

발 간 등 록 번 호

11-B552989-000597-01

Thermal mapping과 노면온도예측모델을 융합한
실시간 블랙아이스 취약구간 예측시스템 개발

최종보고서(일반과제용)										보안등급	
										일반[✓], 보안[]	
중앙행정기관명	국토교통부				사업명	사업명		국가교통기술촉진연구사업			
전문기관명	국토교통과학기술진흥원				내역사업명	내역사업명		국토교통기술촉진연구사업			
공고번호	공고-제05호				연구개발과제번호		20CTAP-C157207-01				
국가과학기술 표준분류	EI0505		50%	ND0501		25%	ND0503		25%		
연구개발과제명	국문	Thermal mapping과 노면온도에측모델을 융합한 실시간 블랙아이스 취약구간예측시스템 개발									
	영문	Development of Real-time Prediction System of Road Sections Vulnerable to Black Ice using a Combined Thermal Mapping-Road Surface Temperature Prediction Model									
주관연구기관	기관명	(주) 미래기후				사업자등록번호		130-86-33709			
	주소	(우) 08513 서울특별시 금천구 가산로9길 66 더리즌밸리 613호				법인등록번호		121111-0170646			
주관연구책임자	성명	정 현 채				직위		연구소장			
	연락처	직장전화	070-5117-5981				휴대전화		010-8020-5596		
		전자우편	hcjung@miraecclimate.com				국가연구자번호		1129 0767		
연구개발기간	전체	2020. 04. 13 - 2021. 12. 31 (1년 9개월)									
	1년차	2020. 04. 13 - 2020. 12. 31 (1년 9개월)									
	2년차	2021. 01. 01 - 2021. 12. 31 (1년 1개월)									
연구개발비 (단위 : 천원)	정부지원 연구개발비	기관부담 연구개발비		그 외 기관 등의 지원금 자발기탁금 기타()				합계		연구개발비 외 지원금	
	현금	현금	현물	현금	현물	현금	현물	현금	현물		합계
총계	370,000	12,400	111,600	-	-	-	-	382,400	111,600	494,000	-
1년차	160,000	5,400	48,600	-	-	-	-	165,400	48,600	214,000	-
2년차	210,000	7,000	63,000	-	-	-	-	217,000	63,000	280,000	-
공동연구기관 등	기관명	책임자	직위	휴대전화		전자우편		비고			
								역할		기관유형	
공동연구기관											
위탁연구기관	세종대학교 산학협력단	박문수	교수	010-8874-8050		ngeograph2@ gmail.com		위탁		대학	
연구기관 외 기관											
연구개발담당자 실무담당자	성명	김현기				직위		이사			
	연락처	직장전화	02-878-0135				휴대전화		010-2470-8894		
		전자우편	hyun@miraecclimate.com				국가연구자번호		1117 6859		

이 최종보고서에 기재된 내용이 사실임을 확인하며, 만약 사실이 아닌 경우 관련 법령 및 규정에 따라 제재
처분 등의 불이익도 감수하겠습니다.

2022 년 3 월 29 일

주관연구책임자 : 정 현 채

주관연구기관의 장 : (주)미래기후 류 성 현

국토교통과학기술진흥원장 귀하

< 요약 문 >

사업명		국가교통기술촉진연구사업			연구개발과제번호		20CTAP-C157207-01		
내역사업명		국가교통기술촉진연구사업							
국가과학기술 표준분류		EI0505	50%	ND0501	25%	ND0503	25%		
연구개발과제명		Thermal mapping과 노면온도에측모델을 융합한 실시간 블랙아이스 취약구간에측시스템 개발							
전체 연구개발기간		2020. 04. 13 - 2021. 12. 31 (1년 9개월)							
총 연구개발비		총 494,000 천원 (정부지원연구개발비 : 370,000 천원, 기관부담연구개발비 : 124,000 천원, 지방자치단체 : 천원, 그 외 지원금 : 천원)							
연구개발단계		기초[] 응용[] 개발[☒] 기타(위 3가지에 해당되지 않는 경우)[]			기술성숙도		착수시점 기준(4) 종료시점 목표(8)		
연구개발과제 유형		지정공모 [] 자유공모 [☒]							
연구개발과제 특성		실용화							
연구 개발 목표 및 내용	최종 목표		Thermal mapping과 노면온도에측모델을 융합한 실시간 블랙아이스 취약구간시스템 개발						
	전체 내용		○ 노면관측차량을 이용하여 시범 도로구간의 동절기 Thermal mapping 정보 구축 및 분석 ○ 물리기반 노면온도에측모델 개선(Thermal map 정보 융합) ○ 실시간 블랙아이스 취약구간에측시스템 개발 ○ 도로관리자 및 이용자에게 Thermal map 정보, 블랙아이스 취약구간 예측 결과 및 경보, 관측 실태정보를 실시간으로 제공하는 서비스 Web 페이지 구축						
	1년차	목표	○ 이동형 노면관측차량을 이용한 Thermal map 정보 구축 1 ○ 실시간 블랙아이스 취약구간에측시스템 구축 ○ Web 기반의 블랙아이스 취약구간 예·경보시스템 구축 ○ 물리기반 노면온도에측모델 개선(Thermal mapping 정보 융합)						
		내용	○ 이동형 노면관측차량을 이용한 Thermal map 정보 구축 1 - 이동형 노면관측차량 도입사례 조사 - 이동형 노면관측차량 도입 및 운용 기술 습득 - Thermal map 정보 생산 ○ 실시간 블랙아이스 취약구간에측시스템 구축 - 모델 수행을 위한 기반 모듈 개발 ○ Web 기반의 블랙아이스 취약구간 예·경보시스템 구축 - 시스템 설계 - RWIS 실태 표출 ○ 물리기반 노면온도에측모델 개선(Thermal mapping 정보 융합) - 물리기반 노면온도에측모델 분석 - 물리기반 노면온도에측모델 개선						
	2년차	목표	○ 이동형 노면관측차량을 이용한 Thermal map 정보 구축 2 ○ 실시간 블랙아이스 취약구간에측시스템 구축 ○ Web 기반의 블랙아이스 취약구간 예·경보시스템 구축 ○ 물리기반 노면온도에측모델 개선(Thermal mapping 정보 융합)						
		내용	○ 이동형 노면관측차량을 이용한 Thermal map 정보 구축 2 - Thermal map 정보 생산 ○ 실시간 블랙아이스 취약구간에측시스템 구축 - 기반 모듈의 결합 - 실시간 블랙아이스 취약구간에측시스템의 최적화 수행(현업화 대비) ○ Web 기반의 블랙아이스 취약구간 예·경보시스템 구축 - 모델 실행 예측 정보 표출 - 위험 발생 경보 표출 - 예측 자료 생산 로그 표출 - 도로 정보 자료 관리 - 단계별 테스트 수행 및 최적화 방안 ○ 물리기반 노면온도에측모델 개선(Thermal mapping 정보 융합) - Thermal map 융합 모델에 대한 검증						
	연구개발성과								

	구분	논문	특허	보고서 원문	연구시설· 장비	기술요약 정보	소프트웨어	화합물	생명자원		신 품종	
									생명정보	생물자원	정보	실물
	성과 (Y/N)	Y	Y				Y					
연구개발성과 활용방안 및 기대효과	○ 시범 구간 이외의 도로구간에 대한 Thermal mapping 정보 구축 및 블랙아이스 취약구간 예·경보시스템 적용 ○ 도로 관리기관, 기상 예보기관, 지자체 대상 블랙아이스 위험 진단 서비스, 예·경보 시스템 구축 서비스 사업화 ○ 도로 이용자 대상 블랙아이스 경보 서비스 실시											
연구개발성과의 비공개여부 및 사유	해당없음											
연구개발성과의 등록·기탁 건수	논문	특허	보고서 원문	연구 시설· 장비	기술 요약 정보	소프트 웨어	표준	생명자원		화합물	신 품종	
								생명 정보	생물 자원		정보	실물
연구시설·장비 종합정보시스템 등록 현황	구입기관	연구시설· 장비명	규격 (모델명)	수량	구입 연월일	구입가격 (천원)	구입처 (전화)	비고 (설치장소)		ZEUS 등록번호		
국문핵심어 (5개 이내)	블랙아이스			노면온도예측모델		열 매핑		이동형 노면관측차량		수치예보모델		
영문핵심어 (5개 이내)	Black ice			Road surface temperature prediction model		Thermal mapping		Mobile road observation vehicle		Numerical prediction model		

< 목 차 >

1. 연구개발과제의 개요
2. 연구개발과제의 수행 과정 및 수행내용
3. 연구개발과제의 수행 결과 및 목표 달성 정도
4. 목표 미달 시 원인분석(해당 없음)
5. 연구개발성과 및 관련 분야에 대한 기여 정도
6. 연구개발성과의 관리 및 활용 계획

별첨자료(참고문헌 등)

1. 연구개발과제의 개요

1) 연구개발과제의 최종 목표

- Thermal mapping과 노면 온도 예측 모델을 융합한 실시간 블랙아이스 취약 구간 예측 시스템 개발
 - 이동형 노면 관측 차량을 이용한 Thermal map 정보 구축
 - 물리 기반 노면 온도 예측 모델 개선(Thermal map 정보 융합)
 - 실시간 블랙아이스 취약 구간 예측 시스템 구축(그림 1-1)
 - Web 기반의 블랙아이스 취약 구간 예·경보 시스템 구축(그림 1-1)

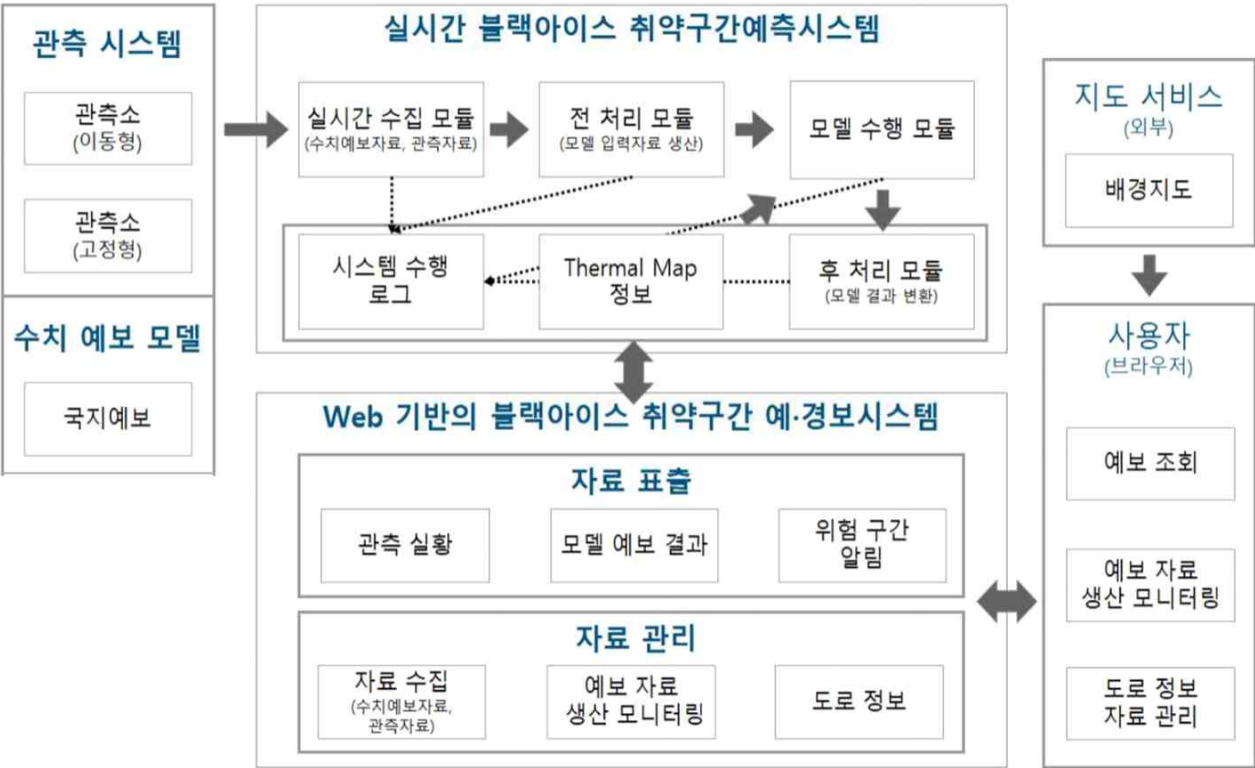


그림1-1. 실시간 블랙아이스 취약 구간 예측 시스템 및 예·경보 시스템

2) 연구개발과제의 년차별 목표

[1차 년도]

- 이동형 노면 관측 차량을 이용한 Thermal map 정보 구축 1
 - 동절기에 시범 도로 구간 평균 기온이 0℃ 이하인 시간대에 반복 관측 수행
 - 노면 온도뿐만 아니라 노면 상태와 기온 및 대기 습도 등 다양한 변수를 관측
 - 최대한 많은 양(최소 5회 이상)의 관측 자료를 축적
- 물리 기반 노면 온도 예측 모델 개선(Thermal map 정보 융합)
 - 국내 및 해외의 노면 온도 예측 모델 관련 논문 및 연구 사례를 검색
 - 선행연구 정보를 바탕으로 해당 노면 온도 예측 모델에 실제 관측 자료를 융합하는 연구 진행
- 실시간 블랙아이스 취약 구간 예측 시스템 구축1
 - 모델 수행에 필요한 기상청 수치 예보 자료를 수집하는 '실시간 수집 모듈'과 수치 예보자료를 노면 온도 예측 모델에 입력할 수 있는 형태로 변환하는 '전처리 모듈', 노면 온도 예측 모델을 수행하는 '모델 수행 모듈', 노면 온도 예측 모델 결과를 Web 시스템에서 사용할 수 있는 형태로 변환 및 가공하는 '후처리 모듈'을 개발
 - 각 과정의 모듈은 수행 로그를 생성하여 Web 시스템에서 확인할 수 있도록 개발
- Web 기반의 블랙아이스 취약 구간 예·경보 시스템 구축 1
 - 아키텍처 설계: 시스템 개발 용이성, 신뢰성, 유지보수성, 이식성을 고려하여 시장에서 검증된 오픈 플랫폼, 오픈 소스 기반의 소프트웨어 구조를 정의함.
 - 애플리케이션 설계: 주요 기능을 식별하여 사용자·시스템 인터페이스, 컴포넌트 설계 작업을 수행함.
 - 데이터 설계: 주요 기능으로부터 핵심 엔티티를 추출하고 엔티티의 속성, 엔티티 간 관계를 정의한 후, 이를 바탕으로 물리 DB(테이블, 인덱스 등)를 설계함.
 - 취약 구간 예·경보 시스템의 1차년도 개발 범위는 취약 구간 예측 시스템에서 수집한 RWIS 실황 정보를 표출하는 것으로서 관측소의 위치 정보를 이용하여 배경지도 상에 관측소 위치와 수집 자료 정보를 표출하는 기능, 조회 조건에 따라 관측소별 수집 자료 현황을 조회하는 기능을 구현함.

[2차 년도]

- 이동형 노면 관측 차량을 이용한 Thermal map 정보 구축 2
 - 1차 년도의 내용과 마찬가지로 동절기에 동일 구간 평균 기온이 0℃ 이하인 시간대에 시범 도로구간을 반복 관측 수행
 - 1차 년도의 관측 결과에 보충이 필요할 경우 2차 년도의 동절기에 추가적인 관측을 진행함.
- 물리 기반 노면 온도 예측 모델 개선(Thermal map 정보 융합)
 - 1차 년도 연구 결과를 바탕으로, 추가 개선이 필요할 경우 연구를 진행
 - 시범 도로구간에 대한 입수 가능한 관측자료(RWIS 및 이동형 노면 관측 차량으로 관측한 자료)를 활용하여 개선된 노면 온도 예측 모델을 검증
- 실시간 블랙아이스 취약 구간 예측 시스템 구축 2
 - 1차 년도에 개발된 '실시간 수집 모듈', '전처리 모듈', '모델 수행 모듈', '후처리 모듈'을 결합하여 통합 시스템 개발
 - 결합 환경은 리눅스 서버를 기반으로 하며, shell 및 java 스크립트를 활용하여 모델이 정상 수행될 수 있도록 결합
 - 현업화를 대비한 실시간 블랙아이스 취약 구간 예측 시스템의 최적화 진행
- Web 기반의 블랙아이스 취약 구간 예·경보 시스템 구축 2
 - 모델 실행 예측 정보, 위험 발생 경보 등을 표출하며 취약 구간 예측 시스템의 생산 로그 표출
 - 지역별 도로 정보와 취약 구간 좌표정보 관리 기능 개발
 - 단계별 테스트 수행을 통해 신뢰성과 정확성을 갖춘 시스템으로 개선
 - 단위 테스트, 통합 테스트, 내·외부 연계 테스트, 성능 테스트, 인수 테스트 등을 거쳐 최적화된 시스템으로 개선

구분	연구개발목표	핵심 연구개발성과 (연구개발성과물)	현재 국내·외 기술수준	연구개발 목표치	목표치 설정 근거	가중치 (%)
1년차 (2020)	이동형 노면 관측 차량의 관측을 통해 구축된 시범 도로구간의 Thermal map 정보	시범 도로구간에 대한 Thermal map 관측 자료	현재 기상청 및 국토교통부 산하 기관에서 다양한 관측 기기로 도로 노면 온도를 관측하고 있음.	5 회 이상 관측	Thermal map 정보의 신뢰성을 확인 가능한 수준의 관측 횟수	10
	Thermal map 정보가 융합된 물리 기반 노면 온도 예측 모델	공간(50 m 이하) 및 온도 해상도(0.1 °C)로 개선된 노면 온도 예측 모델	국내에서는 지금까지 물리적 노면 온도 예측 모델을 기반으로 하는 시스템 개발 연구가 없음.	50 m 이하 및 0.1 °C 이하	기상청 수치 예보 모델 자료의 공간 해상도(1.5 km) 및 온도 해상도 보다 상세한 자료 생성	11
	실시간 블랙아이스 취약 구간 예측 시스템	실시간 블랙아이스 취약구간 예측 시스템을 구성하는 모듈		4 종류의 기반 모듈 개발	시스템 구성에 필수적인 4 종류의 기반 모듈 개발	15
	Web 기반의 블랙아이스 취약 구간 예·경보 시스템	Web 기반의 블랙아이스 취약 구간 예·경보 시스템의 응답속도		3 초 이내	원활한 시스템 사용 및 운영을 위한 표준 대기 시간	10
2년차 (2021)	이동형 노면 관측 차량의 관측을 통해 구축된 시범 도로구간의 Thermal map 정보	시범 도로구간에 대한 추가 Thermal map 관측 자료	현재 기상청 및 국토교통부 산하 기관에서 다양한 관측 기기로 도로 노면 온도를 관측하고 있음.	5 회 이상 관측	Thermal map 정보의 신뢰성을 확인 가능한 수준의 관측 횟수	9
	Thermal map 정보가 융합된 물리 기반 노면 온도 예측 모델	개선된 모델 결과의 융합된 물리 기반 노면 온도 예측 모델	국내에서는 지금까지 물리적 노면 온도 예측 모델을 기반으로 하는 시스템 개발 연구가 없음.	±1.5 °C 이내(50%) ±2.5 °C 이내(90%)	노면 온도 예측 모델 개발 논문(Park et al., 2014)의 성능보다 개선된 오차 범위	11
	실시간 블랙아이스 취약 구간 예측 시스템	실시간 블랙아이스 취약 구간 예측 시스템을 구성하는 모듈의 정상 수행		4개 기반 모듈 정상 수행	시스템을 구성하는 핵심 모듈 완성	14
	Web 기반의 블랙아이스 취약 구간 예·경보 시스템	블랙아이스 취약 구간 예·경보 시스템 특허 출원		특허 출원 1건	성과 달성을 위한 특허 출원	10
		블랙아이스 취약 구간 예·경보 시스템 시제품 제작		시제품 제작 1건	성과 달성을 위한 시제품 제작	10

2. 연구개발과제의 수행 과정 및 수행 내용

○ 이동형 노면 관측 차량을 이용한 Thermal map 정보 구축

■ 시범 도로구간 선정

- 시범 도로구간은 도로의 다양한 특성을 담아내기 위해 짧은 구간 보다는 100 km 이상의 긴 구간으로 선정하였음.
- 1차 년도에는 시범 도로구간으로 영동 고속도로의 일부 구간을 선정하였으나, 중간 평가에서 나온 의견에 따라 상습 결빙 구간이 다수 있고 결빙 사고 이력이 있는 구간을 새로 선정하였음.
- 행정안전부 자연재난대응과에서 선정한 상습 결빙 구간(2,927지점)과 국토교통부 도로관리과에서 선정한 결빙 취약 구간(410지점)이 다수 위치한 구간을 중심으로 검토하였으며, 이 중에서 고속 국도인 구간을 중심으로 선정하였음. 또한, RWIS(Road Weather Information System) 설치 여부도 고려하였음.
- 그 결과 중앙고속도로 남원주IC ~ 남안동IC 구간(약 133.9 km)이 가장 적절한 테스트 구간으로 선정되었음. 해당 구간에는 결빙 취약 구간 13 곳이 존재하며, 한국도로공사의 RWIS 3기, 기상청 재해기상연구센터의 RWIS 2기가 설치되어 있음(그림 2-1).
- 해당 구간은 일반 도로, 교량, 터널 등이 매우 복잡하게 이어져 있으므로 도로의 다양한 특성을 반영하는데 적절한 구간으로 판단되어 선정하였음.



그림 2-1. 중앙고속도로 남원주IC ~ 남안동IC 구간, 붉은색 선은 결빙 취약 구간이며 푸른색 포인트는 한국도로공사의 RWIS, 붉은색 포인트는 기상청 재해기상연구센터에서 설치한 RWIS를 의미함.

■ 시범 도로구간 분할

- 시범 도로구간에 대해서 노면 온도 예측 모델을 수행하고 검증하려면 공간적인 기준점이 필요함. 그러므로 전체 도로구간 약 133.9 km를 50 m 간격으로 나누었음. 그 결과 2650 개의 기준점이 산출되었음.
- 각 기준점의 위·경도 정보는 국토교통부 지능형 교통 체계 관리시스템에서 제공하는 표준노드 링크 자료를 활용하여 계산하였음.
- 이 정보는 노면 온도 예측 모델의 각 격자(grid point)의 위치 정보로 입력됨(그림 2-2).

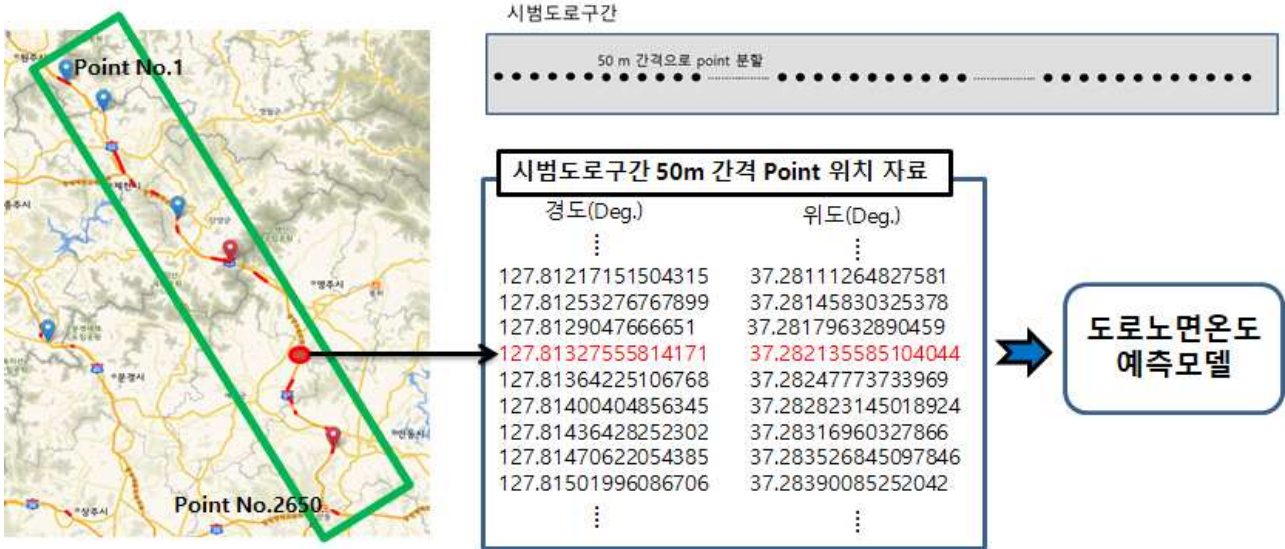


그림 2-2. 중앙고속도로 남원주IC ~ 남양동IC 구간의 50 m 간격 위도, 경도 값 정보. 이 정보는 노면 온도 예측 모델에 격자 위치 정보로 입력됨.

■ 이동형 노면 관측 차량 및 장비 도입

- 관측에 활용한 장비는 독일 Lufft사의 MARWIS-UMB 차량 이동형 광학식 노면 센서(그림 2-3)로 노면 온도, 대기 온도, 상대습도, 노점온도, 노면에서의 상대습도, 수막 두께, 마찰계수, 결빙률(ice percentage), 노면 상태(dry, damp, wet, ice-covered, snow/ice-covered, chemically wet, water+ice, snow-covered)등을 측정함(표 2-1, 그림 2-3).
- 해당 관측기기의 실제 로그 데이터는 그림 2-4와 같음.
- 이동형 노면 관측 차량 및 장비를 통해 획득한 Thermal mapping 데이터는 도로기상 관측망 설치지점 선정 시 활용이 가능함.
- 미국 교통부 도로국의 “Road Weather Information System Environmental Sensors Station Sitting Guidelines”에서는 도로기상 관측장비 설치를 위한 동질구간(센서 설치간격) 설정 시 노면온도 지도(Thermal Map) 분석을 권장하고 있음.
- 또한, Thermal map을 통해 상습결빙구간과 일치하는 도로의 국지적인 “cold spot”을 찾아내고 도로관리기관 혹은 운전자에게 정보를 제공함으로써 사고를 미연에 방지할 수 있음.
- 차량 이동형 광학식 노면 센서는 배터리 교환만으로 반 영구적으로 차량에 부착하여 사용할 수 있으며, 고정형에 비하여 유지보수가 쉬운 장점이 있음. 또한, 도로의 관측 정보뿐만 아니라 대기 정보도 함께 제공하기 때문에 다양한 분석이 가능함.



그림 2-3. 독일 Lufft사의 MARWIS-UMB 차량 이동형 광학식 노면 센서와 차량에 장착한 모습

표 2-1. 차량 이동형 광학식 노면 센서의 관측 변수 정보

TIMESTAMP	RECORD	Latitude_A	Latitude_B	Longitude_A	Longitude_B	Speed	Course	Altitude	R_Tem	R_Dew	R_Hum	R_WH	R_Sta	R_Ice	R_Fric	R_Sta_txt	TA	RH	BattV	RTemp
TS	RN	degrees	minutes	degrees	minutes	knots	degrees	meters											Volts	Deg-C
관측시각	기록번호	위도	위도	경도	경도	시속	침로	고도	노면 온도	노면 이슬점 온도	노면 습도	노면 수막두께	노면 상태	노면 결빙률	노면 마찰계수	노면 상태 텍스트	기온	습도	배터리 전압	온도
yyyy-MM-dd hh:mm:ss		도(°)	분(')	도(°)	분(')	knots	도(°)	meters	섭씨(°C)	섭씨(°C)	%	μm		%			섭씨(°C)	%	V	섭씨(°C)

시험도로구간 관측 로그

```

"2020-09-10 19:32:50",57488,37,15.0722,127,21.1008,43.3,115.1,98.4,22.2976,18.52856,79.33841,0,0,0,0.818698,"Dry",20.92802,81.24953,12.14,27.43118
"2020-09-10 19:32:51",57489,37,15.0669,127,21.1144,43.4,116.4,98.5,22.18208,18.52856,79.66918,0,0,0,0.8180557,"Dry",20.91757,81.29655,12.12,27.43143
"2020-09-10 19:32:52",57490,37,15.0613,127,21.1278,43.3,118.4,98.6,22.12867,18.51813,80.0434,0,0,0,0.8200001,"Dry",20.9106,81.27966,12.12,27.4317
"2020-09-10 19:32:53",57491,37,15.0553,127,21.141,43.6,120.98,7.22.14639,18.51813,79.85302,0,0,0,0.8200001,"Dry",20.89667,81.34237,12.12,27.43195
"2020-09-10 19:32:54",57492,37,15.0491,127,21.154,43.6,121.7,98.7,22.08227,18.5077,80.24885,0,0,0,0.8179324,"Dry",20.88621,81.34116,12.14,27.43219
"2020-09-10 19:32:55",57493,37,15.0424,127,21.1668,43.7,123.6,98.7,22.1984,18.5077,79.82887,0.00554432,0,0,0,0.8174892,"Dry",20.87575,81.38825,12.12,27.4324
  
```

그림 2-4. 관측 기기의 실제 관측 log 정보

■ Thermal map 관측 수행 및 Quality Control(QC) 적용

- Thermal map 관측을 위한 최적의 기상 조건은 약한 풍속, 도로의 평균 노면 온도 값이 영하, 맑은 날씨 중 두 가지를 충족하는 경우임 (Todeschini et al, 2016).
- 이 연구에서는 시험도로구간 지역이 평균적으로 영하이며 풍속이 약할 때 관측을 수행하였음.
- 1 차로 2020 년 12 월부터 2021 년 2 월까지, 노면 온도 및 대기 관측을 총 14 회 실시하였음. 2 차 관측은 2021 년 12 월에 총 8 회 실시하여 총 22 회의 관측 자료를 누적하였음 (표 2-2).

표 2-2. 시범 도로구간에 대한 관측 진행 일정표

	관측 번호	관측 날짜	시작 시간(KST)	종료 시간(KST)	구간 정보
1 차 관 측	1	2020-12-21	18:12:40	19:44:09	남원주IC → 남안동IC
	2	2020-12-21	20:35:13	22:04:02	남안동IC → 남원주IC
	3	2020-12-22	07:21:26	08:57:05	남원주IC → 남안동IC
	4	2020-12-22	17:36:30	19:10:01	남안동IC → 남원주IC
	5	2020-12-22	19:25:01	20:55:40	남원주IC → 남안동IC
	6	2020-12-23	07:28:58	09:01:16	남안동IC → 남원주IC
	7	2021-02-02	07:42:58	09:21:29	남원주IC → 남안동IC
	8	2021-02-02	18:02:22	19:40:18	남안동IC → 남원주IC
	9	2021-02-03	05:24:31	07:00:59	남원주IC → 남안동IC
	10	2021-02-03	07:10:19	08:44:41	남안동IC → 남원주IC
	11	2021-02-18	05:07:24	06:43:38	남원주IC → 남안동IC
	12	2021-02-18	06:56:37	08:23:08	남안동IC → 남원주IC
	13	2021-02-18	18:55:06	20:24:13	남원주IC → 남안동IC
	14	2021-02-19	07:49:20	09:19:33	남안동IC → 남원주IC
2 차 관 측	15	2021-12-20	14:12:41	15:51:31	남원주IC → 남안동IC
	16	2021-12-20	20:06:35	21:42:23	남안동IC → 남원주IC
	17	2021-12-21	02:31:53	04:03:46	남원주IC → 남안동IC
	18	2021-12-21	08:27:55	09:55:04	남안동IC → 남원주IC
	19	2021-12-21	14:17:21	15:47:51	남원주IC → 남안동IC
	20	2021-12-21	20:21:27	21:55:57	남안동IC → 남원주IC
	21	2021-12-22	02:04:51	03:39:03	남원주IC → 남안동IC
	22	2021-12-22	08:36:48	09:58:05	남안동IC → 남원주IC

- 노면 온도 관측 자료는 QC 프로그램을 개발하여 missing value를 제거하고 터널 자료를 보정한 후, 가우시안 필터링(Shao et al., 1996)을 적용하는 후처리 작업을 진행하였음. 가우시안 필터링은 정규 분포 공식(식 1)을 활용하여 시그마 값 조절을 통해 중심과 앞, 뒤 관측 값에 가중치를 주어 smoothing 하는 방법론임. Shao et al. (1996) 논문에서는 광학식 노면 온도 관측 자료에 가우시안 필터링을 적용하고 검증하는 연구를 진행하였음.

$$p(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp \left(-\frac{(x - \mu)^2}{2\sigma^2} \right) \dots \text{식 (1)}$$

- 시그마 값 변화에 따라서 정규분포 곡선은 그림 2-5와 같이 변화하며, 이 시그마 값을 적용하여 가우시안 필터링을 적용한 관측 노면 온도는 그림 2-6과 같음. 시그마 값이 클수록 노면 온도 극값이 smoothing 되는 것을 볼 수 있음.
- 이 연구에서는 시그마 1, 2를 주게 되면 smoothing의 강도가 너무 약해 QC의 의미가 없다고 판단하였으며, 관측 자료에 시그마 3인 가우시안 필터링을 적용하여 QC를 진행하였음. 또한 기준 지점의 앞, 뒤 15개 지점의 값을 필터링에 사용하였음.

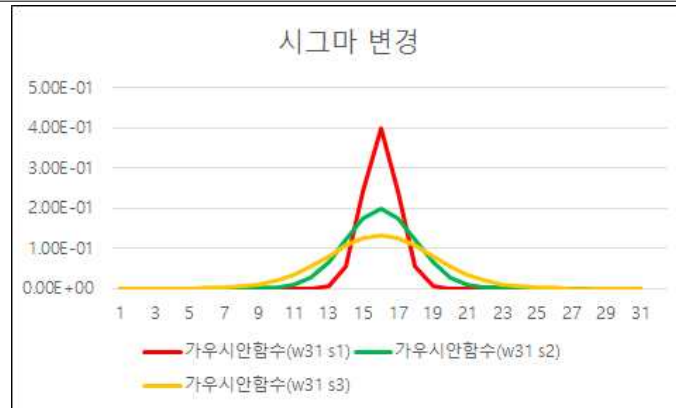


그림 2-5. 시그마 값 변경에 따른 정규분포 곡선의 변화, 붉은색, 초록색, 노란색은 각각 $\sigma=1, 2, 3$ 을 의미함. x 축은 노면 온도 관측 자료 위치 index이며, y 축은 가중치 값을 의미함.

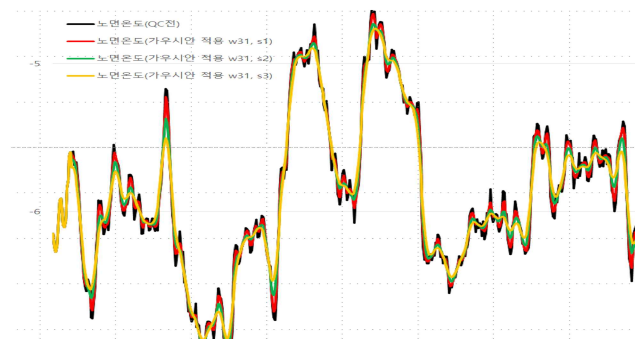


그림 2-6. 가우시안 필터 적용 전의 관측 노면 온도와 $\sigma=1$ (붉은색), 2 (초록색), 3 (노란색)일 때의 관측 노면 온도 그래프, x 축은 테스트 구간의 지점을 의미하며 y 축은 노면 온도($^{\circ}\text{C}$)를 의미함.

- 가우시안 필터링이 적용된 관측 자료는 앞에서 설정한 50 m 간격의 지점 위치로 내삽하여 분석하고 모델의 검증 및 개선에 활용하였음.

○ 물리 기반 노면 온도 예측 모델 개선(Thermal map 정보 융합) 및 검증

■ 기존 노면 온도 예측 알고리즘

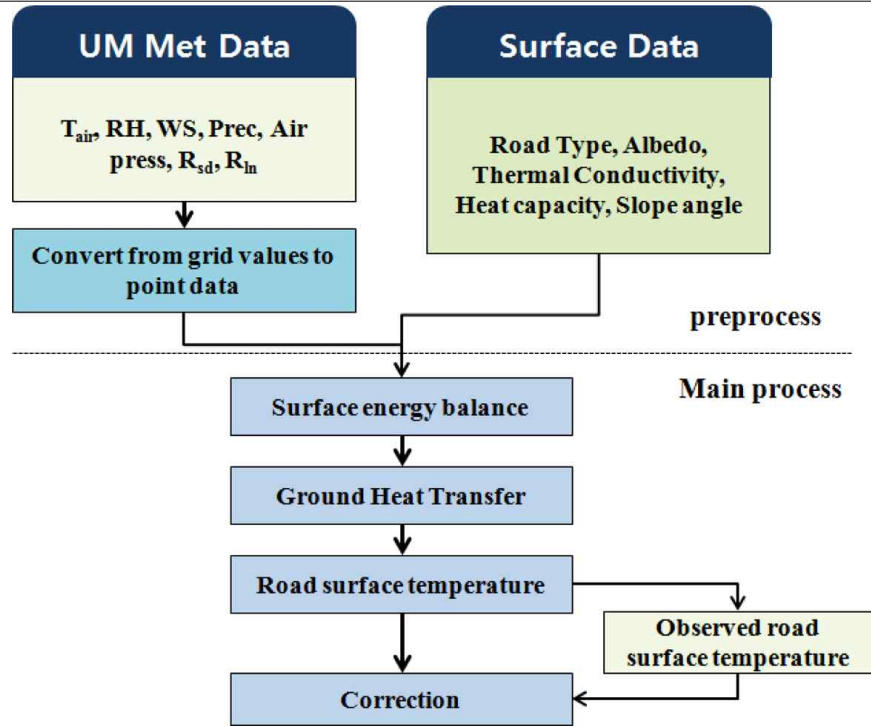


그림 2-7. 기존 노면 온도 예측 모델의 알고리즘 흐름도 (Park et al., 2014)

- 기존 노면 온도 예측 모델의 알고리즘은 기상청에서 생성한 UM 기상자료와 노면 특성 자료를 입력 받아 지표복사에너지수치를 통해 노면에서의 순복사에너지치를 산출하고, 다시 지표에너지수치를 계산하여 지중열속을 산출하고, 마지막으로 이를 지중열전달 과정에 적용하여 노면 온도를 산출함 (그림. 2-7).
- 입력 자료로는 노면의 종류, 알베도, 열전도도, 열용량, 열확산계수, 동서 및 남북 방향의 경사각의 노면 특성 자료와 기온, 상대습도, 풍속, 하향단파복사에너지, 순장파복사에너지, 강수량, 기압의 UM 기상 자료가 사용됨.
- 만일 노면 온도가 관측되는 지점일 경우 관측된 노면 온도와 모델에서 수행된 노면 온도를 비교하여 예측 노면 온도를 보정함.

■ Thermal map 정보를 활용한 노면 온도 예측 모델 개선

- 기존의 노면 온도 예측 모델은 각 지점의 기상정보와 도로 특성 정보만을 활용하여 노면 온도를 예측하기 때문에 국지적인 도로의 특성(건물이나 산의 그림자, 교량 등)을 반영하지 못하여 도로 블랙아이스가 자주 발생하는 cold spot을 찾아내기 힘든 실정임.
- 이 연구에서는 테스트 구간의 노면 온도 관측 자료 즉, Thermal map 자료를 모델에 입력하여, 주위 도로보다 더 차가운 구간인 cold spot을 표현하도록 개선하였음.
- Thermal map 관측을 위한 확장된 기상 조건은 약한 풍속, 도로의 평균 노면 온도 값이 영하, 맑은 날씨 중 두 가지를 충족하는 경우임 (Todeschini et al, 2016).
- 관측 자료는 최대한 많을수록 좋으며, 연구 기간 동안 테스트 구간이 확장된 기상 조건을 만족하는 경우 (Todeschini et al., 2016) 관측(22 회)을 실시함 (표2-2).
- 먼저 노면 온도 예측 모델의 노면 온도 초깃값 처방 시, 과거 48 시간 spin-up 과정을 거치지 않고 실제 1차 관측 자료의 “노면 온도와 기온의 차이(관측 노면 온도 - 관측 기온)”값을 활용하였음.
- 1차 관측 자료로 생성한 “관측 노면 온도 - 관측 기온” 데이터는 오차 보정을 위해 기존의 데이터로 모델을 수행한 후, 생성된 모델의 노면 온도 값과 실제 관측 노면 온도 값의 차이를 보정한 두 번째 데이터를 생성하여 활용하였음.
- 기온의 경우 가까운 지점 사이에는 큰 변화 없이 일반적으로 수평적으로 균질하므로 이러한 “관측 노면 온도 - 관측 기온” 값에는 상대적으로 다른 도로 지점보다 따뜻하거나 차가운 지점이 나타나게 됨.
- “관측 노면 온도 - 관측 기온” 값은 LDAPS의 초기 시간(00, 06, 12, 18 UTC)을 기준으로 관측 자

료의 시간에 맞추어 데이터를 나누었으며, 각 초기 시간에 해당하는 값은 그림 2-8과 같음. 터널 구간은 missing value 처리하여 보이지 않도록 하였음.

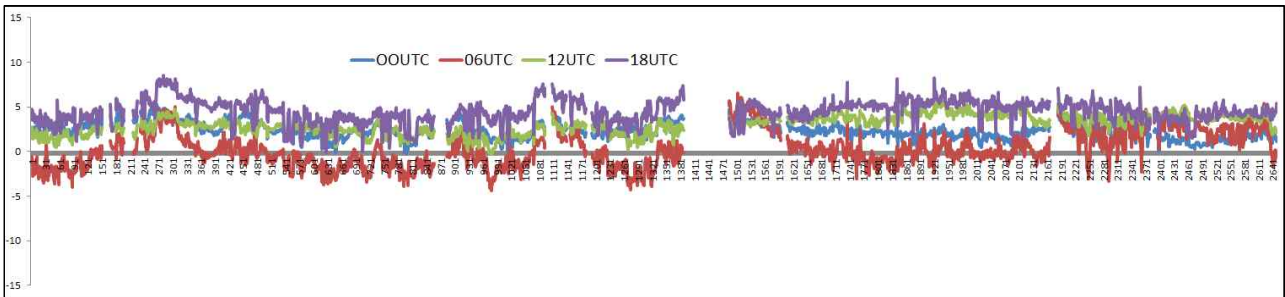


그림 2-8. 1차 관측 자료로 생성한 지점별 “관측 노면 온도 - 관측 기온” 그림, LDAPS 의 초기시간 (00, 06, 12, 18 UTC)별로 계산값을 나누었음. x 축은 테스트 구간(남원주IC ~ 남안동IC)을 의미하며 y 축은 차이 값(℃)을 의미함.

- 이러한 “관측 노면 온도 - 관측 기온” 값을 각 모델 초기 시간의 LDAPS 기온에 처방하여 모델의 초기 노면 온도 값을 계산(초기 노면 온도 = 초기 LDAPS 기온 + “관측 노면 온도 - 관측 기온”)하는 방식으로 개선하였음. 관측으로부터 얻어진 초기 노면 온도를 입력한 모델은 특정 도로구간의 cold spot을 표현하게 됨(그림 2-8).
- 그림 2-9에서 보라색 선은 위의 방법론으로 개선된 노면 온도 예측 결과, 초록색 선은 개선 전의 결과이며, 붉은색 선은 실제 관측한 노면 온도 값임. 모델은 2020. 12. 22. 06:00 UTC (2020. 12. 22. 15:00 KST)를 초기 시간으로 하여 5 시간 이후를 재현한 2020. 12. 22. 20:00 KST의 결과이며, 관측은 2020. 12. 22. 19:25 ~ 20:55 KST 사이의 실측 결과임. 개선 전보다는 개선 후에 실제 관측과 같은 국지적인 변동을 잘 표현하는 것을 볼 수 있음.

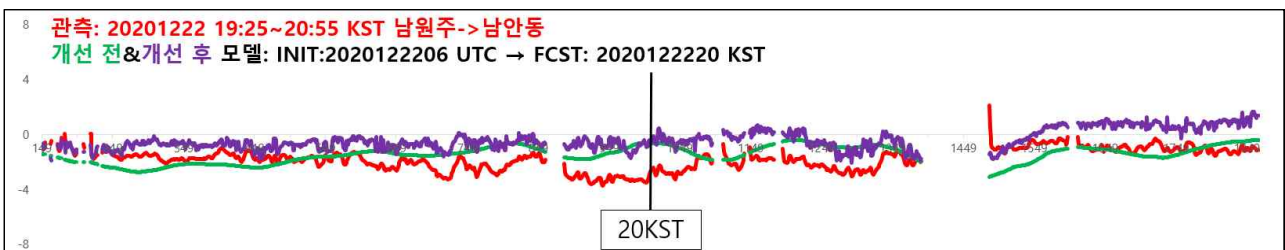


그림 2-9. 개선 전(초록색), 후(보라색)의 모델 결과와 관측(붉은색) 노면 온도의 지점별 그림, 모델은 2020. 12. 22. 06:00 UTC를 초기 시간으로 하여 5 시간 이후를 재현한 20:00 KST 결과이며, 관측은 테스트 구간에 대한 2020. 12. 22. 19:25 ~ 20:55 KST 사이의 실측 결과임. 터널 구간은 missing value 처리하였음. x 축은 남원주IC ~ 남안동IC 구간의 일부이며, y 축은 노면 온도(℃)를 의미함.

■ 개선된 노면 온도 예측 모델 결과 검증

- 시범 도로 구간에 대하여 이동형 도로 노면 온도 관측 차량으로 실측한 2차 관측 자료(총 8 회)를 기준으로 개선 전의 모델 결과와 1차 관측 자료를 활용하여 개선한 모델 결과를 비교하였음.
- 교차 검증을 위하여 모델 개선은 총 14 회의 1차 관측 자료를 활용하였으며, 검증에는 총 8 회의 2차 관측 자료를 기준으로 하였음.
- 모델 결과는 특정 시간대(예: 07:00 KST, 20:00 KST 등)의 순간 시간 값이지만, 고정형이 아닌 이동형 관측 장비의 특성상 관측은 시간 구간 값(예: 18:12 ~ 19:44 KST)으로 비교할 수밖에 없는 한계가 존재함. 그러므로 모델 결과의 순간 시간을 중심으로 ± 30 분 정도의 관측 값을 서로 비교하였음.
- 고정형 관측 자료를 구하기 위해 한국도로공사, 기상청 재해기상연구센터에서 운영하는 RWIS 자료를 얻으려 하였으나, 여러 문제로 입수하지 못하였음.
- 표 2-3에 해당하는 관측과 개선 전/후 모델 결과, 그리고 LDAPS 및 기온 관측 그림은 그림 2-10 ~ 17과 같으며, 각각의 평균 제곱근 오차(Root Mean Square Error, RMSE)는 표 2-3과 같음. 표 2-3에

는 개선 전/후의 모델 오차와 함께 실제 관측 기온과 비교한 LDAPS 기온의 오차도 함께 명시하였음.

- 개선 전 모델의 평균 RMSE는 4.3001 °C에서 개선 후 2.445994 °C로 약 1.854106 °C 정도 성능이 향상되었음. 개선 전 모델의 오차는 노면 온도 초깃값 오차, spin-up 과정에서 발생하는 오차, LDAPS 기온 및 기상 수치 자료의 오차가 중첩되어 나타났으나, 개선 후 모델의 경우에는 노면 온도 초깃값 오차가 줄어들고 spin-up 과정에서 누적되는 오차가 발생하지 않기 때문에 LDAPS의 기온 및 기상 수치 자료의 오차를 상쇄시키는 결과를 보여주고 있는 것으로 생각됨. 개선 후 모델의 경우 LDAPS의 오차 내 범위에 위치하기 때문에 의미 있는 결과로 보이며, 오차가 줄어들었을 뿐 아니라 국지적인 도로 노면 온도의 변화를 잘 모사하여 관측과 유사한 cold spot을 보여준다는 점에서 고무적임(그림 2-10 ~ 17).
- 평균 제곱근 오차 값을 낮은 순서로 순위 나열한 후, 상위 90 %, 50 %에 대한 오차를 계산하였음. 개선 후 모델의 경우 상위 90 % 오차는 평균 ± 1.863299 °C, 상위 50 %의 경우 ± 0.827746 °C로 최종 성과 목표인 90 % 시 ± 2.5 °C, 50 % 시 ± 1.5 °C에는 모두 만족하는 것으로 나타났음.
- 그림 2-11이나 2-12를 살펴보면, LDAPS의 오차가 큰 경우 노면 온도 모델의 결과 또한 오차가 크게 발생하는 것으로 나타나고 있음. 이는 LDAPS와 같은 노면 온도 예측 모델에 입력되는 기상정보의 정확도를 높이는 추가 연구가 필수적임을 의미함.
- 현재 LDAPS의 공간 해상도는 1.5 km 수준임. 이후에 고해상도(100 m 이하)의 고도 자료 및 피복 자료를 활용한 역학적/통계적 상세화 과정을 거쳐 더 정확한 수치 예보 자료를 활용하거나, 계통적 오차 보정과 같은 모델 보정 연구가 이어진다면 더 정확한 노면 온도 예측이 가능할 것으로 생각됨.
- 또한 노면 온도 예측 모델 자체에서 교량이나 산, 건물에 의한 그림자 효과를 구현하는 개선안을 연구한다면 국지적으로 발생하는 cold spot을 찾는 데 더욱 효율적인 시스템을 구축할 수 있을 것으로 보임.

표 2-3. 시범 도로구간에 대한 개선 전/후 모델과 LDAPS 기온의 RMSE 결과. 모델의 순간 시간의 값과 관측의 시간 구간의 값(이동형 관측 장비)을 비교한 것임을 알림. 관측 시간 범위는 모델의 순간 시간을 중심으로 약 ± 30 분 정도로 설정하였음.

	관측 번호	관측 날짜	개선 전 모델 RMSE(°C)	개선 후 모델 RMSE(°C)	LDAPS 기온 RMSE(°C) (vs. 관측 기온)
2 차 관 측	15	2021-12-20	4.107919	1.787974	2.351434
	16	2021-12-20	5.644754	4.446668	5.252767
	17	2021-12-21	5.395137	2.298726	4.522006
	18	2021-12-21	6.572844	3.338518	3.082261
	19	2021-12-21	3.772349	1.917767	0.804646
	20	2021-12-21	1.907723	1.222455	2.041629
	21	2021-12-22	1.075882	1.299957	1.827968
	22	2021-12-22	2.227322	1.167916	0.740502
		평균	4.3001	2.445994	3.429032
		오차 상위 90%	3.678637	1.863299	2.862979
		오차 상위 50%	1.957977	0.827746	1.374233

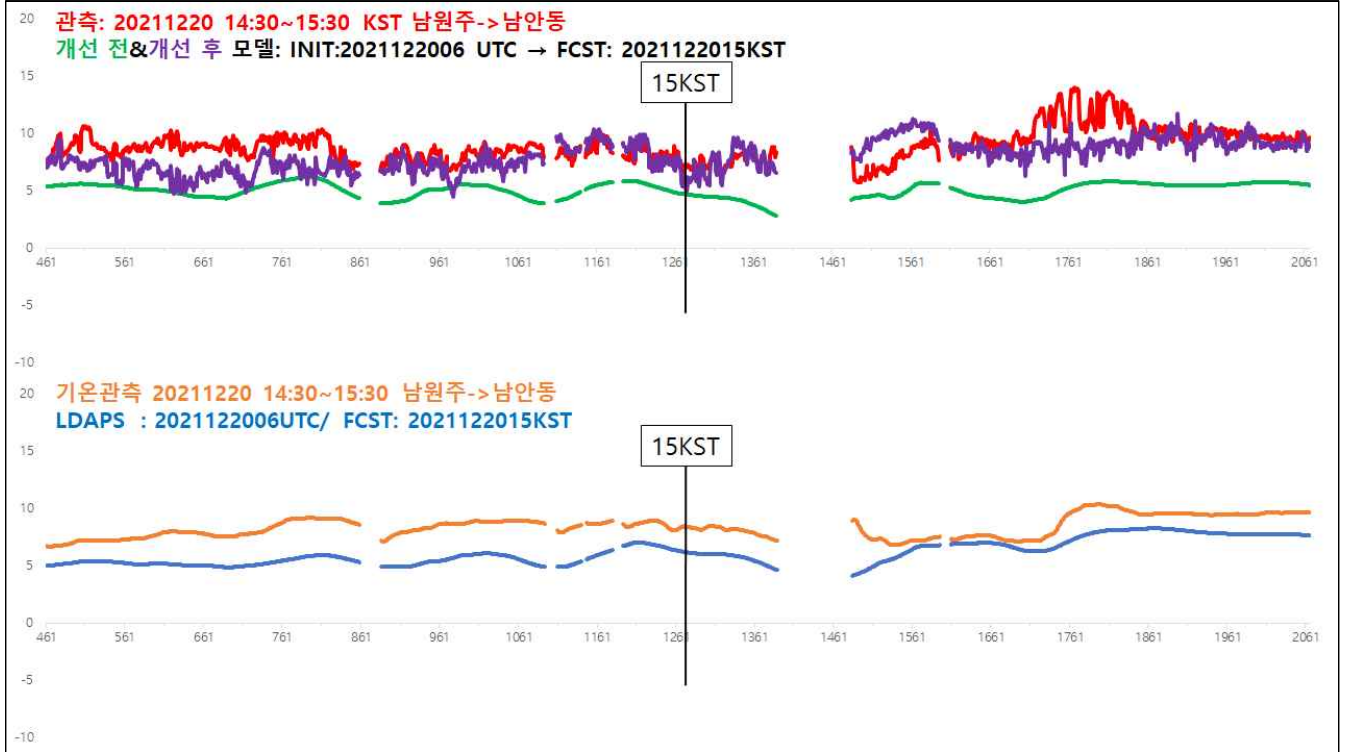


그림 2-10. 시범 도로구간에 대한 개선 전(초록색)/후(보라색) 모델(2021. 12. 20. 15:00 KST) 및 관측 노면 온도(붉은색, 2021. 12. 20. 14:30 ~ 15:30 KST)의 지점별 그림(위)과 노면 온도 예측 모델에 입력되는 LDAPS의 기온과 실제 관측 기온의 지점별 그림(아래). 모델의 순간 시간 값과 관측의 시간 구간 값(이동형 관측 장비)을 비교한 것임을 알림. 관측 시간 범위는 모델의 순간 시간을 중심으로 약 ± 30 분 정도로 설정 하였음. x 축은 남원주IC ~ 남안동IC 구간의 일부이며, y 축은 노면 온도($^{\circ}\text{C}$)를 의미함.

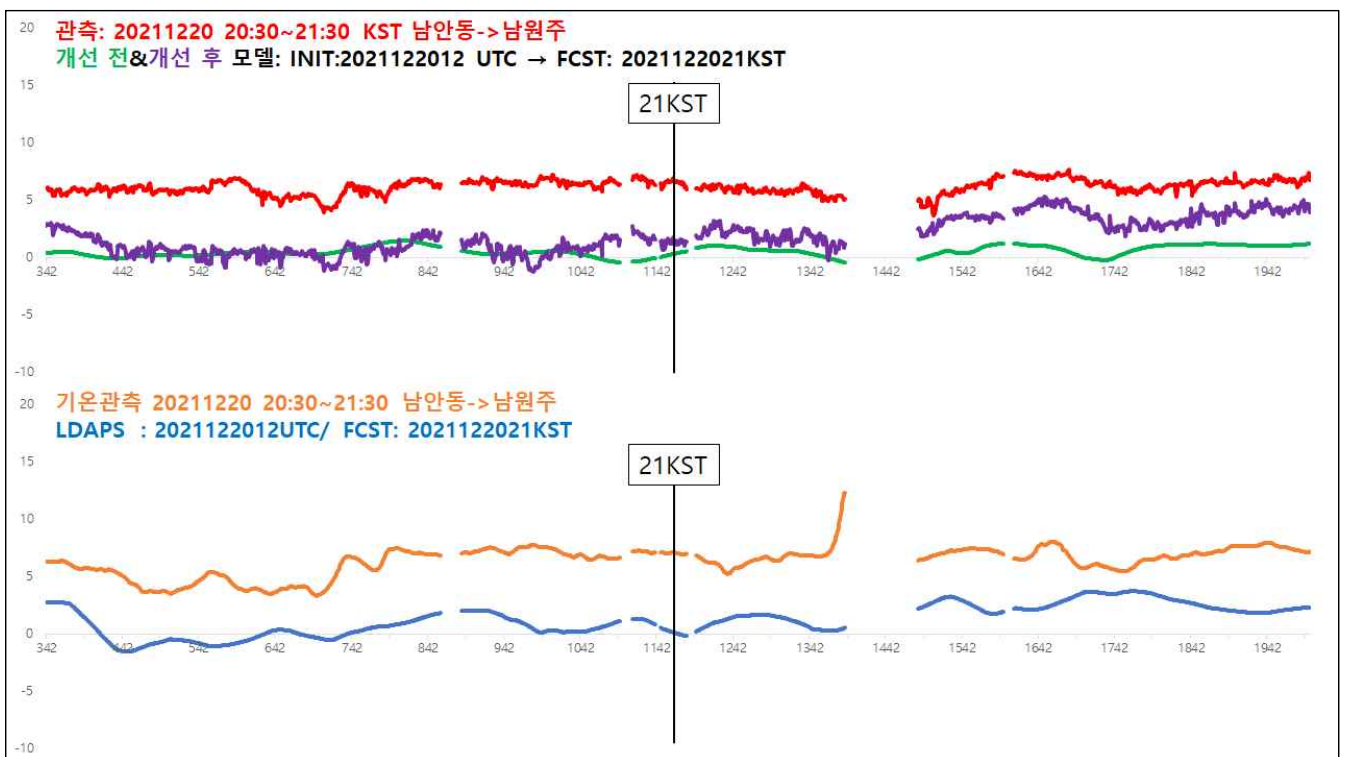


그림 2-11. 그림 2-10과 같으며, 모델은 2021. 12. 20. 21:00 KST, 관측은 2021. 12. 20. 20:30 ~ 21:30 KST 의 노면 온도와 기온의 값임.

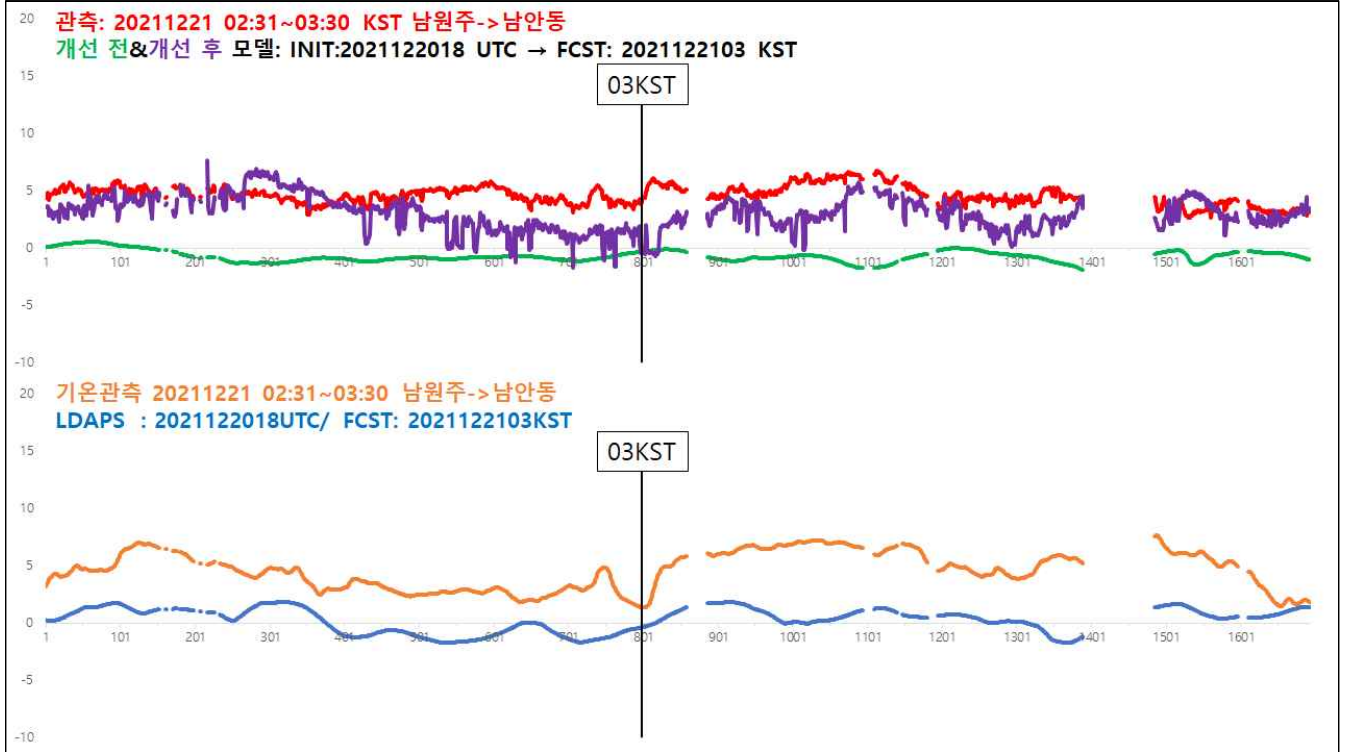


그림 2-12. 그림 2-10과 같으며, 모델은 2021. 12. 21. 03:00 KST, 관측은 2021. 12. 21. 02:31 ~ 03:30 KST의 노면 온도와 기온의 값임.

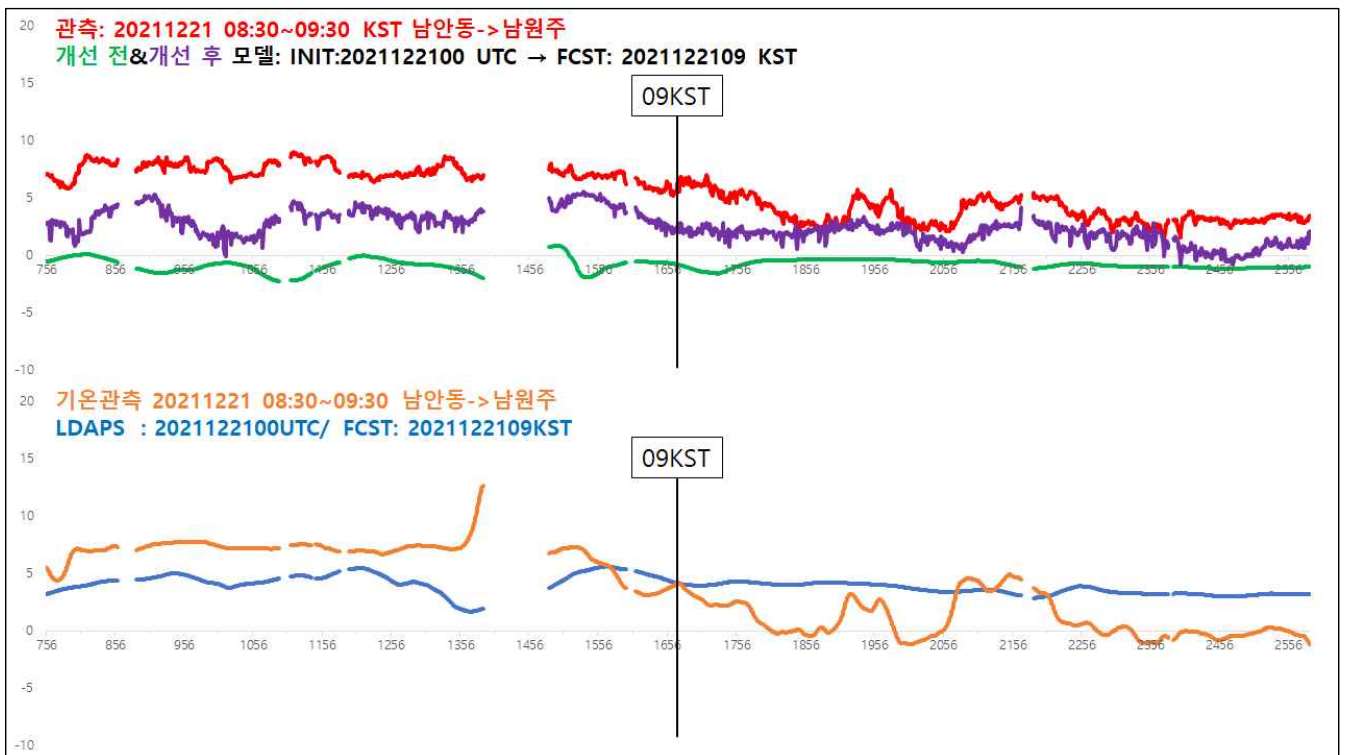


그림 2-13. 그림 2-10과 같으며, 모델은 2021. 12. 21. 09:00 KST, 관측은 2021. 12. 21. 08:30 ~ 09:30 KST의 노면 온도와 기온의 값임.

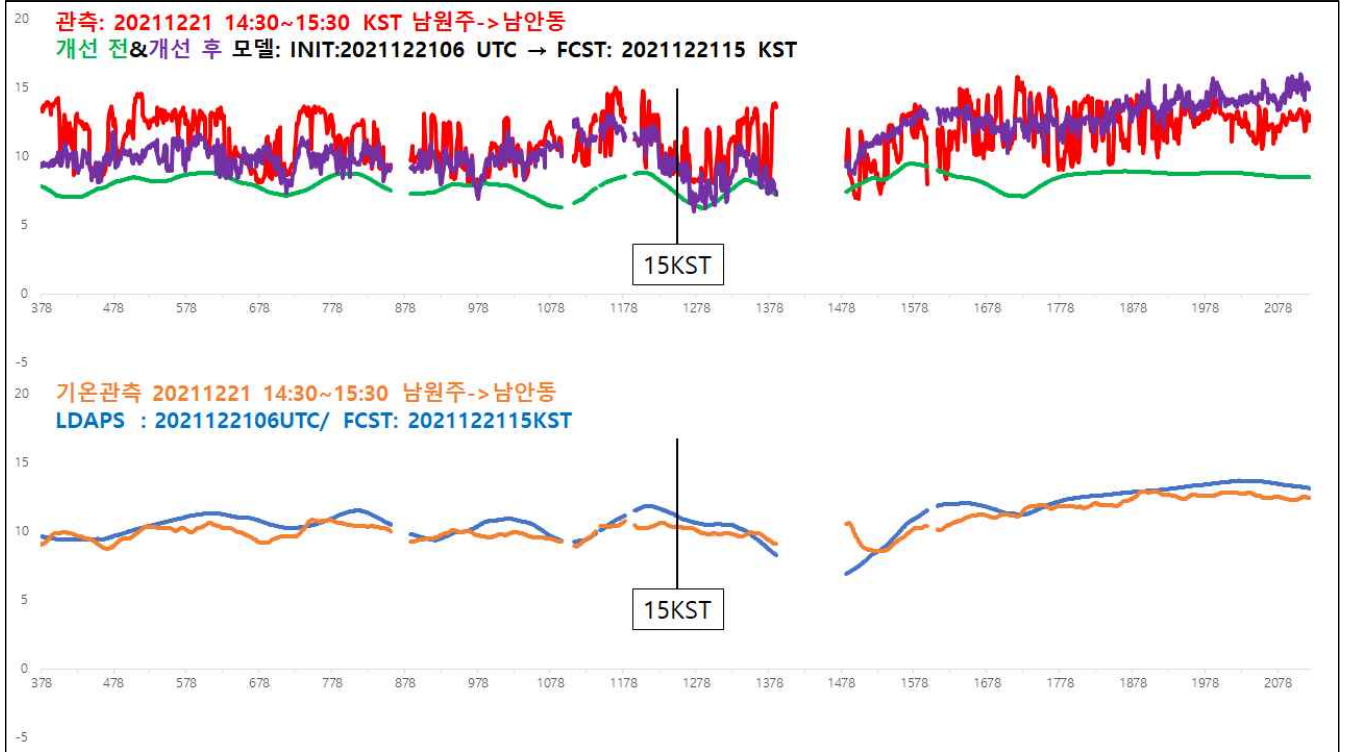


그림 2-14. 그림 2-10과 같으며, 모델은 2021. 12. 21. 15:00 KST, 관측은 2021. 12. 21. 14:30 ~ 15:30 KST의 노면 온도와 기온의 값임.

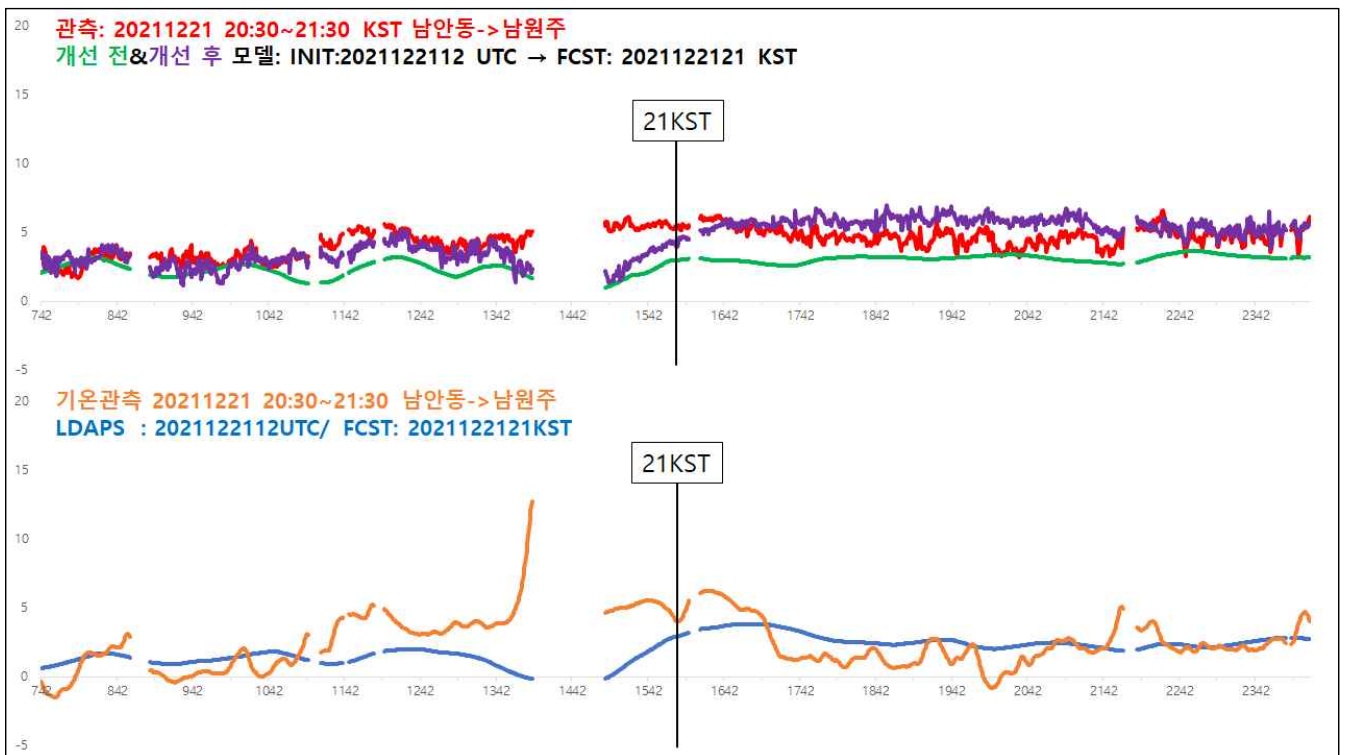


그림 2-15. 그림 2-10과 같으며, 모델은 2021. 12. 21. 21:00 KST, 관측은 2021. 12. 21. 20:30 ~ 21:30 KST의 노면 온도와 기온의 값임.

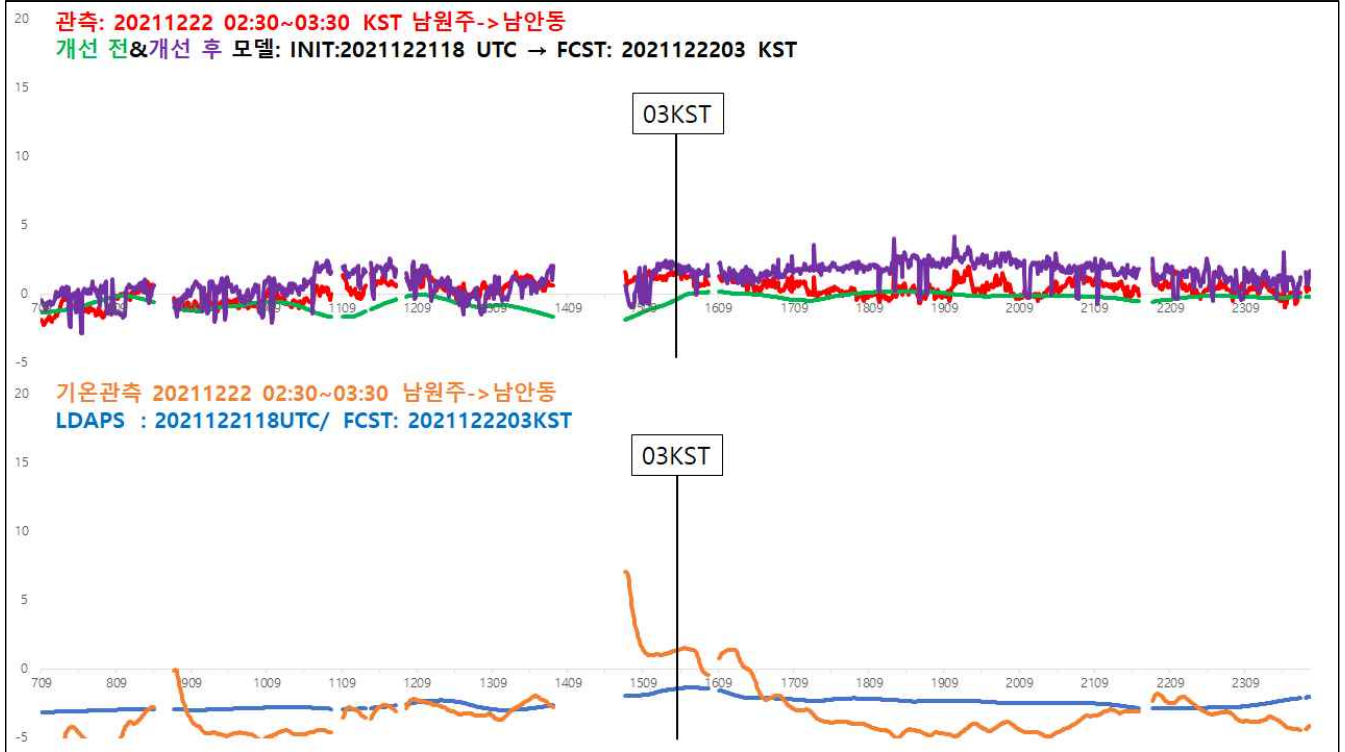


그림 2-16. 그림 2-10과 같으며, 모델은 2021. 12. 22. 03:00 KST, 관측은 2021. 12. 22. 02:30 ~ 03:30 KST의 노면 온도와 기온의 값임.

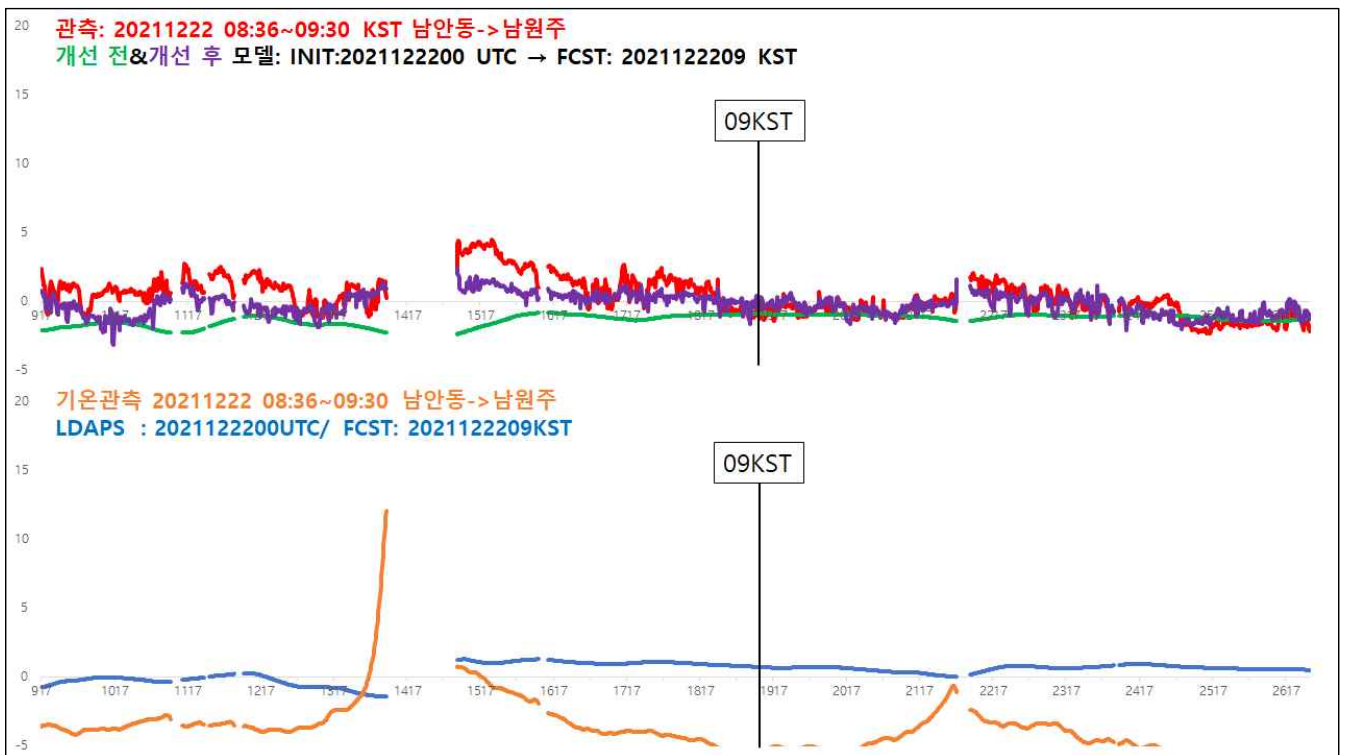


그림 2-17. 그림 2-10과 같으며, 모델은 2021. 12. 22. 09:00 KST, 관측은 2021. 12. 22. 08:36 ~ 09:30 KST의 노면 온도와 기온의 값임.

■ 개선된 노면 온도 예측 모델을 활용한 결빙 인덱스 생성 및 검증

◦ 노면 상태 판정 알고리즘 개발

- 개선된 노면 온도 예측 모델의 노면 온도(T_r) 자료와 기상청 수치 예보 자료(LDAPS)의 상대습도(RH), 노점온도(T_d) 자료를 이용하여 도로의 결빙을 판단할 수 있는 결빙 인덱스를 생성하였음.
- 노면 상태에 따라 결빙 인덱스를 세 개(0, 1, 2)로 나누었으며, 각각 노면 상태가 건조함(0, dry), 습윤함(1, wet), 결빙(2, ice)을 의미함.
- LDAPS 상대습도 자료는 관측 자료보다 과대 모의하는 경향이 있음(그림 2-18). 그러므로 이 연구에서는 1차 관측 자료(총 14 회)를 활용하여, 시범 도로구간의 각 격자 기준점별로 전체 관측 기간에 대한 LDAPS의 대기 상대습도와 실제 관측과의 상대습도 차이의 평균값을 계산하였음. 그리고 이 데이터를 활용하여 LDAPS의 상대습도를 보정한 후에 노면 온도 예측 모델에 입력하여 사용하였음.

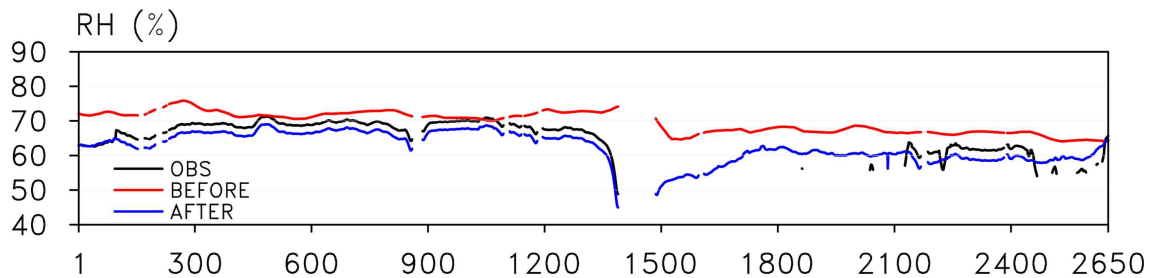
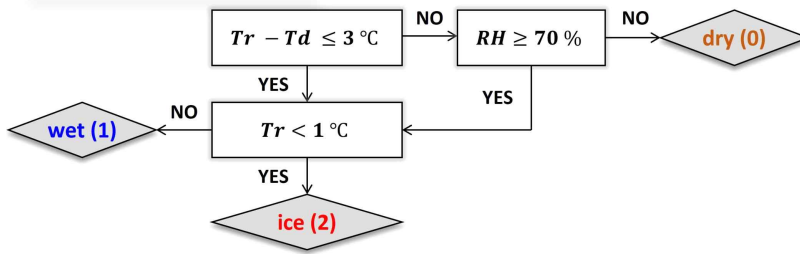


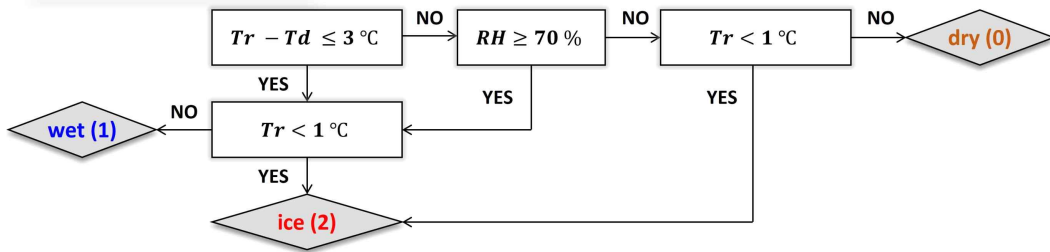
그림 2-18. 지점별 상대습도 그림. 검은색은 관측 자료의 상대습도, 빨간색은 LDAPS의 상대습도, 파란색은 LDAPS의 상대습도 값에서 LDAPS와 관측 자료의 차이를 보정한 후의 상대습도임. 터널 구간은 missing value 처리하여 보이지 않도록 하였으며, 모델의 순간 시간을 중심으로 ± 30 분의 관측 값을 서로 비교하였음.

- 결빙 인덱스의 알고리즘은 Lim and Kim (2020)을 기반으로 연구하였음. Lim and Kim (2020)은 도로 결빙 조건을 분석하기 위하여 도로 결빙 습도 조건과 도로 결빙 판정 조건을 분석하였음. 도로 결빙 습도 조건은 $RH \geq 70\%$, $T \leq 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 에서 $T_r - T_d \leq 3\text{ }^{\circ}\text{C}$ 인 경우로, 도로 결빙 판정 조건은 도로 결빙 습도 조건을 모두 포함하고 $T_d \leq 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 에서 $T_r - T_d \leq 3\text{ }^{\circ}\text{C}$, $T_r \leq 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 인 경우로 나타내어 판정하였음.
- 이 연구에서는 노면 상태를 첫 번째 time에서 $T_r - T_d > 3\text{ }^{\circ}\text{C}$ 이면서 $RH < 70\%$ 일 때 건조한 상태(0)(Lim and Kim, 2020), $RH \geq 70\%$ 에서 $T_r \geq 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 일 때 습윤한 상태(1), $T_r \leq 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 일 때 결빙 상태(2)로 판정함. $T_r - T_d \leq 3\text{ }^{\circ}\text{C}$ 일 때에도 $T_r \geq 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 일 때는 습윤한 상태, $T_r \leq 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 일 때는 결빙 상태로 분류하였음. 두 번째 time부터는 $T_r - T_d > 3\text{ }^{\circ}\text{C}$ 인 경우에 이전 time에서의 노면 상태를 반영하여 노면 상태를 판정할 수 있도록 하였음. 노면 상태를 판단하는 결빙 인덱스 알고리즘은 그림 2-19와 같음.

첫 번째 time, 한 시간 전 dry (0)



한 시간 전 wet (1)



한 시간 전 ice (2)

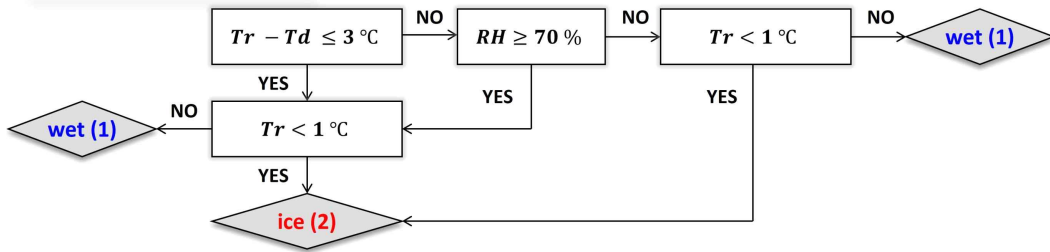


그림 2-19. 노면 결빙 평가 알고리즘.

◦ 결빙 인덱스 결과 및 검증

- 개선된 노면 온도 모델을 활용한 결빙 인덱스 결과를 관측 노면 온도와 비교하기 위하여 관측 자료를 관측 노면 상태에 따라 건조(0, dry), 습윤(1, wet), 결빙(2, ice)으로 결빙 인덱스와 동일하게 분류하였음(표 2-4). 터널 구간은 missing value 처리하여 보이지 않도록 하였으며, 모델의 순간 시간을 중심으로 ± 30분의 관측 값을 서로 비교하였음.

표 2-4. 관측 자료 노면 상태에 따른 결빙 인덱스 구분

노면 상태	노면 상태 설명	결빙 인덱스	비고
0	dry	0 (dry)	도로에 액체 상태의 물이 없음. 습윤 한계치 이하의 수막 높이
1	damp	1 (wet)	도로에 액체 상태의 물이 있음. 습윤 한계치 이하의 수막 높이
2	wet		도로에 액체 상태의 물이 있음. 습윤 한계치 이상의 수막 높이
3	ice	2 (ice)	주로 얼음의 형태로 도로에 얼어붙은 물
4	snow / ice		얼음이나 눈의 형태로 도로에 얼어붙은 물. 눈/얼음 구분 불가능
5	chemically wet		습윤 한계치 이상의 수막 높이. 노면온도 < 1.5 °C
6	critically wet		습윤 한계치 이상의 수막 높이. 노면온도(물+얼음) < 1.5 °C
8	snow		주로 눈의 형태로 도로에 얼어붙은 물
99	undefined		

- 1차 관측(2020년 12월 ~ 2021년 2월, 총 14 회) 자료로 LDAPS 상대습도를 보정자료를 생성하였으며, 이를 2차 관측(2021년 12월, 총 8 회)에 적용하여 산출된 결빙 인덱스를 교차 검증하였음.
- 그림 2-20 ~ 27은 각 관측에 대하여 개선된 노면 온도 예측 모델을 활용하여 계산한 인덱스 결과

를 지점별로 나타낸 그림이며, 살구색은 관측 노면 온도 자료를, 하늘색과 빨간색은 각각 LDAPS의 상대습도를 보정하기 전/후에 계산한 결빙 인덱스 결과임. LDAPS의 상대습도를 보정하기 전보다 보정한 후에 계산한 인덱스 값이 관측과 더 일치함을 볼 수 있음.

- 일반적으로 새벽 ~ 오전 시간대에 결빙 인덱스 알고리즘이 결빙과 습윤을 과대 모의 하는 것으로 나타나고 있음. 이는 70 %의 대기 상대습도 임계값과 $T_r \leq 1^\circ\text{C}$ 임계값에 조절이 필요함을 의미함. 또한 시범 도로구간에 대한 추가 관측을 진행하여 보정에 사용하는 관측 값의 신뢰도를 높일 필요가 있음. 노면 온도 예측 결과 검증 섹션에서 보면 알 수 있듯이 LDAPS의 기상 예측 자료의 오차를 줄이는 추가 연구를 진행할 필요가 있으며, 결빙 인덱스 임계값에 대한 민감도 실험도 필수적이라고 볼 수 있음.

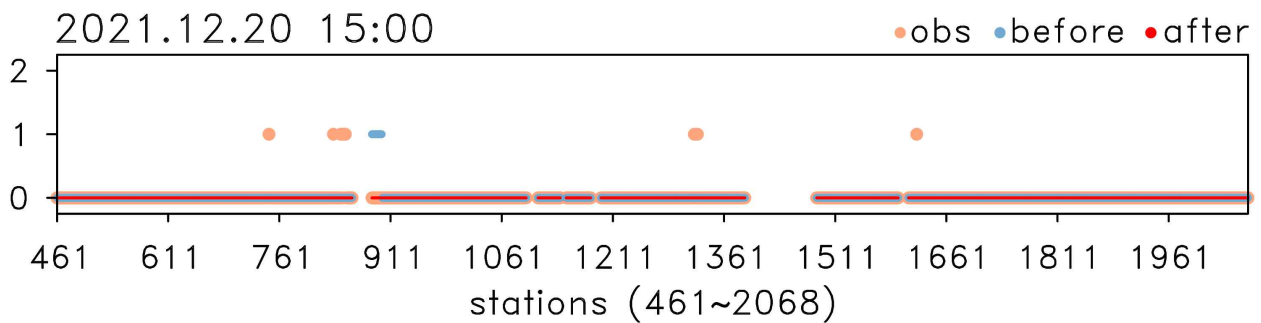


그림 2-20. 2021년 12월 20일 15시에 대하여 개선된 노면 온도 예측 모델을 활용하여 계산한 지점별 인덱스 결과. 살구색은 관측 노면 온도 자료(± 30 분), 하늘색과 빨간색은 각각 LDAPS 상대습도를 보정하기 전과 후에 계산한 결빙 인덱스 결과임.

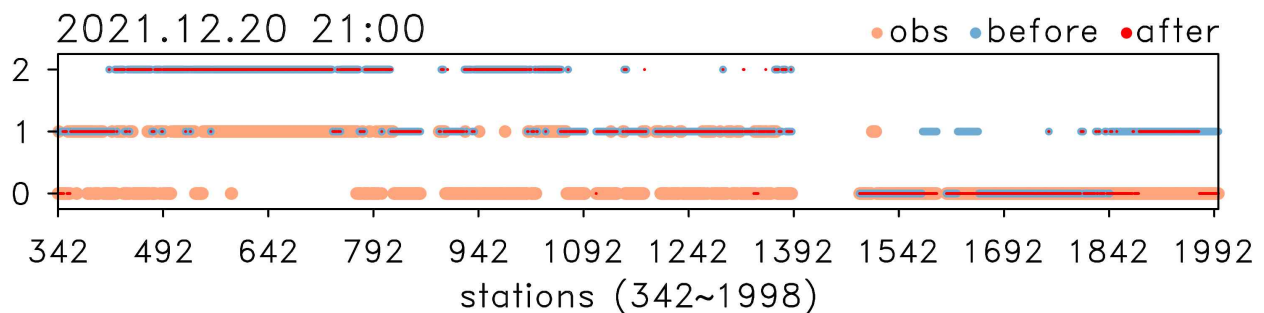


그림 2-21. 그림 2-20과 같으며, 2021년 12월 20일 21시의 결빙 인덱스 결과임.

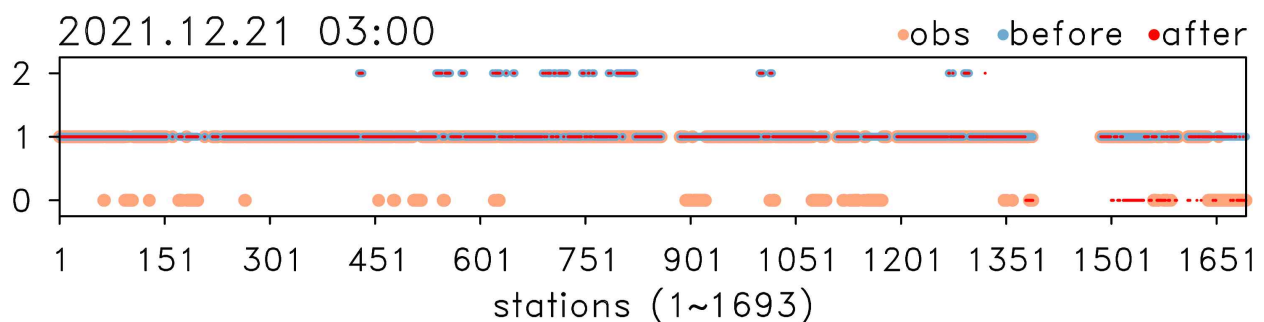


그림 2-22. 그림 2-20과 같으며, 2021년 12월 21일 03시의 결빙 인덱스 결과임.

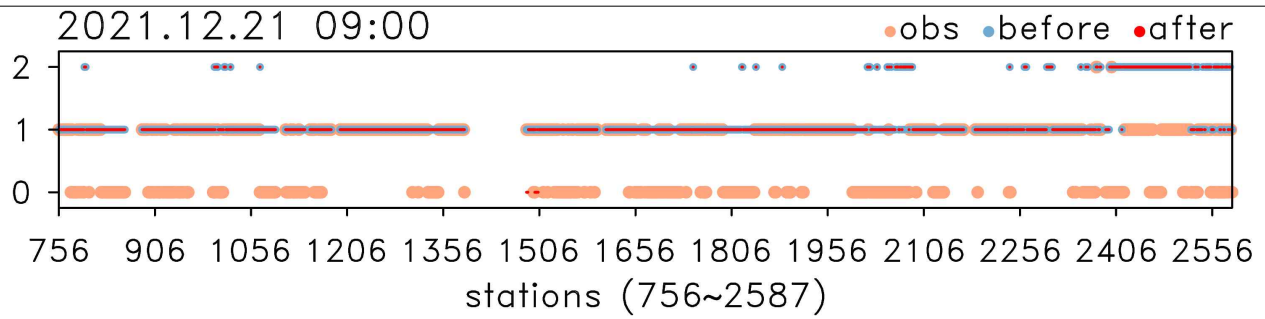


그림 2-23. 그림 2-20과 같으며, 2021년 12월 21일 09시의 결빙 인덱스 결과임.

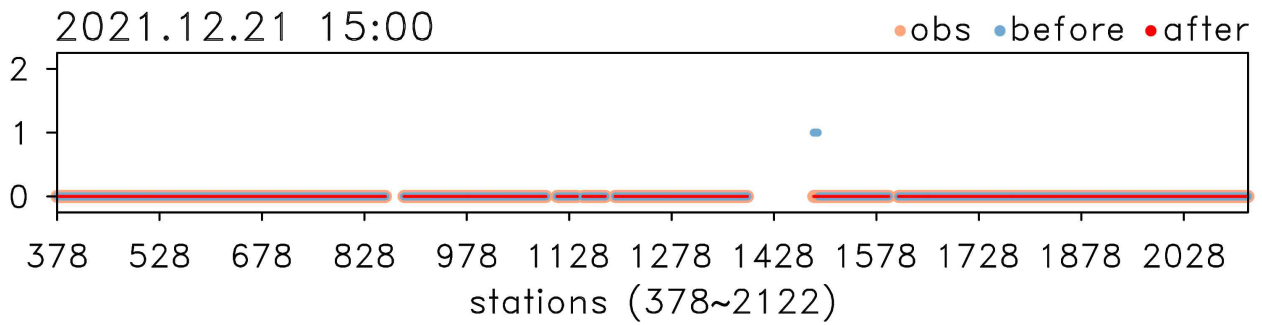


그림 2-24. 그림 2-20과 같으며, 2021년 12월 21일 15시의 결빙 인덱스 결과임.

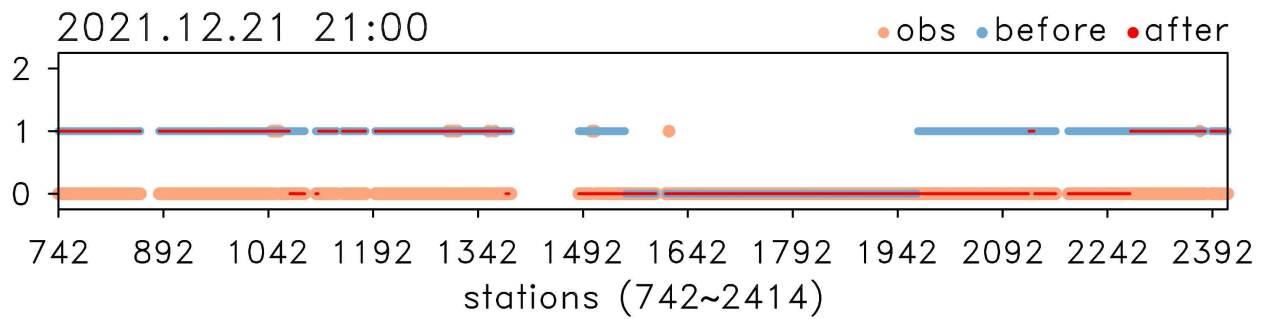


그림 2-25. 그림 2-20과 같으며, 2021년 12월 21일 21시의 결빙 인덱스 결과임.

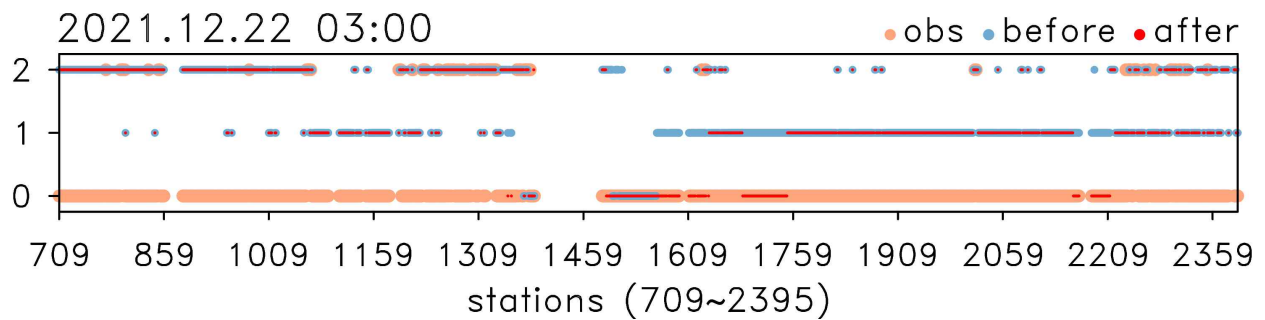


그림 2-26. 그림 2-20과 같으며, 2021년 12월 22일 03시의 결빙 인덱스 결과임.

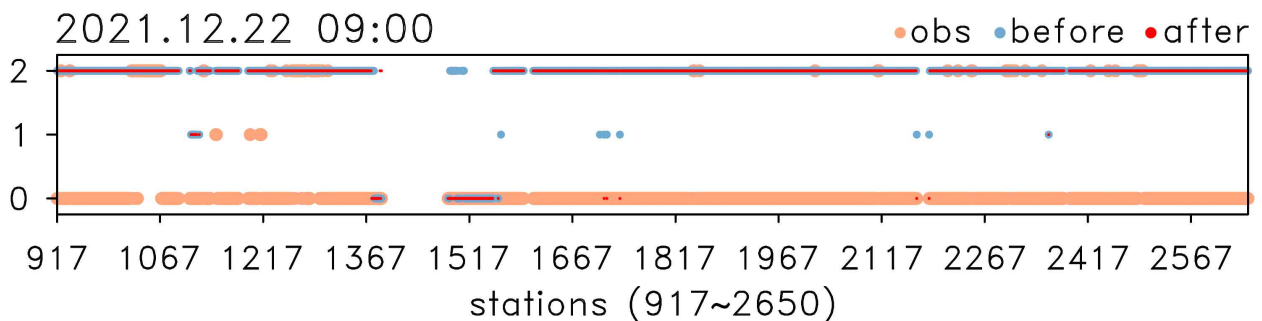


그림 2-27. 그림 2-20과 같으며, 2021년 12월 22일 09시의 결빙 인덱스 결과임.

- RH 보정 전(표 2-5)/후(표 2-6)의 검증 결과를 비교해 보면, LDAPS의 RH를 보정했을 때, 습윤 인덱스의 과대 모의 결과가 보정되어 건조 인덱스의 성능이 향상된 것을 볼 수 있음.
- 8 개의 2차 관측 자료에 대한 결빙 인덱스 검증 결과는 표 2와 같음. 관측 노면 상태와 비교하였을 때 개선된 노면 온도 모델의 건조 인덱스는 50 % 정도의 정확도를 보이며, 습윤 인덱스는 75.51 %의 정확도를, 결빙 상태임을 나타내는 인덱스 2의 경우 82.8 %의 정확도를 보이는 것으로 나타났다.
- 하지만 관측은 9,073지점을 건조, 2,842지점을 습윤, 238지점을 결빙임을 알려주고 있으며, 결빙 인덱스 알고리즘 결과는 4,630지점을 건조, 4,584지점을 습윤, 2,939지점을 결빙이라고 모의하였음. 이 결과 또한, 해당 결빙 인덱스 알고리즘이 새벽 ~ 오전 시간에 결빙과 습윤을 과대 모의하고 있음을 의미하며, 추가적인 관측 자료 누적과 결빙 인덱스에 대한 민감도 실험이 필수적임을 보여주고 있음.

표 2-5. 2차 관측 자료에 대한 결빙 인덱스 검증 결과 (RH 보정 하지 않음, 2차 관측 자료 index 계산)

		dry(0)	MODEL wet(1)	ice(2)	
	0 :	3790 (41.77%)	3134 (34.54%)	2149 (23.69%)	9073
OBS	1 :	16 (0.56%)	2231 (78.50%)	595 (20.94%)	2842
	2 :	5 (2.10%)	28 (11.76%)	205 (86.13%)	238
		3811	5393	2949	12153

표 2-6. 2차 관측 자료에 대한 결빙 인덱스 검증 결과 (1차 관측 자료로 RH 보정, 2차 관측 자료 index 계산)

		dry(0)	MODEL wet(1)	ice(2)	
	0 :	4526 (49.88%)	2414 (26.61%)	2133 (23.51%)	9073
OBS	1 :	97 (3.41%)	2146 (75.51%)	599 (21.08%)	2842
	2 :	7 (2.94%)	24 (10.08%)	207 (86.97%)	238
		4630	4584	2939	12153

○ 실시간 블랙아이스 취약 구간 예측 시스템 구축

■ 취약 구간 예측 시스템 기반 모듈 개발

- 기상청 수치 예보 자료(LDAPS)를 수집하는 '실시간 수집 모듈'과 수치 예보 자료를 노면 온도 예측 모델에 입력할 수 있는 형태로 변환하는 '전처리 모듈', 입력자료를 수집하여 노면 온도 예측 모델을 수행하는 '모델 수행 모듈', 노면 온도 예측 모델 결과를 Web 시스템에서 사용할 수 있는 형태로 변환 및 가공하는 '후처리 모듈'을 개발하였음.
- 실시간 수집 모듈: 기상청에서 제공하는 국지 예보 모델(LDAPS; 1.5 km 수평 해상도, 하루 4 회(00, 06, 12, 18 UTC) 수집, 총 48 시간 1 시간 간격 예측) 자료를 24 시간 예측 자료까지 실시간으로 수집하는 기능이 있음.
- 전처리 모듈: LDAPS 자료를 노면 온도 예측 모델에 입력할 수 있는 형태로 변환하며, 50 m 간격의 시범 도로구간 격자 위치로 내삽을 진행하여 모델 수행 모듈에 전달하는 기능을 함. 내삽하여 생성한 노면 온도 예측 모델 기상 입력자료는 표 2-7과 같음.

- 모델 수행 모듈: 전처리 모듈에서 준비한 내삽된 LDAPS 정보와 시스템 데이터베이스에 저장되어있는 50 m 간격의 시범 도로구간 도로 정보 자료(표 2-8)를 준비하여 노면 온도 예측 모델을 수행함. 모델의 output(표 2-9)은 데이터베이스 디렉토리(그림 2-29)에 날짜별로 저장되도록 함.
- 후처리 모듈: 모델 수행이 정상적으로 완료되면 후처리 모듈은 Web system에 자료를 전달하기 전에 json 포맷으로 변환하는 기능을 수행함.

표 2-7. LDAPS 자료를 시범 도로구간 격자 지점별로 내삽한 노면 온도 예측 모델 기상 입력자료 예시

예측시간	기온	상대습도	풍속	기압	단파복사	장파복사	강수	해면고도	강설	노점온도
2021122021	2.979	73.384	3.371	990.575	0.000	-76.033	0.000	200.292	0.000	0.855
2021122022	2.503	78.909	3.110	991.329	0.000	-73.930	0.000	200.292	0.000	1.239
2021122023	2.473	80.276	3.372	991.440	0.000	-68.395	0.000	200.292	0.000	1.457
2021122100	2.369	88.786	1.386	991.357	0.000	-53.883	0.000	200.292	0.000	2.319
2021122101	1.920	91.149	1.216	991.379	0.000	-45.114	0.000	200.292	0.000	2.092
2021122102	1.722	93.428	0.759	991.578	0.000	-44.050	0.000	200.292	0.000	2.024
2021122103	1.699	92.558	1.735	991.839	0.000	-60.518	0.000	200.292	0.000	2.067
2021122104	1.256	93.809	1.760	991.067	0.000	-58.405	0.000	200.292	0.000	1.940
2021122105	1.501	93.626	1.736	990.351	0.000	-51.888	0.000	200.292	0.000	2.110
2021122106	1.495	94.830	0.985	990.443	0.000	-46.556	0.000	200.292	0.000	2.405
2021122107	1.222	96.615	1.113	990.914	0.000	-31.954	0.000	200.292	0.000	2.116
2021122108	1.784	96.819	0.717	991.338	2.637	-20.573	0.000	200.292	0.000	2.236
2021122109	4.320	93.011	0.760	992.039	63.628	-25.817	0.000	200.292	0.000	3.592
2021122110	6.082	90.024	1.065	992.629	132.092	-27.250	0.000	200.292	0.000	4.027
2021122111	7.820	87.344	1.082	992.476	201.864	-33.326	0.000	200.292	0.000	4.335
2021122112	7.686	87.056	1.723	991.284	182.189	-25.193	0.000	200.292	0.000	4.562
2021122113	8.887	82.107	1.764	990.681	236.242	-37.372	0.000	200.292	0.000	4.440
2021122114	8.742	79.112	1.691	990.666	234.675	-41.647	0.000	200.292	0.000	4.325

표 2-8. 시범 도로 구간 격자 지점별 도로 정보 자료 예시 (99번 포인트)

#
Site Number : 99
Road Type : A
Road Year : 2000
Slope Angle (E-W) : 0.0
Slope Angle (S-N) : 0.0
Type : A
#
Latitude (N) : 37.30123537853332
Longitude (E) : 127.97697162702589
Height (m) : 213.7154762
Ground1 : A 0.05
Ground2 : K 0.20
Ground3 : L 0.40
Ground4 : L 1.00
Ground5 : Z 99.9
Ground6 : Z 99.9
Ground7 : Z 99.9
#

표 2-9. 시범 도로구간 한 지점의 노면 온도 예측 모델 결과 예시

시간	노면온도	기온	대기노점온도	상대습도	INDEX
2021122009	0.3690	0.3690	-3.9810	62.9963	0
2021122010	1.4326	2.3230	-3.3630	61.7393	0
2021122011	2.9629	4.8310	-2.9340	57.4463	0
2021122012	4.5662	6.9070	-2.0900	54.2153	0
2021122013	5.9787	7.5070	-1.2420	53.6883	0
2021122014	7.0845	7.2290	0.1630	54.7973	0
2021122015	7.6455	6.5530	3.6490	68.4603	0
2021122016	7.2734	4.6740	1.6680	60.5203	0
2021122017	5.9299	3.8870	0.7640	56.8613	0
2021122018	4.4866	3.1180	1.0180	61.2213	0
2021122019	3.4432	1.8010	1.1380	68.5263	1
2021122020	2.6470	0.7370	0.8290	74.0563	1
2021122021	2.1154	1.0590	0.9020	71.2963	1
2021122022	1.7535	0.8710	0.9800	73.4463	1
2021122023	1.4233	0.2680	0.8250	76.0603	1
2021122100	1.1956	0.3510	1.0050	80.5053	1
2021122101	1.0824	0.1730	0.9810	82.0643	1

■ 취약 구간 예측 시스템 기반 모듈 결합

- 위 네 가지의 기반 모듈(실시간 수집 모듈, 전처리 모듈, 모델 수행 모듈, 후처리 모듈)을 결합하는 통합 시스템을 개발하였음(그림 2-28, 30).
- 또한, 기상청 LDAPS 자료와 모델의 입력자료 그리고 출력자료를 저장하는 데이터베이스를 구축하였으며, 해당 디렉토리에는 포맷 변환 자료도 일괄 저장하고 있음. 리눅스 서버의 용량 한계에 따라 과거의 자료는 순차적으로 삭제하도록 설계되어 있음(그림 2-29).
- 결합 환경은 리눅스 서버를 기반으로 하고, shell 및 java 스크립트를 활용하여 모델이 실시간으로 구동될 수 있도록 각 모듈을 결합함.
- 최상위 시스템 셸은 각 기반 모듈이 순차적으로 수행되고 선행 단계 모듈의 정상 수행 여부를 확인하여 진행하도록 개발하였으며, 각 단계별 로그를 생산하고 관리하는 기능을 삽입함.
- Web 시스템에서 등록된 도로구간 중 Thermal map 결과가 없는 구간은 개선 전 모델이 수행되며, Thermal map 결과가 있는 구간은 개선 후 모델이 수행되도록 개발하였으며, UTC (00, 06, 12, 18) 별로 관측 자료가 필요함.
- 즉 시스템 사용자가 원하는 도로 구간을 등록하면 관측 데이터를 활용하여 초기 노면온도 개선 데이터가 존재하는 구간은 개선된 모델의 결과가 00, 06, 12, 18 UTC 마다 자동적으로 산출되며, 관측 데이터가 존재하지 않는 구간은 개선 전 모델의 결과가 실시간으로 산출되고 Web에 정보가 전달되어 노면온도 분포를 볼 수 있도록 구축되어 있음.
- 결과적으로 사용자 및 관리자가 등록한 모든 도로 구간에 대하여 모델 수행 및 결과 표출이 가능한 시스템임.
- 2차 년도 사업 기간 중, 시스템을 계속 실시간 테스트하여 현업화 적용 시 문제가 발생하지 않도록 대비하였음.

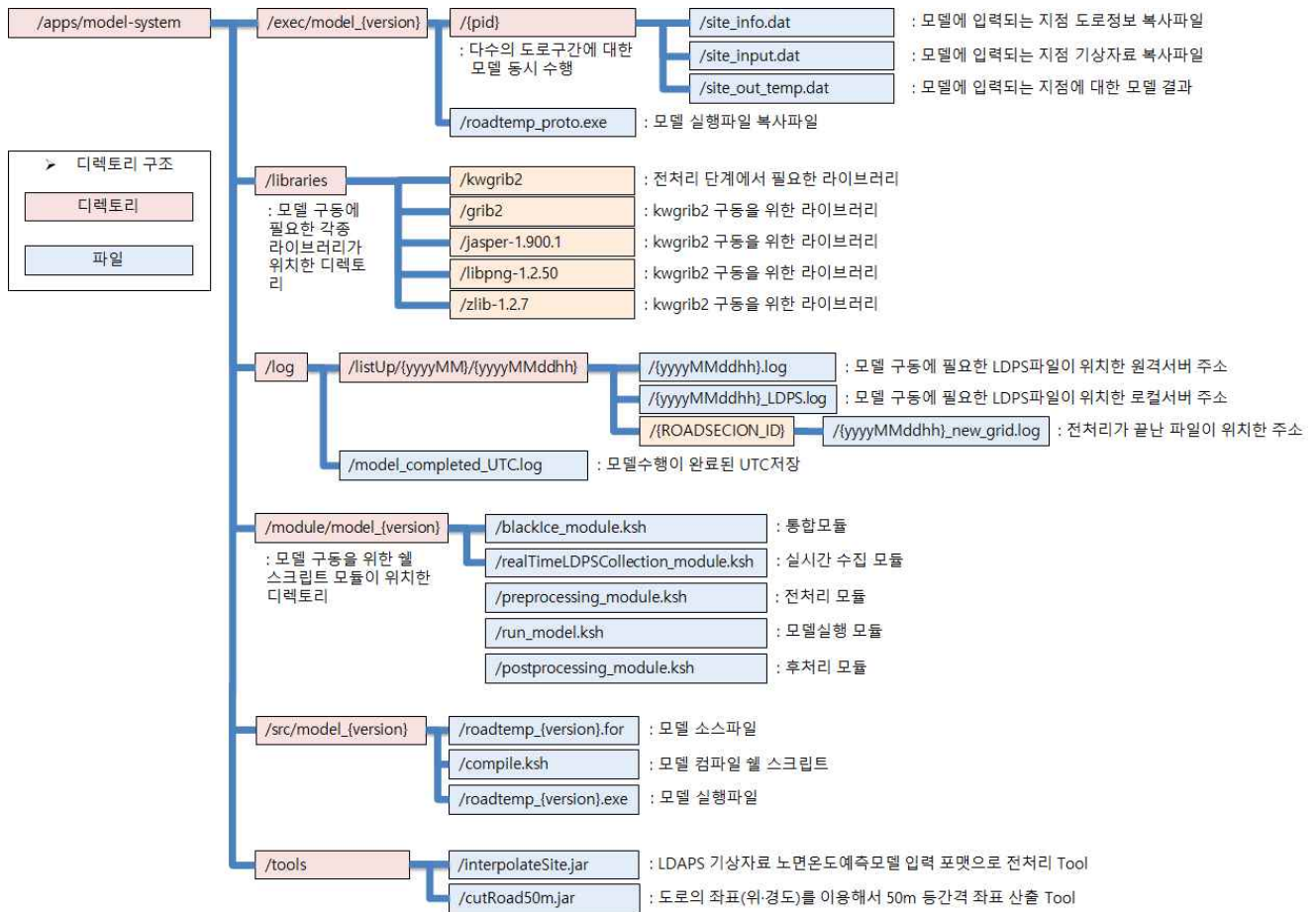


그림 2-28. 실시간 블랙아이스 취약 구간 예측 시스템을 구성하는 디렉토리와 파일 그리고 각종 라이브러리 정보

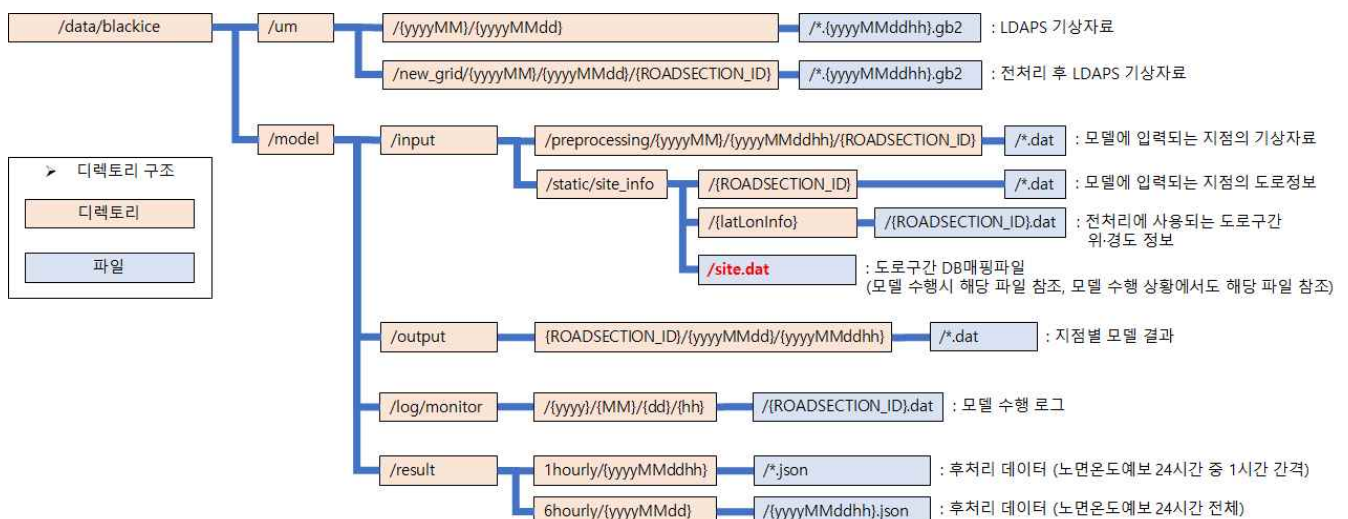


그림 2-29. 노면 온도 예측 모델의 입력자료 및 출력자료, 포맷 변환 자료 등을 저장하는 데이터베이스 구조

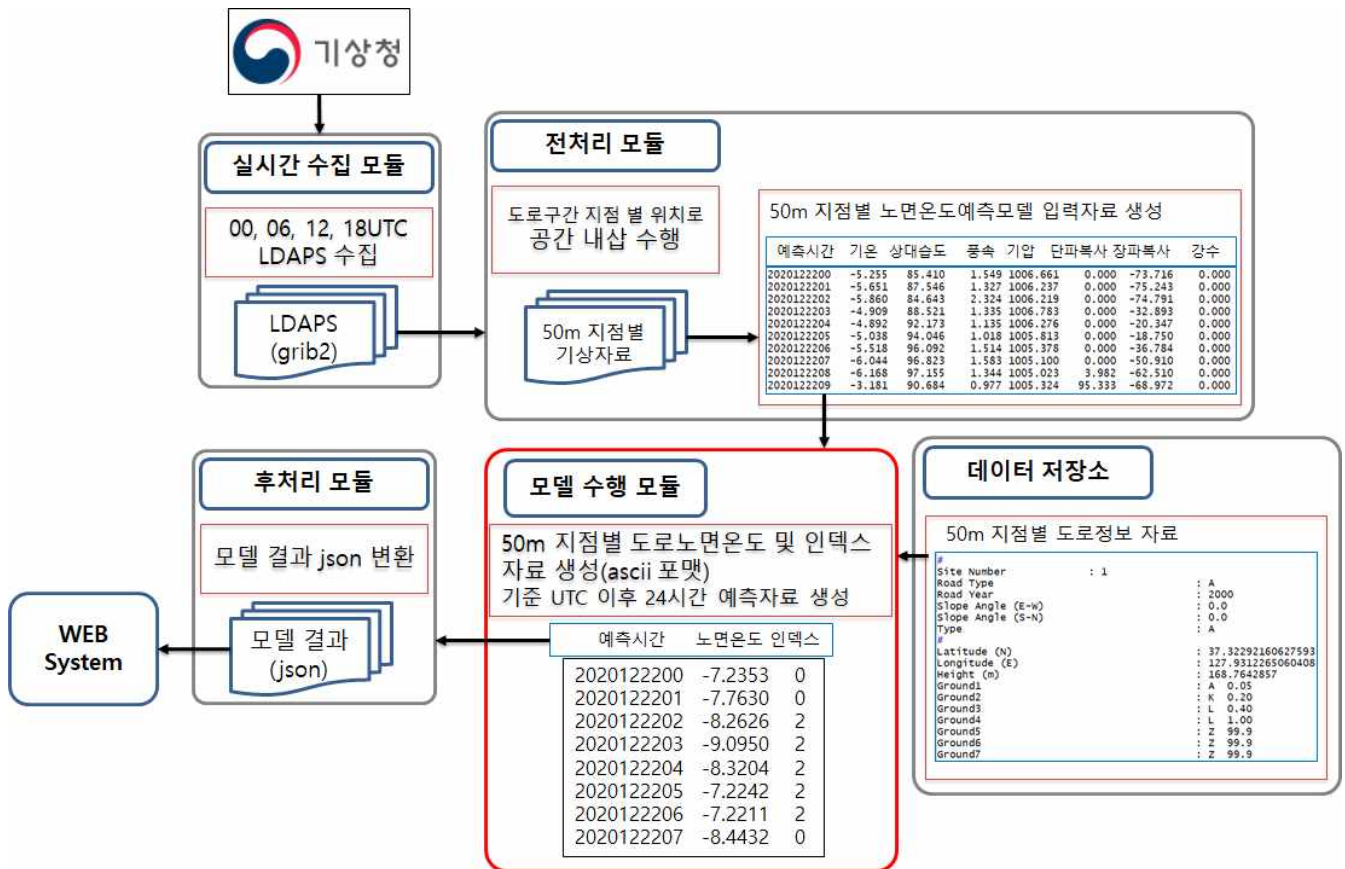


그림 2-30. 실시간 블랙아이스 취약 구간 예측 시스템의 흐름도, 각 기반 모듈은 하나의 시스템으로 결합되었음.

○ Web 기반의 블랙아이스 취약 구간 예·경보시스템 구축

■ 시스템 필요성

- 도로교통공단에서 제공하는 교통사고분석시스템 (<http://taas.koroad.or.kr>) 에 따르면, 최근 5년 (2016 ~ 2020 년) 동안 도로 결빙 및 서리로 인해 도로에서 발생한 교통사고 건수는 4,868 건이며, 사망자는 143 명으로 나타남. 사고 100 건당 사망자 수는 2.9 명으로 전체 교통사고 평균 1.7 명보다 1.7 배 높은 것으로 나타남.
- 이에 따라 운전자, 지자체 및 기상 예보 기관, 도로 관리 기관에서 노면 온도 예측 결과와 결빙 위험 지수와 같은 블랙아이스 취약 구간 정보에 대한 수요가 증가하고 있음.
- 블랙아이스 취약 구간 예·경보 시스템을 통해 도로 공사와 국토 관리청 등의 도로 관리 기관에서는 도로 제설제 살포 시기를 판단하고 도로 전광판에 경고 문구를 제시함으로써 교통사고 건수 및 사망자 수를 감축시킬 수 있으며, 기상청 등의 예보 기관에서는 지자체와 국민을 대상으로 블랙아이스 위험 진단 서비스 및 블랙아이스 예·경보 서비스를 제공할 수 있음. 또한, 내비게이션 회사 등에서는 내비게이션에 도로 위험 정보를 실시간으로 알려주는 서비스를 제공하여 운전자의 수요를 맞출 수 있음.

■ 시스템 설계

- 노면 온도 예측 결과와 다양한 기상 관측 자료의 일관된 자료 입출력 처리를 위한 목표시스템 구성 및 시스템 설계를 진행함(그림 2-31, 표 2-10). 사용자 편의성, 개발 용이성, 이식성, 유지 보수성을 고려하여, 시장에서 검증된 오픈 플랫폼 및 오픈 소스 기반의 소프트웨어 스택을 채택함(표 2-11).
- 안정적인 연구 및 시스템 구축을 위한 개발 환경을 구성함(그림 2-32). 개발 서버 확보 및 가상화 환

경 구성, 사내 이슈 관리 시스템(gitlab)을 활용한 개발 항목 관리 및 협업, 지속적인 시스템 빌드 및 배포 환경을 구성함(jenkins).

- 예·경보시스템은 노면 온도 예측 결과, 결빙 위험 지수, 경보 현황 및 RWIS 관측 자료를 지도 서비스 기반으로 통합하여 제공하는 종합 화면, 노면 온도 예측 결과와 RWIS 관측 자료에 대한 상세 조회 기능, 노면 온도 예측 모델 수행 모니터링 및 도로 정보 관리를 위한 관리자 기능으로 구성함(그림 2-33, 2-34).

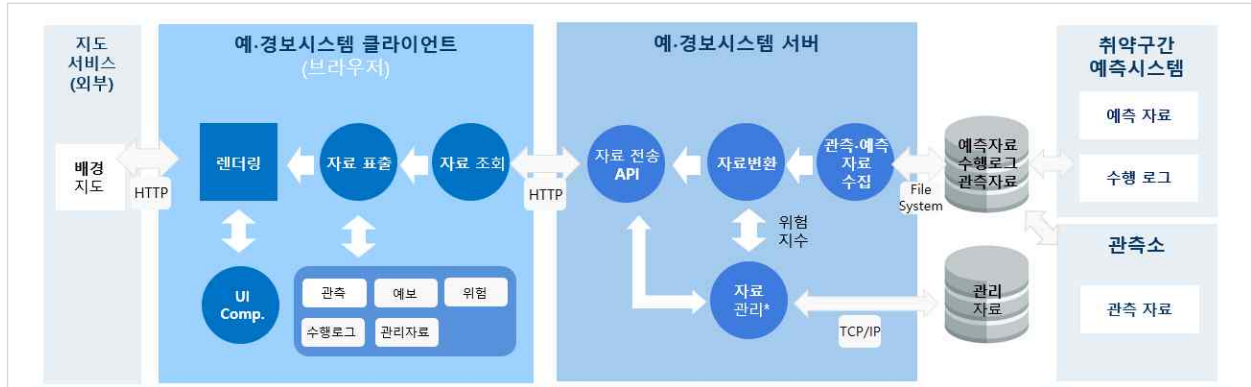


그림 2-31. 예·경보 시스템 목표 시스템 구성도

표 2-10. 예·경보 시스템 설계 산출물 목록

시스템 설계 산출물 목록	산출물 저장소 화면 덤프
- 요구사항정의서 - 아키텍처정의서 - 자료구조정의서 - 프로그램목록 - 화면설계 - 데이터설계 - API설계 - 테스트설계	- 국토부 블랙아이스-테스트설계_v1.0.xlsx - 국토부-블랙아이스-API설계서_v1.0.xlsx - 국토부-블랙아이스-데이터설계_v1.0.xlsx - 국토부-블랙아이스-상세설계-50m 등간격 좌표 생성.pptx - 국토부-블랙아이스-아키텍처정의서_v1.0.pptx - 국토부-블랙아이스-요구사항인터뷰참고시스템.pptx - 국토부-블랙아이스-요구사항정의서_v1.0.xlsx - 국토부-블랙아이스-자료구조정의서_v1.0.xlsx - 국토부-블랙아이스-프로그램목록_v1.0.xlsx - 국토부-블랙아이스-화면설계_v1.0.pptx

표 2-11. 예·경보 시스템 소프트웨어 스택

구분	소프트웨어	비고
Data Visualization	D3.js 5.16.0 이상	다양한 자료 가시화 기능 제공
Map Library	Leaflet 1.6.0 이상	지도 서비스 기반 자료 표출
CSS Library	Material UI 4.10.1 이상	다양한 UI 컴포넌트 제공
Front-end Framework	React 16.13.1 이상	프론트엔드 UI 프레임워크
GIS toolkit	geoTools 22.3 이상	공간 정보 자료 변환
Graph Library	jgrapht 1.0.1	그래프 알고리즘 라이브러리
ORM	Hibernate 5.4.15 이상	객체 관계 데이터 매핑
Application Development F/W	Spring 5.2.5 이상	애플리케이션 개발 프레임워크
Framework Runtime	SpringBoot 2.2.6 이상	Spring 프레임워크 런타임
Java Runtime	Open JDK 8	Java 개발 및 런타임
DBMS	MariaDB 10.3	오픈 소스 관계형 데이터베이스 엔진
Virtual Container	Docker 19.03.8 이상	컨테이너 엔진
OS	Ubuntu 18.04	OS 플랫폼

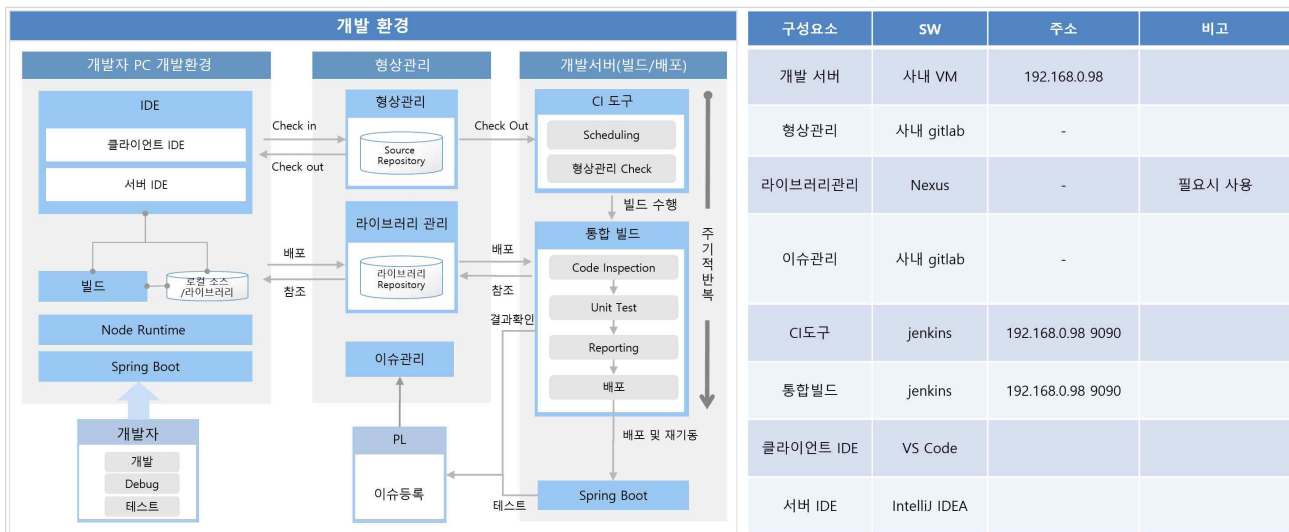


그림 2-32. 예·경보 시스템 개발 환경 구성도



그림 2-33. 예·경보 시스템 주요 기능

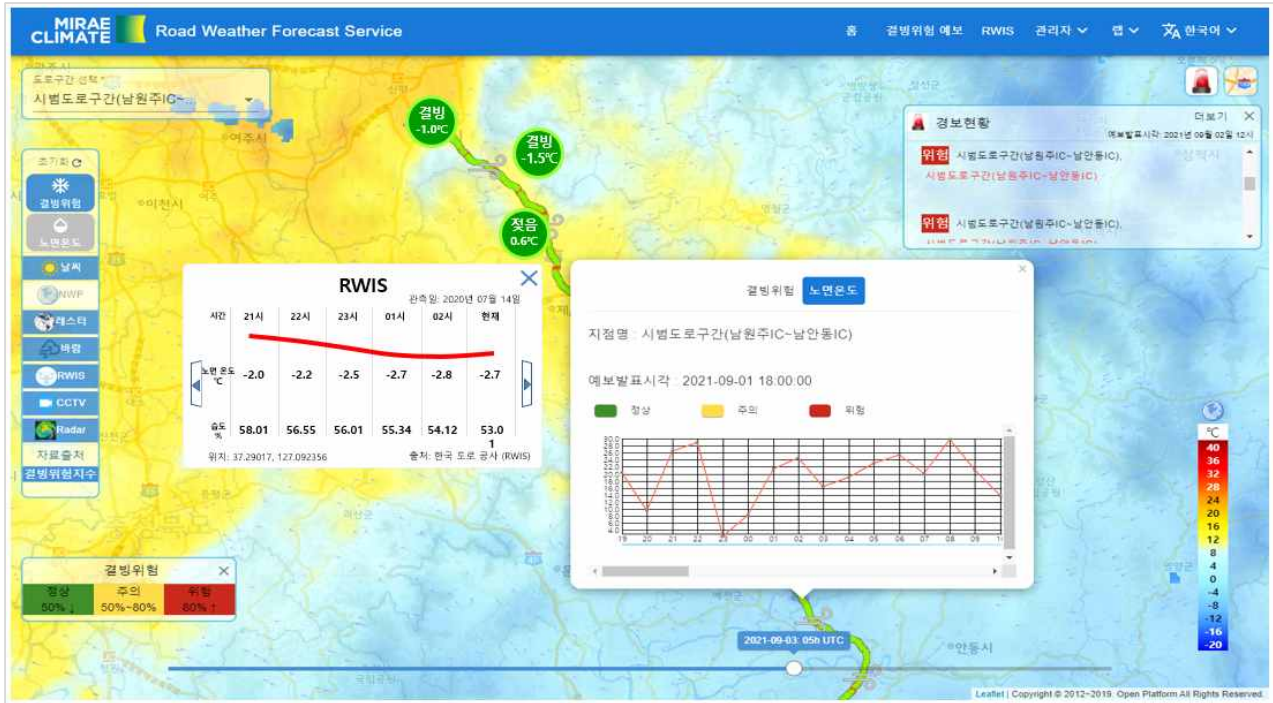


그림 2-34. 예·경보 시스템 종합 화면

■ RWIS 자료 표출

- RWIS 관측 자료 수집 기관(국립기상과학원, 한국도로공사, 공공데이터포털, 민관 고속도로 관리기관 등)별 자료 수집, 수집된 자료별 구조 분석, 모듈 설계 및 개발 활동을 수행함.
- RWIS 실황 표출을 위해 각 기관에 대한 실시간 자료 요청 결과, 자료의 신뢰도 보장 어려움(장비 유지보수 문제 등) 등의 사유로 실시간 자료 제공은 불가하다는 답변을 받았으며 일부 기관으로부터 확보된 과거 자료를 이용하여 RWIS 관측 결과를 표출함. 향후 실시간 자료 수집이 가능할 경우, 실황 표출이 가능하도록 시스템을 구현함.
- 종합 화면에서는 배경지도 상에 관측소 위치별 아이콘과 노면 온도 값 조합으로 오버레이하며, 아이콘 클릭 시 관측 지점 위치 정보, 자료 출처, 시간 흐름에 따른 노면 온도 및 습도 정보 시계열 표출 기능을 구현함(그림 2-35).
- RWIS 자료 상세 조회 기능을 구현하여 위치, 시간 간격 등의 조건 설정에 따른 문숫자 테이블과 시계열 그래프를 표출함(그림 2-36, 그림 2-37).
- RWIS 관측 장비를 운용 중인 기관은 자료 신뢰도 확보 및 대외 활용성을 고려하여 지속적인 장비 유지보수가 필요하다고 사료됨.

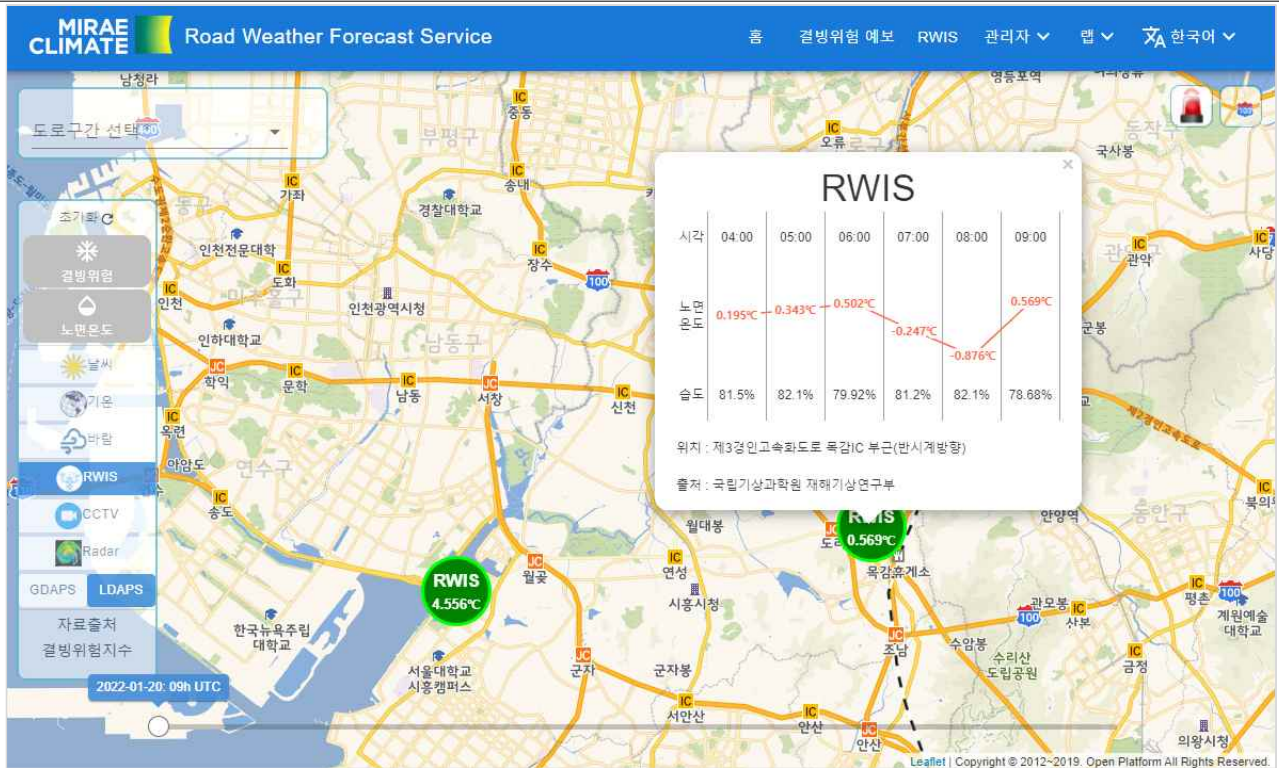


그림 2-35. 예·경보 시스템 종합 화면 RWIS 자료 표출

RWIS

문숫자 시계열

> RWIS

RWIS 지점

시간 간격

시간 범위

관측 시각

제3경인고속화도로 목감IC 부근(반...

1분

1시간

2022/01/19 11:01



조회

관측 시각(KST)	노면온도(°C)	기온(°C)	풍속(m/s)	풍향(°)	상대습도(%)
2022-01-19 11:01	5.304	3.522	2.153	118.1	70.6
2022-01-19 11:00	5.307	3.521	1.475	128.2	70.55
2022-01-19 10:59	5.32	3.517	1.389	145.3	70.55
2022-01-19 10:58	5.356	3.502	1.301	113.4	70.49
2022-01-19 10:57	5.418	3.501	1.823	120.1	70.51
2022-01-19 10:56	5.482	3.5	1.85	139.8	70.59
2022-01-19 10:55	5.552	3.492	2.142	118.4	70.72
2022-01-19 10:54	5.616	3.468	1.486	142.5	70.73
2022-01-19 10:53	5.685	3.449	1.808	121.2	70.64
2022-01-19 10:52	5.751	3.431	1.521	111.8	70.59

1-10 of 60 < >

그림 2-36. 예·경보 시스템 RWIS 자료 상세 조회 (문숫자)

RWIS

문숫자 시계열

> RWIS

RWIS 지점

시간 간격

시간 범위

관측 시각

제3경인고속화도로 목감IC 부근(반...

1분

1시간

2022/01/19 11:01



조회

☒ 노면온도(°C) ☒ 기온(°C) ☒ 풍속(m/s) ☒ 풍향(°) ☒ 습도(%)

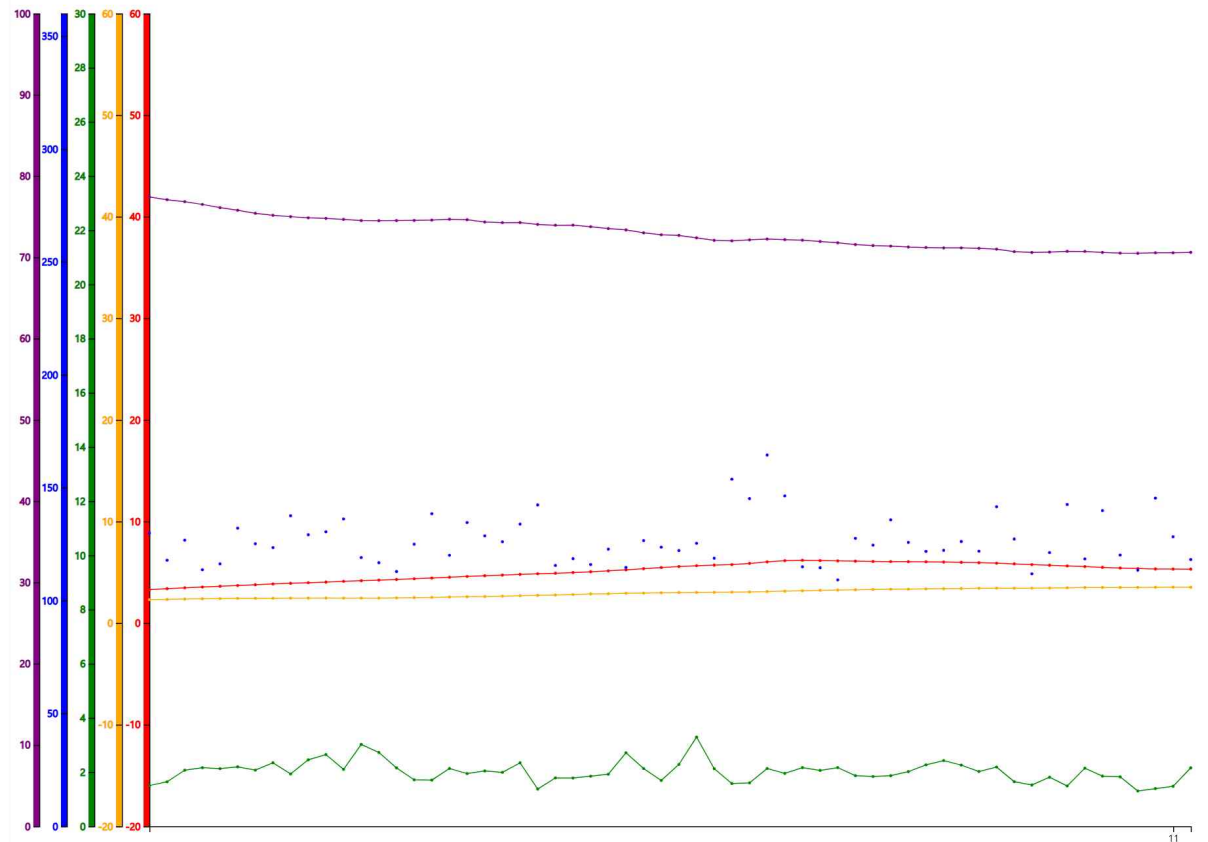


그림 2-37. 예·경보 시스템 RWIS 자료 상세 조회 (시계열)

■ 모델 실행 예측 정보 표출

- 노면 온도 예측 모델 결과 자료 분석 및 자료 관리 표준 정의(저장소 정보, 자료 명명 규칙), 모듈 설계 및 개발 활동을 수행함.
- 서버 모듈은 노면 온도 예측 모델 결과 자료 수집 및 변환(조회 조건, ASCII to JSON 변환), 예측 자료 전송 웹 API를 구현함. 클라이언트 모듈은 예측 자료의 탐색 및 표출을 처리함(배경지도 표출, 등록된 도로구간별 예측 자료 표출)
- 종합 화면에서는 기 등록 도로구간의 노면 온도 예측값을 배경지도 상에서 컬러 바(배경지도 우측 하단에 위치) 색상에 대응하는 poly line으로 표출하며 Poly line 클릭 시 해당 지점의 노면 온도 예측값의 시계열 그래프를 팝업으로 표출함(그림 2-37).
- 노면 온도 예측 상세 조회 기능을 구현하여 도로구간, 예보 날짜, 예보 시각 3가지 조건 설정에 따른 노면 온도 예측 값을 예측 시간별로 표출함(그림 2-38).

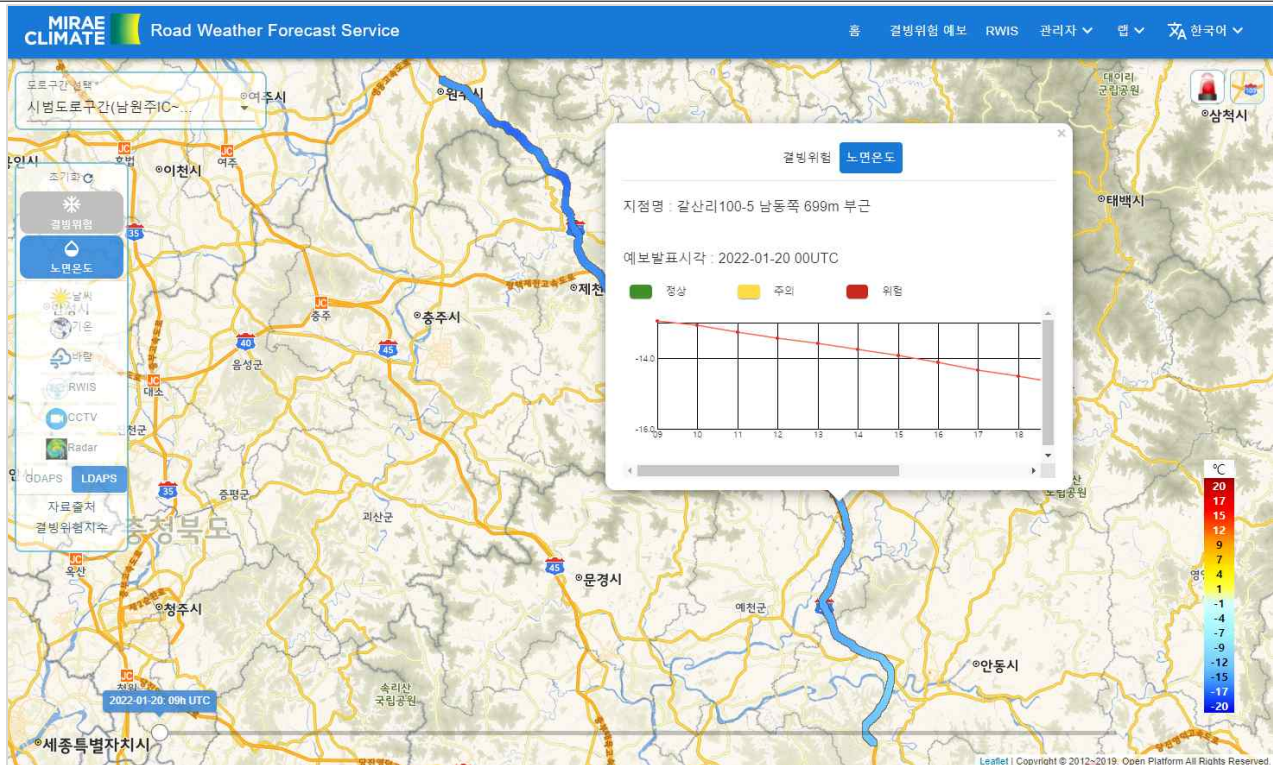


그림 2-38. 예·경보 시스템 종합 화면 노면 온도 예측 값 표출

결빙위험 예보

> 결빙위험 예보

도로구간 예보 날짜 예보 시각

시범도로구간(남원주IC~... 2022/01/18 18시 조회

■ 정상 ■ 주의 ■ 위험

지점명	번호	길이	RWIS 실황	18	19	20	21	22	23	00	01	02	03
제천터널 동쪽 449m 부 근	889	0		-11.07	-11.52	-11.83	-12.06	-12.26	-12.50	-12.77	-13.06	-13.39	-13.76
대가리 299-3 동 남쪽 577m 부 근	952	0		-10.89	-11.34	-11.66	-11.88	-12.09	-12.32	-12.59	-12.90	-13.26	-13.64
풍산읍노 리790-2 동남쪽 599m 부 근	2352	0		-9.68	-10.12	-10.47	-10.74	-10.95	-11.13	-11.32	-11.59	-11.93	-12.29
서곡리 1774 동 남쪽 299m 부 근	26	0		-9.76	-10.16	-10.49	-10.76	-11.04	-11.31	-11.58	-11.87	-12.21	-12.59
제천터널 동남쪽 399m 부 근	908	0		-11.19	-11.63	-11.95	-12.17	-12.38	-12.61	-12.88	-13.18	-13.52	-13.89

그림 2-39. 예·경보 시스템 노면 온도 예측 값 상세 조회

■ 위험 발생 경보 표출

- 서버 모듈은 노면 온도 예측 모델 결과 자료 관리 표준에 따른 자료 수집, 예측 자료에 대한 위험 수준을 기 정의된 결빙 위험 지수(정상, 주의, 위험) 값으로 제공하는 웹 API를 구현함. 클라이언트 모듈은 도로구간별 결빙위험지수 정보의 탐색 및 표출을 처리함(배경지도 표출, 등록된 도로구간별 결빙위험지수 표출, 경보 현황 지점 조회)
- 종합 화면에서는 등록된 도로구간의 결빙위험지수(정상, 주의, 위험)를 배경지도상에서 3 가지 색상(정상-Green, 주의-Yellow, 위험-Red)의 poly line으로 표출하며 Poly line 클릭시 해당 지점의 결빙위험지수 시계열 정보를 팝업으로 표출함(그림 2-40). 배경지도 우측 상단의 '경보' 아이콘 클릭시 선택한 도로구간의 결빙위험지수가 경보(주의, 위험)인 지점 현황을 표출함(그림 2-41).
- 결빙위험 상세조회 기능을 구현하여 도로구간, 예보날짜, 예보시각 3 가지 조건 설정에 따른 3 가지 색상(정상-Green, 주의-Yellow, 위험-Red)을 표출함(그림 2-42).

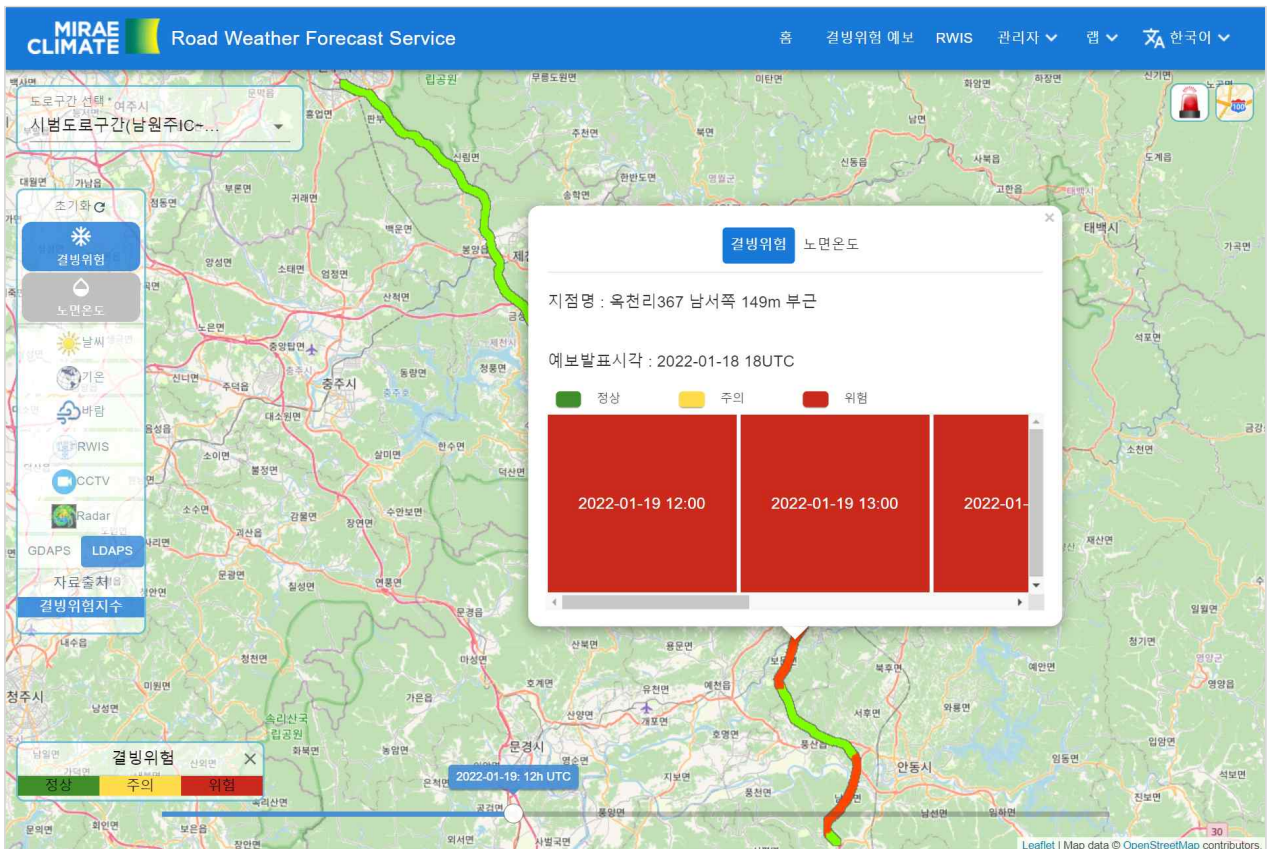


그림 2-40. 예·경보 시스템 종합화면 도로구간 결빙 위험 지수 표출

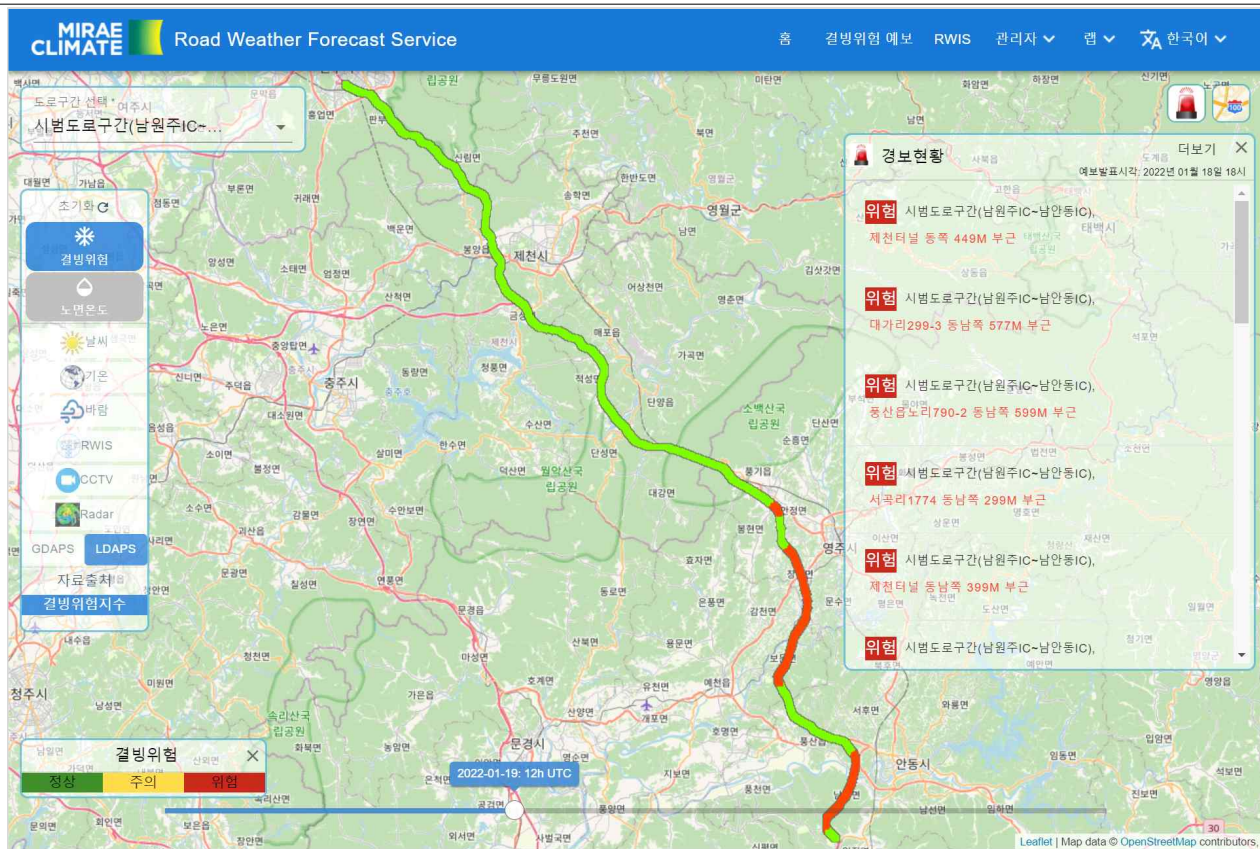


그림 2-41. 예·경보 시스템 종합화면 경보 현황(주의·위험) 표출

MIRAE CLIMATE Road Weather Forecast Service													
결빙위험 예보 도로구간 예보 날짜 예보 시각 시범도로구간(남원주IC~... 2022/01/18 18시 조회 정상 주의 위험													
지점명	번호	길이	RWIS 상황	18	19	20	21	22	23	00	01	02	03
제천터널 동쪽 449m 부 근	889	0		-11.07	-11.52	-11.83	-12.06	-12.26	-12.50	-12.77	-13.06	-13.39	-13.76
대가리 299-3 동 남쪽 577m 부 근	952	0		-10.89	-11.34	-11.66	-11.88	-12.09	-12.32	-12.59	-12.90	-13.26	-13.64
풍산읍노 리790-2 동남쪽 599m 부 근	2352	0		-9.68	-10.12	-10.47	-10.74	-10.95	-11.13	-11.32	-11.59	-11.93	-12.29
서곡리 1774 동 남쪽 299m 부 근	26	0		-9.76	-10.16	-10.49	-10.76	-11.04	-11.31	-11.58	-11.87	-12.21	-12.59
제천터널 동남쪽 399m 부 근	908	0		-11.19	-11.63	-11.95	-12.17	-12.38	-12.61	-12.88	-13.18	-13.52	-13.89

그림 2-42. 예·경보 시스템 도로구간 결빙 위험 지수 상세 조회

■ 예측 자료 생산 로그 표출

- 예측 자료 생산 로그 자료 분석 및 표준 정의(저장소 위치, 명명 규칙, 자료 보존 기간), 모듈 설계 및 개발 활동을 수행함.
- 서버 모듈은 자료 수집 및 변환(조회 조건, ASCII to JSON 변환), 로그 자료 전송 웹 API를 구현함. 클라이언트 모듈은 로그 자료의 탐색 및 표출을 처리함(예측 자료 생산 로그 조회 조건 정의, 로그 현황 표출).
- 6시간 주기의 예측 자료 생산 수행 현황을 모니터링을 위해 4개 상태 값(진행 전, 진행 중, 완료, 지연/오류)으로 표출함(그림 2-43).

그림 2-43. 예·경보 시스템 예측 자료 생산 로그 표출

■ 도로 정보 자료 관리

- 서버 모듈은 노면 온도 예측 모델 결과 자료 표출에 필요한 도로 정보의 속성을 정의하고 이를 관리하는 기능을 제공하는 웹 API를 구현함. 클라이언트 모듈은 도로 정보의 입력, 수정, 삭제, 조회를 위한 사용자 인터페이스를 구현함.
- 주요 기능인 도로구간 관리 기능(등록, 수정, 삭제, 조회)(그림 2-44, 그림 2-45), 도로구간 내 지점별 도로 정보(연식, 도로유형, 도로표면 등) 관리 기능(그림 2-46, 그림 2-47), 지점별 포장체(포장체 유형, 두께) 관리 기능(그림 2-48, 그림 2-49)을 개발함.

도로구간명	비고
테스트2	비고1
시범도로구간(남원주IC~남안동IC)	남원주IC ~ 남안동IC
도로구간테스트	비고 내용 등록
성수역 구간	성수역 비고
서귀포올레7코드	수정

그림 2-44. 도로구간 목록 조회

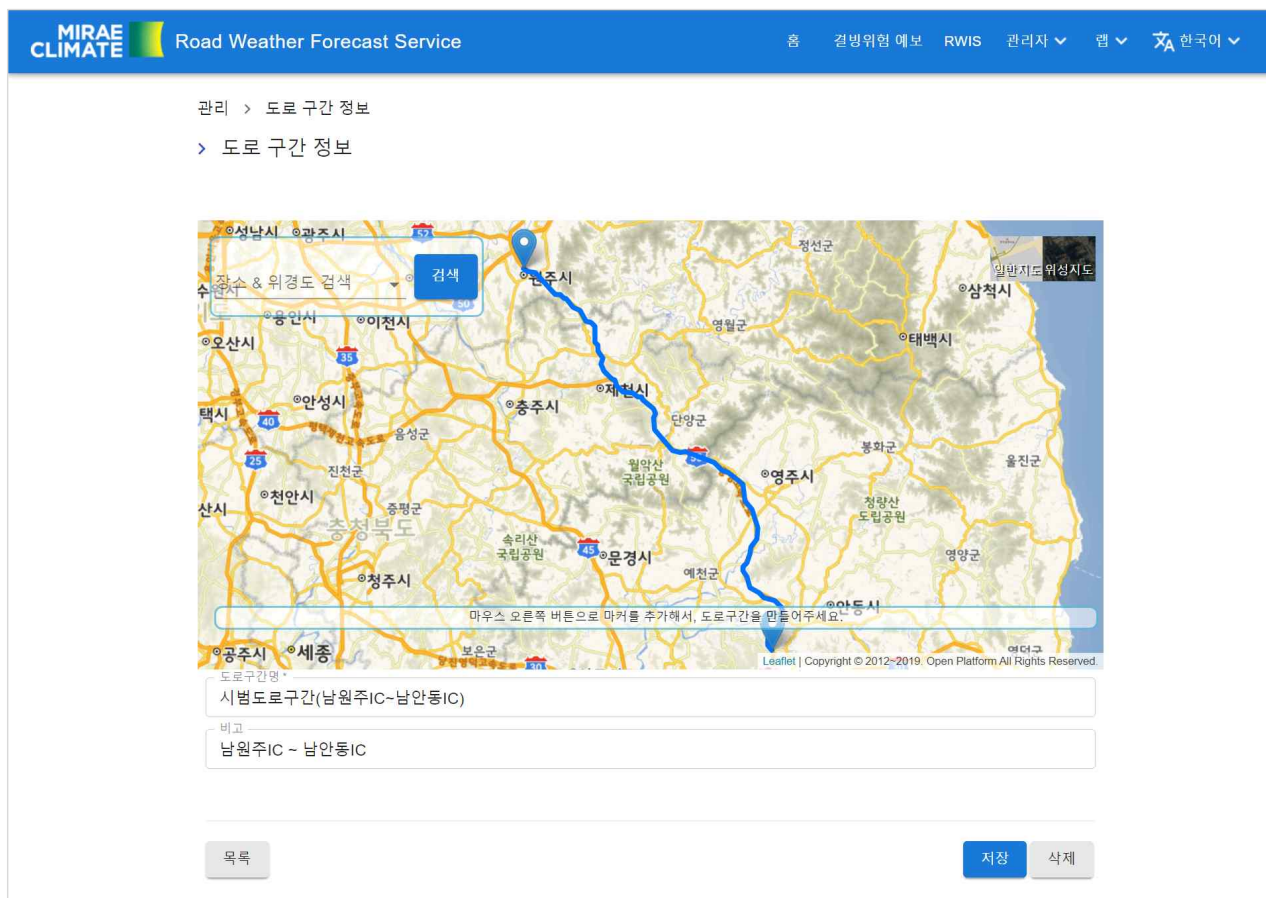


그림 2-45. 도로구간 등록, 수정, 삭제



그림 2-46. 도로구간 지점 목록 조회

MIRAE CLIMATE

Road Weather Forecast Service

홈

결빙위험 예보

RWIS

관리자

랩

한국어

도로구간별 지점 목록

도로구간지점 수정

구간 번호

2052-2238

년도

2016

도로유형

A

도로표면유형

A

남북경사

0.0

동서경사

0.0

높이

0.0

취소

확인

구간	구간 번호	년도	도로유형	도로표면유형	남북경사	동서경사	높이
1 부터 2051 까지	1-2051	2016	A	A	0	0	0
2052 부터 2238 까지	2052-2238	2016	A	A	0.0	0.0	0.0
2239 부터 2649 까지	2239-2649	2016	A	A	0	0	0

0-0 of 0

목록

저장

그림 2-47. 지점별 도로 정보 등록 및 조회

- 36 -

MIRAE CLIMATE

Road Weather Forecast Service

홈

결빙위험 예보

RWIS

관리자

앱

한국어

관리 > 도로 구간 정보

도로구간

도로구간별 지점

지점별 포장체

> 지점별 포장체 목록

도로구간명

검색

도로구간명	지점 갯수	포장체 갯수
테스트2	3236	3236
시범도로구간(남원주IC~남안동IC)	2649	2649
도로구간테스트	5426	5426
성수역 구간	160	160
서귀포올레7코드	579	579

1-5 of 5 < >

그림 2-48. 지점별 포장체 목록 조회

MIRAE CLIMATE

Road Weather Forecast Service

홈

결빙위험 예보

RWIS

관리자

앱

한국어

도로구간지점 수정

순서

2

포장체층

2

코드

C

값

0.1

취소

확인

구간	년도	도로유형	도로표면유형
1부터 2051까지	2016	A	A
2052부터 2057까지	2016	A	A
2058부터 2649까지	2016	A	A

0-0 of 0 < >

목록

2052부터 2057까지

추가

삭제

순서	포장체층	코드	값
0	0	A	0.05
1	1	B	0.5
2	2		0

0-0 of 0 < >

저장

그림 2-49. 지점별 포장체 정보 등록 및 조회

■ 단계별 테스트 및 최적화

- 현업 사용자 환경에서 시스템의 정상 사용을 위해 단계별 테스트 및 시스템 최적화 활동을 수행함.
- 단위 테스트: RWIS 과거 자료, 노면 온도 예측값 및 결빙 위험 지수 표출, 예측 자료 생산 로그, 도로 정보 자료 관리 등 단위 기능에 대한 개별 테스트를 수행함.
- 통합 테스트: 통합 테스트 시나리오 (도로 정보 자료 입력 → 모델 수행 결과 로그 확인 → 노면 온도 예측 값 확인 → 결빙 위험 지수 표출 확인) 도출 및 테스트를 수행함.
- 내·외부 연계 테스트 : RWIS 과거 자료, 노면 온도 예측 값, 결빙 위험 지수 표출 시 배경지도 정상 표출 여부 확인, 노면 온도 예측 모델 결과 자료 정상 표출 여부를 확인함.
- 성능 테스트: 주요 기능에 대한 자료 요청 및 응답 소요 시간 측정 (한국시험인증원 성능 시험)
- 인수 테스트: 현업 사용자 환경에서의 기능, 비기능 구현 여부 확인을 위해 한국시험인증원 의뢰, 기능 및 성능 시험을 수행함.

○ 연구 개발 추진 일정

1차년도													
일련 번호	연구내용	추진 일정											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	이동형 노면관측차량 도입사례 조사												
2	이동형 노면 관측 차량 도입 및 운용 기술 습득												
3	Thermal map 정보 생산												
4	물리 기반 노면 온도 예측 모델 분석												
5	물리 기반 노면 온도 예측 모델 개선												
6	취약 구간 예측 시스템의 기반 모듈 개발												
7	Web 시스템 설계												
8	Web 시스템의 RWIS 실태 표출												
2차년도													
1	Thermal map 정보 생산												
2	Thermal map 정보 가공												
3	Thermal map 융합 모델에 대한 검증												
4	취약 구간 예측 시스템의 기반 모듈 결합												
5	실시간 블랙아이스 취약 구간 예측 시스템의 최적화 수행(현업화 대비)												
6	Web 시스템의 모델 실행 예측 정보 표출												
7	Web 시스템의 위험 발생 경보 표출												
8	Web 시스템의 예보 자료 생산 로그 표출												
9	Web 시스템의 도로 정보 자료 관리												
10	Web 시스템 최적화												

3. 연구개발과제의 수행 결과 및 목표 달성 정도

1) 연구수행 결과

(1) 정성적 연구개발성과

○ 이동형 노면 관측 차량을 이용한 Thermal map 정보 구축

- 시범 도로구간 선정
 - 중앙고속도로 남원주IC ~ 남안동 IC 구간(약 133.9 km)을 시범 도로구간으로 재선정하였음.
 - 해당 구간은 도로, 교량, 터널 등이 매우 복잡하게 이어져 있으며, 결빙취약구간 13 곳이 존재하고 있음. 또한, 한국도로공사의 RWIS 3기, 기상청 재해기상연구센터의 RWIS 2기가 설치되어 있음.
- 시범 도로구간 분할
 - 시범 도로구간에 대해서 노면 온도 예측 모델을 수행하기 위해 공간적인 기준점을 마련하였음.
 - 전체 도로구간 약 133.9 km를 50 m 간격으로 나누었으며, 총 2,650 개의 기준점의 위·경도 값을 계산하여 데이터베이스화하고 모델에 입력하였음.
- 이동형 노면 관측 차량 및 장비 도입
 - 시범 도로 구간에 대한 Thermal map 관측을 수행하기 위해, 독일 Lufft사의 MRWIS-UMB 차량 이동형 광학식 노면 센서를 도입하였음.
 - 해당 센서는 노면 온도, 대기 온도, 상대습도, 노점온도, 노면에서의 상대습도, 수막 두께, 마찰계수, 결빙률(ice percentage), 노면 상태(dry, damp, wet, ice-covered, snow/ice-covered, chemically wet, water+ice, snow-covered) 등을 측정함.
- Thermal map 관측 수행 및 Quality Control(QC) 적용
 - 본사가 소유하고 있는 이동형 노면 관측 차량을 활용하여 중앙고속도로 남원주IC ~ 남안동IC 구간을 관측하였음.
 - 2020년 12월 ~ 2021년 2월, 2021년 12월경 해당 구간의 평균 대기 온도가 영하일 때, 총 22회 관측을 수행하고 데이터를 저장하였음.
 - 또한, 관측 데이터 missing value 처리 및 터널 보정, 그리고 가우시안 필터링을 적용하는 QC 프로그램과 오리지널 관측 자료를 2,650 개의 기준점에 맞춰 50 m 간격으로 나누는 프로그램을 개발하여 데이터에 적용하였음.

○ 물리 기반 노면 온도 예측 모델 개선(Thermal map 정보 융합) 및 검증

- Thermal map 정보를 활용한 노면 온도 예측 모델 개선
 - 노면 온도 예측 모델이 국지적으로 분포하는 cold spot을 찾아낼 수 있도록 시범 도로구간의 Thermal map 자료를 활용하였음.
 - 도로 노면 온도 초깃값 처방에 Thermal map 자료와 기온 관측 자료를 활용함으로써, 초깃값 오차를 줄이고 48 시간 spin-up 과정을 생략할 수 있었음. 이러한 과정을 통해 도로의 cold spot이 모델 결과에 나타나도록 개선하였음.
- 개선된 노면 온도 예측 모델 결과 검증
 - 개선 전보다 개선 후 모델의 노면 온도 오차가 약 1.85410 °C 정도 감소하였음(개선 전: 4.3001 °C, 개선 후: 2.445994 °C).
 - 또한 오차가 줄어들었을 뿐만 아니라 국지적인 도로 노면 온도의 변화를 잘 묘사하여 관측과 유사한 cold spot을 보여준다는 점에서 고무적임.
 - 평균 제곱근 오차 값을 작은 순서로 순위 나열한 후, 상위 90 %, 50 %에 대한 오차를 계산하였음. 개선 후 모델의 경우 상위 90 % 오차는 평균 ± 1.863299 °C, 상위 50 %의 경우 ± 0.827746 °C로 최종 성과 목표인 90 % 시 ± 2.5 °C, 50 % 시 ± 1.5 °C에는 모두 만족하는 것으로 나타났음.
 - **고해상도의 고도 및 피복 자료를 이용한 통계적 상세화 기법의 활용 및 계통적 오차 보정과 같은 모델 보정 연구를 통해 노면 온도 예측 모델에 입력되는 LDAPS와 같은 수치 예보 자료의 정확도를 높이는 추가 연구가 필요함.**

-
- 상세화는 저해상도 모델 자료로부터 고해상도의 정보 값을 얻는 기법으로, 역학적 상세화와 통계적 상세화로 나뉨. 전지구 규모의 기후모델 결과값으로부터 역학적 상세화는 10~50 km 해상도의 기후 정보 값을, 통계적 상세화는 관측소 규모의 기후 정보 값을 생산할 수 있음. 역학적 상세화 기법으로 인해 생성되는 계통적 오차를 LDAPS와 같은 수치 예보 자료에서 보정하고, 통계적 상세화 기법을 활용하여 수치 예보 자료의 정확도를 높이면 노면 온도 예측 모델이 보다 개선될 것으로 기대됨.

- 개선된 노면 온도 예측 모델을 활용한 결빙 인덱스 생성 및 검증

- Lim and Kim (2020)을 기반으로 결빙 인덱스 알고리즘을 구축하였음.
- 상세 알고리즘은 대기 상대습도 70 %, 도로 노면 온도와 대기 노점온도 차이 3 °C, 결빙이 발생하는 노면 온도 임계값을 1 °C로 기준을 정하였음. 또한, LDAPS 상대습도의 계통적 오차를 보정하기 위해 실제 관측 자료를 활용하였음.
- 1차 관측 자료를 활용하여 상대습도 보정을 진행하였으며, 2차 관측 자료에 결빙 인덱스 알고리즘을 적용하여 교차 검증을 진행하였음. RWIS 관측 자료를 확보하지 못했기 때문에, 직접 관측한 이동형 관측 자료를 활용하였음. 모델은 순간 시간 값을 나타내므로 모델 시간 기준 ± 30 분의 이내의 관측 자료만 검증에 활용하였음.
- 그 결과 관측 노면 상태와 비교하여 건조 인덱스는 50 %정도의 정확도를 보이며, 습윤 인덱스는 75.51 %의 정확도를, 결빙 상태임을 나타내는 인덱스 2의 경우 82.8 %의 정확도를 보임.
- 하지만 관측은 9,073지점을 건조, 2,842지점을 습윤, 238지점을 결빙임을 알려주고 있으며, 결빙 인덱스 알고리즘 결과는 4,630지점을 건조, 4,584지점을 습윤, 2,939지점을 결빙이라고 모의하였음.
- 이러한 결과는 해당 결빙 인덱스 알고리즘이 새벽 ~ 오전 시간에 결빙과 습윤을 과대 모의하고 있음을 의미하며, 추가적인 관측 자료 누적과 결빙 인덱스에 대한 민감도 실험이 필수적임을 보여주고 있음.

- 실시간 블랙아이스 취약 구간 예측 시스템 구축

- 취약 구간 예측 시스템 기반 모듈 개발

- 취약 구간 예측 시스템의 기반이 되는 “실시간 수집 모듈”, “전처리 모듈”, “모델 수행 모듈”, “후처리 모듈” 등 4종류의 모듈을 개발하였음.
- 실시간 수집 모듈은 실시간으로 기상청 LDAPS 자료를 수집하며, 전처리 모듈의 공간 내삽 및 포맷 변환 과정을 거쳐 모델이 수행(모델 수행 모듈)되고, 후처리 모듈을 통해 모델 output의 포맷을 Web system에서 활용할 수 있도록 변환하는 과정을 거침.

- 취약 구간 예측 시스템 기반 모듈 결합

- 앞서 개발한 4종류의 기반 모듈을 통합하는 시스템을 개발하였음. shell 및 java 스크립트를 기반으로 하며 리눅스 서버에서 구동하도록 개발하였음.
- 실시간 반복 수행을 통해 디버깅 작업을 진행하였으며, 시스템 안정화 작업을 완료하였음.

- Web 기반의 블랙아이스 취약 구간 예·경보 시스템 구축

- 시스템 설계 수행

- 노면 온도 예측 결과와 다양한 기상·기후 자료의 일관된 입출력 처리에 용이한 시스템 확보를 위해 자료 유형별 추상화 레이어 구성, 비동기 자료 처리, 지도 서비스 기반의 자료 중첩 표출 구조 설계를 진행함으로써 본 과제에서 개발된 기능 요소 외에 여러 기상·기후 자료의 추가 입출력, 공간 정보 자료와 다양한 비즈니스 도메인 자료의 융합 표출이 가능한 시스템을 구현함.

- 모델 실행 예측 자료 및 위험 발생 경보 표출

- 도로 노면 온도 예측 결과 자료 및 위험 수준별 지표의 가시화 기술 확보를 통해 도로를 이용하는 사용자뿐만 아니라 도로 기반 정보 서비스 제공 기관 및 유관 기업으로 도로 기상정보 제공 가능.

- 도로 정보 자료 관리

- 지도 서비스 및 그래프 알고리즘 처리 라이브러리를 활용하여 표준 노드 링크 자료 기반의 도로구간 생성 기능을 개발함으로써 사용자 편의성을 높임. 시스템 사용자는 최소한의 입력으로 지도상의 도로구간을 생성할 수 있으며 생성 자료는 노면 온도 예측 모델의 입력 자료로 활용됨.

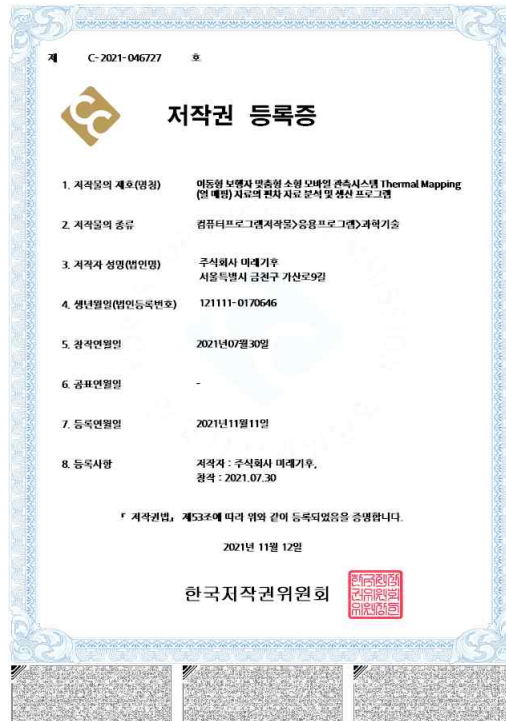
(2) 정량적 연구개발성과

○ 이동형 노면 관측 차량을 이용한 Thermal map 정보 구축

- 이동형 노면 관측 차량 및 광학식 관측 센서 도입
- 시범 도로구간(남원주IC ~ 남안동IC)에 대한 Thermal map 관측 자료 22 회 구축

○ 물리 기반 노면 온도 예측 모델 개선(Thermal map 정보 융합) 및 검증

- S/W 등록 1건: “이동형 보행자 맞춤형 소형 모바일 관측시스템 Thermal Mapping(열 매핑) 자료의 편차 자료 분석 및 생산 프로그램”



- 논문(비SCI) 1건: 박문수 외, 2021, 도로기상차량으로 관측한 노면온도자료를 이용한 도로살얼음 취약 구간 산정, *대기*, 31(5), 525-537.

Atmosphere, Korean Meteorological Society
Vol. 31, No. 5 (2021) pp. 525-537
<https://doi.org/10.14191/Atmos.2021.31.5.525>
p-ISSN 1598-3560 e-ISSN 2288-3266

연구 논문
(Article)

도로기상차량으로 관측한 노면온도자료를 이용한 도로살얼음 취약 구간 산정

박문수^{1*} · 김민수² · 김상현² · 정현채³ · 장성빈³ · 유동길³ · 류성현³

¹세종대학교 기후환경융합학과, ²세종대학교 기후환경융합센터, ³(주)이래기후

(임수일: 2021년 8월 7일, 수정일: 2021년 9월 22일, 게재확정일: 2021년 10월 19일)

Estimation of Road Sections Vulnerable to Black Ice Using Road Surface Temperatures Obtained by a Mobile Road Weather Observation Vehicle

Moon-Soo Park^{1*}, Minsoo Kang², Sang-Heon Kim², Hyun-Chae Jung³,
Seong-Beon Jang³, Dong-Gill You³, and Seong-Hyun Ryu³

¹Department of Climate and Environment, Sejong University, Seoul, Korea
²Climate Change & Environmental Research Center, Sejong University, Seoul, Korea
³Mirae Climate Co., Ltd., Seoul, Korea

(Manuscript received 7 August 2021; revised 22 September 2021; accepted 1 October 2021)

Abstract Black ices on road surfaces in winter tend to cause severe and terrible accidents. It is very difficult to detect black ice events in advance due to their localities as well as sensitivities to surface and upper meteorological variables. This study develops a methodology to detect the road sections vulnerable to black ice with the use of road surface temperature data obtained from a mobile road weather observation vehicle. The 7 experiments were conducted on the route from Nam-Wonju IC to Nam-Andong IC (132.5 km) on the Jungang Expressway during the period from December 2020 to February 2021. Firstly, temporal road surface temperature data were converted to the spatial data with a 50 m resolution. Then, the spatial road surface temperature was normalized with zero mean and one standard deviation using a simple normalization, a linear de-trend and normalization, and a low-pass filter and normalization. The resulting road thermal map was calculated in terms of road surface temperature differences. A road ice index was suggested using the normalized road temperatures and their horizontal differences. Road sections vulnerable to black ice were derived from road ice indices and verified with respect to road geometry and sky view, etc. It was found that black ice could occur not only over bridges, but also roads with a low sky view factor. These results are expected to be applicable to the alarm service for black ice to drivers.

Key words: Black ice, road ice index, road ice vulnerability, road surface temperature, road thermal map.

*Corresponding Author: Moon-Soo Park, Department of Climate and Environment, Sejong University, 209 Neungdong-ro, Gwangjin-gu, Seoul 05086, Korea.
Phone: +82-2-4953-2558, Fax: +82-2-3408-4354
E-mail: moonsoo@sejong.ac.kr

■ 2021 한국방재학회 학술발표대회 구두발표: “도로열지도 관측을 이용한 도로 살얼음 취약 구간 선정 – 중부고속도로 사례” (세종대학교 박문수)

연구단/사업단 세션 VI

도로열지도 관측을 이용한 도로살얼음 취약 구간 선정 –
중부고속도로 사례
Estimation of Road Sections Vulnerable to Black Ice Using a Road Thermal Mapping –
An Example of Jungbu Expressway

박문수* · 강민수** · 정현채*** · 장성빈*** · 유동길*** · 류성현***
Park, Moon-Soo* · Kang, Minsoo** · Jung, Hyun-Chae*** · Jang, Seong-Beon*** ·
Yoo, Dong-Gill*** · Ryu, Seong-Hyen***

요 지

도로살얼음은 어느비를 동반한 경우와 동반하지 않는 경우로 구분된다. 어느비를 기존의 열적 프로파일링을 이용하여 추정할 수 있는 비와 비가 내리는 동안 도로 표면에서 얼음이 발생할 수 있는 비를 구분하여 도로 살얼음 취약 구간을 선정할 수 있다. 노면온도 예측모델인 ULM-Road를 이용하여 노면온도를 예측할 경우 한 지점에서의 시간에 따른 예측은 가능하지만 온한 구간별 노면온도를 예측하기에는 어려움이 있다. 이를 보완하기 위해 2020년 겨울 동안 중앙고속도로 남원주 IC부터 남원동 IC까지 132.5km 구간에서 도로열지도 관측을 수행하였다. 시범 구간은 50m 간격으로 나누어 2650개의 구간으로 나누었으며, 각 구간별 노면 기온을 지상, 교량, 터널로 구분하였다. ULM-Road와 도로열지도 관측을 통해 시범 구간에서 노면온도를 예측하는 알고리즘을 개발하였다. 1초 이하로 관측된 노면온도 자료는 역시 열에서 구분된 구간과 같이 50m 간격의 자료로 변환하였다. 시범 구간을 다시 10개의 세부구간으로 나누어 각 구간별로 평균에 대한 편차로 도로열지도를 작성하였다. 노면온도 예측모델로 수행된 예측노면온도와 도로열지도를 결합하여 구간별 노면온도를 산정하였다. 7회 중 6회의 자료를 이용하여 작성된 도로열지도가 이용하여 나머지 1회의 자료에 적용하였을 때 노면온도가 결합하기 전의 노면온도보다 더 정확한 것으로 확인되었다.

핵심용어 : 도로살얼음, 도로열지도, 노면온도 예측모델, 취약구간

감사의 글

본 연구는 국토교통부/국토교통과학기술진흥원의 지원으로 수행되었음(과제번호 20CTAP-C157207-01).

* 고려대학교 기후변화연구센터 교수 (E-mail: moonsoo@kri.ac.kr)
Corresponding Author, Professor, Department of Climate and Environment, Sogang University
** 고려대학교 기후변화연구센터 연구원
Senior Researcher, Climate Change & Environmental Research Center, Sogang University
*** 고려대학교 기후변화연구센터 연구원
Researcher, Climate Change & Environmental Research Center, Sogang University

- 79 -

■ 2021 한국방재학회 학술발표대회 구두발표: “Thermal Mapping과 노면온도에측모델을 융합한 실시간 블랙아이스 취약구간에측시스템 개발” ((주)미래기후 정현채)

연구단/사업단 세션 VI

Thermal Mapping과 노면온도에측모델을 융합한
실시간 블랙아이스 취약구간에측시스템 개발
Development of Real-Time Prediction System of Road Sections Vulnerable to Black
Ice Using a Combined Thermal Mapping-Road Surface Temperature Prediction Model

정현채* · 장성빈** · 유동길** · 신현채*** · 박문수**** · 강민수**** · 김한기** · 류성현**
Jung, Hyun-Chae* · Jang, Seong-Beon** · Yoo, Dong-Gill** · Shin, Hyun-Chae*** ·
Park, Moon-Soo**** · Kang, Minsoo**** · Kim, Hyun-Ki** · Ryu, Seong-Hyen**

요 지

도로교통공단에서 제공하는 교통사고분석시스템(http://taack.or.kr)에 따르면 서리/결빙에 의한 사고는 2016년 이후 증가하는 추세를 보이고 있다. 또한 최근 겨울철에는 블랙아이스와 관련된 대형사고(경북 군위군 상구영천 고속도로 다중 추돌 사고 등)가 빈번하게 발생하여 전 국민적인 관심이 높아졌다. 이러한 사고는 대기의 기온, 습도 및 연비(average rain)와 같은 기상상과 밀접한 연관을 갖고 있으나, 현재 기상정보를 활용하여 블랙아이스 발생 가능성을 예측하는 국내 시스템은 선진국에 비하여 매우 부족한 상황이다. 이 연구에서는 도로 살얼음 발생에 직접적인 관련이 있는 도로의 노면온도를 물리법으로 예측하는 모델(Park et al., 2014)을 활용하고 있다. 그리고 이동형 노면관측차량으로 관측한 도로구간의 Thermal map 정보와 기상청이 하루 4회 제공하는 수치예보자료(국지예보모델)를 활용함으로써, 도로의 국지적 특성까지 반영한 보다 예측력 높은 모델링 시스템을 구축하려 한다. 또한, Web 기반의 '실시간 블랙아이스 취약구간 예-경보시스템'과 연계하여 사용자 중심의 인터페이스를 구현하고자 한다. 개발된 시스템은 도로 관리기관, 기상 예보기관, 전국의 지자체에서 블랙아이스 위험 진단 및 예-경보 서비스를 제공하는데 활용될 것으로 기대하고 있다.

핵심용어 : 블랙아이스, 도로노면 온도 예측모델, Thermal map, 국지예보모델

감사의 글

본 연구는 국토교통부/국토교통과학기술진흥원의 지원으로 수행되었음(과제번호 20CTAP-C157207-01).

Reference

Park, M.-S., S.J., Joo, and Y.T., Son, 2014, Development of Road Surface Temperature Prediction Model using the Unified Model output (ULM-Road), Atmosphere, 24(4), 417-479, <http://dx.doi.org/10.14191/Atmos.2014.24.4.471>, (In Korean)

* 고려대학교 기후변화연구센터 교수 (E-mail: hyun@climate.co.kr)
Corresponding Author, Professor, Climate Co., Ltd.
** 고려대학교 기후변화연구센터 연구원
Researcher, Climate Co., Ltd.
*** 고려대학교 기후변화연구센터 연구원
Department of Climate and Environment, Sogang University
**** 고려대학교 기후변화연구센터 연구원
Climate Change & Environmental Research Center, Sogang University

- 80 -

■ 2021 한국기상학회 가을학술대회 구두발표: “이동형노면온도관측 자료를 이용한 도로살얼을 취약 구간 산정 알고리즘 개발” (세종대학교 박문수)

2021년 한국기상학회 가을학술대회 초록집
Proceedings of the Autumn Meeting of KMS, 2021

환경 및 응용기상분과 / 환경 및 응용기상 3-5

이동형노면온도관측 자료를 이용한 도로살얼을 취약 구간 산정 알고리즘 개발

박문수¹, 강민수², 정현재¹, 장성민³, 유동길³, 류성현³

¹세종대학교 기후환경융합학과
²세종대학교 기후환경융합학과
³주요대기기술

최근 겨울철에 도로살얼유에 의한 대형 사고가 여러 차례 발생하여 도로살얼을 취약구간을 정확하게 규명하는 것에 대한 관심이 높아지고 있다. 도로살얼유는 어느비를 동반한 경우와 동반하지 않은 경우로 구분 가능하다. 어느비를 동반한 도로살얼유는 비교적 넓은 영역에서 발생하여 기존의 연직 프로파일링을 이용하여 발생 가능성 예측이 가능하다. 어느비를 동반하지 않은 도로살얼유는 매우 국지적으로 발생하기 때문에 종관 규모의 자료로 발생 가능성을 예측하는 것이 쉽지 않다. 본 연구에서는 2020년 겨울 동안 중앙고속도로 남원주 IC에서 남안동 IC까지 132.5km 구간에서 7차에 수행된 이동형노면온도관측 자료를 이용하여 도로열지도를 작성하는 알고리즘을 제시하였고, 이를 통해 도로살얼을 취약구간을 산정하는 방법을 제안하였다. 이동형노면온도 관측은 차량에 MARWIS(Mobile Advanced Road Weather Information Service)를 부착하여 수행하였다. 먼저 1초 이하로 관측된 노면온도 자료를 일정한 구간(50m) 자료로 변환하였다. 또한, 각 구간(50m) 간격, 2650개/별 노면 기하구조를 지상, 교량, 터널로 구분하였다. 도로열지도 작성은 지형 고도와 노면 특성의 유사성을 고려하여 10개의 세부 구간으로 나누어 수행했다. 도로열지도는 노면온도의 평균에 대한 편차를 정규화한 것으로 정의하였다. 편차를 계산하기 위한 평균으로 단순평균, 1차선형식, 푸리에 변환을 이용한 low-pass-filter(LPF)를 고려하였다. 교량 노면온도가 지상도로의 노면온도보다 훨씬 낮은 것으로 관측되었다. 도로살얼을 취약구간을 산정하기 위해 정규화된 노면온도 편차와 노면온도의 공간변화를 이용하여 결빙지수를 제안하였다. 결빙지수는 0, 1, 2로 제안하였으며 값이 클수록 결빙지수가 큰 것으로 정의했다.

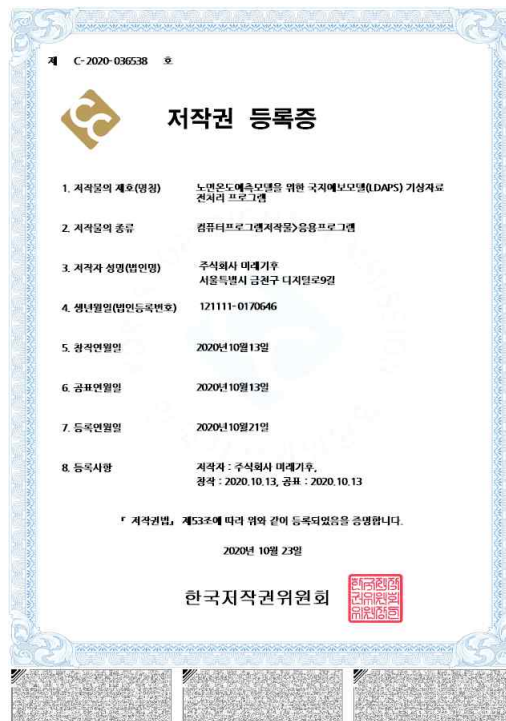
Key words: 이동형노면온도관측, 도로살얼유, 취약구간, 도로열지도

※ 본 연구는 국토교통부/국토교통과학기술진흥원의 지원으로 수행되었음(과제번호 20CTAP-C157207-01).

127

○ Web 기반의 블랙아이스 취약구간 예·경보시스템 구축

■ S/W 등록 1건: “노면온도에측모형을 위한 국지예보모델(LDAPS) 기상자료 전처리 프로그램”



■ 시제품 제작 1건: 시제품 성능 검증 (한국시험인증원 시험)

348(www.g4b.go.kr)진위확인코드 : zSjhKEAgFrk=

검정서번호 : KST-21-141

한국시험인증원
KOTICA

4. 시험결과에 따른 판정결과

시험결과에 따른 판정결과는 다음과 같다.

구분	시험항목	시험결과	판정기준	판정결과
1	도로정보 관리 (등록, 조회, 수정, 삭제)	동작함	정보관리 기능 동작	Pass
2	예측 자료 생산 로그 표출	20.1ms	3초 이내 로그표출	Pass
3	모델 실행 예측 정보 표출 (노면온도, 위험 경보)	738.67ms	3초 이내 정보 표출	Pass
4	RWIS 표출	26.29ms	3초 이내 RWIS 정보 표출	Pass

TPS-0015-2002

페이지 (10/총21)

■ 특허 출원 1건: “노면 온도 예측 모델을 이용한 블랙아이스 판단 방법”

2021-12-28

【서지사항】

【서류명】 특허출원서
【참조번호】 CP21115
【출원구분】 특허출원
【출원인】
【영칭】 주식회사 미래기후
【특허고객번호】 1-2014-007932-8
【대리인】
【영칭】 특허법인아이피에스
【대리인번호】 9-2014-100021-7
【지정변리사】 한치원
【포괄위임등록번호】 2015-044714-6
【발명의 국문명칭】 노면 온도 예측 모델을 이용한 블랙아이스 판단 방법
【발명의 영문명칭】 A method of determining black-ice using a road surface temperature prediction model
【발명자】
【성명】 류성현
【성명의 영문표기】 RYU, Seonghyun
【주민등록번호】 691229-1XXXXXX
【우편번호】 13835
【주소】 경기도 과천시 불암로 12, 305동 1502호(원문동, 래미안 슈크)

51-1

■ 성능 시험

– 1차년도: RWIS 자료 표출 응답속도 3초 이내 확인(그림 3-1)

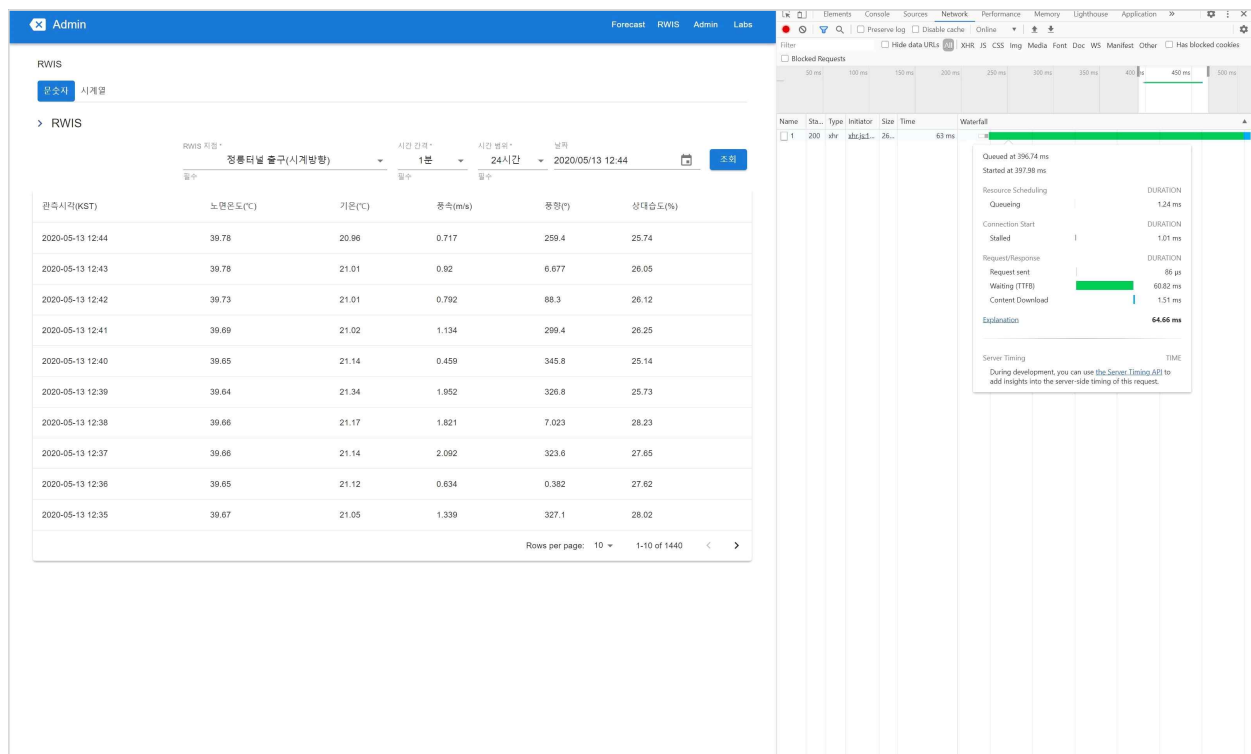


그림 3-1. RWIS 자료 표출 응답속도 측정

(3) 세부 정량적 연구개발성과

[과학적 성과]

☐ 논문(국내외 전문 학술지) 게재

번호	논문명	학술지명	주저자명	호	국명	발행기관	SCIE 여부 (SCIE/비SCIE)	게재일	등록번호 (ISSN)	기여율
1	도로기상차량으로 관측한 노면온도자료를 이용한 도로 살얼음 취약 구간 산정	대기	박문수	31(5)	대한민국	한국기상학회	비SCIE	2021.10.01.	2288-3266	100 %

☐ 국내 및 국제 학술회의 발표

번호	회의 명칭	발표 내용	발표자	발표 일시	장소	국명
1	2021 한국방재학회 학술발표대회	도로열지도 관측을 이용한 도로살얼음 취약 구간 산정 - 중부고속도로 사례	박문수	2021.09.09.	비대면 온라인	대한민국
2	2021 한국방재학회 학술발표대회	Thermal Mapping과 노면온도예측모델을 융합한 실시간 블랙아이스 취약구간예측시스템 개발	정현채	2021.09.09.	비대면 온라인	대한민국
3	2021 한국기상학회 가을학술대회	이동형노면온도관측 자료를 이용한 도로살얼음 취약 구간 산정 알고리즘 개발	박문수	2021.10.14.	비대면 온라인	대한민국

☐ 기술 요약 정보

번호	연도	기술명	요약 내용	기술 완성도	등록 번호	활용 여부	미활용사유	연구개발기관 외 활용 여부	허용방식

☐ 보고서 원문

번호	연도	보고서 명	발간일	등록 번호

☐ 생명자원(생물자원, 생명정보)/화합물

번호	생명자원(생물자원, 생명정보)/화합물 명	등록/기탁 번호	등록/기탁 기관	발생 연도

[기술적 성과]

☐ 지식재산권(특허, 실용신안, 의장, 디자인, 상표, 규격, 신품종, 프로그램)

번호	구분	지식재산권 등 명칭 (건별 각각 기재)	국명	출원			등록			기여율	활용 여부
				출원인	출원일	출원번호	등록인	등록일	등록번호		
1	특허	노면 온도 예측 모델을 이용한 블랙아이스 판단 방법	대한민국	주식회사 미래기후	2021.12.28	10-2021- 0189171				100%	

○ 지식재산권 활용 유형

번호	제품화	방어	전용실시	통상실시	무상실시	매매/양도	상호실시	담보대출	투자	활용 예정	기타

☐ 저작권(소프트웨어, 서적 등)

번호	저작권명	창작일	저작자명	등록일	등록번호	저작권자명	기여율
1	노면온도에측모형을 위한 국지예보모델(LDAPS) 기상자료 전처리 프로그램	2020.10.13	주식회사 미래기후	2020.10.21	C-2020-036538	주식회사 미래기후	100
2	이동형 보행자 맞춤형 소형 모바일 관측시스템 Thermal Mapping(열 매핑) 자료의 편차 자료 분석 및 생산 프로그램	2021.07.30	주식회사 미래기후	2021.11.11	C-2021-046727	주식회사 미래기후	100

☐ 신기술 지정

번호	명칭	고시일	보호기간	지정번호

☐ 기술 및 제품 인증

번호	인증 분야	인증기관	인증 내용		인증 획득일	국가명
			인증명	인증번호		

☐ 표준화

○ 국내표준

번호	인증구분	인증여부	표준명	표준인증기구명	제안주체	표준종류	제안/인증일자

○ 국제표준

번호	표준화단계 구분	표준명	표준기구명	표준분과명	의장단 활동여부	표준특허 추진여부	표준개발 방식	제안자	표준화 번호	제안일자

[경제적 성과]

☐ 시제품 제작

번호	시제품명	출시/제작일	제작업체명	설치장소	이용분야	사업화 소요 기간	인증기관 (해당 시)	인증일
1	RoadWeather Forecast Service	2021.11.01	주식회사 미래기후	주식회사 미래기후	도로기상	3년	한국시험인증원(주)	2021.11.30

☐ 현장적용

번호	적용기술명	적용일	발주기관명	적용 연구개발기관명	적용현장명(장소)

☐ 기술 실시(이전)

번호	기술 이전 유형	기술 실시 계약명	기술 실시 대상 기관	기술 실시 발생일	기술료	
					발생 연도	발생액(천원)

□ 사업화 투자실적

번호	연도	투자 자금 성격*	추가 연구개발 투자(천원)	설비 투자(천원)	기타 투자(천원)	합계(천원)

□ 사업화 현황

번호	사업화 방식	사업화 형태	지역	사업화명	내용	업체명	매출액		매출 발생 연도	기술 수명
							국내 (천원)	국외 (달러)		

□ 매출 실적(누적)

번호	사업화명	발생 연도	매출액		합계	산정 방법
			국내(천원)	국외(달러)		
합계						

□ 사업화 계획 및 무역 수지 개선 효과

성과					
사업화 계획	사업화 소요기간(년)				
	소요예산(천원)				
	예상 매출규모(천원)		현재까지	3년 후	5년 후
	시장 점유율	단위 (%)	현재까지	3년 후	5년 후
		국내			
		국외			
향후 관련기술, 제품을 응용한 타 모델, 제품 개발계획					
무역 수지 개선 효과(천원)	수입대체(내수)	현재	3년 후	5년 후	
	수 출				

□ 고용 창출

번호	사업화명	사업화 업체명	고용창출 인원(명)		합계(명)
			년	년	
합계					

□ 고용 효과

구분			고용 효과(명)
고용 효과	개발 전	연구인력	
		생산인력	
	개발 후	연구인력	
		생산인력	

☐ 비용 절감(누적)

번호	사업화명	발생 연도	산정방법	비용 절감액(천원)
합계				

☐ 경제적 파급 효과

(단위 : 천원/년)

구분	사업화명	수입 대체	수출 증대	매출 증대	생산성 향상	고용 창출 (인력 양성 수, 명)	기타
해당 연도							
기대 목표							

☐ 산업 지원(기술지도)

번호	내용	기간	참석 대상	장소	인원(명)

☐ 기술 무역

(단위 : 천원)

번호	계약 연월	계약 기술명	계약 업체명	계약업체 국가	총 계약액	기 징수액	해당 연도	징수액	향후 예정액	수출/ 수입

[사회적 성과]

☐ 법령 반영

번호	구분 (법률/시행령)	활용 구분 (제정/개정)	명 칭	해당 조항	시행일	관리 부처	제정/개정 내용

☐ 정책활용 내용

번호	구분 (제안/채택)	정책명	관련 기관 (담당 부서)	활용 연도	채택 내용

☐ 설계 기준/설명서(시방서)/지침/안내서에 반영

번호	구 분 (설계 기준/설명서/지침/안내서)	활용 구분 (신규/개선)	설계 기준/설명서/ 지침/안내서 명칭	반영일	반영 내용

☐ 신진연구자 채용

번호	채용 연구개발기관명	채용일	근로기간	채용인원(명)	채용인원 중 청년인력(명)

☐ 전문 연구 인력 양성

번호	분류	연도	현황(명)										
			학위별				성별		지역별				
			박사	석사	학사	기타	남	여	수도권	충청권	영남권	호남권	기타

☐ 산업 기술 인력 양성

번호	연도	프로그램명	프로그램 내용	교육 기관	교육 개최 횟수	총 교육 시간	총 교육 인원

☐ 다른 국가연구개발사업에의 활용

번호	연도	중앙행정기관명	사업명	연구개발과제명	연구책임자	연구개발비(천원)

☐ 국제화 협력성과

번호	구분 (유치/파견)	기간	국가	학위	전공	내용

☐ 홍보 실적

번호	홍보 유형	매체명	제목	홍보일

☐ 포상 및 수상 실적

번호	종류	포상명	포상 내용	포상 대상	포상일	포상 기관

[인프라 성과]

☐ 연구시설·장비

번호	구축 기관	연구시설/ 연구장비명	규격 (모델명)	개발여부 (○/×)	연구시설·장비 종합정보시스템* 등록여부	연구시설·장비 종합정보시스템* 등록번호	구축일자 (YY.MM.DD)	구축비용 (천원)	비고 (설치 장소)

[그 밖의 성과](해당 없음)

(4) 계획하지 않은 성과 및 관련 분야 기여사항(해당 없음)

2) 목표 달성 수준 (1차, 2차 년도 통합)

연구 개발 목표	달 성 내 용	달성도(%)
○ 이동형 노면 관측 차량을 이용한 Thermal map 정보 구축 - 이동형 노면 관측 차량 및 관측 센서 도입 - 시범 도로구간 선정 - Thermal map 정보의 신뢰성을 확인 가능하도록, 동절기에 시범 도로구간에 대한 5회 이상 관측 수행	○ 관측 차량과 독일 Lufft사의 MARWIS-UMB 차량 이동형 광학식 노면 센서를 도입하여 관측에 활용하였음. ○ 결빙 취약 구간이 존재하고 RWIS가 존재하고 결빙 사고 이력이 있는 중앙고속도로 남원주IC ~ 남안동IC 구간(약 133.9 km)을 시범 도로구간으로 선정하였음. ○ 1차 관측(2020년 12월 ~ 2021년 2월)과 2차 관측(2021년 12월)을 통해 총 24회의 Thermal map 관측 자료를 구축하였음.	100 %
○ 물리 기반 노면 온도 예측 모델 개선 및 검증 - 개선된 노면 온도 예측 모델의 공간(50 m 이하) 및 온도 해상도(0.1 °C 이하) 개선 - Thermal map 정보 융합을 통한 모델 개선 연구 수행 - 개선된 노면 온도 예측 결과 검증(50 % 편차 범위 ± 1.5 °C 이내, 90 % 편차 범위 ± 2.5 °C 이내)	○ LDAPS 자료 공간 내삽과 노면 온도 예측 모델 소스 코드 개선(double precision 적용)을 통해 모델 output의 공간 해상도와 온도 해상도를 기존보다 상세화하였음. ○ 시범 도로구간 Thermal map 자료를 노면 온도 예측 모델의 노면 온도 초깃값 처방에 활용하여 국지적인 cold spot을 나타내게 하였음. 또한, 개선 결과 개선 전보다 평균 노면 온도 오차가 약 1.85410 °C 정도 감소하였을 뿐만 아니라 상위 90 % 오차는 평균 ± 1.863299 °C, 상위 50 % 오차는 평균 ± 0.827746 °C로 최종 성과 목표에 모두 만족하는 것으로 나타남. ○ 추가 연구를 통해 개선된 노면 온도 예측 결과를 활용하여 개발된 시스템에 맞는 결빙 인덱스(0:dry, 1:wet, 2:ice) 알고리즘을 완성하였으며, 실제 관측 결과와 비교를 통해 검증을 수행하였음. 그 결과 건조 인덱스는 50 % 정도의 정확도를 보이며, 습윤 인덱스는 75.51 %의 정확도를, 결빙 상태임을 나타내는 인덱스 2의 경우 82.8 %의 정확도를 보이는 것으로 나타남. 하지만 건조에 비해 습윤/결빙을 과대 모의하는 것으로 나타났으므로 이후 지속적인 연구가 필요함.	100 %
○ 실시간 블랙아이스 취약 구간 예측 시스템 구축 - 4종류의 기반 모듈 개발 - 기반 모듈을 연계하는 통합 시스템 개발	○ 실시간 블랙아이스 취약 구간 예측 시스템을 구성하는 4종류의 기반 모듈(실시간 수집 모듈, 전처리 모듈, 모델 수행 모듈, 후처리 모듈) 개발을 완료하였음. ○ 리눅스 서버 기반으로 shell 및 java 스크립트를 활용하여 기반 모듈을 연계하는 통합 시스템을 개발하였음. ○ 연구 기간 동안 실시간 수행을 통해 시스템의 안정성을 확보하였음.	100 %
○ Web 기반의 블랙아이스 취약 구간 예·경보 시스템 구축	○ Web 기반의 블랙아이스 취약 구간 예·경보 시스템을 구축함. - 시스템 설계 - RWIS 자료 표출 - 모델 실행 예측 정보 표출 - 위험 발생 경보 표출 - 예측 자료 생산 로그 표출 - 도로 정보 자료 관리 - 단계별 테스트 수행 및 최적화	100 %

4. 목표 미달 시 원인분석(해당 없음)

5. 연구개발성과의 관련 분야에 대한 기여 정도

-
- 기술적 측면
 - Thermal map 융합 모델을 이용하여 도로의 국지적인 특징(지형 및 환경)에 의해 발생하는 블랙아이스 취약 구간에 대한 모델의 예측 정확도를 향상시켰음.
 - 사면, 교량, 지하, 터널 등 다양한 특성의 도로가 복합적으로 이어진 지역에서는 각 Thermal map 정보가 융합된 물리 기반 노면 온도 예측 모델 결과의 활용도가 높을 것으로 기대됨.
 - 도로 구간별 국지적 특성을 반영한 블랙아이스 취약 구간 예측 방법론을 제시함으로써 전 국토 주요 도로에 대한 Thermal map 정보망 구축을 촉진할 수 있음.
 - 결빙으로 인한 사고 위험도를 일반인들도 파악하기 쉽도록 결빙 인덱스를 개발하고 검증하였음.
 - 기상청 수치 예보 자료를 연결하여 하루 4회 실시간으로 도로에 대한 노면 온도 및 결빙 인덱스를 50m 간격으로 예보해 주는 시스템은 국내에서 개발된 바가 없으며, 앞으로 수치 예보 모델 자료 개선, 노면 온도 예측 모델 개선, Web 시스템 개선 등을 통해 발전할 가능성이 많은 시스템임.
 - 경제적 · 산업적 측면
 - Thermal mapping 관련 관측 장비업, mapping 서비스업의 활성화 기대
 - 신뢰도 높은 블랙아이스 취약 구간 정보 제공으로 화재보험업, 기상감정업 등 분야에서 신규 사업 발굴 기대
 - 사회적 측면
 - 해당 시스템은 핸드폰 애플리케이션 및 도로 내비게이션과 접목하여 국민들에게 실시간으로 결빙 위험 정보를 전달할 수 있음.
 - 블랙아이스 취약 구간에 대한 세밀한 예·경보 서비스를 통해 도로 관리 및 사고 예방에 기여할 수 있음.
-

6. 연구개발성과 관리 및 활용 계획

[연구개발성과 관리 계획]

- 해당 시스템은 사내 리눅스 서버에서 지속적으로 운영하여 디버깅 및 안정화 작업을 지속함.
- 또한, 위험 구간에 대한 추가 Thermal map 관측을 수행하여 개선된 모델을 적용할 수 있는 도로구간을 늘려갈 계획임.
- 기상청 수치 예보 자료에 대한 공간/시간적 상세화 및 정확도 향상, 노면 온도 예측 모델의 추가 개선, 그리고 결빙 인덱스 알고리즘의 개선과 관련된 연구는 필수적임. 이후 추가적인 연구 사업에 참여하여 노면 온도 예측 결과를 시공간적으로 더욱 상세화하며 지속해서 오차를 줄여나갈 계획임.

[연구개발성과 활용 계획]

- Thermal map 관측 자료를 확보한 국가기관이나 민간회사가 있다면, 협력하여 해당 도로구간에 대한 시스템 적용을 시도
 - 연구 결과의 지속적인 홍보를 통해 도로 관리기관, 기상 예보기관, 지자체 대상 블랙아이스 위험 진단 서비스, 예·경보 시스템 구축 서비스 사업화
 - 핸드폰 애플리케이션 및 도로 내비게이션과 접목을 통해 도로 이용자 대상 블랙아이스 경보 서비스 실시
-

< 별첨 >

별첨 자료

1. 참고문헌

2. 총 연구개발기간 성과점검기준표 및 증빙자료

3. 세부 정량적 연구개발성과 증빙자료

1. 참고문헌

- Lim, H.-S., S.-T., Kim, 2020, A study on road ice prediction by applying road freezing evaluation model. *Journal of the Korean Applied Science and Technology*, 37(6), 1507–1516. <http://dx.doi.org/10.12925/jkocs.2020.37.6.1507>. (In Korean)
- Park, M.-S., S.J., Joo, and Y.T., Son, 2014, Development of Road Surface Temperature Prediction Model using the Unified Model output (UM-Road), *Atmosphere*, 24(4), 417–479, <http://dx.doi.org/10.14191/Atmos.2014.24.4.471>. (In Korean)
- Shao, J., P.J., Lister, G.D., Hart, and H.B., Pearson, 1996, Thermal mapping: reliability and repeatability, *Meteorological Applications*, 3(4), 325–330, <http://doi.org/10.1002/met.5060030405>
- Todeschini, I, C. D. Napoli, I. Pretto, G. Merler, R. Cava-liere, R. Apolloni, G. Antonacci, A. Piazza, and G. Benedetti, 2016, Thermal mapping as a valuable tool for road weather forecast and winter road maintenance: an example from the Italian Alps. *In Fourth international conference on remote sensing and geoinformation of the environment (RSCy2016)*, 9688(96880H), International Society for Optics and Photonics, doi: 10.1117/12.2240484

2. 총 연구개발기간 성과점검기준표 및 증빙자료

2-1. 총괄

구분	핵심 성과물 (level1)		단위 성과물 (level2)		당해단계 성과목표				해당 기관	예산 (백만원)	실적목표/달성치	시스템 내 성과 입력		성과실적 근거자료	
					질적목표(측정방법)	목표치 /달성치	검증방법	가중치				완료	미완료		
1세부	A	Thermal mapping과 노면온도에 측 모 델 을 융합한 실 시간 블랙 아이스 취 약구간에측 시스템	1-1	이동형 노면관측차량의 관 측을 통해 구축된 시범도로 구간의 Thermal map 정보	①	Thermal map 정보의 신뢰성 을 확인 가능하도록, 충분한 관측 횟수(축적된 Thermal map 자료의 관측 횟수	5회 이상 관측 /22회 관측	과제 보고서에 기 입된 Thermal map 자료의 관측 횟수 확인	19	주관연구기관	94.8				
			1-2	Thermal map 정보가 융합된 물리기반 노면온도에측모델	①	개선된 모델의 공간(50m 이하) 및 온도 해상도(0.1℃ 이하)(개선된 모델의 결과 분석	50m 이하 및 0.1℃ 이하 /50m 이하 및 0.1℃ 이하	과제 보고서에 기 입된 개선된 모델 결과의 공간 및 온도 해상도 확인	11	주관 및 위탁연구기관	55	특허 : 출원 <u>건</u> 등록 <u>건</u> 논문(SCI) : <u>건</u> 논문(BSCI) : <u>1/1건</u> 시제품 : <u>건</u> S/W : <u>1/1건</u>	<u>건</u> <u>건</u> <u>건</u> <u>1건</u> <u>건</u> <u>1건</u>	<u>건</u> <u>건</u> <u>건</u> <u>건</u> <u>건</u> <u>건</u>	• 논문 : 논문 참조 (붙임 1) • S/W : SW등록증 참조 (붙임 2)
					②	개선된 모델 결과의 50%(±1.5℃이내) 및 90%(±2.5℃이내) 편차 범위 (개선된 모델의 결과와 실제 관측 결과의 편차 분석	±1.5℃이내 (50%) ±2.5℃ 이내(90%) /±0.82℃이내 (50%) ±1.86℃ 이내(90%)	과제 보고서에 기 입된 개선된 모델 결과의 편차 분석 결과 확인	11	주관 및 위탁연구기관	55				
			1-3	실시간 블랙아이스 취약구 간에측시스템	①	실시간 블랙아이스 취약구간 에측시스템을 구성하는 모듈 통합 및 현업 테스트 수행 여부	4개/4개	과제 보고서에 기 입된 4개 기반 모듈의 개발 내용 및 현업 테스트 결과 확인	29	주관연구기관	141				
			1-4	Web 기반의 블랙아이스 취 약구간 예 · 경보시스템	①	Web 기반의 블랙아이스 취약 구간 예 · 경보시스템의 응답 속도(클라이언트 요청 후, 서버로부터의 데이터 수신 및 UI 표출까지 소요시간)	3초 이내 /3초 이내	과제 보고서에 기 입된 시스템의 응 답속도 분석 결과 확인	10	주관연구기관	49.4	특허 : 출원 <u>1/1건</u> 등록 <u>건</u> 논문(SCI) : <u>건</u> 논문(BSCI) : <u>건</u> 시제품 : <u>1/1건</u> S/W : <u>1/1건</u>	<u>1건</u> <u>건</u> <u>건</u> <u>건</u> <u>1건</u> <u>1건</u>	<u>건</u> <u>건</u> <u>건</u> <u>건</u> <u>건</u> <u>건</u>	• 특허(출원) : 특허 출원서 참조 (붙임 4) • 시제품 : 한국시험인증원 시험성적서 참조 (붙임 5) • S/W : SW등록증 참조 (붙임 3)
					②	블랙아이스 취약구간 예 · 경 보시스템 특허 출원(특허 출 원 횟수)	1건/1건	특허 출원서	10	주관연구기관	49.4				
					③	블랙아이스 취약구간 예 · 경 보시스템 시제품 제작(시제 품 성능 검증	1건/1건	한국산업기술시험 원 시험성적서	10	주관연구기관	49.4				
			계									100		494	특허 : 출원 <u>1/1건</u> 등록 <u>건</u> 논문(SCI) : <u>건</u> 논문(BSCI) : <u>1/1건</u> 시제품 : <u>1/1건</u> S/W : <u>2/2건</u>

2-2. 1차연도

구분	핵심 성과물 (level1)		단위 성과물 (level2)		당해단계 성과목표				해당 기관	예산 (백만원)	실적목표/달성치	시스템 내 성과 입력		성과실적 근거자료
					질적목표(측정방법)	목표치 /달성치	검증방법	가중치				완료	미완료	
1세부	A	Thermal mapping과 노면온도에 측 모 델 을 융합한 실 시간 블랙 아이스 취 약구간에측 시스템	1-1	이동형 노면관측차량의 관 측을 통해 구축된 시범도로 구간의 Thermal map 정보	①	Thermal map 정보의 신뢰성 을 확인 가능하도록, 충분한 관측 횟수(축적된 Thermal map 자료의 관측 횟수	5회 이상 관측 /2회 관측	과제 보고서에 기 입된 Thermal map 자료의 관측 횟수 확인	20	주관연구기관	42.8			
			1-2	Thermal map 정보가 융합된 물리기반 노면온도에측모델	①	개선된 모델의 공간(50m 이하) 및 온도 해상도(0.1℃ 이하)(개선된 모델의 결과 분석	50m 이하 및 0.1℃ 이하 /50m 이하 및 0.1℃ 이하	과제 보고서에 기 입된 개선된 모델 결과의 공간 및 온도 해상도 확인	23	위탁연구기관	50			
			1-3	실시간 블랙아이스 취약구 간에측시스템	①	실시간 블랙아이스 취약구간 예측시스템을 구성하는 모듈 개발 및 정상 수행 여부(4 개 기반 모듈의 개발 및 정 상 수행 여부 확인)	4개/3개	과제 보고서에 기 입된 4개 기반 모 들의 개발 내용 및 현업 테스트 결과 확인	27	주관연구기관	57			
			1-4	Web 기반의 블랙아이스 취 약구간 예 · 경보시스템	①	Web 기반의 블랙아이스 취약 구간 예 · 경보시스템의 응답 속도(클라이언트 요청 후, 서버로부터의 데이터 수신 및 UI 표출까지 소요시간)	3초 이내 /3초 이내	과제 보고서에 기 입된 시스템의 응 답속도 분석 결과 확인	30	주관연구기관	64.2	특허 : 출원 건 <u> </u> 건 <u> </u> 건 등록 건 <u> </u> 건 <u> </u> 건 논문(SCI) : <u> </u> 건 <u> </u> 건 논문(비SCI) : <u> </u> 건 <u> </u> 건 시제품 : <u> </u> 건 <u> </u> 건 S/W : 0/1건 <u> </u> 건 <u> </u> 건	• S/W : SW등록증 참조 (붙임 3)	
			계					100		214	특허 : 출원 건 <u> </u> 건 <u> </u> 건 등록 건 <u> </u> 건 <u> </u> 건 논문(SCI) : <u> </u> 건 <u> </u> 건 논문(비SCI) : <u> </u> 건 <u> </u> 건 시제품 : <u> </u> 건 <u> </u> 건 S/W : 0/1건 <u> </u> 건 <u> </u> 건			

2-3. 2차연도

구분	핵심 성과물 (level1)		단위 성과물 (level2)		당해단계 성과목표				해당 기관	예산 (백만원)	실적목표/달성치	시스템 내 성과 입력		성과실적 근거자료
					질적목표(측정방법)	목표치 /달성치	검증방법	가중치				완료	미완료	
1세부	A	Thermal mapping과 노면온도에 측 모 델 을 융합한 실 시간 블랙 아이스 취 약구간에측 시스템	1-1	이동형 노면관측차량의 관 측을 통해 구축된 시범도로 구간의 Thermal map 정보	①	Thermal map 정보의 신뢰성 을 확인 가능하도록, 충분한 관측 횟수(축적된 Thermal map 자료의 관측 횟수	5회 이상 관측 /22회 관측	과제 보고서에 기 입된 Thermal map 자료의 관측 횟수 확인	19	주관연구기관	52			
			1-2	Thermal map 정보가 융합된 물리기반 노면온도에측모델	②	개선된 모델 결과의 50%(±1.5℃이내) 및 90%(±2.5℃이내) 편차 범위 (개선된 모델의 결과와 실제 관측 결과의 편차 분석	±1.5℃이내 (50%) ±2.5℃ 이내(90%) / ±0.82℃이내 (50%) ±1.86℃ 이내(90%)	과제 보고서에 기 입된 개선된 모델 결과의 편차 분석 결과 확인	21	주관 및 위탁연구기관	60	특허 : 출원 건 등록 건 논문(SCI) : 건 논문(BSCI) : 1/1건 시제품 : 건 S/W : 1/1건	건 건	

도로기상차량으로 관측한 노면온도자료를 이용한 도로살얼음 취약 구간 산정

박문수^{1)*} · 강민수²⁾ · 김상헌²⁾ · 정현채³⁾ · 장성빈³⁾ · 유동길³⁾ · 류성현³⁾

¹⁾세종대학교 기후환경융합학과, ²⁾세종대학교 기후환경융합센터, ³⁾(주)미래기후

(접수일: 2021년 8월 7일, 수정일: 2021년 9월 22일, 게재확정일: 2021년 10월 1일)

Estimation of Road Sections Vulnerable to Black Ice Using Road Surface Temperatures Obtained by a Mobile Road Weather Observation Vehicle

Moon-Soo Park^{1)*}, Minsoo Kang²⁾, Sang-Heon Kim²⁾, Hyun-Chae Jung³⁾,
Seong-Beon Jang³⁾, Dong-Gill You³⁾, and Seong-Hyen Ryu³⁾

¹⁾Department of Climate and Environment, Sejong University, Seoul, Korea

²⁾Climate Change & Environmental Research Center, Sejong University, Seoul, Korea

³⁾Mirae Climate Co., Ltd., Seoul, Korea

(Manuscript received 7 August 2021; revised 22 September 2021; accepted 1 October 2021)

Abstract Black ices on road surfaces in winter tend to cause severe and terrible accidents. It is very difficult to detect black ice events in advance due to their localities as well as sensitivities to surface and upper meteorological variables. This study develops a methodology to detect the road sections vulnerable to black ice with the use of road surface temperature data obtained from a mobile road weather observation vehicle. The 7 experiments were conducted on the route from Nam-Wonju IC to Nam-Andong IC (132.5 km) on the Jungang Expressway during the period from December 2020 to February 2021. Firstly, temporal road surface temperature data were converted to the spatial data with a 50 m resolution. Then, the spatial road surface temperature was normalized with zero mean and one standard deviation using a simple normalization, a linear de-trend and normalization, and a low-pass filter and normalization. The resulting road thermal map was calculated in terms of road surface temperature differences. A road ice index was suggested using the normalized road temperatures and their horizontal differences. Road sections vulnerable to black ice were derived from road ice indices and verified with respect to road geometry and sky view, etc. It was found that black ice could occur not only over bridges, but also roads with a low sky view factor. These results are expected to be applicable to the alarm service for black ice to drivers.

Key words: Black ice, road ice index, road ice vulnerability, road surface temperature, road thermal map.

*Corresponding Author: Moon-Soo Park, Department of Climate and Environment, Sejong University, 209 Neungdong-ro, Gwangjin-gu, Seoul 05006, Korea.
Phone: +82-2-6935-2558, Fax: +82-2-3408-4354
E-mail: moonsoo@sejong.ac.kr

제	C-2021-046727	호
---	---------------	---



저작권 등록증

1. 저작물의 제호(명칭)	이동형 보행자 맞춤형 소형 모바일 관측시스템 Thermal Mapping (열 매핑) 자료의 원자 자료 분석 및 생산 프로그램
2. 저작물의 종류	컴퓨터프로그램저작물>응용프로그램>과학기술
3. 저작자 성명(법인명)	주식회사 미래기후 서울특별시 금천구 가산로9길
4. 생년월일(법인등록번호)	121111-0170646
5. 창작연월일	2021년07월30일
6. 공표연월일	-
7. 등록연월일	2021년11월11일
8. 등록사항	저작자 : 주식회사 미래기후, 창작 : 2021.07.30

「저작권법」 제53조에 따라 위와 같이 등록되었음을 증명합니다.

2021년 11월 12일

한국저작권위원회





제	C-2020-036538	호
---	---------------	---



저작권 등록증

1. 저작물의 제호(명칭)	노면온도예측모형을 위한 국지예보모델(LDAPS) 기상자료 전처리 프로그램
2. 저작물의 종류	컴퓨터프로그램저작물>응용프로그램
3. 저작자 성명(법인명)	주식회사 미래기후 서울특별시 금천구 디지털로9길
4. 생년월일(법인등록번호)	121111-0170646
5. 창작연월일	2020년10월13일
6. 공표연월일	2020년10월13일
7. 등록연월일	2020년10월21일
8. 등록사항	저작자 : 주식회사 미래기후, 창작 : 2020.10.13, 공표 : 2020.10.13

「저작권법」 제53조에 따라 위와 같이 등록되었음을 증명합니다.

2020년 10월 23일

한국저작권위원회





【서지사항】

【서류명】	특허출원서
【참조번호】	CP21115
【출원구분】	특허출원
【출원인】	
【명칭】	주식회사 미래기후
【특허고객번호】	1-2014-007932-8
【대리인】	
【명칭】	특허법인아이피에스
【대리인번호】	9-2014-100021-7
【지정된변리사】	한치원
【포괄위임등록번호】	2015-044714-6
【발명의 국문명칭】	노면 온도 예측 모델을 이용한 블랙아이스 판단 방법
【발명의 영문명칭】	A method of determining black-ice using a road surface temperature prediction model
【발명자】	
【성명】	류성현
【성명의 영문표기】	RYU, Seonghyen
【주민등록번호】	691229-1XXXXXX
【우편번호】	13835
【주소】	경기도 과천시 별양로 12, 305동 1502호(원문동, 래미안 스위트)

붙임5 시제품 - 한국시험인증원 시험성적서 (10 쪽)

G4B(www.g4b.go.kr)진위확인코드 : zSJhKEAgFnk=

성적서번호 : KST-21-141

한국시험인증원
KOTCA

4. 시험결과에 따른 판정결과

시험결과에 따른 판정결과는 다음과 같다.

구분	시험항목	시험결과	판정기준	판정결과
1	도로정보 관리 (등록, 조회, 수정, 삭제)	동작함	정보관리 기능 동작	Pass
2	예측 자료 생산 로그 표출	20.1ms	3초 이내 로그표출	Pass
3	모델 실행 예측 정보 표출 (노면온도, 위험 경보)	738.67ms	3초 이내 정보 표출	Pass
4	RWIS 표출	26.29ms	3초 이내 RWIS 정보 표출	Pass



3. 세부 정량적 연구개발성과 증빙자료

3-1. 2021 한국방재학회 학술발표대회 구두발표 (2021년 9월 9일) (세종대 박문수)

연구단/사업단 세션 VI

도로열지도 관측을 이용한 도로살얼을 취약 구간 산정 - 중부고속도로 사례

Estimation of Road Sections Vulnerable to Black Ice Using a Road Thermal Mapping - An Example of Jungbu Expressway

박문수* · 강민수** · 정현채*** · 장성빈*** · 유동길*** · 류성현***
Park, Moon-Soo* · Kang, Minsoo** · Jung, Hyun-Chae*** · Jang, Seong-Been*** ·
Yoo, Dong-Gill*** · Ryu, Seong-Hyen***

요 지

도로살얼은 어는비를 동반한 경우와 동반하지 않는 경우로 구분된다. 어는비를 기온의 연직 프로파일을 이용하여 추정이 가능하며 비교적 넓은 영역에서 발생 가능하지만, 어는비를 동반하지 않는 경우에는 국지적으로 발생한다. 노면온도예측모델인 UM-Road를 이용하여 노면온도를 예측할 경우 한 지점에서의 시간에 따른 예측은 가능하지만 운항 구간별 노면온도를 예측하기에는 어려움이 있다. 이를 보완하기 위해 2020년 겨울 동안 중앙고속도로 남원주 IC부터 남안동 IC까지 132.5km 구간에 7차레 도로열지도 관측을 수행하였다. 시범 구간은 50m 간격으로 나누어 2650개의 구간으로 나누었으며, 각 구간별 노면 기하구조를 지상, 교량, 터널로 구분하였다. UM-Road와 도로열지도 관측을 통해 시범 구간에서 노면온도를 예측하는 알고리즘을 개발하였다. 1초 이하로 관측된 노면온도 자료는 역시 앞에서 구분된 구간과 같이 50m 간격의 자료로 변환하였다. 시범 구간을 다시 10개의 세부구간으로 나누어 각 구간별로 평균에 대한 편차로 도로열지도를 작성하였다. 노면온도예측모델로 수행된 예측노면온도와 도로열지도를 결합하여 구간별 노면온도를 산정하였다. 7회 중 6회의 자료를 이용하여 작성된 도로열지도를 이용하여 나머지 1회의 자료에 적용하였을 때 노면온도가 결합하기 전의 노면온도보다 더 정확한 것으로 확인되었다.

핵심용어 : 도로살얼, 도로열지도, 노면온도예측모델, 취약구간

감사의 글

본 연구는 국토교통부/국토교통과학기술진흥원의 지원으로 수행되었음(과제번호 20CTAP-C157207-01).

* 교신저자, 세종대학교 기후환경융합학과 교수 (E-mail: moonsoo@sejong.ac.kr)
Corresponding Authors, Professor, Department of Climate and Environment, Sejong University
** 세종대학교 기후환경연구센터 선임연구원
Senior Researcher, Climate Change & Environmental Research Center, Sejong University
*** (주)미래기후
Mirae Climate

Thermal Mapping과 노면온도에측모델을 융합한 실시간 블랙아이스 취약구간예측시스템 개발

Development of Real-Time Prediction System of Road Sections Vulnerable to Black Ice Using a Combined Thermal Mapping-Road Surface Temperature Prediction Model

정현채* · 장성빈** · 유동길** · 신현배** · 박문수*** · 강민수**** · 김현기** · 류성현**
Jung, Hyun-Chae* · Jang, Seong-Been** · Yoo, Dong-Gill** · Shin, Hyun-Bae** ·
Park, Moon-Soo*** · Kang, Minsoo**** · Kim, Hyun-Ki** · Ryu, Seong-Hyen**

요 지

도로교통공단에서 제공하는 교통사고분석시스템(<http://taas.koroad.or.kr>)에 따르면 서리/결빙에 의한 사고는 2016년 이후 증가하는 추세를 보이고 있다. 또한 최근 겨울철에는 블랙아이스와 관련된 대형사고(경북 군위군 상주-영천 고속도로 다중 추돌 사고 등)가 빈번하게 발생하여 전 국민적인 관심사가 높아졌다. 이러한 사고는 대기의 기온, 습도 및 얼비(freezing rain)와 같은 기상상태와 밀접한 연관성을 갖고 있으나, 현재 기상정보를 활용하여 블랙아이스 생성 가능성을 예측하는 국내 시스템은 선진국에 비하여 매우 부족한 상황이다. 이 연구에서는 도로 살얼음 발생에 직접적인 관련이 있는 도로의 노면온도를 물리기반으로 예측하는 모델(Park et al., 2014)을 활용하고 있다. 그리고 이동형 노면관측차량으로 관측한 도로구간의 Thermal map 정보와 기상청이 하루 4회 제공하는 수치예보자료(국지예보모델)를 사용함으로써, 도로의 국지적 특성까지 반영한 보다 예측력 높은 모델링 시스템을 구축하려 한다. 또한, Web 기반의 '실시간 블랙아이스 취약구간 예·경보시스템'과 연계하여 사용자 중심의 인터페이스를 구현하고자 한다. 개발된 시스템은 도로 관리기관, 기상 예보기관, 전국의 지자체에서 블랙아이스 위험 진단 및 예·경보 서비스를 제공하는데 활용될 것으로 기대하고 있다.

핵심용어 : 블랙아이스, 도로노면온도 예측모델, Thermal map, 국지예보모델

감사의 글

본 연구는 국토교통부/국토교통과학기술진흥원의 지원으로 수행되었음(과제번호 20CTAP-C157207-01).

Reference

Park, M.-S., S.J., Joo, and Y.T., Son, 2014, Development of Road Surface Temperature Prediction Model using the Unified Model output (UM-Road), Atmosphere, 24(4), 417-479, <http://dx.doi.org/10.14191/Atmos.2014.24.4.471>. (In Korean)

* 교신저자, (주) 미래기후 (E-mail: hjung@miraedimate.com)
Corresponding Author, Miraedimate Co., Ltd.

** (주) 미래기후
Miraedimate Co., Ltd.

*** 세종대학교 기후환경융합학과 교수
Department of Climate and Environment, Sejong University

**** 세종대학교 기후환경연구센터, 선임연구원
Climate Change & Environmental Research Center, Sejong University

3-3. 2021 한국기상학회 가을학술대회 구두발표 (2021년 10월 14일) (세종대 박문수)

2021년 한국기상학회 가을학술대회 초록집
Proceedings of the Autumn Meeting of KMS, 2021

환경 및 응용기상분과 / 환경 및 응용기상 3-5

이동형노면온도관측 자료를 이용한 도로살얼음 취약 구간 산정 알고리즘 개발

박문수¹, 강민수², 정현채³, 장성빈³, 유동길³, 류성현³

¹세종대학교 기후환경융합학과

²세종대학교 기후환경융합센터

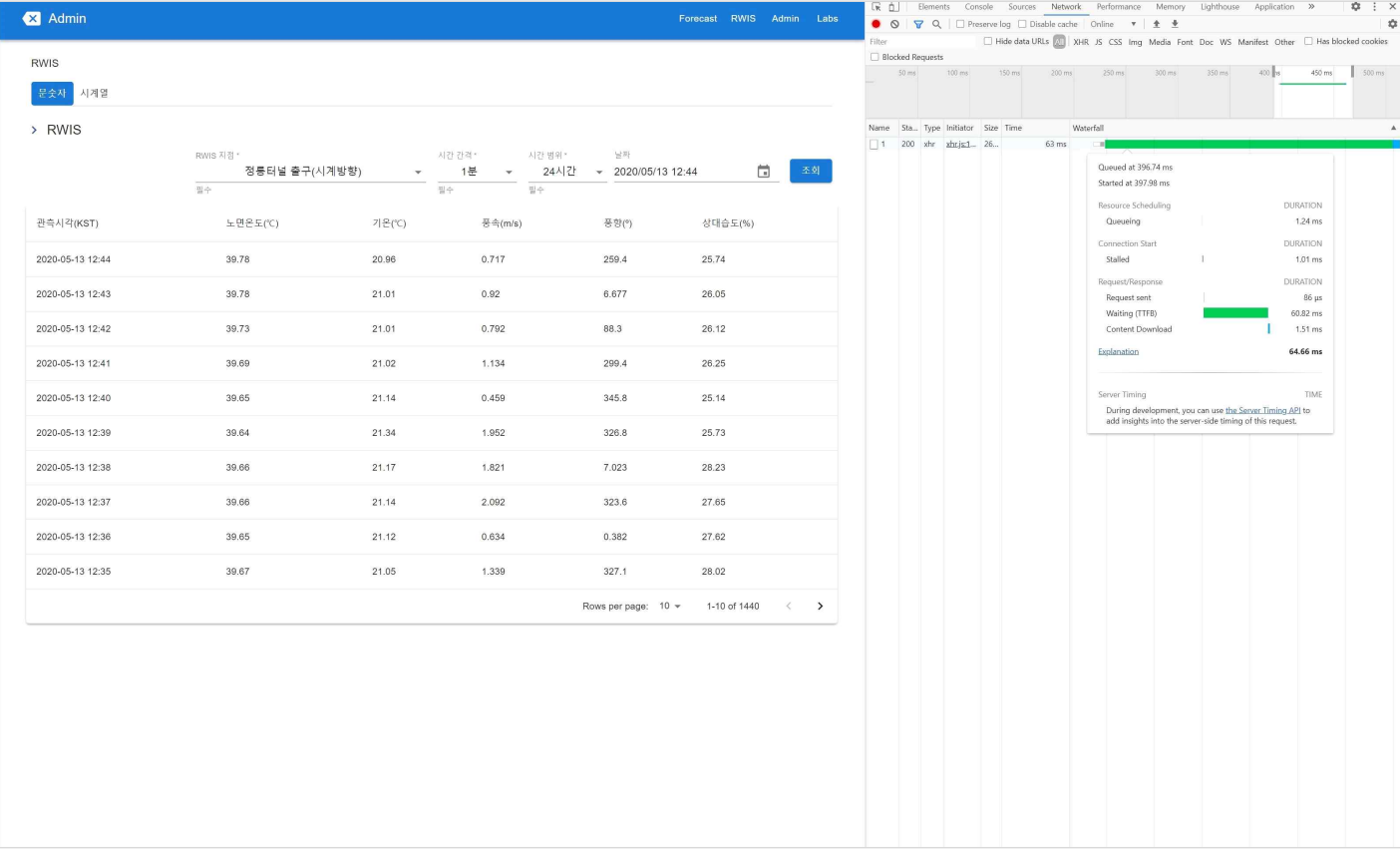
³(주)미래기후

최근 겨울철에 도로살얼음에 의한 대형 사고가 여러 차례 발생하여 도로살얼음 취약구간을 정확하게 규명하는 것에 대한 관심이 높아지고 있다. 도로살얼음은 어는비를 동반한 경우와 동반하지 않은 경우로 구분 가능하다. 어는비를 동반한 도로살얼음은 비교적 넓은 영역에서 발생하며 기온의 연직 프로파일을 이용하여 발생 가능성 예측이 가능하다. 어는비를 동반하지 않은 도로살얼음은 매우 국지적으로 발생하기 때문에 종관 규모의 자료로 발생 가능성을 예측하는 것이 쉽지 않다. 본 연구에서는 2020년 겨울 동안 중앙고속도로 남원주 IC에서 남안동 IC까지 132.5km 구간에서 7차례 수행된 이동형노면온도관측 자료를 이용하여 도로열지도를 작성하는 알고리즘을 제시하였고, 이를 통해 도로살얼음 취약구간을 산정하는 방법을 제안하였다. 이동형노면온도 관측은 차량에 MARWIS(Mobile Advanced Road Weather Information Service)를 부착하여 수행하였다. 먼저 1초 이하로 관측된 노면온도 자료를 일정한 구간(50m) 자료로 변환하였다. 또한, 각 구간(50m 간격, 2650개)별 노면 기하구조를 지상, 교량, 터널로 구분하였다. 도로열지도 작성은 지형 고도와 노면 특성의 유사성을 고려하여 10개의 세부 구간으로 나누어 수행했다. 도로열지도는 노면온도의 평균에 대한 편차를 정규화한 것으로 정의하였다. 편차를 계산하기 위한 평균으로 단순평균, 1차선형식, 푸리에 변환을 이용한 low-pass-filter(LPF)를 고려하였다. 교량 노면온도가 지상도로의 노면온도보다 훨씬 낮은 것으로 관측되었다. 도로살얼음 취약구간을 산정하기 위해 정규화한 노면온도 편차와 노면온도의 공간변화를 이용하여 결빙지수를 제안하였다. 결빙지수는 0, 1, 2로 제안하였으며 값이 클수록 결빙지수가 큰 것으로 정의했다.

Key words: 이동형노면온도관측, 도로살얼음, 취약구간, 도로열지도

※ 본 연구는 국토교통부/국토교통과학기술진흥원의 지원으로 수행되었음(과제번호 20CTAP-C157207-01).

3-4. Web 기반의 블랙아이스 취약 구간 예·경보 시스템(RWIS 자료 표출)의 응답속도 3초 이내 확인



[뒷면지]

주 의

1. 이 보고서는 국토교통부에서 시행한 국토교통과학기술 연구개발사업 ‘Thermal mapping과 노면온도에측모델을 융합한 실시간 블랙아이스 취약구간에측시스템 개발’ 연구개발과제 최종보고서이다.
2. 이 연구개발내용을 대외적으로 발표할 때에는 반드시 국토교통부(국토교통과학기술진흥원)에서 시행한 국토교통과학기술 연구개발사업의 결과임을 밝혀야 한다.
3. 국가과학기술 기밀 유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안 된다.