하기 위해 한계 돌파형 기술확보의 필요성 강조
- 기존기술의 한계를 돌파하기 위한 미래 원천 핵심기술의 개발을 위해 기초연구에 대한 투자 강화 요구
- 기후변화 관련 연구개발단계 투자 분포를 보면 '06년 기준 기초연구 비중은 8.7%에 불과 (KISTEP R&D focus 2007.11)

(억원, %)

연구개발단계	IT	BT	NT	ST	ET	CT	합계
기초연구	1,530 (8.3)	5,720 (39.6)	1,581 (41.5)	281 (4.8)	2,495 (23.9)	53 (10.0)	11,660 (21.8)
응용연구	3,499 (19.0)	4,928 (34.2)	954 (25.1)	865 (14.8)	2,804 (26.8)	164 (30.7)	13,214 (24.7)
개발연구	13,361 (72.7)	3,781 (26.2)	1,271 (33.4)	4,689 (80.4)	5,154 (49.3)	317 (59.3)	28,573 (53.5)
기타	688	634	381	125	364	88	2,280
합계	19,079 (100.0)	15,063 (100.0)	4,186 (100.0)	5,960 (100.0)	10,817 (100.0)	623 (100.0)	55,727 (100.0)

자료: '2007 국가연구개발사업
조사·분석 보고서

감사합니다