

주차장 지역에서의 유출 및 수질모의를 위한 강우유출수 개선모형 적용성 평가

정민재, 박기정, 김환석, 김덕우, 윤재영
고려대학교 환경공학과
e-mail:jyoon@korea.ac.kr

Evaluation of the Applicability of Stormwater Improvement Model for the Estimation of Wash-off Pollutant in Parking Lot

Min-Jae Jung, Gi-Jung Pak, Hwan-Suk Kim, Deok-Woo Kim,
Jae-Young Yoon
Dept. of Environmental Engineering, Korea University

요 약

도시지역의 도로, 교량 및 주차장과 같은 포장지역은 작은 면적이지만 강우 시 다른 토지이용에 비해 강우 유출량이 높고, 상수원인 하천의 중 및 횡방향으로 존재하기 때문에 직접적인 오염 원인으로 작용하고 있다. 이에 대한 대책으로 최적관리기법(Best Management Practices, BMP) 또는 저영향개발(Low Impact Development, LID)과 같은 관리 방안을 적용하여 강우에 의해 발생하는 강우유출수와 비점오염물질을 동시에 저감하는 방안이 연구되고 있으나, 모델링을 통한 비점오염물질 배출량의 정량화와 저감시설의 성능평가에 대한 연구는 부족한 실정이다. 본 연구에서는 주차장 지역에서 발생하는 비점오염물질의 배출량 모의 가능성을 평가하기 위해 국내·외에서 강우유출수의 모의와 저감시설의 성능평가에 많이 사용되고 있는 MUSIC(Model for Urban Stormwater Improvement Conceptualization) 모형과 SWMM(Storm Water Management Model) 모형을 이용하여 강우유출수 수문·수질 모의를 실시하여 각 모형의 적용성을 평가한 결과, 두 모형 모두 총 유출체적 오차가 $\pm 6\%$ 이내로 수문모의에 대한 적용성이 우수하게 나타났지만, 수질의 경우 SWMM 모형이 MUSIC 모형에 비하여 오염물질의 배출량을 실측치와 가깝게 모의함으로써, 결과적으로 대상지역에 대해 SWMM 모형이 MUSIC 모형에 비해 주차장의 초기우수현상을 더 잘 재현하는 것으로 나타났다.

1. 서론

도시화의 영향으로 건설된 도로, 교량 및 주차장과 같은 포장지역은 작은 면적에 비해서 강우 시 다른 토지이용에 비해 강우 유출량이 높고, 상수원인 하천의 중 및 횡방향으로 존재하기 때문에 직접적인 오염 원인으로 작용하고 있다. 또한 지속적인 차량의 운행으로 인한 오염물질의 축적이 타 토지이용에 비해 심각하며, 강우시 초기에 고농도로 유출되는 특징, 즉 초기우수 현상(first flush effect)을 가지고 있기에 비점오염원 중에서 관심이 높다(김이형과 이선하, 2005). 현재 국내의 경우, 경제성장에 따른 생활수준의 향상으로 인해 자동차 등록대수와 주차장 면적을 필요로 하는 건축물이 매년 증가함에 따라 주차장 면적 역시 증가하는 추세에 있어(박상우, 2009), 주차장에서 발생하는 비점오염을 저감하기 위한 대책이 필요할 것으로 전망된다.

이러한 대책으로는 우선 주차장내에서 강우에 의해 발생하는 유출량 및 비점오염물질 발생량에 대한 정

량적인 산정과 관련한 연구와, 산정된 발생량을 토대로 최적화관리기법(Best Management Practices, 이하 BMP) 및 저영향개발(Low Impact Development, 이하 LID)과 같은 관리 방안을 적용하여 강우유출수와 비점오염물질을 저감하는 연구가 수행되고 있다(Bannerman et al, 1993, Rushton, 2001; Brodie and Dunn, 2010).

강우-유출 모의와 BMP 설치에 따른 저감효과를 산정하고자 하는 연구는 SWMM, MUSIC 모형 등과 같은 여러 강우유출개선 모형을 이용하여 연구가 수행되어왔다(Houton, 2006; Lioyd 등, 2002). 이들 사례에서는 BMP적용에 따른 오염물질 저감효과를 산정하는 연구를 수행하였지만, 투수지역과 불투수지역을 모두 포함한 유역단위의 적용이 이루어져, 주차장과 같은 소규모 불투수지역에서 발생하는 오염물질과 BMP 저감효과를 정량적으로 산정한 사례는 보고된바 없다.

본 연구에서는 주차장 지역에서 발생하는 비점오염

물질의 배출량 모의 가능성을 평가하기 위해 국내·외에서 강우유출수의 모의와 저감시설의 성능평가에 많이 사용되고 있는 MUSIC과 SWMM 모형을 이용한 강우유출수의 수문·수질 모의를 통해 주차장 지역에서 발생하는 비점오염물질의 배출량 모의 가능성을 평가하고자 한다.

2. 연구방법

2.1. 강우유출수 개선모형

국내·외에서 강우유출수의 모의와 저감시설의 성능평가에 사용되고 있는 모형으로는 Ann-AGNPS, HSPF, MUSIC, SWMM 등의 모형이 활용되고 있으며, 공통적으로 이들 모형은 유역에서 발생하는 비점오염물질에 대한 수문·수질 모의와 BMP를 이용한 저감효과를 모의가 가능한 모형이다.

본 연구를 수행하기 위한 적정 모형은 초기유출을 구체적으로 모의할 수 있는 모의시간 간격이 일(day)이하인 모형이어야 하며, 대상유역에 적용할 다양한 BMP(투수성 포장, 식생수로, 식생저류지 등)를 모의할 수 있어야 한다. 미국 EPA에서 개발된 SWMM 모형(Rossmann, 2010)과 호주 CRCCH(CRC for Catchment Hydrology)에서 개발된 MUSIC 모형(MUSIC development team, 2011)은 이러한 조건을 충족하는 동시에 다양한 BMP(MUSIC: 11개, SWMM: 5개)를 모의할 수 있어 국내·외에서 많이 사용되고 있는 강우유출수 개선모형이다.

2.2 대상유역

본 연구의 대상유역은 충청남도 보령시 신후동 대천항 주차장으로 대천항에 바로 인접하여 있으며 면적은 0.63ha이고, 면적 대부분이 아스팔트로 포장되어 있는 대표적인 불투수지역이다. 강우시 발생한 유출수는 배수로를 따라 말단부에 위치한 유출부에서 소하천으로 유입되어 약 200m 정도 떨어져있는 연안으로 배출되어 연안수질에 직접적인 영향을 미칠 수 있는 지역이다.



[그림 1] 대천항 주차장 강우유출수 배출경로

2.3 강우자료 및 모니터링 방법

본 연구에서 사용된 강우자료는 유출부에 설치한 이동식 우량계(HOBO Data Logging Rain Gauge - RG3-M, USA)의 관측치를 활용하였고, 대상유역 내 유량측정은 유출부 수로에서 직접 체적유량을 측정하는 방법을 이용하였으며, 채취된 수질시료는 TSS, TN, TP 항목에 대해 실험이 수행되었다. 단, 2011년 10월 14일 강우사상의 경우에는 이동식 우량계를 설치할 시간이 충분치 못함에 따라 현장 실측자료를 얻지 못하여 대천항 인근의 기상청 지역별상세관측소(Automatic Weather System)자료를 이용하였다.

[표 1] 대상유역 강우사상 특성

강우사상	강우지속기간	총 강우량(mm)
2011년 8월 7일	08:48 ~ 23:54	14.0
2011년 10월 14일	09:36 ~ 15:18	3.5

강우유출수의 수질분석은 한서대학교에서 수행되었으며, TSS의 경우에는 standard method 2540d (Total suspended solids)에 준하여 분석하였으며, 총질소(T-N, total nitrogen)와 총인(T-P, total phosphorous)의 경우 흡광광도법을 이용하여 분석하였다.

2.4 입력 매개변수

SWMM의 경우 유역의 유출관련 매개변수로 유역면적, 유역폭, 지면경사, 불투수면적, 지면 조도계수, 지표면 저류 및 침투 관련 매개변수가 있다. MUSIC의 경우에는 유역을 하나의 저류지로 간주하여 유출을 모의하기 때문에 유역폭과 지면경사 및 지면 조도계수를 제외한 유역면적, 불투수면적, 지표면 저류, 침투 관련 매개변수를 가진다. 유역에서의 오염물질 배출과 관련한 매개변수로써 SWMM은 모의하고자 하는 오염물질을 직접 설정하기 때문에 입력이 필요하지만, MUSIC은 기본적으로 모의 가능한 오염물질로 TSS, TN, TP가 고정되어 별도의 입력이 필요없다. SWMM은 오염물질의 축적 및 쓸림현상을 확정론적인 방법으로 모의하여 적용한 함수와 관련된 매개변수가 필요하지만, MUSIC은 오염물질 쓸림현상을 추계학적 방법으로 모의하기 때문에 유역에서 발생하는 오염물질의 평균 배출 농도와 표준편차 및 상관계수를 매개변수로 필요로 한다.

3. 모의결과

3.1. 적용성 평가 지표

주차장 지역에서 발생하는 비점오염물질의 배출량 모의 가능성을 평가하기 위해 실측치와 두 모형을 통해 얻은 모의치간의 총 체적(총 부하) 오차(%)와 R-square값 및 수문모형을 평가하는 지표로서 가장 널리 사용되고 있는 함수로 알려져 있는 NSE (Nash-Sutcliffe Efficiency) 값을 이용하였다.

3.2. 수문모의 결과

수문모의를 통해 두 모형의 적용성을 비교분석한 결과, 총 유출체적 오차의 경우 두 모형 모두 ±6% 이내로 적용성이 우수하게 나타났다.

[표 2] 모형별 수문모의 적용성 평가

		체적 오차(%)	R ²	NSE
2011/8/7	SWMM	+2.9 %	0.942	0.939
	MUSIC	+4.9 %	0.929	0.936
2011/10/14	SWMM	-5.7 %	0.732	0.716
	MUSIC	-4.6 %	0.491	-0.443

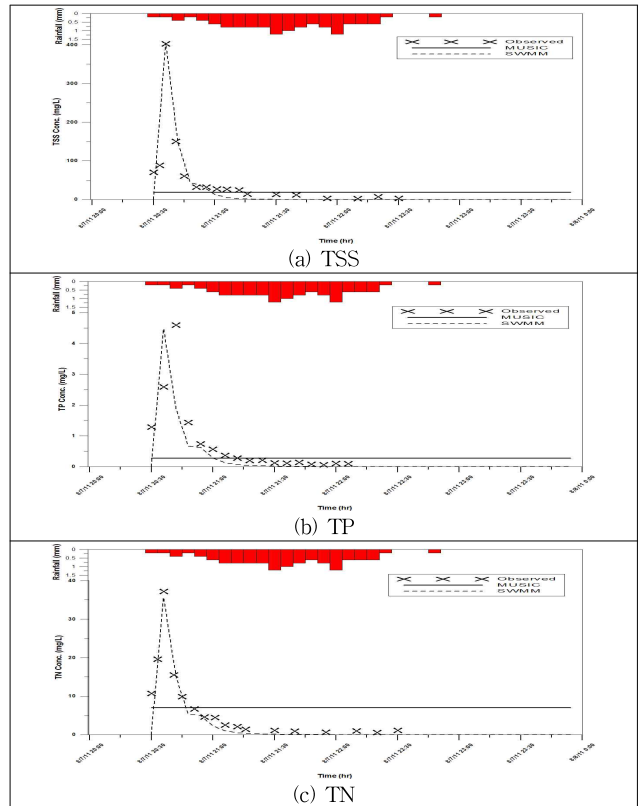
단, 5mm 이하의 강우사상에 대해서는 SWMM이 MUSIC보다 적용성이 좀 더 우수한 것으로 나타났다. 이러한 결과는 강우유출모의 과정에서 SWMM이 MUSIC에 비하여 유역경사를 비롯하여 불투수면 적에서의 초기손실 및 초기손실 적용비율, 표면 조도계수와 같은 불투수층 관련 매개변수들을 통해 강우에 의한 유출을 보다 다양하게 구현할 수 있는 점에서 기인하는 것으로 판단된다.

3.3. 수질모의 결과

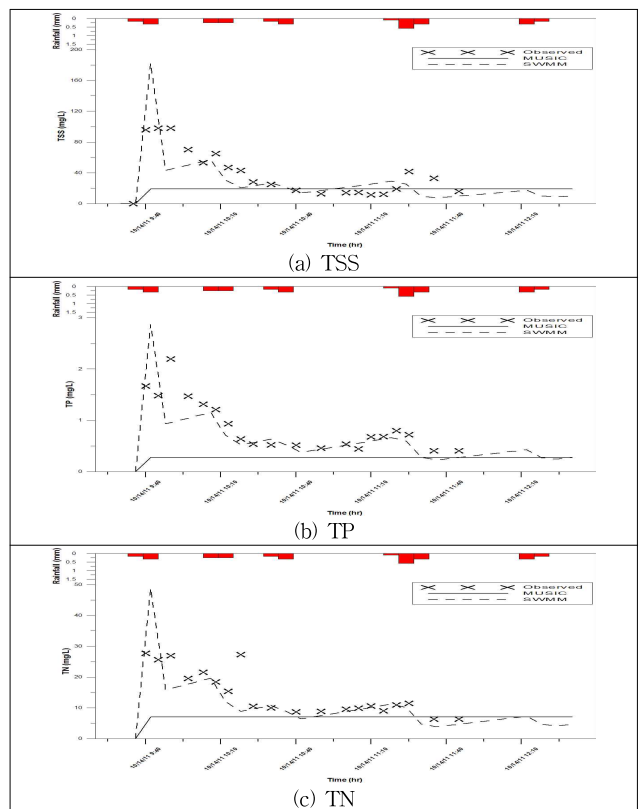
SWMM을 통해 수질모의를 수행한 결과, 유출수내 각 오염물질별 총 부하 오차는 -40% 이내로 산정되어 각 항목별로 실측치와 다소 차이가 있는 것으로 분석되었지만, R²값은 0.645 ~ 0.927, NSE값은 0.547 ~ 0.899로 분석되어 시간에 따른 오염물질의 농도를 잘 구현하고 있는 것으로 나타났다.

MUSIC 모형의 경우에는 -54.9% ~ 365.0% 범위로 총 부하 오차가 발생하였으며, 이와 더불어 시간에 따른 오염물질의 농도도 실측치와 차이가 있는 것으로 나타났다. 이는 MUSIC을 이용하여 수질모의할 때 SWMM의 경우처럼 build up과 wash-off 함수를 이용하지 않고 모니터링을 통해 분석된 유출수질농도의 평균통계치인 EMC값을 이용하여

수질농도의 시계열값이 시간에 따라 일정하게 모의되었기 때문이라 판단된다.



[그림 2] 모형별 수질모의 결과(2011년 8월 7일)



[그림 3] 모형별 수질모의 결과(2011년 10월 14일)

4. 결론

본 연구에서는 강우유출수 개선모형인 MUSIC과 SWMM 모형을 이용하여 주차장 지역에서 발생하는 비점오염물질의 배출량 모의 가능성을 평가하고자 두 강우사상에 대한 강우유출수의 수문·수질 모의를 실시하였다.

- ① 수문모의를 통해 두 모형의 적용성을 비교분석한 결과, 전반적으로 두 모형 모두 적용성이 우수하게 나타났으나, SWMM이 MUSIC에 비하여 좀 더 수문현상을 구체적으로 모의할 수 있는 가능성이 큰 것으로 판단된다.
- ② 수질모의를 수행하는데 있어서 SWMM의 경우에는 build up과 wash-off 함수를 이용하였으며, 총 부하 오차가 실측치와 다소 차이가 있었지만 오염물질농도 곡선을 잘 구현하는 것으로 나타났다. EMC값을 이용하여 수질 모의를 수행한 MUSIC의 경우에는 농도곡선을 재현하는데 한계가 있었으며, 이에 따라 총 부하 오차 역시 SWMM에 비하여 크게 산정된 것으로 판단된다.
- ③ 수질 모의 결과를 토대로 초기우수현상을 좀 더 잘 재현하는 SWMM 모형이 MUSIC 모형에 비하여 적용이 좀 더 유리할 것으로 예상되지만, 두 모형간의 초기우수현상의 재현성의 차이는 수질모의 기법차이에서 기인되기 때문에 두 모형간의 적용가능성을 단순비교하기에는 어렵다고 판단된다.

감 사 의 글

본 연구는 국토해양부 지역기술혁신사업의 연구비 지원('09지역기술혁신 B-01)에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

- [1] 김이형, 이선하, "주차장 및 교량지역의 강우유출수내 비점오염물질의 특성 비교 및 동적 EMCs", 한국물환경학회지, 21(3), pp. 248~255, 2005.
- [2] 박상우, "외국의 주차수요관리방안과 시사점", 한국교통연구원, 2009.
- [3] Bannerman, R. T., Owens, D. W., Dodds, R. B., "Sources of pollutants in Wisconsin stormwater", Water Science and Technology, 28(3~5) pp. 241~259, 1993.
- [4] Brodie, I. M. and P. K. Dunn, "Commonality

of rainfall variables influencing suspended solids concentrations in storm runoff from three different urban impervious surfaces", Journal of Hydrology, 387(3~4), pp. 202~211, 2010.

- [5] Houston, E. B., "The Use of Stormwater Modeling for Design and Performance Evaluation of Best Management Practices at the Watershed Scale", Virginia Polytechnic Institute and State University. Master Thesis, 2006.
- [6] Lioyd, S. D., T. H. F. Wong., and C. J. Chester- field., "Water sensitive urban design - a stormwater management perspective, Industry Report 02/10", Cooperative Research Centre for Catchment Hydrology, Melbourne, Australia, 2002.
- [7] MUSIC development team, "Manual for MUSIC Version 5", 2011.
- [8] Rossman, L. A., "Storm Water Management Model Version 5.0, User's Manual", EPA/600/R-05/040, U.S. EPA, Cincinnati, OH, 2010.
- [9] Rushton, B. T., "Low-impact parking lot design reduces runoff and pollutant loads", Journal of Water Resources Planning and Management, 127(3), pp. 172~179, 2001.