

## 하수처리장에서의 고농도 연계처리수에 대한 요금 개선 제안

이지원·길경익<sup>†</sup>

서울과학기술대학교 건설시스템공학과

## Suggestions for Cost Improvement of High concentration Linked Treatment in Municipal Wastewater Treatment Plant

Jiwon Lee·Kyungik Gil<sup>†</sup>

*Department of Civil Engineering, Seoul National University of Science and Technology, Korea*

(Received : 17 April 2020, Revised : 15 May 2020, Accepted : 15 May 2020)

### 요약

연계처리란 분뇨, 가축분뇨, 침출수, 기타 산업폐수 등 고농도의 폐수들을 인근 하수처리장으로 연계하여 해당 사업체의 부담을 덜어주는 시스템을 의미한다. 2018년 하수도 통계 기준국내 하수처리장의 약 4.5%인 187개소의 하수처리장에서 연계처리제도를 실시하고 있으나, 합리적인 비용산정기준이 마련되어 있지 않아 국내 지자체에서 하수처리 운영에 난항을 겪고 있다. 이에 본 연구진은 현재 연계처리수를 부과하는 산정방식에서 문제가 되는 점을 해결하고자 개선안을 제안하였다. 이를 위해 연계처리제도가 하수처리단가에 미치는 영향과 상관성을 분석하였고, 이 중 상관성이 가장 높게 나타난 주요 인자를 개선안에 적용하였다. 그 결과 기존 산정방식에 세 가지 부분을 개선한 개선안을 제시하였고, 산정방법과 기존 문헌값을 통한 산정사례를 함께 제시하였다. 이는 향후 연계처리를 시행하는 지자체에서 참고하고, 하수도조례 등을 개정할 수 있는 근거로 활용될 수 있으며, 합리적인 연계처리제도를 운영하는 데 있어서 도움이 될 수 있을 것으로 판단된다.

핵심용어 : 연계처리, 하수처리장, 상관성 분석, 요금 개선

### Abstract

Linked treatment refers to a system that relieves the burden of the business by linking high concentrations of wastewater such as human waste, manure, leachate, and other industrial wastewater to nearby municipal wastewater treatment plants(MWTPs). In 2018, 187 MWTPs, which are about 4.5% of the total domestic MWTPs, have implemented a linked treatment system, but local governments are having difficulties in operating sewage treatment due to lack of reasonable cost estimation standards. Therefore, we proposed an improvement plan to solve the problem in the calculation method that currently imposes linked wastewater. To this end, the effects and correlations of the linkage treatment system on the sewage treatment unit were analyzed, and among them, the main factors with the highest correlation were applied to the improvement plan. As a result, an improvement plan that improved three parts of the existing calculation method was presented, and the calculation method and the calculation case using the existing literature values were also presented. This can be used as a basis for future reference by local governments to implement linkage treatment, and to revise local sewerage ordinance and is believed to be helpful in operating a rational linkage system.

Key words : Linked treatment, MWTP, correlation analysis, cost improvement

<sup>†</sup> To whom correspondence should be addressed.  
Department of Civil Engineering, Seoul National University of Science and Technology  
E-mail: [kgil@seoultech.ac.kr](mailto:kgil@seoultech.ac.kr)

• **Jiwon Lee** Department of Civil engineering, Seoul National University of Science and Technology, Korea/ Ph.D. candidate ([abcjeewon@seoultech.ac.kr](mailto:abcjeewon@seoultech.ac.kr))  
• **Kyungik Gil** Department of Civil engineering, Seoul National University of Science and Technology, Korea/ Professor ([kgil@seoultech.ac.kr](mailto:kgil@seoultech.ac.kr))

## 1. 서 론

환경부에서 발간한 2018년 하수도통계에 따르면 국내 하수처리장 총개소 수는 4,111개소로 보고되고 있으며, 이 중에서 약 4.5% 수준인 187개소에서 연계처리 제도를 시행하고 있다. 연계처리란 분뇨, 가축분뇨, 음폐수, 침출수, 산업폐수인 고농도 폐수들(이하 연계처리수)을 인근 하수처리장으로 연계하여 처리하는 시스템을 말한다. 본래 연계처리 시스템은 국내 하수처리장의 낮은 C/N비를 개선시키고(Choi et al., 2012), 2012년 런던협약에 의해 해양투기가 금지된 이후 처치곤란한 고농도의 음폐수 등을 처리하기 위해 시행되었다. 연계처리수는 공공하수도 시설 운영관리 업무지침에 의하면 분뇨, 가축분뇨, 음폐수, 침출수 등을 연계처리하는 경우 총질소 및 총인의 오염부하량이 설계유입 오염부하량의 10%이내까지 전처리한 후 연계처리하여야 한다'고 명시되어 있다. 하지만 10%를 초과해서 들어오거나, 다양한 연계처리수가 혼합되어 들어오거나, 투입되는 시간이 균등하게 이루어지지 않고 짧은 시간 동안 집중적으로 투입되는 경우도 있어 국내 지자체에서 하수처리 운영에 난항을 겪고 있다(Hong et al., 2006).

또한, 연계처리수는 유입수와 병합되어 들어올 뿐만 아니라, 침사지, 1차침전지, 혐기소화조 등 하수처리장 마다 유입구가 다양하여 연계처리 유입부하량을 실시간으로 파악하기가 매우 힘들며, 지자체에서 필연적으로 발생하는 오염물질이기 때문에 지침상의 기준을 조금 초과하더라도 막을 수 없는 실정이다. 특히, 연계처리수의 특성상 유량은 작지만 농도가 매우 높고(Kim et al., 2019), 산업폐수의 경우는 중금속이나 독성물질 등이 포함되어 있기 때문에 미생물에 미치는 영향도 크게 된다(Im and Gil, 2018). 이에 따라 국내에서 음폐수(Park et al., 2016)와 슬러지탄화공정수(Han et al., 2019)가 하수처리장에 연계되었을 때 미치는 영향에 대한 연구도 이루어진바가 있다. 이러한 상황에서 하수처리장을 운영하는 지자체나 위탁업체 입장에서는 연계처리 비용이라도 합리적으로 받아서 하수처리장 운영이 원활하게 되도록 해야하지만, 비용산정기준이 적합하지 않게 되어 있어 이마저도 어려운 실정이다.

현재 국내 연계처리 비용 산정기준은 연계처리수 종류에 따라 크게 산업폐수와 비산업폐수(음폐수, 침출수, 분뇨, 가축분뇨)로 구분하여 부과하고 있다. 산업폐수의 경우 「물환경보전법」 별표 13(수질오염물질의 배출허용기준)을 기준으로 배출을 허용하고 있으며 기준 초과유무에 상관없이 발생량에 따라 하수도사용료를 지불하도록 되어 있다. 반면, 비산업폐수의 경우 공공하수처리시설의 설계유입오염부하량의 10%를 배출허용기준으로 삼고 있으며, 해당 부하량에 상응하는 농도를 초과할 경우에만 요금을 부과하도록 되어 있다. 이때의 부과 기준은 각 지자체의 하수도조례에 명시되어 있는 '수질하수도 사용료' 산식을 적용하게 되어 있다. 수질하수도 사용료는 수질초과농도에 시간당 폐수 배출

량과 조업시간, Kg 단가(유기물 및 부유물 250원, 총 질소 및 총 인 500원)을 곱하여 계산하는 방식이다. 지자체별로 계산하는 산식의 적용원리는 모두 동일하나 Kg부하에 단가를 적용하는 오염물질 항목은 지자체별로 다르다. 예를 들어 서울과 부산은 유기물, 부유물, 총질소, 총인을 모두 계산식에 넣게 되어 있는 반면, 광주나 울산은 유기물과 부유물질만 계산식에 넣도록 하고 있으며, 세종시와 제주시는 항목기준이 없어 연계처리에 대한 요금을 징수하지 않고 있다. 즉, 같은 부하로 연계처리수가 유입되더라도 지역에 따라 받을 수 있는 요금이 다르며, 받지 못하는 지역도 있는 실정이다. 따라서, 본 연구에서는 연계처리수가 발생한 만큼 합리적으로 부과할 수 있는 비용산정기준을 재확인하고자 하며, 이에 따른 요금개선안을 제시하여 연계처리 비용산정기준의 객관성과 적정성을 확보하고자 한다.

## 2. 연구방법

### 2.1 연계처리 현황

연계처리 비용산정 기준을 작성하기 위해 현재 국내 연계처리 현황에 대해 조사하였다. Table 1은 2018년 하수도통계에 의거하여 지역별, 연계처리수 종류별 평균 연계처리량을 정리하였다. 국내에서 연계처리를 시행중인 하수처리장은 총 187개소로 나타났으며, 이 중에서 가장 많이 시행중인 지역은 경기도로 187개소 중 40개소를 운영하고 있다. 평균 연계처리량을 종류별로 구분하였을 때, 분뇨가 가장 많이 발생하는 지역은 서울(2,901.7 톤/일)로 나타났으며, 축산의 경우 경상북도(118.7 톤/일), 침출수의 경우 대전(566.0 톤/일)이 평균적으로 가장 많이 연계되는 것으로 나타났다. 그리고 기타 연계처리수의 경우 대부분이 산업폐수이므로 공장단지가 많이 있는 울산(59,728.9 톤/일)이 가장 많이 발생하는 지역으로 조사되었다.

### 2.2 상관성 분석

연계처리와 하수처리비용간의 상관성을 분석하기 위해 본 연구에서는 대표적인 3가지 인자를 설정하였고, 각 인자에 따른 BOD제거단가의 변화를 분석하고자 하였다(Fig. 1). 3가지 인자는 첫째, '연계처리수 종류', 둘째, '연계처리 유입량', 셋째, '연계처리 유입부하'를 정하였다. BOD제거단가는 인건비, 전력비, 총인약품비, 처리장약품비, 슬러지처리비, 개보수비(기타)로 구성되어 있어 연계처리 여부에 따라 변할 것으로 판단하였다. 분석방법은 2017년 하수처리장 운영결과조사표(환경부)를 활용하였으며, 연계처리를 시행중인 하수처리장 187개소 중에서 BOD제거단가가 기재되어있는 하수처리장 183개소를 대상으로 상관성 분석을 실시하였다.

### 2.3 요금산정방안

현행 제도에서 연계처리수에 대한 부과는 공공하수처리

Table 1. Average linked wastewater flow rate by region

Region	Number of facilities	Average linked wastewater flow rate(Ton/day)			
		Human waste	Livestock	Leachate	Others (Industrial sewage)
Seoul	4	2,901.7	0.0	276.1	205.3
Busan	4	713.2	0.0	275.6	14,338.7
Daegu	3	702.0	0.0	401.1	131.6
Incheon	2	1,126.3	36.7	0.0	1,322.7
Gwangju	2	511.1	0.0	494.0	3,908.0
Daejeon	1	939.3	0.0	566.0	403.1
Ulsan	2	141.3	0.0	333.2	59,728.9
Sejong	2	33.8	0.0	0.0	0.0
Gyeonggido	40	120.1	66.1	1.0	299.2
Gangwondo	13	92.4	26.8	81.1	25.7
Chungcheong bukdo	13	113.2	17.5	56.4	424.2
Chungcheongnamdo	13	79.9	23.4	54.2	11.9
Jeollabukdo	14	60.2	33.7	104.7	3,996.5
Jeollanamdo	20	37.7	26.6	51.5	102.1
Gyeongsangbukdo	27	47.8	118.7	21.9	6.7
Gyeongsangnamdo	20	54.4	24.1	77.8	356.7
Jeju	7	90.9	21.1	136.5	10.6
Total	187	456.8	23.2	172.4	5,016.0

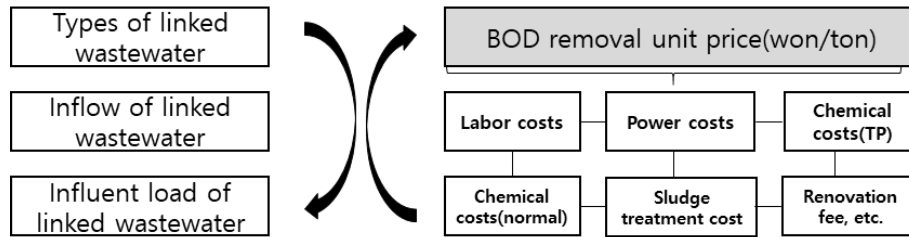


Fig. 1. Correlation analysis schematic

Linked wastewater	Criteria for calculating linked usage fee (Public sewerage facility operation management business guidelines)	Imposing(Sewerage Ordinance)
Human waste Livestock Leachate Others	<b>Design inflow water quality of public sewerage treatment facilities</b> (Total nitrogen and total phosphorus pollutant loads are pre-treated within 10% of the design influent pollutant loads)	Under Do not charge
		Over Charge

Water quality sewerage system usage fee formula
$\text{Pollution load}[\text{Excess conc.}(\text{mg/L}) \times \text{Outflow}(\text{m}^3/\text{hr}) \times 1/1000 (\text{kg/g}) \times \text{Working hours}(\text{hr}/\text{day}) \times 30 \text{ day}] \times \text{kg unit price}^*(\text{won}/\text{kg})$
*Kg unit price by water quality item (Organic & SS : 250won/kg, TN & TP : 500won/kg)

Fig. 2. Cost calculation of domestic linked wastewater

시설의 총질소 및 총인의 설계유입부하 10%를 기준으로 초과할 경우에만 수질하수도 사용료 산식을 적용하고 있으며, 주요문제점은 크게 세 가지로 정리할 수 있다. 첫째, 질소 및 인의 설계유입부하 10% 이내로 들어올 경우에는 부과할 수 없게 되어있다. 둘째, 유기물질의 경우 대부분

유입부하의 10%를 훨씬 초과하게 들어오지만 총 질소와 총인의 기준으로만 부과를 하기 때문에 합리적이지 못하다. 셋째, 지자체별로 수질하수도 사용료 산정기준이 달라 부과할 수 있는 금액이 지역별로 다르다는 점이다. 현재 물환경보전법에 의거한 수질하수도 사용료 산식은 아래 그림과

같다.(Fig. 2) 기본적인 산식구조는 수질항목별 오염부하량 (Kg)에 Kg단가를 적용하여 모두 더하는 방식이다. 이때 지역별 하수도조례에 따라 포함시키는 수질항목 개수가 달라진다. 예를 들어 서울과 부산의 경우는 유기물질, 부유물질, 총 질소, 총 인을 모두 포함시키지만, 다른 지역은 총 질소는 포함시키지 않는 식이다. 따라서 본 연구에서는 현행산정식을 근거로 하도 3가지 부분을 개선하고자 하였다. 첫째, 요금 산정 시 지역별로 상관없이 모든 수질항목을 포함시킬 수 있도록 제한하였다. 둘째, 2005년부터 유지된 수질항목별 단가에 대해서 소비자물가 지수 증가분을 고려하여 기본 단가를 상승시켰다. 셋째, 상관성 분석결과 가장 높은 영향을 주는 인자를 적용하여 개선안을 도출하고자 하였다.

### 3. 연구결과

#### 3.1 상관성 분석결과

##### 3.1.1 연계처리수 종류

연계처리수의 종류와 하수처리비용간의 상관성을 살펴보기 위해 연계처리수 종류별 BOD제거 단가를 분석하였고 그 결과는 Fig. 3에 표기하였다. 2가지 종류 이상의 연계처리수를 혼합하여 받는 처리장은 제외하였고, 단일종류의 연계처리수를 받는 하수처리장끼리만 분류하여 분석을 실시하였다. 먼저 분뇨만 연계처리하는 하수처리장 43개소를 대상으로 BOD제거 단가를 분석한 결과, 톤당 291-9,845원으로 중앙값 기준으로는 1,545원 정도로 나타났다. 가축분뇨만을 연계처리하는 하수처리장은 10개소로 분류되었으며, 톤당 873-4,759원 중앙값 기준으로는 2,432원으로 나타났다. 침출수의 경우는 15개소를 대상으로 분석한 결과 톤당 839-10,904원으로 가장 범위가 넓게 나타났으며, 중앙값 기준으로 가장 높은 처리단가인 2,573원으로 나타났다. 마지막으로 '기타' 분류에 해당하는 음폐수와 공장폐수 등을 연계처리하는 하수처리장 11개소를 분석한 결과 563-3,217원으로 중앙값 기준으로 1,605원으로 나타났다.

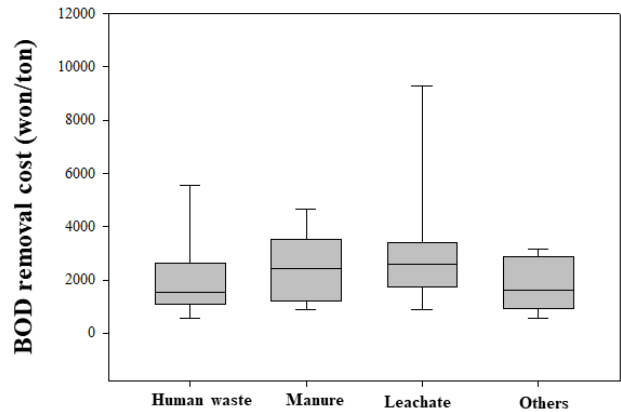


Fig. 3. Charges by type of linked wastewater

연계처리수 종류별로 BOD제거 단가를 분석한 결과 가축분뇨나 침출수를 처리하는 비용이 약 2,500원대로 비용이 형성된 것을 확인할 수 있었으며, 분뇨나 기타(산업폐수) 연계처리수를 처리하는 데는 약 1,500원대로 가축분뇨나 침출수보다 상대적으로 비용이 낮게 형성되는 것을 확인할 수 있었다. 본 연구진은 상기 결과가 연계처리수의 평균농도와 관련이 있을 것으로 판단하여 기존문헌들을 토대로 연계처리수 별 BOD 농도를 조사하였다. 아래 표는 연계처리수 종류별 BOD 범위와 중앙값을 분석한 결과이다. BOD처리 비용이 높게 형성되어 있던 가축분뇨나 침출수를 살펴본 결과 중앙값 기준으로 각각 24,625mg/L, 63,325mg/L로 BOD농도가 상당히 높은 것으로 나타났다. 상대적으로 BOD처리 비용이 낮게 형성되었던 분뇨나 산업폐수 등은 중앙값 기준으로 각각 7,494mg/L, 190-494mg/L로 가축분뇨나 침출수에 비해 확실히 농도가 낮은 것으로 확인하였다. 따라서 연계처리수 성분이 BOD제거 단가에 영향을 미친다고 할 수 있으며, 이는 연계처리수 농도와 밀접한 관련이 있다고 할 수 있다.

##### 3.1.2 연계처리 유입량

연계처리 유입량과 하수처리비용간의 상관성을 분석하기

Table 2. BOD concentration by type of linked wastewater

Linked wastewater	BOD concentration (mg/L)		Reference
	Range	Median	
Human waste	106 - 16,059	7,494	• Yoo et al., 2010 • Kim et al., 1991
Manure	10,400 - 59,875	24,625	• Ryu et al., 2017 • Lee et al., 2014 • Im and Gil, 2014 • Jeon and Na, 2004
Leachate	40,952 - 76,320	63,325	• Moon et al., 2009 • Yun et al., 2013 • Choi et al., 2014
Industrial sewage (Textile and dyeing)	5 - 1,300	190	• Ha and Jung, 2013 • Ahn et al., 2016 • Seo et al., 2014
Industrial sewage (Plastic)	33 - 1,726	494	• Oh et al., 2017

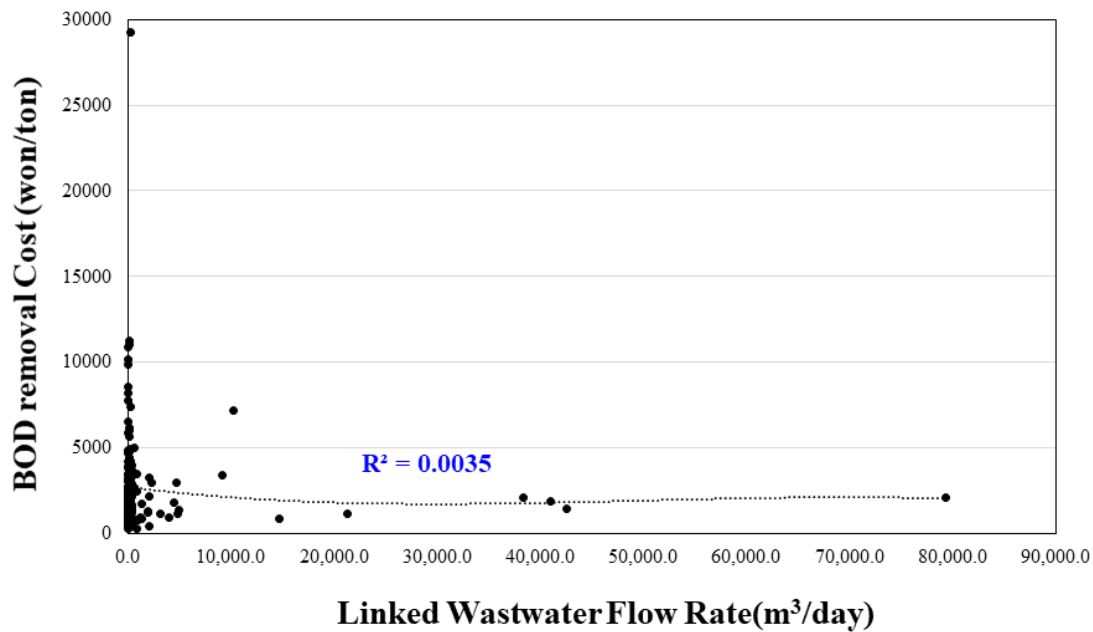


Fig. 4. Charges by linked wastewater flow rate

위해 연계처리유량이 낮은 하수처리장부터 높은 순으로 분류하고, 연계처리유량이 증가함에 따라 BOD제거 단가가 어떻게 변하는지 경향을 살펴보았다. 해당 결과는 아래 Fig. 4에 나타냈으며, 그림에서 알 수 있듯이 큰 상관성을 찾기 어려웠고 상관성을 나타내는 지표 R값도 0.0035로 매우 낮게 나타났다. 하지만 20,000톤/일 이상 연계처리를 유입하는 하수처리장은 모두 BOD제거 단가가 낮은 것으로 나타났다. 본 연구진이 판단했을 때 연계처리량이 BOD제거 단가에 미치는 영향이 낮게 나온 원인은 유입수 대비 연계처리 유량이 매우 작기 때문으로 판단하였다. 연계처리제도를 실시중인 183개소 하수처리장의 유입수 대비 연계처리 유량을 분석한 결과 평균 0.12%로 나타났다. 따라서 본 연구진은 농도와 유량을 같이 고려할 수 있는 부하에 따른 영향을 살펴보고자 하였다.

### 3.1.3 연계처리 유입부하

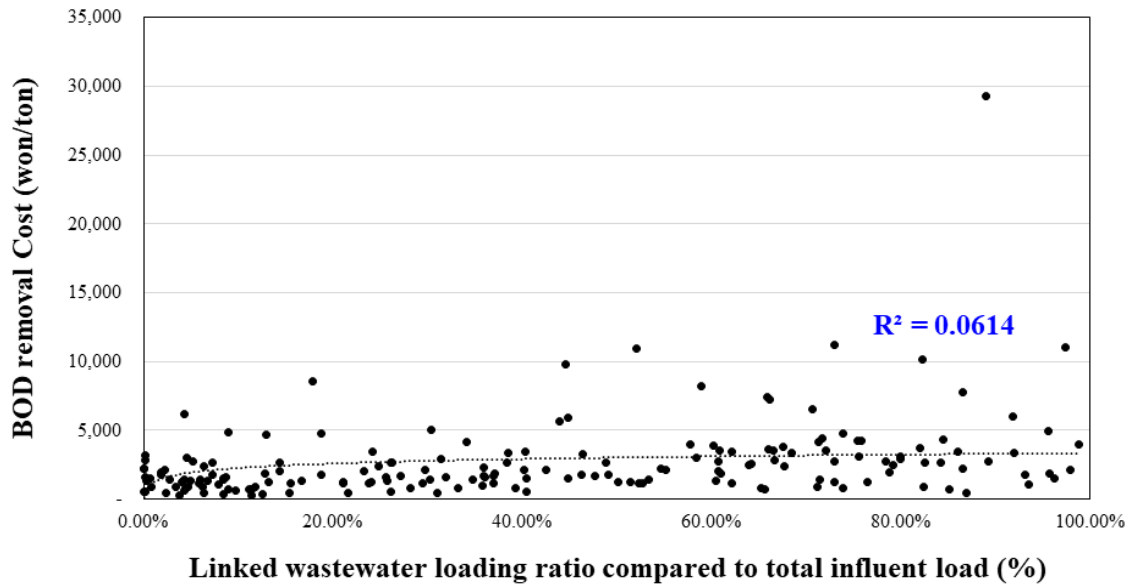
앞서 연계처리수 종류가 BOD제거 단가에 미치는 영향을 살펴본 결과 연계처리수 농도와 연관이 있는 것으로 나타났다. 연계처리수 유량은 BOD제거 단가에 큰 영향을 미치지 못하는 것으로 나타났다. 따라서 본 연구진은 연계처리 유입부하와 하수처리비용간의 상관성 분석을 실시하고자 하였다. 전체유입부하는 2017 하수도운영결과조사표를 기준으로 계산하였으며, 연계처리 부하는 유입량 자료는 있으나 각 처리장의 연계처리수 농도를 알 수가 없기 때문에 본 연구에서 문헌조사를 통해 확보한 Table 2의 농도값(중앙값)을 활용하여 구하였고, BOD기준으로만 계산하였다. 첫 번째 분석은 Fig. 5 (a)에 나타내었는데 각 처리장의 전체유입부하대비 연계처리 유입부하를 낮은 순서부터 차례대로 분류화하였고, 이때의 BOD제거 단가 경향을 살펴보

았다. 물론 유입량과의 상관성( $R=0.0035$ )보다는 올라갔으나, R값이 0.0614로 여전히 상관성이 별로 없는 것으로 보였다. 이에 두 번째 분석은 183개소의 유입부하대비 연계처리수부하를 11개의 구간으로 계급화하여 각 부하구간별 평균 BOD제거단가와 비교하였다. 그 결과는 Fig. 5 (b)에서 확인할 수 있듯이 R값이 0.8956으로 상관성이 매우 올라가는 것을 확인할 수 있었다.

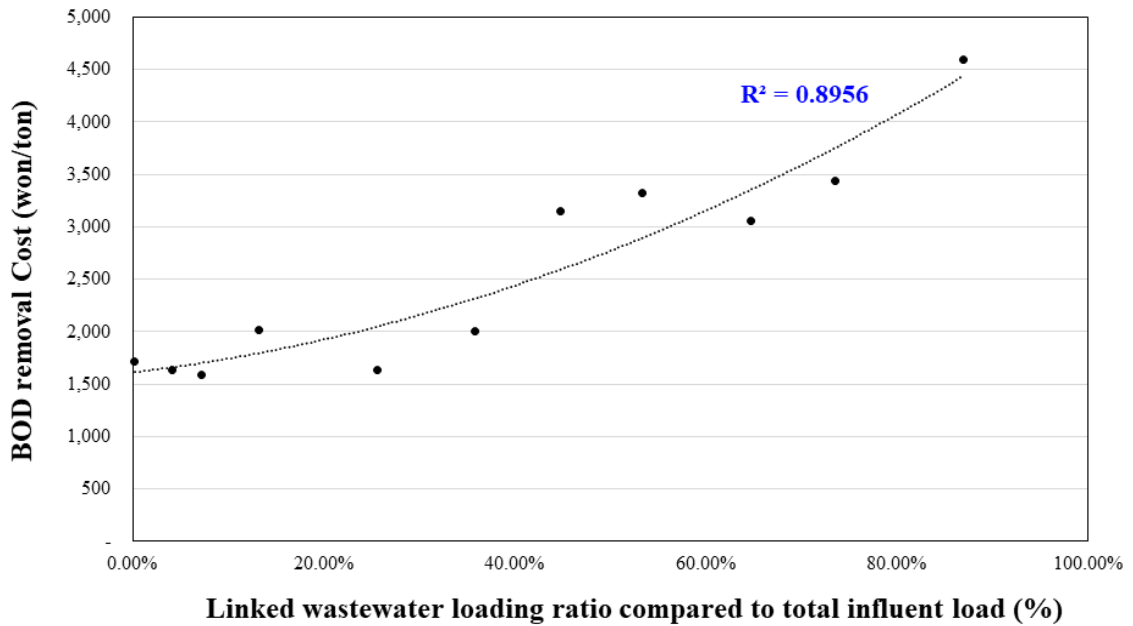
### 3.2 요금 개선안

본 연구진은 현행 수질하수도 사용료 산식에 3가지 부분을 개선한 개선안을 제안하고자 하였다. 첫째, 지역별 하수도조례에 수질하수도 사용료 산식을 적용할 때 포함되는 수질항목을 모두 포함시키는 것으로 제안하는 것이다. 둘째, '기본부과금액의 증액'으로 기존 유기물질 및 부유물질의 kg단가가 250원, 총질소 및 총 인이 500원이었는데, 이를 각각 350원과 650원으로 증액시켰다. 수질하수도 사용료 산식이 적용된 2005년 부터 소비자물가는 약 33%가 증가하였기 때문에, 기본단가도 이에따라 약30%정도 인상시킨 금액으로 제안하였다. 셋째, '연계처리부하에 따른 부과계수'이다. 앞서 분석한 상관성 분석결과에 따르면 유입부하대비 연계처리부하의 비율에 따라 BOD제거단가 또한 밀접하게 상승하는 것을 확인하였다. 따라서 유입부하 대비 연계처리부하비율에 따라 차등부과 할 수 있는 시스템을 제안하였다. 해당 세 가지 개선안을 적용한 표를 아래 Table 3에 정리하였으며, 부과계수(b)의 경우 각 지자체 예산과 지역특성에 따라 유동적으로 선택할 수 있도록 3가지안(Case 1, 2, 3)을 제시하였다.

예를 들어, 현실화율이 국내평균보다 높은 경우는 부과계수가 낮게되어 있는 Case 1을 선택할 수 있으며, 평균적인



(a) Before classifying the loading ratio



(b) After classifying the loading ratio

Fig. 5. Charges by linked wastewater loading ratio compared to total influent load

Table 3. Unit price according to linked load ratio compared to design inflow load

Pollutant	Basic (₩)	Linked wastewater loading ratio compared to total influent load (%)						
		0~5	5~10	10~20	20~30	30~40	40~50	50over
Imposition factor(b) : Case 1/2/3 (Unit: 100₩)								
BOD, COD	350	9/11/12	10/12/13	11/13/14	12/14/15	13/15/16	14/16/17	15/17/18
SS								
TN								
TP	650							

부과계수를 활용하고 싶은 경우는 Case 2, 현실화율이 국내평균보다 낮은 지역은 부과계수가 높은 Case 3을 활용할 수 있다. Table 4는 한 하수처리장을 예시로 실제 부과금액

산을 적용해보았다. 연계처리수 종류는 분뇨와 침출수가 혼합으로 들어온다고 가정하였고, 유량과 연계처리농도 및 설계유입농도는 예시로 적용하였다. 평균적인 사례를 적용하

Table 4. Example calculation of linked wastewater charge

	Calculation
1. Type	Human waste, Leachate
2. Flow	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Human waste = 1,315,846 m<sup>3</sup>/year</li> <li>• Leachate = 18,602 m<sup>3</sup>/year</li> <li>Sub total = 1,334,448 m<sup>3</sup>/year</li> </ul>
3. Excess concentration	C(Linked wastewater) - C(Design influent) <ul style="list-style-type: none"> <li>• BOD = 7,969 - 141 = 7,795mg/L</li> <li>• SS = 2,866 - 133 = 2,733mg/L</li> <li>• TN = 2,094 - 37 = 2,057mg/L</li> <li>• TP = 300 - 4 = 296mg/L</li> </ul>
4. Linked wastewater loading ratio compared to total influent load	<ul style="list-style-type: none"> <li>• BOD = 10,713,910(kg/y) ÷ 100,610,847(kg/y) = 10.65%</li> <li>• SS = 3,853,189(kg/y) ÷ 76,903,693(kg/y) = 5.01%</li> <li>• TN = 2,815,275(kg/y) ÷ 21,394,261(kg/y) = 13.16%</li> <li>• TP = 403,335(kg/y) ÷ 2,428,538(kg/y) = 16.61%</li> </ul>
5. Imposition factor	• Case 2
6. Calculation	Excess C. × Flow/1000 × {Basic + (Ratio × factor)} <ul style="list-style-type: none"> <li>• BOD = 7,795 × 1,334,448/1000 × {350+(0.1065×13)}= 3,665,109,356</li> <li>• SS = 2,733 × 1,334,448/1000 × {350+(0.0501 × 12)}= 1,278,658,839</li> <li>• TN = 2,057 × 1,334,448/1000 × {650+(0.1316 × 13)}= 965,431,914</li> <li>• TP = 296 × 1,334,448/1000 × {650+(0.1661 × 13)}= 139,101,729</li> </ul>
Total charge(₩)	6,038,301,838

기 위해 Case 2의 부과계급을 적용하였다. 최종계산은 초과농도(연계처리농도에서 설계유입농도를 차감한 값)에 유량과 부하단가(기본부과요금에 부하별 차등구간을 적용한 값을 더한 값) 곱해준다.

### 4. 결 론

본 연구에서는 합리적인 연계처리 요금 개선안을 제안하기 위하여 3가지 개선안을 적용하였으며, 적용인자를 찾기 위해 연계처리 제도가 BOD제거 단가에 미치는 상관성을 분석하였다. 연구결과를 정리하면 다음과 같다.

1) 연계처리수 종류에 따른 상관성을 분석한 결과 가축분뇨와 침출수를 연계처리하는 하수처리장은 비교적 높은 처리단가를 형성하였으며, 분뇨나 기타(산업폐수)연계처리수를 처리하는 하수처리장은 상대적으로 처리단가가 낮게 나타났다. 이는 연계처리 농도와도 밀접한 관련이 있는 것으로 나타났다.

2) 연계처리수 유입량과 BOD제거단가와와는 큰 상관성이 없었으나, 농도와 함께 고려된 연계처리 부하와의 상관성은 매우 높은 것으로 나타났다. 특히, 부하구간을 계급화하여 분류한 후에 상관성을 분석을 실시한 결과 R값이 0.8956으로 매우 높은 상관성을 보였다. 따라서 연계처리 부하를 개선안에 적용시키고자 하였다.

3) 본 연구진이 제안하는 개선안은 지역별로 차이점이 없도록 수질항목을 모두 포함시켰으며, 소비자물가지수 증가에 따른 부하기본단가 상승, 부하구간별 적용가능한 부과계수 도입을 적용시켰다. 단, BOD항목만을 활용하여 도출한 점과 지역별 하수도조례를 수정해야 된다는 점에서 한계점

이 있으며, 경제성 평가 등을 통한 후속연구를 통해 더 실용성이 높은 수정안을 도출할 수 있을 것으로 판단된다.

### 감사의 글 (사사)

이 연구는 서울과학기술대학교 교내 학술연구비 지원으로 수행되었습니다.

### References

Choi, YI, Ko, MS, Yoon, TK, Han, YR, (2012). A Study on Improvements of Biological Treatment by Combined with Food Wastewater and Washing Wastewater In Leachate Treatment Plant. *J. of Koren Society of Environmental Technology*, 13(1), pp. 37-45 [Korea literature]

Kim, SJ, Lee, JW, Gil, KI, (2019). Analysis of Proper Linked Treatment Load Using GPS-X Simulation. *J. of Wetlands Research*, 21(3), pp. 244-250 [DOI <https://doi.org/10.17663/JWR.2019.21.3.244>] [Korea literature]

Im, JY, Gil, KI, (2018). Analysis on effect of heavy metal and Retention time to nitrification using industrial wastewater. *J. of Wetlands Research*, 20(4), pp. 390-397 [DOI <https://doi.org/10.17663/JWR.2018.20.4.390>] [Korea literature]

Hong, SI, Lee, IK, Moon, CH, Kim, HW, (2006). Modeling performance of a wastewater treatment plant receiving effluent from a public Livestock wastewater treatment facility. *Korean Society Of Environmental Engineers*,

- 12, pp. 459–464 [Korea literature]
- Park, JH, Kang, SY, Kim, SH, (2016). Feasibility Study on the Treatment of Food Waste Leachate in Municipal Wastewater Treatment Facility. *J. of the Korea Organic Resources Recycling Association*, 24(2), pp. 41–49 [<http://dx.doi.org/10.17137/korrae.2016.24.2.41>] [Korea literature]
- Han JE, Park, SH, Lee, WT, (2019). Influence of Effluent from a Sludge Carbonization Facility on Wastewater Treatability. *J. of the Korea Organic Resources Recycling Association*, 27(1), pp. 57–64 [<https://doi.org/10.17137/korrae.2019.27.1.57>] [Korea literature]
- Yoo, KY, Jeong, JA, Youn, HH(2010). A Study on Optimum Business Size of Solid Waste Hauler on the Basis of Collection Cost in Seoul, *Seoul Studies*, 11(1), pp. 125–139 [Korea literature]
- Kim, DH, Park, HS, Park, WC(1991). Pollution Reduction Effects and Economic Analysis of Improved Septic Tanks, *J. of Korea Solid Wastes Engineering Society*, 8(2), pp.123–133. [Korea literature]
- Ryu, HD, Ahn, KH, Chung, EG, Rhew, DH, Kim, YS(2017). Recovery and Recycling of Nitrogen and Phosphorus as Struvite from Livestock Excreta. *J. of The Korean Environmental Sciences Society*, 26(1), pp.119–131. [Korea literature] [<https://doi.org/10.5322/JESI.2017.26.1.119>]
- Lee, YH, Oa, SW, Kim, YS, Park, JH(2014). Assessment of TOC Analysis Method for Livestock Manure including High Strength Solid Organics. *J. of Korean Society on Water Environment*, 30(5), pp.512–516. [Korea literature]
- Im, JY, Gil, KI(2014). Characteristic of foaming in nitrification reactor using anaerobic digester supernatant and livestock wastewater, *J. of Wetlands Research*, 16(4), pp.433–441. [Korea literature]
- Jeon, BG, Na, SJ(2004). The Analysis of Municipal Solid Waste Data Base for the Optimum Solid Waste Management in Gwangju, *J. of Korean Society of Environmental Technology*, 5(4), pp.308–316. [Korea literature]
- Moon, TS, Ha, JH, Choi, MW, Park, SH, Cho, HG, Kang, DH(2009). A Study on Biological Treatment of Supernatant from Foodwaste with Sewage, *J. of Korean Society of Environmental Technology*, 10(4), pp.229–235. [Korea literature]
- Yun, YM, Lee, EJ, Shin, HS, Hub, KY, Shin, DH, Lee, CK, Jeong, DY, Cho, SK(2013). Original Paper : Influence of Performance and Microbial Community by Internal pH Control on Anaerobic Digestion of Food Waste Leachate. *J. of Korean Society of Environmental Engineers*, 35(8), 571–578. [Korea literature]
- Choi, YI, Han, YR, Kim, JB, Sung, NC, Jung, BG(2014). Application of Cyclonic-DAF Process In Food Wastewater Treatment, *J. of Korean Society of Environmental Technology*, 15(2), pp.147–154. [Korea literature]
- Ha, DH, Jung, JY(2013). Evaluation of Organics and Inorganics Removal of Physicochemical Pretreatment Processes for Reuse of Metal Industry Wastewater. *J. of Korean Society of Environmental Engineers*, 35(3), pp.226–232. [Korea literature]
- Ahn, TU, Kim, JH, Yeom, IT, Yu, SJ, Son, DH, Kim, WK(2016). Original Paper : Study on Discharge Characteristics of Water Pollutants among Industrial Wastewater per Industrial Classification and the Probability Evaluation. *J. of Korean Society of Environmental Engineers*, 38(1), pp.14–24 [Korea literature]
- Seo, JH, Lee, SK, Park, DH, Kim, NG, Park, MS(2014). Original Paper : Optimization of Manufacturing Method for a Fiber Type of Biosorbent from Sludge Waste. *J. of Korean Society of Environmental Engineers*, 36(9), pp.641–647 [Korea literature]
- Oh, EH, Park, GH, Lee, YW, Kim, JL, Mun, H, Park, CW, Song, SR, Heo, DH, Yang, SI(2017). Characteristics of Organic Matter Discharged from Each Process of Wastewater Treatment Facilities in Yeosu National Industrial Complex. *J. of the Korean Society for Environmental Analysis*, 20(4), pp.279–290 [Korea literature]