

〈論 文〉

비선형 계획법을 이용한 상수도 관망설계에 관한 연구 A Study on the Pipe Network System Design Using Non-Linear Programming

김 정 환*, 김 태 균**, 김 중 훈***, 윤 용 남***

KIM Jeong Hwan, KIM Tae Gyun, KIM Joong Hoon, and YOON Yong Nam

Abstract □ The objective of this study is to develop a method which can design an optimal pipe network system using nonlinear programming(NLP) technique. The method finds the minimum-cost pipe network while satisfying all the design constraints including hydraulic constraints. The method developed in this study was applied to the Goyang distribution area in Goyang, Kyounggi-do. It has been found in the application and the comparison between the original design and the optimal design of this study that the optimal design method developed in this study does not require the trial-and-error procedure while satisfying the discharge and pressure requirements at the demanding nodes. Therefore, the optimal design method using NLP could be effectively utilized in the practical design considering economic aspect of the pipe network system at the same time.

요 지 : 본 연구에서는 설계기준에 합당한 제약조건을 고려하여 최저경비의 관망시스템을 설계함을 목적으로 비선형계획법(NLP)을 적용하였다. 경기도 고양군의 고양배수지를 급수원으로 하는 배수구역에 실제 적용하여 기존의 설계와 비교한 결과 기존 수리모의모형에서 사용되고 있는 반복계산 과정이 필요없이 설계가 가능함을 알 수 있었고, 설계의 최적화를 도모하는 동시에 수요절점에서의 유량 및 수압조건을 만족시킬 수 있었다. 이상의 결과와 같이, 본 연구에서의 비선형계획법(NLP)을 이용한 상수도 관망설계가 실무에서도 효과적으로 사용될 수 있음을 알 수 있었고 최적화 설계로 인하여 경제적 측면 까지도 고려할 수 있음을 알 수 있었다.

1. 서 론

일반적으로 상수도시설의 목적은 합리적인 건설비와 유지관리비를 투자하여 소비자에게 질적으로는 안전하고 양적으로는 충분한 물을 공급하는 데 있다. 따라서 배수지와 함께 상수도 관망에 대한 설계가 중요한 비중을 차지하게 되는데, 보통 상수도관망의 구성 및 각 관로에 대한 관경 결정은 전

급수지역에 필요로 하는 상수(上水)를 적정한 압력하에서 적정량이 급수될 수 있도록 설계한다. 계획관망은 주로 기존의 배수관망이나 기존가로망등을 토대로 구성하며 지금까지 실무에서의 상수도 관망 설계는 적당한 설계기준에 따라 수리모의모형(hydraulic simulation model)을 이용하여 관망에 대한 수리계산을 실시하고 기준에 적합하지 않을 때는 관경을 조정하여 만족스러운 결과를 얻을 때까지 반복계산을 한다. 그러므로 기존의 방법은 각

* 고려대학교 토목환경공학과 대학원 박사과정

** 고려대학교 생산기술연구소 선임연구원

*** 고려대학교 토목환경공학과 교수

절점에서 수요량을 충족시키고 잔류수압의 기준을 적절하게 만족시킬 수는 있지만 이와같은 설계가 최적화 설계라고 생각하기는 어렵다.

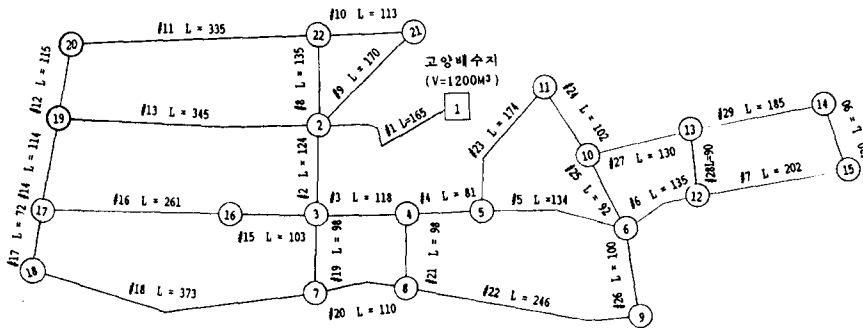
이에 반해서 본 연구에서는 일반적인 상수도 관망 설계에 있어서 배수지를 통해서 각 용수수요절점 방향으로 유량을 수송하는 과정에서 각 관로의 관경과 이를 통해 흐르는 유량 및 손실수두 잔류수압기준과 같은 제약조건을 고려한 비선형 최적화문제를 해석함으로써 최저경비의 관망시스템 설계 방안을 모색하고자 한다.

2. 적용지역 및 기준

경기도 고양군의 급수대상지역은 도시계획상의 용도지역중 주거지역, 상업지역 및 녹지지역등으로 구분되며 화전지구, 신도지구, 관산지구, 고양지구, 능곡지구, 원당지구, 일산지구의 7개 배수유역으로 크게 나눌 수 있다. 본 연구의 대상배수유역은 7개의 배수지중에서 고양배수지를 급수원으로하는 배수유역으로 이 배수지의 수원은 노고산 산정으로부터 상장봉, 오봉산, 송추 및 간명산으로 이어지는 곡능천의 상류에 취수언을 설치하여 원수를 취수하고 있다. 고양배수지내의 상수도 관망은 일최대급수량이 1700ton/day 이고 배수지 용량 1200m³, 관로수가 30개이고, 관망절점수는 22개, 폐합회로

수는 9개로 구성되어 있다.⁽²⁾ 또한 고양지구 배수 관망도는 그림-1 에 나타나 있고 각 절점별 수요 유량 및 지반고는 표-1과 같다.

관망에서의 마찰손실 수두계산에는 Hazen-Williams 공식을 사용하였고, 일반적으로 설계기준용량은 용수수요량 중에서 공업용수가 차지하는 비율이 큰 도시일수록 또는 누수등의 손실수량이 많을수록 일최대수요량과의 비율을 작게하는 경향이 있으며 실무에서 보면 유지관리가 적절한 경우에 대도시와 공업도시는 0.3배 증가, 중도시는 0.5배 증가가 보통이다. 하지만 소도시 또는 급수구간내에 특히 시간적으로 다량의 물을 사용하는 공장이나 주택단지 등으로 형성된 특수지역에서는 1배까지 증가시키는 경우도 있다. 여기에서는 대상배수유역을 중도시라고 볼 수 있으므로 설계용량기준을 일최대수요량에 1.5를 곱한 값을 사용하였다. 강관 및 주철관의 경우 Hazen-Williams 공식에서 'C' 값은 보통 90에서 110 사이의 값을 사용하는데 본 연구에서는 'C' 값을 100으로 일정하게 가정하여 사용하였다. 또한 상수도 시설기준⁽¹⁾에 의하면 관말의 잔류수압을 시간최대유량의 유출이 가능하도록 최소 1.5kg/cm² 즉, 수두 15m를 유지하도록 규정하고 있고 가능한 한 4kg/cm² 이내에 들도록 설계하므로 이에 준하여 계산하였다.



고양지구 배수관망도

그림-1 고양지구 배수관망도

표-1 절점별 유량 및 지반고

구 분 절 점 번호	일최대급수량 (cmd)	설계기준량 (일최대급수량 × 1.5) (cmd)	지 반 고 (m)	비 고
#1	(-)1700	(-)2550.0	71.00	고양배수지 (V=1200m ³)
#2	102	153.0	56.40	
#3	47	70.5	53.80	
#4	39	58.5	54.90	
#5	50	75.0	56.00	
#6	45	67.5	57.00	
#7	42	63.0	53.90	
#8	32	48.0	54.50	
#9	28	42.0	57.90	
#10	20	30.0	62.10	
#11	28	42.0	62.80	
#12	25	37.5	58.60	
#13	25	37.5	59.30	
#14	42	63.0	59.80	
#15	297	445.5	59.20	
#16	72	108.0	53.60	
#17	53	79.5	54.80	
#18	37	55.5	55.10	
#19	79	118.5	54.20	
#20	83	124.5	54.50	
#21	21	31.5	62.90	
#22	533	799.5	61.80	

3. 기본이론

관망시스템 최적설계의 일반적인 문제는 여러 제약조건을 만족시키는 범위내에서 최저경비의 설계를 하는 것이다. 분기형 관망에서는 말단부에서의 수요용수유량이 정해지면 각 관로에서의 유량이 주어지게 되어 최적화 모형이 선형으로 유도될 수 있으나 폐합회로형(looped) 관망의 최적화 모형은 비선형으로 나타나게 된다. 일반적으로 관망의 최적화 문제를 수요절점에서의 수압 H와 기타 여러 설계변수 D로 나타내면 다음과 같다.

Objective Function(목적함수);

$$\text{Min. Cost} = f(D, H) \tag{1}$$

Subject to(제약조건식);

흐름의 에너지 보존법칙

$$G(H, D) = 0 \tag{2}$$

잔류수압조건

$$H \leq H \leq \bar{H} \tag{3}$$

설계상의 조건

$$u \leq u(D) \leq \bar{u} \tag{4}$$

여기에서 대표적인 결정변수 D로는 관의 직경, 펌프의 용량등이 있으며 (2)식으로 주어지는 제약 조건으로는 교차점 방정식, 폐합회로방정식 그리고 손실수두방정식등이 있으며 전체제약조건식의 대부분을 차지한다. 수요절점에서의 유량만족 조건식은 위의 교차점방정식에 포함되게 되며 (3)식에서 H는 수요절점에서의 잔류수압이며 어떤 하한(H)과 상한(H) 사이의 값이어야 한다. (4)식으로 주어지는 제약조건식은 어떤 특정상황하에서 설계상의 제약등에 의해 정해지는 함수이다. 위에서 주어진 일반적인 문제를 본 연구에 적용한 결과, 4장에서 주어진 바와 같은 최적화 모형을 얻을 수 있었다.

본 연구에서는 폐합형 관망해석에서 수식화된 비선형 최적화 모형의 풀이에 있어 World Bank에서 개발한 GAMS(General Algebraic Modeling System)⁽⁶⁾에 비선형 계획법 해석을 위한 MINOS를 병용하는 GAMS/MINOS를 이용하였다. GAMS/MINOS는 다음과 같은 형태로 표현될 수 있는 최적화 문제를 풀기위해 제안된 FORTRAN 언어를 바탕으로 한 프로그램이다.

$$\text{Minimize } F(x) + c^T x + d^T y \quad (5)$$

$$\text{Subject to } f(x) + A_1 y \leq b_1 \quad (6)$$

$$A_2 x + A_3 y \leq b_2 \quad (7)$$

$$l \leq \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} \leq u \quad (8)$$

여기서 c, d, b₁, b₂, l, u는 벡터이고, A₁, A₂, A₃는 상수로 나타내지는 행렬이며 F(x)는 smooth scalar function, f(x)는 smooth function의 벡터이다. x로 구성된 성분을 비선형 변수, y로 구성된 성분을 선형변수라고 생각하면 위에서 (6)식은 비선형 제약조건식, (7)식은 선형 제약조건식이라고 할 수 있고 (6)식과 (7)식을 합해 일반 제약조건식이라고 한다. 비선형 제약조건식과 비선형 변수의 갯수를 각각 m₁, n₁이라 하고, 제약조건식과 변수의 총갯수를 각각 m, n이라 하면 A₃는 m-m₁열과 n-n₁행으로 구성된 행렬을 이루게 되며, (8)식에서 주어진 제약조건에서는 모든 변수들에 대한 상한치와 하한치의 범위를 나타내게

된다. 제약조건식들 중에 비선형 식을 포함하고 있을 때 GAMS/MINOS에서는 projected Lagrangian algorithm^{(12), (13)}을 이용하여 비선형 계획법 문제를 풀이하게 되며 이 algorithm은 비선형 제약조건식들을 선형화하여 원래의 선형 제약조건식들을 포함한 제약조건식들이 모두 선형인 subproblem을 반복계산하는 과정을 거치게 된다. k-번째 반복계산에서 비선형 변수의 값을 x_k, Lagrange multiplier를 λ_k라 하며, 위의 (6)식에서 f(x)는 다음과 같이 선형화 할 수 있다.

$$\tilde{f} = f_k + J_k(x - x_k)$$

여기서 J_k는 Jacobian matrix 이며, k-번째 반복계산 과정에서 풀게되는 subproblem 은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} \text{Min. } & F(x) + c^T x + d^T y - \lambda_k^T (f - \tilde{f}) \\ & + \frac{1}{2} \rho (f - \tilde{f})^T (f - \tilde{f}) \end{aligned} \quad (9)$$

$$\text{Subject to } \tilde{f} + A_1 y \leq b_1 \quad (10)$$

$$A_2 x + A_3 y \leq b_2 \quad (11)$$

$$l \leq \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} \leq u \quad (12)$$

이 subproblem의 목적함수인 (9)식은 원래의 목적함수와 선형화된 비선형 제약조건식에 대한 Lagrange multiplier항과 penalty항을 포함하며 augmented Lagrangian이라 불리운다. GAMS/MINOS는 reduced-gradient algorithm을 사용하여 원래의 선형과 선형화된 제약조건식들 하에서 이 augmented Lagrangian을 최소화하게 된다.

4. 최적화 모형의 수식화

4.1 수리기본공식 및 관경별 단위 m당 비용

일반적으로 마찰손실수두를 계산하는 공식에는 Hazen-Williams 공식과 Darcy-Weisbach 공식이 사용되는데, 상수도 관망해석에는 Hazen-Wil-

liams 공식이 주로 사용되며 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$h_L = \frac{K L Q^{1.85}}{C^{1.85} D^{4.87}} \quad (13)$$

여기서 K는 상수로서 10.666, L은 관로길이(m), Q는 유량(cms), D는 관경(m)을 나타내며 C는 Hazen-Williams의 조도계수로서 일반적으로 90에서 110사이의 값을 가지는데 관이 노후됨에 따라 점차 작은 값을 나타내게 된다.

관경별 단위 길이(m)당 비용은 건설부에서 발간된 '상수도 원단위 산정 및 장기종합개발계획수립에 관한 연구' 보고서⁽²⁾에서 다음과 같은 관계식을 사용하였다.

$$\text{Cost(원)} = 0.2897 \times D^2 + 36036 \quad (14)$$

여기서 D는 관경(mm)을 나타낸다.

4.2 목적함수

관망시스템을 설계함에 있어서 목적함수는 설계비용을 최소화 하는데 있다. 보통 설계비용은 관 시설비와 펌프 시설비로 크게 나눌 수 있다.

$$\begin{aligned} \text{Min. } Z = & \sum_{j=1}^n L_j \cdot (0.2897 \cdot D_j^2 + 36036) \\ & + \sum_{k=1}^k XP_k \cdot CP_k \end{aligned} \quad (15)$$

여기서 L_j , D_j 는 관로길이(m) 및 관경(mm)이고 XP_k 는 펌프 k의 양정고(m), CP_k 는 펌프 k의 단위 양정고당 설계비용(원)이며, n은 관의 총 갯수, K는 펌프의 갯수이다.

4.3 제약조건

목적함수와 함께 고려해야 할 제약조건은 교차점 방정식에 의한 제약조건, 폐합회로방정식에 의한 제약조건, 손실수두방정식에 의한 제약조건, 수요

절점에서 잔류수압 기준에 대한 제약조건, 결정변수의 값이 음일 수 없다는 Nonnegativity 제약조건 등 5가지이다.

4.3.1 교차점방정식에 의한 제약조건

$$\sum_{j \in I_i} q_j \geq Q_i \quad (16)$$

여기서 q_j 는 j번 관을 통해 흐르는 유량, Q_i 는 수요절점 i에서의 수요유량, I_i 는 수요절점 i와 연결된 관의 조합이며 각각의 수요절점에 대하여 관로를 통한 유량의 합이 수요유량을 충족시켜야 한다는 조건으로 가장 기본적인 식이다.

4.3.2 폐합회로방정식에 의한 제약조건

$$\sum_{j \in J_s} h_{L_j} = 0 \quad (17)$$

관망시스템의 폐합회로(loop) 각각에 대하여 손실수두의 합이 항상 0이라는 제약조건으로 여기서 J_s 는 폐합회로 s에 속한 관의 조합이며, 각 관의 손실수두는 앞에서 언급한 식(13)과 같다.

4.3.3 손실수두방정식에 의한 제약조건

$$h_{L_j} = \frac{K L_j Q_j^{1.85}}{C_j^{1.85} D_j^{4.87}} \quad (18)$$

모든 관로 각각에 대해 Hazen-Williams 공식을 만족시켜야 하며 결정변수가 되는 관로에 대한 손실수두, 관경 및 유량의 항으로 표시된다.

4.3.4 잔류수압기준에 대한 제약조건

$$\underline{H} \leq H \leq \bar{H} \quad (19)$$

각 수요절점에서의 잔류수압이 설계기준이 되는 하한치(\underline{H})와 상한치(\bar{H}) 사이에 존재해야 한다는

제약조건으로 상수도 설계기준⁽¹⁾에 의해 하한치는 15m, 상한치는 40m로 주어졌다.

4.3.5 Nonnegativity 제약조건

$$\begin{aligned}
 D_i &\geq 0 \\
 q_i &\geq 0 \\
 h_{r,i} &\geq 0 \\
 XP &\geq 0
 \end{aligned}
 \tag{20}$$

결정변수가 되는 관로의 관경, 유량, 손실수두, 펌프양정고 값은 양수의 값을 가지므로 이 조건을 만족시켜야 한다.

위에서 보면 목적함수는 관경 및 펌핑수두에 따른 비용으로 나타내지며 5가지의 제약조건항에는 모형에 필요한 제반조건들을 모두 포함하고 있어서, 이 식들을 3장에서 설명된 바와같이 GAMS/MINOS를 이용하여 풀이하면 설계기준을 만족시키는 범위에서 결정변수(손실수두, 관경, 관로유량 등)를 쉽게 구할 수 있다.

5. 결과 분석

본 연구에서 개발된 최적화모형을 GAMS/MINOS 프로그램을 이용해서 해석하는 과정에 각 관로 관경의 하한치를 주지 않았을 경우 그림-1에 있는 배수관망도의 30개 관로중 9개 관로의 최적 관경이 0으로 계산되었다. 이는 나머지 21개의 관으로도 분기형(branched) 관망을 형성하면서 각 수요절점에서의 유량과 수압조건을 만족시킬 수 있으며 9개 관로 설치에 드는 비용을 절약함으로써 최저경비의 관망시스템 설계가 가능함을 의미한다. 그러나 상수도시설의 배치에 있어서 배수관은 원칙적으로 폐합회로형(looped) 관망을 형성하도록 규정되어 있고⁽¹⁾, 실무에서는 배수관의 최소관경을 80mm로 설계하므로 모든 30개 관로의 관경 하한치를 80mm로 하여 계산하였으며 그 결과는 표-2와 같다. 표-2에서 나타난 바와 같이 기존의 설계결과와 비교하여 최적화 모형의 결과가 크게 다르지 않음은 적용 배수지역에서 대부분 관로의 관경이 최소관경인 80mm로 충분하기 때문인 것으로

표-2 최적화 계산 결과 관경 및 상업용 표준관

구분 관로 번호	기존 설계결과의 관경(mm)	최적화 결과의 관경 (mm)	권장 상업용 관경 (mm)	구분 관로 번호	기존 설계결과의 관경(mm)	최적화 결과의 관경 (mm)	권장 상업용 관경 (mm)
#1	200	166	200	#16	80	80	80
#2	200	160	200	#17	80	80	80
#3	150	124	125	#18	80	87	100
#4	150	108	125	#19	80	115	125
#5	150	86	100	#20	80	80	80
#6	100	97	100	#21	80	80	80
#7	80	80	80	#22	80	80	80
#8	100	80	80	#23	80	80	80
#9	80	80	80	#24	80	80	80
#10	80	80	80	#25	80	80	80
#11	80	80	80	#26	80	80	80
#12	80	80	80	#27	80	80	80
#13	80	80	80	#28	80	80	80
#14	80	80	80	#29	80	85	100
#15	100	80	80	#30	80	80	80

* 최적화 결과의 펌프 소요출력: 6.14HP

표-3 KYPIPE 실행결과

구분 절점 번호	설계기준량 (절점유량) (cmd)	지 반 고 (m)	잔 류 수 압(kg/cm ²)			
			기존설계의 관경사용시 (a)	기존설계 + 펌프사용시 (b)	최적화결과 관경사용시 (c)	관장 관경 사용시 (d)
#1	(-)2550.0	71.00	—	—	—	—
#2	153.0	56.40	1.30	2.86	2.70	2.89
#3	70.5	53.80	1.52	3.08	2.86	3.12
#4	58.5	54.90	1.34	2.91	2.65	2.91
#5	75.0	56.00	1.20	2.77	2.45	2.75
#6	67.5	57.00	1.10	2.64	2.20	2.55
#7	63.0	53.90	1.44	3.00	2.81	3.08
#8	48.0	54.50	1.37	2.93	2.68	2.95
#9	42.0	57.90	0.99	2.55	2.16	2.49
#10	30.0	62.10	0.53	2.09	1.68	2.02
#11	42.0	62.80	0.47	2.03	1.66	1.98
#12	37.5	58.60	0.80	2.36	1.94	2.30
#13	37.5	59.30	0.72	2.28	1.87	2.21
#14	63.0	59.80	0.47	2.03	1.68	2.09
#15	445.5	59.20	0.48	2.04	1.69	2.09
#16	108.0	53.60	0.49	3.07	2.81	3.07
#17	79.5	54.80	1.29	2.85	2.64	2.90
#18	55.5	55.10	1.26	2.82	2.61	2.89
#19	118.5	54.20	1.33	2.89	2.68	2.92
#20	124.5	54.50	1.26	2.82	2.57	2.80
#21	31.5	62.90	0.47	2.03	1.82	2.02
#22	799.5	61.80	0.53	2.09	1.80	2.01

로 보인다.

표-3의 (a)란에서 보는 바와 같이 기존설계에서는 3번을 제외한 모든 수요절점에서의 수압이 하한치 1.5kg/cm²에 미치지 못함을 알 수 있다. 따라서 본 연구의 최적화 모형에서는 1번관에 한개의 펌프를 설치하여 잔류수압기준의 제약조건이 만족되도록 하는 적정펌프 용량을 구하였다. 여기에서 최적화 기법의 장점은 기존설계방법과는 달리 시행착오법을 사용하지 않는다는 점 외에도 수요절점에서의 잔류수압조건을 제약조건으로 줌으로써 얻어지는 최적관경과 펌프용량은 표-3의 (c)란에서 보는 바와같이 이미 각 수요절점에서의 잔류수압조건을 만족시킨다는 것이다.

최적화의 결과로서 얻어지는 최적관경은 대개의

경우 상업용 표준관경이 아닌 숫자로 주어지게 된다. 그러나 이는 근사한 크기의 상업용 표준관경으로 선택한 다음 KYPIPE 등과 같은 관망해석 프로그램을 이용하여 해석하여 수압조건을 만족시키는지 확인함으로써 해결할 수 있게 된다. 그 결과는 표-3의 (d)란에 나타나 있으며 만약 수압조건이 만족되지 않으면 다른 크기의 관경을 사용함으로써 쉽게 해결할 수 있게 된다. 기존설계와 최적화설계와의 전체 관망시스템 비용의 직접적인 비교는 기존설계에서는 펌프를 고려하지 않아 기준수압조건을 만족시키지 못하는 반면에, 최적화 설계에서는 기준수압조건을 만족시키기 위해 펌프 설치를 고려하였으므로 큰 의미는 없을 것이다. 그러나 관경에 따른 관의 비용만 비교하면 최적화에 따른 관

장 환경을 사용하는 경우가 기존설계에 비해 약간 저렴함을 알 수 있었으며 이 액수는 관망시스템이 클수록 또 시스템에 따라 커지게 될 것이다.

6. 더욱 복잡한 관망시스템 설계의 최적화 기법

본 연구에서의 대상 배수유역은 관로수가 30개 이고, 용수수요 절점수가 22개, 폐합회로(loop) 수가 9개로 구성되어 있으며 실무 측면에서 본다면 비교적 간단한 구성이라고 할 수 있다. 그러나 이를 위한 최적화 모형에서 고려된 제약조건식은 196개, 변수는 91개로서 비선형 문제로서의 그 규모가 아주 작다고 할 수는 없다. 따라서 더욱 복잡하고 규모가 큰 관망의 최적화설계 문제에서는 비선형계획법(nonlinear programming)의 한계에 의해 해석이 어려워지게 된다. 이와같이 수공학분야의 최적화 문제에 있어 비선형 문제의 규모가 너무 커질 경우에는 수리모의모형(hydraulic simulation model)을 최적화모형(optimizer)에 연계(interface) 시킴으로써 문제의 크기를 최적화 모형이 다룰 수 있는 크기로 줄일 수 있다. 이는 최적화 문제에 있어 제약조건식의 대부분인 수리학 공식들을 수리모의모형이 대신 해석해 줌으로써 가능해지는데 이는 최적제어이론(optimal control theory)⁽¹⁰⁾에 근거하고 있다. 그림-2는 최적제어이론에 의한 최적화모형과 수리모의모형과의 상호연계를 상징적으로 나타내고 있다. 수리모의모형의 최적화모형에의 연계는 최적화모형만 사용했을 경우 결여되기 쉬운 여러 수리학적 세부사항까지도 고려될 수 있다는 장점도 가지고 있다.

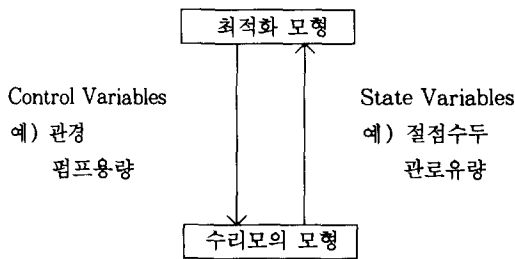


그림-2 최적제어이론에 의한 상호연계

7. 결론

본 연구에서는 지금까지 실무에서 사용되어온 수리모의모형에 의한 관망해석과는 달리 비선형 계획법을 사용하여 고양군에 위치한 고양배수지를 급수유역으로 하는 배수관망의 설계에 적용한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

(1) 비선형 최적화 기법을 사용하여 주어진 조건들에 합당한 제약조건식을 부여함으로써 상수도 관망에 있어서 적절한 압력하에서 적정량의 유량이 급수될 수 있도록 설계함과 동시에 관경의 최적화를 도모할 수 있었다.

(2) 지금까지 실무에서 사용하고 있는 방법 즉, 주어진 관망의 수리계산을 실시하고 관경을 조정하여 만족스러운 결과를 얻을 때 까지 반복 계산하는 시산법과는 달리 본 연구에서 개발된 최적화 모형은 모든 기준이 제약조건식으로 주어지고 이를 만족시키는 결과를 얻게되므로 비교적 해석이 간단하다 할 수 있다.

(3) 본 연구의 최적화 결과에서 얻어진 관경은 실무에서 사용하는 표준관경이 아니기 때문에 계산된 관경 보다 한치수 큰 상업용 표준관을 사용하게 되는데 표준관을 사용하여 수리모의모형을 실행시켜 관망해석을 실시한 결과 수리학적으로 문제가 없음을 알 수 있었다.

(4) 더욱 복잡하고 규모가 큰 관망의 최적화 설계를 위해서는 최적제어이론에 근거하여 수리모의모형을 최적화모형에 상호연계시키는 방안을 모색해야 하며 앞으로 이 분야에의 연구가 필요하다고 사료된다.

참 고 문 헌

1. 건설부(1992), 상수도 시설기준.
2. 건설부(1988), 상수도 원단위 산정 및 장기종합개발계획수립에 관한 연구.
3. 고양군(1986), 고양군 상수도확장사업기본계획 및 실시설계 보고서.
4. 윤용남(1984), 수리학, 청문각.
5. 현인환(1987), 배수관망의 최적설계법에 관한 연구, 서울대학교 박사학위 논문.

6. David Kendrick et al(1992), Release 2.25 GAMS a User's Guide, The Scientific Press.
7. Don J.Wood(1991), KYPIPE2 User's Manual, University of Kentucky.
8. Kim,J.H.(1992), Optimal Rehabilitation/Replacement Model for Water Distribution System, Ph.D. Dissertation,The University of Texas at Austin.
9. Leon S.Lasdon and Allan D.Waren(1986), GRG2 User s Guide.
10. Mantell,J.B. and Lasdon,L.S.(1978), A GRG Algorithm for Econometric Control Problems, Annals of Economic and Social Management,Vol. 6,No.5.
11. Mays,L.W. and Tung,Y.K.(1992), Hydro-systems Engineering and Management, McGraw-Hill,Inc.
12. Murtagh,B.A. and Saunders,M.A.(1982), A Projected Lagrangian Algorithm and Its Implementation for Sparse Nonlinear Constraints, Mathematical Programming Study 16, Algorithms for Constrained Minimization of Smooth Nonlinear Functions, pp 84-117.
13. Robinson,S.M.(1972), A Quadratically Convergent Algorithm for General Nonlinear Programming Problems, Mathematical Programming 3, pp 145-156.

〈접수 : 94.4.23〉