

상수관망에서 제수밸브의 적정 분포성 평가

Evaluating the distribution of On-off valves in water distribution systems

전 환돈*, 백 천우**, 김 중훈***

Jun, Hwandon, Baek, Chunwoo, Kim Joonghoon

요 지

도시에서 매설된 상수관망의 노후화와 매설된 주변 환경의 변화로 관 보수와 파괴가 자주 발생하게 된다. 이때 보수 또는 교체를 위하여 상수관망의 일부를 격리하여야 하며 이를 위해서 제수밸브를 차폐해야 한다. 그러나 제수밸브가 격리하고자 하는 영역 주변에 적절히 배치되어 있지 않은 경우 필요한 부분보다 많은 영역이 격리되게 되며, 이는 격리로 인한 피해범위를 증가시키게 된다. 이와 함께 적절치 못한 제수밸브 관리로 인해 제수밸브가 차폐되지 않는 경우 해당 제수밸브 주변에 위치한 제수밸브를 추가로 차폐해야 하는 경우가 발생하게 되며 추가적인 상수관의 격리로 인하여 처음의 상수관 격리에 의한 피해를 증가시키는 결과를 야기한다. 이러한 문제는 제수밸브의 효율적 배치로 감소할 수 있으나 효율적 배치를 위한 선행과제로 현재 설치되어 있는 제수밸브 배치의 적정성을 평가하는 것이 필요하다. 이를 위하여 본 연구에서는 상수관 격리와 제수밸브가 차폐되지 않는 경우를 동시에 고려한 모의방법(simulation)을 제안하였다. 상수관망 전체 대한 상수관 파괴당 평균적인 단수인구로 제수밸브의 적정 분포를 정량화하여 다양한 제수밸브 분포사이의 적정성을 비교할 수 있게 하였다. 이러한 비교를 바탕으로 새로운 상수관망에서 효율적인 제수밸브 분포가 가능하며 기존 상수관망에 제수밸브를 추가할 경우에도 유용한 결과를 얻을 수 있다.

핵심용어: 상수관망, 부분격리, 제수밸브 분포, Simulation

1. 서 론

도시화에 따른 용수공급 필요성의 증대와 생활수준 향상으로 많은 도시에서 상수관망이 매설되었으며 새로운 주거단지 및 산업단지 증설로 기존 상수관망에 추가로 상수관망이 매설되고 있다. 이러한 상수관은 매설과 동시에 주변 영향으로 노후화 과정을 겪게 된다. 매설된 상수관이 노후화되면서 나타나는 가장 큰 문제점은 상수관의 파괴가능성이 높아지는데 있다. 상수관망에서 상수관이 파괴되면 파괴된 상수관을 보수 또는 교체를 하여야 하며 이를 위해서 상수관망의 일부를 격리(Isolation) 하여야 한다. 이러한 격리는 인접한 제수밸브를 단음으로써 이루어진다. 그러나 제수밸브가 격리하고자 하는 영역에 적절히 배치되어 있지 않은 경우 필요한 부분보다 많은 영역이 격리되게 되며, 이는 격리로 인한 피해범위를 증가시키게 된다. 일부의 상수관망이 격리되게 되면 격리영역에서 용수를 공급받는 용수수요자는 단수피해를 받게 되며 이러한 피해 범위는 격리영역의 확대와 함께 증가하게 된다. 격리가 필요한 영역에 적절히 배치된 제수밸브는 상수관망을 일부분 격리할 때 격리범위를 최소화하여 격리로 인한 피해를 줄일 수 있는 핵심적인 역할을 한다. 전술한 바와 같이 상수관망의 노후, 유지보수 또는 사고로 인한 상수관 파괴는 피할 수 없는 문제라고 할 때 격리로 인한

* 정회원 · 연구교수, 고려대학교 공과대학 · E-mail : hwandonjun@korea.ac.kr

** 정회원 · 박사과정, 고려대학교 사회환경 시스템 공학과 · E-mail : chunwooback@hanmail.net

*** 정회원 · 교수, 고려대학교 사회환경 시스템 공학과 · E-mail : jaykim@korea.ac.kr

단수피해와 같은 피해를 최소화 할 수 있는 적절한 제수밸브의 배치는 중요한 문제이다.

적절한 제수밸브 배치의 중요함은 단고자 하는 제수밸브가 다양한 이유로 닫히지 않을 때 주변의 제수밸브를 추가로 닫아야 할 경우 더 커진다. 적절치 못한 제수밸브의 배치로 더 많은 제수밸브가 닫히게 되면 격리 영역이 커지게 되며 더 많은 수의 용수수요자가 단수피해를 입게 된다. 제수밸브의 차단실패에 따른 추가적인 인접 제수밸브의 차폐와 이에 따른 피해 영역 증가의 예는 전환돈 (2005, 2006)에 자세히 설명되어 있다.

제수밸브와 상수관망의 부분적 격리는 Walski (1993)^{a,b}에 의해서 "Segment"의 도입으로 설명되었다. 상수관망에서 상수관의 파괴에 따른 부분적 격리와 필요한 제수밸브 사이의 관계를 이해하기 위해서는 Segment의 개념이 필수적이다. 그러나 Walski는 Segment의 개념만을 제시하였을 뿐 효과적인 Segment와 제수밸브의 탐색 알고리즘을 제시하지 않았다. 이에 전환돈, 김중훈 (2006)에서 상수관과 상수관 파괴시 차폐에 필요한 제수밸브의 탐색 알고리즘이 개발되었다. 또한 전환돈(2005)에 의해서 행해진 같은 연구에서 상수관 차폐에 따른 피해범위를 단수인구에 의한 정량화 기법이 제시되었다.

제수밸브와 상수관망의 부분적 격리에 별도로 제수밸브의 분포의 최적화를 위한 연구로 대표적인 것으로 Bouchart 와 Goulter (1991)와 Reis 등 (1997), Ozger (2003) 등이 있다. 이들은 누수량을 최소화 하는 제수밸브의 최적분포를 결정하는 방법을 제시하였다.

본 연구에서는 제수밸브 최적분포를 결정하는 방법이 아닌 결정된 제수밸브 분포의 상호간 적절성 판단을 위한 기준을 제시하였다. 이를 위해 제수밸브 배치의 적절성을 정량화하기 하였으며 상수관 파괴당 평균 단수인구 (Average number of customers out of service per pipe failure)를 기준으로 사용하였다.

2. 본 론

2.1 전체 상수관망을 대상으로 한 상수관 파괴 Simulation

상수관이 파괴될 경우에 발생하는 현상은 다음과 같다. 상수관망 전체로 볼 때 상수관 파괴는 상수관망의 모든 영역에서 발생하며 다음번 파괴가 될 상수관을 예측하기는 불가능하다. 상수관이 파괴되면 작업인부들이 현장으로 파견되어 해당 상수관을 격리한다. 필요한 제수밸브의 수와 위치는 도면확인 등의 작업을 통해 이루어진다. 만약 필요한 제수밸브 전부를 성공적으로 차단할 경우 파괴된 상수관 또는 상수관망의 일부는 나머지 상수관망으로부터 격리가 되며 격리된 부분의 급수인구는 단수가 된다. 만약 이중 한 개의 제수밸브라도 차단되지 않을 경우 파괴된 상수관을 격리하기 위해서는 인접 제수밸브를 추가로 차단해야 한다. 추가된 제수밸브가 전부 작동을 하면 처음의 상수관과 더불어 인접 상수관들이 추가로 격리되며 격리된 부분의 급수인구는 모두 단수가 된다. 이러한 과정은 이론적으로 한 개의 제수밸브라도 작동을 안하게 되면 계속해서 인접 제수밸브로 확대가 되며 이 과정은 필요한 모든 제수밸브가 작동될 때까지 계속된다. 위의 과정에서 중요한 것은 각각의 제수밸브는 독립적으로 작동유무가 결정되며 각 제수밸브의 작동유무는 차단을 위해서 작동시키기 전까지 알려지지 않는다. 파괴된 상수관이 격리되고 수리가 된 후 모든 제수밸브는 다시 열리게 되며 상수관망은 정상상태로 운영되며 이러한 정상상태는 다음번 상수관이 파괴될 때까지 지속된다.

위와 같은 과정은 실제 상수관망에서 지속적으로 상수관 파괴가 발생하므로 반복된다. 상수관 파괴가 발생하여 단수영역이 발생할 때 마다 단수피해를 받는 급수인구가 발생하게 된다. 만약 제수밸브가 적절하게 분포되지 못하였다면 한번의 상수관 파괴시 적절히 분포된 경우보다 많은 수의 단수피해를 야기할 것이다. 따라서 일정한 횟수의 상수관 파괴를 모의하고 격리를 위한 제수밸브의 차폐유무를 함께 모의하여, 이에 따르는 단수인구의 수를 산정하면 현재 매설되어 있는 제수밸브 분포의 적정성을 정량화 할 수 있을 것이다.

본 연구에서는 이러한 과정을 simulation 방법을 통해서 모의하여 상수관 파괴당 평균단수인구를 구하였다. 단수인구 산정을 위한 1회 simulation은 다음의 과정으로 진행된다.

Step 1 : 단수 발생을 이용 파괴 예상 상수관 선정

Step 2 : 차폐에 필요한 제수밸브 선정

Step 3 : 선정된 제수밸브별 작동 유무 결정

Step 4 : 차폐를 하지 못하는 제수밸브가 발생될 경우 인접 제수밸브 선정

Step 5 : 모든 제수밸브가 작동하여 파괴된 상수관이 차폐되면 단수인구 결정

위의 과정을 충분한 횟수로 반복하여 상수관 파괴당 평균 단수인구를 구하였다. 그림 1에 전체과정을 흐름도로 나타내었다. 최소 simulation 횟수는 1000회로 하여 평균단수인구를 계산하고 100회를 추가하여 다시 평균단수인구를 계산한다. 즉 1000회와 1100회의 평균단수인구를 비교하여 차이가 1%미만이면 simulation을 종료, 1%보다 크면 다시 추가로 100회를 모의하여 다시 비교한다.

2.2 실제 상수관망에 적용

제안된 방법을 실제 상수관망에 적용하여 적용성을 검토하였다. 대상 상수관망은 미국 코네티컷주에 위치한 Cherry Hill 상수관망에 적용 하였다. 대상관망은 그림 2에 나타난 것과 같이 90개의 절점과 104개의 관, 127개의 제수밸브 그리고 2개의 수원으로 구성되어 있으며 관경의 분포는 12, 8, 6인치 관으로 구성되어 있고 총연장은 68,192ft (20,784m)이다. 두 개의 수원은 한 개의 저수지와 탱크로 이루어져 있으며, 각 절점 및 관거별 소비자의 수는 자료의 부족으로 각 절점의 용수량에 따른 가정치를 사용하였다.

기존의 상수관망에 23개의 새로운 제수밸브를 추가하는 것을 가정으로 추가되는 제수밸브를 두 개의 방법으로 분포시킨 후 각각에 대하여 상수관 파괴당 평균 단수인구를 구하였다. 추가된 제수밸브를 분포시키기 위한 첫 번째 방법은 연구자가 23개의 중요지점을 선정하여 분포시켰으며 두 번째는 컴퓨터 프로그램을 통해서 임의로 23개의 지점을 선정하여 분포시켰다. 두가지 방법으로 추가되는 제수밸브를 분포시킨 이유는 적절히 분포된 제수밸브와 그렇지 못한 분포를 비교하여 제안된 방법의 적용성과 제수밸브 분포의 중요성을 보여주기 위함이다. 이와 함께 제수밸브의 분포와 별도로 제수밸브의 신뢰도를 50%에서 95%까지 변화시켜 각각에 대하여 상수관 파괴당 평균 단수인구를 계산하여 제수밸브 분포의 차이에 따른 상수관 파괴당 평균 단수인구 향상치를 제수밸브 신뢰도별로 구할 수 있었다.

분석결과를 표 1에 나타나 있다. 두가지 분포에 의한 결과를 비교하면 중요지점에 의한 제수밸브의 분포가 약 20%정도 적은 상수관 파괴당 평균 단수인구를 나타내었으며 제수밸브의 신뢰도가 증가할수록 상수관 파괴당 평균 단수인구가 감소하였다. 상수관 파괴당 평균 단수인구가 상수관 파괴에 의한 피해를 정량화한다고 볼 때 감소된 상수관 파괴당 평균 단수인구는 관 파괴에 의한 피해범위가 감소되었음을 나타낸다고 생각된다. 따라서 전체적인 상수관망의 신뢰성이 제고되었다고 생각된다.

표 1. 제수밸브 분포 및 신뢰도 별 상수관 파괴당 평균 단수인구

제수밸브 신뢰성	중요지점에 의한 분포	임의 분포	차이 (%)
50%	564.7	661.3	17.1%
60%	406.9	474.1	16.5%
70%	287.3	350.0	21.8%
80%	215.4	267.2	24.0%
90%	180.6	212.3	17.6%
95%	155.0	191.1	23.3%

3. 결 론

상수관망에서 관 파괴나 유지보수를 위한 일정부분의 격리는 피할 수 없는 문제이다. 일정부분의 격리를 위해서 적절히 배치된 제수밸브는 단수에 의한 피해범위를 최소화 할 수 있으며 이는 전체 상수관망의 신뢰성 제고에 도움이 된다. 본 연구에서는 제수밸브 분포의 적절성을 정량화 할 수 있는 simulation을 기반으로

한 모의기법을 제시하였다. 제시된 모의기법을 실제 상수관망에 다른 두 제수밸브분포에 적용을 하여 상수관 파괴당 평균 단수인구를 구하여 제수밸브 분포의 적절성을 정량화 하였으며 이를 바탕으로 더 나은 제수밸브 분포를 선정할 수 있는 방법을 제시하였다.

감 사 의 글

본 연구는 한국과학재단의 목적기초연구(과제번호 : R01-2004-000-10362-0)의 지원으로 수행되었으며 지원에 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. 전환돈 (2005). 상수관망에서의 밸브에 의한 관의 부분적 격리와 상수관망의 효율성 평가, 한국수자원학회 논문집, 제38권 제7호, pp. 585-593.
2. 전환돈 (2006), 상수관 파괴시 관망의 부분적 격리를 고려한 피해범위 산정, 한국수자원학회 논문집, 제39권 제2호, pp. 89-98.
3. 전환돈, 김중훈 (2006), 상수관망의 부분적 격리를 위한 제수밸브 탐색 알고리즘, 상하수도학회지, 20권 1호, pp. 35-43.
4. Bouchart, F. and Goulter, I., "Reliability improvements in design of water distribution networks recognizing valve location", Water Resources Research, Vol. 27, No.12, 1991, pp.3029-3040.
5. Hwandon Jun (2005), Strategic valve locations in a water distribution system, Ph.D. Dissertation, Virginia Polytechnic and State University.
6. Sukru Serkan Ozger (2003), A semi-pressure-driven approach to reliability assessment of water distribution networks, Arizona State University.
7. Reis, L. F. R., Porto, R. M., and Chaudhry, F. H., "Optimal Location of Control Valves in Pipe Networks By Genetic Algorithm", Journal of Water Resources Planning and Management", Vol. 123, No. 6, Nov/Dec, 1997.
8. Walski, T.M. (1993)a. "Practical aspects of providing reliability in water distribution systems." Reliability Engineering and System Safety, 42, 13-19
9. Walski, T.M. (1993)b. "Water distribution valve topology for reliability analysis." Reliability Engineering and System Safety 42, 21-27

