



최신 산업동향을 고려한 공업단지 사용량 원단위 분석 연구

Investigation and Analysis of Unit Industrial Water Usage Considering Latest Industrial Trend

김기범¹·유영준²·최우진²·구자용^{1*}

Kibum Kim¹·Youngjun Yu²·Woojin Choi²·Jayong Koo^{1*}

¹서울시립대학교, ²K-water

¹University of Seoul, ²K-water

ABSTRACT

This study derived the unit of industrial water usage reflecting the latest industry trends. Available for establishing plans such as the master plan for water supply system and analyzed changes in the basic unit by a comparison with the current basic unit values. This study analyzed 4,038 samples with a sampling error of less than 1.5 % at the 95 % confidence level after removing outliers according to a log-normal distribution. As a result, the unit of industrial water usage per site area in the whole manufacturing industry was 7.11 m³/1,000m²/d. The ten industrial categories (C10, C13, C20, C21, C22, C25, C27, C30, C32, C33) showed a similar unit value compared to before, and the four industrials categories (C11, C17, C22, C31) showed a more unit value than before. With regard to the nine industrial categories (C14, C15, C16, C18, C19, C24, C26, C28, C29), the unit value decreased. Cases that companies examined before were the same as the companies examined in this study were analyzed. The result that the changes in the unit industrial water usage were reasonable was obtained. However, in some industrial categories (C17, C14, C24, C29), the unit value was changed by a small number of companies with large-scale water use or unit value of sampling had a large deviation. It was considered necessary to survey them periodically. The unit of industrial water usage derived by the survey in this study reflects the current industrial trends in 2016. Water use in manufacturing companies has continuously changed by the development of manufacturing technologies and simplification of manufacturing processes. In order to deal with this, it is considered necessary to survey the usage of industrial water periodically from a long-term perspective.

Key words: Industrial trend, Unit industrial water usage, Water demand forecasting, Water usage investigation

주제어: 산업동향, 공업용수 사용량 원단위, 물 수요예측, 물 사용량 조사

1. 서 론

현재 우리나라는 수도법 제4조에 의거하여 수도정비 기본계획을 수립할 시 공업용수 사용량의 예측에는 업종별 부지면적당 공업용수 원단위를 사용하고 있다. 이

는 신규 산업단지 계획시 업종과 업종별 부지면적을 확정적으로 계획할 수 있기 때문이다. 현재 사용하고 있는 수도정비기본계획수립지침에서는 공업용수 수요량 예측시 유사시설의 과거 용수사용량에 따른 부지면적당 원단위나 MOE(Ministry of Environment) and MOLIT (Ministry of Land, Infrastructure and Transport) (2014)에 제시된 업종별 부지면적당 원단위를 참고하도록 하고

Received 5 September 2017, revised 17 October 2017, accepted 18 October 2017

* Corresponding author: Jayong Koo (E-mail: jykoo@uos.ac.kr)

pp. 373-381

pp. 383-388

pp. 389-395

pp. 397-407

pp. 409-414

pp. 415-419

pp. 421-430

pp. 431-440

pp. 441-445

pp. 447-457

pp. 459-469

있다 (MOE, 2016). MOE and MOLIT (2014)에 제시된 업종별 부지면적당 원단위는 MOLIT (2007)의 연구에 의해 도출된 결과로써, 2006년을 기준으로 도출된 원단위이다. 10여년이 경과한 현재, 산업동향은 변화하였기 때문에 과거의 공업용수 원단위를 지속적으로 적용하여 공업용수 사용량을 예측하는 것은 오차가 상당히 발생할 수 있다는 의견이 제기되고 있다.

장래 물 수요예측은 장래 시설의 규모를 결정하는 가장 기본적인 인자이다. 과소한 수요예측은 공업단지에 안정적인 물 공급을 불가능하게 하는 요인으로 작용할 수 있으며, 과다한 수요예측은 한정적인 수자원의 이용 효율성을 떨어뜨리고 더 나아가 국가적 차원의 예산 낭비를 초래할 수 있다. 그러므로 수도정비기본계획 등의 계획을 수립할 시에는 반드시 합리적인 수요예측 결과의 도출이 선행되어야 한다.

이에 본 연구에서는 최신 산업동향을 반영한 공업용수 사용량 원단위를 도출하기 위한 연구목적을 달성하기 위해 5,143 개의 공업용수 산업단지를 조사한 뒤 조사 결과의 분석을 통해 공업용수 원단위를 도출하였다. 그리고 현재 사용중인 과거의 원단위와 새롭게 조사를 통해 도출한 공업용수 원단위의 비교를 실시하고, 비교 원인을 파악한 뒤 가장 적절한 공업용수 원단위를 제시하고자 하였다. 이를 통해 수도정비기본계획을 수립하며 공업용수 수요량을 추정할시 합리적인 공업용수 원단위를 적용하기 위한 방안을 마련하고자 하였다.

2. 연구방법

본 연구는 Fig. 1에 나타낸 연구 흐름에 따라 ① 업종별 공업용수 원단위 도출을 위한 설문조사, ② 업종별 공업용수 원단위 도출, ③ 공업용수 원단위의 경향 분석을 실시하였다.

2.1 공업용수 원단위 도출을 위한 설문조사 방법

2.1.1 조사대상 업종

2016년 3월말 기준 우리나라에는 1,012 개소의 산업단지가 있으며 경상남도에 170 개소(16.8%)가 위치하고 있다. 1,012 개소의 산업단지에는 총 62,123 개의 업체가 입주해있다. 지역별 업체 수는 경기도에 18,390 개(29.6%)가 위치하고 있고, 다음으로 인천에 6,549 개(10.5%) 업체가 위치하고 있다. 업종별로는 기타 기계

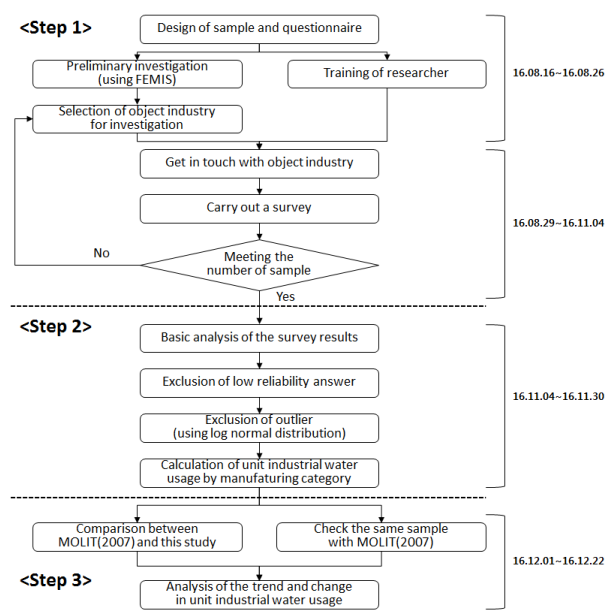


Fig. 1. The flow chart of the study.

제조업종(C29)이 12,063 개로 가장 많으며, 두 번째로 1차 금속 업종(C24)이 11,922 개 있다. 반대로 가장 적은 업종은 담배제조업종(C12)으로 전국에 4 개 업체가 있다.

본 연구에서는 산업단지 내에 입주한 계획입지 제조업체를 조사대상으로 선정하였으며, 업종에 따라 공업용수 사용량이 상이하므로, 한국표준산업분류(KSIC)의 제9차 중분류(24가지 분류)에 따라 업종별로 조사를 실시하고자 하였다. 다음 Table 1은 KSIC 중분류를 나타낸다.

2.1.2 조사대상 표본 선정

조사 표본은 다음의 흐름과 같이, 모집단의 표준편차를 확인할 수 없는 경우에 사용하는 표본오차 추정방법을 활용하여 적정 표본수를 산정한 뒤, 지역별 업종별 업체의 수를 고려한 비례할당 추출방법을 이용하여 선정하였다.

목표 표본수는 모비율의 신뢰구간 추정을 위한 공식으로부터 도출할 수 있다. 다음 Eq. 1은 모집단에서 임의로 추출한 표본에서 특정한 특징을 갖는 표본비율을 나타낸다.

$$\hat{p} = \frac{X}{n} \quad [\text{Eq.1}]$$

여기서, \hat{p} : 표본비율,
 X : 대상수 또는 확률변수,
 n : 표본의 크기



Table 2. Category of manufacture (KSIC)

Category	Type	Category	Type
C10	Food products	C22	Rubber and plastic products
C11	Beverages	C23	Other non-metallic mineral products
C12	Tobacco products	C24	Basic metals
C13	Textiles, except apparel	C25	Fabricated metal products, except machinery and furniture
C14	Wearing apparel, clothing accessories and fur articles	C26	Electronic components, computer
C15	Leather, luggage and footwear	C27	Medical, Precision and optical instruments, watches
C16	Wood and product of wood and cork, except furniture	C28	Electrical equipment
C17	Pulp, Paper and paper product	C29	Other machinery and equipment
C18	Printing and reproduction of recorded media	C30	Motor vehicle, trailers and semitrailers
C19	Coke, briquettes and refined petroleum product	C31	Other transport equipment
C20	Chemicals, except pharmaceuticals and medicinal chemicals	C32	Furniture
C21	Pharmaceuticals, medicinal chemicals and botanical products	C33	Other manufacturing

모집단이 정규분포를 따르는 경우, 표본집단은 표본수 (n)과 관계없이 정규분포를 따르며, 정규화(표준화)를 위한 Z 통계량은 다음 Eq. 2와 같이 나타낼 수 있다.

$$Z = \frac{\hat{p} - p}{\sqrt{\frac{\hat{p}(1-\hat{p})}{n}}} \quad [\text{Eq.2}]$$

여기서, p : 이항분포의 확률

신뢰구간이란 Z 통계량의 범위를 구하는 것과 동일하며, 신뢰수준 x %에서 신뢰도계수 $Z_{\alpha/2}$ (신뢰수준 95 %에서 신뢰도계수는 1.96)을 고려하여 모비율의 신뢰구간을 나타내기 위한 식을 도출하면 다음 Eq. 3 및 Eq. 4와 같이 나타낼 수 있다.

$$-Z_{\frac{\alpha}{2}} \leq \frac{\hat{p} - p}{\sqrt{\frac{\hat{p}(1-\hat{p})}{n}}} \leq Z_{\frac{\alpha}{2}} \quad [\text{Eq.3}]$$

$$\hat{p} - Z_{\frac{\alpha}{2}} \sqrt{\frac{\hat{p}(1-\hat{p})}{n}} \leq p \leq \hat{p} + Z_{\frac{\alpha}{2}} \sqrt{\frac{\hat{p}(1-\hat{p})}{n}} \quad [\text{Eq.4}]$$

y %의 오차를 갖는 표본의 크기를 결정하기 위한 식은 다음 Eq 5와 같이 유도된다.

$$\text{Error} = Z_{\frac{\alpha}{2}} \sqrt{\frac{\hat{p}(1-\hat{p})}{n}} \quad [\text{Eq.5}]$$

다만, 표본을 뽑지 않은 상태에서는 표본비율(\hat{p})을 알 수가 없다. 따라서, 표본비율로는 0~1 범위 중 중간값인 0.5(=50 %)를 대입하여, x %의 신뢰수준에서 y %의 오차를 갖기 위한 표본수를 결정한다.

지금까지 기술한 식은 모두 모집단의 크기가 무한하다는 전제하에 도출된 식이며, 모집단의 크기가 유한하고, 그 규모를 알고 있는 경우에는 유한모집단 수정계수(fcf, finite correction factor)를 적용하여 필요한 표본의 크기를 줄일 수 있다. 유한모집단 수정계수 fcf는 다음 Eq 6과 같이 나타낼 수 있다.

$$fcf = \sqrt{\frac{N-n}{N-1}} \quad [\text{Eq.6}]$$

여기서, N : 모집단의 크기

pp. 373-381

pp. 383-388

pp. 389-395

pp. 397-407

pp. 409-414

pp. 415-419

pp. 421-430

pp. 431-440

pp. 441-445

pp. 447-457

pp. 459-469

모집단 수정계수를 고려한 표본비율과 모비율 사이 오차는 Eq. 7과 같이 나타낼 수 있다. 즉, 달성하고자 하는 오차를 설정하고, 표본의 수를 산정하면 모비율(모집단)을 대표할 수 있는 표본비율을 도출할 수 있다 (Lohr, 2009).

$$\begin{aligned} \text{Error} &= Z_{\frac{\alpha}{2}} \sqrt{\frac{\hat{p}(1-\hat{p})}{n}} \times fcf \\ &= Z_{\frac{\alpha}{2}} \sqrt{\frac{\hat{p}(1-\hat{p})(N-n)}{n(N-1)}} \end{aligned} \quad [\text{Eq.7}]$$

Eq. 7을 표본수(n)에 대해 정리하면 설정한 신뢰수준과 모집단-표본집단 사이의 오차를 달성하기 위한 표본크기를 도출할 수 있는 Eq. 8을 얻을 수 있다.

$$n = \frac{Z_{\frac{\alpha}{2}}^2 \times \hat{p}(1-\hat{p}) \times N}{\text{Error}^2 \times (N-1) + Z_{\frac{\alpha}{2}}^2 \times \hat{p}(1-\hat{p})} \quad [\text{Eq.8}]$$

본 연구에서는 전체 62,123 개의 모집단에 대해서 95 %의 신뢰수준($Z_{\alpha/2} = 1.96$)에서 2.0 %의 표본오차를 갖는 표본수로서 2,312 개의 표본을 우선적으로 확보하고자 하였다. 표본비율로서 50 %를 가정하였으므로, 4,624 개 이상의 표본을 조사하는 경우 해당 표본 오차를 확보할 수 있다. 여기서, 모집단의 개수가 적은 음료(C11), 가방 및 신발(C15), 코크스·연탄·석유(C19) 제조업종의 경우 통계적 신뢰성을 가질 수 있는 최소의 표본으로서 30 개의 표본을 조사하였으며, 담배(C12) 제조업종의 경우 업체수가 극히 적어 조사대상에서 제외하였다. 최종적으로 본 연구에서는 5,143 개 업체를 표본으로 구성하여 설문조사를 실시하였다.

2.1.3 설문조사 항목 및 방법

설문조사를 실시한 항목은 연간 용수사용량, 월간 용수사용량, 수원의 종류 및 이용량, 용수의 사용용도, 조업일수, 공장가동률, 부지면적, 종업원 수, 생산액, 업종, 생산품의 11가지 항목이다.

본 연구에서는 조사의 신뢰성을 제고하기 위한 방안 중 하나로 공업단지를 실제로 방문하여 담당자와 대면한 상태에서 조사를 실시하였다. 한편, 월별 물이용량자료의 경우 업체에서 자료를 보유하고 있지 않은 경우가 있다. 이와 같은 경우에는 자료제공동의서와 수용가번호 등을 입수한 후 지자체 수도사업소 홈페이지 등에서 조사

하는 등의 간접조사도 병행하여 수행하였다.

2.2 공업용수 원단위 도출 방법

설문조사에 의한 조사결과는 반드시 피조사자에 의한 오차를 내포하고 있다. 예를 들어 연간 사용량이 월간 사용량의 합과 오차가 있는 경우, 수원별 물 사용량의 합이 연간 사용량과 오차가 있는 경우에는 설문조사 결과의 신뢰성이 떨어진다고 할 수 있다. 이와 같이 설문조사 결과의 신뢰성이 낮다고 판단되는 표본은 우선적으로 배제하였다.

또한, 조사결과로 도출된 공업용수 원단위 중 이상치가 있을 수 있다. 이상치의 확인 및 배제를 위하여 신뢰성이 떨어지는 표본을 제외한 표본집단을 대상으로 제조업 업종별 부지면적당 원단위를 산출하고 이를 기준으로 이상치를 제거하였다. 원단위 값의 이상치의 판단은 원단위 값에 log를 적용하여 정규분포화한 후 평균 원단위 값의 $\pm 1.96\sigma$ (표준편차)를 초과하는 경우로 하였다 (MOLIT, 2007). 최종 원단위 산정 값은 이상치를 제거한 이후의 도출 값으로 하였다.

공업용수 원단위는 부지면적당 원단위, 종업원당 원단위, 생산액당 원단위의 3가지를 도출하였으며, 연간 공업용수 원단위 산정방법은 Eq. 9, 일평균 공업용수 원단위 산정방법은 Eq. 10과 같다. Eq. 10에서 알 수 있듯이 일평균 공업용수 원단위를 산정할 시 업체의 조업일수를 고려한다. 과거에는 일률적으로 300 d/yr의 조업일수를 적용하였으나 본 연구에서는 현재 우리나라의 주5일 근무제가 정착된 점을 고려하여 업체의 실제 조업일수를 조사하여 반영하고자 하였다.

Annual Unit Industrial Water Usage_k

$$= \frac{\sum_{i=1}^n B_{ki}}{\sum_{i=1}^n A_{ki}} \quad [\text{Eq.9}]$$

여기서, k : 업종

n : 업종별 표본 수,

B_i : 연간 사업체별 용수사용량(m^3/yr),

A_i : 사업체별 부지면적(m^2) 또는 종업원 수(인) 또는 생산액(원/yr)

Daily Unit Industrial Water Usage_k



$$= \frac{\sum_{i=1}^n B_{ki}}{\sum_{i=1}^n A_{ki}} \div C_k \quad [\text{Eq.10}]$$

여기서, C_k : 업종별 연간 조업일수(d/yr)

2.3 공업용수 원단위 비교 분석

도출된 업종별 공업용수 원단위는 현재 수도정비기 본계획 수립 등에 활용하고 있는 MOLIT (2007)의 공업용수 원단위와 비교하였다. 이를 위해 MOLIT (2007)이 원단위 도출을 위해 조사한 업체와 본 연구에서 조사한 업체가 같은 경우를 분류하였다. 조사한 업체가 같은 경우 해당 업체의 부지면적이 바뀌는 경우가 빈번하게 발생하지 않으므로 물 사용량의 변화를 추적할 수 있다.

MOLIT (2007)의 원단위와 본 연구에서 도출한 원단위를 비교분석하여, 최근 10년동안 공업용수 원단위가 어떻게 변화하였고, 변화의 원인은 무엇인지를 파악하고자 하였다.

3. 연구결과

3.1 공업용수 원단위 도출 결과

3.1.1 설문조사 결과 분석

5,143개 표본에 대한 조사 결과 78.51 %에 해당하는 설문조사 결과는 신뢰성이 있다고 판단할 수 있었으나,

그 외의 설문조사 결과는 신뢰성이 낮다고 판단되었다. 신뢰성이 낮다고 판단된 표본은 기술한 바와 같이 조사 항목별 조사결과가 일치하지 않는 경우이다. 이에 따라 총 4,038개의 표본을 대상으로 분석을 실시하였다. 62,123개의 모집단에서 표본 4,038 개를 추출한 경우는 신뢰수준 95 %에서 표본오차가 1.5 % 미만으로 나타난다. 표본오차를 고려할 때 본 연구에서 분석 대상으로 설정한 표본의 숫자는 충분한 것으로 판단할 수 있다.

다음 Table 2는 Eq. 10에 나타난 일평균 공업용수 사용량 원단위($m^3/1,000m^2/d$)를 도출하기 위한 업종별 평균 조업일수를 나타낸다. 조업일수의 경우 평균 270.0 d/yr으로 나타났으며, 업종별로 257.5 d/yr ~ 298.0 d/yr의 범위를 나타내었다. 조업일수가 가장 높은 업종은 섬유(C13) 제조업종으로 나타났으며, 가장 낮은 업종은 의료·정밀(C27) 제조업종으로 나타났다.

다음 Table 3은 분석 대상인 4,038개의 표본에 대하여 원단위를 도출한 결과이며, 이상치를 고려하지 않은 경우의 원단위를 나타낸다.

3.1.2 이상치를 고려한 공업용수 원단위 도출 결과

앞서 Table 3에 나타난 분석 대상 4,038개의 표본에 대해서, 업종별 원단위를 산출한 뒤, 원단위 값에 log를 적용하여 정규분포화 한 후 평균원단위 값의 $\pm 1.96\sigma$ (표준편차)를 초과하는 경우를 이상치로 간주하였다. 각 업종별 원단위 분포가 log 정규분포를 따르는 경우, $\pm 1.96\sigma$ (표준편차) 이상 값을 이상치로 간주한다는 것은 이론적으로 약 5 %의 이상치를 배제하는 것을 말한다.

Table 2. Investigation results of operation day

Category	Operation day (d/yr)	Category	Operation day (d/yr)		
C10	Food products	269.86	C23	non-metallic products	266.73
C11	Beverages	272.15	C24	Basic metals	266.11
C13	Textiles	297.99	C25	Fabricated metal	273.79
C14	Wearing apparel	274.61	C26	Electronic components	264.96
C15	Leather	272.00	C27	Medical	257.45
C16	Wood	271.37	C28	Electrical equipment	264.20
C17	Pulp, Paper	279.44	C29	Other machinery	268.56
C18	Printing	273.52	C30	Motor vehicle	271.60
C19	Coke, briquettes	270.00	C31	Other transport	268.92
C20	Chemicals	268.89	C32	Furniture	268.70
C21	Pharmaceuticals	268.07	C33	Other manufacturing	260.50
C22	Rubber and plastic	262.83		Average	270.01

pp. 373-381
pp. 383-388
pp. 389-395
pp. 397-407
pp. 409-414
pp. 415-419
pp. 421-430
pp. 431-440
pp. 441-445
pp. 447-457
pp. 459-469

Table 3. Unit industrial water usage before considering outlier

Category		Number of sample	Unit industrial water usage			
			by area		by employee (m ³ /people/d)	by sales (m ³ /Million KRW)
			m ³ /m ² /yr	m ³ /1,000m ² /d		
C10	Food products	170	2.86	10.61	1.71	0.22
C11	Beverages	26	7.31	26.85	10.40	6.67
C13	Textiles	183	12.48	41.89	6.51	10.78
C14	Wearing apparel	37	0.45	1.65	0.22	0.23
C15	Leather	28	1.63	6.00	0.88	0.44
C16	Wood	39	0.11	0.40	0.18	0.18
C17	Pulp, Paper	63	9.43	33.76	10.95	6.64
C18	Printing	64	0.29	1.07	0.22	0.45
C19	Coke, briquettes	24	56.41	208.92	45.89	1.46
C20	Chemicals	206	5.23	19.44	6.88	1.01
C21	Pharmaceuticals	28	1.71	6.38	1.19	0.21
C22	Rubber and plastic	199	5.19	19.73	3.99	3.03
C23	non-metallic products	77	1.80	6.74	1.73	4.24
C24	Basic metals	167	2.52	9.45	2.37	3.28
C25	Fabricated metal	778	0.82	2.99	0.51	0.56
C26	Electronic components	331	2.02	7.62	0.98	1.19
C27	Medical	137	2.38	9.22	0.58	0.91
C28	Electrical equipment	311	1.91	7.24	0.72	0.63
C29	Other machinery	742	0.65	2.43	0.30	0.32
C30	Motor vehicle	263	0.67	2.46	0.33	0.33
C31	Other transport	87	0.87	3.22	1.08	2.25
C32	Furniture	30	0.35	1.32	0.15	0.30
C33	Other manufacturing	48	0.43	1.65	0.27	0.77
Average (for unit industrial water usage)		4,038 (Total)	4.20	15.54	2.89	1.24

log 정규분포화 한 뒤 이상치를 도출한 결과 이상치로 판정된 업체의 비율은 업종별로 0.0 %~8.3 %로 나타났다. 모든 분석 대상 표본에 대해서는 183개 (4.5 %)의 업체가 이상치로써 배제되었다. 다음 Table 4는 이상치를 배제한 뒤 3,855개의 표본에 대해서 원단위를 도출한 결과를 나타낸다.

공업용수 원단위 산정결과 부지면적당 제조업 전체의 일평균원단위는 7.11 m³/1,000m²/d로 나타났으며, 중업원단위 원단위는 1.33 m³/people/d, 생산액당 원단위는 0.81 m³/Million KRW로 나타났다. 부지면적당 원단위의 경우 특히 음료(C11) 제조업종과 섬유(C13) 제조업종, 종이(C17) 제조업종이 매우 큰 값을 나타내었으며, 목재(C16), 코크스·연탄·석유(C19) 제품 제조업종이 작은 값을 나타내었다.

다음 Fig. 2는 이상치를 배제하기 전·후의 부지면적

당 공업용수 원단위를 나타낸다. 코크스·연탄·석유(C19) 업종이 208.51 m³/1,000m²/d에서 0.41 m³/1,000m²/d로 원단위가 크게 감소하였으며, 고무·플라스틱(C22) 업종이 이상치 배제 전 16.69 m³/1,000m²/d에서 배제 후 3.04 m³/1,000m²/d로 크게 감소하였다. 전체 제조업에 대해서는 8.43 m³/1,000m²/d의 원단위가 감소하는 것으로 나타났다. 이와 같이 이상치 배제에 따라 원단위가 크게 변경되는 이유는 코크스·연탄·석유(C19) 업종과 고무·플라스틱(C22) 업종의 경우, 업종 전체 연간 사용량 규모 중 몇몇 업체의 연간사용량이 다른 업체에 비해 큰 값을 나타내기 때문이다. 이와 같이 소수 업체의 극단적으로 큰 공업용수 원단위를 반영하여 원단위를 산정하는 경우에는 전체 집단의 원단위가 왜곡될 소지가 있다. 장래 공업용수 사용량 예측을 할 때에는 전체 집단의 원단위를 활용하게 되므로, 소수 업체의



Table 4. Unit industrial water usage before considering outlier

Category		Number of sample	Unit industrial water usage			
			by area		by employee (m ³ /people/d)	by sales (m ³ /Million KRW)
			m ³ /m ² /yr	m ³ /1,000m ² /d		
C10	Food products	160	3.04	11.29	1.78	0.22
C11	Beverages	24	8.31	30.33	15.58	8.80
C13	Textiles	176	8.71	29.27	4.74	7.62
C14	Wearing apparel	35	0.45	1.65	0.22	0.23
C15	Leather	26	0.67	2.46	0.33	0.16
C16	Wood	36	0.14	0.50	0.18	0.17
C17	Pulp, Paper	58	5.52	20.07	6.14	4.52
C18	Printing	63	0.54	1.96	0.22	0.45
C19	Coke, briquettes	22	0.11	0.41	0.42	0.16
C20	Chemicals	195	5.50	20.46	7.18	0.97
C21	Pharmaceuticals	28	1.71	6.38	1.19	0.21
C22	Rubber and plastic	190	0.80	3.04	0.65	0.69
C23	non-metallic products	72	1.74	6.52	1.65	4.42
C24	Basic metals	158	1.02	3.85	0.94	1.35
C25	Fabricated metal	745	0.77	2.82	0.47	0.51
C26	Electronic components	315	1.83	6.92	0.83	1.10
C27	Medical	135	2.31	8.96	0.62	0.89
C28	Electrical equipment	300	0.89	3.34	0.26	0.22
C29	Other machinery	711	0.47	1.75	0.22	0.24
C30	Motor vehicle	248	0.63	2.34	0.30	0.31
C31	Other transport	82	0.61	2.27	0.74	1.60
C32	Furniture	30	0.35	1.32	0.15	0.30
C33	Other manufacturing	46	0.43	1.65	0.23	0.55
Total		3,855	1.92	7.11	1.33	0.81

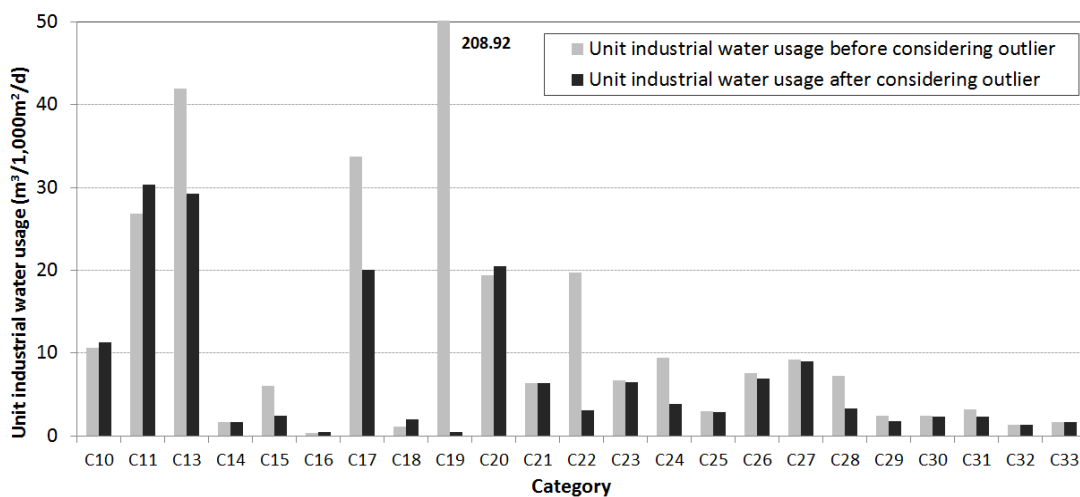


Fig. 2. Comparison between before and after considering outlier.



Table 5. Changes in unit industrial water usage

Category		Unit industrial water usage		
		MOLIT (2007) (A) (m ³ /1,000m ² /d)	This study (B) (m ³ /1,000m ² /d)	Change ((B-A)÷A) (%)
C10	Food products	9.23	11.29	22
C11	Beverages	6.63	30.33	357
C13	Textiles	27.65	29.27	6
C14	Wearing apparel	4.49	1.65	▼63
C15	Leather	19.70	2.46	▼88
C16	Wood	1.03	0.50	▼51
C17	Pulp, Paper	2.90	20.07	592
C18	Printing	4.62	1.96	▼58
C19	Coke, briquettes	1.09	0.41	▼62
C20	Chemicals	20.24	20.46	1
C21	Pharmaceuticals	6.16	6.38	4
C22	Rubber and plastic	3.23	3.04	▼6
C23	non-metallic products	3.62	6.52	80
C24	Basic metals	11.16	3.85	▼66
C25	Fabricated metal	3.65	2.82	▼23
C26	Electronic components	16.83	6.92	▼59
C27	Medical	10.42	8.96	▼14
C28	Electrical equipment	6.21	3.34	▼46
C29	Other machinery	2.55	1.75	▼31
C30	Motor vehicle	2.70	2.34	▼13
C31	Other transport	1.34	2.27	69
C32	Furniture	1.51	1.32	▼13
C33	Other manufacturing	1.84	1.65	▼10
Average		9.93	7.11	▼28

극단적인 물 사용량은 배제하는 것이 타당하다고 판단된다. 다만, 본 연구에서는 표본 조사 결과를 바탕으로 원단위를 산정하였으므로, 표본에 따라서 원단위 산정 결과가 다소 변경될 소지는 있다.

또한 본 연구에서는 한국표준산업분류체계의 중분류에 따라 업종을 분류하였으며, 세분류를 고려하지 않았다. 동일업종으로 분류된 경우에도 세분류가 다른 경우에는 사용하는 공정의 상이함으로 물 사용량 원단위가 다를 수 있다. 그러나 각 세분류별로 통계적으로 유의한 표본수를 확보하기 위해서는 전수조사에 가까운 표본 확보가 필요하다. 이를 고려하여 같은 업종 내에서 공업용수 원단위의 편차가 크게 발생하는 업종의 경우에는 더욱 정확한 공업용수 원단위의 산

정을 위해 장기적인 관점에서 주기적인 조사가 필요할 것으로 판단된다.

3.2 공업용수 원단위 비교 분석 결과

본 연구를 통해 조사되고 도출된 업종별 공업용수 원단위와 기존 MOLIT (2007) 의 조사결과로써 도출된 공업용수 원단위를 비교한 결과, 부지면적당 원단위는 평균 23 %, 종업원당 원단위는 평균 61 %, 생산액당 원단위는 평균 28 %의 차이가 나타나 원단위가 변화한 결과를 나타내었다. 과거 공업용수 원단위와의 차이가 가장 적게 나타난 부지면적당 원단위를 중심으로 본 연구에서 새롭게 조사한 공업용수 원단위와 기존 MOLIT (2007)의 조사결과를 비교한 결과는

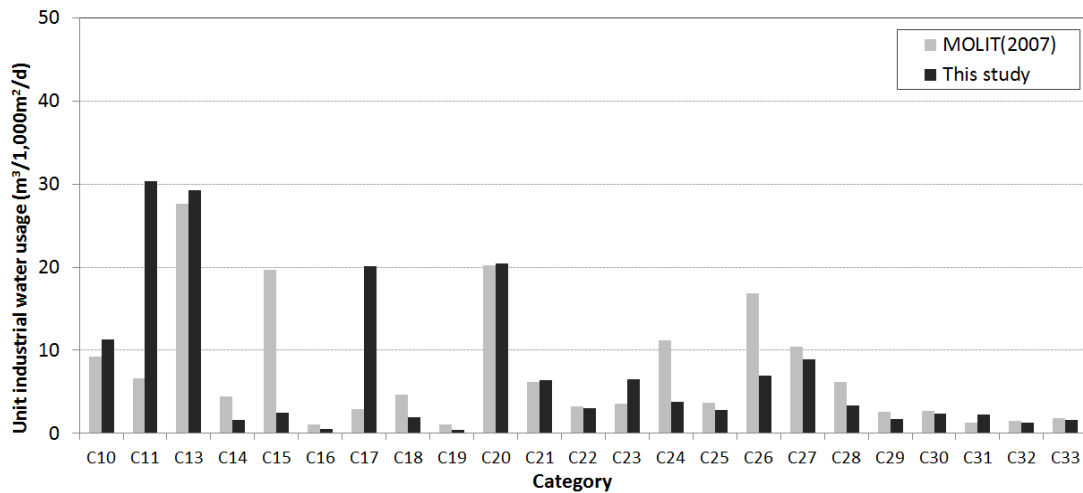


Fig. 3. Comparison between previous results and results of this study.

Table 5와 Fig. 3과 같다. MOLIT (2007)은 조사업체의 부지면적을 고려하지 않고 각 업체의 공업용수 원단위를 산술평균한 뒤 그 값을 업종별 원단위 값으로 제시하였다. Table 5에 나타낸 MOLIT (2007) (A)는 MOLIT (2007)의 조사결과를 Eq. 10에 따라 재계산한 결과이다.

MOLIT (2007)의 원단위와 본 연구에서 도출한 원단위 사이의 변동률이 25 % 미만인 업종은 C10, C13, C20, C21, C22, C25, C27, C30, C32, C33으로 총 10개 업종은 과거와 유사한 경향을 나타내었다. MOLIT (2007)에서 조사한 업체와 본 연구에서 조사한 업체가 동일한 경우에 대한 분석을 실시한 결과, 과거와 유사한 경향을 나타낸 10개 업종에서 발생한 미세한 차이는 표본의 선택과정으로 인해 발생한 것으로 판단된다.

C11, C17, C22, C31의 4개 업종은 과거에 비해 큰 폭으로 원단위가 상승한 것으로 나타났다. 음료(C11) 제조업종에 대해서, MOLIT (2007)와 조사대상이 일치한 업체는 모두 8개로, 8개 업체는 연간 물 사용량이 60 % 가량 증가한 것으로 나타났다. 전반적으로 물 사용량이 증가한 것으로 나타났는데, 여러 가지 사회적인 변화가 있겠으나, 가장 주요한 변화는 먹는샘물, 주류, 음료수 제조업종의 재사용 용기에 대한 세척수 기준 강화로 세척수의 사용량이 증가하였기 때문이라 판단된다. 종이(C17) 제조업종의 경우 대규모 물 사용 업체에 의해 원단위가 지나치게 높게 산정된 것으로 판단된다. 가장 물 사용량이 많은 업체 1개를 제거한 뒤 도출된 원단위는 6.05 m³/1,000m²/d이며, 가장 물

사용량이 많은 업체 2개를 제거한 뒤 도출된 원단위는 2.60 m³/1,000m²/d로, 과거와 유사한 수준의 원단위가 도출되는 것으로 나타났다. 이를 고려하였을 때, 종이(C17) 제조업종의 경우 지속적인 원단위 조사가 필요할 것으로 판단된다. 비금속(C23)과 기타운송장비(C31)의 제조업종의 경우 MOLIT (2007)에서 조사한 업체와 본 연구에서 조사한 업체가 동일한 경우에 대한 분석을 실시한 결과 공장의 집적화가 이루어져 동일 부지 내에서 사용량이 증가한 경향을 나타내었다.

C14, C15, C16, C18, C19, C24, C26, C28, C29의 9개 업종은 과거에 비해 원단위가 감소하였다. 과거 조사된 업체를 본 연구에서 재조사한 경우를 기준으로 이를 분석한 결과 원단위 감소 요인은 크게 2가지로 나타났다. 가방 및 신발(C15), 목재(C16), 코크스·연탄·석유(C19), 전자부품·컴퓨터(C26), 전기장비(C28) 제조업종의 경우 공정개선에 따른 용수절감으로 인해 원단위가 감소된 것으로 분석되었다. 반면 인쇄(C18) 업종의 경우 생산량 감소에 따른 용수사용량 감소로 인해 원단위가 감소된 것으로 분석되었다. 그 외 의복(C14), 1차금속(C24), 기타금속(C29) 제조업종의 경우 조사된 표본의 원단위가 상당히 넓은 범주의 편차를 갖는 것으로 나타났다. 발생한 원단위 변화는 표본의 선택과정에서 발생한 오차라 판단되므로, 해당 업종은 지속적으로 조사를 실시할 필요가 있다고 판단된다.

한편, 우리나라와 산업구조가 유사한 일본의 공업용수 원단위와 본 연구를 통해 도출한 원단위를 비교한 결과는 다음과 같다. 일본의 경우 경제산업성에서

pp. 373-381
pp. 388-388
pp. 389-395
pp. 397-407
pp. 409-414
pp. 415-419
pp. 421-430
pp. 431-440
pp. 441-445
pp. 447-457
pp. 459-469

Table 6. Unit industrial water usage comparison between Japan and Korea

Category		Unit industrial water usage		
		This study (A) (m ³ /1,000m ² /d)	Japan (B) (m ³ /1,000m ² /d)	Deviation (A-B) (m ³ /1,000m ² /d)
C10	Food products	11.29	-	-
C11	Beverages	30.33	34.4	4.07
C13	Textiles	29.27	33.6	4.33
C14	Wearing apparel	1.65	-	-
C15	Leather	2.46	4.7	2.24
C16	Wood	0.50	2.6	2.10
C17	Pulp, Paper	20.07	22.03	1.96
C18	Printing	1.96	4.6	2.64
C19	Coke, briquettes	0.41	-	-
C20	Chemicals	20.46	-	-
C21	Pharmaceuticals	6.38	-	-
C22	Rubber and plastic	3.04	-	-
C23	non-metallic products	6.52	45.7	39.18
C24	Basic metals	3.85	-	-
C25	Fabricated metal	2.82	7.2	4.38
C26	Electronic components	6.92	54.4	47.48
C27	Medical	8.96	-	-
C28	Electrical equipment	3.34	8.8	5.46
C29	Other machinery	1.75	7.7	5.95
C30	Motor vehicle	2.34	-	-
C31	Other transport	2.27	39.4	37.13
C32	Furniture	1.32	1.7	-
C33	Other manufacturing	1.65	8.5	6.85
Average		7.11	-	-

공업통계의 일환으로 최근 10년간 4회(2008년, 2010년, 2013년, 2015년) 전수조사를 실시하였다. 전수조사를 실시하므로 산업세분류별로 공업용수 원단위를 산출하며, Table 6에 제시한 결과는 2016년에 일본 METI (Ministry of Economy, Trade and Industry)에서 공표한 자료이다 (METI, 2016). 우리나라의 표준분류체계와 세분류가 유사하여 유사한 조건을 갖는 업종에 대해 결과를 나타내었으며, 공란으로 기재된 업종은 중분류는 우리나라와 유사하나 세분류가 상이하여 명확한 비교가 불가능한 업종을 나타낸다.

우리나라의 금속 및 기계 분야로 일컬을 수 있는 C23, C25, C26, C28, C29, C31 업종에 대해서는 5 m³/1,000m²/d 이상의 원단위 차이를 나타내었다. 일본의 경우 우리나라

와 달리 철강업(2200), 비철금속제조업(2300), 금속제품제조업(2400), 범용기계제조업(2500), 생산기계제조업(2600), 업무기계제조업(2700), 전기기계제조업(2900), 운송기계제조업(3100)과 같이 금속 및 기계분야를 분류하고 있다. 발생한 원단위의 차이는 우리나라와 일본의 산업업종분류체계가 상이하기 때문에 발생하는 문제라 판단된다. 음료(C11), 섬유(C13), 가방 및 신발(C15), 목재(C16), 인쇄(C18) 제조업종의 경우 우리나라와 일본의 업종 분류가 유사하다. 업종 분류가 유사한 업종에 대해서는 본 연구에서 도출한 원단위와 일본에서 사용하고 있는 원단위의 차이가 5 m³/1,000m²/d 미만으로 나타나, 전수조사를 실시한 결과와 큰 차이를 갖지 않은 것으로 나타났다.



4. 결 론

본 연구에서는 수도정비기본계획 등의 계획 수립시 활용이 가능한 최신 산업동향을 반영한 공업용수 원단위를 도출하고, 현재 사용하고 있는 원단위 값과의 비교를 통해 원단위가 변화하였다면 왜 변화하였는지를 분석하였다.

5,143 개 표본에 대한 조사 후 신뢰성이 확보된 표본 4,038 개를 대상으로 분석을 실시하였으며, 해당 표본수는 신뢰수준 95 %에서 표본오차가 1.5 % 미만으로 나타나 충분한 수의 표본을 확보하였다고 판단하였다. 4,038 개의 표본에 대하여 log 정규분포화 후 이상치로 판단된 183 개의 표본을 제외한 3,855 개의 표본으로 업종별 공업용수 원단위를 도출하였으며, 그 결과 제조업 전체에 대한 부지면적당 공업용수 원단위는 $7.11 \text{ m}^3/1,000\text{m}^2/\text{d}$ 로 나타났다.

현재 사용하고 있는 MOLIT (2007)의 공업용수 원단위와 비교한 결과 10개 업종(C10, C13, C20, C21, C22, C25, C27, C30, C32, C33)의 원단위는 과거와 유사한 것으로 나타났으며, 4개 업종(C11, C17, C22, C31)은 과거에 비해 원단위가 증가하였다. 9개 업종(C14, C15, C16, C18, C19, C24, C26, C28, C29)은 과거에 비해 원단위가 감소하였다. 과거 조사된 업체와 본 연구에서 조사한 업체가 동일한 경우에 대해 분석한 결과 원단위의 변화가 합리적이라는 결과가 도출되었다. 다만 일부 업종(C17, C14, C24, C29)의 경우에는 소수의 대규모 물 사용량 업체에 의해 원단위가 변화되거나, 업종의 세분류에 따라 표본의 원단위가 넓은 편차를 갖는 것으로 나타나 주기적인 조사가 필요할 것으로 판단되었다.

제조기술의 발전, 제조공정의 간소화 등으로 제조업체의 물 사용량은 지속적으로 변화되고 있다. 이에 대응하기 위해서는 주기적인 공업용수 사용량 조사가 필요할 것으로 판단된다. 일본은 1년 단위로, 미국의 경우 5년 단위로 정기조사를 실시한 뒤 관련 통계자료를 구축하여 정책 수립 및 평가의 기초자료로써 이를 활용하고 있다. 더 나아가 일본의 경우 업종분류를 세분화하여 전수조사를 실시하는 사례가 있으며 이를 통해 새롭게 등장하는 산업에 대한 수요량 원단위를

확보하고 있다. 한편, 표본조사는 표본의 특성에 따라 결과가 다소 변동된다. 이를 고려하여 우리나라 역시 장기적인 관점에서 주기적인 조사가 필요할 것으로 판단된다.

생산공정의 변경이나 개선 등과 같은 여건변화를 반영하기 위해서는 생산량당 물 사용량 원단위를 적용하는 방안도 고려할 필요가 있다. 생산량당 물 사용량 원단위를 활용하기 위해서는 제조업종의 세분류별 원단위를 도출할 필요성이 있으며, 향후 주기적인 조사결과가 누적된다면 이를 충분히 활용할 수 있을 것으로 생각된다.

끝으로 본 연구에서 조사를 통해 도출한 공업용수 원단위는 2016년의 산업현황을 반영한 공업용수 원단위이다. 향후 큰 경기활동의 변화로 인한 가동률의 증가 또는 생산공정의 변화를 가져오는 새로운 공정의 개발 등이 이루어지는 경우에는 본 연구의 원단위 도출 방법을 활용하여 새로운 조사를 실시하거나, 현재의 원단위를 환산 적용하는 방안 등을 검토하는 것이 타당하다고 판단된다.

사 사

본 연구는 국토교통부 및 K-water의 연구비 지원을 통해 수행되었습니다.

References

- Lohr, S. (2009) Sampling: design and analysis, BROOKS/COLE, Boston, USA, p.596.
- METI(Japan Ministry of Economy, Trade and Industry), (2016) Industry Statistics - Industrial water usage, METI.
- MOE(Korea Ministry of Environment) and MOLIT(Korea Ministry of Land, Infrastructure and Transport), (2014) Guideline of water supply demand forecast, MOE and MOLIT, Daejeon, Korea, p.38.
- MOE(Korea Ministry of Environment), (2016) Guideline of basic water utility planning, MOE, Sejong, Korea, p.72.
- MOLIT(Korea Ministry of Land, Infrastructure and Transport), (2007) Investigation of unit industrial water usage, MOLIT, Daejeon, Korea, p.141.