

# 다기준 의사결정기법을 이용한 대안평가지수 개발

## Development of Alternative Evaluation Index Using Multicriteria Decision Making Techniques

정은성\* / 이길성\*\* / 박경신\*\*\*

Chung, Eun-Sung / Lee, Kil Seong / Park, Kyung-Shin

### Abstract

The alternative evaluation index (AEI) is developed and applied to determine the priorities of some options for integrated watershed management. Based on the results of continuous simulation model, AEIs of some feasible alternatives are calculated using multicriteria decision making techniques and sustainability evaluation model, DPSIR (Drivers-Pressure-State-Impact-Response).

**keywords** : Alternative evaluation index (AEI), DPSIR, Integrated watershed management, Multicriteria decision making technique

### 요 지

본 연구는 유역통합관리를 위한 대안들의 우선순위를 다양한 요소를 객관적으로 고려하여 산정하기 위해 대안평가지수(alternative evaluation index, AEI)를 개발하였고 이를 적용하였다. 이를 위해 물순환 건전화를 위한 다양한 대안들에 대한 연속유출 모의모형의 효과분석 결과, 다기준 의사결정 기법과 지속가능성 평가모형인 DPSIR (Drivers-Pressure-State-Impact-Response)을 이용하여 대안의 평가지수 및 순위를 산정하였다.

**핵심용어** : 대안평가지수(AEI), DPSIR, 유역통합관리, 다기준 의사결정 기법

### 1. 서 론

다양한 대안 중 어떤 대안을 선택하느냐 하는 것은 의사결정자의 견해와 상황에 따라 달라질 수 있는 문제이다. 예를 들어 건기의 수량 확보를 위한 대안 중 효과를 평가하기 위한 기준으로 갈수량(drought flow,

$Q_{355}$ )이나 저수량(low flow,  $Q_{275}$ ) 또는 건기의 총 유출량 등이 다양하게 선택될 수 있다. 또한 같은 유역 내의 대안끼리 비교하는 경우와 다른 유역에 적용하는 대안끼리 비교하는 경우는 접근 방법이 전혀 다르다. 전자의 경우에는 단순히 가격대비 효과를 비교하면 되지만 후자의 경우는 유역의 상대적 위험도를 감안한 평가가

\* 서울대학교 공학연구소 선임연구원  
Post Doctor Researcher, Engineering Research Institute, Seoul National Univ., Seoul 151-742, Korea  
(e-mail: cool77@snu.ac.kr)  
\*\* 서울대학교 공과대학 건설환경공학부 교수  
Professor, Dept. of Civil & Environmental Engrg., Seoul National Univ., Seoul 151-744, Korea  
(e-mail: kilselee@snu.ac.kr)  
\*\*\* 서울대학교 공과대학 건설환경공학부 석사과정  
MS Student, Dept. of Civil & Environmental Engrg., Seoul National Univ., Seoul 151-742, Korea  
(e-mail: diplomacool@hotmail.com)

이루어져야 하기 때문이다. 또한 대안들은 평가관점에 따라 전혀 다른 효과를 보인다. 예를 들어 지하수 용출수의 활용은 건기의 수량확보에만 효과가 있는데 반해 소규모 저수지 건설은 건기의 수량확보 뿐만 아니라 홍수시 홍수분담 효과까지 있으므로 서로 다른 효과를 정량적으로 비교하는 것은 쉽지 않다.

국내의 경우 고석구 등(1992)이 ELECTRE와 타협계획법(compromise programming)을 이용하여 충주댐을 대상으로 다목적댐의 운영률을 평가하였다. 광승준 등(2003)은 다목적댐과 같은 대규모 국책사업의 경우 의견수렴과정의 전문가나 일반시민을 대상으로 하고 있어 지역주민의 의견수렴은 상대적으로 미흡하다고 지적하고 환경, 경제 및 사회문화적 영향에 대한 평가를 위해 fuzzy 다기준 의사결정해석법을 적용하였다. 김우구 등(2006)은 설문조사 결과를 바탕으로 ELECTRE-I, ELECTRE-II, 타협계획법 등의 다기준 의사결정분석(Multi-Criteria Decision Making, MCDM) 기법을 사용하여 댐사업의 투자우선순위를 제시한 바 있다.

국외의 경우 국내에 비해 오래전부터 MCDM을 이용한 지속가능한 수자원 관리 계획을 수립하기 위한 연구가 계속되었다. Gershon et al.(1982)은 ELECTRE와 정량적, 정성적 목적이 존재하는 대안의 순위결정기법을 결합시켰고, Hartmann et al.(1987)과 Torno et al.(1988)은 수자원 개발에 대한 통합적인 환경적 평가를 위한 지침서와 적용방법을 제시하였다. 수자원 사업들은 근본적으로 사회과학적 측면과 환경적 측면을 모두 고려해야 하므로 다기준 의사결정기법의 하나인 복합계획법(composite programming; Bardossy and Bogardi, 1983)을 이용하여 다양한 측면의 효과를 모두 고려하여 정량적으로 비교검토가 가능하도록 하였다. Lee et al.(1991)은 처리장 선택문제에서 퍼지집합이론(fuzzy set theory)과 복합계획법을 사용하여 다양한 정보의 불확실성까지 고려하여 제시하였다. Raju et al.(2000)은 스페인의 농업지역에 지속가능한 수자원 계획을 수립하기 위해 다기준 의사결정기법을 사용하였는데 비용과 환경적인 측면, 사회적인 측면까지 감안하여 PROMETHEE-2, EXPROM-2, ELECTRE-3, ELECTRE-4, 복합계획법을 이용하여 대안들의 우선순위를 제시하였다. Ganoulis(2003)는 지중해 지역에서 기술과 경제성, 폐수 재이용의 환경과 사회적 영향을 고려하여 지속가능한 폐수 재이용을 위한 평가기법을 제시하고 처리기법과 저류기술에 기초한 대안 전략을 ELECTRE-III, IV, 타협계획법 등을 이용하여 평가하였으며 Seo et al.(2003)은 토양오염 관리 시스템에서 우수한 대안을 선정하기 위해 불확실한 정보, 모호성, 갈등 등의 요소

를 포함시키기 위해 퍼지 집합이론과 계층화분석과정(Analytic Hierarchy Process, AHP) 방법을 사용하였다. Cai et al.(2004)은 수자원 계획에서 갈등해소를 위해 컴퓨터 모형과 다목적 분석법을 사용하여 그룹의사결정기법을 제시하였다. Srdjevic et al.(2004)은 물관리를 위한 시나리오에 대해 다음과 같은 객관적인 다기준 의사결정 평가 방법을 제안하였다: (1) 다년도 시스템의 운영모의, (2) 공급 신뢰성(reliability), 회복성(resiliency), 취약성(vulnerability)과 같은 지표를 이용하여 시·공간적 시스템의 성능 연산, (3) 공정한 엔트로피 기반의 가중치, (4) 다기준 분석법을 이용한 시나리오의 최종순위 결정. 다기준 의사결정 기법은 TOPSIS(Hwang and Yoon, 1981)라는 이상점 거리 방법을 사용하였으며 이를 저수지 시스템의 운영에 적용하였다. Sánchez et al.(2005)은 퍼지 집합이론과 AHP 방법을 이용하여 정량적인 자료와 정성적인 자료를 모두 사용하여 대안의 가치평가를 수행하였다. Abrishamchi et al.(2005)은 도시지역의 상수도 공급을 위해 복합계획법을 사용하여 다양한 조건을 만족하는 대안을 산정하였다. Yurdusev and O'connell(2005a, b)은 ENRES(ENvironmentally sensitive water RESources planning)라는 환경적으로 민감한 수자원계획 모형을 개발하여 이를 적용하였다. 대안의 선택을 위해 다기준 의사결정기법인 복합계획법을 사용하여 환경비용을 감안하여 평가를 수행하였다. Elshorbagy(2006)은 세 개의 다른 토지피복에 대해 일곱 개의 선정기준에 맞추어 Additive Value Function과 ELECTRE II 방법을 사용하여 평가우선순위를 산정하였다.

대부분의 연구에서 의사결정을 하는데 지속가능성 개념을 반영하여 평가기준을 사용하거나 다기준 의사결정기법을 사용하여 다양한 관리 목적을 동시에 반영하였지만 대안의 효과분석을 컴퓨터 시뮬레이션 모형을 사용하여 정량적으로 수행하고 다양한 의사결정기법을 사용하여 비교한 경우는 드물다. 본 연구는 이러한 점에 착안하여 물순환 건전화화를 위한 대안들을 이수 및 수질관리 측면에서 객관적으로 비교하고 우선순위를 제시하기 위해 대안평가지수(Alternative Evaluation Index, AEI)를 개발하였다. 즉 대안별 이수, 수질관리 측면에서 효과지수를 산정하였고 산정방법은 다기준 의사결정기법 중 복합계획법, 타협계획법, ELECTRE II, Regime 방법, EVAMIX 접근법을 이용하였다. 이때 인자들은 지속가능성 평가지수 모형인 DPSIR(Driver-Pressure-State-Impact-Response) 모형을 이용하였다.

## 2. 이론적 배경

### 2.1 유역통합관리 계획수립 절차

정은성과 이길성(2007)은 이러한 지속가능성, 다기준 의사결정기법, 수문학적 공간위험 순위 산정, 목표를 정량화하는 지표의 개발, 대안의 평가를 위한 지수의 개발, 편익 산정을 통한 경제성 분석 등을 모두 포함하여 하나의 유역통합관리 계획 절차는 다음과 같이 개발하였다.

- Step 1: 유역의 물순환 관련 요소 파악
- Step 2: 문제점 도출 및 우선순위의 결정
- Step 3: 이해관계자의 관리 선호도 조사
- Step 4: 분명하고 구체적인 목표의 설정
- Step 5: 모든 대안의 검토
- Step 6: 가능한 대안의 선별
- Step 7: 선별된 대안의 효과분석
- Step 8: 대안의 평가지수 산정 및 우선순위 제시
- Step 9: 대안의 비용 및 편익 산정
- Step 10: 최종대안 결정

본 연구는 Step 8을 위한 구체적인 적용방법과 결과를 제시하였으며 이를 위해 Step 5, 6, 7의 결과도 함께 제시하였다.

### 2.2 대안평가지수(AEI) 산정 방법 (step 8)

AEI를 산정하는 식은 다기준 의사결정기법의 종류에 따라 계산하는 방법이 다르다. 그 중 가장 많이 사용되는 가중합계법(weighted summation method)에 대한 수식을 나타내면 다음과 같다.

$$f(a_i) = p_n f_1 + q_n f_2 + r_n f_3 \quad (1)$$

여기서  $a_i$ 는  $i$  대안이며,  $n$ 은 대안  $i$ 가 적용된 중유역이며  $f_1$ 은 치수 측면의 효과지수 (0~1),  $f_2$ 는 이수 측면의 효과 지수(0~1),  $f_3$ 은 수질관리 측면의 효과 지수(0~1)를 나타내는 값이며,  $p_n$ ,  $q_n$ ,  $r_n$ 은 치수, 이수, 수질관리에 대한 가중치이다.

치수, 이수, 수질관리 측면에서 대안의 효과지수인  $f_j$ 는 지속가능성 모형의 요소인 추진력(driver)-압력(pressure)-상태(state)-영향(impact)-반응(response)을 고려하면 다음과 같다.

$$f_j(a_i) = w_{j,1}DR_{j,i} + w_{j,2}PR_{j,i} + w_{j,3}ST_{j,i} + w_{j,4}IM_{j,i} + w_{j,5}RE_{j,i} \quad (2)$$

여기서,  $i$ 는 대안명이고,  $j$ 는 1인 경우 치수, 2인 경우

이수, 3인 경우는 수질관리를 의미하며,  $w_{j,1} \sim w_{j,5}$ 는 추진력, 압력, 상태, 영향, 반응에 대한 가중치이고,  $DR_{j,i}$ 는 대안  $i$ 가  $j$ 측면에 미치는 추진력에 대한 지수,  $PR_{j,i}$ 는 대안  $i$ 가  $j$ 측면에 미치는 압력에 대한 지수,  $ST_{j,i}$ 는 상태에 대한 지수,  $IM_{j,i}$ 는 대안  $i$ 가  $j$ 측면에 미치는 영향에 대한 지수,  $RE_{j,i}$ 는 반응에 대한 지수를 의미한다.

### 2.3 지속가능성 평가지수: DPSIR

DPSIR 모형은 EEA(1999)가 기존의 OECD(1993)의 Pressure-State-Response (PSR) 모형을 개선하여 지속가능성을 지표화하기 위해 개발하였다. PSR 모형은 인간의 활동(pressure)이 환경(state)에 영향을 미치고 환경은 다시 인간으로 하여금 압력을 줄이기 위한 활동(response)을 촉진하게 한다. PSR 모형은 복잡한 생태학적 과정과 인간 환경의 인과관계를 설명하지 못한다. 특히 상태의 변화로부터 생기는 영향(impact)을 전혀 설명하지 못하는 단점을 가지고 있을 뿐만 아니라 반응이 시스템에 영향을 미치는 상황을 반영하지 못한다. 따라서 DPSIR 모형은 PSR 모형에 추진력(driver)과 영향(impact) 요소를 추가하였다. 즉 사회의 추진력이 인간 사회에 압력을 발생시키고 압력이 상태에 영향을 미침에 따라 상태가 반응을 야기하는 영향을 유발하며 다시 반응은 이상의 네 가지 요소에 각각 다시 영향을 미친다는 관계에 착안한다. 여기서 추진력은 환경에 영향을 미치는 사회-경제적 요소로 일반적으로 인구, 자원의 사용량, 교육수준, 거주자수, 에너지 소비량 등이 있다. 압력은 환경의 상태에 직접적으로 영향을 미치는 자연적인 요소로 오염부하량, CO<sub>2</sub> 배출량 등이 있다. 상태는 환경의 질과 자연자원의 양을 정량적으로 측정하는 것으로 하천수질 농도, 오존의 농도 등이 있다. 영향은 환경의 상태가 인간, 동물, 생화학적 과정에 미치는 영향으로 질병의 정도, 생태계에 환경오염물질 배출량 등이 있다. 반응은 환경의 변화에 대한 사회의 반응으로 환경개선을 위한 다양한 활동 등이 이에 해당된다. 이상을 포함하는 일반적인 DPSIR 개념도는 Fig. 1과 같다.

DPSIR 모형은 최근 유럽을 중심으로 다양하게 유역의 환경관리를 위해 적용되고 있으며(Elliott, 2002; Feas et al., 2004; Borja et al., 2006), MULINO (MULTi-sectoral, INtegral and Operational decision support system for the sustainable use of water resources at the catchment scale) 프로젝트의 mDSS와 같이 유럽의 국가간 유역관리 계획을 수립하기 위한

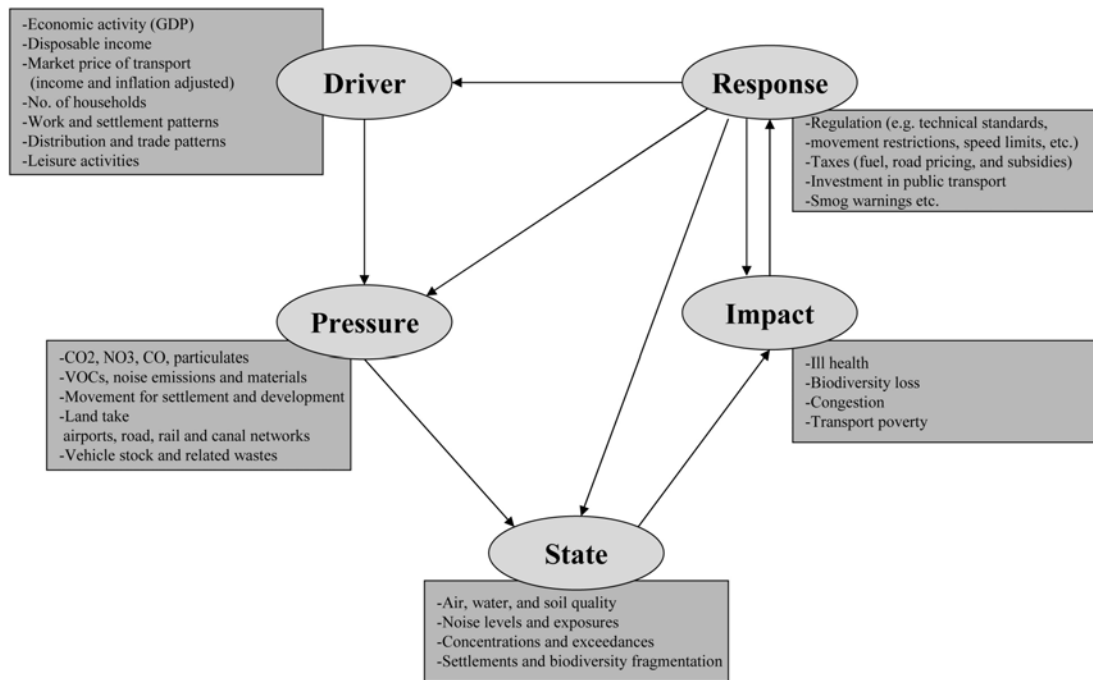


Fig. 1. DPSIR Framework (EEA, 1999)

의사결정 지원시스템(Decision Support System, DSS)으로 구축되어 활발하게 활용되고 있다.

### 3. 대안의 구성, 선별 및 효과분석

#### 3.1 대안의 구성 (Step 5)

유역의 물순환 건전화를 위해서는 창의적이고 다양한 대안들이 제시되어야 하며 구체적인 실행가능성과 상관없이 검토할 만한 가치가 있는 대안들은 모두 수집되어야 한다. 또한 되도록 다양한 측면에서 긍정적인 효과가 있는 것이 바람직하며 한 가지 측면에서는 우수하지만 다른 측면에서는 좋지 않은 대안들은 피하는 게 좋다. 특히 최근에 연구 중이거나 시행 중인 대안까지 감안하여 수집하는 것을 원칙으로 한다. 대상유역에 대해 이수 및 수질관리 측면에서 물순환 건전화 위해 제시될 수 있는 대안 중 본 연구에서 사용한 HSPF (Hydrological Simulation Program-Fortran) 모형으로 분석이 가능한 대안인 저류지/저수지 건설, 기존 저수지 재개발, 지하철 용출수를 하천유지용수로 활용, 하수처리장 방류수 재이용, 상류지역에 소규모 하수처리장 건설 등을 대상으로 대상유역에 대해 구체적인 적용 계획을 수립하면 Table 1과 같다.

#### 3.2 대안의 선별 (Step 6)

제안된 32개 대안들을 기술적 가능성(technical feasibility), 경제적 효율성(economic feasibility), 환경

적 안정성(environmental feasibility) 측면에서 정성적으로 검토하여 실행가능한 대안을 선정하면 Fig. 2와 같다. 이 과정은 일반적으로 특정 대안이 대상 유역에 적용할 수 있는지 여부만 판단하는 과정으로 현장답사 및 문헌조사 등을 통해 검토하여 결정한다.

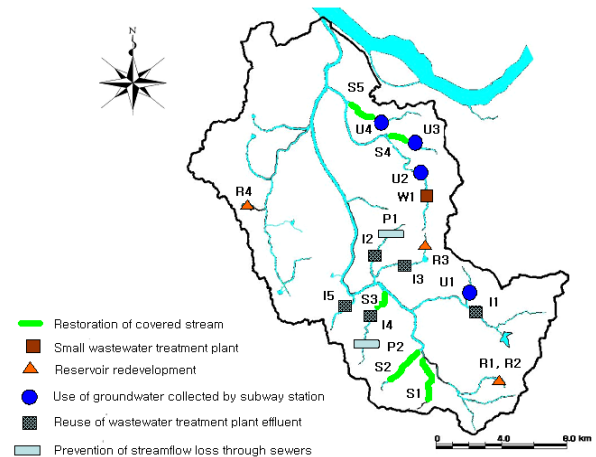


Fig. 2. Feasible Alternatives

#### 3.3 대안의 효과분석 (Step 7)

Step 6에서 제안한 대안들에 대한 효과분석은 연속유출모의 모형으로 수행되어야 한다(Stirrup, 2001). 본 연구에서는 HSPF 모형을 이용하여 수행한 정은성 등(2007)의 결과를 이용하였다. 지점별 유황곡선(flow duration curve), BOD 농도 및 부하량 지속곡선

Table 1. Specific Descriptions of Feasible Alternatives

Alternatives	Name of sub-watershed	Description	Name of alternative	
Reservoir redevelopment	OJ	- Construction of sluice gate - Proper operation (release: 0.01 cms from Oct. to May)	R1	
	HU	- Proper operation (release: 0.1 cms from Oct. to May)	R2	
	SS	- Proper operation (release: 0.01 cms from Oct. to May)	R3	
	GS	- Proper operation (release: 0.05 cms from Oct. to May)	R4	
New retention pond	DJ	- Capacity: 60,000 m <sup>3</sup> - Proper operation (release: 0.01 cms from Oct. to May)	N1	
	SB		N2	
	WG		N3	
	SS-SM		N4	
	SA		N5	
	SB1		N6	
Restoration of covered stream	DJ	- To remove roads and restore the stream	- Covered length: 1.59 km	S1
	SB		- Covered length: 2.74 km	S2
	SA		- Covered length: 0.645 km	S3
	CR-BC	- Construction of sewers	- Covered length: 4.493 km	S4
	DR-DB		- Covered length: 4.901 km	S5
Inter-basin transfer (reuse of WWTP effluent)	HU	- To transfer highly-treated wastewater of WWTP - Maximum quantity is 21,000 m <sup>3</sup> /day but used quantity is dependent upon the actual operation result of WWTP	I1	
	SS(1)		I2	
	SS(2)		I3	
	SA		I4	
	SB1		I5	
	WG		I6	
	OJ		I7	
	DJ		I8	
	SB		I9	
	DR	- To transfer instreamflow from the Han River or the Anyangcheon	I10	
Use of groundwater collected by subway stations	HU	- To transfer groundwater collected by subway station into the stream - Average quantity: 3,720 m <sup>3</sup> /day	U1	
	DR	- Average quantity: 1,019 m <sup>3</sup> /day	U2	
	DR-BC	- Average quantity: 3,233 m <sup>3</sup> /day (2 stations)	U3	
	DR-DB	- Average quantity: 17,703 m <sup>3</sup> /day (4 stations)	U4	
Construction of small wastewater treatment	DR	- Capacity: 19,000 m <sup>3</sup> /day	W1	
Prevention of streamflow loss through sewers	SM	- To solder cracked sewers	P1	
	SA		P2	

(duration curve) 등은 과거 10년(1996년 ~2005년) 동안에 대해 수행한 결과로 수량 측면에서 갈수량과 저수량의 변화와 수질측면에서 BOD의 평균농도와 일총부하량(Total Daily Load, TDL)의 변화 등이 제시되어있다.

#### 4. 대안의 평가지수(AEI) 산정 (Step 8)

##### 4.1 산정원리

Fassio et al.(2005)은 mDSS에 DPSIR 모형을 사용

하면서 Simon(1960)이 제안한 3단계의 의사결정 과정을 DPSIR 과정과 접목시켰다. 3단계의 의사결정 과정은 원인과 문제 등을 개념화하는 단계(conceptual phase), 평가를 위한 방법 및 판단기준을 설정하는 설계 단계(design phase), 다기준 의사결정을 수행하는 선택 단계(choice phase)로 구성되어 있는데 이는 각각 D, P, S, I와 관련된 인자를 산정하는 과정, R을 위해 대안들을 선택하고 D, P, S, I와 관련된 판별기준과 가중치를 산정하는 과정, I와 R의 상호관계를 통한 선택 과정으로 구성된다. 따라서 mDSS는 D, P, S를 산정하는 부분과 대안을 제시하는 부분, 대안으로 인한 영향과 상태의 변화를 토대로 평가지수(evaluation index)를 산정하는 과정으로 구성하였다.

본 연구에서도 Fassio et al.(2005)과 같은 방법으로 D, P, S, I, R에 해당되는 각각의 인자를 Fig. 3과 같이 산정하였다. 즉 물순환에 가장 많은 영향을 미치는 근본적인 요인(D)을 인구와 인구밀도로, 인간의 활동 중 물순환에 압력(P)을 미치는 요소로 이수 측면에서는 도시지역 비율과 하천수 누수 여부, 유역경사, 지하수 취수량을 사용하였으며 수질관리 측면에서는 BOD, COD, SS, TN, TP 부하량, 미처리 하수 유입여부, 복개구간 비율, 인구밀도를 산정하였다. 이러한 압력으로 인해 영향을 받는 자연상태 요소는 이수 측면에서 유향곡선에서 평균 갈수량과 평균 저수량의 목표 수문학적 갈수량에 대한 비율로 가정하였고, 수질관리 측면에서는 목표 수질 대비 BOD 평균 농도, 일최대허용부하량(Total

Maximum Daily Load, TMDL) 대비 BOD 평균 일총 부하량으로 가정하였다. 물순환의 악화로 인해 인간에게 나타나는 직접적인 영향은 이수측면에서 연중 유지유량 부족일수, 수질측면에서는 연중 TMDL을 만족하지 못하는 일수로 가정하였다. 이러한 영향을 회복하기 위해 국가, 사회, 관리부처 등에서 시도하는 여러 대안들을 반응이라고 하며 반응으로 인한 효과를 정량화하기 위해 선택된 각각의 기준들은 정량적 분석이 가능한 상태와 영향의 인자들의 변화값을 사용하였다. 여기서 반응의 효과를 정량화하기 위한 평가기준으로 D와 P를 사용하지 않는 이유는 D와 P 자체를 변화시키려는 대안을 설정하지 않는 한 직접적으로 이들과의 연관성을 규명하기 어렵기 때문이다.

2.2절에서와 같이 각각의 요소를 산정하는 수식 또한 다기준 의사결정방법마다 다르다. 따라서 가장 많이 사용되는 가중합계법의 이수 측면에서의 추진력( $DR_{2,n}$ ), 압력( $PR_{2,n}$ ), 상태( $ST_{2,n}$ ), 영향( $IM_{2,n}$ ), 반응( $RE_{2,n}$ )에 대한 수식과 수질관리 측면에서의 추진력( $DR_{3,n}$ ), 압력( $PR_{3,n}$ ), 상태( $ST_{3,n}$ ), 영향( $IM_{3,n}$ ), 반응( $RE_{3,n}$ )에 대한 수식을 제시하면 다음과 같다( $DR_{1,n}$ ,  $PR_{1,n}$ ,  $ST_{1,n}$ ,  $IM_{1,n}$ ,  $RE_{1,n}$ 은 이수 측면에서의 값임).

$$DR_{2,i} = \beta_{2,1} s_{PD,n} + \beta_{2,2} s_{P,n} \quad (3)$$

$$PR_{2,i} = \beta_{2,3} s_{SS,n} + \beta_{2,4} s_{UR,n} + \beta_{2,5} s_{GW,n} + \beta_{2,6} s_{SW,n} \quad (4)$$

	Water quantity	Water quality
Drivers	-Population -Population density	-Population -Population density
Pressure	-Urban area ratio -Streamflow seepage -Slope of watershed -Groundwater withdrawal	-Loadings of BOD, COD, SS,TN and TP -Untreated wastewater intrusion -Ratio of covered stream interval -Population density
State	-Ratio of drought flow( $Q_{355}$ ) to hydrological instreamflow -Ratio of low flow ( $Q_{275}$ ) to hydrological instreamflow	-Ratio of BOD average concentration to target -Ratio of BOD total daily load to total maximum daily load
Impact	-Number of days in a year to unsatisfy the instreamflow requirement	-Number of days in a year to unsatisfy total maximum daily load
Responses	-Ratio of increased drought flow to hydrological instreamflow -Ratio of increased low flow to hydrological instreamflow -Number of increased days in a year to satisfy the instreamflow requirement	-Ratio of decreased BOD average concentration to target -Ratio of decreased BOD total daily load to TMDL -Number of increased days in a year to satisfy total maximum daily load

Fig. 3. Indicators of DPSIR to Determine Alternative Evaluation Index

$$ST_{2,i} = 1 - \frac{\frac{t_1(a_i)}{d(a_i)}}{\max_i \frac{t_1(a_i)}{d(a_i)}} \quad (5)$$

$$IM_{2,i} = 1 - \frac{n_1(a_i)}{\max_i n_1(a_i)} \quad (6)$$

$$RE_{2,j} = 1/3 \times \frac{\frac{\Delta d(a_i)}{t_1(a_i)}}{\max_i \frac{\Delta d(a_i)}{t_1(a_i)}} + 1/3 \times \frac{\frac{\Delta l(a_i)}{t_1(a_i)}}{\max_i \frac{\Delta l(a_i)}{t_1(a_i)}} + 1/3 \times \frac{\Delta n_1(a_i)}{\max_i \Delta n_1(a_i)} \quad (7)$$

$$DR_{3,i} = \beta_{3,1} s_{PD,n} + \beta_{3,2} s_{P,n} \quad (8)$$

$$PR_{3,i} = \beta_{3,3} s_{LB,n} + \beta_{3,4} s_{LC,n} + \beta_{3,5} s_{LS,n} + \beta_{3,6} s_{LPN,n} + \beta_{3,7} s_{WL,n} + \beta_{3,8} s_{PD,n} + \beta_{3,9} s_{CSN,n} \quad (9)$$

$$ST_{3,i} = 1 - \frac{\frac{q_1(a_i)}{t_2(a_i)}}{\max_i \frac{q_1(a_i)}{t_2(a_i)}} \quad (10)$$

$$IM_{3,i} = 1 - \frac{n_2(a_i)}{\max_i n_2(a_i)} \quad (11)$$

$$RE_{3,j} = 1/4 \times \frac{\frac{\Delta q_1(a_i)}{t_2(a_i)}}{\max_i \frac{\Delta q_1(a_i)}{t_2(a_i)}} + 1/4 \times \frac{\frac{\Delta q_2(a_i)}{t_3(a_i)}}{\max_i \frac{\Delta q_2(a_i)}{t_3(a_i)}} + 1/4 \times \frac{\Delta n_2(a_i)}{\max_i \Delta n_2(a_i)} + 1/4 \times \frac{\Delta n_3(a_i)}{\max_i \Delta n_3(a_i)} \quad (12)$$

여기서,  $d(a_i)$ ,  $l(a_i)$ ,  $q_1(a_i)$ ,  $q_2(a_i)$ 는 대안  $a_i$ 가 적용되는 유역의 갈수량과 저수량, 평균 BOD 농도, 총 BOD 일부하량을 의미하며,  $t_1(a_i)$ ,  $t_2(a_i)$ ,  $t_3(a_i)$ 는 대안  $a_i$ 가 적용되는 유역의 수문학적 목표유지유량, 목표수질, 목표 총 일부하량을 의미하며,  $n_1(a_i)$ ,  $n_2(a_i)$ ,  $n_3(a_i)$ 은 대안  $a_i$ 가 적용되는 유역의 목표유지유량 만족일수와 목표수질 만족일수, 목표 총일부하량 만족일수를 의미한다. 또 DPSIR 모형의 지속가능성 구성요소의 가중치

$w_{j,1} \sim w_{j,5}$ 는 정은성과 이길성(2007)에서 제시된 결과를 활용하였다. 본래 DPSIR 모형이 PSR 모형을 보완하여 만든 모형이므로 PSR 모형의  $P$ 가  $DR$ 과  $PR$ 로 분리되었고 PSR 모형의  $S$ 가  $ST$ 와  $IM$ 으로 분리되었다. 따라서 본 연구에서는 Step 2의  $P$ 에 대한 가중치의 1/2을  $DR$ 과  $PR$ 의 가중치로 사용하였고 Step 2의  $S$ 에 대한 가중치의 1/2를  $ST$ 와  $IM$ 의 가중치로 사용하였다.  $DR$ 과  $PR$ 의 하위 인자들에 대한 가중치는 Step 2의 가중치를 그대로 사용하였으며  $ST$ ,  $IM$ ,  $RE$ 의 인자들에 대한 가중치는 동일 가중치를 사용하였다. 사용된 가중치 값은 Table 2와 같다.

## 4.2 DPSIR 자료

추진과 압력 요소는 이길성(2007)에서 수집된 자료이며 상태와 영향은 이길성 등(2007)에서 HSPF 모형을 이용하여 얻어낸 자료를 Step 4에서 도출된 목표 유지 유량과 수질, TMDL과 비교한 값이고 반응은 정은성 등(2007)에서 HSPF 모형을 이용하여 분석한 값이다. Step 8을 위해 사용할 추진-압력-상태-영향-반응 요소의 자료를 이수 및 수질관리 측면에서 각각 정리하면 Table 3, 4와 같다.

## 4.3 산정 결과

AEI는 복합계획법, 타협계획법, ELECTRE II, Regime 방법, EVAMIX 접근법을 사용하였으며 각 방법을 통해 도출된 순위를 서로 비교하기 위해 Spearman 상관계수를 산정하였다. 여기서 사용된 이론은 정은성과 이길성(2007)에 제시되어 있다.

복합계획법을 이용하여 AEI와 등수 및 등급을 제시하면 Table 5와 같다. 여기서 균형값(balancing factor)이  $1(b=1)$ 인 경우는 가중합계법과 같은데 이를 이용하여 대안들을 등급별로 나누면 다음과 같다. 평가지수가 0.6 이상인 것은 'G' 등급, 0.3 ~ 0.6은 'A' 등급, 0.3 이하는 'P' 등급으로 구분하면 각 등급에 해당되는 대안은 다음과 같다.

- G 등급: S1, S4, S5, S4+U3, S5+U4 (5개)
- A 등급: R1, R2, R4, S2, S3, P1+I2, S3+I4, I5, U2 (9개)
- P 등급: R3, I1, I3, U1 (4개)

또 타협계획법과 ELECTRE II 방법, EVAMIX 방법에도 각 인자의 가중치는 복합계획법과 동일한 값을 사용하였으며 산정된 대안별 효과지수와 순위는 Table 6, 7과 같다. Regime 방법에 사용된 가중치는 Table 2의 값을 토대로 다음과 같이 사용하였으며 산정된 대안평가 지수와 순위는 Table 7과 같다.

Table 2. Weighting Values Used in This Study

Objective	DPSIR component	Weights ( <i>w</i> )	Indicators	Weights ( $\beta$ )
Water quantity	Drivers	0.185	Population	0.2
			Population density	0.8
	Pressures	0.185	Urban area ratio	0.373
			Streamflow seepage	0.219
			Slope of watershed	0.134
			Groundwater withdrawal	0.274
	State	0.187	Ratio of drought flow to hydrologic instreamflow	0.5
			Ratio of low flow to hydrologic instreamflow	0.5
	Impact	0.187	Number of days in a year to satisfy instreamflow requirement	1.0
	Responses	0.254	Ratio of increased drought flow to hydrological instreamflow	0.333
Ratio of increased low flow to hydrological instreamflow			0.333	
Number of increased days in a year to satisfy instreamflow requirement			0.333	
Water quality	Drivers	0.151	Population	0.2
			Population density	0.8
	Pressures	0.151	Load of BOD	0.073
			Load of COD	0.073
			Load of SS	0.072
			Load of TN & TP	0.072
			Untreated wastewater intrusion	0.346
			Ratio of covered stream interval	0.185
			Population density	0.179
	State	0.194	Ratio of BOD average concentration to target quality	1.0
	Impact	0.194	Number of days in a year to satisfy total maximum daily load	0.5
			Number of days in a year to satisfy target quality	0.5
	Responses	0.310	Ratio of decreased BOD average concentration to target quality	0.333
			Number of increased days in a year to satisfy total maximum daily load	0.333
Number of increased days in a year to satisfy target quality			0.333	

- 수량
  - 1순위: *RE*
  - 2순위: *DR, PR, ST, IM*
- 수질
  - 1순위: *RE*
  - 2순위: *ST, IM*
  - 3순위: *DR, PR*

#### 4.4 결과 비교

적용결과 DPSIR의 모든 요소가 좋은 값을 보이는

도립천 유역(DR, BC, DB)에 적용 가능한 대안들인 S5+U4(1위), S4(2위), S5(3위), S4+U3(4위)이 높은 순위를 보였다. 대안의 종류별로 살펴보면 복개하천의 복원과 관련된 대안들이 평균적으로 좋은 순위를 보였으며, 그 다음으로 상류에 소규모 하수처리장을 건설하는 것이 수량과 수질 측면에서 그 다음으로 좋은 효과를 보이고 지하철 용출수 활용이 복개하천 복원과 함께 실행될 경우 좋은 효과를 보였다. 반면 저수지 재개발은 수질측면에서 전혀 효과가 없고 수량측면에서도 다른 대안에 비해 좋지 않은 효과를 보이므로 낮은 등급을



**Table 3. Values of Drivers, Pressures, State, Impact and Responses on Water Quantity**

Name of alternative	Drivers			Pressures					State		Impact		Responses			
	Population	Population density	Index	Streamflow seepage	Urban area ratio	Ground-water withdrawal	Slope of watershed	Index	Drought flow	Index	Number of days*	Index	Number of days**	Drought flow	Low flow	Index
Weights	0.2	0.8	<b>0.185</b>	0.219	0.373	0.274	0.134	<b>0.185</b>	<b>0.187</b>		<b>0.187</b>		0.333	0.333	0.333	<b>0.254</b>
R1	0.026	0.179	<b>0.148</b>	1.000	0.049	0.828	0.524	<b>0.534</b>	0.038	<b>0.818</b>	17	<b>0.887</b>	0.006	0.073	0.100	<b>0.060</b>
R2	0.026	0.179	<b>0.148</b>	1.000	0.049	0.828	0.524	<b>0.534</b>	0.038	<b>0.818</b>	17	<b>0.887</b>	0.112	0.533	0.602	<b>0.415</b>
R3	0.045	0.096	<b>0.086</b>	0.000	0.052	0.011	1.000	<b>0.156</b>	0.041	<b>0.804</b>	53	<b>0.647</b>	0.019	0.000	0.027	<b>0.015</b>
R4	0.009	0.076	<b>0.063</b>	1.000	0.134	0.521	0.125	<b>0.428</b>	0.055	<b>0.737</b>	86	<b>0.427</b>	0.559	0.642	0.692	<b>0.631</b>
S1	0.085	0.471	<b>0.394</b>	0.000	0.631	0.182	0.012	<b>0.287</b>	0	<b>1.000</b>	0	<b>1.000</b>	0.497	0.000	0.022	<b>0.173</b>
S2	0.134	0.379	<b>0.330</b>	0.000	0.434	0.022	0.345	<b>0.214</b>	0	<b>1.000</b>	0	<b>1.000</b>	0.497	0.007	0.062	<b>0.189</b>
P2+S3	0.050	0.179	<b>0.153</b>	1.000	0.182	0.000	0.958	<b>0.415</b>	0	<b>1.000</b>	0	<b>1.000</b>	0.298	0.017	0.124	<b>0.146</b>
S4	0.263	0.826	<b>0.713</b>	0.000	0.650	0.335	0.345	<b>0.380</b>	0	<b>1.000</b>	0	<b>1.000</b>	0.596	0.005	0.012	<b>0.204</b>
S5	0.291	0.96	<b>0.826</b>	0.000	1.000	0.871	0.000	<b>0.612</b>	0	<b>1.000</b>	0	<b>1.000</b>	0.267	0.001	0.002	<b>0.090</b>
I1	0.316	0.203	<b>0.226</b>	0.000	0.228	0.525	0.345	<b>0.275</b>	0.208	<b>0.000</b>	150	<b>0.000</b>	0.329	0.262	0.272	<b>0.288</b>
P1+I2	0.009	0.047	<b>0.039</b>	1.000	0.110	0.041	0.744	<b>0.371</b>	0.020	<b>0.902</b>	46	<b>0.693</b>	0.975	0.677	0.701	<b>0.784</b>
I3	0.045	0.096	<b>0.086</b>	0.000	0.052	0.011	1.000	<b>0.156</b>	0.041	<b>0.804</b>	53	<b>0.647</b>	0.118	0.404	0.425	<b>0.315</b>
P2+S3+I4	0.050	0.179	<b>0.153</b>	1.000	0.182	0.000	0.958	<b>0.415</b>	0.018	<b>0.914</b>	48	<b>0.680</b>	1.000	1.000	1.000	<b>0.999</b>
I5	0.023	0.148	<b>0.123</b>	1.000	0.095	0.204	0.595	<b>0.390</b>	0.012	<b>0.941</b>	48	<b>0.680</b>	0.354	0.735	0.761	<b>0.616</b>
U1	0.316	0.203	<b>0.226</b>	0.000	0.228	0.525	0.345	<b>0.275</b>	0.208	<b>0.000</b>	150	<b>0.000</b>	0.155	0.209	0.217	<b>0.194</b>
U2	1.000	0.701	<b>0.761</b>	1.000	0.692	0.625	0.232	<b>0.679</b>	0.007	<b>0.965</b>	126	<b>0.160</b>	0.373	0.491	0.519	<b>0.460</b>
S4+U3	0.263	0.826	<b>0.713</b>	0.000	0.650	0.335	0.345	<b>0.380</b>	0.005	<b>0.976</b>	96	<b>0.360</b>	0.043	0.078	0.089	<b>0.070</b>
S5+U4	0.291	0.96	<b>0.826</b>	0.000	1.000	0.871	0.000	<b>0.612</b>	0.001	<b>0.996</b>	43	<b>0.713</b>	0.124	0.286	0.299	<b>0.236</b>
W1	1.000	0.701	<b>0.761</b>	1.000	0.692	0.625	0.232	<b>0.679</b>	0.007	<b>0.965</b>	126	<b>0.160</b>	0.168	0.701	0.733	<b>0.534</b>

\* Number of days to satisfy target quantity  
 \*\* Number of increased days to satisfy target quantity

**Table 4. Values of Drivers, Pressures, State, Impact and Responses on Water Quality (continued)**

Name of alternative	Drivers			Pressures							State		
	Population	Population density	Index	BOD Loads	COD Loads	SS Loads	TN&TP Loads	Intrusion of waste-water	Population density	Ratio of covered length	Index	Average BOD Conc.	Index
Weights	0.200	0.800	0.151	0.094	0.093	0.093	0.093	0.134	0.219	0.274	0.151	1.000	0.194
R1	0.026	0.179	<b>0.148</b>	0.035	0.029	0.029	0.034	0.000	0.179	0.283	<b>0.129</b>	15.230	<b>0.508</b>
R2	0.026	0.179	<b>0.148</b>	0.035	0.029	0.029	0.034	0.000	0.179	0.283	<b>0.129</b>	15.230	<b>0.508</b>
R3	0.045	0.096	<b>0.086</b>	0.170	0.160	0.161	0.149	0.000	0.179	0.028	<b>0.107</b>	1.100	<b>0.037</b>
R4	0.009	0.076	<b>0.063</b>	0.132	0.158	0.157	0.276	1.000	0.076	0.000	<b>0.218</b>	18.800	<b>0.627</b>
S1	0.085	0.471	<b>0.394</b>	0.624	0.628	0.628	0.645	1.000	0.471	0.429	<b>0.590</b>	30.000	<b>1.000</b>
S2	0.134	0.379	<b>0.330</b>	0.430	0.428	0.428	0.433	1.000	0.379	0.688	<b>0.566</b>	30.000	<b>1.000</b>
P2+S3	0.050	0.179	<b>0.153</b>	0.170	0.161	0.162	0.158	0.000	0.047	0.108	<b>0.101</b>	20.000	<b>0.667</b>
S4	0.263	0.826	<b>0.713</b>	0.673	0.671	0.671	0.671	1.000	0.826	0.926	<b>0.819</b>	30.000	<b>0.500</b>
S5	0.291	0.96	<b>0.826</b>	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.960	0.818	<b>0.941</b>	30.000	<b>0.500</b>
I1	0.316	0.203	<b>0.226</b>	0.265	0.270	0.270	0.298	0.000	0.203	0.000	<b>0.147</b>	1.100	<b>0.037</b>
P1+I2	0.009	0.047	<b>0.039</b>	0.066	0.053	0.054	0.036	0.000	0.096	0.000	<b>0.041</b>	1.360	<b>0.045</b>
I3	0.045	0.096	<b>0.086</b>	0.170	0.160	0.161	0.149	0.000	0.179	0.028	<b>0.107</b>	1.100	<b>0.037</b>
P2+S3+I4	0.050	0.179	<b>0.153</b>	0.170	0.161	0.162	0.158	0.000	0.047	0.108	<b>0.101</b>	1.220	<b>0.041</b>
I5	0.023	0.148	<b>0.123</b>	0.086	0.085	0.085	0.090	0.000	0.148	0.000	<b>0.065</b>	15.330	<b>0.511</b>
U1	0.316	0.203	<b>0.226</b>	0.265	0.270	0.270	0.298	0.000	0.203	0.000	<b>0.147</b>	2.200	<b>0.073</b>
U2	1.000	0.701	<b>0.761</b>	0.694	0.688	0.680	0.681	0.000	0.701	0.643	<b>0.585</b>	2.200	<b>0.037</b>
S4+U3	0.263	0.826	<b>0.713</b>	0.673	0.671	0.671	0.671	1.000	0.826	0.926	<b>0.819</b>	2.370	<b>0.040</b>
S5+U4	0.291	0.96	<b>0.826</b>	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.960	0.818	<b>0.941</b>	3.890	<b>0.065</b>
W1	1.000	0.701	<b>0.761</b>	0.694	0.688	0.689	0.680	0.000	0.701	0.643	<b>0.586</b>	2.200	<b>0.037</b>

Table 4. Values of Drivers, Pressures, State, Impact and Responses on Water Quality

Name of alternative	Number of days to satisfy target BOD conc.	Number of days to satisfy BOD TMDL	Index	Number of days to satisfy target conc.	Number of days to satisfy TMDL	Ratio of deceased BOD conc.	Ratio of decreased BOD TDL	Index
Weights	0.500	0.500	0.194	0.250	0.250	0.250	0.250	
R1	0.833	0.159	<b>0.496</b>	0.1886	0.5112	0.383	0.297	<b>0.345</b>
R2	0.833	0.159	<b>0.496</b>	0.9348	0.8710	0.533	0.303	<b>0.660</b>
R3	0.000	0.010	<b>0.005</b>	0.9799	0.9846	0.102	0.295	<b>0.590</b>
R4	0.900	0.199	<b>0.549</b>	1.0000	0.8950	0.667	0.308	<b>0.717</b>
S1	1.000	1.000	<b>1.000</b>	0.2419	0.5628	1.000	0.000	<b>0.451</b>
S2	1.000	1.000	<b>1.000</b>	0.2357	0.5692	1.000	0.000	<b>0.451</b>
P2+S3	1.000	1.000	<b>1.000</b>	0.9722	0.9861	0.746	0.005	<b>0.677</b>
S4	1.000	1.000	<b>1.000</b>	0.8928	0.9144	0.574	0.051	<b>0.608</b>
S5	1.000	1.000	<b>1.000</b>	0.2737	0.6211	0.547	0.000	<b>0.361</b>
I1	0.131	0.125	<b>0.128</b>	0.9109	0.9397	0.018	0.525	<b>0.599</b>
P1+I2	0.004	0.008	<b>0.006</b>	0.0457	0.3028	0.000	1.000	<b>0.337</b>
I3	0.000	0.010	<b>0.005</b>	0.3508	0.6647	0.018	0.525	<b>0.390</b>
P2+S3+I4	0.002	0.000	<b>0.001</b>	0.1449	0.4362	0.014	0.863	<b>0.364</b>
I5	0.952	0.019	<b>0.485</b>	0.0406	0.2247	0.466	0.739	<b>0.367</b>
U1	0.131	0.125	<b>0.128</b>	0.9033	0.9431	0.136	0.322	<b>0.576</b>
U2	0.166	0.088	<b>0.127</b>	0.9566	0.9324	0.115	0.322	<b>0.581</b>
S4+U3	1.000	1.000	<b>1.000</b>	0.9223	0.9287	0.106	0.302	<b>0.565</b>
S5+U4	1.000	1.000	<b>1.000</b>	0.9455	0.9558	0.137	0.342	<b>0.595</b>
W1	0.166	0.088	<b>0.127</b>	0.9297	0.9158	0.084	0.391	<b>0.580</b>

Table 5. AEIs, Ranks, and Grades Obtained by Composite Programming

Name of alternative	$b = 1$					$b = 2$					$b = 10$					AEI	Rank	Grade
	Quantity	Quality	Index	Rank	Grade	Quantity	Quality	Index	Rank	Grade	Quantity	Quality	Index	Rank	Grade			
R1	0.401	0.344	<b>0.372</b>	<b>14</b>	<b>A</b>	0.489	0.375	<b>0.436</b>	<b>15</b>	<b>A</b>	0.694	0.458	<b>0.648</b>	<b>17</b>	<b>G</b>	<b>0.485</b>	<b>15</b>	<b>A</b>
R2	0.511	0.441	<b>0.476</b>	<b>11</b>	<b>A</b>	0.551	0.489	<b>0.521</b>	<b>12</b>	<b>A</b>	0.695	0.592	<b>0.660</b>	<b>16</b>	<b>G</b>	<b>0.552</b>	<b>13</b>	<b>A</b>
R3	0.357	0.220	<b>0.288</b>	<b>17</b>	<b>P</b>	0.511	0.333	<b>0.432</b>	<b>16</b>	<b>A</b>	0.750	0.525	<b>0.702</b>	<b>13</b>	<b>G</b>	<b>0.474</b>	<b>16</b>	<b>A</b>
R4	0.537	0.493	<b>0.515</b>	<b>10</b>	<b>A</b>	0.593	0.550	<b>0.572</b>	<b>10</b>	<b>A</b>	0.686	0.650	<b>0.670</b>	<b>15</b>	<b>G</b>	<b>0.586</b>	<b>11</b>	<b>A</b>
S1	0.549	0.676	<b>0.613</b>	<b>4</b>	<b>G</b>	0.654	0.726	<b>0.691</b>	<b>5</b>	<b>G</b>	0.907	0.910	<b>0.908</b>	<b>1</b>	<b>G</b>	<b>0.737</b>	<b>4</b>	<b>G</b>
S2	0.527	0.663	<b>0.595</b>	<b>6</b>	<b>A</b>	0.643	0.718	<b>0.682</b>	<b>6</b>	<b>G</b>	0.907	0.910	<b>0.908</b>	<b>2</b>	<b>G</b>	<b>0.728</b>	<b>6</b>	<b>G</b>
P2+S3	0.504	0.572	<b>0.538</b>	<b>9</b>	<b>A</b>	0.643	0.654	<b>0.648</b>	<b>7</b>	<b>G</b>	0.907	0.853	<b>0.883</b>	<b>6</b>	<b>G</b>	<b>0.690</b>	<b>7</b>	<b>G</b>
S4	0.604	0.711	<b>0.657</b>	<b>3</b>	<b>G</b>	0.706	0.732	<b>0.719</b>	<b>3</b>	<b>G</b>	0.908	0.860	<b>0.887</b>	<b>5</b>	<b>G</b>	<b>0.754</b>	<b>3</b>	<b>G</b>
S5	0.662	0.670	<b>0.666</b>	<b>2</b>	<b>G</b>	0.757	0.721	<b>0.739</b>	<b>2</b>	<b>G</b>	0.913	0.886	<b>0.901</b>	<b>3</b>	<b>G</b>	<b>0.768</b>	<b>2</b>	<b>G</b>
I1	0.168	0.274	<b>0.221</b>	<b>18</b>	<b>P</b>	0.214	0.354	<b>0.293</b>	<b>18</b>	<b>P</b>	0.267	0.532	<b>0.497</b>	<b>18</b>	<b>A</b>	<b>0.337</b>	<b>18</b>	<b>A</b>
P1+I2	0.607	0.127	<b>0.367</b>	<b>15</b>	<b>A</b>	0.689	0.190	<b>0.506</b>	<b>14</b>	<b>A</b>	0.816	0.300	<b>0.762</b>	<b>12</b>	<b>G</b>	<b>0.545</b>	<b>14</b>	<b>A</b>
I3	0.425	0.158	<b>0.292</b>	<b>16</b>	<b>P</b>	0.530	0.224	<b>0.407</b>	<b>17</b>	<b>A</b>	0.750	0.347	<b>0.700</b>	<b>14</b>	<b>G</b>	<b>0.466</b>	<b>17</b>	<b>A</b>
P2+S3+I4	0.696	0.159	<b>0.428</b>	<b>13</b>	<b>A</b>	0.770	0.216	<b>0.565</b>	<b>11</b>	<b>A</b>	0.905	0.324	<b>0.844</b>	<b>8</b>	<b>G</b>	<b>0.612</b>	<b>10</b>	<b>G</b>
I5	0.561	0.336	<b>0.448</b>	<b>12</b>	<b>A</b>	0.632	0.376	<b>0.520</b>	<b>13</b>	<b>A</b>	0.822	0.456	<b>0.767</b>	<b>11</b>	<b>G</b>	<b>0.579</b>	<b>12</b>	<b>A</b>
U1	0.143	0.274	<b>0.209</b>	<b>19</b>	<b>P</b>	0.183	0.344	<b>0.275</b>	<b>19</b>	<b>P</b>	0.237	0.512	<b>0.478</b>	<b>19</b>	<b>A</b>	<b>0.321</b>	<b>19</b>	<b>A</b>
U2	0.664	0.415	<b>0.540</b>	<b>8</b>	<b>A</b>	0.696	0.497	<b>0.605</b>	<b>9</b>	<b>G</b>	0.828	0.642	<b>0.778</b>	<b>10</b>	<b>G</b>	<b>0.641</b>	<b>9</b>	<b>G</b>
S4+U3	0.612	0.608	<b>0.610</b>	<b>5</b>	<b>G</b>	0.702	0.687	<b>0.694</b>	<b>4</b>	<b>G</b>	0.898	0.860	<b>0.881</b>	<b>7</b>	<b>G</b>	<b>0.728</b>	<b>5</b>	<b>G</b>
S5+U4	0.712	0.658	<b>0.685</b>	<b>1</b>	<b>G</b>	0.768	0.736	<b>0.752</b>	<b>1</b>	<b>G</b>	0.912	0.887	<b>0.900</b>	<b>4</b>	<b>G</b>	<b>0.779</b>	<b>1</b>	<b>G</b>
W1	0.754	0.415	<b>0.585</b>	<b>7</b>	<b>A</b>	0.762	0.497	<b>0.643</b>	<b>8</b>	<b>G</b>	0.832	0.642	<b>0.782</b>	<b>9</b>	<b>G</b>	<b>0.670</b>	<b>8</b>	<b>G</b>

**Table 6. AElS, Ranks, and Grades Obtained by Compromise Programming**

Name of alternative	$b = 1$		$b = 2$		$b = 10$	
	Index	Rank	Index	Rank	Index	Rank
R1	0.201	16	0.138	16	0.077	19
R2	0.256	13	0.176	12	0.103	10
R3	0.179	17	0.144	15	0.095	14
R4	0.269	11	0.194	9	0.112	3
S1	0.275	10	0.216	5	0.110	4
S2	0.264	12	0.214	6	0.110	5
P2+S3	0.253	14	0.211	7	0.113	2
S4	0.303	8	0.225	2	0.109	6
S5	0.332	5	0.225	3	0.107	9
I1	0.084	18	0.108	18	0.093	15
P1+I2	0.304	7	0.167	14	0.103	11
I3	0.213	15	0.132	17	0.084	18
P2+S3+I4	0.349	3	0.186	11	0.118	1
I5	0.281	9	0.167	13	0.092	16
U1	0.072	19	0.102	19	0.089	17
U2	0.333	4	0.192	10	0.098	13
S4+U3	0.307	6	0.217	4	0.107	8
S5+U4	0.357	2	0.234	1	0.109	7
W1	0.378	1	0.207	8	0.101	12

**Table 7. Grades and Ranks Obtained by ELECTRE 2, Regime and EVAMIX Methods**

Name of alternative	ELECTRE 2		Regime		EVAMIX	
	Grade	Rank	Index	Rank	Index	Rank
R1	5	13	0.33	13	-0.03	14
R2	5	13	0.5	10	0	11
R3	8	19	0.06	18	-0.06	16
R4	4	10	0.44	11	0.01	10
S1	1	2	0.67	7	0.04	4
S2	1	2	0.61	8	0.04	4
P2+S3	3	9	0.56	9	0.02	8
S4	2	6	0.89	3	0.06	1
S5	2	6	0.94	2	0.06	1
I1	8	19	0.17	16	-0.08	18
P1+I2	7	15	0	19	-0.04	15
I3	8	19	0.11	17	-0.06	16
P2+S3+I4	5	13	0.22	15	-0.02	13
I5	6	14	0.39	12	-0.01	12
U1	8	19	0.28	14	-0.08	18
U2	3	9	0.72	6	0.02	8
S4+U3	2	6	0.83	4	0.04	4
S5+U4	2	6	1	1	0.06	1
W1	3	9	0.78	5	0.03	7

**Table 8. Spearman Rank Correlation Coefficients Between Alternative Ranks Patterns Obtained by Different MCDM Techniques**

Method	Composite ( $b = 1$ )	Composite ( $b = 2$ )	Compromise ( $b = 2$ )	Compromise ( $b = 10$ )	ELECTRE II	Regime	EVAMIX
Composite ( $p=1$ )	1	0.986	0.977	0.639	0.926	0.943	0.990
Composite ( $p=2$ )		1	0.995	0.719	0.918	0.914	0.983
Compromise ( $p=2$ )			1	0.746	0.908	0.898	0.977
Compromise ( $p=10$ )				1	0.695	0.490	0.626
ELECTRE II					1	0.840	0.908
Regime						1	0.935
EVAMIX							1

보였다. 그러나 이 대안은 비교적 저렴하게 실행할 수 있는 장점이 있으므로 나쁜 대안으로 볼 수는 없다. 또한 하수처리수 재이용과 관련된 대안들은 수량적인 측면에서는 탁월한 효과가 기대되나 수질 측면에서 상류 지천의 농도를 높일 뿐만 아니라 오염총량 또한 크게 증가시키므로 좋지 않은 결과를 보였다.

#### 4.5 Spearman 상관계수 산정

각각의 방법으로 도출된 대안 순위의 일관성을 살펴 보기 위해 Spearman 상관계수(correlation coefficient)를 Table 8과 같이 산정하였다. 그 결과 타협계획법  $b = 10$ 인 경우가 낮은 상관계수(0.6-0.7)를 보이며 ELECTRE II를 포함한 나머지 6가지 방법은 높은 상관계수(0.8 이상)를 보였다. 즉 비교적 다기준 의사결정 기법에 상관없이 비슷한 결과를 보이므로 실무에서는 다양한 다기준 의사결정기법을 모두 사용하여 분석하는 것보다는 사용하기 편한 방법을 여건에 맞게 선택하는 것이 좋다는 것을 알 수 있다. 즉 가중치를 정확하게 산정하고 대부분 정량적인 인자만 사용한 경우에는 복합 계획법, 타협계획법을 사용할 수 있고 정성적인 자료가 함께 있는 경우에는 EVAMIX 접근법을 사용할 수 있으며 가중치를 정확하게 산정하기 어려운 경우는 Regime 방법을 사용할 수 있다. 또한 대안들의 정량적인 순위를 산정하는 것이 아니라 좋지 않은 대안을 제거하는 것이 필요한 경우는 ELECTRE II를 사용할 수 있다.

### 5. 결 론

본 연구는 지속가능한 유역통합관리 계획 수립을 위

한 10단계 중 Step 8에 해당되는데 이를 위해 필요한 Step 5-7의 결과도 함께 제시하였다. Step 5와 6을 통해 안양천 유역에 적합한 대안들이 기술적, 경제적, 환경적 가능성을 고려하여 선택되었으며 Step 7에서는 HSPF 모형을 이용하여 수량과 수질에 대한 효과분석이 이루어졌다. Step 8에서는 여러 다기준 의사결정기법과 지속가능성 평가모형인 DPSIR 모형을 이용하여 대안의 평가지수 및 순위를 산정하였다. 본 연구를 통해 도출된 사항은 다음과 같다.

- 1) 대안의 효과를 정량화하기 위해 다양한 관련 요소를 고려하여 AEI를 산정하였다. 기존 대부분의 계획수립 과정에서는 몇 가지의 유의한 대안들에 대해 단일 목적의 몇 가지 항목을 상대비교하거나 일정 목표를 달성하는 가를 확인하는 것이 대부분이었으나 본 연구에서는 많은 대안들을 몇 가지 목적에 대해 서로 비교하기 위해 평가지수를 산정하는 방안을 제안하였다. 특히 지속가능성 개념 모형인 DPSIR을 이용하여 유역 자체의 관리에 대한 수요, 상태를 위협하는 요소, 현재의 상태, 위협하는 요소들로 인한 영향, 대안의 효과를 모두 반영하도록 하였다.
- 2) 유역통합관리 계획수립 과정에서 특정 유역의 다양한 특성, 목적 등을 정량화하기 위해 다기준 의사결정기법을 사용한다. Step 8에서 대안들의 효과를 평가하기 위해 다양한 요소들을 고려하여 정량화하는데 자료의 특성과 목적에 따라 여러 다기준 의사결정기법들이 사용되었다. 이때 각각의 요소들에 대한 가중치도 다기준 의사결정 기법의 하

나인 AHP 방법을 사용하였으며 자료의 가용성과 적용목적에 따라 여러 가지의 기법들(가중합계법, 복합계획법, 타협계획법, ELECTRE II, Regime 방법, EVAMIX 접근법)을 사용하였다. Spearman 상관계수를 이용하여 비교한 결과 비교적 다 기준 의사결정 기법에 상관없이 비슷한 결과를 보이므로 실무에서는 다양한 다기준 의사결정기법을 모두 사용하여 분석하기보다는 사용하기 편리한 방법을 여건에 맞게 선택하는 것이 좋다. 즉 평가를 위한 자료가 정성적이며 정확한 가중치를 알지 못할 경우, 즉 의사결정 대상에 대한 상세한 정보 및 분석이 거의 이루어지지 않은 상태에서 이루어지는 사전타당성(prefeasibility) 검토에는 EVAMIX 접근법이 사용될 수 있다. 반면 의사결정 대상에 대한 정보 및 가중치를 충분히 알고 평가를 수행하는 타당성(feasibility) 검토에는 Regime 방법, ELECTRE, 복합계획법, 타협계획법 등이 사용될 수 있다.

### 감사의 글

본 연구는 21세기 프런티어 연구개발 사업인 수자원의 지속적 확보기술개발 사업단(과제번호 1-7-3)의 서울대학교 공학연구소를 통한 연구비 지원(80%)과 Safe and Sustainable Infrastructure Research의 연구비 지원(20%)에 의해 수행되었습니다. 연구비 지원에 심심한 감사의 뜻을 표합니다.

### 참고 문헌

고석구, 이광만, 고익환 (1992). "다기준 의사결정기법에 의한 다목적 저수지의 운영률 평가." **한국수문학 회지**, 한국수문학회, 제25권, pp. 75-82.

곽승준, 유승훈, 허재용, Clifford, R.I. (2003). "퍼지다 기준 의사결정기법을 이용한 댐 건설영향에 대한 지역주민들의 의견평가." **국토연구**, 제38권, pp. 107-121.

김우구, 이광만, 박두호 (2006). "MCDA 기법을 이용한 댐사업의 투자우선순위 결정." **한국자원학회논문집**, 한국수자원학회, 제39권, 제12호, pp. 1067-1080.

이길성 (2007). **안양천 유역의 물순환 건전화 기술개발**. 서울대학교, 과학기술부.

정은성, 이길성 (2007). "다기준 의사결정기법을 이용한 공간위험순위 산정." **한국수자원학회논문집**, 한국수 자원학회, 제40권, 제12호, pp. 969-983.

정은성, 이준석, 이길성, 김상욱, 김경태 (2007). "HSPF

모형을 이용한 안양천 유역의 대안기술 효과분석." **한국물환경학회지**, 한국물환경학회, 제22권, 제6호, pp. 962-964.

Abrishamchi, A., Ebrahiman, A., Tajrishi, M., and Mariño, M.A. (2005). "Case study: application of multicriteria decision making to urban water supply." *Journal of Water Resources Planning and Management*, Vol. 131, No. 4, pp. 326-335.

Bardossy, A., and Bogardi, I. (1983). "Network design for the spatial estimation of environmental variables." *Applied Mathematics and Computation*, Vol. 12, pp. 339-369.

Borja, A., Galparsoro, I., Solaun, O., Muxika, I., Tello, E.M., Uriarte, A., and Valencia, V. (2006). "The European Water Framework Directive and the DPSIR, a methodological approach to assess the risk of failing to achieve good ecological status." *Estuarine Coastal and Shelf Science*, Vol. 66, pp. 84-96.

Cai, X., Lasdon, L., and Michelsen, A.M. (2004). "Group decision making in water resources planning using multiple objective analysis." *Journal of Water Resources Planning and Management*, Vol. 130, No. 1, pp. 4-14.

Elliott, M. (2002). "The role of the DPSIR approach and conceptual models in marine environmental management: An example for offshore wind power." *Marine Pollution Bulletin*, Vol. 44, pp. 3-7.

Elshorbagy, A. (2006). "Multicriterion decision analysis approach to assess the utility of watershed modeling for management decisions." *Water Resources Research*, Vol. 42, W9407.

European Environment Agency (1999). *Environmental Indicators: Typology and Overview*. Copenhagen, Denmark.

Fassio, A., Giupponi, C., Hiederer, R., and Simota, C. (2005). "A decision support tool for simulating the effects of alternative policies affecting water resources: An application at the European scale." *Journal of Hydrology*, Vol. 304, pp. 462-476.

Feas, J., Giupponi, C., and Rosato, P. (2004). "Water management, public participation and decision support systems: the MULINO approach." *International Environmental Modelling and*

- Software Society*, University of Osnabruck, Germany.
- Ganoulis, J. (2003). "Evaluating alternative strategies for wastewater recycling and reuse in the Mediterranean area." *Water Science and Technology: Water Supply*, Vol. 3, No. 4, pp. 11-19.
- Gershon, M., Duckstein, L., and McAniff, R. (1982). "Multi-objective river basin planning with qualitative criteria." *Water Resources Research*, Vol. 18, No. 2, pp. 193-202.
- Giupponi, C., Mysiak, J., Fassio, A., and Cogan, V. (2004). "MULINO-DSS: A computer tool for sustainable use of water resources at the catchment scale." *Mathematics and Computers in Simulation*, Vol. 64, pp. 13-24.
- Hartmann, L., Torno, C., Bogardi, I., and Higler, L. (1987). *Methodological Guidelines for the Integrated Environmental Evaluation of Water Resources Development*. Unep/Unesco Project FP/5201-85-01, Paris.
- Hwang, C.L., and Yoon, K.S. (1981). *Multiple Attribute Decision-Making: Methods and Applications*. Springer, New York.
- Lee, Y.W., Bogardi, I., and Stansbury, J. (1991). "Fuzzy decision making in dredged-material management." *Journal of Environmental Engineering*, ASCE, Vol. 117, No. 5, pp. 614-630.
- OECD (1993). "OECD core set of indicators for environmental performance reviews." *OECD Environment Monographs*, No. 83, OECD, Paris.
- Raju, K.S., Duckstein, L., and Arondel, C. (2000). "Multicriterion analysis for sustainable water resources planning: A case study in Spain." *Water Resources Management*, Vol. 14, pp. 435-456.
- Sánchez, M., Prats, F., Agell, N., and Ormazabal, G. (2005). "Multiple-criteria evaluation for value management in Civil Engineering." *Journal of Management in Engineering*, Vol. 21, No. 3, pp. 131-137.
- Seo, S., Aramaki, T., Hwang, Y., and Hanaki, K. (2003). "Evaluation of solid waste management system using fuzzy composition." *Journal of Environmental Engineering*, Vol. 129, No. 6, pp. 520-531.
- Simon, H.A. (1960). *The New Science of Management Decision*. Harper and Brothers, New York.
- Srdjevic, B., Medeiros, Y.D.P., and Faria, A.S. (2004). "An objective multi-criteria evaluation of water management scenarios." *Water Resources Management*, Vol. 18, pp. 35-54.
- Stirrup, M. (2001). "Sizing a new CSO storage tank using continuous SWMM." *Models and Applications to Urban Water System*, Vol. 9 in Monography, Computational Hydraulics Institute.
- Torno, H.C., Hartmann, L., Bogardi, I., Verhoog, F.H., and Higler, L.W.G. (1988). *Training Guidance for the Integrated Environmental Evaluation of Water Resources Development Projects*. Unep/Unesco Project FP/5201-85-01, Paris.
- Yurdusev, M.A., and O'Connel, P.E. (2005a). "Environmentally-sensitive water resources planning: 1. Methodology." *Water Resources Management*, Vol. 19, pp. 375-397.
- Yurdusev, M.A., and O'Connel, P.E. (2005b). "Environmentally-sensitive water resources planning: 2. A case study." *Water Resources Management*, Vol. 19, pp. 399-421.

(논문번호:07-80/접수:2007.08.24/심사완료:2007.12.27)