

GIS를 이용한 상수도 배수관망 최적관리 시스템에 관한 연구 Improving the water network management using the GIS

전철민* · 구자용** · 고준환*** · 김병화***

Jun, Chul-Min · Koo, Ja-Yong · Koh, June-Hwan · Kim, Byung Hwa

* 서울시립대학교 지적정보학과 부교수 · 도시 및 지역계획 박사 · E-mail: cmjun@uos.ac.kr

** 서울시립대학교 지적정보학과 부교수 · 공학 박사 · E-mail: jykoo@uos.ac.kr

*** 서울시립대학교 지적정보학과 부교수 · 공학 박사 · E-mail: jhkoh@uos.ac.kr

**** 서울시립대학교 지적정보학과 · E-mail: phkim@sidae.uos.ac.kr

초 록

2002년 현재 서울시는 99.99%에 이르는 높은 상수도 보급율에 비하여 유수율은 선진국의 수준에 이르지 못하고 있는 실정이다. 이는 정수장에서 배수지까지 연결되는 송수관과 배수지에서 각 가정으로 보낼 때 사용되는 배급수관에서의 누수 발생이 주 원인이며, 이는 곧 체계적인 관망 설계 및 운영이 미흡하기 때문인 것으로 지적되고 있다. 상수관로의 누수현상을 해결하고 효과적인 관리를 위한 근본적인 대책으로 노후관로의 교체가 필요하게 된다. 또한 노후관망 교체 등 유사시에 안정적인 상수의 공급을 위해 배수지간을 연결하는 대안 관로를 들 필요가 있으며, 이러한 관망의 경로를 적절하게 설계해야 하는 것도 주요한 상수 공급 문제 중의 하나이다.

2000년 서울시 수도 정비 기본 계획의 관망 정비계획에 따르면 배수관리를 원활하게 하고 누수를 효율적으로 탐지·방지하기 위한 가장 이상적인 관망구성은 배수지 중심의 블록 시스템으로 보고 있다. 이와 같은 문제점들을 기반으로 하여, 본 연구는 GIS를 이용하여 효과적으로 노후관망을 관리하고, 대안 관망경로를 구축하는 시스템을 제안하였다. 본 연구에서는 배수지를 중심으로 한 블록 단위기반의 관망 노후도를 체계적으로 분석하는 시스템과 함께, 유사시를 대비한 최단/최적의 대안 경로를 산출하는 시스템을 구현하여 이를 서울 일부지역에 적용하여 그 유용성을 점검하였다.

상수도 관망의 설치 계획은 상수도 시설의 규모의 확장과 시설계량에 있어 대규모의 비용과 시간이 요구되는 특성을 가지고 있기 때문에 시설투자에 있어 정확한 예측과 분석을 통해 이루어져야 한다. 본 연구에서는 이러한 예측과 분석의 의사결정을 지원할 수 있는 상수도 배수 블록 노후도 관리 시스템과 최단/최적 연결 경로 산출 시스템을 구현해 봄으로써 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 상수도의 관망 노후도의 분석을 화면상에서 다양한 요소별로 하게 함으로써 넓은 공간에서의 관망의 관리를 효과적으로 할 수 있게 해준다.
2. 또한 이와 함께 대안 관망들을 사용자가 직접 대화식으로 빠르게 설계하고 이들의 경로와 공사비용 등을 산출해 봄으로써, 후보 최적 경로들을 공간적, 정량적으로 비교하는 것이 용이하다.

핵심용어 : 블록 시스템, 노후도 분석, 최단 경로 탐색

1. 서 론

2002년 현재 서울시는 99.99%에 이르는 높은 상수도 보급율에 비하여 유수율은 선진국의 수준에 이르지 못하고 있는 실정이다. 이는 정수장에서 배수지까지 연결되는 송수관과 배수지에서 각 가정으로 보낼 때 사용되는 배급수관에서의 누수 발생이 주 원인이며, 이는 곧 체계적인 관망 설계 및 운영이 미흡하기 때문인 것으로 지적되고 있다. 상수관로의 누수현상을 해결하고 효과적인 관리를 위한 근본적인 대책으로 노후관로의 교체가 필요하게 된다. 또한 노후관망 교체 등 유사시에 안정적인 상수의 공급을 위해 배수지간을 연결하는 대안 관로

를 둘 필요가 있으며, 이러한 관망의 경로를 적절하게 설계해야 하는 것도 주요한 상수 공급 문제 중의 하나이다.

2000년 서울시 수도 정비 기본 계획의 관망 정비계획에 따르면 배수관리를 원활하게 하고 누수를 효율적으로 탐지·방지하기 위한 가장 이상적인 관망구성은 배수지 중심의 블록 시스템으로 보고 있다. 이와 같은 문제점들을 기반으로 하여, 본 연구는 GIS를 이용하여 효과적으로 노후관망을 관리하고, 대안 관망경로를 구축하는 시스템을 제안하고자 한다. 본 연구에서는 배수지를 중심으로 한 블록 단위기반의 관망 노후도를 체계적으로 분석하는 시스템과 함께, 유사시를 대비한 최단/최적의 대안 경로를 산출하는 시스템을 구현하여 이를 서울 일부지역에 적용하여 그 유용성을 점검하고자 한다.

2. 배수 블록 단위 노후도 관리 시스템

블록 시스템은 일본 新潟市에서 1964년의 대지진 이후에 이를 복구하기 위해 적용된 배수관망 조직법을 말한다. 당시에는 재해에 강한 배수 시스템의 건설이 주목적이었지만 이러한 조직방법이 배수시스템의 유지관리에 도 효율적으로 대처할 수 있다는 것이 증명되면서 일본에서 널리 보급되기 시작하였다. 배수관망의 블록화 초기에는 복구하기 쉬운 배수관망을 형성한다는 것에 주안점을 두었으나, 최근에는 이에 부가하여 유지관리를 효율적이면서도 용이하게 할 수 있는 관망의 형성을 목표로 하고 있다.¹⁾

서울시의 상수관망 배수블록화 계획에 따르면 서울시 전체를 39개소의 지역배수지 블록으로 나눈 뒤, 지역 배수지 블록을 다시 1차 배수지 블록, 2차 배수지 블록, 3차 배수지 블록으로 구분하여 총 2,037개소의 소블록으로 나눔으로서 효율적인 배수관망 관리가 가능하도록 하였고, 또한 지역별 배관망 정비와 함께 급수수요량을 보다 쉽게 조정할 수 있도록 계획하였다.²⁾

2.1 배수 블록 설정

배수지 블록화 작업에 있어서 서울시의 관망 정비계획에 따른 배수블록을 사용하지 않고, 대상지인 구로구와 양천구의 신정배수지를 도로망의 위계와 각 필지별 물 사용량을 기준으로 구획하여 사용하였다. 국가 교통망을 기준으로 하여 level3에 해당하는 1:100,000축척의 주요 간선축도로를 기준으로 대배수블록으로 구획한 뒤, 다시 level2의 양방향 2차선(이면도로제외) 도로를 기준으로 중배수블록으로 구획하였다. 이를 다시 각 필지의 물 사용량을 기준으로 하나의 블록의 1일 물 사용량이 1000~2000t정도의 물 사용량을 갖도록 하여 구획하였다.

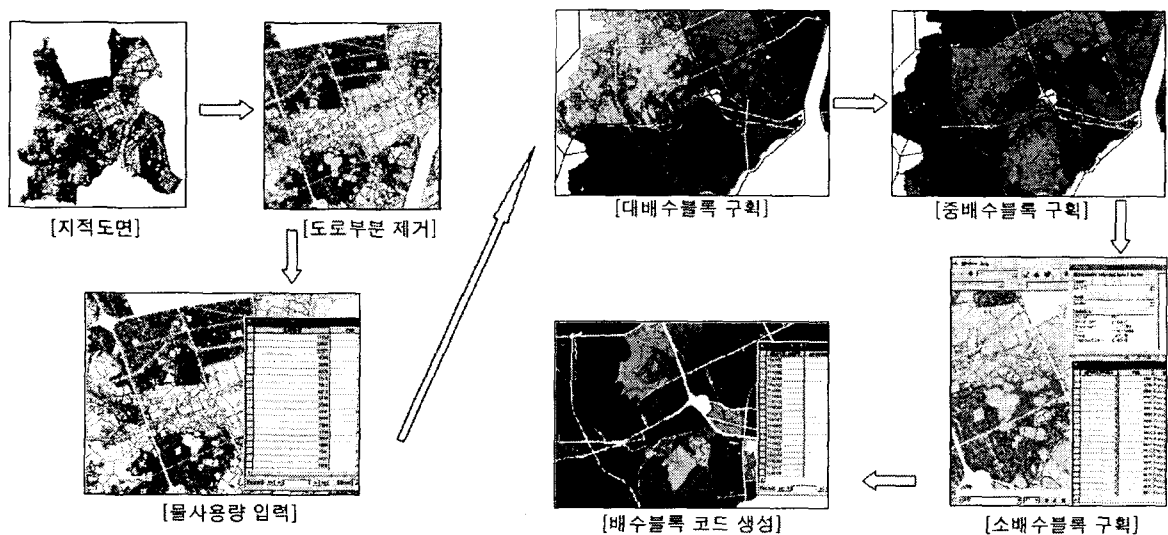


그림 1. 배수 블록 구획 과정

1) 유수율 제고 연구, 환경부, 2001. 10.

2) 서울특별시 수도정비 기본계획, 서울시 상수도 사업본부, 2000

2.2 블록 노후도 산정

노후도 평가 방법에는 이미 개발되어 있는 수자원 개발 공사의 노후도 평가 모델³⁾이 있지만, 연구 수행 과정에서 취득 가능한 기초 자료의 범위 내에서 평가식을 만들어 산정하였다. 사용 가능한 기초 자료로 상수관의 매설년도, 관재질, 관연장, 관경 그리고 배수지의 지반고와 각 배수블록의 평균 지반고를 사용하였다. 식 (1)은 상수도의 관망별 노후도 평가에 사용된 공식이다.

$$\frac{\text{현재년도} - \text{매설년도}}{\text{내구연한}} \times 10 \quad (1)$$

하나의 블록에 포함되는 상수관망의 평균 노후도를 평가방법에 있어서는 하나의 블록에 포함되는 관망들에 대한 다음의 배수블록 평균 노후도 평가식 (2)의 계산결과와 합을 사용하여 평가하였다.

$$\frac{\text{현재년도} - \text{매설년도}}{\text{내구연한}} \times \frac{\text{각관의길이}}{\text{블록에포함된관길이의합}} \quad (2)$$

상수관의 관경에 따른 가중치를 부여하여 매설 년도, 관 연장, 관경의 세 가지 조건을 고려한 노후도 평가식은 식 (3)과 같다.

$$\frac{\text{현재년도} - \text{매설년도}}{\text{내구연한}} \times \frac{\text{각관의길이}}{\text{블록에포함된관길이의합}} \times \text{관경가중치} \quad (3)$$

표 1. 관재질에 따른 내구연한

ID	관재질	내구연한
001	닥타일주철관	30
003	아연도강관	10
004	연화비닐관	15
005	폴리에틸렌관	15
006	스테인리스관	30
007	동관	25
010	회주철관	20
019	도복장강관	40
028	폴리에틸렌분체라이닝관	30
040	내충격수도관	30
999	기타	

표 2. 관경에 따른 가중치

관경	가중치
30mm이하	1
30-100mm	2
100-200mm	3
200-300mm	4
300mm이상	5

배수지와 배수블록의 수압의 차이를 고려한 노후도 평가식은 식(4)와 같으며, 손실수두 산정에는 Darcy-Weisbach 공식(식 5)을 이용하였다.

$$\text{배수지 Elevation} - \text{블록평균 Elevation} - \text{블록 손실 수두 평균값} \quad (4)$$

$$H_f = \lambda \times \frac{l}{D} \times \frac{v^2}{2g} \quad (5)$$

λ : 마찰 계수, l : 관 길이, D : 관 직경, v : 유속, g : 중력가속도(9.8m/sec²)

3) 수도관 노후도 평가모델 : 미국의 Denver시 수도국이나 Louisville시 수도국의 기본모델을 관련기술자들의 경험과 조연 및 각종 자료를 기초로 하여 국내 실정에 맞게 개발함.

3. 배수지간 최단/최적 연결 경로 산출 시스템

최단 경로의 탐색은 방향이 있는 그래프에서 임의의 노드에서 출발하여 나머지 노드들로 가는 최단 경로를 찾는 문제이다. 최단 경로 알고리즘에는 한 노드에서 여러 개의 다른 노드까지의 최단 경로를 찾는 다익스트라(Dijkstra) 알고리즘과 여러 개의 노드에서 다른 노드까지의 최단 경로를 찾는 플로이드(Floyd) 알고리즘이 있다. 이 중 본 연구에서 최단/최적 연결 경로의 검색은 다익스트라(Dijkstra) 알고리즘을 사용하였다.

3.1 다익스트라(Dijkstra) 알고리즘

Dijkstra 알고리즘은 그림 2에서 보는 바와 같이 각 node의 최단거리를 출발점의 주변으로부터 하나씩 확고하고 점차 범위를 넓혀 최종적으로 모든 node로의 최단거리를 구한다.

- 1) 출발점에 연결되어 있는 node의 출발점과 각 node사이의 거리를 구하고 최소값을 가진 node에 표시를 붙여 확정한다.
- 2) 표시를 붙인 node에 연결된 node까지의 거리를 구하고 이 시점에서 계산되고 있는 node(표시를 하지 않은)의 거리 가운데서 최소값을 가진 node에 표시를 붙여 확정한다
- 3) 이것을 모든 node에 표시가 붙을 때까지 반복하면 각 node에서 얻어진 값이 출발점에서의 최단거리가 된다.

```

for (j = 1; j <= N; j++) {
  min = M; /* 최소의 node를 찾는다 */
  for (k = 1; k <= N; k++) {
    if (v[k] == 0 && leng[k] < min) {
      p = k; min = leng[k];
    }
  }
  v[p] = 1; /* 최소의 node를 확정한다 */

  /* p를 경유하여 k에 이르는 길이가 그곳까지의 최단거리보다 작으면 경신 */
  for (k = 1; k <= N; k++) {
    if (leng[p] + a[p][k] < leng[k]) {
      leng[k] = leng[p] + a[p][k];
      index[k] = p;
    }
  }
}
    
```

그림 2. Dijkstra 알고리즘

최단 경로 탐색 시에는 국가교통망 자료의 도로 길이를 기준으로 알고리즘을 적용하였으며, 최적 경로의 탐색에 있어서는 관할 배수 영역의 배수지의 위치에서 배수 영역 속에 포함되는 도로까지의 거리를 구하여 그 값을 기준으로 최소값(서비스 영역에 대한 값)을 갖는 경로를 산출하도록 구현하였다.

3.2 최단/최적 경로 산출에 따른 공사비 산정

또한 경로를 산출하는 과정에서 아래 표3의 공사비 산정식⁴⁾을 이용하여, 산출된 경로로 상수관로를 매설하는 경우에 드는 비용을 계산할 수 있도록 하였다.

표 3. Cost of buried unit pipe

diameter range	cost of buried unit pipe (won/m)	R ²	MAE(%)
φ75 - 350 mm	$e = 19904 + 19.659 \times d^{1.40}$	0.9995	0.9
over φ400 mm	$e = 41685 + 1.3302 \times d^{1.80}$	0.9973	0.3

4) 이현정, 장기 물 수요 예측을 이용한 배수관망의 수용용량평가, 서울시립대학교 환경공학과 석사학위 논문, 2000

4. 시스템 구현

본 연구에서는 블록 단위 노후도 관리 시스템과 최단/최적 연결 경로 산출 시스템을 구현하기 위한 User Interface는 Microsoft사의 Visual Basic과 ESRI사의 MapObject Component를 사용하여 구현하였다. 기능 구성은, 기본기능으로 도면의 확대 및 축소 등 일반 시스템에 있는 기능들로 구성되어 있고, 응용기능으로 그림 3과 4에서 보는 바와 같이 각 배수블록의 노후도 분석 실행과 그 결과 값을 보여주는 기능과, 최단/최적 경로의 분석 결과를 보여주는 기능으로 구성되어 있다.

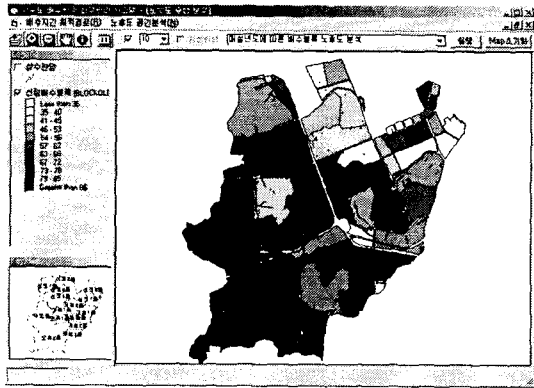


그림 3. 배수 블록 단위 노후도 관리 시스템

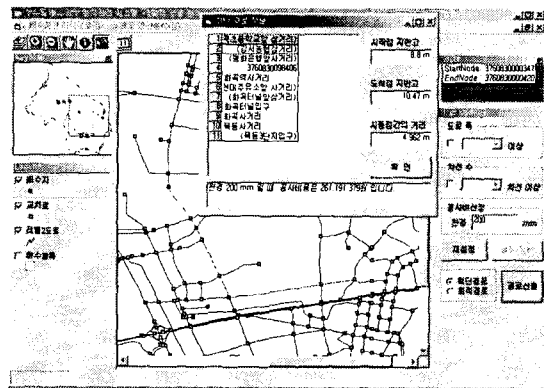


그림 4. 최단/최적 연결 경로 산출 시스템

5. 결 론

상수도 관망의 설치 계획은 상수도 시설의 규모의 확장과 시설계량에 있어 대규모의 비용과 시간이 요구되는 특성을 가지고 있기 때문에 시설투자에 있어 정확한 예측과 분석을 통해 이루어져야 한다. 본 연구에서는 이러한 예측과 분석의 의사결정을 지원할 수 있는 상수도 배수 블록 노후도 관리 시스템과 최단/최적 연결 경로 산출 시스템을 구현해 봄으로써 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 상수도의 관망 노후도의 분석을 화면상에서 다양한 요소별로 하게 함으로써 넓은 공간에서의 관망의 관리를 효과적으로 할 수 있게 해준다.
2. 또한 이와 함께 대안 관망들을 사용자가 직접 대화식으로 빠르게 설계하고 이들의 경로와 공사비용 등을 산출해 봄으로써, 후보 최적 경로들을 공간적, 정량적으로 비교하는 것이 용이하다.

그러나 본 연구 과정 중 취득할 수 있는 자료의 한계로 인하여 보다 종합적인 노후도 분석을 할 수 없었다는 문제점을 안고 있다. 따라서 향후 많은 속성정보들을 추가하고 평가방법을 개발한다면 보다 정확한 분석을 할 수 있을 것이다.

참고문헌

1. 하성룡, 유전자 알고리즘을 이용한 광역상수도 관로 노선 선정기법 개발, 대한토목학회 논문집 p429-438, 2000
2. 조지현, 지형공간정보체계를 이용한 상수도 시설물의 노후도 평가 시스템 구축, 대한토목학회 논문집 p687-690, 2000
3. 이현정, 장기 물 수요 예측을 이용한 배수관망의 수용용량 평가, 서울시립대학교 환경공학과 석사학위 논문, 2000
4. 서울특별시 수도정비 기본계획, 서울시상수도사업본부, 2000
5. 유수술 제고 연구, 환경부, 2001
6. 서울시 상수도 사업본부 : <http://water.seoul.go.kr>