

# PCSWMM 모형의 수량 및 수질 측면의 효과분석 결과를 이용한 대안의 우선순위 제시

홍원표 · 정은성<sup>\*,†</sup> · 김상욱<sup>\*\*</sup> · 박경신<sup>\*</sup> · 이길성<sup>\*</sup>

대림산업(주)

<sup>\*</sup>서울대학교 공과대학 건설환경공학부

<sup>\*\*</sup>서울대학교 BK21 안전 지속가능한 사회기반건설 사업단

## Prioritization of Alternatives by Quantifying the Effect on Water Quantity and Quality using PCSWMM

Won-Pyo Hong · Eun-Sung Chung<sup>\*,†</sup> · SangUg Kim<sup>\*\*</sup> · Kyung-Shin Park<sup>\*</sup> · Kil Seong Lee<sup>\*</sup>

Daelim Industrial Corporation

<sup>\*</sup>Department of Civil & Environmental Engineering, Seoul National University

<sup>\*\*</sup>Seoul National University BK21 Safe and Sustainable Infrastructure Research Group

(Received 29 February 2008, Revised 4 September 2008, Accepted 8 October 2008)

### Abstract

This study analyzes the effect of alternatives and estimates alternatives evaluation index (AEI) using PCSWMM and weighted summation method. PCSWMM considering combined sewer overflows (CSOs) in the Mokgamcheon watershed was used and effectiveness analysis of alternative was conducted to develop not only flowrate but also the pollutant of BOD and SS. Indicators of AEI are selected using sustainability evaluation concept, driver-pressure-state-impact-response (DPSIR) framework and calculated by weighted summation method. After estimating AEI, alternatives was classified into three groups G (Good), A (Acceptable) and P (Poor) grade. As a results, it is analyzed that alternatives applied to Oryucheon were G grade and those of Yeokgokcheon were P grade and the remainings were 'A' grade. This result will be effective to the integrated watershed management for sustainability.

**keywords** : Alternatives evaluation index (AEI), Driver-Pressure-State-Impact-Response (DPSIR), Effectiveness analysis, PCSWMM

## 1. 서론

다양한 대안 중 어떤 대안을 선택하느냐 하는 것은 의사 결정자와 상황에 따라 달라질 수 있는 문제이다. 예를 들어 건기의 수량확보를 위한 대안 중 효과를 평가하기 위한 기준으로 갈수량(drought flow,  $Q_{355}$ )과 저수량(low flow,  $Q_{275}$ ) 또는 건기의 총 유출량 등이 다양하게 선택될 수 있다. 또 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 위험도를 감안한 평가가 이루어져야 하기 때문이다. 또한 대안들은 각각의 목적에 따라 전혀 다른 효과를 나타내게 된다. 예를 들어 지하수 용출수의 활용은 건기 시 수량확보에만 효과가 있는데 반해 소규모 저수지 건설은 건기 시 수량확보 뿐만 아니라 홍수 시 홍수분담량의 저감효과까지 있으므로 서로 다른 효과를 정량적으로 비교하는 것은 쉽지 않다(정은성 등, 2008b).

일반적으로 대안의 효과분석은 간단한 수식, 설계용량 등으로 간소하게 산정하는 경우가 대부분이며 간혹 단일강우 사상(single event)을 모의하는 간단한 수문모형을 사용하기도 한다. 하지만 대안에 대한 효과분석을 수행하기 위해서는 반드시 적절한 연속유출 모의모형(continuous runoff simulation model)을 구축하여 적용하여야 한다. 특히 대상유역에 대해 되도록 정확하게 연속유출 모의를 수행할 수 있어야 하며 가장 널리 쓰이는 관리 수단인 토지이용 변화, 저수지, 침투관련 시설 등에 대해 모두 모의할 수 있어야 한다. Stirrup(2001)은 다음과 같은 5가지 이유로 반드시 연속유출 모의모형을 사용하여 대안의 효과를 분석해야 한다고 하였다.

- 연속유출 모의모형은 강우사상이 발생하기 이전의 토양 수분 상태(antecedent soil moisture condition)를 고려하므로 보다 정확한 유출량과 오염물질 부하량을 산정할 수 있다.
- 설계 강우는 정해진 총 강우량과 분포를 가정하므로 실제 강우사상에서 거의 발생하지 않는다. 하지만 대안의 효과가 발휘되는 경우에는 설계 강우가 대부분 실제 강우사상의 복잡한 수문곡선에서 발생되어진다.
- 연속되는 작은 강우에 대해서 대안의 효과가 발생하는

<sup>†</sup> To whom correspondence should be addressed.  
cool77@snu.ac.kr

경우가 많다.

- 대안이 설치될 경우 건기의 시간 변화에 대한 유출량 및 오염물질의 농도 변화에 크게 영향을 미치는 경우가 많다.
- 수량 및 수질의 기준은 대부분 단일 강우사상에 대한 것이라기 보단 장기적인 상황에 대한 값으로 설정한다.

또한 연속유출 모의 모형은 다양한 유역관리 수단의 효과를 분석할 수 있어야 한다. 따라서 근래 다양한 목적으로 폭넓게 쓰이고 있는 Storm Water Management Model (SWMM; Huber and Dickinson, 1988), Hydrological Simulation Program-Fortran (HSPF; Bicknell et al., 2001), Soil and Water Assessment Tool (SWAT; Arnold et al., 2002) 등과 같은 연속유출 모의모형이 바람직하다.

최근 대안의 효과분석 및 우선순위 제시를 위해 다양한 연속유출 모의 모형을 이용하여 적용한 연구는 있지만, 도시유역에 대해 하수관거 월류수(combined sewer overflows, CSOs)를 반영하여 수질과 수량에 대해 모두 분석한 연구는 거의 없다. 따라서 본 연구에서는 목감천 유역에 CSOs를 고려하여 기 구축(홍원표 등, 2008)된 PCSWMM(James and Huber, 2003) 모형을 이용하여 대안의 효과분석을 실시하였다. 또한 이 결과를 이용하여 정은성 등(2008b)이 제안한 지속가능성 평가모형인 Driver-Pressure-State-Impact-Response(DPSIR)를 이용한 대안평가지수(alternative evaluation index, AEI)를 산정한 후 대안의 우선 순위를 제시하였다. 특히 기존 연구(이길성 등, 2005, 2007; 이상호와 이정민, 2006)는 도시유역 물순환에서 중요한 CSOs를 제외하였고 오염물질을 BOD만 포함시켰지만 본 연구는 CSOs를 포함하였을 뿐만 아니라 오염물질도 SS까지 추가하였다.

## 2. 연구방법

### 2.1. 대상유역 및 모형구축

목감천(MG)은 안양천에 유입되는 지방2급 하천으로서 유역면적 55.69 km<sup>2</sup>, 유로연장 15.5 km, 유역평균폭 3.41 km, 형상계수 0.22인 장방형의 유역형상을 띠고 있다. 또한 서울시 구로구 고척동과 경기도 시흥시 목감동의 2개동, 광명시 철산동의 3개동, 부천시 남구 괴안동의 2개동을 접하며,

목감천 하류부 도시구간을 제외하면 대부분 유역이 농경지와 산지부로 형성되어 있다. 목감천은 오류천(OR), 역곡천(YG), 계수천(GS), 가학천(GH)과 같은 지방2급하천을 포함하고 있다. 목감천 유역의 상세한 특성은 Table 1과 같다.

적용 모형은 기 보정 및 검증(홍원표 등, 2008)된 PCS-WMM 모형을 이용하였다. 기상자료는 수원기상대와 서울기상대의 자료를 사용하였으며, 목감천 유역을 특성에 따라 27개 소유역을 나누어 모형을 구축한 후 실측자료를 토대로 매개변수 민감도 분석과 모형의 보정 및 검증을 수행하였다.

### 2.2. 지속가능성 평가지수: DPSIR

DPSIR 모형은 EEA(European Environment Agency, 1999)가 기존의 OECD(1993)의 Pressure-State-Response(PSR) 모형을 개선하여 지속가능성(sustainability)을 지표화하기 위해 개발하였다. 기존의 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. 즉 PSR 모형은 인간의 활동(pressure)이 환경(state)에 영향을 미치고 환경은 다시 인간으로 하여금 압력을 줄이기 위한 활동(response)을 촉진하게 한다. 그러나 DPSIR 모형은 여기에 두 가지 개념이 추가되었다. 인간의 행복은 환경의 질과 관계가 있고 사회의 활동과 경제적 압력은 환경과 인간의 행복에 영향을 미친다는 것이다. 이러한 개념은 추진력(driving force or drivers)과 영향(impact)에 반영되어 PSR 모형에 추가되었다. 따라서 DPSIR 모형은 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 원동력은 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

**Table 1.** Characteristics of the Anyangcheon subwatersheds

Stream orders	Category Name of sub-watershed		Stream length (km) <sup>*</sup>	Water-shed area (km <sup>2</sup> )	Total population (person) <sup>***</sup>	Landuse <sup>**</sup>									
						Urban		Forest		Rice paddy		Dry field		Others <sup>****</sup>	
						Area (km <sup>2</sup> )	Ratio (%)	Area (km <sup>2</sup> )	Ratio (%)	Area (km <sup>2</sup> )	Ratio (%)	Area (km <sup>2</sup> )	Ratio (%)	Area (km <sup>2</sup> )	Ratio (%)
1-2-3	Main	AY	32.38	286.55	3,876,278	123.31	43.03	114.03	39.79	24.85	8.67	12.265	4.28	12.10	4.22
1-2	Mokgam	MK	13.52	56.07	473,077	17.82	31.71	19.92	35.44	10.37	18.44	4.5604	8.11	3.54	6.30
1	Gahak	GH	3.00	2.71	1,113	0.10	3.46	1.76	58.13	0.69	22.77	0.2277	7.52	0.25	8.11
1	Geasu	GS	4.28	3.65	10,118	0.73	14.81	1.64	33.02	1.58	31.94	0.5597	11.28	0.44	8.94
1	Oryu	OR	3.93	6.58	187,066	3.49	52.83	2.11	31.95	0.19	2.94	0.2607	3.95	0.55	8.34
1	Yeokgok	YG	3.46	13.09	135,071	5.59	42.75	3.90	29.81	1.77	13.54	1.2587	9.63	0.56	4.26

<sup>\*</sup> From 1:25,000 DEM of the National Geographic Information Institute (NGII) in the year of 2000

<sup>\*\*</sup> From the NGII in the year of 2000

<sup>\*\*\*</sup> From the site of Korea national statistical office (www.nso.go.kr)

<sup>\*\*\*\*</sup> Including water, idle land, and wetland.

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(정은성 등, 2008b).

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

### 2.3. 대안 평가지수(AEI) 산정 방법

AEI를 산정하는 식은 다기준 의사결정기법의 종류에 따라 다르다. 본 연구에서는 정은성 등(2008b)이 제시한 여러 방법 중 가중합계법(weighted summation method)을 사용하였으며 관련 수식은 다음과 같다.

$$f(a_i) = pf_1 + qf_2 \tag{1}$$

여기서  $a_i$ 는  $i$  대안이며,  $n$ 은 대안  $i$ 가 적용된 중유역이며  $f_1$ 은 이수 측면의 효과지수(0~1),  $f_2$ 는 수질관리 측면의 효과지수(0~1)를 나타내는 값이며,  $p$ ,  $q$ 는 이수, 수질관리에 대한 가중치이다.

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

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

여기서,  $i$ 는 대안명이고,  $j$ 는 1인 경우 이수, 2인 경우는 수질관리를 의미하며,  $w_{j,1} \sim w_{j,5}$ 는 추진력, 압력, 상태, 영향, 반응에 대한 가중치이고,  $DR_{j,i}$ 은 대안  $i$ 가  $j$  측면에 미치는 추진력에 대한 지수,  $PR_{j,i}$ 은 대안  $i$ 가  $j$  측면에 미치는 압력에 대한 지수,  $ST_{j,i}$ 는 상태에 대한 지수,  $IM_{j,i}$ 는 영향에 대한 지수,  $RE_{j,i}$ 는 반응에 대한 지수를 의미한다.

각각의 인자를 산정하기 위해서 정은성 등(2008b)이 제시한 수식을 SS에 대한 효과를 반영할 수 있도록 변형하였다. 즉, 물순환에 가장 많은 영향을 미치는 근본적인 요인(D)을 인구와 인구밀도로 가정하였고 인간의 활동 중 물순환에 압력(P)을 미치는 요소로 이수 측면에서는 하천수 누수 여부, 도시지역 비율, 지하수 취수량, 유역경사를, 수질관리 측면에서는 BOD, COD, SS, TN & TP 부하량, 미처리 하수 유입여부, 인구밀도, 복개구간 비율을 가정하였다. 이러한 압력으로 인해 영향(S)을 받는 자연상태 요소는 이수 측면에서는 유험곡선에서 평균 갈수량( $Q_{355}$ )과 목표 수문학적 갈수

량에 대한 비율로 가정하였고, 수질관리 측면에서는 목표수질 대비 BOD, SS 평균 농도로 하였다. 물순환의 악화로 인해 인간에게 나타나는 직접적인 영향(I)은 이수측면에서 목표유지유량 만족일수, 수질측면에서는 목표 BOD 농도, BOD TMDL, 목표 SS 농도, SS TMDL 만족일수로 정하였으며, 여기서 TMDL은 목표 수량과 목표 수질의 곱으로 가정하였다. 이러한 영향을 회복하기 위해 국가, 사회, 관리부처 등에서 시도하는 여러 대안들을 반응(R)이라고 하며 반응으로 인한 효과를 정량화하기 위해 선택된 각각의 기준들은 대안에 대한 효과 분석 결과 값을 사용하였다.

본 연구에서 사용하는 이수 측면에서의 추진력( $DR_{1,n}$ ), 압력( $PR_{1,n}$ ), 상태( $ST_{1,n}$ ), 영향( $IM_{1,n}$ ), 반응( $RE_{1,n}$ )에 대한 수식과 수질관리 측면에서의 추진력( $DR_{2,n}$ ), 압력( $PR_{2,n}$ ), 상태( $ST_{2,n}$ ), 영향( $IM_{2,n}$ ), 반응( $RE_{2,n}$ )에 대한 수식을 나타내면 다음과 같다.

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

$$PR_{1,i} = \beta_{1,3} s_{SS,n} + \beta_{1,4} s_{UR,n} + \beta_{1,5} s_{GW,n} + \beta_{1,6} s_{SW,n} \tag{4}$$

$$ST_{1,i} = 1 - \frac{\frac{t_{flow}(a_i)}{d(a_i)}}{\max_i \frac{t_{flow}(a_i)}{d(a_i)}} \tag{5}$$

$$IM_{1,i} = 1 - \frac{n_{flow}(a_i)}{\max_i n_{flow}(a_i)} \tag{6}$$

$$RE_{1,j} = 1/3 \times \frac{\frac{\Delta d(a_i)}{t_{flow}(a_i)}}{\max_i \frac{\Delta d(a_i)}{t_{flow}(a_i)}} + 1/3 \times \frac{\frac{\Delta l(a_i)}{t_{flow}(a_i)}}{\max_i \frac{\Delta l(a_i)}{t_{flow}(a_i)}} + 1/3 \times \frac{\frac{\Delta n_{flow}(a_i)}{\max_i \Delta n_{flow}(a_i)}}{\max_i \frac{\Delta n_{flow}(a_i)}{\max_i \Delta n_{flow}(a_i)}} \tag{7}$$

$$DR_{2,i} = \beta_{2,1} s_{PD,n} + \beta_{2,2} s_{P,n} \tag{8}$$

$$PR_{2,i} = \beta_{2,3} s_{LB,n} + \beta_{2,4} s_{LC,n} + \beta_{2,5} s_{LS,n} + \beta_{2,6} s_{LPN,n} + \beta_{2,7} s_{WL,n} + \beta_{2,8} s_{PD,n} + \beta_{2,9} s_{CSN,n} \tag{9}$$

$$ST_{2,i} = 1 - \left( \alpha \times \frac{\frac{qc_{BOD}(a_i)}{t_{BOD}(a_i)}}{\max_i \frac{qc_{BOD}(a_i)}{t_{BOD}(a_i)}} + \beta \times \frac{\frac{qc_{SS}(a_i)}{tc_{SS}(a_i)}}{\max_i \frac{qc_{SS}(a_i)}{tc_{SS}(a_i)}} \right) \tag{10}$$

$$EM_{2,i} = 1 - \left( \alpha \times \frac{nc_{BOD}(a_i)}{\max_i nc_{BOD}(a_i)} + \beta \times \frac{nc_{SS}(a_i)}{\max_i nc_{SS}(a_i)} \right) \quad (11)$$

$$RE_{3,j} = \frac{\alpha}{4} \times \left( \frac{\frac{\Delta qc_{BOD}(a_i)}{tc_{BOD}(a_i)}}{\max_i \frac{\Delta qc_{BOD}(a_i)}{tc_{BOD}(a_i)}} + \frac{\frac{\Delta ql_{BOD}(a_i)}{tl_{BOD}(a_i)}}{\max_i \frac{\Delta ql_{BOD}(a_i)}{tl_{BOD}(a_i)}} + \frac{\frac{\Delta nc_{BOD}(a_i)}{\max_i \Delta nc_{BOD}(a_i)}}{\max_i \frac{\Delta nc_{BOD}(a_i)}{\max_i \Delta nc_{BOD}(a_i)}} + \frac{\frac{\Delta nl_{BOD}(a_i)}{\max_i \Delta nl_{BOD}(a_i)}}{\max_i \frac{\Delta nl_{BOD}(a_i)}{\max_i \Delta nl_{BOD}(a_i)}} \right) + \frac{\beta}{4} \times \left( \frac{\frac{\Delta qc_{SS}(a_i)}{tc_{SS}(a_i)}}{\max_i \frac{\Delta qc_{SS}(a_i)}{tc_{SS}(a_i)}} + \frac{\frac{\Delta ql_{SS}(a_i)}{tl_{SS}(a_i)}}{\max_i \frac{\Delta ql_{SS}(a_i)}{tl_{SS}(a_i)}} + \frac{\frac{\Delta nc_{SS}(a_i)}{\max_i \Delta nc_{SS}(a_i)}}{\max_i \frac{\Delta nc_{SS}(a_i)}{\max_i \Delta nc_{SS}(a_i)}} + \frac{\frac{\Delta nl_{SS}(a_i)}{\max_i \Delta nl_{SS}(a_i)}}{\max_i \frac{\Delta nl_{SS}(a_i)}{\max_i \Delta nl_{SS}(a_i)}} \right) \quad (12)$$

여기서,  $d(a_i)$ ,  $l(a_i)$ ,  $qc_{BOD}(a_i)$ ,  $ql_{BOD}(a_i)$ ,  $qc_{SS}(a_i)$ ,  $ql_{SS}(a_i)$ 는 대안  $a_i$ 가 적용되는 유역의 갈수량과 저수량, 평균 BOD 농도, 총 BOD 일부하량, 평균 SS 농도, 총 SS 일부하량을 의미하며,  $t_{flow}(a_i)$ ,  $tc_{BOD}(a_i)$ ,  $tl_{BOD}(a_i)$ ,  $tc_{SS}(a_i)$ ,  $tl_{SS}(a_i)$ 는 대안  $a_i$ 가 적용되는 유역의 수문학적 목표유지유량, 목표 BOD 농도, 목표 BOD 총 일부하량, 목표 SS 농도, 목표 SS 총 일부하량을 의미하며,  $n_{flow}(a_i)$ ,  $nc_{BOD}(a_i)$ ,  $nl_{BOD}(a_i)$ ,  $nc_{SS}(a_i)$ ,  $nl_{SS}(a_i)$ 은 대안  $a_i$ 가 적용되는 유역의 목표유지유량 만족일수와 목표수질 만족일수, 목표 총일부하량 만족일수를 의미한다. 또한  $s_{PD}$ ,  $s_P$ ,  $s_{SS}$ ,  $s_{UR}$ ,  $s_{GW}$ ,  $s_{SW}$ 는 인구밀도, 인구, 하천수 바닥손실, 도시지역비율, 지하수 취수량, 유역경사를 타나내며,  $s_{LB}$ ,  $s_{LC}$ ,  $s_{LS}$ ,  $s_{LPN}$ ,  $s_{WB}$ ,  $s_{CSN}$ 는 BOD 부하량, COD 부하량, SS 부하량, TN·TP 부하량, 미처리하수, 유입복개하천를

의미한다.

DPSIR 모형의 지속가능성 구성요소의 가중치  $w_{j,1} \sim w_{j,5}$ 와  $\beta_{1,1} \sim \beta_{1,6}$ ,  $\beta_{1,1} \sim \beta_{1,9}$ 는 목감천은 안양천의 지류이므로 정은성 등(2008b)이 안양천에 적용한 수치를 이용하였다. 이는 수문/수자원 관련 전문가 및 관련지자체 공무원 30명의 설문결과를 AHP를 방법으로 산정되었으며,  $\alpha$ 와  $\beta$ 는 BOD와 SS에 대한 가중치로 본 연구에서는 동일한 가중치(0.5)를 적용하였다. 또한 대안의 효과분석의 결과와 위 식을 이용하여 AEI를 산정한 후 0.6이상을 “Good” G 등급, 0.3~0.6을 “Acceptable” A 등급, 0.3이하를 “Poor” P 등급(Hartmann et al., 1987)으로 나누어 각 대안의 등급을 산정하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1. 대안의 구성

목감천 유역 내 물순환 건전화를 위한 대안을 선정하기 위하여 이길성(2007)이 제시한 가능 대안 중 기술적 가능성(technical feasibility), 경제적 효율성(economic feasibility), 환경적 안정성(environmental feasibility) 측면에서 정성적으로 검토하여 적용 가능한 대안을 선택하면 Table 2와 같이 이를 공간적으로 제시하면 Fig. 1과 같다.

오류천 유역은 하수가 하천에 흘러들어와 목감천에 합류되기 전에 전량 차집되어 서남하수처리장으로 이송된다. 따라서 오류천을 따라 차집관거를 설치(II)하여 하수를 전량 차집하고, 상류의 공동 저수지를 재개발(O1)하여 갈수량을 기준으로 산정된 하천유지유량 0.10 CMS(이길성, 2007)의 50%인 0.05 CMS를 저수지 수문으로 통해 방류하였을 경우를 대안으로 제시하였다. 여기서 건기시 하천에는 하수가 흐르고 있으며 목감천으로 합류되기 전에 이를 전량 차집하고 있기 때문에 현재의 유량을 0으로 가정하여 분석하였다.

가학천 유역은 전원지역으로 상류에 소규모 저수지들이 위치하고 있으며 하류에는 칠리제 저수지가 인접해 있다. 따라서 주변의 소규모 저수지를 개발하고 칠리제 저수지의 물을 상류로 송수하여 갈수량을 기준으로 산정한 하천유지

**Table 2.** Specific description of feasible alternatives

Alternatives	Sub-watershed	Description	Name
Interceptor	OR	- Installation of interceptor	I1
	YG		I2
Local WWTP	MG	- Construction of small WWTP in upstream regions - BOD: 1.8 mg/L* - TN: 8.275 mg/L* - TP: 0.762 mg/L* - SS: 1.5 mg/L*	L1
	GS		L2
			L3
Separated sewer	MG	- Replacing combined sewer with separated sewer	S1
	YG		S2
Reservoir operating	OR	- Extension of reservoir - Proper operation (release 0.05 CMS)	O1
	GS		O2
			GH

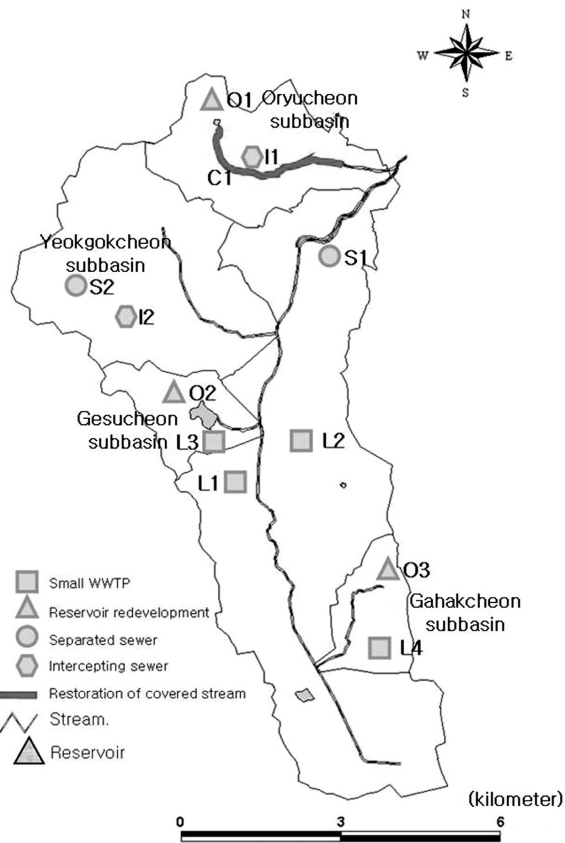


Fig. 1. Feasible alternatives.

유량 0.062 CMS의 85% 가량인 0.055 CMS를 방류하는 것으로 하였다(O3).

계수천 유역은 상류에 위치한 저수용량 367,000 m<sup>3</sup>의 과립저수지를 활용하여 하천유량을 확보할 수 있다. 현재 과립저수지는 강우시 자연 월류하며 비강우시에는 방류가 이루어지지 않아 계수천의 하천유량 확보에 도움이 되지 못하는 실정이다. 따라서 본 연구에서는 과립저수지를 조

질 가능한 저수지로 변경(O2)하여 그 효과를 분석하였다. 또한 현재 계수천 유역 주변에 시흥시 과립하수처리장(처리용량: 2,200 m<sup>3</sup>/일) 건설이 예정되어 있기 때문에 소규모 하수처리장을 설치(L3)하여 하수를 정화한 후 방류하는 것을 대안으로 선정하였다.

역곡천 유역은 상류에 역곡하수처리장이 설치되어 운영되고 있으므로 하천유지유량 만족일 수가 1년 중 164일에 이른다. 따라서 수질개선을 위한 대안들을 적용하였다. 역곡천 유역의 상류의 합류식 하수관거를 분류식으로 교체(S2)하고, 중·하류의 미처리 하수가 유입되는 지역은 차집관거를 설치(I2)하여 하수를 역곡하수처리장에서 처리하여 방류하도록 하였다.

목감천 유역의 대안효과 분석은 다음의 두 가지로 나누어 진행하였다. 첫 번째로 목감천 출구점에서 각 유역에 적용된 대안에 대한 효과를 분석하였다(Case 1). 두 번째로 하천유지유량 만족일 수 증가를 위해 과립저수지에서 0.05 CMS를 방류한다는 대안(O2)을 먼저 적용하고, 목감천 좌안의 하수처리장 건설(L1), 우안의 하수처리장 건설(L2), 하류 도시지역의 합류식 하수관거를 분류식으로 교체(S1)의 대안을 차례로 적용하였다(Case 2). 이는 현재 목감천 유역에 계획되어 있는 대안들을 우선적으로 반영하기 위함이다.

### 3.2. 대안의 효과 분석

기 보정 및 검증(홍원표 등, 2008)된 PCSWMM 모형을 이용하여 적용 가능한 대안에 대한 효과분석을 실시하였다. 대상유역의 물순환 건전화를 위한 수자원 관리 및 계획을 위해서 구체적인 목표를 하천수 확보와 수질관리로 정하였다. 즉, 그 구체적인 값으로 각 하천의 하천유지유량과 BOD 목표 수질(농도 8 mg/L 이하, 4 등급), SS 목표수질(SS 농도 25 mg/L 이하, 1~3등급)로 정하였다(이길성, 2007).

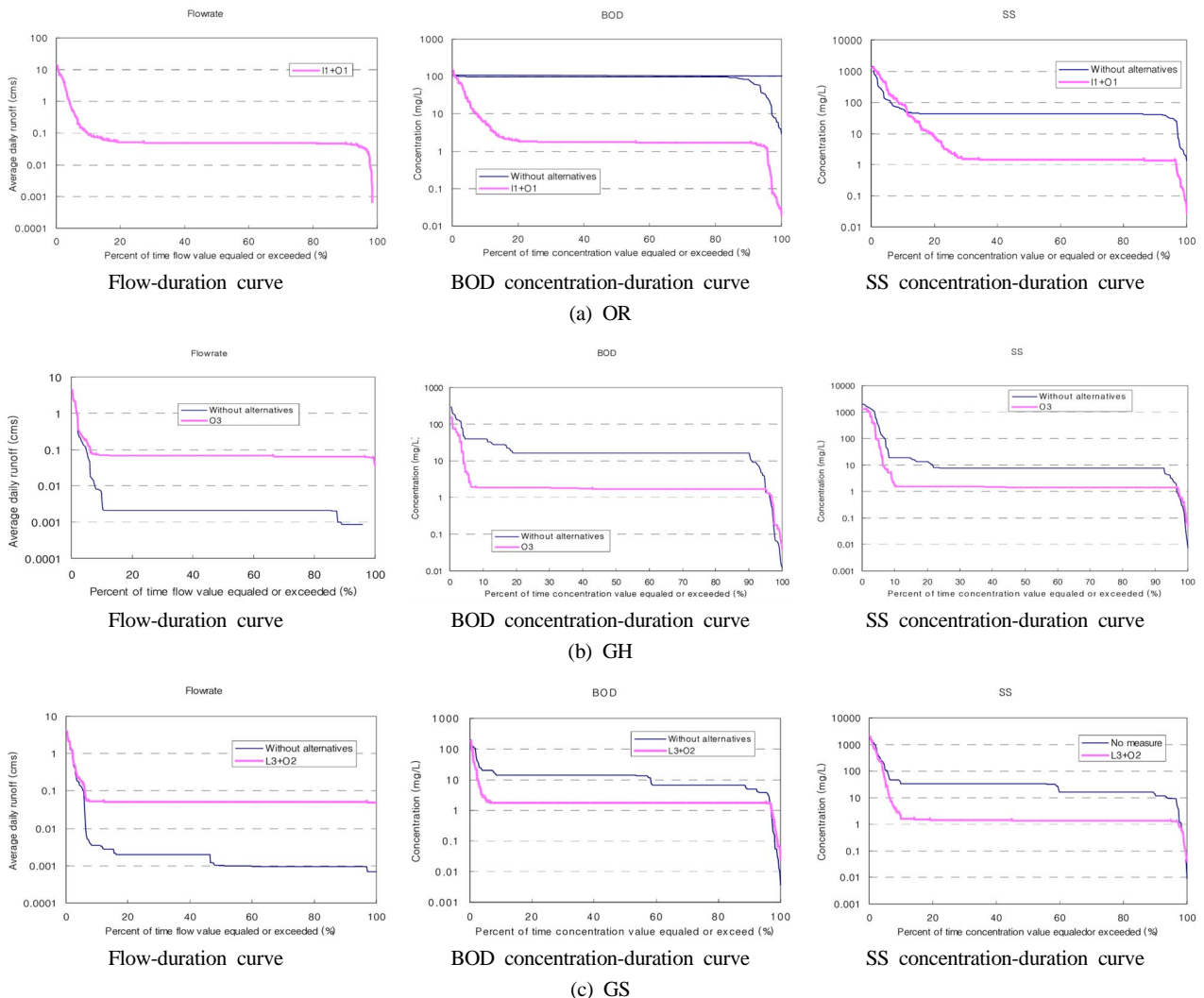
각 대안의 분석결과는 Table 3, 4에 제시되어 있고 대안

Table 3. The number of days satisfying instream flow requirement

Name	Category	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Sum
OR	Without alternatives	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	I1+O1	2	0	0	1	3	4	8	0	0	16	2	2	38
GH	Without alternatives	1	0	0	0	2	2	6	0	0	0	0	1	12
	O3	31	28	31	0	2	4	7	0	0	0	30	31	164
GS	Without alternatives	1	0	0	0	2	4	8	0	0	1	0	2	18
	L3+O2	1	0	0	30	31	4	10	0	0	1	1	2	80
YG	Without alternatives	31	28	31	0	2	3	7	0	0	1	30	31	164
	I2+S2	31	28	31	0	2	3	7	0	0	1	30	31	164
MG Case 1	Without alternatives	0	0	0	0	0	0	0	5	0	0	30	31	66
	I1+O1	1	0	0	0	21	30	31	31	0	9	30	31	184
	O3	1	25	31	0	31	30	31	30	4	31	30	31	275
	L3+O2	1	26	31	0	31	30	31	31	0	12	30	31	254
	I2+S2	1	0	0	0	0	0	0	4	0	0	30	31	66
MG Case 2	O2+L1	0	27	31	0	31	30	31	31	0	16	30	31	258
	O2+L1+L2	0	27	31	0	31	30	31	30	0	17	30	31	258
	O2+L1+L2+S1	0	9	31	0	31	30	31	31	0	6	30	31	230

**Table 4.** Comparisons between with and without alternatives

Name of sub-watershed	Alternatives	Water quantity (CMS)			Water quality					
		Low flow (Q <sub>275</sub> )	Drought flow (Q <sub>355</sub> )	Efficiency	BOD			SS		
					Concentration (mg/L)	Total daily load (kg/day)	Efficiency	Concentration (mg/L)	Total daily load (kg/day)	Efficiency
OR	Without alternatives	0.001	0.001	-	90.380	2386.7	-	65.98	2,124.8	-
	I1+O1	0.051	0.020	69.00	5.520	113.6	1.89	47.94	1,270.4	0.676
GH	Without alternatives	0.002	0.001	-	22.930	28.6	-	73.64	346.1	-
	O3	0.006	0.063	64.08	4.260	36.1	0.55	36.94	353.1	0.478
GS	Without alternatives	0.010	0.001	-	13.200	31.5	-	60.39	374.4	-
	L3+O2	0.051	0.051	75.69	3.100	38.1	0.56	27.88	379.4	0.525
YG	Without alternatives	0.314	0.280	-	9.390	278.5	-	37.40	603.8	-
	I2+S2	0.314	0.280	0.00	1.670	60.0	1.61	31.90	506.1	0.308
MG	Without alternatives	0.239	0.166	-	23.552	1272.1	-	80.95	5,302.4	-
	I1+O1	0.273	0.213	0.43	20.333	1186.0	0.20	75.55	5,853.9	-0.037
	O3	0.369	0.275	1.20	17.539	1265.2	0.26	67.13	5,134.9	0.202
	L3+O2	0.424	0.296	1.56	15.732	1275.5	0.33	62.70	5,174.4	0.250
	I2+S2	0.239	0.166	0.00	10.034	1006.9	0.78	68.61	5,194.7	0.173
	O2+L1	0.424	0.296	1.56	12.469	1082.3	0.62	62.97	5,205.3	0.240
	O2+L1+L2	0.424	0.296	1.56	10.298	950.0	0.82	63.46	5,227.7	0.230
	O2+L1+L2+S1	0.442	0.199	1.05	9.826	794.8	0.96	66.27	5,179.7	0.204



**Fig. 2.** Flow and pollutant duration curves.

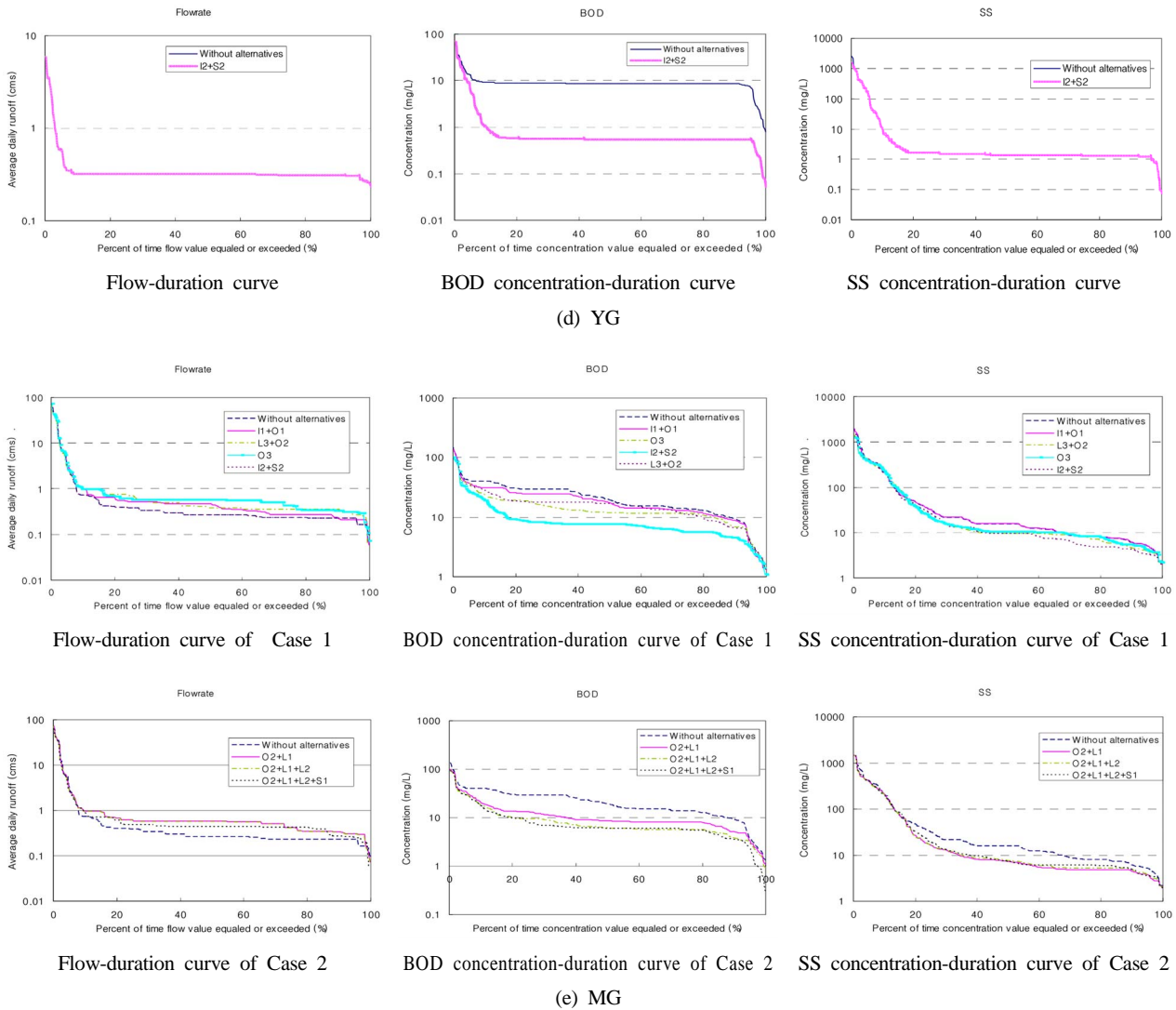


Fig. 2. Flow and pollutant duration curves (continued).

별 유허곡선(flow duration curve) 및 BOD, SS 농도에 대한 지속곡선(duration curve)은 Fig. 2에 제시하였다.

오류천의 경우 저수지 수문을 통해 항상 0.05 CMS를 방류하였을 경우 2006년 갈수량은 0 CMS에서 0.020 CMS로, 저수량은 0 CMS에서 0.051 CMS로 각각 변화되었으며, 하천유지유량 충족일 수는 1년 중 총 38일의 만족 일수를 보였다. 수질의 경우 대안을 적용하지 않았을 경우 2006년 평균 BOD 농도는 90.38 mg/L에서 5.22 mg/L로, SS 농도는 65.98 mg/L에서 47.94 mg/L로 변화되었다. 따라서 차집관거 설치와 저수지 방류량 증가는 오류천의 BOD 목표 수질인 4등급(BOD 농도 8 mg/L 이하)을 달성하는 결과를 보였지만, SS 목표수질인 1~3등급(SS 농도 25 mg/L 이하)을 달성하지는 못했다. 이는 비점오염원의 영향으로 생각되며, 이에 대한 대책이 요구된다. TN, TP는 대안을 설치하지 않았을 경우보다 모두 낮은 값을 나타냈다. 대안을 적용하지 않았을 경우 평균 부하량은 TN, TP 각각 40.36 mg/L, 10.71 mg/L이며 대안 적용 후의 평균 부하량은 9.53 mg/L, 0.87 mg/L로 변화되었다. 이와 같이 차집관

거 설치와 저수지 운영 변화를 통한 대안 효과 분석은 유량증가와 오염물 농도 감소의 긍정적인 효과를 나타낼 수 있었고, 특히 오류천의 BOD 농도가 90.38 mg/L에서 5.22 mg/L으로 목표 수질인 4등급(BOD 농도 8 mg/L 이하)을 훨씬 상회함을 알 수 있었다.

가학천 상류의 경우 소규모 저수지를 재개발하고, 칠리제 저수지의 물을 송수하여 0.055 CMS를 방류하였을 경우 2006년 평균 가학천의 갈수량은 0 CMS에서 0.063 CMS로 증가하였으며, 저수량은 0.002 CMS에서 0.065 CMS로 증가하였다. 또한 하천유지유량 충족일수의 변화에서는 방류량을 변경하기 전 1년 중 12일의 만족일수에서 164일의 만족일수로 증가되는 결과를 보였다. 대안 적용 전과 후의 평균 BOD, SS 농도는 22.93 mg/L, 73.64 mg/L이며, 적용 후의 평균 BOD, SS의 농도는 4.26 mg/L, 36.94 mg/L으로 각각 약 80%, 50%가 감소되었다. 또 대안을 적용하지 않았을 경우 평균 TN, TP의 농도는 11.71 mg/L, 1.42 mg/L이며, 대안 적용 후의 농도는 9.45 mg/L, 0.87 mg/L로 각각 약 20%, 40% 감소되었다. 이와 같이 가학천 지역의 저

수지 운영의 변화는 수량적인 측면에서는 약 30배의 저수량(low flow)을 증가시키는 효과를 보였다. 또한 BOD 농도를 약 1/5로 저감시켜, 목표 등급인 4등급은 물론 3 등급(BOD 4.0 mg/L 이하)에 근접함을 알 수 있었지만 SS 농도는 목표 등급인 1~3등급(SS 25 mg/L 이하)에 도달하지는 못하였다. TN, TP의 연 평균 부하량도 약 30~50% 감소되는 효과를 보이고 있어 대안으로서 긍정적인 효과를 보이는 것으로 판단된다.

계수천의 경우 저수지 수문을 통해 항상 0.05 CMS를 방류하였을 경우 2006년 평균 갈수량은 0.001 CMS에서 0.051 CMS로 증가되었으며, 하천유지유량 충족일 수는 18일에서 80일로 증가됨을 보였다. 대안 적용전 평균 BOD 농도는 13.2 mg/L에서 3.10 mg/L로 변화되었으며, SS 농도는 60.39 mg/L에서 27.88 mg/L로 변화되었다. 대안을 적용하지 않았을 경우 TN, TP의 평균 농도는 각각 26.47 mg/L, 1.17 mg/L이며 대안 적용 후의 평균 농도는 8.79 mg/L, 0.81 mg/L로 변화되었다. 이와 같이 계수천 유역의 저수지 운영의 변화 및 과립하수처리장 건설은 수량적인 측면 뿐만 아니라 수질적인 측면에서도 긍정적인 효과를 나타냈다. BOD 농도가 3.10 mg/L로서 목표 수질인 4 등급은 물론 2 등급(BOD 농도 4 mg/L 이하) 이상을 만족시키는 결과를 보였으며, SS는 목표수질인 1~3등급(SS 농도 25 mg/L 이하)에 근접하는 결과를 보였다.

역곡천 유역에 적용한 대안은 수질 개선 대안이기에 때문에 유량 변화가 없었다. 갈수량은 0.280 CMS, 저수량은 0.314 CMS로 타 유역에 비해 큰 값을 보였으며 하천유지유량 충족일 수는 1년 중 164일이다. 대안 적용전의 2006년 BOD, SS 농도는 9.39 mg/L, 37.40 mg/L이며, 대안 적용 후의 농도는 1.67 mg/L, 31.92 mg/L로 각각 약 80%, 20%의 감소 효과가 나타났다. 2006년 TN, TP의 농도는 대안 적용 전에 11.85 mg/L, 1.18 mg/L, 대안적용 후 3.29 mg/L, 0.30 mg/L로 약 70%의 감소 효과를 나타낸다. 이와 같이 BOD 농도는 1.67 mg/L로 BOD 목표 수질인 4등급은 물론 거의 1등급에 가까운 농도를 보였으며, SS 농도는 31.92 mg/L로 목표 수질인 1~3등급은 만족시키지 못했다. 비점오염원의 이유라 생각되며, 이에 대한 대책이 요구된다.

목감천의 Case 1의 경우를 살펴보면, 갈수량은 계수천에 적용된 L3+O2 대안으로 인해 0.166 CMS에서 0.296 CMS로 약 70% 정도 증가되었으며, 저수량도 계수천에 적용된 L3+O2 대안으로 0.239 CMS에서 0.424 CMS로 약 77% 증가하여 가장 효과적인 것으로 분석되었다. 또한 Table 3에서와 같이 대안 L3+O2로 인한 하천유지유량 충족 일수가 높기 때문에 수량적인 측면에서 계수천에 대한 대안을 적용하는 것이 가장 효과적인 것으로 분석되었다.

BOD 측면에서 가장 효과적인 대안은 역곡천에 적용했던 I2+S3이며 대안 적용 전 23.55 mg/L에서 대안 적용 후 10.03 mg/L로 약 57% 감소되었다. SS 측면에서는 계수천에 적용했던 L3+O2이며 대안 적용전 80.95 mg/L에서 62.69 mg/L로 약 22% 감소하였다.

TN과 TP의 경우 가장 효과적인 대안은 역곡천에 적용했

던 I2+S3이며 대안 적용 전 12.95 mg/L, 0.89 mg/L에서 대안 적용 후 6.66 mg/L, 0.49 mg/L로 각각 약 48%, 55% 감소되었다.

Case 2를 살펴보면, 과립저수지에서 0.05 CMS를 방류한다는 대안을 먼저 적용시켰기 때문에 갈수량은 0.166 CMS에서 0.296 CMS로 약 75% 증가되었으며, 저수량은 0.239 CMS에서 0.424 CMS로 약 70% 증가되었다. 하지만 O2+L1+L2+S1 대안을 적용시켰을 경우 합류식 하수관거를 분류식 하수관거로 교체하여 CSOs에 의한 하수 유출이 없기 때문에 갈수량과 저수량의 증가 효과가 작게 나타났다.

BOD의 경우 과립하수처리장을 설치하는 대안(O2+L1)을 적용하였을 경우 BOD 농도가 대안 적용 전 23.55 mg/L에서 대안 적용 후 12.47 mg/L로 약 47%의 감소 효과를 보였다. SS 농도를 살펴보면 대안 O2+L1을 적용하였을 경우 대안 적용 전 80.95 mg/L에서 대안 적용 후 66.27 mg/L로 약 20%의 감소효과를 보이고 있다. BOD 측면에서 가장 효율이 좋은 것은 모든 대안을 적용하였을 경우(O2+L1+L2+S1)였으며, SS 측면에서는 대안 O2+L1+L2를 적용하였을 경우였다. SS의 경우 대안 적용 전의 경우에는 비점오염원의 일부가 차집관거로 차집되지만, 대안 적용 후에는 하천으로 흘러들어오기 때문으로 생각된다.

TN, TP의 경우 과립하수처리장을 설치하는 대안(O2+L1)을 적용하였을때 대안 적용 전 12.95 mg/L, 0.89 mg/L에서 대안 적용 후 8.12 mg/L, 0.56 mg/L로 각각 약 37%, 36%의 감소 효과를 보였다. TN의 감소효율이 가장 좋은 대안은 대안 O2+L1+L2이지만 각각의 대안의 결과를 비교해보면, 그 차이가 미미한 것을 알 수 있다.

이와 같이 각각의 대안을 적용시켰을 경우, BOD와 SS는 약 10 mg/L, 60 mg/L 전후로 나타났기 때문에, 목표 수질인 BOD 4등급과 SS 1~3등급을 만족 시키지는 못했다. 따라서 목감천 지천들의 대안과 목감천 자체에 적용시키는 대안을 같이 사용하여야 목표 수질을 달성할 수 있을 것으로 생각된다. 또한 현재 시흥시에서 계획 중인 과립하수처리장이 건설(L1)되면, 수질 오염 농도가 약 30~40% 가량 감소되어 수질적인 측면에서 좋은 효과를 보일 것으로 생각된다.

### 3.3. 대안의 평가지수(AEI) 산정

대안평가지수는 식 (1)~(12)를 이용하면 산정할 수 있는데 이를 위한 자료는 DPSIR 인자 별로 다르게 수집된다. 추진력과 압력은 보고서, 통계자료 등을 통해서 산정되며 상태, 영향, 반응은 3.2절의 대안별 효과분석 결과와 수량 및 수질 목표량을 이용하여 산정된다. 수량 및 수질 목표량은 각각 목표유지유량과 BOD, SS의 일최대 오염허용부하량(Total Maximum Daily Load, TMDL)인데 목표유지유량과 BOD TMDL은 정은성 등(2008a)에서 산정된 값을 그대로 사용하였으며 SS TMDL은 목표 SS 농도를 25 mg/L로 결정하고 같은 방법을 이용하여 산정하였다. 본 연구에 사용된 목표값은 Table 5에 나타내었다. 여기서 가중치는 정은성 등(2008a)의 자료를 사용하였으며, 이는 수자원 전문가 등의 설문 결과를 AHP 방법으로 분석한 결과이다.



**Table 5.** Target instream flow and TMDL (BOD, SS) of the Mokgamcheon

Name of stream		Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.
MG	Flow (CMS)	0.326	0.326	0.326	0.65	0.326	0.326	0.326	0.326	0.65	0.65	0.326	0.326
	BOD (kg/day)	169.0	169.0	169.0	337.0	169.0	169.0	169.0	169.0	337.0	337.0	169.0	169.0
	SS (kg/day)	704.2	704.2	704.2	1404.0	704.2	704.2	704.2	704.2	1404.0	1404.0	704.2	704.2
OR	Flow (CMS)	0.100	0.100	0.100	0.20	0.20	0.56	0.56	0.56	0.70	0.70	0.100	0.100
	BOD (kg/day)	51.8	51.8	51.8	103.7	103.7	290.3	290.3	290.3	362.9	362.9	51.8	51.8
	SS (kg/day)	216.0	216.0	216.0	432.0	432.0	1209.6	1209.6	1209.6	1512.0	1512.0	216.0	216.0
YG	Flow (CMS)	0.147	0.147	0.147	0.33	0.33	0.76	0.76	0.76	0.93	0.93	0.147	0.147
	BOD (kg/day)	76.2	76.2	76.2	171.1	171.1	394.0	394.0	394.0	482.1	482.1	76.2	76.2
	SS (kg/day)	317.5	317.5	317.5	712.8	712.8	1641.6	1641.6	1641.6	2008.8	2008.8	317.5	317.5
GS	Flow (CMS)	0.073	0.073	0.073	0.04	0.04	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.073	0.073
	BOD (kg/day)	37.8	37.8	37.8	20.7	20.7	77.8	77.8	77.8	77.8	77.8	37.8	37.8
	SS (kg/day)	157.7	157.7	157.7	86.4	86.4	324.0	324.0	324.0	324.0	324.0	157.7	157.7
GH	Flow (CMS)	0.062	0.062	0.062	0.10	0.10	0.26	0.26	0.26	0.60	0.60	0.062	0.062
	BOD (kg/day)	20.2	20.2	20.2	25.9	25.9	67.4	67.4	67.4	129.6	129.6	20.2	20.2
	SS (kg/day)	133.9	133.9	133.9	216.0	216.0	561.6	561.6	561.6	1296.0	1296.0	133.9	133.9

**Table 6.** Values of drivers, pressures, state, impact and responses for water quantity

Name of alternative	Drivers			Pressures				State		Impact		Responses				
	Population	Population density	Index	Stream-flow 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	0.200	0.800	0.185	0.219	0.373	0.274	0.134	0.185	1.000	0.187	1.000	0.187	0.333	0.333	0.333	0.254
I1+O1(OR)	0.394	1.000	0.879	0	1.000	0.377	0	0.476	0	1.000	0	1.000	0.182	0.191	0.505	0.293
O3(GH)	0	0	0	1	0	0	0.682	0.310	0	1.000	12	0.927	0.727	0.972	0.999	0.899
L3+O2(GS)	0.019	0.084	0.071	1	0.230	0.615	0.068	0.482	0.010	0.999	18	0.890	0.297	0.655	0.561	0.504
I2+S2(YG)	0.284	0.354	0.340	0	0.796	0.036	1.000	0.441	6.803	0	164	0	0	0	0	0
I1+O1(MG)	1	0.286	0.429	1	0.572	1.000	0.227	0.737	1.819	0.733	66	0.598	0.565	0.138	0.103	0.268
O3(MG)	1	0.286	0.429	1	0.572	1.000	0.227	0.737	1.819	0.733	66	0.598	1	0.320	0.395	0.571
L3+O2(MG)	1	0.286	0.429	1	0.572	1.000	0.227	0.737	1.819	0.733	66	0.598	0.899	0.382	0.562	0.614
I2+S2(MG)	1	0.286	0.429	1	0.572	1.000	0.227	0.737	1.819	0.733	66	0.598	0	0	0	0
O2+L1	1	0.286	0.429	1	0.572	1.000	0.227	0.737	1.819	0.733	66	0.598	0.917	0.382	0.562	0.620
O2+L1+L2	1	0.286	0.429	1	0.572	1.000	0.227	0.737	1.819	0.733	66	0.598	0.917	0.382	0.562	0.620
O2+L1+L2+S1	1	0.286	0.429	1	0.572	1.000	0.227	0.737	1.819	0.733	66	0.598	0.785	0.097	0.617	0.499

\* Number of days satisfying target quantity

\*\* Number of increased days satisfying target quantity

**Table 7.** Values of drivers, pressures, state, impact and responses for water quality

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.	Average SS conc.	Index
Weights	0.200	0.800	0.151	0.093	0.093	0.093	0.093	0.134	0.219	0.274	0.151	0.500	0.500	0.194
I1+O1(OR)	0.394	1.000	0.879	1	1	1	1	1	1	1	1	0.125	0.033	0.079
O3(GH)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.032	0.036	0.034
L3+O2(GS)	0.019	0.084	0.071	0.201	0.229	0.227	0.342	1	0.084	0	0.246	0.018	0.018	0.018
I2+S2(YG)	0.284	0.354	0.340	0.752	0.781	0.779	0.854	1	0.354	0	0.507	0.013	0.030	0.021
I1+O1(MG)	1	0.286	0.429	0.546	0.563	0.562	0.626	1	0.286	0	0.411	0.033	0.018	0.026
O3(MG)	1	0.286	0.429	0.546	0.563	0.562	0.626	1	0.286	0	0.411	0.033	0.040	0.036
L3+O2(MG)	1	0.286	0.429	0.546	0.563	0.562	0.626	1	0.286	0	0.411	0.033	0.040	0.036
I2+S2(MG)	1	0.286	0.429	0.546	0.563	0.562	0.626	1	0.286	0	0.411	0.033	0.040	0.036
O2+L1	1	0.286	0.429	0.546	0.563	0.562	0.626	1	0.286	0	0.411	0.033	0.040	0.036
O2+L1+L2	1	0.286	0.429	0.546	0.563	0.562	0.626	1	0.286	0	0.411	0.033	0.040	0.036
O2+L1+L2+S1	1	0.286	0.429	0.546	0.563	0.562	0.626	1	0.286	0	0.411	0.033	0.040	0.036

**Table 7.** Values of drivers, pressures, state, impact and responses for water quality (continued)

Name of Alternative	Impact				Index
	Number of days satisfying target BOD conc.	Number of days satisfying BOD TMDL	Number of days satisfying target SS conc.	Number of days satisfying SS TMDL	
Weights	0.250	0.250	0.250	0.250	0.194
I1+O1(OR)	0.941	0	0.964	0	0.476
O3(GH)	0.817	0.932	0	0.948	0.674
L3+O2(GS)	0	0.942	0.560	0.959	0.615
I2+S2(YG)	0.830	0.038	0.003	0.940	0.453
I1+O1(MG)	0.837	0.156	0.214	0.718	0.481
O3(MG)	0.837	0.156	0.214	0.718	0.481
L3+O2(MG)	0.837	0.156	0.214	0.718	0.481
I2+S2(MG)	0.837	0.156	0.214	0.718	0.481
O2+L1	0.837	0.156	0.214	0.718	0.481
O2+L1+L2	0.837	0.156	0.214	0.718	0.481
O2+L1+L2+S1	0.837	0.156	0.214	0.718	0.481

Name of Alternative	Response								Index
	BOD				SS				
	Number of days satisfying target conc.	Number of days satisfying TMDL	Ratio of decreased BOD conc.	Ratio of decreased BOD TDL	Number of days satisfying target conc.	Number of days satisfying TMDL	Ratio of decreased SS conc.	Ratio of decreased SS TDL	
Weights	0.125	0.125	0.125	0.125	0.125	0.125	0.125	0.125	0.310
I1+O1(OR)	0	0.098	1	1	0	1	0.404	1	0.563
O3(GH)	0.018	0.006	0.189	0	0.970	-0.006	1	0.374	0.319
L3+O2(GS)	0.379	0.019	0.084	0.001	0.348	-0.019	0.866	0.377	0.257
I2+S2(YG)	0.015	1	0.055	0.070	1	-0.041	0.003	0.430	0.317
I1+O1(MG)	0.985	-0.022	0	0.017	1	-0.107	0	0	0.234
O3(MG)	0.917	-0.035	0.034	0.006	0.957	-0.025	0.269	0.498	0.328
L3+O2(MG)	0.939	-0.041	0.056	0.005	0.947	-0.038	0.411	0.471	0.344
I2+S2(MG)	0.297	0.579	0.126	0.041	0.973	0.013	0.222	0.457	0.338
O2+L1	0.856	0.035	0.096	0.031	0.911	0.016	0.402	0.450	0.349
O2+L1+L2	0.352	0.136	0.123	0.049	0.911	0.013	0.386	0.434	0.300
O2+L1+L2+S1	0.242	0.127	0.129	0.069	0.937	0.019	0.296	0.467	0.286

**Table 8.** AEIs, ranks, and grade using Composite Programming

Name of alternative	AEI	Rank	Grade*
I1+O1(OR)	0.632	1	G
O3(GH)	0.441	7	A
L3+O2(GS)	0.417	8	A
I2+S2(YG)	0.231	11	P
I1+O1(MG)	0.415	9	A
O3(MG)	0.469	5	A
L3+O2(MG)	0.477	3	A
I2+S2(MG)	0.398	10	A
O2+L1	0.479	2	A
O2+L1+L2	0.471	4	A
O2+L1+L2+S1	0.454	6	A

\* Poor: 0~0.3, Acceptable: 0.3~0.6, Good: 0.6~

식 (3)~(12)와 Table 3, 4, 5를 이용하여 각 대안별 효과 지수를 산정하기 위한 각 인자별 산정 자료와 결과를 수량 및 수질별로 나타내면 Table 6, 7과 같다. 식 (1), (2)와 Table 6, 7을 이용하여 각 대안별 AEI와 등수, 등급을 나타내면 Table 8과 같다.

#### 4. 결론

본 연구는 목감천 유역에 CSOs를 고려하여 구축된 PCSWMM 모형을 이용하여 대안의 효과분석을 실시하였고 이 결과를 이용하여 대안의 우선순위를 객관적으로 제시하기 위해 지속가능성 평가모형인 DPSIR을 이용한 대안평가 지수를 산정하였다. 이때 기술적 가능성, 경제적 효율성, 환경적 안정성 측면에서 정성적으로 검토하여 실행가능한 대안을 선정하였고, 유역별로 대안들을 조합하여 효과 분석을 실시하였다. 분석결과 오류천을 따라 차집관거를 설치하여 하수를 전량 차집하고, 상류의 공동저수지를 재개발하여 0.05 CMS를 방류하였을 경우 AEI는 0.6 이상으로 G 등급이었으며, 역곡천 유역에 분류식 하수관거 및 차집관거 설치하는 경우 P 등급, 그 외의 대안은 A 등급으로 분석되었다. 특히 현재 시흥시에서 계획 중인 과림하수처리장 건설은 수질적인 측면에서 좋은 대안이 될 것으로 분석되었다.

본 연구는 도시하천의 대안효과를 분석하고 AEI를 이용하여 등급을 제시한 것으로 도시하천의 물 순환 건전화 기술을 적용하는데 기초자료로서 활용될 수 있다. 즉 의사결

정자에게 의사결정을 위해 제공하는 공학적 분석결과로 이용될 수 있지만 실행여부를 여기서 결정될 수 없다. 따라서 경제성, 환경성, 사회적 수용여부 등을 면밀히 검토하는 작업이 반드시 필요하다.

## 사 사

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.

## 참고문헌

- 이길성(2007). 안양천 유역의 물순환 건전화 기술 적용. 서울 대학교, 과학기술부.
- 이길성, 진택선, 이상호, 이정민(2005). PCSWMM을 이용한 건전화 방지를 위한 유지용수의 공급방안(II) 모형의 적용. *대한토목학회논문집*, **25**(6B), pp. 437-441.
- 이길성, 정은성, 이준석, 홍원표(2007). HSPF 모형을 이용한 안양천 유역의 물순환 및 BOD 부하량 분석. *한국수자원학회논문집*, **40**(8), pp. 585-600.
- 이상호, 이정민(2006). 물환경 건전화를 위한 도시하천의 물순환 모의 (II) -도림천 유역-. *수질보전 한국물환경학회지*, **22**(5), pp. 815-823.
- 정은성, 김경태, 김상욱, 이길성(2008a). 하천유지유량을 이용한 일최대 오염허용부하량 산정 방안. *수질보전 한국물환경학회지*, **24**(3), pp. 317-327.
- 정은성, 이길성, 박경신(2008b). 대기중의 유기물 분해도를 이용한 대안평가지수 개발. *한국수자원학회논문집*, **41**(1), pp. 87-100.
- 홍원표, 정은성, 이준석, 김경태, 이길성(2008). CSOs를 고려한 도시유역의 수량 및 수질 분석을 위한 PCSWMM 모형의 적용. *수질보전 한국물환경학회지*, **25**(1), pp. 26-36.
- Arnold, J. G., Neitsch, S. L., Kiniry, J. R., Williams, J. R., and King, K. W. (2002). *Soil and Water Assessment Tool: Theoretical Documentation Ver. 2000*, Texas Water Resources Institute, College Station, TX.
- Bicknell, B. R., Imhoff, J. C., Kittle, J. L. Jr., Jobes, T. H., and Donigan, A. S. Jr. (2001). *Hydrologic Simulation Program - Fortran (HSPF) User's Manual for Version 12*, U.S. Environmental Protection Agency, National Exposure Research Laboratory, Athens, GA.
- 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*, **66**, pp. 84-96.
- 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*, **44**, pp. 3-7.
- European Environment Agency (1999). *Environmental Indicators: Typology and Overview*. Copenhagen, Denmark.
- 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.
- Hartmann, L., Torno, H. 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.
- Huber, W. C. and Dickinson, R. E. (1988). *Stormwater Management Model, Version 4: User's Manual Ver. 2.1*, U.S. Army Corps of Engineers, Computer Program 723-S8-L7520.
- James, W. and Huber, W. C. (2003). *User's Guide to SWMM 4*, CHI.
- OECD (1993). OECD core set of indicators for environmental performance reviews, *OECD Environment Monographs*, **83**, OECD, Paris.
- 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.