CLEAN TECHNOLOGY, DECEMBER 2004. 10(4) pp. 189-194

국내 친환경공정기술 분야의 기술지도 소개 및 분석

김상용†* · *박철환** · *이병환** · *이상훈***

한국생산기술연구원 청정시스템팀 우) 330-825 충남 천안시 입장면 홍천리 35-3*
*신촌동 134 연세대학교 연세CT연구단 **우) 120-749 서울시 서대문구*

(접수일자 : 2004. 9. 2 / 채택일자 : 2004. 10. 8)

Introduction and Analysis of Technology Roadmap (TRM) about Eco-Friendly Process in Korea

Sangyong Kim,† , Chulhwan Park*, Byunghwan Lee* and Sang-Hoon Lee***
**Cleaner Production System Team, Korea Institute of Industrial Technology (KITECH), 35-3 Hongchon-ri, Ipjang-myun, ChonAn 330-825, Korea*
***Yonsei Center for Clean Technology, Yonsei University, 134 Shinchon-dong, Seodaemun-gu, Seoul 120-749, Korea*

요 약

최근 환경부와 과학기술부에서 과학기술 분야의 효율적인 발전을 도모하고자 해당 기술분야의 기술지도를 마련하였다. 이를 위하여 산업기술동향을 분석한 후, 미래유망 기술 및 세계적 경쟁력을 확보할 수 있는 핵심기술 등이 도출되었고, 마련된 기술지도는 산·학·연·관의 전략적 연구 및 기술개발사업 추진에 방향성을 제시하고 있다. 여기에서는 최근 친환경공정기술과 관련한 분야로, 과학기술부 국가기술지도의 '환경/에너지 프론티어 진흥' 중 '환경친화적 소재/제품 및 공정기술' 부문과 환경부 차세대 핵심환경기술개발사업 10개년 종합계획의 '친환경 공정기술' 부문에서 작성된 기술지도 내용에서 무배출 기술 중심으로 살펴보았다. 그리고 해당 기술분야의 강점, 약점, 기회, 위협을 분석하고, 앞으로의 연구수행에 전략수립과 효율적인 발전에 기여하고자 하였다.

ABSTRACT : The review of the present status of Korean industries and the establishment of strategic R&D agenda are necessary to improve the innovative technological capabilities of Korea to the top level of the world. Recently, Korean ministry of science and technology (MOST) has selected specific areas to develop national technological innovation system, and prepared national technology roadmap (NTRM). Korean ministry of environment (ME) also has prepared technology roadmap (TRM) to help efficient development of environmental science and technology. The development of eco-friendly process in NTRM and TRM was introduced and reviewed in this study. In addition, strength, weakness, opportunities, and threats (SWOT) analysis of technological capabilities of Korea was performed. The results propose the core role of industry, university, research institute, and government for the development of Korean environmental process technology.

keywords : national technology roadmap (NTRM), technology roadmap (TRM), zero emission, eco-friendly process, cleaner production

† corresponding author : sykim@kitech.re.kr

1. 서 론

모든 산업활동이 환경문제를 배제하고는 조금도 이루어질 수 없는 시대에 직면하였다. 그러나 여전히 국내 환경오염은 산업발전과 더불어 더욱 심각해지고 있으며, 특히, 국내 환경배출물의 발생에 대하여는 심각하게 고려해 보아야 할 시기이다. 우리의 생활 및 산업환경문제를 개선하며, 동시에 국제경쟁사회에서의 생존을 위한 환경기술개발은 국가생존에 가장 급선무로 해결해야 할 과제임이 틀림없다.

환경오염물질의 사후처리 시 이차환경물질의 배출 및 잔존으로 인해 오염물질의 생태계 내 재순환을 초래하고, 생산공정과는 별도로 운영되기 때문에 사후처리비용이 증가하고 있다. 특히, 환경규제가 강화되면서 관련 비용이 급격히 증가하고 있는 실정이다. 이에 맞추어 청정생산의 개념이 접목된 무배출 패러다임으로 전환되고 있으며, 산업폐기물 (기상, 액상, 고상) 관리정책은 사후처리적 접근에서 청정생산적 접근으로 전환되고 있다. 단위 공정기술을 기반으로 한 저감 (reduce), 재활용 (recycle), 재이용 (reuse)의 추구는 몇몇 영역에서는 성공을 이룬 것이 사실이나, 단일 생산공정의 변경을 통한 폐기물 발생 저감은 여전히 요구되고 있다. 이러한 세계 환경산업 시장은 2005년 7,000억 달러, 2010년에 9,000억 달러에 달할 것으로 전망되며, 국내 환경시장 규모 역시 2010년까지 연평균 12% 내외의 증가율을 보여 31조 8,000억원에 이를 것으로 전망되고 있다. 2002년 우리나라의 경제포럼 지속가능지수는 세계 136위이나, 우리나라의 환경과학기술지수는 미국 1위, 핀란드 2위, 일본 6위에 이어 11위로 영국, 프랑스 보다 우위에 있어서 환경기술정책을 적극적으로 추진하는 국가로 분류되어 있다. 특히, 70위에 머무르고 있는 큰 시장규모를 지닐 것으로 예상되는 중국으로의 기술수출을 위해 지속적인 발전도 필요하다1).

최근 이러한 조류에 맞춰, 환경기술발전을 위한 방향을 제시하기 위한 기술지도가 과학기술부와 환경부에서 향후 10년을 계획하여 작성된 바 있다. 본고에서는 최근 친환경공정기술과 관련한 분야 중, 과학기술부 국가기술지도 (NTRM, national technology roadmap)의 '환경/에너지 프론티어 진흥의 환경친화적 소재/제품 및 공정기술' 부문과 환경부 차세대 핵심환경기술개발사업 10개년 종합계획의 '친환경 공정기술' 부문에서 마련된 기술지도 중 무배출 (zero emission) 기술 중심으로 살펴보고, 앞으로의 해당 과학기술 분야의 효율적인 연구 및 발전에 기여하고자 하였다.

2. 친환경공정분야 기술지도 소개 및 분석

2.1 과학기술부 국가과학기술지도

과학기술부의 국가과학기술지도는 21세기 국가경쟁력 제고를 위하여 선택과 집중 원칙에 의한 한정된 자원의 효과적 배분 및 활용의 요구에 대응하기 위해 마련되었다. 이를 위하여 국내외 산업 및 기술동향을 분석한 후, 미래유망기술 및 세계적 경쟁력을 확보할 수 있는 핵심기술 등을 도출하고, 기술지도를 작성하여 정부 및 기업의 전략적 연구개발사업 추진에 활용하는데 목표를 두고 2002년 하반기에 작성되었다. 작성된 국가기술지도에서 5대 비전으로 첫째, 정보-지식-지능화 사회구현, 둘째, 건강한 생명사회 지향, 셋째, 환경 및 에너지 프론티어 진흥, 넷째, 기반주력산업의 가치창출, 다섯째, 국가안전 및 위상 제고로 제시하였다. 분야별 산업 및 기술의 환경분석을 통해 우리나라의 국가경쟁력 제고를 위한 10년 후 비전을 제시하고, 이에 따른 49개 전략제품・기능 및 99개의 핵심기술이 선정되었다2).

특히, '환경 및 에너지 프론티어 진흥' 부문에서는 환경과 인간이 조화되는 순환형 사회의 구현과 환경친화적/안정적 에너지 수급 및 산업화를 비전으로 제시하고 있다. 이러한 비전을 위해 쾌적하고 건강한 삶을 구현하는 환경혁신과, 효율적/안정적/환경친화적 에너지 수급 및 산업화가 발전방향으로 제시되었다. 여기에서는 '환경 및 에너지 프론티어 진흥' 부문 중 '환경친화적 소재/제품 및 공정기술'에 대해서 간략히 소개하였다. 기술개발을 위하여 해당 핵심기술의 정의를 환경친화적 소재의 투입과 환경친화적 공정 적용 및 환경친화적 제품생산에 의한 사후처리적 접근에서 사전오염방지를 위한 청정기술로 표현하고 있다 (그림 1). 그 범위는 무해・무독성

소재, 고기능 소재, 고효율-고수율-고선택성 단위공정 기술의 병합에 의한 오염물질의 원천적 저감 및 무배출, 그리고 자원 소비의 최소화를 포함하고 있다.

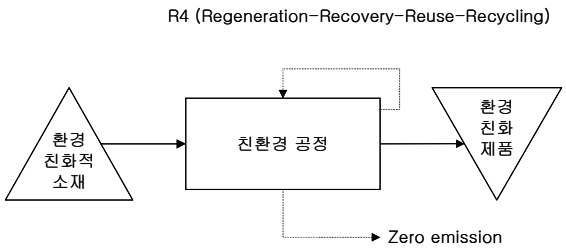

그림 1. 친환경공정 기술개념도.

사후처리 문제 및 생태계 오염문제를 사전적으로 해결하는데 목적을 두고, 생태오염 유발물질이 함유되지 않은 환경친화적 소재 (원료, 제품)로 기존 소재를 대체하거나, 생산과정 혁신을 통한 유해물질의 제거·회수로, 제품과 생태환경에 유해물질의 배출을 원천 억제할 필요성을 강조하고 있다. 또한, 친환경성, 경제성 그리고 생산성을 동시에 추구하고, 인류복지를 위한 지속적 산업활동의 유지와 생태계 보전을 위해 환경친화적이면서 상업성을 보장할 수 있는 기술을 추구하고자 하고 있다. 세부내용으로는 공정 화학소재, 공정 무기소재, 신공정 기술, water closed system 기술 및 유해물질 무배출 및 유용물질 회수기술을 포함하고 있으며, 특히, 유해물질 무배출 및 유용물질 회수기술에 대한 국가기술지도의 일부를 살펴보면 그림 2에서 보는 바와 같다. 공정내/공장내에서 오염물질 생성 및 배출을 최소화하며, 용수를 비롯한 유용물질을 회수하는 것은 고비용 사후 처리의 방지뿐만 아니라 자원 절감과 환경비용 감소 측면에서도 유리함을 강조하고 있다. 이는 전세계적으로 산업활동의 경쟁력 보유를 위해서는 국제적 환경규제 만족, 환경비용부담 (liability 포함) 경감, 자원고갈에 대한 원료절감 및 생산성 향상의 동시 추구라는 개념도 함께 포함하고 있다. 좀더 상세히 살펴보면, 2005년까지는 고활성 미생물의 분리기술, 효소 적용기술, 분리막 오염 저감 기술, 공정 진단기술을 확보하고, 2012년까지 공정내 재이용 시스템 구성, 복합공정 최적화 기술 및 모니터링 시스템을 도입하여 현장설치/운영을 그 목적으로 하는 친환경공정을 제시하고 있다. 이는 단위기술의 고효율화를 중심으로 한 공정개선에 이어 최적 통합공정의 보급과 대체 신공정 기술 도입의 확대를 예상할 수 있게 한다.

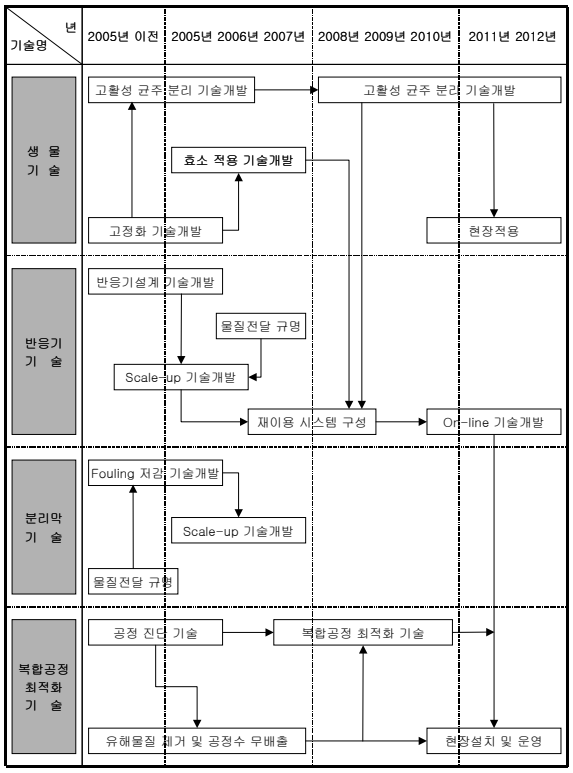

그림 2. 과학기술부 국가기술지도 '환경 및 에너지 프론티어 진흥' 부문의 '환경친화적 소재/제품 및 공정기술'의 기술지도 중 일부.

궁극적으로 환경경영, 환경인증, 이산화탄소 저감 등 세계 규제 동향에 대비하여 관련 소재, 공정 및 시스템 핵심기술을 자체적으로 개발하고 궁극적으로는 무배출을 추구하고 있다. 2007년까지는 전통 생산과정의 보완을 통해 기존 공정 대비 오염물질 사전절감을 15% 달성하고, 2012년까지는 신소재 및 신공정의 도입과 함께 30% 이상 사전절감을 이룩하고자 하고 있다. 이와 비슷하게 미국의 경우에도 2020년까지 다섯 가지 (소재 소비, 물 소비, 에너지 소비, 독성물질 배출, 오염물질 배출)로 분리된 평가항목에 대하여 각각 30% 감소를 목표로 하고 있다

3). 기본전략으로는 기존의 부분 단위기술 개발에 의한 현안문제 해결중심의 단기적 접근을 지양하고, 대상산업의 현황조사 및 우선순위 결정, 공정진단 및 BAT (best available technology) 조사에 따라 기술개발 목표를 설정하였다. 동시에 개별 공정기술을 연계한 신소재, 개선 공정기술, 신공정 기술의 연계로 단일 통합공정의 적용을 확대하고자 하고 있다. 이를 위해서 기업의 자발적 참여의 유도가 필수적임을 인식하고, 산업발전 및 환경보전의 조화를 위해서 부처간 업무조정과 협조의 중요성도 함께 강조하고 있다.

2.2 과학기술부 국제협력기술지도

2002년도 국가기술지도 작성의 결과, 환경친화적 소재/제품 및 공정기술부분에서 5개의 핵심요소기술분야와 99개의 세부기술분야가 도출되었음을 앞서 언급하였으며, 이중 국제협력을 필요로 하는 기술 22개를 도출하여 이에 대한 국제협력기술지도 (ITRM, international technology roadmap)도 2003년도 하반기에 작성되었다4).

국제협력기술지도에서 국제협력이 필요하다고 고려된 기술로는, '환경친화적 공정화학 소재/제품 개발' 기술분야에서 천연자원 이용 용제 합성, 천연고분자 식품 포장재 개발 및 생산 공정 개발, 생물체 유래 고분자 개발 및 양산 공정 개발, 저공해 계면활성제 개발과 천연 원료 계면활성제 개발을 위한 중간물질 개발 등의 그 중요성이 부각되었다. 그리고 '환경친화적 공정무기 소재/제품 개발' 기술분야에서는 광촉매 물질 개발, 광촉매 활성화 기술, 기공제어 기술, 내열충격 내식성 조성설계와 자원재활용 신개념 공정 개발에 대한 필요성도 강조되었다. 환경친화적 공정개발에 해당하는 '신공정 기술 개발' 분야에는 HDS 공정용 디젤 탈황용 신촉매 개발, 지노믹스적 방법에 의한 생촉매 활성 및 공정 특성 개선, 디젤용 HDS-BDS 공정 파일롯 시험 및 상용화, 무배출 신규공정의 최적화 및 스케일-업과 촉매/반응기술, BT, 분리막 등 에너지 세이빙 기법을 적용한 공정개발이, 'Water closed system 기술개발' 분야에는 line re-allocation과 복합공정 기술개발이, '유해물질 무배출 및 유용물질 회수 기술개발' 분야에서는 고활성 균주분리 및 공정적용 기술개발, 효소 적용 기술개발, 재이용 시스템 구성, 막오염 저감기술 개발과 유해물질 제거 및 공정수 무배출 기술개발이 여전히 유망한 분야로 지속적인 발전이 필요한 분야임이 제시되었다.

이와 같이 도출된 국제협력이 필요한 기술분야에 대한 국가차원의 전략적 접근은 우리나라 기술수준을 한단계 높이는데 중요한 역할을 할 수 있을 것으로 사료된다. 또한, 단순히 해외기관과의 협력 또는 기술수입 이전에 자국내의 여러 기술분야 간의 긴밀한 협조가 절실히 필요한 때이며, 많은 기술 노하우와 국제경쟁력을 지닌 해외기관과의 충분히 경쟁력 있는 여러 기술간의 상호협력을 통한 상승작용은 과학기술 분야의 국가재정을 한층 더 효율적으로 활용하고, 획기적인 기술진보를 이루어 국가경쟁력을 향상시킬 수 있을 것으로 기대된다. 이를 위하여 국제기술협력의 추진은 세부기술의 국내기술수준, 연구인프라 및 국제적인 기술현황 등에 따라 서로 상이할 수 있으나, 기술로드맵의 진전에 따라 시기적절하게 국가간 기술협력을 통하여 한단계 높은 기술로의 조기 접근하는 것이 필요함을 강조하였다. 국제기술협력기관과 지리적으로 원거리에 있어, 기술협력의 장애로 작용할 수도 있겠지만, 정보통신의 발달로 전세계가 통합되어 가고 있는 시점에서 더 이상의 국가간의 기술협력이 다른 하나의 국가기술 발전을 위한 방향임을 예측할 수 있다. 국제기술협력을 통한 지속적인 친분관계가 향후 민간기업들의 해당국 진출에 많은 도움을 가져올 수 있을 것으로 예상되며, 정부차원에서도 효율적인 협력을 위한 다양한 정책수단이 마련될 것이다.

2.3 환경부 차세대 핵심환경기술개발사업 10개년 종합계획

과학기술부에서 추진된 국가기술지도와 유사하게 환경부에서도 새롭게 전개되는 환경기술수요에 전략적으로 대응하고, 21세기 환경선진국에 진입하기 위해서, 차세대핵심환경기술개발사업을 장기적이고 전략적인 안목에서 추진하기 위하여 차세대 핵심환경기술개발사업 10개년 종합계획이 2002년 하반기에

마련되었다5).

또한, 여러 부처에서 독립적으로 추진하고 있는 환경분야 기술개발 추진체제 하에서 종합조정 및 상호연계협력 방안을 고려한 종합적 관점의 환경기술 개발계획 추진전략구축이 필요함이 제시되었다. 전반적인 환경문제와 전망, 매체별 환경문제를 분석하고, 다양한 설문조사와 선진 주요국의 환경기술개발정책 동향 분석, SWOT 분석을 통한 추진전략 방향 등이 도출되었다. 이를 통하여 10개의 중점전략기술개발 프로그램이 마련 (맑고 안전한 공기 프로그램, 국제환경문제 대응 프로그램, 친환경소재 프로그램, 친환경 공정기술 프로그램, 토양·지하수 복원·관리 기술개발 프로그램, 생태계 복원·관리 프로그램, 만족도 높은 물 프로그램, 오·폐수처리 고도화 프로그램, 친환경 폐기물 프로그램, 위해성 평가·관리 프로그램)되었고, 각각의 기술별 지도가 작성되었다.

10개의 다양한 프로그램의 추진은 환경부 임무의 적합성, 환경과 경제의 통합 지향성 및 환경기술 혁신 지향성을 고려하였다. 기본 추진방향으로 투자우선순위에 따른 전략적 기술개발, 환경산업발전 및 고용창출에 기여, 통합적 환경관리 관점의 기술개발 전략 추진, 미래 환경기술혁신 기반의 확충, 산·학·연·관 연구주체간 협력체제 구축, 국제협력 및 국제사회에 기여 등을 선정하였다. 주요 부분만을 간략히 살펴보면, eco-efficiency의 개념에 입각하여 환경보전과 경제발전을 동시에 추구하고, 지구온난화에 따른 기후변화협약, 월경성 환경문제 등 국가간 및 국제환경문제에 효과적이며 능동적으로 대처할 수 있도록 구성되었다. 효율적인 자원배분 및 효과적인 성과극대화를 위하여 타부처 사업과의 차별적 위상확보 및 연계협력 전략에 바탕을 두고 사업을 추진하도록 방향성이 제시되었다.

이미 기술한 10개의 프로그램 중, 과학기술부 국가기술지도 '환경친화적 소재/제품 및 공정기술'에 해당하는 환경부의 '친환경 공정기술 프로그램'과 관련하여 아래에 간략히 기술하고 있다. 본 프로그램에서는 환경규제가 강화되고 난분해성 오염물질이 증가함에 따라 사후처리기술의 고도화는 비용측면에서나 효율성 측면에서 한계를 가짐을 지적하고, 난분해성 물질이 발생하는 공정에서 미리 오염물질을 환경친화적 물질로 대체하거나 효율 향상을 통해 오염물질 배출을 저감함으로써 폐액발생 저감 및 사후처리를 용이하게 할 필요성을 강조하였다. 또한, 지금까지의 사전오염예방기술의 개발도 단일 프로젝트 팀에 의해 단일 공정기술에 중점을 두어 공정기술 개선, 오염물질의 대체 등에 집중되어 오는 등 단일공정기술 중심의 접근 한계성도 함께 지적하였다. 이러한 한계성 극복과 효과적인 기술개발을 위해 '친환경 공정기술 프로그램'에서는 크게 4개의 중점영역, 즉, 신공정 개발, water closed system 기술 개발, 무배출 공정 개발 및 유해물질의 공정내 회수 및 공정수 무배출을 위한 통합공정기술을 소개하고 있다 (그림 3). 첫 번째로, 신공정 개발을 위해서는 용수, 기상, 고상, 액상 등 모든 배출물 성상을 대상으로, 전주기적으로 기존 공정보다 확연히 자원 및 용수를 저투입하는 새로운 개념의 환경친화적인 생산공정의 개발과 스케일-업을 목표로 하고 있다. 신공정 기술개발에 대해서는 특정한 기술영역을 정하기보다는 신공정에서 요구되는 명확한 개념만을 제시하고 이에 대해 연구자들의 단기간의 컨셉연구를 토대로 스케일-업과 관련한 지속적인 기술개발을 수행하고자 하고 있다. 두 번째로, water closed system 기술개발 영역에서는 주요 용수 다소비 산업에 대한 표준화된 기술 개발 및 확산을 목표로 하고 있으며, 특히 제지, 철강, 석유화학 및 식품가공산업에 중점을 두고 있다. 세 번째로, 무배출 공정개발을 위해서는 주요 오염배출 산업 및 공정에 대한 배출물 성상별 무배출 원인을 분석, 무배출을 위한 대상 산업의 표준시스템을 구성하고, 이에 요구되는 주요 공정 및 설비 개발, 그리고 통합시스템을 구성하여 이를 현장에 적용하도록 함을 목표로 하고 있다. 또한, 유해물질의 공정내 회수 및 공정수 무배출을 위한 복합공정기술 개발 부문에서는 세부단위공정들에 대해 이미 많은 연구가 진행되었으므로 개별 공정진단 단계는 거칠 필요가 없음을 언급하고 있다. 기존의 연구결과를 바탕으로 통합공정 (예를 들어, 생물학적, 전기화학적, 분리막 결합공정)을 제안하여 세부공정 및 장비개발에서 스케일-업을 통한 현장적용을 순차적으로 지원함으로써 상용화 촉진에 중점을 둘 것을 강조하고 있다. 이를 위하여, 기추진된 연구개발과제의 성과를

충분히 활용하고, 이를 상용화할 수 있는 방안을 마련함과 동시에 정부와 기업의 협력하에 기술 수출형 산업으로 성장시키기 위한 연구개발이 필요한 실정이다. 마지막으로 본 프로그램을 통하여 장기적인 기업환경 역량강화, 기술개발의 경제사회적 파급효과의 극대화, 다양한 형태의 배출물을 원천적으로 없앨 수 있는 방안을 마련하여 안심하고 생활할 수 있는 쾌적한 환경 확보와 자원재활용 및 2010년 선진국 수준의 환경오염 규제 정책 및 통합관리 시스템 구축을 목표로 삼고 있다.

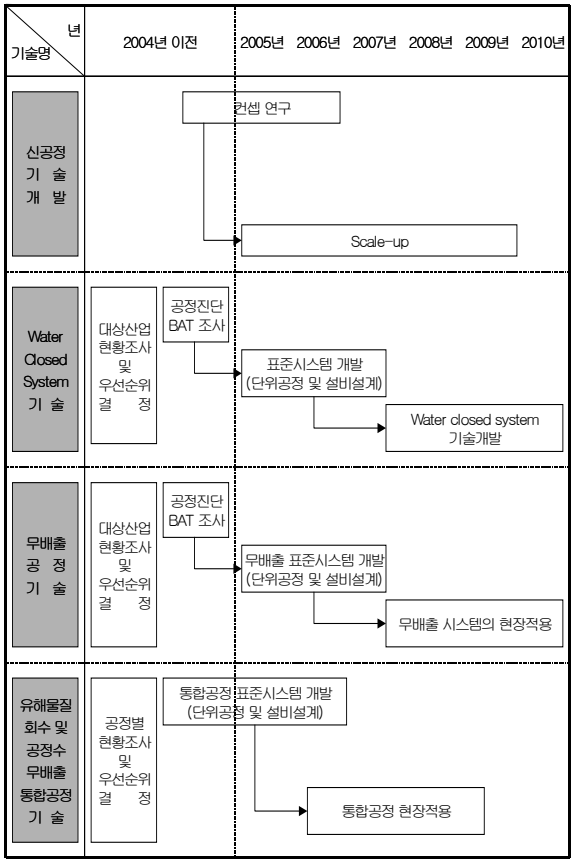

그림 3. 환경부 '친환경 공정기술 프로그램'의 기술지도 중 일부.

3. 향후전망

상기에 언급한 친환경공정기술을 포함한 관련 환경기술들이 국제경쟁력을 갖출 수 있도록 해당기술의 SWOT를 면밀히 검토 분석함과 동시에 (그림 4), 지속적인 노력을 통하여 이러한 기술들을 적극 육성하여 세계시장으로의 진출시기를 앞당길 수 있도록 노력해야 할 시기이다. 이를 위해 기존에 개발된 기술들을 서로 연결하고, 부족한 부분을 보완하여, 복합공정 등과 같은 융합기술의 완성을 통해 경쟁력을 갖춘 종합적인 기술산업으로 육성시켜야 한다. 이렇게 개발된 기술이 국내시장에 적용되어 자생력을 갖추고 동시에 국제시장에 진출할 수 있는 여건이 마련될 것으로 기대된다.

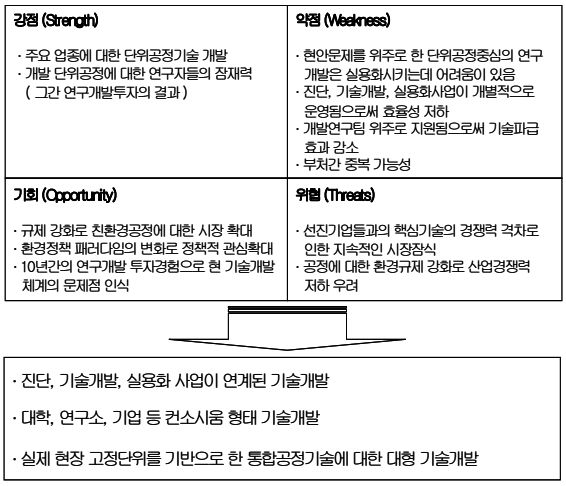

그림 4. 환경친화적 공정 개발을 위한 SWOT 분석.

감사의 글

본 논문은 과학기술부 국가지정연구실사업 및 환경부 차세대핵심환경기술개발사업 수행의 일환으로 이루워졌으며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

[1] 2002 Environmental sustainability index, WEF (2002).
[2] 국가과학기술지도, 과학기술부 (2002).
[3] Integrated manufacturing technology roadmapping project, IMTI (2000).
[4] 국제기술협력지도, 과학기술부 (2003).
[5] 차세대 핵심환경기술개발사업 10개년 종합계획, 환경부 (2002).