한국산학기술학회논문지
Vol. 11, No. 8 pp. 2989-2998, 2010

상수도 관망의 유수율 향상을 위한 블록감시제어시스템 구축 및 활용에 관한 연구

윤문중[1], 이창구[2*]
[1]Kwater 수도관리처, [2]전북대학교 전자공학부

Development and application of DMA monitoring system to reduce water losses in water supply network

Moon-Jung Yoon[1] and Chang-Goo Lee[2*]
[1]**kwater**
[2]**Division of Electronics Engineering, Chonbuk National University**

요 약 본 연구는 상수도 관망의 유수율 제고를 위하여 블록 및 블록감시제어시스템 구축과 이에 따른 블록별 유량 및 압력자료를 효율적으로 분석하고 활용하기 위한 기술을 연구하고 제시하는데 있다. 본 연구를 위하여 J시 상수도의 효율적인 관망관리를 위한 블록경계 및 블록감시제어시스템 구축 현황을 조사하였으며, 시스템구축에 따른 유수율 제고 목표달성을 위하여 현 시스템의 문제점을 분석하고 문제해결을 위한 유수율 분석 프로그램을 개발하여 적용하였으며 이에 따른 효과도 분석 제시하였다.

Abstract This study proposes the DMA(District Metered Area) operation technologies to reduce water losses in water supply network, such as development of DMA control and monitoring system and analysis method of DMA water flow and pressure analysis. DMA boundary analysis and control and monitoring systems of J city was studied in advance, and some problems to be improved was presented. Water losses analysis program was developed to assess the effects of this study.

Key Words : Control and Monitoring system, DMA(District Metered Area)

1. 서론

1.1 연구의 목적 및 배경

근대적 개념의 상수도가 도입된 이후로 현재의 상수도는 보급율과 수처리 기술의 향상 등 괄목할 만한 발전과 성장을 이루어 왔다. 그러나 최근 기후변화로 인한 지역별 물부족 현상과 수질오염 심화 등 물산업 전반의 위기관리가 이슈화되어 새로운 물관리와 환경개선의 필요성이 대두되었으며 이 중 상수도 관망의 효율적인 관리가 절실히 요구되고 있다.

본 연구는 상수도 관망의 유수율 제고를 위하여 블록시스템 및 블록감시제어시스템 구축과 이에 따른 블록별 유량 및 압력자료를 효율적으로 분석하고 활용하기 위한 기술을 연구하고 제시하는데 있다.

1.2 연구의 내용 및 구성

본 연구는 J시 상수도의 효율적인 관망관리를 위한 블록경계 및 블록감시제어시스템 구축 현황을 조사하고, 시스템구축에 따른 유수율 제고 목표달성을 위하여 현 시스템의 문제점을 분석함으로서 문제해결을 위한 유수율 분석 프로그램을 개발하여 적용하였으며 이에 따른 효과를 분석하였다.

첫째, 상수도 관망의 블록시스템 개념과 블록시스템의 기능 및 효과에 대하여 조사하였다. 또한, 서울시 등의 블록구축 사례와 논산시 등의 블록감시제어시스템 구축 사례도 조사하였다.

*교신저자 : 이창구(changgoo@chonbuk.ac.kr)
접수일 10년 06월 04일 수정일 10년 08월 01일 게재확정일 10년 08월 10일

둘째, 블록시스템 구축 목적은 상수도 관망의 효율적 관리 뿐 만 아니라 유수율 제고를 목적으로 하기 때문에 유수율 정의 및 분석방법과 유수율 관리절차에 대한 이론들을 조사하였다.

세째, 연구대상 지역인 J시의 상수도 현황 및 블록경계 설정 현황과 블록감시제어시스템 구축에 필수설비인 원격감시제어시스템(TM/TC), 유량계, 수압계 및 감압밸브 등에 대한 설치목적, 설치시 고려사항 및 설치현황 등을 조사하였다.

넷째, 유수율제고를 위하여는 블록감시제어시스템 구축에 따른 블록별 유량 및 압력 데이터를 활용하여 정확하고 신속한 유수율 분석이 선행되어야 한다. 따라서, 유수율분석을 위한 분석 프로그램을 개발하고 현장에 적용하였으며 적용한 프로그램의 활용 결과를 연구하였다.

2. 이론적 고찰

2.1 상수도 관망의 블록시스템[2,6-8,13]

2.1.1 개념

블록시스템(Block System)의 개념은 용어대로 배수관망을 대, 중, 소의 단위구역으로 나누어 적정 수압 및 수량이 유지되도록 하고 개별 블록에 대하여 직접 또는 야간의 최소 물 사용시 유량을 측정하여 누수방지 수행하기 위한 단위 구역을 말한다.

블록시스템은 수돗물 공급과정에서의 누수 및 수질오염 예방과 유수율 제고를 위한 송·배수시설의 효율적 운영 관리체계를 구축하기 위함으로 아래와 같이 단계별로 사업을 시행한다.

○ 제 1단계 : 블록설정
○ 제 2단계 : 블록별 수도관 정비
○ 제 3단계 : 유량계 등 설치 및 상수도 시설물 정비
○ 제 4단계 : 블록별 유수율, 누수율 등 분석
○ 제 5단계 : TM/TC에 의한 블록별 전산화 관리

2.1.2 블록시스템 구축 방법

상수도 배수관망에 블록시스템을 구축하기 위해서는 급수지역, 지형여건, 급수여건 등을 고려하여 배수관망을 관리하기 위한 구역별로 구역을 고립시켜야 한다. 구역고립이란 독립된 구역내의 유입량을 계측할 수 있는 시설인 유량계 및 유량계실을 설치하고 상시 유입량을 계측하는 시스템 구축이 필요하다. 비교적 광역의 급수구역을 블록시스템 구축 계획에 의한 소블록화로 완전 독립시키기 위하여 밸브 및 관망을 정비하고 독립된 유입량 및 사용량을 계측하여 유량감시와 단수구역 최소화 등의 급수관리를 용이 하게 할 수 있도록 소블록화로 구축하는 것을 말한다.

[표 1] 블록설정(분할) 기준

구 분	내 용
대블록	• 정수장의 송수계통 급수구역 • 도로(폭 25m 이상), 하천 및 복개천, 철도 등을 경계
중블록	• 가압장 및 배수지 급수구역 • 도로(8m이상), 철도, 하천 및 복개천, 하수본관, 행정구역 등을 경계 • 소블록 5~10개를 포함
소블록	• 도로(8m 이하), 철도, 하천 및 복개천, 하수복관, 행정구역, 공원, 공단, 대단위 아파트 등을 경계 • 급수전 500~1,500전 규모

2.1.3 블록시스템 기능 및 효과

블록시스템의 주요기능은 정보취득과 평상시 유지관리 및 긴급시 대응측면으로 나누어 볼 수 있다. 정보취득 측면에서는 수량, 수압, 수질 등 주요인자에 대해 분할된 대·중·소블록 단위의 측정, 분석 및 감시를 세분화할 수 있게 하며, 평상시에는 안정적인 수량관리, 적정 수압유지 및 적수발생 대처 등 관망운영 및 유지관리가 용이하게 된다. 또한, 가뭄발생, 수질오염사고 발생 등으로 인한 피해지역을 최소화하고 안전하고 안정적인 용수를 공급할 수 있다. 블록시스템 구축의 효과로는 다음과 같다.

[표 2] 블록시스템 구축 효과

효 과	내 용
계획수립의 용 이 성	• 지역별 수량파악이 용이하여 합리적인 수량배분 계획 수립가능 • 물 수요량 변화에 따른 배수관의 증설 규모 및 시기를 합리적으로 선정가능 • 소블록 내 관망조직을 명확히 파악하여 효율적인 노후관 정비계획을 수립가능
배수관망 관리성의 향 상 (수량관리 향상)	• 수질변화에 대한 신속한 대처가 가능하며, 영향범위 최소화 가능 • 수압조절(감·가압)의 필요성을 파악할 수 있으며 출수불량지역에 대한 검토 용이 • 블록별 물의 사용처가 분명해지므로 물수요의 변화에 따른 탄력적 대응 가능
상시유지 관리성의 향 상	• 소블록의 유입량 측정 및 물 사용량에 따른 유수율 분석 용이 • 불가피한 단수 작업시 최소한의 단수구역으로 작업가능 • 배수관의 기능 파악이 용이하며, 집중적인 누수탐사를 수행가능
비상시의 대 응 력 향 상	• 적수, 단수, 사고재해 등의 원인과 영향범위 파악이 용이하여 신속한 대응가능 • 블록간 비상연락관을 설치하여 시설운영의 탄력성 및 응급상황 대처능력 향상

2.2 유수율제고 기법

2.2.1 유수율의 정의 [3,8,13]

유수율이란 정수장에서 생산된 양 및 정수 수입량의 총수량에 대한 요금으로 징수되는 수량(유수수량)의 비율을 의미한다. 유수율을 산정하는데 있어 기준이 되는 총량을 총급수량으로 정의하고 있으며, 유수수량 및 무수수량 등 세부성분별 분석을 총괄 수량수지 분석이라 한다. 유수율 산정과 관련된 용어 및 체계는 다음과 같다.

(1) 유수율(%):(유수수량 / 총급수량) × 100

(2) 무수율(%):[(유효무수수량 + 무효수량)/총급수량] × 100

(3) 누수율(%):(누수량 / 총급수량) × 100

[표 3] 총괄 수량수지 분석

총급수량 직접 혹은 간접적으로 공급한 총수량 (정수장에서 생산된 량 및 정수수입량)	**유효수량** 사용상 유효하다고 인정되는 수량	**유수수량** 수도요금으로 또는 타 회계 등에서 수입이 있는 수량		계량요금수량	계량기에서 직접 계측되어 수도요금을 징수하는 수량
				미계량 요금수량	계량기로 계측되지 않은 채 수도요금이 부과되는 수량
				분수량	다른 수도사업자에게 분수하는 수량
				기타 부과 량	공공 공원 녹지 용수, 공중변소용수 등 타회계로부터 요금징수로 수입이 있는 수량
		유효무수수량 유효수량 중 수입이 없는 수량	**무수수량** 수입이 없는 수량	계 량 기 불감수량	사용되었으나 계량기에 감지되지 않아 요금징수가 되지 않는 수량
				수도사업 용 수 량	정수장, 배수지에서의 사용수량과 수도관 세정수량, 누수방지작업용수 등 수도사업자가 사용한 수량
				공공수량	소방용수 및 운반급수량 등으로 요금 수입이 없는 수량
				부 정 사 용 량	수도사업자의 허가를 받지 아니한 수도사용, 급수업종 변경, 계량기 조작 등의 방법으로 불법적으로 사용한 수량
	무효수량 사용상 무효라고 인정되는 수량			누 수 량	송수시점 이후 급수사용자의 계량기 이전까지 발생된 손실수량
				조정감액 수 량	이취미, 오염 등으로 수도사업자의 귀책사유로 인해 요금 징수시 조정에 의하여 감액 대상이 된 수량

유수율은 국내 상수도시스템의 수량관리 성능을 평가하기 위해 가장 많이 사용되는 지표로서 유수율이 높다는 의미는 수익되지 않는 손실양이 적어 경제적으로 수도사업이 이루어진다고 볼 수 있다.

2.2.2 유수율 분석

(1) 목 적

유수율 분석의 목적은 배급수관망에서 공급되고 있는 총급수량 중 수익되는 물량을 정확히 산정하고 블록시스템으로 구축된 소블록 단위의 유수율분석을 통해 전략적으로 유수율 제고사업을 추진하는데 있다. 전체 관망시스템 중 유수율이 낮은 구역 뿐 만 아니라, 무수수량이 가장 많이 발생되는 구역을 분석하므로 사업추진의 우선순위를 선정해주므로 효율적인 유수율 제고 사업추진을 유도하는데 목적이 있다.

(2) 유수율 분석 방법

유수율 분석방법으로 우선 유수율 및 유수수량·무수수량 추세 분석이 필요하며, 분석내용은 유수수량의 증감원인(하절기, 명절, 행사 등에 따른 사용량 증가, 신규급수지역 확대, 급수구역 수용가 감소 등) 및 무수수량의 증감원인(누수발생·복구, 계량기불감 증감, 단수시행, 급수체계 변경 등)을 분석한 후 야간최소유량(또는 일일공급량)의 변화와 비교하여 정리한다.

(3) 야간최소유량 분석

누수발생에 따른 유수율 감소에 대한 감지, 적극적인 누수저감 및 유수율 제고 활동을 위해서는 월별로 시행되는 유수율 분석만으로는 체계적인 누수관리가 되기 어렵다. 표준양식에 의거 관리되는 야간최소유량 자료를 이용하여 일일 단위로 증감상태를 감시해야하며, 향후 높은 유수율 달성 및 유지를 위해서는 이에 대한 실시간 감시시스템을 구축 운영하므로서 관망상태 및 누수발생에 대한 적극적인 대응수립이 반드시 필요하다.

3. 블록경계 및 블록감시제어시스템 구축

3.1 연구대상지역

3.1.1 J시 상수도 현황 [11][14]

J시는 1971년 4월 16일 3,800㎥/일 규모의 상동정수장 시설을 신설한 이래 지방상수도와 섬진강계통 광역상수도에서 하루 60,900㎥ 규모의 수돗물 공급능력을 갖추고 있으나, 지방상수도 시설인 상동정수장의 원수 및 상수원 보호구역 정비 등의 문제가 있어 2002년 11월 7일 「J시 장명배수지~섬진강광역 상수도간 공급관로 설치사업에

관한 협약서」에 의거 2005년 9월 광역상수도로 대체하였다.

또한, J시 지방상수도 재정 및 운영관리의 효율성 제고를 위하여 J시로부터 지방상수도 시설의 일괄 위탁관리 방안이 제안됨에 따라 한국수자원공사에서는 J시 지방상수도에 대하여 수돗물의 안정적 공급, 유수율 제고 및 원가절감, 고객서비스 향상 등의 목표를 수립하고 2003년 11월 19일「J시 상수도 운영 효율화 사업시행을 위한 기본협약」을 체결하여, 2005년 4월부터 한국수자원공사 책임하에 수도공급 서비스 업무를 개시하였다.

3.2 블록경계 설정 [14]

연구대상지인 J시의 블록시스템은 1개의 대블록, 3개의 중블록 및 30개의 소블록으로 구축하였다.

3.2.1 대블록

J시는 전 지역이 광역상수도로 운영하고 있으므로 J시 전체를 대블록으로 구분하였다.

3.2.2 중블록

중블록의 분할은 시설물(배수지) 및 시내구역과 신태인읍 구역으로 구분하였다.

○ 중블록 개념 : 마곡,장명,신태인 배수지⇒3개 블록
○ 중블록+소블록 개념 : 소성,영원,정우,태인, 고부,북면,칠보,옹동,이평 ⇒ 9개 블록

3.2.3 소블록

소블록 분할의 경우 블록선정 기준에 의거 급수전 500~1,500전 규모로 분할하는 것을 원칙으로 하나 지역별 지형여건 및 관망구성 형태를 고려하여 분할하였으며, 이와 같은 여건을 고려하여 30개 소블록으로 분할하였다.

○ 소블록 개념
- 마곡배수지 계통 ⇒ 10개 블록
- 장명배수지 계통 ⇒ 7개 블록
- 신태인배수지 계통 ⇒ 4개 블록
- 면계통 ⇒ 9개 블록

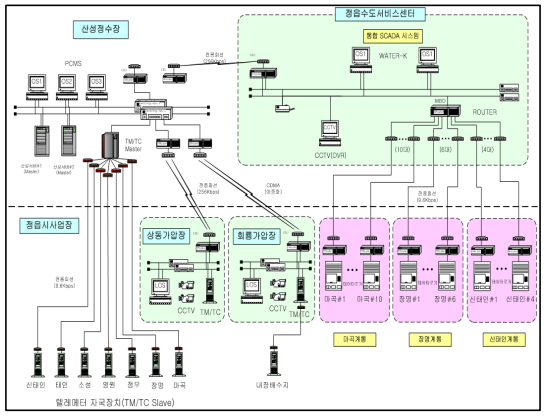
3.3 블록감시제어시스템 구축 [8][14]

관망의 블록감시제어시스템은 블록내의 공급유량, 수압, 수위, 수질과 송·배수시설을 체계적으로 운영관리 할 수 있도록 적합한 시스템을 선정하고 구축하는데 있으며, 주설비로는 원격감시제어시스템(TM/TC)을 기반으로 감시제어 기능을 갖추고 기타 부속설비는 유량계, 수압계 및 감압밸브 등으로 구성된다

3.3.1 원격감시제어시스템(TM/TC)

상수도의 체계적인 원격감시체계를 구축하여 블록내 주요지점의 유량 및 압력을 계측하고 운영센터로 데이터를 전송하여 블록별 감시 자료의 데이터베이스 구축하며, 이를 활용한 송·배수관망의 관리를 최적화 하는데 목적이 있다.

연구대상지인 J시 블록시스템에 대한 대블록 1, 중블록 3, 소블록 30개 블록화 계획을 토대로 체계적인 원격감시체계 구축을 목적으로 블록시스템 주요지점의 유량 및 압력을 계측하고 운영센터로 전송하여 블록별 감시자료의 DB구축함으로서 향후, 유수율제고 및 송·배수 관망관리를 최적화하기 위한 블록감시제어시스템을 구축하였다.



[그림 1] J시 블록감시제어시스템 구성도

3.3.2 유량계

블록유량계는 대·중·소 블록의 유입지점에 설치하여 하위계층의 블록 및 수용가의 사용량을 계측한다. 특히 소블록의 유량계는 야간최소유량의 변동이나 단계시험시 소량의 유량변화를 감지하고 Data전송 및 저장이 가능한 유량계를 설치하며, 블록의 유량측정은 통신선로의 활용빈도 및 경제성 등을 고려하여 설치한다.

또한, 유량계는 블록에 대하여 야간최소유량 및 누수를 계측할 수 있도록 측정 정밀도가 높은 유량계를 선정하고, 소블록의 규모, 공급량 및 급수전의 수가 기준미달인 경우 경제성 및 설치사업비를 고려하여 유량계를 설치하는 것을 고려하도록 한다.

연구대상지인 J시 블록시스템 유량계는 정확성, 신뢰성, 경제성 및 유지보수 편리성 등을 면밀히 검토하여 관경별(ϕ50~ϕ300㎜)로 전자식유량계 30대를 설치하였다.

3.3.3 수압계

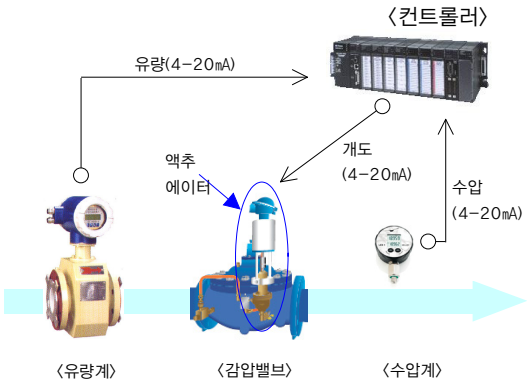
급수구역 또는 블록 내의 수압현황을 실시간으로 파악

하고, 급수상태, 출수불량, 누수여부를 감지할 수 있도록 수압계를 설치하고 측정지점별 변동 수압자료를 원격으로 전송하며, 수압계는 소블록 유입지점(유량계실)과 블록내 임계 및 평균지점에 설치하여 용수공급계통 및 급수구역내 수압의 이상 유무 등을 판단할 수 있도록 하여야 한다.

3.3.4 감압밸브

안정적인 관망수압을 유지하고, 잉여수압 제거를 통한 누수량 저감에 효과적으로 대처하고자 수압이 높은 블록은 감압밸브를 설치한다. 임계지점 및 평균수압 지점의 적정수압이 확보된 상태에서 감압밸브 유출측의 수압을 원하는 수준으로 맞추면 상하류의 수압차에 의해 밸브가 작동하는 방식이며, 유량수압패턴, 임계지점 위치 등에 따라 고정유출식, 시간제어식 및 유량비례제어 방식으로 운영된다.

연구대상지의 감압밸브는 급수지역의 안정적인 수압유지를 위하여 관경별로 Φ50~ Φ300㎜까지 직동식 및 파일롯트식 감압밸브 31대를 설치하였다.



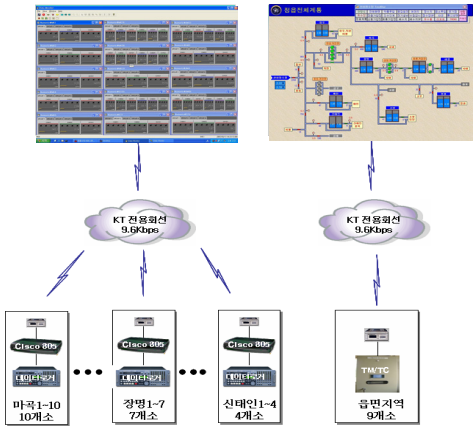
[그림 2] 감압밸브 원격감시제어 구성도

4. 블록감시제어시스템을 이용한 유수율 관리

연구대상지역인 J시의 블록감시제어시스템 구축이 완료되어 블록별 전송되어 온 유량 및 압력 데이터를 활용하여 효율적인 유수율 분석을 실시함으로서 유수율제고 목표달성을 위한 유수율 분석 프로그램을 개발과 이를 활용한 유수율제고 사례를 연구하였다.

J시의 블록시스템은 대블록 1, 중블록 3, 소블록 30개로 구성되어 있으며, 블록시스템 구축 당시의 초기에는 원격에서 유량 및 압력데이터를 단순 모니터에서 감시하는 수준이었다. 따라서, 체계적인 유수율 분석을 위하여 데이터베이스(Data Base)를 구축하고 유수율분석 프로그램 개발이 필요한 실정이었다.

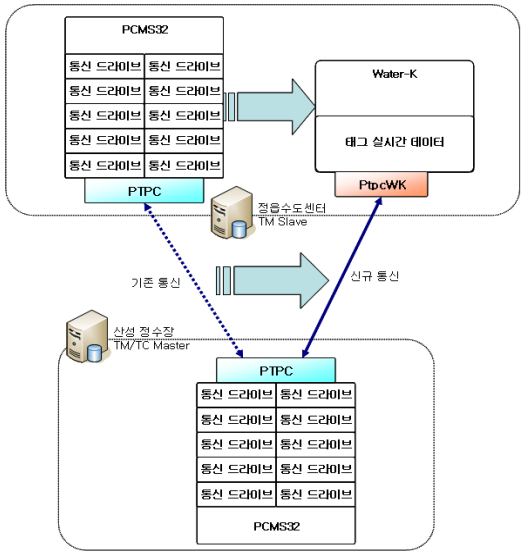
또한, 읍면지역(9블록)의 감시제어프로그램은 중앙소프트웨어의 PCMS로 구축되어 있고, 동지역(마곡, 장명, 신태인계통 21개블록)의 감시프로그램은 요코가와의 DAQEXPLORER로 구축되어 있어 효율적인 유수율 분석 및 관리를 위하여 시스템 통합이 필요한 실정이었다.



[그림 3] 이원화된 시스템 구성도

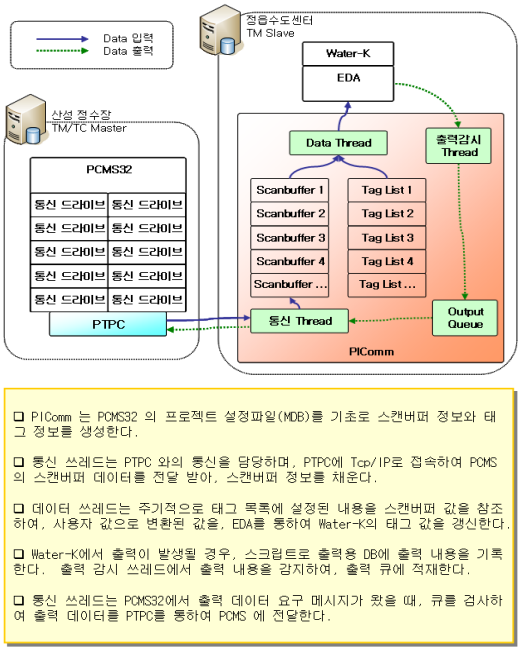
4.1 시스템 이원화에 따른 시스템 통합 실시

이원화 되어 있는 시스템 통합을 위한 통합시스템의 선정은 k-water 고유의 HMI(Human-Man Interface)인 Water-K로 하였다.



[그림 4] 시스템 통합 개념도

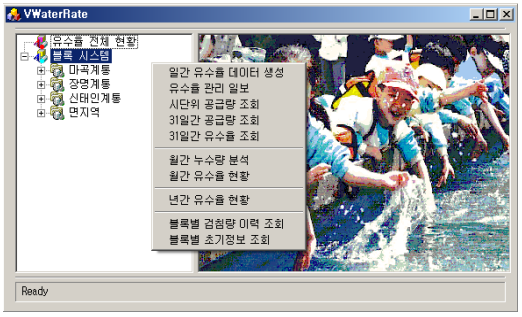
우선, 시스템 통합을 위하여 PCMS와 Water-K간 및 DAQEXPLORER와 Water-K간 데이터 통신을 위한 통신 드라이버인 PIComm을 개발하였다.



[그림 5] 통신드라이버(PIComm) 데이터 흐름도

4.2 유수율분석 프로그램 개발

블록별로 전송되어 온 유량 및 압력 데이터를 water-K에 의하여 저장하고, 저장된 과거 이력데이터를 근간으로 블록시스템의 유수율 분석에 필요한 레포트를 일별, 월별로 원하는 시기에 조회 및 검색할 수 있는 프로그램(VWaterRate)을 개발 하였다.



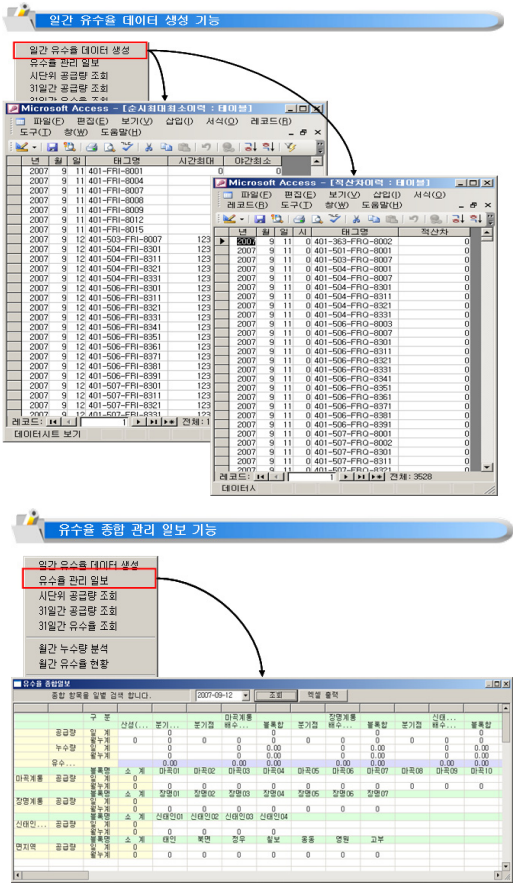
[그림 6] 유수율분석 프로그램 메인 화면(예)

우선, 데이터를 저장하고 가동하기 위한 데이터베이스(MDB)를 구축하였으며, 구성 테이블을 살펴보면 다음과 같다.

[표 4] 데이터베이스 구성 테이블

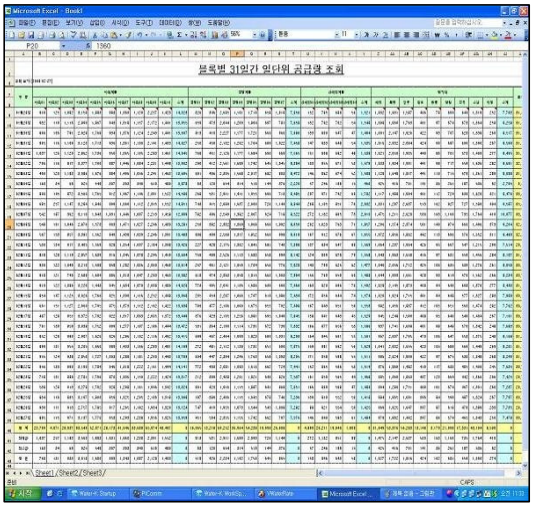
테이블명	설명
순시최대최소설정	유량 순시태그로 야간최소유량과 최대유량 태그설정
순시최대최소이력	순시최대최소설정 테이블에 설정된 내용의 값이 저장되어질 테이블
적산차설정	유수율 분석에 필요한 유량 계산을 위한 적산태그를 설정하는 테이블
적산차이력	적산차설정 테이블에서 지정된 내용의 값을 저장할 테이블
검침량이력	검침량 이력 정보를 저장할 테이블
초기정보	월간 누수량 분석 레포트에 필요한 급수전, 주관경, 유량계 구경 등을 저장해 놓은 테이블

개발한 유수율분석 프로그램(VWaterRate)를 구동하여 일간 유수율 데이터를 생성하면 설정테이블에 설정된 태그의 내용으로 순시 최대/최소값과 적산차 이력 데이터 테이블의 값을 생성하여 채운다.



[그림 7] 유수율분석 데이터 생성화면(예)

유수율분석 프로그램의 구동 결과로는 블록별로 일일 시단위 공급량, 31일간 공급량, 31일간 야간최소유량, 월간 유수율조회 등이 가능하며, 일예로 블록공급량 조회화면은 다음과 같다.



[그림 8] 유수율분석 데이터 조회 화면(예)

4.3 유수율분석

4.3.1 유수율분석 방법

J시의 상수도를 관리하고는 있는 근무자는 매일 아래와 같은 블록감시제어시스템을 활용하여 유수율을 분석하고, 그 결과에 따라 블록별 원인분석(오 데이터 확인 등), 누수탐사 및 복구, 감압밸브 점검 및 조정 등 다양한 유수율제고 방안 및 누수저감 활동 등을 검토하여 시행한다.

(1) 유수율분석 프로그램에서 일보, 일일 시단위 공급량, 31일간 공급량, 31일간 야간최소유량을 출력한다.

(2) 야간최소유량은 금일 해당분(당일 아침 8시에 출력함에 따라 당일분까지)까지 출력되어지고, 공급량은 전일 00시 ~ 24시까지의 블록별 공급량을 표시한다

(3) 야간최소유량 산정은 1회/일 산정되며, 물 사용량이 가장 적은 시간대인 02시 ~ 04시 사이의 가장 낮은 유량값(순시값) 10개를 취득하여 신뢰도 및 정확성 향상을 위하여 상위 2개, 하위 2개를 제외한 나머지 6개의 평균으로 산정한다.

(4) 블록별 1개월 공급량 및 야간최소유량의 Excel 시트에서 블록별로 공급량 및 야간최소유량의 증가 또는 감소 패턴을 분석한다.

(5) 블록별 1개월 야간최소유량의 Excel 시트에서 1 ~ 2일정도 증가하다가 다시 정상범위로 돌아올 경우의 블록은 정상으로 간주한다. 그러나 1 ~ 2일 이후에도 증가추세가 계속되고 또한, 일 공급량도 증가추세이며 누수증가로 간주하여 다양한 누수저감 활동을 실시한다.

(6) 블록별로 야간최소유량 및 1개월 공급량 분석은 블록별 특성과 블록별 대수용가 용수수수 패턴을 알아야 정확한 분석이 가능하다. 따라서, 그 지역에 일정기간 동안 근무가 필수적으로 이루어져야만 한다.

(7) 블록별로 공단지역, 상가지역, 일반 주거지역(단독주택 등), 공동주택 밀집지역, 관광지역 등 특성이 다양함에 따라 블록별 정확한 누수량 증가 및 파악은 어려운 상황이나, 데이터를 정밀하게 분석하면 어느정도 파악이 가능하다.

(8) 야간최소유량 및 공급량 등 블록별 유수율 분석에서 가장 중요한 요소는 대수용가의 용수수수 패턴이므로 대수용가의 유량(순시값 및 적산값) 데이터 취득은 중요한 요소이다.

(9) 야간최소유량 및 1개월 공급량은 블록별 누수량 진행사항을 알 수 있는 척도이므로 매일 또는 수시로 분석하여야만 한다.

(10) 데이터의 분석에서 착각을 이르킬 수 있는 사항으로는 겨울철에서 여름철로 이동하면서 야간최소유량과 공급량이 조금씩 미미하게 증가됨에 따라(여름철→겨울철은 반대) 무시(간과)할 수 있는 여지가 있으므로 전년도 공급량과의 비교 등 철저한 분석을 하여야만 한다.

(11) 누수탐사(민원신고 포함) 및 누수복구 완료후에는 반드시 블록별 데이터 변화를 확인하여 상황이 종료된 것을 인지하고 확인하여야 한다.

4.3.2 공급량 및 야간최소유량 분석 결과

개발된 유수율분석 프로그램을 J시의 장명 6블록에 적용한 결과 시스템 구축 이전인 2007년 11월 23일 까지는 일평균 공급량이 1,400~1,600㎥/일, 야간최소유량이 40~45㎥/hr이었으나 구축이후인 동년 11월 24일 이후의 공급량과 야간최소유량은 각각 600~700㎥/일 및 5~9㎥/hr으로 뚜렷하게 변화되었음을 확인할 수 있었다. J시의 장명 6블록의 경우 유수율분석 프로그램에 의한 데이터 분석을 실시한 결과 유수율제고 사업의 일환으로 노후관 교체 공사와 더불어 누수탐사 및 복구, 적정 수압제어를 동시에 시행중에 있었다.

[표 5] J시 장명6블록 공급량(2007년 11월)

31일간 일단위 공급량 조회

조회 날자 [

구 분		장명계통								신태인계통					면지역					
	소계	장명01	장명02	장명03	장명04	장명05	장명06	장명07	소계	신태인01	신태인02	신태인03	신태인04	소계	태인	북면	정우	칠보	옹동	[illegible]
11월12일	12,703	704	357	2,090	1,151	2,033	1,503	1,352	9,190	69	848	686	71	1,605	1,339	1,233	1,477	370	115	0
11월13일	11,181	336	452	2,505	1,100	2,024	1,377	1,317	9,111	66	811	683	70	1,564	1,076	1,484	1,619	373	124	0
11월14일	16,606	452	472	1,931	1,228	1,899	1,581	1,130	8,693	73	856	720	66	1,642	1,043	1,536	1,356	379	119	0
11월15일	15,062	751	480	2,544	1,165	2,041	1,501	1,164	9,646	73	762	726	60	1,548	1,152	1,606	1,460	379	125	0
11월16일	14,186	159	468	1,983	1,207	1,870	1,481	1,274	8,442	47	800	686	63	1,549	1,063	1,287	1,343	394	125	0
11월17일	13,980	753	364	2,315	1,260	2,040	1,628	1,028	9,388	54	843	613	59	1,515	957	1,156	1,681	374	127	0
11월18일	13,422	166	378	2,098	1,278	2,153	1,522	1,233	8,828	39	816	597	41	1,454	915	1,036	1,445	382	128	0
11월19일	14,191	731	348	2,572	1,178	2,038	1,522	872	9,261	57	778	642	62	1,482	908	1,197	1,545	402	121	0
11월20일	13,841	308	472	2,008	1,209	1,908	1,464	1,082	8,451	61	801	624	67	1,492	917	1,157	1,523	425	126	0
11월21일	14,428	473	435	2,331	1,172	2,037	1,503	1,024	8,975	54	783	657	68	1,508	913	1,621	1,477	445	140	0
11월22일	14,104	703	454	2,127	1,238	2,041	1,494	1,137	9,194	66	807	662	64	1,533	960	1,715	1,583	423	128	0
11월23일	14,629	176	477	2,108	1,399	1,895	1,363	760	8,178	101	873	756	64	1,693	1,075	1,749	1,643	438	138	0
11월24일	14,120	807	393	2,366	1,454	2,095	699	1,108	8,922	106	888	728	50	1,666	1,093	1,263	1,764	468	168	0
11월25일	13,868	242	392	2,618	1,388	2,236	718	1,111	8,705	97	869	664	46	1,579	1,019	1,064	1,861	452	213	0
11월26일	14,193	574	380	2,084	1,140	2,014	692	1,041	7,925	86	828	683	57	1,568	1,084	1,333	1,786	431	226	0
11월27일	13,983	773	467	2,448	1,243	2,300	673	1,066	8,970	83	838	703	68	1,609	1,005	1,856	1,578	435	158	0
11월28일	14,012	184	474	2,082	1,257	1,997	659	812	7,465	90	876	730	69	1,675	1,048	1,719	1,741	437	166	0
11월29일	13,976	749	411	2,331	1,287	2,015	673	1,094	8,560	92	873	701	70	1,644	1,099	1,568	1,791	447	158	0
11월30일	13,742	195	504	2,263	1,287	2,139	644	1,177	8,209	72	909	808	72	1,789	1,130	1,266	1,717	443	184	0
합 계	0	15,369	13,082	70,522	37,407	61,258	41,609	37,884	0	2,604	25,840	20,750	1,924	0	32,135	43,677	48,827	12,582	4,214	0
최대값	0	836	504	3,182	1,454	2,300	1,675	1,759	0	119	909	808	80	0	1,713	1,956	1,861	468	226	0
최소값	0	154	346	1,770	1,064	1,624	644	760	0	39	762	597	41	0	855	1,036	1,343	370	110	0

[표 6] J시 장명6블록 야간최소유량(2007년 11월)

31일간 야간최소유량 조회

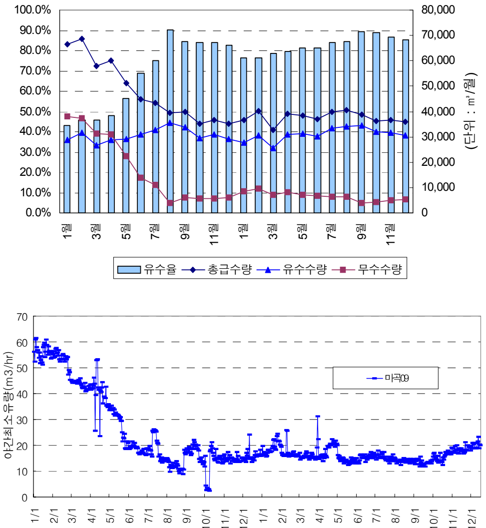
조회 날자 [

구 분			장명계통								신태인계통								
	마곡10	소계	장명01	장명02	장명03	장명04	장명05	장명06	장명07	소계	신태인01	신태인02	신태인03	신태인04	소계	태인	북면	정우	칠보
11월11일	44.30	312.00	2.40	4.90	97.20	20.50	89.40	38.10	0.00	253.00	1.14	17.30	12.40	1.05	32.00	0.00	31.45	0.00	9.9
11월12일	43.80	296.00	2.20	5.30	22.20	21.00	46.20	40.30	0.00	137.00	1.50	17.00	12.50	1.03	32.00	0.00	26.66	0.00	9.6
11월13일	44.50	297.29	2.50	6.20	20.50	20.60	41.10	40.50	0.00	131.00	1.32	17.70	12.90	1.04	33.00	0.00	27.60	0.00	9.3
11월14일	44.40	307.00	2.80	5.10	18.00	20.90	40.80	41.90	0.00	130.00	1.46	17.80	12.20	1.03	32.00	0.00	27.08	0.00	9.7
11월15일	44.70	503.00	2.30	10.50	20.40	20.20	41.80	37.70	0.00	133.00	3.53	17.80	12.20	1.08	32.00	0.00	27.70	0.00	9.9
11월16일	45.30	300.00	2.30	5.70	26.70	22.30	41.50	41.10	0.00	140.00	1.16	16.70	11.70	1.02	31.00	0.00	28.88	0.00	9.9
11월17일	44.50	294.00	2.40	5.50	16.30	20.10	45.10	43.20	0.00	133.00	1.86	17.60	11.40	1.09	32.00	0.00	28.16	0.00	10.3
11월18일	45.10	295.00	2.90	5.50	19.40	21.10	43.80	41.90	0.00	135.00	2.21	16.20	11.80	1.09	31.00	0.00	28.20	0.00	10.2
11월19일	43.70	299.29	2.40	5.50	26.60	20.90	45.70	44.30	0.00	145.00	0.00	16.80	11.70	0.00	29.00	0.00	29.92	0.00	10.5
11월20일	45.50	334.00	2.60	6.20	21.50	21.70	83.80	40.70	0.00	176.00	1.11	16.40	11.80	1.12	30.00	0.00	29.13	0.00	13.1
11월21일	44.70	303.00	2.90	5.80	23.10	20.20	39.70	43.10	0.00	135.00	8.60	16.50	12.40	1.02	39.00	0.00	27.70	0.00	12.9
11월22일	44.50	312.00	3.70	7.80	26.50	20.70	42.00	41.80	0.00	143.00	1.76	12.30	7.60	1.03	23.00	0.00	28.75	0.00	11.7
11월23일	44.80	312.00	2.50	5.80	23.20	22.50	41.00	44.30	0.00	139.00	1.09	16.60	12.00	1.02	31.00	0.00	28.20	0.00	10.9
11월24일	45.10	297.00	2.50	6.60	23.10	21.40	43.50	5.60	0.00	103.00	1.04	18.10	12.40	1.08	33.00	0.00	30.41	0.00	11.6
11월25일	45.00	363.00	2.90	5.70	30.00	21.30	44.60	5.80	0.00	110.00	1.06	17.50	12.60	1.15	32.00	0.00	27.52	0.00	10.9
11월26일	45.00	362.00	73.70	6.40	20.60	19.80	46.10	6.60	0.00	173.00	1.05	17.00	12.10	1.12	31.00	0.00	26.92	0.00	11.0
11월27일	47.10	317.00	3.30	5.70	19.40	20.90	39.20	9.60	0.00	98.00	1.05	16.80	12.40	1.10	31.00	0.00	31.58	0.00	11.1
11월28일	46.00	310.00	3.10	5.40	22.30	22.10	40.20	8.60	0.00	102.00	1.30	17.90	13.00	1.10	33.00	0.00	29.25	0.00	11.4
11월29일	44.60	292.00	4.20	5.90	23.00	22.40	39.60	5.40	0.00	101.00	1.14	18.10	12.80	1.02	33.00	0.00	28.38	0.00	12.0
11월30일	44.70	266.00	2.90	5.40	25.80	22.20	64.80	4.70	0.00	126.00	1.13	17.20	13.20	1.05	33.00	0.00	32.65	0.00	10.4
합 계	1,395.00	0.00	340.00	185.00	756.00	646.00	1,424.00	1,052.00	0.00	0.00	47.00	47.00	47.00	32.00	0.00	0.00	901.00	0.00	330.0
최대값	48.00	0.00	74.00	11.00	97.00	23.00	89.00	46.00	0.00	0.00	9.00	9.00	9.00	1.00	0.00	0.00	38.00	0.00	13.0

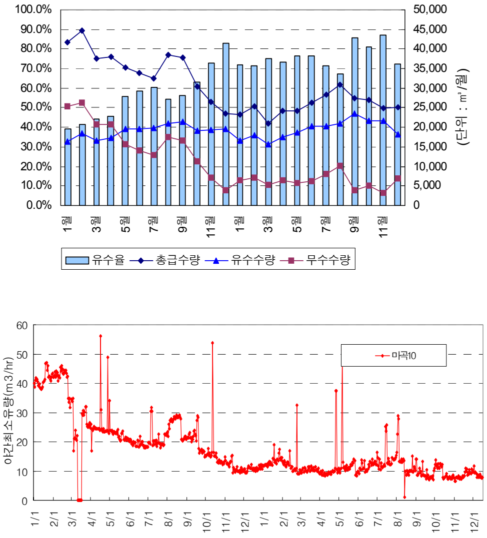
이상에서 알수 있듯이 블록별 일일 공급량과 야간최소유량은 밀접한 관계가 있으며, 블록별 데이터 분석을 통하여 유수율제고를 위한 블록별 우선순위 결정에도 큰 영향을 미칠 수 있을 것이다.

또한, 블록별 데이터 분석에 의한 공급량 및 야간최소유량 증가시에는 누수량 증가에 의한 것으로 판단되므로 누수탐사 및 Step-test 등 신속한 대처가 가능할 뿐만 아니라 유수율제고에 큰 영향을 주고 있다.

그림 10, 그림 11의 J시 마곡9블록 및 마곡 10블록에서도 유수율 증가시 야간최소유량이 감소된 것을 명확히 확인할 수 있다.



[그림 9] J시 마곡9블록 유수율 및 야간최소유량(2008~2009년)



[그림 10] J시 마곡10블록 유수율 및 야간최소유량(2008~2009년)

4.4 블록시스템 및 블록감시제어시스템 적용 결과

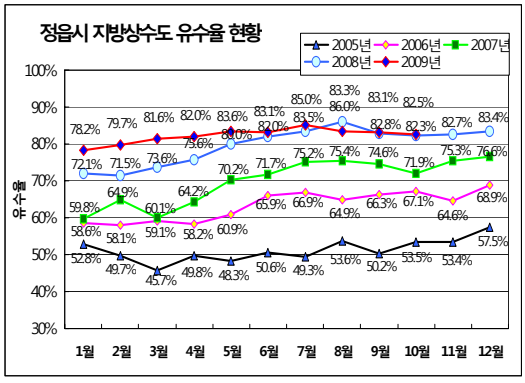
블록시스템 및 블록감시제어시스템을 구축하고 블록별 유량 및 수압을 측정하여 공급량 및 야간최소유량을 분석함으로서 소블록 중심의 누수탐사, 소구역별 Step-Test에 의한 야간최소유량 측정 및 관리, 수압조절

등의 효율적인 누수방지 및 저감활동을 통해 뚜렷한 유수율제고 효과를 확인할 수 있었으며, 구역별 유수율 관리도 가능함을 확인할 수 있었다.

아래의 J시 유수율 실적에서도 확인할 수 있듯이 2004년도 54%의 유수율이 2009년도에는 82.3%로 28.3% 향상되었다. 이렇듯 상수도 관망의 유수율제고 및 관리를 위하여는 블록시스템 및 블록감시제어시스템을 구축하고 유수율분석 프로그램을 활용하여 데이터 분석이 우선 선행된 후, 분석 결과에 의한 유수율제고사업이 이루어져야 한다는 결과를 얻을 수 있었다.

[표 7] J시 유수율 실적

구 분	'04년	'05년	'06년	'07년	'08년	'09년
실 적	**54.0%**	**51.2%**	**63.1%**	**70.0%**	**79.6%**	**82.3%**



[그림 11] J시 유수율 변화 챠트(2005~2009년)

5. 결론

본 연구는 상수도 관망의 효율적인 운영관리를 위한 블록시스템 및 블록감시제어시스템의 구축방안과 블록감시제어시스템의 필수설비인 원격감시제어시스템(TM/TC), 유량계, 수압계 및 감압밸브에 대한 설치목적 및 고려사항에 대한 연구를 수행하였다. 또한, 유수율 분석 프로그램을 개발하여 기 구축된 시스템에서 전송되어 온 유량 및 압력데이터에 대한 분석을 실시하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

(1) 상수도 관망의 안정적인 운영관리 및 블록별 유수율 관리와 문제블록을 중심으로한 효율적이고 경제적인 시설개선 계획수립 및 집행을 위하여는 블록시스템 및 블록감시제어시스템의 구축이 필요함을 알 수 있었다.

(2) 블록감시제어시스템의 중요한 계측설비인 유량계 및 수압계의 정밀도를 향상시키기 위하여는 기기선정 및 설치시 고려사항에 대한 연구와 더불어 계측자료의 원격전송을 위한 원격감시제어시스템(TM/TC) 및 감압밸브 감시제어방안에 대한 연구를 통하여 최적의 블록감시제어시스템 구축방안에 대하여 알 수 있었다.

(3) 블록감시제어시스템 구축에 따른 블록별 공급량 및 야간최소유량 분석을 통해 누수발생시 신속한 대처 뿐 만 아니라 출수불량 등과 같은 민원에도 신속한 원인분석 및 대처가 가능해져 대 국민서비스 향상에도 많은 도움을 줄 수 있을 것으로 기대된다.

(4) 향후, 본 연구에서 적용한 유수율분석 프로그램은 초보적인 수준에 머물러 있는 단계로 야간최소유량을 활용한 실시간 누수량 산정, 체계적인 총괄수량수지분석 및 월별 유수율 분석 등의 고급기능이 가능하도록 DB(Data Base) 구축 및 기법 개발, GIS시스템을 활용한 관망해석 등의 기능개선 및 고도화가 필요하다고 판단된다.

또한, 본연구외 더불어 J시의 경우 블록시스템 및 블록감시제어시스템을 구축 및 활용하고, 시스템을 기초로 유수율제고 사업을 시행한 결과 2006년 유수율 63.1%에서 2009년 유수율 82.3%로 19.2%가 향상되었다. 이것을 수돗물 생산원가 809원/㎥으로 환산할 경우 연간 25억9천만원의 경제적 이익이 있는 것으로 나타났다.

따라서, 앞으로 물 부족사태에 대비하고, 깨끗하고 안전한 물공급을 통한 국민건강 증진 향상 및 복지향상을 위하여 유수율제고 사업과 더불어 상수도 관망에 대한 효율적인 운영관리가 필요하다고 판단된다.

참고문헌

[1] UK Water Industry Research Ltd., 1999, A Manual of DMA Practice, UK Water Industry Research.

[2] John Morisson et al., 2007, DMA Mangement Guidance Notes, Efficient operation and management, Water loss task force, IWA.

[3] Ronnie McKenzie, 2001, Presmac (Pressure Management Program), South African Water Research Comission, WRC Report No TT 152/01

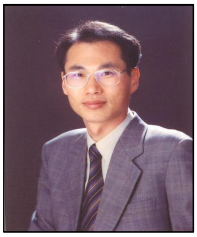
[4] Julian Thornton et al., Water Loss Contorl Manual 2nd Edition, 2008, McGraw-Hill. New york, NY.
[5] 구자용 등, 누수 방지 및 저감 기술의 적용 사례, 대한환경공학회지 29권 12호, p.1-8, 2007.
[6] 김경필, 상수도 관망의 누수량 최적관리 모델의 개발과 적용성 평가, 서울시립대학교 박사학위 논문, 2009.
[7] 최철식, 대구광역시의 배수관망관리에서 블록시스템의 도입효과에 관한 연구, 영남대학교 박사학위 논문, 2008.
[8] 한국수자원공사, 상수관망 유수율 제고·관리 가이드북, 2009.
[9] 한국수자원공사, 2006년도 지방상수도 유수율제고 백서, 2007.
[10] 환경부, 상수도시설기준, 2004.
[11] 환경부, 상수도 통계, 2009.
[12] 환경부, 유수율 제고연구, 2001.
[13] 환경부, 유수율 제고사업 업무추진매뉴얼, 2007.
[14] 한국수자원공사, 정읍시 관망정비 기본계획 보고서, 2007.

윤 문 중(Moon-Jung Yoon) **[정회원]**

- 1995년 2월 : 한남대학교 전자공학과 (공학사)
- 2010년 8월 : 전북대학교 정보기술학 제어계측공학 (공석사)
- 1995년 1월 ~ 현재 : 한국수자원공사 재직중

<관심분야>
제어계측 기술, 상수도설비 및 상수관망 운영관리

이 창 구(Chang-Goo Lee) **[정회원]**



- 1983년 2월 : 전북대학교 전기공학과 (공학석사)
- 1983년 ~ 1991년 : 한국전자통신연구원 선임연구원
- 1991년 2월 : 전북대학교 전기공학과 (공학박사)
- 1992년 9월 ~ 현재 : 전북대학교 전자공학부 교수

<관심분야>
현대제어, 퍼지제어, 지능형시스템, 홈 제어시스템