

HSPF 모형을 이용한 안양천 유역의 대안기술 효과분석

Effectiveness Analysis of Alternatives for the Anyangcheon Watershed Using HSPF

정은성*, 이길성**, 이준석***

Eun-Sung Chung, Kil Seong Lee, Joon-Seok Lee

요 지

본 연구에서는 왜곡된 물순환을 전전화시키기 위해 잠재적으로 좋지 않은 유역에 선정된 대안에 대한 효과분석을 HSPF 모형을 이용하여 정량적으로 수행하였다. 효과분석은 전기의 수량확보 측면(갈수량, 저수량)과 BOD 평균 및 총 오염부하량의 변화 측면에서 이루어졌다. 분석한 대안으로는 복개하천 복원, 하천수의 하수관거로 손실 방지, 기존 저수지의 운영개선, 하수처리수의 재이용, 지하철 역사에서 발생한 지하수의 유지용수로의 활용, 소규모 하수처리장 건설 등이 있다. 특히 최근 관심이 증대된 하수처리수 재이용은 수량측면에서는 우수한 결과를 보이나 수질 측면에서는 좋지 않은 결과를 보이므로 방류수의 수질에 따라 신중하게 검토되어야 한다.

핵심용어: 안양천, HSPF, 효과분석, 물순환, BOD

1. 서 론

기존 연구는 대부분 단일 대안에 대해 수량 또는 수질항목에 대해 분석한 경우가 대부분이며 다양한 대안에 대해 수량과 수질 측면에서 효과분석을 수행한 후 동시에 비교한 사례는 드물다. 본 연구에서는 HSPF 모형을 이용하여 기존에 제안된 대안(이길성 등, 2006) 중 HSPF(Hydrological Simulation Program - Fortran, Bicknell et al., 2001)로 분석이 가능한 대안들에 대해 효과분석을 수행하였으며 이미 설치되어 운영되고 있는 대안과 비교하여 효과가 좋은 대안들을 제시하였다.

2. 모의할 대안

이길성 등(2006)은 안양천 유역의 물순환 전전화를 위한 예비타당성 계획을 제시한 바가 있다. 본 연구에서는 이중 실행가능성이 높고 HSPF 모형으로 분석이 가능한 대안들을 선정하였으며 이들을 구체적으로 나타내면 다음과 같고 이를 지역별로 나타내면 Fig. 1과 같다.

- ▷ 저수지 운영개선: 오전(R1, R2), 삼성(R3), 계수천(R4)
- ▷ 하수처리수 재이용: 학의(I1), 삼성(I2), 삼막(I3), 수암(I4), 삼봉천(I5)
- ▷ 복개구간 철거: 당정(S1), 산본(S2), 수암(S3), 봉천(S4), 대방천(S5)
- ▷ 지하철 용출수 이용: 학의(U1), 도림(U2), 봉천(U3), 대방천(U4)
- ▷ 소규모하수처리장 건설: 도림(W1)

* 서울대학교 공과대학 건설환경공학부 박사수료 E-mail: cool77@snu.ac.kr

** 서울대학교 공과대학 건설환경공학부 교수 E-mail: kilselee@snu.ac.kr

*** 한국수자원공사 E-mail: jsl78@hanmail.net

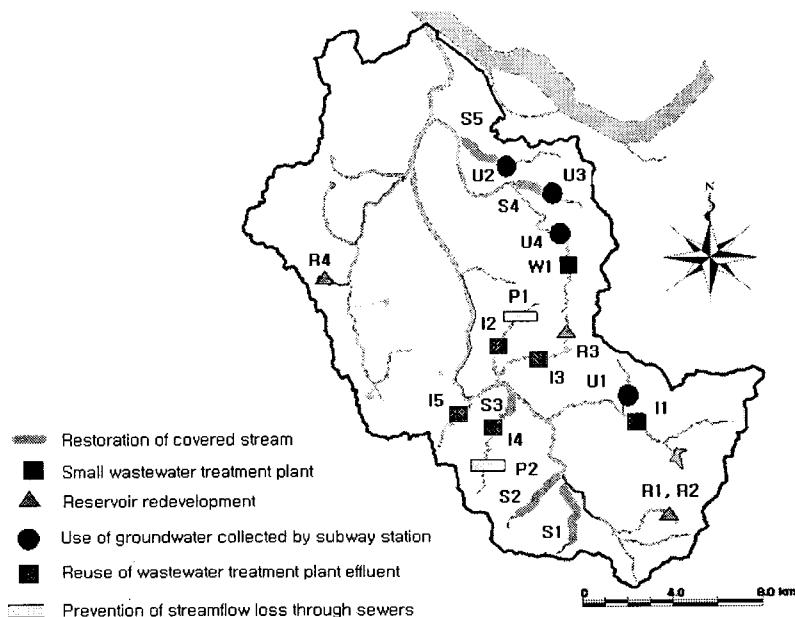


Fig. 1. Feasible Alternatives

(1) 학의천

학의천 유역(HU)은 수 년전에 물순환을 개선시키기 위해 하수처리수 재이용(일평균 11,000 m³)(I1)과 인덕원 지하철 역사에서 발생한 지하수(일평균 1,680 m³)를 하천수로 이용하는 대안(U1)을 이미 설치하여 운영하고 있다. 본 연구에서는 이러한 대안으로 물순환이 개선된 학의천에 대해 대안이 실행되기 전의 물순환을 모의하여 비교하였으며 다른 유역의 대안들과도 비교하였다.

(2) 오전천

오전천 유역(OJ)은 유역 내 과다한 지하수 사용량(70.1 mm/year)과 급한 유역경사(0.157) 등으로 건천잠재능이 3등급이므로(이길성 등, 2006) 다양한 건천화 방지 대안이 강구되어야 한다. 본 연구에서는 오전천 상류(동경: 127° 00'10", 북위: 37° 21'13")에 위치한 저수용량 57,000 m³의 오전 저수지 방류량을 증가시켜 하천의 유량 확보와 수질 개선에 대한 효과 분석을 실시하였다. 현재 오전 저수지는 0.0005 cms를 하류로 방류하고 있는 상태로 오전천의 유지유량 확보에 많은 도움이 되지 못하고 있다. 따라서 저수지의 방류량을 조절할 수 있는 수문을 건설하여 방류량을 0.01 cms(R1)과 0.05 cms(R2)로 증가시키는 경우를 대안으로 선정하였다.

(3) 삼성천 유역

삼성천 유역(SS)은 삼막천을 포함하며 삼성천 상류에 저수용량 30,000 m³의 삼성보가 위치하고 있다. 2004년을 기준으로 삼성보는 안양 유원지 방문객 수가 많은 5월에 0.01 cms와, 10월과 11월에 0.005 cms를 삼성천으로 방류하고 있지만 이의의 건기에는 유지유량 확보를 위해 전혀 운영하지 않고 있다. 따라서 삼성천에 삼성보를 통해 항상 0.01 cms를 방류하였을 경우(R3)를 대안으로 선정하였으며 6,000 m³/day(BOD 농도: 4.7 mg/L)의 하수처리 재이용수를 활용하는 경우(I3)를 추가로 선정하였다.

삼막천 유역(SM)은 수암천과 같이 하천 바닥에 매설된 차집관로의 균열된 틈을 통하여 하천수가 흘러들어 가고 있어 강우 시와 홍수기를 제외하고는 하천에 물이 전혀 흐르지 않고 있다. 따라서 본 연구에서는 하천수가 차집관로로 유출되는 현상을 방지한 경우(P1)와 이를 수행한 후 삼막천에 9,000 m³/day(BOD 농도: 4.7 mg/L)의 하수처리 재이용수 활용(I2)하는 것을 대안으로 선정하였다.

(4) 수암천 유역

수암천 유역(SA)은 삼막천과 같이 하천 바닥에 매설된 차집관로의 균열된 틈을 통하여 하천수가 유출되고 있어 차집관로를 시점으로 하류로는 강우 시와 홍수기를 제외하고 완전한 건천화를 보이고 있다. 따라서 본 연

구에서는 차집관로를 우회하거나 유입을 방지할 수 있도록 차집관로를 보수하여 유출되는 현상을 방지한 경우(P2)와 이를 실행한 후 하수처리 재이용수(평균 BOD 농도 4.7 mg/L) 10,000 m³/day를 수암천에 방류하였을 경우(I4)를 대안으로 선정하였다.

(5) 삼봉천 유역

삼봉천 유역(SB1)은 건천잠재능이 3등급에 해당하므로(이길성 등, 2006) 건천화 방지를 위한 대안이 필요하다. 본 연구에서는 안양하수처리장과 지리적으로 멀지 않으므로 하수처리 재이용수(평균 BOD 농도 4.7 mg/L) 6,000 m³/day를 방류하는 대안(I5)을 선정하였다.

(6) 계수천 유역

목감천 유역에 포함되어 있는 계수천은 상류(동경: 126° 49'36", 북위: 37° 27' 5")에 위치한 저수용량 367,000 m³의 과립 저수지를 활용하여 하천유량을 확보할 수 있다. 현재 과립 저수지의 운영은 강우 시 자연 월류 방식으로 비강우 시에는 방류가 이루어지지 않아 계수천의 하천유량 확보에 도움이 되지 못하는 상황이다. 따라서 본 연구에서는 과립 저수지에 수문을 설치하여 방류량 조절이 가능한 저수지로 변경하고 건기 시 0.05 cms를 저수지 수문을 통해 방류하였을 경우(R4)를 대안으로 선정하였다.

(7) 도림천 유역

도림천은 관악산에서 발원하여 서울시 양천구 신정동에서 안양천에 합류되는 총 길이 14.2 km의 안양천 제1지류이다. 도림천 유역(DR)은 봉천천 유역(BC)과 대방천 유역(DB)을 포함하며 유역의 상류측 산지부를 제외하고 전체가 도시화되었다. 특히 도림천은 높은 도시화 비율(62.27%), 하천 복개, 과다한 지하수 취수량(53.2 mm/year) 등의 영향으로 안양천 유역에서 가장 높은 건천잠재능을 보인다(이길성 등, 2006). 또한 대방천과 봉천천도 도림천과 유사할 뿐만 아니라 거의 전구간이 복개되어 있으므로 물순환이 완전히 왜곡되어 있다.

본 연구에서는 우선 대방천과 봉천천의 복개를 철거하는 것(S4, S5)과 도림천 유역 내 존재하는 지하철역사에서 발생한 지하수를 유지용수로 활용하는 것(U2, U3, U4)과 수년전부터 필요성이 제기된 서울대학교 정문 앞 공원녹지에 19,000 m³/day 규모의 소규모 하수처리장을 건설하였을 경우(W1)를 대안으로 선정하였다. 신설 하수처리장의 방류량은 2005년 안양하수처리장 방류량 비율(일일 하수처리 용량의 66%)을 고려하여 12,540 m³/day를 적용하였으며, 지하철역 용출수 BOD 농도는 현재 학의천에 방류되는 인덕원역 용출수 BOD 농도인 1 mg/L를 적용시켰다.

3. 분석 결과

모든 대안에 대해 HSPF 모형을 이용하여 효과분석을 과거 10년(1996년 ~ 2005년) 동안에 대해 수행한 정량적인 결과는 Table 1과 같다. 수량 측면에서 갈수량(drought flow, Q₃₅₅)과 저수량(low flow, Q₂₇₅)의 변화와 수질측면에서 평균농도(average concentration)와 일총부하량(total daily load)의 변화를 나타냈다. 본 연구에서는 급격한 도시화와 산업화로 안양천 유역에서 발생하고 있는 왜곡된 물순환을 개선시키기 위한 대안을 수립하고, HSPF 모형을 사용하여 대안의 효과 분석을 실시하였으며 상세한 분석결과는 이준석(2007)에 수록되어있다. 대상 하천에 적용된 대안을 통해 도출된 결과는 다음과 같다.

첫째, 복개된 하천(당정, 산본, 수암, 대방, 봉천천)의 철거는 심각하게 왜곡된 물순환을 정상화시킬 수 있는 기초 작업으로 다른 다양한 대안의 효과가 충분히 발휘될 수 있다. 복개하천 인 경우에는 강우시에만 하수와 함께 월류되는 하천수만 유역에 영향을 미쳤으나 자연형 하천으로 정비했을 경우에는 정상적인 물순환 형태를 보일 수 있다.

둘째, 기존 저수지(오전 저수지, 삼성보, 과립 저수지)의 적정 운영은 수량 확보와 수질 개선의 효과(농도감소)가 나타나는 모의 결과를 보였다. 각 하천에 계획된 저수지 유량을 방류한 결과, 유지유량이 확보되었지만 수질측면에서는 큰 효과는 없었다. 특히 강우 시 자연 월류 방식으로 운영되고 있는 과립 저수지의 운영을 계수천에 항상 0.05 cms가 방류되도록 저수지 운영을 조절하였을 시 계수천의 BOD 농도가 15.5 mg/L에서 2.3 mg/L로 낮아졌다.

셋째, 하수처리 재이용수를 활용하여 삼봉천, 수암천, 삼성천, 삼막천의 수량 확보와 수질 개선 효과를 분석하였다. BOD 농도가 4.7 mg/L인 재이용수를 활용하여 삼봉천 6,000 m³/day, 수암천 10,000 m³/day, 삼막천

9,000 m³/day, 삼성천 6,000 m³/day를 방류하였을 시 대부분 유량이 충분히 증가하였다. 그러나 하수처리 재이용수의 활용은 각 하천의 목표 수질인 2등급을 달성하지 못 할뿐만 아니라 일 총부하량도 65.1% ~ 200%까지 증가하였다. 따라서 하수처리 재이용수를 건전화 대안으로 활용할 경우 4.7 mg/L이하의 보다 높은 수준으로 고도 처리된 방류수가 요구된다.

넷째, 지하철 용출수를 활용하여 대방천, 봉천천, 도림천의 수량 확보와 수질 개선 효과를 분석하였다. 각 하천의 인근 지하철역에서 나오는 BOD 농도가 1 mg/L의 지하철 용출수를 활용할 경우 대방천, 봉천천, 도림천의 유량은 증가되었으며 또한 대방천, 봉천천, 도림천의 수질까지 향상됨을 알 수 있었다.

다섯째, 도립천 상류에 소규모 하수처리장 건설하는 대안의 분석결과 수량측면에서는 약 50배에 해당할 뿐만 아니라 수질측면에서도 나쁘지 않은 효율을 보였으므로 향후 지속가능성을 위해 가장 필요한 대안이다.

Table 1. Comparisons Between with and without Alternatives

Name of Sub-watershed	Alternative	Water Quantity (cms)			Water Quality		
		Low Flow (Q275)	Drought Flow (Q355)	Efficiency	Concentration (mg/L)	Total Daily Load (kg/day)	Efficiency
HU	Do nothing	0.075	0.035	-	2.62	442.6	-
	U1	0.095	0.054	0.4	2.36	445.9	0
	I1	0.163	0.107	1.6	5.89	590.5	-0.8
	U1 & I1	0.182	0.127	2.0	5.39	594.0	-0.7
OJ	Do nothing	0.008	0.003	-	15.2	59.3	-
	R1	0.016	0.009	1.5	6.9	59.9	0.3
	R2	0.056	0.047	10.3	2.6	60.9	0.4
DJ	S1	0.005	0.002	-	3.9	50.8	-
SB	S2	0.010	0.003	-	3.9	50.8	-
SM	P1	0.008	0.003	-	1.4	45.3	-
	P1 + I2	0.112	0.107	23.8	4.1	135.9	-2.0
SS	Do nothing	0.018	0.006	-	1.1	86.8	-
	R3	0.022	0.006	0.1	0.9	87.1	0.1
	I3	0.081	0.068	6.9	3.3	143.8	-1.3
	R3 + I3	0.090	0.077	7.9	3.0	142.6	-1.2
	P1 + I2 + R3 + I3	0.184	0.172	18.4	2.8	197.9	-1.4
SA	P2	0.011	0.004	-	1.2	54.9	-
	P2 + I4	0.127	0.119	19.6	3.6	143.9	-1.8
SB1	Do nothing	0.002	0.001	-	15.3	44.43	-
	I5	0.065	0.064	47.3	4.6	100.5	-0.3
GS	Do nothing	0.009	0.004	-	18.8	51.3	-
	R4	0.060	0.053	9.0	2.3	53.4	0.4
BC	S5	0.001	0.001	-	2.4	94.0	-
	S5 + U3	0.012	0.010	10.0	1.7	96.2	0.1
DB	S4	0.000	0.000	-	3.9	50.8	-
	S4 + U2	0.037	0.037	73.0	1.4	57.8	0.3
DR	Do nothing	0.005	0.002	-	2.2	290.9	-
	W1	0.150	0.144	50.0	2.8	370.9	-0.3
	U4	0.210	0.205	71.3	1.0	314.2	0.2
	W1 + U4	0.354	0.349	121.7	1.7	391.7	-0.1
	W1 + U2 + U3 + U4 + S4 + S5	0.402	0.95	276.7	1.6	401.9	-0.1

4. 결 론

본 연구에서는 HSPF 모형을 이용하여 안양천 유역의 물순환 건전화를 위해 제안된 대안들의 수량 및 BOD 부하량 측면에서 정량적으로 분석하였다. 분석한 대안은 복개하천의 철거, 하수처리수 재이용, 지하철 역사에서 발생한 지하수의 하천유지용수로의 이용, 저수지 재개발, 소규모 하수처리장 건설, 하천수 차집관으로의 손실 방지 등이다.

분석결과 일반적으로 하수처리수 재이용 관련대안은 수량 측면에서는 우수한 결과를 보이나 수질 측면에서는 좋지 않은 결과를 보인다. 하지만 저수지 재개발이나 지하철 역사에서 발생한 용출수를 유지용수로 활용하는 방안은 수질 측면에서는 거의 효과가 없으나 수량측면에서는 약간의 효과가 있다. 또한 도립천 유역의 소규모 하수처리장 건설은 처리효율을 높일 경우 전기하천수를 안정적으로 공급할 수 있다. 따라서 대안들을 비교하여 우선순위를 결정할 지는 수량확보와 수질관리에 대한 가중치의 결정에 따라 달라질 수 있다.

이러한 연구는 향후 대안들의 설치 후의 수문학적 변화의 분석이나 자원이 한정되었을 경우 다수의 대안 중 사업화 우선순위를 결정하는데 기초자료로 활용될 수 있다.

감 사 의 글

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

참 고 문 헌

1. 이길성, 정은성, 김영오 (2006). “도시 유역 관리를 위한 통합적인 접근방법.” **한국수자원학회논문집**, 한국수자원학회, 제39권, 제3호, pp. 151-168.
2. 이준석 (2007). **HSPF를 이용한 안양천 유역의 건전화 방지 대안의 효과분석**. 석사학위논문, 서울대학교.
3. Bicknell, B.R., Imhoff, J.C., Kittle, J.L. Jr., Jobes, T.H., and Donigian, A.S. Jr. (2001). *Hydrologic Simulation Program - Fortran (HSPF) User's Manual for Version 12*. U.S. Environmental Protection