



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

碩士學位論文

공업용수 정수장 설계시 적용가능한
침투부하에 관한 연구

濟州大學校 大學院

環境工學科

李 喜 南

2016 年 8 月

공업용수 정수장 설계시 적용가능한
침투부하에 관한 연구

指導教授 金 鎮 瑾

李 喜 南

이 論文을 工學 碩士學位 論文으로 提出함

2016 年 8 月

李 喜 南의 工學 碩士學位 論文을 認准함

審査委員長 許 喆 九 印

委 員 甘 相 奎 印

委 員 金 鎮 瑾 印

濟州大學校 大學院

2016 年 8 月

A Study on Applicable Peak Load for the Industrial Water
Treatment Plant Design

Hee-Nam Lee
(Supervised by professor JinKeun Kim)

A thesis submitted in partial fulfillment of the requirement for the degree
of Master of Engineering

2016 . 8

This thesis has been examined and approved.

Thesis director, Chul-Goo Hu, Prof. of Environmental Engineering
Thesis director, Sang-Kyu Kam, Prof. of Environmental Engineering
Thesis director, Jin-Keun Kim, Prof. of Environmental Engineering

August. 2016

Department of Environmental Engineering

GRADUATE SCHOOL

JEJU NATIONAL UNIVERSITY

목 차

ABSTRACT	VI
제 1 장 서 론	1
제 2 장 이론적 배경	3
2.1 공업용수의 원단위 산정방법	3
2.2 국내외 공업용수 침투부하율 적용 현황	7
2.2.1 침투부하율의 정의	7
2.2.2 국내	8
2.2.3 일본	10
2.2.4 미국	11
2.3 통계분석 방법	13
2.3.1 상관성 분석	13
2.3.2 변이계수	14
제 3 장 연구 방법	15
3.1 연구 대상	15
3.2 연구 방법	33
제 4 장 연구 결과 및 고찰	34
4.1 정수장별 공업용수 이용현황 분석	34
4.2 침투부하율과 영향인자와의 상관성 분석	48
4.3 침투부하율의 적용 방안	55
제 V 장 결 론	57

참고문헌	59
감사의 글	62

List of Tables

Table 1. Relationship between served population and peak load	8
Table 2. Peak load indicated in the national water master plan(2006)	10
Table 3. Peak load application in the U.S.A.	12
Table 4. Degree of correlation as a function of correlation coefficients	13
Table 5. Situations of industrial complex	15
Table 6. Characteristics of Dae-bul national industrial complex	16
Table 7. Dae-bul water treatment plant	17
Table 8. Characteristics of Gun-san national industrial complex	18
Table 9. Characteristics of Gun-san general industrial complex	18
Table 10. Gun-san water treatment plant	19
Table 11. Characteristics of Ban-wol national industrial complex	20
Table 12. Si-heung water treatment plant	20
Table 13. Characteristics of A-san national industrial complex	21
Table 14. A-san water treatment plant	22
Table 15. Characteristics of On-san national industrial complex	23
Table 16. On-san water treatment plant	23
Table 17. Characteristics of Cheon-an 2 nd general industrial complex	24
Table 18. Characteristics of Cheon-an 3 rd general industrial complex	25
Table 19. Characteristics of Cheon-an 4 th general industrial complex	25
Table 20. Characteristics of Cheon-an 5 th general industrial complex	26
Table 21. Cheon-an water treatment plant	26
Table 22. Characteristics of Cheong-ju general industrial complex	27
Table 23. Characteristics of Oh-chang science and industrial complex	28
Table 24. Characteristics of Oh-chang 2nd industrial complex	28
Table 25. Cheong-ju water treatment plant	29

Table 26. Characteristics of Chung-ju 1 st general industrial complex	30
Table 27. Characteristics of Chung-ju high-tech general industrial complex	30
Table 28. Chung-ju water treatment plant	31
Table 29. Characteristics of Pa-ju LCD general industrial complex	32
Table 30. Chung-ju water treatment plant	32
Table 31. Industrial water supply of Dae-bul water treatment plant	35
Table 32. Industrial water supply of Gun-san water treatment plant	36
Table 33. Industrial water supply of Si-heung water treatment plant	38
Table 34. Industrial water supply of A-san water treatment plant	39
Table 35. Industrial water supply of On-san water treatment plant	41
Table 36. Industrial water supply of Cheon-an water treatment plant	42
Table 37. Industrial water supply of Cheong-ju water treatment plant	43
Table 38. Industrial water supply of Chung-ju water treatment plant	44
Table 39. Industrial water supply of Pa-ju water treatment plant	46
Table 40. Coefficient of variation	47
Table 41. Peak loads of industrial water supply at WTPs	48
Table 42. Daily average supply of industrial water at WTPs	49
Table 43. Rate of plant utilization at WTPs	51
Table 44. Rate of plant operation at WTPs	53
Table 45. Peak load for industrial water supply	55

List of Figures

Fig. 1. Flow chart of water demand estimation	4
Fig. 2. Flowchart for the determination of the basic-unit of industrial water	6
Fig. 3. Methodology for demand forecast of industrial water	6
Fig. 4. Peak load of living water for supply population	11
Fig. 5. Different dispersion of two daters with same average	14
Fig. 6. Daily average supply amount of Dae-bul water treatment plant	34
Fig. 7. Daily average supply amount of Gun-san water treatment plant	36
Fig. 8. Daily average supply amount of Si-heung water treatment plant	37
Fig. 9. Daily average supply amount of A-san water treatment plant	39
Fig. 10. Daily average supply amount of On-san water treatment plant	40
Fig. 11. Daily average supply amount of Cheon-an water treatment plant	41
Fig. 12. Daily average supply amount of Cheong-ju water treatment plant	43
Fig. 13. Daily average supply amount of Chung-ju water treatment plant	44
Fig. 14. Daily average supply amount of Pa-ju water treatment plant	45
Fig. 15. Relationship of daily average supply and annual peak load	50
Fig. 16. Relationship of rate of plant utilization and annual peak load	52
Fig. 17. Relationship of rate of plant operation and annual peak load	54

Abstract

The industrial water can be defined as the water used water used for directly operating the process by boiling, cooling, raw water, product management, washing, or for the incidental process.

Needed amount of water supply of industrial water treatment plants(WTPs) can be calculated based on various conditions including the characteristics and size of companies, operating times, types of operation, characteristics of location, industrial complexes or areas.

To apply the basic unit for site area which normally used for the calculation of water demand in Korea, accurate and sufficient data on previous industrial water supply should be obtained. Otherwise, the possibility of errors is increasing from the designing phase

Designers of industrial WTPs have considered only the basic unit of site area based on daily average supply unlike designers of domestic WTPs who have adopted the peak load coefficients as well as daily average supply amount.

This is because designers have assumed that operation rate might reach nearly steady state and water supply pattern rarely change when the plant is operating normally, 100% of operating rate. In addition, installation of own water reservoir in the large industrial complexes was assumed to minimize the fluctuation of water supply. To date, basic unit of site area was applied for the design of the industrial WTPs without considering detailed information on industrial complexes and regional characteristics, which might lead to the excessive design of industrial WTPs.

The peak load (i.e., ratio of the daily average supply and daily maximum supply) was calculated as 1.10(On-san WTPs, 2014) ~ 2.53(Chungju WTPs, 2011) based on the analysis of daily average water supply of 9 multi-regional industrial WTPs from 2009 to 2014.

Operation rates of national industry complexes were expected to reach 30% in one year, 50% in 5 years and 100% of water demand in 10 years of operation at the designing phase, but 9 industrial WTPs of operation period of 9 ~ 38 years in this study showed 23.8%(Chungju WTPs) ~ 102.9%(Cheonan WTPs) of operation rate and average rate showed a somewhat insufficient level of 69.3%.

Even considering the reserve capacity, the operation rate of industrial WTPs that has been operating for more than 10 years does not reach 80%, that means those WTP were somewhat excessively designed.

To minimize the oversized design, designers need to consider the peak load presented in this study in addition to the basic unit of site area method.

However, the results of this study do not take into account the many variables like operation patterns, weather conditions in the area or types of industries, only consider operation data of 6 years(2009 ~ 2014) daily average water supply of multi-regional water supply industrial WTPs. Therefore, further researches on consideration of location conditions are needed for planning a new construction or extension of industrial WTPs.

I. 서론

공업용수는 보일러, 냉각수, 원료용수, 제품 처리를 위한 용수, 세정용수, 제품 생산 공정에서 직접 사용되거나 설비를 가동하거나 세척, 냉각하는 등 부수 공정을 위해 사용하는 용수를 일컫는다¹⁾.

국내에서 공업용수를 생산하고 공급하는 것은 생활용수와 동일하게 광역상수도 및 지방상수도로 구분할 수 있다. 2013년 기준 국내 정수장은 515개소로 총 시설용량은 27,168,000 m³/일, 상수도관의 총 길이는 185,778 km 이며 공급된 수돗물은 6,159백만 m³/년이다²⁾. 이 중 공업용수를 생산하는 정수장의 총 시설 규모는 전체 시설용량의 7.4% 정도인 2,012,000 m³/일이며 이 중에서 57.2%인 1,150,864 m³/일 시설이 광역상수도 시설에 해당한다. 광역상수도를 통하여 공업용수를 공급하는 취수 및 정수 시설 용량은 각각 3,694 천m³/일, 1,150천 m³/일로 전체 광역상수도 취수 및 정수 시설 용량의 20.8 %와 13.1 %에 해당하는 규모이다^{3),4)}.

공업용수 정수시설 중 지방상수도를 운영하는 지자체는 서울특별시, 부산·대구광역시, 경기·강원·전남북·경북도 등 14개소로 평균 가동률은 64.7 %, 평균 이용률은 59.3 %이다⁵⁾.

상수도 시설을 설계하기 위해서는 여러 가지 인자를 고려해야 하며 그 중에서 첨두부하(peak load)를 토대로 계산되는 계획1일 최대급수량은 설계 단계에서 시설의 용량을 결정하게 하는 중요한 영향인자 중 하나이다⁶⁾. 계획1일 최대급수량 이외에도 정수장 내의 운영 등을 위해 필요한 유지용수 등을 감안하여 계획정수량을 결정하게 된다. 생활용수 정수장 설계 시에 적용하는 계획정수량은 계획1인1일당 평균급수량을 목표 년도에 맞게 결정한 이후, 목표 년도의 유수율을 통해 계획1인1일당 평균급수량을 예측하고 여기에 일최대급수량을 일평균급수량으로 나눈 첨두부하율을 곱함으로써 최종적으로 계획1인1일 최대 급수량을 도출해 내게 된다. 따라서 용수 공급량을 결정하는데 있어서 1일 최대급수량과 평균급수량의 비로 계산되는 첨두부하율은 상수도 시설 용량 결정의 중요한 요소라 할 수 있다⁷⁾.

국내 생활용수의 경우 침투부하율은 수용가의 규모와 상관성이 매우 크며 상수도 통계 5개년(2001 ~ 2005년) 자료를 바탕으로 나타난 인구 규모에 따른 침투부하율은 1.51 ~ 1.196을 적용하도록 하고 있다¹⁾.

한편, 공업용수 사용량을 예측하기 위해서는 업종의 특성 및 업체의 규모, 가동시간, 조업형태, 위치한 지역이나 공단의 특성, 부지면적 등 다양한 조건을 고려해야 한다. 또한 공업용수 시설규모를 결정하기 위해 사용되는 부지면적 원단위법은 공업용수 급수량 자료가 충분히 확보되어야 한다. 하지만 현실적으로 자료가 부족하기 때문에 부정확한 통계 자료에서 비롯된 원단위법으로 공업용수 정수장의 시설 용량을 결정할 경우 설계 단계에서부터 오류가 발생할 확률이 높을 것이다⁸⁾.

국내에서 공업용수 정수장을 설계할 때는 공업용수 과거 사용량을 조사하여 업종별로 산정하고 이를 통해 마련된 일평균급수량을 적용하는 부지면적 원단위법을 사용하고 있는 반면 생활용수 정수장을 설계하는 경우에는 일평균급수량에 침투부하율 개념을 더하여 적용하고 있는 실정이다¹⁾.

본 연구에서는 국내 공업용수 정수시설에 적용되지 않고 있는 침투부하율의 공업용수 정수시설 설계 방안을 모색하고자 일본, 미국 등의 사례를 비교해 보았으며, 국내 적용 가능한 침투부하율의 도출을 위하여 K-water에서 운영 중인 9개의 공업용수를 공급하는 정수장을 대상으로 6년(2009년 ~ 2014년) 동안 공급된 용수 현황 자료를 분석하여 1일 평균 공급량, 정수장 가동률 및 이용률 등의 자료를 확보하여 분석하였다.

각 정수장의 침투부하율의 분포 정도를 파악하고 각각의 자료와 침투부하율과의 상관관계 파악을 통하여 가장 상관성 있는 변수를 찾아내어 이를 토대로 공업용수 정수장 설계 시 적용할 수 있는 공업용수 수요량별 침투부하율을 제안하고자 하였다.

또한, 이렇게 제안된 침투부하율은 현재 산업단지 등의 공업용수 수요량 예측에 사용되고 있는 부지면적 원단위 예측방법에 더하여 더욱 정확한 용수량의 예측을 통해 산업단지 등의 계획 단계에서 공업용수 정수시설 용량의 과다·과소 설계를 방지할 수 있는데 기여하고자 하였다.

Ⅱ. 이론적 배경

2.1 공업용수의 원단위 산정 방법

산업단지를 조성하게 되면 필요한 부지, 용수 공급, 전력 시설 등 여러 가지 요인을 검토해야 하며 단지 조성 이후에는 시설 용량이 부족하게 되어도 여건에 맞게 조정하기가 매우 어렵게 된다. 부득이 추가적으로 시설을 확충하기 위해서는 시설비용이 초기 투자비 대비 매우 증가하게 되거나 불가능하게 될 수도 있다. 따라서 시설 이후의 불필요한 재원 낭비를 방지하기 위한 측면에서라도 계획시점부터 사업장별 특성이나 생산 기술의 변화가 적절하게 반영된 원단위가 적용되어야 할 것이다¹⁹⁾.

우리나라에서 공업용수 수요량을 산정할 때는 기존공단과 조성 예정인 계획공단으로 구분하여 공장 가동률과 부지 내 공장의 입주율, 계획 유수율을 반영하여 산정하게 된다. 특히 신규로 조성될 예정인 산업단지의 경우에는 조성이 완료된 이후의 입주율과 각 공장의 가동률에 따라 점차적으로 용수의 수요가 증가하게 되는 점을 반영하게 되고 공업용수의 수요가 최대가 되는 시기를 일정 기간 정하여 단계별 기준을 제시함으로써 준공이후 초기에 과다하게 수요량이 예측되는 것을 방지한다¹⁾.

공업용수량을 산정하고 예측하는데 활용되는 공업용수의 원단위 산정시 가장 중요하게 고려되어야 할 점은 용수량의 재현성이며, 원단위를 산정하기 위한 데이터 습득이 용이해야하고 데이터의 신뢰성 또한 매우 중요하다²⁰⁾.

공업용수의 수요량을 산정하는 우리나라의 정책 방향을 살펴보면 정수로 사용하는 경우와 침전수나 원수로 사용하기 위한 두 가지로 구분하고 있다.

정수로 사용하기 위한 공업용수의 경우에는 생활용수로 산정되어 공급되고 있는 기존공단이나 자유입지업체에서 사용하는 공업용수는 이미 생활용수 원단위에 포함되어 있기 때문에 별도 따로 고려하지 않고 해당 산단의 수도사업자와 별도로 협약을 체결한 물량만 반영하게 되며 계획 단계의 산업단지는 입주예정

인 업종별 부지면적을 고려한 부지면적당 원단위를 토대로 산정하게 된다.

침전수나 원수로 공업용수를 사용할 경우에는 기존에 조성된 공단은 공장의 입주율, 입주하고 있는 사업장의 가동률 및 이용률을 고려하도록 하고 있으며 계획공단의 경우에는 부지면적당 원단위를 적용하고 별도로 수도사업자와 협약 등이 체결된 경우에는 협약 물량을 반영하여 산정하게 된다³⁾.

공업용수의 수요를 예측하는 방법으로는 생산액 원단위법, 종업원수 원단위법, 부지면적 원단위법과 계량모형을 이용하여 공업용수 수요함수를 이용하는 방법 등이 있다. 우리 나라의 수자원 장기종합계획에서는 공업용수 공급량 및 장기적인 수요량 예측을 위해 부지면적 원단위법을 적용하고 있다⁸⁾.

국내의 상수 수요량을 산정하기 위한 절차 흐름도를 Fig. 1에 나타내었다¹⁾.

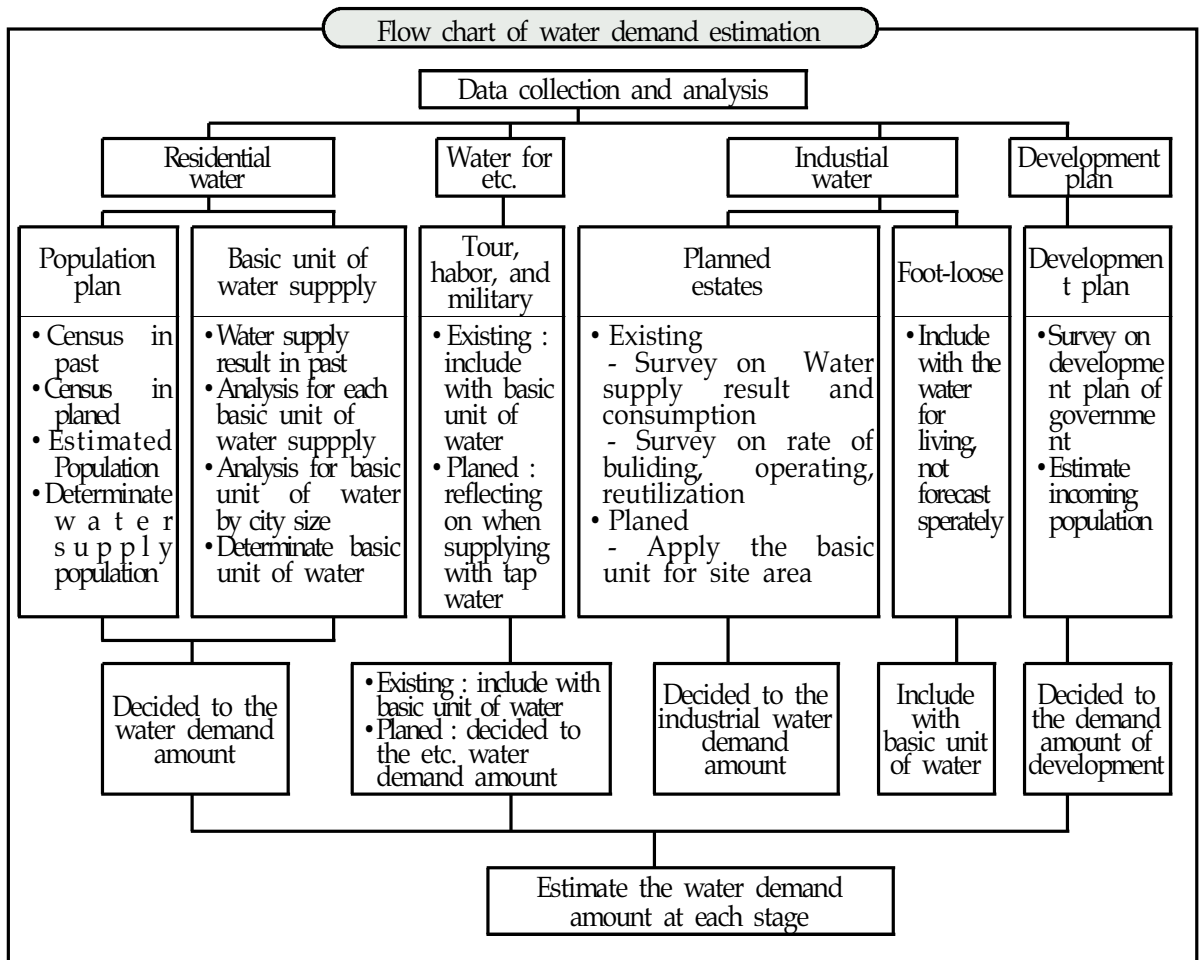


Fig. 1. Flow chart of water demand estimation

공업용수 수요 예측을 위한 원단위별 추정방법의 특성을 비교해 보면 다음과 같다¹⁸⁾

- 부지면적 원단위 : 각 사업장 부지의 단위면적당 공업용수 사용량을 이용한 예측방법으로 자료취득 및 분석이 용이하며 단기 예측을 할 경우에 예측 효율이 높아 이용하는 사례가 많은 반면 기존에 조성된 공장 자료를 이용하여 산정하는 만큼 가동률^{가)}, 입주율^{나)} 등의 변수 등을 고려해야 한다.
- 종업원 원단위 : 각 사업장별 종업원 1인이 사용한 공업용수 사용량을 토대로 예측하게 된다. 생산 공정에서 사용되는 용수량이 적은 경우에는 종업원수의 영향을 받기 때문에 적용 가능하게 되며 부지면적 원단위 방법과 마찬가지로 자료 취득이나 분석이 용이하고 생활용수 원단위와 동일한 기준을 적용 가능하다는 장점이 있다. 하지만 가동률 등 별도의 변수에 대한 검토가 필요하다.
- 생산액 원단위 : 각 사업장에서의 매출액이 상승하게 되면 이에 필요한 공업용수의 양도 증가하게 될 것이다. 생산액 원단위 방법은 각 사업장별 단위 생산액당 공업용수 사용량을 토대로 예측하는 방법으로 이론적으로 봤을 때 가장 설득력이 있으며 별도의 가동률 등을 고려할 필요는 없을 것이다. 다만, 원단위 산정과 더불어 물가에 대한 고려가 필요할 것이다.
- 부가가치 원단위 : 각 사업장별 단위 부가가치당 공업용수 사용량을 이용하게 된다. 경제적 측면에서의 예측이 가능한 만큼 가동률 등의 변수에 대한 검토가 필요 없으며 원단위 변화폭도 작게 나타난다. 단점은 생산이 감소할 경우 음의 값이 나타나는 사업장이 존재하게 되며 생산액 원단위의 경우와 마찬가지로 물가에 대한 고려가 필요하다.

공업용수의 원단위 산정을 위해서 기존에 조성되어 있는 산업단지의 사업장별 용수사용량을 토대로 실적원단위를 우선 산정한 이후 이와 관련된 상위계획의 원단위와 비교하여 신규 조성될 산업단지의 원단위를 추정하고 있으며 그 흐름도를 Fig. 2에 나타내었다.

가) 가동률 = [실제생산(금액)/정상생산능력(금액)]×100

나) 입주율 = [가동업체/입주계약업체]×100 또는 [입주계약업체수/최대입주계약업체수]×100

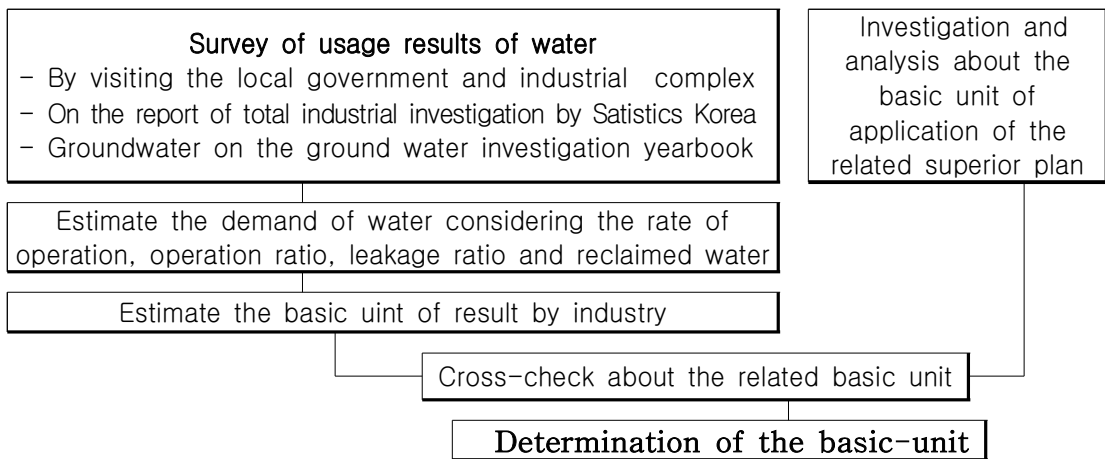


Fig. 2. Flowchart for the determination of the basic-unit of industrial water

수도정비계획에서는 공업용수의 수요를 예측하는 방법론의 사례를 Fig. 3과 같이 기술하였다²¹⁾.

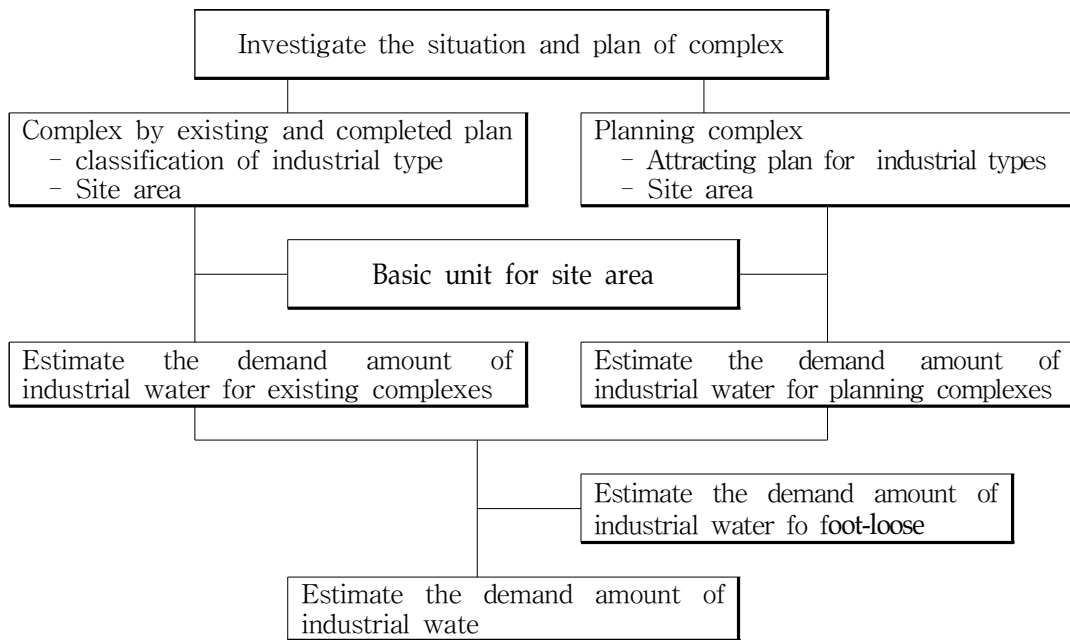


Fig. 3. Methodology for demand forecast of industrial water

2.2 국내의 공업용수 첨두부하율 적용 현황

2.2.1 첨두부하율의 정의

국내 상수도 시설을 설계하는데 있어 가장 중요하게 고려되는 요인은 일최대급수량과 시간최대급수량이다. 생활용수를 공급하게 되는 정수시설의 계획정수량을 도출하기 위해 일최대급수량과 일평균급수량의 비로 나타내는 첨두부하율 개념을 적용하여 1.196 ~ 1.51범위의 값을 활용하고 있으나 공업용수의 경우 별도로 언급하고 있지 않다⁹⁾.

$$Peak Load = \frac{Daily\ Maximum\ Water\ Supply}{Daily\ Average\ Water\ Supply}$$

일본에서는 우리나라와 유사한 형태로 일최대급수량을 산정하기 위해 첨두부하의 개념을 도입하고 있다. 다만, 일본에서는 우리나라의 첨두부하율 대신 부하율이란 개념을 사용하고 있는데 우리나라의 첨두부하율의 역수 개념과 같다. 따라서 우리나라에서 상수도 시설 설계에 적용하고 있는 첨두부하율은 1 보다 큰 값을 나타내게 되고 일본의 부하율은 1보다 작은 값을 나타내게 된다. 일본에서 적용하고 있는 부하율의 범위는 69.2 ~ 84.0 %로 우리나라의 첨두부하율 개념으로 환산하면 1.190 ~ 1.445 정도이다¹⁰⁾.

$$Load = \frac{Daily\ Average\ Water\ Supply}{Daily\ Maximum\ Water\ Supply}$$

미국의 경우에는 우리나라와 유사한 형태로 일평균급수량에 대한 일최대급수량의 비로써 peak factor 이나 peaking coefficient 개념을 사용하고 있으며 우리나라나 일본과 같이 인구수나 급수량에 따라 특정 값을 제시하지 않고 일반적으로 적용되는 범위로 1.2 ~ 2.5 정도로 제시하고 있다¹¹⁾.

2.2.2 국내

국내에서 생활용수를 공급하기 위한 정수장의 설계 시 일최대급수량을 고려하기 위해서 일최대급수량을 일평균급수량으로 나눈 첨두부하율을 적용하고 있으며 인구규모별로 적용하고 있는 첨두부하율 Table 1에 나타내었다¹⁾.

Table 1. Relationship between served population and peak load

Served Pop. (× 10,000)	0 ~ 1	1 ~ 2	2 ~ 5	5 ~ 10	10 ~ 25	25 ~ 50	50 ~ 100	>100
Peak Load	1.51	1.45	1.40	1.36	1.31	1.27	1.23	1.196

그러나 공업용수 정수 시설의 경우에는 첨두부하율에 대하여 고려하는 사항이 기술되지 않고 있으며 공단의 가동률, 입주율과 계획 유수율 등만을 고려한 원단위 산정방법을 통하여 계획되고 있다^{1), 9)}.

첨두부하율은 지역이 가지고 있는 도시의 특성이나 기후 조건 등에 따라 상이한 특성을 가지게 되며 통상적으로 급수인구가 많아지거나 배수구역이 커지게 되면 값이 작게 산출되며, 인구가 밀집되는 대도시나 물 사용량이 많은 공업도시 등에서는 낮고 일반 주거지역이나 농촌 지역과 같이 일정 구역 내의 물 사용 패턴이 비슷한 정도로 유지되는 지역에서는 다소 큰 값을 나타내고 있는 것으로 알려지고 있다¹²⁾.

첨두부하율의 개념은 상수뿐만 아니라 하수도 시설의 시설 설계에 있어 용량을 결정하는 매우 중요한 요인 중 한 부분을 차지한다. 하수도 시설 설계를 위한 첨두부하율은 상수도 시설을 위한 첨두부하율과 같은 개념이라는 것으로 전제로 하고 있다¹³⁾.

하수시설의 경우 첨두부하율은 일일평균오수량과 일일최대오수량의 비로 계산되며 하수도 시설 용량을 산출해내는 기준량은 1인1일최대오수량을 사용하며 여기에 해당 하수처리구역의 인구수를 곱하게 되면 계획오수량이 산출되게 된다 이때 1인1일최대오수량은 상수도 사용 계획의 1인1일최대급수량을 고려하여 결정하게 되며 계획1일1인평균오수량은 계획1일1인최대오수량의 70 ~ 80%를 표준

으로 삼게되고, 계획최대오수량의 경우에는 계획1일최대오수량 1시간 발생량의 1.3 ~ 1.8배를 표준으로 한다¹⁴⁾.

이처럼 하수도 시설의 유량 결정을 위해서는 상수도 시설에 따른 급수량을 고려하는 것이 일반적이거나 실제로 하수도 시설의 경우에는 상수사용량외에도 오수 전환율, 침입수 및 유입수의 영향을 받기 때문에 하수도 시설 용량을 결정할 때에는 상수도에서 고려하는 침투부하율뿐만아니라 이러한 다른 요인에 대한 고려도 필요하다¹⁵⁾.

생활용수 시설용량 결정을 위해 침투부하율을 적용하기 위해서는 지방의 경우에는 지자체에서 가지고 있는 과거 3년 이상의 1일 공급량에 대한 데이터를 분석하여 산출하게 되며 국가의 광역 계획에서는 표본 도시의 인구수별 표본 조사 등을 이용한 분석자료를 활용하게 된다. 이 외에도 침투부하율은 매년 기온, 강수 상황 등에 따라 다르게 나타날 수 있기 때문에 다양한 과거 자료를 토대로 미래의 침투부하율을 예측할 필요가 있다.

국내에서 침투부하율을 통한 생활용수의 공급량 산정 시 과거 자료가 부족할 경우 2 ~ 3년 간의 자료 중 가장 큰 값을 선택하거나 자료가 충분히 많을 경우 평균 또는 확률적 기법(10년 확률빈도 등)을 이용해 결정할 수 있다. 이 밖에도 충분한 자료가 없을 경우 도시의 규모나 지형·기후적 특성이 비슷한 타 도시의 침투부하율을 적용하기도 한다⁹⁾.

상수도시설기준, 수도정비기본계획 지침, 전국수도종합계획이나 지자체수도정비계획 등에서는 국내에서 적용할 수 있는 침투부하율 기준을 Table 3과 같이 제시하고 있으며 급수인구별 침투부하율을 나타내고 있다. 하지만 Table 2의 침투부하율에 대한 값은 별도의 연구 자료가 없이 일본 기준을 적용하고 있다는 한계점을 가지고 있다¹²⁾.

Table 2. Peak load indicated in the national water master plan(2006)

Criterion	Served Pop. (× 10,000)	Peak Load
City	More than 100	1.20
	50 ~ 100	1.25
	Less than 50	1.30
Town	Less than 10	1.35

2.2.3 일본

일본의 경우도 우리나라와 유사한 실정으로 생활용수의 경우 1일최대급수량을 산정하기 위해서 첨두부하율에 대한 개념을 도입하고 있으며 공업용수의 수요량을 산정하기 위하여 일본공업용수협회에서 발행된 공업용수도시설설계지침·해설서에서는 수요량 예측 시 기존 공장에 대한 수량, 첨두부하율 등에 대한 조사를 통해 파악하며 첨두부하율은 공단 내의 업종 분포, 조업 상황 등에 따라 다를 수 있기 때문에 시뮬레이션 등 예측가능한 방법을 동원하여 실제 운영 과정하는데 있어서 과다 설계 하지 않게 유의하도록 하고 있다. 또한, 공업용수 정수시설을 설계할 경우에 계획정수량은 계획일일최대급수량에 근거로 산출하여 손실률 5%를 추가적으로 고려하도록 하고 있다. 요약하자면 계획정수량은 계획일일최대급수량에 1.05배하여 산출하고 계획일일최대급수량은 첨두부하율에 일일평균급수량을 곱하여 구하게 된다. 이때, 공단 내 각 공장별 첨두부하율을 모두 고려하게 되면 정수시설의 용량이 과다설계될 우려가 있기 때문에 공단 내 업종 구성이나 조업 방식 등을 고려하여 전체 공장에 대한 공급량의 첨두부하율을 고려한 설계가 이루어 지도록 하고 있다¹⁶⁾.

일본에서 적용하고 있는 급수인구 규모별 생활용수 부하율을 Fig. 4에 나타내었다. 급수 인구가 5천명 미만일 때의 부하율은 67 ~ 71%(첨두부하율 환산 1.41 ~ 1.19) 정도이며 100만명 이상이 되면 78 ~ 88%(첨두부하율 환산 1.14 ~ 1.28)를 적용하고 있다.

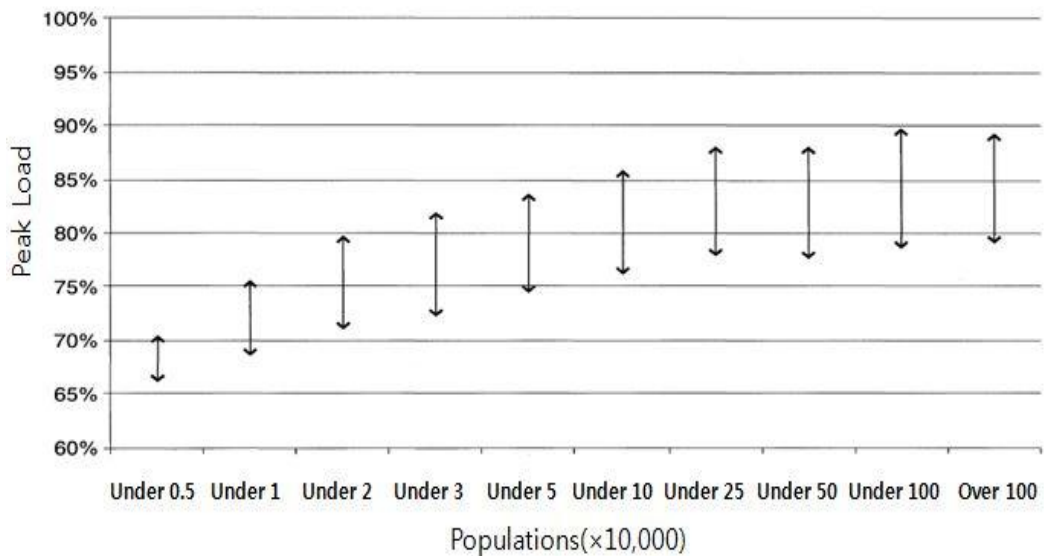


Fig. 4. Peak load of living water for supply population

부하율은 도시의 규모가 작을수록 낮고 반대로 규모가 커질수록 높아지며, 도시의 특성, 기상 여건 등의 영향을 받게 된다. 또한 첨두부하의 영향요소는 다양하고 복합적으로 판단하게 되며 첨두부하율에 대한 구체적인 범위를 제시하지는 않고 있다¹⁷⁾.

2.2.4 미국

미국에서는 우리나라와 같은 첨두부하율의 개념으로 peak factor 또는 peaking coefficient 라고 표현하여 사용하고 있는데 일반적으로는 1.2 ~ 2.5 범위의 값을 제시하고¹¹⁾ 있으나 높게는 1.5 ~ 3.5까지로 국내의 경우나 일본의 경우보다 매우 높게 제시하는 경우도 있다¹⁸⁾. 미국 문헌에서 제시한 첨두부하율을 Table 3에 나타내었다¹²⁾.

또한 과거 자료가 부족하여 첨두부하율의 예측이 어려운 경우에는 통상적으로 최근 2 ~ 3년간의 첨두부하율을 비교하여 가장 큰 값을 이용해 첨두부하율을 예측하도록 제안하고 있기도 하며 일부 지역의 경우에는 10년 확률 빈도 값을 사용하기도 한다¹¹⁾.

Table 3. Peak load application in the U.S.A.

Source	Suggestion
Distribution Network Anaysis for Water Utilities, AWWA, M32	Peak Factor=Maximum-day demand/Average-day demand : 1.2 ~ 2.5
Water Works Engineering, Planning Desigh and Operation, Prentice Hall PTR	Maximum day in a year(Percent if Annual Average day) : 160 ~ 220%
Water Distribution Systems Handbook, McGraw Hill	Peaking Coefficient, Maximum day to average day : 1.5 ~ 3.5(US), 1.8 ~ 2.8(Common)
Integrated Design and Operation of water Treatment Fcilities, John Wolley & Sons	The Maximum daily demand is usually 150% of the average annual rate

2.3 통계분석 방법

2.3.1 상관성 분석

상관성 분석이란 각 변수 사이의 연관성을 분석하고자 두 종류의 변수간에 선형적으로 나타나는 상관관계를 파악하기 위한 통계 기법의 일종으로 하나의 변수가 또 다른 변수와 관련이 있는지, 관련이 있다면 그 정도가 어느 수준인지를 파악하기 위하여 사용된다. 주로 사용되는 방법으로는 Pearson 상관계수 (Correlation coefficient, r)가 많이 사용되며, 이 때 상관계수의 값은 -1부터 1사이의 값을 가지게 되고 절댓값이 1에 근접할수록 변수간의 상관성이 크다는 것을 뜻하게 된다²²⁾.

상관성 분석은 변수간에 얼마 정도의 상관관계가 성립되는지를 나타내는 것이지만 인과관계로 설명할 되는 것은 아니다. 상관성 분석을 위해 주로 사용되는 것은 회귀분석 방법이며 선형모델과 비선형모델의 추세선을 이용하여 분석하게 된다. 이러한 추세선을 이용하여 분석할 경우 그 정도를 r^2 값으로 표출하게 된다. 상관계수 r 과 r^2 값에 따른 상관 정도를 Table 4에 나타내었다²³⁾.

Table 4. Degree of correlation as a function of correlation coefficients

Correlation Coefficient r	Determination Coefficient r^2	Correlation
0.90 - 1.00	0.81 - 1.00	Very high
0.70 - 0.90	0.49 - 0.81	High
0.40 - 0.70	0.16 - 0.49	Middle
0.20 - 0.40	0.04 - 0.16	Low
0.00 - 0.20	0.00 - 0.04	Very low

이러한 상관성을 파악하기 위하여 가장 우선적으로 접근해 볼 수 있는 것은 일반적으로 상관성 분석에 사용되는 산점도(scatter plot)를 도식화 해보는 것이다. 산점도란 X값과 Y값으로 이루어진 n 개의 데이터를 좌표위에 그린 것으로써 산점도를 통하여 여러 형태로 존재하게 되는 두 종류의 변수 상호간 상관관계를 도출해 낼 수 있다²⁴⁾.

2.3.2 변이계수

변이계수는 표준편차 값을 산술 평균값으로 나누어 백분율로 표시한 것으로 상대적 표준편차라고도 하며 변동계수라고도 표현할 수 있다. 단위가 다른 두 종류의 데이터에 대해 분포하는 산점도(散點圖)를 비교하거나 같은 단위라 하더라도 평균적 분포 정도에 큰 차이를 보이는 자료에 대한 산점도를 비교하는데 적합한 계수이다.

변이계수를 사용하는 것은 표준편차가 절대값으로 표현되어 단위가 다른 데이터의 분포 정도를 비교할 수 없을 때 단위와 무관한 변이계수를 사용하게 되는 것이다. Fig. 5에서 보게 되면 평균값은 같으나 분포 정도가 상이한 두 가지의 데이터가 있을 때 분포 1의 경우에 분포 2의 경우보다 분포 정도가 작은 것을 알 수 있다.

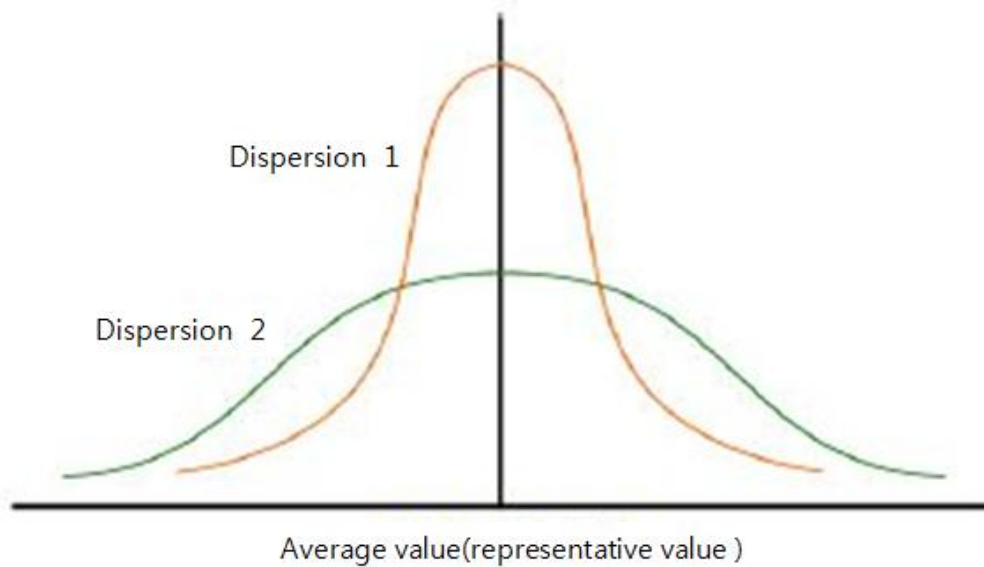


Fig. 5. Different dispersion of two data with same average

이는 분포 1의 경우가 분포 2의 경우보다 변이계수가 작다는 것을 의미하고 있다. 즉, 분포 1이 평균값을 중심으로 밀집된 형태로 데이터가 존재하고 있으며 변량이 고르게 분포하고 있음을 의미하며 변이계수 값이 작을수록 산점도가 작고 균일한 데이터를 가지고 있다는 것을 보여준다²⁵⁾.

Ⅲ. 연구 방법

3.1 연구 대상

2015년도 2분기 기준의 전국 산업단지 현황과 입주된 사업장 수, 그 중 가동되는 사업장 수를 Table 5에 나타내었다. 산업단지에서 생산되는 총 생산액은 979조원이며 고용인원은 2,161천명이다²⁶⁾.

Table 5. Situations of industrial complex

Industrial Complex	Number of Industrial Complex	Number of Companies	
		Building	Operation
Total	1,124	85,789	79,363
National	41	50,029	46,993
General	597	28,839	26,178
Urban high-tech	19	185	151
Agricultural	467	6,736	6,041

2015년 4분기 기준으로 볼 때 국가산업단지의 분양률은 98%로 산업단지들 중 가장 높고 고용(56.6%), 생산(60.7%) 및 수출(59.6%) 실적은 전국 산업단지의 절반 이상을 차지하고 있다. 국가산업단지의 가동률은 2015년 9월 기준으로 81.3%로 나타났다. 가동률은 [당월 생산실적/생산능력]×100으로 계산되며 제조업 가동업체의 금액 기준으로 계산된다²⁷⁾.

K-water에서 운영 중인 9개 지역 공업용수 정수 시설을 대상으로 최근 6년(2009년 ~ 2014년)간 공급된 용수 자료를 바탕으로 일일평균공급량, 일일최대·최소공급량 등 공급 현황자료를 분석하였다.

3.1.1 대불정수장

대불정수장은 전라남도 영암군에 위치하고 있으며 1997년 8월 준공되어 전라남도 지역을 중심으로 서남권의 개발 촉진을 통한 국토의 균형발전을 도모하고 중국 및 동남아 지역 시장 진출을 위해서 조성된 대불국가산업단지에 공업용수를 공급하는 정수시설이다. 대불국가산업단지의 일반적인 현황자료를 Table 6에 나타내었다.

Table 6. Characteristics of Dae-bul national industrial complex

Title		Dae-bul national industrial complex													
Location		A part of Nabul-r and, Nanjeon-ri, Samho-myoen, Yeongam-gun, Jeollanam-do													
Construction Period		1989 ~ 1997. 8. 28(Cost : 411.2 billions)													
Area (×10 ³ m ²)		Total	Industry Facility			Supporting Facility			Public Facility		Green	Residential		Etc.	
		8,753	4,032			613			2,255		1,853	-		-	
Company Situation	Company	Build	269			Operate (Operate/Build)						249 (92.6%)			
	industrial classification	Criterion	Total	Food	Fiber	Paper	Petrochemistry	Nonmetallic	Steel	Machin	Electrical electronics	Transportation equipment	etc.	Nonmanufacturing	
		Operating Company (EA)	249	11	-	3	11	17	4	73	5	103	1	21	
Person	7,117	140	-	114	384	302	105	2,120	56	3,850	6	40			

대불국가산업단지에 공업용수를 공급하고 있는 대불정수장은 시설용량 57.5 천m³/일로써 영산강 하구호에서 취수하여 대불취수장을 통해 원수가 공급된다. 대불정수장의 시설현황은 Table 7과 같다.

Table 7. Dae-bul water treatment plant

Criterion	Situations																							
Facilities	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Capacity : 57,500 m³/d ▪ Intakes : Downstream of the Yeongsan River ▪ Construction Period : 1990. 12. 10 ~ 1994. 12. 15 ▪ Discharge : 1994. 08 																							
Operating	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th>Year</th> <th>Rate of Operation(%)</th> <th>Rate of Utilization(%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>2009</td> <td>53.7</td> <td>30.1</td> </tr> <tr> <td>2010</td> <td>41.3</td> <td>29.9</td> </tr> <tr> <td>2011</td> <td>44.8</td> <td>31.8</td> </tr> <tr> <td>2012</td> <td>46.6</td> <td>32.1</td> </tr> <tr> <td>2013</td> <td>61.1</td> <td>33.5</td> </tr> <tr> <td>2014</td> <td>49.2</td> <td>31.1</td> </tr> </tbody> </table>			Year	Rate of Operation(%)	Rate of Utilization(%)	2009	53.7	30.1	2010	41.3	29.9	2011	44.8	31.8	2012	46.6	32.1	2013	61.1	33.5	2014	49.2	31.1
Year	Rate of Operation(%)	Rate of Utilization(%)																						
2009	53.7	30.1																						
2010	41.3	29.9																						
2011	44.8	31.8																						
2012	46.6	32.1																						
2013	61.1	33.5																						
2014	49.2	31.1																						

3.1.2 군산정수장

군산정수장은 전라북도 군산에 위치하고 있으며 1994년 12월 준공되어 서해안 지대의 전진 산업기지 역할을 위해 해안 매립을 통하여 신규 공업용지 수요를 충족하고자 조성된 군산산업단지에 공업용수를 공급하는 정수시설이다.

군산산업단지는 국가산업단지와 일반산업단지가 있으며 각 산업단지의 일반적인 현황자료를 Table 8, 9에 나타내었다.

Table 8. Characteristics of Gun-san national industrial complex

Title		Gun-san national industrial complex												
Location		12 km western of Gun-san, a part of Soryong-dong, Gunsan-si, Jeonbuk												
Construction Period		1988. 11. 18 ~ 1994. 12. 26												
Area ($\times 10^3 \text{m}^2$)		Total	Industry Facility		Supporting Facility		Public Facility		Green	Residential	Etc.			
		6,828	5,576		100		831		321	-	-			
Company Situation	Company	Build	147		Operate (Operate/Build)						133 (90.5%)			
	industrial classification	Criterion	Total	Food	Fiber	Paper	Petrochemistry	Nonmetallic	Steel	Machin	Electrical electronics	Transportation equipment	etc.	Nonmanufacturing
		Operating Company (EA)	133	1	2	6	24	4	2	20	11	53	-	10
		Person	7,741	9	37	50	468	132	133	572	267	5,911	-	162

Table 9. Characteristics of Gun-san general industrial complex

Title		Gun-san general industrial complex												
Location		10 km western of Gun-san, a part of Soryong-dong, Gunsan-si, Jeonbuk												
Construction Period		1978 ~ 2005(Cost 78.7 billions)												
Area ($\times 10^3 \text{m}^2$)		Total	Industry Facility		Supporting Facility		Public Facility		Green	Residential	Etc.			
		5,641	3,624		1,220		645		152	-	-			
Company Situation	Company	Build	67		Operate (Operate/Build)						65 (97.0%)			
	industrial classification	Criterion	Total	Food	Fiber	Paper	Petrochemistry	Nonmetallic	Steel	Machin	Electrical electronics	Transportation equipment	etc.	Nonmanufacturing
		Operating Company (EA)	65	10	1	5	13	23	2	6	1	4	-	-
		Person	5,281	737	80	226	1,851	889	1,392	49	5	52	-	-

군산국가산업단지에는 군산정수장이 있어 1일 130 천m³의 공업용수를 공급하고 있으며 금강 하구호에서 취수하여 정수처리 후 군산일반산단 분기(50 천m³/일)를 통해 군산국가산단에 75.4 천m³/일 공업용수를 급수하고 있다. 군산정수장의 시설현황은 Table 10과 같다.

Table 10. Gun-san water treatment plant

Criterion	Situations		
Facilities	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Capacity : 130,000 m³/d ▪ Intakes : Downstream of the Geum River ▪ Construction Period : 1989. 12. 29 ~ 1995. 04 ▪ Discharge : 1995. 04. 25 		
Operating	Year	Rate of Operation(%)	Rate of Utilization(%)
	2009	62.5	50.7
	2010	71.6	55.6
	2011	83.2	68.9
	2012	81.3	70.0
	2013	78.0	68.4
	2014	84.2	70.3

3.1.3 시흥정수장

시흥정수장은 경기도 안산시에 조성된 반월특수지원(안산신도시, 구 반월지구) 산업단지에 공업용수를 공급하는 정수장이다. 반월특수지원 산업단지는 1987년 준공된 단지로 수도권 내 산재해 있던 공업시설 중 이전대상 사업장을 수용하고 인근 지역의 신·증설 공장을 유치한 국가 복합산업단지이다.

산업단지의 일반적인 현황자료를 Table 11에 나타내었다.

Table 11. Characteristics of Ban-wol national industrial complex

Title		Ban-wol national industrial complex(New city, Ansan), Former Ban-wol districts													
Location		30 km Southwest of Seoul, a part of Seonggok-dong, Singil-dong, Mongnae-dong and Chiji-dong, Gyeonggi-do													
Constuction Period		1978 ~ 1987													
Area (×10 ³ m ²)		Total	Industry Facility	Supporting Facility	Public Facility	Green	Residential	Etc.							
		15,374	7,929	427	2,086	4,932	-	-							
Compa ny Situati on	Company	Build	7,010		Operate (Operate/Build)							6,955 (99.2%)			
	industrial classification	Criterion	Total	Food	Fiber	Paper	Petro chemi stry	Nonm etallic	Steel	Machi ne	Electric al electron ics	Trans portat ion equip ment	etc.	Nonm anufa cturin g	
		Operating Company (EA)	6,955	92	353	250	568	24	199	2,565	2,544	279	45	36	
		Person	169,691	2,675	10,663	5,576	20,122	490	4,361	36,585	70,707	16,572	480	1,460	

시흥정수장의 시설 용량은 157 천m³/일로 팔당댐에서 취수하여 팔당 취수장을 통해 원수가 공급되며 시화지구에 공업용수를 공급한다. 시흥정수장의 시설현황은 Table 12와 같다.

Table 12. Si-heung water treatment plant

Criterion	Situations		
Facilities	<ul style="list-style-type: none"> Capacity : 258,000m³/d (residential : 101,000, industrial : 157,000) Intakes : Paldang dam Construction Period : 1990. 11. 19 ~ 1992. 12. 25 Discharge : 1992. 08. 01 		
	Operating	Year	Rate of Operation(%)
2009		43.2	33.5
2010		48.7	37.7
2011		47.4	36.8
2012		46.4	37.0
2013		49.8	36.5
2014		65.2	33.5

3.1.4. 아산정수장

아산정수장은 경기도 평택, 화성, 충남 당진시 일대에 조성된 아산국가산업단지에서 공업용수를 공급하고 있다. 아산국가산업단지는 기계, 자동차 관련 업종과 수도권에서 이전된 공장의 수요를 충족시키고 수도권 정비 및 중부권의 개발을 위해 경기도와 충청남도 총 5개 지구로 지정되어 있는 산업단지이다.

아산국가산업단지의 일반적인 현황자료를 Table 13에 나타내었다.

Table 13. Characteristics of A-san national industrial complex

Title		A-san national industrial complex													
Location		Ujeong districts, Gyeonggi Wonjeong&Posung districts, Gyeonggi Godae&Bigok districts, South Chungcheong													
Construction Period		1978 ~ 2005(Cost 853.6 billions)													
Area ($\times 10^3 m^2$)		Total	Industry Facility	Supporting Facility	Public Facility	Green	Residential	Etc.							
		17,760	8,670	5,221	992	597	77	2,203							
Company Situation	Company	Build	260			Operate (Operate/Build)						245 (94.2%)			
	industrial classification	Criterion	Total	Food	Fiber	Paper	Petrochemical	Nonmetallic	Steel	Machiner	Electrical electronics	Transportation equipment	etc.	Nonmanufacturing	
		Operating Company (EA)	245	8	-	4	57	4	25	61	15	31	-	40	
		Person	23,141	206	-	222	1,867	160	796	14,146	3,026	2,244	-	474	

아산정수장은 아산국가산업단지에서 공업용수를 공급하게 되는데 1999년 3월 준공되어 2000년 1월에 통수하기 시작하였고 시설용량은 350 천 m^3 /일로 아산호를 취수원으로 하여 아산(경기)공단에 공급하고 있다. 아산정수장의 시설현황은 Table 14와 같다.

Table 14. A-san water treatment plant

Criterion	Situations																							
Facilities	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Capacity : 421,000 m³/d(residential 71,000, industrial 350,000) ▪ Intakes : Daecheong dam, Chung Regulation dam ▪ Construction Period : 1994. 12. 07 ~ 1999. 03. 21 ▪ Discharge : 2000. 01. 05 																							
Operating	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Year</th> <th>Rate of Operation(%)</th> <th>Rate of Utilization(%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>2009</td> <td>22.1</td> <td>13.0</td> </tr> <tr> <td>2010</td> <td>32.9</td> <td>24.5</td> </tr> <tr> <td>2011</td> <td>35.7</td> <td>29.7</td> </tr> <tr> <td>2012</td> <td>82.4</td> <td>45.8</td> </tr> <tr> <td>2013</td> <td>74.4</td> <td>62.3</td> </tr> <tr> <td>2014</td> <td>81.2</td> <td>71.7</td> </tr> </tbody> </table>			Year	Rate of Operation(%)	Rate of Utilization(%)	2009	22.1	13.0	2010	32.9	24.5	2011	35.7	29.7	2012	82.4	45.8	2013	74.4	62.3	2014	81.2	71.7
Year	Rate of Operation(%)	Rate of Utilization(%)																						
2009	22.1	13.0																						
2010	32.9	24.5																						
2011	35.7	29.7																						
2012	82.4	45.8																						
2013	74.4	62.3																						
2014	81.2	71.7																						

3.1.5. 온산정수장

울산광역시 울주군에 위치하고 있는 온산국가산업단지는 비철금속공업, 정유, 화학 펄프공업의 육성과 이와 연관된 공업을 유지하는 중화학단지로서 온산정수장에서 생산된 공업용수를 공급받는다. 온산국가산업단지의 일반적인 현황자료를 Table 15에 나타내었다.

온산정수장은 1978년 준공된 시설용량 1,325 천m³/일 정수장으로 낙동강에 취수하여 원동취수장과 온산가업장을 거쳐 정수장에서 정수처리하고 산업단지로 통수하고 있다. 온산정수장의 시설현황은 Table 16과 같다.

Table 15. Characteristics of On-san national industrial complex

Title		On-san national industrial complex													
Location		40 km south of Ul-san, a part of Onsan-eup and Onyang-eup, Ulju-gun, Ulsan Metropolitan City													
Construction Period		1974 ~ 2015													
Area (×10 ³ m ²)		Total	Industry Facility	Supporting Facility	Public Facility	Green	Residential	Etc.							
		19,765	16,573	521	1,925	746	-	-							
Company Situation	Company	Build	337				Operate (Operate/Build)				290 (86.1%)				
	Industrial Classification	Criterion	Total	Food	Fiber	Paper	Petrochemistry	Nonmetallic	Steel	Machine	Electrical electronics	Transportation equipment	etc.	Nonmanufacturing	
		Operating Company (EA)	290	-	2	3	80	9	23	79	8	64	6	16	
		Person	16,892	-	-	965	5,104	93	3,284	2,312	167	4,590	66	311	

Table 16. On-san water treatment plant

Criterion	Situations		
Facilities	<ul style="list-style-type: none"> Capacity : 341,000 m³/일 Intakes : Won-dong intake station Construction Period : 1977. 04. 08 ~ 1978. 09. 13 		
	Operating	Year	Rate of Operation(%)
2009		63.9	53.3
2010		65.0	55.8
2011		68.3	60.7
2012		70.9	62.7
2013		71.2	61.9
2014		67.9	61.7

3.1.6. 천안정수장

천안정수장은 충남 천안시에 위치한 천안일반산업단지 중 제2, 3, 4, 5 산업단지에 공업용수를 공급하고 있다. 제2단지는 반도체 산업을 중심으로 첨단산업단지를 유지하기 위해 조성되었으며 제3단지는 아산단지, 반월단지와 마찬가지로 수도권 공업시설의 지방이전을 위하여 조성된 산업단지이다. 특히, 무분별하게 개별적으로 입지되어 있는 시설들을 집단화하여 첨단산업 입지를 조성하였으며 단지 내 천안 외국인 투자지역을 포함하고 있다. 제4단지는 수도권 공장의 지방이전을 위하여 조성되었고 제5단지는 천안 동부지역 경제 활성화를 목적으로 조성되었다. 천안제2 ~ 5일반산업단지 현황자료를 Table 17 ~ 20에 나타내었다.

Table 17. Characteristics of Cheon-an 2nd general industrial complex

Title		Cheon-an 2 nd general industrial complex													
Location		8 km northwest of Cheon-an, a part of Chaam, Upsung and Seongseong-dong, Seobuk-gu, Cheonan-si, Chungcheongnam-do													
Construction Period		1990. 12. 27 ~ 1992. 7. 20(Cost 43.1 billions)													
Area (×10 ³ m ²)		Total	Industry Facility	Supporting Facility	Public Facility	Green	Residential	Etc.							
		823	567	13	174	69	-	-							
Company Situation	Company	Build	63		Operate (Operate/Build)							58 (92.1%)			
	industrial classification	Criterion	Total	Food	Fiber	Paper	Petrochemical	Nonmetallic	Steel	Machine	Electrical electronics	Transportation equipment	etc.	Non manufacturing	
		Operating Company (EA)	58	6	-	-	14	-	1	10	15	6	6	-	
Person	4,330	469	-	-	568	-	70	1,459	711	624	429	-			

Table 18. Characteristics of Cheon-an 3rd general industrial complex

Title		Cheon-an 3 rd general industrial complex												
Location		8 km northwest of Cheon-an, a part of Chaam, Seongseong and Baekseok-dong, Seobuk-gu, Cheonan-si, Chungcheongnam-do												
Construction Period		1994 ~ 2001												
Area (×10 ³ m ²)		Total	Industry Facility	Supporting Facility	Public Facility	Green	Residential	Etc.						
		1,614	896	34	310	143	231	-						
Company Situation	Company	Build	54		Operate (Operate/Build))							48 (88.9%)		
	industrial classification	Criterion	Total	Food	Fiber	Paper	Petrochem	Nonmetallic	Steel	Machine	Electrical electronics	Transportation equipment	etc.	Nonmanufacturing
		Operating Company (EA)	48	1	-	-	13	-	-	8	17	5	4	-
Person	18,884	42	-	-	427	-	-	1,013	16,161	852	389	-		

Table 19. Characteristics of Cheon-an 4th general industrial complex

Title		Cheon-an 4 th general industrial complex												
Location		5 km northwest of Cheon-an, a part of Chaam and Eopseong-dong, Moshi and Singal-ri, Jiksan-eup, Seobuk-gu, Cheonan-si, Chungcheongnam-do												
Construction Period		2003. 1 ~ 2007. 12 (Cost : 140.5 billions)												
Area (×10 ³ m ²)		Total	Industry Facility	Supporting Facility	Public Facility	Green	Residential	Etc.						
		1,006	629	23	303	51	-	-						
Company Situation	Company	Build	73		Operate (Operate/Build))							70 (95.9%)		
	industrial classification	Criterion	Total	Food	Fiber	Paper	Petrochem	Nonmetallic	Steel	Machine	Electrical electronics	Transportation equipment	etc.	Nonmanufacturing
		Operating Company (EA)	70	-	-	-	-	-	-	27	29	-	14	-
Person	4,701	-	-	-	-	-	-	1,930	1,894	-	877	-		

Table 20. Characteristics of Cheon-an 5th general industrial complex

Title		Cheon-an 5 th general industrial complex												
Location		Southeast of Cheon-an, a part of Daehwa-ri, Seongnam-myeon, Dongnam-gu, Cheonan-si, Chungcheongnam-do												
Construction Period		2006 ~ 2013 (Cost : 284.7 billions)												
Area (×10 ³ m ²)		Total	Industry Facility	Supporting Facility	Public Facility	Green	Residential	Etc.						
		1,522	873	17	286	338	8	-						
Company Situation	Company	Build	45				가동업체 (가동업체/ 입주업체)				33 (73.3%)			
	industrial classification	Criterion	Total	Food	Fiber	Paper	Petrochemistry	Non metallic	Steel	Machin	Electrical electronics	Transportation equipment	etc.	Nonmanufacturing
		Operating Company (EA)	33	-	-	-	17	-	2	10	3	1	-	-
		Person	1,022	-	-	-	545	-	45	340	68	24	-	-

천안정수장은 2003년 준공되어 통수를 시작하였고 시설용량은 414 천m³/일, 대청댐에서 현도취수장을 통해 취수하여 산업단지로 용수를 공급한다. 천안정수장의 시설현황은 Table 21과 같다.

Table 21. Cheon-an water treatment plant

Criterion	Situations		
Facilities	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Capacity : 414,000 m³/d (residential : 351,000, industrial : 63,000) ▪ Intakes : Hyeon-do intake station ▪ Construction Period : 1997. 10. 31 ~ 2003. 11. 30 ▪ Discharge : 2003. 12. 08 		
	Operating	Year	Rate of Operation(%)
2009		114.8	94.1
2010		115.0	98.8
2011		124.4	104.1
2012		144.1	110.3
2013		120.9	107.3
2014		102.9	88.3

3.1.7 청주정수장

청주정수장은 충북 청주시 인근에 조성된 청주일반산업단지, 오창과학산업단지, 오창제2산업단지에 공업용수를 공급한다.

각 산업단지의 현황자료를 Table 22 ~ 24에 나타내었다.

Table 22. Characteristics of Cheong-ju general industrial complex

Title		Cheong-ju general industrial complex													
Location		A part of Bokdae-dong, Bongmyeong-dong, Songjeong-dong and Biha-dong, Cheongju, North Chungcheong													
Construction Period		1969 ~ 1989. 12. 30 (Cost 59.3 billions)													
Area ($\times 10^3 m^2$)		Total	Industry Facility	Supporting Facility	Public Facility	Green	Residential	Etc.							
		4,099	3,025	187	491	396	-	-							
Company Situation	Company	Build	357		Operate (Operate/Build)							351 (98.3%)			
	industrial classification	Criterion	Total	Food	Fiber	Paper	Petrochemistry	Non metallic	Steel	Machin	Electrical electronics	Transportation equipment	etc	Nonmanufacturing	
		Operating Company (EA)	351	14	17	16	42	7	2	83	115	10	7	38	
Person	27,354	2,148	990	263	2,710	491	62	987	18,504	178	45	606			

Table 23. Characteristics of Oh-chang science and industrial complex

Title		Oh-chang science and industrial complex												
Location		10km ~ 15km northwest of Cheongju-si, a part of Oksan-myeon, Ochang-eup, Cheongwon-gun, Chungcheongbuk-do												
Construction Period		1992. 5. 13 ~ 2002. 6. 28(cost 672.0 billions)												
Area ($\times 10^3 m^2$)		Total	Industry Facility	Supporting Facility	Public Facility	Green	Residential	Etc.						
		8,644	2,455	1,620	3,377	-	1,192	-						
Company Situation	Company	Build	158		Operate (Operate/Build))						145 (91.8%)			
	industrial classification	Criterion	Total	Food	Fiber	Paper	Petrochem	Nonmetallic	Steel	Mach	Electrical electronic	Transportation equipment	etc.	Nonmanufacturing
		Operating Company (EA)	145	12	1	-	26	5	-	9	85	2	1	4
Person	14,108	781	56	-	5,465	704	-	325	6,454	63	12	248		

Table 24. Characteristics of Oh-chang 2nd industrial complex

Title		Oh-chang 2 nd industrial complex												
Location		A part of Songdae-ri, Yangji-ri, Chang-ri, Juseong-ri, Ochang-eup, Cheongwongu, Cheongju-si, Chungcheongbuk-do												
Construction Period		2007. 12 ~ 2014. 2 (Cost 308.4 billions)												
Area ($\times 10^3 m^2$)		Total	Industry Facility	Supporting Facility	Public Facility	Green	Residential	Etc.						
		1,389	528	38	235	249	297	42						
Company Situation		Build	6		Operate (Operate/Build))						2 (33.3%)			

청주정수장은 2단계에 나누어 시설되었으며 1단계는 1987년 12월, 2단계는 2002년 9월에 준공되었다. 시설용량은 596 천m³/일로 시설현황은 Table 25와 같다.

Table 25. Cheong-ju water treatment plant

Criterion	Situations		
Facilities	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Capacity : 596,000 m³/d (residential 403,000, industrial 193,000) ▪ Intakes : Dae-Cheong dam ▪ Construction Period : Step 1 1984. 12. 29 ~ 1987. 12. 31 Step 2 1996. 10. 16 ~ 2002. 09. 26 ▪ Discharge : Step 1 1988. 01. 08 Step 2 2002. 05. 24 		
	Operating	Year	Rate of Operation(%)
2009		41.4	32.2
2010		48.2	36.1
2011		57.0	42.8
2012		75.1	55.9
2013		61.8	51.0
2014		64.1	53.8

3.1.8 충주정수장

충북 충주시에는 낙후지역에 산업단지를 조성하여 지역산업 구조조정을 촉진하고 중부내륙권 첨단산업의 전초기지 구축으로 신산업기술을 육성하고 지역경제를 부흥시키기 위하여 조성된 충주산업단지가 있다. 충주정수장에서는 충주제1일반산업단지 와 충주첨단일반산업단지에 공업용수를 공급한다. 각 산업단지의 현황자료를 Table 26, 27에 나타내었다.

Table 26. Characteristics of Chung-ju 1st general industrial complex

Title		Chung-ju 1 st general industrial complex													
Location		5km northeast of Chung-ju, a part of Mokhaeng-dong, Yongtan-dong, Geumreung-dong, Chungju-si, Chungcheongbuk-do													
Construction Period		1979 ~ 1993(Cost 22.2 billions)													
Area (×10 ³ m ²)		Total	Industry Facility		Supporting Facility		Public Facility		Green	Residential	Etc.				
		1,286	847		111		174		154	-	-				
Company Situation	Company	Build	43		Operate (Operate/Build)							31 (72.1%)			
	industrial classification	Criterion	Total	Food	Fiber	Paper	Petrochemistry	Nonmetallic	Steel	Machine	Electrical electronics	Transportation equipment	etc.	Nonmanufacturing	
		Operating Company (EA)	31	3	-	3	6	1	2	7	7	-	-	2	
		Person	1,648	196	-	300	198	133	57	278	478	-	-	8	

Table 27. Characteristics of Chung-ju high-tech general industrial complex

Title		Chung-ju high-tech general industrial complex													
Location		A part of Bon-ri, Wano-ri, Iryu-myeon, Chungju-si, Chungcheongbuk-do													
Construction Period		2006. 3. 20 ~ 2009. 10. 31(Cost 231.8 billions)													
Area (×10 ³ m ²)		Total	Industry Facility		Supporting Facility		Public Facility		Green	Residential	Etc.				
		1,920	916		12		458		268	235	31				
Company Situation	Company	Build	57		Operate (Operate/Build)							39 (68.4%)			
	industrial classification	Criterion	Total	Food	Fiber	Paper	Petrochemistry	Nonmetallic	Steel	Machine	Electrical electronics	Transportation equipment	etc.	Nonmanufacturing	
		Operating Company (EA)	39	-	-	2	8	1	5	7	14	1	-	1	
		Person	1,595	-	-	271	165	85	263	76	723	11	-	1	

충주정수장은 충주댐에서 취수한 원수를 시설용량 250 천m³/일 정수시설에서 정수하여 일반 생활용수 230 천m³/일, 공업용수로 20 천m³/일을 공급하는 시설로 1999년 12월에 준공되었다. 시설현황은 Table 29와 같다.

Table 28. Chung-ju water treatment plant

Criterion	Situations																							
Facilities	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Capacity : 250,000 m³/d(industrial 20,000) ▪ Intakes : Chung-ju intake station ▪ Construction Period : 1995. 09. 04 ~ 1999. 12. 10 ▪ Discharge : 2000. 06. 30 																							
Operating	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th>Year</th> <th>Rate of Operation(%)</th> <th>Rate of Utilization(%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>2009</td> <td>4.1</td> <td>2.1</td> </tr> <tr> <td>2010</td> <td>4.3</td> <td>2.6</td> </tr> <tr> <td>2011</td> <td>11.9</td> <td>4.7</td> </tr> <tr> <td>2012</td> <td>17.0</td> <td>9.0</td> </tr> <tr> <td>2013</td> <td>18.4</td> <td>12.1</td> </tr> <tr> <td>2014</td> <td>23.8</td> <td>16.0</td> </tr> </tbody> </table>			Year	Rate of Operation(%)	Rate of Utilization(%)	2009	4.1	2.1	2010	4.3	2.6	2011	11.9	4.7	2012	17.0	9.0	2013	18.4	12.1	2014	23.8	16.0
Year	Rate of Operation(%)	Rate of Utilization(%)																						
2009	4.1	2.1																						
2010	4.3	2.6																						
2011	11.9	4.7																						
2012	17.0	9.0																						
2013	18.4	12.1																						
2014	23.8	16.0																						

3.1.9 파주정수장

최첨단산업인 LCD 산업을 활성화하기 위하여 경기도 파주시에 파주LCD일반산업 단지가 조성되었으며 파주 정수장을 통해 공업용수가 공급된다. 파주LCD일반산업단지 현황자료를 Table 29에 나타내었다.

Table 29. Characteristics of Pa-ju LCD general industrial complex

Title		Pa-ju LCD general industrial complex												
Location		A part of Deogeun-ri, Wollong-myeon and Geumseung-ri, Tanhyeon-myeon, Paju-si, Gyeonggi-do												
Construction Period		2003 ~ 2008												
Area (×10 ³ m ²)		Total	Industry Facility	Supporting Facility	Public Facility	Green	Residential	Etc.						
		1,716	1,120	72	348	176	-	-						
Company Situation	Company	Build	5		Operate (Operate/Build)						5 (100%)			
	industrial classification	Criterion	Total	Food	Fiber	Paper	Petrochemical	Nonmetallic	Steel	Machine	Electrical electronics	Transportation equipment	etc.	Nonmanufacturing
		Operating Company (EA)	5	-	-	-	2	-	-	-	3	-	-	-
Person	16,989	-	-	-	38	-	-	-	16,951	-	-	-		

파주정수장은 팔당댐에서 원수를 취수하여 팔당취수장과 일산가업장을 통해 원수가 공급되고 시설용량은 222 천m³/일로 2007년 1월부터 통수하기 시작했다. 시설현황은 Table 30과 같다.

Table 30. Pa-ju water treatment plant

구 분	내 용		
Facilities	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Capacity : 222,000 m³/d ▪ Intakes : Pal-dang dam ▪ Discharge : 2007. 1 		
	Operating	Year	Rate of Operation(%)
	2009	33.6	25.3
	2010	55.2	40.5
	2011	65.0	55.2
	2012	71.9	64.1
	2013	71.7	64.7
	2014	85.2	69.4

3.2 연구 방법

본 연구에서는 최근 6개년(2009년 ~ 2014년)간의 공업용수 공급 자료를 바탕으로 첨두부하율을 분석하였고 변이계수 분석을 통해 일평균공급량 자료의 산점도를 분석하였다.

각 정수장의 1년동안 일일 공급량의 평균값인 일 평균공급량을 도식화하여 용수 사용 특성을 파악하고 일 평균공급량과 정수장 시설용량의 비인 이용률과 일일 공급량의 최대값인 일 최대공급량과 정수장 시설 용량의 비인 가동률을 산출하여 각 정수장의 운영 효율을 파악했다.

일 최대공급량과 일 평균공급량의 비로 계산되는 첨두부하율을 계산하여 실제 운영 중인 정수장에서 첨두부하율 값을 도출하고 일 평균 공급량의 표준편차를 일 평균 공급량으로 나누어 계산되는 변이계수(coefficient of variation)를 통해 공업용수의 수요처인 산업단지의 특성에 따른 용수 공급의 분포 정도를 분석 하였다.

IV. 연구 결과 및 고찰

4.1 정수장별 공업용수 이용현황 분석

4.1.1 대불정수장

대불정수장은 대불국가산업단지에 공업용수를 공급하고 있으며 2014년 12월말 기준으로 대불국가산업단지에 입주하고 있는 업체는 269개소로 이 중 92.6%인 249개 업체가 가동 중이다²⁸⁾. 대불정수장의 일평균 공급량은 Fig. 6과 같다.

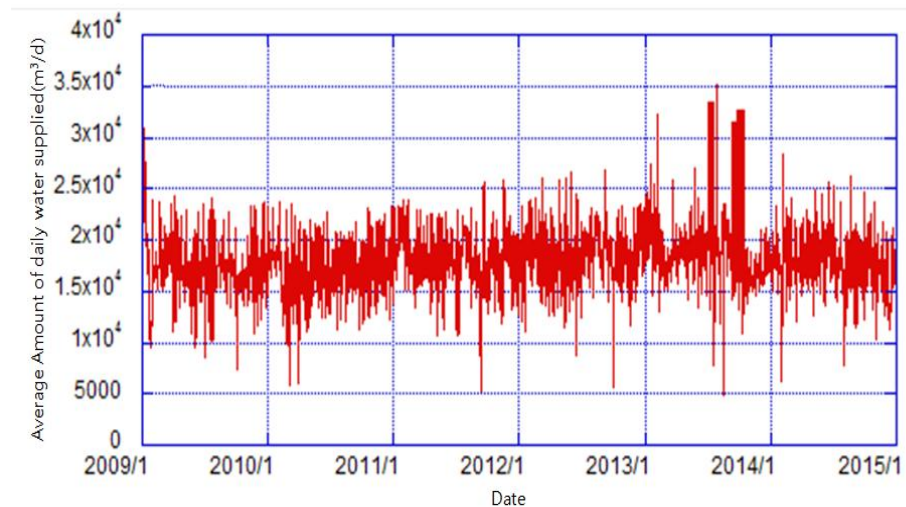


Fig. 6. Daily average supply amount of Dae-bul water treatment plant

최근 6년간의 평균, 최대, 최소 일일공급량과 침투부하율을 포함한 공업용수 공급 현황 자료를 Table 31에 나타내었다.

Table 31. Industrial water supply of Dae-bul water treatment plant

Year	Supply Amount(m ³ /day)			Peak Load	Rate of Operation (%)	Rate of Utilization (%)
	Ave.	Max.	Min.			
2009	17,301	30,900	7,350	1.79	53.7	30.1
2010	17,173	23,770	5,806	1.38	41.3	29.9
2011	18,263	25,757	5,274	1.41	44.8	31.8
2012	18,467	26,784	5,712	1.45	46.6	32.1
2013	19,275	35,113	4,881	1.82	61.1	33.5
2014	17,904	28,310	6,280	1.58	49.2	31.1
Average	18,064	28,439	5,884	1.57	49.5	31.4

대불정수장의 유출유량계로 측정된 공급량 기준값으로 1994년 8월 통수되기 시작하여 공장 가동이 안정화된 만큼 공업용수의 공급량에 연도별 큰 차이는 없이 비슷하게 나타나고 있다. 다만 2013년도에는 이용률의 경우에 1.4 %p 가량 증가하였으나 최대공급량이 증가하였기 때문에 가동률은 2012년 대비 14.5 %p로 대폭 상승한 것을 알 수 있다. 6년간 침투부하율은 1.41 ~ 1.82로 나타났다.

4.1.2 군산정수장

군산정수장은 군산국가산업단지와 군산일반산업단지 2개의 단지에 각각에 위치한 배수지를 통해 공업용수(침전수)를 공급하고 있다. 1994년 4월 통수가 개시된 이후 20년 이상 사용되어오고 있으며 최근 6년(2009 ~ 2014)의 일 평균 공급량은 Fig. 7 과 같다. 2011년까지는 지속적으로 증가하는 추세였으나 2012년 이후는 정체상태를 보이고 있다.

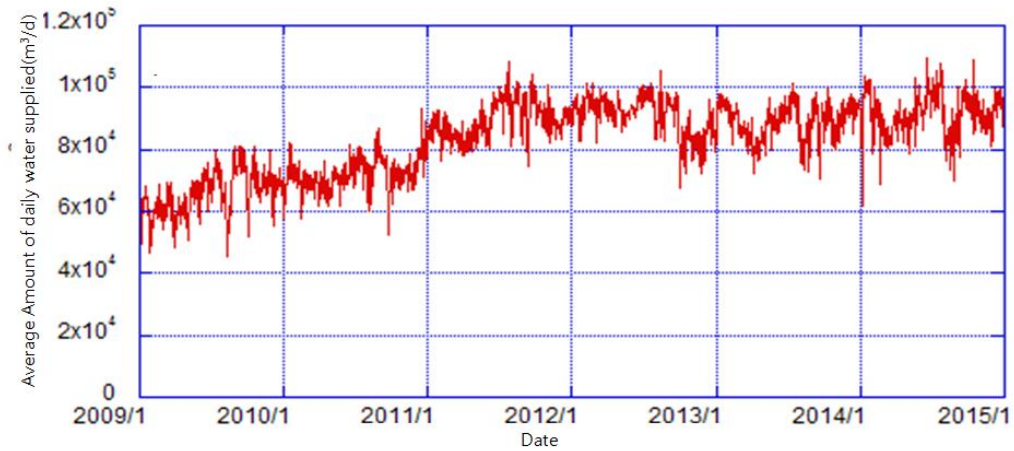


Fig. 7. Daily average supply amount of Gun-san water treatment plant

최근 6년간의 평균, 최대, 최소 일일공급량과 침투부하율 등 공업용수 공급 현황 자료를 Table 32에 나타내었다.

Table 32. Industrial water supply of Gun-san water treatment plant

Year	Supply Amount(m ³ /day)			Peak Load	Rate of Operation (%)	Rate of Utilization (%)
	Ave.	Max.	Min.			
2009	65,853	81,200	44,000	1.23	62.5	50.7
2010	72,225	93,070	52,570	1.29	71.6	55.6
2011	89,539	108,180	74,845	1.21	83.2	68.9
2012	90,965	105,700	67,600	1.16	81.3	70.0
2013	88,931	101,400	70,300	1.14	78.0	68.4
2014	91,416	109,500	61,600	1.20	84.2	70.3
Average	83,155	99,842	61,819	1.21	76.8	64.0

일최대공급량을 기준으로 산출한 침투부하율은 1.14 ~ 1.29정도로 연도별로 크게 차이가 없었으며 6년간 평균 침투부하율은 1.21로 나타났다.

4.1.3 시흥정수장

시흥정수장은 전기, 전자, 기계, 철강 산업 등이 주로 위치한 반월특수지역(시화지구)의 배수지를 통해 공업용수(침전수)를 공급하고 있다. 1992년 8월부터 20년 이상 공업용수를 공급하고 있으며 이용률은 2010년을 정점으로 하고 나머지 기간에는 비슷한 수준으로 2014년에 가장 낮은 것으로 나타났다. 일평균 공급량을 Fig. 8에 나타내었다.

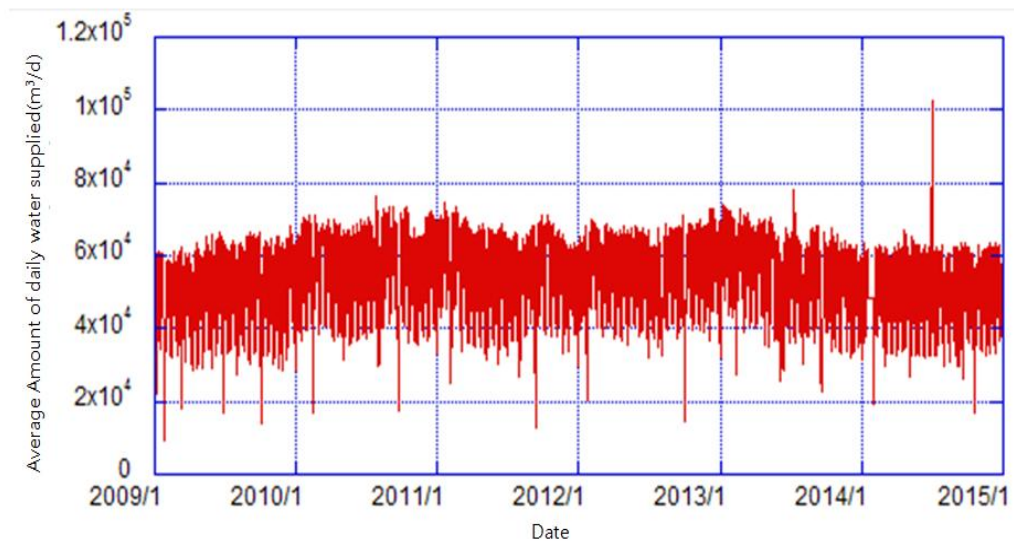


Fig. 8. Daily average supply amount of Si-heung water treatment plant

시흥정수장은 매년 설과 추석 연휴 기간에 반복적으로 가장 적은 양의 공업용수를 공급하고 있는 것으로 나타났다.

최근 6년간의 평균, 최대, 최소 일일공급량과 침투부하율을 포함한 공업용수 공급 현황 자료를 Table 33에 나타내었다.

Table 33. Industrial water supply of Si-heung water treatment plant

Year	Supply Amount(m ³ /day)			Peak Load	Rate of Operation (%)	Rate of Utilization (%)
	Ave.	Max.	Min.			
2009	52,667	67,900	9,348	1.29	43.2	33.5
2010	59,131	76,396	16,900	1.29	48.7	37.7
2011	57,825	74,400	13,000	1.29	47.4	36.8
2012	58,020	72,800	14,800	1.25	46.4	37.0
2013	57,326	78,200	22,900	1.36	49.8	36.5
2014	52,558	102,400	17,200	1.95	65.2	33.5
Average	56,255	78,683	15,691	1.41	50.1	35.8

시흥정수장에서의 일평균공급량 대비 일최대공급량으로 산출되는 첨두부하율은 1.25 ~ 1.95로 나타났으며 특히, 2014년의 경우 1.95로 대폭 상승하는 것을 알 수 있다.

4.1.4 아산정수장

아산정수장은 2000년 1월부터 화학공업이나 자동차 관련 공장이 주를 이루고 있는 아산국가산업단지에 공업용수(침전수)를 공급하고 있는 정수장이다. 대형 공장인 대산임해지산업지역의 정유, 화학 5개사인 대산5사의 자체 취수원으로 이용되고 있던 대호지가 2012.5.15일 이후 극심한 가뭄으로 취수가 불가능해지게 되자 아산정수장에서 대산5사에 공업용수를 공급하기 시작하면서 급격하게 공급량이 증가하게 되었고 이후 정체하고 있는 추세로 나타났다. 아산정수장의 일평균 공급량은 Fig. 9와 같다.

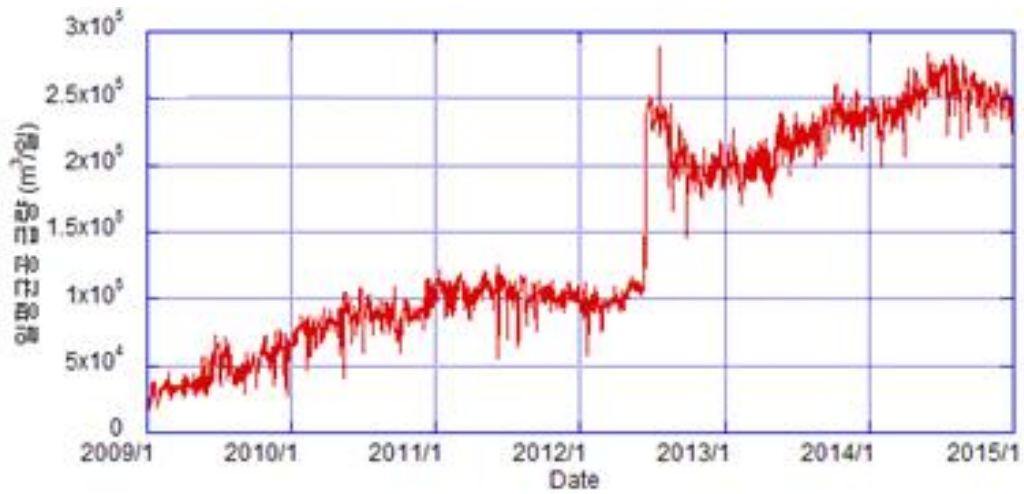


Fig. 9. Daily average supply amount of A-san water treatment plant

최근 6년간의 평균, 최대, 최소 일일공급량과 첨두부하율을 포함한 공업용수 공급 현황 자료를 Table 34에 나타내었다.

Table 34. Industrial water supply of A-san water treatment plant

Year	Supply Amount(m ³ /day)			Peak Load	Rate of Operation (%)	Rate of Utilization (%)
	Ave.	Max.	Min.			
2009	45,610	77,500	12,900	1.70	22.1	13.0
2010	85,630	115,220	41,550	1.35	32.9	24.5
2011	104,094	125,000	54,920	1.20	35.7	29.7
2012	160,276	288,230	58,390	1.80	82.4	45.8
2013	218,051	260,440	171,150	1.19	74.4	62.3
2014	250,957	284,093	198,912	1.13	81.2	71.7
Average	144,103	191,747	89,637	1.40	54.8	41.2

첨두부하율은 1.13 ~ 1.80 수준이었으며 대호지의 가뭄으로 대산5사에 공업용수를 공급하기 시작한 2012년을 제외하고는 평이한 정도를 나타내고 있다. 아산정수장의

2012년 데이터는 특별한 요인에 의하여 침투부하율, 가동률 등의 수치가 급격히 변한 경우에 해당하기 때문에 본 연구에서 침투부하율과 일평균공급량, 가동률, 이용률의 상관관계 통계분석에서는 해당 정수장의 데이터를 제외하였다.

4.1.5 온산정수장

온산정수장은 1977년 7월부터 35년간 이용되어 오고 있다. 2012년까지는 일부 기간에는 사용량이 급감하는 경향이 있었으나 이후 점차적으로 안정화 된 것을 알 수 있다. 일평균 공급량은 Fig. 10과 같다.

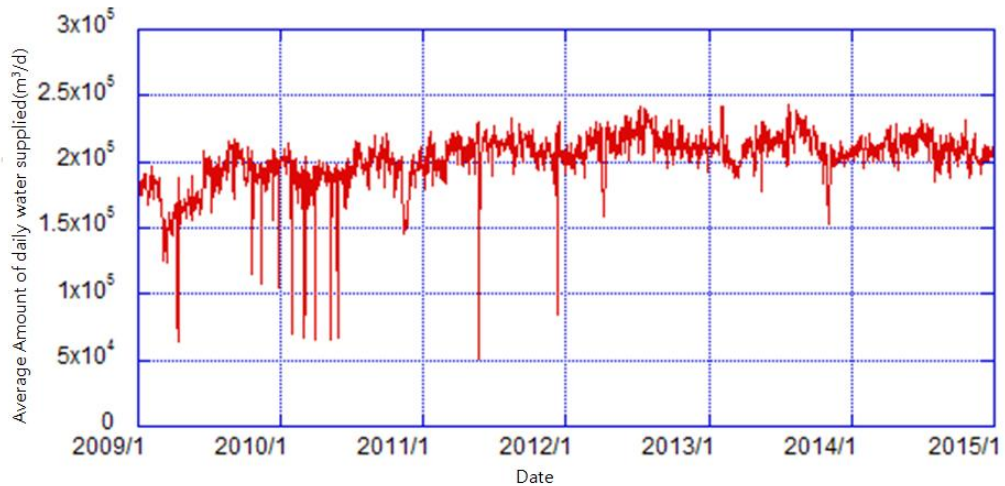


Fig. 10. Daily average supply amount of On-san water treatment plant

최근 6년간의 평균, 최대, 최소 일일공급량과 침투부하율을 포함한 공업용수 공급 현황 자료를 Table 35에 나타내었다.

Table 35. Industrial water supply of On-san water treatment plant

Year	Supply Amount(m ³ /day)			Peak Load	Rate of Operation (%)	Rate of Utilization (%)
	Ave.	Max.	Min.			
2009	181,917	217,730	64,190	1.20	63.9	53.3
2010	190,197	221,700	65,426	1.17	65.0	55.8
2011	206,887	233,020	51,580	1.13	68.3	60.7
2012	213,938	241,890	159,294	1.13	70.9	62.7
2013	211,004	242,638	153,170	1.15	71.2	61.9
2014	210,390	231,560	185,730	1.10	67.9	61.7
Average	202,389	231,423	113,232	1.15	67.9	59.4

장기간 이용되어온 만큼 첨두부하율은 1.10 ~ 1.20으로 안정적인 범위를 유지하고 있으며 최근 6년간의 첨두부하율 평균값은 1.15정도로 나타나고 있다.

4.1.6 천안정수장

천안 정수장은 2003년 12월부터 공업용수(침전수)를 공급하고 있으며 일 평균 공급량은 다른 산업단지와 유사하게 연휴기간에 최소값을 나타내고 있다. 천안정수장의 일평균 공급량은 Fig. 11과 같다.

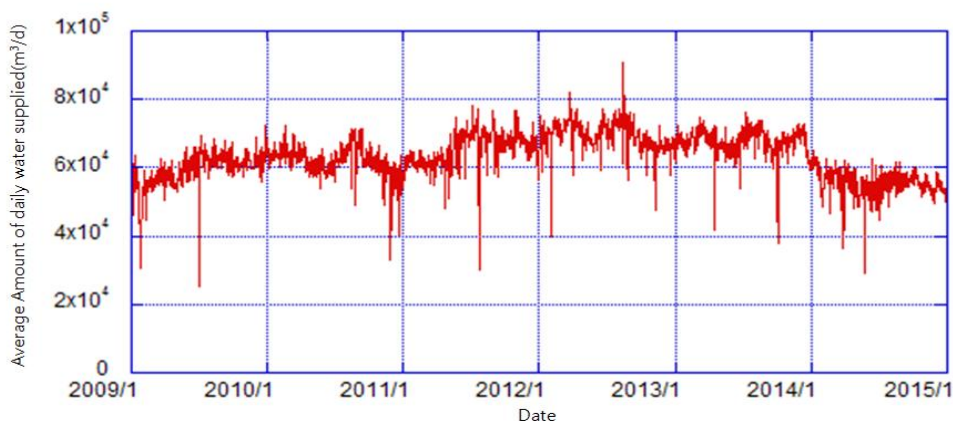


Fig. 11. Daily average supply amount of Cheon-an water treatment plant

일일공급량과 첨두부하율, 가동률과 이용률 등 공업용수 공급 현황 자료를 Table 36에 나타내었다.

Table 36. Industrial water supply of Cheon-an water treatment plant

Year	Supply Amount(m ³ /day)			Peak Load	Rate of Operation (%)	Rate of Utilization (%)
	Ave.	Max.	Min.			
2009	59,288	72,332	23,770	1.22	114.8	94.1
2010	62,230	72,456	32,992	1.16	115.0	98.8
2011	65,570	78,348	30,272	1.19	124.4	104.1
2012	69,480	90,800	39,936	1.31	144.1	110.3
2013	67,582	76,170	37,768	1.13	120.9	107.3
2014	55,643	64,844	29,226	1.17	102.9	88.3
Average	63,299	75,825	32,327	1.20	120.4	100.5

최근 6년간 이용률은 94.1% ~ 107.3%로 4개 산업단지에 공급하는 만큼 이용률이 매우 높게 나타나고 있다. 2012년 이용률 및 가동률이 가장 높았으며 2014년까지도 가동률은 100%를 상회하고 있는 것으로 나타나고 있다. 첨두부하율은 1.13 ~ 1.31이었으며 평균 첨두부하율은 1.20이었다.

4.1.7 청주정수장

청주정수장은 3개 산업단지에 공업용수를 1998년 1월부터 공급중에 있으며 2012년도에 공급량이 최대였으며 이후 완만하게 감소하여 정체된 상태로 있다. 일평균 공급량은 Fig. 12, 최근 6년간의 공업용수 공급현황 자료는 Table 37과 같다.

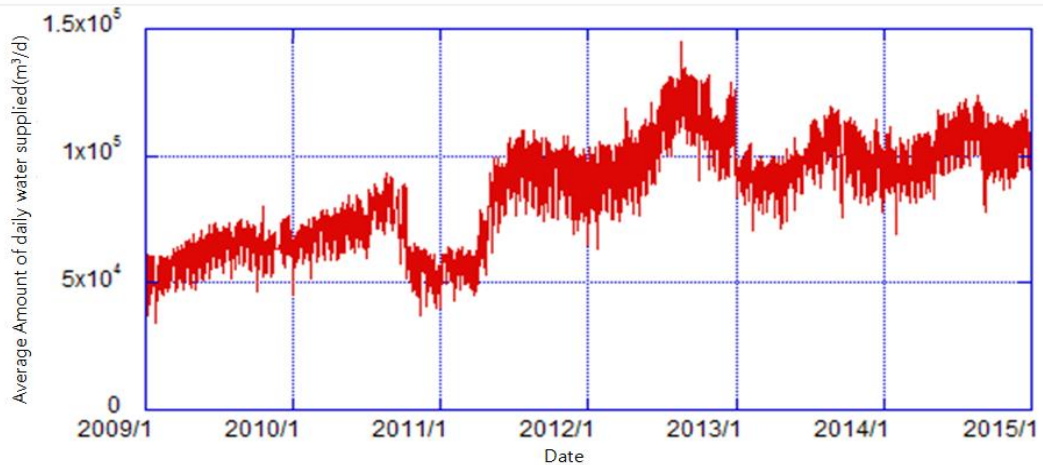


Fig. 12. Daily average supply amount of Cheong-ju water treatment plant

Table 37. Industrial water supply of Cheong-ju water treatment plant

Year	Supply Amount(m ³ /day)			Peak Load	Rate of Operation (%)	Rate of Utilization (%)
	Ave.	Max.	Min.			
2009	62,118	79,950	28,455	1.29	41.4	32.2
2010	69,623	93,099	37,293	1.34	48.2	36.1
2011	82,632	110,002	40,246	1.33	57.0	42.8
2012	107,877	144,996	63,618	1.34	75.1	55.9
2013	98,472	119,364	70,328	1.21	61.8	51.0
2014	103,887	123,779	69,208	1.19	64.1	53.8
Average	87,435	111,865	51,525	1.28	57.9	45.3

6년간 이용률은 32.2% ~ 55.9%, 첨두부하율은 1.21 ~ 1.34로 나타났다. 평균 첨두부하율은 1.28이었다. 2012년에 가장 높은 가동률과 이용률을 보이고 있었으며 첨두부하율도 2010년과 2012년이 가장 높은 것으로 나타났다.

4.1.8 충주정수장

충주 정수장은 충주제1일반산업단지와 충주첨단일반산업단지에 2000년 6월부터

공업용수를 공급하고 있으며 계속적으로 일평균공급량이 증가하는 것으로 보아 입주 공장이 증가하는 것으로 보인다. 일평균 공급량은 Fig. 13, 6년간의 공업용수 공급 현황 자료는 Table 38과 같다.

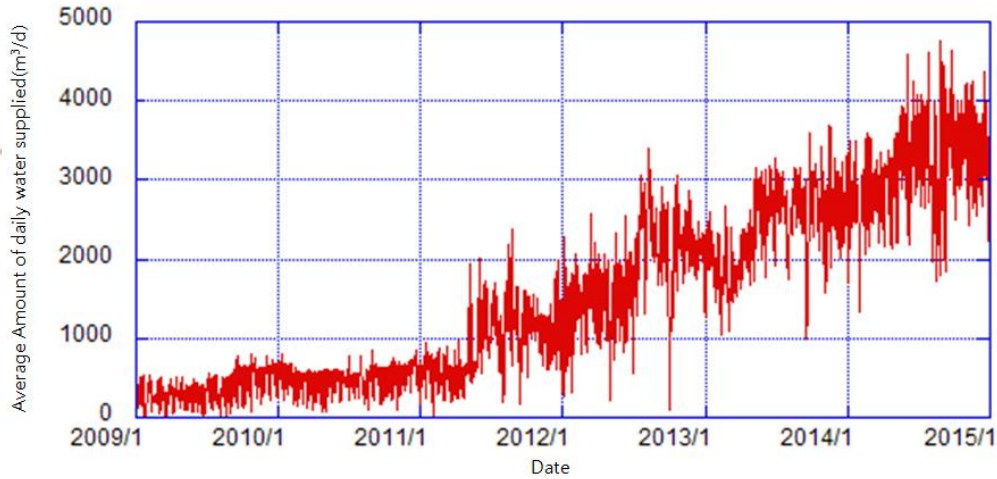


Fig. 13. Daily average supply amount of Chung-ju water treatment plant

Table 38. Industrial water supply of Chung-ju water treatment plant

Year	Supply Amount(m ³ /day)			Peak Load	Rate of Operation (%)	Rate of Utilization (%)
	Ave.	Max.	Min.			
2009	418	813	6	1.94	4.1	2.1
2010	526	850	77	1.62	4.3	2.6
2011	937	2,372	20	2.53	11.9	4.7
2012	1,805	3,409	108	1.89	17.0	9.0
2013	2,413	3,684	985	1.53	18.4	12.1
2014	3,209	4,753	1,331	1.48	23.8	16.0
Average	1,551	2,647	421	1.83	13.3	7.8

일일평균공급량과 가동률, 이용률이 매년 증가하는 것을 보면 충주정수장에서 공급되는 공업용수의 수요처가 계속적으로 증가하는 것을 알 수 있으나 이용률이 2.1 ~ 16.0%로 매우 낮아 정수장의 효율성이 매우 떨어지는 것을 알 수 있다. 반면 평균

침투부하율은 1.83으로 9개 정수장 중 가장 높게 나타나 공업용수의 이용이 불규칙한 것으로 보인다.

4.1.9 파주정수장

파수정수장은 2007년 1월부터 통수를 시작하였으며 공업용수를 공급받는 파주 LCD일반산업단지는 2008년 준공된 이후 2014년 12월말 현재 입주업체수가 5개에 불과하나 총 생산액이 2조9천억원에 달하고 고용인원이 17천여명인 대형 사업장이 입주하고 있다. 공업용수 사용량도 앞선 8개 정수장에 비해 가장 크다. 일평균 공급량 추이를 보면 Fig. 14와 같이 준공이후 계속증가하다 2012년에 이르러 정상적인 물량을 공급하고 있는 것으로 보인다. 최근 6년간의 공업용수 공급 현황 자료는 Table 39와 같다



Fig. 14. Daily average supply amount of Pa-ju water treatment plant

Table 39. Industrial water supply of Pa-ju water treatment plant

Year	Supply Amount(m ³ /day)			Peak Load	Rate of Operation (%)	Rate of Utilization (%)
	Ave.	Max.	Min.			
2009	56,270	74,650	24,280	1.33	33.6	25.3
2010	89,942	122,480	64,280	1.36	55.2	40.5
2011	122,499	144,300	92,820	1.18	65.0	55.2
2012	142,299	159,700	120,500	1.12	71.9	64.1
2013	143,657	159,200	124,100	1.11	71.7	64.7
2014	154,057	189,100	126,820	1.23	85.2	69.4
Average	118,121	141,572	92,133	1.22	63.8	53.2

파주정수장에서 생산되는 공업용수는 대부분이 LG디스플레이(주)에서 사용하고 있으며 산업단지가 조성된 이후 계속적으로 생산라인이 증가함에 따라 이용률은 25.3%에서 69.4%까지 계속적으로 증가하고 있으며 가동률도 85.2%까지 상승하였다. 공업용수를 이용하는 업체 수가 적은 반면 생산량의 변동폭이 크지 않기 때문에 일일 사용량의 변동폭도 작아 첨두부하율도 1.11 ~ 1.36으로 낮게 나타나고 있다.

4.1.9 일일공급량의 변이계수 비교

일평균공급량의 변이계수 비교를 통해 공업용수 정수시설에서 안정적으로 용수가 공급되는지 여부를 알아보고자 Table 40과 같이 각 정수장에 대한 일일공급량의 변이계수를 분석했다.

Table 40. Coefficient of variation

(unit : %)

Plant	Capacity (m ³ /day)	Coefficient of Variation						Average
		2009	2010	2011	2012	2013	2014	
Dae-bul	57,500	19.3	17.1	15.7	16.3	22.0	16.2	17.8
Gun-san	130,000	11.3	7.4	6.8	7.1	6.7	7.5	7.8
Si-heung	157,000	23.2	20.2	20.4	19.0	19.8	20.8	20.6
A-san	350,000	30.2	12.9	8.7	35.9	8.5	5.6	17.0
On-san	341,000	11.5	11.2	7.2	5.5	6.1	3.9	7.6
Cheon-an	63,000	9.7	7.0	7.7	6.7	5.8	6.9	7.3
Cheong-ju	193,000	13.2	16.5	22.4	13.9	10.0	9.6	14.3
Chung-ju	20,000	43.4	28.4	44.6	31.8	21.1	18.9	31.4
Pa-ju	222,000	13.0	13.6	9.3	5.9	4.4	7.9	9.0

이용률과 가동률이 양호한 천안, 온산, 파주, 군산 정수장의 경우에 변이계수가 낮게 나타나는 것으로 보아 안정적으로 운전되고 있으며 산단에서의 용수 사용도 변동폭이 크지 않는 것으로 볼 수 있다. 이들 4개 산업단지의 경우 나머지 5개 산업단지와 달리 석유화학 시설을 포함하고 있으며 차지하는 비중도 높은 편이다. 석유화학시설의 경우 24시간 가동하는 연속공정 시설이기 때문에 용수 사용량도 일정하여 변이계수가 작은 것으로 판단된다. 다만 아산정수장의 경우에는 이용률과 가동률이 양호한 편에 속하나 변이계수는 앞선 4개 정수장에 비해 다소 높게 나타나고 있다. 이는 앞서서도 언급한 바와 같이 아산국가산업단지에 공업용수를 공급하고 있던 아산정수장에서 대산5사의 자체 취수원인 대호지의 가뭄이후 대형 공장인 대산5사에 공업용수를 공급하면서 공급량이 급격하게 증가하여 공급량 분포가 불안정해졌기 때문일 것이다.

4.2 침투부하율과 영향인자와의 상관성 분석

광역상수도를 통해 공업용수를 공급하는 9개 정수장에 대한 6년간(2009 ~ 2014)의 일일공급량 자료 중 특이한 요인이 영향을 미친 아산정수장의 2012년 데이터를 제외하고 나머지 53개 일평균 공업용수 공급량, 정수장의 이용율 및 가동률과 침투부하율간의 상관관계를 분석했다.

본 연구의 대상인 9개 광역상수도 공업용수 정수장의 침투부하율은 Table 41과 같다.

Table 41. Peak load of industrial water supply at WTPs

Plant	Capacity (m ³ /day)	Peak load						Average
		2009	2010	2011	2012	2013	2014	
Dae-bul	57,500	1.7860	1.3841	1.4103	1.4504	1.8217	1.5812	1.5723
Gun-san	130,000	1.2331	1.2886	1.2082	1.1620	1.1402	1.1978	1.2050
Si-heung	157,000	1.2892	1.2920	1.2866	1.2547	1.3641	1.9483	1.4058
A-san	350,000	1.6992	1.3456	1.2008	1.7983	1.1944	1.1320	1.3951
On-san	341,000	1.1969	1.1656	1.1263	1.1307	1.1499	1.1006	1.1450
Cheon-an	63,000	1.2200	1.1643	1.1949	1.3068	1.1271	1.1654	1.1964
Cheong-ju	193,000	1.2871	1.3372	1.3312	1.3441	1.2122	1.1915	1.2839
Chung-ju	20,000	1.9432	1.6151	2.5321	1.8887	1.5265	1.4814	1.8312
Pa-ju	222,000	1.3266	1.3618	1.1780	1.1223	1.1082	1.2275	1.2207

첨두부하율은 최저 1.10(온산, 2014)에서 최고 2.53(2011, 충주)로 나타났으며 평균적으로는 1.20 ~ 1.83의 범위에서 분포하고 있다.

4.2.1 일 평균공급량과 첨두부하율의 상관성

아산정수장 2012년 첨두부하율 등의 자료를 제외한 각 정수장의 일평균공급량과 첨두부하율간의 상관관계를 산점도로 표시하여 상관관계를 파악하고 표출된 회귀방정식을 통하여 공업용수에서 적용 가능한 첨두부하율을 파악하고자 하였다. 각각의 정수장에 대한 일평균 공급량은 Table 42와 같다.

Table 42. Daily average supply of industrial water at WTPs

(unit : m³/day)

Plant	Capacity	Daily average supply					
		2009	2010	2011	2012	2013	2014
Dae-bul	57,500	17,301	17,173	18,263	18,467	19,275	17,904
Gun-san	130,000	65,853	72,225	89,539	90,965	88,931	91,416
Si-heung	157,000	52,667	59,131	57,825	58,020	57,326	52,558
A-san	350,000	45,610	85,630	104,094	160,276	218,051	250,957
On-san	341,000	181,917	190,197	206,887	213,938	211,004	210,390
Cheon-an	63,000	59,288	62,230	65,570	69,480	67,582	55,643
Cheong-ju	193,000	62,118	69,623	82,632	107,877	98,472	103,887
Chung-ju	20,000	418	526	937	1,805	2,413	3,209
Pa-ju	222,000	56,270	89,942	122,499	142,299	143,657	154,057

총 6년간 8개 정수장의 48개 데이터를 가지고 회귀방정식을 산출하여 r 값을 통해 상관성을 파악하였다. 각 정수장의 용량에 대한 상대성을 통하여 첨두부하율과의 상관성을 파악하는 것이므로 각 정수장에서의 공급량 절대값은 상관성 평가와 크게 연관이 없을 것으로 보인다. 일평균공급량과 6개년의 첨두부하율의 산점도를 통한 상관성을 나타낸 그래프는 Fig. 15와 같다.

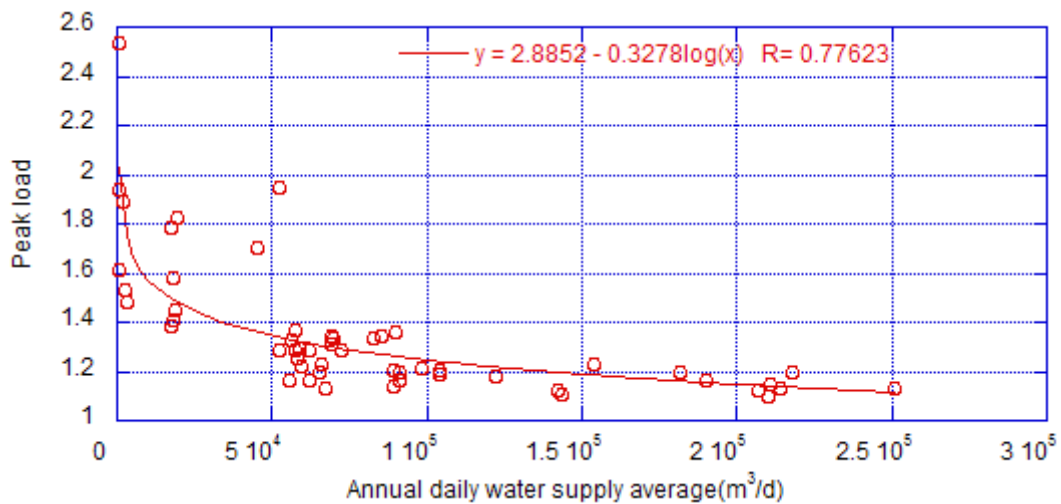


Fig. 15. Relationship between daily water supply average and peak load

일일평균 공업용수의 공급량과 첨두부하율의 회귀방정식은 식 (1)과 같이 나타났으며 R 값은 0.7762, R²는 0.60으로 상관성이 높은 편이었다.

$$Peak\ load = 2.8852 - 0.3278 \times \log(Daily\ average\ supply) \quad (1)$$

4.2.2 이용률과 첨두부하율의 상관성

정수장 이용률은 일평균공급량에 대한 시설용량의 비로 정의되었기 때문에 이용률은 첨두부하율에도 일정부분 영향을 미칠 것으로 보아 두 변수의 상관관계를 파

약 하였다. 각각의 정수장에 대한 이용률은 Table 43과 같으며 이 중 2012년도 아산 정수장의 이용률은 상관관계 분석 자료에서 제외하였다.

Table 43. Rate of plant utilization at WTPs

(unit : %)

Plant	Capacity (m ³ /day)	Rate of plant utilization					
		2009	2010	2011	2012	2013	2014
Dae-bul	57,500	30.1	29.9	31.8	32.1	33.5	31.1
Gun-san	130,000	50.7	55.6	68.9	70.0	68.4	70.3
Si-heung	157,000	33.5	37.7	36.8	37.0	36.5	33.5
A-san	350,000	13.0	24.5	29.7	45.8	62.3	71.7
On-san	341,000	58.3	55.8	60.7	62.7	61.9	61.7
Cheon-an	63,000	94.1	98.8	104.1	110.3	107.3	88.3
Cheong-ju	193,000	32.2	36.1	42.8	55.9	51.0	53.8
Chung-ju	20,000	2.1	2.6	4.7	9.0	12.1	16.0
Pa-ju	222,000	25.3	40.5	55.2	64.1	64.7	69.4

정수장 이용률은 충주정수장이 2.1 ~ 16.0 %로 매우 낮은 편이었으며 천안정수장이 88.3 ~ 110.3 %로 가장 높은 것으로 나타났다. 이는 조성된 단지의 규모와 입주한 사업장의 비율에 의한 차이 때문인 것으로 보인다.

각각의 이용률 데이터로 파악한 상관성 그래프는 Fig. 16과 같다.

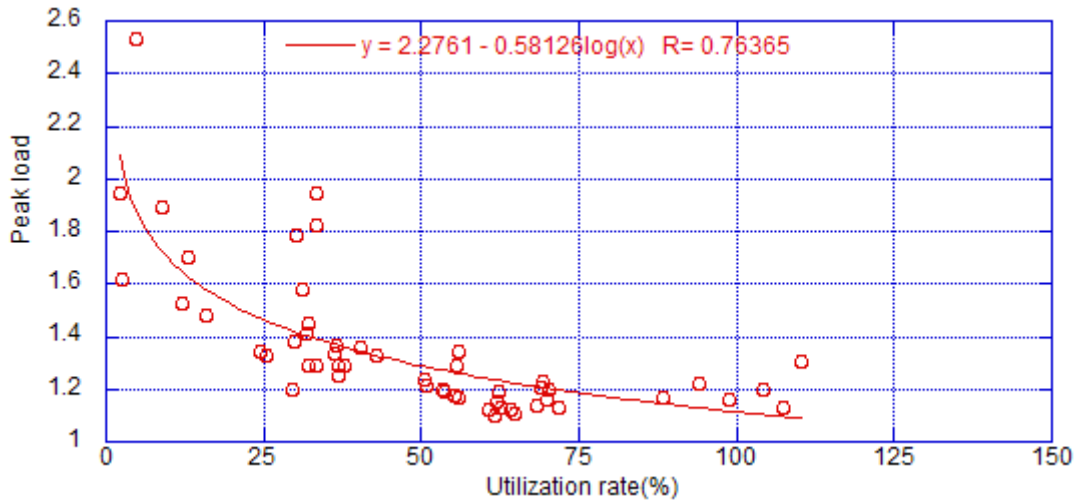


Fig. 16. Relationship between utilization rate and peak load

정수장 이용률과 첨두부하율의 회귀방정식은 식 (2)와 같이 나타났으며 R 값은 0.7636, R^2 는 0.58로 상관성이 높은 편에 속하나 일일평균공급량과의 상관성보다는 작게 나타났다.

$$Peak\ load = 2.2761 - 0.5812 \times \log(Rate\ of\ utilization) \quad (2)$$

4.2.3 가동률과 첨두부하율의 상관성

정수장 가동률은 일 최대공급량에 대한 시설용량의 비로 정의되었다. 따라서 일평균공급량과 일최대공급량으로 정의되는 첨두부하율과 상관관계가 있을 것이다. 두 변수의 상관성을 파악하기 위해 각각의 정수장에 대한 가동률을 Table 44에 나타내었다.

Table 44. Rate of plant operation at WTPs

(unit : %)

Plant	Capacity (m ³ /day)	Rate of plant operation					
		2009	2010	2011	2012	2013	2014
Dae-bul	57,500	53.7	41.3	44.8	46.6	61.1	49.2
Gun-san	130,000	62.5	71.6	83.2	81.3	78.0	84.2
Si-heung	157,000	43.2	48.7	47.4	46.4	49.8	65.2
A-san	350,000	22.1	32.9	35.7	82.4	74.4	81.2
On-san	341,000	63.9	65.0	68.3	70.9	71.2	67.9
Cheon-an	63,000	114.8	115.0	124.4	144.1	120.9	102.9
Cheong-ju	193,000	41.4	48.2	57.0	75.1	61.8	64.1
Chung-ju	20,000	4.1	4.3	11.9	17.0	18.4	23.8
Pa-ju	222,000	33.6	55.2	65.0	71.9	71.7	85.2

이용률이 가장 낮았던 충주정수장이 2014년 기준으로 볼 때 가동률 역시 23.85 %로 가장 낮았으며 천안정수장이 102.9 %로 가장 높았다. 하지만 천안정수장은 가동률이 100 %를 웃돌고 있는 것으로 보아 시설 증설 또는 입주된 업체의 공업용수 사용량을 제어할 필요가 있어 보인다. 충주정수장과 대불정수장을 제외하고는 가동률이 60 %를 상회하고 있으나 충분히 가동되고 있다고 볼 수는 없다. 정수장 가동률과 침투부하율의 상관관계 그래프를 Fig. 17에 나타내었다.

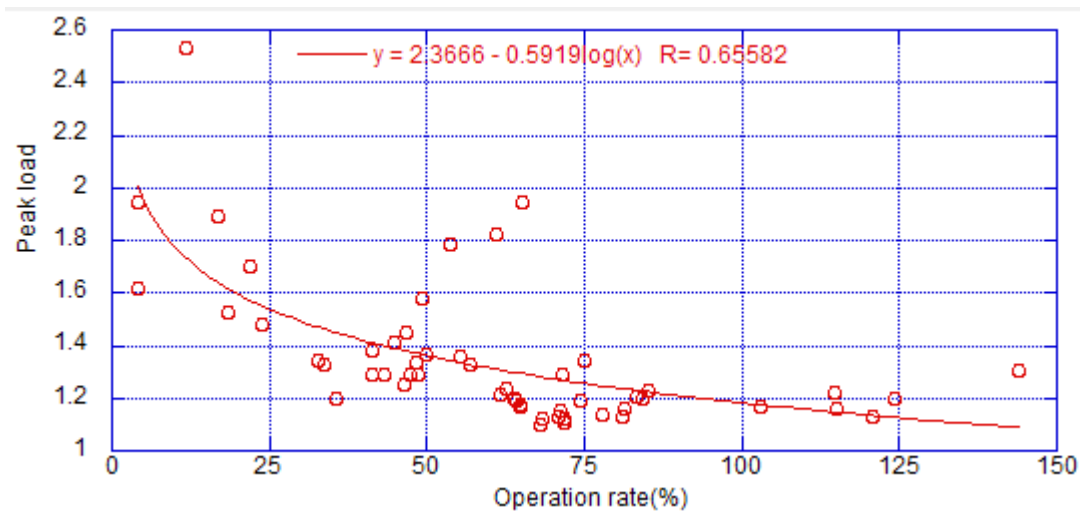


Fig. 17. Relationship between operation rate and peak load

정수장 가동률과 첨두부하율의 회귀방정식은 식 (3)과 같이 나타났으며 R 값은 0.6558, R^2 는 0.43으로 상관성이 가장 낮게 나타나고 있어 앞선 두 가지의 변수보다는 상관관계가 약한 것으로 보인다.

$$Peak\ load = 2.3666 - 0.5919 \times \log(Rate\ of\ operation) \quad (3)$$

4.3 침투부하율의 적용 방안

정수장 이용률 및 가동률, 일일평균공급량과 침투부하율 사이의 상관관계를 분석해본 결과 해당 정수장의 이용률과 침투부하율의 상관성이나 일 평균공급량과 침투부하율의 상관성이 R²값을 봤을 때 각각 0.58, 0.60으로 비슷한 수준으로 나타나고 있으나 정수장 설계 시 정수장 이용률은 정수장 규모와 관계없이 일정부분 이상으로 유지되어야 하기 때문에 변수로서의 의미가 적다. 또한, 최초 공업용수 정수장 설계 시에는 정수장 이용률 자료가 확보되지 않기 때문에 실질적으로 이용률 자료를 적용하기에는 한계가 있다. 따라서 침투부하율과의 상관성이 가장 높고 변수로 활용될 수 있는 식 (4)의 일 평균공급량의 회귀방정식을 적용하는 것이 타당하다.

$$Peak\ load = 2.8852 - 0.3278 \times \log(Daily\ average\ supply) \quad (4)$$

where, R = 0.7762, R² = 0.60

식 (4)를 이용하여 일평균 공급량에 대한 공업용수의 침투부하율 값을 산출하였다. 지방 및 광역 공업용수 정수장을 포함하였을 때 아산공업용수 정수장이 공업용수 시설용량 350,000 톤/일로 국내에서 최대 수준임으로 최대값을 50 만톤/일로 정하였으며 생활용수의 침투부하율과 유사한 형태로 용수량 규모를 구분하였다.

추가적인 연구를 통해 좀 더 세밀한 데이터를 가지고 침투부하율 값의 대표성을 갖도록 할 수 있겠으나 본 연구에서는 경향성을 보고 개략적 값을 제시하고자 각 용량 범위의 중간값과 식 (4)를 이용하여 침투부하율을 Table 45에 도출하였다.

Table 45. Peak load for industrial water supply

Water Supply (×10,000m ³ /day)	0~1	1~2	2~5	5~10	10~25	25~50
Peak Load	1.61	1.52	1.44	1.29	1.17	1.06

현재까지 국내의 공업용수 수요량 예측시 침투부하율을 적용한 경우는 없으며 면적원단위를 사용하고 있다. 하지만, 면적원단위 방법의 경우 유사한 형태의 기존 산업단지의 용수 사용량을 근거로 산정하게 되어 세부적인 업종, 조업 방법, 입주율이나 가동률 등에 대한 검토가 미비한 결과 시설 용량이 과다 설계되는 경향을 나타내고 있다.

국가산업단지의 경우 1년 30 %, 5년 50 %, 10년이 경과하면 100% 공업용수 수요량에 도달하는 것으로 예측하였으나 본 연구 대상의 공업용수 정수장 가동기간이 9년 ~ 38년 정도지만 2014년 기준으로 가동률은 23.8 %(충주정수장) ~ 102.9 %(천안정수장)이고 평균적으로 69.3 % 수준으로 다소 미비한 것으로 나타났다. 특히 대불정수장의 경우에는 20년간 운영되었음에도 이용률은 33.5 %, 가동률은 49.2 % 정도에 머물고 있다. 예비용량을 고려하더라도 10년 이상 운영되어오고 있는 정수장의 가동률이 80 %에 미치지 못한다는 것은 입주율이 저조한 문제도 있을 수 있으나 시설용량이 과다설계된 경향을 무시할 수는 없을 것이다.

기존에 산업단지를 조성하여 공업용수 수요량을 산정할 때 침투부하율을 고려하지 않았던 것은 단지 내 공업시설들이 정상가동되어 가동률이 100%에 도달하게 되면 일일사용량이 일정량에 도달하게 되고 변동 패턴이 거의 발생하지 않을 것으로 보았으며 대규모 산업단지의 경우에는 대부분이 자체 배수지를 조성하는 경우가 많아 침투부하율을 고려할 필요가 없었을 것이다. 또한, 생활용수의 경우에는 오랜 기간 선행연구가 진행되어 데이터나 예측 이론 등이 일정 부분 확립되어 있으나 공업용수의 경우에는 관련 자료가 부족하여 연구를 진행하는데 있어 한계가 있었을 것으로 보인다.

향후 공업용수 사용량 예측 시 침투부하율 개념을 적용하게 될 경우 각 공단의 입주율, 가동률, 조업 방식 등에 대한 추가적인 자료와 검토가 필요할 것이다. 즉, 현재까지는 기본 자료가 부족하기 때문에 공업용수 수요량 예측을 위해서는 기존의 면적원단위 방법을 적용하고 침투부하율 개념을 적용할 수는 없으나 장기적으로 연구가 진행된다면 보다 정확한 수요량 예측을 위해 각 공단과 공장의 특성을 바탕으로 일평균용수사용량의 거동 특성을 파악하고 이를 통해 일반적인 원단위를 도출한 이후 본 연구에서 제시한 침투부하율을 적용하는 것이 바람직할 것이다.

V. 결 론

본 연구의 대상인 9개 공업용수 생산 정수시설의 용수공급자료를 토대로 공업용수 정수장 설계 시 국내에서 적용 가능한 첨두부하율을 도출하고자 하였으며 분석한 자료를 근거로 다음과 같은 결론에 도달하였다.

1. 9개 정수장 각 정수장의 이용현황을 분석한 결과 첨두부하율의 이용률과 가동률이 양호한 천안, 온산, 파주, 군산 정수장의 경우에 변이계수가 낮게 나타나는 것으로 보아 안정적으로 운전되고 있으며 산업에서의 용수 사용도 변동폭이 크지 않는 것으로 볼 수 있다. 이들 4개 산업단지의 경우 나머지 5개 산업단지와 달리 석유화학 시설을 포함하고 있으며 차지하는 비중도 높은 편이다. 석유화학시설의 경우 24시간 가동하는 연속공정 시설이기 때문에 용수 사용량도 일정하여 변이계수가 작은 것으로 판단된다.

2. 국가산업단지의 경우 1년 30 %, 5년 50 %, 10년이 경과하면 100% 공업용수 수요량에 도달하는 것으로 예측하고 설계하나 연구대상 공업용수 정수장의 가동기간이 9년 ~ 38년 정도지만 2014년 기준으로 가동률은 23.8 %(충주정수장) ~ 102.9 %(천안정수장)이고 평균적으로 69.3 % 수준으로 다소 미비한 것으로 나타났다. 특히 대불정수장의 경우에는 20년간 운영되었음에도 이용률은 33.5 %, 가동률은 49.2 % 정도에 머물고 있다. 예비용량을 고려하더라도 10년 이상 운영되어오고 있는 정수장의 가동률이 80 %에 미치지 못한다는 것은 과다설계된 경향이 있는 것으로 판단된다. 또한, 일일평균공급량과 일일최대공급량의 비인 첨두부하율이 1.10(온산정수장, 2014년도) ~ 2.53(충주정수장, 2011년)으로 시설용량 결정 단계에서 무시할 수 없는 정도이기 때문에 첨두부하율을 공업용수 정수장의 설계 인자에 포함시켜야 할 것이다. 일 평균공급량, 이용률, 가동률과 첨두부하율의 Pearson 상관계수값인 R^2 값은 각각 0.60, 0.58, 0.43으로 미미하긴 하나 일 평균공급량의 상관성이 높은 것으로 나타났다.

3. 신규 조성 계획이 있는 산업단지의 용수량 결정 시 세부 업종의 특성, 산업단지의 지역적 특성 등을 세부적으로 반영하지 않고 부지면적 원단위로 일률적으로 설계하게 됨으로써 본 연구에서 보여지듯 과다설계되는 경향이 나타나고 있다. 본 연구에서 공업용수 정수장의 일평균공급량, 이용률, 가동률과 침투부하율의 상관성을 분석한 결과 일 평균공급량이 상관계수가 0.60으로 가장 높게 나타났으며, 이용률의 상관계수는 0.58로 비슷한 수준이나 실제 정수장의 설계 시 정수장 이용률은 정수장의 규모와 관계없이 일정부분 이상으로 유지되어야 하고 가동 전에는 이용률 자료가 확보되지 않아 적용하는데 한계점이 있어 일 평균공급량과 침투부하율의 회귀방정식을 통해 침투부하율은 1.61(10,000 m³/일 이하)에서 1.06(250,000 ~ 500,000 m³/일)로 도출되었다.

5. 다만, 본 연구결과는 산업단지의 조업형태나 위치한 지역의 기상 조건, 입주하고 있는 공장의 업종 등 다양한 변수를 고려하지 못하고 광역상수도 공업용수 정수시설의 일일평균공급량을 중심으로 6년간(2009년 ~ 2014년)의 운영자료만을 검토하였기 때문에 좀 더 세밀한 공단 입주율, 가동률, 공장의 업종 특성 등을 고려하는 등 다각적으로 추가적인 검토를 해야 할 것이다.

참고문헌

1. MOE(Ministry of Environment) and MOLIT(Ministry of Land, Infrastructure and Transport), Korea, "Handbook for water demand forecast"(2014)
2. Kim, J. K. and Lee, J. H., "Classification of Water Facility Inventories for the Construction of Water Supply Asset Management System", *Journal of Korean Society of Water and Wastewater*, **29**(6), pp.651-957(2015)
3. MOLIT(Ministry of Land, Infrastructure and Transport), Korea, "2025 Modification of water maintenance master plan"(2015)
4. K-water, <http://www.kwater.or.kr>(2016)
5. Ministry of Environment, Korea, "2012 water supply statistics"(2013)
6. Hyun, I. H. and Lee, C. I., "Analysis of the Affecting Factors to the Peak Factor in Water Supply Facilities", *Journal of Korean Society of Water and Wastewater*, **18**(1), pp.49-58(2004)
7. Hyun, I. H., Lee, C. I. and Son, C. H., "Performance Evaluation of Distribution Network based on the Peak Day Analysis", *Journal of 2005 Jointly Autumn Conference of Korean Society of Water & Wastewater and Korean Society on Water Environment*, E-3(2005)
8. Min, D. K., "Estimating the Demand for Industrial Water and the Pricing Policy", *Environmental and Resource Economics Review*, **14**(2), pp.475-491(2005)
9. KWWA(Korea Water and Wastewater Works Association), "Standards for water supply facilities"(2010)
10. Lee, Y. M., "An Analysis on characteristics of daily and hourly peak factors of small cities", A thesis for the degree of master of Department of Environmental Engineering in the University of Seoul, Seoul, Korea(2007)

11. "Distribution Network Analysis for Water Utilities", AWWA(American Water Works Association), M32(1989)
12. Shin, E. H., Kim, S. H. and Park, H. K., "Establishing Rational Peaking Coefficient Guideline in Water Treatment Plant", *Journal of 2007 Jointly Autumn Conference of Korean Society of Water & Wastewater and Korean Society on Water Environment*, A-8(2007)
13. Hyun, I. H. and Lee, Y. H., "Analysis of Factors Affecting Peak Loading Coefficient of Sewer Works in Korea", *Journal of Korean Society of Water and Wastewater*, **25**(6) pp.877-884(2011)
14. KWWA(Korea Water and Wastewater Works Association), "Standards for wastewater supply facilities", p.54(2011))
15. Lee, Y. H., "The Effect of Local Sewage Formayion Patterns on the Peak Flow Coefficients", A thesis for the degree of doctor of Department of Civil Engineering in Dankook University(2013)
16. JIWA(Japanese Industrial Water Association), "Design guidelines for industrial water supply"(2004)
17. JWVA(Japanese Water Works Association), "Design guidelines for water supply"(2012)
18. Larry, W. M., "Water Distribution Systems Handbook", McGraw Hill & AWWA(American Water Works Association)(1999)
19. Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Korea, "A study on the improvement scheme and the basic investigation for estimation factors of industrial water demand"(2012)
20. Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Korea, "Guidelines for water supply demand ferecast(2nd)"(2007)

21. Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Korea, "2025 Modification of water maintenance master plan"(2015)
22. Park, J. H., Moon, M. J., Lee, H. J. and Kim, K. S., "A Study on Characteristics of Water Quality using Multivariate Analysis in Sumjin River Basin", *Journal of Korean Society on Water Environmental*, **30**(2), pp.119-127(2014)
23. Kim, Y. C. and Kim, J. W., "Modern statistics", Seoul, Korea:Pakyoungsa(2005)
24. Gwak, B. R., "Comparison of water quality after Changnyeong-Haman weir construction and Statistic Analysis of water environmental factor in Nakdong river", A thesis for the degree of master of Department of Environmental Engineering in Pukyong National University(2016)
25. Kim, J. H., Jung, S. H., Kim, T. S. and Lee, K. M., "Study of Reliability Index in Concrete Structures Considering Coefficient of Variation of Degradation Factors", *Journal of 2008 spring conference of Korea Concrete Institute*, pp.541-544(2008)
26. KICOX(Korea Industrial Complex Corp.), "The fourth quarters 2015 report about the national industrial statistics"(2016)
27. KICOX(Korea Industrial Complex Corp.), "The 2015, September national industrial complex industry trend analysis report"(2015)
28. KICOX(Korea Industrial Complex Corp.), "2015 Korea industrial complex pandect"(2015)

감사의 글

학부를 졸업하면서 석사 학위를 갖고 싶던 작은 희망사항이 10년이 지난 이제야 이뤄지게 되어 무척 기쁘다. 처음 대학원을 시작할 때는 사무실과 가정이 있는 상황이 매우 부담스러워 잠시 망설여지기도 하였으나 가족들이 많은 힘을 보태주었던 것 같다.

많은 분들이 도움을 주셨지만 무엇보다 사무실 일을 마치고 난 후 어린 아이들을 돌보느라 힘들었을 인생의 반려자 김현정님이 가장 먼저 생각한다. 부족한 신랑이지만 논문이 마무리될 때까지 믿고 도와줘서 정말 고맙게 생각한다. 더불어 사랑하는 우리 정연이와 승민이에게는 아빠가 저녁이나 주말에도 항상 집에 없어 많이 놀아주지 못해 미안하다.

힘들겠지만 꼭 석사를 하라며 적극적으로 밀어주신 아버지와 그런 아버지를 보며 먼 거리에서 손자들 돌보러 버스타고 왔다갔다하신 어머니께도 정말 감사드린다. 부모님께서 도와주시지 않았다면 2년반만에 마치기 힘들었을 것이다.

그리고 사위가 학교 다닌다고 저녁 늦게까지 집사람과 아이들을 살피주신 우리 장인, 장모님께서도 항상 가까운 곳에서 관심 갖고 애정으로 살피주신 점 평생을 가도 다 갚지 못할 은혜를 주셔서 감사드린다.

부족한 제자를 논문이 다 마무리될 때까지 이번 연구에 가장 애쓰신 김진근 지도교수님께 더할 나위 없이 고마운 마음이다. 직장인이라는 핑계로 지도교수님 기대에 미치지 못하게 되어 죄송한 마음 또한 가지게 된다. 부족한 연구 논문이지만 많이 지도해 주시고 길을 열어주신 허철구 교수님과 감상규 교수님께도 감사드린다. 또한 학업을 떠난지 10년이 되어 머리 속 지식이 바닥을 헤메고 있는 직장인에게 다시 한번 학구열의 불씨를 붙여주신 허목 교수님, 이기호 교수님, 조은일 교수님께도 사제의 관계를 떠나 한 사람의 인생을 눈 뜨게 해 주신 점 매우 감사드린다.

나이 든 동기생 챙기고 수업과 연구 과정에 많은 도움을 준 우리 동기들 정훈이, 정태, 수업 뿐만아니라 학사 업무로 서포트 해 준 태웅이, 명찬이, 지안이, 형이 힘들 때 바쁜 시간에도 여가 시간을 함께해준 룬용이 정말 고맙게 생각한다. 그리고 아직 학업을 진행 중이며 잠시나마 함께 즐거운 수업을 같이 했던 민정이, 미진이,

수미누나 덕분에 힘든 일상을 벗어나 학교라는 즐거운 공간에서 생활할 수 있었던 것 같다.

그리고 일일이 이름을 적을 수는 없겠지만 매주 학교를 가야해서 업무에 충실하지 못할 때 주위에서 힘이 되어주고 업무의 짐을 같이 지고 생활해준 우리 직원들의 공로가 오늘의 연구 결과를 만들어 줄 수 있었던 것 같다. 주변의 많은 사람들이 내 만족을 위해 버팀목이 되어주고 지지대가 되어준 지난 2년 반의 시간이 앞으로 내 인생에 더 많은 밑거름이 되어 줄 것 같다.

이제 석사를 마치고 더 높은 목표를 향해 도약할 준비를 해야할 때인 것 같다. 배움의 길은 1%의 에너지가 남아 있더라도 의지가 있다면 계속되어야 할 것이다.

지금의 이 감사한 분들을 향한 감사의 마음을 항상 간직하며 앞으로 더욱 정진하여 도움 주신 분들께 부끄럽지 않은 길을 나아가도록 해야겠다.