

참조도 개념을 도입한 광역상수도 시설물 및 노선계획

○ 배명순* · 하성룡** · 안창진***

1. 서론

인구의 도시집중과 산업발전에 따른 생활수준의 향상으로 용수수요량은 지속적으로 증가추세에 있다. 이에 대응하고 지역간의 물 수급균형을 이루기 위한 대책으로 광역상수도를 비롯한 상수도시설에 대한 개발, 규모 확충 및 시설개량의 필요성이 증대하고 있다. 광역상수도는 수원의 개발이 어렵거나 가용 수자원이 충분치 못한 지리적 여건을 가진 지역을 대상으로 할 뿐만 아니라, 용수공급 대상지역이 광범위하게 분포되어 있어 시설물 계획시 방대한 양의 관련된 각종 정보를 필요로 한다. 이로 인하여 지형적인 요소를 바탕으로 상수도 시설물이나 관로노선의 대안을 작성하고 비교·분석하는 과정에서 많은 시간과 비용이 소요된다.

McHarg(1969)는 적지선정에 있어 사회 및 환경·기술적인 요인을 결합시키는 방법으로 공간분석개념을 제안하였다. 최근에는 광범위한 지역에 대한 지형공간 분석을 실현할 수 있는 지리정보시스템(GIS)을 이용한 연구가 활발하게 이루어지고 있다. Congalton(1992) 등은 GIS가 지닌 정보처리의 정확성, 대용량의 정보수용 능력, 공간 분석능력 및 대용량 공간정보의 표현능력 등을 이용하면, McHarg의 공간분석기법을 대폭 개선할 수 있음을 지적하였다. 최근에는 Yagoub(1998) 등에 의하여 적지분석과 관련된 여러 가지 요소들을 수집·분석하여 적지선정을 위한 지식기반(knowledge base)을 구축하고, 이를 GIS와 통합하는 기법이 도입되었다.

한편, 수도시설물 중 정수장의 입지와 관로노선을 선정하기 위한 사회·기술적 요소들의 공간적 특성과 지형의 물리적 특성 요소가 결합된 지식기반 구축이 요구된다. 따라서 McHarg의 공간분석개념이 도입된 정수장의 위치 및 관로노선에 대한 시각적인 정보지원이 가능한 대안 작성 지원시스템의 개발이 필요하다.

본 연구에서는 광역상수도계획에서 계획의 효율성을 증대시키기 위하여, 참조도(reference map)개념을 도입한 수도시설물과 관로노선의 적정입지 선정을 위한 의사결정지원체계의 개발을 목적으로 한다. 본 연구의 범위는 수도시설물 중 취수장, 배수지는 기존의 시설의 위치조건을 전제로 하여 취수장으로부터 정수장에 이르는 도수관로 및 정수장에서 배수지에 이르는 송수관로를 포함한 광역상수도 관로노선에 대한 공간적지분석과 정수장의 적정위치 선정을 지원코자 한다. 사례연구에 대한 대안평가는 정수장 및 관로노선의 입지적정성을 기준으로 실시한다.

2. 적지선정을 위한 공간분석 이론

2.1 의사결정 과정

그림 1은 본 연구가 대상으로 하는 광역상수도 시설물 및 관로노선 적지분석을 위한 의사결정과정의 단계별 필요요소를 나타낸 것이다. 적지분석과 관련된 다양한 데이터를 수집하고, 이로부터 전문가의 지식기반을 기준으로 유용한 정보를 추출한다. 정보간 상호 관계를 분석하고, McHarg의 분석기법을 이용하여 지형공간 정보를 분석함으로써 시설물 및 관로노선 선정을 위한 의사결정정보를 구축한다. 이 의사결정정보는 참조도 형식으로 의사결정자에게 전달된다. 의사결정자는 참조도를 이용하여 다수의 대안을 작성하고, 대안별 비교평가와 경험적 지식을 바탕으로 최종대안을 선택한다.

*충북대학교 공과대학 도시공학과 박사과정
**정희원·충북대학교 공과대학 도시공학과 교수
***정희원·한국수자원공사 수도건설처 부장

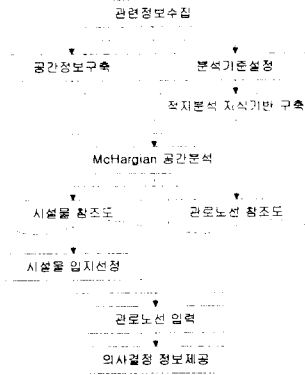


그림 1. 광역상수도 시설물 적지선정 의사결정 과정

2.2 Mcharginian 공간분석 및 참조도 작성

McHarg의 공간분석 개념은 대상지역의 사회, 환경 및 기술적 정보를 일련의 집합체로 간주하고 집합연산 즉, 합집합, 교집합, 여집합의 연산을 수행함으로써 새로운 집합정보를 형성하고, 이 정보들간의 중첩분석(overlay)을 통하여 공간상의 적정 집합을 찾아내는 기법이다. 한편, 적지분석을 위한 기준들이 적정입지 선정에 미치는 영향은 각기 다르게 작용한다. 이러한 차이를 고려하여 적정입지를 분석해야 하는데, 본 연구에서는 각 기준별로 차등 계급값을 부여하여 기준별 계층정보를 구축하고, 작성된 계층정보를 중첩분석한 후 종합계급값을 산정하여 입지가능 후보지를 선정한다. 적정입지에 미치는 영향정도의 차이를 고려하여 종합적인 계급 값을 산출하는 과정은 식 (1)과 같다.

$$\overline{C}_k = \sum_{i=1}^n W_i C_k^i \quad (1)$$

\overline{C}_k : k지점의 종합 계급 값

C_k^i : k지점의 i번째 평가항목의 부여된 계급 값

W_i : 평가항목의 상대적인 비중

n : 평가항목의 수

3. 결과 및 토의

3.1 사례연구 지역

사례연구 지역은 우리나라 동남부의 대표적 산업도시인 경주·포항권역이다. 그림 2는 사례연구지역으로써 면적은 약 1,608.6km²이다. 연구지역의 배수지별 주변고도, 최고수위(H.W.L) 및 용수배분계획은 표 1과 같다 (한국수자원공사, 1996).

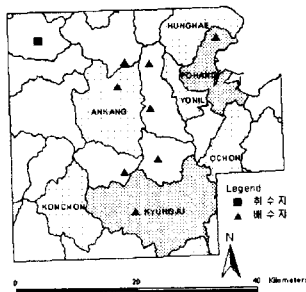


그림 2. 사례연구 지역

표 1. 연구지역 배수지 현황

지역	주변고도 (m)	H.W.L (m)	계획배분량 (m ³ /일)
포항시	-	60.4	99,300
기계면	40-60	95.0	1,700
경주시	-	85.1	23,500
안강읍	20-30	74.0	2,600
강동면1	40-60	80.0	300
강동면2	20-50	75.0	1,000
천북면	40-90	80.0	1,500
현곡면	30-85	75.0	1,300

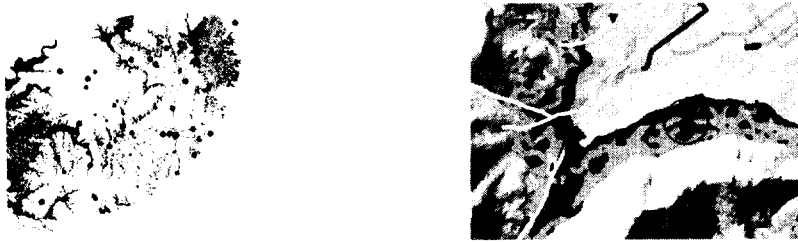
3.2 수도시설물 적지선정기준 및 참조도 작성

수도시설물 중 연구대상으로 하는 정수장의 적정 입지를 선정하기 위한 지형적 범위조건은 ① 취수원을 중심으로 하고 취수원으로부터 가장 먼 배수지와 가장 가까운 배수지의 중간을 반경으로 하는 동심원, ② 가장 먼 배수지를 중심으로 하고 취수원까지의 거리를 반경으로 하는 동심원, ③ 위의 두 조건을 만족하는 공통범위로 적용하였다. 이는 정수장과 취수지 및 배수지의 공간적 배치를 고려하여 관로노선의 건설비용 및 정수장 관리의 효율성을 고려하여 설정하였다. 고도조건은 수도시설 전체의 고도와 손실수두를 고려하여 수리학적으로 무리가 없는 지역을 선정하였다. 대상지역의 취수장 최저수위(L.W.L)는 139.7m이고, 배수지의 고도를 고려하여 정수장의 적정 고도범위를 95m~133m로 설정하였다. 경사조건은 0° ~ 30°를 적지로 하여 10° 간격씩 3등급으로 구분하였으며, 30°를 초과하는 지역은 배제하였다. 등급 값은 가중치와 등급의 곱으로 표현된다. 향 조건은 방위각 45°~270° 사이를 적지로 하여 5개 영역으로 구분하고, 그 외의 지역은 배제하였다. 법적 규제조건은 시설물 및 노선의 입지와 관련한 법적 규제사항으로써 기존 또는 계획 지형지물에 대한 완충영역(buffer)을 표 2와 같이 설정하였다. 완충영역의 종류는 완충영역내의 입지가능성을 나타내는 것으로, 불가(1), 회피(2), 가능(3), 우선(4)의 순을 의미한다. 면적조건은 시설물의 건설 시 필요한 면적으로써 시설용량, 예산 및 지형적 여건에 따라 결정된다. 연구지역의 광역상수도사업계획 보고서에 따르면 2001년 용수수요는 약 633,300m³/일, 시설용량은 536,000m³/일이며, 정수장 시설면적은 150,000m²로 계획하였다. 본 연구에서는 정수장 입지를 위한 최소 면적조건을 동일하게 설정하였다.

표 2. 시설물별 완충영역 공간범위

시 설 항 목	관 로 노 선		정 수 장		비 고		
	Buffering Distance	Buffer종류	Buffering Distance	Buffer종류			
점 형	학교, 우천, 성곽	200 m	1 - 0	400 m	1		
	명승고적, 능묘, 묘지, 절, 교 회	100 m	1 - 0	300 m	1		
	공장, 광산, 목장, 채석장, 높은 탑	50 m	1 - 0	200 m	1		
선 형 시 설 항 목	4차선포장, 고속국도	24 m	3 - 2	30 m	1	buffer경계선 바로 바깥쪽에 관 매설	
	2차선포장	14 m	3 - 2	25 m	1	buffer경계선 바로 바깥쪽에 관 매설	
	2차선비포장	14 m	4 - 2	25 m	3	buffer내부에 관 매설	
	1차선포장/비포장	5 m	4 - 2	20 m	3	buffer내부에 관 매설	
	계획 도로	광로	50 m	2 - 2	50 m	1	
		대로	35 m	2 - 2	35 m	1	
	중로		20 m	2 - 2	20 m	1	
		철도(지하철 포함)	20 m	1 - 1	40 m	1	
하천지천, 용수로	20 m	3 - 2	20 m	2	buffer경계선 바로 바깥쪽에 관 매설		
면 형 시 설 항 목	저수지, 호수	polygon	1 - 0	polygon	1		
	실폭하천(유제방)	polygon	3 - 1	polygon	1	polygon경계선 바로 안쪽에 관 매설	
	실폭하천(무제방)	polygon	2 - 1	polygon	1	polygon경계선 바로 바깥쪽에 관 매설	
	공원(국립,도립,군립), 도시공원, 시설녹지, 유원지	polygon	2 - 0	polygon	1		
	광장	polygon	3 - 0	polygon	1		
	운동장	polygon	1 - 0	polygon	1		
	녹지지역(자연,보존,생산), 풍치지구, 시설보호지구, 시가화조정구역	polygon	3 - 0	polygon	2		
	주거지역,상업지역,공업지역	polygon	1 - 1	polygon	1		
	특정시설제한구역	polygon	3 - 0	polygon	3		
	기타지구	polygon	2 - 0	polygon	1		
	상세계획구역, 개발제한구역, 도시개발예정구역, 토지구획 정리사업, 1단의주택지조성사업 등	polygon	2 - 0	polygon	2		

시설물 및 관로노선 적지선정을 위한 참조도는 식 (1)에서 산출된 \bar{C}_i 에 따른 색으로써 구분하여 표시한다. 시설물적지를 선정하기 위해서는 참조도를 바탕으로 시설용량에 따른 시설물의 면적, 기존도로와의 거리에 따른 접근성을 고려하여 의사결정자의 전문적인 지식을 토대로 대안을 작성한다. 지식기반을 바탕으로 구축된 계층정보를 중첩분석 한 결과, 그림 3(a)와 같은 정수장 적지선정을 위한 참조도가 구축되었다. 정수장 참조도의 종합계급값 구성은 Blue 75.9km²(14.1%), Green 67.5km²(12.5%), Yellow 38.9km²(7.2%), Red 30.5km²(5.7%), White 326.4km²(60.5%) 이다. 여기서 White는 지형적 조건을 만족시키지 못하여 배제된 지역을 나타낸다. 정수장 참조도를 이용하여 의사결정자는 그림 3(b)와 같이 입지 가능지역을 선별·확대하여 적정입지를 선택한다. 그림에서 원은 정수장의 계획면적을 만족하는 크기의 원이다.



(a) 정수장 참조도 (b) 정수장 적정입지 선정 예
그림 3. 정수장 적지분석을 위한 참조도 및 적지분석 예

3.3 관로노선 입지분석을 위한 지식기반 및 참조도 작성

관로노선의 적지분석을 위한 기준은 표 2와 같다. 선형 시설물 중에서 4차선포장, 고속국도, 2차선포장 등은 관로 매설시 공사의 용이성을 위하여 완충영역 경계선 바로 바깥쪽에 관을 매설하는 것이 바람직하며, 2차선 비포장, 1차선포장 및 비포장 등은 경계선 내부에 매설하는 것이 바람직하다. Buffer종류는 관로의 병진 및 횡단에 대하여 불가, 회피, 가능 및 우선으로 구분한 것이며, 이에 대한 참조도의 색깔은 표 3과 같이 설정하였다.

표 3. 관로노선 완충영역 분류기준 및 구분

병진	횡단	Buffer 종류(색깔)		
1 불가	0 없음	1-0(red)	2-2(yellow)	4-2(blue)
2 회피	1 회피	1-1(red)	3-0(green)	
3 가능	2 가능	2-0(yellow)	3-1(green)	
4 우선		2-1(yellow)	3-2(green)	



(a) 관로노선 참조도 (b) 적정 관로노선 입력 예
그림 4. 관로노선 적지분석을 위한 참조도 및 적지분석 예

그림 4(a)는 표 2와 표 3을 기준으로 하여 작성한 관로노선 참조도이며, 경주 및 포항시의 경우는 향후 도시계획과 관련하여 도시계획도를 적용하였다. 관로노선은 취수장으로부터 정수장까지의 도수관로와 정수장에서 각 배수지까지의 송수관로로 구분하였다. 관로노선 참조도에 대한 종합계급값 구성은 Blue 7.6km²(0.5%),

Green 311.7km(19.4%), Yellow 137.5km(8.5%), Red 112.6km(7.0%), White 1039.2km(64.6%) 이다. 여기서 White는 터널, 농경지, 나대지, 야산 등으로서 통과 가능지역으로 분류할 수 있다. 관로노선을 입력할 때 노선의 동수경사를 고려하기 위해 그림 4(b)와 같이 3차원 지형도에 참조도와 등고선을 함께 출력하였다. 의사결정자에게 화면에 참조도의 결과가 등급 색으로 구분된 영역으로 출력되고, 그 위에 등고선이 겹쳐짐으로써 관로노선이 지나야 할 공간의 수리적 적정성 정보가 제공된다.

의사결정자는 그림 4(b)를 참조하여 경험과 전문적 지식을 배경으로 한 관로노선을 시스템에 설치된 입력기구(마우스 등)를 이용하여 입력하게 된다. 입력된 노선은 화면에 실시간으로 출력되고, 이미 작성된 노선의 보완·수정을 반복적으로 행함으로써 노선 대안을 작성하였다.

3.4 정수장 및 노선 대안작성 및 평가

분석결과 참조도를 이용하여 3곳의 정수장과 이에 대응하는 관로노선으로 이루어지는 대안을 작성할 수 있었다. 그림 5는 대안별 정수장과 관로노선을 나타낸다. 정수장 대안별 평균고도는 각각 114m, 120m, 100m, 평균경사는 7.5°, 5.7°, 2.8°로써 대안 3이 평균경사가 가장 양호한 것으로 나타났다.

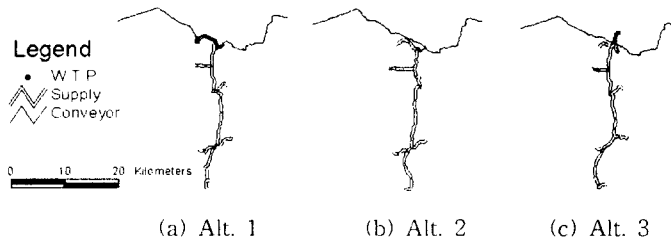


그림 5. 정수장 및 관로노선 대안

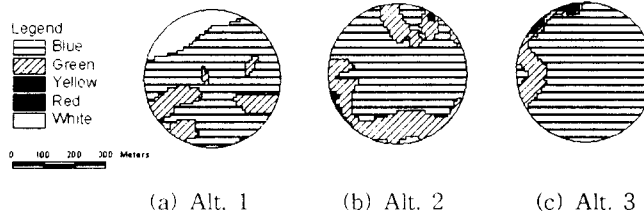


그림 6. 대안별 정수장 입지의 등급분석

그림 6은 대안별 정수장의 \bar{C}_i 의 분포를 나타낸다. White는 고도 및 경사조건을 만족시키지 못하여 배제된 지역으로써 공사시 절토 및 성토가 요구되는 지역이라 할 수 있다. 따라서, 대안 1은 대안 2 및 대안 3에 비하여 바람직하지 않음을 알 수 있다. 대안별 비교평가를 위한 \bar{C}_i 의 색깔별 가중치 W_i 는 Blue($i=1$) 0.36, Green($i=2$) 0.28, White($i=3$) 0.20, Yellow($i=4$) 0.12, Red($i=5$) 0.04로 설정하였다. 표 4는 정수장 및 관로노선 대안에 대하여 상대적인 입지 적정성을 비교·평가한 것이다. 표 4에서 시설물 k 의 \bar{C}_i 등급 i 에 대한 규모를 L_i^k 라 하면, 등급별 상대적 규모는 r_i^k 와 같다. r_i^k 는 자기 다른 시설물에 대한 비교평가를 위하여 각 등급별 규모를 전체 규모로 나누어 무차원화 한 값이다. 또한, 각 등급별 규모에 가중치 W_i 를 곱하여 등급별 상대적인 크기 R_i^k , 대안별 비교평가를 위하여 등급별 상대적 규모의 합인 SR_i^k 를 산출하였다.

분석결과 관로노선 중 송수는 모든 대안에 대하여 불가지역이 많이 나타났는데, 주로 도심지역의 도로를 병진할 때 나타난 것이다. 그 원인은 지형정보 해상력의 한계로 인하여 주거지역 및 상업지역 내에 있는 도로가 적절히 고려되지 못하였고, 시가지역을 통과할 때 지하매설이 고려되지 않았기 때문으로 사료된다. 도수의 경우는 대안 모두가 비슷한 분포를 나타냈으며, 송수의 경우는 대안 3이 통과 가능지역은 가장 많은 분포를 나타냈다. 시설물별 평가기준인 R_i^k 의 분석결과 정수장의 경우 대안 3이 가장 적절하였고, 도수는 대안1, 송수는 대안 3이 가장 적절한 것으로 나타났다. 대안의 종합평가 기준인 SR_i^k 는 대안 3이 0.822로서 가장 적합한 대안으로 선정되었다.

표 4. 대안별 입지적정성 비교평가

대안	시설(k)	규모 (S ^k)*	등급별 규모(L ^k)*					등급별 상대규모(r _i ^k = L ^k /S ^k)					R ^k **	SR ^k ***	
			Blue	Green	White	Yellow	Red	Blue	Green	White	Yellow	Red			
Alt.1	정수장	150,000	105,162	24,402	20,436	0	0	0.7011	0.1627	0.1362	0	0	0.325	0.249	0.795
	도수	39,462	8,491	7,517	23,372	0	82	0.2152	0.1905	0.5923	0	0.0021	0.249		
	송수	49,162	666	19,584	20,893	7,524	495	0.0135	0.3984	0.4250	0.1530	0.0101	0.220		
Alt.2	정수장	150,000	101,820	44,908	1,790	1,482	0	0.6788	0.2994	0.0119	0.0099	0	0.332	0.246	0.798
	도수	38,865	5,361	11,877	21,530	18	79	0.1379	0.3056	0.5540	0.0005	0.0020	0.246		
	송수	45,419	1,857	16,805	18,318	8,010	429	0.0409	0.3700	0.4033	0.1764	0.0094	0.221		
Alt.3	정수장	150,000	132,606	14,042	3,356	0	0	0.8840	0.0936	0.0224	0	0	0.349	0.241	0.822
	도수	38,965	4,920	10,565	23,375	12	93	0.1263	0.2711	0.5999	0.0003	0.0024	0.241		
	송수	48,386	1,261	19,232	25,353	2,270	270	0.0261	0.3975	0.5240	0.0469	0.0056	0.231		

*단위: 정수장 m², 관로노선(도수·송수) m (k = 시설물의 종류)

$$** R^k = \sum_{i=1}^5 (r_i^k \cdot W_i)$$

$$*** SR^k = \sum_{k=1}^3 R^k$$

4. 결론

본 연구에서는 광역상수도계획에 있어서 요구되는 시설물과 관로노선의 적지를 선정하기 위하여 참조도 개념을 도입한 의사결정체계를 구축하였다. 이를 위하여 상수도계획과 관련된 다양한 정보를 정량화 하였고, 관련정보를 분석하여 시스템 구현을 위한 지식기반을 구축하였다. GIS를 이용하여 지식기반과 공간분석 기법을 연계시킴으로써 시설물 및 관로노선 적지선정을 위한 참조도 작성방법을 제시하였다. 수자원공사의 경주·포항 광역상수도 계획지역에 대한 사례연구결과 정수장과 관로노선에 대하여 3개의 대안을 작성하였고, 지식기반을 바탕으로 대안별 상대적 입지적정성을 평가하였다.

본 연구에서 제시한 참조도를 이용한 의사결정체계를 상수도계획 실무에 적용하기 위해서는 시설물의 적정입지뿐만 아니라, 관로의 수리적 안정성 및 배수지와와의 관계, 관로 길이 및 환경에 대한 수리·경제적 평가, 관로 경로에 따른 토지보상비 등에 대한 종합적인 검토가 요구된다. 이러한 후속 연구와 인공위성 및 항공측량 등에 의한 보다 신뢰성 있는 지형정보가 확보된다면, 광역상수도계획에 있어서의 적용 가능성은 매우 높을 것으로 사료된다.

5. 참고문헌

- 한국수자원공사(1996) 상수도계획을 위한 의사결정지원시스템 연구: 관로계획을 중심으로, 수자원연구소, 연구보고서, WRII-WS-96-1.
- Congalton, Russel, G., and Kass G. (1992) The ABCs of GIS: An Introduction to Geographic Information Systems. *J. Forestry*, Vol. 90. No. 11. pp. 13-20.
- McHarg, I. (1969) *Design with Nature*. The Natural History Press, Garden city, N.Y.
- Yagoub, M.M. and Taher B. (1998) GIS Applications for Dumping Site Selection. *18th ESRI International User Conference*, ESRI, pp. 27-31.