

상수관망의 구역별 최적개량 의사결정 시스템의 개발

Development of Optimal Decision-Making System for Rehabilitation of Water Distribution Systems Divided by small Division

백 천 우* / 김 석 우** / 김 응 석*** / 김 중 훈**** / 박 무 종*****

Baek, Chun Woo / Kim, Seok Woo / Kim, Eung Seok / Kim, Joong Hoon / Park, Moo Jong

Abstract

The purpose of this study is to develop an optimal, long-term planning model for improvement of water distribution networks. The water distribution system is divided into sub-zones and the decision of improvement plan is made for each sub-zone. Costs for replacement, rehabilitation and repair, benefits including reduced pumping and leakage costs, and hydraulic reliability are considered to make optimal decision for improvement planning of water network. Harmony search algorithm is applied to optimize the system and hydraulic analysis model EPANET is interfaced with the optimal decision model to check the hydraulic reliability. The developed model is applied to actual water distribution system in Daegu-city, South Korea. The new model which use durability, conveyance and cost as a decision variable is different from existing methods which use only burying period and pipe type and can be used as optimal decision making system for water distribution network.

keywords : pipe network, rehabilitation, decision-making, Harmony Search, Sub-Zoning

요 지

본 연구에서는 노후관망의 최적개량 계획수립을 위한 의사결정모형을 개발하였다. 각각의 관구에 대한 개량계획을 수립하는 기준에 개발된 다른 모형과 달리 노후화된 상수관망을 소구역으로 구분하여 각 소구역의 개량계획을 수립하였다. 개발된 모형에서는 최적개량 의사결정을 위해 개량비용(교체비용, 갱생비용, 유지보수비용), 개선이익(펌프운영비 감소이익, 누수 감소이익) 및 수리학적 타당성을 고려하였다. 화음탐색법을 최적화기법으로 적용하였으며 수리학적 타당성 검토를 위해 수리해석 모형인 EPANET을 연계하였다. 대구시의 실제 상수도관망에 개발된 모형을 적용하였으며, 매설기간과 관의 종류에 의존하는 기존 방법과 달리 관의 내구성, 통수능, 비용 등을 고려하는 최적개량 의사결정 시스템으로 활용될 수 있음을 확인하였다.

핵심용어 : 관망, 관개량, 의사결정, 화음탐색법, 소구역

- * 고려대학교 공과대학 사회환경시스템공학과 박사수료
Ph. Doctor candidated, Dept. of Civil and Environmental Engineering, Korea Univ., Seoul 136-701, Korea
(e-mail: chunoo@korea.ac.kr)
- ** 하준이앤씨 수자원부 과장
Engineer, Hajon ENC., Seoul 138-828, Korea
- *** 선문대학교 공과대학 토목공학과 조교수
Assistant Professor, Dept. of Civil Engineering, Sunmoon Univ., Choong-nam 336-703, Korea
- **** 고려대학교 공과대학 사회환경시스템공학과 교수
Professor, Dept. of Civil and Environmental Engineering, Korea Univ., Seoul 136-701, Korea
- ***** 한서대학교 공과대학 토목환경공학과 부교수
Associate Professor, Dept. of Civil Engineering, Hanseo Univ., Choong-nam 356-870, Korea

1. 서 론

우리나라를 비롯한 많은 국가들의 경우 비교적 충분한 수준까지 상수도 관망이 설치되어 있으며, 최근 용수 수요가 증가하고 기존 시설이 낙후됨에 따라 상수도 사업의 관점은 상수도관망의 신설보다는 기존에 설치된 관망의 성능향상으로 변하고 있다. 상수도 시설의 성능향상은 설치된 관거에 대한 교체, 갱생 및 유지보수를 통해 이루어진다. 그러나 예산제약에 의해 기존 관거 전체를 교체하거나 갱생하는 것은 불가능하며 또한 관망 내 일부는 전체 관망의 성능향상에 큰 영향이 없어 비용을 투자하는 것이 불필요하기도 하다. 따라서 상수도시설의 성능향상을 위한 사업을 계획할 경우, 요구되는 용수 수량과 수질이 계획기간 동안 만족될 수 있으며 전체관망의 성능향상 측면과 개량비용 측면에서 최적의 결과를 나타내는 관망의 개량계획이 수립되어야 한다. 이와 같은 의사결정을 위해서는 개량비용과 개량에 따른 이익을 경제성 분석에 의해 검토하여야 하며, 또한 수리학적 타당성에 대한 검토도 이루어져야 할 것이다.

상수도관망의 최적개량계획 수립을 위해 국내외에서 많은 연구가 진행되었으며 대표적인 연구는 다음과 같다. Shamir and Howard (1979)의 모형은 경제성 분석을 통해 노후관의 개량시기를 결정하였으며, 많은 상수도관개량 최적개량계획 수립모형의 근간이 되어 왔다. Sullivan (1982), Walski (1987) 등은 경험적 판단에 따라 상수도관의 개량 시기를 결정하였으나, 실제 현장자료와 몇 가지의 일반적인 지침에 기초를 둔 모형으로, 최적화 기법이 적용되지 않아 최적의 결과를 나타내지 않으며, 결과적으로 실제 관로개량에 대한 자료가 통합적으로 관리되지 않고, 자료의 양도 부족한 우리나라의 실정에는 적합하지 않은 모델이다. Woodburn et al. (1987) and Lansley et al. (1992)의 모형은 적절한 시기에 교체나 갱생을 판단할 수 있는 의사결정을 실무적으로는 지원하지 못하는 학문적 모형에 지나지 않았다. 김한주 (1994) 및 한국수자원공사 (1995)는 수리해석 모형인 KYPIPE와 Shamir and Howard (1979)의 모형을 연계하여 수리학적 검토가 가능한 모형으로 발전시켰다. Kim and Mays (1994)는 정수형 변수를 사용하는 IP(Integer Programming)을 이용하여 관망의 교체와 갱생을 결정하는 모형을 개발하였다. Halhal et al. (1997)은 SMGA(Structured Messy Genetic Algorithm)를 이용하여 최적개량계획을 탐색하였다. Park et al. (2002a, 2002b)은 파손률에 따른 상수관거의 최적 교체시기를 결정하는 모형을 개발하였다. 김응석 (2003)과

김응석 등 (2003)은 상수관로의 노후도 예측에 근거한 최적 개량 모형을 개발하였으며, 실제 상수도관망에 적용하여 적용성을 검토하였다. Kim et al. (2004)은 화음탐색법(Harmony Search, HS)을 최적화 기법으로 적용하여 경제적, 수리학적인 영향을 고려한 물 분배 시스템의 최적개량계획 수립을 위한 의사결정시스템을 구축하였으며, 16개의 관거로 이루어진 가상관망의 최적개량시기를 결정하였다.

이와 같이 상수도관망의 최적개량 의사결정을 위해 많은 모형들이 개발되었으나, 기존의 모형들은 상수도관망을 구성하는 각각의 관거에 대한 개량계획을 수립하는 모형이 대부분으로 최적해 탐색에 많은 시간이 소요되며, 대부분의 모형이 학문적으로 개발되어 적용성 면에서 효과적이지 못하고 실무 적용이 어려운 단점이 있었다. 본 연구에서는 Kim et al. (2004)이 개발한 모형을 기본으로 모형의 단점을 보완하여 실무 적용성을 높인 모형을 개발하였다. 개발된 모형은 상수도관망의 최적개량계획을 구역별로 수립하며, 이를 위해 경제적, 수리학적인 영향을 고려하였다. 최적화기법으로는 화음탐색법을 적용하였고 수리해석 모형인 EPANET을 연계하여 수리학적 타당성을 검토한다. 또한, GUI (Graphic User Interface) 구현을 통해 실무 사용성을 향상 시켰으며 대구시에 설치된 실제 상수도관망에 적용하여 적용성을 검토하였다.

2. 모형의 구성

2.1 최적화 기법 : Harmony Search(화음탐색법)

LP(Linear Programming), NLP(Non-Linear Programming), DP(Dynamic Programming) 및 IP(Integer Programming) 등과 같은 전통적인 최적화 기법의 단점을 보완하기 위해 자연현상에 기초한 발견적 탐색법(heuristic algorithm)이 개발(Mays and Tung, 1992)되었으며, 전자계산기의 발달로 새롭게 개발된 알고리즘의 실질적인 응용이 더 많은 분야에서 가능하게 되었다. EP(Evolutionary Programming), ES(Evolution Strategies), SA(Simulated Annealing), TS(Taboo Search), NN(Neural Network), GA(Genetic Algorithm) 등은 대표적인 발견적 탐색법으로, 비선형 결정변수의 왜곡 없이 보다 최적해에 근사한 해의 제공이 보다 짧은 계산 시간 안에 가능하였다.

화음탐색법(Harmony Search, HS)은 국내에서 제안된 최적화 기법으로 대부분의 발견적 탐색법이 자연현상의 관찰을 통해 만들어진 것과 달리 화음(harmony)이라는 인공적인 현상에서 영감을 얻어 만들어진 알고리즘이다

(Geem et al., 2001, 2002). HS는 다른 발견적 탐색법인 EP, ES, SA, TS, GA등과 같이 가능해 영역에서 반복과정을 통해 최적해를 탐색하는 면에서 유사성을 갖으나, 기존의 발견적 탐색법인 SA나 TS와 달리 광대한 영역을 통한 군탐색을 실시하지만 과거의 경험을 축적하고 있다는 측면에서는 TS의 특징을, 해가 반드시 최적적이지 않더라도 어느 정도 좋은 범위에 들면 경험의 집합에 추가한다는 점에서는 SA의 특징도 지니고 있는 탐색기법이다. 또한, 군탐색의 특징을 가지고 있는 GA의 경우 새로운 해를 생성할 때 오직 부모세대의 두 유전자만이 새로운 유전자에 영향을 주며 양 부모의 경험만이 새로운 유전자의 정보가 되지만, HS는 과거의 모든 화음에서부터 경험을 얻기 때문에 새로운 해가 보다 풍부한 정보를 통해 구해될 수 있다(백천우 등, 2005).

화음탐색법은 3가지 기본 인자인 HM(Harmony Memory), HMCR(Harmony Memory Considering Rate) 및 PAR(Pitch Adjusting Rate)를 기본으로 작동하며, Kim et al. (2004)은 탐색속도와 정확도 향상을 위해 HMCR과 PAR 적용 방법에 변화를 주는 ReHS (Revised Harmony Search)를 제안하였다. 본 연구에서는 화음탐색법의 발전된 형태인 ReHS를 최적화 기법으로 적용하여 상수관망의 최적개량계획을 수립하였다.

2.2 모형의 기본 알고리즘

Kim et al. (2004)은 상수도관망의 수리학적 타당성과 경제성 분석을 바탕으로 상수도관망의 최적개량계획 수립 모형을 개발하였다. 모형에서는 관거 개량비용(교체비용, 갱생비용, 유지보수비용)과 개량에 따른 개선이익(펌프운행비 감소이익, 누수 감소이익)이 경제성 분석을 위해 이용되었으며, 수리학적 타당성 검토를 위해 수리해석모형인 KYPIPE를 연계하였다. 또한 Sharmir and Howard (1979)의 모형과 같이 관거의 파손기록을 이용하여 유지보수비용을 산정하였으며, 16개의 관거로 이루어진 가상관망의 최적개량계획을 수립하였다. 본 연구에서는 Kim et al. (2004)의 연구결과를 기본으로 모형의 단점을 보완하고 실무 적용성을 높인 모형을 개발하였다. 다음 Table 1은 본 연구에서 개발한 모형과

Kim et al. (2004)이 개발한 모형의 차이점을 나타내고 있다.

Kim et al. (2004)이 개발한 모형은 상수관망을 구성하는 각각의 관거에 대한 개량계획을 수립하도록 개발되었으나, 적용 관망이 큰 경우 최적해 탐색에 막대한 시간이 소요되고 관거 하나하나에 대한 개량계획이 다르게 수립되는 단점이 있다. 본 연구에서 개발한 모형은 이와 같은 단점을 보완하기 위해 대상 관망을 여러 개의 소구역으로 구분하여 각각의 구역에 대한 개량계획을 수립하도록 하였으며, 이는 본 모형의 가장 큰 장점이다.

매설기간 증가에 따라 감소하는 관거의 C값은 압력저하와 용수수요 불충족 등의 문제를 발생시키며, 수리학적 타당성 판단 시에 이와 같은 사항이 고려되어야 한다. 현재 개발되어 사용 중인 대부분의 수리해석 모형은 demand-driven 모형이며 demand-driven 모형으로는 수도손실에 따른 용수량 충족여부판단이 불가능하다. 또한, 용수량 충족여부판단이 가능한 pressure-driven 모형은 소요되는 데이터가 많아 현재 국내 실정에는 적용이 불가능하다. 따라서 본 연구에서는 각 절점에서의 부압발생여부를 계획기간 동안의 수리학적 타당성 검토를 위해 사용하였다. Kim et al. (2004)이 수리해석을 위해 사용한 KYPIPE는 수리해석을 위해 개발되었으며 다른 많은 모형들의 엔진으로 사용되었으나 최근 발표된 버전은 프로그램 source가 공개되어 있지 않고 고가에 판매되는 단점이 있다. 본 연구에서 개발한 모형은 프로그램 source가 공개되어 있고 무료로 배포되는 EPANET을 연계하여 수리해석을 실시하였다.

또한, 매설기간에 따른 Hazen-Williams C계수의 변화를 경제성 분석에서 고려하는 펌프운용비용 감소이익 산정을 위해 이용하였으며 Kim et al. (2004)의 모형에서는 Mononobe (1960)의 연구결과를 사용하였다. Hazen-Williams C계수는 매설장소, 토질, 수질, 수량, 수압 등과 같은 대상 관망의 환경에 의해 결정되며, 본 연구에서는 대상관망의 실측된 유량, 압력에 의해 Mononobe (1960)의 식을 보정한 백천우 등 (2004)의 연구결과를 적용하였다.

Table 1. Differences between new model and Kim et al. (2004)'s model

	Kim et al (2004)'s model	New model
Decision Variable	Rehabilitation plan of pipes	Rehabilitation plan of sub-zones
Hydraulic Reliability Check	KYPIPE	EPANET
Equation of Hazen-William C value	Mononobe (1960) 's Equation	Result of Baek et al. (2004)

관망의 최적 개량계획 수립모형의 기본 알고리즘은 Fig. 1과 같다. 관망의 개량에 소요되는 비용과 개량으로 인해 관망이 개선되어 얻어지는 비용(개선이익)을 이용하여 경제성 분석을 실시하고, 계획기간동안의 수리학적 타당성 만족여부를 점검하는 과정을 통해 최적해가 탐색된다.

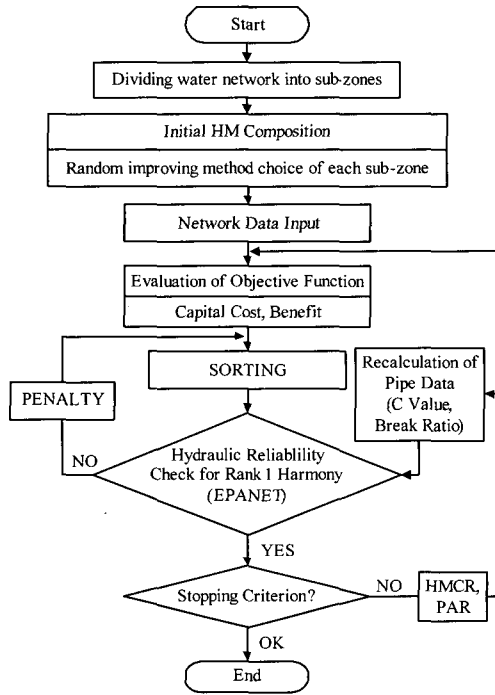


Fig. 1. Flow-charts of the developed system

2.3 목적함수의 구축

개발된 모형은 상수관망의 최적개량계획 수립을 위해 경제성분석과 수리학적 타당성검토를 실시한다. 목적함수는 전체 비용을 최소화하는 것을 설정하였다. 즉, 목적함수를 구성하는 비용은 관망의 개량(교체, 갱생, 유지보수)에 소요되는 개량비용(cost of improvement)과 펌프운용비 절감, 누수감소 등과 같이 개량으로 인해 관망이 개선되어 얻어지는 개선이익(benefit after improvement)으로 구성된다. 따라서 개량비용(P_c)과 개선이익(P_b)의 차이인 전체 비용($P_t = P_c - P_b$)을 최소화하는 것이 목적함수가 되며, 수리학적 타당성은 제약조건으로 고려하게 된다.

2.3.1 개량비용 함수 및 개선이익 함수

본 연구에서 사용된 목적함수를 구성하는 비용함수 중, 유지보수비용 함수(C_b)와 갱생비용 함수(C_{re})를 제외한 개량비용 함수와 개선이익 함수는 Kim et al. (2004)의 모형에서 사용한 함수를 적용하였다. Kim et

al. (2004)의 모형에서는 미육군공병단 (1983)이 산정한 함수를 유지비용 함수로 이용하였으며, 에어샌드공법에 의해 관세정을 실시하고 예폭시수지 라이닝을 실시하는 것을 갱생공법으로 적용하였다. 그러나 본 연구에서는 대구광역시 실제 상수관거 유지보수비용 결과를 회귀 분석하여 유지보수비용 함수로 이용하였고, 이현동 등 (2004)이 개발한 MCML공법을 갱생공법으로 적용하였다. 본 연구에서 적용한 교체비용 함수(C_r , 원), 갱생비용 함수(C_{re} , 원), 유지보수비용 함수(C_b , 원), 펌프운용비 감소이익 함수(C_p , 원), 누수감소이익 함수(C_l , 원)는 다음과 같다.

$$C_r = 0.237566D^2 + 380.649D + 19987 \quad (1)$$

$$C_{re} = -0.0003D^3 + 0.9212D^2 + 17.534D + 354566 \quad (2)$$

$$C_b = 17774.66D^{0.69828} \quad (3)$$

$$N(t) = (0.3882E-005)e^{0.165(t-t_0)} \quad (4)$$

$$C_p = 323700 \times 9.8Q\Delta h_L \quad (5)$$

$$C_l = 181\Delta SQ = 5708 \times 10^6 \Delta SR \cdot Q \quad (6)$$

$$\Delta h_L = \frac{Q^{1.852}(10.64L)}{D^{4.87}C^{1.852}} \quad (7)$$

여기서, C_r , C_{re} 는 m당 관거의 교체 및 갱생 비용이며, C_b 는 파손 1개소 당 유지보수비용, D 는 관직경(m), $N(t)$ 는 매설기간에 따른 파손율, t 는 년(year)으로 표현되는 시간, t_0 는 매설시기, Q 는 관내유량(m^3/sec), Δh_L 은 Hazen-Williams식에 의해 계산되는 관거개량 전후의 손실수두차이, ΔSQ 는 관거개량 전후의 누수유량차이(m^3/sec), ΔSR 은 관거개량 전후의 누수율 차이(%)를 의미한다.

2.3.2 목적함수와 제약조건

경제성 분석을 위한 목적함수는 개량비용(P_c)과 개선이익(P_b)의 차이인 전체 비용($P_t = P_c - P_b$)을 최소화하는 것이다. 개량비용(P_c)은 교체비용(P_r), 갱생비용(P_{re}) 및 유지보수비용(P_m)으로 구성되고, 개선이익(P_b)은 펌프운용비 감소이익(P_p)과 누수감소이익(P_l)으로 구성되며, 각각의 비용은 이자율 R 에 의해 현재(present value)로 환산된다. 본 연구에서는 물가상승에 따른 영향도 고려하기 위해 물가상승률(공사비상승률) I 와 공공요금상승률(수도요금 및 전기요금 상승률) G 를 도입

하였으며, 물가상승을 고려한 경우를 case 1, 고려하지 않은 경우를 case 2로 구분하여 개량계획을 수립하였다. Case 1과 case 2는 다음 Eq. (7)과 같은 동일한 목적함수를 사용하며, case 2의 경우 물가상승률 I 와 공공요금상승률 G 는 0이 된다.

$$\begin{aligned}
 \text{Minimize } P_t &= \sum_{i=1}^{N_D} (P_r(t_r) + P_{re}(t_{re}) + P_m(t_r) - P_p(t_r) - P_l(t_r)) \\
 &= \sum_{i=1}^{N_D} \left(\frac{C_r(1+I)^{(t_r-t_p)}}{(1+R)^{(t_r-t_p)}} + \frac{C_{re}(1+I)^{(t_{re}-t_p)}}{(1+R)^{(t_{re}-t_p)}} \right. \\
 &+ \sum_{t=t_p}^{t_i} \frac{C_b N(t_0) e^{0.165(t-t_0)} (1+I)^{(t-t_p)}}{(1+R)^{(t-t_p)}} \\
 &\left. + \sum_{t=t_i}^{t_p+t_d} \frac{C_p(1+G)^{(t-t_p)}}{(1+R)^{(t-t_p)}} + \sum_{t=t_i}^{t_p+t_d} \frac{C_l(1+G)^{(t-t_p)}}{(1+R)^{(t-t_p)}} \right) \quad (7)
 \end{aligned}$$

Eq. (7)에서 N_D 는 소구역의 총수이며, t_r 은 교체시기, t_{re} 는 갱생시기, t_p 는 개량계획수립시점, t_i 는 교체 혹은 갱생시기, t_d 는 개량계획반영기간을 의미한다. Eq. (7)은 목적함수가 되며 제약조건으로는 개량계획반영기간 동안 관망의 수리학적 타당성(EPANET을 이용한 각 절점에서의 부압발생여부 검토)을 설정하였다.

2.4 모형의 개발(GUI 구축)

본 연구를 통해 개발된 노후상수도관 최적개량계획 수립모형은 GUI(Graphical User Interface) 구현을 통해 실제 사용자의 사용성을 향상시켰으며, Fig. 2는 개발된 프로그램의 메인화면을 나타내고 있다. 프로그램은 기본적인 파일의 운용 및 환경설정을 이루는 File메뉴와, 시스템에서 사용되는 자료를 입력하는 Data메뉴, 모의 환경을 입력하고 실시하는 Run메뉴, 결과를 확인하고 분석하는 View메뉴, 그리고 사용자가 프로그램을 사용하는 데 있어 발생하는 문제점을 해결할 수 있도록 도와주는 Help메뉴로 구성되었으며, Fig. 3 and Fig. 4는 관망의 수리학적해석을 위한 시스템데이터 입력창과, 최적개량계획 수립을 위한 최적화자료 입력창의 예를 나타내고 있다.

3. 모형의 적용

개발된 모형의 적용성을 검토하기 위해 대구광역시에 설치된 실제 상수도관망에 적용하여 개량계획을 수립하였다. 적용된 대상관망은 Fig. 5와 같이 260개의 관거와 98개의 절점으로 구성되었으며, A-H의 8개 소구역으로 구분하였다.

대상관망은 구역화 계획이 끝난 상태로 매설시기가

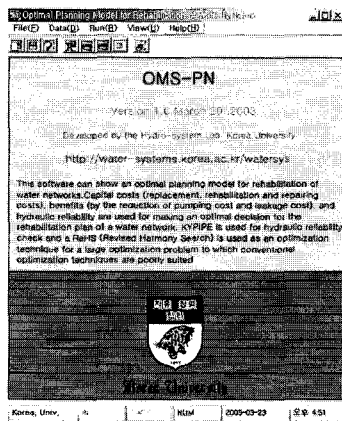


Fig. 2. Main Window of new model

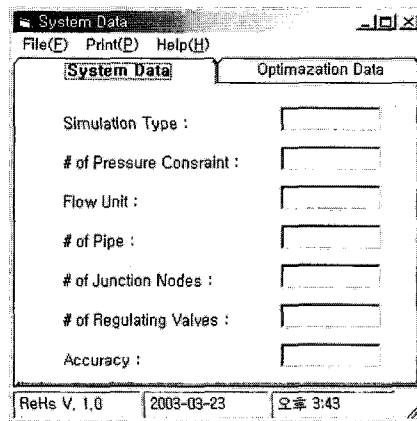


Fig. 3. System data input window

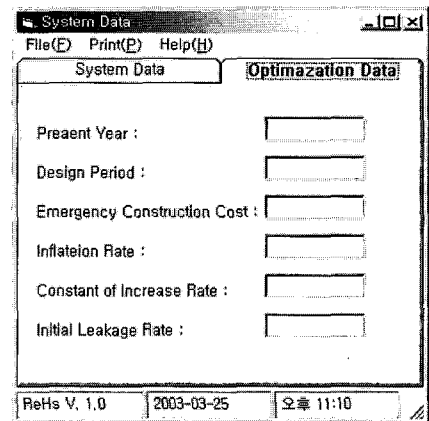


Fig. 4. Optimization data input window

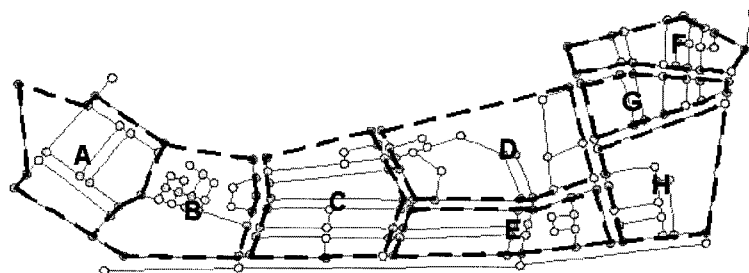


Fig. 5. Applied water network

1990년 후반의 관들이 주종을 이루고 있다. 매설된 관종은 STS, PFP, DTC이 주를 이루며 대부분 150mm이하의 관들로 구성되어 있다. Fig. 6 and Fig. 7은 대상관망의 구역별 관경과 매설년도를 나타내고 있다.

대상관망에 대한 20년간의 장기개량계획과 8년간의 단기개량계획을 수립하였다. 20년 장기개량계획의 경우 계획시점으로부터 20년간 수리학적 타당성을 만족시키면서 경제성분석에 의해 가장 저렴한 비용이 소요되는 계획을 수립하는 것으로 각 소구역별 개량시기와 방법이 20년 기간 동안 선택된다. 8년 단기개량계획의 경우 각 소구역별 개량시기와 방법이 계획시점으로부터 8년간에 결정되며, 수리학적 타당성은 향후 20년간 만족시킬 수 있도록 계획을 수립하였다. 20년 장기계획과 8년 단기계획 모두 두 가지 case에 대해 수립하였다. 계획시점은 2003년으로 하였으며, 6.00%의 이자율, 7.95%의 물가상승률이 적용되었다. 전기요금과 수도요금 상승률은 통계청 자료를 회귀분석 하여 각각 2.40%와 8.94%로 적용하였다. 계획기간동안 각 절점의 용수수요는 변화가 없는 것으로 가정하였다. Table 2와 Fig. 8, Fig. 9는 수립된 20년 장기계획과 8년 단기계획의 결과를 나타내고 있다.

Table 2, Fig. 8 및 Fig. 9에서 20년 장기계획 및 8년 단기계획 모두 대상관망의 모든 소구역에 대하여 갱생

을 실시하는 것이 교체를 하는 것보다 적합한 개량방법인 것으로 나타났다. Kim et al. (2004)은 노후된 관거를 갱생공법을 이용하여 개량하는 경우 교체하는 경우보다 개량비용은 저렴하지만 교체만큼의 내구성이나 수리학적 이득을 얻을 수 없다고 하였다. 대상관망을 구성하는 대부분의 관거는 1990년 이후 매설된 비교적 양호한 관들로 갱생만으로도 계획기간 동안 수리학적 타당성이 만족할 수 있기 때문에 보다 저렴한 갱생이 대상관망의 적합한 개량방법으로 선택된 것으로 판단된다.

전체 비용은 20년 장기계획의 경우 case 1의 1,389백만 원에서 case 2의 2,392백만 원으로, 8년 단기계획의 경우 case 1의 1,423백만 원에서 case 2의 2,581백만 원으로 증가하였다. 그러나 개량 시기는 20년 장기계획과 8년 단기계획 모두 큰 차이가 없는 것으로 나타났다. 즉, 물가상승을 고려하는 경우 Table 2에 결정된 개량시기 이후에 개량하는 경우 수리학적 타당성에 문제가 발생하여 전체 비용은 증가하지만 수리학적 타당성을 위해 개량시기가 앞당겨진 것으로 판단된다. 경제성분석을 통한 의사결정을 실시할 때, 일반적으로 비용 산정을 위해 이자율은 고려하지만 물가상승률은 고려하지 않는 경향이 있다. 그러나 우리나라와 같이 물가 상승이 선진국에 비해 높은 국가의 경우 최적개량계획 수립을 위해 물가상승률도 고려해야 할 것이다.

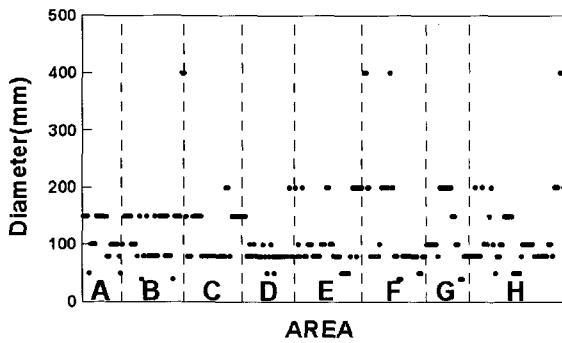


Fig. 6. Diameter of pipes

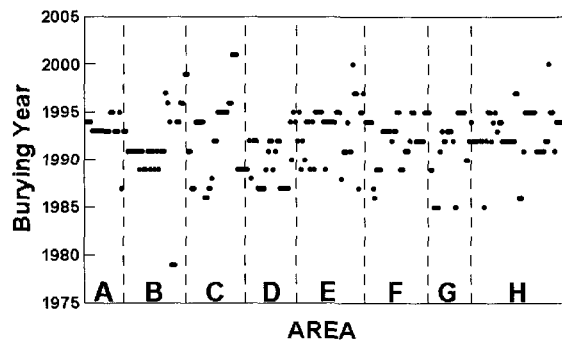


Fig. 7. Buried year of pipes

Table 2. Results of management plan by the new system

Sub-zone	20년 장기계획				8년 단기계획			
	Case 1		Case 2		Case 1		Case 2	
	개량방법	개량시기	개량방법	개량시기	개량방법	개량시기	개량방법	개량시기
A	갱생	2012	갱생	2010	갱생	2010	갱생	2009
B	갱생	2011	갱생	2011	갱생	2009	갱생	2010
C	갱생	2011	갱생	2011	갱생	2010	갱생	2011
D	갱생	2010	갱생	2011	갱생	2009	갱생	2010
E	갱생	2012	갱생	2013	갱생	2011	갱생	2011
F	갱생	2011	갱생	2012	갱생	2010	갱생	2011
G	갱생	2012	갱생	2012	갱생	2010	갱생	2009
H	갱생	2013	갱생	2013	갱생	2011	갱생	2011
비용	1,389백만원		2,392백만원		1,423백만원		2,581백만원	

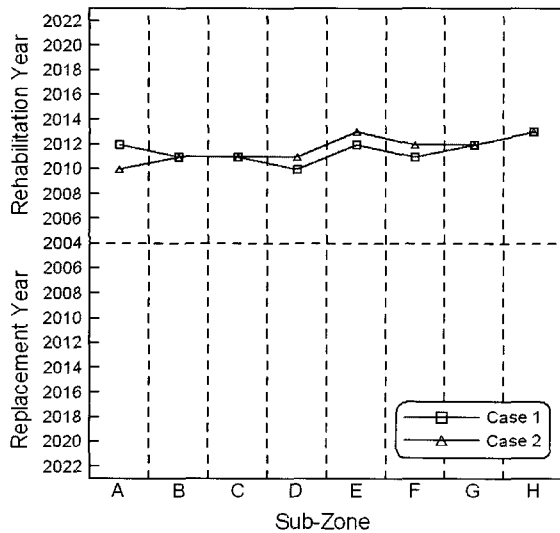


Fig. 8. 20년 장기개량계획 수립결과

4. 결 론

최적개량계획 수립과 관련되어 많은 모형들이 개발되었으나 많은 모형이 학문적으로 개발되어 적용성면에서 효과적이지 못하고 실무 적용이 어려운 단점이 있었으며, 본 연구에서는 화음탐색법을 이용하여 상수관망의 최적개량수립을 위한 다기준 의사결정 모형을 개발하였다. 개발된 모형은 Kim et al. (2004)이 개발한 모형을 기본으로 모형의 단점을 보완하고 실무 적용성을 높였으며, 경제성분석과 수리학적 타당성 검토를 실시하여 관망을 구성하는 여러 소구역의 개량계획(교체 혹은 갱생의 개량 방법 및 개량 시기)을 수립한다.

- 1) 본 연구에서는 화음탐색법을 이용하여 상수관망의 최적개량 수립을 위한 모형을 개발하였으며, 개발된 모형의 적용성 검토를 위해 대구광역시에 설치된 실제 상수관망에 적용하였다.
- 2) 대상관망을 8개의 소구역으로 구분하여 각 소구역별 개량계획을 수립하였으며, 그 결과 장기계획인 경우 2010~2013년에 갱생하는 것이, 단기계획인 경우 2009~2011년에 갱생하는 것이 대상 관망의 적합한 개량계획으로 결정되었다.
- 3) 대상관망의 경우 대부분의 관거가 비교적 설치된 후 기간이 많이 지나지 않은 관거들로, 갱생만으로도 계획기간동안의 수리학적 타당성을 만족시킬 수 있어 개량비용이 비싼 교체보다는 갱생을 적용하는 것이 전체 비용이 저렴한 것으로 나타났다.

본 연구에서 개발된 모형이 실무자들에 의해 현업에

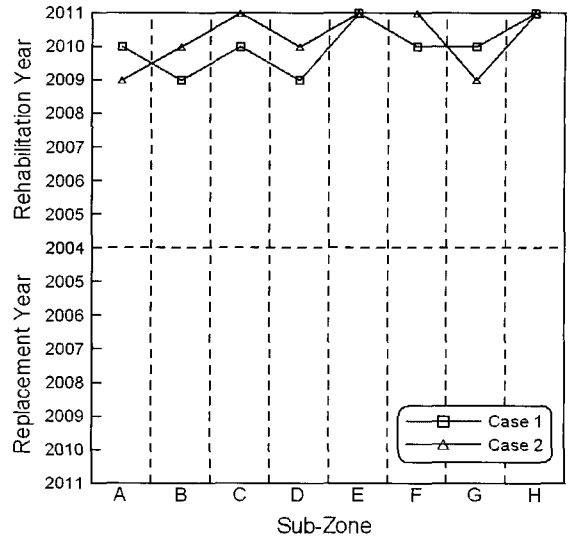


Fig. 9. 8년 단기개량계획 수립결과

사용되기 위해서는 보완해야 할 사항이 남아있으며, 개발된 모형에 의한 결과가 실제 최적의 결과를 주지 않을 수도 있다. 그러나 기존에 개발된 모형이 제시하지 못하는 상수관거의 개량계획 수립을 위한 기준을 제시할 수 있으며, 기존 모형에 비해 더 많은 옵션을 제공할 수 있을 것이다.

감사의 글

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

참고 문헌

- 김용석 (2003). "상수관로의 노후도 예측에 근거한 최적 개량 모형의 개발 (I) : 이론 및 모형개발." **한국수자원학회논문집**, 한국수자원학회, 제36권, 제1호, pp. 45~59.
- 김용석, 박무중, 김중훈 (2003). "상수관로의 노후도 예측에 근거한 최적 개량 모형의 개발 (II) : 적용 및 분석." **한국수자원학회논문집**, 한국수자원학회, 제36권, 제1호, pp. 61~74.
- 김한주 (1994). "물분배 시스템의 최적 관개량 의사결정 모형에 관한 연구." **석사학위논문**, 고려대학교.
- 백천우, 김석우, 조덕준, 김용석, 김중훈 (2004) "통수년 수 경과에 따른 C상수 변화곡선의 매개변수 추정." **2004년 한국수자원학회 학술발표회 논문집**, 한국수자원학회, 발표논문 초록집, pp. 297~297.
- 백천우, 김용석, 박무중, 김중훈 (2005). "ReHS를 이용

- 한 상수관망 최적개량 의사결정 시스템의 개발.” **한국수자원학회논문집**, 한국수자원학회, 제38권, 제3호, pp. 199~212.
- 한국수자원공사 (1995). “수도관개량을 위한 의사결정 시스템 개발.”
- Geem, Z. W., Kim, J. H., and Loganathan, G. V. (2001). “A New Heuristic Optimization Technique: Harmony Search.” *Simulation*, Vol.14., No.1., pp. 34~39.
- Geem, Z. W., Kim, J. H., and Loganathan G. V. (2002). “Harmony Search Optimization : Application to Pipe Network Design.” *International Journal of Modeling and Simulation*, Vol.22., No.2., pp. 125~133.
- Halhal, D., Walters, G. A., Ouazar, D., and Savic, D.A. (1997). “Water Network Rehabilitation with Structured Messy Genetic Algorithm.” *Journal of Water Resources Planning and Management*, Vol.123, No.3, June, pp. 137~146.
- Kim, J. H., Baek, C. W., Jo, D. J., Kim, E. S., and Park, M. J. (2004). “Optimal Planning Model for Rehabilitation of Water Networks.” *Water Science & Technology:Water Supply*, Vol.4, No.3., pp. 133~147.
- Kim, J. H., and Mays, L. W. (1994). “Optimal rehabilitation model for water distribution systems.” *Journal of Water Resources Planning and Management*, Vol. 120., No.5., pp. 674~692.
- Lansley, K. E., Basnet C., Mays, L. W., and Woodburn, J. (1992). “Optimal Maintenance Scheduling for Water Distribution Systems.” *Civil Engineering System*, England.
- Mays, L. W., and Tung, Y.K. (1992). “Hydrosystems engineering and management.” McGraw-Hill.
- Mononobe(物部長穂). 1960. 水理学. 岩波書店刊. pp. 155-158.
- Park, S. W., Loganathan, G. V. (2002a). “Methodology for Economically Optimal Replacement of Pipes in Water Distribution Systems: 1. Theory.” *KSCE Journal of Civil Engineering*, Vol.6, No.4, pp. 539~543.
- Park, S. W., Loganathan, G. V. (2002b). “Methodology for Economically Optimal Replacement of Pipes in Water Distribution Systems: 2. Applications.” *KSCE Journal of Civil Engineering*, Vol.6, No.4, pp. 545~550.
- Shamir, U. and Howard, C. D. (1979). “An Analytic Approach to Scheduling Pipe Replacement.” *Journal of the American Water Works Association*, Vol.71, No.5, May, pp. 248~258.
- Sullivan, J. P. Jr. (1982). “Maintaining aging System-Boston’s Approach.” *Journal of the American Water Works Association*, Vol.74, No.11, November, pp. 555~559.
- Walski, T. M. (1987). “Replacement Rules for Water Mains.” *Journal of the American Water Works Association*, Vol.79, No.11, November, pp. 33~37.
- Woodburn, J., Lansley, K. E., and Mays, L. W. (1987). “Model for the Optimal Replacement and Replacement of Water Distribution System Component.” *Proceeding of the 1987 National Conference on Hydraulic Engineering*, ASCE, pp. 606~611, Williamsburg, Virginia, August.
- U.S. Army Corps of Engineers. (1983). “Engineering and Design-Evaluation of Existing Water Distribution Systems.” Engineer Technical Letter No.1110-2-278.

(논문번호:05-123/접수:2005.09.01/심사완료:2006.05.22)