

바이모달 트램 운행 안전성 확보를 위한 SWMM 용설 모듈 적용성 평가

Evaluation of SWMM Snow-melt Module to Secure Bi-Modal Tram Operation

김종건[†] · 박영곤^{*} · 윤희택^{**} · 박윤식^{***} · 장원석^{****} · 유동선^{*****} · 임경재^{*****}

Jong-Gun Kim · Young-Kon Park · Hee-Taek Yoon · Youn-Shik Park ·
Won-Seok Jang · Dong-Seon 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 snow pack melt/freezing due to unexpected 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 prediction.

Keywords : Bi-modal tram system, SWMM, Snow-melt, Disaster management system

요 지 급속한 도시화와 기상 이변이 늘어나면서 예상치 못한 극지성 집중호우가 발생하고 있어 재해 안전의 폭 넓은 범위에 대비한 전통적인 재해 관리 시스템의 보완이 필요한 실정이다. 그로인해 장기 재해에 대비하고 광범위한 침수 관리 계획이 구축되어야 한다. 최근 폭우가 빈번히 발생하면서 이로 인해 도로의 교통 지체 등 교통 장애를 일으키고 있다. 그리하여 향후 운행될 바이모달 트램 시스템의 운행 안전성과 정시성을 확보하기 위해 예상치 못한 폭우로 인한 용설 혹은 결빙을 대비한 재해관리 시스템이 구축되어야 할 것이다. 폭설로 인한 바이모달 트램 시스템의 안전성을 확보를 위해 용설 모의 가능성에 대한 연구가 이루어져야 한다. 그리하여 본 연구에서는 SWMM 모형을 이용한 용설 모의의 검정을 위해 실제 적설량과 용설량을 모니터링 하였다. 그 결과 실측 데이터와 SWMM 모형을 활용한 모의 데이터간의 관계가 유사하게 나타난 것을 볼 수 있었다. 그리하여 본 바이모달 트램 재해 관리 시스템은 겨울철 바이모달 트램 시스템의 안전성 보장을 위한 용설 예측 시스템에 활용 가능 할 것이다. 또한 바이모달 트램 재해 관리 시스템은 트램의 정시성 확보를 위해 폭설시 트램 운행 경로의 제설 작업을 위한 우선 지역 선정에 활용될 수 있고 본 시스템을 기반으로 재해시 트램 운행망에서의 우회도로 결정 시스템으로 활용될 수 있을 것이다.

주요어 : 바이모달 트램 시스템, SWMM, 용설, 재해관리 시스템

[†] 책임저자 : 정회원, 강원대학교 지역건설공학과, 석사과정
E-mail : jong_0923@naver.com
TEL : 010-6373-8277 FAX : (033)251-1518
^{*} 정회원, 한국철도기술연구원, 선임연구원
^{**} 정회원, 한국철도기술연구원, 책임연구원
^{***} 강원대학교 지역건설공학과, 석사과정
^{****} 강원대학교 지역건설공학과, 석사과정
^{*****} 강원대학교 지역건설공학과, 석사과정
^{*****} 교신저자 : 정회원, 강원대학교 지역건설공학과, 조교수

1. 서론

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[1]. 강우 못지않게 겨울철 적설이나 융설 고려가 과거 여러 연구에서 제시된 바 있다. 배덕효와 오재호의 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[2]. 김남원 등의 연구에서는 융설을 고려하지 않은 경우 하천에 있어 모형이 해당 연구지역에서의 유량을 모의하는 데에 있어 모의 기간 중 모두 작은 값을 예측한 것에 비해 융설을 고려한 경우에 있어서는 실측치와 작은 차이를 보이는 하나 작은 상대 오차 값을 보였기 때문에 융설을 모의 하여야 보다 효율적인 모의가 가능하다는 것을 제시하였다[3]. 서울과 같은 대도시에서는 약간의 강설에 의해서도 큰 혼란이 야기될 수 있다. 폭설에 의한 피해를 최소화하기 위해서는 사회적으로 방재 대책이 잘 되어 있어야 하는 것은 물론이고 근본적으로 얼마나 정확하게 강설을 예측하느냐에 따라 그 피해 정도가 크게 달라질 수 있음은 명백한 사실이다. 동고서저 형태의 지형을 가진 우리나라는 4계절이 뚜렷한 온대성 기후로서 봄에는 건조한 날이 많으며, 여름에는 강수량이 많으며, 겨울에는 눈이 많이 내리는 기후학적인 특성을 지니고 있다. 또한 우리나라는 주로 산지가 많이 차지하고 있기 때문에 강설이 발생하게 되면 국지적으로 차이가 많이 나는 것이 특징이다[4]. 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 도입하여 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[5]. 현재 여러 나라에서 도시지역 교통수단으로 버스의 유연성과 지하철이나 경전철의 고속성을 보장함으로써 저비용으로 양질의 서비스를 제공할 수 있는 간선급행버스체계가 많은 성공을 거두어 오고 있다. 우리나라에서는 간선급행버스체계의 일환인 바이모달 트램 시스템

이 대중교통 지향적, 친환경적, 인간중심적인 첨단교통의 새로운 모델로 우선적으로 신도시를 대상으로 시범 운행예정에 있다. 바이모달 트램 시스템은 전용궤도와 기존 도로에서의 우선 신호체계 내에서의 운영을 통하여 지하철 수준의 표정속도를 달성할 수 있고 경량전철과 버스 사이의 중간 규모의 수용능력을 갖추고 있다. 이는 전자기 안내방식에 의하여 자동운전이 가능하므로 비교적 좁은 전용도로에서 운행 가능하므로 그 만큼 도로 이용효율을 높일 수 있고 건설비도 절약할 수 있는 차량이다[6]. 본 차량은 무인으로 자동 운전되기 때문에 그에 따른 재해관리 시스템이 구축되어야 할 것이다. 그리하여 실제 바이모달 트램 시스템의 운영에 있어 운행 노선에 대한 효과적인 재난 방재 시스템을 구축하여 운영의 안전성 확보가 우선시되어야 한다[7]. 이러한 재난 방재 시스템 관련 여러 컴퓨터 모델들이 개발되고 있으며 현재 바이모달 트램 안전 운영을 위해 개발 중인 재해관리 시스템의 강우-유출 그리고 관거해석을 위한 핵심 엔진으로 SWMM(Storm Water Management Model) 5.0 모형이 이용되고 있다. 기존 연구에서는 강우에 의한 도시지역 수문 분석 및 침수 예측에 대해 SWMM 모형을 이용한 연구가 다수 이루어져 왔고 도시지역의 융설 모의 시 농촌지역에서 적용한 융설 매개변수와 융설 접근방식을 사용하고 있다[8]. 그러나 아직까지 SWMM 모형을 이용한 융설 모의에 있어 양달과 응달의 분할 모의에 관한 연구는 전무한 실정이다. 그리하여 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 안전성과 정시성을 확보하기 위한 바이모달 트램 재해관리 시스템 융설 모듈로 활용하는데 있다. 본 연구는 향후 바이모달 트램 운행 선로뿐만 아니라 일반 도로에서의 폭설에 대비한 재해관리 시스템 구축시 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

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 개발·배포하여 전세계적으로 널리 활용되고 있는 SWMM 5.0 모형을 적용하였다[9]. 강우-유출과 하수관 추적과정은 도시 호우사상의 일부분일 뿐

이며, 다른 중요 과정들로 집수망에서의 분류와 확산, 다양한 오염물질들의 부패, 내적·외적 저류 및 처리시설의 효과 그리고 집수구의 수질 등이다. 이러한 과정들을 모의할 수 있는 모형이 Metcalf와 Eddy의 EPA와 Water Resources Engineers에서 개발한 SWMM 모형이다. 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[10]. SWMM 모형의 구성은 Fig. 1과 같이 이루어져 있으며 이를 바탕으로 EPA에서는 도스버전의 4.4를 지나 GUI 기능이 향상된 SWMM 5.0 버전을 개발하였다. SWMM 5.0 버전은 기존에 개발된 SWMM 모형의 전면적인 수정이 이루어졌다. Window 체제에서 실행되고 있는 SWMM 5.0 모형은 연구지역의 입력자료 수정, 수리·수문 및 수질 모의의 수행 그리고 다양한 변수들의 결과를 보여줄 수 있는 통합된 환경을 제공한다. 또한 이는 운반 시스템의 Map을 비롯하여 time series 그래프와 표, 종단면도, 통계적인 빈도 분석 등의 다양한 기능을 제공하고 있다[11].

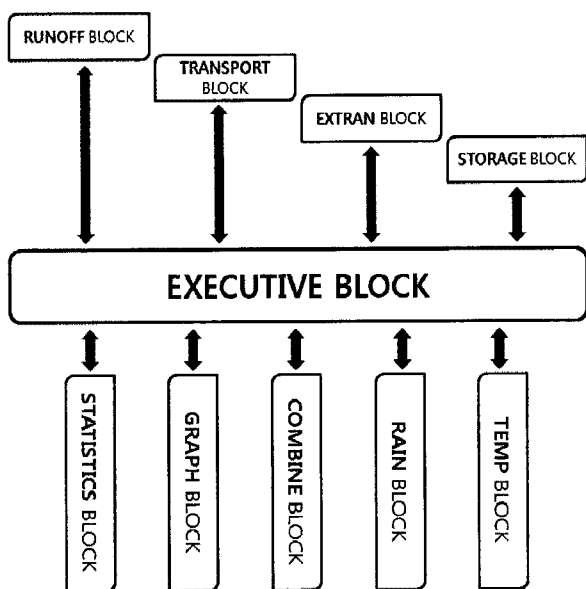


Fig. 1. Overview of SWMM model

2.2 연구 대상 지역

현재 바이모달 트램 시스템은 개발 중에 있으며, 2009년 상반기 시험선로에 적용될 것이다. 따라서 실제 시험선로 지역에 적용하기 전에 바이모달 트램 재해관리 시스템의 용

설 모듈 평가를 위해 강원도 춘천시 효자동에 위치하고 있는 합류식 관거 지역을 선정하여 용설 모듈 정확성을 평가하였다. 본 연구의 대상지역은 일반 4차선 도로를 포함하고 있는 지역으로 양달과 웅달 지역이 고루 분포되어 있어 향후 바이모달 트램 시스템 운행 지역의 겨울철 용설 모의에 적합할 것으로 판단된다. 본 대상 연구지역의 총 배수면적은 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. 본 연구에서는 향후 바이모달 트램 재해관리 시스템의 실제 적용을 위해 대상 연구지역내 도로를 대상으로 SWMM 모형 용설 적용성을 평가하였다.

2.3 SWMM 모형의 입력자료

SWMM에서 필요한 입력자료는 크게 소배수 구역(Sub-catchment), 맨홀(Junction), 하수관(Conduit), 그리고 강우자료가 있다. 우선 본 연구의 전체 배수구역에 있어서 1:1,000 수치지도와 직접 현장 측량작업을 통해 강우에 의한 유출유형을 파악하여 27개의 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 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. 전체 27개의 소배수 구역 중 바이모달 트램 모의 운행 구간인 도로부분에 있어 18개의 양달 소배수 구역과 4개의 웅달 소배수 구역을 분할하였다. 또한 모의 시 적용된 강우 자료는 겨울철 용설에 의한 모의를 위해 무강우 자료를 적용하였으며 강설 자료는 2007년 11월 21일, 2008년 3월 28일 겨울철 실제 눈이 왔을 때 모니터링을 통해 실측한 용설 깊이 자료를 적용하였다.

2.4 양달 웅달 지역의 실시간 용설 모니터링

본 연구에서는 폭설 대비 바이모달 트램 시스템의 운행 안전성을 확보하기 위한 재해관리 시스템을 구축하기 위해 SWMM 5.0 모형의 용설 모듈을 활용하여 정확성을 평가하였다. 적설 및 용설에 의한 보다 객관적이고 합리적인 모

의를 위해서는 연구 대상지역에서 양달과 응달의 분할 모의가 필요하다. 이는 양달과 응달 지역의 온도, 증발산량, 바람세기 등의 기상자료가 상이하게 나타나기 때문에 융설되는 정도가 다르다. 따라서 본 연구에서는 폭설에 따른 바이모달 트램 채해관리 시스템 정확성을 평가하기 위하여 Fig. 2에서와 같이 도로를 양달과 응달 지역으로 분할하였다. 양달과 응달 지역 분할 시 본 모의 대상 지역에 대한 현장 조사를 통해 연구 대상 지역 내 도로부분에 있어 주

변 건물에 의해 가려져 응달인 지역을 사전 조사하였다. 현장 조사 시간과 모니터링 시간은 일출시간과 일몰시간인 오전 10시부터 오후 5시까지의 시간대에 대해 건물에 의해 가려진 응달 지역을 조사하였고 실제 융설 모니터링을 실시하였다.

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. 모

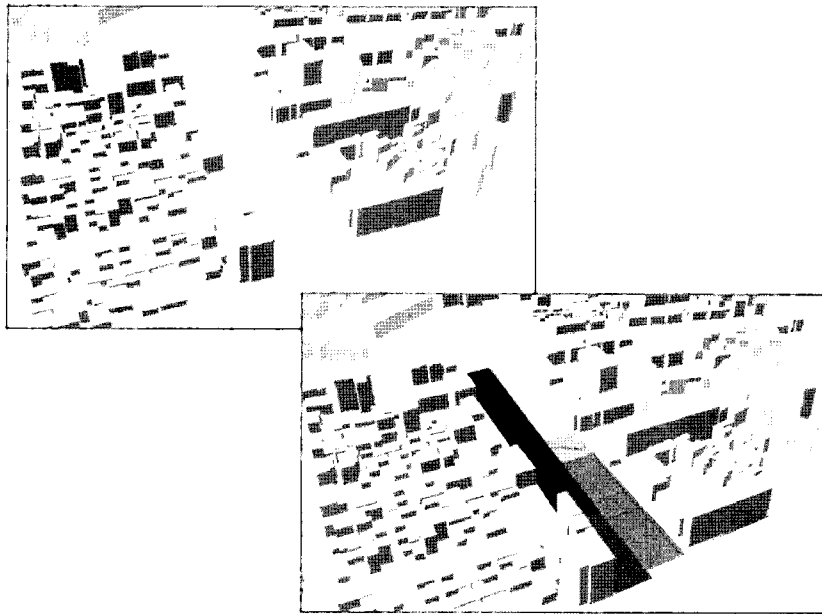


Fig. 2. Dividing the sunny and shady places in roads

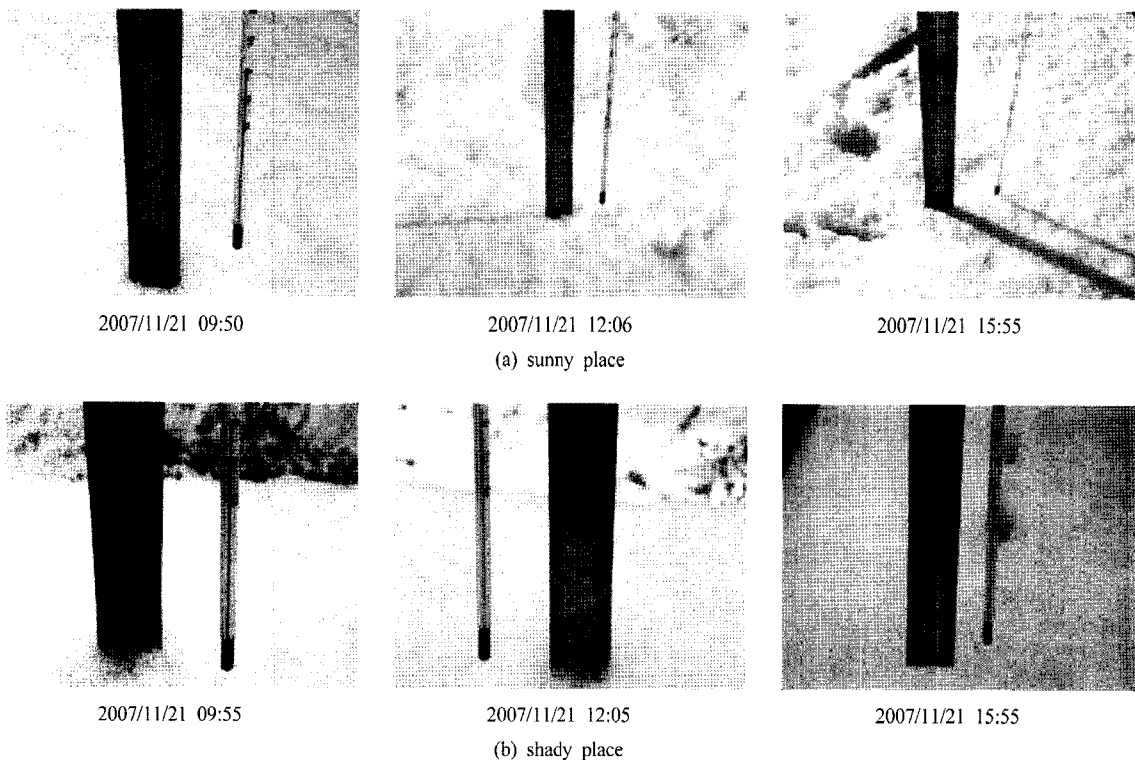


Fig. 3. The sunny place (a) and shady place (b) for snowmelt monitoring (2007/11/21)

니터링 기간은 2007년 11월 21일 오전 9시부터 오후 17시까지 그리고 2008년 3월 28일 오전 10시부터 오후 17시까지 1시간 간격으로 온도와 융설 깊이 변화를 측정하였다. Fig 3은 2007년 11월 21일 실제 양달과 응달 지역에 대하여 온도변화와 적설된 눈의 녹는 정도를 측정하고 있는 모습을 보여주고 있다.

Table 1은 2007년 11월 21일 양달과 응달 지역을 대상으로 1시간 간격 온도와 적설 깊이를 모니터링한 결과를 보여준다. 여기서, 양달과 응달 지역에 있어 온도변화에 따라 융설 깊이가 상이하게 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.

Fig. 4는 2008년 3월 28일 오전 10시부터 오후 17시까지 모니터링한 모습을 보여주는 그림이고, Table 2는 1시간 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 검증하였다.

Table 1. Results of snowmelt monitoring at the sunny and shady places (2007/11/21)

	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

Table 2. Results of snowmelt monitoring at the sunny and shady places (2008/03/28)

	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

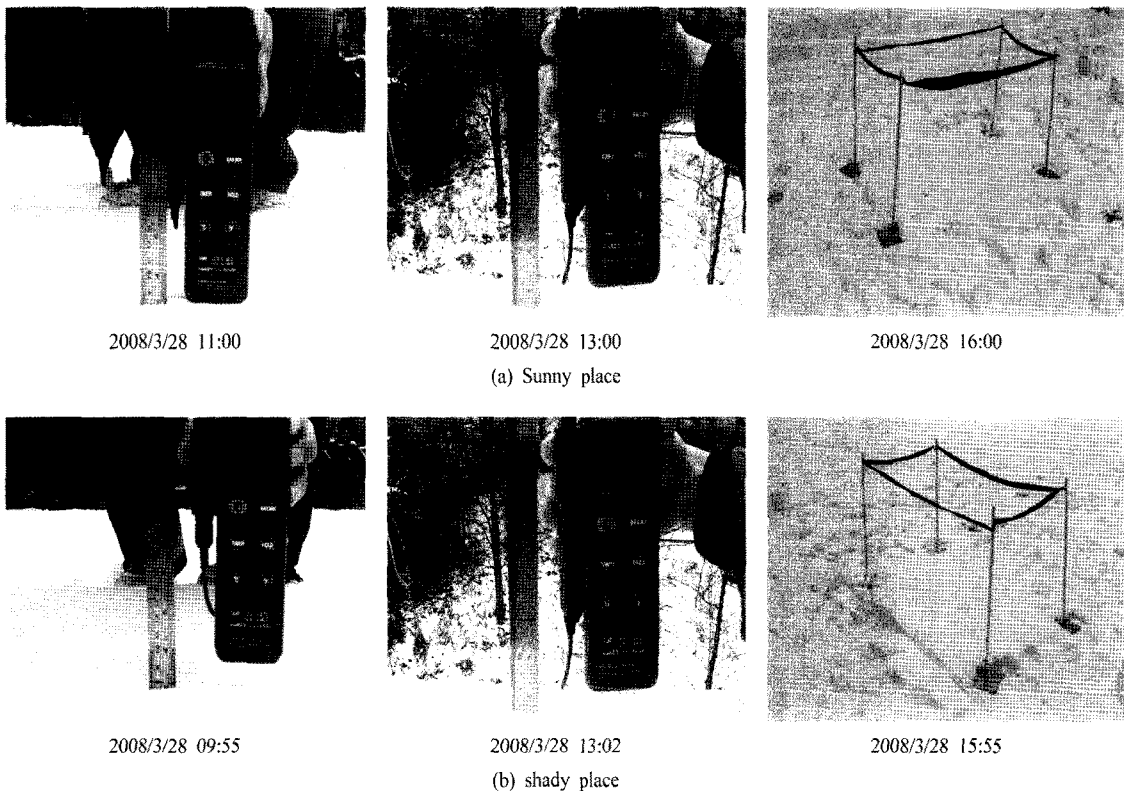


Fig. 4. The sunny place (a) and shady place (b) for snowmelt monitoring (2008/03/28)

3. 결과

본 연구에서는 바이모달 트램 시스템 운행노선 대상 지역에 대해 용설 모의를 위한 SWMM 모형 용설 모듈 적용성을 평가하였다. SWMM 모형을 이용한 용설 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 용설 모의를 하였다. 이를 위해 실제 겨울철 눈이 왔을 시 양달과 응달에 대하여 온도에 따른 용설 깊이 변화 자료를 모니터링하여 이의 적용성을 평가하였다. 2007년 11월 21일 실측 자료를 이용하여 양달과 응달 지역에 대한 SWMM 모형의 보정 결과 사용된 매개변수는 Table 3과 같다.

모형의 보정 결과 Fig. 5와 6에서 보이는 바와 같이 실측자료와 SWMM 모형을 이용한 시간에 따른 용설 깊이 변화의 모의치가 유사한 경향을 보이는 것을 알 수 있다. 이를 통해 온도의 매개변수 조절에 따른 SWMM 모형을 활용한 적설 및 용설 모의가 가능할 것으로 판단된다.

2008년 3월 28일 모니터링 결과를 이용하여 SWMM 모형의 적설 및 용설 모의에 대해 검증한 결과 Fig. 7과 8에서와 같이 나타났다. Fig. 7과 8은 양달 지역과 응달 지역에 대한 모니터링 실측치와 보정된 매개변수를 적용한 SWMM 모형의 모의치와 비교분석한 결과이다. 보이는 바와 같이 양달 지역에 있어 약간의 차이가 발생하였다. 이는 모의 값에 있어서는 온도 함수에 의해 일정하게 떨어지는 경향을 보이거나 실측값에 있어서는 모니터링 주변 환경에 의해 다소 차이가 발생한 것으로 판단된다. 그림에서와 같이 다소 차이는 보이거나 대체적으로 유사하게 모의되는 것을 알 수 있고 응달 지역의 경우 실측치와 모의치가 유사한 경향을 보이는 것을 알 수 있다(Fig. 9).

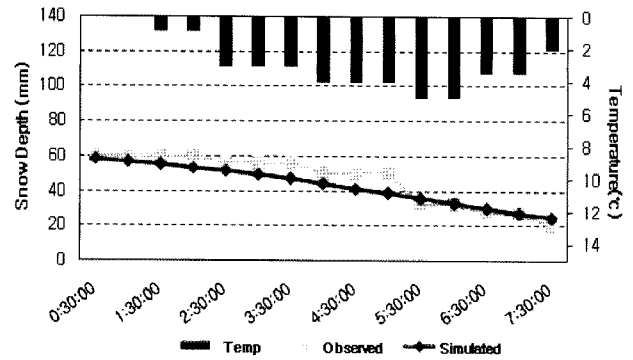


Fig. 5. Results of calibration for Snow Pack parameters at sunny place with SWMM model

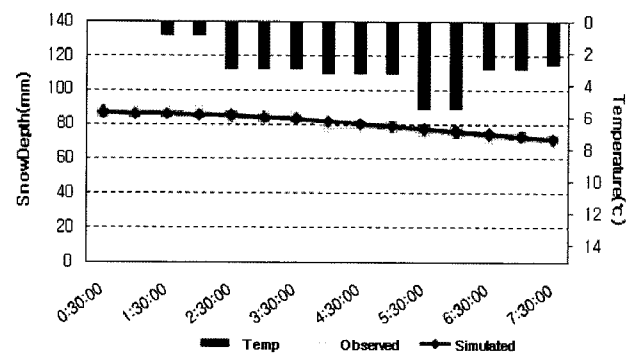


Fig. 6. Results of calibration for Snow Pack parameters at shady place with SWMM model

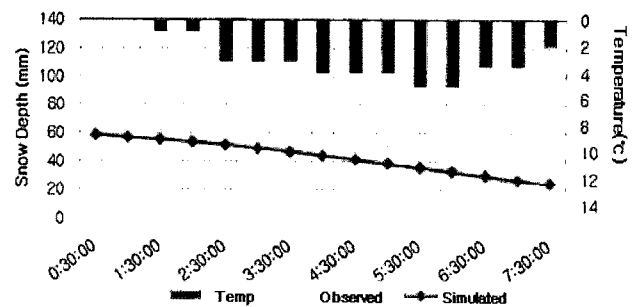


Fig. 7. Results of validation for Snow Pack parameters at sunny place with SWMM model

본 연구결과 적설 및 용설 모의에 있어 시간에 따른 온도 변화의 대입으로 시간적 모의가 가능하며 양달과 응달의 분

Table 3. Snow Pack parameters for calibration at sunny and shady places with SWMM model

Subcatchment Surface Type	Sunny			Shady		
	Plowable	Impervious	Pervious	Plowable	Impervious	Pervious
Min. Melt Coeff. (mm/hr/deg C)	0.1875	0.1875	0.1875	0.1875	0.1875	0.1875
Max. Melt Coeff. (mm/hr/deg C)	0.1875	0.1875	0.1875	0.1875	0.1875	0.1875
Base Temperature (deg C)	-5	-5	-5	-3	-3	-3
Fraction Free Water Capacity	0.5	0.5	0.5	0.1	0.1	0.1
Initial Snow Depth (mm)	60	60	60	87	87	87
Initial Free Water (mm)	20	20	20	0	0	0
Depth at 100% Cover (mm)	0	0	0	0	0	0

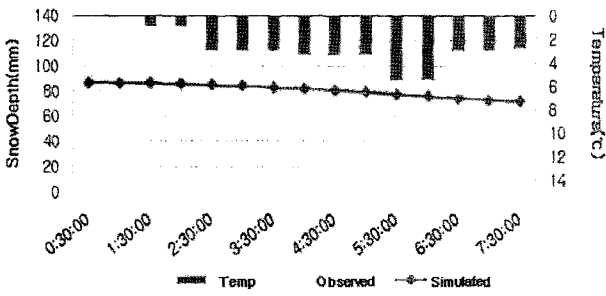


Fig. 8. Results of validation for Snow Pack parameters at shady place with SWMM model

할 모의로 공간적 모의가 가능하다는 것을 알 수 있다. 본 연구에서는 모형의 보정 및 검정을 통해 바이모달 트램 모의 운행 노선을 대상으로 시간에 따른 적설 및 용설 변화를 모의한 결과 Fig. 10에 나타난 바와 같이 시간에 따른 온도 변화 및 용설 깊이를 모의 할 수 있었다. Fig. 10은 SWMM 모형을 이용한 양달과 응달 지역을 고려한 모의 시간 시작 시간으로부터 10분, 2시간, 5시간, 8시간, 9시간, 10시간 경과 후의 도로부분 용설 깊이 변화를 보여주는 그림이다. 보이는 바와 같이 시간에 따라 도로의 양달과 응달 부분에 있어 상이하게 용설깊이가 변화하는 것을 알 수 있다.

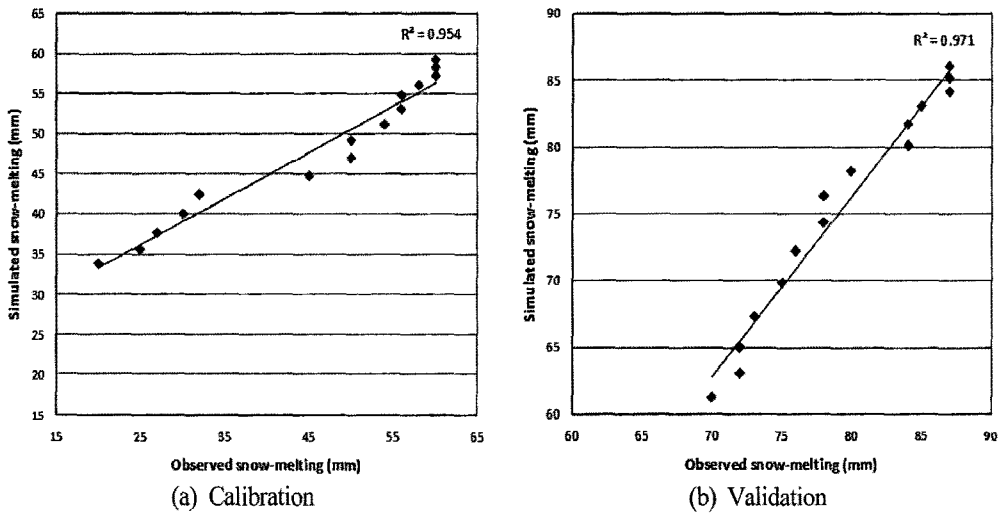


Fig. 9. Comparison of observed snow-melting with simulated snow-melting using the SWMM model

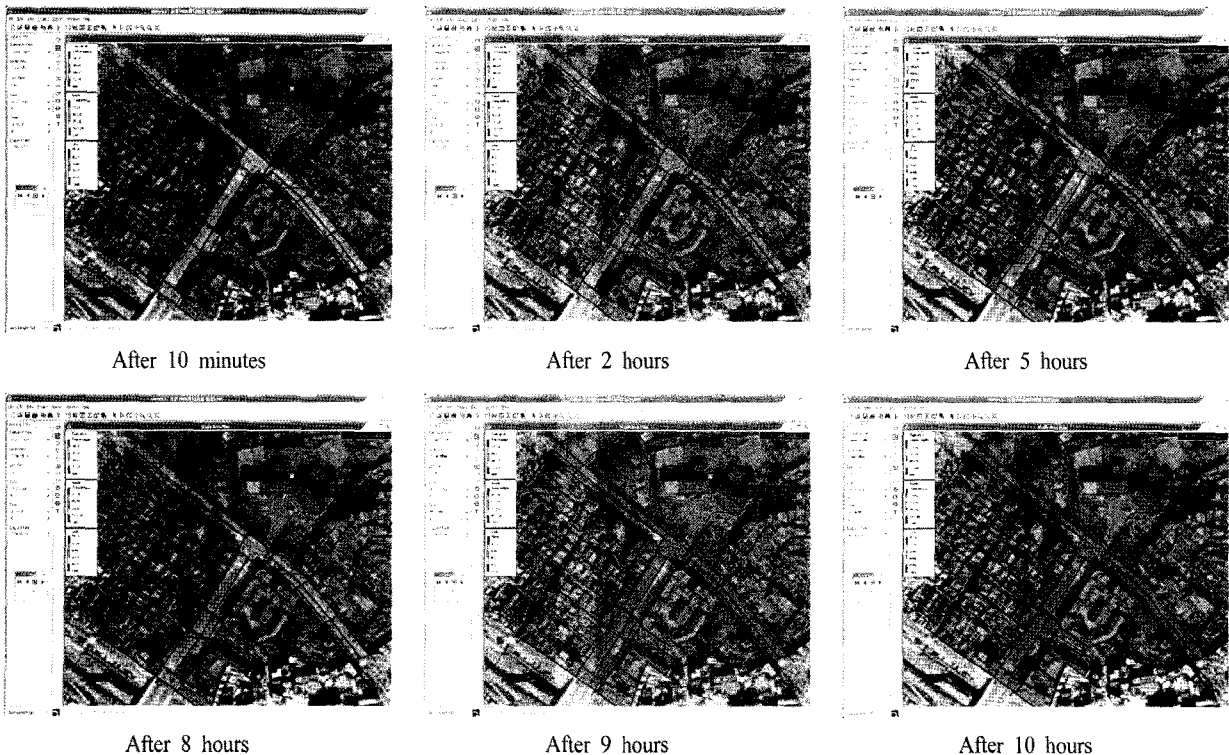


Fig. 10. Spatio-Temporal Simulation of Snow Pack Depth

4. 결론

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 함수 조정만으로 양달과 응달 지역에 대해 실측값과 유사한 경향을 보여 잘 모의한다는 것을 알 수 있었다. 또한 시간에 따른 융설 깊이를 모의하여 그에 따른 결빙 도로 위치를 실시간으로 분석 가능하다. 이를 통해 실시간 결빙 도로를 인지하여 제설 작업의 의사결정을 지원하거나 바이모달 트램 시스템 운행 시 결빙 도로를 우회할 수 있도록 의사 결정의 지원이 가능할 것이다. 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.

참고 문헌

1. 심재현 (2006), "겨울철 도시 재난과 재난 대비 개선 방향 -폭설을 중심으로-", 대한지방행정공제회, 도시문제 제41권, 제446호, pp.71-78.
2. 배덕효, 오재호 (1998), "장기 유출해석에서의 융설영향에 관한 기초 연구", 한국수자원학회논문집, 제31권, 제6호, pp.833-844.
3. 김남원, 이병주, 이정은 (2006), "충주댐 유역의 융설 영향 평가에 관한 연구", 한국수자원학회 학술발표회 논문집, pp.1817-1821.
4. 정성훈, 변진영, 이태영 (2006), "발생기구에 근거한 한반도 강설의 유형 분류", Atmosphere, 제16권, 제1호, pp. 33-48.
5. 조윤호, 김지원, 강성철, 이동현 (2003), "겨울철 도로 사용자 안전 확보를 위한 제설/융설 시스템 소개", 대한토목학회, 자연과 문명의 조화(구 토목-대한 토목학회지), 제51권, 제12호, pp 4-10.
6. 복재균, 임정환, 조세현 (2005), "신에너지 Bimodal 저상굴절 차량 기술개발", 기계저널, 제45권, 제12호.
7. 박영곤, 윤희택, 임경재, 김종건, 박윤식 (2007), "바이모달 트램 모의운행지역에서의 강우에 대한 노선침수 예측", 한국철도학회 학술발표회 논문집.
8. C. Valeo and C.L.I. Ho (2004), "Modelling urban snowmelt runoff", Journal of Hydrology 299, pp. 237-251.
9. Huber, W.C., and Dickinson, R.E. (1988), "Storm Water Management Model", Version 4: User's Manual, U.S. EPA.
10. 조재현, 이종호 (2006), "SWMM의 유출량 보정을 위한 매개변수 최적화", 환경영향평가, 제15권, 제6호, pp.435-441.
11. Urban Watershed Management Research (2006), "Storm Water Management Model", <http://www.epa.gov/ednmmr/models/swmm/index.htm>, Last updated on Monday, October 2nd.

접수일(2008년 1월 19일), 수정일(2008년 6월 12일),
게재확정일(2008년 7월 1일)