

SWAT-REMM 모형을 이용한 봉곡천 유역의 수변림 조성에 따른 총 질소 저감 효율 분석

류지철 · 강현우 · 김남원* · 장원석 · 이지원 · 문종필** · 이규승*** · 임경재†

강원대학교 지역건설공학과

*한국건설기술연구원

**농촌진흥청 국립농업과학원

***충남대학교 생물환경화학학과

Analysis of Total Nitrogen Reduction Efficiency with Established Riparian Buffer System using SWAT-REMM Model in Bonggok Watershed

Jichul Ryu · Hyunwoo Kang · Nam Won Kim* · Won Seok Jang · Ji Won Lee ·
Jong-pil Moon** · Kyu-seung Lee*** · Kyoung Jae Lim†

Department of Regional Infrastructure Engineering, Kangwon National University

*Korea Institute of Construction Technology

**National Academy of Agricultural Science

***Bio Environmental Chemistry, Chungnam National University

(Received 14 June 2010, Revised 8 September 2010, Accepted 13 September 2010)

Abstract

In recent years, riparian buffer system has been known as one of the effective best management practices. However, establishment of riparian buffer system in aspect of plant species and its position in the riparian buffer zone has not been investigated due to lack of efficient evaluation method for the analysis of water quality improvement with established riparian buffer system. To solve this problem, the SWAT-REMM prototype was developed by the researchers in Canada. But, SWAT-REMM model can not consider the $\text{NO}_3\text{-N}$ load into riparian buffer system through subsurface flow. Thus to solved this problem, Fortran code of SWAT-REMM model was modified. This modified SWAT-REMM system was applied to the Bonggok watershed. Three riparian buffer scenarios, 15 m, 10 m, 5 m width for tree and grass, were made to evaluate the effects of riparian buffer system on water quality improvement. Reduction efficiency of T-N by riparian buffer system of 15 m wide was the greatest (6 ~ 37%, depending on subwatershed characteristics) among 3 scenarios. It indicates that the reduction efficiency of T-N load has increasing-tendency, as buffer width increasing. The results obtained from the analysis showed that wide buffer zones are found to be more effective in reducing non-point pollutant than narrow buffer zones in the riparian buffer zone system. Hence, the SWAT-REMM model could be efficiently used for evaluation and design the most effective riparian buffer systems to reduce pollutant loads to the watershed although many limitations still exist in SWAT-REMM model.

keywords : BMPs, NPS, Riparian buffer system, SWAT-REMM, Total nitrogen

1. 서론

최근 비점오염원에 의한 수질오염이 사회적 이슈로 대두되고 있다. 자연수역에서의 수질 오염 피해는 점오염원에 의한 영향보다 비점 오염원에 의한 영향이 증가되고 있다(이재용 등, 2008). 농촌지역에서 배출되는 비점오염의 발생 및 이동에 대한 정확한 기작이 분석이 되지 않고 있으며, 특히 비료, 농약의 사용증가에 따라 영양염류 및 유해물질에 의한 수질영향이 갈수록 문제가 되고 있다(주진호

등, 2007). 이러한 인류활동에 따른 화학 비료 사용의 증가는 많은 강우시 상당량의 영양염류가 강이나 바다로 흘러 들어가 수질오염의 원인이 된다(윤동민 등, 2008). 따라서 비점오염원을 저감시키기 위한 많은 최적관리기법들이 제시되고 있으며 이 중 수변림 설치에 따른 비점오염원 저감 대책이 하나의 방법으로 제시되고 있다(Dwire and Lowrance, 2006; Jobin et al., 2004). 그러나 수변림 설치에 따른 수질 개선효과를 분석하기 위해서는 수변림 설치 전과 설치 후의 장기 모니터링 자료가 필요하나 현실적으로 불가능한 경우가 많다. 따라서 모델링 기법이 대안으로 제시되고 있다. 수변림 설치에 따른 수질개선효과를 시간적/공간적으로 평가하기 위해서는 유역에서의 유출 및 발생 오염물질이

† To whom correspondence should be addressed.
kjlim@kangwon.ac.kr

수변림으로 유입되는 과정과 수변림에서의 유출 및 오염물질 이동에 관한 정확한 분석이 필요하다(Liu et al., 2007). 그동안 HSPF(Hydrological Simulation Program-Fortran), SWAT(Soil and Water Assessment Tool)과 같은 유역단위 모형들이 유출, 유사, 영양염류 등의 발생 및 거동을 모델링하기 위하여 개발되어 이용되어 왔다(송혜원 등, 2009; Arnold et al., 1998; Jang et al., 2010; Kim et al., 2009). 하지만 이러한 모형들은 준분포형의 한계점으로 인해 수변림을 명백하게 표현하기가 쉽지 않기 때문에 수변림을 모의하는 모형 중 REMM 모형을 SWAT 모형에 결합시켜 수변림을 평가할 수 있는 SWAT-REMM Prototype 모형이 캐나다의 연구진에 의해서 개발 되었다(Liu et al., 2007). 하지만 캐나다 연구진에 의해 개발된 SWAT-REMM 모형(Liu et al., 2007)은 HRU 기저유출 NO₃-N 성분이 지표하 유출 형태로 수변림으로 유입되는 오염부하를 고려하지 않는 단점을 가지고 있다. 교목과 같이 뿌리가 깊은 나무를 식재하였을 경우 얇은 지하수에서의 NO₃-N 제거 효과가 있다고 보고 되기 때문에 이와 같은 부분을 고려해야 보다 정확한 수변림 효과가 있을 것으로 판단된다.

따라서 본 연구의 목적은 1) HRU 기저유출 NO₃-N 성분이 지표하 유출 형태로 수변림으로 유입되는 오염부하를 고려할 수 있게 기존의 SWAT-RMMM 모형의 코드를 수정하고 2) 수정한 SWAT-REMM 모형을 이용하여 공주시 반포면 봉곡천 유역에 수변림 설치에 따른 총 질소(TN)의 저감 효율을 분석하는 것이다.

2. 연구방법

2.1. 대상유역 선정 및 유역특성

수변림 조성에 따른 효과를 분석하기 위해서는 먼저 SWAT 모형의 정확성을 확보하는 것이 필요하다. 따라서 본 연구에서는 모형의 평가를 위한 검보정 작업에 필요한

실측 유량 및 실측 수질자료가 있는 충남 공주시 반포면 봉곡천 유역(김기윤, 2007)을 연구대상 유역으로 선정하였다(Fig. 1). 유역의 면적은 90.82 ha이며 산림이 81.78%, 농업지역이 4.37%로 대부분이 산림지역으로 이루어져 있다.

2.2. SWAT-REMM 모형

SWAT 모형은 유사, 농약, 그리고 영양염류의 장기 거동을 예측할 수 있도록 설계되어 있으며 일별로 운영되며, 공간적인 토지이용, 토양속성, 지형인자 정보들을 이용하여 유역의 수문 및 수질을 모의한다(Arnold et al., 1998). SWAT 모형은 대상 유역을 작은 소유역으로 나누고, 각 소유역내 토지이용, 토양 속성, 그리고 지형에 따라 소유역을 hydrologic response unit (HRU)로 나누는데, HRU는 수리학적으로 연결된 것이 아니기 때문에 수변림으로 유입되는 유출과 유사 및 영양염류 등을 추적할 수 없다. 따라서 그동안 SWAT 모형을 이용하여 수변림을 평가한 연구에서는 수변림으로 유입되는 유출수 및 오염물질의 거동을 평가하지 못하고, 토지이용변화에 따른 효과만을 분석한 결과라 할 수 있다. 현재 수변림 효과를 평가하기 위해서 개발되어 배포되고 있는 REMM(Riparian Ecosystem Management Model) 모형은 USDA-ARS에서 개발되었으며, 시험포 단위에서 수변림의 물리적, 화학적, 생물학적 과정들을 모델링할 수 있게 설계된 모형 중 하나이다(Inamdar et al., 1999; Lowrance et al., 2000). REMM 모형은 수변림을 3개의 지역으로 분할하여 평가하는데, Zone 1에는 훼손되지 않은 숲 지역, Zone 2에는 나무가 우거진 식생 지역, Zone 3은 유역으로부터 유출, 유사, 영양염류 등이 유입되는 초본지역으로 구분한다. 물론 각각의 Zone 별로 다른 식생을 적용할 수 있으며, 모든 3개의 지역을 초지로 평가할 수 있다(Fig. 3). REMM 모형은 3개 토층을 고려하여 모의할 수 있다. REMM 모형은 source area에서의 유출량, 유사량, 영양염류와 같은 입력값과 수변림의 경사도, 토양 단면도

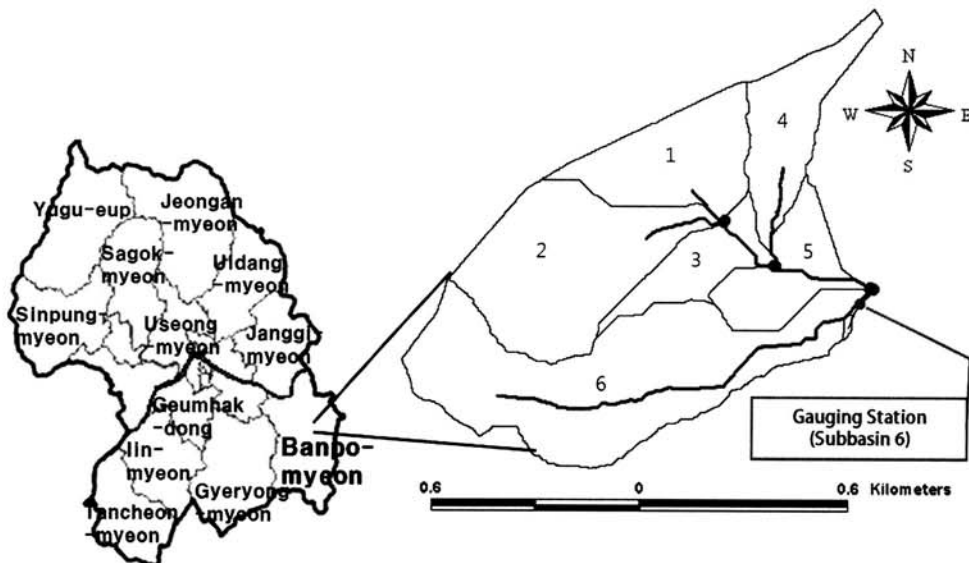


Fig. 1. Study watershed, Bongkok watershed, Gonju-Si, Chungchungnam-Do.

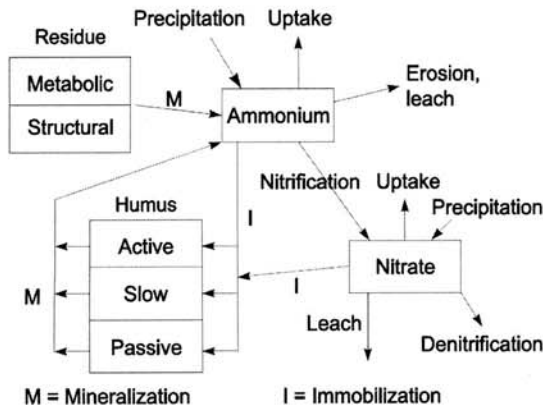


Fig. 2. Fluxes among nitrogen pools in REMM (Altier et al., 2002).

등과 같은 공간적인 특성자료를 이용하여 수변림 효과를 평가한다. REMM 모형은 이러한 자료를 이용하여 수변림 각 zone 별 유출, 유사 및 영양염류의 거동을 평가한다. 이때 수변에서의 질소의 거동은 Fig. 2에 나타난 바와 같다(Altier et al., 2002). 이러한 REMM 모형은 Coastal plain에 있는 USDA의 실험 수변 시스템에 적용하여 실제 수변림에서의 수문현상과 수질효과를 평가하기 위해 사용 되었는데 지하수위 및 지하수 질산염 농도의 모의 값과 실측값이 어느 정도 일치하였으며(Lowrance et al., 2000), 수변림 설치시 숲과 초지가 합쳐진 지역에서 영양염류 농도를 감소시키는데 효과가 있는 것으로 분석되었다(Lowrance and Sheridan, 2005).

REMM 모형에서 수변림으로 유입되는 유출, 유사 및 영양염류 들의 입력자료들은 실측 모니터링한 데이터를 사용할 수도 있고, 유역 단위 모형에서 나온 모의된 결과값을 이용할 수도 있다. 그러나 모니터링을 통해 수변림으로 유입되는 유출 및 오염물질의 특성을 시간적/공간적 특성을 조사하기에는 현실적으로 어려움이 있기 때문에, 최근 들어 유역 모델링 예측값을 REMM 모형의 입력변수로 활용하는

연구가 많이 진행되어 오고 있다(Cerucci and Conrad, 2003; Tucker et al., 2001). 그러나, 이와 같은 연구에서는 수변림 조성에 따른 효과를 유역단위로 평가하는데는 한계가 있다. 따라서 이러한 문제를 해결하기 위해 GIS를 기본으로 한 SWAT 모형과 REMM 모형의 통합 모형인 SWAT-REMM 모형이 개발되었다(Liu et al., 2007). Fig. 4(a)는 SWAT-REMM 모형의 모식도를 나타낸 그림(Liu et al., 2007)이다.

SWAT-REMM 모형은 GIS 기능을 이용하여 Buffer drainage와 Concentrated drainage를 구분한다. Buffer drainage는 유출, 유사 및 영양염류 등이 수변 구역으로 유입 되는데 영향을 주는 배수 구역이며, Concentrated drainage는 수변구역에 영향을 주지 않는 구역이다. SWAT 모형을 이용하여 배수구역을 정의한 후, Buffer drainage 구역(Fig. 4(b)) 내 SWAT 모형에서 계산한 유출, 유사 및 영양염류 결과값을 REMM 모형의 입력 자료로 사용한다. 그 후 REMM 모형은 SWAT에서 계산한 입력자료를 가지고 각 소유역별로 수변림 효과를 평가하며, 이렇게 REMM 모의 결과는 다시 SWAT 모형으로 다시 입력되고, 상류에서의 하천 흐름과 소유역으로부터의 하천흐름을 고려한 후 SWAT routing routine을 이용하여 하천 모델을 수행한다(Liu et al., 2007). 이를 통해 유역에서의 수변림 효과를 평가할 수 있는 매우 효율적인 수변림 평가 시스템이다.

2.3. SWAT-REMM 모형의 개선

캐나다에서 개발된 SWAT-REMM Prototype 모형(Liu et al., 2007)을 분석한 결과, SWAT-REMM Prototype 모형은 지표유출, 중간유출 및 기저유출이 수변림으로 유입되게 개발되었다. 하지만 HRU 기저유출 NO₃-N 성분은 수변림 지표하 유출로 유입되는 것을 반영하지 못하고 있다.

준분포형 SWAT 모형에서 HRU별로 유출 및 오염물질을 평가한다. 그러나 실제 상류에 위치한 필드에서 발생한 기저유출 성분은 실제로 수변림을 통과할 때 지표하 유출 형

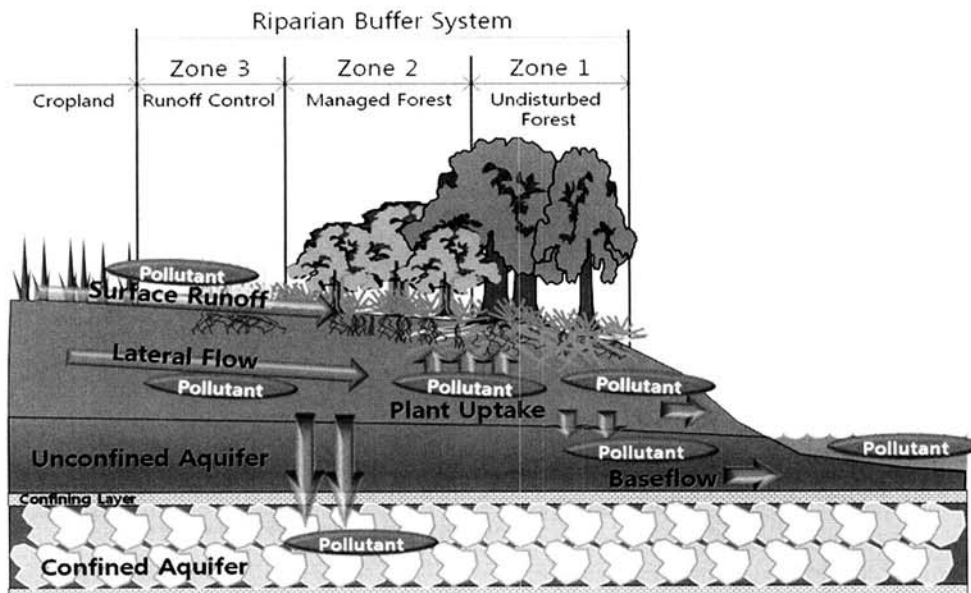
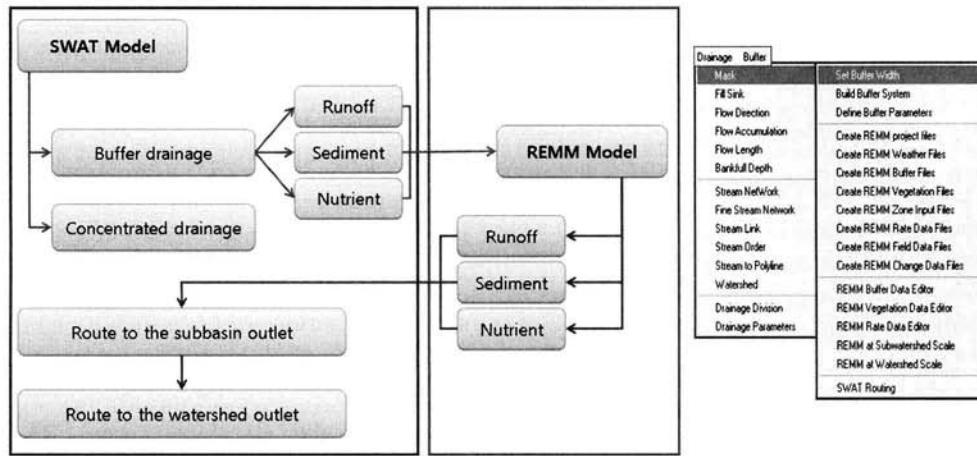
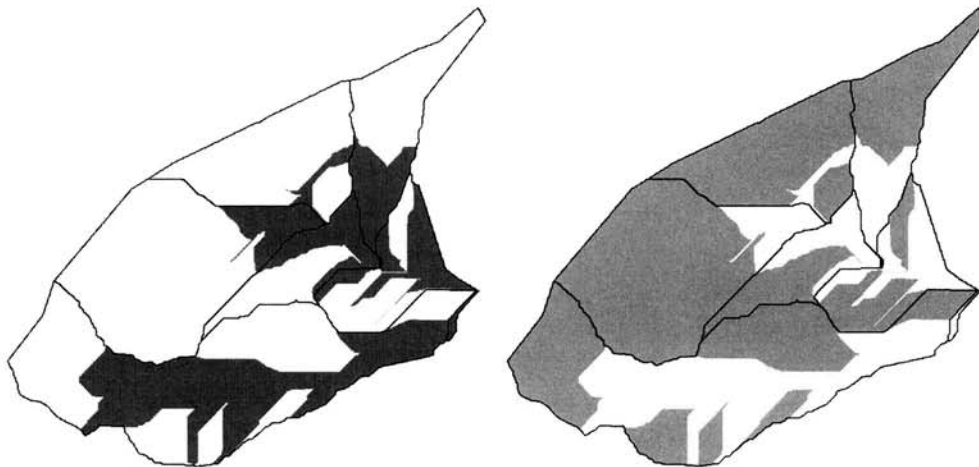


Fig. 3. Overview of riparian buffer system.



(a) SWAT-REMM structure and interface



(b) SWAT-REMM buffer and concentrated drainage

Fig. 4. Overview of SWAT-REMM prototype.

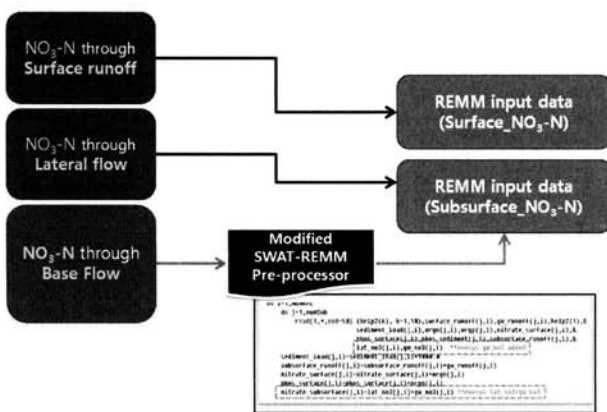


Fig. 5. Modification SWAT-REMM pre-processor.

Table 1. Field input data of REMM model

SWAT (Output.sub)	REMM (Sub#.FIN)
SURQ	Surface_runoff
GW_Q	Subsurface_runoff
LAT_Q	
SYLD	Sediment_load
ORGN	Nitrate_surface
NSURQ	
ORGP	Phos_surface
SOLP	
SEDP	Phos_sediment
Lat_NO3	Nitrate_subsurface
GW_NO3	

태로 수변림으로 유입될 수 있고, SWAT-REMM Prototype 모형에서 수변림으로 유입되는 유출 형태 중 기저유출에 의한 부분이 포함되기 때문에 본 연구에서는 기저유출에 따른 NO₃-N 부하량이 수변림으로 유입될 수 있도록 SWAT-REMM 전처리 코드를 수정하였다(Fig. 5). Table 1은 SWAT 모형의 각각의 결과값이 REMM 모형의 입력자료로 쓰여지는 것을 나타낸 그림이다.

2.4. SWAT-REMM 모형의 입력자료

SWAT-REMM 모형의 입력자료는 SWAT 모형의 입력자료인 DEM(Digital Elevation Model), 토지피복도, 토양도, 일 기상자료를 기본으로 한다. 따라서 본 연구에서는 Fig. 6 과 같이 봉곡천 유역의 1:25000 국가 지리정보유통망(National Geographic Information System, NGIS, 2002) 수치지도로부터 cell size 2 × 2의 DEM을 구축하였고 cell size 2 × 2 토

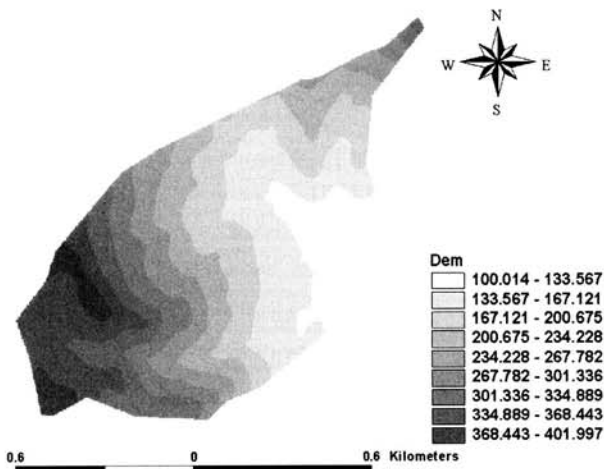


Fig. 6. DEM of Bongkok watershed.

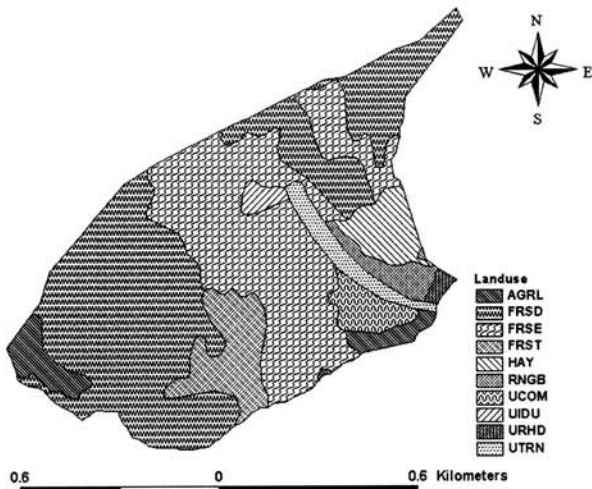


Fig. 7. Landuse of Bongkok watershed.

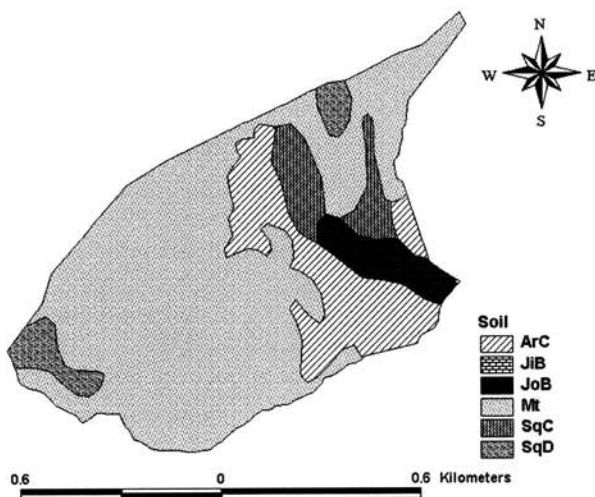


Fig. 8. Soil map of Bongkok watershed.

지피복도는 환경지리정보서비스(Environmental Geographic Information System, EGIS, 2002)의 1:25000 토지피복도 중 분류를 이용하였다(Fig. 7). Fig. 7에서와 같이 봉곡천 유역 내 토지이용은 시가화/건조지역(주거지역, 공업지역, 교통지역, 상업지역) 7.39%, 농업지역 4.37%, 초지 6.34%, 산림 지역

81.81%로 산림 지역이 대부분을 차지하고 있으며 cell size 2 × 2의 토양도는 농업과학기술원에서 제작된 1:25000 정밀 토양도를 이용하였다(Fig. 8).

또한 SWAT 모형의 기상자료는 일기상 자료를 사용하며, 강수량, 풍속, 일사량, 상대습도, 최고온도, 최저온도의 자료가 필요하다. 본 연구에서는 봉곡천 유역 인근에 위치한 반포 T/M 2001년~2006년 강수량 자료를 이용하였으며 나머지 기상자료는 대전 기상청의 자료를 이용하였다.

2.5. 수변립 조성 시나리오

본 연구에서는 총 3개의 수변립 조성시나리오를 작성하였다. 1번 수변립 시나리오는 Zone 1 교목, Zone 2 관목, Zone 3 초지를 조성하며 수변폭을 15 m로 하였고, 2번 수변립 시나리오는 1번과 같은 종류의 식물을 식재하고 수변폭을 10 m로 하였다. 3번 수변립 시나리오도 1번과 2번 시나리오와 같은 식물을 식재하였으며 수변폭만 5 m로 다르게 구성하였다(Fig. 9).

3. 결과 및 고찰

3.1. SWAT모형의 검토정

SWAT-REMM 모형으로 수변립을 모의하기 위해서는 수변립으로 유입되는 유량 및 오염부하량 등의 입력자료가 필요하다. 이러한 유량 및 오염부하량의 입력자료는 SWAT 모형에서 계산되어 나온 결과를 토대로 구축되어지기 때문에 SWAT 모형에서의 정확성이 확보되어야 한다. 따라서 본 연구에서는 SWAT 모형의 봉곡천 유역에 2005년 1월 1일부터 2005년 12월 31일까지 유량 및 총질소 항목에 대해 일별로 보정한 후 2006년 1월 1일부터 2006년 12월 31일까지 검정을 실시하였다. 이때 봉곡천 유량 및 수질 측정 지점의 실측치(김기윤, 2007)와 SWAT 모형의 예측치를 이용하여 모형의 정확성을 평가하였다. Fig. 10은 2005년의 봉곡천 유역의 유량을 보정한 결과 이며 R²는 0.74, EI 지수는 0.68로 비교적 높은 수치로 나타났다. Fig. 11은 2005년의 유량을 보정한 결과를 토대로 2006년 봉곡천 유역에 검정을 실시한 결과 R²는 0.50, EI 지수는 0.45로 나타났다.

Fig. 12은 2005년의 봉곡천 유역의 총질소를 보정한 결과 이며 R²는 0.65, EI 지수는 0.61로 비교적 높은 수치로 나타났다. Fig. 13는 2005년의 총질소를 보정한 결과를 토대로 2006년 봉곡천 유역에 검정을 실시한 결과 R²는 0.50, EI 지수는 0.51로 나타났다.

Ramanarayanan 등(1997)은 결정계수(R²)가 0.5 이상이고 모형효율지수(EI)가 0.4 이상이면 모형이 자연현상을 잘 모의 하는 것으로 제안하였다. 따라서 2005, 2006년 유량 및 총질소의 검토정 결과 2006년 유량 검정에서만 EI 지수가 0.45로 0.5보다 작았지만, 전반적으로 유량 및 총질소의 EI 지수가 0.5를 넘는 것으로 보아 모의된 유량 및 총질소의 결과가 봉곡천 유역의 실측값과 비교하였을 때 자연현상을 잘 모의 하는 것으로 판단된다. 또한 김기윤(2007)의 연구에서의 유량 및 총질소의 실측치와 모의치의 R²와 EI 지수

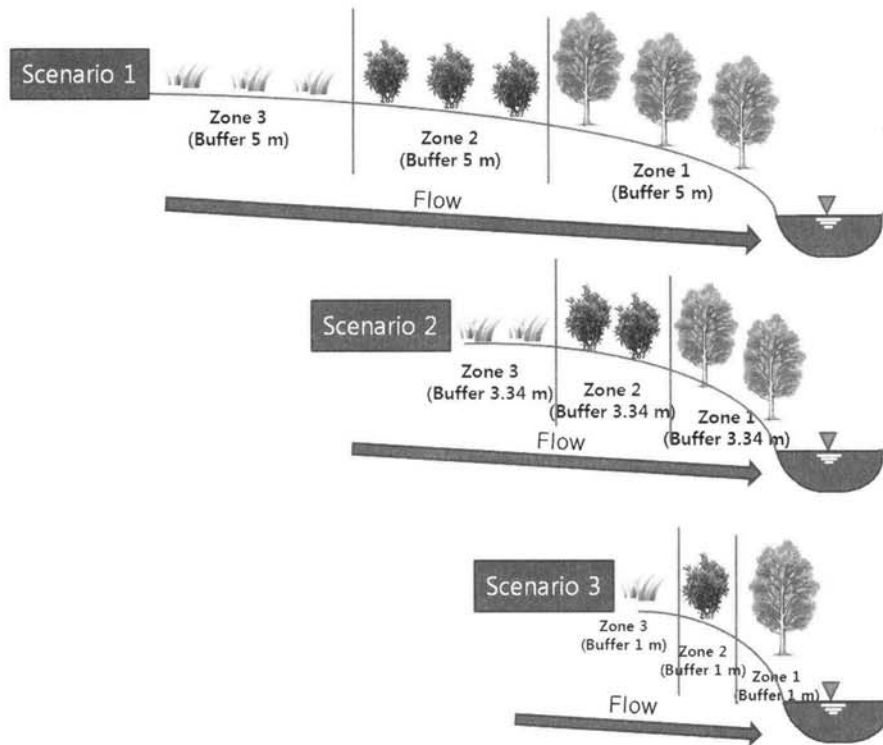


Fig. 9. Three riparian buffer system scenarios simulated in this study.

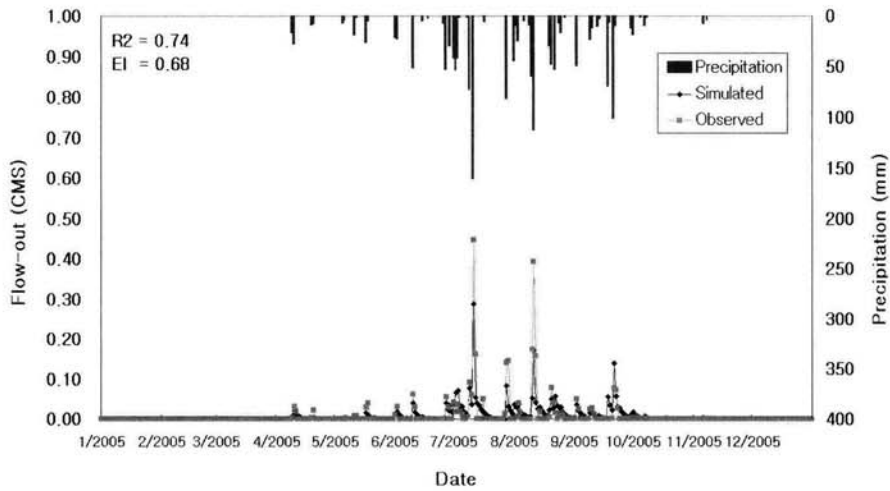


Fig. 10. Comparison of simulated and observed flow (Calibration, 2005).

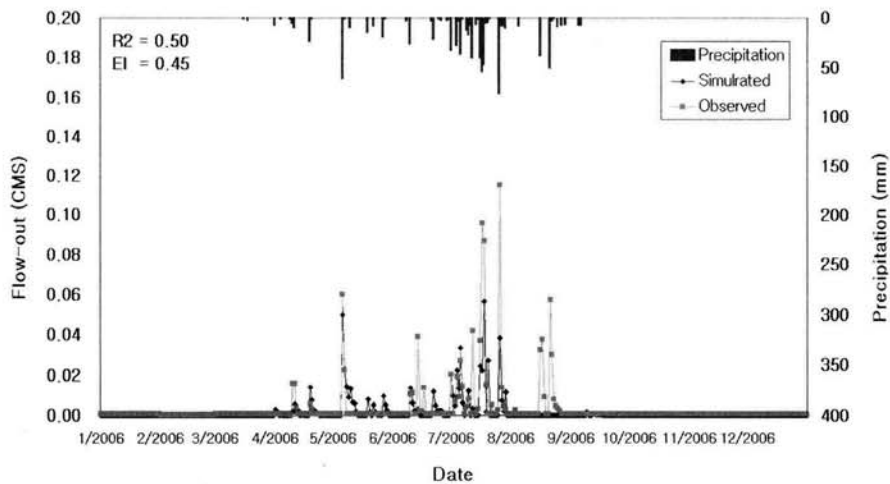


Fig. 11. Comparison of simulated and observed flow (Validation, 2006).

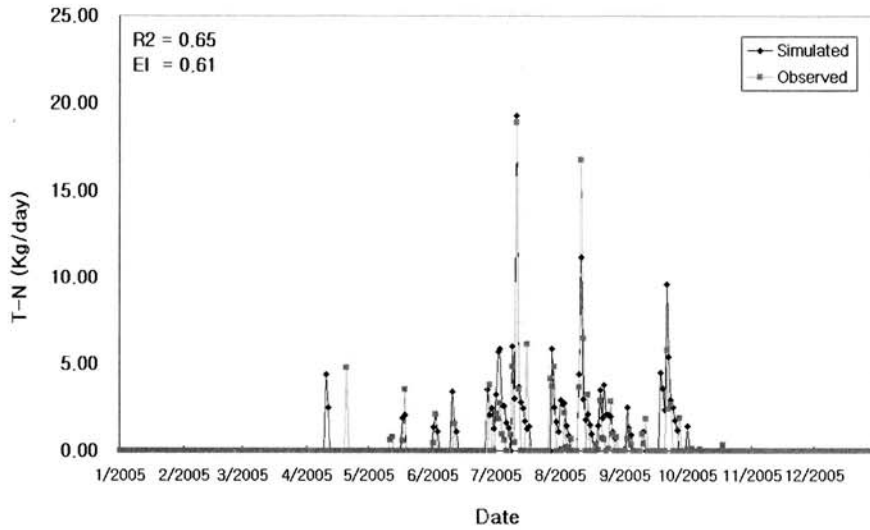


Fig. 12. Comparison of simulated and observed TN (Calibration, 2005).

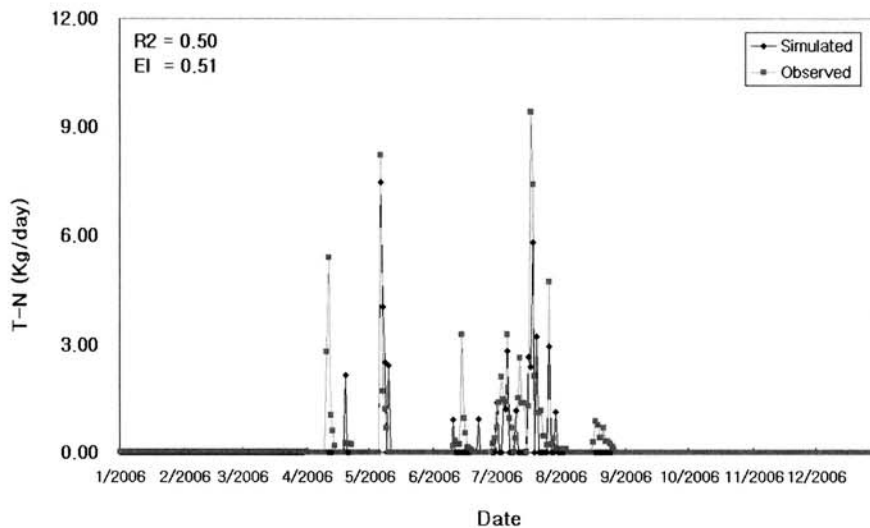


Fig. 13. Comparison of simulated and observed TN (Validation, 2005).

가 본 논문의 결과와 차이가 있는 것은 SWAT 모형의 엔진의 버전(SWAT 2000, SWAT 2005)이 다르기 때문으로 분석되었다.

3.2. 각 시나리오별 SWAT-REMM모형의 총질소 저감율

Table 2와 Fig. 14는 시나리오 1, 2, 3별 수변림 설치에 전 후에 따른 총질소 저감율을 산정한 결과이다. 소유역별 총 질소 부하량은 4번 소유역 (대부분 산림으로 구성)을 제외한 다른 소유역의 총 질소 부하량은 비슷한 것으로 분석되었다. Table 2와 Fig. 14에서 보이는 바와 같이 시나리오 1(15 m), 2(10 m), 그리고 3(5 m)의 6번 소유역의 총 질소 저감효율은 각각 37.134%, 29.488%, 29.077%로 수변림 폭이 커질수록 총질소의 저감율이 증가하는 것으로 나타났다. 시나리오 3(5 m)의 소유역 1번의 경우, 저감효율이 4.971%로 시나리오 3(5 m) 소유역 6번의 29.077%에 비해 24.106% 낮은 것으로 분석되었다. 이와 같은 이유는 소유역 1 경우 유역 내 수변림을 조성한 하천의 길이가 짧고, 대부분의 토지이용이 산림으로 이루어져 있지만, 소

유역 6번의 경우는 유역 내 수변림을 조성한 하천의 길이가 전체 유역에 비해 가장 길고 유역 내 산림보다 오염부하가 많이 일어나는 경작지가 많이 분포되어 있기 때문이다. 따라서 소유역별로 총질소 저감율의 차이는 소유역별 속한 토지 피복과 토양특성, 수변림 조성 구간의 하천 길이 등에 따른 것으로 판단된다. 본 연구의 결과에서 보이는 바와 같이 수변림 설치에 따른 수질 개선효과가 어느 정도 있는 것으로 분석되었으나, 수변림 설치 전후 장기 수질 모니터링을 통한 REMM 거동 평가가 제대로 이루어지지 않았기 때문에 어느 정도 불확실성이 있으리라 판단된다.

4. 결론

본 연구에서는 캐나다에서 개발된 SWAT-REMM prototype 모형의 지표하 유출 NO₃-N 부하량 모듈을 수정하여 충남 공주시 반포면 봉곡리 봉곡천 유역에 수변림 설치에 따른 비점오염원 중 총질소의 저감율을 모의하였다.

Table 2. Estimated T-N reduction with three riparian buffer system scenarios

*Sub basin	T-N								
	Buffer 15 m (Scenario 1)			Buffer 10 m (Scenario 2)			Buffer 5 m (Scenario 3)		
	Before RBS** (kg/ha/yr)	After RBS (kg/ha/yr)	Reduction (%)	Before RBS (kg/ha/yr)	After RBS (kg/ha/yr)	Reduction (%)	Before RBS (kg/ha/yr)	After RBS (kg/ha/yr)	Reduction (%)
1	5.412	5.089	5.975	5.412	5.092	5.919	5.412	5.143	4.971
2	5.551	4.868	12.307	5.551	4.985	10.203	5.551	4.999	9.945
3	5.941	5.095	14.243	5.941	5.224	12.057	5.941	5.316	10.508
4	2.534	1.629	35.723	2.534	1.669	34.121	2.534	1.715	32.309
5	5.353	4.436	17.134	5.353	4.606	13.955	5.353	4.750	11.282
6	5.666	3.562	37.134	5.666	3.995	29.488	5.666	4.018	29.077
7	5.478	4.143	24.374	5.478	4.403	19.622	5.478	4.500	17.850

* Subwatershed No. containing upper subwatershed

** Riparian Buffer System

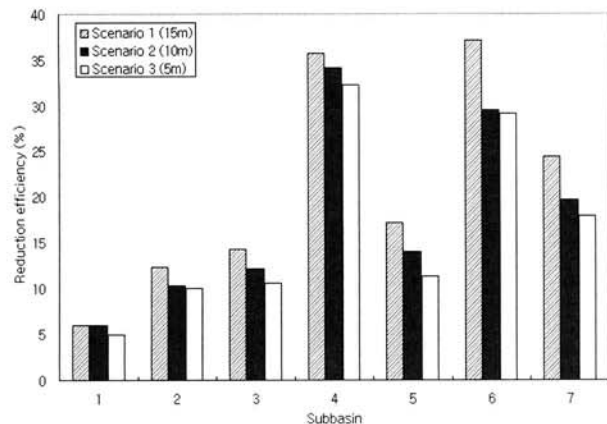


Fig. 14. T-N reduction with three riparian buffer system scenarios.

1) 앞에 기술된 전처리 프로세서를 수정한 SWAT-REMM prototype 모형을 3개의 수변림 시나리오에 적용한 결과 수변림의 폭을 15 m로 했을 때 T-N 저감효율이 가장 높았으며, 소유역의 특성에 따라 6~37% 정도 수변림 수질 개선효과가 있는 것으로 분석되었음.

2) 봉곡천 유역에 수변림을 설치하게 되면 수변으로 유입되는 총질소가 수변림 설치 구간의 하천 길이, 토지이용 및 토양 특성에 따라 어느 정도 저감되는 것으로 판단되었으며 수변림 폭이 증가할수록 총질소의 저감효율이 증가되므로 대상 유역에 수변림 설치 계획 수립시 수변림 폭 크기에 따른 경제성을 고려하여 할 것으로 판단됨.

본 연구의 저감효율 평가는 SWAT 모형의 검보정만 이루어졌고 수변림에 관한 검보정은 이루어지지 않았기 때문에 저감효과 평가에 있어서 상당부분 불확실성이 내재해 있으리라 판단된다. 또한 SWAT-REMM 모형 운영시 Buffer drainage와 concentrated drainage 구분을 하였으나, Buffer drainage 내의 HRU의 공간적 분포를 고려하지 못하는 단점이 있다. 따라서 향후 연구에서는 이러한 점을 보완할 수 있도록 SWAT-REMM 시스템을 개선해야 할 것으로 판단된다.

사 사

본 연구는 21세기 프론티어연구개발사업인 “수자원의 지

속적확보기술개발사업단”의 연구비지원(과제번호: 2-2-3)과 강원대학교 환경연구소의 지원으로 수행되었습니다. 이에 심심한 감사의 뜻을 표합니다.

참고문헌

국가지리정보시스템 NGIS. (2002). <http://www.ngis.go.kr/>.

김기윤(2007). SWAT모형에 의한 밭과 임야에서의 비점오염원 유출특성. 석사학위논문, 한밭대학교.

송혜원, 이혜원, 최정현, 박석순(2009). 유역관리에 따른 수질개선 효과분석을 위한 HSPF 모델 적용. *대한환경공학회지*, **31**(5), pp. 358-363.

윤동민, 박신형, 박재우(2008). 2005년 대한민국 질소 유입 및 유출 수치. *대한환경공학회지*, **30**(1), pp. 97-105.

이재용, 장성호, 박진식(2008). 도시 강우시 도시지역의 비점오염원 유출 오염 부하 분석 - 포항시를 중심으로 -. *한국수처리학회지*, **16**(1), pp. 35-44.

주진호, 정영상, 양재의, 옥용식, 오상은, 유경렬, 양수찬(2007). 낙동강 수계 고령지 발의 비점오염 물질 유출 특성 조사 및 단위 유출량 산정. *한국환경농학회지*, **26**(3), pp. 233-238.

환경지리정보서비스 EGIS. (2002). <http://egis.me.go.kr/>.

Altier, L. S., Lowrance, R., Williams, R. G., Inamdar, S. P., Bosch, D. D., Sheridan, J. M., Hubbard, R. K., and Thomas, D. L. (2002). *Riparian Ecosystem Management Model Simulator for Ecological Processes in Riparian Zone*. Report 46, United States Department of Agriculture, Tifton, Georgia.

Arnold, J. G., Sribuvasan, R., Muttiyah, R. S., and Williams, J. R. (1998). Large area hydrologic modeling and assessment: part I: model development. *Journal of American Water Resources Association*, **34**(1), pp. 73-89.

Cerucci, M. and Conrad, J. M. (2003). The use of optimization and hydrologic models to form riparian buffer. *J. Am. Water Resour. As.*, **39**(5), pp. 1167-1180.

Dwire, K. A. and Lowrance, R. R. (2006). Riparian ecosystem and buffers -multiscale structure, function, and management: introduction. *J. Am. Water Resour. As.*, **42**(1), pp. 1-4.

Inamdar, S. P., Sheridan, J. M., Lowrance, R. P., Williams, R. G., Bosch, D. D., Aliter, L. S., and Thomas, D. L. (1999). Riparian Ecosystem Management Model(REMM): I. Testing of the hydrology component for a Coastal Plain riparian

- system. *Trasactions of the ASAE*, **42**(6), pp. 1679-1689.
- Jang, W. S., Park, Y., Kim, J., Kim, N., Choi, J., Ok, Y. S., Yang, J. E., and Lim, K. J. (2010). Development of the SWAT DWDM for Accurate Estimation of Soil Erosion from an Agricultural field. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers*, **52**(1), pp. 79-88.
- Jobin, B., Belanger, L., Boutin, C., and Maisonneuve, C. (2004). Consevation value of agircultural riparian strips in the Boyer River watershed, Quebec (Canada). *Agric. Ecosyst. & Envrion.*, **103**(3), pp. 413-423.
- Kim, J. G., Park, Y., Yoo, D., Kim, N. W., Engel, B. A., Kim, S. J., Kim, K. S., and Lim, K. J. (2009). Development of a SWAT Patch for Better Estimation of Sediment Yield in Steep Sloping Watersheds. *Journal of the American Water Resources Association*, **45**(4), pp. 963-972.
- Liu, Y., Yang, W., and Wang, X. (2007). GIS-based Integration of SWAT and REMM for Estimating Water Quality Benefits of Riparian Buffer in Agricultural Watersheds. *Transactions of the ASABE*, **50**(5), pp. 1549-1563.
- Lowrance, R., Altier, L. S., Williams, R. G., Inamdar, S. P., Sheridan, J. M., Bosch, D. D., Hubbard, R. K., and Thomas, D. L. (2000). REMM: The Riparian Ecosystem Management Model. *J. Soil & Water Conserv.*, **55**(1), pp. 27-37.
- Lowrance, R. and Sheridan, J. M. (2005). Surface runoff water quality in a managed three zone riparian buffer. *J. Environ. Qual.*, **34**, pp. 1851-1859.
- Ramanarayanan, T. S., Williams, J. R., Dugas, W. A., Hauck, L. M., and McFarland, A. M. S. (1997). Using APEX to identify alternative practices for animal waste management. ASAE International Meeting, Minneapolis, MN. pp. 97-2209.
- Tucker, M. A., Thomas, D. L., Bosch, D. D., and Vellidis, G. (2001). GIS-based coupling of GLEAMS and REMM hydorlogy : I. development and sesitivity. *Tranatscions of the ASAE*, **43**, pp. 1525-1534.