

# SWAT을 이용한 산지 소유역의 하천유지유량 산정방안

## Determination of Instream Flow Requirement for Small Mountainous Watershed Using SWAT

이길성\*, 정은성\*\*, 신문주\*\*\*, 김영오\*\*\*\*

Kil Seong Lee, Eun-Sung Chung, Mun-Joo Shin, Young-Oh Kim

### 요 지

본 연구에서는 안양천 중상류 유역에 대해 SWAT 모형을 이용하여 현재(2000년)의 토지이용 및 지하수 취수량(2000년)을 토대로 유황곡선을 도출하고 개발이전의 토지이용(1975년)과 지하수 취수가 전혀 없는 이상적인 상태에서 유황곡선을 도출하여 비교분석하였다. 또한 기존의 갈수량과 항목별 필요유량을 비교하여 큰 값으로 하천유지유량을 설정한 것과 본 연구에서 수행한 유황들을 비교하였다. 그 결과 오천, 삼성, 삼막, 수암천의 경우 현재의 상태와 이상적인 상태의 갈수량이 전혀 변화하지 않음을 보였으며 삼성, 삼막천은 두 경우 모두 갈수량이 0임을 확인할 수 있었다. 이는 대상유역의 유역면적이 작은 지방2급 하천일 뿐만 아니라 경사가 급한 산간지역이 대부분을 이루어서 개발 전에도 기저유출이 많지 않았기 때문이다. 또한 하천유지유량을 항목별 필요유량으로 산정한 경우는 모든 유역에서 이상적인 상황의 저수량보다 큰 값을 보였다. 따라서 지방2급 하천과 같이 유역면적이 작거나 산지하천의 경우에도 일률적으로 갈수량이나 항목별 필요유량을 비교하여 큰 값으로 하천유지유량을 설정하기보다는 수문모의모형을 이용하여 대상유역에 대해 자연적인 상황에서의 갈수량 또는 저수량 등 다른 적절한 방안을 사용하는 것이 바람직하다.

**핵심용어:** 산지유역, 유황곡선, 하천유지유량, SWAT, 토지이용, 지하수 취수

### 1. 서론

국내외 도시 유역은 급격한 도시화에 따른 불투수 지역과 지하수 이용 증가로 인한 기저유출의 감소, 상류 저수지의 농업용수를 위한 방류량 감소, 합류식 하수관거로 인한 우수회귀 손실 등으로 인해 일부 하천에는 갈수기 하천유량이 현저히 감소하고 있다. 심명필(2003)은 전국의 지방2급 이상 하천을 대상으로 건천여부를 조사한 결과 3,773개 중 543개, 약 14.4%가 건기에 하천이 매말라 있음을 보였으며 최동진(2005)도 경기도내 2급하천 71개를 선별하여 조사한 결과 건천화된 하천의 수가 조사대상의 74.6%인 53개나 있음을 제시하였다. 최근 안양시의 경우 하수처리장의 처리수를 고도로 처리한 후 상류로 이송하여 유지용수로 활용하거나 신규저수지를 건설하는 등 건기시 하천수를 확보하기 위한 다양한 대안들이 설치되어 운영되고 있으며 최근에는 다른 지자체에서도 다양한 시설들이 계획되고 있다. 이러한 경우 시설물의 설치에 앞서 반드시 하천의 목표유량을 설정해야 하는데 대부분 하천유지유량(instream flow) 개념이 사용되고 있다.

하천유지유량은 하천에 흘러야 할 최소유량으로 정의된다. 하천유지유량은 갈수량을 기준으로 선정하되, 하천 수질 보전, 하천 생태계 보호, 하천 경관 보전, 염수 침입 방지, 하구막힘 방지, 하천시설물 및 취수원

\* 정회원·서울대학교 지구환경시스템공학부 정교수 ·Email: [kilselee@snu.ac.kr](mailto:kilselee@snu.ac.kr)

\*\* 정회원·서울대학교 지구환경시스템공학부 박사과정 ·Email: [cool77@snu.ac.kr](mailto:cool77@snu.ac.kr)

\*\*\* 동부엔지니어링 사원 ·Email: [bluebear77@hanmail.net](mailto:bluebear77@hanmail.net)

\*\*\*\* 정회원·서울대학교 공과대학 지구환경시스템공학부 조교수 ·Email: [yokim05@snu.ac.kr](mailto:yokim05@snu.ac.kr)

보호, 지하수위 유지를 위한 필요유량을 감안하여 산정한다. 여기서 갈수량은 과거 자연상태의 하천에서 갈수기에 흘렀던 유량으로서 자연과 사람이 공유할 수 있는 최소한의 유량을 말하며 기준갈수량, 평균갈수량을 산정한 후 하천의 규모나 특성 및 유량공급 가능성을 고려하여 결정한다(한국수자원학회, 2005). 우리나라에서는 하천법 제20조에서 건설교통부 장관으로 하여금 기준지점을 정해 하천유지유량을 설정하여 고시하도록 명시하고 있다. 그러나 이와 같은 방법은 10대 하천 및 10대 하천의 제1지류(주로 직할하천) 정도의 중·대 하천을 주요대상으로 하고 있으므로(김규호 등, 1996) 지방2급 하천이나 중·소하천들에는 적용하기 어렵다. 따라서 본 연구에서는 하천유지유량을 설정하기 위해 자연적이면서 이상적인 물순환이 유지되었을 경우 유역의 물순환이 어떻게 되며 이를 이용하여 중·소하천의 하천유지유량은 어떻게 산정해야 하는지에 대한 연구를 수행하였다.

## 2. 대상유역

대상유역은 Fig. 1과 같이 기아대교를 유역 출구점으로 한 안양천 중상류 유역이며 서울의 남서쪽에 위치하고 좌표는 동경 126° 52' ~ 127° 03', 북위 37° 19' ~ 37° 27'이다. 대상유역은 왕곡, 오전, 산본, 당정, 학의, 청계사, 갈현, 수암, 삼성, 삼막, 삼봉천 등 총 11개의 지방2급 하천 및 오전, 백운, 삼성 등 3개의 저수지와 각각 일최대 300,000 m<sup>3</sup>를 처리하는 박달, 석수 하수처리장을 포함하고 있다. 본류의 유로연장은 17.91 km이고 유역면적은 127.13 km<sup>2</sup>에 이르며 경기도 의왕, 안양, 군포, 과천시 등이 포함되며 2003년 기준으로 약 98만명이 거주하고 있다. 2000년 기준으로 산림지역이 약 51.6%이며 도시지역이 38.3%, 농업지역이 7.5%로 구성되어 있으며 도시지역 비율이 1975년에 7.8%에서 2000년에는 38.3%로 30.5%가 증가하였다. 대상유역의 평균 지하수 취수량은 31.4 mm/년이며 상류인 왕곡, 오전천 유역 약 70.1 - 84.5 mm/년이고 학의, 갈현천 유역은 44.8 - 69.6 mm/년으로 안양천 전체 평균인 26.2 mm/년과 비교하면 매우 높아 건기에 지하수위가 매우 떨어지고 있다.

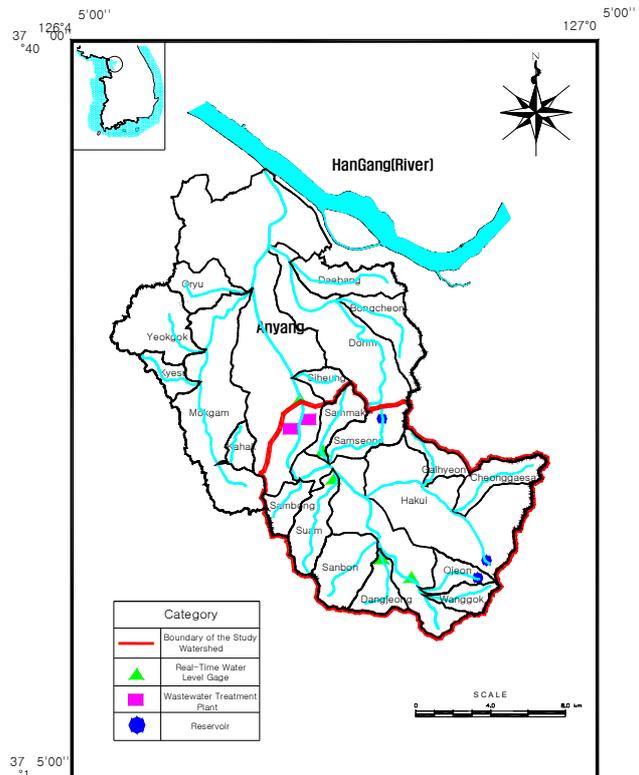


Fig. 1. Description of the Study Watershed

## 3. 연구방법

본 연구에서는 대상유역을 11개 지방2급 하천의 하천망과 DEM 자료를 토대로 중유역으로 구분하고 각각의 중유역에 대해 현재의 토지이용 및 건설교통부에서 제공하는 2000년의 지하수 취수량 자료를 토대로 SWAT을 이용하여 현재의 유황곡선을 도출하였다. 또한 개발이전인 1975년 토지이용과 지하수 취수가 전혀 없는 이상적인 상황을 가정한 상태의 유황곡선을 도출하여 비교하였다. 더 나아가 기존의 하천정비 기본계획 및 이삼희(2001)에서 제시한 갈수량과 항목별 필요유량을 비교하여 산정한 하천유지유량과 모의한 결과를 비교하였다. 대상유역의 경우 당정, 산본, 수암천은 전구간 또는 일부 구간이 복개되어 있으며 세 하천 모두 하수가 하도로 유입되어 건기시 하류에서 전량 차집하여 안양하수처리장으로 이송하는 인위적인 물순환 체계를 가지고 있다. 따라서 본 연구에서는 정상적인 하천이라고 가정하여 모의하였다.

모형의 구축 및 매개변수 민감도 분석은 이길성 등(2006)의 결과를 사용하였으며 각각의 대상유역에 대한

상세한 검·보정 결과는 신문주 (2006)에 수록되어 있다. 또 당정, 산본, 수암천의 경우 매개변수를 보정하기 위한 자료가 존재하지 않기 때문에 인근 유역의 매개변수를 사용하였다. 즉 당정, 산본천 유역은 왕곡, 오전천 유역을 포함하는 최상류유역의 매개변수를, 수암천 유역은 삼봉천 유역의 매개변수를 사용하였다.

## 4. 연구결과

### 4.1 현재 및 이상적인 물순환 파악

현재와 이상적인 물순환에 대한 모의 결과는 Table 1과 Fig. 2와 같다. 오전, 삼성, 삼막, 수암천 유역의 경우 갈수량은 현재 상황과 이상적인 상황에서 전혀 변화가 없음을 보였으며 특히 삼성, 삼막천의 경우에는 두 경우 모두 갈수량이 0임을 확인할 수 있었다. 이는 대상유역의 면적이 작은 산간지역으로 경사가 급하여 기저유출이 상대적으로 적고 증발산이 많이 일어나기 때문이다. 하지만 삼봉천과 유역면적이 비교적 큰 기아대교 상류유역의 경우에는 이상적인 상황의 갈수량이 현재 갈수량보다 각각 약 8배, 1.4배 정도 크게 나타났다.

대상유역의 대부분 유향곡선들은  $Q_{365}$ 부터 갈수량까지는 이상적인 상황과 현재의 상황에서의 유향이 같은 값을 보였으나 갈수량에서 저수량까지 변화하는 사이에는 이상적인 상황이 점차 더 많은 유출량 값을 보였다. 즉 오전천의 경우 이상적인 상황과 현재의 상황 모두  $Q_{355}$ 가 0.000709 CMS였지만  $Q_{353}$ 에서 처음으로 차이를 보이기 시작하여 이후부터는 점차 유량의 차이를 보이게 된다. 따라서 갈수량을 하천유지유량 설정의 기준으로 사용하는 것은 현재의 상황과 같은 값을 보일 수 있으므로 바람직하지 않다.

이상의 모의 결과는 이삼희(2001; 학의, 삼성, 삼막 하류, 수암천 하류, 기아대교)와 하천정비기본계획(왕곡, 오전, 당정, 산본, 삼봉천 하류)에서 설정된 하천유지유량보다 매우 작은 값을 보였으며 심지어 이상적인 상황의 저수량보다도 훨씬 큰 값이 설정되었다. 따라서 기존의 방법으로 지방2급 하천과 같이 유역면적이 크지 않은 하천에 대해 하천유지유량을 설정하는 것은 현실적으로 달성하기 어려운 값을 제시할 수 있다.

Table 1. Comparison Between Previous Instream flows and Simulation Results (Unit: CMS)

Name of Stream	Scenario	Previous Instream-flow	Simulation Results				
			Drought Flow ( $Q_{355}$ )	Low Flow ( $Q_{275}$ )	Median Flow ( $Q_{185}$ )	High Flow ( $Q_{95}$ )	$\frac{1}{81} \sum_{i=275}^{355} Q_i$
Wanggok	Ideal	0.008590	0.000472	0.004153	0.020951	0.107021	0.001841
	Present		0.000283	0.003964	0.020196	0.104190	0.001730
Ojeon	Ideal	0.009450	0.000709	0.004790	0.022894	0.111948	0.002267
	Present		0.000709	0.004477	0.021534	0.108181	0.002117
Dangjeong	Ideal	0.012900	0.000381	0.002541	0.021470	0.107858	0.001289
	Present		0.000254	0.001652	0.014991	0.097949	0.000856
Sanbon	Ideal	0.025800	0.001647	0.009883	0.060946	0.262138	0.005011
	Present		0.001412	0.007765	0.050828	0.243784	0.004079
Hakui	Ideal	0.112000	0.005013	0.031178	0.143893	0.541411	0.015238
	Present		0.004006	0.029166	0.151944	0.622927	0.016456
Samseong	Ideal	0.090000	0.000000	0.001898	0.014182	0.068028	0.000801
	Present		0.000000	0.001726	0.015492	0.082556	0.000761
Sammak	Ideal	0.011000	0.000000	0.001280	0.005118	0.045493	0.000660
	Present		0.000000	0.001137	0.004834	0.050611	0.000535
Suam	Ideal	0.018000	0.002253	0.014083	0.060462	0.241473	0.006899
	Present		0.002441	0.013707	0.060838	0.245604	0.006952
Sambong	Ideal	0.100000	0.001804	0.007443	0.036538	0.117282	0.003875
	Present		0.000226	0.002368	0.023005	0.128446	0.001089
Kiadaegyo	Ideal	0.348000	0.021160	0.106517	0.579450	2.325790	0.055588
	Present		0.015273	0.094743	0.552130	2.518163	0.050258

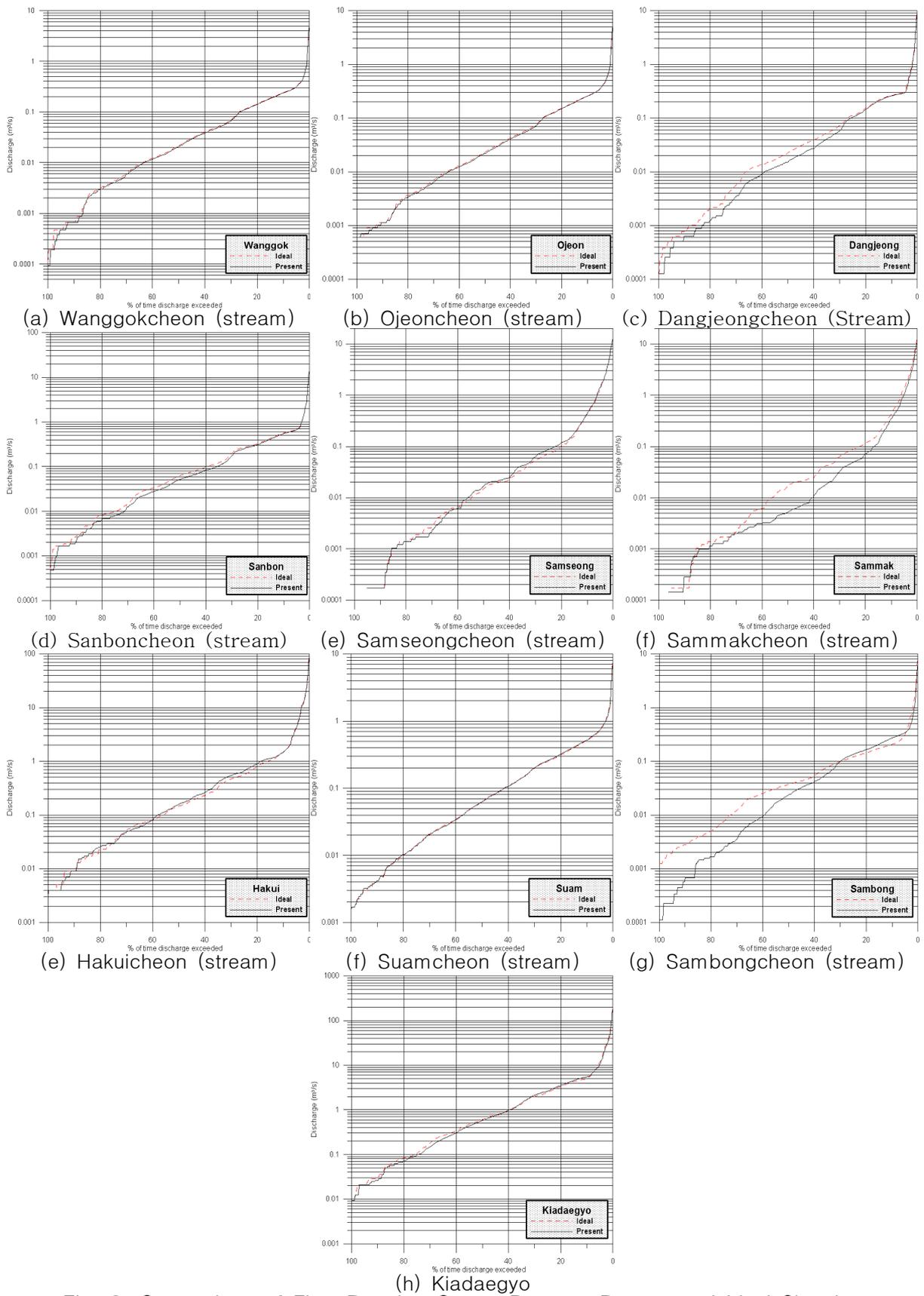


Fig. 2. Comparison of Flow Duration Curves Between Present and Ideal Situation

## 4.2 새로운 하천유지유량

제시된 하천유지유량이 이상적인 물순환에서의 갈수량이나 저수량보다 작을 경우에는 자연적인 물순환의 회복을 꾀하는 대안 즉 침투증진시설, 지하수 취수 금지 등의 방안으로도 달성할 수 있다. 하지만 이상적인 물순환에서 갈수량보다 큰 항목별 필요유량으로 하천유지유량이 설정될 경우에는 물순환을 인위적으로 조정하는 하수처리수 재이용, 신규 저수지 개발, 상수도 이용 등 적극적인 대안을 유도하므로 유역의 물순환 관점에서 자연스럽지 않다. 따라서, 지방2급 하천과 같이 유역면적이 작은 하천의 경우 일률적으로 갈수량이나 항목별 필요유량을 비교하여 큰 값으로 산정하기보다는 이상적인 상황에서의 갈수량 또는 저수량으로 산정하여 자연적인 물순환을 유도할 수 있는 하천유지유량을 설정하는 것이 적절하며 대상유역에 대한 결과는 Table 1과 같다.

## 5. 결론

기존의 하천유지유량 산정방식은 10대하천 및 10대하천의 제1지류에만 적용성이 인정되었지만 중소 산지하천의 경우에는 적절한 산정방법이 없으므로 대부분 같은 방법이 사용되고 있다. 본 연구에서는 이러한 경우의 문제점을 파악하기 위하여 안양천 중상류 유역에 대해 SWAT을 이용하여 현재의 상황과 이상적인 상황의 유량곡선을 도출하여 비교하였다. 이상적인 상황은 1975년의 토지이용과 지하수 취수가 없다고 가정하였다. 그 결과 오전, 삼성, 삼막, 수암천의 경우 갈수량이 두 경우 모두 같은 값을 가지므로 지방2급 하천으로 산지지역이 대부분인 하천의 경우에는 자연적인 상황의 갈수량을 유지유량의 지표로 사용하는 것은 적절하지 않다. 또한 항목별 필요유량으로 산정된 값의 경우에는 상대적으로 이상적인 상황의 저수량보다도 큰 값을 제시할 수 있다. 이러한 산정방식은 유역의 자연스런 물순환보다는 지나치게 과대산정된 하천유지유량을 위해 인공적인 시설물의 설치를 촉구하게 한다. 따라서 지방2급 하천과 같이 유역면적이 작고 건기의 기저유출이 거의 없는 산지하천의 경우 하천유지유량을 설정하는 현재의 방법은 적절하지 않으며 수문모의모형을 이용하여 이상적인 상황에서의 갈수량, 저수량 또는 갈수량과 저수량 사이의 값의 평균 등으로 산정하는 방법이 바람직하다.

## 감 사 의 글

본 연구는 21세기 프런티어 연구개발 사업인 수자원의 지속적 확보기술개발 사업단(과제번호 1-7-2)의 서울대학교 공학연구소를 통한 연구비 지원과 Brain Korea 21의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다. 연구비 지원에 심심한 감사의 뜻을 표합니다.

## 참 고 문 헌

1. 김규호, 이진원, 홍일표, 유효섭 (1996). “하천유지유량 결정 방법의 개발 및 적용: 1. 산정방법.” **한국수자원학회논문집**, 한국수자원학회, 제29권, 제4호, pp. 161-176.
2. 신문주 (2006). **SWAT 모형을 이용한 안양천 유역의 유량확보와 수질개선에 대한 방안**. 서울대학교 석사학위논문.
3. 심명필 (2003). **지속가능한 하천수 개발**. 인하대학교, 과학기술부.
4. 이길성, 정은성, 신문주 (2006). “기후, 지하수 취수 및 토지이용의 변화의 건기 총유출량에 대한 영향.” **한국수자원학회논문집**, 한국수자원학회 (제출).
5. 이삼희 (2001). **안양천 살리기 종합계획**. 한국건설기술연구원, 안양시.
6. 최동진 (2005). **효율적인 하천 유지관리 방안**. 경기개발연구원.
7. 한국수자원공사 (2000). **지하수 조사연보**. 건설교통부.
8. 한국수자원학회 (2005). **하천설계기준해설**. 건설교통부.