

광역상수도 노선계획시 수리적 안정성을 고려한 경제성 평가

(Economic Evaluation in Consideration of Hydraulic Stability in Pipeline
Planning of Wide-Area Water Supply Facilities)

안창진*, 김주환**, 최두용***

1. 서론

광역상수도 건설사업의 경우 계획단계에서 용수수요량 추정, 시설용량 결정 및 배분계획 수립, 취수원의 선정, 관로노선의 결정, 수도시설(취수장, 정수장, 가압장, 배수지 등)의 형식, 규모 및 입지 선정 등이 적절하지 않으면 용지보상 및 건설, 그리고 사후 유지관리에 많은 노력과 비용의 낭비가 초래되는 결과를 가져온다.

따라서 본 연구에서는 포항·경주 일원에 용수공급을 목적으로 하고 있는 포항권 광역상수도 사업 지역을 대상으로 하여 지형정보시스템(Geographic Information System)을 이용해 관로가 통과할 수 있는 노선에 대한 자료와 수도시설의 입지조건을 고려해 여러개의 노선을 선정 한 후 이에 대한 평가를 수리적 안정성 측면과 비용적 측면에서 분석을 실시 하였다.

관로노선 및 수도시설의 위치에 따라 각 대안별로 수리해석 프로그램(Sapid 2.0)을 이용해 유속 및 압력에 관한 수리해석 결과를 얻고, 경제성분석 프로그램(Ecovel 1.0)을 이용해 용량별 수도시설 건설비용, 관로의 건설 및 보상비용, 그리고 향후 유지관리비등 제 비용을 산출 하였다.

그 해석결과에 따르면 광역상수도 계획시 서로 별개의 문제로 취급되어 왔던 수리적 안정성이라는 측면과 비용적 측면은 상호 연관성이 있음을 알 수 있었다. 즉 수리적 불안정성은 비용에 또 하나의 변수로 작용함을 말한다.

2. 수리적안정성 평가 방법

본 연구에서 수리학적 안정성을 평가하기 위한 프로그램으로는 Kentucky모델의 알고리즘을 이용해 C언어로 프로그래밍 한 Sapid 2.0을 사용하였으며, 정보 입력의 편의성을 도모하기 위하여 프로그램을 수정하여 추가로 작성하였다. 여기서는 GIS 공간분석 프로그램으로 부터 관로제원에 관한 DBF형식의 화일을 ASCII로 변환하여 수리해석 입력정보 화일로 공급되어지는 것을 화상에서 대화형식으로 수정 및 추가정보를 입력하도록 하였다. 또한 수리해석에서 요구되는 관로절점에서의 정보는 지형공간분석 프로그램에서 3차원 공간분석된 결과를 수리해석 입력정보 화일에

* 수자원연구소 책임연구원

** 수자원연구소 선임연구원

*** 수자원연구소 연구원

공급하도록 하였다. 수리해석의 결과는 별도의 출력화일에 저장되어 의사결정프로그램에서 이용되며 특히, 관로상의 수리절점 및 단위 관로내의 수압과 유속분포에 관한 정보는 GUI프로그램에 의하여 처리되어 지형공간정보와 결합되므로 별도로 저장처리 되도록 하였으며, 노선에 따른 고도와 동수경사도에 관한 정보는 별도의 그래픽 GUI에 의하여 의사결정 정보로서 제공되도록 하였다. 수리해석 결과의 출력물은 의사결정자로 하여금 수리적 안정성의 평가를 용이하게 할 뿐만 아니라 판단의 편의성을 고려하여 Arcview상에서 화상으로 출력되도록 하였다. 여기에서 관내유속 및 수압을 표 1과 같이 6개 등급으로 구분하여 각각의 색깔을 지정하여 출력하였다. 따라서 색깔만으로 유속 및 수압의 분포를 한눈에 알 수 있으며, 각각의 등급에서 3~4등급이 수리적으로 가장 안정함을 알 수 있다.

표 1 수리해석 결과 유속 및 수압 분포의 등급 구분과 표현색 지정

등급	유속(m/s)		색깔	평가기준	등급	수압(m)		색깔	평가기준
	min	max				min	max		
1	-∞	0.3	빨강	저속	1	-∞	1.0	빨강	부압
2	0.3	1.0	주황	저속	2	1.0	5.0	주황	저압
3	1.3	2.0	녹색	적정	3	5.0	45.0	녹색	적정
4	2.0	3.0	파랑	적정	4	45.0	75.0	파랑	적정
5	3.0	5.0	남색	고속	5	75.0	100.0	남색	고압
6	5.0	∞	검정	고속	6	100.0	∞	검정	고압

수리해석 결과의 평가를 위하여 유속과 수압을 각기 6단계로 구분하여 rank화 하고 이를 토대로 대안별 석정 수리조건을 만족하는 rank의 전체관로에 대한 비율을 계산하여 수리적 안정성을 나타내는 grade값으로 산정하였다. Grade값의 산정은 수리조건이 매우 안정한 rank를 나타내는 3, 4등급의 경우는 1점을, 열악한 경우인 1, 6등급은 0.1점을, 그리고 그 중간인 2, 5등급은 0.5점을 부여하여 다음식에 의하여 결정하였다.

$$(\text{유속 grade값}) = \{(1 \text{ 또는 } 6\text{등급에 속하는 관로수}) \times 0.1 + (2 \text{ 또는 } 5\text{등급에 속하는 관로수}) \times 0.5 + (3 \text{ 또는 } 4\text{등급에 속하는 관로수}) \times 1.0\} / (\text{총 관로수})$$

$$(\text{수압 grade값}) = \{(1 \text{ 또는 } 6\text{등급에 속하는 절점수}) \times 0.1 + (2 \text{ 또는 } 5\text{등급에 속하는 절점수}) \times 0.5 + (3 \text{ 또는 } 4\text{등급에 속하는 절점수}) \times 1.0\} / (\text{총 절점수})$$

$$(\text{grade 합계}) = (\text{유속 grade값}) + (\text{수압 grade값})$$

위 식에 의하여 산출된 각 관로노선 대안별의 grade합계를 평가하여 각 대안이 가지는 수리적 안정성을 상호 비교함으로써 최적 대안으로서의 우선순위를 결정할 수 있다.

3. 경제성 평가 방법

광역상수도사업에 소요되는 비용은 크게 관로부설과 취수장, 정수장 및 가압장과 같은 수도시설의 건설에 소요되는 건설비와 시설완공 후 관련 시설물의 유지관리에 소요되는 유지관리비의 두가지 항목으로 구분되며, 세부적으로는 건설비의 경우 공사비, 보상비, 관리비 및 기타의 비목을

가지고 있으며 유지관리비의 경우 재료비, 인건비, 경비, 일반관리비 등으로 나뉘어 진다.

이러한 비용을 관로 및 수도시설의 내용년수(또는 분석기간)에 걸쳐 할인률을 고려해 현재의 가치로 수정한 후 모두 합산한 값이 광역상수도의 총 비용이다.

3.1 공사비 산정

공사비는 관로의 공사비와 수도시설(취수장, 정수장, 가압장)의 공사비로 나뉘어 지며, 관로의 공사비는 크게 관자재비와 관부설비로 나눌수 있으며, 관부설 구간에 따라 구분하면 도로구간에 매설할 경우 토지보상비가 들지 않는 대신 관부사비용 및 도로파쇄 및 복구에 드는 비용이 추가되고, 토사구간의 경우 유지관리 도로 비용이 도로구간에 비해 추가된다. 관로 공사비 계산식은 그림 1과 같다.

수도시설 공사비는 삼안 ENG. 발행 "상수도 시설별 개략공사비 산정"(93년 1월 기준)에 의한 수도시설의 용량별 개략공사비 단가 자료들을 회귀분석을 통해 그림 2와 같은 함수식을 구한 후 소비자물가 상승률을 고려하면 수도시설 공사비를 구할수 있다. 그림 3은 정수장 회귀분석식에 대한 산포도 곡선을 보여주고 있다.

○ 관자재 비용

$$Pipecost(\text{원}) = \sum_{i=1}^k \alpha \times L_i \times Mcost$$

여기서, k : 소요 관로 갯수
 α : 전년도 소비자물가 상승률
 L_i : 관로 길이(m)
 Mcost : 관로 단위길이당의 관자재 단가로서 관경 D(mm), 관종류(주철관과 강관)의 함수임.(원/m)

○ 관부설 비용

$$Const\ cost(\text{원}) = \sum_{i=1}^k \alpha \times L_i \times Ccost$$

여기서, Ccost : 관로 단위길이당의 관부설 단가로서 관경(mm), 관종류(주철관과 강관) 및 통과 경로의 토지이용특성(토사구간과 도로구간)의 함수임(원/m)

○ 관로 공사비

$$Total\ cost(\text{원}) = Pipecost + Constcost$$

그림 1 관로 공사비 산정 구조

○ 취수펌프장

H=50m일때 $Y = 80,146.633x^{0.6550}$ ($R^2=0.9879$)
 H=30m일때 $Y = 53,375.288x^{0.6843}$ ($R^2=0.9891$)

○ 침사지

$Y = 4,666.376x^{0.9504}$ ($R^2=0.9927$)

○ 정수장

$Y = 776.276x^{0.7051}$ ($R^2=0.9894$)

○ 가압장

H=50m일때 $Y = 119,832.524x^{0.6844}$ ($R^2=0.9889$)
 H=30m일때 $Y = 112,554.282x^{0.6883}$ ($R^2=0.9889$)

단, Y는 단가(천원) x는 시설용량(천톤/일)
 R^2 는 결정계수(determination coefficient)

그림 2 수도시설의 시설용량별 회귀분석식

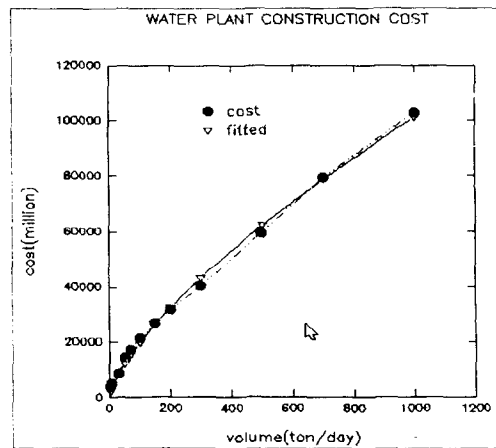


그림 3 정수장의 시설용량별 공사비 분포

3.2 토지보상비 산정

표준지를 기준으로 공시지가를 산정하는 경우, 공공사업의 범위가 넓을수록 다루어야 할 자료가 방대해지고 작업이 복잡해질 뿐만 아니라 각 구역의 토지특성에 따라 개별 공시지가를 산정하여 총토지보상비를 구하는데는 상당한 작업기간이 요구된다. 그러나 토지가격은 행정구역별, 토지이용별로 유사성을 가지므로 그에 대한 확률분석을 통해 추정된 확률지가는 해당 행정구역의 토지이용을 대표하는 토지가격이라 할 수 있다. 그러므로 산정된 확률지가를 이용한다면 보다 능률적인 토지보상비의 산정이 가능하다. 그림 4는 표준지 공시지가의 확률 분포 특성을 분석하기 위한 확률분포모형(probabilistic distribution model)중 Log-Normal 모형을 사용하여 경주시의 토지이용권역별 분석결과(주거지의 경우)를 화상 출력한 것이다. 또한 이러한 지역별, 토지이용상황별 확률지가개념을 사용하기 위한 지역확률지가의 추정절차는 그림 5와 같다.

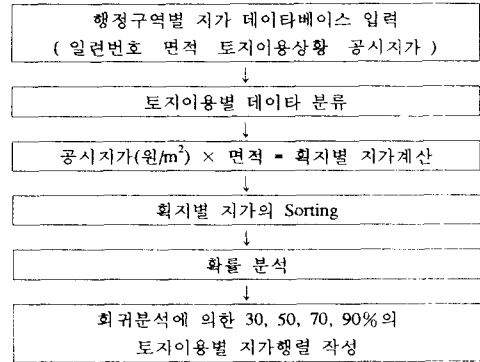
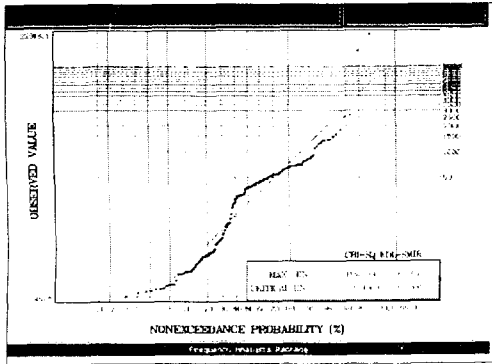


그림 4 표준지공시지가의 확률분포형 검정결과 그림 5 지역별,토지이용상황별 지가행렬 작성과정

3.3 유지관리비 산정

유지관리비는 광역상

표 2 원가배분을 고려한 연간 비용 산정 구조

수도 건설후 유지관리를 위해 소요되는 비용으로 건설비용 못지 않게 큰 부분을 차지한다. 즉 건설당시의 사업비만을 고려해 사후 유지관리 측면을 고려치 않고 관로 및 수도시설을 계획

구 분	배부기준	용수공급별			금 액
		공 동	정 수	침전수	
<input type="checkbox"/> 재료비	물량기준	○	○	○	-원가×용수공급량×365일
- 담원수대	"	○	○	○	-원가×정수공급량×365일
- 약 품 비	"	○	○	○	-원가×정원×1.1(1.1은 본사관리비)
<input type="checkbox"/> 인건비	인원기준	○	○	○	
<input type="checkbox"/> 경비	물량기준	○	○	○	-k ₁ ×시설용량×양정고+k ₂ ×용수공급량×양정고(k ₁ ,k ₂ 는 원가에 따른 계수)
- 전력비	"	○	○	○	-원가×시설용량(천톤/일)
- 수선유지비	자산기준	○	○	○	-원가×정원
- 기타경비	인원기준	○	○	○	
<input type="checkbox"/> 일반관리비	인원기준	○	○	○	-원가×정원×(1+노무비인상률)

하면, 결국 전체적 비용이란 측면에서는 적절하지 못한 시설 계획이 되므로 경제성분석에 필수적 요소로 작용한다. 유지관리비는 그 비용의 특성(원가배부기준)에 따라 연도별 용수공급량을 기준으로 하는 물량기준과 사무소정원 및 취수·정수·가압장 인원을 기준으로 하는 인원기준, 연도별 건설사업비를 기준으로 하는 자산기준으로 나뉘어 지며, 비용산정 방법은 표 2와 같다.

4. 포항권 광역상수도의 관로노선 대안별 수리적, 경제적 우선순위 검토

4.1 기본정보 및 노선선정

포항권 광역상수도의 사업개요는 그림 6과 같으며 본 연구에서는 기존의 도수터널을 이용하는

목표년도 : 2003년 취수원 : 임하댐 및 길안취수보 (영천도수터널 공급량) 시설용량 : 131,200 m ³ /일 급수대상도시 : 포항시, 경주시 일원 (2시 4읍 6면) 시설개요 : 관로 39.38 km (D = 1,500 ~ 600 mm) 터널 5.016 km (D = 2,700mm) 정수장 1개소 (31,900 m ³ /일)

용수 공급노선을 중심으로 대안을 선정하여, 포항권광역상수도사업 기본설계 용역을 수행하고 있는 삼안 ENG. 에서 고려한 2가지의 노선 대안과 본 연구에서 선정한 8가지의 노선 대안 등 총 10가지의 노선 대안을 선정하였다. 이들 노선 대안에서는 자연유하방식의 도·송수방식을 취하여 가압장 설치에 대한 고려없이 수리해석 및

경제성평가를 하였다. 여기에서는 취수장 2개소, 정수장 6개소, 배수지 8개소가 설정되었으며 포항권광역상수도사업 기본설계보고서로 부터 용수수요지의 배수지 규모와 고도정보를 발췌하여 적용하였다. 이중 상위 3개 대안을 선택하여 가압장 설치 여부 및 관경 조정 등의 방법으로 수리적 안정성을 증가시켰으며, 이에 따르는 추가적인 소요비용을 합산하여 경제성을 재차 검토하였다.

4.2 수리해석 및 경제성분석 결과

10개의 대안에 대해 Sapid 2.0을 이용해 수리해석을 한 결과 대안 1이 가장 안정한 것으로 판명되었으며, 이들 대안에 대한 경제성 평가의 우선순위는 대안 4인 것으로 나타났다. 그림 7,8은 대안 2의 유속 및 수압분포를 나타내는 출력결과 이다.

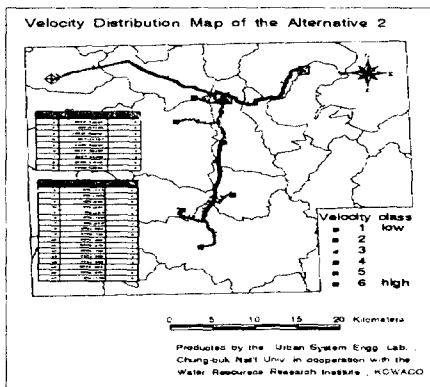


그림 7 대안2의 유속분포의 GUI 출력결과

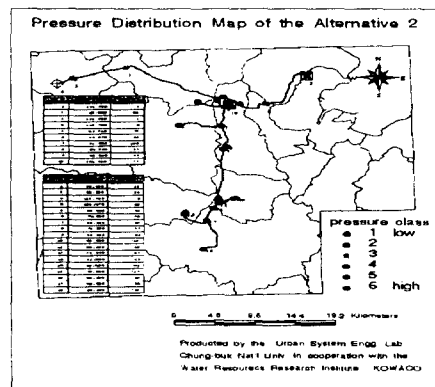


그림 8 대안2의 수압분포의 GUI 출력결과

4.3 수리적 안정성에 대한 보완

수리해석 결과 및 비용분석 결과를 토대로 상위 3개의 관로노선 대안(대안 1, 대안 2, 대안 4)을 선정하여 각각 대안 1-1, 대안 2-1, 그리고 대안 4-1로 명명하고 부압(-)발생 관로에 대해서는 가압장 설치 및 관경축소, 고압 발생구간에 대해서는 관경확대 등을 통하여 시산법을 통해 수리적

으로 안정한 노선을 확보하고자 하였다. 이러한 대안별 수리적조건의 보완내용은 표 3과 같다.

보완결과를 토대로 수리해석과 경제성분석을 한 결과 대안1-1이 수리적 최적 대안으로, 대안 2-1이 경제적 최적대안으로, 대안 4-1은 수리적,경제적으로 열악한 것으로 나타났다. 최초의 분석에서는 비용적인 측면에서 가장 좋은 것으로 나타났던 대안 4가 수리적 열악함을 보완하기위한 추가적인 비용의 소요로 인해 경제적인 측면에서도 열악해 짐을 알 수 있었다.

표 3 상위 3개 대안의 특성 및 수리적조건의 보완내용

대안		ALT 1-1	ALT 2-1	ALT 4-1
특성	수리적,경제적 일반 성향	수리적 우수(1위) 경제적 보통(5위)	수리적 우수(2위) 경제적 우수(2위)	수리적 열악(9위) 경제적 우수(1위)
	부압 발생 구간	없음	1개소 (최대부압 -7.15m)	1개소 (최대부압 -62.05m)
가압 장치	설치위치	천북배수지 분기점 (#15 송수관로상)	천북배수지 분기점 (#12 송수관로상)	정수장 진입점 (#1 도수관로상)
	가압용량	26.3천톤/일	26.3 천톤/일	31.9 천톤/일
치구 간	펌프양정	55 m	35 m	65 m
	펌프동력	315 HP	200 HP	450 HP
	펌프효율	70 %	70 %	70 %
관경 조정 구간	도수관로	-	정수장진입 관로 ; D700 → D900 터널출구부 관로 ; D700 → D900	-
	송수관로	-	-	관경조정 불가능 (∵ 정수장의 수위가 배수지를 보다 훨씬 높음)

5. 결 론

본 연구에서는 포항권광역상수도를 대상으로 10개의 관로노선 대안을 선정하여 모의실험을 수행하였다. 또한 상위 3개의 대안을 선정하여 가압장을 설치하고 관경을 조정하여 수리적 조건을 보완한 경우에 대해서도 검토 하였다. 이상의 수리해석 결과와 경제성 분석 결과로 부터 수리적 최적안으로는 대안 1-1을, 경제적 최적안으로는 대안 2-1을 선정할 수 있었다. 그러나 경제적으로 가장 좋은 대안 일지라도 수리적으로 안정하지 못한 경우

이를 해결하기 위한 추가적인 투자가 이루어져야만 할 것이다. 따라서 광역상수도의 관로를 계획함에 있어 수리적 안정성 및 경제적 타당성을 동시에 고려하여 최적의 노선대안을 선정하는 것이 바람직하며 이를 해결할 수 있는 이론적 근거가 필요하다. 이 부분에 대해서는 다기준 (multi-criteria)에 의한 최적 대안을 판단할 수 있는 기능을 추가할 것이다.

6. 참고문헌

1. Douglas J. Lober, "Resolving the siting Impasse : Modelling Social and Environmental Locational Criteria with a Geographic Information System," J. APA, 61(4), pp482~494. 1995.
2. Goulter, I., "Current and future use of systems analysis in water distribution network design", Civ., Engrg., Systems, 4(4), pp. 175~184. 1987.
3. Schaake, J. and Lai, D., "Linear programming and dynamic programming application of water distribution network design," Rep. 116, MIT Press, Cambridge, Mass. 1969.
4. (주)캐드랜드, Introduction to PC ARC/INFO 3.4D Plus. 1992.
5. (주)캐드랜드, Introduction to Workstation ARC/INFO 7.0. ESRI, ARC/INFO user Manual. 1994.
6. 한국수자원공사, "관로시스템내 해석프로그램, SAPID 2.0 사용자 지침서". 1993.