겨울철 융설을 대비한 바이모달 트램 재해관리 시스템의 SWMM 모형 적용성 평가

Evaluation of SWMM Model Adjustment for Rubber-tired Tram Disaster Management System against the Snow-melt during the Winter

김종건* 박영곤** 윤희택** 박윤식*** 장원석*** 유동선*** 임경재***

Jonggun Kim, Youngkon Park, Heetaek Yoon, Younshik Park, Wonseok Jang, Dongseon Yoo, Kyoung Jae Lim

ABSTRACT

Increasing urban sprawl and climate changes have been causing unexpected high-intensity rainfall events. Thus there are needs to enhance conventional disaster management system for comprehensive actions to secure safety. Therefore long-term and comprehensive flood management plans need to be well established. Recently torrential snowfall are occurring frequently, causing have snow traffic jams on the road. To secure safety and on-time operation of the Bi-modal tram system, well-structured disaster management system capable of analyzing the urban flash flooding and snow pack melt/freezing due to unexpected rainfall event and snowfall are needed. To secure safety of the Bi-modal tram system due to torrential snowfall, the snow melt simulation capability was investigated. The snow accumulation and snow melt were measured to validate the SWMM snow melt component. It showed that there was a good agreement between measured snow melt data and the simulated ones. Therefore, the Bi-modal tram disaster management system will be able to predict snow melt reasonably well to secure safety of the Bi-modal tram system during the winter. The Bi-modal tram disaster management system can be used to identify top priority area for snow removal within the tram route in case of torrential snowfall to secure on-time operation of the tram. Also it can be used for detour route in the tram networks based on the disaster management system predicted data.

1. 서 론

과거부터 우리나라는 여름철 집중호우로 인한 수많은 재해를 받고 있으며 겨울철 많은 강설로 인해 농가의 큰 피해나 도로의 고립 및 결빙 등으로 교통의 지체와 같은 재해에 시달리고 있다. 폭설은 그 특성상 집중호우에 비해 인명피해는 상대적으로 작지만 재산피해는 여름철 집중호우 못지않게 규모가 크다. 강우 못지않게 겨울철 적설이나 융설 고려가 과거 여러 연구에서 제시된 바 있다. 배덕효와 오재호(1998)의 연구에 의하면 융설 모형의 사용 유무에 따라 특히 장기 유출 모의 시 토양 수분 및 하천 유량에 미치는 영향은 매우 다르기 때문에 융설을 고려해야 보다 타당한 모의가 가능하다고 제시한 바 있다. 겨울철 폭설이 내리면 도로면이 영하로 떨어져 노면에서 얼거나 눈이 쌓이면 타이어의 제동력이 더욱 떨어져 교통 대란이 발생하게 되고, 차량 흐름이 지체되어 교통사고도 잦아지게 된다. 국내에서는 선진국에서 사용하고 있는 습염살포(Pre-wetted salt spreading)식 제설 방법을 2000년부터 도

* 한국철도기술연구원, 바이모달수송시스템연구단, 정회원
E-mail : ykpark@krri.re.kr
TEL : (031)460-5384 FAX : (031)460-5649
** 한국철도기술연구원, 바이모달수송시스템연구단, 정회원
*** 강원대학교, 농업공학부, 비회원

입하여 2004년부터 확대 적용 실시하고 있다. 그러나 지금까지는 진지한 연구 및 실험을 통하여 현장에 적용되기 보다는 경험에 의한 적용사례가 훨씬 많았다. 겨울철 도로 운전자의 안전과 국가 물류망의 기본인 도로의 원활한 소통을 위하여 좀 더 합리적이고 과학적인 접근이 시급하다. 현재 여러 나라에서 도시지역 교통수단으로 버스의 유연성과 지하철이나 경전철의 고속성을 보장함으로서 저비용으로 양질의 서비스를 제공할 수 있는 간선급행버스체계가 많은 성공을 거두어 오고 있다. 우리나라에서는 간선급행버스체계의 일환인 바이모달 트램 시스템이 대중교통 지향적, 친환경적, 인간중심적인 첨단교통의 새로운 모델로 우선적으로 신도시를 대상으로 시범 운행예정에 있다. 향후 실제 바이모달 트램 시스템의 운행에 있어 운행 노선에 대한 효과적인 재난 방재 시스템을 구축하여 운행의 안전성 확보가 우선시 되어야 한다(박 등, 2007). 이러한 재난 방재 시스템 관련 여러 컴퓨터 모델들이 개발되고 있으며 현재 바이모달 트램 안전 운행을 위해 개발 중인 재해관리 시스템의 강우-유출 그리고 관거해석을 위한 핵심 엔진으로 SWMM(Storm Water Management Model) 5.0 모형이 이용되고 있다. 기존 연구에서 SWMM 모형을 이용하여 강우로 인한 도시지역 수문 분석 및 침수 예측에 관한 연구는 다수 이루어져 왔으나 도시지역의 융설 모의 시 융설 매개변수와 융설 접근방식을 사용하고 있으며(C. Valeo and C.L.I. Ho, 2004) 융설 모의에 있어 양달과 응달의 분할 모의에 관한 연구는 전무한 실정이다. 그로인해 도시지역 융설 모의의 적절한 매개변수의 선정이 필요하며 융설의 도로부분 적용에 있어 양달과 응달의 융설 정도가 상이하게 나타나기 때문에 이에 대한 분할 모의가 필요한 실정이다.

따라서 본 연구의 목적은 양달과 응달 지역에서의 SWMM 융설 모듈의 적용성을 평가함으로써 향후 예기치 못한 폭설에 대해 트램의 운영 안정성과 정시성을 확보하기 위한 바이모달 트램 재해관리 시스템 융설 모듈로 활용하는데 있다.

2. 본론

2.1 SWMM(Storm Water Management Model)의 개요

본 연구에서는 바이모달 트램 운행시 예기치 못한 폭설에 따른 노선 주변 양달과 응달 지역에서의 융설 평가를 위하여 미국 환경부에서 개발하여 배포하여 전세계적으로 널리 활용되고 있는 SWMM 5.0 모형을 적용하였다(Huber, W.C. and Dickinson, R.R., 1988). 본 모형은 단일 강우사상 및 연속적인 모의가 가능하고, 다양한 토지이용상태를 고려하여 수로에서의 유출량과 수질을 예측할 수 있는 모형이다. SWMM 모형의 지표면 유출은 비선형저류방정식을 이용해서 계산하고, 침투량산정은 Horton, Green-Ampt., 그리고 Curve Number (CN)방법을 사용하여 계산한다. 수리계산은 Runoff block의 경우 비선형저류방정식을 이용하고, Transport block은 Kinematic 방정식, Extran block은 Dynamic 방정식을 이용한다.

2.2 연구대상지역

현재 바이모달 트램 시스템은 개발중에 있으며, 2009년 상반기 시험선로 지역에 적용될 것이다. 따라서 실제 시험선로 지역에 적용하기 전에 바이모달 트램 재해관리 시스템의 융설 모듈 평가를 위해 강원도 춘천시 효자동에 위치하고 있는 합류식 관거 지역을 선정하여 융설 모듈 정확성을 평가하였다. 본 대상 연구지역의 총 배수 면적은 21.10 ha이고, 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. 본 연구에서는 향후 바이모달 트램 재해관리 시스템의 실제 적용을 위해 대상 연구지역내 도로를 대상으로 SWMM 모형 융설 적용성을 평가하였다.

2.3 SWMM 모형의 입력자료

SWMM에서 필요한 입력자료는 크게 소배수 구역(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 27 개의 소배수 구역으로 분할하였다. 또한, 각 소배수 구역에 대해 면적, 너비, 평균 경사도, 불투수층의 비율, 투수/불투수층의 조도계수 등을 사전 조사하여 모형에 대입하였고, 불투수층의 비율은 현장조사를 통하여 각 소배수 구역에 해당 불투수 면적비를 산출하여 입력하였다. 맨홀(Junction)은 1:1,000 수치지도상의 맨홀 위치를 파악하여 SWMM의 Map 위에 96 개의 맨홀 위치를 설정하여 맨홀 깊이, Invert Elevation 등을 입력하였고, 하수관(Conduit)은 맨홀과 맨홀사이를 연결하여 101 개의 하수관을 생성하여 하수관의 길이, Inlet Offset, Outlet Offset, 관경, 관의 종류 등을 입력하였다. 전체 27 개의 소배수 구역 중 바이모달 트램 모의 운행 구간인 도로부분에 있어 18 개의 양달 소배수 구역과 4 개의 응달 소배수 구역을 분할하였다. 또한 모의 시 적용된 강우자료는 겨울철 융설에 의한 모의를 위해 무강우 자료를 적용하였으며 강설 자료는 2007년 11월 21일, 2008년 3월 28일 겨울철 실제 눈이 왔을 때 모니터링을 통해 실측한 융설 깊이 자료를 적용하였다.

2.3 양달・응달 지역의 실시간 융설 모니터링

본 연구에서는 폭설 대비 바이모달 트램 시스템의 운행 안전성을 확보하기 위한 재해관리 시스템을 구축하기 위해 SWMM 5.0 모형의 융설 모듈을 활용하여 정확성을 평가하였다. 적설 및 융설에 의한 보다 객관적이고 합리적인 모의를 위해서는 연구 대상지역에서 양달과 응달의 분할 모의가 필요하다. 이는 양달과 응달 지역의 온도, 증발산량, 바람세기 등의 기상자료가 상이하게 나타나기 때문에 융설 되는 정도가 다르다. 따라서 본 연구에서는 양달과 응달 지역 분할 시 본 모의 대상 지역에 대해 현장 조사를 통해 연구 대상 지역 내 도로부분에 있어 주변 건물에 의해 가려져 응달인 지역을 시간대별로 분석하였다. 본 연구에서는 SWMM 5.0 모형을 활용한 적설 및 융설 모의를 위해 실제 겨울철 눈이 왔을 시 양달과 응달 지역에서의 온도에 따른 융설 깊이 변화를 모니터링 하였다. 모니터링 기간은 2007년 11월 21일 오전 9 시부터 오후 17 시까지 그리고 2008년 3월 28일 오전 10 시부터 오후 17 시까지 1 시간 간격으로 온도와 융설 깊이 변화를 측정하였다. 표 1은 2007년 11월 21일 양달과 응달 지역을 대상으로 1 시간 간격 온도와 적설 깊이를 모니터링한 결과를 보여준다. 여기서, 양달과 응달 지역에 있어 온도변화에 따라 융설 깊이가 상이가 나타나는 것을 볼 수 있다. 본 연구에서는 2007년 11월 21일 양달과 응달 지역을 대상으로 실측한 모니터링 자료를 바탕으로 초기 적설 깊이를 SWMM 모형에 적용하여 시간에 따른 융설 깊이 변화를 모의하였다. 또한 본 연구 대상 지역에 대해 SWMM 모형을 이용한 융설 모의에 필요한 모형의 보정 작업에 활용하였다.

표 1. 2007년 11월 21일 양달, 응달 지역 융설 모니터링 결과

	Sunny			Shady		
	Time	Temp	Depth	Time	Temp	Depth
1	9:50	0.0	6.0	9:55	0.0	8.7
2	11:00	0.9	6.0	11:05	0.9	8.7
3	12:06	3.1	5.6	12:05	3.0	8.4
4	13:00	4.0	5.0	13:02	3.3	7.8
5	14:55	5.0	3.2	14:57	5.5	7.5
6	15:55	3.5	2.7	15:55	3.0	7.2
7	16:55	2.0	2.0	17:00	2.8	7.0

또한 2008년 3월 28일 오전 10 시부터 오후 17 시까지 모니터링을 수행하였고, 표 2 는 1 시간 간격 온도와 융설 깊이를 모니터링한 결과를 보여주는 것이다. 표에서 보이는 바와 같이 양달 지역의 경우 시간에 지날수록 융설 정도가 크게 나타나는 반면 응달 지역의 경우는 융설 정도가 미세하게 나타난 것을 볼 수 있다. 본 연구에서는 2008년 3월 28일 실측한 모니터링 자료를 활용하여 SWMM 모형의 융설 모의 보정 매개변수에 대해 검정하였다.

표 2. 2008년 03월 28일 양달, 응달 지역 융설 모니터링 결과

	Sunny			Shady		
	Time	Temp	Depth	Time	Temp	Depth
1	11:00	4.5	6.6	9:55	0.0	8.7
2	12:00	5.0	5.8	11:05	0.9	8.7
3	13:00	5.3	5.2	12:05	3.0	8.4
4	14:00	6.1	3.8	13:02	3.3	7.8
5	15:00	5.0	2.8	14:57	5.5	7.5
6	16:00	3.5	2.1	15:55	3.0	7.2
7	17:00	2.0	1.9	17:00	2.8	7.0

3. 결 과

본 연구에서는 바이모달 트램 시스템 운행노선 대상 지역에 대해 융설 모의를 위한 SWMM 모형 융설 모듈 적용성을 평가하였다. SWMM 모형을 이용한 융설 모의 시 적용할 수 있는 매개변수에는 일조량, 바람세기, 온도 등 여러 인자가 있다. 여러 매개변수들에 대한 민감도를 분석한 결과 온도에 의한 모형의 모의치가 가장 민감하게 나타나는 것을 확인할 수 있어 본 연구에서는 온도의 매개변수 조절에 따른 융설 모의를 하였다. 이를 위해 실제 겨울철 눈이 왔을 시 양달과 응달에 대하여 온도에 따른 융설 깊이 변화 자료를 모니터링하여 이의 적용성을 평가하였다. 모형의 보정 결과 그림 1 과 2 에서 보이는 바와 같이 실측자료와 SWMM 모형을 이용한 시간에 따른 융설 깊이 변화의 모의치가 상당히 유사하게 모의된 것을 볼 수 있다. 이를 통해 온도의 매개변수 조정에 따른 SWMM 모형을 활용한 적설 및 융설 모의가 가능할 것으로 판단된다.

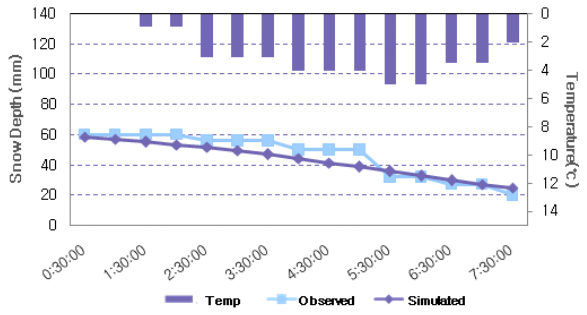

그림 1. SWMM 모형의 양달지역 융설 보정결과

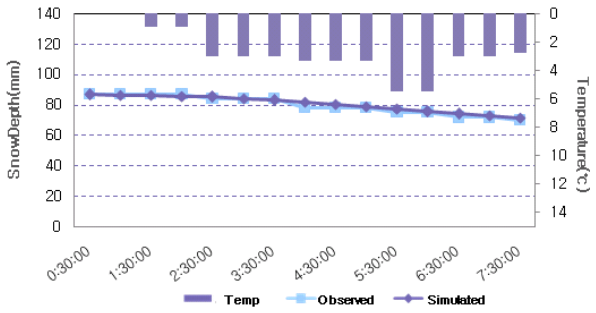

그림 2. SWMM 모형의 응달지역 융설 보정결과

2008년 3월 28일 모니터링 결과를 이용하여 SWMM 모형의 적설 및 융설 모의에 대해 검정한 결과 그림 3 과 4 에서와 같이 나타났다. 보이는 바와 같이 양달 지역에 있어 후반부로 갈수록 약간의 차이가 있기는 하나 대체적으로 유사하게 모의되는 것을 알 수 있고 응달 지역의 경우 실측치와 모의치가 상당히 유사하게 나타나는 것을 볼 수 있다.

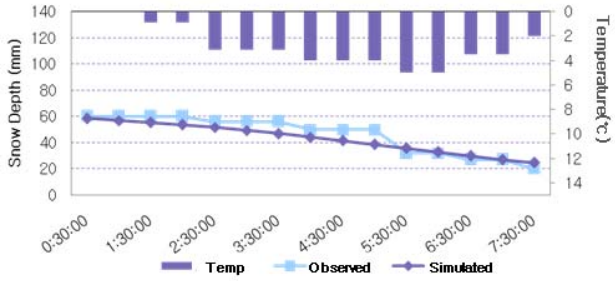

그림 3. SWMM 모형의 양달지역 융설 검정결과

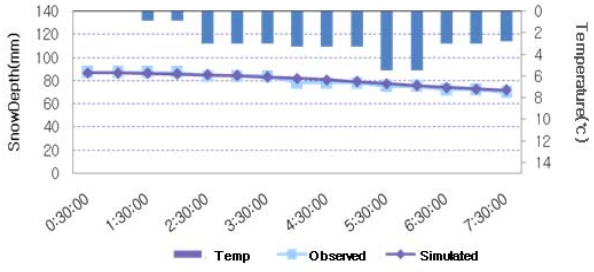

그림 4. SWMM 모형의 응달지역 융설 검정결과

4. 결 론

우리나라는 매년 겨울철 폭설에 의한 재해가 빈번히 발생하여 그로인해 인적, 물적 피해가 적지 않게 발생하고 있다. 겨울철 폭설은 도로부분에 있어 쌓인 눈의 결빙으로 교통지체나 여러 교통사고의 원인되고 있는 실정이다. 향후 바이모달 트램 운행에 있어 폭설에 의한 안정성 확보를 위해서는 겨울철 적설 및 융설에 대한 대비가 필요할 것이다. 이에 본 연구에서는 양달과 응달 지역에서의 두 번에 걸쳐 겨울철 융설 모니터링을 수행하였다. 또한 SWMM 모형을 활용한 융설 모의 시 적용될 수 있는 매개변수로는 여러 가지가 있으나 다른 매개변수들에 비해 온도에 의한 영향을 크게 받는 것으로 나타났다. 이로 인해 온도 변화와 융설 깊이 변화에 대한 모니터링을 실시하여 이를 이용한 SWMM 모형의 보정 작업을 실시하였다. 그 결과 온도에 따른 융설 깊이 변화가 실측치와 모의치에 있어 상당히 유사한 경향을 나타냈으며, 검정 작업 결과 또한 모의치가 실측치를 잘 반영하는 것으로 나타났다. 본 연구의 결과를 통해 SWMM 모형을 이용하여 겨울철 융설에 대한 모의가 가능할 것으로 판단되며, 온도에 의한 함수에 가장 민감하여 이의 조정만으로 잘 모의할 수 있다는 것을 알 수 있었다. 이러한 융설 평가 모듈을 탑재한 바이모달 트램 재해관리 시스템은 향후 트램 운행의 안정성을 확보하는데 도움이 될 것이라 판단된다. 본 연구에서 개발된 적설 및 융설 모의 모듈의 적용으로 향후 겨울철 도로의 결빙으로 바이모달 트램 운행 노선에 대한 제설작업 우선 지역 선정 및 우회도로 결정 시스템으로 활용함으로써 바이모달 트램의 운행 안전성을 확보할 수 있을 것으로 기대된다.

감사의 글

본 논문은 국토해양부가 출연하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁 시행한 교통체계효율화사업(06교통핵심B01)의 지원으로 이루어졌습니다.

참고문헌

1. 배덕효, 오재호 (1998), “장기 유출해석에서의 융설영향에 관한 기초 연구”, 한국수자원학회논문집, 제31권, 제6호, pp.833-844.
2. 박영곤, 윤희택, 임경재, 김종건, 박윤식 (2007), “바이모달 트램 모의운행지역에서의 강우에 대한 노선 침수 예측”, 한국철도학회 학술발표회 논문집.
3. C. Valeo and C.L.I. Ho (2004), “Modelling urban snowmelt runoff”, Journal of Hydrology 299, pp. 237-251.
4. Huber, W.C., and Dickinson, R.E. (1988), “Storm Water Management Model”, Version 4: User's Manual, U.S. EPA.