

안정적 용수공급을 위한 상수관망의 운영 방안



전 환 돈 ▶▶

고려대학교 BK21 글로벌리더 건설사업단
연구전임강사
hwandonjun@korea.ac.kr

1. 들어가며

경제개발과 이에 따른 도시화를 거치면서 우리나라의 상수관망은 커다란 변화를 겪어왔다. 이러한 변화를 가져온 가장 큰 요인들은 도시화에 따른 인구집중, 생활수준의 향상을 들 수 있으며 수치적으로 우리나라 수도관 총연장은 124,468km (2003년 현재), 1인당 1일 급수량 또한 104lpcd에서 359lpcd로 거의 4배나 증가하였고 용수의 수요증가는 상수도 생산 용량이 하루 63만톤에서 최근의 2,840만톤으로 45배 가까이 증가하게 되었다. 전국 평균 상수도 보급률은 약 90%정도 되나 특별시와 광역시인 경우 98.7%, 다른 시지역도 97%의 상수도 보급률을 달성되어서 도시지역은 이미 100% 상수도가 보급되었다고 생각해도 무리가 없다. 이외 지역은 새로이 건설되는 상수관망이 꾸준히 증가하고 있어서 전국평균 상수도 보급률 또한 높아질 것이다. 이러한 수치적인 상수관망의 보급이 나타내는 것은 그만큼 우리사회가 상수관망에서 공급되는 수도물 또는 용수에 의존하고 있다는 뜻이 된다. 이는 개인 가정의 작은 범위에서부터 도시기능의 운영에 필요한 용수를 상수관망을 통해서 공급받고 있다는 의미로 해석할 수 있다. 따라서 상수관망이 필요로 하는 기능을 하지 못하는 경우, 즉 용수공급이 중단되거나 원활하지 못한 경우

해당지역의 기본적인 사회활동이 어렵게 된다. 본 고에서는 우리생활뿐 아니라 도시 전체의 기능에 중요한 역할을 하는 상수관망의 기능을 안정적으로 유지하기 위한 상수관망의 운영유지 방안에 대한 제언을 하고자 한다.

상수관망 운영유지 방안의 핵심은 상수관망의 신뢰성의 정의로 대변될 수 있다. 이론적으로 널리 받아들여지고 있는 상수관망 신뢰도의 정의로 Goulter(1995)와 Mays(1996, 2004)는 상수관망의 신뢰도를 '상수관망의 정상 상태에서 소비자에게 충분한 용수를 공급할 수 있는 능력'으로 표현하였고 여기에는 충분한 수량뿐 아니라 충분한 수량을 적절히 사용할 수 있도록 해주는 최소한의 압력(우리나라의 경우 상수도시설기준에 150kPA (약 1.5kgf/cm²))을 용수의 필요지점까지 확보해주는 것을 포함한다. 이외에 수질 또한 중요한 문제이나 상수관망의 운영에서 자주 발생하는 문제가 관파괴나 누수(leakage) 또는 펌프와 같은 시설물의 고장, 용수예측이나 용수확보의 실패로 인한 수량적인 문제에 의한 용수공급 장애가 자주 발생하고 있는 점을 고려할 때 적정수질의 유지문제는 국내 상수의 공급입장에서 어느 정도 안정적이라고 볼 수 있다. 따라서 본고의 상수관망 운영유지 방안에서 수질 문제는 추가적인 운영유지 방안으로 고려하며 차후 연구를 통해서 제안하고자 한다.

상수관망의 운영유지는 크게 다음의 세 가지 상황에 대한 운영방안으로 나타내진다.

- 일반적 운영 (normal operating condition)
- 비정상 상태의 운영 (abnormal operating condition)
- 재해시 (operating under disaster)

condition)

일반적 운영은 상수관망의 모든 시설이 정상적으로 작동을 하여 수요지점에 원활하게 용수를 공급하고 있는 상태의 운영을 의미한다. 가압장의 펌프, 상수관, 접합부, 각종 밸브 등에 고장이 없는 상태이며 이때 가장 중요한 것은 용수수요예측을 통한 필요용수량을 미리 확보하여 곧 발생할 용수수요에 적절히 대처하는 것이다. 또한 현재 정상적으로 운영되고 있는 각 시설물의 상태를 모니터링하여 고장이 발생할 가능성을 최소화하는 것이 중요한 운영이 된다. 이를 위해서 상수관망에 다양한 계측용 설비를 설치하여 이를 통한 실시간 모니터링을 하여야 한다. 여기서 계측용 설비에는 압력계, 유량계가 중요한 역할을 하며 구조적인 상태를 모니터링할 수 있는 센서의 도입도 필요하다.

비정상 상태의 운영은 상수관망의 시설물중 일부분이 고장 또는 파괴된 상황에서 하는 운영을 의미한다. 이때 중요한 것은 취수장, 광역상수도망과 같은 해당 상수관망의 수원에 문제가 발생한 경우는 상수관망 전체 운영이 불가능하므로 비정상 상태의 운영에서 제외한다. 가장 대표적으로 비정상 상태를 가져오는 문제는 상수관 일부의 파괴와 화재용수 같은 일시적인 용수수요에 대처하는 것이다. 상수관 파괴의 경우 일단 문제가 발생되면 해당 상수관의 격리가 선행되어야 하고 격리 후 나타나는 상수관망 전체의 수리학적 해석을 통해서 직접적으로 단수가 되는 지역 외에 수압저하로 인한 용수사용성이 저하되는 지역을 미리 파악하여 경보등을 발령해야 하며, 필요한 복구가 신속히 진행되어 비정상 상태로 유지되는 시간을 최소화 하는 것이 핵심이 된다. 이를 위해서 미리 전체적인 상수관망에 대해서 상수관이나 제수밸브 등의 파괴나 고장상황을 가정하여 큰 영향을 미치는 취약성 분석을 행하여 ERP(Emergency Response Plan)등을 수립하는 것이 중요하다.

재해시 상수관망 운영은 재해복구 용수를 원활히 공급하고 이재민 수용시설, 병원, 관공서 등 재해복구와 피해경감에 주요한 역할을 하는 시설물에 가능

한 최대의 용수공급이 이루어질 수 있도록 하는 것이 재해시 상수관망 운영의 핵심이 된다. 국내에서 자주 발생하는 재해로 풍수해(태풍 포함)와 적설을 들 수 있으며 적설의 경우 산사태나 취수장의 침수와 같은 문제를 야기할 가능성이 적어서 주로 풍수해로 발생되는 피해를 경감할 방안을 마련해야 한다. 재해시 운영 또한 비정상시 운영에 포함되나 큰 차이를 보이는 것은 상수관망의 부분적 파괴나 고장이 다중으로 나타날 수 있다는 것이다. 일반적인 상수관 파괴피도나 신뢰도 산정에서 상수관의 다중파괴는 발생확률이 극히 낮아서 (Su et al., 1987, Mays, 1996, 2004 등) 대책이나 피해범위 산정시 고려하지 않으나 재해의 경우 산사태나 지반 침하 등으로 인해서 상수관망 내에서 여러 곳이 동시에 파괴가 될 수 있다. 따라서 비정상상태의 운영을 위한 취약성 분석보다 훨씬 까다롭고 어려운 분석이 선행되어야 할 것이며 대처방안의 수립 또한 어려울 것이다.

2. 상수관망의 소개

상수관망은 정수장에서 처리된 용수를 소비자까지 안정적으로 공급하기 위한 시설이며 크게 광역상수도, 배수관망, 그리고 옥내 급수관으로 나눌 수 있다. 또한 계통별 특성과 이를 관리하는 주체가 다르다. 광역상수도의 경우 수자원 공사에서 관리를 하며 주로 600mm 이상의 강관으로 구성된다. 지자체에서 관리하는 배수관망의 경우 주로 300mm에서 500mm 정도의 강관이나 주철관으로 구성되며 광역상수도로 공급된 용수를 각 수요지점으로 공급함을 목적으로 하고 있다. 상수관망은 관뿐만 아니라 각종 밸브, 펌프, 탱크, 관접합부 등 많은 부속시설로 이루어지며 이중 어느 한부분에서 파괴나 고장이 발생하면 안정된 용수공급의 차질을 야기할 수 있다. 시설의 유지보수적 측면에서 상수관망은 설치 후 오랜 기간이 지나게 되면서 다양한 원인에 의해 노후화가 진행되어 파괴나 고장의 가능성이 높아지며, 지하매설 시설이

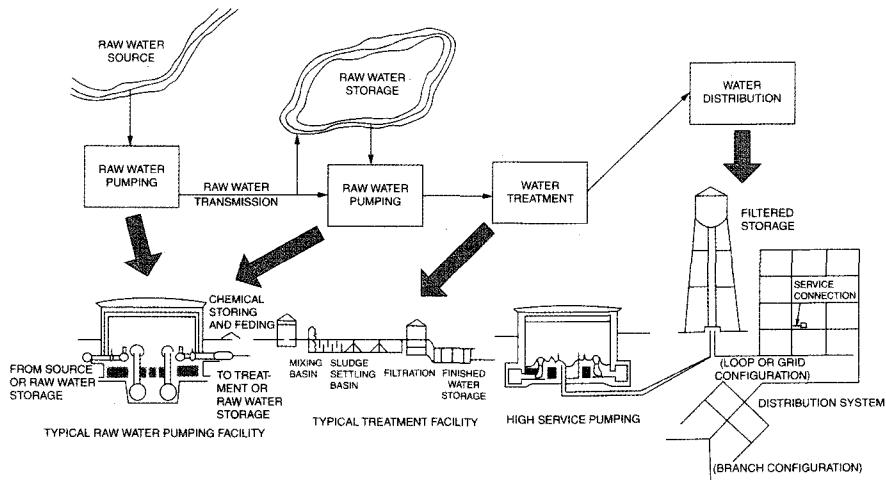


FIGURE 1.1 A typical water distribution system.

그림 1. 일반적인 상수관망 (Mays, 2004, 1.3 page)

기 때문에 유지관리에 많은 비용과 인력이 소요된다. 상수관망을 정의하는 전체 범위는 그림 1과 같다.

3. 상수관망의 운영유지 방안

3.1 일반적 운영

일반적 운영의 중요한 점은 두가지로 압축이 가능하다.

- 예상되는 필요 용수량을 파악하여 대비
- 상수관망의 실시간 모니터링을 통한 시설의 파괴나 고장가능성 파악

3.1.1 예상되는 필요 용수량의 파악 및 대비

예상되는 필요용수량을 파악하는 것은 상수관망의 운영자료를 축적하여 계절, 요일, 날씨 등의 용수수요량에 영향을 미치는 인자의 역할을 파악하는 것이다. 일본 도쿄의 경우 장기간 축적된 자료를 바탕으로 용수의 수요패턴의 변화를 예측할 수 있는 시스템을 구축하여 운영하고 있다. 국내의 경우 일부 지자체에서 수운영센터를 운영하면서 축적된 자료를 사용

하여 일단위로 수요예측을 하고 이를 바탕으로 운영 중인 배수지의 수위를 조절한다. 그러나 많은 지자체에서는 운영자가 오랜 경험을 바탕으로 매일의 배수지 수위를 조절하고 있다. 일부 지자체에서 운영중인 수요예측모형도 모형이 예측한 결과를 자동화된 시스템으로 배수지 수위를 조절하도록 하고 있지는 않다. 이는 모형의 예측 오차에서 오는 물부족을 우려한 운영이기 때문이다. 이를 좀 더 객관화 시키기 위해서는 모형의 오차개선과 함께 정확한 유량의 측정이 선행되어야 한다.

유량측정은 현재 가압펌프장의 펌핑량 또는 배수관망의 유입부에 설치된 유량계에서 실시간 측정을 하고 있으나 지점별 측정이 많이 이루어지고 있지 않다. 유량계의 종류는 대략 전자유량계, 초음파 유량계, 차압식 유량계로 구분될 수 있고 환경이나 유속과 같은 현장조건에 따라서 오차의 범위가 달라진다. 유량계의 신뢰성을 높이는 일은 상수관망을 운영하는 입장에서는 제작업체에 의뢰해야 하는 사항이어서 개선이 어려우나 적절한 설치지점의 선정과 설치된 유량계의 관리를 통해서 안정적인 운영자료 획득이 가능하다. 이때 중요한 것은 단순히 많이 설치한다고 좋은 측정이 이루어지는 것이 아니라는 것이다. 지나

치게 많이 설치된 유량계는 고장횟수의 증가를 가져올 수 있고 자료의 획득이나 빈번한 유지관리가 어렵게 된다. 이는 압력계나 다른 계측장비의 경우에도 동일하게 적용될 수 있다. 따라서 중요한 지점에, 예를 들어 유량의 변화나 수요량이 많은 지역으로 들어가는 입구와 같이 전체 상수관망의 유량의 흐름을 대표할 수 있는 지점을 미리 선정하여 적절한 수의 유량계를 설치하고 설치된 유량계는 철저히 관리하여 고장의 가능성을 줄이고 측정된 자료를 실시간이나 기간을 정해서 수집하여 자료화하는 과정이 정확한 운영자료의 축적에 효율적이다. 중요지점의 선정과 중요지점의 등급화에 관한 연구는 현재 연구가 진행 중이다.

3.1.2 상수관망의 실시간 모니터링 :
Smart Pipe system의 도입

상수관은 노후화나 주변 여건에 따라 자주 파괴가 발생한다. 상수관 파괴에 따른 영향은 직접적인 단수뿐 아니라 간접적인 용수사용성을 떨어뜨린다(전환돈, 2006). 상수관의 파괴를 미리 감지할 수 있으면 관교체를 위한 단수시간을 미리 정할 수 있어 용수수

요자의 불편시간이나 단수피해를 최소화 할 수 있다. 이러한 시스템을 smart pipe라고 정의하며 많은 연구가 진행중이다. 일반적인 smart pipe의 구성은 그림 2와 같다. 대표적인 연구로 국외는 Karney의 연구(Karney and Laine, 1997)과 US EPA의 보고서(USEPA, 2005)를 들 수 있다. 국내의 경우 TDR을 이용한 누수감지관(강병모, 홍인식, 2004)이 있고 열배관감지시스템을 한국지역난방공사에서 사용중에 있다. 개발된 제품으로는 광섬유를 사용한 Secure Pipe(Jeffrey, 2002), DiTeSt(Inaudi, 2005)등이 있다. 표 1은 기존의 상수관 시스템과 smart pipe의 장단점을 비교하고 있다. Smart pipe의 가장 큰 단점은 시공비와 유지비가 비싸고 현재까지 신뢰성 있고 실제 운영되고 있는 사례가 적다는 점이다. 비용면에서 유지비의 경우 현재 도입되고 있는 u-City의 하부시스템으로 다양한 자료전송 시스템이 갖추어지게 되면 현저히 줄일 수 있을 것이며 전송의 안정성 또한 확보가 가능할 것이다. 또한 현재 국내외에서 smart pipe의 방법에 대한 연구가 활발히 진행되고 있기 때문에 신뢰성있는 시스템이 나올 것으로 생각 된다.

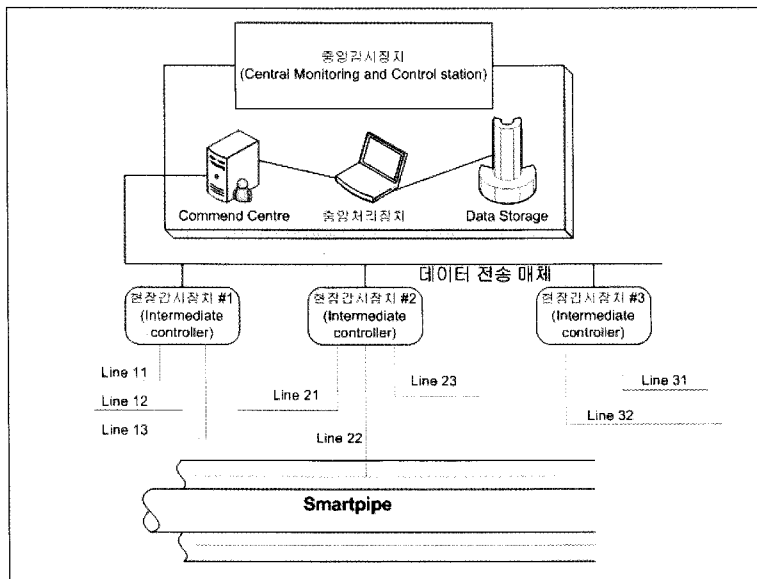


그림 2. Smart pipe의 기본적인 구조

표 1. 일반 상수관시스템과 Smart-pipe시스템의 비교

일반 상수관 시스템	Smart Pipe 시스템
비계획적인 교체나 갱생	계획적인 교체나 갱생 교체나 갱생의 우선순위 결정 가능
- 교통량을 고려하지 못한 교체나 갱생 - 급작스러운 용수공급 중단에 따른 수용가의 불편	교체나 갱생에 따른 손해의 최소화 - 교통량을 고려한 합리적인 교체나 갱생의 공사 시간대를 선택함에 따른 교통체증의 최소화 (예 : 심야시간에 관교체 공사수행) - 단수 통보를 통한 수용가의 사전 대비 가능
침수피해(2005.9.23 부산 상수관 파열에 따른 침수피해)가 발생할 수 있음	- 침수피해에 대한 예방 가능 - 파열에 의한 누수 최소화
정확한 파괴 지점을 찾기 어렵다.	정확한 파괴 지점을 찾기 쉽다.
초기비용이 상대적으로 저렴하다.	초기시설비용과 운영비용이 비싸다.
시공 경험이 많다.	시공 경험이 거의 없다.

3.2 비정상 상태의 운영

앞에서 언급한 바와 같이 비정상 상태의 운영은 관 파괴로 인한 상수관망의 부분적 격리에 따른 피해의 최소화와 화재용수와 같은 일시적으로 많은 용수가 필요할 경우 상수관망에 미치는 수리학적 영향을 최소화하는 것이다. 이러한 문제는 실제 사건이 발생했을 경우는 피해의 최소화가 어렵기 때문에 사전에 파괴시 지대한 영향을 미치는 상수관이나 시설을 파악하는 것이 중요하다. 그러나 펌프나 배수지, 광역상수도 등은 전술한 바와 같이 고장시 전체 시스템을 불능으로 만들기 때문에 피해의 최소화가 가능하지 않고 오직 대체 수원을 통해서만 가능하기 때문에 비정상 상태의 운영방안에서 제외한다.

파괴시 지대한 영향을 미치는 상수관이나 시설을 파악하는 것은 상수관망의 취약성 분석이라 할 수 있으며 상수관망의 일부가 파괴될 경우 나타나는 피해를 산정하여 전체 상수관망에 미치는 영향을 평가하는 것이다. 이는 효율적인 피해의 최소화를 위한 보수보강계획 수립에 필수적이다. 취약성 분석 대상인 시설물은 상수관과 제수밸브를 중심으로 이루어진다. 상수관망의 파괴에 따른 부분적인 격리를 나타내기 위해서 “segment”와 “unintended isolation(비의 도적 구역고립)”의 개념이 필요하다. Segment는 인

접 제수밸브의 차폐시 함께 격리되는 상수관의 집합이며 unintended isolation은 segment 내에 포함되지 않으나 segment의 격리로 인하여 수원으로 부터 용수공급이 중단되어 단수가 되는 영역으로 상수관 파괴에 의한 피해영역 산정에 포함된다. 자세한 개념은 저자가 발표한 논문(전환돈, 2006)을 참조하기 바란다.

3.2.1 관별 파괴에 따른 영향분석

상수관별 파괴에 따른 영향분석은 전체 상수관을 대상으로 개별 관의 파괴를 순차적으로 모의하여 이에 의한 피해를 정량화하는 과정으로 행해진다. 이때 제수밸브의 신뢰성은 100%로 가정하여 상수관망의 파괴에 의한 피해를 정량화 한다. 피해의 정량화는 단수인구로 하며 단수인구에는 수압저하에 의한 간접적인 단수인구도 포함한다. 파괴모의 후 피해영향이 큰 상수관을 기준으로 보강계획을 수립한다.

3.2.2 제수밸브의 고장에 따른 영향분석

제수밸브는 상수관망에서 관파괴나 유지보수 작업을 위해서 일부분을 격리할 경우 필요하다. 제수밸브를 작동시켜서 닫을때 만약 고장이나 기타 다른 원인으로 닫을 수 없게 되면 인접 제수밸브를 닫음으로써 상수관망의 부분적 격리가 가능해진다. 이때 추가적

인 제수밸브의 차폐는 부분격리되는 상수관망의 범위를 크게하여 더 많은 수의 단수인구를 야기하게 된다. 따라서 필요한 최소한의 제수밸브로 상수관망이 부분적으로 격리되게 하는 것이 중요하다. 제수밸브의 고장에 따른 영향 분석의 과정은 제수밸브가 순차적으로 파괴되었다 가정하고 이때 발생하는 추가적인 단수인구수를 통해서 제수밸브의 중요도를 정량화한다. 제수밸브의 중요도를 식 (1)과 같이 정의한 후 중요도가 높은 제수밸브를 적절히 관리하여 필요시 정확히 작동하도록 유지하면 전체적인 상수관망의 신뢰도를 높일 수 있다.

$$\text{Valve Importance Index(VI)} = \frac{C_v}{C_T} \quad (1)$$

여기서, C_v : 해당 밸브가 작동을 안 할 경우 추가로 영향을 받는 소비자의 수
 C_T : 상수관망에서 물을 공급 받는 전체 소비자의 수

3.2.3 취약성 분석에 따른 보강계획

관과파나 제수밸브의 고장으로 인한 피해를 최소화 할 수 있는 보강계획은 다음과 같다.

- 중요관인 경우 갱생이나 교체
- 중요관과 동일한 노선을 가지는 상수관의 추가 매설
- 추가 용수공급노선의 확보
- 제수밸브의 추가 설치
- 관보수 시간동안 공급이 가능한 비상 수원(예를 들어 물탱크)의 설치

각 보강계획은 중요한 관이나 제수밸브의 위치와 주변 상황에 따라 적절히 선택해야 한다. 예를 들어 추가 용수공급노선의 경우 가장 확실한 대책이 되기는 하나 노선상에 건물이 많던가하여 추가 노선의 설치가 어려운 경우 다른 방법 예를 들어 비상 수원의 설치등이 대안이 될 수 있다.

3.2.4 상수관망 취약성 분석의 예

미국 코네티컷주에 위치한 Cherry Hills 상수관망을 상수관망 취약성 분석의 예로 선정하였다. 이 상수관망은 104개의 관, 90개의 수요절점, 94개의 제수밸브로 이루어졌으며 한 개의 저수지와 탱크가 수원의 역할을 한다. 형태는 그림 3(아래)과 같다.

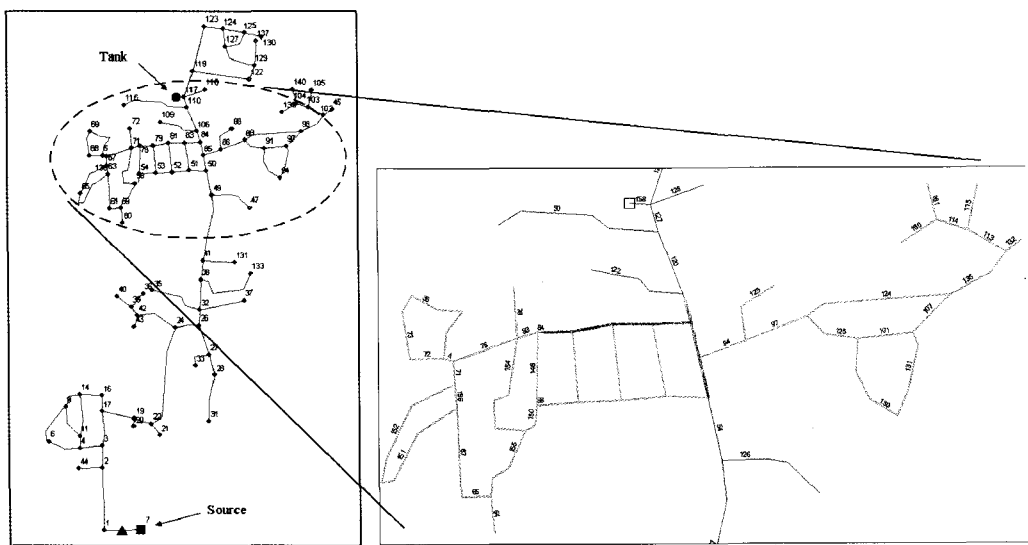


그림 3. Cherry Hills 상수관망 및 대규모 피해발생 영역

표 2. 관별 취약성 분석결과 (Cherry Hills 관망)

No.	Segment 번호	Segment		비의도적 구역고립		전 체
		pipes	단수인구(명)	pipes	단수인구(명)	단수인구
1	S17	84, 87, 90, 91, 92, 93, 116,	336 (3.6%)	55, 56, 57, 58, 64, 65, 67, 71, 72, 73, 75, 76, 83, 94, 97, 101, 107, 113, 114, 115, 145, 146, 156, 160, 161, 123, 124, 125, 130, 131, 132, 136, 148, 149, 150, 151, 152, 154, 155, 36, 4,	3222 (34.5%)	3558 (38.1%)
2	S18	94, 97,	118 (1.3%)	101, 107, 113, 114, 115, 160, 161, 123, 124, 125, 130, 131, 132, 136,	1091 (11.6%)	1209 (12.9%)
3	S20	107, 136,	161(1.7%)	113, 114, 115, 160, 161, 132,	291(3.1%)	452(4.8%)
4	S23	120, 127,	122 (1.3%)	128, 129, 133, 134, 135, 138, 139, 141, 143, 159, 48, 49, 50, 122,	1518 (16.3%)	1640 (17.6%)
5	S25	129, 133,	249 (2.7%)	134, 135, 138, 139, 141, 143, 159, 48, 49,	840 (9.0%)	1089 (11.7%)

관별 취약성 분석결과 많은 피해를 나타내는 관들이 있음을 알 수 있었다 (그림 3과 표 2 참조). 표 2에 보여지는 것과 같이 한 개의 상수관의 파괴에 따라서 최대 약 40%정도의 단수인구가 발생할 수 있으며 이러한 관이 104개의 관중에서 17개 (5개의 segment에 포함된 관의 총수)나 되며 이는 상수관망의 안정성 확보에 큰 어려움을 겪게 한다. 특히 segment S17 (그림 3)은 가장 큰 segment이며 S17에 포함된 7개의 관(84, 87, 90, 91, 92, 93, 116)중 한 개라도 파괴가 발생하며 전체 급수인구 중 약 40%가 단수되게 된다. 이러한 관들이 나타나게 된 원인은 다음과 같다.

- 용수공급 노선의 단선화
- 제수밸브 분포의 부적절성
- 비상 수원지의 미확보

따라서 보강계획의 수립이 필요하며 현장조건을 감안하여 위의 5가지 방안중 하나를 선정할 수 있다.

제수밸브의 취약성 분석결과 94개의 제수밸브중 표 3의 결과처럼 Valve Importance Index 상위 5개의 제수밸브가 파괴되었다. 이중 상위 두 개 제수밸브는 파괴시 전체 급수인구의 50%정도가 단수가 되었으며 이를 보강하기 위해서는 해당 제수밸브 주변에 추가로 제수밸브를 설치하여 반드시 해당 지점에서 상수관의 격리가 가능하도록 해야 할 것이다.

아래의 예(표 3)에서 알 수 있듯이 상수관망의 취약성 분석은 관파괴나 제수밸브의 파괴에 따른 전체 상수관망에의 영향을 알 수 있게 해주며 이에 따른 효율적인 보수보강 계획 수립에 매우 중요하다. 특히 상수관망의 크기가 커지고 구조적으로 복잡해질 경우 수작업을 통한 취약성 분석은 거의 불가능하게 되어 자동화된 시스템이 필요하게 된다. 이러한 시스템 구

표 3. 제수밸브 취약성 분석결과 (Cherry Hills 관망)

제수밸브	파괴시 영향 (단수인구)	Valve Importance Index	중요도
106,116	1300	55.66%	1
50,54	1049	44.93%	2
38,44	440	18.83%	9
1,1	63	2.71%	67
109,122	30	1.30%	89

축에는 UIS(Urban Information System)의 구축으로 전산화된 상수관망의 자료나 GIS화 되어있는 자료가 필수적이며 비정상상태의 운영뿐 아니라 일반적인 운영상태에서도 수집된 자료의 정보화와 개개 시설물 관리에 필수적이다.

3.3 재해시 상수관망의 운영

상수관망은 사회기간망으로 일상적인 사회기능의 유지를 위해서 중요한 역할을 한다. 재해가 발생하였을 경우 상수관망중 일부분의 손실은 불가피하나 상수관망의 기능을 최대한 유지하는 것이 재해에 따른 피해를 최소화하는데 매우 중요하다. 재해시 상수관망의 운영은 일상적인 비상시(관파괴등)과 달리 상수관망이 최대한 피해를 입지 않도록 사전대비가 중요하며 피해를 입었을 경우라도 미리 파악된 중요한 용수 수요처에 가능한 많은 용수를 공급할 수 있도록 운영되어야 한다. 특히 홍수나 지진의 경우 동시다발적으로 여러 개의 관이 파괴되어 이를 대비한 수리모의와 피해영역 산정을 할 수 있는 시스템을 구축해야 한다. 이를 위해서는 배수관망의 통합적인 자료운영 시스템이 필요하다. 즉, GIS 또는 UIS에 포함되어 있는 배수관망의 노선도, 제수밸브의 위치, 관경등의 관 조건이 EPANET과 같은 수리모델에 입력자료로 사용되어 기본적인 수리모의 시스템을 구성하고 이를 바탕으로 용수수요자 정보를 통합하여 파괴시 큰 피

해를 야기하는 있는 관을 미리 파악하여 해당 관의 지진파괴 가능성을 낮추도록 보강하거나 추가적인 이중관을 매설하여 중복성(redundancy)를 확보하는 방안을 마련한다. 위와 같은 시스템이 구축된 후 통합된 수리모의모델에 발생가능성이 높은 다중관파괴 시나리오(multiple pipe failure scenario)를 모의하여 피해 범위를 산정한다. 다중관파괴 시나리오 수립이나 최대의 피해를 야기하는 다중관파괴 시나리오의 수립을 위해서 추후에 연구가 필요하리라 생각된다. 표 4는 재해시 상수관망의 피해를 최소화하기 위한 방안을 보여주고 있다.

국내의 경우 풍수해에 의한 피해는 기후특성상 자주 발생하였고 이에 따른 상수관망의 피해에 따른 복구와 이재민의 구호에 많은 어려움을 겪었다. 그러나 올해 발생한 평창지역의 지진에서 알 수 있듯이 한반도가 지진의 안전지대가 아닐 수 있다는 가능성이 커지고 있다. 홍수나 산사태에 따른 상수관망의 피해는 지진에 비하면 비교적 경미할 수 있다. 왜냐하면 지진이 발생하면 반드시 화재가 발생하며 지진의 직접적인 피해보다 지진에 따르는 화재에 의해 더 많은 인명과 재산피해가 발생한다. 화재진압을 위해서 상수관망에서 소화전으로 공급되는 용수가 필수적이다. 그러나 화재용수로 쓰이기 위해서는 일정 압력 이상의 압력이 확보되어야 하나 다중관 파괴가 발생했을 때 필요압력이 중요지점에서 가능한지 모의해 보아야 한다. 이는 매우 어려운 문제로 전문한 바와 같이 추

표 4. 상수관망의 재난피해 경감 대책

방 안	방 법
기존 관 보강	관 외벽에 타르, 테일, 또는 플라스틱 코팅을 하여 관과 흙사이 마찰력을 감소시켜서 관체가 흙의 부등침하에 대해서 적절히 대응하여 거동하도록 만들어 주어야 한다
관교체	노화정도에 따라 새로운 관이나 내진, 내충격, 휨에 대한 저항이 높은 관종으로 중요 관인 경우 교체해야 한다
용수 노선 추가	새로운 노선을 추가하여 용수공급선(path) 확보해야 한다
제수밸브 적절한 추가	제수밸브를 추가하여 부분적으로 파괴된 관을 다른 관에 파괴여파가 미치지 않도록 해야 하나 제수밸브를 너무 많이 설치하면 관이 흙의 거동에 대응하는 능력이 떨어지게 되며 대구경 밸브의 경우 설치비가 비싸며 설치 후 일정한 관리를 하여야 주어야 함으로써 설치를 위한 제수밸브의 수와 위치를 결정하는 것이 중요하다.

가적인 연구가 필요할 것이다.

4. 마치며

상수관망은 중요한 사회기간시설이며 개인의 일상 뿐 아니라 도시의 기본 기능을 유지하는데 필수적이다. 따라서 상수관망의 효율적인 운영 및 관리는 사회전반적인 기능 유지에 결정적인 역할을 하고 있다. 본 고에서는 상수관망의 운영을 세가지 운영조건으로 나누어서 운영주체가 대처해야할 방안과 시스템을 소개하였다. 현재까지 실무에서 많은 노력을 기울여 안정적인 운영을 해오고 있으나 새로이 보급되고 있는 다양한 IT와 개발된 기술을 도입한다면 그간에 축적된 운영 know-how를 활용하여 더욱 효율적이고 안정적인 상수관망의 운영이 될 것으로 생각된다.

참고문헌

강병모, 홍인식 (2004), "GIS상에서 TDR을 사용한 누수감지관과 모니터링 시스템에 관한 연구", 멀티미디어학회 논문지 Vol. 7, No. 4 pp.567~578.

강병모, 홍인식 (2004), 원격 상수도관망 누수감지 시스템에 관한 연구, 정보처리학회 논문지, Vol.11 No. D pp.1311~1318.

조규덕 (2004), "지중 매설 열배관 보온재의 절연저항 변화 측정에 의한 배관 감시 및 시스템", 대한설비공학회 2004 동계 학술 발표대회 논문집 pp.212~217.

전환돈 (2006), "상수관 파괴시 관망의 부분적 격리를 고려한 피해범위 산정", 한국수자원학회 논문집, 한국수자원학회, 제39권, 제2호, pp89-98.

전환돈, 박무중 (2005), "상수관망의 지진 피해 감소 방안", 방재연구, 국립방재연구소, 제7권, 제4호, pp128-134.

한국지역난방공사 (2002), "열배관 기술자 직무교육"

Eidinger, J. M. and Avila, E. A. (1999), "Guidelines for the seismic evaluation and upgrade of water transmission facilities", ASCE.

Goulter, I.D. (1995). "Analytical and simulation models for reliability analysis in water distribution systems." Improving efficiency and reliability in water distribution system, E. Cabrera and A. F. Vela, eds., Kluwer Academic, London.

Inaudi, D. (2005), "Overview of fibre optic sensing to structural health monitoring application", International Symposium on Innovation & Sustainability of Structures in Civil Engineering.

Jaffrey, D., Lubbers, J., King, B., Tapanes, E.E. (2002), "An Effective and proven technique for continuous detection and location of third party interference along pipeline", Proceeding of IPC, ASME, pp.947-952.

Jun, H. D. (2005), "Strategic valve locations in water distribution systems", Ph.D. dissertation, Virginia Poly Technique and State University, Blacksburg, VA 24060.

Karney, B.W. and Laine, B. (1997), "Smart Pipe: A Feasibility Study for IPEX", HydraTek Associate, Toronto.

Mays, L. W. Editor (2000), "Water distribution system handbook", McGraw-Hill, New York, NY.

Mays, L.W. (1996). "Review of reliability analysis of water distribution systems." Stochastic hydraulics '96, K. K. Tickle et al., eds., Balkema, Rotterdam, The Netherlands, pp.53-62.

Su, Y.C., Mays, L.W., Member ASCE, Duan,

N. and Lansey, K.E. (1987). "Reliability based optimization model for water distribution systems." Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, 114(12), pp.1539-1556.

USEPA (2005), "White Paper on Improvement

of Structural Integrity Monitoring for Drinking Water Mains", EPA/600/R-05/038, Office of Research and Development, Washington DC 20460. ●