

L-THIA ArcView GIS 모형을 이용한 대청호 만입부 유역의 직접유출 및 비점오염배출부하 산정 적용성 평가

최재완 · 이 혁* · 신동석*[†] · 천세억

국립환경과학원 금강물환경연구소

*국립환경과학원 수질총량연구과

Evaluation of Estimated Storm runoff and Non-point Pollutant Discharge from Upper Watershed of Daecheong Reservoir during Rainy Season using L-THIA ArcView GIS Model

Jaewan Choi · Hyuk Lee* · Dong-Seok Shin*[†] · Se-Uk Cheon

Geun River Environment Research Center

*National Institute of Environmental Research

(Received 22 October 2009, Revised 20 November 2009, Accepted 23 November 2009)

Abstract

There have been growing concerns of algal growth at Daecheong reservoir due to eutrophication with excess nutrient inflow. Rainfall-driven runoff and pollutant from watershed are responsible for eutrophication of the Daecheong reservoir. In this study, two subwatersheds of the Daecheong reservoir were selected and water quality characteristics were analyzed. The L-THIA ArcView GIS model was used for evaluation of direct runoff and water quality. The R² and the EI value for direct runoff were 0.95 and 0.93 at Wol-oe watershed and were 0.81, 0.71 at An-nae watershed, respectively. The R² for SS, T-P were 0.53, 0.95 at Wol-oe watershed and 0.89, 0.89 at An-nae watershed, respectively. It has been proven that the L-THIA ArcView GIS model could be used for evaluating direct runoff and pollutant load from the watershed with reasonable accuracies.

keywords : Direct Runoff, EMC, L-THIA ArcView GIS, Pollutant load, Water quality

1. 서론

대청호는 1981년에 준공되었으며 대전과 청주를 비롯한 인근 대도시와 공주, 부여 등 중부권 지역의 매우 중요한 수자원이다. 또한 향후 들어설 행정복합도시의 수자원으로서 그 중요성이 더욱 높아지고 있다(정세웅 등, 2007).

대청호 상류 유역권에는 10개의 주요지천들이 분포되어 넓은 배수구역을 갖고 있으며 옥천, 보은, 영동, 무주 등의 읍 단위 생활계 오염원과 축산계 점오염원은 물론 유역 대부분을 차지하고 있는 산림, 경작지 등의 토지이용 비점오염원에 의하여 부영양화와 조류발생이 심화되고 있는 실정이다(권영호 등, 2002).

1997년 조류예보제가 시행된 이래 대청호에서는 거의 매년 조류주의보가 발령되었고(1999년 제외), 2000, 2001, 2003, 2006년에는 조류경보가 발령되었으며, 특히 2001년에는 조류대발생이 발령되는 등 하절기에 조류발생에 의한 수질문제가 지속되고 있는 실정이다(김경현 등, 2008).

대청호에서 유입 유량 변동과 수질 및 조류증식의 관계,

정체수역에서의 조류발생의 영향 등은 상류유역에 내리는 강우의 크기와 강도, 산림, 대지 등 토지이용형태와 토양특성의 영향을 받아 하천을 따라 유입되는 강우유출수의 양과 이에 포함된 영양물질의 지배를 받는다(신재기 등, 2003).

그동안 대청호의 적절한 수질관리를 위한 많은 연구가 수행되었으나(권영호 등, 2002; 이종호, 2000; 천세억 등, 2006), 미국 EPA에서 개발한 WASP(Ambrose et al., 1993)과 미국공병단에서 개발한 CE-Qual-W2(Cole and Tillman, 1999)를 이용한 호수 내 수질변화를 모의하는 것이 대부분이며, 유역모형을 이용한 상류유역이 대청호 수질에 미치는 영향을 모의한 연구사례가 거의 없는 실정이다.

유역의 수환경 영향을 평가하기 위해서 복잡한 수문·수질 모델을 이용하는데 이러한 복잡한 모델을 운영하기에는 전문적인 지식이 있어야 하며, 입력자료 구축 문제로 인하여 일반 사용자가 이용하기에는 어려움이 많았다.

이러한 단점을 보완하기 위해 입력자료 구축이 용이하도록 모델을 개선·개발하려는 연구가 진행되고 있는데, L-THIA (Long-Term Hydrologic Impact Assessment) ArcView GIS 모형은 U.S. EPA와 Purdue 대학교 연구진의 공동연구에 의해 개발되었으며, 토지이용도, 토양도, 일강우 자료만으로

[†] To whom correspondence should be addressed. sds8488@korea.kr

직접유출의 모의가 가능한 장점이 있을 뿐만 아니라 높은 정도의 제현 정확성을 가지고 있다(김종건 등, 2007a).

국내 연구사례로는 L-THIA ArcView GIS 모형을 이용하여 도암댐 유역의 직접유출을 모의(김종건 등, 2007b)와 L-THIA ArcView GIS 모형과 SCE-UA 연계적용하여 금호강유역의 비점오염 분포 파악(김정진 등, 2009) 등의 논문이 학회에 발표된 바 있다.

본 연구에서는 2단계 총량관리 대상물질이며 부영양화 원인물질인 T-P와 차기 총량관리대상물질로 지정될 가능성이 큰 SS를 대상으로 대청호 만입부 유역중 안내천, 월외천 유역의 강우유출 특성을 조사·분석하고, L-THIA ArcView GIS 모형을 이용하여 대청호 만입부 유역의 직접유출 및 비점오염 배출부하량의 산정 가능성을 평가하고자 하였다.

2. 연구방법

2.1. 연구 대상 지역

대청호는 금강유역의 최대 상수원으로써 총 유역면적(용담댐 유역제외)은 3,204.0 km²이고 저수지의 표면적은 72.8 km²이며 유역면적/저수면적의 비는 44.0이다. 연평균 강수량과 유입량은 각각 1230.0 mm, 95.6 m³/s이고, 총 저수량은 1,490×10⁶ m³이며, 유효저수량은 790×10⁶ m³이다(한국수자원공사, 2006). 연구대상 유역은 충청북도 옥천군 안내면 일대로서 월외천 및 안내천 유역이다(Fig. 1). 월외천의 유역면적은 9.884 Km²로 유역의 80.5%정도가 산림이며, 안내천의 유역면적은 16.5 Km²로 유역의 69.4%정도가 산림이다. 두 유역의 토양은 주로 대산통이 분포되어 있으며, 수문학적 토양군은 미국 USDA SCS(현재 NRCS) 기준으로 주로 A그룹(침투속도 7.6 mm/hr 이상)으로 분류되며, 토양이 완전히 포화되어도 침투능이 높아 유출률이 낮다.

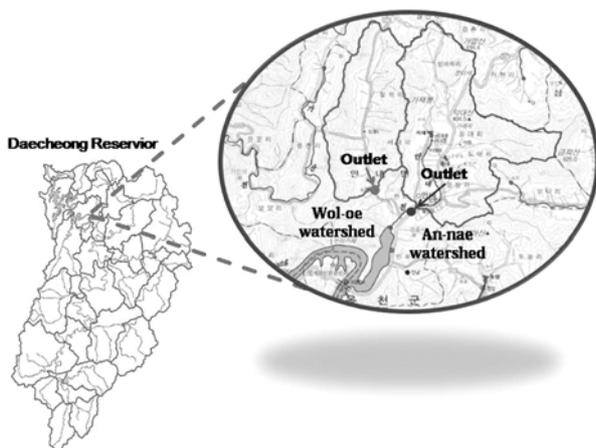


Fig. 1. Locations of Wol-oe and An-nae watersheds.

2.2. 모니터링

대청호 만입부 하천 중 월외천과 안내천 2개 지점을 연구 대상유역으로 선정하여 2009년 3월 11일부터 2009년 8월 13일까지 강우유출수를 조사하였으며, 각 지점의 유출



Fig. 2. Measurement of flow velocity.



Fig. 3. Water quality sampling.

구에 자동시료채취기(ISCO 6712)와 YSI 6600을 설치하여 시료채취와 수위측정을 수행하였다(Fig. 2 및 Fig. 3). 강우시 유출량은 Flowtracker를 이용하여 유속을 실측한 후 산정하였으며, 강우량은 기상청의 자동기상관측자료(AWS)를 이용하였다. 자동시료채취기(ISCO 6712)를 이용하여 채취된 시료는 항목(SS, T-P)별로 수질오염공정시험기준에 준하여 수질분석을 실시하였다. SS(부유물질량, Suspended Solids)는 유리섬유지(GF/C)로 여과한 전후의 증량값 차이로 계산하였고, 총인(Total Phosphorus, TP)은 흡광광도법(Varian사의 CARY 100 Conc)을 이용하여 측정하였다.

2.3. 오염부하량 산정

실측 농도와 유량자료를 이용하여 오염부하량을 산정하기 위해 Numeric Integration 방법을 사용하였다(식 (1)).

$$Load = \sum_{i=1}^n c_i q_i t_i \quad (1)$$

여기에서 c_i 는 i 번째 샘플의 농도이고 q_i 는 i 번째 유량이다. 그리고 t_i 는 i 번째 샘플로서 표현되는 시간 구간으로 $\frac{1}{2}(t_{i+1} - t_{i-1})$ 이다. 여기에서 t_i 는 반드시 모든 샘플별로 똑같은 필요는 없다.

2.4. L-THIA ArcView GIS 모형 적용

2.4.1. L-THIA ArcView GIS 모형 개요

유역의 유출량은 침투, 증발산, 토양수분, 강우강도 등에 의해 영향을 받는데, 미계측 유역에서 유역의 유출량을 예측하기 위해 이러한 여러 인자를 하나의 지표로 표현하기 위하여 SCS에서는 Curve Number(CN)를 제안하였다(Mockus, 1964; Rallison and Cronshey, 1979; Rallison and Miller, 1982; SCS, 1972). CN 방법은 우량과 유효우량과의 관계를 나타내는 지수로서 0에서 100 사이의 값을 가지는 무차원 지수이다. 불투수 또는 수표면에서 CN 값은 100이며, 자연적인 지표면에서의 CN 값은 100보다 작다. 유출곡선지수 CN과 유역의 최대잠재보유수량 S와의 관계는 식 (2)와 같다.

$$CN = \frac{25,400}{S + 254}, \quad S = \frac{25,400}{CN} - 254 \quad (2)$$

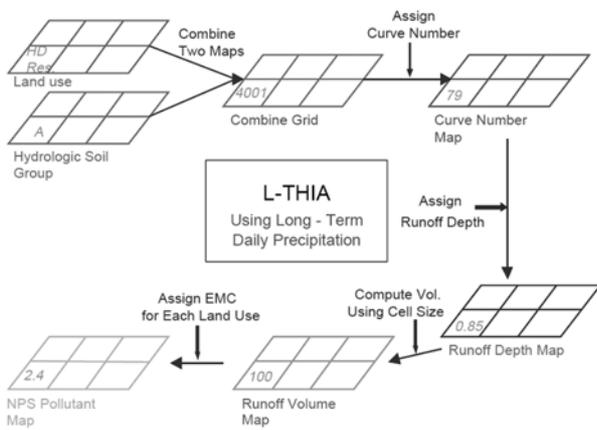


Fig. 4. Overview of the L-THIA ArcView GIS model (Lim et al., 2001).

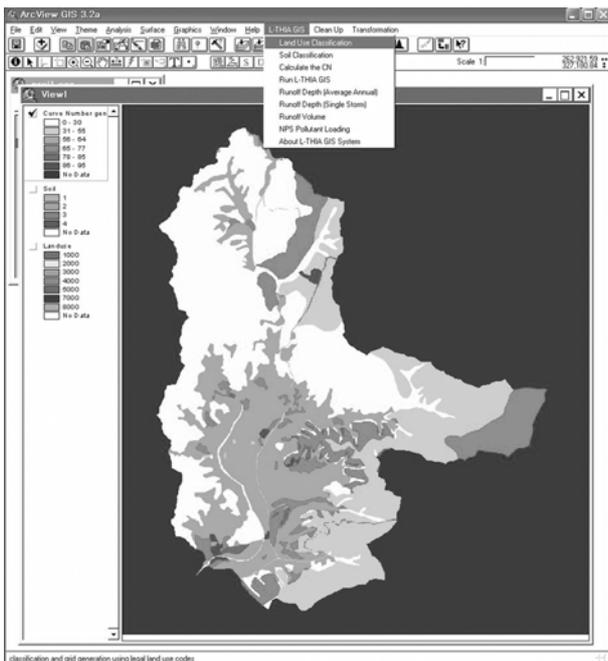


Fig. 5. L-THIA ArcView GIS Interface (An-nae watershed).

L-THIA ArcView GIS 모형(Fig. 4 및 Fig. 5)은 CN방법으로 토지이용도, 토양도, 일별 강우량 자료를 이용하여 직접 유출량을 산정한다. 간단한 입력자료를 통해 장기 직접유출모의가 가능하고, 토지이용별 EMC를 이용해 비점오염 부하량을 산출할 수 있다(김중건 등, 2007a; Lim et al., 2001).

2.4.2. L-THIA ArcView GIS 입력 자료 구축

L-THIA ArcView GIS 시스템의 입력자료는 토지이용현황, 수문학적 토양그룹, 그리고 장기 일강우량자료이다. 따라서 본 연구에서는 월외천과 안내천 유역의 토지이용도와 토양도, 그리고 2009년 1월 1일부터 2009년 9월 1일까지의 일강우량 자료를 모형의 입력자료로 구축하였다.

연구대상지역내 토지이용현황은 환경부 환경지리정보(EGIS)에서 배포하는 2000년 1/25,000의 대분류 수치 토지피복도 자료를 이용하였다. 월외천 유역의 토지이용분류는 산림(Forest)이 80.51%를 차지하며, 농업지역(Agricultural) 17.09%, 고밀도 주거지역(HD Residential) 0.81%, 저밀도 주거지역(LD Residential) 0.64%, 공업지역(Industrial) 0.048%를 각각 차지하고 있다(Fig. 6). 안내천 유역의 토지이용분류는 산림(Forest)이 69.45%를 차지하며, 수역(Water)이 0.92%, 상업지역(Commercial) 0.55%, 농업지역(Agricultural) 25.72%, 고밀도 주거지역(HD Residential) 2.58%, 저밀도 주거지역(LD Residential) 0.74%, 공업지역(Industrial) 0.03%를 각각 차지하고 있다(Fig. 7).

월외천 및 안내천 유역내 토양속성(Fig. 8 및 Fig. 9)은 농업과학기술원의 정밀토양도(1:25,000)를 사용하였으며, 대부분 대산통이 분포되어있다. 대산통은 미사식양질계 적황생토로서 미농무성(USGS)의 새로운 분류방법에 의하면 fine silty, mixed, mesic family of Typic Dystrudepts에 속한다. 대산통은 옥천계내에 천매암 또는 잔적층을 모재로 한 토양으로 저구릉지 내지 산악지에 분포하며 경사범위는 7~33%이나 주로 15~30%이다. 토양배수는 양호하고 투수성은 느리며 유거는 보통이거나 빠르다(한국토양정보시스템, 2005).

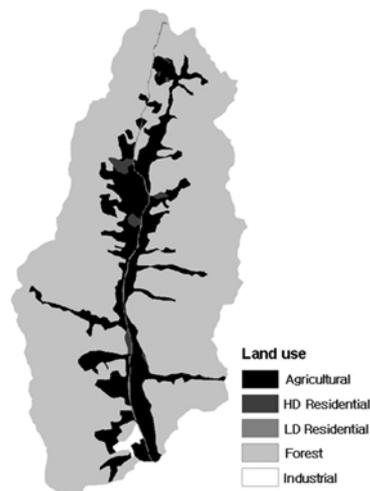


Fig. 6. Land uses of Wol-oe watershed.

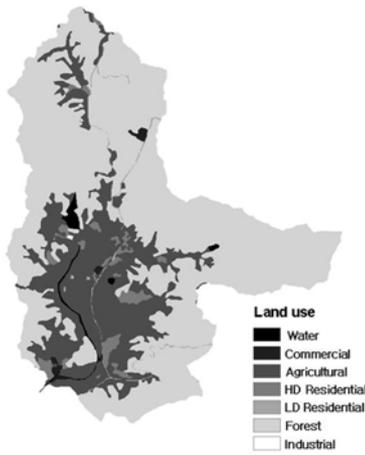


Fig. 7. Land uses of An-nae watershed.

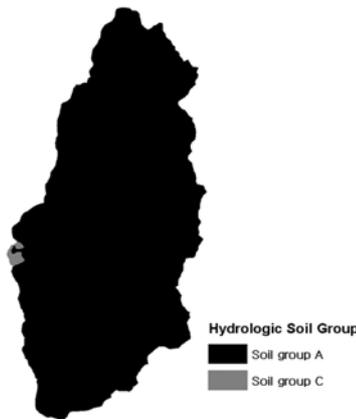


Fig. 8. Hydrologic Soil Group map at Wol-oe watershed.

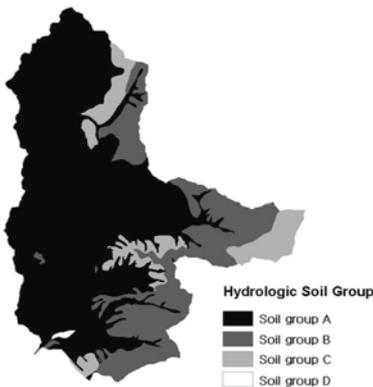


Fig. 9. Hydrologic Soil Group map at An-nae watershed.

2.5. 총유출량으로부터 직접유출량 및 기저유출량 분리

본 연구에서 사용된 L-THIA ArcView GIS 모형은 유역의 토지이용 및 토양배수 특성에 따라서 주어진 일강수량 중 유효우량을 산정하는 프로그램이므로, 모형의 정확성을 평가하기 위해서는 먼저 실측 총 유출량으로부터 직접유출량을 분리해야 한다.

Eckhardt(2005)는 유역내 대수층 특성을 고려하여 기저유출을 분리하는 모듈을 제안하였다. Eckhardt 필터를 이용하

여, 기저유출 분리시 이용되는 BFI_{max}(Base Flow Index max)값 선정에 있어 주관적인 요소를 최소화하기 위해 Eckhardt(2005)는 대표적 대수층 별로 BFI_{max} 대푯값을 제안하였다. 이러한 BFLOW 및 Eckhardt 필터를 이용하여 손쉽게 기저유출을 분리해내기 위하여 Web GIS-based Hydrograph Analysis Tool(WHAT)이 개발되었다(Lim et al., 2005).

본 연구에서는 직접유출과 기저유출을 분리하기 위하여 WHAT 시스템을 활용하였으며, 안내천과 월외천에서 강우시 측정된 유출량에서 직접유출과 기저유출을 분리한 후, L-THIA ArcView GIS 모형의 정확성을 평가하였다.

2.6. L-THIA ArcView GIS 모형 보정

김종건 등(2007a)에 따르면 AMC(Antecedent Moisture Condition) 조건의 고려 여부에 따라 L-THIA ArcView GIS 를 이용한 연간 직접유출량 값이 42.44%의 차이가 발생했으나 AMC 고려시 오차가 7.99%로 실측치와 근사하게 나타나, 본 연구에서는 모의기간을 성수기(4월 15일~10월 15일, growing season)와 비성수기(1월 1일~4월 14일, 10월 16일~12월 31일, dormant season)로 구분(Table 1)하고 AMC 조건에 따른 토지이용별 CN값을 산정하였다.

CN II 값은 AMC II 조건(강수량이 보통인 상태)의 토지이용과 토양상태에 따른 값을 나타내며, 직접유출 산정시 성수기와 비성수기를 구분하고 선행 5일 강우량에 따른 AMC I(건기), AMC III(우기)의 CN I, CN III 를 사용한다. CN I 과 CN III 는 CN II 를 이용한 다음의 식 (3)과 식 (4) 를 이용한다.

$$CN I = \frac{4.2 CN II}{10 - 0.058 CN II} \tag{3}$$

$$CN III = \frac{23 CN II}{10 + 0.13 CN II} \tag{4}$$

Table 1. Criteria of AMC Adjustment in CN method (SCS, 1985)

AMC	Total 5-day antecedent rainfall (mm)	
	Growing season	Dormant season
I	$P_5 < 12.70$	$P_5 < 35.56$
II	$12.70 < P_5 < 27.94$	$35.56 < P_5 < 53.34$
III	$P_5 > 27.94$	$P_5 > 53.34$

본 연구에서는 2009년 3월 11일부터 2009년 8월 11일까지 실측된 유출량 자료로부터 분리된 직접유출량 자료를 활용하여 L-THIA ArcView GIS 모형의 직접 유출량 자료와 비교·분석하였다.

2.7. L-THIA ArcView GIS 모형 오염부하량 산정

본 연구에서는 월외천 유역과 안내천 유역에 대하여 SS, T-P의 실측 오염부하량과 4대강 물환경연구소(금강물환경연구소, 2008; 낙동강물환경연구소, 2008; 영산강물환경연구소, 2008; 한강물환경연구소, 2008)에서 측정된 EMC 자료를 L-THIA ArcView GIS 모형에 입력하여 산정한 오염

Table 2. Measured EMC (SS, T-P) under land use type

Land use type	EMC (SS, mg/L)	EMC (T-P, mg/L)
Water	0.0	0.000
Commercial	42.5	0.477
Agricultural	217.4	0.296
Residential	50.2	0.088
Forest	54.8	0.213
Industrial	30.6	0.190

부하량을 비교·평가하였다. Table 2는 토지이용별 SS와 T-P의 EMC를 나타낸다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 현장조사 결과

본 연구에서는 2009년 3월 12일부터 2009년 8월 13일까지 대청호 만입부로 유입되는 하천 중 월외천과 안내천 유

역의 강우유출수를 측정하였다. 연구 기간내 총 829.2 mm의 강우가 내렸으며, 집중호우의 영향으로 7월 한 달 동안 48.72%인 404.0 mm의 강우가 있었다.

3.1.1. 월외천 현장조사 결과

연구기간 동안 유출이 발생된 모든 강우사상(총 16회)에 대하여 ADD(Antecedent Dry Day)에 관계없이 조사를 수행하였으며, 강수량과 총 유출량, 직접 유출량은 Fig. 10과 같으며, 7월 이전에는 선행건기일수(ADD)가 커서 강우에 의한 유출이 7월 이후보다 상대적으로 적게 발생하였다. Fig. 11은 직접유출에 의한 EMC 산정 결과이다. 월외천 유역의 유출수내 SS의 EMC는 0.7~53.0(800.1) mg/L의 범위를 보였으며, T-P는 0.006~0.225(1.146) mg/L의 범위를 보였다. SS 측정치중 7월21일의 SS 800.1 및 T-P 1.146 mg/L는 하천공사 영향으로 인한 이상치로 판단되어 평가에서는 제외하였다.

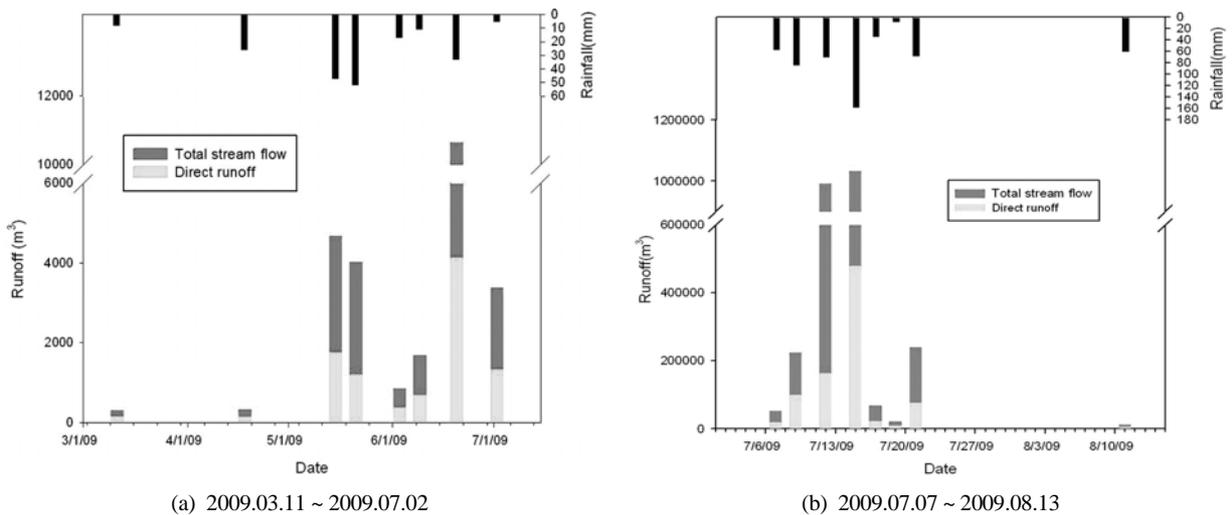


Fig. 10. Rainfall, total stream flow and direct runoff at Wol-oe watershed.

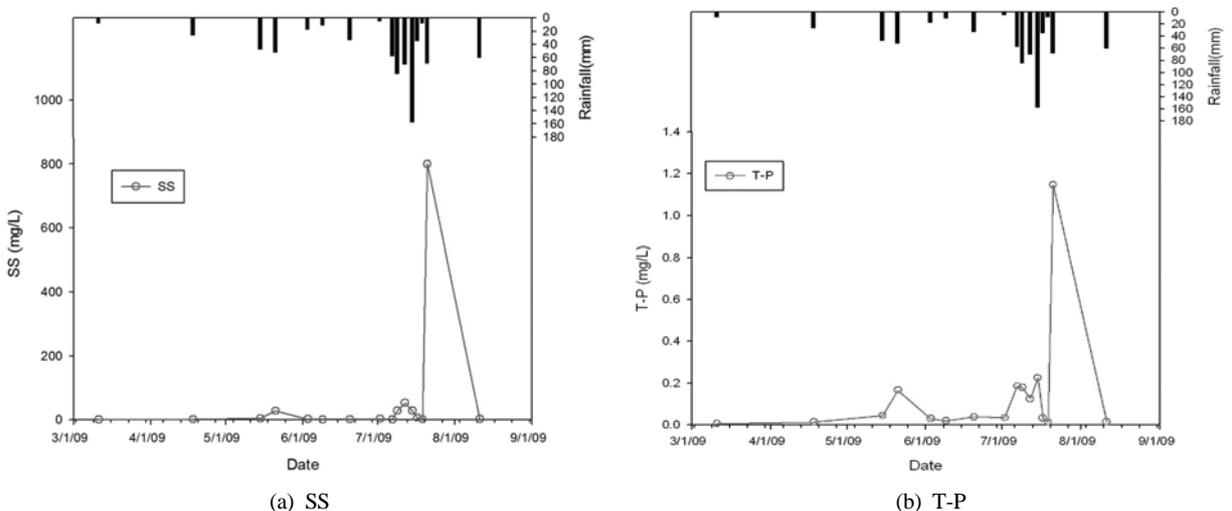


Fig. 11. Measured EMC (SS, T-P) at Wol-oe watershed (09.03.11 ~ 09.08.13).

3.1.2. 안내천 현장조사 결과

연구기간 동안 총 13회 강우유출수를 조사하였으며, 강수량과 총 유출량, 직접 유출량은 Fig. 12와 같다. 월외천 유역과 마찬가지로 7월 이전에는 선행건기일수가 커서 강우에 의한 유출이 7월 이후 보다 상대적으로 적게 발생하였다. Fig. 13은 직접유출에 의한 EMC 산정 결과이다. 안내천 유역의 유출수내 SS의 EMC는 1.6~180.5 mg/L, T-P는 0.029~0.285 mg/L의 범위를 보였다. 안내천 유역의 EMC는 같은 강우 조건에서 월외천 유역의 EMC 보다 컸는데, 이는 오염부하 기여도가 큰 주거지역과 농업지역이 월외천보다 많이 분포하기 때문으로 판단된다.

3.2. 직접유출량 산정

본 연구에서는 측정된 유출량 자료를 직접유출과 기저유출로 분리하기 위해 Lim 등(2005)이 개발한 WHAT 시스템을 이용하였으며, Fig. 14는 2009년 7월 14일~16일 월외천 유역에서 발생한 유출에서 기저유출을 분리한 것이다. 연구

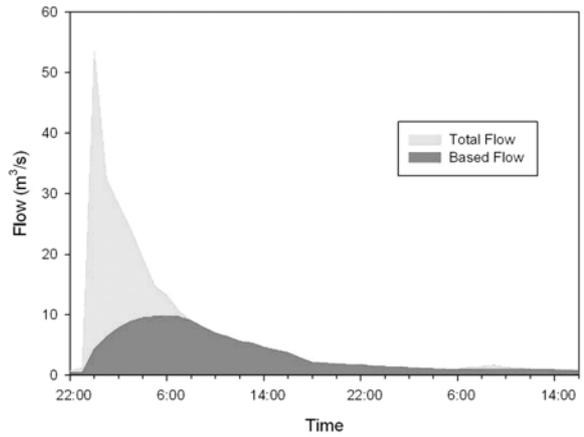
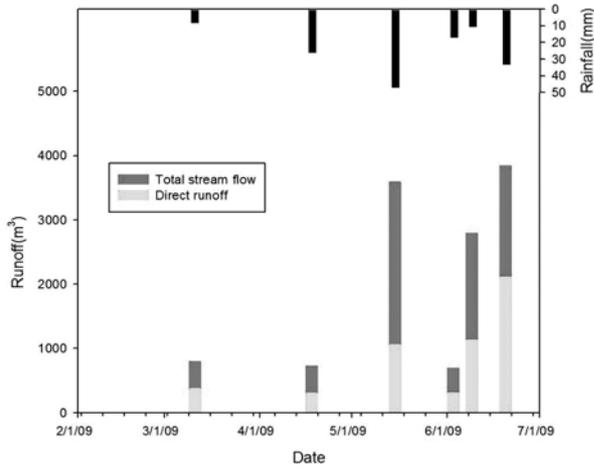
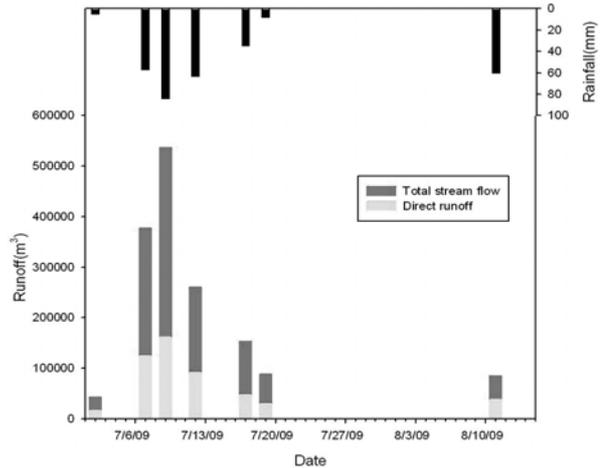


Fig. 14. Separation of total and based flow at Wol-oe watershed (09.07.14 ~ 16).

기간내에 조사된 유출자료를 WHAT 시스템을 이용하여 직접유출을 산정한 후 L-THIA ArcView GIS 모형의 적용성

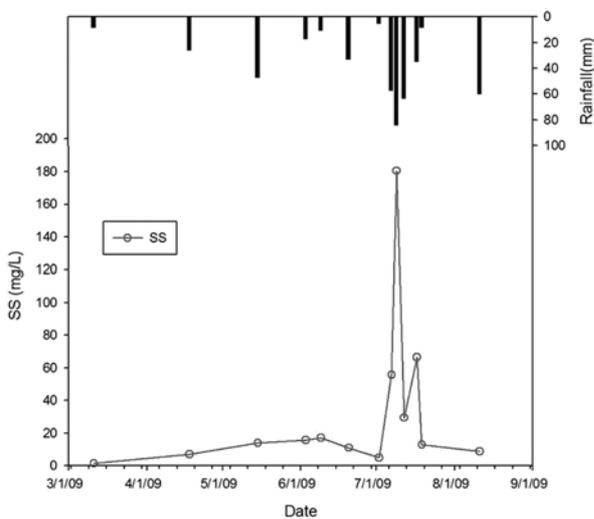


(a) 2009.03.11 ~ 2009.06.20

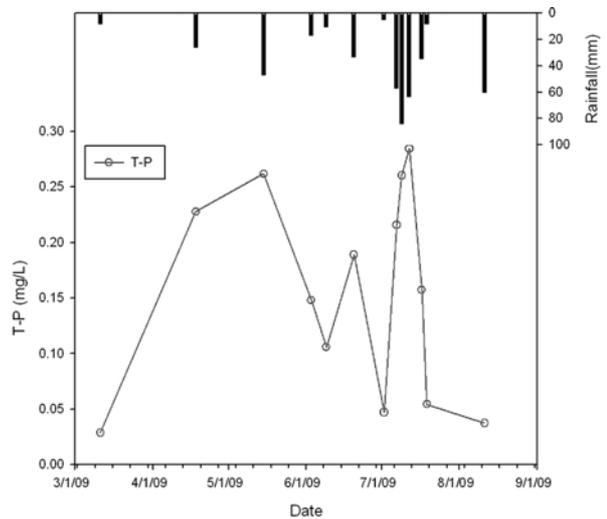


(b) 2009.07.02 ~ 2009.08.13

Fig. 12. Rainfall, total stream flow and direct runoff at An-nae watershed.



(a) SS



(b) T-P

Fig. 13. Measured EMC (SS, T-P) at An-nae watershed (09.03.11 ~ 09.08.13).

평가시 사용하였다. Table 3, 4는 월외천 유역과 안내천 유역에서의 총 유출, 직접유출, 기저유출, 총 유출에 대한 직접유출의 비율이다.

3.3. 오염 부하량 산정

3.3.1. 월외천 오염 부하량

본 연구에서는 2009년 3월 11일부터 8월 13일까지 실측된 유량과 SS 및 T-P 농도를 분석하여 강우시 직접유출에 의한 오염부하량을 산정하였다. 월외천 유역내 직접유출에 의해 발생한 SS는 0.103~14,996.9 g, T-P는 0.001~107.836 g의 범위였다(Table 5).

3.3.2. 안내천 유역 오염 부하량

안내천 유역내 직접유출에 의해 발생한 SS는 0.6~29, 206.5 g, T-P는 0.011~42.139 g의 범위였다(Table 6). 안내천 유역의 오염부하량이 월외천보다 큰 이유는 오염부하 기여도가 큰 주거지역과 농업지역이 월외천보다 많이 분포하여 EMC 값이 상대적으로 컸기 때문이므로, 대청호 만입부 수질을

Table 5. Rainfall, pollutant loads of SS and T-P at Wol-oe watershed

Date	Rainfall (mm)	SS (g)	T-P (g)
3.11~3.12	8.0	0.1	0.001
4.20~4.21	26.0	0.2	0.002
5.16~17	47.0	7.8	0.078
5.21~22	51.5	33.5	0.200
6.3	17.0	0.7	0.011
6.9~6.10	10.5	1.0	0.013
6.20~6.21	33.0	5.9	0.158
7.2~7.3	5.0	4.0	0.045
7.7~7.8	57.0	18.9	3.522
7.9~7.11	84.0	2,883.1	17.884
7.12~7.14	70.0	14,996.9	35.340
7.15~7.16	157.5	13,586.6	107.836
7.17~7.18	34.5	147.4	0.745
7.19	8.0	34.0	0.274
7.21~7.22	68.0	(61,963.0)	(88.780)
8.11~8.13	60.0	16.4	0.081

remark) Data from July 21 to 22 were excluded due to stream restoration

Table 3. Total stream flow, direct runoff, based flow of Wol-oe watershed

Date	Total stream flow (m ³)	Direct runoff (m ³)	Based flow (m ³)	Direct runoff rate
3.11~3.12	314.1	156.99	157.11	49.98%
4.20~4.21	316.08	143.74	172.34	45.47%
5.16~17	4,673.52	1,765.61	2,907.91	37.78%
5.21~22	4,014.72	1,206.98	2,807.74	30.06%
6.3	849.24	379.22	470.02	44.65%
6.9~6.10	1,680.92	696.03	984.89	41.41%
6.20~6.21	10,648.48	4,148.47	6,500.01	38.96%
7.2~7.3	3,374.33	1,330.83	2,043.50	39.44%
7.7~7.8	52,134.84	18,958.38	33,176.46	36.36%
7.9~7.11	223,946.90	99,478.11	124,468.79	44.42%
7.12~7.14	991,275.30	163,726.60	827,548.70	16.52%
7.15~7.16	1,033,116.88	478,704.34	554,412.54	46.34%
7.17~7.18	68,131.77	22,982.99	45,148.78	33.73%
7.19	21,248.97	8,943.75	12,305.22	42.09%
7.21~8.22	238,986.81	77,441.63	161,545.18	32.40%
8.11~8.13	13,048.65	6,114.90	6,933.75	46.86%

Table 4. Total stream flow, Direct runoff, Based flow of An-nae watershed

Date	Total stream flow (m ³)	Direct runoff (m ³)	Based flow (m ³)	Direct runoff rate
3.11~3.12	790.56	376.67	413.89	47.65%
4.20~4.21	724.68	301.23	423.45	41.57%
5.15~5.17	3,582.36	1,057.63	2,524.73	29.52%
6.3	686.16	315.50	370.65	45.98%
6.9~6.10	2,789.26	1,134.08	1,655.18	40.66%
6.20~6.21	3,838.96	2,115.26	1,723.70	55.10%
7.2~7.3	42,330.20	16,402.73	25,927.47	38.75%
7.7~7.8	376,381.89	125,551.70	250,830.19	33.36%
7.9~7.11	536,907.58	161,835.10	375,072.48	30.14%
7.12~7.13	259,247.08	92,453.33	166,793.75	35.66%
7.17~7.18	152,876.19	48,167.39	104,708.80	31.51%
7.19	88,193.28	30,693.26	57,500.02	34.80%
8.12~8.13	85,000.10	38,346.44	46,653.66	45.11%

Table 6. Rainfall, pollutant loads of SS and T-P at An-nae watershed

Date	Rainfall (mm)	SS (g)	T-P (g)
3.11~3.12	8.0	0.6	0.011
4.20~4.21	26.0	2.2	0.069
5.15~5.17	47.0	14.7	0.277
6.3	17.0	5.0	0.047
6.9~6.10	10.5	19.5	0.120
6.20~6.21	33.0	23.3	0.400
7.2~7.3	5.0	79.8	0.771
7.7~7.8	57.0	6,996.9	27.097
7.9~7.11	84.0	29,206.5	42.139
7.12~7.13	63.5	2,720.0	26.308
7.17~7.18	34.5	3,210.3	7.575
7.19	8.0	398.3	1.665
8.12~8.13	60.0	336.0	1.430

Table 7. Curve number under AMC I, II, III conditions in Wol-oe watershed

Land use	Soil group	Curve number		
		AMC I	AMC II	AMC III
Forest	B	34	55	74
LD residential	B	49	70	84
Agricultural	B	56	75	87
HD residential	B	70	85	93
Forest	D	58	77	89
Agricultural	D	70	85	93
Industrial	B	75	88	94

Table 8. Curve number under AMC I, II, III conditions in An-nae watershed

Land use	Soil group	Curve number		
		AMC I	AMC II	AMC III
Forest	B	34	55	74
Agricultural	B	56	75	87
Agricultural	C	66	82	91
HD residential	C	79	90	95
HD residential	B	70	85	93
Forest	C	49	70	84
Forest	D	58	77	89
LD residential	B	49	70	84
LD residential	C	63	80	90
Forest	A	15	30	50
LD residential	D	70	85	93
LD residential	A	33	54	73
Commercial	A	77	89	95
Commercial	B	83	92	96
Agricultural	A	43	64	80
Agricultural	D	70	85	93
Water	B	100	100	100
Industrial	B	75	88	94
Water	A	100	100	100
HD residential	D	83	92	96
Water	C	100	100	100
Commercial	C	87	94	97

관리하기 위해서는 상류 유역내 주거지역과 농업지역에 대한 우선적인 관리가 필요하다고 판단된다.

3.4. L-THIA ArcView GIS 모형 결과

3.4.1. AMC 조건에 따른 토지이용과 토양그룹별 CN값 산정

L-THIA Arcview GIS 모형을 이용하여 토지이용과 토양 그룹에 따른 AMC II 조건의 CN값을 산정하였고, 이로부터 선행 5일 강우량에 따른 AMC I, AMC III 조건의 CN 값을 산정하여 일별 유출량 산정시 적용하였다. Table 7 및 Table 8은 월외천과 안내천의 토지이용과 토양그룹별 CN 값을 산정한 것이다.

3.4.2. 유출 정확성 평가

월외천 유역과 안내천 유역의 유출 정확성을 평가한 결과(Fig. 15 및 Fig. 16), 결정계수(R^2)와 유효지수(EI)는 월외천 유역에서 0.95, 0.93이고, 안내천 유역에서 0.81, 0.71로 나타났다. Donigian and Love(2003)의 기준에 의하면 L-THIA GIS 모형의 유출량 결과가 전반적으로 “좋은(good)” (Table 9) 이상으로 평가되었다.

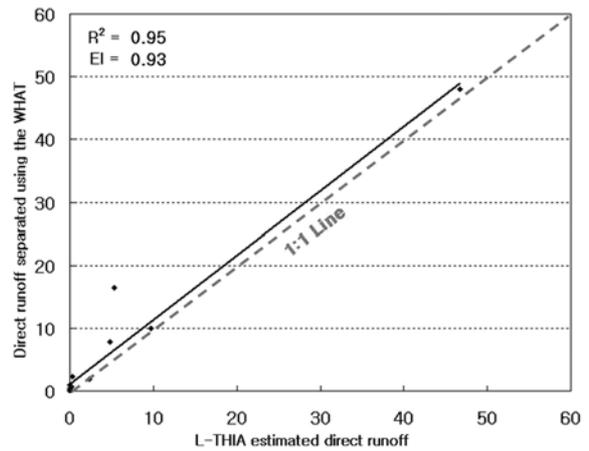


Fig. 15. R^2 and EI of direct runoff estimation at Wol-oe watershed.

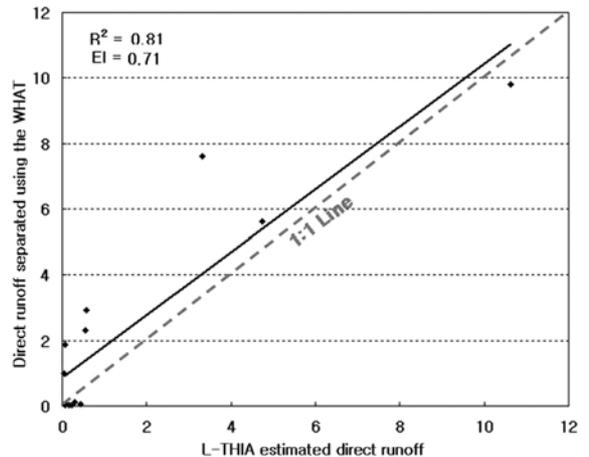


Fig. 16. R^2 and EI of direct runoff estimation at An-nae watershed.

Table 9. Criteria for evaluating model performance (Donigian and Love, 2003)

	Poor	Fair	Good	Very good
Daily flows	<0.60	0.60~0.70	0.70~0.80	>0.80
Monthly flows	<0.65	0.65~0.75	0.75~0.85	>0.85

3.5. L-THIA Arcview GIS 모형 오염부하 적응성 평가

3.5.1. 월외천 유역

월외천 유역의 SS, T-P 실측 오염부하량과 L-THIA ArcView GIS 모형 결과의 결정계수(R^2)는 각각 0.53, 0.95로 평가되어 T-P 오염부하 산정은 잘 재현하는 것으로 나타났으나, SS 부하량 산정의 경우 1:1 Line에 밀집해있지 않아 단일 강우사상에 대한 부하량 산정에 한계가 있는 것으로 나타났다(Fig. 17). 또한 유효지수(EI) 산정 결과 SS는 0.44, T-P는 0.95로 나타나, SS보다 T-P의 부하량 산정에 더 적용성이 있는 것으로 나타났다.

3.5.2. 안내천 유역

안내천 유역의 SS, T-P 실측 오염부하량과 L-THIA ArcView GIS 모형 결과의 결정계수(R^2)는 각각 0.89, 0.89로 평가되

어 오염부하 경향을 비교적 잘 재현하는 것으로 나타났다 (Fig. 18). 또한 EI 산정 결과 SS는 0.98, T-P는 0.99로 나타났으며, 월외천 유역과 같이 SS보다 T-P의 부하량 산정에 더 적용성이 있는 것으로 나타났다.

4. 결론

본 연구에서는 2단계 총량관리 대상물질이며 부영양화 원인물질인 T-P와 차기 총량관리대상물질로 지정될 가능성이 큰 SS를 대상으로 대청호 만입부 유역중 안내천, 월외천 유역의 강우유출 특성을 조사·분석하고, L-THIA ArcView GIS 모형을 이용하여 대청호 만입부 유역의 직접유출 및 비점오염 배출부하량의 산정 가능성을 평가한 결과는 다음과 같다.

- 1) 안내천 유역의 EMC 및 오염부하량이 같은 강우 조건에서 월외천 유역보다 컸는데, 이는 오염부하 기여도가 큰 주거지역과 농업지역이 월외천보다 많이 분포하기 때문으로 판단된다.
- 2) 직접 유출량 평가 결과, 결정계수(R^2)와 유효지수(EI)가 월외천 유역 및 안내천 유역에서 각각 0.95, 0.93 및 0.81,

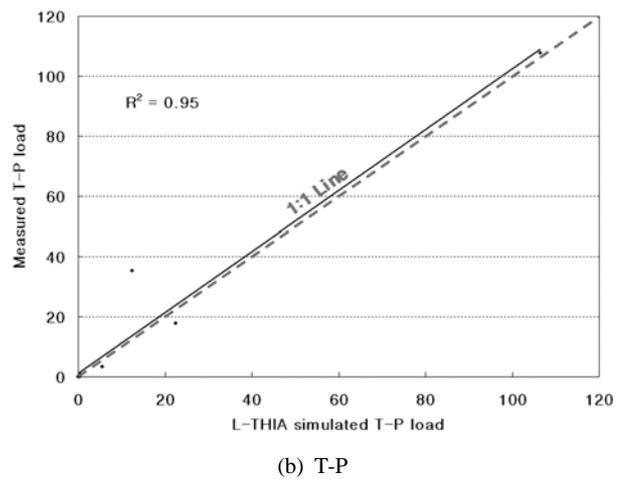
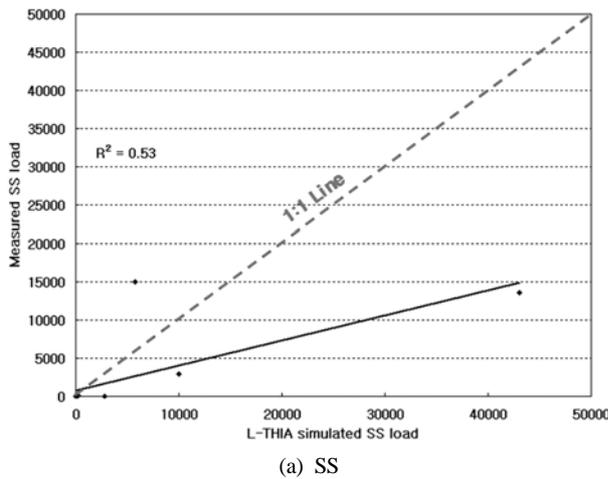


Fig. 17. R^2 of pollutant load estimation at Wol-oe watershed.

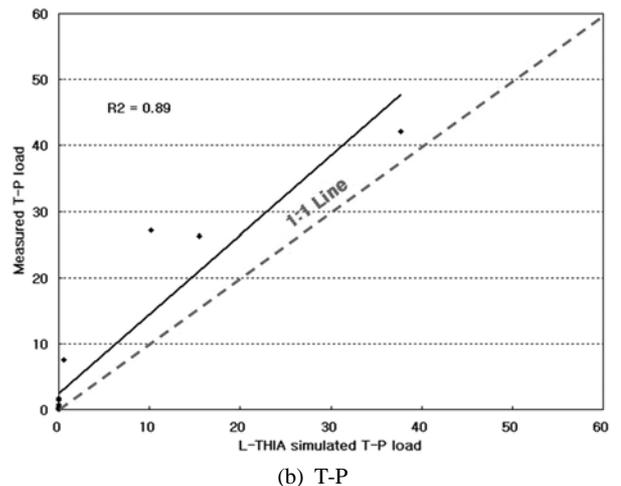
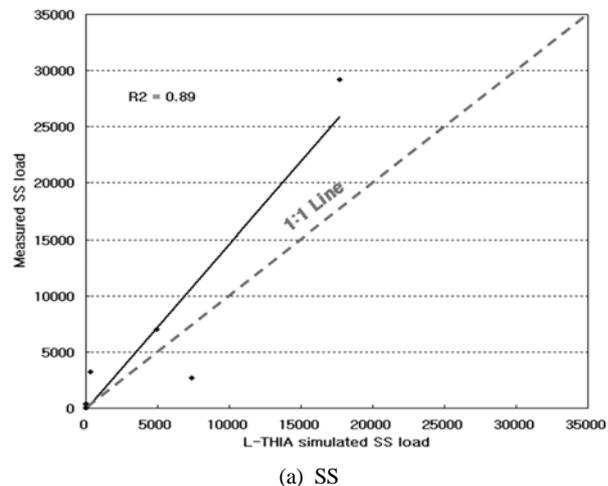


Fig. 18. R^2 of pollutant load estimation at An-nae watershed.

- 0.71로 나타나, L-THIA ArcView GIS 모형이 실측치를 잘 재현하는 것으로 나타났다.
- 3) 강우유출수에 포함된 SS 및 T-P 오염부하량 평가결과, 결정계수(R^2)가 월외천 유역과 안내천 유역에서 각각 0.53, 0.95 및 0.89, 0.89로 산정되었고, 유효지수(EI)가 월외천 유역과 안내천 유역에서 각각 0.44, 0.95 및 0.98, 0.99로 산정되었다. T-P의 경우 두개의 소하천에서 배출부하량 산정의 적용성이 어느 정도 확인되었으나, SS는 1:1 Line에 분포하지 않아 L-THIA ArcView GIS 모형이 지역에 따라 단일강우사상에 대한 부하량 산정의 적용성은 다소 떨어질 수 있음을 나타내었다.
- 4) L-THIA ArcView GIS 모형은 매우 제한적인 입력자료(일강우량, 토지이용도, 수문학적 토양그룹)만으로도 유출량 및 비점오염 부하량을 비교적 정확하게 예측하는 것으로 판단되며, 2010년부터 수행되는 대청호 만입부 상류유역의 수질관리대책 평가 연구에 활용할 수 있을 것으로 판단된다.

참고문헌

- 권영호, 한선입, 이준배(2002). 대청호 유역 오염부하량 산정. *상하수도학회지*, **16**(5), pp. 581-595.
- 금강물환경연구소(2008). 주요 비점오염원 유출 장기모니터링 및 저감기법 연구. 국립환경과학원 금강물환경연구소 2008년(2년차) 보고서.
- 김경현, 이재안, 이혁, 류인구, 이재정, 심인근, 천세억, 이용성, 서미진, 서동일(2008). 대청호 조류상승 발생수역이 본류 수질에 미치는 영향 분석(II). 금강물환경연구소.
- 김정진, 김태동, 최동혁, 임경재, 버나드엔겔, 전지홍(2009). 환경부 토지피복 중분류 적용을 위한 L-THIA 모델 수정과 SCE-UA 연계적용에 의한 금호강유역 비점오염 분포 파악. *수질보전 한국물환경학회지*, **25**(2), pp. 311-321.
- 김종건, 박윤식, 전지홍, Bernard A. E., 안재훈, 박영곤, 김기성, 최중대, 임경재(2007a). 선행토양함수조건(AMC)을 고려한 L-THIA WWW 직접유출 모의 정확성 평가. *수질보전 한국물환경학회지*, **23**(4), pp. 474-481.
- 김종건, 임경재, 박윤식, 허성구, 박준호, 안재훈, 김기성, 최중대(2007b). 경사도에 따른 CN보정에 의한 L-THIA 직접유출 모의 영향 평가. *수질보전 한국물환경학회지*, **23**(6), pp. 897-905.
- 낙동강물환경연구소(2008). 주요 비점오염원 유출 장기모니터링 및 저감기법 연구. 국립환경과학원 낙동강물환경연구소 2008년(2년차) 보고서.
- 신재기, 김동섭, 이해근, 맹승진, 황순진(2003). 옥천천(만) 유역 하천과 만입부의 수환경 평가. *한국하천수학회지*, **36**(2), pp. 181-190.
- 영산강물환경연구소(2008). 주요 비점오염원 유출 장기모니터링 및 저감기법 연구. 국립환경과학원 영산강물환경연구소 2008년(2년차) 보고서.
- 이종호(2000). 수계의 비점오염원 관리 - 대청호를 중심으로. *환경영향평가*, **9**(3), pp. 163-176.
- 정세용, 박재호, 김유경, 윤성완(2007). 대청호 부영양화 모의를 위한 CE-QUAL-W2 모델의 적용. *수질보전 한국물환경학회지*, **23**(1), pp. 52-63.
- 천세억, 이재안, 이재정, 유영복, 방규철, 이열재(2006). 대청호 유입유량 변동과 수질 및 조류증식의 관계. *수질보전 한국물환경학회지*, **22**(2), pp. 342-348.
- 한강물환경연구소(2008). 주요 비점오염원 유출 장기모니터링 및 저감기법 연구. 국립환경과학원 한강물환경연구소 2008년(2년차) 보고서.
- 한국수자원공사(2006). *댐운영 실무편람*. 한국수자원공사.
- 한국토양정보시스템(2005). <http://asis.rda.go.kr/>.
- Ambrose, R. B. Jr., Wool, T. A., and Martin, J. L. (1993). WASP5. A Hydrodynamic and Water Quality Model, User's Manual and Programmer's Guide (Parts I), U.S. Environmental Protection Agency, Athens, GA.
- Cole, T. M. and Tillman, D. H. (1999). Water Quality Modeling of Lake Monroe Using CE-QUAL-W2, Miscellaneous Paper EL-99-1, U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg, MS.
- Donigian, A. S. and Love, J. T. (2003). Sediment Calibration Procedures and Guidelines for Watershed Modeling. WEF TMDL 2003, November 16-19, WEF Specialty Conference Proceedings on CD-ROM, Illinois, Chicago.
- Eckhardt, K. (2005). How to Construct Recursive Digital Filters for Baseflow Separation. *Hydrological Processes*, **19**(2), pp. 507-515.
- Lim, K. J., Engel, B. A., Kim, Y., Bhaduri, B., and Harbor, J. (2001). *Development of Long-term Hydrologic Impact Assessment (L-THIA) WWW System*. International Soil Conservation Organization in cooperation with the USDA and Purdue University, West Lafayette, Indiana.
- Lim, K. J., Engel, B. A., Tang, Z., Choi, J., Kim, K. S., Muthukrishnan, S., and Tripathy, D. (2005). Automated Web GIS based Hydrograph Analysis Tool, WHAT(<http://pasture.ecn.purdue.edu/~what>, <http://www.Envsys.co.kr/~what>). *Journal of the American Water Resources Association*, **41**(6), pp. 1407-1416.
- Mockus, V. (1964). *Chapter 10. Estimation of Direct Runoff from Storm Rainfall, Section 4. Hydrology*, National Engineering Handbook. Washington, D. C.
- Rallison, R. E. and Cronshey, R. C. (1979). Discussion to runoff curve numbers with varying soil moisture. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering, ASCE*, **105**(4), pp. 439-441.
- Rallison, R. E. and Miller, N. (1982). *Past, resent, and further SCS runoff procedure. proceedings of International sumpsum on Rainfall-Runoff Modeling, Water Resource*, Published Littleton, Co.
- Soil Conservation Service (1972). *National Engineering Handbook, Section 4. Hydrology*. U. S. Department of Agriculture, Soil Conservation Service. Washington, D. C.
- Soil Conservation Service (1985). *National Engineering Handbook, Section 4, Hydrology*. U. S. Department of Agriculture, Soil Conservation Service. Washington, D. C.