



용수공급 안정화를 위한 연계관로 설계 및 평가

A Study on the design and evaluation of connection pipes for stable water supply

장용훈¹ · 김주환^{1*} · 정관수²

Yonghoon Chang¹ · Juhwan Kim^{1*} · Kwansoo Jung²

1 한국수자원공사 2 충남대학교 토목공학과

(2012년 1월 9일 접수; 2012년 4월 11일 수정; 2012년 4월 13일 채택)

Abstract

The paper describes a design methodology that can select a proper reliability factor and apply the selected reliability factor into the real water distribution system. Reliability factors which are used for the assesment of water supply networks, can be categorized by a connectivity, a reachability, an expected shortage and an availability. Among these factors, an expected shortage is the most proper reliability factor in the aspect of economic evaluation. Therefore, the expected shortage is applied to draw a water supply reliability into Changwon water supply systems. And the economic pipe diameter can be determined as 600mm for a connection pipe in the pipe network from the estimation of the expected shortage. Also, a quantitative effect of the connection pipe can be expressed in terms of the reduction, which is estimated by the expected shortage of 30,269m³ from 68,705m³ at initial condition to 38,436m³ under the connected condition with the diameter 600mm pipe.

Key words : Reliability, expected shortage, water pipe network

주제어: 신뢰성, 부족량 기대치, 상수관망

1. 서론

우리나라의 수도시설은 1900년대 초 처음 도입된 이후, 도입기와 개발기 및 발전기를 거쳐 현재에 이르고 있다. 도입기는 우리나라 최초의 정수장인 서울의 뚝도정수장(12,500m³/일)이 건설된 1908년부터 1945년까지로 볼 수 있으며, 1960년대 한국전쟁 이후 재건을 거쳐 발전기인 1990년부터 고도정수처리시설이 도입되는 등 우리나라의 수도시설은 비약적인 발전을 거듭하였으나, 최근까지도 정수처리시

설의 고도화에 치중해 왔다. 상수도 관망시스템은 원수 또는 정수를 관로, 펌프, 밸브 및 배수지 등을 통하여 정수장 또는 수용가까지 전달하는 중요한 시설이다. 용수공급을 위한 관망시스템의 비용은 수처리시설을 포함한 전체 프로젝트 비용의 약 60 % 이상을 차지하며, 용수공급에 소요되는 에너지 비용은 전체에너지 비용의 약 80 %를 차지한다(Sarbu, 2009). 이러한 중요한 시스템이지만 지하에 매설되어 있어 육안으로 쉽게 관찰되지 않는 관계로 중요

*Corresponding author: Tel: +82-42-870-7501, Fax: +82-42-870-7549, E-mail: juhwan@kwater.or.kr(J.H. Kim)

성이 간과되고 있는 실정이다. 최근 구미시에서의 단수사고 등 관로의 파손으로 인한 용수공급의 중단은 사회적으로 큰 파장을 일으키고 있으며, 용수공급 관망시스템의 신뢰성은 수도시설의 운영관리 측면에서 수질의 문제와 더불어 중요한 문제로 대두되고 있다.

본 연구의 목적은 첫째 여러 가지 상수관망의 신뢰성을 평가하는 인자와 방법들 중에서 국내 상수관망 실정에 적합한 신뢰성 평가 인자와 평가방법을 선정하고 선정된 신뢰성 평가 인자와 방법을 실제 창원공업용수도 상수관망에 적용하여 경제적 연계관망의 관경을 결정하고 이에 대한 효과를 정량적으로 평가하는 데 있다.

2. 국내외 연구동향

국내 상수관망의 최적설계에 신뢰성의 개념을 처음 도입한 연구는 박희경 등(1997)이 연구한 부족량기대치를 이용한 배수관망의 신뢰최적설계이다. 이 연구에서는 부족량기대치가 관망 신뢰도의 한 측정치로 소개되었다. 부족량기대치를 활용하여 서로 다른 설계안들의 신뢰도를 측정하여 상대적으로 비교할 수 있도록 하여 최적관망을 설계하는 데에 부족량기대치는 유용한 것으로 평가하였다. 관망을 주어진 신뢰도에 맞게 최소비용 설계를 할 수 있다는 점 이외에 보다 중요한 것은 비용과 신뢰도 사이의 상관관계를 분석할 수 있다는 것이다. 지금까지와 달리 관망설계가 두 개의 목적을 동시에 고려한 문제로서 취급될 수 있다는 것이다. 신현곤과 박희경(1998)의 유전자 연산을 이용한 상수관망의 최적설계 연구에서는 기존의 선형최적화 프로그래밍을 대신하여 국내 관망설계분야에서는 최초로 유전자 연산을 통해 미국의 뉴욕시의 배수관망을 대상으로 상수관망의 최적화를 수행하였다. 이 연구에서 목적함수는 공사비를 최소화하는 것이며 제약조건은 각 절점의 수두로 최소 허용수두이상이어야

하는 것이며 최소 허용수두의 범위를 벗어나면 벌금 비용을 부과하는 것으로 되어 있다. 최소공사비는 LP(Linear Programming) 방법으로 구한 최적값인 26.822백만 달러보다 적은 22.546백만 달러의 최적해를 얻어 약 4.276백만 달러를 절약할 수 있는 것을 나타내었다. 한국수자원공사(2001)에서는 수도시설 최적연계 계획 및 설계 활용을 위한 평가 기준 개발보고서를 통해 국내의 광역급수권 설정기준에 적용된 지리적 인접성, 급수지역의 중복성, 공급체계 및 취수원의 연관성 등에 대한 인자들을 조사하고 광역급수권간 연계에 적용될 수 있는 연계방법을 조사하였으며, 관망시스템 전체를 위한 신뢰성을 판별할 수 있는 인자들을 조사하여 활용하기에 적합한 신뢰성 인자를 선정하였다. 이 연구에서는 Monte Carlo 방법을 이용하여 개량된 부족량기대치 산정기법을 연구하였다.

국외의 상수관망 최적설계에 관한 연구로서 관망에서 최소비용 관경을 결정하는 선형 프로그램 모델을 Lai와 Schaake(1969)가 최초로 제시하였는데 모든 노드(절점)에서 수두와 필요수량은 이미 아는 것으로 가정하고 이 수두와 수량의 최적 해를 구하는 방법을 개발하였다. 이 방법은 수두가 다르게 가정되면 다른 해법을 얻게 되고, 이 모델을 사용할 때 더 나은 해를 구하는 방법에서 수두를 가정하기가 어렵게 된다. Cullinane(1986)은 장기간의 수리 시뮬레이션을 이용하여 도시 상수관망의 신뢰성을 평가하기 위한 개념을 제시하였는데 이러한 신뢰성은 유효성(Availability)으로 측정되며 이것은 최소잔류수압 또는 그 이상으로 공급되는 요구 수량의 시간 백분율(%)로서 나타내었다. Walski(1985)는 1985년까지 개발된 유량형태와 해결방법에 따른 최적화 기법을 분류하고 실제 관망시스템을 설계하는 현장 기술자들이 사용할 수 있는 기술개발과 프로그래밍을 강조하여 관망의 최적화에서 풀리지 않는 많은 문제점을 지적하였다. Wagner 등(1988)은 상수관망의 최적설계를 위한 신뢰성 인자로서 연결성

(Connectivity)와 도달성(Reachability)를 제시하였다.

3. 상수관망에서의 신뢰성 인자

3.1 신뢰성 인자의 선정

상수도시스템에서 주된 요소 중에 하나인 관망은 정수장 또는 저장 설비로부터 소비자에게까지 상수를 공급하는데 관련된다. 관망의 신뢰성을 판단하기 위해 사용이 되는 신뢰성 인자로 연결성(Connectivity), 도달성(Reachability), 부족량 기대치 그리고 유효성(Availability) 등이 있다.

연결성(Connectivity)은 전자회로의 설계에 있어서 최초로 도입된 개념이고, 이를 관망 시스템 분야로 적용한 최초의 연구는 Wagner 등(1988)에 의해 이루어졌다. 관망 시스템 분야에서의 연결성은 모든 절점이 최소한 1개 수원에 연결될 가능성을 의미하는 것으로 상수 관망의 전체 신뢰도를 측정하는데 사용이 되는 인자이다. 연결성은 신뢰도의 정의인 “주어진 운용 조건하에서 의도하는 사용 기간 중에 의도한 목적에 만족스럽게 작동 할 확률”을 계산하는 가장 기본적인 인자이다. 예를 들어 연결성이 0.98이라는 것은 주어진 운전 횟수가 100번이라고 하면, 98번 동안은 의도한 목적에 맞게 수원과 모든 절점이 연결되어 물 공급이 이루어진 확률을 의미하며, 나머지 2번 동안은 관의 파손이 일어나 의도한 목적에 맞게 만족스럽게 작동하지 않을 확률을 의미한다.

도달성(Reachability)은 네트워크의 특정 절점이 최소 1개 수원에 연결될 가능성을 의미하는 것으로 Wagner 등(1988)에 의해서 연결성과 함께 2가지 가능한 신뢰 척도 중 한 가지로 개발되었다. 관로의 여러 개의 절점 가운데 특정한 절점을 선택하여 이 절점이 어떤 경로를 거치든 수원에만 연결이 되어 있으면, 다른 절점들과 수원과의 관계에 상관없이 도달성이 만족한다는 것을 의미한다. 이는 앞에서 설명한 연결성과는 다르게 특정한 절점의 연

결성은 알 수가 있지만 시스템 전체의 연결성을 제시 할 수는 없다. 그렇기 때문에, 상수 관망의 전체의 신뢰도를 측정하는 방법으로는 사용이 되지 않으며, 시스템에 상관없이 특정한 절점과 수원과의 연결성을 체크하는 상수 관망의 부분적인 신뢰도를 측정하는 방법에 사용이 된다.

부족량 기대치는 관로가 파손되었을 경우 물 공급의 부족으로 인하여 불편함과 폐해의 크기를 상대적으로 나타낼 수 있는 신뢰성 인자이다. 파손으로 발생된 물 부족의 빈도나 지속 기간을 그 설비의 파괴율과 그 설비를 수선 및 교체하는 데 걸리는 시간으로부터 산정을 할 수 있으며 경제적이고 확실적인 척도를 사용하여 이들 유량, 빈도 및 지속 시간을 이용하여 부족량 기대치를 구할 수 있다. 구하는 방법으로는 고장 확률을 발생된 부족량을 곱하여 부족량 기대치를 구할 수 있다. 부족량 기대치를 측정하기 위해 두 가지 방법을 사용할 수 있다. 첫 번째 방법은 한 절점의 부족량을 그 절점 수요의 비로 표시하는 것으로 허용 부족율(Allowable Shortage Fraction, ASF)라고 한다. 이 ASF를 사용한 관망의 신뢰최적모델을 허용 부족율 최적 모델이라 하며 Park and Liebman (1993)에 의해 개발 및 적용되었다. ASF는 적을수록 관망의 신뢰도 높은 것이며, 계산량이 적어 신뢰 최적 모델 개발에 상당한 이점을 가지고 있다. 두 번째 방법은 주어진 기간 동안에 발생 할 수 있는 각 절점에서의 부족량을 직접 측정하여 부족량 기대치로 사용한다. 각 절점에서의 발생할 부족량을 측정할 수 있는 변수를 도입하며 각 절점의 허용 부족량을 제한하면서 관망을 최적화 한다(박희경 등, 1997).

유효성(Availability)은 과거에 많이 사용된 신뢰성 인자로서, 구성 요소의 복구율을 사용하지는 않고, 단지 적절한 운영을 통해 임의의 시기에 물 시스템의 수요가 공급을 넘지 않으며, 적합한 운전상태(적절한 수두 유지)를 유지할 수 있는 확률로 정의된다. 이 확률은 계절별로 달라질 수 있고, 가뭄이나

홍수 같은 특수 기후 상황에도 달라질 수 있다.

본 연구에 적용할 신뢰성 인자를 결정하기 위해서는 신뢰성 인자의 장단점을 분석하였다. 그 결과 연계를 통해 얻을 수 있는 편익을 산정할 수 있어 경제성을 고려한 최적연계관망을 선정할 수 있는 부족량 기대치를 최적연계 계획 및 설계에 활용하기 위한 신뢰성 인자로 선정하였다.

Table 3.1 Characteristics of reliability factors

신뢰성 인자	장 점	단 점
연결성 (Connectivity)	- 별도의 수리학적 계산 없이 관의 형태와 파괴 확률만으로도 산정 가능 - 시스템 전체 연결성 검토 가능	- 각 절점별 연결성을 검토 못함 - 시스템 실패시 발생하는 물 부족량을 고려 못함
도달성 (Reachability)	- 별도의 수리학적 계산 없이 관의 형태와 파괴 확률만으로도 산정 가능 - 각 절점별로 연결성 검토 가능	- 전체 시스템의 연결성을 검토 못함 - 연결성에 비해 많은 계산량 - 시스템 실패 시 발생하는 물 부족량을 고려 못함
부족량 기대치 (Expected shortage)	- 경제성 분석에 용이함	- 관망의 연결성을 제시 못함
유효성 (Availability)	- 기존에 많이 사용된 인자, 즉, 신뢰성 산정을 위해 참고할 자료가 충분히 존재	- 시스템 실패 시 발생하는 물 부족량을 고려 못함

3.2 부족량 기대치

부족량 기대치는 관로가 파손되었을 경우 물 공급의 부족으로 인하여 불편함과 피해의 크기를 상대적으로 나타낼 수 있는 신뢰성 인자이다. 파손으로 발생한 물 부족의 빈도나 지속 기간을 그 설비의 파괴율과 그 설비를 수선 및 교체하는데 걸리는 시간으로부터 부족량 기대치를 구할 수 있다. 관의 파손이 일어날 경우 파손이 일어난 관에 연결된 절점에서 공급되어야 할 물의 공급이 원만히 이루어지지 않아 공급량 부족이 발생한다. 그 공급량의 부족분은 각 절점의 수두를 이용하여 계산한다. 식

3-2는 Wagner등(1988)이 개발한 부족량 공식이다.

$$Q = \left[\frac{(H - H_s)}{(H_m - H_s)} \right]^{\frac{1}{2}} \times C \quad (3-2)$$

여기서 Q(m³/hr)는 부족량, Hs(m)는 기준 수두 (15m), Hm(m)는 최소 기준 수두 (5m), H는 절점의 수두(Hs > H > Hm), C는 절점의 수요량 (m³/hr) 이다. 기준 수두 및 최소 기준 수두는 절점별로 요구되어지는 최소의 수두 높이를 의미한다. 즉, 상수 관망에 따라 기준 수두 및 최소 기준 수두의 높이는 절점 및 파이프에서(압력 파이프의 크기 및 재질 등) 요구 및 허용하는 상태에 따라 정해진다.

Fig 3.1은 절점의 수두에 따라 변하는 절점의 공급량을 식 3-2를 이용해서 나타낸 것이다.

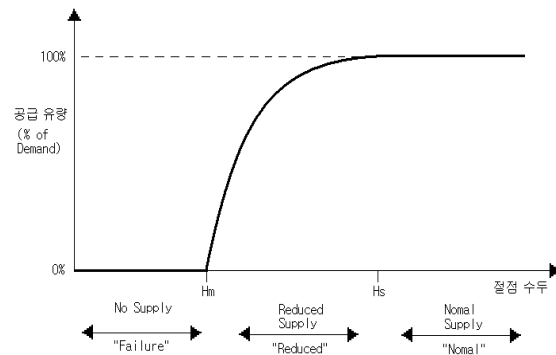


Fig 3.1 Calculation of water supply amount according to water pressure in nodes(Wagner et al., 1988)

Fig 3.1에 따르면 절점의 수두가 최소 기준 수두에 미달하면 그 절점을 공급을 전혀 못 받는 상태가 되고, 기준 수두를 넘어서면 수요량을 100% 만족시키는 물 공급을 받는 상태가 된다. 위와 같은 방법을 통하여 계산이 이루어진 부족량을 이용하여 부족량 기대치를 구할 수 있다. 부족량 기대치는 식 3-3에 의해 계산된다(박희경 등, 1997). 부족량에 관 파손확률을 곱한 값은 파손이 일어났을 때 발생하는 부족량 기대치를 유량으로 나타낸 것이고,

그 값에 1회 파손 시의 파손 지속 기간을 곱해 줌으로써 부족량 기대치를 총량으로 나타낸 것이다. 파손 지속 기간은 관의 파손 자료의 통계적인 분석을 통하여 파손 시 복구되는데 걸린 시간의 평균값을 사용한다. 본 연구에서는 관 파손확률 및 파손 지속기간은 문헌에서 참고하였다.

$$\text{부족량 기대치} = \text{부족량} \times \text{관 파손확률} \times \text{파손 지속시간} \quad (3-3)$$

여기서 부족량 기대치($m^3/year$)는 1년간의 부족량 기대치이며, 부족량(m^3/hr)은 실제 수요량과 관 파손이 일어날 경우의 공급량과의 차이이며, 관 파손 확률은 운전을 1회(1년간) 시행했을 때 발생하는 관의 평균 파손 확률(/year) 그리고 파손 지속 기간은 관이 파손이 일어난 후에 복구까지 걸린 평균 보수 시간(hr)이다.

4. 부족량 기대치를 활용한 연계관로 설계방안

본 연구에서는 한국수자원공사에서 운영하고 있는 창원공업용수도 공급관망을 대상으로 연계관로를 추가하여 공급관망의 신뢰성을 향상시키는 것을 대상으로 연구를 수행하였다. 먼저 수리해석을 위한 관망모델은 창원공업용수도 관로의 관경, 연장, 절점의 좌표 및 표고, 절점별 물 사용량, 가압장 및 배수지 등을 조사하였으며, 이를 구축하는 과정에서 한국수자원공사 상하수도연구소에서 자체 개발한 Map-maker 프로그램을 사용하였다. 설계대상 연계관로의 위치는 Fig 4.1에서 보는 바와 같이 창원공업용수도 급배수관망의 중심부인 운동장사거리~삼동교차로 구간이다. 이 연계관로에 대해 경제성과 신뢰성을 감안한 최적연계관로의 관경을 구하기 위해 부족량 기대치를 활용하였다.

적합한 관경을 결정하는 절차는 연계관로의 관경을 변화시켜 각각의 경우에 부족량 기대치를 산정하고 이를 관로 공사비와 비교하여 신뢰성과 경제

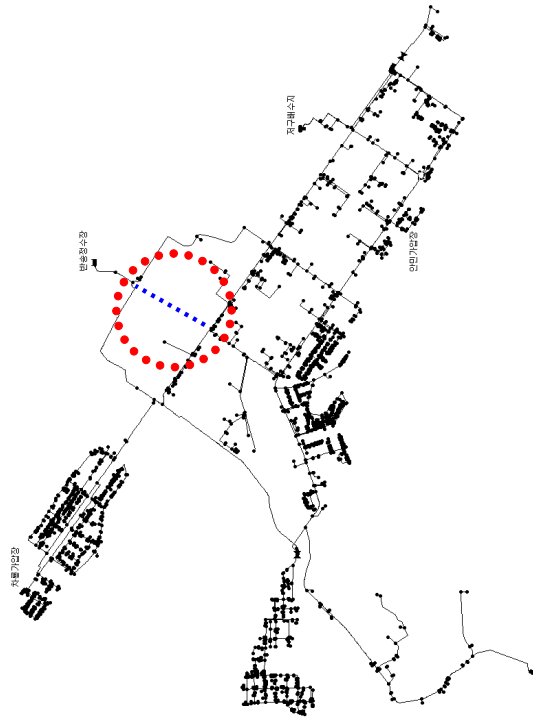


Fig 4.1 Location of connection pipeline in study pipe map

성을 만족하는 최적 관경을 결정하도록 하였다. 우선 전체 용수공급에 큰 영향을 주는 주요관로 11개를 선정하고 선정된 11개 주요관로가 파손이 되는 경우를 가정하여 부족량 기대치를 산정하고 이를 총 운영기간 45년으로 확장하여 총 부족량 기대치를 산정하고 이를 비교하였다. 주요관로 11개는 관경이 600mm이상인 관로로서 연계관로를 기점으로 1차 및 2차 연결관로를 대상으로 선정하였다.

부족량 기대치는 연계관로가 없는 현재의 상태부터 시작하여 연계관로의 관경 500mm인 경우, 600mm인 경우, 700mm인 경우, 800mm인 경우와 1,200mm인 경우를 가정한 후, 각각의 대안에서 주요 파손관로로 선정된 line-1부터 line-11까지 11개의 관로 중에서 1개의 관로가 파손되는 경우를 가정하여 각 대안의 총 부족량 기대치를 산정하였다. 즉, 기존방식으로 공급하는 경우 관로파손 11가지와 연결관로를 500mm~1,200mm까지 5가지 관경에 대

한 관로파손 11개 대안들을 합쳐 총 66가지 경우에 대하여 관망의 수리해석결과를 근거로 부족량 기대치를 산정하였다. 특히, 관경이 1,200mm인 경우는 당초 계획하였던 연계관로의 관경이다.

부족량 기대치는 앞에서 언급한 식(3-3)으로부터 구할 수 있다. 이 식에서 부족량기대치는 부족량과 관 파손확률 그리고 파손 지속시간의 곱이며, 부족량은 수리해석을 통해 구할 수 있으며, 창원공업용수도의 관로 파손확률은 구하기 어려워 신현근과 박희경(1999)의 연구결과를 활용하였으며, 아래의 식(4-1)과 같다.

$$P(\text{파손 확률}) = 8.14124 \times 10^{-6} \times \frac{l}{d^{10}} \quad (4-1)$$

여기서, P(파손확률)는 1년 동안의 파손확률(%)이며, l은 관의 길이(m), d는 관경(cm)이다. 식(5-1)에서와 같이 파손확률은 관로의 길이에 비례하고 관경의 1/10승에는 반비례하는 관계로 나타낸다.

파손 지속시간은 광역상수도의 운영경험을 많이 축적하고 있는 한국수자원공사에서 제시한 경험식을 사용하였다. 이 경험식에서 파손 지속시간 즉 복구에 걸리는 시간은 관경에 대한 함수로 관경이 크면 파손에 따른 복구에 시간이 많이 소요되므로 파손 지속시간 역시 길게 된다. 파손 지속시간은 식(4-2)를 적용하였다.

$$t = \frac{D}{100} + 2 \quad (4-2)$$

여기서, t (hr)는 파손복구시간, D(mm)는 관경이다. 이에 따라 각 관로의 파손확률을 구하면 Table 4.1과 같다.

Table 4.1 Probability and duration of breakdown

구분	관경 (mm)	관로 연장 (m)	파손확률 (%)	파손 지속시간 (hr)
line-1	1,200	2,702	1.36	14
line-2	900	2,483	1.29	11
line-3	600	1,073	0.58	8
line-4	600	1,059	0.57	8
line-5	600	1,261	0.68	8
line-6	700	1,390	0.74	9
line-7	600	3,310	1.79	8
line-8	600	2,624	1.42	8
line-9	600	1,455	0.79	8
line-10	600	1,626	0.88	8
line-11	700	1,726	0.92	9

연계관로를 신설하기 이전인 현재의 상태로서 1-Line부터 11-Line까지의 11개 관로가 각각 파손되었을 때 수리해석을 통해 부족량을 산정하고 Table 4.2 과 같이 45년간의 총 부족량 기대치를 산정하였다.

Table 4.2 Estimated results of expected shortage without connection pipe

파손 관로	관파손 확률 (%/년)	관파손 지속시간 (hr)	부족량 (m ³ /일)	부족량 기대치 (m ³ /년)	총 부족량 기대치 (m ³ /45년)
1-Line	1.36	14	93,305	741.7	
2-Line	1.29	11	23,584	139.3	
3-Line	0.58	8	17,498	33.8	
4-Line	0.57	8	20,603	39.3	
5-Line	0.68	8	20,567	46.7	
6-Line	0.74	9	12,085	33.5	
7-Line	1.79	8	33,094	197.3	
8-Line	1.42	8	26,748	126.4	
9-Line	0.79	8	17,908	46.9	
10-Line	0.88	8	17,996	52.7	
11-Line	0.92	9	19,934	68.6	
계				1,526.77	68,704

동일한 방법으로 각 관경에 대하여 45년간의 총

부족량 기대치를 산정한 결과는 Table 4.3에서 볼 수 있다.

Table 4.3 Estimated results of expected shortage for each diameter

구분	부족량 기대치 (m ³ /년)	총 부족량 기대치 (m ³ /45년)	비고
D 500mm	1,036.63	46,648	
D 600mm	853.13	38,435	
D 700mm	831.78	37,430	
D 800mm	815.20	36,684	
D1200mm	808.36	36,376	

각 대안에 따른 경제성을 분석하기 위해 현지 여건이 도로구간으로 도로의 포장복구를 감안한 공사비를 산정하였다. 산정한 관경별 공사비는 Table 4.4와 같다.

Table 4.4 Construction cost for each diameter

구분	공사비/m (원)	관로 연장 (km)	총공사비 (천원)
D500mm	622,000	1.47	914,340
D600mm	725,000	1.47	1,065,750
D700mm	877,000	1.47	1,289,190
D800mm	1,086,000	1.47	1,596,420
D1200mm	1,855,000	1.47	2,727,732

부족량 기대치와 공사비를 그래프로 나타내면 Fig 4.2에서와 같이 연계관로의 관경이 커지면 전체 관망시스템에서의 부족량 기대치는 감소하는 경향을 보이나, 600mm이상의 관로에서는 그 차이가 크지 않은 것으로 분석되었다.

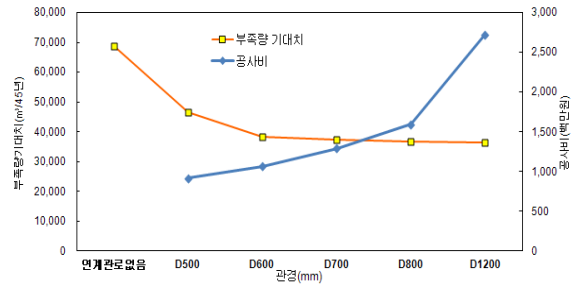


Fig 4.2 The relationship of expected shortage and construction cost

이를 부족량 기대치 감소분에 따른 소요공사비를 분석하면 이를 공사비 효과라고 표현할 수 있으며 이는 Table 4.5와 같다.

Table 4.5 Relationship between construction cost and expected shortage

구분	총 부족량 기대치 (m ³)	소요 공사비 (천원)	부족량 기대치 감소분 (m ³)	부족량 기대치 감소 비용 (원/m ³)
기존	68,705	-	-	-
D500mm	46,648	914,340	22,056	41,455
D600mm	38,436	1,065,750	30,269	35,206
D700mm	37,430	1,289,190	31,275	41,222
D800mm	36,684	1,596,420	32,020	49,856
D1200mm	36,310	2,727,732	32,395	84,203

연계관로가 없는 경우의 총 부족량 기대치인 67,705m³에 대비하여 연계관로가 있는 각각의 경우에 따른 소요공사비를 부족량 기대치 감소분으로 나눈 부족량 기대치 감소비용은 연계관로의 관경이 600mm인 경우가 35,206원으로 가장 적게 나타났으며 관경이 커지면서 점점 증가하는 것으로 나타났다(Fig 4.3).

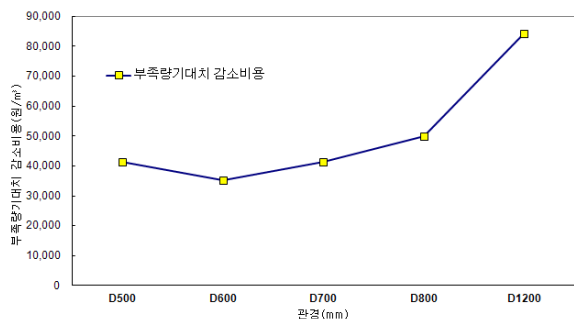


Fig 4.3 Cost for unit expected shortage

따라서 부족량 기대치 저감곡선과 공사비 효과를 감안한 경제적인 연계관로 관경으로서 600mm가 가장 유리한 것으로 분석되었다.

5. 결론

본 연구에서는 기존의 상수관망의 안정적 용수공급을 위한 추가 연계관로의 설치 시 합리적인 설계를 위한 방안으로 부족량 기대치를 이용하여 실제 사업에 적용하였다는 데에 큰 의의가 있다. 이는 현재까지 학술적인 연구에만 머무르던 관망의 신뢰성 평가부분을 실제 사업으로 연결시켰으며, 상수관망의 유지관리 시에도 안정성을 평가하는 인자로서 부족량 기대치를 사용할 수 있는 가능성을 제시하였다고 할 수 있다. 본 연구로부터 얻은 결론은 다음과 같다.

(1) 상수관망의 신뢰성을 평가할 수 있는 인자인 연결성, 도달성, 부족량 기대치, 유효성에 대해서 장단점 등을 조사한 결과, 경제적으로 최적 연계방안을 제시할 수 있는 부족량 기대치를 신뢰성 인자로 선정하였다.

(2) 부족량 기대치를 사용하여 창원공업용수도 공급의 안정성을 위한 경제적 연계관로의 관경을 산정한 결과, 600mm가 가장 적합한 것으로 분석되었으며, 그 다음으로는 700mm, 500mm순으로 경제적 효과가 큰 것으로 나타났다.

(3) 기존 정성적으로만 제시하던 연계관로의 효

과에 대해 정량적인 효과로서 연계관로의 관경을 600mm로 하였을 경우 부족량 기대치를 당초 68,705m³에서 38,436m³으로 낮추어 30,269m³의 절감효과를 제시할 수 있게 되었다.

(4) 부족량 기대치를 산정하는 경우 파손확률을 관경과 관로연장만의 함수가 아니라 관 매설환경까지 감안하여 실제 파손확률을 적용하고 파손 지속 시간에 대해서도 추가적인 사례조사와 연구를 통해 정확한 자료를 부족량 기대치 산정에 활용하면 보다 더 합리적인 관경의 분석이 가능하다고 판단된다.

참고문헌

- 박희경, 현인환, 박중현 (1997) 부족량 기대치를 이용한 배수관망의 신뢰최적설계, *대한상하수도학회지*, Vol.11, No.1, pp. 21-32.
- 신현곤, 박희경 (1998) Genetic Algorithm을 이용한 상수관망의 최적설계(I) - 비용최적화를 중심으로, *대한상하수도학회지*, Vol. 12, No. 1, pp. 70-80
- 신현곤, 박희경 (1999) 상수관망의 신뢰성 척도와 신뢰성 보존 축소 기법, *대한상하수도학회 추계학술발표지*, pp. 85-90
- 한국수자원공사 (2001) 수도시설 최적연계 계획 및 설계 활용을 위한 평가기준 개발 보고서
- Cullinane, M. (1986) Hydraulic Reliability of Urban water supply systems, *Water forum* 86, pp. 1264-1271
- Lai, D., and J. Schaake (1969) *Linear Programming and dynamic application to water distribution network design*, Report 116, Department of Civil Engineering, MIT, Cambridge.
- Park, Heekyung and Liebman, Jon C. (1993) Redundancy-constrained minimum-cost design of water distribution net, *Journal of water resources planning and management*, Vol. 119, No. 1, pp. 83-98
- Sarbu, I.(2009) *Procedures and solutions for energetical optimization of water distribution system*, University of Timisoara, Romania, Vol. 1 No. 2, pp 35-42
- Wagner, J. M., U. Shamir and D.H. Marks (1988) Distribution Reliability: Analytical Method,, *Journal of Water Resources Planning Management.*, Vol. 114, No.3, pp. 253-275
- Walski, T. M. (1985) *State of the art pipe network optimization*