

공공하수도시설에서의 에너지절약기술 (1)

박 준 택 / 한국에너지기술연구원 미활용에너지연구센터 책임연구원(jtpark@kier.re.kr)

서론

우리나라의 2005년 에너지수입액은 667억\$에 달하였다. 국내 에너지공급의 97% 이상을 수입에너지자원에 의존하고 있으며, 국내 생산에너지는 수력, 신탄 기타 등으로 3%에 불과하다. 석유 의존도는 점차 감소하고 있으나('05년 44%), 지역 편중심화(중동의 존도 '05년 82%)에 따라 공급안정성은 취약하다.

최근 80\$/bbl를 기록한 유가는 현재의 시장 상황이 지속될 경우 2015년 100\$/bbl에 도달할 것으로 전망(한국석유공사 "2006년 장기유가전망 2010 ~ 2030" 중 고유가기준)되고 있으며, 지구온난화의 주범인 온실가스 배출량은 '06년 기준 우리나라는 세계 10위, '90년 ~ '04년 연평균 기준 배출증가율 세계 1위의 실적을 나타내고 있다.

'07년 12월 인도네시아에서 개최될 제13차 기후변화협약(UNFCCC) 당사국총회에서 기후변화협약 제2차 공약기간(2013 ~ 2017년)에 감축의무부담 대상국으로 지정될 것으로 예상하고 있으며, 2020년 온실가스 배출 전망치(BAU) 대비 5% 감축 시 국내 GDP는 1% 감소할 것으로 전망되고 있다.

이러한 국내 에너지 및 기후변화협약 관련 동향에 따라 각 부분별 에너지이용 합리화를 통한 "에너지안보 확보 및 지구온난화 문제"에의 적극적 대응이 절실히 요구되고 있다.

공공환경기초시설에는 크게 수처리시설, 소각시

설, 매립시설이 있으며 이중 국내에 가장 많은 시설은 하 폐수처리시설이다. 2005년말 현재 총 인구 중 하수처리시설(마을하수도 포함) 및 폐수종말처리시설을 통해 처리되는 하수처리구역 내 하수처리인구 비율로 산정한 하수도보급률은 83.5%이며, 전국에 가동중인 하수처리시설은 294개소, 시설용량은 22,469 톤/일이다.

하수처리시설에 대한 에너지 사용실태 조사결과, 국내 하수처리장의 처리하수당 전력원단위는 0.243 kWh/m³(제거 BOD 당 소모전력은 2.07 kWh/kg BOD)이었다. 하수도시설은 공공시설 중에서도 전력에너지 다소비 시설의 하나이며, 소비되는 전력량은 국내 전체 소비 전력량의 약 0.5%인 것으로 추산하고 있어 이 부문에서의 에너지절약 추진이 매우 중요한 과제라고 할 수 있다.

하수처리에서의 최대의 소비전력은 반응탱크에서 호기성 생물산화를 촉진하기 위한 산소공급을 행하는 장치(송풍기, 기계폭기장치 등)이다. 하수처리장에서 기기별전력소비전력량 내역에서 송풍기의 전력소비량은 40%를 초과하고 있어 이 부분에서의 기기효율 개선 등이 요구된다.

또한 하수처리장은 미활용·재생에너지의 보고(寶庫)로써 대부분의 하수처리장에서 미활용·재생에너지를 이용하면 필요한 에너지의 거의 전량(100%)을 자체적으로 충당하는 것이 가능하다.

이에 본 고에서는 공공하수도시설에서의 에너지절

약기술로서, 1)포기조에서의 에너지절약기술, 2) 미활용에너지자원 유효이용기술, 3) 재생에너지의 유효이용기술, 4) 급후 하수도시설에서의 미활용·재생에너지의 이용방향 등에 대하여 2회에 걸쳐서 소개하고자 하며, 이들 내용은 급후 에너지절약형 하수처리장을 설계하는데 있어 매우 유용한 자료가 될 것으로 믿는다.

포기조에서의 에너지절약기술

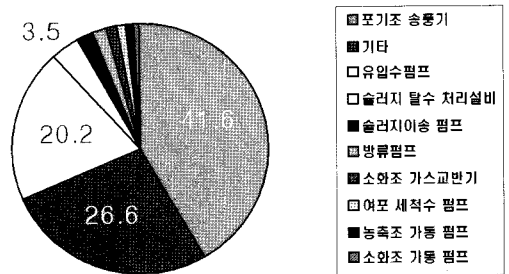
하수처리공정과 에너지를 많이 사용하는 기계설비를 보면 그림 1과 같다. 하수처리에서의 최대의 소비전력은 반응탱크에서 호기성 생물산화를 촉진하기 위한 산소공급을 행하는 장치(송풍기, 포기장치 등)이다. 하수처리장에서의 기기별 전력소비전력량 내역(그림 2)에서 송풍기의 전력소비량은 40%를 초과하고 있어 이 부분에서의 기기효율 개선 등이 특히 요구된다.

포기조에서의 에너지절약방법으로는 인버터형 송풍기 및 초미세기포장치 등을 설치하는 것이 효과적이다.

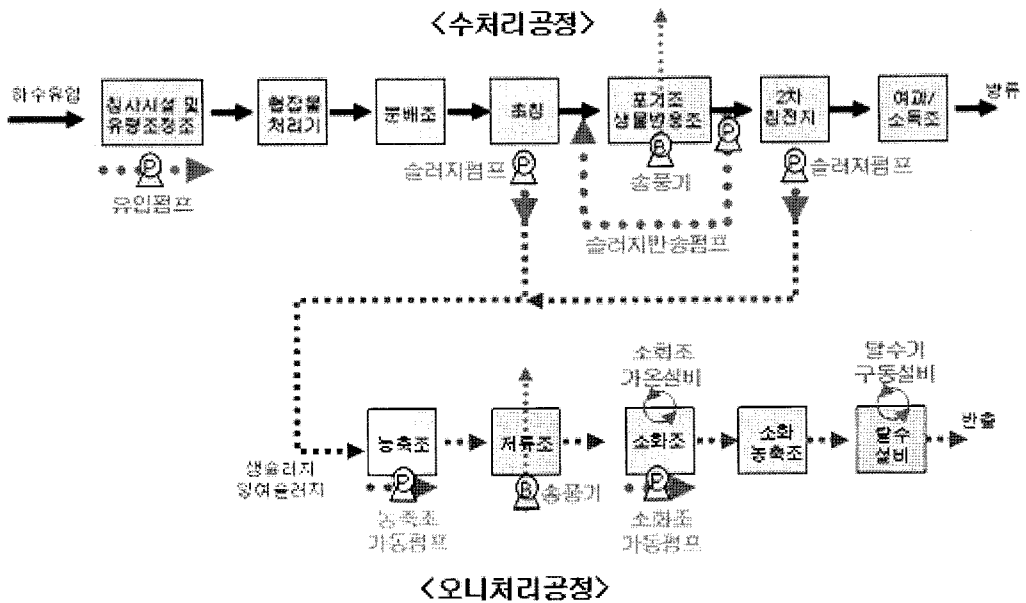
1) 인버터형 송풍기 설치

포기조 회전수 조절을 위해 인버터를 설치하여 처리수질의 향상과 전력비를 절감할 수 있다. 경기도 구리하수처리장에 인버터를 설치한 사례를 보면 다음과 같다.

- 대상설비 용량 및 수량 : 55 kW(전동기 11 kW 4대)
- 총투자비 : 68,600,000원
- 절감률 : 38.4%(절감액 18,571,200원/년)
- 투자비 회수기간 : 3.7년



[그림 2] 하수처리시설에서의 기기별 소비전력량 비율(%)



[그림 1] 하수처리공정과 전력에너지를 많이 사용하는 기계설비

2) 초미세기포장치 설치

기존의 산기장치 대신에 그림 3과 같이 초미세기포장치를 설치하면 산소용해효율을 높일 수 있어 송풍기 소비전력량의 약 20% 절감 가능하다. 여기서 산소용해효율이란 송풍량에 대한 수중에 용해된 산소량의 비율을 말하며, 기포가 작을수록 오수중에 산소 용해가 쉽게되어 송풍량이 줄어 소비전력이 저감된다.

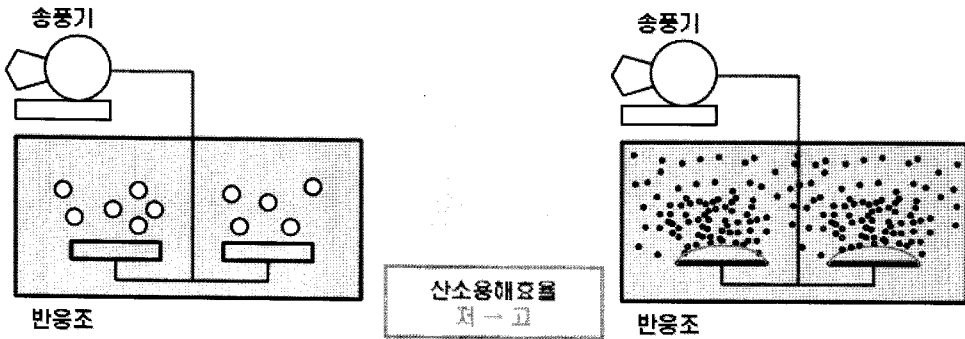
미활용 에너지자원의 유효이용기술

하수처리공정에서 발생하는 이용대상 에너지자원은 그림 4에 도시한 바와 같이 생하수 및 하수처리

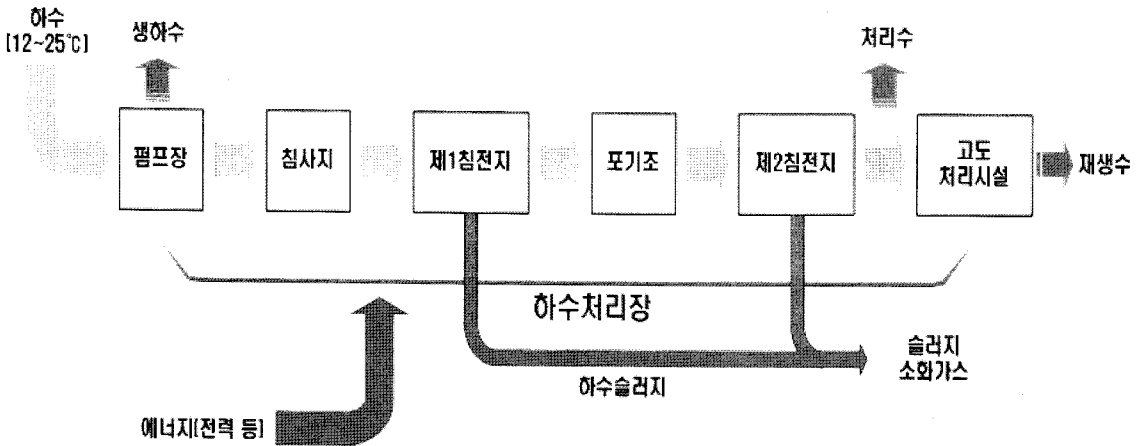
수, 재생수, 슬러지 소화가스 등이며, 이용대상별 이용형태는 표 1에 제시한 바와 같다.

<표 1> 하수처리장의 에너지자원 이용대상별 이용형태

이용 대상	이용 형태
하수열 (생하수 및 처리수)	에너지 (냉난방, 도로융설 등)
재생수	수자원 (잡용수, 친수용수 등)
슬러지 소화가스	에너지 (소화조 가온, 발전 등)



[그림 3] 초미세기포장치 설치



[그림 4] 하수처리장에서 이용가능한 에너지자원

1) 하수열이용 냉난방

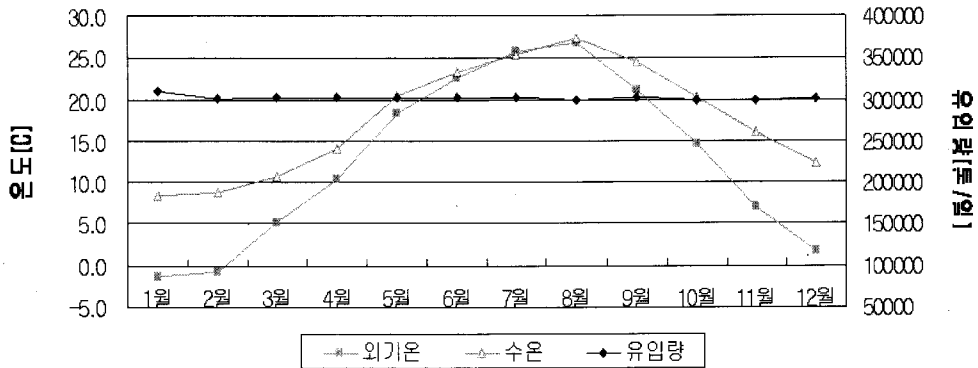
하수가 가지고 있는 하수열에너지는 열원으로서 그림 5와 같이 온도차에너지)의 특징을 가지고 있으며, 유량변화도 적어 히트펌프(heat pump)의 열원으로 이용하면 고효율로 냉난방 할 수 있다.

국내 하수열에너지의 부존량은 약 4,319 Gcal/h이며, 이는 4,798.49 ha(약 1천 4백만평)의 건물에 공조 가능한 열량이다. 하수열은 주로 하수처리장의 관리동 냉난방과 인근의 지역냉난방 열로 이용되고 있다. 그림 6은 하수열이용 냉난방시스템 개략도를 나타낸 것이다.

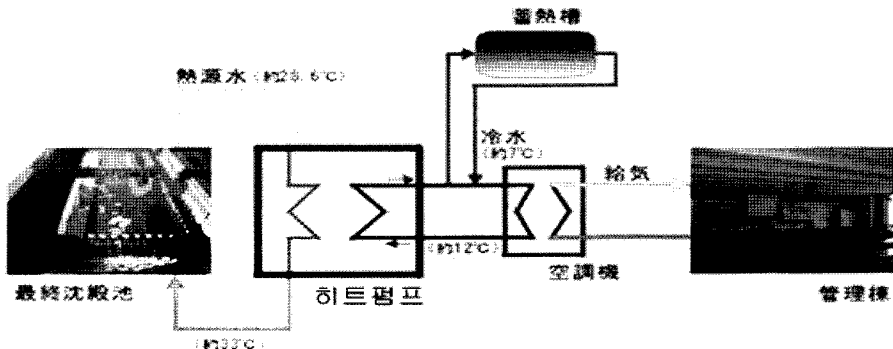
이하에서는 울진하수처리장의 개요와 하수열이용 히트펌프시스템을 간략히 소개한다. 울진하수종말처리장은 연면적 2,961 m²이고 건축면적이 1,477 m²로서 관리동은 연면적 1,560 m²로 지하 1층, 지상 3

층으로 구성되어 있으며, 지하 1층은 기계실이고 냉난방이 필요한 지상 3층은 1,340 m²이다. 1일 하수처리량은 약 5,000 톤/일로서 이중 약 19%인 39 톤/시간을 열펌프의 열원으로 이용하도록 설계되어 있다.

관리동의 냉난방을 위한 히트펌프의 용량은 압축기 정격용량 30 kW로서 냉방용량 30 USRT를 기준으로 설치되어 있으며, 구체적인 설치사양은 표 2와 같다. 냉난방운전을 위한 히트펌프시스템의 구성은 하수를 직접 증발기 및 응축기로 흐르지 않고 판형 열교환기(110,000 kcal/h)를 사용하여 간접적으로 열을 회수하여 열원으로 활용하도록 하였고, 냉방과 난방운전시 열원수의 유동방향을 서로 바꿀 수 있도록 밸브를 사용하여 운전되도록 하였고, 냉방과 난방은 중앙식으로 하여 사무실의 뢰코일을 사용하여 냉난방을 할 수 있도록 구성되었다. 울진하수처리장



[그림 5] 원촌 하수처리장의 하수유입량, 하수온도 및 외기온도



[그림 6] 하수열이용 냉난방시스템 개략도

의 년중 하수온도는 동절기에는 10℃ 내외, 하절기에는 25℃ 내외를 기록하고 있으며, 하수의 년중 방류량은 약 4,000 ~ 7,000 톤/일 정도 방류하고 있다.

일본의 경우는 표 3에서와 같이 986년, 동경도 롯슈(오치아이) 하수처리장을 시작으로 하여 많은 하수처리장에서 하수열을 이용하여 관리동의 냉난방

<표 2> 히트펌프 설치사양

구분		사 양
압축기	형 식	스크류
	용 량	냉방 : 30 kW (3φ × 380 V × 60 Hz) 난방 : 45 kW (3φ × 380 V × 60 Hz)
	냉 매	R-22
응축기	형 식	Shell & Tube
	입출구온도	42/45 ℃
	유 량	650 LPM
증발기	형 식	Shell & Tube
	입출구온도	7/4 ℃
	유 량	650LPM

<표 3> 일본에서의 하수열이용 냉난방사례

No	처리장명	관리자	냉방/난방용량 [Mcal/h]	하수의 종류	운전개시
1	樂合처리장	東京都하수도국	530/498	처리수	1986년
2	湯島펌프장	東京都하수도국	344/126	생하수	1988년
3	中部하수처리장	横浜市하수도국	60/60	처리수	1988년
4	定山溪처리장	札幌市하수도국	71/111	처리수	1988년
5	金澤처리장	横浜市하수도국	362/420	처리수	1988년
6	各城처리장	名古屋市하수도국	330.2/360	처리수	1988년
7	木場펌프장	東京都하수도국	240/240	생하수	1989년
8	芦屋하수처리장	芦屋시	116/135	처리수	1989년
9	新河岸처리장	東京都하수도국	604.8/580	처리수	1990년
10	今池처리장	大阪府	272/370	처리수	1990년
11	霧場테크노가든	東京電力	34,776/35,290	처리수	1991년
12	森森崎수처리센터	東京都하수도국	304/292	처리수	1991년
13	露橋하수처리장	名古屋市하수도국	27/34	처리수	1991년
14	洋蘭센터	東海市하수도과	53/63.5	처리수	1991년
15	三河島처리장	東京都하수도국	360/380	처리수	1992년
16	北多摩一號처리장	東京都하수도국	110/100	처리수	1993년
17	奈良縣정화센터	奈良縣流城하수도	354/350	처리수	1993년
18	小菅처리장	東京都하수도국	850/776	처리수	1993년
19	堀留分室	名古屋市하수도국	145/162.4	처리수	1993년
20	後樂펌프장	東京都하수도국	21,470/26,324	생하수	1994년

을 하고 있다. 이 뿐만 아니라 幕張(Makuhari) 新都心High-tech Business지구의 5곳에서는 지역냉난방 열원으로도 하수열을 이용하고 있다. 표 5에서는 유럽, 기타지역에서의 하수열을 이용한 지역열공급사례를 나타낸 것이다.

이하에서는 지역냉난방 사례중 스웨덴 스톡홀름 하마비지구 지역냉난방 사례에 대하여 간략히 소개한다.

스톡홀름 에너지 사의 하마비 플랜트는 열원으로써 스톡홀름 최대의 하수처리장 Henriksdal에서 정화 처리된 배수를 이용한 지역난방을 하고 있다. 하마비 플랜트는 1986년 9월에 영업을전을 개시하여, 1989년 현재 고객수 350호 판매열량 750 GW이다.

시스템 이용형태는 표 6과 같다. 히트펌프 출력 합계는 114 MW이며, 공급 열매는 고온수 형태로 공급 온도는 동계 120℃, 기타계절 70℃이다. 주택 350호

난방용으로 이용되고 있다.

하마비 하수처리수이용 지역열공급시스템의 개략적인 구성도는 그림 7과 같으며, 시스템특징을 보면 다음과 같다.

- (1) 하수처리수의 온도는 연간을 통하여 6~20℃이지만 최저 수량은 눈이 녹는 봄이다. 배수량은 일일변동과 연간변동이 있으며 공급가능 열량은 상당한 폭으로 변동한다. 또 배수에서 취할수 있는 열량은 여름에 최저가 되지만 여름에는 지역난방이 수요가 최소가 된다. 하수처리수(1~5 m/s)는 하수처리장에서 암반으로 된 터널을 통하여 하마비 플랜트까지 펌프로 보내어져 흡열된 후 3~10℃가 된다. 이 처리수는 다시 다른 터널을 통하여 하수 처리장에 되돌아가 다른 처리수와 함께 Saltsjon에 방류된다.
- (2) 하수처리수를 환수하는 과정에 터빈 발전기

<표 4> 일본에 있어서 하수처리수(하수포함)열을 이용한 열공급사례

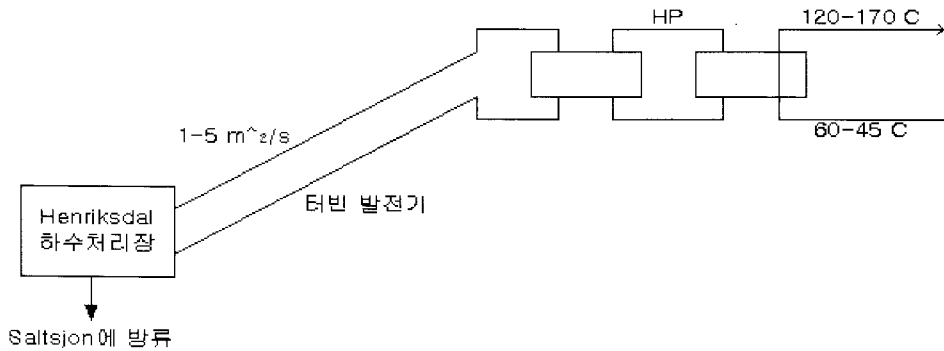
이용열원	공급지구명	공급대상	공급형태	공급면적 (ha)	공급개시 (월/년)
처리수 (5)	幕張新都心High-tech Business	오피스빌딩외	온수 · 냉수	48.9	4/90
	千葉問屋町	오피스빌딩, 호텔외	증기 · 온수 · 냉수	4.4	10/93
	盛岡驛西口	오피스, 방송국, 쇼핑센터	온수 · 냉수	7.1	11/97
	高松市番町	행정시설, 병원, 복지시설	온수 · 냉수	7.8	4/97
	下川端再開發	극장, 호텔, 병원외	증기 · 온수 · 냉수	2.2	1/99
생하수 (1)	後樂1丁目	오피스빌딩, 호텔, 문화시설	온수 · 냉수	21.6	7/94

<표 5> 유럽, 기타지역에서의 하수열을 이용한 지역열공급사례

이용열원	국명	공급구역명	공급형태	설비규모 (MW)	수요처 종별
처리수 (5)	스웨덴	스톡홀름(솔루나)	고온수(75℃)	120	주택 · 업무 · 공장
		스톡홀름(하마비)	고온수(70~120℃)	114	주택
		마루메	고온수(85~120℃)	40	주택 · 업무 · 상업
		우프사라	고온수(85~120℃)	6	주택 · 업무 · 상업
		유테포리	고온수(80~120℃)	1,600	주택 · 업무
생하수 (3)	노르웨이	바름 · 샌드룻카	고온수(78℃), 냉수(5℃)	23	주택 · 업무 · 상업
		오슬로(스코안웨스트)	고온수(85℃)	8	주택
		오슬로	고온수(70~80℃)	21	주택 · 업무

<표 6> 하마비 하수처리수이용 지역열공급시스템의 이용형태

종별/용도	열원			수요
	하수처리수	히트펌프	보조보일러 (전기, 오일)	주택 350호 난방용
규모 (전기/열 MW)	수량 1 ~ 5 m ³ /s	32 MW × 2 25 MW × 2	전기:40 MW × 2 오일:80 MW × 2	
열조건 (온도, 압력계)	6 ~ 20℃			공급온도 공급 : 동계 120℃ 기타계절 70℃ 환수 : 동계60℃ 기타계절 45℃
기타	동계에는 전기, 오일 보일러로 추가난방을 한다.			



[그림 7] 하마비 하수처리수이용 지역열공급시스템의 구성

(0.3 kW)를 설치하여 역 10 m의 낙차를 이용해 발전을 하고 취수펌프 소비전력의 1/3을 회수하고 있다.

- (3) 하수처리수를 이용하고 있기 때문에 증발기에 전열면이 오염되기 쉬우므로 컴퓨터 관리에 의한 클리닝을 매 2시간마다 실시하고 있다.
- (4) 한겨울에는 히트펌프 만으로는 수요를 감당할 수 없기 때문에 피크로드의 대책으로써 보조보일러(전기, 오일)를 설치하고 있다.

2) 재생수 이용

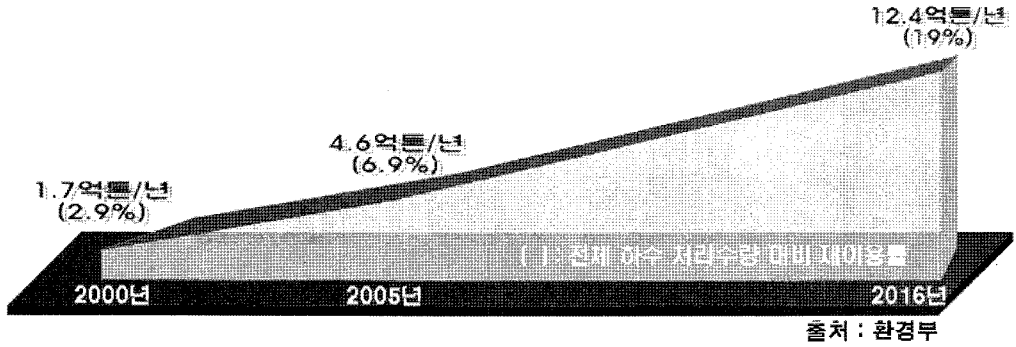
고도처리된 하수(재생수)는 도시의 귀중한 수자원이다. 이 재생수는 인근 개발지역 등 건물의 화장실 용 세정수, 하천유지용수 등으로 사용 가능하다. 국내 재생수 이용현황은 그림 8에서 보는 바와 같이 2000년 이후 매년 재이용률이 꾸준히 증가하고 있으며, 2005년 기준 6.9%를 달성하고 있다.

표 7에서 보는 바와 같이 재생수의 대부분이 하수처리장 유지용수로 활용하고 있다. 하천유지용수, 공업용수 등 다양한 활용 방안을 마련중에 있으며, 2016년까지 매년 약 3,700억원의 재이용 시장이 형성될 것으로 예상되고 있다.

참고로 일본의 재생수이용현황은 대부분이 방류되고 있으나, 주로 환경용수(하천유지용수, 수경용수), 용설용수 등으로 이용되고 있다.

3) 소화가스 이용

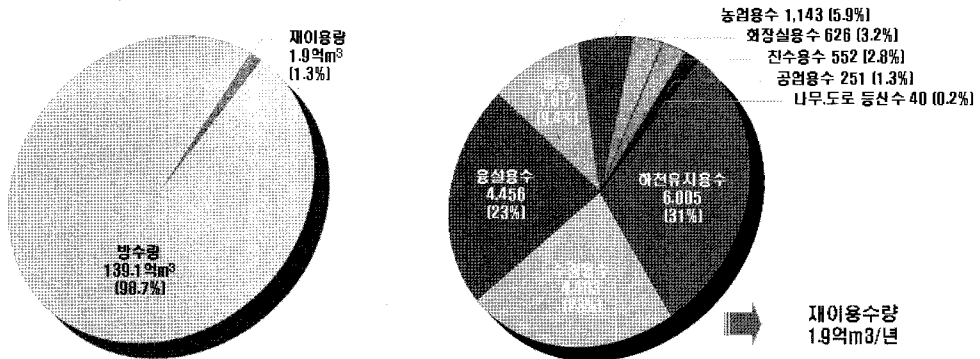
하수처리장에서는 하수슬러지 처리과정에서 메탄가스(60 ~ 70%)가 주성분인 혐기성 소화가스(Anaerobic Digester Gas)가 발생한다. 국내 소화가스 발생량은 약 340,073 m³/일이다. 국내의 경우 소화가스 발생량의 대부분은 소화조 가온에 소비되며, 일부는 발전 등에 이용되고 나머지는 잉여가스로 연소되고 있다. 소화조 시설개선 또는 운영방법의 개



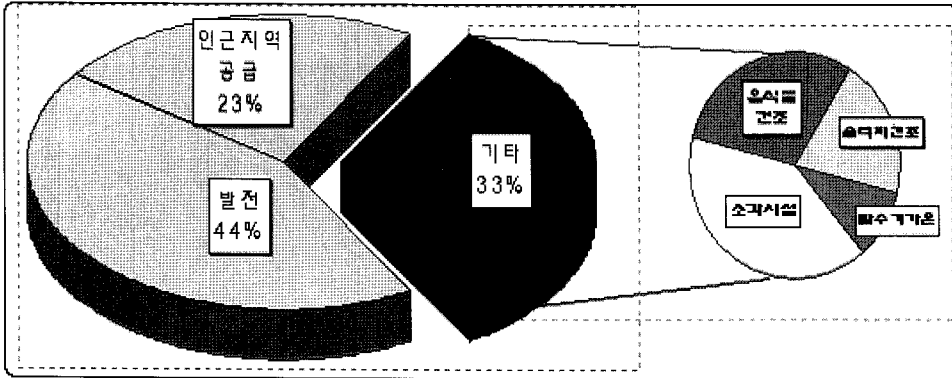
[그림 8] 재생수 이용현황 및 전망

<표 7> 국내 재생수 이용현황

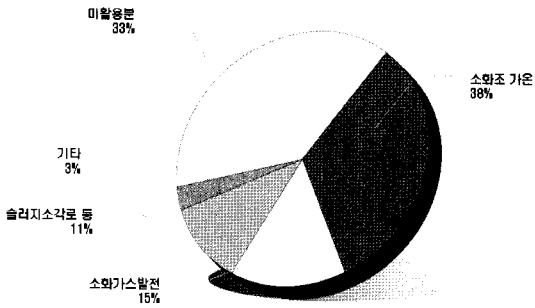
시설명	재이용량 (톤/일)	사업기간	총사업비 (백만원)	재이용 용도
오산	12,000	06~08	15,851	인근 업체 공업용수 공급
송도	13,000	06~08	20,070	송도신도시 유지용수 공급
강진	5,000	06	1,200	농업용수 공급
공주	10,000	06~07	9,500	하천 유지용수
천안	30,000	06	8,000	하천 유지용수
여수	12,000	06~08	6,613	하천 유지용수
고창	11,000	07~08	1,913	하천 유지용수
고령	3,000	07~08	3,000	하천 유지용수
보성	2,500	07~08	700	하천 유지용수
구미	30,000	07~08	4,000	하천 유지용수
고령	4,500	07	1,000	하천 유지용수



[그림 9] 일본의 재생수 이용현황



[그림 10] 소화가스 발생량 증가시 활용방안



[그림 11] 일본의 소화가스 이용현황

선으로 인하여 가스발생량이 현저히 증가하여 소화조 가온 후에도 잉여량이 많을 경우, 활용방안은 주로 발전에 활용할 것으로 계획하는 처리장이 가장 많았는데, 소화가스를 전량 발전에 이용할 경우, 하수처리장의 에너지자급률은 약 40% 정도 기대 가능하다.

참고로 일본의 경우 소화가스 이용현황은 그림 11에 나타난 바와 같이 소화조 가온, 소화가스발전, 슬러지소각로의 보조연료 등으로 이용하고 있다. (※)

[다음 호에 계속]