

AnnAGNPS 모형을 이용한 관목림지의 비점오염 모의 Non-point Source Pollution Modeling Using AnnAGNPS Model for a Bushland Catchment

최 경 숙*

Kyung-Sook Choi

Abstract

AnnAGNPS model was applied to a catchment mainly occupied with bushland for modeling non-point source pollution. Since the single event model cannot handle events longer than 24 hours duration, the event-based calibration was carried out using the continuous mode. As event flows affect sediment and nutrient generation and transport, the calibration of the model was performed in three steps: Hydrologic, Sediment and Nutrient calibrations. The results from hydrologic calibration for the catchment indicate a good prediction of the model with average ARE(Absolute Relative Error) of 24.6% for the runoff volume and 12% for the peak flow. For the sediment calibration, the average ARE was 198.8% indicating acceptable model performance for the sediment prediction. The predicted TN(Total Nitrogen) and TP(Total Phosphorus) were also found to be acceptable as the average ARE for TN and TP were 175.5% and 126.5%, respectively. The AnnAGNPS model was therefore approved to be appropriate to model non-point source pollution in bushland catchments. In general, the model was likely to result in underestimation for the larger events and overestimation for the smaller events for the water quality predictions. It was also observed that the large errors in the hydrologic prediction also produced high errors in sediment and nutrient prediction. This was probably due to error propagation in which the error in the hydrologic prediction influenced the generation of error in the water quality prediction. Accurate hydrologic calibration should be hence obtained for a reliable water quality prediction.

Keywords : Non-point source pollution, AnnAGNPS, Bushland, Continuous Simulation

* 경북대학교 농업토목공학과
* Corresponding author. Tel.: +82-53-950-5731
Fax: +82-53-950-6752
E-mail address: ks.choi@knu.ac.kr

I. 서 론

수질오염총량제의 실시와 더불어 비점오염에 대한 연구는 점차적으로 그 중요성이 더 가중되어 가고 있는 실정이다. 비점오염은 그 근원을 정확히 알 수가 없고 오염되는 범위 또한 광범위하며 강우의 특성과 유역의 지형적 특성 및 토지이용 형태에 따라 다양하게 발생하므로 정확한 정량적 해석이 상당히 어렵다. 또한 오염관리 측면에서 그 발원지를 정확히 추적할 수 있으며 예측할 수 있는 점오염에 비하여 오염경로가 투명하지 못한 관계로 오염제제가 훨씬 어려운 게 사실이다. 특히 비점오염 발생에 직접적인 연관이 있는 유역의 강우-유출 현상은 토양의 종류 및 구성상태와 선행수분조건에 따라 복잡한 비선형적인 관계를 가질 수 있으므로 비점오염의 해석은 더욱 더 복잡해지며 일관성 있는 결과를 도출해 내기가 어렵다. 이러한 복잡한 발생·운반 체계를 가지는 비점오염의 현상을 규명하기 위하여 다양한 구조와 형태를 가지는 많은 모형들이 개발되고 있으며, 실제 유역 내 오염물질을 예측하기 위하여 모의에 많이 이용되고 있다. 비점오염의 분석은 상당한 물리적 기초 자료들과 모니터링된 수질 데이터들을 필요로 한다. 하지만 현실적으로 대부분의 유역들이 이러한 자료들을 가지고 있지 못하며, 경제적인 이유로 인해 모니터링 되고 있지 않거나 되고 있다 하더라도 충분한 데이터의 축적이 없는 실정이다. 따라서 원하는 정보를 모형으로부터 제공받기 위해서는 모형의 선택에 신중을 기해야 하는데, 유역의 특성 조건에 맞으며 모형이 요구하는 입력데이터들의 존재 여부 및 모의하고자 하는 목적에 부합된 기능을 모형이 포함하고 있는지 등에 대한 신중한 고려가 있어야 하겠다.

국내의 경우 유역의 비점오염현상을 규명하기 위해 모형을 적용한 사례는 많다. 예를 들면, 엄명철과 권순국(1996)은 탱크모형을 이용하여 소규모 농촌지역의 일별 오염부하량을 계산하였으며, 김진택(1995)은 미국농무성과 미네소타주가 공동으로

개발한 AGNPS 모형을 지리정보시스템인 GRASS와 연계하여 농업유역의 비점원오염 해석에 대한 적용성을 분석하고 또 산지개발에 따른 유출량과 토양유실량에 대한 영향을 분석하였다. 김상현과 김건목(2001)도 GRASS-AGNPS 모형을 이용하여 질소와 인에 대한 수질모의를 실시하였으며, 강문성 등(2003)은 RS기법에 의한 영상자료를 이용하여 토지피복분류를 한 결과물을 가지고 GIS-AGNPS 모형에 적용하여 비점오염부하량을 추정하였다. 미국 농무성의 또 다른 수질모형인 SWAT을 이용하여 비점오염 해석이 시도되기도 하였는데, 권명준 등(2003)은 유역의 장기수질예측모형인 SWAT 모형과 일반하천수질예측모형 WASP 모형을 연계하여 농촌유역 하천의 수질을 예측하고자 하였으며, 강문성과 박승우(2003)는 SWAT을 모체로 하여 만든 인공신경망 모형과 지리정보시스템 기반의 오염총량모의시스템인 TOLOS(Total maximum daily Loads simulation System)을 개발하였다. 또한 미국 EPA에서 개발한 HSPF 모형을 이용하여 소규모 농촌유역의 오염총량관리를 위한 수질모형으로서의 적용성에 대한 연구가 김상민과 박승우(2004)에 의해 실시되기도 하였다. 한편 인터넷 사용의 급증과 부합하여 임경재 등(2003)은 Web version의 L-THIA (Long-Term Hydrologic Impact Assessment) /NPS를 이용하여 도시화에 따른 유출과 비점원오염의 변화 양상을 도출해 내기도 하였다. 최근에는 단독강우사상만을 모의할 수 있는 AGNPS의 단점을 보완하기 위해 개발된 AnnAGNPS 모형을 이용한 비점오염해석이 활발히 이루어지고 있다 (박윤희, 2004; 허주, 2004; 신형진 등, 2004). 여기서, 모형을 이용한 비점오염해석시 간과되어질 수 없는 것은 토지이용별 비점오염에 대한 기여를 규명하는 것이다. 토지이용별 비점오염의 정량적 해석은 토지개발에 대한 허가 및 규제에 근거자료가 되며 비점오염 관리방안의 모색에 중요한 자료가 되기 때문에 토지이용별 야기될 수 있는 비점오염에 대한 모형의 예측능력

은 매우 중요하다. 이러한 상황에서 국내 기존의 비점오염연구들은 주로 농촌유역을 연구 대상으로 편중되어 있거나 다양한 토지이용형태를 가지는 유역별 비점오염예측에 대한 모형의 적용성을 연구한 것들로서 농촌유역외의 단일 토지이용에 대한 비점오염 모의해석이 거의 없으며, 특히 토지이용형태가 관목림지인 비점오염에 대한 기여를 규명한 모의 적용사례는 거의 없었다. 따라서 본 연구는 비점오염해석에 많이 사용되고 있는 AnnAGNPS 모형을 이용하여 토지이용형태가 관목림지인 유역을 대상으로 강우-유출관계 및 비점오염에 대한 모의를 실시함으로써 이 모형의 관목림지에 대한 비점오염 예측능력을 가능하고자 하였다.

II. AnnAGNPS 모형

농촌유역의 비점오염관리를 위하여 USDA-ARS (United States Department of Agriculture-Agricultural Research Service)와 NRCS(Natural Resources Conservation Service)의 합작에 의해 개발된 AnnAGNPS(Annualized Agricultural Non-Point Sources) 모형은 단독 강우사상만을 모의 할 수 있는 AGNPS(Agricultural Non-Point Sources) 모형에서 발전되었다. AnnAGNPS 모형의 기본적인 모의 요소는 수문학적 요소와 토사유실, 영양염류의 발생 및 운반관계 등이며 모의에 사용되는 시간은 일시간(daily time frame)으로 모의형식은 연속모의 위주로 되어 있으나 사상별 모의도 가능하다. AnnAGNPS 모형을 크게 4가지 형태의 모의 프로세싱 체계로 구분한다면 다음과 같다.

• DEM(Digital Elevation Model) Processing: 모의를 위한 준비과정. TOPAZ(TOPographic PARameterization) 모형을 이용하여 유역의 경계를 결정하고 유역 내 토양의 특성, 토지이용형태, 토지관리, 토지피복, 지형, 경사 등에 기초하여 유역의 특성이 동일한 셀(cell) 단위의 구역(소유역)으로 나

는다. 또한 유역의 지형적인 특색과 지표면 유출이 발생하는 방향 등을 고려하여 배출구간(reach)을 단위로한 하천망(stream network)을 도출해 내기도 한다. 각 셀은 구역별로 가까운 배출구간과 연결되어 있어 셀에서 방출되는 유출 및 비점오염의 흐름해석을 가능하게 한다.

• Hydrological Processing: 본격적인 모의 과정으로서 수문학적인 요소를 모의 하는 과정. 유출량 및 침투유량 해석을 위해 미국 토양보전국(Soil

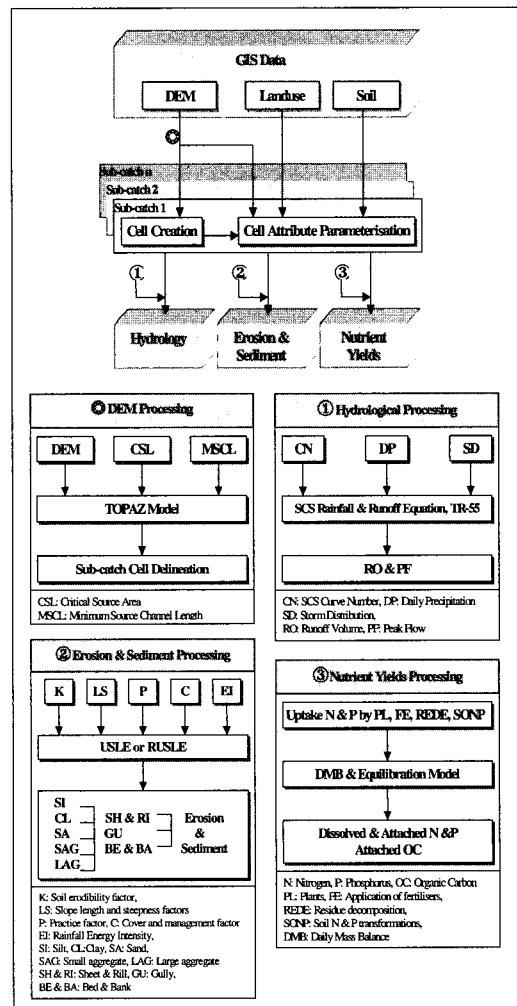


Fig. 1 Schematic representation of AnnAGNPS modeling processes

Conservation Service)에서 개발한 CN(Curve Number)방법(USDA, 1972)과 TR-55(USDA, 1986)에서 제안한 방법을 각각 이용한다.

• Erosion & Sediment Processing: 강우에 의한 침식 및 토사유실량 모의 과정. RUSLE(Revised Universal Soil Loss Equation)(Renard 외, 1997)를 사용하며, 토사가 하천으로 씻겨 갈 때의 토사 유실에 대한 유달율(delivery ratio)의 고려는 HUSLE(Hydro-geomorphic Universal Soil Loss Equation)(Theurer와 Clarke, 1991)에 의하여 진행되어진다. 여기서 각 배출구간별 토양유실량은 Bagnold(1996)가 제안한 공식, 즉 Stream Power Equation을 이용한다.

• Nutrient Yields Processing: 영양염류 모의 과정. CREAMS 모형(Frere외, 1980)에 기초한 알고리즘을 이용하여 계산한다. 질소와 인에 대하여는 흡착성 및 용해성 형태로 계산하며 흡착성 유기탄소에 대한 계산도 이 과정에서 이루어진다.

AnnAGNPS 모형의 4가지 모의 프로세싱 체계를 도식화한 것이 Fig. 1과 같다. 모의를 위한 데이터 구축단계에서는 유역의 특성을 대표하는 모든 기초 자료들이 셀 단위로 준비되며 입력되어진다. 모의 요소별 결과는 강우별로 얻어지며 연평균치에 대한 결과도 주어진다.

III. 대상유역 및 자료구축

본 연구를 위해 선택된 대상유역은 호주의 NSW(New South Wales)주의 중동부에 위치한 Burke River 유역으로서 Nepean 호수의 주요 수원공급처 중의 하나이다(Fig. 2). 유역의 면적은 8,871.2 ha이며 유역의 평균고도와 평균경사는 각각 553 m와 0.16 정도이다. 유역 내 토지이용은 AnnAGNPS 모형의 토지이용분류에 따라 분류하면 전체 유역의 92%가 관목림지이며 그 외 농지가 2.1%, 히스식물, 소식물, 습지식물로 구성된 목야지(자연초지)가 4.5%, 도로가 1% 정도이다. 유역의 토양을 나타낸

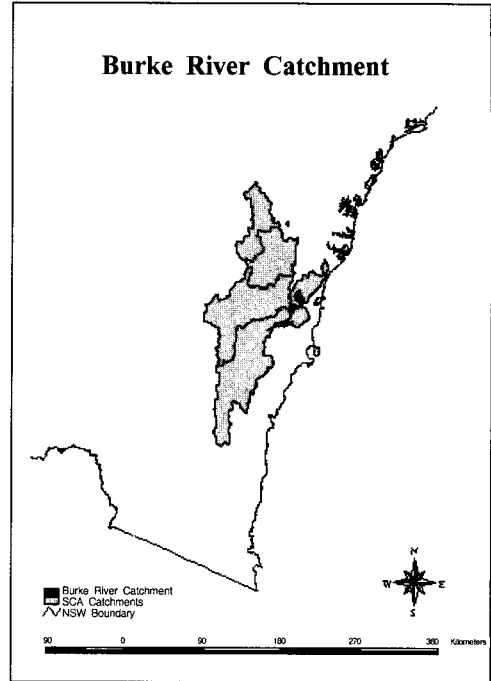


Fig. 2 Location of Burke River catchment

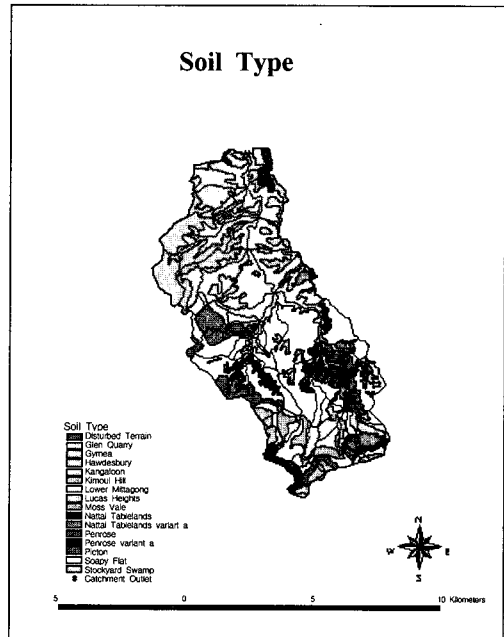


Fig. 3 Soil type within Burke River catchment

Fig. 3과 같이 유역 내 토양의 종류는 15개 토양형(soil type)으로 다양하며 그 중 Nattai Tablelands variant a, Gynea 및 Hawkesbury가 주류를 이루고 있다. 유역의 수문학적 토양그룹은 4가지 종류(A, B, C, D types)를 모두 골고루 가지고 있으며 가장 두드러진 토성은 사질식토, 양질사토, 그리고 섬유성 이탄 이었다. 유역의 10년간(1990년 10월~1999년 11월)의 강우량 자료를 분석한 결과 연평균 강우량은 최고 1,696.5 mm에서 최저 380.0 mm로 연도별 차이가 크며 겨울에 잦은 강우가 있으나 우리나라에 비해 대체적으로 강우가 계절별 고르게 분포하여 내리는 편이었다.

AnnAGNPS 모형은 단독강우모의와 연속모의가 가능하지만 단독강우사상을 이용한 모의인 경우 강우의 지속시간이 24시간 이상일 경우 모의에 포함될 수 없는 애로사항이 있어서 연속모의를 실시하여 연구대상지역의 비점오염을 분석하였다. AnnAGNPS 모형에 사용되는 공간적 데이터에는 DEM, 토지이용도, 토지피복도, 토양도, 하천도 등이 지리정보체계 양식(GIS format)으로 필요하며, 셀과 배출구간 프로파일의 입력자료를 생성하기 위한 세부자료도 필요하다. 또한 모의를 위해 요구되어지는 시간적 수치자료는 일강우량, 일유출량, 일기후(최고·최저온도, 이슬점온도, sky cover, 풍속), 수질 데이터 등이다.

Fig. 4는 유역내의 10년간의 일강우량과 일유출량 자료를 이용한 비교 그래프이다. 일반적으로 강우량과 유출량의 반응 연평균 강우량, 강우의 계절적 분포 등 제시 곡선이 잘 일치하고 있음을 나타내고 있다. 강우에 대한 유역의 반응은 대체적으로 느리게 나타났으며 그 이유는 본 연구대상유역의 면적이 크므로 해서 발생하는 유역의 시간적·공간적 분산작용에 의한 것으로 사료되었다. 또한 유역의 토지이용형태가 대부분이 관목림지인 관계로 강우시 유역에 산재해 있는 나뭇잎이나 줄기로 인한 차단(interception)효과로 느린 유역의 반응에 부분적으로 기여한 것으로 사료되었다. 연구대상유역의

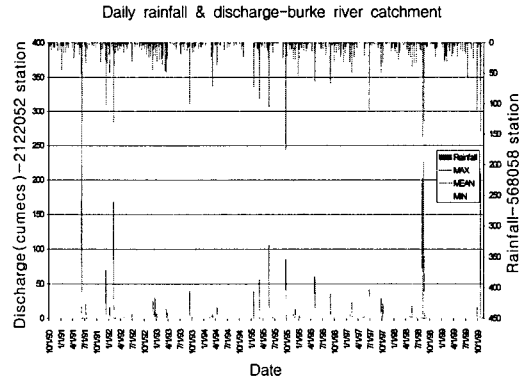


Fig. 4 Daily rainfall and discharge of Burke River catchment from 90/10/01 to 99/11/14

Table 1 Characteristics of the daily climate data for Bowral station from 90/10/01 to 99/11/14

	Max. temp (°C)	Min. temp (°C)	Dew point temp (°C)	Sky cover (%)	Wind speed (m/s)
Max.	37.2	23.4	21.2	100.0	15.1
Min.	5.1	-4.7	-4.1	0.0	0.0
Average	18.5	8.2	8.3	53.3	2.9

일기후 데이터는 유역 내에서 측정된 자료가 없으므로 유역으로부터 23 km 정도 떨어져 있는 Bowral 측후소의 데이터를 사용하였다. Burke River 유역의 기후적 특성은 Table 1과 같다.

AnnAGNPS 모형에서 수문학적인 요소를 규명하는데 가장 크게 기여하는 주요변수들은 각각의 셀과 배출구간에 대한 토지이용형태와 토지이용에 따른 CN, 강우의 분포형태, 그리고 홍수도달시간이다. 본 연구에서는 이러한 변수들을 연구대상 유역의 특성에 맞게 수문학적 검정과정을 거쳐 추정하였다. 먼저 일유출량을 결정하는데 지대한 역할을 끼치는 CN의 추정에 있어서는 유역 토양의 특성, 토지이용형태, 토지피복상태 그리고 수문학적인 상태 등을 고려하여 이루어졌으며 본 연구에서는 호주 내 조건에 맞는 CN정보가 구축이 되어 있지 않은 관계로 AnnAGNPS 모형에 주어진 미 농무성의 SCS 자료를 이용하여 초기치(CN=55(A type),

67(B type), 78(C type), 89(D type)) 추정이 이루어진바 이 변수를 주요검정대상으로 고려하였다. 강우의 분포형태는 일 강우량이 24시간 내에 어떻게 분포되어 내렸는지를 나타내는 변수로서 유역의 지점별 침투유량 결정에 중요한 매개변수이며 RUSLE에 의한 토양유실량 추정에 사용되는 강우의 에너지 강도(energy intensity) 결정에도 중요한 역할을 한다. 본 연구에 사용된 강우들의 사상을 조사해 본 결과 각 강우의 분포들이 다르게 나타났다으며 이는 강우별 특성이 각각 다르기 때문인 것으로 사료되었다. 본 연구에 사용된 강우사상의 두드러진 분포형은 대체적으로 유니폼형(uni-form type) 이었다. 강우에 의해 발생된 유출이 유역의 최원점으로부터 출구까지 흘러내리는데 필요한 시간인 홍수도달시간은 침투유량 산정에 상당한 영향을 끼치는 인자이다. 이 변수는 TR-55방법으로 셀에 입력된 데이터들을 이용하여 자동적으로 계산해 내는 기능이 있으므로 따로 변수추정을 하지 않았으며, 따라서 이 변수는 검정에서 제외하였다.

AnnAGNPS 모형은 수질모의를 위해서 상당한 양의 현장 데이터, 예를 들면, 토지이용상태, 토지 피복, 토지관리상태, 토양의 성질 등에 관련된 상세한 자료들이 요구된다. 토사유실량 예측을 위한 RUSLE의 초기변수값 추정에 있어서 물리적 데이터들 중 토양자료의 높은 정도가 수질모의 측면에서 가장 중요하게 요구되는 것으로 나타났다. 강우 침식관련인자(R factor, EI distribution)와 토양침식관련인자 및 작물관련 인자들(K, C factors)의 추정은 Rosewell(1993)의 자료를 참고로 하여 이루어졌다. 경사면장 및 경사(LS factor)는 DEM 프로세싱에서 도출된 값을 사용하였고 토양보전대책 인자 (P factor) 등은 AnnAGNPS에서의 입력된 자료들을 이용하여 자동으로 계산된 값을 그대로 이용하였다. 그 외의 cell의 자료들을 이용한 DEM 프로세싱에서 유추된 변수값과 일기후 자료들은 검정의 대상에서 제외하였다.

IV. 결과 및 고찰

강우에 의한 유출해석은 비점오염인 토사유사량 및 영양물 모의 결과 모두에 영향을 끼친다. 따라서 모형의 검정은 다음과 같이 세단계로 진행하였다.

- 1단계: 수문학적 검정 - 유출량(runoff)과 첨두유량(peak flow) 검정
- 2단계: 토사유실량 검정 - 부유물질(SS: Suspended Solid) 검정
- 3단계: 영양염류 검정 - 총질소(TN: Total Nitrogen) 및 총인(TP: Total Phosphorus)

본 연구에서는 연속형 모의를 실시하여 검정하였으나 검정결과는 모든 강우사상에 대한 수질자료의 부재로 Table 2와 같이 단일 강우별로 나타내었다. 모형의 유출과 오염부하량에 대한 정량적 해석의 정확도는 절대상대오차(ARE: Absolute Relative Error)를 이용하여 평가하였다. 특히, 오염부하량 예측 결과에 대한 평가기준은 AWT(2001)에 의해 제시된 기준을 사용하였다(Table 3).

Table 2 Details of the selected events for the catchment

Date	Rainfall (mm)	Runoff volume (m ³)	Peak flow (m ³ /s)	
95/01/19~95/01/20	120.5	2,141,100	38.4	single
95/05/17~95/05/18	198.5	7,546,400	104.5	single
96/08/30~96/08/31	128.5	3,892,100	34.4	multiple
97/06/26~97/06/27	177.5	4,380,600	41.5	multiple
97/09/24~97/09/25	84.5	1,140,700	28.4	single
98/08/07~98/08/08	216.5	9,778,000	200.5	single
99/09/26~99/09/27	118.0	1,118,000	41.6	multiple
99/10/23~99/10/24	208.5	7,371,600	209.0	single

Table 3 Model assessment classification for water quality calibration

Success classification	Excellent	Good	Reasonable	Acceptable	Poor
ARE (%)	< 20	20~50	50~100	100~200	> 200

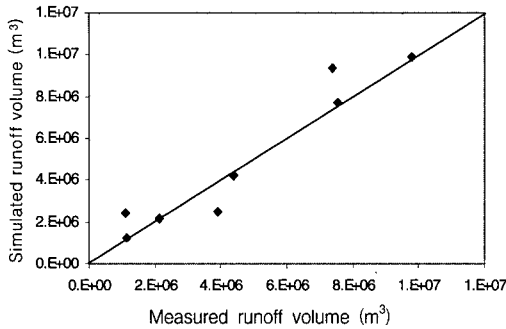


Fig. 5 Comparison of measured and simulated runoff volume

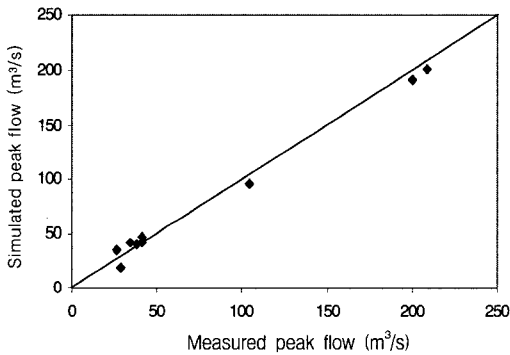


Fig. 6 Comparison of measured and simulated peak flow

Fig. 5와 6은 Burke River 유역에 대한 수문학적 검증결과를 나타낸 것이다. 유출량과 첨두유량 모두 다양한 강우사상들에 대하여 신뢰도 있는 예측능력을 보여주었으며, 특히 두 그림의 비교에서 알 수 있듯이 첨두유량의 실측치와 예측치의 일치함이 유출량의 경우보다 훨씬 좋음을 알 수 있었다.

Table 4와 5의 수문학적 검증에 대한 오차분석 결과에서 유출량 예측치의 오차범위는 0.9%~115.7%였으며, 첨두유량의 경우 유출량의 오차범위보다 적은 3.0%~33.5% 이었다. 여기서 유출량의 경우에 최고의 오차, 115.7%를 발생시킨 1999년 9월 26일~27일 강우의 특성은 강우강도가 적은 여러 개의 강우사상들로 합쳐진 복합성 강우이다. 따라서 일단위의 단일 강우사상만을 표현하는 모형의 구조상 이러한 복합강우의 해석이 취약한 관계로

Table 4 ARE for runoff volume

Date	Simulated runoff volume (m ³)	ARE (%)
95/01/19~95/01/20	2,191,600	2.4
95/05/17~95/05/18	7,696,200	2.0
96/08/30~96/08/31	2,510,300	35.5
97/06/26~97/06/27	4,238,700	3.2
97/09/24~97/09/25	1,252,800	9.8
98/08/07~98/08/08	9,865,500	0.9
99/09/26~99/09/27	2,411,600	115.7
99/10/23~99/10/24	9,392,200	27.4

Table 5 ARE for peak flow

Date	Simulated peak flow (m ³ /s)	ARE (%)
95/01/19~95/01/20	40.8	6.3
95/05/17~95/05/18	96.5	7.6
96/08/30~96/08/31	10.7	21.0
97/06/26~97/06/27	48.1	16.0
97/09/24~97/09/25	18.9	33.5
98/08/07~98/08/08	191.8	4.3
99/09/26~99/09/27	42.8	3.0
99/10/23~99/10/24	200.8	3.9

Table 6 ARE for SS, TN and TP

Date	SS (%)	TN (%)	TP (%)
96/08/30~96/08/31	50.3	33.9	9.7
97/06/26~97/06/27	218.8	43.1	30.3
97/09/24~97/09/25	38.5	432.1	250.7
98/08/07~98/08/08	37.3	48.8	15.7
99/09/26~99/09/27	649.2	319.8	325.9
Average	198.8	175.5	126.5

높은 오차를 발생시킨 것으로 사료되었다.

수문학적 검증과정을 거친 후 수행된 SS 와 TN 및 TP에 대한 검증과정에서는 수질데이터의 부재인 관계로 유출검정에 사용하였던 강우 중 5개의

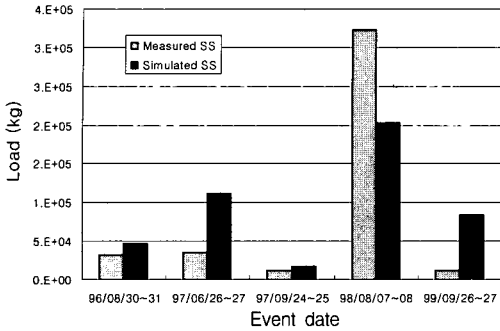


Fig. 7 Comparison of measured and simulated SS

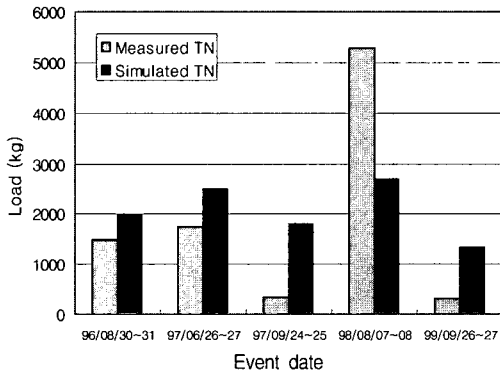


Fig. 8 Comparison of measured and simulated TN

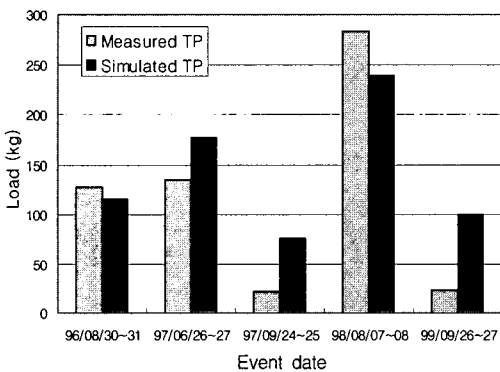


Fig. 9 Comparison of measured and simulated TP

강우만을 사용하여 검정하였다.

Fig. 7, 8, 9는 SS와 TN 및 TP의 추정에 대한 검정 결과이며 Table 6은 각각의 수질 검정과정에서

서 얻은 오차 분석 결과이다. 먼저 Fig. 7의 SS 추정 결과에서 강우사상이 큰 경우 예측치가 실측치보다 작았으며, 작은 강우의 경우 이와 반대의 현상인 예측치가 실측치보다 훨씬 많은 경향을 보였다. Table 6에서 각 강우에 대한 SS의 ARE는 37.3%~649.2%의 범위를 보여주었으며 평균은 198.8%로서 Table 3에 근거하여 AnnAGNPS 모형의 관목림지 구역의 SS에 대한 예측능력은 acceptable한 범위에 속하였다. 침투유량의 예측오차가 가장 컸던 1999년 9월 26일~27일 강우는 SS 예측에서도 가장 큰 오차를 보여 주었다. 이는 유출량 예측의 오차가 SS의 예측오차에 부분적으로 기여하였기 때문인 것으로 사료되며 큰 강우에 의해 주로 운반되는 알갱이가 큰 토립자의 유실량은 2단계의 SS 검정과정에서 포함되지 않았기 때문에 큰 강우의 경우 SS만을 다룬 검정결과와의 차이를 나타낸 것으로 사료되었다.

검정의 마지막 단계에서 실시된 TN 예측에 대한 결과를 나타내는 Fig. 8의 실측치와 예측치 비교분석에서 볼 수 있듯이 TN의 경우도 큰 강우에서는 실측치보다 적은 예측결과를, 작은 강우에 대해서는 큰 예측결과를 나타냄으로써 SS결과와 유사한 현상을 보여주었다. Table 6의 TN에 대한 예측오차는 강우별 큰 오차범위(33.9%~432.1%)를 나타내었는데, 특히 최고의 예측오차를 나타낸 1997년 9월 24~25일 강우는 432.1%였으며 유출량과 토사 유실량에서 최고의 오차를 나타내었던 1999년 9월 26일~27일 강우도 TN 예측에서 마찬가지로 높은 오차(319.8%)를 보였다. 이것은 앞에서 언급한 동일한 이유로 야기된 결과라 사료된다. TN 예측에 대한 평균오차는 175.5%로서 AnnAGNPS의 관목림지구역의 TN 예측능력은 acceptable한 범위에 속하였다.

마지막으로 Fig. 9에 나타난 TP의 예측결과도 SS, TN의 결과와 비슷한 양상을 보여주었다. 즉, 큰 강우에 대해서는 실측치보다 작은 예측결과를, 작은 강우에 대해서는 큰 예측결과를 보여주었다.

Table 6의 TP에 대한 예측오차는 SS와 TN에 대한 예측오차보다 좀더 나은 결과를 보여주었다. 오차범위는 9.7%~325.9%로서 여기서 가장 큰 오차(325.9%)를 보인 경우는 TP에서도 1999년 9월 26일~27일 사이의 강우로 나타났으며 이것 또한 주 원인은 오차의 전파에 의한 것으로 사료되었다. TP의 평균예측오차는 126.5%로서 Table 3에 근거하여 이 모형의 관목림지 유역에 대한 TP예측능력 또한 acceptable한 범위에 속하였다.

V. 결 론

본 연구에서는 AnnAGNPS 모형을 이용하여 관목림지 대부분인 호주의 Burke River 유역을 대상으로 비점오염모의를 실시하였다. AnnAGNPS 모형은 단독강우모의와 연속모의가 가능하지만 단독강우사상을 이용한 모의인 경우 강우의 지속시간이 24시간 이상일 경우는 일단위를 사용하는 모형의 구조상 모의에 포함될 수가 없으므로 연속모의를 실시하였으며, 예측결과와 분석은 데이터의 부재로 인하여 단독강우사상을 선택하여 실시하였다.

수문학적 예측결과에서 유출량의 경우 24.6%의 오차를, 침투유량에서는 12%의 결과를 나타내었으며, SS의 경우 198.8%, 그리고 TN 및 TP의 경우는 각각 175.5%와 126.5%의 결과를 나타냄으로써 AnnAGNPS 모형의 관목림지유역의 비점오염에 대한 예측능력이 대체적으로 acceptable한 것으로 나타났다. 각 강우별 오차범위는 상대적으로 컸으며 이는 강우별 특성에 따라서 비점오염물질량의 차이도 크다는 것을 알 수 있었다. 비점오염의 결과 양상은 큰 강우의 경우 예측치가 실측치보다 적게 모의되는 반면 작은 강우의 경우는 예측치가 실측치보다 큰 경향을 나타내었다. 또한 강우가 클수록 이에 대한 예측결과의 오차도 크게 나타났으며, 유출량의 오차가 큰 경우 비점오염물의 예측오차도 크게 발생하였다. 이는 오차전파에 의한 영향으로 사료되며 이로써 정확한 비점오염의 예측을 위해서

는 강우-유출관계에 대한 정확한 수문학적 검증이 선행되어야 함이 필수적인 것으로 확인되었다.

References

1. AWT, 2001, Development of HSPF model for Wollondilly River catchment. Report for the SCA. June 2001.
2. Bagnold, R.A., 1996, An approach to the sediment transport problem from general physics, U.S. Geological Survey, Professional Paper No. 422-J.
3. Eom, M.C. and Kwun, S.K., 1996, Determination of daily pollutant loadings using TANK model, *Journal of Korean Society of Agricultural Engineers* 38(3): 92-100. (in Korean)
4. Frere, M.H., Ross, J.D. and Lane, L.J., 1980, CREAMS, Chemicals, Runoff and Erosion from Agricultural Management Systems, The Nutrient Submodel, Simulation of the Surface Hydrology, Agricultural Conservation Research Report 26, U.S. Department of Agriculture, Washington, D.C. 1(4), pp.65-86.
5. Heo, J. 2004, A Study on Load Change According to Grid Scale and Landuse Change in AnnAGNPS Model, Master Thesis, Chongju University. (in Korean)
6. Kang, M.S., Park, S.W. and Chun, J.A., 2003, Estimating pollutant loading using remote sensing and GIS-AGNPS model, *Journal of Korean Society of Agricultural Engineers* 45(1): 102-114. (in Korean)
7. Kang, M.S. and Park, S.W., 2003, Development and application of total maximum daily loads simulation system using non-point source pollution model, *Journal of Korea Water Resources Association* 36(1): 117-128. (in Korean)
8. Kim, J.T, 1995, Development and Application

- of a GIS Interface for the Agricultural Nonpoint Source Pollution(AGNPS) Model, Ph.D. Diss. Seoul National University. (in Korean)
9. Kim, S. and Kim, G.M., 2001, Simulation of nitrogen movement in the rainfall event at an upland agricultural watershed, *Journal of Korea Water Resources Association* 34(5): 521-532. (in Korean)
 10. Kim, S. M. and Park, S.W., 2004, Calibration and validation of HSPF model to estimate the pollutant loads from rural small watershed, *Journal of Korea Water Resources Association* 37(8): 643-651. (in Korean)
 11. Kwun, M.J., Kwun, S.K. and Hong, S.G., 2003, Conjunctive use of SWAT and WASP models for the water quality prediction in a rural watershed, *Journal of Korean Society of Agricultural Engineers* 45(2): 116-125. (in Korean)
 12. Lim, K.J., Engel, B.A., Kim, Y.S., Choi, J.D. and Kim, K.S., 2003, L-THIA/NPS to assess the impacts of urbanization on estimated runoff and NPS pollution, *Journal of Korean Society of Agricultural Engineers* 45(4): 78-88. (in Korean)
 13. Park, Y.H., 2004, A Study of Calculation Pollutant Removal Efficiency of Buffer Strip using AnnAGNPS Model, Master Thesis, Chongju University. (in Korean)
 14. Renard, K.G., Foster, G.R., Weesies, G.A., Mccool, D.K, and Yoder, D.C., co-ordinators, 1997, Predicting soil erosion by water: A guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE). U.S. Department of Agriculture, Agriculture Handbook No. 703, pp.403,
 15. Rosewell, C.J., 1993, SOILOSS 5.0 User's Manual, A program to assist in the selection of management practices to reduce erosion, NSW Department of conservation and Land Management, Gunnedah Research Centre.
 16. Shin, H.J., Kwon, H.J., and Kim, S.J., 2004, Simulation of hydrological behavior and water quality using AnnAGNPS on Gyeong-an-Cheon watershed, *Korean National Committee on Irrigation and Drainage Journal* 11(2): 95-103. (in Korean)
 17. Theurer, F.D. and Clarke, C.D., 1991, Wash load component for sediment yield modelling. In Proceedings of the Fifth Federal Interagency Sedimentation Conference, March 18-21, 1991. pp.7.1-7.8
 18. USDA, Soil Conservation Service, 1972, National Engineering Handbook, Section 4, Hydrology, Chapter 4, Washington, D.C., pp.4.10, 4.16, 4.19.
 19. USDA, Natural Resources Conservation Service, 1986, Urban Hydrology for Small Watersheds, Technical Release 55, June 1986.