

AnnAGNPS 모형의 강우-유출해석력 평가

최경숙^{1*}

Assessment of AnnAGNPS Model in Prediction of a Rainfall-Runoff Relationship

Kyung-Sook CHOI^{1*}

요 약

비점오염 발생은 강우에 의한 지표면 유출과 밀접한 관련이 있는 관계로 모형을 이용한 비점오염 해석은 먼저 유역의 강우-유출의 명확한 관계해석을 필수조건으로 한다. 본 연구는 비점오염 모의에 많이 사용되고 있는 AnnAGNPS 모형의 다양한 유역특성별 강우-유출해석능력을 평가해보았다. 결과를 통해 AnnAGNPS 모형은 대유역 모의에 적합하며 소유역 및 강우에 대한 유역의 반응시간이 짧은 불투수층이 많은 유역에 적용하는 것은 적합하지 않은 것으로 드러났다. 특히, AnnAGNPS 모형은 모의에 사용하는 시간간격이 일단위(daily basis)이므로 하루보다 짧은 지속시간의 복합첨두치(multiple peak flow)를 가지는 강우사상을 표현하는 기능이 없으며 따라서 첨두유량 예측에 상당한 오차 발생의 원인으로 드러났다. 또한 유출해석에 사용되는 CN방법은 지역적인 특성에 맞게 구축된 CN정보가 없는 관계로 초기치 선택에 신중함이 요구되며, 강우의 분포형과 더불어 반드시 주요 검정대상으로 다루어져야 할 매개변수였다.

주요어: AnnAGNPS, 모형평가, 강우-유출관계, 일단위, CN방법

ABSTRACT

Generation and transport of nonpoint source pollution, especially sediment-associated pollutants, are profoundly influenced by hydrologic features of runoff. In order to identify pollutant export rates, hence, clear knowledge of rainfall-runoff relationship is a pre-requisition. In this study, performance of AnnAGNPS model was assessed based on the ability of the model to predict rainfall-runoff relationship. Three catchments, each under different nearly single land use, were simulated. From the results, it was found that the model was likely to produce better predictions for larger catchments than smaller catchments. Because of using the daily time scale, the model could not account for short durations less than 24 hours, especially high intensity events with multiple peak flow that significantly contribute to the generation and transport of pollutants. Since CN information for regional areas has

2005년 4월 25일 접수 Received on April 25, 2005 / 2005년 6월 22일 심사완료 Accepted on June 22, 2005
1 경북대학교 농업토목공학과 Dept. of Agricultural Civil Engineering, Kyungpook National University
* 연락처 E-mail: ks.choi@knu.ac.kr

not been built up, a careful selection of CN is needed to achieve accurate prediction of runoff volume. Storm distribution also found to be considered as an important calibration parameter for the hydrologic simulation.

KEYWORDS: *AnnAGNPS, Model Assessment, Rainfall-runoff Relationship, Daily Time Scale, CN Method*

서론

모형을 이용한 수문학적 해석은 수자원의 계획, 디자인 등 이수과 치수에 관련된 분야뿐만 아니라 비점오염의 정량적 해석에도 중요한 기초자료가 된다.

수질악화에 주원인으로 밝혀지고 있는 비점오염을 규명하기 위해 모니터링의 실시와 각종 모형을 이용한 모의가 최근 활발히 진행되고 있다. 이러한 지역별 모니터링된 수질데이터가 충분히 축적되어 있지 않은 경우, 원하는 지역의 비점오염 상태를 파악하기 위해서는, 혹은 토지관리측면에서 토지용도 변경으로 인해 발생할 수 있는 가능한 비점오염의 예측 등은 모형을 이용한 수질 모의과정을 통해서 얻은 결과에 의존하는 경우가 많다. 이러한 경우, 모형의 선택과 더불어 중요한 것은 모형이 어떠한 알고리즘을 이용하여 모의를 하는지에 대한 정확한 이해와, 선택된 모형의 기능, 즉 모형이 어느 정도의 범위 내에서 활용될 수 있는 것인지, 또한 어느 정도의 신뢰성 있는 모의 결과를 도출해 낼 수 있는지에 대한 전반적인 지식이라 하겠다.

비점오염의 발생은 토지이용상태와 밀접한 연관이 있으며, 특히, 비점오염의 운반은 지표면의 유출수에 의한다. 지표면 유출의 특성은 유역의 형상, 면적, 지형, 경사 등 유역의 지형학적 특성과 유출을 직접적으로 발생시키는 강우의 강도, 지속시간, 공간 및 시간적 분포상태 등 강우의 특성에 의하여 지배를 받는다. 그러므로 비점오염의 정확한 해석을 위해서는 반드시 선행되어야 할 절차는 유역내의 강우-유출 관계

를 정확히 규명해 내는 것이다. 따라서 본 연구는 비점오염해석에 많이 이용되고 있는 AnnAGNPS 모형의 다양한 유역 특성별 강우-유출관계의 예측능력을 평가함으로써 비점오염 분야의 모의 적용에 참고가 되고자 하였다.

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 service) 모형은 단독 강우사상만을 모의할 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 모의 형식은 연속모의 위주로 되어 있으나 사상별 모의도 가능하다.

AnnAGNPS 모형은 크게 4가지 형태의 모의 프로세싱 체계로 구분할 수 있으며 다음과 같다.

- DEM(digital elevation models) 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 cell 단위의 구역(소유역)으로 나눈다. 또한 유역의 지형적인 특색과 지표면의 유

출이 발생하는 방향 등을 고려하여 reach (배출통로구간)를 단위로 하천망(stream network)을 도출해 내기도 한다. 각 cell은 구역별로 가까운 reach와 연결되어 있어 cell에서 방출되는 유출 및 비점오염의 흐름해석을 가능하게 한다.

■ Hydrological processing: 본격적인 모의 과정으로서 수문학적인 요소를 모의 하는 과정. 유출량 및 침투유량 해석을 위해 미국토양보전국(soil conservation service)에서 개발한 CN방법(curve number method)(USDA, 1972)과 TR-55에서 제안한 방법을 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 토사유실에 대한 유달율(delivery ratio)의 고려는 HUSLE(hydro-geomorphic universal soil loss equation) (Theurer 과 Clarke, 1991)에 의하여 진행되어진다. 여기서 각 reach별 토양유실량은 Bagnold(1996)가 제안한 공식, 즉 Stream power equation을 이용한다.

■ Nutrient yields processing: 영양염류 모의과정. 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 그림 1과 같다.

모의를 위한 데이터 구축단계에서는 유역의 특성을 대표하는 모든 기초 자료들이 cell 단위로 준비되며 입력되어진다. 모의 요소별 결과는 강우별로 얻어지며 연평균치에 대한 결과도 주어진다.

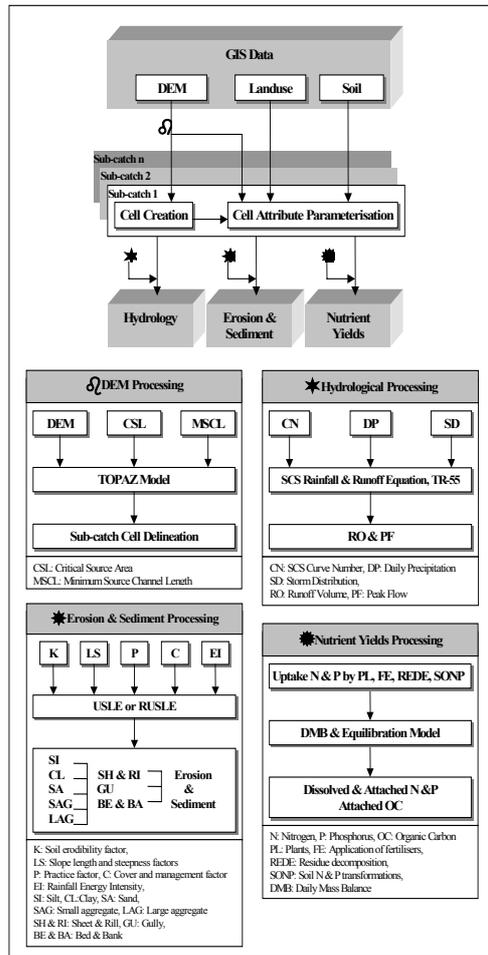


FIGURE 1. Schematic representation of AnnAGNPS modeling processes

대상유역 및 자료구축

본 연구를 위해 선택한 대상유역은 호주에 위치하고 있는 세 유역으로서 유역 내 두드러진 토지이용형태와 유역명은 다음과 같다.

- 산림지 유역: Burke River 유역
 - 주거지역: Leura Falls Creek 유역
 - 초지(목초지): Whiteheads Creek 유역
- 그림 2와 표 1은 연구대상유역의 위치와 유역 내 토지이용형태를 나타내고 있다.

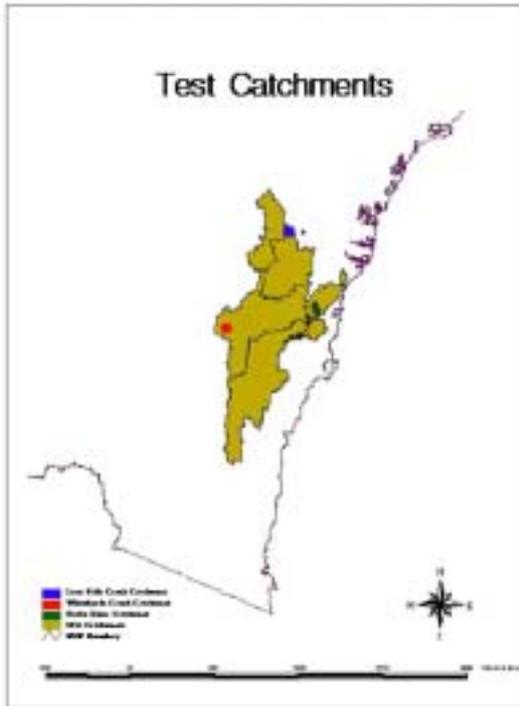


FIGURE 2. Location of test catchments

TABLE 1. Land use characteristics of each catchment

| Landuse (AGNPS type) | Burke | | Leura | | Whiteheads | |
|----------------------|---------|-------|-------|-------|------------|-------|
| | ha | % | ha | % | ha | % |
| Urban | 0.0 | 0.0 | 23.65 | 66.71 | 0.0 | 0.0 |
| Forest | 8168.50 | 92.08 | 1.85 | 5.22 | 163.22 | 32.49 |
| Pasture | 0.0 | 0.0 | 0.34 | 0.96 | 58.31 | 11.61 |
| Cropland | 189.09 | 2.13 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| Rangeland | 402.35 | 4.54 | 3.09 | 8.72 | 268.31 | 53.42 |
| Roads | 92.52 | 1.04 | 6.09 | 17.18 | 12.04 | 2.40 |
| Water | 13.41 | 0.15 | 0.38 | 1.07 | 0.42 | 0.08 |
| Unclassified | 5.38 | 0.06 | 0.05 | 0.14 | 0.0 | 0.0 |
| TOTAL | 8871.24 | | 35.45 | | 502.3 | |

Burke River 유역

호주 NSW(New South Wales)주의 중동부에 위치한 Burke River 유역은 Nepean 호수의 주요 수원공급처 중의 하나이다. 유역의 면적은 8871.2ha로서 유역 내 토양의 종류는 15개의 다양한 토양으로 구성되어 있으며, 그 중 Nattai

Tablelands variant a, Gynea, 및 Hawkesbury 가 주류를 이루고 있다. 유역의 수문학적 토양 그룹은 4가지 종류(A, B, C, D types)를 끌고루다 가지고 있으며, 가장 두드러진 토성은 sandy clay, loamy sandy, 그리고 fibric peat이다. AnnAGNPS 모형의 토지이용형태 분류에 따라 구분한 유역 내 토지이용형태는 전체 유역의 92%가 산림지이며 그 외 농지가 2.1%, 목야지(자연초지)가 4.5%, 도로가 1%정도로 구성되어 있다.

Leura Falls Creek 유역

두 번째 유역인 Leura Falls Creek 유역은 호주의 블루마운틴 영역내의 Katoomba에 위치하며 분리식 하수관거 체제를 가진 구역이다. 유역의 면적은 35.5ha로서 본 연구를 위해 선택된 유역 중 가장 작은 유역 면적을 가지며, 토지이용형태는 주로 불투수지역으로 구성된 66.7%의 주거지역과 약간의 상업지역, 도로, 산림지, 목초지 등으로 구성되어 있다. 유역 내 수문학적 토양 그룹은 B이며, 토양 종류는 Medlow Bath와 Wollangambe로 구성된 단순한 토양특성을 나타낸다. 두드러진 토성은 sandy loam과 loamy sand이다.

Whiteheads Creek 유역

마지막 유역인 Whiteheads Creek 유역은 호주 NSW주의 Goulburn근처에 위치하며 Wollondilly 강의 지류로서 Burragorang 호수로 유입된다. 이 지역은 걸리침식으로 유명하며 이는 이 지역 토사 유출량 발생의 지배적인 요인이기도 하다 (Armstrong 외, 1995). 유역의 면적은 502.3ha로서 유역 내 토지이용형태는 제대로 관리되지 않은 초지가 53.4%, 그리고 가축에 의해 풀이 심하게 뜯겨진 목초지가 11.6%, 산림지 32.5% 등으로 구성되어 있다. 토양 형태는 Garland가 90.3%로 주류를 이루며 수문학적 토양그룹은 C로서 sandy clay loam의 토성을 지닌다.

AnnAGNPS 모형은 사상별 모의와 연속모의가 모두 가능하지만 사상별 모의는 지속시간이 24시간 이상인 강우를 포함시킬 수 없는 애로사항이 있어서 연속모의를 실시하여 검정하였다.

AnnAGNPS 모형에 사용되는 공간적 데이터

에는 DEM, 토지이용도, 토지피복도, 토양도, 하천도 등이며 이들은 GIS format으로 필요하며 cell과 reach 프로파일 자료의 입력자료를 생성하기 위한 세부자료도 필요하다.

시간적 데이터는 일강우량, 일유출량, 일기후(최고·최저온도, 이슬점온도, sky cover, 풍속), 및 수질데이터 등이다. 유역별 10년간의 연강우량의 특성을 나타낸 표 2에서 세 유역 모두 연별 높은 변동률을 보여주었다.

TABLE 2. Total annual rainfall for ten-year period(1990~1999) (mm)

| Year | Burke | Leura | Whiteheads |
|------|--------|---------|------------|
| 1990 | 1582.0 | 1356.5 | 822.5 |
| 1991 | 1246.0 | 982.5 | 543.8 |
| 1992 | 1081.0 | 1229.3 | 550.3 |
| 1993 | 837.5 | 738.1 | 583.3 |
| 1994 | 380.0 | 709.0 | 351.0 |
| 1995 | 1696.5 | 1405.0 | 614.5 |
| 1996 | 906.0 | 1193.5 | 567.4 |
| 1997 | 755.0 | 755.5 | 511.5 |
| 1998 | 1297.5 | 1393.0 | 653.0 |
| 1999 | 1064.5 | 1379.5 | 686.0 |
| Mean | 1084.6 | 1114.19 | 588.33 |

유역별 일강우량과 일유출량 자료를 이용하여 비교분석한 결과는 그림 3, 4, 5에 도시하였다. 일반적으로 강우량과 유량의 반응 곡선이 잘 일치하고 있음을 알 수 있다. Burke River 유역의 경우, 강우에 대한 유역의 반응은 대체적으로 느리게 나타났으며 그 이유는 유역의 면적이 크므로 해서 발생하는 유출의 시간적·공간적 확산현상 때문이며, 또한 유역면적의 대부분이 산림지인 관계로 강우 시 유역 내에 산재해 있는 나뭇잎이나 줄기로 인한 차단효과(interception effect) 때문인 것으로 사료되었다. 그림 4의 Leura Falls Creek 유역의 경우, 강우별 유출량이 대체적으로 일치하나 불일치를 보이는 부분도 있었는데 이것은 아마도 유역의 특성상 하수거의 분출 혹은 누수로 인한 것으로 보이며, 따라서 무강우 시기에도 강우와는 무관

한 지표면 유출이 발생된 것으로 사료되었다. 그림 5에 나타낸 Whiteheads Creek 유역의 경우는 Leura Falls Creek 유역에 비해 강우와 유출의 나온 일치를 보여주었는데, 이것은 Leura Falls Creek 유역과는 달리 강우량과 유출량의 측정 장소가 동일한 지점에 위치함으로 기인하며, 또 소유역인 관계로 유역 내 시간적·공간적 변화의 영향을 다소 적게 받았기 때문으로 사료되었다.

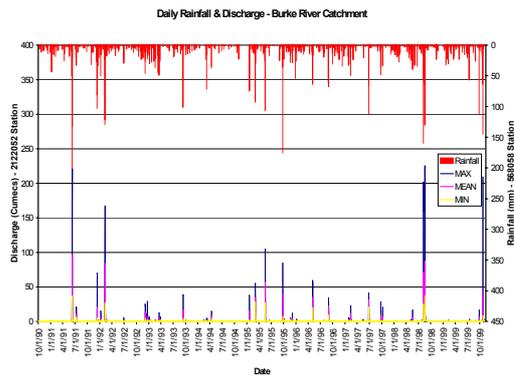


FIGURE 3. Daily rainfall and discharge of Burke River catchment from 90/10/01 to 99/11/14

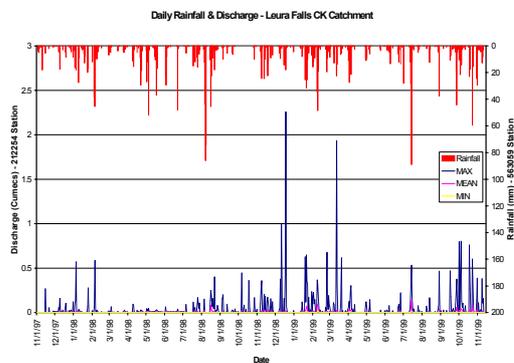


FIGURE 4. Daily rainfall and discharge of Leura Falls Creek catchment from 97/11/01 to 99/11/14

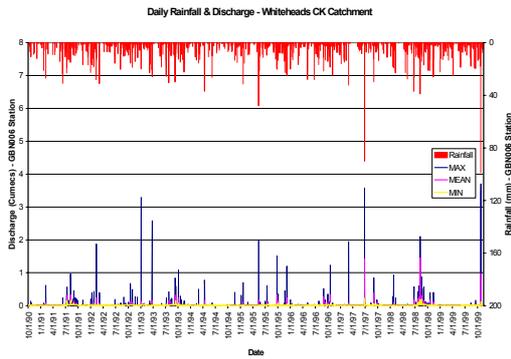


FIGURE 5. Daily rainfall and discharge of Whiteheads Creek catchment from 90/10/01 to 99/11/14

AnnAGNPS 모형에서 수문학적인 요소를 규명하는 데 가장 크게 기여하는 주요 변수들은 각각의 cell과 reach별 토지이용형태, 토지이용별 CN, 강우의 분포형태 및 도달시간이다. 본 연구에서는 이러한 변수들을 수문학적 검증과정을 거쳐 추정하였다.

먼저 일 유출량을 결정하는데 지대한 영향을 끼치는 CN의 추정에 있어서는 유역 내 토양의 특성, 토지이용형태, 토지피복상태 그리고 수문학적 상태 등을 고려하여 이루어졌으며 본 연구에서는 호주의 조건에 맞는 CN이 구축이 되어 있지 않은 관계로 AnnAGNPS 모형에 주어진 미농무성의 SCS 자료들을 이용하여 초기치 추정이 이루어진바 이 변수를 주요 검증 대상으로 고려하였다.

강우의 분포형태는 일강우량이 24시간 내에 어떻게 분포되어 내렸는지를 나타내는 변수로서 유역의 지점별 침투유량 결정에 중요한 매개변수이며, 토양유실량 계산에 기초가 되는 강우의 에너지 강도(energy intensity) 결정에도 이용된다. 강우의 분포형태를 결정하기 위해 본 연구에 사용된 각 기간별 강우들의 사상을 조사해본 결과 강우의 분포들이 각각 다르게 나타났으며 이는 강우별 특성이 제각기 다르기 때문인 것으로

사료되었다. 본 연구에 사용된 강우사상들의 분석 결과, 두드러진 강우의 분포형은 유니폼(uniform)형 이었다.

강우에 의해 발생된 유출이 유역의 최원점으로부터 출구까지 흘러내리는데 필요한 시간인 도달시간은 침투유량 산정에 지대한 영향을 미친다. AnnAGNPS 모형은 TR-55 방법에 의하여 자동적으로 이 변수를 계산해 내는 기능이 있으므로 본 연구에서는 따로 이 변수의 추정을 하지 않았다.

모형의 검증단계에서는 측정된 자료들은 자체 내의 오차가 없는 것으로 간주하고 추론된 변수들, 즉 CN과 강우분포형태 등을 중심으로 시행착오법을 이용하여 검정을 실시하였다. 모형의 검증 결과는 절대상대오차(ARE: absolute relative error)를 이용하여 평가하였다.

결과 및 고찰

Burke River 유역의 유출량과 침투유량의 검증 결과는 그림 6, 7과 같으며, 그림에서 알 수 있듯이 유출량과 침투유량 모두 소강우와 대강우 사상들에 대하여 신뢰도 높은 예측능력을 보여주었다. 유출량과 침투유량의 결과 비교에서는 침투유량이 유출량의 경우보다 실측치와 예측치의 일치함이 훨씬 우월하였다. 표 3, 4에 나타낸 예측치의 ARE범위는 유출량의 경우 0.9%~115.7%였으며, 침투유량의 경우는 유출량의 오차보다 적은 범위의 3.0%~33.5%를 나타내었다. 여기서 유출량의 경우, 최고의 오차, 115.7%를 발생시킨 1999년 9월 26일~27일에 내린 강우의 특성은 작은 강우강도로써 지속시간이 매우 짧은 여러 개의 강우사상들로 구성된 복합강우이다. 따라서 일자료만을 수용하는 모형의 구조상 이러한 복합강우의 해석이 취약한 관계로 높은 오차를 발생시킨 것으로 사료된다.

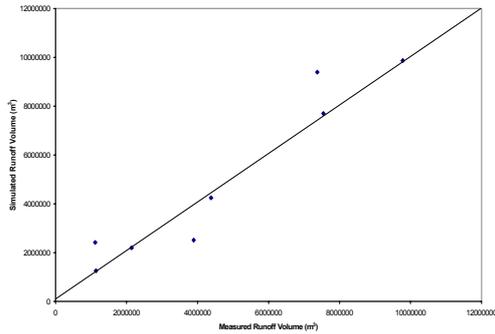


FIGURE 6. Comparison of measured and simulated runoff volume for Burke River catchment

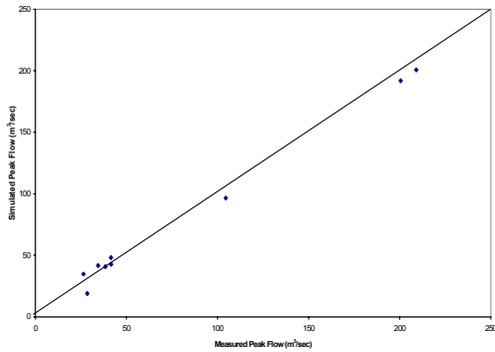


FIGURE 7. Comparison of measured and simulated peak flow for Burke River catchment

TABLE 3. ARE of runoff volume for Burke River catchment

| Date | Measured runoff volume (m ³) | Simulated runoff volume (m ³) | ARE (%) |
|-------------------|------------------------------------------|-------------------------------------------|---------|
| 95/01/19~95/01/20 | 2,141,100 | 2,191,600 | 2.4 |
| 95/05/17~95/05/18 | 7,546,400 | 7,696,200 | 2.0 |
| 96/08/30~96/08/31 | 3,892,100 | 2,510,300 | 35.5 |
| 97/06/26~97/06/27 | 4,380,600 | 4,238,700 | 3.2 |
| 97/09/24~97/09/25 | 1,140,700 | 1,252,800 | 9.8 |
| 98/08/07~98/08/08 | 9,778,000 | 9,865,500 | 0.9 |
| 99/09/26~99/09/27 | 1,118,000 | 2,411,600 | 115.7 |
| 99/10/23~99/10/24 | 7,371,600 | 9,392,200 | 27.4 |
| Average | | | 24.6 |

TABLE 4. ARE of peak flow for Burke River catchment

| Date | Measured peak flow (m ³ /s) | Simulated peak flow (m ³ /s) | ARE (%) |
|-------------------|----------------------------------------|-----------------------------------------|---------|
| 95/01/19~95/01/20 | 38.4 | 40.8 | 6.3 |
| 95/05/17~95/05/18 | 104.5 | 96.5 | 7.6 |
| 96/08/30~96/08/31 | 34.4 | 10.7 | 21.0 |
| 97/06/26~97/06/27 | 41.5 | 48.1 | 16.0 |
| 97/09/24~97/09/25 | 28.4 | 18.9 | 33.5 |
| 98/08/07~98/08/08 | 200.5 | 191.8 | 4.3 |
| 99/09/26~99/09/27 | 41.6 | 42.8 | 3.0 |
| 99/10/23~99/10/24 | 209.0 | 200.8 | 3.9 |
| Average | | | 12.0 |

Leura Falls Creek유역의 경우, 그림 8, 9에 나타낸 비교 그래프에서 보는바와 같이 유출량과 침투유량의 결과가 만족스럽지 못하게 도출되었다. 그 이유는 유역의 경계를 나타낸 그림 10에서 볼 수 있듯이 이 유역의 경우, 실제 유역경계를 결정하는 인자, 즉 주로 도로를 따라 배치되는 배수관망(pipe drainage network)과 모형에서 도출해낸 유역의 경계가 불일치하기 때문이다. AnnAGNPS 모형내의 TOPAZ 모듈은 DEM에서 제공하는 지리적 정보(geographical information)만을 기초로 한 지형학적 요소들만을 고려하여 유역의 경계와 하천망을 도출해 내기 때문에 도로나 배수관, 매립 등의 인위적인 활동에 의해 조성된 배수양상에 대한 고려는 유역의 경계와 하천망 결정에 전혀 영향을 끼치지 못한다. 따라서 도시지역형 유역의 경우, 배수관망을 중심으로 유역의 경계가 구분되어 지는 실제의 유역경계와 TOPAZ에 의해 도출된 유역경계는 사뭇 다를 수밖에 없다. 이로 인해 유역의 면적 및 출구지점과 유역 내 유출 흐름의 방향이 실제와 다르게 나타나며, 결과적으로 모의된 유역내의 유출저장(runoff storage)과 유달시간(travel time)이 실제와 다르게 나타난다. 이러한 이유 때문에 Leura Falls Creek 유역의 경우, 유출량과 침투유량의 예측치와 실측치 사이에 높은 편차가 있음을 볼 수 있었다.

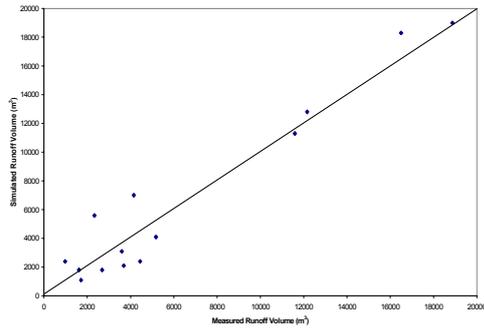


FIGURE 8. Comparison of measured and simulated runoff volume for Leura Falls Creek catchment

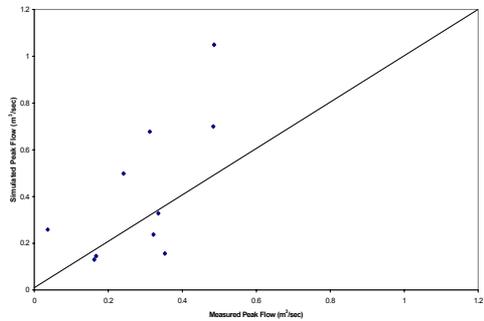


FIGURE 9. Comparison of measured and simulated peak flow for Leura Falls Creek catchment

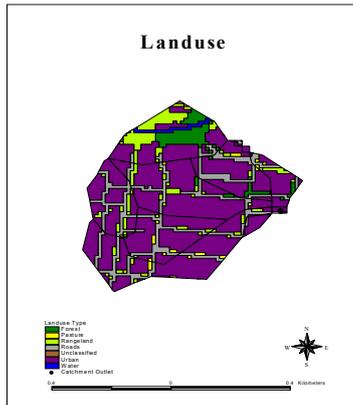


FIGURE 10. Landuse within Leura Falls Creek catchment

표 5, 6에 나타난 오차분석 결과에서와 같이 유출량의 경우, 오차는 0.7%~145.1%로서 강우별 오차 범위는 컸으며 평균오차는 41.2%로써 유출량에 대한 만족스럽지 못한 예측능력을 보여주었다. 침투유량의 경우도 평균 오차가 105.3%로 각 강우별 편차가 상당히 심하게 나타났다. 이것은 앞에서 언급한 바와 같이 유역내 실제 도달시간과 모형에서 도출한 시간의 차이 때문에 발생한 결과라 사료되었다. 따라서 이러한 결과들로부터 도시화된 지역이나 주거지역 등의 모의에 AnnAGNPS 모형을 적용하기에는 부적합함이 여실히 증명되었다. 또한 매개변수의 검증과정에서 매개변수 값의 변화에 대한 모의 결과가 큰 변동이 없었는데 이는 아마도 이 모형이 대유역을 대상으로 디자인되었기 때문에 Leura Falls Creek 유역과 같이 매우 작은 소유역의 모의에는 모형이 다루는 scale과의 차이로 인해 모의 적용이 적절하지 않음을 부가적으로 알 수 있었다.

TABLE 5. ARE of runoff volume for Leura Falls Creek catchment

| Date | Measured runoff volume (m ³) | Simulated runoff volume (m ³) | ARE (%) |
|-------------------|------------------------------------------|-------------------------------------------|---------|
| 98/01/09 | 1,615.6 | 1,800.0 | 11.4 |
| 98/01/24~98/01/25 | 979.2 | 2,400.0 | 145.1 |
| 98/04/22~98/04/23 | 2,685.9 | 1,800.0 | 33.0 |
| 98/06/22 | 2,330.8 | 5,600.0 | 140.3 |
| 98/08/16~98/08/17 | 11,590.8 | 11,300.0 | 2.5 |
| 98/12/18 | 1,715.9 | 1,100.0 | 35.9 |
| 99/02/08~99/02/10 | 18,872.4 | 19,000.0 | 0.7 |
| 99/03/12~99/03/13 | 3,597.0 | 3,100.0 | 13.8 |
| 99/07/13~99/07/14 | 16,498.7 | 18,300.0 | 10.9 |
| 99/08/29 | 3,685.4 | 2,100.0 | 43.0 |
| 99/09/27 | 5,175.7 | 4,100.0 | 20.8 |
| 99/10/18~99/10/19 | 4,442.1 | 2,400.0 | 46.0 |
| 99/10/23~99/10/24 | 12,163.2 | 12,800.0 | 5.2 |
| 99/10/30~99/10/31 | 4,148.1 | 7,000.0 | 68.8 |
| Average | | | 41.2 |

TABLE 6. ARE of peak flow for Leura Falls Creek catchment

| Date | Measured peak flow (m ³ /s) | Simulated peak flow (m ³ /s) | ARE (%) |
|-------------------|----------------------------------------|-----------------------------------------|---------|
| 98/01/09 | 0.031 | 0.043 | 38.7 |
| 98/01/24~98/01/25 | 0.149 | 0.278 | 86.6 |
| 98/04/22~98/04/23 | 0.027 | 0.026 | 3.7 |
| 98/06/22 | 0.036 | 0.258 | 616.7 |
| 98/08/16~98/08/17 | 0.241 | 0.498 | 106.6 |
| 98/12/18 | 1.585 | 0.030 | 98.1 |
| 99/02/08~99/02/10 | 0.335 | 0.328 | 2.1 |
| 99/03/12~99/03/13 | 1.836 | 0.087 | 95.3 |
| 99/07/13~99/07/14 | 0.486 | 1.049 | 115.8 |
| 99/08/29 | 0.440 | 0.042 | 90.5 |
| 99/09/27 | 0.353 | 0.156 | 55.8 |
| 99/10/18~99/10/19 | 0.491 | 0.029 | 94.1 |
| 99/10/23~99/10/24 | 0.484 | 0.699 | 44.4 |
| 99/10/30~99/10/31 | 0.322 | 0.237 | 26.4 |
| Average | | | 105.3 |

세 번째 유역인 Whiteheads Creek 유역의 유출량과 침투유량에 대한 실측치와 예측치의 비교결과는 그림 11, 12와 같으며 검증결과에 대한 예측오차는 표 7, 8과 같다. 대체적으로 유출량이 침투유량의 결과보다 나은 일치를 보여주었다. 유출량의 평균오차는 22.7%로서 오차범위는 0.5%~53.9%였으며 침투유량의 경우는 78.5%의 평균오차 및 35.1%~116.0%의 오차범위를 나타내었다. 유출량과 침투유량의 예측에서 가장 큰 오차율을 보인 1998년 6월 22~23일 강우는 강우기간 동안 여러 개의 침투사상을 가진 복합성 강우였다. 앞에서 언급한 바와 같이 일별 단일 침투사상(daily peak flow)만을 나타내는 모형의 단순한 구조로 인해 이러한 복합성 강우들의 특성을 제대로 모의해 내지 못하는 단점이 있었다.

위의 결과들을 종합해 볼 때 AnnAGNPS 모형은 비점오염해석에 여러 가지 장점을 가졌음에도 불구하고 몇 가지 취약점을 가지고 있었는데 이를 요약 하면 다음과 같다.

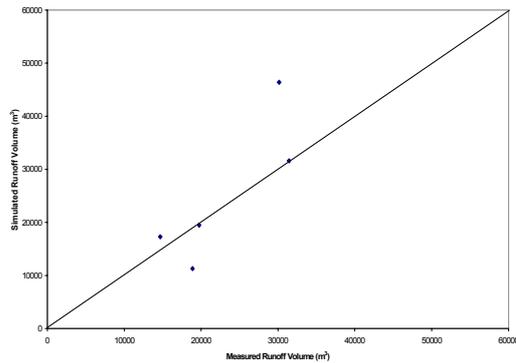


FIGURE 11. Comparison of measured and simulated runoff volume for Whiteheads Creek catchment

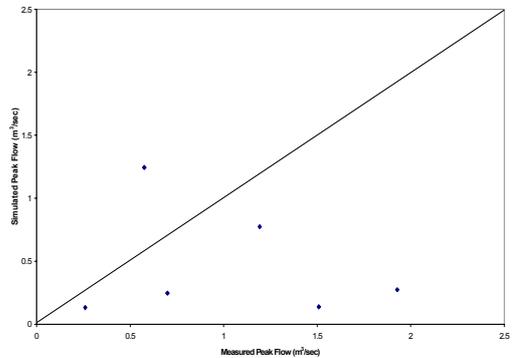


FIGURE 12. Comparison of measured and simulated peak flow for Whiteheads Creek catchment

TABLE 7. ARE of runoff volume for Whiteheads Creek catchment

| Date | Measured runoff volume (m ³) | Simulated runoff volume (m ³) | ARE (%) |
|-------------------|------------------------------------------|-------------------------------------------|---------|
| 95/1/20 | 14,675.3 | 17,300.0 | 17.9 |
| 95/05/13 | 19,744.2 | 19,500.0 | 1.2 |
| 95/09/24~95/09/25 | 18,888.6 | 11,300.0 | 40.2 |
| 95/12/05~95/12/06 | 31,434.3 | 31,600.0 | 0.5 |
| 98/06/22~98/06/23 | 30,141.3 | 46,400.0 | 53.9 |
| Average | | | 22.7 |

TABLE 8. ARE of peak flow for Whiteheads Creek catchment

| Date | Measured peak flow (m ³ /s) | Simulated peak flow (m ³ /s) | ARE (%) |
|-------------------|----------------------------------------|-----------------------------------------|---------|
| 95/1/20 | 0.7 | 0.25 | 64.8 |
| 95/05/13 | 1.93 | 0.27 | 85.8 |
| 95/09/24~95/09/25 | 1.51 | 0.14 | 90.9 |
| 95/12/05~95/12/06 | 1.19 | 0.77 | 35.1 |
| 98/06/22~98/06/23 | 0.58 | 1.24 | 116.0 |
| Average | | | 78.5 |

- 모형이 사용하는 모의 시간간격이 일단위인 관계로 지속시간이 24시간보다 짧은 강우의 특성을 제대로 표현해 주지 못한다. 특히 이러한 강우는 높은 강우강도를 동반할 때 비점오염의 발생 및 운반에 지대한 역할을 한다. 따라서 이러한 강우의 해석이 올바르게 이루어지지 않으면 결국은 신뢰도 낮은 비점오염 해석이 이루어질 수밖에 없다.
- 일단위 모의시간간격은 소규모유역의 모의 혹은 불투수지역이 많은 도시 유역의 모의 시에는 부적절하다. 그 이유는 이러한 유역들이 가지는 강우에 대한 실제 반응시간은 매우 짧으며 이는 일단위의 시간간격과 차이가 있으므로 정확한 유출해석이 불가능하기 때문이다. 이러한 이유로 인해 Leura Falls Creek 유역과 Whiteheads Creek 유역의 경우 신뢰도가 낮은 모의 결과를 보여주었다. 이와 같은 소유역인 경우에는 24시간보다 더 짧은 모의시간 간격을 사용하여야 할 것이다.
- CN방법에서 고용한 가정, 즉 $I_a = 0.2S$ (여기서, I_a 는 초기손실(initial abstraction)로서 차단(interception), 초기침투(initial infiltration), 지표면 저류(surface storage) 등을 포함하며, S 는 유출이 시작된 후의 잠재최대저류(potential maximum retention)임)이 너무 단순하고 간략하기 때문에 유역

의 다양하고 복잡한 특성을 제대로 도출해 내기 힘들다는 점이다. Boughton(1989)도 CN방법이 다양한 물리적 현실(various physical reality)에 대한 표현능력이 부족함으로 인한 한계를 설명하였다.

- 지역적 특성에 맞는 CN의 구축이 제대로 되어 있지 않은 현실에서 미국의 조건에 맞게 개발된 CN을 여과 없이 타 지역에 사용하고 있다는 점이다. 물론 검정을 통하여 수정 보완할 수는 있지만 잘못된 초기치 사용은 잘못된 검정결과를 유발할 수 있기 때문이다. 자체의 자료를 이용하여 CN을 구축하는 방법은 Boughton(1989)에 의해 소개된바 있다.

결론

본 연구는 비점오염해석에 많이 사용되는 AnnAGNPS 모형의 강우-유출해석 능력을 평가해 보았다. 비점오염의 정확한 해석은 강우-유출관계의 정확한 해석을 먼저 요구한다. 따라서 강우-유출관계의 정확한 규명 없이는 비점오염의 정확한 해석을 기대할 수 없으므로 AnnAGNPS 모형의 유출해석능력을 다양한 규모와 형태를 가진 유역을 선택하여 평가해 보았다.

본 연구에 사용된 유역은 호주에 위치한 세 유역으로서 산림지가 대부분인 Burke River 유역, 주거지역으로서 도시화된 Leura Falls Creek 유역과 목초지가 대부분인 Whiteheads Creek 유역을 선택하여 각각 유출모의를 실시하였다. 대유역인 Burke River-유역은 좋은 예측 결과를 보여주었지만 Leura Falls Creek 유역과 Whiteheads Creek 유역의 경우는 기대에 못 미치는 결과를 나타내었다. 그것은 Whiteheads Creek 유역과 Leura Falls Creek 유역과 같은 소규모 유역에는 모형이 모의에 사용한 일단위 시간(time scale)보다 강우에 대한 유역의 실제 반응시간이 훨씬 짧기 때문이다. 특히 AnnAGNPS

모형은 일단위(daily basis) 모의시간간격을 사용함으로써 하루보다 짧은 시간 내에 발생할 수 있는 복합점두치(mutiple peak flow)를 가지는 복합강우사상을 표현하는 기능이 없다. 따라서 AnnAGNPS 모형을 포함한 일단위를 모의시간으로 사용하는 모형의 사용 시 유역의 크기, 강우에 대한 유역의 반응시간, 강우의 특성 등을 잘 고려하여 사용하여야 정도 높은 모의 결과를 얻을 수 있을 것이다. 유출해석에 CN방법을 사용하는 것 또한 문제점으로 발견되었다. 정확한 유출해석이 필요한 경우에는 CN 방법이 너무 단순하고 간단하기 때문에 유역의 다양한 특성들을 세밀히 표현해 내기에는 턱없이 부족하기 때문이다. 또한 지역적 특성에 맞는 CN의 구축이 되어있지 않은 관계로 신중한 초기치 선택이 요구되어지며 따라서 주검정대상으로 고려해야 할 것이다.

결론적으로 모형은 모의 목적과 용도에 따라 선택되어야함은 물론이며 이와 더불어 모의하고자하는 유역의 특성을 잘 반영할 수 있는 기능을 가진 것으로 선택하여야 원하는 결과를 얻을 수 있으리라 본다. 

참고문헌

- Armstrong, J. L., D.H. Mackenzie and K. Edwards. 1995. Catchment scale erosion prediction for land management planning, Australian Journal of Soil and Water Conservation. 8(2):29-40.
- Bagnold, R.A. 1996. An approach to the sediment transport problem from general physics. U.S. Geological Survey, Professional Paper No. 422-J.
- Boughton, W.C. 1989. A review of the USDA SCS curve number method, Australian Journal of Soil Research. 27:511-523.
- Frere, M.H., J.D. Ross and L.J. Lane. 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):65-86.
- Renard, K.G., G.R. Foster, G.A. Weesies, D.K., Mccool and D.C. Yoder. co-ordinators. 1997. Predicting soil erosion by water: A guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss Equation(RUSLE). US. Department of Agriculture, Agriculture Handbook No. 703, 404pp.
- Theurer, F.D. and C.D. Clarke. 1991. Wash load component for sediment yield modelling. In Proceedings of the fifth federal interagency sedimentation conference, March 18-21, 1991. pp7.1-7.8.
- USDA, Soil Conservation Service. 1972. National Engineering Handbook, Section 4, Hydrology, Chapter 4, Washington, D.C.. 4.10pp, 4.16pp, 4.19pp. 