

지역기술혁신사업 기획연구 최종보고서

R&D / 10지역기술혁신A02

슬러지를 이용한 청정연료 및 건설자재 생산기술 개발

2010. 11.

주관연구기관 / 부산대학교
공동연구기관 / 고등기술연구원

건 설 교 통 부
한국건설교통기술평가원

제 출 문

국토해양부장관(한국건설교통기술평가원장) 귀하

본 보고서를 “슬러지를 이용한 청정연료 및 건설자재 생산기술 개발”의 기획연구 최종
보고서로 제출합니다.

2010 . 11 . 26 .

주관연구기관 : 부산대학교

산학협력단장 : 이 대 식

■ 총괄연구책임자 / 조교수		변인규	연구총괄
■ 주관연구기관 참여연구원	/ 교수	박성훈	연구진
	/ 부교수	이태호	연구진
	/ 연구원	박소라	연구진
	/ 연구원	신지윤	연구진
	/ 연구원	이덕행	연구진
■ 공동연구기관 참여연구원	/ 수석연구원	이승중	연구진
	/ 수석연구원	최창식	연구진
	/ 수석연구원	정석우	연구진
	/ 수석연구원	구재희	연구진
	/ 선임연구원	정우현	연구진
	/ 선임연구원	면용수	연구진
	/ 선임연구원	장은식	연구진

요 약 문

I. 제 목

슬러지를 이용한 청정연료 및 건설자재 생산 기술 연구기획

II. 연구개발의 목적 및 필요성

1. 연구개발 목적

현재 국내 하수처리장에서의 슬러지 처리방법은 매립 또는 해양배출이 대부분이지만, 런던협약 '96의정서가 2006년 발효되면서 유기성슬러지의 해양배출기준이 대폭 강화되어 2011년부터 유기성슬러지 해양배출이 전면 금지될 예정으로 해양배출을 대체할 환경 친화적인 유기성슬러지 처리기술의 개발이 시급한 실정이다. 특히, 슬러지의 해양배출 의존도가 높은 동남권의 경우 해양배출을 대체할 슬러지 처리방안이 필요한 실정으로, 효과적인 슬러지 처리 및 활용을 위한 정부주도의 중형 권역 연구단 형식의 연구개발사업 추진을 위해 체계적이고 목표지향적인 사업계획 및 추진 전략 수립을 수립하는 것이 본 기획의 목적이다.

2. 연구개발의 필요성

- 경제발전 및 생활의 향상은 생활하수나 공업폐수의 증가를 가져왔다. 더불어 환경에 대한 관심이 높아지면서 환경질의 개선에 관한 요구가 증가하게 되어 하천의 오염방지를 위한 하·폐수처리시설은 필연적으로 증가하고 있다.
- 런던협약 '96의정서가 2006년 발효되면서 유기성슬러지의 해양배출기준이 대폭 강화되고 있으며, 2011년부터 유기성슬러지 해양배출이 전면 금지되고 전량 육

상처리를 하겠다는 계획을 발표하면서 해양배출물 대체할 환경친화적인 유기성 슬러지 처리기술의 개발이 시급한 실정이다.

- 또한 하수슬러지와 같은 유기성 폐기물의 에너지화 및 건설자재 등으로의 재활용 기술개발은 화석연료 고갈에 따른 고유가 시대의 대체에너지 개발과 자원순환형(Zero Waste) 사회구축 및 환경, 경제 그리고 에너지를 통합하는 3Es 패러다임 시대에 반드시 필요한 부분이다.
- 현재 운영중인 하수슬러지 처리시설은 34개소이며 건설·계획 중인 시설은 60개소로 소각/건조/고화/퇴비화/탄화 등의 방법으로 슬러지를 처리하고 있다.
- 국내에서 발생하는 하수슬러지의 약 11% 정도가 부산과 경남을 포함한 동남권 지역에서 발생하고 있으며 현재 해양투기를 제외하고는 대부분 소각처리를 하고 있는 실정이다. 따라서 향후 해양투기 금지에 따른 하수슬러지의 효율적인 육상처리 기술개발이(연료화 및 정정이용) 동남권역 발생 하수슬러지를 대상으로 시급히 이루어져야 할 것이다.
- 또한 동남권의 슬러지 연료화 및 이용기술 개발의 본격적인 과제 추진에 앞서 연구개발 과제의 타당성과 연구개발 성공 가능성을 높이기 위해서 과제의 전략적 방향성 및 실행방안을 제시할 사전기획을 수행하는 것이 필요하며, 사전기획을 통해 과제 공모를 위한 과제제안요구서(RFP)를 도출할 필요가 있다.

III. 연구개발의 내용 및 범위

- 동남권 발생 슬러지 이용 청정연료 및 건설도로 자재 활용을 위한 연구개발 과제 공모를 위한 연구목표 및 연구내용, 추진전략 수립
 - 동남권 발생 슬러지의 처리 현황 파악
 - 슬러지 이용 청정 연료화 및 건설자재화를 위한 정량적 목표 설정
 - 슬러지의 청정연료화 및 건설자재 활용을 위한 기술개발과 실증연구를 위한 방안 제시
 - 연구를 통해 개발된 기술의 합리적인 평가방법 설정
 - 적절한 연구예산의 산정

- 세부과제 RFP 도출, 추진전략 수립 및 연구 예산 산출
 - 세부 과제의 RFP 및 예산안 작성
 - 작성된 세부과제 RFP 및 예산에 대한 기획위원회 검토 및 수정·보완
 - 세부과제 달성을 위한 추진전략 수립
 - 정부, 민간의 매칭 펀드 형태의 추진방안 제시
 - 최종 세부과제의 RFP 및 연구예산 도출
- 해당 기술의 국내외 기술개발 현황 파악 및 기존 연구개발 과제 분석(연계성, 중복성, 차별성)
- 연구개발과제의 기술적·경제적 타당성 분석
- 슬러지의 에너지 및 건설자재 이용에 대한 타당성 검토
- 슬러지 이용 청정연료 및 건설자재 활용에 대한 SWOT 분석

IV. 연구개발(기획연구) 결과

가. 연구내용 총괄

- 해양배출, 육상매립 등 폐기물 처리 대상인 슬러지를 이용하여 청정 연료가스와 건설자재로 활용하는 방안을 도출하기 위해, 하·폐수 처리장을 대상으로 슬러지 탈수·건조 및 가스화용융 시스템을 연계하는 최적화 방안을 도출한 후 연계 통합시스템에 대한 실증을 통하여 슬러지로부터 합성가스 및 슬래그 생산을 위한 최적 적용방안을 개발하고, 가스화용융으로 생산된 슬러지 합성가스를 정제 한 연료가스의 이용 방안과 슬러지 슬래그의 건설자재 이용 방안 도출 및 시공 실증을 통하여 슬러지의 최적 활용을 위한 적용방안을 개발함
- 슬러지 탈수·건조 및 가스화용융 연계 통합시스템 개발

슬러지 이용 청정 연료가스 및 건설자재 생산을 위한 탈수·건조시스템과 가스화용융 시스템을 연계한 통합시스템 구축 및 실증을 통한 최적 연계방안을 개발함

· 슬러지 탈수·건조 및 가스화용융 통합시스템 연계방안 도출

- 슬러지의 탈수·건조 및 메탄회수 시스템 연계 공정 개발
- 건조슬러지 이용 합성가스(CO, H₂) 및 슬래그 생산을 위한 가스화용융 시스템 개발
- 생산된 고온의 슬러지 합성가스로부터 열회수 및 슬러지 탈수·건조 시스템 연계 통합공정 개발
- 실증결과 반영한 슬러지의 연료화 이용을 위한 통합 연계시스템 도출

○ 슬러지 연료가스의 이용시스템 구축 및 최적 활용방안 개발

슬러지 가스화용융으로 생산된 합성가스의 청정 연료가스 이용을 위한 오염물질(분진, 산성가스) 제거시스템을 구축하고 연료가스 재순환시스템과 전기 생산시스템 구축 및 실증을 통한 정제된 슬러지 연료가스의 최적 이용방안을 개발함

- 슬러지 가스화용융으로 생산된 연료가스의 청정 이용을 위한 오염물질(분진, 산성가스) 제거방안 도출
- 슬러지 합성가스의 오염물질 제거시스템 구축 (분진 및 H₂S 제거율: 95% 이상)
- 정제된 연료가스의 활용을 위한 적용방안 도출 및 이용시스템 구축
- 실증결과를 반영한 슬러지 연료가스의 최적 이용 방안 도출

○ 슬러지 슬래그이용 건설자재 생산 및 시공 실증

슬러지 슬래그의 건설자재 이용을 위한 적용방안 도출 및 시공 실증을 통한 보급화 방안을 개발함

- 슬러지 슬래그의 건설자재 활용을 위한 관련 규격 검토 및 평가 방안 도출
- 슬러지 슬래그 이용 건설자재 생산을 위한 적용방안 도출
- 슬러지 슬래그 이용 친환경 건설자재 생산설비 구축
- 생산된 건설자재를 이용한 시공 실증
- 슬러지 슬래그의 건설자재 이용 경제성 분석 및 대량 이용방안 도출

V. 연구개발결과의 활용계획

- 슬러지의 청정 연료가스 및 건설자재 활용을 위한 연구개발 과제의 추진 방향 설정 및 과제 공모에 활용함
 - 연구단 과제의 최종목표, 연구내용 및 추진방향 제시
 - 연구단 과제 공모 및 연구단 과제의 프레임워크를 구성하는 데 활용
- 연구단장의 역할 및 기준 설정에 활용함
 - 최종 목표 달성을 위한 연구단장의 역할 및 기준 설정
 - 동남권 발생 슬러지를 이용한 청정 연료가스 및 건설자재 활용방안 개발과 요소기술의 통합화에 있어서 연구단장이 수행해야 할 역할 및 기준 설정
- 연구단에서 추진하는 세부과제의 유형과 내용을 제안하는 데 활용함

SUMMARY

I . Title

Technology development of producing the clean fuel gas and construction materials from sludges

II. Necessity of the Study

1. Object of research and development

Currently, domestic wastewater treatment plants are treating sludges by landfill or ocean dumping. However, as London protocol 1996 took effect in 2006, ocean dumping has been strict and organic sludges ocean dumping will be forbidden from 2011, which made it necessary to develop environmental friendly organic sludges treating technologies. Especially, south eastern region depending on ocean dumping so much needs alternatives for it. To proceed research styled developing business for effective sludge treatment and utilization, this project aims at establishing systematic and goal-oriented plan and strategy.

2. Necessity of research and development

- Economic development and improved life style increased industry and living wastewater. Furthermore, as interest on environment has been increased, demand for better environment has augmented, which cause more wastewater and sewage treatment plant.
- As London protocol 1996 took effect in 2006, ocean dumping of organic sludges has been strict. From 2011, dumping will be forbidden and it should

be treated on land, which means it is desperate to develop environmental friendly organic sludges treating technologies.

- And recycling technologies such as generating energy or making construction materials from organic wastes are necessary, as it is important to develop alternative energy at the risk of fossil fuel and Zero Waste-society at demand for paradigm of 3Es, Environment, Economy and Energy.
- Currently 34 wastewater treatment plants are operating and 60 plants under construction and planning are treating sludges by incineration, drying, solidification, composting and carbonization.
- 11% of waste sludges in south eastern region including Busan and Kyeongnam are incinerated excluding ocean dumping. So it is urgent to develop effective technologies for treating sludges on land.
- In addition to that, it is critical to plan strategic directions and reliable ways deducting Request For Proposal(RFP) for proposal invitation to make these projects succeed before promoting them to develop technologies for incinerating and using sludges in south eastern region.

III. Contents and Scope of the Study

- Establish research goal, contents and strategies for project invitation to utilize clean energy and construction road materials from sludges in south eastern region.
 - Recognize present status on treatment for sludges in south eastern region
 - Establish quantitative goal for producing clean fuels and construction materials
 - Suggest reliable ways to develop technologies for utilizing construction materials and make clean fuels

- Set up reasonable estimating methods developed by research
 - Estimate appropriate cost for research
- Deduct RFP on detailed projects and estimate research cost
 - Make out RFP and cost for detailed projects
 - Consider, amend and complement written RFP and cost on detailed projects
 - Establish strategic plan for achieving detailed projects
 - Suggest proceeding ways as governmental and non-governmental matching fund
 - Deduct RFP and research cost on final detailed projects
- Recognize domestic and international technology developing status and analyze current R&D projects on related technologies(connection, repetition, distinction)
- Analyze technological and economical validity on R&D projects
- Investigate validity on generating energy and making construction materials from sludges
- Use SWOT analysis on utilization of clean fuel and construction material made from sludges

IV. Results of the Study

1 Outline of research

- Develop optimal application method to produce synthesized gas and slags from sludges and to utilize fuel gas, purified synthesized gas produced from gasification melting, and sludge slags as construction material as a way to use sludges effectively through demonstrated practice on connected unified system where dehydration, dry and gasification melting systems are involved

to draw solutions to use sludges as clean fuel gas and construction materials.

○ **Development of dehydration, dry and gasification melting connected system**

Develop optimal connection of dehydration · dry system for clean fuel gas and construction material and gasification melting system

- Suggest how to connect sludge dehydration · dry and gasification melting system
- Develop connected system of dehydration · dry and methane recover system
- Develop gasification melting system for producing synthesized gas (CO, H₂) using dried sludges
- Connect sludge dehydration · dry and heat recovery from sludge synthesized gas produced at high temperature system
- Derive unified connected system to use sludges as fuel

○ **Establish system and optimal application to use sludges as fuel**

Develop pollutant(dust, acid gas) removal system to use clean gas of synthesized gas produced from sludge gasification melting, fuel gas reuse system and electricity generation system to use purified sludge fuel gas effectively

- Suggest how pollutants(dust, acid gas) can be removed to use clean fuel gas produced from sludge gasification melting system
- Develop removal of sludge synthesized gas pollutants system (removal rate of dust and H₂S should be more than 95%)
- Investigate application to use purified fuel gas
- Derive optimal application to use sludge fuel gas

- **Demonstrate production of construction materials from sludge slags and utilization of it**

Provide sludge slag-construction material by demonstration of its production and application

- Establish standard and estimation method needed to use sludge slag as construction materials
- Derive application to produce sludge slag-construction materials
- Develop environmental friendly construction material using sludge slag
- Demonstrate utilization of produced construction materials
- Suggest for massive use of sludge slag-construction material economically

V. Suggestion for Application of the Results

- Lead R&D projects to use sludge as clean fuel gas and construction material
 - Suggest direction to promote final object and research contents of projects
 - Use to make up frameworks of research projects
- Establish standard for research leaders' role
 - Build standard of research leaders' role to achieve final goal
 - Develop application for utilization of clean fuel gas and construction materials produced from sludges and standards for leaders' role to unify elemental technologies
- Utilize to suggest detailed projects' pattern and contents

목 차

요 약 문	i
SUMMARY	vi
목 차	xi
표 차 례	xiv
그 립 차 례	xv
제 1 장 서 론	1
1. 연구개발의 목적	1
2. 연구 필요성 및 범위	1
가. 연구개발의 필요성	1
나. 연구 범위	2
3. 연구과제 유사성 및 타당성	3
4. 연구과제명 변경 제안	14
제 2 장 국내·외 기술개발 현황	15
1. 국내·외 관련분야에 대한 기술개발 현황	15
가. 국외 기술개발 동향	15
나. 국내 기술개발 동향	37
2. 연구개발 결과가 국·내외 기술개발 현황에서 차지하는 위치	59
제 3 장 연구개발 수행내용 및 결과	61
1. 연구를 위한 분석	61
가. 슬러지 처리기술별 적용성 및 경제성 분석	61
나. 연구개발의 SWOT 분석	64
2. 기술수요 도출	67

3. 기획회의 및 전문가 협의 결과	70
4. 최종 연구목표 설정	73
5. 연구내용 및 계획 수립	73
가. 연구내용 총괄	73
나. 세부과제별 목표 및 연구내용	74
라. 소요연구비 산정	80
제 4 장 추진전략 및 방법	87
1. 추진전략	87
가. 전략적 목표	87
나. 추진체계	89
다. 단계별 추진전략	90
라. 세부 핵심 개발과제 선정 요소	92
마. 사업화 전략	92
2. 추진방법	94
가. 연구단 운영방안	94
나. 기술개발 추진방안	94
다. 기술조사 방법	95
라. 개발성과 관리 방안	95
제 5 장 기대효과 및 전망	96
1. 기대효과	96
가. 기술적 측면	96
나. 산업·경제적 측면	96
다. 정책적 측면	97
2. 경제적 효과	97
제 6 장 연구개발과정에서 수집한 해외과학 기술정보	99

제 7 장	참고문헌	100
-------	------	-----

부	록	103
---	---	-----

[부록 1]	RFP	105
--------	-----	-----

[부록 2]	국내·외 특허 현황	115
--------	------------	-----

[부록 3]	슬러지관련 연구과제 현황	147
--------	---------------	-----

■	슬러지관련 연구과제 현황	149
---	---------------	-----

[부록 4]	기획위원회 및 자문위원회 참여전문가	155
--------	---------------------	-----

■	기획위원 참여 전문가	157
---	-------------	-----

■	전문위원 참여 전문가	157
---	-------------	-----

[부록 5]	폐수슬러지 발생 현황 및 처리 대책	159
--------	---------------------	-----

표 차 례

<표 2-1> 유럽 각국에서의 슬러지 처리 방법(TDS)	25
<표 2-2> 일본의 용융 슬래그 이용 기준	35
<표 2-3> 슬래그를 콘크리트 골재 대용 사용시의 압축강도 특성 비교	36
<표 2-4> 슬래그를 콘크리트 골재 대용 사용시의 휨 강도 특성 비교	37
<표 2-5> 국내 상업화된 슬러지 처리 및 자원화 기술	39
<표 2-6> 국내 대표적인 상용화 슬러지 건조/탄화 및 연료화 기술 비교	49
<표 2-7> 고로 슬래그의 용도	54
<표 2-8> 철강 슬래그의 용도	55
<표 2-9> 철강 슬래그를 재활용하여 제품화하고 있는 국내 업체	55
<표 2-10> 폐기물 슬래그의 화학적 조성 분석	56
<표 2-11> 슬래그 재활용 관련 연구 내용	56
<표 2-12> 슬래그를 첨가한 벽돌 제조시 강도 비교	58
<표 3-1> 연구개발의 SWOT 분석	66
<표 5-1> 하수슬러지 가스화 적용시 예상되는 CO ₂ 저감량 및 CER 수익	98

그 립 차 례

[그림 1-1] 에너지/환경/경제 패러다임 변화	2
[그림 2-1] 열가수분해 기술의 특징	16
[그림 2-2] 초음파기술의 개념도	17
[그림 2-3] Microsludge 공정도	18
[그림 2-4] Pulse power 이용 기술의 특징	18
[그림 2-5] 생물학적 가용화 기술의 개념도	19
[그림 2-6] 독일 하이브론의 EnBW 발전소(760 MW)	23
[그림 2-7] 일본 나코노 발전소 슬러지 탄화연료 저장 및 공급 시설	23
[그림 2-8] 유럽 주요국가의 하수슬러지 발생량	24
[그림 2-9] 열병합(CHP)발전에서 연구되는 슬러지 가스화기 종류	26
[그림 2-10] 유동층 가스화기를 적용한 열병합발전 공정	26
[그림 2-11] 250 kwe급 이동형 슬러지 건조/가스화/발전 공정도	27
[그림 2-12] 모듈형 250 kwe급 슬러지 건조/가스화/발전 설비 모습	27
[그림 2-13] Neptune 프로젝트 고온열분해공정	28
[그림 2-14] Neptune 프로젝트 고온열분해 pilot 플랜트	29
[그림 2-15] EBARA 슬러지 가스화 시스템 공정개념도	29
[그림 2-16] TwinRec 반응기 형상	30
[그림 2-17] 15톤/일급 슬러지 유동층 가스화/전기생산 실증설비 공정도	31
[그림 2-18] 15톤/일급 슬러지 유동층 가스화/전기생산 실증설비 모습	31
[그림 2-19] 유럽 주요국가의 하수슬러지 발생량	32
[그림 2-20] American Combustion Technologies사의 슬러지 건조 시스템	33
[그림 2-21] American Combustion Technologies사의 슬러지 건조/가스화 시스템	33
[그림 2-22] 제작된 슬러지 건조/가스화 시스템 모습	34
[그림 2-23] HYDRO-TECH 공정도	41
[그림 2-24] 열교환 가수분해 공정도	42

[그림 2-25] 열가수분해 공정도 (고등기술연구원)	43
[그림 2-26] 열가수분해 공정도 (지이테크)	44
[그림 2-27] 진공 유증건조 기술의 특징	45
[그림 2-28] 진공 유증건조장치 공정도	46
[그림 2-29] 에너지 절약형 하수슬러지 연료화 기술 개념도(포스코 건설)	47
[그림 2-30] 하수슬러지 연속건조탄화설비 공정도	48
[그림 2-31] 하수슬러지 이용 고체 연료(SOCA) 제조 과정	50
[그림 2-32] 대전하수 종말처리장에 설치된 pilot 플랜트 모습	51
[그림 2-33] 하수슬러지-석탄-폐유 연료화 및 가스화 설비 구성	52
[그림 2-34] 용융 슬래그를 이용한 흡착제 제조 과정	57
[그림 2-35] 용융 슬래그 첨가 비율에 따른 벽돌 사진	57
[그림 2-36] 본 연구과제와 기존기술과의 연계 관계	60
[그림 3-1] 하수슬러지 처리기술 적용성 및 기술의 성숙도 분석	62
[그림 3-2] 하수슬러지 처리기술 경제성 분석(설치 및 운영비)	63
[그림 3-3] 2008년 전국 및 경남 하·폐수슬러지 처리현황	68
[그림 3-4] 폐수 슬러지의 지역별 처리현황	69
[그림 3-5] 슬러지 이용 청정 연료가스 및 건설자재 생산 실증설비 구성도	74

제 1 장 서 론

1. 연구개발의 목적

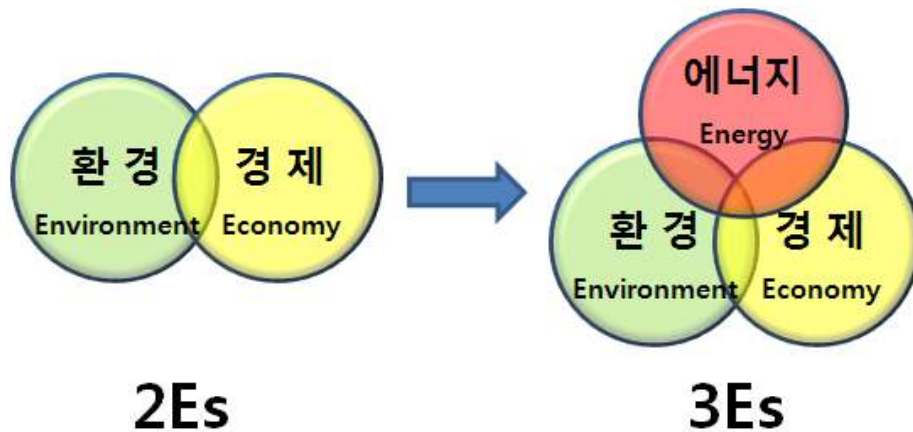
현재 국내 하수처리장에서의 슬러지 처리방법은 매립 또는 해양배출이 대부분이지만, 런던협약 '96의정서가 2006년 발효되면서 유기성슬러지의 해양배출기준이 대폭 강화되어 2011년부터 유기성슬러지 해양배출이 전면 금지될 예정으로 해양배출을 대체할 환경 친화적인 유기성슬러지 처리기술의 개발이 시급한 실정이다. 특히, 슬러지의 해양배출 의존도가 높은 동남권의 경우 해양배출을 대체할 슬러지 처리방안이 필요한 실정으로, 효과적인 슬러지 처리 및 활용을 위한 정부주도의 중형 권역 연구단 형식의 연구개발사업 추진을 위해 체계적이고 목표지향적인 사업계획 및 추진 전략 수립을 수립하는 것이 본 기획의 목적이다.

2. 연구 필요성 및 범위

가. 연구개발의 필요성

- 경제발전 및 생활의 향상은 생활하수나 공업폐수의 증가를 가져왔다. 더불어 환경에 대한 관심이 높아지면서 환경질의 개선에 관한 요구가 증가하게 되어 하천의 오염방지를 위한 하·폐수처리시설은 필연적으로 증가하고 있다.
- 런던협약 '96의정서가 2006년 발효되면서 유기성슬러지의 해양배출기준이 대폭 강화되고 있으며, 2011년부터 유기성슬러지 해양배출이 전면 금지되고 전량 육상처리를 하겠다는 계획을 발표하면서 해양배출을 대체할 환경친화적인 유기성슬러지 처리기술의 개발이 시급한 실정이다.
- 또한 하수슬러지와 같은 유기성 폐기물의 에너지화 및 건설자재 등으로의 재활용 기술개발은 화석연료 고갈에 따른 고유가 시대의 대체에너지 개발과 자원순환형(Zero Waste) 사회구축 및 환경, 경제 그리고 에너지를 통합하는 3Es 패러

다임 시대에 반드시 필요한 부분이다.



[그림 1-1] 에너지/환경/경제 패러다임 변화

- 현재 운영중인 하수슬러지 처리시설은 34개소이며 건설·계획 중인 시설은 60개소로 소각/건조/고화/퇴비화/탄화 등의 방법으로 슬러지를 처리하고 있다.
- 국내에서 발생하는 하수슬러지의 약 11% 정도가 부산과 경남을 포함한 동남권 지역에서 발생하고 있으며 현재 해양투기를 제외하고는 대부분 소각처리를 하고 있는 실정이다. 따라서 향후 해양투기 금지에 따른 하수슬러지의 효율적인 육상 처리 기술개발이(연료화 및 정정이용) 동남권역 발생 하수슬러지를 대상으로 시급히 이루어져야 할 것이다.
- 또한 동남권의 슬러지 연료화 및 이용기술 개발의 본격적인 과제 추진에 앞서 연구개발 과제의 타당성과 연구개발 성공 가능성을 높이기 위해서 과제의 전략적 방향성 및 실행방안을 제시할 사전기획을 수행하는 것이 필요하며, 사전기획을 통해 과제 공모를 위한 과제제안요구서(RFP)를 도출할 필요가 있다.

나. 연구 범위

- 동남권 발생 슬러지 이용 청정연료 및 건설도로 자재 활용을 위한 연구개발 과제 공모를 위한 연구목표 및 연구내용, 추진전략 수립

- 동남권 발생 슬러지의 처리 현황 파악
- 슬러지 이용 청정 연료화 및 건설자재화를 위한 정량적 목표 설정
- 슬러지의 청정연료화 및 건설자재 활용을 위한 기술개발과 실증연구를 위한 방안 제시
- 연구를 통해 개발된 기술의 합리적인 평가방법 설정
- 적절한 연구예산의 산정
- 세부과제 RFP 도출, 추진전략 수립 및 연구 예산 산출
 - 세부 과제의 RFP 및 예산안 작성
 - 작성된 세부과제 RFP 및 예산에 대한 기획위원회 검토 및 수정·보완
 - 세부과제 달성을 위한 추진전략 수립
 - 정부, 민간의 매칭 펀드 형태의 추진방안 제시
 - 최종 세부과제의 RFP 및 연구예산 도출
- 해당 기술의 국내외 기술개발 현황 파악 및 기존 연구개발 과제 분석(연계성, 중복성, 차별성)
- 연구개발과제의 기술적·경제적 타당성 분석
- 슬러지의 에너지 및 건설자재 이용에 대한 타당성 검토
- 슬러지 이용 청정연료 및 건설자재 활용에 대한 SWOT 분석

3. 연구과제 유사성 및 타당성

- 슬러지 이용 청정 연료가스 및 건설자재 활용을 위한 연구개발 과제 추진에 앞서 기존 국가연구개발사업과의 중복성 및 유사성을 확인하기 위하여 국가R&D 사업관리서비스(rndgate.ntis.go.kr), 한국에너지기술평가원(www.ketep.re.kr), 한국환경산업기술원(www.keiti.re.kr), 국가청정생산지원센터(www.kncpc.re.kr) 등에서 유사과제 검색을 통하여 사업의 중복성, 차별성 및 연계성 여부를 검토함

○ 유사과제

■ 과제 1 : 고형연료화 및 가스화를 통한 하수슬러지의 에너지 이용기술개발

- 추진부처 : 환경부
- 사업명 : 차세대핵심환경기술개발, 폐자원에너지화 및 non-CO₂ 온실가스사업
- 추진연도 : 2008.02 ~ 2014.05

연구 목표	- 하수슬러지의 적극적인 활용방안을 모색하기 위해 가스화 시스템을 통한 생성물질의 청정연료 전환과 화학물질 합성 및 추출 기법 개발 - 잔류물의 가공특성 및 환경영향 등을 평가하여 재활용 가능성 도출 - 실증적용가능 규모의 가스화시스템 개발로 외부 에너지의 최소화와 2차 오염물질 발생을 최소화 할 수 있는 공정개발 및 상용화
연구 내용	- 가스화 실험설비 최적화를 위한 운전변수 도출 및 실험검증 - 슬러지 건조설비와의 연계 실험을 통한 가스화 시스템의 개발에 관한 연구 및 최적화 방안 연구 - 핵심요소 기술 검토를 통한 국내 적용가능 단위공정 개발 - Pilot Plant 제작 및 시운전을 통한 시스템의 효율성 및 안정성 확보기술개발 - 가스화 잔류물의 물성, 재활용특성 및 가공성 등을 분석하여 고형물질의 재활용방안을 실험적으로 연구함 - 최종 배출가스의 안정적 수준 달성을 위한 방안 도출 - 2차 환경문제 개선 및 잔재물 활용기술 개발 - 하수슬러지 가스화 시스템의 상용화 및 사업화 추진 - 가스화 시스템 환경신기술 인증

■ 과제 2 : 유기성슬러지 고압형 열가수분해 공정 실증화 개발

- 추진부처 : 환경부
- 사업명 : 차세대핵심환경기술개발, 폐자원에너지화 및 non-CO₂ 온실가스사업
- 추진연도 : 2010.10 ~ 2013.05

연구 목표	- 유기성 슬러지의 감량화 및 에너지 생산(고체연료 및 바이오가스)을 목적으로 하는 열가수분해 통합공정 실증화 개발
연구 내용	- Flash steam 직접열교환 방식의 고압형 열가수분해 공정 효율 개선 및 최적 운전 조건 수립 - 투입/배출 라인의 열교환기 Switching 시스템 구축 - 상용급(10톤/일) 고압형 열가수분해 플랜트 FEED 및 실시설계 완료 - 열수분해 반응기 최적 설계인자 도출 - 상용급(10톤/일) 고압형 열가수분해 플랜트 제작 및 운전 - 상용급(10톤/일) 열가수분해 플랜트 장기운전을 통한 효율 평가 및 보완 - 상용급(100톤/일) 고압형 열가수분해 플랜트 설계를 위한 scale-up 인자 확보 - 환경신기술 검증 및 상용급 100톤/일 플랜트 개념 설계

■ 과제 3 : 하폐수 탈수슬러지의 열가수분해 기술 및 고효율 혐기성 소화기술개발

- 추진부처 : 환경부
- 사업명 : 차세대핵심환경기술개발
- 추진연도 : 2009.03 ~ 2011.02

연구 목표	- 탈수슬러지 열가수분해 기술 개발 - 혐기성 고효율 소화시스템 개발
연구 내용	- 시스템 구도 설정 - 하폐수 슬러지의 난분해물질의 분해 및 세포막 파쇄를 위한 열가수분해 반응 시스템 개발 - 혐기성 고효율 소화시스템 개발 - 소화 전후 처리 효율 및 슬러지 감량화를 위한 소화 슬러지의 탈수 시스템의 자동화 및 개량 - 전처리된 하폐수 슬러지를 기질로 이용하여 혐기성 미생물에 의한 바이오 가스 생산 가능성 여부 확인 - 혐기소화 운전조건 도출 및 바이오 가스 생산 최대화를 위한 반응조건 도출

■ 과제 4 : 폐기물 합성가스 내 CO₂ 흡착/정제 공정 개발을 통한 저 탄소 함유
합성가스 제조 기술 및 가스엔진 발전 시스템 개발

- 추진부처 : 환경부
- 사업명 : 차세대핵심환경기술개발
- 추진연도 : 2007.04 ~ 2010.03

연구 목표	- 저탄소 함유 합성가스용 가스엔진 및 발전시스템 구축 - 폐기물 가스화 용융로, 정제시스템(집진, 탈황, 탈염), CO₂ 분리공정과 가스엔진 발전 시스템 연계 운전을 통한 시스템 최적화 - 상용 CO₂ 흡착제와의 성능 비교 평가 - 폐기물 가스화 시스템과 CO₂ 분리 시스템 연계시 경제성 분석 및 CO₂ 활용성 평가 - 흡착제 성능 최적화
연구 내용	- 저탄소 함유 합성가스용 가스엔진 및 발전시스템 구축 - 폐기물 가스화 용융로, 정제시스템(집진, 탈황, 탈염), CO₂ 분리공정과 가스엔진 발전 시스템 연계 운전을 통한 시스템 최적화 - 폐기물 가스화 시스템과 CO₂ 분리 시스템 연계시 경제성 분석 및 CO₂ 활용성 평가

■ 과제 5 : 폐기물을 용융,열분해시켜 용융물과 청정연료가스를 생산하는 공정개발

- 추진부처 : 환경부
- 사업명 : 차세대핵심환경기술개발
- 추진연도 : 2003.06 ~ 2005.05

연구 목표	- 폐기물 1일 처리용량 5톤의 폐기물처리 시범공장의 공정제어 시스템 개발 - 주기적인 시험 운전으로 최적의 운전, 설계조건 도출 - 종합분석 평가 및 표준설계
연구 내용	- 생활폐기물의 조성에 따른 설계조건 조사 - 열분해 및 가스처리방법에 대한 검토 - 시범공장의 설계도 완료 - 기기장치의 발주 및 시범공장의 완공 - 공정제어 시스템 개발, 운전교본 작성

■ 과제 6 : 하수 슬러지의 Hybrid 유동층 열분해/용융소각시스템 개발

- 추진부처 : 환경부
- 사업명 : 차세대핵심환경기술개발
- 추진연도 : 2001.06 ~ 2004.05

연구 목표	- 하수슬러지 열분해 및 선회 용융소각실험 하수슬러지 유동층 열분해와 용융소각공정의 집적 - 하수슬러지 유동층 열분해와 선회 용융소각공정 집적실험 - 5 Ton/day 열분해/용융소각로 설계 제작 - 5 Ton/day 열분해/용융소각로 설치 시운전 문제점 보완 - 5 Ton/day 열분해 용융소각로 설계자료 축적, 운전기술 확보 - 국내 시범적용을 통한 상용화 계획
연구 내용	- 50kg/hr 유동층열분해 및 선회 용융소각로특성 연구 - 유동층 열분해 및 용융소각로 연계 예비실험 - 유동층 열분해 및 용융소각로 연계실험 설치할 하수 슬러지 적용실험 - 5 ton/day 열분해 용융소각로 설계 및 제작 - 조업조건에 따른 운전자료 획득 - 5 ton/day 열분해 용융소각로 설계기술 확보 - 공해물질 배출설비, 운전에 따른 경제성 평가 - 50~100 ton/day 규모의 시범공장의 계획 수립과 상용화추진

■ 과제 7 : 농업부산물 폐자원 이용 20톤/일급 열분해 가스화를 통한 고부가가치 자원화 및 고효율 에너지 이용 기술개발

- 추진부처 : 지식경제부
- 사업명 : 신재생에너지기술개발
- 추진연도 : 2009.06 ~ 2012.05

연구 목표	- 농업부산물 폐자원을 이용한 20톤/일급 열분해 가스화를 통해 생산된 합성가스의 고효율 에너지 이용 시스템 개발
연구 내용	- 20톤/일급 농업부산물 열분해 가스화시스템 및 합성가스 복합이용 시스템개발 - 합성가스 이용 열분해 회수 초액 정제기술개발 - 합성가스 이용 가스엔진 발전기술개발(200kW급 가스엔진 발전) - 합성가스 오염물질 정제 및 공급기술 개발 - 탄화물 이용 바이오 고형연료 제조 및 연소 기술개발

■ 과제 8 : 폐목재를 이용한 가스화 열병합 발전 실증 기술 개발(100kWe)

- 추진부처 : 지식경제부
- 사업명 : 신재생에너지기술개발
- 추진연도 : 2008.10 ~ 2010.07

연구 목표	- 국내실정에 맞는 중소규모 바이오매스 가스화 발전 시스템 선정, 모듈 개발 및 운전을 통한 실증 이용기술 개발 (100kWe규모)
연구 내용	- 플랜트 용량에 따른 엔지니어링 설계(물질/열수지, P&ID) - 플랜트 사이트 선정 및 배치도 구상 - 공정의 구비사항에 따른 전기 및 열에너지 이용 효율 최적화 설계 - 플랜트 규모 및 시스템 선정을 위한 기술 분석 - 단위 장치 설계를 위한 실험 자료 수집 - 열병합 인프라 시설 설치(저장조, 구조물, 엔진설치 건물등) - 단위장치 설계(가스화, 정제, 열교환기, 열공급설비, 가스엔진, 전기시설등) - 가스화-가스정제-발전 연계 시스템 구성 - 시스템 시운전 및 조건변화에 따른 실험을 통한 문제점 분석 - 전기 및 열에너지 이용 효율 최적화를 위한 공정 설계 제작 - 현장에서 장기 실험을 통한 시스템 실증 운전 - 바이오매스 가스화 열병합 국산기술 실증화를 통한 보급 기반확보

■ 과제 9 : 폐기물 다단열분해 청정가스 생산기술

- 추진부처 : 지식경제부
- 사업명 : 신재생에너지기술개발
- 추진연도 : 2006.08 ~ 2009.07

연구 목표	- 폐기물 다단열분해 고발열량 청정가스 생산 시스템 개발 열분해방식 : 다단식 용융가스와 방식 : 유동상 용융가스와 처리용량 : 30 kg/h 가스 발열량 : 4000 kcal/Nm³이상 생성가스 품질 : 중유보일러 및 가스엔진 적용성 평가 - 실증 Plant 기본설계 : 5 ton/day 규모 이상
연구 내용	- 폐기물 다단 열분해 오염물질 제거 및 가스화 기술 개발 - o 폐기물의 다단 열분해를 통한 탈염/탈황 기술 개발 - o 폐기물 가스화 및 char 생산을 위한 다단 열분해 기술 개발 - 가스화 유동상 용융로 개발 - o Char/공기 및 용융슬래그/공기의 유동상 가스화 반응로 개발 - o 폐기물 자체연료 이용 가스화 용융로 운전 기술 개발 - o 용융 슬래그 자동 배출 및 무해화 공정 개발 - o 분진 배출 최소화 열 유동 공정 개발 - 가스엔진 및 기존 보일러 적용 개발, 실증규모 설계 개발

■ 과제 10 : 고발열량 폐기물 및 슬러지 가스화 합성가스 재순환기술 및 CO, H₂ 생산비 제어기술 개발

- 추진부처 : 지식경제부
- 사업명 : 신재생에너지기술개발
- 추진연도 : 2007.06 ~ 2009.06

연구 목표	- 고 발열량 폐기물 및 슬러지 혼합폐기물 가스화를 통한 합성가스 생산기술, 합성가스의 공정내 재순환 이용기술 및 합성가스의 H ₂ /CO 생산비율 제어기술개발
연구 내용	- 3톤/일급 폐기물 가스화기에서 고발열량 폐기물 및 슬러지 혼합폐기물 가스화 특성 실험 - 합성가스 재순환 장치 및 합성가스 버너설계·제작 및 성능시험 - 합성가스 H₂/CO 생산비율 제어장치의 단위 모듈 설계·제작 및 운전 - 고발열량 폐기물 및 슬러지 혼합비율에 따른 합성가스 생산 특성 전산 simulation - 합성가스내의 H₂/CO 비율 제어기술 개발 - 합성가스 재순환 시스템 운전 조건 도출, 전체시스템에 대한 전산 simulation, 경제성 분석 및 운전결과 database화 - 30톤/일급 이상 실증플랜트 기본설계

■ 과제 11 : 고효율 합성가스엔진 발전시스템 개발

- 추진부처 : 지식경제부
- 추진연도 : 2009.01 ~ 2011.12

연구 목표	- 발전용 내연기관 엔진과 폐열회수 ORC(Organic Rankine Cycle) 시스템으로 구성되는 60kW급 고효율 합성가스 엔진 발전시스템을 개발 (엔진 발전효율 30% 이상, 엔진폐열 이용 발전효율 4%, 총 34% 이상의 발전효율 달성)
연구 내용	- 가연한계가 넓어 연료성분의 변화에도 안정적인운전이 가능한 혼소엔진 개발 - 엔진에서 발전에 활용되지 못하고 버려지는 약 30% 정도의 엔진 배기 폐열을 회수하기 위한 ORC 발전시스템의 개발

■ 과제 12 : 하수슬러지의 고급 연료화 및 친환경 연소 기술 개발

- 추진부처 : 지식경제부
- 사업명 : 신재생에너지기술개발
- 추진연도 : 2005.12 ~ 2008.12

연구 목표	- 20kg/h (탈수케이크 기준) 하수슬러지-석탄 정제 혼합연료 연속 제조공정 개발 (발열량>7,000 kcal/kg, 함수율 < 60 %, 회분 < 6 %) - 50 Mcal/h 규모의 하수슬러지 정제 혼합연료 유동층 촉매 가스화/연소기술 개발 (NOx < 50 ppm, CO < 50 ppm, 연소효율 > 99.9 %)
연구 내용	- 20kg/h 하수슬러지-석탄 정제 혼합연료 제조공정 연구 - 하수슬러지 정제 혼합연료용 중온 순환유동층 촉매 가스화 기술 연구 - 하수슬러지-석탄 정제 혼합연료의 실용적 적용 방안 연구

■ 과제 13 : 하수슬러지를 재활용한 경량골재 제조기술 개발

- 추진부처 : 중소기업청
- 사업명 : 산학연공동기술개발
- 추진연도 : 2005.07 ~ 2006.04

연구 목표	- 하수처리슬러지를 경량골재로 제조하여 건축 및 토목재료로 재활용함으로써 해양투기에 의한 해양오염과 매립에 의한 환경오염을 최소화함과 동시에 자원재활용의 극대화
연구 내용	- 하수처리과정에서 발생하는 슬러지를 점토등과 혼합 성형하여 소성한 후 경량골재를 제조하여 건축 및 토목재료로 사용 - 인공골재의 경량화를 이루기 위하여 발포성을 가지는 유기성폐기물인 하수처리슬러지와 점결재로서 팽창점토를 혼합하여 저비중의 인공경량골재를 생산하여 건축 및 토목재료로의 사용가능성을 평가

■ 과제 14 : 소각재 용융슬래그의 건설자재 활용기술 개발

- 추진부처 : 국토해양부
- 사업명 : 산학연공동연구
- 추진연도 : 2001.08 ~ 2003.08

연구 목표	- 용융로의 안정적인 보급과 용융슬래그의 재활용 촉진을 위하여 소각재 용융슬래그 활용의 환경안정성을 확보하고, 고품질의 골재 및 2차 제품을 개발하고, 고부가가치의 건설자재를 개발
연구 내용	- 소각재의 조성, 입도, 중금속 함량, 발생량 등 용융대상 물질의 특성 파악과 용융과정 및 슬래그에 미치는 영향 분석 - 용융로에서 순조로운 용융거동과 슬래그의 품질향상을 위하여 소각재 전처리 방식 제시 - 용융조건에 따른 유해물질의 환경안정화 영향 분석 - 용융슬래그 및 재활용 제품에 대한 각 종 사용조건에 대한 중금속 용출시험을 수행하여 용융슬래그 및 재활용제품의 사용에 따른 환경안정성을 확보 - 원료조성 및 용융로의 운전조건에 따른 용융슬래그의 품질영향 인자를 분석하여 안정적이며 일정 품질을 갖는 용융슬래그를 제조하는 최적조건을 도출 - 용융화 과정 중에 냉각방식을 변경 및 2차 가공을 통하여 기존의 천연골재를 대체할 수 있는 고품질의 골재기술 개발 및 시멘트 2차 제품을 제작하여 성능 평가 - 용융액상 상태에서 용융슬래그를 직접 모울드에 부어서 성형제품을 제작하는 기술을 개발하고, 이에 대한 성능 및 환경안정성을 평가 - 무기질인 소각재를 용융시키기 위하여 투입되는 고에너지로 인하여 비용증가가 큰 단점인데, 고에너지 상태의 용융슬래그에 에너지를 투입하여 생산하는 세라믹 건설자재 제조 원리를 적용시킴으로써 고부가가치의 건설자재생산 기술을 개발

○ 1~6번 과제는 환경부에서 추진한(또는 현재 진행 중인) 과제로 슬러지의 열가수분해, 가스화 및 열분해 용융과 폐기물 열분해용융, 폐기물 합성가스 이용 발전 등에 대한 연구가 추진되었음

· 1번 과제는 하수슬러지의 건조를 통해서 고형연료를 생산한 후 가스화 기술을 연계한 공정개발을 목표로 하고 있는 과제로, 건조슬러지와 하수슬러지를 혼합하여 함수율 30%이하로 낮추고 열풍으로 건조시켜 고형연료를 생산하는 기술로, 본 연구과제의 탈수·건조 기술과는 차별화된 기술임.(본 기술은 건조슬러지 혼합없이 하수슬러지를 전처리하여 기계적 탈수를 통해서 함수율 30%이하로 낮추고 가스화용융시 발생된 열을 회수하여 건조하는 기술임) 건조된 고형연료를 유동상 가스화기를 이용하여 슬러지 고형연료를 가스화하고 생성된 가스를 연소하여 steam과 열원을 생산하는 기술로 본 연구과제의 핵심기술인 슬러지의 가스화용융 기술과는 중복성이 없는 차별화된 기술임 (유

동상 가스화기로는 기술 특성상 슬러지를 가스화하게 되면 슬러지 회재가 잔유물로 남게되며, 가스화용융으로 회재를 용융시켜 슬래그를 생산하는 본 기술과는 차별화된 기술임)

- 2번 과제는 유기성 슬러지의 감량화 및 에너지 생산(고체연료 및 바이오가스)을 목적으로 열가수분해 통합공정을 실증화하는 과제로, 본 연구과제에서는 슬러지 탈수·건조시 에너지를 최대한 회수하여 활용하는 통합기술을 개발하고자 하므로, 현재 개발중인 과제이긴 하지만, 슬러지 감량화시 에너지(바이오가스)를 생산하는 기술을 활용하는 방안을 검토할 필요 있음
- 3번과제는 탈수슬러지 열가수분해 기술과 혐기성 고효율 소화시스템을 개발하는 과제로, 슬러지 탈수·건조시 활용하는 방안을 검토할 필요 있음
- 4번 과제는 폐기물을 가스화용융한 후 CO₂ 분리공정과 가스엔진 발전시스템을 개발하는 과제로, 본 연구과제와는 중복성이 없는 차별화된 기술로, 합성가스를 이용한 가스엔진 발전기술에 대해서는 활용방안을 검토할 필요 있음
- 5번 과제는 폐기물을 열분해 용융하여 용융물과 청정 연료가스를 생산하는 기술로, 본 연구과제의 슬러지를 가스화용융하여 슬래그와 청정 연료가스를 생산하는 기술과는 중복성이 없는 차별화된 기술임
- 6번 과제는 하수 슬러지를 유동층 열분해한 후 용융소각 하는 Hybrid 시스템을 개발하는 과제로, 본 연구과제의 가스화용융 기술과는 중복성이 없는 차별화된 기술임 (열분해+용융 기술을 hybrid하는 기술을 활용하여 가스화+용융 기술을 hybrid하는 방안에 대해서는 검토할 필요 있음)
- 7~12번 과제는 지식경제부에서 추진하였거나 현재 추진 중인 과제로 농업부산물 열분해 가스화 및 고효율 에너지 이용, 폐목재 이용 가스화 열병합발전, 폐기물 다단 열분해 청정가스 생산, 폐기물 및 슬러지 가스화 합성가스 재순환, 고효율 가스엔진 개발, 슬러지 고급 연료화 및 연소기술 등에 대한 연구가 추진되었음
- 7번~9번 과제는 농업부산물, 폐목재, 폐기물 등을 가스화 또는 열분해한 후 가스엔진 이용 발전기술을 개발하는 과제로, 본 연구과제와는 중복성이 없으며, 가스엔진 발전기술에 대해서는 활용방안을 검토할 필요 있음
- 10번 과제는 폐기물 및 슬러지 혼합연료를 가스화한 후 생산된 합성가스를 재순환하는 과제로, 본 연구과제와는 중복성은 없으며, 합성가스를 재순환하

는 기술에 대해서는 본 연구과제에서 실증 적용할 필요 있음

- 11번 과제는 고효율 합성가스 엔진발전 시스템을 개발하는 과제로, 본 연구과제와는 중복성이 없는 차별화된 기술로, 개발된 가스엔진의 실증 적용에 대해서는 검토할 필요 있음
- 12번 과제는 하수슬러지와 석탄을 혼합한 후 연소발전 시스템을 개발하는 과제로, 본 연구과제와는 중복성이 없는 차별화된 기술임 (발열량이 낮은 슬러지를 고발열량의 연료와 혼합하여 가스화용융하는 방안에 대해서는 검토할 필요 있음)
- 13번 과제는 중소기업청에서 추진한 과제로 슬러지를 경량골재로 제조하여 건축 및 토목재료로 활용하는 연구를 진행하였으며, 본 연구과제의 슬러지 슬래그를 이용한 건설자재 생산과는 중복성이 없는 차별화된 기술임
- 14번 과제는 국토해양부에서 추진한 과제로 소각재 용융슬래그를 이용한 건설자재 활용기술을 개발하는 연구가 진행되었으며, 슬러지 슬래그를 이용하여 건설자재를 생산하는 본 연구와는 중복성은 없으며, 건설자재 활용방안에 대해서는 본 연구과제에서 활용할 필요 있음
- 이밖에 하수슬러지 열가수분해를 이용하여 혐기소화의 효율을 높이는 목적으로 유사과제가 2009년에 환경부 차세대핵심환경기술개발 과제로 도출된 적이 있었으나, 주관기관의 부도로 인해서 과제가 중지됨
- 이상과 같이 환경부나 지식경제부에서 슬러지를 이용한 가스화 기술이나 열분해 용융기술, 폐기물을 이용한 가스화용융 기술에 대해서는 개발되었거나 현재 추진 중에 있지만, 본 연구과제의 핵심기술인 슬러지 가스화용융 기술은 아직 진행되지 않고 있으며, 슬러지 탈수·건조와 가스화용융 기술을 연계한 통합시스템 개발에 대해서는 진행된 사례가 없음
- 본 과제의 주요 연구중점은 슬러지를 환경적으로 무해하고 효과적으로 처리하면서도, 연료화를 통한 에너지 회수와 발생된 부산물을 환경적으로 안정하게 건설자재로 재활용하는 시스템을 실증하는 것임
- 슬러지를 탈수·건조한 후 가스화용융하여 연료가스를 생산 및 이용하는 통합시스템을 개발하고, 가스화용융으로 생산된 슬래그는 건설자재로 활용하는 기술을 개발

4. 연구과제명 변경 제안

- 기존의 “슬러지를 이용한 청정연료 및 건설자재 생산기술 개발” 과제명 중 청정 연료의 경우 통상적으로는 수소, 천연가스 등과 같이 환경오염 물질의 배출 없이 청정하게 사용할 수 있는 연료로 정의함
- 그러나 2009년 5월에 발간된 녹색성장 실현을 위한 R&D 이정표인 그린에너지 전략 로드맵에 따르면 청정연료라는 개념은 석탄, 천연가스, 바이오자원 등을 원료로 다양한 분해/합성/정제과정을 거쳐 만들어진 저공해 합성연료를 통칭하는 것으로 정의하고 있음
- 즉 그린에너지 전략 로드맵에서는 CTL(Coal to Liquid), GTL(Gas to Liquid), BTL(Biomass to Liquid) 등의 과정을 거쳐 생산된 합성연료를 청정연료로 구분하고 있으며, 대표적인 연료로는 합성석유, 합성천연가스, DME(Dimethyl Ether) 등이 있음
- 따라서 본 기획연구에서 제안한 가스화용융을 통하여 생산된 CO와 H₂가 주성분인 합성가스를 정제하여 연료가스 활용 및 전기 생산에 이용하는 기술의 경우 정제된 연료가스 자체가 통상적인 개념에서는 청정연료로 구분할 수 있지만, 그린에너지 전략 로드맵에서 정의한 개념과 혼동될 수 있으므로, ‘청정연료’를 ‘청정 연료가스’로 좀 더 명확히 구분하는 것이 필요한 것으로 판단되어, **“슬러지의 청정 연료가스 및 건설자재 활용방안 개발”**로 변경하는 것을 제안함

제 2 장 국내·외 기술개발 현황

1. 국내·외 관련분야에 대한 기술개발 현황

슬러지 처리·처분 방법은 크게 전처리, 중간처리, 최종처리로 구분할 수 있다. 슬러지 전처리는 농축, 소화(안정화), 개량, 탈수 등과 같이 수분 함량이 높은 슬러지의 처리를 용이하게 하기 위해 슬러지를 감량화하는 방법이다. 슬러지 중간처리는 탈수슬러지를 재이용 또는 최종처리 하기 위해 퇴비화, 고화, 연료화, 시멘트자원화, 건조, 탄화, 소각, 열분해, 용융, 가스화 등 슬러지를 자원화, 에너지화, 고형화하는 방법이다. 슬러지 최종처리는 육상매립, 수면매립, 해양배출 등 슬러지 전처리 및 중간처리 과정에서 발생하는 부산물을 매립 또는 재이용하는 방법이다. 2003년 이후 슬러지의 직매립 금지조치와 2011년 이후 해양배출 금지로 인하여 슬러지를 전처리 후 바로 최종처리 하는 방법은 불가능하고, 중간처리 방법을 반드시 거쳐야 할 것으로 예상된다. 따라서 슬러지의 효과적인 처리를 위해 현재 국내외에서 다양한 방법의 슬러지 중간처리 기술들이 개발 중이거나 상용화 단계에 있다.

가. 국외 기술개발 동향

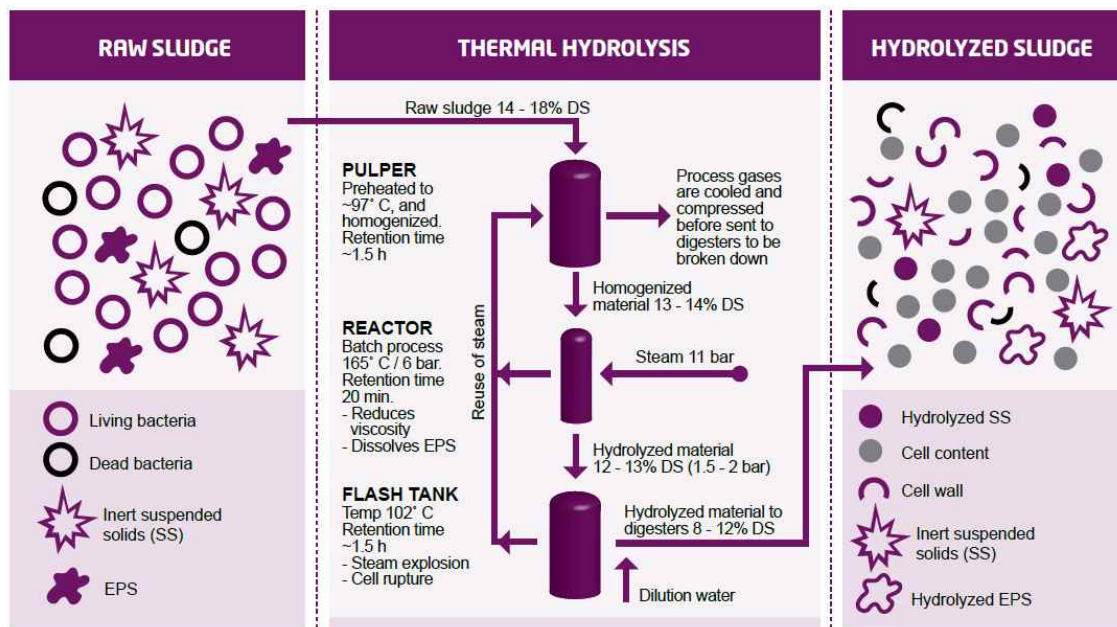
(1) 슬러지 감량화

슬러지 감량화 기술은 현재 전 세계적으로 산·알카리 처리, 열처리, 전자선 조사, 초음파/마이크로파처리, pulse power, 기계적 파괴 등 여러 방식의 가용화기술이 활발히 연구되어 지고 있다. 일본은 슬러지 전처리와 관련하여 가장 많은 특허를 보유하고 있으며, 전체적으로 화학적 전처리법 관련 특허가 주를 이루고 있다. 유럽은 이미 혐기성소화를 위한 가용화 기술로 많은 연계공정이 개발되어지고 있으며, 상용화 실적이 점차 증가 추세에 있다.

(가) Thermal hydrolysis(Cambi, THP)

열처리에 의한 가수분해 방법은 1970년대 후반에 많은 연구가 이루어졌으며, 초기에는 주로 열처리하여 가수분해 시킨 후 혐기소화를 위한 전처리 공정으로 개

발되었다. 따라서 혐기소화에 적합한 반응물을 생산하기 위한 최적 운전조건을 결정하는 연구들이 주로 이루어졌다. 이러한 지속적인 연구를 통해서 Porteous와 Zimpro(습식탄화)와 같은 상용화 공정으로 발전하게 되었다. 공정의 효율을 높이기 위해서 반응압력이 추가되고 산소와 같은 산화제 또는 산과 알칼리 및 무기염 등을 투입하는 공정으로 발전되었다. 효율이 증가하면서 가용화와 함께 다양한 적용이 가능하게 되었다. 열가수분해 기술은 유럽에서는 가장 상용화가 많이 된 가용화 및 감량화 기술로 공정은 3개의 vessel로 이루어져 있으며, 보통 2~6개의 reactor로 이루어져 있고 multiple batch control system을 이용해 교대로 주입과 배출이 이루어지고 고압의 과열증기를 이용하여 가온가압을 하여 반응조건 165℃, 6bar의 조건에서 감압을 통한 세포파괴로 가용화가 이루어진다. 탈수슬러지에 적용가능하며 혐기소화 효율을 높이기 위한 가용화에 많이 적용되었다.

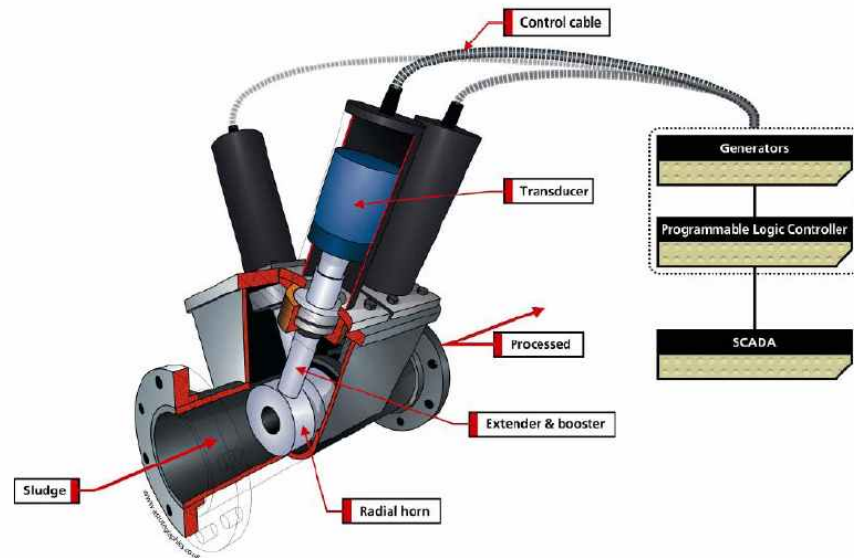


[그림 2-1] 열가수분해 기술의 특징

(나) 초음파 기술(SONIX, ULTRAWAVE, Ultrasound)

초음파 처리기술은 초음파 발생기(sonotrode)를 이용, 초음파의 cavitation 효과를 이용하여 세포를 파괴하여 혐기소화에서 쉽게 기질로 이용할 수 있도록 한다. 타 공법 대비 운전비용이 저렴하며 설치 및 운전이 간편하고 시설이 compact하다.

단 잉여활성슬러지에만 적용이 가능하고 해외에는 적용사례가 있는 반면 국내에는 아직 적용 사례가 없다.



[그림 2-2] 초음파기술의 개념도

(다) 기계적 가용화 및 감량화 기술

세포벽이 견딜 수 있는 한계 이상의 고에너지 장력, 압력 또는 회전력을 가하여 세포를 파괴하는 방법으로 Ball mill과 HPH(High Pressure Homogenizer) 등을 많이 사용한다. 부산물이나 부가적인 반응이 발생하지 않아 후속공정에 미치는 영향이 적은 장점이 있지만 운전 및 유지비용이 높고 가용화 및 탈수능이 크게 향상되지 않는 단점이 있다.

1) Microsludge(Paradigm)

화학적 처리와 기계적 처리가 혼합된 공정으로 염기성(NaOH) 전처리를 통해서 세포벽을 약하게 하고 점도를 낮추고 High shear mixer를 통해 기계적으로 파쇄하고 스크린을 통해서 입도가 큰 물질을 제거 한 후에 미생물파쇄기(Homogenizer)를 이용하여 급격한 압력 변화(827 bar)를 이용하여 세포를 파괴하여 가용화 한다. 가용화 효율이 높고 모듈식으로 설치용적이 매우 작고 기존시설에 적용이 간편하다. 상용화 실적은 캐나다의 vancouver의 2개, 미국 LA 한곳에 설치 운영 중이다.



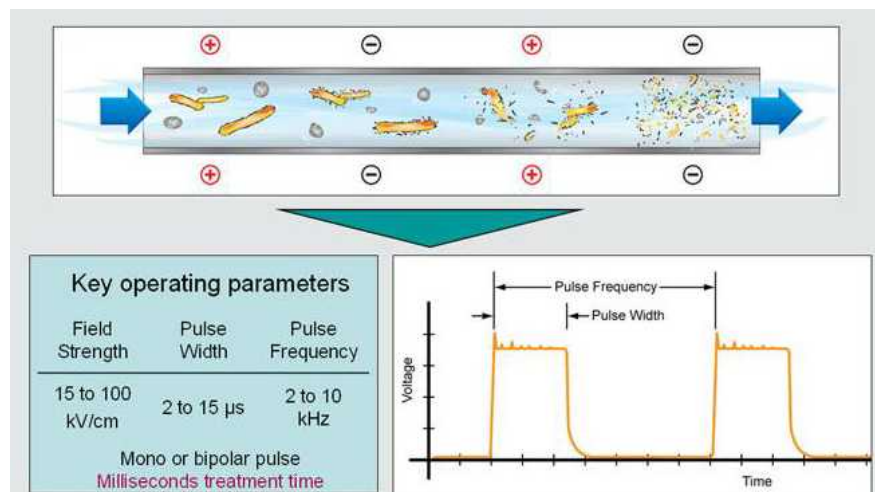
[그림 2-3] Microsludge 공정도

2) Crown disintegration system

독일의 Biogest사에서 개발한 기술로 벤투리 형태의 관에 슬러지를 고속으로 유입시켜 cavitation을 발생시켜 세포를 파괴하는 방법으로 초음파 기술과 원리는 동일하다. 2002년 독일에서 첫 상용화에 성공하여 유럽의 10개 지역에서 설치 작용 중이다.

(라) Pulse power를 이용한 기술(OpenCEL)

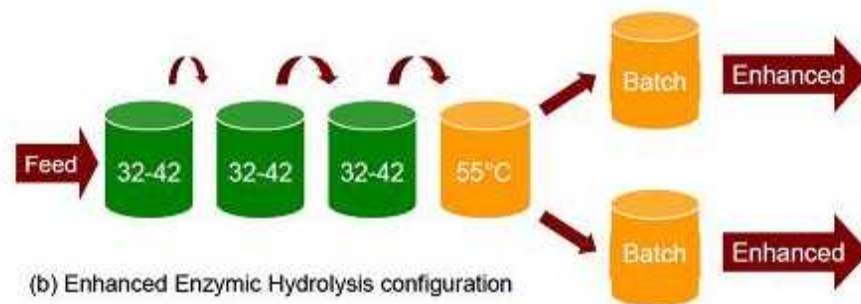
Pulsed Electric Fields(PEF)를 이용하여 세포벽을 파괴하고 고분자 유기물을 저분자 유기물로 가용화한다. 전체 세포의 표면이 음의 전하를 나타내어 적용이 가능하다. 잉여활성슬러지만 적용가능하며 미국 애리조나에 상용화 실적이 1개 있다. 기존의 시설에 적용이 간편하고 설치용적이 아주 적다.



[그림 2-4] Pulse power 이용 기술의 특징

(마) 생물학적 가용화 기술 (Enhanced Enzyme Hydrolysis(EEH))

2상 혐기소화에서 유래된 기술로 처음 3개의 반응기는 중온(42℃, HRT=1.5 day)으로 운전하고 후단의 반응기는 저온살균 단계로 고온(55℃, HRT=1.5 day)으로 운전하고 5, 6 반응기는 교대로 feed tank와 batch hold tank(5시간 혼합) 역할 수행으로 생물학적 가수분해를 이용하여 가용화를 통한 혐기소화 효율 증대 기술이다. 현재 11곳에서 상용화 시설이 운전되고 있다.



[그림 2-5] 생물학적 가용화 기술의 개념도

(바) 기타 기술

1) 초심층 습식산화 처리공법

초심층 습식산화기술은 네덜란드 Verthch사에서 개발한 기술로 농축슬러지를 물의 초임계 조건(218기압 이상, 온도 374℃이상)에서 산소와 반응시켜 유기물을 분해하는 공정으로 대기오염물질 발생이 없다. 요구되는 압력을 얻기 위해서는 약 2km 정도의 hole을 설치하여야 하지만, 일반 습식산화시설에 비하여 저온저압으로 시설이 간편하며 슬러지의 최종처리시설로 사용할 수 있다.

2) 화학적 처리공법

산 또는 알칼리를 이용한 화학적 처리 방법으로 하수슬러지와 같은 입자상 유기물의 가수분해 및 생분해도를 증가시키기 위하여 가장 많이 연구된 방법 중 하나로 가용화 효과는 산보다는 알칼리가 우수하며, 그 중에서도 가성소다가 가장 효과적인 것으로 보고되고 있다. 악취가 발생할 수 있으며 투입되는 화학약품에 의해 다른 난분해성 물질이 생성될 수 있다는 단점이 있다.

3) 오존 처리공법

유기물이 오존에 의한 직접반응과 오존이 분해하여 생성하는 OH라디칼에 의한 간접반응에 의하여 분해되는 원리를 이용한 처리공법이다. 오존처리는 병원성 세균 및 사상균을 사멸하는데 효과적이며 슬러지 침전성 및 탈수성 향상을 기대할 수 있고 분해할 수 있는 대상물질이 다양하며 약품소요가 없다. 그러나 화학반응에 의한 제2의 부산물 생성 및 낮은 경제성, 방해물질(scavenger)에 의해 효율이 저해를 받는 단점이 있다. 요즘은 오존보다 OH라디칼이 산화력이 높아 OH라디칼을 직접 생성 및 이용하는 방법이 연구되어 지고 있다.

(2) 슬러지 탈수 및 건조

슬러지의 탈수 및 건조 기술은 선진국이 우리나라보다 20년정도 빨리 연구가 시작되어서 원천기술을 모두 보유하고 있다. 먼저 탈수 기술을 살펴보면 기술의 원리가 확립되어 현재 산업현장에서 많이 사용되고 있는 탈수기는 벨트프레스(Belt press), 원심탈수기(Decanter), 스크류프레스(Screw press) 및 필터프레스(Filter press)가 사용되고 있다. 원심탈수기는 주로 독일의 HILLER 및 일본의 TOMOE 제품들이 주도하고 있으며 스크류프레스는 노르웨이의 ANDRITZ 제품이 국내 및 세계시장을 주도하고 있다. 전기탈수는 1960년대부터 연구되어지기 시작하여 본격적인 연구의 시작은 1970년도 후반에 호주의 국립연구소인 CSIRO에서 전기탈수에 대한 원리연구를 시작하였다. 그리하여 슬러지의 기계적 탈수의 한계를 극복할 수 있는 방안인 전기탈수방법의 원리가 제시되었고 Lockhart의 연구에서 고형분 입자와 수분의 전기장내의 이동현상을 비교적 상세하게 제시하면서부터 연구진행이 급속하게 발달하기 시작하였다. 그 후 Yosida가 비교적 간단하고 알기 쉽게 전기탈수 설계인자를 포함한 기본 연구장치를 제시하였고, Kondoh는 재래식 필터프레스에 부식성이 적은 전극소재를 이용하여 여포와 여판 사이에 삽입한 pressurized dlectroosmotic dehydrator(PED)를 개발하여 하수슬러지에 적용하였다. 최근의 연구 트렌드는 기존의 탈수방법의 효율을 높이기 위한 펌프 및 여과포 등의 부분품 개발 연구와 PED와 같이 다른 기술을 추가하여 복합적인 탈수방법의 개발이 많이 진행되어지고 있다.

건조기술도 크게는 저온진공건조, 열풍건조, 냉풍건조, 동결건조로 나뉘고 건조기 형식에 따라서 유동층 건조기, 드럼건조기, 쉘필름건조기, 디스크건조기, 패들건

조기로 나뉜다. 이러한 틀에서 열원과 열전달 효율 증가를 목적으로 한 연구가 지속적으로 진행되고 있다. 과열증기를 이용한 건조기는 50여년전에 독일에서 석탄 건조에 응용한 바 있으며, 스웨덴의 펄프건조용 간접가열식 건조기, 독일의 펄프건조용 고압 컨베이어 건조기, 호주 및 독일의 석탄 건조용 유동층 건조기, 덴마크의 펄프슬러지 건조용 유동층 건조기 등이 개발되었다. 슬러지 건조기술은 미국, 독일, 영국, 일본 등 선진국의 경우 약 30여년 전부터 연구개발을 추진하여 각종 건조기가 상용화되었으며, 독자모형을 확보하고 있다. 최근에는 미국, EU 국가 및 일본 등의 선진국을 중심으로 슬러지 처리공정 전체의 에너지절약 및 고성능화를 위해 기존의 슬러지 건조기에 대한 개량기술 개발을 추진하고, 각종 건조기 중에서 피건조물의 체류시간이 짧은 건조장치와 체류시간이 비료적 긴 건조장치를 조합하거나 액상 또는 슬러지를 입상으로 건조시키기 위한 간접가열 건조기와 직접가열 건조기의 조합시스템 등 복합기능 건조시스템이 개발되어 슬러지 건조분야에 적용되고 있다. 독일의 Humbolt GmbH에서는 원심분리기와 열풍건조기를 하나의 기계장치로 조합한 원심탈수 및 건조시스템을 개발하였다. 스위스의 Buss AG는 함수율이 높은 슬러지를 효과적으로 처리하기 위해 간접가열방식의 박막건조기와 디스크건조기를 조합한 복합시스템을 적용하였다. 미국의 Raymond Bartlett Snow Combustion Eng. Inc에서는 탈수슬러지를 건조슬러지와 혼합하여 함수율을 약 40%로 조절하여 파쇄 시킨 후, 파쇄된 슬러지 입자를 고속가스와 함께 기류시켜 건조시키는 시스템을 개발하였다.

(3) 슬러지 자원화 및 에너지화

외국의 경우 환경문제에 대한 인식에 비례하여 하수슬러지의 재활용 및 risk assessment에 대한 연구가 일찍부터 이루어져 왔기 때문에 그 활용률 및 재활용 기술 수준 또한 매우 높다. 일본의 경우 연간 230만톤의 하수슬러지가 발생되어 그 중 약 17만톤(7.4%)이 녹농지에 사용되고 있는데 이는 우리나라 하수슬러지 전체 재활용량 3.4만톤 보다 매우 높은 수준이며, 녹농지에 사용되는 양을 고려하면 비교할 수 없을 만큼 높은 수준으로 판단된다. 그리고 재활용되는 형태 또한 탈수케익, 건조슬러지, 퇴비화제품 등으로 매우 다양하여 그 활용률 및 경제적 가치를 향상시키고 있다. 미국의 경우에는 슬러지를 Bio-solids라고 명칭하면서 하수슬러지가 유기비료로 사용되고 있으며 퇴비화 과정을 거쳐 판매되고 있다. 이러한 과정으로

통하여 전체 하수슬러지 발생량의 약 30%를 농지이용으로 처리, 재활용하고 있는데, 이는 우리나라에서 1년에 발생하는 하수슬러지 양보다 많은 양이며, 인디애나주를 비롯한 8개주에서는 하수슬러지의 재활용률이 90%를 상회하고 있다. 유럽의 경우도 각국의 여건에 따라 조금씩 다르긴 하지만 하수슬러지의 녹농지 처분량이 10~50%로서 우리나라보다 매우 높으며, 해양매립 금지에 따른 슬러지 처리 및 재활용률을 높이기 위하여 다양한 재활용용도 및 적용기술 개발에 지속적인 투자가 이루어지고 있다. 또한 녹농지 및 산림에서의 유기물비료로서의 슬러지의 재활용은 그 효과 또한 입증되고 있다. 호주에서는 *Pinus radiata* 조림지에 30톤/ha의 하수슬러지를 처리한 경우 슬러지에서 서서히 용출된 질소와 인이 안정적으로 공급되었으며, 그에 따라 수목의 부피생장이 슬러지를 처리하지 않은 대조구에 비해 25% 증가하였다. 이러한 효과는 결국 목재로 사용하기 위한 조림수목의 생산기간을 단축시켜 조림지의 생산효율 및 수익률을 크게 향상시켰으며, 고가의 인공비료를 시비하지 않아 운영비 절감 및 친환경적인 조림지의 운영이 가능하게 되었다. 하수슬러지의 건조 및 연료화 기술은 일본이 앞서 있으며, 유럽은 독일의 EON사와 EnBW사가 화력발전소에서 슬러지를 각각 총 연료 사용량의 4~5%인 120톤/일, 200톤/일을 사용하고 있다. 하수슬러지의 건조, 고화, 용융, 탄화 등의 방법으로 연료화하여 생산된 제품은 녹농지, 시멘트, 철강, 발전소에서 연료로 활용하고 있다.

(가) 슬러지 고형연료화

1) 독일 (E.ON사와 EnBW사)

독일에서는 폐기물의 소각과 혼소에 관한 법령에 하수슬러지 연료 혼소규정을 두고 있으며, 석탄(역청탄) 화력발전소에서 보조연료로 활용한다.



[그림 2-6] 독일 하이브론의 EnBW 발전소(760 MW)

2) 일본

일본의 경우 자원의 유효이용 촉진에 관한 법률에 의하여 하수슬러지가 연료로 활용될 수 있는 제도적 기반을 갖추고 있다. (제조기준: 열량 2,000 kcal/kg 이상, 수분 10%이하, 회분 20% 이하)



[그림 2-7] 일본 나코노 발전소 슬러지 탄화연료 저장 및 공급 시설

가) 바이오연료(주)

동경전력이 슬러지 연료화 관련 회사를 만든 것으로, 동경하수도국에서 슬러지 탄화물을 생산하여 발전소의 연료(전체용량의 1%)로 사용하기 위하여 슬러지 탄화 설비를 건설 중에 있다. 연료는 도시가스를 사용하여 350~800℃까지 운전이 가능

하다. 그리고 발생된 탄화물의 발열량은 3,500 kcal/kg 정도 된다.

- 공정구성: 탈수슬러지(300톤/일, 76%) → 건조로(25%) → 탄화로(500℃) → 탄화물(27톤/일, 10%)

나) 신일철엔지니어링

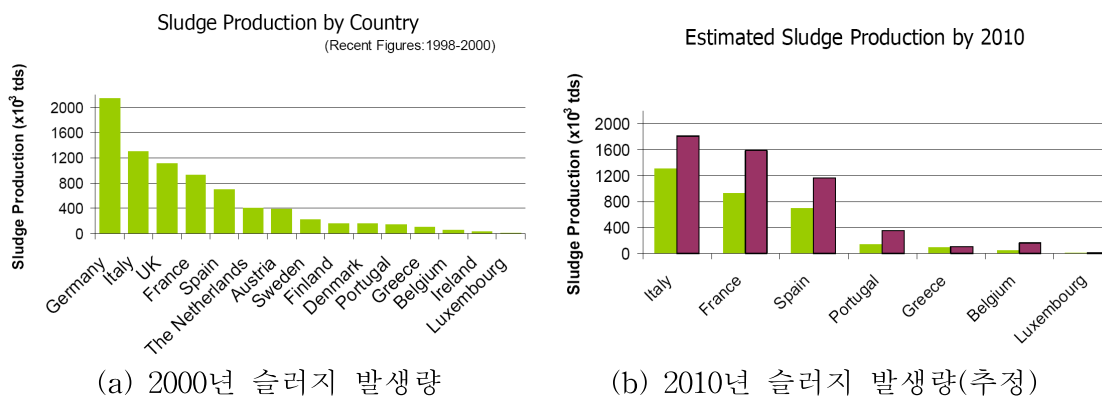
슬러지 연료화 연구과제를 하수도국과 공동으로 수행하여 기술개발을 하였으며, 생산된 하수슬러지를 신일철 야하다 발전소의 연료(전체사용량의 2%)로 사용한다. 슬러지탄의 발열량은 3,500~4,000 kcal/kg으로 가격은 2,000엔/톤에 판매를 하고 있다. COMBI 시스템은 2축믹서의 혼합작용에 의한 입상화 메커니즘과 횡형 건조드럼에 의한 직접열풍건조방식으로 함수율 80% 정도의 하수슬러지를 10%이하의 슬러지연료로 생산하는 기술로서 생산된 연료의 직경은 2~5mm 이다.

- 공정구성: 탈수슬러지(60~85%) → 2축믹서(혼합) → 횡형 건조기 → 건조물(20톤/일, 10%)

(나) 슬러지 가스화

1) 유럽

유럽에서도 하수슬러지 처리 문제가 대두되고 있는데, [그림 2-8]에 주요 국가에서 배출되는 하수슬러지 상황을 나타내었으며, <표 2-1>에는 주요 국가에서의 슬러지 처리 방법을 나타내었다.



[그림 2-8] 유럽 주요국가의 하수슬러지 발생량

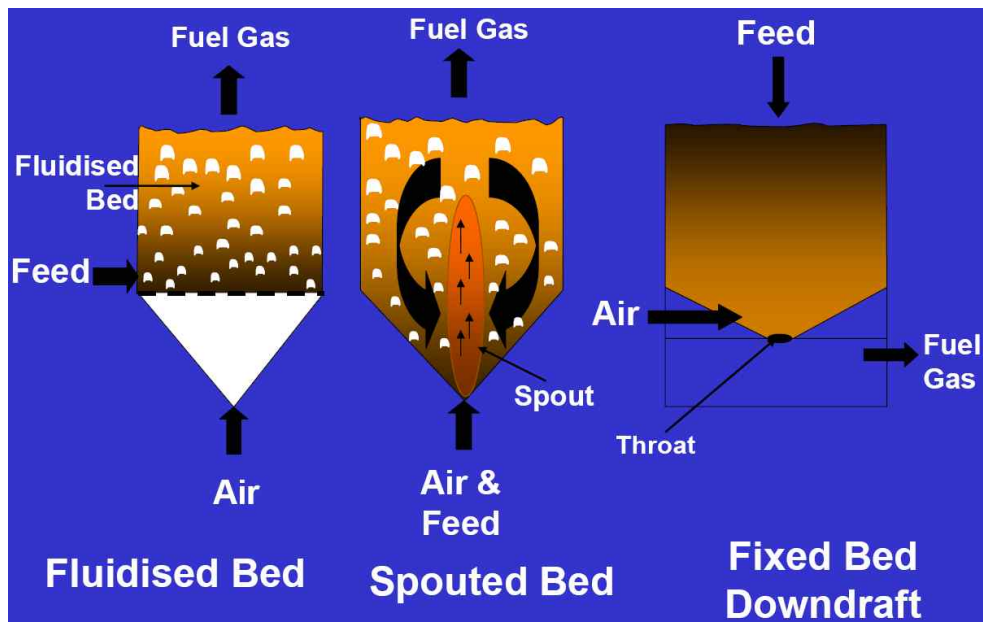
<표 2-1> 유럽 각국에서의 슬러지 처리 방법(TDS)

Country	Landfill	Agriculture	Incineration	Other
Spain	18391	460086	46851	5504
Austria	98700	44800	147600	102100
Portugal	90373	44000		12627
Luxembourg	5934	1170	1896	
UK	188853	577668	233289	111090
Denmark	13305	77115	32853	109463
Ireland	14944	3363		16177
The Netherlands	68000	110000	200000	23000
Sweden	101047	56294		45937
Italy	1053000	234000	13000	
France	67305	606695	255001	
Finland	14540	23820		121150
Greece	90000	6000		

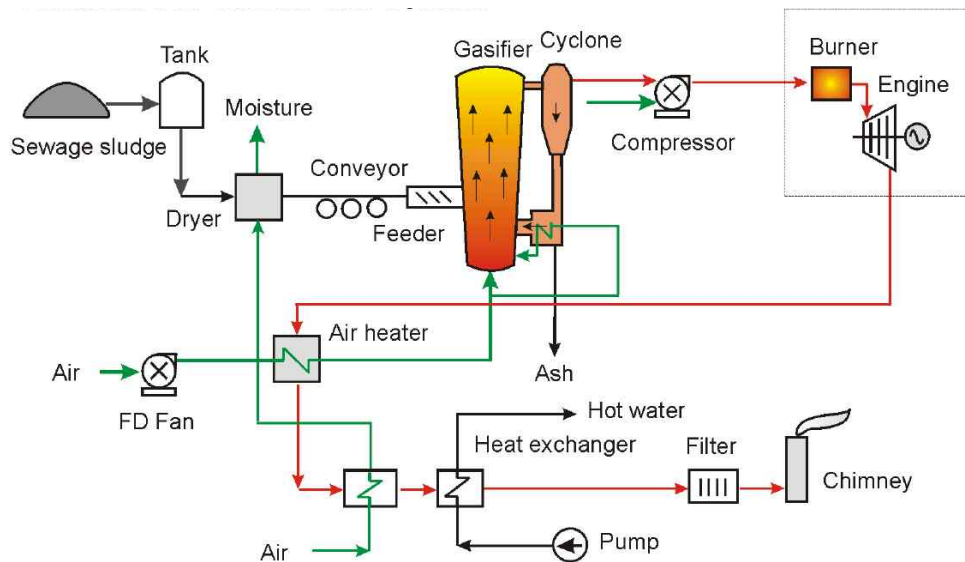
이에 따라 하수슬러지 처리방법으로 가스화하여 발생하는 연료가스를 이용한 열병합(CHP) 발전이 중요한 대안이 되고 있다. 이러한 가스화 및 열병합발전 공정 개발에 대한 연구를 영국의 ulster 대학에서 진행하였다.

Ulster 대학에서는 자체 개발한 simulator를 사용하여 3가지 가스화기 형태(Fixed bed, Fluidised bed, Spouted bed)와 슬러지만 100% 이용하는 경우뿐만 아니라, 석탄 20%, 목재 50%를 혼용 하는 경우에 대한 공정 성능 예측과 경제성 분석을 수행하였다.

[그림 2-9]에는 열병합(CHP)발전에 연구되는 슬러지 가스화기 종류를 간단하게 그림으로 나타내었으며, [그림 2-10]에는 열병합발전과 연계된 가스화 공정을 나타내었다.

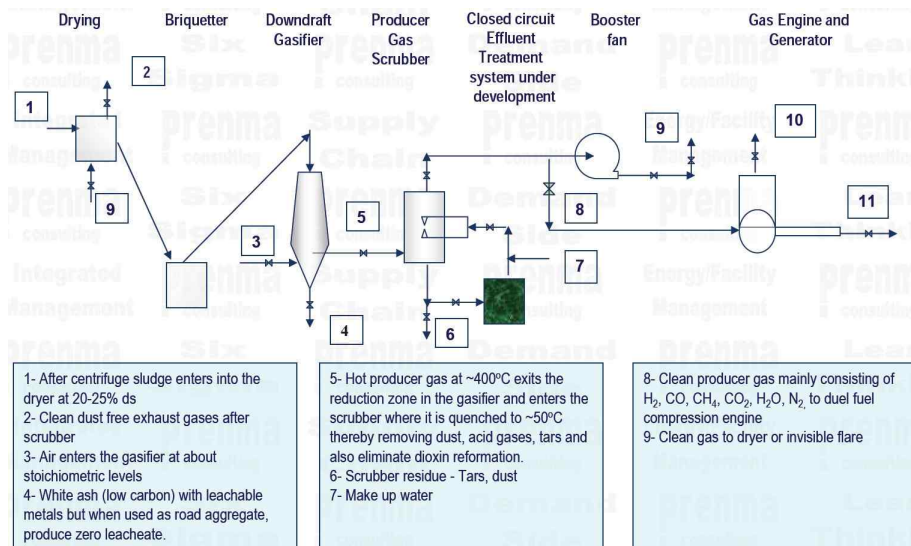


[그림 2-9] 열병합(CHP)발전에 연구되는 슬러지 가스화기 종류



[그림 2-10] 유동층 가스화기를 적용한 열병합발전 공정

그밖에 Proactive Energy Management사에서는 2005년에 쉽게 이동설치가 가능한 모듈형 250 kwe급 슬러지 건조/가스화/발전 설비를 개발하였으며, 이에 대한 홍보를 시작하였다. 다음의 [그림 2-11]에는 Proactive Energy Management사의 홍보자료에 있는 슬러지 건조/가스화/발전 공정을 나타내었다.

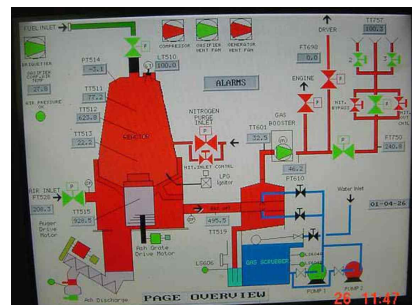


[그림 2-11] 250 kwe급 이동형 슬러지 건조/가스화/발전 공정도

[그림 2-12]에는 Proactive Energy Management사에서 실제 구축한 250 kwe급 이동형 슬러지 건조/가스화/발전 설비 모습을 나타내었는데, 적용한 가스화기 형태는 고정층 가스화기이며, 컨테이너를 사용하여 설비가 구성되어 쉽게 이동설치가 가능하도록 하였다.



(a) 고정층 가스화기 모습



(b) 운전화면



(d) 슬러지 건조/가스화/발전 설비 전경



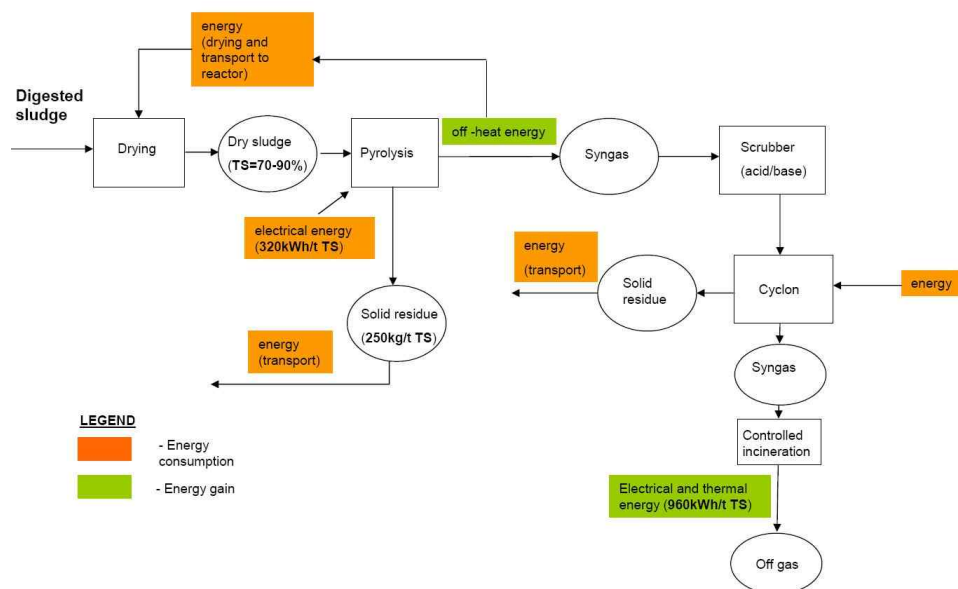
(d) 이동설치 모습

[그림 2-12] 모듈형 250 kwe급 슬러지 건조/가스화/발전 설비 모습

Proactive Energy Management사 설비에서 생산된 연료가스 조성은 수소가 8~12%, 일산화탄소가 12~18%, 메탄이 3~6%, 이산화탄소가 10~12%, 질소가 45~55% 정도이며, 이때의 연료가스의 발열량은 약 4.5~5.5 kJ/kg로 보고되고 있다.

또한 2009년에 발표된 덴마크에서는 고온열분해 기술을 적용하는 넵툰(Neptune) 프로젝트를 통하여 슬러지를 처리방법에 대한 연구를 진행하였는데, 고온열분해 기술은 1000℃ 이상 조건에서 산소의 공급 없이 직접 열분해하여 연료가스를 생성하는 기술이다.

다음의 [그림 2-13]에는 넵툰(Neptune) 프로젝트의 고온 열분해 공정에 대한 공정도를 간단히 나타내었으며, [그림 2-14]에는 실제 구축된 pilot 시험설비 모습을 나타내었다.



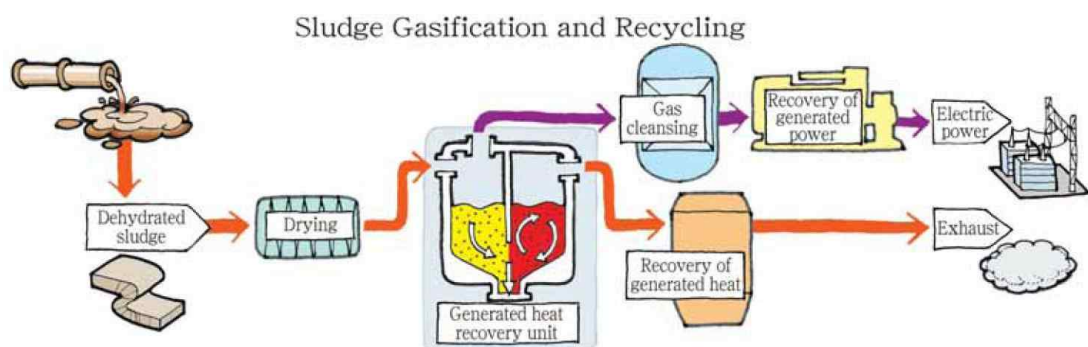
[그림 2-13] Neptune 프로젝트 고온열분해공정



[그림 2-14] Neptune 프로젝트 고온열분해 pilot 플랜트

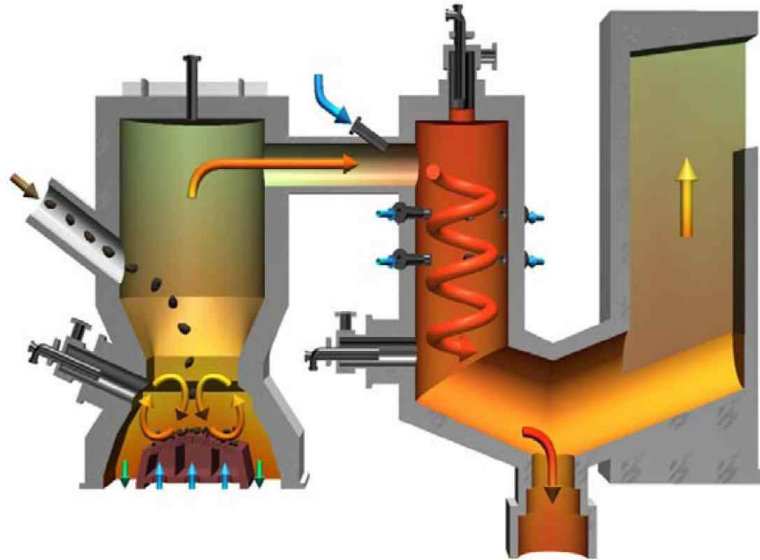
2) 일본

일본의 에바라(EBARA) 엔지니어링사에서는 sustainable society라는 모토를 가지고 지역사회 내에서 발생하는 폐기물 및 폐자원을 다시 재순환하여 사용하는 것에 대하여 홍보하고 있다. 이를 살펴보면 폐기물 및 폐자원을 가스화기술을 적용하여 전기나 열에너지를 만들거나, 화학원료 같은 생산물을 만들어서 지역 사회에 재사용하는 계획을 가지고 있다. 그중에서도 가스화 원료물질로 슬러지를 사용하는 경우의 공정 개념도를 다음의 [그림 2-15]에 나타내었다.



[그림 2-15] EBARA 슬러지 가스화 시스템 공정개념도

여기서 적용되는 가스화 기술은 EBARA사에서 TwinRec으로 명명된 유동층가
스화기 기술이며, [그림 2-16]에 가스화기와 용융반응기 형상을 나타내었다.



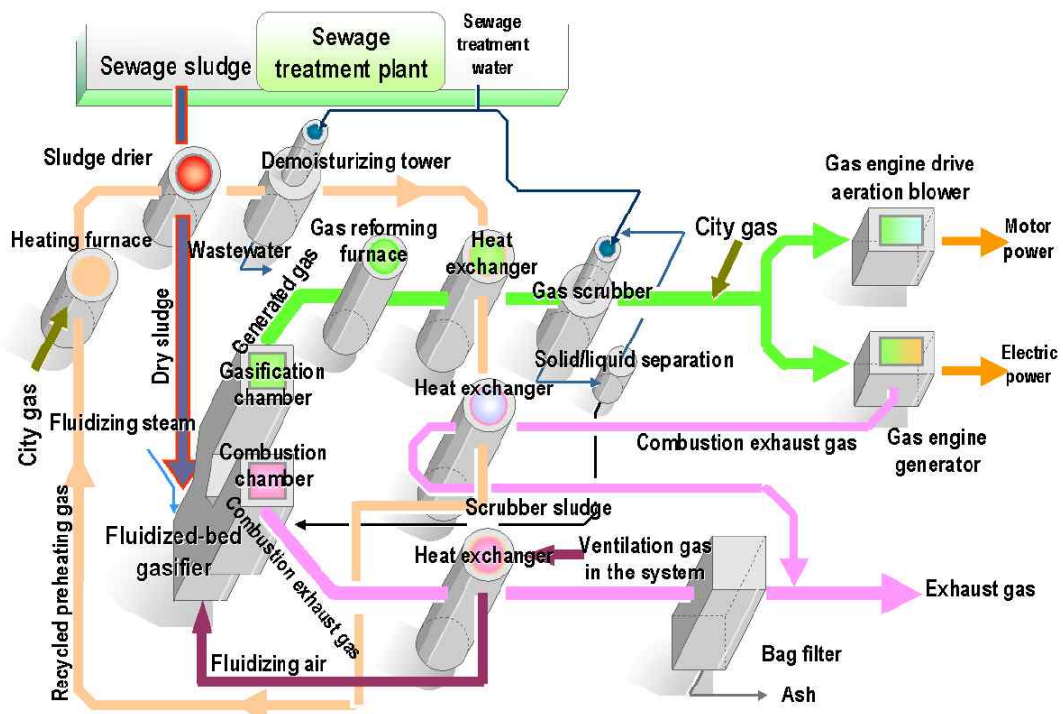
[그림 2-16] TwinRec 반응기 형상

TwinRec에서 가스화기는 500~600℃에서 운전되며, 제조된 연료가스 및 비산
회재는 용융로 상부에서 집선방향으로 공급된다. 연료가스는 1350~1450℃에서 연
소되고 비산 회재를 용융시키게 된다.

그밖에 타쿠마(TAKUMA)사에서는 15 ton/day 규모의 유동층 가스화 실증설
비를 NEDO, TOKYO Gas 사와 공동으로 개발하여 2005년에 3,400시간 실증운전
을 진행하였다. 또한 2006년에는 1,750톤의 하수슬러지를 처리를 진행하였다.

유동층 가스화 실증설비에 공급한 슬러지의 함수율은 20% 정도이다. 가스화
기술로 유동층 가스화기를 적용하였으며 650~750℃ 조건에서 가스화 및 열분해를
진행한 다음에, gas reforming furnace를 사용하여 800~900℃ 조건에서 안정된 연
료가스를 생산한 다음 발전설비를 이용하여 전기 생산 실증을 진행하였다.

[그림 2-17]에는 15톤/일급 슬러지 유동층 가스화/전기생산 실증설비 공정도를
나타내었고, [그림 2-18]에는 15톤/일급 슬러지 유동층 가스화/전기생산 실증설비
모습을 나타내었다.



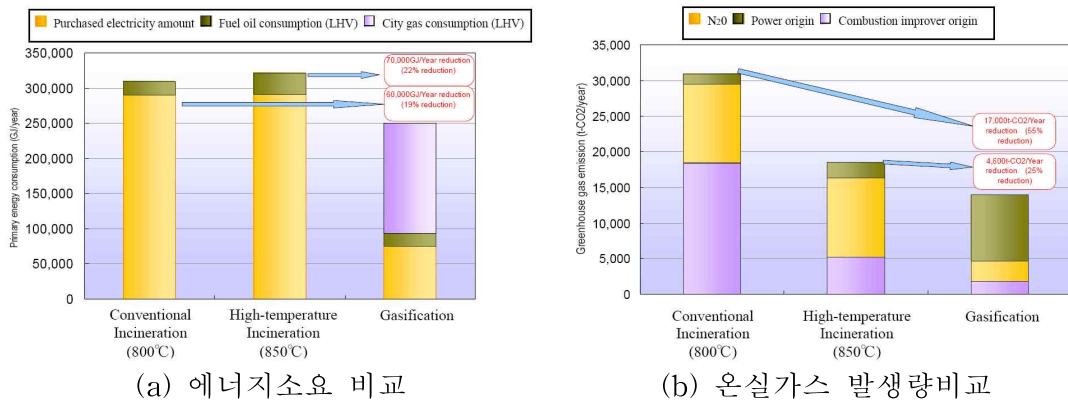
[그림 2-17] 15톤/일급 슬러지 유동층 가스화/전기생산 실증설비 공정도



[그림 2-18] 15톤/일급 슬러지 유동층 가스화/전기생산 실증설비 모습

[그림 2-19]에는 15톤/일급 슬러지 유동층 가스화/전기생산 실증설비운전을 통해 슬러리를 소각하는 경우와 가스화하는 경우에서 보조에너지 소요량과 온실가스

발생량을 비교한 결과를 나타내었다. 슬러지를 가스화하여 전기를 생산하는 방식을 적용하면 800 ℃에서 소각하는 경우보다 19%정도 에너지가 절약되며, 850 ℃에서 소각하는 경우보다 22%정도 에너지가 절약되는 것으로 파악되었다. 또한 온실가스 발생측면에서도 800 ℃에서 소각하는 경우보다 55%, 850 ℃에서 소각하는 경우보다 25% 적게 발생되는 것으로 파악되었다.

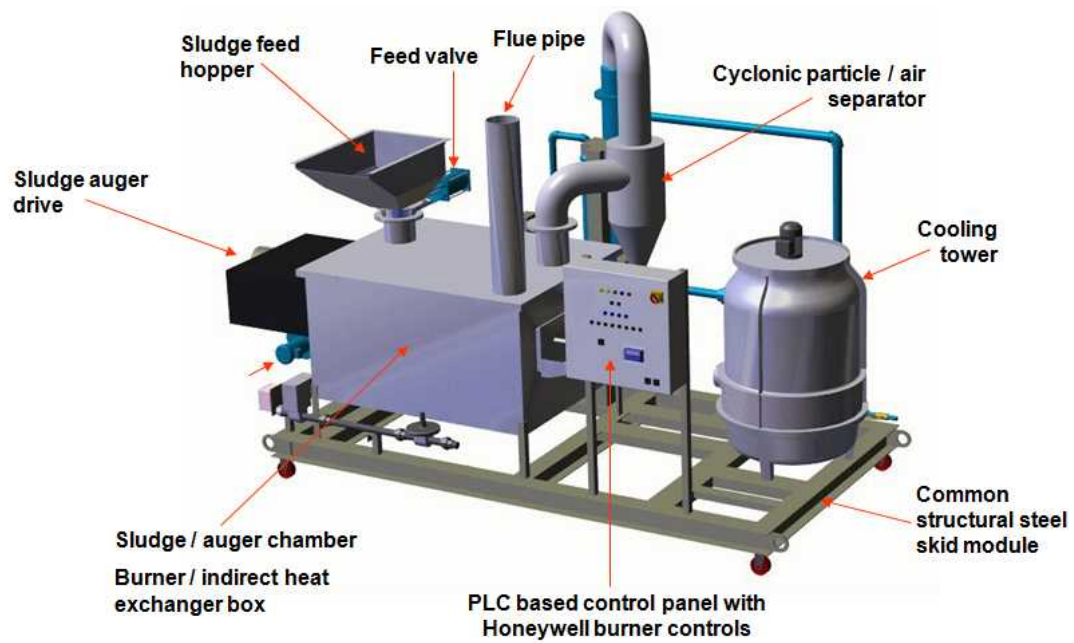


[그림 2-19] 유럽 주요국가의 하수슬러지 발생량

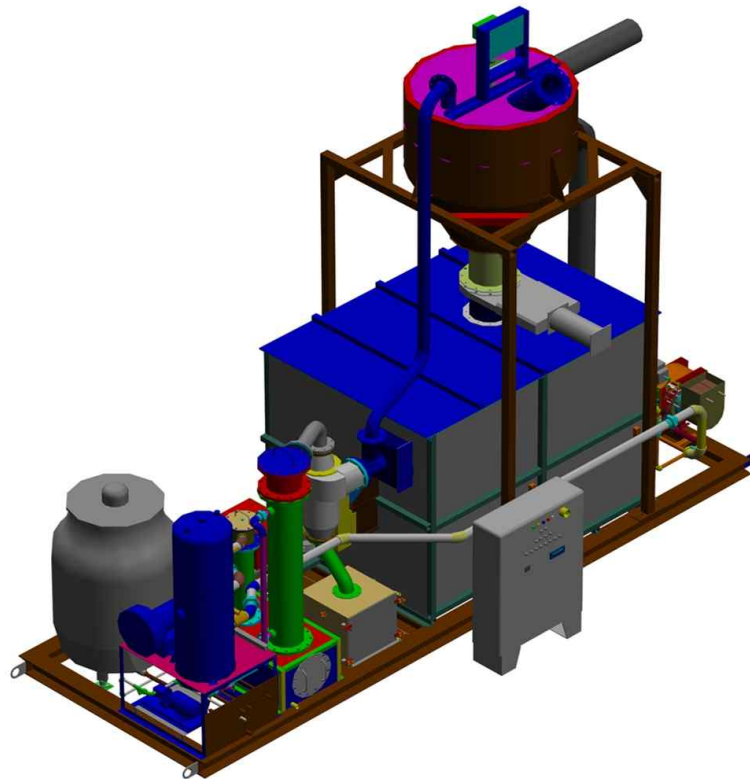
3) 미국

미국의 American Combustion Technologies, Inc.에서는 슬러지와 같은 폐기물을 가스화하여 연료가스를 제조하고 이를 다시 액화하는 연구를 진행하고 있다. 다음의 [그림 2-20]에는 3D로 구현된 American Combustion Technologies사의 슬러지 건조시스템 모습을 나타내었고, [그림 2-21]에는 건조시스템에 연계된 가스화 시스템 모습을 나타내었다.

[그림 2-22]에는 실제 제작된 슬러지 건조/가스화 pilot 시스템 모습을 보여주고 있는데, 시간당 750 파운드(340 kg)의 슬러지를 처리할 수 있으며, 대략적인 설비의 전체크기는 폭이 8 feet, 길이가 10 feet, 높이가 8 feet 정도이다. 또한 American Combustion Technologies사 홍보자료에 의하면 구성된 설비 운전시 소요되는 연료비용은 시간당 1.4 달러로 제시하고 있다.



[그림 2-20] American Combustion Technologies사의 슬러지 건조 시스템



[그림 2-21] American Combustion Technologies사의 슬러지 건조/가스화 시스템



[그림 2-22] 제작된 슬러지 건조/가스화 시스템 모습

(4) 슬러지 재활용

철강슬래그의 재활용은 영국, 독일 등 유럽국가에서 일찍이 개발되었으며, 영국에서 부두건설이나, 단순 골재 및 블록을 제조하는 기술이 제안되었다. 특히 일본의 경우 슬래그의 재처리율 및 용도 개발에서 가장 앞서고 있다. 따라서 고등기술 연구원에서 기존에 수행한 연구보고서 내용에서 일본의 슬래그 재활용 현황에 대한 조사를 정리하였다.

일본의 경우 지난 1999년 후생성에서는 용융고화는 소각재 등의 폐기물에 가열하여 1200℃ 이상의 고온조건에서 유기물을 연소한 후, 무기물은 용융되어 냉각되는 고화물이라고 정의하였으며, 용출기준에 만족한다면 노반재 (노상재, 하층 노반재, 상층 노반재 등), 콘크리트용 골재, 아스팔트혼합물용 골재, 매립 복토재, 콘크리트용 2차 제품재료(보도용 블록, 공동 블록, 투수성 블록 등)다음의 용도로 사용할 수 있다고 고시하였다.

<표 2-2> 일본의 용융 슬래그 이용 기준

항목	용출 기준
카드뮴	0.01 mg/l 이하
납	0.01 mg/l 이하
육가 크롬	0.05 mg/l 이하
비소	0.01 mg/l 이하
총수은	0.005 mg/l 이하
셀레늄	0.01 mg/l 이하

특히, 폐기물의 용융 설비가 가장 많이 가동 되고 있는 일본에서의 용융 슬래그 재활용 사례를 보면 다음과 같다

(가) 쓰레기 용융 슬래그를 포장 재료로 재활용

대량의 용융 슬래그 처리가 문제가 되는 것에 대응한 것으로, 아스팔트 혼합재의 제조플랜트를 활용하여 포장재의 10%정도에 용융 슬래그를 재이용하는 것이다. 용융 슬래그를 포장재로 채용한 시험포장을 개시, 괴상의 냉각 슬래그 및 모래상의 수쇄 슬래그를 파쇄기로 가공, 천연모래를 대체하는 아스팔트 혼합물용 세골재로서 재활용하는 기술로서 시험 시공에서 강도 등의 문제가 없는 것을 확인되었다.

(나) 폐기물이용 투수 세라믹 포장재

도시쓰레기 등 폐기물을 주원료로 하는 투수성 세라믹 포장재로서 원료에 타일 폐재 및 도시쓰레기 및 하수오니의 용융 결정화 슬래그를 사용하여 폐기물의 유효 이용 하는 방법이다. 장점으로는 투수성이 종래의 콘크리트 블록의 2배이고, 우천시의 빗물 고임문제를 해결할 수 있으며, 1㎡당 12ℓ 이상의 우수한 보수성을 갖기 때문에 포장 면에의 태양빛 반사에 의한 열섬 현상을 억제하며, 더욱이 지금까지의 폐기물 재활용 블록의 약점인 강도에 대해서도 일반적인 콘크리트 블록의 3배의 강도를 갖는다.

(다) 토사와 소각장의 슬래그를 이용한 투수성 블록개발

용융로에서 나오는 슬래그를 시멘트 및 토사와 혼합하여 소성한 투수성 블록으로 투수성이 높아, 인터로킹 블록이나 평판블록으로 사용될 수 있다. 시멘트, 토사, 슬래그에 독자의 첨가제(바인더)를 혼합하여 소성한 블록으로, 투수성이 있으면서

압축강도가 1cm²당 200-250kg으로 시멘트만큼의 강도와 저가화를 실현하였다. 입자의 간극이 많은 토사를 사용하여 투수성을 높여, 빗물이 포장면으로부터 직접 지하에 침투하므로 노면의 유수방지 및 지하수의 함양에 유용하다. 주차장 등의 복사열방지 및 흡음성이 있어 자동차의 소음방지 효과도 있다.

(라) 쓰레기 이용 포장(鋪裝)재

쓰레기나 하수오니로 부터 생성한 용융 슬래그를 주원료로 한 포장용 세라믹 블록 투수성과 보수성이 우수하여, 우수의 유효이용이나 인공적인 열이 많은 대도시에서 기온강하가 어렵게 되는 "열섬 현상"의 억제에 효과가 있다. 여름에는 물을 뿌리면 블록이 일시적으로 보수능력으로, 서서히 증발시키므로 주변의 기온상승을 억제하는 것도 가능하다.

(마) 기타 이용

도시 쓰레기소각로에서 발생하는 소각재를 용융 처리한 후에 생기는 슬래그를 지반의 액상화 대책공사에 활용하는 기술로 천연 쇄석을 사용하는 종래방법에 비하여 공사비를 5-15% 삭감할 수 있다. 지반에 투수성이 좋은 쇄석으로 만든 배수기둥을 설치, 지진 발생시에 지중의 수압상승을 억제, 지반이 액상화 하는 것을 막는다.

또한 일본의 폐기물 연구 재단 연구에서는 콘크리트 골재의 대용으로 실험한 결과 세골재의 50%, 조골재의 50%를 용융 슬래그로 대체하였을 경우, 양생 7일은 기준(모래, 쇄석)의 69%, 양생 28일의 경우 54%를 나타냈으며, 골재를 완전히 대체하였을 경우 각각 46%, 34%를 나타냈다.

<표 2-3> 슬래그를 콘크리트 골재 대용 사용시의 압축강도 특성 비교

콘크리트 종류	압축강도(kgf/m ²)		기준 대비 성능		혼합 비율(%)	
	양생 7일	양생 28일	양생 7일	양생 28일	세골재	조골재
기준	433	531	100	100	0	0
1	298	289	69	54	50	50
2	198	182	46	34	100	100
3	290	297	67	53	100	0
4	294	283	68	53	0	100

콘크리트 평판의 휨강도 시험결과 모든 골재를 슬래그로 대체하였을 경우가 기준 콘크리트의 51%로 현저히 낮게 나타났으며, 이를 제외한 모든 경우에서 JIS A 5304기준인 1200kgf 보다 높은 수치를 나타내고 있다.

<표 2-4> 슬래그를 콘크리트 골재 대용 사용시의 휨 강도 특성 비교

콘크리트 종류	평판의 꺾임 강도(kgf)	기준 대비 성능 %	혼합 비율(%)	
			세골재	조골재
기준	2108	100	0	0
1	1442	68	50	50
2	1078	51	100	100
3	1447	69	100	0
4	1595	76	0	100

나. 국내 기술개발 동향

국내의 슬러지 처리 기술 동향을 살펴보면 유기성슬러지 고형연료화 기술은 외부 에너지비용 최소화, 다른 기술에 비해 연료로서의 높은 가치, 여타 재활용 기술에 비해 적은 부작용, 하수처리장 내에서 직접적인 처리가능 등 여러 장점에도 불구하고 아직까지 연구개발 성과가 미비한 상태임. 과거, 건양대학교에서 하수슬러지의 고형 연료화 기술개발을 추진하였으나 슬러지 자체의 열량부족으로 인해 사업화에 성공하지 못하였다. 고형연료화 기술 중 탄화기술의 경우 국내 기술보유업체로는 한국하이테크, 비츠테크, 썬즈, 아이이아이, 보성엔비텍, 월드이노텍 등이 있으며, 2011년 이후 충남지역에서 161톤/일의 슬러지를 처리할 계획을 세우는 등 비중이 점차 확대될 것으로 예상된다.

건조/고화기술은 조이환경, 포스코건설 등이 기술을 보유하고 있으며, 슬러지 연료를 CDM 사업에 참여시키고 탄화기술에 비해 열량이 우수한 점 등으로 인하여 점차 발전소 등의 혼소연료로 사용이 가능하게 되면서 활성화가 될 것으로 예상된다. 건조/가스화 에너지 이용기술은 건조기가 설치된 하수슬러지 처리장 등을 대상으로 개발이 되고 있으며 슬러지 건조열원으로 사용이 가능한 장점으로 추진되고 있으며 잔재물의 재활용도 검토되고 있어 기존 슬러지 건조처리시설이 있는 하수

처리장과 신규 슬러지 처리시설을 검토하는 하수처리장에서도 확대 적용될 것으로 판단된다. 건류탄화는 1990년대 말에 일본에서 국내에 도입되어, 국내의 주요 기술 개발 업체로는 한국하이테크가 있으며 2004년에 환경신기술로 지정되었으며, 현재 상용화된 플랜트 실적은 없다 (20ton/day 이하의 실증 플랜트 보유). 혼합연료화는 1990년대 말부터 국내 기술 개발 시작되어 국내의 주요 기술 개발 업체로는 조이 환경에너지가 있으며 2001년에 환경신기술인증을 받았다. 현재 상용화된 플랜트 실적은 미비 (5ton/day 이하의 실증 플랜트 보유)

유온감압처리는 1998년에 일본의 삼조유기리사이클에서 시작하여 2001년에 50 m³/day 규모의 실증화 사업을 시작하였다. 2000년초에 대경기계기술에서 국산화가 진행되었으나 회사부도로 사업화가 중단되었다. 현재 일부 연구기관에서 연구개발 수준의 진행이 이루어지고 있다. 건조 방법 중 가장 빠르고 건조효율이 높으나 생성물에 잔류하는 기름의 함량이 높아 사용처가 한정되어 있다.

<표 2-5> 국내 상업화된 슬러지 처리 및 자원화 기술

기술분야	기술명	업체명
고화	하수슬러지 건조 고화기술	(주)포스코건설
	하수슬러지를 발효, 고형화하여 매립지 복토재를 제조하는 기술	홍진씨엔텍(주)
	내부발열 소결법을 이용한 하수슬러지 경량골재 자원화 기술	(주)네오이엔비, (주)화오이엔비
	수화열 공법을 이용한 슬러지 가공원료 시멘트 부원료 생산기술	(주)아주글로벌
	하수슬러지를 이용하여 건조, 성형, 소성과정을 거쳐 인공경량골재로 자원화하는 설비시스템에 대한 기술	(주)토정
	하수슬러지의 경량골재 자원화 기술	(주)다올 환경기술
건조	슬러지 처리를 위한 탈수 및 건조복합처리 시스템	(주)에코셋
	파쇄 및 다단 건조상을 이용한 하수슬러지 건조기술	(주)한틀산업
	이젝터 기술의 저온진공건조 시스템을 이용한 하수슬러지 완전건조기술	(주)드림바이오넷
	하수슬러지 건조 자원화	(주)수테크
	순환 건조시스템	두산건설(주)
	한술 슬러지 건조기술	한술이엠이(주)
	유동상 건조기술을 이용한 하수 슬러지 자원화	(주)화이텔엔지니어링
	수평박막식 슬러지건조기	(주)화일씨엔이
	증기폭쇄를 이용한 다목적 폐기물 재활용시설	(주)한술이엠이
	청정 열풍을 이용한 하수슬러지 건조 자원화 설비 (청정로)	(주)보성DSK
	하수슬러지와 스펀레스 분화슬래그를 혼합하여 열풍회전 3PASS 건조장치와 양생 Silo를 이용한 시멘트 원료화 기술	(주)포스코건설
	Viro Sewage TM Technology	(주)지오인바이로텍

<표 2-5> 국내 상업화된 슬러지 처리 및 자원화 기술 (계속)

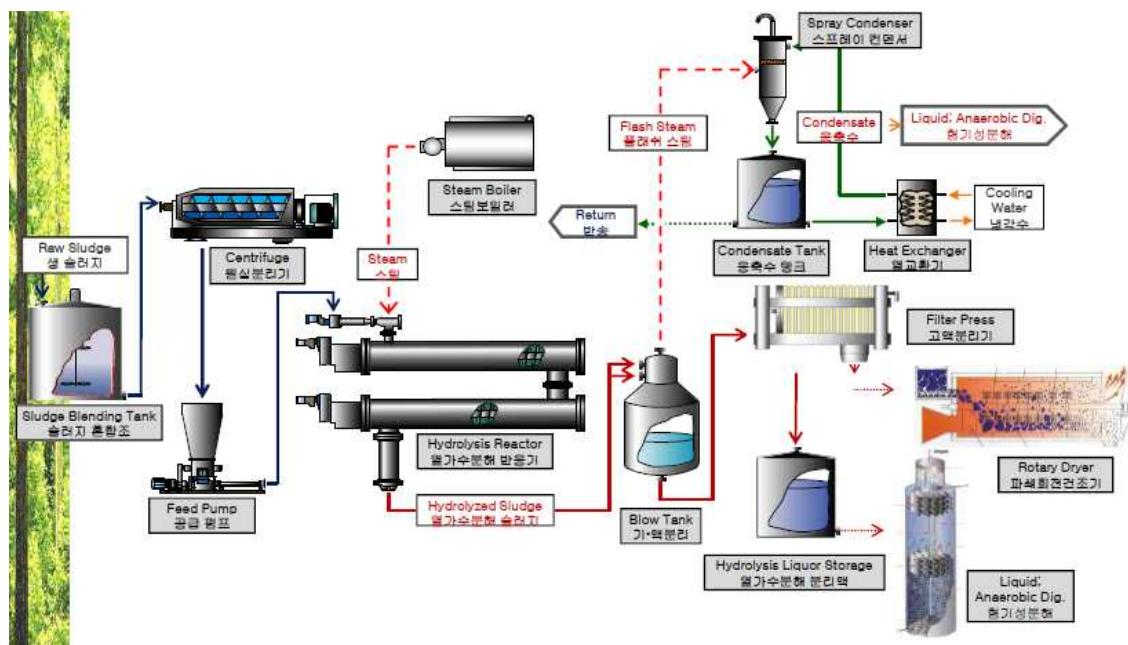
기술분야	기술명	업체명
용융	유동제어판을 적용한 건조 하수슬러지 선회용융 기술	(주)고등기술연구원 (주)대우건설
소각	한솔 유동층 슬러지 소각기술	한솔이엠이(주)
감량화	오존 분해기술을 이용한 슬러지 자원화 및 감량화 기술	엔바이로텍(주) KIST
	오존처리 및 가성소다를 이용 슬러지를 분해시키고 호기성소화 및 침지식 평막을 결합한 하수슬러지 저감기술	제닉스ENG(주) (주)태영
	고압구동방식 벨트프레스 (하수슬러지용)	한국탈수기(주)
	S-TE Process	(주)수환경R&D
	공기이송건조를 이용한 슬러지의 감량화 기술	(주)리엔텍엔지니어링
	고효율 생물반응기(ER-1)을 이용한 하수슬러지의 호기성소화 감량화 및 건조·고화 전처리기술	(주)에코데이
	초음파를 이용한 슬러지 감량 및 바이오가스 증산기술	울트라텍
연료화	하수슬러지와 석탄을 혼합한 연료 제조기술	(주)조이환경에너지 한라산업개발(주)
	하수슬러지의 2차 탈수 및 RPF 연료화 기술	(주)리젠스
	하수슬러지의 전기침투 탈수와 잔연통기건조 및 고형화기술	(주)리젠스
	하수슬러지 고형연료화 기술	(주)포스코건설
퇴비화	무침가형 하수슬러지 퇴비화 기술 (HSC 공법)	현대ENG(주)
	퇴비화기술	(주)지오인바이로텍
	원심박막 건조기를 이용한 감량화 및 퇴비화	(주)비츠로시스
	지렁이를 이용한 하수슬러지 처리 자동화대형화 시스템 (HIDETMVCOMTM)	(주)하이드
	무침가식 슬러지 부숙화 기술 (HSC 공법)	(주)하이드
탄화	하수슬러지 연속 탄화설비	한국하이테크(주)
	유기슬러지 탄화기술	(주)월드이노텍

(1) 슬러지 가용화 및 감량화

국내 슬러지 가용화 및 감량화 기술 개발은 최근 유기성폐기물 처리에 혐기소화가 많은 관심을 받으면서 마이크로웨이브, 초음파, cavitation, pulse power, 전자빔 등 다양한 기술을 응용한 가용화 및 감량화 기술 개발이 활발히 진행되어지고 있다. 그러나 대부분 학계를 중심으로한 실험실 규모의 반응성 확인 정도의 연구가 대부분으로 아직 상용화 기술의 개발 실적은 미비한 실정이다. 현재 상용화에 성공한 가용화 및 감량화 기술은 아래와 같다.

(가) HYDRO-TECH((주)케이벡코리아)

탈수한 슬러지(TS 20%)를 저임계 온도, 압력(160~180℃, 8~13kg/cm², 반응시간 60~120분)의 스팀과 기계적인 교반에 의한 연속적인 공정으로 열가수분해시켜 저분자 유기물로 전환시키고 탈수효율을 증대시킴으로써 슬러지를 감량화하는 기술이며 최종 슬러지 케익은 에너지원(고형연료화), 매립 복토재로 재활용하고, 가수분해여액은 고속 액상 혐기성 분해로 공정기간을 단축하고 생성된 바이오가스를 에너지화하는 기술이다. 원천기술은 미국의 CH2MHILL의 기술이고 상용화 실적은 아직 없고 현재 서남물재생센터 내에 25 ton/day의 실증 plant 보유하고 있다.



[그림 2-23] HYDRO-TECH 공정도

(나) 열교환 가수분해(코리아워터텍(주))

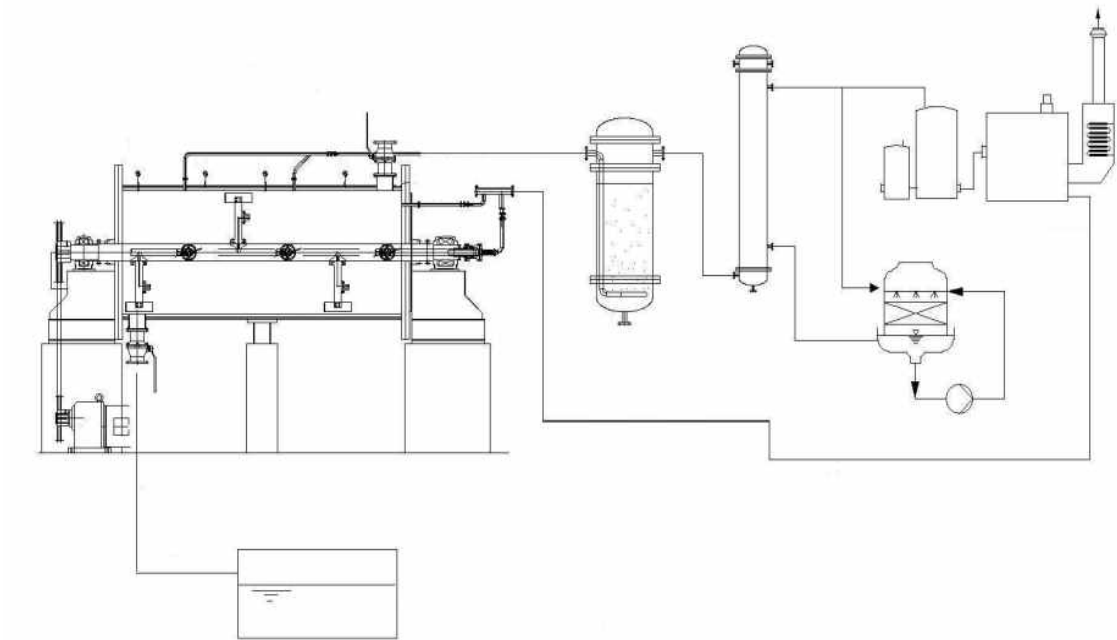
접촉 열교환과 증기 열교환 방식을 채용하여 승온하고 고온 구간만 증기로 직접 가열하여 가수분해 에너지 절감이 가능한 기술개발 하였다. 반응조건은 210℃, 20기압이고 증기를 이용한 직접 가열의 단점인 에너지 다소비 및 응축수에 의한 반응생성물 부피 증가로 인한 후처리 설비의 크기 증가 문제를 보완한 기술이다. 아직 상용화 실적은 없다.



[그림 2-24] 열교환 가수분해 공정도

(다) 열가수분해(고등기술연구원)

국내 열가수분해의 원천 특허를 보유한 고등기술연구원은 5년 동안의 연구를 바탕으로 순수 국내기술로 연속운전이 가능한 연속형 열가수분해 장치를 2가지 형태(PFR 형 loop 반응기, Swing 방식의 2 vessel 반응기)로 개발하였다. 현재 1 ton/day pilot plant를 30일 이상 연속운전 실험에 성공하였고 환경부 실증화 과제를 진행하여 10 ton/day의 실증 plant를 건설 중에 있다.



[그림 2-26] 열가수분해 공정도 (지이테크)

(2) 슬러지 탈수 및 건조

일반적으로 슬러지의 건조는 함수율이 높은 슬러지의 특성 때문에 대부분 간접 가열방식인 디스크건조기, 패들건조기, 스크류건조기, 교반건조기 등이 적용되고 있으며, 직접가열방식으로는 함수율을 조절하여 회전건조기, 유동층건조기, 기류건조기 등이 일부 적용되고 있다. 국내의 슬러지 건조기술 분야는 다양한 건조대상물의 물리, 화학적 특성에 관한 자료가 부족하고 시스템내의 복잡한 유동 및 물질전달에 대한 해석의 어려움으로 인하여 제작업체의 경험과 모방설계에 의해 제작되고 있다. 따라서 주요 설계기술, 핵심요소기술 및 제어기술 등은 미국, 일본 및 독일 등 선진국의 기술도입에 의존하고 있는 실정이다. 특히 건조기술의 국외설계가 약 34%, 국외제작이 37% 정도를 차지하고 있어 기술의 해외의존도가 비교적 높다. 국내 슬러지 건조기술에 대한 연구개발의 역사는 매우 짧고 체계적인 연구개발이 추진되지 못하였으며, 약 10여년 전부터 환경부와 지경부 등을 중심으로 건조장치 고 효율화 및 소각공정과의 연계 시스템에 관한 연구가 진행되면서 본격적인 연구가 진행되었다. 특히 출연연구소(KIMM, KIER) 및 환경설비 제작업체를 중심으로

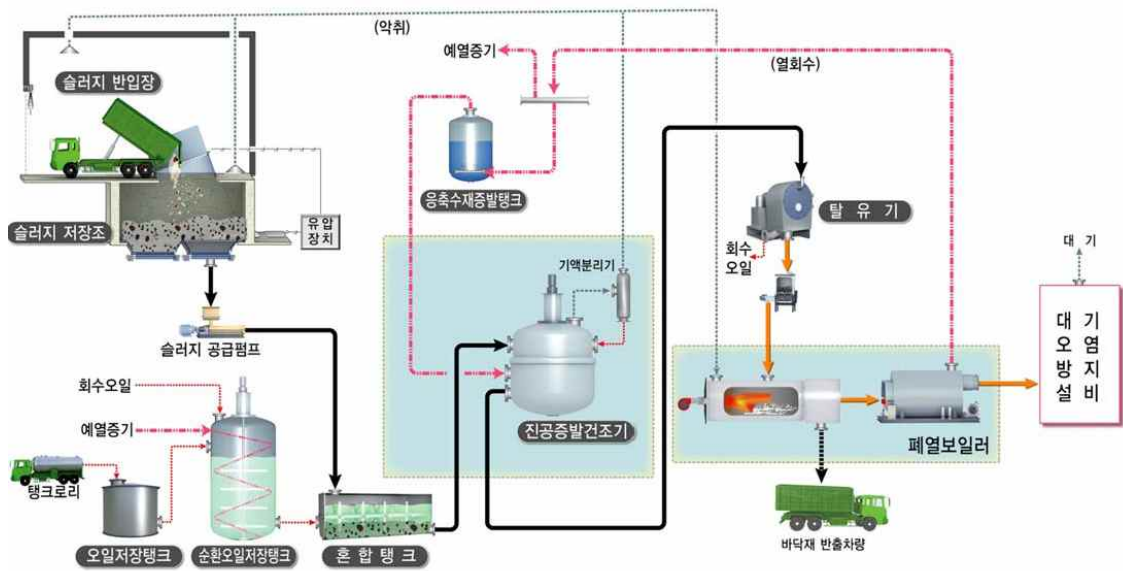
중·소규모의 간접가열방식의 디스크건조기 및 패들건조기 등이 개발되어 요소기술의 설계 및 제작기술을 확보하였다. 또한 직접가열방식과 복합건조 시스템의 개량기술이 개발되어 현재 보급 단계에 도달하였다. 그러나 건조기 성능 및 열효율 측면에서 선진국에 비해 낮은 수준에 있으며, 대용량 건조기에 대한 연구는 이제 활발히 진행되어 지고 있는 실정이다.

- 진공 유증건조장치((주)건민이앤씨)

열매체로 기름(폐식용유, 병커C유 등)을 사용하여 슬러지와 직접혼합한 후에 반응기에 투입하여 감압(-460 mmHg)을 통해서 80~115℃의 온도에서 건조를 시키고 기름을 분리하기 위하여 증발공정(125℃)에서 기름과 슬러지를 분리하여 99%의 기름을 회수하고 함유율 1% 이하, 함유율 3%이하의 건조슬러지 연료를 제조하는 기술이다. 최종 생성 슬러지 연료는 입도가 2 mm의 granule 형태이고 발열량은 약 4,000 kcal/kg 이상 이다.



[그림 2-27] 진공 유증건조 기술의 특징



[그림 2-28] 진공 유증건조장치 공정도

(3) 슬러지 자원화 및 에너지화

(가) 슬러지 고형연료화

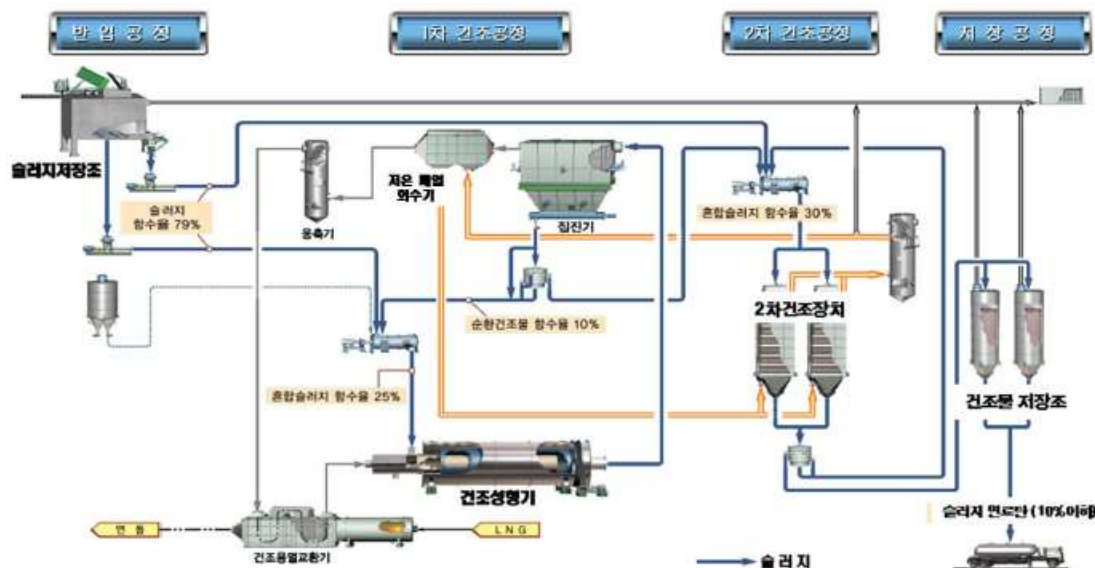
최근 유기성 폐기물의 해양투기 금지와 재생 가능한 대체에너지 개발이라는 관점에서 슬러지의 자원화 기술 개발은 국내에서도 활발히 진행되어지고 있다. 따라서 현재 상용화된 기술 위주로 조사하였다.

1) 조이탄(슬러지 고형연료, 조이환경에너지)

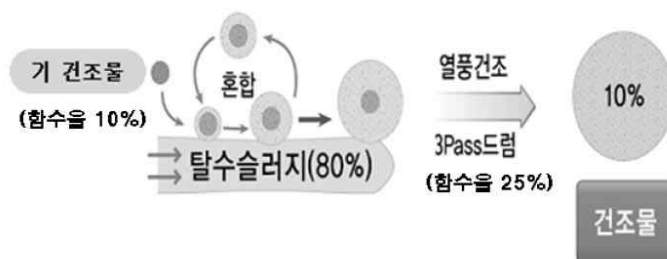
함수율 85% 정도의 하수슬러지에 석탄분말 및 연소촉매제인 화학첨가제를 혼합하여 성형 고온 열풍으로 건조시켜서 수분함량 20% 이하로 만들어 성형성과 발수성을 향상시키기 위한 화학첨가제를 코팅해 과립, 펠릿, 브리켓 형태로 생산하는 기술이다. 생산된 조이탄은 5,500~6,000 kcal/kg의 높은 발열량을 나타내어 고형연료로서 사용이 가능하다.

2) 저온폐열회수 건조 장치 및 2중 회전익 혼합기를 이용한 에너지 절약형 하수슬러지 연료화 기술((주)포스코 건설)

2중 회전익 혼합기를 통한 pellet화 반응은 이미 건조된 함수율 10% 이하의 건조물 표면에 함수율 80%의 하수슬러지가 코팅되어 그레놀 상태의 pellet을 생성하는 과정으로 1차 건조 혼합기에서는 1:3 정도의 비율로 일정하게 혼합하여 함수율 25% 내외의 pellet화된 혼합슬러지 제조하고 2차 건조 혼합장치의 경우 1차 건조공정에서 생산된 건조물(함수율 10% 이하)을 하수슬러지와 약 2:1의 비율로 혼합하고, 함수율 30% 내외의 pellet화된 혼합슬러지를 제조한다. 이렇게 제조된 pellet을 1, 2차 건조장치로 투입하여 함수율 10% 이하의 입경 2~8mm 그레놀 상태의 연료탄으로 생산하는 기술이다. 생산된 연료탄은 발열량은 3,000~4,000 kcal/kg 이다. 현재 수원시에 450톤 상용화 설비가 설치되어 운영 중에 있으며, 경주시(90 ton/day), 나주시(8 ton/day)와 화순군(10 ton/day)에도 설치 공사가 진행되어지고 있다.



(a) 전체 공정도



(b) Pellet화 개념도

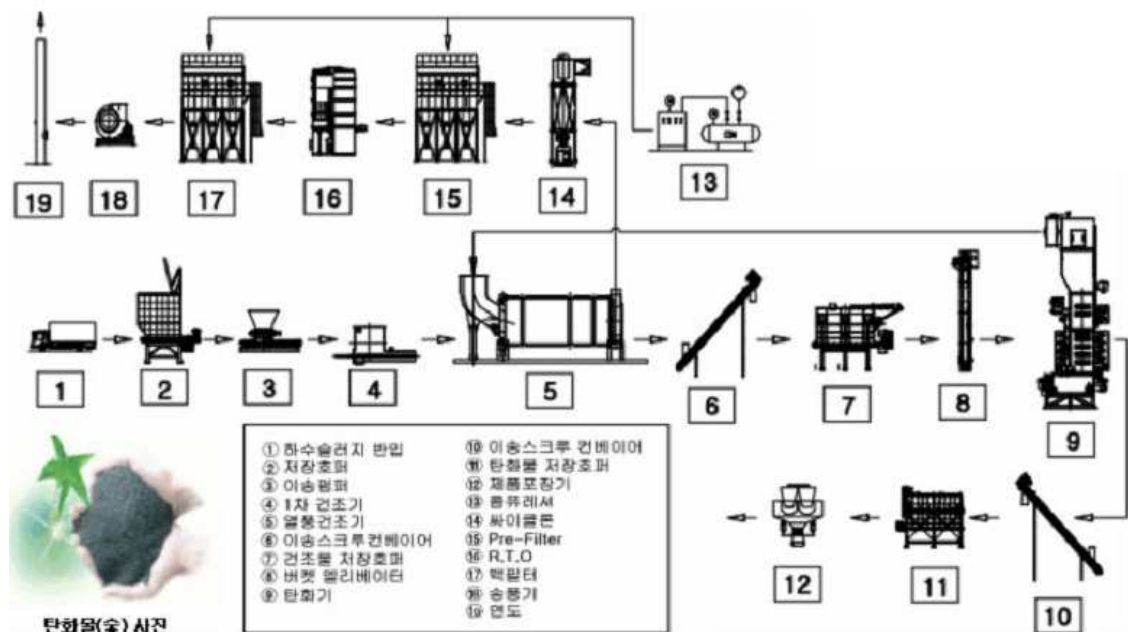


(c) 최종 건조슬러지 사진

[그림 2-29] 에너지 절약형 하수슬러지 연료화 기술 개념도(포스코 건설)

3) 하수슬러지 연속건류탄화(한국하이테크(주))

연속운전이 가능한 탄화장치로 공기가 차단된 상태에서 탄화온도는 400~550℃이고 탄화과정에서 휘발분은 예열관과 탄화관에서 자체발화되고 잔류 휘발분은 상부의 2차 버너로 850~1,100℃로 완전연소 시킨다. 건조 슬러지의 체류시간은 10~20분 이내이고 투입슬러지의 약 10% 정도가 탄화물로 회수된다. 탄화시 발생하는 열은 회수하여 건조설비에서 재사용한다. 전체 공정은 자동제어를 통해서 최소의 인원으로 운영이 가능하다.



[그림 2-30] 하수슬러지 연속건조탄화설비 공정도

<표 2-6> 국내 대표적인 상용화 슬러지 건조/탄화 및 연료화 기술 비교

구분	출원일자	출원인	제목
기술보유	조이환경에너지	포스코건설	한국하이테크
가동원리	슬러지반입→첨가제혼합 →건조기→성형기→제품	슬러지반입→혼합(성형)→ 건조기→저장→제품	슬러지반입→스크류건조 →건류탄화→제품
주요장치	혼합기, 열보일러, 건조기, 성형기, 응축기, 집진기	혼합기, 건조기, 열교환기, 응축기, 집진기	스크류건조기, 탄화장치, 연소실, 응축기
특징	-첨가제 투입으로 수분함 량 감소 -열량보조제 투입 -생산물의 열량이 높음 -열량보조제 투입으로 운 영비 상승	-생산제품 품질 우수 -생산제품의 다양한 활용 가능 -운영비가 적다 -건조공정에서 살균효과 -건조공정 발생 폐열 활 용가능	-제품의 활용처가 제한적 -많은 에너지 투입으로 경제성 낮음 -배기가스 처리시설 건설 로 건설비 증대
제품 활용성	시멘트보조 연료 등의 연료화	시멘트보조연료, 발전소연료, 토양개량재, 일일복토재	흡착제, 연료화, 흡음제
장점	-대용량처리가 가능함 -연료의 임의적 발열량 조절 가능	-대용량 처리가 가능함 -제품의 다양한 활용성 -오염물질 배출이 적음 -검증된 실증 장치	-탄화로 구조가 간단하여 유지관리가 용이 -설비투자비가 적게 소요
단점	-첨가제 사용으로 운영비 가 많이 소요됨 -감량화율이 낮아 운송비 증가 -화재 폭발 위험성	-에너지 소모량이 상대적 으로 많음	-표면연소로 다이옥신 발 생 -화재 폭발 위험성 -운영비가 많이 소요됨 -국내 설치실적이 없음
실적	Pilot plant(5톤/일)	수원시 450톤/일	경산시 60톤/일

4) 하수슬러지 열분해-용융소각기술(기계연구원, KIER)

부경대와 기계연구원이 공동으로 연구한 하수슬러지 가스화는 유해 중금속의 발생을 최소화하는 연소방법으로 유동층 방식을 선정하고, 소각 잔류물 중에 농축된 중금속, 미연소 유기물, Dioxin류가 포함되어 있어, 이의 처리방법의 하나로 용융·고형화시키는 방법에 대하여 연구하였다. 연구는 1 ton/day 규모로 수행하여 유동층에서 열분해로부터 가스화, 소각 범위까지 수행하였는데, 유동층 반응기에 필요한 열을 공급하기 위하여 일부를 연소시키는 방법을 사용하였으며, 수분이

45%이상이 될 경우에는 수분의 증발잠열 때문에 보조연료가 필요하였고, 하수슬러지는 소각하였다.

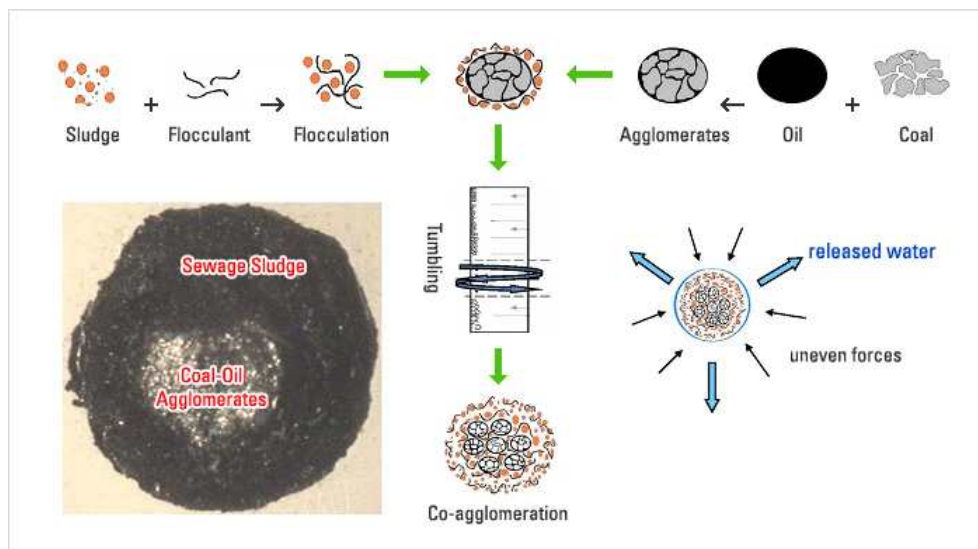
(나) 슬러지 가스화

1) (주)대승

국내에서는 (주)대승이 에너지기술연구소와 공동으로 하수슬러지를 석탄이나 폐가연성 물질과 혼합한 후 폐유기름을 첨가하여 불순물을 제거한 정제응집물에 추가하여 새로운 고체연료를 만들고 이를 다시 가스화하여 공해물질이 적은 가스 연료로 만들어 저공해로 연소하는 친환경 에너지화 신기술을 개발하였다.

이 기술에서는 정제 응집기술을 이용하여 고발열량 연료화 제조 장치를 통해 슬러지 탈수 없이 함수율 70% 이하의 혼합연료화 제조하고, 열감응 고분자 응집기술에 의한 하수슬러지와 석탄 및 기름의 2단 응집 제조한 다음, 습윤 정제연료를 건조 없이 중온 촉매 가스화를 진행하고 있다.

[그림 2-31]에는 하수슬러지 이용 고체 연료(SOCA) 제조 과정을 나타내었으며, [그림 2-32]에는 대전하수 종말처리장에 설치된 pilot 플랜트 모습을 나타내었다.



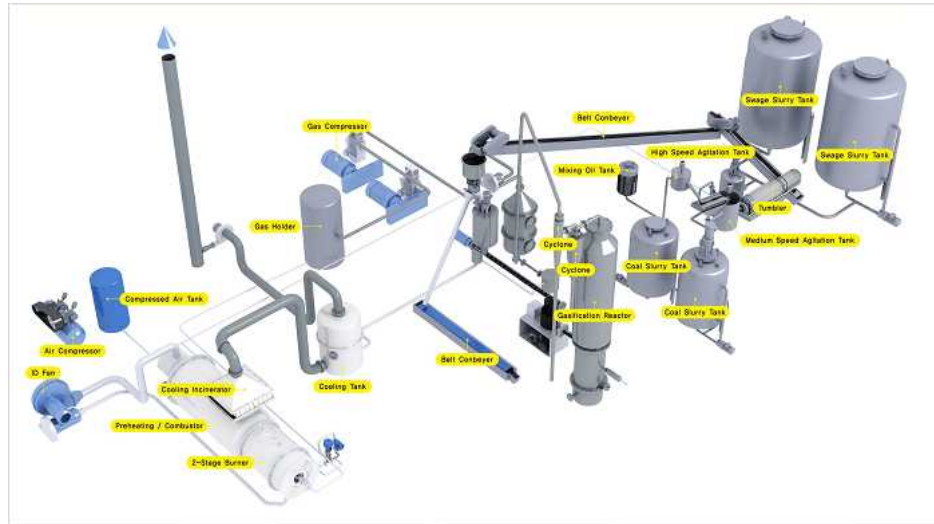
[그림 2-31] 하수슬러지 이용 고체 연료(SOCA) 제조 과정



[그림 2-32] 대전하수 종말처리장에 설치된 pilot 플랜트 모습

개발 기술의 특징으로는 처리가 곤란한 하수슬러지를 소수성의 석탄 및 기름과 2단 응집이라는 특수 방법으로 고급 연료화하는 기술을 한국에너지 기술연구원과 공동으로 개발하였으며, 탈수공정을 거치지 않은 농축 하수슬러지로부터 석탄과 MDF(톱밥) 및 폐유등을 사용하여 함수율 70%이하의 발열량 7,000kcal/kg의 고급연료화에 성공하여 폐기물처리에 따른 난제해결과 폐기물 처리비용의 절감효과가 있다. 그리고 하수슬러지-기름-석탄 정제 연료(SOCA)를 건조과정 없이 곧바로 습윤 촉매 가스화 하는 공정 또한 최초로 개발하여 석탄 가스화 공정에 비해 약 100~300℃ 정도 낮은 850℃로서 5~30% 정도 에너지절약 효과 기대할수 있다. 또한 하수슬러지의 직접연소 또는 단순가스화 연소시에 발생되는 Fuel-NO_x를 크게 저감하는 고온 환원분위기 조절 핵심 연소기술과 관련 부품 설계기술을 개발하여 독자적 연소기 설계기술을 확보한 것으로 알려져 있다.

친수성인 하수슬러지를 소수성의 석탄-기름 응집물에 2단 응집하는 공정과 하수슬러지를 정제 응집하는 열감응 고분자 응집제 제조 핵심기술을 개발한 것으로 보고되었다. [그림 2-33]에는 하수슬러지-석탄-폐유 연료화 및 가스화 설비의 구성을 간략히 나타내었다.



[그림 2-33] 하수슬러지-석탄-폐유 연료화 및 가스화 설비 구성

2) 고등기술연구원

1993년부터 수행한 석탄가스화 용융기술을 바탕으로 슬러지, 가연성 폐기물 및 도시 폐기물의 가스화 용융연구를 수행하고 있다. Thermoselect 공정을 활용한 생활 폐기물 열분해 가스화 용융처리 설비가 2.5 ton/day Pilot plant 규모로 있고, 하수슬러지 용융공정은 함수율 80% 기준 하수슬러지 5 ton/day 처리용량의 Pilot plant 설비를 보유하고 있다. 건조된 슬러지를 선회용융로에서 슬래그화 하였으며, 92% 이상의 슬래그화를 얻었다.

3) 한국에너지기술연구원

석탄, 플라스틱의 열분해, 가스화 기술과 선회식 용융로의 기술을 바탕으로 하수슬러지의 열분해-용융소각기술을 개발하였다. 함수율 80% 기준 5톤/일 규모의 Pilot plant를 설계, 제작 운전하였다. 먼저 80% 정도의 하수슬러지는 건조로에서 10~30% 수분으로 건조된다. 이때 사용하는 에너지는 용융소각로와 열분해로에서 나오는 연소배가스와 열분해가스를 소각하는 2차 연소로의 폐열을 이용한 폐열보일러의 스팀을 사용한다. 건조된 슬러지는 유동층 열분해로와 용융소각로에 의해서 각각 열분해 및 용융소각 되는데, 그 비율은 운전조건에 따라 반응수율과 생성물 분포, 설치비 및 운전비에 의해 최적화하였다. 열분해에 사용되는 가스는 용융소각로의 배가스를 사용하며, 발생된 열분해가스는 열교환기를 거쳐 기름과 물로 분리

하고, 비응축성 가스는 2차 연소로에서 소각된다. 열분해로에서 발생한 char는 건조 슬러지와 함께 용융소각로로 보내지고, 가연성분은 완전분해 되며 재는 용융슬래그 형태로 배출된다.

4) 플라즈마 열분해 가스화 용융로(PPGV)

일체형 플라즈마 열분해 가스화 용융로(PPGV)는 기능상으로 보면, 직접용융로와 같이 열분해와 가스화 공정 그리고 용융공정이 하나의 반응로에서 이루어지며 플라즈마 토치에서 발생된 초고온의 열에너지가 열분해가스화용융을 진행하는 추진 에너지로 상용되므로 폐기물의 불균일한 성상에서 안정적으로 열분해가스화용융반응이 진행되는 장점이 있다.

(4) 슬러지 슬래그 재활용

제품화가 완료된 고로 슬래그 시멘트 등을 제외하고는 슬래그의 종류에 대한 언급이 없으므로, 품질기준만 맞춘다면 얼마든지 재활용이 가능할 것이며, 현재 연구되는 용융 슬래그의 경우는 유통되는 고로 슬래그와 그 성질 및 특성이 유사하므로 추후 품질 성분 검사를 거쳐 비슷한 용도로의 사용이 가능할 것이다.

제철소에서 생산되는 슬래그 재활용 기술은 상용화되어 사업화되고 있다. 일반적으로 제철소 슬래그는 광석으로부터 금속을 추출한 부산물을 말하며 제철의 경우 석회석을 철광석과 같이 투입하여 노 속에서 발생하는 산화칼슘이 철광성에 함유되어 있는 실리카와 결합하여 녹는점이 낮고 선철보다 비중이 낮은 혼합물이 발생하는 데 이를 슬래그라 한다. 제철소 슬래그의 종류는 로의 종류에 따라 전기로 슬래그, 평로슬래그, 고로슬래그, 전로슬래그 등으로 분류하며, 공정에 따라 고로슬래그, 제강슬래그 등으로 구분한다. 고로슬래그는 보온재나 방음재, 특수비료, 고로 시멘트 등의 재료로 재활용된다.

<표 2-7> 고로 슬래그의 용도

구 분	내 용
도로노반재	파쇄골재로 도로공사용 표층, 기층, 보조기층용 노반재로 활용 가능
시멘트 혼화재	수쇄슬래그는 수경성이 있어 클링커와 혼합, 밀에서 분쇄하여 시멘트 제조시 혼화재로 이용
토목용 재료	성토용, 기초 잡석용 등으로 사용
콘크리트용 골재	슬래그 콘크리트는 자갈콘크리트에 비하여 작업성이 떨어지나 시멘트 배합비를 조정함으로써 유사한 성능의 콘크리트 제조가능
점토용 혼화재	점토 혼합하여 점토 벽돌, 블록 등을 생산함
기타	비료 생산, 도자기 원료, 슬래그울 등으로 재활용됨.

슬래그의 재활용 상황을 살펴보면, 2001년도 P사에서 발생한 고로 슬래그의 양은 824만톤이고, 그중 피재슬래그 239만톤, 수쇄슬래그 584만톤이 생산되었다. 수쇄슬래그의 70%가량인 412만톤이 슬래그 시멘트 및 레미콘으로 재활용되었고 47만톤이 비료 또는 벽돌로 재활용되었다. 따라서 전체 고로슬래그 중 50%가 시멘트용으로 사용되었고, 5.7% 가량이 비료 또는 벽돌용으로, 나머지 44.3%가 성토용 및 복토용으로 사용되거나 매립된 것으로 알려져 있다.

환경부에서는 철강 슬래그 및 석탄 재배출 사업자의 재활용 지침을 통하여, 부산물 중 그 전부 또는 일부를 재활용하는 것이 그자원의 효율적인 이용을 위하여 사업자가 지켜야 할 사항을 규정하고 있다. 그 한 예로, 철강 슬래그 재활용 용도 및 숙성 방법을 규정하고 있는데 규산용 비료용, 시멘트 원료를 제외한 모든 재활용 슬래그의 숙성을 실시하도록 하고 있다.

<표 2-8> 철강 슬래그의 용도

고로 슬래그	제강슬래그
가. 시멘트 원료 (혼화제, 중량제)	가. 시멘트 원료(혼화제, 중량제)
나. 규산질 비료 원료	나. 규산질 비료 원료
다. 벽돌용 골재	다. 벽돌용 골재
라. 성토용 골재	라. 성토용 골재
마. 복토용 골재	마. 복토용 골재
바. 호안공사용 골재	바. 호안공사용 골재
사. 송유수면매립지 뒷채움재	사. 송유수면매립지 뒷채움재
아. 도로용 골재	아. 도로용 골재
자. 요업용 골재	자. 요업용 골재
차. 배수층용 골재	차. 배수층용 골재
카. 콘크리트용 골재	카. 콘크리트용 골재
타. 옹벽 및 뒷채움재	
파. 기초 잡석용	

철강슬래그를 재활용하여 제품화하고 있는 국내 업체를 보면 <표 2-9>와 같다. 주요 생산품은 슬래그 시멘트가 주를 이루고 있으며, 전체 시장에 10%이상을 차지하고 있는 것으로 조사되었다. 하지만 아직까지 슬래그 골재의 판매 비중은 그리 크지 않은 상태이지만, 하천 골재의 공급이 한계에 다다르고 있는 상황에서 그 비중은 점차적으로 높아질 것으로 전망되고 있다.

<표 2-9>철강 슬래그를 재활용하여 제품화하고 있는 국내 업체

제 조 사	주 요 제 품
동서개발	도로기층용 및 보조 기층용 도로 시멘트
한국 주강	슬래그 팻
대한 시멘트	슬래그 시멘트
동양 시멘트	슬래그 시멘트 (도로용 보조 기층제)
고려시멘트 제조	슬래그 시멘트 (토목 건축공사용)
기초소재	슬래그 시멘트 (토목 건축공사용)
효석개발	골재용 슬래그
LG-Nikko 동제련	콘크리트용 동슬래그 골재
종연산업	제강슬래그 골재
한일시멘트 공업	고로슬래그 시멘트

<표 2-10>에 하수슬러지 및 폐기물의 용융 슬래그의 화학적 조성을 나타내었다.

<표 2-10> 폐기물 슬래그의 화학적 조성 분석

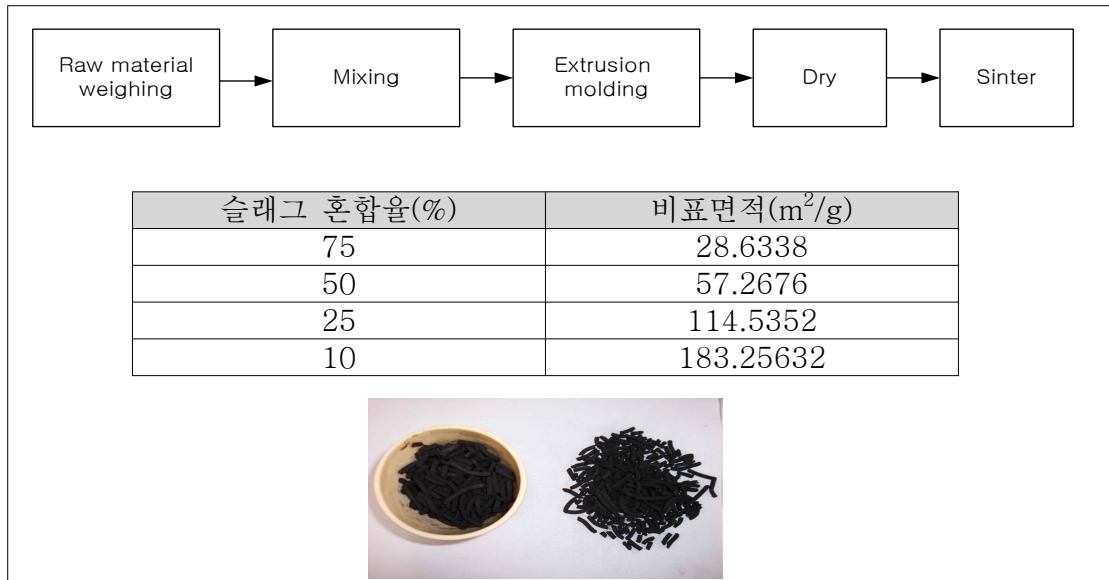
구분	Al ₂ O ₃	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	MnO	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	P ₂ O ₅
하수슬러지 슬래그	8.70	47.74	23.35	0.85	0.51	3.95	1.83	2.49	0.94	6.15
	24.58	48.24	9.21	0.89	0.41	5.29	2.11	2.10	0.90	6.70
	20.93	41.20	8.54	0.80	0.32	4.16	1.79	2.54	0.65	6.63
	28.63	35.94	6.22	0.88	0.16	14.09	2.77	1.40	0.87	9.92
생활폐기물 슬래그	28.26	28.14	5.80	1.83	0.48	20.39	2.76	0.60	2.10	2.33
	18.66	42.91	6.89	1.18	0.25	16.85	1.87	1.37	3.53	3.44
	32.462	22.865	11.327	2.197	0.504	21.278	2.701	0.308	3.616	2.127
산업폐기물 슬래그	8.68	24.93	12.66	10.05	0.10	26.84	3.22	6.20	5.15	0.70

또한 가스화 용융로에서 생성되는 부산물인 슬래그의 재활용 방안에 대하여 다양한 재활용 방안에 대하여 연구하고 있으며 연구 내용에 대하여 <표 2-11>에 나타내었다.

<표 2-11> 슬래그 재활용 관련 연구 내용

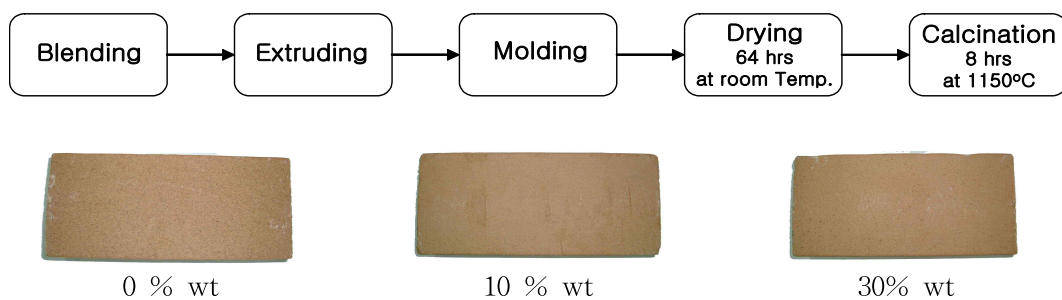
적용방법	연구 내용
흡착제 제조	미분화하여 기존 이용하는 첨가제와 함께 투입하여 흡착제 특성 연구
보도블록 제조	수쇄 슬래그를 미분화하여 점토 보도블록 제조 공정에 투입 (10~30% 슬래그 투입)

폐기물 용융 슬래그를 이용한 흡착제로 이용하는 연구에서는 슬래그, 무기 바인더, 유기 바인더, 기존 제품(cubric oxide)에 사용되는 물질을 혼합하여 적절한 혼합 비율로 하니콤형 흡착제를 제조하였다. 바인더와 cubric oxide에 슬래그를 첨가하여 하니콤 형태의 흡착제를 제작하였다. 일반적으로 흡착제로 사용하고 있는 알루미늄의 비표면적은 200 m²/g 정도로, 상용화급 흡착제 수준의 비표면적을 얻기 위해서는 추가적인 연구가 필요할 것으로 판단된다.



[그림 2-34] 용융 슬래그를 이용한 흡착제 제조 과정

보도블록의 주요 재료는 백토와 흑점토를 7:3의 비율로 혼합한 점토를 사용하고 있다. 본 연구에서는 슬래그 함량에 따른 각 보도블록의 특성을 비교하기 위해서 슬래그의 함량을 0%, 10%, 30%로 변화하여 제조하였다. 소성 온도는 1150℃에서 소성 시간 8시간 동안 제조하였으며, [그림 2-35]에 보도블록의 제조 공정도와 슬래그 함량에 따라 제작한 보도블록의 사진을 나타내었다.



[그림 2-35] 용융 슬래그 첨가 비율에 따른 벽돌 사진

제품의 특성 평가의 결과, 점토에 분쇄 슬래그를 혼합하여 제조한 결과 흡수율은 슬래그 미혼합 제품과 유사한 것으로 나타났으나, 강도의 경우 미혼합 제품의 76~80%의 수준으로 나타났으나, KS 산업규격의 기준치에는 적합하여 슬래그 이용 제

품이 충분히 사용가능한 것으로 확인하였다. 이러한 연구의 결과를 바탕으로 최적 소성 조건을 선정하기 위한 슬래그 혼합비율, 온도 및 시간에 대한 다양한 조건에서의 실험이 추가적으로 실시되어야 하며, 슬래그 첨가 점토 제품의 다양한 적용성에 대한 실험이 이루어져야 하며 추가적인 연구가 수행되어야 한다.

<표 2-12> 슬래그를 첨가한 벽돌 제조시 강도 비교

항목	흡수율	압력강도	휨강도
	%	N/mm ²	N/mm ²
0%	11.02	45.6	8.08
10%	11.96	39.2	6.18
30%	10.40	39.2	6.48
점토벽돌기준(KS)	< 15%	20	-
보도용기준(KS)	< 7%	-	4.9
차도용기준(KS)	< 7%	-	5.9

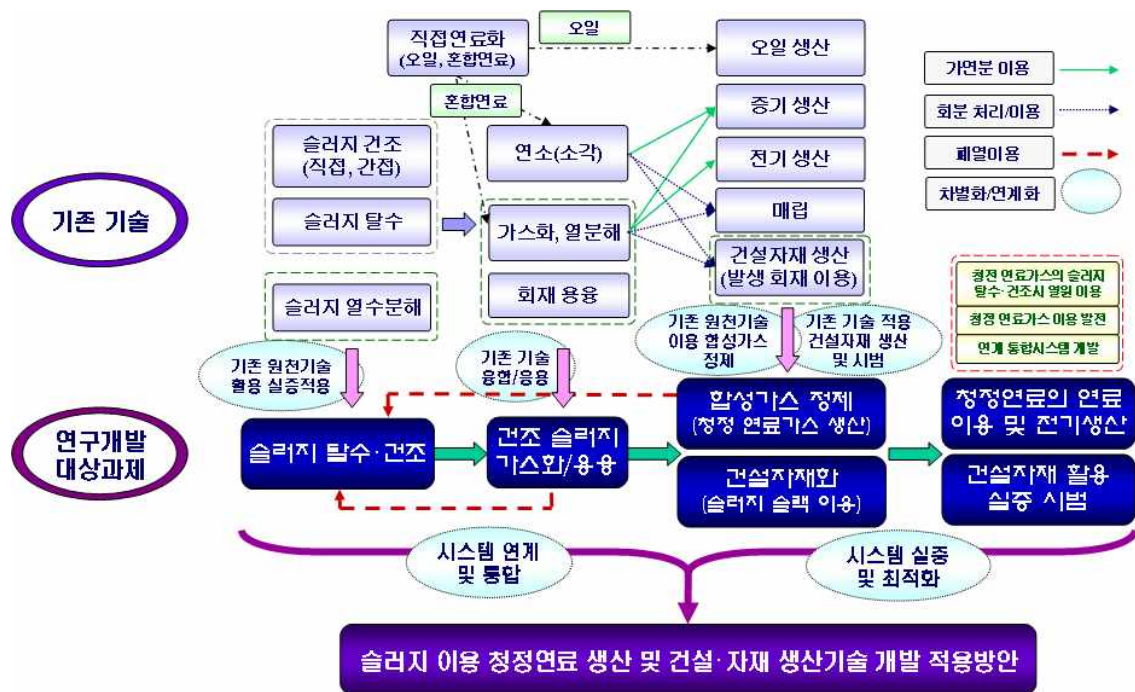
21세기 프런티어 연구개발 사업에서 수행한 무기계 폐기물을 이용한 기능성 흡착제 상용화 기술개발사업의 일환으로 용융슬래그/유리폐기물을 이용하여 A-형 합성제올라이트를 생산할 수 있는 파이롯 플랜트 설치, 최적화 및 시제품생산, 산업부산물 적니로부터 새로운 적조 구제제 개발과 구제기작 규명 및 적조 구제제 살포에 따른 해양생태계 영향평가 등의 연구 사업을 진행하고 있다. 또한 환경부에서는 차세대 핵심 환경기술 개발사업의 일환으로 특수 가공된 슬래그를 이용한 하천 및 호소 정화 상용화기술, 특수 가공한 슬래그 이용 수처리제 제조 기술 확립, 고속정화 시스템 설계, 제작 및 운전, 압축강도나 굴곡강도 등 제품의 내구력향상을 위한 재료설계기술, 화재에 대한 내연특성의 향상기술, 제품 사용 중 발생할 수 있는 산화에 대한 내노화 특성 향상기술 개발, 시멘트에 의한 수서생태계 파괴를 막고, 환경친화적인 호안 블럭을 개발 자원 재활용 촉진, 철강슬래그 골재를 재활용한 용도별 콘크리트 보수재료 및 보수공법의 개발, 보수재료 생산을 위한 제조공정 및 시스템 개발, 제강슬래그와 폐합성수지를 이용한 환경친화적 블록 및 시멘트 대체제품 개발, 제품 기초 배합설계 및 품질특성 및 안전성 평가, 호안 블럭 제품개발 및 시작품 생산 공정 구축 및 현장적용 등에 대한 연구를 지원하고 있다.

2. 연구개발 결과가 국·내외 기술개발 현황에서 차지하는 위치

환경처리 대상이던 슬러지를 이용하여 에너지화 사용할 수 있는 청정 연료가스를 생산하고 발생된 부산물은 건설자료로 활용하는 기술개발을 진행할 경우, 환경친화적이면서도 매립이 필요 없는 무배출 형태의 슬러지 처리 및 이용하는 기술을 확보할 수 있어 필요한 연구라고 판단된다. 현재 슬러지의 효과적인 감량화를 위한 기술개발과 슬러지의 연료화 및 자원화를 위한 기술 개발들이 진행되었으나, 슬러지 감량화와 에너지화 기술이 통합적으로 개발된 바는 없는 실정으로 각 시스템들의 통합화를 통한 슬러지 처리 및 에너지화 기술을 확보할 필요가 있다.

본 연구과제에서는 슬러지 처리 및 에너지화를 위한 통합시스템 개발을 위해 다음과 같이 기술개발을 추진하고자 한다.

- 현재 슬러지의 감량화 및 탈수·건조시 에너지 소비가 크기 때문에 에너지 소비를 최소화하기 위한 기술개발들이 진행 중에 있으며, 본 연구에서는 기존 연구개발을 통하여 개발된 pilot 규모의 저에너지 소비형 열가수분해 기술을 통합시스템에 적용하여 실증하고자 한다.
- 건조슬러지의 가스화용융 기술은 현재까지 개발된 기술이 없어 본 연구과제에서 중점적으로 개발하여야 할 기술로, 폐기물 가스화용융 기술, 슬러지 열분해용융 기술, 슬러지 가스화 기술 등 유사기술의 연구개발을 통하여 축적된 경험과 기술을 통합시스템에 적용하여 활용하고자 한다.
- 슬러지로부터 건설자재를 생산하여 활용할 경우 사회적, 정서적인 혐오감을 야기할 수 있어 슬러지 슬래그를 건설자재로 활용하기 위해서는 최종 생산되는 건설자재의 사용처에 대한 검토가 필요하므로, 슬러지 슬래그의 건설자재 사용처에 대해 우선적으로 검토한 후 슬러지 슬래그를 이용하여 사용처에 적합한 건설자재를 생산하기 위한 기술개발을 진행할 예정이며, 건설자재 생산 시에는 기 개발된 소각재 용융슬래그나 폐기물 슬래그를 이용하여 건설자재를 생산하는 기술을 적용하여 활용하고자 한다.



[그림 2-36] 본 연구과제와 기존기술과의 연계 관계

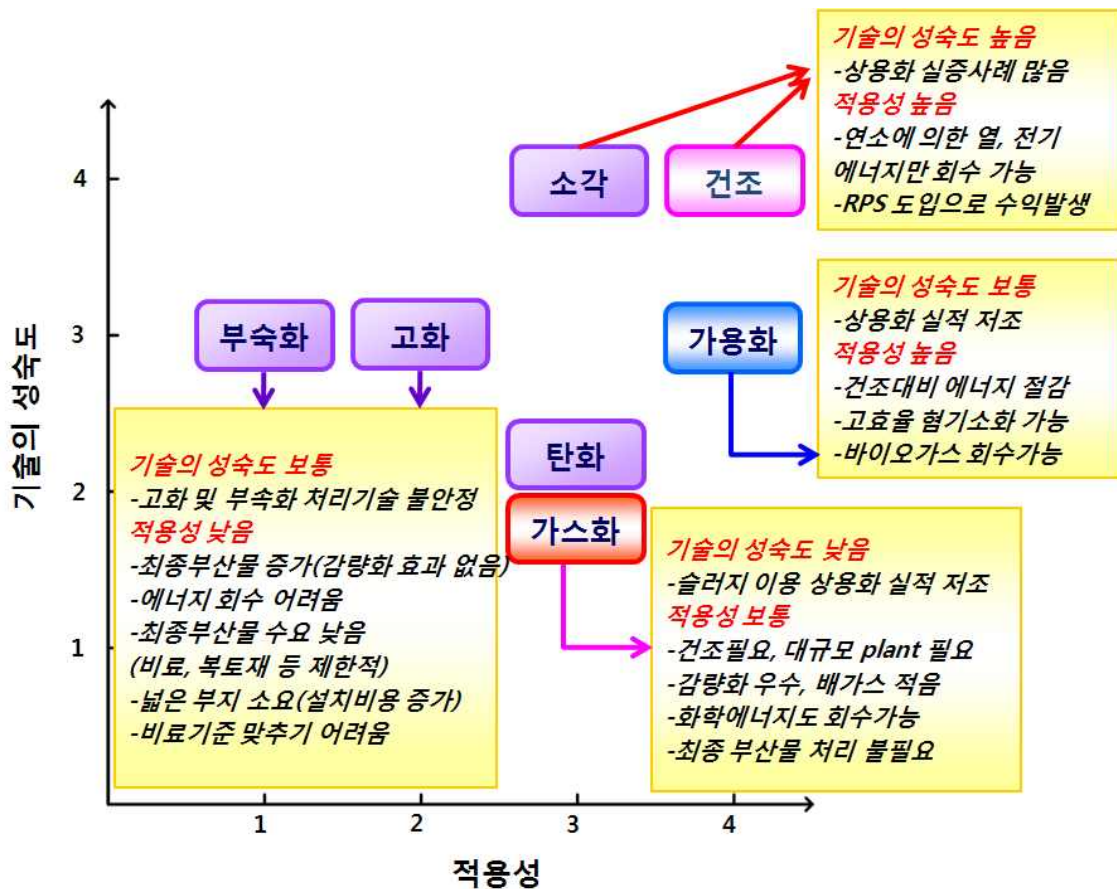
제 3 장 연구개발 수행내용 및 결과

1. 연구를 위한 분석

가. 슬러지 처리기술별 적용성 및 경제성 분석

- 국내 슬러지 처리기술의 특성을 현재 설치되어 가동중인 시설과 설치 및 공사 중인 시설의 현황을 고려하여 가장 대표적인 기술 7개를 선정하여 비교하였다. 비교 결과의 객관성을 확보하기 위하여 환경부 자원순환국의 하수슬러지 에너지화 추진계획, 공주대학교 김동욱 교수의 하수슬러지 처리시설 실태조사 결과, 한국환경공단 박흥조 과장의 하수슬러지 처리기술 평가연구 결과를 이용하였다.
- 국내 슬러지 처리기술의 특성을 분석하기 위해 우선 기술의 성숙도와 본 기획 과제에 적용성을 살펴보았다. 기술의 성숙도에서는 소각과 건조 기술이 기술적 신뢰성이 높다. 소각과 건조기술은 국내에 일찍 도입되어 상용화 사례가 많고 시행착오를 거치면서 기술이 안정화 단계에 들어왔다. 또한 국내 기술도 세계 선진기술과 격차가 적다. 부숙화, 고화, 가용화 기술은 상용화에 근접한 기술이다. 부숙화와 가용화는 아직 상용화 사례가 부족하여 상용화 시설에서의 검증이 부족하지만 조만간 대부분의 기술이 국내 기술로 개발되어 신뢰성을 갖는 기술이 될 것으로 판단된다. 고화의 경우 국외기술에 많이 의존하고 양생기 등 고화 처리기술이 아직은 불안정하다. 탄화와 가스화는 대부분 국외기술이고 아직 슬러지 전용으로 상용화 사례가 부족하다. 특히 가스화는 현재 국내에서 기술개발을 진행 중에 있으며 상용화 사례는 아직 전무한 상태이다. 그러나 국외의 적용 사례가 많아, 조만간 국내기술로 상용화할 수 있을 것으로 판단된다.
- 본 기획과제 적용성 측면에서 평가해 보면, 건조와 가용화기술이 적용성은 가장 좋을 것으로 판단된다. 우선 감량화가 탁월하고 자원화를 위한 전처리기술로 후속 자원화 기술의 효율을 높여 준다. 따라서 본 과제에 적합하다. 그러나 건조 기술은 고형연료로 공급만 가능한 반면에 가용화는 액체생성물 회수를 통해서 혐기소화로 바이오가스도 회수가 가능하다. 다음으로 소각, 탄화, 가스화 기술이 있다. 이 기술은 자원화 기술의 핵심이다. 그러나 소각은 열과 전기에너지만 회

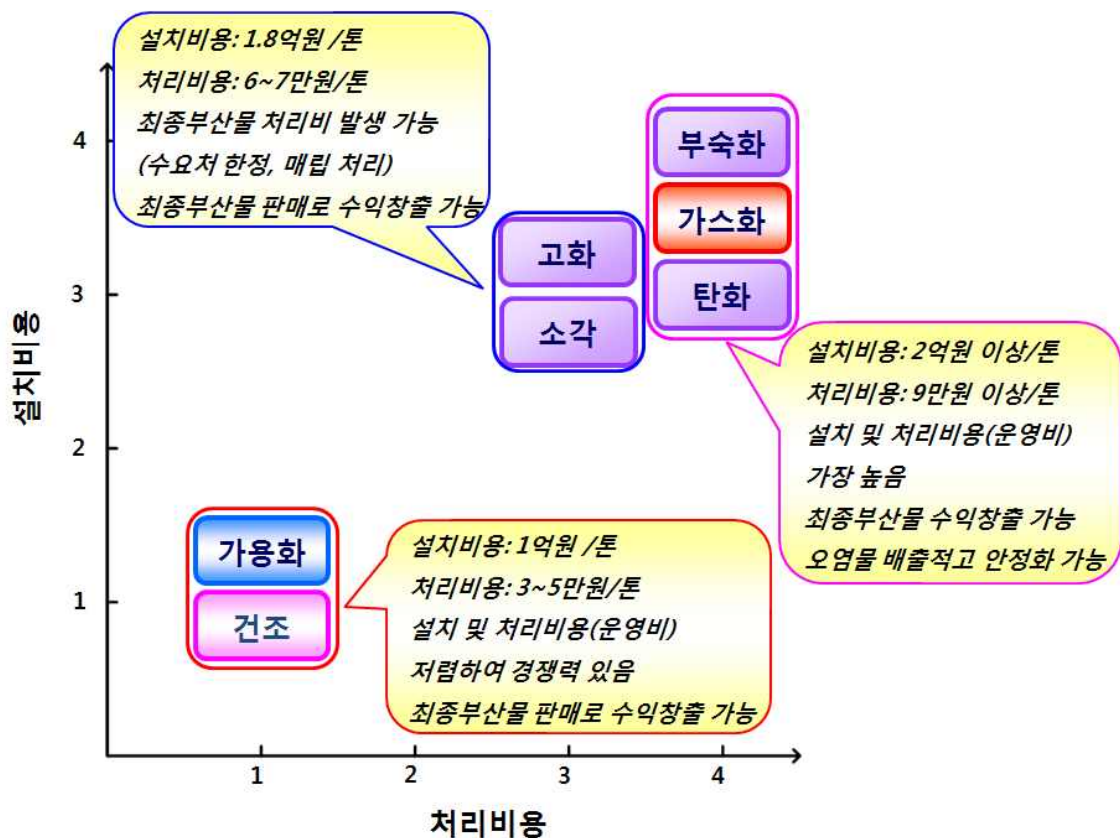
수가 가능하고 소각재를 다시 2차 처리하여야 한다. 반면 탄화는 탄화물을 여러 방면으로 이용이 가능하고 가스화는 열과 전기에너지 이외의 화학에너지 회수가 가능하다는 장점이 있으며, 발생하는 슬래그를 건설자재로 이용하여 오염물질 무배출이 가능하다. 부숙화와 고화 기술은 적용성 측면에서 본 과제에는 부적합하다. 우선 부숙화는 강화되는 비료 기준을 맞추기 힘들고 아직 수요가 적고 에너지 회수가 없다. 고화는 감량화 효과가 전혀 없고 단지 슬러지를 안정화 시켜 복토재로 이용만 가능하다. 따라서 최종 부산물의 처리 문제도 고려해야 하는 단점이 있다.



[그림 3-1] 하수슬러지 처리기술 적용성 및 기술의 성숙도 분석

- 하수슬러지 처리 기술의 경제성을 평가해 보면 크게 3 부류로 나뉜다. 첫 번째 가용화와 건조기술이 가장 경쟁력이 있다. 우선 설치비 및 처리비용이 가장 저렴하다. 또한 건조슬러지는 RPS 제도에 의해서 판매가 가능해 졌고 가용화는

추가적으로 바이오가스 생산이 가능해 판매를 통한 수익창출이 가능하다. 다음은 고화, 소각 기술로 설치 및 처리비용이 중간정도 이다. 그러나 최종 부산물 처리비용이 발생 가능성이 높다. 이것은 수요처가 한정되어 있고 현재 대부분 매립에 의존 하고 있기 때문이다. 그러나 고화기술은 안정적인 수요처를 잡는다면 수익창출도 가능하다. 마지막으로 부숙화, 가스화, 탄화는 설치 및 처리비용이 가장 높다. 특히 부숙화는 높은 설치 및 처리비에도 불구하고 에너지 회수 없이 최종 부산물이 퇴비 이용으로 한정되어 적용에 어려움이 많다. 탄화와 가스화는 설치 및 처리비용이 높지만 발생하는 최종 부산물의 이용 방법이 다양하고 열과 전기에너지 이외에 화학에너지로 회수가 가능하다는 장점이 있다. 또한 추가적으로 발생하는 오염물질이 적고 가스화는 용융을 통해 모든 부산물의 이용이 가능하다. 따라서 최종 부산물 처리비용 없이 수익 창출이 가능하다.



[그림 3-2] 하수슬러지 처리기술 경제성 분석(설치 및 운영비)

나. 연구개발의 SWOT 분석

(1) 슬러지 이용 청정 연료가스 및 건설자재 생산기술의 강점 및 약점

(가) 강점

- 슬러지 이용 청정 연료가스 및 건설자재 생산에 대한 요소기술의 국산화 기술 확보
 - 상용 규모 슬러지 탈수·건조 기술
 - Demo 규모 슬러지 탈수·건조 고효율 기술
 - Pilot 규모 폐기물 가스화 용융 기술
 - Pilot 규모 슬러지 가스화 기술
 - Pilot 규모 슬러지 용융 기술
 - Pilot 규모 합성가스 정제 기술
 - Demo 규모 연료가스이용 전기생산 기술
 - 상용 규모 슬러지 이용 건설자재 생산 기술
 - Demo 규모 폐기물 이용 건설자재 생산 기술
- 기존 에너지 회수·이용기술의 설계, 제작, 시공, 시운전 기술보유
- 관련분야의 전문가 네트워크 능력보유
- 개발기술의 확대적용 가능 (실증 중소규모 슬러지 처리장외 타 슬러지 처리장 적용 가능 및 오니·폐기물 등 타 산업분야에 개발기술 응용 가능)
- 개발기술의 수출산업화 가능 (국내외 실증되지 않은 기술로 개발 완료될 경우 플랜트엔지니어링 기술의 수출산업화 가능)

(나) 약점

- 슬러지 탈수·건조 및 가스화용융 기술 적용된 연계 통합설비 실증 연구 미흡 (슬러지 탈수·건조 및 연료화 기술의 개별 추진 등 요소기술 개발 중심의 편중된 연구)
- 슬러지 이용을 위한 가스화용융 기술 적용 실증운전 자료 미흡
- 개발기술의 국내외 실증적용 사례 미흡
- 슬러지의 연료가스 및 건설자재 활용에 따른 사회적·정서적인 혐오감

- 슬러지 해양배출 금지에 따른 국산 상용 실증을 위한 시간 절박
- 국내 기업체의 관련 기술자료 확보 취약
- 슬러지의 연료화, 자원화 활용을 위한 지원정책 및 법률 체제 미흡

(2) 슬러지 이용 청정 연료가스 및 건설자재 생산기술의 위기 및 기회

(가) 위기

- 슬러지 해양배출 금지 등 환경규제 강화로 인한 처리비용 증가 및 경량화·자원화 필요
- 고유가 시대 지속으로 에너지 자립에 대한 필요성 대두
- 기후변화협약 등 우리나라의 온실가스 감축의무 가시화

(나) 기회

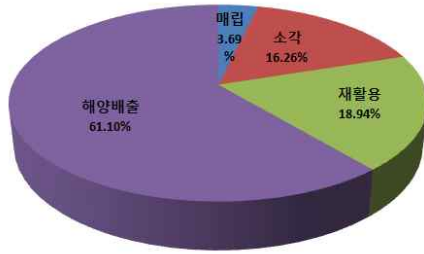
- 환경규제 강화로 인한 친환경 설비에 대한 관심 집중
- 슬러지의 효과적인 처리 및 이용을 위한 경량화 및 연료화 기술의 필요성 증가
- 국내 개발 기술들의 복합화 및 실증 운영
- 기술개발 성공 시 파급효과 증대 및 대규모 시장선점 가능
- 중국, 동남아시아 등 후발개도국에 대한 기술 수출 가능성 확인

<표 3-1> 연구개발의 SWOT 분석

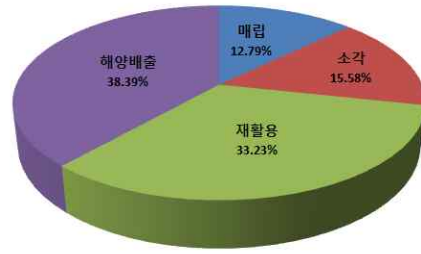
(강점) ○ 슬러지 이용 청정 연료가스 및 건설자재 생산에 대한 요소기술의 국산화 기술 확보 ○ 기존 에너지 회수·이용기술의 설계, 제작, 시공, 시운전 기술보유 ○ 관련분야의 전문가 네트워크 능력보유 ○ 개발기술의 확대적용 가능 (타 슬러지 처리장 및 타 산업분야 적용 가능) ○ 개발기술의 수출산업화 가능	(약점) ○ 슬러지 탈수·건조 및 가스화용융 기술 적용된 연계 통합설비 실증 연구 미흡 ○ 슬러지 이용을 위한 가스화용융 기술 적용 실증운전 자료 미흡 ○ 개발기술의 국내외 실증적용 사례 미흡 ○ 슬러지의 연료가스 및 건설자재 활용에 따른 사회적·정서적인 혐오감 ○ 슬러지 해양배출 금지에 따른 국산 상용 실증을 위한 시간 절박 ○ 국내 기업체의 관련 기술자료 확보 취약 ○ 슬러지의 연료화, 자원화 활용을 위한 지원정책 및 법률 체제 미흡
(위기) ○ 슬러지 해양배출 금지 등 환경규제 강화로 인한 처리비용 증가 및 경량화·자원화 필요 ○ 고유가 시대 지속으로 에너지 자립에 대한 필요성 대두 ○ 기후변화협약 등 우리나라의 온실가스 감축의무 가시화	(기회) ○ 환경규제 강화로 인한 친환경 설비에 대한 관심 집중 ○ 슬러지의 효과적인 처리 및 이용을 위한 경량화 및 연료화 기술의 필요성 증가 ○ 국내 개발 기술들의 복합화 및 실증 운영 ○ 기술개발 성공 시 파급효과 증대 및 대규모 시장선점 가능 ○ 중국, 동남아시아 등 후발개도국에 대한 기술 수출 가능성 확인

2. 기술수요 도출

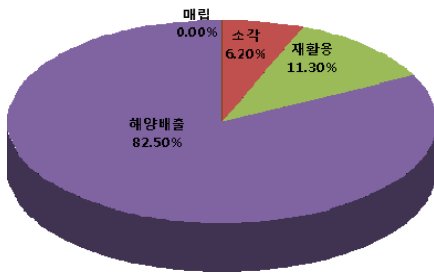
- 국내 하수·폐수 슬러지의 발생 현황과 슬러지 처리현황 및 계획 등에 대한 파악을 위해 자료조사 진행함
 - 국내 하·폐수처리시설에서 발생하는 유기성슬러지의 처리현황을 살펴보면 2008년 현재 하수슬러지의 경우 해양배출이 1,721천톤(61.10%)으로 가장 많고, 재활용 533천톤(19.94%), 소각 458천톤(15.54%), 매립 104천톤(3.69%)의 순으로 처리되고 있으며, 폐수슬러지의 경우도 해양배출이 987천톤(38.39%)으로 가장 많고, 재활용 855천톤(33.23%), 소각 401천톤(15.58%), 매립 329천톤(12.79%)의 순으로 처리되고 있음
 - 특히 동남권역인 부산과 경남의 하수슬러지 처리현황은 전국처리 현황에 비해서 해양배출의 의존도가 훨씬 더 높게 나타나고 있으며 부산의 경우, 해양배출 의존도가 82.50%로 매우 높고, 경남도 역시 81.98%인 것으로 나타남
 - 이에 반해 하수슬러지의 활용 비율은 부산이 11.30%, 경남이 9.20%에 불과한 실정으로 유용한 유기성 폐기물 자원의 대부분이 에너지 또는 자원으로 재활용되지 못하고 있음
 - 이와 같은 이유는 2003년의 유기성슬러지 직매립 금지로 인해서 처리비용이 비교적 저렴하고 시설 설치비가 없으며 민원의 소지가 적은 해양배출을 지자체에서 선호하면서 해양배출의 처리비율이 증가하게 된 것으로 판단됨
- 폐수슬러지의 경우, 부산과 경남의 재활용 비율이 각각 51.94%와 52.19%로 하수슬러지에 비해 매우 높은 편이지만 해양배출 비율 역시 각각 46.43%와 46.15%로 높게 나타나고 있어 효과적인 슬러지 처리방안 개발이 시급한 것으로 나타남



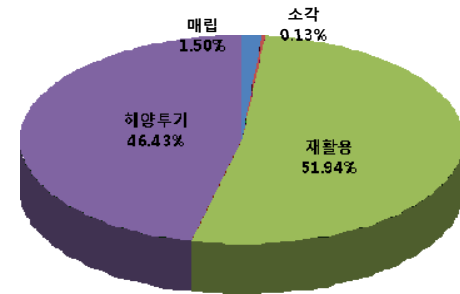
<전국 하수슬러지>



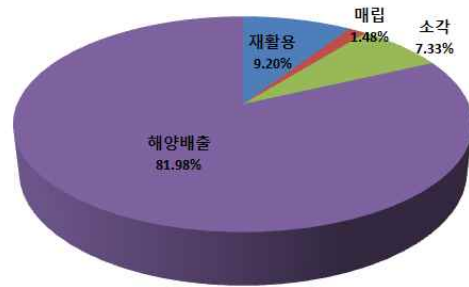
<전국 폐수슬러지>



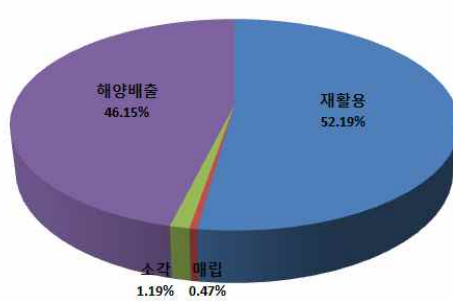
<부산 하수슬러지>



<부산 폐수슬러지>

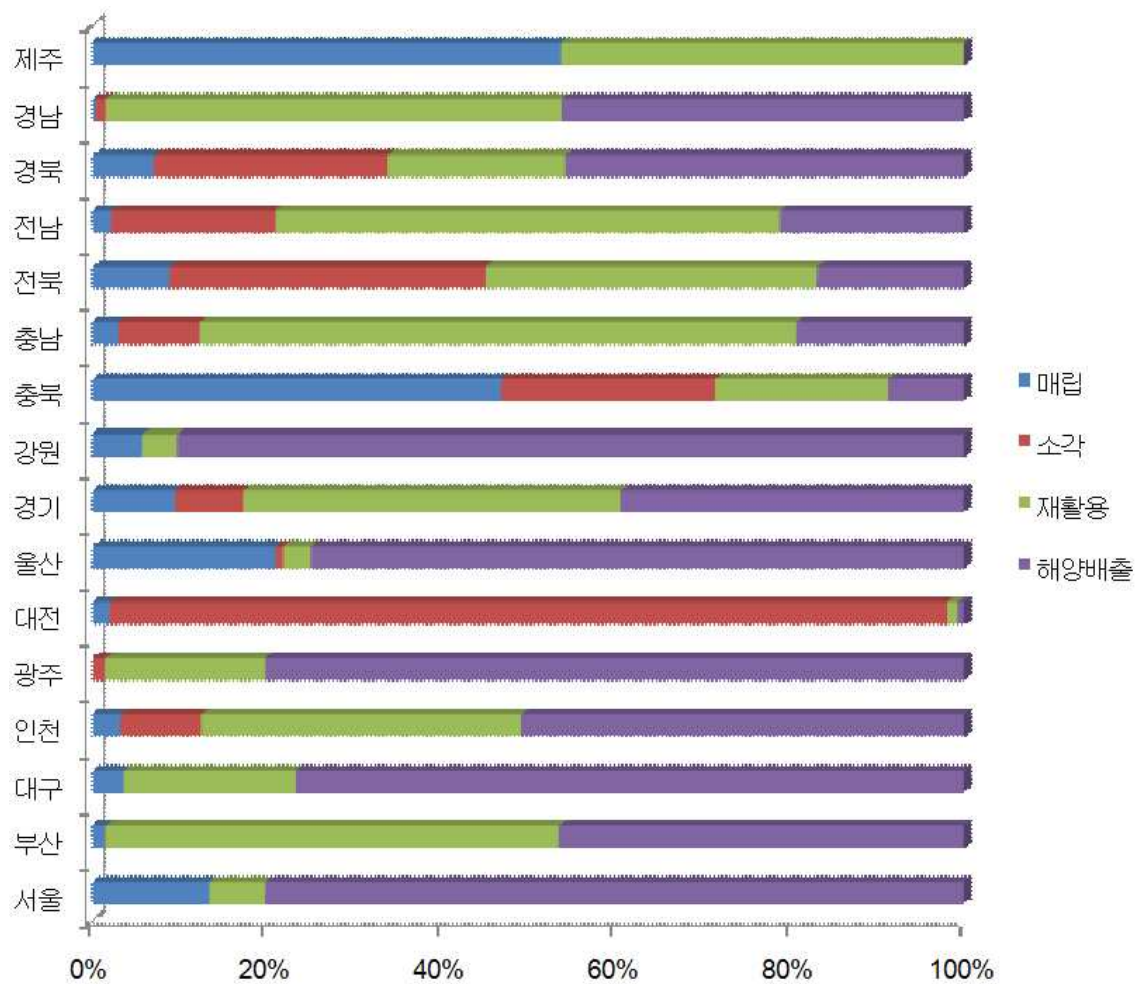


<경남 하수슬러지>



<경남 폐수슬러지>

[그림 3-3] 2008년 전국 및 경남 하·폐수슬러지 처리현황



[그림 3-4] 폐수 슬러지의 지역별 처리현황

- 슬러지 탈수·건조시 많은 량의 에너지가 소요되기 때문에, 슬러지를 효과적으로 연료화하여 이용하기 위해서는 탈수·건조에 소요되는 에너지를 최소화하고 슬러지 연료화시 생산된 연료와 열을 사용하는 연계공정이 필요함
- 가스화용융 기술의 경우 슬러지에 함유된 가연분을 CO와 H₂가 주성분인 합성가스로 전환하는 기술로 가스화기에서 생산되는 고온의 합성가스로부터 스팀을 생산할 수 있고 생산되는 합성가스를 정제한 후 연료가스로 사용이 가능하여, 슬러지 탈수·건조에 필요한 여러 가지 에너지원을 제공할 수 있으므로 슬러지 탈수·건조 시스템과 연계할 경우 에너지 사용에 있어 시너지 효과가 클 것으로 파악됨
- 슬러지 슬래그를 이용 건설자재를 생산하기 위하여 관련 유사기술에 대한 검토 및 기술개발 현황 등 자료조사를 진행하였으며, 폐기물 슬래그의 경우 재료의

조합에 따라 타일, 보도블럭, 다양한 용도로 활용 가능한 것으로 파악됨

- 최종적으로 슬러지를 탈수·건조하여 수분을 제거한 후 가스화용융을 통하여 슬러지에 함유된 가연분을 CO와 H₂가 주성분인 합성가스로 전환시켜 전기 생산에 활용하고 슬러지에 함유된 회분은 중금속 용출이 없는 환경적으로 안정한 슬래그로 전환시킨 후 건설자재로 활용하는 기술개발이 필요한 것으로 도출되었으며, 에너지 소모를 최소화하기 위해서는 슬러지 탈수·건조 및 가스화용융 연계 통합시스템의 개발이 필요한 것으로 도출됨

3. 기획회의 및 전문가 협의 결과

- 기획회의 2회[부산대학교(10.8), 아주대학교(11.12)]와 기획 참여 전문가들과 수시 협의 진행 및 자문위원들의 자문을 통해 과제방향 설정과 연구목표 및 세부 과제별 연구내용을 검토하여 최종적으로 기술개발 내용을 도출함
- 기획회의 및 자문의견의 주요 내용은 다음과 같음
 - 타 부처와의 차별화를 위해 package화된 통합기술을 도출하는 것이 필요함
 - 슬러지 처리 및 연료화 기술 개발을 위해 다양한 기술을 조합하고 개량발전시켜 종합적인 Process를 개발하는 개념은 적절하다고 판단됨
 - 새로운 원천기술의 개발 측면이 아닌 기존의 기술을 응용, 심화, 확대하고 결과를 활용하여 조합함으로써 전체 system을 package화 하는 과제 방향은 기술적 의미 및 타당성이 있는 것으로 사료됨
 - 현재 관련 기술들의 장치와 처리공정이 복잡하고 이에 따라 대형화 공정의 적용 어려움, 과다 에너지 소비 등과 같은 문제가 있으므로 장치 및 공정의 단순화, 에너지 소비 절감 방안과 같은 핵심요소기술 개발이 선행되어야 할 것으로 보이며, 이러한 기술의 개발은 본 과제에서 추구하고자 하는 system package화와 연계되어야 할 것으로 사료됨
 - 슬러지 탈수·건조 후 가스화용융 과정을 통해 가스연료를 생산하고 이를 이용한 전기 생산과 용융 슬래그의 건설자재화는 바람직함
 - 건조 슬러지 연료 이용 가스화용융 기술과 슬러지 처리 기술의 연구개발 내용

이 연계되어야 할 것으로 사료됨

- 슬러지 처리에 대한 시급성과 필요성에 의해 관련분야 연구개발이 조속히 진행될 필요 있음
- 슬러지 처리시 열수분해 장치를 중점개발대상이 아닌 슬러지 건조 및 가스화의 전처리공정으로 국한하고, 전체 연구개발대상을 슬러지건조 및 가스화(열수분해, 탈수, 건조, 연료생산, 혐기소화, 메탄생산), 청정가스 생산, 건설자재생산의 3대 분야로 재편하는 것이 타당하다고 사료됨
- 상용화 가능하면서 경제성 있는 기술의 도출 및 선정하는 것이 필요함
- 슬러지 처리의 경우 경제성측면에서 수익을 창출하는 것보다는 기존 처리비용의 절감을 주요한 목표 중 하나로 설정할 필요가 있음
- 연구개발 기간 5년은 적절한 것으로 여겨지며, 사업성의 경우 슬러지 처리비용을 감안할 경우 경제성이 있다고 판단됨
- 건설자재의 재활용품은 기존의 재활용품과 경쟁력을 갖추기 위하여 특화된 제품필요 (기능성을 갖춘 친환경 재활용 제품 개발 - 황토를 포함한 블록제품 및 황토 도로포장재 개발 등)
- 전체 공정상의 생산성 및 경제성을 확보할 수 있는 방안의 도출이 필요할 것으로 사료됨. 예를 들면 가스화 용융에 필요한 건조 슬러지 확보를 위한 전처리 공정에서 슬러지의 건조도 및 가연성분을 적정수준으로 유지할 수 있는 탈수기술의 개발(함수율 최소화 및 탈수속도 최대화, 가연성분 유실 최소화 등), 나아가 탈수/건조의 단일 unit화 등과 같은 기술 접목을 통해 전단의 가온/가압 반응의 에너지 효율성을 최대한 높여 전체 전처리 공정의 에너지 효율 및 경제성을 높일 수 있는 방향 설정도 필요할 것으로 사료됨(예; 250℃ 반응으로 함수율 30% 이하, 100 kg/hr 탈수슬러지 생산 → 200℃ 이하 반응으로 함수율 30% 이하, 200 kg/hr 탈수슬러지 생산). 또한 기존 슬러지 열 반응 기술에 대해 반응속도 향상, 에너지 효율 향상, 구조 안정성 등의 심화연구도 필요할 것으로 사료됨.
- 하수슬러지만 국한하는 것 보다는 공장의 활성슬러지도 포함하는 것이 필요함
- 하수처리장 등 환경기초시설과 연계하여 장소를 섭외하고, 슬러지 이용 설비의 용량이 20~30톤/일 경우, 연구가 종료되더라도 관련 지자체에서 인수하여 활용할 수가 있기 때문에 이에 대한 검토가 필요함

- 슬러지 처리시 고려해야 되는 중요한 사항중의 하나는 악취처리임. 악취제거 방법중에서 가장 효율적인 방법은 열을 활용하는 것이며, 본 기획연구의 가스화용융 시스템을 활용하면 악취를 고효율적으로 처리할 수가 있음
- 본 기획연구의 가스화용융 시스템은 원료 관점에서 슬러지뿐만 아니라, 다양한 폐자원의 단독처리 또는 혼합처리가 가능하기 때문에 관련 기술의 파급 효과가 클 것으로 예상됨
- 슬러지의 가스화용융 처리후 발생하는 부산물인 슬래그는 건설자재로 활용할 수가 있기 때문에 자원순환의 관점에서 타당성 있는 접근방법임
- 슬러지 이외의 유기성폐기물 적용성 검토 필요함
- 연구개발 대상과제에 대한 연구의 필요성, 연구개발 대상 기술선정 및 과제도출, 연구 추진전략 및 수행방안 제시 등이 비교적 잘 구성되어 있고 세부과제의 내용이 잘 정리되었으며 연구개발 대상과제와 기존기술의 차별성 및 연계성을 잘 표현하였으나 목표 및 성과지표의 정량화에 대해서 보완 필요함
(개발대상 과제의 규모를 명시, 정량적, 정성적 목표 설정 등 필요)
- 개발대상 과제의 개략적인 전체 에너지 흐름도 검토 필요
- 전체 공정 및 세부공정의 용어 및 제목 정리 필요함
(슬러지 전처리, 청정연료의 용어를 좀더 명확히 구분)
- 에너지 절감 및 생산 효과 이외에 용융을 통한 2차적인 폐기물 배출이 없는 청정 기술을 강조하는 것이 필요함
- 단순 슬러지 처리기술이 아닌 플랜트엔지니어링 EPC 기술을 개발하는 것을 강조하고, 개발대상 과제의 결과로 확보되는 기술을 이용한 해외 플랜트 수출 사업화 등 해외시장 개척에도 활용할 수 있는 것을 강조할 필요 있음
- 기대효과에서 타 유기성 폐기물의 처리에 대한 기술적 활용도를 세부적으로 기술할 필요 있음 (타 분야에 적용 가능한 엔지니어링 기술 확보 부각)

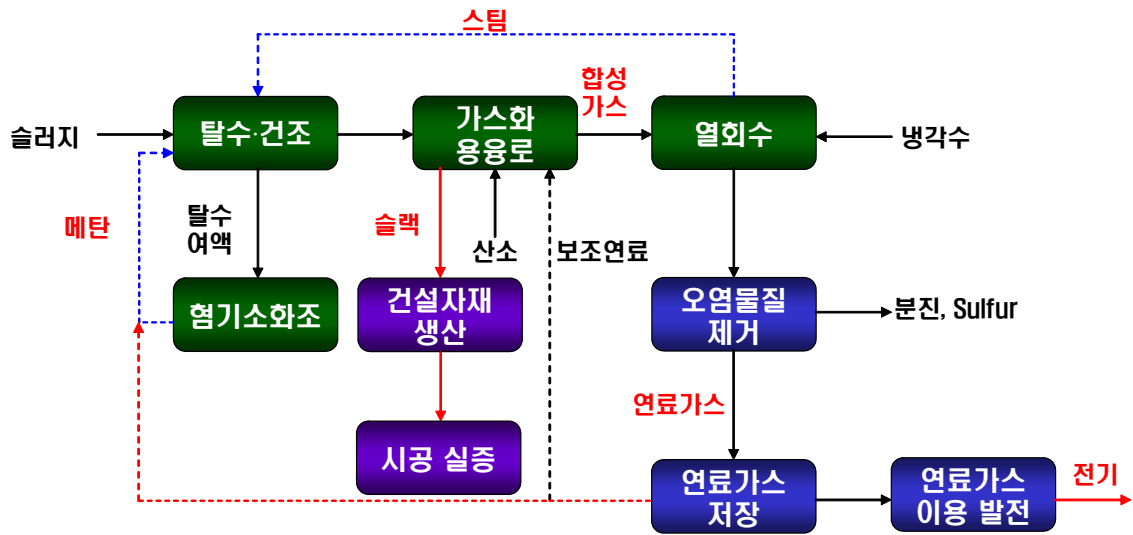
4. 최종 연구목표 설정

- 슬러지의 청정 활용을 위한 이용시스템 개발 및 실증
 - 슬러지 청정 이용을 위한 탈수·건조 및 가스화용융 연계 통합시스템 구축 및 실증을 통한 연계방안 개발
 - 슬러지 합성가스의 청정 연료가스 사용을 위한 오염물질 제거시스템과 활용방안 개발
 - 슬러지 슬래그의 건설자재 이용을 위한 적용방안 개발 및 시공 실증을 통한 보급화 방안 개발
- 실증결과를 반영한 슬러지의 최적 활용방안 개발

5. 연구내용 및 계획 수립

가. 연구내용 총괄

- 해양배출, 육상매립 등 폐기물 처리 대상인 슬러지를 이용하여 청정 연료가스와 건설자재로 활용하는 방안을 도출하기 위해, 하·폐수 처리장을 대상으로 슬러지 탈수·건조 및 가스화용융 시스템을 연계하는 최적화 방안을 도출한 후 연계 통합시스템에 대한 실증을 통하여 슬러지로부터 합성가스 및 슬래그 생산을 위한 최적 적용방안을 개발하고, 가스화용융으로 생산된 슬러지 합성가스를 정제된 연료가스의 이용 방안과 슬러지 슬래그의 건설자재 이용 방안 도출 및 시공 실증을 통하여 슬러지의 최적 활용을 위한 적용방안을 개발함



[그림 3-5] 슬러지 이용 청정 연료가스 및 건설자재 생산 실증설비 구성도

나. 세부과제별 목표 및 연구내용

(1) 1세부과제

(가) 과제명

슬러지 탈수·건조 및 가스화·응용 연계 통합시스템 개발

(나) 연구 목표

- 슬러지 이용 청정 연료가스 및 건설자재 생산을 위한 탈수·건조시스템과 가스화·응용 시스템을 연계한 통합시스템 구축 및 실증을 통한 최적 연계방안 개발

(다) 연구 내용

- 슬러지 탈수·건조 및 가스화·응용 통합시스템 연계방안 도출
- 슬러지의 탈수·건조 및 메탄회수 시스템 연계 공정 개발
 - 동남권 발생 슬러지의 탈수·건조를 위한 기존 기술 적용방안 도출
 - 20톤/일 규모 슬러지 탈수·건조 시스템 구축 (함수율 15% 이하)
 - 슬러지 탈수·건조시 발생된 탈수여액으로부터 메탄가스 추출 및 활용을 위한

연계기술 개발

- 건조슬러지 이용 합성가스(CO , H_2) 및 슬래그 생산을 위한 가스화용융 시스템 개발
 - 건조슬러지 가스화용융 설비 설계 및 구축 (건조슬러지 처리용량 3톤/일 규모)
 - 가스화용융 설비 공급용 산소, utility(Air, 용수 등) 공급시스템 설계 및 구축
 - 발생 슬러지 슬래그의 안정적인 배출을 위한 슬래그 배출시스템 구축
- 생산된 고온의 슬러지 합성가스로부터 열회수 및 슬러지 탈수·건조 시스템 연계 통합공정 개발
- 실증결과 반영한 슬러지의 연료화 이용을 위한 통합 연계시스템 도출
 - 슬러지 탈수처리 및 가스화용융 연계 통합시스템의 실증결과 분석
 - 실증 결과 반영 슬러지의 연료화 사용을 위한 최적 활용방안 도출 및 경제성 분석

○ 연도별 연구내용

- 1차년도: 동남권 발생 슬러지의 특성 조사 및 슬러지 탈수·건조기술 적용방안 도출, 슬러지 탈수·건조 및 가스화용융 연계 통합시스템 설치 부지 선정, 대상 슬러지의 가스화 특성, 불연분의 용융점 등 기초특성 분석, 슬러지 탈수·건조시스템 운전조건 확립 및 설계, 슬러지 저장 및 투입시스템 설계·구축
- 2차년도: 슬러지 탈수·건조시스템 구축 및 시운전, 슬러지 탈수여액으로부터 메탄가스 추출 및 활용을 위한 연계시스템 설계, 가스화용융을 위한 건조슬러지 공급조건 도출, 건조슬러지 가스화용융을 위한 공급시스템 설계 및 구축, 슬러지 탈수·건조 및 가스화용융 연계 통합시스템 설계 및 설비 구축을 위한 기반 공사 (산소, Utility 공급 설비 등)
- 3차년도: 슬러지 탈수여액으로부터 메탄가스 추출 및 활용을 위한 연계시스템 구축 및 시운전, 슬러지 가스화용융 설비 구축 및 시운전, 생산된 고온의 슬러지 합성가스로부터 열회수를 위한 해석 및 열회수시스템 설계
- 4차년도: 슬러지 탈수·건조시스템 운전특성 파악 및 운전조건 도출, 건조슬러지 가스화용융 시스템 운전특성 파악 및 운전조건 도출, 슬러지 탈

수·건조 및 가스화용융 연계시스템 구축, 고온 슬러지 합성가스의 열회수시스템 구축

- 5차년도: 슬러지 탈수·건조 및 가스화용융 연계 통합시스템 운전, 슬러지 탈수처리 및 가스화용융 연계 통합시스템의 실증결과 분석, 실증 결과 반영 슬러지의 연료화 사용을 위한 최적 활용방안 도출 및 경제성 분석

(라) 예상성과물

- 슬러지 이용 합성가스(CO , H_2) 생산을 위한 통합 연계시스템
- 슬러지 탈수·건조 및 가스화용융 연계 통합시스템 실증 적용 결과
 - 슬러지 탈수·건조 및 가스화용융 시스템 연계방안
 - 슬러지 탈수·건조 및 가스화용융 연계 통합시스템 운전 결과

(2) 2세부과제

(가) 과제명

슬러지 연료가스의 이용시스템 구축 및 최적 활용방안 개발

(나) 연구 목표

- 슬러지 가스화용융으로 생산된 합성가스의 청정 연료가스 이용을 위한 오염물질(분진, 산성가스) 제거시스템을 구축하고 연료가스 재순환시스템과 전기 생산 시스템 구축 및 실증을 통한 정제된 슬러지 연료가스의 최적 이용방안 개발

(다) 연구 내용

- 슬러지 가스화용융으로 생산된 연료가스의 청정 이용을 위한 오염물질(분진, 산성가스) 제거방안 도출
- 슬러지 합성가스의 오염물질 제거시스템 구축 (분진 및 H_2S 제거율: 95% 이상)
- 정제된 연료가스의 활용을 위한 적용방안 도출 및 이용시스템 구축
 - 슬러지 연료가스의 가스화용융시 보조연료 활용을 위한 적용방안 도출 및 제

순환 시스템 구축

- 슬러지 연료가스 이용 전기 생산시스템 적용방안 도출 및 구축
- 실증결과를 반영한 슬러지 연료가스의 최적 이용 방안 도출
- 슬러지 합성가스의 오염물질 제거 및 청정연료 이용시스템의 실증결과 분석
- 실증 결과 반영 슬러지 연료가스의 최적 활용방안 도출 및 경제성 분석

○ 연도별 연구내용

- 1차년도: 슬러지 가스화용융으로 생산된 연료가스의 정제를 위한 오염물질(분진, 산성가스 등) 제거방안 도출, 슬러지 연료가스의 활용을 위한 적용방안 도출
- 2차년도: 슬러지 연료가스 오염물질 제거시스템 설계, 정제된 연료가스의 보조 연료 사용을 위한 재순환시스템 설계, 정제된 슬러지 연료가스를 이용한 전기 생산을 위한 적용방안 도출
- 3차년도: 슬러지 연료가스 오염물질 제거시스템 구축 및 시운전, 정제된 슬러지 연료가스 재순환시스템 구축 및 성능평가 시험, 정제된 슬러지 연료가스를 이용한 전기 생산시스템 설계
- 4차년도: 슬러지 연료가스의 오염물질 제거시스템 운전특성 파악 및 운전조건 도출, 정제된 슬러지 연료가스 이용 전기 생산시스템 구축 및 운전특성 파악
- 5차년도: 슬러지 연료가스의 오염물질 제거 및 이용시스템의 실증결과 분석, 실증 결과 반영 슬러지 연료가스의 최적 활용방안 도출 및 경제성 분석

(라) 예상성과물

- 슬러지 합성가스의 이용을 위한 오염물질 제거시스템 실증 결과
- 정제된 슬러지 연료가스의 이용시스템 운전 결과
- 슬러지 연료가스의 최적 활용방안

(3) 3세부과제

(가) 과제명

슬러지 슬래그이용 건설자재 생산 및 시공 실증

(나) 연구 목표

- 슬러지 슬래그의 건설자재 이용을 위한 적용방안 도출 및 시공 실증을 통한 보급화 방안 개발

(다) 연구 내용

- 슬러지 슬래그의 건설자재 활용을 위한 관련 규격 검토 및 평가 방안 도출
- 슬러지 슬래그 이용 건설자재 생산을 위한 적용방안 도출
 - 재료별 특성, 규격 검토 및 건설자재 용도별·규격별 배합 방안 도출
 - 슬러지 슬래그의 고품화 방안 도출
- 슬러지 슬래그 이용 친환경 건설자재 생산설비 구축
- 생산된 건설자재를 이용한 시공 실증
 - 생산된 건설자재 이용 실증을 위한 대상 현장 선정 및 인증 확보 (지자체 및 유관기관 협조)
 - 건설자재 시험제품 생산 및 현장 시공 (도로 포장 또는 타일 시공 등)
 - 건설자재 시공 후 성분 변화 관찰 및 실증결과 분석
- 슬러지 슬래그의 건설자재 이용 경제성 분석 및 대량 이용방안 도출

○ 연도별 연구내용

- 1차년도: 슬러지 슬래그 이용 건설자재 생산을 위한 재료별 특성, 규격 검토 및 건설자재 용도별·규격별 배합 방안 도출
- 2차년도: 슬러지 슬래그의 건설자재 활용을 위한 관련 규격 검토 및 평가 방안 도출, 슬러지 슬래그의 고품화 방안 도출
- 3차년도: 슬러지 슬래그 이용 친환경 건설자재 시험생산 및 내구성 평가, 건설자재 적용방안 확립 및 생산 설비 설계
- 4차년도: 슬러지 슬래그 이용 친환경 건설자재 생산설비 구축 및 시험제품 생

산 (도로 포장 또는 타일 시공 등), 생산된 건설자재 이용 실증을 위한 대상 현장 선정 및 인증 확보 (지자체 및 유관기관 협조)

· 5차년도: 건설자재 시공 후 성분 변화 관찰 및 실증결과 분석, 슬러지 슬래그의 건설자재 이용 경제성 분석 및 대량 이용방안 도출

(라) 예상성과물

- 슬러지 슬래그의 건설자재 이용을 위한 적용방안 도출 결과
- 슬러지 슬래그 이용 건설자재 생산설비 운전 결과
- 생산된 건설자재의 시공 실증 결과

다. 연구추진체계 및 전략

(1) 추진전략

- 연구개발 결과의 실용화 및 권역 활용을 위해 권역의 기업·연구기관·지자체 등의 적극적인 참여와 국내 전문 연구기관이 공동으로 참여하여 연구개발을 추진하고, 주기적인 중간 연구결과의 발표 및 자문회의를 통해서 시스템 최적화를 위한 의견 수렴
- 슬러지 이용 청정 연료가스 생산과 건설자재 이용을 위한 실증설비 설계 및 적용을 위해 지자체 및 하·폐수 처리 기관과의 긴밀한 협조체계 및 기반 구축
- 슬러지 이용 청정 연료가스 및 건설자재 생산기술은 기 개발된 연구결과를 기반으로 각 기술의 복합 적용 및 연계를 통한 실증화와 기술 고도화 추진
 - 국내 선행연구 결과를 기반기술로 확보하고 단위기술을 연계, 통합 및 실증을 통하여 개발시스템의 신뢰성 및 상용화 적용 방안 확보
 - 기 개발된 연구의 결과를 활용할 경우 구체적인 연계, 통합 및 활용방안을 연구계획에 포함하여 추진
 - 슬러지의 청정연료화를 위한 복합설비와 연계설비의 개발 및 실증을 통한 핵심기술 확보
 - 국내 기술, 국산 재료, 자체 시공·감리에 의한 국산화 건설

(2) 추진체계

- 요소기술을 패키지 형태로 종합하여 통합기술에 대한 시너지 효과를 높이고 세부과제간 연계 강화와 실용화를 위한 중형과제 형식의 연구단 형태로 추진
- 동남권 기업(건설 및 실증), 연구소 및 대학과 국내 전문가를 활용한 공동연구 추진
- 연구단과 세부 과제간 유기적인 협력체계 구축 및 유지를 위한 긴밀한 연구체계 확립
- 설비 실증을 통해 개발시스템의 신뢰성·적용성 확보 및 기술개발 결과의 적용 확대
- 기술개발에 필요한 연구부지 선정, 발생 슬러지 조사 등에 대하여 지자체 및 유관기관들과의 긴밀한 협조체제 유지
- 연차별 연구성과 확인 및 과제 발표회 개최

라. 소요연구비 산정

(1) 연차별·세부과제별 예산

(단위 : 백만원)

연도	연구비 확보			연구비 배정			
	정부	민간	합계	연구단	1세부	2세부	3세부
1차년도	481	289	770	70	500	100	100
2차년도	1349	671	2020	70	1600	250	100
3차년도	1480	790	2270	70	1450	500	250
4차년도	1080	540	1620	70	650	550	350
5차년도	990	530	1520	70	500	300	650
총계	5380	2820	8200	350	4700	1700	1450

(2) 예산산출 근거

- 연구비는 기술개발의 경제적 타당성, 기술개발 기여도, 기술 파급효과 등을 고려하여 산출하였으며, 과제별 우선순위를 정하고 예산을 배분함
- 과제분석 결과를 통하여 슬러지 탈수·건조 및 가스화용융 연계 통합시스템 개발(57%), 슬러지 연료가스의 이용시스템 구축 및 최적 활용방안 개발(21%), 슬러지 슬래그이용 건설자재 생산 및 시공 실증(18%), 연구단(4%)으로 예산을 배분함

(가) 1세부과제

1세부과제(슬러지 탈수·건조 및 가스화용융 연계 통합시스템 개발)는 슬러지 이용 청정 연료가스 및 건설자재 생산을 위한 탈수·건조시스템과 가스화용융 시스템을 연계한 통합시스템을 구축하고 실증을 통한 최적 연계방안 개발하는 과제로 3개의 세세부과제가 포함되어 있다. 우선순위에 대한 평가 기준은 ‘기술개발 시급성, 경제적 타당성, 기술개발수준향상기여도, 기술파급효과’의 4가지로 보았으며, 우선순위 평가 결과를 반영하여 세세부과제에 대한 예산을 배분하였다. 예산에는 실증설비에 대한 설계, 시공, 건설 및 운전비용이 포함되어 있다.

(단위 : 백만원)

구분		기술개발 시급성	경제적 타당성	기술개발 수준향상 기여도	기술 파급효과	세세부과제연구비
슬러지 탈수·건조 및 가스화용융 연계 통합시스템 개발	슬러지 탈수·건조 시스템 구축 및 운전	400 (②순위)	450 (①순위)	250 (②순위)	150 (②순위)	1250
	건조슬러지 가스화용융 시스템 개발	700 (①순위)	400 (②순위)	700 (①순위)	500 (②순위)	2300
	슬러지 탈수·건조 및 가스화용융 연계 통합공정 개발	500 (①순위)	400 (①순위)	150 (③순위)	100 (③순위)	1150
	소계					4700

(단위 : 백만원)

1세부과제	요소기술	세부 항목	연구비
슬러지 탈수·건조 및 가스화용융 연계 통합시스템 개발	슬러지 탈수·건조 및 가스화용융 통합시스템 연계방안 도출	동남권 발생 슬러지의 특성 조사 및 슬러지 탈수·건조기술 적용방안 도출	50
		슬러지 탈수·건조 및 가스화용융 연계 통합시스템 설치 부지 선정	50
	슬러지의 탈수·건조 및 메탄회수 시스템 연계 공정 개발	동남권 발생 슬러지의 탈수·건조를 위한 기존 기술 적용방안 도출	50
		슬러지 공급시스템 설계 및 구축 (20톤/일 규모)	100
		20톤/일 규모 슬러지 탈수·건조 시스템 설계 및 구축 (함수율 15% 이하)	650
		슬러지 탈수여액으로부터 메탄가스 추출 및 활용을 위한 연계시스템 설계 및 구축	250
	건조슬러지 이용 합성가스(CO, H ₂) 및 슬래그 생산을 위한 가스화용융 시스템 개발	건조슬러지 가스화용융 설비 설계 및 구축 (건조슬러지 처리용량 3톤/일 규모)	900
		가스화용융 설비 공급용 산소, utility(Air, 용수 등) 공급시스템 설계 및 구축	800
		발생 슬러지 슬래그의 안정적인 배출을 위한 슬래그 배출시스템 구축	200
		연계 통합설비 제어시스템 구축	500
		생산된 고온의 슬러지 합성가스로부터 열회수 및 슬러지 탈수·건조 시스템 연계 통합공정 개발	슬러지 탈수·건조 및 가스화용융 연계시스템 구축
	생산된 고온의 슬러지 합성가스로부터 열회수 및 슬러지 탈수·건조 시스템 연계 통합공정 개발	고온 슬러지 합성가스의 열회수시스템 구축	250
		연계 통합설비 운전	400
		실증결과 반영한 슬러지의 연료화 이용을 위한 통합 연계 시스템 도출	슬러지 탈수처리 및 가스화용융 연계 통합시스템의 실증결과 분석
	실증 결과 반영 슬러지의 연료화 사용을 위한 최적 활용방안 도출 및 경제성 분석		150
소계			4,700

(나) 2세부과제

2세부과제(슬러지 연료가스의 이용시스템 구축 및 최적 활용방안 개발)는 건조 슬러지의 가스화용융으로 생산된 합성가스를 정제하여 연료가스로 활용하기 위한 이용시스템 구축 및 운전을 통한 최적 활용방안을 개발하는 과제로 2개의 세세부과제가 포함되어 있다. 우선순위에 대한 평가 기준은 1세부과제와 마찬가지로 ‘기술개발 시급성, 경제적 타당성, 기술개발수준향상기여도, 기술파급효과’의 4가지로 구분하였으며, 평가 결과를 반영하여 실증설비에 대한 설계, 시공, 건설 및 운전비용이 포함된 예산을 세세부과제에 배분하였다.

(단위 : 백만원)

구분		기술개발 시급성	경제적 타당성	기술개발 수준향상 기여도	기술 파급효과	세세부과제연구비
슬러지 연 료 가 스 의 이 용 시 스 템 구 축 및 최 적 활 용 방 안 개 발	슬러지 합성가 스 오염물질 제거방안 도출 및 설비 구축	150 (②순위)	400 (①순위)	150 (②순위)	200 (②순위)	900
	정제된 연료가 스의 활용을 위한 적용방안 도출 및 이용 시스템 구축	200 (②순위)	300 (①순위)	200 (②순위)	100 (③순위)	800
소계						1700

(단위 : 백만원)

2세부과제	요소기술	세부 항목	연구비
슬러지 연료 가스의 이용 시스템 구축 및 최적 활 용방안 개발	슬러지 가스화용 용으로 생산된 합 성가스의 청정 연료가스 이용을 위한 오염물질(분 진, 산성가스) 제 거방안 도출	슬러지 합성가스의 청정 연료가스 이용을 위한 분진 제거방안 도출	30
		슬러지 합성가스의 청정 연료가스 이용을 위한 산성가스(H ₂ S) 제거방 안 도출	20
	슬러지 합성가스 오염물질 제거시 스템 구축	분진 제거시스템 설계 및 구축	350
		산성가스(H ₂ S) 제거시스템 설계 및 구축(분진 및 H ₂ S 제거율 95% 이상)	300
		오염물질(분진, 산성가스) 제거시스 템 운전	200
	정제된 연료가스 의 활용을 위한 적용방안 도출 및 이용시스템 구축	슬러지 연료가스의 가스화용용시 보조연료 활용 위한 적용방안 도출	50
		슬러지 연료가스의 가스화용용시 보 조연료 활용을 위한 재순환 시스템 구축	100
		슬러지 연료가스 이용 전기 생산시스 스템 적용방안 도출 및 구축	450
	실증결과를 반영 한 슬러지 연료가 스의 최적 이용 방안 도출	슬러지 합성가스의 오염물질 제거 및 정제된 연료가스 이용시스템의 실증결과 분석	100
		실증 결과 반영 슬러지 연료가스의 최적 활용방안 도출 및 경제성 분석	100
소계			1,700

(다) 3세부과제

3세부과제(슬러지 슬래그이용 건설자재 생산 및 시공 실증)는 건조슬러지의 가스화용융으로 생산된 슬래그를 이용하여 건설자재를 생산한 후 시공 실증연구를 진행한다. 슬러지 슬래그이용 건설자재 생산을 위한 설비 구축 및 적용방안 도출과 생산된 건설자재의 시공 실증 등 2개의 세세부과제가 포함되어 있다. 우선순위에 대한 평가 기준은 ‘기술개발 시급성, 경제적 타당성, 기술개발수준향상기여도, 기술 파급효과’의 4가지로 구분하였으며, 평가 결과를 반영하여 세세부과제에 예산을 배분하였다.

(단위 : 백만원)

구분		기술개발 시급성	경제적 타당성	기술개발 수준향상 기여도	기술 파급효과	세세부과제연구비
슬러지 슬래그이용 건설자재 생산 및 시공 실증	슬러지 슬래그 이용 건설자재 생산을 위한 설 비 구축 및 적 용방안 도출	150 (②순위)	300 (①순위)	200 (②순위)	200 (②순위)	850
	생산된 건설자 재의 시공 실증	150 (②순위)	200 (①순위)	150 (②순위)	100 (③순위)	600
소계						1450

(단위 : 백만원)

3세부과제	요소기술	세부 항목	연구비
슬러지 슬래그 이용 건설자재 생산 및 시 공 실증	슬러지 슬래그의 건 설자재 활용을 위한 관련 규격 검토 및 평가 방안 도출	슬러지 슬래그의 건설자재 활용을 위한 관련 자료조사 및 규격 검토	40
		슬러지 슬래그의 건설자재 활용을 위한 관련 평가 방안 도출	30
	슬러지 슬래그 이 용 건설자재 생산을 위한 적용방안 도출	재료별 특성, 규격 검토 및 건설자 재 용도별·규격별 배합 방안 도출	60
		슬러지 슬래그의 고형화 방안 도출	70
	슬러지 슬래그 이 용 친환경 건설자재 생산설비 구축	친환경 건설자재 생산을 위한 슬러 지 슬래그 공급시스템 구축	100
		슬러지 슬래그 이용 친환경 건설자 재 생산시스템 설계 및 구축	400
	생산된 건설자재를 이용한 시공 실증	생산된 건설자재 이용 실증을 위한 대상 현장 선정 및 인증 확보 (지자 체 및 유관기관 협조)	100
		건설자재 시험제품 생산 및 현장 시 공 (도로 포장 또는 타일 시공 등)	450
		건설자재 시공 후 성분 변화 관찰 및 실증결과 분석	50
	슬러지 슬래그의 건 설자재 이용 경제성 분석 및 대량 이용 방안 도출	슬러지 슬래그의 건설자재 이용 경 제성 분석	100
		시공 실증결과 반영 슬러지 슬래그 활용방안 확립 및 대량 이용방안 도 출	50
소계			1,450

제 4 장 추진전략 및 방법

1. 추진전략

가. 전략적 목표

(1) 슬러지 탈수·건조 및 가스화용융 연계 통합시스템 개발

- 슬러지의 탈수·건조 및 건조된 슬러지의 가스화용융을 위한 자료 조사·분석 및 통합시스템에 대한 설계방안과 적용기술을 도출하고 실증 적용하여 검증
- 슬러지 탈수·건조 및 가스화용융 기술 연계 통합시스템 개발은 기 개발된 연구결과를 기반으로 각 기술의 복합/융용을 통한 실증화 및 기술 고도화 추구
 - 기 개발된 연구결과의 구체적인 연계·통합 및 활용방안을 연구계획에 포함하여 추진
 - 슬러지 가스화용융 기술에 대한 핵심기술 확보
 - 연계 통합시스템 실증을 통한 요소기술 확보
 - 국내 기술, 국산 재료, 자체 시공/감리에 의한 국산화 건설
- 슬러지 처리비용 대비 에너지 생산 및 건설자재 이용에 따른 수익성 분석을 연구계획에 포함하여 추진
- 국내 관련 연구소 및 대학과 공동연구를 통하여 슬러지 처리를 위한 연계 통합시스템에 적용할 방안 도출 및 요소기술 확보
- 슬러지 처리 및 연료화 이용을 위한 연계 통합시스템 실증을 위해 관련 유관기관과의 긴밀한 협력기반 구축
- 연구결과의 공유 및 활용을 위해 지자체, 관련 유관기관 등과 긴밀한 협조체계 구축
- 제2세부과제 및 제3세부과제와 유기적인 협력에 기반을 둔 연구수행

(2) 슬러지 연료가스의 이용시스템 구축 및 최적 활용방안 개발

- 슬러지의 탈수·건조 및 건조된 슬러지의 가스화용융 시스템과의 연계방안을 도출하고 실증 적용하여 검증한 후, 타 하·폐수 슬러지 처리장에 활용할 방안을 제시
- 기 개발된 연구개발 결과의 구체적인 활용 및 청정 연료가스의 이용 방안을 연구계획에 포함하여 추진
- 청정 연료가스를 슬러지 탈수·건조 및 가스화용융 보조연료로 활용하기 위한 연계 방안을 도출하고 실증을 통한 검증
- 가스엔진 발전으로 생산된 전기의 하·폐수 처리장 활용방안을 도출 및 적용
- 국내 전문가와의 유기적인 기술협력 및 공동연구를 통하여 청정 연료가스 이용을 위한 방안 도출 및 시스템 구축
- 제1세부과제와 유기적인 협력에 기반을 둔 연구수행

(3) 슬러지 슬래그이용 건설자재 생산 및 시공 실증

- 기 개발된 연구개발 결과의 구체적인 활용 및 슬러지 슬래그의 건설자재 이용 방안을 연구계획에 포함하여 추진
- 건설자재의 생산비와 판매가의 비교를 통한 경제성 분석을 연구계획에 포함하여 추진
- 생산된 건설자재의 무해화에 대한 검증을 위해 국내 전문가와의 기술협력 및 공동연구를 통하여 분석방안을 도출하고 환경성 검증
- 슬러지 슬래그의 건설자재 활용에 따른 사회적·정서적인 혐오감을 최소화 할 수 있는 건설자재 활용방안 도출
- 제1세부과제와 유기적인 협력에 기반을 둔 연구수행

나. 추진체계

- 슬러지 이용 청정 연료가스 및 건설자재 활용기술 개발을 위해 연구단 형태의 사업을 추진하며, 연구단에서는 전체적인 업무에 대한 총괄관리를 수행
- 관련 분야 교수진으로 구성되는 학계에서는 슬러지 탈수·건조, 가스화용융으로 생산된 합성가스의 오염물질 제거 등 단위 기술 개발에 참여
- 연구계에서는 슬러지 탈수·건조 및 가스화용융 연계 통합시스템에 대한 설계를 진행하고, 실증결과에 대한 자료 분석을 바탕으로 적용방안 도출
- 산업체에서는 슬러지 탈수·건조 및 가스화용융 연계 통합시스템에 대한 건설 및 운영, 청정 연료가스 이용시스템 구축, 슬러지 슬래그의 건설자재 활용 시공 등 적용기술에 대한 실증을 진행
- 각 기관들은 총괄관리를 담당하는 연구단과의 협의하에 긴밀하고 유기적인 관계를 유지하면서 담당분야의 업무 수행
- 연차별 연구 성과 확인 및 과제 발표회 개최

(1) 슬러지 탈수·건조 및 가스화용융 연계 통합시스템 개발

- 동남권 기업(건설 및 실증), 연구소 및 대학과 국내 전문가를 활용한 공동연구 추진
- 기술개발에 필요한 실증설비 부지 선정, 연계 통합시스템 실증 운전 등에 대하여 관련 유관기관들과 긴밀한 협조체계 유지
- 제2세부과제 및 세부3과제 진행을 위한 연구추진 인자들간의 협력체계 구축 및 긴밀한 연구체계 확립
- 지자체, 관련 유관기관과의 유기적인 협력체계 유지를 통한 기술개발 결과의 적용 확대

(2) 슬러지 연료가스의 이용시스템 구축 및 최적 활용방안 개발

- 동남권 기업(건설 및 실증), 연구소 및 대학과 국내 전문가를 활용한 공동연구

추진

- 제1세부과제와 유기적인 협력체계를 유지한 연구 수행 긴밀한 협조체계 구축
- 지자체, 관련 유관기관과의 유기적인 협력체계를 통한 기술개발

(3) 슬러지 슬래그이용 건설자재 생산 및 시공 실증

- 동남권 기업, 연구소 및 대학과 국내 전문가를 활용한 공동연구 추진
- 제1세부과제와 유기적인 협력체계를 유지한 연구 수행 긴밀한 협조체계 구축
- 지자체, 관련 유관기관과의 유기적인 협력체계를 통한 기술개발

다. 단계별 추진전략

- 슬러지를 이용한 청정 연료가스 생산·이용 및 슬러지 슬래그의 건설자재 활용을 위한 실증에 대하여 5단계로 구분하여 단계별 추진전략 수립
- 각 단계별로 세부과제별 긴밀한 협조체계 구축 및 유기적인 협력을 기반으로 연구개발을 추진

(1) 1단계

- 동남권 발생 슬러지의 특성 조사 및 슬러지 탈수·건조기술에 대한 적용방안을 도출하고 대상 슬러지의 가스화 특성 및 불연분의 용융점 등 기초특성 분석
- 슬러지 가스화용융으로 생산된 연료가스의 정제를 위한 오염물질(분진, 산성가스 등) 제거방안을 도출하고 슬러지 연료가스의 활용을 위한 적용방안 도출
- 슬러지 슬래그 이용 건설자재 생산을 위한 재료별 특성, 규격 검토 및 건설자재 용도별·규격별 배합 방안 도출
- 슬러지 탈수·건조 및 가스화용융 연계 통합시스템 설치 부지 선정
- 슬러지 탈수·건조시스템 운전조건 확립 및 설계
- 슬러지 저장 및 투입시스템 설계·구축

(2) 2단계

- 슬러지 슬래그의 건설자재 활용을 위한 관련 규격 검토 및 평가 방안과 슬러지 슬래그의 고품화 방안을 도출
- 슬러지 탈수여액으로부터 메탄가스 추출 및 활용을 위한 연계시스템 설계
- 슬러지 연료가스 오염물질 제거시스템과 정제된 연료가스의 보조연료 사용을 위한 재순환시스템 설계 및 정제된 슬러지 연료가스를 이용한 전기 생산시스템 적용방안 도출
- 가스화용융을 위한 건조슬러지 공급조건을 도출하고 건조슬러지 가스화용융을 위한 공급시스템 설계 및 구축
- 슬러지 탈수·건조 및 가스화용융 연계 통합시스템 설계 및 설비 구축을 위한 기반 공사를 진행하고 슬러지 탈수·건조시스템 구축

(3) 3단계

- 고온의 슬러지 합성가스로부터 열회수를 위한 해석 및 열회수시스템 설계
- 정제된 슬러지 연료가스를 이용한 전기 생산시스템 설계
- 슬러지 탈수여액으로부터 메탄가스 추출 및 활용을 위한 연계시스템과 슬러지 가스화용융 설비 구축 및 시운전
- 슬러지 연료가스 오염물질 제거시스템 및 정제된 슬러지 연료가스 재순환시스템 구축 및 시운전
- 슬러지 슬래그 이용 친환경 건설자재 시험생산 및 내구성 평가
- 슬러지 슬래그의 건설자재 적용방안 확립 및 생산 설비 설계

(4) 4단계

- 슬러지 탈수·건조시스템 운전특성 파악 및 운전조건 도출
- 건조슬러지 가스화용융 시스템 운전특성 파악 및 운전조건 도출
- 슬러지 연료가스의 오염물질 제거시스템 운전특성 파악 및 운전조건 도출
- 정제된 슬러지 연료가스 이용 전기 생산시스템 구축 및 운전특성 파악
- 슬러지 탈수·건조 및 가스화용융 연계시스템 및 고온 슬러지 합성가스의 열회수시스템 구축
- 슬러지 슬래그 이용 친환경 건설자재 생산설비 구축 및 도로포장용 시험제품

생산

- 생산된 건설자재 이용 실증을 위한 대상 현장 선정 및 인증 확보 (지자체 및 유관기관 협조)

(5) 5단계

- 슬러지 탈수·건조 및 가스화용융 연계 통합시스템 운전
- 슬러지 탈수처리 및 가스화용융 연계 통합시스템의 실증결과와 슬러지 연료가스의 오염물질 제거 및 이용시스템의 실증결과 분석
- 슬러지의 연료화 사용을 위한 최적 활용방안 도출 및 경제성 분석
- 건설자재 시공 후 성분 변화 관찰 및 실증결과 분석
- 슬러지 슬래그의 건설자재 활용에 대한 경제성 분석 및 대량 이용방안 도출

라. 세부 핵심 개발과제 선정 요소

- 세부과제별로 해당 과제가 가지는 기술개발 중요도, 시장창출 효과 및 타 분야 확대 적용 가능성
- 해당 세부과제 기술의 통합이용시스템 적용 타당성 및 실용화 달성 기간
- 개발하고자 하는 해당 기술의 산업적 적시성
- 해당 기술개발 과제의 시급성 및 경제적, 환경적 파급효과

마. 사업화 전략

- 본 과제는 슬러지의 처리 및 연료화·자원화 활용하기 위하여 필요한 요소기술 개발 및 실증운전을 통해 연계 통합시스템 개발 및 발생 부산물의 효율적인 활용방안을 개발하는 것임
- 본 과제의 기술개발을 위하여 해당분야의 전문기술을 보유하고 있는 연구소 및 대학교의 연구 인력을 확보하고, 연계 통합시스템의 구축 및 운전을 담당할 산

업체의 참여를 적극적으로 유도하고, 정부 및 지자체의 정책지원을 통해 개발기술을 활용함

- 동남권의 대상 하·폐수 처리장 이외의 다른 하·폐수 처리장들로 확대 적용하기 위하여, 슬러지 처리 및 연료화 이용을 위한 연계 통합시스템의 표준기술을 제정하여 타 분야에서 추진 중인 관련 기술과의 차별성을 확보하며, 개발과정에서 발생하는 지적재산권의 확보를 통하여 본 기술이 활용될 수 있도록 관계자에 대한 기술 지원 기반을 조성함
- 개발 기술의 사업화 방향
 - 하·폐수 처리장 유관기관과 연계 통합시스템을 개발 및 건설하는 연구소, 대학교, 산업체들간의 공동목적 달성을 위한 협의 기회 확보
 - 개발 기술의 제품화 및 사업화를 위하여 필요한 제도적, 물질적 지원 등에 대한 적극적인 정부 및 지자체 차원의 지원을 유도

2. 추진 방법

가. 연구단 운영방안

- 건설교통기술평가원이 참여하는 연구단 심의회, 운영위원회 및 평가위원회를 구성하여 연구단의 투명하고 공정한 운영을 관리, 감독하며 복합이용시스템 개발 목표 달성을 위한 지원 수행함
- 조정협의회를 두어 연구단과 국토해양부 및 건설교통기술평가원 사이의 원활한 업무조정 및 기술개발과 정책연계를 위한 정보교류 활성화 함
- 연구단에서 통하여 기술개발 관련 대내외 정보의 수집, 분석, 가공을 통하여 개발에 참여하는 각 기관에게 제공하며, 각 기관은 사업단과의 협조를 통해 대내외 홍보(언론, 학술활동 등)를 전략적으로 추진함
- 각 세부과제 참여기관들은 기술교류회를 구성하여 세부과제간 기술정보 교류 활성화를 도모함
- 연구단 홈페이지를 구축하여 연구개발 관리 시스템 및 정보 공유, 그리고 대외 기술홍보 기능을 강화하여 원격지에서도 과제수행의 효율성을 제고함
- 연구단 주최 워크숍 및 전시회를 연간 1~2회 개최하여 개발결과의 대외적인 홍보를 강화함

나. 기술개발 추진방안

- 슬러지의 탈수·건조 및 가스화용융 연계 통합시스템과 청정 연료가스 및 건설자재 활용을 위한 기술의 분석과 적용 방안을 제시함
- 하·폐수 처리장을 대상으로 연계 통합시스템과 건설자재 활용에 대한 실증을 통하여 슬러지의 처리 및 활용방안을 도출하고, 타 하·폐수 처리장에 도출된 활용시스템을 이용하기 위한 적용방안을 개발하는 방식으로 기술적 차별화 달성
- 기술개발 기간 동안의 주요 업무에 대한 milestone 및 설계자료, 특허, 논문 등과 같은 deliverables를 사전에 결정하고 과제에 참여하는 각 기관들이 서로 공유함으로써 정해진 일정대로 업무가 진행될 수 있도록 추진

- 기술개발 과정에서 발생하는 연계 통합시스템과 건설자재 활용관련 설계내용, 성능평가 시험 결과 등의 핵심개발 관련 내용은 기술보고서, 특허로 작성함으로써 기술개발 결과에 대한 체계적인 관리를 수행
- 건설교통기술평가원과 협의하여 외부 전문가의 자문을 통해 기술개발 내용 및 진행방향에 대한 자체평가를 수행

다. 기술조사 방법

- 국내 기술의 경우에는 학회지, 세미나/워크숍 자료 등의 기술문헌을 입수한 후 일괄적으로 정리
- 해외 기술의 경우에는 기술문헌 입수 및 관련 분야의 해외학회 참가자를 대상으로 습득한 최신정보를 공유토록 유도
- 국가R&D사업관리서비스(rndgate.ntis.go.kr), 한국과학기술정보연구원(www.kisti.re.kr), 한국에너지기술평가원(www.ketep.re.kr), 국립환경과학원(www.nier.go.kr), 한국환경산업기술원(www.keiti.re.kr), 국가청정생산지원센터(www.kncpc.re.kr), 미국 DOE(www.doe.gov), 일본 NEDO(www.nedo.go.jp), 전자저널(www.sciencedirect.com) 등 인터넷 포털사이트 활용
- 특허의 경우에는 전문 D/B(Dialog, WHIPS 등)를 활용하여 관련분야 patent map을 작성
- 보조적인 수단으로 특허청 및 한국특허정보원 등의 인터넷을 활용한 특허 검색 활용

라. 개발성과 관리 방안

- 개발된 기술의 실증화를 위하여 성과관리와 평가를 추진하는 한편, 사업추진과 함께 정량화된 성과관리 체계 도입
- 기술개발 내용에 대한 공통적인 성과부분을 평가하고, 각 세부 분야별로 특성화된 성과부분을 추가 지표로 설정하여 성과를 효과적으로 측정

제 5 장 기대효과 및 전망

1. 기대효과

가. 기술적 측면

- 슬러지의 가스화 용융을 통해 청정 연료가스인 CO, H₂ 가스로 전환시킴으로써 슬러지로부터 청정한 연료가스 및 원료로의 활용이 가능한 에너지원으로 개발 가능함
- 슬러지의 가스화를 통해 발생된 합성가스를 재순환하여 가스화용융 시스템 내의 자체 에너지원으로 활용할 수 있도록 하는 합성가스 버너 및 재순환 시스템 개발 및 기술 확보
- 슬러지 가스화를 통해 발생된 합성가스를 다양한 에너지원으로 활용할 수 있도록 하는 합성가스의 H₂/CO 비 제어 기술개발로 연계 가능함
- 국내 자체 개발기술로서 슬러지 가스화용융로 설계 및 운전기술 개발을 통해 설계 및 운전 전문가를 확보함으로써 국내 가스화 관련 기술 개발에의 활용이 가능하며, 합성가스 버너, 가스화 반응기 등 관련 기술의 국산화 개발에 기여할 수 있음

나. 산업·경제적 측면

- 현재까지 슬러지 처리설비는 혐오시설로 인식되어 소각설비 건설시 주민 반대 등 사회적 문제를 야기하고 있으나, 가스화용융 설비는 슬러지를 전량 재활용하면서 환경적으로 무해하게 처리하므로 진정한 자원회수 시설로 인식될 수 있음
- 폐기물 및 슬러지의 가스화에 의해 발생한 합성가스를 재순환하여 자체 에너지원으로 사용하고, 발생하는 합성가스를 전기생산 등에 활용하여 합성가스 이용의 유연성을 확보함으로써 슬러지 가스화 용융 시스템의 경제성 확보가 가능함
- 슬러지의 가스화에 의해 발생한 합성가스를 다양한 에너지원으로서의 활용 가능 기술을 제공함으로써 합성가스를 이용한 발전의 경우와 마찬가지로 원료물질

- 로 활용할 경우 대기로 배출되는 CO2 배출량을 저감할 수 있어, 2012년 우리나라 CO2 배출량 저감을 의무화 할 경우 현실적인 감축 대안이 될 수 있음
- 한국형 슬러지 가스화 용융 시스템 개발을 통한 해외 수출 기대 가능성

다. 정책적 측면

- 국외의 경우 환경적인 문제를 해결하고 에너지원으로의 재사용이 가능한 차세대 기술로서 폐기물 가스화 용융에 의한 자원화 기술을 정책적으로 반영하고 있고, 유럽연합의 경우 폐기물 zero 정책에 수반하여 현재 폐기물 가스화 용융 기술이 10~20%를 점유하고 있으며, 향후에도 지속적으로 가스화 용융 시스템으로 전환될 것으로 예측됨
- 슬러지 가스화 기술 및 발생된 합성가스를 다양한 에너지원으로 활용하는 기술 개발을 통해 폐기물 가스화 용융 시스템에 대한 국내 슬러지 적용성 및 안정적인 합성가스 생산을 위한 기술적인 경험을 축적함으로써 향후 소각기술을 대체해 슬러지를 처리할 수 있는 기술의 상용화를 앞당길 수 있을 것으로 예측됨
- 다이옥신 등과 같은 독성 유기물질 및 환경오염 물질의 배출을 최소화 할 수 있는 가스화 용융 시스템 개발로 국내 폐기물 및 슬러지 처리에 대한 정부, 지자체, 주민의 요구에 부응하는 기술 확보가 가능함

2. 경제적 효과

- 계산기준
 - 슬러지 처리량 : 20톤/일 기준
 - 1년 300일 기준
- 에너지절감 효과 : 200 TOE/년
- 이산화탄소 절감효과 : 1,708톤/년
- 매립비용 절감 : 2.4억원/년
 - 매립비용 : 4만원/톤 (비용상승시 추가절감 예상)

3. 슬러지 가스화 적용시 온실가스 감축량 및 CER 수익

- 하수슬러지 가스화 시스템을 통해 CDM 사업에 참여하는 경우, <표 5-1>과 같이 CO₂ 저감 효과 및 CER 수익 효과를 얻을 수 있음

<표 5-1> 하수슬러지 가스화 적용시 예상되는 CO₂ 저감량 및 CER 수익

처리량 (톤/일)	저감 CO ₂ 량 (톤-CO ₂ /년)	CER 수익	
		천 원/년	억 원/10년
20	1,708	30,744	3.7
100	8,540	153,720	15.4
200	17,080	307,440	30.7

*환율 1,500원/€, CER 12€/톤-CO₂ 기준으로 계산

제 6 장 연구개발과정에서 수집한 해외과학 기술정보

기획연구 수행시 본 기획으로 도출된 연구개발 과제와 같은 해외과학 기술정보는 얻지를 못하였으며, 유사과제에 대해서는 국외 기술개발 현황에 명기하였다.

제 7 장 참고문헌

1. 환경부, “폐기물 열분해 가스화 전량자원화 과제 보고서”, (주관-대우건설, 세부 1-고기원, 세부2-연세대)
2. “생활폐기물 직접융융방식(DMS)의 융융 부산물 국내 재활용 방안에 관한 연구”, 최종보고서. 2003년
3. 환경부, “하수슬러지 종합대책”, 2008.
4. 유대우, 김영석, “PGV(Plasma Gasification & Vitrification) 시스템을 통한 폐기물 자원화 기술”, 플랜트저널, 제4권, 제4호, 2008
5. Brendan McAuley, Julie Kunkel and Stanley E. Manahan, “A New Process for the Drying and Gasification of Sewage Sludge”, Water Engineering & Management, May, 2001
6. Nobuo Izumitani, “Development of High-Efficiency Gasification Power Generating Sytem Using Sewage Sludge and Woody Biomass”, Bureau of Sewerage, Tokyo Metropolitan Government
7. Hajime Takahashi, “Study on Sewage Sludge Gasification”, Bureau of Sewerage, Tokyo Metropolitan Government
8. Roger Khalil, Ola Jonassen, Mette Bugge, Lars Sorum, “Options for the treatment of organic sludge”, SINTEF Energy Research, May, 2007
9. ISWA’s Working Group on Sewage & Watework Sludge, “Sludge Treatment and Disposal”, European Environment Agency, Environmental Issue Series, no. 7, 1997
10. A. Selinger, Ch. Steiner and K. Shin, “TwinRec Gasification and Ash Melting Technology - Now also established for Municipal Waste”, 4th Int. Symposium on Waste Treatment Technologies, 2003
11. 한국소각기술협의회 기술 Workshop 자료(2003-2006).
12. 조규훈, “산업폐기물의 에너지 활용을 위한 기초 연구”, 숭실대학교, 학위논문, 1991.

13. "폐기물 가스화/용융 처리를 통한 합성가스 생산 및 이용 시스템 실증 연구", 에너지자원개발 사업 연구결과보고서.
14. 효성에바라엔지니어링(주), 고등기술연구원, "하수슬러지 가스화를 통한 에너지 이용기술개발", 폐자원 에너지화·Non-CO₂ 온실가스사업 2단계 최종보고서, 2010.
15. "The Puzzle of Sustainable Society", EBARA CORPORATION.
16. Janetta Balgaranova, "Plasma chemical gasification of Sewage Sludge", Waste Manage Res, 2003.
17. "A Comparison of gasification and Incineration of Hazardous Wastes", Final Report, DOE, NETL, 2000.
18. 환경부, "하수슬러지 처리기술 대토론회", 2010.
19. 국무총리실, 교육과학기술부, 농림수산부, 지식경제부, 환경부, 국토해양부, "신성장동력 추진계획 -녹색기술산업 분야-", 2009.
20. 이승규, 김학주, 이관영, 김상용, "유기성 폐기물로부터의 합성가스 제조에 관한 연구", Theories and Application of Chem. Eng., vol. 8, no. 2, 2002.
21. 환경부, "자원순환정책 추진방향", 2010.
22. 배재근, "하수슬러지 처리 및 자원화 방안", 환경관리공단, 2005.
23. 환경부, "하수슬러지 에너지화 추진계획", 2009.
24. 한국특허정보원, "하·폐수 슬러지 처리 및 자원화 기술 및 시장, 특허분석보고서", 2006.
25. 배재근, "유기성오니 처리체계 개선에 관한 연구", 수도권매립지관리공사, 2005.
26. 환경부, "유기성폐자원 에너지 활용시설 현황", 2009.
27. (주)케이백코리아, "고농도 유기물의 연속 열가수분해 시스템에 의한 슬러지 감량 기술 신기술인증보고서", 환경부, 2009.
28. (주)포스코건설, "저온폐열회수 건조장치 및 2중 회전익 혼합기를 이용한 에너지 절약형 하수슬러지 연료화 기술", 환경부, 2008.
29. 전원표, "에너지자원기술개발 연구기획분석보고서 건조기 분야", 에너지관리공단, 2007.
30. (재)포항산업과학연구원, "슬러지의 고도탈수를 위한 전기식 가압탈수기술 개발", 환경부, 2004.

31. (재)폐기물연구재단, "Waste Innovation 21 Project, Slim Waste 추진 연구, 1992년 연구 보고서", 2003.
31. <http://www.mhlw.go.jp/houdou/1003/h0327-1.html>.
32. 남훈 외 3인, "가스화 용융 슬래그의 보도 블록 적용 연구", 한국폐기물 학회 2004년 추계학술연구 발표회 논문집, p.106~109, 2004.
33. 최상원, 김빅토르, 장우석, 김은영, "국내외 철강슬래그의 발생 및 이용 현황", 콘크리트학회지, 제19권 6호, pp28~33, 2007.
34. 2006 유기성 오니 처리 종합대책.
35. 2008 폐기물 통계.
36. 화성케미칼 <http://hwasungchem.co.kr/>
37. 오산시 환경사업소 <http://www.osan.go.kr>
38. 정선군청 <http://new.jeongseon.go.kr>
39. 김해시 시설관리공단 <http://ds.gsiseol.or.kr>
40. 천안시청 <http://www.cheonan.go.kr>
41. 한국섬유소재연구소 <http://www.koteri.re.kr>
42. 패션저널&텍스타일라이프 2009년 11월 04일 칼럼 <http://www.okfashion.co.kr>
43. 전관수, 황응주, 김형진. "하수슬러지 및 석유화학산업단지 폐수슬러지의 에너지 화와 재화용을 위한 건조 및 탄화에 관한 연구", Clean technology 15(3), 154-164, 2009.
44. 특허검색 (www.kipris.or.kr, patent.ndsl.kr).

부 록

[부록 1] RFP

연구과제명	슬러지의 청정 연료가스 및 건설자재 활용방안 개발 (동남권)
1. 연구개발 목표	○ 슬러지의 청정 활용을 위한 이용시스템 개발 및 실증 • 슬러지 청정 이용을 위한 탈수·건조 및 가스화용융 연계 통합시스템 구축 및 실증을 통한 연계방안 개발 • 슬러지 합성가스의 청정 연료가스 사용을 위한 오염물질 제거 시스템과 활용방안 개발 • 슬러지 슬래그의 건설자재 이용을 위한 적용방안 개발 및 시공 실증을 통한 보급화 방안 개발 ○ 실증결과를 반영한 슬러지의 최적 활용방안 개발
2. 연구개발 필요성 및 기술동향	
□연구개발의 필요성	○ 경제발전 및 환경에 대한 관심이 높아지면서 국내의 생활하수 발생량은 지속적으로 증대되어 2008년 말 기준으로 전국의 공공 하수처리 시설은 403개소이고, 연간 2,817천톤의 슬러지가 발생하고 있으며 2011년에는 460개소, 3,586천톤의 슬러지가 발생될 것으로 전망됨 ○ 국내 슬러지 처리현황을 살펴보면, 2008년 기준으로 해양배출(61.10%), 재활용(19.94%), 소각(15.54%), 매립(12.79%) 순으로 처리되고 있으나, 런던 협약 '96의정서가 2006년 3월 발표되면서 해양배출기준이 대폭 강화되었고, 2011년 2월부터 해양투기가 전면 금지되어 전량 육상처리를 해야 하므로 해양배출을 대체할 환경친화적인 슬러지 처리기술의 개발이 시급함 ○ 국내에서는 슬러지의 처리 및 재활용을 위한 기술개발 및 보급을 환경부와 지식경제부에서 적극적으로 추진하여 녹생토/퇴비화/매립장복토재/시멘트원료/건설자재 등으로 재활용하거나 소각 관련 기술 개발을 진행하고 있으나 아직 실용화가 미진한 실정임 ○ 슬러지의 대표적인 처리 방법인 소각은 슬러지를 연소시킨 후 그 잔재물만 처리하므로 매립에 비해 처리량의 부피를 80~90% 정도 감소시킬 수 있으나, 소각 처리시 다이옥신, 황산화물, 염화수

소 및 다량의 이산화탄소가 배출되며 소각 잔재물 역시 중금속 용출에 의한 2차 오염을 유발시킬 수 있는 문제점을 지님

- 가스화용융 기술은 고온의 저 산소 조건에서 슬러지에 함유된 불연분과 중금속 성분을 용융시켜 환경적으로 안정한 슬래그로 배출하고, 가연분은 가스화 반응을 통해 CO와 H₂가 주성분인 합성 가스를 생산하여 연료가스로 이용하거나 전기생산, 화학원료 제조, 합성연료 제조 등 청정연료로 직접 사용하거나 전환하여 사용할 수 있음
- 슬러지를 재활용하거나 연료로 이용하기 위해서는 탈수/건조가 선행되어야 하는데 탈수/건조시 다량의 에너지가 소모되므로, 슬러지 탈수/건조와 가스화용융 등 연료화 기술을 연계, 통합 및 최적화를 통하여 에너지 소모를 줄이고 슬러지를 연료화 및 환경적으로 무해하게 처리하는 이용기술 개발이 필요함
- 이상과 같이 슬러지를 효과적이고 처리하면서 청정연료화 하여 활용하기 위한 슬러지의 이용개발과 이를 활용한 적용방안 개발이 필요함

□ 기술동향

<국 내>

- 가스화에 의한 저급 시료의 에너지회수는 생산되는 연료가스를 이용하여 다양한 에너지/원료 제조가 가능하다는 측면에서 최근 국내외적으로 많은 관심
- 국내의 슬러지 처리 기술 동향을 살펴보면 슬러지 고형연료화 기술은 외부 에너지비용 최소화, 다른 기술에 비해 연료로서의 높은 가치, 여타 재활용 기술에 비해 적은 부작용, 하수처리장 내에서 직접적인 처리가능 등 여러 장점에도 불구하고 아직까지 연구개발 성과가 미비
- 건조/고화기술은 조이환경, 포스코건설 등이 기술을 보유하고 있으며, 슬러지 연료를 CDM 사업과 연계시키고 탄화기술에 비해 열량이 우수한 점 등으로 인하여 점차 발전소 등의 혼소연료로 사용이 가능하게 되면서 활성화가 될 것으로 예상
- 건조/가스화 에너지 이용기술은 건조기가 설치된 하수슬러지 처리장 등을 대상으로 개발이 되고 있으며 슬러지 건조열원으로 사용이 가능한 장점으로 추진되고 있으며 잔재물의 재활용도 검토되고 있어 기존 슬러지 건조처리시설이 있는 하수처리장과

신규 슬러지 처리시설을 검토하는 하수처리장에서도 확대 적용 될 것으로 예상

- 건류탄화는 1990년대 말에 일본에서 국내에 도입되어, 국내의 주요 기술 개발 업체로는 한국하이테크가 있으며 2004년에 환경 신기술로 지정되었으며, 현재 상용화된 플랜트 실적은 없음 (20ton/day 이하의 실증 플랜트 보유)
- 상기와 같이 국내에서 슬러지 건조 및 자원화를 위해 많은 연구가 활발히 진행되고 있으나, 아직까지 국내에서의 슬러지 처리는 매립, 해양투기, 소각 등의 방식이 주류를 이루고 있으며, 특히 슬러지를 친환경적으로 처리하면서 자원화할 수 있는 가스화용융 기술은 국내에서 아직까지는 개발이 많이 진행되지 않은 기술로 일부 연구기관과 중소기업에서 슬러지 건조, 슬러지 용융 등을 위주로 기술개발이 진행

<국 외>

- 하·폐수슬러지의 연료화 기술수준이 가장 높은 국가는 일본이며, 유럽은 독일의 E.ON사와 EnBW사가 화력발전소에서 슬러지를 각각 총연료 사용량의 4-5%인 120톤/일, 200톤/일을 사용하고 있으며, 하수슬러지를 건조, 고화, 용융, 탄화 등의 방법으로 생산된 제품은 시멘트, 철강, 발전소에 연료로 활용
- 동경전력이 슬러지연료화 관련 만든 회사인 바이오연료(주)에서는 동경하수도국에서 슬러지 탄화물을 생산하여 발전소의 연료(전체사용량의 1%)로 사용하기 위하여 슬러지 탄화설비를 건설 중
- 신일철엔지니어링에서는 슬러지 연료화 연구과제를 하수도국과 공동으로 수행하기 위해 20톤/일 생산용량의 J-COMBI 시스템을 도입하여 기술개발을 하였으며, 생산된 하수슬러지를 신일철 야하다발전소의 연료(전체사용량의 2%)로 사용
- 가스화에 의한 하수슬러지의 에너지회수는 발생한 합성가스를 이용하여 다양한 에너지의 제조가 가능하여 최근 많은 관심
- 독일의 경우 탈수, 건조, 가스화 및 발전으로 구성되는 ETVS 공정과 저온 건조, 가스화 및 발전으로 구성되는 NTVS 공정 기술이 개발되고 있는데, 생산되는 합성가스는 정제 공정을 거쳐 열병합발전에 활용하는 방식을 적용

	○ 일본의 에바라사는 순환유동층 방식의 가스화 기술 개발을 통하여 15 톤/일 규모의 슬러지 가스화 시험 공정을 2005년부터 3,000 시간 이상 운전하였으며, 생산되는 합성가스는 가스엔진을 통한 발전에 활용하도록 공정을 구성 ○ 영국의 Ulster 대학에서는 유럽 각국의 하수슬러지 배출량 조사와 함께, 하수슬러지 가스화를 활용한 열병합발전에 대한 기술성과 경제성 조사 진행
3. 연구개발내용	○ 1세부과제: 슬러지 탈수·건조 및 가스화용융 연계 통합시스템 개발 - 슬러지 탈수·건조 및 가스화용융 통합시스템 연계방안 도출 - 슬러지의 탈수·건조 및 메탄회수 시스템 연계 공정 개발 · 동남권 발생 슬러지의 탈수·건조를 위한 기존 기술 적용방안 도출 · 20톤/일 규모 슬러지 탈수·건조 시스템 구축 (함수율 15% 이하) · 슬러지 탈수·건조시 발생된 탈수여액으로부터 메탄가스 추출 및 활용을 위한 연계기술 개발 - 건조슬러지 이용 합성가스(CO, H₂) 및 슬래그 생산을 위한 가스화용융 시스템개발 · 건조슬러지 가스화용융 설비 설계 및 구축 (건조슬러지 처리용량 3톤/일 규모) · 가스화용융 설비 공급용 산소, utility(Air, 용수 등) 공급시스템 설계 및 구축 · 발생 슬러지 슬래그의 안정적인 배출을 위한 슬래그 배출시스템 구축 - 생산된 고온의 슬러지 합성가스로부터 열회수 및 슬러지 탈수·건조 시스템 연계 통합공정 개발 - 실증결과 반영한 슬러지의 연료화 이용을 위한 통합 연계시스템 도출 · 슬러지 탈수·건조 및 가스화용융 연계 통합시스템의 실증결과 분석

- 실증 결과 반영 슬러지의 연료화 사용을 위한 최적 활용방안 도출 및 경제성 분석

○ **2세부과제: 슬러지 연료가스의 이용시스템 구축 및 최적 활용 방안 개발**

- 슬러지 가스화용융으로 생산된 합성가스의 청정 연료가스 이용을 위한 오염물질(분진, 산성가스) 제거방안 도출
- 슬러지 합성가스의 오염물질 제거시스템 구축 (분진 및 H₂S 제거율 95% 이상)
- 정제된 연료가스의 활용을 위한 적용방안 도출 및 이용시스템 구축
- 슬러지 연료가스의 가스화용융시 보조연료 활용을 위한 적용방안 도출 및 재순환 시스템 구축
- 슬러지 연료가스 이용 전기 생산시스템 적용방안 도출 및 구축
- 실증결과를 반영한 슬러지 연료가스의 최적 이용 방안 도출
- 슬러지 합성가스의 오염물질 제거 및 정제된 연료가스 이용시스템의 실증결과 분석
- 실증 결과 반영 슬러지 연료가스의 최적 활용방안 도출 및 경제성 분석

○ **3세부과제: 슬러지 슬래그이용 건설자재 생산 및 시공 실증**

- 슬러지 슬래그의 건설자재 활용을 위한 관련 규격 검토 및 평가 방안 도출
- 슬러지 슬래그 이용 건설자재 생산을 위한 적용방안 도출
 - 재료별 특성, 규격 검토 및 건설자재 용도별·규격별 배합 방안 도출
 - 슬러지 슬래그의 고품화 방안 도출
- 슬러지 슬래그이용 친환경 건설자재 생산설비 구축
- 생산된 건설자재를 이용한 시공 실증
 - 생산된 건설자재 이용 실증을 위한 대상 현장 선정 및 인증 확보 (지자체 및 유관기관 협조)
 - 건설자재 시험제품 생산 및 현장 시공 (도로 포장 또는 타일 시공 등)

	· 건설자재 시공 후 성분 변화 관찰 및 실증결과 분석 - 슬러지 슬래그의 건설자재 이용 경제성 분석 및 대량 이용방안 도출
4. 연구개발 추진방법	
☐ 추진전략	○ 연구개발 결과의 실용화 및 권역 활용을 위해 권역의 기업·연구기관·지자체 등의 적극적인 참여와 국내 전문 연구기관이 공동으로 참여하여 연구개발을 추진하고, 주기적인 중간 연구결과의 발표 및 자문회의를 통해서 시스템 최적화를 위한 의견 수렴 ○ 슬러지 이용 청정 연료가스 생산과 건설자재 이용을 위한 실증 설비 설계 및 적용을 위해 지자체 및 하·폐수 처리 기관과의 긴밀한 협조체계 및 기반 구축 ○ 슬러지 이용 청정 연료가스 및 건설자재 생산기술은 기 개발된 연구결과를 기반으로 각 기술의 복합 적용 및 연계를 통한 실증화와 기술 고도화 추진 - 국내 선행연구 결과를 기반기술로 확보하고 단위기술을 연계, 통합 및 실증을 통하여 개발시스템의 신뢰성 및 상용화 적용 방안 확보 - 기 개발된 연구의 결과를 활용할 경우 구체적인 연계, 통합 및 활용방안을 연구계획에 포함하여 추진 - 슬러지의 청정연료화를 위한 복합설비와 연계설비의 개발 및 실증을 통한 핵심기술 확보 - 국내 기술, 국산 재료, 자체 시공·감리에 의한 국산화 건설
☐ 유사연구과제와 차별성 및 활용 방안 제시	○ 본 과제는 슬러지의 청정연료 활용을 위해 슬러지 탈수·건조시스템, 가스화용융 시스템, 슬러지 합성가스의 오염물질 제거시스템, 정제된 슬러지 연료가스의 재순환시스템과 슬러지 연료가스를 이용한 전기생산 시스템을 연계하여 실증을 통한 통합공정을 개발하고, 가스화용융시 발생하는 슬러지 슬래그를 건설자재로 이용하는 실증기술을 개발하는 과제임 ○ 기 수행(종료과제, 중단과제)되었거나 현재 진행중인 과제는 본 연구에서 추진하는 통합공정을 구성하는 단위공정들을 대상으로

pilot 규모의 연구가 진행되었거나 진행되고 있음 ○ 기 수행 및 현재 수행중인 과제와 동 과제 관련 연구개발 내용 또는 사업 결과의 구체적인 연계, 통합 및 활용방안을 연구계획에 포함(www.kictep.re.kr 열린정보, http://rndgate.ntis.go.kr 참조) ○ 슬러지 이용 청정 연료가스 및 건설자재 생산을 위한 요소기술 개발시 기존의 민간기술 활용방안을 제시하고, 개발될 기술의 특허 분석을 통해 기존 기술과의 차별성 제시 ○ 본 과제는 슬러지의 청정 연료가스화 이용 및 건설자재 이용을 위한 통합공정을 개발하는 과제로 기존 과제와의 차별화 및 연계 방안을 제시 - 지식경제부, 환경부 등 정부 부처에서 기 시행된 연관 사업을 분석하여 요소기술을 도출하고 이를 활용할 수 있는 방안제시 ○ 기존 연구내용 및 연구성과물을 검토하여 연계·활용 방안 제시	
□ 추진체계	○ 요소기술을 패키지 형태로 종합하여 통합기술에 대한 시너지 효과를 높이고 세부과제간 연계 강화와 실용화를 위한 중형과제 형식의 연구단 형태로 추진 ○ 동남권 기업(건설 및 실증), 연구소 및 대학과 국내 전문가를 활용한 공동연구추진 ○ 연구단과 세부 과제간 유기적인 협력체계 구축 및 유지를 위한 긴밀한 연구체계 확립 ○ 설비 실증을 통해 개발시스템의 신뢰성·적용성 확보 및 기술개발 결과의 적용 확대 ○ 기술개발에 필요한 연구부지 선정, 발생 슬러지 조사 등에 대하여 지자체 및 유관기관들과의 긴밀한 협조체제 유지 ○ 연차별 연구성과 확인 및 과제 발표회 개최
5. 최종성과물	
□ 주요 최종성과물	○ 슬러지의 청정 연료가스 및 건설자재 활용을 위한 적용방안 도출 결과 ○ 1세부과제: 슬러지 탈수건조 및 가스화용융 연계 통합시스템 개발 - 슬러지 이용 합성가스 생산을 위한 통합 연계시스템

	- 슬러지 탈수·건조 및 가스화용융 연계 통합시스템 실증 적용 결과 · 슬러지 탈수·건조 및 가스화용융 시스템 연계방안 · 슬러지 탈수·건조 및 가스화용융 연계 통합시스템 운전 결과 ○ 2세부과제: 슬러지 연료가스의 이용시스템 구축 및 활용방안 개발 - 청정 연료가스 이용을 위한 슬러지 합성가스의 오염물질 제거시스템 실증 결과 - 정제된 슬러지 연료가스의 이용시스템 운전 결과 - 슬러지 연료가스의 최적 활용방안 ○ 3세부과제: 슬러지 슬래그이용 건설자재 생산 및 시공 실증 - 슬러지 슬래그의 건설자재 이용을 위한 적용방안 - 슬러지 슬래그 이용 건설자재 생산 결과 - 생산된 건설자재의 시공 실증 결과
6. 기대효과 및 파급효과	
	○ 환경처리 대상이던 슬러지를 이용한 신규 에너지원 및 이용기반 확보 ○ 슬러지를 이용한 청정 연료가스 생산기술과 건설자재 적용기술에 대한실증기술 확보 ○ 하수처리장이 집적된 동남권역에서 많이 발생하는 슬러지의 연료화 및 이용기술 사업화를 통해 환경규제에 따른 산업에 미치는 충격을 완화시키고 기후변화규제에 대응할 수 있는 기술의 개발·보급 및 해외 플랜트 사업화 ○ 연구개발 추진을 통해 개발되는 기술은 슬러지뿐만 아니라 슬러지와 유사한 성상을 갖는 바이오매스(초본류 바이오매스, 축산분뇨, 음식물류폐기물/발생폐액 등)의 연료화 및 이용에 적용 가능
7. 사업기간 및 소요예산	
	○ 총 연구기간 : 2011 ~ 2015 (4년 9개월) - 1차년도 연구기간 : 협약일로부터 9개월

- 총 연구비 : 82.0억원(정부출연금: 53.8억원 이내)
 - 1차년도 연구개발비: 7.71억원(정부출연금 4.81억원 이내)
 - 총연구개발비내에서 제시된 범위를 기준으로 세부과제 등의 예산을 연구소요에 따라 자율 편성
- 총연구비 및 1차년도 정부출연금은 선정평가시 상세검토 결과에 따라 조정될 수 있음
- ※ 연차별 연구기간은 협약과정 중 사정에 따라 조정될 수 있음
- ※ 정부출연금은 향후 정부예산 사정에 따라 조정될 수 있음
- ※ 기업참여시 기업부담금은 연차별로 “국토해양부소관 연구개발사업 운영규정”의 기준을 따르되, 추가 부담 가능

8. 기 타

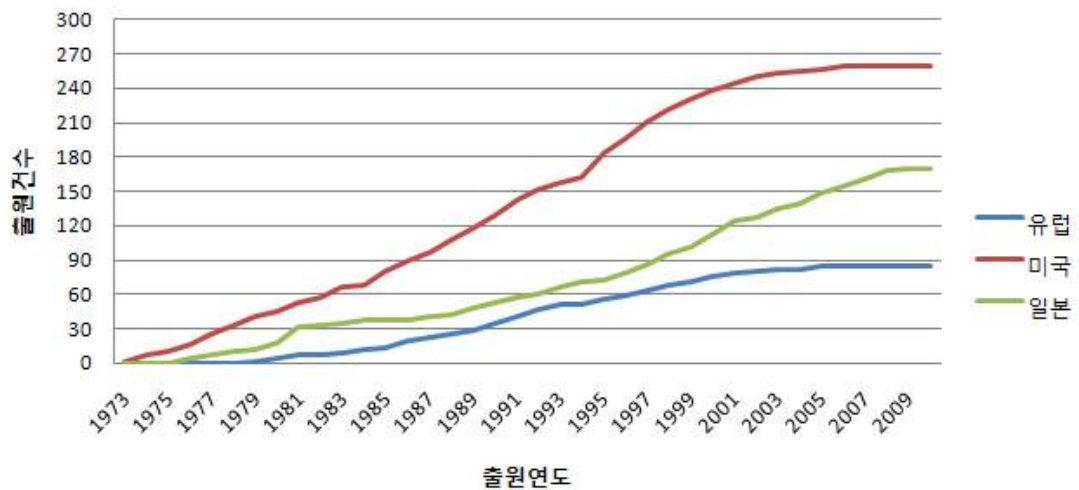
- 연구신청자는 RFP에 제시된 연구개발 내용을 기준으로 연구개발계획서를 작성하되, 과제의 목표 달성에 필요하다고 판단되는 경우 연구내용을 수정하여 제안할 수 있음
- 성과목표(지표)별 달성목표치 및 가중치 등을 연구개발계획서에 제안하여야 하며, 이는 과제선정 후 해당 연구책임자(기관)에 대한 진도점검·관리 및 성과평가 등의 근거자료로 활용됨
- 국제공동연구 또는 전문가 활용방안
 - 필요시 관련 기술 해외 선도기관과의 공동연구 추진방안 및 전문가 활용계획을 연구계획에 포함

[부록 2] 국내 · 외 특허 현황

가. 국외 특허 동향

(1) 슬러지 탈수

- 국외의 슬러지 탈수기술의 특허 출원 동향을 살펴보면 70년대 초반부터 미국은 특허가 출원되기 시작하였고 일본은 1970년대 중반이후, 유럽은 1980년대부터 출원되어 점차적으로 출원양이 증가하고 있다. 미국은 1990년대 초반에 급격하게 출원양이 증가하였으며, 일본은 2000년대 초반에 출원양이 급격히 증가하였다. 그러나 유럽은 큰 변화 없이 지속적으로 출원되었다. 최근에는 탈수기술관련 특허의 출원이 감소하고 있다. 총 출원 특허수를 비교하면 미국이 260건으로 제일 많고 일본 170건, 유럽 85건이다.
- 국외의 슬러지 탈수기술의 특허 출원인을 분석하면 미국의 경우 Nalco라는 응집제를 개발하고 판매하는 회사가 탈수관련 특허를 가장 많이 출원하였다. 일본은 Kurita water가 25건으로 탈수기술 개발을 주도하고 있으며 유럽은 특정 기업이 주도 하기보다는 다양한 업체가 비슷하게 출원하였다.



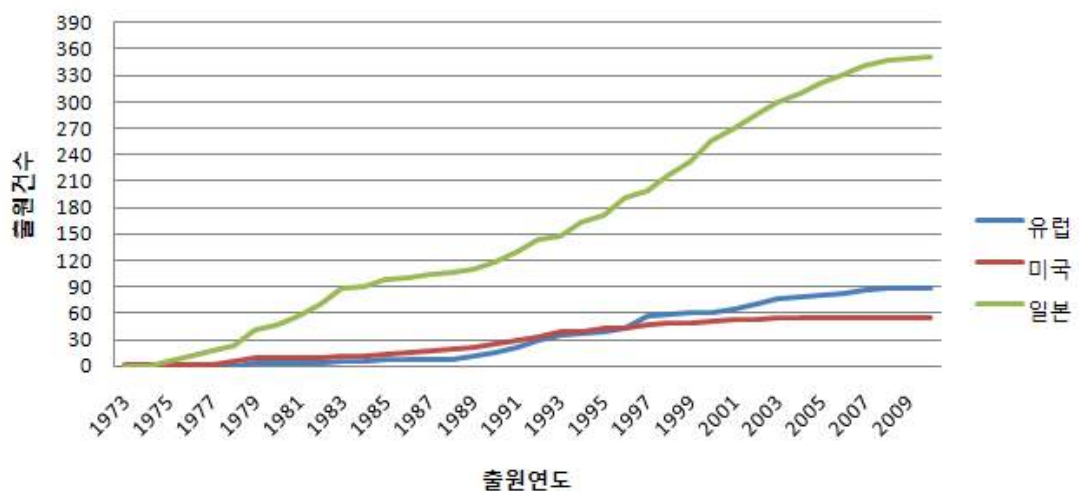
[그림 2-1] 국외 슬러지 탈수 기술 연도별 특허건수

<표 2-1> 국외 슬러지 탈수 기술 출원인 상위 랭킹 업체 및 출원건수

No.	미국	유럽	일본
1	Nalco Chemical Company(16건)	PASSAVANT-WERKE AG(독일, 5건)	KURITA WATER IND LTD (25건)
2	UOP Inc(6건)	BASF Aktiengesellschaft (독일, 4건)	KUBOTA(12건)
3	Betz Laboratories Inc(5건)	Nalco Chemical Company외 5회사 (2건)	HITACHI(10건)

(2) 슬러지 건조

- 국외의 슬러지 건조기술의 특허 출원 동향은 70년대 초반부터 미국이 특허를 출원되기 시작하였으나 그 이후 지속적으로 출원이 증가하지 못하였다. 따라서 미국은 슬러지 건조기술의 필요성이 크지 않았던 것으로 판단된다. 반면에 일본은 1970년대 후반부터 특허를 출원하였으나 지속적으로 특허 출원이 증가하여 2000년대 초반에 최대 출원량을 보인다. 유럽은 1980년대부터 출원되어 지속적으로 특허가 출원되었다. 일본은 좁은 국토로 인해서 슬러지 건조를 통한 감량화에 많은 관심을 갖고 연구가 진행된 것으로 판단된다. 또한 소각기술의 발달도 건조기술이 많이 연구된 동기 중 하나로 판단된다. 따라서 총 출원 특허 건수에서도 일본이 351건으로 가장 많고 유럽(88건), 미국(55건)의 순이다.



[그림 2-2] 국외 슬러지 건조 기술 연도별 특허건수

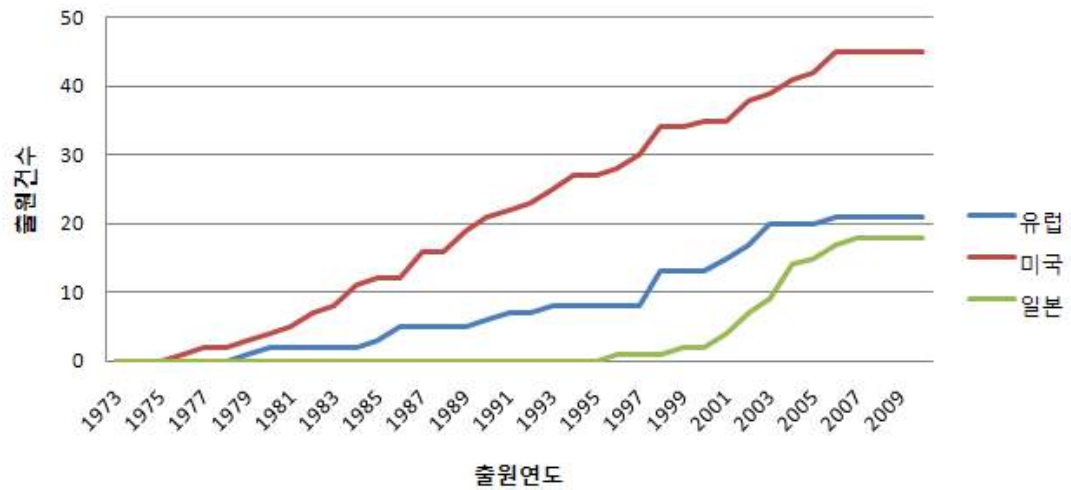
- 국외의 슬러지 건조기술의 출원인을 분석해보면 가장 많은 특허를 출원한 일본은 대기업 주도의 기술개발이 활발히 되고 있다는 것을 확인 할 수 있다. 이것은 건조기술의 수요가 많아서 대기업에서 사업성을 확인하고 기술개발에 노력했다는 것을 알 수 있다. 미국은 주도하는 기업이나 출원인이 없다. 또한 가장 많은 출원건수가 2건으로 상대적으로 건조기술에 대한 관심이 낮음을 알 수 있다. 유럽의 경우 독일이 건조기술에 많은 특허를 출원하였다.

<표 2-2> 국외 슬러지 건조 기술 출원인 상위 랭킹 업체 및 출원건수

No.	미국	유럽	일본
1	UOP Inc와 7 회사(2건)	Andritz-Patentverwaltung s-Gesellschaft(8건)	TOSHIBA (30건)
2		ALLIED COLLOIDS GmbH와 1회사 (3건)	EBARA (22건)
3		Baker Hughes와 3인 (2건)	mitsubishi (17건)

(3) 슬러지 가용화

- 국외의 슬러지 가용화 기술의 특허 출원 동향은 70년대 후반부터 미국과 유럽에서 특허가 출원되기 시작하여 미국과 유럽은 꾸준히 지속적으로 출원되었다. 그러나 급격한 출원의 증가는 관찰되지 않는다. 반면에 일본은 1990년대 중반부터 출원되기 시작하여 상대적으로 슬러지 건조 및 탈수에 비해서 연구가 늦게 시작되었다. 초기 일본의 슬러지 정책이 가용화를 통한 혐기소화보다는 탈수 및 건조를 통한 감량화, 소각을 통한 처리 쪽으로 이루어지면서 상대적으로 연구가 늦어진 것으로 판단된다. 그러나 신재생에너지의 필요성이 대두되면서 최근에는 지속적으로 출원되고 있다. 총 출원건수는 미국(45건), 유럽(21건), 일본(18건) 순이다.



[그림 2-3] 국외 슬러지 가용화 기술 연도별 특허건수

- 국외의 슬러지 가용화 기술의 특허 출원인 동향을 살펴보면 미국은 주도하는 출원인 없이 최대 출원건수가 2건으로 나타났다. 반면에 일본과 유럽의 상위 랭킹 출원인은 동일하다. 일본이 가용화 기술에 늦게 진출했지만 유럽에 많은 특허를 출원하여 향후 유럽의 가용화 시장에 진입을 시도하는 것으로 판단된다. 유럽이 혐기소화 전처리로 가용화 상용화 설비가 가장 많이 설치되어 운전되고 있다. 따라서 현재 유럽이 가용화 기술에서는 가장 큰 시장이다.

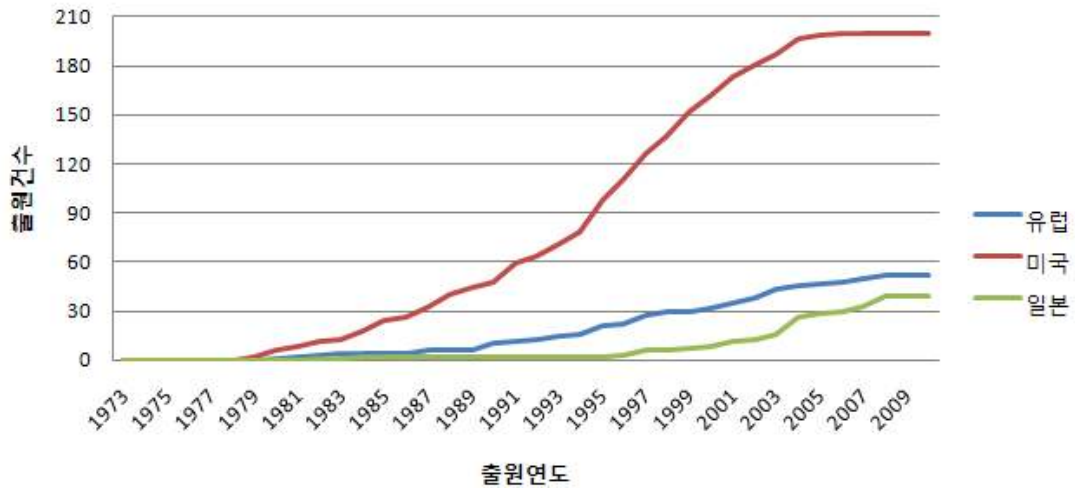
<표 2-3> 국외 슬러지 가용화 기술 출원인 상위 랭킹 업체 및 출원건수

No.	미국	유럽	일본
1	Purac Aktiebolag외 4회사(2건)	Shinko Pantec Co. Ltd.(4건)	Shinko Pantec Co. Ltd. (4건)
2		Kurita Water Industries Ltd. 2회사 (2건)	Kurita Water Industries Ltd.외 2회사 (2건)
3			

(4) 슬러지/폐기물 가스화

- 국외의 슬러지/폐기물 가스화 기술의 특허 출원 동향은 미국이 출원건수가 압도적이다. 유럽과 일본의 총 특허 출원건수 합의 2배가 넘는 200개의 출원건수를 나타내었다. 미국, 유럽, 일본이 모두 1980년대 초반부터 출원이 시작되었으나,

미국은 1990년대 매년 10건 이상의 특허가 출원되면서 출원건수가 급격하게 증가하였다. 유럽과 일본은 매년 지속적으로 출원되면서 일정하게 증가하였으나 급격한 출원 증가는 없다.



[그림 2-4] 국외 슬러지/폐기물 가스화 기술 연도별 특허건수

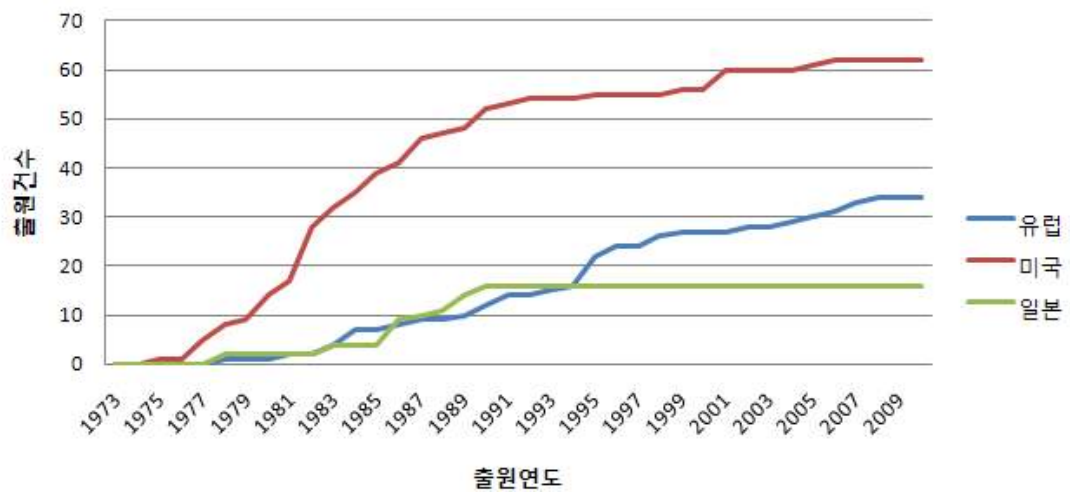
<표 2-4> 국외 슬러지/폐기물 가스화 기술 출원인 상위 랭킹 업체 및 출원건수

No.	미국	유럽	일본
1	Ebara Corporation(17건)	EBARA CORPORATION(17건)	TSUKISHIMA KIKAI CO LTD와 2회사(4건)
2	Intergrated Environmental Technologies (9건)	HITACHI (4건)	
3	Manufacturing & Technology Conversion Internatioinal(8건)	Kawaski Jukogyo Kabushili Kaisha와 4회사 (2건)	

- 국외의 슬러지/폐기물 가스화 기술의 특허 출원인 분석을 살펴보면, 미국과 유럽의 최대 출원인이 동일한 일본의 Ebara이다. Ebara는 동일하게 미국과 유럽에 17건씩 출원을 하였다. 더욱 재미있는 사실은 본국인 일본에서는 2건의 출원으로 상위 랭킹에서 미국과 유럽에서보다 밀렸다는 것이다. Ebara는 가스화 기술을 본국인 일본보다는 세계시장에서 상용화를 통한 사업 확장을 목표로 국외 특허활동을 더욱 활발히 하고 있다는 것이다. Ebara는 국내에도 가스화 관련 시설 공사에 활발히 참가하고 있다.

(5) 슬러지/폐기물 가스화 반응기 형태

- 국외의 슬러지 가스화 고정층 반응기 관련 특허 출원 동향은 70년대 중반부터 미국의 특허가 출원되기 시작하여, 80년대 초반부터 유럽과 일본도 출원이 시작되었다. 미국은 80년대 초중반에 급격한 출원량 증가 이후, 급격히 감소하여 1990년대 이후에는 드물게 특허가 출원되고 있다. 유럽은 1990년대 이전까지는 출원량이 작았지만 1990년대 이후에 가장 지속적으로 특허가 출원되어 최근 관련 연구를 주도하고 있다. 일본은 1980년대까지 꾸준히 출원되면서 연구가 진행되었지만 1990년대 들어서는 출원이 멈춘 상태이다. 전체적인 출원건수는 분류 층과 비교해서 낮다.

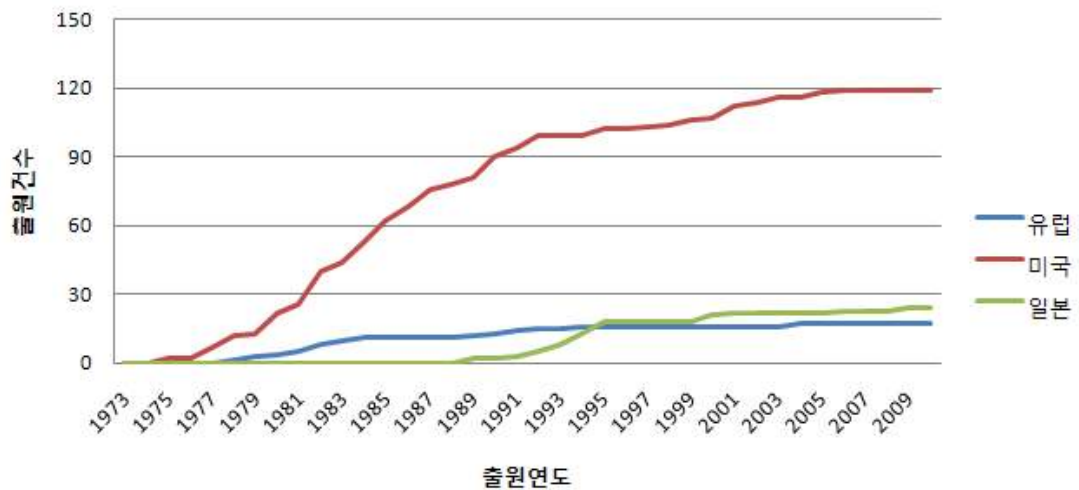


[그림 2-5] 국외 슬러지/폐기물 가스화 고정층 반응기 연도별 특허건수

<표 2-5> 국외 슬러지/폐기물 가스화 고정층 반응기 출원인 상위 랭킹 업체 및 출원건수

No.	미국	유럽	일본
1	Metallgesellschaft AG.(14건)	mitsubishi JUKOGYO KABUSHIKI KAISHA(7건)	NIPPON STEEL CORP외 3회사(2건)
2	Mobil Oil Corporation (4건)	British Gas Corporation (3건)	
3	Union Carbide Corporation외 1회사(3건)	Babcock & W 2인 (2건)	

- 국외의 슬러지/폐기물 가스화 고정층 반응기 관련 출원인 동향을 살펴보면 가스, 오일 등 에너지 관련 업체의 출원건수가 높은 것을 알 수 있으며, 유럽에서 최다 출원인도 일본으로 국내 최다 출원건수보다 많은 특허를 유럽에 출원하였다. 국내 기업도 국내 기술개발과 함께 해외 특허 출원을 통한 향후 상용화 시장 선점 효과 고려해야 한다.



[그림 2-6] 국외 슬러지/폐기물 가스화 분류층 반응기 연도별 특허건수

- 국외의 슬러지/폐기물 가스화 분류층 반응기 관련 특허 출원 동향은 70년대 중반부터 미국의 특허가 출원되기 시작하여, 80년대 초반부터 유럽에서 출원되었다. 반면 일본은 1990년대부터 출원이 시작되어 급격하게 증가하다 현재는 출원량이 감소하고 있다. 유럽은 1990년대부터 출원량이 거의 없다. 반면에 미국은 출원이 시작되었다. 미국은 1990년대 초까지 지속적으로 출원량이 증가하였고, 그 이후에도 유일하게 꾸준한 특허 출원이 지속되고 있다. 전체 출원 특허수의 70%가 넘는 119건을 미국에서 출원하였고, 일본(24건), 유럽(17건) 순이다.

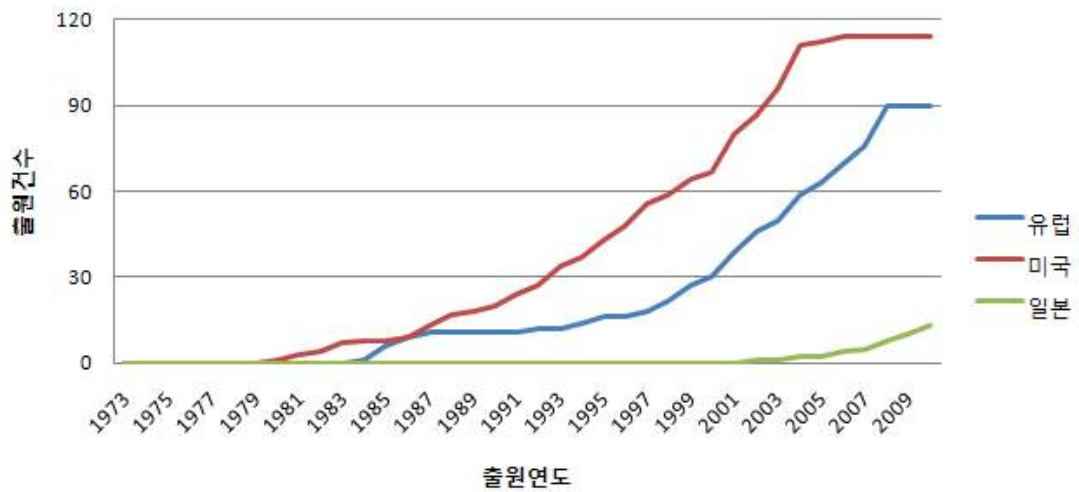
<표 2-6> 국외 슬러지/폐기물 가스화 분류층 반응기 출원인 상위 랭킹 업체 및 출원건수

No.	미국	유럽	일본
1	Metallgesellschaft AG.(15건)	FOSTER WHEELER ENERGY CORPORATION(3건)	mitsubishi heavy ind ltd(11건)
2	Texaco Inc. (10건)	British Gas Corporation외 2회사 (2건)	BABCOCK HITACHI KK(7건)
3	Mobil Oil Corporation,외 1회사(4건)		HITACHI LTD(3건)

- 국외의 슬러지/폐기물 가스화용 분류층 반응기 관련 출원인 동향을 살펴보면 미국은 고정층 반응기 출원인 랭킹과 큰 변화가 없다. 최다 출원인도 동일회사이고 상위 랭킹회사도 큰 차이가 없다. 이러한 현상은 유럽도 동일하다. 다만 일본은 대기업 위주로 많은 특허가 출원되었다. 특히 MITSUBISHI는 전체 일본 특허의 50% 정도를 출원하였다.

(6) 합성가스 및 탈황

- 국외의 합성가스 관련 특허 출원 동향은 80년대 초반부터 미국의 특허가 출원되어 80년대 중반에 유럽, 2000년대 일본에서 출원되기 시작하였다. 미국은 80년대 중반부터 현재까지 지속적인 출원이 되면서 총 출원건수가 114건에 이른다. 유럽의 경우 1990년대 중반부터 출원양이 증가하여 매년 지속적으로 출원이 되고 있다. 반면 일본은 2000년대부터 연구가 시작되어 출원이 늦어졌고 현재 꾸준히 특허가 출원되고 있다. 그러나 아직 출원수가 13건으로 미국과 유럽에 비교해서 많이 부족하다.



[그림 2-7] 국외 합성가스 기술 연도별 특허건수

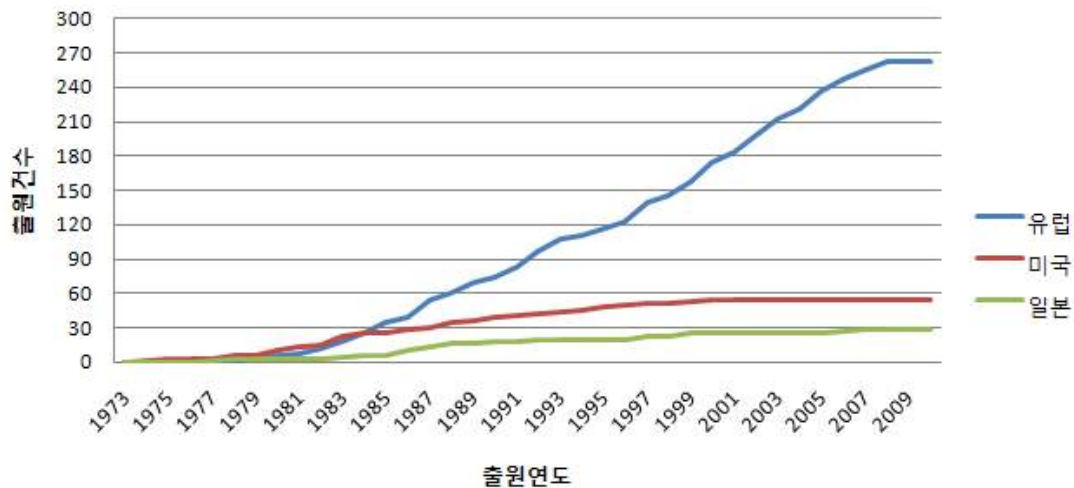
- 국외의 합성가스 기술관련 출원인 분석을 보면 미국과 유럽의 최다 출원인이 동일하다. 상대적으로 총 출원건수가 작은 일본은 General Electric Co. 제외하고는 모두 1건씩 출원하였으며, 시장의 관심과 수요가 적어서 일본은 외국계 회사의 출원도 낮다. 미국은 관련분야 회사가 고르게 출원을 하고 있다.

<표 2-7> 국외 탈황 기술 출원인 상위 랭킹 업체 및 출원건수

No.	미국	유럽	일본
1	Texaco Inc.(26건)	TEXACO DEVELOPMENT CORPORATION외 1회사(6건)	GENERAL ELECTRIC CO (5건)
2	Chervon U.S.A Inc.(8건)		7회사 (1건)
3	Manufacturing & Technology Conversion International(5건)		

- 국외의 탈황기술 관련 특허 출원 동향은 70년대 후반부터 미국, 유럽, 일본 모두 특허가 출원되어 80년대까지 꾸준한 출원이 지속되었다. 그러나 일본은 90년대부터 출원이 감소하여 거의 출원양이 없다. 미국은 다른 기술에 비해서 탈황 기술은 출원양이 적다. 미국도 2000년대부터 출원이 거의 없다. 반면에 유럽은

지속적으로 출원량이 증가하여 지금까지 기술을 주도하고 있다. 총 출원건수의 76%가 유럽의 출원건수로 탈황기술 특허의 대부분을 유럽에서 출원하였다.



[그림 2-8] 국외 탈황 기술 연도별 특허건수

<표 2-8> 국외 탈황 기술 출원인 상위 랭킹 업체 및 출원건수

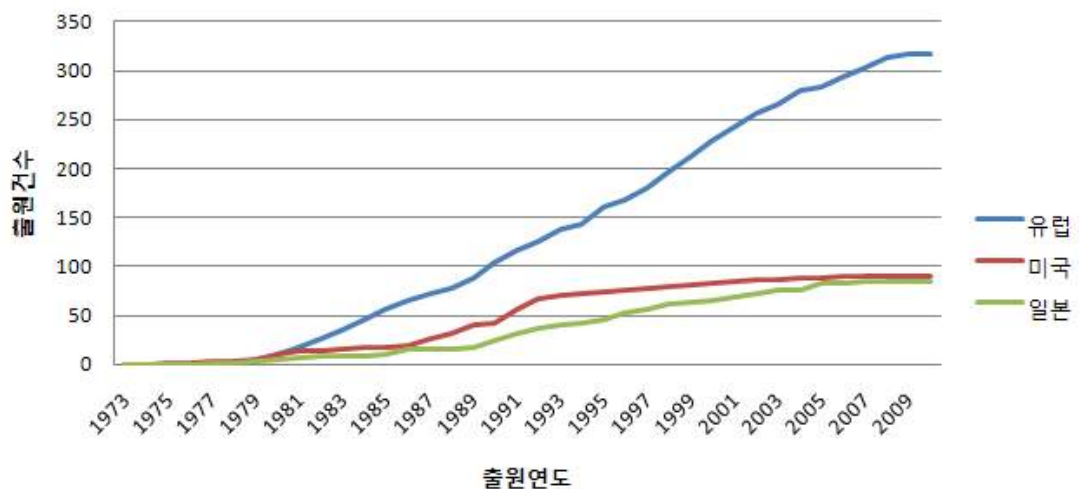
No.	미국	유럽	일본
1	The United States of America as represented by the United States Department of Energy(5건)	MITUBISHI JUKOGYO KABUSHIKI KAISHA(17건)	BABCOCK HITACHI KK (10건)
2	Texaco Inc. 외 10회사(2건)	Mitsubishi Heavy Industries, Ltd.(13건)	ISHIKAWAJIMA HARIMA HEAVY IND CO LTD (5건)
3		Conoco Phillips Company (12건)	MITSUBISHI HEAVY IND LTD외 1회사(2건)

- 국외의 탈황 기술관련 출원인 분석을 보면 일본은 본국의 특허수를 초과하는 수의 출원을 유럽에 출원하여 최다 출원인 1, 2위를 모두 일본 기업이 하고 있다. 일본은 국내 특허보다는 국제특허를 우선시 하는 것으로 판단된다. 따라서 일본보다 시장성이 큰 유럽을 주 사업화 무대로 생각하고 특허관련 업무를 진행

하는 것으로 판단된다. 미국은 특정 출원인이 주도하기보다는 여러 회사가 특허를 출원하고 있다. 일본은 대기업 위주로 특허가 출원되어 있다.

(7) 슬래그

- 국외의 슬래그 이용기술 관련 특허 출원 동향은 70년대 후반부터 미국, 유럽, 일본 모두 특허가 출원되어 80년대부터 유럽은 매년 10건 내외의 특허를 출원하여 지속적인 증가를 보여주고 있다. 전체 출원건수의 64%로 대부분을 유럽에서 출원하여 슬래그 이용 기술의 연구를 주도하고 있다. 또한 슬래그 이용관련 시장도 유럽이 가장 먼저 발달하여 가장 큰 시장을 형성하고 있다. 미국과 일본도 관련 특허가 지속적으로 출원되고 있으나 매년 출원되는 특허의 수가 상대적으로 유럽에 비해서는 낮다.



[그림 2-9] 국외 슬래그 이용 기술 연도별 특허건수

- 국외의 슬래그 이용 기술관련 출원인 분석을 살펴보면 유럽은 독일이 많은 출원을 하였고 미국 최다 출원인인 Texaco Inc.가 유럽에서도 상위 출원자에 있다. 미국은 Texaco Inc.를 제외한 출원자는 3건 이하의 출원자이다. 일본은 일본 출원자가 출원건수 상위 순위에 있다. 철강관련 회사의 출원이 많고 기업위주의 출원이 대부분이다.

<표 2-9> 국외 슬래그 이용기술 출원인 상위 랭킹 업체 및 출원건수

No.	미국	유럽	일본
1	Texaco Inc.(17건)	Holcim Ltd.외 1회사(10건)	NIPPON STEEL CORP.(8건)
2	N-Viro Energy Systems Ltd., 외 2회사(3건)	METALLGESLLSCHAF T AG(7건)	NKK CORP. (6건)
3		TEXACO DEVELOPMENT CORPORATION외 1회사(5건)	KAWASAKI STEEL CORP외 1회사(4건)

나. 국내 특허 동향

(1) 슬러지 탈수

- 국내의 슬러지 탈수기술의 특허 출원 동향을 살펴보면 90년대 초반부터 점차적으로 출원량이 증가하여, 2000년대 초반에 출원량이 최대가 됨을 알 수 있다. 2005년을 정점으로 서서히 감소하기 시작한다.



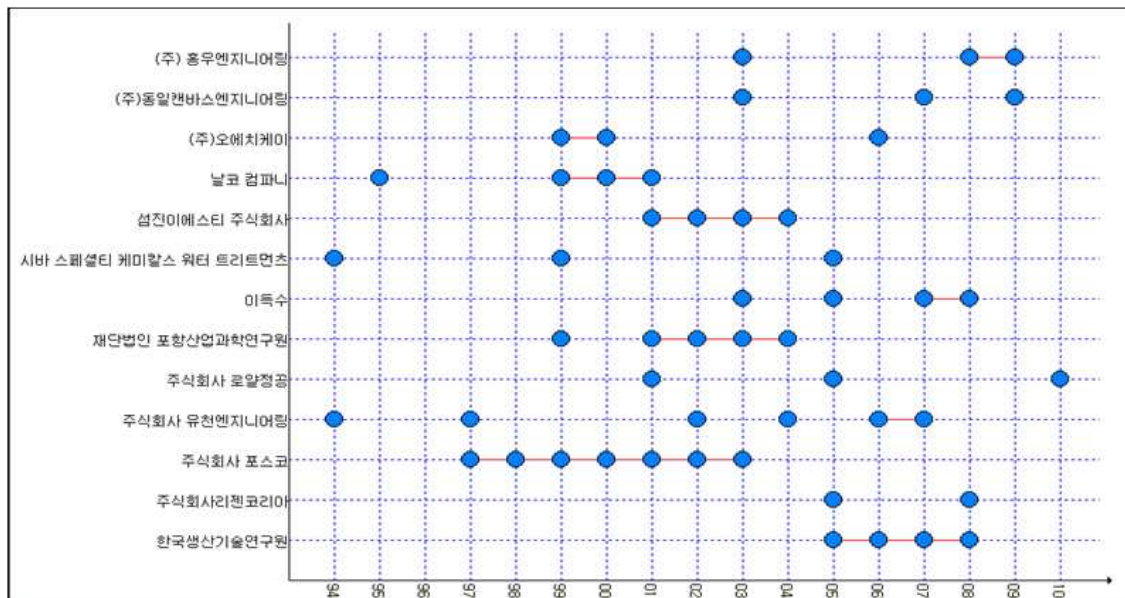
[그림 2-10] 국내 슬러지 탈수 기술 연도별 특허건수

- 국내특허의 출원인 분석은 제 1출원인을 대상으로 하였고, 슬러지 탈수기술의 특허 출원인 랭킹을 살펴보면 슬러지 탈수기술은 19건으로 포스코가 최다 특허 출원을 하였으며, 12건의 포항산업과학연구원이 두 번째로 많은 특허를 출원하였다. 따라서 포스코, 포항공대 및 포항산업과학연구원이 산학연으로 국내 슬러지 탈수기술 연구 및 특허출원을 주도하고 있다. 4건 이상의 다 특허 보유 업체 수가 13곳으로 삼진 EST, 유천엔지니어링이 8건, 동일캔바스엔지니어링 6건, 리젠코리아, 영국회사인 시바 스페셜티 케미칼스 워터 트리트먼츠, 한국생산기술연구원이 5건으로 조사되었다.

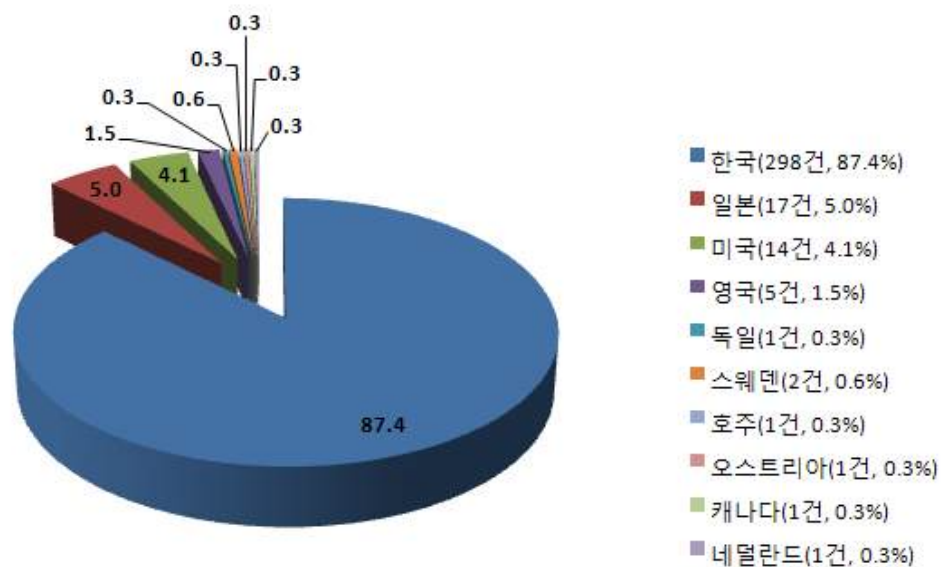


[그림 2-11] 국내 슬러지 탈수 기술 출원인 랭킹분석

- 국내 탈수기술 특허 4건 이상의 업체들의 특허진입 분석을 살펴보면 99년부터 2004년까지 가장 많은 특허가 분포하는 것을 확인 할 수 있으며, 특히 포스코가 탈수기술의 특허 출원을 97년부터 지속적으로 특허를 출원하였고, 2004년까지 삼진EST, 포항산업과학연구소와 함께 특허를 주도하였다. 현재 2000년대 후반에는 생산기술연구원이 지속적으로 특허를 출원하고 있다.



[그림 2-12] 국내 탈수 기술 출원인 진입기간 분석

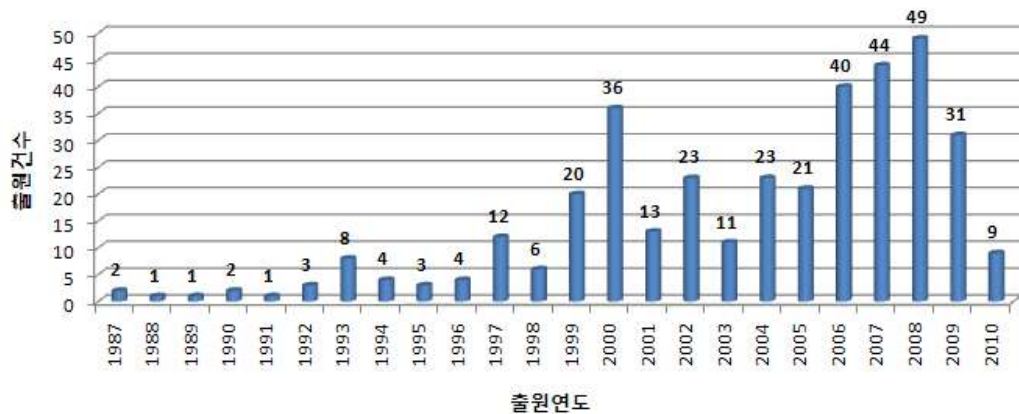


[그림 2-13] 국내 탈수 기술 출원인 국가별 점유율

- 국내에서 탈수기술 관련 특허를 활발히 출원하는 국가로는 한국이 총 341건의 특허중 298건으로 87.4%로 가장 많은 출원을 하고 있으며, 그 다음으로 일본이 17건, 미국이 14건, 영국 5건, 스웨덴 2건, 독일, 호주, 오스트리아, 캐나다, 네덜란드가 각각 1건씩 출원하고 있는 것으로 나타났다.

(2) 슬러지 건조

- 국내의 슬러지 건조기술의 특허 출원 동향을 살펴보면 80년대 후반부터 출원되기 시작하여, 1999년부터 본격적으로 출원량이 증가하기 시작되어, 해양투기 금지 및 혼소의 범위가 마련되면서 2000년대 후반에는 출원량이 최대가 됨을 알 수 있다. 이것은 정부의 슬러지 처리 및 자원화 시설의 현재 운영현황 및 처리비용을 비교한 결과 기술의 완성도와 설치 및 운영비가 가장 저렴한 건조 기술이 현시점에서 해양투기를 대체할 수 있는 현실적인 방안으로 인식된 점도 큰 영향을 준 것으로 판단된다.



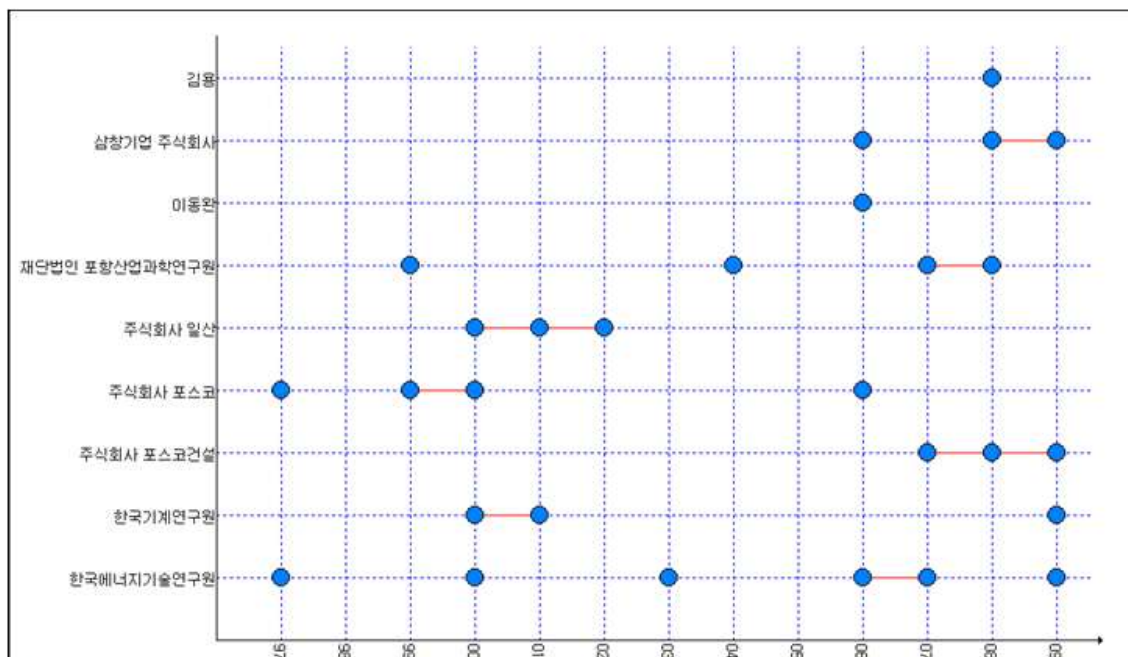
[그림 2-14] 국내 슬러지 건조 기술 연도별 특허건수

- 슬러지 건조 기술의 특허 출원인 랭킹을 살펴보면 슬러지 탈수와 같이 포스코 계열이 가장 많은 특허를 보유하고 있는 것을 확인 할 수 있다. 포항산업과학연구원이 7건으로 최대 출원을 하였고, 포스코와 포스코건설이 6건씩 출원하여 2등을 하고 있다. 포스코가 국내 슬러지 탈수 및 건조를 이끄는 선두 그룹임을 알 수 있다. 또한 한국기계연구원과 에너지기술연구원에서도 슬러지 건조 기술 연구를 포스코와 같이 주도 하고 있다. 건조기술은 몇 개의 연구그룹이 주도적으로 기술개발과 출원을 하고 있는 것을 확인 할 수 있다.

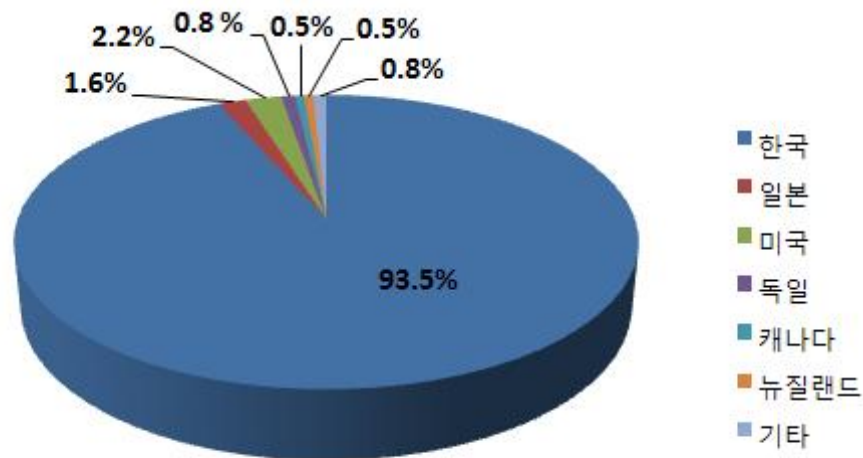


[그림 2-15] 국내 슬러지 건조 기술 출원인 랭킹분석

- 국내 건조기술 특허 출원인 진입 분석을 살펴보면 99년부터 2003년까지 많은 특허가 분포하는 것을 확인 할 수 있으며, 2006년부터 다시 특허의 출원이 증가하면서 지속적인 연구가 진행되고 있다. 초기에는 주식회사 일산과 포스코, 기계연구원이 주도했다면 최근에는 포스코건설과 한국에너지기술연구원 t삼창기업이 주도하고 있다.



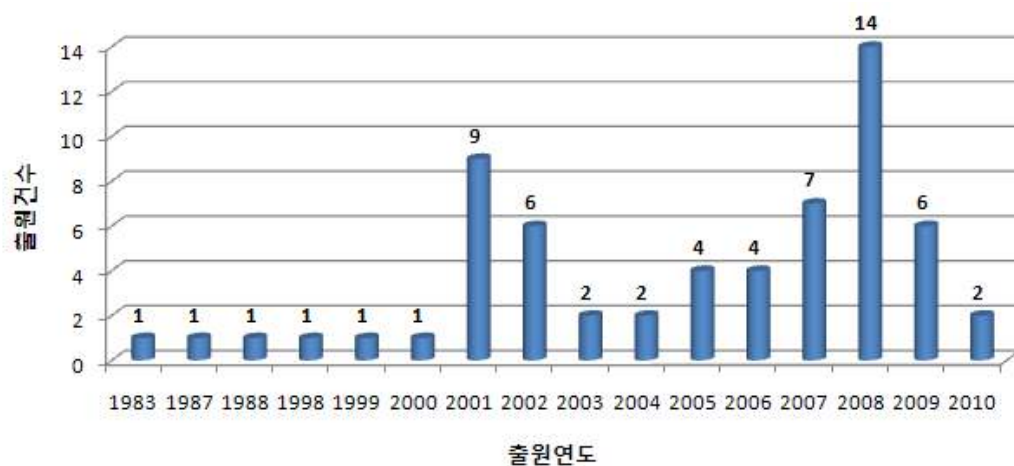
[그림 2-16] 국내 건조 기술 출원인 진입기간 분석



[그림 2-17] 국내 건조 기술 출원인 국가별 점유율

(3) 슬러지 가용화

- 국내의 슬러지 가용화기술의 특허 출원 동향을 살펴보면 2000년대 초반부터 출원되기 시작하여, 기존의 다른 기술에 비해서 늦게 시작되었다. 2000년대 하수슬러지 처리 문제가 대두되면서 연구가 시작되었다고 할 수 있다. 가용화 기술이 감량화 및 혐기소화 전처리 기술로 적용 범위가 넓어지고 혐기소화가 각광을 받으면서 혐기소화 효율 향상 기술 연구로 꾸준히 특허가 출원되어 2008년 최대 출원 건수를 나타내었다.

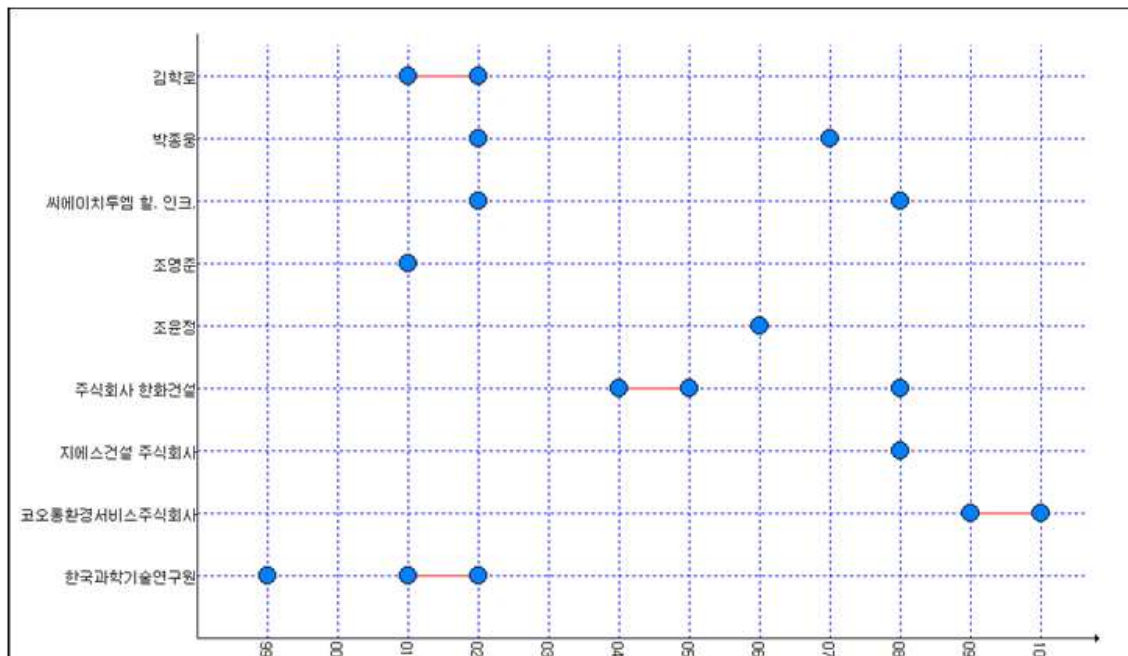


[그림 2-18] 국내 슬러지 가용화 기술 연도별 특허건수



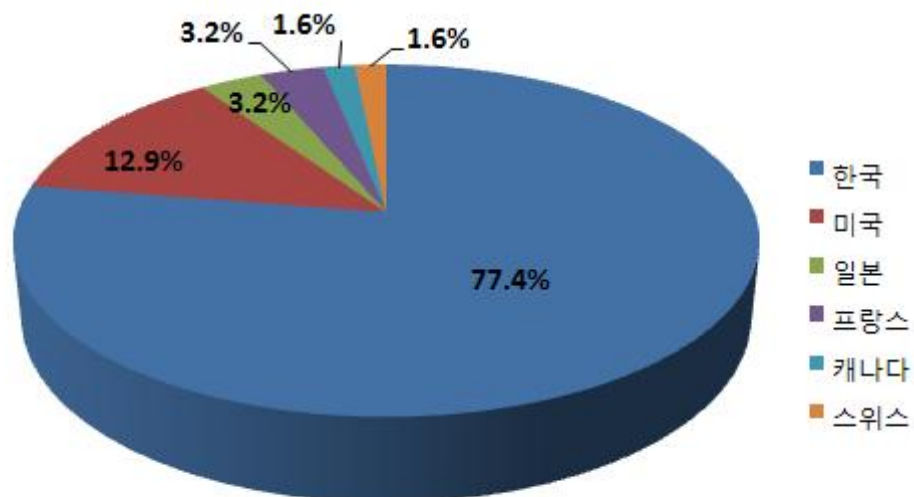
[그림 2-19] 국내 슬러지 가용화 기술 출원인 랭킹분석

- 국내의 슬러지 가용화기술의 특허 출원인 랭킹을 살펴보면 김학로 개인이 5편으로 최다 출원자가 되었고 코오롱환경서비스와 한화건설이 다음으로 많은 특허를 출원하였다. 한화건설은 생물학적 가용화와 습식산화 기술을 보유하고 있으며, 코오롱환경서비스는 혐기소화 관련 기술을 개발하면서 가용화 기술 개발을 하고 있다. 미국회사인 씨에이치투엠 힐이 유일하게 국외 회사로 출원인 랭킹에 올랐다. 씨에이치투엠 힐은 케이백코리아에 가용화 기술을 이전해준 업체로 유럽에도 다양한 가용화 기술 특허를 보유한 업체이다. 그리고 최근의 혐기소화 전 처리로 연구가 활발히 진행되면서 다수의 특허를 출원한 업체의 수는 적고 대부분 1건 특허를 출원한 출원인이 대부분이다.



[그림 2-20] 국내 슬러지 가용화 기술 출원인 진입기간 분석

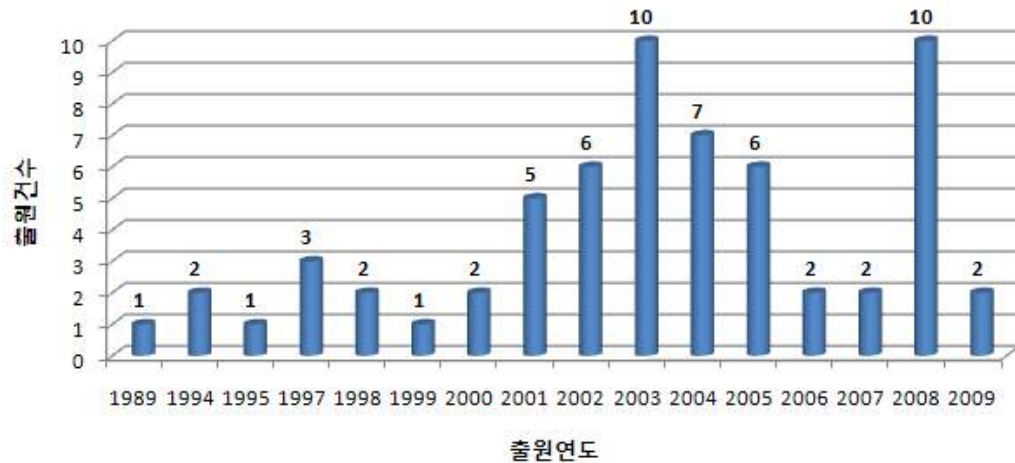
- 국내의 슬러지 가용화기술의 특허 출원인 국가 점유율을 살펴보면, 한국이 77.4%로 가장 높고 미국, 일본 순이다. 특히 최근에 가용화 기술 연구가 활발히 진행되면서 산학연 다양한 기관에서 특허를 출원하면서 한국의 특허 점유율이 높다. 또한 이제 상용화 시장이 열리는 상황이어서 국외의 기술들이 많이 출원하지 않은 것으로 판단된다.



[그림 2-21] 국내 슬러지 가용화 기술 출원인 국가별 점유율

(4) 슬러지/폐기물 가스화

- 국내의 슬러지/폐기물 가스화 기술의 특허 출원 동향을 살펴보면 80년대 후반부터 출원되기 시작하여, 1990년 후반부터 가스화 기술이 폐기물분야에 적용되면서 본격적으로 출원량이 증가하기 시작하였다. 2000년대 후반부터 슬러지 처리 및 자원화에 관심이 높아지면서 다시 출원량이 증가하였다.



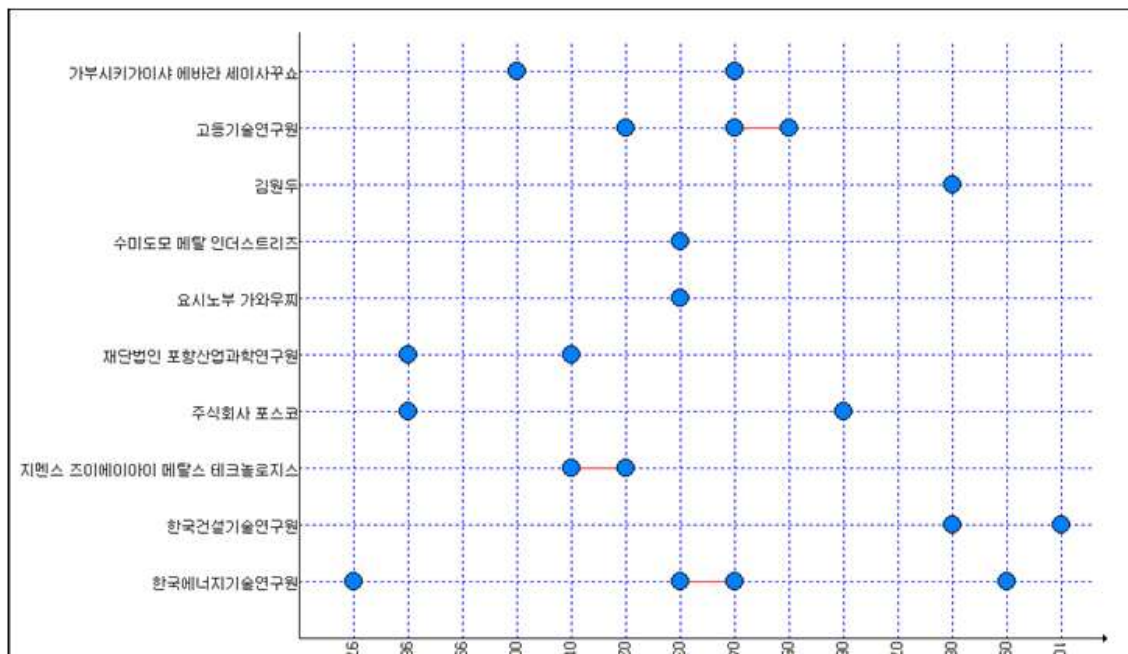
[그림 2-22] 국내 슬러지/폐기물 가스화 기술 연도별 특허건수

- 국내의 슬러지/폐기물 가스화 기술의 특허 출원인을 살펴보면 한국에너지기술연구원과 고등기술연구원이 가스화 기술개발을 선도하고 있음을 알 수 있다. 그리고 다른 특허에 비해서 상위 랭킹에 국외 기술이 많이 포함되어 있다. 이것은 상용화된 가스화 기술이 대부분 국외에서 개발된 기술이고 상용화 실적이 많아 국내 자원화 시설에 적용되기 때문이다. 그러나 국내기술개발의 노력은 아직 연구원 위주로 연구되어지고 상용화 기술로 발전되지 못하고 있다. 이러한 현상은 출원인 랭킹에서도 확인 가능하다. 연구소를 제외한 국내 출원자는 포스코와 김원두가 유일하다.

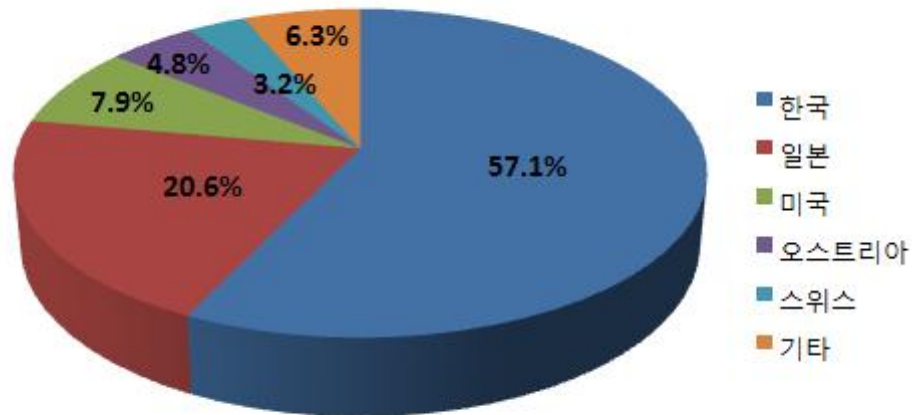


[그림 2-23] 국내 슬러지/폐기물 가스화 기술 출원인 랭킹분석

- 국내의 슬러지/폐기물 가스화 기술의 특허는 초기 고등기술연구원이 주도하였으며 2000년대 후반에는 한국에너지기술연구원과 한국건설기술연구원이 연구를 활발히 하고 있다. 슬러지/폐기물 가스화 특허의 출원인 국가를 확인해 보면 다른 기술에 비해서 국외 출원인의 비중이 높으면 특히 국내 상용화 plant에 기술로 많이 적용된 일본의 기술의 특허출원이 높다는 것을 알 수 있다.



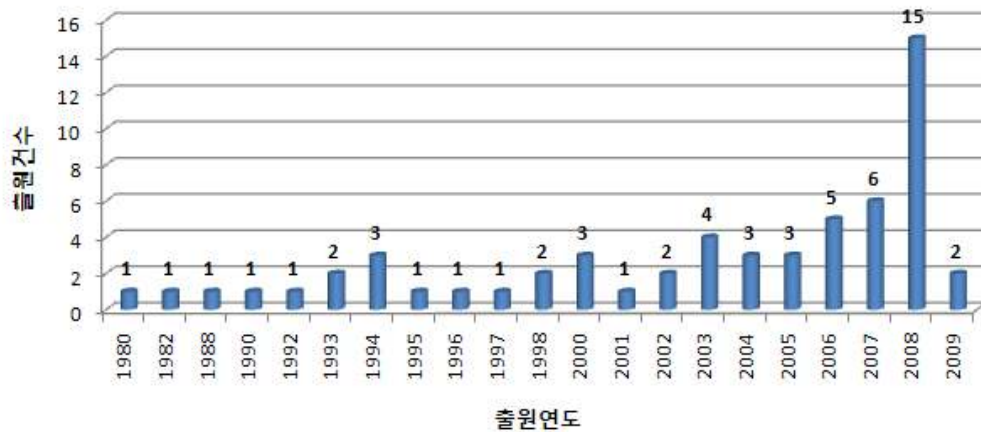
[그림 2-24] 국내 슬러지/폐기물 가스화 기술 출원인 진입기간 분석



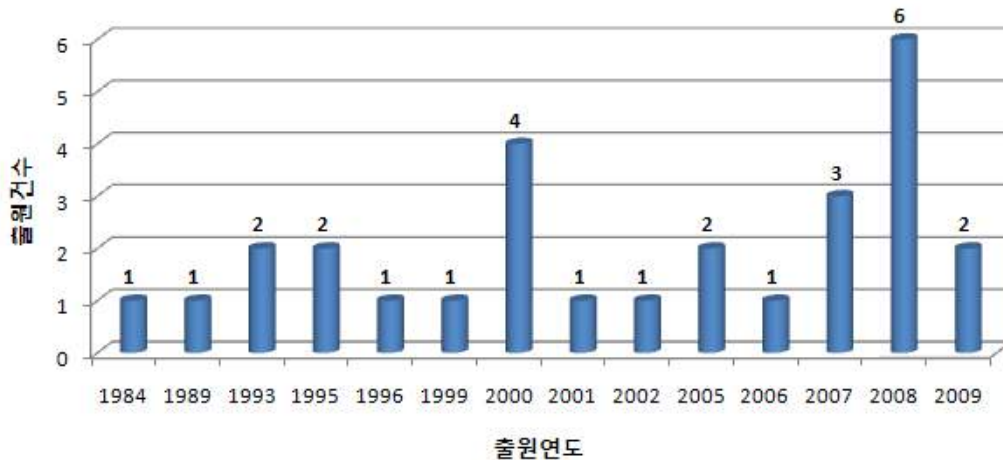
[그림 2-25] 국내 슬러지/폐기물 가스화 기술 출원인 국가별 점유율

(5) 슬러지/폐기물 가스화 반응기 형태

- 국내의 슬러지/폐기물 가스화 반응기 형태별 기술의 특허 출원 동향을 살펴보면 고정층 반응기의 경우 1980년대부터 연구되어져서 지속적으로 출원되었고 2000년대 중반부터 출원양이 증가하였다. 반면에 분류층 반응기는 2000년 이전에는 출원 횟수가 적고 2000년 이후부터 지속적으로 출원이 되었다. 따라서 고정층 반응기가 국내에서는 일찍 도입되어 많은 연구가 지속적으로 진행되었고, 분류층은 2000년대부터 도입 및 본격적인 연구가 진행된 것으로 파악된다.



(a) 고정층



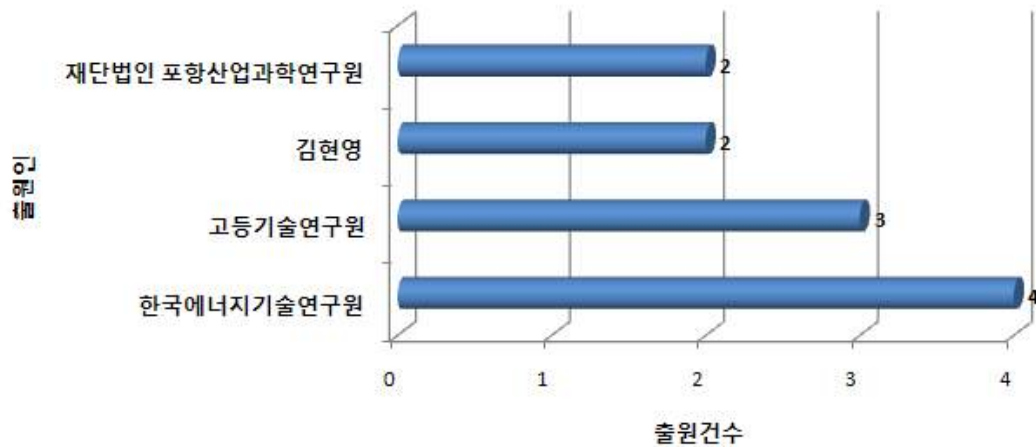
(b) 분류층

[그림 2-26] 국내 슬러지 가스화용융 반응기 형태에 따른 연도별 특허건수

- 고정층 반응기는 한국에너지기술연구원이 연구를 선도하면서 많은 특허를 출원하여, 다른 업체와 비교해서 출원량이 매우 많다. 그리고 2건 이상의 특허를 출원한 출원인은 산학연이 골고루 분포되어 있다. 그러나 분류층 반응기는 전체 특허 출원건수도 적고 최대 출원 건수도 적다. 분류층 반응기는 한국에너지기술연구원과 고등기술연구원이 주도적인 연구개발을 수행하였다. 1990년대 초기 분류층 반응기 연구는 고등기술연구원이 주도했다면 2000년대 이후의 연구는 한국에너지기술연구원이 이끌고 있다. 2건 이상의 특허를 출원한 출원인도 포항산업과학연구원과 김현영 2명이다.



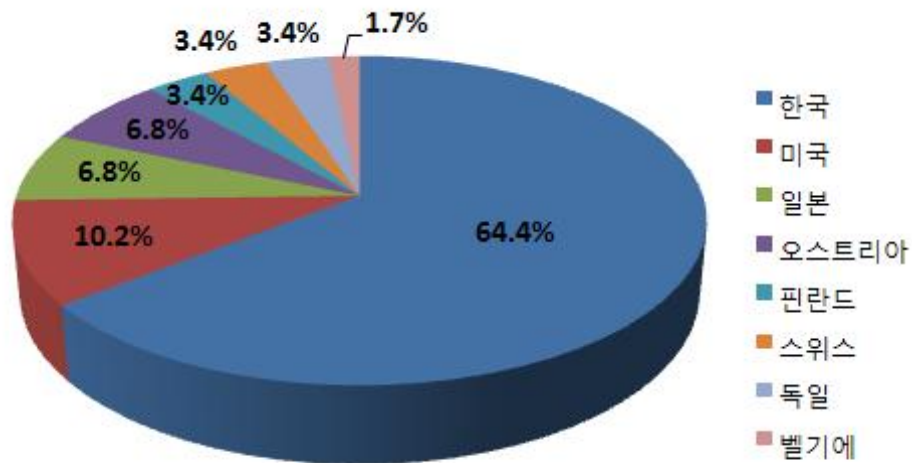
(a) 고정층



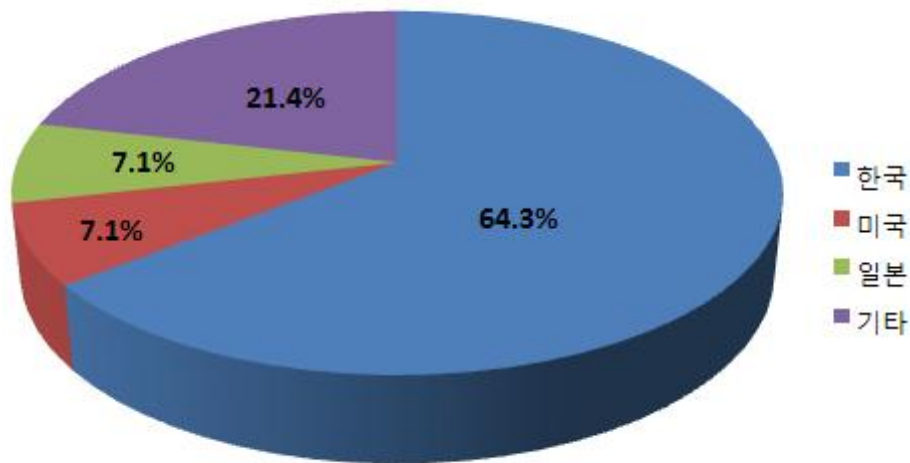
(b) 분류층

[그림 2-27] 국내 슬러지 가스화용융 반응기 형태에 따른 출원인 랭킹분석

- 고정층 반응기의 출원인 국가 점유율을 살펴보면, 한국이 64.4%로 가장 높고 미국, 일본의 순으로 나타났다. 그러나 나머지 국가가 모두 유럽국가로 하나로 묶으면 유럽이 두 번째로 많은 출원을 하였다. 고정층 반응기 연구는 유럽의 여러 국가에서 다각적으로 연구되어지는 것으로 판단된다. 분류층 반응기는 한국이 64.3%로 가장 높고 기타는 모두 유럽권 국가로 두 번째로 많이 출원하였다. 미국과 일본은 다음으로 같은 수의 출원을 하였다. 반응기 형태별 연구에서는 유럽 국가가 가장 선도적인 역할을 하고 있다고 하겠다.



(a) 고정층



(b) 분류층

[그림 2-28] 국내 슬러지 가스화용량 반응기 형태에 따른 출원인 국가별 점유율

(6) 합성가스 및 탈황

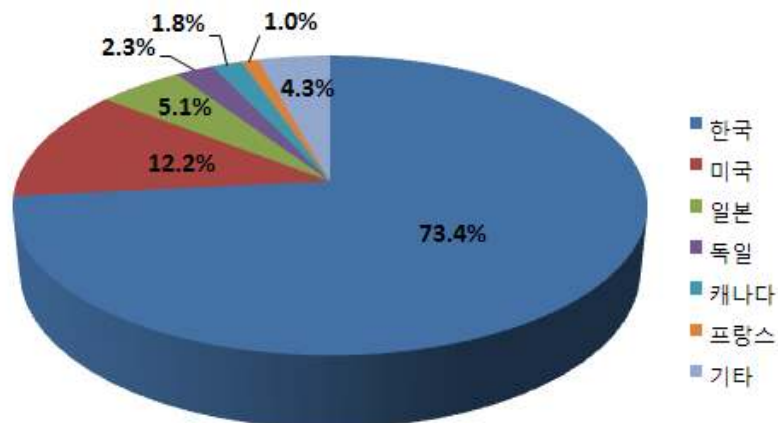
- 국내 합성가스 기술의 특허 출원 동향을 살펴보면 1990년대부터 지속적으로 출원량이 증가하여 2008년도에 최고 출원건수를 나타내었다. 최근의 신재생에너지에 대한 관심과 합성가스를 이용한 에너지화 기술이 많이 발달하여 지속적인 출원이 계속 될 것으로 판단된다. 합성가스 관련 기술도 한국에너지기술연구원이 가장 많은 특허를 출원하였다.



[그림 2-29] 국내 합성가스 기술 연도별 특허건수

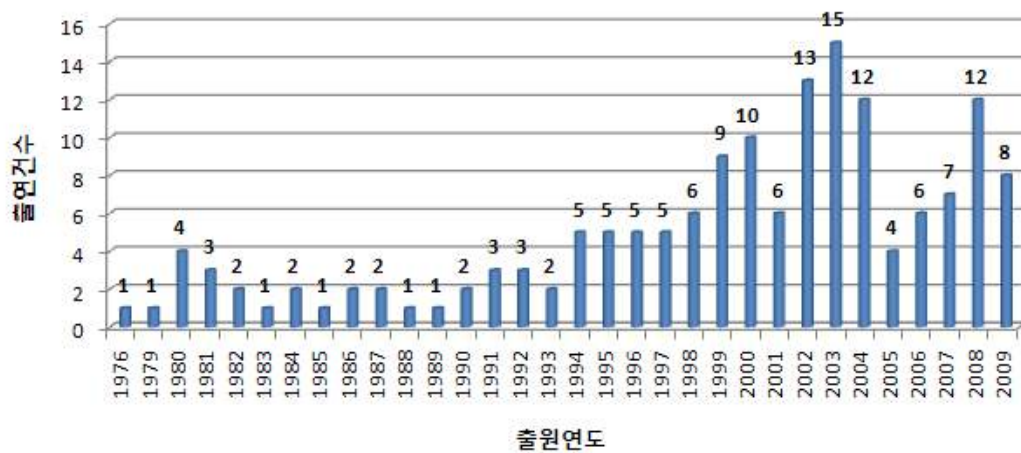


[그림 2-30] 국내 합성가스 기술 출원인 랭킹분석



[그림 2-31] 국내 합성가스 기술 출원인 국가별 점유율

- 국내 합성가스 기술의 특허 출원인 국가 점유율을 살펴보면, 한국 다음으로 미국이 12.2%로 가장 많은 특허를 출원하였다. 다음으로 일본, 독일, 캐나다, 프랑스의 순이다. 기타의 국가들은 싱가포르를 제외한 모두 유럽권 국가이다. 유럽권 국가의 출원건수를 모두 합쳐도 미국의 출원건수보다 적다. 따라서 합성가스 분야는 미국이 기술개발을 주도하고 있다고 하겠다.



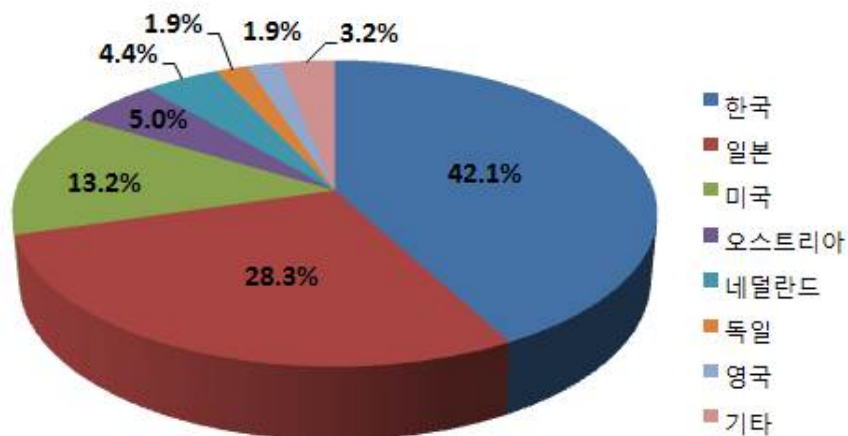
[그림 2-32] 국내 탈황 기술 연도별 특허건수

- 국내 탈황관련 기술의 연도별 특허출원 건수를 살펴보면 1970년대 중반부터 지속적으로 출원되어 1990년대 후반부터 출원수가 급격히 증가하였다. 탈황 기술은 다른 기술에 비해서 일찍 연구와 특허 출원이 시작되었는데 이것은 연구 초기에 연소가스 처리로 발달되기 시작하여, 요즘은 열분해, 가스화용융 등 다양한 기술에 적용되고 있다. 탈황 특허 출원인 랭킹을 확인하면 한국에너지기술연구원이 가장 많은 특허를 출원하였고 외국계 회사의 출원인이 국내 출원인보다 상위권에 많이 있는 것을 확인 할 수 있다. 따라서 국내에 외국계 탈황기술이 많이 적용 되었다는 것을 간접적으로 확인 할 수 있다.



[그림 2-33] 국내 탈황 기술 출원인 랭킹분석

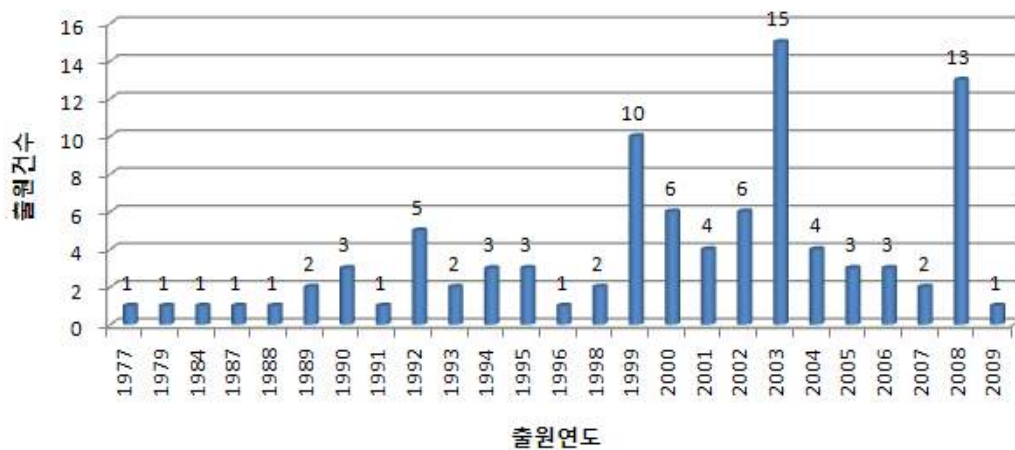
- 국내 탈황관련 기술의 특허 출원인 국가별 점유율을 확인하면 탈황분야는 국내 출원인이 50% 이하를 나타내었다. 그만큼 시장에 국외기술이 많이 사용되고 있다는 반증이다. 연구가 진행되기 전에 이미 많은 선진기술이 도입되었던 것으로 판단된다. 그리고 국외 특허 중에는 일본이 28.3%로 가장 많고 다음 미국, 오스트리아, 네덜란드, 독일, 영국 순이다. 그러나 유럽권의 특허를 모으면 미국보다 많은 특허가 출원되었다. 유럽은 가스화용융 관련 기술에 대한 특허는 다양한 국가에서 많은 연구가 진행되고 있다는 것을 확인 할 수 있다.



[그림 2-34] 국내 탈황 기술 출원인 국가별 점유율

(7) 슬래그

- 국내 슬러지 슬래그 이용 기술의 연도별 특허출원 건수를 살펴보면 1970년대 말부터 출원되기 시작하여 1999년부터 급격하게 출원양이 증가하였다. 이것은 2000년대 초반 유기성 폐기물 처리방법으로 가스화용융 기술이 유입되면서 발생하는 슬래그 이용기술 관련 특허가 많이 출원된 것으로 판단된다. 슬래그 이용 기술은 2003년 최대 출원양을 기록하고 감소하다가 2000년대 후반에 다시 출원양이 증가하고 있다.

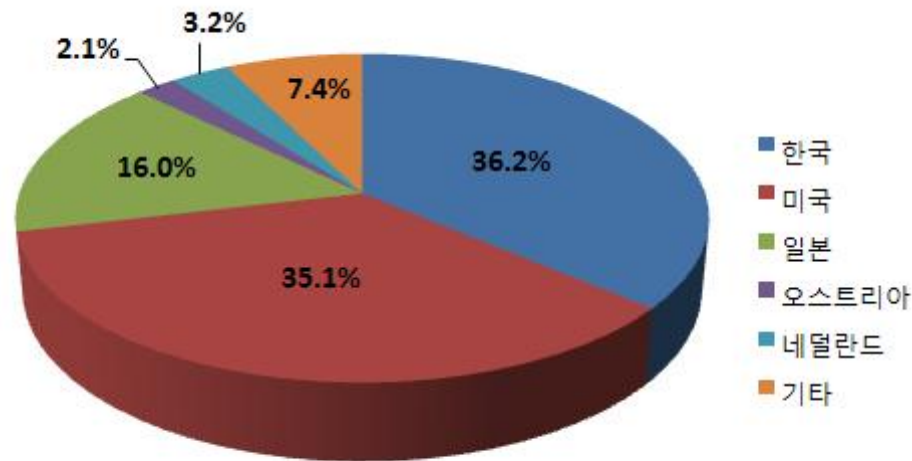


[그림 2-35] 국내 슬러지 슬래그 이용 기술 연도별 출원건수



[그림 2-36] 국내 슬러지 슬래그 이용 기술 출원인 랭킹분석

- 국내 슬러지 슬래그 이용 기술의 출원인 분석에서는 대부분이 외국 국적 출원인이라는 사실을 확인 할 수 있다. 국내 출원인으로는 고등기술연구원이 기술개발을 선도하고 있다. 대부분이 외국 기술 특허로 아직 국내에서 슬래그 이용 기술이 많은 연구가 진행되지 않고 있다고 판단된다.



[그림 2-37] 국내 슬러지 슬래그 이용 기술 출원인 국가별 점유율

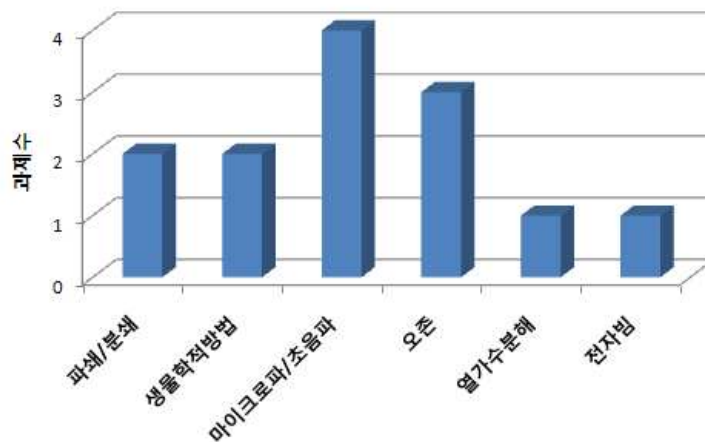
- 슬래그 이용기술의 출원인 국가별 점유율을 살펴보면, 한국과 미국이 36.2%, 35.1% 으로 가장 많은 출원인을 나타내었다. 그러나 국내 출원인 비율이 위의 특허 분석 분야 중에서 가장 낮았다. 따라서 슬래그 이용기술은 앞으로 많은 연구가 필요할 것으로 판단된다. 또한 미국이 슬래그 이용 기술에서는 많은 연구가 진행되었고 국내에 많이 진출한 것으로 확인 할 수 있다. 다음으로 일본, 네덜란드, 오스트리아 순으로 나타났다.

[부록 3] 슬러지 관련 연구과제 현황

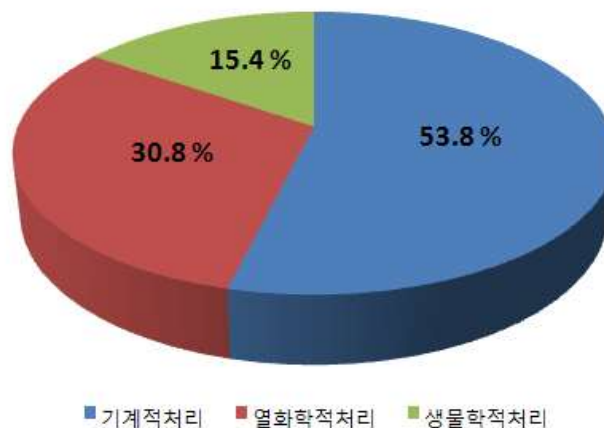
■ 슬러지관련 연구과제 현황

슬러지의 전처리는 기존에는 주로 슬러지의 탈수성을 높이거나 슬러지를 안정화시키는 보조적 용도로 많이 연구되어 왔으나 최근 들어 슬러지의 처리 및 자원화의 효율을 높이는 방법으로 다양한 연구가 활발히 진행되고 있다. 따라서 슬러지의 혐기소화 효율을 높이고 탈수성도 향상시키는 가용화 및 감량화 기술과 탈수, 건조, 자원화 기술로 나누어서 2000년 이후의 관련 과제 현황을 파악하여 연구동향을 확인하고 유사과제의 차별성을 확인하였다.

가. 하수슬러지의 가용화 및 감량화 관련 과제

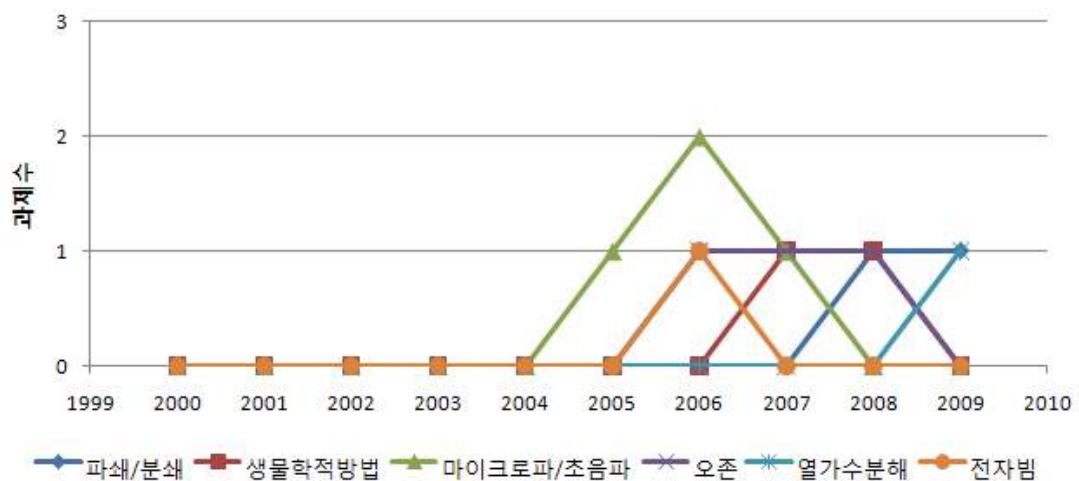


[그림 3-1] 슬러지 가용화 및 감량화 관련 기술별 과제 진행현황



[그림 3-2] 슬러지 가용화 및 감량화 과제 기술별 분류

- 가용화 및 감량화 방법으로 우선 물리적 또는 기계적 전처리 방법으로 동역학적 에너지 주입에 의한 전단력에 의해 슬러지의 미생물 세포벽을 파괴하는 방법이다. 열화학적 방법은 열에너지 또는 산이나 염을 슬러지에 첨가하여 세포를 가수분해하여 방법이다. 마지막으로 생물학적 방법은 부분적 혐기소화라고 볼 수 있는 방법으로 미생물의 효소를 이용하여 슬러지 세포를 파괴, 가용화하는 방법이다.
- 2000년부터 연구되어진 과제에서 단일 기술로는 초음파/마이크로파를 이용한 기술이 가장 많은 연구가 진행되었으며, 오존을 이용한 산화방법이 다음으로 많이 연구되었다. 또한 기술별로는 기계적처리 기술이 전체 연구과제의 약 54%로 국내 하수슬러지 전처리 기술로 가장 많이 연구가 진행되었으며, 열화학적처리와 생물학적처리 순이다.
- 연도별 연구진행사항을 살펴보면 하수슬러지의 전처리 기술은 2000년대 중반부터 런던협약에 따른 유기성슬러지의 해양투기 금지로 혐기소화처리가 현실적인 대안으로 부상하면서 효율을 높이기 위한 전처리 기술 연구가 급격히 증가하는 것으로 판단된다.



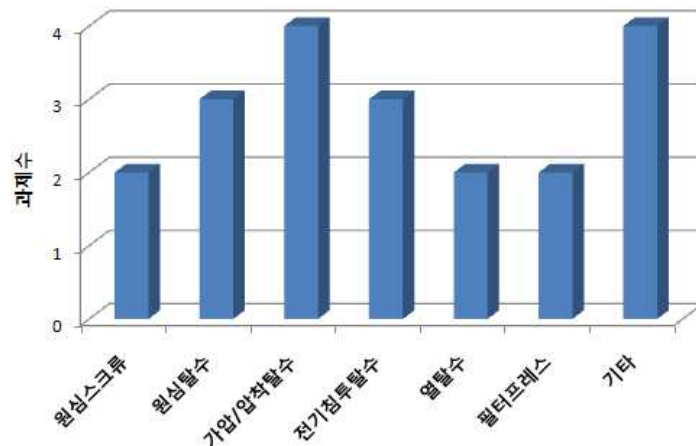
[그림 3-3] 슬러지 가용화 및 감량화 관련 연도별 과제 진행현황

나. 하수슬러지의 탈수 관련 과제

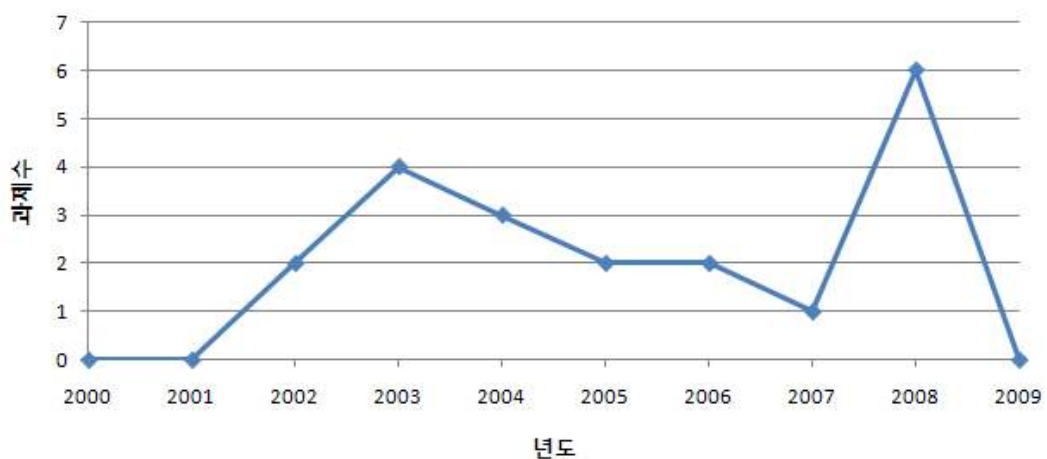
- 슬러지 탈수는 감량화 및 후속 공정의 선택 및 운전비용 결정에 중요하다. 따라

서 관련 연구는 다양한 기술이 많이 연구되었으며, 2000년 이후의 연구는 아래 그림 4-4와 같이 대표적인 탈수기술인 스크류, 원심, 필터프레스, 가압/압착 탈수 기술이 주류를 이룬다. 여기에 기존 대표적인 탈수기술의 탈수효율을 향상시키기 위해서 접목되는 전기침투, 열탈수, 초음파, 마이크로파 등을 이용한 탈수 기술들이 연구되고 있다. 또한 각 탈수기술의 부분품인 펌프와 여과포 관련 기술의 연구도 꾸준히 증가하는 추세이다.

- 슬러지의 처리 및 자원화에 관심이 높아지면서 각 기술에 적용 가능한 함수율을 맞추기 위한 탈수 기술의 연구는 2000년대 꾸준히 연구되어 지고 있는 것을 그림 4-5를 통해서 확인 할 수 있다. 슬러지의 함수율은 처리기술과 운전비용에 직결된 문제로 앞으로도 지속적인 연구가 계속 될 것으로 판단된다.



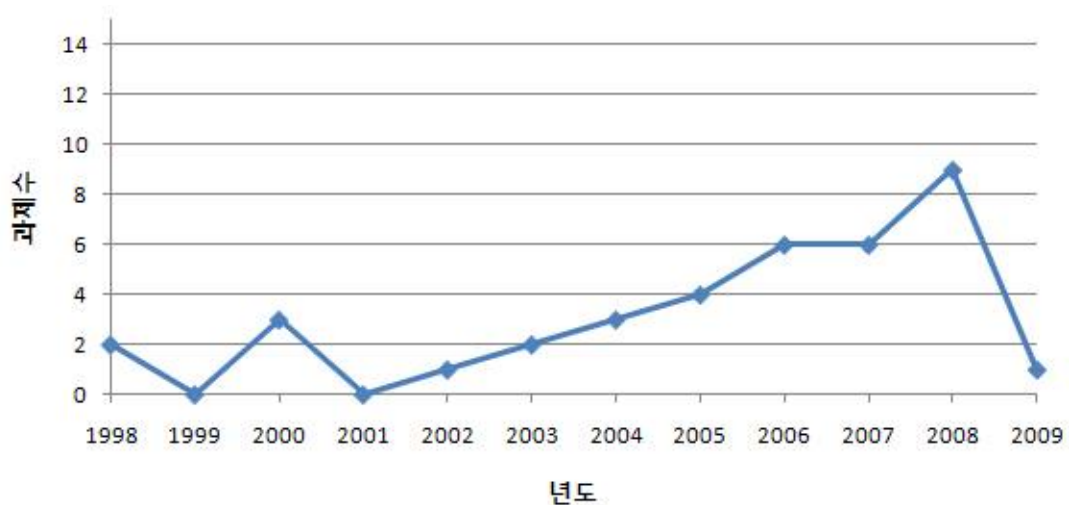
[그림 3-4] 슬러지 탈수 관련 기술별 과제 진행현황



[그림 3-5] 슬러지 탈수 관련 연도별 과제 진행현황

다. 하수슬러지의 건조 관련 과제

- 건조기술은 탈수 이상의 낮은 함수율을 요구하는 처리 및 자원화 공정을 위해서 사용되는 전처리 기술로 가열방식에 따라서 직접가열식과 간접가열식으로 나뉘고 열원, 열매체, 열전달과 고형물 이송방법에 따라서 기술이 분류될 수 있다.
- 건조기술은 그림 4-6에서 볼 수 있듯이 2000년대 지속적으로 연구가 되어지고 있으며 선정 과제수도 증가함을 알 수 있다. 최근의 환경부에서 현재 설치되어 운영되고 있는 상용화 슬러지 처리기술 중에서 기술의 성숙도와 설치 및 운전비 측면에서 건조기술이 가장 좋은 것으로 판단하고 있다. 또한 RPS 제도로 인해서 건조기술의 가장 큰 단점인 최종 생성물의 사용처가 마련되어 앞으로도 많은 연구가 지속될 것으로 판단된다.

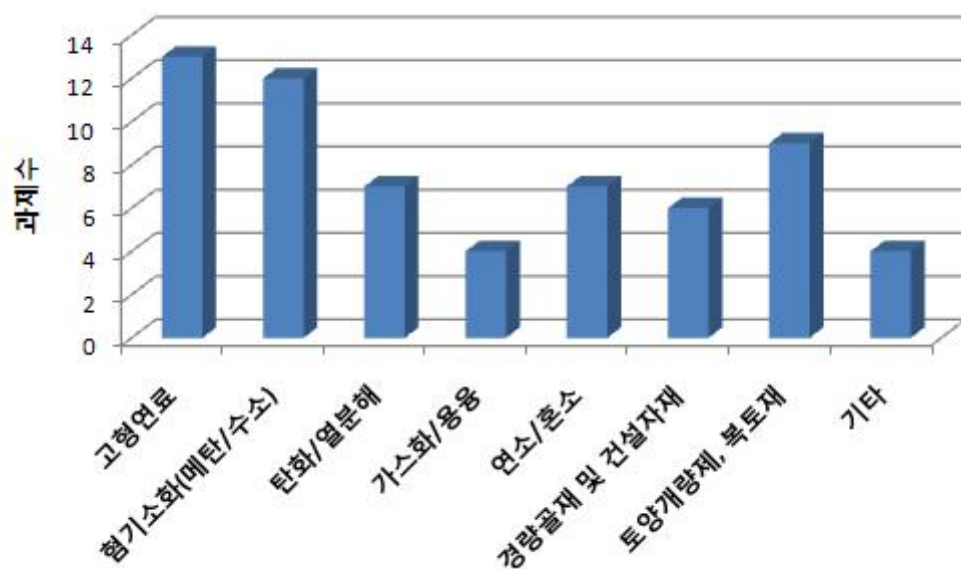


[그림 3-6] 슬러지 건조 관련 연도별 과제 진행현황

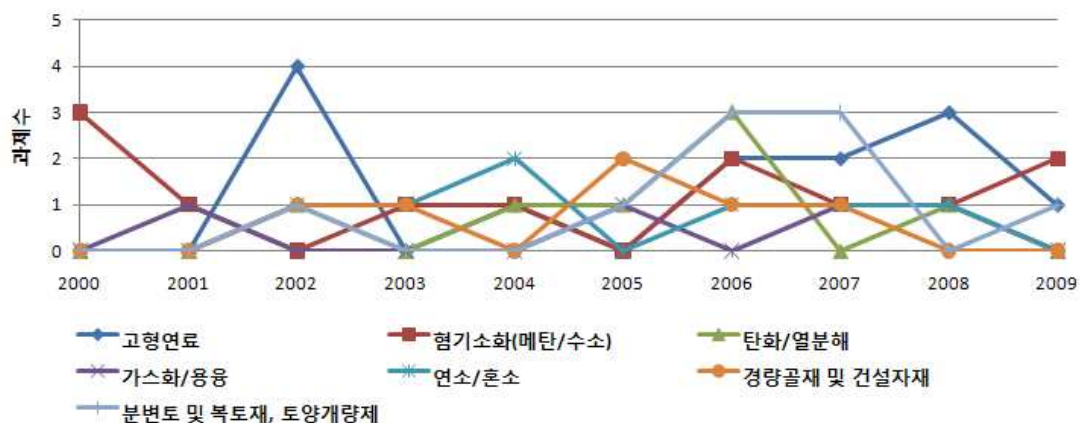
라. 하수슬러지의 자원화 관련 과제

- 슬러지의 자원화는 재생 가능한 대체에너지의 필요성과 기후변화 협약과 런던 협약에 따른 유기성슬러지 에너지화 요구에 의해서 최근에 가장 이슈가 되고 많은 연구가 진행되고 있는 분야이다. 자원화 기술은 크게 연료화, 퇴비화, 건설자재로 나뉜다. 연료화는 고형연료를 제조하는 방법이 주류를 이루었으나 혐기소화나 가스화를 통해서 biogas 또는 syngas를 얻어 가연성 가스로 이용하거나

추가적인 처리를 통해서 화학원료나 연료를 얻는 기술을 포함한다. 또한 고형연료를 이용하는 소각, 연소, 혼소 등의 기술도 포함한다. 퇴비화는 생물학적 방법을 이용하여 슬러지에 포함된 다량의 유기물과 질소 등의 비료성분을 안정화시켜 이용하는 기술이다. 또한 화학적 안정화 또는 고형화를 통해서 토양개량제 또는 복토재로서 사용하는 기술을 포함한다. 마지막으로 건설자재는 슬러지 또는 소각이나 열분해/용융을 통해서 얻어지는 부산물을 이용하여 경량골재를 제조하여 건설재료로서 사용하는 기술이다.



[그림 3-7] 슬러지 자원화 관련 기술별 과제 진행현황



[그림 3-8] 슬러지 자원화 관련 연도별 과제 진행현황

- 2000년대 이후로 가장 많이 연구되어진 자원화 기술은 슬러지를 건조하여 고형 연료로 제조하는 기술이 가장 많이 연구되고 있으며, 혐기소화를 통한 메탄/수소 회수 기술이 최근에 해양투기 금지로 인한 유기성슬러지 처리의 방법으로 많은 연구가 진행되고 있다. 자원화 기술은 어느 한 기술에 국한되지 않고 다양하게 연구가 진행되고 있으며, 2000년대 후반으로 오면서 기존의 고형연료와 혐기소화 이외에 탄화/열분해, 가스화/용융, 혼소관련 연구가 새롭게 진행되고 있다.

[부록 4] 기획위원회 및 자문위원회 참여전문가

■ 기획위원 참여 전문가

성명	소속기관	전공	기획분야	경력
전신성	지테크	환경공학	슬러지탈수·건조분야	15년
김경수	네오이엔씨	기계공학	슬러지탈수·건조분야	15년
김유진	(주)섬진EST	환경공학	슬러지탈수·건조분야	10년
김재창	경북대학교	화학공학	슬러지 활용 연료가스 생산 및 이용 분야	23년
강현기	KE&P	금속공학	슬러지 활용 연료가스 생산 및 이용 분야	10년
이강우	(주)유성	환경공학	슬러지 활용 연료가스 생산 및 이용 분야	15년
장승환	한국건설기술공사	토목공학	슬러지 슬래그 이용 건설자재 활용분야	20년
김미란	케이이피	환경공학	슬러지 슬래그 이용 건설자재 활용분야	15년

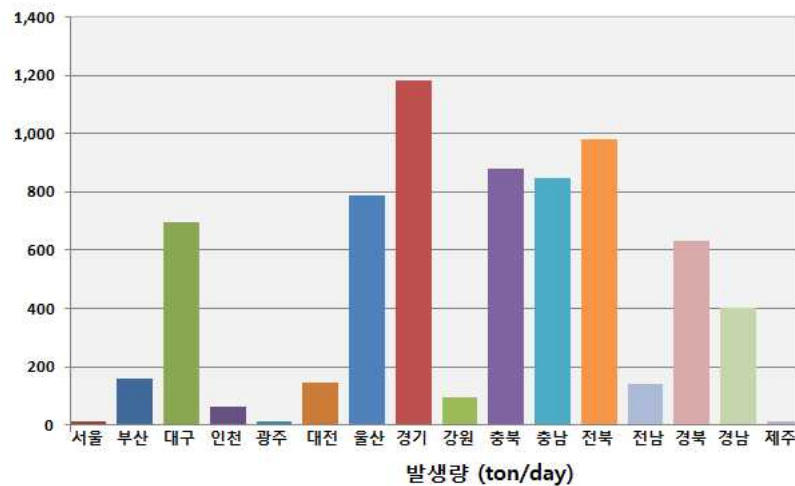
■ 전문위원 참여 전문가

성명	소속기관	전공	자문분야	경력
정봉진	수원대학교	환경공학	슬러지탈수, 건조 및 이용분야 과제도출 자문	27년
이태진	영남대학교	화학공학	청정 연료가스 이용 및 건설자재 활용분야 과제도출 자문	25년

[부록 5] 폐수슬러지 발생 현황 및 처리 대책
(부산시의 슬러지 처리 계획 포함)

1. 폐수슬러지의 발생 현황

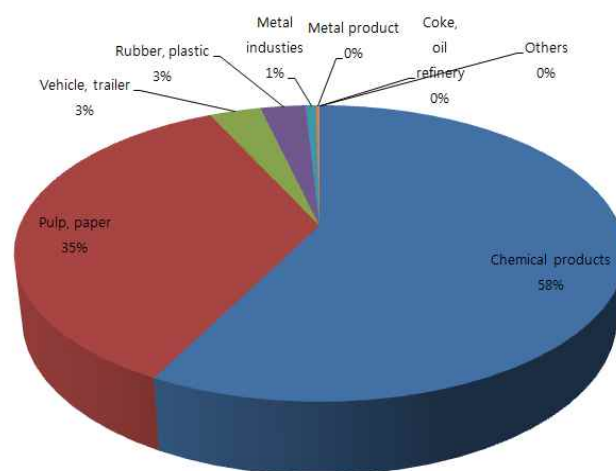
가. 폐수슬러지의 발생량



[그림 5-1] 전국 폐수슬러지 발생량

- 2008년 기준으로 전국의 폐수슬러지 총 발생량은 7,049.8 ton/day 임
- 경기지역이 1,182.5 ton/day 로 발생량이 가장 높았고, 서울과 제주가 각각 11.1, 11.5 ton/day로 낮게 나왔음. 반면, 수도권을 포함한 공업지역의 폐수슬러지 발생량은 상대적으로 높게 나타났음

나. 주요 업종별 슬러지 발생량

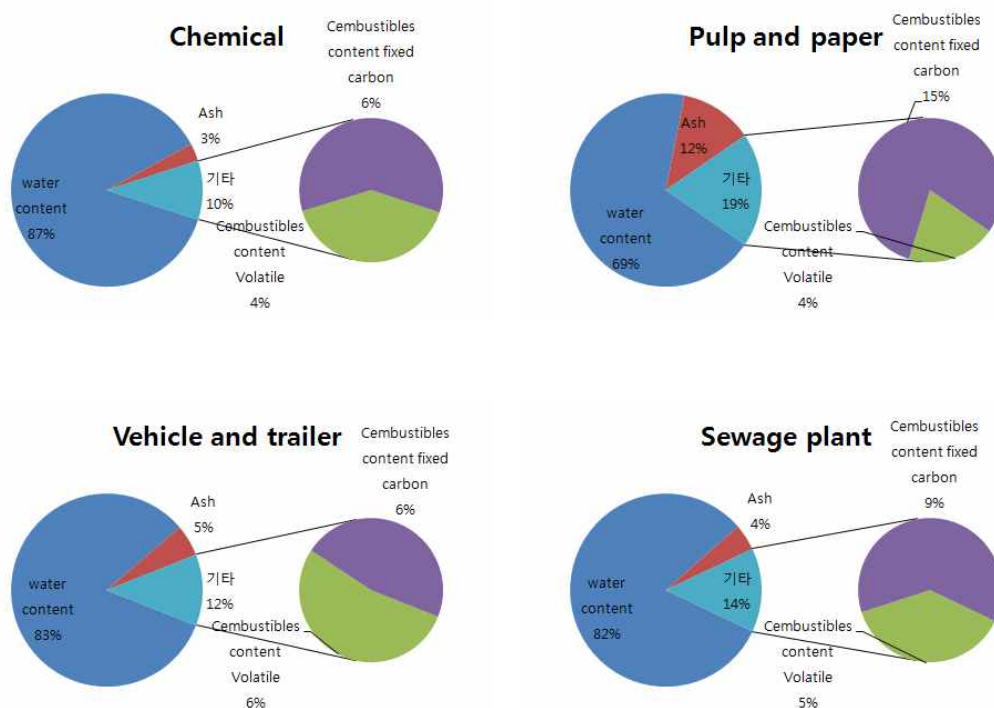


[그림 5-2] 주요 업종별 슬러지 발생량

- 울산석유화학산업단지의 업종별 폐수슬러지 발생현황은 연간 전체발생량 569,957 톤 중 유기성 슬러지가 연간 393,612 톤으로 69.1%를 차지하고 있고, 무기성 슬러지가 연간 176,346 톤으로 30.9%를 차지하고 있음.
- 주요 업종별 슬러지의 발생량을 보면 유기성 슬러지 발생량은 화합물 및 화학제품제조업종의 슬러지 발생량이 222,652 톤/년으로 울산석유화학산업단지 전체 유기성 폐수슬러지 발생량의 58%를 차지하여 가장 많은 양이 발생되고 있고, 그 다음으로는 펄프제지업으로 35.4%를 차지하고 있음.
- 그 외에 자동차 및 트레일러 제조업과 고무 및 플라스틱제품 제조업이 각각 3.2%와 2.8%의 발생량을 나타내고 있음.

다. 주요 업종별 슬러지 특성

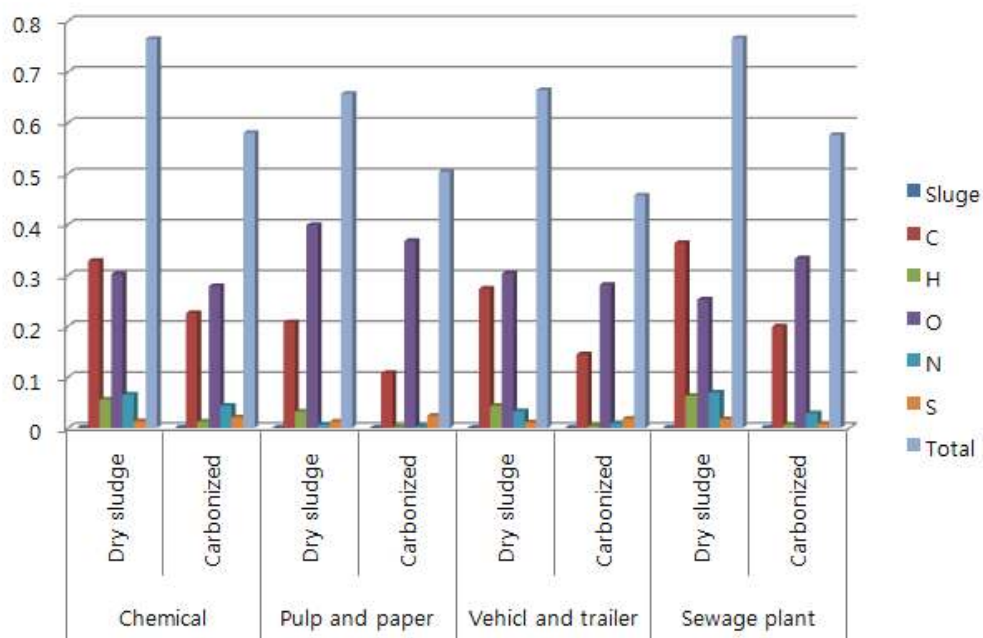
(1) 슬러지의 가연물 및 회분 특성



[그림 5-3] 슬러지의 가연물 및 회분 특성

- 업종별 탈수슬러지의 수분함량을 살펴보면 화합물 및 화학제품제조업종의 폐수슬러지 함수율이 84.23~93.20%의 범위를 보이며 평균 87.07%의 함수율을 나타냄.
- 펄프제지 슬러지의 탈수슬러지 수분함량을 66.66~75.83%의 범위를 보이고 평균 71.23%의 함수율을 나타내어 펄프제지슬러지의 탈수효율이 좋음.
- 펄프제지 슬러지는 가연물과 회분의 차이가 크지 않고, 그 외 업종의 슬러지는 가연물과 회분량의 차이가 있어 소각처리의 다른 방법으로의 처리가 유용함.
- 화합물 및 화학제품 제조업의 슬러지들이 가연분의 함량이 높고 회분함량이 적게 나타남.

(2) 업종별 탄화 및 건조슬러지의 원소함량

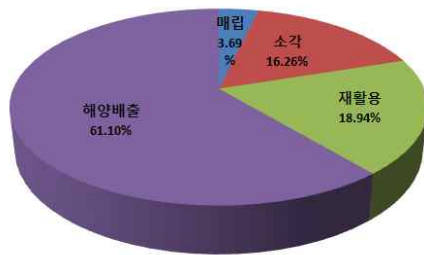


[그림 5-4] 업종별 탄화 및 건조슬러지의 원소함량

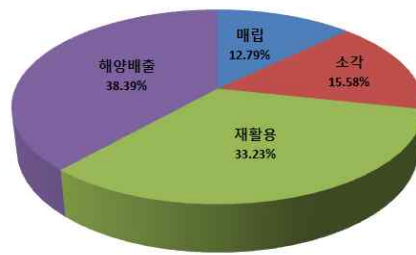
- 화학제품제조업종의 건조물의 경우 탄소가 33%, 산소가 30%로 높게 나타났으며, 건조물 역시 23%, 28%로 함량이 비슷한 수치로 높게 나타났으며 수소함량이 5%와 1%로 낮게 나타남
- 용연하수슬러지의 탄화물의 경우 수소와 탄소의 함량이 건조슬러지의 10.2%와 27.3%로 나타나 낮은 함량을 보임.

2. 폐수슬러지의 처리현황 및 문제점

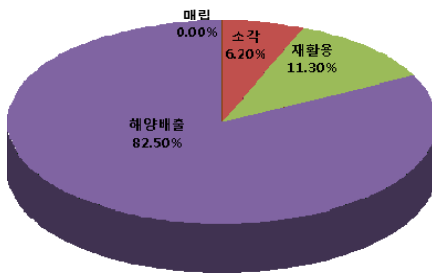
가. 폐수슬러지 처리 현황



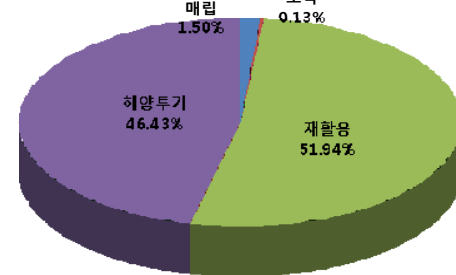
<전국 하수슬러지>



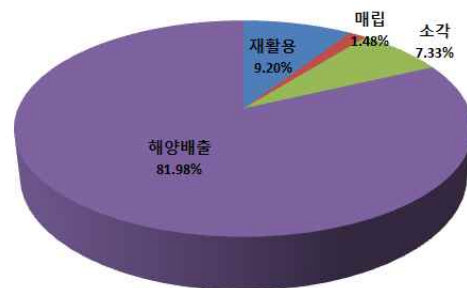
<전국 폐수슬러지>



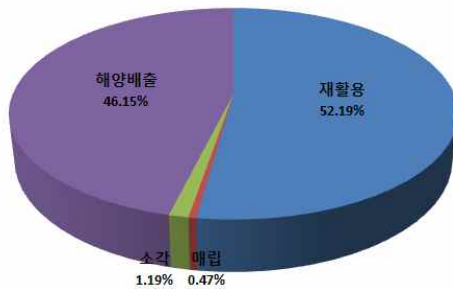
<부산 하수슬러지>



<부산 폐수슬러지>



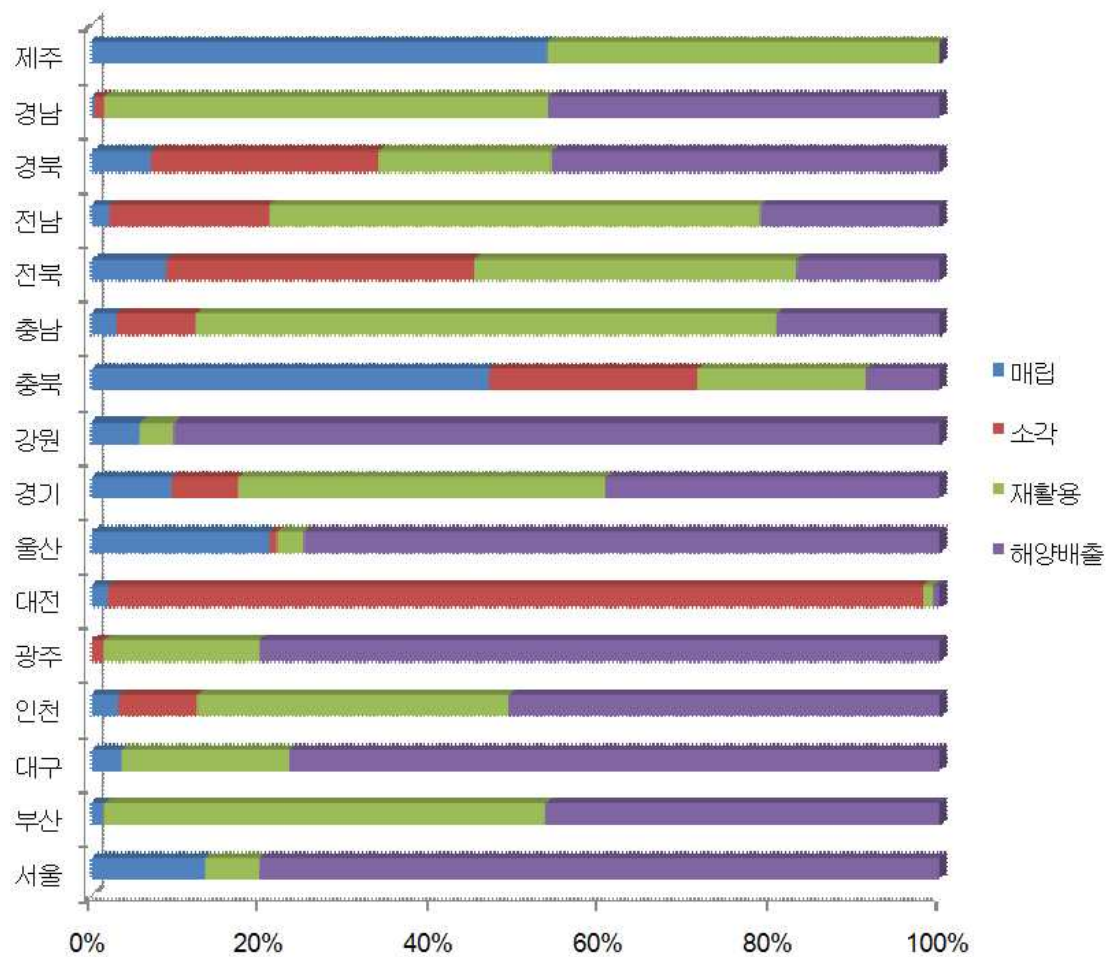
<경남 하수슬러지>



<경남 폐수슬러지>

[그림 3-5] 2008년 전국 및 경남 하·폐수슬러지 처리현황

- 우리나라에서 발생하는 폐수슬러지 처리는 매립이 901.8 ton/day, 소각이 1,098.8 ton/day, 재활용이 2,342.8 ton/day, 그리고 해양배출이 2,706.4 ton/day로 해양투기의 의존도가 아직도 높은 편임.
- 지역별 처리현황 비율은 다음과 같음.



[그림 3-6] 폐수 슬러지의 지역별 처리현황

- 지역별로 폐수슬러지의 재활용 비율이 많이 증가했으나 아직까지 해양배출이 가장 큰 비율을 차지하고 있음.
- 대전의 경우는 소각처분이 96%로 가장 큰 비율을 차지하며 해양배출 비율은 광주와 서울이 80%, 강원이 90.2%로 다른 지역에 비해 높음.
- 재활용 비율은 충남 68.4%, 경남 52.2%로 가장 높고, 경기 43.3%, 전북이 37.9%로 높은 비율을 나타냄.

나. 슬러지 처리 및 처분 단가

- 각 지역에서 발주한 폐수슬러지 위탁처리 가격을 바탕으로 추정한 단가는 <표 5-1>과 같음.

<표 5-1> 폐수슬러지 처리 단가

지 역	사 업 소	슬러지종류	처리방법	단 가 (원/톤)	발주년도
강원 정선	정선군상하수도사업소	분뇨	해양배출	82,500	2008
충남 천안	천안시환경사업소	분뇨	해양배출	25,740	2008
경기 동두천	동두천염색공단	염색	해양배출	50,000	2009
대구	대구염색산업관리공단	염색	해양배출	36,500	2009
부산	부산염색공단	염색	해양배출	45,000	2009
경남 김해	김해시설관리공단	축산	해양배출	29,000	2010
경기 오산	오산시환경사업소	하수 및 분뇨	해양배출	50,729	2010

- 위탁처리되는 폐수슬러지의 대부분은 해양배출로 처리되고 있음.
- 각 지역별 및 사업소별 처리 단가가 다양한 것은 위탁 과정에서의 적재, 운반, 계량 여부와 부가세, 환경개선부담금의 여러 요인이 영향을 미치기 때문임.
- 염색슬러지 처리비용은 대구가 가장 저렴한 것으로 나타남. 다른 지역의 경우 2006년 해양수산부의 해양투기 허용총량 감축 정책에 따라 2006년 대비 2007년부터 처리비 및 운송비가 크게 상승하였으나, 대구 염색산업공단은 운송업체와 안정적인 장기계약을 통해 2006년 단가 그대로 유지하는 등 비용절감 전략을 추진하였고 이것이 크게 주효했기 때문으로 분석됨.

다. 재활용의 경제성

- 염색슬러지의 처리방법에 따른 단가 비교를 아래의 표에 제시하였음.

<표 5-2> 국외 슬래그 이용기술 출원인 상위 랭킹 업체 및 출원건수

처리방법	단 가 (원/톤)
해양배출	40,000 - 50,000
건조매립	50,000 - 60,000
재활용	40,000 - 48,000

- 건조매립을 할 경우 유가에 따라 단가가 달라지는데, 위의 표에 나타난 값은 2009년 11월 유가를 적용한 것임.
- 재활용 단가는 경기도 양주검준염색단지 기준으로써 슬러지 내 유용물질을 추출하여 재활용하고 남은 유기물은 에너지원으로 이용하면 기존 매립보다 20% 가량 절감 가능함.
- 염색슬러지의 재활용 단가는 해양투기와 비슷하고 건조매립보다 톤당 10,000~12,000원 저렴한 것으로 판단됨.

3. 폐수슬러지 관리(또는 처리) 정책의 현황과 문제점

- 폐수슬러지 처리시설을 갖춘 폐수종말 처리시설은 126개 소 중 1개소(2006년 기준)에 불과하며 ‘유기성 오니 처리 종합대책’에 따르면 시도별 처리 슬러지 처리 계획은 다음과 같음

가. 폐수종말처리시설 슬러지

(1) 국가공단 폐수종말처리시설

<표 5-3> 국가공단 폐수종말처리시설의 슬러지 처리계획 (단위: 톤/일)

구 분	합 계		해양배출		매립		소각		재활용 및 기타	
	‘04	‘11	‘04	‘11	‘04	‘11	‘04	‘11	‘04	‘11
합계	84	173	79	0	0	0	5	173	0	0
청주	7	8	7		-	-	-	8	-	-
경북 경산	-	59	-	-	-	-	-	59	-	-
대구 달성	11	15	11	-	-	-	-	15	-	-
전북 익산	13	17	13	-	-	-	-	17	-	-
전남 여수	16	20	11	-	-	-	5	20	-	-
경남 진주	37	54	37	-	-	-	-	54	-	-

(2) 지방공단 폐수종말처리시설

<표 5-4> 지방공단 폐수종말처리시설의 슬러지 처리계획 (단위: 톤/일)

구 분	합 계		해양배출		매립		소각		재활용 및 기타	
	'04	'11	'04	'11	'04	'11	'04	'11	'04	'11
합계	255	903	217	0	37	88	0	377	1	439
서울	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
인천	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
부산	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
대구	41	44	41	-	-	-	-	44	-	-
울산	-	31	-	-	-	-	-	31	-	-
광주	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
경기	30	257	29	-	1	4	-	250	-	3
강원	5	6	5	-	-	-	-	-	-	6
충북	34	66	34	-	-	17	-	33	-	16
충남	37	415	3	-	33	30	-	-	1	386
전북	3	2	3	-	-	-	-	2	-	-
전남	3	3	-	-	3	-	-	-	-	3
경북	52	2	52	-	-	2	-	-	-	-
경남	29	42	29	-	-	-	-	17	0.32	25
제주	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
대전	21	35	21	-	-	35	-	-	-	-

(3) 농공단지 폐수종말처리시설

<표 5-5> 농공단지 폐수종말처리시설의 슬러지 처리계획 (단위: 톤/일)

구 분	합 계		해양배출		매립		소각		재활용	
	'04	'11	'04	'11	'04	'11	'04	'11	'04	'11
합계	29.06	157.23	17.98	0	8.17	19.29	0.28	6.69	2.63	131.25
서울	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
인천	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
부산	0.07	0.03	0.07	-	-	0.03	-	-	-	-
대구	0.05	0.02	-	-	0.04	0.01	-	-	0.01	0.01
울산	0.31	0.40	0.14	-	0.17	0.40	-	-	-	-
광주	0.06	1.00	-	-	-	1.00	-	-	0.06	-
경기	0.05	0.20	0.05	-	-	0.20	-	-	-	-
강원	5.21	4.00	4.11	-	1.10	4.00	-	-	-	-
충북	0.06	2.04	-	-	0.05	0.04	-	-	0.01	2.00
충남	7.46	11.87	6.53	-	0.3	1.94	-	5.59	0.63	4.34
전북	2.23	122.18	0.72	-	-	-	-	-	1.51	122.18
전남	0.90	0.91	0.58	-	0.07	0.10	0.02	0.55	0.23	0.26
경북	6.92	4.67	0.50	-	6.33	4.49	-	-	0.09	0.18
경남	5.63	9.57	5.28	-	-	6.99	0.26	0.55	0.09	2.03
제주	0.11	0.34	-	-	0.11	0.09	-	-	-	0.25

- 각 공단별 처리계획을 살펴보면 2011년까지 해양배출량을 전량 없애는 대신 매립, 소각 및 재활용에 대한 처리량을 대폭 증가시켰음. 따라서 해양배출에 의존하던 슬러지를 다른 방법으로 처리할 수 있는 처리시설의 설치가 요구됨.

나. 폐수종말 처리장 발생슬러지 처리대책

(1) 폐수종말 처리장 발생 슬러지

(가) 처리대책

- 소 각 : '04년 1.4% → '11년 45%
- 재활용 : '04년 1.4% → '11년 46%

<표 5-6> 폐수슬러지 처리계획 (단위: 톤/일)

구 분	2004	2011
합 계	368	1,232
해양배출	312	-
매 립	46	107
소 각	5	555
재 활 용	5	570

(나) 시·도별 처리계획 (2011년도)

- 경기, 대구, 울산 소재 공단지역 발생 오니는 소각처리(98%)
- 강원, 충남은 전량 시멘트원료로 재활용(농공단지 제외)

<표 5-7> 시·도별 2011년도 폐수슬러지 처리계획 (단위: 톤/일)

구 분	합 계	해양배출	매 립	소각	재활용
합계	1,232	-	107	555	570
서울	-	-	-	-	-
인천	-	-	-	-	-
경기	257	-	4	250	3
부산	-	-	-	-	-
대구	58	-	-	58	-
대전	35	-	35	-	-
울산	31	-	-	31	-
광주	1	-	1	-	-
강원	10	-	4	-	6
충남·북	504	-	49	47	408
전남·북	166	-	-	40	126
경남·북	170	-	14	129	27
제주	-	-	-	-	-

(2) 일반사업장 발생 오니 (폐수배출업소)

(가) 처리대책

- 재활용, 소각, 매립처리 되는 오니는 현행 처리방법 유지 (향후 오니발생량 감소)

예상)

- 현재 해양투기(3,964톤/일)되는 오니 중 배출허용기준 초과 오니는 소각 또는 매립을 유도하고, 기준이내 오니는 재활용 유도
- 처리시설 설치비 및 운영비는 배출자(사업자)가 부담

(나) 홍보 및 교육 실시

- 관련 협회(협의회) 등을 통하여 해양투기규제 강화에 대비, 처리시설 설치 등 슬러지처리에 차질이 없도록 교육과 홍보
- 홍보 내용
 - * 해양투기규제 강화 내용
 - * 해양투기 유예기준별 시행시기
 - * 지역적 특성을 고려한 적절한 처리방법
 - * 재활용시설의 종류·특성 및 경제성 등

(3) 축산폐수 처리대책(농림부)

(가) '05년 기준으로 연간 5천만톤(1일 139천톤) 발생

- 구성비 : 한우 19%, 젓소 16%, 돼지 56%, 닭 9%

(나) 처리현황

<표 5-8> 축산 폐수슬러지 처리현황 (단위: 백만톤)

퇴비화		액비화 (자가처리)	정화처리		해양배출 (위탁)
자가처리	유통		자가처리	공공(위탁)	
37.4(73.9%)	3.5(6.9%)	3.0(5.9%)	1.6(3.2%)	2.3(4.5%)	2.8(5.5%)

※ 해양투기 비율 : '97년 전체발생량의 9.3% → '05년 27.6%

(다) 처리대책

- 2012년부터 전량 육상처리(최대한 자원화, 농경지 환원)

<표 5-9> 축산 폐수슬러지 처리계획 (단위: 천톤)

구 분	2005	2007	2009	2011
감축목표	2,745	2,100	1,200	400
감 축 량		645	900	800
(퇴 비 화)		107	100	100
(액 비 화)		438	400	300
(정 화)		100	400	400

- 시설 설치·보완자금 지원(퇴비화시설, 액비화, 정화시설)
- 공공처리시설 설치 확대(76개소 → 100개소)
- 가축분뇨 퇴액비 이용확대 추진
- 해양투기 감축유도를 위한 기술교육·홍보 확대
- 가축분뇨관리법 하위규정 마련 등 제도개선 추진

다. 폐수슬러지 정책의 문제점

(1) 제도적 제약

(가) 처리부산물 사용용도 등 제한

- 도시하수 오니는 비농업지역으로 사용처 제한
- 사용처 : 정원, 공원, 임야, 토지개량제 등

(나) 오니 퇴비화 규정은 환경부와 농림부로 이원화

- 농림부 비료관리법령에서 슬러지 자원화 및 사용에 대해 규정하고 있으나 소극적임
- 환경부는 폐기물관리법 관련고시로 토지개량제 및 매립시설 복토용으로 재활용 방법 규정

(2) 현실적 제약

(가) 재활용 제품 수요 한정

- 처리부산물의 수요처 확보 문제로 대량처리 곤란
- 녹생토, 지렁이 사육, 경량골재 등 대부분 재활용 산물의 수요가 많지 않음
- 대량처리가 가능한 시멘트 원료화 등은 시멘트회사 인근지역 민원, 지역적 제한(운반거리) 등으로 곤란

(나) 재활용 및 감량화 기술 미흡

- 오니 발생단계의 감량화 기술 미흡
- 기술적, 경제성 문제로 감량화시설 설치 기피

4. 슬러지 해양 배출 금지에 관한 부산시의 처리 및 처분 계획

- 부산시는 런던협약 '96의정서 발효에 따fms 폐기물 해양배출 엄격규제에 따라 현재 해양배출되고 있는 슬러지의 처리를 위해 육상처리시설을 설치할 계획임.
- 육상처리시설을 통해 슬러지를 자원으로 활용함으로써 슬러지 처리비용 최소화 및 자원화가 가능할 것으로 기대됨.

가. 유기성슬러지(하수슬러지) 육상처리시설 설치계획

- 처리규모: 550톤/일
- 설치기간: 2007. 4 ~ 2012. 8
- 처리 후 슬러지 부피는 약 122톤/일으로 감량될 것이며 이 부산물은 화력발전소의 연료로 이용될 계획임.

나. 문제점 및 대책

- 슬러지 전면 해양투기 금지가 2011. 2. 21일부터 시행됨에 따라 처리시설 설치 시까지의 슬러지 처리대책이 요구됨.
- 슬러지의 함수율 저감 후 매립하는 것이 적절한 대안으로 판단됨.

주 의 사 항

1. 본 보고서는 국토해양부가 출연하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁시행 한 건설기술 연구개발사업의 최종 연구보고서입니다.
2. 본 보고서의 내용을 발표할 때에는 반드시 국토해양부가 출연하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁시행 한 건설기술연구개발사업임을 밝혀야 합니다.
3. 국가보안 차원에서 필요하다고 인정되는 내용은 대외적으로 발표 및 공개하여서는 아니 됩니다.

본 보고서와 관련하여 문의를 원하시는 분은 아래의 문의처로 연락을 주시기 바랍니다.

■ 문의처 : 한국건설교통기술평가원	TEL 031)389-6447
부산대학교	TEL 051)510-7381
고등기술연구원	TEL 031)219-2670

R&D / 10지역기술혁신A02

슬러지를 이용한 청정연료 및 건설자재 생산기술 개발 연구기획

- 발행일 / 2010. 11. .
- 발행처 / 부산대학교 산학협력단
(609-735) 부산광역시 금정구 장전2동
TEL : 051-510-3771
- 인쇄처 / 드림씨엔피