

Graph 이론을 이용한 농업용 관수로망의 최적배치

Optimal Layout for Irrigation Pipeline Networks using Graph Theory

임 상 준* · 박 승 우* · 조 재 필**

* 서울대학교 농공학과 · ** 미 VPI대 대학원

Im, Sang Jun* · Park, Seung Woo* · Cho, Jae Pil**

* Dept. of Agricultural Eng., Seoul Nat' l Univ.

** Graduate School, Virginia Polytechnic Institute & State Univ.

ABSTRACT

Irrigation pipeline networks consist mainly of buried pipes and are therefore relatively free from topographic constraints. Installation of irrigation pipeline systems is increasing since the systems have several advantages compared to open channel systems. To achieve economic design of pipeline networks, the layout should meet several conditions such as shortest path, maximum flow, and least cost. Graph theory is mathematical tool which enable to find out optimum layout for complicated network systems. In this study, applicability of graph theory to figure out optimum layout of irrigation pipeline networks was evaluated.

1. 서론

농업용 관수로는 농업용수를 수원공 시설에서 말단 포장까지 관로와 부대시설을 통하여 송·배수하기 위한 수로조직으로, 수로 부지의 확보가 용이하고 수질오염방지는 물론 송·급수의 제어를 통하여 효율적인 물 이용 체계를 구축할 수 있기 때문에 최근에는 대구획 경지정리지구나 간척지의 내부개답지 등의 용수조직으로 많이 채택되고 있다(박승우, 1997).

농업용 관수로망은 저수지나 양수장 등의 수원공 시설, 농업용수를 운송하는 관로 조직과 밸브나 급수전(hydrant) 등의 부대시설로 구성되어 있으며, 이들 관수로망은 서로 연결되어 네트워크를 구성하고 있다. 관수로망은 개수로와는 달리 지형적인 제약이 없거나 작으므로, 대상지구의 관개단위 별로 급수가 가능하면서도, 가급적 관수로망의 노선 길이가 짧고, 관경이 크지 않도록 경제적인 관로 조직을 계획하는 것이 유리하다. 이와 같이 수원공 시설로부터 각각의 관개단위까지 송수를 위한 관로를 배치하는 것을 관수로망 배치라

한다(Labye 등, 1988).

일반적으로 관수로망의 배치는 급수전을 우선 배치하고, 각각의 급수전을 연결하는 관로를 배치하게 된다. 이러한 관수로망의 배치는 도면상에서 수작업을 통하여 최단 길이의 노선을 결정하는 것으로, 많은 시간과 시행 착오를 필요로 한다. 특히, 최근에는 농지정비사업 등의 시행으로 관로 노선의 길이가 길어지고, 관로 조적이 복잡해지며 물 이용 체계가 다양해지기 때문에 최적 관수로망의 구성에 많은 어려움이 따르고 있다.

이제까지 관수로망의 최적화에 대한 연구가 많이 이루어졌으나, 주로 관경의 결정에 대한 것이었으며, 관로의 기하학적 배치에 대한 연구는 상대적으로 미비하였다. 관수로망의 배치문제는 기존의 최적화 기법으로는 해석하기 어렵는데, 이는 관로의 노선에 따른 비용의 변화 등을 계산하기 어렵고, 저수지 등과 같은 관로 노선상에 위치한 장애 요소를 수학적으로 정의하기 어렵기 때문이다. (Davidson와 Goulter, 1992).

Graph 이론(graph theory)은 컴퓨터 네트워크나 도로망 등과 같이 그래프로 표현된 문제들을 해결하는 수학적인 도구로서, 최단거리의 경로나 흐름 방향을 찾아주는 조합적 최적화(combination optimization) 방법이다. Graph 이론은 농업용 관수로망과 같이 복잡한 네트워크로 구성된 문제들을 방향 그래프를 이용하여 쉽게 나타낼 수 있으며, 관로 구간에 대한 가중함수를 정의함으로써, 기존의 최적화 기법으로 해석하기 어려운 기하학적 문제를 해석할 수 있다.

FAO(Labye 등, 1988)에서는 농업용 관수로망의 최적 배치를 위하여 간배치법(proximity layout), 120° 배치법, 최소 비용 배치법(least cost layout)의 3단계 과정을 제시하였으며, 간배치법의 단계로서 Kruskal 알고리즘 및 Sollin 알고리즘을 이용하였다. Djokic와 maidment(1993)는 Arc/Info의 네트워크 루틴에 포함된 Dijkstra 알고리즘을 이용하여 도시 우수관거의 유출 해석을 실시하였다. 한편, 국내에서는 박재홍과 한건연(1998)이 상수관망 내에서의 유량 해석에 필요한 관망의 기하학적 구성요소를 graph 이론을 적용하여 해석한 바 있으나, 농업용 관수로망의 최적 배치에 관한 연구는 아직 미비한 실정이다.

따라서, 본 연구에서는 graph 이론을 이용하여 농업용 관수로망을 표현하고, 최단 경로 알고리즘인 Dijkstra 알고리즘을 적용하여 최적의 관수로망을 구성하였으며, 표준 관수

로망에 적용하여 응용 가능성을 검토하였다.

II. 관수로망의 최적배치

1. Graph 이론

그래프는 컴퓨터로 해결해야 할 수많은 문제 중에서 객체와 객체간의 연결구조로 이루어진 문제들을 해결하는 도구로 가장 많이 이용되고 있다. 일반적으로 그래프 G 는 $G=(V, E)$ 로 표시하며, 여기서 V 는 정점(vortex)의 집합을 나타내며, E 는 간선(edge)의 집합을 나타낸다. 한 개의 간선은 두 정점을 서로 연결하고 있으므로, 정점 a 와 b 가 V 에 속하고 a 와 b 사이에 간선 e_i 이 있을 때, $e_i=(a, b)$ 로 표시한다.

농업용 관수로망은 관로, 밸브, 급수전(hydrant) 및 양수장과 같은 수원공 시설 등으로 구성되어 있으며, 이들 요소들은 그래프를 이용하게 쉽게 나타낼 수 있다. 이 때 분수공, 급수전 등은 정점으로 표시할 수 있으며, 이들을 서로 연결하는 관로는 간선으로 나타낼 수 있다.

전력 송신망이나 상수관망의 경우, 간선내에서의 흐름이 일정한 방향을 가지고 있으며, 반대 방향으로의 흐름은 발생하지 않는다. 이와 같이 어떤 그래프에서 간선 $e=(v_i, v_j)$ 가 시점 v_i 로부터 종점 v_j 까지 일정한 흐름 방향을 가지고 있는 그래프를 방향 그래프(directed graph)라 하며, 그림 1(a)와 같이 화살표를 이용하여 표현한다.

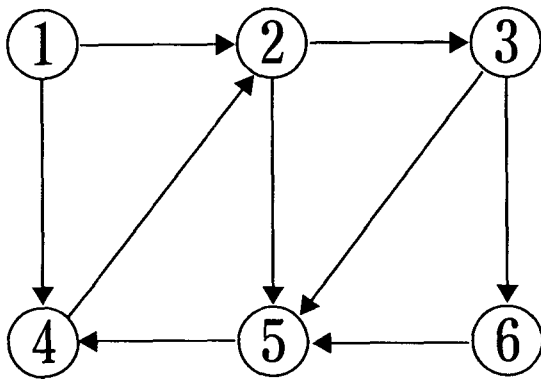
또한, 관경의 크기나 관로의 재료, 또는 공사비 등과 같이 각각의 간선에서 비용(cost)이나 저항(resistance or impedance)이 서로 달라지게 되는 데, 이러한 그래프를 가중 그래프(weighted graph)라고 한다. 가중 그래프는 모든 간선마다 가중치를 나타내는 가중함수(또는 비용함수)를 가지고 있으며, 일반적으로 전체 간선에 대한 가중치의 합이 최소가 되거나 최대가 되도록 그래프의 경로를 구성하게 된다.

그래프를 기술하는 방법에는 인접 행렬법(adjacency matrix)와 인접 목록법(adjacency list) 등이 있다. 인접 행렬법은 그림 1(b)와 같이 그래프를 행렬의 형태로 표현하는 것이다. 임의의 그래프에서 정점의 수를 v 라고 할 때 $v \times v$ 행렬을 이용하여 그래프를 나타낼 수 있으며, 행렬의 i 행과 i 열은 정점 v_i 를 나타내고, v_i 와 v_j 사이에 간선이 있을 경우에는 행렬의 (i, j) 및 (j, i) 의 값을 1로 표시하고, 간선이 없을

경우는 0으로 한다. 방향 그래프는 흐름 방향에 따라 행렬의 (i, j) 또는 (j, i) 의 값 만을 표시하게 되고, 가중 그래프에서는 행렬값으로 가중치를 이용한다.

인접 목록법은 하나의 정점에 간선으로 결합되어 있는 모든 정점을 찾아내어 목록(lists)을 구성하고, 이를 이용하여 그래프를 표현하는 방법이다.

인접 행렬법은 인접 목록법에 비하여 메모리의 낭비라는 측면이 있지만, 복잡한 그래프를 표현하는 데 적합하며, 직관적이고 쉽게 그래프를 표현할 수 있기 때문에 그래프를 표현하는 데 많이 이용되고 있으며, 본 연구에서도 인접 행렬법을 이용하여 그래프를 표현하고, 최단 경로의 탐색 과정을 수행하였다.



(a) 방향 그래프

	1	2	3	4	5	6
1	0	1	0	1	0	0
2	0	0	0	0	1	0
3	0	0	0	0	1	1
4	0	1	0	0	0	0
5	0	0	0	1	0	0
6	0	0	0	0	0	1

(b) 인접 행렬법

그림 1. 방향 그래프와 인접 행렬법

그래프로 정의된 문제는 여러 가지 알고리즘을 이용하여 최단 거리를 탐색할 수 있으며, 이때 이용되는 알고리즘은 크게 그래프 상에서 두 지점 혹은 각 지점간의 최단 경로를 구하는 최단경로(shortest path) 알고리즘, 두 지점간에 가장 많은 양을 운반할 수 있는 경로를 찾는 최대유통(maximum flow) 알고리즘, 그리고 최소의 비용으로 가장 많은 양을 운반할 수 있는 경로를 추적하는 최소비용(minimum cost) 알고리즘 등이 있다.

실제적으로 방향 그래프와 가중 그래프는 컴퓨터 네트워크, 도로망, 또는 상수관망 등과 같이 그래프로 이루어진 문제들을 표현하고 해석하는 데 많이 이용되고 있다(Djokic 등, 1993; 박재홍과 한건연, 1998).

2. Dijkstra 알고리즘

Dijkstra 알고리즘은 임의의 정점에서 인접한 정점까지의 가중함수를 최소(혹은 최대)화하는 간선을 찾아 내어 경로에 추가시키는 탐색 과정으로, 종점에 도달할 때까지 반복적으로 수행하여 최단 거리의 경로를 구성하는 최단경로 알고리즘의 일종이다.

주어진 그래프에서 최단경로를 탐색하는 Dijkstra 알고리즘의 탐색 과정은 그림 2와 같으며, 그림 2의 내용을 정리하면 다음과 같다.

정점으로 이루어진 집합 V 와 간선의 집합 E 로 구성된 그래프 $G=(V, E)$ 에 대하여 시작점 s 로부터 종점 t 까지 가중함수 w 를 최소로 하는 경로를 구하고자 한다. 이 때, 어떤 정점까지의 가중함수의 합은 λ 로 나타내며, 초기값으로 식(1)과 같이 모든 정점에 대한 λ 를 정의한다.

$$\begin{aligned} \lambda(s) &= 0, \text{ if } s = \text{start vertex} \\ \lambda(v) &= \infty, \text{ if } v \neq s, v \in V \end{aligned} \tag{1}$$

Dijkstra 알고리즘은 시작점으로부터 인접한 정점까지의 최단거리를 순차적으로 찾아가는데, 시작점 s 로부터 어떤 정점 u 에 대해 최단거리 $\lambda(u)$ 가 발견되면, 정점 u 을 지나는 경로는 이 최단경로를 이용하며, 아직 최단거리가 발견되지 않은 모든 정점 v 에 대한 가중치 λ 는 아래와 같이 수정된다.

$$\lambda(v)' = \min\{\lambda(v), \lambda(u) + w(e)\} \tag{2}$$

여기서, $\lambda(v)$ '는 정점 v 까지의 잠정적인 최단거리이며, $\lambda(v)$ 는 현재 상태에서 정점 v 까지의 가중치의 합이고, $\lambda(u)+w(e)$ 는 u 까지의 최단경로를 이용한 경우에 정점 v 까지의 가중치의 합이다. 이 $\lambda(v)$ '에 대해서

$$\lambda(v) = \min_j \{ \lambda(v)' \}, j \in V \quad (3)$$

을 구하면, 최단경로의 정점 v 를 발견할 수 있다. 따라서, 시작점 s 로부터 종점 t 에 도착할 때까지 이러한 탐색과정을 반복하게 되면, 시작점 s 로부터 종점 t 까지의 최단 경로를 구할 수 있다.

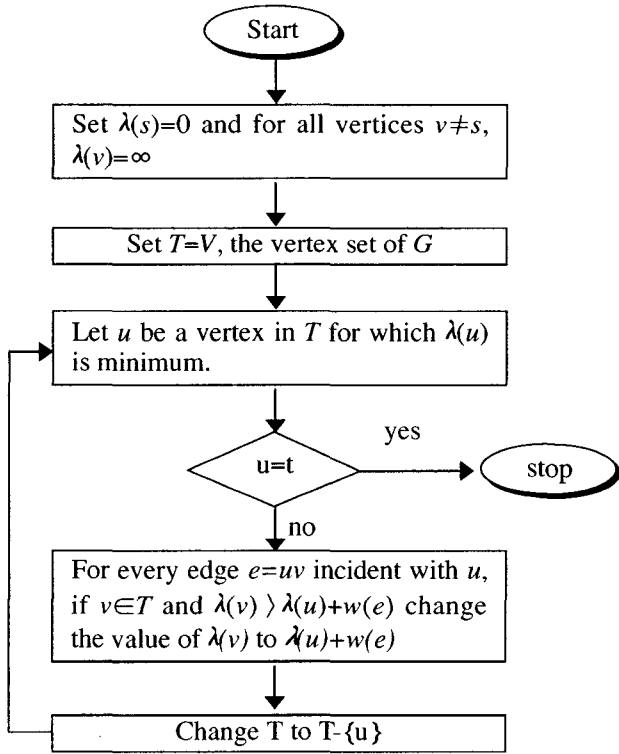


그림 2. Dijkstra 알고리즘의 탐색 과정

이상의 내용으로부터 그림 3에 주어진 예제 그래프에 대하여 Dijkstra 알고리즘을 적용하는 과정을 정리하면 표 1과 같다. 표 1에서 최종적으로 구한 $\lambda(v)$ 가 각 정점까지의 가중치의 합을 나타내고 있으며, 이는 정점까지의 최단 경로를 의미하고 있다. 표 1의 결과를 이용하여 그림 3에 주어진 그래프의 최단경로를 도식적으로 표시하면 그림 4와 같다.

표 1. Dijkstra 알고리즘의 탐색결과

	vertice u						T
	s	a	b	c	d	t	
stepwise $\lambda(v)$ values	0	∞	∞	∞	∞	∞	{ s, a, b, c, d, t , }
	18	∞	15	∞	∞	∞	{ a, b, c, d, t , }
	18	29		22	∞	∞	{ a, b, d, t , }
		27		22	∞	∞	{ b, d, t , }
				27	58	∞	{ b, t , }
					55	{ t , }	

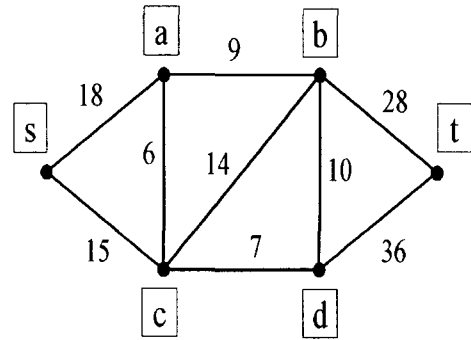


그림 3. 예제 그래프의 구성

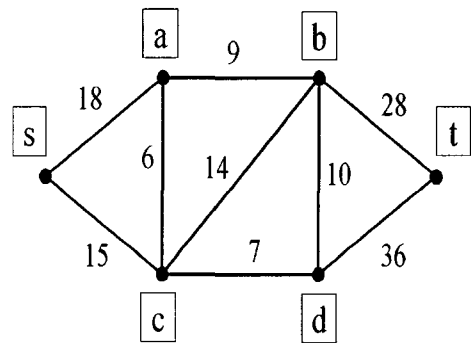


그림 4. 최단경로 탐색 결과

3. 가중함수의 구성

가. 손실수두

관수로내 흐름에선 점성으로 인한 마찰이 발생하고 있다.

이러한 마찰은 관로의 벽면에서만 일어나는 것이 아니라, 흐름 단면의 변화나 만곡부 및 밸브, 엘보우(elbow)등의 부속물에 의해서도 와류의 생성과 함께 흐름이 가지는 에너지의 일부가 소모된다. 이와 같이 관로내의 흐름상태에서 발생하는 손실수두는 관경이나 펌프의 용량을 결정하는 요인으로, 경제적인 관수로망의 설계에 중요한 수리적 인자이다. 손실수두(h_L)는 속도수두와 관의 길이(l)에 비례하고 관경(d)에 반비례하는 것으로 알려져 있으며 다음과 같은 Darcy-Weisbach 공식으로 계산한다.

$$h_L = f \frac{l}{d} \frac{V^2}{2g} \quad (4)$$

여기서, f 는 마찰손실계수(friction factor)로서, 관의 조도에 관계되거나 흐름의 유속, 점성계수 및 관의 직경 등에도 관계가 있으며, Reynolds수와 상대조도의 함수로 표시할 수 있다.

간선에서 발생하는 손실수두를 가중함수로 이용하기 위해서는 간선에서의 유량이 필요하다. 관수로망의 배치를 위한 간선의 유량은 우선적으로 급수전의 설계유량으로부터 산정할 수 있다. 그러나, 관수로망의 배치에 따라 간선마다 요구되는 설계유량이 서로 달라지게 되므로, 아래와 같은 방법을 이용하여 각 간선의 설계 유량을 산정할 수 있다.

- 각각의 관수로 구간에 대하여 수원공 시설로부터 하천의 차수 산정방식과 동일하게 차수를 구한다. 동일한 차수의 간선에서는 동일한 설계유량과 관경을 사용한다.
- 상류의 간선에 대한 설계유량은 전 단계의 설계유량과 해당 간선의 설계유량 중에서 가장 큰 값을 합하여 설계유량으로 한다.
- 임의의 간선 구간에 요구되는 설계유량이 여러 개 있을 경우에는 이들 설계유량 중에서 가장 큰 값을 그 간선의 설계유량으로 계산한다.

위의 방법에 의해 계산된 설계유량과 관경이 주어지면 각 간선의 손실수두를 계산할 수 있다.

나. 공사비

공사비는 관경에 따른 관중별 재료비와 설치 비용으로 이루어져 있으며, 설치 비용은 굴착깊이, 토양상태, 토지이용상태 등을 공사 여건을 고려하여 산정한다. 설치비용은 일반

적인 조건에서의 설치비용에 대한 가중치를 적용하였으며, 작업의 난이도가 어려울수록 가중치의 값을 크게 설정하여 설치비가 증가하도록 하였으며, 작업이 불가능한 구간에는 임의의 큰 값을 부여하여 최적 경로의 탐색에서 제외되도록 하였다.

관로 구간에 대한 공사비는 아래의 식(5)와 같이 나타낼 수 있다.

$$Cost_{total} = (Cost_{material} + Cost_{construct} (a + b + c)) \times Length \quad (5)$$

여기서, $Cost_{total}$ = 단위 길이당 총 공사비(원/m), $Cost_{construct}$ = 일반적인 조건에서의 평균 설치비(원/m), $Cost_{material}$ = 관의 가격(원/m), $Length$ = 간선의 거리(m), a = 굴착깊이에 따른 가중인자, b = 토양상태에 따른 가중인자, c = 토지이용상태에 따른 가중인자 등이다.

식 (5)에서 가중인자는 지형적, 지질적 조건에 따른 공사의 난이도를 나타내는 것으로, 설계자의 경험이나 기존의 공사 자료를 근거로 하여 구성하여야 한다. 본 연구에서는 이들 가중인자들을 표 2이 같이 작성하였다. 표 2에서와 같이 가중인자는 굴착깊이가 깊어지거나, 토양의 상태가 기계의 작업에 어려움이 있는 조건일 경우는 총합이 1보다 크게 하여 설치비용을 크게 하였으며, 저수지와 같이 작업이 불가능한 토지이용상태에 대해서는 임의의 큰 값(100)을 적용하여 경로에서 제외되도록 하였다.

표 2. 공사비에 대한 가중인자

굴착깊이(m)		토양상태		토지이용상태	
1~5	0.5	사양토	0.3	논, 밭, 산림	0.2
5~10	0.6				
10~15	0.7	점질토, 석력	0.4	저수지, 주거지	100
15이상	100				

표 2를 이용하여 식 (5)로부터 계산된 공사비 $Cost_{total}$ 을 가중함수로 하여 Dijkstra 알고리즘을 적용하면 최소 비용의 공사비가 소요되는 관로 구간을 선정할 수 있다.

III. Graph 이론에 의한 최적배치

1. 표준 관수로망의 선정

관수로망의 배치는 먼저 급수전의 위치를 결정하고, 이들 급수전을 연결하는 경제적인 관로를 구성하는 것이다. 따라서, 관수로망을 구성하기 위해서는 관개지구를 대상으로 급수전을 우선적으로 배치하여야 한다. 그러나, 본 연구에서는 이미 결정되어 있는 급수전을 대상으로 최적의 관로를 배치하도록 하였다.

관수로망의 최적배치를 위하여 그림 5와 같이 표준 관수로망을 구성하였다. 선정된 표준 관수로망은 총 19개의 급수전으로 구성되어 있으며, 수원공은 정점 1에 위치하고 있다. Graph 이론을 적용하기 위하여 급수전을 연결하는 간선을 그림 5와 같이 구성하였다.

본 연구에서는 그림 5의 표준 관수로망에 대하여 손실수두만을 고려한 경우와 공사비를 고려한 경우에 대하여 각각 최적 관수로망을 구성하였다.

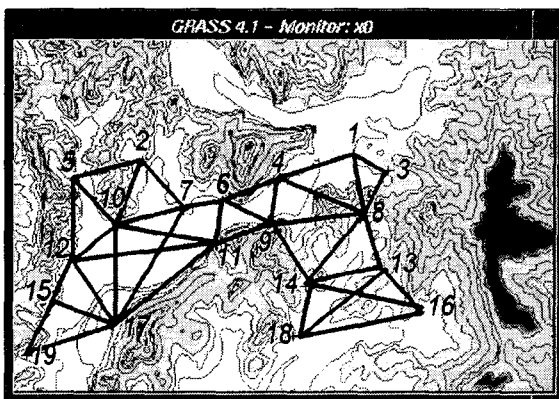


그림 5 표준 관수로망의 선정

2. 손실수두를 고려한 경우

관수로망의 수원공 시설로부터 계산한 간선들의 차수는 1에서 7차까지 존재하였다. 관경의 변화를 고려하기 위해서 1~3차의 경우는 450mm, 4~6차의 경우는 500mm, 7차 이상일 경우는 550mm의 관경을 사용하는 것으로 하였으며, 각 급수전의 관개지구로부터 필요수량을 계산하여 각 간

선에 대한 설계유량을 산정하였으며, 그 결과는 표 3과 같다.

표 3. 관로 차수별 간선의 설계 유량

관로 구분	1차	2차	3차	4차	5차	6차	7차
설계유량(m ³ /s)	0.1	0.7	0.9	1.5	2.0	2.4	2.8

표준 관수로망에서 모든 관로의 조도계수는 0.022로 하였으며, 간선의 노선 길이, 관경, 유속 등을 이용하여 각 구간별 손실수두를 계산하였다. 표 4는 각각의 간선에 대한 손실수두를 정리한 것으로, 표 4에서 제시된 관로의 손실수두를 가중함수로 하여 dijkstra 알고리즘을 적용한 결과는 그림 6과 같다.

손실수두를 고려하여 구한 표준 관수로망의 최적 경로는 그림 6과 같이 수원공 시설로부터 2개의 용수간선이 좌우로 배치되며, 왼쪽의 용수간선에는 5개의 용수지선이 위치하도록 구성되어 있다.

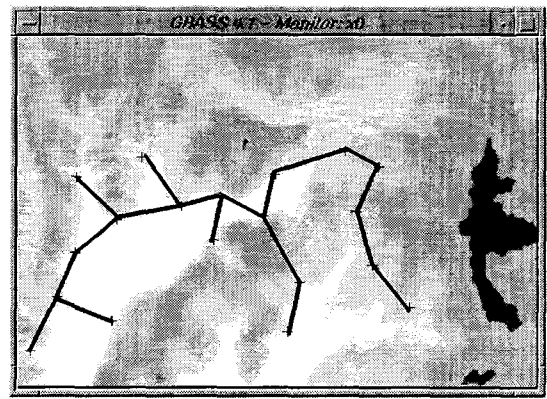


그림 6. 손실수두를 고려한 경우의 최적 경로

2. 공사비를 고려하였을 때

공사비를 산정하기 위해서 관의 가격과 설치비용을 고려해야 한다. 농업용 관수로에 많이 이용되고 있는 상업용 관으로는 PE 일반관과 강관 등이 있으며, 이들 상용관에 따른 가격 및 설치비를 구하면 그림 7과 같다.

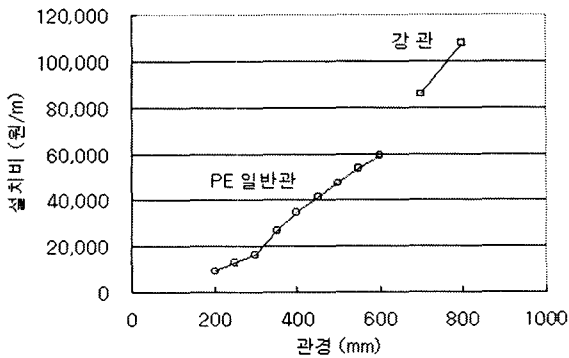


그림 7. 관종별 설치공사비

설치 비용은 굴착깊이, 토양상태, 토지이용상태에 따라 결정된다. 본 연구에서는 최근에 많이 이용되고 있는 GRASS(Geographic Resources Analysis Support System)를 이용하여, 이들 지형정보 및 토지이용정보를 계산하였다. GRASS는 미 육군공병단의 건설공학연구소 (Army Corps of Engineer's Construction Engineering Research Lab.)에 의해 1980년대에 개발된 것으로, 수자원의 관리 및 비점원오염의 평가 등에 많이 이용되고 있다(김진택, 1995).

관수로망의 최적 배치를 위하여 GRASS를 이용하여 DEM, 토지이용도, 토양도로부터 각 급수전 사이의 평균 표고, 토지이용상태, 토양상태 등을 추출하였다. 이때 각 급수전의 위치는 예비설계 단계에서 이미 결정된 것으로 가정하였다. 그림 8은 GRASS를 이용하여 관로 구간에 대한 표고 변화를 추출한 결과를 보여주고 있다.

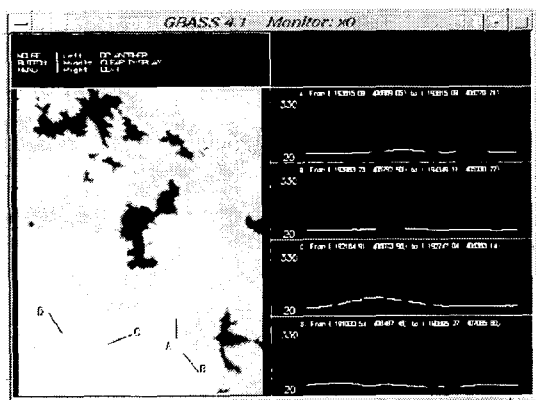


그림 8. 관로구간에 대한 표고 추출

그림 8과 같이 지형 및 공간정보로부터 구한 각 간선의 표고, 토양 및 토지이용 정보를 이용하여 표 3으로부터 가중인자를 계산하였으며, 그림 7의 표준 설치 공사비를 적용하여 표 4와 같이 총 공사비를 산정하였다. 표 4는 표준 관수로망의 각 간선에 대한 공사비를 나타낸 것으로, 이들 공사비를 가중함수로 정의하여 최적 관수로망을 구성하였다.

표 4. 손실수두, 공사비에 대한가중함수의 계산 결과

구 간	손실수두	공사비 (만원)	구 간	손실수두	공사비 (만원)
1-3	9	205	8-14	84	515
1-4	17	408	9-11	132	6,387
1-8	14	342	9-14	184	8,901
2-5	375	428	10-11	447	635
2-7	284	396	10-12	292	340
2-10	373	434	10-17	563	642
3-8	116	727	11-12	630	895
4-6	56	355	11-17	591	839
4-8	81	518	12-15	270	308
4-9	40	244	12-17	435	515
5-10	327	373	13-14	184	418
5-12	693	488	13-16	138	313
6-7	96	218	13-18	263	597
6-9	118	274	14-16	277	643
6-11	106	246	14-18	124	288
7-10	295	419	15-17	556	391
7-17	606	861	15-19	548	385
8-9	86	536	16-18	562	799
8-13	52	311	17-19	339	629

표준 관수로망에 대하여 공사비를 최소화하는 최적 관수로망을 구성하면 그림 9와 같다. 그림 9는 표 4의 공사비에 의한 가중함수와 dijkstra 알고리즘을 적용하여 최적 관수로망을 배치한 것으로, 손실수두를 고려한 그림 6의 결과와 유사하다. 공사비를 고려한 경우의 관수로망 배치는 손실수두를 고려한 경우와는 달리 간선 (9, 14) 구간의 표고차가 매우 크게 나타나기 때문에 공사비에 대한 비용 부담이 증가되어 최적 관수로망의 구성에서 제외되었다. 따라서, 표준 관수로망은 그림 9와 같이 2개의 용수간선과 각각 1개 및 4개의 용수지선으로 구성하는 것이 최소 비용의 관수로망 배치가 됨을 알 수 있었다.

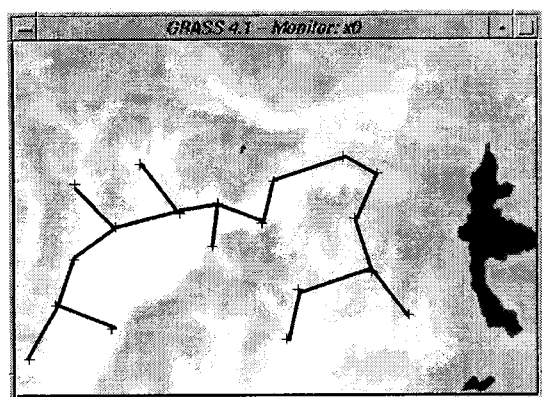


그림 9. 공사비를 고려한 관수로망의 최적배치

IV. 요약 및 결론

농업용 관수로망은 개수로와는 달리 지형적인 제약이 거의 없으므로, 관로 노선의 길이가 짧고, 관경이 크지않도록 배치 계획을 수립하는 것이 필요하다. 이를 위하여 본 연구에서는 graph 이론을 이용하여 수원공 시설로부터 주어진 급수전까지 용수 공급이 가능하도록 최적의 관수로망을 구성하였으며, 표준 관수로망을 선정하여 적용 가능성을 평가하였다.

본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

- ① 방향 그래프의 정점과 간선을 이용하여 농업용 관수로망을 수학적으로 표현하였으며, dijkstra 알고리즘을 이용하여 최단 경로의 탐색 과정을 정리하였다.
- ② 설계유량과 관로의 제원으로부터 손실수두에 대한 가중함수를 구성하였으며, GRASS를 이용하여 표고의 차이, 토양의 종류, 토지이용 특성을 분류하고, 이로부터 공사비를 계산하여 간선구간별 공사비를 이용한 가중함수를 구성하였다.
- ③ 관수로망의 배치에 대한 graph 이론의 적용 가능성을 평가하기 위하여 표준 관수로망을 구성하고, 손실수두와 공사비에 대한 가중 함수를 계산하였으며, 이로부터 최적의 관수로망을 구성하였다.
- ④ Graph 이론은 네트워크로 이루어진 기하학적 문제의 최적해를 찾아내는 조합적 최적화 기법으로, 최근에 발전되고 있는 GIS 기술과 접목한다면 농산물 유통망이

나 용수조직의 계획 및 설계에 많이 이용할 수 있을 것이다.

參考文獻

1. 김진택, 1995, 농업비점원 오염모형을 위한 지리자원정보 시스템 호환모형의 개발 및 적용. 서울대학교 박사학위논문.
2. 박승우, 1997, 농업용수로의 관수로 시스템 계획과 물의 이용 및 관리에 관한 연구, 농림수산부.
3. 박재홍, 한건연, 1998, 상수관망해석을 위한 도학의 적용, 한국수자원학회논문집, 제31권, 제4호, pp. 439-448.
4. 박재홍, 1999, 상수관망에서의 신뢰도해석을 위한 해석 및 모의모형, 한국수자원학회지, 제32권, 제1호, pp. 95-104.
5. Cormen, T. H., C. E. Leiserson, and R. L. Rivest, 1989, Introduction to algorithms, pp. 463-629, McGraw-Hill
6. Davidson, J., and I. Goulter, 1992, Rule-based approach to layout and design of rural water distribution networks, Hydraulic engineering software IV: Fluid flow modelling, CMP, Boston.
7. Djokic, D., and D. R. Maidment, 1993, Application of GIS network routines for water flow and transport, Journal of water resources planning and management, vol. 119, no. 2, pp. 229-245.
8. Huang, P., J. E. Diekmann, and S. M. Fenis, 1995, Pipeline planning system, Journal of computing in civil engineering, vol 9, no 2, pp. 134-140.
9. Labye, Y., M. A. Olson, A. Galand, and N. Tsiourtis, 1988, Design and optimization of irrigation distribution networks, Irrigation and drainage paper no. 44, FAO, Rome.