

충청남도 하수처리시설의 공정 및 운영 특성 분석

어성욱[†] · 이상진^{*}

우송대학교 철도건설환경공학과

^{*}충남발전연구원

Analysis of Process and Operating Characteristics for Chung Nam Province Sewage Treatment Plants

Seong Wook Oa[†] · Sang Jin Lee^{*}

Department of Railroad, Civil & Environmental Eng. Woosong University

^{*}Chung Nam Development Institute

(Received 27 March 2009, Revised 19 May 2009, Accepted 8 June 2009)

Abstract

Currently, small scale sewage works are getting increase in Chung Nam Province and it is strongly required for those plants to get the information of optimized procedures and technologies. Most processes for sewage works in Korea were designed for large scale plants, so many difficulties are observed in small scale sewage works. This study was conducted to evaluate the propriety of O&M and construction cost for sewage treatment plants in Chung Nam Province. The treatment results and process stability of 32 public sewage treatment plants were also investigated. It is expected to provide optimum O&M and construction cost for future small scale sewage works and improving projects of existing plants by these results. Pollution problems caused by small scale plants are usually restricted to small areas; however, in view of the high cost per unit population, treatment requirements and alternatives have to be studied carefully. In comparison to larger plants, more pronounced and different boundary conditions such as unstable influent load, per capita costs and a large variety of feasible treatment and disposal systems were considered.

keywords : Cost evaluation, Process selection, Sewage treatment plant, Treatment stability

1. 서론

우리나라 하수처리 체계는 인구밀도가 높은 지역에서 발생하는 생활하수를 공동으로 처리하기 위하여 설정한 하수처리구역 안 지역과 인구밀도가 낮아 공동으로 처리하기에는 여건이 부적합한 하수처리구역 밖 지역으로 구분된다. 하수처리구역 안 지역에서는 발생한 하수를 설치된 하수관거를 통하여 공공하수처리시설에 이송시켜 처리함으로써 별도로 규정하지 않는 한 개인처리시설을 설치하지 않고 있다(이상진, 2004). 그러나 하수처리구역 밖 지역에서는 생활하수와 분뇨, 가축분뇨, 산업폐수 등을 처리하기 위한 시설을 설치하여 허용된 농도기준을 상시 만족하도록 운영하여야 한다. 이와 같이 하수처리 시설은 일정한 단위지역에서 발생하는 하수를 함께 처리하는 공공처리시설과 발생원별 단일 시설에서 발생하는 하수를 각각 처리하기 위한 개인처리시설로 대별될 수 있는데, 지방하수도의 경우 도시하수도와 달리 개인처리시설이 설치된 하수처리 구역 밖의 비중이 상대적으로 높은 실정이다(환경부, 2007a).

충청남도의 경우 2007년 현재 전국 16개 시·도 중에서 하수처리율이 가장 낮으며, 신도청 이전, 기업도시, 행정중심복합도시(세종시) 등 대규모 개발 사업이 다수 예정되어 있어 하수도 계획에 변수가 많이 존재한다. 다행히도 최근에는 금강수계가 수질총량관리제를 실시하고 있고, 충청남도 면적의 19.4%에 해당하는 삼교호수계에도 수질총량관리제 실시를 위한 준비과정에 있어 생활하수를 중심으로 상당수의 오염물질 배출 부하량 삭감시설을 지속적으로 설치할 예정이며, 효율적인 유역관리를 위한 기능적 통합차원의 물 통합관리를 실행하는 과정에 있다(환경부, 2007b). 이러한 여건으로 향후에는 생활계에서 발생하는 오염물질을 처리하기 위한 공공하수처리시설이 크게 증가할 것으로 예상되며, 노후한 시설을 중심으로 시설보강 및 고도처리시설 등이 도입되기 때문에 하수처리시설의 설치 및 운영관리 현황을 분석하고, 관리방안을 마련하는 것이 필요하다.

본 연구는 충청남도의 하수처리 현황 및 전망과 함께 공공하수처리시설의 운영 실태를 조사·분석하여, 장차 진행될 개발사업의 하수도 계획을 효율적으로 진행하게 하며, 기존 하수처리장의 운영관리 효율화를 위한 자료를 제공하기 위하여 수행되어졌다. 아울러 지방 공공하수처리시설의 현황 분석을 통해, 대도시의 대규모 하수처리장 중심으로

[†] To whom correspondence should be addressed.

swoa@wsu.ac.kr

되어있는 하수처리시설 운영관리 자료의 폭을 확대하여, 그 수적으로 훨씬 많지만 운영 자료의 획득이 곤란한 소규모, 지방 하수도 시설을 우선적으로 조사하여 설치 및 운영관리 과정에서 나타난 문제점을 파악하고 실태분석을 통하여 효율적인 관리방안을 제시하고자 한다.

2. 연구방법

2.1. 연구목적 및 범위

대도시 하수처리 사업이 거의 완료 되어가는 현 시점에서, 그 동안 대도시의 대형 하수처리장 중심으로 진행되어 온 우리나라 하수처리 사업에 대한 재평가와 지방 소규모 하수처리장 고유의 운전 및 운영 방식 분석을 통해, 충청남도 지역의 각 시·군에 설치되었거나 향후 설치될 공공하수처리시설에 대한 효율적인 설치 및 관리방안을 제시하는 것이 본 연구의 주목적이다.

우리나라 및 충청남도에 대한 하수처리율, 하수처리체계, 공공하수처리시설의 설치 및 관리현황, 처리공법, 법률·제도적인 설치절차 및 관리기준 등을 살펴보기 위하여 정부 등에서 출간된 통계, 관련문헌, 공공하수처리시설과 관련된 법률과 지침, 그리고 Internet Web Site를 통하여 각종 자료를 조사하였다. 한편, 충청남도 지역에 설치, 운영되고 있는 공공하수처리시설의 실태를 파악하기 위하여 2006년 말 기준으로 작성한 운영결과 조사표를 수집하여 통계적으로 분석하였다. 또한 조사된 충청남도의 공공하수처리시설 현황을 토대로 설치현황, 처리공법, 설치사업비, 운영관리비, 방류수의 수질현황 등을 통계적으로 해석하였으며, 분석결과를 바탕으로 공공하수처리시설과 관련된 관련 문헌 및 연구 자료를 분석하였다.

2.2. 조사 및 분석 방법

조사방법은 공공하수처리시설의 설치 및 운영현황을 파악하기 위하여 환경부 주관으로 해마다 실시하는 공공하수처리시설의 운영결과 조사표 중 2006년 말 기준으로 작성한 현황을 충청남도 수질관리과에서 수집하여 통계적으로 분석하였다. 그 이외 자료의 신뢰성 향상과 누락된 조사항목의 보완을 위하여 수질총량관리제 시행계획, 이행평가보고서와 함께 환경부에서 발행한 하수관련 자료를 수집하여 검토 및 정리하고, 일부 시설은 현지방문을 병행하여 보완조사 하였다.

2007년 1월 기준으로 충청남도의 16시·군에 설치하여 운영 중인 시설용량 500 m³/일 이상의 공공하수처리시설은 총 32개소이며, 이를 시설용량 규모별로 분석하기 위해 500 m³/일 초과~5,000 m³/일 미만(Group A, 14시설), 5,000 m³/일 초과~20,000 m³/일 이하(Group B, 10시설), 20,000 m³/일 초과~(Group C, 8시설)의 3개 그룹으로 분류하여 시설 및 운영에 대한 비교 분석을 실시하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 충청남도 하수처리장 현황조사 결과

충청남도에는 2007년 1월 기준으로 16시·군에 총 32개소의 시설용량 500 m³/일 이상인 공공하수처리시설이 있으며, 총 시설용량은 527,600 m³/일이다. 각 시·군별 설치현황은 공주시가 4 개소로 가장 많으며, 천안, 서산, 예산, 당진에 각 3 개소, 보령, 연기, 부여, 홍성, 태안에 각 2개소가 설치되어 있으며 그 외 시·군은 각각 1개소 씩 설치되어 있다. 천안공공하수처리시설이 1994년 9월에 충청남도에서 최초로 가동되었으며, 현재 32개소에 144.79 km²에 달하는 면적이 하수처리구역으로 지정되어, 충청남도 전체면적의 약 1.68%에 이르고 있다. 산림, 농경지 등 실제적으로 하수처리가 곤란한 지역을 제외한 대지면적(225.97 km²)의 약 64.1%가 하수처리구역으로 지정되어 있다. Fig. 1은 충남지역의 수계별 공공하수처리시설의 위치를 나타낸 것으로, 수계별 공공하수처리시설의 시설 수는 금강수계가 13개소로 가장 많고, 서해수계 11개소, 삼교호수계 7개소이며 안성천수계에 1개소가 설치되어 있다. 삼교호 수계는 인구가 밀집된 천안시 및 아산시가 위치하고 있어 비교적 대규모 시설이 설치되어 있다. 전체 시설용량의 44.3%인 233,700 m³/일이 삼교호 수계에 있으며, 금강수계는 150,500 m³/일이고, 서해수계 및 안성천수계에는 각각 119,400 m³/일, 24,000 m³/일로 비교적 소규모 처리시설 들이 산재해 있다. 가동 중인 공공하수처리시설의 하수처리공법을 비교할 때, 수계별로 큰 차이가 없으며, 비교적 시설용량이 클수록 표준 활성슬러지법 및 변법이 많이 설치되었고, 시설용량이 작을수록 SBR, 접촉산화공법 계통이 많이 적용되어 있다.

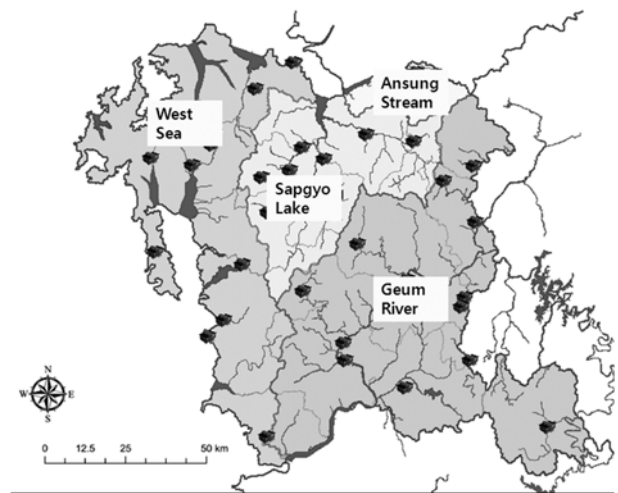


Fig. 1. Public Sewage Treatment Plant Site Map in Chung Nam Province.

3.2. 운영실태 분석 결과

3.2.1. 처리구역 안 인구현황

지정·고시한 하수처리구역 안에서 계획한 인구밀도는 평균적으로 9,350 명/km²이나 2006년 말 기준의 인구밀도는 7,786 명/km²으로 계획대비 처리구역 안의 인구가 상대적으로 적은 편이며 설치 당시에 과잉 추정하여 계획되었다고 평가될 수 있다. Table 1에 충남지역의 수계별 하수처리 면적과 계획인구를 나타내고 있는데, 처리구역안의 면적당 인

Table 1. Population density of each sewage treatment sectors (2007)

| Watershed | Treatment area (km ² ×1,000) | Treatment population (capita) | Population density in treatment area (capita/km ²) | Population density in plan (capita/km ²) |
|---------------|---|-------------------------------|--|--|
| Geum river | 43,623 | 281,954 | 6,463 | 9,943 |
| Sapgyo lake | 57,905 | 0 | 9,187 | 9,187 |
| West sea | 32,890 | 226,352 | 6,882 | 9,456 |
| Ansung stream | 10,370 | 87,110 | 8,400 | 5,545 |

구는 삽교호 수계가 9,187 명/km²으로 가장 높고, 다음으로 안성천수계 8,400 명/km², 서해수계 6,882 명/km²이고, 금강수계가 6,463 명/km²으로 가장 낮다. 일반적으로 하수처리구역 안의 인구밀도가 낮을수록 처리인구 당 하수관거설치비가 높아지고, 유입농도가 낮아져 오염물질 삭감율은 다소 떨어지는 경향이 있다(Voigtländer and Kulle, 1994). 한편, 처리 구역의 인구 밀도는 유입수질과도 관계가 있는데, 인구밀도가 낮을수록 상대적으로 관거 길이가 길어지고 이에 따라 유입수의 수질도 낮아지는 현상을 보여(이두진 과 김문일, 2005), 소규모 하수처리장의 저농도 유입수 문제의 한 원인으로 작용하고 있다. 충남 지역의 2007년 1월을 기준으로 한 공공하수처리시설에 의한 하수처리인구는 1,127,390 명으로, 이를 충청남도 전체인구로 나눈 하수처리율을 계산하면 56.3%로 나타난다. 그 외 500 m³/일 미만인 소규모하수처리시설에서 처리하는 하수처리율 약 0.5%와 폐수종말처리시설에서 처리하는 하수처리율 약 0.3%를 고려한다면 총 하수처리율은 57%정도이다. 2005년 말 기준 전국 하수처리율이 83.5%이고, 2008년 목표를 88.0%를 목표로 하고 있다는 점을 감안한다면 충청남도 평균 하수처리율은 매우 낮은 편이며, 상당수 시·군의 경우 50%를 밑돌고 있는 실정이다. 공공하수처리시설 설계당시 하수처리구역 내 계획인구는 1,353,780명이었으나 계획인구율은 83.3% 정도로 유입되어 관공지여건과 목표 연도 등을 고려한다 하더라도 계획인구를 과대하게 추계함으로써 시설용량을 과대하게 설치하는 결과를 초래했다고 볼 수 있다.

3.2.2. 시설 운영방식 현황

공공하수처리시설의 운영방식을 분석한 결과, 총 32시설 중 7시설(용량 : 212,600 m³/일)을 기초자치단체에서 직접 운영하고 있고, 25시설(용량 : 315,000 m³/일)을 민간업체에 위탁하여 관리하고 있다. 신규시설을 중심으로 점진적으로 민간업체에게 위탁하는 비율이 증가하고 있는 실정이다. 수계별로 살펴볼 때, 금강수계는 13시설 중 9시설(용량 : 98,500 m³/일)이, 삽교호수계는 7시설 중 6시설(용량 : 83,700 m³/일)이, 서해수계는 11시설 중 9시설(용량 : 108,800 m³/일)이, 안성천수계는 1시설(용량 : 24,000 m³/일)을 민간업체에게 위탁하여 관리하고 있다. 공공하수처리시설에 수거분뇨와 정화조찌꺼기, 공장폐수, 가축분뇨, 매립장 침출수, 음식물 탈리액 등을 1차 처리 후 공공하수처리시설에서 재처리 하거나 직접투입하고 있으며 연계처리 총량은 일일 3,029.1 m³으로 총 하수처리량의 약 0.67%이다. 항목별 연계처리량으로 수거분뇨와 정화조찌꺼기가 1,288.2

m³/일, 공장폐수가 553 m³/일, 가축분뇨 306 m³/일, 매립장 침출수 813.3 m³/일, 음식물 탈리액이 68.6 m³/일 정도이며, 각각의 연계처리비율은 0.28%, 0.12%, 0.07%, 0.18%, 0.02%로 전체 유입처리량에서 처리 유량 면에서는 차지하는 비율이 비교적 적은편이다. 연계 폐수가 대부분 고농도 폐수이므로, 처리 부하를 검토하여야 하나, 충남지역의 전반적인 하수처리시설이 빈 부하 상태로 운전되므로 현재 이에 대한 검토는 필요치 않은 것으로 판단된다.

3.3. 공공하수처리시설 설치비용 분석

3.3.1. 시설용량별 설치비용

일반적으로 공공하수처리시설의 경우 설치년도 및 공사기간, 처리공법, 설치위치 등에 따라 설치비용은 달라질 수 있으나, 총사업비, 처리장부지면적, 계획처리인구, 처리구역 내 인구 등이 많을수록 공공하수처리시설의 시설용량이 증가하는 경향이 있다(Randall, 2004). 반면, 시설용량이 증가할수록 설치비용(1,000원/m³)은 낮아지는 경향을 보이는데, Fig. 2는 2007년도 전국 공공 하수처리장 운전 자료에 근거한 인구 당 계획처리 면적과 설치비용의 관계를 보여주는 것이다. 인구 당 면적이 커질수록, 즉 인구밀도가 낮을수록 비례적으로 처리장 건설비용이 증가하는 것으로 나타나고 있는데, 이는 인구밀도가 상대적으로 낮은 읍면 지역이 인구가 밀집된 대도시 지역에 비해 처리 시설 건설비용이 높아지는 것을 보여주는 것이다. Fig. 3은 충남지역의 처리장 규모에 따른 시설설치비용을 나타내고 있는데 처리장의 규모와 건설비가 반비례하는 것을 보여주고 있다. 읍면 지역에 설치되고 있는 소규모 처리시설의 경우 처리장 건설비에 있어서 여러 조건에 의해 높은 비용을 지불해야만 하는 구조를 보여주고 있다. 충남 지역 31개소의 공공하수처리시설에 대한 처리 용량별 시설 설치비용 분석결과 $y = 93,109 \times x^{-0.3882}$ ($R^2 = 0.651$)로 나타나고 있다.

3.3.2. 수계별 설치비용

수계별 공공하수처리시설의 설치비용은 1 개 시설로 통계적 의미를 부여할 수 없는 안성천수계를 제외하고 비교할 때, 금강수계가 방류수 농도기준이 다른 수계 보다 강화되어 고도처리시설의 도입 등으로 단위시설용량(m³/일)당 설치비용이 2,352천원으로 가장 높게 나타나고 있다. 천안 공공하수처리시설 등 시설용량이 큰 시설이 밀집한 지역인 삽교호 수계는 1,205천원으로 비교적 낮게 나타나고 있으며, 서해수계가 2,040천원 정도였다. 그러나 2008년부터는 금강 수계 외 지역도 금강 수계와 마찬가지로 방류수 농도

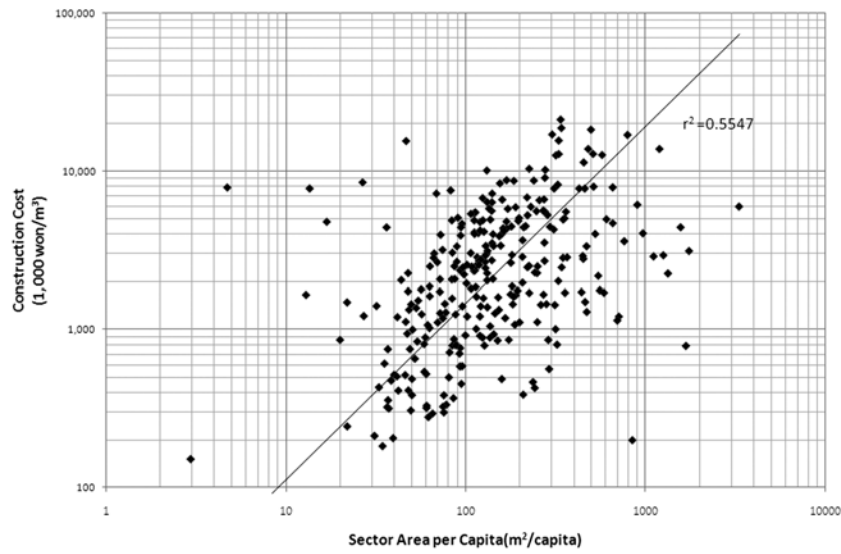


Fig. 2. Correlation between construction cost and sector area per capita in Korea (ME, 2007b).

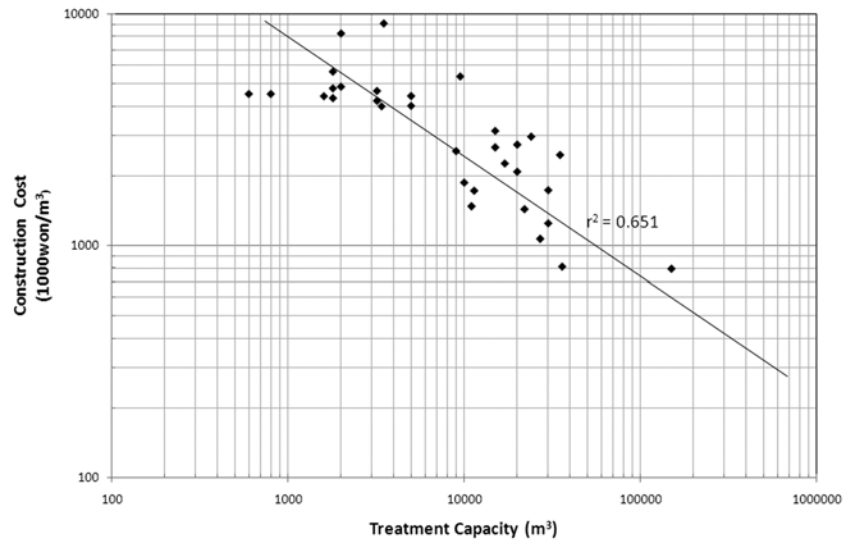


Fig. 3. Correlation between construction cost and treatment capacity in Chung Nam Province (ME, 2007b).

기준이 강화되어 적용되기 때문에 신규시설과 보강사업 등으로 설치되는 시설은 단위 시설용량 당 시설 설치비가 증가될 것으로 보여 진다.

3.4. 운영관리 현황 분석

3.4.1. 수계별 시설용량 여유율

2007년 1월 기준으로 공공하수처리시설의 시설용량은 527,600 m³/일으로써 여름철 등 특정한 시기의 관광지의 유동인구를 제외한 유입하수량은 일평균 455,204.2 m³/일이며 이는 시설용량대비 유입하수량 약 86.3%에 해당한다. 일부 소규모 시설의 경우는 평균 유입 하수량에 훨씬 미달하는 50% 내외의 유입율을 보여 현시점에서 판단할 때 시설용량이 비교적 과다한 것으로 평가될 수 있다. Fig. 4는 수계별 시설용량에 대한 유입유량 비율을 나타낸 것으로, 금강수계의 경우 13시설의 시설용량 대비 실제 평균 유입 비율은 77.4%이다. 개별 처리장 별로 살펴보면, 청양 및

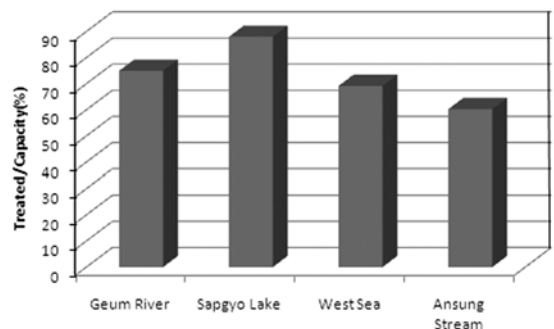


Fig. 4. The Average Treated Sewage Flow Compared by Design Capacity.

조치원의 경우 시설용량이 부족한 반면, 나머지 시설은 시설용량이 과잉되었다고 볼 수 있고, 특히 관광지인 백제재 현단지 공공하수처리시설, 동학사 공공하수처리시설에서 계획용량과 실 처리량이 매우 큰 차이를 보이고 있다. 계통,

공암의 공공하수처리시설은 시설용량이 매우 과잉되었다고 볼 수 있으며, 그 외 논산공공하수처리시설은 강경읍에서 발생하는 하수를 차집하여 이송처리할 예정으로 하수량이 증가할 것으로 예상된다. 삽교호수계의 경우 7시설의 유입 비율은 평균적으로 83.9%이며, 덕산 및 아산공공하수처리 시설은 시설용량이 부족한 반면, 삽교 공공하수처리시설은 시설용량이 과잉인 것으로 분석되고 있다. 아산공공하수처리 시설은 2007년에 27,000 m³/일(DeNiPho공법)의 시설용량을 증설하고 하수처리량을 증가할 예정이다. 서해수계의 경우 11시설의 유입비율은 87.4%이며, 서산공공하수처리시설은 시설용량이 부족한 반면, 서천, 음암, 도당 등 공공하수처리시설의 시설용량이 과잉되었다고 볼 수 있다. 그러나 서천공공하수처리시설은 하수차집구역 확대에 따라 하수유입량이 증가할 것으로 판단하고, 대천 해수욕장 공공하수처리시설은 여름철 관광객의 집중 유입을 기준으로 설치되었기 때문에, 과잉 시설로 판단한 것은 비수기 기준에 대한 고려이므로 판단이 유보되어질 수 있다. 관광지에 위치한 이들 하수처리 시설의 경우 일률적인 생물학적 처리 외에 생물학적, 화학적 처리를 병행하는 시설의 설치를 검토할 필요가 있을 것이다(Kegebein et al., 2007).

3.4.2. 오염물질 처리현황

충청남도 지역에 운영 중인 공공하수처리시설로 유입되는 하수량은 일평균 455,204 m³이며, 재활용량을 제외하고 일일 437,469 m³(96.1%)를 공공수역에 방류하고 있다. 수계별로 산술평균한 항목별 유입과 방류농도를 분석한 결과, BOD₅는 120.2 mg/L가 유입되어 5.3 mg/L로 방류되며, COD_{Mn}의 경우 77.8 mg/L로 유입되어 8.5 mg/L로 방류되고 있다. 한편, T-N은 28.0 mg/L로 유입하여 11.9 mg/L로 방류되고, T-P는 4.7 mg/L가 유입하여 1.2 mg/L로 방류되고 있다. 이러한 결과로 볼 때, 현재 공공하수처리시설의 방류수 농도기준이 특정지역으로 지정한 금강수계의 경우 BOD₅ 및 SS 10 mg/L이하, COD_{Mn} 40 mg/L이하, T-N 20 mg/L이하, T-P 2 mg/L이하의 방류수기준을 만족하고 있으며, 기타지역으로 지정된 삽교호수계, 서해수계, 안성천수계에서도 방류수 농도기준 BOD₅ 및 SS 20 mg/L이하, COD_{Mn} 40 mg/L이하, T-N 60 mg/L이하, T-P 8 mg/L를 만족하고 있어, 우리나라 다른 지역의 지방 하수처리장 방류수 수질과 큰 차이를 보이지 않고 있다(김영철 등, 2005). 수계별로 운영 중인 공공하수처리시설에 유입하는 오염물질 농도와 처리 후 방류하는 오염물질의 농도는 Table 2에 나타낸 것과 같다.

Table 2. Average influent and effluent concentration of STP by watershed in Chung Nam Province (2007)

| Watershed | Flow (m ³ /d) | | BOD ₅ (mg/L) | | COD _{Mn} (mg/L) | | T-N (mg/L) | | T-P (mg/L) | |
|---------------|--------------------------|---------|-------------------------|------|--------------------------|------|------------|--------|------------|-------|
| | Inf. | Eff. | Inf. | Eff. | Inf. | Eff. | Inf. | Eff. | Inf. | Eff. |
| Geum river | 116,422 | 111,135 | 99.1 | 5.2 | 78.5 | 7.4 | 24.766 | 10.488 | 4.233 | 1.047 |
| Sapgyo lake | 218,757 | 210,796 | 154.1 | 6.2 | 91.0 | 10.0 | 32.241 | 13.809 | 4.980 | 1.307 |
| West sea | 104,565 | 102,388 | 130.3 | 4.3 | 72.2 | 8.7 | 30.411 | 12.517 | 5.252 | 1.278 |
| Ansung stream | 15,460 | 13,150 | 45.8 | 10.2 | 38.1 | 10.3 | 30.411 | 12.517 | 2.077 | 1.046 |
| Total (Avg.) | 455,204 | 437,469 | 120.2 | 5.3 | 77.8 | 8.5 | 27.986 | 11.890 | 4.679 | 1.183 |

3.4.3. 하수처리장 운영비용 분석

공공하수처리시설에 대한 운영관리의 비용적 측면을 고려할 때, 처리한 하수량 1 m³당 처리비용이 낮을수록, 오염물질 삭감 kg당 비용이 낮을수록, 오염물질 삭감 kg당 시설용량이 작을수록 경제적으로 유리하다고 볼 수 있다. Table 3은 충남 지역의 처리장 규모별 하수처리 단가를 나타낸 것인데, 처리한 하수 1 m³당 평균적으로 138.9원이었으며, 시설용량이 작은 Group A에서는 356.6원인 반면, 시설용량이 큰 Group C에서는 105.7원으로 약 3.4배에 이르고 있다. KgBOD₅삭감당 처리비용은 평균적으로 1,003.4원이었으며, 시설용량이 작은 Group A에서는 4,980.7원인 반면, 시설용량이 큰 Group C에서는 687.0원으로 그 차이가 약 7.3배에 이르고 있다. BOD₅삭감 kg당 시설용량은 평균적으로 8.7 m³이었으며, 시설용량이 작은 Group A에서는 20.9 m³인 반면, 시설용량이 큰 Group C에서는 7.3 m³으로 약 2.8배가량 적게 나타나고 있다.

Table 3. Operating cost by treatment capacity in Chung Nam Province (2007)

| Category | (won/treatedm ³) | (won/removedBOD ₅ kg) | Capacity (m ³ /removedBOD ₅ kg) |
|----------|------------------------------|----------------------------------|---|
| Group A | 356.6 | 4,980.7 | 20.9 |
| Group B | 190.2 | 1,788.9 | 12.8 |
| Group C | 105.7 | 687.0 | 7.3 |
| Average | 138.9 | 1,003.4 | 8.7 |

지방자치 단체가 직접 운영한 경우와 민간 업체에 위탁 관리한 경우의 하수처리 단가를 비교 분석한 결과가 Table 4에 나타나 있는데, 처리한 하수 1 m³당 처리비용, BOD₅ 삭감 kg당 처리비용이 민간업체에서 운영하는 공공하수처리 시설에서 더 낮게 나타나 자치단체에서 운영하는 경우보다 경제적으로 유리하며, kgBOD₅삭감당 시설용량도 민간업체의 경우에서 낮게 나타나고 있다.

항목별 운영비용 비교시 민간업체에서 운영하는 경우 인건비, 찌꺼기처리비와 기타(연료비, 보험료, 부가가치세, 일

Table 4. The comparison of treatment cost by management agency in Chung Nam Province (2007).

| Category | (won/treated sewage m ³) | (won/removed kg BOD ₅) | Capacity (m ³ /removed kgBOD ₅) |
|----------------|--------------------------------------|------------------------------------|--|
| Entrusted firm | 155.4 | 1,363.0 | 9.1 |
| Government | 174.2 | 1,523.9 | 10.0 |

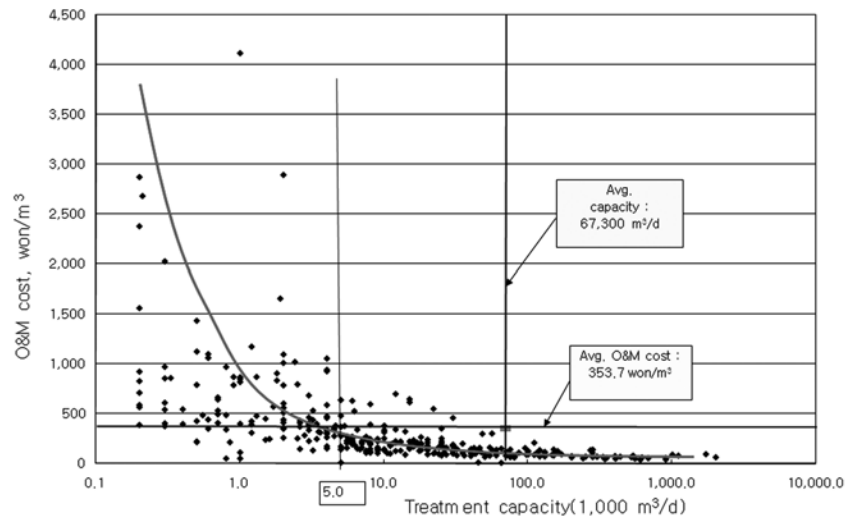


Fig. 5. Operating and management cost by treatment capacity.

반관리비, 이윤 등) 전력비 등의 비율이 높았고, 자치단체에서 운영하는 경우는 인건비, 전력비, 약품비 등의 비율이 높았다. 위탁관리의 경우 현재 위탁 비용은 인건비를 중심으로 산정되고 있으며(최용범과 이해승, 2006), 자치단체와 위탁기업의 인원 산정 체계가 다르기 때문에 직접적인 비교가 큰 의미를 지니지는 않으며, 이의 해석을 위해 장기적인 자료의 축적이 필요할 것으로 사료된다. 하수처리비용은 인건비가 39.2%로 가장 큰 비율을 보였으며, 다음이 전력비 19.2%, 찌꺼기처리비 12.8% 등의 순이고, 그 외 연료비, 보험료, 일반관리비, 이윤, 부가가치세 등이 포함되는 기타항목으로 약 16.1%를 차지하고 있다. 일반적으로 시설용량이 작은 그룹에서 인건비가 차지하는 비율이 높았으며, 시설용량이 큰 그룹에서는 찌꺼기처리비가 차지하는 비율이 높게 나타나고 있다. 시설용량 500 m³/일 이상인 전국 공공하수처리시설의 유입하수 m³/당 처리비용은 최소 8.0원에서 4,119.6원에 이르기까지 편차가 매우 크게 나타나고 있으며, 하수처리단가의 평균은 353.7원/m³으로 나타나고 있다. 시설용량 5,000 m³/일 미만의 규모에서, 하수처리단가는 시설용량이 작을수록 급격히 증가하고 있으며, 5,000 m³/일 이상 규모에서는 하수처리단가가 완만하게 감소하는 것으로 나타났다. 이와 같이 하수처리단가는 시설용량의 규모가 가장 큰 요인으로 작용하고 있으며, 일반적으로 시설용량이 클수록 하수처리단가가 낮고 시설용량이 작을수록 하수처리단가가 높게 나타나고 있다. Fig. 5는 우리나라 전체의 운영 중인 하수처리 시설에 대한 2007년도 기준 시설 규모별 유지관리 비용을 나타낸 것으로, 국내 하수처리장의 평균 처리 규모는 67,300 m³/d이고, 평균 처리 비용은 353.7원/m³으로 나타나고 있다. 시설용량 규모별로 하수처리단가를 비교할 때 5,000 m³/일 미만의 Group A에서는 전국평균이 410.5원/m³이고 충남평균이 356.6원/m³이며, 20,000 m³/일 미만의 Group B에서도 전국평균 202.5원/m³이지만 충남평균 처리 비용이 190.2원/m³으로 충청남도가 상대적으로 낮게 나타나고 있다. 20,000 m³/일 이상에 해당하는 Group C에서도 마찬가지로 전국평균이 113.3원/m³으

로 나타난 반면, 충남 지역의 평균은 105.7원/m³으로 전국 평균보다 충청남도의 하수처리단가가 낮게 분석되고 있다.

4. 결론

본 연구는 충청남도에 설치한 36개의 공공하수처리시설에 대한 운영 실태 조사·분석 결과를 바탕으로 전국 시설과 비교하여, 지역 하수처리 시설의 효율적인 설치 및 운영방안을 제시하고자 하였다. 연구를 통해 다음의 결론을 도출할 수 있게 되었다.

- 1) 단위 시설용량 당 설치비용은 Group A(500 m³/일 초과 ~ 5,000 m³/일 미만)가 5,088.3 천원/m³, Group B(5,000 m³/일 초과 ~ 20,000 m³/일 이하)가 2,536.3 천원/m³, Group C(20,000 m³/일 초과~)는 1,182.1 천원/m³으로 시설용량이 작을수록 총 비용은 적으나 단위 시설용량 당 설치비용은 높아지는 것으로 나타났다.
- 2) 일반적으로 시설용량이 클수록 하수처리단가가 낮고 시설용량이 작을수록 하수처리단가가 높으며, 시설용량 규모별로 하수처리단가를 비교할 때, Group A에서는 전국평균이 410.5 원/m³, 충남평균이 356.6 원/m³이며, Group B에서 전국평균이 202.5 원/m³, 충남평균은 190.2 원/m³이며, Group C에서 전국평균 113.3 원/m³, 충남평균은 105.7 원/m³으로 전국평균보다 충청남도의 하수처리단가가 낮게 나타나고 있다.
- 3) 충남 지역의 kgBOD₅ 삭감당 처리 비용은 평균 1,003.4 원이며 Group A에서는 4,980.7원이고 Group C는 687.0 원으로 나타나 시설 규모에 따라 약 7.3 배의 차이를 보인다.
- 4) 공공하수처리율은 하수도정책 뿐만 아니라 유역관리, 환경정책, 도시정책 등에서 매우 중요하게 사용하는 지표이다. 자치단체별 또는 수계별 공공하수처리인구 산정에 있어 시설 규모를 고려하여 적정한 용량을 산정하는 것이 필요하다.

참고문헌

- 김영철, 안익성, 강민기(2005). 우리나라 하수처리장 방류수 수질현황 특성. *수질보전 한국물환경학회지*, **21**(2), pp. 158-168.
- 이두진, 김문일(2005). 하수관거내 오염물질 정상변화. *대한환경공학회지*, **27**(9), pp. 911-916.
- 이상진(2004). 충청남도 마을하수처리시설의 실태분석 및 관리방안. 충남발전연구원.
- 최용범, 이해승(2006). 환경기초시설별 주민지원금 산정방안 -강원도 중심으로. *대한환경공학회지*, **28**(9), pp. 905-910.
- 환경부(2007a). 하수도시설운영·관리업무처리통합지침.
- 환경부(2007b). '06년 하수종말처리시설 운영관리실태 분석.
- Kegebein, J., Hoffmann, E., and Hahn, H. H. (2007). Performance of very small wastewater treatment plants with pronounced variations. *Wat. Sci. & Tech.*, **55**(7), pp. 31-38.
- Randall, C. W. (2004). Changing needs for appropriate excreta disposal and small wastewater treatment methodologies or the future technology of small wastewater treatment systems. *Wat. Sci. & Tech.*, **48**(11), pp. 1-6.
- Voigtländer, G. and Kulle, E. P. (1994). An improved small sewage treatment plant for biological purification of wastewater. *Wat. Sci. & Tech.*, **29**(12), pp. 23-29.