

관망제어를 위한 밸브 탐색 알고리즘

Valve Searching Algorithm for Pipeline Control

이경훈^{1,*} · 오창주¹ · 강용덕²

Rhee, Kyoung-Hoon^{1,*} · Oh, Chang-ju¹ · Kang, Yong-Deog²

1 전남대학교 토목공학과

2 전남과학대학 지리정보·토목과

(2001년 1월 10일 접수, 2001년 3월 19일 최종수정논문 채택)

Abstract

The objective of this study is to develop an search technique for control valve to cut off in case of accident of pipeline. A graph algorithm is used for searching technique for control valve. The graph algorithm consisted of generating pipeline data and searching valve parts. The pipe networks data is constructed in form of adjacent lists and considered as undirected graphs. Breadth-First Search (BFS) is used for graph traversal to find the control valve. This selection algorithm of the control valve was applied to the pipe network of water supply system, as a result, we can traverse all pipe in pipe networks and find the control valves minimizing the area of which water supply is suspended. Therefore, the technique described herein could be convenient and effectively used for controlling valves when pipeline break accident occurred.

Key words: pipeline control, pipeline breakdown, control valve, graph

주제어: 관망제어, 관로사고, 차단밸브, 그래프

1. 서 론

상수도 배·급수 관로시설은 생산된 생활·공업·생산활동에 필요한 양과 질의 물을 관로를 통하여 압력하에서 연속적으로 공급하는 시설로서 수돗물을 위생적으로 안전하고 안정되게 공급하는데 그 목적이 있다. 따라서 상수도시설의 유지관리는 항상 목표수질의 달성과 요구수량의 공급을 전제로 효율적인 운영이 지속 가능하도록 하여야 한다.

그러나 많은 대도시의 경우에서 도시가 성장함에

따라 배·급수시설이 복잡해지고, 상수도 시설이나 관로의 흐름을 제어하는 밸브 등의 부속시설, 또한 그 수가 많고 광범위하게 분포하게 된다. 또한, 관로는 지하에 매설되어 있는 관계로 상태의 파악이 어렵고 시설자료관리도 어렵기 때문에 효과적인 유지관리를 받지 못하고 있다. 따라서, 운영상 발생하는 사고 등에 효율적으로 대처하기가 어렵다. 특히, 돌발적인 관로사고의 경우, 복구가 늦어지면 막대한 수돗물의 손실을 가져올 수 있다. 그러므로 무엇보다 관로복구에 있어서 신속함이 우선되어야

*Corresponding author Tel: +82-62-530-0100, E-mail: cjoh21@hanmail.net (Rhee, K.H.)

하며, 두 경우 모두 피해지역이 적어지도록 단수구역을 최소화하도록 하여야 한다. 이러한 단수사고에 대한 효과적인 대처를 위해서는 위치파악이 가능하고 작동이 가능한 제수밸브 중에서 단수구역을 최소화시키면서 신속하게 사고지역을 고립시킬 수 있도록 차단밸브를 선택하여야 한다.

따라서, 본 연구에서는 공학 등 여러 분야에서 폭넓게 응용되는 그래프 이론을 이용하여 단수구역을 최소화하는 차단밸브 탐색 알고리즘을 제시하고자 한다.

2. 차단밸브 탐색을 위한 기본이론

2.1. 그래프 이론

2.1.1. 그래프의 정의

그래프는 전기회로의 분석, 최단경로 탐색, 연구 계획 설정, 유전공학, 사회과학 등 여러 분야에 응용되는 수학적 구조 중의 하나이다.¹⁾

그래프는 두 개의 절점으로 구성되며 임의의 그래프를 G 라고 하면 그래프 G 는 2개의 집합 V 와 E 로 구성된다. V 는 공집합이 아닌 정점 (Vertices)의 유한집합이며, E 는 정점 쌍들의 집합으로 이러한 쌍을 간선 (Edges)이라고 한다. $V(G)$ 와 $E(G)$ 는 각각 그래프 G 의 정점들의 집합과 간선들의 집합이며 임의의 그래프는 $G=(V, E)$ 로 표기할 수 있다.²⁾ 그림 1

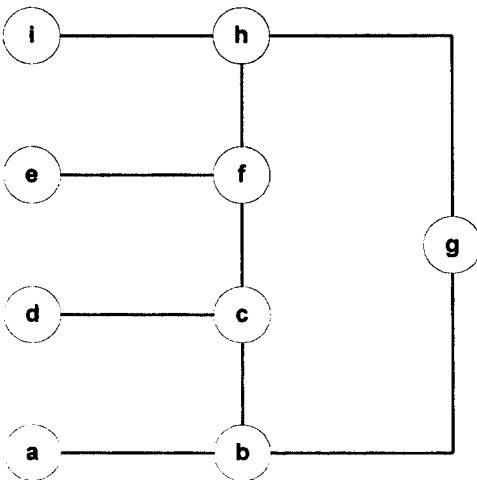


그림 1. 예제 그래프 G.

은 이러한 그래프의 한 예이다. 이 그래프를 집합으로 표현하면,

$$V(G) = \{a, b, c, d, e, f, g, h, i\}$$

$$E(G) = \{(a, b), (b, g), (b, c), (d, c), (c, f), (e, f), (f, h), (i, h), (g, h)\}$$

이다.

한편, 그래프는 간선에 방향성 여부에 따라서 무방향 그래프와 방향 그래프로 분류할 수 있다. n 개의 정점을 가진 무방향 그래프의 최대 간선수는 $n \neq 0$ 일 때, $(n-1)/2$ 이다. 무방향 그래프 G 에서 정점 u 부터 v 까지의 경로가 있으면, 두 정점 u 와 v 는 연결되었다고 한다. 이 경우, G 가 무방향이므로 v 에서 u 까지의 경로도 또한 반드시 존재한다. $V(G)$ 의 서로 다른 정점 u, v 의 모든 쌍에 대해서 u 에서 v 까지의 경로가 있으면, 그 무방향 그래프 G 는 연결되었다고 할 수 있다. 관망을 무방향 그래프로 간주한다면 이와 같은 조건을 충족하여야만 모든 관로가 연결되었다고 할 수 있다. 만일, 처음과 마지막 정점이 같으면 사이클 (Cycle)³⁾이라 한다. 이러한 그래프들은 그림 2의 (a, a) 간선에서와 같이 임의의 정점 v 에서 자신으로 이어지는 간선을 가질 수 없으며, (h, g) 간선과 같이 간선을 중복해서 가질 수 없다. 이러한 제한 조건은 관망해석에 있어서 관로구성의 제한조건과 동일하다. 그래프의

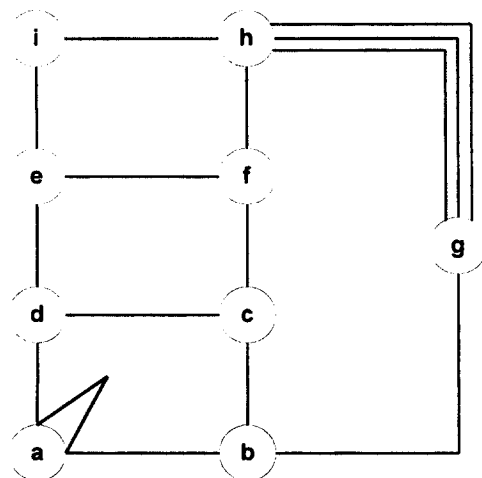


그림 2. 그래프 구조형태의 예.

정점과 간선을 관망에 있어서 각각 절점(Node)과 관로(Pipe)로 간주한다면 관망은 하나의 무방향 그래프로 표현할 수 있다.

2. 1. 2. 그래프 표현법 및 탐색방법

그래프를 표현하는 방법은 여러 가지가 있지만 어떠한 표현법을 사용할 것인가 하는 것은 대상 응용과 그래프상에 적용되는 함수에 의해 좌우된다. 본 연구에서는 알고리즘화 시키기가 용이하고 관망 데이터를 탐색자료화하기가 편리한 인접리스트(Adjacency Lists)를 사용하였다.

인접리스트에서는 그래프 G의 정점에 대하여 n개의 연결리스트가 존재한다. 그림 3과 같이 리스트 i에 있는 절점 ($i_{n1}, i_{n2}, i_{n3}, i_{n4}$)들은 i의 원소이고, 정점 i로부터 인접되어 있는 정점들을 나타낸다. 각 절점은 적어도 두 개의 필드, 즉, 데이터(Data)와 링크(Link) 필드를 갖는다. 데이터 필드는 정점 i에 인접한 정점의 번호를 저장한다. 각 리스트들은 헤드노드(Head Node)를 갖는데 정점들을 순서대로 저장할 필요는 없다. 이 리스트들은 임의의 정점에 대한 인접리스트들을 신속히 접근할 수 있도록 순차적으로 번호가 부여되어 있다.

그래프 $G=(V, E)$ 가 주어졌을 때, $V(G)$ 의 한 정점 v에서 도달할 수 있는 G의 모든 정점들, 즉 v에 연결된 모든 정점들을 방문할 경우, 이에 대한 가능한 방법은 깊이 우선탐색과 너비 우선탐색의 두 가

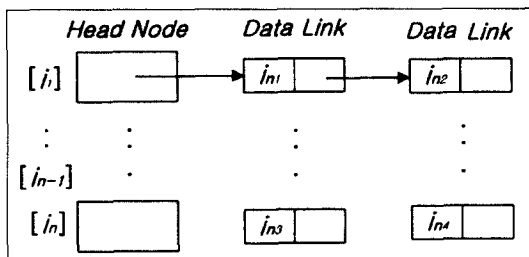


그림 3. 인접리스트의 구성.

지가 있다.²⁾ 너비 우선탐색은 시작 정점 v를 방문하는 것으로 시작한다. 다음으로 v에 인접한 모든 정점(1세대)을 방문하고 나서, 이 새롭게 방문한 정점들에 인접하면서 아직 방문하지 못한 정점들(2세대)을 방문하는 방식으로 계속한다. 그림 1의 그래프 G를 너비 우선탐색하면 탐색순서는 그림 4와 같다.

깊이 우선탐색은 시작 정점 v를 방문하는 것으로 시작한다. 다음으로 v에 인접하면서 아직 방문하지 않은 정점 w를 선택하여 이 w를 시작점으로 깊이 우선탐색을 시작하여 정점을 이미 모두 방문한 정점 u에 도달하면, 최근에 방문한 정점 중 아직 방문하지 않은 정점 w로 돌아가서 정점 w로부터 깊이 우선탐색을 다시 시작한다. 이러한 탐색은 방문이 안 된 정점으로 더 이상 갈 수 없을 때 종료된다. 그림 1의 그래프 G를 깊이 우선탐색하면 탐색순서는 그림 5와 같다.

한편, 인접리스트를 탐색함에 있어, n개의 정점과 e개의 간선을 갖는 무방향 그래프에서 탐색에 걸리는 시간은 깊이 우선탐색과 너비 우선탐색이 모두 $O(n+e)$ 이다.

3. 차단밸브 탐색

3. 1. 탐색자료의 구성

밸브를 차단하면 단수지역이 생기게 되는데, 밸브를 차단할 경우에는 누수지점을 고립시키면서 단수지역을 최소화하는 것은 매우 중요하며, 관로의 연결 여부가 관건이 된다. 그러므로 차단밸브의 탐

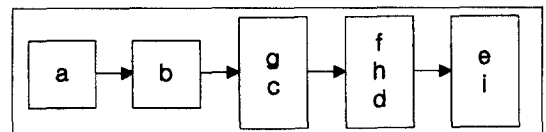


그림 4. 그래프 G에 대한 너비 우선탐색.

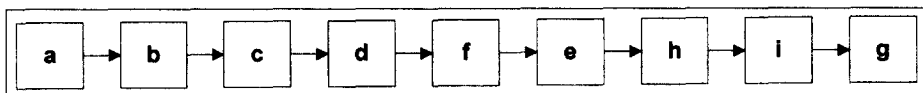


그림 5. 그래프 G에 대한 깊이 우선탐색.

색과정에 있어서 관로의 길이, 관경 등과 같은 관로의 조건은 밸브탐색 과정과는 무관하다. 따라서 관망의 각 절점의 연결관계(그래프에 있어서는 간선)만을 이용하여 인접리스트를 구성하고, 이를 차단밸브 탐색의 자료로 이용한다. 만일, 관망해석의 입력자료가 존재한다면 모형에 따라서 자료의 형식은 다소 차이가 있을 수 있으나 대부분의 관망해석 입력자료에는 시작절점과 끝절점으로 표현되는 관로자료가 있으므로 특히, 관망의 규모가 방대한 대도시에 있어서 이를 이용하면 차단밸브 탐색자료를 보다 쉽게 구성할 수 있다.

본 연구에서는 차단밸브 탐색 알고리즘을 적용하기 위하여 12개의 관로와 11개의 절점 그리고 4개의 밸브로 이루어진 그림 6과 같은 모형관망을 구성하였다. 주어진 모형관망의 각 절점을 중복되지 않게 하향 배열하면 헤드노드가 배열되고 각각의 헤드노드에 인접한 절점들을 종방향으로 배열하면 그림 7과 같이 관망의 모든 연결관계가 표현된 인접리스트를 구성할 수 있다.

이와 같이 구성된 인접리스트에서 간선인 헤드노드와 데이터의 쌍이 관로가 된다. 그러나 인접리스트상에서는 관로와 밸브를 구분할 수 없으므로 관로의 연결상태가 일반 관로인지 밸브인지를 구분하기 위해서는 밸브에 해당하는 절점의 쌍을 미리 저장하여야 한다. 그림 7의 인접리스트에서 저장하여

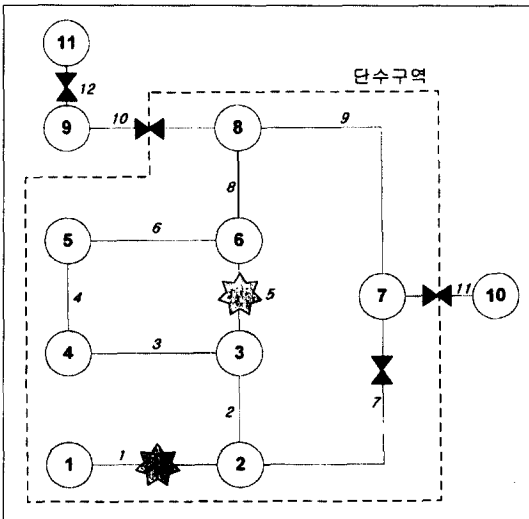


그림 6. 모형 관망.

야 할 밸브의 절점쌍은 (2, 7), (7, 10), (8, 9), (9, 11)이다.

3.2. 관로탐색

밸브는 관로상에 위치하므로 밸브를 탐색하기 위해서는 모든 관로의 탐색이 가능해야 한다. 그리고 탐색방법에 있어서는 탐색에 걸리는 시간이 적어야만 탐색을 신속하게 수행할 수 있다. 전술한 바와 같이 그래프 탐색방법은 깊이 우선탐색과 너비 우선탐색을 모두 적용할 수 있는데, 두 탐색방법은 탐색시간이 동일하므로 어느 것을 선택하여도 무방하다. 본 연구에서는 너비 우선탐색을 사용하였다.

탐색자료가 구성되면 탐색의 시작절점을 결정하여야 한다. 탐색의 시작절점은 그림 8에서 처럼 사고가 발생한 관로의 절점에서 시작한다. 여기에서 관로는 두 개의 절점으로 구성되므로 출발점은 두 개가 된다. 그러나 두 절점은 연결된 관로이므로 두 절점중 임의로 하나만 선택하면 된다. 탐색의 시작점이 정해지면 관망의 연결상태를 표현하는 인접리스트를 너비 우선탐색하게 된다. 그림 7의 인

Head Node	Data Link	Data Link	Data Link
[1]	→ 2 0		
[2]	→ 1 -	→ 3 -	→ 7 0
[3]	→ 6 -	→ 4 -	→ 2 0
[4]	→ 5 -	→ 3 0	
[5]	→ 4 -	→ 6 0	
[6]	→ 8 -	→ 5 -	→ 3 0
[7]	→ 8 -	→ 2 -	→ 10 0
[8]	→ 6 -	→ 9 -	→ 7 0
[9]	→ 11 -	→ 8 0	
[10]	→ 7 -		
[11]	→ 9 0		

그림 7. 모형 관망의 인접리스트.

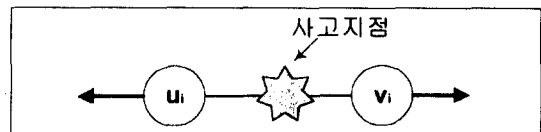


그림 8. 탐색 시점.

표 1. 인접리스트의 너비 우선탐색

세대	1세대	2세대			3세대				4세대		5세대
헤드노드	2	1	3	7	6	4	8	10	5	9	11
인접노드	1, 3, 7	2	6, 4, 2	8, 2, 10	8, 5, 3	5, 3	6, 9, 7	7	4, 6	11, 8	9
탐색된 관로 (절점쌍)	1(2, 1), 2(2, 3), 3(3, 4), 4(4, 5), 5(3, 6), 6(6, 5), 7(2, 7), 8(6, 8), 9(7, 8), 10(8, 9) 11(7, 10), 12(9, 11)										

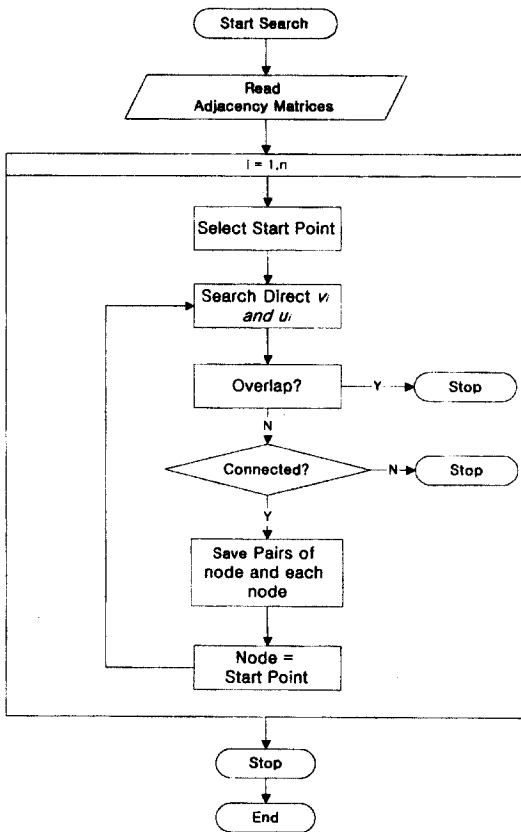


그림 9. 관로탐색의 순서도.

접리스트에 대하여 1번 관로에 사고가 발생한 것으로 가정하면, 사고관로의 절점쌍은 (1, 2)이다. 이 중에서 2번 절점을 탐색시점으로 하면 이 절점은 가장 먼저 탐색을 시작해야 할 헤드노드가 된다. 다음으로 이 절점과 첫 번째로 인접한 모든 절점을 탐색하면 표 1에서 처럼 1, 3, 7절점(1세대)이고 이 절점들을 헤드노드하여 다음으로 인접한 절점을 탐색하면 2, 3세대의 절점들을 탐색할 수 있다. 그

러나 탐색도중 이미 탐색한 절점을 중복하여 탐색하면 사이클을 형성하여 탐색을 종료할 수 없다. 그러므로 이미 탐색된 절점의 쌍을 저장하고, 탐색시 중복여부를 확인하여 중복되는 절점들은 다음 세대에 탐색하여야 할 헤드노드에서 제외하여야 한다. 표 1의 헤드노드와 인접노드에서 진하게 표시된 절점들이 이러한 중복된 절점에 해당한다. 한편, 탐색된 각각의 헤드노드와 인접절점들의 쌍이 관로이므로 그림 6의 모형관망과 비교하면 모든 관로가 탐색되었음을 알 수 있다. 이러한 관로탐색의 순서도는 그림 9와 같다.

3.3. 차단밸브 탐색

단수구역을 최소화하는 차단밸브는 누수지점에서 가장 가까운 곳에 위치한 밸브가 된다. 이러한 차단밸브는 관로 탐색과정에 하나의 조건을 부여함으로써 탐색이 가능하다. 즉, 탐색도중에 밸브관로를 만나게 되면 그 관로(u, v)를 인쇄하고 탐색을 중지시킨다. 이 경로는 누수발생 지점으로부터 탐색을 시작해 나가면서 첫 번째 만나는 밸브가 누수지점에서 가장 가까운 밸브가 되므로 탐색도중에 밸브를 만나면 탐색을 중지하게 되는 것을 의미한다.

한편, 관로사고는 단일관로에서 발생할 수도 있고 동시에 여러 관로에서도 발생할 수 있다. 보다 효과적인 관로사고 대처가 되기 위해서는 차단밸브 탐색 알고리즘이 어떤 경우에도 적용 가능하여야 한다. 그림 6의 모형관망에서 처럼 사고관로가 복수인 경우, 사고 관로가 1, 5번 관로이므로 탐색의 시작절점은 1, 2절점과 6, 3절점이 된다. 먼저, 1번관로의 시작절점을 2번 절점으로 하여 인접리스트를 탐색할 경우, 탐색과정은 관로 탐색과정과 동일하다. 단, 표 2에서 보여지듯이 1세대에서 (2, 7), 4세대에서 (8, 9), 5세대에서 (7, 10)의 절점

표 2. 차단밸브 탐색과정

사고 관로	세대	1세대	2세대	3세대	4세대	5세대
1	헤드노드	2	1 3	6 4	5 8	7
	인접노드	1, 3, 7	2 6, 4, 2	8, 5, 3 5, 3	4, 6 6, 9, 7	2, 8, 10
5	헤드노드	6				
	인접노드	8, 5, 3				
밸브절점쌍		(2, 7), (7, 10), (8, 9), (9, 11)				
탐색된 관로 (절점쌍)		1(2, 1), 2(2, 3), 3(3, 4), 4(4, 5), 5(3, 6), 6(6, 5) 7(2, 7), 8(6, 8), 9(7, 8), 10(8, 9) 11(7, 10)				
탐색된 밸브 (절점쌍)		7(2, 7), 10(8, 9) 11(7, 10)				

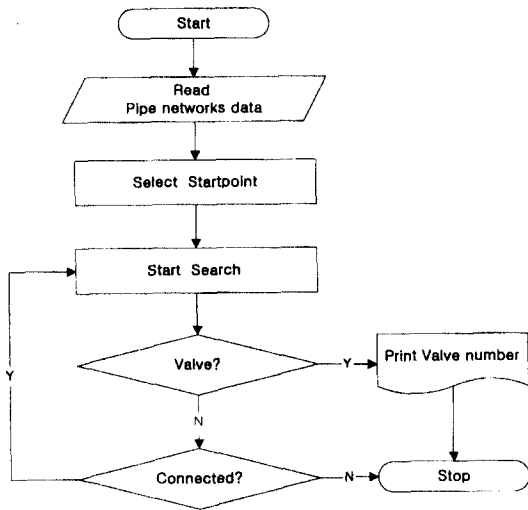


그림 10. 밸브탐색의 순서도.

쌍과 같이 헤드노드와 인접노드가 밸브절점쌍일 경우에는 인접노드를 다음에 탐색해야 할 헤드노드에서 제외한다. 이와 같은 방법으로 차단밸브를 탐색하면 표 2의 탐색된 절점에서와 같이 7, 10, 11번 관로에 위치한 밸브가 탐색된다. 다음으로 5번관로의 6번절점에서 탐색을 시작하면 두 사고관로가 서로 연결된 관로이므로 1번관로에서 이미 탐색한 절점들은 중복해서 탐색하지 않는다. 만일 두 관로가 연결되지 않으면 탐색과정은 단일 관로사고의 경우와 동일하게 된다.

한편, 밸브탐색 도중에 탐색된 관로는 그림 6의

모형관망에서 단수구역으로 표시되는 영역에서 보여지는 바와 같이 밸브에 의해서 고립된다. 그리고 밸브절점쌍중 (2, 7)쌍은 단수구역내에 위치하므로 이 밸브를 차단해야 할 밸브에서 제외하면 차단밸브는 (8, 9), (7, 10)쌍이 된다. 이 밸브는 그림 6의 모형관망에서 나타난 바와 같이 단수구역을 최소화하는 밸브임을 알 수 있다. 이 과정을 순서대로 나타내면 그림 10과 같다.

4. 결 론

본 연구에서는 상수도 배·급수관망을 유지관리함에 있어 누수나 관로사고시에 단수구역을 최소화 하면서 사고지역을 고립시킬 수 있는 차단밸브의 탐색을 위하여 관망을 하나의 무방향그래프로 간주하고 그래프 표현 방법인 인접리스트로 탐색자료를 구성하였다. 그리고 그래프 탐색기법인 너비 우선 탐색을 변형하여 차단밸브를 선정할 수 있도록 알고리즘화 하였다. 그 결과는 다음과 같다.

1) 차단밸브 탐색 알고리즘을 관로사고가 발생한 것으로 가정한 모형관망에 적용한 결과, 탐색된 밸브는 단수구역을 최소화시키는 것으로 나타났다. 따라서 차단밸브 탐색 알고리즘은 관로사고 발생시 피해를 경감시키는데 효과적으로 사용될 수 있을 것으로 판단된다.

2) 차단밸브 탐색에 사용되는 자료의 구성은 관로와 절점의 연결성을 자료화한 인접리스트로 구성

되므로 기존의 관망해석을 위한 관망자료 이외의 부가적인 자료가 필요하지 않다. 따라서 기존 관망자료가 존재하면 쉽게 적용할 수 있는 기법이며, 배 급수관망 시설의 규모가 방대한 경우 매우 효과적인 기법이 되리라 판단된다.

참고문헌

1. 박후열 (1994) 토목계획학, 영남대학교출판부, pp. 332-333.
2. 이석호 (1998) 자료구조론, 교보문고, pp.384-423.
3. R.C. Read and C. Berge(1972) *Graph Theory and Computing*, Academic Press, pp.103-120.
4. 건설부 (1992) 상수도시설기준.
5. 김용석 (1996) 수도권 광역상수도 시설의 사고발생시 효율적 대처방안에 관한 연구, 고려대학교 석사학위논문.
6. 박삼영 (2000) GIS시설물 관리시스템에 있어서 차단밸브 검색 기법에 관한 연구", 전남대학교 석사학위논문.
7. 김형택 (1992) 그래프이론을 이용한 간선도로의 다동성 산출모형의 개발, 한양대학교 석사학위논문.
8. Y. Morishit(1995) Development of Leak Detection System Using High Temperature -Resistant Microphones, *Nuclear Science and Technology* 32(3), pp.237-239.
9. V. Rao(1998) Improved Design of Branched Networks by Using PRV, *Journal of Hydraulic Engineering* pp.78-84, April.
10. D.B. Sharp and D.M. Campbell(1997) Leak Detection in Pipes Using Accoustic Pulse Relectometry, *Source Acustica* 82, pp.560-566.
11. M. Shimada(1989) Graph-Theoretical Model for Slow Transient Network Analysis of Pipe Networks, *Journal of Hydraulic Engineering* 115(9), pp.1165-1183.
12. D.H. Axworthy and B.W. Karney(2000) Valve Closure in Graph-Theoretical Model for Slow Transient Network Analysis, *Journal of Hydraulic Engineering* pp.384-389, April.