

# AHP를 이용한 강변여과수 개발지역 선정

## Site Assessment for Bank Filtration Using Analytic Hierarchy Process

심성보\*, 김병찬\*\*, 이상일\*\*\*

Sung Bo Shim, Byeong Chan Kim, Sang Il Lee

### 요 지

물부족 현상은 심각한 사회적 문제로 대두되고 있으며, 이를 대처하기 위한 방안으로 지표수-지하수 연계 이용에 대한 연구가 진행되고 있다. 지표수와 지하수를 연계이용 하는 방안 중 강변여과수는 강변에 분포되어 있는 충적층에 강물을 통과시켜 취수하는 것으로 수질과 수량을 동시에 해결할 수 있다고 알려져 있다. 최적의 강변여과수 취수지점을 선정하기 위한 첫 단계로 어느 지역이 적합한 지 그 여부를 판단할 필요가 있으며, 경우에 따라서는 복수 지역의 우선 순위를 결정하는 것이 요구될 때도 있다. 본 연구에서는 강변여과수 개발지역 적지분석을 위해 복잡한 의사결정 문제를 계층적으로 나누어 분석하는 기법인 계층분석과정(AHP)을 이용하였고, 분석에 필요한 의사결정인자를 도출하였다. 그리고 각 인자의 상대적 중요도를 정량화한 후, 이를 바탕으로 강변여과수 개발을 위한 적지를 산정하였다.

**핵심용어** : 물부족, 강변여과수, 계층분석과정, 적지분석, 지표수-지하수 연계이용

## 1. 서 론

우리나라는 용수 공급량은 한정적인데 비해 소비량은 지속적으로 증가하여 2006년에 1억 m<sup>3</sup>, 2011년에는 18억 m<sup>3</sup>의 물부족이 예상된다. 물부족 현상은 사회 전 분야에 걸쳐 심각한 문제로 대두되고 있으며 장래 물부족에 대처하기 위한 연구가 활발히 진행되고 있다. 그 중 강변여과수는 외국에 비해 아직까지 체계적인 사례가 거의 없고, 관련기술도 미약한 실정이다. 강변여과수 개발을 위해서는 먼저 어느 지역을 선택할 것인지를 판단해야 하며, 때로는 여러 후보지역을 선정하여 그 중 최적지를 도출하는 것이 필요하다. 본 연구에서는 강변여과수 개발지역 산정을 위한 적지분석에 Saaty(1977)가 개발한 계층분석과정(Analytic Hierarchy Process, AHP)을 이용하였다. 계층분석과정은 복잡한 의사결정 문제를 계층적으로 나누어 분석하는 기법으로 의사결정의 전과정을 다단계로 나눈 후, 이를 단계별로 분석·해결함으로써 최종적인 의사결정에 이르는 방법이다. 국내에서는 계층분석과정을 지하댐 적지분석에 사용된 예가 있다(이상일과 김병찬, 2003).

## 2. 강변여과수

강변여과수는 하천 표류수가 장기간 동안 강변의 하상 바닥 또는 측면으로 침투되어 토양의 자

\* 정회원 · 동국대학교 토목환경공학과 공학석사 · E-mail : s21civil@dreamwiz.com

\*\* 정회원 · 동국대학교 토목환경공학과 Post-Doc. · E-mail : bckim777@dgu.ac.kr

\*\*\* 정회원 · 동국대학교 토목환경공학과 부교수 · E-mail : islee@dgu.ac.kr

정능력에 의하여 오염물질이 여과·제거된 물을 취수하는 방법이다. 또한 오염된 하천 표류수를 직접 취수하는데 따른 정수처리문제 및 하천 수질오염사고의 취약성 등을 개선하기 위한 간접 취수방법이다. 취수방식은 강변 둔치(고수부지)에 깊이 20~40m 정도의 취수정을 설치하여 물을 취수하는 취수정 방식과 표류수를 취수하여 인공적으로 만든 호소, 함양분지의 지층(대수층)에 침투시켜 지층의 자정능력에 의하여 오염물질이 여과·제거된 물을 다시 취수하여 상수원수로 사용하는 인공함양 방식이 있다. 그림 1은 강변여과수의 개념도이다.

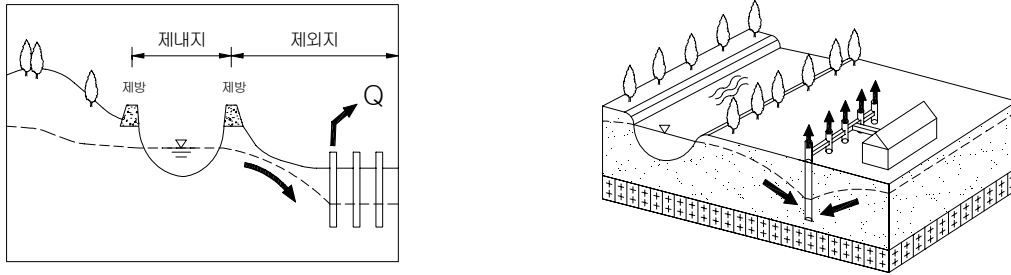


그림 1. 강변여과수의 개념도

강변여과수에 대한 외국의 사례를 살펴보면, 주로 유럽의 라인강 및 세느강변 국가에서 개발·이용되어져 왔으며 독일, 프랑스, 네덜란드 등지에서 강변여과 및 인공함양방식으로 취수하여 공급되어져 왔다. 또한 북미지역에서도 크고 작은 강변여과수 개발사례를 찾을 수 있다.

국내에서 강변여과수를 도입하기 시작한 것은 1990년대 중반부터이다. 초기에 타당성 조사를 위해 설치된 지역은 미호천, 금강, 낙동강 유역의 이릉, 용산 지구 등이 있으며, 실제 적용된 지역은 낙동강의 북면(하천지구), 갈전리(갈전지구)이다.

### 3. 적지분석

강변여과수 개발지역의 적지선정을 위해 입지선정인자를 크게 수리지질학적 조건, 생활환경조

표 1. 강변여과수 이용사례(국외)

구 분	정수장/지역	취 수 방 식	취수량(m <sup>3</sup> /일)	비 고
독 일	뒤셀도르프 정수장	취수정식(70정) 특수집수정(18정)	33,600 324,600	라인강둑으로부터 50~250m 이격
	테겔 정수장	취수정식 (1,200개 심정)	370,000	테겔호(강변)에서 60m 이격
오스트리아	비엔나 정수장	특수집수정	40,000	시험시설
프랑스	Le Pecq-Croissy 정수장	취수정식+인공함양	320,000	세느강 취수
네덜란드	암스테르담 정수장	취수정식+인공함양	250,000	라인강 지류 레크(Lek)강 취수
슬로베니아	마리보르	수직정호(13정)	64,800	드라마강 취수
헝가리	부다페스트	수직, 수평정호(280정)	299,800	다뉴브강 취수
미국	신시네티,	수직, 수평정호(10정)	151,200	그레이트 마이애미강 취수
	새크라멘토	수평정호(1정)	37,800	새크라멘토강 취수

표 2. 강변여과수 이용사례(국내)

비 고	타당성 조사 지역				실제 적용 지역	
	미호천	금강	낙동강 이룡지구	낙동강 용산지구	낙동강 하천지구	낙동강 갈전지구
위 치	연기군 남면	부여군 부여읍	함안군 칠서면	김해시 상동면	창원시 북면	창원시 대산면
사업기간	94.10~95.3	96.2~96.12	97.6~98.12	96~99.2	99.11~	98.3~
취수시설	-	-	관정 5개소 Ø250mm H=40m	관정 6개소 Ø250mm H=39~45m	취수정 2개 Ø400mm H=40m	취수정 2개 Ø400mm H=40m
취수량	-	-	5,000m <sup>3</sup> /일	5,000m <sup>3</sup> /일	9,700m <sup>3</sup> /일	7,200m <sup>3</sup> /일

건, 사회경제조건 측면으로 구분하고 표 3과 같이 총 4단계로 세분화하였다. 여기서 괄호안의 숫자는 상대적 중요도로서, 이를 산정하기 위해 각 인자들간의 선호도를 계량화된 수치로 표현하기 위한 척도, 즉 Saaty가 제안한 쌍대비교(pairwise comparison)를 사용하였다(Saaty, 1999). 쌍대비교시 인자들간의 척도가 논리적 일관성이 있는지를 판단하는 일관성비율(CR)은 모든 항목들이 기준치 내에 존재하여 상대적 중요도의 산정은 신뢰할 수 있는 것으로 판단되었다.

어느 지역이 강변여과수 개발지역에 적합한지를 정량화 한 것이 적합도(Suitability Index, SI)이다. 여러 지역을 조사하여 가장 적지의 후보지를 선택하려 한다면, 적합도는 다른 지역과의 비교자료가 된다. 적합도의 산정식은 분석유형에 따라 다양하지만, 계층조직이 총 4단계로 구성될 경우다음의 식이 한 예가 될 수 있다.

$$SI = \sum_i^{N_1} PV_i^1 \cdot \sum_j^{N_{2i}} [PV_{i,j}^2 \cdot \sum_k^{N_{3j}} (PV_{i,j,k}^3 \cdot PV_{i,j,k,l}^4)] \quad (1)$$

여기에서  $PV$ 는 일관성비율 테스트를 거쳐 확정된 상대적 가중치,  $N_1$ 은 Level 1의 요소의 수,  $PV_i^1$ 은 Level 1의 요소  $i$ 에 해당하는  $PV$ ,  $N_{2i}$ 는 Level 1의 요소  $i$ 와 직접 연결되는 Level 2의 요소의 수 등이다.

#### 4. 적용

강변여과수 개발을 위한 적합한 지역을 선정하는 것은 최대한 객관적이고 정량화된 방법에 의거하는 것이 바람직하다. 계층분석과정은 강변여과수 개발에 관련된 인자를 바탕으로 정량적 분석을 통해 후보지역의 적합도를 판단한다. 본 연구에서는 상습적인 오염물 침입으로 인해 양질의 수자원 확보에 어려움을 겪고 있는 낙동강 하류 경남지역에 안전한 용수공급을 위하여 강변여과수 개발 유망지역 4곳(함안 칠서, 김해 상동, 창녕 남지, 양산 물금)을 대상으로 적지분석을 수행하였다. 각 후보지역의 입지선정인자들은 표 4에 나타내었다.

각 후보지역별 적합도를 식 (1)을 이용하여 산정한 결과, 물금지구(0.445), 용산지구(0.400), 이룡지구(0.399), 월하지구(0.390)의 순으로 나타나 계층분석과정을 통한 적지선정에서 양산 물금지구

가 강변여과수 개발지역에 가장 유리한 것으로 분석되었다.

표 3. 적지분석을 위한 계층도 및 상대적 중요도

단계1	단계2	단계3	단계4
수리지질학적 조건 (0.500)	지질 (0.333)	대수층두께 (0.264)	• 0~15m(0.106)    • 15~30m(0.261) • 30m 이상(0.633)
		투수계수 (0.091)	• $10^{-9}$ ~ $10^{-6}$ cm/s (0.083) • $10^{-6}$ ~ $10^{-3}$ cm/s (0.193) • $10^{-3}$ cm/s 이상 (0.724)
		개발가능량 (0.361)	• 5만 $m^3$ /일 이하 (0.083) • 5~10만 $m^3$ /일 (0.193) • 10만 $m^3$ /일 이상 (0.724)
		하도변경가능성 (0.284)	• 높음(0.096)    • 중간(0.251) • 거의 없음(0.653)
	수질 (0.667)	철 (0.125)	• 불리(0.096)    • 보통(0.251)    • 양호(0.653)
		망간 (0.125)	• 불리(0.096)    • 보통(0.251)    • 양호(0.653)
		질산성질소 (0.375)	• 불리(0.096)    • 보통(0.251)    • 양호(0.653)
		암모니아성질소 (0.375)	• 불리(0.096)    • 보통(0.251)    • 양호(0.653)
생활환경조건 (0.250)	물부족 (0.250)	2011년 용수부족률 (0.750)	• 상(0.669)    • 중(0.243)    • 하(0.088)
		갈수시 유하량 (0.250)	• 40 $m^3$ /s 이하 (0.110)    • 40~45 $m^3$ /s (0.309) • 45 $m^3$ /s 이상 (0.581)
	오염 (0.750)	지표수수질 (0.750)	• 1급수 (0.100)    • 2~3급수 (0.300) • 4~5급수 (0.600)
		오염원분포 및 배출량 (0.250)	• 600 $m^3$ /일 이상 (0.653) • 300~600 $m^3$ /일 (0.251) • 300 $m^3$ /일 이하 (0.096)
사회경제조건 (0.250)	비용 (0.667)	부지확보 (0.069)	• 0~1 $km^2$ (0.085)    • 1~2 $km^2$ (0.213) • 2 $km^2$ 이상 (0.701)
		배후지 가옥현황 (0.193)	• 0~1,000세대 (0.653) • 1,000~10,000세대 (0.251) • 10,000세대 이상 (0.096)
		소요사업비 (0.193)	• 1,000억원 이상 (0.096) • 100억원~1,000억원 (0.251) • 100억원 이하 (0.653)
		용수단가(원/ l) (0.544)	• 700원 이하 (0.701) • 700원~1,000원 (0.213) • 1,000원 이상 (0.085)
	이수 (0.333)	기존시설연계성 (0.648)	• 없음 (0.079)    • 불리 (0.262) • 보통 (0.312)    • 유리 (0.346)
		수요지와거리 (0.230)	• 불리(0.106)    • 보통(0.261)    • 유리(0.633)
		시설물 설치조건 (0.122)	• 300m 이하 (0.088)    • 300~600m (0.243) • 600m 이상 (0.669)

## 5. 결론

본 연구에서는 상습적인 오염물 유입으로 인한 취수의 불안정 요인을 내포하고 있는 낙동강 하류지역에 안정된 용수공급의 기반을 마련하는 방법 중 하나인 강변여과수 적지선정에 대한 방법론을 개발하였다. 이를 위해 국내외의 강변여과수 사례를 조사함으로써 적지선정을 위해 확보되어야 할 인자들을 도출·분석하였고, 어느 지역이 강변여과수 개발에 적합한지를 판단하는데 계층분

표 4. 후보지역의 입지선정인자

적지분석인자	강변여과수			
	함안 칠서 (이룡지구)	김해 상도 (용산지구)	창녕 남지 (월하지구)	양산 물금 (물금지구)
대수층 두께(m)	27.50	23.35	37.45	25.60
투수계수(cm/s)	$8.6 \times 10^{-2}$	$0.9 \times 10^{-2}$	$4.5 \times 10^{-2}$	$8.9 \times 10^{-3}$
개발가능량(m <sup>3</sup> /일)	75,000	60,000	75,000	135,000
하도변경 가능성	하	상	중	중
철	양호	양호	양호	양호
망간	양호	양호	양호	양호
질산성질소	양호	양호	양호	양호
암모니아성질소	불리	양호	양호	보통
2011년 용수부족률	보통	보통	보통	보통
갈수시 유하량(m <sup>3</sup> /s)	42	45	37	45
지표수 수질	4~5급수	2~3급수	4~5급수	2~3급수
오염원분포 및 배출량(m <sup>3</sup> /일)	344	130	204	3,669
부지확보가능면적(km <sup>2</sup> )	1.3	0.4	2.7	2.4
배후지 가옥 현황(세대)	1,679	60	4,065	29,029
소요사업비(백만원)	40,180	47,922	15,931	205,721
용수단가(원/ l)	536	799	1,517	536
기존시설 연계성	칠서정수장	매리취수장	없음	물금취수장
수요지와 거리	유리	유리	불리	유리
시설물 설치조건/고수부지폭(m)	550	200	700	800

석과정 기법을 도입하였다. 4개의 지역에 적용하여 본 결과, 비교적 간단한 계산과정으로 합리적인 적합도 산정이 가능하였으며, 개발된 방법은 지역간 강변여과수 개발 우선 순위를 평가하는 데에 유용하게 쓰일 수 있을 것으로 판단된다.

### 감 사 의 글

본 연구는 21세기 프론티어연구개발사업인 수자원의 지속적 확보기술개발사업단의 연구비지원(과제번호: 3-4-1)에 의해 수행되었습니다.

### 참 고 문 헌

1. Saaty, T. L. (1977). "A Scaling Method for Priorities in Hierarchical Structures." *Journal of Mathematical Psychology*, 15, pp. 234-281.
2. Saaty, T. L. (1999). "The Seven Pillars of the Analytic Hierarchy Process." *5th International Symposium on the Analytic Hierarchy Process, Kobe, Japan*.
3. 이상일, 김병찬 (2003). "계층분석 과정을 이용한 지하댐 적지분석." 한국지하수토양환경학회지, 한국지하수토양환경학회, Vol. 8, No. 4, pp. 36-44.