

하·폐수 고도처리 기술개발사업 추진배경과 개발방향

김 지 태[†] · 황 혜 영 · 홍 병 표* · 변 홍 식*

경기대학교 환경에너지시스템공학과, *계명대학교 공과대학 화학시스템공학과
(2011년 9월 6일 접수, 2011년 9월 26일 수정, 2011년 9월 26일 채택)

The Background and Direction of R&D Project for Advanced Technology of Wastewater Treatment and Reuse

Ji-Tae Kim[†], Haeyoung Hwang, Byungpyo Hong*, and Hongsik Byun*

Department of Environmental and Energy Systems Engineering, Kyonggi University, Kyonggi 443-760, Korea

*Department of Chemical System Engineering, Keimyung University, Daegu 704-701, Korea

(Received September 6, 2011, Revised September 26, 2011, Accepted September 26, 2011)

요 약: 1980년대 이후 국내 하·폐수 처리시설에 대한 지속적인 투자로 하수도 보급률이 90%에 이를 만큼 비약적으로 확충되었다. 21세기 들어 물 부족에 대비한 대체수자원 확보, 기후변화 등 지구환경문제에 대비한 에너지 절감 및 생산, 하천·호소의 지속적인 수질개선 요구 등 사회적·환경적 영향 요소를 감안할 때 더욱 고도화된 선진 하·폐수 처리 기술이 필수적이다. 신개념 처리기술은 수질유해물질 및 독성관리기술 등 초고도 처리기술, 맞춤형 재이용기술, 에너지 절감·회수·활용 기술을 유기적으로 조합·연계하는 기술이다. 이러한 선진 처리기술은 국내 수질환경개선은 물론 개도국을 중심으로 급성장세를 보이는 국제 환경시장에서의 경쟁력 확보의 토대가 될 것이므로 글로벌 탑 수준을 지향하는 하·폐수 고도처리 기술개발 사업에서는 상기 기술 분야를 중점 개발하고자 한다. 본 사업단은 방류수 고품질화·재이용 기술 분야, 에너지자립 분야, 통합관리 분야로 구분, 향후 1단계 5개년(2011-2015) 사업을 본격 추진할 예정이다.

Abstract: Since 1980s, wastewater treatment facilities in Korea have been rapidly expanded by 90 percent as the government invested them continuously. Considering social and environmental factors such as the needs of alternative water resources for water shortages, energy saving and new energy production sources for decrease of greenhouse gases, and the demand for the improvement of the water quality in rivers and lakes, advanced technologies in wastewater treatment are essential in the 21st century. In this aspect, new conceptual technology is systematically combined with the advanced treatment technology such as the control and treatment technology of hazardous and toxic material, customized reusing skill, and energy saving/recovery technology. The new R&D project for advanced technology of wastewater treatment and reuse will focus on these advanced technologies which will improve the water quality and foster the competitiveness in world environmental markets, building a solid foundation particularly in the market of developing countries. The project will be divided up into high quality reusing of wastewater, energy self-sufficiency, and integrated management system. It will be carried out for five years, 2011~2015, as Phase I.

Keywords: advanced technology of wastewater treatment, wastewater reuse technology, energy self-sufficiency technology

1. 국내 하·폐수 처리 현황

국내 공공하수처리시설은 1976년 중량하수처리장을 준공한 이래 1980년대 중반부터 본격적으로 건설하기

시작하였고, 1992~2009년간 국고기준으로 15조 8천억원을 투자하였으며 지방비 부담분을 고려하면 약 20조 원 규모가 투자된 것으로 추산된다. 2008년 말 현재 500 m³/일 이상의 처리장이 403개소, 500 m³/일 미만인 1,991개소이고 시설용량은 24,568천 톤에 달하여 명목상 하수도 보급률이 88.6%로 선진국 수준에 근접하는

[†] 교신저자(e-mail: jtkim221@kyonggi.ac.kr)

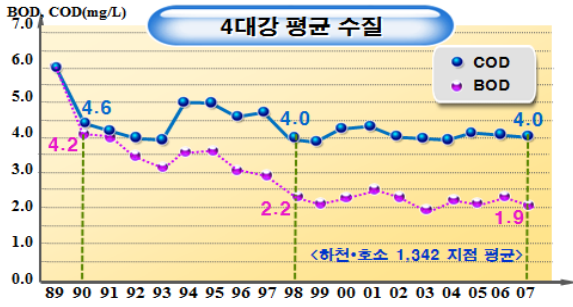


Fig. 1. The water quality changes of rivers · lakes in Korea.

비약적인 발전을 성취하였다[1]. 산업폐수의 경우 1980년 환경보전법, 1990년 수질오염방지법을 법적 기반으로 하여 전국 46,860개 폐수배출업체에 설치되는 폐수처리시설과 공단지역 등에 통합적으로 설치·운영하는 62개 산업단지 폐수종말처리시설, 80개 농공단지 폐수종말처리시설이 운영되고 있다. 산업폐수의 경우는 법적 기준치를 설정하여 원칙적으로 배출자가 이를 만족하도록 처리해야 하는 강제 규정에 따라 기반시설은 1990년대에 대부분 정비되었다.

배출허용기준은 1990년대 까지는 BOD 등 유기물질을 중점 제거하는 목표로 설정되었으며 1991년 낙동강 폐쇄오염사고, 1994년 낙동강 유기용제오염사고 등을 계기로 고도처리 개념이 도입되어 3차 처리시설이 설치되기 시작하였다. 1990년대 후반부터 수립하기 시작한 전국 4대강 수질오염 특별대책이 시행되면서 부영양화 방지를 위한 질소, 인 처리기준이 대폭 강화되는 추세이다. 최근에는 4대강 살리기 사업을 계기로 2012년부터 총인 기준이 최고 0.2 ppm까지 강화될 예정이다. 이렇게 근본적인 하천 수질 개선을 위하여 강화되는 기준에 맞게 처리하기 위하여 하수처리장에 고도처리시설 설치가 가속화되어 2007년 말 기준 347개 공공하수처리장중 235개소에 도입·운영 중이다.

2. 국내외 물 관리 여건과 하·폐수 처리기술 발전 추세

2.1. 국내외 물 관리 여건

지구온난화와 산업규모 확대, 인구증가 등으로 많은 국가·지역에서 물 부족 현상이 가중되고 있으며, 경제발전과 생활수준 향상에 따라 산업폐수, 생활오수, 축산분뇨 등 수질오염물질 발생이 급증, 수질오염이 심화되

Table 1. Application Technology Classification of Wastewater Treatment Plants [4]

계	고도처리			표준 활성	장기 폭기	산화구	회전 원판
	A ₂ O	SBR	기타				
465	106	150	140	33	7	20	9

고 있어 21세기는 청정 수자원 확보가 국가경쟁력의 주요 요인으로 작용할 전망이다. 물 문제 해결을 위해 각국에서는 물 관리 투자를 확대하고 있어 물 산업은 21세기의 Blue Gold 산업으로 부상하고 있다. 세계 물 시장 규모는 2007년 36백억 달러에서 연평균 5% 수준의 성장세를 유지, 2025년에는 86백억 달러에 달할 전망이다[2]. 특히 기후변화로 인한 기상패턴의 변화로 가뭄과 집중호우, 고온현상 발생빈도가 증가하는 추세로 변화된 기상여건에 맞는 통합형 수자원 관리대책이 요구되고 있으며, 선진국을 중심으로 획기적인 수질오염 개선은 물론 자원·에너지 위기에 대처하는 융합형 물 관리 기술개발을 지향하고 있다.

우리나라는 개발위주의 고도 성장기를 거치면서 나타난 심각한 수질오염을 해결하기 위해 정부 주도하에 대대적으로 공공 하수도 인프라를 확충하였으며 강력한 법적 규제에 따라 폐수처리시설도 외형적으로는 거의 완비되었다고 하겠다. 20~30년간의 집중적인 처리시설의 설치·운영을 통해 국내 하·폐수 처리기술도 분야에 따라 세계 최고수준에 이를 만큼 발전되었다. 이러한 투자와 전통적 하·폐수처리 기술의 발전을 토대로 전반적인 하천·호소의 오염도가 상당히 개선되었다. 그러나 2000년대 이후 주요 하천의 수질은 그 개선속도가 현저히 감소되고 있으며 COD의 경우는 오히려 정체 또는 악화되는 추세를 보이고 있어 기존의 하·폐수처리 방식을 업그레이드하는 새로운 수질관리 시스템이 요구되고 있다(Fig. 1). 특히 도시화율이 1980년대 70%대에서 2009년 90.8%로 급속히 진전되고 있는 점을 고려할 때 도시지역의 통합적 물 관리 시스템이 정립되어야 하며 하수처리시설도 전체 관리시스템의 중요한 요소로서 기능을 극대화하는 기술발전이 요구된다[3].

이러한 국내외 여건에 대응하여 종래 수질오염 저감을 목적으로 에너지를 다량 사용하여 오염도를 저감하는 단순 처리형 하·폐수처리시설을 자원순환·에너지자립형 시스템으로 전환하는 기술적·정책적 노력이

Table 2. The Comparison of the Percent of Reusing to Treated Wastewater Among the Major Nations [7]

구분	재이용량 (백만톤/년)	재이용률 (%)	주요용도 (%)				
			공업 용수	농업 용수	하천·습지 유지용수	지하수 충진**	기타용수***
한 국	85* ('08년)	4.9*	5	19	69	-	7
일 본	54 ('05년)	1.5	10	6	33	-	51
싱가포르	9 ('03년)	6.7					
미국플로리다	252 ('08년)	46	14	11	6	13	56
미국캘리포니아	178 ('02년)	10	5	46	4	14	31
호 주 ¹⁾	167 ('02년)	12	3	83	-	-	14
유럽엘	963 ('02년)	2.4	4	70	5	17	4
중동· 북아프리카	약 1,980	20~100					

* 장내 재이용수 제외

** 간접 음용수원 또는 해수침수 및 지하수위 하강 방지 목적

*** 기타 도시환경용수: 도시관개용수, 경관용수, 친수용수, 화장실용수, 도로 및 가로수 청소용수 등

1) 용도 구분은 New South Wales 주의 경우임

요구된다. 이와 함께 물 부족에 대비하여 수요조건에 적합한 하·폐수 재이용 처리시스템을 구축해야 하며 이를 위해 음용수질에 근접한 수질을 확보할 수 있는 고도 처리기술을 확보해야 한다. 따라서 고도처리 기술을 기반으로 하·폐수 재이용 효율을 극대화하고 하·폐수 및 슬러지를 자원·에너지원으로 활용할 수 있는 첨단기술을 적용하는 등 하·폐수 인프라 시스템 개념을 근본적으로 바꾸는 신개념 처리기술을 확보해야 한다. 이러한 기술 적용은 수자원 확보 및 오염물질 처리에 따르는 사회적·경제적 비용을 절감할 뿐만 아니라 하·폐수 처리산업을 고부가가치 산업으로 육성하는데 기여할 것이다.

2.2. 고도처리기술 및 재이용 분야

그간 하·폐수 처리시설의 방류수 수질기준은 지속 강화되어 하수처리장의 경우 BOD 10 ppm, SS 10 ppm까지 강화되었고 총질소·총인기준도 지속 강화되고 있다. 이제는 확실적인 방류수 수질기준을 뛰어 넘어 기본적으로 BAT 개념의 최적 처리시스템과 방류수의 순환이용을 전제로 한 관리체계가 요구되므로 이를 뒷받침하는 최적 처리기술 확보가 요구된다. 이러한 최적 처리기술의 도출은 처리공법의 개발뿐 아니라 지역에 적합한 최적 시스템기술을 확보하는 것으로 자원순환을 토대로 하는 생태학적 접근과 함께 심미적(aesthetic) 효과를 극대화하는 종합기술이라 할 것이다.

이와 함께 하수처리시스템의 경제성 제고도 매우 중요한 과제로 처리효율 제고를 통해 설치·운영비를 절감하는 기술을 개발해야 할 것이다.

하·폐수 처리기술은 종래 유기물질 제거 위주에서 이미 고도처리와 고도 재이용기술로 발전하고 있으며, 특히 독성관리와 난분해성 물질의 최적처리까지 포괄하는 처리시스템으로 발전하고 있어 이를 실현하는 하·폐수처리시설의 고도처리 중요성이 커지고 있다. 하수처리 기술의 경우 1990년 이전에는 대부분 일반 활성슬러지 공법이었으나, 1990년대 이후에 G7프로젝트 기술개발사업 등을 통하여 질소 및 인을 제거하는 고도 처리기술이 비약적으로 발전하였고 방류수 수질기준에 영양염류기준이 강화됨에 따라 질소 및 인을 효과적으로 제거하는 고도처리 공정이 도입되었다. 국내 465개 하수처리장 중 고도처리시설이 설치된 396개 시설의 처리공정은 A₂O계열과 SBR계열이 다수 적용되고 있으며(Table 1) SBR계열은 소규모 처리장에 주로 적용되어 적용된 처리장 개소 수에 비해서는 처리용량이 작은 편이다[4].

한편으로 내구연한이 도래하는 하수처리장이나 신규 하수처리장에는 처리시설을 지하화하여 상부공간을 공원화하는 등 심미적 요인과 주변 생활환경 개선요인을 반영하는 점도 주목된다. 종합적으로 보면 국내 하수처리장의 새로운 설치·운영기술 경향은 하수의 초고도 처리와 재이용, CSOs처리, 반류수처리, 에너지 회수 및

절감, 악취발생원의 원천차단, 슬러지 저감 및 적정처리 기술 분야로 요약된다.

대체수자원 확보차원에서 하수 재이용의 중요성이 크게 부각되는 추세로 먹는 물 수준부터 유지용수까지 다양하게 처리할 수 있는 재이용기술이 요구된다[5]. 고도 재이용 및 고효율 영양물질 제거 등 고도처리 기술 분야에서 국내기술이 아직은 선진국에 미흡한 실정으로 하·폐수처리기술 선도국가로 자리잡기 위해서는 향후 5~10년간의 기술개발이 중요하다. 핵심기술로 물리화학적·생물학적 처리공정을 토대로 막분리 및 재이용 공정을 접목하여 다양한 수질의 재이용수를 확보하고 독성물질에 대한 과학적 제어기술이 적용되어야 한다[6]. 즉 하·폐수 고도처리 및 재이용을 위해 다양한 분리막 기술과 안정적 질소·인 제거기술, 미량유해물질 관리기술을 조합하는 추세로 MF/UF/NF/RO를 선택적으로 결합하고 전·후처리 기술을 조합하는 통합 시스템을 개발·확보해야 한다.

공공하수처리장의 방류수 재이용량은 2000년 167백만톤/년에서 2008년 712백만톤/년으로 3.7배 증가되었으며, 2020년까지 정부의 하수처리수의 총 재이용 목표는 하수처리수 장의 재이용량 기준 1,576백만 m^3 /년으로 2008년 276백만 m^3 /년과 대비하여 5.7배 증가할 것으로 예측하고 있으며, 하수처리 재이용수 중 하천유지용수가 51%로 가장 많은 부분을 차지하고 있다[7,8](Table 2).

2.3. 에너지 자립화 및 자원순환기술 분야

기후변화에 대한 전 세계적인 관심과 온실가스 발생 저감 노력이 가속화되고 있다. 우리나라는 기후변화에 취약하여 평균기온이 지난 100년간 1.7°C 상승하였고(세계 평균 0.74°C), 화석연료 중심의 에너지 소비구조로 온실가스 배출량도 지속 증가하고 있다(OECD 내 연평균 증가율 1위, 2005). 선진국을 중심으로 기후변화 및 자원고갈 위기에 대응하여 온실가스 저감 및 환경오염 규제정책이 강화되고 있으며, 신재생에너지 확충에 주력하고 있다. 하·폐수처리장에 대하여도 선진국들은 이미 신재생에너지 플랜트로서의 에너지 자립 개념을 도입, 에너지 절감 및 생산을 극대화함으로써 에너지효율을 제고하는 다양한 기술이 개발·적용되고 있다. 우리나라의 경우 하·폐수처리장의 에너지 자립율이 매우 낮은 수준으로 에너지 절감뿐 아니라 기후변화에 대응하는 신개념의 첨단 처리기술을 확보한다는 차원에서 에너지 자립기술 개발이 시급하다 하겠다. 즉

「에너지·자원순환형 고효율 처리시스템」이라는 새로운 하·폐수 처리시스템의 패러다임을 정립해야 하며, 이는 종래 수질개선만을 목적으로 오염수치 저감에 중점을 둔 단순 위생처리형 시스템에서 투입되는 에너지·자원을 최대한 절감하면서 방류수를 청정수자원으로 재이용하는 에너지자립 시스템으로 전환하는 것을 의미한다.

하수처리시설은 공공환경기초시설 중에서도 에너지 다소비 시설의 하나이며 국내 하수의 수집·처리과정의 연간 에너지 소비량이 395,121TOE (Ton of Oil Equivalent, 석유환산톤)에 달할 정도로 다량의 에너지를 소비하고 있으나 에너지 자립율은 0.8%에 불과할 정도로 에너지 효율성에 대한 고려가 아직 미흡한 상태이다[9, 10]. 선진국들은 하·폐수처리시설의 에너지 자립화 기술개발에 중점 투자하여 이미 실용화하고 있는 단계로 EU, 미국, 일본 등을 중심으로 약 20% 이상의 자립율을 보이고 있으며, 첨단기술을 기반으로 상승 추세를 지속할 것으로 예상된다. 우리나라도 이러한 에너지자립 기반의 선진 하·폐수처리기술을 조기에 따라잡을 수 있도록 집중적인 기술개발 노력이 필요하다. 국내 하수처리시설의 에너지 사용량은 고도처리공정 확충에 따라 지속 증가하는 추세로 아직까지 하·폐수 처리과정에서 에너지를 다량 소비하는 저효율·고비용 시설이라 하겠다. 에너지 자립을 위해서는 소화가스 발전기술, 신재생에너지 적용기술, 처리시스템을 구성하는 에너지 사용기기·장비의 저에너지·고효율 설계·제조 기술 등을 선택적으로 적용할 수 있도록 단위기술 개발과 함께 패키지화 기술개발이 요구된다.

하·폐수 처리과정에서의 에너지·자원 생산기술 분야에서 미국, 유럽, 일본 등 선진국은 1990년대 중반 이후 집중적인 기술개발로 고부가가치 시장을 창출하고 있다. 혐기성 소화 및 가스 이용에 대한 연구는 유럽·미국을 중심으로 1960년대 이후 본격적으로 진행되어 독일의 경우 2,700개 이상의 혐기성소화시설이 설치되어 있고, 덴마크의 경우는 20여 개의 대규모시설(Centrality Biogas Plant)과 60여 개의 개별형 시설이 보급되었다[11]. 우리나라 하·폐수처리장의 혐기성 소화기술은 기술력 부족과 제반 여건 미비로 운영효율이 매우 저조한 실정이다. 바이오가스 이용기술 외에 소수력, 하수열, 지열 등 신재생에너지를 접목하는 기술도 이미 하수처리장에 실용화되고 있다. 금년도부터 해양투기 원칙적으로 금지된 하수슬러지의 경우도 기존 고비용·

Table 3. The Growth Forecast in the International Water Markets [14]

(단위: 백억달러)

사업분야	업무분야	소재·부품공급, 설계·건설·컨설팅	운영·관리 서비스	합 계
상수		6.6 → 19.0 ¹⁾	10.6 → 19.8	17.2 → 28.8
하수		7.5 → 21.1	7.8 → 14.4	15.3 → 35.5
공업용수		2.2 → 5.3	0.2 → 0.4	2.4 → 5.7
재이용수		0.1 → 2.1	-	0.1 → 2.1
해수담수화		0.5 → 1.0	0.7 → 3.4	1.2 → 4.4
합계		16.9 → 48.5	19.3 → 38.0	36.2 → 86.5

1) 2007년 시장규모 → 2025년 시장규모

저효율 슬러지 자원화 기술에서 저비용·고효율의 에너지 회수형 슬러지 처리기술이 요구되고 있으며 아직 경제성이 부족하기는 하나 선진국들이 중점 개발하고 있는 인 등 유용자원의 고효율 회수기술에 대한 중점 개발도 요구된다.

2.4. 통합관리 및 융복합기술 분야

과학기술의 패러다임이 고도화·융합화·지능화되면서 선진국들은 하·폐수 처리시스템에서 진일보된 융합형 고도기술 적용을 가속화하고 있다. 즉 하·폐수처리시설의 방류수질 개선과 최적 운전을 위한 IT 기반의 제어시스템이 실용화되어 적용되고 있으며, 나아가 에너지·수자원의 통합관리를 위한 첨단 스마트 그리드 기술을 개발하는 추세이다. 이와 함께 기존의 효율성보다는 처리성능을 중시했던 송풍기, 펌프 등 주요 장치들의 고효율화와 함께 IT 기반의 지능제어시스템도 개발되고 있다. 우리나라의 IT 기술이 세계 최고 수준이라는 점을 고려하면 IT 기반의 통합적 하·폐수 관리기술을 확보하면 국내 관련업계의 토털솔루션 역량을 크게 제고 할 것이며 다양한 수요에 맞춘 최적의 경제적인 재이용수 공급이라는 측면에서도 지능형 통합관리 기술은 매우 중요하다. 통합제어기술 외에 하·폐수 재이용과 에너지자립기술이 처리시설에 적용되기 시작한 점을 감안할 때 에너지/재이용수의 최적 관리를 지향하는 하수처리시스템의 스마트워터그리드(Smart Water Grid) 기술을 본격 개발할 필요성도 제기된다.

하·폐수처리시스템의 토털솔루션 기술에는 처리기술과 함께 지능형 통합제어시스템 기술이 수반되어야 하며 하수처리시설 통합관리시스템은 주로 데이터분석

및 예측을 통하여 실시간 공정진단과 제어를 연계한 시스템으로 수질예측과 처리장 제어를 연계하여 실용화한 기술이 적용되고 있다. 에너지 절감형의 고효율 기기·장치의 경우 국내기술 수준은 선진국의 80% 수준으로 추정되나, 수요시장이 제한되어 집중적인 연구개발은 아직 미흡한 실정으로 지능형 기능을 갖춘 수중모터 펌프가 일부 국산화되었고 인버터를 사용하여 30% 이상 효율을 제고한 터보 송풍기도 국산화되는 등 일부 분야는 선진국에 근접하고 있다.

2.5. 국내·외 하·폐수 시장동향

세계 물 시장 중 하·폐수 분야는 대략 40~50%를 차지하여, 2025년에는 하수처리시장 3,550억 달러, 산업폐수 처리시장 570억 달러에 달할 전망이다. 특히 하·폐수 재이용 분야는 2007년 10억 달러에서 2025년 210억 달러로 급성장할 것으로 예상된다[12]. 재이용분야는 제3의 물 시장으로(제1시장: 상수, 제2시장: 하수) 각광받고 있어 국내 신규 처리장 및 기존처리시설의 보완시장, 개도국을 중심으로 한 해외시장에서의 기술·가격 경쟁력을 확보할 수 있는 특화기술이 필요하다. 재이용을 위해 주로 적용되는 분리막의 경우 전체 분리막 시장은 2007년 61억 달러 수준으로 추산되고 있으며, 연평균 19.5% 성장하여 2016년에는 303억 달러에 달할 전망이다[13]. 분리막을 이용한 하·폐수처리 및 공업용수 분야의 세계시장 규모는 2008년 2.3조원에서 2015년까지 5.5조원 규모로 성장할 것으로 예상된다(Table 3). 한편 2010년 현재 세계 수처리 기기 시장은 3,956억 달러이며 이중 하·폐수처리 분야 시설비가 20.9% (828억 달러), 운영비가 20.9%를 차지하고 있다

[14]. 국내시장의 경우 하·폐수 처리시설에 고도처리 공정이 상당수 도입되기는 했으나 향후 재이용 및 고도 처리기술 적용이 확대될 전망으로 하수도시장에서(약 4.5조원) 재이용 비중이 지속 확대될 것으로 예상된다.

바이오가스 시장의 경우 신재생에너지 확충 정책에 따라 국내외 시장규모가 지속 확대되고 있다. 국내의 경우 에너지타운 건설, 기존 처리시설 개량 등을 통하여 바이오가스화 시설을 지속 확충할 계획이다. 세계 바이오가스 플랜트 시장규모는 2010년 150조원 규모로 추정되고 지속적인 성장세를 유지할 전망이며 유기성 폐기물을 이용한 바이오가스화 세계시장은 2010년 현재 대략 42조원 규모로, EU, 미국 시장이 가장 활발하고 (LFG 포함) 지속적인 성장세를 보이고 있다[15,16].

국내 하수처리시설의 에너지 자립화를 위해 환경부는 2030년까지 에너지 이용·생산 사업 투자를 지속 확대할 계획이며 하·폐수 슬러지를 포함한 음식물폐기물, 가축분뇨 등 유기성폐기물 자원화분야에 2009~2020년간 9,745억 원이 투자될 예정으로 연평균 830억 원의 시장이 형성될 것으로 예상된다[17]. 에너지자립 기술과 자원회수기술의 목표시장은 우선 국내의 경우 하·폐수처리장의 신규 설치사업과 슬러지 적정처리를 위한 개량사업으로 형성되는 시장으로 주 대상고객은 지방자치단체와 폐수발생 기업체가 될 것이며 해외시장의 경우는 기기·장치 시장과 플랜트 시장이 될 것이다. 통합관리기술 분야의 경우 선진국 시장에 국내기업 진출은 어려운 실정이며, 향후 개도국 시장이 새롭게 대두될 전망이다. 국내 시장의 경우 댐상류 통합운영시스템을 구축하면서 초기 시장이 형성되어 시범적 사업으로 추진된 바 있으나 향후 하수도시설의 통합운영을 추진하고 있어 효율성이 보장되면 처리시설 개선 차원에서 신규 시장으로 대두될 전망이다.

2.6. 정책동향

유럽, 미국 등 선진국들의 수질관리 정책은 미량물질까지 제거하는 하·폐수 고도처리와 다양한 용도의 재이용정책, 운영효율 제고를 위한 하·폐수처리 인프라의 통합관리 정책을 중점 추진하고 있다. 특히 선진국과 중동 등 물 부족 국가를 중심으로 하·폐수 재이용 플랜트를 정책적으로 도입하는 추세로 하수처리 플랜트가 대부분 공공시설로 운영되기 때문에 대부분 국가기관이 재이용사업을 주도한다고 볼 수 있다. 또한 저급수 위주의 재이용기술에서 막공법 등을 적용하여 공

업용·농업용수를 위한 고품질 재이용수를 확보하는 고도 재이용시설로 확대되는 추세이다.

국내 물 관리 정책의 패러다임도 오염원 관리 위주에서 통합유역관리 시스템으로 전환하는 추세로, 10여 년 전부터 수질오염총량제, 수변구역제 등 선진제도를 도입하고 있어 통합형 처리기술 수요가 증가하고 있다. 정부의 중장기 정책비전인 물환경관리기본계획(2006~2015)에서도 생태적으로 건강한 하천과 유해물질로부터 안전한 물 확보를 위한 정책목표를 제시하여 하·폐수 처리시설에 재이용과 고도처리를 위한 다양한 융합첨단기술을 적용하는 추세이다. 하수 재이용 확대를 위해 2010년 「물의 재이용 촉진 및 지원에 관한 법률」을 제정, 법적 근거를 마련하였고, 2030년까지 재이용율을 30% 수준으로 제고한다는 방향을 제시하고 있으며 하천 부영양화의 근본적인 저감을 위한 총인제거시설 설치 등의 정책을 추진하고 있다. 또한 그간 전문 인력 부족과 처리·운영기술의 미비로 관리가 미흡한 소규모 처리시설의 효율적 운영이 매우 중요하며 정부에서도 소형 하수처리시설의 개선 정책을 추진하고 있다.

에너지 자립화 분야의 경우 선진국들은 1980년대부터 소화가스 발전기술을 적용한 이후 하·폐수처리장을 에너지 생산 기지화하는 자립화 정책을 중점 추진하고 있으며, 최근에는 교토의정서상 온실가스 배출감축의무를 달성하기 위하여 국가 정책적으로 다양한 에너지 지원 발굴에 주력하면서 하수처리시설에도 소수력, 하수열, 지열 등 다양한 신재생에너지 설비를 접목하는 추세이다. 우리나라도 국가적으로 신재생에너지 비율을 2007년 2.37%에서 2030년까지 11%로 제고한다는 목표를 설정하고, 이 중 폐자원 및 바이오매스 분야에서 보급률 7.12%를 달성할 계획이다. 이와 함께 환경부는 하수처리시설에 대한 에너지자립화 기본계획을 수립(2010.1), 2030년까지 343개소의 하수처리시설 에너지자립율을 50%까지 향상한다는 단계별 목표를 제시하고 있다[9]. 하수슬러지의 경우 2011년 2월부터 하수슬러지의 해양투기가 원칙적으로 금지되어 육상 처리해야 하나 기존 시설의 에너지효율이 낮아 정책 수요에 대응하기 위해서는 저에너지·고효율의 슬러지 자원화 기술 개발이 시급한 여건이다.

하수처리장 통합관리를 위해 EU에서는 90년대 후반부터 각국의 하수처리시설을 대상으로 원격 통합제어 기술을 적용하는 SMAC (Smart Control of Wastewater Treatment System) Project를 추진하였고, 미국, 일본 등

도 유사한 정책을 추진하고 있다[18]. SMAC는 STAR (Superior Tuning And Reporting)의 개념을 이용하여 하·폐수처리시설의 통합제어를 위해 실시간 수질 모니터링 및 제어용 센서 개발, 고도처리공정 제어기 개발, 자동제어용 계측기기 및 장비, 인터페이스 개발, 운전감시 및 자료 분석, 시스템 개발 등을 주요 내용으로 하고 있다. 이와 함께 하수재이용과 고품질화, 에너지자립기술이 강조되는 추세로 선진국을 중심으로 통합관리시스템은 물론 스마트 운영시스템 기술을 정책적으로 추진할 전망이다. 국내의 경우 지역단위 처리시설의 통합관리를 위해 2003년부터 댐상류지역 통합관리시스템을 구축하고 있으며 「하수도시설 운영관리 통합 추진 계획(2010.12)」에 따라 43개 권역별·유역별로 하수처리시설의 통합운영을 계획하고 있어, 향후 광역적 시장 확대가 예상된다.

2.7. 국내 기술수준과 기술개발 방향

선진국 대비 한국의 물 산업 경쟁력은 △상수 75%, △하수 80% 수준으로 하·폐수분야의 경우 시공역량은 높으나 지능형 제어 및 미량유해물질 제거, 고효율 분리막기술 분야 등 고부가가치 분야 기술은 낮은 수준이다. 세계 20개 물 경쟁력 선도국가(W20)를 대상으로 조사한 결과 한국의 물산업 기반 경쟁력은 평점 3.24점(5점 만점)으로 조사 대상 중 13위로 평가되고 있다 [19]. 분리막 기술의 경우 국책연구사업과 민간부문 연구를 통해 상수도, 해수담수화 등은 선진국과 경쟁 가능한 가시권 수준이나, 고효율 고성능 분리막 기반기술에 대한 세부요소기술 및 통합기술이 아직 미흡한 실정이다. 정수처리용 정밀여과막 공정 개발이 완료되고 하·폐수 분야의 MBR 기반의 처리기술이 실용화되는 등 산업계·연구계의 기술개발 역량을 갖추고 있으므로 향후 3~4년 중점 투자시 경쟁력 있는 첨단기술 확보가 가능할 것으로 전망된다.

방류수 고도 재이용기술을 확보하기 위해서는 기존의 물리·화학·생물학적 처리기술을 보다 발전시키고 선진형 분리막 기술을 접합시켜 고품질의 수질을 보장하고 맞춤형 재이용수를 공급할 수 있는 신개념 처리기술을 지향하는 것이 필요하다. 하·폐수 재이용을 목적으로 하는 분리막기반 기술의 경우 MF/UF 공정을 통한 부유성 및 콜로이드성 입자 제거, NF/RO 공정을 통한 용존성물질 제거 등 중점처리 물질을 대상으로 최적 운전하는 것이 경제성 측면에서 중요하며, 분리막의 단

점인 파울링과 막 수명 단축을 예방하는 기술 확보와 함께 에너지소비를 최소화하는 고효율 기술이 적용되어야 하며, 영양물질의 고효율 제거와 미량유해물질 및 독성관리기술도 중요한 분야이다. 이를 위해 혼합공정으로 물리·화학적 전·후처리 시설과 분리막 기반 기술을 선택적으로 조합하는 최적시스템을 개발하여 하수처리장의 안정적인 질소·인 처리기술과 혼화응집공정, 고급산화공정 및 활성탄 흡착 등 다양한 처리기술을 복합 적용하는 방류수 고도처리 공정을 더욱 발전시킬 필요가 있다.

이러한 기술들은 공정용수, 희석수 공급, 세척수 공급, 농업용수 공급, 하천 건천화 용수 및 기타용수 등 다양한 용도에 따라 적용 가능한 「맞춤형 물재이용 플랫폼」 개발을 추구하는 것을 목표로 하여 다양한 오염물질 입자를 제거하기 위한 분리막 핵심소재, 공정기술, 전·후처리 기술, 고기능 멀티 package화 기술 등을 적용해야 한다. 분리막 적용 단계로 보면 분리막 주요 소재의 국산화, 모듈화, package화 기술로 단계적으로 발전되어야 한다. 즉 분리막 기반 재이용 공정에서 선진국과의 기술격차를 줄이기 위해 분리막 제조 및 모듈화 기술, 최적화 시스템 개발 등 원천기술을 확보하고, 다양한 요소기술 및 기존 공정과의 조합을 통한 최적화 시스템 개발이 요구된다. 소규모 하수처리시설의 경우는 지역 여건에 따라 우수/불명수 유입차단 및 관리기술, 처리공정에서의 유입부하의 대응 및 고효율 포기조 관리기술, 슬러지 감량화 및 집중처리 등을 조합한 집적형 처리기술 개발을 통한 안정적 처리가 중요하다.

에너지 회수·활용기술의 경우 국내기술 수준은 소화발전기술, 고효율 장치기술 등에서 핵심기술이 미흡한 상태로 전반적으로 선진국의 60~70% 수준으로 평가되며, 슬러지 가공기술은 70%, 바이오가스 생산 및 유용자원 회수기술은 60% 등으로 분석된다[17]. 「신재생에너지 R&D 전략2030(지식경제부, 2007)」에 따르면 본 기술 분야의 전문가들을 대상으로 국내 기술수준을 평가한 결과, 전체 기술수준이 68%로 상용화 단계에는 기술수준이 미흡하다고 평가하고 있다. 현재 국내의 경우 소화가스 발전을 위한 전처리기술을 도입하고 있으나, 대부분 외부에너지를 다량 공급하여 처리하는 모순을 갖고 있으며, 바이오가스 플랜트의 경우 가동 중단 사례가 많고 경제성이 미흡하여 에너지 사용효율 및 열효율을 제고하는 첨단기술 확보가 필요하다. 하수슬러지 처리기술의 경우 소각 및 고화방식 위주로 처리되고



Fig. 2. Technology development road map.

있어 바이오가스 생산과 연계한 효율적 처리시스템이 요구된다.

하·폐수처리장의 에너지 자립을 위해 정책적 지원과 함께 신재생에너지 적용기술, 에너지 절감형 기기·장비의 설계·제조기술, 고효율 소화가스 생산·활용기술 등 처리시스템에서 에너지를 절감·회수·생산하는 다양한 기술 개발이 요구되며 하·폐수처리 플랜트의 에너지 효율을 대폭 제고할 수 있도록 단계별 시설개선·교체와 함께 저에너지·고효율 시스템으로 전환하는 개념을 적용해야 한다. 에너지 생산기술로서 소화가스 발전 외에 전술한 신재생에너지 적용기술과 에너지절감형 고효율 장치기술 적용을 병행할 필요가 있다. 국내 소화조의 경우 기존 하수처리시설에 잉여 슬러지 전처리장치가 기설치되어 있으므로 슬러지 감량화와 메탄가스 증대를 위한 전처리설비 도입과 함께 종합적인 소화조 효율개선을 위한 기술개발이 요구되고 세부적으로는 고효율 혐기성소화 전처리기술과 에너지절약형 바이오가스 생산기술, 복합 유기성폐물 대상의 고효율 소화기술, 전염기성 처리기술 등이 주요 분야이다. 신재생에너지 접목을 위하여 태양광, 풍력, 소수력, 지열, 하수열 등 다양한 방법을 처리시설 여건에 적합하게 최적의 조합으로 적용하여 통합형 에너지순환 하수 플랜트로서의 기능을 확보해야 한다. 즉 바이오가스 생산시설과 신재생에너지 적용기술, 슬러지 처리기술을 시스템화하는 기술이 요구된다.

통합관리기술의 경우 유럽의 경우 SMAC Project를

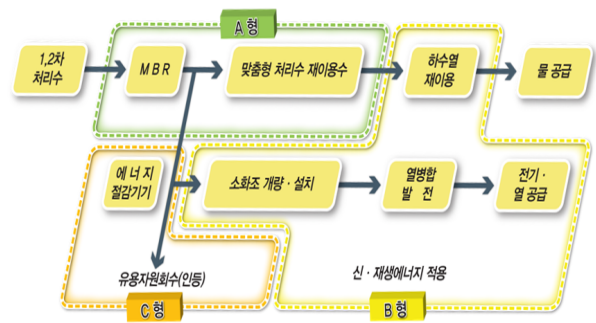


Fig. 3. Industrialization strategy.

통해 이미 덴마크, 프랑스 등 30여개소의 하수처리장에 실제 적용하고 있어 지능형 제어기술을 상당부분 확보한 상황이다. 국내 일부 기업들이 소규모 하수처리장에 적용한 실적이 있으나, 전문적인 제어보다는 단순한 모니터링 기술로 평가되어 선진국과 상당한 격차가 있다. 국내에 적용된 하수처리 통합관리기술은 지능형 제어 기술에 못 미치고 실제 하수처리장에서 검증되지 않아 기술적 신뢰성이 미흡한 실정이므로 IT 기반의 수질 모니터링기술과 계측장비, 처리공정 제어장치 기술과 자동제어용 계측기기, 운전감시 기술 등 핵심 기술을 발전시킬 필요가 있다. 에너지 절감을 위해 하·폐수처리장의 전력사용량 중 생물반응조의 포기용 송풍기, 유입펌프에서 각각 40.1, 21.3%로 가장 많은 전력이 소비되므로 포기조 송풍기, 유입펌프, 탈수기 등 기기·장치에서의 에너지절감 기술이 중요하다. 초미세기포 산기 장치의 경우 수중포기기를 무동력 설비로 전환하는 것으로 획기적인 에너지 절감이 기대되며, 이외에 IT 기술을 접목하여 에너지 사용량이 많은 유입펌프, 탈수설비의 저에너지화 기술을 확보해야 한다. 에너지 절약형 기기·장치의 설계·제조기술과 반응조에서 에너지 최적형 설비의 설계·제조기술 등 하수처리공정별 요소 기술을 개발하는 것은 궁극적으로 고에너지 기기·설비를 저에너지·고효율 최적기술로 업그레이드시키는 것이다.

3. 하폐수 고도처리기술개발 사업단 추진내용

3.1. 사업단의 기본 목표

본 사업단은 세계 수준의 고도처리기술과 에너지 자립형 처리기술 확보를 목표로 추진되며, 수질 개선 및 수생태 건강성 기술 확보, 대체수자원 및 에너지원 확

보, 한국형 하·폐수 플랜트 설계·시공기술 확보 그리고 미래선도 기술 확보 등의 네 가지 세부목표를 설정하고 있다(Fig. 2). 첫째, 수질 개선 및 수생태 건강성 기술 확보 분야에서 선진국 수준의 하·폐수 초고도 처리 기술을 개발하여, BOD 1 ppm, TN 5 ppm, TP 0.05 ppm 이하의 안정적인 처리 수질을 확보시키고 미량 유해물질 제거·관리기술을 확립하는 것이다. 둘째, 대체수자원 및 에너지원 확보에서는 하·폐수 처리과정에서 water/energy 자립을 제고를 위한 핵심기술을 확보하여 환경적·경제적으로 효율적인 하·폐수 재이용기술과 에너지 절감·회수·활용기술을 확보하는 것이다. 셋째, 상기 고도처리 및 에너지자립기술들을 토대로 한국형 하·폐수 플랜트 설계·시공기술을 확보하고, 넷째, 미래선도기술로서 영양물질/유해물질 최소화 기술, 통합관리기술을 확보하여 세계 하·폐수 처리시설 시장에서의 경쟁력을 재고하는 것이다.

3.2. 연구개발 추진전략

세계 최고 수준에 근접하는 하·폐수처리기술을 확보하기 위하여 핵심기술의 선택과 집중을 통한 개발전략을 수립, 분야별로 중점 기술과제를 선정, 개발하게 된다(Fig. 3). 초고도 방류수질 확보와 독성물질 최소화 처리기술, 우수한 수질의 방류수를 대체수자원으로 활용할 수 있도록 용도별로 적합한 품질의 재이용수 생산 기지로서 토털솔루션 기법을 도출하는 것이다. 즉, 단순 처리기술이 아니라 하·폐수처리시설의 에너지·자원 소비를 최소화하고 나아가 에너지·자원을 생산하는 플랜트로 전환시키는 복합형 플랜트로서의 기능을 확보하는 기술을 개발하는 것이다. 따라서 대부분의 기술 개발 과제는 전문기업들이 주관하여 실증실험을 거쳐 상용화하는 것을 전제로 추진되며 학계·연구계에서 이를 지원하는 체계를 갖추게 된다.

기술개발 목적 달성을 위해 개발 참여기관을 종적·횡적으로 연계하고 참여 전문가간의 효율적인 교류·협력체계를 구축하며 현장에 적합한 기술을 창출해 내야 하는 과제의 특성을 고려할 때 산·학·연·관의 유기적 협력을 토대로 개발 분야와 상용화분야간의 긴밀한 협조체계를 상시 유지하고자 한다. 또한 통합형 과제에서는 대기업/중소기업이 상생하는 시장 친화적 상용화 전략을 통해 설계·시공업체와 분야별·장치별 전문 중소기업의 협력체계를 구성하여 시너지효과를 제고하고 원천기술 확보를 위한 학계·연구계와의 공

동연구를 추진한다. 또한, 기술개발 전주기 관리 및 성과 극대화를 위하여 기술개발 세부과제의 초기 기획단계에서 기술의 품질, 적용가능성, 경제성, 환경성 등을 종합 고려하여 타당성을 분석하고, 시행단계에서는 세부과제 연구책임자를 중심으로 협동개발체계를 구축하고 개발완료 후에는 사업화를 지원하는 개발과정 전주기 관리시스템을 확립한다.

3.3. 세부연구개발과제

사업단의 과제는 Part A, B, C의 3개 분야로 구성되어 추진된다. Part A는 초고도 방류수질의 확보와 재이용을 위해 다양한 분리막 기술과 복합처리기술을 개발하는 분야이다. Part B는 수처리 플랜트에서 자체적으로 에너지를 회수·활용하는 기술의 개발과 유용자원의 회수·재활용과 관련된 분야이다. Part C는 효율적인 운영관리 및 독성 모니터링에 관련된 분야이다. 각 분야별로 우선 추진하는 주요 기술개발과제는 다음과 같다.

3.3.1. 하·폐수 방류수질 고품질화 및 재이용수 생산을 위한 시스템 구축 (PART A)

- 1) 최적의 분리막 조합기술 및 경제성을 제고하기 위한 정밀제어, 세정, 막 진단 및 최적 약품사용량 등 유지관리 기술이 포함된 통합형 제어 시스템 등 Total solution 개발
- 2) 폐수의 재이용 및 무방류 기술개발을 통해 수자원의 효율적 활용과 수질오염 부하 최소화 기술
- 3) 선진국 및 개도국 수출을 지향하는 폐수의 고효율 처리기술을 확보 및 공업용수 확보를 위한 재이용 가능한 처리기술 확보
- 4) 분리막 기술 다양화와 맞춤형 분리막 요구에 따른 고기능성 차세대 한국형 UF/NF 분리막 핵심기술 개발
- 5) 고품질 방류수질 확보를 위한 영양물질(질소, 인 등)과 잔존하는 용존성 및 난분해성 미량(유해)물질 제거와 기후변화에 대응하는 에너지 절약형 핵심기술을 개발·확보
- 6) 소규모 하수처리시설의 방류수 수질을 안정적으로 보장하고, 에너지 효율을 제고하는 최적 설계·시공·운영 기술개발
- 7) 하수고도처리공법 중 총 질소(TN)의 처리 효율을 보다 제고할 수 있는 촉매 등을 활용한 신공법 개발

Table 4. The Target of Study for Details (Part A: System Construction for High Quality · Reusing of Effluence and Production of Reused Water)

과제명	연구목표
중대형용 저에너지 고효율 분리막 기반 하·폐수 처리 및 용도별 재이용수 생산기술 개발	<ul style="list-style-type: none"> ○ 분리막 기반 하·폐수처리공법 개발 및 조기 사업화 <ul style="list-style-type: none"> - 저에너지형 하수 고도처리 및 재이용 기술 확보 - 맞춤형 고품질 재이용수 생산을 위한 UF/RO 공정 등 조합기술 - 10,000톤/일 규모 이상 Test bed 실증화 및 표준화 수립 - 단계적 사업화 실적(해외수출 사업화 실적 필수)
용도별 폐수 방류수질 고품질화 및 재이용수 생산기술 개발	<ul style="list-style-type: none"> ○ 세계수준의 폐수 방류수 고품질화 및 재이용기술 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 저에너지 고효율 폐수 고품질화를 위한 재이용기술 확보 - 5,000톤/일 이상 규모 실증플랜트 설계·시공·운전 - 단계적 사업화 실적(해외수출 사업화 실적 필수)
고기능성 분리막 핵심기술 및 재이용수 생산기술 개발	<ul style="list-style-type: none"> ○ 수요자 맞춤형 재이용수 확보를 위한 기존 MF 분리막 대체용 세계수준의 차세대 UF/NF 분리막 소재, 모듈 및 시스템 및 재이용 생산기술 확보 <ul style="list-style-type: none"> - 세계 수준의 고효율 저에너지 UF/NF 분리막의 소재, 모듈 및 시스템 확보 - UF/NF/RO/AOPs/기타 융합형 차세대기술 확보 - 3,000톤/일 규모 이상 Test bed 실증화 및 기술 표준화 - 단계적 사업화 실적
방류수질 고품질화를 위한 물리화학적 복합처리시스템 개발	<ul style="list-style-type: none"> ○ 하·폐수처리장 방류수 고품질화를 위한 영양물질(질소, 인), 난분해성 미량물질 등 초고도 처리핵심기술 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 용존성 오염물질(SCODcr) 제거율 90% 이상 확보 - 하·폐수 중 TN 5 ppm 이하, NH₃-N 1ppm 이하 및 TP 0.05 ppm 이하 달성 - 1,000톤/일 이상 규모 실증플랜트 설계·시공·운전 - 3년 내 조기사업화를 통한 매출 실적
소규모 하수처리시설의 고효율화 핵심기술 개발	<ul style="list-style-type: none"> ○ 소규모 하수처리시설이 방류수 배출기준을 안정적으로 만족시킬수 있는 집적화된 고효율 핵심 기술 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 설계수량 2배 이상의 유량 변동에도 목표 방류수 수질기준을 만족할 수 있는 고효율 시스템 개발 - 1,000톤/일 이상 규모 소규모 실증플랜트 설계·시공·운전 기술개발 및 사업화 - 3년 내 조기사업화를 통한 매출 실적
하·폐수 질소제거를 위한 고효율 촉매활용기술개발	<ul style="list-style-type: none"> ○ 질소 규제 강화에 따른 기존 생물학적 처리 공정의 문제점(낮은 C/N비, 효율)을 극복하여 방류수 기준을 만족하기 위한 중·소규모의 탈질화 촉매 등을 이용한 처리 시스템 개발 <ul style="list-style-type: none"> - Nitrate 전환율 80% 이상, Ammonia 전환율 98% 이상 및 총 질소화합물 제거율 80% 이상 - 실용화를 위한 최적의 탈질화 촉매 및 이를 적용한 고도처리기술

3.3.2. 수처리 플랜트에서 에너지자립률 제고 및 자원순환 시스템 구축(PART B)

- 1) 소화조 전처리부터 슬러지 감량화 및 가용화를 통한 바이오가스 생산을 극대화하는 기술 및 소화조 발생 가스의 탈황·정제·발전 및 폐열 병합시스템 기술 개발
- 2) 유·무기성 슬러지의 건조과정 없이 다양한 물리화학적 처리에 의해 유해물질(중금속, 악취, 강알칼리 pH 등) 방출이 없는 친환경 CO₂ 저감형 제조기술 개발 및 다양한 용도(개량제, 복토제, 인공토양, 소재 및 기타 관련 제품)의 활용기술 개발
- 3) 하수처리장 에너지자립률 제고를 위한 지열, 하수 열, 소수력 등 신재생에너지 적용기술을 개발 및 에너지 자립형 플랜트 모델을 확보

4) 하수슬러지 등으로부터 인을 제거·회수함으로써 유용자원을 확보 및 방류수질 개선을 도모하는 자원 확보기술 개발

5) 기후변화에 대비한 저에너지형 전협기성기술 개발

3.3.3. 수처리플랜트에서 IT 기반 지능형 운전 및 운영관리 핵심 기술 개발 (PART C)

- 1) 국내 중소규모 하수처리시설의 개선 및 개도국 수출을 위한 수요자 맞춤형 고효율 패키지형 공정기술 개발
- 2) 수처리플랜트에서 생산되는 재이용수와 에너지의 효율적인 분배 및 순환을 위한 스마트 Water/Energy 운영기술 및 그리드기술 개발
- 3) 방류수질 고품질화와 산업폐수의 생태독성관리 정

Table 5. The Target of Study for Details (Part B: Improvement of Self-sufficiency and Resource Cyclical System Construction in Water Treatment Plants)

과제명	연구목표
한국형 바이오가스 생산 및 활용기술 통합시스템 구축	<ul style="list-style-type: none"> ○ 세계수준의 고효율 바이오가스 생산·활용기술 통합시스템 - 핵심기술 100% 국산화 기반 한국형 고효율 바이오가스 생산·회수 시스템 확보 - 슬러지 감량을 위한 고효율 열적가수분해시스템 확보(HRT 1 hr 이내) - 고효율 혐기소화를 통한 슬러지 감량을 확보(감량을 60% 이상) - 한국형 고효율 바이오가스 탈황·정제·발전 및 폐열 병합 시스템 국산화기술 확보 - 3년 내 Pilot 실용화를 통한 30톤/일 규모 이상 Test bed 실증화
저에너지 고효율 하수슬러지의 친환경 활용기술 개발	<ul style="list-style-type: none"> ○ 하수처리장 슬러지 친환경 활용기술 개발 - 토양오염우려기준 2지역기준을 만족하는 슬러지 활용기술 - 유·무기성 슬러지를 이용한 CO₂ 저감형 친환경 적용기술 산업화 - 슬러지를 이용하여 다양한 생산품으로 적용하는 기술 확보 - 3년 내 조기사업화
수처리플랜트에서 하수열, 소수력 등 이용한 에너지 회수시스템 구축	<ul style="list-style-type: none"> ○ 지열, 하수열, 소수력 등 신·재생에너지 적용을 통한 하수처리시설의 에너지자립을 제고 및 핵심기술 실증화 - 지열, 하수열, 소수력 등 신재생에너지 적용기술 확보 - 화석연료를 대체하는 친환경 저비용 열원공급 기술 확보 - 신재생에너지 적용시 에너지 자립율 5% 이상 확보 - 실증플랜트 실용화 및 사업화 실적
하수 및 슬러지로부터 유용자원 인(P) 제거 및 회수기술개발	<ul style="list-style-type: none"> ○ 하수처리시설 방류수, 농축수, 여액 및 슬러지로부터 인을 제거·회수하는 첨단 기술 개발 - 95% 이상 인 제거 기술 확립 - 90% 이상 인 회수 가능한 기술 확립 - 회수된 인 활용방안 및 중장기적 경제성 분석자료 제시
수처리시스템에서 에너지절감형 전협기성 처리기술 개발	<ul style="list-style-type: none"> ○ 호기성 하수처리방식과 달리 효율적인 에너지회수가 가능한 혐기성기반 하수처리 기술을 확보하기 위한 개별 요소기술 및 통합 공정기술 개발 - 주처리 공정(유기물 및 질소제거) 체류시간 8시간 이내 - 호기성 처리기술 대비 에너지 소비량 및 슬러지 발생량 50% 이상 감소

Table 6. The Target of Study for Details (Part C: Intelligent Operating Based on IT and Development of Core Technology for Operational Management)

과제명	연구목표
에너지 및 물의 효율적 분배 및 관리를 위한 운영시스템 구축	<ul style="list-style-type: none"> ○ 하·폐수처리시설의 단위 공정의 관리 및 운영 최적화를 위한 IT 융·복합 시스템 개발 - 하·폐수시설의 스마트 공정진단시스템 표준화기술 확립 - 하·폐수시설의 에너지 최적화 운영기술(에너지절감 10%) - 하·폐수시설의 스마트 워터/에너지 그리드 구축 - 하·폐수시설 Test bed 설계·시공·운영 및 Reference 표준화 수립
IT 기반 수요자 맞춤형 지능형 고효율 수처리시스템 개발	<ul style="list-style-type: none"> ○ 국내 중소규모 하수처리시설 개선과 개도국 시장 진출을 위한 IT 기반 지능형 고효율 Package 수처리시스템 개발 - 국내·외 중소규모 하수처리시설의 방류수질 만족 - 1,000톤/일 이상 규모 실증플랜트 설계·시공·운전 및 사업화 - 조기 사업화 실적(개도국 사업화 실적 필수)
차세대 독성 모니터링 핵심기술 및 위해성 평가 시스템 개발	<ul style="list-style-type: none"> ○ 하·폐수시설의 고품질 방류수질 확보 및 생태계 건강성 확보를 위한 독성모니터링 국산화 및 위해성 평가시스템 개발 - 국내산 생물종을 이용한 생태 위해성 평가 시스템 개발 - 독성모니터링 핵심부품, 센서 및 핵심장치 100% 국산화 - 재현성 확보된 온라인(on-line) 독성모니터링 시스템 확보 - 관련 기술과 연계된 생태계 위해성 평가 프로그램 및 소프트웨어·하드웨어 개발 - 하·폐수시설의 용도별 적용 가능한 독성모니터링 기술 확보

책 지원을 위한 수용체 중심의 유해물질 및 독성관리기술 개발

4) 국내 생태독성 관리 제도의 기술적 향상 및 하·폐수 재이용수의 유해물질 최소화와 수생태 건전성 확보를 위한 국내산 생물종을 이용한 독성모니터링 및 위해성 평가 시스템 기술 개발

3.4. 과제별 목표

세부분야에서 도출된 14개의 과제별 연구 목표가 Tables 4~6에 제시되어 있다. 사업단에서 추진하는 과제는 실증화를 통해 국내 처리장에 적용하고 최종적으로는 국내시장은 물론 개도국 등 해외시장에 개별 기술과 통합 플랜트를 수출하는 것을 목표로 하고 있다. 대부분 실증화 과제로써 일정규모 이상의 Test Bed를 설치·운영하여 기술의 현장 적용성을 검증하게 될 것이다.

4. 결 론

하천·호소의 근본적인 수질개선을 위해서는 여러 가지 정책적·기술적 영향 요인이 있으나 하·폐수 처리인프라의 최적 설치·운영이 기본적인 조건이다. 물 부족에 대비한 대체수자원 확보, 기후변화 등 지구환경 문제에 대비한 에너지 절감, 공공수역의 지속적인 수질 개선 요구 등 사회적·환경적 영향 요소를 감안하여 하·폐수 처리기술도 수질유해물질 및 독성관리기술 등 초고도 처리기술, 맞춤형 재이용기술, 에너지 절감·회수·활용 기술을 유기적으로 조합·연계하는 신개념의 요소·시스템 기술이 확보되어야 한다. 이러한 선진 처리기술은 국내 수질환경개선은 물론 개도국을 중심으로 급성장세를 보이는 국제 환경시장에서의 경쟁력 확보의 토대가 될 것이다. 하·폐수 고도처리 기술개발 사업단에서는 이러한 기술 수요를 반영하여 핵심요소·소재, 시스템, 플랜트, 운영·서비스 기술 등 토털솔루션 및 패키지기술을 개발하게 된다. 분야별로는 고도처리 및 재이용 확대를 위한 분리막 적용 등의 고도처리 기술과 독성물질 관리기술, 소화가스와 하수열, 지열, 소수력 등 신·재생에너지 활용기술, 공정별 저에너지·고효율 개념의 핵심기술, 고효율 슬러지 자원화 기술 등의 분야에서 세계 최첨단 기술을 확보하는 것을 목표로 기술개발을 추진한다.

녹색경쟁 시대에 대비하면서, 물 관리 여건 변화에 선제적으로 대응하고 세계 하·폐수처리시장에서의 경

쟁력을 갖추기 위해 상기한 선진형 통합 하·폐수 고도처리시스템을 구성하는 핵심기술을 개발하는 것이다. 본 사업단이 글로벌 탑 수준의 하·폐수처리기술을 조기에 확보하기 위하여 국내 연구역량을 집결, 그간의 성과를 토대로 과학적이고 체계적인 기술개발사업을 추진할 것이다.

참 고 문 헌

1. Ministry of environment, "Environmental white paper 2010", pp. 459-498, Ministry of environment, Seoul (2010).
2. GWI (Global Water Intelligence), "Global Water Market 2009", pp. 1-5, GWI, America (2008).
3. <http://kosis.kr/index/index.jsp>, September 3 (2011).
4. Ministry of environment, "The status report on the operation and management of sewage treatment plants in korea", pp. 8, Ministry of environment, Seoul (2011).
5. S. Kang, H. Lee, J. Kim, and K. Han, "Application of Microfiltration and Reverse Osmosis System to Sewage Reuse for Industrial Water", *Membrane Journal*, **12**, 151 (2002).
6. I. Jang, S. Oh, H. Oh, and S. Song, "A Study on Development of Wastewater Recycle System by Membrane Process", The Spring Conference of The Membrane Society of Korea, pp. 48-49 (1996).
7. Ministry of environment, "The draft of national water reuse masteplan", pp. 7-9, Ministry of environment, Seoul (2010).
8. I² WATER TECH, "Education program on the wastewater reuse", I² WATER TECH, Yonginsi, pp. 24 (2011).
9. Ministry of environment, "National plan for energy saving and production in sewage treatment plant", pp. 4-8, Ministry of environment, Seoul (2010).
10. Korea environment corporation, "The report on the propriety of energy saving project in the sewage treatment plant", p. 51, Ministry of environment, Seoul (2008).
11. I. Korner and C. Visvanathan, "Composting and digestion - A comparison between Europ and

- Asia”, Proceedings Sardinia, Eleventh International Waste Management and Landfill Symposium, p. 8 (2007).
12. H. S. Chang, “The recent trend and expand strategy of domestic water industries in foreign water market”, Trade Focus, 10, p. 2, The Korea International Trade Association, Seoul (2011).
 13. H. H. Yoo, “The development of water treatment technology changes the structure of water industry”, p. 28, LG Business Insight, Seoul (2010).
 14. GWI (Global Water Intelligence), “Global Water Market 2009”, pp. 1-5, GWI, America (2008).
 15. <http://dwconst.re.kr>, September 3 (2011).
 16. <http://www.landlove.kr/greenCity/>, September 3 (2011).
 17. Ministry of environment, “Implementation plan of energy production from waste and biomass”, pp. 47-282, Ministry of environment, Seoul (2009).
 18. A. Sánchez, M. R. Katebi, and M. A. Johnson, Design and Implementation of a Real-Time Control Platform for the Testing of Advanced Control Systems and Data Quality Management in the Wastewater Industry, The Fourth International Conference on Control and Automation, pp. 1-4 (2003).
 19. <http://news.donga.com/3/all/20101101/32260071/1>, September 3 (2011).