

Comparison of the unit mass discharge from wastewater treatment facility in the industrial park with the estimation methods

산업단지 폐수발생량 원단위 산정 비교연구

Joon-Yup Kim · Kyoung-Sik Choi*

김준엽 · 최경식*

신라대학교 환경공학과

Abstract : The predictive capacity of wastewater treatment facility in the industrial park was estimated by the traditional method and on-the-spot survey such as certification of wastewater report and the invoices of water supply and ground water supply. The ratios of a converted wastewater to supplied industrial water between traditional method and on-the-spot survey in the estimation methods were different. By using traditional method, the business type of clothes, accessory and fur production had 77.18 % of waste ratio of wastewater and 10.72 m³/day · 1000 m² unit mass of wastewater as the highest among 9 business types. With the respect to the on-the-spot survey, food manufacturing business type had 75 % of waste ratio of wastewater and 8.35 m³/day · 1000 m² unit mass of wastewater as the highest values. The amount of wastewater from on-the-spot survey method was 541 m³/day less than one from traditional method.

Key words : wastewater, industrial park, on-the-spot survey, estimation methods, unit of mass

주제어 : 공장폐수, 산업단지, 현장조사, 영향평가, 원단위

1. 서론

우리나라는 산업발전으로 환경문제와 더불어 하·폐수 배출량 증가 및 미처리 상태 증가 등으로 수질 악화를 초래하게 되었다. 수질 악화 방지를 위하여 방류수 수질 기준을 설정하고, 배출원별 배출허용기준을 설정하고 기준치 이하로 처리할 수 있도록 하는 하·폐수 처리시설을 설계하도록 하였다(An et al., 2011). 특히 공장폐수는 오염 부하량이 매우 크므로 미처리 상태로 수계에 유입될 경우에 토양 및 지하수 오염을 유발하며, 생태계를 파괴시키므로 특별 관리를 해야 한

다(Kim et al., 2012). 산업단지 조성은 집단적인 환경오염방지 시설의 설치 및 운영을 통하여 산업입지와 관련된 오염을 최소화할 수 있다는 장점이 있으며 또한 NIMBY현상에 따른 어려움도 해결할 수 있다(Korea Industrial Complex Corp, 2011). 그러나 산업단지 입주 전 환경영향 평가법에 따라 폐수발생량을 예측 조사하고 수환경 분야에 대한 환경영향을 피하거나 제거 또는 감소시키기 위해 폐수종말처리시설의 규모를 예측·설계해야 한다. 폐수처리시설 설계 시 정확한 처리용량 산정은 과다 또는 과소 설계를 사전에 방지할 수 있게 되므로 입주 업체들의 경제적 불이익을 줄일 수 있게 한다. 그러므로 정확한 폐수 발생량 산정은 산업 단지 내 폐수처리시설 설치 운영

• Received 07 May 2014, revised 22 May 2014, accepted 30 May 2014.

*Corresponding author: Tel : +82-51-999-5256 Fax : +82-51-999-5834 E-mail : kschoi@silla.ac.kr

에 매우 중요하며 입주 업체들에게 불필요한 경비를 줄일 수 있게 해준다.

그러나 입주업체가 확정되지 않은 상태에서 정확한 폐수발생량을 추정하는 것은 매우 어려운 일이기 때문에 여러 자료들을 검토하고 합리적인 배출량 산정을 적용해야 한다. 용수사용에 따른 원단위를 산출하고 공장 폐수량을 산정하는 방법들로서는 과거의 업종별 공장부지 면적당 용수 사용, 종업원당 용수 사용, 제품 출하액 당 용수 원단위 또는 사용 용수의 회수율 및 폐수화율에 따른 공장폐수 원단위 산정 방법들을 사용하고 있다(Kim, 2004). 특히 폐수 발생량은 계절별 영향, 사용원료 및 생산 공정에 따라 변화폭이 크므로 유사한 특성을 갖는 기존산업단지의 폐수처리시설 운영 자료를 참고로 폐수발생량을 추정한 후 타 방법에 의한 추정치와 비교하여 원단위를 설정하고 폐수발생량을 산정하는 것이 보다 정확한 방법이다(Kim, 2012). 폐수종말처리장에 대한 설계를 계획할 경우 산업폐수 발생량과 생활오수 그리고 지하수 유입을 고려하여 폐수종말처리장의 용량을 예측한다(Ministry of Environment, 2003). 본 연구에서는 용수 사용 원단위 방법을 통한 폐수발생량과 입주예정 업체 20곳을 대상으로 현장조사를 실시하여 산정된 폐수원단위를 적용한 폐수발생량을 예측 비교 분석하였다.

2. 연구방법

본 연구 지역으로는 2013년 8월 준공을 마치고 2014년 1월부터 입주를 하고 있는 부산의 B 산업단지를 대상으로 폐수발생량을 산정을 하였다. 산업단지 총 부지면적은 868,395.2 m²이며, 입주예정 업종은 식료품 제조업, 의복 의복액세서리 및 모피제품제조업, 운송관련 서비스업 등 총 9개 업종이었다. 입주할 업체 수는 총 71개이며 입주가 확정된 업체는 66개 이고 5개소는 미분양 되었지만 분양계획에 따라 업종을 분류하였다. 가장 많은 부지 면적을 차지하

는 업종은 기타 운송장비 제조업으로 38.8 %이며, 가구제조업이 0.4 %로 가장 적은 부지를 차지하고 있는데 업종별 부지면적을 Table 1에 나타내었다.

Table 1. Site Area of Industrial classification in Industrial Park

Industrial Classification	Site Area(m ²)	Ratio(%)
Food manufacturing	9,893.3	1.1
Clothes, Accessory and Fur production	44,048.0	5.1
Primary metal manufacturing	140,525.3	16.2
Metalworking : except machinery	163,981.8	18.9
Electric device manufacturing	74,402.6	8.6
Other Machinery and equipment	79,662.6	9.2
Transportation equipment manufacturing	336,773.0	38.8
Furniture manufacturing	3,395.1	0.4
Service industry for storehouse and transportation	15,713.5	1.8
Total	868,395.2	

폐수종말처리장의 계획 수량을 산정하기 위해서 공업폐수 및 오수를 산정하고 지하수에서 유입되는 양을 반영하여 최종 폐수 발생량을 산정한다. 공업폐수발생량을 산정을 위해서는 용수 사용량에 따른 폐수발생량을 고려해야 한다. 용수 공급량에 따라 업종별 용수 원단위를 산정하고 계산된 폐수화율을 적용하여 폐수 원단위를 설정한다. 업종별 폐수 원단위를 부지면적에 비례하여 폐수 발생량을 산정하는데 각각의 관계식을 (1)에서 (4)까지 나타내었다.

$$\text{Unit Mass of Industrial water} \quad (1)$$

$$(\text{m}^3/\text{day} \cdot 1000 \text{ m}^2) = \frac{\text{Water for Living}(\text{m}^3/\text{day})}{\text{Site Area}(1000 \text{ m}^2)}$$

$$\text{Waste Ratio}(\%) = \frac{\text{Wastewater of on the Spot Survey}(\text{m}^3/\text{day})}{\text{Industrial water supply}(\text{m}^3/\text{day} \cdot 1000 \text{ m}^2)} \times 100 \quad (2)$$

$$\text{Unit Mass of Wastewater}(\text{m}^3/\text{day} \cdot 1000 \text{ m}^2) = \text{Unit Mass of Industrial water} \times \text{Waste Ratio} \quad (3)$$

$$Wastewater(m^3/day) = \text{Site Area} \times \text{Unit mass of wastewater} \quad (4)$$

식 (1)부터 (4)까지의 관계식들은 기존 원단위 방법을 통한 폐수 발생량 산정방법이며 본 연구의 현장조사에서 시행된 방법은 직접 폐수발생량 신고서로 원단위를 산정하여 발생량을 산출하여 비교하였다.

3. 연구결과 및 고찰

3.1 공업용수 및 생활 용수량 산정

상수도 수요량 예측 업무 편람의 제9차 한국 표준산업분류체계에 따른 업종별 공업용수 원단위를(Ministry of Environment, 2008) 적용하여 부지면적을 고려한 공업용수량 산정을 식 (5)를 이용하여 계산하였다. 산정된 공업용수량 결과는 Table 2에 나타내었다.

$$\text{Industrial water supply} = \text{Site Area}(1000 \text{ m}^2) \times \text{Unit Mass of Industrial water supply} (m^3/day \cdot 1000 \text{ m}^2) \quad (5)$$

의복, 액세서리 및 모피제품 제조업이 11.3 m³/day · 1000 m² 으로 공업용수 원단위가 가장 높으며 창고 및 운송관련 서비스업이 0.18 m³/day · 1000 m² 으로 가장 낮다. 공업용수의 총량은 4,410 m³/day으로 나타났다.

생활용수량 산정은 산업시설과 지원시설로 구분하고 시설별 인구수를 추정한다. 인구 당 용수 사용량을 적용하는데 부지면적 당 종사자수 원단위는 유사 산업단지 및 입주 예정 업체들의 설문조사를 통하여 산출할 수 있으나 본 연구에서는 산업단지개발 업무편람(Korea LH, 2011)을 이용하여 적용하였다.

생활용수량 산정을 위해서는 산업지구의 업종별 종업원수를 식 (6)과 같이 계산하고 산출된 종업원 수를 가지고 식 (7)과 (8)을 이용하여 지원시설의 상근인구와 상주인구를 산출한다. 산업 및 지원 시설용지의 인구수를 Table 3에 나타냈다.

$$\text{Population} = \text{Site Area}(1000 \text{ m}^2) \times \text{Unit mass of Population/site area}(person/1000 \text{ m}^2) \quad (6)$$

$$\text{Settled Population in facilities} = \text{Employess No. in industrial park} \times \text{Employee No. Ratio}(5 \%) \quad (7)$$

$$\text{Employee No. in Supporting facilities} = \text{Employee No.} \times \text{Settled Population Ratio}(30 \%) \times (1 + \text{Supporting Ratio}) \quad (8)$$

가정용수량 원단위를 적용하여 상주인구 용수 원단위를 218 ℓ /인 · day 로 하였고 상근인

Table 2. Unit Mass of Industrial water supply

Class	Unit Mass of Industrial water supply (m ³ /day · 1000 m ²)	Industrial water supply (m ³ /day)
Food manufacturing	11.13	110
Clothes, Accessary and Fur production	13.90	612
Primary metal manufacturing	3.66	514
Metalworking : except machinery	6.47	1,061
Electric device manufacturing	6.24	464
Other Machinery and equipment	4.95	394
Transportation equipment manufacturing	2.89	973
Furniture manufacturing	2.18	7
Service industry for storehouse and transportation	0.18	3
Total		4,140

Table 3. Estimation of Population in the Industrial Park

	Total Population	Employees No. in Industrial Park	Supporting facilities		Water supply for Living (m ³ /day)
			Settled Population	Employee Number	
Industrial Park	5,722	5,226	235	261	649

Table 4. Estimation of waste water based on traditional method and on-the-spot- survey

Class	Traditional Method			On the Spot Survey		
	Waste Ratio(%)	Unit mass of waste water (m ³ /day · 1000 m ²)	Waste water	Waste Ratio(%)	Unit mass of waste water (m ³ /day · 1000 m ²)	Waste water
Food manufacturing	58.68	6.53	65	75.00	8.35	83
Clothes, Accessary and Fur production	77.10	10.72	472	56.03	7.79	343
Primary metal manufacturing	32.34	1.18	166	26.22	0.96	135
Metalworking : except machinery	65.14	4.21	690	31.50	2.04	334
Electric device manufacturing	31.64	3.85	286	11.77	0.73	55
Other Machinery and equipment	7.22	0.36	29	3.34	0.17	13
Transportation equipment manufacturing	7.22	0.21	71	30.95	0.89	301
Furniture manufacturing	65.50	1.43	5	65.60	1.43	5
Service industry for storehouse and transportation	-	-	0	-	-	0
Total			1,784			1,269

구의 용수 원단위는 부산시 기초가정용수량 원단위의 50 %인 109 ℓ /인 · day 로 적용하였다 (Busan, 2005). 산정된 인원수 및 계산 된 생활 용수량 649 m³/day를 Table 3에 나타냈다. 산업단지에서 발생되는 총 용수량은 공업용수량 4,140 m³/day 와 생활용수량 649 m³/day를 합하여 4,789 m³/day로 산정되었다.

3.2 산업 폐수발생량 산정

기존문헌을(Ministry of Environment, 2012) 참고로 식 (2)를 이용하여 폐수화율을 계산하고 식 (3)과 (4)를 이용하여 폐수발생량을 산정하였다. 폐수화율 및 폐수원단위가 가장 큰 업종으로는 의복, 의복 액세서리 및 모피제품 제조업으로서 폐수화율이 77.18 % 이고 폐수 원단위는 10.72 m³/day · 1000 m² 으로 계산되었다. 다음으로 폐수원단위가 큰 업종으로는 가구 제조업과 금속가공제품제조업으로 나타났지만

부지면적이 가장 많은 금속가공제품제조업의 폐수 발생량이 가장 많이 배출되는 690 m³/day로 Table 4에 나타났다.

본 연구에서는 정확한 폐수 발생량을 산정하기 위하여 입주 예정 업체 20개를 방문조사 하였다. 20개 업체들의 업종은 가구제조업 그리고 창고 및 운송관련서비스업을 제외한 7개 업종들이었다. 조사된 항목은 일 폐수 발생신고 증명서 및 허가증으로 일 폐수 발생량을 그리고 신고 증명서 및 허가증이 없는 경우는 연간 수도 사용량 및 지하수 사용량을 이용하여 폐수발생량을 산정하였다. 즉 폐수발생량을 확보한 업체의 경우는 폐수 원단위를 산정한 후 입주 예정인 부지면적을 곱하여 폐수량 발생을 산정하였고 수도 사용량을 확보한 경우는 공업용수 원단위를 산정하고 오수전환율을 적용하여 폐수발생량을 산정하였다. 조사를 한 20개 업체 이외의 나머지 51개 업체의 경우는 기존 문헌(Ministry of Environment, 2012)의 원단위 방식을 적용하여

Table 5. Comparison of waste water between traditional method and on the site survey

Class	Traditional Method			On the Spot Survey		
	Waste water (m ³ /day)	Ground water (m ³ /day)	Total (m ³ /day)	Waste water (m ³ /day)	Ground water (m ³ /day)	Total (m ³ /day)
Total	2,281	114	2,395	1,789	89	1,854
1. Industrial wastewater	1,784	89	1,873	1,269	63	1,332
Food manufacturing	65	3	68	83	4	87
Clothes, Accessary and Fur production	472	24	496	343	17	360
Primary metal manufacturing	166	8	174	135	7	142
Metalworking : except machinery	690	35	725	334	17	351
Electric device manufacturing	286	14	300	55	3	58
Other Machinery and equipment	29	1	30	13	1	14
Transportation equipment manufacturing	71	4	75	301	15	316
Furniture manufacturing	5	0	5	5	0	5
Service industry for storehouse and transportation	0	0	0	0	0	0
2. Sewage	497	25	522	497	25	522
Employment Number	458	23	481	458	23	481
Settled Population	39	2	41	39	2	41

전체 폐수발생량을 산정하였다. 용수사용 원단위 방식과 20개 현장조사결과를 이용한 방식과의 비교는 Table 4에 나타냈다. 2개 업종에 대해서는 현장조사가 불가능하여 제외하고 폐수화율을 비교해보면 금속가공제품 제조업이 가장 많은 33.6 % 차이로서 실제 발생량보다 과대평가되어지는 것으로 나타났으며 기타운송장비 제조업의 경우는 오히려 23.7 % 과소평가 되는 것으로 나타났다. 현장조사를 통해 폐수발생량을 조사한 경우 획일적인 원단위를 적용하여 산정한 값과 많은 차이가 나는 결과를 나타냈다.

3.3 지하수 유입량 및 산업단지 폐수 발생량

지하수량은 지형, 지질, 관거의 규격과 재질, 지하수위 등에 따라 다르며, 하수관거는 절대 수밀성의 유지가 곤란하므로 포함시켜 산정하여야 한다(Kim, 2010). 본 연구에서도 지하수의 유입을 완전 배제하기 어렵기 때문에 지하수 유입량을 고려하였다. 폐수종말처리시설 설치 및 운영관리 지침에 따라 일 최대 오·폐수발생량의 5 %를 적용하였다(Ministry of Environment,

2003). 지하수 발생량은 115 m³/day로 산정되었다. 폐수 종말처리장의 계획 수량에는 계획 일 평균수량, 계획 일 최대수량, 계획 시간 최대수량이 있고 산정 시 공장폐수, 공장오수 및 생활오수에 대한 각각의 침투율을 고려하여 산정한다(KONETIC 2013). 그러나 본 논문에서는 일 최대 폐수 발생량만을 고려하였다. 산업단지 폐수 총 발생량은 Table 5와 같이 나타났다. 기존 용수사용 원단위 방식을 통한 폐수발생량은 2,395 m³/day이며 현장조사를 통한 폐수 발생량은 1,854 m³/day로서 두 방법에 의해 계산된 폐수 발생량의 차이는 541 m³/day로 나타났다.

3.4 고찰

산업단지 조성을 위한 영향평가서들은 일반적으로 용수사용 원단위를 적용한 폐수 발생량 방법을 채택하고 있다. 그러나 이런 용수사용 원단위를 적용한 산업폐수 발생량과 본 연구에서 수행한 현장조사를 통한 산업폐수 발생량을 비교할 경우 용수사용 원단위 방법이 금속가공제품 제조업은 356 m³/day 과대평가 되었고 기타운

송장비 제조업은 230 m³/day 과소평가 되었다. 그리고 총 폐수 발생량은 541 m³/day의 차이를 보였는데 이는 처리장 설계에 심각한 영향을 주는 규모로 판단된다.

실제로 잘못된 처리장 용량산정으로 인하여 운영 가동에 문제점들이 발생하는 곳들이 있다고 한다. 71개 업체 중 협조 가능한 20개 업체만을 조사하는 한계점을 드러냈지만 올바른 폐수 발생량을 조사하기 위해서는 반드시 입주 할 모든 업체를 대상으로 현장조사가 이루어져야 한다. 일반적으로 산업단지에 입주할 업체들은 정확한 폐수발생량 조사를 위하여 폐수배출 신고 증명서 및 허가증 혹은 연간 지하수 및 수도 사용량 등의 자료와 공정도 등을 구축하고 있어야 할 것이다. 그러나 이 또한 입주 전 입주 예정업체들의 과거 발생량을 기준으로 산정하는 것이기에 실제 산업단지 운영 시 폐수발생량과의 차이는 당연히 생길 수밖에 없다. 그럼에도 불구하고 기존에 사용되는 획일적 업종별 용수사용 원단위방법 보다는 실시설계 단계에서 입주예정업체들이 확정된다면 현장 조사를 통하여 보다 정확한 폐수발생 원단위를 산정하는 것이 매우 중요하다고 판단된다. 실시설계 단계에서 입주 예정 업체들을 확정하여 보다 정확한 폐수발생량예측이 이루어질 수 있도록 행정절차가 이루어져야 할 것이며 향후 이러한 산정 방법이 보다 정확하다는 것을 입증하기 위해 산업단지 운영 후 실제 폐수 발생량 측정을 통한 비교 연구가 필요하다.

참고문헌

- An, JS, Park, OK, Jo, JH (2011) Characteristics of wastewater treatment of sewage mixed with industrial wastewater, *Journal of Korea Academia-Industrial cooperation Society*, 12, No. 7 pp. 3341-3352
- Busan (2005) Alternation Report of Sewer Maintenance Plan, pp 413-414
- Kim, HJ (2012) Wastewater Treatment Facility Operation Plan According to Industrial Complex Characteristics - Focused on plans for the water quality of the industrial complex in B region -, Department of Environmental Engineering Graduate School of Konkuk University, pp 17-18, 20-21
- Kim, JM (2004) A Study on Draw a Comparison between Influent Wastewater Flow Rate and Designed Wastewater Flow Rate, Department of Environmental Engineering Graduate School of Environmental studies Chonbuk National University, pp17-18, 27-28
- Kim, KJ, Kim, JS, Kim, LH and Yang, KC (2012) Characteristics of nutrient uptake by aquatic plant in constructed wetlands for treating livestock wastewater, *J. of Wetlands Research*, 14(1), pp. 121-130. [Korean literature]
- Korea industrial Complex Corp. (2011) Knowledge Sharing Program : Industrial Park Development Strategy and Management Practice, pp 22
- Korea LH Corp. (2011) Manual of industrial park development, pp 150
- KONETIC 2013 <http://attfile.konetic.or.kr/konetic/xml/desins/12A3A0260070.hwp>
- Ministry of Environment (2003) Revised Guideline for Installation and Operation of wastewater treatment facilities, pp 19
- Ministry of Environment (2008) Manual of water supply demand forecast, pp 26
- Ministry of Environment (2012) 2012 Generation and processing of wastewater, pp 350-351