



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

제주시 도런지역 상수도 블록시스템
구축에 따른 누수저감 효과 분석

濟州大學校 産業大學院

建設環境工學科

環境工學專攻

車 俊 浩

2012年 6月

碩士學位論文

제주시 도런지역 상수도 블록시스템
구축에 따른 누수저감 효과 분석

濟州大學校 産業大學院

建設環境工學科

環境工學專攻

車 俊 浩

2012年 6月

제주시 도런지역 상수도 블록시스템
구축에 따른 누수저감 효과 분석

指導教授 金 鎮 瑾

이 論文을 工學 碩士學位 論文으로 提出함.

2012 年 6 月 日

濟州大學校 産業大學院

建設環境工學科 環境工學 專攻

車 俊 浩

車俊浩의 工學碩士學位 論文을 認准함.

2012 年 6 月 日

委員長 허 철 구 印

委 員 이 기 호 印

委 員 김 진 근 印

An Analysis on Leakage Reduction Effect by Block System Establishment of Doryun Area in Jeju City

Cha, Junho

*Department of Environmental Engineering
Graduate School of Industry
Jeju National University*

Supervised by Professor Kim, Jinkeun

Summary

The average revenue water ratio is 82.6% in Korea. It is lower than advanced country's revenue water ratio which is over than 90%. This difference between Korea and advanced country can be attributable to leakage in water distribution and supply system.

The efficient management in water supply facilities can reduce leakage flow rates. It is very important assignment that can gain several effects. This can reduce development cost of new water resources, destruction of environment, therefore leads to the

improvement of management in water supply business.

To maintain and manage the water supply system more efficiently, the water distribution block system can be introduced. In this study, the effect of water distribution block system on leakage reduction was investigated by modeling pipe network analysis before and after establishing water distribution block system.

The establishment of water distribution block system was verified as an economically sound approach based on economic analysis between leakage reduction and cost of block system establishment.

First, study area was selected and the revenue water ratio in study area was estimated. Then estimated revenue water ratio compared with the revenue water ratio in waterworks statistics.

Also water distribution block system in study area was planned. Water pressure distributions before and after block system were compared each other. As a result, the effects in leakage reduction and the effects of rising of revenue water ratio were estimated.

As a result of pipe network analysis, average water pressure in block system was lower than by controlling PRV(Pressure Reducing Valve). Reducing water pressure led to leakage reduction.

Also economic analysis was conducted and B/C ratio was over 1.0, it was found that block system establishment is economically feasible.

Block system is the basis of efficient management of distribution system. So if the revenue water ratio is low, block system must be

established preferentially. After establishing block system, the efficient management should be achieved through maintenance and management system.

keyword : water distribution block system, pipe network analysis, leakage management, PRV, economic analysis

<목 차>

<목차>	i
<List of Table>	iii
<List of Figures>	v
1. 서론	1
2. 이론적 배경	4
2.1 유수율	4
2.2 블록시스템	5
2.3 관망해석	9
2.4 누수량 영향요인	23
3. 연구방법	26
3.1 연구방법 개요	26
3.2 연구대상지역	27
3.3 제주특별자치도 블록시스템 구축 계획	29
3.4 관망해석 모델링 적용	38
4. 연구결과 및 고찰	41
4.1 관망해석 결과	41
4.2 누수량 추정	72
4.3 블록구축에 따른 경제성 평가	75
5. 결론	80

참 고 문 헌 82

부 록 84

<List of Table>

Table 2.1 Standard of water distribution block design	7
Table 2.2 Purpose and advantage in water distribution block system	8
Table 2.3 Functions and characteristics of various pipe network programs ..	19
Table 2.4 Resistance coefficient(A) and flow exponent(B) of various head loss equations	20
Table 2.5 Roughness values for new pipe materials	21
Table 3.1 General status of study area	28
Table 3.2 Facilities status of study area	28
Table 3.3 Water supply status of study area	28
Table 3.4 Standard and application in designing water distribution block system	31
Table 3.5 Scheme of medium blocks	32
Table 3.6 Form and application in water distribution block system	35
Table 3.7 Scheme of small blocks	36
Table 4.1 Criterion of pipe network analysis	42
Table 4.2 Number of node by pressure range	42
Table 4.3 Result of pipe network analysis before establishing water distribution block system(junction)	45
Table 4.4 Result of pipe network analysis before establishing water distribution block system(pipe)	48
Table 4.5 Number of node by pressure range - model 1	53
Table 4.6 Result of pipe network analysis(junction) - model 1	55
Table 4.7 Result of pipe network analysis(pipe) - model 1	58

Table 4.8 Number of node by pressure range - model 2	63
Table 4.9 Result of pipe network analysis(junction) - model 2	65
Table 4.10 Result of pipe network analysis(pipe) - model 2	68
Table 4.11 Estimating result of leakage flow rates before establishing water distribution block system	73
Table 4.12 Estimating result of leakage flow rates after establishing water distribution block system	74
Table 4.13 Saving cost in water production	76
Table 4.14 Saving cost in water supply	77
Table 4.15 Saving cost in sewer treatment	77
Table 4.16 Total benefit by establishing water distribution block system	78
Table 4.17 Total cost by establishing water distribution block system	78
Table 4.18 B/C ratio	79

<List of Figures>

Figure 2.1	Definitions of components of water balance	4
Figure 2.2	Diagram of water distribution block system	6
Figure 2.3	Example of pipe network	11
Figure 2.4	Four components diagram, with secondary influences of pressure management	23
Figure 2.5	Effect of leakage exponent on the leakage rate	24
Figure 3.1	Flow chart of this study	26
Figure 3.2	Location map of study area	27
Figure 3.3	Flowchart of establishing water distribution block system	29
Figure 3.4	Pipe network analysis model of study area after establishing water distribution block system	40
Figure 4.1	Result of pipe network analysis before establishing water distribution block system	43
Figure 4.2	Location map of PRV in study area	52
Figure 4.3	Result of pipe network analysis - model 1	54
Figure 4.4	Result of pipe network analysis - model 2	64

I. 서론

근대적인 상수도시설이 도입된 이래 약 100년의 역사를 가진 한국의 상수도는 2009년 12월말 현재 전국 164개 지방상수도 사업자(특·광역시 7, 특별자치도 1, 시75, 군 81) 및 1개 광역상수도사업자로부터 전체인구의 94.8%인 약 47,336천명이 상수도를 공급받고 있다.

현재 국내의 일정 규모 이상의 정수장에서 생산되는 수돗물의 품질은 선진국과 견주어도 손색이 없으며, 최근에는 새로운 21세기의 패러다임으로 고효율 상수도시스템을 구축하고자 노력하고 있다(김진근 등, 2010).

고효율 상수도라 함은 상수도의 3대 목표인 ‘수량의 안정적 공급’, ‘수압의 균등성 확보’, ‘수질의 안전성 확보’라는 3대 목표를 달성하기 위하여 보다 효율적이며 경제적인 유지관리 방법을 찾아, 최적의 상태로 유지관리가 가능한 상수도시스템을 구축하는 것이다.(김경필, 2009)

그러나 상수도시설 생산량 대비 요금징수량인 유수율은 전국평균 82.6%로 90%를 상회하는 선진외국에 비해 매우 낮게 나타나고 있는데 이의 대부분은 배·급수 관망에서의 누수에 기인한 것으로 보고되고 있다(환경부, 2010b).

한편, 상수도 관망에서의 누수로 인한 물손실은 정수장, 배수지, 관망 등 상수도시설의 확장과 댐건설 등 신규수자원 확보를 위한 막대한 비용의 투자를 필요로 하게 할 뿐만 아니라 수돗물 공급을 위한 가압설비에 필요한 에너지를 낭비하게 되며, 또한 병원성 미생물에 노출위험을 증가시키고, 관로 주변의 지반을 약화시키는 등 상수도관망의 유지관리를 어렵게 하여 급수서비스의 품질을 떨어뜨리게 된다. 더욱이 시간의 경과에 따른 상수도 시스템의 노후화, 관망규모의 확대, 수요패턴의 성숙 등은 그 중요성을 더욱 높아지게 하고 있다.

이와 같은 관점에서 상수도시설의 효율적인 관리로 누수량을 절감한다는 것

은 신규 수자원 개발비용의 절감과 수자원 개발에 따른 환경파괴의 최소화, 상수도 사업의 경영 개선이라는 효과를 동시에 얻을 수 있는 매우 중요한 과제라고 판단된다.

과거에 각 지자체에서는 누수율 저감을 위하여 수도계량기 검침의 정상화, 계량기 불감수량 저감, 부정급수 제거 등을 중심으로 하는 요금부과량 증대사업과 야간유량조사, 누수탐사, 노후관 개량사업, 블록시스템 구축사업 등을 수행하여 왔다.

그러나 그동안 수행되어온 경년관위주의 상수관망 교체는 사업투자비용 대비 유수율 향상효과가 미비한 것으로 나타났으며, 특·광역시를 제외한 지자체에서 실시한 블록시스템 구축사업은 관리인력의 부족으로 유지관리가 제대로 이루어지지 않고 있는 실정이다. 따라서 유수율 제고 및 관망정비사업 효율화를 위해서는 효과적인 상수도 시설의 체계적인 유지관리가 우선시 되어야 할 것으로 판단된다.

이러한 문제점을 해결하기 위하여 환경부에서는 2010년 상수도관망 최적관리시스템 구축 및 유지관리 표준업무처리지침을 발표하고, 태백권 상수도관망 최적관리시스템 구축사업을 실시하였으며, 이후 국비지원 등의 제도를 통해 타 지자체에서도 상수도관망 최적관리시스템 구축사업이 추진되도록 하고 있다.

제주특별자치도 수자원본부에서는 상수도관망 최적관리시스템구축 기본계획을 2011년에 수립하여 유수율 제고, 효과적 관망정비, 블록시스템 및 유지관리시스템 등 관망최적관리체계 구축을 위한 기반을 마련하였다.(제주특별자치도, 2011)

체계적인 상수도 시스템 관리를 위해서는 우선적으로 과학적인 블록시스템 구축이 필수적이라 할 수 있다. 블록시스템이 완료된 지역은 소블록별로 누수관리체계가 구축되며, 수압조절을 통한 누수저감이 가능하고, 합리적인 노후관 진단 및 교체가 가능하다.

따라서 본 연구에서는 블록시스템 구축 전·후 관망해석 모델 운용을 통하여 블록시스템 구축의 효과를 누수저감 측면에서 확인하고자 하였으며, 추정된 누수절감량과 구축사업비의 경제성 분석을 통해 우수율 제고 측면에서 블록시스템 구축의 타당성을 검증하고자 한다.

본 연구에서는 우수율 제고 측면에서 블록시스템 구축의 효과를 확인하기 위하여 제주특별자치도 도련동 및 삼양동 일대를 연구대상지역으로 선정하였으며, 연구대상지역의 관로현황, 급수전수, 우수수량 및 공급량 등의 특성을 분석하였다.

또한 제주특별자치도 블록시스템 구축계획을 조사하여, 관망해석 모델을 작성하고, 우수수량, 수압 등의 조사결과를 고려하여 관망해석을 실시하였다.

블록시스템 구축 전 관망해석은 연구대상지역의 현 상태 반영하여 실시하였으며, 블록시스템 구축 후 관망해석은 감압밸브를 2개소 설치하고 운영관리 하는 것으로 가정하여 관망해석을 실시하였다.

블록시스템 구축 전·후의 관망해석 결과를 통해 수압변화를 예측하고, 수압과 누수량 관계식을 이용하여 수압조정에 따른 절감누수량을 추정하였으며, 추정된 절감누수량을 바탕으로 블록시스템 구축에 효과를 평가하고, 편익 및 비용 산출 후 경제성 분석을 통한 사업의 타당성을 검토하였다.

II. 이론적 배경

2.1 유수율

유수율이란 유수수량과 공급수량의 비율로 상수도시설기준에서는 ‘유수수량을 배수량으로 나누어 백분율로 나타낸 것’, 서울시 상수도사업본부의 상수도용어집에서는 ‘정수장에서 생산하여 공급된 총송수량 중에서 요금수입으로 받아들여진 수량의 비율’로 정의하고 있다. 즉, 유수율 산정의 대상구역이 배수구역일 경우에는 배수량이 공급수량이 되므로 ‘유수수량과 배수량의 비율’을 유수율로 정의하고, 대상구역이 지자체 단위의 행정구역일 경우에는 생산량(=송수시점의 합계)이 공급수량이 되므로 ‘유수수량과 생산량의 비율’로 정의한다.

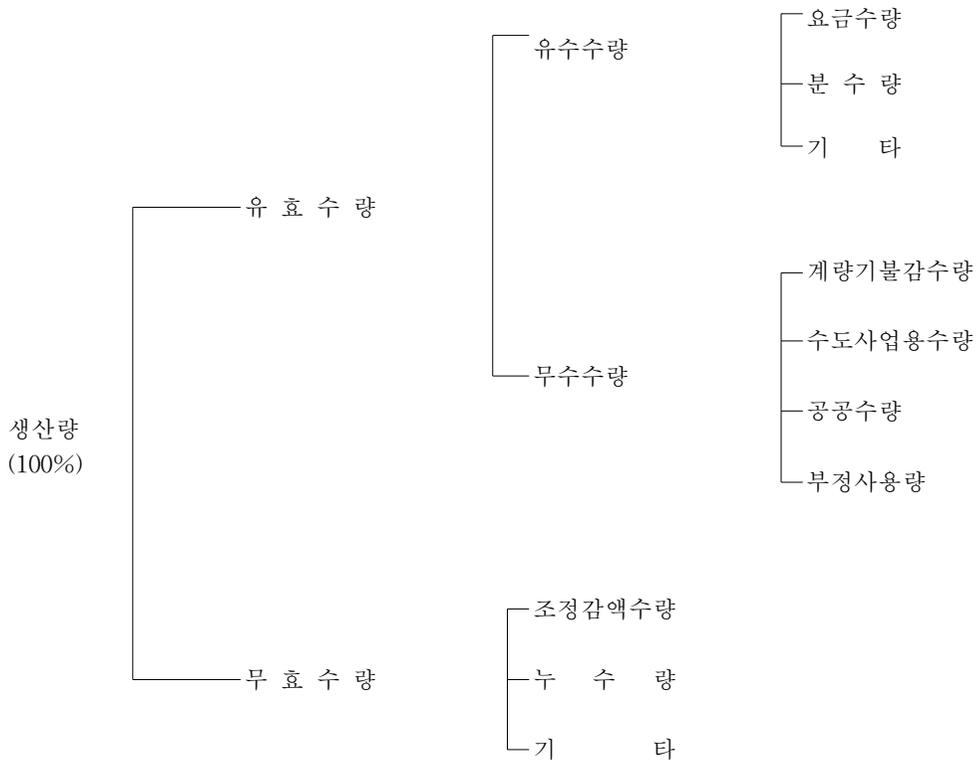


Figure 2.1 Definitions of components of water balance

$$\text{유수율(\%)} = \text{유수수량} \div \text{생산량} \times 100$$

흔히 사용하는 ‘유수율’은 우리나라에서 수도사업자와 지방자치단체의 상수도 사업에 대한 경영성과의 지표로 인식된다. 이는 사업의 경제성, 운영관리의 적합성, 투자의 효율성이라는 3가지 관점에서 생각할 수 있는데 유수율이 낮다는 것은 경제적 측면에서 생산에 투입된 비용에 대한 회수율이 낮다는 것을 의미한다.

따라서, 상수도 사업의 건전한 재정운동을 위해서는 유수율을 향상시키는 일이 필수적이다. 운영관리의 측면에서 유수율이 높다는 것은 수돗물 생산에서 요금 징수에 이르기까지의 제반 관리 상태가 양호하다든 것을 의미하는 데 반해 유수율이 낮다고 한다면 시설의 운영관리상 문제(계량기 불감수량, 누수, 부정사용 등)가 있다는 결론을 내릴 수 있다. 또한, 상수도 시설 확충 및 투자에는 막대한 자금이 소요되며 적절한 개대책 여부에 대한 의사결정을 위해서는 여러 가지 제약요인들이 생긴다. 부족한 수돗물과 손실되는 수돗물량을 비교·분석하여 시설확충, 시설개선, 운영개선들을 얼마만큼 어느 선에서 할 것인지 그 우선순위를 어디에 두어야 할지에 대한 의사결정이 매우 어렵기 때문이다. 이 경우 유수율은 급수운영차원에서 시설확충 및 시설개량 여부를 결정하는 데 있어 하나의 중요한 지표가 될 수 있다.

2.2 블록시스템

블록시스템은 일본 니기타시에서 1964년 대지진 이후에 이를 복구하기 위하여 니가타대학의 小出교수 등에 의해 제안된 배수관망조직법을 말한다. 당시에는 재해에 강한 배수시스템의 건설이 주목적이었지만, 배수시스템 유지관리에 도 효율적으로 적용 할 수 있다는 것이 증명되면서 널리 보급되기 시작하였다. 초기에는 복구하기 쉬운 배수관망을 구축한다는 것에 주안점을 두었으나, 최근에는 이에 부가하여 유지관리를 쉽고 효율적으로 할 수 있는 배수관망구축을 목표로 하고 있다.(제주특별자치도, 2011)

한편 국내·외 관련 문헌을 정리한 결과 블록시스템에 대한 장점을 정리하면 다음과 같다. 블록시스템의 장점으로는 첫째 모든 관로를 관경 등에 따라 그 기능을 분산하고, 배수지관 블록으로의 주입점을 규제함으로써 배수블록에서 적절한 수압을 유지할 수 있다.

둘째 각 배수 블록마다 유효율 또는 유수율 등의 각종 정보를 비교적 정확히 파악 할 수 있고 노후관 대책이나 누수 방지 계획을 수립함에 있어서 우선순위의 설정을 비롯한 각종 대책을 세우기 쉽다.

셋째 각 배수블록이 서로 독립되어 있어 사고시나 재해시에 백업(backup) 및 급수조절이 용이하다.

넷째 가뭄시의 취수 제한이나 정수장 가동중지 등의 이상상태에서 감압급수 또는 시간제한급수를 실시할 수 있어 급수의 균등화를 도모할 수 있다.

다섯째 대규모의 재해시 그 복구를 빠르게 착수 할 수 있다. 마지막으로 지역에 따른 필요수량 및 수질을 보다 쉽게 파악할 수 있어 장래의 확장계획에 중요한 정보를 얻을 수 있다.

블록구축시스템의 개념도는 다음 Figure 2.2와 같다.(환경부, 2007)

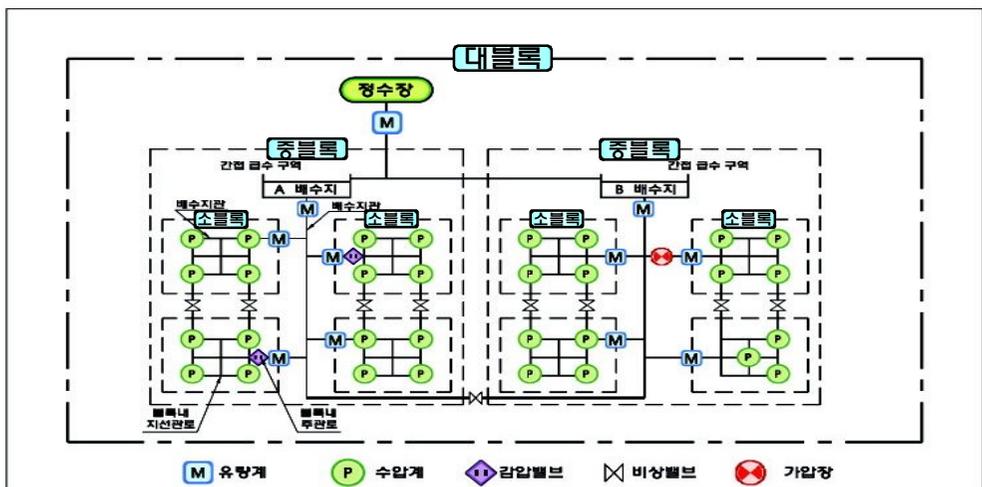


Figure 2.2 Diagram of water distribution block system

또한, 블록시스템은 상수도관망의 유지관리 효율성과 공급안정성, 수질안정성, 수압균등성 등의 목표를 달성하기 위하여 대블록, 중블록, 소블록 등으로 구분하여 구성된다. 이러한 구성방법은 기본적인 목표달성과 아울러 비상시 대처능력의 향상이라는 추가적인 목적을 달성하기 위하여 시스템적으로 관망을 구축하게 된다.

국내에서도 환경부의 “상수도 유수율 제고 업무처리규정”에서 블록시스템 구축을 명시하고 있으며, 간략한 내용은 다음과 같다.

먼저, 블록시스템은 “블록시스템의 수도관의 관망구성이 바둑판 모양의 블록형태로써 블록별 수돗물 공급량 및 소비량, 누수량 등의 측정·분석이 가능하도록 관망을 구성하여 관리하는 체계를 말한다.”라고 정의하고 있으며, 배수관망을 최소운영관리 단위구역별 관망운영 자료의 용이한 획득·분석과 관망해석 등을 통한 관망정비계획을 합리적으로 수립하고 사고 등 비상시 영향지역 최소화와 블록별 적정 압력유지 및 유량, 수질의 균등화와 상시 누수감시 및 유량, 압력, 수질의 효율적인 관리에 그 목적을 두고 있다.

대블록은 정수장 송수계통의 급수구역, 중블록은 가압장 및 배수지 급수구역으로 소블록 5~10개를 포함하는 구역이며, 소블록은 급수전 500~1,500전 규모로 경계를 설정한다. 유수율제고업무처리규정에서 규정하고 있는 대·중·소의 블록규모별 블록설정 세부규정은 다음 Table 2.1과 같다.

Table 2.1 Standard of water distribution block design

구분	적용기준
대블록	- 정수장별 송수계통 - 대로(폭25m이상), 철도, 하천 및 복개천 기준
중블록	- 도로(8m이상) - 철도, 하천, 복개천, 하수분관, 배수지 급수구역, 행정구역 등 기준
소블록	- 도로(폭4m), 철도, 하천, 복개천, 법정동, 학교, 공원, 대단지 아파트 등 - 급수전 500~1,500당 또는 배수관 2.5~3km

다음 Table 2.2에서는 블록시스템 구축시 대블록과 소블록의 운영 및 관리의 목적과 장점에 대하여 나타내었다.

Table 2.2 Purpose and advantage in water distribution block system

구분	요소	정보취득	평상시 유지관리	긴급시의 대응
대블록	수량	- 대블록 단위의 유수율, 유효율·시간계수 등 정보를 얻을 수 있게 된다.	- 수량관리가 쉬워진다.	- 대블록간의 백업기능을 활용할 수 있다. - 가뭄시의 급수제한을 공평히 할 수 있다.
	수압	- 수압분포를 보다 쉽게 파악할 수 있게 된다.	- 등압급수 등 배수조절이 쉬워진다.	- 가뭄시의 급수제한을 공평히 할 수 있다.
	수질	- 수질변화를 추적하기 쉽게 된다.	- 적수, 정체수의 배제를 계획적으로 할 수 있다.	- 수질오염을 국지화할 수 있다. - 수질오염의 원인규명이 쉬워진다.
	관로 시설	- 관로의 기능이 명확하게 된다.	- 여유량 확보 등 배수관 간선의 부설계획을 합리적으로 할 수 있다.	- 배수관 간선의 복구계획을 세우기 쉽다. - 배수지를 응급 급수거점으로 이용할 수 있다.
소블록	수량	- 소블록 단위의 시간계수, 유수율, 유효율 등을 자세히 파악할 수 있게 된다. - 누수조사가 쉬워진다.	- 소블록 단위로 급수구역의 변경이 쉬워진다. - 소블록간의 물의 융통성이 향상된다. - 배수조절이 쉽게 된다. - 가뭄시 대책수립을 효율적으로 할 수 있다.	- 소블록단위로 수량조절이 가능하고, 가뭄시의 급수 제한 등을 공평히 할 수 있다.
	수압	- 최대, 최소수압 등 수압 변동을 자세히 파악할 수 있다.	- 감압, 가압구역의 설정이 쉬워진다. - 출수불량지점을 합리적으로 개량할 수 있다.	- 소블록단위로 수압조절이 가능하다.
	수질	- 수질변화를 추적하기 쉽게 된다.	- 적수, 정체수의 배제를 계획적으로 할 수 있다.	- 수질오염을 국지화할 수 있다. - 수질오염의 원인규명이 쉬워진다.
	관로 시설	- 관로의 기능이 명확해진다.	- 교체대상 관로 등의 순위를 확실히 정할 수 있다.	- 돌발사고에 대처하기 쉽다. - 소블록의 복구계획을 세우기 쉽다.

2.3 관망해석

관망해석이란, 수학적 표현방법을 통해서 실제 상수도 관망의 물 흐름을 모의하는 과정으로 정의할 수 있다. 여기서 말하는 관망이란, 배수관로의 근간이 되는 폐합관로(loop)가 있는 망(網, network)형태뿐만 아니라, 광역상수도 관로와 같은 수지(樹枝, branched)형의 관로도 포함하는 광의의 개념이다.

관망해석의 목적은 관로 내, 각 지점에서 관경, 관 길이, 유속계수, 밸브상태, 펌프 운전상태 등을 알고 있는 조건하에서 유량 및 동수두를 계산하여 관로를 통하여 흐르는 물이 안정되게 공급되는가를 확인하기 위함이다.

이러한 관망해석의 가장 기본적인 의의는 관로의 각 지점에 있어서 동수두와 유량을 확보하여 관말까지 상시 공급체계를 갖추기 위하여 절점 유출수량과 절점수압의 관계를 명확하게 하고자 하는 것이다. 이처럼 관망해석은 관로의 설계와 유지관리에 있어서 가장 중요한 기본적 방법의 하나이다.

2.3.1 관망해석의 기초방정식

관망해석의 기초방정식은 관망을 구성하는 각 관로에 대해 관경 $D(m)$, 관로 길이 $L(m)$, 내벽면상태 $C(C_H, C_I)$ 유량 $Q(m^3/sec)$, 손실수두 $H(m)$ 가 만족되는 유량식과 이들 관로가 관망을 구성했을 때 만족시켜야 할 절점 방정식과 폐관로 방정식으로 구성된다.

(1) 유량식

한 관로의 흐름은 Q, H, D, L, C 의 5가지 변수에 의해 결정된다. 관망해석에서는 전술한 바와 같이 이들 중 D, L, C 를 기지로 하고 나머지 변수, 즉 유량 Q 와 손실수두 H 를 미지수로 한다. 계산의 복잡함을 피하기 위하여 마찰손실 이외의 모든 손실을 무시하던가 마찰손실에 포함시켜서 전손실수두 H 와 마찰손실수두 h_f 를 같게 하여 해석한다. 여기서 H 를 소거해서 Q 를 미지수로 하는 방법이 유량 보정법이고, 이와는 반대로 Q 를 소거해서 H 를 구하는 방법이 절점수위보정법이다.

평균유속공식으로서는 Hazen-Williams식과 Manning식이 많이 사용된다.

Hazen-Williams식

$$Q=0.29583 C_H D^{2.63} L^{-0.54} H^{0.54} \quad (2.1)$$

Manning식

$$Q=0.31169 n^{-1} D^{8/3} L^{-1/2} H^{1/2} = A \frac{1}{n} R^{2/3} I^{-1/2} \quad (2.2)$$

여기서, A: 관 단면적(m²)

n : Manning 조도계수

R : 경심(hydraulic radius, m)

I : 수면경사

고상식

$$Q=C \tau D^{2.637} L^{-0.5124} H^{0.5124} \quad (2.3)$$

(2) 손실수두식

손실수두 H가 마찰손실수두 h_f만으로 표현되고 지수형 유량식을 이용하는 경우에 H와 Q의 관계는

$$H=h_f=r' Q^u \quad (2.4)$$

가 되며, 유량을 고려하여 H와 Q의 방향을 같게 하도록 표현한다면

$$H=r'|Q|^{u-1} Q \quad (2.5)$$

로 쓸 수 있다. 여기서 r'와 u는 채용하고자 하는 유량식에 따라 다르며,

Hazen-Williams공식에서는

$$r'=10.666 C_H^{-1.85} D^{-4.87} L, u=1.85 \quad (2.6)$$

Manning 공식에서는

$$r' = 10.294n^2 D^{-16/3} L, u=2 \quad (2.7)$$

(3) 절점 방정식

절점 방정식은 절점에 있어서 유량의 연속조건을 방정식으로 나타낸 것이며, 절점 i 에 대해 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\sum_j Q_{ij} + P_i = 0, (i \in INR) \quad (2.8)$$

여기서 INR은 배수기지 이외의 절점을 합한 것이고, 배수기지는 유입량을 명시할 수 없기 때문에 절점 방정식에서 제외되며, 절점수 N , 배수기지수 M 의 관망에 대해서 $N-M$ 개의 절점 방정식이 성립된다. P_i 는 절점 i 로부터 유출되는 사용유량(m^3/sec)이다. Q_{ij} 에서 j 는 절점 i 의 인접 절점, 첨자 ij 는 절점 i 와 j 를 연결하는 관로에서 흐름방향이 i 에서 j 쪽인 것을 의미한다.

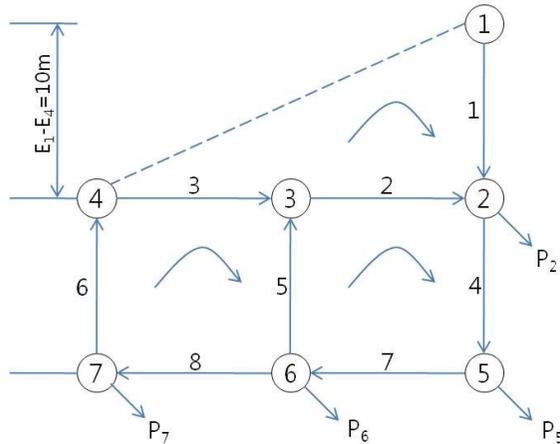


Figure 2.3 Example of pipe network

Figure 2.3의 절점2에서의 유량연속조건은 유입량 Q_{12} , Q_{32} 이고, 유출량이 Q_{25} 와 P_2 이며, 유출과 유입량이 같아야하기 때문에

$$Q_{12} + Q_{32} = Q_{25} + P_2 \quad (2.9)$$

가 된다. 여기서 $Q_{12} = -Q_{21}, Q_{32} = -Q_{23}$ 이기 때문에 이 식은

$$Q_{21} + Q_{23} + Q_{25} + P_2 = 0 \quad (2.10)$$

가 되어 식(2.8)의 표현과 일치한다.

(4) 폐관로 방정식

관망내의 물은 전에너지 손실이 최소가 되도록 흐른다. 이 조건을 요소 폐회로에 있어서의 에너지 수지식의 형태로 표현하면

$$\sum_i (\pm H_{i,k}) - \delta E_k = 0, \quad (k=1, 2, \dots, k) \quad (2.11)$$

가 되며, 식의 수는 요소 폐관로수 K와 같다. 여기서 폐관로라는 것은 하나의 절점을 출발해서 그 절점으로 다시 돌아오는 경로에 있는 모든 관로의 집합을 말하며, 요소 폐회로라 함은 이 가운데 폐관로 자체에 다른 폐관로를 포함하지 않는 것을 의미한다.

손실수두 $H_{i,k}$ 의 부호는 요소 폐회로의 방향(요소 폐회로를 일컫는 방향, 보통은 시계방향으로 한다)과 관로의 기준 방향이 일치하면 정(+), 반대 방향이면 부(-)로 한다. δE_k 는 요소 폐회로내의 회 · 강압장치의 양정 또는 다점 주입계에 있어서 두 배수지간의 수위차이고, 통상은 $\delta E_k = 0$ 이다. $\delta E_k \neq 0$ 의 경우, 요소 폐회로의 방향으로 에너지가 높을 때에는 양(+), 낮을 때에는 음(-)값을 부여한다.

Figure 2.3과 같은 관망의 경우 요소 폐관로수 $k=3$ 이고, 식(2.11)은 다음과 같이 쓸 수 있다.

요소 폐회로 I에 대해

$$H_1 - H_2 - H_3 - 10 = 0 \quad (2.12)$$

요소 폐회로 II에 대해

$$-H_5 + H_8 + H_6 + H_3 = 0 \quad (2.13)$$

요소 폐회로 III에 대해

$$H_4 + H_7 + H_5 + H_2 = 0 \quad (2.14)$$

2.3.2 관망해석법

관망해석에 널리 사용되고 있는 방법에는 크게 유량법과 절점 수위 보정법이 있다.

(1) 유량법

식(2.5)을 식(2.11)에 대입하면

$$\sum_i \pm r'_{i,k} |Q_{i,k}| - \delta E_k = 0, \quad (k=1, 2, \dots, K) \quad (2.14)$$

가 되고, 이 식과 절점방정식인 식(2.8)을 합하면 관로수와 같은 수의 연립방정식이 이루어진다. 이 연립방정식을 풀어서 각 관로수량 $Q_{i,k}$ 를 구하는 것이 유량법이다. 식(2.1)~(2.3)에서 나타난 바와 같이 일반적으로 $u \neq 1$ 이기 때문에 식(2.15)은 $Q_{i,k}$ 에 관한 비선형 연립방정식이 된다. 일반적인 경우에 비선형 연립방정식을 직접적으로 구하는 방법이 없기 때문에 반복 근사계산법에 의해서 해를 구할 수밖에 없다. 이 때 이용되는 근사법에 따라 유량법은 1차 근사해석법과 고차 근사해석법으로 분류되며, 지금까지 많은 방법이 개발되어 실제에 이용되고 있다. 이 중 1936년에 Hardy Cross에 의해 발표된 Hardy Cross법은 다음과 같다.

Q에 대한 근사유량을 q , 그 보정치를 ΔQ , 또한 H에 대한 근사치를 h , 보정치를 ΔH 라 한다면 이들의 관계는 각각

$$Q = q + \Delta Q \quad (2.16)$$

$$H = h + \Delta H \quad (2.17)$$

되며, 식(2.5)은 다음과 같이 표현된다.

$$h + \Delta H = r'(q + \Delta Q)^u \quad (2.18)$$

이 식을 이항전개하면

$$\begin{aligned}
 & h + \Delta H = r'(q + \Delta Q)^u \\
 = & r' \left\{ q^u + uq^{u-1} \Delta Q + \frac{u(u-1)}{2!} uq^{u-2} (\Delta Q)^2 \right. \\
 & \left. + \frac{u(u-1)(u-2)}{3!} q^{u-3} (\Delta Q)^3 + \Delta \cdots \right\} \\
 & \doteq r'(q^u + uq^{u-1} \Delta Q)
 \end{aligned} \quad (2.19)$$

가 된다. 요소 폐관로에 대한 값을 절점방정식인 식(2.8)을 만족하도록 가정된 유량이라 하면 식(2.19)에서 다음 식이 성립된다.

$$\sum_l (h_l + \Delta H) = \sum_l r' (q_l^u + uq_l^{u-1} \Delta Q_k) - \delta E_k = 0 \quad (2.20)$$

$$\begin{aligned}
 \therefore \Delta Q_k &= \frac{\sum_l r_l q_l^u}{\sum_l u r_l q_l^{u-1}} + \delta E_k = - \frac{\sum_l r_l \cdot q_l}{\sum_l u r_l} + \delta E_k \\
 &= \frac{\sum_l h_l}{\sum_l u r_l} + \delta E
 \end{aligned} \quad (2.21)$$

여기서, $r_l = r_l' |q_l|^{u-1}$, 따라서 Manning 공식에서는 $u=2$ 이므로

$$\Delta Q_k = - \frac{\sum_l r_l q_l^2}{2 \sum_l r_l q_l} = - \frac{\sum_l r_l |q_l| q_l}{2 \sum_l r_l q_l} \quad (2.22)$$

Hazen-Williams 공식에서는 $u=1/0.54 \doteq 1.85$ 이므로

$$\Delta Q_k = -\frac{\sum_l r_l q_l^{1.85}}{1.85 \sum_l r_l q_l^{0.85}} = -\frac{\sum_l r_l |q_l|^{0.85} q_l}{2 \sum_l r_l q_l^{0.85}} \quad (2.23)$$

가 된다. Hardy-Cross법은 이항전개에서 3항 이상을 생략하였으므로 반복계산에 의해 보정을 계속할 필요가 있으며, 보정값은 폐회로의 방향과 유량의 방향이 같으면 (+), 반대이면 (-)의 값을 취하고 두 폐회로의 공통요소가 되는 관로는 각 폐회로의 보정값을 전부 취한다.

(2) 절점 수위 보정법

절점 방정식과 폐회로 방정식을 합하면 $N-M+K$ 개의 식이 만들어지고, 이것은 관로수 J 와 같게 된다. 따라서 식(2.1)~(2.3)의 어느 것이든 식(2.11)에 대입해서 H 를 소거하면 H 개의 Q 를 미지수로 하는 J 개의 방정식이 되고, 이것을 해석하는 것이 유량법의 기본형이 된다. 반면 Q 를 소거하면 H 를 미지수로 하는 손실수두법이 되지만 이 방법은 유량법에 비해 이점이 없다. 여기서, 절점 i 와 j 를 연결하는 관로의 손실수두 H_{ij} 는 양단 절점의 에너지위 E_i, E_j 의 차이이므로

$$H_{ij} = E_i - E_j \quad (2.24)$$

가 되어 미지수를 손실수두로부터 절점수위로 변환시킬 수 있다. 이 때 식(2.24)을 대입한 식(2.11)은 항상 만족되기 때문에 폐회로 방정식은 필요없게 된다. 한편, 식(2.1)~식(2.3)에 식(2.24)을 대입하고 흐름의 방향을 고려하면

$$Q_{ij} = R_{ij} |E_i - E_j|^{a-1} (E_i - E_j) \quad (2.25)$$

의 일반형으로 표시할 수 있다. 이 식(2.25)을 식(2.8)에 대입하면 절점방정식은 에너지위 E 에 관한 방정식으로 표현되고 배수기지를 제외한 $N-M$ 개의 절점에 관한 절점방정식을 해석하면 에너지위가 지정된 M 개의 절점을 제외한 $N-M$ 개의 미지 에너지위를 구하는 방법이 성립된다. 이것은 절점수위(절점에너지)법이다.

식(2.25)의 α 는 약 0.5의 값을 갖고 있어서 식(2.25)을 1차화한 후에 식(2.8)에 대입하여 연립일차방정식의 해를 구해야 한다. 식(2.25)을 1차화하는데 사용되고 있는 방법은 선형 역보간법과 Newton법의 2가지형으로 분류할 수 있다.

2.3.3 관망해석 모델

(1) 관망해석 프로그램

현재 활용되고 있는 관망해석 프로그램 및 그 특징은 다음과 같다(최철식, 2008).

(가) EPANET

본 프로그램은 미국 환경청(EPA)의 Drinking Water Research Division에서 개발된 것으로 KYPIPE 모형을 기본프로그램으로 하여 관망의 물리적 특성이나 관경, 관길이, 조도계수, 용수사용량을 이용하여 절점별, 시간별 수리적 특성이나 유량과 압력을 계산하고, 계산된 수리학적 조건에 따른 수질변화를 모의한다. 즉 수리해석은 KYPIPE와 같으며 수질변화를 모의하기 위해 수질예측함수식의 매개변수를 구하고, 이를 이용하여 대상관로의 말단지점에서 오염물 농도를 추적할 수 있다. EPANET의 기능으로는 상수도 관망시스템의 정상류에 대한 수리 및 수질 변화를 모의할 수 있으며, 관로시스템의 절점 좌표값을 입력하여 변환함으로써 관로시스템 및 모의해석 결과를 그래픽으로 출력할 수 있다.

(나) Kentucky Pipe Network(KYPIPE)

관로시스템의 정상류에 대한 유량 및 수압계산을 위한 프로그램으로 1980년 미국 Kentucky 대학의 Don J. Wood에 의하여 개발되었다. 관로시스템에서의 초기 유량값을 가정하지 않으며 각 관로에 대한 절점유량방정식과 에너지방정식을 선형화기법을 이용하여 전체 관망에 대한 행렬식을 만들어 Gaussian-Elimination 방법에 의하여 선형연립방정식을 해석함으로써 전체관로의 유량과 수두를 계산한다.

본 프로그램의 특징으로는 저수조, 펌프, 밸브 등의 관로부속물을 고려하여

모든 형태의 관망을 해석할 수 있으며 해(solution)에 대한 수렴성이 양호하다.

(다) UNDP

본 프로그램은 UN에서 프로그램 개발능력이 부족한 저개발국 및 개발도상국의 지원을 위하여 세계은행으로부터 지원을 받아 미국의 North Carolina 대학에서 개발된 프로그램으로 Source Code가 제공되고 있으며 컴퓨터 언어는 BASIC으로 되어 있다. 타 프로그램들과는 달리 목적별로 10개의 프로그램이 있어 종합적인 검토를 위해서는 사용자가 프로그램을 합성하거나 각 결과를 종합 검토하여야 한다. 이 프로그램은 급수 및 하수관망의 계획, 설계 및 계획의 경제성 평가를 위한 단가 등을 산정할 수 있는 기능을 갖는다.

(라) USU Pipe Network

본 프로그램은 미국의 Utah State University의 R. Jeppson에 의해 개발되었으며 컴퓨터 언어는 Fortran과 C언어로 되어 있으나 Source Code가 제공되지 않고 판매되고 있다.

(마) SIMDRU

SIMDRU 프로그램은 연속방정식, 운동량방정식 및 콜리브룩방정식을 이용하여 관로시스템의 절점별 유량 및 압력 등 유체의 흐름 해석을 하는 프로그램으로 수지형 및 폐합형 관로시스템의 해석과 복합관로의 수격압을 비롯한 정상

(바) LIQT & SWS

미국의 Stoner에 의해 개발된 상업용 프로그램이다. 정상류상태와 압력 및 유량이 시간에 따라 변화하는 관내의 유체이동에 대한 해석이 가능하다. SWS는 각종 자료 및 결과를 화면상에 도형적(Graphical)으로 나타낸다.

(사) WASMACS

영국의 Bruneleogkrdml Sterling 교수에 의해 개발된 프로그램으로 관망의 해석보다는 관로와 펌프 등의 최적운영에 필요한 각종 설비의 운전과 실제 자료의 Data Base화까지 처리할 수 있는 운영 프로그램들로 구성되어 있다.

(아) WADISO

WADISO는 1980년대 초 미군 USACE Waterways Experiment Station Thomas M. Walski와 Johannes Gessler, 그리고 John W. Sjostrom에 의하여 개발된 프로그램으로 관로시스템의 각 관로에 대한 유량 및 에너지방정식을 비선형방정식으로 구성하고, 이를 수치 해석함으로써 수두를 결정한 다음, 각 절점에서의 유량을 환산하며 관로의 손실수두는 Hazen-Williams식을 사용한다. 관망설계시 압력, 유량의 변화에 따른 관경에 대한 모의기능이 있으며 펌프 운영에 따른 유량과 압력의 모의도 가능하다.

(자) CYBERNET

KYPIPE와 미국의 EPA에서 개발한 프로그램인 EPANET을 조합한 것으로 AutoCAD를 이용, 관로시스템을 도형적으로 표현하여 해석하는 전문적인 상용 프로그램이다. 관로시스템을 구성하고 있는 각 관로의 개수에 따라 가격이 달라지며 소규모의 관로시스템 해석프로그램 가격은 저렴한 편이고 해석해야할 관로의 수가 증가할수록 가격이 비싸지는 단점을 갖는다.

(차) WATER

미국의 WISCONSIN 대학의 Dr, Houlb이 Canada의 Municipal Hydraulics. Ltd와 공동으로 개발한 프로그램으로 기본적인 관로시스템 해석을 위한 비교적 단순한 프로그램이다.

다음 Table 2.3에서 상기에 서술한 관망프로그램들의 기능 및 특성을 비교하였다. 이 중 EPANET은 가장 많이 사용하는 공개프로그램으로 수리해석 결과가 상용 프로그램과 비슷한 수준의 정확도를 가지고 있고, 상용으로 출시되고 있는 관망해석 프로그램의 엔진으로 채용되고 있는 프로그램이다. 또한 우리나라의 수자원공사를 비롯하여 대부분의 지자체에서 상수관망 계획 및 유지관리를 위해 사용하고 있어 본 연구에서도 관망해석을 위해 EPANET을 사용하였다.

Table 2.3 Functions and characteristics of various pipe network programs(최철식, 2008)

Function & Characteristics \ Program		UNDP	KYP	USU	SMD	LIQT	WASM	WADIS	CYBER	WATER	EPANET
Pipeline analysis	Valve	○	○	○	○	○	○	○	○	○	●
	Reservoir	○	○	○	○	○	○	○	○	○	●
	Pump	○	○	○	○	○	○	○	○	○	●
	Pressure reducing valve	○	○	○	○	○	○	○	○	○	●
	Check valve	○	○	○	○	○	○	○	○	○	●
	Booster pump	○	○	○	○	○	○	○	○	○	●
	Nozzle			○							
	Water quality variation					○			○	○	●
	Time simulation		○	○		○	○	○	○		●
	Water hammer				○	○					
Design	Diameter decision	○		○				○			
	Economic construction	○		○				○			
Operation	Relief level decision			○			○				
	Optimum valve operation						○				
	Optimum pump operation						○				
Output	Database						○				
	Table	○	○	○	○	○	○	○	○	○	●
	Diagram			○	○	○			○	○	●

EPANET은 USEPA의 Drinking Water Research Division에서 개발된 폐쇄형 관로의 수리 및 수질분포를 해석하기 위한 컴퓨터 기반의 관망분석 모델로서 KYPIPE 모델을 기본 프로그램으로 한다. 관망(pipe network)은 링크(관, 펌프, 밸브)와 노드(정선, 저장탱크, 배수지)로 구성되며, 관망의 물리적 특성인 관경, 길이, 조도계수, 수요량을 이용하여 관망의 각 절점별, 시간별, 수리학적 특성인 유량, 유속, 수압, 손실수두와 수질변화를 시뮬레이션 할 수 있다.

EPANET 프로그램에서는 손실수두 계산을 위하여 Hazen-Williams 공식, Darcy-Weisbach 공식, Chezy-Manning 공식을 제공한다. Hazen-Williams 공식은 관망시스템의 다양한 손실수두 공식 중에서 가장 널리 알려진 공식이며, Darcy-Weisbach 공식은 물외의 층류 흐름이나 기타 유체에 적합한 공식이다. Chezy-Manning 공식은 개수로의 흐름을 분석할 때 주로 사용하는 공식이다. Table 2.4는 각 공식에 사용되는 저항계수(A)와 흐름지수(Flow Exponent, B) 값을 보여주고 있다. 각 공식들은 서로 다른 조도계수를 사용하며 이 값들은 경험적으로 결정된 값들이다. Table 2.5는 신관의 재질에 따른 조도계수의 일반적인 범위를 보여주며, 관의 조도계수는 노후정도에 따라 상이할 수 있다.

Table 2.4 Resistance coefficient(A) and flow exponent(B) of various head loss equations(최성규 등, 2001)

Head loss equation	A	B
Hazen-Williams	$4.72C^{-1.85}d^{-4.87}L$	1.852
Darcy-Weisbach	$0.0252f(e, d, q)d^{-5}L$	2
Chezy-Manning(full pipe flow)	$4.66n^2d^{-5.33}L$	2

여기서, C : Hazen-Williams 조도계수

e : Darcy-Weisbach 조도계수(ft)

n : Manning 조도계수

f : 마찰계수(e, d 및 q에 좌우됨)

d : 관경(ft)

L : 관 길이(ft)

q : 유량(cfs)

Table 2.5 Roughness values for new pipe materials(최성규 등, 2001)

Material	Hazen-Williams	Darcy-Weisbach (milifeet)	Manning(n)
Iron	130~140	0.85	0.012~0.015
Concrete	120~140	1.0~10	0.012~0.017
Galvanized steel	120	0.5	0.015~0.015
Plastic	140~150	0.005	0.011~0.015
Steel	140~150	0.15	0.015~0.017
China	110		0.013~0.015

EPANET 프로그램 입력자료는 관망을 이루는 물리적 구성요소인 링크, 노드와 상수관로 시스템의 동작에 관여하는 비물리적인 구성요소인 운전곡선, 운전패턴, 제어기준 등으로 이루어져 있다. 이러한 입력자료를 이용하여 다양한 분석이 가능하다. 초기의 수리특성 조건에 따라 관로의 정상상태를 가정하여 초기의 수리조건을 계산한다. 이 초기 값에서 시간을 증가시키며 이에 따른 수리상황, 제어, 운전주기를 적용하여 시간에 따른 수리적 조건을 계산한다.

(2) 수리 시뮬레이션 모델

EPANET에서 사용하는 수리모델은 동적 수리해석이 가능하며, 관망에 있는 각 저장 노드(탱크, 배수지)에 대해 다음과 같은 수식으로 표현된다.

$$\delta y_s / \delta t = Q_s / A_s \quad (2.26)$$

$$Q_s = \sum_i Q_{is} - \sum_j Q_{sj} \quad (2.27)$$

$$h_s = E_s + y_s \quad (2.28)$$

$$h_i - h_j = f(Q_{ij}) \quad (2.29)$$

$$\sum_i Q_{ik} - \sum_j Q_{kj} - Q_k = 0 \quad (2.30)$$

Unknown(EPANET 관망해석을 통해서 알 수 있는 속성값)

y_s : 노드 s에 저장된 물의 높이(ft)

Q_s : 저장 노드 s에 들어간 유량(cfs)

Q_{ij} : 노드 i와 j를 연결하는 링크 내의 유량(cfs)

h_i : 노드 i에서 동수구배(지반고+압력수두) 높이(ft)

h_j : 노드 j에서 동수구배(지반고+압력수두) 높이(ft)

h_s : 노드 s에서의 동수구배(지반고+압력수두) 높이(ft)

Known(기존에 알려져 있는 속성값)

A_s : 저장 노드 s의 단면적(배수지의 경우 무한대) (ft²)

E_s : 노드 s의 지반고 (ft)

Q_k : 노드 k에서의 수요량(+) 혹은 공급량(-) (cfs)

$f(Q_{ij})$: 손실수두와 링크 내의 유량 사이의 관계식

식(2.26)은 저장 노드에서 물의 체적 보존을 표현해 놓은 것인 반면 식(2.27)과 식(2.30)은 정션(pipe junction)에 대한 것이다. 식(2.29)은 관내의 흐름으로 인한 에너지 손실 혹은 증가에 관한 것이다. 시간이 0일 때, 알고 있는 초기 저장 노드 레벨 y_s 에 관하여 식(2.29)과 식(2.30)은 식(2.28)을 경계조건으로 이용하여 각 링크(노드 i와 j사이)와 각 노드 k의 모든 유량 q_{ij} 및 수두 h_i 를 계산한다. 이 단계를 수리적 균형이라 하며, 비선형 방정식의 해를 구하기 위해 Todini, E와 Pilati, S.(1987)의 Gradient Algorithm을 사용한다.

관망의 수리적 해가 얻어진 다음, 각 저장 노드의 수요량 또는 공급량인 Q_s 는 식(2.27)에서 얻어지고 식(2.26)을 이용해서 시간 간격 Δt 이후의 새로운 저장 노드의 수위를 알아낼 수 있다. 이러한 과정이 반복됨으로써, 연속적인 시간간격에 대한 잔류 정도를 계산한다.

2.4 누수량 영향요인

누수의 영향요인으로는 관의 노후화, 과잉 수압, 충격, 심도부족, 부등침하, 시공불량 등 상당히 다양한 요인들이 있다. 이러한 누수를 예방하고 줄이는 방법으로는 Figure 2.4와 같이 크게 4가지로 분류할 수 있다.

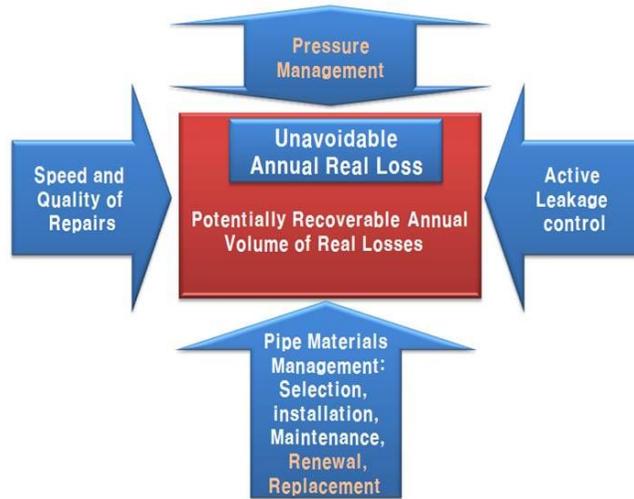


Figure 2.4 Four components diagram, with secondary influences of pressure management

특히 J Thornton 등(2005)은 수압을 관리함으로써 실질적인 누수관리활동과 누수복구의 신속성·정확성에 2차적인 영향을 줄 수 있다는 사실에 주목해야 한다고 말하고 있다. 또한 수압은 누수량에 직접적인 영향을 주지만 누수부위의 형태나 매설환경 등에 의해 영향을 받기 때문에 누수량을 정확히 계산하는 것은 사실상 불가능하다. 이에 따라 누수량을 파악하기 위한 다양한 실험 및 관망해석을 통한 연구 등이 이루어지고 있는데, 일본수도협회에서는 1977년에 누수공에서 누수량과 관내 수압과 누수공의 면적, 형상과의 관계를 다음과 같이 두 가지 공식으로 제시하였다.

$$Q = c \cdot a \cdot (P)^{0.5} \quad (2.34)$$

$$Q = c \cdot a \cdot (P)^{1.15} \quad (2.35)$$

여기서, c : 누수공의 형상계수 등에 의한 계수

, a : 누수공의 단면적

P : 관내 수압

식(2.34)에서 P 의 지수 즉, $N_1=0.5$ 는 누수공에서의 누수량을 이론적인 오리피스
스로 생각한 경우이며, 식(2.35)에서의 $N_1=1.15$ 는 누수의 대부분이 관의 균열 또
는 밸브류 개폐장치의 이음부 틈에서 유출되는 것과 함께 누수된 물이 주변토
사 중으로 스며드는 것으로 생각하여 현장실험에서 구한 것이다. 이론적으로
오리피스를 통해 흐르는 유량은 오리피스 상·하류의 압력차의 1/2승에 비례한
다고 되어있으나, 배·급수관망으로부터 발생하는 누수는 이에 따르지 않는 것
으로 알려져 있으며, 따라서 앞서 말한 것처럼 이에 대한 각종 실험을 통한 경
험적인 식을 만들어 사용하고 있다.

또한 영국의 A Lambert(2001)는 수압과 누수량 관계에 대하여 다음과 같은
관계식을 제안하였다.

$$L_1/L_0 = (P_1/P_0)^{N_1} \quad (2.36)$$

여기서, L_1, L_0 : 환산 후 및 환산 전의 누수량

P_1, P_0 : 환산 후 및 환산 전의 수압

N_1 : 적용하는 지수, 주로 0.5~1.5

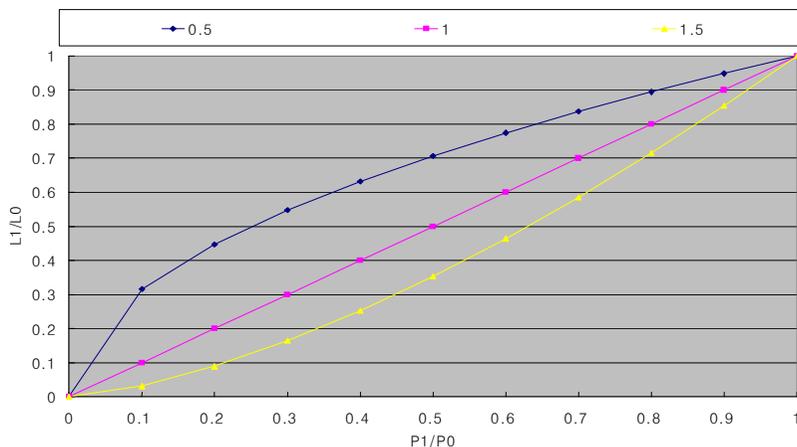


Figure 2.5 Effect of leakage exponent on the leakage rate

比企三藏(1982)은 실험실에서 누수공을 만들고 매설환경을 변화시켜가며 실험하여 누수량은 오리피스와 같은 형태로 수압의 0.5승에 비례하나 누수공 단면적과 내부수압이외에 외부조건 즉, 외부압력과 공극률 등도 고려하여야 한다는 결론을 얻어 식(2.37)을 제시하였다.

$$Q=0.937 \cdot a^{0.945} \cdot P^{0.499} \cdot s^{0.0115} \cdot \varepsilon^{0.749} \quad (2.37)$$

여기서 s : 지반내 응력, ε : 공극률

영국의 Technical Working Group(TWG)의 연구(1980) 결과에 따르면 압력만이 누수에 영향을 미치는 것이 아니므로 압력과 누수지수(야간유량)의 상관관계를 구하였다. 또한 Stering과 Bargiela(1984)는 TWG의 압력과 누수지수 상관관계를 재검토한 결과 누수량은 수압의 1.18승에 가깝다는 사실을 알아냈다.

위에서 나타났듯이 수압의 증가에 따라 누수량이 증대되는 것은 확실히 알 수 있으나, 누수량에 영향을 주는 요소가 많고 누수지점에서의 자료수집이 어려워져서 정확한 누수량의 산출은 어렵다.

따라서 일본, 영국 등 세계 여러 선진국에서는 보다 정확한 누수량을 도출하기 위하여 각종 실험 등을 통해 N_1 값을 구하고 있다.

III. 연구방법

3.1 연구방법 개요

본 연구에서는 블록시스템 구축에 따른 누수저감효과를 분석하기 위하여 다음과 같은 절차에 따라 연구를 수행하였다.

우선 연구대상지역을 선정하여 제주시 도련지역 공급량과 검침량 자료를 이용하여 연구대상지역의 실제 유수율을 산정하였다. 유수율은 급수구역의 수압 및 관망상태 등에 따라 지역별로 상이하며 유수율이 낮은 지역일수록 누수저감 효과가 크게 나타므로 연구대상지역의 실제 유수율과 상수도통계상에 나타난 제주특별자치도 전체 유수율과 비교하여 연구대상지역의 적합성을 검토하였다.

그리고 연구대상지역에 대한 블록시스템 구축계획을 수립하고, 블록시스템 구축 전·후의 수압분포를 관망해석프로그램을 통하여 비교함으로써 수압변화에 따른 누수량 저감 효과 및 유수율 상승효과를 추정하였다.

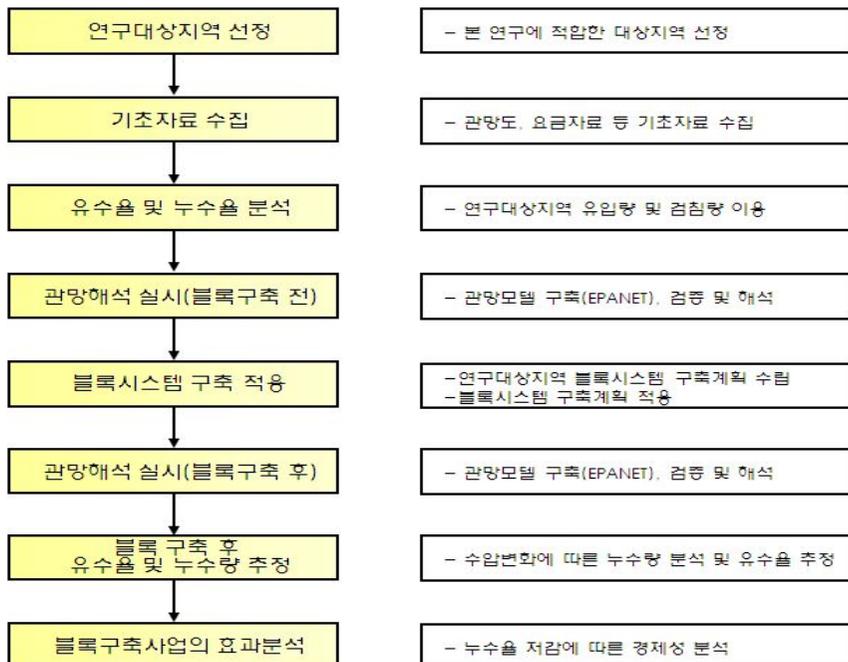


Figure 3.1 Flow chart of this study

3.2 연구대상지역

3.2.1 연구대상지역 선정

연구대상지역은 하나의 정수장에서 생산된 물만 공급받으며, 수계가 분리되어 유수율 산정이 용이하고, 다른지역에 비해 상대적으로 높은 수압을 갖는 지역이 블록시스템 구축의 효과성을 검증하는데 유리하다. 따라서 본 연구에서는 제주특별자치도 수도정비기본계획에서 수립한 블록시스템 구축계획을 검토하여 본 연구에 타당하다고 판단되는 도련정수장계통 도련중블록(삼양동, 도련동 일원으로 제주시)을 대상구역으로 선정하였다.



Figure 3.2 Location map of study area

3.2.2 연구대상지역 기초조사

본 논문의 연구를 위한 조사대상지역으로는 해당지자체로부터 자료의 습득이 용이하고, 연구원들의 현장 접근성 등을 고려하여 도련중블록을 선정하였다.

도련중블록은 제주특별자치도 제주시 동지역에 위치하고 있으며, 도련정수장에서 정수를 공급받고 있다.

연구대상지역의 일반 현황은 다음과 같다.

Table 3.1 General status of study area

구분	표고(m)		급수전수
	최대	최소	
도런중블록	66	3.3	1,479

도런중블록은 주로 아파트 및 빌라가 많이 분포하는 주거지역이며, 현재 삼화 택지지구가 시공 및 분양 중에 있어 향후 급수인구 및 급수수요량이 상당히 증가할 것으로 예상된다.(제주특별자치도, 2008)

(1) 연구대상지역 배수관로 현황

배수관로 현황은 다음과 같이 나타난다.

Table 3.2 Facilities status of study area

관경(mm)	80	100	150	200	300	400	500	합계
관길이(m)	14,565	8,289	5,053	3,256	2,453	574	3,023	37,213

(2) 연구대상지역 유수율 조사

도런정수장 수계의 급수량, 유수수량 및 유수율을 다음 표에 나타내었다.

Table 3.3 Water supply status of study area

급수량(m ³ /d)	유수수량(m ³ /d)	유수율(%)
14,259	9,839	69.0

2009년 1월부터 2010년 9월까지 도런중블록의 급수량, 유수수량은 각각 14,259 m³/d, 9,834m³/d으로 조사되었으며, 유수율은 69.0%로 나타났다. 본 대상지역의 유수율은 2010년 기준 상수도통계상 제주특별자치도의 평균 유수율 76.7% 보다 낮은 것으로 나타나 누수량 저감 대책이 시급한 것으로 판단된다.

3.3 제주특별자치도 블록시스템 구축 계획

3.3.1 블록시스템 구축 절차

블록시스템 구축을 위한 작업진행 흐름은 실태검토, 도상검토, 현장검토로 이루어지며, 「관망정비 업무매뉴얼(2005.9 한국수자원공사)」에서 요약하여 흐름도로 나타내었으며 Figure 3.3과 같다.

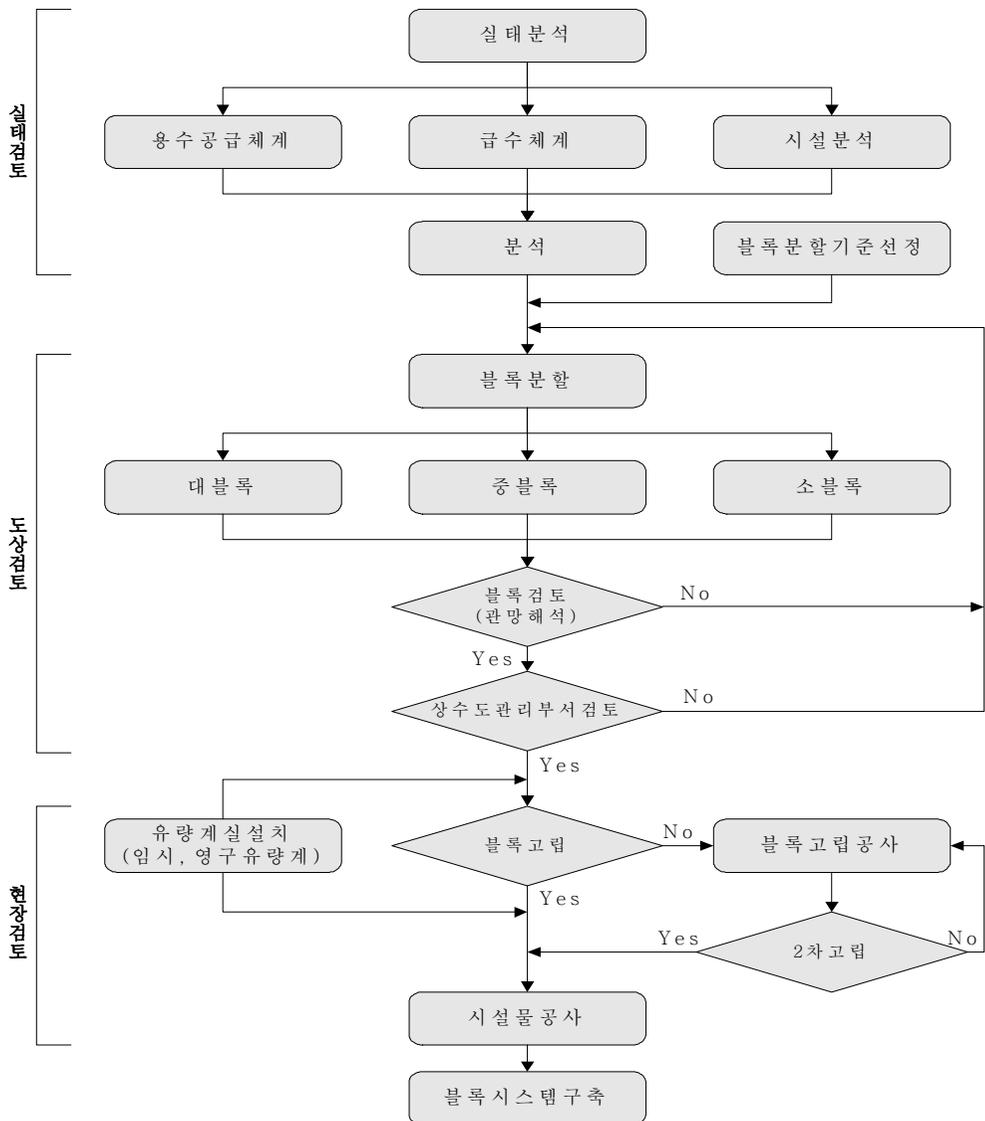


Figure 3.3 Flowchart of establishing water distribution block system

3.3.2 제주특별자치도 블록시스템 구축계획

본 연구에서는 제주특별자치도 수도정비기본계획(2008.5 제주특별자치도)상에 계획된 블록시스템 구축계획을 적용하였으며 그 내용은 다음과 같다.

(1) 블록규모설정(분할) 기준

블록규모는 계획급수구역 분할계획을 고려하여 수립하며, 다음과 같은 사항을 검토하여 결정한다.

○ 블록구축을 위한 규모별 설정기준

- 블록규모는 시설기준에 의거 대·중·소블록으로 구분
- 계획급수구역 분할계획의 계통을 고려하여 구분
- 현재 급수구역을 고려하여 중블록 구분
- 배수지 급수구역별 상수도 관망해석결과 고려하여 구분

○ 소블록 설정기준

- 배수지 수위와 급수지역 지반고 검토에 의한 고·저지대 블록구분
- 간선배수관로 노선검토 및 도로망, 하천 등 지형·지세로 구분
- 행정구역(읍,면,리별) 검토, 향후 유지관리에 용이하도록 분리
- 도로망, 하천 등 지형·지세에 따른 소블록 분리
- 소블록 규모 적정 급수전수에 의한 구분

Table 3.4 Standard and application in designing water distribution block system

구 분	분 할 기 준	고려사항 및 적용
대블록	<ul style="list-style-type: none"> - 광역상수도과 지방상수도의 공급체계 및 정수장별로 분리 - 대용량의 조정지가 있다면 조정지별로 분리 - 급수전의 관내동수압 150kPa(약 1.53kg/cm²) 이상 유지 충족 - 도로(폭25m이상), 하천 및 복개천등으로 분리 	<ul style="list-style-type: none"> - 계획급수구역 고려 - 광역상수도 관로계통별로 대블록 구분설정
중블록	<ul style="list-style-type: none"> - 가압장 및 배수지별로 분리 - 균등급수를 위해 최대표고차 20~30m 이내가 되도록 분리 - 도로(폭25m이상), 하천 및 복개천등으로 분리 - 급수전수 1,500~5,000전 정도로 분리 	<ul style="list-style-type: none"> - 배수지 및 행정구역별 분리 - 계획급수분구 고려 - 배수지별 중블록 구분설정
소블록	<ul style="list-style-type: none"> - 균등급수를 위해 최대표고차 20~30m이내가 되도록 분리 - 도로(폭8m이하), 하천 및 복개천 하수분관, 행정구역, 학교 등의 공공시설과 공원, 공단, 대단위아파트 등으로 분리 - 급수전 500~1,500전 기준 	<ul style="list-style-type: none"> - 현재 및 장래급수구역(2025년)고려 - 산업단지, 대형급수처 및 주거밀집지역 고려 - 급수전수 및 지형·지세에 따라 구분설정

(2) 중블록 분할 계획

블록설정은 상기 기준 및 적용에 의거 급수구역분할계획을 고려하여 대블록과 중블록을 선정하였으며, 중블록 선정시 블록관리가 급수시설인 배수지인 것을 고려하여 급수분구를 배수지별로 세분화하여 장래 배수지시설계획 및 급수계획을 고려하여 중블록을 설정하였다.

또한 소블록은 산업단지, 주거밀집지역, 대형급수처를 구분하여 적용하고 장래 급수지역 확대지역을 고려하여 계획하였다.

다음 Table 3.5는 제주특별자치도 블록분할계획을 나타낸 것으로 대블록과 중블록을 급수구역 분할계획에 대비하여 나타내었다.

Table 3.5 Scheme of medium blocks

구 분	배수지	블록분할	행정구역	
제주시 동지역	신제주	월산배수지	월산중블록	외도·이호·노형동
		계획1배수지	계획1중블록	노형·연동
		염통배수지	염통중블록	노형·도두·연동
		오라배수지	오라중블록	용담1,2동
		민오름배수지	민오름중블록	오라·용담1,2·연동
	중앙	간드락배수지	간드락중블록	일도2·이도2동
		영평배수지	영평중블록	일도2·이도1,2·삼도1·화북동
		별도봉배수지	별도봉중블록	화북·건입·삼양·일도1,2·이도1·삼도1동
		사라봉배수지	사라봉중블록	건입·일도1·이도1·삼도1,2동
		아라배수지	아라중블록	아라·이도2동
		아라2배수지	아라2중블록	아라동
		산천단배수지	산천단중블록	아라동
	삼양	첨단과학단지배수지	첨단과학단지중블록	아라동
		도련배수지	도련중블록	삼양·화북동
		봉개배수지	봉개중블록	봉개동
서귀포시 동지역	서부 (중문)	회수배수지	회수중블록	예래·중문동
		관광단지배수지	관광단지중블록	중문동
	중부 (신시가지)	도순배수지	도순중블록	대천동
		용흥배수지	용흥중블록	대천동
		용흥가압장배수지	용흥가압장중블록	대천·대륜동
		고근산배수지	고근산중블록	대천·대륜동
		호근2배수지	호근2 중블록	대륜동
	중부 (구시가지)	삼매봉배수지	삼매봉중블록	동홍·중앙·천지·정방·송산동
		동홍광역배수지	동홍광역중블록	서홍·동홍동
		서홍2배수지	서홍2중블록	서홍동
		(동부)	토평배수지	토평중블록
공업단지배수지	공업단지중블록		영천동	

Table continuation

구 분		배수지	블록분할	행정구역
제주시읍면(동부)	구좌읍	상도2배수지	상도2중블록	종달·하도·상도리
		상도1배수지	상도1중블록	세화·평대리
		덕천배수지	덕천중블록	행원·월정·김녕리
		한동배수지	한동중블록	평대·한동·세화리
	송당배수지	송당중블록	덕천·송당리	
조천읍	조천배수지(기존)	조천중블록(기존)	김녕·동북·북촌·선흥1·대흘2·함덕·신흥리	
	조천배수지(신설)	조천중블록(신설)	조천·신촌·대흘1리	
제주시읍면(서부)	애월읍	애월배수지	애월중블록	하귀1,2·수산·상귀·신엄·중엄·구엄·용흥·장전·고성1리
		상기배수지	상기중블록	고내·애월·하가·상가·납읍·봉성·곽지·금성·수원·상대·귀덕1,2,3리
	한림읍 및 한경면	저지배수지	저지중블록	대림·한수·한림1,2,3·동명·강구·용포·명월·협재·월령·비양·금능리
		고지배수지	고지중블록	상명·월림·조수1·한원·관포·금등·신창·두모·용당·명월·용수리
		서광배수지	서광중블록	저지·청수·낙천·산양·조수2·고산1,2리
서귀포시읍면(동부)	성산읍	성산배수지	성산중블록	시흥·성산·오조·고성·수산1,2리
		광역1단계직결	광역1단계직결중블록	신양리
		난산배수지	난산중블록	온평·난산·신산리
		삼달배수지	삼달중블록	삼달1,2·신평·신천리
	표선면	성읍배수지	성읍중블록	성읍1,2·하천리
		표선배수지	표선중블록	표선·가시·세화1,2,3리
		가시배수지	가시중블록	가시리
		토산배수지	토산중블록	토산1,2리
	남원읍	신흥배수지	신흥중블록	신흥1,2리·태흥1,2,3리
		한남배수지	한남중블록	의귀·남원1,2·한남리
		위미배수지	위미중블록	위미1,2,3리
신례배수지	신례중블록	하례1·신례1·2리		
서귀포시읍면(서부)	대정읍 및 안덕면	광혜약배수지	광혜약중블록	상창·창천·화순·덕수·감산·대평·서광동,서리
		모슬봉배수지	모슬봉중블록	인성·안성·보성·신평·구억리
		가시약배수지	가시약중블록	동일1,2·일과1,2·상모1,2,3·하모1,2,3·무릉1,2·신도1,2,3·영락·사계1,2,3리

자료 : 제주특별자치도 수도정비기본계획(2008.5 제주특별자치도)

(3) 소블록 분할 계획

소블록의 설정을 위해서는 급수구역내 배수관망의 구성검토가 필수적이며, 급수전 500~1,500전 규모로 하되 지형·지세 및 기존관망을 고려하여 배수관로의 수리적 검토를 시행하여 설정하였다.

(4) 소블록의 구성

소블록의 형태는 블록의 지형·지세 및 현재 배수관망의 형태에 따라 다양한 형태로 구성될 수 있다. 일반적인 구성형태로 단식, 수지상식, 복식배수관망이 있으며, 블록시스템구축의 기본 취지와 유지관리의 극대화를 위해서는 복식배수관망이 가장 적합한 형태이다. 그러나 복식 배수관망은 도시의 규모와 기존 배수관망의 구성에 따라 경제성과 효율성을 고려하여 결정하여야 한다. Table 3.6에서는 소블록의 구성형태를 비교·검토하였으며, 현재 제주특별자치도의 상수도 여건을 고려하여 계획하였다.

Table 3.6 Form and application in water distribution block system

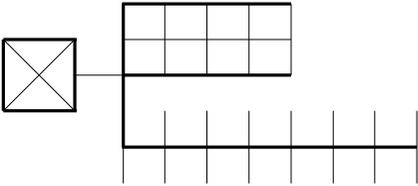
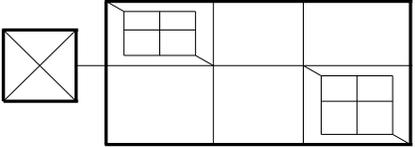
구 분	단식 및 수지상식	복 식
형 태		
특 징	<ul style="list-style-type: none"> • 중블록과 소블록의 간선관로가 동일 • 소블록별 완전분리 불가 • 소도시에 적용 	<ul style="list-style-type: none"> • 중블록의 간선관로 분리운영 • 소블록별 완전 분리 운영가능 • 대도시에 적용
관 로 유 량	<ul style="list-style-type: none"> • 중블록 간선유량과 소블록별 인입점 유량과약, 소블록별 인입점 다수발생 	<ul style="list-style-type: none"> • 소블록별 유량과약 가능 • 소블록별 인입점 1,2개
수 압 조 정	<ul style="list-style-type: none"> • 소블록별 수압조정이 힘들고 간선관로나 소블록내 인입관에서 수압조정 	<ul style="list-style-type: none"> • 소블록별 인입점에서 수압조정 가능
유 지 관 리	<ul style="list-style-type: none"> • 단수구역이 넓어져 효율적 유지관리 불리하고 유량계 및 수압계가 설치개소 증가 	<ul style="list-style-type: none"> • 소블록별 유지관리가 유리하고 관로의 개량 및 신설이 용이하며 소블록당 유량계와 수압계 각1개소 필요
블 록 정 비	<ul style="list-style-type: none"> • 기존 관망구성을 최대한 활용하므로 블록정비비용 절감 	<ul style="list-style-type: none"> • 복식형태 구성을 위한 간선관 부설과 소블록내 정비 비용 증가
적 용	<ul style="list-style-type: none"> • 제주특별자치도는 관망구성이 수지상식과 복식이 혼합되어 있으므로, 기존 관망형태를 최대한 활용하여 산간지역은 수지상식, 평야지역은 복식관망을 구성하는 것으로 계획하였다. 	

Table 3.7 Scheme of small blocks

구 분		장래(2025년)			
		세대수	급수인구	소블록계획	
계		220,550	563,800	256	
제주시 동지역	신제주	월산중블록	11,280	28,200	7
		계획1중블록	9,800	24,500	6
		염통중블록	23,600	59,000	7
		오라중블록	4,080	10,200	3
		민오름중블록	14,200	35,500	5
	중앙	간드락중블록	8,880	22,200	4
		영평중블록	24,520	61,300	10
		별도봉중블록	10,520	26,300	5
		사라봉중블록	9,080	22,700	4
		아라중블록	1,320	3,300	1
		아라2중블록	1,160	2,900	1
		산천단중블록	1,600	4,000	1
		침단과학단지 중블록	1,240	3,100	1
	삼양	도련중블록	6,000	15,000	2
		봉개중블록	1,200	3,000	1
소 계		128,480	321,200	58	
서귀포시 동지역	서부 (중문)	회수중블록	6,570	18,900	9
		관광단지중블록	70	200	1
	중부 (신시 가지)	도순중블록	260	800	1
		용흥중블록	2,440	7,100	5
		고근산중블록	3,960	12,200	7
		호근2 중블록	320	800	1
	중부 (구시 가지)	삼매봉중블록	10,360	26,400	10
		동홍광역중블록	7,730	22,800	10
		서홍2중블록	160	400	1
	(동부)	토평중블록	3,630	11,600	5
		공업단지중블록	50	100	1
소 계		35,550	101,300	51	

Table continuation

구 분			장래(2025년)			
			세대수	급수인구	소블록계획	
제주시읍면(동부)	구좌읍	상도2중블록	1,440	3,600	4	
		상도1중블록	440	1,100	1	
		덕천중블록	2,320	5,800	3	
		한동중블럭	320	800	3	
		송당중블럭	320	800	3	
	조천읍	조천중블록(기존)	4,200	10,500	10	
		조천중블록(신설)	3,720	9,300	6	
소 계			12,760	31,900	30	
제주시읍면(서부)	애월읍	애월중블록	5,800	14,500	15	
		상기중블록	4,480	11,200	12	
	한림읍 및 한경면	저지중블록	5,800	14,500	11	
		고지중블록	1,840	4,600	10	
		서광중블록	1,640	4,100	9	
	소 계			19,560	48,900	57
	서귀포시읍면(동부)	성산읍	성산중블록	2,920	7,300	7
광역1단계직결 중블록			360	900	1	
난산중블록			1,000	2,500	3	
삼달중블록			560	1,400	4	
표선면		성읍중블록	760	1,900	2	
		표선중블록	2,320	5,800	6	
		가시중블록	200	500	1	
		토산중블록	320	800	2	
남원읍		신흥중블록	1,440	3,600	4	
		한남중블록	2,040	5,100	4	
		위미중블록	1,880	4,700	4	
		신례중블록	960	2,400	4	
소 계			14,760	36,900	42	
서귀포시 읍면 (서부)	대정읍 및 안덕면	광혜약중블록	2,240	5,600	7	
		모슬봉중블록	2,760	6,900	6	
		가시약중블록	4,440	11,100	5	
	소 계			20,680	51,700	46

자료 : 제주특별자치도 수도정비기본계획(2008.5 제주특별자치도)

3.4 관망해석 모델링 적용

관망해석이란 수학적 표현방법을 통해서 실제 상수도 관망의 물 흐름을 모의(simulation)하는 과정으로서 실제 시스템에서는 직접 실험할 수 없거나 계획하고자 하는 시스템내 거동에 대한 예측을 위하여 수행된다. 관로내 각 지점에서 관경, 관길이, 유속계수, 밸브상태, 펌프의 운전상태 등을 알고 있는 조건하에서 유량 및 동수두를 계산하여 관로를 통하여 흐르는 물이 안정되게 공급되는가를 확인하기 위함이 주목적이라고 할 수 있다.

따라서 연구지역의 현행 관망시스템의 수압분석 및 문제점 도출 등을 위하여 관망의 수리모델 구축 및 해석을 수행하였다. 본 해석에 사용된 소프트웨어는 시간변화 모의((EPS, Extended Period Simulation)를 바탕으로 수리 및 수질해석, 개별 펌프모터, 전력 원단위 추정 등 다양한 해석이 가능한 미국 환경청(US Environmental Protection Agency)에서 개발된 EPANET을 사용하였다.

3.4.1 관망모델

(1) 현행 관망의 데이터베이스 작성

현 관망시스템에 가장 유사한 수리모델링을 위하여 다음과 같은 기초현황 자료를 수집 후 이용하였으며, 모델구조의 데이터 구성은 다음과 같다.

- 분석에 필요한 기초현황 자료
 - 관망도
 - 용수생산량 자료
 - 상수도시설물 관련자료 : 배수지 및 밸브
 - 유량 및 수위자료
 - 수압측정 자료

○ 입력자료

- 급수구역의 급수를 위한 배수관로
- 대수용가 분기점 및 급수전 유출량 산정자료
- 밸브 개폐자료

(2) 실측치를 활용한 데이터 보정

현 관망시스템과 현장 실측자료와의 최상의 상관관계를 도출하기 위하여 다음과 같은 데이터 보정을 실시하였다.

- 구역별 유수율 분석자료 및 유량측정 자료를 이용하여 관망손실을 포함한 유출량으로의 보정 → 실제 수압에 맞도록 수요량 및 유속계수 조정
- 절점수, 절점간 연결 관망수 → 관망해석이 용이하도록 모델 간략화
- 배수지, 펌프, 밸브 → 배수지 수위 조정 및 펌프, 밸브 조건 반영

(3) 연구대상지역 관망해석 모델 구축

상기에 나타난 바와 같이 연구대상지역의 데이터베이스를 구축하고 실측치를 활용하여 보정한 결과, 구축된 관망해석 모델은 아래와 같다.

구축된 모델은 1개의 배수지, 221개의 절점과 317개의 관로로 이루어져 있으며, 본 구축모델을 기본으로 블록시스템 구축 전과 후의 관망해석 결과를 분석하여 블록시스템 구축이 누수량 저감 및 유수율 향상에 미치는 영향을 살펴보고자 한다.

단, 현재 연구대상지역은 블록시스템 구축이 이루어지지 않은 상태이므로 블록구축전 관망해석 모델은 제주특별자치도 전체를 대상으로 구축된 관망해석 모델에서 연구대상지역에 대한 자료만 추출하였으며, 1개의 배수지, 213개의 절점, 309개의 관로로 이루어져있는 것으로 나타났다.

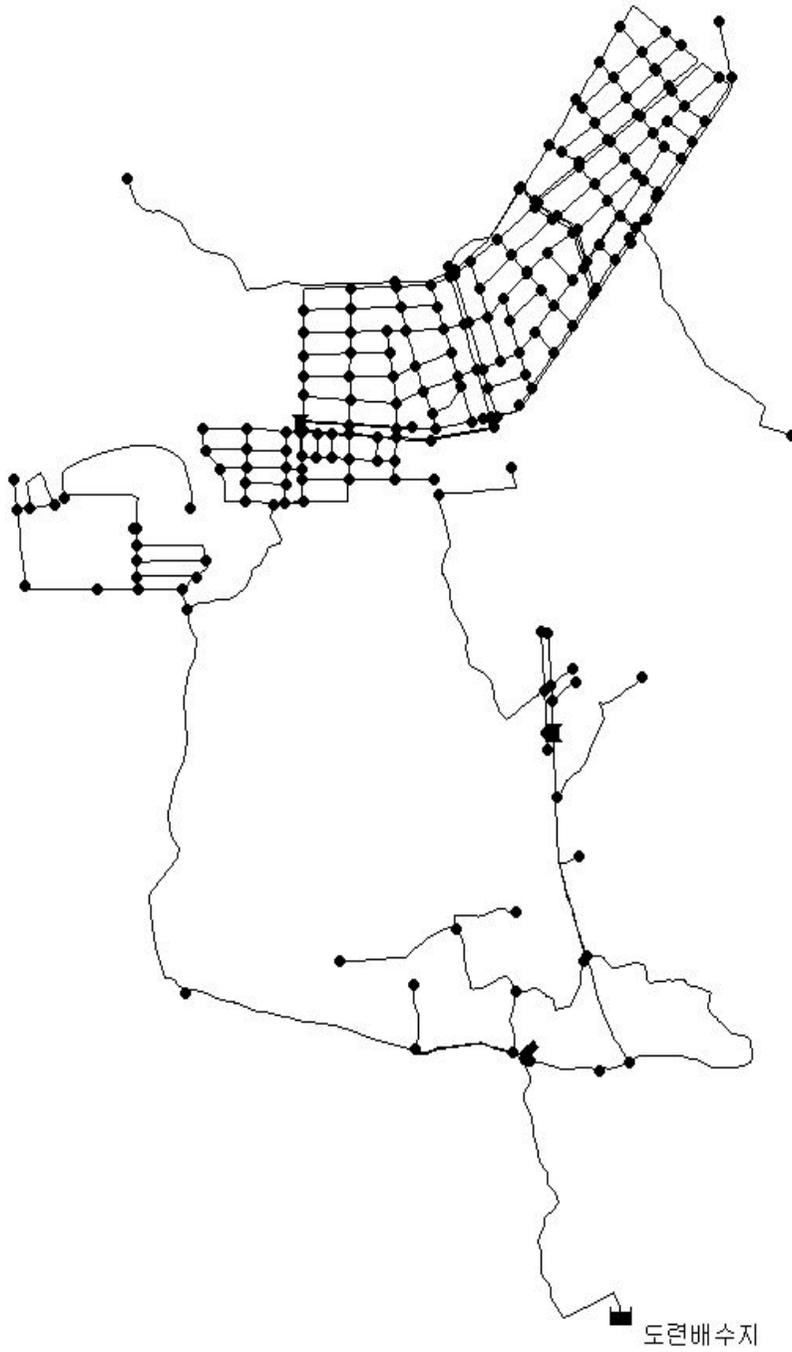


Figure 3.4 Pipe network analysis model of study area after establishing water distribution block system

IV. 연구결과 및 고찰

도련중블록을 대상으로 블록시스템 구축 전과 블록시스템 구축 후의 관망해석을 수행하여 그 결과를 분석하였다.

그리고 관망해석 결과를 바탕으로 수압에 따른 누수량 저감효과를 확인하기 위하여 블록시스템 구축 전과 블록시스템 구축 후의 누수량을 추정하여 비교 분석하였다.

이 결과를 바탕으로 블록시스템 구축에 의한 누수량 저감 및 유수율 향상 효과를 추정하였으며, 블록시스템 구축 사업비와 누수량 저감으로 인한 절감비용 사이의 경제성 분석을 통해, 블록시스템 구축의 적정성도 평가하였다.

4.1 관망해석 결과

4.1.1 관망해석 결과 분석 기준

관망해석 결과를 분석하여 관로유량과 절점수압의 분포상태를 밝혀 수리적인 신빙성을 검토하여 수리적인 안정성을 평가할 수 있는 등 신설 및 기존관망의 수량, 수압, 수질상태를 파악하여 여기에 적합한 운전상황이나 설계인자를 결정하기 위한 기초적인 자료를 얻을 수 있다. 배수관망 계산 결과의 분석평가는 절점의 정수압, 동수압, 관로의 관경 및 유속, 동수구배 등을 평가하며 각 항목에 대한 평가기준은 ‘상수도시설기준(한국상하수도협회, 2010)’, ‘수도시설 설계지침·해설(일본수도협회, 1990)’등 설계기준으로 비교·검토하였고 기준 값은 Table 4.1에 명시하였다.

- 관로 Out put : 유량($\text{m}^3/\text{일}$), 유속(m/sec), 손실수두(m)
- 격점 Out put : 지반고(m), 동수두(H.G.L), 잔류수압(kg/cm^2)

Table 4.1 Criterion of pipe network analysis(환경부, 2010a)

항 목	단 위	기 준	비 고
정수압	kPa (kgf/cm ²)	사용관종의 KS규격 시험수압이하 최대 700(7.1) 이하	
동수압	kPa (kgf/cm ²)	최대 700(7.1) 이하 최소 150(1.5) 이상 적정 200(2.0)~350(3.5)	
유 속	m/sec	자연유하의 경우 최대 3.0 가압식의 경우 경제적인 유속 최소 0.3	도·송수관의 강관, 주철관 기준

4.1.2 블록시스템 구축 전 관망해석 결과

블록시스템 구축 전 도런중블록 급수구역에 대한 관망해석 결과는 Figure 4.1 과 Table 4.2, Table 4.3 및 Table 4.4와 같다. 단, 블록구축이 이루어지지 않은 상태이므로 구역이 고립되지 않고 주변과 혼재되어 용수공급이 이루어지고 있다고 가정한 상태에서 관망해석을 수행하였다.

도런배수지의 수위를 75.2m로 설정하여 관망해석 결과, 표고는 2.4~66.0m의 범위내로 분포하고 있으며, 절점별 압력은 최저(Node No.211) 0.85kgf/cm²에서 최대(Node No.134) 7.47kgf/cm²의 분포를 나타내고 있으며, 평균 수압은 5.17kgf/cm²으로 분석되었다. 수압은 시설기준에서 제시하고 있는 1.5~7.1kgf/cm²를 대부분 만족하고 있으며, 도런동 일부지역만 수압이 다소 낮게 나타났다.

Table 4.2 Number of node by pressure range

수 압 범 위	절점수(개)	비율(%)
2.0 kgf/cm ² 이하	12	5.6
2.0~3.0 kgf/cm ²	5	2.3
3.0~4.0 kgf/cm ²	9	4.2
4.0~5.0 kgf/cm ²	66	31.0
5.0 kgf/cm ² 초과	121	56.8

그러나 Table 4.2에서 알 수 있듯이 5.0 kgf/cm² 이상 절점이 약 57%로 나타났으며, 4.0 kgf/cm² 이상 절점은 약 88% 달해 연구대상지역의 수압이 매우 높게 분포되고 있음을 알 수 있다. 따라서 관파손 예방 및 누수량 저감을 위해서 적정 수압(2.0~3.5 kgf/cm²)으로 수압 조정이 필요할 것으로 판단된다.

다음은 각 관로에 대한 분석 결과를 나타낸 것으로, 유량은 0~5,669.8m³/d이고, 유속은 0.00~2.54m/s, 단위 손실수두는 0.00~95.57m/km로 분석되었다. 유량 및 유속 분석 결과, 일부 정체관이 존재하는 것으로 판단되며, 관경이 및 유량의 분배가 적절치 못하여 손실수두가 매우 큰 관로도 존재하는 것으로 확인되었다. 따라서 유량의 적절한 재분배 및 관로의 재정비가 필요한 것으로 판단된다.

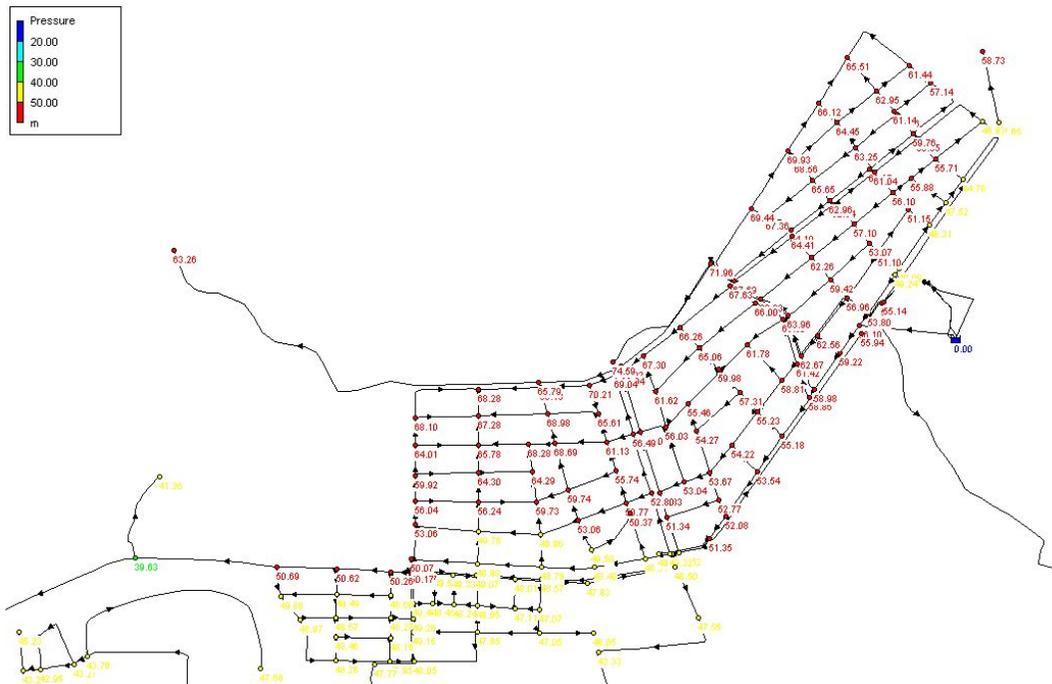


Figure 4.1 Result of pipe network analysis before establishing water distribution block system

Table 4.3은 각 절점에 대한 관망해석 결과를 나타낸 것으로, EL.은 해당 절점의 표고를 나타내며, Demand는 각 절점별 일최대 수요량을 나타낸다. Head는 해당 절점의 동수두로서 압력수두와 위치수두를 합한 값이며, Pressure는 수압으로 해당 절점의 압력수두를 나타낸 것으로 해석이 용이하도록 다음 식을 이용하여 kgf/cm^2 단위로 변환하여 표기하였다.

$$P_A = \gamma \times h \quad (\text{kgf/cm}^2)$$

여기서 γ : 물의 단위중량 ($1,000\text{kgf/m}^3$)

절점 해석결과 중에 Demand가 0인 절점이 있는데, 이는 수요량은 존재하지 않으나 관로의 분기점, 밸브 및 펌프 등의 연결 등 관망해석 모델 구성에 필요하여 생성된 절점을 나타낸다.

Table 4.4는 각 관로에 대한 관망해석 결과를 나타낸 것으로, Leng는 각 관로의 연장, Dia는 각 관로의 관경을 나타내며, Flow는 해당 관로를 통과하는 유량을 나타낸다. Vel.은 이 때의 유속을 나타내며, Unit Headloss는 물이 관로를 통해 이동하면서 생기는 마찰손실수두를 의미한다.

관로 해석결과 중에 Flow, Vel, Unit Headloss가 모두 0인 관로는 정체관으로 관은 존재하고 있으나 유량의 분배가 적절치 못하여 사용되지 않는 관을 의미하며, Flow는 있으나 Vel 및 Unit Headloss가 0인 관로는 유량이 매우 작아 유속 및 마찰손실수두가 매우 작은 관을 의미한다.

Table 4.3 Result of pipe network analysis before establishing water distribution block system(junction)

노드 ID	EL. (m)	Daily Max. Flow				Node ID	EL. (m)	Daily Max. Flow			
		Demand (CMD)	Head (m)	Pressure				Demand (CMD)	Head (m)	Pressure	
				(m)	(kgf/cm ²)					(m)	(kgf/cm ²)
1	66.0	72.00	133.21	67.08	6.71	37	4.2	421.50	71.1	66.76	6.68
2	23.4	12.00	73.88	50.38	5.04	38	4.2	36.00	73.85	69.51	6.95
3	24.5	-	73.89	49.29	4.93	39	5.1	42.00	73.85	68.61	6.86
4	24.7	-	73.9	49.1	4.91	40	2.4	372.00	67.54	65.01	6.50
5	25.1	-	73.91	48.71	4.87	41	61.9	-	74.96	13.04	1.30
6	24.7	30.00	73.93	49.13	4.91	42	40.0	-	74.73	34.66	3.47
7	24.2	12.00	73.94	49.64	4.96	43	29.7	12.00	74.46	44.67	4.47
8	24.2	-	73.94	49.64	4.96	44	29.2	15.06	74.43	45.14	4.51
9	23.9	42.00	73.9	49.9	4.99	45	32.9	7.53	74.41	41.43	4.14
10	23.1	42.00	73.9	50.7	5.07	46	31.4	120.48	74.41	42.93	4.29
11	20.7	-	73.94	53.13	5.31	47	28.2	120.48	74.42	46.13	4.61
12	22.7	24.00	73.9	51.1	5.11	48	27.6	165.66	74.42	46.73	4.67
13	20.4	42.00	73.89	53.38	5.34	49	29.8	67.77	74.41	44.52	4.45
14	23.5	18.00	73.88	50.28	5.03	50	28.6	97.89	74.41	45.72	4.57
15	23.7	18.00	73.87	50.07	5.01	51	28.3	15.06	74.41	46.01	4.60
16	20.4	24.00	73.87	53.36	5.34	52	28.3	15.06	74.41	46.01	4.60
17	17.4	30.00	73.87	56.36	5.64	53	26.5	20.03	74.39	47.79	4.78
18	17.2	36.00	73.87	56.55	5.66	54	30.4	22.59	74.39	43.9	4.39
19	13.7	48.00	73.87	60.05	6.01	55	30.9	52.71	74.37	43.38	4.34
20	13.7	30.00	73.87	60.05	6.01	56	31.2	52.71	74.35	43.06	4.31
21	17.7	18.00	73.88	56.07	5.61	57	30.9	-	74.34	43.35	4.34
22	17.0	-	73.94	56.82	5.68	58	28.9	-	74.34	45.35	4.54
23	12.3	24.00	73.88	61.46	6.15	59	35.8	7.53	74.27	38.39	3.84
24	4.7	42.00	73.85	69.02	6.90	60	33.7	22.59	74.4	40.62	4.06
25	5.1	60.00	73.84	68.6	6.86	61	25.8	18.00	73.95	48.05	4.81
26	9.1	42.00	73.85	64.62	6.46	62	25.1	36.00	73.77	48.58	4.86
27	9.1	36.00	73.85	64.62	6.46	63	25.4	30.00	73.77	48.27	4.83
28	13.5	30.00	73.86	60.24	6.02	64	25.3	36.00	73.77	48.37	4.84
29	9.4	36.00	73.85	64.32	6.43	65	25.2	12.00	73.78	48.48	4.85
30	7.6	72.00	73.84	66.11	6.61	66	24.9	6.00	73.78	48.78	4.88
31	5.3	24.00	73.85	68.41	6.84	67	24.4	6.00	73.78	49.28	4.93
32	6.1	72.00	73.84	67.61	6.76	68	23.5	6.00	73.79	50.19	5.02
33	4.4	84.00	73.85	69.31	6.93	69	22.7	-	73.79	50.99	5.10
34	7.8	18.00	73.88	65.95	6.60	70	22.8	6.00	73.83	50.93	5.09
35	4.4	-	73.93	69.39	6.94	71	23.9	18.00	73.8	49.8	4.98
36	3.2	-	73.89	70.55	7.06	72	24.7	6.00	73.78	48.98	4.90

Table continuation

Node ID	EL. (m)	Daily Max. Flow				Node ID	EL. (m)	Daily Max. Flow			
		Demand (CMD)	Head (m)	Pressure				Demand (CMD)	Head (m)	Pressure	
				(m)	(kgf/cm ²)					(m)	(kgf/cm ²)
73	25.1	18.00	73.78	48.58	4.86	109	35.1	12.00	64.21	29.05	2.91
74	24.8	12.00	73.81	48.91	4.89	110	34.8	-	64.21	29.35	2.94
75	23.2	12.00	73.86	50.56	5.06	111	38.4	414.00	64.09	25.64	2.56
76	23.3	12.00	73.88	50.47	5.05	112	34.4	631.50	50.39	15.96	1.60
77	23.3	-	73.88	50.47	5.05	113	50.5	126.00	70.79	20.24	2.02
78	23.4	-	73.88	50.37	5.04	114	57.5	-	71.28	13.75	1.38
79	23.4	6.00	73.83	50.33	5.03	115	57.1	180.00	71.82	14.69	1.47
80	23.9	30.00	73.78	49.78	4.98	116	59.8	24.00	72.01	12.18	1.22
81	24.1	12.00	73.77	49.58	4.96	117	55.1	336.00	68.72	13.6	1.36
82	24.2	54.00	73.77	49.47	4.95	118	51.3	36.00	68.7	17.36	1.74
83	25.5	30.00	73.77	48.17	4.82	119	50.3	408.00	60.21	9.89	0.99
84	25.3	48.00	73.77	48.37	4.84	120	52.4	216.00	65.11	12.69	1.27
85	25.1	36.00	73.76	48.57	4.86	121	54.5	282.00	63.61	9.09	0.91
86	24.9	24.00	73.77	48.77	4.88	122	22.2	24.00	73.99	51.68	5.17
87	23.8	18.00	73.78	49.88	4.99	123	21.5	24.00	74.02	52.41	5.24
88	24.0	30.00	73.75	49.65	4.97	124	20.8	12.00	74.01	53.1	5.31
89	24.4	6.00	73.88	49.38	4.94	125	22.2	12.00	73.97	51.67	5.17
90	25.2	84.00	73.66	48.36	4.84	126	20.7	-	73.97	53.17	5.32
91	24.9	18.00	73.88	48.88	4.89	127	20.5	6.00	73.99	53.38	5.34
92	26.2	42.00	73.74	47.44	4.74	128	19.9	-	74.02	54.01	5.40
93	26.3	18.00	73.79	47.39	4.74	129	19.3	6.00	74.03	54.62	5.46
94	26.3	12.00	73.77	47.38	4.74	130	17.5	-	73.99	56.37	5.64
95	27.3	30.00	73.77	46.37	4.64	131	17.4	6.00	73.95	56.44	5.64
96	25.2	108.00	73.5	48.21	4.82	132	5.4	12.00	73.93	68.4	6.84
97	24.4	72.00	73.4	48.9	4.89	133	5.4	42.00	73.92	68.39	6.84
98	24.4	-	73.92	49.42	4.94	134	3.3	-	78.16	74.71	7.47
99	25.8	42.00	73.83	47.93	4.79	135	6.2	6.00	73.98	67.65	6.77
100	27.9	78.00	72.44	44.45	4.45	136	11.9	18.00	73.99	61.97	6.20
101	33.2	60.00	64.3	31.04	3.10	137	18.1	18.00	74.02	55.81	5.58
102	32.4	-	64.3	31.84	3.18	138	7.3	36.00	74.05	66.62	6.66
103	32.4	144.00	63.94	31.48	3.15	139	8.5	72.00	74.05	65.42	6.54
104	33.3	6.00	64.22	30.86	3.09	140	13.6	24.00	74.06	60.33	6.03
105	33.5	-	64.22	30.66	3.07	141	13.6	36.00	74.06	60.34	6.03
106	33.7	-	64.21	30.45	3.05	142	16.3	12.00	74.07	57.65	5.77
107	33.6	18.00	64.21	30.55	3.06	143	19.4	-	74.07	54.56	5.46
108	35.1	30.00	64.2	29.04	2.90	144	20.1	24.00	74.08	53.87	5.39

Table continuation

Node ID	EL. (m)	Daily Max. Flow				Node ID	EL. (m)	Daily Max. Flow			
		Demand (CMD)	Head (m)	Pressure				Demand (CMD)	Head (m)	Pressure	
				(m)	(kgf/cm ²)					(m)	(kgf/cm ²)
145	18.5	36.00	74.13	55.52	5.55	180	11.2	6.00	74.64	63.32	6.33
146	18.4	24.00	74.09	55.58	5.56	181	17.2	12.00	74.78	57.46	5.75
147	14.9	24.00	74.21	59.19	5.92	182	21.4	-	74.92	53.42	5.34
148	14.9	18.00	74.34	59.32	5.93	183	23.5	6.00	75.03	51.43	5.14
149	12.2	24.00	74.1	61.77	6.18	184	25.7	6.00	75.34	49.54	4.95
150	14.8	54.00	74.08	59.16	5.92	185	25.8	-	75.3	49.4	4.94
151	11.8	84.00	74.06	62.13	6.21	186	26.4	-	75.13	48.63	4.86
152	10.1	30.00	74.08	63.85	6.39	187	23.4	-	74.99	51.49	5.15
153	7.6	66.00	74.09	66.36	6.64	188	18.2	-	74.78	56.46	5.65
154	6.1	30.00	74.24	68	6.80	189	13.1	18.00	74.63	61.41	6.14
155	5.9	48.00	78.13	72.08	7.21	190	13.1	24.00	74.57	61.35	6.14
156	5.9	-	78.16	72.12	7.21	191	10.6	78.00	74.39	63.66	6.37
157	6.2	90.00	74.3	67.96	6.80	192	9.3	66.00	74.3	64.87	6.49
158	6.1	36.00	74.3	68.06	6.81	193	7.6	84.00	74.27	66.54	6.65
159	7.6	60.00	74.32	66.59	6.66	194	8.2	168.00	74.26	65.93	6.59
160	9.9	36.00	74.34	64.31	6.43	195	10.8	96.00	74.3	63.37	6.34
161	11.2	18.00	74.34	63.02	6.30	196	12.3	120.00	74.28	61.86	6.19
162	11.7	30.00	74.72	62.89	6.29	197	16.7	24.00	74.37	57.55	5.76
163	15.2	24.00	74.86	59.54	5.95	198	12.7	24.00	74.38	61.55	6.16
164	17.6	18.00	73.99	56.27	5.63	199	12.7	42.00	74.4	61.57	6.16
165	18.8	18.00	75.31	56.4	5.64	200	14.3	36.00	74.57	60.15	6.02
166	21.1	18.00	75.31	54.1	5.41	201	14.3	18.00	74.64	60.22	6.02
167	24.1	24.00	80	55.79	5.58	202	27.3	-	74.69	47.3	4.73
168	24.1	6.00	79.39	55.18	5.52	203	20.5	6.00	79.39	58.77	5.88
169	17.5	30.00	74.91	57.3	5.73	204	31.6	6.00	79.39	47.7	4.77
170	14.8	30.00	74.69	59.77	5.98	205	18.5	-	74.69	56.08	5.61
171	11.8	84.00	74.56	62.63	6.26	206	29.5	-	74.73	45.14	4.51
172	9.6	60.00	74.52	64.79	6.48	207	26.8	6.00	74.78	47.88	4.79
173	9.7	72.00	74.32	64.49	6.45	208	18.4	-	74.76	56.25	5.63
174	6.4	66.00	74.3	67.77	6.78	209	32.3	24.00	79.94	47.54	4.75
175	4.3	114.00	74.28	69.84	6.98	210	61.9	210.00	72.11	10.19	1.02
176	3.8	102.00	74.28	70.34	7.03	211	63.1	162.00	71.59	8.47	0.85
177	5.2	30.00	74.31	68.97	6.90	212	24.0	-	73.95	49.85	4.99
178	8.2	54.00	74.39	66.06	6.61	213	24.5	30.00	73.99	49.39	4.94
179	11.1	24.00	74.57	63.35	6.34						

Table 4.4 Result of pipe network analysis before establishing water distribution block system(pipe)

Node ID	Leng. (m)	Dia. (mm)	Flow (CMD)	Vel. (m/s)	Unit Headloss (m/km)	Node ID	Leng. (m)	Dia. (mm)	Flow (CMD)	Vel. (m/s)	Unit Headloss (m/km)
1	35	200	1,980.0	0.73	4.92	37	110	80	10.2	0.02	0.02
2	135	300	848.1	0.14	0.09	38	62	80	57.0	0.13	0.37
3	77	200	251.0	0.09	0.07	39	57	80	25.1	0.06	0.08
4	131	80	13.5	0.03	0.03	40	102	80	8.8	0.02	0.01
5	66	80	41.8	0.10	0.21	41	55	80	33.0	0.08	0.13
6	127	80	18.6	0.04	0.05	42	128	80	27.8	0.06	0.10
7	130	300	889.9	0.15	0.10	43	62	150	142.1	0.09	0.09
8	66	80	51.5	0.12	0.30	44	57	150	78.3	0.05	0.03
9	108	300	941.4	0.15	0.11	45	181	100	28.8	0.04	0.04
10	82	80	21.2	0.05	0.06	46	129	80	25.5	0.06	0.08
11	66	150	227.1	0.15	0.22	47	54	80	25.0	0.06	0.08
12	38	150	276.5	0.18	0.32	48	59	80	2.3	0.01	0.00
13	105	300	1,218.0	0.20	0.17	49	140	80	23.8	0.05	0.07
14	51	300	1,300.8	0.21	0.19	50	127	100	38.2	0.06	0.06
15	3	300	1,383.1	0.23	0.22	51	55	100	26.3	0.04	0.03
16	130	150	70.3	0.05	0.03	52	62	100	35.4	0.05	0.05
17	97	80	52.9	0.12	0.32	53	55	80	43.7	0.10	0.22
18	116	80	7.4	0.02	0.01	54	106	80	47.7	0.11	0.26
19	55	80	80.9	0.19	0.70	55	56	80	96.2	0.22	0.97
20	23	80	18.3	0.04	0.04	56	61	80	25.4	0.06	0.08
21	103	80	31.4	0.07	0.12	57	105	80	46.1	0.11	0.25
22	126	150	10.6	0.01	0.00	58	60	80	38.7	0.09	0.18
23	68	80	43.9	0.10	0.23	59	125	100	42.9	0.06	0.07
24	62	80	0.9	0.00	0.00	60	56	100	145.2	0.21	0.70
25	105	80	24.9	0.06	0.08	61	100	100	100.5	0.15	0.35
26	99	100	73.4	0.11	0.20	62	888	100	372.0	0.55	4.00
27	66	150	195.3	0.13	0.17	63	174	100	793.5	1.17	16.28
28	69	150	116.8	0.08	0.06	64	16	100	108.3	0.16	0.41
29	68	80	36.1	0.08	0.16	65	16	100	149.7	0.22	0.74
30	119	150	47.9	0.03	0.01	66	961	500	5,669.8	0.33	0.24
31	61	80	29.0	0.07	0.10	67	978	500	5,669.8	0.33	0.24
32	128	150	12.7	0.01	0.00	68	1084	500	5,669.8	0.33	0.24
33	48	200	240.5	0.09	0.06	69	55	300	2,246.1	0.37	0.53
34	52	150	197.7	0.13	0.17	70	121	300	1,159.3	0.19	0.16
35	130	80	25.6	0.06	0.08	71	112	300	875.5	0.14	0.09
36	60	80	53.6	0.12	0.33	72	205	200	853.0	0.31	0.64

Table continuation

Node ID	Leng. (m)	Dia. (mm)	Flow (CMD)	Vel. (m/s)	Unit Headloss (m/km)	Node ID	Leng. (m)	Dia. (mm)	Flow (CMD)	Vel. (m/s)	Unit Headloss (m/km)
73	199	200	597.5	0.22	0.33	109	48	80	29.2	0.07	0.11
74	80	200	0.0	0.00	0.00	110	41	80	32.8	0.08	0.13
75	36	200	597.5	0.22	0.33	111	46	80	71.2	0.16	0.55
76	205	100	53.5	0.08	0.11	112	47	80	107.2	0.25	1.19
77	69	200	596.7	0.22	0.33	113	42	400	3,715.6	0.34	0.33
78	31	200	702.9	0.26	0.44	114	45	80	32.4	0.07	0.13
79	550	200	20.0	0.01	0.00	115	186	150	15.1	0.01	0.00
80	288	300	745.6	0.12	0.07	116	60	80	4.9	0.01	0.00
81	10	100	15.1	0.02	0.01	117	130	80	4.9	0.01	0.00
82	44	300	775.7	0.13	0.07	118	27	80	44.3	0.10	0.23
83	221	150	99.5	0.07	0.05	119	31	80	23.8	0.05	0.07
84	40	300	774.1	0.13	0.07	120	41	80	34.7	0.08	0.15
85	191	300	559.9	0.09	0.04	121	63	80	88.5	0.20	0.83
86	39	300	282.0	0.05	0.01	122	54	80	8.3	0.02	0.01
87	34	300	276.3	0.05	0.01	123	126	150	58.3	0.04	0.02
88	163	150	126.2	0.08	0.07	124	111	100	30.0	0.04	0.04
89	60	300	825.1	0.14	0.08	125	49	100	100.3	0.15	0.35
90	52	300	1,071.7	0.18	0.13	126	62	100	216.7	0.32	1.47
91	444	300	3,411.8	0.56	1.15	127	60	80	114.7	0.26	1.34
92	262	400	3,393.8	0.31	0.28	128	49	80	98.5	0.23	1.01
93	51	100	25.8	0.04	0.03	129	77	80	58.2	0.13	0.38
94	109	100	26.5	0.04	0.03	130	64	80	129.7	0.30	1.69
95	145	100	40.3	0.06	0.07	131	48	80	31.7	0.07	0.12
96	62	100	48.3	0.07	0.09	132	62	80	37.0	0.09	0.16
97	60	100	29.0	0.04	0.04	133	43	80	41.2	0.09	0.20
98	123	400	3,518.5	0.32	0.30	134	63	80	30.6	0.07	0.12
99	114	80	25.3	0.06	0.08	135	44	100	190.9	0.28	1.16
100	73	80	2.0	0.00	0.00	136	6	80	285.4	0.66	7.26
101	47	80	22.2	0.05	0.06	137	6	400	333.9	0.03	0.00
102	40	80	36.7	0.08	0.16	138	7	200	251.2	0.09	0.07
103	47	80	52.7	0.12	0.32	139	22	400	585.1	0.05	0.01
104	53	80	71.9	0.17	0.57	140	126	200	34.2	0.01	0.00
105	110	400	3,596.4	0.33	0.31	141	132	200	169.9	0.06	0.03
106	110	80	24.1	0.06	0.07	142	39	100	142.4	0.21	0.68
107	111	80	12.0	0.03	0.02	143	127	100	149.3	0.22	0.74
108	111	80	8.5	0.02	0.01	144	148	100	180.0	0.27	1.04

Table continuation

Node ID	Leng. (m)	Dia. (mm)	Flow (CMD)	Vel. (m/s)	Unit Headloss (m/km)	Node ID	Leng. (m)	Dia. (mm)	Flow (CMD)	Vel. (m/s)	Unit Headloss (m/km)
145	275	200	404.6	0.15	0.16	181	3	100	183.1	0.27	1.08
146	180	80	72.0	0.17	0.57	182	62	100	54.3	0.08	0.11
147	25	200	871.7	0.32	0.66	183	57	100	30.6	0.05	0.04
148	15	300	2,254.9	0.37	0.53	184	132	100	212.8	0.31	1.42
149	74	300	2,201.9	0.36	0.51	185	146	80	51.6	0.12	0.31
150	115	150	30.0	0.02	0.01	186	77	80	2.3	0.01	0.00
151	77	80	53.0	0.12	0.32	187	81	80	33.1	0.08	0.13
152	56	300	2,273.9	0.37	0.54	188	97	300	2,815.1	0.46	0.81
153	37	80	33.5	0.08	0.14	189	74	80	122.5	0.28	1.52
154	111	80	55.4	0.13	0.35	190	46	80	60.8	0.14	0.41
155	52	80	9.6	0.02	0.01	191	95	80	37.7	0.09	0.17
156	55	80	50.1	0.12	0.29	192	89	80	46.4	0.11	0.25
157	60	80	67.7	0.16	0.51	193	67	80	38.7	0.09	0.18
158	59	80	33.9	0.08	0.14	194	61	80	156.3	0.36	2.38
159	89	80	21.8	0.05	0.06	195	13	100	399.0	0.59	4.56
160	118	80	11.7	0.03	0.02	196	530	150	805.7	0.53	2.32
161	129	80	40.4	0.09	0.19	197	177	100	39.6	0.06	0.06
162	55	100	145.7	0.21	0.71	198	158	80	36.8	0.08	0.16
163	67	100	117.1	0.17	0.47	199	9	100	92.8	0.14	0.31
164	77	80	17.0	0.04	0.04	200	149	100	216.0	0.32	1.46
165	128	80	30.5	0.07	0.12	201	66	150	311.8	0.20	0.40
166	54	100	167.6	0.25	0.91	202	133	80	132.2	0.30	1.75
167	76	80	27.4	0.06	0.09	203	67	150	239.6	0.16	0.25
168	304	150	0.0	0.00	0.00	204	113	80	180.9	0.42	3.12
169	281	100	757.7	1.12	14.94	205	87	150	94.7	0.06	0.04
170	95	100	146.2	0.22	0.71	206	55	80	273.6	0.63	6.72
171	126	80	64.4	0.15	0.46	207	96	80	144.2	0.33	2.05
172	96	100	104.7	0.15	0.38	208	73	150	161.0	0.11	0.12
173	58	80	30.3	0.07	0.11	209	58	80	159.4	0.37	2.47
174	118	80	58.1	0.13	0.38	210	20	200	2,961.6	1.09	6.38
175	71	80	79.9	0.18	0.69	211	90	200	2,818.7	1.04	5.82
176	75	80	35.3	0.08	0.15	212	87	300	2,390.6	0.39	0.59
177	86	80	44.6	0.10	0.23	213	112	300	2,331.3	0.38	0.57
178	72	150	388.6	0.25	0.60	214	525	150	18.0	0.01	0.00
179	53	150	286.9	0.19	0.34	215	69	200	3,002.1	1.11	6.54
180	60	150	216.7	0.14	0.20	216	32	200	226.4	0.08	0.05

Table continuation

Node ID	Leng. (m)	Dia. (mm)	Flow (CMD)	Vel. (m/s)	Unit Headloss (m/km)	Node ID	Leng. (m)	Dia. (mm)	Flow (CMD)	Vel. (m/s)	Unit Headloss (m/km)
217	785	80	24.0	0.06	0.07	253	114	80	24.0	0.06	0.07
218	440	150	12.0	0.01	0.00	254	117	100	55.4	0.08	0.12
219	95	200	534.9	0.20	0.27	255	55	80	66.4	0.15	0.49
220	53	80	290.5	0.67	7.51	256	109	100	37.7	0.06	0.06
221	50	80	218.0	0.50	4.41	257	177	80	30.4	0.07	0.11
222	59	80	154.3	0.36	2.33	258	89	100	99.9	0.15	0.35
223	59	80	80.2	0.18	0.69	259	84	80	32.5	0.07	0.13
224	55	80	53.0	0.12	0.32	260	103	80	11.3	0.03	0.02
225	37	80	68.0	0.16	0.51	261	63	80	119.7	0.28	1.45
226	140	100	6.4	0.01	0.00	262	109	80	21.5	0.05	0.06
227	25	100	163.8	0.24	0.88	263	55	100	217.0	0.32	1.48
228	55	100	217.7	0.32	1.48	264	57	80	117.9	0.27	1.41
229	119	80	81.0	0.19	0.70	265	94	80	31.7	0.07	0.12
230	55	100	340.6	0.50	3.40	266	9	100	272.7	0.40	2.25
231	99	80	161.9	0.37	2.54	267	52	100	336.2	0.50	3.32
232	106	100	195.9	0.29	1.22	268	164	80	110.2	0.25	1.25
233	10	100	516.4	0.76	7.35	269	113	80	16.3	0.04	0.04
234	62	150	766.3	0.50	2.12	270	12	100	466.1	0.69	6.08
235	110	80	142.0	0.33	1.99	271	169	80	50.6	0.12	0.29
236	108	80	147.3	0.34	2.13	272	122	80	2.6	0.01	0.00
237	110	80	101.7	0.23	1.07	273	151	80	48.0	0.11	0.27
238	15	200	1,874.1	0.69	2.73	274	149	80	6.0	0.01	0.01
239	53	150	1,229.0	0.80	5.08	275	69	150	383.3	0.25	0.59
240	28	150	1,062.8	0.70	3.88	276	56	150	480.4	0.31	0.89
241	50	150	915.5	0.60	2.94	277	111	100	46.8	0.07	0.09
242	109	150	645.1	0.42	1.54	278	63	80	99.6	0.23	1.03
243	54	80	164.7	0.38	2.62	279	59	150	431.3	0.28	0.73
244	110	80	58.5	0.13	0.39	280	86	80	43.1	0.10	0.22
245	102	80	4.8	0.01	0.00	281	48	80	56.5	0.13	0.36
246	46	80	223.1	0.51	4.60	282	55	100	480.4	0.71	6.43
247	56	80	161.8	0.37	2.54	283	270	100	425.1	0.63	5.12
248	107	100	48.1	0.07	0.09	284	780	80	347.1	0.80	10.44
249	12	80	238.7	0.55	5.22	285	153	80	0.0	0.00	0.00
250	104	80	10.0	0.02	0.01	286	135	80	144.0	0.33	2.05
251	55	80	188.4	0.43	3.37	287	76	80	0.0	0.00	0.00
252	109	80	12.1	0.03	0.02	288	39	80	49.9	0.11	0.29

Table continuation

Node ID	Leng. (m)	Dia. (mm)	Flow (CMD)	Vel. (m/s)	Unit Headloss (m/km)	Node ID	Leng. (m)	Dia. (mm)	Flow (CMD)	Vel. (m/s)	Unit Headloss (m/km)
289	81	80	0.0	0.00	0.00	300	322	100	906.0	1.34	20.81
290	83	80	31.9	0.07	0.13	301	348	80	408.0	0.94	14.08
291	109	80	87.2	0.20	0.81	302	212	80	282.0	0.65	7.10
292	45	80	0.0	0.00	0.00	303	167	80	36.0	0.08	0.16
293	20	80	75.2	0.17	0.61	304	277	80	372.0	0.86	11.87
294	173	80	77.1	0.18	0.64	305	48	200	1,608.0	0.59	2.06
295	433	80	631.5	1.45	31.62	306	203	80	162.0	0.37	2.54
296	311	80	126.0	0.29	1.60	307	158	200	1,212.0	0.45	1.22
297	334	80	126.0	0.29	1.60	308	103	80	39.9	0.09	0.19
298	1004	80	0.0	0.00	0.00	309	14	150	805.7	0.53	2.32
299	723	75	968.4	2.54	95.57						

4.1.3 블록시스템 구축 후 관망해석 결과

도런중블록은 블록시스템 구축 후 감압밸브를 통한 수압조정이 이루어지도록 계획되어있다.

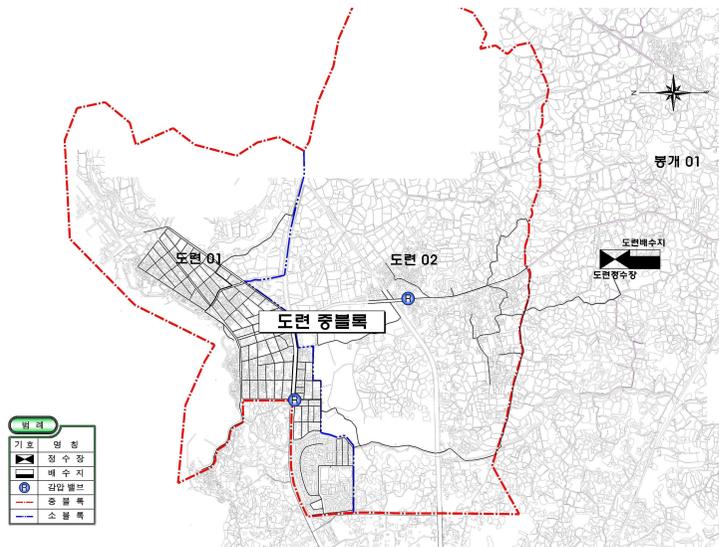


Figure 4.2 Location map of PRV in study area

감압밸브는 압력제어형으로 도련01 소블록에 400mm, 도련02 소블록 100mm 규격으로 각 1개씩 총 2개가 설치하는 것으로 계획하였으며, 본 절에서는 감압밸브의 유출압력을 3.0kgf/cm²과 2.5kgf/cm²로 2개의 모델을 구축하고 해석을 수행하였다.

(1) 모델 1 - 감압밸브 유출압력 3.0kgf/cm²

모델 1에 대한 관망해석 결과는 다음과 같다.

분석결과, 도련배수지의 수위는 75.2m이며 표고는 2.4~66.0m의 범위내로 분포하고 있으며, Node별 압력은 최저(Node No.216) 1.22kgf/cm²에서 최대(Node No.221) 5.40kgf/cm²의 분포를 나타내고 있으며, 평균 수압은 3.81kgf/cm²으로 분석되었다. 수압은 시설기준에서 제시하고 있는 1.5~7.1kgf/cm²를 대부분 만족하고 있는 것으로 나타났다.

Table 4.5 Number of node by pressure range - model 1

수 압 범 위	절점수(개)	비율(%)
2.0 kgf/cm ² 이하	4	1.8
2.0~3.0 kgf/cm ²	30	13.6
3.0~4.0 kgf/cm ²	80	36.2
4.0~5.0 kgf/cm ²	105	47.5
5.0 kgf/cm ² 초과	2	0.9

블록시스템 구축, 감압밸브 운용으로 인하여 블록내 수압이 블록구축 전보다 전체적으로 낮아졌으며, 5.0kgf/cm² 이상의 고수압지역의 절점분포 비율이 54.9%에서 0.9%로 크게 줄어든 것으로 분석되었다. 또한 저수압 지역도 줄어들었으며, 블록내 수압편차도 블록구축 전보다 크게 작아진 것으로 확인되어, 블록내 원활한 용수공급이 가능한 것으로 분석되었다.

다음은 각 관로에 대한 분석 결과를 나타낸 것으로, 유량은 0~9,988.7CMD이고, 유속은 0.00~1.23m/s, 단위 손실수두는 0.00~29.11m/km로 분석되었다. 유량 및 유속 분석 결과, 일부 정체관이 다소 존재하나 블록 구축 전보다 원활하게 유량분배가 가능한 것으로 판단된다.



Figure 4.3 Result of pipe network analysis - model 1

Table 4.6 Result of pipe network analysis(junction) - model 1

Node ID	EL. (m)	Daily Max. Flow				Node ID	EL. (m)	Daily Max. Flow			
		Demand (CMD)	Head (m)	Pressure				Demand (CMD)	Head (m)	Pressure	
				(m)	(kgf/cm ²)					(m)	(kgf/cm ²)
1	66.0	72.00	92.41	26.36	2.64	37	4.2	421.50	34.03	29.77	2.98
2	23.4	12.00	53.46	30.00	3.00	38	4.2	36.00	52.66	48.37	4.84
3	24.5	-	53.21	28.65	2.87	39	5.1	42.00	52.79	47.60	4.76
4	24.7	-	52.98	28.22	2.82	40	2.4	372.00	28.25	25.80	2.58
5	25.1	-	52.80	27.64	2.76	41	61.9	-	74.11	12.18	1.22
6	24.7	30.00	52.62	27.87	2.79	42	40.0	-	73.62	33.55	3.36
7	24.2	12.00	52.54	28.28	2.83	43	29.7	12.00	73.07	43.29	4.33
8	24.2	-	52.53	28.28	2.83	44	29.2	15.06	73.07	43.78	4.38
9	23.9	42.00	52.79	28.84	2.88	45	32.9	7.53	73.06	40.08	4.01
10	23.1	42.00	52.64	29.48	2.95	46	31.4	120.48	73.06	41.58	4.16
11	20.7	-	52.53	31.76	3.18	47	28.2	120.48	73.07	44.78	4.48
12	22.7	24.00	52.64	29.88	2.99	48	27.6	165.66	73.06	45.37	4.54
13	20.4	42.00	52.80	32.33	3.23	49	29.8	67.77	73.06	43.18	4.32
14	23.5	18.00	52.92	29.36	2.94	50	28.6	97.89	73.06	44.37	4.44
15	23.7	18.00	53.10	29.34	2.93	51	28.3	15.06	73.06	44.67	4.47
16	20.4	24.00	53.31	32.84	3.28	52	28.3	15.06	73.06	44.67	4.47
17	17.4	30.00	53.23	35.76	3.58	53	26.5	22.59	73.06	46.47	4.65
18	17.2	36.00	53.03	35.76	3.58	54	30.4	22.59	73.06	42.58	4.26
19	13.7	48.00	52.88	39.10	3.91	55	30.9	52.71	73.06	42.08	4.21
20	13.7	30.00	52.81	39.03	3.90	56	31.2	52.71	73.06	41.78	4.18
21	17.7	18.00	52.64	34.87	3.49	57	30.9	-	73.06	42.08	4.21
22	17.0	-	52.49	35.42	3.54	58	28.9	-	73.06	44.07	4.41
23	12.3	24.00	52.60	40.22	4.02	59	35.8	7.53	73.06	37.19	3.72
24	4.7	42.00	52.70	47.91	4.79	60	33.7	22.59	73.06	39.29	3.93
25	5.1	60.00	52.77	47.58	4.76	61	25.8	18.00	70.99	45.10	4.51
26	9.1	42.00	52.84	43.65	4.37	62	25.1	36.00	70.56	45.37	4.54
27	9.1	36.00	52.93	43.74	4.37	63	25.4	30.00	70.54	45.05	4.51
28	13.5	30.00	53.13	39.56	3.96	64	25.3	36.00	70.53	45.14	4.51
29	9.4	36.00	53.06	43.58	4.36	65	25.2	12.00	70.56	45.27	4.53
30	7.6	72.00	52.84	45.15	4.52	66	24.9	6.00	70.57	45.58	4.56
31	5.3	24.00	53.03	47.64	4.76	67	24.4	6.00	70.60	46.11	4.61
32	6.1	72.00	52.80	46.61	4.66	68	23.5	6.00	70.64	47.04	4.70
33	4.4	84.00	52.67	48.17	4.82	69	22.7	-	70.68	47.89	4.79
34	7.8	18.00	52.60	44.71	4.47	70	22.8	6.00	70.68	47.79	4.78
35	4.4	6.00	52.47	47.98	4.80	71	23.9	18.00	70.63	46.64	4.66
36	3.2	6.00	52.57	49.27	4.93	72	24.7	6.00	70.59	45.80	4.58

Table continuation

Node ID	EL. (m)	Daily Max. Flow				Node ID	EL. (m)	Daily Max. Flow			
		Demand (CMD)	Head (m)	Pressure				Demand (CMD)	Head (m)	Pressure	
				(m)	(kgf/cm ²)					(m)	(kgf/cm ²)
73	25.1	18.00	70.57	45.38	4.54	109	35.1	12.00	65.05	29.89	2.99
74	24.8	12.00	70.63	45.73	4.57	110	34.8	-	65.05	30.19	3.02
75	23.2	12.00	70.68	47.39	4.74	111	38.4	414.00	90.45	51.94	5.19
76	23.3	12.00	70.69	47.29	4.73	112	34.4	631.50	82.94	48.44	4.84
77	23.3	-	70.68	47.28	4.73	113	50.5	126.00	90.95	40.37	4.04
78	23.4	-	70.67	47.18	4.72	114	57.5	-	91.75	34.19	3.42
79	23.4	6.00	70.61	47.11	4.71	115	57.1	180.00	92.20	35.03	3.50
80	23.9	30.00	70.54	46.55	4.66	116	59.8	24.00	93.40	33.54	3.35
81	24.1	12.00	70.54	46.35	4.64	117	55.1	336.00	91.60	36.43	3.64
82	24.2	54.00	70.53	46.23	4.62	118	51.3	36.00	91.56	40.18	4.02
83	25.5	30.00	70.53	44.94	4.49	119	50.3	408.00	88.00	37.62	3.76
84	25.3	48.00	70.52	45.13	4.51	120	52.4	216.00	90.69	38.21	3.82
85	25.1	36.00	70.51	45.32	4.53	121	54.5	282.00	88.24	33.67	3.37
86	24.9	24.00	70.53	45.53	4.55	122	22.2	24.00	52.40	30.14	3.01
87	23.8	18.00	70.53	46.64	4.66	123	21.5	24.00	52.36	30.80	3.08
88	24.0	30.00	70.49	46.40	4.64	124	20.8	12.00	52.36	31.50	3.15
89	24.4	6.00	70.65	46.16	4.62	125	22.2	12.00	52.41	30.15	3.02
90	25.2	84.00	70.34	45.05	4.51	126	20.7	-	52.40	31.63	3.16
91	24.9	18.00	70.65	45.65	4.57	127	20.5	6.00	52.35	31.78	3.18
92	26.2	42.00	70.47	44.18	4.42	128	19.9	-	52.32	32.36	3.24
93	26.3	18.00	70.54	44.15	4.42	129	19.3	6.00	52.27	32.90	3.29
94	26.3	12.00	70.53	44.14	4.41	130	17.5	-	52.34	34.77	3.48
95	27.3	30.00	70.52	43.13	4.31	131	17.4	6.00	52.44	34.97	3.50
96	25.2	108.00	70.09	44.80	4.48	132	5.4	12.00	52.43	46.94	4.69
97	24.4	72.00	69.92	45.43	4.54	133	5.4	42.00	38.62	33.16	3.32
98	24.4	-	70.65	46.15	4.62	134	3.3	-	46.84	43.45	4.35
99	25.8	42.00	62.62	36.74	3.67	135	6.2	6.00	52.29	46.00	4.60
100	27.9	78.00	62.65	34.68	3.47	136	11.9	18.00	52.28	40.30	4.03
101	33.2	60.00	64.50	31.24	3.12	137	18.1	18.00	52.27	34.10	3.41
102	32.4	-	64.50	32.03	3.20	138	7.3	36.00	52.12	44.73	4.47
103	32.4	144.00	64.20	31.74	3.17	139	8.5	72.00	52.13	43.54	4.35
104	33.3	6.00	64.65	31.29	3.13	140	13.6	24.00	52.19	38.52	3.85
105	33.5	-	64.65	31.09	3.11	141	13.6	36.00	52.19	38.52	3.85
106	33.7	-	64.79	31.03	3.10	142	16.3	12.00	52.21	35.84	3.58
107	33.6	18.00	64.79	31.13	3.11	143	19.4	-	52.29	32.82	3.28
108	35.1	30.00	65.16	30.00	3.00	144	20.1	24.00	52.29	32.13	3.21

Table continuation

Node ID	EL. (m)	Daily Max. Flow				Node ID	EL. (m)	Daily Max. Flow			
		Demand (CMD)	Head (m)	Pressure				Demand (CMD)	Head (m)	Pressure	
				(m)	(kgf/cm ²)					(m)	(kgf/cm ²)
145	18.5	36.00	52.23	33.67	3.37	184	25.7	6.00	51.82	26.07	2.61
146	18.4	24.00	52.22	33.75	3.38	185	25.8	-	51.81	25.96	2.60
147	14.9	24.00	52.19	37.21	3.72	186	26.4	-	51.73	25.28	2.53
148	14.9	18.00	52.12	37.15	3.72	187	23.4	-	51.69	28.24	2.82
149	12.2	24.00	52.09	39.81	3.98	188	18.2	-	51.59	33.32	3.33
150	14.8	54.00	52.09	37.22	3.72	189	13.1	18.00	51.49	38.31	3.83
151	11.8	84.00	52.07	40.18	4.02	190	13.1	24.00	51.44	38.27	3.83
152	10.1	30.00	52.02	41.84	4.18	191	10.6	78.00	51.25	40.57	4.06
153	7.6	66.00	51.93	44.24	4.42	192	9.3	66.00	51.15	41.76	4.18
154	6.1	30.00	51.81	45.62	4.56	193	7.6	84.00	51.12	43.44	4.34
155	5.9	48.00	46.81	40.83	4.08	194	8.2	168.00	51.09	42.80	4.28
156	5.9	-	46.84	40.86	4.09	195	10.8	96.00	51.12	40.24	4.02
157	6.2	90.00	51.69	45.40	4.54	196	12.3	120.00	51.10	38.72	3.87
158	6.1	36.00	51.75	45.56	4.56	197	16.7	24.00	51.19	34.42	3.44
159	7.6	60.00	51.78	44.09	4.41	198	12.7	24.00	51.21	38.44	3.84
160	9.9	36.00	51.85	41.86	4.19	199	12.7	42.00	51.24	38.46	3.85
161	11.2	18.00	51.98	40.70	4.07	200	14.3	36.00	51.41	37.03	3.70
162	11.7	30.00	51.96	40.18	4.02	201	14.3	18.00	51.48	37.10	3.71
163	15.2	24.00	52.01	36.73	3.67	202	27.3	-	51.51	24.16	2.42
164	17.6	18.00	49.62	31.96	3.20	203	20.5	6.00	49.21	28.66	2.87
165	18.8	18.00	51.93	33.06	3.31	204	31.6	6.00	49.21	17.58	1.76
166	21.1	18.00	51.90	30.74	3.07	205	18.5	-	51.51	32.94	3.29
167	24.1	24.00	49.24	25.09	2.51	206	29.5	-	51.53	21.99	2.20
168	24.1	6.00	49.21	25.06	2.51	207	26.8	6.00	51.56	24.71	2.47
169	17.5	30.00	51.82	34.25	3.43	208	18.4	-	51.56	33.09	3.31
170	14.8	30.00	51.75	36.88	3.69	209	32.3	24.00	49.14	16.81	1.68
171	11.8	84.00	51.66	39.78	3.98	210	61.9	210.00	93.56	31.60	3.16
172	9.6	60.00	51.64	41.95	4.20	211	63.1	162.00	92.74	29.58	2.96
173	9.7	72.00	51.40	41.62	4.16	212	24.0	-	52.51	28.45	2.85
174	6.4	66.00	51.31	44.82	4.48	213	24.5	30.00	52.40	27.84	2.78
175	4.3	114.00	51.30	46.91	4.69	214	23.4	-	53.45	29.99	3.00
176	3.8	102.00	51.20	47.30	4.73	215	23.4	-	70.66	47.17	4.72
177	5.2	30.00	51.21	45.92	4.59	216	61.9	-	74.11	12.18	1.22
178	8.2	54.00	51.30	43.01	4.30	217	58.3	72.00	91.76	33.39	3.34
179	11.1	24.00	51.49	40.31	4.03	218	61.9	-	93.56	31.59	3.16
180	11.2	6.00	51.57	40.29	4.03	219	61.9	-	93.55	31.59	3.16
181	17.2	12.00	51.65	34.38	3.44	220	24.9	78.00	53.34	28.38	2.84
182	21.4	-	51.71	30.25	3.03	221	35.1	-	89.22	54.01	5.40
183	23.5	6.00	51.75	28.19	2.82						

Table 4.7 Result of pipe network analysis(pipe) – model 1

Node ID	Leng. (m)	Dia. (mm)	Flow (CMD)	Vel. (m/s)	Unit Headloss (m/km)	Node ID	Leng. (m)	Dia. (mm)	Flow (CMD)	Vel. (m/s)	Unit Headloss (m/km)
1	8	400	3,559.5	0.33	0.50	37	110	80	66.5	0.15	0.80
2	135	300	3,407.4	0.56	1.86	38	62	80	58.4	0.13	0.62
3	73	200	1,202.1	0.44	1.95	39	57	80	82.9	0.19	1.20
4	131	80	96.0	0.22	1.57	40	102	80	61.2	0.14	0.68
5	66	80	97.1	0.22	1.60	41	55	80	95.1	0.22	1.54
6	127	80	92.2	0.21	1.46	42	128	80	101.3	0.23	1.73
7	130	300	3,310.3	0.54	1.77	43	62	150	422.3	0.28	1.14
8	66	80	72.7	0.17	0.94	44	57	150	285.1	0.19	0.55
9	108	300	3,237.6	0.53	1.70	45	181	100	157.2	0.23	1.32
10	82	80	91.6	0.21	1.44	46	129	80	103.9	0.24	1.82
11	66	150	86.7	0.06	0.06	47	54	80	22.2	0.05	0.10
12	38	150	44.2	0.03	0.02	48	59	80	63.2	0.15	0.72
13	105	300	3,193.4	0.52	1.65	49	140	80	72.9	0.17	0.94
14	51	300	3,191.5	0.52	1.65	50	127	100	137.3	0.20	1.03
15	3	300	3,088.2	0.51	1.55	51	55	100	31.9	0.05	0.07
16	130	150	91.3	0.06	0.07	52	62	100	103.8	0.15	0.61
17	97	80	28.0	0.06	0.16	53	55	80	84.1	0.19	1.23
18	116	80	88.9	0.20	1.36	54	106	80	76.0	0.17	1.02
19	55	80	108.0	0.25	1.95	55	56	80	105.4	0.24	1.87
20	23	80	18.8	0.04	0.08	56	61	80	8.6	0.02	0.02
21	103	80	96.2	0.22	1.58	57	105	80	60.8	0.14	0.67
22	126	150	199.2	0.13	0.28	58	60	80	51.4	0.12	0.49
23	68	80	16.9	0.04	0.06	59	125	100	50.2	0.07	0.16
24	62	80	62.0	0.14	0.70	60	56	100	178.7	0.26	1.67
25	105	80	96.9	0.22	1.60	61	100	100	133.3	0.20	0.97
26	99	100	137.7	0.20	1.03	62	888	100	372.0	0.55	6.51
27	66	150	133.3	0.09	0.13	63	174	100	793.5	1.17	26.46
28	69	150	397.9	0.26	1.02	64	16	100	222.9	0.33	2.52
29	68	80	55.3	0.13	0.56	65	16	100	254.4	0.37	3.22
30	119	150	449.0	0.29	1.28	66	961	500	9,988.7	0.59	1.14
31	61	80	82.9	0.19	1.20	67	978	500	6,429.2	0.38	0.50
32	128	150	502.9	0.33	1.58	68	1,084	500	6,429.2	0.38	0.50
33	48	200	1,082.1	0.40	1.61	69	55	300	805.7	0.13	0.13
34	52	150	549.2	0.36	1.86	70	121	300	343.9	0.06	0.03
35	130	80	96.9	0.22	1.60	71	112	300	76.3	0.01	0.00
36	60	80	100.7	0.23	1.71	72	205	200	53.7	0.02	0.01

Table continuation

Node ID	Leng. (m)	Dia. (mm)	Flow (CMD)	Vel. (m/s)	Unit Headloss (m/km)	Node ID	Leng. (m)	Dia. (mm)	Flow (CMD)	Vel. (m/s)	Unit Headloss (m/km)
73	199	200	46.2	0.02	0.00	109	48	80	44.4	0.10	0.38
74	80	200	0.0	0.00	0.00	110	41	80	35.4	0.08	0.25
75	36	200	46.2	0.02	0.00	111	46	80	82.9	0.19	1.20
76	205	100	0.5	0.00	0.00	112	47	80	84.4	0.19	1.24
77	69	200	7.1	0.00	0.00	113	42	400	299.4	0.03	0.01
78	31	200	59.3	0.02	0.01	114	45	80	60.6	0.14	0.67
79	550	200	22.6	0.01	0.00	115	186	150	28.0	0.02	0.01
80	288	300	104.4	0.02	0.00	116	60	80	6.8	0.02	0.01
81	10	100	15.1	0.02	0.02	117	130	80	4.6	0.01	0.01
82	44	300	134.6	0.02	0.00	118	27	80	51.8	0.12	0.50
83	221	150	21.6	0.01	0.00	119	31	80	3.1	0.01	0.00
84	40	300	210.9	0.03	0.01	120	41	80	45.0	0.10	0.39
85	191	300	107.7	0.02	0.00	121	63	80	78.1	0.18	1.07
86	39	300	170.9	0.03	0.01	122	54	80	27.1	0.06	0.15
87	34	300	260.0	0.04	0.02	123	126	150	24.5	0.02	0.01
88	163	150	31.4	0.02	0.01	124	111	100	30.0	0.04	0.06
89	60	300	295.0	0.05	0.02	125	49	100	66.5	0.10	0.27
90	52	300	446.8	0.07	0.04	126	62	100	179.0	0.26	1.68
91	444	300	5,611.5	0.92	4.70	127	60	80	113.8	0.26	2.15
92	262	400	5,593.5	0.52	1.15	128	49	80	94.5	0.22	1.52
93	51	100	70.8	0.10	0.30	129	77	80	61.3	0.14	0.68
94	109	100	56.4	0.08	0.20	130	64	80	113.1	0.26	2.13
95	145	100	65.6	0.10	0.26	131	48	80	30.9	0.07	0.19
96	62	100	97.1	0.14	0.54	132	62	80	39.2	0.09	0.30
97	60	100	119.9	0.18	0.80	133	43	80	44.3	0.10	0.38
98	123	400	119.9	0.01	0.00	134	63	80	23.3	0.05	0.11
99	114	80	16.8	0.04	0.06	135	44	100	182.3	0.27	1.74
100	73	80	25.5	0.06	0.13	136	6	80	266.4	0.61	10.40
101	47	80	26.8	0.06	0.15	137	6	400	5,282.1	0.49	1.03
102	40	80	53.7	0.12	0.54	138	7	200	582.6	0.21	0.51
103	47	80	65.4	0.15	0.77	139	4	200	1,280.1	0.47	2.19
104	53	80	77.1	0.18	1.05	140	126	200	316.2	0.12	0.16
105	110	400	203.0	0.02	0.00	141	132	200	197.0	0.07	0.07
106	110	80	10.6	0.02	0.03	142	39	100	141.0	0.21	1.08
107	111	80	31.1	0.07	0.19	143	127	100	150.2	0.22	1.21
108	111	80	21.0	0.05	0.09	144	148	100	180.0	0.27	1.70

Table continuation

Node ID	Leng. (m)	Dia. (mm)	Flow (CMD)	Vel. (m/s)	Unit Headloss (m/km)	Node ID	Leng. (m)	Dia. (mm)	Flow (CMD)	Vel. (m/s)	Unit Headloss (m/km)
145	275	200	0.0	0.00	0.00	181	3	100	44.6	0.07	0.13
146	180	80	72.0	0.17	0.92	182	62	100	139.3	0.21	1.05
147	25	200	0.0	0.00	0.00	183	57	100	60.7	0.09	0.23
148	15	300	3,088.2	0.51	1.55	184	132	100	213.8	0.32	2.33
149	74	300	2,999.3	0.49	1.47	185	146	80	88.6	0.20	1.35
150	115	150	30.0	0.02	0.01	186	77	80	99.5	0.23	1.68
151	77	80	88.9	0.20	1.36	187	81	80	94.5	0.22	1.52
152	56	300	1,977.8	0.32	0.68	188	97	300	1,663.6	0.27	0.49
153	37	80	23.3	0.05	0.11	189	74	80	85.6	0.20	1.27
154	111	80	47.7	0.11	0.43	190	46	80	3.5	0.01	0.00
155	52	80	29.2	0.07	0.17	191	95	80	65.2	0.15	0.77
156	55	80	71.5	0.16	0.91	192	89	80	52.4	0.12	0.51
157	60	80	48.4	0.11	0.44	193	67	80	87.6	0.20	1.32
158	59	80	59.0	0.14	0.64	194	61	80	110.2	0.25	2.03
159	89	80	56.2	0.13	0.58	195	13	100	294.0	0.43	4.21
160	118	80	17.1	0.04	0.06	196	530	150	883.5	0.58	4.48
161	129	80	42.3	0.10	0.34	197	177	100	206.3	0.30	2.18
162	55	100	189.3	0.28	1.86	198	158	80	103.4	0.24	1.80
163	67	100	139.0	0.20	1.05	199	9	100	399.7	0.59	7.43
164	77	80	67.5	0.16	0.82	200	149	100	117.0	0.17	0.76
165	128	80	16.8	0.04	0.06	201	66	150	258.8	0.17	0.46
166	54	100	227.7	0.34	2.62	202	133	80	70.5	0.16	0.89
167	76	80	32.6	0.08	0.21	203	67	150	389.3	0.25	0.98
168	304	150	0.0	0.00	0.00	204	113	80	70.1	0.16	0.88
169	281	100	835.5	1.23	29.11	205	87	150	495.3	0.32	1.53
170	95	100	189.1	0.28	1.86	206	55	80	50.3	0.12	0.47
171	126	80	82.1	0.19	1.17	207	96	80	90.3	0.21	1.40
172	96	100	118.7	0.17	0.78	208	73	150	563.7	0.37	1.95
173	58	80	2.3	0.01	0.00	209	58	80	70.0	0.16	0.87
174	118	80	52.4	0.12	0.51	210	20	200	1,554.0	0.57	3.14
175	71	80	51.2	0.12	0.49	211	90	200	972.4	0.36	1.32
176	75	80	15.8	0.04	0.06	212	87	300	1,890.7	0.31	0.63
177	86	80	67.0	0.15	0.81	213	112	300	1,930.5	0.32	0.65
178	72	150	191.1	0.13	0.26	214	525	150	967.5	0.63	5.30
179	53	150	139.6	0.09	0.15	215	69	200	878.4	0.32	1.09
180	60	150	180.0	0.12	0.24	216	32	200	860.4	0.32	1.05

Table continuation

Node ID	Leng. (m)	Dia. (mm)	Flow (CMD)	Vel. (m/s)	Unit Headloss (m/km)	Node ID	Leng. (m)	Dia. (mm)	Flow (CMD)	Vel. (m/s)	Unit Headloss (m/km)
217	785	80	24.0	0.06	0.12	253	114	80	54.1	0.12	0.54
218	440	150	12.0	0.01	0.00	254	117	100	106.7	0.16	0.64
219	95	200	750.6	0.28	0.82	255	55	80	49.6	0.11	0.46
220	53	80	91.8	0.21	1.45	256	109	100	72.3	0.11	0.31
221	50	80	91.7	0.21	1.44	257	177	80	15.9	0.04	0.06
222	59	80	91.2	0.21	1.43	258	89	100	79.8	0.12	0.38
223	59	80	48.6	0.11	0.44	259	84	80	37.9	0.09	0.28
224	55	80	102.6	0.24	1.78	260	103	80	35.7	0.08	0.25
225	37	80	23.0	0.05	0.11	261	63	80	97.2	0.22	1.61
226	140	100	115.4	0.17	0.74	262	109	80	22.8	0.05	0.11
227	25	100	93.3	0.14	0.50	263	55	100	178.0	0.26	1.66
228	55	100	177.4	0.26	1.65	264	57	80	98.0	0.23	1.63
229	119	80	13.6	0.03	0.04	265	94	80	34.6	0.08	0.24
230	55	100	267.7	0.39	3.54	266	9	100	236.6	0.35	2.81
231	99	80	71.2	0.16	0.90	267	52	100	255.8	0.38	3.25
232	106	100	105.6	0.16	0.63	268	164	80	87.4	0.20	1.32
233	10	100	414.3	0.61	7.94	269	113	80	39.2	0.09	0.30
234	62	150	432.1	0.28	1.19	270	12	100	340.0	0.50	5.51
235	110	80	29.1	0.07	0.17	271	169	80	29.9	0.07	0.18
236	108	80	40.5	0.09	0.32	272	122	80	2.2	0.01	0.00
237	110	80	60.5	0.14	0.67	273	151	80	27.7	0.06	0.16
238	15	200	744.6	0.27	0.80	274	149	80	6.0	0.01	0.01
239	53	150	424.8	0.28	1.15	275	69	150	220.7	0.14	0.34
240	28	150	428.0	0.28	1.17	276	56	150	284.4	0.19	0.55
241	50	150	468.5	0.31	1.38	277	111	100	43.7	0.06	0.12
242	109	150	319.8	0.21	0.68	278	63	80	65.8	0.15	0.78
243	54	80	64.2	0.15	0.75	279	59	150	248.4	0.16	0.43
244	110	80	51.3	0.12	0.49	280	86	80	1.1	0.00	0.00
245	102	80	53.5	0.12	0.53	281	48	80	64.7	0.15	0.76
246	46	80	115.5	0.27	2.21	282	55	100	255.6	0.38	3.25
247	56	80	104.3	0.24	1.83	283	270	100	42.0	0.06	0.11
248	107	100	117.4	0.17	0.77	284	780	80	120.0	0.28	2.37
249	12	80	160.0	0.37	4.04	285	153	80	0.0	0.00	0.00
250	104	80	51.4	0.12	0.49	286	135	80	144.0	0.33	3.33
251	55	80	148.2	0.34	3.51	287	76	80	0.0	0.00	0.00
252	109	80	49.9	0.11	0.47	288	39	80	150.0	0.35	3.59

Table continuation

Node ID	Leng. (m)	Dia. (mm)	Flow (CMD)	Vel. (m/s)	Unit Headloss (m/km)	Node ID	Leng. (m)	Dia. (mm)	Flow (CMD)	Vel. (m/s)	Unit Headloss (m/km)
289	81	80	0.0	0.00	0.00	304	277	100	372.0	0.55	6.51
290	83	80	168.0	0.39	4.43	305	48	200	1,572.6	0.58	3.21
291	109	80	180.0	0.41	5.03	306	98	200	1,614.9	0.59	3.37
292	45	80	0.0	0.00	0.00	307	158	150	1,176.6	0.77	7.61
293	20	80	192.0	0.44	5.67	308	103	80	37.0	0.09	0.27
294	173	100	390.0	0.57	7.10	309	6	150	883.5	0.58	4.48
295	433	100	631.5	0.93	17.33	310	19	80	18.6	0.04	0.08
296	311	80	126.0	0.29	2.60	311	203	200	1,776.9	0.65	4.02
297	315	80	90.6	0.21	1.41	312	1	200	1,776.9	0.65	4.03
298	1,004	100	107.4	0.16	0.65	313	1	200	1,572.6	0.58	3.21
299	723	200	1,435.5	0.53	2.71	314	75	150	949.5	0.62	5.12
300	322	150	906.0	0.59	4.69	315	5	150	901.5	0.59	4.65
301	348	100	408.0	0.60	7.72	316	22	400	4,699.5	0.43	0.83
302	212	80	282.0	0.65	11.55	317	311	100	78.0	0.11	0.36
303	167	80	36.0	0.08	0.26						

(2) 모델 2 - 감압밸브 유출압력 2.5kgf/cm²

모델 1보다 감압밸브 유출압력을 조금 더 낮춘 모델 2에 대한 관망해석 결과는 다음과 같다.

분석결과, 표고는 2.4~66.0m의 범위내로 분포하고 있으며, Node별 압력은 최저(Node No.209) 1.18kgf/cm²에서 최대(Node No.221) 5.40kgf/cm²의 분포를 나타내고 있으며, 평균 수압은 3.49kgf/cm²으로 분석되었다. 수압은 시설기준에서 제시하고 있는 1.5~7.1kgf/cm²를 대부분 만족하고 있는 것으로 나타났다.

Table 4.8 Number of node by pressure range - model 2

수 압 범 위	절점수(개)	비율(%)
2.0 kgf/cm ² 이하	7	3.2
2.0~3.0 kgf/cm ²	69	31.2
3.0~4.0 kgf/cm ²	67	30.3
4.0~5.0 kgf/cm ²	76	34.4
5.0 kgf/cm ² 초과	2	0.9

감압밸브 유출압력을 2.5kgf/cm²로 운용함으로써 적정범위에 속하는 2.0~4.0 gf/cm² 수압지역의 절점분포 비율이 61.5%로 크게 증가하였으며, 이는 감압밸브 유출압력을 3.0kgf/cm²로 운영했을 때 분포 비율 49.8%보다 더 높게 나타났다. 또한 블록내 수압편차도 블록구축 전 및 감압밸브 유출압력 3.0gf/cm²로 운영시 보다 작게 나타나 감압밸브 유출압력 2.5kgf/cm² 운용시가 수압관리 측면에서 가장 유리한 것으로 판단된다.

다음은 각 관로에 대한 분석 결과를 나타낸 것으로, 유량은 0~9,988.7CMD이고, 유속은 0.00~1.23m/s, 단위 손실수두는 0.00~29.11m/km로 분석되었다. 유량 및 유속 분석 결과, 일부 정체관이 다소 존재하나 블록 구축 전보다 원활하게 유량분배가 가능한 것으로 판단된다.

본 연구에서 적용한 EPANET 모델은 DDA(Demand Driven Analysis) 개념의 모형으로 절점에서의 용수수요는 항상 만족한다는 전제하에 절점 수두를 계산하였으므로 모델 1과 모델 2의 용수수요량이 동일하게 설정되었으며, Hazen-willams 기반으로 해석되어 관로의 유량, 유속 및 손실수두가 2가지 모델에서 모두 동일하게 나타났다.

Table 4.9 Result of pipe network analysis(junction) - model 2

Node ID	EL. (m)	Daily Max. Flow				Node ID	EL. (m)	Daily Max. Flow			
		Demand (CMD)	Head (m)	Pressure				Demand (CMD)	Head (m)	Pressure	
				(m)	(kgf/cm ²)					(m)	(kgf/cm ²)
1	66.0	72.00	92.41	26.36	2.64	37	4.2	421.50	29.02	24.77	2.48
2	23.4	12.00	48.45	25.00	2.50	38	4.2	36.00	47.65	43.37	4.34
3	24.5	-	48.20	23.65	2.37	39	5.1	42.00	47.78	42.60	4.26
4	24.7	-	47.97	23.22	2.32	40	2.4	372.00	23.24	20.80	2.08
5	25.1	-	47.79	22.64	2.26	41	61.9	-	74.11	12.18	1.22
6	24.7	30.00	47.61	22.87	2.29	42	40.0	-	73.62	33.55	3.36
7	24.2	12.00	47.53	23.28	2.33	43	29.7	12.00	73.07	43.29	4.33
8	24.2	-	47.52	23.28	2.33	44	29.2	15.06	73.07	43.78	4.38
9	23.9	42.00	47.78	23.84	2.38	45	32.9	7.53	73.06	40.08	4.01
10	23.1	42.00	47.63	24.48	2.45	46	31.4	120.48	73.06	41.58	4.16
11	20.7	-	47.52	26.76	2.68	47	28.2	120.48	73.07	44.78	4.48
12	22.7	24.00	47.63	24.88	2.49	48	27.6	165.66	73.06	45.37	4.54
13	20.4	42.00	47.79	27.33	2.73	49	29.8	67.77	73.06	43.18	4.32
14	23.5	18.00	47.91	24.36	2.44	50	28.6	97.89	73.06	44.37	4.44
15	23.7	18.00	48.09	24.34	2.43	51	28.3	15.06	73.06	44.67	4.47
16	20.4	24.00	48.30	27.84	2.78	52	28.3	15.06	73.06	44.67	4.47
17	17.4	30.00	48.22	30.76	3.08	53	26.5	22.59	73.06	46.47	4.65
18	17.2	36.00	48.02	30.76	3.08	54	30.4	22.59	73.06	42.58	4.26
19	13.7	48.00	47.87	34.10	3.41	55	30.9	52.71	73.06	42.08	4.21
20	13.7	30.00	47.80	34.03	3.40	56	31.2	52.71	73.06	41.78	4.18
21	17.7	18.00	47.63	29.87	2.99	57	30.9	-	73.06	42.08	4.21
22	17.0	-	47.48	30.42	3.04	58	28.9	-	73.06	44.07	4.41
23	12.3	24.00	47.59	35.22	3.52	59	35.8	7.53	73.06	37.19	3.72
24	4.7	42.00	47.69	42.91	4.29	60	33.7	22.59	73.06	39.29	3.93
25	5.1	60.00	47.76	42.58	4.26	61	25.8	18.00	70.99	45.10	4.51
26	9.1	42.00	47.83	38.65	3.87	62	25.1	36.00	70.56	45.37	4.54
27	9.1	36.00	47.92	38.74	3.87	63	25.4	30.00	70.54	45.05	4.51
28	13.5	30.00	48.12	34.56	3.46	64	25.3	36.00	70.53	45.14	4.51
29	9.4	36.00	48.05	38.58	3.86	65	25.2	12.00	70.56	45.27	4.53
30	7.6	72.00	47.83	40.15	4.02	66	24.9	6.00	70.57	45.58	4.56
31	5.3	24.00	48.02	42.64	4.26	67	24.4	6.00	70.60	46.11	4.61
32	6.1	72.00	47.79	41.61	4.16	68	23.5	6.00	70.64	47.04	4.70
33	4.4	84.00	47.66	43.17	4.32	69	22.7	-	70.68	47.89	4.79
34	7.8	18.00	47.59	39.71	3.97	70	22.8	6.00	70.68	47.79	4.78
35	4.4	6.00	47.46	42.98	4.30	71	23.9	18.00	70.63	46.64	4.66
36	3.2	6.00	47.56	44.27	4.43	72	24.7	6.00	70.59	45.80	4.58

Table continuation

Node ID	EL. (m)	Daily Max. Flow				Node ID	EL. (m)	Daily Max. Flow			
		Demand (CMD)	Head (m)	Pressure				Demand (CMD)	Head (m)	Pressure	
				(m)	(kgf/cm ²)					(m)	(kgf/cm ²)
73	25.1	18.00	70.57	45.38	4.54	109	35.1	12.00	60.04	24.89	2.49
74	24.8	12.00	70.63	45.73	4.57	110	34.8	-	60.04	25.19	2.52
75	23.2	12.00	70.68	47.39	4.74	111	38.4	414.00	90.45	51.94	5.19
76	23.3	12.00	70.69	47.29	4.73	112	34.4	631.50	82.94	48.44	4.84
77	23.3	-	70.68	47.28	4.73	113	50.5	126.00	90.95	40.37	4.04
78	23.4	-	70.67	47.18	4.72	114	57.5	-	91.75	34.19	3.42
79	23.4	6.00	70.61	47.11	4.71	115	57.1	180.00	92.20	35.03	3.50
80	23.9	30.00	70.54	46.55	4.66	116	59.8	24.00	93.40	33.54	3.35
81	24.1	12.00	70.54	46.35	4.64	117	55.1	336.00	91.60	36.43	3.64
82	24.2	54.00	70.53	46.23	4.62	118	51.3	36.00	91.56	40.18	4.02
83	25.5	30.00	70.53	44.94	4.49	119	50.3	408.00	88.00	37.62	3.76
84	25.3	48.00	70.52	45.13	4.51	120	52.4	216.00	90.69	38.21	3.82
85	25.1	36.00	70.51	45.32	4.53	121	54.5	282.00	88.24	33.67	3.37
86	24.9	24.00	70.53	45.53	4.55	122	22.2	24.00	47.39	25.14	2.51
87	23.8	18.00	70.53	46.64	4.66	123	21.5	24.00	47.35	25.80	2.58
88	24.0	30.00	70.49	46.40	4.64	124	20.8	12.00	47.35	26.50	2.65
89	24.4	6.00	70.65	46.16	4.62	125	22.2	12.00	47.40	25.15	2.52
90	25.2	84.00	70.34	45.05	4.51	126	20.7	-	47.39	26.63	2.66
91	24.9	18.00	70.65	45.65	4.57	127	20.5	6.00	47.34	26.78	2.68
92	26.2	42.00	70.47	44.18	4.42	128	19.9	-	47.31	27.36	2.74
93	26.3	18.00	70.54	44.15	4.42	129	19.3	6.00	47.26	27.90	2.79
94	26.3	12.00	70.53	44.14	4.41	130	17.5	-	47.33	29.77	2.98
95	27.3	30.00	70.52	43.13	4.31	131	17.4	6.00	47.43	29.97	3.00
96	25.2	108.00	70.09	44.80	4.48	132	5.4	12.00	47.42	41.94	4.19
97	24.4	72.00	69.92	45.43	4.54	133	5.4	42.00	33.61	28.16	2.82
98	24.4	-	70.65	46.15	4.62	134	3.3	-	41.83	38.45	3.85
99	25.8	42.00	57.61	31.74	3.17	135	6.2	6.00	47.28	41.00	4.10
100	27.9	78.00	57.64	29.68	2.97	136	11.9	18.00	47.27	35.30	3.53
101	33.2	60.00	59.49	26.24	2.62	137	18.1	18.00	47.26	29.10	2.91
102	32.4	-	59.49	27.03	2.70	138	7.3	36.00	47.11	39.73	3.97
103	32.4	144.00	59.19	26.74	2.67	139	8.5	72.00	47.12	38.54	3.85
104	33.3	6.00	59.64	26.29	2.63	140	13.6	24.00	47.18	33.52	3.35
105	33.5	-	59.64	26.09	2.61	141	13.6	36.00	47.18	33.52	3.35
106	33.7	-	59.78	26.03	2.60	142	16.3	12.00	47.20	30.84	3.08
107	33.6	18.00	59.78	26.13	2.61	143	19.4	-	47.28	27.82	2.78
108	35.1	30.00	60.15	25.00	2.50	144	20.1	24.00	47.28	27.13	2.71

Table continuation

Node ID	EL. (m)	Daily Max. Flow				Node ID	EL. (m)	Daily Max. Flow			
		Demand (CMD)	Head (m)	Pressure				Demand (CMD)	Head (m)	Pressure	
				(m)	(kgf/cm ²)					(m)	(kgf/cm ²)
145	18.5	36.00	47.22	28.67	2.87	184	25.7	6.00	46.81	21.07	2.11
146	18.4	24.00	47.21	28.75	2.88	185	25.8	-	46.80	20.96	2.10
147	14.9	24.00	47.18	32.21	3.22	186	26.4	-	46.72	20.28	2.03
148	14.9	18.00	47.11	32.15	3.22	187	23.4	-	46.68	23.24	2.32
149	12.2	24.00	47.08	34.81	3.48	188	18.2	-	46.58	28.32	2.83
150	14.8	54.00	47.08	32.22	3.22	189	13.1	18.00	46.48	33.31	3.33
151	11.8	84.00	47.06	35.18	3.52	190	13.1	24.00	46.43	33.27	3.33
152	10.1	30.00	47.01	36.84	3.68	191	10.6	78.00	46.24	35.57	3.56
153	7.6	66.00	46.92	39.24	3.92	192	9.3	66.00	46.14	36.76	3.68
154	6.1	30.00	46.80	40.62	4.06	193	7.6	84.00	46.11	38.44	3.84
155	5.9	48.00	41.80	35.83	3.58	194	8.2	168.00	46.08	37.80	3.78
156	5.9	-	41.83	35.86	3.59	195	10.8	96.00	46.11	35.24	3.52
157	6.2	90.00	46.68	40.40	4.04	196	12.3	120.00	46.09	33.72	3.37
158	6.1	36.00	46.74	40.56	4.06	197	16.7	24.00	46.18	29.42	2.94
159	7.6	60.00	46.77	39.09	3.91	198	12.7	24.00	46.20	33.44	3.34
160	9.9	36.00	46.84	36.86	3.69	199	12.7	42.00	46.23	33.46	3.35
161	11.2	18.00	46.97	35.70	3.57	200	14.3	36.00	46.40	32.03	3.20
162	11.7	30.00	46.95	35.18	3.52	201	14.3	18.00	46.47	32.10	3.21
163	15.2	24.00	47.00	31.73	3.17	202	27.3	-	46.50	19.16	1.92
164	17.6	18.00	44.61	26.96	2.70	203	20.5	6.00	44.20	23.66	2.37
165	18.8	18.00	46.92	28.06	2.81	204	31.6	6.00	44.20	12.58	1.26
166	21.1	18.00	46.89	25.74	2.57	205	18.5	-	46.50	27.94	2.79
167	24.1	24.00	44.23	20.09	2.01	206	29.5	-	46.52	16.99	1.70
168	24.1	6.00	44.20	20.06	2.01	207	26.8	6.00	46.55	19.71	1.97
169	17.5	30.00	46.81	29.25	2.93	208	18.4	-	46.55	28.09	2.81
170	14.8	30.00	46.74	31.88	3.19	209	32.3	24.00	44.13	11.81	1.18
171	11.8	84.00	46.65	34.78	3.48	210	61.9	210.00	93.56	31.60	3.16
172	9.6	60.00	46.63	36.95	3.70	211	63.1	162.00	92.74	29.58	2.96
173	9.7	72.00	46.39	36.62	3.66	212	24.0	-	47.50	23.45	2.35
174	6.4	66.00	46.30	39.82	3.98	213	24.5	30.00	47.39	22.84	2.28
175	4.3	114.00	46.29	41.91	4.19	214	23.4	-	48.44	24.99	2.50
176	3.8	102.00	46.19	42.30	4.23	215	23.4	-	70.66	47.17	4.72
177	5.2	30.00	46.20	40.92	4.09	216	61.9	-	74.11	12.18	1.22
178	8.2	54.00	46.29	38.01	3.80	217	58.3	72.00	91.76	33.39	3.34
179	11.1	24.00	46.48	35.31	3.53	218	61.9	-	93.56	31.59	3.16
180	11.2	6.00	46.56	35.29	3.53	219	61.9	-	93.55	31.59	3.16
181	17.2	12.00	46.64	29.38	2.94	220	24.9	78.00	48.33	23.38	2.34
182	21.4	-	46.70	25.25	2.53	221	35.1	-	89.22	54.01	5.40
183	23.5	6.00	46.74	23.19	2.32						

Table 4.10 Result of pipe network analysis(pipe) – model 2

Node ID	Leng. (m)	Dia. (mm)	Flow (CMD)	Vel. (m/s)	Unit Headloss (m/km)	Node ID	Leng. (m)	Dia. (mm)	Flow (CMD)	Vel. (m/s)	Unit Headloss (m/km)
1	8	400	3,559.5	0.33	0.50	37	110	80	66.5	0.15	0.80
2	135	300	3,407.4	0.56	1.86	38	62	80	58.4	0.13	0.62
3	73	200	1,202.1	0.44	1.95	39	57	80	82.9	0.19	1.20
4	131	80	96.0	0.22	1.57	40	102	80	61.2	0.14	0.68
5	66	80	97.1	0.22	1.60	41	55	80	95.1	0.22	1.54
6	127	80	92.2	0.21	1.46	42	128	80	101.3	0.23	1.73
7	130	300	3,310.3	0.54	1.77	43	62	150	422.3	0.28	1.14
8	66	80	72.7	0.17	0.94	44	57	150	285.1	0.19	0.55
9	108	300	3,237.6	0.53	1.70	45	181	100	157.2	0.23	1.32
10	82	80	91.6	0.21	1.44	46	129	80	103.9	0.24	1.82
11	66	150	86.7	0.06	0.06	47	54	80	22.2	0.05	0.10
12	38	150	44.2	0.03	0.02	48	59	80	63.2	0.15	0.72
13	105	300	3,193.4	0.52	1.65	49	140	80	72.9	0.17	0.94
14	51	300	3,191.5	0.52	1.65	50	127	100	137.3	0.20	1.03
15	3	300	3,088.2	0.51	1.55	51	55	100	31.9	0.05	0.07
16	130	150	91.3	0.06	0.07	52	62	100	103.8	0.15	0.61
17	97	80	28.0	0.06	0.16	53	55	80	84.1	0.19	1.23
18	116	80	88.9	0.20	1.36	54	106	80	76.0	0.17	1.02
19	55	80	108.0	0.25	1.95	55	56	80	105.4	0.24	1.87
20	23	80	18.8	0.04	0.08	56	61	80	8.6	0.02	0.02
21	103	80	96.2	0.22	1.58	57	105	80	60.8	0.14	0.67
22	126	150	199.2	0.13	0.28	58	60	80	51.4	0.12	0.49
23	68	80	16.9	0.04	0.06	59	125	100	50.2	0.07	0.16
24	62	80	62.0	0.14	0.70	60	56	100	178.7	0.26	1.67
25	105	80	96.9	0.22	1.60	61	100	100	133.3	0.20	0.97
26	99	100	137.7	0.20	1.03	62	888	100	372.0	0.55	6.51
27	66	150	133.3	0.09	0.13	63	174	100	793.5	1.17	26.46
28	69	150	397.9	0.26	1.02	64	16	100	222.9	0.33	2.52
29	68	80	55.3	0.13	0.56	65	16	100	254.4	0.37	3.22
30	119	150	449.0	0.29	1.28	66	961	500	9,988.7	0.59	1.14
31	61	80	82.9	0.19	1.20	67	978	500	6,429.2	0.38	0.50
32	128	150	502.9	0.33	1.58	68	1084	500	6,429.2	0.38	0.50
33	48	200	1,082.1	0.40	1.61	69	55	300	805.7	0.13	0.13
34	52	150	549.2	0.36	1.86	70	121	300	343.9	0.06	0.03
35	130	80	96.9	0.22	1.60	71	112	300	76.3	0.01	0.00
36	60	80	100.7	0.23	1.71	72	205	200	53.7	0.02	0.01

Table continuation

Node ID	Leng. (m)	Dia. (mm)	Flow (CMD)	Vel. (m/s)	Unit Headloss (m/km)	Node ID	Leng. (m)	Dia. (mm)	Flow (CMD)	Vel. (m/s)	Unit Headloss (m/km)
73	199	200	46.2	0.02	0.00	109	48	80	44.4	0.10	0.38
74	80	200	0.0	0.00	0.00	110	41	80	35.4	0.08	0.25
75	36	200	46.2	0.02	0.00	111	46	80	82.9	0.19	1.20
76	205	100	0.5	0.00	0.00	112	47	80	84.4	0.19	1.24
77	69	200	7.1	0.00	0.00	113	42	400	299.4	0.03	0.01
78	31	200	59.3	0.02	0.01	114	45	80	60.6	0.14	0.67
79	550	200	22.6	0.01	0.00	115	186	150	28.0	0.02	0.01
80	288	300	104.4	0.02	0.00	116	60	80	6.8	0.02	0.01
81	10	100	15.1	0.02	0.02	117	130	80	4.6	0.01	0.01
82	44	300	134.6	0.02	0.00	118	27	80	51.8	0.12	0.50
83	221	150	21.6	0.01	0.00	119	31	80	3.1	0.01	0.00
84	40	300	210.9	0.03	0.01	120	41	80	45.0	0.10	0.39
85	191	300	107.7	0.02	0.00	121	63	80	78.1	0.18	1.07
86	39	300	170.9	0.03	0.01	122	54	80	27.1	0.06	0.15
87	34	300	260.0	0.04	0.02	123	126	150	24.5	0.02	0.01
88	163	150	31.4	0.02	0.01	124	111	100	30.0	0.04	0.06
89	60	300	295.0	0.05	0.02	125	49	100	66.5	0.10	0.27
90	52	300	446.8	0.07	0.04	126	62	100	179.0	0.26	1.68
91	444	300	5,611.5	0.92	4.70	127	60	80	113.8	0.26	2.15
92	262	400	5,593.5	0.52	1.15	128	49	80	94.5	0.22	1.52
93	51	100	70.8	0.10	0.30	129	77	80	61.3	0.14	0.68
94	109	100	56.4	0.08	0.20	130	64	80	113.1	0.26	2.13
95	145	100	65.6	0.10	0.26	131	48	80	30.9	0.07	0.19
96	62	100	97.1	0.14	0.54	132	62	80	39.2	0.09	0.30
97	60	100	119.9	0.18	0.80	133	43	80	44.3	0.10	0.38
98	123	400	119.9	0.01	0.00	134	63	80	23.3	0.05	0.11
99	114	80	16.8	0.04	0.06	135	44	100	182.3	0.27	1.74
100	73	80	25.5	0.06	0.13	136	6	80	266.4	0.61	10.40
101	47	80	26.8	0.06	0.15	137	6	400	5,282.1	0.49	1.03
102	40	80	53.7	0.12	0.54	138	7	200	582.6	0.21	0.51
103	47	80	65.4	0.15	0.77	139	4	200	1,280.1	0.47	2.19
104	53	80	77.1	0.18	1.05	140	126	200	316.2	0.12	0.16
105	110	400	203.0	0.02	0.00	141	132	200	197.0	0.07	0.07
106	110	80	10.6	0.02	0.03	142	39	100	141.0	0.21	1.08
107	111	80	31.1	0.07	0.19	143	127	100	150.2	0.22	1.21
108	111	80	21.0	0.05	0.09	144	148	100	180.0	0.27	1.70

Table continuation

Node ID	Leng. (m)	Dia. (mm)	Flow (CMD)	Vel. (m/s)	Unit Headloss (m/km)	Node ID	Leng. (m)	Dia. (mm)	Flow (CMD)	Vel. (m/s)	Unit Headloss (m/km)
145	275	200	0.0	0.00	0.00	181	3	100	44.6	0.07	0.13
146	180	80	72.0	0.17	0.92	182	62	100	139.3	0.21	1.05
147	25	200	0.0	0.00	0.00	183	57	100	60.7	0.09	0.23
148	15	300	3,088.2	0.51	1.55	184	132	100	213.8	0.32	2.33
149	74	300	2,999.3	0.49	1.47	185	146	80	88.6	0.20	1.35
150	115	150	30.0	0.02	0.01	186	77	80	99.5	0.23	1.68
151	77	80	88.9	0.20	1.36	187	81	80	94.5	0.22	1.52
152	56	300	1,977.8	0.32	0.68	188	97	300	1,663.6	0.27	0.49
153	37	80	23.3	0.05	0.11	189	74	80	85.6	0.20	1.27
154	111	80	47.7	0.11	0.43	190	46	80	3.5	0.01	0.00
155	52	80	29.2	0.07	0.17	191	95	80	65.2	0.15	0.77
156	55	80	71.5	0.16	0.91	192	89	80	52.4	0.12	0.51
157	60	80	48.4	0.11	0.44	193	67	80	87.6	0.20	1.32
158	59	80	59.0	0.14	0.64	194	61	80	110.2	0.25	2.03
159	89	80	56.2	0.13	0.58	195	13	100	294.0	0.43	4.21
160	118	80	17.1	0.04	0.06	196	530	150	883.5	0.58	4.48
161	129	80	42.3	0.10	0.34	197	177	100	206.3	0.30	2.18
162	55	100	189.3	0.28	1.86	198	158	80	103.4	0.24	1.80
163	67	100	139.0	0.20	1.05	199	9	100	399.7	0.59	7.43
164	77	80	67.5	0.16	0.82	200	149	100	117.0	0.17	0.76
165	128	80	16.8	0.04	0.06	201	66	150	258.8	0.17	0.46
166	54	100	227.7	0.34	2.62	202	133	80	70.5	0.16	0.89
167	76	80	32.6	0.08	0.21	203	67	150	389.3	0.25	0.98
168	304	150	0.0	0.00	0.00	204	113	80	70.1	0.16	0.88
169	281	100	835.5	1.23	29.11	205	87	150	495.3	0.32	1.53
170	95	100	189.1	0.28	1.86	206	55	80	50.3	0.12	0.47
171	126	80	82.1	0.19	1.17	207	96	80	90.3	0.21	1.40
172	96	100	118.7	0.17	0.78	208	73	150	563.7	0.37	1.95
173	58	80	2.3	0.01	0.00	209	58	80	70.0	0.16	0.87
174	118	80	52.4	0.12	0.51	210	20	200	1,554.0	0.57	3.14
175	71	80	51.2	0.12	0.49	211	90	200	972.4	0.36	1.32
176	75	80	15.8	0.04	0.06	212	87	300	1,890.7	0.31	0.63
177	86	80	67.0	0.15	0.81	213	112	300	1,930.5	0.32	0.65
178	72	150	191.1	0.13	0.26	214	525	150	967.5	0.63	5.30
179	53	150	139.6	0.09	0.15	215	69	200	878.4	0.32	1.09
180	60	150	180.0	0.12	0.24	216	32	200	860.4	0.32	1.05

Table continuation

Node ID	Leng. (m)	Dia. (mm)	Flow (CMD)	Vel. (m/s)	Unit Headloss (m/km)	Node ID	Leng. (m)	Dia. (mm)	Flow (CMD)	Vel. (m/s)	Unit Headloss (m/km)
217	785	80	24.0	0.06	0.12	253	114	80	54.1	0.12	0.54
218	440	150	12.0	0.01	0.00	254	117	100	106.7	0.16	0.64
219	95	200	750.6	0.28	0.82	255	55	80	49.6	0.11	0.46
220	53	80	91.8	0.21	1.45	256	109	100	72.3	0.11	0.31
221	50	80	91.7	0.21	1.44	257	177	80	15.9	0.04	0.06
222	59	80	91.2	0.21	1.43	258	89	100	79.8	0.12	0.38
223	59	80	48.6	0.11	0.44	259	84	80	37.9	0.09	0.28
224	55	80	102.6	0.24	1.78	260	103	80	35.7	0.08	0.25
225	37	80	23.0	0.05	0.11	261	63	80	97.2	0.22	1.61
226	140	100	115.4	0.17	0.74	262	109	80	22.8	0.05	0.11
227	25	100	93.3	0.14	0.50	263	55	100	178.0	0.26	1.66
228	55	100	177.4	0.26	1.65	264	57	80	98.0	0.23	1.63
229	119	80	13.6	0.03	0.04	265	94	80	34.6	0.08	0.24
230	55	100	267.7	0.39	3.54	266	9	100	236.6	0.35	2.81
231	99	80	71.2	0.16	0.90	267	52	100	255.8	0.38	3.25
232	106	100	105.6	0.16	0.63	268	164	80	87.4	0.20	1.32
233	10	100	414.3	0.61	7.94	269	113	80	39.2	0.09	0.30
234	62	150	432.1	0.28	1.19	270	12	100	340.0	0.50	5.51
235	110	80	29.1	0.07	0.17	271	169	80	29.9	0.07	0.18
236	108	80	40.5	0.09	0.32	272	122	80	2.2	0.01	0.00
237	110	80	60.5	0.14	0.67	273	151	80	27.7	0.06	0.16
238	15	200	744.6	0.27	0.80	274	149	80	6.0	0.01	0.01
239	53	150	424.8	0.28	1.15	275	69	150	220.7	0.14	0.34
240	28	150	428.0	0.28	1.17	276	56	150	284.4	0.19	0.55
241	50	150	468.5	0.31	1.38	277	111	100	43.7	0.06	0.12
242	109	150	319.8	0.21	0.68	278	63	80	65.8	0.15	0.78
243	54	80	64.2	0.15	0.75	279	59	150	248.4	0.16	0.43
244	110	80	51.3	0.12	0.49	280	86	80	1.1	0.00	0.00
245	102	80	53.5	0.12	0.53	281	48	80	64.7	0.15	0.76
246	46	80	115.5	0.27	2.21	282	55	100	255.6	0.38	3.25
247	56	80	104.3	0.24	1.83	283	270	100	42.0	0.06	0.11
248	107	100	117.4	0.17	0.77	284	780	80	120.0	0.28	2.37
249	12	80	160.0	0.37	4.04	285	153	80	0.0	0.00	0.00
250	104	80	51.4	0.12	0.49	286	135	80	144.0	0.33	3.33
251	55	80	148.2	0.34	3.51	287	76	80	0.0	0.00	0.00
252	109	80	49.9	0.11	0.47	288	39	80	150.0	0.35	3.59

Table continuation

Node ID	Leng. (m)	Dia. (mm)	Flow (CMD)	Vel. (m/s)	Unit Headloss (m/km)	Node ID	Leng. (m)	Dia. (mm)	Flow (CMD)	Vel. (m/s)	Unit Headloss (m/km)
289	81	80	0.0	0.00	0.00	304	277	100	372.0	0.55	6.51
290	83	80	168.0	0.39	4.43	305	48	200	1,572.6	0.58	3.21
291	109	80	180.0	0.41	5.03	306	98	200	1,614.9	0.59	3.37
292	45	80	0.0	0.00	0.00	307	158	150	1,176.6	0.77	7.61
293	20	80	192.0	0.44	5.67	308	103	80	37.0	0.09	0.27
294	173	100	390.0	0.57	7.10	309	6	150	883.5	0.58	4.48
295	433	100	631.5	0.93	17.33	310	19	80	18.6	0.04	0.08
296	311	80	126.0	0.29	2.60	311	203	200	1,776.9	0.65	4.02
297	315	80	90.6	0.21	1.41	312	1	200	1,776.9	0.65	4.02
298	1004	100	107.4	0.16	0.65	313	1	200	1,572.6	0.58	3.21
299	723	200	1,435.5	0.53	2.71	314	75	150	949.5	0.62	5.12
300	322	150	906.0	0.59	4.69	315	5	150	901.5	0.59	4.65
301	348	100	408.0	0.60	7.72	316	22	400	4,699.5	0.43	0.83
302	212	80	282.0	0.65	11.55	317	311	100	78.0	0.11	0.36
303	167	80	36.0	0.08	0.26						

4.2 누수량 추정

본 연구에서는 영국의 A Lambert(2001)가 제안한 수압과 누수량의 관계식을 이용하여 블록시스템 구축 전과 후의 누수량을 추정하고 블록시스템 구축에 의한 누수량 절감량을 추정하였다.

$$L_1/L_0=(P_1/P_0)^{N_1} \quad (4.1)$$

여기서, L_1, L_0 : 블록시스템 구축 후 및 구축 전의 누수량

P_1, P_0 : 블록시스템 구축 후 및 구축 전의 수압

N_1 : 적용하는 지수, 주로 0.5~1.5

Lambert는 지수값 N_1 에 대하여 관재질, 누수 부위, 파손형태에 따라 N_1 값은 0.5~2.5의 범위로 나타나며 연결부와 접합부에서 발생하는 탐지가 불가능한 배

경누수가 손실량의 대부분을 차지하는 시스템에서는 일반적으로 1.5에 가까운 값을 나타내며 플라스틱 재질의 관로에서 탐지 가능한 누수가 누수부위의 대부분을 차지하는 경우에는 1.5이상의 값을 나타내며, 금속재질관의 경우에는 0.5에 가까운 값을 나타낸다고 하였고 관재질과 누수율에 대한 자료가 없는 경우는 1.0으로 가정한다고 하였다.

4.2.1 블록시스템 구축 전 누수량 추정

블록시스템 구축 전 연구대상구역의 누수량은 수요량과 유수율을 바탕으로 추정하였으며 그 결과는 Table 4.11과 같다.

Table 4.11 Estimating result of leakage flow rates before establishing water distribution block system

구 분	수요량	추정누수량	유수율
연구대상구역	9,838.7m ³ /d	4,420.3m ³ /d	69.0%

4.2.2 블록시스템 구축 후 누수량 추정

블록시스템 구축 후 누수량은 블록시스템 구축 전 누수량에 상기 식(4.1)을 이용하여 수압변화에 따른 누수량을 추정하였으며, 다음과 같은 4가지 경우를 고려하여 추정하였다.

첫째, 감압밸브 유출압력 3.0kgf/cm², 누수추정지수 $N_1=1$ 인 경우(Case 1)

둘째, 감압밸브 유출압력 3.0kgf/cm², 누수추정지수 $N_1=1.5$ 인 경우(Case 2)

셋째, 감압밸브 유출압력 2.5kgf/cm², 누수추정지수 $N_1=1$ 인 경우(Case 3)

넷째, 감압밸브 유출압력 2.5kgf/cm², 누수추정지수 $N_1=1.5$ 인 경우(Case 4)

Table 4.12 Estimating result of leakage flow rates after establishing water distribution block system

구 분	수요량	추정누수량	유수율
Case 1	9,838.7m ³ /d	3,520.2m ³ /d	73.6%
Case 2		3,220.3m ³ /d	75.3%
Case 3		3,348.9m ³ /d	74.6%
Case 4		3,028.1m ³ /d	76.5%

감압밸브의 유출압력을 3.0kgf/cm²으로 설정한 Case 1의 경우 추정누수량은 3,520.7m³/d로 블록시스템 구축 전보다 900.1m³/d의 누수량이 절감되었으며, 유수율은 73.6%로 4.6% 포인트 상승하였다. 또한 Case 2의 경우 추정누수량은 3,220.3m³/d로 1,200.0m³/d의 누수량이 절감되었으며 유수율은 75.3%로 블록시스템 구축 전보다 6.3% 포인트 상승하였다.

반면, 감압밸브의 유출압력을 2.5kgf/cm²으로 설정한 Case 3의 경우 추정누수량은 3,348.9m³/d로 블록시스템 구축 전보다 1,017.3m³/d의 누수량이 절감되었으며, 유수율은 74.6%로 5.6% 포인트 상승하였다. 또한 Case 4의 경우 추정누수량은 3,028.1m³/d로 1,392.2m³/d의 누수량이 절감되었으며 유수율은 76.5%로 블록시스템 구축 전보다 7.5% 포인트 상승하였다.

검토 결과, 블록시스템 구축 후 수압조정에 따른 누수량 절감효과는 감압밸브 유출압력을 3.0kgf/cm²으로 설정한 Case 1과 2의 경우보다 2.5kgf/cm²으로 설정한 Case 3과 4의 경우가 더 큰 것으로 확인되었다. 따라서 감압밸브 유출압력은 2.5kgf/cm²으로 설정하는 것이 누수량 절감에 유리한 것으로 판단되며 향후 블록시스템 구축 이후 실제 운영시에는 급수여건에 따라서 최소동수압 1.53kgf/cm²이상을 만족하는 조건 하에서 수압편차가 고르게 분포되도록 최적조건으로 조정하여야 한다.

단, 본 누수량 절감효과는 블록시스템 구축 이후 수압조정에 의한 추정결과이므로 실제 블록시스템 구축시 누수탐사를 통한 누수복구 및 노후관 정비 등을 수행한다면 유수율은 더욱 상승할 것으로 판단된다.

4.3 블록시스템 구축에 따른 경제성 평가

본 절에서는 블록시스템 구축 후 수압조절에 의한 누수량 저감 및 유수율 제고 등에 대한 경제성 효과를 분석하여 블록시스템 구축사업의 타당성을 검토하였다.

경제성 평가는 누수량 저감 및 유수율 제고에 따른 편익과 블록시스템 구축 및 유지관리에 소요되는 비용을 산정하여 편익/비용(B/C) 분석을 통해 수행하였다.

4.3.1 분석기법

경제적 타당성을 평가하기 위해서는 우선 편익/비용 비율(Benefit-Cost Ratio, B/C비)을 구한다. 편익/비용 비율이란 총편익과 총비용의 할인된 금액의 비율, 즉 장래에 발생될 비용과 편익을 현재가치로 환산하여 편익의 현재가치를 비용의 현재가치로 나눈 것이며, 일반적으로 편익/비용비 ≥ 1 이면 경제성이 있다고 판단된다.

$$\text{편익} \cdot \text{비용비율(B/C비)} = \frac{\sum_{t=0}^n \frac{B_t}{(1+r)^t}}{\sum_{t=0}^n \frac{C_t}{(1+r)^t}}$$

여기서 B_t = 편익의 현재가치

C_t = 비용의 현재가치

r = 할인율(이자율)

n = 사업의 내구년도(분석기간)

두 번째로 순현재가치(Net Present Value, NPV)를 추정하는 것도 중요하다. 순현재가치란 사업에 수반된 모든 비용과 편익을 기준년도의 현재가치로 할인하여 총편익에서 총비용을 제한 값이며, 순현재가치 ≥ 0 이면 경제성이 있다.

$$\text{순현재가치(NPV)} = \sum_{t=0}^n \frac{B_t}{(1+r)^t} - \sum_{t=0}^n \frac{C_t}{(1+r)^t}$$

4.3.2 편익추정(제주특별자치도, 2011)

블록시스템 구축으로 인한 편익은 화폐가치로 쉽게 추정이 가능한 직접적인 편익과 외부적인 요인에 의한 화폐가치화 하기 어려운 간접적인 편익이 있으며 편익 발생에 따른 수혜자들에 따라 얻는 편익이 다르다.

경제적 효과는 이용자의 편익과 지역사회 및 지역경제의 편익 그리고 공공부문의 효과로 구분되어지나 이 모든 항목의 편익을 계량화하여 화폐가치화 하는 것은 현실적으로 힘들기 때문에 블록시스템 구축사업의 효과와 편익가운데 동시에 화폐가치화 할수 있는 항목을 위주로 산정하였다.

(1) 정수생산비용 절감효과

연구대상지역의 블록시스템 구축 완료시 누수저감에 따른 정수생산비용 절감 효과 산출을 위해 제주특별자치도 정수총괄원가를 적용하여 검토하였다.

Table 4.13 Saving cost in water production

구 분	상수도생산원가 (원/톤)	누수절감량 (m ³ /년)	연간절감비용 (백만원/년)
Case 1	985	328,525	324
Case 2		437,999	431
Case 3		391,041	385
Case 4		508,163	501

자료 : 상수도통계(2010, 환경부)

(2) 정수공급비용 절감효과

정수장에서 생산된 정수를 각 가정으로 공급하는 비용의 산출은 상수도 통계 자료로는 정확히 구분하기 어려우므로 정수공급비용은 정수생산비용의 20%를 적용하여 절감비용을 산출하였다.

Table 4.14 Saving cost in water supply

구 분	정수생산절감비용 (백만원/년)	정수공급비용비율	정수공급절감비용 (백만원/년)
Case 1	324	20%	65
Case 2	431		86
Case 3	385		77
Case 4	501		100

(3) 하수처리비용 절감 효과

누수량이 하수관거로 침입(Inflow)되는 것으로 가정하여 블록시스템 구축시 누수저감에 따른 누수량 감소를 기대할 수 있다. 이에 따른 하수처리비용 절감 효과를 분석하였는데 하수처리비용은 처리원가를 기준으로 산정하였으며 하수관으로의 유입이 앞으로 전체 누수량의 30% 정도 발생하는 것으로 가정하여 누수저감에 따른 하수처리비용 절감효과를 산정하였다.

Table 4.15 Saving cost in sewer treatment

구 분	하수처리단가 (원/톤)	하수량감소량 (m ³ /년)	연간절감비용 (백만원/년)
Case 1	907	98,558	89
Case 2		131,400	119
Case 3		117,312	106
Case 4		152,449	138

자료 : 하수도통계(2010, 환경부)

(4) 편익 합계

블록시스템 구축시 누수저감에 따른 효과는 정수생산비용, 정수공급비용, 하수처리비용 절감이 있으며 그 합계는 다음 표와 같다.

Table 4.16 Total benefit by establishing water distribution block system

구 분	편익합계 (백만원/년)	정수생산절감 (백만원/년)	정수공급절감 (백만원/년)	하수처리절감 (백만원/년)
Case 1	478	324	65	89
Case 2	636	431	86	119
Case 3	568	385	77	106
Case 4	739	501	100	138

4.3.3 비용추정(제주특별자치도, 2011)

블록시스템 구축으로 인한 총 비용의 구성은 블록구축 사업비, 유지관리비 및 기자재비이며, Table 4.17과 같으며, 세부 내역은 부록에 수록하였다.

블록시스템 구축 사업비는 블록구축시 소요되는 관로 신설 및 개량, 각종 밸브(경계밸브, 공기밸브, 이토밸브) 설치, 유량계 및 수압계 설치, 감압밸브 설치, 유지관리시스템 구축 등에 대한 사업비용이며 2,952백만원으로 나타났다.

유지관리비는 블록시스템 구축 다음 년도부터 소요되는 유지관리에 대한 비용으로 연간 50백만원으로 산정하였다.

기자재 설치비는 기계·전기·계측제어 설비로 구성되며 내용년수 15년을 기준으로 블록시스템 구축 이후 15년이 지난 시점에 소요되는 비용으로 799백만원으로 산정하였다.

Table 4.17 Total cost by establishing water distribution block system

구 분	블록구축 사업비 (백만원/년)	유지관리비 (백만원/년)	기자재 설치비 (백만원/년)
비 용	2,952	50	799

4.3.4 편익/비용분석(B/C Ratio)

(1) 분석개요

블록시스템 구축의 편익/비용 분석은 계량화된 비용과 편익을 반영하여 분석하였으며, 블록시스템 구축에 대한 편익은 정수생산량 절감, 정수공급량 절감, 하수처리량 절감에 의한 편익이며, 블록시스템 구축에 대한 비용은 블록구축 사업비, 유지관리비 및 기자재 설치비로 구성되었다.

(2) 분석개요

분석대상기간 즉 비용과 편익의 발생기간은 사업대상시설물 중 관로 등 토목 설비는 경제적 내용년수 30년, 기계·전기·계측제어 설비는 내용년수를 15년으로 하여 총 30년에 대한 편익/비용 분석을 수행하였다.

또한 경제적 분석을 위해 적용되는 할인율은 「예비타당성조사 수행을 위한 일반지침(2004, 개정판)」에서 제시한 6.0%를 적용하였다.

(3) 편익/비용분석(B/C Ratio) 결과

연구대상지역의 편익/비용분석 결과는 기준 할인율인 6% 가정하에 다음표와 같이 분석되었다.

Case 1의 경우 편익은 6,496백만원, 비용은 3,965백만원으로 순편익은 2,531백만원으로 산출되어 편익/비용(B/C Ratio)은 1.64로 분석되었다. 또한 Case 2, 3, 4의 경우 편익/비용(B/C Ratio)는 각각 2.18, 1.95 및 2.53으로 나타나 4 경우 모두 경제적 타당성이 있는 것으로 나타났다.

Table 4.18 B/C ratio

(Unit : 백만원)

구 분	편익현가	비용현가	순현재가치	B/C Ratio
Case 1	6,496	3,965	2,531	1.64
Case 2	8,657	3,965	4,692	2.18
Case 3	7,733	3,965	3,768	1.95
Case 4	10,044	3,965	6,079	2.53

V. 결론

국내에서는 아직까지 상수도 관망의 누수로 인하여 막대한 물손실을 겪고 있으며, 이는 수자원 부족이 예상되는 국내 현실을 감안할 때 중요한 수자원의 낭비뿐만 아니라 상당한 에너지 손실이라고 할 수 있다. 따라서 상수도 관망의 최적관리를 위해 우선적으로 수행되는 블록시스템 구축사업에 대한 효과를 누수저감 측면에서 분석하고자 본 연구를 수행하였으며 그 결과는 다음과 같다.

- (1) 현재 연구대상지역에 대한 관망해석 결과, 수압은 시설기준에서 제시하고 있는 $1.5 \sim 7.1 \text{kgf/cm}^2$ 를 대부분 만족하고 있으나, 평균 수압은 5.17kgf/cm^2 로 대부분의 지역이 수압이 다소 높은 것으로 나타났다.
- (2) 연구대상지역에 대한 블록시스템 구축계획을 반영하여, 블록시스템 구축 이후에 대한 관망해석을 실시하였으며, 감압밸브 유출압력 조건에 따라 2가지 경우를 가정하여 수행하였다. 수행결과, 감압밸브 유출압력을 3.0kgf/cm^2 로 한 모델 1의 경우 평균압력은 3.81kgf/cm^2 로 나타났으며, 감압밸브 유출압력을 2.5kgf/cm^2 로 한 모델 2의 경우 평균압력은 3.49kgf/cm^2 로 나타났다.
- (3) 감압밸브 유출압력과 누수추정지수 N_1 조건에 따라 4가지 경우를 고려하여 누수량을 추정하였으며, 추정결과 Case 4(감압밸브 유출압력 2.5kgf/cm^2 , 누수추정지수 $N_1=1.5$)의 경우가 추정누수량이 $4,420.3 \text{m}^3/\text{d}$ 에서 $3,028.1 \text{m}^3/\text{d}$ 로 감소되었으며, 유수율은 69.0%에서 76.5%로 상승하는 것으로 가장 많이 절감되는 것으로 예측되었다.
- (4) 블록시스템 구축에 따른 절감누수량 추정결과를 바탕으로 편익/비용 분석을 실시한 결과 4가지 Case 모두 B/C Ratio가 1.0 이상으로 나타나 블록시스템 구축 사업은 경제적으로 타당한 것으로 분석되었다.

본 연구결과는 관망해석을 통한 예측결과이므로 실제 블록시스템 구축시 얻을 수 있는 효과는 다소 상이할 수 있으나, 블록시스템 구축 후 수압제어만으로도 누수량을 절감하는데 매우 효과적인 것으로 판단된다. 또한 블록 구축 시 노후관 개량 및 교체, 누수탐사 및 복구 등의 사업을 병행한다면 누수저감 및 유수율 향상효과는 더욱 더 클 것으로 판단된다.

본 연구에서 분석한 블록시스템의 구축 효과는 블록시스템이 가지고 있는 기능 중 일부분에 대한 것으로, 실제 블록시스템과 유지관리시스템이 구축되고 과학적이고 합리적인 관망정비가 이루어진다면 수도경영의 효율화 및 급수서비스 향상 등을 이룰 수 있을 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

1. 김경필, 2009, “상수도 관망의 누수량 최적관리 모델의 개발과 적용성 평가” 박사학위논문, 서울시립대학교대학원, p129~155.
2. 김진근, 이송희, 김재원, 2010, “급속여과공정에서 여과수질 저하원인 및 개선방안”, 상하수도학회지, 24(3), 333-339.
3. 이진호, 김신걸, 정신호, 구자용, 2006, “PRV(s)를 이용한 누수량 저감효과 분석”, 대한상하수도학회 2006 춘계학술발표회 논문집, p731~741.
4. 최성규, 안병찬, 2001, “GIS와 EPANET 상수관망모델의 연계방안 연구”, 한국GIS학회지, 제9권 제3호.
5. 최철식, 2008, “대구광역시의 배수관망관리에서 블록시스템의 도입효과에 관한 연구” 박사학위논문, 영남대학교대학원, p19~24.
6. 제주특별자치도, 2008, 제주특별자치도 수도정비기본계획.
7. 제주특별자치도, 2011, 상수도관망 최적관리시스템 구축 기본계획.
8. 환경부, 2001, 유수율 제고 업무처리 규정.
9. 환경부, 2004, 상수도시설기준.
10. 환경부, 2007, 유수율 제고사업 추진 매뉴얼
11. 환경부, 2010a, 상수도시설기준.
12. 환경부, 2010b, 상수도 통계연보.
13. 환경부, 2010c, 하수도 통계연보.
14. 한국수자원공사, 2004, 수도관망 해석과정, p164~280.
15. 한국수자원공사, 2005. 9, 관망정비 업무매뉴얼.

16. STERLING M and BARGIELA A., 1984. "Leakage reduction by optimised control of valves in water networks", Transactions of Inst. Measurement and Control. 6, 293-298.
17. Lambert, A.O., 2002, "International report on water losses management and techniques", Water Science and Technology : Water Supply, Vol.2, No.4, p1 ~20.
18. Lambert, A.O., 2001, "What do we know about pressure:leakage relationships in water distribution systems?", IWA Conference system approach to leakage control and waer distribution systems management in Brno, Czech Republic.
19. Lewis A, Rossman, 2000, "EPANET2 Users Manual", Water Supply and Water Resources Division National Risk Management Research Laboratory, Cincinnati, OH 45268
20. Thornton, J., Shaw, M., Aguiar, M., Liemberger, R., 2005, "How low cau yo go? A practical approach to pressure control in low pressure systems", Leakage 2005 Conference Proceedings.

부 록

블록시스템 구축 개략공사비

구 분	관 경	연 장	M당 단가	공사비	비고
1) 관로신설 (DCIP)	Φ150	L=85	139,449	11,867,110	
	Φ200	L=98	158,196	15,534,847	
	Φ400	L=8	271,114	2,033,355	
	계			29,435,312	
2) 관로개량 (DCIP) -철거비용 포함(관로신설*1.5)	Φ100	L=2234.5	179,202	400,426,869	
	Φ150	L=480.4	209,174	100,486,949	
	Φ200	L=723.3	237,294	171,634,750	
	계			672,548,568	
3) 경계변설치	Φ100	1개소	9,624,000	9,624,000	
	계			9,624,000	
4) 공기변설치	Φ80	4개소	9,320,000	37,280,000	
	Φ100	8개소	9,422,000	75,376,000	
	Φ150	7개소	9,514,000	66,598,000	
	Φ200	2개소	9,637,000	19,274,000	
	Φ300	1개소	9,994,000	9,994,000	
	계			208,522,000	
5) 이토변설치	Φ80	1개소	9,535,000	9,535,000	
	Φ100	6개소	9,653,000	57,918,000	
	Φ150	7개소	9,745,000	68,215,000	
	Φ200	1개소	9,869,000	9,869,000	
	Φ300	2개소	10,179,000	20,358,000	
	Φ400	1개소	10,365,000	10,365,000	
	계			176,260,000	
6) 가압펌프설치	Φ200	1개소	9,967,000	9,967,000	
	계			9,967,000	
7) 감압변설치	Φ400	2개소	12,845,000	25,690,000	
8) 유량계설치	Φ400	2개소	32,173,000	64,346,000	
9) 부대공		공사비20%		239,278,576	

구 분	관 경	연 장	M당 단가	공사비	비고
10) 기자재비 (경계변)	Φ80	1개소	5,052,000	5,052,000	
11) 기자재비 (공기변)	Φ80	4개소	259,000	1,036,000	
	Φ100	8개소	322,000	2,576,000	
	Φ150	7개소	640,000	4,480,000	
	Φ200	2개소	1,282,000	2,564,000	
	Φ300	1개소	1,282,000	1,282,000	
	계			11,938,000	
12) 기자재비 (이토변)	Φ80	1개소	265,000	265,000	
	Φ100	6개소	325,000	1,950,000	
	Φ150	7개소	625,000	4,375,000	
	Φ200	1개소	887,000	887,000	
	Φ300	2개소	1,720,000	3,440,000	
	Φ400	1개소	3,050,000	3,050,000	
	계			13,967,000	
13) 기자재비(가압펌프)	Φ200	1개소	8,444,000	8,444,000	
14) 기자재비(감압변)	Φ400	2개소	80,104,000	160,208,000	
15) 기자재비(유량계)	Φ400	2개소	26,100,000	52,200,000	
16) 제수변 개방울		1개소	1,000,000	1,000,000	
17) 다이아플램식 압력계		2개소	1,200,000	2,400,000	
18) 수질계측기 (PH, 탁도, 잔류염소, 전도도)		1개소	57,000,000	57,000,000	
19) 현장제어반		1개소	20,300,000	20,300,000	
20) 감시제어시스템 구축		1식	200,000,000	200,000,000	
순공사비 계				1,968,180,456	
공사비		체경비(50%)		2,952,270,684	부가세포함

블록시스템 구축 기자재비

구 분	관 경	연 장	M당 단가	공사비	비고
1) 기자재비 (경계변)	Φ80	1개소	5,052,000	5,052,000	
2) 기자재비 (공기변)	Φ80	4개소	259,000	1,036,000	
	Φ100	8개소	322,000	2,576,000	
	Φ150	7개소	640,000	4,480,000	
	Φ200	2개소	1,282,000	2,564,000	
	Φ300	1개소	1,282,000	1,282,000	
	계				11,938,000
3) 기자재비 (이토변)	Φ80	1개소	265,000	265,000	
	Φ100	6개소	325,000	1,950,000	
	Φ150	7개소	625,000	4,375,000	
	Φ200	1개소	887,000	887,000	
	Φ300	2개소	1,720,000	3,440,000	
	Φ400	1개소	3,050,000	3,050,000	
	계				13,967,000
4) 기자재비(가압펌프)	Φ200	1개소	8,444,000	8,444,000	
5) 기자재비(감압변)	Φ400	2개소	80,104,000	160,208,000	
6) 기자재비(유량계)	Φ400	2개소	26,100,000	52,200,000	
7) 제수변 개방울		1개소	1,000,000	1,000,000	
8) 다이아플렉식 압력계		2개소	1,200,000	2,400,000	
9) 수질계측기 (PH, 탁도, 잔류염소, 전도도)		1개소	57,000,000	57,000,000	
10) 현장제어반		1개소	20,300,000	20,300,000	
21) 감시제어시스템 구축		1식	200,000,000	200,000,000	
순공사비 계				532,509,000	
공사비	제경비(50%)			798,763,500	부가세포함