

# 바이모달 트램 모의운행지역에서의 강우에 대한 노선침수 예측

## Prediction of Lane Flooding on a Model Site for Rainfall Safety of Rubber-tired Tram

박영곤\*      윤희택\*\*      임경재\*\*\*      김종건\*\*\*      박윤식\*\*\*      김태희\*\*\*\*  
Park, Young-Kon Yoon, Hee-Taek Lim, Kyoung-Jae Kim, Jong-Gun Park, Youn-Shik Kim, Tae-Hee

---

### ABSTRACT

Urban flooding with surcharges in sewer system was investigated because of unexpected torrential storm events these days, causing significant amounts of human and economic damages. Although there are limitations in forecasting and preventing natural disasters, integrated urban flooding management system using the SWMM(Storm Water Management Model) engine and Web technology will be an effective tool in securing safety in operating rubber-tired transportation system.

In this study, the study area, located in Chuncheon, Kangwon province, was selected to evaluate the applicability of the SWMM model in forecasting urban flooding due to surcharges in sewer system. The catchment are 21.10 ha in size and the average slope is 2% in lower flat areas. Information of subcatchment, conjunctions, and conduits was used as the SWMM interface to model surface runoff generation, water distribution through the sewer system and amount of water overflow. Through this study, the applicability of the SWMM for urban flooding forecasting was investigated and probability distribution of storm events module was developed to facilitate urban flooding prediction with forecasted rainfall amounts. In addition, this result can be used to the establishment of disaster management system for rainfall safety of rubber-tired tram in the future.

---

### 1. 서 론

그동안 해외 여러 나라에서 기존 교통수단의 단점을 극복하고자 많은 시도가 있었으나, 그 중 버스가 갖고 있는 유연성을 살리면서 동시에 고속성을 보장함으로써 저비용으로 양질의 서비스를 제공할 수 있는 간선급행버스체계(Bus Rapid Transit, BRT)는 많은 성공을 거두어 오고 있다. 미국을 비롯한 해외의 여러 지역에서 운영되고 있는 이러한 시스템은 지하철이나 경전철보다 적은 수준의 건설비로 예산 절감에 기여함과 더불어 전용차로를 통한 통행속도 향상, 정시성 제고, 그리고 환승시설 및 승강장 개선을 통한 서비스 개선 등의 효과를 보이고 있다.

이러한 간선급행버스체계의 일환인 바이모달 트램 시스템은 한 단계 업그레이드된 교통시스템이다. 대중교통 지향적, 친환경적, 인간중심적인 첨단교통의 새로운 모델인 바이모달 트램 시스템은 그 역할 수행과 함께 운행에 대한 안전성 확보가 우선시 되어야 한다. 이를 위해서 효과적인 재난방재시스템이 구축되어야 하며, 바이모달 트램 시스템 목적에 맞는 방재 시스템의 구축 범위를 결정해야 한다.

본 연구는 우리나라의 기후적 특성으로 가장 빈번하게 발생하며, 그 피해 또한 막대하여 중점적인 대비책이 요구되는 집중호우로 인한 침수피해에 대한 범위로 연구의 범위를 설정하였다.

---

\* 한국철도기술연구원, 바이모달수송시스템연구단, 정회원

E-mail : ykpark@krii.re.kr

TEL : (031)460-5384 FAX : (031)460-5649

\*\* 한국철도기술연구원, 바이모달수송시스템연구단

\*\*\* 강원대학교, 농업공학부

\*\*\*\* 한국건설교통기술평가원, 교통사업본부

## 2. 모의운행지역 선정 및 입력자료

본 연구에서는 모의운행지역으로 강원도 춘천시 효자동 춘천 지방 법원 지역에 위치하고 있는 합류식 관거지역을 선정하여 SWMM(Storm Water Management Model)의 적합성을 검토하였고, 최종 개발될 Web 기반의 재해방지시스템을 위한 확률강우량 - 설계강우량 모듈을 개발하였다. 모의운행지역의 총 배수 면적은 21.10ha이고, 지형의 평균 경사도는 2%이다. 구역 내 시가지 유형은 대부분 주거 지역으로 구성되어 있고, 주거형태는 2~4층 정도의 다세대 주택이 대부분을 차지하고 있다. 이 지역의 차집관거는 크게 2개의 줄기로 구성되어 있고, 종단부는 춘천시 공지천으로 흘러들어가게 설계되어 있다.

강우로 인한 침수를 모의하기 위해서는 먼저, 대상 지역의 지형자료를 구축해야 하는데, 본 연구에서는 1:1,000 수치지도의 등고선 자료를 이용하였다. 그러나 수치지도 1:1,000의 등고선은 1m 간격으로 정밀도가 많이 떨어지기 때문에 0.1m 간격 등고선을 선형 보간하여 지형자료를 구축하였다. 확률강우량에 따른 침수지역 예측에 사용된 최종자료는 그림 1과 같이 같다. 그림은 수치지도의 등고선 자료, 맨홀 실측 고도자료, 그리고 추가로 구축된 고도자료를 이용하여 대상 지역에 대해 구축한 DEM(Digital Elevation Model) 자료이다.



그림 1. 대상 유역에 대해 구축된 DEM(Digital Elevation Model) 자료

SWMM에서 필요한 입력자료는 크게 소배수구역(Subcatchment), 맨홀(Junction), 하수관(Conduit), 그리고 강우 자료가 있다. 우선 본 연구의 전체 배수구역에 있어서 1:1,000 수치지도와 직접 현장 측량 작업을 통해 강우에 의한 유출유형을 파악하여 27개의 소배수구역으로 분할하였다. 각 소배수구역에 대해 면적, 너비, 평균 경사도, 불투수층의 비율, 투수/불투수층의 조도계수 등을 사전 조사하여 모형에 대입하였고, 불투수층의 비율은 현장조사를 통하여 각 소배수구역에 해당 불투수 면적비를 산출하여 입력하였다. 맨홀(Junction)은 1:1,000 수치지도상의 맨홀 위치를 파악하여 SWMM의 Map 위에 96개의 맨홀 위치를 설정하여 맨홀 깊이, Invert Elevation 등을 입력하였고, 하수관(Conduit)은 맨홀과 맨홀사이를 연결하여 101개의 하수관을 생성하여 하수관의 길이, Inlet Offset, Outlet Offset, 관경, 관의 종류 등을 입력하였다.

## 3. 확률강우량에 따른 설계강우량 산정 모듈 개발

최근 지구온난화로 인하여 시간당 200mm 이상의 폭우와 같이 예기치 못한 집중호우로 도시지역에

서의 내수 침수가 빈번히 발생하고 있다. 이를 위해서는 바이모달 트램 운영시 재현기간-지속시간별 확률강우량에 따른 예상 내수 침수현황을 모의하여 바이모달 트램 운영의 안정성을 확보하는 것이 필요하다.

따라서 본 연구에서는 SWMM 인터페이스의 구조를 조사·분석하여, 확률강우량에 따른 설계강우의 시간분포를 자동으로 산정하였고, 이를 SWMM 인터페이스에서 자동으로 인식할 수 있는 프로그램을 그림 2와 같이 작성하였다. 즉, 재현기간-지속시간에 따른 확률강우량을 산정하고, 이를 이용하여 분단위 강우시간 분포를 작성하기 위해서는 HUFF의 강우-시간분포 방법을 이용하였다.

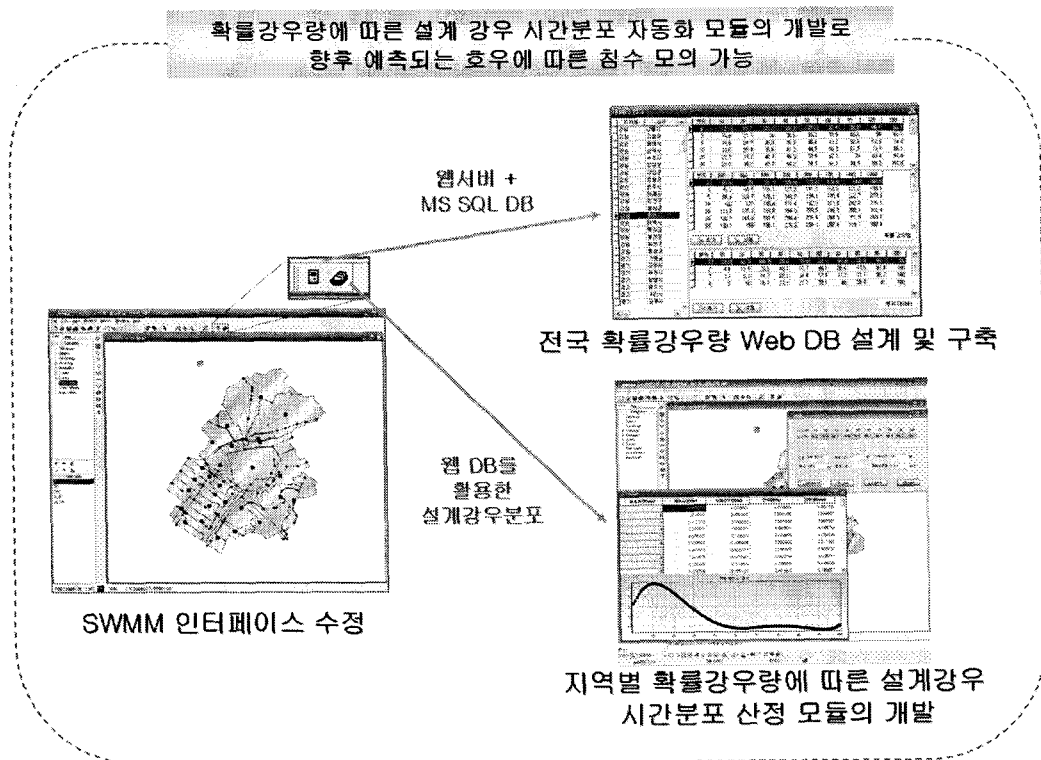


그림 2. SWMM - 확률강우량에 따른 설계강우량 시간분포 산정 모듈의 개발

#### 4. 재현기간별 침수모의 결과

본 연구에서 개발된 설계강우량 산정 모듈을 이용하여 재현기간 2년, 30년, 100년 빈도의 1분 단위 강우자료를 이용하였고, 그림 3에서 보이는 바와 같이 빈도별 연구지역의 유출 유형을 파악하여 침수지역을 모의하였다. 그림에서 붉은 원은 내수침수가 발생한 후의 맨홀 및 하수관의 단면을 나타낸다. 또한 본 연구에서는 설계 목적으로 4분위 자료를 이용하여 도시지역 침수를 분석하였으며 본 모형을 통해 시간에 따른 각 소비수구역, 하수관, 맨홀에서의 유출특성을 볼 수 있었다.

재현기간별 침수모의 결과, 재현기간이 커질수록 유출량의 차이가 각각  $0.6\text{m}^3/\text{s}$ ,  $1.0\text{m}^3/\text{s}$ ,  $1.1\text{m}^3/\text{s}$ 로 증가하였고, 시설물 침수우려는 크게 증가하였다.

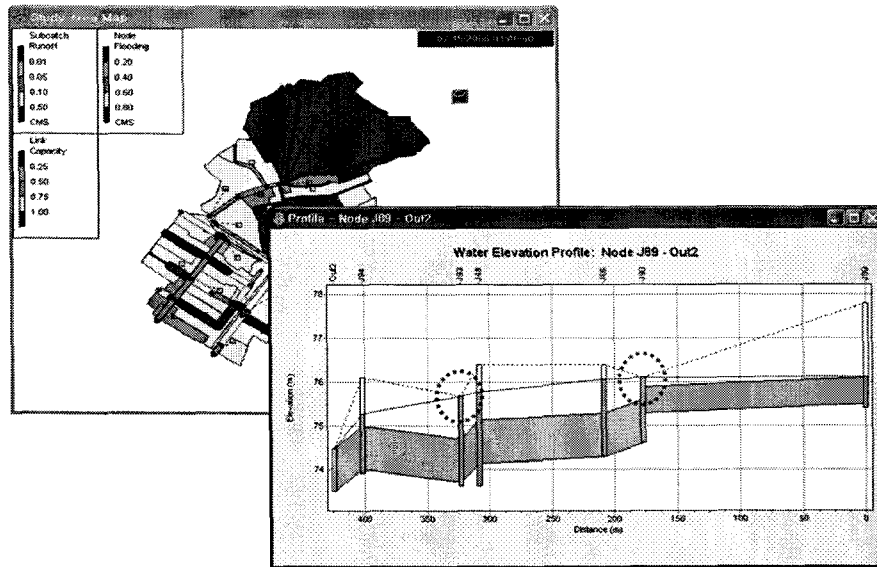


그림 3. SWMM 모형을 이용한 모의운행지역에서의 노선침수 예측

## 5. 결 론

바이모달 트램 차량의 운행시 이상강우에 따른 전용선로의 침수상태를 예측하기 위해 강원도 춘천시 효자동 춘천 지방 법원 지역을 모의운행지역으로 설정하였다. 본 지역은 합류식 관거지역으로 총 배수 면적은 21.10ha이고, 지형의 평균 경사도는 2%이다. 구역 내 시가지 유형은 대부분 주거 지역으로 구성되어 있고, 주거형태는 2~4층 정도의 다세대 주택이 대부분을 차지하고 있다. 강우로 인한 침수를 모의하기 위한 대상 지역의 지형자료 구축을 위해 수치지도의 등고선 자료, 맨홀 실측 고도자료, 그리고 추가로 구축된 고도자료를 작성하였고 최종 구축된 DEM(Digital Elevation Model) 자료를 토대로 확률강우량에 따른 침수지역을 예측하였다. 강우에 대한 노선예측을 위해 SWMM(Storm Water Management Model)을 사용하였는데, 입력 자료로는 소비수구역(Subcatchment), 하수관(Conduit), 맨홀(Junction) 그리고 강우 자료 등을 사용하였다. 재현 기간 2년, 30년, 100년 빈도 강우강도로 인한 대상 지역의 모의 결과, 모든 경우에 있어 하류 하수관에서 많은 유량이 발생하여 침수의 우려가 있음을 알 수 있었고, 일부 하수관거의 경우 시설물 침수에 대비해야 할 필요가 있는 것으로 판단되었다.

본 연구결과는 향후 바이모달 트램 차량의 운행시 노선침수를 정확히 예측하고, 현재 개발 중인 이상기후에 대한 재난방지시스템과 연계되어 트램 차량의 안전운행 확보에 크게 일조할 수 있을 것으로 예상된다.

## 참고문헌

1. 한국철도기술연구원(2007), “신에너지 바이모달 수송시스템 개발” 기획보고서
2. 행정자치부 국립방재연구소(2003), “GIS를 이용한 재해관리체계 구축에 관한 연구”
3. Federal Transit Administration, 2001. “Transit Bus Safety Program”, Task 3, Development of a Model Transit Bus Safety Program. Draft Report, July 16, 2001.
4. U. S. Department of Transportation, Feb. 1995. “Recommended Emergency Preparedness Guidelines for Urban, Rural, and Specialized Transit Systems”, UMTA-MA-06-0196-91-1 DOT-VNTSC-UMTA-91-1.