

〈論 文〉

선형계획법을 이용한 분기형 관망 시스템의 최적설계

Optimal Design of Dendritic Water Distribution Systems Using Linear Progrannging

전 환 돈* 김 태 균** 김 중 훈*** 윤 용 남****

JUN Hwan Don, KIM Tae Gyun, KIM Joong Hoon and YOON Yong Nam

Abstract □ This paper presents a model for the optimal design of dendritic water distribution systems using linear progrannging technique. The optimization model was formulated and applied to a coastal region reclamation project site located in Hae-Nam, Jun-Nam province. The water distribution systems in the region had already been designed using a hydraulic simulator(BRANCH). The optimization model developed in this research utilized the data given in the report of the project. The comparison between the systems designed by the simulator and by the optimization model shows that the optimization model provides better results and can be utilized more efficiently in the design of dendritic water distribution systems.

요 지 : 본 논문에서는 분기형 관수로 설계방법의 모델을 제시하기 위하여 선형계획법(LP)을 도입한 설계를 연구하였다. 실제 사업지구인 전남해남군 간척사업지구의 자료를 토대로 LP 수식화에 필요한 자료를 수집하여 파이프 관경과 펌프마력설계를 최적화하였다. 연구결과 기존의 관망설계와 비교해 보았을때 파이프 관경과 펌프마력등에서 더 경제적인 결과를 얻을 수 있었고, 수리모의모형을 사용한 기존의 설계방법보다 객관적이고 효율적인 설계가 가능했다. 이러한 결과를 바탕으로 본 논문에서 연구된 선형계획법을 이용한 분기형 관망설계의 모형이 실무에서도 효율적으로 적용될 수 있음을 알 수 있었다.

1. 서 론

인구증가와 산업의 발달로 인하여 각 분야별로 용수의 부족이 심화되고 있음에 따라 적절한 유량을 필요로 하는 곳에 안전하고 신뢰성있게 보내는 것이 중요하다. 농업용수 또한 예외는 아니어서 댐이나 저수지등의 시설에서 개개의 전담으로 농업용수를 효율적으로 공급할 수 있어야 한다. 농업용수의 공급은 설계의 간편성과 유지비의 저렴성 등으로 인하여 개수로 방식이 많이 사용되고 있으나, 지가의 상승 및 말단부의 물부족등으로 인한 문제

점을 안고 있다.

이러한 문제점을 극복하기 위하여 관수로방법을 사용하는데, 이는 지형적 제한을 비교적 받지않고, 관이 지하에 매립되어서 용지의 매수비용이 거의 들지 않으며, 침투수를 통한 용수손실이 거의 없다는 장점을 가지고 있다. 또한 물 사용주체가 개수로의 경우 공급자위주인데 반해서, 관수로로는 사용자 위주로 물부족 현상이 발생되지 않는다. 이러한 장점으로 인하여 관수로방법의 필요성이 증가하고 있으므로 관수로설계의 다양한 방법의 개발이 요구되고 있다. 현재까지 실무에서는 수리모의모형(Hydraulic Simulation Model)을 사용해서 대략

* 고려대학교 토목환경공학과 대학원

** 고려대학교 생산기술연구소 선임연구원

*** 고려대학교 토목환경공학과 교수

적인 기초설계를 하고 있고, 상수도의 경우와 같이 선형이론이나 Hardy-Cross방법 등을 프로그램화한 것 등을 설계에 사용하고 있으나 아직 최적화기법을 도입하고 있지는 못한 실정이다. 그러므로 관망설계에 있어서 합리적이고 최적화기법을 도입한 설계방법이 요구되고 있다. 본 연구에서는 실제 사업지구인 전남 해남 간척사업지구의 설계자료를 바탕으로 선형계획법을 이용하여 분기형 관망의 최적화 설계를 하였다. 전남 해남군 간척사업지구의 실제 설계에서는 Branch라는 수리모의 모형 package를 사용하여 관경등을 설계하였는데, 최적화 모델의 수식화에서도 Branch 모형에서 사용된 손실수두계산식이나, 펌프 마력계산식 등을 그대로 사용하였고, 이것을 바탕으로 실제 설계에서 사용된 상업용 관경, 자재비용, 펌프비용, 설치비용을 선형계획법 문제로 구성하여 풀이하였다.

2. 이 론

선형 계획법은 변수가 대단히 많은 문제에도 적용이 가능하며, 목적함수나 제약조건 모두 결정변수의 선형함수로 이루어져 있다. 선형계획법의 최적해는 가능해 지역의 꼭지점에서 생기며, 항상 전체 최적해이다. 선형계획법 풀이를 위한 컴퓨터 프로그램은 GAMS(General Algebraic Modeling system)⁽⁴⁾를 이용하였다. 선형계획법의 일반적인 해법은 단체법(Simplex Method)⁽⁵⁾로 GAMS 프로그램내에서도 이 방법을 사용하여 선형계획법을 풀이한다.

2.1 단체법 (Simplex Method)

2.1.1 선형계획법의 일반적인 형태

목적함수 :

$$\text{Max(or Min)} Z = \sum_{j=1}^n c_j x_j \quad (1)$$

제약조건 :

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} x_{ij} = b_i, \text{ for } i=1, 2, \dots, m \quad (2)$$

$$x_i \geq 0, \text{ for } i=1, 2, \dots, n \quad (3)$$

여기서, c_j , a_{ij} , b_i 는 계수이며, x_i 는 결정변수이다. 위의 식을 바탕으로 최적 설계에 적용을 하면, 목적함수는 관의 시설에 필요한 비용과 펌프 설치비를 합산한 전체 시설비의 최소화이고, 제약조건으로는 길이에 대한 조건과 압력수두의 조건, 각 변수의 값은 양수라는 Nonnegativity 조건이 사용되었다.

2.1.2 단체법의 풀이방법

단체법의 기본 풀이방법은 각 feasible extreme point 와 이것에 근접한 feasible extreme point 에서 목적함수값의 크기를 비교하여 순차적으로 최적값을 찾아가는 것이다. 변수값이 많아지면 Simplex Tableau를 구성하여 변수값을 feasible extreme point에 따라 basic variable 과 nonbasic variable로 나누어서 차례로 목적함수값을 구하여 최적값을 구한다.

이 방법을 Matrix 형태로 나타내어 풀이하면 다음과 같다.

목적함수 :

$$\text{Max(or Min)} x_0 = c^T x \quad (4)$$

제약조건 :

$$(A, I)x = b \quad (5)$$

$$x \geq 0 \quad (6)$$

여기서 I는 단위행렬, c는 목적함수 계수벡터이고, A는 제약조건식의 계수벡터, x는 변수이다. 목적함수식과 제약조건식을 전개하면

$$\text{Max } x_0 = c_B^T x_B + c_N^T x_N \quad (7)$$

$$Bx_B + Nx_N = b \quad (8)$$

첨자 B는 Basic variable을 의미하고 첨자 N은 Nonbasic variable을 의미한다. 벡터 B와 N은 제약조건식의 Basic variable과 Nonbasic variable에 관계되는 계수값이다. 풀이과정에서 Nonbasic

variable은 0이므로 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\text{Max } x_0 = c_B^T x_B \quad (9)$$

$$Bx_B = b \quad (10)$$

위 식의 해가 최적해이며 다음과 같이 표시할 수 있다.

$$\begin{pmatrix} 1 & c_B^T B^{-1} A - c_1^T & c_B^T - c_{11}^T \\ 0 & B^{-1} A & B^{-1} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_0 \\ x_1 \\ x_1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} c_B^T B^{-1} b \\ B^{-1} b \end{pmatrix} \quad (11)$$

여기서 I 첨자는 starting nonbasic variable vector,

II 첨자는 starting basic variable vector 이다.

2.2 기본 이론식

손실수두 계산식은 Darcy-Weisbach 공식⁽¹⁾이며 다음과 같다.

$$h_L = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{V^2}{2g} = \frac{8 \cdot f \cdot L}{2 \cdot g \cdot D^5} \cdot Q^2 \quad (12)$$

여기서, L은 관의 길이(m), D(m)는 관경, V (m³/sec)는 유속, f는 마찰손실계수를 나타낸다.

손실계수 f값의 산정은 다음 공식⁽¹⁾을 이용, 실제 설계에 사용된 manning의 조도계수 n값을 사용하여 산정했다.

$$f = 124.5 \cdot \frac{n^2}{D^{(1/3)}} \quad (13)$$

여기서, n은 manning의 조도계수이고, D는 관경(m)이다.

펌프 마력 계산식⁽¹⁾은 다음의 식을 사용했다.

$$P = 13.33 \cdot \frac{Q \cdot H}{e} \quad (14)$$

여기서, e는 펌프 효율, Q(m³/sec)는 설계지구에서의 최대 양수유량, H(m)는 양정고이다. 관망은 폐합형(loop)형과 분기형(branch)형으로 구분되는데, 폐합형의 경우는 식(12) 및 식(13)의 비선형성으로 인하여 비선형계획법 문제가 되나, 분기형의 경우는 설치가 가능한 모든 관의 직경을 이용하여 식(12) 및 식(13)를 각 관경별로 미리 계산함으로써 비선형항을 제거할 수 있으므로 설치 가능한 관경별 길이를 결정변수로 하는 선형계획법 문제를 구성할 수 있다. 예를들면 길이가 L인 두 절점(node)에 유량(Q)을 소통시킬 수 있는 관의 설치비용을 최소화하는 문제를 최적화할 경우, 각 사을 통과한 유량은 이미 정해진 값을 가지고, 각 사을 가능한 관별로 직경(D) 및 조도계수(n)을 사용하여 식(12) 및 식(13)를 단위길이에 대하여 풀이하면 단위길이당 손실수두를 구할 수 있으므로, 목적함수는 각 관경별 단위길이의 설치비용을 최소화하는 문제가 되며, 제약조건에서 손실수두에 대한 조건과 모든 사용가능한 관의 길이의 합이 두 절점간의 길이(L)와 같다고 하면 관경별 길이를 결정변수로 하는 선형계획법 문제가 된다.

3. 선형계획법의 수식화

3.1 목적함수

본 연구에서 수식화된 LP model의 목적함수는 2장에서 설명한 바와 같이 분기형 관망 시스템 전체의 시설비를 최소화하는 것이다. 전체 시설비는 크게 관의 시설비와 펌프 시설비로 나뉘어진다. 관의 시설비는 관재료비와 매설비로 이루어지고, 펌프 시설비는 펌프 자체의 시설비와 양수장 건립비용, 전기시설에 사용되는 비용등으로 이루어져 있다. 관재료비와 매설비는 농어촌 진흥공사에서 발간한 표준단가표를 참조하여서 구하였으나, 펌프 비용의 경우 기존의 자료에서 단위 마력당의 비용이 계산되어진 자료가 없고 또한 각 사업 지구마다의 상황여건의 다양성으로 인하여 단일화된 기준을 설정하여 비용을 정하는 것이 곤란하여 실제 이 지구의 펌프 시설에 사용된 관급자재비용을 실제 설

계 마력인 1020HP로 나누어서 단위 마력당 비용으로 사용하였다. 목적함수를 식으로 표현하면 다음과 같다.^{(5), (6)}

$$Min Z = \sum_{(i,j) \in I} \sum_{m \in M_{i,j}} c_{i,j,m} X_{i,j,m} + \sum_K CPUMP_k PHP_k \quad (15)$$

$c_{i,j,m}$ 는 관의 시설비와 재료비이고, $CPUMP_k$ 는 펌프 단위마력당 비용이고 PHP_k 는 펌프마력이다.

위의 식에서 $X_{i,j,m}$ 는 어떤 관경을 가지는 관 길이이며 본 연구에서는 어떤 상업용 관경을 가지는 관의 길이이다. 지수(i,j)는 node i와 j사이의 관을 나타내고 m은 상업용 관경을 나타낸다. 상업용관으로는 PE일반관과 강관이 있으며, 700mm이상의 경우는 강관을 이용하기로 한다. 관경의 경우 총 11종의 상업용 관경중에서 각 구간별로 선정되게 되어있다. 각 구간마다 어떤 관경이 선정되면 그 관에 해당하는 재료비와 설치비가 선형계획법 문제의 계수값($c_{i,j,m}$)으로 주어져 있으므로 이것을 통해서 필요한 재료비와 설치비를 구한다.

PHP_k 는 펌프의 마력으로 이것은 본 modeling에서 결정변수로 직접 구하여지는 것이 아니고 결정변수로 펌프의 양정고를 구한 후에 이것을 (14) 식에 넣어서 펌프마력을 구한 후 이것으로 목적함

수에 포함되는 펌프시설비용을 구한다.

3.2 제약조건

본 LP modeling에서 사용되는 제약조건은 관의 길이에 대한 제약조건, 필요압력수두에 관한 제약조건, 결정변수 값이 음수일 수 없다는 Nonnegativity 조건등이다.

3.2.1. 관의 길이에 대한 제약조건^{(5), (6)}

$$\sum_{m \in M_{i,j}} X_{i,j,m} = L_{i,j} \quad (16)$$

본 선형계획법 문제의 목적함수($X_{i,j,m}$)는 node와 node사이의 관의 전체 길이의 관경을 나타내는 것이 아니고, 관의 관경과 그 관경을 사용하는 관의 길이를 나타낸다. 최적화시 node와 node사이의 관의 전체 길이를 11부분으로 구분하여 각 구분된 부분별로 관경을 고려하여 각 부분별로 관경을 선정하도록 되어 있다. 나뉘어진 부분별로 관경이 선정되면 선정 관경별로 관의 길이를 합하여서 관의 전체 길이와 같게 되도록 하였다. 대부분의 경우는 1가지 관경이 선정되나 일부구간, 특히 말단부에서는 한가지 이상의 관경이 선정될 수도 있다. 이 경우 두 관경 각각에 대하여 선정된 길이 만큼씩 시공을 하면 될 것이다. 관의 1본은 각 6m씩이므로

표 3.1 상업용 PE 일반관 및 강관의 가격 및 설치비

관 종	관 경 (mm)	가 격 (원/m)	설치비(원/관 1본)
PE 일반관	200	9084	40087
	250	12830	44740
	300	16556	49393
	350	26814	54103
	400	34712	58863
	450	41055	63075
	500	47386	67799
	550	53635	72886
	600	59139	77977
강 관	700	85769	196852
	800	108111	279008

관 1본: 6m

비교적 큰 오차없이 시공이 가능하다. 본 연구에서 사용한 상업용 PE관과 강관의 관경별 가격 및 설치비를 표 3.1에 나타내었다.

3.2.2. 압력수두 제약조건^{(5), (6)}

용수를 공급하는데 있어서 용수의 사용성을 향상 시키기위하여, 각 수요지점에서 일정 압력수두 이상을 유지시켜 주어야하므로 다음과 같은 제약조건식을 만족시켜야 한다.

$$DP \leq FG + \sum_K XPK + \sum_{(i,j) \in Im} \sum_{M_{i,j}} J_{i,j,m} X_{i,j,m} + DH \text{ for } n = 1, 2, \dots, n \quad (17)$$

위의 식에서 DP는 각 수요지점에서 필요로하는 최소한의 압력수두인 2m이다. Fixed Grade Node의 표고로 저수지나 양수장과 같이 에너지가 일정한 절점에서의 에너지이다. $J_{i,j,m}$ 은 구간(i,j)에 사용가능한 관경별 관의 단위길이당 손실수두이고 DH는 각 수요지점의 표고이다. 식(17)에서 각 관경별 손실수두는 D^5 에 반비례하는 비선형함수이다. 2장에서 설명한 바와 같이 구간(i,j)에 설치 가능한 관경별 관의 단위길이당 손실수두를 미리 계산하므로 선형계획법 문제로 나타낼 수 있다.

미소 손실수두의 경우는 실제 해남 간척사업지구⁽²⁾의 설계치인 2m를 그대로 사용하여 펌프양정고에 포함되도록 하였다. 따라서 결과에 표시된 펌프양정고는 미소손실수두 2m를 포함한 값이다.

3.2.3. Nonnegativity 조건

$$X_{i,j,m} \geq 0 \quad (18)$$

$$XP_i \geq 0 \quad (19)$$

각 결정변수인 어떤 관경을 가지는 관길이나 펌프양정고의 값은 양수의 값이므로 이 조건을 만족해야 한다.

4. 연구 대상

전남 해남군 해남지구 간척지중 해남 제 3공구를 대상으로 하였다. 해남지구 간척지 개발계획의 목적은 농어촌지역을 그 지역주민의 생활권화함으로써 생활향상과 소득증대에 목적을 두고 1971년 기본조사를 시작으로 시행되고 있고, 본 논문의 대상인 3공구는 1989년부터 시설설계를 시작해서 현재 공사가 진행중에 있다. 이 지구는 반도로서 긴 해안선을 보유하고 있고 간척지와 염전이 곳곳에 산재해 있다. 지형적인 특징으로는 동북부는 산악이 많고, 서남부는 구릉평야로 이루어져 있다.

본 사업시행지구의 분기형 관망 시스템의 형식은 펌프직송식으로 중간에 배수지를 두지않고 직접 각 수요지점으로 유량을 직송하게 되어 있다. 수요지점에서는 원활한 용수사용을 위해 2m의 압력수두를 유지하게 한다.

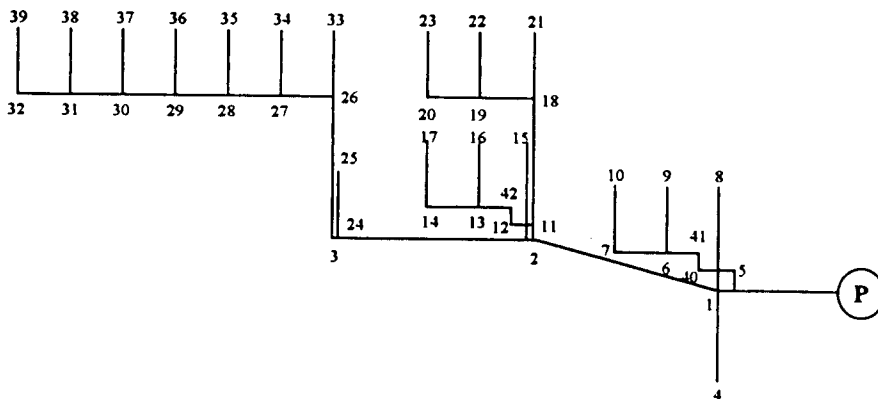


그림 1 3공구 1조 용수계통 간략도

표 4.1 각 용수 수요지점의 표고

수요지점 (node)	4	8	9	10	15	16	17	21	22
표고	0.612	0.624	0.800	0.328	0.400	0.400	0.400	0.020	0.000

수요지점 (node)	23	25	33	34	35	36	37	38	39
표고	0.000	0.300	0.000	0.300	0.242	0.200	0.200	0.200	0.200

표 5.1 최소관경 350mm설계 결과

단위(천원)

	양정고(m)	펌프 마력	펌프 비용	관 비용	총 비용
실 제 설 계 치	18.06	260.0HP	95,272	565,782	661,054
최 적 화 설 계 치 (350 mm 최 소 관 경)	12.43	175.8HP	54,411	536,164	600,575

표 5.2 최소관경 200mm설계 결과

단위(천원)

	양정고(m)	펌프 마력	펌프 비용	관 비용	총 비용
실 제 설 계 치	18.06	260.0HP	95,272	565,782	661,054
최 적 화 설 계 치 (200 mm 최 소 관 경)	18.79	266.0HP	97,406	418,740	516,146

표 5.3 최소관경 350mm와 200mm 설계결과 비교

단위(천원)

	양정고(m)	펌프 마력	펌프 비용	관 비용	총 비용
최 적 화 설 계 치 (350 mm 최 소 관 경)	12.43	175.8HP	64,411	536,164	600,575
최 적 화 설 계 치 (200 mm 최 소 관 경)	18.79	266.0HP	97,406	418,740	516,146

제3공구의 수원은 연곡 양수장 1개소이고 이곳을 수원으로하여 조성면적 695 ha와 배후지 450 ha에 용수공급을 원활하게 하기위해 용수간선 6조와 용수지선 21조, 18,239m를 관수로로 계획하였다. 연곡 양수장에서 3개의 간선이 분기하여 최종

6개의 간선이 지구 전역으로 관개한다. 이중에서 5호 간선은 지구 여건상 開渠로 계획하였고, 나머지 5조 110,480m는 관수로로 계획되었다. 6개의 간선중에서 제 3공구 용수간선 1조를 대상으로 최적화 기법을 도입하였다. 6개의 간선은 용수를 공

급받을때, 시차를 두고 공급을 받기때문에 각각이 독립된 용수로서 구성되어있다. 제 3공구의 제 1조 간선의 간략도(그림 1)는 다음과 같다.

5. 실제 설계치와 최적화치의 비교

5.1 적용방법

2장과 3장에서와 같은 방법으로 선형계획법을 수식화한 후 전체 최적화 설계에 관경의 범위를 두가지로 구분하여 각각에 대하여 최적화 설계를 하였다. 첫번째는 최소관경을 PE일반관의 350mm관으로, 두번째는 PE일반관 200mm관을 최소관으로 하였다. 350mm가 최소관경인 경우는 농어촌진흥공사의 설계시 350mm관경이 최소관경으로 선정되어 실제 설계와 비교 검토해 보기 위하여 선정하였고, 200mm를 최소관경으로 선정한 경우는 더 넓은 관경의 범위안에서 최적의 설계를 해 보기 위해서이다. 두 경우 모두 PE일반관의 관경은 50mm씩 증가하여 600mm까지 사용되었고, 강관은 최소 관경이 700mm와 800mm 두 관경을 사용하였다. 그런데, 1번, 2번관이 전체 지역으로 용수를 공급하는 주요 관이고, 도로밀을 통과하는 등의 특별한 현장조건을 가지고 있어서 토압을 견디고, 수압에 의한 관의 파괴를 방지하기 위하여 강관중에서 선택되게 제약 조건으로 넣었다. 추후 실제 설계에 있어서도 이러한 특수한 상황의 발생으로 설계자의 판단이 필요한 경우에는 이와같이 제약조건을 추가하는 방법을 사용한다면 더욱 효율적일 것이다.

5.2 적용결과

5.2.1 최소관경 350mm

최적화 설계경향은 관경의 선정에서 실제 설계와 거의 비슷한 경향을 보였으나(표5.4참조) 펌프의 경우는 상당히 개선되었다. 총사업비면에서는 10% 정도의 절감효과가 있었다.

5.2.2 최소관경 200mm

최적화 설계경향은 최소관경 350mm와는 달리 펌

프의 경우는 실제 설계와 큰 차이는 없고, 관의 설계에서 큰 차이를 보였다(표5.4참조). 관의 설계에서 차이가 커서 전체 사업비면에서도 많은 절감효과를 나타내었다.

5.2.3 최소관경 350mm와 최소관경 200mm 비교

최적화설계의 두가지 방법중 200mm 관을 최소관경으로 사용한 설계가 350mm 관을 최소관경으로 사용한 설계에 비해서 사업비면에서 절감 효과가 더 컸다. 그러나 두가지 방법을 총사업비만으로 단순비교할 수는 없다. 350mm 관을 최소관경으로 한 최적설계에서는 관의 경우에 실제 설계와 크게 차이가 없으나, 펌프의 설계에서 큰 절감효과를 볼 수 있었고, 200mm 관을 최소관경으로 설계했을 경우는 펌프의 설계에서는 실제 설계와 차이가 없으나, 관의 경우 더 작은 관경을 선택할 수 있어서 큰 절감효과를 보았다. 주목할 점은 PE일반관 350mm가 최소관경인 경우는 관경의 선택에서 더 작은 관경을 선정할 수 있음에도 350mm로 고정되어서, 한 구간에 두가지의 관경이 선정된 경우가 32번관 한 경우 밖에 없었으나, 최소관경이 200mm인 경우는 한 구간에 두가지 관경이 선정된 경우가 많았다. 이러한 차이로 인하여 큰 절감효과를 보았다고 할 수 있다. 그리고 전체 시설비면에서 관의 설치비용이 펌프의 설치비용보다 크기 때문에 두번째 방법이 사업비 절감효과가 컸다고 할 수 있다. 즉, 350mm 관을 최소관경으로 한 설계는 관경을 크게 하고 펌프의 크기를 줄이는 것에 중점을 두었고, 200mm 관을 최소관경으로 한 설계는 관경을 줄이는 것에 중점을 둔 설계였다고 할 수 있다.

이러한 차이점이 발생한 원인은 펌프의 경우 운영비가 포함되지 않은 것이 이유라고 생각한다. 초기 설치후에는 관의 유지비보다 펌프의 전력요금, 인건비, 펌프보수비용등의 운영비가 더 크므로 이것이 고려된다면 펌프의 크기가 더욱 최적화 될 것이다. 본 연구에서는 운영비 부분의 자료를 구할 수 없어 초기 시설비만을 고려했는데, 추후 실제 설계에 적용시 사업지구의 특성을 고려한 펌프 운영비를 산정하고, 다양한 관경을 고려하여 본 연구에서 제안한 방법을 사용한다면 더욱 정확한 분기형 관망의 최적 설계가 가능하다고 생각된다.

5.3 선정된 관별 관경

표 5.4 관경 설계치 비교

관번호	총길이	실제설계치					최적화치(350mm최소관경)					최적화치(200mm최소관경)						
		350 (mm)	400 (mm)	450 (mm)	500 (mm)	800 (mm)	350 (mm)	400 (mm)	450 (mm)	500 (mm)	800 (mm)	200 (mm)	250 (mm)	300 (mm)	350 (mm)	400 (mm)	450 (mm)	800 (mm)
N1	277					277					277							277
N2	572					572					572							572
N3	644				644					644						644		
N4	220	220					220					220						
N5	1	1					1									1		
N6	142	142					142									142		
N7	213	213					213						133		80			
N8	168	168					168					168						
N9	304	304					304					304						
N10	528	528					528						528					
N11	1		1						1							1		
N12	4.6	4.6					4.6						4.6					
N13	213	213					213						131		82			
N14	213	213					213						213					
N15	241	241					241					241						
N16	256	256					256					115	141					
N17	256	256					256						256					
N18	262		262				262								262			
N19	214		214				214								214			
N20	213	213					213								213			
N21	482	482					482						482					
N22	618	618					618						167	451				
N23	630	630					630							630				
N24	4.5	4.5					4.5						4.5					
N25	374	374					374					106	268					
N26	294				294					294							294	
N27	235				235				235							235		
N28	213			213					213							213		
N29	214		214						214							214		
N30	214	214							214						214			
N31	215	215							215						197	18		
N32	210	210					72	138							210			
N33	706	706					706						324	382				
N34	551	551					551						375	176				
N35	514	514					514						338	176				
N36	476	476					476						320	156				
N37	438	438					438						249	189				
N38	402	402					402						99	303				
N39	364	364					364							364				
N40	4.6	4.6					4.6							4.6				
N41	6.7	6.7					6.7							6.7				
N42	6.7	6.7					6.7							6.7				

6. 결 론

이상에서 최적화 개념을 도입한 설계방법이 기존의 경험적이고 시행착오적인 설계방법에 의한 주관적인 면을 객관적이고 일관성있는 효율적인 설계가 가능하도록 만들어 줄 수 있다는 점이다. 기존의 Simulator를 사용할 경우 관경과 펌프의 양정고등을 직접 input으로 넣은후 이 조건으로 설계를 하여 문제가 발생되지 않은 경우 이 조건을 채택하고, 문제가 발생되면 다시 수정하여 재설계를 한다. 이러한 시행착오의 과정을 거치지 않고, 분기형 관망의 노선이 정해지고 기본적인 설계자료인 각 파이프에 흐르는 유량이나 사용되어지는 관의 제원, 각 수요점의 표고등의 자료를 가지고 실제 적용이 가능한 설계를 할 수 있었다.

본 연구의 결론을 정리하면 다음과 같다.

- 1) 실무에 적용이 가능하고, 기존 설계보다 빠르고 효율적인 분기형 관망 시스템의 설계가 가능한 modeling을 하였다.
- 2) 일반적인 최적화 모델의 경우 최적관경이 상업용 관경과 일치되게 나오지 않는 단점이 있으나 본 연구에서는 실제 실제 상업용 관경이 최적관경으로 선정되어지는 modeling을 하였다.
- 3) 한개의 model을 통해서 파이프의 관경과 펌프의 용량, 양정고를 동시에 최적화할 수 있었다.

더 다양하고 효율적인 설계를 위해서 추후에 연구되어야 할 과제는 위에서 언급되었듯이 펌프이 운영비 고려와 펌프의 위치선정과 갯수의 결정문제이다. 즉, 비교적 객관적인 펌프운영률을 개발해서 펌프의 운영비를 고려할 수 있도록하고, 한개의 펌프로 전체 지역을 급수하느냐 아니면 여러개의 펌프를 분사시켜서 급수하는 것이 효율적인가 하는 것을 결정하는 것이다. 본 연구에 사용된 자료에서는 펌프의 위치와 갯수가 결정된 상태인데, 펌프의 위치와 갯수까지 결정해 줄 수 있는 모델을 개발하면 더욱 정확하고 실무에 적용이 가능하리라고 생각한다.

참 고 문 헌

1. 윤 용남 (1990), 수리학, 청문각.
2. 농어촌진흥공사 (1989), 전남해남군 간척사업보고서.
3. 김 수경 (1989), 수지상 관망의 경제적 설계에 관한 연구, 원광대학교 석사학위논문.
4. Anthony Brooke, Davide Kendrick, Alexandre Meeraus (1992), GAMS a user's Guide, The Scientific Press.
5. Larry W. Mays, Yeoun-Koung Tung (1992), Hydrosystems Engineering And Management, McGraw-Hill. INC
6. Bhave, P. (1979), Selecting Pipe Sizes in Network Optimization by LP, Journal of Hydraulics Division, ASCE, Vol. 105, No. HY7, pp. 1019-1025.
7. Bhave, P. (1983), Optimization of Gravity Fed Water Distribution Systems, Journal of Hydraulics Division, ASCE, Vol. 109, No. HY1, pp. 189-205.
8. Rowell, W. and Barnes, J. (1982), Obtaining Layout of water distribution Systems Journal of Hydraulics Division, ASCE, Vol. 108, No. HY1, pp. 137-148.
9. Shamir, U. (1974), Optimal Design and Operation of Water Distribution Systems, Water Resources Research, Vol. 10, No. 1, pp. 27-35.
10. Swanee, P., Kumar, V., and Khanna, P. (1973), Optimization of Dead End Water Distribution Systems, Journal of Enviromental Engineering, ASCE, Vol. 99, No. EE2, pp. 123-134.

〈접수 : 4/23〉