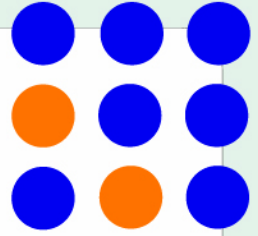


2/0/0/7

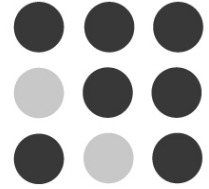


:: www.stepi.re.kr ::

정책자료 2007-24

# 지속가능발전에 기여하는 과학기술의 역량평가 지표 틀 탐색

유익선



정책자료 2007-24

# 지속가능발전에 기여하는 과학기술의 역량평가 지표 틀 탐색

Searching for an indicator framework to evaluate the capability  
of science & technology contributing to sustainable development

유익선

## 서 언

올해 노벨평화상은 국가간 기후변화 협의체 IPCC가 공동 수상하였다. 지구 온난화의 심각한 위협을 알린 공로가 인정된 것이다. 갈수록 더워지는 지구 기온으로 인해 지구촌 곳곳에서 자연재해가 빈발하고 피해규모도 커지고 있다. 최근 멕시코에서의 수해와 미국 캘리포니아의 대화재도 지구 기후변화와 무관한 것은 아닌 듯싶다. 이미 기후변화로 인해 한 곳에서는 물난리를 겪고 다른 한 곳에서는 건조지대가 늘어나는 극단화 현상이 예고된 바 있다. 기후변화의 가속화로 경제성장과 환경보전의 동시 충족이라는 딜레마를 어떻게 풀 것인가가 점점 더 중요해지고 있다.

인류 역사 이래로 계속된 빈곤의 문제도 여전히 지구촌의 발목을 잡고 있다. 하루 1-2달러로 연명하는 사람들이 전 세계 인구의 절반에 육박하는 현실이다. 최빈국의 GDP는 더 떨어지고 있다. 선진국 내에서도 빈부격차가 커지고 있으며, 우리나라에서도 고용과 분배의 양극화 현상이 나타나고 있다.

지속가능발전의 비전은 쾌적하고 안전한 환경아래 빈곤에서 탈피한 사회를 꿈꾼다. 사람간의 불평등 종식, 인간 공동체의 재생, 문화적 다양성의 발현, 폭력의 해소 등이 희망된다. 경제도 지속가능성이 강조된다. 사회와 환경을 고려한 속도와 규모에서의 성장이 지향된다. 물질적 가치에서 정신적 가치로의 이동도 주목된다.

지속가능발전의 이상을 충족시키는 것이 쉬운 일은 아니다. 지속가능발전을 위해서는 과학기술의 힘이 크게 요구된다. 과학기술은 지속가능발전의 도전자 실현의 지렛대인 셈이다. 하지만 지속가능발전과 과학기술을 연계시키는 연구가 국내외적으로 적었던 것이 사실이다. 이런 맥락에서 본 연구가 탐색적이지만 지속가능발전과 과학기술의 관계를 살펴보고, 지속가능발전에 기여하는 과학기술의 역량 평가 지표를 제시한 것은 의의가 있다. 이 결과가 앞으로 우리나라의 지속가능발전을 위하여 널리 활용되길 바란다. 끝으로 이 연구가

결실을 맺는 데 도움을 아끼지 않은 연구원 내외의 여러분에게 감사의 마음을 전한다.

2007년 10월  
과학기술정책연구원  
원 장 정 성 철

# | 목 차 |

## 요 약

제1장 서론 .....	23
제2장 지속가능발전과 과학기술의 관계 .....	29
제1절 지속가능발전의 개념과 특징 .....	29
제2절 지구 자연 및 사회경제 환경 변화와 지속가능발전 이슈 .....	35
제3절 지속가능발전 기여 과학기술의 궤도 .....	53
제3장 지속가능발전에 기여하는 과학기술의 지표 틀 .....	73
제1절 국내외 지속가능발전 지표 분석 .....	73
제2절 지속가능발전 기여 과학기술의 지표 틀 탐색 .....	92
제3절 정책적 시사점 .....	130
참고문헌 .....	133
부록 .....	137
A. 선진국의 지속가능발전 헤드라인 지표 .....	137
B. UN의 지속가능발전 테마와 지표의 연관도 .....	143
C. 지표 배합 적절성 점검 매트릭스 예 .....	145
D. 과학기술의 역량요소의 다양한 매트릭스 .....	146
E. 지속가능발전 기여 과학기술의 세부 내용 .....	147

## | 표 목차 |

〈표 2-1〉 지속가능발전의 주요 측면 .....	29
〈표 2-2〉 환경성 개선의 편익 .....	32
〈표 2-3〉 지구 환경, 사회경제 환경, 기술 분야의 초점 영역 .....	35
〈표 2-4〉 세계 인구 증가 예측 .....	36
〈표 2-5〉 기후변화에 의한 지구 재난 예측 .....	37
〈표 2-6〉 세계 에너지 수요 예측 .....	40
〈표 2-7〉 세계 석유생산 정점시기 예측 .....	41
〈표 2-8〉 세계 물부족 인구 예측 .....	42
〈표 2-9〉 우리나라의 향후 15년간 물 부족 예측량 .....	42
〈표 2-10〉 BRICs 경제규모 예측 .....	43
〈표 2-11〉 중국 경제규모 예측 .....	43
〈표 2-12〉 청정 에너지 시장 예측 .....	45
〈표 2-13〉 수소 자동차 시장 예측 .....	46
〈표 2-14〉 나노기술의 세계 및 국내 시장규모 예측 .....	47
〈표 2-15〉 지구에 대한 충격을 좌우하는 3요소 .....	55
〈표 2-16〉 사회경제에 대한 충격을 좌우하는 3요소 .....	55
〈표 2-17〉 과학기술 성격의 변수 .....	59
〈표 2-18〉 IT, BT, NT 기술의 정보·지식화 기여 .....	61
〈표 2-19〉 연성적 해법으로의 패러다임 변화(Paradigm shift) :	
물 관리를 중심으로 .....	65
〈표 3-1〉 독일의 지속가능발전 헤드라인 지표 .....	75
〈표 3-2〉 선진국의 지속가능발전 헤드라인 지표의 공통부분 .....	77
〈표 3-3〉 UN의 사회 분야의 지속가능발전 헤드라인 지표 -	
2001년 버전 .....	79
〈표 3-4〉 UN의 환경 분야의 지속가능발전 헤드라인 지표 -	
2001년 버전 .....	80

〈표 3-5〉 UN의 경제 분야의 지속가능발전 헤드라인 지표 - 2001년 버전 .....	81
〈표 3-6〉 UN의 제도 분야의 지속가능발전 헤드라인 지표 - 2001년 버전 .....	82
〈표 3-7〉 UN의 지속가능발전 14 테마 - 2007년 버전 .....	83
〈표 3-8〉 잠재적인 분리 지표 .....	85
〈표 3-9〉 분리 지표 비율 .....	87
〈표 3-10〉 우리나라의 국가 지속가능발전 지표안 .....	90
〈표 3-11〉 우리나라에 특수하고 중요한 지속가능발전 이슈 .....	93
〈표 3-12〉 경제 패러다임에 따른 인프라 사업의 변화 .....	95
〈표 3-13〉 집과 일터의 개념 변화 .....	100
〈표 3-14〉 지표 항목 선정 기준 .....	108
〈표 3-15〉 지속가능발전 비전과 연관 이슈 .....	110
〈표 3-16〉 본고의 지속가능발전 이슈와 다른 지속가능발전 지표 테마의 연계성 .....	112
〈표 3-17〉 국제 외교 관점에서 본 세계 이슈 .....	114
〈표 3-18〉 지속가능발전과 과학기술의 연결 과정 .....	114
〈표 3-19〉 지속가능발전 이슈 해결 과학기술의 역량 요소 .....	121
〈표 3-20〉 GDP 대비 국가 총 R&D 투자 vs. 지속가능발전 기여 R&D 투자 지표 .....	123
〈표 3-21〉 지속가능발전 기여 과학기술과 역량평가 지표 .....	123
〈표 3-22〉 DI-통합 전략 (Integration Strategy) .....	132

## 부 록

〈표 A-1〉 프랑스의 지속가능발전 헤드라인 지표 .....	137
〈표 A-2〉 영국의 지속가능발전 헤드라인 지표 .....	139
〈표 A-3〉 덴마크의 지속가능발전 헤드라인 지표 .....	140
〈표 A-4〉 스웨덴의 지속가능발전 헤드라인 지표 .....	141
〈표 A-5〉 캐나다의 지속가능발전 헤드라인 지표 .....	143
〈표 B-1〉 UN의 지속가능발전 테마와 지표 연관 매트릭스 .....	143
〈표 C-1〉 지속가능발전 테마 및 지표 구분 매트릭스 틀 예시 .....	145
〈표 D-1〉 역량요소 매트릭스1 - R&D 투입, 과정, 산출, 기반 .....	146

<표 D-2> 역량요소 매트릭스2 - R&D 생애주기 .....	146
<표 D-3> 역량요소 매트릭스3 - 혁신 투입, 산출, 배경(context) .....	146
<표 D-4> 역량요소 매트릭스4 - 지식흐름 .....	146
<표 D-5> 역량요소 매트릭스5 - 기술혁신 역량 .....	147
<표 D-6> 역량요소 매트릭스6 - 과학기술의 3요소 .....	147
<표 E-1> 기후변화 적응 및 대응 과학기술의 세부내용별 역량 요소 .....	150
<표 E-2> 신기술의 지속가능발전에 대한 영향: IT를 예로 .....	159

## | 그림 목차 |

[그림 1-1] 고소득국과 저소득국의 1980-2000년 1인당 평균 GDP 추이(US 달러) .....	24
[그림 1-2] 지속가능발전에 기여하는 과학기술 .....	26
[그림 1-3] 본고의 논리 및 흐름 .....	27
[그림 2-1] 지속가능발전의 비전 .....	30
[그림 2-2] 2050년대의 기후변화 충격 세계지도: 현재와 같은 사회경제가 유지되는 경우 숲 감소, 해수면 상승, 곡물 수확량 감소, 물 분쟁, 태풍의 빈도/강도 증가, 질병위험 증가, 주요 어류 감소의 지역 표시 .....	38
[그림 2-3] 산업경제 패러다임의 과학기술과 지속가능발전 패러다임의 과학기술 비교 .....	56
[그림 2-4] Low-, Medium-, High-tech의 발전속도 및 영향력 포트폴리오 .....	59
[그림 2-5] 지속가능발전 기여 과학기술의 기초 .....	67
[그림 2-6] 물질·에너지의 순환 예(Mass-Energy Closed Circulations): 지역공동체와 농업(소, 유채)의 공급 사슬 관리(Supply Chain Management) .....	68
[그림 3-1] 경제 분야 테마의 갈래 .....	81
[그림 3-2] 1980-1998년 사이의 OECD 국가의 GDP 대비 에너지사용으로부터의 SOx 배출(1980년을 100으로 기준) .....	87
[그림 3-3] 1980-1999년 사이의 OECD 국가의 전력생산에 따른 이산화탄소 배출 강도 .....	88
[그림 3-4] 공공 분야의 국가 사회경제에서의 역할 .....	97
[그림 3-5] 개인과 지역 수준의 지속가능발전 니즈의 연관관계 .....	102

[그림 3-6] 지역과 국가 수준의 지속가능발전 니즈의 연관관계 .....	102
[그림 3-7] 지속가능발전이 추구하는 가치 .....	103
[그림 3-8] 기후변화/온실가스와 연계된 영역 .....	106
[그림 3-9] 일본의 환경영향 총액의 구성 .....	111
[그림 3-10] 지속가능발전의 핵심경로와 지식 관계 종합 .....	115
[그림 3-11] 유럽연합의 혁신 지표: 2007년에서 2012년으로의 개선의 예 .....	116
[그림 3-12] 지속가능발전 핵심 경로의 삼각구조와 매개변수 (지식 및 예방) .....	117
[그림 3-13] 지속가능발전 기여 측면에서의 GDP 대비 R&D 투자의 분기 .....	122
[그림 3-14] 지속가능발전과 연계된 사회 패러다임 .....	130

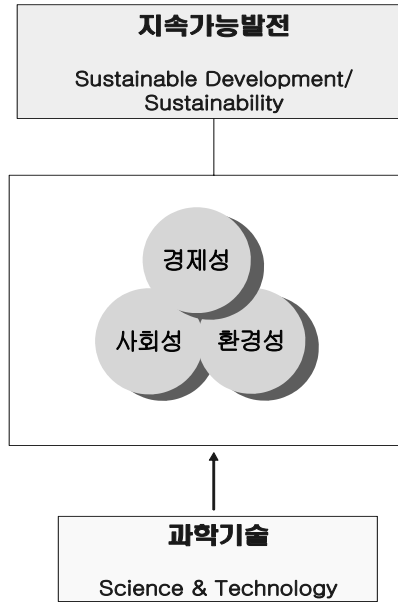
## 요 약

### 제1장 서론

- 20세기 후반의 경제성장이 인류의 주요 문제를 해결하지 못함
  - 빈곤을 줄이는데 기여했으나 근본적인 해소는 실현하지 못함
  - 상위 선진국과 최빈국의 격차는 더 커짐
  - 선진국에서 자원 및 에너지 효율은 상승하였지만, 경제 성장과 환경 부하가 연동되는 구도는 계속
  - 21세기 전반에 개도국을 중심으로 큰 폭의 인구증가와 그에 따른 대량 소비증가 예상
- 세계화로 대표되는 오늘날의 자본주의 경제 하에서 환경성·사회성·경제성이 통합되는 지속가능발전(Sustainable Development)에 대한 요구가 점차 커짐
  - 평범한 일반 시민들의 삶의 질에 대한 요구 증대와도 맞물림
  - 우리 후손들이 누려야 할 이 지구상에서의 풍요롭고 행복한 삶에 대한 배려
- 기존의 국내외 지속가능발전 평가에서 과학기술 측면은 간과되거나 일부분에 그쳐 심층적 진단 및 분석이 미흡
- 본고는 우리의 과학기술이 지속가능발전에 이바지하도록, 과학기술의 지속가능발전 기여 역량을 평가하는 지표와 틀을 탐색
  - 지속가능발전과 과학기술의 연결을 체계적이고 논리적으로 수행하는 데 큰 의의를 두었음
  - 그러한 논리적 토대 위에 지속가능발전 이슈, 특히 우리나라의 이슈를 해결하기 위해서 어떤 기술들의 내용이 필요한지 드러냈으며, 그 기술들의 역량평가 지표를 제시

- 그 기술들의 주요 세부기술은 시안적으로 소개

[그림] 지속가능발전에 기여하는 과학기술



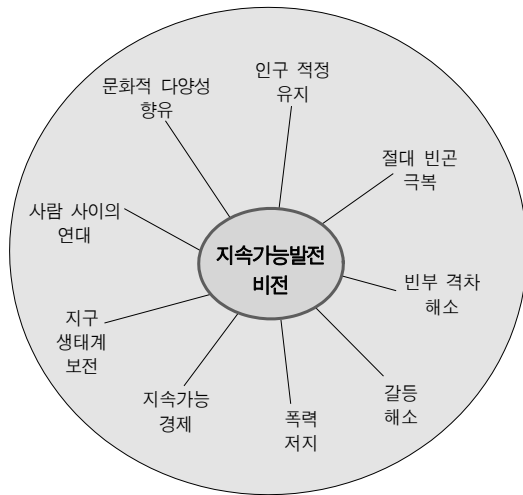
## 제2장 지속가능발전과 과학기술의 관계

### □ 지속가능발전의 개념

- 세계환경개발위원회의 1987년 브룬트란트 보고서는 지속가능발전을 ‘미래 세대의 필요를 충족시킬 능력을 저해하지 않으면서 현 세대의 필요를 충족시키는 것’이라 정의
  - 미래 세대에 대한 배려의 기저에는 ‘유한’한 세계에서 ‘무한’한 성장은 불가능하며, 현 경제 모델이 물리적, 생태적 한계를 갖고 있다는 인식이 깔려 있음
- 지속가능발전 개념에서 주의할 것은 ‘발전’은 ‘성장’과 다르다는 것임
  - 양적 성장이 발전의 기초가 될 수 있지만, 때로는 과도한 양적 성장이

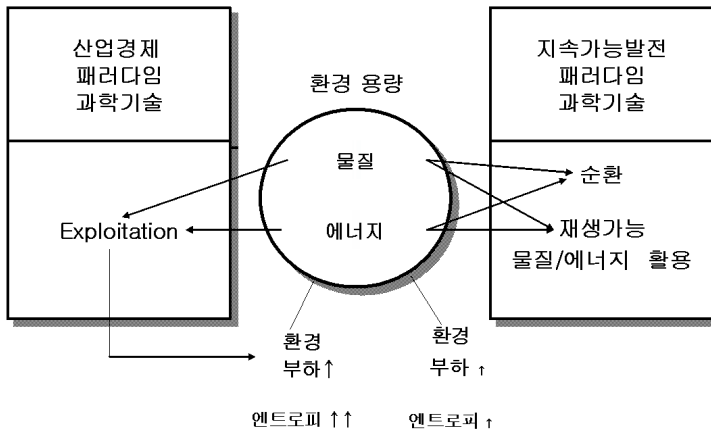
- 삶과 경제의 기반 자체를 훼손할 수 있음
- 발전은 양적 증가 없이도 질적인 향상으로 가능함을 지속가능발전은 주목
- 지속가능발전 비전은 인구의 적정 유지를 기초로 절대 빈곤 극복 및 빈부 격차 해소, 갈등 해소 및 폭력 저지, 지속가능경제의 구가, 지구생태계 보전이 이루어지는 것임
- 사람 사이의 연대와 다양한 문화의 개화도 희망

[그림] 지속가능발전의 비전



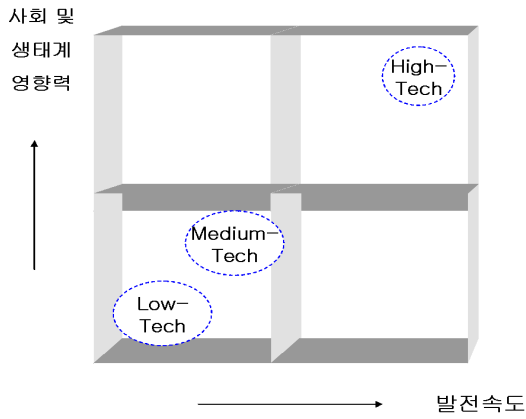
- 과학기술의 양면성
- 산업경제의 기본적 패러다임은 자원을 최대한 채취·이용(exploitation)하여 생산을 늘리고 이익을 극대화하는 것이었음
- 과학기술의 역할도 이러한 패러다임에 봉사하는 것에 맞춰졌음
- 물질과 에너지의 최대한 이용은 막대한 환경부하를 초래하고 엔트로피도 빠르게 증가시킴

[그림] 산업경제 패러다임의 과학기술과 지속가능발전 패러다임의 과학기술 비교



- 지속가능발전 패러다임의 과학기술은 자원 순환이나 재생가능 자원의 활용 등을 통해 환경부하를 줄이고 엔트로피 증가를 억제
  - 지속가능발전과 지식기반 경제의 접점도 부각
  - ‘자원 이용 강도가 높은(Resource-intensive) 패러다임’에서 ‘지식 강도가 높은(Knowledge-intensive) 패러다임’으로의 전환이 요구되기 때문
- 응용·개발되는 과학기술의 분야, 그 과학기술의 발전 단계, 과학기술의 난이도에 따라 사회와 생태계의 영향이 달라짐
  - 예를 들어 BT, IT, 기계공학 같은 세부 분야에 따라 그 충력이 달라짐
  - 과학기술의 진화 S-곡선에 따른 도입기, 도약기, 성장기, 성숙기의 발전단계도 영향의 변수임
  - 기술의 난이도 즉, High-Tech(고도/첨단 기술), Medium-Tech(중간 기술), Low-Tech(저수준 기술)도 영향의 크기를 좌우
  - 일반적으로 하이테크일수록 진보 속도가 빠르고 인간 및 생태계에 대한 영향이 큼

[그림] Low-, Medium-, High-tech의 발전 속도 및 영향력 포트폴리오

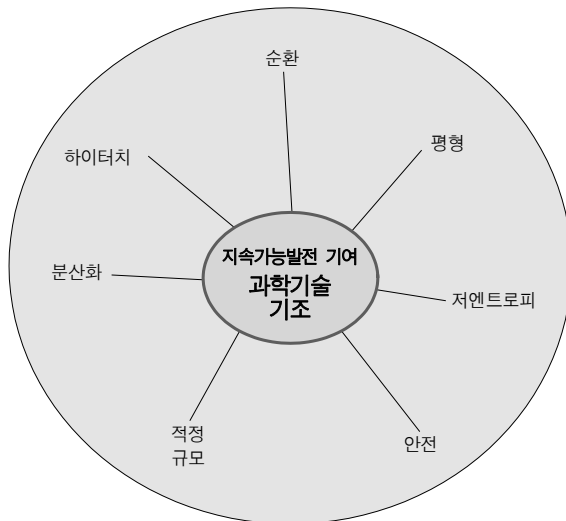


□ 지속가능발전 기여 과학기술의 기초

○ 환경적 측면의 지속가능발전 기여 과학기술의 기초

- 장구한 역사를 통해서 생명력을 유지해 온 대자연이 지속가능성의 대표적 예임
- 지속가능발전 기여 과학기술의 기초는 자연 원리를 모방하는 데서 출발

[그림] 지속가능발전 기여 과학기술의 기초



- 사회경제적 측면에서의 지속가능발전 기여 과학기술의 기조도 환경적 측면에서의 그것을 거의 원용할 수 있음
  - 사회경제적 순환, 평형, 저엔트로피, 안전, 적정 규모와 속도, 충족성 등 모두 유효

### 제3장 지속가능발전에 기여하는 과학기술의 지표 틀

#### 제1절 국내외 지속가능발전 지표 분석

##### □ 선진국의 지표

- 지속가능발전 주요 지표로 선진국에서는 공통으로 온실가스배출량, 1인당 GDP, 폐기물 배출량, 생물다양성, 기대여명, 에너지 사용량, ODA(공적개발지원자금), 고용률, 대기질, GDP 대비 총 투자 및 사회투자, 범죄, 화학물질을 선정

〈표〉 선진국의 지속가능발전 헤드라인 지표의 공통부분

구 분	독 일	프 랑 스	영 국	덴 마 크	스 웨 덴
1. 온실가스 배출량	온실가스 배출량 (6대 온실가스)	온실가스 배출량	온실가스 배출량	온실가스 배출량	온실가스 배출량 (이산화탄소)
2. 1인당 GDP	-	1인당 GDP 성장률	1인당 GDP	1인당 GDP	-
3. 폐기물 배출량	-	도시폐기물	폐기물 배출량	CO <sub>2</sub> 등가물당 부문별 폐기물 발생량	폐기되는 원료량
4. 생물다양성	총 지수	일반 조류개체 분포지수	야생조류 개체 수	-	주요서식지 생물 수
5. 기대여명	건강기대여명	건강기대여명	건강기대여명	평균 수명	-
6. 에너지 사용량	-	교통, 수송 부문	-	GDP대비 에너지소비	에너지이용
7. ODA	GDP 대비 공적원조 비율	ODA	-	GNI 대비 지원금 비율	-
8. 고용률	고용률	-	노동가능인구 중 취업자 비율	연령별 고용률	-
9. 대기질	대기오염 물질 지표	-	대기오염 기준 초과 날 수	-	도시 대기 중 벤젠 수준
10. GDP 대비 총 투자 및 사회투자	GDP 대비 총 투자비율	-	GDP 대비 총 투자 및 사회투자	-	-
11. 범죄	주거지 불법 침입	-	범죄율	-	-
12. 화학물질	-	-	-	화학물질	유해화학물질

자료원 : 지속가능위(2007)

- OECD의 경제적 성장으로부터의 환경에 대한 압력의 분리 지표
  - 경제적 성장으로부터의 환경에 대한 압력의 분리(decoupling)의 의미는  
거시적으로 경제적 성장과 환경에 대한 부하를 분리시키는 것임
    - ‘절대적 분리(Absolute decoupling)’는 GDP가 양의 성장을 나타낸다면, 환경 부하 변수의 성장률이 영이거나 음일 경우에 일어남(즉, 환경이 안정적이거나 더 나아짐)
    - ‘상대적 분리(Relative decoupling)’는 환경과 관련된 변수의 성장률이 양이지만 GDP의 성장률보다 작을 때 일어남

〈표〉 경제관련 분리 지표(Economy-wide decoupling indicators)

구 분	세부 구분	지 표
기후 변화		GDP당/일인당 총 온실가스 배출
		GDP당/일인당 총 이산화탄소 배출
대기오염		GDP 단위당 총 NOx 배출량
		GDP 단위당 총 SOx 배출량
		GDP 단위당 총 미세먼지 배출량
		GDP 단위당 총 VOC 배출량
수 질		총인구 대비 오폐수 처리장에 연결되지 못한 인구
		총인구 대비 가정으로부터 환경으로 배출되는 영양물질(nutrients)
폐기물 관리		사적인 최종 소비 대비 최종처분으로 가는 도시 폐기물량
		사적인 최종 소비 대비 재순환을 위해 수거되지 않은 유리의 양
광물 사용 (Mineral Use)		GDP 단위당 직접 물질 투입량
		GDP 단위당 생태적 사용량(Ecological Footprint ; 에너지 요소 제외)
자연 자원	수자원	GDP 단위당 총 담수 사용
	숲과 숲의 생산물	분리 지표 : 예, 생산단위당 또는 오래 성장한 숲의 사용에 대한 생물다양성의 손실
		GDP 대비 재순환되지 않는 종이 및 카드보드의 양
어장		식품 소비 대비 어류의 수확·생산
생물다양성		GDP 단위당 자연자본 지수(Natural Capital Index)의 부하 버전 (pressure version)

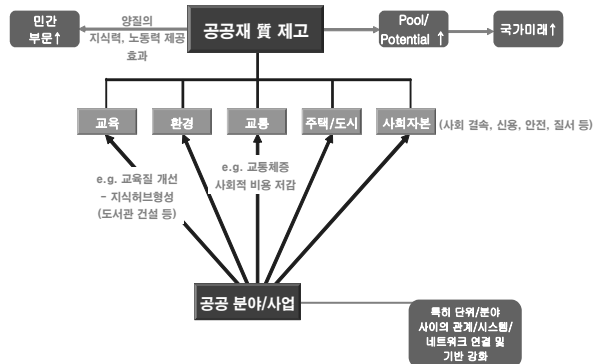
자료원 : OECD(2002)

## 제2절 지속가능발전 기여 과학기술의 지표 틀 탐색

### 1. 전체 방향

- 우리나라에 특수하고 중요한 지속가능발전 이슈의 반영
  - 대도시 삶의 질 열악 : 녹지 부족, 차량 및 건물 위주 도시, 사회적 스트레스/압력
  - 환경오염 심각 : 대기질, 기후변화 대비 포함
  - 에너지 자립 및 안보 : 절약과 재생에너지 관점 포함
  - 양극화, 청년 실업
  - 교육 질의 저하 : 성장동력 확충 관점 포함
  - 부동산 버블
  - 남북통일 대비
- 미래 여건 변화 대비 지표 발굴
- 범용적 지표 우선
- 양과 질의 반영
- 풀 및 인프라 질 향상 지향
  - 개별 단위 · 분야의 발전을 넘어서 그들 단위 · 분야 사이의 관계 · 네트워크 연결과 기반을 강화하는 것은 오늘날의 복합적이고 다학제적인 현실 문제들에 대해 장기적으로 올바른 해법
  - 단위 · 분야 사이의 네트워크 질의 제고가 사회적 약자의 지원, 양극화 해소의 기본
- 최종 수요자 가치 중심의 접근

[그림] 공공 분야의 국가 사회경제에서의 역할



## 2. 지표 항목 선정 기준

- 이슈의 유의성 및 대표성
- 정의의 명확성
- 데이터의 가용성
- 지속가능발전 전략과의 정합성
- 국제적 비교 가능성

## 3. 지속가능발전과 과학기술의 연결

- 본고의 지속가능발전 이슈의 객관성
  - 본고에서 제시된 지속가능발전 이슈는 독일, UN, OECD의 지속가능발전 지표 테마와 연계성을 보이고 있음
    - 총 31개 이슈 중 25개의 이슈가 연계성을 나타냄
    - 단지 ‘공동체 붕괴’, ‘문화적 다양성 감소’, ‘세계화 심화 및 지역경제 쇠퇴’, ‘한반도 통일 조기 도래 가능성’, ‘중소기업의 쇠퇴’, ‘신기술의 리스크’ 이슈 6개와는 연계성이 없었음
    - 이는 본고가 통일을 비롯하여 지역경제, 공동체, 문화적 다양성 같은 우리나라의 특수한 이슈를 드러내는 데도 주력하였기 때문
    - 공동체나 문화적 다양성 이슈는 지속가능발전 비전을 달성하기 위해서 지구 어디서나 다루어야 할 테마
    - 신기술의 리스크 이슈는 미래 대비의 측면에서 포함

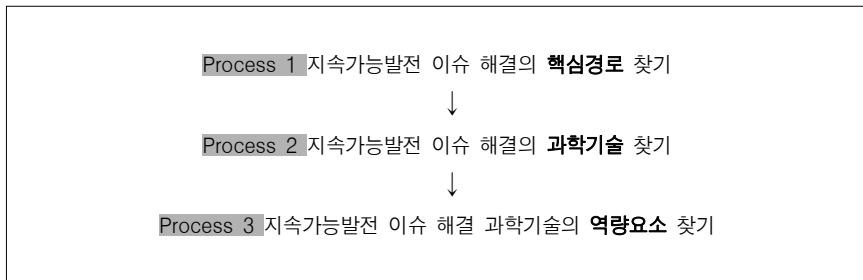
〈표〉 본고의 지속가능발전 이슈와 다른 지속가능발전 지표 테마의 연계성

본고의 지속가능발전 이슈	독일 지속가능발전 지표	UN 지속가능발전 지표 2001	OECD 지속가능 발전 지표	OECD 분리 지표
○ 세계 전체 인구 증가		○	○	
○ 선진국 인구 감소 및 고령화			○	
○ 도시화 심화	○ (휴식 공간 보호)	○		
○ 빈곤층 증가		○		
○ 제3세계 절대 빈곤의 상존	○ (제3세계 자원)	○	○ (제3세계 지원)	
○ 분배와 고용의 양극화	○			
○ 실업의 증가 : 특히 청년층		○	○	
○ 교육 질 저하와 교육비 부담	○	○ (의무 교육)	○	
○ 부동산 버블(1인당 부동산 경제 부담의 증가)		○ (주거 면적)	○ (주택)	
○ 사회적 갈등의 고조	○ (이민자 통합)			
○ 테러/전쟁 및 범죄 위험	○ (범죄)	○ (범죄)		
○ 재해 피해 빈발 및 대형화		○		
○ 질병 예방 및 식품 안전	○	○ (전염성 질병)		
○ 공동체 붕괴				
○ 문화적 다양성 감소				
○ 기후변화 가속화	○	○	○	○
○ 물 부족 및 수질 악화		○	○	○
○ 천연자원 부족(광물자원, 숲, 해양수자원 등)	○	○	○ (어업)	○
○ 생물종 감소	○	○	○	○
○ 오존층 감소		○		
○ 황사 및 사막화 심화		○		
○ 대기 오염 증가	○	○		○
○ 화석연료 고갈 진전과 에너지 안보 위협		○	○	○
○ 유해 화학물질 배출		○ (농업)	○ (농업)	○ (농업)
○ 지속가능 수송 요구	○	○	○	○
○ 세계화 심화 및 지역경제 쇠퇴 (BRICs 부상 포함)				
○ 한반도 통일 조기 도래 가능성				
○ 중소기업의 쇠퇴				
○ 신기술의 리스크				
○ 폐기물 양과 유해성 증가		○	○	○
○ 지속가능 소비 필요		○ (물질 소비)		

□ 지속가능발전과 과학기술의 연결 과정

- 본고는 지속가능발전과 과학기술을 연결하기 위하여 이슈에 추동된 (Issue-driven) 과정을 거쳤음
  - 핵심경로 찾기, 과학기술 찾기, 역량요소 찾기의 세 과정을 통해 지속가능발전에 기여하는 과학기술의 역량 지표와 틀이 나타남

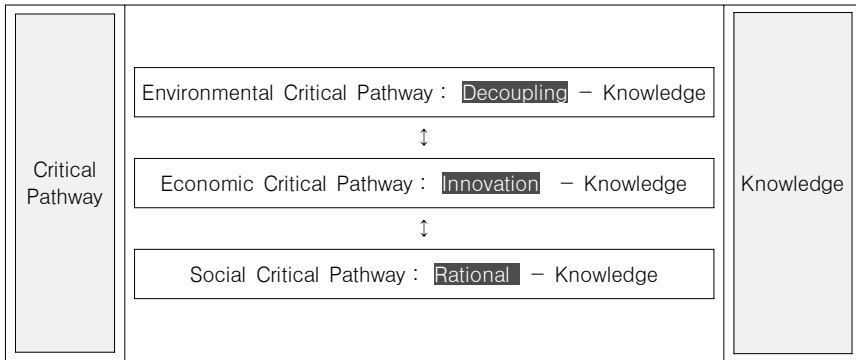
〈표〉 지속가능발전과 과학기술의 연결 과정



□ 지속가능발전 이슈 해결의 핵심경로(Process 1)

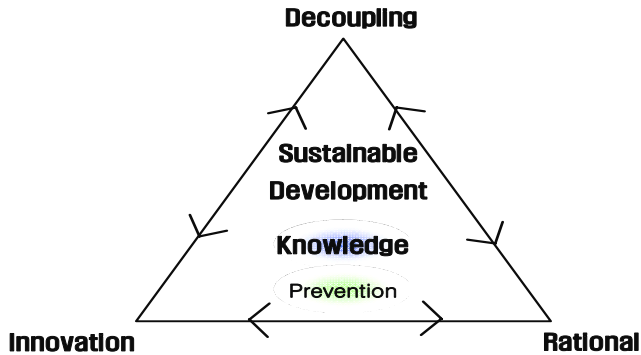
- 지속가능발전의 환경적 이슈 해결을 위한 핵심경로는 분리(Decoupling)
  - 경제성장을 하는데도 환경부하는 오히려 줄이는 분리는 고도의 창의적 지식을 요구
- 경제적 이슈를 풀기 위한 핵심경로는 혁신(Innovation)
  - 혁신은 제품혁신과 공정혁신을 의미하지만, 넓게 보면 경제활동 모든 분야에 적용
  - 관리 방식의 개선, 접근 방식의 향상, 새로운 인력 양성 개념 등 연성적 방안(Soft path)도 중시
  - 기술 발전이 가속화됨에 따라 혁신에는 지식이 큰 의미를 띠

[그림] 지속가능발전의 핵심경로와 지식 관계 종합



- 사회적 문제를 해소하기 위한 핵심경로는 합리(Rational)
  - 합리는 시민사회 운영 및 유지를 위한 기본 경로
  - 사회적 갈등을 풀어나가는 데 절차에서부터 내용까지 합리가 존중
  - 오늘날과 같이 많은 분야가 전문화되고 복잡화됨에 따라 이러한 합리의 경로에는 과학적인 지식이 필수불가결
- 세 핵심경로를 종합하면, 지속가능발전에서 지식이 중요한 관통요소이자 기반임
  - 이는 지식기반 사회경제 패러다임의 반영
  - 지식 흐름이 지속가능발전의 관건이 됨 시사
  - 제3세계 지원도 단순히 양과 하드웨어적 공급보다는 지식기반의 연성적 협력이 필요함을 의미
- 주목할 것은 세 핵심경로에 공통적인 지향점은 예방이라는 점
  - 지속가능발전의 특징은 ‘처리’가 아니라 ‘예방’
  - 지속가능발전 기여 과학기술도 예방이 강조된 기술
  - 일반적으로 예방은 처리보다도 더 창의적이고 고도의 ‘지식’을 요구
  - 전체 시스템에 대한 깊은 이해와 대안 제시가 필요하기 때문
  - 예방은 UN이 추구하는 지속가능발전이나 밀레니엄 개발 목표를 위한 기본적 접근방식이기도 함

[그림] 지속가능발전 핵심 경로의 삼각구조와 매개변수(지식 및 예방)



Decoupling : 환경적 핵심경로 Innovation : 경제적 핵심경로 Rational : 사회적 핵심경로

#### □ 지속가능발전 기여 과학기술(Process 2)

- 지속가능발전 이슈를 해결하는 ‘지속가능발전 기여’ 과학기술을 제시
- 지속가능발전 기여 과학기술의 도출에서는 전체적으로 이슈 ‘예방’ 측면이 강조
  - 지식기반 사회에 상응하여 ‘지식’ 흐름이나 도구가 부각
  - 특히 시급하고 중요하게 표시된 이슈들(♣)은 우리 사회의 전체 시스템의 근간을 흔들 수 있고, 구조적으로 다른 이슈들에 연쇄작용이 큰 이슈들임

#### □ 지속가능발전 기여 과학기술의 역량요소(Process 3)

- 지속가능발전 기여 과학기술을 뒷받침하는 역량요소로 미래사회 패러다임을 반영하는 대표적인 지식, 인력, 인프라의 세 요소를 제시
  - 이 역량요소는 일반적으로 과학기술이 개화하기 위해 필요한 요소들과 공통적
  - ‘지속가능발전 기여’ 과학기술도 과학기술이기 때문
  - 본고는 과학기술이라는 시스템이 유지 발전하기 위해 필요한 투입, 과정, 산출, 기반을 분석하는 것에서 출발

- 기존에 제시된 과학기술을 구성하고 지원하는 요소의 조합들도 점검

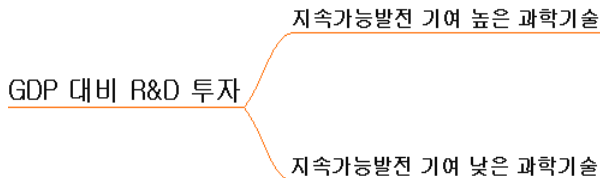
〈표〉 지속가능발전 이슈 해결 과학기술의 역량 요소

지식				인력		인프라					
						하드		소프트			
생산 (R&D)	유통 /분배	활용 (사회경제)	피드백	교육	훈련	IT 환경	연구 개발 환경	법·제도	거버넌스	문화	네트워크 (산학연, 기업간, 국제 협력)

□ 지속가능발전 기여 과학기술의 역량 평가 지표

- 본고에서는 지식, 인력, 인프라 세 역량 요소 가운데 ‘지식’에서 역량지표를 제시
- 지식의 생산을 좌우하는 GDP 대비 R&D 지출액을 선택
  - 그 논리적 근거는 GDP 대비 R&D 지출액은 모든 것이 혼합된(mixed) 총량 금액이라는 데서 출발
  - 국가 R&D 총 투자 금액은 지속가능성 기여 측면에서 차이가 나는 과학기술을 모두 포괄
  - 지속가능성 기여가 큰 재생가능 에너지 기술에 대한 R&D 투자액과 지속가능성 기여가 낮은 화석연료 에너지 기술에 대한 R&D 투자액이 함께 들어가 있는 것이 예임

[그림] 지속가능발전 기여 측면에서의 GDP 대비 R&D 투자의 분기



- GDP 대비 R&D 투자가 늘어난다고 해서 지속가능성 기여 과학기술이 진작된다는 보장이 없음

- 따라서 지속가능성 기여 과학기술의 GDP에 대한 R&D 투자액의 추적이 요청
- 각 과학기술에 대해 외국과의 비교도 가능
- 예를 들어, 미국은 기후변화 적응 및 대응 과학기술에 2006년 기준 GDP 대비 0.0354%를 투자하고 있으나, 우리나라는 GDP 대비 0.0343%를 투자
- 주요 지속가능성 기여 과학기술의 R&D 투자액을 합산하면 국가 지속가능성 기여 과학기술 역량 응집(aggregate) 지표가 생산
  - 총합적으로도 외국과의 비교가 가능
  - 예를 들어, 미국과 독일의 GDP 대비 지속가능성 기여 과학기술 R&D 투자가 각각 0.2, 0.35라면 독일의 지속가능발전 기여 과학기술의 역량이 더 크다고 할 수 있음
  - GDP 대비 총 R&D 투자에서 지속가능성 기여 R&D 투자의 비중이 큰 나라일수록 그 나라의 지속가능성이 장기적으로 향상
- 지속가능성 기여 과학기술의 R&D 투자액 지표는 지구촌 공통의 이슈와 각국의 특수한 이슈를 적절히 분리하여 관리할 수 있게 해주는 이점
  - 그 나라에 특수한 이슈를 해결하는 과학기술 R&D 투자액은 국제 비교에서 제외하고 나머지 공통 이슈에 대해서만 투자액을 응집시키면 됨
  - 국내에서 지표를 활용할 때는 특수 이슈까지 포함한 합산액을 매년 비교하면 과거 시점과 비교하여 지속가능발전 역량의 추세를 확인 가능
  - 우리나라의 특수한 이슈의 예로는 ‘실업의 증가’, ‘교육 질 저하와 교육비 부담’, ‘부동산 버블’, ‘사회적 갈등 고조’, ‘공동체 붕괴’, ‘문화적 다양성 감소’, ‘한반도 통일 조기 도래 가능성’ 이슈를 들 수 있음
  - 본 지표 틀을 개도국에서 이용하는 경우, 그 나라의 특수 이슈를 추가하는 것도 가능
  - ‘인구 증가’ 같은 개도국만의 심각한 이슈를 더해서 그 나라에서 지속가능발전 추이를 점검할 수 있음
- GDP 대비 R&D 투자는 간접적으로는 인력의 증가나 인프라 투자를 유도하는 작용

〈표〉 지속가능발전 비전, 이슈와 그 이슈해결 기여 과학기술의 역량평가 지표

비전	이슈	기여 과학기술 역량지표(GDP 대비)	세부 기술
인구 적정 유지	○ 세계 전체 인구 증가 <sup>○</sup>	○ 예방 의학 지원 기술 R&D 투자	- 공중 보건 진단 기술
	○ 선진국 인구 감소 및 고령화	○ 고령인구 복지 지원 기술 R&D 투자	- 무장애 지역(Barrier-free Zone) 형성 기술 - 고령층 안심 생활 기술 : 전파식별(RFID) 기술 등 - Age 및 Social Mix 기술
	○ 도시화 심화	○ 지속가능 도시 지원 기술 R&D 투자	- 스마트 도시 생성 기술 - 친환경 고효율 교통·수송 기술 <sup>▽</sup> · 하이브리드차 등 신기술 · 녹색 자전거도로 생성 기술 - 도시 공원 확보 및 조성 기술 - 녹색축 확보 및 보전기술
절대 빈곤 극복	○ 빈곤층 증가	○ 저렴하며 질 높은 주거 환경 구축 기술 R&D 투자	- 도시재생 기술 - Factor 4 주택 창출 기술 : 비용은 1/2로 혜택은 2배
		○ 평생교육 지원 기술 R&D 투자	- 지식 인프라 구축 및 지원 기술 - IT 융합 교육 공학 기술 : e-learning 등
	○ 제3세계 절대 빈곤의 상존	○ 식량 증산 및 유기 농업 기술 R&D 투자	- 유기농업 기술 - 네트워크 농업 기법
		○ 지속가능 사회 인프라 구축 기술 R&D 투자	- SOC 구축과 지속가능성 제고 기술
		○ 지식 관리 기술(도구 포함) R&D 투자	- 창조적 문제해결 기법 - 과학기술 정보·지식의 확산 및 활용도 향상 기법

○ '세계 인구 증가' 이슈 적용 과학기술은 이하 제시된 거의 모든 기술을 포함. 그만큼 세계 인구 증가의 영향은 심각

▽ 친환경 고효율 교통·수송 기술은 지속가능 경제 비전의 지속가능 수송 이슈도 뒷받침

비전	이슈	기여 과학기술 역량지표(GDP 대비)	세부 기술
빈부 격차 해소	○ 분배와 고용의 양극화  ○ 실업의 증가: 특히 청년층	○ 분배와 고용 격차 저감 지원 기술 R&D 투자  ○ 저렴하며 질 높은 청년 벤처 공간 제공 기술 R&D 투자	- 저소득층 디지털 격차 해소 기술 - 저소득층 지원 지식 도구 - (재)시작 지원 창업 공간 구축 기술 - 사이버 공간 기술
	○ 교육* 질 저하와 교육비 부담♣	○ 교육 질 향상 지원 기술 R&D 투자	- 지식 흐름 개선 기술 - 지식 인프라 구축 기술(도서관 등) - 양질의 교육 클러스터 구축 기술 - IT 융합 교육 공학기술(e-learning 등)
	○ 부동산 버블 (1인당 부동산 경제 부담의 증가)♣	○ 저비용 고택택 도시 및 지역 창출 기술 R&D 투자	- 질 높은 지식 인프라 저비용 형성 기술 - Factor 4 주택 창출 기술: 비용은 1/2로 혜택은 2배
갈등 해소	○ 사회적 갈등의 고조	○ 사회적 갈등 완화 및 예방 기술 R&D 투자	- 전략영향평가기법(Strategic Impact Assessment) - 거버넌스 향상 기법 · e-Governance 기법(DB 구축 및 공유, 사례 축적 및 연구) · Negotiated Rule-making 기법
폭력 저지	○ 테러/전쟁 위협 ○ 범죄 위협	○ 테러/전쟁 예방 기술 R&D 투자	- 테러 감시 기술 등 - 생화학 무기 처리 기술
		○ 범죄 예방 기술 R&D 투자	- 범죄 감시 기술 (다국적 범죄 포함)

\* 교육은 '지속가능 경제' 와도 연계

비전	이슈	기여 과학기술 역량지표(GDP 대비)	세부 기술
안전	○ 재해 피해 빈발 및 대형화	○ 자연재해 예방 기술 R&D 투자(지진, 지진·해일 포함)	- 재해 예측과 경보 시스템 기술 · 재해 사전예방 유비쿼터스 기상 예측 정보 기술 · 재해 예측 및 피해 시뮬레이션 기술 - 재난 계획 및 위기 관리 지원 기술
		○ 인재 예방 기술 R&D 투자	- 교통사고, 시설물 방재 기술 - 방재 비용-편익 분석 기법
	○ 질병 예방 및 식품 안전	○ 질병 예방 지원 기술 R&D 투자	- 인플루엔자 모니터링·대응 기술(조류 인플루엔자 포함) - 중독 해결 기법(마약 등)
		○ 식품 안전 지원 기술 R&D 투자	- 식품 안전성 평가 기술 : HACCP 등 - 식품 안전성 제고 기술 : 생산, 이동, 이용/저장 측면에서 무농약 신선도 확보 기술 등
사람 사이의 연대	○ 공동체 붕괴	○ 21세기 창조형 공동체 형성 기술 R&D 투자	- 창조형 공동체 기반 조성 기술 · 문화 인프라 조성 기술 · 광장 특구 조성 기술
문화적 다양성 향유	○ 문화적 다양성 감소	○ 문화 보전 기술 R&D 투자	- IT 융합 문화 콘텐츠 기술 (개발, 확산, 활용, 피드백 등) - 전통 유적지 보전 기술
지구생태계 보전    환경 파괴 및 자원 남용 방지**	○ 기후변화 가속화***♣	○ 기후변화 적응 및 대응 기술 R&D 투자	- 기후변화 과학 : 전망, 지역 및 분야별 영향평가 - 재생가능에너지 기술 - 에너지 절약 연성적 기법 (Soft path) - 에너지 효율 기술 - 탄소 흡수 기술
		○ 물 부족 대응 기술 R&D 투자	- 물 재활용 및 순환 기술(빗물 포함) - 녹색댐 조성 기술
	○ 물 부족 및 수질 악화	○ 수질오염 예방 및 처리 기술 R&D 투자	- 하천 오염 예방 및 처리 기술 : 부영양화 등 - 지하수 오염 예방 및 처리 기술 - 해양 오염 예방 및 처리 기술 : 적조 등

\*\* 환경생태계 보전 지원 과학기술의 큰 방향은 오염 처리에 따른 비용 및 엔트로피 증가 때문에 처리보다 예방을 중시. 오염물질이 완전히 분해되지 않고 단순히 위치 이동할 가능성도 배제하는 맥락임

\*\*\* 기후변화 가속화 이슈는 화석연료 고갈 진전과 에너지 안보 위협 이슈와 연관이 큼

비전	이슈	기여 과학기술 역량지표(GDP 대비)	세부 기술
지구 생태계 보전 Ⅱ 환경 파괴 및 자원 남용 방지	○ 천연자원 부족(광물자원, 숲, 해양수자원 등)	○ 지속가능 자원 보존 및 관리 기술 R&D 투자	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 총 물질 필요량(Total Material Requirement) 계상 및 응용 기술</li> <li>- 탈물질화 기술</li> <li>- 생태효율 기술</li> <li>- 자원 절약 및 순환 기술                             <ul style="list-style-type: none"> <li>· 3R 기술(Reduce, Reuse, Recycle)</li> <li>· 3R 지원 IT 기술 : 정보 및 하드웨어 향상</li> </ul> </li> <li>- 자원 절약 및 순환의 연성적 기법(Soft path)</li> <li>- 환경·경제·사회 자본 통합 반영 지속가능발전 측정 국가 회계 기법</li> </ul>
	○ 생물종 감소	○ 생태계 복원 기술 R&D 투자	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 생물 다양성 모니터링 및 평가 기술</li> <li>- 서식지 복원 기술</li> </ul>
	○ 오존층 감소	○ 오존층 파괴물질 대체 기술 R&D 투자	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 신 오존층 파괴물질 평가 기술</li> <li>- 신 오존층 파괴물질 대체 기술</li> </ul>
	○ 황사 및 사막화 심화	○ 사막화 예방 및 대응 기술 R&D 투자	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 녹색측 확대 기술</li> <li>- 황사 조기 경보 기술</li> </ul>
	○ 대기 오염 증가♣	○ 대기 오염물질 배출 예방 및 저감 기술 R&D 투자	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 대기 오염물질 배출 저감 연성적 기법(Soft path)</li> <li>- 미세먼지 저감 기술</li> <li>- NOx, SOx, VOC, 중금속 배출 저감 기술</li> </ul>
지속 가능 경제	○ 화석연료 고갈 진전과 에너지 안보 위협♣	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 신에너지 시스템 기술 R&amp;D 투자</li> <li>○ 에너지 고효율 기술 R&amp;D 투자</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 연료전지, 태양광, 풍력, 수소에너지, 바이오매스 기술</li> <li>- 에너지 저장 기술(수소저장, 2차전지)</li> <li>- 수소와 재생에너지 연계 기술</li> <li>- 에너지 네트워크 기술</li> <li>- 분산전원네트워크 기술</li> <li>· 수소 에너지 네트워크 기술</li> <li>· 초전도기술</li> <li>- 에너지의 사회·경제·환경적 영향 종합 평가 기법</li> </ul>
	○ 유해 화학물질 배출#	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 화학물질 안전 관리 기술 R&amp;D 투자</li> <li>○ 사전예방 기술 R&amp;D 투자</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 독성 화학물질 안전 처리 기술 : POPs, 중금속, VOC</li> <li>- 화학물질 종합관리 기술</li> <li>· 배출량 인벤토리 관리</li> <li>· 위험성 평가 및 관리</li> <li>- IPP(Integrated Product Policy) 기법</li> <li>- LCA(Life Cycle Assessment) 기법</li> <li>- 사전예방 프로세스 기술</li> </ul>

비전	이슈	기여 과학기술 역량지표(GDP 대비)	세부 기술
지속 가능 경제	○ 지속가능 수송 요구	○ 지속가능 수송 시스템 및 네트워크 기술 R&D 투자	- 친환경 첨단 운송 기술 - 철도 시스템 및 네트워크 기술 - 무동력 운송수단의 첨단화 및 인프라 지원 기술 : 신기술과 융합
	○ 세계화 심화 및 지역 경제 쇠퇴(BRICs 부상 포함)	○ 지역경제 자생력 강화 기술 R&D 투자	- 농업, 문화, 생태 분야 및 창조산업 기반 지원 기술
	○ 한반도 통일 조기 도래 가능성 <sup>◇</sup>	○ 사회 인프라 형성 및 재생 대비 기술 R&D 투자	- 북한 사회 인프라 형성 및 재생 모델 기법
	○ 중소기업의 쇠퇴	○ 중소기업 지원 기술 R&D 투자	- 중소기업 지식 관리 기술 · 지식 도구 · 프로세스 개선 기법 - 중소기업 연구 인프라 지원 기술
	○ 신기술의 리스크	○ 신기술의 리스크 평가 기술 R&D 투자	- 신기술(IT, BT, NT, 신소재) 영향 평가 기법 · 환경/생태계 영향 · 사회 영향 · 지속가능성 영향
	○ 폐기물 양과 유해성 증가	○ 폐기물 예방 및 관리 기술 <sup>##</sup> R&D 투자	- 3R(Reduce, Reuse, Recycle) 기술 - 유해 폐기물 관리 기술 (포장 및 내용물)
	○ 지속가능 소비 <sup>△</sup> 필요	○ 제품 및 서비스 지속가능성 확인 기술 R&D 투자	- 라벨링 및 ISO 인증 기법 · 환경/생태계 영향 · 사회 영향 · 지속가능성 영향
○ 지속가능 소비 교육 기법 R&D 투자		- 지속가능 소비 매뉴얼 및 교육 프로그램 기법	

<sup>◇</sup> 갈등해소의 미래 이슈에도 해당. 사회통합 측면 강조

<sup>△</sup> 지속가능소비에 녹색공공조달 정책은 영향을 줌

<sup>#</sup> 화학물질은 먹거리의 안전성과도 연관

<sup>##</sup> 폐기물 관리는 저감, 재이용, 순환 순으로 우선순위가 높음. 폐기물 저감이 지속가능발전에 가장 크게 기여. 폐기물 관리와 자원관리는 밀접한 관계. 폐기물의 지속가능 관리는 자원 소비 저감으로 이어짐.

### 제3절 정책적 시사점

#### □ 지표 틀 활용 방안

- 기술영향평가, R&D 자원배분에 활용
  - 향후 기술영향 평가에서 기술의 지속가능발전 기여 여부를 파악할 수 있음
  - 지속가능발전 주요 이슈 해결에 이바지하는지 점검
  - 국가 R&D 자원 배분시에도 활용
  - 지속가능발전 기여 과학기술에 더 많은 자원이 배분될 수 있도록 조정
- 총체성에 근거한 정책 수립에 활용
  - 지속가능발전 기여 과학기술 역량 지표는 여러 정책 대안들이 상호모순적인 내용을 갖지 않도록 도울 수 있음
  - 본 지표는 자원 관리에서도 지속가능발전의 총체적 관점이 견지되도록 일조할 수 있음
  - 재생 가능 자원과 재생불가능 자원을 합리적으로 관리하는 데 활용

#### □ 국가 전략 측면 시사점

- 테마 통합 전략
  - 지속가능발전의 주요 테마인 기후, 에너지, 수송, 국토, 자원 및 폐기물 관리를 통합하는 전략 필요
  - 지속가능발전의 전체적 패러다임 하에서 시너지 효과 지향 요구
- 경로의 통합 전략
  - 지속가능발전의 핵심 경로인 분리, 혁신, 합리의 통합전략이 요청
  - 특히 지속가능발전의 환경과 경제 측면을 함께 발전시키기 위해서 양자의 핵심 경로의 통합 전략 필요
  - 즉 'Decoupling'(분리)과 'Innovation'(혁신)을 연계하며 상호 시너지 효과를 지향하는 DI 전략의 수립 요청

**<표> DI-통합 전략(Integration Strategy)**

---

DI = Decoupling + Innovation

역발상 전략 : 우리의 열악한 환경질을 과학기술의 혁신과 환경기술의 발전기회로 활용

---

## | 제1장 | 서론

### 1. 우주에서의 인간 역사

우주가 탄생한지 약 150억년이 흘렀다. 그 동안 우주에는 수많은 크고 작은 사건들이 명멸되어 왔다. 빅뱅-우주의 탄생, 은하계의 탄생, 수많은 별들의 탄생과 죽음, 지구의 탄생.

지구역사 약 45억년 동안 지구 위에는 상전벽해의 변화들이 있어 왔다. 눈으로 볼 수조차 없던 미물에서 거대한 공룡까지 지구상의 끈질긴 생명력의 자연과의 조화와 투쟁이 오늘날의 지구를 있게 했다. 예를 들어 보자. 산소도 없던 시기에는 생명체의 전조들이 모두 물속에서만 유지될 수 있었다. 산소를 기본으로 구성되는 오존층이 없이는 태양에서 직접 쏟아져 내려오는 자외선을 감당할 생물이 없었기 때문이다. 그러나 차츰 미생물들의 도움으로 산소가 쌓이고, 오존의 차양막이 쳐진 후에야 비로소 생물들의 육지 상륙이 시작되었다. 처음에는 잠시 육지에 머무르다 바다로 돌아갔을 것이다. 하지만 점점 더 적응이 되면서 육지에 머무르는 시간도 길어졌을 것이다. 이러한 과정은 장구한 세월을 통해서 서서히 이루어졌다.

오늘날 인간이 살고 있는 이 지구상의 모든 것이 우주 150억년과 지구 45억년의 역사를 반영하고 있으며, 그 진화과정의 산물인 것이다. 지구상에 인간이 발을 내딛게 된 것은 길게 잡아도 몇 백만 년에 불과하다. 사람의 팔을 양쪽으로 길게 뻗은 길이를 우주의 역사라 하면, 인간의 역사는 한 쪽 손의 손톱 크기만큼도 되지 않는다(브라이슨, 2003). 그러나 이렇듯 미소한 인간의 역사 가운데서도 일만 분의 1에 못 미치는 산업화<sup>1)</sup> 이후의 인간 활동이 지구 생태계에 미치는 충격은 기하급수적으로 커지고 있다. 기후변화, 오존층 파괴, 생물 다양성 감소<sup>2)</sup>, 유독물질의 범람, 대기오염, 사막화 등.

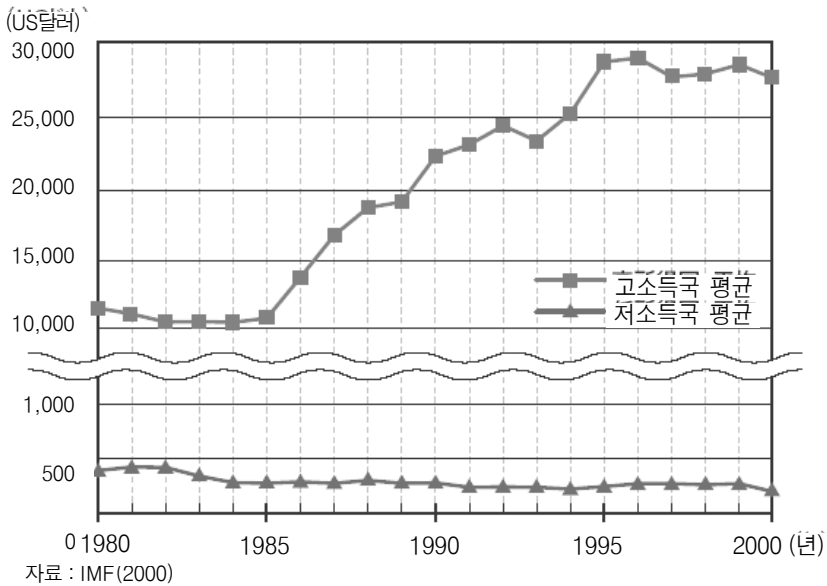
1) 지구역사의 0.000005%에 불과한 시간

## 2. 경제성장은 빈곤의 해소를 가져왔는가

인간은 자신의 활동 기반이 되는 하나뿐인 지구환경을 심각하게 훼손하는데 그치지 않고, 인간 서로 간의 불평등도 심화시켜 왔다. 오늘날 세계 인구의 절반이 하루 2달러 이하에 의존해 살아가는 극빈층이다. 반면 세계인구의 20%가 전 지구 부의 80%를 누리고 있다. 물론 사회경제적 소외는 교육 기회의 부족으로 이어지고 질병에 취약하게 되고 열악한 노동환경을 감수하도록 한다. 때로는 환경을 파괴하는 일도 서슴지 않게 할 수 있다.

국제통화기금(IMF)에 따르면, 세계의 가장 부유한 20개국과 가장 가난한 20개국 간의 국내총생산(GDP) 격차가 크게 벌어지고 있다[그림 1-1 참조]. 1980년-2000년 사이에 고소득국에서는 1인당 GDP가 약 2.6배 상승한데 반해, 저소득국에서는 500달러에도 못 미치던 평균치마저 거의 절반 수준으로 감소하고 있다. 아울러 고소득국 내에서도 빈부의 격차가 확대되고 있다.

[그림 1-1] 고소득국과 저소득국의 1980-2000년 1인당 평균 GDP 추이(US 달러)



2) 세계야생동물보호기금(WWF)은 1970년 이후 불과 30년 사이에 조사대상 생물종의 평균 40%가 감소했음을 보고하였다(WRI, 2005).

### 3. GDP의 이면

GDP로 추정되는 ‘성장’의 이면에는 상당한 허상이 존재한다. 가령 산림을 과잉으로 벌채하고 수산자원을 남획하게 되면 생태계 자원의 가치는 저하된다. 그러나 미래에 공헌하는 자산이 손실되더라도 그 시점에서 GDP는 늘어나는 것으로 파악된다(RSBS, 2005).

사회적 자산의 경우도 마찬가지다. 도박 산업의 성행도 GDP 성장에 계상된다. 하지만 도박 광풍으로 일반 시민들의 삶이 몰락하고 가족이 해체되며 그에 따라 전 사회의 신뢰 분위기가 흔들리게 되면 사회 자산의 가치는 하락한다. 따라서 자연이나 사회 자산의 감소가 국가경제의 지표에 반영된다면 각국의 삶의 질의 평가는 달라지며, 대부분 하락하게 된다. 실제로 70년대와 80년대에 성장을 한 몇몇 국가들은 자산가치의 감소를 경험하고 있고, 획득한 성장기반이 지속가능하지 않음이 지적된다(Washitani et al., 2005).

세계경제포럼(WEF, 2002)의 환경지속성지수(ESI) 보고도 같은 맥락의 내용을 시사한다. 경제적 성장(예 : 1인당 GNP 증가)이 반드시 생태계 보전의 향상과 비례하지 않는다는 것이다. 즉, 생태계 보전은 또 하나의 과제로 정책적 비전과 의지를 가지고 추진해야 한다는 뜻이다.

### 4. 왜 지속가능발전인가

20세기 후반의 경제성장은 빈곤을 줄이는데 기여했으나 근본적인 해소는 실현하지 못했다. 아울러 선진국에서 자원 및 에너지 효율은 상승하였지만, 경제 성장과 환경 부하가 연동되는 구도는 계속되고 있다(RSBS, 2005). 게다가 21세기 전반에는 개도국을 중심으로 큰 폭의 인구증가<sup>3)</sup>와 그에 따른 대량 소비증가가 예상된다.

세계화로 대표되는 오늘날의 자본주의 경제의 무한질주를 바라보면서 환경성·사회성·경제성이 통합되는 지속가능발전(Sustainable Development)<sup>4)</sup>

3) 인구증가는 석유, 천연가스, 석탄, 목수수, 목재, 철강 등 자원 소비의 증가로 이어진다.

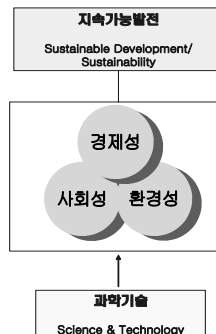
에 대한 요구가 점차 커지고 있다. 이는 평범한 일반 시민들의 삶의 질에 대한 요구 증대와도 맞물린다. 아울러 우리 후손들이 누려야 할 이 지구상에서의 풍요롭고 행복한 삶에 대한 배려이기도 하다.

## 5. 우리나라의 경우

우리나라는 세계적으로 유례없이 짧은 기간에 압축 성장을 이루어왔다. 급속한 외연적 확장 뒷면에는 그만큼 환경문제와 사회갈등의 골이 깊다. 우리나라의 환경 지속가능성(sustainability)은 전 세계적으로 최하위에 머무른다(WEF, 2002, 2005). 사회 빈부 격차의 심화(정부·민간 합동작업단, 2006), 사회계층의 양극화, 교육 질의 악화 등 사회적 질곡도 만만치 않다. 거기다 청년 실업, 성장 동력의 부재 등으로 경제적 지속가능성마저도 위협받고 있다. 그 바탕을 이루며 맞물린 사회 및 환경의 지속가능성 균열로, 경제적 지속가능성이 더 영향을 받고 있는 지도 모른다.

하지만 우리의 잠재역량은 작지 않다. 우리에게겐 국가 과학경쟁력 12위, 국가 기술경쟁력 6위(IMD, 2006)의 높은 과학기술 능력이 있다. 문제는 이러한 잠재역량을 어떻게 지속가능발전과 연계하는가이다[그림 1-2].

[그림 1-2] 지속가능발전에 기여하는 과학기술



4) Sustainable Development는 '지속가능한 발전'으로 번역되기도 한다. 우리나라의 지속가능발전위원회(pcsd)에서는 '지속가능발전'의 용어를 쓴다. 본고에서는 후자를 따른다.

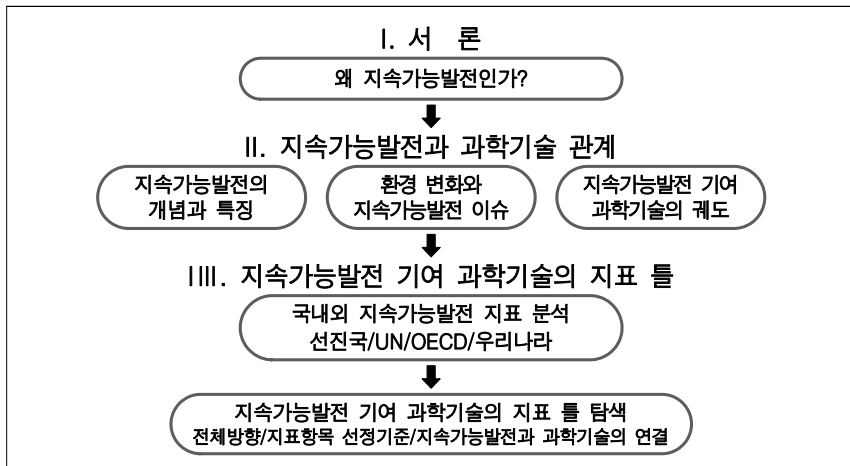
## 6. 본고의 내용과 논리

기존의 국내외 지속가능발전 평가에서 과학기술 측면은 간과되거나 일부분에 그쳐 심층적 진단 및 분석이 미흡했던 것이 사실이다. 본고는 우리의 과학기술이 지속가능발전에 이바지하도록, 과학기술의 지속가능발전 기여 역량을 평가하는 지표와 틀을 탐색한다.

중심 내용은 두 부분으로 이루어진다[그림 1-3 참조]. 먼저, 2장에서는 지속가능발전과 과학기술의 관계를 살펴본다. 구체적으로 지속가능발전의 개념과 특징을 정리하고, 지구 환경과 세계 사회경제 변화 및 지속가능발전 이슈를 분석한다. 지속가능발전 기여 과학기술의 개념, 성격, 궤도도 조망해 본다.

3장에서는 지속가능발전과 과학기술을 연결하기 위하여 다음의 순서를 따른다. 먼저 국내외 지속가능발전 지표를 분석한다. 선진국, UN, OECD 그리고 우리나라의 지속가능발전 지표를 살펴본다. 이는 지속가능발전의 핵심 테마를 이해할 수 있게 해 주고, 지속가능발전에 기여하는 과학기술을 도출하는 주요한 기반이 된다. 다음으로 지속가능발전에 기여하는 과학기술 지표 틀을 탐색한다. 전체방향, 구조, 항목 선정 기준 등 기본골격을 탐구하고, 지속가능발전과 과학기술의 연결고리를 찾는다.

[그림 1-3] 본고의 논리 및 흐름



## 7. 본고의 연구 범위와 한계

본고는 지속가능발전과 과학기술의 연결을 체계적이고 논리적으로 수행하는데 큰 의의를 두었다. 그러한 논리적 토대 위에 지속가능발전 이슈, 특히 우리나라의 이슈를 해결하기 위해서 어떤 기술들의 내용이 필요한지 드러냈으며 그 기술들의 역량평가 지표를 제시하였다. 아울러 그 기술들의 주요 세부기술을 시안적으로 소개하였다.

## Ⅰ 제 2 장 | 지속가능발전과 과학기술의 관계

### 제1절 지속가능발전의 개념과 특징

#### 1. 지속가능발전의 개념

세계환경개발위원회(WCED)의 1987년 브룬트란트 보고서(Brundtland Report)는 지속가능 발전을 ‘미래 세대의 필요를 충족시킬 능력을 저해하지 않으면서 현 세대의 필요를 충족시키는 것’이라고 정의하였다. 미래 세대에 대한 배려의 기저에는 ‘유한’한 세계에서 ‘무한’한 성장은 불가능하며, 현 경제 모델이 물리적, 생태적 한계를 갖고 있다는 인식이 깔려 있다(RSBS, 2005).

지속가능발전의 주요 측면은 미래세대를 위한 경제적, 사회적<sup>5)</sup>, 자연적 자본의 장기적인 보존과 향상이다<표 2-1 참조>. 경제적, 사회적, 환경적 요소 어느 하나만을 강조하는 것이 아니라, 삼자를 통합하는 수평적인 전망도 강조된다.

〈표 2-1〉 지속가능발전의 주요 측면

- 
- 인간의 삶의 질의 향상과 미래를 위해 경제적, 사회적, 자연적 자본의 장기적인 보존과 향상
  - 사회적, 경제적, 환경적 요소를 통합하는 수평적인 전망
- 

자료 : Minister of Public Works and Government Services(2001)

같은 맥락이지만 지속가능발전이 다르게도 표현된다. Jorna(2006)는 지구(Planet), 번영(Prosperity/Profit), 사람(People)을 지속가능 발전을 받치는 세 기둥(3P)으로 묘사하고 있다. 지구는 환경성, 번영은 경제성, 사람은 사회성으로 연결된다. 물론 지구가 핵심 기둥이다.

지속가능발전 개념에서 주의할 것은 ‘발전’은 ‘성장’과 다르다는 것이다. 양

---

5) 사회적 자본은 구성원간 신뢰와 협력, 개방성 및 이를 촉진하는 제도·규범·네트워크 등을 의미(정부·민간 합동작업단, 2006)

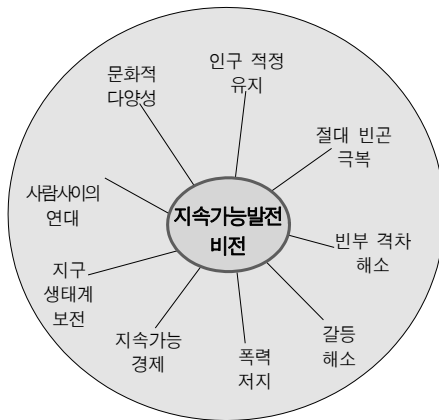
적 성장이 발전의 기초가 될 수 있지만, 때로는 과도한 양적 성장이 삶과 경제의 기반 자체를 훼손할 수 있다. 발전은 양적 증가 없이도 질적인 향상으로 가능함을 지속가능발전은 주목한다<sup>6)</sup>.

## 2. 지속가능발전의 기초와 비전

지속가능발전은 근본적 변동을 요구한다. 인구, 환경, 경제, 기술발전, 갈등 등 모든 분야에서의 총체적 변동(Ecological Economic & Social Changes)을 필요로 한다. 따라서 총체적 구상이 중시된다. 생태계, 인구변동, 생산·소비 양식, 취업 기회, 노동의 질, 분배정의, 사회질서의 안정성 등의 상호 연관 규명이 요구된다. 다학제적 연구가 필요한 것도 그 때문이다.

지속가능발전의 비전은 인구의 적정 유지를 기초로 절대 빈곤 극복 및 빈부 격차 해소, 갈등 해소 및 폭력 저지, 지속가능경제의 구가, 지구생태계 보전이 이루어지는 것이다[그림 2-1 참조]. 사람 사이의 연대와 다양한 문화의 개화도 희망된다.

[그림 2-1] 지속가능발전의 비전



자료 : 유의선(2006)에서 보완

6) 정상상태(steady-state)를 지향하는 것인데, 생태계의 파괴를 최소화하며, 자연자원의 보전을 극대화하고, 인구증가를 억제한다. 정상상태의 경제는 양적 팽창은 없이 질적 향상만 허용한다. 환경의 영향을 최소화하면서 자본재의 총량을 일정 수준으로 유지하기 위해서는 물질적인 것의 생산은 억제되고 비물질적인 것, 서비스의 공급이라든가 여가의 성장이 최대한 허용된다(이정전, 2002).

### 3. 지속가능발전의 시간적 공간적 함의

지속가능발전은 시간적 함의에서 주요한 철학적 출발점을 갖고 있다. 미래 세대가 적어도 우리나라 과거 선조가 누린 혜택 이상을 누릴 수 있도록 보장해야 한다는 것이다. 우리 시대의 쓰레기는 그것이 환경적, 사회적, 경제적이건 간에 우리 시대에서 처리해야 한다는 의미도 된다.

따라서 두 방향의 과제가 제기된다. 우선 과거에 쌓여온 문제들을 현재에서 최대한 해소하자는 것이다. 다른 한편으로 현재의 움직임들이 만들어갈 먼 미래의 주요 문제가 무엇인가를 과학적으로 전망하고, 그에 대한 현재와 가까운 미래에서의 대비가 중시된다.

지속가능발전은 공간적 함의에서 전체성과 개방성을 강조한다. 국내와 지구적 활동의 상호의존성을 인식하는 것이다. 더운 인도에서 증발된 유독 농약 성분이 지구를 1/4바퀴 돌아 추운 극지방의 청정지역에서 응결·낙하되는데 며칠이 걸리지 않듯이, '모든 것은 모든 것과 연결'되어 있는 전체 네트워크의 성격을 인정한다. 사회적 문제도 그렇다. 개도국 공장에서 저임금 소년노동으로 생산된 다국적 기업의 유명 브랜드 신발에 대한 지구 저편 선진국 중산층의 보이콧이 바로 한 예이다. 환경적으로나 사회경제적으로 나라 국경의 울타리가 열린지는 오래다. 또한, 공간적 함의는 문제 해결에도 적용된다. 오늘날 지구상의 많은 문제들이 지구적 또는 국제적 협력과 연대를 통해서 해결되기 때문이다.

### 4. 환경성, 경제성, 사회성의 상호관계

지속가능 발전을 이루는 환경성, 경제성, 사회성 3자는 상호작용한다. 하지만 장기적으로 경제성과 사회성이 환경성의 큰 틀에서 벗어나지 못한다. 왜냐하면 지구 환경 용량(Environmental Capacity)의 범위에서만 인간의 사회경제 활동이 가능하기 때문이다. 인간은 지구 없이 살지 못하지만, 지구는 인간 없이도 존재한다. 그러나 단기적으로는 환경성이 무시되기도 한다. 산업시대 초기가 그 예이다. 자연자원을 최대한 채취하여 대량 생산·소비하는 개발 패러

다임 하에서는 환경성이 간과되었다.

환경성 개선은 생태적 편익뿐만 아니라 다양한 사회경제적 혜택으로 이어진다<표 2-2 참조>. 가령 생태계가 공급해주는 식품, 섬유, 목재의 생산이 늘어나면, 이는 시장에서의 관련 제품의 증산으로 이어져 경제적 혜택도 늘어난다. 환경오염 저감이 직접적 수익으로 연결되는 경우도 있다. 오염물질의 배출 저감분을 시장에 팔아 수익을 올리는 제도인 배출권 거래(Emission Trading)가 좋은 예다. 탄소펀드도 환경성과 경제성이 연계되는 예이다. 일본의 경우 2004년 주요 대기업들이 이산화탄소 배출 저감을 위한 펀드를 설립하였다. 펀드 참여 기업엔 투자 비율에 따라 탄소 배출권이 제공되었다. 환경성의 개선은 홍수 제어, 질병 제어, 대기 및 수질 정화, 오염물질 정화 등 조정 서비스 제공뿐만 아니라 문화적 가치도 제고한다. 근본적으로 자연환경은 그 존재만으로도 인간에게 만족감을 주는 가치가 있다.

마찬가지로 경제성과 사회성의 고려는 환경성 제고에 주요한 조건이다. 환경 편익의 진작이나 리스크의 지양이 사회성 및 경제성과 선순환을 이룰 때 더 부드럽게 구현되기 때문이다. 특히, 환경성은 유럽연합 같은 선진국에 제품을 판매할 때 충족시켜야 할 주요 특성이다. 환경규제의 벽이 높은데다가, 규제벽을 통과해도 환경성이 더 우수한 제품이 선호되곤 한다. 최근에는 제품뿐만 아니라 원료 채취 과정, 생산과정에서의 환경성도 고려되는 추세이다.

경제성 개선은 환경성과 사회성의 고양을 촉진할 수 있다. 경제 선순환은 환경과 사회 개선의 여력을 제공한다. 사회성의 개선도 경제성 제고로 이어질 수 있다. 일본에서 최근 교육 시스템 강화로 가난의 대물림을 막고자 하는 정책이 그 연장선상에 있다.

<표 2-2> 환경성 개선의 편익

편익 범주		환경·생태계 서비스 흐름의 예
대범주	주요 내용	
인간 보건	사망 리스크	○ 암 치사 리스크의 저감 ○ 급성 질병 치사(acute fatality) 리스크의 저감
	질병 리스크	○ 암 발병 리스크의 저감 ○ 천식 발병 리스크의 저감 ○ 현기증(nausea) 리스크의 저감

(계속)

편익 범주		환경·생태계 서비스 흐름의 예
대범주	주요 내용	
쾌적		<input type="checkbox"/> 맛 <input type="checkbox"/> 향취 <input type="checkbox"/> 가시성(visibility)
생태적 편익	시장 : 제품*	<input type="checkbox"/> 식품 <input type="checkbox"/> 연료 <input type="checkbox"/> 섬유 <input type="checkbox"/> 목재 <input type="checkbox"/> 모피 제공
	비시장 <sup>□</sup> : 레크리에이션 및 미학	<input type="checkbox"/> 레크리에이션(감상, 낚시, 보트타기, 수영, 하이킹) 기회 <input type="checkbox"/> 풍광 전망 제공
	간접적 생태계 서비스**	<input type="checkbox"/> 기후 완화 <input type="checkbox"/> 홍수 완화 <input type="checkbox"/> 지하수 재충전 <input type="checkbox"/> 저질 유지(sediment trapping) <input type="checkbox"/> 토양 유지(retention) <input type="checkbox"/> 영양물질 순환(nutrient cycling) <input type="checkbox"/> 야생종의 수분(pollination) <input type="checkbox"/> 질병제어 <input type="checkbox"/> 물 정화(filtration) <input type="checkbox"/> 토양 비옥화 <input type="checkbox"/> 해충 관리
	유산 가치 <sup>□</sup>	
물질 피해 저감	재해 예방 및 완화	<input type="checkbox"/> 녹지의 갈수 완화(녹색댐) <input type="checkbox"/> 습지의 홍수 완화

\* 일종의 공급 서비스

\*\* 일종의 조정 서비스 □ 비시장 및 유산가치는 문화적 서비스에 해당

자료 : EPA(2000)에서 보완

또한 사회성 개선이 환경성에도 기여한다. 새로운 환경친화적 사회적 행태 및 규범이 환경성을 제고하는 예로 LOHAS(Lifestyle Of Health And Sustainability)를 들 수 있다. 선진국에서 시작된, 식품이나 의류 등 생활용품 구입할 때 환경성을 고려하는 새로운 라이프스타일이다.

반대로 환경성, 사회성, 경제성이 길항 작용을 보이기도 한다. 경제개발이 환경파괴, 사회양극화를 낳고, 환경 개발 및 보전을 둘러싼 문제가 사회적 갈등을 심화하고, 경제적 손실을 야기하기도 한다.

환경성, 사회성, 경제성간의 또 다른 이슈는 그 3자의 상대적 중요성에 대

한 것이다. 경제성은 상당히 발전되었지만 환경성, 사회성이 상대적으로 낙후된 나라에서 3자의 우선순위가 달라진다. 낙후된 부분에 우선적으로 정책적 노력이 필요하다. 최소한 환경성, 사회성이 선진국에 근접할 때까지 양자의 개선에 초점이 모아져야 한다. 물론 궁극적으로는 3자의 균형적이며 통합적인 발전이 필요하다.

## 5. 지속가능발전을 위한 원칙

환경적 측면에서의 지속가능발전을 실천하기 위한 4가지 원칙으로 오염자 부담 원칙, 사용자 부담 원칙, 예방 원칙, 최근접 결정의 원칙을 꼽을 수 있다. 오염자 및 사용자 부담 원칙은 원인 제공자에게 환경오염 및 부하의 제거 책임을 부여한다. 예방원칙은 환경문제의 사후처리가 아니라 사전예방을 지향한다. 최근접의 원칙은 시민의 이해관계가 걸린 문제에 대한 결정은 시민의 참여 하에 가장 가까이에서 결정해야 한다는 지방자치를 옹호하는 민주주의의 원칙으로 실천적 차원에서 중요하다(이정전, 2002).

이 외에도 지속가능발전은 형평성과 효율성을 지향한다. 형평성은 빈부격차가 환경문제의 근본원인 중 하나이므로 소득 분배의 형평성을 강조하는 것이다. 세대간 형평성도 중시된다. 효율성은 자원의 효율적 이용을 통해서 경제성장과 환경보전의 동시달성이 지향됨을 가리킨다. 최근 들어 충족성이 더 강조되고 있다. 효율이 아무리 좋아진다고 해도 자연환경이나 사회경제 환경이 담보할 수 있는 용량에는 한계가 있기 때문에, 어느 일정 선에서의 충족이 필요하다는 의미이다.

예를 들어, 고효율 초고층화로 고밀도이지만 쾌적한 주거 환경을 낼 수 있더라도, 도심이나 도시 전역에 초고층 빌딩을 무한정으로 지을 수는 없다. 기본적으로 안전의 문제가 있다. 열섬 현상도 고조된다. 일조 공간이나 바람길도 막힌다. 바람길이 차단되면 도시 대기 오염물질의 정체가 일어나 거주민의 건강에 악영향을 미치기 때문이다.

## 제2절 지구 자연 및 사회경제 환경 변화와 지속가능발전 이슈

지구 자연 및 사회경제 환경 변화는 지속가능발전에 커다란 영향을 미친다. 본고에서는 이들 변화의 미래 그림을 그리는데 주력하고자 한다. 물론 미래 그림 속에는 현재의 모습도 여실히 반영된다.

환경변화를 사회경제 및 지구환경 분야와 기술 분야로 대변하여 추적하였다<표 2-3 참조>. 인구, 지정학적 중심, 에너지의 사회경제 분야와 물, 기후, 지진의 지구환경 분야 그리고 에너지 및 수송기술, IT, BT, NT, 소재기술 등 기술 분야에서의 주요 변화 추세를 살펴보고 지속가능발전의 이슈를 도출했다.

〈표 2-3〉 지구 환경, 사회경제 환경, 기술 분야의 초점 영역

분야	사회·경제 및 지구환경 분야	인구, 지정학적 중심, 에너지, 물, 기후, 지진
	기술 분야	에너지 및 수송기술, IT, BT, NT, 소재기술 등

### 1. 인구

인구는 기후변화, 에너지, 물, 경제구조와 사회복지, 도시, 기술 전반(사회복지기술, 에너지·환경기술 등) 등 거의 모든 분야에 영향을 준다. 지속가능발전에 인구 적정 유지가 기본이 되는 이유가 거기에 있다.

지구 전체 인구 증가가 2020년 80억명 수준에 이를 전망이다<표 2-4 참조>. 인구 증가는 그에 따라 식량, 물, 전력, 교통수단, 학교, 병원, 교사, 의사가 늘어나야 하며, 공장과 설비, 일자리가 창출되어야 함을 의미한다. 현 자본주의체제 유지는 2020년까지 지구 인구 20%를 줄여야 가능하다는 극단적인 시나리오도 제기된다(조지, 2006).

〈표 2-4〉 세계 인구 증가 예측

연도	예측치	자료원
2015년	72억명	UN(2001)
2036년	100억명	미국 스탠포드 인구연구센터(2006)
2050년	93억명	미국 인구조회국(2004)

지구 인구 증가는 대부분 개도국에서 기인한다. 선진국에서는 오히려 인구 감소가 대세이며, 고령화도 강화된다. 우리나라도 2021년부터 인구가 감소하고, 2018년 고령사회에 진입하게 된다(대한민국정부, 2006). 한국이 고령화 사회에서 고령사회로 진입하는데 유례가 없을 정도로 빠른 18년이 소요될 예정이다. 국내 독거노인(65세 이상) 추산치가 2007년 88만명이 넘는다. 이러한 급속한 인구감소와 고령화는 사회경제 구조에 지대한 영향을 미칠 것이다.

인구 도시 집중은 계속된다. 전 세계 도시화율은 2020년 60% 이상으로 추정되며 한국 도시화율은 95%를 넘을 전망이다. 우리나라의 경우 가까운 미래에 대규모 도심 공동화 현상이 도래할 가능성도 있다. 텅없이 늘어난 아파트 단지, 이에 반해 인구는 감소하고 열악한 도심환경 때문에 도시를 멀리하는 상황이 초래되면 심각한 공동화가 나타날 수 있다<sup>7)</sup>. 아울러 주택 및 도시 모델이 집중형/고밀도형 강화나 아니면 분산형 회귀로 가느냐 하는 변곡점도 도래할 것으로 보인다.

인구구조 변화에 따라 선진국과 우리나라 노동 시장은 크게 변화될 것이다. 노동시장의 중심이 고령층으로 이동된다(WEF, 2007). 고령층이 정치사회적 파워층이 되는 것이다. 여성인력 비중 증가와 지위 향상은 이미 시작된 추세이다. 외국 노동자수 증가도 예상된다. 크게 두 그룹의 외국 노동 인력의 이동이 두드러질 전망이다. 지식기반 고급 전문 노동 인력 그룹과 단순 노동 인력 그룹이다.

7) 우리나라 연평균 추가 탄력성 주택수요는 2003-2010년 43만호, 2011-2015년 39만호, 2016-2020년 38만호로 점감(주택산업연구원, 2005). 우리나라 20년 이상의 노후주택은 2001년 205만호, 2010년 459만호, 2011년 890만호로 급격히 증가(건설산업연구원, 2002).

## 2. 기후변화

기후변화는 에너지, 식량, 물, 기술(재생에너지 기술 등 에너지·환경기술, NT 등 신기술), 인구(질병, 난민, 대이동), 환경보건(오존 피해 등), 세계경제, 사회 안전 및 국가 안보, 생태계(생물종, 밀렵) 분야에 영향을 미친다<표 2-5>, [그림 2-2 참조].

〈표 2-5〉 기후변화에 의한 지구 재난 예측

연도	예측내용	자료원
2010년	- 미국과 유럽에서 최고기온 32°C가 넘는 날이 2003년경보다 1/3 이상 증가	미국 국방부(2003)
2020년	- 2010년부터 2020년 사이에 열염 순환(Thermohaline circulation) 붕괴 - 멕시코 난류로 따뜻하게 유지되던 유럽 기후 냉각 - 난류가 북쪽으로 적게 흘러 북유럽과 동북미 지역에 기상·기후 변화	
2040년*	- 지구기온 1°C 상승시 최소 30만명 기후 질병(말라리아, 심장질환, 오존 피해 등) 위험	Stern(2006)
2050년	- 지구 기온 1.5-2.5°C 상승시 생물 20-30% 멸종 위기	IPCC(2007) Stern(2006)
2080년	- 지구 기온 3°C 이상 상승시 · 식량 : 3천만-1억 2천만명 기근 · 수자원 : 11억-32억명 물 부족 · 홍수/침수 : 1천5백만명 홍수 위험, 전 세계 해안 30% 침수 · 생태계 : 아마존 열대 우림 붕괴	
2100년	- 지구 기온 6°C 상승시 모든 빙하 사라지고, 생물 절반 멸종 위험	Stern(2006)

\* 본 연구의 추정치(2027년 0.4°C 2050년 1.5°C 상승전망치의 중간값)

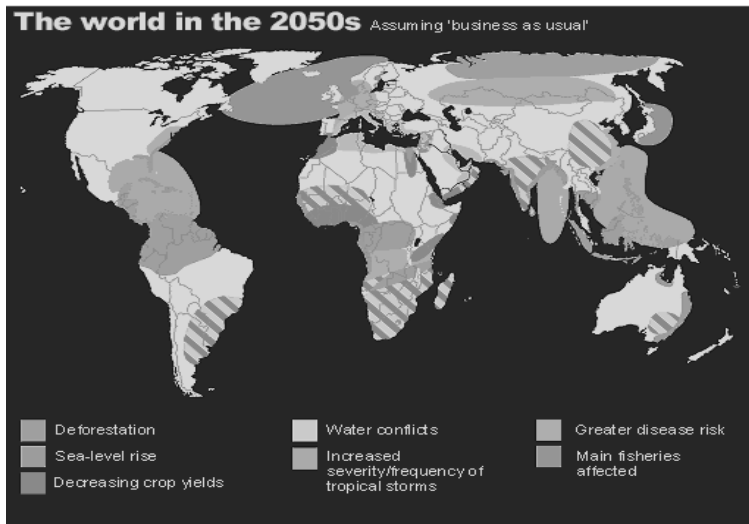
현 상태가 계속되면 지구기온은 2027년까지 0.4°C, 2100년까지 1.1-6.4°C 상승하리라 전망된다(IPCC, 2007). 지구상의 마지막 빙하기와 현재의 기온 차가 단지 5°C임을 감안하면, 이러한 기온상승 수준은 지구 생태계에 가공할 영향을 줄 것이다. 가까운 미래에 지구촌의 공동 노력으로 온실가스 농도가 안정되어도 기후변화 영향은 수세기에서 1천년 이상 지속될 것으로 보인다.

기후변화의 위험은 그 자체가 야기하는 악순환 또는 되먹임과 연계되어 증폭된다. 온난화로 극빙하가 녹으면, 그 안에 품어 있던 온실가스(이산화탄소, 메탄가스)를 방출케 할 수 있으며(Lynas, 2007), 아울러 빙하 면이 지구 밖

으로 반사하던 햇빛도 지구로 더 흡수되어 기온이 더 오르게 될 것이다.

2024년 이전 기후변화로 인한 전 지구적 재난 발생 가능성도 점쳐진다(미국 국방부, 2003). 태풍, 홍수, 가뭄, 폭설, 이상 저온·고온 등 악기상이 빈발하고, 토양 유실, 기근 등으로 무정부 상태가 된다는 시나리오다. 기후 난민 발생 및 대이동도 상정된다. 난민 이동 저지와 식량, 물, 에너지원 확보를 위한 국가 간 분쟁도 우려되고 있다. 그 분쟁에 핵무기 사용 가능성도 상존한다. 급속한 인구증가와 도시화가 진행되는 아시아와 농업에 의존하고 사회안전망이 취약한 아프리카에 기후변화 피해가 집중될 것으로 예상된다(IPCC, 2007). 이런 맥락에서 최근 기후안보(Climate Security)가 국제 외교의 새로운 이슈로 대두되고 있다.

[그림 2-2] 2050년대의 기후변화 충격 세계지도 : 현재와 같은 사회경제가 유지되는 경우 숲 감소, 해수면 상승, 곡물 수확량 감소, 물 분쟁, 태풍의 빈도/강도 증가, 질병위험 증가, 주요 어류 감소의 지역 표시



자료 : The Guardian (2007)

우리나라 기온은 지난 100년간 지구평균보다 2배 정도 상승하였다(기상청, 2006). 향후 상승추세도 가파르다. 우리의 급속한 산업화 및 도시화, 중국의 경제성장이 맞물려 한반도 기온은 점점 더 올라가고 있다.

기후변화 이외에도 월경성 및 지역 환경 오염이 지구 곳곳에서 심화되고 있다. 황사, 대기오염, 산성비, 해양오염 등이 그 예이다. 월경성 환경오염은 중국→한국/일본, 동유럽→서유럽, 미국→캐나다 등 오염이 심한 곳에서 상대적으로 청정한 지역으로 영향을 미치고 있다. 서울의 경우 중국발 연평균 황사 발생이 80년대 3.9일, 90년대 7.7일, 2000년대 12.8일로 증가 추세이며 최근 황사 농도도 강해지고 있다(기상청, 2006).

### 3. 지진, 지진·해일

지진 및 지진·해일은 인구, 도시 및 인프라, 세계경제, 기술(안전기술 등) 분야에 충격을 준다. 최근 세계적으로 재앙수준의 지진 및 지진·해일이 빈발하고 있다. 2004년 동서남 아시아 쓰나미로 11개국에서 28만명이 사망하였다. 2005년 파키스탄 지진으로 3만명이 세상을 달리했다.

1980년 이후 우리나라에서도 지진발생 빈도가 점차 증가하고 있으며, 규모 5.0 이상 지진 발생주기도 짧아져 지진발생 대비가 요청된다. 국내 규모 5.0 이상의 지진은 1978년 이후 총 5회, 2000년 이후 2회 발생하였다. 2007년 초에도 평창에서 규모 4.8의 지진이 일어났다.

### 4. 에너지

에너지는 기술(대체에너지 등 에너지·환경기술, NT, BT 등 신기술), 지정학적 중심, 세계경제(성장기대치 등), 도시 및 교통·수송 분야에 큰 여파를 준다. 지속가능발전의 주요 과제인 제3세계의 빈곤 해소도 에너지 공급에 큰 영향을 받는다. 향후 20년간 세계 에너지 수요는 50-100% 증가할 것으로 전망된다. BRICs 경제성장도 화석연료 수요증가로 이어진다. 중국은 향후 미국, 유럽보다 2배 이상의 에너지가 필요할 것으로 보인다.

〈표 2-6〉 세계 에너지 수요 예측

연 도	예 측 치	자 료 원
2025년	2003년 기준 71% 증가	미국 에너지부(2006)
2030년	2001년 기준 54% 증가	미국 에너지 정보국(2004)

지구상의 화석연료 매장량은 제한되어 있다. 50-200년분이 존재하는 것으로 추정된다. 현재 소비량을 기준으로 할 때, 천연가스 60년분, 석탄 215년분의 사용량이 남아 있다(Financial News, 2006). 미국 에너지 정보국(EIA)은 석탄 매장량을 더 적게 155년분으로 잡고 있다(Wyss, 2007).

석유매장량은 불과 25-40년분으로 전망된다. 석유 콘체른 BP는 2004년 말 기준으로 석유 매장량을 1조 1,886억 배럴로 점치고 있다(BP, 2005). 현 수준으로 41년분 쓸 수 있는 양이다.

증기기관이 소진된 후 디젤 시대가 등장하지 않았듯이, 40년치 석유가 남아있다고 40년 후에야 급변이 시작되는 것이 아니다. 석유생산 정점시기(허버트 피크)는 2010-2015년 사이에 조기에 도달할 수 있다. 정점 이후에는 유가상승 및 고합세의 가능성<sup>8)</sup>이 크다. 향후 국제 유가는 배럴당 100달러 수준이거나 그 이상으로 전망된다(2007년 11월 현재 90달러 돌파). 산유국의 정치 불안이 가세하면 사태는 더 심각할 수 있다. 오늘날 세계 석유 생산 거점의 80%가 정치경제적으로 불안한 중동, 나이지리아, 베네수엘라 등 제3세계에 집중되어 있다.

석유생산 정점이후 신·재생가능 에너지로의 패러다임 전환이 가속화될 전망이다. 기후변화 심화가 그 속도를 더 빠르게 할 것이다. 교통, 난방 분야에서 탈탄소화 에너지의 물결이 거세질 전망이다. 세계에너지의 50%는 교통, 25%는 난방에 소비되고 있다(2010년 기준 : 뱅제르, 2007). 탈탄소 패러다임의 전환을 위한, 과도기의 주 연료로 상정되는 천연가스의 생산 정점도 그리 멀지 않은 2030년으로 예상된다(뱅제르, 2007).

8) 1990년대는 저유가, 2003년 이후 유가 상승세. 2006년 평균 60-65달러/배럴(석유공사, 2007)

〈표 2-7〉 세계 석유생산 정점시기 예측

예측 주체	정점시기 (연도)	추정에 포함된 석유
바크티아리(ASPO)	2006-2007	-
콜린캠벨(ASPO)	2007	All Liquid, 공극매장량 2조 5000억 배럴
장 라에레르(ASPO)	2015	All Liquid, 공극매장량 3조 배럴
피에르 르네보키(ASPO)	2020	All Liquid
토탈	2025	불명시
IEA	미언급	재래식 석유, 공극매장량 2조 6260억 배럴
피터 R. 오델	2060	All Liquid, 공극 매장량 6조 배럴 이상
DOE	2020	-

자료: 뱅제르(2007), DOE(2004)

세계 각국은 에너지 안보에 정책 최우선 순위를 두고 있다. 2006년 초 미국 시민의 정부에 대한 최우선의 요구 사항은 대체 에너지 개발과 보전 개혁이었다(CNN, 2006). 2007년 미국은 브라질과 바이오에탄올 동맹을 맺었다. 바로 석유의존 저감이 그 목적이다.

우리나라는 에너지 다소비형 사회경제구조에다가 높은 석유수입 의존으로 에너지 안보가 취약하다. 2003년 기준 한국의 에너지원단위(TOE/천\$GDP)가 0.30으로 OECD 평균 0.19의 1.5배를 넘고 있다. 화석연료 고갈 진전과 고유가 가능성으로 에너지 절약과 자립 대체에너지 확보가 점점 중요한 과제가 되고 있다.

## 5. 물

물은 인구, 도시, 세계경제, 지역경제(농업경제 등), 기술(환경기술), 국제관계(분쟁 등), 생태계(하천 등) 분야에 영향을 준다. 향후 세계 도처에 물 부족 심화가 예견된다. 지난 세기 동안 전 세계 수자원 감소 비율은 인구증가보다 두 배 높았다. 1940년 이후 세계 인구는 약 3배 증가하였는데 물 소비량은 4배 증가하였다. 인구 10만명이상의 유럽 도시 중 60%가 물 소비량이 보급량을 넘고 있는 상황이다. 지구 총 담수자원의 60%를 불과 9개국에 보유하고 있는데 반해, 세계 인구의 40%가 사는 80개국은 물 부족으로 고통 받고 있다.

〈표 2-8〉 세계 물부족 인구 예측

연도	예측치	자료원
2030년	세계 30억명	UN(2006)
2050년	48개국 20억명 - 60개국 70억명	UN(2003)

2025년이면 지구촌 인구 3명 중 2명꼴로 식수가 부족할 전망이다. 특히 사하라 사막 이남 지역, 동아시아, 동남아시아 그리고 오세아니아 지방이 큰 타격을 받을 것으로 예상된다.

현재의 물 부족 추세는 물소비량 증가, 수질 오염과 아울러 기후변화에 의해 더욱 증폭될 전망이다. 지구기온이 평균 1°C 상승하면 5천만명, 3°C 상승하면 10억-40억명이 물 부족에 시달릴 것으로 예상된다. 수자원 양극화도 상정된다. 물가용량이 열대 및 고위도 지역에서 증가하는 반면 반건조(Semi-arid) 및 저·중위도 지역에서는 감소하는 것이다(IPCC, 2007).

우리나라도 물 부족 국가로 분류된다. 2020년 물 부족 예상량은 2억-10억 톤이다<표 2-9 참조>. 우리나라의 1인당 연간 이용가능 수자원량은 147m<sup>2</sup>로 세계 146위, 1인당 유효 저수량은 276m<sup>2</sup>로 북미 지역의 1/16, 중국의 1/9 수준이다(WRI, 2003).

〈표 2-9〉 우리나라의 향후 15년간 물 부족 예측량

(단위 : 백만 톤)

구분	용수 수급	2006년	2011년	2016년	2020년
고수요 시나리오	수요량	34,546	36,201	37,079	37,222
	공급량	34,120	35,713	36,101	36,202
	부족량	426	488	978	1,020
기준수요 시나리오	수요량	34,378	35,498	35,800	35,568
	공급량	33,975	35,158	35,300	35,129
	부족량	403	340	500	439
저수요 시나리오	수요량	34,030	34,504	34,062	33,301
	공급량	33,673	34,234	33,844	33,123
	부족량	357	270	218	178

주: 2003년에 건교부에서 예상한 2011년의 물부족량은 18억 톤이었음.  
자료: 건교부(2006)

## 6. 지정학적 중심

지정학적 중심 이동은 세계경제, 인구, 에너지, 기후변화, 기술(환경·에너지기술 및 NT 등 신기술) 분야를 관통한다. 현재 BRICs로의 지구촌의 지정학적 중심 이동에 박차가 가해지고 있다. 향후 BRICs 성장이 고령화 및 저성장으로 인한 선진국의 경제 둔화를 상쇄하고 세계경제를 견인할 전망이다. BRICs 연간 소비증가(미달러)가 2009년 G6 소비증가를 상회하고, 2025년 2배에 이를 정도이다(Goldman Sachs, 2003).

〈표 2-10〉 BRICs 경제규모 예측

연 도	예 측 내 용
2015년	- 중산층 인구 8억명으로 증가(2003년 2.5억명)
2025년	- 연소득 1.5만 달러 이상 고소득층 인구 1.5억명 - 주식시장 규모 전세계 17% - BRICs 경제규모가 G6의 절반을 능가
2043년 이내	- BRICs 경제규모가 G6를 능가
2050년	- BRICs와 미국, 일본이 G6가 됨

주 : 전제조건 : BRICs 국가들이 성장을 뒷받침하는 정책·제도를 유지  
자료 : Goldman Sachs(2003)

BRICs의 양대 주자는 중국과 인도이다. 중국은 경제규모가 2020년 세계2위, 2040년 1위에 오를 전망이다. 인도도 IT를 바탕으로 가파르게 성장하고 있다. 브라질도 경제력이 향후 유럽국가 수준에 접근하고, 러시아도 경제성장과 석유·가스 수출로 국제 위상이 강화될 것으로 보인다.

〈표 2-11〉 중국 경제규모 예측

연 도	예 측 내 용	자 료 원
2039년	경제규모 세계 1위	Goldman Sachs(2003)
2050년	국내 총생산 세계 2위 경제규모 세계 1위	PwC(2006) Goldman Sachs(2003)
2066년	구매력 평가 기준 세계 1위	EIU(2006)

막대한 인구를 보유한 BRICs의 경제성장은 환경파괴 및 자원부족 심화를 촉진할 것이다. 지구온난화 가속화에도 일조할 것으로 보인다. 그러나 필요는 발명의 어머니이듯, 오히려 환경·에너지기술의 발전과 신기술의 탄생을 자극할 수도 있다. 예를 들면, 2040년 10억명이 넘는 중국인이 100개가 넘는 거대도시에 거주할 것이며(Canton, 2007), 그 거대도시들은 유비쿼터스, 친환경, 순환형 스마트 도시로의 요구를 충족하고자 노력할 것이다.

한편, 중국과 러시아의 경제적 성장은 한반도를 둘러싼 정치외교의 지각 변동을 예고케 한다. 북한의 급속한 개방과 조기통일 가능성이 점쳐지는 대목이기도 하다. 북한 체제는 동독의 경우처럼 탈출자 증가가 가세하면 견잡을 수 없게 될 것이다.

여기서 한반도 통일 시나리오를 예상해 보자. 낙관적 시나리오<sup>9)</sup>는 2037년 이후 한국이 통일 담보 경제력을 갖춘 후 평화 통일을 이루는 것이다. 중립적 시나리오는 2027년경 국제 환경변화로 한국의 통일 담보 경제력이 미흡하지만 통일이 도래하는 것이다. 비관적 시나리오는 2017년 이전 북한이 체제의 대내외 위기(핵, 경제파탄 등)와 탈북자 러시로 자동 붕괴하는 것이다.

무엇보다도 통일이 되면 인구 대이동의 확률이 높다. 대규모 북한 도농 인구가 남한 도시로 이동하여 북한 도시 공동화가 일어날 수 있다. 북한 농촌 인구가 북한 도시로 대거 이동할 수도 있다.

BRICs의 부상 이외에도 다양한 지역 블록화 및 신흥시장의 발흥이 예상된다. 동남아시아(베트남, 인도네시아) 경제력의 급속 성장 및 동아시아 블록화가 전망된다. 남미와 아프리카의 지역블록화 및 경제성장 잠재력도 크다.

## 7. 기술 - 에너지 기술

기술은 인구(수명·건강), 에너지 안보, 기후변화, 물, 식량, 환경·생태계, 산업 및 사회 구조 분야는 물론이고 사회문화 행태에까지 영향을 미친다. 우선 에너지 기술을 살펴보자.

9) 이 시나리오는 본 연구가 2007년 기준으로 10년, 20년, 30년 후의 통일을 예상해 본 것임.

미래 에너지 기술의 기조는 재생가능, 청정, 분산, 안전이다. 2015-2020년까지 세계 에너지원은 화석연료에 크게 의존할 전망이다. 하지만 지구온난화 가속화, 대기질 악화, 고유가와 수급 불안정은 미래에너지인 신·재생가능 에너지의 본격화를 앞당길 가능성이 크다.

재생가능에너지가 석유매장량 고갈분을 상쇄하려면, 전 세계 에너지 수요의 20%를 충족할 임무를 부여받고 있다(Canton, 2007). 세계적으로 청정에너지 시장은 확대일로이다<표 2-12 참조>.

〈표 2-12〉 청정 에너지 시장 예측

연도	예측내용	자료원
2020년	1조 9000억 달러 규모	벤키트(2005)
2050년	전체 에너지 시장 50%	EREC & Greenpeace(2007)

가장 유망한 재생가능 에너지 기술은 태양 에너지 기술이다. 호주 정부는 2006년 세계 최대의 태양열 발전소 건설 계획을 발표했다. 빅토리아주 북서부에 4억 2천만 호주달러의 예산을 투입하여 연간 최대 154메가와트의 전기를 생산할 예정이다. 미국도 서부 모하비 사막에 대규모 태양열 발전 시설을 운영하고 있다(AP, 2006). 바이오연료도 큰 몫이 기대된다<sup>10)</sup>.

미래 에너지원 후보인 수소에너지가 2035년 이전에 세계 에너지 수요의 25%를 충족시키리라는 예상도 나온다(Canton, 2007). 선진국을 중심으로 2040년경에는 수소에너지 경제로의 전환이 접착되고 있다. 수소기술 개발에 발 빠른 노르웨이 기업들은 2015-2025년 대규모 수소에너지 도입을 목표로 하고 있다.

‘수소+연료전지’ 모듈은 차세대 에너지 시스템의 유망한 후보이다. 연료전지는 모든 곳에 동력을 제공할 수 있다. 초소형 휴대폰에서부터 자동차, 건물 난방용까지 잠재적 적용 범위가 넓다. 최상의 조건이면 수소연료전지자동차가

10) 에너지 위기의 한 대안으로 바이오 연료가 브라질, 미국 등을 중심으로 진작되고 있는데 그에 따른 곡물·식품 가격 급등 및 생태계 영향(사탕수수, 옥수수 등 monoculture)이 관련 문제로 떠오르고 있음.

2025년 이전에 시장에 본격적으로 진입하고, 2050년 보편화되어 세계 이산화탄소 배출의 절반을 줄이리라는 전망도 나오고 있다<표 2-13 참조>.

〈표 2-13〉 수소 자동차 시장 예측

연도	예측내용	자료원
2020년	- 수소연료전지 자동차 대량생산	Agrawal(2005)
2025년	- 하이브리드차 판매대수 5천만대, 시장점유율 58% - 수소연료전지 자동차 2천만대	Global Insight(2004) The National Academies(2004)
2040년	- 수소연료전지 자동차 판매대수 8천만대, 시장점유율 90%	Global Insight(2004) The National Academies(2004)
2050년	- 수소연료전지 자동차 보편화	Agrawal(2005)

하이브리드 자동차 기술은 화석연료 자동차에서 수소연료전지 자동차로의 가교 역할을 할 것으로 해석된다. 수소연료전지기술은 분산전력생산에도 큰 잠재력이 있다. 분산 전력 네트워크 관리 등에 IT와 융합을 통한 시너지효과도 기대된다.

NT는 태양전지 및 연료전지 기술의 획기적 발전에 기여할 잠재력이 있다. 고효율의 수소저장 나노소재가 그 예이다. 이는 수소연료전지 자동차의 효율 제고에도 이바지하게 된다. NT를 비롯한 신기술의 뒷받침으로 중앙집중형에서 분산형 에너지기술로의 패러다임 변환도 촉진될 전망이다. 재생가능 에너지기술에 의한 수소 생산도 대폭 확대될 것으로 보인다.

그러나 수소경제에 대한 회의도 만만치 않다. 기술적 어려움과 아울러 가격 경쟁력이 걸림돌이다. 수소는 에너지원이 아니라 매체(Energy Carrier)이므로 한계가 존재한다. 즉, 수소 생산과정이 별도로 필요하다. 높은 생산 비용과 생산과정의 환경성<sup>11)</sup> 제고도 과제이다. 저장을 위해서도 고압력에 견디는 고

11) 전주기적 관점에서의 환경성 제고가 요구된다. 예를 들어, 수소 이용 단계에서 친환경적이지만, 수소 생산 단계에서 화석연료 연소 등으로 환경오염을 야기할 수 있다.

비용 저장고가 필요하다. 저장 과정(예: 액화)에서의 에너지 소비 문제도 있다. 이용 측면에서도 수소 내연기관은 저효율이다. 수소 연료전지는 효율은 높으나 고비용이고, 이용 수명이 짧은 단점이 있다.

앞으로 수소경제가 정상화되려면 2025-2030년까지 수소가격은 1/3-1/10, 연료전지가격은 1/10-1/50 하향이 필요하다는 분석도 있다. 최상의 조건이 아닌 경우, 수소연료전지 자동차가 임계질량(Critical Mass)에 이르지 못하고, 하이브리드 및 바이오-저탄소배출 자동차의 시장이 확대될 수 있다는 것이다.

이러한 수소기술을 둘러싼 우려에도 선진국에서는 수소 R&D에 엄청난 재원을 투자하고 있다. 이는 무공해기술로서의 수소기술의 잠재력을 중시하는 것으로 보인다. 탄소경제 이후의 미래 수소경제의 리더십을 겨냥한 포석도 된다. 미국 정부의 경우, 2006년부터 5년간 약 6억 달러를 수소기술에 투자할 예정이다. 캘리포니아주의 경우, 2005년 30개의 수소 충전소가 2010년 170개로 늘어날 전망이다.

## 8. 기술 - NT

2025-2035년경 나노기술의 보편화가 예상된다. 나노입자 및 소재는 현재 연구·개발 중이며 나노소자 및 시스템은 2015년경부터 개발이 예상된다. 나노기술 시장은 크게 성장할 것으로 보인다<표 2-14 참조>.

〈표 2-14〉 나노기술의 세계 및 국내 시장규모 예측

연도	예측치	자료원
2009년	- 2,920억 달러 세계시장	Lux Research(2004)
2010년	- 1조 달러(반도체 제외) 세계시장 - 1.1조 달러 세계시장 - 104조 원(전체산업 대비 5.5%) 국내시장	NanoBusiness Alliance(2001) 히타치종합연구소(2004) KISTEP(2005)
2020년	- 20조 달러(반도체 제외) 세계시장 - 593조 원(전체산업 대비 17.7%) 국내시장	NanoBusiness Alliance(2001) KISTEP(2005)

NT가 산업시대 및 석유시대가 벌여놓은 문제를 해결할 것으로 기대된다. 만일 NT가 필요에 따라 물리계를 형성할 능력을 제공한다면 환경 복원 및 오염처리 기술이 크게 발달할 것이다. 나노 촉매 및 감지기술 등으로 난분해물질을 선택 처리할 수 있게 되면, 오염물질 방출의 극적 감축으로 지구온난화와 대기오염이 완화될 가능성이 크게 된다. 나노합성 자동차구조물로 연간 휘발유 15억 ℓ와 CO<sub>2</sub> 배출량 50억kg의 삭감이 가능하다는 분석도 있다 (Kurzweil, 2007). NT의 발달과 더불어 세계 청정기술시장도 확대될 전망이다. 2006년 100억 달러 규모에서 2015년 1,500억 달러 규모의 성장이 점쳐진다(Canton, 2007).

NT는 에너지기술에 혁신을 불러올 것으로 전망된다. 기본적으로 NT는 규모는 줄이면서 가치는 높이고, 기능을 개선하는 데에 기여한다. 나노전송선, 나노조명 등을 통한 에너지 효율 증대, 나노촉매/필터 등을 매개로 저급연료(석탄, 현암유 등)의 청정·고효율 이용이 예상된다. 나노분자세공이 가능해지면 거대재료(bulk material)를 여기저기 옮기는 현재의 고에너지소비형 제조패러다임도 바뀔 수 있다.

또한, NT는 다양한 용도에 적용이 가능하다. 스마트먼지는 핀 끝 크기의 감지시스템(Kurzweil, 2007)으로, 동력은 나노연료전지로 충당 가능하다. 물론 자체의 움직임이나 열기류로부터 에너지를 획득할 수도 있다. 나노칩은 생화학적 물질 탐지 및 확인에 투입된다.

나노 튜브도 환경, 재료 등 다방면의 혁신에 기여할 것으로 보인다. 철, 알루미늄 등에 기초한 고강도 물질 제조를 나노 튜브나 합성물로 대체할 가능성이 있다. 전력 전송과 에너지 저장, 연산과 정보통신에 활용되며, 다이옥신 같은 난분해물질 흡수에도 투입될 수 있다.

NT는 BT와 융합하여 인간 수명과 건강도 획기적으로 향상시킬 가능성이 있다. 나노로봇의 인체 바이러스 소탕, 노화 방지 및 복원, 뇌 재설계 및 기능 강화가 그 예이다. 인구 증가와 고령화 추세가 NT의 발달로 더 강화될 수 있는 것이다.

나노기술에 기초한 미래의 풍요로운 청사진의 이면에는 해결해야 할 리스

크들도 작지 않다. 나노물질 자체가 독성을 떨 가능성이 있으며, 특히 그 독성 물질이 먹이사슬에 끼어들면 더더욱 위험하다. 자체로는 무해한 나노물질이더라도 활성화된 표면이 유해 중금속이나 유기물질을 흡착할 가능성도 배제할 수 없다. 나노 입자나 물질이 인체나 다른 생명체에 투과 및 농축의 위험도 있다. 특히 나노작업장 근로자는 노출에 취약하다. 나노무기의 위험도 있다. 테러지향의 개인과 소그룹이 기술을 독점하고 무기화할 수 있다. 장기적 위험이지만 나노매스(나노로봇 등)의 자기복제와 그로 인한 바이오매스(생물체)의 쇠락·대체의 덧도 있다. 나노로봇이 바다 속 메탄이나 이산화탄소(CO<sub>2</sub>)의 탄소를 이용하거나 심지어 먼지와 햇빛을 이용하여 자기복제한다는 시나리오가 상정될 정도다(Kurzweil, 2007).

## 9. 기술 - IT

IT의 연산능력은 기하급수적으로 향상되고 있다. 반도체의 집적밀도가 약 2년마다 2배 증가하는 무어의 법칙이 좋은 예이다. 2020년이 오면 오감 충족 완전몰입형 가상현실이 등장하여 현실과 구분이 불가능하리라는 예측도 있다(Kurzweil, 2007). 다채로운 환경과 체험이 가능한 방대한 가상 놀이터도 펼쳐질 것이다. 2020년경엔 컴퓨터 연산능력이 한 사람의 뇌능력에 필적하고, 2050년엔 모든 인간을 합친 뇌능력보다도 능가하리라는 예상도 나온다(Kurzweil, 2007).

IT의 큰 흐름은 분산형 모바일 모드의 확산이다. 이는 다른 신기술의 분산화 및 유틸리티스화에 기여한다. 사회적으로 민주화와 지방화도 진작시킨다. 동구권 붕괴와 민주화 물결이 인터넷 발달과 보조를 맞춘 것은 우연이 아니며, 웹은 고품질의 지식과 교육 기반을 세계적으로 공유 가능케 한다. 물론 개도국에서도 마찬가지이다<sup>12)</sup>.

분산형 모바일 모드는 가상현실과 상호보완하면서 업무·생산 양식의 변화

12) 실제로는 인터넷 접근의 초기 및 설치 비용이 제3세계에서는 큰 부담이 된다. 예를 들어 방글라데시에서는 보통 시민의 평균 한 달 수입의 2배를 지출해야 하는데 반해, 미국에서는 한 달 수입의 단 1%만 지출하면 된다(Shah, 2006).

도 불러온다. 도심이나 사무실 블록 같이 집중화된 공간으로부터 업무가 자유로워질 수 있다. 업무-주거 분리의 기존 공간 모델도 변화 가능성이 있다. 오프라인(Off-line)의 전통교육이 여전히 유효하지만 교육도 분산화 경향이 커질 것이다. 홈스쿨링, 지능화된 컴퓨터 보조 수업기법 등이 활성화된다. 언제 어디서나 학생들은 세계 최고 수준의 지식과 학습에 직접 다언어 접속이 가능해진다. 미국의 MIT 대학은 2007년까지 모든 수업내용(Open Course Ware)을 웹에 무료 개방할 예정이다. 가상 Lab, 가상 강의실, 가상 훈련실도 활성화된다.

IT는 다른 신기술과 더불어 인간의 육체적, 정신적 노동의 자동화에도 기여한다. 유비쿼터스 환경과 동조한 통신과 조정 능력의 향상이 이를 가능케 한다. 이에 따라 인간은 더욱 '창조성'이 높은 지적재산의 생산, 분배, 활용 활동에 치중하게 될 것이다. 일대일 서비스도 대개 가상현실로 옮겨갈 것으로 보인다(Kurzweil, 2007).

IT 확산에 따른 리스크도 있다. 사이버테러, 프라이버시의 축소가 그것이다. 무역, 금융, 통신, 식량공급, 교통·수송, 에너지, 보건 등 세계의 모든 주요 분야가 점점 네트워크됨에 따라 사이버테러에 더 취약해진다. 데이터 보호, 지적재산권 문제, 유해 콘텐츠에 대한 청소년 보호 그리고 인터넷 범죄에 대한 사회적 우려도 극복해야 할 과제다(홍사균·유의선, 2006). 온라인상의 사회경제활동에 대한 규범과 법제를 정비하는 것도 요구된다.

## 10. 기술 - BT

BT 진보에 따른 가장 큰 기대는 인간수명의 연장이다. 노화 방지 및 역전, 세포치료, 체세포공학, 퇴행성질환치료, 암 극복, 유전자칩<sup>13)</sup> 활용 등을 통해 인간의 수명이 연장될 것이다. 이로 인해 인구고령화 추세는 더 강화될 전망이다. 퇴직자 양산으로 프로슈머(Prosumer)<sup>14)</sup> 등 제2의 사회활동의 중요성

13) 약물검사, 암진단, 노화나 증양형성 연관 유전자, 세포, 반응 확인, 혁신적 치료법 효과 검증, 특성측정 등에 투입

14) 프로슈머는 프로듀서(producer)와 컨슈머(consumer)의 합성어로 UCC, 사회봉사 등 능동적 생산 활동을 하는 소비자를 의미한다.

이 증대된다. 개인 보건 및 보험 비용, 사회의 복지 비용의 증가도 예상된다. 복지 정책의 중요성도 더 커질 것이다.

BT는 보건의료뿐만 아니라 농업 및 환경·에너지 분야에도 기여한다. 식량 증산을 통해 기아 해결에 도움을 줄 수 있다. 농업에서의 화학물질의 남용 저감도 상정된다. 병충해에 강한 작물 개발이 그 예이다. 환경·에너지 분야에서는 바이오 정화기술, 바이오 기반 물질(예: 바이오플라스틱)의 잠재력이 크다. 바이오에탄올 등 바이오연료의 생산 확대는 브라질, 미국, 유럽 등에서 각광받고 있다.

생물모방(Biomimetics)이 다양한 기술로 확산되는 것도 주목할 추세다. 생명체가 문제를 풀어가는 방식을 엔지니어링 방식에 적용하는 것이다. 최근 미국에서 개구리처럼 생긴 미끄러지지 않는 로봇을 개발한 것도 생물모방을 통해서이다.

BT와 NT의 협력 작용도 있다. 미생물을 이용한 연료전지가 나노로봇의 전원이 될 수 있다(Kurzweil, 2007). 그 연료 전지는 고효율로 당을 원료로 미생물의 개체수를 재생산하는 것이다. 나노로봇이 스스로 활동 에너지를 획득하는 경우도 상정된다. 동물체 혈류에서 일하는 나노로봇이 미생물처럼 직접 혈당으로부터 연료전지를 통해 활동에너지를 획득하는 것이다. 이는 일종의 생물모방의 사례이기도 하다.

BT의 혜택을 누리기 위해서는 넘어야 할 산이 많다. 복제에 따른 윤리문제가 최고 쟁점이다. GMO(유전자변형 유기체)의 생태계 및 인간 보건 위협 이슈도 있다. BT의 유전자변형 바이러스가 인류존재 자체를 위협할 가능성도 제기된다. 그 바이러스에 대해서는 진화적 보호막(장구한 역사를 통한 저항력)과 기술적 보호막(예: 백신) 양자를 갖추지 못한 채 인류가 희생될 수 있음이 경고된다(Kurzweil, 2007). 생물학적 무기의 개발로 인한 바이오테러 가능성의 증대도 우려된다.

## 11. 기술 - 신소재, 신제조, 로봇 기술

신소재 기술의 발달도 가파르다. 점점 더 작아지고 지능화되는 추세다. 작

아지는 경향은 나노 소재 및 기술과 연계되며, 지능화 경향은 IT 및 로봇 공학과 함께한다. 기후 같은 외부 환경에 스스로 반응하는 스마트 소재가 의류, 주택, 빌딩, 자동차 등에 응용될 것으로 보인다.

신소재는 에너지 기술의 발전도 촉진한다. 저렴한 경량의 재활용가능 소재는 재생가능 에너지의 경쟁력을 높일 것이다. 첨단 소재를 바탕으로 한 고온 초전도 케이블, 변압기, 저장 소자 등이 에너지 저장, 전송 및 분산 능력 그리고 전원의 질을 향상시킨다. 또한 단열성이 뛰어난 신소재는 에너지 절약에 기여할 수 있다. 예를 들어 에어로겔 타입의 건설 내외장 신소재의 활용은 냉난방 에너지를 대폭 절감하여 지구 온난화 완화에 일조할 수 있다.

신소재는 수송기술도 자극한다. 경량 소재 개발은 수송 차체의 경량화로 연료 소비 및 대기오염 저감에 기여할 수 있다. 저비용으로 같은 무게에서도 강도가 높은 소재가 개발되고 있다. 알루미늄 합금, 중합체 혼합 소재, 탄소 섬유 등이 이러한 고강도 합성소재의 예이다. 이는 수송기술뿐만 아니라 구조물 기술에도 영향을 줄 것으로 보인다.

신제조는 기민제조(agile manufacture) 기술이 새로운 추세이다. 기민제조는 시장환경 변화에 신속하게 대응하면서 소비자 요구에 부합하는 고부가가치, 고품질 제품을 재빠르게 생산하는 새로운 시스템으로, 신속한 프로토타이핑을 기초로 다품종 소량 생산 시스템(Flexible Manufacturing System)과 함께 발전하고 있다. 이는 제조의 아웃소싱, 저자본의 글로벌 제조를 가능케 한다.

신제조 기술로 통합 마이크로 시스템 역시 부상하고 있다. 향후 5-10여년 내에 화학적, 광학적, 기계적, 생물학적 요소 등이 모두 하나의 ‘칩’에 통합될 것으로 전망된다. 일반 규모의 시스템 비용의 일부로, 미세규모의 부품들로 구성된 통합 시스템 구성도 가능해질 수 있다.

신소재 및 신제조 기술은 개인의 생활양식이나 기업의 비즈니스 스타일에도 영향을 줄 것으로 보이며, 주거 및 생산 양식의 변화를 불러올 수 있다.

로봇기술은 고령화 및 독거인구 증가, 인력 부족, 위험환경 처리 요구 증가 등으로 발전이 가속화되고 있다. 2020년경에는 필드용 및 개인용 로봇의 전

성기 도래가 예상되며(산자부, 2001), 위험환경 작업 로봇, 인간 편의 및 오락 증진 휴먼 로봇, 건물 유지 보수 로봇의 활약이 점쳐진다. 인공지능(AI) 로봇의 팽창은 2040년대 중반으로 예상되기도 한다(Kurzweil, 2007).

앞으로 신소재, 신제조, 로봇 기술은 비용-효과 제고의 문턱을 넘어야 기술이 빠르게 시장에 정착할 것이다. 아울러 미래 인공지능(나노) 로봇의 팽창 가능성은 우리가 미리 대비해야 할 중요한 문제이다.

### 제3절 지속가능발전 기여 과학기술의 궤도

#### 1. 과학기술의 양면성

##### 1) 과학기술의 양면성

과학은 우주 원리의 규명을 추구한다. 알고 싶은 인간의 욕구가 바로 과학의 동력이며, 무엇보다도 과학기술은 규명된 과학적 지식을 실용화하는데 주안점을 두었다.

이러한 과학기술은 인간의 '도구'의 역사에서부터 출발했다고 할 수 있다. 인간은 자연에서 보다 많은 수확물을 보다 빠르게 획득하기 위하여, 일반 동물과는 다르게 도구를 사용하게 되었다. 수확물을 오래 저장하고, 빠르게 이동시키기 위한 요구를 충족하기 위해서도 훌륭한 도구가 필요했다. 돌도끼에서 철제 농기구, 곡물 저장고, 바퀴달린 수레 등 원시적인 도구들이 오늘날의 모든 과학기술 문명의 원형인 것이다.

도구는 도구를 낳았다. 도구간의 경쟁도 이루어졌다. 물론 다른 도구를 폐기시키기도 하였다. 과학기술이라는 도구의 역사가 길어지고 그 양적 팽창이 이루어짐에 따라 그 자체의 관성이 생겨났던 것이다. 마치 독립되고 자기완결적인 단위처럼 말이다. 이는 독일의 프랑크푸르트학파가 논파해 온 '소외'의 이슈와 접목된다. 인간이 인간을 위해 만들어 놓은 것이 비대화되어 마치 그 스스로 존립 근거와 동력을 갖는 것처럼 바뀌듯이, 오히려 인간이 도구화되는

소외를 낳는다는 것이다. 이러한 예는 상품, 돈, 관료제 등 우리 주변에 비일비재하며, 심지어 과학기술에서도 발견된다.

과학기술은 도구이기에 인간의 본성과 균형을 이룰 때 도움이 된다(Naisbitt, 2006). 하지만 오늘날 거대화되고 복잡화된 과학기술은 그것이 도구임을 잊게 만들고 있다. 과학기술의 큰 위력은 새로운 과학기술이 인간과 생태계를 위협할 때조차도 그것을 폐기하는 것을 망설이게 한다. 마치 온/오프(On/Off)의 권리가 인간의 손을 떠난 것처럼 보이기도 한다.

모든 것엔 양면이 있듯이, 과학기술도 긍정적 측면과 부정적 측면이 있다. 과학기술의 부정적 측면을 절대 제로(Absolute Zero)로 만들 수 없다면 어떻게 최소화하느냐가 중요하다. 도구는 그 자체 존재가 매우 위험스러운 경우도 있지만 많은 경우 어디에 어떻게 쓰이느냐에 따라 다른 결과를 낳는 것이다.

과학기술이 성장하면서 지구에 많은 영향을 끼쳐왔다. 역으로 말하면 지구 충격을 최소화하는 지속가능발전의 성패가 크게 의존하는 요소의 하나가 바로 과학기술인 셈이다. 하지만 그간의 지속가능발전 논의는 과학기술과의 연계성과 접합면을 간과한 측면이 있었다. 지표면에서도 경제성 분야의 한 지표로 GDP 대비 과학기술 투자액이 제시될 정도로 미미했다.

물론 지구는 사람들과 그들의 소비에 의해 영향을 받아왔다. 산업시대에는 특히 그러하였다. 즉, 지구에 대한 충격은 a)세계 인구수, b)소비의 양/질과 특성, c)세계 인구가 생산-소비하고 그 폐기물을 처리하는데 이용되는 기술에 의해 좌우된다고 설명할 수 있다<표 2-15 참조>.

여기서 과학기술 궤도의 분기점을 찾아볼 수 있다. 지구에 대한 충격을 크게 만드는 기술과 완화시켜주는 과학기술로의 분기가 바로 그 지점이다. 특히 오늘날 강조되는 과학기술혁신의 과제도 여기서 찾을 수 있다. 지속가능성과 과학기술혁신의 연계 가능성이다. 혁신을 통해 과학기술의 지구에 대한 충격을 줄이는 것이다. 자연 자원의 ‘보존’과 ‘개발’을 동시에 추구하는 생태효율(Eco-efficiency) 향상 방안이 한 예이다.

〈표 2-15〉 지구에 대한 충격을 좌우하는 3요소

$$I = C \times T \times P$$

I : 지구에 대한 충격

C : 소비

T : 기술

P : 인구

자료 : 조지(2006)

이러한 원리는 물리적 지구환경뿐만 아니라 사회경제적 환경에도 적용될 수 있다. 사회경제적 환경에 대한 충격도 a)인구수, b)그 인구의 사회경제적 니즈의 양/질과 특성, c)그 니즈를 충족시키고 지원하는 기술이 지렛대 작용을 한다<표 2-16 참조>.

〈표 2-16〉 사회경제에 대한 충격을 좌우하는 3요소

$$I' = N \times T \times P$$

I' : 사회경제에 대한 충격

N : 니즈

T : 기술

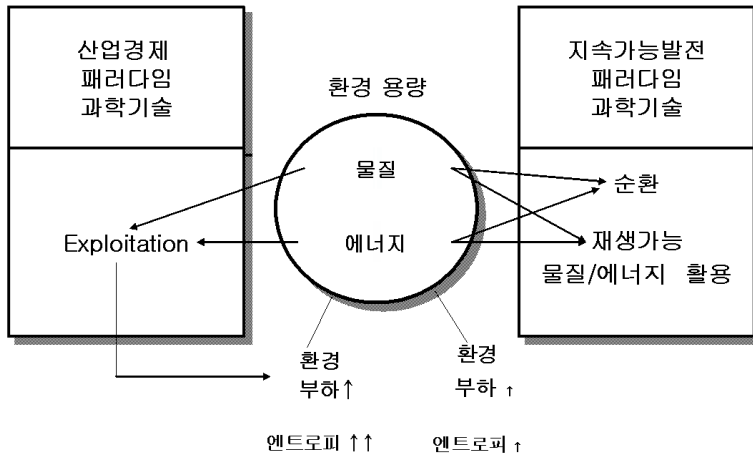
P : 인구

## 2) 산업경제 도구 vs. 지속가능발전 추동자로서의 과학기술

산업경제의 기본적 패러다임은 자원을 최대한 채취·이용하여 생산을 늘리고 이익을 극대화하는 것이었다[그림 2-3 참조]. 대량 생산·소비가 미덕을 이루던 패러다임이다. 과학기술의 역할도 이러한 패러다임에 봉사하는 것에 맞춰졌다. 물질과 에너지의 최대한 이용(exploitation)을 추구하여, 막대한 환경부하를 초래하고 엔트로피(부수되는 물질서)<sup>15)</sup>도 빠르게 크게 했다.

15) 엔트로피는 에너지 질적 저하의 척도로 시스템을 초기 상태로 환원시키는 것의 난이도를 보여준다. 엔트로피의 증가는 에너지의 질적 저하와 균일화, 가치의 감소로 이어진다. 에너지는 일로 전환되는 에너지와 일로 전환되지 않는 에너지로 구성된다: Energy = Exergy(일로 전환되는 에너지) + Anergy(일로 전환되지 않는 에너지). 비가역적 과정에서는 엔트로피가 증가하고 Exergy가 감소하고

[그림 2-3] 산업경제 패러다임의 과학기술과 지속가능발전 패러다임의 과학기술 비교



기존 패러다임에 반하여, 생산성을 올려 경제적으로 성장하면서도 동시에 환경도 보존하자는 지속가능발전의 모토는 자체적으로 모순되는 것처럼 보인다. 그러나 이러한 모순을 타개해주는 것도 바로 과학기술이다. 과학기술의 순기능이 환경부하를 줄이고 엔트로피 증가를 억제할 수 있다는 것이다. 이렇듯 지구 환경용량(capacity)의 부담을 최소화하기 위해서는 새로운 접근과 기술 혁신이 필요하다. 지속가능발전 패러다임의 과학기술은 자원 순환이나 재생가능 자원의 활용 등을 통해 이를 충족시킬 수 있다[그림 2-3 참조]16).

여기서 지속가능발전과 지식기반 경제의 접점이 부각되는데, ‘**자원 이용 강도가 높은(Resource-intensive) 패러다임**’에서 ‘**지식 강도가 높은(Knowledge-intensive) 패러다임**’으로의 전환이 요구된다. 이 패러다임 전환은 본고를 관통하는 기조가 될 것이다.

지구환경에 적용되는 과학기술의 바람직한 방향은 사회경제적 환경에도 적

Anergy가 증가한다. 반면에 가역과정에서는 엔트로피의 증가가 없다(알렉시예프, 2001). 엔트로피의 법칙 즉, 열역학 제 2법칙은 에너지는 한 방향으로만 바뀔 수 있음을 천명한다. 즉, 사용할 수 있는 형태로부터 사용할 수 없는 형태로이다. 엔트로피 법칙은 에너지 흐름의 방향을 말해줄 뿐이지, 그 속도를 말해주지는 않는다. 속도는 에너지 흐름의 높낮이에 따라서 다르다. 닫힌 시스템(Closed System)의 엔트로피는 증가한다. 지구는 주위와 에너지는 교환하지만 주위와 물질을 교환하지는 않는 닫힌 계이다. 따라서 지구에서의 엔트로피는 끊임없이 증가하고 있으며, 끝내는 최대에 이른다.

16) 지속가능발전 기여 과학기술의 주요한 특성인 순환성과 재생가능성은 아래 4. **지속가능발전 기여 과학기술의 기조**에서 상세히 다룬다.

용될 수 있다. 사회경제적 리스크/부하를 줄이거나 편익을 늘리며, 사회경제적 엔트로피 증가를 최소화하는 것이다. 예를 들어 신소재 개발을 둘러싼 사회갈등 상황에서 관련 증거를 합리적으로 분석하고 대안을 제시하는 과학기술 능력은 불필요한 사회비용을 줄여준다.

과학기술의 다른 사회적 순기능도 있다. 빈곤 타파, 불평등 완화에 일조할 수 있다. 미국에서 저소득층의 디지털 문맹을 해소하는 데에 기여한 IT가 그 예이다. 기상재해 예방 시스템 기술로 사회 안전을 제고할 수도 있다. 경제적으로도 과학기술의 지속가능성 제고의 역할이 있다. 청년층이 쉽게 독립할 수 있는 복합용도의 지식기반 공간을 저렴하게 제공하는 건설기술이 예이다. 사이버 공간도 일조할 수 있다. 소규모 벤처 창업이 쉬운 국가경제는 그만큼 기업 생태계의 지속가능성이 높은 것이다.

## 2. 과학기술의 성격 및 메타트렌드

### 1) 과학기술의 성격 변수

지속가능발전에 기여하는 과학기술의 기초는 무엇일까? 이 질문에 답하기 전에 먼저 과학기술의 특성에 대해서 살펴보아야 한다. 응용·개발되는 과학기술의 분야와 그 발전 단계(도입기, 도약기, 성장기, 성숙기) 그리고 과학기술의 난이도에 따라 사회와 생태계의 영향력이 달라지기 때문이다<표 2-17 참조>.

먼저, 과학기술은 BT, IT, 기계공학 같은 세부 분야에 따라 그 충력이 달라진다. BT 유전자변형 유기체가 일부 외래종처럼 기존의 토착 생물종보다 우위에 선다면 커다란 파급 현상을 가져올 수 있다. 또한, IT는 오늘날의 지식기반경제의 패러다임과 맞물려 일상에서 우주 프로젝트까지 손을 뻗지 않은 곳이 없다. 그만큼 IT의 사회, 경제, 환경에 대한 영향이 커지고 있다.

과학기술의 발전단계도 영향의 주요 변수이다. 과학기술의 진화는 S-곡선 이론 단계를 따른다. 도입기에는 사회와 생태계에 영향이 작을 수 있다. 하지만 도입 이전 단계에서 기술영향평가(TA)의 수행과 에코디자인(DfE) 및 전

주기평가(LCA)의 적용이 요구된다. 사전예방 접근 방식을 통해 성장기에 커질 수 있는 리스크를 줄이자는 것이다. 도약·성장기에는 본격적으로 영향이 커지므로 효율(Eco-efficiency 등)의 진작이 필요할 것이다. 기존 기술이 성장의 한계를 보이면 신기술이 등장한다. 기존 기술이 새로운 사회경제 패러다임에 맞지 않거나, 또는 새로운 발명과 혁신이 기존 기술을 뛰어넘는 경우다.

Naisbitt(2006)는 신기술이 등장할 때마다 질문을 던지라고 한다. “개선되는 것은 무엇인가? 사라지거나 대체되는 것은 무엇인가? 제공되는 새로운 기회는 무엇인가?” 신기술이 진공상태에서 부상하는 것이 아니기 때문이다. 이러한 질문은 기술 생태계 전체의 변화를 조망하게 해준다. 아울러 새로운 과학기술을 총체적인 지속가능발전의 측면에서 살펴보는 데도 도움이 될 것이다. 다음의 질문도 가능하다. “신기술이 등장하면서 지속가능발전을 상향시키거나 하향시키는 측면은 무엇인가?”

기술의 난이도 역시 중요하다. 즉, High-Tech(고도/첨단 기술), Medium-Tech(중간 기술), Low-Tech(저수준 기술)도 영향의 크기를 좌우할 수 있다. 일반적으로 하이테크일수록 진보 속도가 빠르고 인간 및 생태계에 대한 영향의 규모가 크다[그림 2-4 참조].

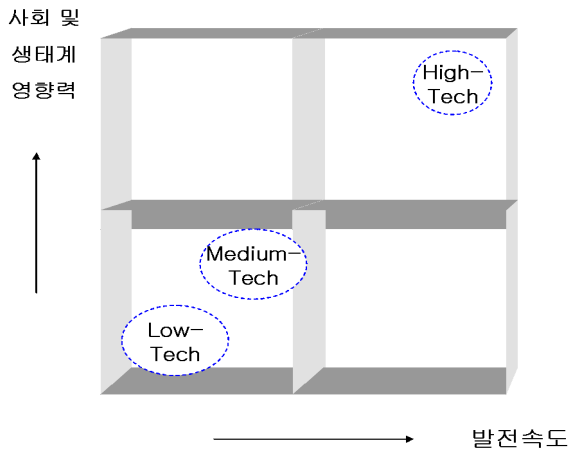
하이테크는 오늘날과 미래의 주 패러다임인 지식기반 경제의 추동력이다. 하이테크는 지식의 생산, 유통, 이용, 피드백과 크게 연동된다. 신지식의 창출 및 확산에 기여하며 다른 한편으로는 지식의 수명주기를 획기적으로 단축시키고 있다. 이런 맥락에서 하이테크의 사회 및 생태계 영향력이 갈수록 커질 것은 자명해 보인다. 하이테크의 지속가능성이 요구되는 대목이다.

Low-Tech도 지속가능발전에 기여할 여지가 많다. 웰빙에 이바지할 수도 있다. 가령 고령층의 거동을 돕는 보조기구들은 단순한 Low-Tech가 많다. 물론 하이테크와 결합할 수 있다. 수동 충전으로 가동되는 디지털 카메라도 한 예이다.

〈표 2-17〉 과학기술 성격의 변수

과학기술의 성격	분야	- 예 : BT, NT, IT, 기계공학 등
	기술 발전 단계	- 도입기 - 도약기 - 성장기 - 성숙기 - 쇠퇴기 또는 새 패러다임 변환기
	난이도	- High-Tech - Medium-Tech - Low-Tech

[그림 2-4] Low-, Medium-, High-tech의 발전속도 및 영향력 포트폴리오



### 3) 기술 메타트렌드

오늘날 과학기술의 메타트렌드 중 단연 두드러지는 것은 변화 가속화이다. 변화의 가속화는 여러 측면에서 드러난다. 인류 역사 800평생<sup>17)</sup> 중 650평생을 인류는 동굴에서 거주하고, 730평생부터 비로소 글쓰기를 시작했으며, 거의 마지막인 799평생부터 자동차를 타게 되었다(토플러, 1990). 전화가 도입된 후 일반화되기까지 50여 년, 인터넷 도입 후 일반화되기까지 불과 10여년 소요되었다. 지구 이산화탄소 농도도 산업화 이후 단기간에 기하급수적으로

17) 1평생 = 60년

증가하였다. 이는 산업화 이후 과학기술의 발전 가속화와 무관치 않다.

21세기 과학기술의 평균 변화 속도는 20세기의 5배에 달할 것으로 추정된다. 발전의 속도 자체가 10년마다 배가하고 있다(Kurzweil, 2007). 이는 신기술 발전에 기초하여 상정되는 여러 미래변화가 조기도래 가능하다는 의미도 함축한다. 기술발전의 속도가 너무 빨라 사회가 적응하지 못하고 뒤처지는 문제가 발생한다(Naisbitt, 2006). 과학기술 진보 및 실용화의 가속화로 점점 더 지속가능성이 중시되며 과학기술의 리스크 관리(Risk management) 필요성도 점증된다.

그런데 왜 변화가 가속화될까? Kurzweil(2007)은 양의 되먹임(positive feedback)을 동력으로 이야기한다. 기존 과학기술의 공과가 새로운 기술에 반영되고, 다시 더 새로운 기술에 학습효과를 주는 식의 양의 되먹임으로 과학기술은 기하급수적 발전을 해 나간다고 볼 수 있다.

융합기술혁명도 큰 흐름이다. 신기술이 선봉을 서고 있는데 IT, NT, BT, 뉴로테크, 소재기술 등의 융합이 이루어지고 있다. 기존기술도 신기술과 융합으로 혁신되고 있다. 예를 들어 전통 에너지 기술이 나노 소재 기술에 힘입어 새롭게 변신하는 것이다. 점증적 혁신(incremental innovation)도 한몫을 하고 있다. 융합은 일반적으로 복잡성의 증가를 수반한다. 분야와 기술 간의 합종연횡의 경우뿐만 아니라 한 시스템 내에서도 복잡성이 증가한다. 자동차나 컴퓨터를 보자. 각종 제어 장치와 다시 그 제어를 제어하는 장치까지 복잡성은 상당하다.

모든 과학기술이 정보·지식화되는 추세도 빼놓을 수 없다. 신기술 IT, NT, BT가 이러한 흐름을 뒷받침한다<표 2-18 참조>. IT는 정보처리능력의 향상과 커뮤니케이션 및 네트워크화로 기술의 통합·조정 능력을 제고한다. 유비쿼터스 환경 형성에도 핵심적 역할을 한다. BT는 유전자 위치의 정보·지식을 활용하여 고부가가치화 함으로써 기술의 정보·지식화에 기여한다. NT는 물질을 원자·분자 수준에서 다루는 지식 및 능력을 활용하여 저렴한 원재료를 고부가가치화 할 수 있다. 2020년대 말이 되면 제조과정에 동원된 정보·지식가치가 모든 상품가치를 결정하는 상황이 전망된다(Kurzweil, 2007). 분자나노기술 등으로 상품 제조비용은 거의 안 들 것이기 때문이다.

〈표 2-18〉 IT, BT, NT 기술의 정보·지식화 기여

기술	정보·지식화 기여 내용
IT	정보처리능력의 향상과 커뮤니케이션 및 네트워크화로 통합·조정 능력 제고
BT	유전자 위치 정보·지식 활용 고부가가치화 (정보+생물학의 만남)
NT	물질을 원자·분자 수준에서 다루는 지식 및 능력 활용 저렴한 원재료의 고부가가치화 (정보+물리세계의 만남)

과학기술의 지식화는 지속가능발전 측면에서 여러 함의를 갖는다. 환경적 측면의 예를 들자면 과거에 굴뚝에서의 오염물질을 잡는데 치중하던 시절이 있었다. 하지만 미래에는 원천적으로 과학기술을 움직이는 지식을 관리할 필요가 커진다. 특히 오염 사전예방 분야의 혁신을 불러올 지식은 중요하다. 사회적 측면의 예를 들자. 그동안 부의 양극화가 사회적으로 주요 과제였다. 물론 미래에도 부의 양극화가 경시될 이슈는 아니지만 근본적으로는 지식의 양극화가 더 중요한 문제가 될 수 있다.

분산화는 미래의 키워드이다. 분산형 기술로의 변환이 미래 추세인 것이다. IT, NT 등 신기술이 추동하고 있다. 분산형 기술발전은 분산형 사회경제 구조의 촉진으로 이어질 것이다. 주거 및 작업도 분산구조를 이루면서 오늘날의 집중형 도시 및 빌딩 모델의 탈피 가능성이 있다. 유비쿼터스 가상현실에 쉽게 모일 수 있는 것도 분산형 구조 확산에 힘을 더해 준다. 분산형 구조에서는 수집된 방대한 정보·지식의 종합적 파악이 가능해지기 때문이다(Kurzweil, 2007). 태양 에너지, 연료전지를 통해 에너지 생산 및 공급의 분산화도 예측된다. 나노제조나 기민제조(Agile manufacturing) 등 분산형 소규모 제조 공장의 등장과 확산도 점쳐진다. 큰 규모나 고비용을 요구하지 않는 공장이라면 널리 분산되는 것은 자명하다. 거기에 분산 에너지 기술이 시너지 효과를 낸다. 집중형 기술은 자원 집적이 필요한데 반해 분산형 기술은 유연하고 효율적이고 친환경적이며 재난의 가능성을 줄여 사회 안정화에도 기여하는 장점이 있다.

규모의 극단화도 새로운 추세이다. 두 방향이 있다. 초고층, 대형 발전소 등 거대화 추세가 하나다. 다른 방향은 나노, 피코 규모의 초미세화다. 과학기술

의 발전 가속화 이면에는 과학기술 자체가 작은 규모, 즉 미세·초미세 규모의 영역을 탐구가능하게 된 데도 큰 동인이 있다. 작은 규모일수록 변화가 용이하고 변화의 다양한 매트릭스가 가능하며 변화의 확산이 신속·다양해지기에 기하급수적 변화가 쉬워지는 것이다. 물론 거대화든 미세화든 ‘인간적’ 규모를 벗어날 때 안전과 관리 효율성의 문제가 제기된다.

### 3. 지속가능발전과 과학기술 관계를 둘러싼 기존 연구

지속가능발전과 과학기술의 관계, 더 구체적으로는 지속가능발전 기여 과학기술에 대한 연구가 그리 많지 않다. 그것도 대부분 환경적 측면의 지속가능발전과 연관되어 있다. 그 연구들은 지속가능성 촉진을 위하여 밑바탕에 흐르는 방향에서 기존 기술의 활용과 대안기술적 접근 방식으로 대별할 수 있다.

#### 1) 기존 기술의 활용

Fukasaku and Mabusela(2007)는 지속가능발전을 위한 과학기술을 국제적 협력 측면에서 다루고 있다. 개도국의 지속가능발전을 지원하기 위한 과학기술 역량 건설(Capacity building), 과학기술 이전의 효과적 확산 촉진, 지식 인프라와 네트워크 개발을 강조한다. 특히 물과 에너지 이슈 해결을 위한 과학기술의 잠재력을 중시한다. 효과적인 물 관리와 서비스 전달, 폐수 처리와 재이용, 안전한 물 공급과 처리를 위한 저비용 기술, 지표수와 지하수의 수량/수질 모니터링을 개발하고 강화하는 것이다. 물 순환에 대한 기후변화나 인간 간섭의 영향을 관리하는 도구나 방식의 개발도 포함된다. 개도국의 에너지 공급과 수요 양자 즉, 생산과 최종 이용에서도 효율 개선이 강조된다. 산업 프로세스의 업그레이드 및 최적화, 조명 및 모터 시스템의 개선을 통해 온실가스 와 환경성 측면, 경제성 측면에서 효율을 높이는 과학기술이 부각된다. 개별적 효율 개선 노력이 시스템적 방식으로 통합되어야 함도 강조된다. 과학적 해법이 비용-효과적이어야 함은 물론이고 지속가능하고, 규모 변환이 가능하고 (scalable), 반복 가능해야 함이 지적되고 있다.

Bordt et al.(2006)은 지속가능발전 개념을 과학기술의 분류 체제에 반영할 필요성을 지적한다. 지속가능발전과 과학기술의 연계를 더 잘 살피게 되면 지속가능발전에 대한 과학기술의 영향을 간과하게 된다는 것이다. 기존의 사회경제적 목적에 따른 과학기술 분류(OECD, 2002a)에서 ‘환경 관리와 보호’는 기후 및 대기 보호, 고형 폐기물, 물, 토양, 소음·진동, 종과 서식지 이슈, 자연 위험과 방사능에서의 보호를 그 내용으로 한다. 그것은 지속가능발전과 연관성이 깊지만, 지속가능발전은 오염관리보다 훨씬 넓은 개념임을 설명한다. 개도국의 건강 문제, 지속가능 농업 관리, 빈곤 저감, 지속가능 자원 이용, 개발 계획, 자원 역학(예: 수림재생률) 등에 대한 연구개발이 지속가능발전을 뒷받침함도 지적한다.

ICSU(2002)<sup>18)</sup>는 과학기술이 지속가능발전의 도전이자, 그 도전들을 성공적으로 다루는 전망의 중심임을 인식한다. 과학기술의 지속가능발전에 대한 기여를 과거와 가까운 미래에서 살펴보고 있다. 이미 과학적 측정과 분석이 지구적 변화(예: 기후, 오존층)와 연계된 사회·경제·환경적 위험들을 확인해 주었으며, 가까운 미래에도 과학기술은 지식의 창조와 기존지식의 더 낮고 더 폭넓어진 응용을 통해 지속가능발전에 기여함을 전망한다. 앞으로 변칙적 기후의 예측을 통해 가뭄에 대한 식량과 물의 취약성을 줄이고, 예코-라벨링 및 다른 인증 프로그램으로 소비자의 선택에 영향을 주는 것이 그 예이다. 아울러 지구 반만큼 떨어진 곳에서 일어나는 생산과 소비를 통합적 시스템 속에 보도록 하고, 농업·수림 프로그램을 통해 탄소를 격리케 하며, 많은 혁신의 잠재력이 있지만 여건이 허락하지 않는 중소기업에 공동 R&D 센터를 제공케 한다는 것이다. 과학기술의 기여 가능성을 제약하는 요인도 거론한다. 우선 지구 생태계와 생물다양성 상태에 대한 신뢰할 만한 기본 데이터(baseline data)를 갖고 있지 못하다는 것이다. 생태적 관계에 대한 자각과 경험적 학습을 진작하기 위한 교육 시스템이 세계 전역에서 성공하지 못하고 있음도 확인한다. 아울러 아직도 극소수의 과학자와 엔지니어가 지속가능발전 이슈에 천착하고 있으며, 제도적 역량 및 재정적 지원도 거의 뒷받침되고 있지 못함을 역설한다. 덧붙여 지속가능발전을 촉진하는 R&D의 초점은 자연과 사회 사이

18) 국제과학위원회의 합의 보고서(Consensus report)

의 복합적이며 동적인 상호작용에 두어져야 함도 강조하고 있다. 즉, 사회-생태적(Socio-ecological) 적응성, 취약성, 복원성이 증시된다.

## 2) 대안기술적 접근

지속가능발전의 장애를 단순화하면, 기존의 주류 기술(mainstream) 체제 하에서 그것이 야기·누적되었고 해결에도 한계를 보이고 있다고 역설적으로 묘사할 수 있다. 따라서 그 장애를 근본적으로 해결하기 위하여 대안기술적 접근의 모색은 논리적이다. 이는 환경 이슈에도 마찬가지로 적용된다. 문제의 해결 접근 방식으로 연성적 해결책, 인수 4/10, 중간기술과 바이오테크를 살펴보았다.

### 연성적 해결책

Rocky Mountain Institute(2003)가 제시한 연성적 해결책(Soft path)은 환경문제 해결을 위한 접근방식이다. 시설 등 하드웨어 중심의 또는 공급 확대 위주의 해결책이 아니라, 방법적 개선, 수요관리 강화, 최적관리 방안 모색, 대안기술 적용 등을 이용한 해결 방식이다. 부드러운 것이 큰 효과를 낼 수 있다는 관점도 포함한다. 연성적 해결의 개념이 기여할 수 있는 분야는 에너지, 수자원, 건물과 토지, 기업, 공동체, 기후, 수송 등 다양하다.

연성적 에너지 해결책은 에너지를 절약하는 데에 드는 비용이 에너지를 구매하는 비용보다 훨씬 더 저렴하다는 아이디어이다. 수요측면의 경영은 절약과 공급이 근본적으로 동일함을 주목하고 있다. 에너지를 절약하는 것이 더 생산하는 것보다 비용이 덜 들고, 오염과 많은 다른 문제를 줄이는 것이다. '일 와트가 절약되면 일 와트가 획득된 것이다'라는 개념이다. 연성적 에너지 해결책은 아울러 고효율의 최종 기술과 소규모 재생가능에너지 자원(태양, 풍력, 바이오가스, 수소연료전지 등)의 광범위한 사용으로 그 성격을 규정할 수 있다.

물에 대한 연성적 접근이 어떠한 공동체나 국가에서도 아직 완전히 제도화하지 않았으나 그 핵심 요소는 명확하다. 수자원 문제는 댐을 늘리는 공급 위주 관리보다 세류 관개나 빗물 재이용, 중수도 이용 등 수요관리의 정책을 통해 개선될 수 있다. 지하수위가 하락하는 징후를 보이면 우물을 굴착하는 데에 재원을 쓰는

대신, 물의 사용량이 지속가능한 공급량과 조화될 수 있도록 물이용의 효율성 제고와 인구 안정화에 대한 투자를 집중하는 것도 한 방법이다(브라운, 2003).

〈표 2-19〉는 연성적 해결책의 패러다임과 구 패러다임 접근의 특징 차이를 보여 준다. 물을 예로 제시하였지만, 폐기물, 화학물질, 대기 및 도시, 교통 시스템 등 다양한 분야에 원용할 수 있다.

〈표 2-19〉 연성적 해법으로의 패러다임 변화(Paradigm shift) : 물 관리를 중심으로

구 패러다임	신 패러다임
○ 인간의 폐수/폐기물은 문젯거리다 그 유해한 특성을 줄이기 위해 처리를 한 후에 그 폐수/폐기물은 처분되어야 한다.	○ 인간의 폐수/폐기물은 자원이다 자원이 회수되고 효과적으로 처리되어 토양 및 수확물에 영양분을 공급하는데 투여되어야 한다
○ Stormwater는 문젯거리다	○ Stormwater는 자원이다
○ 수요에 맞춰 건설하라	○ 수요를 관리하라
○ 수요는 양의 문제이다	○ 수요는 다측면(多測面)이다
○ 일회용	○ 재사용과 수선
○ 회색 인프라(gray infrastructure) 인프라는 구체적인 금속과 플라스틱으로 구성되어 있다	○ 녹색 인프라(green infrastructure) 파이프와 처리시설 이외에 인프라는 물을 처리하고 흡수하는 토양과 식물의 자연적 능력을 포함한다
○ 더 크고/집중화되는 것이 낫다 더 큰 시스템, 특히 처리 시설은 규모의 경제를 획득한다	○ 소규모/분산화되는 것이 가능하고 자주 바람직하다. 기존의 분배/결집 네트워크의 규모의 비경제성을 고려할 때 소규모 시스템은 효과적이고 경제적이다
○ 복잡성을 제한하라	○ 다양한 해결책을 허용하라 다양한 상황에 조율된 해결책이 점차 복잡하고 자원이 제약적인 환경에서 필요로 되는데 새로운 경영 기술과 전략에 의해서 가능케 된다
○ 우연적인 통합	○ 디자인에 의한 물리적, 제도적 통합
○ 협동 = 공적 관계	○ 협동 = 참여

자료 : 백명수 · 유의선 외(2003)

## 인수 4/10

독일의 부퍼탈 연구소는 '인수 4'(Factor 4) 개념을 지속가능발전을 위한 모토로 제시하고 있다(Weizaecker et al., 1997). '인수 4'는 자원의 생산성을 4배로 향상시키는 것으로, 복지를 배가시키고 동시에 자원 소비를 반으로 줄이는 것이다<sup>19)</sup>. 이는 발전이 생태적으로 지속가능하도록 해야 된다는 명제에 근접하게 해준다. 지구 자원의 제한과 심각한 환경문제를 보면 생태효율에 대한 물질적 추동근거는 이미 충분하다고 할 수 있다. '인수 10'(Factor 10 : Heinicke, 2003)은 인수 4의 확대 개념이다. 자원생산성을 10배 증가시키기 위해서 물질 사용을 90% 만큼 줄이는 것이 기본 개념이다.

## 중간기술과 바이오테크

리프킨(1992)은 지속가능발전의 맥락에서 세계경제는 재생가능 자원을 지닌 태양시대를 향한 역사적 전환기에 들고 있음을 지적하였다. 다가오는 태양시대를 위해 저엔트로피의 두 가지 방법론을 제시하였는데, 중간기술(Medium-Tech)<sup>20)</sup>과 바이오테크가 그것이다.

중간기술의 접근방식은 생산 과정의 속도를 자연계와 조화를 이루도록 하는 것에 중점을 둔다. 그 주도 원칙은 경제 예산을 자연과 균형이 되게 맞추는 것이다. 즉, 자연이 재생산할 수 있는 것보다 더 빨리 소모하지 않도록 조절하는 것이다. 탈중심화 정책, 노동 집약적 기술, 자연계의 자원을 절약하고 공정하게 사용하는 것, 아울러 보다 다양하고 지역적인 자급자족 경제 등이 그 구현 방법이다. 중간기술이 특히 개도국에 필요함은 Schumacher(1989)도 역설하였다.

바이오테크도 재생가능 에너지 기반을 조직화하는데 활용 가능한 한 방법으로 거론되었다.

19) 2배 ÷ 반(1/2) = 인수 4. 인수 4를 달성하기 위해서는 대안기술뿐만 아니라 기존기술도 활용

20) Intermediate Tech라고도 불림.

## 4. 지속가능발전 기여 과학기술의 기초

### 1) 환경적 측면의 지속가능발전 기여 과학기술의 기초

대자연은 장구한 역사를 통해서 생명력을 유지해 왔다. 모진 풍파와 갖은 도전을 헤치고 자신의 활력을 강화시키고 다양성을 풍성하게 유지하여 왔다. 그러니 바로 대자연이 지속가능성의 대표적 예다. 따라서 지속가능발전 기여 과학기술의 기초는 자연 원리를 모방하는 데서 출발한다. 자연의 원리를 거슬리지 않는 것이 지속가능발전 기여 과학기술의 출발점이다.

순환은 자연 생태계의 핵심 원리이다[그림 2-5 참조]. 지구환경은 물, 대기, 양분, 해류의 4대 순환을 기초로 유지된다. 환경문제는 경제순환의 방향이 물질순환을 정체시키거나 단절을 초래하는데서 비롯되었다고 할 수 있다. 경제순환은 장기적으로 자연계의 물질순환 범위 내에 있다. 자연 순환의 규모나 속도에 의해서 경제순환의 큰 틀이 규정되며, 그 외부로 벗어나는 것은 불가능하다. 지속가능 경제는 경제순환이 물질순환을 억제하지 않고 오히려 활발하게 하는 경제로 정의할 수 있다(무로타 외, 2002).

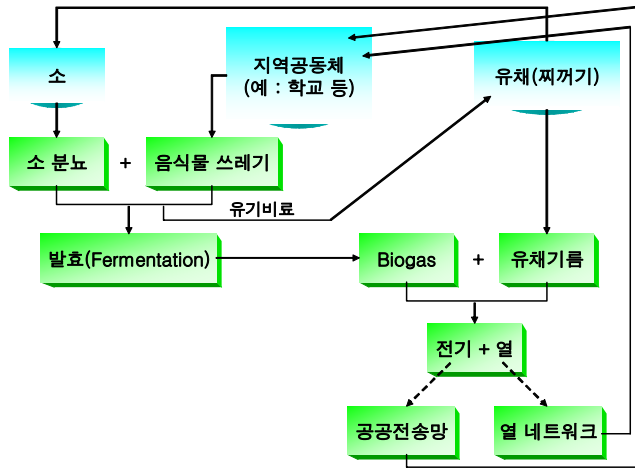
[그림 2-5] 지속가능발전 기여 과학기술의 기초



지속가능발전 기여 과학기술은 순환을 촉진시키고 복원시키는 기술로, 물질 순환을 포함하여 지구환경의 4대 순환을 훼손하지 않는 기술이다. 순환은 지

속가능발전의 전 분야에 걸쳐 적용해야 할 원리로, 사회경제 분야에도 해당된다. 지역경제에 적용되는 예를 보자[그림 2-6 참조]. 지역 학교의 음식물 쓰레기와 축산농가의 소 분뇨가 함께 모여 발효되면서 유기비료와 바이오가스를 생산한다. 유기비료는 인근 유채 농장에 보내진다. 그 비료를 바탕으로 성장한 유채화는 유채기름을 생성하고 이는 바이오가스와 함께 전기와 열을 생산한다. 이렇게 생산된 전기는 전력망을 통해, 열은 열 네트워크를 통해 다시 지역 학교와 공동체로 보내진다. 유채농장의 유채화 찌꺼기는 인근 축산농가에 보내져 소를 살찌운다. 이렇듯 물질·에너지가 순환하면서 공급사슬이 유지될수록 지속가능성은 높아지는 것이다.

[그림 2-6] 물질·에너지의 순환 예 (Mass-Energy Closed Circulations) : 지역공동체와 농업(소, 유채)의 공급 사슬 관리(Supply Chain Management)



자료 : Wuppertal Institute(2001)에서 보완

생태계의 먹이사슬도 일종의 순환이다. 미생물→하등생물→고등생물로 순환되는 먹이사슬을 통해 생태계는 유지된다. 지속가능발전 기여 과학기술은 생태계의 먹이사슬을 훼손하지 않는다. 먹이사슬을 훼손하는 양태는 크게 두 가지다. 기후변화에 따라 북극곰의 생존이 위협받듯이 어떤 종이 직접 타격을 받아 멸종되는 경우로, 그 사라진 종으로 인해 먹이사슬에 공백이 생기는 것

이다. 다른 경우는 먹이사슬에 끼어드는 독성물질을 배출하는 것으로, 그 독성 물질이 먹이사슬을 통해 순환하거나 고등생물로 계속 올라가 집적된다. 물론 그 독성물질에 크게 취약한 종들은 더 큰 위협을 받는다. 중금속이나 잔류성 유기오염물질(Persistent Organic Pollutants : POPs)이 그러한 예다.

평형도 자연계의 주요한 특성이다. 지속가능발전 기여 과학기술은 자연계의 동적 평형을 따르고 촉진한다. 지구촌 최대 환경이슈인 기후변화의 원인도 온실가스 과다 배출로 지구 열수지의 평형이 훼손되었기 때문이다. 지구 복사열 평형을 회복하여 지구 온난화 완화에 기여하는 과학기술은 지속가능발전에 봉사하는 것이다.

자연계를 포함한 이 세상의 모든 것은 엔트로피 법칙에서 벗어날 수가 없다. 모든 시스템은 그 존재와 활동 자체가 수반하는 무질서 증가를 피할 수 없다. 따라서 닫힌 시스템(Closed system)은 결국 무질서(폐열과 폐기물 등)가 최대가 되면 소멸된다. 열린 시스템(Open system)은 끊임없이 내부의 무질서를 외부로 보내면서 엔트로피 증가를 억제하여 질서를 유지한다. 예를 들면 동물체의 경우, 끊임없이 호흡을 통해 폐가스(예 : 이산화탄소)를 배출하고, 배설물을 통해서도 폐열과 폐기물을 밖으로 내보내어 무질서를 낮춘다. 날숨과 배설 과정은 질서를 흡수하기 위한 전제 조건이다. 그것은 신선한 들숨과 영양물 즉, '질서'의 섭취를 가능케 하여 생명체를 유지시킨다. 하지만 질병이나 노화로 이러한 날숨과 배설 과정에 이상이 생기고 내부의 무질서가 최대가 되면 죽음이라는 불청객이 찾아온다.

지속가능발전 기여 과학기술은 엔트로피의 증가를 최소화한다. 과학기술의 개발, 확산, 활용, 폐기처리에 수반되는 무질서의 최소화를 지향하는 것이다. 예를 들어 화석연료 기반 에너지 기술은 대기오염 gas와 온실가스를 막대하게 배출하여 지구 시스템의 엔트로피를 빠르게 증가시키고 있는 반면, 태양에너지 기술은 거의 오염물 배출이 없다(Zero-emission). 이와 같이 재생가능 에너지 기술은 대부분 저엔트로피 기술이다.

엔트로피와 기술 패러다임의 관계도 흥미롭다. 역사적으로 주위 환경의 엔트로피가 축적되어 임계적 변환점에 도달하면 새로운 종류의 물질·에너지원

기반으로의 전환이 일어나고 그와 더불어 새로운 양식의 기술, 새로운 유형의 사회적, 경제적, 정치적 제도가 창출된다<sup>21)</sup>(리프킨, 1992).

지속가능발전 기여 과학기술은 적정 규모와 속도를 지향한다. 즉, 사회와 자연생태계에서 처리할 수 있는 범위 내의 규모와 속도로 영향을 준다. 예를 들어 자연계에서 쉽게 분해되지 않아 장기간에 걸쳐 독성을 띠는 잔류성 유기오염물질의 배출은 피하거나 대체한다. 한편 자원소비 영역에서도 적정 속도는 중요하다. 재생가능 자원도 재생 속도 내에서 이용·소비되어야 하며, 재생 불가능 자원의 소비는 재생가능 자원으로 대체될 수 있는 속도 내에서 유지되어야 한다(Meadows et al., 1993).

안전도 지속가능발전 기여 과학기술이 지향하는 가치다. 리스크 관리가 중시되며 인류와 자연생태계의 안전을 도모한다.

분산화도 미래 기술의 트렌드이자 지속가능성의 기초이다. 지속가능발전 기여 과학기술은 가능하면 시스템을 분산하여 리스크를 줄인다. 이는 적정 규모와 속도를 유지하게 하고 지역경제에도 기여케 한다.

지속가능발전 기여 과학기술은 연성적 해법을 중시한다. 연성적 방안은 참신한 아이디어로 불필요한 엔트로피 증가를 일으키는 하드웨어의 증설을 피할 수 있다. 예를 들어 독일에서 철도로 출장을 간 낫선 도시에서 핸드폰으로 역이나 가까운 거리에서 바로 자전거를 빌릴 수 있다. 사용 후에는 가까운 역이나 거리 아무데나 다시 묶어놓으면 반납이 끝난다. 핸드폰으로 대여 등록부터 결제까지 가능하다. 이러한 'Call a Bike' 아이디어는 교통 수용량을 늘리기 위해 도로를 늘리고, 다시 그 도로 위로 늘어나는 자동차의 대기오염을 처리하기 위해 재원을 증가하는 것보다 훨씬 효과적일 수 있다. 중요한 것은 공급자 위주의 물량 증가가 아니라 수요자가 누리는 최종 가치라는 관점이다.

공급 위주에서 연성적 수요 관리로의 전환이 실효를 거둘 수 있는 분야는 많다. 가령 발전소의 증설보다는 절전의 최적관리방안(BEP)을 확산하는 것이

21) 새로운 물질·에너지 기반은 그 특정한 물질·에너지 자원을 수집하고 교환하고 폐기하는 새로운 기술의 개발에 대한 배경이 된다. 새로운 기술 형태에 따라 새로운 제도, 정책, 가치관, 세계관, 경제제도의 유형, 운송수단, 통신수단, 도시의 위치, 설계, 기능도 출현한다. 화석연료와 석유화학물질 및 특정광물의 조합인 현재의 물질·에너지원의 고갈이 진전됨으로써 새로운 물질·에너지원으로의 전환이 요구되고 있다.

더 나올 수 있다. 이는 송전과정의 엄청난 누수율을 고려할 때도 그렇다. 발전에서 분배 및 송전 과정을 거쳐 최종수요자에게 전달되는 에너지는 투입연료의 약 9.5%에 불과하다<sup>22)</sup> (Hawken, et al., 2000).

지속가능발전 기여 과학기술은 충족성을 지향한다. 즉 효율의 향상에도 한계가 있다는 점을 인식한다. 생태효율의 진작의 경우 개개 시스템에서 의미가 있고 필요하지만, 시스템을 총괄하는 전체 관점에서는 개별 시스템의 총량의 증가를 살펴야 한다. 총량에는 한계가 있고 생태 충족성(eco-sufficiency)을 고려해야 한다. 예를 들어, 개별 자동차의 엔진의 성능이 향상되었으나 자동차 절대 수 증가와 그에 따른 교통체증은 그 향상을 상쇄할 수 있다(조지, 2006). 효율의 증진이 과잉기술<sup>23)</sup> (Overskill)처럼 엔트로피의 관점에서는 에너지의 흠어짐과 세계의 무질서를 촉진 가속화시키는 측면도 있다. 이러한 측면은 생태충족성 개념의 필요성을 뒷받침해 준다.

## 2) 사회경제적 측면의 지속가능발전 기여 과학기술의 기초

사회경제적 측면에서의 지속가능발전 기여 과학기술의 기초도 환경적 측면에서의 그것을 거의 원용할 수 있다. 사회경제적 순환, 평형, 저엔트로피, 안전, 적정 규모와 속도, 충족성 등 모두 유효하다.

경제적 순환을 보자. 기업은 부를 창출하고 그 일부를 미래를 위해 R&D에 투자할 필요가 있다. 그 R&D의 실용화를 통해 시장을 확대하고 부가 증가하면 다시 R&D 투자의 여력이 늘어난다. 이러한 선순환을 통해 기업은 성장하는데 그 순환을 지원하는 과학기술은 경제적 지속가능성에 봉사하는 것이다. 따라서 선순환은 생태계뿐만 아니라 사회경제 유지 및 성장의 원리이기도 하다. 인터넷이나 교육공학기술과 같은 선순환을 만드는 도구로서의 과학기술의 역할에 다시 한 번 주목할 필요가 있다.

사회적 엔트로피 최소화예를 보자. 문화재 주변을 지나는 터널 관통을

22) 발전소에 투입된 연료를 100이라 하면 우선 발전소 자체에서 70%가 손실된다. 이어서 전환(transmission)과 분배에서 9% 손실, 그에 대해 모터에서의 손실이 10%, 다시 drivetrain에서 2%, 또 펌프에서 25%, throttle에서 33%, 파이프에서 20% 손실이 연쇄적으로 발생한다. 끝으로 활용될 수 있는 에너지는 약 9.5%에 불과하다(Hawken, et al., 2000).

23) Eugen Schwartz의 개념

두고 사회적 갈등이 생겼다고 하자. 문화재 보호를 둘러싸고 터널의 영향에 대해서 찬반 논쟁이 생긴다. 급기야 그 지역 주민들이 찬반 그룹으로 분리되고 갈등이 첨예화될 수 있다. 그러나 건설사업 시작 전에 그 터널의 필요성과 사회문화적 영향을 과학적으로 점검했다면 사회갈등을 충분히 예방하여 저엔트로피를 유지할 수 있다. 이렇듯 지속가능발전 기여 과학기술은 갈등 사전예방에도 기여한다.

아울러 사회경제적 측면에서 하이터치가 강조될 수 있다[그림 2-5 참조]. 이는 미래에 특히 강조되는 특성으로, 인간의 얼굴을 한 고감도 과학기술이 추구되는 것이다. 이는 감성적 터치와 사회적 약자 보호에 중점을 둔다.

## | 제 3장 | 지속가능발전에 기여하는 과학기술의 지표 틀

### 제1절 국내외 지속가능발전 지표 분석

지속가능발전 지표는 국가 전체의 경제, 환경, 사회 상태와 구조를 모니터링하여 시민과 정책 결정자들에게 필요한 정보를 제공해 준다. 게다가 환경적·사회적·경제적 수행(environmental, social, economic performance)의 방향을 잡아주고 그 성과를 측정하는 도구이기도 하다. 그러나 경도된 지표는 경도된 결과를 낳을 수 있다. 따라서 기존의 지표들이 옳은가, 타당한가를 질문해야 하며 그로부터 많은 것을 배워야 한다.

본고에서는 국내외 지속가능발전 지표들을 비교 분석하여 지속가능발전 기여 과학기술의 지표 틀 탐색의 기초를 마련하고자 한다.

#### 1. 선진국의 국가 지속가능발전 헤드라인 지표

##### 1) 독일

독일은 지속가능발전 지표를 네 개의 큰 테마로 분류하고 있다<표 3-1 참조>. 세대간 정의, 삶의 질, 사회통합, 국제적 책임이 그것으로 지속가능발전의 개념과 원칙을 잘 반영한 분류이다.

먼저, 세대간 정의는 미래 세대에게 오늘날과 같거나 더 나은 환경적, 사회적, 경제적 자원을 넘겨주자는 철학이다. 미래에 대한 투자의 의미도 있고, 오늘의 부채를 내일로 미루지 않는다는 취지도 있다. 삶의 질과 사회통합 테마는 과거로부터 산적되어 온 현재의 문제를 해결하는데 치중한다. 물론 미래로 이러한 문제의 해결을 지연시키지 않으려 한다. 국제적 책임은 공간적 의미를 갖는다. 공간적으로 떨어져 있으나 동시대를 살고 있는 지구촌 구성원에 대한

연대를 지향한다.

네 개의 큰 테마는 각각 다음과 같은 하부 테마로 이루어져 있다. 세대간 정의는 자원 보존, 기후변화 방지, 토지이용, 생물다양성, 정부 부채, 경제적 미래, 혁신, 교육의 하부 테마로 이루어진다. 자원 보존은 소중한 자원의 효율적 사용을 지향한다. 에너지 및 자원 생산성이 그 지표다. 기후변화 방지는 온실가스 감축을 내용으로 한다. 그 지표는 6대 온실가스 배출량이다. 토지이용은 휴식공간 보호를 항목으로 한다. 주택 및 교통용 시설 공간 증가가 지표다. 생물다양성은 종 및 생태계 보호를 내용으로 하며 종 지수가 지표다. 정부 부채는 채무 감축과 기회 창출을 요구한다. 그 지표는 GDP 대비 공공부문 적자이다. 경제적 미래는 긍정적 투자 여건 창출과 지속가능한 복지 보장을 내용으로 한다. GDP 대비 총투자 비율이 지표다. 혁신은 신기술로 미래를 창출하는 것을 지향한다. 그 지표는 GDP대비 민간 및 공공 R&D 지출이다. 교육은 지속적인 교육·훈련 증가를 내용으로 한다. 대학입학 비율을 지표로 삼는다.

삶의 질은 경제적 복지, 이동성, 식품, 대기질, 건강, 범죄의 하부테마로 구성된다. 경제적 복지는 환경적, 사회적으로 긍정적인 성장을 지향한다. 1인당 GDP 대비 총 생산물이 지표다. 이동성은 환경적으로 건전한 이동성 구축을 요구한다. 그 지표는 교통 집약도, 철도 화물 수송률이다. 식품은 환경적으로 건전한 방법을 통한 건강식품 생산을 항목으로 한다. 유기농 지역, 질소과잉 농경지역이 지표다. 대기질은 건강한 환경으로의 촉진을 내용으로 한다. 아황산가스(SO<sub>2</sub>), 질소산화물(NO<sub>x</sub>), 휘발성 유기화합물(VOC), 암모늄(NH<sub>3</sub>) 배출을 지표로 삼는다. 건강은 건강 수명이 항목이다. 그 지표는 자기 건강 만족도, 조기 사망률(65세 이전 사망률)이다. 범죄는 개인 안전 강화를 요구하며 주거지 불법침입이 지표다.

〈표 3-1〉 독일의 지속가능발전 헤드라인 지표

**세대간 정의**

1. 자원 보존-소중한 자원의 효율적 사용 : 에너지 및 자원 생산성
2. 기후변화 방지 - 온실가스 감축 : 6대 온실가스 배출량
3. 토지이용-휴식공간 보호 : 주택 및 교통용 시설 공간 증가
4. 생물다양성 - 종 및 생태계 보호 : 종 지수(11종)
5. 정부 부채-채무 감축-기회 창출 : 공공부문 적자(GDP 대비 %)
6. 경제적 미래-긍정적 투자 여건 창출-지속가능한 복지 보장 : GDP 대비 총투자 비율
7. 혁신-신기술로 미래를 창출 : 민간 및 공공 R&D 지출(GDP대비 %)
8. 교육·훈련-25세 기준 지속적인 교육 훈련 증가 : 대학입학 비율

**삶의 질**

9. 경제적 복지 - 환경적, 사회적으로 긍정적 성장 : 1인당 GDP 대비 총 생산물
10. 이동성 - 환경적으로 건전한 이동성 구축 : 교통 집약도, 철도 화물 수송률
11. 식품 - 환경적으로 건전한 방법을 통한 건강식품 생산 : 유기농 지역, 질소과잉 농경지역
12. 대기질 - 건강한 환경으로 촉진 : SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, VOC, NH<sub>3</sub> 배출지표
13. 건강 - 건강 수명 : 자기 건강 만족도, 조기 사망률(65세 이전 사망률)
14. 범죄 - 개인 안전 강화 : 주거지 불법침입

**사회 통합**

15. 고용 - 고용 평등 증대 : 고용률
16. 가족 - 가족과 직장의 양립 : 어린이 돌봄 종일 규정
17. 형평성 - 사회적 형평성 증대 : 남성과 여성의 연간 총 소득 비율
18. 이민자 사회 통합 - 추방이 아닌 통합 : 중등학교 졸업증명서 미지참 유학생 비율

**국제적 책임**

19. 개발 협력 - 국제적 지속가능 발전 지원 : GDP에서 공적, 사적 발전지원금 비율
20. 시장 개방 - 개발도상국의 무역 기회 증대 : 개도국으로부터의 EU의 수입

자료: 지속가능위(2007)

사회 통합은 하부테마로 고용, 가족, 형평성, 이민자 사회 통합을 삼고 있다. 고용은 고용 평등 증대를 요구하며 고용률이 지표다. 가족은 가족과 직장의 양립을 내용으로 한다. 어린이 종일 돌봄 규정이 지표다. 형평성은 사회적 형평성 증대를 항목으로 한다. 그 지표는 남성과 여성의 연간 총 소득 비율이다. 이민자 사회 통합은 추방이 아닌 통합을 요구한다. 중등학교 졸업증명서 미지참 유학생 비율이 지표다.

국제적 책임은 하부테마로서 개발 협력과 시장 개방으로 이루어진다. 개발 협력은 국제적 지속가능 발전 지원을 요구하며 GDP에서의 공적, 사적 발전지원금 비율을 지표로 한다. 시장 개방은 개발도상국의 무역 기회 증대를 내용으로 한다. 그 지표는 개도국으로부터의 EU의 수입이다.

독일은 각 지표별로 대부분 정량적인 미래 목표치를 설정하고 있다. 이 목표에 의거 지표의 추세를 점검한다. 추세는 긍정적, 동일, 부정적으로 나누어진다. 긍정적인 추세(↗)는 목표에 더 가까워지는 것이고, 동일 추세(→)는 더 가까워지지 않고 그대로인 경우다. 부정적인 추세(↘)는 이전보다 목표에서 더 떨어진 경우다.

## 2) 선진국 핵심 지표 공통부분 비교

독일, 프랑스, 영국, 덴마크, 스웨덴의 선진 5개국의 지속가능발전의 공통지표를 살펴본다. 프랑스, 영국, 덴마크, 스웨덴의 지속가능발전 헤드라인 지표는 부록 A에 따로 수록하였다. <표 3-2>는 2개국 이상에서 선정된 지표를 정리한 것이다. 각 국에서 공통으로 선정한 지표는 그만큼 지구적으로 중요하다고 할 수 있다.

가장 눈에 띄는 것은 온실가스 배출량이다. 5개국 모두 공통으로 선정했다. 기후변화를 낳는 온실가스의 지구적 영향의 심각성은 이론의 여지가 없다.

한 나라의 경제 성장을 보이는 1인당 GDP도 중시되고 있다. 프랑스의 경우 그 성장률을 지표로 삼아 1인당 GDP의 점증 또는 점감 추세를 살피고 있다.

상품의 전체 주기인 생산-유통-소비-재활용-폐기의 끝부분인 폐기단계의 물량은 한 나라 산업과 사회경제의 상태와 질을 알리는 바로메타이다. 폐기물배출량을 여러 국가에서 핵심 지표로 삼는 이유가 바로 거기에 있다. 국가에 따라 전체 폐기물량을 추적하기도 하고 프랑스처럼 도시폐기물량을 측정하는 경우도 있다. 분야별 폐기물량을 따져서 분야별 폐기물 관련 지속가능성을 체크하기도 한다. 나라마다의 특수성에 따라 지표 적용의 변화를 줄 수 있다. 우리나라의 경우 특히 산업폐기물량이 증가세이다. 따라서 산업폐기물량을 주의하여 관리할 필요가 있다. 덴마크가 이산화탄소 등가물(CO<sub>2</sub>-equivalent)당 부문별 폐기물 발생량을 추적하는 것은 사례 깊은 방식이다. 온실가스 저감과 폐기물 발생 저감을 함께 관리하려는 것이다.

생물다양성도 중시된다. 나라별로 어떤 생물종을 중시하느냐는 다를 수 있다. 영국과 프랑스의 경우 조류 개체수나 분포지수로 생물다양성의 시금석을

삼고 있다. 일정 지역에서의 생물다양성이 주시되기도 한다. 스웨덴의 경우 주요 서식지의 생물종 수를 살핀다.

얼마나 오래 살 수 있는가에 대한 인간의 관심은 공통적이다. 기대여명이 그 지표다. 기대여명은 한 나라의 위생, 보건 서비스, 생활환경, 수질, 노동강도, 인구 등 다양한 측면의 발전상을 간접적으로 보여준다. 선진국일수록 일반적으로 기대여명이 길어진다.

에너지 사용량도 주요 지표로 온실가스 배출량과도 직결된다. 프랑스처럼 교통·수송 부문 등 에너지 사용량이 많은 부문을 특별관리 할 수 있다. 덴마크의 경우는 GDP 대비 에너지 소비로 정하고 있다. GDP 성장에도 불구하고 에너지 소비가 줄어든다면 성장과 에너지 소비의 분리가 일어나는 셈이다.

공적개발지원자금 ODA는 개도국에 대한 선진국의 기본 의무가 된지 오래다. ODA 규모를 지표화하거나, GDP 또는 GNI 대비 ODA 비율을 지표로 삼는다. GDP 성장 등 경제규모가 늘어나는데 비례하여 개도국 지원도 증가해야 한다는 의미이다.

〈표 3-2〉 선진국의 지속가능발전 헤드라인 지표의 공통부분

	독일	프랑스	영국	덴마크	스웨덴
1. 온실가스 배출량	온실가스 배출량 (6대 온실가스)	온실가스 배출량	온실가스 배출량	온실가스 배출량	온실가스 배출량 (이산화탄소)
2. 1인당 GDP	-	1인당 GDP 성장률	1인당 GDP	1인당 GDP	-
3. 폐기물배출량	-	도시폐기물	폐기물 배출량	CO <sub>2</sub> 등가물당 부문별 폐기물 발생량	폐기되는 원료량
4. 생물다양성	종 지수	일반 조류개체 분포지수	야생조류 개체 수	-	주요서식지 생물 수
5. 기대여명	건강기대여명	건강기대여명	건강기대여명	평균 수명	-
6. 에너지 사용량	-	교통, 수송 부문	-	GDP대비 에너지소비	에너지이용
7. ODA	GDP 대비 공적원조 비율	ODA	-	GNI 대비 지원금 비율	-

(계속)

	독일	프랑스	영국	덴마크	스웨덴
8. 고용률	고용률	-	노동가능인구 중 취업자 비율	연령별 고용률	-
9. 대기질	대기오염 물질 지표	-	대기오염 기준 초과 날 수	-	도시 대기 중 벤젠 수준
10. GDP 대비 총 투자 및 사회투자	GDP 대비 총 투자비율	-	GDP 대비 총 투자 및 사회투자	-	-
11. 범죄	주거지 불법 침입	-	범죄율	-	-
12. 화학물질	-	-	-	화학물질	유해화학물질

자료 : 지속가능위(2007)

일자리는 인간이 사회에 기여하고 자신의 의식주를 해결하기 위한 기반이다. 고용률이 그 지표다. 영국은 노동가능인구 중 취업자 비율로 좁혀서 추적한다. 덴마크의 경우 연령별 고용률을 지표로 두고 있다. 우리나라처럼 청년실업이 심각한 나라에서는 적용할 만한 지표다.

대기질이 주요 지표가 되는 것은 도시에 거주하는 인구수가 절대적으로 많기 때문이다. 게다가 대기질은 일상생활의 질을 결정할 뿐 아니라 질병의 위험을 높인다. 신체적으로 취약한 계층에게는 더욱 그렇다. 스웨덴의 경우는 도시 대기 오염물질 중 구체적으로 벤젠의 농도를 지표로 삼는다. 벤젠은 대표적인 발암물질이다.

투자는 미래의 준비다. GDP 대비 총투자나 사회투자가 그 지표다. 사회투자는 사회복지와 연결된다.

사회안전을 위해 빼놓을 수 없는 지표가 범죄다. 영국과 독일은 범죄율과 주거지 불법침입 건수를 추적하고 있다.

환경오염과 생태계 위협은 많은 유해 화학물질이 원인이다. 그래서 스웨덴의 경우 유해 화학물질량으로 모니터링한다. 덴마크는 전체 화학물질 수를 점검한다.

## 2. UN의 지속가능발전 지표

UN은 지속가능발전 지표를 선도한다. UN의 지표는 각국의 모델이 된다.

1996년과 2001년 버전의 UN 지표는 사회, 환경, 경제, 그리고 제도 분야로 나누어진다. 그 아래로 테마와 하부테마가 가지를 친다.

사회 분야는 사회구성원인 인구, 그 구성원의 부의 상태 및 관계, 구성원 사이의 안전, 구성원을 재생산하기 위한 교육을 내용으로 삼는다<표 3-3 참조>. 그 테마는 평등, 건강, 교육, 주거, 안전, 인구이다. 평등의 하부테마는 가난, 성 평등이다. 건강은 영양 상태, 수명, 위생, 식수, 보건복지 제공으로 구성된다. 교육은 교육수준, 문맹의 하부테마를 갖는다. 주거의 하부테마는 생활 조건이다. 안전은 범죄를 하부테마로 둔다. 인구는 인구 변화가 하부 테마다.

〈표 3-3〉 UN의 사회 분야의 지속가능발전 헤드라인 지표 - 2001년 버전

사 회 분 야		
테마	하부 테마	지표
평등	가난	빈곤선 이하로 사는 인구 비율(%)
		수입 불평등의 지니 지수
실업률		
	성 평등	남성 평균 임금에 대한 여성 임금 비율
건강	영양 상태	어린이 영양 상태
	수명(Mortality)	5세 이하의 사망률
		출생시의 기대수명
	위생	적절한 배설물(sewage) 처분 시설을 보유하는 인구 비율(%)
	식수	안전한 식수에 접근하는 인구 수
보건복지 제공 (Healthcare delivery)		주요 보건복지 시설에 접근하는 인구 비율
		전염성 어린이 질병에 대한 면역화
		피임약 보급률(Contraceptive Prevalence Rate)
교육	교육수준	의무 교육(Primary education) 5학년에 도달하는 어린이 수
		성인 2차 교육 성취 수준
	문맹	성인 문맹률
주거	생활 조건	1인당 주거 바닥 면적(Floor area)
안전	범죄	인구 10만명당 기록된 범죄 수
인구	인구 변화	인구 성장률
		도시의 정식 및 비정식(informal) 경주 인구수

자료 : UN(2007)

환경 분야는 공간적 대상들과 그 공간에서 삶을 펼치는 생물들의 이야기이다<표 3-4 참조>. 그 테마는 대기, 국토(Land), 대양/근해/연안, 담수, 생물 다양성으로 구성된다. 대기의 하부테마는 기후변화, 오존층 감소, 대기질의 테마로 구성된다. 국토는 농업, 숲, 사막화, 도시화의 하부테마를 갖는다. 대양/근해/연안은 하부테마로서 연안지역과 어업을 둔다. 담수는 수량과 수질의 하부테마로 대별된다. 생물다양성의 하부테마는 생태계와 생물종이다.

<표 3-4> UN의 환경 분야의 지속가능발전 헤드라인 지표 - 2001년 버전

환 경 분 야		
테마	하부 테마	지표
대기	기후변화	온실가스 배출
	오존층 감소	오존층 훼손 성분의 소비
	대기질	도시 지역의 대기 오염물질의 농도(ambient)
국토(Land)	농업	arable과 영구 경지(곡물 토지) 면적
		비료의 이용
		농약(pesticides)의 사용
	숲	국토에서의 숲 면적의 비율(%)
	사막화	사막화 된 국토
대양/근해/연안	연안지역	연안 해수에서의 해조류(algae)의 농도
		연안지역에서 사는 총 인구의 비율(%)
	어업	주요 종의 연간 어획
담수	수량	총 이용 가능한 담수 가운데 지하수 및 지표수 연간 취수량(withdrawal)
	수질	수체(Water body)에서의 생물학적 산소 요구량(BOD) 담수에서의 대장균(faecal coliform)의 농도
생물다양성	생태계	선정 핵심 생태계의 면적
		총 면적에서의 보호 면적 비율(%)
	생물종	선정 핵심 종의 풍부성

자료 : UN(2007)

경제 분야의 테마는 경제구조, 소비와 생산 패턴으로 대변된다<표 3-5 참조>. 경제구조의 하부테마는 경제 능력, 무역, 재정 상태이다. 소비와 생산 패턴은 물질 소비, 에너지 이용, 폐기물 배출과 관리, 수송의 하부테마를 보유하고 있다.

〈표 3-5〉 UN의 경제 분야의 지속가능발전 헤드라인 지표 - 2001년 버전

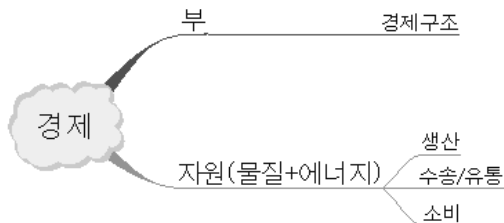
경 제 분 야		
테마	하부 테마	지표
경제구조	경제 능력(economic performance)	1인당 GDP
		GDP에서 투자가 차지하는 비중
	무역	상품과 서비스에 있어서의 무역 수치
	재정상태	GNP 대비 부채 비율
GNP 대비 총 ODA가 제공되거나 수여된 비율(%)		
소비와 생산 패턴	물질 소비	물질 이용 강도
	에너지 이용	연간 1인당 에너지 소비
		재생가능에너지원의 소비 비중
		에너지 이용 강도
	폐기물 배출과 관리	산업 및 도시 고형 폐기물의 생성
		위험 폐기물의 생성
		방사능 폐기물의 관리
		폐기물 재순환 및 재이용
수송	수송 모드별 1인당 이동 거리	

자료 : UN(2007)

경제 분야의 테마는 부의 흐름과 자원의 흐름을 대표하는 것으로 볼 수 있다[그림 3-1 참조]. 경제구조가 전자에 해당하고 소비와 생산의 패턴이 후자에 상응한다. 부의 흐름은 상품 제조·판매와 서비스 등 경제활동에 따른 부의 증가, 외국과의 (상품, 서비스를 통한) 부의 교환, 국가 차원에서 부의 수치 상태(재정 상태) 등의 측면이 있다.

자원의 흐름은 자원이 투입되는 단계에서의 물질 및 에너지 소비 측면, 이를 바탕으로 제품이나 서비스가 창출된 후 유통되는 수송의 측면, 끝으로 투입단계의 남은 자원이나 활용된 제품 및 서비스의 폐기물 관리의 측면으로 이루어진다.

[그림 3-1] 경제 분야 테마의 갈래



주 : 폐기물은 물질 흐름과 이어짐

제도 분야는 제도 틀과 제도 역량의 테마로 이루어진다<표 3-6 참조>. 제도 틀은 지속가능발전의 전략적 이행, 국제 협력의 하부 테마를 갖는다. 제도 역량의 하부테마는 정보 접근, 통신 인프라, 과학기술, 재난 대비와 대응이다.

제도 분야는 사회, 환경, 경제 분야의 기반이자 지원 역량의 성격을 띤다. 제도분야의 활력과 잠재력이 세 분야를 내포하는 지속가능발전의 주요한 힘이다. 환경지속성을 주로 다루는 세계경제포럼의 환경지속성 지수에서도 제도적 능력을 주시하고 있다(ESI, 2002).

<표 3-6> UN의 제도 분야의 지속가능발전 헤드라인 지표 - 2001년 버전

제 도 분 야		
테마	하부 테마	지표
제도 틀	지속가능발전의 전략적 이행	국가 지속가능발전 전략
	국제 협력	비준된 지구적 협정의 이행
제도 역량	정보 접근	주민 1천 명당 인터넷 가입자 수
	통신 인프라	주민 1천 명당 주요 전화 라인
	과학기술	GDP에서의 R&D 지출 비율(%)
	재난 대비와 대응	자연재난으로 인한 경제적 인적 손실

자료 : UN(2007)

UN은 최근 지표 구조를 바꿨다(CSD, 2007). 2001년 버전의 지표들을 점검하여 새로운 사고방식을 투입하고, 그간의 각국의 경험을 반영하여 UN의 다른 지표들과 시너지 효과를 최대화하고자 하였다. 함께 시너지를 겨냥한 다른 지표는 밀레니엄 발전 목표 지표(Millennium Development Goal Indicators) 등이다.

새 버전의 지표는 분야별로 범주화하지 않고 바로 테마로 들어간다. 14개 테마 아래 50개의 핵심지표가 구성되었다<표 3-7 참조>. 50개의 핵심지표는 전체 98개의 지속가능발전 지표의 일부이다. 14개의 테마는 빈곤, 거버넌스, 건강, 교육, 인구, 자연 위험, 대기, 국토, 대양/근해/연안, 담수, 생물다양성, 경제발전, 지구적 경제 파트너십, 소비와 생산 패턴이다.

〈표 3-7〉 UN의 지속가능발전 14 테마 – 2007년 버전

○ 빈곤	○ 자연 위험	
○ 거버넌스	○ 대기	○ 경제발전
○ 건강	○ 국토	○ 지구적 경제 파트너십
○ 교육	○ 대양/근해/연안	○ 소비와 생산 패턴
○ 인구(demographics)	○ 담수	
	○ 생물다양성	

흥미로운 것은 UN의 14개 테마와 50개 지표의 연관도 매트릭스이다<부록 B 참조>. 매트릭스를 통해서 테마와 직결되는 지표뿐만 아니라 간접적이거나 약하게 또는 장기적으로 연관되는 지표들을 한눈에 볼 수 있다. 이 매트릭스 접근방식은 두 가지 이점을 제공한다. 우선 테마의 주요 지표를 선정할 때 객관성을 높인다. 아울러 한 테마와 연계된 다양한 지표들을 총체적으로 인식하고 관리할 수 있게 해준다.

예를 들어 보자. 교육에 직접적으로 관계되는 지표는 과년도 의무교육 졸업년도로의 성별 진급자, 의무 교육의 순 등록률, 성별 직업 교육 달성수준, 평생교육, 성별 성인 문맹률이다. 하지만 교육은 교육 외적 조건에 영향을 받는다. 가난하면 교육을 받을 기회를 누리기 어렵게 된다. 그러니 빈곤선 이하의 인구비율은 교육 테마에 영향을 준다. 건강도 교육 테마와 유관하다. 건강하지 못하면 학교에 갈 수 없다. 전염성 어린이 질병에 대한 면역, 흡연율, 출생시기대 수명, 기대 건강 생활 기간은 교육 테마와 연계된다. 인구도 교육 테마와 관련된다. 아이를 낳지 않으면 교육할 학교도 필요 없잖은가. 인구 성장률, 총출산율이 영향 요소이다. 환경도 교육테마에 영향을 준다. 사막화나 토지 감소는 학교가 설 땅을 잃게 한다. 노동도 교육에 영향을 준다. 제3세계의 경우이지만 학교에 있을 아이들이 노동현장으로 가는 경우가 있다. R&D 지출도 교육테마에 영향을 준다. 두 가지 경로다. R&D의 결과는 교육의 내용을 풍부하게 하고 질을 높인다. 다른 한편으로는 교육 인프라(예 : IT)의 질도 R&D에 영향을 받는다.

다른 예를 보자. 대기에 관계되는 지속가능발전의 직접적 지표는 온실가스 배출, 총 및 부문별 이산화탄소 배출, 오존층 훼손 성분의 소비, 도시 지역의

대기 오염물질의 농도이다. 간접적으로 연계된 지표도 있다. 대기 오염물질 고 배출의 연료 소비가 관련된다. 조리를 위해 고형 연료를 이용하는 인구의 비율은 대기 테마에 영향을 준다. 숲이 많으면 대기 오염의 저감이나 정화에 기여한다. 따라서 국토면적의 숲의 비율, 지속가능한 숲의 관리 면적은 대기와 연계된다. 국토 및 도시의 매력 요인의 하나가 대기이다. 대기가 나쁜 나라에 관광객의 발길이 끊기게 된다. GDP에 대한 관광 기여도 역시 간접적으로 대기 테마를 점검할 수 있는 지표다. 사회경제활동에 따른 에너지 소비의 양과 양태는 대기와 크게 연관된다. 에너지 연소에 따른 배출물들이 대기를 오염시키기 때문이다. 1인당 연간 에너지 소비, 재생가능에너지원의 소비 비중, 총 및 부문별 에너지 이용 강도는 대기 테마와 연동된다. 폐기물도 대기에 영향을 준다. 폐기물의 처리나 처분과정에서 대기 오염 물질이 배출되기 때문이다. 소각이나 매립이 그 예이다. 위험 폐기물의 생성도 같은 맥락이다. 수송·교통이 대기와 관계됨은 두말할 나위가 없다. 수송·교통 수단의 동력은 에너지 연소를 통해 얻어지고 그 배출물은 대기를 오염시킨다. 국내 여객 수송에서의 차량 공유(Car share), 국내 화물 수송에서 도로가 차지하는 비중(철도 등과 비교), 수송의 에너지 소비 강도가 대기에 영향을 준다.

### 3. OECD의 경제적 성장으로부터의 환경에 대한 압력의 분리 지표

경제적 성장으로부터의 환경에 대한 압력의 분리(decoupling) 의미는, 거시적으로 경제적 성장과 환경에 대한 부하를 분리시키는 것, 즉 경제적 성장이 환경파괴를 야기하지 않도록 하는 것으로, 이는 지속가능한 발전을 위한 기본적인 토대이다.

OECD의 분리 지표는 크게 두 부분으로 나뉜다(OECD, 2002b). 우선 경제 관련 분리 지표이다<표 3-8 참조>. 이는 세부적으로 기후변화, 대기오염, 수질, 폐기물 관리, 광물 사용, 자연 자원, 어장, 생물 다양성에 대한 충격을 줄이는지를 살펴보는 것이다. 다른 한 부분은 특정 부문을 위한 분리 지표이다. 에너지, 수송, 농업, 제조에서의 환경 부하를 완화시키려는지를 살펴본다. 부

문 지표는 각 부문이 한 나라의 총체적 환경부하에 어떤 영향을 주고 있는지 파악하는데도 일조한다.

〈표 3-8〉 잠재적인 분리 지표

△ 광범위한 경제관련 분리 지표(Economy-wide decoupling indicators)

구 분	세부 구분	지 표	데이터 가용성
기후변화		GDP당/일인당 총 온실가스 배출	a
		GDP당/일인당 총 이산화탄소 배출	a
대기오염		GDP 단위당 총 NOx 배출량	a
		GDP 단위당 총 SOx 배출량	a
		GDP 단위당 총 미세먼지 배출량	b
		GDP 단위당 총 VOC 배출량	b
수 질		총인구 대비 오폐수 처리장에 연결되지 못한 인구	a
		총 인구 대비 가정으로부터 환경으로 배출되는 영양물질(nutrients)	c
폐기물 관리		사적인 최종 소비 대비 최종처분으로 가는 도시 폐기물량	a
		사적인 최종 소비 대비 재순환을 위해 수거되지 않은 유리의 양	b
광물 사용 (Mineral Use)		GDP 단위당 직접 물질 투입량	b
		GDP 단위당 생태적 사용량(Ecological Footprint ; 에너지 요소 제외)	c
자연 자원	수자원	GDP 단위당 총 담수 사용	b
	숲과 숲의 생산물	분리 지표 : 예, 생산단위당 또는 오래 성장한 숲의 사용에 대한 생물다양성의 손실	아직 적합한 분리지표가 정의되지 못함.
		GDP 대비 재순환되지 않는 종이 및 카드보드의 양	a
어장		식품 소비 대비 어류의 수획·생산	c
생물 다양성		GDP 단위당 자연자본 지수(Natural Capital Index)의 부하 버전(pressure version)	c

주 : a. 개념적으로 건전하고, 1990년부터 최소 20개국가로부터 이용가능한 데이터

b. 개념적으로 건전하나, 주어진 기간에는 충분한 국가 수에서 이용가능하지 못한 데이터

c. 측정 문제 또는 정의의 문제(분리와의 관련성을 포함하여) 및 통계적 격차를 아직 해소해야 함  
자료 : OECD(2002b)

△ 특정 부문을 위한 분리 지표

구 분	세부 구분	지 표	데이터 가용성
에너지		GDP 단위당 에너지 사용으로부터의 CO <sub>2</sub> , SO <sub>x</sub> , NO <sub>x</sub> 배출량	a
		전기발전에 따른 CO <sub>2</sub> 배출량	a
		바닥면적 제곱미터당 주거와 상업부문으로부터의 에너지와 관련된 CO <sub>2</sub> 배출량	b
수 송		GDP 단위당 승용차와 화물차(승용, 화물 결합 포함)로부터의 CO <sub>2</sub> , SO <sub>x</sub> , NO <sub>x</sub> , VOC 배출량	a
		GDP 단위당 승용차 관련된 NO <sub>x</sub> , VOC 배출량	c
		GDP 단위당 화물 도로수송과 관련된 NO <sub>x</sub> , VOC 배출량	c
농 업		농업 산출물 대비 토양 표면의 질소 과잉량	b
		농업 산출물 대비 농업으로부터의 메탄과 질소산화물의 배출	c
		물의 집중도 : 농업 산출물 대비 총 농업용수사용	b
		최종 수확 산출물 대비 상업 비료의 사용량	b
		최종 수확 산출물 대비 살충제 소비량	c
제 조		제조산업으로부터의 NO <sub>x</sub> 배출량 대비 부가된 제조 가치	b
		제조산업으로부터 발생된 폐기를 대비 부가된 제조 가치	c
		에너지 집중한 산업으로부터의 CO <sub>2</sub> 배출량 대비 부가된 제조 가치	b
		제조산업에 의한 담수 사용 대비 부가된 제조 가치	b

주 : a. 개념적으로 건전하고, 1990년부터 최소 20개국으로부터 이용가능한 데이터  
 b. 개념적으로 건전하나, 주어진 기간에는 충분한 국가 수에서 이용가능하지 못한 데이터  
 c. 측정 문제 또는 정의 문제(분리와의 관련성을 포함하여) 및 통계적 격차를 아직 해소해야 함  
 자료 : OECD(2002b)

분리지표는 같은 기간 동안의 추동력의 변화와 비교하여 환경압력의 변화를 설명한다<표 3-9 참조>. ‘압력’ 지표와 그로부터 추론되는 ‘분리’ 지표들은 환경 또는 경제 정책의 장기적 영향 하에 있는 ‘상태’ 지표보다 단기적으로 변화시키기 쉽다.

분리 지표의 환경변수(Environmental Variables)는 대부분 물리적 단위로 표시되고, 경제적 변수들은 정해진 연도의 금액 단위나 물리적 단위로 표시된다. 하지만 추동력 관련 변수가 때로는 인구성장과 같은 다른 변수를 포함할 수 있다. <표 3-8>에 제시된 많은 지표들은 시간 대비 변화로 표시된다. 분리는 환경 부하 변수의 성장률이 GDP 같은 경제적 추동력의 성장률보다 더 적을 때 일어난다. ‘절대적 분리(Absolute decoupling)’는 만일 GDP가 양의 성장을 나타낸다면, 환경 부하 변수의 성장률이 영이거나 음일 경우(즉, 환경

이 안정적이거나 더 나아짐)에 일어난다[그림 3-2 참조]. ‘상대적 분리(Relative decoupling)’는 환경과 관련된 변수의 성장률이 양이지만 GDP의 성장률보다 작을 때 일어난다[그림 3-3 참조]. 물론 환경 압력의 절대적 분리가 근본적 지향점이다.

정량적으로 국가 간에 분리를 비교하기 위해서, 주어진 기간의 시작과 종료시점의 분리지표 값의 비율(Decoupling Ratio)을 아래와 같이 정의할 수 있다.

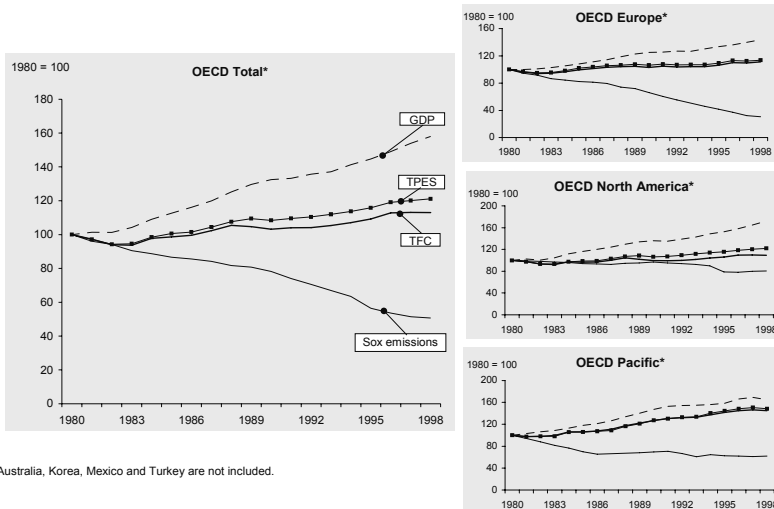
### 〈표 3-9〉 분리 지표 비율

$$\text{Decoupling Ratio} = (\text{EP/DF})_{\text{end of period}} / (\text{EP/DF})_{\text{start of period}}$$

EP : 환경압력(Environmental Pressure) ; DF : 추동력(Driving Force)

[그림 3-2]을 보면 OECD 전체 국가의 경우 GDP가 성장함에도 불구하고 황산화물 SOx 배출은 오히려 줄어드는 절대적 분리가 일어났다. 그 분리의 정도는 유럽, 북아메리카, 태평양 등 지역별로 달랐다.

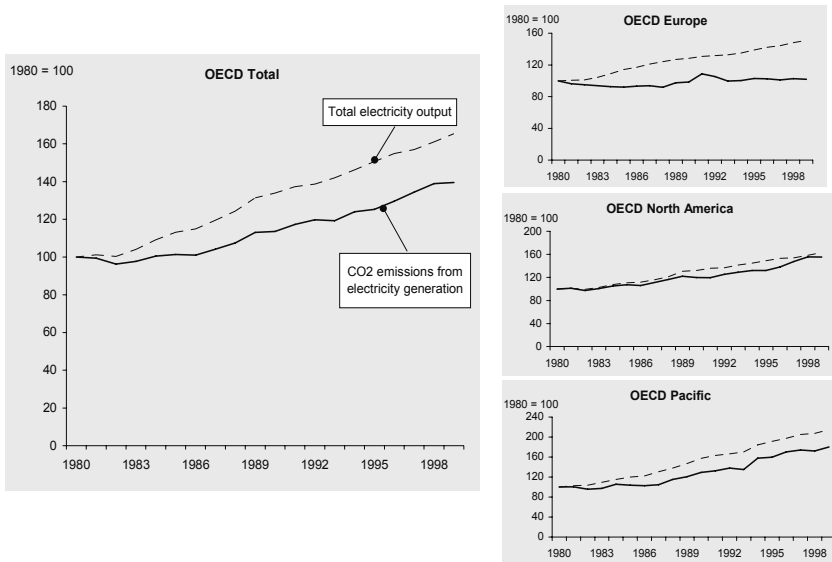
[그림 3-2] 1980-1998년 사이의 OECD 국가의 GDP 대비 에너지사용으로부터의 SOx 배출(1980년을 100으로 기준)



자료 : OECD(2002b)

[그림 3-3]은 OECD 국가의 전력생산에 따른 이산화탄소 배출강도를 보여준다. 이산화탄소 배출강도의 증가율이 전력생산 증가율에 비해 약간 낮으며, 1989년 이후는 거의 같은 비율로 증가하였다. 이는 화석연료에 의한 전력생산이 큰 비중을 차지하고 있음을 보여준다. 이산화탄소 배출강도를 낮춰서 절대적 분리를 달성하는 것이 지속가능발전의 과제이다.

[그림 3-3] 1980-1999년 사이의 OECD 국가의 전력생산에 따른 이산화탄소 배출강도



자료 : IEA(2003)

UN의 지속가능발전 테마인 빈곤처럼 환경 압력 분리를 하나의 독립된 테마로 설정할 수도 있다. 그 아래 환경 압력과 관계되는 기후변화, 대기오염 같은 하부테마와 지표를 배치할 수 있다.

#### 4. 우리나라의 국가 지속가능발전 지표안

우리나라 국가 지속가능발전지표는 사회, 환경, 경제 분야로 나뉜다<표 3-10 참조>. 사회는 형평성, 건강, 교육, 주택, 재해·안전, 인구 영역으로 구

성된다. 환경은 대기, 토지/국토, 해안/연안, 담수, 생물다양성 영역으로 이루어진다. 경제 분야는 경제구조, 소비/생산, 정보화 등 영역으로 나뉜다. 지표 대부분은 UN이나 OECD와 공통적이며, 비전2030의 방향도 일부 반영하고 있다. 77개의 지표 중에 헤드라인 지표가 결정될 예정이다. 선진국 국가 헤드라인 지표수는 10-20개 사이가 주종을 이룬다.

이러한 지속가능발전을 구체적으로 이행하는 계획에 어떤 테마가 들어가는지는 현 시점에서 전략적인 중요성을 반영한다. 우리나라의 2006년 지속가능발전 이행계획은 1)자연자원의 지속가능한 관리, 2)사회통합과 국민건강 증진, 3)지속가능 경제발전, 4)기후변화 대응과 지구환경 보전, 5)지속가능발전 이행 및 평가체계 구축 5개 영역을 설정했다(지속가능위, 2006).

먼저, 자연자원의 지속가능한 관리는 지속가능한 수자원 관리 및 효율적 이용체계 구축, 쾌적하고 건강한 해양환경 조성, 인간과 자연이 공존하는 지속가능한 국토관리 구현, 건강한 산림생태계 보전·관리 및 지속가능한 산림경영 기반 구축을 전략적 과제로 삼는다.

사회통합과 국민건강 증진은 여성·도시민민 등 소외계층에 대한 사회 안 전망 확충, 도시·농촌간 균형발전, 환경오염 등 국민의 건강위험요인의 사전 예방, 공공보건의료 확충 및 체계 개편, 대화, 타협, 신뢰회복을 통한 정치·경제·사회·문화적 갈등 개선을 전략과제로 하고 있다.

지속가능 경제발전은 환경친화적 생산과 소비 체제 구축 및 지속가능경영 확산, 에너지 저소비형 경제구조 정착을 통한 환경 건전성 제고, 자원순환형 사회 조성을 통한 경제·환경의 상생체제 구축을 전략적 과제로 삼는다.

기후변화 대응과 지구환경 보전은 신·재생에너지 개발 보급 등 온실가스 감축대책의 체계적 추진, 오존층 파괴물질 규제 및 대체물질 개발을 통한 국제의무 준수, 국제협력을 통한 사막화 방지와 열대림 산림복원 지원, 개도국의 정보격차 해소 및 공적개발원조 확대를 전략과제로 설정하고 있다.

마지막으로, 지속가능발전 이행 및 평가체계 구축은 지속가능발전 이행 확산을 위한 법·제도적 기반 확립, 정책의 지속가능성에 대한 사전·사후 평가 체계 구축의 전략과제로 이루어진다.

우리나라의 국가 지속가능발전지표안 <표 3-10>에 주목해야 할 지표가 있다. 맨 마지막의 경제분야의 과학기술 관련 지표인 ‘GDP 대비 R&D에 대한 지출’이 그것이다. 우리나라 지표뿐만 아니라 대부분의 세계 각국 및 기관의 지속가능발전 지표 중 과학기술 관련 지표는 보통 ‘GDP 대비 R&D 투자액’ 하나로 제시된다. 여기서 본고의 후반부를 관통하는 근본적 질문이 등장한다. R&D 투자가 수행된 과학기술들은 대부분의 지속가능발전 테마들과 관계되며 영향을 줄 것이다. 따라서 R&D투자-과학기술-지속가능발전 이 셋의 관계를 명쾌하게 드러낸다면 지속가능발전 과학기술 역량 평가 지표를 찾을 수 있지 않을까? 답은 3장 2절에서 이어진다.

<표 3-10> 우리나라의 국가 지속가능발전 지표안

분야	영역	항목	지표	비교		
				UN	OECD	비전 2030
사회	1.형평성	1-1.빈곤	1) 빈곤인구비율(상대빈곤을 기준)(%)	○		○
			2) 소득불평등에 관한 지니계수	○		
			3) 실업률(%)	○	○	
	1-2.노동	4) 평균 근로시간 5) 정규직대비 비정규직임금수준(%)			○	○
					○	○
	1-3.남녀평등	6) 남성대비 여성임금비율(%) 7) 여성경제활동 참가율(%)		○		○
					○	○
	2.건강	2-1.영양상태 2-2.사망률 2-3.수명 2-4.식수 2-5.건강관리	8) 유소년 영양상태(기준대비 %)	○		
			9) 영아 사망률(%)	○	○	○
			10) 평균수명	○	○	○
			11) 농어촌 상수도 보급률(%)	○		○
			12) 건강보험보장률(%) 13) 국가보건복지지출 14) 유소년 전염병 예방주사(%)	○	○	○
	3.교육	3-1.교육수준	15) 중등학교 순졸업률(%)	○		
			16) 초등학교 학급당 학생 수 17) 교육비(공교육비,사교육비) 지출		○	○
				○		
4.주택	4-1.생활환경	18) 1인당 바닥 면적	○			
		19) 인구 1000명당 주택 수 20) 무주택자 비율(%)		○		
5.재해·안전	5-1.범죄	21) 1000명당 신고된 범죄 수	○			
		22) 자연재해 인명피해·경제적 손실	○			

(계속)

분야	영역	항목	지표	비교		
				UN	OECD	비전 2030
사회	6. 인구	6-1. 인구변화	23) 인구 증가율(%)	○	○	
			24) 인구 밀도(명/km <sup>2</sup> )		○	
			25) 고령인구비율(%)		○	
환경	1. 대기	1-1. 기후변화	26) 온실가스 배출(Gg)	○		
			27) 1인당 온실가스 배출량	○	○	
			28) GDP당 온실가스 배출량		○	
		1-2. 오존층	29) 오존파괴물질의 소비	○		
		1-3. 대기질	30) 광역도시권별 대기오염도(ppm)	○		○
	2. 토지	2-1. 농업	31) 농지면적 비율(%)	○		○
			32) 친환경인증농산물 생산비율(%)			
			33) 식량자급률(%)	○	○	
			34) 비료(질소, 인) 사용(kg/ha)	○	○	
			35) 농약 사용(kg/ha)	○	○	
		2-2. 산림	36) 국토면적 중 산림지역 비율(%)	○		
			37) 도시내 1인당 공원면적	○		○
			38) 목재 벌채 정도(임목축적량 대비)	○		
		2-3. 도시화	39) 도시화율(%)	○		
			40) 수도권 인구 집중도(%)			○
3. 해양/연안	3-1. 연안지역	41) 연안 해조류(클로로필A 등) 농도	○			
		42) 폐기물 해양 투기량				
		43) 갯벌면적 증감 면적 및 비율				
	3-2. 어업	44) 수산자원량(만 톤)	○		○	
		45) 어업양식량(만 톤)		○		
4. 담수	4-1. 수량	46) 지하수 및 지표수의 연간 취수량	○			
	47) 1일 1인당 물소비량			○		
	4-2. 수질	48) (4대강 평균) BOD, COD, SS, pH 농도	○			
		49) 하수도보급률(%)		○	○	
5. 생물 다양성	5-1. 생태계	50) 자연보호지역비율(%)	○	○	○	
		51) 국가생물종 수	○	○		
		52) 멸종위기종 수		○		
경제	1. 경제 구조	1-1. 경제이행	53) 1인당 GDP	○	○	
			54) GDP	○	○	
			55) 경제(실질GDP) 성장률(%)	○	○	
			56) GDP 대비 투자분(%)	○		
			57) 소비자물가지수		○	
	1-2. 무역	58) (상품과 서비스) 무역수지	○			
	1-3. 재정상태	59) 국민 1인당 조세부담률(%)		○		
	60) 부채/GDP(%)	○				
1-4. 대외원조	61) GNI대비 총 ODA	○	○	○		

(계속)

분야	영역	항목	지표	비교		
				UN	OECD	비전 2030
경제	2. 소비/생산	2-1. 물질소비	62) 원료이용도(GDP 1000 달러당)	○		
		2-2. 에너지 사용	63) 1인당 연간 에너지 소비	○	○	
			64) 총에너지 공급량(에너지원별)	○	○	
			65) 재생가능에너지자원 소비 비중	○	○	○
			66) 에너지 원단위(MJ/US 달러)	○	○	○
	2-3. 폐기물 관리	67) 산업 및 도시 고형폐기물 발생량	○	○		
		68) 유해 폐기물 발생량	○	○		
		69) 방사성 폐기물 발생량	○	○		
			70) 폐기물 재활용 및 재이용	○	○	
	2-4. 교통	71) 교통수단별 수송 분담률	○	○		
72) 도로 및 자전거 도로 총 연장			○			
73) 자동차 사고건수(100만명당, 100만 대당)			○			
3. 정보화 등	3-1. 정보 접근	74) 초고속 인터넷 가입자 수	○		○	
		75) PC보유 가구비율		○		
	3-2. 정보 인프라	76) 온라인 신청가능 민원종류건수			○	
	3-3. 과학기술	77) GDP 대비 R&D에 대한 지출	○	○		

자료 : 지속가능위(2007)

## 제2절 지속가능발전 기여 과학기술의 지표 틀 탐색

### 1. 전체 방향

#### 1) 우리나라의 특수성의 동태적 반영

나라마다 걸어온 길이 다르다. 그 과정에서 축적되는 다양한 자취들이 역사를 만든다. 역사적 특수성은 현재와 미래에도 영향을 준다. 물론 과거가 기계적으로 현재와 미래를 결정하는 것은 아니다. 현재를 살고 있는 사람들의 번뜩이는 지혜와 뜨거운 맘이 추가되기 때문이다. 역사적 특수성에는 사회문화적, 지리적 특수성도 녹아있다.

걸어온 길이 다르듯이 가는 길도 다르다. 지속가능발전의 측면에서 해결해

야 할 우리가 안고 있는 우리만의 문제들이 있다<표 3-11 참조>. 그것들은 우리의 현대사가 빠른 속도와 험난한 고난 속에서 그 모습을 주조해 왔기에 간단히 풀릴 것이 아니다. 먼저, 우리나라에서 상대적으로 열악한 부분을 시급히 개선하는 것이 요구된다. 이는 국민의 삶의 질 요구 증대와도 연계된다.

### 〈표 3-11〉 우리나라에 특수하고 중요한 지속가능발전 이슈

- 
- 대도시 삶의 질 열악: 녹지 부족, 차량 및 건물 위주 도시, 사회적 스트레스/압력
  - 환경오염 심각: 대기질, 기후변화 대비 포함
  - 에너지 자립 및 안보: 절약과 재생에너지 관점 포함
  - 양극화, 청년 실업
  - 교육 질의 저하: 성장동력 확충 관점 포함
  - 부동산 버블
  - 남북통일 대비
- 

예를 들어 보자. 우리나라의 경우 환경성이 특히 취약하다. 대도시 대기오염의 심각성이 그 단적인 예다. 서울의 경우 미세먼지의 오염도는 선진국의 주요도시에 비해 2-4배 높으며, 이산화질소 오염도는 2배 정도 높은 수준이다. 더욱이 국가의 새싹들인 유아들이 환경오염 때문에 심각한 병을 앓고 있다. 유아 4명 중 1명이 천식 및 아토피 증상으로 고통 받고 있으며(지속가능위, 2006), 이는 대기오염과 유해 화학물질 배출과 연관되는 질병이다.

이런 배경에서 지속가능발전 정책이 당분간 환경성을 끌어 올리는 데 강조점을 둘 필요가 있다. 동태적으로 환경성의 강조에 우선 무게중심을 크게 두다가 환경성이 개선되면 비중을 줄여나가는 단계적 전략을 쓸 수 있다. 지표 틀에서도 환경성에 목표 가중치를 높여 전체 지속가능발전 지수에서의 비중을 높일 수 있다. 또한, 삶의 질과 직결되는 환경성의 탁월한 개선은 사회성, 경제성에도 긍정적 영향을 줄 것이다. 더 부드러운 사회관계, 사회적 결속의 강화, 사회복지 수준의 상승으로 이어질 가능성이 크며, 경제적 생산성 증가에도 기여할 수 있다.

선진국의 지속가능발전 지표 해석에서 주의해야 할 점이 있다. EU 등 선진국의 환경성은 상당히 양호한 편이다. 물론 절대적 청정지역은 아니다. 하지만

우리나라나 개도국과 비교할 때는 매우 높은 환경 수준을 구가하며, 그에 따른 삶의 질도 높다. 따라서 일부 선진국에서 환경 분야가 헤드라인 지표에 덜 부각된 경우가 있더라도, 우리에게 평면적으로 적용할 수는 없다.

예컨대 선진국은 합리적인 국토관리 체계 아래 중소규모의 도시를 갖고 있는 경우가 대부분이다. 따라서 국가 차원의 지속가능 국토 및 도시 관리의 필요성이 작다. 그러나 우리의 경우는 난개발된 국토와 기형화된 대도시의 문제가 심각하며, 무엇보다도 의식주 생활 중 가장 큰 부담을 주는 것은 '주'다. 이미 전국토의 부동산 가격은 천정부지로 치솟았고, 부동산 버블은 개개인의 삶에 엄청난 경제적 부담으로 작용하고 있다. 이는 모든 분야의 토지와 건물에 해당된다. 슈퍼, 백화점, 자영상점, 오피스텔, 사무실 등은 높은 부동산 가격과 임대비용을 감당해야 한다. 따라서 소비자가 그곳에서 구입하는 상품 가격에 그 비용은 전가되며, 독립하고 싶은 자영업자와 청년 벤처 실업가의 발목을 잡는다. 실패가 용인되고 재시작이 가능한 사회 형성도 어렵게 한다. 부동산 버블의 가장 큰 역작용은 땀 흘려 일하는 대다수 국민들의 의욕과 용기를 잃게 하는 것이다. 사회적 동기의 감퇴 작용이다. 이는 사회적 자산의 막대한 손실을 의미한다.

교육도 우리사회가 안고 있는 심각한 부담이다. 교육 질의 저하와 막대한 사교육비는 국가 지속가능발전을 옥죄고 있다. 도시 서민 및 중산층 대부분이 사교육비의 부담으로 가정 경제의 지속가능성에 큰 타격을 받고 있다. 교육 구조의 왜곡은 부동산 버블 및 열악한 환경질과 함께 우리의 삶의 질을 끌어내리는 주원인이다. 깊이가 얇은 양 위주의 공교육과 그에 연동된 교육제도로 인해 지식기반사회의 성장 동력인 미래의 창조적 인재를 길러내지 못하고 있다. 아울러 새벽부터 밤까지 무의미하며 기계적인 학습과정으로 우리나라 동량들의 건강 지속가능성도 흔들리고 있다.

## 2) 미래 여건 변화 대비 지표 발굴

미래에 새롭게 등장하고 조합될 문제들에 미리 대비하는 것은 어느 분야에 서나 필요하다. 지속가능발전의 지표 발굴에서도 미래 대비 또는 예방 측면의

반영은 최우선으로 요구된다.

미래 지향적 패러다임 변환은 그 아래에서 작동하는 여러 활동들의 무게중심에 변화를 가져온다. 산업 경제와 지식기반 경제의 국가 인프라 사업을 보자<표 3-12 참조>. 산업경제에서는 굴뚝산업을 촉진하고 고도성장을 지원하는 인프라가 중시되었다. 하지만 지식기반 경제에서는 지식기반 산업/서비스 촉진, 삶의 질 향상, 사회복지 대응(고령화 대응 등)을 뒷받침하는 인프라가 중시된다.

〈표 3-12〉 경제 패러다임에 따른 인프라 사업의 변화

경제 패러다임	인프라 사업
산업 경제	굴뚝산업 촉진 고도성장 지원
지식기반 경제	지식기반 산업/서비스 촉진 삶의 질 향상 사회복지 대응

지표는 기본적으로 상태를 평가한다. 그런데 현재 상태가 좋다고 미래에도 좋은 상태가 유지되는 것은 아니다. 또한 미래의 새로운 변화에 따라서는 다른 상태가 필요할 수 있다. 따라서 지표의 적극적이고 능동적(Pro-active)인 역할이 요청된다. 예를 들어 빈곤 상태의 지표도 필요하지만 빈곤을 탈피하는 능동적 흐름(교육, 투자 등)에 대한 지표의 개발도 중요하다.

신기술의 발달 측면에서도 미래변화를 고려할 필요가 있다. 기존의 기술에서 적용되던 법칙이 신기술에서는 적용되지 않을 수 있다. 가령 극미세 규모로 들어가면 기존의 물리적 화학적 법칙들과는 전혀 다른 법칙들이 지배하게 된다. 그에 따라 고려해야 할 새로운 테마가 등장하고 새로운 지속가능발전 지표가 요청될 수 있다.

### 3) 범용적 지표 우선

국가 지속가능발전 관련 지표의 수는 적을수록 좋다. 그만큼 대표성이 커야 한다는 의미이다. 다양한 니즈·이슈를 한꺼번에 해결하는 범용적 방안 및 과

체를 대표하는 지표가 이런 맥락에서 우선된다. 적절한 예가 도시 녹색축 형성이다. 광범하고 잘 연결된 도시의 녹색축은 온실가스를 흡수한다. 열섬현상 및 대기오염도 완화한다. 갈수 및 홍수도 조절할 수 있다. 거기에 도시민이 쉴 수 있는 휴식·레저 공간을 제공한다. 도시미도 제고하며 관광객의 발걸음도 유도할 수 있다. 이러한 범용적 해법을 확인하고 지표를 발굴할 필요가 있다.

#### 4) 양과 질의 반영

지속가능발전 지표는 양적 측면과 질적 측면을 조화롭게 대표할 수 있어야 한다. 지속가능발전의 다양한 분야가 양적 측면뿐만 아니라 질적 측면을 반영하고 있기 때문이다. 이러한 질적 측면의 고려가 과거의 개발 위주의 패러다임과 지속가능발전 패러다임이 차별되는 점이다. 지속가능발전의 질적 측면을 어떻게 정량적으로 반영하는가는 풀어야 할 과제다.

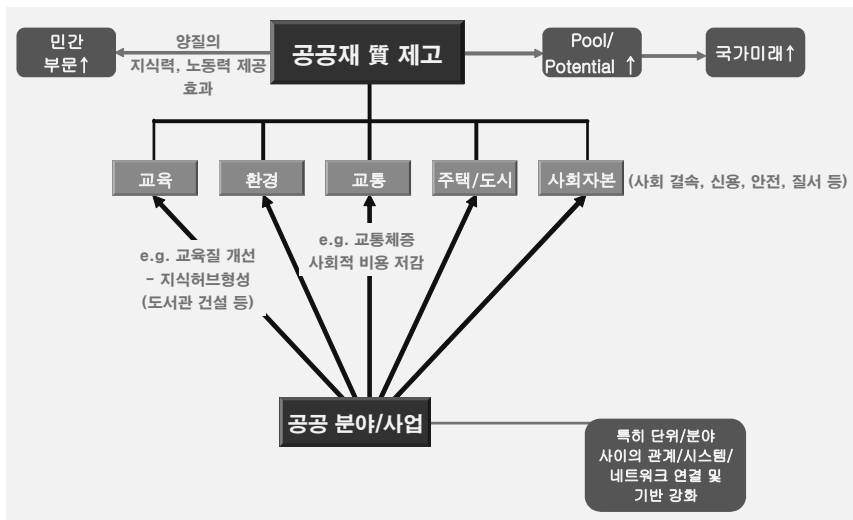
#### 5) 풀 및 인프라 질 향상 지향

물이 좋아야 좋은 물고기가 살듯이, 풀(Pool) 또는 인프라의 질 향상을 반영하고 지향하는 지표는 지속가능발전에서 중요하다. 공공분야의 사업이 직접적으로 수익 및 고용을 창출하는 경우가 있다. 다른 한편으로는 간접적인 기여를 할 수 있다. 환경, 교육, 교통, 주택/도시, 사회자본 등 공공재 질의 제고는 간접적으로 사회 각 분야 및 개인의 활동력과 잠재력(potential)을 강화한다[그림 3-4 참조]. 이는 국가 경쟁력의 상승으로 연결될 수 있다. 예를 들어, 주거 환경 근처에 자연과 접촉할 수 있는 공간을 마련하거나 잘 유지한다면 그곳 시민들은 심신의 충전을 할 수 있게 된다. 이는 일터에서의 생산성 향상에 기초가 된다. 특히 아이디어가 생명인 지식기반 경제에서 지식 능력의 디딤돌인 심리, 영성의 안전과 향상도 담보할 수 있다. 시민들이 문화를 체험하고 창조할 수 있는 기회와 공간을 창출한다면, 이는 그 지역의 문화 부흥에 기여할 뿐 아니라 문화 수출이나 관광객 유치에 기여할 수 있다.

개별 단위·분야의 발전을 넘어서 그들 단위·분야 사이의 관계·시스템·네트워크 연결과 기반을 강화하는 것은 오늘날의 복합적이고 다학제적인 현실

문제들에 대해 장기적으로 올바른 해법이 된다. 이점은 지속가능발전에서 중요한 측면이다. 단위·분야 사이의 네트워크 질의 제고가 사회적 약자의 지원, 양극화 해소의 기본이 될 수 있기 때문이다. 또한 사회적 결속력도 강화한다. 사회 초년병이나 재시작을 하는 사람들에게 양질의 공공 네트워크는 경제적 도전에 큰 힘이 될 수 있다.

[그림 3-4] 공공 분야의 국가 사회경제에서의 역할



## 6) 최종 수요자 가치 중심의 접근

지속가능발전은 수요자 가치를 충족시키는 데서 출발한다. 과학기술도 기술 계층도(Tech-tree) 상에 주어진 기존 기술을 이용하는 차원을 넘어선다. 과학기술 입장(Technology-driven)의 접근이 아니라 수요자 입장(Demand-driven)에서 과학기술이 새롭게 혁신되고 창조될 필요가 있는 것이다. 따라서 우리 사회의 개인의 주요한 요구(needs)를 도출하고 지역, 국가 차원에서 이를 위한 추진 과제가 무엇인지 확인하고 지표화하는 접근방식은 유의미하다. 양파 껍질처럼 중첩된 사회·경제·환경적 니즈의 가장 깊은 곳인 개인의 요구에서 출발해 보는 것이다.

우리나라 국민의 90% 이상이 살고 있는 공간인 도시를 예로 들어 보자. 그러면 한 평범한 시민이 우리 도시에 바라는 것은 무엇일까?

### 개인의 니즈

‘거대한’ 자연과의 접촉은 어디에 살건 인간의 기본 욕구이다. 영혼과 육체 모두 자연과의 접촉을 통해 에너지를 제공받는다. 가까이에서 대자연에 접근하기 어려운 경우에도 깨끗하고 풍부한 물의 이용, 맑고 신선한 공기의 향유, 푹푹하고 청정한 흙의 접촉 등의 최소 요구가 있다.

밀집해서 살아야 하는 상황이면 압축적으로 많은 혜택을 누리는 유연한 도시 구조를 원한다. 복합적 욕구도 있다. 뉴욕 맨하탄과 같은 도시의 사회문화적 혜택을 누리면서, 동시에 ‘시골 마을’이 공존하는 것을 향유코자 한다. 이런 맥락에서 독일은 대도시 공유지 자투리땅을 개인에게 부양하여 텃밭을 꾸리고 작은 전원 주택과 마을을 가꾸게 하는 제도를 운영하여 왔다. 도시민들은 바쁜 사회경제 활동 속에 문혀 영성을 돌아볼 겨를이 없지만, 일과 후나 주말에 문득 자기의 내면과 마주하기도 한다. 미학과 예술적 디자인, 자연공생 구조 등 영성 축진의 밑거름에 대한 바람도 있다. 집 앞이나 근거리에 온가족이 편안히 쉴 수 있는 공간과 환경도 필요하다. 시간을 함께하고 레저와 스포츠도 직접 즐길 수 있도록 말이다. 아이들이 마음 놓고 놀 수 있는 공간은 필수적이다. 편안히 잠들 수 있는 환경도 중요하다. 잘 자는 것은 모든 활동력의 기본이다. 광공해(Light Contamination)에서 해방된 환경도 바람직하다.

인간은 문화적 동물이다. 문화가 살아 있는 공동체에 대한 욕구는 그만큼 크다. 개인적·공동체적 다양한 문화의 향유를 누릴 수 있는 공간과 환경은 소중하다. 특히 소통의 욕구와 어울려 광장에 대한 요구가 크다. 문화 광장도 소망된다.

안전은 사회의 기본적 요구이며 가치이다. 안전이 흔들리면 삶의 질 자체를 논할 수 없게 된다. 인재(교통사고 등)나 자연재해로부터 자유로운 안심 사회를 원한다. 누구나 먹거리의 안전과 질도 원한다. 싱싱하고 질 좋은 지역 농수산물도 제공되기를 희망하는 것이다.

좋은 보금자리에 대한 욕구도 크다. 편안하고 좋은 주택은 개인과 가족의

생활의 질을 크게 좌우한다. 아울러 다양한 필요를 충족시키는 주거 환경에 대한 요구도 크다. 질 높은 사회·교육·문화 인프라가 제공되는 주거 환경이 희망된다. 즉, 총체적 ‘서비스’를 원하는 것이다. 특히 우리나라의 높은 교육열로 좋은 교육 환경에 대한 열망이 크다. 아무리 저렴하고 건축적으로 질이 높아도 교육 환경이 떨어지면 우리 국민들에게 정주 선호도는 낮아진다.

건강이 안 좋을 때에 개인에게 의료 질이나 비용에 대해 걱정 없이 안심하고 갈 수 있는 우량 의료기관이 절실하다. 사회경제적 약자일수록 더 그렇다. 접근하기 쉬우며 양질의 보건의료서비스가 희망된다.

신속하고, 안전하고, 친환경적이고, 경제적이며, 품위 있는 이동에 대한 요구도 크다. 아울러 노인, 장애인, 독거인구가 안심하고 생활·이동 가능한 주거·교통 서비스도 희망된다.

주거든 작업 공간이든 건물 내부에 관련된 요구도 있다. 아토피 없는 실내 공간이 그것이다. 유해 화학물질에서 자유로운 실내를 원하는 것이다. 지능화된 생활환경, 유비쿼터스 환경의 요구도 있다. 가사의 지능화(가전+IT Convergence)는 특히 여성들의 바람이다.

어느 시민이나 사회에 긍정적으로 기여하면서 경제적 자유를 구가하길 원한다. 경제적 기회가 풍부한 도시를 바라는 것이다. 청년층이 독립할 수 있는 저렴하며 양질의 주거 및 일 공간도 중요하다. 쉽게 독립할 수 있어야 벤처 같은 새로운 도전을 많이 할 수 있게 된다. 저렴한 주거 및 일터 유지비용도 희망된다. 이는 독립과 창업이 쉬워지도록 촉진한다. 에너지 소비, 물 소비, 폐기물 발생의 최소화는 환경 부하도 줄이면서 유지비용을 적게 할 수 있는 방법이다.

편안하게 어디서나, 원하는 때 일할 수 있는 여건도 요구된다. 이는 유비쿼터스 환경과 더불어 e-랜서(Lancer)의 등장과 맥이 닿는다. 실질적 생산 인구증가 효과도 있다. 여성, 노년층, 장애인 등도 공간적 제약을 넘어서 일할 수 있기 때문이다.

### 지역의 니즈

지역수준의 니즈는 기본적으로 개인 수준의 니즈 충족을 지원·담보하는 것이다. 아울러 시스템적 관점에서 필요한 니즈도 있다. 다양한 개인 간의 ‘관

계'에서 필요한 니즈이다. 공공성 충족과도 관계된다.

우선 기후변화의 지역적 적응과 대응이 과제가 된다. 신개념의 탄력적인 산업 및 서비스 공간 창출도 요구된다. 이는 미래 일터 개념의 변화와 연관된다 <표 3-13 참조>. 기존 산업 및 서비스 단지가 용해되면서 어디서나 일할 수 있는 공간 시스템이 필요해진다. 그 공간은 무공해(Zero-emission, Zero-waste)를 지향하며 교육·육아·레저·문화 복합 공간도 제공할 것이다.

〈표 3-13〉 집과 일터의 개념 변화

농경사회	산업사회	미래사회/지식사회
집=일터	집≠일터	집↔일터

지역의 깨끗하고 풍부한 물의 확보도 중요하다. 원활한 교통·수송시스템과 최적의 지역폐기물 관리(최소화·재활용·처리)가 제공될 필요가 있다. 질 높은 문화역량 및 인프라의 건설도 요구된다. 환경친화적 도시 및 권역의 생성과 재생의 수요도 있다. 지역 차원에서의 환경친화적 자립적 에너지 확보도 중요하다. 최적의 지역 재해 예방 및 대응, 치안의 확보도 요구된다. 지식기반 경제에 걸맞게 지역의 지식역량 확충 요구도 크다. 도서관 중심의 도시구조 건설이 한 예가 될 수 있다.

열섬현상이나 지표면 오존 형성 같은 지역 및 도시 환경문제의 최소화가 요청된다. 지역 성장 동력 확보 및 고용 창출은 경제 지속성 측면에서 중요하다. 이를 위해서는 지역 밀착형 경제 발전 모델을 개발하는 것이 필요하다. 제도 전이 가능한 사회 형성을 위해서도 지역경제는 중요하다.

사회경제적 약자의 보호는 지역의 기본 과제이다. 저소득층, 장애인, 노약자, 독거인구의 복지는 물론이고 산업예비군인 직업 교육이나 훈련 중인 인구(Learning People)에 대한 배려도 필요하다.

### 국가의 니즈

국가 수준의 니즈도 개인 수준의 니즈 충족을 지원·담보 하는 등 지역수준과 맥은 같이 하되 규모는 더 커진다. 시스템적 관점에서도 더 커져 지역 간의

통합을 위한 니즈로 확대된다. 지구촌 다른 국가와의 관계에서 부여되는 과제도 있다. 미래 대비의 전략적 니즈도 있다.

국가 수준에서의 깨끗하고 풍부한 물의 확보 요구는 개인과 지역의 니즈를 지원한다. 환경친화적 자립적 에너지 확보는 에너지 안보의 맥락이다. 자원 및 폐기물의 안전관리도 요청된다. 안전한 국가 구현은 개인과 지역의 보호 우산이 될 수 있다. 재해뿐만 아니라 테러·전쟁에서의 국민 보호도 중요하다.

가속화되는 세계화 대비의 과제도 있다. 세계화는 오늘날 구석구석 개인의 삶의 질까지 좌우한다. BRICs 성장 등 지정학적 중심 이동에 대한 대비도 필요하다. 한반도 입장에서는 통일 대비도 먼 일이 아니다. 사회경제적 충격을 최소화하면서 통일을 이룰 과제가 있다.

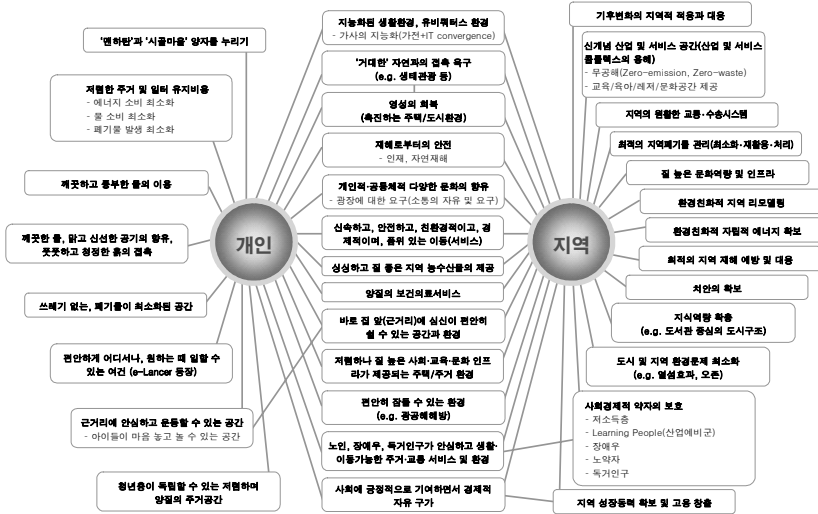
국가 성장동력 확보 및 고용창출의 요구도 크다. 개인과 지역의 성장에 큰 영향을 미치기 때문이다. 산업경쟁력 제고를 지원하는 국가적 시스템도 요구된다. 인구구조 변화 대비는 국가 수준에서 해결된다. 고령화 및 인구감소에 따른 사회경제적 영향을 예측하고 대응책을 수립하는 것이다. 고령층을 위한 사회 기반시설 변환 등이 포함된다. 사회 결속력 및 통합성 강화의 요구도 가볍게 볼 수 없다. 낙후지역 해소 등은 국가 차원의 의사결정이 필요하다.

미래 메가트렌드를 대비하여 국토의 큰 그림을 짜는 주요한 과제도 있다. 도시(신도시 포함), 녹지, 주택(부동산 가격 정책 포함), 도로, 인프라, 신공간과 관련된 장기국토계획 수립 및 시행이 요구된다.

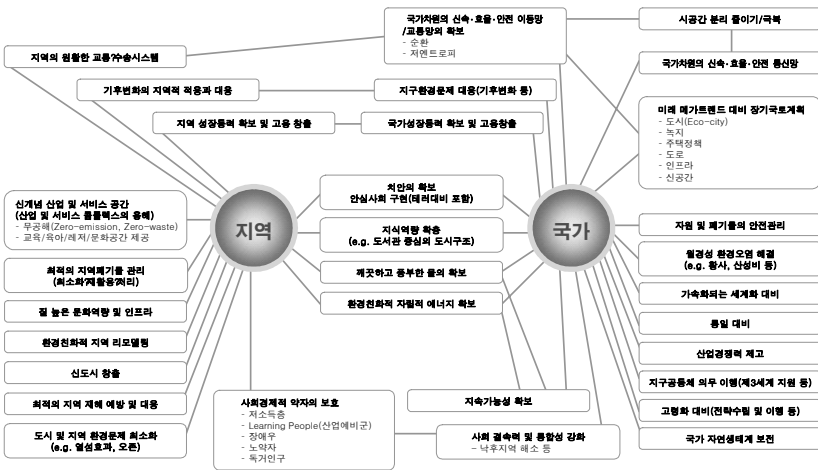
국가차원의 시공간 분리 줄이기의 요구도 크다. 신속·효율·안전 교통·수송망의 확보는 여러 분야에 영향을 준다. 저엔트로피의 교통·수송망의 구축은 이를 기반으로 하는 사회경제적 활동의 저엔트로피화에 기여할 수 있다.

국가 자연생태계 보전도 중시된다. 녹지, 갯벌 등의 보전은 개인과 지역의 환경지속성을 고양한다. 황사, 산성비 등 월경성 환경오염 해결도 국가차원의 환경 이슈이다. 기후변화의 적응과 대응 등 지구환경문제의 국가적 대응도 요구된다. 배출권 거래제의 경우 온실가스 배출량 인벤토리를 구축하는 등 국가 차원에서의 기초 작업이 있어야 가능하다. 제3세계 지원 같은 지구공동체의 무 이행 역시 국가의 과제이다.

[그림 3-5] 개인과 지역 수준의 지속가능발전 니즈의 연관관계



[그림 3-6] 지역과 국가 수준의 지속가능발전 니즈의 연관관계

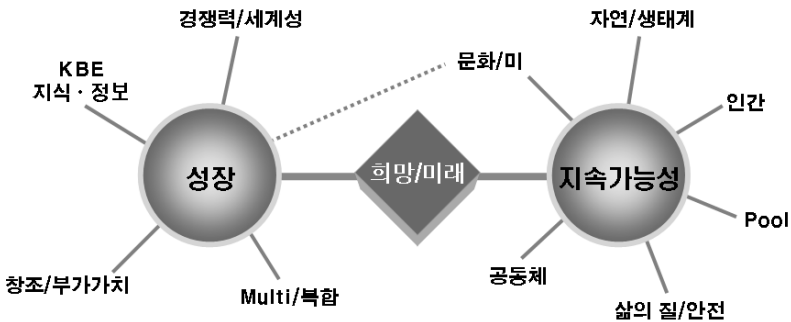


가치로 본 니즈

시민·소비가자가 원하는 것은 물리적 구조와 양이 아니라 가치이다. 위에서 살펴본 개인, 지역, 국가 차원의 지속가능성 니즈들이 추구하는 가치는 삶의

질, 안전, 자연·생태계, 인간·휴머니즘, 문화·미, 공동체·연대, 잠재력으로 요약될 수 있다[그림 3-7 참조]. 아울러 질적 성장과 관련 창조, 지식·정보, 경쟁력·세계성, 다양·복합·융합의 가치도 제기되었다. 이 외에도 소통, 건강, 영성, 휴식, 자유, 자율, 형평, 인정(recognition)의 가치가 요구된다. 지속가능성과 질적 성장을 잇는 커다란 가치는 희망·미래이다.

[그림 3-7] 지속가능발전이 추구하는 가치



주 : 성장은 지속가능성의 일부를 구성하나 세계화와 지식기반경제의 도래로 새로운 성장을 모색해야 하기에 의도적으로 분리하여 강조

## 2. 구조

지속가능발전 지표를 구성하는 구조는 크게 인과관계 구조형과 범주 구조형으로 나뉜다.

### 1) 인과관계 구조형

인과관계 구조형은 지속가능발전의 여러 테마를 인과관계에 따라 구조화한다. 세계경제포럼의 환경지속성 지수가 그 예이다. 추적하고자 하는 상태, 그 상태가 나타나게 된 원인 그리고 그 상태를 개선하고자 하는 대응을 지표로 삼는다. 압력-상태-반응(PSR : Pressure-State-Response)으로 분류하는데 특히 환경 분야에 적용이 쉽다. 숲에 대한 예를 들면, 산림자원 이용강도는 압력(P), 산림 면적(양/구조)은 상태(S), 산림보호지역 면적은 반응(R) 지표이다.

OECD 분리지표 모델도 변형된 인과관계 모델이다. 압력-상태-반응모델로부터 진화된 추동력-압력-상태-충격-반응(Driving force-Pressure-State-Impact-Response; DPSIR)의 틀에 기초하고 있다(OECD, 2002b). 즉, 분리 지표는 DPSIR의 앞의 두 요소인 추동력과 압력의 관계, 같은 시간 동안의 추동력의 변화와 비교한 환경압력의 변화를 묘사한다.

인과관계 구조형의 단점은 인과관계가 모호하거나, 여러 요인이 작용할 때 그것을 표현하기 어렵다는 것이다. 이러한 단점 때문에 범주 구조형이 제시된다.

## 2) 범주 구조형

인과관계 구조형과 대비되는 범주 구조형은 일종의 탑다운 방식으로 범주를 나누고 그 아래에 계층화하여 내용을 분기해 나간다. 범주를 어떻게 나누느냐에 따라 다양한 변이가 가능하다. 여기서는 분야 구조형, 주제 구조형, 대표 주제 부각형, 가치 구조형에 대해 알아본다.

## 3) 분야 구조형

지속가능발전 관련 지표를 구성하는데 가장 많이 사용되어 왔던 것이 분야 구조형이다. 환경성, 사회성, 경제성 분야로 나누고 그 밑에서 영역이나 테마를 구분하여 지표를 도출하는 구조이다. 테마와 지표 사이에 항목을 두어 지표들을 범주화하는 경우도 있다. 지속가능발전이 추구하는 환경성, 사회성, 경제성을 잘 드러내는 장점이 있으나 3자 간의 상호연계가 나타나지 않는 단점이 있다. 중첩의 문제도 함께 한다. 물론 장점도 있다. 지속가능발전의 여러 이슈를 공통적인 해결 경로에 따라 추적하고 관리할 수 있게 해 준다. 크게 범주화된 환경적, 사회적, 경제적 이슈들마다 특성이 다른 해결 경로가 있기 때문이다.

## 4) 주제 구조형

서로 불가분하게 연결된 환경성, 경제성, 사회성을 인위적으로 구분하는 것이 오히려 현실의 실상을 정확히 파악하는데 제한이 될 수 있다.

3자를 구분하기 어려운 예를 들어 보자. 산업을 움직이는 기초인 에너지는 경제성은 물론이고 환경성과 연결된다. 에너지의 원료 채취, 생산, 분배, 이용, 폐기, 재활용의 전 과정이 환경에 영향을 준다. 단적인 예는 화석 연료의 과도한 이용에 따른 기후변화와 대기오염이다. 사회적 이슈와도 연결된다. 저소득층의 따뜻한 겨울(Warm Winter)을 지원하는 과제도 있다.

기후변화도 사회경제적 충격을 준다. 2005년 미국 카트리나 허리케인의 경우 경제적 손실이 천억 달러를 넘어서고 인종·빈부 격차 등 사회경제적 문제까지 노정시켰다. 카트리나가 기후변화와 직결되었다는 증거는 없으나 그 해 태풍이 유례없이 빈발했다. 기후변화의 영향으로 태풍이 빈발함은 주지의 사실이다. 2005년의 기온은 지난 1,000년간 가장 무더웠던 1998년의 수준에 육박하였다.

물 부족도 지속가능발전의 여러 측면과 연계된다. 2006년 현재 10억명이상의 세계 인구가 깨끗한 물에 접근하지 못하고 있다(Shah, 2006). 물 부족은 농작물 수확의 부족으로 이어지고 이는 다시 영양 결핍을 초래한다. 물 부족은 아울러 빈약한 위생 상태와 연결되고 이는 질병 발생의 증가를 야기한다. 잘 씻고 청결을 유지할 물이 부족하면 병에 걸릴 확률이 높아짐은 자명하다. 물 부족은 인간의 웰빙을 저해하고 결과적으로 사회경제적 생산성을 떨어뜨린다.

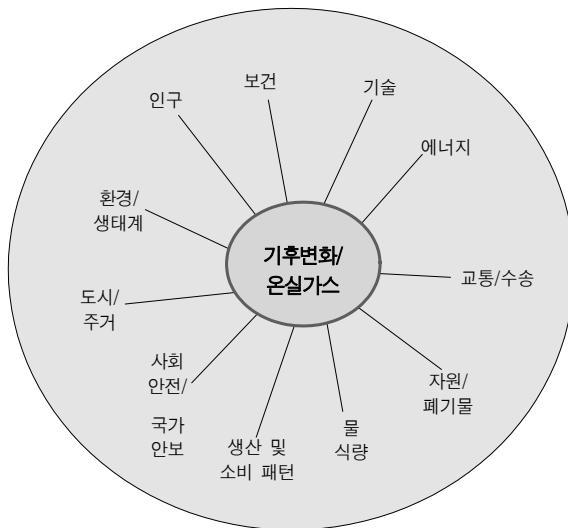
이렇듯 우리 사회나 지구촌의 굵직한 이슈들 자체가 환경/사회/경제 분야로 무 자르듯이 나뉘지기보다는 서로 얽혀 있다. 따라서 환경/사회/경제로 나누어 분석하고 대안을 모색하기 보다는 통합적으로 한꺼번에 상호관계를 밝히고 대안을 내놓는 것이 바람직하다. 이는 통합적인 주제별로 지표를 구성하는 것이 유의미한 근거다.

UN과 독일의 방식을 융합하는 방법도 있다. UN처럼 테마를 도출하고 사후적으로 독일처럼 전략적 모토와 연계하여 점검할 수도 있다. 전략 모토를 지원하는 테마가 빠진 경우는 다시 도출한다. 동시에 매트릭스식으로 접근할 수도 있다. 테마와 전략적 모토를 양측으로 하여 내용적 정합성이 있는지 확인하는 것이다.

### 5) 대표 주제 부각형

주제 구조형에서 한 발 더 나아간 것으로, 여러 주제·테마 가운데서도 상호연관 관계와 파급 효과가 큰 지표를 대표화하는 것이다. 좋은 예가 기후변화 테마이다. 기후변화는 에너지, 생산 및 소비 패턴, 자원 및 폐기물, 교통·수송, 도시·주거, 환경·생태계, 물, 인구, 지정학적 중심 이동 등 거의 모든 사회, 경제, 환경 영역과 연계되어 있다[그림 3-8 참조]. 단적으로 온실가스 저감 목표가 정립되면 에너지 패러다임 변환, 에너지 효율 증대, 자원/폐기물 관리, 교통·수송 수단의 발전 및 다양화, 생산양식의 개선, 소비 패턴의 변화, 도시·주거의 녹색화, 생태계 보전, 물 절약, 인구 적정 유지, BRICs 및 제3세계 기술이전 등 많은 주제의 실질적 성과를 이끌어 낼 수 있다. 일종의 지속가능발전의 추동역할을 할 수 있다.

[그림 3-8] 기후변화/온실가스와 연계된 영역



대표 주제(Primary theme)는 지속가능발전의 전략에서 큰 의미를 갖는다. 여러 주제 가운데서도 어떤 주제가 시급하고 중요한 지를 판단하여 선택과 집중을 하는 것을 돕는다. 주어진 시간 공간의 조건 하에서, 재원이 제약되어 있는 현실 상황에서 동태적으로 우선순위를 결정하는 것은 필요하다. 기존의 주

제 구조형 지표를 유지하면서, 대표 주제를 선정하여 전략화하는 것도 한 방법이다.

대표 주제 선정에서 객관성 확보는 중요하다. 주제의 상호관계를 도식화하고 인과관계를 살펴보는 것도 좋은 방법이다. 일종의 다중 마인드맵을 작성하면 적어도 부분적 인과관계를 보거나, 어느 주제가 허브 역할을 하는지 파악할 수 있다.

## 6) 가치 구조형

지속가능발전이 추구하는 다양한 영역의 활동들은 결국 최종 수요자가 바라고 누리는 가치로 해석되고 평가될 수 있다. 일종의 가치사슬에 따라 다양한 활동들이 범주화될 수 있다. 평등, 자유, 안전, 건강, 연대, 소통 등의 가치들에 따라 지표가 구조화될 수 있다. 가치 구조형 접근은 주 구조가 될 수 없을 때에도, 최소한 부차적으로 어떤 구조의 지표이든 스크리닝하는 데 활용될 수 있다.

## 3. 지표 항목 선정

### 1) 지표 항목 선정 기준

수많은 지표 항목 후보들 중에서 몇 가지 핵심적인 것을 선정하는 것은 쉽지 않다. 객관적이고 과학적인 선정 기준이 필요한 이유가 거기에 있다. 지표 항목으로 선정되려면 국가적 차원에서 지표가 다루는 이슈의 의미가 커야 하고 아울러 관련 영역을 대표할 수 있어야 한다. 지표가 추구하는 궁극적인 결과들이 시민의 절실한 니즈와 부합되어야 함을 의미하기도 한다. 따라서 지표의 유의성 및 대표성은 가장 중요한 기준이다<표 3-14 참조>. 대표성은 그 나라의 특수성이 녹아 들 수밖에 없다.

지표의 정의가 모호하지 않아야 한다. 명확성이 필요하다. 지표의 철학이 좋고 정의가 명확해도 뒷받침하는 데이터가 없거나 부족하면 선정되기 어렵다. 데이터의 가용성이 중요한 것이다. 측정가능성도 포함된다. 아울러 지표가

국가 지속가능발전의 전략적 방향을 잘 반영하는지도 중요하다. 즉, 지속가능발전 전략과의 정합성도 기준이 된다. 한 나라에서 개발한 지표는 시간의 추이에 따른 그 나라의 상태를 살피는 도구이지만 외국과의 비교 활용도 요망된다. 국제적 비교 가능성도 주목되는 것이다.

#### 〈표 3-14〉 지표 항목 선정 기준

- 
- 이슈의 유의성 및 대표성
  - 정의의 명확성
  - 데이터의 가용성
  - 지속가능발전 전략과의 정합성
  - 국제적 비교 가능성
- 

UNCSD의 지속가능발전의 핵심지표의 경우 지속가능발전과의 연관성, 핵심 정보의 제공 여부, 데이터의 가용성이 선정기준이다(CSD, 2007). 이는 UN 산하 대부분 나라의 지속가능발전에 연관되는 이슈들을 핵심지표가 다루어야 함을 의미한다. 다른 지표들로부터는 제공될 수 없는 독특한 핵심 정보를 제공해야 함도 강조된 것이다. 정책 수립이나 운영에의 활용을 지향하기 때문이다. 아울러 데이터가 대부분의 국가에서 쉽게 이용할 수 있거나 적절한 시간과 비용 한도 내에서 얻을 수 있어야 함도 중시된다.

OECD 환경지표의 경우 정책연관성(Policy relevance), 분석적 타당성(Analytical soundness), 측정가능성(Measurability)을 선정 기준으로 삼고 있다(KEI, 2003). 정책 연관성은 국가적 또는 중요한 지역적 이슈에 적용가능하고 대표성을 가지며 국제적 비교 가능함을 의미한다. 분석적 타당성은 과학적인 조건 하에서 이론적인 바탕에 근거함을 뜻한다. 모형, 예측, 정보 체계 구성과의 연계 용이성도 포함한다. 측정가능성은 현재 이용가능하거나 적절한 비용으로 작성이 가능해야 함을 나타낸다. 신뢰성 있는 절차에 따라 주기적으로 갱신이 가능해야 함도 내포한다.

## 2) 지표 배합의 적절성 체크

지속가능발전 기여 과학기술 지표가 지속가능성의 여러 과제·이슈를 종합적으로 해결하는데 유용한 도구가 되도록 적절한 포트폴리오를 유지할 필요가 있다. 시간적으로 현재문제 해결과 미래 대비의 과제·이슈의 적절한 배합이 요청된다. 단기/중기/장기의 시간 범위에서 지표 현실화(practicable)의 적절성을 체크할 수도 있다<부록 C 참조>.

수준과 공간 측면에서는 개인-지역-국가-세계가 정합성을 가지면서 조화롭게 배치되어야 할 것이다. 양적 질적 테마의 반영도 필요하다. 일반성 대 특수성의 과제·이슈의 공존도 요구된다. 세계의 공통 테마뿐만 아니라 우리나라에 특수한 테마가 드러나야 한다. 지표의 방향성을 잡고, 지표배합의 적절성과 포트폴리오를 확인하기 위하여 매트릭스화를 시도하는 것도 좋은 방안이다<부록 C 참조>.

## 4. 지속가능발전과 과학기술의 연결

### 1) 지속가능발전 이슈 요약

본고는 인구 구조 변화, 지정학적 중심 이동, 기후변화, 지진·해일 빈발 가능성, 물 부족, 에너지 안보, 조기 남북통일 가능성, 신기술의 기회와 리스크 등의 지속가능발전 관련 이슈를 2장에서 다루었다.

이 외에도 오존층 파괴, 생물종 감소 같은 환경 이슈와 청년 실업, 양극화, 빈곤 해소<sup>24)</sup> 같은 사회경제적 이슈들을 포함하여, 아래 <표 3-15>에서 지속가능발전 비전과 이슈를 연결하여 제시하였다.

이슈의 성격을 확인하기 위하여 환경, 사회, 경제 분야로 구분해 보았는데 분야가 중첩되는 경우가 많았다. 아울러 이슈를 시간 범위로 정리해 보았다. 즉, a) 과거에 축적되어온 유산적 이슈, b) 현재 진행형이며 중시되는 이슈, c) 미래에 대비해야 할 이슈로 나누었다. a)와 b), b)와 c)의 이슈는 서로 겹치는데, 현재는 과거와 미래를 연결하는 가교 역할을 하기 때문이다. 공간 범위에서는 국내와 세계를 기준으로 이슈를 정리하였다.

24) 아프리카 등 제3세계의 절대 빈곤은 지구촌의 과제다. 최근 미국 마이크로소프트사의 빌 게이츠는 이러한 문제를 해결하기 위한 '창조적 자본주의(Creative Capitalism)'를 역설한 바 있다.

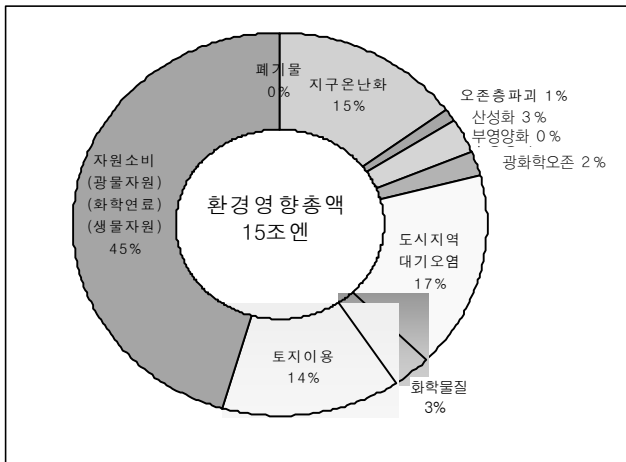
<표 3-15> 지속가능발전 비전과 연관 이슈

지속가능발전 비전	이슈	분야			공간 범위		시간 범위		
		환경	사회	경제	국내	세계	과거	현재	미래
인구 적정 유지	○ 세계 전체 인구 증가	★	★	☆		★		☆	★
	○ 선진국 인구 감소 및 고령화		★	☆	★	★		☆	★
	○ 도시화 심화	★	★	☆	★	☆	☆	★	★
절대 빈곤 극복	○ 빈곤층 증가		★	☆	☆	☆	☆	☆	☆
	○ 제3세계 절대 빈곤의 상존		★	☆		★	★	★	☆
빈부 격차 해소	○ 분배와 고용의 양극화		★	★	☆	☆	☆	★	☆
	○ 실업의 증가 : 특히 청년층		★	★	☆	☆	☆	★	☆
	○ 교육 질 저하와 교육비 부담		★	☆	★		☆	★	☆
	○ 부동산 버블(1인당 부동산 경제 부담의 증가)		★	★	★	☆	☆	★	☆
갈등 해소	○ 사회적 갈등의 고조		★		★	☆	★	★	☆
폭력 저지	○ 테러/전쟁 및 범죄 위협		☆	☆	☆	☆		☆	☆
안전	○ 재해 피해 빈발 및 대형화	★	★		★	☆	☆	★	★
	○ 질병 예방 및 식품 안전	★	★		★	★		★	★
사람 사이의 연대	○ 공동체 붕괴		★	☆	☆			☆	☆
문화적 다양성 향유	○ 문화적 다양성 감소		★	☆	☆			☆	☆
지구생태계 보전 : 환경 파괴 및 자원 남용 방지	○ 기후변화 가속화	★	☆	☆	★	★	☆	★	★
	○ 물 부족 및 수질 악화	★	☆	☆	☆	★	☆	☆	★
	○ 천연자원 부족(광물자원, 숲, 해양수 자원 등)	★	☆	☆	☆	☆	☆	☆	★
	○ 생물종 감소	★	☆	☆	☆	★	☆	☆	★
	○ 오존층 감소	★	☆	☆	☆	★	★	★	☆
	○ 황사 및 사막화 심화	★	☆	☆	☆	☆	☆	☆	★
	○ 대기 오염 증가	★	☆	☆	★	☆	☆	★	★
지속가능 경제	○ 화석연료 고갈 진전과 에너지 안보 위협	☆			★	★	☆		★
	○ 유해 화학물질 배출	☆			★	☆	☆	★	☆
	○ 지속가능 수송 요구	☆			★	★	☆	☆	★
	○ 세계화 심화 및 지역경제 쇠퇴 (BRICs 부상 포함)		☆		★	☆	☆	☆	☆
	○ 한반도 통일 조기 도래 가능성		☆		☆	★			★
	○ 중소기업의 쇠퇴				☆	★		☆	★
	○ 신기술의 리스크	★	★		☆	☆		☆	★
	○ 폐기물 양과 유해성 증가	☆			★	★	☆	★	☆
	○ 지속가능 소비 필요				☆	☆	☆	☆	☆

주 : ☆ :연관, ★ :특히 연관

제기된 이슈들이 어느 정도 영향력을 갖는지 정량화할 수 있다면 지속가능발전 전략을 세우는데 많은 도움이 될 것이다. 한 가지 방법은 이슈의 영향을 비용으로 환산하는 것이다. 일례로 일본의 한 연구에서는 환경 이슈의 영향 총액을 분석했다(RSBS, 2005). 일본이라는 특수성과 시간추이에 따른 비중의 변화 가능성을 염두에 두어야 하지만, 자원소비, 도시지역 대기오염, 지구온난화, 토지 이용, 화학물질 순으로 비용이 컸다[그림 3-9 참조]. 이 이슈들을 해결하는데 과학기술이 치중해야함을 시사하고 있다. 특히 자원소비, 도시지역 대기오염, 지구온난화가 부각되었는데 이들 이슈는 상호 연관되어 에너지·자원 소비 최소화화 패러다임 변환(재생가능화+청정화)으로 해결될 수 있다. 지속가능발전 이슈의 영향에 대한 정량화는 향후 많은 연구가 필요한 부분이다.

[그림 3-9] 일본의 환경영향 총액의 구성



주: 폐기물이 0%인 것은 폐기물에 의한 토지이용 증가, 화학물질 배출 등은 토지이용과 화학물질에 이미 계상된 것으로 해석됨.

자료: RSBS(2005)

## 2) 본고의 지속가능발전 이슈의 객관성

<표 3-16>은 본고에서 제시된 지속가능발전 이슈와 독일, UN, OECD의 지속가능발전 지표 테마의 연계성을 보이고 있다. 다른 유럽의 선진국에서도

독일과 유사한 테마를 많이 다루고 있다<부록 A 참조>. UN의 2007년 지속가능발전 지표도 2001년과 테마 상에서는 비슷하다. OECD의 지속가능발전 지표 외에도 경제성장으로부터의 환경부하 분리 지표와의 연계성을 점검하였다.

총 31개 이슈 중 25개의 이슈가 연계성을 나타냈다. 단지 ‘공동체 붕괴’, ‘문화적 다양성 감소’, ‘세계화 심화 및 지역경제 쇠퇴’, ‘한반도 통일 조기 도래 가능성’, ‘중소기업의 쇠퇴’, ‘신기술의 리스크’ 이슈 6개와는 연계성이 없었다.

이는 본고가 통일을 비롯하여 지역경제, 공동체, 문화적 다양성 같은 우리나라의 특수한 이슈를 드러내는 데도 주력하였기 때문이다. 공동체나 문화적 다양성 이슈는 지속가능발전 비전을 달성하기 위해서 지구 어디서나 다루어야 할 테마이다. 신기술의 리스크 이슈는 미래 대비의 측면에서 포함되었다.

<표 3-16> 본고의 지속가능발전 이슈와 다른 지속가능발전 지표 테마의 연계성

본고의 지속가능발전 이슈	독일 지속가능 발전지표	UN 지속가능 발전지표 2001	OECD 지속가능 발전지표	OECD 분리 지표
○ 세계 전체 인구 증가		○	○	
○ 선진국 인구 감소 및 고령화			○	
○ 도시화 심화	○ (휴식 공간 보호)	○		
○ 빈곤층 증가		○		
○ 제3세계 절대 빈곤의 상존	○ (제3세계 지원)	○	○ (제3세계 지원)	
○ 분배와 고용의 양극화	○			
○ 실업의 증가 : 특히 청년층		○	○	
○ 교육 질 저하와 교육비 부담	○	○ (의무 교육)	○	
○ 부동산 버블 (1인당 부동산 경제 부담의 증가)		○ (주거 면적)	○ (주택)	
○ 사회적 갈등의 고조	○ (이민자 통합)			

(계속)

본국의 지속가능발전 이슈	독일 지속가능 발전지표	UN 지속가능 발전지표 2001	OECD 지속가능 발전지표	OECD 분리 지표
○ 테러/전쟁 및 범죄 위협	○ (범죄)	○ (범죄)		
○ 재해 피해 반발 및 대형화		○		
○ 질병 예방 및 식품 안전	○	○ (전염성 질병)		
○ 공동체 붕괴				
○ 문화적 다양성 감소				
○ 기후변화 가속화	○	○	○	○
○ 물 부족 및 수질 악화		○	○	○
○ 천연자원 부족(광물자원, 숲, 해양 수자원 등)	○	○	○ (어업)	○
○ 생물종 감소	○	○	○	○
○ 오존층 감소		○		
○ 황사 및 사막화 심화		○		
○ 대기 오염 증가	○	○		○
○ 화석연료 고갈 진전과 에너지 안보 위협		○	○	○
○ 유해 화학물질 배출		○ (농업)	○ (농업)	○ (농업)
○ 지속가능 수송 요구	○	○	○	○
○ 세계화 심화 및 지역경제 쇠퇴 (BRICs 부상 포함)				
○ 한반도 통일 조기 도래 가능성				
○ 중소기업의 쇠퇴				
○ 신기술의 리스크				
○ 폐기물 양과 유해성 증가		○	○	○
○ 지속가능 소비 필요		○ (물질 소비)		

### 3) 국제 외교 관점에서의 세계 주요 이슈

국제 외교 관점에서 세계의 주요 이슈가 제기되기도 한다<표 3-17 참조>. 지구온난화, 에너지(석유), 빈곤, 영양실조 등 대부분 각국의 지속가능발전 지표에 다른 테마들이지만, 에이즈, 말라리아, 마약 같은 보건 문제의 심각성도

주시된다. 아울러 핵확산, 반미, 종교 분쟁, 테러 등의 국제간 및 종교간 이슈도 제기되어 있다. 인터넷의 리스크(뱅킹 등) 강조도 눈여겨 볼 대목이다. 미래에 네트워크 경제가 점점 더 진전되기 때문이다.

〈표 3-17〉 국제 외교 관점에서 본 세계 이슈

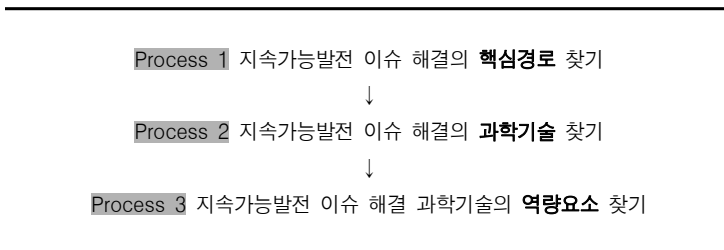
○ 반미감정	○ 여성
○ 핵확산	○ 마약
○ 석유	○ 영양실조
○ 지구온난화	○ 에이즈
○ 독재자	○ 인터넷 뱅킹
○ 빈곤	○ 러시아
○ 빈부격차	○ 말라리아
○ 종교	○ 테러와의 전쟁 등

자료 : Foreign Policy(2007. 4. 25.)

#### 4) 지속가능발전과 과학기술의 연결 과정

본고는 지속가능발전과 과학기술을 연결하기 위하여 이슈에 추동된(Issue-driven) 과정을 거친다<표 3-18 참조>. 핵심경로 찾기, 과학기술 찾기, 역량요소 찾기, 이 세 과정을 통해 지속가능발전에 기여하는 과학기술의 역량 지표의 개괄적 모습과 틀이 나타날 것이다.

〈표 3-18〉 지속가능발전과 과학기술의 연결 과정



먼저 지속가능발전을 위한 포괄적이며 핵심적인 경로를 잡는 것이 필요하다(Process 1). 이는 지속가능발전 이슈 해결의 과학기술의 내용을 도출하는데 방향타 역할도 한다.

이어서 과학기술의 내용적(contents) 연결이 필요하다(Process 2). 즉, 지

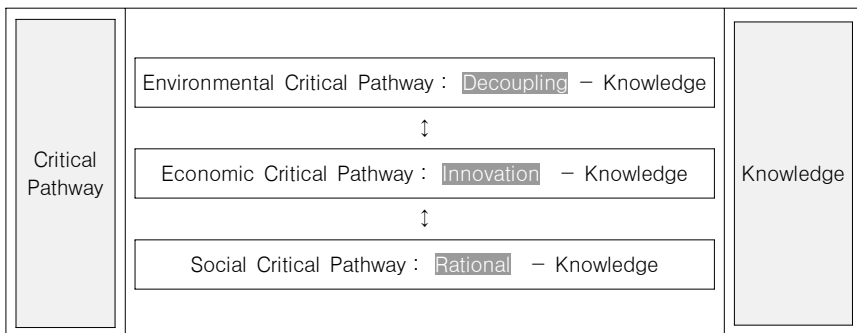
속가능 발전 이슈의 내용을 채워주고 지원하는 과학기술이 무엇인지를 확인한다. 잠재적 기여 가능성까지 고려해서 목록화가 가능하다. 가령 인구 고령화 대비 테마에는 무장애 지역(Barrier-Free Zone) 형성 기술이 기여 가능하다.

더 구체적 연결이 요구될 수 있다. 지속가능발전에 어떤 과학기술이 기여할 잠재력이 있더라도 그 과학기술의 어떤 역량이 보장되어야 하는지 확인이 필요하다(Process 3). 이는 그 과학기술의 지속가능발전 기여 역량 평가의 주요 측면이 된다. 예를 들어, 신기술을 둘러싼 사회 갈등 완화를 위해서 기술 평가(Technology Assessment) 개선이 요구될 수 있다. 그런데 기술 평가의 지식 축적(예 : DB)이 강화되어야 하는지, 전문 인력이 보장되어야 하는지, 아니면 거버넌스가 향상되어야 하는지 확인될 필요가 있다.

### 5) 지속가능발전 이슈 해결의 핵심경로

지속가능발전의 환경적 이슈 해결을 위한 핵심경로는 분리(Decoupling) 즉, 연동(Coupling)된 것을 끊는 것이다[그림 3-10, 3장 1절 3 참조]. 경제 성장 및 발전과 환경 훼손의 연동을 끊자는 것이다. 생태효율의 진작이 좋은 방안이다. 자원 소비는 1/2로 줄이되 혜택은 2배로 늘리고자 하는 접근방식 '인수4'도 같은 맥락이다. 근본적으로는 생태 충족성을 만족하기 위해 절대적 분리를 추구한다. 경제성장을 하는데도 환경부하는 오히려 줄이는 이러한 분리는 고도의 창의적 지식을 요구한다.

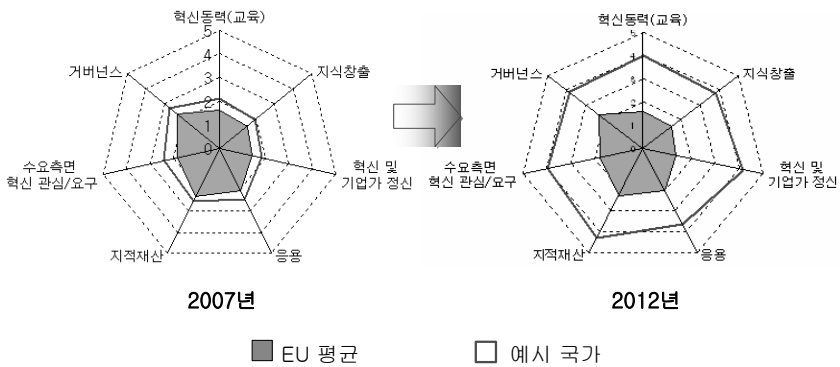
[그림 3-10] 지속가능발전의 핵심경로와 지식 관계 종합



경제적 이슈를 풀기 위한 핵심경로는 혁신(Innovation)이다[그림 3-10 참조]. 혁신은 제품혁신과 공정혁신을 의미하지만, 넓게 보면 경제활동 모든 분야에 적용된다. 관리 방식의 개선, 접근 방식의 향상, 새로운 인력 양성 개념 등 연성적(Soft) 방안도 중시된다. 기술 발전이 가속화됨에 따라 혁신에는 지식이 큰 의미를 띤다.

지식이 혁신으로 이어지기 위해서는 투입 역량뿐만 아니라, 산출 및 배경 역량의 총체적 조화가 필요하다. 이런 배경에서 유럽연합 국가들은 혁신 관련 지표 모두의 성장을 동시에 추구한다. 혁신의 투입요소로는 지식 창출, 혁신의 성과로는 특허를 포함한 지적 재산권과 응용 그리고 사회 경제적 배경 측면에서는 거버넌스와 수요를 주요 지표로 삼고 있다. [그림 3-11]의 예시국가처럼, 7가지 지표 성과를 연결한 그물망을 2007년에는 평균보다 약간 큰 정도에서 2012년에는 괄목하게 확대함을 지향한다(EC, 2006).

[그림 3-11] 유럽연합의 혁신 지표 : 2007년에서 2012년으로의 개선의 예



- Input : 지식창출(R&D투자; 정책연구 포함, 혁신동력(교육), 혁신 및 기업가 정신(벤처 캐피탈, 중소기업 노력)
- Output : 응용(사회경제적 활용, 부가가치 및 고용창출 등), 지적재산권(know-how)
- Context : 거버넌스, 수요

사회적 문제를 해소하기 위한 핵심경로는 합리(Rational)이다[그림 3-10]. 합리는 시민사회 운영 및 유지를 위한 기본 경로이다. 사회적 갈등을 풀어나가는데 절차에서부터 내용까지 합리가 존중된다. 오늘날과 같이 많은 분야가

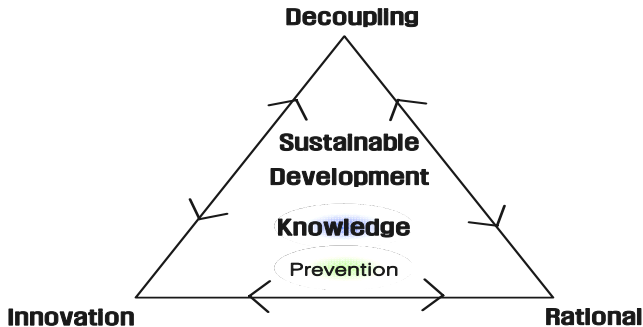
전문화되고 복잡화됨에 따라 이러한 합리의 경로에는 과학적인 지식이 필수불가결하다.

세 핵심경로를 종합하면, 지속가능발전에서 지식이 중요한 관통요소이자 기반임을 알 수 있다[그림 3-10 참조]. 이는 지식기반 사회경제 패러다임의 반영이기도 하다. 지식 흐름이 지속가능발전의 관건이 됨을 시사한다. 제3세계 지원도 단순히 양과 하드웨어적 공급보다는 지식기반의 연성적 협력이 필요함을 의미한다.

물론 세 경로는 삼각구조로 상호작용하면서 지속가능발전을 뒷받침한다[그림 3-12 참조]. 서로 중첩되기도 하고 영향을 주기도 한다. 예를 들어, 에너지 기술의 혁신은 경제성장과 환경부하의 분리에 기여하며, 빈곤층이나 빈곤 국가에 저렴하고 청정한 에너지를 공급케 함으로써 사회문제의 합리적 해결에도 일조할 수 있다.

주목할 것은 세 핵심경로에 공통적인 지향점은 예방이라는 점이다. 지속가능발전의 특징은 ‘처리’가 아니라 ‘예방’이다. 따라서 지속가능발전 기여 과학기술도 예방이 강조된 기술이다. 일반적으로 예방은 처리보다도 더 창의적이고 고도의 ‘지식’을 요구한다. 전체 시스템에 대한 깊은 이해와 대안 제시가 필요하기 때문이다. 예방은 UN이 추구하는 지속가능발전이나 밀레니엄 개발 목표를 위한 기본적 접근방식이기도 하다.

[그림 3-12] 지속가능발전 핵심경로의 삼각구조와 매개변수(지식 및 예방)



주 : Decoupling; 환경적 핵심경로 Innovation; 경제적 핵심경로 Rational; 사회적 핵심경로

## 6) 지속가능발전 기여 과학기술

본고는 아래 <표 3-21>에서 지속가능발전 이슈를 해결하는 ‘지속가능발전 기여’ 과학기술을 제시하였다. 이러한 과학기술의 필요성과 내용을 몇 가지 상세히 살펴보면 다음과 같다.

인구 감소 및 고령화 이슈를 해결하기 위해서는 고령인구 복지 지원 기술이 요청된다. 고령인구가 고립되지 않고 다양한 연령층과 자연스럽게 섞일 수 있는 환경을 조성하는 것이 포함되고, 인구 감소로 인한 외국 노동인구의 유입에 따른 사회적 융합을 지원하는 것도 요구된다.

교육 질 저하와 교육비 부담의 해결에 일조하는 교육 질 향상 지원 기술 역시 필요하다. 지식 흐름의 활성화를 위한 지식 흐름 개선 기술이 그 예이다. 지식 스마트 하이웨이의 구축을 모토로 삼을 수 있다. 지식흐름의 선순환 강화로 지식의 눈덩이 효과의 극대화를 겨냥하는 것이다. 이는 IT 콘텐츠의 질적 강화와 연계된다.

지식이 혁명적 부의 심층 관통 요소(토플러, 2006)이므로 지식흐름의 개선은 사회약자에 성장 포텐셜을 제공하여 양극화 해소에도 기여할 수 있다. 즉, 분배의 새로운 측면으로서 지식 나눔이 강조되는 것이다. 지식의 개발과 활용은 무형자산<sup>25)</sup>과 관계가 깊다. 이러한 무형자산을 관리하고 유형화(articulation)하는 기법도 요청된다.

지식 인프라(도서관 등) 구축 기술의 향상도 필요하다. IT 융합 교육 공학 기술도 중시된다. e-Learning을 포함한 IT 활용 쌍방향 커뮤니케이션 통로의 확충이 그 예이다. 이러한 지식 관련 과학기술의 개화를 위해서는 지식 흐름 활성화 전략 및 메커니즘이 뒷받침되어야 할 것이다.

사회적 갈등의 고조에 따라 사회적 갈등 완화 및 예방 기술도 요청된다. 우리 사회는 최근 몇 년간 큰 문제들을 많이 겪었다. 특히 국토 개발, 에너지, 교통 이슈들이 사회적 갈등의 중심에 있었다. 그러한 갈등의 원인은 여러 측면이 있을 것이다. 거버넌스의 경험 부족도 작지 않은 요소였다.

거버넌스는 유럽연합위원회가 그 개혁을 2000년대 초의 유럽연합 4대 전

25) 조직 프로세스, 시스템, 문화, 노하우, 체화된 지식, 소프트웨어, 인적자원 훈련 등

략목표의 하나로 확인하였을 정도로 비중 있는 이슈다. 그것은 혁신의 요소이자 바탕이며, 정치·사회적 정당성 부여 측면은 물론이고 과학기술의 지속가능발전에도 영향을 미친다. 훌륭한 거버넌스는 공공·민간 파트너십과 혁신 통합 능력을 촉진한다.

우리는 지금 거버넌스 프로세스에 대한 이해와 혁신의 과제를 안고 있다(홍사균·유의선, 2006). 우리사회에서 거버넌스가 무엇이며, 왜 필요한지, 그리고 어떻게 진행되어야 하는지를 파악하는 것이 기본이다. 그를 바탕으로 더 큰 효과와 정치적 정당성을 이끄는 한국적 거버넌스 모델의 창출이 우리의 숙제이다.

사회적 갈등 완화 및 예방 기술로 전략 영향 평가 기술을 들 수 있다. 그것은 전략 영향 평가제(Strategic Impact Assessment)를 지원하는 기술이다. 국가적 계획, 프로그램, 전략이 정말 필요한지, 그럴 경우 국가 수준에서 그것이 행해져야 하는지를 우선 평가하는 메커니즘이 필요하다. 이는 사전 숙고의 원칙 적용이다. 사회적 엔트로피를 최소화하는데 기여할 수 있다. 정책의 질의 향상에도 도움이 될 것이다. 그 평가를 기초로 제안된 계획의 지원방안을 명확히 하고 국가, 지역, 부문 그리고 다른 수준에 권한을 부여할지를 결정하게 된다.

거버넌스 향상을 위해 거버넌스 프로세스 혁신을 위한 연구가 요청된다. 증거에 기초한 접근 방식, 거버넌스 과정의 평가 및 피드백 등이 반영되어야 할 것이다. 거버넌스에서 상향식(Bottom-up) 접근방식을 보완 강화하는 것도 필요하다. 정책의 고객화도 계속 강조된다. 일방적 법제정이 아니라 이해당사자들이 협의를 통해 법을 제정하는 프로세스(Negotiated Rule-making : Kang, 2007)의 연구도 검토될 수 있다.

아울러 e-거버넌스(DB 구축 및 공유, 사례 축적 및 연구)의 향상도 시도될 수 있다. 거버넌스 관련 지식 및 정보의 흐름을 원활하도록 촉진하는 것이 중요하기 때문이다. 이러한 지식과 정보에 특히 놓여준 지역이 취약하다.

<표 3-21>의 과학기술 도출에서는 전체적으로 이슈 '예방' 측면이 강조되었으며, 아울러 지식기반 사회에 상응하여 '지식' 흐름이나 도구가 부각되었다.

특히 시급하고 중요하게 표시된 이슈들(♣)은 우리 사회의 전체 시스템의 근간을 흔들 수 있고 구조적으로 다른 이슈들에 연쇄작용이 큰 이슈들이다.

### 7) 지속가능발전 기여 과학기술의 역량요소

지금까지 지속가능발전을 위해 어떠한 과학기술이 필요한지 살펴보았다. 이제 그 내용을 뒷받침하기 위하여 어떤 역량요소가 요구되는지를 제시하고자 한다. 이 역량요소는 일반적으로 과학기술이 개화하기 위해 필요한 요소들과 공통적이다. ‘지속가능발전 기여’ 과학기술도 과학기술이기 때문이다.

따라서 본고는 과학기술이라는 시스템이 유지 발전하기 위해 필요한 투입, 과정, 산출, 기반을 분석하는 것에서 출발했다. 아울러 기존에 제시된, 과학기술을 구성하고 지원하는 요소의 조합들을 점검<부록 D 참조>하여 미래사회 패러다임을 반영하는 대표적인 다음의 세 요소를 추출했다<표 3-19 참조>.

#### 지식

과학기술은 지식 자체이자 지식을 매개로 유형물을 생산해낸다. 지식의 전주기 흐름을 원활히 하느냐는 해당 과학기술의 발전을 위해서 중요하다. 지식의 생산, 축적, 유통/분배, 활용, 피드백의 측면이 지식 흐름의 핵심요소이다. 지식의 생산은 주로 R&D에 의해 이루어진다. 오늘날은 특히 외부의 원천과 네트워크를 활용하는 개방형 R&D가 부각되고 있다.

#### 인력

과학기술 발전의 핵심은 창조성이다. 창조성은 인간에게서 나온다. 인간은 원래 창조적이다<sup>26)</sup>. 이는 인류의 역사가 증명한다. 따라서 이러한 본원적 창조성을 북돋고 잘 뺏어가도록 돕는 것이 사회의 역할이다. 교육과 훈련이 강조되는 것은 그 때문이다. 해당 과학기술 발전을 위한 창의적이고 건설한 인재를 풍부히 육성하는 것은 중요한 요소이다.

26) Humanbeing is inherently creative.

## 인프라

과학기술 발전을 뒷받침하는 인프라 요소들은 지식 및 인력 요소들과 정합적으로 맞물려 돌아가며, 그 요소들을 지원한다. 인프라는 딱딱한 영역과 부드러운 영역으로 나누어 볼 수 있다. 하드 인프라에는 IT 환경, 연구개발 환경 같이 물적 유형적 기반이 속한다. 소프트 인프라에는 법제도, 거버넌스, 문화, 네트워크 같은 무형적 관계적 기반이 속한다. 기술개발 및 혁신지원 소프트 인프라의 예로 창업환경의 정비, 세제·보조금·조달에 의한 지원(특히 중소기업의 재정), 규제 강화/완화 등 제도적 기반을 들 수 있다.

〈표 3-19〉 지속가능발전 이슈 해결 과학기술의 역량 요소

지식				인력		인프라					
						하드		소프트			
생산 (R&D)	유통/분배	활용 (사회경제)	피드백	교육	훈련	IT 환경	연구 개발 환경	법·제도	거버넌스	문화	네트워크 (산학연, 기업간, 국제 협력)

주: 위 요소 외에 혁신 활동을 별도로 분류가능. 창업활동, 혁신활력이 포함. 지식의 생산 ‘과정’ 관련 요소로 혁신을 포함할 수도 있음. EU에서는 지식의 하부 요소를 R&D/혁신, 지적재산(IPR), 기능(Skills), 중소기업을 위한 금융 접근성(Access to finance for SMEs)으로 분류하기도 함.

〈표 3-21〉에서 제시된 지속가능발전 이슈 해결 과학기술의 세부기술<sup>27)</sup> 각각에 대해서도 역량요소를 적용·평가할 수 있다. 주의할 것은 지속가능발전 이슈의 상호연계성으로 세부기술의 일부가 중복되는 경우가 있다는 점이다. 전체 역량을 평가할 때는 일부 기술이 여러번 평가·계상되지 않도록 하면 된다.

## 지속가능발전 기여 과학기술의 역량 평가 지표

본고에서는 지식, 인력, 인프라 세 역량 요소 가운데 ‘지식’에서 역량지표를 제시하였다. 지식의 생산을 좌우하는 GDP 대비 R&D 지출액을 선택하였다 <표 3-21 참조>. 그 논리적 근거는 GDP 대비 R&D 지출액은 모든 것이 혼

27) 세부기술 내용은 부분적으로 부록 E 참조

합된(mixed) 총량 금액이라는 데서 출발한다<표 3-20의 지표 A>. 돈은 어떤 돈인지 구별되지 않는다. 즉, 국가 R&D 총 투자 금액은 지속가능성 기여 측면에서 차이가 나는 과학기술을 모두 포괄한다[그림 3-13 참조]. 예컨대 지속가능성 기여가 큰 재생가능 에너지 기술에 대한 R&D 투자액과 지속가능성 기여가 낮은 화석연료 에너지 기술에 대한 R&D 투자액이 함께 들어가 있는 것이다.

[그림 3-13] 지속가능발전 기여 측면에서의 GDP 대비 R&D 투자의 분기



GDP 대비 R&D 투자가 늘어난다고 해서 지속가능성 기여 과학기술이 진작된다는 보장이 없다. 따라서 지속가능성 기여 과학기술의 GDP에 대한 R&D 투자액의 추적이 요청된다. 예를 들어, 미국은 기후변화 적응 및 대응 과학기술에 2006년 기준 GDP 대비 0.0354%를 투자하고 있으나, 우리나라는 GDP 대비 0.0343%를 투자하고 있다. 이렇듯 각 과학기술에 대해 외국과의 비교도 가능하다.

나아가 주요 지속가능성 기여 과학기술의 R&D 투자액을 합산하면 국가 지속가능성 기여 과학기술 역량 응집(aggregate) 지표가 생산된다<표 3-20의 지표 B>. 총합적으로도 외국과의 비교가 가능해진다. 정량화가 쉽기 때문이다. 예를 들어, 미국과 독일의 GDP 대비 지속가능성 기여 과학기술 R&D 투자가 각각 0.2, 0.35라면 독일의 지속가능발전 기여 과학기술의 역량이 더 크다고 할 수 있다. GDP 대비 총 R&D 투자에서 지속가능성 기여 R&D 투자의 비중<표 3-20의 지표 C>이 큰 나라일수록 그 나라의 지속가능성이 장기적으로 향상된다.

〈표 3-20〉 GDP 대비 국가 총 R&amp;D 투자 vs. 지속가능발전 기여 R&amp;D 투자 지표

$$R\&D_{Total} \div GDP = A$$

$$\Sigma R\&D_{Sustainable} \div GDP = B$$

$$A \div B = C$$

주 :  $\Sigma$ 는 합을 의미. 지속가능발전 기여 과학기술들의 R&D 투자액의 합산을 뜻함

지속가능성 기여 과학기술의 R&D 투자액 지표는 지구촌 공통의 이슈와 각국의 특수한 이슈를 적절히 분리하여 관리할 수 있게 해주는 이점도 있다. 즉, 그 나라에 특수한 이슈를 해결하는 과학기술 R&D 투자액은 국제 비교에서 제외하고 나머지 공통 이슈에 대해서만 투자액을 응집시키면 된다. 국내에서 지표를 활용할 때는 특수 이슈까지 포함한 합산액을 매년 비교하면 과거 시점과 비교하여 지속가능발전 역량의 추세를 확인할 수 있다. 우리나라의 특수한 이슈의 예로는 '실업의 증가(특히 청년층)', '교육 질 저하와 교육비 부담', '부동산 버블', '사회적 갈등 고조', '공동체 붕괴', '문화적 다양성 감소', '한반도 통일 조기 도래 가능성' 이슈를 들 수 있다<표 3-21 참조>. 이 지표 틀을 개도국에서 이용하는 경우, 그 나라의 특수 이슈를 추가하는 것도 가능하다. '인구 증가' 같은 개도국만의 심각한 이슈를 더해서 그 나라에서 지속가능발전 추이를 점검할 수 있다.

GDP 대비 R&D 투자는 간접적으로는 인력의 증가나 인프라 투자를 유도하는 작용도 한다. 물론 정책이 뒷받침되어야 유도력이 커진다.

〈표 3-21〉 지속가능발전 기여 과학기술과 역량평가 지표

비전	이슈	기여 과학기술 역량지표(GDP 대비)	세부 기술
인구 적정 유지	○ 세계 전체 인구 증가 <sup>o</sup>	○ 예방 의학 지원 기술 R&D 투자	- 공중 보건 진단 기술
	○ 선진국 인구 감소 및 고령화	○ 고령인구 복지 지원 기술 R&D 투자	- 무장애 지역(Barrier-free Zone) 형성 기술 - 고령층 안심 생활 기술 : 전파식별(RFID) 기술 등 - Age 및 Social Mix 기술

(계속)

비전	이슈	기여 과학기술 역량지표(GDP 대비)	세부 기술
인구 적정 유지	○ 도시화 심화	○ 지속가능 도시 지원 기술 R&D 투자	- 스마트 도시 생성 기술 - 친환경 고효율 교통·수송 기술 <sup>▽</sup> : · 하이브리드차 등 신기술 · 녹색 자전거도로 생성 기술 - 도시 공원 확보 및 조성 기술 - 녹색축 확보 및 보전기술
절대 빈곤 극복	○ 빈곤층 증가	○ 저렴하며 질 높은 주거 환경 구축 기술 R&D 투자	- 도시재생 기술 - Factor 4 주택 창출기술 :비용은 1/2로 혜택은 2배
		○ 평생교육 지원 기술 R&D 투자	- 지식 인프라 구축 및 지원 기술 - IT 융합 교육 공학 기술 : e-learning 등
	○ 제3세계 절대 빈곤의 상존	○ 식량 증산 및 유기 농업 기술 R&D 투자	- 유기농업 기술 - 네트워크 농업 기법
		○ 지속가능 사회 인프라 구축 기술 R&D 투자	- SOC 구축과 지속가능성 제고 기술
		○ 지식 관리 기술(도구 포함) R&D 투자	- 창조적 문제해결 기법 - 과학기술 정보·지식의 확산 및 활용도 향상 기법

○ ‘세계 인구 증가’ 이슈 적용 과학기술은 이하 제시된 거의 모든 기술을 포괄. 그만큼 세계 인구 증가의 영향은 심각

▽ 친환경 고효율 교통·수송 기술은 지속가능 경제 비전의 지속가능 수송 이슈도 뒷받침

(계속)

비전	이슈	기여 과학기술 역량지표(GDP 대비)	세부 기술
빈부 격차 해소	○ 분배와 고용의 양극화	○ 분배와 고용 격차 저감 지원 기술 R&D 투자	- 저소득층 디지털 격차 해소 기술 - 저소득층 지원 지식 도구
	○ 실업의 증가 : 특히 청년층	○ 저렴하며 질 높은 청년 벤처 공간 제공 기술 R&D 투자	- (재)시작 지원 창업 공간 구축 기술 - 사이버 공간 기술
	○ 교육* 질 저하와 교육비 부담♣	○ 교육 질 향상 지원 기술 R&D 투자	- 지식 흐름 개선 기술 - 지식 인프라 구축 기술 (도서관 등) - 양질의 교육 클러스터 구축 기술 - IT 융합 교육 공학기술 (e-learning 등)
갈등 해소	○ 부동산 버블 (1인당 부동산 경제 부담의 증가)♣	○ 저비용 고택택 도시 및 지역 창출 기술 R&D 투자	- 질 높은 지식 인프라 저비용 형성 기술 - Factor 4 주택 창출 기술 : 비용은 1/2로 혜택은 2배
	○ 사회적 갈등의 고조	○ 사회적 갈등 완화 및 예방 기술 R&D 투자	- 전략 영향 평가 기법 (Strategic Impact Assessment) - 거버넌스 향상 기법 : • e-Governance 기법 (DB 구축 및 공유, 사례 추적 및 연구) • Negotiated Rule-making 기법
	○ 테러/전쟁 위협 ○ 범죄 위협	○ 테러/전쟁 예방 기술 R&D 투자 ○ 범죄 예방 기술 R&D 투자	- 테러 감시 기술 등 - 생화학 무기 처리 기술 - 범죄 감시 기술 (다국적 범죄 포함)
안전	○ 재해 피해 빈발 및 대형화	○ 자연재해 예방 기술 R&D 투자(지진, 지진·해일 포함)	- 재해 예측과 경보 시스템 기술 • 재해 사전예방 유비쿼 터스 기상 예측 정보 기술 • 재해 예측 및 피해 시물 레이션 기술 - 재난 계획 및 위기 관리 지원 기술
		○ 인재 예방 기술 R&D 투자	- 교통사고, 시설물 방재 기술 - 방재 비용-편익 분석 기법

\*교육은 '지속가능 경제'와도 연계

(계속)

비전	이슈	기여 과학기술 역량지표(GDP 대비)	세부 기술
안전	○ 질병 예방 및 식품 안전	○ 질병 예방 지원 기술 R&D 투자	- 인플루엔자 모니터링 · 대응 기술(조류 인플루엔자 포함) - 중독 해결 기법(마약 등)
		○ 식품 안전 지원 기술 R&D 투자	- 식품 안전성 평가 기술 : HACCP 등 - 식품 안전성 제고 기술 : 생산, 이동, 이용/저장 측면에서 무농약 신선도 확보 기술 등
사람 사이의 연대	○ 공동체 붕괴	○ 21세기 창조형 공동체 형성 기술 R&D 투자	- 창조형 공동체 기반 조성 기술 : · 문화 인프라 조성 기술 · 광장 특구 조성 기술
문화적 다양성 향유	○ 문화적 다양성 감소	○ 문화 보전 기술 R&D 투자	- IT 융합 문화 콘텐츠 기술(개발, 확산, 활용, 피드백 등) - 전통 유적지 보전 기술
지구 생태계 보전    환경 파괴 및 자원 남용 방지 **	○ 기후변화 가속화*** ♣	○ 기후변화 적응 및 대응 기술 R&D 투자	- 기후변화 과학 : 전망, 지역 및 분야별 영향평가 - 재생가능에너지 기술 - 에너지 절약 연성적 기법 (Soft path) - 에너지 효율 기술 - 탄소 흡수 기술
		○ 물 부족 대응 기술 R&D 투자	- 물 재활용 및 순환 기술 (빗물 포함) - 녹색댐 조성 기술
	○ 물 부족 및 수질 악화	○ 수질오염 예방 및 처리 기술 R&D 투자	- 하천 오염 예방 및 처리 기술 : 부영양화 등 - 지하수 오염 예방 및 처리 기술 - 해양 오염 예방 및 처리 기술 : 적조 등

\*\* 환경생태계 보전 지원 과학기술의 큰 방향은 오염 처리에 따른 비용 및 엔트로피 증가 때문에 처리보다 예방을 중시. 오염물질이 완전히 분해되지 않고 단순히 위치 이동할 가능성도 배제하는 맥락임.

\*\*\* 기후변화 가속화 이슈는 화석연료 고갈 진전과 에너지 안보 위협 이슈와 연관이 큼.

(계속)

비전	이슈	기여 과학기술 역량지표(GDP 대비)	세부 기술
지구 생태계 보전 Ⅱ 환경 파괴 및 자원 남용 방지	○ 천연자원 부족(광물자원, 숲, 해양수자원 등)	○ 지속가능 자원 보존 및 관리 기술 R&D 투자	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 총 물질 필요량(Total Material Requirement) 계상 및 응용 기술</li> <li>- 탈물질화 기술</li> <li>- 생태효율 기술</li> <li>- 자원 절약 및 순환 기술               <ul style="list-style-type: none"> <li>• 3R 기술(Reduce, Reuse, Recycle)</li> <li>• 3R 지원 IT 기술 : 정보 및 하드웨어 향상</li> </ul> </li> <li>- 자원 절약 및 순환의 연성적 기법(Soft path)</li> <li>- 환경 · 경제 · 사회 자본 통합 반영 지속가능발전 측정 국가 회계 기법</li> </ul>
	○ 생물종 감소	○ 생태계 복원 기술 R&D 투자	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 생물 다양성 모니터링 및 평가 기술</li> <li>- 서식지 복원 기술</li> </ul>
	○ 오존층 감소	○ 오존층 파괴물질 대체 기술 R&D 투자	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 신 오존층 파괴물질 평가 기술</li> <li>- 신 오존층 파괴물질 대체 기술</li> </ul>
	○ 황사 및 사막화 심화	○ 사막화 예방 및 대응 기술 R&D 투자	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 녹색축 확대 기술</li> <li>- 황사 조기 경보 기술</li> </ul>
	○ 대기 오염 증가♣	○ 대기 오염물질 배출 예방 및 저감 기술 R&D 투자	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 대기 오염물질 배출 저감 연성적 기법(Soft path)</li> <li>- 미세먼지 저감 기술</li> <li>- NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>, VOC, 중금속 배출 저감 기술</li> </ul>
지속 가능 경제	○ 화석연료 고갈 진전과 에너지 안보 위협♣	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 신에너지 시스템 기술 R&amp;D 투자</li> <li>○ 에너지 고효율 기술 R&amp;D 투자</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 연료전지, 태양광, 풍력, 수소에너지, 바이오매스 기술</li> <li>- 에너지 저장 기술 (수소저장, 2차전지)</li> <li>- 수소와 재생에너지 연계 기술</li> <li>- 에너지 네트워크 기술 :               <ul style="list-style-type: none"> <li>• 분산전원네트워크 기술</li> <li>• 수소 에너지 네트워크 기술</li> <li>• 초전도기술</li> </ul> </li> <li>- 에너지의 사회 · 경제 · 환경적 영향 종합 평가 기법</li> </ul>

(계속)

비전	이슈	기여 과학기술 역량지표(GDP 대비)	세부 기술
지속 가능 경제	○ 유해 화학물질 배출 <sup>#</sup>	○ 화학물질 안전 관리 기술 R&D 투자	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 독성 화학물질 안전 처리 기술 : POPs, 중금속, VOC</li> <li>- 화학물질 종합관리 기술                             <ul style="list-style-type: none"> <li>• 배출량 인벤토리 관리</li> <li>• 위해성 평가 및 관리</li> </ul> </li> </ul>
		○ 사전예방 기술 R&D 투자	<ul style="list-style-type: none"> <li>- IPP(Integrated Product Policy) 기법</li> <li>- LCA(Life Cycle Assessment) 기법</li> <li>- 사전예방 프로세스 기술</li> </ul>
	○ 지속가능 수송 요구	○ 지속가능 수송 시스템 및 네트워크 기술 R&D 투자	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 친환경 첨단 운송 기술</li> <li>- 철도 시스템 및 네트워크 기술</li> <li>- 무동력 운송수단의 첨단화 및 인프라 지원 기술 : 신기술과 융합</li> </ul>
	○ 세계화 심화 및 지역 경제 쇠퇴 (BRICs 부상 포함)	○ 지역경제 자생력 강화 기술 R&D 투자	- 농업, 문화, 생태 분야 및 창조산업 기반 지원 기술
	○ 한반도 통일 조기 도래 가능성 <sup>◇</sup>	○ 사회 인프라 형성 및 재생 대비 기술 R&D 투자	- 북한 사회 인프라 형성 및 재생 모델 기법
	○ 중소기업의 쇠퇴	○ 중소기업 지원 기술 R&D 투자	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 중소기업 지식 관리 기술 :                             <ul style="list-style-type: none"> <li>• 지식 도구</li> <li>• 프로세스 개선 기법</li> </ul> </li> <li>- 중소기업 연구 인프라 지원 기술</li> </ul>
	○ 신기술의 리스크	○ 신기술의 리스크 평가 기술 R&D 투자	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 신기술(IT, BT, NT, 신소재) 영향 평가 기법</li> <li>• 환경/생태계 영향</li> <li>• 사회 영향</li> <li>• 지속가능성 영향</li> </ul>
	○ 폐기물 양과 유해성 증가	○ 폐기물 예방 및 관리 기술 <sup>##</sup> R&D 투자	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 3R(Reduce, Reuse, Recycle) 기술</li> <li>- 유해 폐기물 관리 기술 (포장 및 내용물)</li> </ul>

(계속)

비전	이슈	기여 과학기술 역량지표(GDP 대비)	세부 기술
지속 가능 경제	○ 지속가능 소비 <sup>△</sup> 필요	○ 제품 및 서비스 지속가능성 확인 기술 R&D 투자	- 라벨링 및 ISO 인증 기법 : · 환경/생태계 영향 · 사회 영향 · 지속가능성 영향
		○ 지속가능 소비 교육 기법 R&D 투자	- 지속가능 소비 매뉴얼 및 교육 프로그램 기법

◇ 갈등해소의 미래 이슈에도 해당. 사회통합 측면 강조

△ 지속가능소비에 녹색공공조달 정책은 영향을 줌.

# 화학물질은 먹거리의 안전성과도 연관

## 폐기물 관리는 저감, 재이용, 순환 순으로 우선순위가 높음. 폐기물 저감이 지속가능발전에 가장 크게 기여. 폐기물 관리와 자원관리는 밀접한 관계. 폐기물의 지속가능 관리는 자원 소비 저감으로 이어짐.

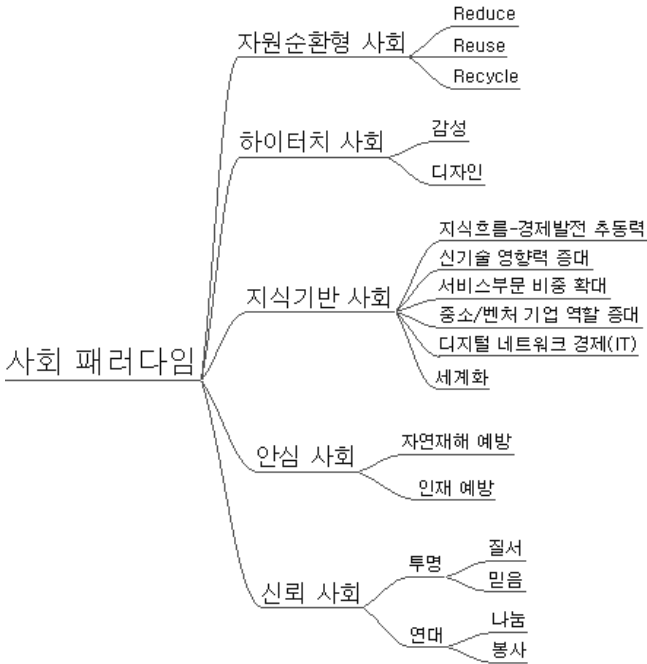
## 9) 다양한 미래 사회 패러다임 반영 지표 발굴

본고의 지표 틀을 기초로 향후 미래성을 보완하는 지속적인 작업이 요청된다. 지속가능발전에 영향을 주는 현재와 미래 사회 패러다임으로는 우선 지식 기반 사회를 꼽을 수 있다[그림 3-14 참조]. 아울러 자원순환형 사회, 하이터치 사회, 안심 사회, 신뢰 사회의 패러다임도 중요하다. 이러한 미래 사회 패러다임을 반영하는 지표의 발굴이 향후 요청된다. 예를 들면, 지식기반 사회 반영 미래형 지표로서 지식 지표의 심화·확충이 필요하다. 이를 위해서는 지식의 생성-유통-활용-피드백에 대한 이해를 진작시키는 연구가 필요하다.

한편 신뢰사회 패러다임은 사회의 투명성 제고와 연결되고 경제 흐름의 진작에 기여할 수 있다. 투명한 사회에서 부와 지식의 흐름이 원활하게 이루어지기 때문이다. 기업의 사회기여도 같은 미래 지표의 발굴도 의미가 있다. 질서, 믿음, 나눔, 봉사 등도 활력 있고 연대가 강한 신뢰사회를 위한 주요한 사회자본이다.

미래 사회의 문제 해결에서 물리적 설비나 인프라, 조직 등의 하드 파워와 정보, 정책 같은 소프트 파워를 적절히 배합하여 십분 활용하는 것이 요청된다. 특히 연성적 해결을 진작하는 지표의 발굴이 점차 더 중요해질 것이다.

[그림 3-14] 지속가능발전과 연계된 사회 패러다임



### 제3절 정책적 시사점

#### 1. 지표 틀 활용 방안

##### 1) 기술영향평가, R&D 자원배분에 활용

본고에서 제시된 지표 틀은 향후 기술영향 평가에 활용할 수 있다. 어떠한 기술이 등장할 때 그 기술의 지속가능발전 기여 여부를 파악할 수 있다. 즉, 지속가능발전 주요 이슈들을 해결하는데 이바지하는지를 점검할 수 있다. 아울러 국가 R&D 자원 배분시에도 활용할 수 있다. 지속가능발전 기여 과학 기술에 더 많은 자원이 배분될 수 있도록 조정하는데 일조할 수 있다.

## 2) 총체성에 근거한 정책 수립에 활용

지속가능발전 기여 과학기술 역량 지표는 여러 정책 대안들이 상호모순적인 내용을 갖지 않도록 도울 수 있다. 예를 들어, 자동차 도로와 자전거도로 건설은 재원이 한정되고 특히 국토가 좁을 때 서로 상충적 관계를 갖는다. 지구 및 각국의 환경 용량이 제한적이기에 모든 대안을 소화할 수 없다. 따라서 대안의 지속가능발전 측면의 양호성(soundness)에 따라 우선순위가 정해질 필요가 있다. 이런 의미에서 자전거 도로는 근원적으로 무공해, 무에너지, 자력 동력(self-motorized)의 교통수단을 뒷받침하는 인프라로 지속가능발전을 위하여 우선된다. 이는 자전거 이용자뿐만 아니라 도로 주변 시민의 건강도 보호한다. 최근 프랑스 파리에서 시도되어 큰 호응을 받고 영국 런던까지 확대되려는 자전거 거리 임대 공공 서비스가 우리 대도시에도 적용되려면 자전거 인프라가 구비되어야 한다. 이런 맥락에서 친환경 운송수단에 대한 R&D가 늘어나는지를 본 지표를 통해 확인할 수 있다.

본 지표는 자원 관리에서도 지속가능발전의 총체적 관점이 견지되도록 일조할 수 있다. 재생가능 자원과 재생불가능 자원을 합리적으로 관리하지 못하면 한쪽 문을 닫고 다른 쪽 문을 여는 상황을 낳을 수 있다. 즉, 재생불가능 자원에 대한 연구개발의 강화는 역으로 보면 재생가능 자원에 대한 연구개발의 약화를 의미한다. 이런 맥락에서 재생불가능한 화석연료로 얻은 수익의 일부는 재생가능 에너지인 태양 및 풍력 에너지 등의 개발에 재투자되도록 유도할 필요가 있다(Meadows et al., 1993).

## 2. 국가 전략 측면 시사점

### 1) 테마 통합 전략

지속가능발전의 주요 테마인 기후, 에너지, 수송, 국토, 자원 및 폐기물 관리를 통합하는 전략이 필요하다. 이들 테마는 상호작용하므로 지속가능발전의 전체적 패러다임 하에서 시너지 효과를 지향하는 것이 요구된다.

가령, 폐기물 관리와 기후변화 대응을 연계할 수 있다. 일례로 음식물 폐기물을 저감하는 것은 그 자체로 폐기물 관리에 있어 중요할 뿐 아니라 기후변

화 완화에도 기여한다. 매립지에서의 음식물 폐기물은 분해되면서 강한 온실가스인 메탄가스를 배출하기 때문이다.

## 2) 경로의 통합 전략

지속가능발전의 핵심 경로들의 통합전략이 요청된다. 특히 지속가능발전의 환경과 경제 측면을 함께 발전시키기 위해서 양자의 핵심 경로의 통합 전략이 필요하다. 즉 ‘Decoupling’과 ‘Innovation’을 연계하며 상호 시너지 효과를 지향하는 DI 전략의 수립이 요청된다<표 3-22 참조>.

따라서 연구 단계와 디자인 과정에서 환경부하의 소지를 예방하는 것은 DI 전략의 바람직한 방안이다. R&D와 응용에서 환경적 고려와 혁신의 전망을 연계시키는 정책도 강조된다. 환경보전의 새로운 아이디어와 지식 등 연구 결과를 혁신으로 전환하여, 실제 상황에서 시험되고 경쟁시장에 진입토록 유도해야 한다. 역으로 기술혁신의 결과를 환경부하 분리에 적용하는 것도 정책적으로 시도될 수 있다.

〈표 3-22〉 DI-통합 전략 (Integration Strategy)

---

DI = Decoupling + Innovation

역발상 전략 : 우리의 열악한 환경질을 과학기술의 혁신과 환경기술의 발전기회로 활용

---

이러한 통합 전략을 위해서는 미래 혁신 경로와 환경측면의 분석을 포괄하는 녹색기술의 예측도 필요하다. 이러한 예측을 바탕으로 환경적으로 건전하고 유망한 혁신 경로에 인력, 투자, 인프라의 집중 지원이 요청된다. 선순환을 만드는 신기술의 유망 궤도에 자원배분의 방향타가 맞추어져야 한다는 의미이다.

물론 경로 의존성이 있는 기존의 정책들을 지속가능발전의 새로운 경로를 창출하여 그 방향으로 전환을 하는 것이 쉽지 않다. 그러므로 국가적 지속가능발전 선도 리더십과 네트워크의 강화가 필요하다.

‘혁신’과 ‘분리’의 긴밀한 연계를 위해 조직적으로는 과학기술 혁신본부와 지속가능위원회의 협력 강화가 바람직하다.

## • 참고 문헌 •

- 건교부(2006),수자원장기종합계획, 06년 7월
- 건설산업연구원(2002), 21세기 건설환경 변화와 중장기 건설투자 전망
- 기상청(2006), 기상업무에 관한 기본계획 수립을 위한 기획연구
- 대한민국정부(2006), 제4차 국토종합계획 수정계획(2006-2020)
- 리프킨, J.(1992), 엔트로피, 동아출판사
- 무로타 타케시, 다메타 아사히로, 쓰치다 아쓰시(2002), 순환의 경제학, 삼신각
- 미국 국방부(2003), 마셜 비밀 보고서
- 미국 스탠포드 인구연구센터(2006), 전미과학진흥협회 연차총회, 06. 2. 18.
- 미국 에너지부(2006), <http://www.energy.gov/>, 06. 6. 20.
- 미국 에너지 정보국(2004), 국제에너지전망 2004
- 미국 인구조회국(2004), PRB 2004 World Population Data Sheet
- 백명수·유의선 외(2003), 환경기술 혁신을 위한 전략 및 시스템에 대한 연구, 정책자료 03-13, 과학기술정책연구원
- 벤키톨, M.(2005), 기후변화에서 사업 만들기 : 영국사례
- 벵제르, J.-L.(2007), 에너지 전쟁, 청년사
- 브라운, R.(2003), 생태경제, 도요새
- 브라이슨, B.(2003), 거의 모든 것의 역사, 까치
- 산자부(2001), Technology Roadmap - 로봇
- 석유공사(2007), 석유공사자료, 조선일보 07. 3. 24.
- 유의선(2006), 신기술의 환경성 분석 사전연구, 정책자료 06-16, 과학기술정책연구원
- 이정전(2002), 환경경제학, 박영사
- 정부 · 민간 합동작업단(2006), 비전 2030
- 조지, S.(2006), 루가노 리포트, 당대
- 주택산업연구원(2005), 중장기 주택시장 전망 연구
- 지속가능위(2006), 지속가능발전위원회 비전과 활동방향, 06. 5. 2.
- 지속가능위(2007), 지속가능발전 지표 선정 자문위 자료
- 토플러, A.(1990), 권력이동, 한국경제신문사
- 토플러, A.(2006), 부의 미래, 청림출판
- 히타치종합연구소(2004), 나노기술전망보고서
- 홍사균 · 유의선(2006), 선진경제 진입을 위한 과학기술정책 비전과 과제, 정책연구 2005-20, 과학기술정책연구원

- Agrawal, R.(2005), AIChE 2005년 6월호
- AP(2006), AP news, 06. 10. 25.
- BBC(2005), CO<sub>2</sub> : This time it's personal, 29 Nov, <http://news.bbc.co.uk/1/hi/sci/tech/4479226.stm>
- Bordt, M., Rosa, J. M., Boivin J.(2006), Science, Technology and innovation for Sustainable Development, SIEID, Statistics Canada
- BP(2005), British Petroleum Statistics 2005, <http://www.bp.com>
- Canton, J.(2007), 극단적 미래 예측, 김영사
- CNN(2006), CNN 경제 뉴스, Jan 31
- CSD(United Nations Commission on Sustainable Development) (2007), <http://www.un.org/esa/sustdev/csd/policy.htm>
- DOE(2004), Strategic Significance of America's Oil Shale Resource, Mar 2004, USA
- EC(European Commission)(2006), European Innovation Scoreboard 2005- Comparative Analysis of Innovation Performance.
- ERIC & Greenpeace(2007), 에너지혁명 보고서
- EIU(Economist Intelligence Unit)(2006), 창설 60주년 기념보고서, 06. 12. 4.
- EPA(2000), <http://www.epa.gov/>
- Financial News(2006), 06. 11. 19. report
- Fukasaku, Y. and Mabusela, M.(2007), International Science and Technology Co-operation for Sustainable Development : Background and Issues, OECD
- Global Insight(2004), Automotive World Car Industry Forecast Report
- Goldman Sachs(2003), Dreaming With BRICs - The Path to 2050, Global Economics Paper No. 99, 1st Oct
- Hawken, P., Lovins, A., Lovins, L. H.(2000), Natural Capitalism, Little, Brown and Company
- Heinicke, P.(2003), Nachhaltiges Geschaeftsfeld, doubled factor 10, Wuppertal Institute
- ICSU (International Council of Scientific Unions)(2002), Science and Technology for Sustainable Development, Consensus Report, Mexico City Synthesis Conference, May 20-23
- IEA(2003), CO<sub>2</sub> emissions database, Energy Balances database and Energy efficiency indicators internal database
- IMD(2006), IMD World Competitiveness Yearbook, Switzerland
- IMF(International Monetary Fund)(2000), World Economic Outlook : RSBS (Research on the Scientific Basis for Sustainability)(2005), Science on Sustainability 2006에서 재인용

- IPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change)(2007), IPCC 4th Assessment Report
- Jorna, R.(2006), Sustainable Innovation - The organizational, human and knowledge dimension, Greenleaf Publishing, UK
- Kang, Y. J.(2007), The Impact of Consensus Building on Conflict Prevention/Reduction : A Comparative Study of Negotiated and Conventional Rulemaking, Dissertation, George Mason University, USA
- KEI(2003), 국토환경보전계획수립 연구
- KISTEP(2005), 2005년 나노기술영향평가
- Kurzweil, R.(2007), 특이점이 온다, 김영사
- Lux Research(2004), Sizing Nanotechnology Value Chain
- Lynas, M.(2007), Six Steps to Hell, The Guardian, Apr 23, <http://www.guardian.co.uk/g2/story/0,,2063234,00.html>
- Meadows, D. H., Meadows, D. L., Randers, J.(1993), Beyond the Limits : Confronting Global Collapse, Envisioning a Sustainable Future, Chelsea Green Publishing Company, USA
- Minister of Public Works and Government Services(2001), Sustainable Development Strategy, Canada, <http://www.tbs-sct.gc.ca>
- NanoBusiness Alliance(2001), NanoBusiness Alliance 전망, Dec 2001
- Naisbitt, J.(2006), 마인드 세트, 비즈니스북스
- OECD(2002a), Frascati manual : Proposed standard practice for surveys on research and experimental development, Paris
- OECD(2002b), Indicators to measure decoupling of environmental pressure from economic growth, SG/SD(2002)/FINAL, JT00126227
- PwC(PricewaterhouseCoopers)(2006), The World in 2050
- Rocky Mountain Institute(2003), <http://www.smallisprofitable.org/>
- RSBS(Research on the Scientific Basis for Sustainability)(2005) Science on Sustainability 2006, Japan
- Shah, M.(2006) Trackling the Roots of Global Insecurity, Options Summer 2006, International Institute for Applied Systems Analysis(IIASA)
- Schumacher, E. F.(1989) Small is Beautiful, Harper Perennial, USA
- Stern, N.(2006), Review on The Economics of Climate Change. <http://www.thefirstpost.co.uk/index.php?menuID=2&subID=1055>
- The Guardian(2007), The World in the 2050s, <http://www.guardian.co.uk/global-warming/graphic/0,,397048,00.html>
- The National Academies(2004), Hydrogen Economy : Opportunities, Costs, Barriers,

and R&D Needs

UN(2001), World Population Prospects : The 2000 Revision, Volume 1 : Comprehensive Tables. Department of Economic and Social Affairs

UN(2003), UN 세계 수자원개발 보고서, Mar 2003

UN(2006), 물-공유된 책임, Mar 2006

UN(2007), [www.un.org/esa/sustdev/csd.htm](http://www.un.org/esa/sustdev/csd.htm)

Washitani, I., Takeuchi, K., Nishid, M.(2005), "Seinoukei e no manazashi" [A Look at the Ecosystem], University of Tokyo Publishing

Weizaecker, E. U. v., Lovins, A. B., Lovins, L. H.(1997), Faktor 4, Droemersche Verlagsanstalt, Germany

WEF(World Economic Forum)(2002), 2002 Environmental Sustainability Index-An Initiative of the Global Leaders of Tomorrow Environment Task Force, (in collaboration with Yale University and Columbia University)

WEF(2005), 2005 Environmental Sustainability Index, (in collaboration with Yale University and Columbia University)

WEF(2007), <http://www.weforum.org/>

WRI(World Resources Institute)(2003), <http://www.wri.org>

WRI(2005), 'Ecosystems and Human Well-Being, Biodiversity Synthesis, Millennium Ecosystem Assessment',

<http://www.millenniumassessment.org/en/Products.Synthesis.aspx>

Wuppertal Institute(2001), <http://www.wupperinst.org/>

Wuppertal Institute(2005), Target 2020 : Policies and Measures to reduce EU-GHG emissions, Germany

Wyss, D.(2007), 조선일보 07. 3. 24.

## • 부 록 •

### A. 선진국의 지속가능발전 헤드라인 지표

#### 1) 프랑스

프랑스는 지속가능발전 헤드라인 지표를 경제성장, 기후변화, 에너지, 교통·수송, 폐기물, 생물종, 해양자원, 건강, 빈곤, 고령층, 제3세계 지원, IT 영역에서 뽑고 있다.

그 지표는 구체적으로, 1인당 국민소득 성장률, 온실가스 배출 총량, 1차 에너지 총 사용량 중 재생가능에너지 비율, 교통·수송 부문 총 에너지 사용량, 도시 폐기물 수거량이다. 또한 일반 조류 개체 분포 지수, 사전 주의 기준을 넘어서 어획량, 건강기대수명, 빈곤선 이하 가구 비율, 노인 보호대상자 비율, 공적개발지원자금(ODA : Official Development Assistance), 온라인 행정 보급률로 구성된다.

〈표 A-1〉 프랑스의 지속가능발전 헤드라인 지표

- |  |
|--|
| <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 1인당 국민소득 성장률</li> <li>2. 온실가스 배출 총량</li> <li>3. 1차 에너지 총 사용량 중 재생가능에너지 비율</li> <li>4. 교통·수송 부문 총 에너지 사용량</li> <li>5. 도시 쓰레기 수거량</li> <li>6. 일반 조류(새) 개체 분포 지수</li> <li>7. 사전 주의 기준을 넘어서 어획량</li> <li>8. 건강기대수명</li> <li>9. 빈곤선 이하 가구 비율(생활보호대상자(예) 비율)</li> <li>10. 노인 보호대상자 비율</li> <li>11. ODA(Official Development Assistance)</li> <li>12. 온라인 행정 보급률</li> </ol> |
|--|

프랑스도 지표의 현재 상태와 추세를 점검한다. 현재 상태가 만족스러운지, 보통인지, 불충분한지를 표시하고, 추세가 긍정적인지 동일한지, 부정적인지

를 나타낸다. 현재 상태와 추세를 양축으로 매트릭스(3x3)를 만들어 지표들이 어디에 위치하는지를 보이고 있다. 이 매트릭스는 현재와 미래를 조망하고 전략적 의사결정을 하는데 도움을 준다. 예를 들어, 온라인 행정 보급률은 현재 만족스러운 상태인데다가 미래 추세도 긍정적이다. 온실가스배출총량은 현재 보통이고, 미래에도 동일한 추세를 보이고 있다. 사전 주의 기준을 넘어서 어획량은 현재 불만족스러운데다가 미래 추세도 부정적이다. 이러한 지표는 특별관리가 요청된다. 아울러 EU와 비교하여 만족스러운지, 보통인지, 불충분한지도 지표 상태에서 표시한다. EU 전체를 기준점으로 하여 프랑스의 상태를 일목요연하게 보여 준다.

## 2) 영국

영국은 지속가능발전 헤드라인 지표를 경제성장, 사회복지, 고용, 빈곤, 청년, 건강, 주거, 사회 안전, 기후변화, 대기, 교통, 물, 생물종, 국토, 폐기물 영역에서 추출하고 있다<표 A-2 참조>.

구체적으로 경제 산출총량, GDP 대비 총투자 및 사회투자, 노동가능인구 중 취업자 비율, 빈곤퇴치 및 사회복지 성공률, 19세 연령대 자격 보유, 건강 기대여명, 주택보급, 범죄율이 지표다. 또한 온실가스 배출량, 대기오염이 보통 혹은 그 이상인 날짜 수, 자동차 유형별 도로 교통량, 수질이 양호한 강 수, 야생 조류 개체수, 기존 개발지에 건축되는 신규 주택수, 폐기물 발생량 및 관리로 이루어진다.

흥미로운 지표는 19세 연령대 자격 보유이다. 지속가능발전은 청년의 미래에 좌우된다고 할 수 있다. 이런 맥락에서 영국은 성년이 되는 청년들의 고용과 자기실현의 큰 디딤돌이 될 수 있는 '자격 보유'를 주목하는 것으로 보인다.

영국도 지표의 추세를 점검한다. 기준년도 이래로 명확한 향상이 있는지, 거의 변화가 없거나 약간의 향상이 있는지, 명확한 악화로 나아갔는지를 표시한다. 독특한 점은 기준년도가 세 시점인 것이다. 예를 들어 1990년, 1999년, 최근을 기준으로 추세를 비교한다. 야생 조류 개체수 지표는 1990년을 기준으로 악화되었지만, 1999년과 최근에 비교하면 약간의 향상이 있다. 건강

기대여명 지표는 1990년을 기준으로는 악화되었지만, 1999년에 비교하면 약간 개선되었다가 최근에 다시 악화되었다. 이렇듯 지표 추세의 동태적 흐름을 볼 수 있는 것은 정책결정에 도움이 된다.

### 〈표 A-2〉 영국의 지속가능발전 헤드라인 지표

1. 경제 산출총량(GDP 및 일인당 GDP)
2. GDP 대비 총투자 및 사회투자
3. 노동가능인구 중 취업자 비율
4. 빈곤퇴치 및 사회복귀 성공률
5. 19세 연령대 자격 보유
6. 건강기대여명
7. 주택보급(건전한 주택 주거 비율)
8. 범죄율
9. 온실가스 배출량
10. 대기오염이 중간 혹은 그 이상인 날짜 수
11. 자동차 유형별 도로 교통량
12. 양호한 강 수(수질)
13. 야생 조류 개체수
14. 기존 개발지에 건축되는 신규 주택수
15. 폐기물 발생량 및 관리

### 3) 덴마크

덴마크는 지속가능발전 헤드라인 지표를 경제, 환경오염, 사회, 건강, 기후 변화, 생태계, 물, 제3세계 지원, 에너지, 교통·수송, 경영의 영역에서 뽑고 있다<표 A-3 참조>.

그 지표는 구체적으로, 1인당 GDP, GDP 대비 환경영향 4가지 요인(온실가스, 해양으로 유입되는 영양물질 유출, 산 화합물 배출, 대기오염)의 완화, 실 저축률, 연령별 고용분석, 평균수명, 이산화탄소 등가물당 부문별 폐기물 배출량, 분류된 화학물질 수이다.

아울러 자연보호지역, 자원흐름의 3요소(에너지 소비, 마실 물 소비, GDP 대비 총 폐기물량), GNI 대비 지원금, 에너지 부문의 환경적 측면(GDP 대비 에너지 소비, 질소산화물, 이산화탄소, 아황산가스 배출량), 교통 부문의 환경적 측면(화물 및 여객 수송 대비 에너지 소비, 질소산화물, 이산화탄소, 휘발성유기화합물 배출량), 환경인증 상품 수, 환경영양감시체제(EMAS) 및 ISO 등록 기업 수로 구성된다.

흥미로운 지표는 환경경영감시체제(EMAS) 및 ISO 등록 기업 수이다. 이는 기업의 환경적 책임을 강조하는 취지이다. 인증·등록을 통해 기업의 환경경영을 장려하는 것이다. 덴마크의 여러 지표를 관통해서 나타나는 특징은 어떤 양을 추적할 때 그 양을 투입물량이나 혜택량(예: GDP)에 대비하고 있다는 점이다. 이는 추적량의 절대적 증감도 중요하지만 그것과 연계된 투입량이나 혜택량을 연동하는 것이 전략적으로 중요함을 간파한 것이다.

〈표 A-3〉 덴마크의 지속가능발전 헤드라인 지표

<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 1인당 GDP</li> <li>2. GDP 대비 환경적 영향을 주는 4가지 요인(온실가스, 해양으로 유입되는 영양물질 유출, 산 화합물 배출, 대기오염)의 완화</li> <li>3. 실 저축률</li> <li>4. 연령별 고용분석</li> <li>5. 평균수명</li> <li>6. 이산화탄소 등가물(백만 톤 기준)당 산업, 교통, 가계, 농업, 폐기물 배출량</li> <li>7. 분류된 화학물질 수</li> <li>8. 자연보호지역(낙엽활엽수림, 원시림, 초원, 건조지, 습지초원, 늪지)</li> <li>9. 자원흐름의 3요소(에너지 소비, 마실 물 소비, GDP 대비 총 폐기물량)</li> <li>10. GNI 대비 총 지원금, 환경 및 발전 지원금, 이웃국가 지원금</li> <li>11. 에너지 부문의 환경적 측면(GDP 대비 에너지 소비, NO<sub>x</sub>, CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> 배출량)</li> <li>12. 교통 부문의 환경적 측면(화물 및 여객 수송 정도에 따른 에너지 소비, NO<sub>x</sub>, CO<sub>2</sub>, VOC 배출량)</li> <li>13. 환경인증 상품 수(상품명 수로 측정)</li> <li>14. 환경경영감시체제(EMAS) 및 ISO 등록 기업 수</li> </ol>
--

주 : NO<sub>x</sub> : 질소산화물, CO<sub>2</sub> : 이산화탄소, SO<sub>2</sub> : 아황산가스, VOC : 휘발성유기화합물

#### 4) 스웨덴

스웨덴은 에너지, 자원, 환경오염, 기후변화, 대기질, 생태계, 교통, 소비, 사회사업 영역에서 지속가능발전 헤드라인 지표를 선정하고 있다<표 A-4 참조>.

구체적으로 에너지 이용, 원료 이용, 화학 물질 이용, 온실효과, 산성화, 부영양화, 도시 대기질, 생물 다양성, 환경적으로 건전한 교통, 환경적으로 건전한 소비, 영양물질 재활용, 환경적으로 건전한 사회사업이 그 지표다.

에너지 이용은 총 에너지 소비, 에너지 효율성, 가정과 건물 난방에 사용되는 전력량을 추적한다. 원료 이용은 순환되는 원료량과 매립지에 폐기되는 원료량을 항목으로 하고 있다. 화학물질 이용은 건강과 환경에 유해한 화학물질량을 내용으로 한다. 온실효과는 이산화탄소 배출량으로 점검한다. 산성화는

이산화황 배출량과 일산화탄소 배출량을 계상한다. 부영양화는 해안으로 유입되는 인과 질소를 추적한다. 도시 대기질은 도시 대기의 벤젠 수준이 관심사항이다. 생물 다양성은 4대 주요 서식지(숲, 호수, 농지, 해양)의 특정조건에 우세한 생물종을 체크한다. 보호림(생산적 산림지역의 연간 비율)도 포함한다.

〈표 A-4〉 스웨덴의 지속가능발전 헤드리인 지표

1. 에너지 이용
  - 총 에너지 소비(TWh/year)
  - 에너지 효율성(GDP 대비 에너지 이용)
  - 가정과 건물 난방에 사용되는 전력량(TWh/year)
2. 원료 이용
  - 순환되는 원료량
  - 매립지에 폐기되는 원료량
3. 화학 물질 이용
  - 건강과 환경에 유해한 화학 물질량(석유 연료를 제외한 국내생산량, 수입량 포함)
4. 온실효과
  - 이산화탄소 배출량
5. 산성화
  - 이산화황 배출량
  - 일산화탄소 배출량
6. 부영양화
  - 해안으로 유입되는 인
  - 해안으로 유입되는 질소
7. 도시 대기질
  - 도시 대기의 벤젠 수준
8. 생물 다양성
  - 4대 주요 서식지(숲, 호수, 농지, 해양)의 특정조건에 우세한 생물을 바탕으로 함.
  - 보호림(생산적 산림지역의 연간 비율)
9. 환경적으로 건전한 교통
  - 자전거, 대중교통 대비 도보로 여행이나 업무, 학업을 위해 이동하는 비율
  - 자동차 주행거리(연간 인당 km)
10. 환경적으로 건전한 소비
  - 친환경 인증 상품과 서비스를 이용하는 정도
  - 녹색공공조달(Green public procurement) 정도
11. 영양물질 재활용
  - 매년 경작지에서 비료로 재활용되는 슬러지로부터 발생하는 인의 양
12. 환경적으로 건전한 사회사업
  - 환경경영 시스템을 적용하는 기업 수
  - '녹색 학교상' 수상한 학교 수

환경적으로 건전한 교통은 자전거, 대중교통 대비 도보로 여행이나 업무, 학업을 위해 이동하는 비율이다. 일인당 자동차 주행거리도 고려한다. 환경적으로 건전한 소비는 친환경 인증 상품과 서비스를 이용하는 정도, 녹색공공조

달(Green public procurement) 정도를 내용으로 한다. 영양물질 재활용은 매년 경작지에서 비료로 재활용되는 슬러지로부터 발생하는 인의 양을 항목으로 한다. 환경적으로 건전한 사회사업은 환경경영 시스템을 적용하는 기업 수, '녹색 학교상'을 수상한 학교 수를 추적한다.

스웨덴 지표 중 흥미로운 것은 '녹색 학교상'을 수상한 학교 수의 지표이다. 지속가능발전을 위한 환경지속성은 하드웨어적으로 오염물질을 모니터링하고 처리하는 것만으로는 부족하다. 근원적으로는 어린 시절과 청소년 시기부터 환경 의식이 필요하다. 환경의 중요성이 자각되고 생활화되어 가까운 일상에서부터 환경 부하를 줄이기 위한 노력이 필요하다. 친환경적 소비에도 참여하는 것은 좋은 방안이다. 환경의식을 고취하기 위한 방안으로 교육은 큰 비중을 갖는다. 녹색학교가 지표화 되는 것은 그런 맥락이다.

## 5) 캐나다

캐나다의 헤드라인 지표는 환경에 초점을 두고 있다. 자연이 아름답고, 환경이 양호한 캐나다가 이런 방향을 취하는 것은 양호할 때 지키자는 취지로 보인다. 이외에 사회 자원 영역의 지표도 있다.

지표면(earth surface) 오존농도 기준 대기질, 정부 환경기준을 만족하는 수질, 온실가스 배출, 삼림면적, 습지면적, 교육수준에 따른 인적 자원이 구체적인 지표이다.

지표면 오존 농도는 중요한 대기질 기준이다. 자동차 배기가스와 휘발성 유기 오염물질이 햇빛의 자외선과 반응을 하여 오존을 형성한다. 일종의 광화학 반응이다. 특히 무더운 여름에 공기가 정체되는 대도시에서 오존의 생성과 머무름이 촉진된다. 높은 빌딩들도 병풍 역할을 한다. 오존에 노출되면 천식 같은 호흡기 질환이 악화될 수 있다. 특히 어린이가 취약하다. 오존으로 인한 농작물의 수확량이 감소하거나 식물이 말라 죽기도 한다. 미국의 경우 매년 수십억 달러의 수확 피해를 겪고 있다. 이렇듯 오존은 보건, 경제, 생태계에 영향이 크다.



(계속)

	Poverty	Governance	Health	Education	Demographics	Natural hazards	Atmosphere	Land	Oceans, Seas and Coasts	Fresh Water	Biodiversity	Economic Development	Global economic partnership	Cons. and Product. Patterns
Efficiency of Fertilizer Use														
Use of Agricultural Pesticides														
Organic farming as percentage of total farming														
Forest area as a percent of land area														
Percent of forests damaged by defoliation														
Area under sustainable forest management														
Algae Concentration in Coastal Waters														
Percentage of total population living in coastal areas														
Coastal pollution														
Proportion of fish stocks within safe biological limits														
Coverage of protected areas as percentage of marine area														
Marine trophic index														
Area of coral reefs														
Water use as a percentage of renewable water resources														
Water use intensity by industry														
BOD in water bodies														
Concentration of faecal coliform in freshwater														
Waste water treatment														
Coverage of protected areas as percentage of terrestrial														
Management effectiveness of protected areas														
Area of selected key ecosystems														
Fragmentation of habitat														
Abundance of selected key species														
Assessment of threatened species														
Invasive species														
GDP per Capita														
Investment share in GDP														
Savings rate														
Adjusted net savings rate														
Inflation														
Debt to GNI ratio														
Labor productivity and unit labor costs														
Employment-population ratio, by sex														
Employment Status, by sex														
Share of women in wage employment in the non-agricultural sector														
Internet users per 100 population														
Fixed telephone lines per 100 population														
Mobile cellular telephone subscribers per 100 population														
R&D Expenditure as percentage of GDP														
Tourism contribution to GDP														
Current account deficit as percentage of GDP														
Share of imports from developing countries and from LDCs														
Average tariff barriers against imports from developing countries and LDCs														
Total Official Development Assistance (ODA) given or received as a percentage of GNI														

주) 검은색은 연관 정도가 직접적이고 강함을 의미하며, 회색은 간접적이거나 약함을 의미

(계속)

	Poverty	Governance	Health	Education	Demographics	Natural hazards	Atmosphere	Land	Oceans, Seas and Coasts	Fresh Water	Biodiversity	Economic Development	Global economic partnership	Cons. and Product. Patterns
FDI inflows and outflows as percentage of GNI														
Remittances as percentage of GNI														
Material intensity of the economy														
Domestic material consumption														
Annual energy consumption per capita														
Share of renewable energy sources in total energy supply														
Intensity of energy use, total and by sector														
Generation of waste														
Generation of hazardous waste														
Management of radioactive waste														
Waste treatment and disposal														
Car share of inland passenger transportation														
Road share of inland freight transport														
Energy intensity of transport														

주) 검은색은 연관 정도가 직접적이고 강함을 의미하며, 회색은 간접적이거나 약함을 의미

### C. 지표 배합 적절성 점검 매트릭스 예

〈표 C-1〉 지속가능발전 테마 및 지표 구분 매트릭스 틀 예시

구분	테마/지표1	테마/지표2	테마/지표3	....
미래	○			
현재		○		○
과거			○	
구분	테마/지표1	테마/지표2	테마/지표3	....
개인	○			
지역		○	○	
국가				○
구분	테마/지표1	테마/지표2	테마/지표3	....
양적	○	○		
질적			○	○
구분	테마/지표1	테마/지표2	테마/지표3	....
공통	○	○		
특수			○	○

### D. 과학기술의 역량요소<sup>28)</sup>의 다양한 매트릭스

아래 표들에 제시된 역량요소 목록을 x축으로, 다양한 기술 목록을 y축으로 두고 매트릭스를 만들어 어떤 기술에 어떤 요소가 강화되어야 하는지 파악할 수 있다.

<표 D-1> 역량요소 매트릭스1 - R&D 투입, 과정, 산출, 기반

R&D 투입, 과정, 산출, 기반	연구개발 투입			과정			산출				기반			
	R&D	S&T 인력 (교육 · 훈련)	기술 도입	기술 혁신 활동	인력 및 지식의 이동	연구 개발 환경	논문	특허 출원 및 등록	기술 수출	과학 인재	경제	교육	과학 문화	인프라 (IT 환경 등)

<표 D-2> 역량요소 매트릭스2 - R&D 생애주기

과학기술 R&D 생애주기	연구개발 투입	과정	산출	확산/활용* + 피드백
---------------	---------	----	----	--------------

\* 최적가용기술(BAT) 및 최적관리방안(BEP)의 확산은 중요

<표 D-3> 역량요소 매트릭스3 - 혁신 투입, 산출, 배경(context)

혁신 <sup>29)</sup> 투입, 산출, 배경	혁신동력 (교육)	지식 창출 (R&D)	혁신 및 기업가 정신	응용 (사회 경제적 활용, 부가가치 및 고용창출)	지적재산 (Know-how)	수요측면 혁신 관심/요구 (socio-economic context)	거버넌스 (socio-economic context)
------------------------------	-----------	-------------	-------------	-----------------------------	-----------------	--	-------------------------------

<표 D-4> 역량요소 매트릭스4 - 지식흐름

지식 흐름	생산				유통				이용				피드백			
	인력, 조직	투자	인프라	사회경제배경	인력, 조직	투자	인프라	사회경제배경	인력, 조직	투자	인프라	사회경제배경	인력, 조직	투자	인프라	사회경제배경

28) 물론 중요한 것은 날개의 요소뿐 아니라 전체의 통합성임.

29) 혁신 지표- 과학기술도 혁신의 관점으로 바라봄.

지속가능발전과 과학기술을 연계할 때 혁신 역량을 연결고리<표 D-5 참조>로 원용하는 방법도 검토할 수 있다. 즉, 자원, 활동, 과정, 환경/인프라, 성과로 나누어서 역량요소로 삼을 수 있다.

〈표 D-5〉 역량요소 매트릭스5 - 기술혁신 역량

기술 혁신 역량	혁신 자원			혁신 활동			혁신 과정			혁신 환경			혁신 성과	
	인적 자원*	혁신 자원	지식 자원	R&D 투자	혁신 활력	창업 활동	산학연 협력	기업 간협력	국제 협력	혁신 지원 제도	물적인 프라	혁신 문화	지식 창출	경제적 성과

주) 혁신환경에서 혁신 지원 제도 예로 창업환경의 준비를 들 수 있음.

〈표 D-6〉 역량요소 매트릭스6 - 과학기술의 3요소

과학기술의 3요소	Human Resource		System			Network		
	인적 자원	지식 자원	조직	법, 제도	인프라	산학연 협력	기업간 협력	국제 협력

## E. 지속가능발전 기여 과학기술의 세부 내용

본문에서 제시된 지속가능발전 기여 과학기술에 대한 세부 내용을 단조적으로 정리한다. 그 내용은 관리 방안도 포함한다. 향후 지속적인 보완과 갱신이 요구된다.

### 1) 기후변화 적응 및 대응

#### 가. 과학기술

##### - 온실가스 감축 기술

- 에너지 공급 : 에너지 고효율 및 절약 기술<sup>30)</sup>
- 교통/수송 : 하이브리드 전기차, 연료 전지차 기술

30) 에너지 고효율 및 절약 기술은 모든 영역에 필요한 공통 기술이기도 함. 에너지 고효율 전환·수송·저장 네트워크화·이용기술(초전도기술, 에너지네트워크 기술 등), 초저손실 전력소자 기술(SiC), 열이용기술, 고효율연소 기술 등도 포함

- 건물 : 고효율 빌딩 통합 디자인 기술(Integrated building design for greater efficiency), 분산형 빌딩 태양 에너지 공급 시스템(Off-grid building photovoltaic energy supply system)
- 산업 : 에너지 고효율 및 절약 기술, 첨단 센서 기술(Advanced sensor technology)
- 폐기물 : 매립지에서의 메탄회수 기술
- 탄소 흡수(Carbon-sink) 기술
  - 온실가스 포집 및 저장기술(Carbon capture & sequestration)
  - 산림, 녹지 보전 및 확대 기술
  - BT 활용 탄소 순환 조종/저장(Carbon cycle manipulation/ sequestration) 기술
- 재생가능 에너지 기술
  - 태양 에너지, 풍력, 조력, 소규모 수력, 바이오 연료 기술
    - ※ 다양한 실용 엔지니어링 기술 포함 : 예, 건물 사이의 풍력, 우주 태양 및 풍력 발전 등
  - 재생에너지 개발 최적지역 지도 개발
  - Bioprocessing for fuels and chemicals
  - Biological/biochemical hydrogen production
- 기후변화로 인한 기상재해 이해 연구 및 대응 기술
  - 기후변화 재해 모니터링 및 경고 기술 등
- 기후변화의 생태계 위협 연구
  - 메커니즘, 특히 먹이사슬 문제(예 : 북극곰 멸종) 연구 포함
- 기후변화의 지구 4대 순환 메커니즘에 대한 영향(대기, 물, 양분, 해류) 연구

#### 나. 관리 방안

- 국가 온실가스 저감 장기적 정량 목표 설정
  - 국가 목표에 상응한 기업의 자발적 목표 설정 → 자발적 온실가스 감축 협약

※ 환경성과 경제성 연계목표 설정

－ 온실가스 배출량 안정 정책

- 청정 및 재생가능 에너지 촉진 제도의 강화
- 온실가스 배출권 거래제 도입 : 온실가스 배출량 인벤토리 구축
- 온실가스 배출관련 세제 정책 활용
- 탄소 가격 정책(Carbon Pricing Policy) 이행
- 탄소 펀드<sup>31)</sup> 구축
- 그린 포인트제 도입 (예 : 탄소카드제)<sup>32)</sup>
- 온실가스 저감 연성적 해법 개발 및 확산 : 예, IT활용 자전거 대여 또는 카 셰어링(Car Sharing)
- 기후변화 적응 및 대응 최적관리방안 확산<sup>33)</sup>
- 기후변화 적응 및 대응 최적가용기술(BAT) 확산

위의 세부 내용들에 대해서도 어떤 역량요소들이 강화되어야 하는지 점검해 볼 수 있다<표 E-1 참조>. 가령 탄소흡수 기술의 경우 지식 측면에서 많은 역량의 보강이 필요한지, 아니면 인력 측면이나 인프라 측면에서 필요한지를 도출하는 것은 의미가 있을 것이다.

31) 정부 주도하에 대기업들이 이산화탄소 배출 저감 사업(예 : CDM 사업)을 지원하기 위한 펀드를 설립할 수 있다. 펀드 참여 기업엔 투자 비율에 따라 탄소 배출권이 제공된다.

32) 2005년 영국 정부는 '탄소 카드(Carbon reward card)' 구상을 내놓았다(Domestic Tradable Quotas). 개인에게 허용된 목표치(Quota) 보다 덜 탄소를 소비하는 경우 과소비자에게 팔 수 있게 하는 것이다. 일종의 탄소 소비 절약 인센티브다(carbon-saving incentive). EU에서 기업 및 기관 간에 통용되고 있는 배출권 거래제(Emission Trading)를 개인 차원으로 적용하는 셈이다. 개인의 사회경제적 활동에 의한 탄소 소비의 누적을 기록한다. 예를 들면, 휘발유 주유량까지 누적 기록한다. 자전거 출퇴근자에게 오토바이나 자동차 출퇴근자보다 경제적으로도 혜택이 돌아가도록 하는 제도다. 이러한 제도는 정부가 온실가스 저감을 위한 장기적 목표 설정을 쉽게 해준다. 2050년까지 영국은 60%, 프랑스는 75%, 미국의 캘리포니아(슈와르제네거 주지사)는 80%의 저감 목표를 갖고 있다(BBC, 2005).

33) EU에서 최적관리방안 확산만으로도 전기, 가스, 난방유의 소비를 15년 이내에 최소 15% 절감할 것으로 추정(Wuppertal Institute, 2005)

〈표 E-1〉 기후변화 적응 및 대응 과학기술의 세부내용별 역량 요소

지식				인력 (S&T 인력)		인프라					
						하드		소프트			
생산 (R&D)	유통/ 분배	활용 (사회 경제)	피드백	교육	훈련	IT 환경	연구 개발 환경	법· 제도	거버 넌스	문화	네트워크 (산학연, 기업간, 국제 협력)

## 2) 물

- 물 부족(수량) 개선 기술
  - 녹색댐 조성 기술
  - 물 재활용 및 순환 기술(빗물 포함)
- 수질
  - 수질(하천, 지하수, 해양) 오염 예방 및 처리 기술

## 3) 화학물질

- 독성 화학물질<sup>34)</sup> 안전 처리 기술
  - 식품, 물, 토양, 대기 잔류 독성물질 등
  - 잔류성 유기오염물질(POPs), 중금속, 휘발성 유기물질(VOC), 오존층 파괴 물질 등
  - 극미량 독성 화학물질의 고감도 고속 계측 기술
  - 독성물질 순환(Circle of Poison) 제거 기술(먹이사슬 오염 이슈 포함)
- 화학물질 종합관리 기술
  - 유해화학물질 환경배출량 조사 및 보고 기술(Toxics Release Inventory : TRI)
  - 유해화학물질 배출 예방 종합 관리 기술(특히 POPs)
  - 유해 화학물질의 환경영향평가 기술
  - 위해성 평가 및 관리(Risk management) 기술
  - 유해 화학물질의 예방원칙의 경제적 혜택 분석 연구

34) 발생원인은 제품이나 그 성분 자체가 유독 화학물질인 경우이거나 화학물질의 합성과정에서의 부산물 및 불순물, 연소·소각의 부산물, 자연계의 분해 중간물질 등으로 발생

#### 4) 환경 압력<sup>35)</sup>

##### 가. 과학기술

- 실시간 모니터링 기술
- 환경부하 평가 기술(LCA 활용 S/W 기술) : 제품에 주안점
- 환경영향 평가 기술(LCIA : Life Cycle Impact Assessment) : 기업의 경제활동의 환경영향과 환경효율을 평가. 다양한 환경문제를 통해 야기되는 환경영향을 포괄적으로 평가
- 대기오염 예방 및 저감 기술(연성적 해법 포함)
- 전자파 생태계 영향 평가 및 대응 연구와 기술 : 예, 꿀벌의 폐사<sup>36)</sup> 및 관련 먹이사슬 영향
- 갈색지대(Brownfield)의 정화 및 재생 기술
- 광공해(Light contamination) 예방 및 저감 기술
- 고급 폐기물 재생(Designer waste streams) 기술
- 생태적 산업단지(Eco-Industrial Park) 계획 및 조성 기술
- 멸종 위협 동식물 관리 기법 : 예, 멸종 위협 동식물 은행(Extinction saving bank) 등
- 간접형 친환경 제품 개발 기술 : 예, 프린트 일정량 이상 수행시 베어지는 나무 나이트 그림의 자동 경고 프로그램 등

##### 나. 관리방안

- 무배출(Zero-emission) 규제 지향 정책
- 환경기술 및 환경친화적 기술 R&D 투자 제고
  - 국가 R&D에서 환경 기술 관련 R&D 투자 비중

35) 환경 압력 분리(Decoupling)를 하나의 독립된 테마로 설정할 수도 있다. 그 경우 환경 압력과 관계되는 하부테마(예 : 대기오염 등)와 지표를 배치할 수 있다. 아울러 GDP 단위당 지표 적용을 원칙으로 할 수 있다. 물론 GDP 단위당 수행 지표의 장단점은 점검할 필요가 있다. GDP 증가시 지표의 값은 낮아질 수 있다. 즉, GDP 증가분보다 점증적 수행도가 높아지는 경우다. 극단적 예로 수행효율이 탁월하여 GDP당 수행지표 값은 크게 낮아지더라도, 절대적 수행 값의 총량은 커질 위험이 있다. 총량의 총축성 여부를 점검할 필요가 거기에 있다.

36) 꿀벌의 폐사 원인으로 GMO 식물, 바이러스, 기후변화(면역력 약화) 등도 거론된다. 꿀벌 폐사는 식품 생산 및 먹이사슬에 큰 영향을 미친다. 꿀벌의 수분을 통해 생산되는 식품(과일 등)이 많기 때문이다.

- 환경 기술 관련 R&D 투자에서 사전오염예방 R&D 투자 비중
- 환경 분야 지식 기반 확충
- 생태방정식 기법 개발 및 확산 : 추상형 환경 통계를 구체적 환경 관계로 설명하는 방정식. 예, 햄버거 1개의 환경부담(숲, 물 등)
- 환경용량과 생태발자국(Ecological Footprint)<sup>37)</sup> 분석 기법 개발 및 확산
- 환경 회계(Green accounting) 기법 개발 및 확산

## 5) 국토

### 가. 과학기술

- 국토 환경성 평가 기법
- 도시·유역권 생태계 영향 평가 기법
- 도시 녹색축 설계 및 밀집지역 녹색면적 확보(자투리땅 포함) 및 관리 기술
- 도시 자전거 도로망 설계 및 밀집지역 자전거 도로 확보 및 건설 기술
- 자연보호지역 및 생태계의 보전·복원 기술
- 생태계 다양성 유지 관리 기법

### 나. 관리방안

- 건조(built-in) 토지 면적 확장 억제 정책 : 국가 장기 저감 목표 설정

## 6) 농업

### 가. 과학기술

- 저공해 농업(Low-emission farming) 기술
  - 유기농업 기술
  - 질소량이 지속가능한 농업 기술
- 에너지 생산 농장 기술 : 풍력, 바이오 연료(BT 활용) 등

37) 경제 성장의 이면에 줄줄이 이어진 자연자원의 소비와 훼손을 정량화해 나가는 것은 지속가능발전에 서 큰 의미가 있음. 나아가 사회적 발자취(Social Footprint)의 개념도 시도하여 추적할 필요가 있음. 가령 경제 성장 이면에 연결된 사회자본의 약화 등을 계상하는 것도 좋은 방안임.

- 네트워크 농업 기법 : 생태적 산업단지처럼 농업간의 협력(예 : 사육 닭이 인근 작물농장의 해충을 잡아먹어 농약 불필요). 마케팅, 기술, 유기농의 결합
- 농업-지역경제 연계 활성화 연구

#### 나. 관리방안

- 유기농 면적 증가 : 국가 장기적 목표 수립

### 7) 지역경제

- 지역 기업의 지식역량 강화 기술
  - 지역 문화, 생태, 창조산업 연계 기술
  - 지식 관리 기법 및 도구
  - 경영 기법(Skill) 향상 지원 기술(프로세스 엔지니어 양성 포함)
- 지역 혁신 클러스터 형성 및 확산 기법

### 8) 인구감소 및 고령화

- 고령 인구 복지 지원 기술
  - Barrier-free zone 형성 기술
  - 전파식별(RFID : Radio Frequency IDentification) 기술 : 예, 택시 안심 귀가, 노인층 횡단보도 접근시 신호등 파란불로 변환, 주차관리, 출입문 경비 등에 적용
- Age-mix 지원 도시 기반 기술
- 여성인력의 사회 진출 지원 도시 기반 기술
  - 여성 출산 및 보육 지원 등
- 인종, 문화 mix 지원 도시 기반 기술(외국 노동자 등)

### 9) 재해 예방

재해에 의한 인명 및 재산 피해를 최소화<sup>38)</sup>하는 것을 목표로 함.

38) 자연재해 피해 최소화 지표의 예를 아래와 같이 제시할 수 있음.

- 자연재해 예방 및 대응 기술
  - 재해 사전예방 유비쿼터스 기상 예측정보 기술 : 재해 예측 기술, 피해 시뮬레이션 기술 등
  - 재난 계획 및 위기 관리 지원 기술
- 인공재해 예방
  - 교통사고, 시설물 등 방재 기술
  - 방재 비용-편익 분석 기술
- 테러 대비 기술
  - 생화학무기의 대비 및 처리 기술

## 10) 지속가능 도시 및 주택

- 도심 공동화 대비 도시재생 기술
- 저렴하나 양질의 인프라가 제공되는 건전한 주택 생성 기술
  - Factor 4 주택 창출 기술(비용은 1/2로 혜택은 2배로)

## 11) 공동체

- 사회적 갈등 해소 기법
  - 거버넌스 강화 연구
  - Negotiated Rule-making 연구
- 21세기 창조형 공동체 형성 기술
  - 창조형 공동체 기반 조성 기술(문화 인프라 등)

---

### 지표인 인명피해

※  $a = (\sum \text{최근 5년간 인명피해수}) / (\sum \text{과거 기준 5년간 인명피해수}) = 0.9 \rightarrow$  매년 롤링

### 지표인 재산 피해

※ 2011년까지 연평균 1조 원 이하

※  $b = (\sum \text{최근 5년간 재산피해액}) / (\sum \text{과거 기준 5년간 재산피해액}) = 0.9 \rightarrow$  매년 롤링

※ c의 저감 :  $c = (\sum 5\text{년간 재산피해액}) / (\sum 5\text{년간 GDP}) \rightarrow$  매년 롤링

※ 선진국 수준(C선진국)에 단계적 접근

예 : 2008년 0.2C한국=C선진국; 2011년 0.3C한국=C선진국; 2015년 0.5C한국=C선진국

위 지표인 중 장단점과 실현가능성을 검토하여 택일 가능. 일차적으로 '선진국 수준에 단계적 접근'을 지표화하고, 차후 순차적으로 다른 지표들로 이전하는 방안도 검토될 수 있음.

- 평생 교육· 훈련 지원 기술(IT와 연계)

## 12) 교육

- 교육 질 개선 기술
  - 양질의 교육 클러스터 구축 방안 및 기술
  - 지식 인프라 구축 및 지원 기술
  - IT 융합 교육 공학 기술 : e-Learning 등
- 지식흐름 제고 기법
  - 과학기술 정보· 지식의 확산 및 활용도 향상 기법

## 13) 사이버 접근성 및 안전

### 가. 과학기술

- 전자파<sup>39)</sup> 위해성 평가 및 대응 기술
- 사이버 안전기술
  - 인터넷 보안, 규범, 사적 보호, 청소년 보호 등
- IT 의존 문제점 및 해결방안 연구 : 정보의 무덤, 전산 중독

### 나. 관리방안

- 정보 접근성 제고를 위한 지원 투자
  - IT 문턱비용(설치 및 초기 비용) 낮추기, 접근 용이성 강화

## 14) 질병

- AIDS, 말라리아, SARS, 결핵 예방 및 치료 연구
- 인플루엔자 모니터링/확인/대응 기술(조류 인플루엔자 포함)
- 중독 문제점 및 해결방안 연구(마약, 담배, 알코올 등)

39) 2007년 세계보건기구(WHO)는 전자제품이나 고압선에서 나오는 초저주파 전자파가 소아백혈병과 무관치 않다고 결론을 내렸다.

### 15) 식품

- 식품 안전성 평가 기술(HACCP 등)
- 식품 안전성 제고 기술
  - 생산(유기농 기술 등)
  - 이동(무농약 신선도 확보 기술 등)
  - 이용/저장

### 16) 빈곤

- 청장년 독립 및 재시작 지원 프로그램(지원 인프라 기술)
- 빈곤 예방 프로그램 및 투자
- 공공 풀(예 : 교육, 주거, 보건 등)의 질 강화(지원 인프라 기술)

### 17) 기업

- 기업 생태계 순환 강화(벤처 창업 용이성 강화 등)
- 기업 사회공헌 제고 방안 연구
  - 조달과정에서 공급 사슬(supply chain)의 사회적 책임 강화 등
- 중소기업 역량 확충
  - 지식 관리 기법 및 도구
  - 평생교육
  - 경영 기법 향상
- 환경경영 제고
  - ISO 및 환경인증 획득
  - 친환경 제품 생산 및 관리 기법

### 18) 에너지<sup>40)</sup>

에너지 이슈는 양과 질의 잣대로 설명될 수 있다(RSBS, 2005). 양적으로 공급측면에서는 에너지원의 확보, 수요 측면에서는 에너지 절약과 수요 억제

---

40) 기후변화 테마와 많은 부분 중복

가 주요 과제이다. 질적으로는 온실가스인 이산화탄소 배출 및 엔트로피 증가의 최소화가 풀어야 할 숙제이다. 에너지 시스템과 관련 기술의 혁신은 사회(빈곤 해소, 평화 확보 등)와 경제의 발전 그리고 환경 개선에 모두 필수불가결하다.

- 에너지원 확보
  - 자립, 청정, 분산, 재생가능 에너지 확보
  - 에너지원 다변화: 다양한 신·재생가능 에너지원, 화석연료 청정화
- 신에너지 시스템 기술
  - 연료전지, 태양광, 풍력, 수소에너지, 바이오매스 등
  - 에너지 저장 기술(수소저장, 2차전지)
  - 장기적 연구과제(핵융합, 메탄하이드레이트 methane hydrate)
- 분산 에너지 시스템 기술
- 에너지 네트워크 기술(분산전원네트워크 기술, 대체연료(수소 등) 네트워크 기술, 초전도기술)
- 에너지 인프라 고도화
- 에너지의 사회적, 경제적, 환경적 영향 종합 평가·분석 연구

## 19) 수송

- 수송 신기술(하이브리드, 수소 자동차 등) 개발 및 확산
- 무동력 운송수단의 첨단화(신기술의 융합 등) 및 인프라 지원
- 수송 강도 제고

## 20) 자원관리 - 물질

- 지속가능 자원관리 기술
  - 총 물질 필요량(Total Material Requirement)<sup>41)</sup> 계상 및 활용 기술
  - 탈물질화 기술

41) 총 물질 필요량 = 직접 물질 투입량 + 그 과정에 이면의 자원 흐름으로 구성. 세계자원연구소(WRI)의 1997년 통계에 따르면 미국, 독일, 이탈리아의 총 물질 필요량은 1인당 80톤 수준이었음.

- 생태효율 기술 : 장기적 저감 목표화
- 폐기물 예방 기술(포장 및 내용물, 특히 유해 폐기물 예방)
- 자원 절약 및 순환 기술
  - 3R 기술 : 발생저감(Reduce), 재이용(Reuse), 순환이용(Recycle)
  - 3R 지원 IT 기술 : 정보 및 하드웨어 향상
- 자원 절약 및 순환 정책
  - 3R 비전 및 전략 수립과 공론화
  - 환경 교육 및 정보 공유
  - 국제 협력 : 자원 및 폐기물 국경 이동 모니터링, 공동 연구 등
- 환경, 경제, 사회 자원 통합 반영의 지속가능발전 측정 국가 회계 시스템

## 21) 지속가능 생산

- 확대 생산자 책임 제도(EPR)
- 시장 인센티브 : 배출권 허가 거래 제도 및 배출 부과금
- 녹색 조달 정책
- 생태 효율 기술
- 환경 관리 정보 수집 및 보급

## 22) 지속가능 소비

- 친환경 소비 유도 세제의 확대
- 자원 가격을 왜곡하는 보조금 지양(농산물, 건설, 수자원 관련 사업 등)
- 환경 라벨, 인증(ISO 등) 기법
- 소비자 교육 기법

## 23) 과학기술 리스크 저감 및 관리

- 신기술 Risk 관리
- 신기술의 지속가능발전에 대한 영향 연구<표 E-2 참조>
  - 신기술 Benefit/Risk 대비 연구

〈표 E-2〉 신기술의 지속가능발전에 대한 영향 : IT를 예로

분야 기술	물	대 기	식 품	토 지	인구	거버넌스	사회 구조	에너지	건 강	경제 발전	교육	방어/ 분쟁	환경
IT				GIS	노약자 지원	e- Governance		-IT 기기 절전 -에너지 절약 평가 및 시뮬 레이션	전 자 파		e- Learning		e- Monitoring

주) 긍정적 부정적 영향을 모두 기술

- 과학기술 연구개발 투자의 생태효율 관리
  - R&D 투자 대비 생태효율의 추이 연구
  - R&D 투자 대비 최종 처분 폐기물의 비중 추이 연구
  - R&D 투자 대비 1인당 생태 발자취 추이 연구
- 환경기술 관리
  - 개발된 환경친화적 기술의 상업화
  - 환경친화적 기술의 개도국 지원



## SUMMARY

**[Title] Searching for an indicator framework to evaluate the capability of science & technology contributing to sustainable development**

**[Project Leader] Yoo, Eui Sun (Associate Research Fellow, STEPI)**

### Abstract

Sustainable development(SD) has been worldwide interest, since the Brundtland report defined the concept. However, much remains to be obtained towards the real SD, in terms the eradication of poverty, the preservation of eco-system, and so on. For these tasks, there is a great role for S&T to contribute to SD. This study is to search for an indicator framework to evaluate the capability of S&T contributing to sustainable development.

As the introduction this study addresses why SD is necessary. It also looks into the relation between S&T and sustainable development. The concept and features of sustainable development are summarized. According to the changes in the natural and socio-economic environment, the issues of sustainable development are listed-up. The trajectories of S&T contributing to sustainable development are described.

In the end, the analyses of the domestic and foreign indicators of sustainable development is performed. The connection of S&T to sustainable development is tried by finding out the critical paths, contents, capability factors of S&T which may bring sustainable development. The indicator framework to evaluate the capability of S&T contributing to sustainable development is suggested. Policy implications are presented.

---



# CONTENTS

<b>Chapter 1. Introduction .....</b>	<b>23</b>
<b>Chapter 2. Relation between S&amp;T and sustainable development ...</b>	<b>29</b>
1. Concept and features of sustainable development .....	29
2. Changes in the natural and socio-economic environment, and issues of sustainable development .....	35
3. Trajectories of S&T contributing to sustainable development .....	53
<b>Chapter 3. Indicator framework to evaluate the capability of S&amp;T contributing to sustainable development .....</b>	<b>73</b>
1. Analyses of the domestic and foreign indicators of sustainable development .....	73
2. Searching for an indicator framework to evaluate the capability of S&T contributing to sustainable development .....	92
3. Policy implications .....	130
<b>References .....</b>	<b>133</b>
<b>Appendix .....</b>	<b>137</b>
A. Headline indicators of sustainable development in advanced nations ...	137
B. Correlation between UN's indicators and themes of sustainable development .....	143
C. Examples of matrix to investigate the appropriateness of indicator combination .....	145
D. Diverse matrices of the capability factors of S&T .....	146
E. Details of S&T contributing to sustainable development .....	147



## 저 자

· 유의선 | 과학기술정책연구원 부연구위원 |

---

**:: 정책자료 2007-24**

**지속가능발전에 기여하는 과학기술의 역량평가 지표 를 탐색**

---

2007년 10월 일 인쇄

2007년 10월 일 발행

著 者 | 유의선

發行人 | 정성철

發行情處 | 과학기술정책연구원

서울특별시 동작구 보라매길 44(신대방동 395-70) 전문건설회관 26층

Tel: 02)3284-1800 FAX: 02)849-8016

登 錄 | 2003년 9월 5일 제20-444호

組版 및 印刷 | 레드씨 Tel: 02)2278-6050 FAX: 02)2268-4087

---