

고효율 분리막을 이용한 하수처리수 재이용 적합기술(3)

글 | 이동일 | 환경사업부 대리 | 전화 : 02-3433-7854 E-mail : dilee@ssyenc.com

하수처리수의 재이용과 물 / 환경 / 에너지 순환형 친환경도시를 구현하기 위한 기술적 과제들은 꾸준한 연구개발과 시행착오를 거치는 과정에서 점진적으로 발전하여 가고 있다. 그러나 이를 위한 제도적 뒷받침과 정책 방향은 과거의 선례를 답습하고 있는 실정으로, 미래 지향적이고 창조적인 도시개발이 지체되고 있다. 이에 지속가능한 도시를 위한 환경시설의 역할을 제안해 보고자 한다.

- ① 하수처리수 재이용을 위한 MBR 기술의 적용성 검토
- ② KSMBR 기술 소개
- ③ 소단위 지역화 하수처리시스템 및 클러스터형 통합환경시설 정책 제안

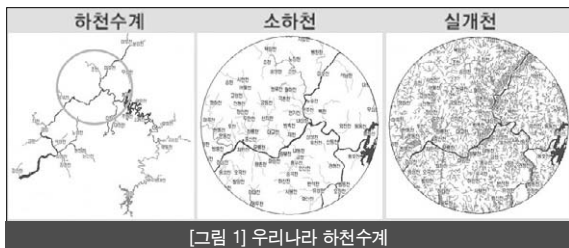
3. 소단위 지역화 하수처리시스템 및 클러스터형 통합환경시설 정책 제안

3-1. 대단위 하수종말처리의 문제점

1) 소하천, 실개천의 건천화

우리나라 농촌지역의 하천수계는 [그림 1]의 예에서 보는 바와 같이 국가하천, 지방하천, 실개천에 이르기까지 수많은 분류와 지류 하천이 존재하고 있다.

그러나 도시지역의 경우 도시형성 과정에서 도심 불투수층이 증가하고, 이에 따른 지하수위 저하와 하수처리장의 대형화 등으로 인해 대부분 건천화되었으며, 서울시의 경우 한강의 지류가 36개이나 이중 청천시에 물이 흐르는 곳은 10여 개소에 불과한 것으로 알려져 있다.



[그림 1] 우리나라 하천수계

2) 하수처리장의 대형화

도심 건천화의 원인중 하나로서, 도심 하수처리장의 대형화를 들 수 있으며, 우리나라의 330여 개 하수처리장은 대부분 처리구역 하류에 종말처리장 개념으로 대형화하여 설치되어 있다.

또한 처리 대상 인구가 가장 많은 서울시의 경우, 100~200만톤/일 규모의 단 4개 하수처리장이 설치되어 있다. 반면, 일본의 경우는 전국적으로 2000여 개소에 달하는 하수처리장 중에 100만톤/일 이상의 하수처리장은 1개소에 불과하며, 전체 하수처리장의 91%가 10만톤/일 이하의 중소규모 처리장이며, 그중에 5천톤/일 이하 규모가 53%에 이르는 것으로 알려져 있다.

3-2. 하수처리수 재이용 정책방향

우리나라의 연간 하수처리량은 64억톤으로서 연간 상수공급량 60억톤에 비해 크므로, 하수처리수를 각종 용수로 재이용할 경우 물 부족량을 충당할 수 있다는 논리가 성립된다.

이는 하수처리수 재이용을 통해 물 수요와 공급을 맞출 수 있다는 것이며, 이를 통해 오염부하 배출감소에 따른 수질개선 효과가 있고, 건천화된 도심하천에 유지용수를 공급함으로써, 하천 생태계를 회복할 수 있다는 이점이 있다.

2006년 현재 우리나라 하수처리수 재이용은 4.9억톤/년으로, 재이

용율 7.7%이며, 매년 꾸준히 증가하는 추세로서, 2016년까지 12.4억톤/년(19%)을 목표로 하고 있다.

1) 국내 하수처리수 재이용 사례

우리나라는 하수처리수 재이용의 용도에 따라 9개 세부용도로 구분하고, 용도별 수질 권고기준을 마련한 상태이다.

용도에 따른 구분은 범용재이용수(청수용수, 도시조경용수, 친수용수, 유지용수, 농업용수), 인체비접촉 세척용수, 고도환경용수(습지용수, 지하수충진), 공업용수이며, 2006년부터 추진 중인 하수처리수 재이용 촉진 시범사업의 12개 하수처리장의 경우, 9개 하수처리장이 하천유지용수로 재이용이 추진되며, 그외 농업용수, 공업용수, 생활잡용수가 각 1개 처리장으로 추진되고 있다.

2) 국외 재이용 사례

국외의 경우 물이 부족한 나라에서는 대부분 하수처리수를 재이용하고 있으며, 그 용도는 우리나라와 마찬가지로, 기존 수자원을 대체하여 생활용수, 농업용수, 공업용수 등으로 활용하고, 하천유지용수나 친수용수 등으로 공공성격을 띤 용도로 활용하고 있다.

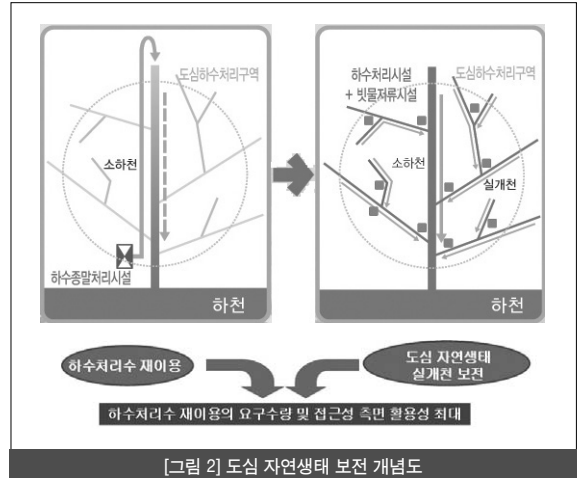
또한 절대적으로 물이 부족한 국가나 인근 국가와의 마찰시지로 인해 물 안보차원에서 재이용을 하는 경우도 있으며, 싱가포르의 경우는 상수원수의 75%를 말레이시아에서 수입함에 따라 국가 생존차원에서 재이용사업을 추진하여 공업용수 및 간접음용수로까지 이용하고 있다.

3-3. 소단위 지역화 하수처리시스템

기존의 대단위 하수종말처리시스템의 문제점과 이의 개선 및 도심 자연생태 보전(복원)을 위한 소단위 지역화 하수처리시스템의 비교는 <표 1>과 같다. 또한 도심 자연생태 보전을 위해 하천유지용수로 하수처리수를 적극 활용하는 개념도를 [그림 2]에 나타내었으며, 이것은 하수처리수 재이용의 요구수량 및 접근성 측면에서도 활용성이 가장 좋은 것으로 판단된다.

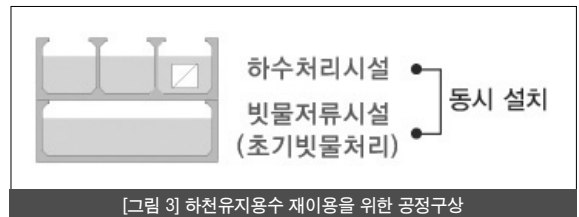
<표 1> 하수처리시스템 비교

대단위 하수종말처리의 문제점	소단위 지역화 하수처리의 제안
① 펌핑순환에 의한 인위적 하천	① 중상류 유지용수에 의한 자연형 하천
② 도심 실개천(소하천)의 건천화	② 도심 실개천(소하천)의 보전
③ 도심 열섬현상 발생	③ 하수처리수 재이용, 물순환 이용 기여
④ 하수관거시설 대형화	④ 하수관거시설 소형화 및 축소



[그림 2] 도심 자연생태 보전 개념도

하수처리수의 하천유지용수 재이용을 위한 공정구상은 [그림 3]과 같으며, 하수처리시설과 빗물저류시설을 동시에 설치함으로써, 상대적으로 자연정화 능력이 떨어지는 실개천 및 지류의 수질 회복이 가능하고, 초기빗물처리와 재해예방 개념의 저류기능을 겸비할 수 있다.



[그림 3] 하천유지용수 재이용을 위한 공정구상

이러한 하천 중상류 지역의 소단위 지역화 하수처리시스템은 [그림 4]와 같이 현장여건에 맞게 설치될 것이며, 지역 단위별로 통합 관리함으로써, 운영관리가 가능하다.



[그림 4] 소단위 지역화 하수처리시스템의 설치

3-4. 소단위 지역화 하수처리 경제성 검토 사례

기존의 하수종말처리 개념과 소단위 지역화 하수처리시스템의 경제성을 검토하기 위해, 계획도시인 ○○시를 모델로 경제성 추정을 해 보았으며, 그 결과는 <표 2>와 같다. 또한 처리수질 비교는 <표 3>과 같다. 전체 처리구역 중 1처리구역을 11만톤/일의 1개소 A2/O계열 하수처리장과 대비해, 1만톤/일 x 11개소 KSMBR 적용시로 비교하였으며, 공사비는 하수처리시설 소요비용 함수식으로 추산하였고, 유지관리비는 대단위 하수종말처리의 경우,

전국 유사규모 하수처리장(6만톤/일~16만톤/일) 25개소의 운영관리 자료를 바탕으로 회귀분석을 통하여 산출하였다.

소단위 지역화 하수처리의 경우, 기 반영된 KSMBR 적용시의 설계 자료를 근거로 유지관리 항목별(인건비, 전력비, 약품비, 슬러지처리비, 기타경비)로 회귀 분석하여 합산하는 방식으로 산출하였다. 검토결과, 해당시설 용량의 공사비와 20년간 유지관리비를 포함해 KSMBR을 적용한 소단위 지역화 하수처리시스템이 A2/O계열의 대단위 하수종말처리에 비해 경제성이 우월한 것으로 나타났다.

<표 2> 경제성 검토 사례

□ 공사비 (1처리구역 기준)			
구분	대단위 하수종말처리	소단위 지역화 하수처리 (KSMBR적용시)	비고
하수처리장	<ul style="list-style-type: none"> A2/O 계열 적용 182,471 백만원 Note: 1) 최종목표량 110,000톤/일 기준 (단계별 증설 공사비 누계 산출) 2) 2007년 물가기준(α 20%) 3) 주택단지내 상수 오수발생량 원단위 산정 및 하수처리시설 소요비용연구 (2001.7. 환경부, 한국토지공사) 참고 4) 생활하수와 소관 예산편성 및 집행관리 실무요령 (2007.1, 환경부) 참고	<ul style="list-style-type: none"> KSMBR적용 196,348 백만원 Note: 1) 최종목표용량 110,000톤/일 기준 (1개처리시설 10,000톤/일x11개소 기준) 2) 2007년 물가기준(α 20%) 3) 주택단지내 상수 오수발생량 원단위 산정 및 하수처리시설 소요비용연구(2007.1, 환경부, 한국토지공사)참고	
하수관거	<ul style="list-style-type: none"> 하수관거 88,977 백만원 중계펌프장 27,250 백만원 Note: 1) 세종시 하수도정비 기본계획 근거 2) 하수관거=자연유하+압송	<ul style="list-style-type: none"> 하수관거 78,887 백만원 중계펌프장 - 백만원 Note: 1) 세종시 하수도정비 기본계획 근거 2) 하수관거=자연유하	
빗물저류시설	<ul style="list-style-type: none"> 빗물저류시설 27,269 백만원 Note: 1) 저류용량 약2.5톤/개소 11개소 기준 2) 소하천 중상류 지역 별도설치 기준 3) 세종시 기본계획 미반영	<ul style="list-style-type: none"> 빗물저류시설 13,629 백만원 Note: 1) 저류용량 약2.5톤/개소 11개소 기준 2) 하수처리시설과 동시설치 기준	하천 유지용수 등 재이용을 위한 시설을 의미함
공사비 계	325,967 백만원	288,864 백만원 △ 37,103 백만원	

□ 유지관리비 (1처리구역 기준)			
구분	대단위 하수종말처리	소단위 지역화 하수처리 (KSMBR적용시)	비고
하수처리장	<ul style="list-style-type: none"> 처리장 유지관리 4,012 백만원 Note: 1) 최종목표년도(2030년)이후 기준 산출 2) 2007년 현재가치 기준 산출 3) 2006년 하수종말처리시설 운영관리실태 분석보고(2007.7, 환경부) 자료근거 4) 유사규모 조사대상 용량(60,000톤/일~160,000톤/일, 25개소)	<ul style="list-style-type: none"> 처리장 유지관리 4,705 백만원 Note: 1) 최종목표년도(2030년)이후 기준 산출 2) 2007년 현재가치 기준 산출 3) KSMBR 기준 설계자료 회귀분석 산출	
하수관거	<ul style="list-style-type: none"> 하수관거 유지관리 625 백만원 Note: 1) 최종목표년도(2030년)이후 기준 산출 2) 2007년 현재가치 기준 산출 3) 하수관거 준설비 적산자료(2007)기준 4) 압송관거는 준설 제외	<ul style="list-style-type: none"> 하수관거 유지관리 477 백만원 Note: 1) 최종목표년도(2030년)이후 기준 산출 2) 2007년 현재가치 기준 산출 3) 하수관거 준설비 적산자료(2007)기준	년 1회 관거준설 기준
유지관리비 계	4,637 백만원	5,182 백만원 545 백만원	

㉢ 경제성						
구분	대단위 하수종말처리		소단위 지역화 하수처리 (KSMBR적용시)		비고	
공사비	A	325,967 백만원	A	288,864 백만원	△ 37,103	
유지관리비	4,637 백만원/년		5,182 백만원/년		545	
	20년 운영비용	B	92,740 백만원/20년	20년 운영비용	B	103,649 백만원/20년
합계 (20년 운영기준)	A+B	418,707 백만원/20년	A+B	392,513 백만원/20년	△ 26,194	

Note: 1) 최종목표년도 (2030년, 110,000통/일) 기준 산출
2) 2007년 현재가치 기준 산출

〈표 3〉 처리수질

㉢ 처리수질 비교					
구분	대단위 하수종말처리		소단위 지역화 하수처리 (KSMBR적용시)		비고
	A2/O계열 보증수질	A2/O계열 처리수질	MBR 보증수질	KSMBR 처리수질	
BOD (mg/L)	5~10	5~10	3~5	1,3	
SS (mg/L)	5~10	5~10	3~5	0,7	
T-N (mg/L)	10~15	5~15	10~15	8,3	
T-P(mg/L)	1~2	0,5~1,5	1~2	0,6	
대장균 (mg/L)	1000	100~500	0~200	0	

Note: 1) A2/O 계열 보증, 처리수질은 3차처리 및 소독시설 설치후 결과임.

이는 소단위로 여러 지역에 처리장이 분산되어 있기는 하나, 시설의 콤팩트화로 공사비가 절감되고, 유지관리비에 있어서도 운영인원이 늘지 않는 등 큰 차이를 나타내지 않기 때문에 판단된다. 또한 처리수질은 〈표 3〉에서와 같이 MBR계열의 KSMBR이 일반적인 고도처리공법보다 월등함을 알 수 있다.

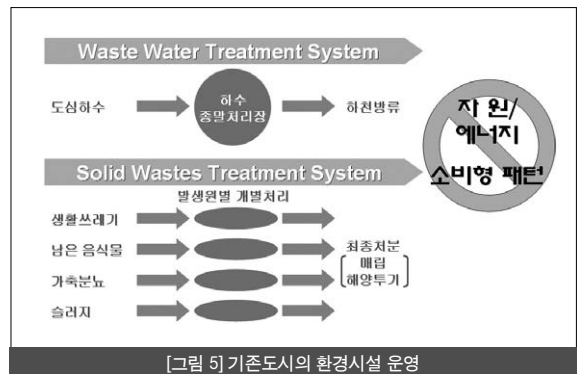
3-5. 물 / 환경 / 에너지 순환형 도시

1) 지속가능한 도시개발을 위한 환경시설의 역할

- ① 자연순응형 생태환경도시 조성
- ② 에너지 절약적 도시공간구조
- ③ 2차 오염물질 무발생 추구
- ④ 자족형 시설 조성

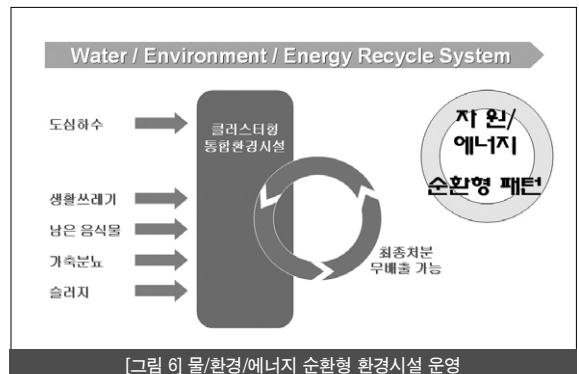
2) 기존도시의 환경시설 비효율적 운영

기존도시의 환경시설은 [그림 5]와 같이 오염 발생원별 일방향 처리 시스템으로서, 자원 및 에너지 소비형 패턴으로 설치, 운영되고 있다. 이는 각 오염원의 관리주체가 다르고, 시설 발주기관이 상이하는 등 제도적 구조상 부득이 형성된 상황이나, 이러한 형태의 비효율적 운영은 앞으로 명백히 개선되어야 할 것이다.



[그림 5] 기존도시의 환경시설 운영

3) 창조적 친환경도시의 환경시설 효율적 운영



[그림 6] 물/환경/에너지 순환형 환경시설 운영

이에 반해, 물 / 환경 / 에너지가 순환하는 자원 및 에너지 순환형 패턴은 [그림 6]과 같으며, 이러한 도시 구성을 위해 모든 환경시설을 클러스터형 통합환경시설로 묶어 설치함으로써, 효율적인 운영을 달성할 수 있다.

도시계획 단계부터 친환경적, 에너지 절약적 도시공간 구조를 위해 하수처리장 부지 내에 여유 부지를 확보하여 혐오시설인 모든 환경관련 시설을 집약하게 되면 오히려 다발적 민원을 해결할 수 있고, 각 시설의 용수, 자원, 에너지의 순환적 연결고리를 형성하여 구성할 수 있다.

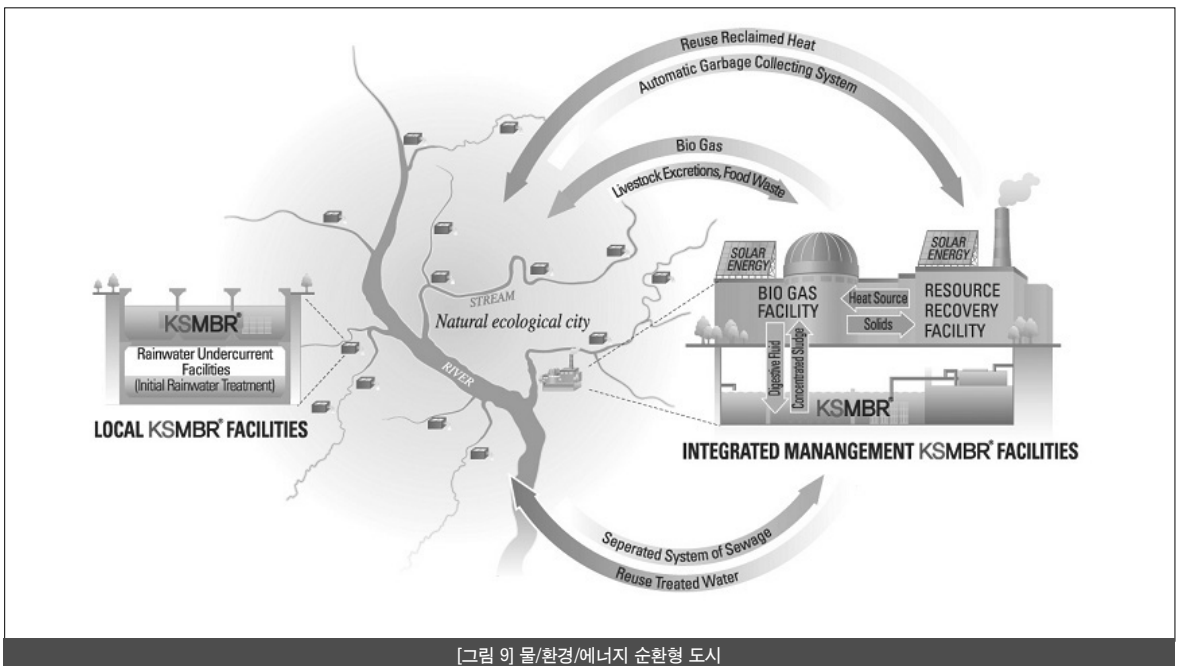
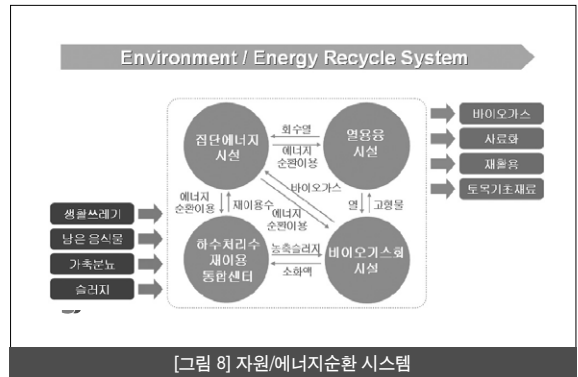
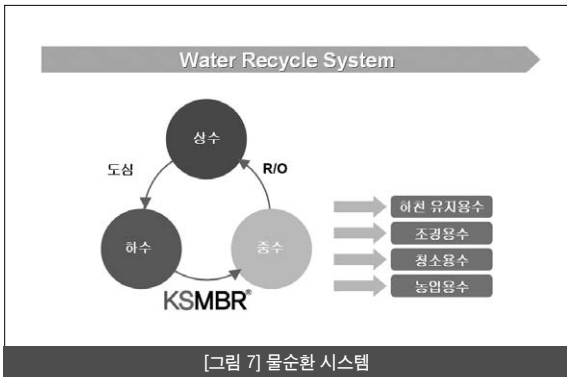
이러한 물과 자원의 순환이용 개념도는 각각 [그림 7] 및 [그림 8]과 같다.

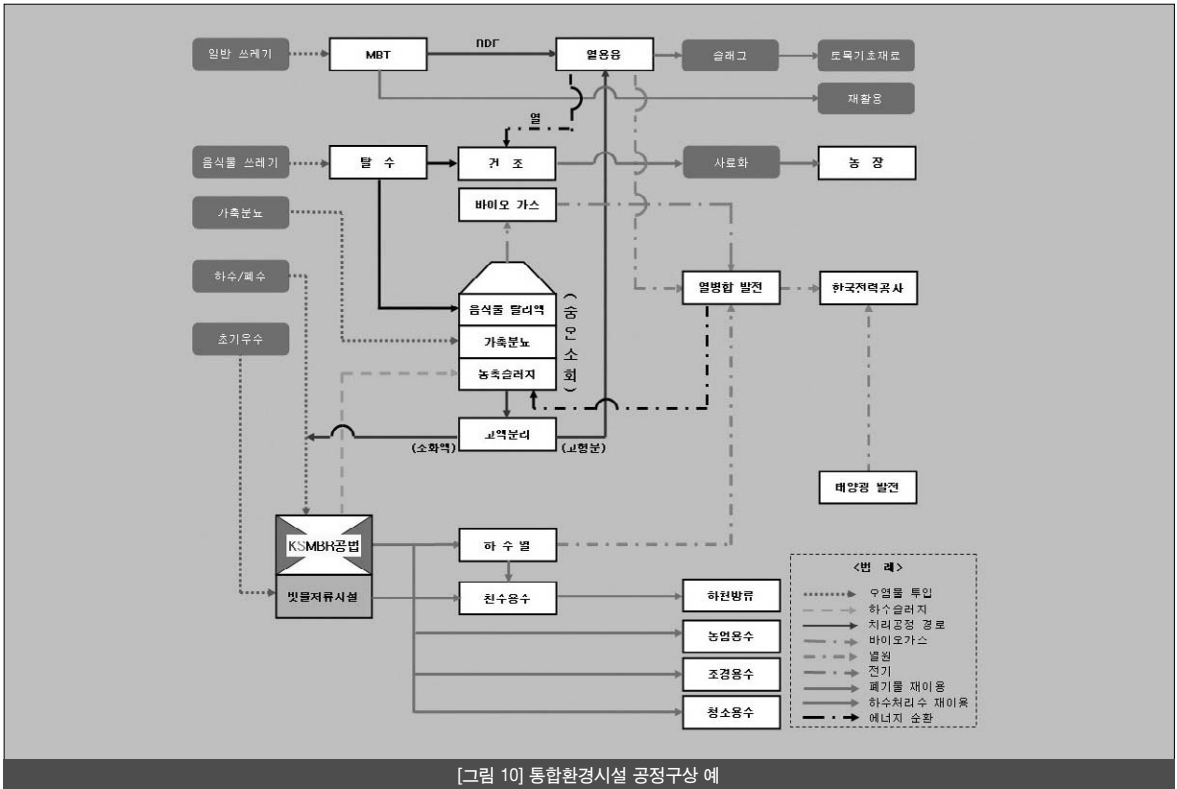
또한 [그림 7]과 [그림 8]의 물 순환과 자원 / 에너지순환이 결합된 물 / 환경 / 에너지 순환형 도시의 모식도는 [그림 9]와 같으며, 친환경적 미래 도시로서의 지향해야 할 바로 생각된다.

[그림 10]은 KSMBR 공법을 이용한 하수처리장 내 클러스터형 통합환경시설의 공정구상 예이다.

하수처리수는 하천유지용수 및 구내 각종용수로 재이용되고, 초기 우수를 저류 및 처리하며, 방류수의 열을 이용한 열원을 에너지로 회수한다.

생활쓰레기는 MBT(Mechanical Biological Treatment)를 거쳐 RDF(Refuse Derived Fuel)로 고형 연료화되어 에너지원으로 사용되고, 음식물 쓰레기와 가축분뇨는 바이오가스화 시설에서 에너지





[그림 10] 통합환경시설 공정구상 예

화되고, 처리부산물 중 소화액은 하수연계처리를 하며, 고형분은 열용융된다.

음식물쓰레기의 고형분은 사료화로 자원화 되고, 열용융을 통해 열원을 생산하며, 부산물인 슬래그는 토목기초재료 등으로 재활용 되는 시스템으로 구성되어 있다.

통합환경시설에서 가용한 모든 에너지를 추출하여 열병합발전을 구축할 수 있으며, 태양광 발전시스템을 추가로 결합할 수 있다.

이러한 클러스터형 통합환경시설을 통하여 인간생활의 폐자원을 다시 순환시키고, 2차 오염물질을 최소화할 수 있을 것으로 판단 된다.

3-6. 통합환경시설 시설비 검토 사례

클러스터형 통합환경시설의 구현시 사업비를 추산하기 위해, 인구 10만명 도시를 기준으로 <표 4>와 같이 개략 시설비를 산정하였다.

도시지역을 중심으로 인근 농촌지역의 폐기물을 동시에 자원화 할 수 있도록 통합처리하는 것이 보다 더 효율적일 것으로 판단 된다.

<표 4> 통합 환경시설 구성 사례

구분	용량	시설비(억원)	비고	
하수처리 재이용	하수처리장 (KSMBR)	35,000 톤/일	930	소단위 지역화 (7,000톤/일 x5개소)
	오수관거	50 km	250	
폐기물 자원화	MBT/RDF	130 톤/일	150	
	바이오가스화 시설 (음식물, 슬러지, 가축분뇨)	250 톤/일	500	
	사료화 시설	35 톤/일	50	
	열용융	100 톤/일	400	
	쓰레기자동 집하시설	1식	1,500	
신재생 에너지	하수열, 태양광	1식	50	
	열병합 발전소	1식		
계			3,830	

※ 인근지역 생활쓰레기, 음식물쓰레기, 가축분뇨, 슬러지를 통합 처리 계획

참고문헌

- 2007 하수재이용기술 국제심포지움 자료
- 2007 대한환경공학회 추계 학술연구발표회 자료
- 환경부, 하수처리수 재이용 가이드북
- 환경부, 하수종말처리시설 운영관리실태 분석보고
- 환경부, 주택단지내 상수,오수발생량 원단위 산출 및 하수처리시설 소요비용연구