

마을하수처리시설의 실태분석 및 관리방안

이 상 진 (충남발전연구원 환경생태연구부장)

I. 연구배경

- 오늘날 산업발달과 급속한 인구증가로 인해 물의 사용량 또한 급격히 증가하게 되었으며, 생활수준의 향상에 따라 보다 더 깨끗한 물 수급에 대한 국민들의 요구는 지속적으로 증대되고 있으나 사용된 물은 공공수역의 수질오염으로 이어져 이용가능한 물의 양은 점점 부족해지고 있는 실정
- 인구가 밀집된 중·대도시 등으로부터 배출되는 생활하수는 상당부분 하수종말처리시설을 설치하여 처리하거나 공사 중에 있어, 최근에는 하수종말처리구역 외지역의 농·어촌지역을 대상으로 소규모 처리방식인 마을하수처리시설의 설치가 한창
- 그러나 중앙부처의 업무성격에 맞추어 기초자치단체에서도 실과단위 중심으로 독립적인 설치 및 관리체계를 유지하고 있어 설치와 운영에 대한 실질적인 이행체계가 정립되지 않은 상태에서 지속적으로 추진되는 것이 현실임
- 따라서 충청남도 내 하수처리구역 외지역에 설치한 농·어촌지역의 마을하수처리시설에 대한 실태분석과 향후 마을하수처리시설 효율적인 설치 및 관리방안을 기술하고자 함

II. 하수처리체계 및 현황

1. 하수의 처리체계

- 인구가 밀집된 중·대도시 등으로부터 배출되는 생활하수는 정부적인 차원에서 하수처리구역으로 편입하여 하수종말처리시설에 차집시켜 집중적으로 처리
- 하수처리구역 외지역에 산재해 있는 농·어·산촌마을에서 배출되는 생활하수는 마을별 소규모 하수처리시설을 설치
- 하수·폐수종말처리시설 및 마을하수처리구역 외지역에서는 오수처리시설을 설치



[그림 1] 하수처리의 체계도

2. 하수처리 현황

- 우리 나라 하수처리율은 2003년말 기준으로 약 78.8%로 이는 1992년도의 38.8%와 비교할 때 약 2배가 증가
 - 하수종말처리시설은 시운전 및 부분가동을 포함하여 전국에 242개소(시설용량 : 20,885천 m^3 /day)
 - 하수종말처리시설의 하수처리율이 77.9%로 가장 많고, 마을하수도에서 처리되는 하수처리율은 0.5%, 폐수종말처리시설에서 처리하는 하수처리율은 0.4%정도
- 충청남도의 하수처리율은 2003년말 기준으로 43.0%이며, 이는 전국 평균 인 78.8%보다 매우 낮은 편이며, 광역단체별 하수처리율의 순위 비교시 16개 광역자치단체 중 15번째에 해당
 - 하수종말처리시설은 16개소이고, 총 시설용량은 418,800 m^3 /day(370,547 m^3 /day처리)이며 대부분 활성슬러지 공법
 - 하수종말처리시설에서 처리되는 하수처리율이 42.4%, 폐수종말처리시설과 마을하수도에서 처리되는 하수처리율이 각각 0.3%로 생활하수의 대부분은 하수종말처리시설에서 처리

- 시가지 등 인구밀집지역 중심으로 설치되는 하수종말처리시설의 경우 대부분 설치가 완료되었거나 공사중 또는 설계완료 단계에 있어, 앞으로는 농·어촌지역을 중심으로 마을단위의 소규모 하수처리시설이 지속적으로 설치될 전망

<표 1> 충청남도의 시·군별 하수처리 현황

구 분	총 인 구 (명)	하수처리 인구(명)				하수처리율 (%)
		합 계	하수종말 처리시설	폐수종말 처리시설	마을하수도	
합 계	1,930,132	830,894	819,059	5,498	6,337	43.0
천 안 시	462,714	298,005	298,005	0	0	64.4
공 주 시	131,769	65,507	63,357	1,102	1,048	49.7
보 령 시	110,880	51,499	51,499	0	0	46.4
아 산 시	196,860	83,990	80,305	3,252	433	42.7
서 산 시	152,494	65,709	65,044	0	665	43.1
논 산 시	136,541	46,171	45,780	142	249	33.8
계룡시	31,137	28,855	28,855	0	0	92.7
금 산 군	61,256	26,191	24,747	464	980	42.8
연 기 군	83,815	36,225	35,979	246	0	43.2
부 여 군	85,682	17,559	17,448	111	0	20.5
서 천 군	67,651	499	-	60	439	0.7
청 양 군	37,194	9,800	9,800	0	0	26.3
홍 성 군	95,117	37,827	37,126	0	701	39.8
예 산 군	95,568	37,199	36,154	121	924	38.9
태 안 군	64,045	2,562	1,664	0	898	4.0
당 진 군	117,409	23,296	23,296	0	0	19.8

자료 : 환경부, 하수도통계(2003), 2004.

3. 마을하수처리시설의 도입배경

- 우루과이라운드(UR)협상 결과로 침체된 농·어촌의 분위기를 일신하기 위해서 농·어촌특별세와 농·어촌구조개선특별계획의 재원확보를 통하여, 농·어촌지역의 생활환경 개선사업으로 인한 생활향상(수세식화장실)과 관련, 소하천의 수질오염을 초기에 방지하기 위하여 부속사업으로 마을하수처리시설의 사업을 병행하여 추진
 - 농림부에서 주관하는 문화마을조성지구의 부속사업으로 1994년부터 시행
 - 행정자치부에서 주관하는 농·어촌주거 환경개선사업 지구의 부속사업으로 1995년부터 설치사업이 시작
 - 환경부에서는 수질오염의 심화가 우려되는 지역 및 수질개선이 필요한 지역을 중심으로 마을하수도사업을 추진

- 마을단위의 하수처리시설들은 구체적인 시설기준 및 제도의 뒷받침이 마련되지 않아 1997년 12월에 당시 내무부·농림부·환경부가 합동으로 ‘마을하수도사업 통합지침’을 마련하게 되었고, 2002년 8월에 개정하였으며, 2004년 10월에는 일부사항을 다시 개정하여 현재에 이르고 있음

<표 2> 마을하수처리시설의 사업추진 체계

사 업 명	농어촌주거 환경개선사업	농어촌생활 환경정비사업	일반하수도사업
주관부처	행정자치부	농 립 부	환 경 부
근 거 법	농어촌주택개량촉진법	농어촌정비법	하수도법
개선사업 내 용	자연마을 단위로 농어촌 주 거환경개선지구 지정 후 각 종 생활환경 개선사업 시행	농어촌지역에 신규 및 기존마 을 정비(농어촌생활환경정비)를 위한 각종 생활환경 정비사업 시행	일정 규모 이상의 하수를 최종처리하기 위한 공공하 수도시설설치사업 시행
마을하수도 사업내용	농·어촌주거환경개선 사업의 일환으로 시행하는 시설용량이 50m ³ /day 이상 500m ³ /day 미만 인 시설	농어촌생활환경정비사업의 일환 으로 시행하는 시설용량이 50m ³ /day 이상 500m ³ /day 미만인 시 설	수질개선대책사업 등의 일환으로 시행하는 시설용량이 50m ³ /day 이상 500m ³ /day 미만인 시설

자료 : 행정자치부·농림부·환경부, 마을하수도사업 통합지침(개정), 2004.

III. 충청남도 마을하수처리시설의 실태

1. 설치현황

- 2003년말 기준으로 충청남도내 농·어촌주거환경개선사업 및 문화마을조성사업(농·어·촌생활환경정비사업)의 부속사업 그리고 일반하수도사업 등으로 추진한 마을하수처리시설 및 오수처리시설의 설치 사업지구는 197개소
- 사업지구별 마을하수처리시설 및 오수처리시설의 추진형태는 행정자치부에서 주관하는 농·어촌주거환경개선사업의 부속사업 추진한 사업지구가 약 85%에 해당하는 168지구에 이를 만큼 월등히 많았으며, 문화마을조성사업의 부속사업으로 약 11%에 해당하는 18지구, 일반하수도사업 및 기타사업 등으로 11지구가 설치되어 운영 중
- 사업지구별 마을공동으로 1개의 마을하수처리시설을 설치한 곳은 147지구이고, 마을공동으로 2~3개의 시설로 분산처리 하는 곳은 8지구, 사업지구내 1~2개의 공동처

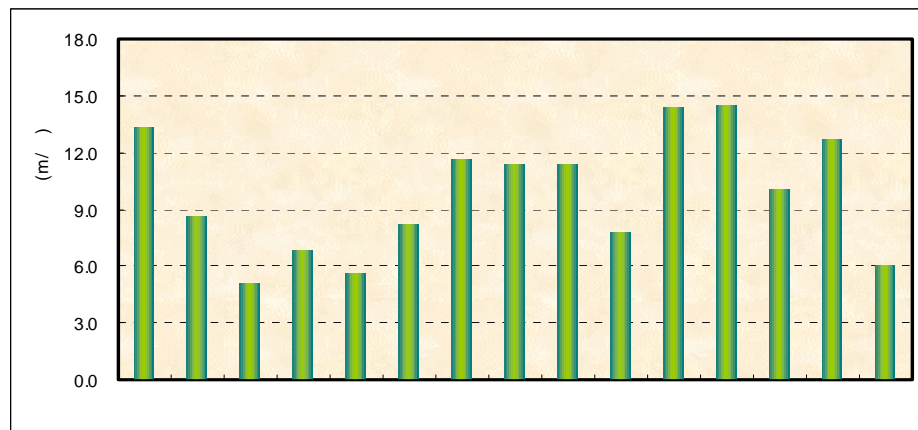
리시설을 설치하고 일부분은 각 가정별로 설치한 곳은 5지구이며, 사업지구내 마을하수처리시설 개념과 무관하게 각 가정별 오수처리시설을 설치한 곳은 36개지구 임

- 마을하수처리시설의 설치는 161사업지구에 172개 처리시설이 있으며, 1일 하수를 처리할 수 있는 마을하수처리시설 용량의 총 합계는 11,286m³이며, 현행 하수법 규정에 의한 1일 처리시설용량이 50m³ 이상 500m³ 미만인 마을하수도 규모의 시설 수는 전체의 30%에 불과한 52개소이고, 마을하수도 규모보다 시설용량이 작은 50m³ 이하의 마을공동오수처리시설은 68%에 해당하는 117개소 임. 또한, 소규모 하수종말처리시설이라 할 수 있는 500m³/day 이상의 시설용량을 갖는 하수처리시설이 3개소(주로 해수욕장지구 등 상가 중심적)를 마을하수처리시설로 설치
- 마을하수의 처리공법은 각 가정별로 설치한 1m³ 규모의 오수처리시설은 대다수가 과거에 합병정화조라 불려졌던 고효율합병정화방식으로 설치하였고, 마을공동으로 설치한 161개 사업지구 중 약 65%에 해당하는 104개 지구가 고효율합병정화방식으로 설치하였으며, 접촉산화법(Contacted Aeration) 계통으로 설치된 사업지구가 29개 사업지구, 모관침윤트렌치 공법이 5개 사업지구, 그리고 T-N, T-P 저감공정을 도입한 사업지구로 18개 사업지구이며, 침지형막공정을 도입한 시설은 2개 지구임
- 고효율합병정화방식은 주로 호기성 미생물에 의한 처리방식으로 접촉산화법 또는 활성슬러지법(Activated Sludge)과 접촉산화법을 혼재한 공법

2. 설치 및 운영관리 평가

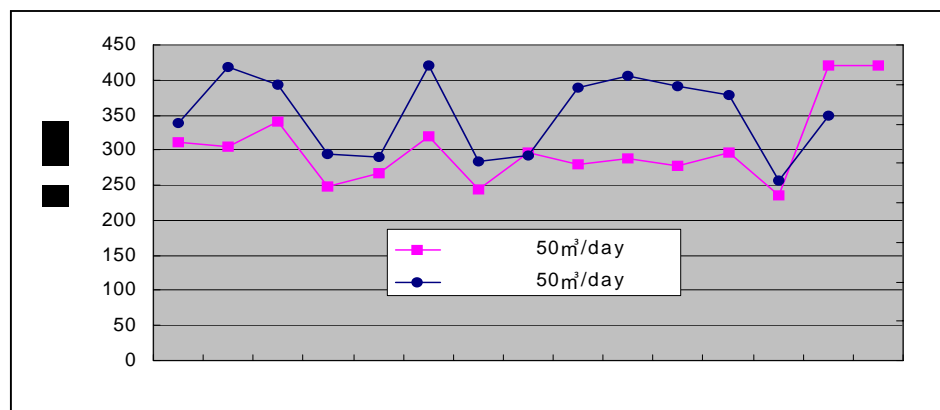
- 161개 사업지구 중 하수 및 환경관련 부서에서 설치한 시설지구 수는 5%에 해당하는 8개지구이며 나머지는 건설과 주택과 등에서 주관하여 설치하였고, 운영관리는 최근에 이르러 하수 및 환경관련 부서로 이관되거나 민간업체에 위탁관리로 전환되고 있는 추세이나, 아직까지도 약 47% 정도인 75개 지구는 마을하수처리시설을 설치한 부서에서 전문인력을 확보하지 않은 상태로 담당자 1명이 비정기적으로 순회관리 하거나 또는 마을이장 등에게 관리를 위탁
- 원격감시 및 제어시설은 3개 지구에 불과하고, 새로이 설치되는 사업지구들 중심으로 서서히 도입하는 단계에 이르고 있으며, 공동처리시설의 운영관리에 소요되는 비용을 처리구역 내에 주민에게 부과하고 있는 사업지구가 없고, 소요되는 전력비 등을 대부분 시·군비로 충당하며, 각 가정에 설치한 오수처리시설의 경우 각 가정에서 부담
- 마을하수를 차집하기 위한 하수관거는 길이가 길수록 하수처리를 위한 시설투자의

경제성은 낮아진다고 볼 수 있으며, 전체적으로 하수처리인구당 소요사업비가 많아져 결국 사업의 우선순위에서 다소 떨어진다고 볼 수 있는데, 평균하수관거 설치길이는 하수처리 인구당 약 9.1m이며, 각 시·군별 평균하수관거 길이는 5.1~14.5m/인 범위로 나타남



[그림 2] 처리인구당 평균하수관거 길이

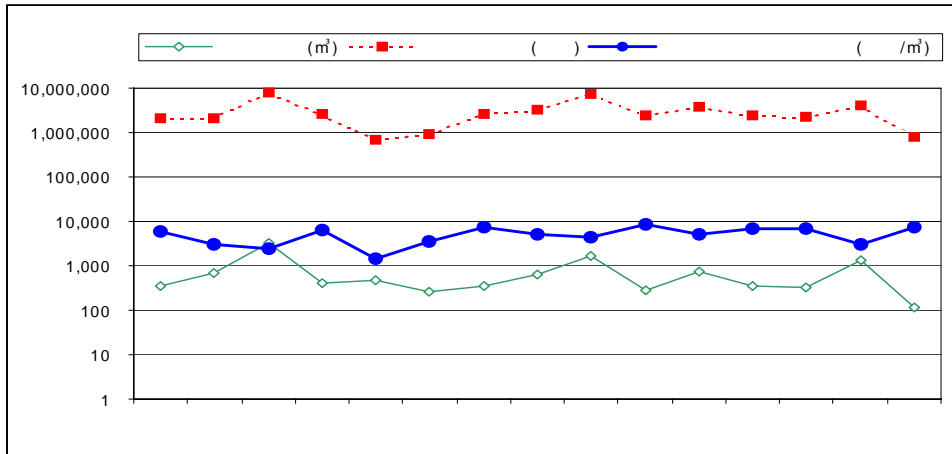
- 하수처리인구당 시설용량을 산출한 결과 최저 126L/인·day에서 최고 868L/인·day까지 다양하며, 거의 모든 시설에서 170L/인·day은 초과
- 시설규모별 하수처리인구당 평균적인 시설용량을 살펴볼 때, 50m³/day미만의 시설에서 약 277L/인·day 정도이고 50m³/day이상인 시설은 약 314L/인·day 정도로써 50m³/day이상인 시설에서 약 37L/인·day 정도 시설용량이 크게 설치



[그림 3] 하수처리인구당 시설용량

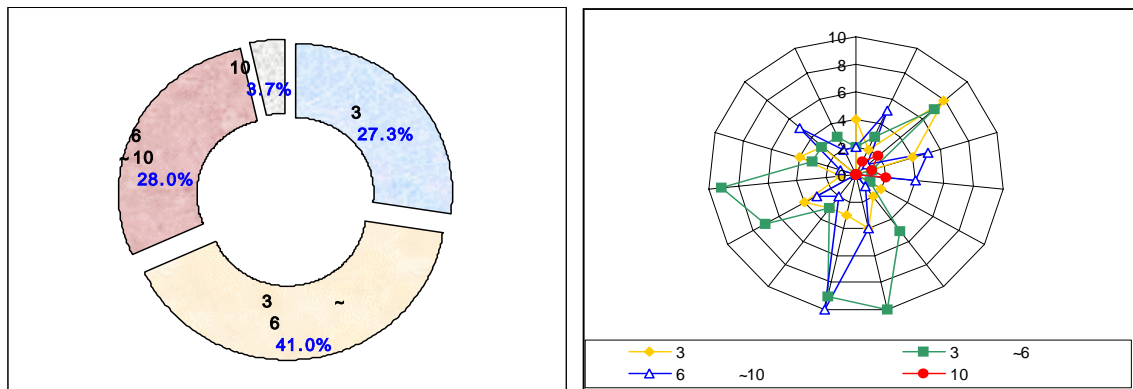
- 1일 하수처리능력 1m³당 시설설치 비용은 농·어촌주거환경개선사업의 부속사업으로 추진한 경우 5,994천원으로 가장 많이 소요되었고, 문화마을조성사업의 부속사업으로 추진한 경우에는 3,757천원, 각 가정별 설치한 사업지구의 경우에는 5,830천원이 소요

- 마을하수처리시설의 경우 m^3 당 시설설치의 평균비용인 4,038천원보다 각 가정별 설치한 오수처리시설이 약 1,792천원이 더 많이 소요
- 시·군별 $1m^3$ 당 시설설치의 평균비용을 비교한 결과, 서천이 8,569천원, 금산 7,326천원, 당진 7,270천원, 홍성 7,121천원 등의 순임



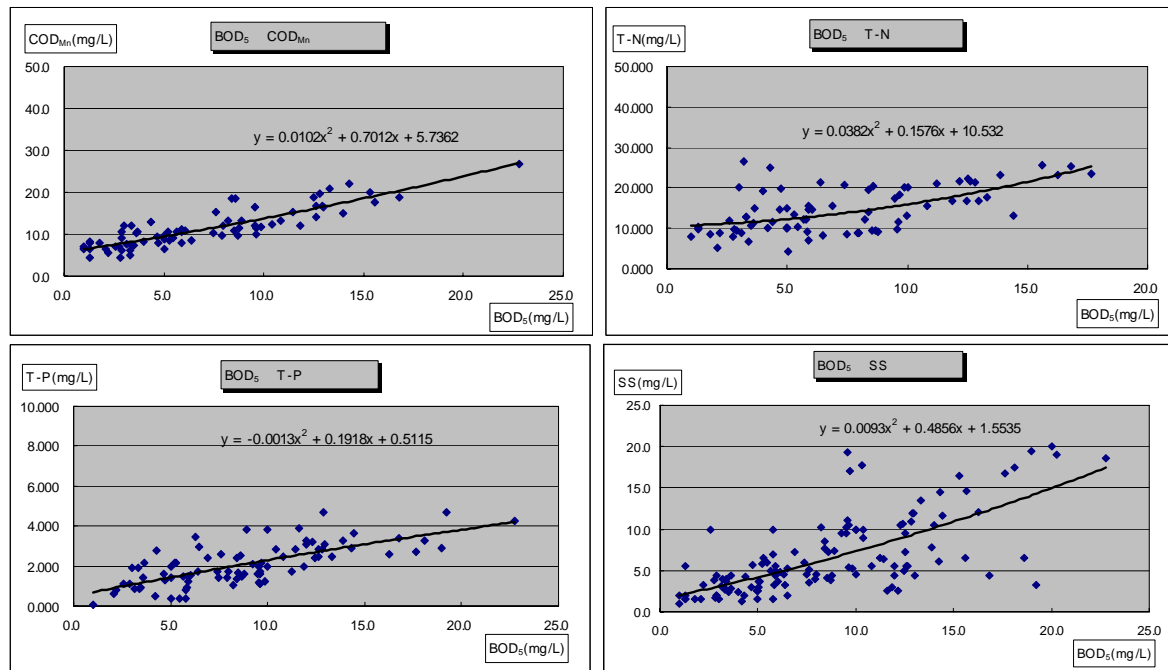
[그림 4] 시·군별 단위용량당 설치사업비

- 처리시설의 경과년수는 3년 이상 6년 미만인 시설지구가 66개소(41.0%), 3년 미만인 시설지구와 6년 이상 10년 미만인 지구가 각각 44개소 및 45개소이고, 10년 이상의 노후된 시설은 3.7%에 해당하는 6개지구로 조사됨



[그림 5] 마을하수처리시설 경과년수

- 오염물질의 처리효율을 살펴볼 때, BOD_5 경우 약 85~95%제거 효율, T-N과 T-P의 경우는 약 30~60% 범위의 제거효율을 보이고 있으며, 방류수의 오염물질 상관성을 평가한 결과 방류수의 BOD_5 농도가 높을수록 각각의 오염물질 농도가 증가하는 양의 상관관계를 보였으며, $COD_{Mn}(r=0.8738)$, T-P($r=0.7170$), SS($r=0.7011$)의 상관성은 비교적 높았으나, T-N의 상관계수(Coefficient of correlation)는 0.5949로 비교적 낮았음



[그림 6] 방류수의 BOD_5 와 상관성

IV. 시설설치 및 관리방안

1. 마을하수처리시설의 설치방안

- 마을하수처리시설의 사업순서에 따라 주관실과에서 마을하수처리시설사업의 기본계획을 수립하고, 이후의 설계, 시공, 운영관리 등 모든 과정은 보다 더 전문성 있는 환경직 공무원에 배치된 부서로 인계하여 추진
- 마을하수처리시설은 갈수록 급증하는 시설로 인한 인력소요에 따른 인건비 절감을 위해 무인 자동운전 및 원격제어기술 도입이 무엇보다 중요하고, 비록 토목 공사비 등 비용이 추가적으로 소요된다 하더라도 지면아래에 설치함으로써 지온(地溫)으로 겨울철 미생물활성을 위한 최저수온을 유지하고, 유리한 수리경사도 확보, 기계시설의 소음 저감 등이 기대
- 유입하수량 변동에 탄력적으로 대응하기 위하여 계열화 운전이 가능하도록 시설을 설치하는 경우가 있으나, 규모가 작은 시설에서는 설치비용 및 운영관리 등을 고려할 때, 오히려 역기능이 발생할 수 있으므로 하수량의 계절변화가 약 2배 이상 심한 지역을 제외하고 계열화 설치는 적합하지 않은 것으로 판단
- 1일 하수량이 $50m^3$ 미만인 경우에는 향후 운영관리시 여러 가지 문제가 발생할 수

있으므로 인근 마을과 함께 처리하는 집중처리방식으로 계획하고, 관거길이 등 이송거리의 문제로 집중처리가 곤란한 경우에는 사업지구의 우선순위를 재검토

- 시설규모에 있어서 지나치게 작은 규모로 분산설치 하는 경우는 오히려 설치비용이 증가할 뿐만 아니라 운영관리에 상당한 애로가 있어 1일 처리능력이 50m³(약 100가구 정도) 미만의 시설인 경우에는 불가피한 경우를 제외하고 사업지구의 우선순위 설정시 신중히 고려되어야 하며, 특히 마을하수처리의 적정지역에서 가정별로 오수처리시설을 설치하는 개별처리방식은 제한되어 함

- 마을하수처리시설은 하수처리공법의 문제점이라기보다는 운영관리의 기본지식이 갖추어지지 않은 상태에서 관심부족과 관리인력 자체가 없고, 운영관리에 소요되는 전력비, 수리수선비 등 운영비용이 마련되지 않기 때문에 상당수의 시설은 방치상태 이르러 정상 가동되지 못하고 있는 실정이므로 운전조작이 비교적 간단하고, 순회점검으로 시설이 유지될 수 있으며, 특히 운영관리비가 저렴한 공법의 적용이 무엇보다 필요하며, 이러한 충청남도 여건에 부합하는 마을하수처리공법은 활성슬러지법(Activated Sludge) 또는 접촉산화법(Contacted Aeration)에서 크게 변형되지 않는 공법을 적용함이 타당하리라 판단

- 특히, 방류수역의 수환경관리 위하여 시설규모에 관계없이 T-N과 T-P 항목을 처리하는 계획은 바람직하다고 볼 수 있으나, 마을하수처리시설의 규모가 총량적으로 저감되는 양이 매우 적고, 유기물 제거시 T-N, T-P의 상당량이 함께 제거되며, 또한 시설설치비 및 운영관리비가 과다하게 소요되고 운영관리가 복잡해져 운영관리의 소홀 및 시설의 방치로 이어질 수 있음을 고려해야 함

- 현재 운영중인 마을하수처리시설의 하수처리인구당 시설용량은 약 250~350L/인·day 정도로써 실제 하수발생량 보다 시설용량이 과대하게 설치

- 하수유입량에 비하여 시설용량이 지나치게 큰 경우에는 생물학적처리에서 여러 가지 부작용을 유발하는 등 결코 유익하지 않을 뿐만 아니라 시설설치비와 운영관리비 증가로 이어지는 현실고려 때, 시간대별 하수량과 농도를 사전에 충분히 조사한 자료를 적용함을 원칙으로 하되, 일반적인 농·어촌지역은 1인당 1일 하수발생량은 170L이하를 적용토록 하여야 적정

- 이와 같은 결과로 추론할 때, 특수성을 배제한다면 충분한 여유율을 감안하더라도 250명(약 100가구)에서 발생하는 하수의 처리를 위해서는 약 50m³/day 규모가 적정하고, 2,500명(약 1,000가구)에서 발생하는 하수처리를 위한 마을하수처리시설의 시설용량은 약 500m³/day 규모가 적정하다고 볼 수 있음

- 마을단위 하수를 처리하기 위한 설치비는 시설의 규모, 공법 등 여러 조건에 따라 달라질 수 있으나, 일반적으로 처리시설의 부지매입비용을 제외한다면 하수관거의

설치비는 약 40~80천원/m 정도 소요되고, 하수처리시설은 3,000~4,000천원/m³ 정도 소요되며, 설치재원은 사업추진방식에 따라 행정자치부 주관사업으로 실시하여 농·어촌주거환경개선사업의 부속사업으로 추진하는 경우 마을하수처리시설에 필요한 전액이 지원되고, 농림부에서 주관하는 문화마을의 부속사업으로 추진하는 경우 사업지구당 2억원을 정액보조 하고 있으며, 환경부의 일반하수도 사업으로 추진하는 경우에는 70%를 국고(양여금 포함)에서, 15%는 도비로 지원 받고 나머지 15%는 시·군비로 재원을 마련

2. 마을하수처리시설의 관리방안

- 마을하수처리시설은 처리구역에서 발생하는 수질오염물질을 효율적으로 처리하여 방류하천의 건전한 수환경을 유지하거나 개선하는데 가장 큰 목적을 두고 있으므로 사업지구내 각 가정에서 발생하는 생활계 하수뿐만 아니라 가급적이면 처리구역 내의 일정량의 축산폐수, 유기성 공장폐수 등도 처리여건을 종합적으로 검토하여 함께 처리할 수 있도록 시설을 설치함이 바람직 할 것으로 판단
- 주 반응조에 하수를 이송하는 과정은 수위(水位)변화에 따라 자동적으로 펌프가 가동되는데 대부분 유체 이송관 및 펌프용량이 과잉으로 설치되어 간헐적이고 불규칙하게 하수가 이송될 수밖에 없기 때문에 처리효율을 저하시키는 요인으로 작용하므로 하수 발생 특성에 적합한 균등조의 확보와 정량적으로 이송할 수 있도록 용량에 적합한 펌프로 교체하거나 시설의 대체를 통하여 미생물의 충격부하를 최소화하도록 시설 개선
- 공동오수처리시설 및 마을하수도 운영관리는 사업주관 실과 또는 하수도 담당실과에서 운영관리의 주체가 되고 있으며, 각 가정별 설치한 오수처리시설은 각 가정에서 운영관리하고 있는 실정
 - 마을하수처리시설을 시설관리 측면보다는 하수처리 중심에서 운영할 수 있도록 수질환경을 담당하는 공무원 또는 다년간 하·폐수처리 경험을 축적한 공무원을 운영관리 실과에 배치하거나 수질환경관리를 담당하는 실과에 이관
- 인건비를 포함한 조사대상의 마을하수처리시설 운영관리비를 산출한 결과 전체비용 중 인건비가 차지하는 비율이 약 51.8%로 가장 많고, 다음으로 전력비가 31.0%, 수리수선비가 9.9%를 차지
 - 마을하수처리시설의 연간 운영관리비는 시설용량과 처리공법 등에 따라 다소간의 차이는 있으나 평균적으로 산출해 볼 때, 1개소당 약 4,580,000원/년이고 시설용량 1m³당 69,800원/년(191원/day)정도 소요될 것으로 추정되며, 인건비 항목을 포함하지 않은 운영관리비를 산출하면 1m³당 92원 정도가 소요될 것으로 판단

- 이와 같은 결과는 전국에 설치되어 있는 1,000m³/day 미만의 하수종말처리시설 32개소를 평균한 경우 1m³의 하수처리비용인 960.4원과 비교할 때 마을하수처리시설의 운영관리비용은 매우 적게 소요된다고 볼 수 있음
- 하수종말처리시설의 하수처리구역 내에서 하수를 배출하는 각 가정 및 시설물 소유자에게 시설의 운영관리에 소요되는 비용을 부과하고, 오수처리시설은 각 가정, 건물의 소유자가 설치비용 및 운영관리비용을 스스로 부담하기 때문에 결국 마을하수처리시설 이외의 하수관련 시설에서는 주민이 일정부분의 운영관리비용을 부담함
- 마을하수도는 하수도사용료 징수가 가능하나 징수하지 않고 있으며, 마을하수도 범위에 이르지 않는 50m³/day 미만인 마을공동오수처리시설은 중앙정부나 광역자치단체의 지원규정도 없고, 오수처리대책지역의 지정대상 건물에 포함되지 않으며, 운영관리에 필요한 비용의 확보방안은 매우 어려운 구조로 되어있음
- 따라서 현재 하수도사용료를 부과하지 않는 시설용량이 500m³/day이상인 소규모하수종말처리시설과 마을하수도는 하수도특별회계에 포함시켜 하수도사용료를 징수하고, 50m³/day미만인 마을공동오수처리시설은 마을하수도 범주에도 포함되지 않더라도 재정관리와 형평성을 위하여 하수도요금의 현실화 율을 고려한 징수방안을 강구할 필요가 있음
- 운영관리 방안에 있어서 현실적으로 기존 운영시설에 원격감시·제어설비 도입이 불가능한 경우에도 상주인력은 필요치 않다고 판단되나, 인력의 한계성 등으로 여의치 않는 경우라면 최소한 주 1회 이상은 반드시 순회점검이 요구됨
- 하수종말처리시설의 운영관리 인력을 활용하여 순회관리하거나, 민간위탁 중인 하수종말처리시설의 경우에는 마을하수처리시설 운영관리까지 포함하여 위탁계약을 체결함이 바람직
- 시설규모별 방류수 관리방안으로 마을하수 사업지구 내 각 가정별로 설치한 오수처리시설과 시설용량이 1일 50m³미만인 마을공동오수처리시설은 BOD₅와 SS의 2개 항목에 대하여 수변구역(금산군에 26.61km²가 지정됨) 내에 위치한 경우는 각각 10mg/L이하로 관리하여야 하고, 그 외 나머지 지역은 일반지역으로써 각각 20mg/L이하로 관리하여야 하고, 마을하수도와 마을하수도를 초과하는 소규모하수종말처리시설은 하수도법의 방류수 수질기준에 따라 관리