

발 간 등 록 번 호

11-B552989-000598-01

**도로분해능 해상도의
태양복사-노면온도-수막두께정보를 연계한
도로결빙 시공간 예보시스템 개발
최종보고서**

주관연구기관: 한국외국어대학교 연구산학협력단
공동연구기관: (주)평화엔지니어링

2022

국토교통과학기술진흥원

최종보고서(일반과제용)										보안등급	
										일반[✓], 보안[]	
중앙행정기관명	국토교통부				사업명		사업명		국토교통기술촉진연구사업		
전문기관명	국토교통과학기술진흥원				내역사업명						
공고번호	공고-제05호				총괄연구개발 식별번호		-				
					연구개발과제번호		20CTAP-C157871-01				
국가과학기술 표준분류	EI0506		80%	EI0505		20%					
총괄연구개발명	국문	도로분해능 해상도의 태양복사-노면온도-수막두께정보를 연계한 도로결빙 시공간 예보시스템 개발									
	영문	Development of road-freezing space-time forecasting system by linking solar radiation, road surface temperature and water depth information with road-resolving resolution									
연구개발과제명	국문										
	영문										
주관연구기관	기관명	한국외국어대학교 연구산학협력단				사업자등록번호		135-82-11191			
	주소	(우) 경기도 용인시 외대로 81				법인등록번호					
주관연구책임자	성명	이채연				직위		책임연구원			
	연락처	직장전화	031-8020-5589				휴대전화		010-2872-0032		
		전자우편	prpr2222@hufs.ac.kr				국가연구자번호		11149977		
연구개발기간	전체	2020. 04. 13 - 2021. 12. 31(1년 8.6개월)									
	1년차	2020. 04. 13 - 2020. 12. 31(0년 8.6개월)									
	2년차	2021. 01. 01 - 2020. 12. 31(1년 0개월)									
연구개발비 (단위 : 천원)	정부지원 연구개발비	기관부담 연구개발비		그 외 기관 등의 지원금				합계			연구개발 비외 지원금
				지방자치단체		기타					
	현금	현금	현물	현금	현물	현금	현물	현금	현물	합계	
총계	370,000	17,800	94,200	-	-	-	-	387,800	94,200	482,000	-
1년차	160,000	5,800	34,200	-	-	-	-	165,800	34,200	200,000	-
2년차	210,000	12,000	60,000	-	-	-	-	222,000	60,000	282,000	-
공동연구기관 등	기관명	책임자	직위	휴대전화		전자우편		비고			
								역할	기관유형		
공동연구기관	(주)평화엔지니어링	김상태	연구위원	031 420-7811		stkim99@pec.kr			중견기업		
위탁연구기관											
연구기관 외 기관	(주)피에스글로벌	이동섭	대표이사	031 381-2016		dslee@psglobal.co.kr			중소기업		
	(주)거송	강태원	부장	031 748-0978		ujjajago@gmail.com			중소기업		
연구개발담당자 실무담당자	성명	안숙희				직위		책임연구원			
	연락처	직장전화	031-8020-5589				휴대전화		010-9270-2939		
		전자우편	shahn@hufs.ac.kr				국가연구자번호		10863265		

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

2022년 2월 3일

주관연구책임자 : 이채연 (직인)

주관연구기관의 장 : 한국외국어대학교 연구산학협력단 박영철 (직인)

국토교통과학기술진흥원장 귀하

본 서식은 「국가연구개발혁신법」 시행('21.01.01) 이전에 최종 협약하여 '21.01.01 이후에 최종평가를 시행하는 일반과제용 입니다.

< 요약 문 >

사업명		국토교통기술촉진연구사업			총괄연구개발 식별번호		-	
내역사업명					연구개발과제번호		20CTAP-C157871-01	
국가과학기술 표준분류		EI0506	80%	EI0505	20%			
총괄연구개발명		도로분해능 해상도의 태양복사-노면온도-수막두께정보를 연계한 도로결빙 시공간 예보시스템 개발						
연구개발과제명								
전체 연구개발기간		2020. 04. 13 - 2021. 12. 31(1년 8.6개월)						
총 연구개발비		총 482,000 천원 (정부지원연구개발비 : 370,000 천원, 기관부담연구개발비 : 112,000 천원, 지방자치단체 : 천원, 그 외 지원금 : 천원)						
연구개발단계		기초[] 응용[] 개발[☒] 기타(위 3가지에 해당되지 않는 경우)[]			기술성숙도		착수시점 기준(3) 종료시점 목표(7)	
연구개발과제 유형		지정공모 [] 자유공모 [☒]						
연구개발과제 특성		실용화						
연구 개발 목표 및 내용	최종 목표		도로분해능 해상도의 태양복사-노면온도-수막두께정보를 연계한 도로결빙 시공간 예보시스템 개발					
	전체 내용		○ 도로분해능 해상도의 노면온도에측 모델링을 위한 최신 GIS DB 구축 ○ 결빙위험 대상지역의 수치모델 입력자료 실시간 수집모듈 개발 ○ 도로분해능 태양복사모델 복사플렉스 산출체계 구축 ○ 열수지기반 노면온도에측모델의 노면온도 산출체계 구축 ○ 도로 수막정보예측모델 구축과 수막두께정보 산출 ○ 도로 노면결빙 기상 지형 기하구조 조건별 영향인자 분석 ○ 도로결빙판단 알고리즘 개발 ○ 도로결빙 시공간예측 자동화 시스템 구축					
	1년차	목표	○ 도로분해능 태양복사모델과 노면온도에측모델 연계구축 ○ 도로 노면결빙 영향인자 분석 및 예측 알고리즘 개발					
		내용	○ 도로분해능 해상도의 노면온도에측 모델링을 위한 최신 GIS DB 구축 ○ 결빙위험 대상지역의 수치모델 입력자료 실시간 수집모듈 개발 ○ 도로분해능 태양복사모델 복사플렉스 산출체계 구축 ○ 열수지기반 노면온도에측모델의 노면온도 산출체계 구축 ○ 태양복사모델과 노면온도에측모델 커플링기술 개발 ○ 도로 수막정보예측모델 구축과 수막두께정보 산출 ○ 도로 노면결빙 영향인자 분석 및 예측 알고리즘 개발 ○ 노면결빙 예측모형 검증을 위한 테스트베드 구간 선정 및 측정장비 구축					
	2년차	목표	○ 도로분해능 노면온도 및 수막두께 예측모델 검증과 실시간 운영체계 구축 ○ 도로 노면결빙예보시스템 개발					
		내용	○ 노면온도 및 수막두께 예측모델 체계 검증 ○ 노면온도에측모델 연계체계 개선과 실시간 운영체계 구축 ○ 도로 노면결빙예보시스템 설계 ○ 도로 노면결빙예보시스템 개발					
연구개발성과		○ 태양복사-노면수막-도로기하구조 연계 도로분해능 해상도의 노면온도에측모델과 실시간 운영체계 ○ 잠재적 도로결빙조건을 고려한 도로결빙 시공간 예보시스템						
연구개발성과 활용방안 및 기대효과		○ 기존 노면온도에측모델 및 예보시스템 대비 해상도 및 정확도 향상 기술 확보 - 기상 기후 정보 및 교통정보 등의 융합을 통해, 보다 진보적인 기술 적용으로 도로교통 산업기술 발달에 기여 ○ 국내외 도로결빙 상습 - 취약구간의 사고 예방 및 관리 등 통일된 도로결빙 대응체계 구축 및 시스템 기술 확보						

	- 경험적 판단의 제설작업으로 인한 인적 오류 최소화 및 도로결빙으로 인한 교통사고감소, 사망자 및 부상자 최소화 등 교통사고로 인한 사회적 피해 저감 ○ 겨울철 도로결빙 상습 - 취약구간 안전시설 적정 설치 위치 및 기준 마련 활용 - 겨울철 도로의 잠재적 위험 구간 해소 등 도로교통 안전도 향상											
연구개발 성과의 비공개여부 및 사유	해당없음											
연구개발성과 의 등록·기탁 건수	논문	특허	보고서 원문	연구 시설· 장비	기술 요약 정보	소프트 웨어	표준	생명자원		화합물	신품종	
								생명 정보	생물 자원		정보	실물
	4	2	3		1	2						
연구시설·장비 종합정보시스 템 등록 현황	구입기관	연구시설· 장비명	규격 (모델명)	수량	구입 연월일	구입가격 (천원)	구입처 (전화)	비고 (설치장소)	ZEUS 등록번호			
국문핵심어 (5개 이내)	노면온도		수막두께		노면상태		도로결빙		결빙예보			
영문핵심어 (5개 이내)	Road Surface Temperature		Water depth		Road Surface Characteristics		Road-freezing		Road-freezing forecasting			

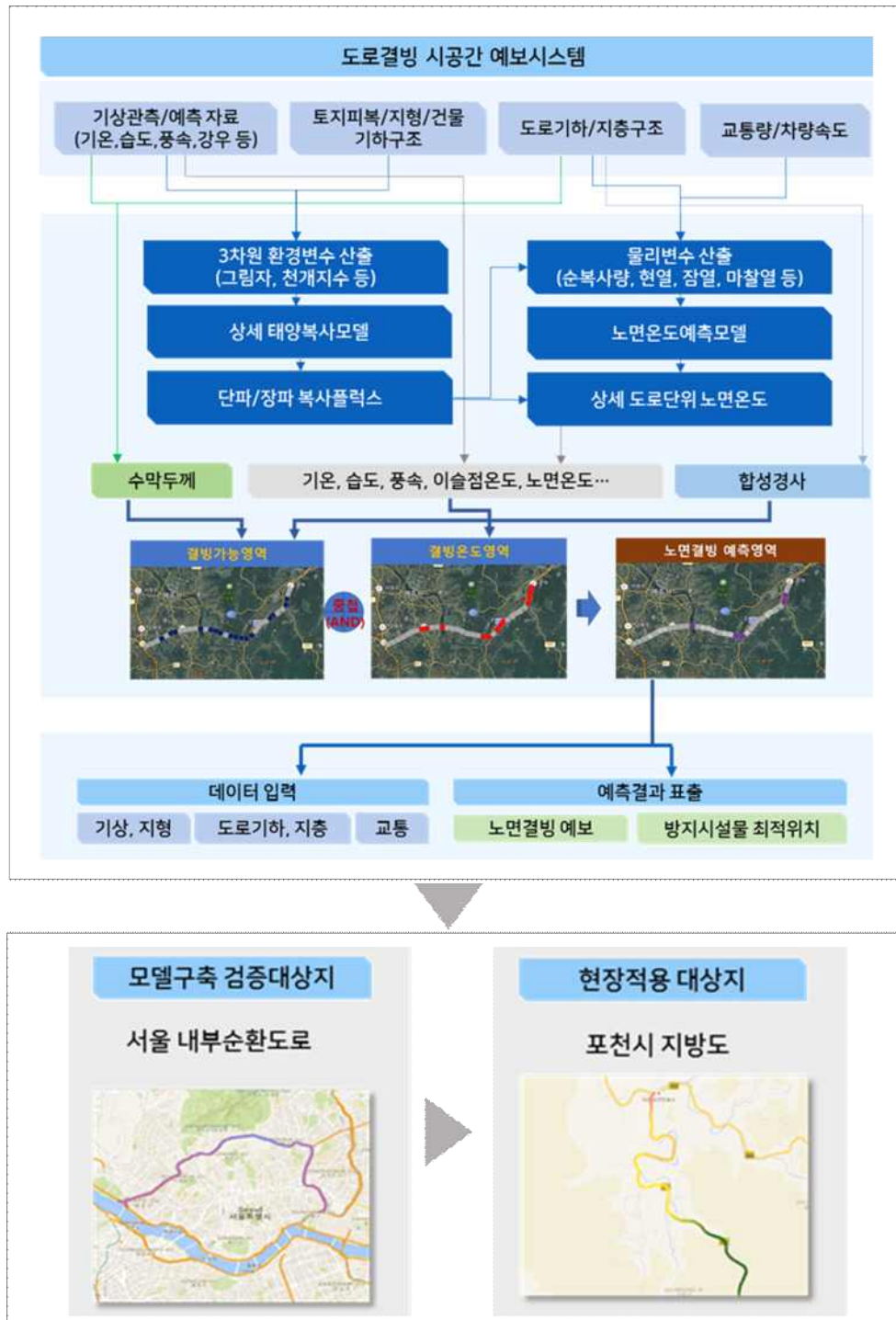
〈 목 차 〉

1. 연구개발과제의 개요	1
1-1. 연구개발과제의 최종 목표	1
1-2. 연구개발과제의 년차별 목표	2
2. 연구개발과제의 수행 과정 및 수행 내용	3
2-1. 연구개발과제의 수행 과정	3
2-2. 연구개발과제의 수행 내용	4
1) 노면온도-수막두께- 도로기하구조를 연계한 도로분해능 해상도 노면온도예측모델	6
2) 도로분해능 노면온도 및 수막두께 예측모델 검증과 실시간 운영체계 구축	34
3) 잠재적 도로결빙조건을 고려한 도로결빙 시공간 예보시스템	50
4) 도로 노면결빙예보시스템 설계 및 개발	83
5) 기술이전 및 사업화	136
3. 연구개발과제의 수행 결과 및 목표 달성 정도	157
4. 목표 미달 시 원인분석(해당 시 작성)	166
5. 연구개발성과 및 관련 분야에 대한 기여 정도	166
6. 연구개발성과의 관리 및 활용 계획	167
 [별첨]	169
1. 참고문헌	169
2. 수막발생예측모델 검증자료(주관연구기관: 한국외국어대학교)	171
3. 도로관련 전문가 대상 수요조사 보고서(공동연구기관: (주)평화엔지니어링)	179
4. 노면결빙 인식 및 예보시스템 수요조사 보고서(공동연구기관: (주)평화엔지니어링)	181
5. 노면결빙예보시스템 만족도 보고서(공동연구기관: (주)평화엔지니어링)	187
6. 총 연구개발기간 성과점검기준표 및 증빙자료	192
7. 성과점검기준표에 작성한 성과 이외의 성과	206

1. 연구개발과제의 개요

1-1. 연구개발과제의 최종 목표

- 도로분해능 해상도의 태양복사-노면온도-수막두께정보를 연계한 도로결빙 시공간 예보시스템 개발
 - 노면온도-수막두께- 도로기하구조를 연계한 도로분해능 해상도 노면온도에측모델 개발
 - 잠재적 도로결빙조건을 고려한 도로결빙 시공간 예보시스템 개발



< 최종목표 및 연구흐름도 >

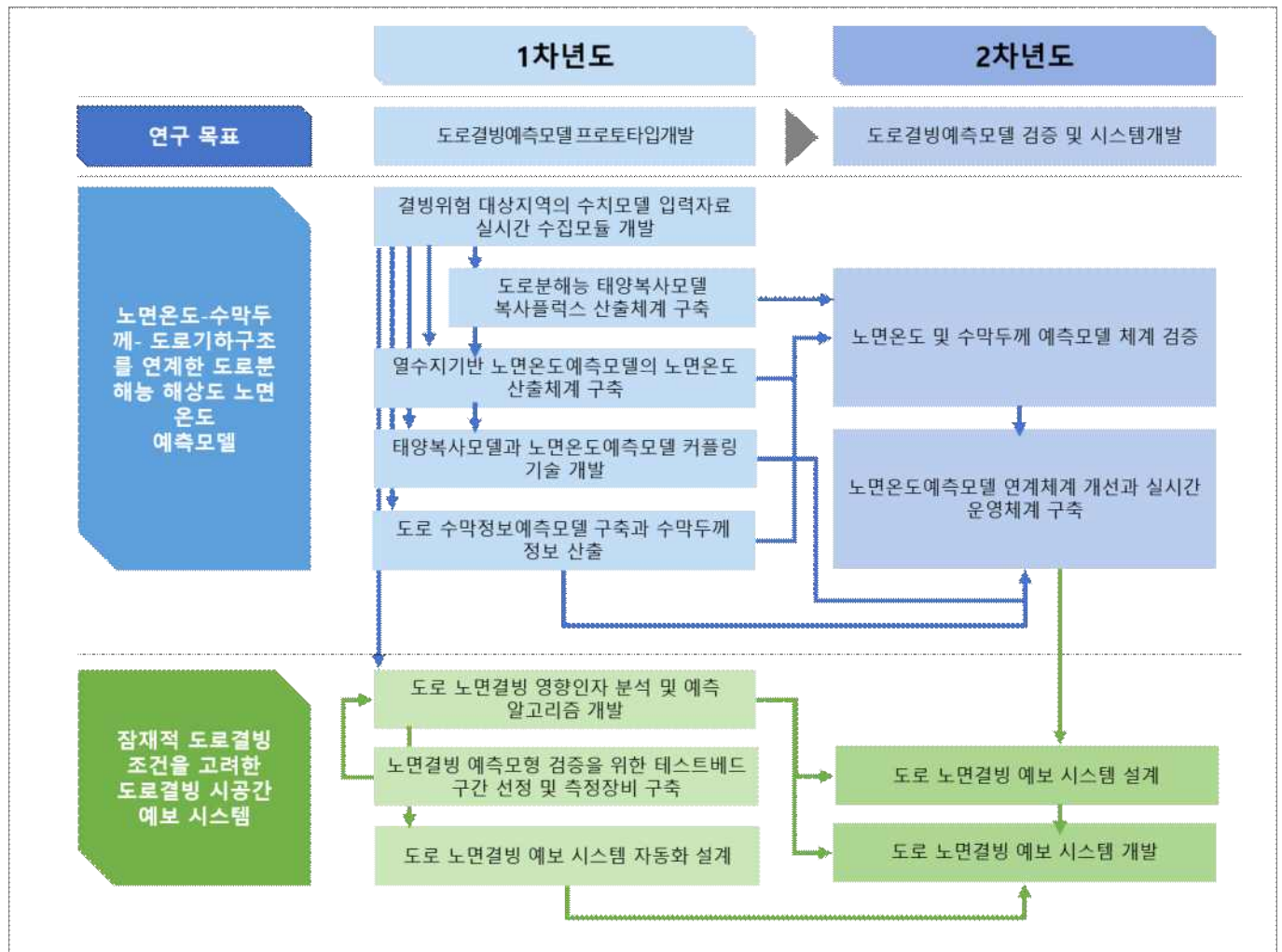
1-2. 연구개발과제의 년차별 목표

구분	연구개발목표	핵심 연구개발성과 (연구개발성과물)	현재 국내·외 기술수준	연구개발 목표치	목표치 설정 근거	가중치 (%)
1년차 (2020)	노면온도-수막두께 - 도로기하 구조를 연계한 도로분해능 해상도 노면온도에측모델	결빙위험 대상지역의 수치모델 입력자료 실시간 수집모듈 개발	Open API 활용 수집구축	1일단위 자료수집	미규모모델의 시간해상도	2
		도로분해능 태양복사모델 복사플럭스 산출체계 구축	100m~1km 이상의 해상도	1~10m 해상도	미규모모델의 공간해상도	8
		열수지기반 노면온도에측모델의 노면온도 산출체계 구축	센서기반 가능, 모델연계의 통합솔루션 부재	1시간단위 자료산출	예보모델의 시간해상도	10
		태양복사모델과 노면온도에측모델 커플링기술 개발	국지기상반영 도로기상모델 부재	모듈 2건	통합솔루션을 위한 모델간 연계	10
		도로 수막정보예측모델 구축과 수막두께정보 산출	산출식 개발위한 연구용, 운영기반은 부재	1시간단위 자료산출	예보모델의 시간해상도	6
	잠재적 도로결빙조건을 고려한 도로결빙시공간 예보시스템	도로 노면결빙 영향인자 분석 및 예측 알고리즘 개발	여러 조건을 고려한 통합 알고리즘 부재	모듈 1건	알고리즘 개발	10
		노면결빙 예측모형 검증을 위한 테스트베드 구간 선정 및 측정장비 구축	노면결빙을 관찰할 수 있는 장비 운영 및 모니터링 부재	결과보고서 1건	모니터링 결과로 알고리즘 개선	10
		도로 노면결빙예보시스템 자동화 설계	자동화된 노면결빙예보시 스템 부재	결과보고서 1건	예측모델과 알고리즘을 통한 자동화 설계	8
2년차 (2021)	도로분해능 노면온도 및 수막두께 예측모델 검증과 실시간 운영체계 구축	노면온도 및 수막두께 예측모델 체계 검증	도로분해능 모델기반은 부재	검증지수 4개이상	수치통계적 검증지수	10
		노면온도에측모델 연계체계 개선과 실시간 운영체계 구축	도로분해능 모델기반 운영 부재	자료산출률 80%이상	자료수집률의 지속성	10
	도로 노면결빙예보 시스템 설계 및 개발	도로 노면결빙예보시스템 설계	자동화된 노면결빙예보시 스템 설계 부재	결과보고서 및 만족도 조사 1건	수요조사를 통한 요구사항 검토	8
		도로 노면결빙예보시스템 개발	자동화된 노면결빙예보시 스템 부재	만족도 조사 1건	시스템의 만족도 조사	8

2. 연구개발과제의 수행 과정 및 수행 내용

2-1. 연구개발과제의 수행 과정

1) 연차별 연구개발 로드맵



< 기관별 · 연차별 연구개발 요소기술 로드맵 >

2-2. 연구개발과제의 수행 내용

- 본 과제에서 개발하고자 하는 모델의 주요 특징은 연구 대상지역에 대한 주변 환경변수를 반영하여 지역 특화된 정보를 제공하는 것으로 해당 지역의 입력자료 구축이 최우선시 되어야하며, 이후 각각의 모델간의 연계를 통해 최종 성과 도출이 가능함
- 본 과제에서 수행한 공간적 범위는 1차년도의 경우, 연구 대상지 및 도로가 확정되기 이전까지 기존에 연구진이 보유하고 있던 서울시 내부순환로를 대상으로 연구를 진행하였으나, 테스트 베드 확정 이후 경기도 포천시의 지방도 379호선(이하 포천 지방도 379호선)에 대해 노면온도, 수막발생, 노면결빙 예측정보를 생산·제공하기 위한 연구개발을 수행한 바, 연구 수행내용 및 결과는 포천시 및 포천 379호선을 대상으로 작성하였음
- 연구개발을 위한 대상지 및 도로 선정
 - 본 과제에서 도로분해능 해상도의 노면온도 및 수막발생 예측모델, 노면결빙 예측 알고리즘 개발을 위한 연구 대상지역은 영하의 기온이 장기간 관측되어 노면의 결빙이 자주 발생하는 포천으로 선정하였음
 - 또한, 현장적용을 위한 대상도로는 포천 지방도 379호선으로 합성경사, 곡률반경, 교량 등 다양한 기하구조를 포함하고 있고, 주변 환경은 해발고도 112m의 평지인 주거지와 해발고도 289m로 산과 하천이 위치하고 있으며, 차량 및 인적 이동이 많지 않아 도로 및 기상관측이 용이함



**< 포천 지방도 379호선(좌) 및 주변 기상관측지점(우) 위치
(포천 전체도로(노란색), 379호선(빨간색), ASOS(파란색), AWS(빨간색)) >**

- 현장적용을 위한 관측 수행
 - 포천 지방도 379호선에 대해 예측한 노면온도 및 수막발생 정보와 노면결빙 예측 알고리즘 검증 등에 활용하기 위해 2021년 1월 6일부터 현재까지 관측을 수행하였으며, 관측지점에 대한 정보 및 위치는 다음과 같음
 - 관측지점은 기상 및 노면의 정보를 같이 수집하는 도로기상 관측을 위한 2개의 지점과 수막발생 유무만을 관측하기 위한 2개의 지점 등 4개의 지점을 선정하여 운영하였음
 - 단, 장비의 수에 대한 제약으로 인해 도로기상 관측지점의 장비를 이동하여 2021년 7월 19일부터 11월 10일까지는 수막관측을 수행하는 등 유연하게 운영하였으며, 이로 인해 지점별 관측기간은 상이함

< 도로기상 및 수막 관측지점 위치 및 관측 정보 >

구분	도로기상 관측지점		수막 관측지점	
	station1	station2	station1	station2
위치 (위도,경도)	37.937,127.140	37.945,127.126	37.952,127.124	37.957,127.123
관측요소	기상정보: 기온, 습도, 기압, 풍향, 풍속, 강우량 등 노면정보: 노면온도, 노면상태 등		수막발생 유무	
설치장비	기상관측통합센서, 매립형 온도센서, 초소형 카메라		초소형 카메라	



< 도로기상 및 수막 관측지점 위치 >

1) 노면온도-수막두께-도로기하구조를 연계한 도로분해능 해상도 노면온도에측모델

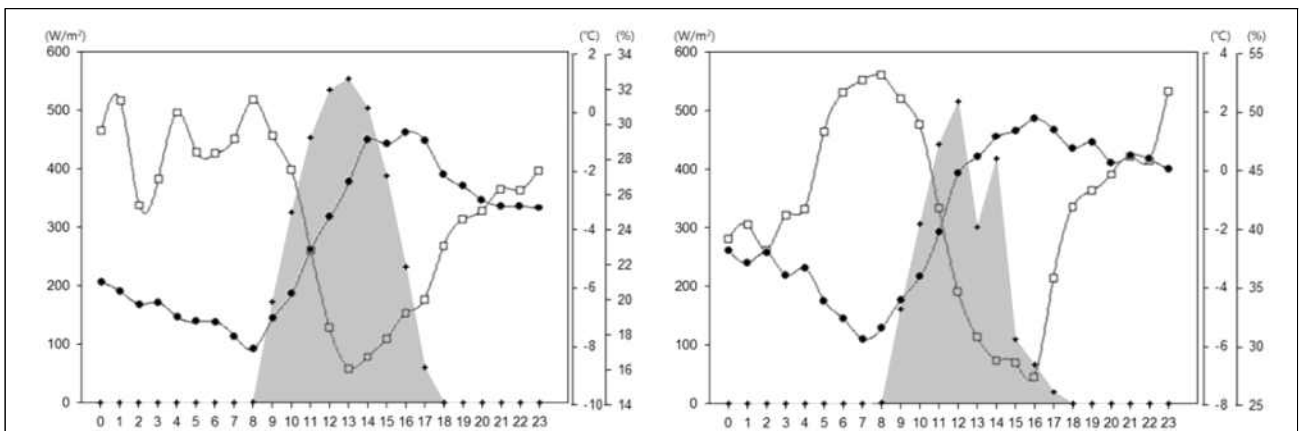
❖ 결빙위험 대상지역의 수치모델 입력자료 실시간 수집모듈 개발

○ Open API를 이용한 실시간 자료수집 및 DB 구축

- 실시간으로 수집되는 기온, 습도, 풍속, 일사량 등의 관측 자료를 1분 단위로 수집 및 저장
- 좌표구성은 ①한반도 동/남/서쪽의 섬을 포함한 영역: 좌상단 38.863(N), 124.218(E), 우하단 31.705(N), 132.596(E) ②섬을 제외한 영역(제주도는 포함): 좌상단 38.681(N), 124.460(E), 우하단 32.953(N), 130.233(E) ③내륙만 마스킹한 자료(위경도 좌표로 구성)를 구분하여 전국 수집영역으로 하여 설정함
- AWS 및 ASOS 기상자료는 방재기상정보시스템으로부터 자료구축 가능하도록 하였고, 자료수집서버는 WISE4(61.77.90.24)로 설정함
- AWS 폴더 code_auth에 URL-API 서비스인증키를 입력하여 url_aws2.csh (AWS 시간별 자료) 스크립트에서 날짜와 시간 등을 수정함
- 현재 AWS 및 ASOS 2020년 4월부터 수집 중이며, 사례분석을 위한 과거 자료는 스크립트에서 날짜를 수정하여 수집가능하고, 일일 횟수 제한으로 나누어서 자료를 수집중임

```
#START7777
#-----
# WDI : 1분 평균 풍향 (degree) : 0-N, 90-E, 180-S, 270-W, 360-무풍
# WSI : 1분 평균 풍속 (m/s)
# WDS : 최대 순간 풍향 (degree)
# WSS : 최대 순간 풍속 (m/s)
# WDI0 : 10분 평균 풍향 (degree)
# WSI0 : 10분 평균 풍속 (m/s)
# TA : 1분 평균 기온 (C)
# RE : 감수감지 (0-무감지, 001 아니면-감수)
# RN-15m : 15분 누적 감수량 (mm)
# RN-60m : 60분 누적 감수량 (mm)
# RN-12H : 12시간 누적 감수량 (mm)
# RN-DAY : 일 누적 감수량 (mm)
# HM : 1분 평균 상대습도 (%)
# PA : 1분 평균 현기압 (hPa)
# PS : 1분 평균 해면기압 (hPa)
# *) -50 이하면 관측이 없거나, 예러처리된 것을 표시
#-----
# VVMMDDHHMM STN WDI WSI WDS WSS WDI0 WSI0 TA RE RN-15m RN-60m RN-12H RN-DAY HM PA PS
# KST ID deg m/s deg m/s deg m/s deg m/s C I mm mm mm mm % hPa hPa
201912050900,90,240.5,0.8,234.1,1.7,297.1,2.5,0.3,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,15.2,1029.1,1031.3,=
201912050900,92,285.0,9.3,297.0,12.2,279.0,9.6,1.2,-99.9,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,17.0,1021.3,1080.9,=
201912050900,93,210.8,0.1,258.8,0.4,256.9,0.4,-3.0,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,42.6,1022.8,1035.2,=
201912050900,95,279.0,1.9,278.6,3.3,253.8,1.2,-5.1,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,35.3,1016.7,1037.0,=
201912050900,96,313.2,4.0,258.8,9.3,108.8,5.0,4.5,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,58.4,1016.7,1028.7,=
201912050900,98,289.9,2.9,298.2,4.7,296.1,3.2,-4.5,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,25.5,1022.7,1037.8,=
201912050900,99,311.4,3.0,315.2,4.2,258.0,2.9,-5.4,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,42.0,1084.0,1038.0,=
201912050900,100,269.6,10.5,258.8,13.9,268.2,9.8,-5.5,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,30.1,936.3,1082.3,=
201912050900,101,191.2,0.8,188.4,1.2,188.9,1.0,-3.2,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,34.2,1025.1,1034.9,=
201912050900,102,346.8,6.4,340.6,9.0,345.0,8.6,-3.1,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,2.2,66.8,1032.4,1037.1,=
201912050900,104,304.1,5.7,304.6,9.2,295.5,5.7,2.0,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,18.1,1020.9,1030.4,=
201912050900,105,258.9,2.1,255.5,3.6,248.9,2.3,2.3,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,29.0,1027.9,1031.3,=
201912050900,106,336.9,2.5,313.0,3.5,327.0,3.2,2.4,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,26.7,1026.0,1031.1,=
201912050900,108,311.7,2.9,329.1,4.7,309.4,4.0,-4.5,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,32.4,1025.9,1037.1,=
```

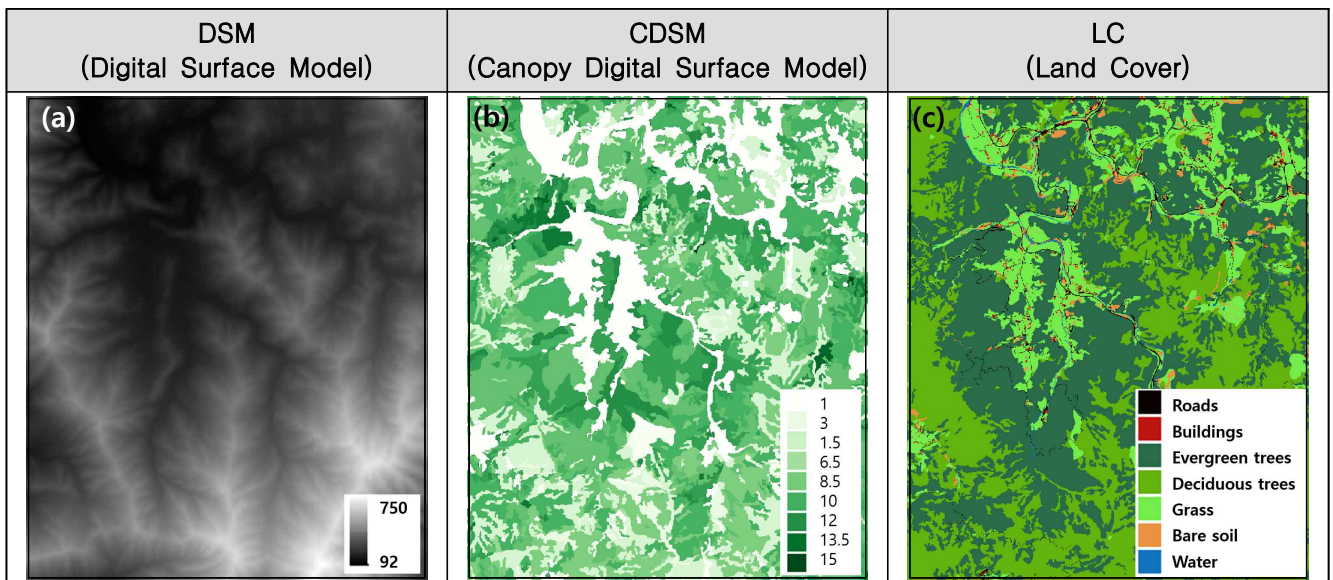
< 방재기상정보시스템 OPEN-API 제공 자료 예시(2019년 12월 05일 9시 00분) >



< 겨울철 맑은 날(1월 13일)과 흐린 날(1월 19일)의 기온, 습도, 일사량 시계열 분포 >

○ 도로분해능 해상도의 GIS자료 구축

- 대상 도로의 고해상도 복사정보 산출 및 노면온도 예측을 위해서는 태양복사모델(SOLar and Longwave Environmental Irradiance Geometry-model, SOLWEIG) 구동이 필요하며, 이를 위해 고해상도 지면정보 구축과정이 선행되어야 함
- SOLWEIG 모델은 3차원 복사속, 그림자패턴, 평균복사온도의 시공간적 변화에 대한 수치적모의가 가능하며, 본 연구에서는 도로 주변의 그림자효과와 천개지수(Sky View Factor, SVF), 지형에 의한 지상시계지수(Ground View Factor, GVF), 매 시간별 기온, 습도, 일사량 자료를 이용하여 3차원 단파, 장파 복사플렉스를 계산함
- 고해상도 지면정보 구축 시 사용된 자료 및 출처는 다음과 같음
 - 국가공간정보포털(<http://data.nsdi.go.kr>): 국토지리정보원의 수치지형도, 행정안전부의 도로·교통·물류의 도로명 주소 실폭도로자료
 - 환경공간정보서비스(<http://egis.me.go.kr>): 환경부 토지피복 세분류 자료(해상도 1m급), 산림청 임상도(1:5,000), 행정안전부의 도로명 주소 건물지도
- 고해상도 지면정보를 구축하기 위하여 환경부 토지피복 세분류 자료를 총 7가지로 재분류하여 복사량 계산 시 피복별 알베도와 열 방출률 등 parameter를 다르게 적용할 수 있도록 SOLWEIG 토지피복 입력자료를 구축하고, 산림청 임상도 자료를 이용하여 식생높이 정보를 포함하는 CDSM(Canopy Digital Surface Model)을 구축하였으며, 행정안전부의 도로명 건물주소 층수 자료에 1층 당 3.5m의 높이를 적용하여 건물높이를 산출해 지형높이에 건물높이를 더한 DSM (Digital Surface Model)을 구축하였음
- 입력 자료는 오픈소스 지리정보 시스템인 QGIS 3.16.2를 이용해 도로분해능 해상도인 10m 해상도로 구축함
 - 연구영역의 DSM 최고높이는 751m, 최저높이는 92m로 나타났으며, 토지피복은 대부분 Deciduous trees와 Evergreen trees로 이루어져 있음



< 포천 연구영역에 대해 구축한 (a) DSM, (b) CDSM, (c) LC 입력자료(10m 해상도) >

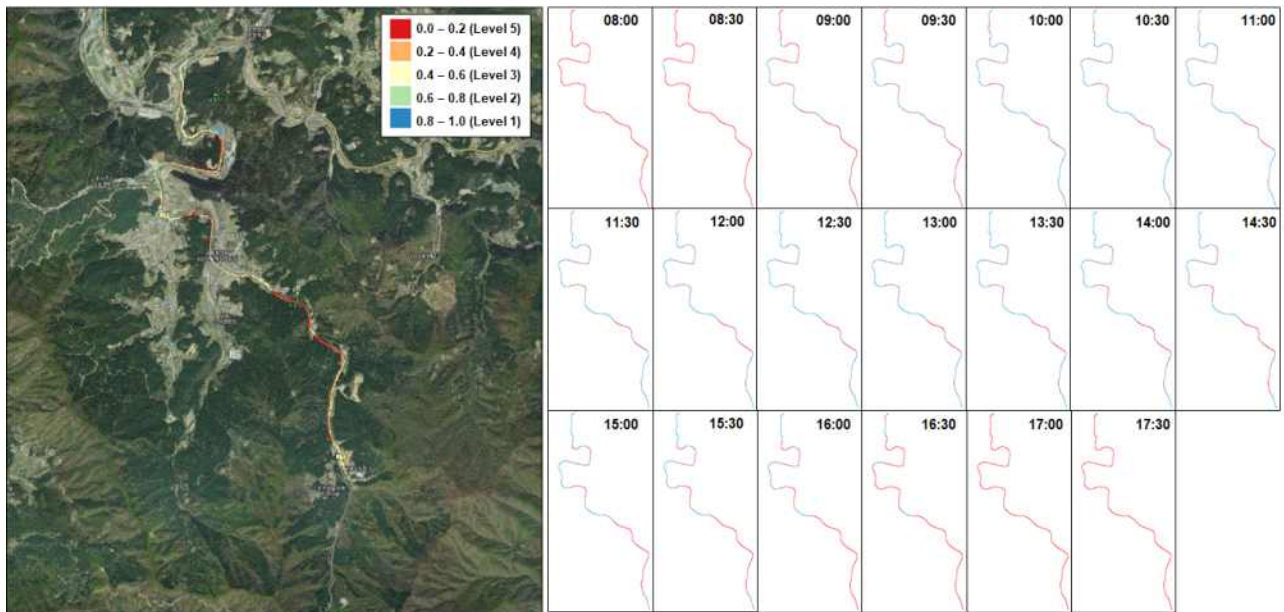
◆ 도로분해능 태양복사모델(SOLWEIG) 복사플렉스 산출체계 구축

○ 대상지역별 그림자정보 산출

- 2021년 1월 21일에 대해 30분 간격 그림자패턴 값을 산출하였음
 - 그림자패턴은 GIS 입력 자료와 대상지역의 위도, 경도, 고도, UTC 정보를 이용하여 계산됨
 - 일평균 그림자패턴 값을 이용하여 위험도 level을 나누어 분석한 결과, 포천 지방도 379호선은 level 2의

비율이 36.78% 가장 높게 나타남

- level 1부터 level 5까지 비율은 각각 7.11, 36.78, 23.62, 7.34, 25.14%이었음
- 본 연구에서는 연구영역에서 북쪽으로 향하는 방향을 상행, 남쪽으로 향하는 방향을 하행으로 정의하였으며, 상행과 하행의 단계별 비율이 다르게 나타났음
- 상행선은 level 2가 40.41%로 가장 높지만, 하행선은 level 5가 36.85%로 가장 높게 나타나 상행선 보다 하행선이 그림자의 영향을 많이 받음을 알 수 있음
- level 5는 그림자의 영향을 가장 많이 받는 단계로 본 연구에서는 level 5를 상습 그늘구역으로 지정하고 상세 분석을 수행하였으며, 상행선의 level 5 비율은 하행선의 1/3 정도인 10.38%로 나타남



< 포천 지방도 379호선의 일평균 그림자패턴 등급(좌)과 30분 간격 그림자패턴 등급(우) >

- 포천 지방도 379호선의 일평균 그림자패턴 위험도와 30분 간격 위험도의 level 분포 분석결과, 상습 그늘 지역인 level 5가 나타나는 지점을 파악할 수 있으며, 30분 간격 분포를 통해 일출 직후와 일몰 직전에 level 5 구간이 많아지는 것을 확인할 수 있음
- 상행과 하행을 나누어 30분 간격 그림자패턴의 수치와 level 1과 5의 비율을 분석하였으며, 낮 시간대의 상행선보다 하행선의 그림자패턴 값이 낮게 나타나 하행선이 그림자의 영향을 많이 받는다는 것을 알 수 있음
- 또한, 특히 11~14시 사이에 큰 차이를 보이며, 12시 9분부터 12시 54분까지 5분 간격 관측사진을 통해 낮 시간대 상행보다 하행의 그림자 영향이 크게 나타나는 것을 확인할 수 있음
- 이는 하행차선의 경우 주변 지형과 식생에 의해 그림자가 더 잘 생기고, 태양고도가 높은 낮 시간에는 그림자의 길이가 짧기 때문에 이에 따른 차선별 그림자패턴의 차이가 발생하게 됨을 알 수 있음

**< 포천 지방도 379호선의 상행선과 하행선에 대한
시간별 평균 그림자패턴(좌)과 시간별 level 1과 5의 비율(우) >**

	Shadow pattern			Up line		Down line	
	Up line	Down line	Average	Level 1(%)	Level 5(%)	Level 1(%)	Level 5(%)
8:00	0.000	0.000	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00
8:30	0.044	0.042	0.043	4.35	95.65	4.15	95.85
9:00	0.296	0.239	0.269	29.35	70.65	23.37	76.63
9:30	0.552	0.398	0.471	54.68	45.32	38.64	61.36
10:00	0.814	0.596	0.697	80.94	19.06	58.53	41.47
10:30	0.846	0.614	0.721	84.17	15.83	60.37	39.63
11:00	0.855	0.616	0.724	85.03	14.97	60.50	39.50
11:30	0.860	0.613	0.727	85.55	14.45	60.24	39.76
12:00	0.837	0.600	0.711	83.25	16.75	58.92	41.08
12:30	0.827	0.598	0.703	82.19	17.81	58.72	41.28
13:00	0.823	0.598	0.701	81.73	18.27	58.66	41.34
13:30	0.789	0.581	0.667	78.23	21.77	56.95	43.05
14:00	0.731	0.550	0.628	72.23	27.77	53.79	46.21
14:30	0.675	0.509	0.586	66.69	33.31	49.97	50.03
15:00	0.590	0.432	0.501	58.05	41.95	42.13	57.87
15:30	0.504	0.369	0.427	49.74	50.26	36.08	63.92
16:00	0.339	0.282	0.305	33.58	66.42	27.72	72.28
16:30	0.130	0.124	0.125	12.73	87.27	11.98	88.02
17:00	0.000	0.000	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00
17:30	0.000	0.000	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00

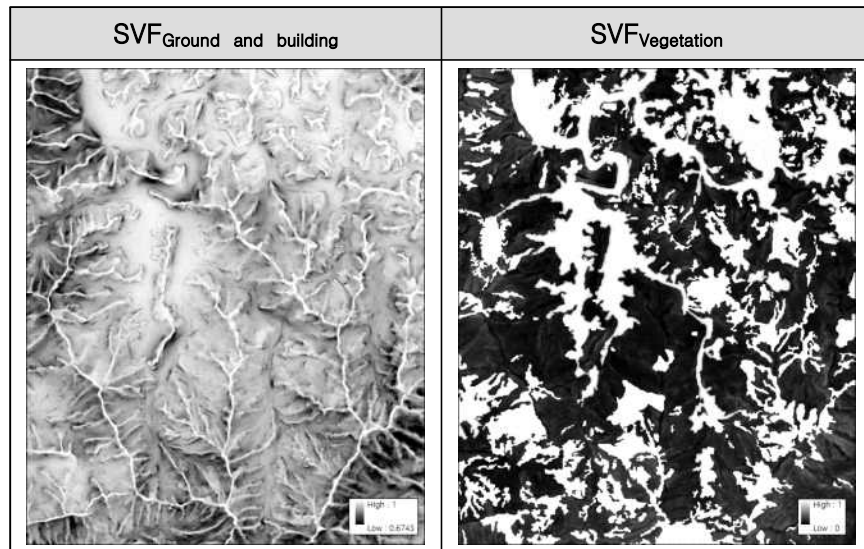


**< 2021년 1월 12일 오후 12시 9분부터 12시 54분까지 관측지점에서 촬영된 도로 그림자
사진(카메라에 가까운 쪽이 상행선, 먼 쪽이 하행선) >**

○ 대상지역별 천개지수(Sky View Factor, SVF) 산출

- SVF는 하늘을 가리는 장애물들의 영향을 계량화하고 도시의 복잡한 기하특성과 태양복사의 입사와 방사 관계를 설명하는 주요 인자로 SOLWEIG를 사용하여 지형과 건물에 의한 SVF_{building and ground}와 식생에 의한 SVF_{vegetation} 등 두 종류의 SVF를 산출함
- 산출된 SVF는 장파복사 과정을 통해 지표면에서 대기로 방출하는 물리적 냉각 규모가 지표면 기하구조에 의해 조절되는 효과를 파악할 수 있으며, 주변에 장애물이 없고 평평한 지면에서는 SVF 값을 1, 주변 지형이나 건물, 식생 등에 의해 모두 가려지는 경우에는 0으로 극단 값으로 두고 대상지역의 입체적인 기하특성을 0~1 사이의 값으로 지수화하여 설명함
- 고도가 높은 산지지형을 중심으로 낮은 SVF 값이 나타나며, 도로가 위치한 음쪽파인 평평한 지형의 경우 높은 SVF 값을 보임
- 이러한 지역은 주변에 비해 태양복사가 도달할 때 주변 피복물의 영향을 상대적으로 적게 받음

- 상행선과 하행선의 그림자와 SVF 값의 차이를 알아보기 위해 상습 그늘구역 단계별 shadow pattern value와 SVF_{building and ground}, SVF_{vegetation}의 값을 분석
- 상행선과 하행선의 shadow pattern value는 level 1, 2, 3은 비슷하지만 level 4, 5는 하행선의 값이 상행선보다 낮은 것으로 나타나 상행선의 상습 그늘구간보다 하행선의 상습그늘구간에서 그림자의 영향을 더 많이 받음을 알 수 있음
- SVF의 경우 level이 높아질수록 주변 피복물의 영향을 받아 값이 낮아지는데 그림자의 영향을 많이 받는 level 4와 5의 경우 building and ground 보다 vegetation의 영향이 크게 나타났으며, 특히 level 5 SVF_{vegetation}의 경우 상행선과 하행선의 값이 두 배 이상 차이를 보여, 하행선의 식생높이에 의한 SVF의 영향이 큼을 확인할 수 있음
- 포천 지방도 379호선의 경우, 급격하게 꺾어지는 곡선구간이 많이 존재하는데 상행선 구간보다 하행선 구간의 오른쪽으로 식생이 밀집한 구역이 위치하고 있음
- 오른쪽 차선으로 주행하는 한국의 특성상 주행로의 오른쪽방향에 높은 식생이 위치하면 그림자의 영향을 많이 받게 됨을 수치적으로 확인할 수 있음



< 포천 연구영역의 SVF_{Ground and building}과 SVF_{Vegetation} >

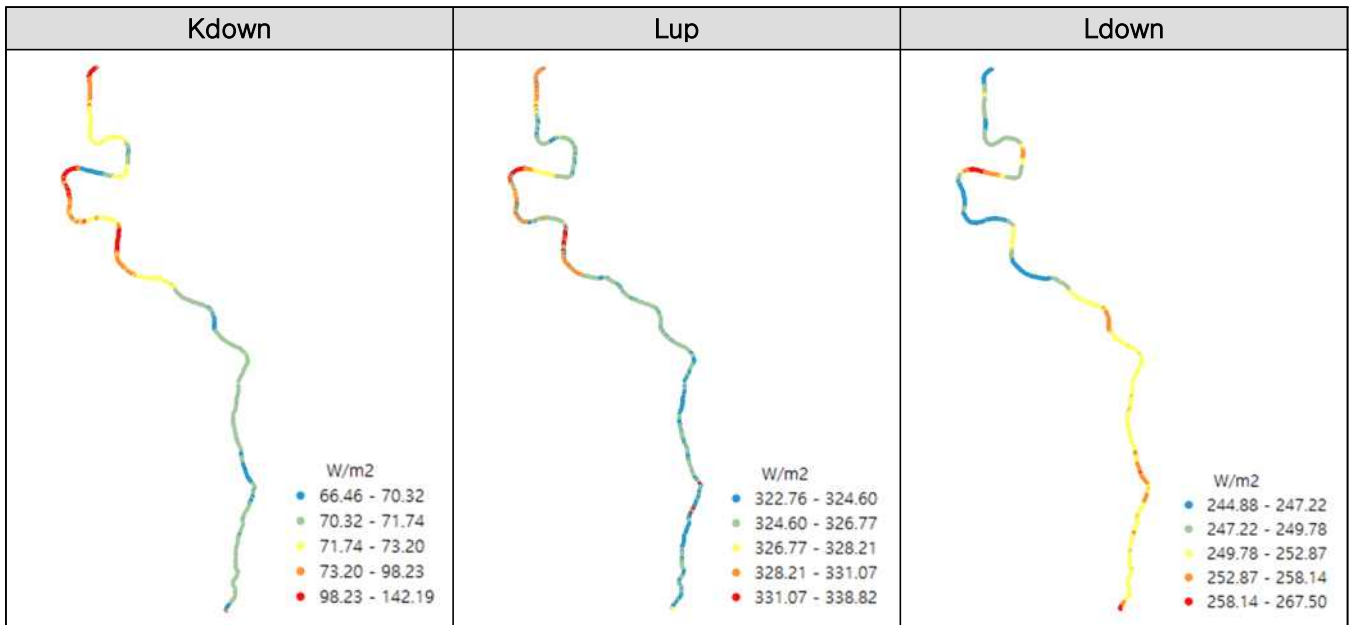
< 상행선과 하행선의 그림자패턴 단계별 shadow pattern value, SVF_{Ground and building}, SVF_{Vegetation}의 평균값 >

Shadow pattern level		1	2	3	4	5
Shadow pattern value	Up line	0.800	0.671	0.486	0.286	0.078
	Down line	0.802	0.672	0.483	0.274	0.037
SVF _{Ground and building}	Up line	0.937	0.943	0.928	0.927	0.927
	Down line	0.945	0.955	0.924	0.917	0.909
SVF _{Vegetation}	Up line	0.968	0.935	0.883	0.879	0.832
	Down line	0.978	0.965	0.857	0.590	0.403

○ 대상지역별 장파·단파 복사플럭스 산출

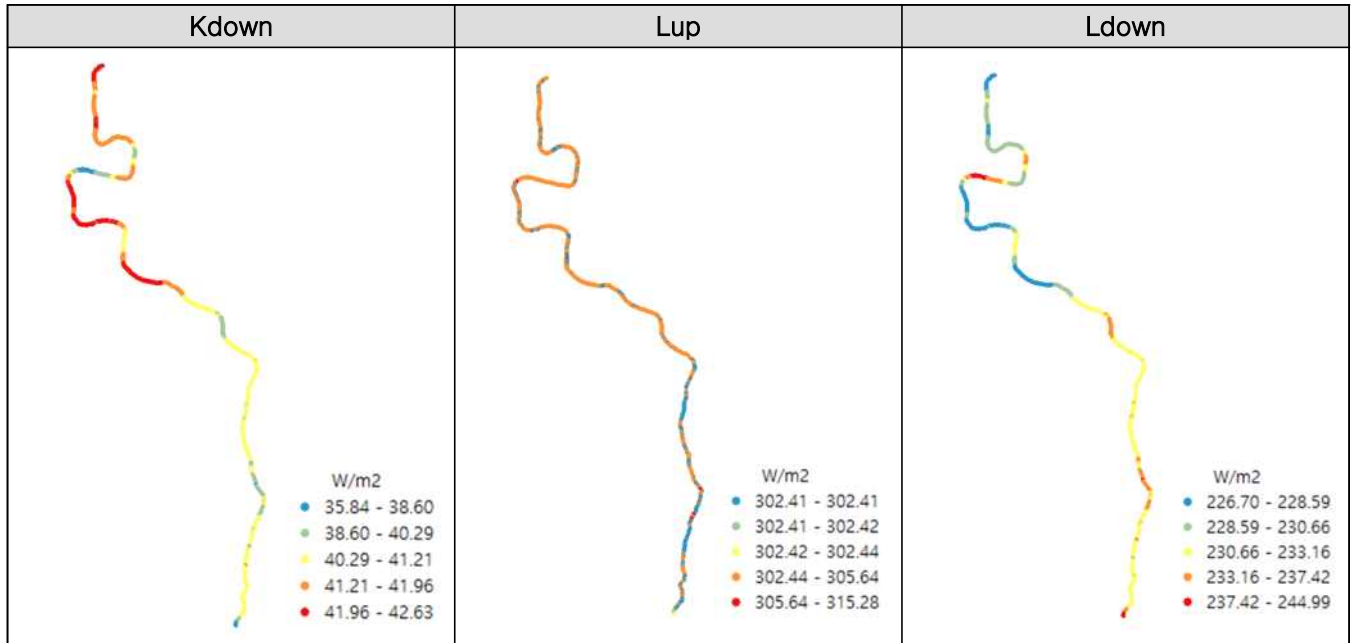
- 상세 복사플럭스 산출 시 구름이나 안개 등의 다른 영향은 최소화하고, 주변 피복물에 의한 영향을 반영하기 위해 구름이 적은 날(운량이 1 이하인 날), 강수 또는 안개가 없는 날을 선정함

- 또한, 도로 주변의 지형 및 식생, 건물 등의 영향을 반영하기 위하여 앞서 국토지리정보원의 수치지형도와 행정안전부의 도로명 주소 건물지도, 환경부 토지피복 세분류 자료, 산림청 임상도 등의 자료를 사용하여 구축한 도로분해능 해상도의 지면정보를 SOLWEIG의 입력자료로 사용하였음
- 복사플럭스는 시간별, 격자별로 하향단파복사(Kdown), 상향단파복사(Kup), 하향장파복사(Lup), 상향장파복사(Ldown) 총 4가지가 산출됨
- 산출된 복사플럭스 중 Kdown, Ldown, Lup을 이용해 순하향단파복사량과 순하향장파복사량이 계산되어 노면온도 예측모델에 적용됨. 포천 지방도 379호선 영역을 따라 2021년 1월 24일의 Kdown, Lup, Ldown을 추출하여 도로 내의 복사플럭스 차이를 분석함
- 포천 지방도 379호선의 Kdown은 지점에 따라 최대 142.19W/m^2 , 최소 66.46W/m^2 로 약 75W/m^2 의 차이가 나는 것으로 나타남. 낮 시간에도 그림자의 영향을 많이 받는 지역에서 낮은 Kdown을 보임
- Lup은 지점에 따라 최대 약 16W/m^2 의 차이를 보였으며, Ldown은 최대 약 22W/m^2 의 차이를 나타냄. 주변의 높은 지형에 의한 영향을 많이 받는 도로의 남쪽 영역은 Kdown과 Lup이 다른 영역에 비해 낮게 나타나는 것을 확인할 수 있으며, 도로의 굴곡이 큰 영역의 경우 꺾이는 부분에서의 복사플럭스 차이가 크게 나타남. Kdown의 경우 남북방향으로 위치한 도로와 동서방향으로 위치한 도로에 따라 복사플럭스의 양이 다르게 나타남



< 2021년 1월 24일 포천 연구영역의 하향단파복사플럭스와 상향장파복사플럭스 (Average daytime) >

- 그림자패턴에서 상습그늘 구역인 level 5의 비율이 가장 높았던 오전시간(9시)을 대상으로 복사플럭스를 분석함
- 그림자의 영향을 많이 받아 낮시간 평균에 비해 Kdown의 최대 값이 42.63W/m^2 로 3배 이상 낮게 나타나며, 구간별 Kdown의 차이가 뚜렷하게 나타남
- Lup은 지점별 차이가 크지 않아 뚜렷한 차이를 보이지 않으며, Ldown은 전체적인 복사플럭스의 값은 낮지만, 낮 시간대 평균과 비슷한 분포를 보임



< 포천 연구영역의 하향단파복사플럭스와 상향장파복사플럭스 (2021년 1월 24일 오전 9시) >

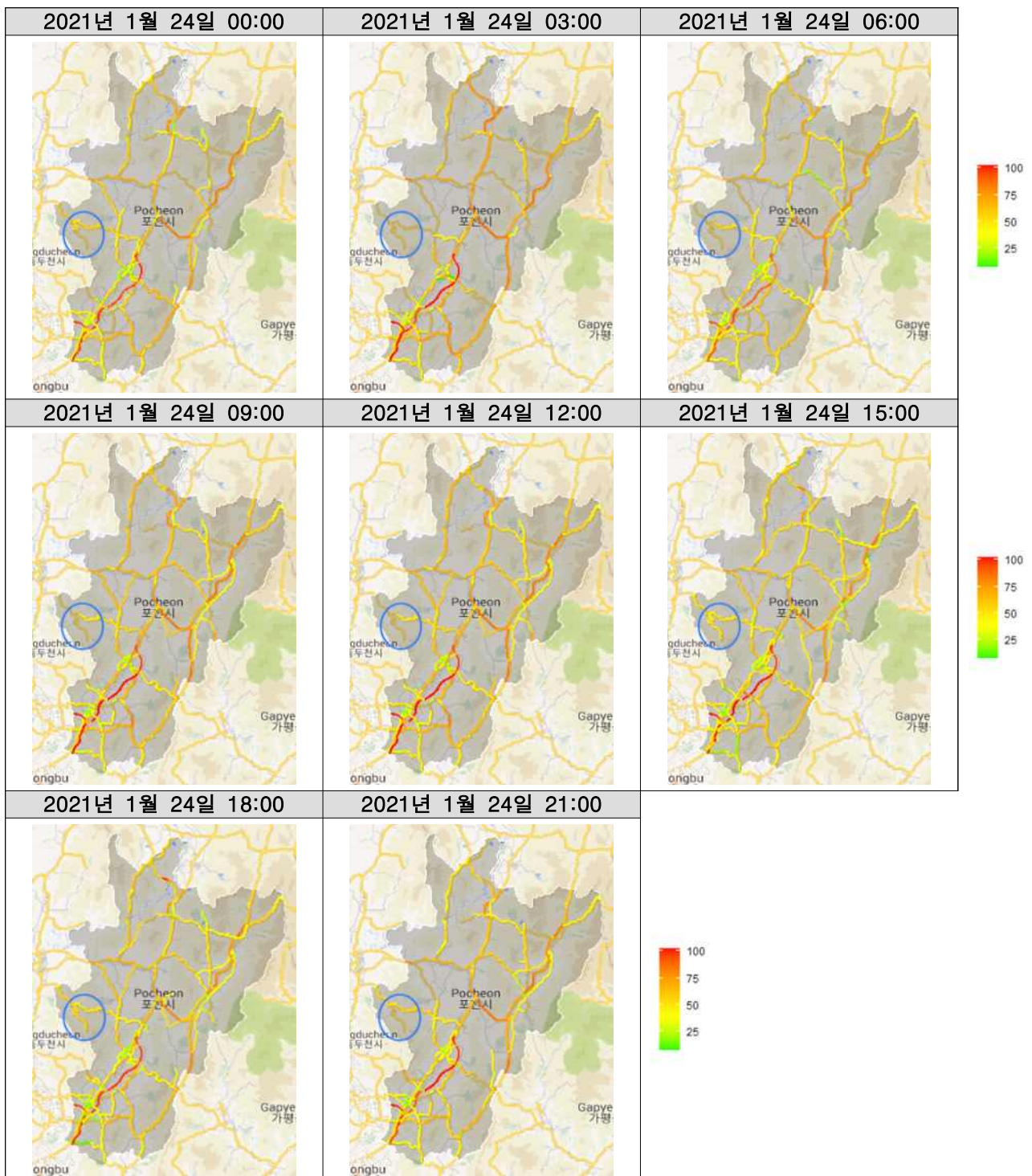
○ 교통자료 입력모듈 구축

- 국토교통부 교통정보공개서비스 교통소통정보(<http://openapi.its.go.kr/>) OPEN-API 활용하여 실시간 교통정보 입력 모듈을 개발하였음
- 실시간 교통정보 입력 모듈을 통해 주행속도는 노면온도예측모델의 입력자료로 사용됨
- 교통정보(주행속도)의 수집주기는 5분, 전국 대상 표준노드링크 단위로 서비스가 제공되고 있어 연구대상 지인 포천에 해당하는 실시간 주행속도 자료 수집 모듈체계를 구축하였음
- 연구 대상도로인 포천 지방도 379호선의 경우, 총 14개 링크로 이뤄져있으며, 상행과 하행 각각 6.2km 정도이고, 도로등급은 지방도로 교량을 포함하고 있음

< 포천 지방도 379호선 표준링크 정보 >

링크번호	차로수	도로 등급	도로 유형	도로 번호	도로이름	최고 제한속도	링크길이 (m)	방향	방향별 도로길이 (m)
2360091800	1	106	0	379	탐신로	60	957.9	상행	6,110.1
2360091900	1	106	3	379	탐신로	60	25.6		
2360092101	1	106	0	379	탐신로	60	1,294.5		
2360092106	1	106	0	379	탐신로	60	1,191.9		
2360092107	1	106	0	379	탐신로	60	1,512.4		
2360194300	1	106	0	379	탐신로	60	846.6		
2360194500	1	106	0	379	탐신로	60	281.1	하행	6,129.8
2360091700	1	106	0	379	탐신로	60	991.2		
2360092000	1	106	3	379	탐신로	60	25.0		
2360092201	1	106	0	379	탐신로	60	1,279.1		
2360092206	1	106	0	379	탐신로	60	1,203.9		
2360092207	1	106	0	379	탐신로	60	1,502.8		
2360194200	1	106	0	379	탐신로	60	850.6		
2360194400	1	106	0	379	탐신로	60	277.2		

- OPEN-API로 포천시의 표준노드링크 단위 실시간 주행속도 자료를 수집하였으며, 사례일인 2021년 1월 24일의 노면온도 예측 시 주행속도 입력자료는 아래의 그림과 같음
- 실시간 주행속도 수집 시 네트워크 및 시스템의 문제로 인해 누락되거나 전송과정에서 데이터가 누락되는 경우가 많아 연구 대상으로인 포천 지방도 379호선의 경우, 1월 24일 3시, 6시, 9시, 12시, 21시에는 주행속도가 누락되어있고, 0시에는 일부구간만 수집된 것을 확인 할 수 있음
- 따라서, 포천 지방도 379호선에 해당하는 14개 표준링크의 주행속도 정보가 제공되지 않을 경우, 모델에 입력되는 주행속도는 도로의 최고 제한속도인 60km로 일괄 적용하였음
- 실시간 수집자료에서 누락이 발생하는 경우, 모델 입력에 이상치를 발생할 수 있으므로 과거자료의 통계값으로 대체하거나, 결측자료에 대한 보정기술을 적용(전 시간 자료를 대체, 과거자료 패턴분석을 통해 대체 등)하여 해결할 수 있음



< 실시간 API로 수집된 2021년 1월 24일 주행속도에 대한 모델 입력장 >

○ 열수지 물리변수 산출

- 노면온도에측모델 구축에 필요한 자료는 크게 기상정보와 교통정보, 지층정보로 구분되며, 기상정보는 기온, 풍속, 기압, 습도, 순하향 단파 복사에너지, 순하향 장파 복사에너지, 교통정보는 주행속도와 통행량, 지층정보는 도로 및 층별 포장체 종류, 두께 등으로 이루어짐
- 노면온도를 예측하기 위하여 지중전도열, 현열, 잠열, 타이어마찰열, 차량복사열, 차량유발 현열 등의 열수지 물리변수를 산출하였으며, 이를 통해 노면온도에측모델에 교통량 및 기상조건에 따라 노면온도에 대한 차량의 열적 효과를 적용하였음

< 노면온도에측모델의 입력자료 구분 및 변수별 출처 >

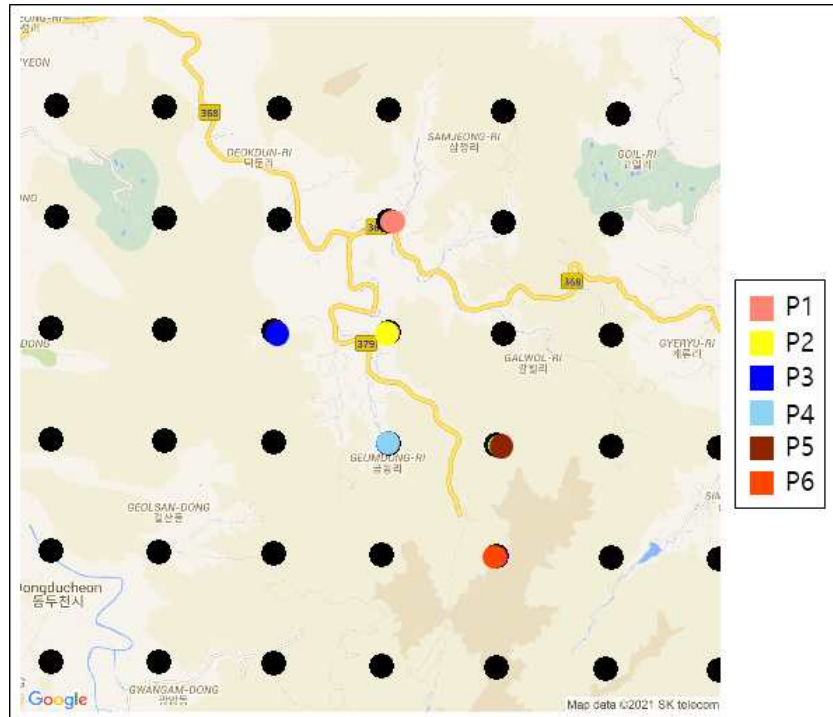
분류	입력 자료	간격	단위	출처
기상정보	기온	1h	K	기상청 국지예보모델(LDAPS)
	풍속	1h	m/s	
	기압	1h	Pa	
	습도	1h	%	
	순하향단파복사에너지	1h	W/m ²	태양복사모델(SOLWEIG)
	순하향장파복사에너지	1h	W/m ²	
교통정보	주행속도	1h	Km/h	국토교통부 교통정보공개서비스 (http://openapi.its.go.kr/)
	통행량	1h	대/H	서울 도시고속도로 교통정보(http://smartway.seoul.go.kr/)
지층정보	지면 포장체 종류(지중 층별)	-	-	자체 수집자료
	포장체 깊이	m	m	

- 기상청 국지예보모델(LDAPS)로 산출된 노면온도에측모델 입력자료를 생산하는 모듈을 개발하였음
 - 요소: 기온, 풍속, 습도, 기압 등
 - 공간해상도: 1.5 km
 - 연직해상도: 70층(약 40km)
 - 시간해상도: 1일 4회(00,06,12,18 UTC: 48시간 예측)

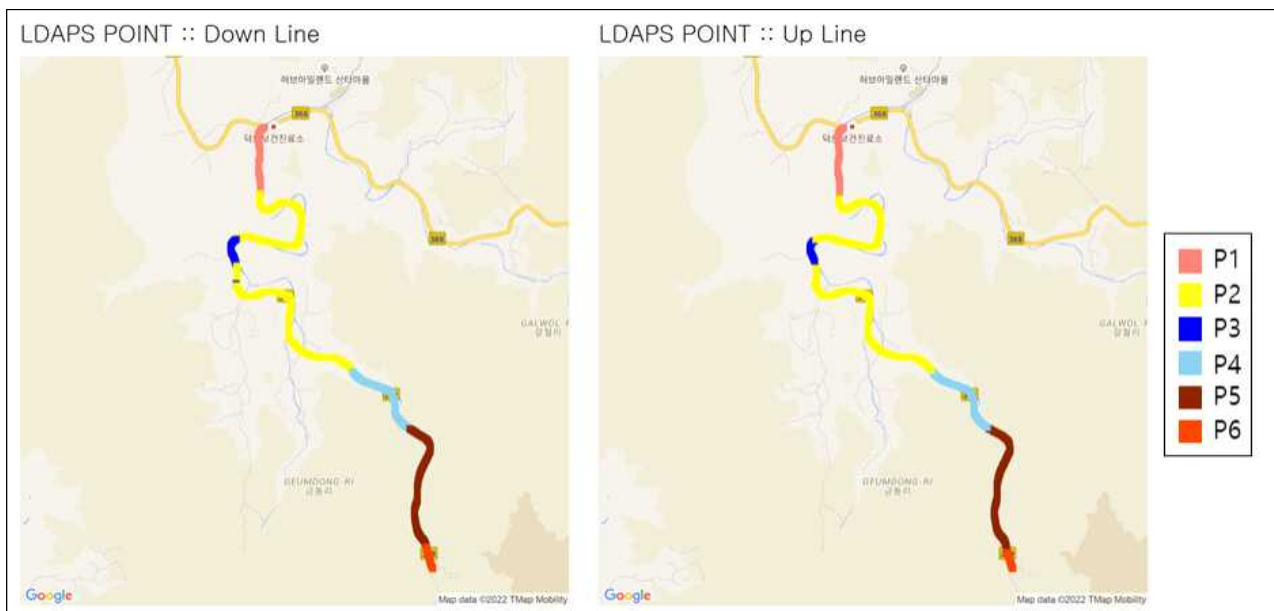
< LDAPS 모델 수집 기상변수 >

변수명	설 명		단 위
longitude	경도	Longitude	degree
latitude	위도	Latitude	degree
TMP	기온	Surface Temperature	K
WS	풍속	Wind Speed	m/s
RH	습도	Relative Humidity	%
PRES	기압	Pressure	Pa

- 노면온도모델의 입력자료는 도로단위의 기상정보로 1.5km의 격자체계로 되어있는 LDAPS 자료를 추출하는 방법은 k-NN 기법을 적용하여 도로에서 가장 가까운 격자점의 정보를 도로 위의 정보로 재가공하여 생산하였음
- 포천 지방도 379호선의 경우, LDAPS의 6개 격자점 정보가 사용되었으며, 도로단위 기상정보를 생산하기 위해 구간별로 사용된 격자점은 다음 그림과 같음



< 노면온도모델에 사용된 LDAPS 격자(검정, 1.5km 해상도)와 정보산출을 위해 추출한 격자점(P1~P6) 위치 >



< 포천 지방도 379호선 도로 구간별 사용된 LDAPS 격자점 >

- 노면온도 예측모델 내에서 고려되는 열수지 물리변수 및 산출방정식은 다음과 같음

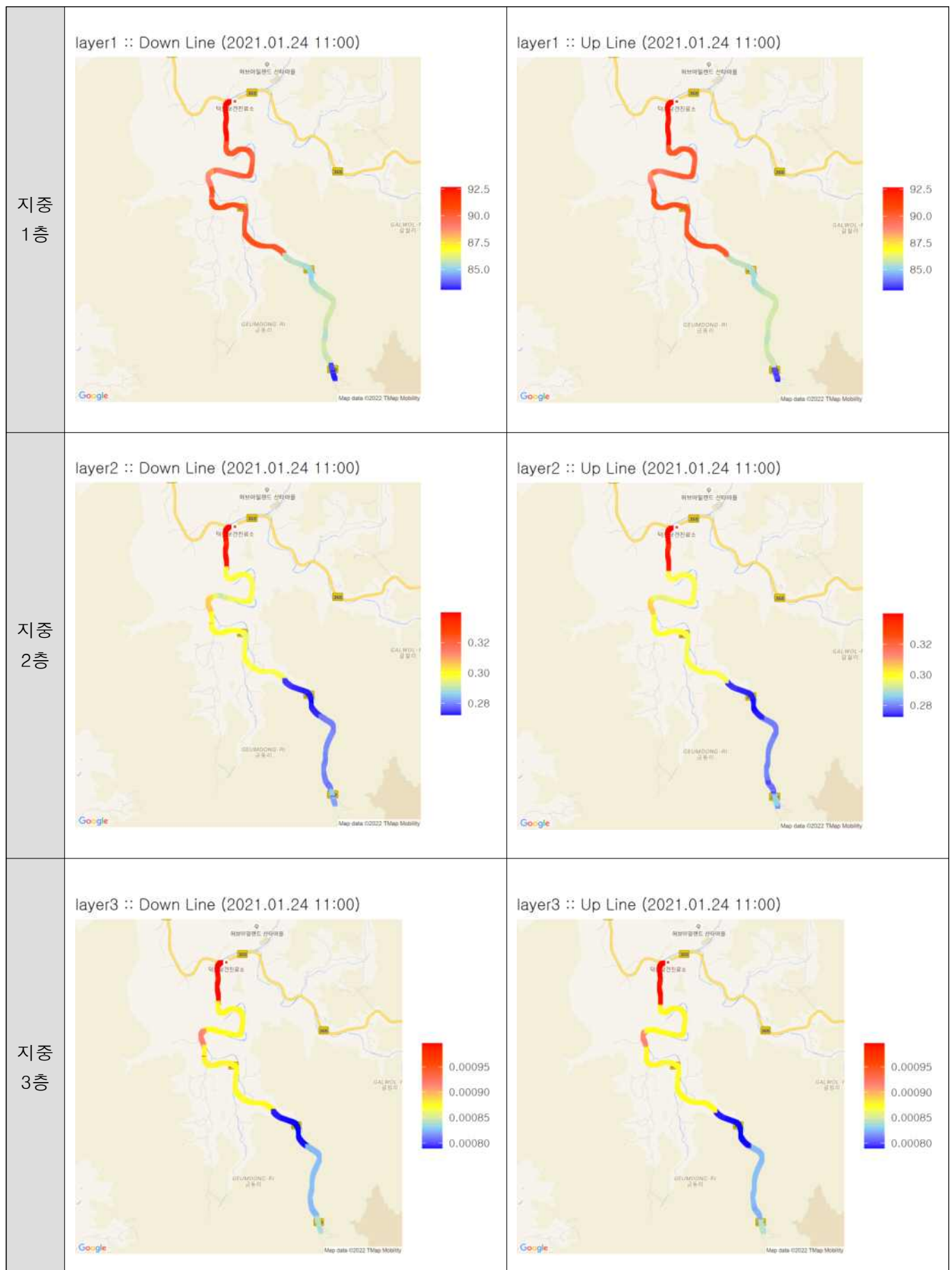
< 노면온도 예측모델의 열수지 물리변수 및 산출방정식 >

구분	열수지 물리변수	설명	산출방정식
1	지중전도열	y방향의 열이동은 양측 경계 제외 가능	$G = -\lambda_y \frac{\partial T_p}{\partial y} - \lambda_z \frac{\partial T_p}{\partial z} \Big _{y=z=0}$ 변수: λ_y, λ_z (포장 열전도율), T_p (도로온도)
2	순복사량	SOLWEIG 모델 이용 순복사량 산출	$R_n = R_{nl} + R_{ns} = R_{ld} - R_{lu} + R_{sd} - R_{su}$ 변수: R_{nl} (순장파복사량), R_{ns} (순단파복사량), R_{ld} (하향장파복사량), R_{lu} (상향장파복사량), R_{sd} (하향단파복사량), R_{su} (상향단파복사량)
3	현열속	뉴턴의 냉각법칙 이용 산출	$S_a = \alpha_s (T_a - T_{ps})$ $\alpha_s = 10.4 V_{ws}^{0.7} + 2.2$ 변수: α_s (노면과 대기 사이의 열수송 계수, W/m ² /K), T_a (기온), T_{ps} (노면온도), V_{ws} (풍속)
4	잠열속	수증기 밀도 계산 통해 산출	$L = h_v m_v = h_v \alpha_m (\rho_{va} - \rho_{vs})$ $\alpha_m = 1.2 \times 10^{-2} V_{ws}^{0.6} + 0.4 \times 10^{-2}$ 변수: α_m (수증기 수송 계수, m/s), h_v (기화열), V_{ws} (풍속), ρ_{va} (대기 수증기밀도), ρ_{vs} (노면 수증기밀도)
5	타이어 마찰열	기온과 차량속도의 경험적 상관관계로 타이어온도 산출	$S_t = \alpha_{tp} (T_t - T_{ps})$ 변수: α_{tp} (타이어와 노면 사이의 열수송 계수, 60W/m ² /K), T_t (타이어온도), T_{ps} (노면온도)
6	차량 복사열	Tv에 대한 슈테판-볼츠만 법칙으로 계산	$R_v = \varepsilon_v \sigma (T_v + 273.15)^4$ 변수: ε_v (steel의 복사능, 0.80), T_v (차량 하부 표면의 온도)
7	차량유발 현열속	노면과 대기사이의 열수송 계수(α_s)를 차량속도를 사용하여 계산	$S_{va} = \alpha_s (T_a - T_{ps})$ $\alpha_s = 10.4 V_{ws}^{0.7} + 2.2$ 변수: T_a (기온), T_{ps} (노면온도)

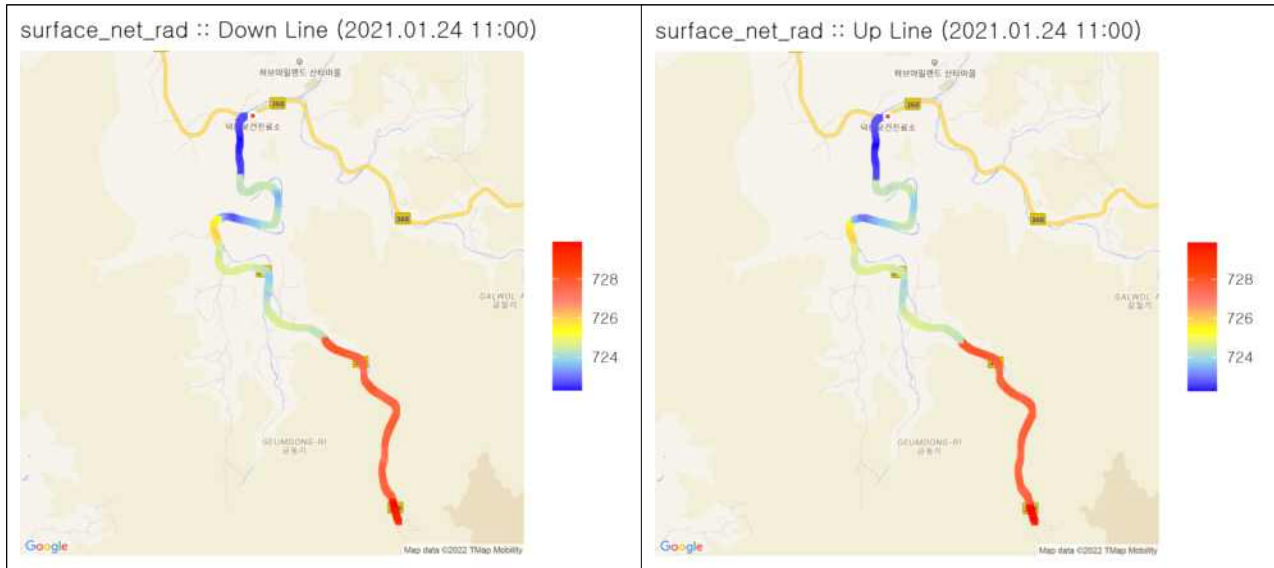
- 사례일 2021년 1월 24일 11시에 대해 포천 지방도 379호선에 대해 열수지 물리변수를 산출한 결과는 다음과 같음

- 지중전도열의 경우 지중 1층부터 3층까지 산출하였으며, 깊이가 깊어질수록 전도열이 감소하고, 고도가 높을수록 전도열이 작은 것을 확인할 수 있음
- 순복사량은 지표에 순수하게 도달하는 에너지로 지표 에너지수지를 결정하는 중요한 요소임. 상행선과 하행선의 순복사량은 거의 비슷하게 나타났으며, 고도가 높을수록 순복사량이 커짐
- 현열속은 자연풍과 관련이 있으며, 포천 379 도로의 경우, 고도가 낮은 시작구간(도로시작~약 200m 지점)과 고도가 높은 구간에서 현열이 낮게 나타났고, 잠열속은 도로의 시작구간부터 고도가 높아짐에 따라 증가하는 경향이 보였으나 경사가 급해지는 3.7km 지점부터 감소하여 고도가 높은 산지지형에서 낮은 값을 보임
- 차량과 관계된 열속은 타이어마찰열, 차량 복사열, 차량유발 현열속의 합으로 계산할 수 있음. 타이어마

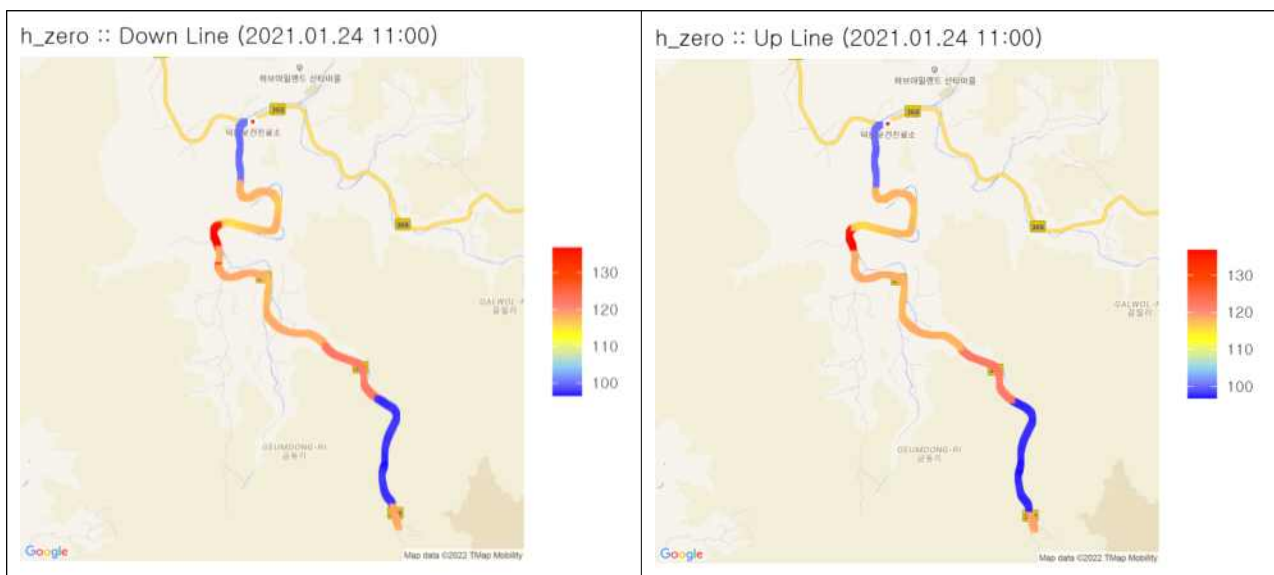
찰열은 급경사부분과 회전구간에서 높게 나타났으며, 차량유발 현열속도 비슷한 경향을 볼 수 있으나, 차량복사열은 반대 경향이 나타남



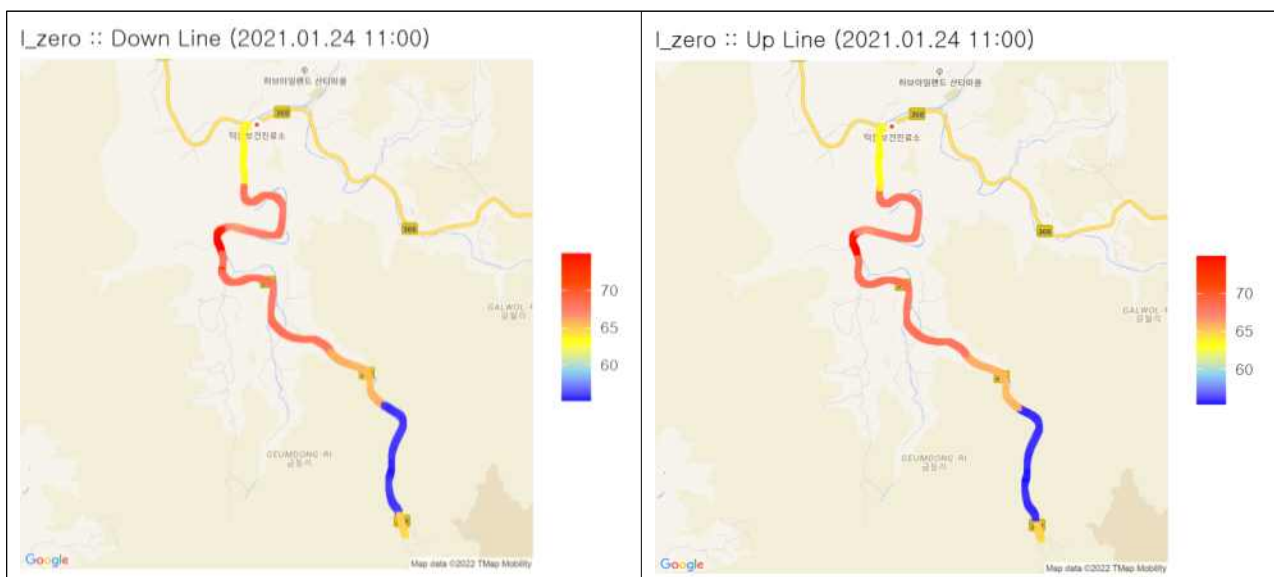
< 층별 지중전도열 산출결과(2021년 1월 24일 11시) >



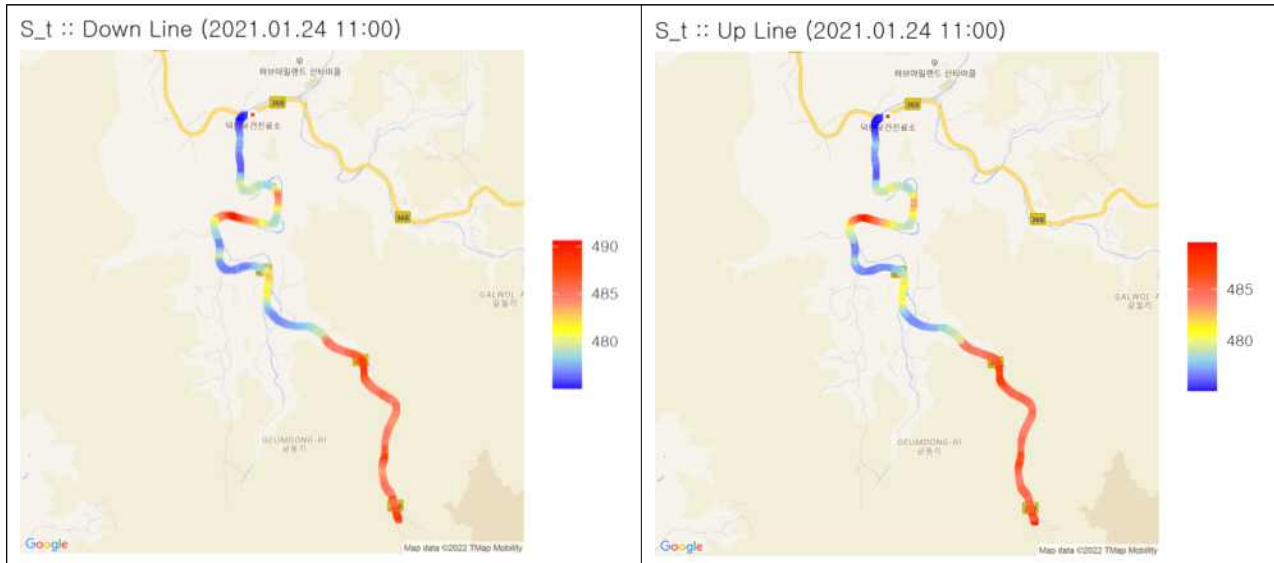
< 순복사량 산출결과(2021년 1월 24일 11시) >



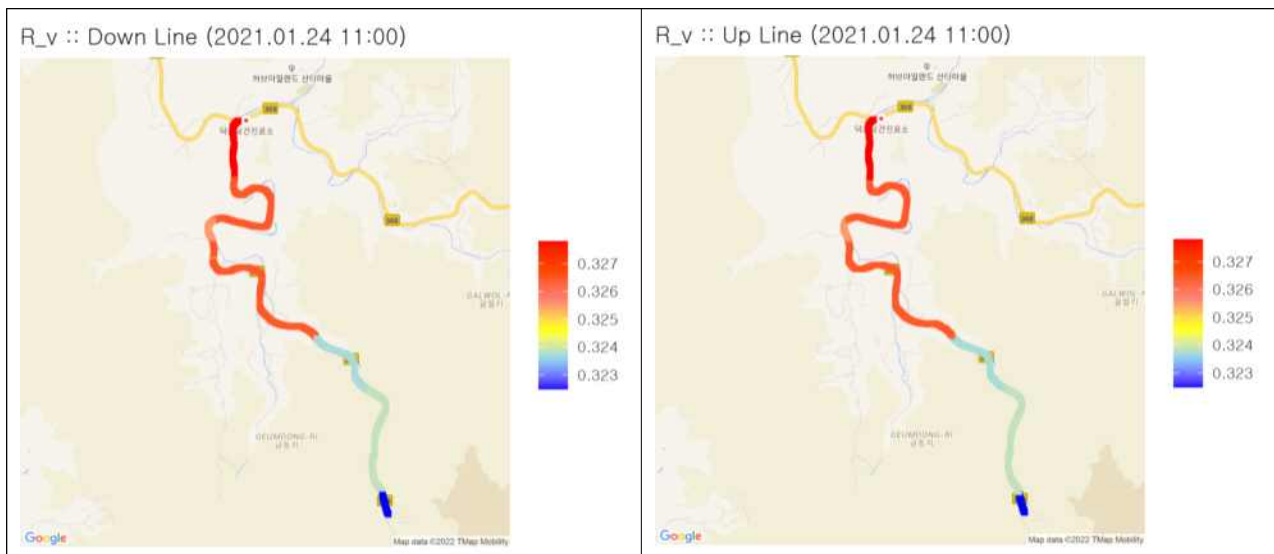
< 현열속 산출결과(2021년 1월 24일 11시) >



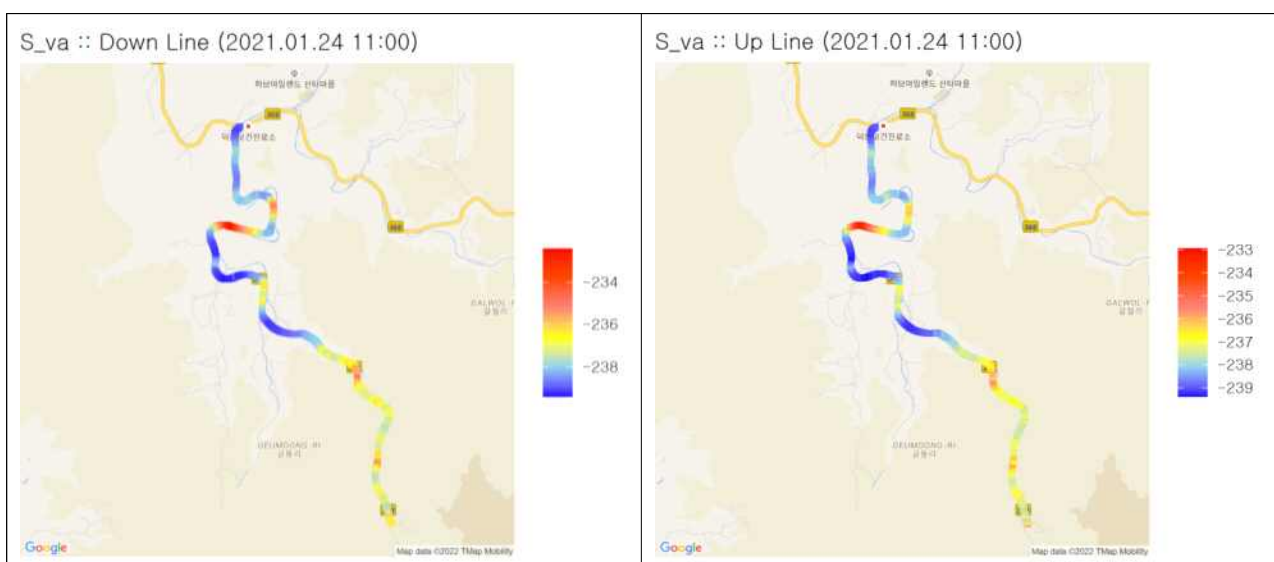
< 잠열속 산출결과(2021년 1월 24일 11시) >



< 타이머마찰열 산출결과(2021년 1월 24일 11시) >



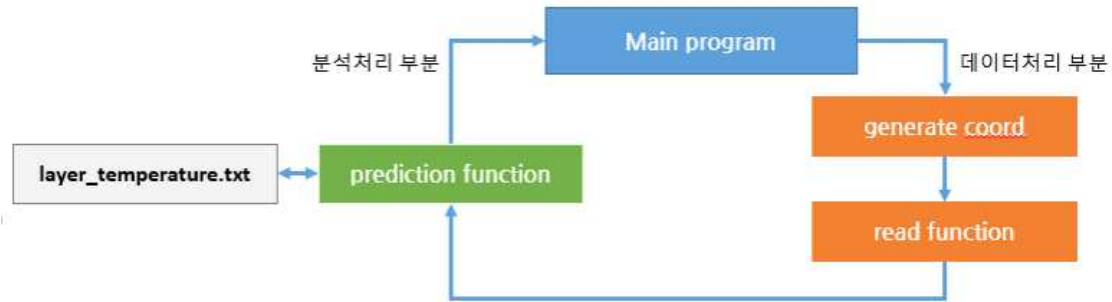
< 차량복사열 산출결과(2021년 1월 24일 11시) >



< 차량유발 현열속 산출결과(2021년 1월 24일 11시) >

○ 대상지역별 도로단위 노면온도 예측정보 산출

- LDAPS를 통해 산출된 기온, 풍속, 습도, 기압 등의 기상정보와 SOLWEIG를 통해 산출된 복사플럭스 정보, OPEN-API로 수집한 교통 정보, 센터 내에 보유하고 있는 지층 정보를 사용하여 노면온도 예측모델의 입력 자료를 구축하였음
- 노면온도 예측모델의 공간해상도는 4m, 시간해상도는 1시간으로 대상도로에 대해 24시간(+24h) 후까지의 예측정보를 생산할 수 있도록 개발하였음

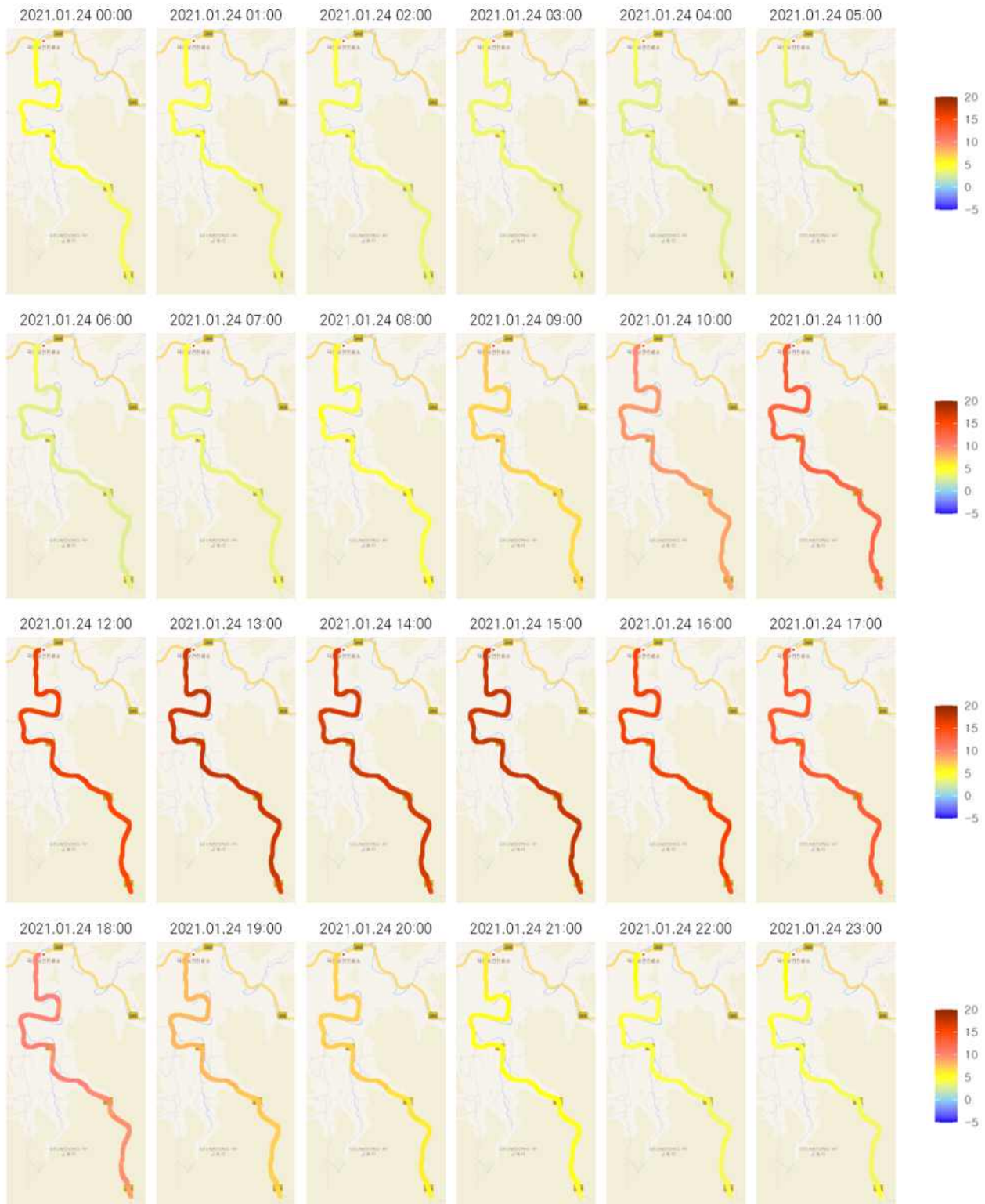


< 노면온도 예측모델 개요도 >

- 상세 도로단위에서의 시공간적 노면온도 예측정보 제공하기 위하여 포천 지방도 379호선에 대해 노면온도 예측정보를 산출하였음
- 사례일은 2021년 1월 24일 00~23시로 기온변화는 동두천 기상대(98번)의 지상 기온관측 자료는 0시에 3.0℃부터 기온이 하강하여 아침 8시에 -1.7℃로 최저기온이 나타났고, 이후 기온이 상승하여 14시 37분에 최고기온 13.4℃를 기록하고 다시 낮아짐
- 노면온도 예측 값의 경우, 최저기온 1.5℃, 최고기온 19.1℃로 영하의 노면온도가 나타나지 않았으며, 영하의 기온을 기록한 5시 30분경부터 9시까지의 노면온도는 2.6~7.5℃의 분포를 보임



< 2021년 1월 24일의 동두천(98) 지점의 기온(빨간색) 변화 >

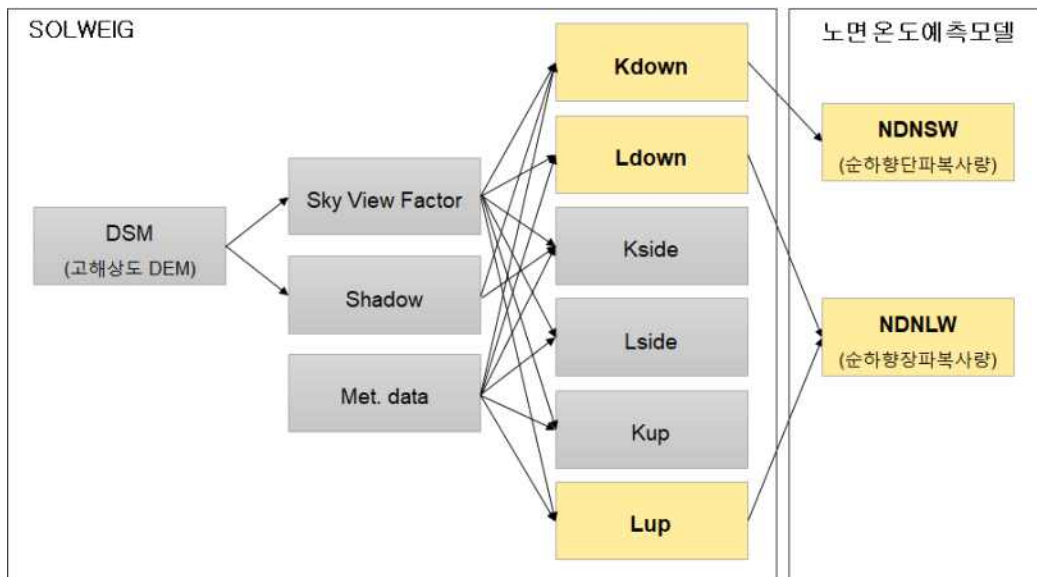


< 대상지역(포천)에 대해 예측한 노면온도 변화(사례일: 2021년 1월 24일 0~23시) >

❖ 태양복사모델과 노면온도에측모델 커플링기술 개발

○ 복사플렉스자료 연계 입력모델 구축

- SOLWEIG에서는 대상지역의 위경도를 반영하고, 날짜별 태양고도각을 계산해 그림자와 SVF를 반영하여 고해상도(5~10m)로 격자별 매 시간 복사량을 계산함
- 노면온도에측모델 구축에 필요한 변수 중 격자별 하향장파복사량(Ldown), 상향장파복사량(Lup), 하향단파복사량(Kdown)은 태양복사모델(SOLWEIG)로부터 산출된 자료를 이용하였으며, 하향단파복사량과 하향장파복사량을 통해 순하향단파복사량(NDNSW)을 계산하고, 상향장파복사량을 이용해 순하향장파복사량(NDNLW)을 계산함

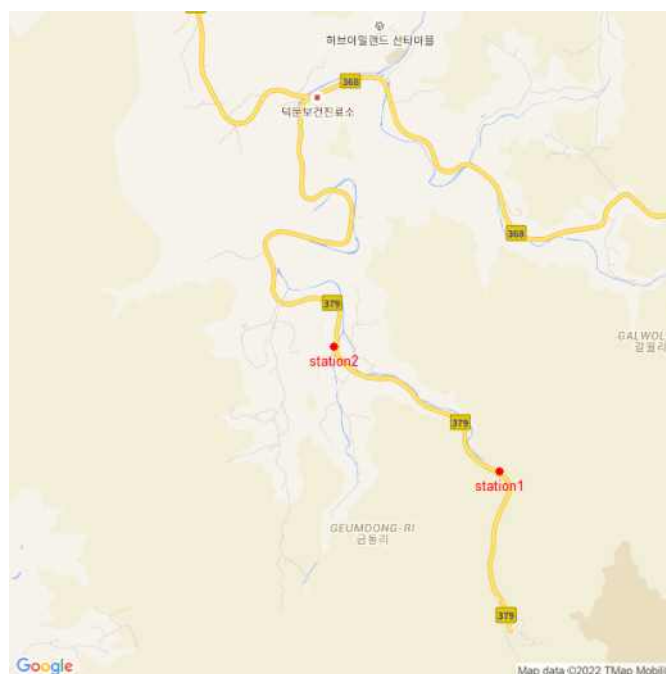


< 태양복사모델과 노면온도예측모델의 연계 모식도 >

- SOLWEIG와 LDAPS의 순하향 단파복사량(NDNSW) 및 순하향 장파복사량(NDNLW)의 값을 비교하기 위하여 2개 지점을 선정하여 일변화를 분석함
- 선정된 2개의 지점은 앞에서 언급한 바 있는 도로기상 관측지점으로 결빙알고리즘의 적용률 및 노면온도 예측정보의 검증을 위해 운영하였고, 지점에 대한 정보는 다음과 같음

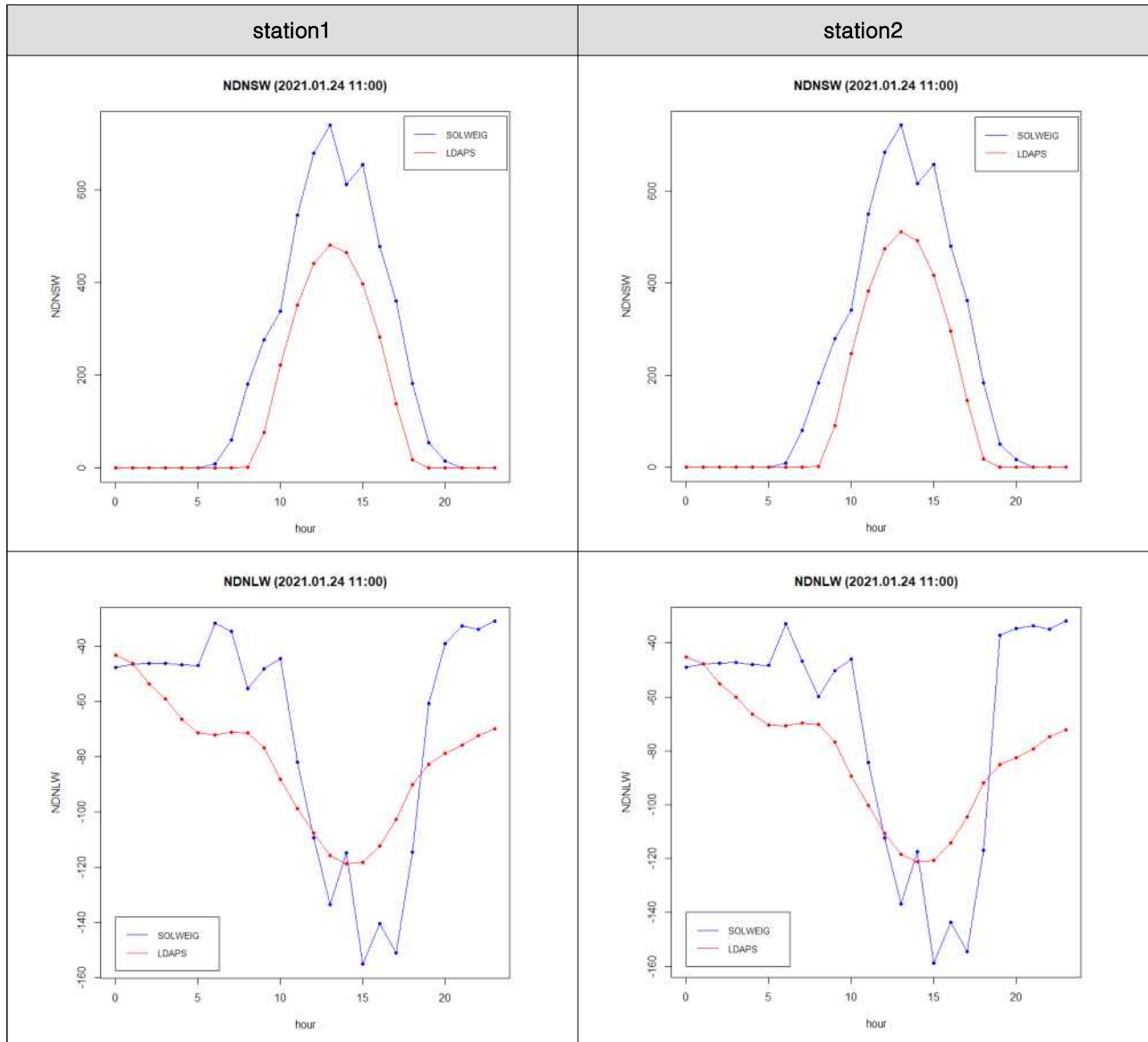
< 포천 지방도 379호선 도로기상 관측지점 station1과 station2 특징 >

구분	Station1	Station2
위치(위도,경도)	(37.936661, 127.140053)	(37.944774, 127.126552)
특징	음영지역, 합성경사 SOLWEIG 음영 예측지역	음영지역, 합성경사 SOLWEIG 음영 예측지역



< 포천 지방도 379호선 도로기상 관측지점 station1과 station2의 위치 >

- station1과 station2에서의 순하향단파복사량은 하향단파복사량과 상향단파복사량의 차이로 낮에는 일출 후 상승하기 시작하여 13시에 최대가 되고 이후 감소하는 경향을 보였으나, SOLWEIG의 순하향단파복사량이 LDAPS 보다 일출시간이 빠르고, 일몰시간은 느리며, 복사량도 크게 나타남
- station1과 station2에서의 순하향장파복사량은 하향장파복사량과 상향장파복사량의 차이로 맑은 날의 경우, 상향장파복사량이 하향단파복사량보다 크기 때문에 순장파복사는 음의 값으로 나타나고 있으며(Lee et al., 2018), 야간에도 지속적으로 방출이 일어나고 있는 경향은 비슷하지만, LDAPS는 두 지점에 같은 값이 입력된 반면 SOLWEIG의 경우는 지점의 특성을 반영하여 값이 다른 것을 확인할 수 있음



< SOLWEIG와 LDAPS의 순하향단파복사량(NDNSW)과 순하향장파복사량(NDNLW) 일변화 비교 >

○ 격자 및 포인트 상호 형식변환 모듈 구축

- 태양복사모델에서 계산된 복사량은 Ascii파일 형태로 저장되며, 행·열의 개수와 대상 도메인의 좌하단 좌표 값이 표출되며, 노면온도 예측모델에 적용하기 위해서는 격자별 위·경도와 해당하는 값을 일렬로 나열(XYZ grid)해야 함
- Global Mapper(ver.11.02)를 이용하여 Ascii파일을 XYZ grid 포맷으로 변환하고, TM좌표 값을 위경도로 변환하여 시간별 Lup, Ldown, Kdown의 'Korea_TM' 좌표계를 'Geographic' 좌표계로 변환함

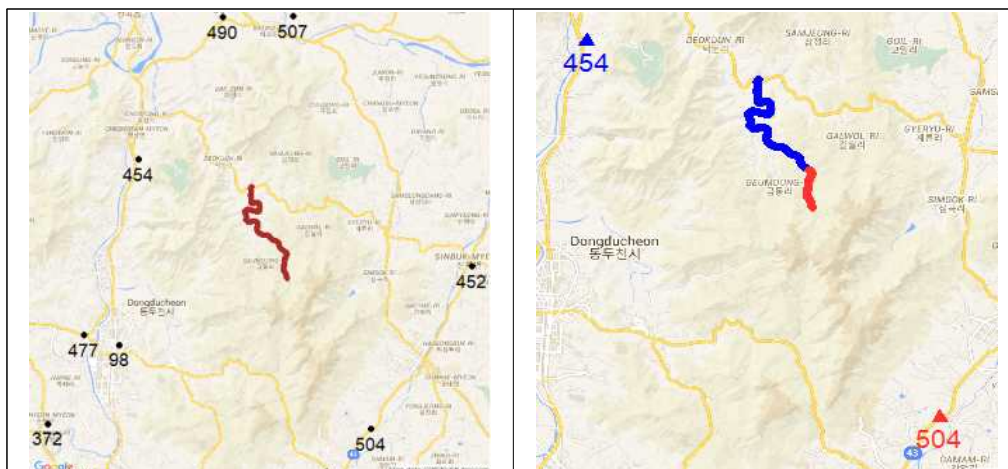
SOLWEIG에서 산출된 복사량 결과 파일 형식	변환된 XYZ grid 파일 형식
<pre> ncols 3413 nrows 2368 xllcorner 182315.49999999 ylldcorner 543278.50009845 cellsize 10 NODATA_value -9999 290.3778 280.6882 280.0043 279.9455 279.6776 279.3369 279.3239 290.0874 281.3529 280.6290 279.9985 278.8025 279.1268 278.8471 290.2496 281.7503 280.7035 278.8048 279.1352 279.3725 279.1468 290.2845 289.6220 281.2786 280.5943 279.9010 279.6025 279.3735 290.2977 289.6542 280.9244 280.5780 280.4106 280.3894 280.1252 290.3879 289.6634 292.5164 279.6068 279.9101 279.1367 280.0754 290.1619 289.8485 292.5164 279.1367 279.5398 279.4769 279.0040 290.1780 289.8698 283.0378 279.2520 278.8784 279.1755 279.3848 290.0857 290.0396 281.5501 278.8784 278.9642 278.9799 279.5622 290.3466 290.1008 281.7088 278.8048 278.9778 278.9671 279.1850 290.3823 290.1472 289.7414 278.8048 278.8048 279.3003 279.2763 290.4081 290.4591 289.8386 292.5164 278.8048 279.1481 279.3073 290.6753 290.3047 290.3787 289.4678 280.5657 278.8048 279.0001 290.7210 290.3654 290.4026 290.0884 288.7830 279.1367 278.8046 290.7004 290.3207 290.4668 290.1167 289.4061 279.1367 278.8781 </pre>	<pre> 126.8839020011,37.6192669580,278.802 126.8839020011,37.6191767884,278.802 126.8839020011,37.6190866189,278.802 126.8839020011,37.6189964493,278.802 126.8839020011,37.6189062798,278.802 126.8839020011,37.6188161103,278.802 126.8839020011,37.6187259407,278.802 126.8839020011,37.6186357712,278.802 126.8839020011,37.6185456016,278.802 126.8839020011,37.6184554321,278.802 126.8839020011,37.6183652626,278.802 126.8839020011,37.6182750930,278.802 126.8839020011,37.6181849235,278.802 126.8839020011,37.6180947539,278.802 126.8839020011,37.6180045844,278.802 126.8839020011,37.6179144149,278.802 126.8839020011,37.6178242453,278.802 126.8839020011,37.6177340758,278.802 126.8839020011,37.6176439062,278.802 126.8839020011,37.6175537367,278.802 126.8839020011,37.6174635671,278.802 </pre>

< 격자별 복사량 값을 XYZ grid 포맷으로 변환 >

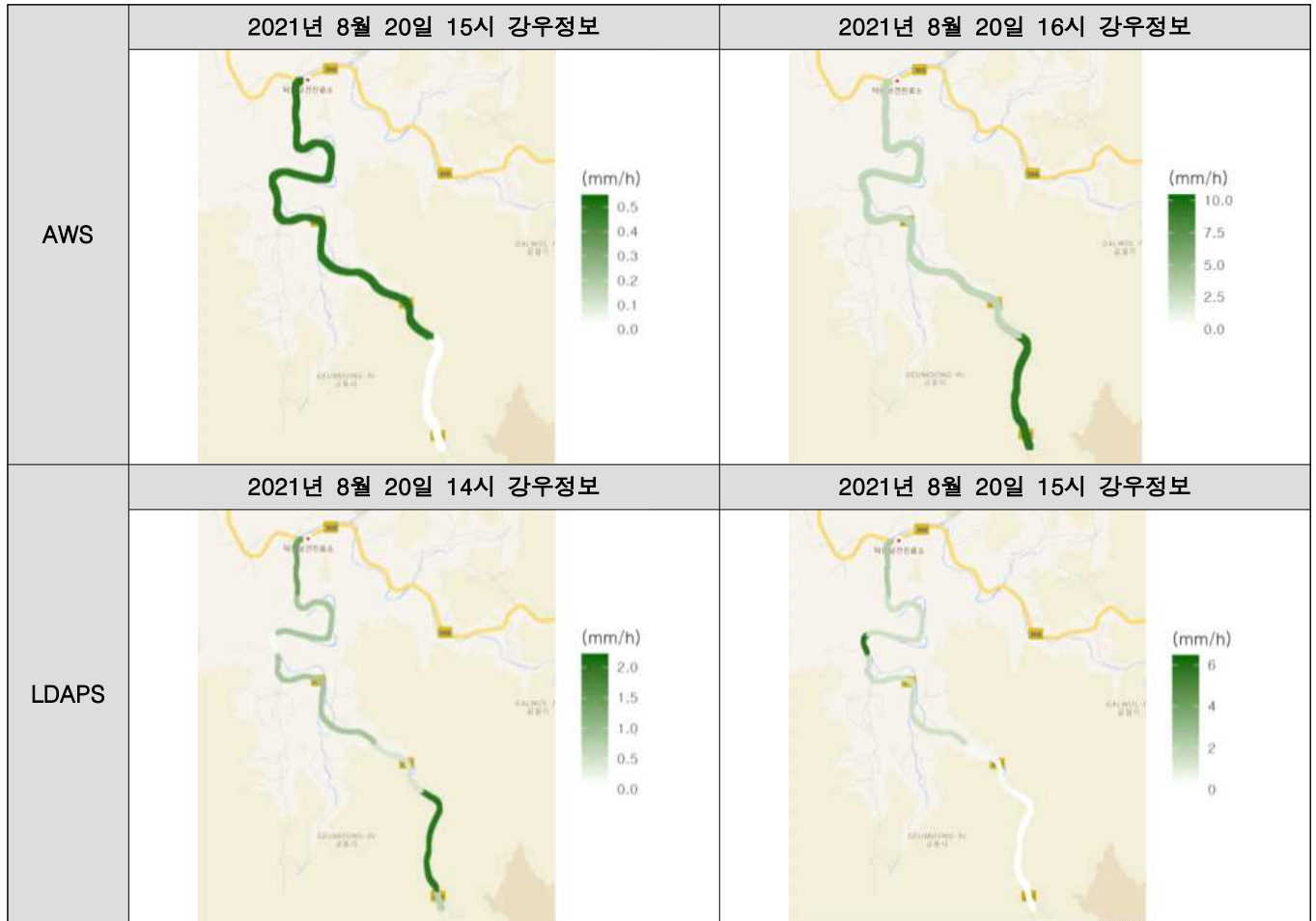
◆ 도로 수막정보 예측모델 구축과 수막두께정보 산출

○ 대상지역별 강우분포장 산출

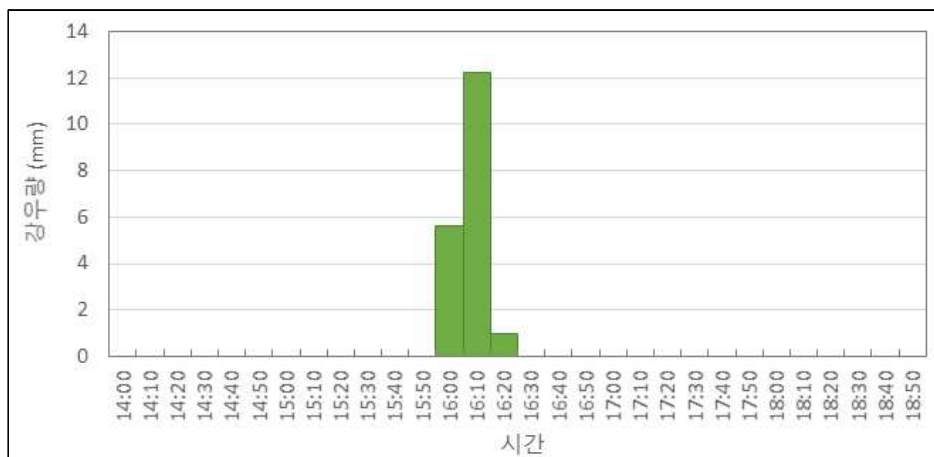
- 도로 수막정보 예측모델에 입력되는 도로단위 강우정보는 1차년도에는 기상청에서 제공하는 OPEN-API를 통해 실시간으로 기상관측지점(AWS 또는 ASOS) 자료를 수집하여 사용하였으나, 2차년도에는 향후 24시간 예측정보 생산을 위해 LDAPS의 강우정보를 사용하여 모델을 개선하였음
- 1차년도에 수행한 연구는 대상도로에서 가장 인접한 기상관측지점(AWS 또는 ASOS)의 강우정보를 사용하여 수막정보 예측모델의 입력자료인 강우분포장을 산출하였으며, 포천 지방도 379호선에 해당하는 AWS 지점은 454(하봉암), 504(포천)임
- 또한, 24시간 수막발생 예측정보를 생산하기 위하여 노면온도 예측모델과 동일한 방법으로 LDAPS의 강우정보를 도로단위로 생산하여 수막발생 예측모델의 입력자료로 사용하였음
- 2021년 8월 20일에 대하여 AWS와 LDAPS 자료를 사용하여 도로단위 강우정보를 생산하여 비교함
 - AWS의 경우 2개 지점의 자료를 사용하기 때문에 해당 관측지점의 강우정보가 입력되어 전체 도로에 대해 2개 구간으로 나누어지지만 LDAPS는 좀 더 상세하게 강우정보를 입력할 수 있음
 - 그러나, 실제 포천 지방도 379호선에 설치한 도로기상 관측지점 station2에서의 관측 자료와 비교해보면, 도로 위에서의 강우는 16시에 발생하였으나, AWS는 15~16시에 강우정보가 생산되었고, LDAPS 모델은 14~15시에 강우가 발생할 것으로 예측하였음
 - 이는 포천 관측망의 공간적해상도가 5~8km로 서울 AWS 관측망의 공간해상도가 2km 정도인 것에 비하면 상당히 낮고, 사용된 AWS 지점들과 대상도로 사이에 산지가 있기 때문으로 보임



< 대상도로(포천) 주변 AWS 및 ASOS 위치(좌)와 구간별 강우자료 사용 AWS 지점(우) 정보 >



< 2021년 8월 20일, AWS와 LDAPS 사용 도로단위 강우정보 생산 결과 비교 >

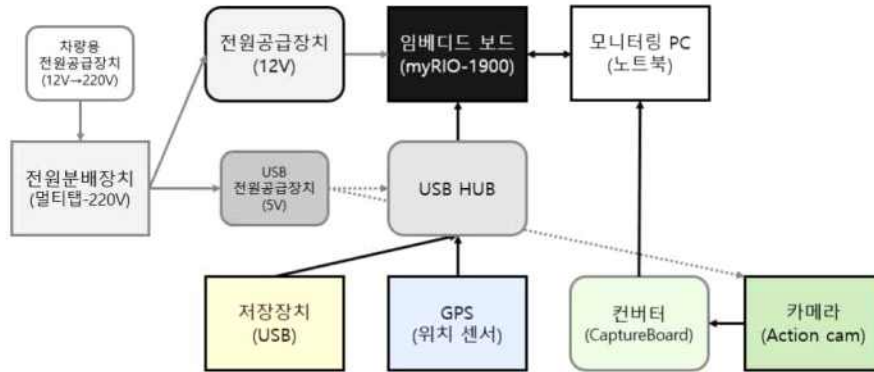


< 2021년 8월 20일, 포천 관측지점 station2에서의 강우관측 결과 >

○ 대상지역별 도로기하구조 수치공간화

- 도로 기하구조 정보는 노면온도 모델에서 교통정보를 구축하는데 이용되며, 이후 수막예측모델에서는 도로의 경사도를 계산하기 위하여 입력 자료로 사용되는 정보임
- 포천 지방도 379호선의 경우, 2005년 3월 지방도로 새롭게 지정된 도로로 건설당시의 정보 및 설계도서 등의 확인이 불가능한 상황으로 기하구조 측정 장비를 사용하여 자체 수집하여 구축하였음
- 기하구조 정보를 구축하기 위하여 차량에 구축하는 이동식시스템을 활용하였으며, 임베디드 보드(myRIO-1900)에 내장된 3축 가속도계(Accelerometer)를 이용하여 X, Y, Z축의 기울기를 측정하면 도로의 횡단경사도와 종단경사도로 환산할 수 있음

- 이동식 도로기하구조 관측 시스템은 다음 그림과 같이 임베디드 보드와 모니터링PC를 중심으로 구성되어 있으며, 임베디드 보드에 USB HUB를 연결하여 가속도계 및 GPS센서와 데이터를 수신하고, 해당 정보를 USB저장장치에 누적함
- 임베디드 보드와 카메라는 각각 12V, 5V의 전원공급이 필요하며, 이는 차량에서 출력되는 12V를 220V로 변환 후 각 전용 어댑터를 통해 공급함



< 도로기하구조 관측 시스템 구성도 >

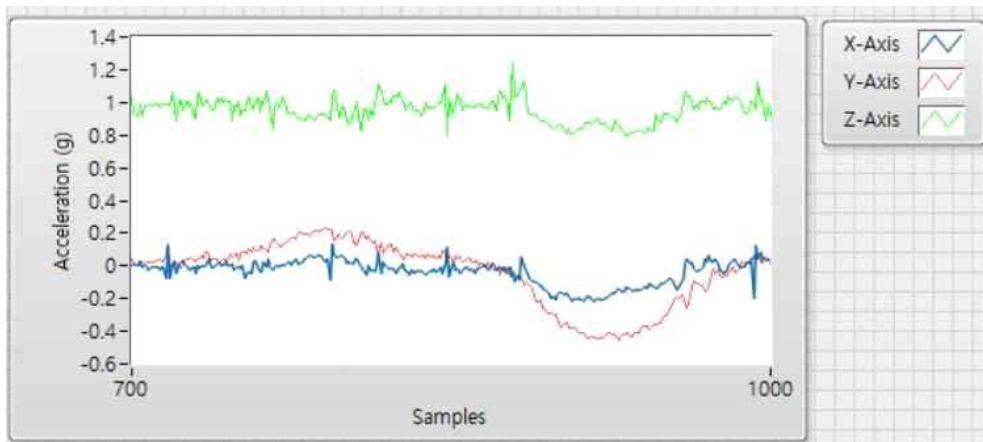


< 데이터 수집 과정 및 모니터링 >



< 차량 내 장치 설치 모습 >

- 해당 시스템은 보드에 GPS 센서를 연결하여 이전 위치에서 1m이상 차이가 날 때 수집일시, 경도, 위도, STA(지점간 거리m), X축 센서 값, Y축 센서 값, Z축 센서 값을 수집함
- 또한 보드를 모니터링하고 제어하기 위한 PC에 카메라를 연결하여 도로사진을 추가로 수집이 가능함
- 임베디드 보드에 내장된 가속도계의 센서데이터는 3축(X/Y/Z)의 기울기에 따라 각 축의 값이 대체적으로 -1에서 +1사이로 수신되며, X축은 횡단경사로 Y축은 종단경사로 환산할 수 있고, 보드 설치방향에 따라 X, Y축이 종단/횡단경사를 관측할 수도 있으며, 원 데이터를 그래프로 표출하면 다음과 같음
- 수집되는 파일의 형태는 도로사진(이미지)-JPG, 관측정보-CSV 형태로 가속도계 및 GPS 센서 데이터는 임베디드 보드와 연결된 저장장치 내 “EB_VWIS” 폴더를 생성하여 수집데이터를 저장함
- 관측정보는 가속도계 센서의 기본 값을 저장하는 “Default_v.csv”와 함께 해당폴더 안에 일자별로 “날짜_V.csv”에 누적되고, 도로사진은 모니터링PC에서 지정한 폴더 안에 저장하고, 도로사진은 데이터를 저장할 때마다 “날짜-시간.jpg”로 생성됨



< 가속도계 센서데이터 표출 >

- 자료의 신뢰성 확보를 위해 내부순환로 성산대교북단~홍은사거리 약 5.1km에 대해 준공도 자료와 비교 하였으며 RMSE 값을 보았을 때 자료의 신뢰성은 매우 높은 수준으로 확인됨

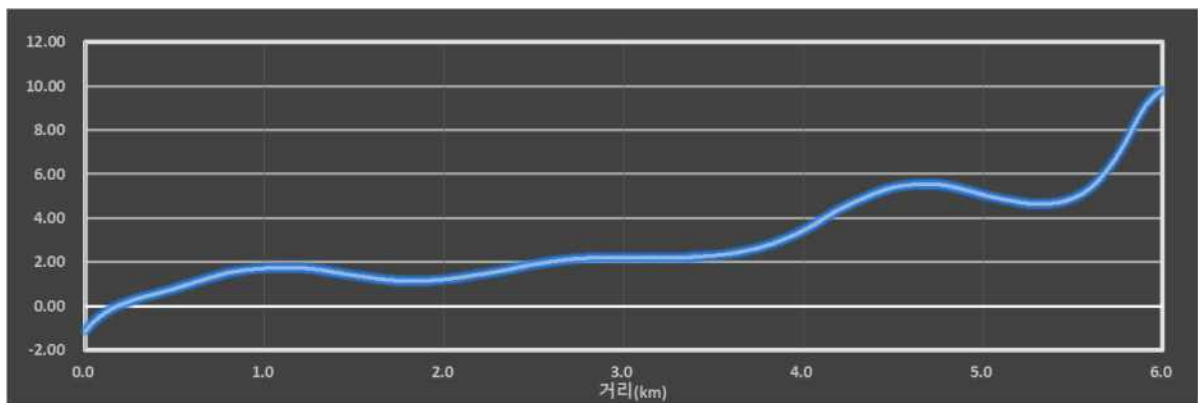
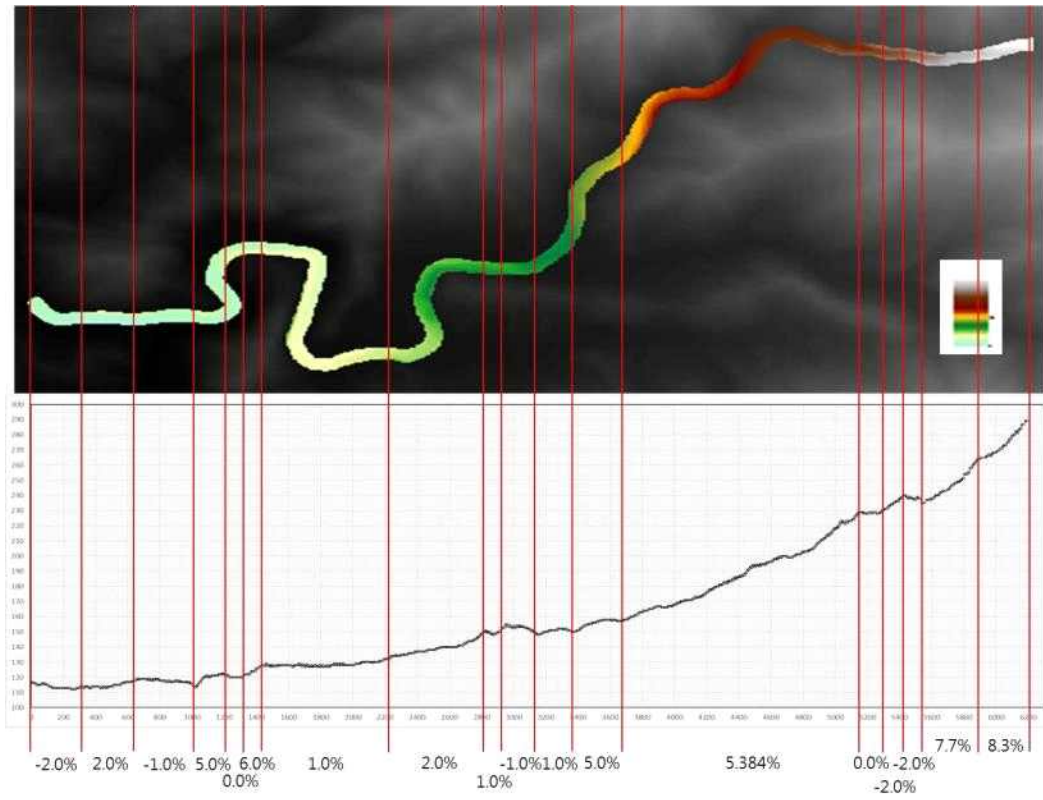
< 내부순환로 기하구조 자료의 정확도 >

구분	종단경사	횡단경사	
		성산방향	신내방향
RMSE	0.89	0.009	0.013

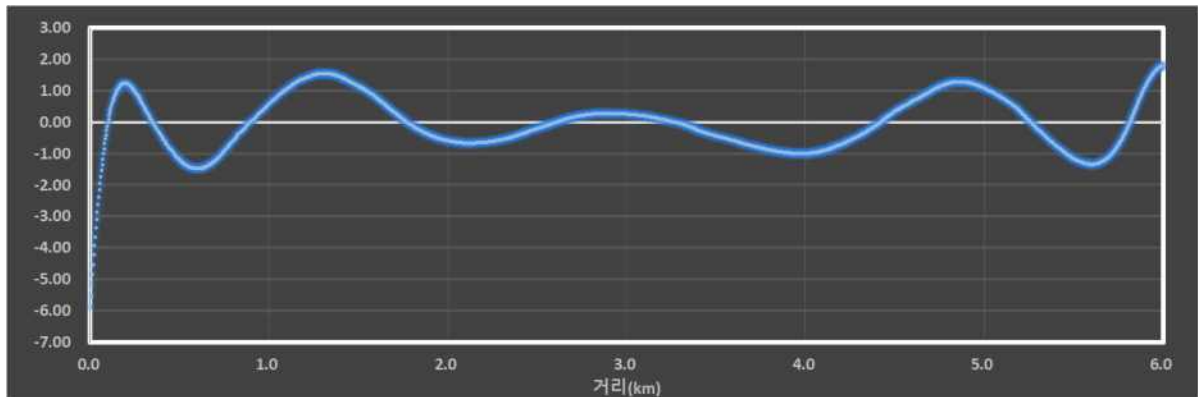
- 2020년 9월 30일, 연구 대상도로인 포천 지방도 379호선의 기하구조 수집 및 이상치 제거를 위하여 도로의 상행, 하행을 구분하여 각각 2회 왕복 측정하였음
- 측정항목은 도로의 위치(위·경도), 방향, 측정 지점 간의 거리, 차로 수 및 도로 폭, 중앙분리대 유무, 종단경사, 횡단경사 등에 대해 수집하였음
- 횡단경사는 도로의 배수를 위해 필요하지만, 직선구간에서 횡단경사가 2% 이상일 경우에는 핸들이 한쪽으로 쏠리는 경향이 나타나 습윤, 결빙 상태의 노면에서 횡방향으로 미끄러질 우려가 있어 아스팔트 포장도로의 설계기준은 1.5~2.0%임(국토교통부, 2020)
- 종단경사는 노면의 배수를 고려하여 최소 0.3~0.5%의 경사도가 필요하며(한국도로공사, 2020), 설계기준은 조건부로 최대 10%까지 허용됨
- 합성경사는 횡단경사와 종단경사를 사용하여 계산이 가능하며, 도로에서 원활한 배수가 이뤄지기 위해서는 합성경사가 0이 되어서는 안되며(국토해양부, 2011), 최소 적용치는 1.5% 이상이 필요함(이만석 외, 2011)
- 포천 지방도 379호선의 횡단경사 및 종단경사는 경사도 값의 차이는 조금 있지만, 상하행선이 반대의 경향이 잘 나타나고 있으며, 배수를 위한 설계기준을 크게 벗어나는 값이 없는 것으로 나타남
- 종단경사와 횡단경사의 합성벡터인 합성경사의 경우, 0~10%의 분포를 보이고 있으며, 합성경사가 1.5% 이하인 구간이 대부분이 도로의 시작구간에 포함되어 있고, 하행선 보다는 상행선 쪽이 배수 위험구간이 더 넓은 것으로 나타남

< 포천 지방도 379호선의 기하구조 정보 구축 결과 >

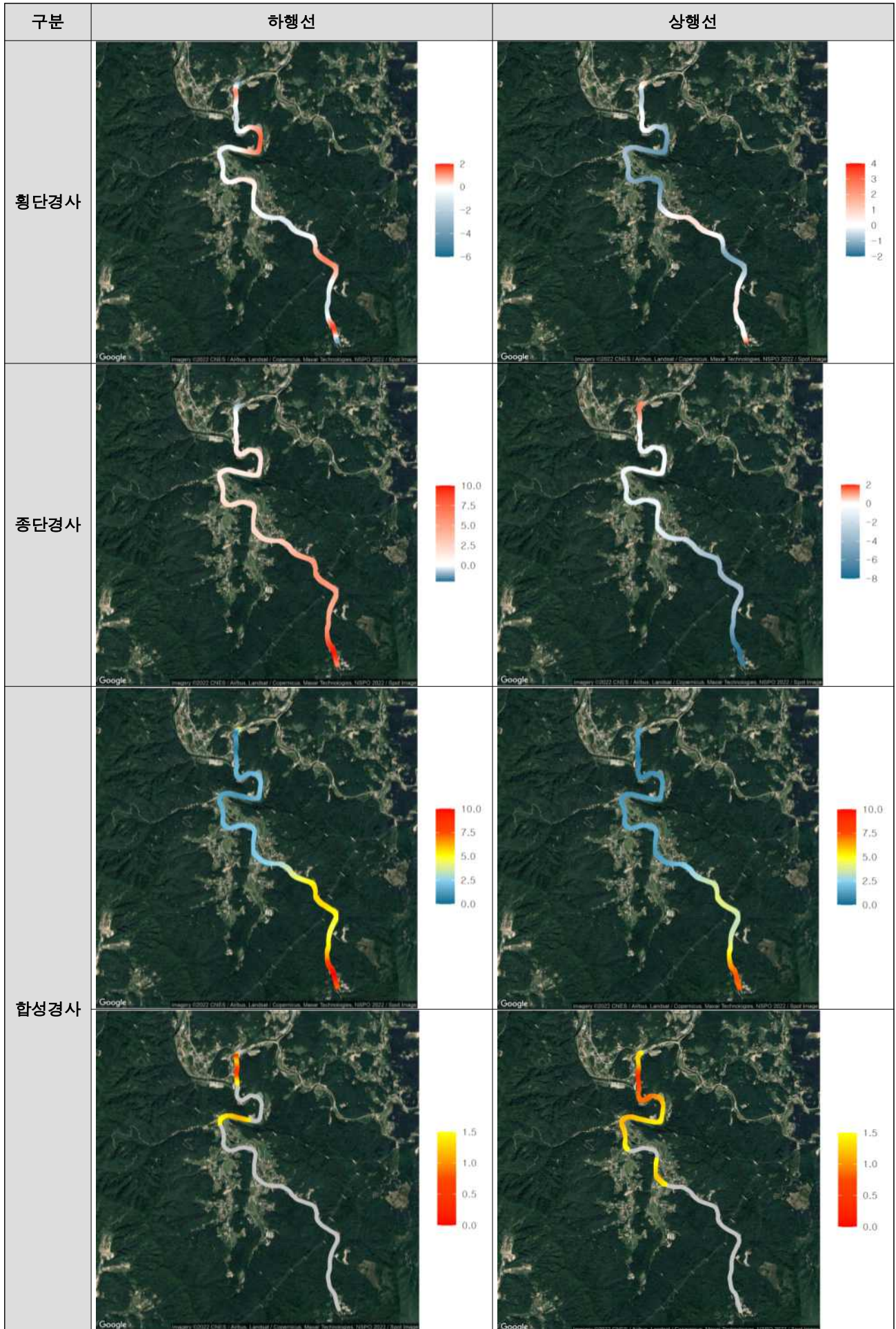
구분	종단경사	횡단경사	복합경사	차로수/차로폭
최소	0	0	0.37	1/10
최대	-1.15, 9.83	-5.93, +1.80	10.00	2/16



< 누적거리에 따른 종단경사 변화 >



< 누적거리에 따른 편경사변화(진입부 연결로 내리막 포함) >



< 포천 지방도 379호선의 도로기하구조의 수치공간화 결과 >

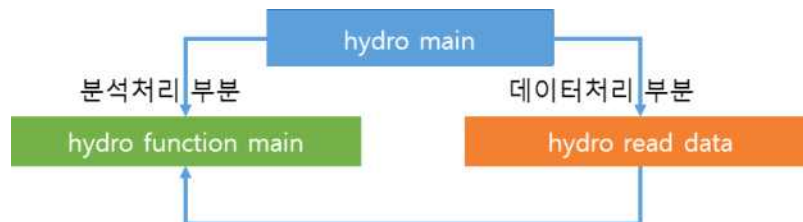
- 포천 지방도 379호선에 가장 인접한 기상관측소는 동두천 기상대로 2019년 11월부터 2020년 3월까지 도로에 결빙이 발생할 가능성이 있는 5개월간 최저기온 -14.9°C 로 영하이하의 날씨가 107일로 확인됨

< 동두천 기상대의 겨울철 기상통계 분석 결과 >

구분	11월	12월	1월	2월	3월
최저기온	-6.6	-13.4	10.2	-14.9	-5.4
0℃ 이하	14일	28	28	21	16
일최대강수량	13.9	11.0	49.1	11.0	14.0
강수일수	8	16	9	10	9

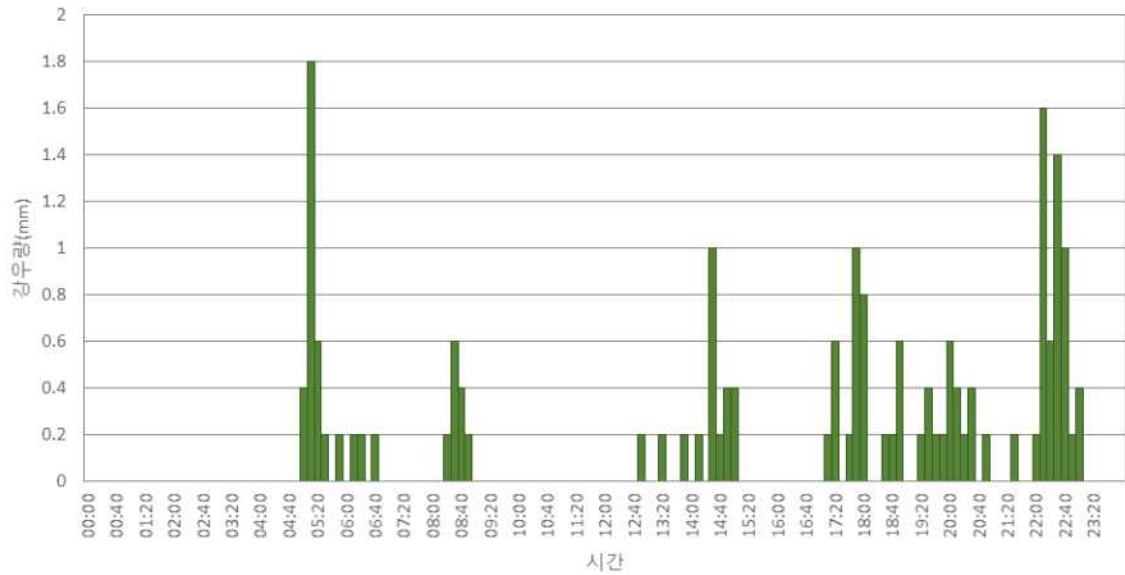
○ 강우 사례일 수막두께정보 산출

- 앞에서 언급한 바와 같이 2차년도에는 강우정보를 LDAPS의 1시간 누적강수량 값으로 대체하여 24시간 이후까지의 예측정보를 생산할 수 있도록 개선하였으며, 이와 더불어 도로의 기하구조는 1차년도에 자체 수집한 해당도로의 기하구조정보를 사용하였음
- 수막발생구간 예측모델의 공간해상도는 4m, 시간해상도는 1시간으로 노면온도 예측모델과 마찬가지로 대상도로에 대해 24시간(+24h) 후까지의 예측정보를 생산함

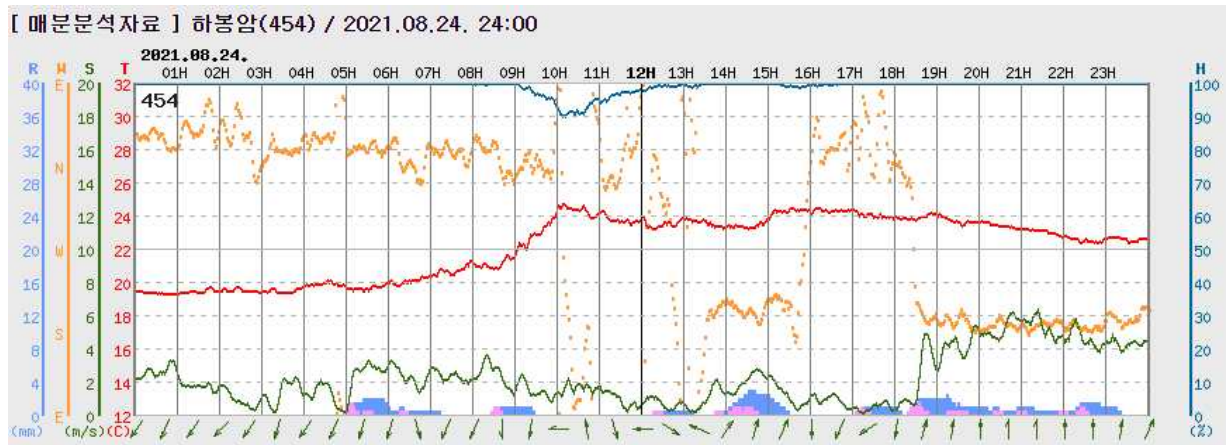


< 수막 발생구간 예측모델 개요도 >

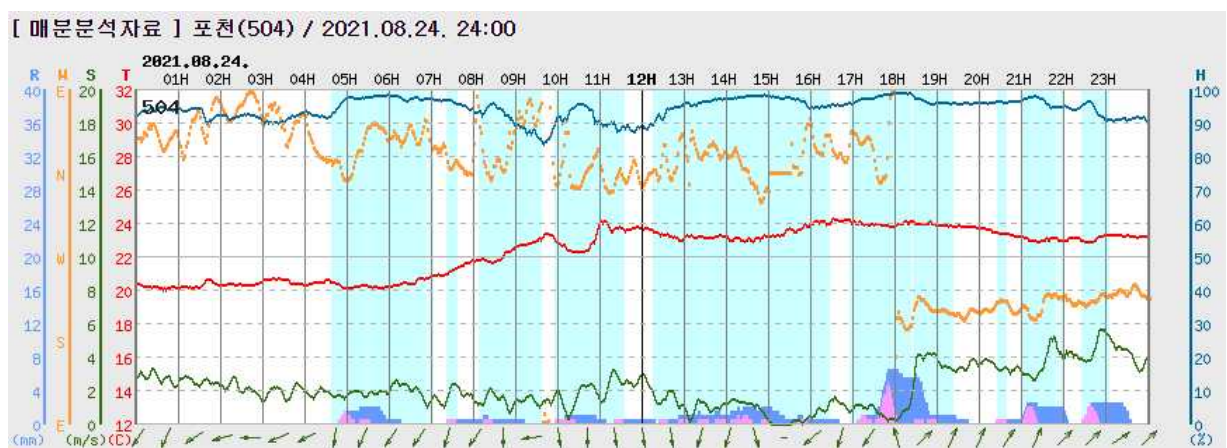
- 상세 도로단위에서의 수막발생 위험구간에 대한 정보를 제공하기 위하여 포천 지방도 379호선에 대한 시공간적 강우 및 수막두께 정보를 산출하였음
- 수막발생구간 예측모델에 입력되는 강우량은 시간당 강우량으로 포천 관측지점 station2의 관측 값을 기준으로 강우가 관측된 날 중에 LDAPS 예측장에서도 강우정보가 확인되는 날을 사례일로 선정하였음
- 사례일은 2021년 8월 24일로 포천 관측지점 station2의 강우량 관측 값은 5~6시, 8시, 12~15시, 17~23시 등 비연속적이지만 하루 종일 강우가 관측되었으며, 총 강우량은 20.2 mm/day이었음
- 포천 지방도 379호선에서 가장 가까운 AWS 관측지점인 하봉암(454)과 포천(504) 지점의 일강우량은 각각 13.5mm, 21.5 mm/day로 포천 관측지점 station2의 일강우량은 포천 지점과 비슷하게 나타났고, 강우 발생시점은 두 지점 모두 비슷한 경향을 보임
- LDAPS 모델의 경우, 2021년 8월 24일 0~9시, 14~15, 17~18시의 강우를 예측하였고, 4~9시에 발생한 강우의 경우 강우량도 거의 비슷하게 예측하였으나, 12시 이후에 발생한 강우에 대해서는 과소 모의하는 경향을 보였고, 수막발생 주의 및 위험구간은 도로의 끝 구간에서 넓게 나타남
- 강우정보를 수막발생 예측모델에 입력하여 수막두께를 산출한 후, 수막두께에 따라 위험(2.5mm 이상), 주의(1.0mm 이상), 조심(1.0mm 미만) 등 3단계의 수막발생위험도로 구분하였음
- 수막두께가 아닌 수막발생위험도를 사용한 것은 정보 제공 시 사용자가 정보를 단편적으로 쉽게 이해하고 받아들이는데 거부감이 없도록 하기 위함이며, 도로의 마지막 구간에서 주로 주의 및 위험 단계를 확인할 수 있음



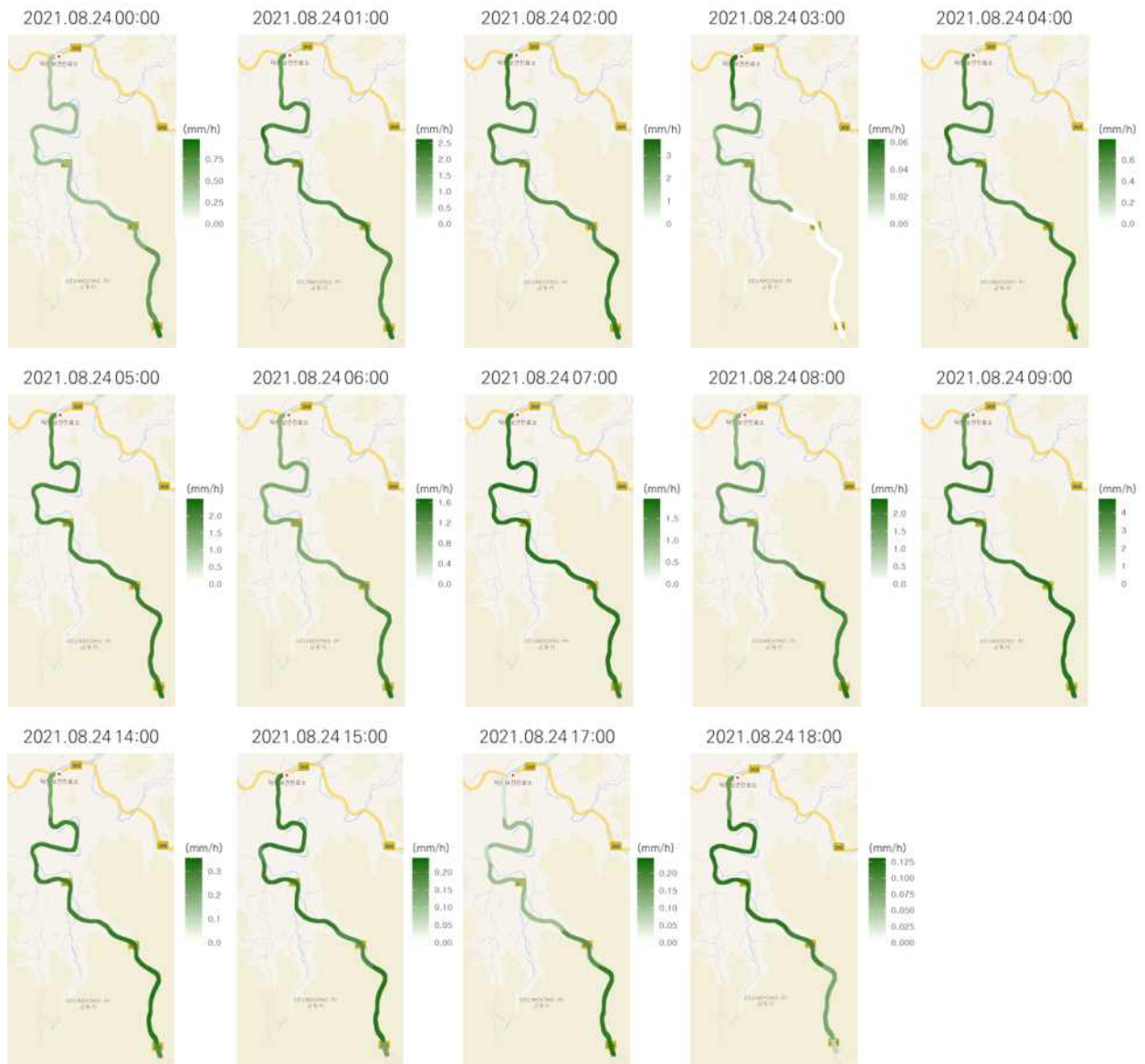
< 2021년 8월 24일 포천 관측지점 station2에서의 강우관측 결과 >



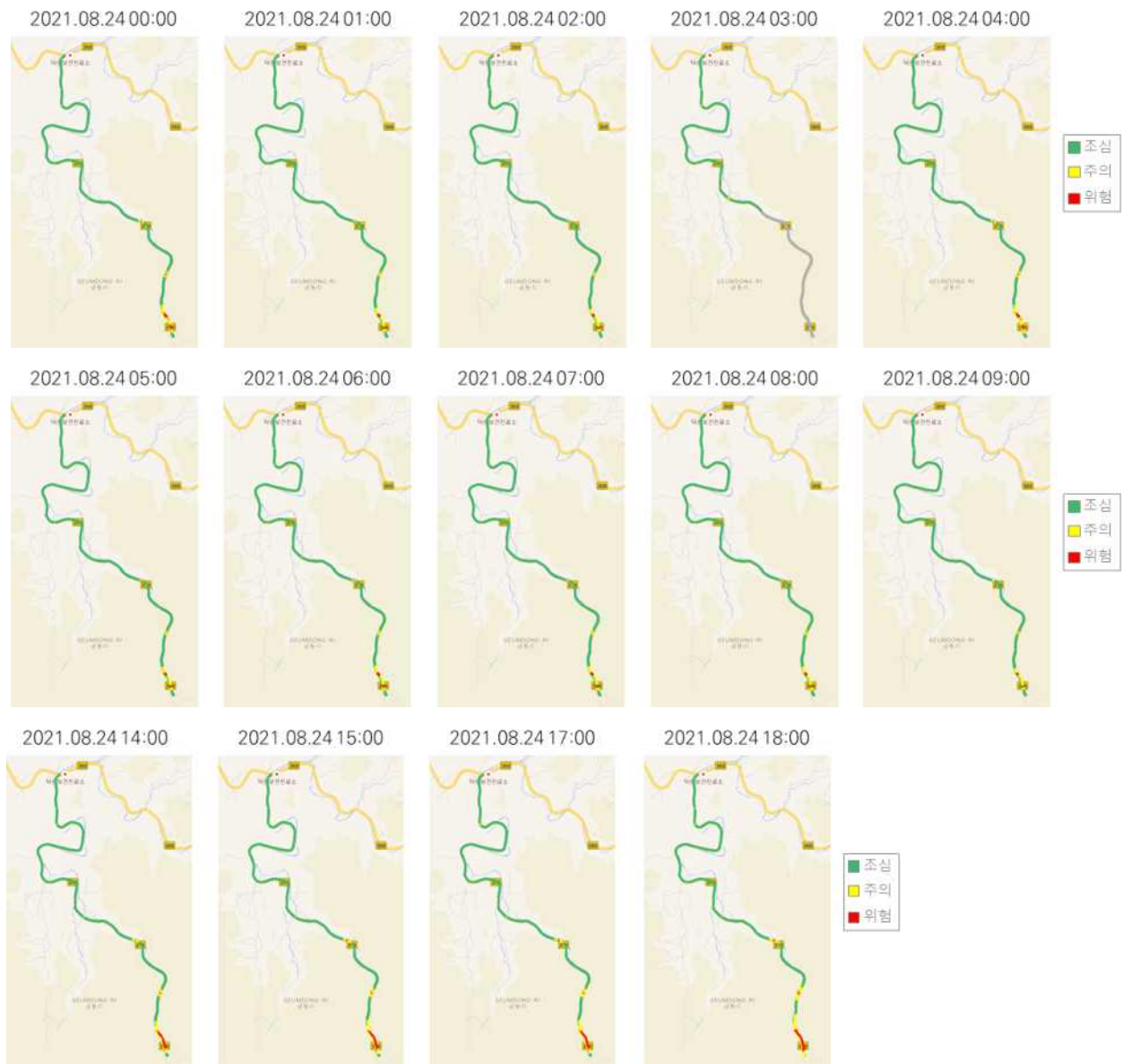
< 2021년 8월 24일 하봉암(454) AWS 지점의 강우관측(60분 이동누적강우(하늘색) 결과 >



< 2021년 8월 24일 포천(504) AWS 지점의 강우관측(60분 이동누적강우(하늘색) 결과 >



< 대상지역(포천)에 대해 예측한 강우분포도(사례일: 2021년 08월 24일) >



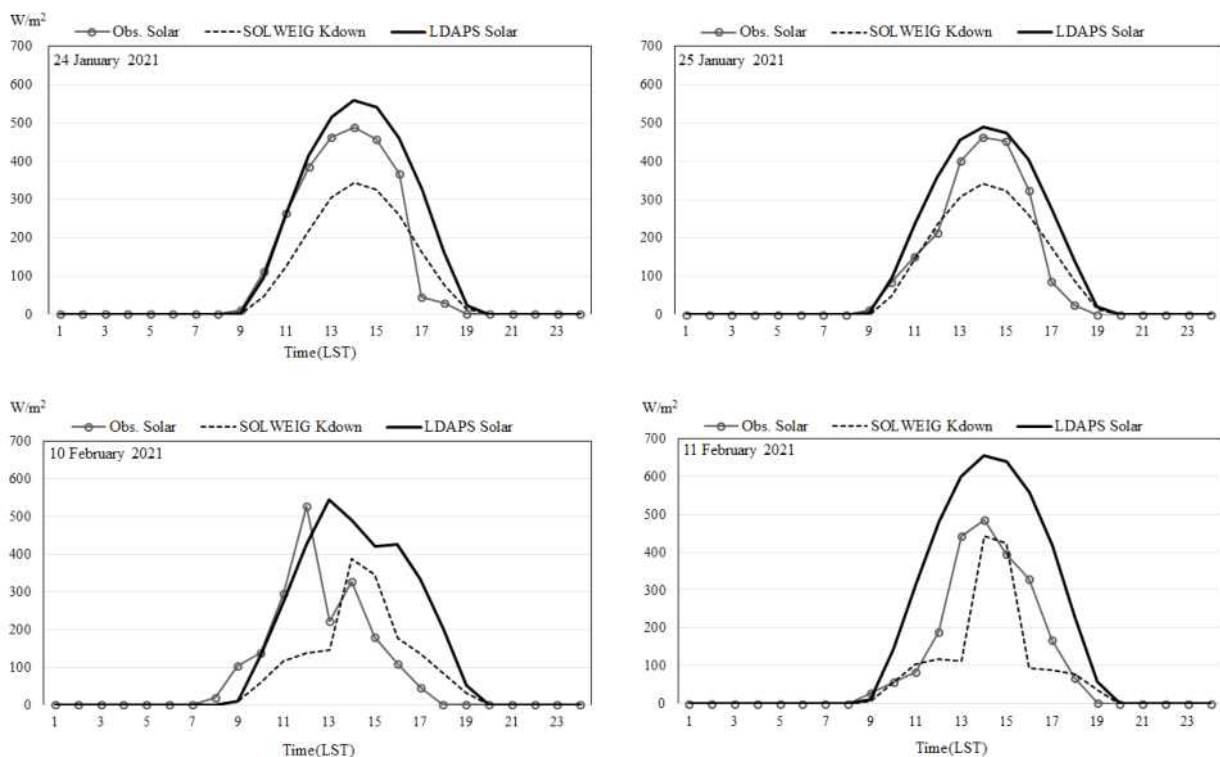
< 대상지역(포천)에 대해 예측한 수막발생위험도 변화(사례일: 2021년 08월 24일) >

2) 도로분해능 노면온도 및 수막두께 예측모델 검증과 실시간 운영체계

◆ 노면온도 및 수막두께 예측모델 체계 검증

○ 지상관측자료를 활용한 복사플럭스 모의결과 검증

- SOLWEIG에서 계산된 복사량 값을 검증하기 위해 관측지점에 해당하는 격자 값의 Kdown 값을 추출하여 관측된 일사량과 비교하고, SOLWEIG에서 계산된 값이 초기 입력된 일사량과 얼마나 달라졌는가를 함께 알아보기 위해 LDAPS 일사량 자료도 함께 비교함
- SOLWEIG에서 계산된 일사량이 가장 낮았으며, LDAPS의 일사량이 가장 높았음
- 1월 24일과 25일의 경우, SOLWEIG에서 계산된 일사량은 나머지 두 종류의 일사량 분포에 비해 낮은 값을 보였으며, 낮 시간대 일사량을 과소평가하는 것으로 나타남
- 2월 10일, 11일의 경우에는 관측 값과 비슷한 패턴을 보임

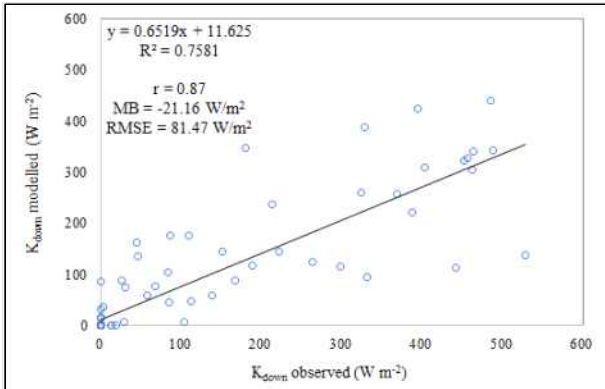


< 2021년 1월 24, 25일과 2월 10, 11일의 관측, SOLWIEG, LDAPS 일사량 시간변화 비교 >

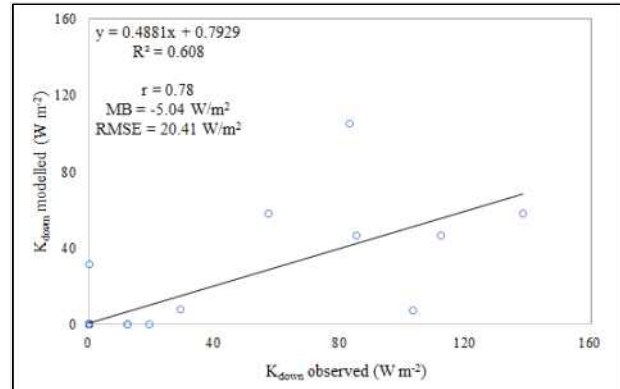
- 포천 도로기상 관측지점 station2(캠핑장)의 관측 자료와 SOLSEIG의 복사플럭스를 이용하여 다음과 같은 검증지수를 산출하였음:
 - 상관계수(Correlation Coefficient, r)는 추정된 값과 관측 값 사이의 상관관계의 정도를 나타내는 것으로 -1에서 1의 범위를 가지며, 상관계수가 0에 가까울수록 두 변수는 선형적으로 아무런 관계가 없음을 의미하며, 상관계수만으로는 두 변수 사이의 선후 관계 및 인과관계를 알 수 없음
 - 평균편차(Mean Bias, MB)는 모델로부터 산출된 값과 관측값의 차이를 평균한 것으로 산출된 값이 관측 값을 과소평가 혹은 과대평가 하는 경향을 알 수 있고, 0에 가까울수록 평균 편차가 적음을 의미함(Bell et al., 2004)
 - 전체적인 예측의 정확도를 측정하는 평균제곱근오차(Root Mean Square Error, RMSE)는 결정계수라고 하며, 추세선이 설명할 수 있는 설명력을 의미하고, 모델에서 추정한 값과 실제 값의 차이가 얼마인지를 알려주는 척도로 사용됨

- 검증지수는 사례일 전체(총 4일)와 노면상태가 결빙으로 판정된 시간대만을 추출한 경우(이하 결빙판정시간) 등 2개로 나누어 비교하였음
- 전체사례일의 RMSE는 81.47 W/m^2 , MB는 -21.16 W/m^2 로 모델이 관측 값에 비해 과소평가 하는 것으로 나타남
- 결빙판정시간의 경우 MB가 -5.04 W/m^2 로 모델이 관측 값을 과소평가하는 경향을 보였으며, RMSE는 20.41 W/m^2 로 나타남
- 상관계수 r 은 전체사례일 0.87, 결빙판정시간 0.78로 전체사례일인 경우의 상관성이 약간 더 높게 나타나는 것을 확인하였음

전체 사례일(n=96)



결빙판정 구간(n=57)



< 전체 사례일과 결빙으로 판정된 시간의 관측값과 SOLWEIG에서 추정된 Kdown의 상관분석 >

○ 위성관측 자료를 활용한 노면온도 모의결과 검증

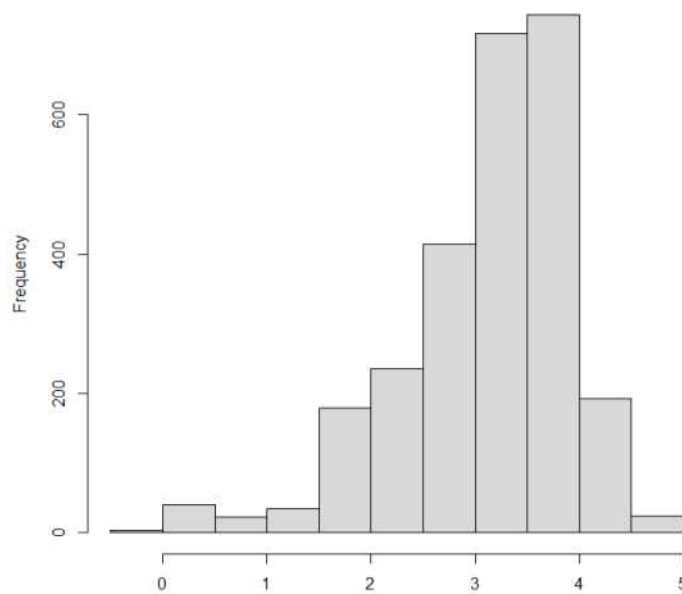
- 노면온도 예측모델에서 모의된 노면온도의 값을 검증하기 위하여 위성 관측자료 중 지표면온도(Land Surface Temperature, LST)를 산출하고, 노면온도 예측모델의 모의성능을 정량적으로 평가하기 위하여 평균편차(Mean Bias, MB), 평균절대오차(Mean Absolute Error, MAE), 평균제곱근오차(Root Mean Squared Error, RMSE)에 대해 분석을 수행함
- 위성영상은 미국 지질조사국(USGS, United States Geological Survey, <http://earthexplorer.usgs.gov/>)에서 제공하는 Landsat-8 (L8 OLI/TIRS C2 L2) 열적외 영상을 이용하였으며, 본 연구에서는 대기의 창 영역에 해당하는 $11\mu\text{m}$ (Band 10, 공간해상도: $30\text{m} \times 30\text{m}$)자료를 사용함
- 사례일 선정 기준은 2021년 겨울에 해당하는 2020년 12월부터 2021년 3월 기간 중 운량이 20% 미만인 날 중 2020년 12월 24일에 촬영된 영상으로 영상 촬영시각은 오전 11시쯤임
- 지표온도를 산출하기 위해 아래의 수식에 band 10번에 해당하는 선형회귀식 상수를 이용하여 복사에너지(Spectral radiance)를 계산하고, 계산된 복사에너지와 보정계수(K_1 , K_2)를 이용해 Landsat-8의 밝기온도를 계산한 후, 계산된 밝기온도에 토지피복별 방출률을 적용하여 30m 해상도의 지표면 온도를 산출함(USGS, 2015)

$$L_{\lambda} = A Q_{cal} + B$$

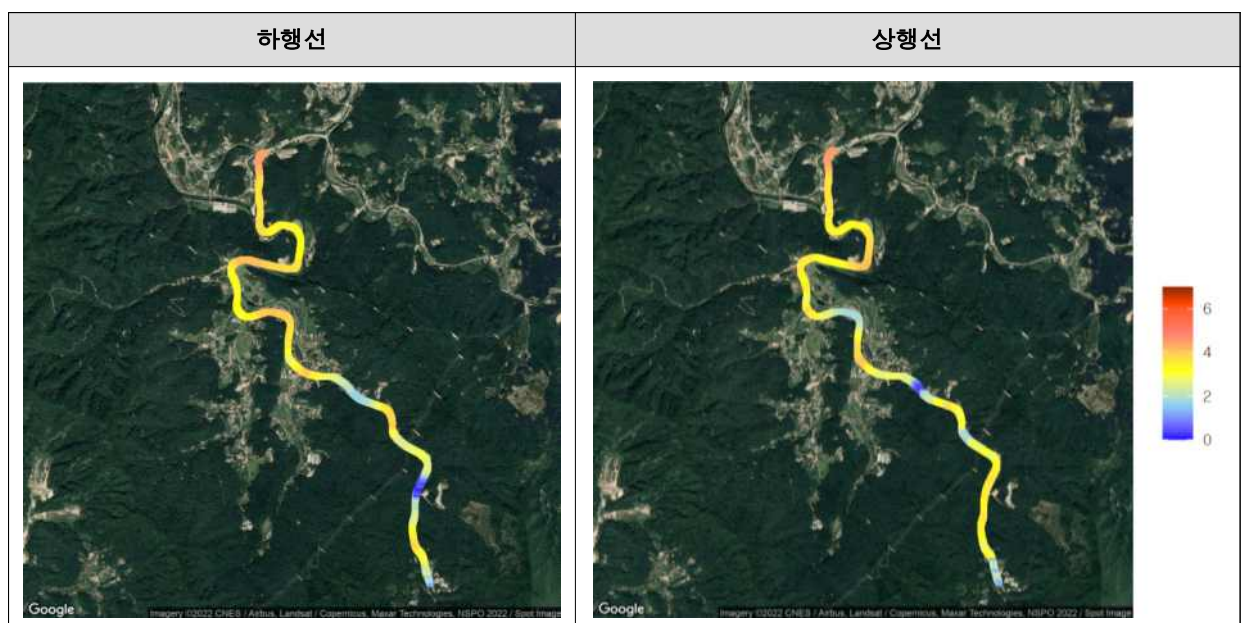
- L_{λ} : 복사에너지(Spectral radiance ($\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{sr} \cdot \mu\text{m}))$)
- A, B : 선형회귀식 상수

- 2020년 12월 24일 11시의 노면온도 예측정보에 대해 Landsat-8 위성의 지표면 온도를 사용하여 정확도 검증을 수행한 결과, MB와 MAE는 3.11°C , RMSE는 3.21°C 로 나타남

- 모델 산출 값인 노면온도와 관측 값인 지표면 온도의 차이는 2.5~4℃ 구간에 집중되어있고, 도로에서의 분포도 노면온도의 값이 높은 경향을 보이며, 상행선과 하행선의 구간별로는 비슷한 경향을 보임
- Landsat-8 위성자료로부터 산출된 지표면 온도는 도시의 공업 및 상업지역에서 높은 온도가 나타나는 반면, 높은 고도의 산악과 해양, 강 등에서 낮은 경향이 보이는 특징을 가지고 있으며(지준범 등, 2016), 지표면 온도와 NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) 사이에는 음의 상관관계가 나타나는 것으로 알려져 있음. 즉, 산림이나 하천이 분포하고, 식생이 많이 조성되고, 밀집될수록 지표면 온도가 낮게 추정된다는 것을 의미함(어성희 등, 2021)
- 포천 지방도 379호선의 경우, 주변이 산으로 둘러싸여있고, 계곡이 위치하고 있어 위성 지표면 온도가 낮게 추정되었을 것으로 보이며, 이에 예측된 노면온도가 상대적으로 높게 나타났을 것으로 보임
- 향후, 노면온도 예측값과 지표면 온도의 차이가 작은 구간과 높은 구간에 대해 노면온도에 미치는 다른 요소들과의 상관, 회귀분석 등의 추가적인 연구를 통해 온도 차이에 대한 원인을 규명하고, 이를 보정할 수 있는 기법을 개발할 예정임



< 평균편차(Mean Bias) 분포도 >



< 노면온도 예측정보와 위성 지표온도와의 차이 분포도>

○ 강우자료의 다각화 및 시나리오에 따른 민감도 분석

- 앞에서 언급한 바와 같이 도로 수막정보 예측모델에 입력되는 도로단위 강우정보는 1차년도에는 대상도로에서 가장 인접한 기상관측지점(AWS 또는 ASOS)의 강우정보를 사용하였고, 2차년도에는 향후 24시간 예측정보 생산을 위해 LDAPS의 강우정보를 사용하여 모델을 개선하였음
- 그러나, 점단위의 기상관측지점 정보와 모델의 예측 값은 현재의 기상상황을 반영하는데 한계가 있기 때문에 면단위의 RADAR 강우정보를 활용하여 도로단위에서 고해상도의 정량적 강우정보의 정확도를 향상시키기 위하여 강우자료의 다각화를 시도하였음
- 이에 point 형태의 지상관측소(ASOS, AWS) 자료와 공간분포 형태의 RADAR 자료의 공간적 통계기법을 사용한 합성강우장을 산출할 수 있는 방법을 검토하였음
 - 공간적 상관성을 지니고 있는 강우정보를 통계적 내삽을 통해 계산할 경우 강우의 공간적인 분포특성을 충분히 반영하기 어려움(Kim et al., 2014).
 - 선행연구의 경우, 지상강우만을 이용하여 강우정보를 생산할 때는 크리깅 기법(Cho와 Jeong, 2006)과 역거리 제곱법(Kim et al., 2010)을 사용하고, 레이더와 지상 강우를 합성할 경우에는 일반크리깅, 공동크리깅 등을 적용하여 고해상도 강우장을 추정 비교하였음(Jang et al., 2015)
 - 또한, 국지성 강우는 KRWFR의 예측성능이 우수하고, 전역성 강우는 IDW와 k-NN2가 우수한 결과를 보인 바 이를 통해 국지성강우와 전역성강우와 같이 강우형태에 따라 예측성능이 우수한 공간통계기법이 다름을 알 수 있음(김희준 등, 2020)
- 본 과제는 선행연구에서 사용된 다양한 공간통계기법들 중 다음의 공간통계기법을 적용하여 도로의 합성강우정보를 산출하였음
 - 공간보간법으로는 결정론적 모형인 역거리 가중치법(Inverse Distance Weighting Method, IDW)과 최근접 이웃분석(k-Nearest Neighbor, k-NN), 지구통계모형인 정규크리깅(Ordinary Kriging, OK)과 일반크리깅(Universal Kriging, UK)이 고려되었으며, 랜덤포레스트를 사용한 회귀크리깅(Kriging Regression with Random Forest, KRWRF) 등 총 6개의 공간통계기법을 적용하였음
 - 또한, 강우자료를 AWS의 지상관측강우정보만 사용하는 경우(IDW, k-NN1, OK)와 AWS와 Radar 자료를 모두 사용하는 경우(k-NN2, UK, KRWRF)로 조합하였으며, 기법별 RMSE를 계산하여 예측성능이 가장 좋은 기법을 최적 합성강우정보로 정의하였음

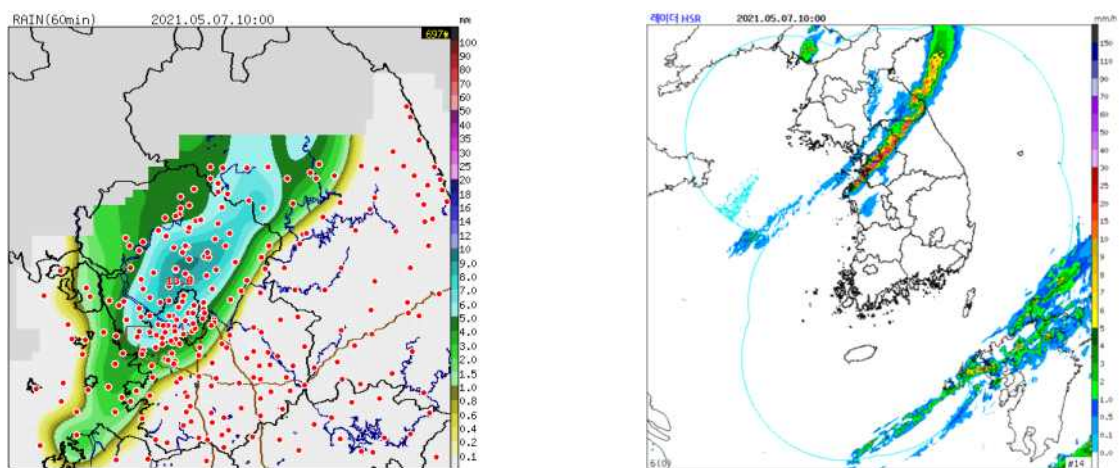
< 합성강우정보 산출을 위해 적용한 공간통계기법 >

모델명	공간통계	사용자료
IDW	역거리 가중치법 (Inverse Distance Weighting Method)	AWS
KNN1	최근접 이웃분석 (k-Nearest Neighbor)	AWS
KNN2		AWS+RADAR
UK1	정규크리깅(Ordinary Kriging)	AWS
UK2	일반크리깅(Universal Kriging)	AWS+RADAR
KRWRF	랜덤포레스트를 사용한 회귀크리깅 (Kriging Regression with Random Forest)	AWS+RADAR

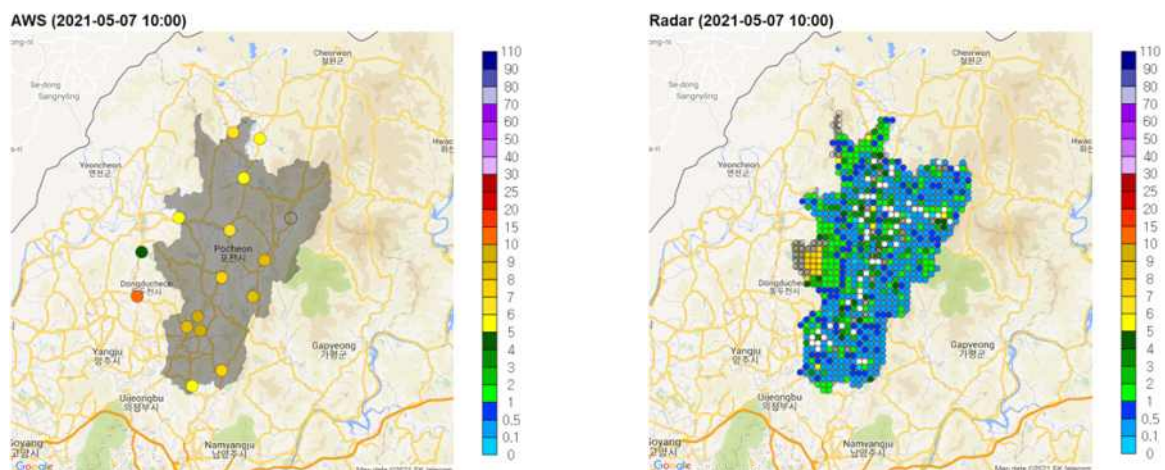
- 도로의 합성강우정보 산출 사례일은 2021년 5월 7일 10시로 기상청 방재기상정보시스템에서 Open-API로 자료를 수집하였음
- AWS는 포천 주변 16개 지점의 1시간 누적강우량을 사용하였으며, 레이더 자료는 전국 자료에서 포천지

역에 대해서 추출하였고, 공간해상도 1x1km의 총 786개 격자로 구성되어있음

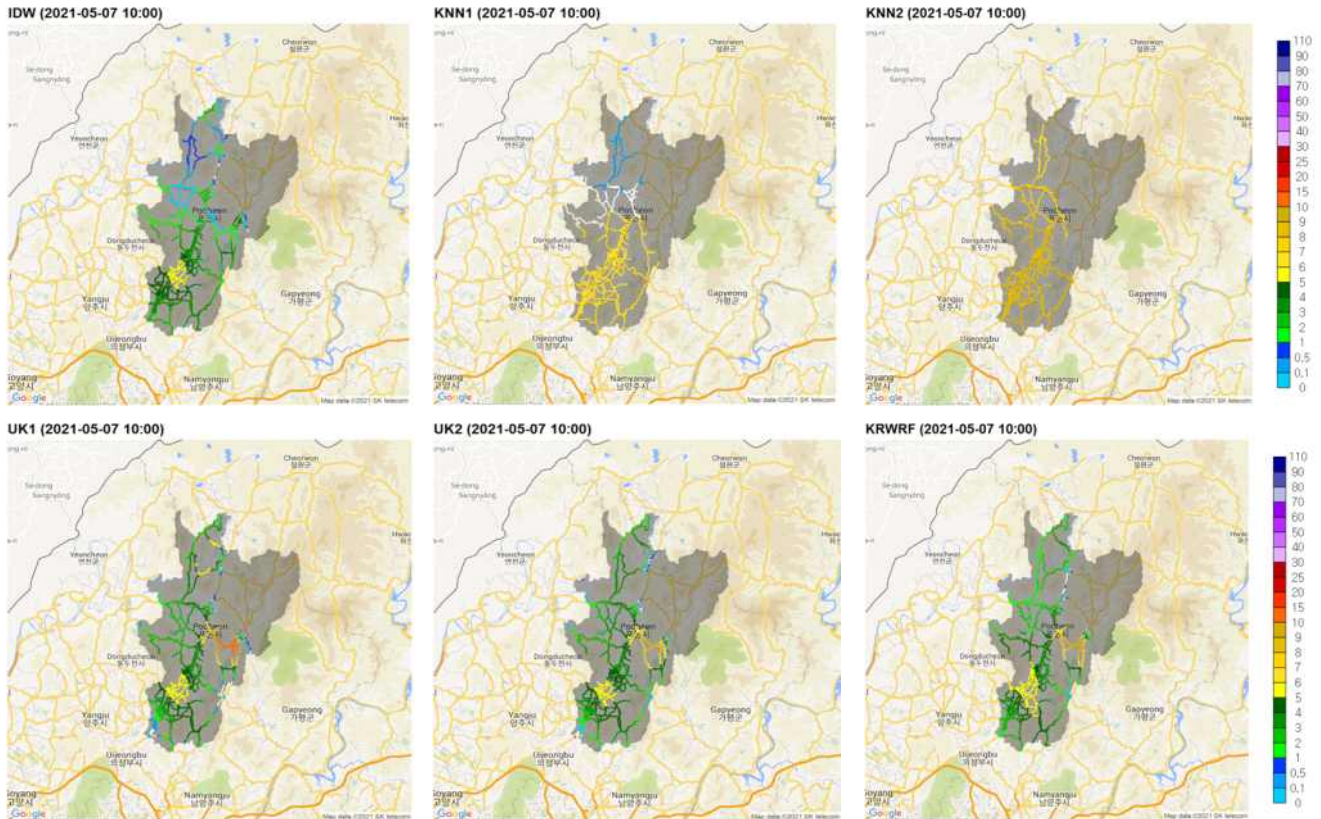
- 기상청에서 제공하는 면단위의 강우정보를 살펴보면, AWS 정보만 사용하는 경우, 포천은 6~10mm/h 정도의 강우분포를 보이는 지역에 포함되어있으나, 레이더는 5mm/h 이하의 강우분포를 보이고 있음
- 지점별 AWS 강우정보와 격자변환 후의 레이더 강우정보를 비교해보면, 강우량이 정확히 일치하지는 않지만 지역마다의 강우의 적고 많음의 패턴은 비슷한 양상으로 나타났고, 기상청의 자료와도 값이 일치하는 것을 볼 수 있음
- 이렇게 처리한 강우자료를 사용하여 포천지역에 대해 앞에서 언급하였던 6개의 통계기법을 적용하여 정량적 강우를 추정한 결과, 기법별로 도로단위 강우정보가 다르게 산출되는 것을 확인할 수 있으며, RMSE가 가장 작은 최적의 정량적 강우추정 기법은 KRWRF(랜덤포레스트를 사용한 회귀크리깅)로 나타남
- 또한, 통계기법을 사용하여 정량적 강우를 추정 시, 포천 동북쪽에 위치한 AWS의 결측으로 인해 강우정보가 생성되지 않는 것을 볼 수 있으며, 향후 이러한 문제점에 대한 개선이 필요할 것으로 보임



< 기상청에서 제공하는 AWS(좌)와 Radar(우) 강우분포도(2021년 5월 7일 10시) >



< 지점단위 AWS(좌) 및 격자단위 Radar(우) 강우정보 산출 결과(2021년 5월 7일 10시) >



< 공간통계기법으로 생산된 합성강우정보(2021년 5월 7일 10시) >

- 또한, 강우강도별 시나리오에 대한 민감도를 분석하기 위하여 동두천(98) 기상대의 최근 10년 간 강우강도별 발생빈도를 조사하여 1mm/h, 2mm/h, 3mm/h, 5mm/h, 10mm/h, 20mm/h, 30mm/h, 80mm/h 등 총 8개의 강우강도 시나리오를 작성하였음
 - 동두천 기상대의 경우, 최근 10년 간 5mm/h 이하의 강우강도 발생빈도는 4,541건으로 전체 사례의 86.8%를 차지하고 있어 5mm/h 이하의 구간을 세분화하고, 30mm/h 이상의 강우는 21건으로 나타나 강우강도 시나리오 작성 시 10~30mm/h 이하의 구간과 강우강도가 가장 강했던 사례(81mm/h)를 반영하여 80mm/h에 대한 시나리오를 추가하였음
 - 기상청의 호우주의보와 호우경보 기준은 60mm/3h와 90mm/3h로 시간당으로 환산할 경우, 각각 20mm/1h와 30mm/1h이므로 이에 대한 조건도 시나리오 안에 포함되어있음
- 강우강도가 1~3mm/h일 경우는 대부분 조심(Caution) 구간에 해당되며, 일부 지점에서 주의(Warning)와 위험(Danger)의 단계가 나타나고 있으며, 강우강도가 5mm/h가 되면서 위험지점 주변을 주의구간이 둘러싸고 있는 형태가 보이고, 상행선의 도로 마지막 구간에서 주의구간이 넓어지는 것을 확인할 수 있음
- 강우강도가 강해짐에 따라 위험구간과 주의구간이 넓게 퍼지는 것을 확인할 수 있으며, 동두천 기상대에서 최근 10년 가장 강우강도가 높았던 80mm/h 시나리오의 경우, 도로의 대부분이 주의구간 이상으로 나타남

< 동두천(98) 지점의 최근 10년간 강우강도별 발생빈도 >

구분	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	합계
0 < RI =< 1	331	270	323	262	248	222	267	276	268	340	2,807
1 < RI =< 2	110	95	82	71	84	83	58	102	76	86	847
2 < RI =< 3	38	58	57	21	38	42	28	58	41	48	429
3 < RI =< 4	31	28	37	22	28	21	23	27	28	35	280
4 < RI =< 5	23	26	14	11	17	20	18	17	11	21	178
5 < RI =< 10	66	57	40	26	33	42	35	43	33	60	435
10 < RI =< 20	35	23	21	9	12	9	17	19	9	27	181
20 < RI =< 30	14	2	5	2	2	6	4	2	7	8	52
30 < RI =< 40	1	-	3	-	2	1	-	6	-	2	15
40 < RI =< 50	1	-	-	-	-	-	-	1	-	-	2
50 < RI =< 60	1	-	-	-	-	-	-	1	-	-	2
60 < RI =< 70	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
70 < RI =< 80	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1
80 < RI =< 90	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1
합계	653	559	582	424	464	446	450	552	473	627	5,230

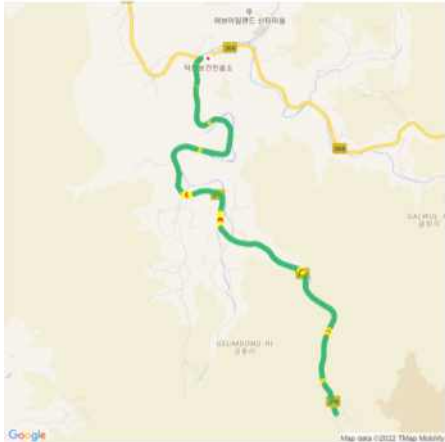
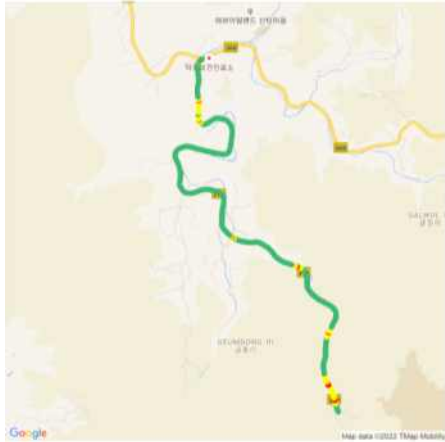
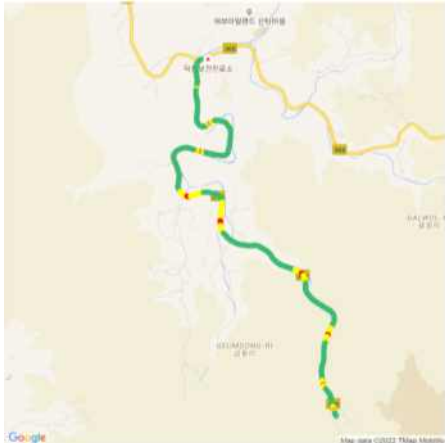
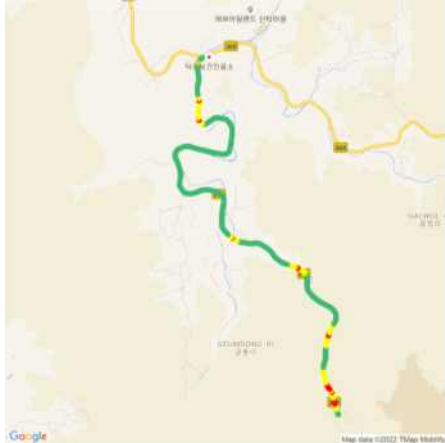
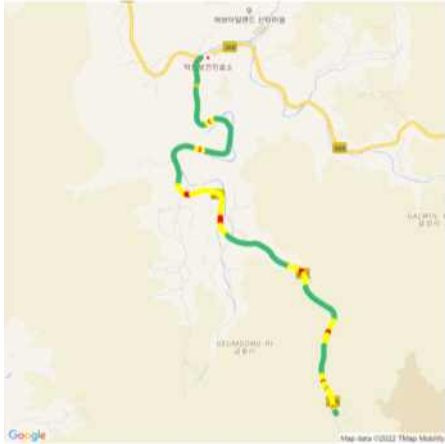
- 포천 지방도 379호선에 가장 가까운 AWS 지점인 포천(504)의 최근 10년간 강우강도별 발생빈도도 확인하여, 해당 도로에 대한 민감도 실험 설정이 타당한지 한 번 더 검토하였음
- 동두천 기상대와 비교해보았을 때, 구간별 강우강도의 발생빈도 경향은 비슷하였으나, 40~60mm/h 구간의 강우강도 발생빈도가 높았음
- 그러나 강우강도 시나리오에서 검토한 80mm/h 이상의 사례를 발생하지 않아 민감도 실험이 적절하게 설정되었다고 판단됨

< 포천(504) 지점의 최근 10년간 강우강도별 발생빈도 >

구분	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	합계
0 < RI =< 1	324	301	303	180	256	202	177	252	217	262	2,474
1 < RI =< 2	91	98	109	54	73	73	67	92	76	89	822
2 < RI =< 3	56	58	40	30	36	52	32	39	31	40	414
3 < RI =< 4	31	30	24	8	22	22	24	42	20	40	263
4 < RI =< 5	18	20	21	9	13	21	12	18	11	24	167
5 < RI =< 10	64	43	33	18	7	30	36	39	32	55	357
10 < RI =< 20	29	14	19	10	13	11	17	22	12	26	173
20 < RI =< 30	5	0	9	1	1	1	5	7	1	1	31
30 < RI =< 40	2	0	2	0	0	3	2	0	0	1	10
40 < RI =< 50	2	0	1	1	1	1	0	1	0	1	8
50 < RI =< 60	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	3
합계	623	564	561	311	422	416	373	513	400	539	4,722

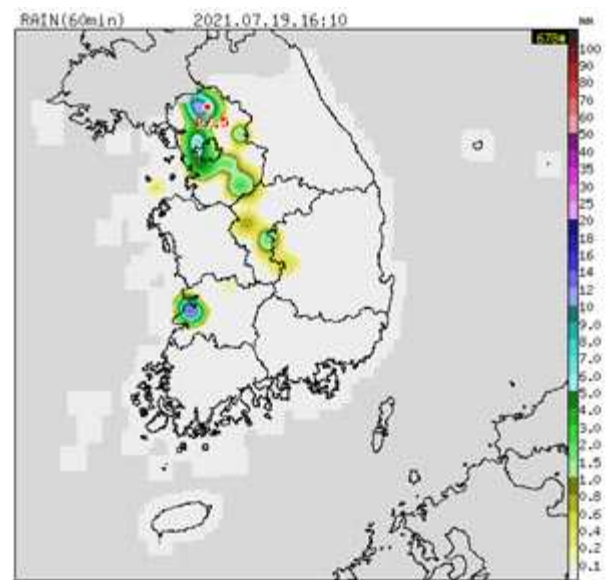
구분	하행선	상행선
강우강도 1mm/h		
강우강도 2mm/h		
강우강도 3mm/h		
강우강도 5mm/h		

< 포천 지방도 379호선에 대한 5mm/h 이하 강우강도별 시나리오 결과>

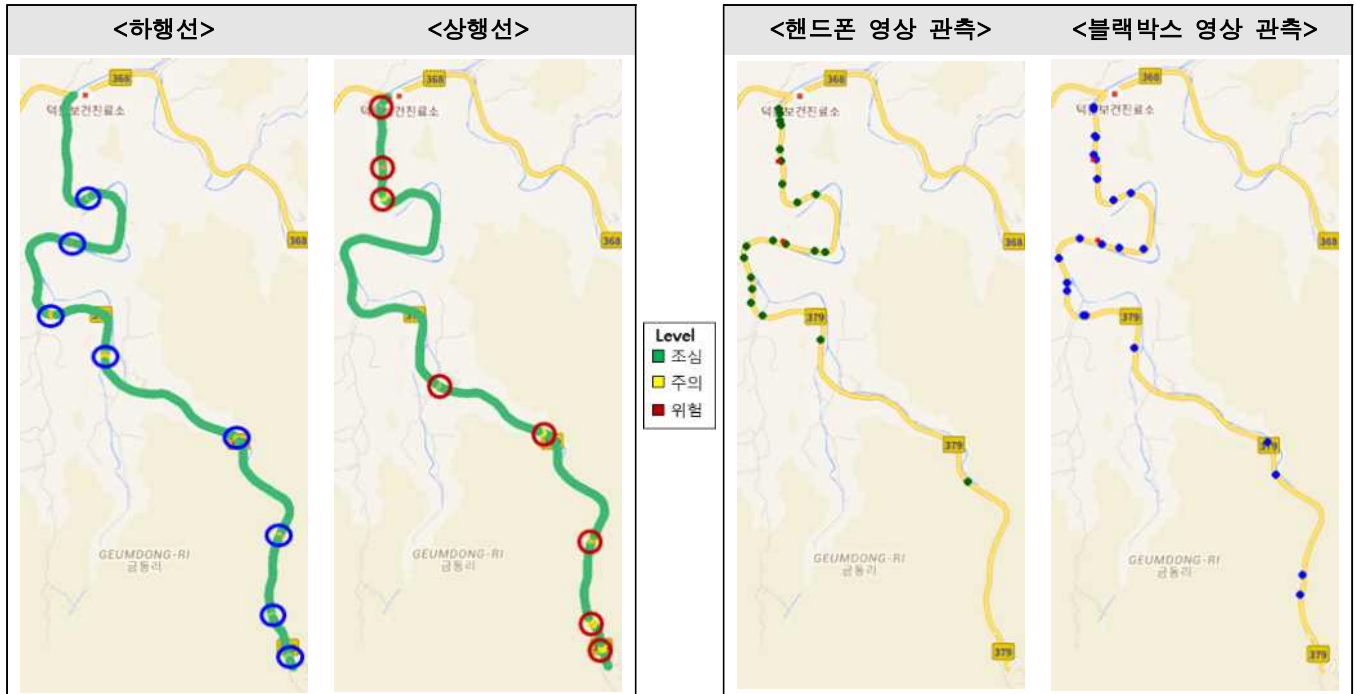
구분	하행선	상행선
강우강도 10mm/h		
강우강도 20mm/h		
강우강도 30mm/h		
강우강도 80mm/h		

< 포천 지방도 379호선에 대한 10mm/h 이상 강우강도별 시나리오 결과 >

- 수막발생 예측모델의 검증은 노면에 수막발생 유무 판별을 기준으로 하였으며, 강우 직후 포천 지방도 379호선을 핸드폰과 차량의 블랙박스로 촬영한 동영상 자료와 시나리오별 민감도 분석을 통해 수막발생이 예상되는 지점을 선정한 후 촬영한 사진관측 자료를 활용하여 2개의 방법으로 검증을 수행하였음
- 강우 직후 포천 지방도 379호선을 촬영한 사례일은 2021년 7월 19일로 하봉암(454) 지점 기준 15시 46~52분까지 약 2mm 정도의 강우가 발생하였고, 촬영시간은 당일 16시 25분부터 45분까지임
- 해당일의 동영상 자료를 사용하여 수막발생 유무 판별을 검증한 이유는 강우가 약 5분 정도 짧게 발생하였고, 강우량도 적기 때문에 이러한 조건에서도 수막발생이 관측된다면 그 이상의 강한 강우강도 하에서는 반드시 수막이 발생할 것이기 때문에 비교자료로 타당하다고 판단하였음
- 동영상 자료의 수막발생 지점 위치정보(위·경도)는 구글 스트리트뷰를 이용하였으며, 상행선과 하행선을 모두 포함하여 핸드폰 영상 기준 34개, 블랙박스 영상 기준 35개의 수막발생 지점을 수집하였음(상세 결과 별첨2 참고)
- 이에 강우강도 2mm/h일 때의 시나리오를 바탕으로 수막발생위험도 주의이상의 구간과 영상에서의 발생 유무를 비교한 결과, 수막발생 관측지점과 예측지점이 거의 일치하고 있는 것을 볼 수 있음
- 그러나, 관측영상의 해상도 및 노면에 발생한 수막의 두께를 정확히 알 수 없는 점과 더불어 영상분석 시 분석자의 주관이 반영되기 때문에 관측지점이 예측지점보다 더 많이 수집된 것을 상세 분석을 통해 확인하였음



< 2021년 7월 19일 하봉암(454) 지점 강우관측 현황(좌) 및 16시 10분의 1시간 누적강우량 분포도(우) >



< 2021년 7월 19일 강우강도 2mm/h 시나리오(좌)와 동영상 자료 기반 수막발생 관측지점(우) >

- 또한, 2021년 여름철 중 강우가 연속적으로 발생한 기간을 사례일로 선정하여 강우 및 수막발생 예측정보를 산출하고, 이를 사진관측 자료와 비교하여 범주형 예보자료의 검증방법인 분할표(Contingency Table)를 사용하여 검증하였음
- 사례일은 2021년 8월 20~24일(5일)이며, 수막발생 관측자료는 초소형 카메라(고프로 HERO8 블랙 모델 활용)로 노면을 촬영하는 방법으로 수행하였으며 타임랩스 기능과 야간촬영 등을 고려하여 고프로 HERO8 블랙 모델을 활용하였음
- 분할표는 범주형 예보에 대한 관측 값과 예측 값을 나타낸 표를 통해 예측성능을 평가할 수 있는 정확도(Accuracy), 임계성공지수(Critical Success Index, CSI), 탐지확률(Probability Of Detection, POD), 오보율(False Alarm Ratio, FAR), 성공률(Success Ratio, SR) 등 검증지수를 산출할 수 있음
- Accuracy는 맞힘(H)과 미발생 맞힘(C)을 구분하지 않고, CSI는 미발생 맞힘(C) 범주를 제외하고 정의된 지수로 Accuracy가 현상 발생에 대한 예보정확도를 확인하기 어렵다는 점과 CSI의 예보하는 현상에 더 초점이 맞추어져 있다는 점에서 두 지수는 함께 상호보완적인 활용이 필요함
- 또한, POD는 관측 이벤트만을 사용하고, FAR과 SR은 예측 이벤트만을 사용하기 때문에 각각 미예보(M)와 미발생(F) 이벤트에 민감하며, POD는 1, FAR는 0에 가까울수록 이상적이지만 높은 POD와 함께 FAR도 높게 나타날 수 있기 때문에 POD와 FAR는 함께 해석하여야 함
- Accuracy, CSI, POD, SR은 1, FAR는 0에 가까울수록 우수한 예측성능을 의미함

< 범주별 빈도를 나타내는 분할표(Contingency Table) 및 지수별 계산식 >

구분		관측 이벤트		
		Yes	No	합계
예측 이벤트	Yes	H (Hits)	F (False Alarms)	H+F
	No	M (Misses)	C (Correct Negatives)	M+C
	합계	H+M	F+C	H+M+F+C

$$Accuracy = \frac{H+C}{(H+F+M+C)}$$

$$CSI = \frac{H}{(H+F+M)}$$

$$POD = \frac{H}{(H+M)}$$

$$FAR = \frac{F}{(F+H)}$$

$$SR = 1 - FAR$$

- 우선, 사례일인 2021년 8월 20~24일(5일) 기간 동안 발생한 강우관측 정보는 수막 관측지점에 강우정보가 포함되지 않아 도로기상 관측지점 station2의 자료를 사용하였으며, 해당 기간의 LDAPS 시간당 누적강우량 예측정보인 NCPCP 자료를 사용하여 수막관측지점인 station1과 station2에 해당하는 예측정보를 추출하여 수막발생 예측모델의 입력강우장에 대한 검증을 수행하였음
- 수막발생 예측모델의 경우, LDAPS 모델의 예측장에 강우정보가 있어야만 모델이 수행되어 수막두께를 산정할 수 있기 때문에 강우량보다는 강우정보의 유무에 초점을 맞추어 정확도 검증을 시도함
- 전체 사례는 당일 0h부터 +24h에 대한 예측으로 총합이 125개이며, station 1과 2의 정확도 지수는 거의 비슷하였고, Accuracy는 각각 0.66, 0.67로 높은 편이었으나 CSI, POD, FAR, SR 등이 낮게 나타남
- 이는 강우가 발생할 것이라고 예측하였으나 발생하지 않은 미발생 이벤트의 수가 높기 때문으로 보임



< 강우 및 수막관측 자료수집 지점 위치 >

< 강우정보 유무에 대한 분할표(Contingency Table) >

구분		station1			station2		
		관측 이벤트			관측 이벤트		
		Yes	No	Total	Yes	No	합계
예측 이벤트	Yes	17	22	39	16	22	38
	No	19	68	87	38	50	88
	합계	38	87	125	35	90	125

< 강우정보 유무에 대한 검증지수 결과 >

구분	Accuracy	CSI	POD	FAR	SR
station1	0.66	0.28	0.45	0.56	0.44
station2	0.67	0.28	0.46	0.58	0.42

- 또한, 같은 사례일인에 대해 수막 관측지점인 station1과 2에서의 사진관측 자료와 해당 지점에 대한 수막발생 예측모델의 예측결과를 추출하여 강우정보와 마찬가지로 분할표를 사용하여 수막발생 유무에 대한 검증을 수행함
- 전체 사례는 강우정보와 마찬가지로 총 합이 125개이지만 station2의 경우, 밤 시간대의 관측사진의 판별이 용이하지 않아 +4h~+19h에 해당하는 80개의 사례로 분할표를 계산하였음
- station 1과 2의 범주형 예보정확도 지수는 강우정보와 마찬가지로 거의 비슷하게 나타났으나, 미발생 이벤트수가 강우정보와 비교했을 때 거의 발생하지 않아 FAR과 SR이 각각 0과 1에 가깝게 나타나 예측 성능이 높게 나타난 것을 알 수 있음

< 수막발생 유무에 대한 분할표(Contingency Table) >

구분		station1			station2		
		관측 이벤트			관측 이벤트		
		Yes	No	Total	Yes	No	합계
예측 이벤트	Yes	35	2	37	19	4	23
	No	38	50	88	22	35	57
	합계	73	52	125	41	39	80

< 수막발생 유무에 대한 검증지수 결과 >

구분	Accuracy	CSI	POD	FAR	SR
station1	0.68	0.47	0.48	0.05	0.95
station2	0.68	0.42	0.46	0.17	0.83

- 강우정보 및 수막발생 유무에 대한 검증 결과, Accuracy나 POD의 값이 비슷하게 나타났으며, 이를 통해 수막두께예측모델의 입력 자료인 강우정보의 정확도가 예측 값에 미치는 영향이 큰 것을 알 수 있음
- 따라서 수막발생 유무에 대한 정확도 향상을 위해 강우자료의 다각화를 통해 강우정보의 정확도를 높일 수 있도록 추가적인 연구를 수행할 예정임

◆ 노면온도에측모델 연계체계 개선과 실시간 운영체계 구축

○ 실시간 입력-모의-출력 연계체계 모듈 구축

- 노면온도 및 수막발생 예측모델에 대한 실시간 입력-모의-출력 연계 모듈을 개발 및 구축하였음
- 실시간 입력-모의-출력 연계는 기상자료와 지리공간자료를 수집하여 모델의 입력자료 형태로 재생산한 후 지형을 고려한 복사플렉스와 열수지 물리변수를 고려한 노면온도, 기하구조를 반영한 수막 정보 생산 모델을 구동하여 상세 복사플렉스, 노면온도, 수막 예측정보를 산출할 수 있는 체계를 구축하였음
- 기상예측 자료는 공간해상도를 고려하여 기상청의 동네예보 자료와 국지예보모델인 LDAPS의 사용을 검토하였으나, 동네예보의 경우, 일사량에 대한 자료를 제공하지 않아 실시간 운영체계 구축 시 최종적으로 LDAPS 자료를 사용하였음
- 국지적 기상현상과 지형효과를 반영하는 현장적용형 노면온도에측모델이 실행가능한 체계를 구축하기 위하여 R기반 실시간 자료 전처리 및 기상 후처리모델 산출체계 자동화를 위해 자료의 후처리모듈을 작성하고 산출요소들에 대해 목록화함
- 특히, 실시간 자료 전처리와 관련하여 입력자료의 좌표체계 통일을 위한 좌표변환 모듈, 기상요소를 도로단위 기상정보로 산출하기 위한 LDAPS 및 태양복사모델의 격자기반 산출 기상요소에 대한 도로단위 변환 모듈 등을 개발하고, 모델 수행시간을 줄이기 위한 최적화 모듈을 적용하였음



< 실시간 입력-모의-출력 연계체계 >

○ 노면온도 및 노면결빙예보 시스템 연계체계 구축

- 도로분해능 해상도의 태양복사-노면온도-수막두께정보를 연계한 도로결빙 시공간 예보를 위한 노면온도와 노면결빙 예보 알고리즘 간의 자동 연계모듈 구축
- 입력 및 산출 자료를 사용하여 도로의 위치정보(위도, 경도), LDAPS의 기온, 강수량, 강설량, 풍속, 이슬점온도, 노면온도 및 수막 예측정보 등 노면결빙 알고리즘 입력자료 생산 모듈을 개발하였음
- 태양복사모델, 노면온도 예측모델, 수막발생 예측모델 등의 연계를 통해 산출되는 기상요소들이 도로결빙 판단 알고리즘에 적용될 수 있는 형태로 작성하였으며, 알고리즘에서 계산 시 필요한 기상정보 및 노면온도 정보 등을 본 연구기관 서버에서 외부로 송출이 가능하도록 함

AID	road_name	direction	long	lat	ldps.TMP	ldps.NCPCP	ldps.WS	ldps.RH	sol.Shadow	sol.Tmrt	road.temp	hydro.risk	p_hour	datetime
1	pocheon_379	L	127.1240503	37.96104806	-5.194	0	1.911997249	73.2555	0	-14.31725025	-1.793872941	Dry	3	20220120 18:00
2	pocheon_379	L	127.1240227	37.96102213	-5.194	0	1.911997249	73.2555	0	-14.36437511	-1.793682965	Dry	3	20220120 18:00
3	pocheon_379	L	127.1239969	37.9610018	-5.194	0	1.911997249	73.2555	0	-14.312994	-1.793872946	Dry	3	20220120 18:00
4	pocheon_379	L	127.1239696	37.96097988	-5.194	0	1.911997249	73.2555	0	-14.38455296	-1.793587141	Dry	3	20220120 18:00
5	pocheon_379	L	127.1239337	37.96095438	-5.194	0	1.911997249	73.2555	0	-14.41056442	-1.79349218	Dry	3	20220120 18:00
6	pocheon_379	L	127.1238993	37.96092767	-5.194	0	1.911997249	73.2555	0	-14.35891628	-1.793682973	Dry	3	20220120 18:00
7	pocheon_379	L	127.1238685	37.96090495	-5.194	0	1.911997249	73.2555	0	-14.30755329	-1.7938721	Dry	3	20220120 18:00
8	pocheon_379	L	127.1238447	37.96088941	-5.194	0	1.911997249	73.2555	0	-14.30755329	-1.7938721	Dry	3	20220120 18:00
9	pocheon_379	L	127.1238174	37.96087108	-5.194	0	1.911997249	73.2555	0	-14.42083168	-1.793454437	Dry	3	20220120 18:00
10	pocheon_379	L	127.1237906	37.96085354	-5.194	0	1.911997249	73.2555	0	-14.34285259	-1.793738499	Dry	3	20220120 18:00
11	pocheon_379	L	127.1237553	37.96083082	-5.194	0	1.911997249	73.2555	0	-14.39466381	-1.793549398	Dry	3	20220120 18:00
12	pocheon_379	L	127.1237214	37.96080571	-5.194	0	1.911997249	73.2555	0	-14.39450836	-1.793550252	Dry	3	20220120 18:00
13	pocheon_379	L	127.1236941	37.96078021	-5.194	0	1.911997249	73.2555	0	-14.39450836	-1.793550252	Dry	3	20220120 18:00
14	pocheon_379	L	127.1236643	37.96075071	-5.194	0	1.911997249	73.2555	0	-14.42271709	-1.793455289	Dry	3	20220120 18:00
15	pocheon_379	L	127.1236344	37.9607256	-5.194	0	1.911997249	73.2555	0	-14.44902992	-1.793359482	Dry	3	20220120 18:00

< 예측시간 단위별 실시간 자료 산출 결과(2021년 1월 20일 15시, +3h 예측) >

AID	road_name	direction	long	lat	ldps.TMP	ldps.NCPCP	ldps.WS	ldps.RH	sol.Shadow	sol.Tmrt	road.temp	hydro.risk	p_hour	datetime
1	pocheon_379	R	127.141008	37.92621727	0.004	0	0.930725204	37.5552	1	19.0855999	5.611246204	Dry	24	20220121 15:00
2	pocheon_379	R	127.1409987	37.92622877	0.004	0	0.930725204	37.5552	1	19.0855999	5.611246204	Dry	24	20220121 15:00
3	pocheon_379	R	127.1409881	37.92624133	0.004	0	0.930725204	37.5552	1	19.0855999	5.611246204	Dry	24	20220121 15:00
4	pocheon_379	R	127.1409815	37.92625074	0.004	0	0.930725204	37.5552	1	18.9019413	5.611246564	Dry	24	20220121 15:00
5	pocheon_379	R	127.1409715	37.92626225	0.004	0	0.930725204	37.5552	1	18.9019413	5.611246564	Dry	24	20220121 15:00
6	pocheon_379	R	127.1409629	37.92627846	0.004	0	0.930725204	37.5552	1	18.9019413	5.611246564	Dry	24	20220121 15:00
7	pocheon_379	R	127.1409596	37.92629415	0.004	0	0.930725204	37.5552	1	18.90208435	5.611246564	Dry	24	20220121 15:00
8	pocheon_379	R	127.1409576	37.92631141	0.004	0	0.930725204	37.5552	1	18.88611412	5.612269612	Dry	24	20220121 15:00
9	pocheon_379	R	127.1409517	37.92633076	0.004	0	0.930725204	37.5552	1	18.88611412	5.612269612	Dry	24	20220121 15:00
10	pocheon_379	R	127.1409444	37.92634907	0.004	0	0.930725204	37.5552	1	18.91941071	5.61886206	Dry	24	20220121 15:00
11	pocheon_379	R	127.140937	37.92636716	0.004	0	0.930725204	37.5552	1	18.91941071	5.61886206	Dry	24	20220121 15:00
12	pocheon_379	R	127.1409311	37.92638411	0.004	0	0.930725204	37.5552	1	18.91941071	5.61886206	Dry	24	20220121 15:00
13	pocheon_379	R	127.140921	37.92640016	0.004	0	0.930725204	37.5552	1	18.89398766	5.611606304	Dry	24	20220121 15:00
14	pocheon_379	R	127.1409086	37.92641602	0.004	0	0.930725204	37.5552	1	18.89398766	5.611606304	Dry	24	20220121 15:00
15	pocheon_379	R	127.1408986	37.92643014	0.004	0	0.930725204	37.5552	1	18.73280334	5.621288673	Dry	24	20220121 15:00

< 예측시간 단위별 실시간 자료 산출 결과(2021년 1월 20일 15시, +24h 예측) >

3) 잠재적 도로결빙 조건을 고려한 도로결빙 시공간 예보시스템

❖ 도로 노면결빙 영향인자 분석 및 예측 알고리즘 개발

○ 도로 노면결빙 기상·지형·기하구조 조건별 영향인자 검토

- 기존 문헌 연구에 따르면, 기상조건과 지형조건을 활용하여 노면온도 예측이 가능함
- 노면결빙이 발생하는 기상조건으로는 대기온도, 습도, 강수/강설량, 안개 발생 등에 의해 노면에 직접적인 영향을 주는 인자들이며, 지형조건으로는 위·경도, 고도, 바람이 강한 장소, 교량 유무, 음영 구간 등 노면결빙에 간접적인 영향을 주는 인자로 구성되어 있음
- 기하구조 조건으로는 종단경사, 도로 폭, 합성 경사 등에 의해 간접적 영향을 주는 인자로 구성
- 일반적으로 결빙은 노면온도가 0℃ 이하이면서 이슬점온도보다 낮은 경우에 발생할 가능성이 있으며, 이슬점온도는 온도, 습도와 상관계수로 계산할 수 있음
- 노면결빙의 판단기준은 습윤조건, 결빙조건 등을 구분하여 적용할 수 있음
- Shao and Lister(1996)의 연구에서는 노면온도와 노면상태를 자동으로 수집(표면온도, 대기온도, 이슬점, 풍속)하여 도로결빙 예측을 진행함
- 도로결빙 예측을 통하여 제빙 시 소금을 사용하였는데, 소금의 흡음성 때문에 소금이 없는 도로보다 도로상 소금이 남은 경우, 오랜 시간 노면이 습한 상태를 유지함을 확인하였음

< 노면결빙 조건별 영향인자 >

조건	영향인자
기상	대기온도, 습도, 강수/강설량, 안개 유무
지형	위도/경도, 고도, 바람이 강한 장소, 교량 유무, 음영 구간
기하구조	종단경사, 도로 폭, 합성경사

< 노면결빙 판단기준 >

구분	노면온도 [T ℃]	습도 [h %]	이슬점차 [d ℃]	대기온도 [T ℃]	바람 [W m/s]
습윤	-	$h \geq 70$	$d < 3$	-	-
결빙	$T < 1$	$h \geq 70$	$d < 3$	$T < 0$	$w < 2$

○ 영향인자별 노면결빙 판단기준 정립에 대한 선행 연구

- 스마트 도로시설물 연구(국토교통부, 2015)
- ‘기상재해 예방을 위한 스마트 도로시설물 연구’에서는 노면결빙을 판단하기 위한 센서 개발을 진행하였으며, 노면결빙 알고리즘을 다음 표와 같이 나타냈음
- 해당 연구는 한국 기후를 대상으로 한 연구로 습윤 상태에 대한 결과값과 노면온도 값을 중점적으로 참고하였음

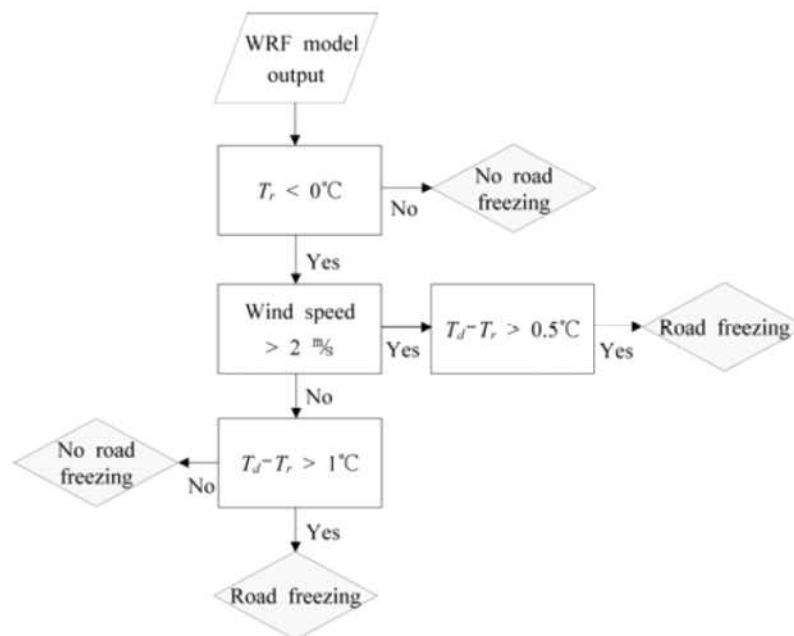
< 스마트 도로시설물 연구(2015)의 노면상태 판정 조건 >

상태 판정 결과	판정 조건 경계값		
노면 습윤 상태	대기 습도 > 70%	표면온도-이슬점 < 3℃	모이스처 = 1
1차 결빙 예측	-0.5℃ ≤ 표면온도 ≤ 1℃	기울기 < 0.2℃/min	노면 습윤 상태
	표면온도 < -0.5℃	노면 습윤 상태	
2차 결빙 예측	표면 온도 < -15℃		

- 도로 기상정보시스템을 이용한 결빙 예보(Karlsson, 2001)
- Karlsson (2001)은 노면의 결빙 가능성을 예측하기 위해 두 가지 조건을 제안하였음
- 노면온도 T_r 이 0℃ 이하일 때 이슬점온도 T_d 와 노면온도 T_r 의 차가 0.5℃보다 크고, 풍속이 2m/s보다 클 때 노면에 결빙이 발생함
- 풍속이 2m/s보다 작을 때 노면온도 T_r 가 0℃ 이하이고 이슬점온도 T_d 와 노면온도 T_r 의 차이가 1℃보다 크면 노면에 결빙이 발생함
- 이러한 결과 값을 참조하여 노면온도와 이슬점과 노면온도의 차이, 풍속으로 인한 결빙에 대한 조건을 노면결빙 예측 알고리즘에 반영함

< Karlsson (2001)의 노면결빙 여부 조건 >

구분	노면온도	이슬점온도-노면온도 차	풍속
조건 1	< 0℃	> 0.5℃	> 2m/s
조건 2	< 0℃	> 1℃	< 2m/s



T_r : Road surface temperature, T_d : Dew point temperature

< Karlsson 노면결빙 알고리즘 흐름도 >

- 광학섬유 센서를 활용한 도로 측정 및 도로결빙 예측(Imacho, 2002)
 - Imacho (2002)의 노면결빙 알고리즘은 노면상태가 젖었는지 말랐는지의 여부와 노면온도에 따라 결정되며, 노면의 습윤도와 노면온도에 따라 “결빙”, “결빙 가능성 있음”, “결빙 없음”의 3가지 상태로 구분할 수 있음
 - 노면온도가 -1°C 미만이고 노면이 젖어있으면 “결빙”, 노면온도가 -1°C 미만이고 노면이 말라 있거나, 노면온도가 -1°C 와 1°C 사이에 있고 노면이 젖어있으면 “결빙 가능성”, 노면온도가 -1°C 와 1°C 사이에 있고 노면이 말라 있거나, 노면온도가 1°C 초과했을 때는 결빙이 발생하지 않음
 - 해당 연구에서는 습윤 상태의 결빙 여부에 대한 결과값을 참조하여 노면결빙 예측 알고리즘에 반영함

< Imacho (2002)의 노면결빙 여부 조건 >

구분	노면온도	노면상태	결빙 여부
조건 1	$< -1^{\circ}\text{C}$	Wet Dry	Freezing Freezing highly probable
조건 2	$-1 \sim 1^{\circ}\text{C}$	Wet Dry	Freezing highly probable No freezing
조건 3	$> 1^{\circ}\text{C}$	Wet/Dry	No freezing

- 기존 문헌을 대상으로 노면결빙 예측 알고리즘에 반영한 영향인자별 노면결빙 및 습윤 또는 결빙 상태에 대한 판단기준은 다음과 같음

< 영향인자별 노면결빙 판단기준 >

구분	조건	습도	노면온도	이슬점-노면온도 차	풍속	노면상태
스마트 도로시설물	습윤	$>70\%$	-	$< 3^{\circ}\text{C}$	-	-
	결빙	-	$-0.5^{\circ}\text{C} \sim 1^{\circ}\text{C}$	-	-	습윤
			$< -0.5^{\circ}\text{C}$	-	-	습윤
Karlsson	조건1	-	$< 0^{\circ}\text{C}$	$> 0.5^{\circ}\text{C}$	$> 2\text{m/s}$	-
	조건2	-	$< 0^{\circ}\text{C}$	$> 1^{\circ}\text{C}$	$< 2\text{m/s}$	-
Imacho	조건1	-	$< -1^{\circ}\text{C}$	-	-	습윤
	조건2	-	$-1 \sim 1^{\circ}\text{C}$	-	-	습윤

< 습윤 상태 판단기준 >

판정 1	습윤 판단기준
습도	70 % 이상
대기온도	5°C 이하
이슬점온도	$T_d \leq 0^{\circ}\text{C}$
노면-이슬점온도 차	3°C 이하

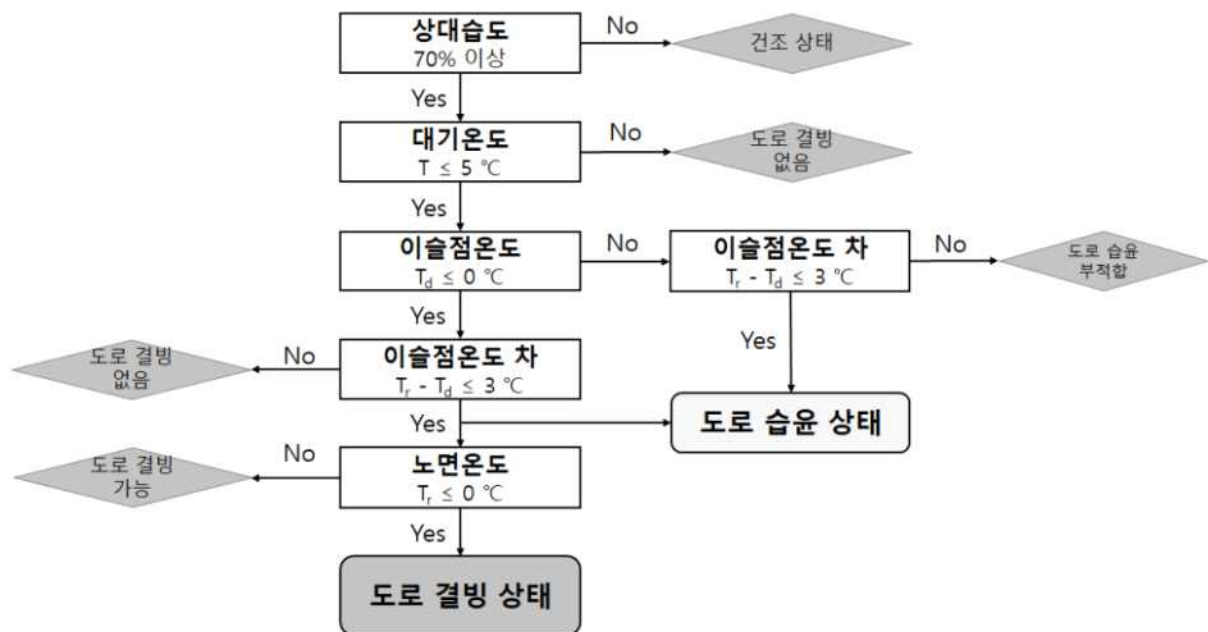
< 결빙 상태 판단기준 >

판정 2	결빙 판단기준
대기온도	$T \leq 5^{\circ}\text{C}$
노면온도	$T_r \leq 0^{\circ}\text{C}$
노면-이슬점온도 차	3°C 이하
노면상태	도로 결빙 습윤 상태

○ 노면결빙 예측 알고리즘 개발 및 영향 인자별 적용모델 연계방안 도출

– 노면결빙 예측 알고리즘 개발

- 앞서 검토한 영향 인자별 판단기준을 중심으로 노면결빙 예측 알고리즘을 개발하였음
- 도로에서 결빙이 발생하는 경우 중 습윤 상태의 노면은 포화된 공기가 냉각되면서 노면에 수분이 발생되는 것을 의미하며, 노면에서 결빙이 일어나기 위해 수분은 필수 조건이므로 도로의 결빙 상태 판정은 노면상태가 습윤한 지에 대해 우선적으로 판정되어야 함
- 노면상태가 습윤한 경우는 상대습도가 70% 이상, 대기온도가 5℃ 이하, 노면온도와 이슬점온도의 차가 3℃ 이하인 조건을 만족할 때 주로 나타나며, 노면온도와 이슬점온도 차이가 3℃ 이상에서는 노면상태를 건조한 것으로 판단할 수 있음
- 기상조건을 통하여 노면이 습윤 상태로 판정되고, 노면온도가 0℃ 이하로 떨어지면, 최종적으로 도로 노면에서 결빙이 발생함



< 도로 결빙 상태판정 알고리즘 >

- 도로기상관측자료(Road Weather Information System, RWIS) 분석을 통한 노면결빙 시나리오 검토
 - 기존 문헌 중 3가지의 노면결빙 판정모델을 적용하여 시나리오를 설정하고, 도로기상관측자료를 사용하여 시나리오의 타당성을 검토하였음
 - RWIS는 고정형 도로기상관측자료로 노면 및 기상센서로 구성된 장비를 도로에 설치하여 기상상황과 노면상태를 관측한 것으로 기온, 기압, 풍향, 풍속, 강수량, 습도, 강우감지, 노면온도, 노면상태, 수막두께, 염도, 순복사량, 복사속, 알베도 등의 관측요소를 포함하고 있음
 - 본 과제에서 사용한 도로기상관측자료는 현재 국립기상과학원에서 운영 중인 장비로 제3 경인고속도로의 군자대교와 목감IC 및 내부순환로의 정릉터널 입구, 올림픽대로의 염창교와 성산대교 등의 자료를 수집하여 노면결빙 시나리오를 검토하였음
 - 자료기간은 2017년 12월부터 2020년 2월까지 데이터 중 동절기의 자료를 활용함
 - 측정된 데이터는 풍향/풍속센서, 온도센서, 습도센서, 강수량센서, 지중온도센서, 노면센서, 일사센서의 자료로 1분 단위의 시간해상도를 가지고 있음
 - 관측장비가 설치되어있는 해당 도로들은 도시고속도로에 해당하며, 측정된 요소 중 온도(기온), 습도, 풍속, 노면온도, 노면상태, 염화물이온농도, 이슬점온도 등을 대상으로 도로 결빙 상태판정 알고리즘을 적용하여 기존문헌의 노면결빙 조건에 대한 신뢰성 구축을 위한 노면결빙 시나리오를 분석함

- 관측소 선정기준은 음영지역이 없는 고속도로, 터널 및 음영지역, 도심 고속도로 등으로 구분하여 측정 지점의 기하구조에 따른 특징을 도출하고자 수행하였음
- 도로노면결빙 조건에 대한 시나리오 분석은 기상예보 시 눈이나 한파가 예상될 경우 도로관리 측면에서 미리 대비하기 때문에 염화칼슘의 영향으로 한계점이 존재하지만, 실제 도로의 측정데이터를 사용함에 따라 기상 및 도로에서 발생하는 현상을 반영하여 노면결빙이 발생하는 시나리오를 검증할 수 있다는 장점을 지니고 있음

< 기상자료 관측소 및 선정 사유 >

관측소	위치	선정 사유	센서
군자대교	제3 경인고속도로	음영지역이 없는 고속도로	풍향/풍속, 온·습도, 강수량, 지중온도센서, 노면센서, 일사센서
목감IC			
정릉터널 출구	내부순환고속도로	터널 및 음영지역	
염창교	올림픽대로	도심 고속도로 합류 구간	
성산대교			

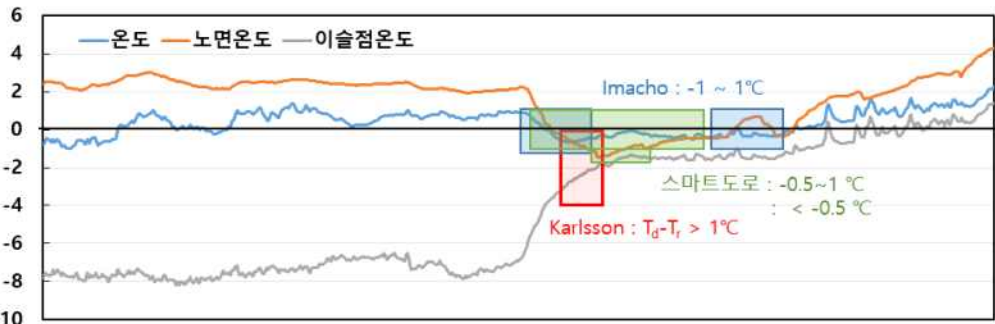


< 관측소 전경 >

(1) 정릉터널입구 2017.12.9.오후 10:00 ~ 2017.12.10. 오전 11:59 (시나리오 1)

< 시나리오 1 >

수치	범위	기타
온도범위	$-2 < T < 2 \text{ }^{\circ}\text{C}$	
습도범위	50 ~ 95 %	
평균풍속	2 m/s 이하	
이슬점과 노면온도 차이	3 $^{\circ}\text{C}$ 이하	
특이사항	- 이슬점-노면온도 차가 3 $^{\circ}\text{C}$ 이하 시 습도 상승 - 노면상태 습윤으로 확인	



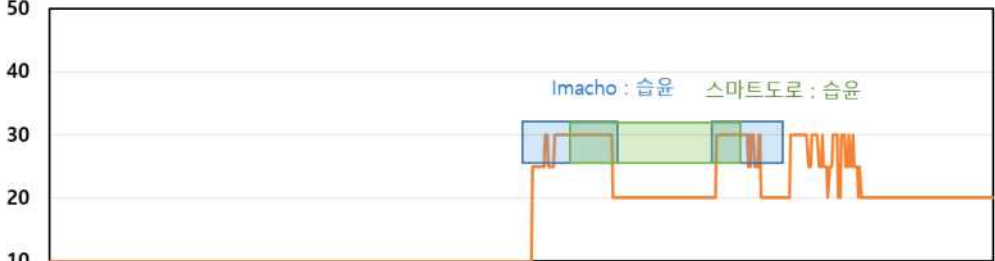
온도
노면온도
이슬점온도



습도



풍속

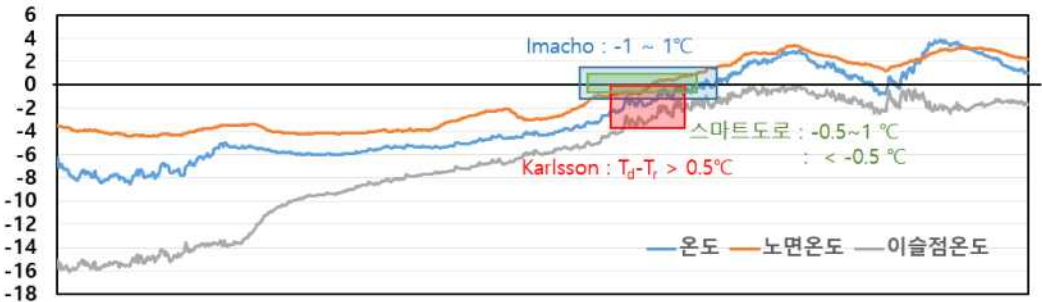


노면상태

(2) 정릉터널입구 2017.12.17.오후 08:00 ~ 2017.12.18. 오후 10:00 (시나리오 2)

< 시나리오 2 >

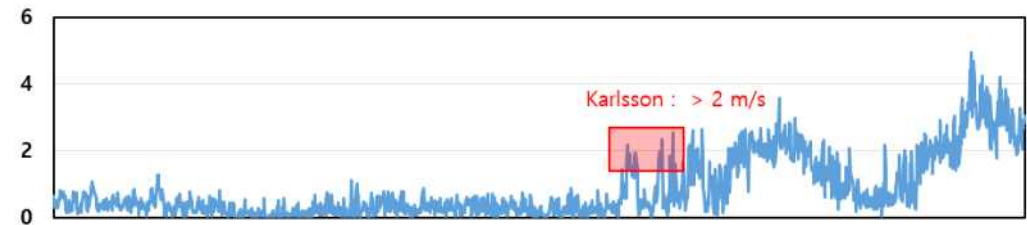
수치	범위	기타
온도범위	$-2 < T < 2\text{ }^{\circ}\text{C}$	
습도범위	80 % 이상	
평균풍속	2 m/s 이하	
이슬점과 노면온도 차이	$3\text{ }^{\circ}\text{C}$ 이하	
특이사항	- 이슬점-노면온도 차가 $3\text{ }^{\circ}\text{C}$ 미만 시 습도 상승	



온도
노면온도
이슬점온도



습도



풍속

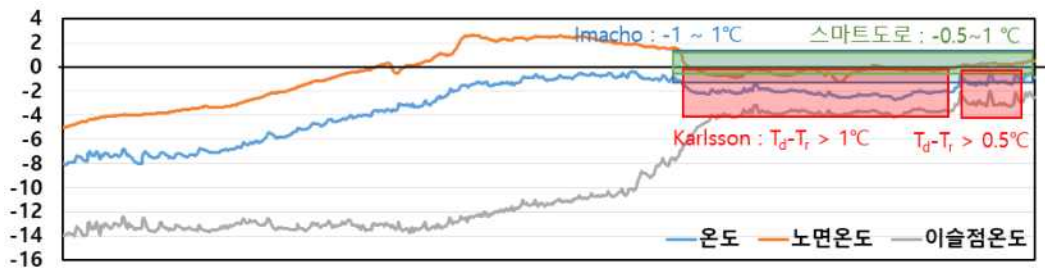


노면상태

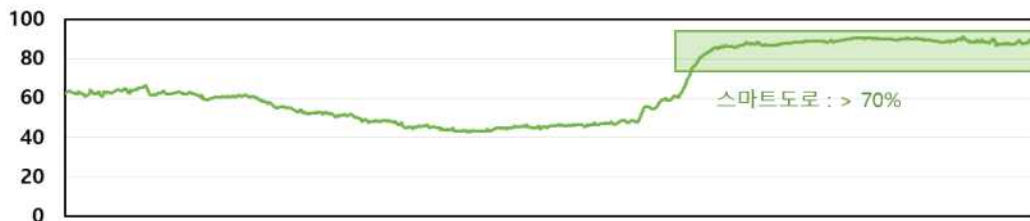
(3) 정릉터널입구 2017.12.20.오전 06:00 ~ 2017.12.20. 오후 11:00 (시나리오 3)

< 시나리오 3 >

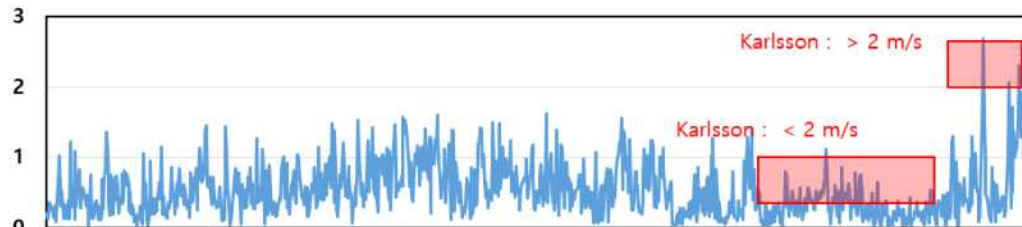
수치	범위	기타
온도범위	$T < 0\text{ }^{\circ}\text{C}$	
노면온도	$T_r < 0\text{ }^{\circ}\text{C}$	
습도범위	80 % 이상	
평균풍속	2 m/s 이하	
이슬점과 노면온도 차이	3 $^{\circ}\text{C}$ 이하	
특이사항	- 이슬점-노면온도 차가 3 $^{\circ}\text{C}$ 이하 시 습도 상승 - 노면상태 습윤으로 확인	



온도
노면온도
이슬점온도



습도



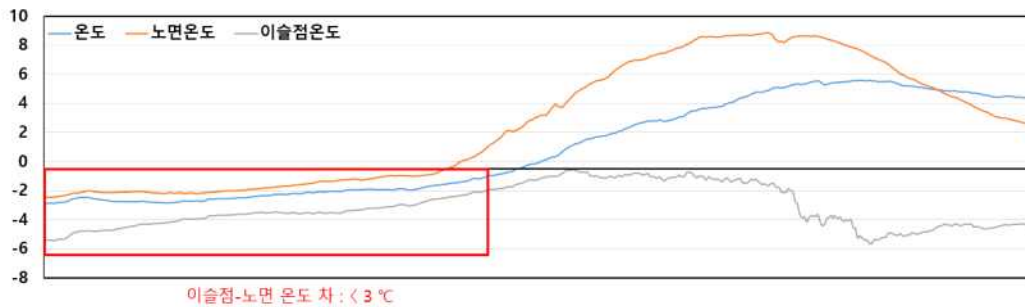
풍속



노면상태

< 시나리오 4 >

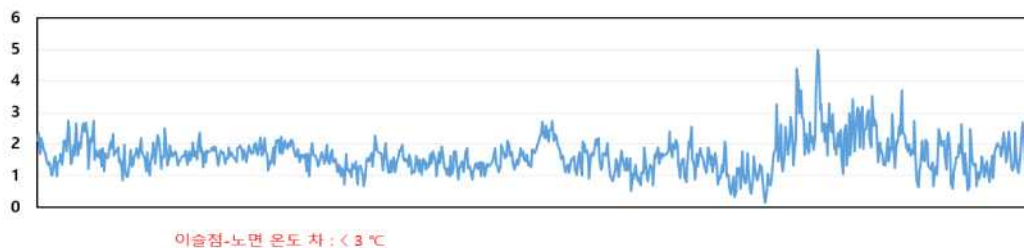
수치	범위	기타
온도범위	$T < 0\text{ }^{\circ}\text{C}$	
노면온도	$Tr < 0\text{ }^{\circ}\text{C}$	
습도범위	80 % 이상	
평균풍속	2 m/s 이하	
이슬점과 노면온도 차이	3 $^{\circ}\text{C}$ 이하	
특이사항	- 이슬점-노면온도 차가 3$^{\circ}\text{C}$ 이상 시 습도 하강 - 노면상태 습윤, 염화물농도 측정됨 - 수막두께 형성	



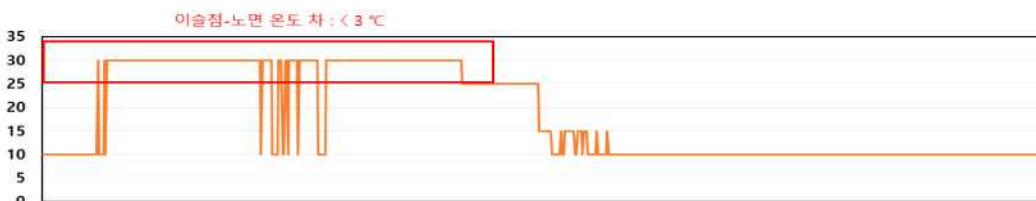
온도
노면온도
이슬점온도



습도



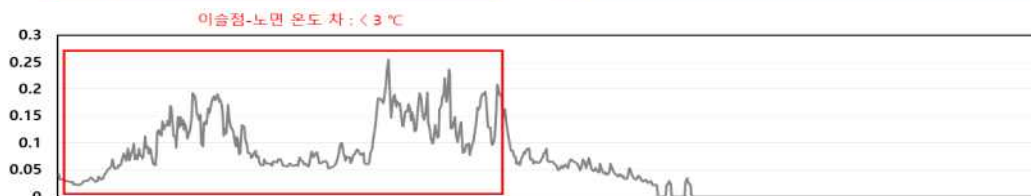
풍속



노면상태



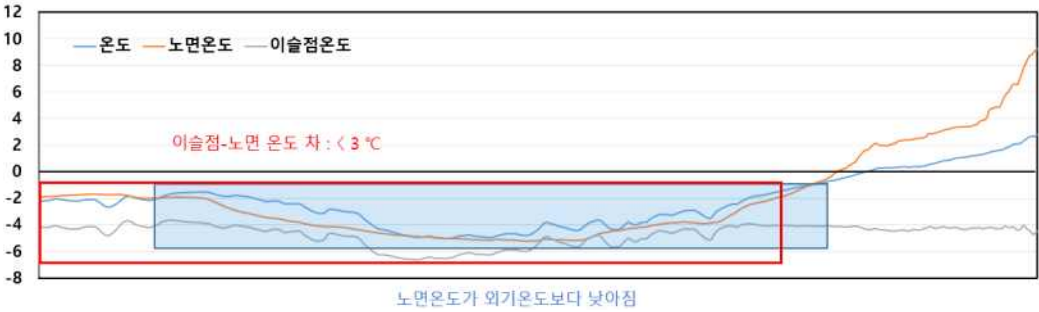
염화물농도



수막두께

< 시나리오 5 >

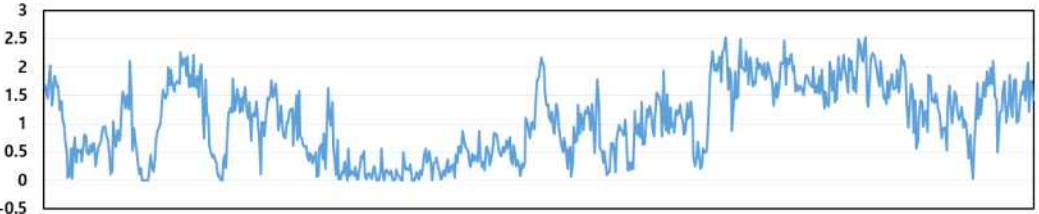
수치	범위	기타
온도범위	$T < 0\text{ }^{\circ}\text{C}$	
노면온도	$Tr < 0\text{ }^{\circ}\text{C}$	
습도범위	80 % 이상	
평균풍속	2 m/s 이하	
이슬점과 노면온도 차이	3 $^{\circ}\text{C}$ 이하	
특이사항	- 이슬점-노면온도 차가 3$^{\circ}\text{C}$ 이상 시 습도 하강, 수막두께 측정됨 - 노면상태가 건조로 측정되었지만, 수막두께가 측정됨 - 노면온도가 외기온도보다 낮은 구간이 발생	



온도
노면온도
이슬점온도



습도



풍속



노면상태



수막두께

< 시나리오 6 >

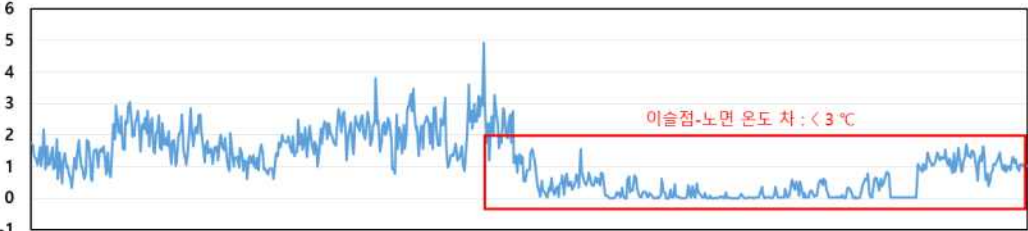
수치	범위	기타
온도범위	$0 < T < 3\text{ }^{\circ}\text{C}$	
노면온도	$0 < Tr < 2\text{ }^{\circ}\text{C}$	
습도범위	80 % 이상	
평균풍속	2 m/s 이하	
이슬점과 노면온도 차이	$3\text{ }^{\circ}\text{C}$ 이하	
특이사항	- 이슬점-노면온도 차가 3°C 이하 시 습도 상승, 풍속이 2m/s 이하 - 노면상태 습윤 및 적설, 염화물농도 측정됨 - 노면온도가 외기온도보다 낮아짐	



온도
노면온도
이슬점온도



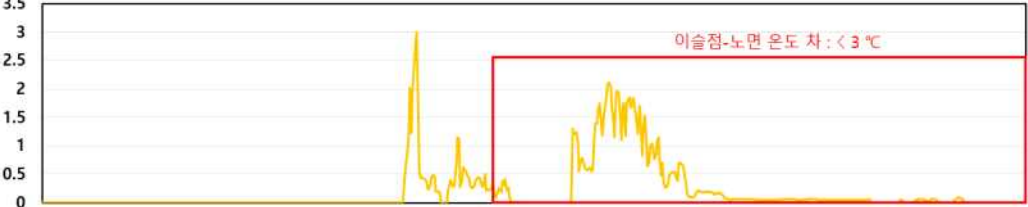
습도



풍속



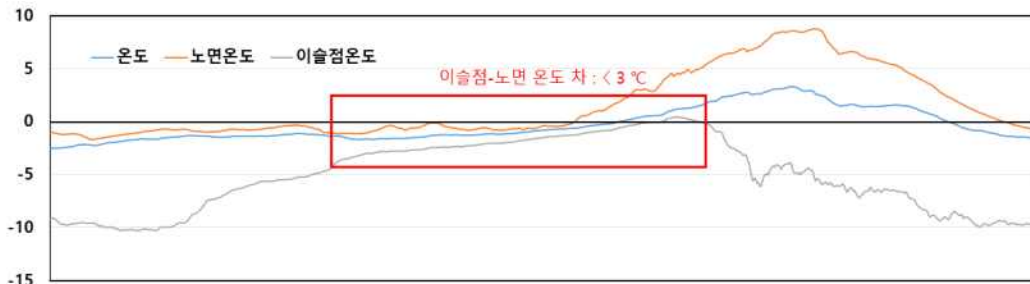
노면상태



염화물농도

< 시나리오 7 >

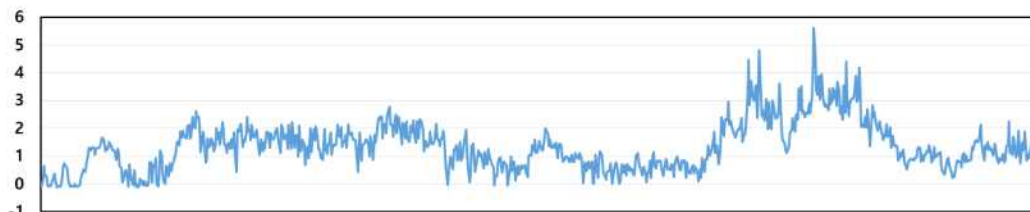
수치	범위	기타
온도범위	- $T < 0\text{ }^{\circ}\text{C}$	
노면온도	- $Tr < 0\text{ }^{\circ}\text{C}$	
습도범위	80 % 이상	
평균풍속	2 m/s 이하	
이슬점과 노면온도 차이	3 $^{\circ}\text{C}$ 이하	
특이사항	- 이슬점-노면온도 차가 3 $^{\circ}\text{C}$ 이상 시 습도 하강 - 노면상태 습윤 및 적설, 수막두께 형성 - 노면상태 습윤 이상인데 염화물 농도 측정데이터 없음	



온도
노면온도
이슬점온도



습도



풍속



노면상태



염화물농도



수막두께

< 시나리오 8 >

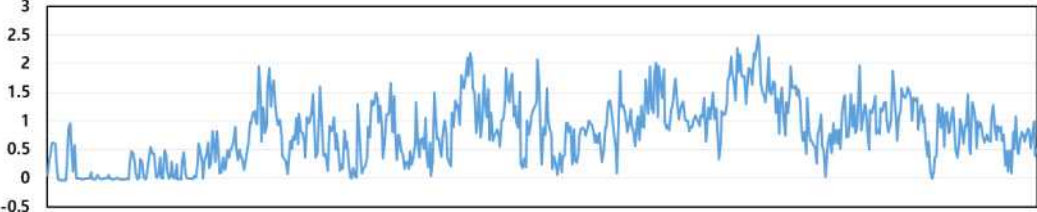
수치	범위	기타
온도범위	$T < 0\text{ }^{\circ}\text{C}$	
노면온도	$Tr < 0\text{ }^{\circ}\text{C}$	
습도범위	80 % 이상	
평균풍속	2 m/s 이하	
이슬점과 노면온도 차이	3 $^{\circ}\text{C}$ 이하	
특이사항	- 이슬점-노면온도 차가 3 $^{\circ}\text{C}$ 이상 시 습도 하강, 노면상태 건조	



온도
노면온도
이슬점온도



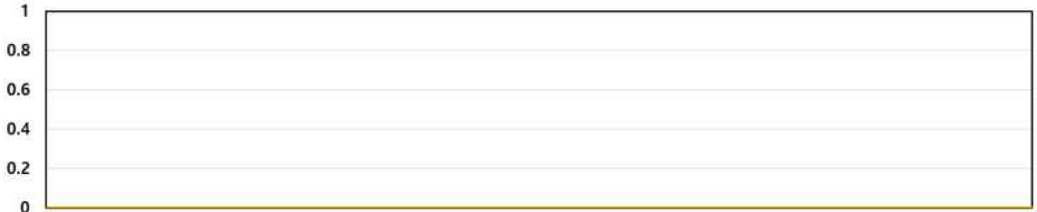
습도



풍속



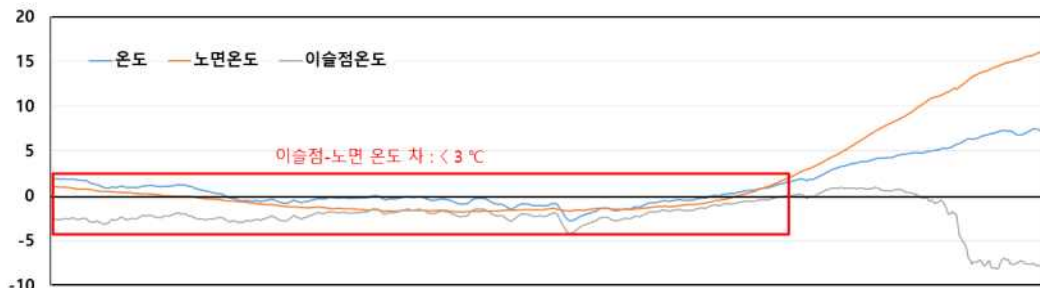
노면상태



열화물농도

< 시나리오 9 >

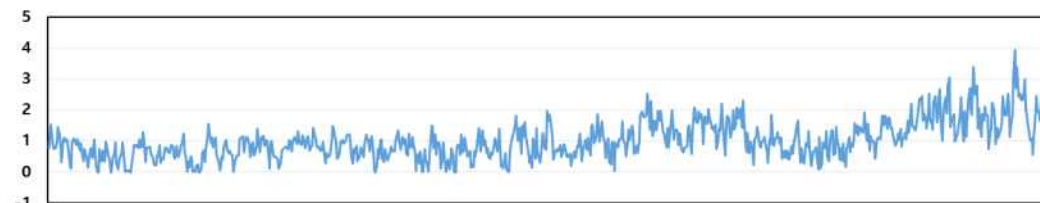
수치	범위	기타
온도범위	$0 < T < 2 \text{ }^{\circ}\text{C}$	
노면온도	$0 < T_r < 1 \text{ }^{\circ}\text{C}$	
습도범위	80 % 이상	
평균풍속	2 m/s 이하	
이슬점과 노면온도 차이	3 $^{\circ}\text{C}$ 이하	
특이사항	- 이슬점-노면온도 차가 3 $^{\circ}\text{C}$ 이상 시 습도 하강 - 노면온도가 외기온도보다 낮은 구간이 발생	



온도
노면온도
이슬점온도



습도



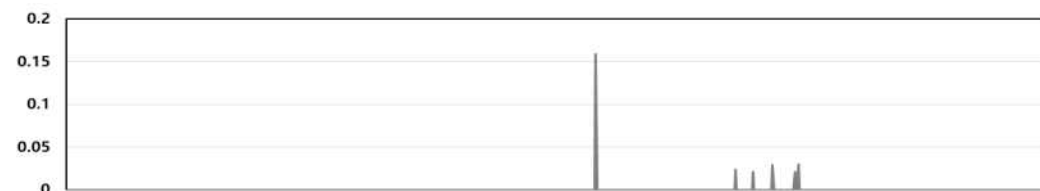
풍속



노면상태



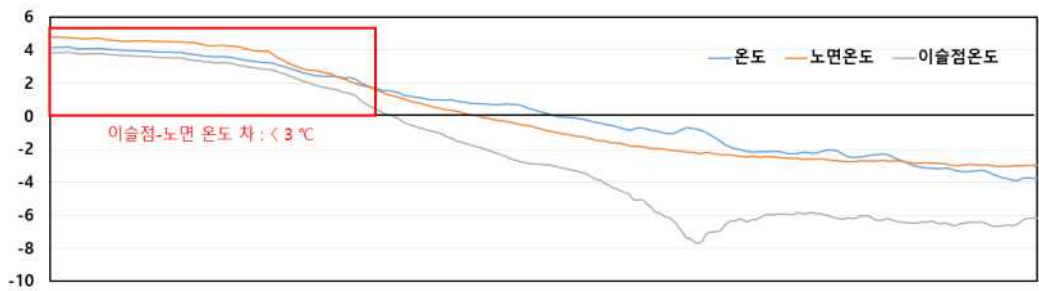
염화물농도



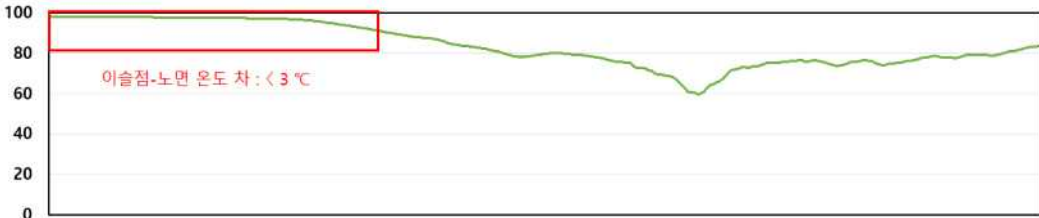
수막두께

< 시나리오 10 >

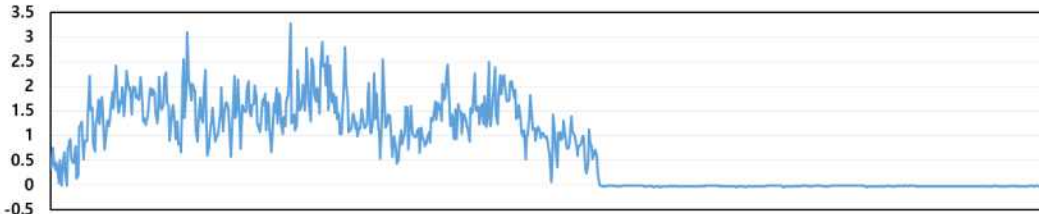
수치	범위	기타
온도범위	$0 < T < 4\text{ }^{\circ}\text{C}$	
노면온도	$0 < Tr < 5\text{ }^{\circ}\text{C}$	
습도범위	80 % 이상	
평균풍속	2 m/s 이하	
이슬점과 노면온도 차이	$3\text{ }^{\circ}\text{C}$ 이하	
특이사항	- 이슬점-노면온도 차가 $3\text{ }^{\circ}\text{C}$ 이상 시 습도 하강 - 노면상태 건조, 수막두께 형성	



온도
노면온도
이슬점온도



습도



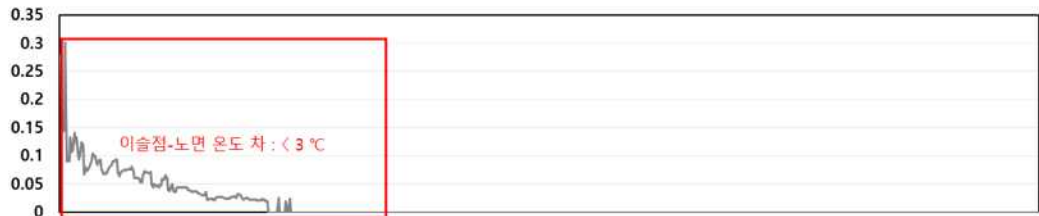
풍속



노면상태



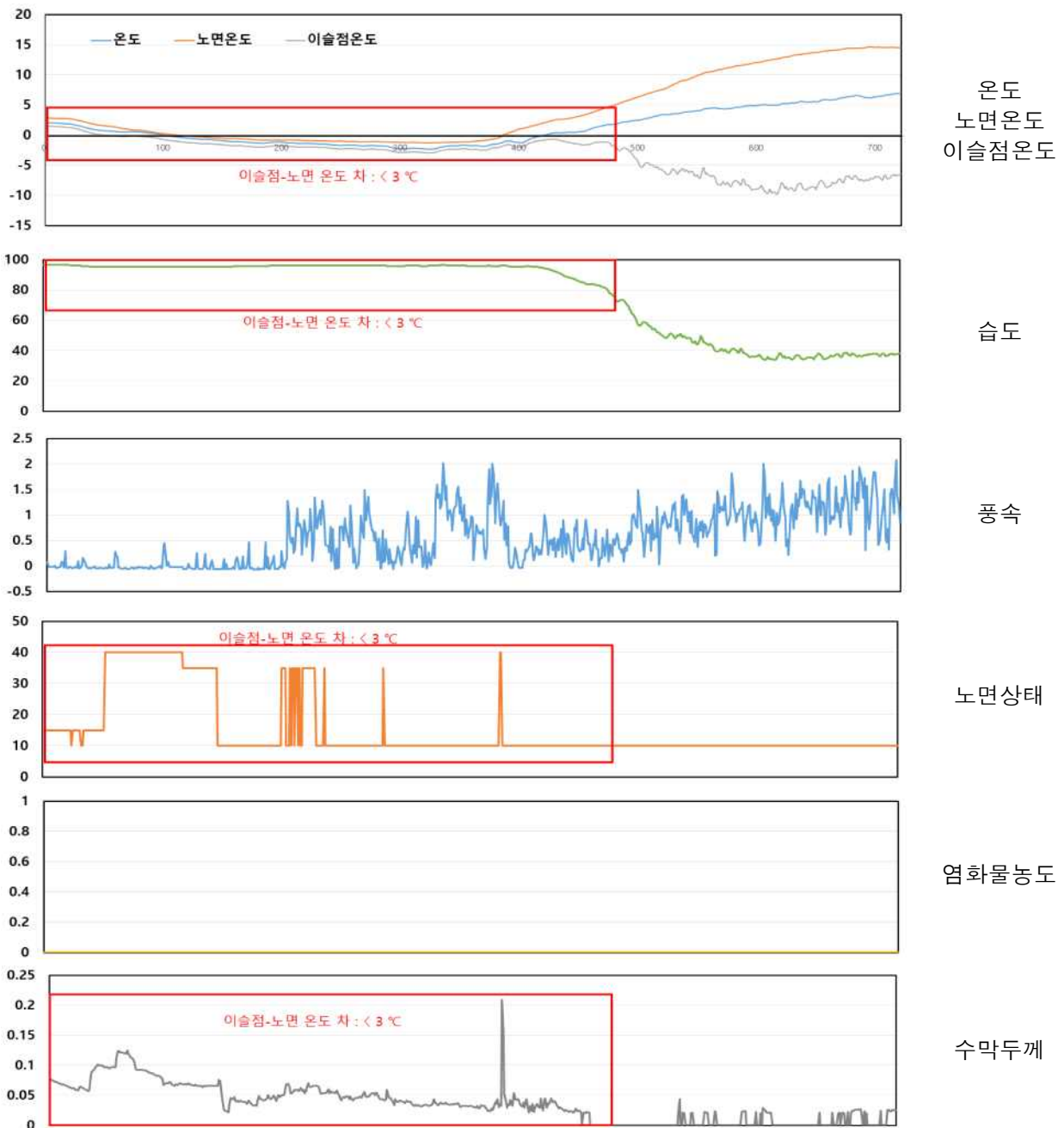
염화물농도



수막두께

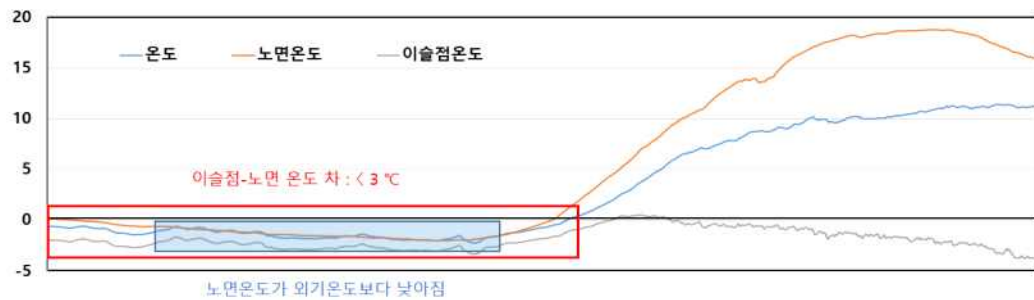
< 시나리오 11 >

수치	범위	기타
온도범위	$-2 < T < 2 \text{ }^{\circ}\text{C}$	
노면온도	$-1 < T_r < 3 \text{ }^{\circ}\text{C}$	
습도범위	80 % 이상	
평균풍속	2 m/s 이하	
이슬점과 노면온도 차이	3 $^{\circ}\text{C}$ 이하	
특이사항	- 이슬점-노면온도 차가 3$^{\circ}\text{C}$ 이상 시 습도 하강 - 노면상태 습윤 및 적설, 수막두께 형성 - 노면상태 습윤 이상인데 염화물 농도 측정데이터 없음	



< 시나리오 12 >

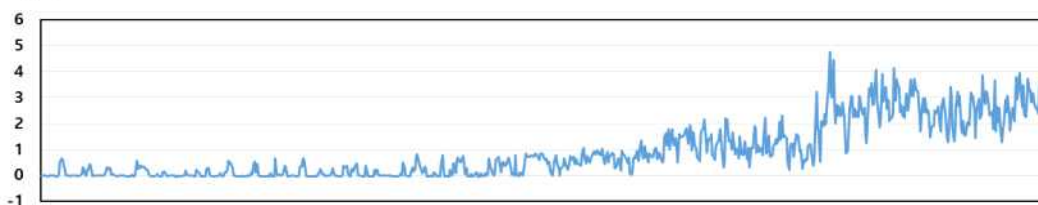
수치	범위	기타
온도범위	$T < 0\text{ }^{\circ}\text{C}$	
노면온도	$Tr < 0\text{ }^{\circ}\text{C}$	
습도범위	80 % 이상	
평균풍속	2 m/s 이하	
이슬점과 노면온도 차이	3 $^{\circ}\text{C}$ 이하	
특이사항	- 이슬점-노면온도 차가 3 $^{\circ}\text{C}$ 이상 시 습도 하강, 노면상태 건조, 수막두께 형성 - 노면온도가 외기온도보다 낮은 구간이 발생	



온도
노면온도
이슬점온도



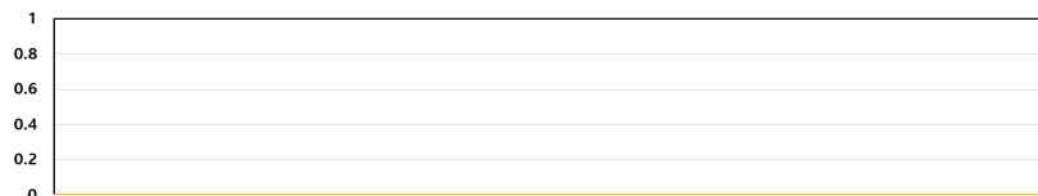
습도



풍속



노면상태



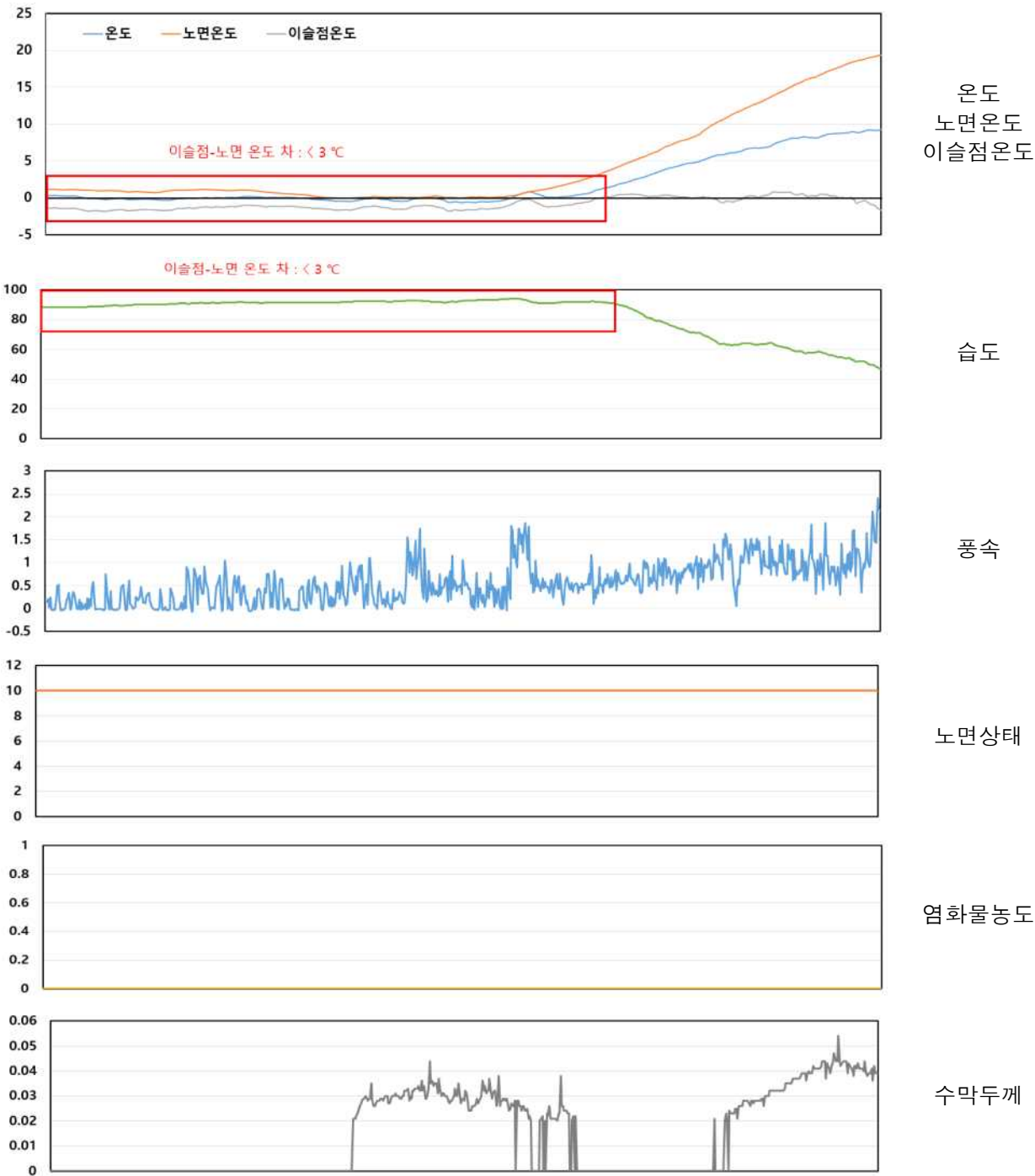
염화물농도



수막두께

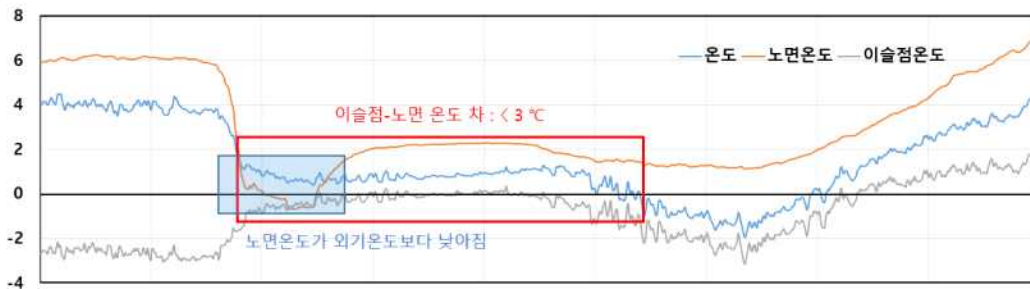
< 시나리오 13 >

수치	범위	기타
온도범위	$T < 0\text{ }^{\circ}\text{C}$	
노면온도	$-1 < T_r < 1\text{ }^{\circ}\text{C}$	
습도범위	80 % 이상	
평균풍속	2 m/s 이하	
이슬점과 노면온도 차이	3 $^{\circ}\text{C}$ 이하	
특이사항	- 이슬점-노면온도 차가 3 $^{\circ}\text{C}$ 이상 시 습도 하강, 노면상태 건조, 수막두께 형성	



< 시나리오 14 >

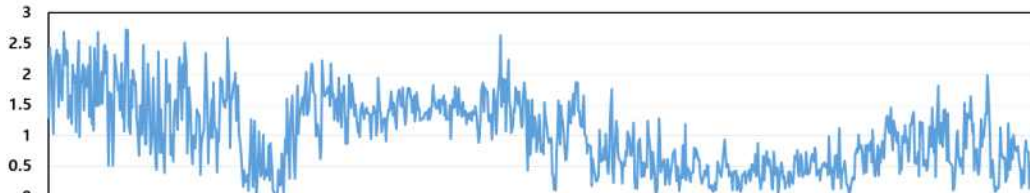
수치	범위	기타
온도범위	$-1 < T < 1 \text{ }^{\circ}\text{C}$	
노면온도	$-1 < T_r < 2 \text{ }^{\circ}\text{C}$	
습도범위	80 % 이상	
평균풍속	2 m/s 이하	
이슬점과 노면온도 차이	3 $^{\circ}\text{C}$ 이하	
특이사항	- 이슬점-노면온도 차가 3 $^{\circ}\text{C}$ 이상 시 습도 하강, 노면상태 습윤 이상, 수막두께 형성 - 노면온도가 외기온도보다 낮은 구간이 발생	



온도
노면온도
이슬점온도



습도



풍속



노면상태



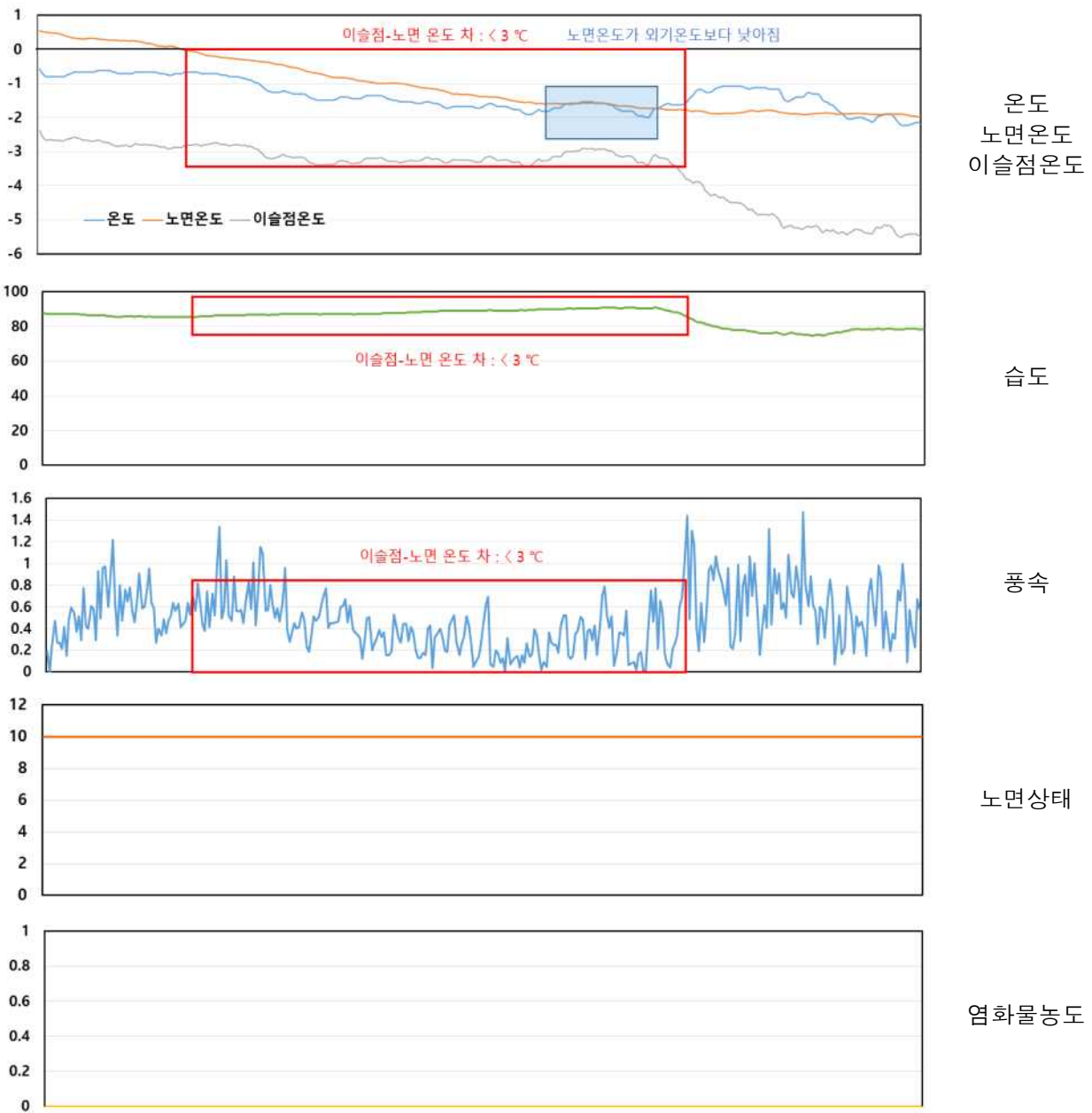
얼음물농도



수막두께

< 시나리오 15 >

수치	범위	기타
온도범위	$T < 0\text{ }^{\circ}\text{C}$	
노면온도	$Tr < 0\text{ }^{\circ}\text{C}$	
습도범위	80 % 이상	
평균풍속	2 m/s 이하	
이슬점과 노면온도 차이	3 $^{\circ}\text{C}$ 이하	
특이사항	- 이슬점-노면온도 차가 3 $^{\circ}\text{C}$ 이상 시 습도 하강, 노면상태 건조 - 노면온도가 외기온도보다 낮은 구간이 발생	



– 관측지점 측정자료 분석

- 본 연구의 기상 측정 구간은 음영이 없는 고속도로, 터널 입/출구, 교량 및 합류 구간으로 선정하였으며, 이에 대한 측정데이터를 비교 분석하였음
- 목감IC는 음영이 없는 고속도로 구간으로 대기온도에 비해 노면온도의 일교차가 크게 나타났으며 이는 주간대에 태양열로 인하여 노면온도가 상승함에 따라 대기온도와 차가 크게 나타났으며, 야간에서는 대기온도와 비슷한 온도를 유지하는 것을 확인할 수 있음
- 정릉터널 입/출구 기상 측정자료를 분석한 결과, 대기온도와 노면온도차가 크게 나타났는데 이는 대기온도가 내려감에 따라 이슬점온도가 내려가지만, 주간대에 따뜻한 대기가 야간에는 터널 출구에 영향을 줘서 노면온도의 온도변화가 크지 않은 것으로 추측되며, 특히, 강수가 발생한 날에도 노면온도가 큰 변화가 나타나지 않는 것으로 분석됨
- 성산대교 기상 측정자료에서는 교량으로서 노면온도와 대기온도 차가 매우 적은 것으로 분석되었는데 교량의 특성으로 지면온도의 영향이 없음에 노면온도 및 대기온도 차가 적은 것으로 사료된다. 염창교 기상 측정자료에서는 목감IC 기상 측정자료와 비슷한 양상으로 나타남
- 이러한 시나리오에서 확인된 온도범위 및 노면온도, 습도범위 및 풍속, 이슬점온도와 노면온도 간의 차이 및 일부 지점에서 나타난 특이사항 및 환경을 바탕으로 노면결빙 알고리즘에 대한 수치 및 프로세스에 대한 범위값 설정에 참고하였음

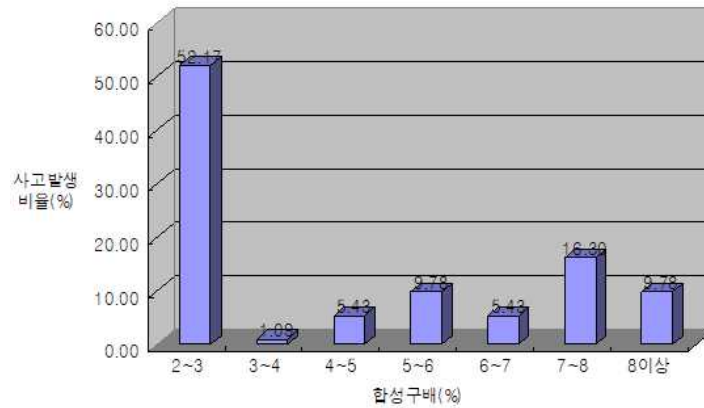
– 합성경사를 고려한 노면결빙 후보구간 도출

- 도로의 곡선구간에 있어서 편경사 변화구간 중 편경사 0% 구간에서의 최소 종단경사 적용 시(0.3 ~ 0.5%) 배수불량 문제로, 이 구간은 강우 다음 날까지 노면습윤 상태가 유지되어 평상시에는 교통사고 다발구간의 가능성이 크고 특히 겨울철에는 노면결빙의 가능성이 커 이 구간에 대한 주의가 필요함
- 하지만, 국내의 도로 구조 및 시설 기준에 관한 규칙(2020)에는 평면선형과 종단선형의 조합에 관련한 적정범위의 합성경사에 대한 기준이 없는 실정이어서, 도로 현장에서는 적정하지 않은 합성경사 구간이 존재하게 되고 이로 인해 교통사고 발생과 더불어 노면결빙의 도로기하측면에서의 원인 요소가 되고 있음
- 독일에서는 종단경사와 횡단경사의 합성치로 합성경사를 다음과 같이 산정하여 활용하고 있고, 차량의 미끄럼 방지를 위해 최대합성경사를 10.0%로 제한하고 있음

$$\text{합성경사 산정식 : } S = \sqrt{i^2 + j^2}$$

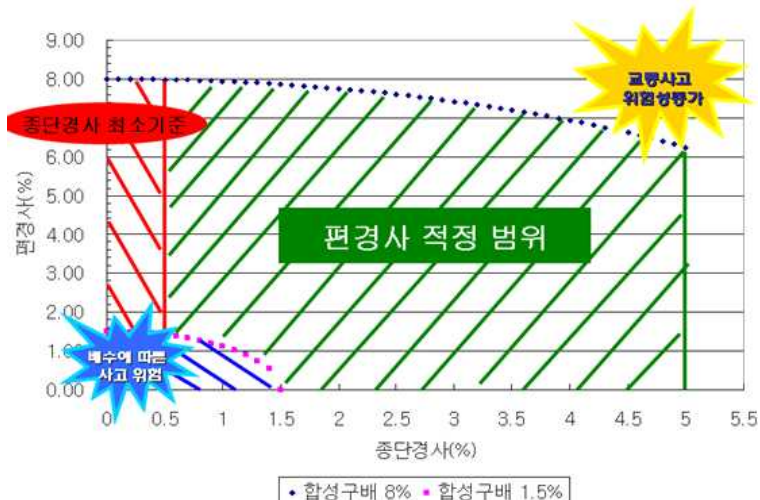
- 여기서,
- 합성경사 : S(%),
 - 편경사 또는 횡단경사 : i (%),
 - 종단경사 : j (%)

- 한편, 배수관련 사고가 잦은 지점의 편경사, 종단경사, 합성경사를 조사한 연구(배수를 고려한 도로선형 설계 기법에 관한 연구, 2009)에 따르면, 합성구배별 교통사고 비율이 합성경사가 2~3%일 때와 7~% 이상일 경우가 가장 많은 교통사고가 발생 된 것으로 분석되었음



< 합성구배별 사고발생 비율 >

- 이러한 분석 결과와 더불어 종단경사에 따른 편경사의 적정범위를 합성경사 1.5%곡선과 8% 곡선사이로 국내 최소종단경사(0.3~0.5%)와 최대종단경사(3~5%)를 기준을 고려하여 제시하였음. 횡단경사 0%가 되는 지점에서 최소 종단경사 1.5%를 확보하고, 종단경사 5% 이상일 때는 편경사 6.2% 이상은 교통사고의 위험성 증가하는 것으로 분석됨



< 종단 경사에 따른 편경사의 범위 >

- 도로결빙과 관련해서는 합성경사가 1.5% 미만의 경우는 노면배수가 원활하게 이루어지지 않게 되어 강우 다음 날까지 노면은 습윤 상태를 유지하게 되고 겨울철에는 노면결빙 가능성이 커지게 되므로, 본 연구에서는 합성경사 1.5% 미만 구간을 물고임 영역으로 판단하여 노면습윤 영역으로 모델링함
- 즉, 도로결빙은 결빙의 대상이 되는 '노면습윤 영역'과 결빙의 조건이 되는 '결빙온도영역'이 중첩(AND)되는 영역이 노면결빙 영역이 되는 개념임



< 노면결빙 예측 영역 개념 >

－ 노면결빙 영향인자별 적용모델 연계방안 도출

- 도로노면은 시시각각으로 변화하는 기상에 따라서 노면온도 뿐만 아니라 노면의 수분상태 또는 습윤 상태를 결정하게 되며 이러한 노면습윤 상태 판단은 노면결빙모델에서 가장 기본적인 역할을 하게 되며 본 연구에서는 이러한 기상조건에 따른 노면결빙이 가능한 영역을 노면습윤영역으로 다루고 있음
- 한편, 대상지역의 강우정보와 도로기하구조를 반영하여 노면수막두께를 산정하는 것이 가능하다면 노면의 수막여부 판단이 가능하므로 이러한 영역도 노면결빙 후보영역으로 다루는 것이 가능하며, 또한 도로의 기하구조가 불량하여 즉 종단경사와 횡단경사의 합성치인 합성경사의 낮은구간에서의 노면배수가 불량하여 이러한 물고임영역 또한 노면결빙의 후보영역으로 다루는 것이 가능하다고 판단하여, 본 연구에서는 3가지 후보영역을 중첩하여 노면결빙 후보영역으로 다루고 있음
- 이러한 노면결빙 후보영역에 대해 노면온도 예측모델과 수막 예측모델을 통하여 노면결빙예측 알고리즘 적용하여 최종적으로는 노면결빙구간을 예측하는 알고리즘을 체계화하였음



< 노면결빙 영향인자별 적용모델 연계방안 >

❖ 노면결빙 예측모형 검증을 위한 테스트베드 구간 선정 및 측정장비 구축

○ 노면결빙 영향인자를 고려한 테스트베드 후보구간 선정

－ 구간선정 필요성

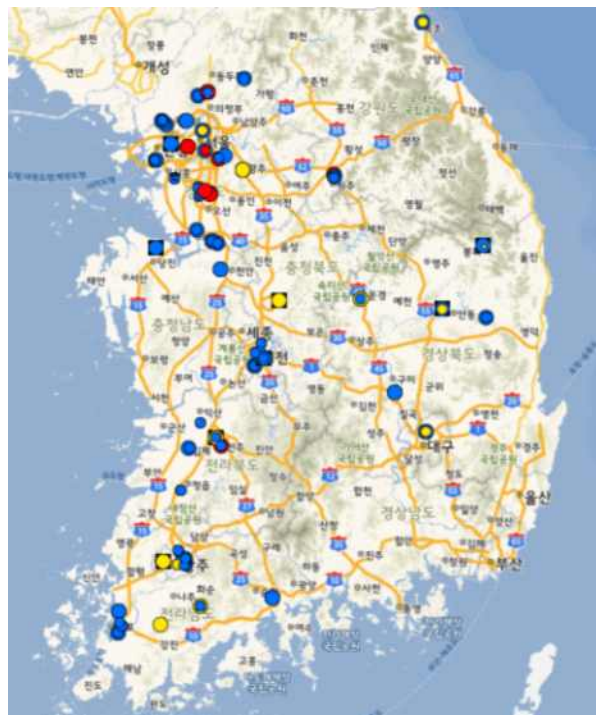
- 연구 진행의 효율성 제고 및 모델을 통한 예측 및 정확도 향상을 위해 특정 지역(구간) 선정 후 모델 개발 필요
- 지역(구간)을 선정하고 해당 구간에 대한 모델 기반 마련 테스트베드 내 동절기 관측을 통해 검증 및 정확성 확보

－ 구간선정 방법

- 결빙 교통사고 다발지역 자료 활용(교통사고분석시스템, 도로교통공단(경찰청), 2014~2018)
- 다발지역 선정기준 : 14~18년 5년간 11월~3월 사이에 발생한 사고로 사고 시 노면상태가 서리/결빙인 교통사고로 반경 200m 내, 3건 이상 발생지역
- 전국 결빙사고 다발구간 97개 지점

< 전국 결빙사고 다발구간(일부) >

연번	시도	세부지점	사고건수	사상자수	사망자수	중상자수	경상자수	부상 신고자수
1	서울특별시 성북구1	서울특별시 성북구 정릉동 (아리랑로터리정릉길진 부근)	4	5	0	2	2	1
2	서울특별시 영등포구1	서울특별시 영등포구 도림동 (영등포역고가차도남측 부근)	4	4	0	3	1	0
3	서울특별시 영등포구1	서울특별시 영등포구 도림동 (영등포역고가차도남측 부근)	4	4	0	3	1	0
4	서울특별시 영등포구1	서울특별시 영등포구 도림동 (영등포역고가차도남측 부근)	4	4	0	3	1	0
5	서울특별시 강남구2	서울특별시 강남구 역삼동 (뱅뱅사거리 부근)	3	4	0	2	2	0
6	대구광역시 북구1	대구광역시 북구 침산동 (민경 부근)	3	4	0	2	2	0
7	대구광역시 북구1	대구광역시 북구 침산동 (민경 부근)	3	4	0	2	2	0
8	대구광역시 북구1	대구광역시 북구 침산동 (민경 부근)	3	4	0	2	2	0
9	인천광역시 미추홀구1	인천광역시 미추홀구 문학동 (문학지하차도 부근)	3	6	0	3	3	0
10	인천광역시 미추홀구1	인천광역시 미추홀구 문학동 (문학지하차도 부근)	3	6	0	3	3	0

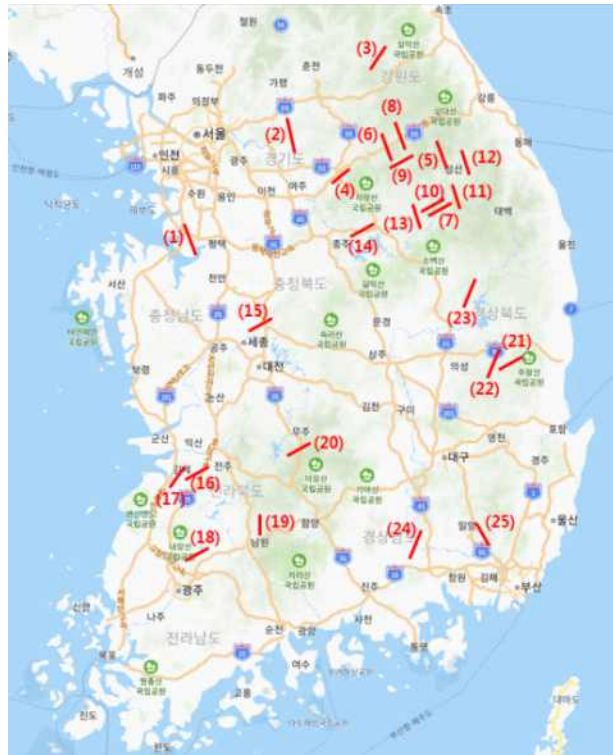


< 전국 결빙사고 다발구간 >

- 결빙 취약 관리구간 활용(국토교통부 겨울철 도로교통 안전 강화대책. 2020.02)
 - 강설·강우 등으로 도로 살얼음 우려 예보가 있거나, 안개·서리로 결빙 우려될 경우, 강우 시 노면온도 2℃ 이하 또는 강우 시 대기온도 4℃ 이하 결빙 발생지역
 - 고속국도 216구간(민자고속도로 54구간), 일반국도 194구간(위임국도 34구간)
 - 일반국도 194개 구간 중 5km 이상 관리 구간은 25개 구간임

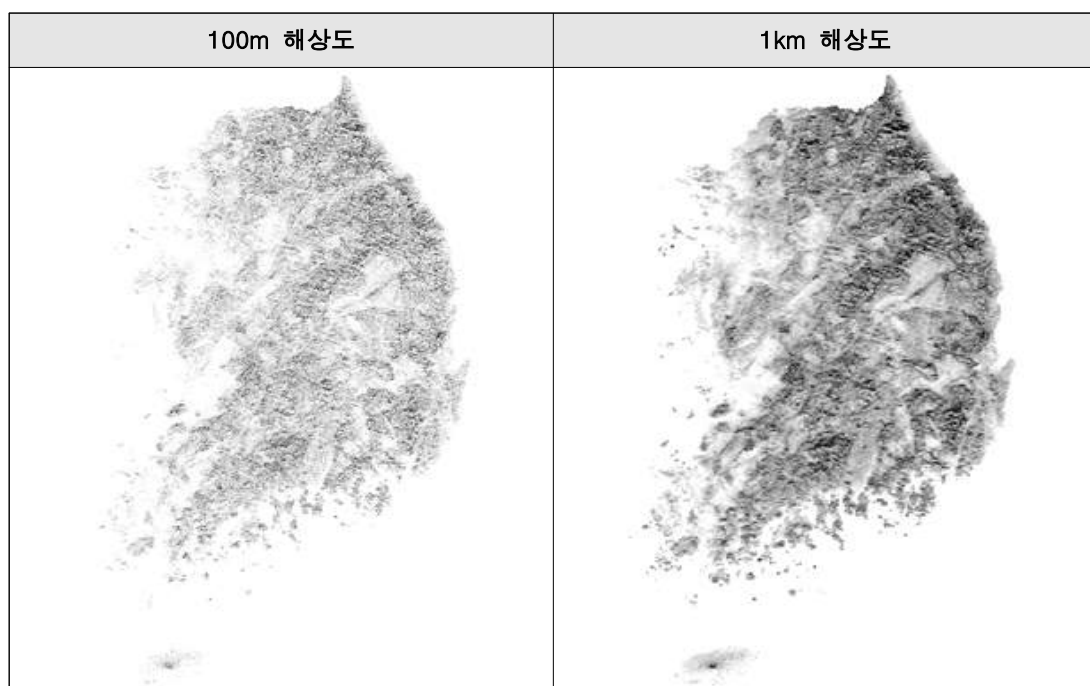
< 결빙취약 관리구간 >

연번	취약구간명	취약구간의 시점 주소	취약구간의 종점 주소	호선	연장 (km)
1	해안도로	경기 평택시 포승읍 만호리 산60-1	경기 평택시 현덕면 권관리 580-16	38	7
2	종미산	경기 가평군 설악면 가일리 산65-13	경기 양평군 옥천면 신북리 산104-1	37	11
3	남전리	강원 인제군 남면 남전리 산44-2	강원 인제군 남면 신남리 산128-3	44	8.5
4	매지터널	강원 원주시 귀래면 귀래리 36-4	강원 원주시 흥업면 매지리 458-4	19	5.5
5	두문동재	강원 정선군 고한면 고한리 산260-9	강원 정선군 고한면 고한리 산2-164	38	5.2
6	백복령	강원 평창군 임계면 직원리 49-2	강원 강릉시 옥계면 남양리 산291-3	38	6.5
7	연하대교	강원 영월군 영월읍 연하리 621	강원 영월군 중동 연상리 399-1	31	6.6
8	멧둔재	강원 평창군 미탄면 창리 산63-4	강원 평창군 미탄면 백운리 637	42	6.4
9	비행기재	강원 평창군 미탄면 백운리 381	강원 정선군 정선 광하 산28	42	5.2
10	수라리재	강원 영월군 상동읍 천평리 242-1	강원 영월군 상동읍 천평리 산26-29	31	7.4
11	솔고개	강원 영월군 중동면 녹전리 10-6	강원 영월군 중동면 녹전리 산136-1	31	6
12	임계-하장	강원 태백시 조탄동 산22	강원 삼척시 하장면 장전리 189-4	35	7.4
13	너그니재	강원 정선군 여량면 남곡리 236	강원 정선군 임계면 송계리 산173-6	42	6.8
14	죽령고개	충북 단양군 대강 당동 25-1	충북 단양군 대강 용부원 48-13	5	5.5
15	피반령	충북 보은군 회인면 고석리 394-1	충북 청주시 서원구 남일면 두산리 421-1	25	5
16	보룡고개	전북 완주군 소양면 신원리 산 80-2	전북 진안군 부귀면 봉암리 146-1	26	6.3
17	배티고개	전북 완주군 운주면 산북리 426-2	전북 금산군 진산면 묵산리 산79-40	17	5.5
18	밤재	전남 순창군 구림면 운북리 431-1	전북 순창군 쌍치면 양신리 222	21	5
19	여원재	전남 남원시 이백면 강기리 산 44	전북 남원시 운봉읍 준향리 792	24	5
20	가랫재	경북 김천시 대덕면 추량리 975	경북 김천시 증산면 평촌리 산14-2	30	5.7
21	삼자현재	경북 청송군 현동면 도평리 501-2	경북 청송군 부남면 대전이리 산61-1	31	5
22	넛재터널	경북 봉화군 소천면 고선리 산1-8	강원도 태백시 동점동 335	31	9.1
23	죽령재	경북 영주시 풍기읍 수철리 산31-19	경북 영주시 풍기읍 수철리 산86-9	5	6.2
24	방리재	경남 창녕군 고암면 중대리 198-4	경북 청도군 풍각면 금곡리 1073-60	20	10.2
25	가지산	부산 울주군 상북면 덕현리 187-1	경남 밀양시 산내면 남명리 1319-1	24	11

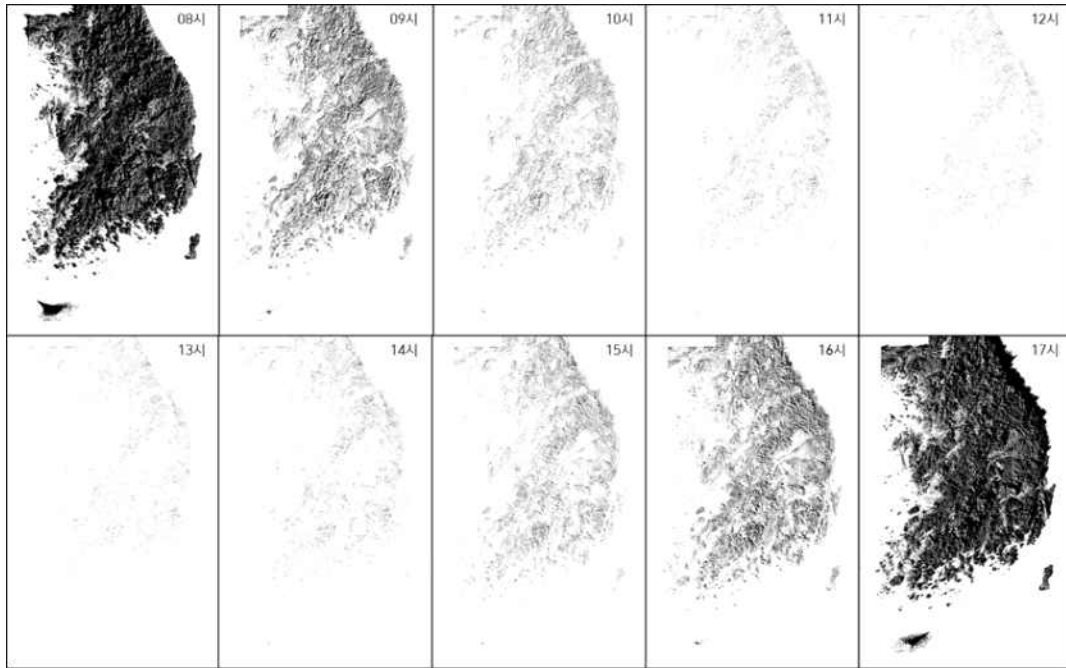


< 결빙취약관리구간(5km 이상) >

- 지형 및 지물을 고려한 결빙 예상 구간
- 노면온도에 가장 큰 영향을 미치는 요인은 지형, 지물에 따른 음영정보로 2012년 동지(12월 22일)날을 기준으로 100m해상도 DSM(지형 높이 + 건축물 높이)을 이용하여 산출하였음



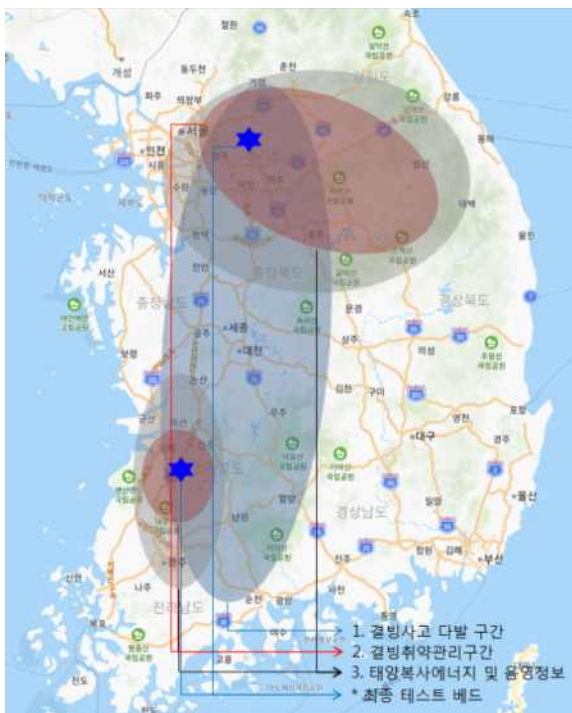
< 태양복사모델 이용 100m 해상도 음영정보 산출 결과(2021년 12월 22일) >



< 2021년 12월 22일에 대한 시간별 음영정보 산출 결과 >

- 최종 테스트 베드 후보 구간 선정

- 테스트 베드 선정을 위해서 도로관리청 및 지자체 협의 과정을 통해 경기도 포천시 신북면 금동리 일원으로 지방도 379번으로 최종 결정되었으며 선정된 테스트베드의 상세정보는 다음과 같음



⑤ 경기도 포천시
신북면 덕둔리 46-4



④ 경기도 포천시
신북면 금동리 산2-1



③ 경기도 포천시
신북면 금동리 249-6



② 경기도 포천시
신북면 금동리 산55



① 경기도 포천시
신북면 금동리 산30



○ 현장 기상자료(기온, 노면온도, 풍속, 노면상태 등) 실측을 위한 장비 구축

- 도로결빙 시공간 예보모델의 검증을 위해 테스트베드 구간에 설치할 기상관측장비는 기온, 습도, 기압, 이슬점, 풍향, 풍속, 방위, 강우량, 강우강도, 기압 등의 기상정보와 노면온도 및 노면상태의 노면정보를 측정하는 장비를 구축함
- 테스트베드 구간 중 노면결빙 가능성 높은 지점 2개소를 선정하여 기상관측장비를 각각 설치할 예정이며 시계열 기상정보와 노면정보를 획득하였음
- 한편, 기상관측장비는 DAVIS사의 Vantage Pro2 Plus를 이용하고, 노면온도는 DAVIS사의 매립형 온도센서를 활용하였으며 초소형 카메라로 노면영상 촬영하는 방식으로 진행하였으며, 타임랩스 기능과 야간촬영 등을 고려하여 고프로 HERO8 블랙 모델을 활용하였음

기상관측장비	매립형 노면온도센서	노면관측녹화용 블랙박스
 	  	 

< 기상관측장비 측정항목 및 측정범위 >

	측정 항목	분해능	측정범위	정확도
바람	풍향	1°	0~360°	±3°
	방위	22.5°	16방위	
	풍속	0.1m/s	0~67m/s	±5%
	최대풍속방위	22.5°	16방위	
	풍속이동거리	0.01m/s	무한	±5%
온도	내부온도	0.1℃	0~60℃	±0.5℃
	외부온도	0.1℃	-40~65℃	±0.5℃
	내부열지수	0.1℃	-1~74℃	±1.5℃
	외부열지수	1℃	-40~74℃	±1.5℃
	체감온도	1℃	-79~57℃	±1℃
습도	내부습도	1%	0~100%	±3%
	외부습도	1%	10~90%	±5%
	내부이슬점	0.1℃	-50~60℃	±1.5℃
	외부이슬점	0.1℃	-76~54℃	±1.5℃
강수량	강우	0.2mm	0~6553mm	±4%
	강우비율	0.1mm	0~2438mm/hr	±5%≤127mm/hr
기압	기압 (고도범위 -600~4750m)	0.1mmHg 0.1mb	410~820mm Hg540~1100mb 또는 hPa	±0.8mmHg±1.0mb 또는 hPa
	세시간경향	느리게≥0.5mm (0.7mb) 빠르게≥1.5mm (2mb)	5방향 화살표	
일사량 및 UV	솔라라디에이션	1w/m²	0~1800w/m²	±5%
	솔라에너지	PC : 1J/cm²	PC : 1999.9J/cm²	±5%
	UV도즈	0.1MEDs	0~199MEDs	±5%
	UV인덱스	0.1	0~16	±5%
노면 온도	노면온도	1℃	-40~65℃	±0.5℃
노면 상태	노면상태	12MP, 주야간 타입랩스 촬영		

- 테스트베드구간에 설치할 기상관측장비의 전경은 아래와 같음
- 기상관측장비의 측정데이터는 솔라 전원으로 작동하는 웨더스테이션에서 무선으로 데이터로거에 전송되며, IP신호 컨버터를 거쳐 무선라우터를 통하여 원격거리에서도 모니터링 가능한 시스템을 구축하였음

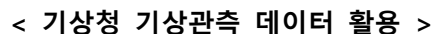


< 기상관측장비 설치 사진 >



< 기상관측장비 통신 방법 >

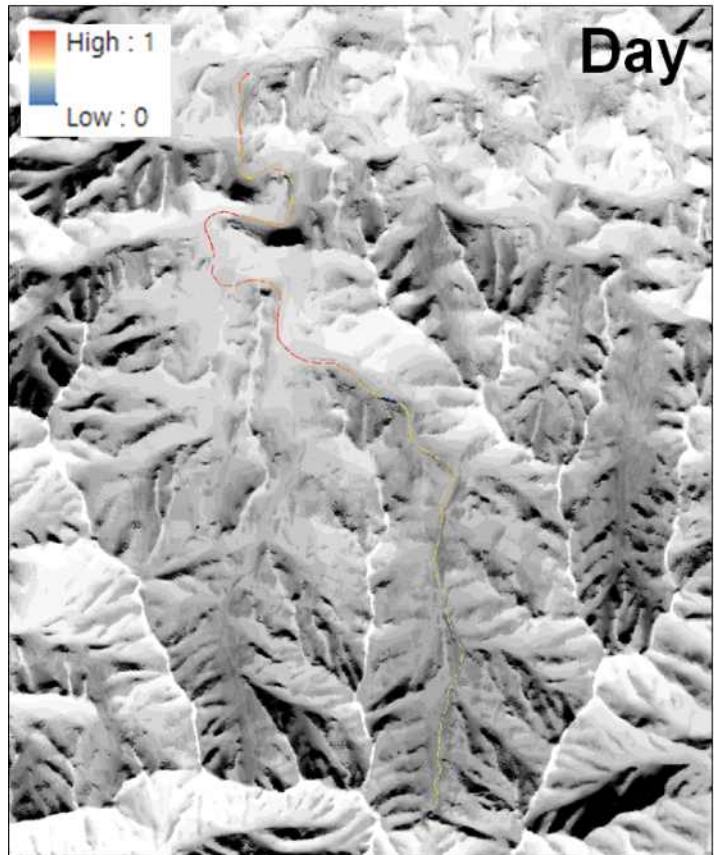
- 현재 기상관측장비 구축을 진행하였으며, 테스트베드 구간의 기상정보 및 노면상태 측정을 위하여 현장 조사가 마무리된 상태임
- 겨울철 테스트베드는 구간에 대한 기상정보는 다음 그림과 같이 기상청 데이터를 활용함
- 종관기상관측(ASOS) 자료를 활용하며, 테스트베드 구간 인근의 동두천 관측소의 자료를 활용함
- 기상정보의 데이터는 기온, 강수, 바람, 습도, 일사, 일조, 눈, 지면상태 등의 정보를 취득하여, 테스트베드 구간에 설치된 기상관측장비와의 비교를 통한 데이터 신뢰성을 구축함



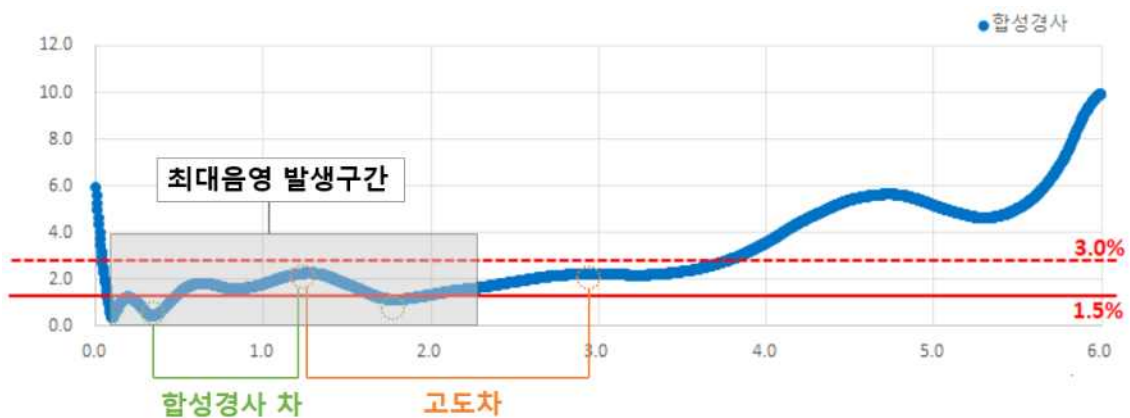
- 80 -



< 테스트베드 구간 >



< 테스트베드 구간의 그림자패턴 >



< 테스트베드 관측지점 선정 >

❖ 도로 노면결빙예보시스템 자동화 설계

○ 입력자료 구축 및 시스템 자동화 설계

- 수치자료들을 수집하여 각각의 해상도, 형식, 좌표를 공간매칭하여 구축하는 작업을 수행하고, 이를 도로 노면결빙예보시스템 개발에서 최종적으로 개발을 완료하였음
- 포천 테스트베드구간을 대상으로 자료를 수집하여 “구축-병합 및 추출 가공-지형 및 도로 생성-변환”과정을 수행함
- 도로 노면결빙 예보시스템에서는 태양복사모듈, 노면온도예측모듈, 수막두께산정모듈에서 현재부터 +24시간 후의 기상정보(기온, 습도, 풍속, 일사량, 복사량), 노면온도, 노면수막두께 예측정보를 기반으로 하여 노면습윤 영역, 수막영역, 도로기하정보를 반영한 노면결빙 후보영역을 4m×4m 공간해상도로 중첩추출하고, 이 영역의 노면결빙을 예측하여 노면결빙 예측정보를 24시간 갱신주기에 맞춰 상시 제공하는 예보기능을 자동화하였음

4) 도로 노면결빙예보시스템 설계 및 개발

❖ 도로 노면결빙예보시스템 설계

○ 노면결빙예보시스템 사용자 요구사항 분석

- 시스템 사용자 요구사항 분석을 위하여 도로관리 전문기관의 관련 전문가와 인터뷰를 진행하였고, 일반인 대상 노면결빙 인식 및 예보 프로그램에 대한 수요 조사 및 노면결빙 예보 시스템의 시연을 통한 만족도 조사 등을 수행하였음
- 노면결빙 관련 전문기관 인터뷰 결과(상세내용 별첨 3 참고)
 - 노면결빙예보시스템의 사용자 요구사항 분석을 위하여 한국도로공사와 국토관리청의 관련 전문가를 대상으로 현재 결빙예보시스템의 운영 현황 및 결빙 시 도로관리 상황과 요구사항에 대한 의견을 수렴하여 시스템 개발 시 반영함
 - 인터뷰 결과는 현재 운영상황에 대한 현황과 시스템 요구사항으로 나누어 세부 인터뷰 내용을 정리하고, 각 기관별 시스템을 다음과 같이 비교하였음
 - 도로 관리 기관에서 인터뷰 내용 정리 결과, 시스템에서 제작하고 있는 4m x 4m 크기 정도의 규모이면 예보 해상도로 충분할 것으로 응답함
 - 예보 시간 최선은 퇴근하기 전 17시에 예보를 해주는 것이 가장 좋으며 현재 시스템 상에서 1시간, 3시간, 6시간, 24시간 예보를 할 경우, 도로 관리 기관 입장에서는 대응하기 충분한 시간대라고 응답함
 - 두 기관 모두 예측 결과에 대한 신뢰도 및 정확도에 대한 검증이 필요하다고 응답함

< 각 기관별 시스템 비교 >

기관	한국도로공사	국토관리청
예보시스템	有 (기상청 협업 제작중)	無 (기상청 공개 자료 참고 후 대처)
모니터링 장비 유무	有 (20km 지점마다 설치)	有 (터널 및 교량 일부 계측기 설치)
제설기준	대기온도 4도, 노면온도 2도 이하 제설제 살포	대기온도 2~4도 이하, 강수확률 60% 이상, 습도 80% 이상
제설작업	필요시 2시간 단위 제설작업	필요시 2시간 단위 제설작업
결빙 현장 조사	無	有, 작업자 온도계 배포 후 현장 확인 진행
기타	시스템 제작 시 기계학습 모델 및 통계적 방법론 결빙예보	자체 결빙 취약구간 리스트 有 (A,B, C 기준, 정성적 평가)
요구사항	신뢰도 및 정확도 확보 17시 이전 예보 온도센서 정확도 검증	시스템 확립 필요 결빙예보 불확실성 해소 터널 및 교량 부분 고려 필요

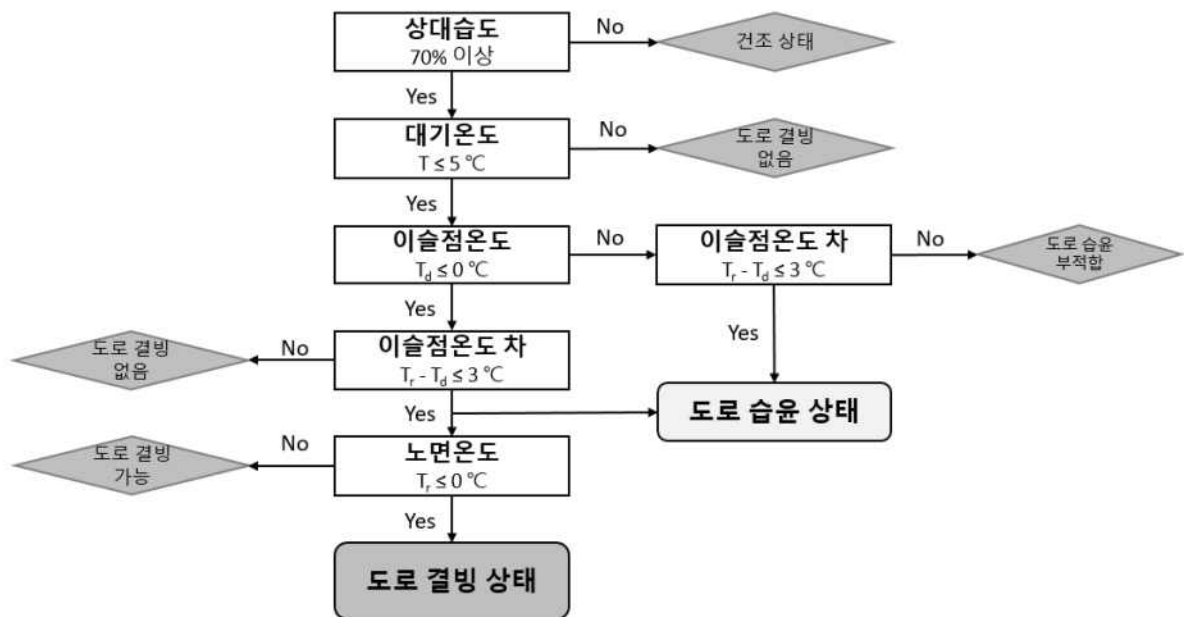
- 일반인 대상 노면결빙 인식 및 예보 프로그램에 대한 수요 조사 결과(상세내용 별첨 4 참고)
 - 사용자 요구사항과 관련하여 설문조사를 제작하여 배포하여 노면결빙 및 관련 현황 및 인식에 대해 조사하고자 설문조사를 진행함
 - 설문조사 기간은 2021년 10월 10일 ~ 10월 30일이며, 대상은 일반 운전자를 위주로 진행하였고, 총 87명이 응답하였음
 - 설문조사 결과, 도로결빙 또는 블랙아이스에 대해 어렵듯이 알고 있지만 자세하게는 알지 못하는 사람이 대부분을 차지하고 있어 이에 대한 홍보가 필요할 것으로 보임
 - 운전 시 도로 기상 관련 정보 서비스 및 예보를 접해보지 못했다는 답변이 전체의 39.5%이었으며, 노면결빙 예보서비스가 구현된다면 서비스를 활용할 의사에 대한 긍정적인 답변이 전체의 90.8%로 나타났으나, 응답자의 76.8%가 내비게이션을 기반으로 하여 운전 시 정보를 얻기 쉬운 방법을 선호하는 경향을 보여 정보에 대한 접근성이 중요한 요소인 것으로 생각됨
 - 응답자들이 도로결빙예보시스템 개선 시 가장 시급하다고 생각하는 것은 실시간으로 노면상태 정보를 사용자에게 제공하는 것으로 겨울철 도로결빙의 여부와 위치가 중요하다고 생각하는 것을 알 수 있음

- 노면결빙 예보 시스템의 시연을 통한 만족도 조사 결과(상세내용 별첨 5 참고)
 - 본 과제를 통해 개발한 노면결빙 예보시스템(<http://175.208.212.160/>)에 대한 만족도와 개선사항에 대해 조사를 하고자 설문조사를 진행함
 - 대상은 전문가 집단을 위주로 서면조사를 진행하고, 인터넷 설문조사를 활용하여 일반인 집단을 포함함
 - 시스템 시연 및 설문조사 진행기간은 2021년 12월로 총 응답자 수는 당초 목표하였던 20명을 초과하는 26명이 응답하였음(전문가: 18명, 비전문가: 8명)
 - 만족도 조사 결과, 노면결빙 예보시스템의 전반적인 만족도의 점수 평균은 8.1점으로 나타났으며, 대부분의 사용자가 만족하며 사용했다는 결과를 얻을 수 있음
 - 노면결빙 예보시스템의 현재 웹 기반 플랫폼의 접근성에 대하여 긍정적인 답변을 한 응답자들이 65.4%로 상당수를 차지하였으며, 반응형 웹사이트로 PC는 물론 모바일에서도 접속이 가능한 것이 큰 장점이 된 것으로 보임
 - 응답자의 시선에서 시스템의 좋았던 점이 도로결빙 예보 지점을 직접 확인할 수 있다는 것을 가장 큰 장점으로 생각한다는 점에서 도로결빙 예보가 운전자들에 있어서 굉장히 중요한 정보임을 나타내고 있으며, 수요조사 시 나온 의견을 적극 반영한 결과로 볼 수 있음
 - 추후 개선점으로는 차량용이나 모바일 내비게이션과 직접 연동되어 주행 중에 안내를 받을 수 있도록 개선되면 좋겠다고 답변한 응답자가 가장 많았고, 이와 비슷한 의도로 공공지도의 웹사이트와의 연계가 두 번째로 많았으며, 이에 대한 개선은 향후 후속과제를 통해 적극 반영할 예정임

○ 예보시스템 연산 효율성 향상을 위한 단계별 해석 방안 정립 및 알고리즘 개선

– 결빙판단 알고리즘 개선(1차)

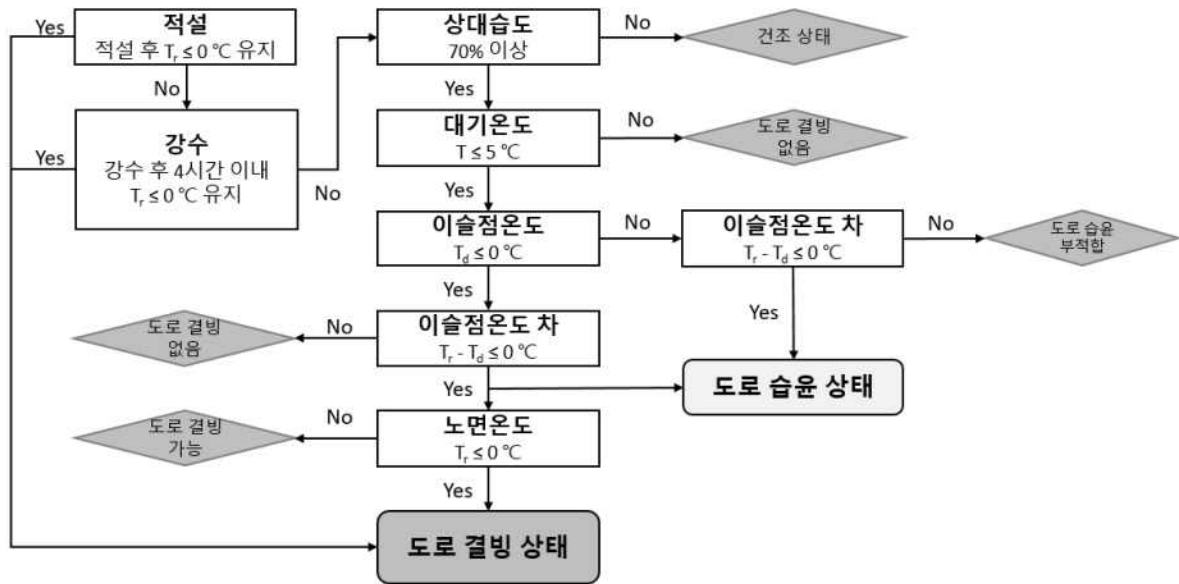
- 알고리즘 선정은 기존의 결빙판단 알고리즘에 실제 현장에서 측정한 데이터와 사전에 검토한 영향인자별 판단기준에 맞춰 알고리즘을 수정하는 방안으로 제작하였음
- 기존 알고리즘은 Lim(2020)의 알고리즘 판정식을 활용하여 실제 모니터링한 변수를 고려하여 수정하였음. 도로 결빙 상태의 판정은 노면상태가 도로 결빙 습윤 상태로 우선적으로 판정되어야 하며 도로 결빙의 습윤 상태는 포화된 공기가 냉각되면서 도로 노면에서 발생하는 상태임
- 이러한 점을 고려하였을 때 알고리즘은 도로 결빙 습도 조건은 습도(RH)가 70% 이상, 대기온도 5℃ 이하에서 노면온도(T_r)와 이슬점온도(T_d)의 차이가 3℃ 이하의 경우로 나타냈음. 이때, $T_r - T_d$ 차이가 3℃ 이하일 경우 도로 결빙 습도 조건에 부적합하며, 결빙 가능 구간에서 제외됨
- 도로 결빙 판정 조건은 도로 결빙 습도 조건을 모두 포함하고, T_d 가 0℃ 이하에서 $T_r - T_d$ 차이가 3℃ 이하이며, 이때 T_r 이 0℃ 이하일 때 도로 결빙으로 판정함. T_r 이 0℃ 이상일 경우에는 도로 결빙 가능 구간이라 분류하였으며 $T_r - T_d$ 의 값이 3℃ 이하일 때는 도로 결빙이 없다고 판단하였음



< 1차 노면결빙 알고리즘 >

– 결빙판단 알고리즘 개선(2차)

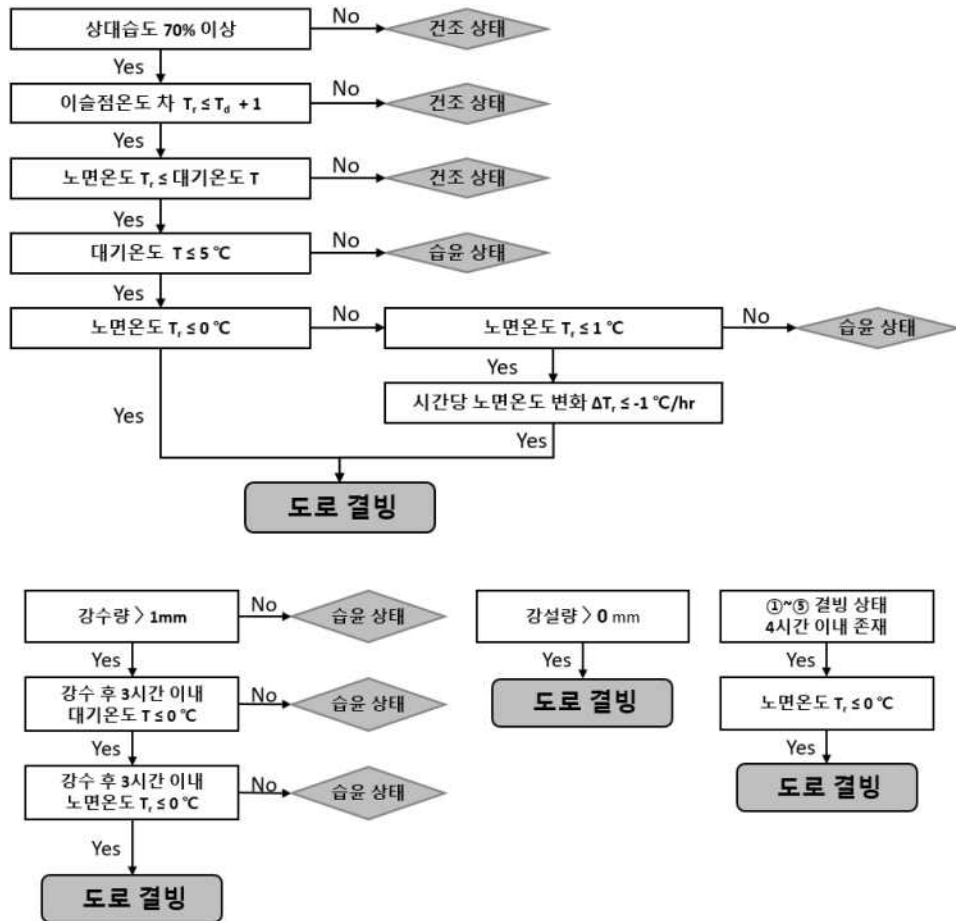
- 2차 알고리즘에서는 1차 알고리즘에서 제외되었던 기상 조건을 추가하고, 적설일 경우 영하를 유지하거나 강수가 발생한 경우에 대한 조건을 추가하였으며, 이슬점의 온도 차이로 인한 조건을 0℃에서 3℃에서 완화하여 온도 범위를 조정하였음
- 하지만 추가된 적설과 강우 외에 다른 조건을 추가할 필요성이 있고, 알고리즘이 여러 조건으로 인해 점점 복잡해짐에 따라 기상 상황에 따른 개별 알고리즘 판정식이 필요하게 되었음



< 2차 노면결빙 알고리즘 >

- 결빙판단 알고리즘 개선(3차)

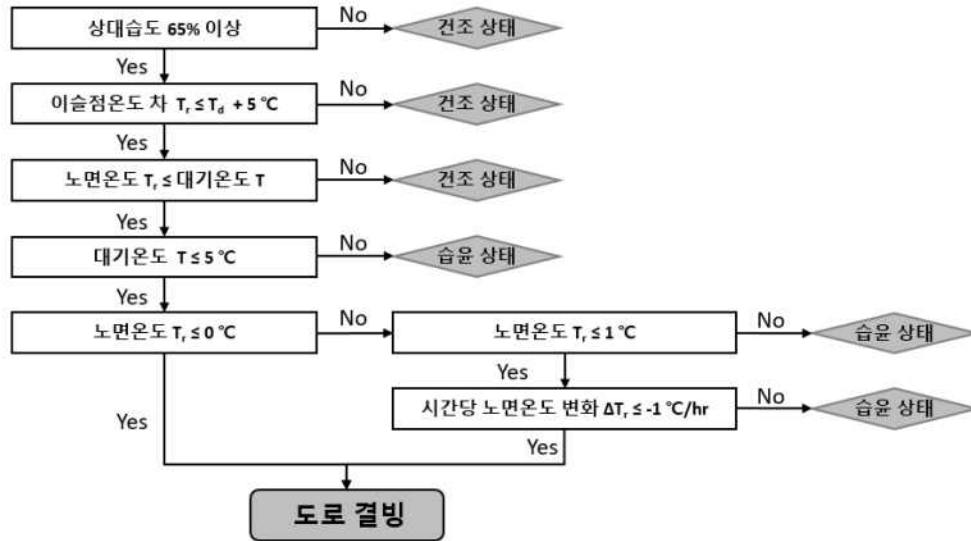
- 3차 알고리즘에서 기존 알고리즘에서는 하나의 판정식으로 모든 결빙 상황에 적용하기에는 어렵다는 문제점을 고려하여 결빙 유무 판정식에서 결빙 상황별로 알고리즘 판정식을 분리하였음
- 결빙 상황에 영향을 주는 요인들은 다양한 요인들이 있지만 모든 조건을 반영하기엔 어려움이 있기 때문에 기상 조건에 따라 발생하는 결빙을 중심으로 알고리즘을 재구성하였음
- 알고리즘은 응결에 의해 발생하는 결빙, 강수에 의해 발생하는 결빙, 적설에 의한 결빙, 결빙 상태에 대한 지속 등 총 4가지로 판정식을 분리함
- 또한, 노면결빙에 의해서 중복되는 알고리즘을 합치고 지금까지 측정했었던 기상 데이터를 기반으로 일부 수치를 변경하거나 추가하고, 알고리즘에서 다른 알고리즘 조건이 모두 다 만족하지 않더라도 하나의 알고리즘이라도 결빙이라고 결과가 나올 경우 결빙이라 판단하였음
- 3차 알고리즘에서 추가한 판정식은 3가지로 강수에 의한 결빙은 강수량이 1mm 이상이면서 강수 후 3시간 이내에 $T \leq 0^\circ\text{C}$ 이고, $T_r \leq 0^\circ\text{C}$ 일 경우 결빙이라고 판단하였으며, 강설이 있으면 노면결빙이 발생한다고 판단하였음
- 그 외에 결빙 상태 지속에 관한 알고리즘은 노면이 결빙 상태에서 온도가 상승하여 해빙되었다 하더라도 과거 4시간 이내에 결빙이 발생한 이력이 있고, 다시 노면온도가 영하로 내려갈 경우, 다른 조건에 상관없이 결빙이 발생하는 것으로 알고리즘을 구성하였음



< 3차 노면결빙 알고리즘 >

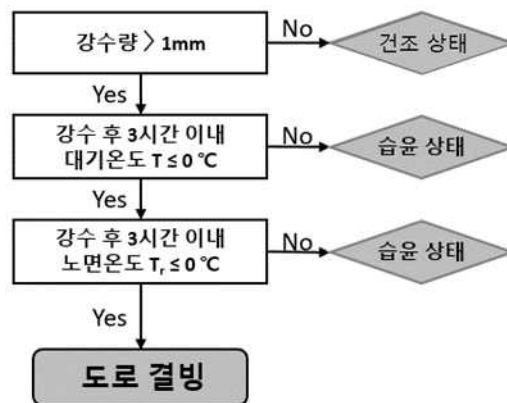
- 결빙판단 알고리즘 개선(4차, 최종)

- 3차 알고리즘에는 풍속에 의한 조건을 결빙 알고리즘에서 고려하지 않았으나, 4차 알고리즘에서는 Karlsson이 제시한 노면온도 풍속을 비교하여 풍속에 의해 결빙 여부를 판단하는 알고리즘을 추가하였음
- 하나의 알고리즘에서 모든 기상상황과 환경을 반영할 수 없기 때문에 알고리즘을 총 6단계로 분리하였음
- 알고리즘 판단 순서는 결빙 상태 → 습윤 상태 → 건조 상태 순서로 판별하며 1단계에서 6단계까지 알고리즘 하나라도 결빙조건을 만족하면 결빙이라고 판정하는 방식임
- 응결에 의한 결빙은 상대습도가 65% 이상이거나 노면온도와 이슬점의 온도 차이가 $T_r \leq T_d + 5^\circ\text{C}$ 이면서 노면온도가 대기온도보다 낮거나 같고, 대기온도가 5도 이하이며, 노면온도가 0도 이하일 경우 결빙이라고 판단하였음
- 온도 차이 값을 5°C 로 설정한 근거는 온도 측정 시 오차범위가 $2\sim 5^\circ\text{C}$ 차이가 났으며, 같은 지점이라고 하더라도 포인트에서 $1\sim 2\text{cm}$ 정도만 벗어나더라도 온도가 다르게 측정되는 점을 고려하여 온도 차이 값의 오차범위를 더 크게 설정하였음
- 이외에 노면온도가 0°C 이상일 경우이더라도 노면온도가 1°C 이하면서 시간당 노면온도의 변화가 -1°C 이하일 경우 결빙이라 판단하였음
- 이는 두 조건 모두 습도와 연관이 있는 것으로 노면온도가 충분히 낮다면 습도가 70% 미만에서도 응결이 발생한다는 점을 고려하였음
- 비나 눈과 같은 기상 조건이 없어도 결빙이 발생하여 관측되었으며, 응결에 의한 결빙이 발생 전의 상대습도가 최저 49%에서 69% 사이에서 측정되었고, 결빙이 발생한 시점의 습도는 64%~88%로 측정되었기 때문에 결빙이 발생하는 상대습도 기준을 65%로 완화하였음



< 최종 노면결빙 알고리즘 - 1 >

- 강수에 의한 결빙은 강수량이 시간당 강수량이 1mm 이상이면서 강수 후 3시간 이내의 대기온도가 0℃ 이하이며 노면온도가 0℃ 이하일 때 결빙이라 판단하였음
- 강수에 의한 결빙의 판단기준은 강수량은 결빙이 발생하는데 최소한 시간당 1mm 이상의 강수가 필요하다고 가정하였으며, 겨울철 가장 온도가 높은 오후 시간대에 도로에 임의로 물을 살포하였을 때 결빙이 발생하기까지 평균 3시간 정도 소요되었기 때문에 결빙에 필요한 시간을 3시간이라 가정하고 알고리즘 기준을 설정하였음

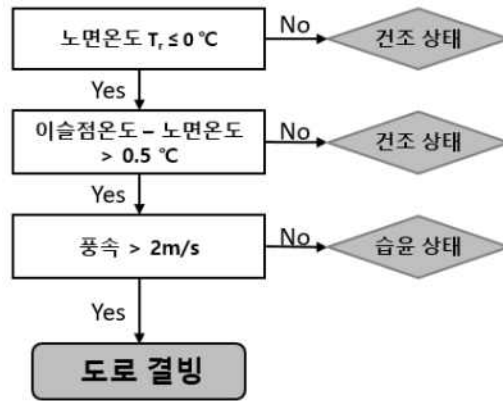


< 최종 노면결빙 알고리즘 - 2 >

- 적설 의한 결빙은 강설량이 발생했을 경우 결빙이라 판단하였으며, 풍속에 의한 결빙의 경우 노면온도가 0℃ 이하이면서, 이슬점온도와 노면온도 차이가 0.5℃ 미만이고, 풍속이 2m/s일 경우 결빙이라 판단함
- 3차 알고리즘에 없었던 수막에 의한 결빙조건이 추가되었는데 수막두께가 1mm 이상인 상태에서 노면온도가 영하로 내려갈 경우, 노면의 수막이 결빙된다고 판단하였음
- 또한, 결빙 상태 지속에 대해서는 노면이 결빙 상태에서 온도가 상승하여 해빙되었다 하더라도 과거 4시간 이내에 결빙이 발생한 이력이 있고 다시 노면온도나 대기온도가 영하로 내려갈 경우, 다른 조건에 상관없이 결빙이라 판단하였음
- 4차 알고리즘에서 결빙 상태 지속 알고리즘에 대한 조건을 완화하였는데, 3차 알고리즘에서는 결빙 상태 지속에 대해서는 노면온도가 영하일 경우에만 결빙이라 판정하였지만, 4차 알고리즘에서는 대기온도가 영하일 경우에도 결빙이라 판정하는 식을 추가하였음



< 최종 노면결빙 알고리즘 - 3 > < 최종 노면결빙 알고리즘 - 4 > < 최종 노면결빙 알고리즘 - 5 >



< 최종 노면결빙 알고리즘 - 6 >

- 결빙조건을 완화하는 이유에 대해서는 알고리즘의 정확도를 올려 최적화하고자 하는 것이 1차 목표이지만 그 외에 도로 결빙 상태를 예보하지 못하는 경우를 최소화하기 위함이며, 결빙이 아닌 상황을 결빙이라고 잘못 예보하는 것보다 결빙 상황을 결빙이 아니라고 잘못 예보하는 것이 훨씬 더 위험하고 심각한 상황이라고 판단하기 때문임

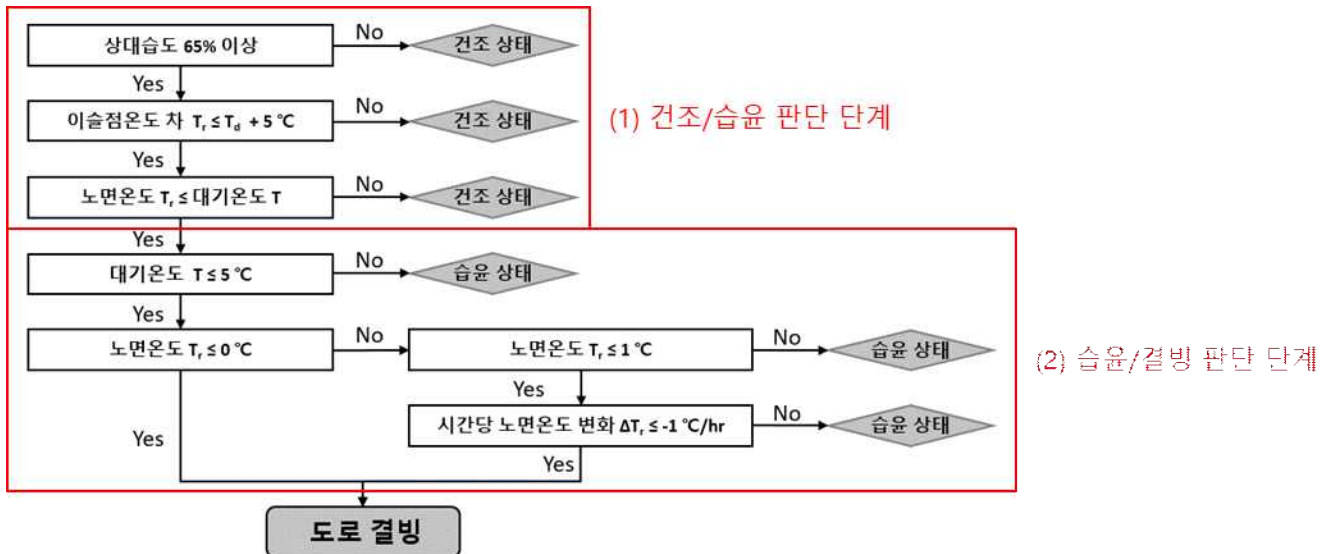
< 알고리즘 차수별 변경사항 >

	2차 알고리즘	3차 알고리즘	4차 알고리즘
① 응결에 의한 결빙	· 적설 후 $T_r \leq 0^\circ\text{C}$ 유지 추가, · 강수 후 4시간 이내 $T_r \leq 0^\circ\text{C}$ 유지 추가 · 이슬점온도 차 $T_r - T_d \leq 0^\circ\text{C}$ 변경	· 알고리즘의 분리 (강수, 적설, 결빙 상태 지속)	· 상대습도 65% 이상 · 이슬점온도 차이 $T_r \leq T_d + 5^\circ\text{C}$ 변경
② 강수에 의한 결빙	-	· 강수량 $> 1\text{mm}$, 강수 후 3시간 이내 $T \leq 0^\circ\text{C}$, $T_r \leq 0^\circ\text{C}$ 추가	· 변경사항 없음
③ 적설에 의한 결빙	-	· 강설량 $> 0\text{mm}$ 추가	· 변경사항 없음
④ 수막에 의한 결빙	-	-	· 수막두께 $> 1\text{mm}$ 추가 · 노면온도 $T_r \leq 0^\circ\text{C}$ 추가
⑤ 결빙 상태 지속	-	· 결빙 상태 4시간 이내 존재 추가 · 노면온도 $T_r \leq 0^\circ\text{C}$ 추가	· 대기온도 $T \leq 0^\circ\text{C}$ 추가
⑥ 풍속에 의한 결빙	-	-	· 노면온도 $T_r \leq 0^\circ\text{C}$ 추가 · 이슬점온도-노면온도 $> 0.5^\circ\text{C}$ 추가 · 풍속 $> 2\text{m/s}$ 경우 추가

– 결빙판단 알고리즘의 단계별 해석방안

(1) 1단계 : 응결에 의한 결빙 알고리즘 (알고리즘 ①)

- 알고리즘에 필요한 조건 : 상대습도, 노면온도, 대기온도, 이슬점온도
- 알고리즘에 의한 결과 값 : 건조 상태, 습윤 상태, 결빙 상태
- 응결에 의한 결빙 알고리즘은 노면에 응결현상이 발생하여 이슬이 맺히고 이때 노면온도가 결빙이 발생하기에 충분히 낮다면 결빙이 발생한다는 것으로 보았음
- 이 알고리즘이 작동하기 위해서는 상대습도, 노면온도, 대기온도, 이슬점온도가 필요하며, 상대습도, 대기온도, 이슬점온도는 기상예보를 통하여 수집 및 적용하고 노면온도의 경우 노면온도 예측모델을 통하여 데이터를 적용함
- 상대습도가 65% 이상이며 노면온도와 이슬점온도의 차이가 5°C 이하이고 노면온도가 대기온도보다 낮은 상태이면 노면에 습기가 생긴다고 판단하였음
- 또한, 노면에 습기가 생긴 상황에서 대기온도가 5°C 이하이고 노면온도가 영하라면 결빙이 발생한다고 판단하였음
- 그 외에도, 노면온도가 $0\sim 1^{\circ}\text{C}$ 사이이더라도 이전 1시간의 노면온도와 비교하였을 때, 1°C 이상의 온도 감소가 감지되었을 때에는 결빙 상태로 판단하였음

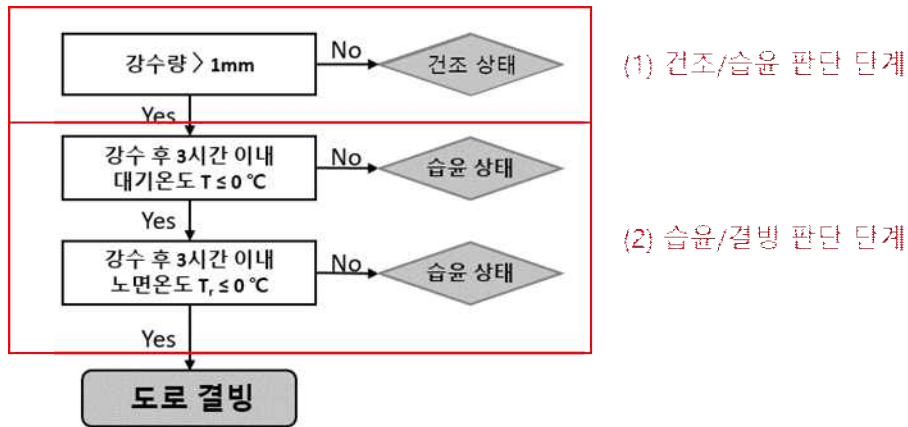


< 알고리즘 ① 의 단계별 해석 >

(2) 2단계 : 강수에 의한 결빙 알고리즘 (알고리즘 ②)

- 알고리즘에 필요한 조건 : 시간당 강수량, 대기온도, 노면온도
- 알고리즘에 의한 결과 값 : 건조 상태, 습윤 상태, 결빙 상태
- 강수로 인해 노면이 습윤 상태가 되었고 도로가 마르기 전에 기온과 노면이 영하가 되면 결빙이 발생한다고 보았음
- 이 알고리즘이 작동하기 위해서는 시간당 강수량, 대기온도, 노면온도가 필요하며 시간당 강수량, 대기온도는 기상예보를 통하여 수집 및 적용하고 노면온도의 경우 앞서와 마찬가지로 노면온도예측모델을 통하여 데이터를 적용함
- 노면이 충분히 젖기 위해서는 시간당 강수량이 1mm 이상이 되어야 한다고 판단하였고 아니면 건조 상태로 판단하였음
- 습윤 상태에서 도로가 다시 건조되기 위해서는 3시간의 시간이 필요하다고 관측하였고 따라서 강수가 그친 이후 3시간까지 습윤 상태를 유지한다고 판단하였음

- 이 상태에서 대기온도와 노면온도가 영하로 떨어진다면 노면에 결빙이 발생한다고 판단하였음



< 알고리즘 ② 의 단계별 해석 >

(3) 3단계 : 적설에 의한 결빙 알고리즘 (알고리즘 ③)

- 알고리즘에 필요한 조건 : 적설량
- 알고리즘에 의한 결과 값 : 결빙 상태
- 적설에 의한 결빙 알고리즘은 가장 간단하게 이루어져 있으며, 눈이 내리면 다른 조건에 상관없이 결빙이 발생할 위험이 있기 때문에 결빙으로 판단하였음
- 이 알고리즘이 작동하기 위해서는 적설량이 필요하며 기상예보를 통하여 데이터를 수집 및 적용함
- 다른 알고리즘과 마찬가지로 결빙 상태가 얼마나 지속되느냐는 알고리즘 ⑤ 결빙 상태 지속 알고리즘과 연관되어 있음

(4) 4단계 : 수막에 의한 결빙 알고리즘 (알고리즘 ④)

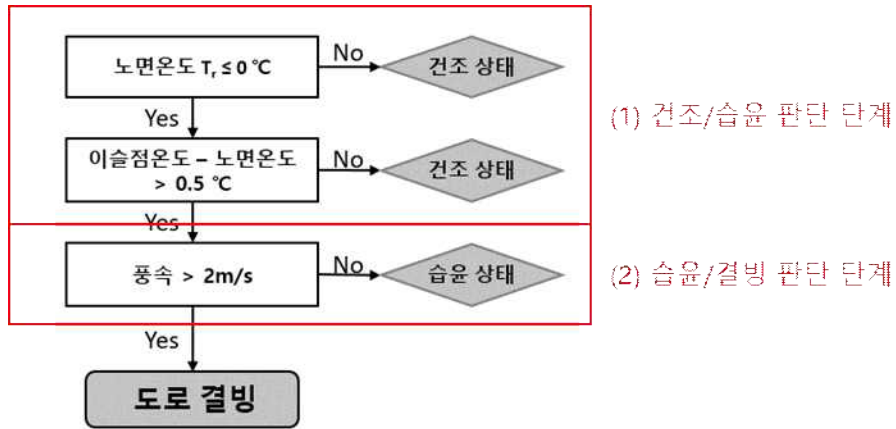
- 알고리즘에 필요한 조건 : 수막 두께, 노면온도
- 알고리즘에 의한 결과 값 : 결빙 상태
- 수막에 의한 결빙 알고리즘은 수막 두께가 1mm를 초과한 상태에서 노면온도가 영하로 내려갈 경우 결빙 상태로 판단하였음
- 이 알고리즘이 작동하기 위해서는 수막 두께와 노면온도가 필요한데, 수막 두께는 수막두께예측모델을 통하여 산출되고 노면온도는 노면온도예측모델을 통하여 정해짐

(5) 5단계 : 풍속에 의한 결빙 알고리즘 (알고리즘 ⑥)

- 알고리즘에 필요한 조건 : 노면온도, 이슬점온도, 풍속
- 알고리즘에 의한 결과 값 : 건조 상태, 습윤 상태, 결빙 상태
- 풍속에 의한 결빙 알고리즘은 노면온도가 영하인 상태에서 이슬점온도와 노면온도의 차이가 0.5℃보다 크면 습윤 상태로 판단하고 이후에 풍속이 2m/s를 넘게 되면 결빙이 발생하는 것으로 판단함

(6) 6단계 : 결빙 상태 지속에 의한 알고리즘 (알고리즘 ⑤)

- 알고리즘에 필요한 조건 : 이전 4시간까지의 알고리즘 결과 값, 노면온도, 대기온도
- 알고리즘에 의한 결과 값 : 결빙 상태
- 결빙 상태 지속에 의한 알고리즘은 노면이 결빙 상태인 경우 노면온도 혹은 대기온도가 영하의 상태를 유지할 경우 결빙 상태가 지속된다고 판단하는 알고리즘으로 이후 결빙조건을 만족하지 못하게 되더라도 결빙 상태의 노면이 녹고, 건조되기까지 4시간은 필요하다고 관측하였음



< 알고리즘 ⑥ 의 단계별 해석 >

(7) 7단계 : 결빙판단 알고리즘 종합

- 알고리즘에 필요한 조건 : 알고리즘 ①~⑥의 결과 값
- 알고리즘에 의한 결과 값 : 건조 상태, 습윤 상태, 결빙 상태
- 결빙판단 알고리즘의 종합은 ①~⑥의 알고리즘 중 하나라도 결빙 상태라고 판단된 경우, 종합 결과는 결빙 상태라고 판단함
- ①~⑥의 알고리즘에서 결빙 상태가 하나도 없는 상태에서 습윤 상태라고 판단된 알고리즘이 하나라도 있을 경우, 마찬가지로 종합 결과는 습윤 상태라고 판단함
- ①~⑥의 알고리즘에서 결빙 상태와 습윤 상태가 모두 없을 경우 종합 결과는 건조 상태라고 판단함

< 결빙판단 알고리즘의 단계별 해석방안 >

단계	알고리즘 기준 단계 설정	적용 조건	결과값
1단계	① 응결에 의한 결빙	상대습도, 노면온도, 대기온도, 이슬점온도	건조, 습윤, 결빙 상태
2단계	② 강수에 의한 결빙	시간당 강수량, 대기온도, 노면온도	건조, 습윤, 결빙 상태
3단계	③ 적설에 의한 결빙	적설량	결빙 상태
4단계	④ 수막에 의한 결빙	수막 두께, 노면온도	결빙 상태
5단계	⑥ 풍속에 의한 결빙	노면온도, 이슬점온도, 풍속	건조, 습윤, 결빙 상태
6단계	⑤ 결빙 상태 지속	이전 4시간까지의 알고리즘 결과 값, 노면온도, 대기온도	결빙 상태
7단계	1~6단계 종합	알고리즘 ①~⑥의 결과값	건조, 습윤, 결빙 상태

- 장비 설치 및 결빙 모니터링 현장 선정

- 1차~4차에 걸친 알고리즘 수정과 검증을 위하여 현장에 도로 결빙을 관측하고 기상 환경을 측정할 수 있는 장비를 설치하여 모니터링을 진행하였음
- 이 모니터링을 통하여 수집한 데이터로 알고리즘의 정확성을 검증하였고 알고리즘 개선 작업을 하였음
- 현장은 도로결빙이 자주 발생하며, 기온이 영하 이상으로 최대한 장기간 측정할 수 있는 경기도 포천시 신북면 금동리 산 55-3과 121-4 일대를 선정하였음
- 해당 지점은 2곳을 선정하였으며 합성경사 지점으로 도로결빙이 자주 발생하며 겨울철의 다양한 기후환경을 모니터링 할 수 있고, 4월까지 영하로 온도 저하가 발생하는 지점이라 장기간 관측이 가능한 지점임
- 그 외에도 교통 이동량이 많지 않으며 주요 도로에서 여유가 있는 노견 지점이라 제설 차량과 제설제로 인한 영향이 최소화되는 지점이며, 도로변에 위치한 가로등으로 광량 확보가 어려운 야간에도 사진 촬영이 가능하기 때문임
- 1번 지점은 산지에 위치한 지점으로 2번 지점보다 해발고도가 120m가량 더 낮으며 차량 및 인적 이동이 더 적은 지점으로 1번과 2번 지점의 평균온도를 비교하였을 때, 평균온도 1월 1.6℃, 2월 1.3℃, 3월 0.7℃가 더 낮아 1번 지점이 결빙이 발생하기 더 쉬운 조건이라 판단됨



< 노면결빙 모니터링 지점 >

< 측정지점 특징 >

항목	1번 지점	2번 지점
위치	경기도 포천시 신북면 금동리 산 55-3	경기도 포천시 신북면 금동리 산 121-4
경사	2.7°	0.2°
해발고도	273m	153m
음지 여부	반음지	양지
차량 차선	3차선	3차선
주변 환경	산림	농가, 캠핑장
광원 여부	가로등 광원	가로등 광원
기타	합성경사 지점	합성경사 지점

– 환경 모니터링 측정 및 도로 환경 촬영

- 노면결빙 예보 알고리즘의 검증을 위해 테스트베드 구간에 설치할 기상관측장비는 다양한 기상정보를 측정할 수 있는 장비를 구축하여 기상정보와 노면 정보를 획득하였음
- 기상관측장비는 DAVIS사의 Vantage Pro2 Plus를 이용하고 노면온도는 매립형 온도센서를 활용하였음
- Vantage Pro2의 경우 온도, 습도, 이슬점, 강수량, 기압, 일사량, 풍속, 풍향과 같은 환경 데이터를 측정할 수 있으며 장비에서 측정하는 데이터 이외에도 추가적으로 센서를 설치할 수 있어 대기온도 측정 이외에도 노면온도 측정을 위하여 온도 측정이 가능한 프로브 센서를 추가로 장비에 연결하여 노면온도를 측정하였음
- 영하의 온도까지 측정해야 점을 고려하여 -40°C 까지 측정 가능한 온도센서를 선정하였으며, 최대한 정확한 노면온도 측정을 위하여 도로와 동일한 아스팔트 시편을 현장에 추가적으로 설치하여 아스팔트 시편에 센서가 들어갈 수 있는 구멍을 뚫어 센서를 최대한 밀착시켜 설치하였음
- 데이터 기록 주기는 5분마다 기상 상황을 기록하였으며 사진 촬영도 데이터 기록 주기와 동일한 5분마다 촬영될 수 있도록 하였음
- 측정 기간은 2021년 1월 5일부터 3월 31일까지 진행하였으며 측정 결과 1월의 평균 기온은 -3.9°C , 2월은 0.1°C , 3월은 6.2°C 이었으며, 최저기온은 -22.6°C 까지 측정되었음
- 86일의 측정 기간 동안 평균 기온이 영하로 떨어진 일수는 31일이었으며, 최저 온도가 영하 밑으로 측정된 날은 75일이었음



< 기상관측장비와 카메라 및 설치 현장 >



< 노면온도 측정용 아스팔트 시편 설치 및 측정 장비 콘솔 >

– 측정자료 결빙 판정 분석

- 포천 지방도 379호선에 설치한 기상관측기기와 카메라를 통한 육안검토로 구축한 데이터를 기반으로 검증을 진행하였고, 관측기기 설치 후 실제로 결빙이 발생했었던 1월 26일부터 3월 31일까지 기간의 데이터로 모니터링을 진행하였음
- 비정상적인 데이터이거나 분석 사진으로 적절하지 않은 경우를 제외하고 최종적으로 57,222건의 데이터와 사진 41,538건을 활용하여 영상 비교와 실제 현장 확인, 데이터를 통하여 결빙 여부에 관해 확인함

- 결빙 사례에서는 크게 응결에 의한 결빙, 강수에 의한 결빙, 적설에 의한 결빙, 결빙 상태의 지속 등이 사진 데이터 상에서 확인 가능하였으며, 기상관측장비의 측정데이터에서 결빙 건수는 28,393건이라 판단하였음

응결에 의한 결빙	강수에 의한 결빙
	
적설에 의한 결빙	결빙 상태 지속
	

< 도로결빙 사례 >

- 측정자료 결빙판단 알고리즘 적용
 - 상기 설명한 측정자료와 사진을 통한 관측자료를 기반으로 결빙판단 알고리즘을 적용하였음
 - Temp Out (기온), Out Hum (습도), Dew Pt (이슬점온도), Wind Speed (풍속), Rain (강수량), Rain Rate (시간당 강수량), Soil Temp (노면온도)

	A	B	C	D	G	H	I	S	T	AJ	AK	AQ	AS	AT
1	번호	Date	Time	Temp Out	Hum	Dew Pt	Wind Speed	Rain	Rain Rate	Soil Temp 1	Soil Temp 2	시편상태	날씨	알고리즘1
1059	1057	2021-01-29	4:05 PM	-4.9	31	-19.5	0.9	0	0	-1.1	---	눈		Dry condition
1060	1058	2021-01-29	4:10 PM	-4.9	30	-19.8	0.9	0	0	-1.1	---	눈		Dry condition
1061	1059	2021-01-29	4:15 PM	-4.9	29	-20.3	0.4	0	0	-1.7	---	눈		Dry condition
1062	1060	2021-01-29	4:20 PM	-4.9	29	-20.3	0.9	0	0	-1.7	---	눈		Dry condition

< 1차 알고리즘 적용 예시 >

- 측정 자료와 관측 자료를 정리한 파일에 1차 알고리즘을 적용한 모습 일부를 나타내었고, A~AO열은 측정데이터이지만 알고리즘에 필요치 않은 데이터는 숨김 처리하였음
- AQ열은 사진을 통한 관측 자료를 분석하여 노면상태를 표시하였으며, AS열도 사진을 통한 관측 자료를 분석하여 눈이나 비와 같은 기상상태가 발생할 경우 기입하였음
- AT열에 1차 알고리즘을 적용하였는데 그 내용은 다음과 같음

=IF(G1000>70,IF(D1000<=5,IF(H1000<=0,IF((AJ1000-H1000)<=3,IF(AJ1000<=0,"Road freezing condition","Freezing highly probable"),"No road freezing"),IF((AJ1000-H1000)<=3,"Road wet condition","Unsuitable road wet condition")),"No road freezing"),"Dry condition")

- 1차 알고리즘의 경우 알고리즘 형태가 단순하여 하나의 행으로 표현이 가능하였음
- 하지만 눈이나 비와 같은 기상상황을 반영하지 못하여 알고리즘 개선의 필요성이 대두되었음

	A	B	C	D	G	H	I	S	T	AJ	AK	AQ	AS	AV
1	번호	Date	Time	Temp	Out	Dew	Wind	Rain	Rain	Soil	Soil	시편상T	날씨	알고리즘2
2				Out	Hum	Pt	Speed	Rate	Rate	Temp 1	Temp 2			
1059	1057	2021-01-29	4:05 PM	-4.9	31	-19.5	0.9	0	0	-1.1	---	눈		Dry condition
1060	1058	2021-01-29	4:10 PM	-4.9	30	-19.8	0.9	0	0	-1.1	---	눈		Dry condition
1061	1059	2021-01-29	4:15 PM	-4.9	29	-20.3	0.4	0	0	-1.7	---	눈		Dry condition
1062	1060	2021-01-29	4:20 PM	-4.9	29	-20.3	0.9	0	0	-1.7	---	눈		Dry condition
1063	1061	2021-01-29	4:25 PM	-5.1	30	-20	0.9	0	0	-2.2	---	눈		Dry condition

< 2차 알고리즘 적용 예시 >

- 1차 알고리즘에 눈과 비와 같은 기상상황을 추가하여 2차 알고리즘을 제시하였으나, 구체적인 강우량이나 강설량에 대해 제시하지는 않음
- 사진을 통한 관측데이터에 기반하여 강우·강설을 판별하였고 AV열에 알고리즘을 다음과 같이 입력하였음

$$=IF(AS1000="눈","Road freezing condition",IF(AS1000="눈온 후","Road freezing condition",IF((AS1000="젖음")*(AJ1000<=0),"Road freezing condition",IF(G1000>70,IF(D1000<=5,IF(H1000<=0,IF(AJ1000<=H1000,IF(AJ1000<=0,"Road freezing condition","Freezing highly probable"),"No road freezing"),IF(AJ1000<=H1000,"Road wet condition","Unsuitable road wet condition"))),"No road freezing"),"Dry condition"))))$$
- 위 그림에 나온 적용 예시의 시점은 눈이 온 후에 영하의 온도가 지속되어 노면에 눈과 얼음이 남아있는 상태이지만 알고리즘은 습도가 낮게 측정되어 건조 상태로 판정이 되었음
- 이와 같이 2차 알고리즘의 경우, 눈과 비의 기상상황을 추가하여 개선하였지만 1차 알고리즘과 마찬가지로 추가적인 보완장치와 여러 조건별 알고리즘의 분리가 필요하게 됨

	A	B	C	D	G	H	I	S	T	AJ	AK	AQ	AR	BB	BC	BD	BE	BF
	Temp													알고리즘3				
	번호	Date	Time	Out	Hum	Pt	Rain	Rain	Rate	Temp 1	Temp 2	시편상T	날씨	①	②	③	④	최종
1059	1057	2021-01-29	4:05 PM	-4.9	31	-19.5	0	0	-1.1	---	눈		건조	건조		결빙	결빙	
1060	1058	2021-01-29	4:10 PM	-4.9	30	-19.8	0	0	-1.1	---	눈		건조	건조		결빙	결빙	
1061	1059	2021-01-29	4:15 PM	-4.9	29	-20.3	0	0	-1.7	---	눈		건조	건조		결빙	결빙	
1062	1060	2021-01-29	4:20 PM	-4.9	29	-20.3	0	0	-1.7	---	눈		건조	건조		결빙	결빙	
1063	1061	2021-01-29	4:25 PM	-5.1	30	-20	0	0	-2.2	---	눈		건조	건조		결빙	결빙	
1064	1062	2021-01-29	4:30 PM	-5.1	32	-19.2	0	0	-2.2	---	눈		건조	건조		결빙	결빙	

< 3차 알고리즘 적용 예시 >

- 3차 알고리즘에서 알고리즘을 4개로 분리하였고 그 중 하나라도 결빙이라고 판별이 되면 도로결빙을 결과 값으로 얻을 수 있도록 하였으며, 판별하는 결과 값을 결빙, 습윤, 건조 등 3개로 직관적으로 변경함
- ①번 알고리즘은 기존 1차, 2차 알고리즘과 비슷하게 기온, 노면온도, 이슬점온도, 습도 등을 이용하여 응결에 의한 결빙을 다음과 같은 수식으로 나타내었음

$$=IF(G1000<70,"건조",IF(AJ1000>H1000+1,"건조",IF(AJ1000>D1000,"건조",IF(D1000>5,"습윤",IF(AJ1000<=0,"결빙",IF(AJ1000>1,"습윤",IF(AJ1000<AJ988-1,"결빙","습윤"))))))))$$
- ②번 알고리즘은 강수 후에 노면이 마르기 전에 노면온도와 기온이 영하가 되어 결빙이 발생하는 것을 가정한 알고리즘으로 구하고자 하는 시점에서 과거 3시간 이내에 1mm보다 많은 강수량이 발생하였을 경우를 다음과 같이 추가하였음

$$=IF(COUNTIF(T964:T1000,">1"),IF(D1000<=0,IF(AJ1000<=0,"결빙","습윤"),"습윤"),"건조")$$
- ③번 알고리즘은 적설이 발생할 경우 다른 조건에 상관없이 결빙으로 간주하는 알고리즘으로 측정데이터에 적설 데이터는 있지 않아서 사진을 통한 관측데이터를 기반으로 하여 판별하였음

$$=IF(AR1000="눈","결빙","")$$
- ④번 알고리즘은 과거 4시간 이내에 결빙이 발생한 이력이 있고 노면온도가 영하로 내려갈 경우를 결빙으로 간주하는 것으로 노면에 결빙이 발생한 상태에서 노면온도가 영상으로 올라가더라도 결빙이 녹아

마르는 데까지 걸리는 시간을 4시간으로 가정한 알고리즘으로 다음과 같이 적용하였음

=IF(COUNTIF(BB952:BE999,"결빙"),IF(AJ1000<=0,"결빙",""),""))

- 마지막으로 BF열에 ①~④번 알고리즘 중 하나라도 결빙이라면 결빙으로 판별하였음

=IF(COUNTIF(BB1000:BE1000,"결빙"),"결빙",IF(COUNTIF(BB1000:BE1000,"습윤"),"습윤","건조"))

	A	B	C	D	G	H	I	S	T	AJ	AQ	AR	AT	BC	BD	BE	BF	BG	BH	BI
1	번호	Date	Time	Temp	Out	Dew	Wind	Rain	Rate	Temp 1	수막두께	사면상태	날씨	①	②	③	④	⑤	⑥	최종
2102	2100	2021-01-06	10:13 PM	-6.9	84	-9.1	0.4	0	0	-8.3	0	눈	눈온 후	결빙	건조			결빙	건조	결빙
2103	2101	2021-01-06	10:14 PM	-6.8	84	-9.1	0.4	0	0	-8.3	0	눈	눈온 후	결빙	건조			결빙	건조	결빙
2104	2102	2021-01-06	10:15 PM	-6.8	84	-9.1	0.9	0	0	-8.3	0	눈	눈온 후	결빙	건조			결빙	건조	결빙
2105	2103	2021-01-06	10:16 PM	-6.9	84	-9.1	0.4	0	0	-8.3	0	눈	눈온 후	결빙	건조			결빙	건조	결빙
2106	2104	2021-01-06	10:17 PM	-6.8	84	-9.1	0	0	0	-8.3	0	눈	눈온 후	결빙	건조			결빙	건조	결빙
2107	2105	2021-01-06	10:18 PM	-6.9	84	-9.1	0	0	0	-8.3	0	눈	눈온 후	결빙	건조			결빙	건조	결빙
2108	2106	2021-01-06	10:19 PM	-6.9	83	-9.3	0.4	0	0	-8.3	0	눈	눈온 후	결빙	건조			결빙	건조	결빙

< 4차 알고리즘 적용 예시 >

- 알고리즘이 개선됨에 따라 정확도가 지속해서 올라가고 있지만 세부 수치를 변경하여 관측된 결과와 알고리즘을 최대한 비슷한 결과가 나오도록 조정하였으며, 또한 풍속에 대한 결빙 알고리즘을 추가하였음
- 4차 알고리즘의 기본적인 사항은 3차 알고리즘과 크게 다르지 않고 수치를 조정하여 정확도를 높이는 것이 주요 변경점임

- ①번 알고리즘은 상대습도 조건을 70%→65%로 완화하였고 노면온도와 이슬점온도 차이도 기존 1℃에서 5℃로 완화하여 다음과 같이 적용하였음

=IF(G1000<65,"건조",IF(AJ1000>H1000+5,"건조",IF(AJ1000>D1000,"건조",IF(D1000>5,"습윤",IF(AJ1000<=0,"결빙",IF(AJ1000>1,"습윤",IF(AJ1000<AJ988-1,"결빙","습윤"))))))))

- ②번 알고리즘은 3차 알고리즘과 변경사항 없이 적용하였음

=IF(COUNTIF(T964:T1000,">1"),IF(D1000<=0,IF(AJ1000<=0,"결빙","습윤"),"습윤"),"건조")

- ③번 알고리즘 또한 3차 알고리즘과 변경사항 없이 적용하였음

=IF(AT1000="눈","결빙","")

- ④번 알고리즘은 추가된 수막에 의한 결빙 알고리즘으로 수막두께와 노면온도를 조건으로 하여 다음과 같이 판별하였음

=IF(AQ1000>1,IF(AJ1000<=0,"결빙",""),""))

- ⑤번 알고리즘은 기존에는 노면온도만 온도조건에 포함이 되었는데 추가로 기온을 넣어서 노면온도 또는 기온이 영하이면 온도조건을 만족하도록 다음과 같이 적용하였음

=IF(COUNTIF(BC952:BH999,"결빙"),IF((AJ1000<=0)+(D1000<=0),"결빙",""),""))

- ⑥번 알고리즘이 추가된 풍속에 의한 결빙 알고리즘으로 노면온도, 이슬점온도, 풍속 등을 활용하여 결빙을 판별하게 되며 다음과 같이 적용하였음

=IF(AJ1000<=0,IF(H1000-AJ1000>0.5,IF(I1000>2,"결빙","습윤"),"건조"),"건조")

- 마지막으로 BG열에 3차 알고리즘과 동일하게 ①~⑤번 알고리즘 중 하나라도 결빙이라면 결빙으로 판별하였음

=IF(COUNTIF(BB1000:BF1000,"결빙"),"결빙",IF(COUNTIF(BB1000:BF1000,"습윤"),"습윤","건조"))

- 결빙판단 알고리즘 적중률 검증

- 1차 알고리즘의 경우, 적중률이 1번 지점은 56.58%로 저조하게 나타났으나, 2번 지점은 80.71%로 1번 지점보다 상대적으로 높게 나타났음
- 2차 알고리즘에는 1번 지점의 적중률이 상승하여 84.19%, 2번 지점의 경우 소폭 상승하여 82.31%로 나타났음
- 3차 알고리즘에는 1번 지점 84.46%, 2번 지점 87.08%로 2번 지점이 4.77% 상승하였고, 4차 알고리즘

에서는 1번 지점이 95.26%, 2번 지점이 88.86%로 상승하여 두 지점의 알고리즘 적중률이 93.22%로 나타났음

- 1차 알고리즘에서는 1번 지점보다 2번 지점이 훨씬 더 적중률이 높게 나타났으나, 4차 알고리즘에서는 1번 지점이 적중률이 더 높게 나타난 이유는 1번 지점이 2번 지점보다 다양한 기상환경 및 변화를 보이며 알고리즘 초기에는 기상환경의 변화에 관한 사례와 적정 수치가 반영되지 못하다가 알고리즘 차수가 진행될수록 결빙에 대한 변화 요인이 반영되어 적중률이 지속해서 상승한 결과임

< 차수별 알고리즘 적중률 >

구분	1차 알고리즘	2차 알고리즘	3차 알고리즘	4차 알고리즘
1번 지점	56.58% (22,072/39,007)	84.19% (32,841/39,007)	84.46% (32,946/39,007)	95.26% (37,159/39,007)
2번 지점	80.71% (14,702/18,215)	82.31% (14,992/18,215)	87.08% (15,862/18,215)	88.86% (16,186/18,215)
전체	64.26% (36,774/57,222)	83.59% (47,833/57,222)	85.29% (48,808/57,222)	93.22% (53,345/57,222)

- 결빙 알고리즘의 경우 결빙 시 하나의 알고리즘 이외 다른 알고리즘과 중복되어 적중되는 경우가 있어 알고리즘 조합별로 적중 건수를 분류하였음
- 총 63가지 조합이 발생하였으며, 1번 지점의 경우 케이스는 10개, 2번 지점의 경우 5개 조합으로 1번 지점이 훨씬 더 다양한 케이스를 보여주었음
- 1번 지점에서 결빙 알고리즘 비율은 ①의 경우 0.22%, ②강수에 의한 결빙은 없었으며, ③적설에 의한 결빙이 0.02%, ⑤결빙 상태가 지속된 경우는 62.67%이었음. 그 외에도 ①과 ⑤의 알고리즘의 조건이 동시에 일치하는 경우는 33.28%로 다수를 차지했으며, ③과 ⑤의 알고리즘이 동시에 적용된 경우는 0.63%, ⑤와 ⑥의 경우 0.01%를 차지하였고, ①, ③, ⑤가 동시에 적용된 경우는 3.01%를 차지하였음
- 2번 지점에서 결빙 판정식에서 알고리즘 구성 비율은 ①의 경우 1.68%, 강수에 의한 결빙은 없었으며, ③적설에 의한 결빙이 0.02%이었고, 결빙 상태가 지속된 경우는 41.84%이었음. 그 외에도 ①과 ⑤ 알고리즘의 조건이 동시에 일치하는 경우는 53.16%로 절반 이상을 차지했으며, ③과 ⑤ 알고리즘이 동시에 적용된 경우는 1.44%, ①, ③, ⑤가 동시에 적용된 경우는 1.56%를 차지하였음
- 전체적으로 보았을 때 가장 높은 비율을 차지했었던 알고리즘은 ⑤결빙 상태 지속 알고리즘이 17,688건으로 전체의 58.52%를 차지하였고, 다음으로 ①응결에 의한 결빙과 ⑤결빙 상태 지속이 11,256건으로 37.24%, ⑤와 ①+⑤이 95.76%로 가장 다수를 차지하고, 그 외에 응결과 적설, 결빙 상태의 지속으로 인한 경우도 822건으로 2.72%를 차지하였음
- ② 강수에 의한 결빙과 ⑥ 풍속에 의한 결빙은 독립적으로 알고리즘이 적용되는 경우는 없었으며, ②와 ⑥ 알고리즘의 경우 ③, ⑤과 함께 적용되는 케이스가 대부분이었고, 특히 2021년 겨울의 경우 강추위로 인하여 강수가 거의 발생하지 않고 강설이 발생하는 경우가 대부분이라 강수에 의한 결빙이 특히 작게 나타났을 것이라 예상됨

< 알고리즘 적중 시 알고리즘별 비율 >

알고리즘	1번 지점		2번 지점		합계	
① 응결에 의한 결빙	0.22 %	(54/24205)	1.68 %	(101/6021)	0.51%	155
② 강수에 의한 결빙	0.00 %	(0/24205)	0.00 %	(0/6021)	0.00%	0

알고리즘	1번 지점		2번 지점		합계	
③ 적설에 의한 결빙	0.02 %	(5/24205)	0.20 %	(12/6021)	0.06%	17
④ 수막에 의한 결빙	0.00 %	(0/24205)	0.00 %	(0/6021)	0.00%	0
⑤ 결빙 상태 지속	62.67 %	(15169/24205)	41.84 %	(2519/6021)	58.52%	17,688
⑥ 풍속에 의한 결빙	0.00 %	(0/24205)	0.00 %	(0/6021)	0.00%	0
①+②	0.00 %	(0/24205)	0.00 %	(0/6021)	0.00%	0
①+③	0.01 %	(3/24205)	0.12 %	(7/6021)	0.03%	10
①+④	0.00 %	(0/24205)	0.00 %	(0/6021)	0.00%	0
①+⑤	33.28 %	(8055/24205)	53.16 %	(3201/6021)	37.24%	11,256
①+⑥	0.00 %	(0/24205)	0.00 %	(0/6021)	0.00%	0
②+③	0.00 %	(0/24205)	0.00 %	(0/6021)	0.00%	0
②+④	0.00 %	(0/24205)	0.00 %	(0/6021)	0.00%	0
②+⑤	0.00 %	(0/24205)	0.00 %	(0/6021)	0.00%	0
②+⑥	0.00 %	(0/24205)	0.00 %	(0/6021)	0.00%	0
③+④	0.00 %	(0/24205)	0.00 %	(0/6021)	0.00%	0
③+⑤	0.63 %	(153/24205)	1.44 %	(87/6021)	0.79%	240
③+⑥	0.00 %	(0/24205)	0.00 %	(0/6021)	0.00%	0
④+⑤	0.00 %	(0/24205)	0.00 %	(0/6021)	0.00%	0
④+⑥	0.00 %	(0/24205)	0.00 %	(0/6021)	0.00%	0
⑤+⑥	0.01 %	(2/24205)	0.00 %	(0/6021)	0.01%	2
①+②+③	0.00 %	(0/24205)	0.00 %	(0/6021)	0.00%	0
①+②+④	0.00 %	(0/24205)	0.00 %	(0/6021)	0.00%	0
①+②+⑤	0.00%	(0/24205)	0.00 %	(0/6021)	0.00%	0
①+②+⑥	0.00 %	(0/24205)	0.00 %	(0/6021)	0.00%	0
①+③+④	0.00 %	(0/24205)	0.00 %	(0/6021)	0.00%	0
①+③+⑤	3.01 %	(728/24205)	1.56 %	(94/6021)	2.72%	822
①+③+⑥	0.00 %	(0/24205)	0.00 %	(0/6021)	0.00%	0
①+④+⑤	0.00 %	(0/24205)	0.00 %	(0/6021)	0.00%	0
①+④+⑥	0.00 %	(0/24205)	0.00 %	(0/6021)	0.00%	0
①+⑤+⑥	0.04 %	(9/24205)	0.00 %	(0/6021)	0.03%	9
②+③+④	0.00 %	(0/24205)	0.00 %	(0/6021)	0.00%	0
②+③+⑤	0.11 %	(26/24205)	0.00 %	(0/6021)	0.09%	26
②+③+⑥	0.00 %	(0/24205)	0.00 %	(0/6021)	0.00%	0
②+④+⑤	0.00 %	(0/24205)	0.00 %	(0/6021)	0.00%	0
②+④+⑥	0.00 %	(0/24205)	0.00 %	(0/6021)	0.00%	0
②+⑤+⑥	0.00 %	(0/24205)	0.00 %	(0/6021)	0.00%	0
③+④+⑤	0.00 %	(0/24205)	0.00 %	(0/6021)	0.00%	0
③+④+⑥	0.00 %	(0/24205)	0.00 %	(0/6021)	0.00%	0

알고리즘	1번 지점		2번 지점		합계	
③+⑤+⑥	0.00 %	(0/24205)	0.00 %	(0/6021)	0.00%	0
④+⑤+⑥	0.00 %	(0/24205)	0.00 %	(0/6021)	0.00%	0
①+②+③+④	0.00 %	(0/24205)	0.00 %	(0/6021)	0.00%	0
①+②+③+⑤	0.00 %	(1/24205)	0.00 %	(0/6021)	0.00%	1
①+②+③+⑥	0.00 %	(0/24205)	0.00 %	(0/6021)	0.00%	0
①+②+④+⑤	0.00 %	(0/24205)	0.00 %	(0/6021)	0.00%	0
①+②+④+⑥	0.00 %	(0/24205)	0.00 %	(0/6021)	0.00%	0
①+②+⑤+⑥	0.00 %	(0/24205)	0.00 %	(0/6021)	0.00%	0
①+③+④+⑤	0.00 %	(0/24205)	0.00 %	(0/6021)	0.00%	0
①+③+④+⑥	0.00 %	(0/24205)	0.00 %	(0/6021)	0.00%	0
①+③+⑤+⑥	0.00 %	(0/24205)	0.00 %	(0/6021)	0.00%	0
①+④+⑤+⑥	0.00 %	(0/24205)	0.00 %	(0/6021)	0.00%	0
②+③+④+⑤	0.00 %	(0/24205)	0.00 %	(0/6021)	0.00%	0
②+③+④+⑥	0.00 %	(0/24205)	0.00 %	(0/6021)	0.00%	0
②+③+⑤+⑥	0.00 %	(0/24205)	0.00 %	(0/6021)	0.00%	0
②+④+⑤+⑥	0.00 %	(0/24205)	0.00 %	(0/6021)	0.00%	0
③+④+⑤+⑥	0.00 %	(0/24205)	0.00 %	(0/6021)	0.00%	0
①+②+③+④+⑤	0.00 %	(0/24205)	0.00 %	(0/6021)	0.00%	0
①+②+③+④+⑥	0.00 %	(0/24205)	0.00 %	(0/6021)	0.00%	0
①+②+③+⑤+⑥	0.00 %	(0/24205)	0.00 %	(0/6021)	0.00%	0
①+②+④+⑤+⑥	0.00 %	(0/24205)	0.00 %	(0/6021)	0.00%	0
①+③+④+⑤+⑥	0.00 %	(0/24205)	0.00 %	(0/6021)	0.00%	0
②+③+④+⑤+⑥	0.00 %	(0/24205)	0.00 %	(0/6021)	0.00%	0
①+②+③+④+⑤+⑥	0.00 %	(0/24205)	0.00 %	(0/6021)	0.00%	0
합계	100.00 %	(24205/24205)	100.00 %	(6021/6021)	100.00%	30,226

- 혼동행렬(Confusion matrix)을 통한 알고리즘 검토

- 혼동행렬이란 알고리즘의 진단·분류·판별·예측 능력을 평가하기 위하여 고안된 표로 오류행렬 또는 오분류표라고도 부름
- True Positive (TP)는 예측과 실재가 모두 긍정인 상태의 경우의 수를 말하며 True Negative(TN)는 반대로 예측과 실재가 모두 부정인 상태의 경우의 수를 말함
- False Positive (FP)는 예측이 긍정이었지만 실재는 부정인 상태의 경우의 수를 말하며 False Negative (FN)는 예측이 부정이었지만 실재는 긍정인 상태의 경우의 수를 말함
- 정확도(Accuracy, ACC)는 $\frac{TP+TN}{(TP+TN+FP+FN)}$ 의 계산식으로 구하며 예측이 현실에 부합할 확률의 의미를 가짐
- 정밀도(Precision, P)는 $\frac{TP}{(TP+FP)}$ 의 계산식으로 구하며 예측 결과가 긍정적일 때 실제로도 긍정일 확률의 의미를 가짐

- 재현율(Sensitivity=Recall, R, 민감율)은 $\frac{TP}{(TP+FN)}$ 의 계산식으로 구하며 실제로 긍정일 때 예측 결과도 긍정일 확률의 의미를 가짐
- F1 값(F1 score)은 $\frac{2 \times P \times R}{(P+R)}$ 의 계산식으로 구하며 정밀도와 재현율을 활용하는 평가용 지수임
- F1 값의 논리는 조화평균에 입각한 것으로 정밀도와 재현율 사이에 하나가 높아지면 다른 하나가 낮아지는 상황을 보정하기 위해 개발되었으며, 본래는 Fβ 값의 일종으로 F1 값은 정밀도와 재현율에 똑같이 1 배의 가중치를 준 Fβ 값을 의미함

< 혼동행렬의 개념 >

		예측 범주값		
		Positive	Negative	
실제 범주값	Positive	True Positive (TP)	False Negative (FN)	Sensitivity $\frac{TP}{(TP+FN)}$
	Negative	False Positive (FP)	True Negative (TN)	Specificity $\frac{TN}{(TN+FP)}$
		Precision $\frac{TP}{(TP+FP)}$	Negative Predictive Value $\frac{TN}{(TN+FN)}$	Accuracy $\frac{TP+TN}{(TP+TN+FP+FN)}$

- 혼동행렬을 알고리즘에 의한 결빙예측에 적용하여 1번 지점과 2번 지점으로 나누어 검토함
- 1번지점은 예측과 실체가 모두 결빙인 TP값은 22,883으로 나타났고 예측과 실체가 모두 비결빙인 TN값은 14,276으로 나타났으며, 결빙이라고 예측했지만 실체는 비결빙인 FP값은 1,322이었고 비결빙으로 예측했으나 실체는 결빙이었던 FN값은 526으로 나타났음
- 정확도 값은 0.95262로 높은 정확도를 유지하였고 정밀도는 0.94538, 재현율은 0.97753으로 가장 높은 확률을 보였음

$$F1 \text{ 값 (1번 지점)} = \frac{2 \times P \times R}{(P+R)} = \frac{2 \times 0.94538 \times 0.97753}{(0.94538 + 0.97753)} = 0.96119$$

- 2번 지점의 경우, 예측과 실체가 모두 결빙인 TP값은 4,488로 나타났고 예측과 실체가 모두 비결빙인 TN값은 11,698로 나타났고, 결빙이라고 예측했지만, 실체는 비결빙인 FP값은 1,533, 비결빙으로 예측했으나 실체는 결빙이었던 FN값은 496으로 나타남
- 정확도 값은 0.88861로 1번 지점보다는 낮은 값이 나왔고 정밀도는 0.74539, 재현율은 0.90048로 높은 확률을 보였음

$$F1 \text{ 값 (2번 지점)} = \frac{2 \times P \times R}{(P+R)} = \frac{2 \times 0.74539 \times 0.90048}{(0.74539 + 0.90048)} = 0.81563$$

- 1번 지점이 2번 지점보다 높은 값이 나온 것은 앞서 언급한 것과 마찬가지로 1번 지점이 2번 지점보다 다양한 기상환경 및 변화를 보이며, 알고리즘 초기에는 기상환경에 변화에 대한 사례와 적정 수치가 반영되지 못하다가 알고리즘 차수가 진행될수록 결빙에 대한 변화 요인이 반영되어 적중률이 지속해서 상승한 것으로 생각됨

< 결빙판단 알고리즘의 혼동행렬 (1번 지점) >

		예측 범주값		
		결빙(Positive)	비결빙(Negative)	
실제 범주값	결빙(Positive)	TP = 22,883	FN = 526	Sensitivity = 0.97753
	비결빙(Negative)	FP = 1,322	TN = 14,276	Specificity = 0.91525
		Precision = 0.94538	Negative Predictive Value = 0.96446	Accuracy = 0.95262

< 결빙판단 알고리즘의 혼동행렬 (2번 지점) >

		예측 범주값		
		결빙(Positive)	비결빙(Negative)	
실제 범주값	결빙(Positive)	TP = 4,488	FN = 496	Sensitivity = 0.90048
	비결빙(Negative)	FP = 1,533	TN = 11,698	Specificity = 0.88414
		Precision = 0.74539	Negative Predictive Value = 0.95932	Accuracy = 0.88861

- 1번 지점과 2번 지점의 경우의 수를 합하여 혼동행렬을 작성하였음
- 예측과 실체가 모두 결빙인 TP값은 27,371로 나타났고 예측과 실체가 모두 비결빙인 TN값은 25,974로 나타났으며, 결빙이라고 예측했지만 실체는 비결빙인 FP값은 2,855이었고 비결빙으로 예측했으나 실체는 결빙이었던 FN값은 1,022로 나타남
- 정확도 값은 0.93225이었고 정밀도는 0.90554, 재현율은 0.96401로 가장 높은 확률을 보임

$$F1 \text{ 값 (1번 지점 + 2번 지점)} = \frac{2 \times P \times R}{(P+R)} = \frac{2 \times 0.90554 \times 0.96401}{(0.90554 + 0.96401)} = 0.93376$$

- 결빙판단 알고리즘을 만들어 검증과 개선 과정을 거칠 때, 중요하게 생각한 것이 FN의 수를 줄이는 것으로 실제 상황에서 가장 문제가 크게 될 수 있는 상황은 실제 결빙이 발생했지만 예측하지 못하는 경우이기 때문이며, 이에 전체적인 정확도는 물론 재현율을 높일 수 있는 결과를 얻을 수 있었음

< 결빙판단 알고리즘의 혼동행렬 (1번 지점 + 2번 지점) >

		예측 범주값		
		결빙(Positive)	비결빙(Negative)	
실제 범주값	결빙(Positive)	TP = 27,371	FN = 1,022	Sensitivity = 0.96401
	비결빙(Negative)	FP = 2,855	TN = 25,974	Specificity = 0.90097
		Precision = 0.90554	Negative Predictive Value = 0.96214	Accuracy = 0.93225

- 모니터링 한계점 및 향후 개선사항

- 알고리즘의 검증과 개선을 위하여 앞에서 설명한 바와 같이 포천 지방도 379호선 내의 2개 지점에서 5분 주기로 관측한 57,222건의 기상 데이터와 이에 매칭되는 41,538건의 사진 자료를 이용하였음
- 판별이 불가능한 사진은 제외하였고, 카메라 오작동으로 인해 작동하지 않은 경우가 있어 기상 데이터와 사진 자료 수에 차이가 있음
- 관측지점은 겨울철의 다양한 기후환경을 모니터링할 수 있고, 합성경사 지점으로 수막 및 도로결빙이 자주 발생하며, 4월까지 영하의 기온이 나타나 최대한 장기간 관측을 할 수 있는 경기도 포천시 신북면 금동리 산 55-3과 121-4일대로 선정하였음
- 또한, 교통 이동량이 많지 않고, 주요 도로에서 여유가 있는 노건 지점이라 제설 차량과 제설제로 인한 영향이 최소화되는 지점이며, 도로변에 가로등이 위치하고 있어 광량 확보가 어려운 야간에도 사진 촬영이 가능함
- station1은 산지에 위치한 지점으로 station2 보다 해발고도가 120m가량 더 낮으며, 차량 및 인적 이동이 더 적은 지점으로 station1의 월별 평균온도가 1월 1.6℃, 2월 1.3℃, 3월 0.7℃ 등 더 낮게 나타나 결빙이 발생하기 더 쉬운 조건이라 판단됨

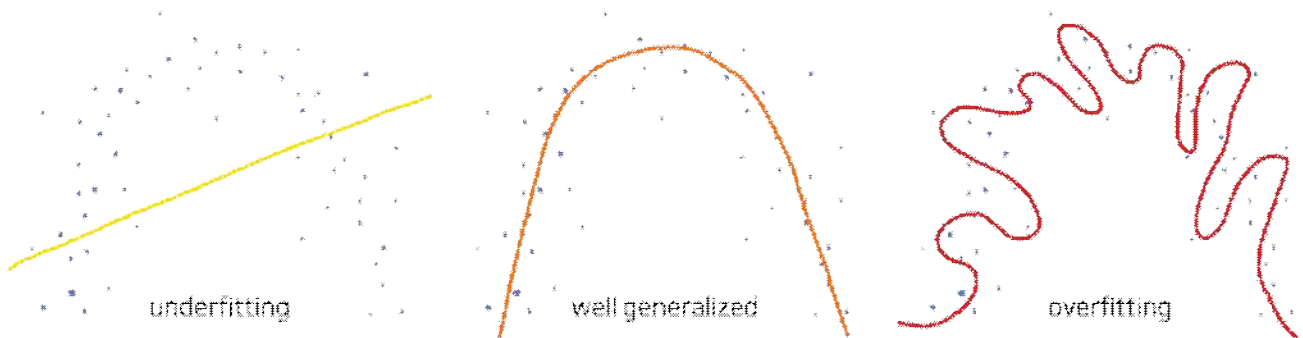


< 포천 지방도 379호선(좌, 빨간색) 및 관측지점 위치(우) >

- 알고리즘의 검증과 개선이 한 지역의 2개 지점에서 3개월 동안 관측한 데이터를 활용하여 이루어졌으므로 데이터의 양이 노면결빙을 예측하기 위해서는 충분하지 못할 수도 있어 실제 분포보다 샘플들 분포에 더 근접하게 되는 현상인 오버피팅(overfitting)이 없다고 단언할 수 없는 한계점이 있음
- 오버피팅이란, 모델의 학습이 거듭될수록 학습오차가 일반오차에 비해 현격하게 낮아지는 현상을 말하며 학습데이터에 편향이나 노이즈가 있을 때, 모델이 일반화를 수행하는 데 방해되는 상태로 오버피팅이 생기는 근본적인 원인은 학습데이터의 양이 충분하지 못할 때 생김
- 하지만 알고리즘을 만들고 개선할 때, 오버피팅을 최소화하기 위해 관련 논문과 자료를 통하여 노면결빙에 관련된 영향인자들을 충분히 검토하였으며 그 수치들을 납득할만한 상식적인 선에서 조정하였음
- 알고리즘이 일반화가 잘된 모델인지 확인하기 위해서는 알고리즘의 검증 과정이 필요하며 기존에 알고리즘을 데이터에 따라 최적화하는 과정은 데이터 학습 과정에 해당하고 학습데이터와는 다른 데이터가 필요함
- 현장 조사 대상지 선정에 있어서 음영지역, 합성경사 등을 고려하여 선정하였고 추가적으로 더 다양한 상황에 대응하여 모니터링하기 위해 고려할 만한 사항으로는 터널, 교량, 교통량 등이 있음. 터널 입구와

출구 주변, 교량의 연결부와 같은 지역은 도로 결빙이 빈번하게 일어나며 차량의 회피가 어려운 특성이 있어, 이에 대한 조사할 필요가 있음

- 이번 연구에서는 교통량이 적은 구역에서 현장 조사를 진행하였기 때문에 교통량에 대한 특성을 반영하지 못한 한계점이 있으나 추후 연구에서는 고려대상이 될 수 있으며, 또한 포천지역 외에 다른 지역에 대한 자료 분석도 필요한 사항이라고 할 수 있음
- 오버피팅 해결 및 일반화에 대한 검토를 위해 추가적인 데이터 검증이 필요하며, 본 연구에서는 한정된 기간과 자원으로 인해 수행되지 못했지만 여러 해의 데이터가 누적되고, 전국적인 관측이 이루어진다면 추가적으로 알고리즘의 개선이 가능함



< 언더피팅과 오버피팅의 개념 예시 >

○ 노면결빙예보시스템 서비스 시나리오 정립

- 결빙 예보시스템 서비스 및 정책

- 행정안전부는 2020년 12월 ‘겨울철 대설 및 한파 종합대책’에서 정부에서 내비게이션에서 상습결빙구간 정보를 알려주는 음성안내 서비스를 시행한다고 발표함
- 그 결과 티맵 및 카카오내비, 아틀란 등 내비게이션 서비스 업체에서는 상습 도로 결빙 지역에 대한 음성 서비스를 2019년 12월부터 안내하고 있으나 예보가 아닌 현재 선정된 지역에 대한 예보시스템임
- 또한, 도로 결빙사고 방지를 위한 ‘어는 비 예측 시스템’을 도입하여 3단계로 예측하며 이를 통하여 사전에 제설제를 살포하는 정책을 도입함



< 내비게이션 상습결빙구간 안내 서비스 (티맵, 카카오내비, 맵피스) >

- [illegible]

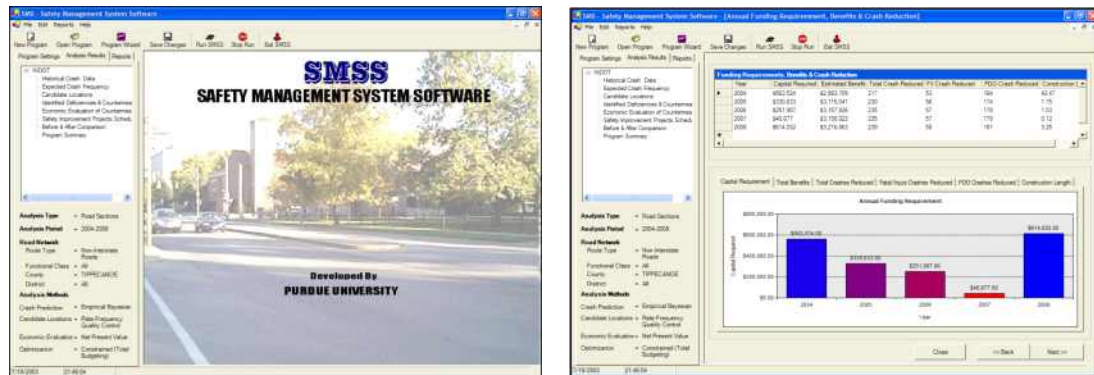
- 교통안전공단에서는 전국의 교통사고 현황에 대한 사고 현황과 DB를 제공하고 있으며, 도로 상태에 따른 필터링 기능도 제공하고 있어 사고 당시 도로결빙이 일어났는지 여부에 대한 확인을 제공하고 있음
- 교통안전공단에서 제공하는 DB에서는 지역 내 노면상태는 서리/결빙과 적설, 해빙으로 나뉘어 구성되어 있으며, 향후 이러한 데이터를 활용하여 각 지역별로 가장 노면결빙이 발생할 수 있는 조건에서 사고가 많이 발생한 지역을 우선적으로 선정하는 데 참고가 가능할 것으로 예상됨



- 105 -

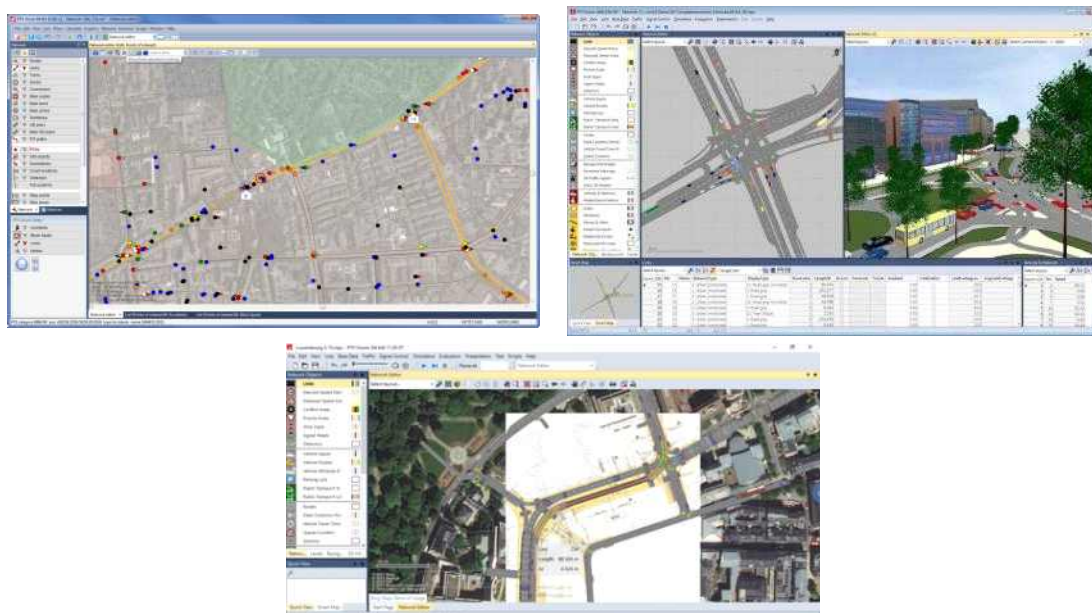
- 도로 서비스 및 기상 관련 프로그램 사례

- SAFETY MANAGEMENT SYSTEM: 데이터를 수집한 자료를 단순 표출형으로 표시해주는 프로그램으로 데이터 표출 이외에도 시트, 그래프로 표현하여 도로 현황 표시함



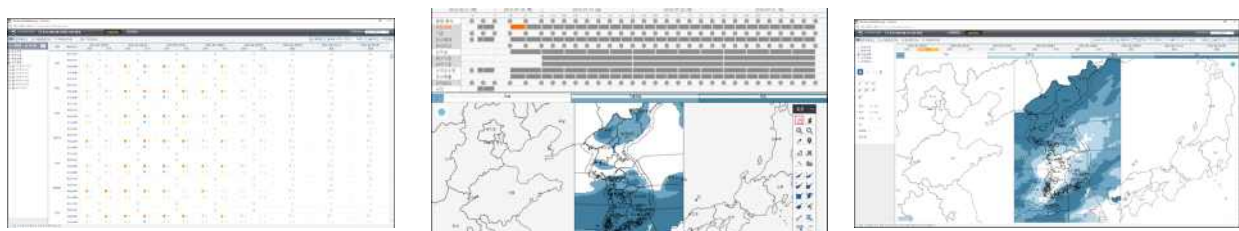
< SAFETY MANAGEMENT SYSTEM 프로그램 >

- PTV VISVIM: 교통 이동량 시뮬레이션 프로그램으로 차량 이동을 위성 사진 위에 오버레이 하며 도형을 표현하여 이동량을 표시하며 캐드맵 오버레이 가능하며 3D 시뮬레이션 표현 가능함



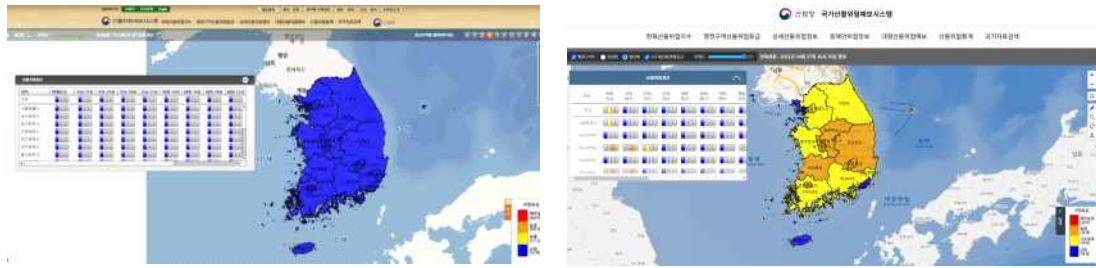
< PTV VISVIM 프로그램 >

- 동네예보 편집기: 윈도우 기반이 아닌 웹페이지 기반으로 제작된 프로그램으로 10분마다 실황 예보, 1시간마다 초단기 예보를 제공하고 있으며 3시간마다 단기 예보 자료 생산, 중기 예보는 3~10일 예보 자료 서비스를 제공함



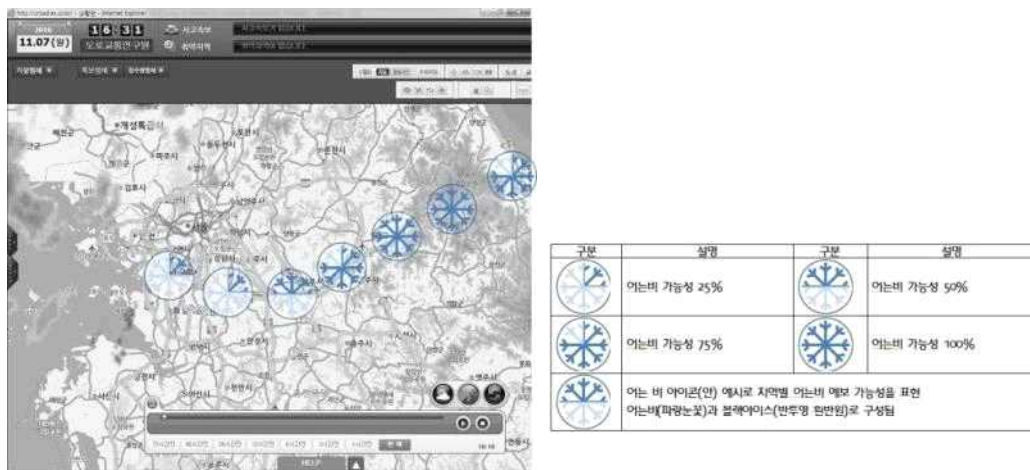
< 동네예보 편집기 서비스 제공화면 >

- 산불예보시스템: 웹기반 프로그램으로 산불위험예보시스템이란 지리정보시스템을 이용하여 전국 각 지역별 지형 조건, 산림의 상황과 기상청에서 예보하는 온도, 습도, 풍속 등 기상 조건을 실시간으로 종합분석, 산불위험도가 높은 지역을 예측하여 4가지 등급의 경보 기준을 예보하는 운영 시스템임



< 산불예보시스템 >

- 어는비 예측 시스템: 웹페이지 기반 그래픽 표현으로 0.5km 구간 간격으로 어는비 지역 표현하고, 사고속보 및 취약지역 표시 기능과 이를 활용한 도로 전광판(VMS) 연계 기능을 가지고 있으며, 그 외에 노면센서 구축 및 정보 수집, 노면센서 설치 및 정보 수집 / 경보 발생 알림, 위치기반 센서 상태정보 수집, 노면 예측 시스템 구축, 기상청 정보와 현재 수집정보 등을 이용하여 향후 노면상태를 예측, 경보 발생, 상황 모니터링, 기상예보, 기상상황, 센서수집 정보 등의 노면상태 모니터링을 제공함(2016년 영동고속도로 대상 시범 운영하였으나 2021년 현재 폐쇄된 상황임)



< 어는비 예측 시스템 서비스 제공화면 >

- 노면온도변화 패턴 예측 시스템: 웹 기반 프로그램으로 지도 화면 표기하며 외기온도 및 강수량, 노면온도 창, 노면온도 예측 팝업창 생성으로 정보 표기하는 방식의 프로그램임



< 노면온도변화 패턴 예측 시스템 서비스 제공화면 >

- 노면온도예측시스템: 한국도로공사에서 개발한 웹 기반 프로그램으로 관내 예측정보 및 관내 센서 정보 열람이 가능하며, 지점 및 지사별 지점 및 도로상에서 색깔로 온도 예보하는 방식으로 고속도로 CCTV 모니터링, 센서별 예보 현황, 시간대별 온도변화 표시 기능 등이 있음



< 노면온도예측시스템 서비스 제공화면 >

- 사례 분석 결과

- 2000년대에는 윈도우 클라이언트로 제작이 많이 되었으나 2010년 이후로는 웹페이지 기반의 서비스로 주로 구성되어 있음
- 일반 사용자들을 대상으로 하는 BtoC 기반이 아닌 지자체나 관공서, 기업을 대상으로 하는 프로그램이 대다수임
- 단순 정보 기입 형식이 아닌 GUI 형식의 정보 표기 : 구간에 대한 그래픽 표시 - 픽토그램 사용, 게이지 바, 선 색깔 구분 등
- 시스템 부가기능 추가 : 전광판 연계 기능, 구간 예측에 대한 정보 출력 시트(엑셀 형식 or 그래픽), 과거 히스토리 조회 등
- 현재 많이 활용되는 실시간 내비게이션 또는 지도 서비스(카카오맵, 네이버 지도, 구글지도 외)와 연동하여 정보 제공을 하거나 서비스된 사례가 없으며 주로 자체 구축한 서비스가 위주임

- 향후 서비스 구현 지역

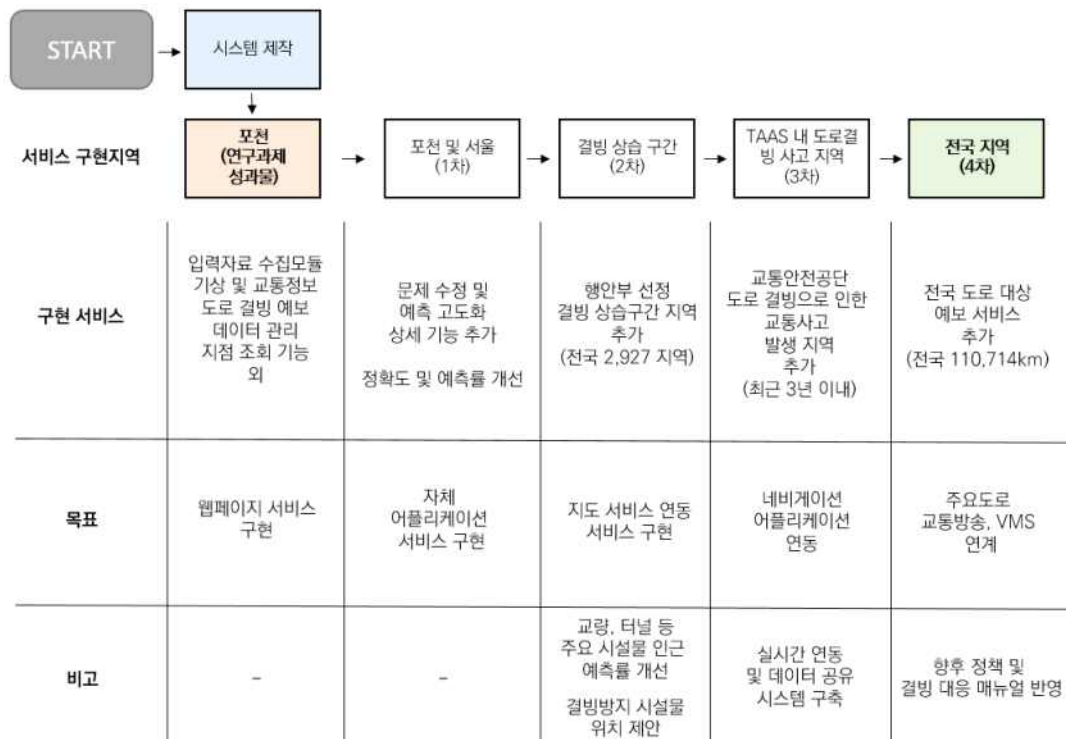
- 구현 대상 지역은 초기 테스트베드 현장인 포천지역을 중심으로 제작하고 이후 기능 고도화 후 지역을 확대해나가고자 함
- 2단계에서는 행정안전부에서 선정한 결빙 상습구간 지역을 대상으로 범위를 확대하고 3단계에서는 3년 이내에 도로결빙으로 인해 사고 발생했었던 지역을 위주로 추가함
- 4단계에서는 최종적으로 전국 도로 구간을 대상으로 서비스를 확대하는 방향으로 계획함

< 향후 단계별 서비스 고도화 계획 >

단계	지역	비고
초기	포천 지역	
1단계	포천 및 서울 지역	알고리즘 고도화 및 개선
2단계	행정안전부 선정 결빙 상습구간 지역	전국 2,927곳
3단계	교통사고 분석 시스템 내 도로결빙으로 인한 사고 지역	최근 3년 이내 지역
4단계	전국 도로 구간	

- 구현 기능 시나리오

- 초기 구현에서는 과제에서 구현하고자 했던 기능인 입력자료 수집모듈과 기상 및 교통정보 표시, 노면 결빙 예측 알고리즘을 통한 도로결빙 예보, 데이터 관리 및 지점별 기상상황 조회 등이 있음
- 초기 구현에서는 웹페이지를 통한 서비스를 구현하여 PC의 클라이언트가 아닌 다양한 웹페이지에서 서비스를 확인할 수 있도록 함
- 1차 개선안에서는 초기 구현에서 발생한 문제 수정 및 예측 고도화, 상세 기능을 추가하여 기능과 다양한 지점의 정확도, 예측도를 개선하고 전용 어플리케이션을 제작하여 서비스를 구현하도록 함
- 2차 개선안에서는 행정안전부에서 선정한 결빙 상습구간 지역(2020년 전국 2,927 지역)을 대상으로 예측범위를 확대하고 교량과 터널과 같은 주요 도로 시설물에서 예측률을 개선하고 결빙방지 시설물에 대해 주요 설치 지점 제안을 할 수 있는 기능을 추가함
- 3차 개선안에서는 교통안전공단에서 제공하는 도로 결빙으로 인한 교통사고 발생지역(최근 3년 이내) 자료를 토대로 주요 발생지점에 대해 추가하도록 함
- 그 외에도 내비게이션 어플리케이션과 연동하여 운전자가 주행하면서 도로결빙지점을 실시간으로 확인할 수 있도록 함
- 4차 지역에서는 범위를 전국 도로(110,714km)를 대상으로 확대하여 노면결빙을 예보할 수 있도록 하며 주요도로에서 교통방송과 연계하거나 VMS(도로전광표시)와 연계하여 도로결빙 예보를 할 수 있도록 함
- 향후 이렇게 축적된 데이터를 바탕으로 노면결빙 예보시스템을 기반으로 대응 매뉴얼 시나리오 제작 및 노면결빙 및 블랙아이스에 대한 대응 또는 정책 수립 방향으로 활용 가능할 것으로 예상됨



< 노면결빙예보시스템 향후 시나리오 >

❖ 도로 노면결빙예보시스템 개발

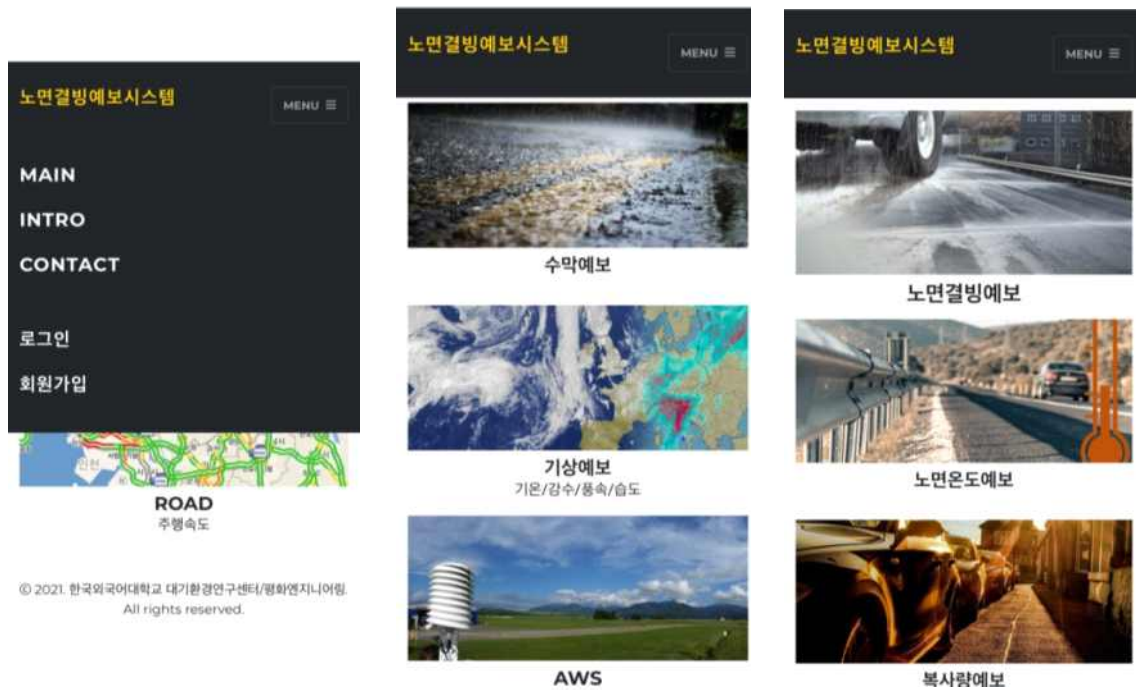
○ 노면결빙예보시스템 기능설계 및 GUI 설계

- 실시간 노면결빙 및 관련 정보를 서비스하기 위하여 노면결빙 예보시스템의 사용자 그룹별(도로 관리 주체 및 엔지니어링사 등) 요구사항을 반영한 기능 및 업무환경에 부합되는 사용자 인터페이스를 설계함
- 사전 인터뷰 결과를 통해 확인된 업무환경에 부합되는 인터페이스 요구사항은 ①노면결빙 지점이 지도 상에서 시각적으로 보일 것, ②해당 지점에 대한 온도 및 강수와 같은 상세정보 표시, ③공간적 제약 없는 정보 확인 가능 유무 등임
- GUI 설계는 총 4단계의 과정을 거쳐 확정하였으며, 제작사와 주기적인 논의를 통해 단계별로 진행하였음
 - 1단계에서는 실제 기능 구현을 고려하여 전반적인 프레임 설정하였으며, 화면 레이아웃 트렌드 및 친숙성을 고려하여 모든 메뉴를 화면에 배치하는 방식이 아닌 주요 핵심 기능에 대한 최소한의 메뉴 표현과 지도 구현으로 간결한 레이아웃 배치로 화면을 구성함
 - 화면 레이아웃 배치는 크게 상단메뉴, 사이드 메뉴, 메인정보 구역으로 3가지로 나누어지며, PC의 화면 비율은 기본 사이즈는 가장 표준인 풀 HD 해상도(1980 x 1080)을 기준으로 제작하고(필요에 따라서 변경 가능), 휴대폰 및 태블릿에서는 가변 화면비율 기준(반응형웹)은 W는 770px에 H는 제한 없음으로 제작하였음(사전 인터뷰 ③번 의견 반영)
 - 2단계에서는 제공정보를 어떻게 시각화하여 표출할지에 대한 디자인 부분을 중점적으로 작업하였으며, 사전 인터뷰 ①,②번 의견을 반영하여 지도 상에 정보 표출 및 상세정보 제공기능을 고려하였음
 - 3단계는 웹사이트에 대한 심미적인 디자인이 개선이 필요하여 2단계에 대한 기능 구현에서 디자인적인 부분을 개선하여 배치하였으나 시스템에 탑재된 알고리즘 연산 등의 기능배치에서 구현이 어렵다는 의견을 수렴하여 수정하였음
 - 4단계는 웹사이트 제작 후 사용자의 의견을 수렴할 수 있는 방법에 대한 논의가 있었으며 이에 관련 기능을 추가하였음

1단계: 화면 레이아웃 배치	2단계: 제공정보의 시각화 디자인
3단계: 웹사이트 디자인	4단계: 사용자 의견수렴 기능

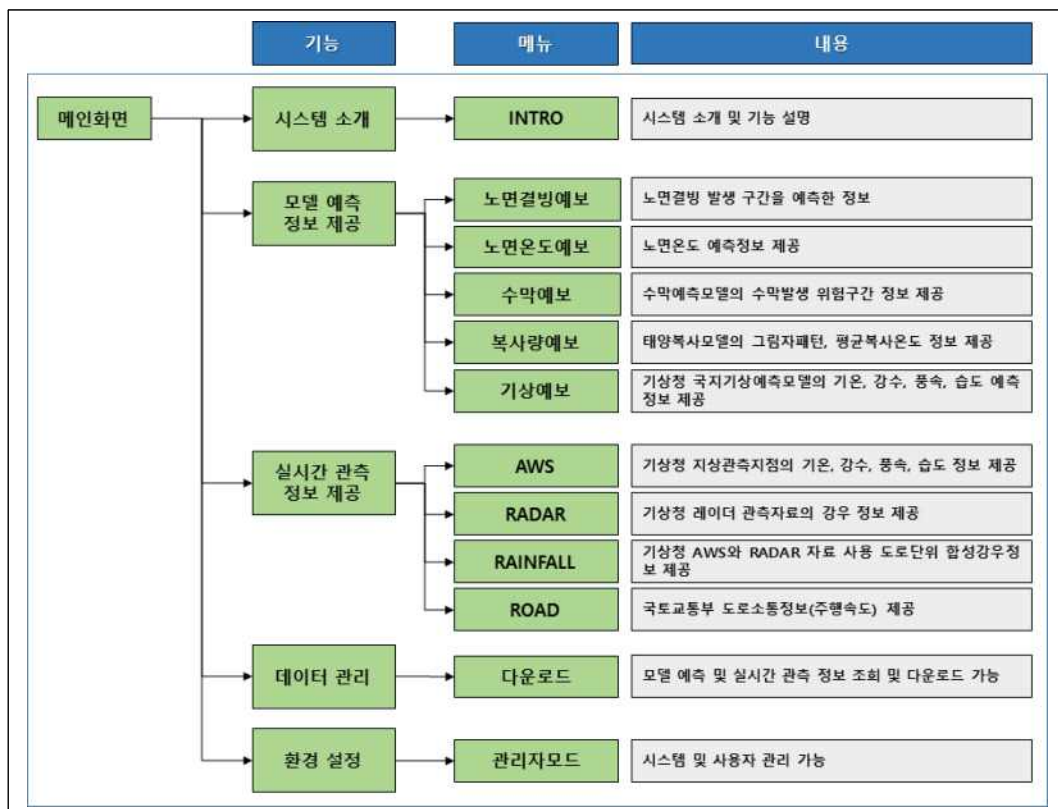
<노면결빙예보시스템 UI 기획 1~4단계>

- 사전 인터뷰 ③번 의견을 반영하여 윈도우 플랫폼 기반의 시스템이 아닌 웹페이지 기반의 PC, 모바일 및 태블릿에서 시스템에 접근이 가능하도록 다음과 같이 모바일 대응 반응형 웹으로 구성하였음



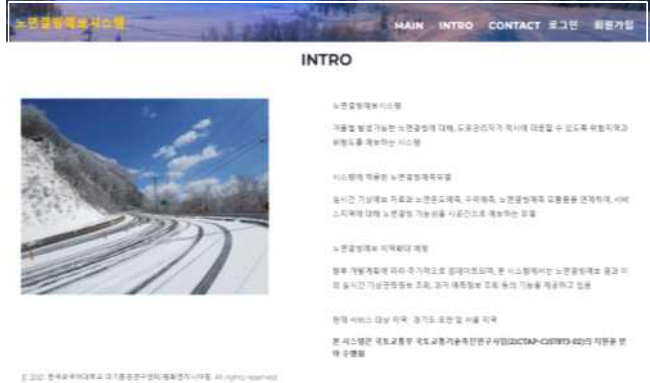
< 모바일 대응 반응형 웹 >

- 노면결빙예보시스템의 메뉴 트리는 2개의 덤스로 구성하였으며, 메인화면에서는 모델 예측 및 실시간 관측 정보, 시스템 소개 및 관리, 회원가입 및 로그인 등의 메뉴를 상시로 표시하고, 하위 메뉴를 배치하여 쉽게 조회할 수 있도록 구성하였음



< 노면결빙시스템 메뉴 트리 구성 >

- 노면결빙예보시스템의 기능은 메뉴 트리를 통해 설명한 바와 같이 메인페이지에서 확인할 수 있는 기능은 모델 예측 및 실시간 관측 정보 제공, 시스템 소개, 로그인 및 회원가입 등이며, 이 외에 시스템 관리자 모드와 제공정보에 대한 데이터 관리(조회 및 다운로드) 기능을 가지고 있음
- MAIN: 시스템에서 제공하고 있는 모든 정보를 한 눈에 확인할 수 있도록 구성하였으며, 상단에는 메인페이지로 돌아오는 링크와 이 외에 각각의 페이지별 링크를 모든 페이지에서 확인할 수 있도록 하였음
- INTRO: 본 시스템에 대한 소개 및 기능, 향후 시스템 개발방향과 시스템 기획 및 개발 등에 대한 저작권 관련 정보를 포함하고 있음
- CONTACT: 사용자가 관리자 혹은 제작자에게 문의 사항이나 개선사항 등 의견을 제시하고자 할 경우, 관리자에게 메일을 보낼 수 있도록 별도로 구성하였음
- 로그인: 노면결빙예보시스템은 시스템 보안상의 이유로 회원가입 후 로그인을 하지 않으면 서비스되는 정보가 무엇인 지는 볼 수 있으나, 상세내용을 확인할 수 없도록 하였음
- 회원가입: 현재는 시스템에 대한 시범서비스 단계로 관리자가 아이디를 생성하여 사용자에게 배포하는 방식을 취하고 있으며, 향후 사용자가 직접 아이디를 생성할 수 있도록 변경 예정임
- 관리자모드: 관리자의 권한은 페이지 구성을 직접 변경할 수 있고, 향후 시스템 운영 중에 발생할 수 있는 보안 및 트래픽 문제 등을 고려하여 로그인 여부에 따른 서비스 이용 허가범위를 설정할 수 있도록 하였음
- 데이터 관리: 시스템에서 제공되는 모든 데이터는 수신 주기에 따라 자동적으로 생성되고, 관리자모드에 자료의 생성 및 삭제 권한이 부여되어있음
- 데이터 다운로드: 사용자모드로 로그인한 경우, 사용자는 시스템에서 제공하는 모든 정보에 대해 raw data를 csv 형식으로 저장할 수 있도록 별도의 페이지에 서비스 가능한 자료목록과 미리보기, 다운로드 기능을 구성하였음

MAIN	INTRO
 노면결빙예보 노면온도예보, 수직예보, 복사예보, 기상예보, AWS 기상·습도·강도예보, RADAR 강수, RAINFALL 강수량·우량·강지점·강강우량, ROAD 교통흐름 © 2021 한국도로교통공단 및 기상청연구센터·한국도로공사. All rights reserved.	 노면결빙예보시스템 INTRO 노면결빙예보시스템 겨울철 발생가능한 노면결빙에 대해, 도로관리자가 적시에 대응할 수 있도록 개발·운영·유지보수를 제공하는 시스템 시스템의 적용한 노면결빙예보모델 도시권 기상예보 자료와 노면온도예보, 수직예보, 노면결빙예보, 교통흐름 연계하여, 서비스 지역에 대해 노면결빙 가능성을 사전으로 제공하는 모듈 노면결빙예보 지역확대 계획 향후 개발계획에 따라 추가적으로 업데이트되며, 본 시스템에서는 노면결빙예보 결과 이외에 실시간 기상·강수량·강도, 강지점·강강우량·강지점·강강우량 등도 제공하고 있음 한국 도로교통공단 기상·교통·안전 연구사업(CATAP-CATP-2021-001)의 지원을 받아 운영됨 © 2021 한국도로교통공단 및 기상청연구센터·한국도로공사. All rights reserved.
CONTACT	로그인
 노면결빙예보시스템 CONTACT US 이름 (필수): 이메일 (필수): 휴대폰 (선택): Message (필수): SEND MESSAGE © 2021 한국도로교통공단 및 기상청연구센터·한국도로공사. All rights reserved.	 노면결빙예보시스템 로그인 사용자ID: 비밀번호: 로그인 © 2021 한국도로교통공단 및 기상청연구센터·한국도로공사. All rights reserved.



<노면결빙예보시스템 기능별 화면 구성>

- 앞에서 언급한 노면결빙예보시스템의 메인화면에는 시스템에서 제공하고자 하는 모든 정보를 명확하게 확인할 수 있도록 서비스 목적에 따른 정보의 중요도를 아이콘의 크기와 순서로 나타내었음
- 시스템의 최종목표인 노면결빙예보를 가장 크게 배치하였고, 그 우측으로 노면결빙예보 시 사용되는 예측모델 정보를 두고, 아래쪽으로 실시간 기상현황 및 도로소통현황을 확인하기 위해 수집한 자료들을 확인할 수 있도록 구성하였음

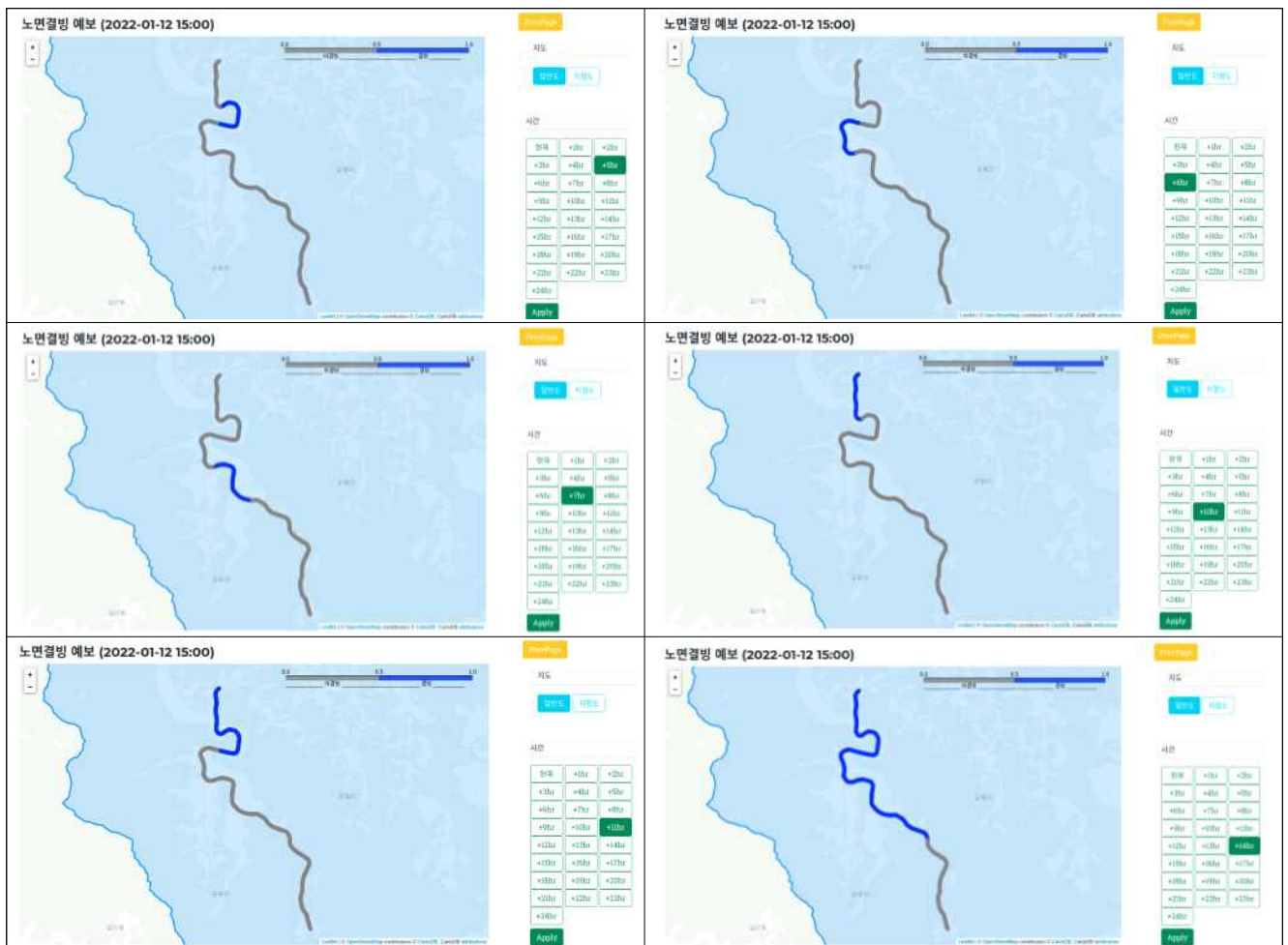


< 노면결빙예보시스템 메인화면 구성 >

- 노면결빙예보는 실시간 데이터 수집 및 생산 모듈을 기반으로 노면결빙 예측 알고리즘 입력 자료를 자동으로 생산하며, 시스템에 탑재된 노면결빙 예측 알고리즘 연산을 통해 노면결빙 구간을 1시간 단위로 예측정보를 제공할 수 있도록 기능을 구현하였음
- 노면결빙 예측 알고리즘의 연산 후 결과는 “결빙” 또는 “비결빙”으로 산출되며, 결빙구간에 대해서만 파란색으로 컬러를 적용하여 도로의 위험가능성을 시각적으로 명시화하였음
- 예측시간은 현재부터 +24시간 후까지로 사용자가 예측시간을 설정하여 원하는 시간에 대한 예측정보를 확인할 수 있도록 함
- 도로 위에 마우스 커서를 클릭 시, 팝업창을 통해 각 지점에 대한 위·경도 위치와 결빙유무 등 상세정보도 제공하고 있음



< 비결빙 시 노면결빙예보(좌) 및 상세정보 제공(우) >



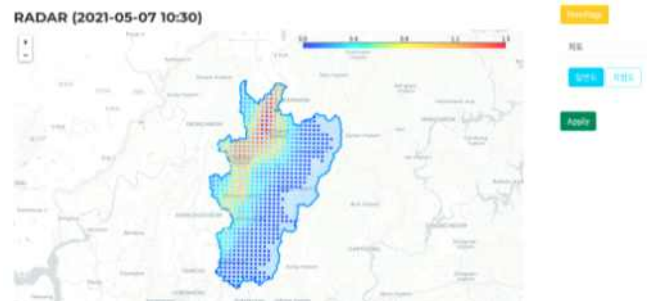
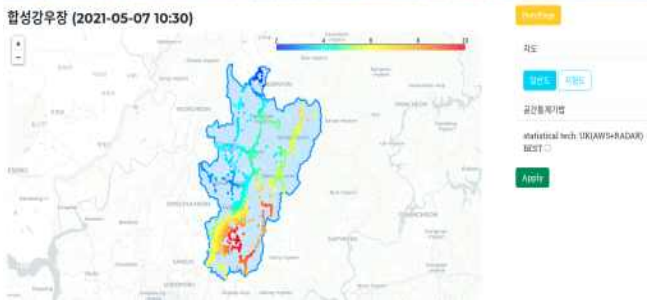
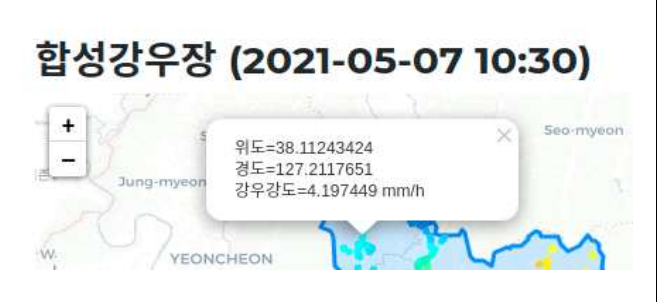
< 1시간 단위 결빙 시 노면결빙예보 >

- 노면결빙예보 외의 모델예측 정보는 한국외국어대학교의 서버에서 모델수행 후 생산된 자료를 시스템으로 전송받아 해당 정보에 대해 1시간 단위로 예측정보를 제공할 수 있도록 기능을 구현하였음
- 노면온도, 수막, 복사량, 기상예보에 대한 정보 제공 화면구성은 노면결빙예보와 동일하며, 상세정보는 각각의 정보별로 제공하는 값이 다름
- 각각의 예보모델 결과는 기상정보 및 지리정보를 기반으로 산출되며 노면결빙 예측 알고리즘의 입력자료로 사용됨
- 노면온도예보, 수막예보, 복사량예보, 기상예보의 표출화면은 다음과 같음

노면온도예보	노면온도예보 상세정보 제공
수막예보	수막예보 상세정보 제공
복사량예보	복사량예보 상세정보 제공
기상예보	기상예보 상세정보 제공

< 각각의 모델별 예측정보 제공 화면 >

- 기상관측 및 교통소통 정보는 OPEN-API를 통해 실시간으로 수집하여 해당 지역의 정보를 나타낼 수 있도록 하였음
- AWS의 경우, 기상청 지상관측정보를 지점별로 수집하여 관측지점의 위치에 데이터의 값을 나타내도록 하였으며, 제공되는 기상요소는 기온, 강수, 습도, 풍속 등임
- RADAR는 기상청에서 면단위로 수집된 강우정보를 격자단위로 변환하여 해당 값을 나타내었음
- 합성강우장은 지점단위의 AWS와 격자단위의 RADAR 자료를 공간통계기법에 적용하여 합성한 강우정보를 도로단위로 가공하여 도로 위에 정보를 나타내었음
- 주행속도는 국토교통부의 자료를 수신하였으며, 시속 15km 이하는 정체(빨간색), 시속 15~30km 구간은 서행(노란색), 시속 30km 이상인 구간은 원활(녹색)로 구분하여 나타냄

AWS (기상청 지상관측정보)	AWS 상세정보 제공
	
RADAR (기상청 레이더정보)	RADAR 상세정보 제공
	
합성강우장	합성강우장 상세정보 제공
	
주행속도	주행속도 상세정보 제공
	

< 실시간 기상 및 교통정보 제공 화면 >

○ 노면결빙 영향인자별 입력모듈 구축

- 노면결빙 영향인자별 입력모듈은 노면결빙예보시스템에 탑재된 노면결빙 예측 알고리즘의 입력자료를 생산하는 것으로 알고리즘 수행 시 필요한 입력변수를 목록화하였음
- 노면결빙 예측 최종 알고리즘에서 필요한 항목은 총 9개이며, 경위도 좌표값 및 도로방향 및 도로명, 시간 등 지리정보와 같은 6개의 데이터를 중점적으로 데이터 처리에 활용함
- 노면결빙 예측 알고리즘에 사용되는 입력자료는 본 과제를 통해 개발된 노면온도에측모델 및 수막발생에측모델과 기상청 LDAPS의 모델수행 결과를 읽은 후 csv 형태로 생산할 수 있도록 모듈을 구축하였음
- 특히, 기상청 LDAPS의 경우, 기온, 강우량, 강설량, 습도, 기압, 풍속, 이슬점온도 등 대부분의 변수에 대한 정보 제공하고 있음

< 노면결빙 예측 알고리즘 입력변수 목록 >

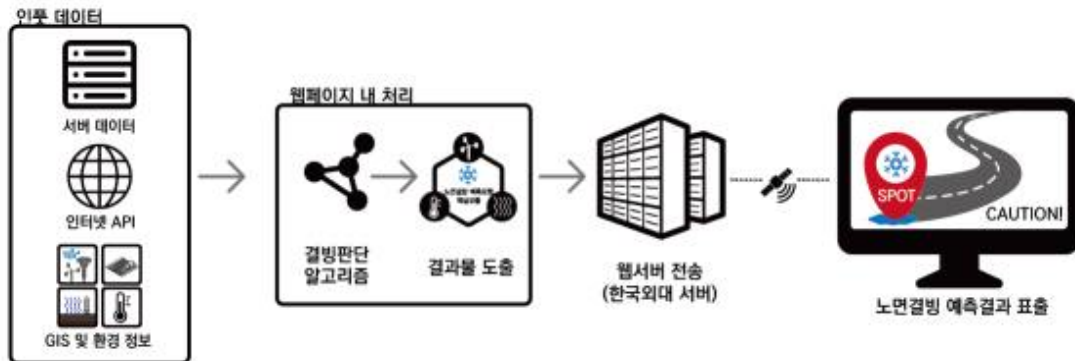
번호	칼럼명	값	비고
1	road_name	도로명	공간 데이터
2	direction	도로 방향	공간 데이터
3	long	경도	공간 데이터
4	lat	위도	공간 데이터
5	ldps.TMP	온도	연산 적용
6	ldps.NCPCP	강우	연산 적용
7	ldps.SNOL	강설	연산 적용
8	ldps.RH	습도	연산 적용
9	ldps.PRES	기압	연산 적용
10	ldps.WS	풍속	연산 적용
11	ldps.DPT	이슬점	연산 적용
12	road.temp	도로온도	연산 적용
13	hydro.depth	수막두께	연산 적용
14	p_hour	예측시간	
15	datetime	날짜	

AID	road_name	direction	long	lat	ldps.TMP	ldps.NCPCP	ldps.SNOL	ldps.RH	ldps.PRES	ldps.WS	ldps.DPT	road.temp	hydro.depth	p_hour	datetime
1	pocheon_379	L	127.1240503	37.96104806	1.746	0	0	81.5032	99430.7	1.661461638	-1.087	7.547774445	0.243899081	0	20210124 09:00
2	pocheon_379	L	127.1240227	37.96102213	1.746	0	0	81.5032	99430.7	1.661461638	-1.087	7.547774445	0.236714648	0	20210124 09:00
3	pocheon_379	L	127.1239969	37.9610018	1.746	0	0	81.5032	99430.7	1.661461638	-1.087	7.547774445	0.229567346	0	20210124 09:00
4	pocheon_379	L	127.1239696	37.96097988	1.746	0	0	81.5032	99430.7	1.661461638	-1.087	7.549102738	0.222453984	0	20210124 09:00
5	pocheon_379	L	127.1239337	37.96095438	1.746	0	0	81.5032	99430.7	1.661461638	-1.087	7.552270061	0.21537363	0	20210124 09:00
6	pocheon_379	L	127.1238993	37.96092767	1.746	0	0	81.5032	99430.7	1.661461638	-1.087	7.552270061	0.208322927	0	20210124 09:00
7	pocheon_379	L	127.1238685	37.96090495	1.746	0	0	81.5032	99430.7	1.661461638	-1.087	7.545152773	0.201296219	0	20210124 09:00
8	pocheon_379	L	127.1238447	37.96088941	1.746	0	0	81.5032	99430.7	1.661461638	-1.087	7.545152773	0.194295771	0	20210124 09:00
9	pocheon_379	L	127.1238174	37.96087108	1.746	0	0	81.5032	99430.7	1.661461638	-1.087	7.552258338	0.187322399	0	20210124 09:00
10	pocheon_379	L	127.1237906	37.96085354	1.746	0	0	81.5032	99430.7	1.661461638	-1.087	7.550930239	0.180360571	0	20210124 09:00
11	pocheon_379	L	127.1237553	37.96083082	1.746	0	0	81.5032	99430.7	1.661461638	-1.087	7.550930239	0.173428713	0	20210124 09:00
12	pocheon_379	L	127.1237214	37.96080571	1.746	0	0	81.5032	99430.7	1.661461638	-1.087	7.550930239	0.166521113	0	20210124 09:00
13	pocheon_379	L	127.1236941	37.96078021	1.746	0	0	81.5032	99430.7	1.661461638	-1.087	7.548309433	0.159631798	0	20210124 09:00
14	pocheon_379	L	127.1236643	37.96075071	1.746	0	0	81.5032	99430.7	1.661461638	-1.087	7.552258338	0.152763089	0	20210124 09:00
15	pocheon_379	L	127.1236344	37.9607256	1.746	0	0	81.5032	99430.7	1.661461638	-1.087	7.552258338	0.14590859	0	20210124 09:00
16	pocheon_379	L	127.1235991	37.96068575	1.746	0	0	81.5032	99430.7	1.661461638	-1.087	7.552258338	0.139086539	0	20210124 09:00
17	pocheon_379	L	127.1235718	37.96065426	1.746	0	0	81.5032	99430.7	1.661461638	-1.087	7.55094231	0.132301163	0	20210124 09:00
18	pocheon_379	L	127.1235424	37.96062238	1.746	0	0	81.5032	99430.7	1.661461638	-1.087	7.55094231	0.125577218	0	20210124 09:00
19	pocheon_379	L	127.1235182	37.96058531	1.746	0	0	81.5032	99430.7	1.661461638	-1.087	7.55094231	0.118943364	0	20210124 09:00
20	pocheon_379	L	127.1235005	37.96055423	1.746	0	0	81.5032	99430.7	1.661461638	-1.087	7.55094231	0.112469085	0	20210124 09:00

< 노면결빙 영향인자별 입력모듈 산출 결과 >

- 데이터 입력 방식은 csv 파일을 자동으로 업로드하여 로드할 수 있도록 하였으며 프로그램은 리눅스의 우분투를 활용하여 서버를 구축하였으며, 해당 프로그램 코딩은 파이썬을 활용하여 작성하였음
- 업데이트는 24시간 단위로 저장할 수 있도록 하였으며, 시스템 구동을 위해 프로그램 구동 서버와 데이터가 필요함

- FTP 서버를 활용하여 미리 입력된 연산 데이터 값을 서버에 전송하면, 이를 서버에서 읽고 연산에 활용하는 방식임
- 구동을 위한 임시 시스템 구성도는 다음과 같으며, 자체 서버에 설치하여 구현하였음



< 시스템 구성도 >

○ 노면결빙예측모형 시스템 서비스별 입력모듈 및 핵심모듈 구축

- 본 개발 프로그램에서는 노면결빙예측모듈, 노면온도예측모듈, 수막발생예측모듈을 탑재하여 아래와 같이 결빙 예보 발표를 하도록 함
- 예보 발표시간: 15시 KST
- 횡수/간격: 1일 1회 / 24시간 간격 업데이트
- 공간해상도: 4m * 4m
- 시간해상도: 1시간 단위(0h~+24h 예측장 생산)
- 모델입력 자료: 현재부터 향후 24시간 예보를 제공하기 위해서는 LDAPS 자료 필요(LDAPS 자료는 1일 4회 가능하나 연구기관의 시스템 제원을 고려하여 1일 1회 예보를 수행하였고, 이에 18UTC 자료를 사용한 15KST 예보발표를 결정함)

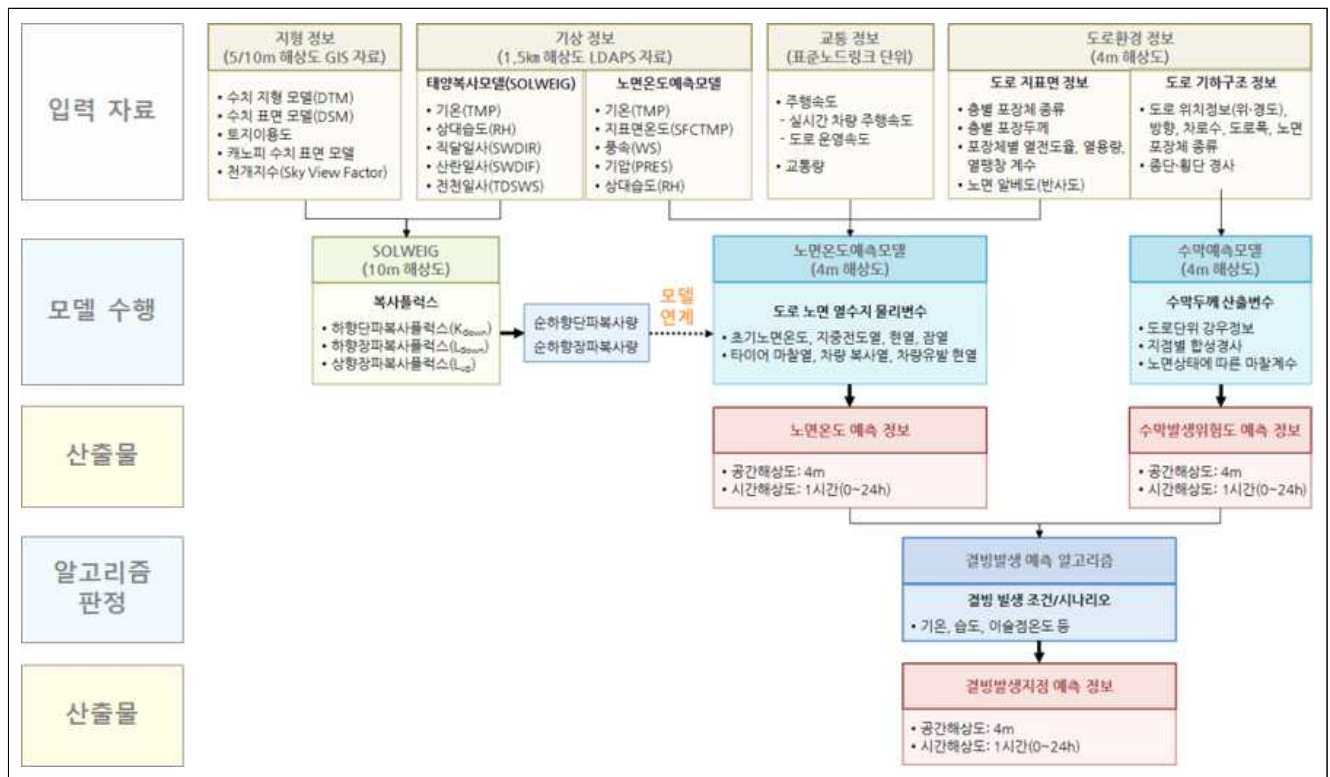
< 예보발표시간에 따른 예보시간 및 사용가능한 LDAPS 자료 >

	예보발표시간	예보시간	LDAPS	LDAPS 예측장
1	03:00 KST	당일 03:00 ~ 익일 03:00	06 UTC	h012 ~ h036
2	09:00 KST	당일 09:00 ~ 익일 09:00	12 UTC	h012 ~ h036
3	15:00 KST	당일 15:00 ~ 익일 15:00	18 UTC	h012 ~ h036
4	21:00 KST	당일 21:00 ~ 익일 21:00	00 UTC	h012 ~ h036

- 노면결빙 예측정보를 생산하기 위한 프로세스는 다음과 같으며, 노면결빙 알고리즘은 입력된 수치값과 판단식을 토대로 프로그램 상에서 판단할 수 있도록 하였음

< 노면결빙 예측 프로세스 >

단계	연산자료	작업내용
1	노면결빙 연산자료 산출	LDAPS 자료 수집
2		LDAPS 자료 처리
3		SOLWEIG 수행 복사플렉스 산출
4		노면온도예측모델 수행
5		수막예측모델수행
6		결빙알고리즘 입력자료 생산
7	프로그램 기획	결빙알고리즘 제작 및 자료 생산 시스템 디자인
8	프로그램 제작	예측정보 표출 시스템 제작
9	시스템 구동	예측정보 표출



< 노면결빙예측모형 시스템 입출력 및 모델 수행 과정 >

- 입력자료 수집 및 생산 모듈 구축

- 노면결빙예측모형에 입력되는 자료의 요소 및 출처는 아래의 표와 같으며 LDAPS의 경우 FTP로 전송받은 자료를 각각의 모델에 입력될 수 있는 형태로 처리하는 자료처리 모듈에 의해 노면결빙예측모형 및 노면온도, 수막발생 예측모델에 입력될 수 있는 형태로 변환됨
- 노면온도 및 수막발생 예측모델은 각각 수행 모듈을 통해 예측정보 생산 후 노면결빙예측모형 입력자료 생산 모듈에 의해 LDAPS 자료와 함께 노면결빙예측모형에 입력될 수 있는 형태로 변환될 수 있도록 모듈을 구축함
- 자료 변환 시 전국의 자료를 제공하고자 하는 지역에 대해서만 추출할 수 있도록 모듈을 적용하였으며, 현재는 포천시 신북면 일대를 중심으로 구현하였음

< 노면결빙예측모형 입력자료의 요소 및 출처 >

구분	요소	데이터 출처	비고
1	기온	LDAPS	-
2	상대습도		-
3	강수정보(강우, 강설)		-
4	이슬점온도		직접 계산 시 수증기압, 상대습도, 기온 등 필요
5	노면온도	노면온도예측모델	-
6	수막두께	수막발생예측모델	

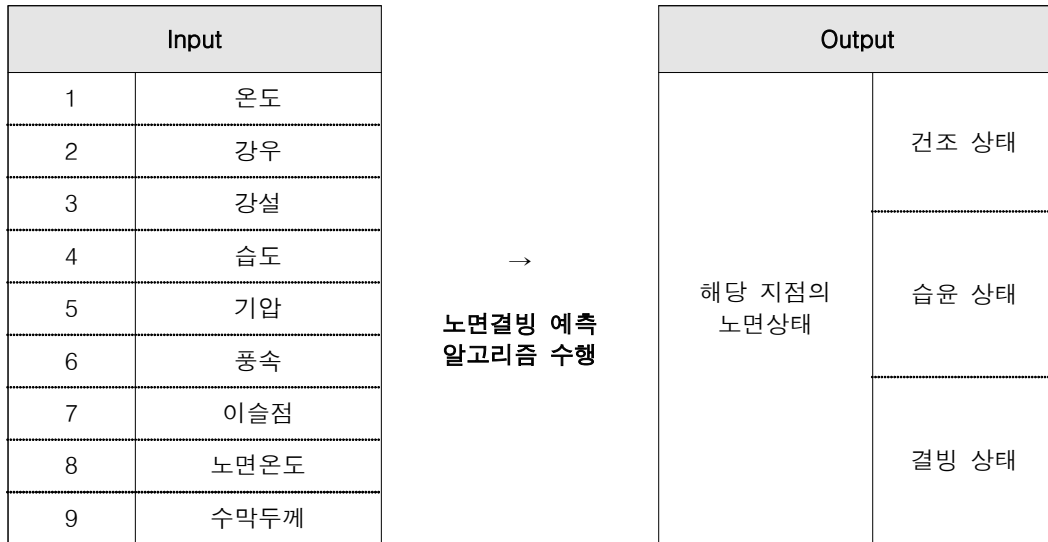


< 서비스 대상 지역 >

- 예측정보 생산 모듈 구축

- 입력자료 생산 모듈에서 산출된 정보를 각각 노면결빙예측모형 및 노면온도, 수막발생 예측모델에 입력하여 노면온도, 수막두께 및 수막발생위험도, 결빙발생 구간 등의 예측정보를 생산할 수 있도록 모델 수행 모듈을 구축하였음
- 노면결빙예측모형 수행 모듈의 경우, 입력자료 및 산출물은 아래의 표와 같으며 입력 자료로 대기온도, 노면온도, 이슬점온도, 상대습도, 강수량, 강설량, 수막두께를 입력하여 노면결빙 예측 알고리즘에 의해

연산 후 산출물로 각 지점의 노면상태(건조, 습윤, 결빙)를 도출할 수 있음



– 산출물(Output) 처리 모듈 구축

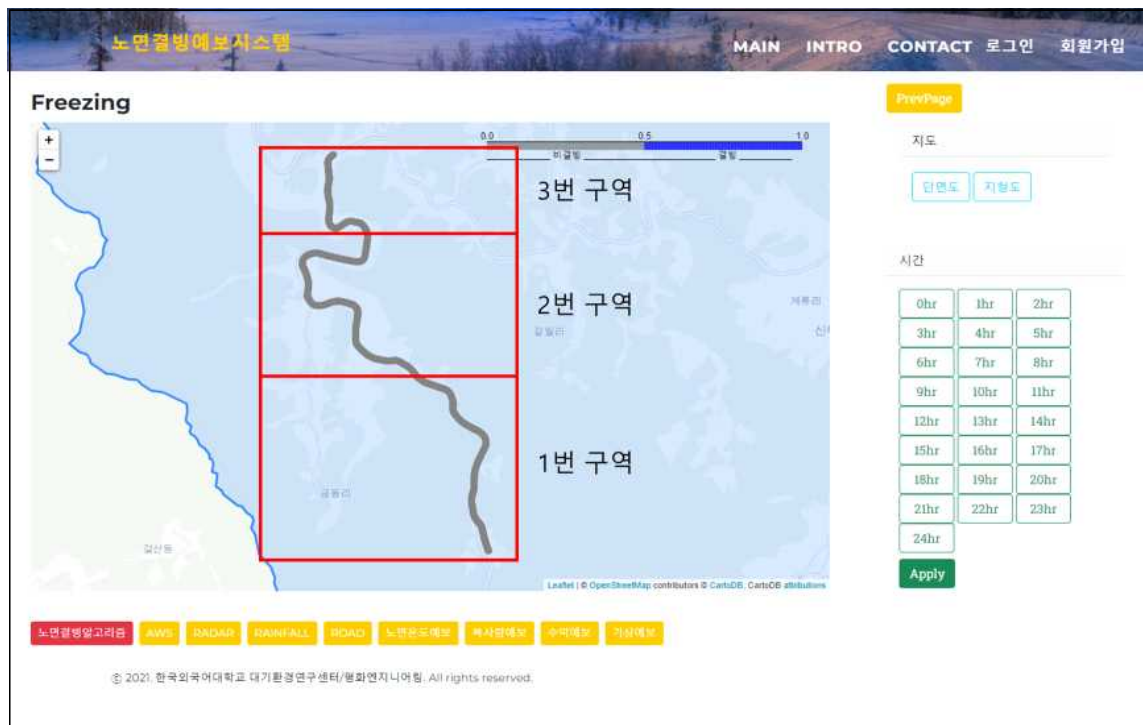
- 앞선 입력자료를 이용하여 프로그램 외부에서 엑셀 파일로 계산한 후 아웃풋 데이터를 추출함
- 추출한 아웃풋 데이터를 프로그램 내부에 탑재하여 나타낼 수 있도록 함. 즉, 프로그램 내부에서는 알고리즘을 통한 연산을 하지 않고 아웃풋 데이터 파일에 따라 결과를 산출할 수 있도록 함

< 결빙예측모형 최종 산출물 >

구분	모델/ 알고리즘	예상 산출물	웹 제공정보		
			모델 산출물	기상정보	
				모델	관측
1	SOLWEIG	- 태양복사온도 - 그림자정보 - 상하향 장파·단파 복사	태양복사온도 그림자정보		
2	노면온도 예측모델	- 열수지 물리변수 - 노면온도 예측정보	노면온도 예측정보	LDAPS 기온·습도·풍속	
3	수막 예측모델	- 도로단위 강우정보 - 경사도(종단, 횡단, 합성경사) - 수막발생위험도 예측정보	수막발생위험도 예측정보	LDAPS 강수	AWS/RADAR 강수
4	결빙 알고리즘	- 결빙발생지점 예측정보	결빙발생지점 예측정보		

○ 노면결빙예보시스템 서비스별 표출 모듈 구축

- 노면결빙예보시스템 서비스 시나리오에서 정립한 서비스별 정보 표출을 위한 모듈 구축은 현재 연구과제에서 목표했었던 총 4단계 시나리오로 입력자료 수집 및 표출 모듈, 기상 및 교통정보 표시, 도로결빙 예보 및 데이터 관리 등이 있음
- 노면결빙에 대한 후보구간 선정은 12시간 후까지 각 시간별로 노면결빙 예측 지역을 확인할 수 있으며, 현재 시간을 확인할 경우 입력된 표출에 따라 현재 결빙 예상지점을 확인할 수 있도록 모듈을 구축함
- 웹페이지로 서비스를 구현하였지만, 차후 휴대폰 등에서 사용 가능한 어플리케이션 구현 등을 고려하여 반응형 웹으로 제작하여 모바일 환경에서도 지도를 볼 수 있도록 구축하였으며, 연구과제 종료 이후 개선시 대응할 수 있도록 하였음
- 노면결빙예보 서비스 표출 모듈 1차 검증
 - 실제 제작한 시스템에서 알고리즘이 계산되어 표출된 결과 값을 가지고 데이터를 검증하는 과정을 거침
 - 임의로 노면결빙 예측 알고리즘의 입력자료 형식으로 시간대별로 일부 지점의 데이터를 입력하여 알고리즘 1번부터 6번 알고리즘에 따라 결빙지점이 다르게 표출되는 것을 확인할 수 있었음
 - 아래의 그림은 노면결빙 예보의 표출화면으로 모듈 검증을 위해서 표출되는 도로를 3개 구역으로 나누어 데이터를 임의로 수정하고 적용하여 표출되는 결과 값과 수정한 데이터와의 비교 및 검증을 수행함
 - 검증용 데이터는 2022년 01월 12일 15:00 기준으로 수집한 해당 지역의 예보 자료 및 모델 자료를 종합하여 작성하였음



< 노면결빙 예보 표출화면과 검증구역 >

1) 응결에 의한 결빙 알고리즘 검증

- 응결에 의한 결빙 알고리즘에 적용되는 데이터는 상대습도, 이슬점온도, 노면온도, 대기온도이고, 알고리즘에 부합하도록 모든 데이터를 수정하도록 하였음
- 검증용 샘플데이터에서 응결에 의한 결빙 알고리즘을 재현하기 위해 습도에 80%, 노면온도에 -15°C 를 적용하였음
- 먼저 엑셀 상에서 해당 수정 데이터가 의도한 대로 작동이 되는지 여부를 확인한 결과, 응결에 의한 결빙 알고리즘으로만 결빙 상태로 판별이 되고, 나머지 알고리즘에 의해서는 결빙이 나타나지 않음

- 검증용 데이터를 1번 구역에 해당하는 지역에 적용하였고, 해당 데이터를 지도상에 표출하여 검증하였음

1	AID	road_nm	directio	long	lat	대기온도	강우 Idx	강설 Idx	습도 Idx	기압 Idx	풍속 Idx	이슬점	노면온도	수막두께	p_hour	datetim
2812	1	pocheon_L		127.1241	37.96105	-6.737	0	0	80	98664.7	3.432017	-15.871	-15	0	2	20220112 17:00
2813	2	pocheon_L		127.124	37.96102	-6.737	0	0	80	98664.7	3.432017	-15.871	-15	0	2	20220112 17:00
2814	3	pocheon_L		127.124	37.961	-6.737	0	0	80	98664.7	3.432017	-15.871	-15	0	2	20220112 17:00
2815	4	pocheon_L		127.124	37.96098	-6.737	0	0	80	98664.7	3.432017	-15.871	-15	0	2	20220112 17:00
2816	5	pocheon_L		127.1239	37.96095	-6.737	0	0	80	98664.7	3.432017	-15.871	-15	0	2	20220112 17:00
2817	6	pocheon_L		127.1239	37.96093	-6.737	0	0	80	98664.7	3.432017	-15.871	-15	0	2	20220112 17:00
2818	7	pocheon_L		127.1239	37.9609	-6.737	0	0	80	98664.7	3.432017	-15.871	-15	0	2	20220112 17:00
2819	8	pocheon_L		127.1238	37.96089	-6.737	0	0	80	98664.7	3.432017	-15.871	-15	0	2	20220112 17:00
2820	9	pocheon_L		127.1238	37.96087	-6.737	0	0	80	98664.7	3.432017	-15.871	-15	0	2	20220112 17:00

< 응결에 의한 결빙 알고리즘 검증을 위한 적용 데이터 >

1	AID	datetim	① 응결	② 강우	③ 강설	④ 수막	⑤ 지속	⑥ 풍속	알고리즘 최종	알고리즘 대응값
2812	1	20220112 17:00	결빙					건조	결빙	1번 알고리즘 - 습도에 "80", 노면온도에 "-15"값을 적용하였음
2813	2	20220112 17:00	결빙					건조	결빙	1번 알고리즘 - 습도에 "80", 노면온도에 "-15"값을 적용하였음
2814	3	20220112 17:00	결빙					건조	결빙	1번 알고리즘 - 습도에 "80", 노면온도에 "-15"값을 적용하였음
2815	4	20220112 17:00	결빙					건조	결빙	1번 알고리즘 - 습도에 "80", 노면온도에 "-15"값을 적용하였음
2816	5	20220112 17:00	결빙					건조	결빙	1번 알고리즘 - 습도에 "80", 노면온도에 "-15"값을 적용하였음
2817	6	20220112 17:00	결빙					건조	결빙	1번 알고리즘 - 습도에 "80", 노면온도에 "-15"값을 적용하였음
2818	7	20220112 17:00	결빙					건조	결빙	1번 알고리즘 - 습도에 "80", 노면온도에 "-15"값을 적용하였음
2819	8	20220112 17:00	결빙					건조	결빙	1번 알고리즘 - 습도에 "80", 노면온도에 "-15"값을 적용하였음
2820	9	20220112 17:00	결빙					건조	결빙	1번 알고리즘 - 습도에 "80", 노면온도에 "-15"값을 적용하였음

< 응결에 의한 결빙 알고리즘 검증을 위한 적용 데이터 알고리즘 검증 결과 >



< 응결에 의한 결빙 알고리즘 검증을 위한 표출화면 >

2) 강우에 의한 결빙 알고리즘 검증

- 강우에 의한 결빙 알고리즘에 적용되는 데이터는 시간당 강우량, 대기온도, 노면온도이고 알고리즘에 부합하도록 모든 데이터를 수정하도록 하였음
- 검증용 샘플데이터에서 강우에 의한 결빙 알고리즘을 재현하기 위해 시간당 강우량에 10mm/h를 적용하였음
- 엑셀 상에서 해당 수정 데이터가 의도한 대로 작동이 되는지 여부를 확인한 결과, 강우에 의한 결빙 알고리즘으로만 결빙 상태로 판별이 되고, 나머지 알고리즘에 의해서는 결빙이 나타나지 않음

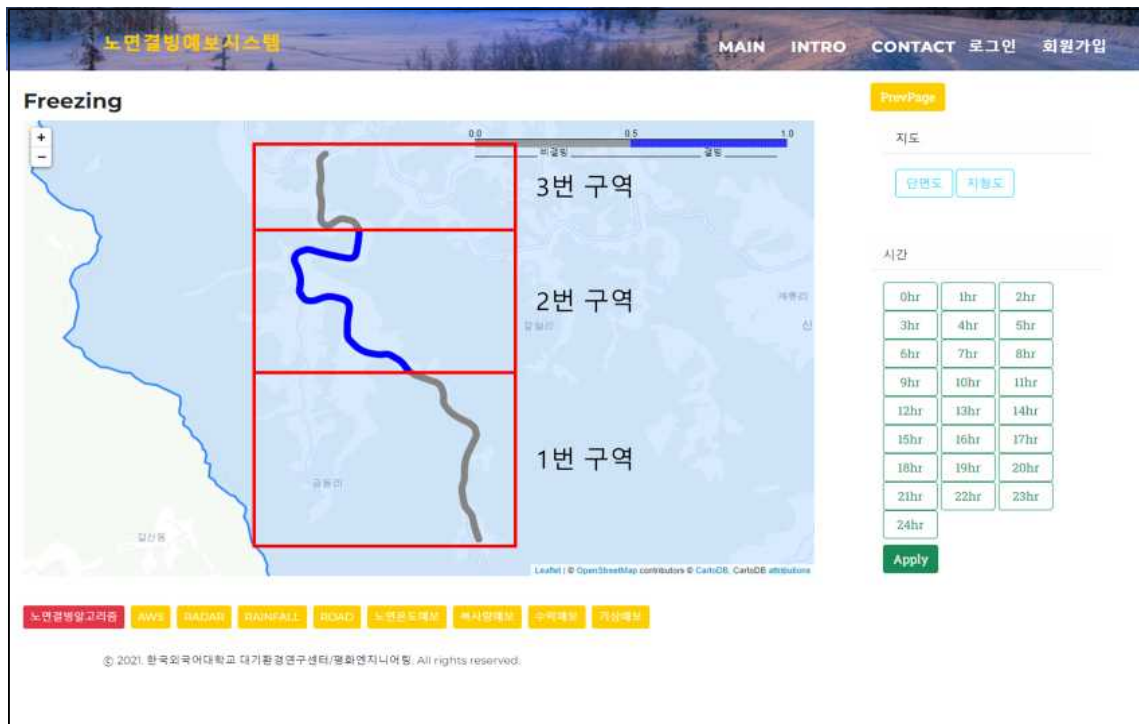
- 검증용 데이터를 2번 구역에 해당하는 지역에 적용하였고, 해당 데이터를 지도상에 표출하여 검증하였음

1	AID	road_nm	direction	long	lat	대기온도	강우 Idx	강설 Idx	습도 Idx	기압 Idx	풍속 Idx	이슬점	노면온도	수막두께	p_hour	datetime
4717	501	pocheon_L		127.1212	37.95034	-7.166	10	0	61.207	98768.2	3.14487	-14.236	-3.81035	0	3	20220112 18:00
4718	502	pocheon_L		127.1212	37.95029	-7.166	10	0	61.207	98768.2	3.14487	-14.236	-3.81024	0	3	20220112 18:00
4719	503	pocheon_L		127.1212	37.95023	-7.166	10	0	61.207	98768.2	3.14487	-14.236	-3.81019	0	3	20220112 18:00
4720	504	pocheon_L		127.1212	37.95017	-7.166	10	0	61.207	98768.2	3.14487	-14.236	-3.81014	0	3	20220112 18:00
4721	505	pocheon_L		127.1212	37.95011	-7.033	10	0	60.791	99066.7	3.371903	-14.159	-3.6778	0	3	20220112 18:00
4722	506	pocheon_L		127.1212	37.95007	-7.033	10	0	60.791	99066.7	3.371903	-14.159	-3.6778	0	3	20220112 18:00
4723	507	pocheon_L		127.1213	37.95003	-7.033	10	0	60.791	99066.7	3.371903	-14.159	-3.6778	0	3	20220112 18:00
4724	508	pocheon_L		127.1213	37.94999	-7.033	10	0	60.791	99066.7	3.371903	-14.159	-3.6778	0	3	20220112 18:00
4725	509	pocheon_L		127.1213	37.94995	-7.033	10	0	60.791	99066.7	3.371903	-14.159	-3.6778	0	3	20220112 18:00

< 강우에 의한 결빙 알고리즘 검증을 위한 적용 데이터 >

1	AID	datetime	① 응결	② 강우	③ 강설	④ 수막	⑤ 지속	⑥ 풍속	알고리즘 최종	알고리즘 대응값
4717	501	20220112 18:00	건조	결빙				건조	결빙	2번 알고리즘 - 강우에 "10"값을 적용하였음
4718	502	20220112 18:00	건조	결빙				건조	결빙	2번 알고리즘 - 강우에 "10"값을 적용하였음
4719	503	20220112 18:00	건조	결빙				건조	결빙	2번 알고리즘 - 강우에 "10"값을 적용하였음
4720	504	20220112 18:00	건조	결빙				건조	결빙	2번 알고리즘 - 강우에 "10"값을 적용하였음
4721	505	20220112 18:00	건조	결빙				건조	결빙	2번 알고리즘 - 강우에 "10"값을 적용하였음
4722	506	20220112 18:00	건조	결빙				건조	결빙	2번 알고리즘 - 강우에 "10"값을 적용하였음
4723	507	20220112 18:00	건조	결빙				건조	결빙	2번 알고리즘 - 강우에 "10"값을 적용하였음
4724	508	20220112 18:00	건조	결빙				건조	결빙	2번 알고리즘 - 강우에 "10"값을 적용하였음
4725	509	20220112 18:00	건조	결빙				건조	결빙	2번 알고리즘 - 강우에 "10"값을 적용하였음

< 강우에 의한 결빙 알고리즘 검증을 위한 적용 데이터 알고리즘 검증 결과 >



< 강우에 의한 결빙 알고리즘 검증을 위한 표출 화면 >

3) 강설에 의한 결빙 알고리즘 검증

- 강설에 의한 결빙 알고리즘에 적용되는 데이터는 적설량뿐이고 알고리즘에 부합하도록 적설량 데이터를 수정하도록 하였음
- 검증용 샘플데이터에서 강설에 의한 결빙 알고리즘을 재현하기 위해 적설량에 5cm를 적용하였음
- 엑셀 상에서 해당 수정 데이터가 의도한 대로 작동이 되는지 여부를 확인한 결과, 강설에 의한 결빙 알고리즘으로만 결빙 상태로 판별이 되고, 나머지 알고리즘에 의해서는 결빙이 나타나지 않음
- 검증용 데이터를 1번 구역에 해당하는 지역에 적용하였고, 해당 데이터를 지도상에 표출하여 검증하였음

1	AID	road_na	directio	long	lat	대기온도	강우 Idx	강설 Idx	습도 Idx	기압 Idx	풍속 Idx	이슬점온	노면온도	수막두께	p_hour	datetim
2	1	pocheon_L		127.1241	37.96105	-6.686	0	5	50.4995	98668.6	3.897451	-16.095	-1.27568	0	0	20220112 15:00
3	2	pocheon_L		127.124	37.96102	-6.686	0	5	50.4995	98668.6	3.897451	-16.095	-1.27476	0	0	20220112 15:00
4	3	pocheon_L		127.124	37.961	-6.686	0	5	50.4995	98668.6	3.897451	-16.095	-1.27568	0	0	20220112 15:00
5	4	pocheon_L		127.124	37.96098	-6.686	0	5	50.4995	98668.6	3.897451	-16.095	-1.2743	0	0	20220112 15:00
6	5	pocheon_L		127.1239	37.96095	-6.686	0	5	50.4995	98668.6	3.897451	-16.095	-1.27384	0	0	20220112 15:00
7	6	pocheon_L		127.1239	37.96093	-6.686	0	5	50.4995	98668.6	3.897451	-16.095	-1.27476	0	0	20220112 15:00
8	7	pocheon_L		127.1239	37.9609	-6.686	0	5	50.4995	98668.6	3.897451	-16.095	-1.27568	0	0	20220112 15:00
9	8	pocheon_L		127.1238	37.96089	-6.686	0	5	50.4995	98668.6	3.897451	-16.095	-1.27568	0	0	20220112 15:00
10	9	pocheon_L		127.1238	37.96087	-6.686	0	5	50.4995	98668.6	3.897451	-16.095	-1.27366	0	0	20220112 15:00

< 강설에 의한 결빙 알고리즘 검증을 위한 적용 데이터 >

1	AID	datetim	① 응결	② 강우	③ 강설	④ 수막	⑤ 지속	⑥ 풍속	알고리즘 최종	알고리즘 대응값
2	1	20220112 15:00			결빙			건조	결빙	3번 알고리즘 - 강설 항목에 "5"값을 적용하였음
3	2	20220112 15:00			결빙			건조	결빙	3번 알고리즘 - 강설 항목에 "5"값을 적용하였음
4	3	20220112 15:00			결빙			건조	결빙	3번 알고리즘 - 강설 항목에 "5"값을 적용하였음
5	4	20220112 15:00			결빙			건조	결빙	3번 알고리즘 - 강설 항목에 "5"값을 적용하였음
6	5	20220112 15:00			결빙			건조	결빙	3번 알고리즘 - 강설 항목에 "5"값을 적용하였음
7	6	20220112 15:00			결빙			건조	결빙	3번 알고리즘 - 강설 항목에 "5"값을 적용하였음
8	7	20220112 15:00			결빙			건조	결빙	3번 알고리즘 - 강설 항목에 "5"값을 적용하였음
9	8	20220112 15:00			결빙			건조	결빙	3번 알고리즘 - 강설 항목에 "5"값을 적용하였음
10	9	20220112 15:00			결빙			건조	결빙	3번 알고리즘 - 강설 항목에 "5"값을 적용하였음

< 강설에 의한 결빙 알고리즘 검증을 위한 적용 데이터 알고리즘 검증 결과 >



< 강설에 의한 결빙 알고리즘 검증을 위한 표출 화면 >

4) 수막에 의한 결빙 알고리즘 검증

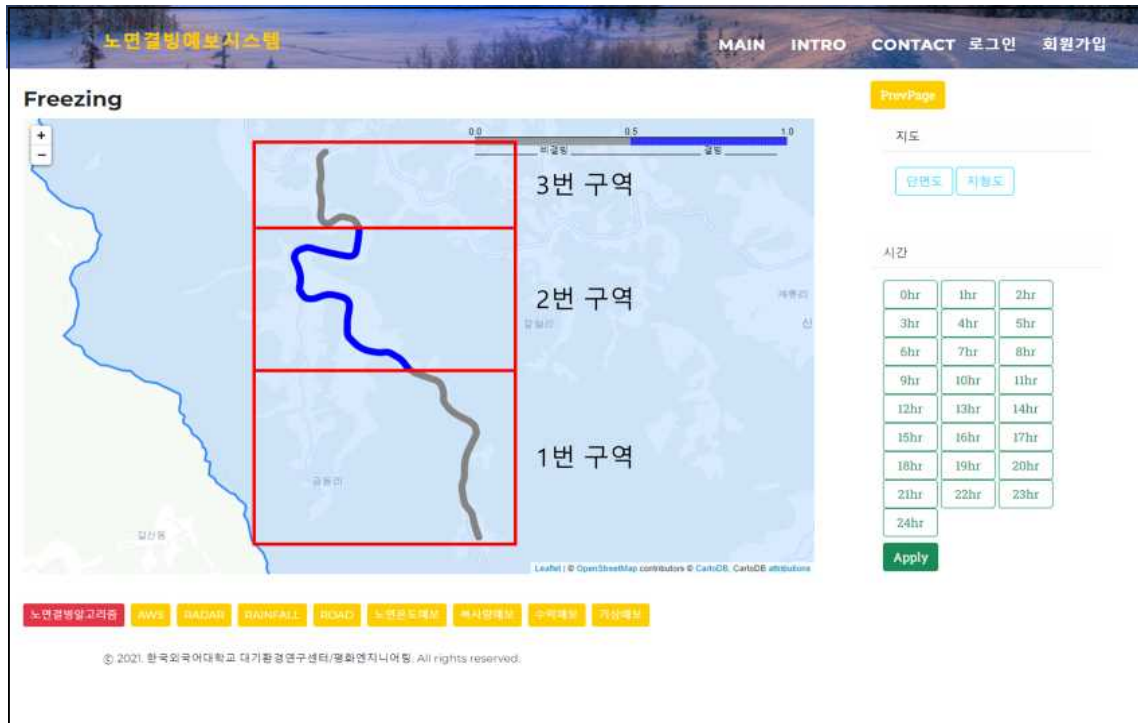
- 수막에 의한 결빙 알고리즘에 적용되는 데이터는 수막두께와 노면온도이고 알고리즘에 부합하도록 모든 데이터를 수정하도록 하였음
- 검증용 샘플데이터에서 강설에 의한 결빙 알고리즘을 재현하기 위해 수막두께에 3mm를 적용하였음
- 엑셀 상에서 해당 수정 데이터가 의도한 대로 작동이 되는지 여부를 확인한 결과, 수막에 의한 결빙 알고리즘으로만 결빙 상태로 판별이 되고, 나머지 알고리즘에 의해서는 결빙이 나타나지 않음
- 검증용 데이터를 2번 구역에 해당하는 지역에 적용하였고, 해당 데이터를 지도상에 표출하여 검증하였음

1	AID	road_nm	directio	long	lat	대기온도	강우 Idx	강설 Idx	습도 Idx	기압 Idx	풍속 Idx	이슬점온	노면온도	수막두께	p_hour	datetim
1907	501	pocheon_L		127.1212	37.95034	-6.301	0	0	48.623	98748.9	3.432577	-16.115	-1.67293	3	1	20220112 16:00
1908	502	pocheon_L		127.1212	37.95029	-6.301	0	0	48.623	98748.9	3.432577	-16.115	-1.6719	3	1	20220112 16:00
1909	503	pocheon_L		127.1212	37.95023	-6.301	0	0	48.623	98748.9	3.432577	-16.115	-1.67138	3	1	20220112 16:00
1910	504	pocheon_L		127.1212	37.95017	-6.301	0	0	48.623	98748.9	3.432577	-16.115	-1.67087	3	1	20220112 16:00
1911	505	pocheon_L		127.1212	37.95011	-6.112	0	0	47.7499	99048.4	3.663941	-16.099	-1.4824	3	1	20220112 16:00
1912	506	pocheon_L		127.1212	37.95007	-6.112	0	0	47.7499	99048.4	3.663941	-16.099	-1.4824	3	1	20220112 16:00
1913	507	pocheon_L		127.1213	37.95003	-6.112	0	0	47.7499	99048.4	3.663941	-16.099	-1.4824	3	1	20220112 16:00
1914	508	pocheon_L		127.1213	37.94999	-6.112	0	0	47.7499	99048.4	3.663941	-16.099	-1.4824	3	1	20220112 16:00
1915	509	pocheon_L		127.1213	37.94995	-6.112	0	0	47.7499	99048.4	3.663941	-16.099	-1.4824	3	1	20220112 16:00

< 수막에 의한 결빙 알고리즘 검증을 위한 적용 데이터 >

1	AID	datetim	① 용결	② 강우	③ 강설	④ 수막	⑤ 지속	⑥ 풍속	알고리즘 최종	알고리즘 대응값
1907	501	20220112 16:00	건조			결빙		건조	결빙	4번 알고리즘 - 수막두께에 "3"값을 적용하였음
1908	502	20220112 16:00	건조			결빙		건조	결빙	4번 알고리즘 - 수막두께에 "3"값을 적용하였음
1909	503	20220112 16:00	건조			결빙		건조	결빙	4번 알고리즘 - 수막두께에 "3"값을 적용하였음
1910	504	20220112 16:00	건조			결빙		건조	결빙	4번 알고리즘 - 수막두께에 "3"값을 적용하였음
1911	505	20220112 16:00	건조			결빙		건조	결빙	4번 알고리즘 - 수막두께에 "3"값을 적용하였음
1912	506	20220112 16:00	건조			결빙		건조	결빙	4번 알고리즘 - 수막두께에 "3"값을 적용하였음
1913	507	20220112 16:00	건조			결빙		건조	결빙	4번 알고리즘 - 수막두께에 "3"값을 적용하였음
1914	508	20220112 16:00	건조			결빙		건조	결빙	4번 알고리즘 - 수막두께에 "3"값을 적용하였음
1915	509	20220112 16:00	건조			결빙		건조	결빙	4번 알고리즘 - 수막두께에 "3"값을 적용하였음

< 수막에 의한 결빙 알고리즘 검증을 위한 적용 데이터 알고리즘 검증 결과 >



< 수막에 의한 결빙 알고리즘 검증을 위한 표출 화면 >

5) 풍속에 의한 결빙 알고리즘 검증

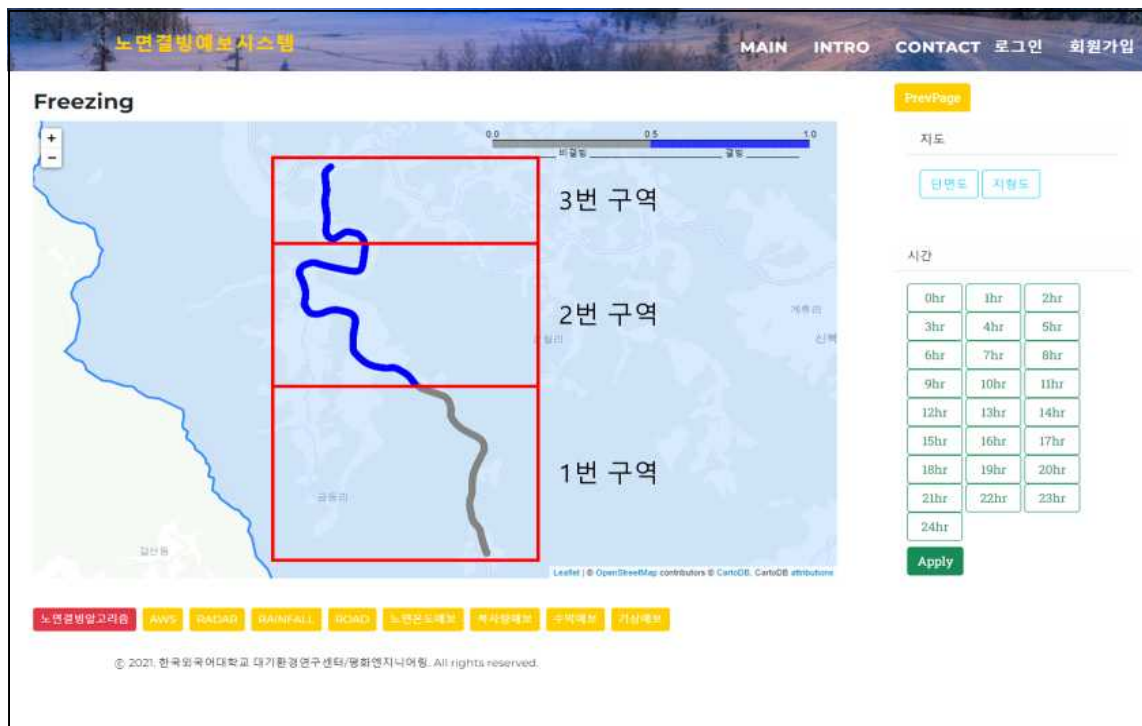
- 풍속에 의한 결빙 알고리즘에 적용되는 데이터는 노면온도, 이슬점온도, 풍속이고 알고리즘에 부합하도록 모든 데이터를 수정하도록 하였음
- 검증용 샘플데이터에서 강설에 의한 결빙 알고리즘을 재현하기 위해 노면온도에 -17℃를 적용하였음
- 엑셀 상에서 해당 수정 데이터가 의도한 대로 작동이 되는지 여부를 확인한 결과, 풍속에 의한 결빙 알고리즘으로만 결빙 상태로 판별이 되고, 나머지 알고리즘에 의해서는 결빙이 나타나지 않음
- 검증용 데이터를 3번 구역에 해당하는 지역에 적용하였고, 해당 데이터를 지도상에 표출하여 검증하였음

1	AID	road_nā	directio	long	lat	대기온도	강우 Idf	강설 Idf	습도 Idf	기압 Idf	풍속 Idf	이슬점	노면온도	수막두께	p_hour	datetim
8027	1001	pocheon_L		127.1371	37.93924	-7.736	0	0	55.9628	98782.2	3.43562	-15.911	-17	0	5	20220112 20:00
8028	1002	pocheon_L		127.1371	37.93919	-7.736	0	0	55.9628	98782.2	3.43562	-15.911	-17	0	5	20220112 20:00
8029	1003	pocheon_L		127.1371	37.93915	-7.736	0	0	55.9628	98782.2	3.43562	-15.911	-17	0	5	20220112 20:00
8030	1004	pocheon_L		127.1371	37.9391	-7.736	0	0	55.9628	98782.2	3.43562	-15.911	-17	0	5	20220112 20:00
8031	1005	pocheon_L		127.1371	37.93907	-7.736	0	0	55.9628	98782.2	3.43562	-15.911	-17	0	5	20220112 20:00
8032	1006	pocheon_L		127.1371	37.93902	-7.736	0	0	55.9628	98782.2	3.43562	-15.911	-17	0	5	20220112 20:00
8033	1007	pocheon_L		127.1371	37.93898	-7.736	0	0	55.9628	98782.2	3.43562	-15.911	-17	0	5	20220112 20:00
8034	1008	pocheon_L		127.1371	37.93894	-7.736	0	0	55.9628	98782.2	3.43562	-15.911	-17	0	5	20220112 20:00
8035	1009	pocheon_L		127.137	37.9389	-7.736	0	0	55.9628	98782.2	3.43562	-15.911	-17	0	5	20220112 20:00

< 풍속에 의한 결빙 알고리즘 검증을 위한 적용 데이터 >

1	AID	datetim	① 용결	② 강우	③ 강설	④ 수막	⑤ 지속	⑥ 풍속	알고리즘 최종	알고리즘 대응값
8027	1001	20220112 20:00	건조	건조				결빙	결빙	6번 알고리즘 - 노면온도에 "-17"값을 적용하였음
8028	1002	20220112 20:00	건조	건조				결빙	결빙	6번 알고리즘 - 노면온도에 "-17"값을 적용하였음
8029	1003	20220112 20:00	건조	건조				결빙	결빙	6번 알고리즘 - 노면온도에 "-17"값을 적용하였음
8030	1004	20220112 20:00	건조	건조				결빙	결빙	6번 알고리즘 - 노면온도에 "-17"값을 적용하였음
8031	1005	20220112 20:00	건조	건조				결빙	결빙	6번 알고리즘 - 노면온도에 "-17"값을 적용하였음
8032	1006	20220112 20:00	건조	건조				결빙	결빙	6번 알고리즘 - 노면온도에 "-17"값을 적용하였음
8033	1007	20220112 20:00	건조	건조				결빙	결빙	6번 알고리즘 - 노면온도에 "-17"값을 적용하였음
8034	1008	20220112 20:00	건조	건조				결빙	결빙	6번 알고리즘 - 노면온도에 "-17"값을 적용하였음
8035	1009	20220112 20:00	건조	건조				결빙	결빙	6번 알고리즘 - 노면온도에 "-17"값을 적용하였음

< 풍속에 의한 결빙 알고리즘 검증을 위한 적용 데이터 알고리즘 검증 결과 >



< 풍속에 의한 결빙 알고리즘 검증을 위한 표출 화면 >

6) 결빙 상태 지속에 의한 알고리즘 검증

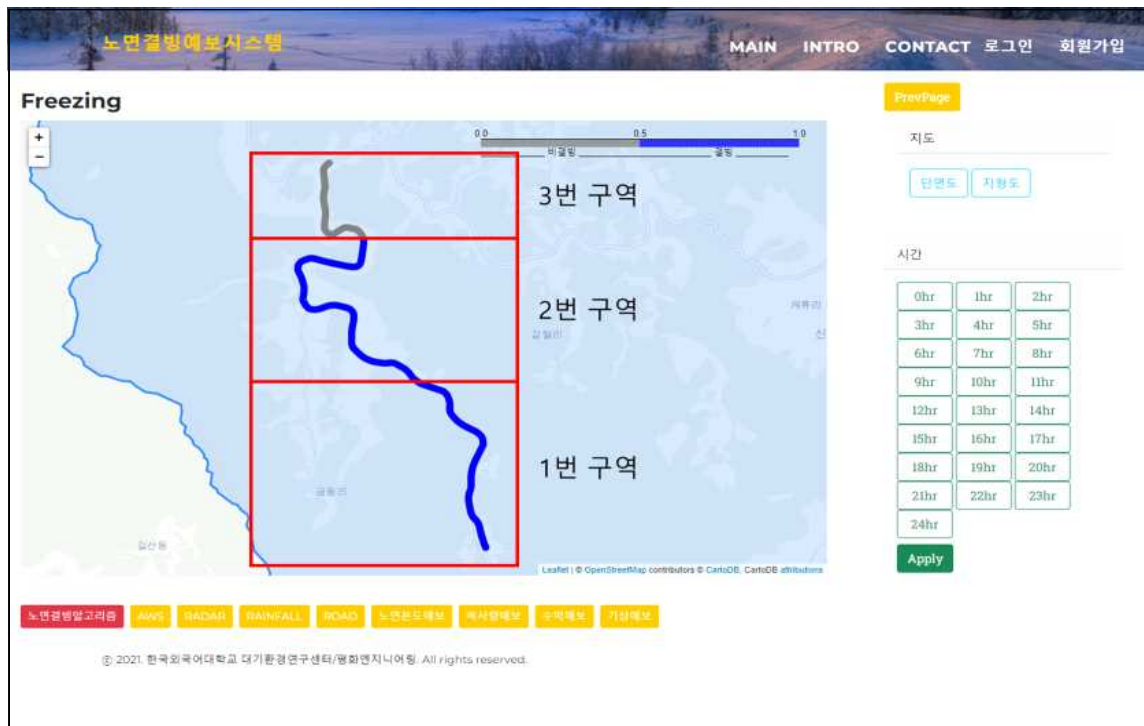
- 결빙 상태 지속에 의한 알고리즘에 적용되는 데이터는 노면온도, 대기온도, 이전 4시간의 결빙 알고리즘 결과값이고 알고리즘에 부합하도록 모든 데이터를 수정하도록 하였음
- 검증용 샘플데이터에서 결빙 상태 지속에 의한 알고리즘을 재현하기 위해 별도의 데이터 수정은 하지 않았고 조건이 부합하는 시간과 구역을 살펴보았음
- 엑셀 상에서 해당 수정 데이터가 의도한 대로 작동이 되는지 여부를 확인한 결과, 결빙 상태 지속에 의한 알고리즘으로만 결빙 상태로 판별이 되고, 나머지 알고리즘에 의해서는 결빙이 나타나지 않음
- 결빙 상태 지속에 의한 알고리즘에 결빙으로 나타나는 지역은 1, 2번 구역에 해당하는 지역에 나타났고 해당 데이터를 지도상에 표출하여 검증하였음

1	AID	road_nam	directio	long	lat	대기온도	강우 Idx	강설 Idx	습도 Idx	기압 Idx	풍속 Idx	이슬점온	노면온도	수막두께	p_hour	datetime
5622	1	pocheon_L		127.1241	37.96105	-7.802	0	0	62.368	98690.7	3.407356	-14.658	-4.50545	0	4	20220112 19:00
5623	2	pocheon_L		127.124	37.96102	-7.802	0	0	62.368	98690.7	3.407356	-14.658	-4.50545	0	4	20220112 19:00
5624	3	pocheon_L		127.124	37.961	-7.802	0	0	62.368	98690.7	3.407356	-14.658	-4.50545	0	4	20220112 19:00
5625	4	pocheon_L		127.124	37.96098	-7.802	0	0	62.368	98690.7	3.407356	-14.658	-4.50545	0	4	20220112 19:00
5626	5	pocheon_L		127.1239	37.96095	-7.802	0	0	62.368	98690.7	3.407356	-14.658	-4.50545	0	4	20220112 19:00
5627	6	pocheon_L		127.1239	37.96093	-7.802	0	0	62.368	98690.7	3.407356	-14.658	-4.50545	0	4	20220112 19:00
5628	7	pocheon_L		127.1239	37.9609	-7.802	0	0	62.368	98690.7	3.407356	-14.658	-4.50545	0	4	20220112 19:00
5629	8	pocheon_L		127.1238	37.96089	-7.802	0	0	62.368	98690.7	3.407356	-14.658	-4.50545	0	4	20220112 19:00
5630	9	pocheon_L		127.1238	37.96087	-7.802	0	0	62.368	98690.7	3.407356	-14.658	-4.50545	0	4	20220112 19:00

< 결빙 상태 지속에 의한 알고리즘 검증을 위한 적용 데이터 >

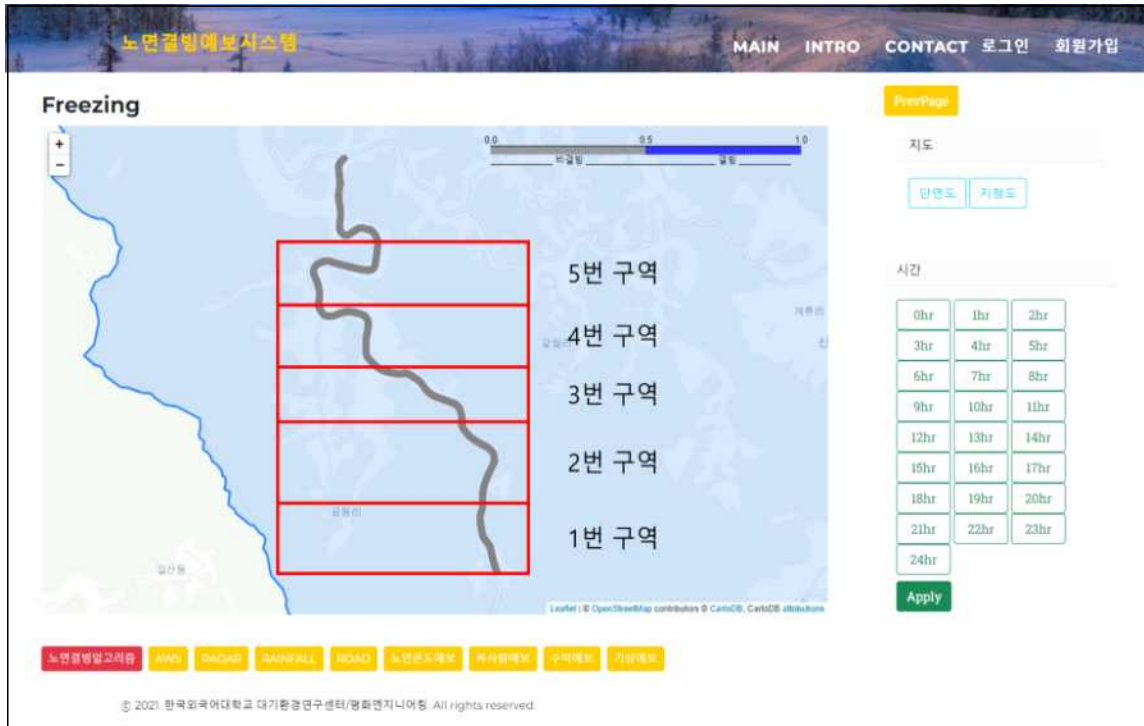
1	AID	datetime	① 용결	② 강우	③ 강설	④ 수막	⑤ 지속	⑥ 풍속	알고리즘 최종	알고리즘 대응값
5622	1	20220112 19:00	건조	건조			결빙	건조	결빙	5번 알고리즘 - 별도의 조정을 하지 않음.
5623	2	20220112 19:00	건조	건조			결빙	건조	결빙	5번 알고리즘 - 별도의 조정을 하지 않음.
5624	3	20220112 19:00	건조	건조			결빙	건조	결빙	5번 알고리즘 - 별도의 조정을 하지 않음.
5625	4	20220112 19:00	건조	건조			결빙	건조	결빙	5번 알고리즘 - 별도의 조정을 하지 않음.
5626	5	20220112 19:00	건조	건조			결빙	건조	결빙	5번 알고리즘 - 별도의 조정을 하지 않음.
5627	6	20220112 19:00	건조	건조			결빙	건조	결빙	5번 알고리즘 - 별도의 조정을 하지 않음.
5628	7	20220112 19:00	건조	건조			결빙	건조	결빙	5번 알고리즘 - 별도의 조정을 하지 않음.
5629	8	20220112 19:00	건조	건조			결빙	건조	결빙	5번 알고리즘 - 별도의 조정을 하지 않음.
5630	9	20220112 19:00	건조	건조			결빙	건조	결빙	5번 알고리즘 - 별도의 조정을 하지 않음.

< 결빙 상태 지속에 의한 알고리즘 검증을 위한 적용 데이터 알고리즘 검증 결과 >



< 결빙 상태 지속에 의한 알고리즘 검증을 위한 표출 화면 >

- 노면결빙예보 서비스 표출 모듈 2차 검증
 - 실제 제작한 시스템에서 알고리즘이 계산되어 표출된 결과 값을 가지고 데이터를 검증하는 과정을 거침
 - 1차 검증과 마찬가지로 임의로 시간대별로 일부 지점의 데이터를 수정하여 알고리즘별로 결빙 지점이 다르게 표출되는 것을 확인할 수 있었음
 - 2차 검증은 표출되는 도로를 5개 구역으로 나누어 데이터를 수정하고, 적용하여 표출되는 결과 값과 수정한 데이터와 비교 및 검증하였음
 - 검증용 데이터는 2022년 01월 12일 15:00 기준으로 수집한 해당 지역의 예보 자료 및 모델 자료를 종합하여 작성하였음



< 노면결빙 예보 표출화면과 검증구역 >

1) 응결에 의한 결빙 알고리즘 검증

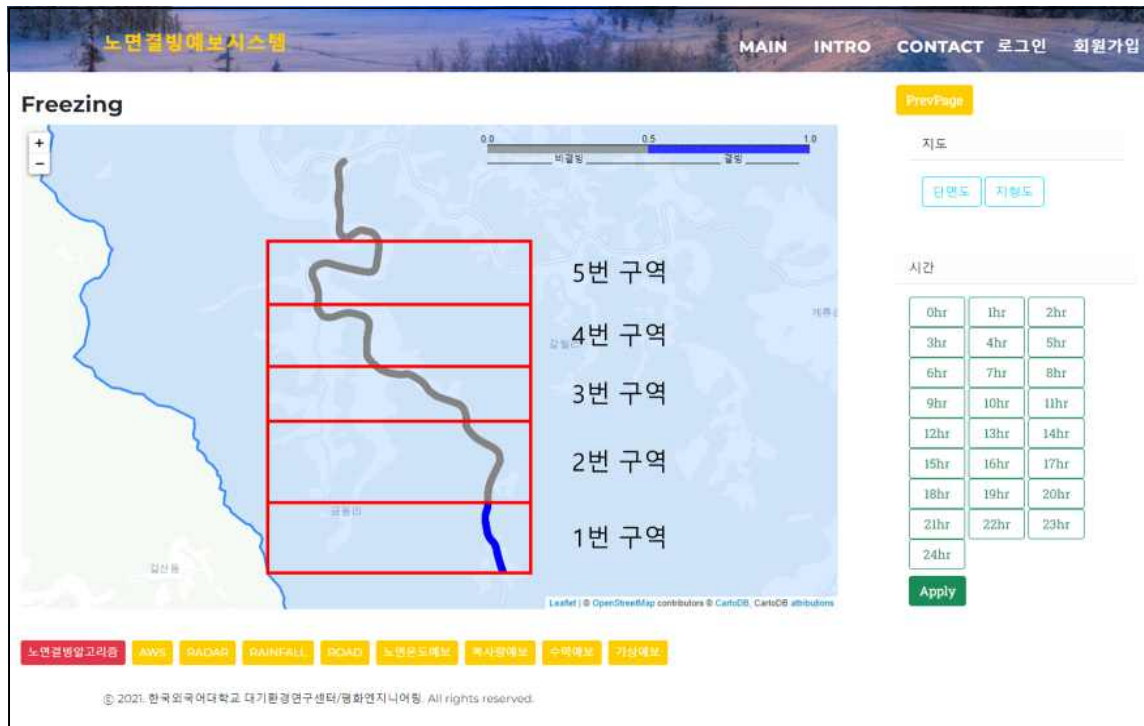
- 응결에 의한 결빙 알고리즘에 적용되는 데이터는 상대습도, 이슬점온도, 노면온도, 대기온도이고 알고리즘에 부합하도록 모든 데이터를 수정하도록 하였음
- 검증용 샘플데이터에서 응결에 의한 결빙 알고리즘을 재현하기 위해 습도에 80%, 노면온도에 -14℃를 적용하였음
- 먼저 엑셀 상에서 해당 수정 데이터가 의도한 대로 작동이 되는지 여부를 확인한 결과, 응결에 의한 결빙 알고리즘으로만 결빙 상태로 판별이 되고, 나머지 알고리즘에 의해서는 결빙이 나타나지 않음
- 검증용 데이터를 1번 구역에 해당하는 지역에 적용하였고, 해당 데이터를 지도상에 표출하여 검증하였음

1	AID	road_n	direction	long	lat	대기온도	강우 Id	강설 Id	습도 Id	기압 Id	풍속 Id	이슬점	노면온도	수막두께	p_hour	datetime
5622	1	pocheon_L		127.1241	37.96105	-7.802	0	0	80	98690.7	3.407356	-14.658	-14	0	4	20220112 19:00
5623	2	pocheon_L		127.124	37.96102	-7.802	0	0	80	98690.7	3.407356	-14.658	-14	0	4	20220112 19:00
5624	3	pocheon_L		127.124	37.961	-7.802	0	0	80	98690.7	3.407356	-14.658	-14	0	4	20220112 19:00
5625	4	pocheon_L		127.124	37.96098	-7.802	0	0	80	98690.7	3.407356	-14.658	-14	0	4	20220112 19:00
5626	5	pocheon_L		127.1239	37.96095	-7.802	0	0	80	98690.7	3.407356	-14.658	-14	0	4	20220112 19:00
5627	6	pocheon_L		127.1239	37.96093	-7.802	0	0	80	98690.7	3.407356	-14.658	-14	0	4	20220112 19:00
5628	7	pocheon_L		127.1239	37.9609	-7.802	0	0	80	98690.7	3.407356	-14.658	-14	0	4	20220112 19:00
5629	8	pocheon_L		127.1238	37.96089	-7.802	0	0	80	98690.7	3.407356	-14.658	-14	0	4	20220112 19:00
5630	9	pocheon_L		127.1238	37.96087	-7.802	0	0	80	98690.7	3.407356	-14.658	-14	0	4	20220112 19:00

< 응결에 의한 결빙 알고리즘 검증을 위한 적용 데이터 >

1	AID	datetime	① 응결	② 강우	③ 강설	④ 수막	⑤ 지속	⑥ 풍속	알고리즘 적용	알고리즘 대응값
5622	1	20220112 19:00	결빙	건조				건조	결빙	1번 알고리즘 - 습도에 "80", 노면온도에 "-14"값을 적용하였음
5623	2	20220112 19:00	결빙	건조				건조	결빙	1번 알고리즘 - 습도에 "80", 노면온도에 "-14"값을 적용하였음
5624	3	20220112 19:00	결빙	건조				건조	결빙	1번 알고리즘 - 습도에 "80", 노면온도에 "-14"값을 적용하였음
5625	4	20220112 19:00	결빙	건조				건조	결빙	1번 알고리즘 - 습도에 "80", 노면온도에 "-14"값을 적용하였음
5626	5	20220112 19:00	결빙	건조				건조	결빙	1번 알고리즘 - 습도에 "80", 노면온도에 "-14"값을 적용하였음
5627	6	20220112 19:00	결빙	건조				건조	결빙	1번 알고리즘 - 습도에 "80", 노면온도에 "-14"값을 적용하였음
5628	7	20220112 19:00	결빙	건조				건조	결빙	1번 알고리즘 - 습도에 "80", 노면온도에 "-14"값을 적용하였음
5629	8	20220112 19:00	결빙	건조				건조	결빙	1번 알고리즘 - 습도에 "80", 노면온도에 "-14"값을 적용하였음
5630	9	20220112 19:00	결빙	건조				건조	결빙	1번 알고리즘 - 습도에 "80", 노면온도에 "-14"값을 적용하였음

< 응결에 의한 결빙 알고리즘 검증을 위한 적용 데이터 알고리즘 검증 결과 >



< 응결에 의한 결빙 알고리즘 검증을 위한 표출화면 >

2) 강우에 의한 결빙 알고리즘 검증

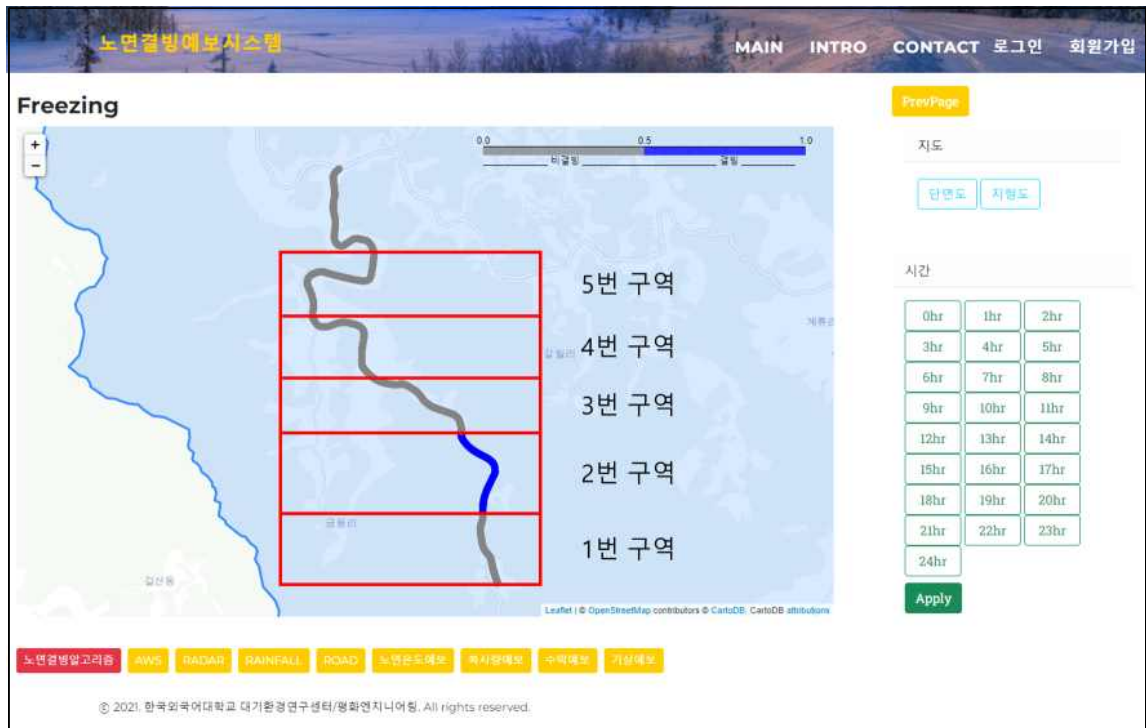
- 강우에 의한 결빙 알고리즘에 적용되는 데이터는 시간당 강우량, 대기온도, 노면온도이고 알고리즘에 부합하도록 모든 데이터를 수정하도록 하였음
- 검증용 샘플데이터에서 강우에 의한 결빙 알고리즘을 재현하기 위해 시간당 강우량에 10mm/h를 적용함
- 엑셀 상에서 해당 수정 데이터가 의도한 대로 작동이 되는지 여부를 확인한 결과, 강우에 의한 결빙 알고리즘으로만 결빙 상태로 판별이 되고, 나머지 알고리즘에 의해서는 결빙이 나타나지 않음
- 검증용 데이터를 2번 구역에 해당하는 지역에 적용하였고, 해당 데이터를 지도상에 표출하여 검증하였음

1	AID	road_nm	direction	long	lat	대기온도	강우 Idx	강설 Idx	습도 Idx	기압 Idx	풍속 Idx	이슬점온도	노면온도	수막두께	p_hour	datetime
7227	201	pocheon_L		127.1248	37.95461	-7.658	10	0	56.1972	99060.7	3.375943	-15.744	-4.36211	0	5	20220112 20:00
7228	202	pocheon_L		127.1249	37.95464	-7.658	10	0	56.1972	99060.7	3.375943	-15.744	-4.36211	0	5	20220112 20:00
7229	203	pocheon_L		127.1249	37.95467	-7.658	10	0	56.1972	99060.7	3.375943	-15.744	-4.36211	0	5	20220112 20:00
7230	204	pocheon_L		127.125	37.95469	-7.658	10	0	56.1972	99060.7	3.375943	-15.744	-4.36211	0	5	20220112 20:00
7231	205	pocheon_L		127.125	37.95472	-7.658	10	0	56.1972	99060.7	3.375943	-15.744	-4.36211	0	5	20220112 20:00
7232	206	pocheon_L		127.1251	37.95474	-7.658	10	0	56.1972	99060.7	3.375943	-15.744	-4.36211	0	5	20220112 20:00
7233	207	pocheon_L		127.1251	37.95477	-7.658	10	0	56.1972	99060.7	3.375943	-15.744	-4.36211	0	5	20220112 20:00
7234	208	pocheon_L		127.1252	37.9548	-7.658	10	0	56.1972	99060.7	3.375943	-15.744	-4.36211	0	5	20220112 20:00
7235	209	pocheon_L		127.1252	37.95483	-7.658	10	0	56.1972	99060.7	3.375943	-15.744	-4.36211	0	5	20220112 20:00

< 강우에 의한 결빙 알고리즘 검증을 위한 적용 데이터 >

1	AID	datetime	① 응결	② 강우	③ 강설	④ 수막	⑤ 지속	⑥ 풍속	알고리즘 최종	알고리즘 대응값
7227	201	20220112 20:00	건조	결빙				건조	결빙	2번 알고리즘 - 강우에 "10"값을 적용하였음
7228	202	20220112 20:00	건조	결빙				건조	결빙	2번 알고리즘 - 강우에 "10"값을 적용하였음
7229	203	20220112 20:00	건조	결빙				건조	결빙	2번 알고리즘 - 강우에 "10"값을 적용하였음
7230	204	20220112 20:00	건조	결빙				건조	결빙	2번 알고리즘 - 강우에 "10"값을 적용하였음
7231	205	20220112 20:00	건조	결빙				건조	결빙	2번 알고리즘 - 강우에 "10"값을 적용하였음
7232	206	20220112 20:00	건조	결빙				건조	결빙	2번 알고리즘 - 강우에 "10"값을 적용하였음
7233	207	20220112 20:00	건조	결빙				건조	결빙	2번 알고리즘 - 강우에 "10"값을 적용하였음
7234	208	20220112 20:00	건조	결빙				건조	결빙	2번 알고리즘 - 강우에 "10"값을 적용하였음
7235	209	20220112 20:00	건조	결빙				건조	결빙	2번 알고리즘 - 강우에 "10"값을 적용하였음

< 강우에 의한 결빙 알고리즘 검증을 위한 적용 데이터 알고리즘 검증 결과 >



< 강우에 의한 결빙 알고리즘 검증을 위한 표출 화면 >

3) 강설에 의한 결빙 알고리즘 검증

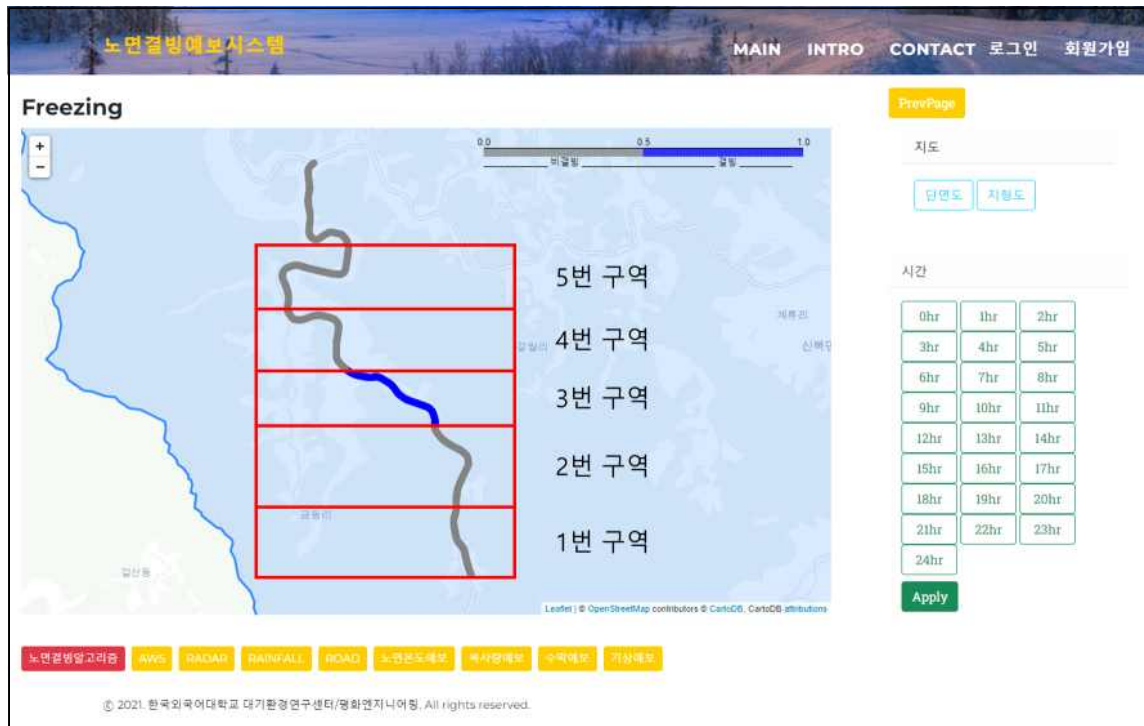
- 강설에 의한 결빙 알고리즘에 적용되는 데이터는 적설량뿐이고 알고리즘에 부합하도록 적설량 데이터를 수정하도록 하였음
- 검증용 샘플데이터에서 강설에 의한 결빙 알고리즘을 재현하기 위해 적설량에 5cm를 적용하였음
- 엑셀 상에서 해당 수정 데이터가 의도한 대로 작동이 되는지 여부를 확인한 결과, 적설에 의한 결빙 알고리즘으로만 결빙 상태로 판별이 되고, 나머지 알고리즘에 의해서는 결빙이 나타나지 않음
- 검증용 데이터를 3번 구역에 해당하는 지역에 적용하였고, 해당 데이터를 지도상에 표출하여 검증하였음

1	AID	road_n	direction	long	lat	대기온도	강우 Idx	강설 Idx	습도 Idx	기압 Idx	풍속 Idx	이슬점	노면온도	수확두께	p_hour	datetime
8832	401	pocheon_L		127.1238	37.9521	-7.783	0	5	54.6649	99028.9	3.41724	-16.284	-4.48679	0	6	20220112 21:00
8833	402	pocheon_L		127.1237	37.95211	-7.783	0	5	54.6649	99028.9	3.41724	-16.284	-4.48679	0	6	20220112 21:00
8834	403	pocheon_L		127.1237	37.95212	-7.783	0	5	54.6649	99028.9	3.41724	-16.284	-4.48679	0	6	20220112 21:00
8835	404	pocheon_L		127.1236	37.95212	-7.783	0	5	54.6649	99028.9	3.41724	-16.284	-4.48679	0	6	20220112 21:00
8836	405	pocheon_L		127.1236	37.95214	-7.783	0	5	54.6649	99028.9	3.41724	-16.284	-4.48679	0	6	20220112 21:00
8837	406	pocheon_L		127.1235	37.95214	-7.783	0	5	54.6649	99028.9	3.41724	-16.284	-4.48679	0	6	20220112 21:00
8838	407	pocheon_L		127.1235	37.95215	-7.783	0	5	54.6649	99028.9	3.41724	-16.284	-4.48679	0	6	20220112 21:00
8839	408	pocheon_L		127.1235	37.95216	-7.783	0	5	54.6649	99028.9	3.41724	-16.284	-4.48679	0	6	20220112 21:00
8840	409	pocheon_L		127.1234	37.95217	-7.783	0	5	54.6649	99028.9	3.41724	-16.284	-4.48679	0	6	20220112 21:00

< 적설에 의한 결빙 알고리즘 검증을 위한 적용 데이터 >

1	AID	datetime	① 응결	② 강우	③ 강설	④ 수확	⑤ 지속	⑥ 풍속	알고리즘 최종	알고리즘 대응값
8832	401	20220112 21:00	건조	건조	결빙			건조	결빙	3번 알고리즘 - 강설 항목에 "5"값을 적용하였음
8833	402	20220112 21:00	건조	건조	결빙			건조	결빙	3번 알고리즘 - 강설 항목에 "5"값을 적용하였음
8834	403	20220112 21:00	건조	건조	결빙			건조	결빙	3번 알고리즘 - 강설 항목에 "5"값을 적용하였음
8835	404	20220112 21:00	건조	건조	결빙			건조	결빙	3번 알고리즘 - 강설 항목에 "5"값을 적용하였음
8836	405	20220112 21:00	건조	건조	결빙			건조	결빙	3번 알고리즘 - 강설 항목에 "5"값을 적용하였음
8837	406	20220112 21:00	건조	건조	결빙			건조	결빙	3번 알고리즘 - 강설 항목에 "5"값을 적용하였음
8838	407	20220112 21:00	건조	건조	결빙			건조	결빙	3번 알고리즘 - 강설 항목에 "5"값을 적용하였음
8839	408	20220112 21:00	건조	건조	결빙			건조	결빙	3번 알고리즘 - 강설 항목에 "5"값을 적용하였음
8840	409	20220112 21:00	건조	건조	결빙			건조	결빙	3번 알고리즘 - 강설 항목에 "5"값을 적용하였음

< 적설에 의한 결빙 알고리즘 검증을 위한 적용 데이터 알고리즘 검증 결과 >



< 적설에 의한 결빙 알고리즘 검증을 위한 표출 화면 >

4) 수막에 의한 결빙 알고리즘 검증

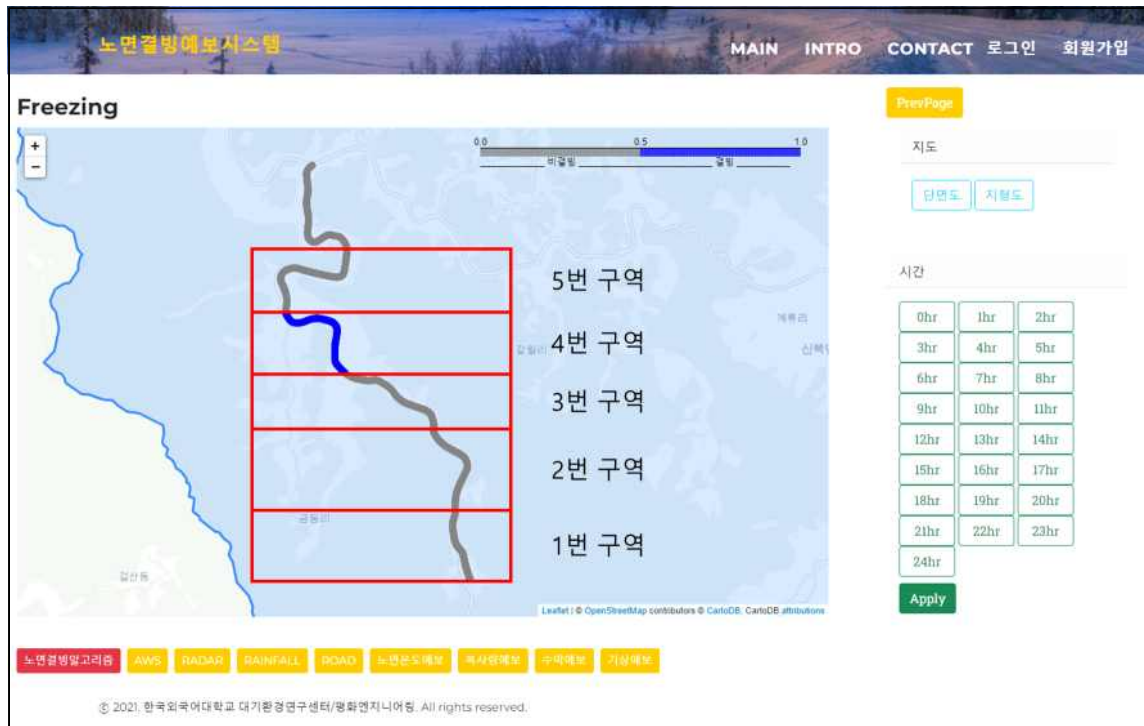
- 수막에 의한 결빙 알고리즘에 적용되는 데이터는 수막두께와 노면온도이고 알고리즘에 부합하도록 모든 데이터를 수정하도록 하였음
- 검증용 샘플데이터에서 적설에 의한 결빙 알고리즘을 재현하기 위해 수막두께에 3mm를 적용하였음
- 엑셀 상에서 해당 수정 데이터가 의도한 대로 작동이 되는지 여부를 확인한 결과, 수막에 의한 결빙 알고리즘으로만 결빙 상태로 판별이 되고, 나머지 알고리즘에 의해서는 결빙이 나타나지 않음
- 검증용 데이터를 4번 구역에 해당하는 지역에 적용하였고, 해당 데이터를 지도상에 표출하여 검증하였음

1	AID	road_nm	direction	long	lat	대기온도	강우 Idx	강설 Idx	습도 Idx	기압 Idx	풍속 Idx	이슬점온	노면온도	수막두께	p_hour	datetime
10437	601	pocheon_L		127.1234	37.94781	-8.033	0	0	54.0027	98997.5	3.25184	-16.685	-4.7358	3	7	20220112 22:00
10438	602	pocheon_L		127.1234	37.94782	-8.033	0	0	54.0027	98997.5	3.25184	-16.685	-4.7358	3	7	20220112 22:00
10439	603	pocheon_L		127.1234	37.94783	-8.033	0	0	54.0027	98997.5	3.25184	-16.685	-4.7358	3	7	20220112 22:00
10440	604	pocheon_L		127.1235	37.94785	-8.033	0	0	54.0027	98997.5	3.25184	-16.685	-4.7358	3	7	20220112 22:00
10441	605	pocheon_L		127.1235	37.94787	-8.033	0	0	54.0027	98997.5	3.25184	-16.685	-4.7358	3	7	20220112 22:00
10442	606	pocheon_L		127.1236	37.94788	-8.033	0	0	54.0027	98997.5	3.25184	-16.685	-4.7358	3	7	20220112 22:00
10443	607	pocheon_L		127.1236	37.9479	-8.033	0	0	54.0027	98997.5	3.25184	-16.685	-4.7358	3	7	20220112 22:00
10444	608	pocheon_L		127.1237	37.94791	-8.033	0	0	54.0027	98997.5	3.25184	-16.685	-4.7358	3	7	20220112 22:00
10445	609	pocheon_L		127.1237	37.94792	-8.033	0	0	54.0027	98997.5	3.25184	-16.685	-4.7358	3	7	20220112 22:00

< 수막에 의한 결빙 알고리즘 검증을 위한 적용 데이터 >

1	AID	datetime	① 용결	② 강우	③ 강설	④ 수막	⑤ 지속	⑥ 풍속	알고리즘 최종	알고리즘 대응값
10437	601	20220112 22:00	건조	건조		결빙		건조	결빙	4번 알고리즘 - 수막두께에 "3"값을 적용하였음
10438	602	20220112 22:00	건조	건조		결빙		건조	결빙	4번 알고리즘 - 수막두께에 "3"값을 적용하였음
10439	603	20220112 22:00	건조	건조		결빙		건조	결빙	4번 알고리즘 - 수막두께에 "3"값을 적용하였음
10440	604	20220112 22:00	건조	건조		결빙		건조	결빙	4번 알고리즘 - 수막두께에 "3"값을 적용하였음
10441	605	20220112 22:00	건조	건조		결빙		건조	결빙	4번 알고리즘 - 수막두께에 "3"값을 적용하였음
10442	606	20220112 22:00	건조	건조		결빙		건조	결빙	4번 알고리즘 - 수막두께에 "3"값을 적용하였음
10443	607	20220112 22:00	건조	건조		결빙		건조	결빙	4번 알고리즘 - 수막두께에 "3"값을 적용하였음
10444	608	20220112 22:00	건조	건조		결빙		건조	결빙	4번 알고리즘 - 수막두께에 "3"값을 적용하였음
10445	609	20220112 22:00	건조	건조		결빙		건조	결빙	4번 알고리즘 - 수막두께에 "3"값을 적용하였음

< 수막에 의한 결빙 알고리즘 검증을 위한 적용 데이터 알고리즘 검증 결과 >



< 수막에 의한 결빙 알고리즘 검증을 위한 표출 화면 >

5) 풍속에 의한 결빙 알고리즘 검증

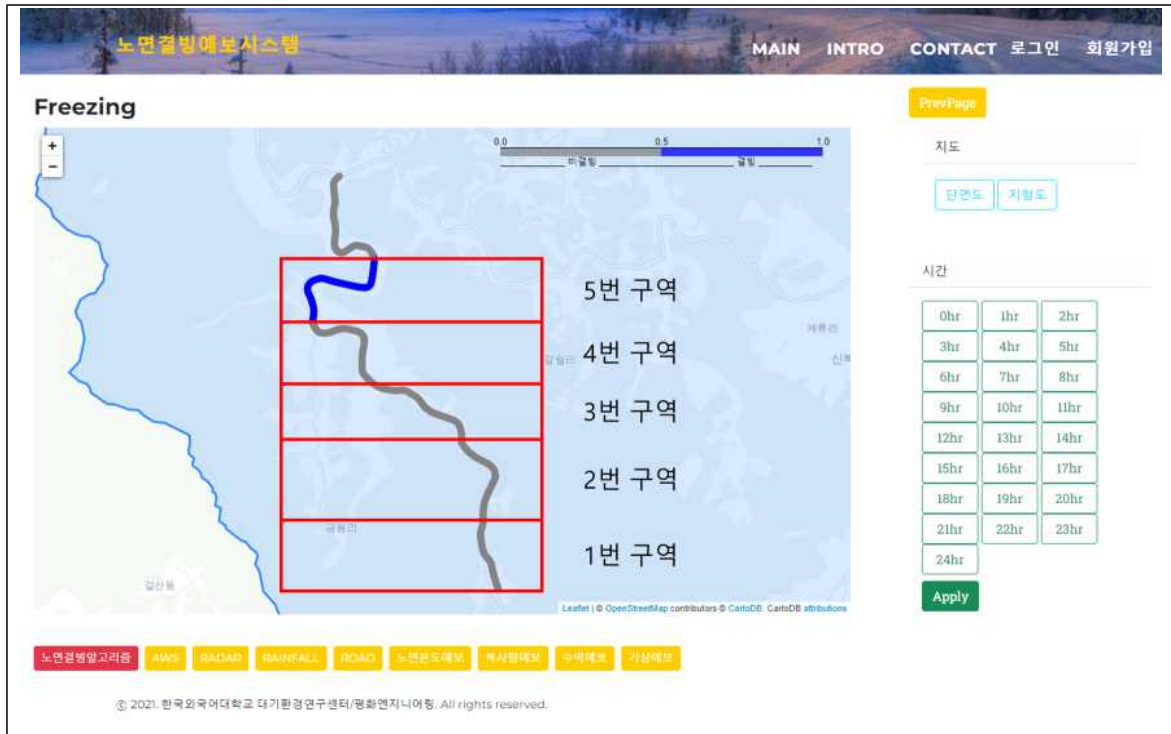
- 풍속에 의한 결빙 알고리즘에 적용되는 데이터는 노면온도, 이슬점온도, 풍속이고 알고리즘에 부합하도록 모든 데이터를 수정하도록 하였음
- 검증용 샘플데이터에서 적설에 의한 결빙 알고리즘을 재현하기 위해 노면온도에 -18℃를 적용하였음
- 엑셀 상에서 해당 수정 데이터가 의도한 대로 작동이 되는지 여부를 확인한 결과, 풍속에 의한 결빙 알고리즘으로만 결빙 상태로 판별이 되고, 나머지 알고리즘에 의해서는 결빙이 나타나지 않음
- 검증용 데이터를 5번 구역에 해당하는 지역에 적용하였고, 해당 데이터를 지도상에 표출하여 검증하였음

1	AID	road_nm	direction	long	lat	대기온도	강우 Idx	강설 Idx	습도 Idx	기압 Idx	풍속 Idx	이슬점온도	노면온도	수막두께	p_hour	r_datetime
12042	801	pocheon_L		127.13	37.94284	-8.283	0	0	55.2731	98981.4	3.087816	-16.687	-18	0	8	20220112 23:00
12043	802	pocheon_L		127.1301	37.94284	-8.283	0	0	55.2731	98981.4	3.087816	-16.687	-18	0	8	20220112 23:00
12044	803	pocheon_L		127.1302	37.94284	-8.283	0	0	55.2731	98981.4	3.087816	-16.687	-18	0	8	20220112 23:00
12045	804	pocheon_L		127.1302	37.94283	-8.283	0	0	55.2731	98981.4	3.087816	-16.687	-18	0	8	20220112 23:00
12046	805	pocheon_L		127.1303	37.94283	-8.283	0	0	55.2731	98981.4	3.087816	-16.687	-18	0	8	20220112 23:00
12047	806	pocheon_L		127.1303	37.94284	-8.283	0	0	55.2731	98981.4	3.087816	-16.687	-18	0	8	20220112 23:00
12048	807	pocheon_L		127.1304	37.94284	-8.283	0	0	55.2731	98981.4	3.087816	-16.687	-18	0	8	20220112 23:00
12049	808	pocheon_L		127.1304	37.94285	-8.283	0	0	55.2731	98981.4	3.087816	-16.687	-18	0	8	20220112 23:00
12050	809	pocheon_L		127.1305	37.94285	-8.283	0	0	55.2731	98981.4	3.087816	-16.687	-18	0	8	20220112 23:00

< 풍속에 의한 결빙 알고리즘 검증을 위한 적용 데이터 >

1	AID	datetime	① 응결	② 강우	③ 강설	④ 수막	⑤ 지속	⑥ 풍속	알고리즘 최종	알고리즘 대응값
12042	801	20220112 23:00	건조	건조				결빙	결빙	6번 알고리즘 - 노면온도에 "-18"값을 적용하였음
12043	802	20220112 23:00	건조	건조				결빙	결빙	6번 알고리즘 - 노면온도에 "-18"값을 적용하였음
12044	803	20220112 23:00	건조	건조				결빙	결빙	6번 알고리즘 - 노면온도에 "-18"값을 적용하였음
12045	804	20220112 23:00	건조	건조				결빙	결빙	6번 알고리즘 - 노면온도에 "-18"값을 적용하였음
12046	805	20220112 23:00	건조	건조				결빙	결빙	6번 알고리즘 - 노면온도에 "-18"값을 적용하였음
12047	806	20220112 23:00	건조	건조				결빙	결빙	6번 알고리즘 - 노면온도에 "-18"값을 적용하였음
12048	807	20220112 23:00	건조	건조				결빙	결빙	6번 알고리즘 - 노면온도에 "-18"값을 적용하였음
12049	808	20220112 23:00	건조	건조				결빙	결빙	6번 알고리즘 - 노면온도에 "-18"값을 적용하였음
12050	809	20220112 23:00	건조	건조				결빙	결빙	6번 알고리즘 - 노면온도에 "-18"값을 적용하였음

< 풍속에 의한 결빙 알고리즘 검증을 위한 적용 데이터 알고리즘 검증 결과 >



< 풍속에 의한 결빙 알고리즘 검증을 위한 표출 화면 >

6) 결빙 상태 지속에 의한 알고리즘 검증

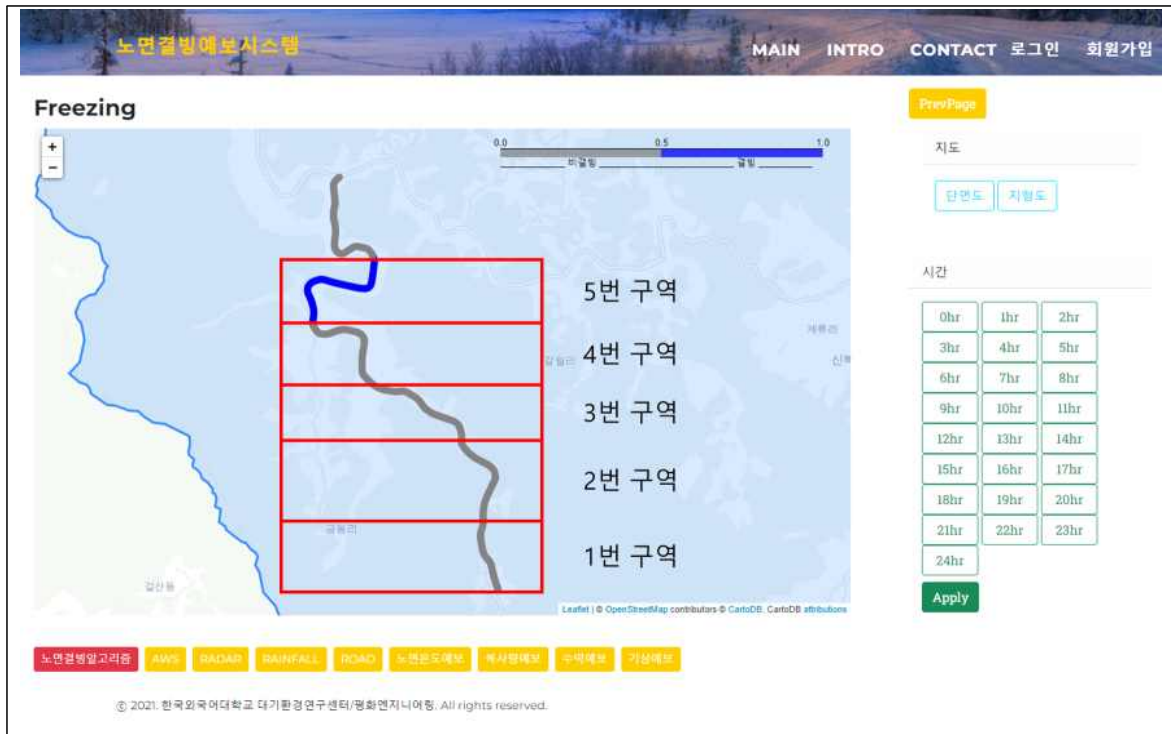
- 결빙 상태 지속에 의한 알고리즘에 적용되는 데이터는 노면온도, 대기온도, 이전 4시간의 결빙 알고리즘 결과 값이고 알고리즘에 부합하도록 모든 데이터를 수정하도록 하였음
- 검증용 샘플데이터에서 결빙 상태 지속에 의한 알고리즘을 재현하기 위해 별도의 데이터 수정은 하지 않았고 조건이 부합하는 시간과 구역을 살펴보았음
- 엑셀 상에서 해당 수정 데이터가 의도한 대로 작동이 되는지 여부를 확인한 결과, 결빙 상태 지속에 의한 알고리즘으로만 결빙 상태로 판별이 되고, 나머지 알고리즘에 의해서는 결빙이 나타나지 않음
- 결빙 상태 지속에 의한 알고리즘에 결빙으로 나타나는 지역은 5번 구역에 해당하는 지역에 나타났고, 해당 데이터를 지도상에 표출하여 검증하였음

1	AID	road_n	directio	long	lat	대기온도	강우 Idx	강설 Idx	습도 Idx	기압 Idx	풍속 Idx	이슬점온	노면온도	수막두께	p_hour	datetime
13447	801	pocheon_L		127.13	37.94284	-8.658	0	0	58.3096	98931.2	2.496044	-16.387	-5.3578	0	9	20220113 00:00
13448	802	pocheon_L		127.1301	37.94284	-8.658	0	0	58.3096	98931.2	2.496044	-16.387	-5.3578	0	9	20220113 00:00
13449	803	pocheon_L		127.1302	37.94284	-8.658	0	0	58.3096	98931.2	2.496044	-16.387	-5.3578	0	9	20220113 00:00
13450	804	pocheon_L		127.1302	37.94283	-8.658	0	0	58.3096	98931.2	2.496044	-16.387	-5.3578	0	9	20220113 00:00
13451	805	pocheon_L		127.1303	37.94283	-8.658	0	0	58.3096	98931.2	2.496044	-16.387	-5.3578	0	9	20220113 00:00
13452	806	pocheon_L		127.1303	37.94284	-8.658	0	0	58.3096	98931.2	2.496044	-16.387	-5.3578	0	9	20220113 00:00
13453	807	pocheon_L		127.1304	37.94284	-8.658	0	0	58.3096	98931.2	2.496044	-16.387	-5.3578	0	9	20220113 00:00
13454	808	pocheon_L		127.1304	37.94285	-8.658	0	0	58.3096	98931.2	2.496044	-16.387	-5.3578	0	9	20220113 00:00
13455	809	pocheon_L		127.1305	37.94285	-8.658	0	0	58.3096	98931.2	2.496044	-16.387	-5.3578	0	9	20220113 00:00

< 결빙 상태 지속에 의한 알고리즘 검증을 위한 적용 데이터 >

1	AID	datetime	① 응결	② 강우	③ 강설	④ 수막	⑤ 지속	⑥ 풍속	알고리즘 최종	알고리즘 대응값
13447	801	20220113 00:00	건조	건조	결빙	건조	결빙	5번 알고리즘 - 별도의 조정을 하지 않음.		
13448	802	20220113 00:00	건조	건조	결빙	건조	결빙	5번 알고리즘 - 별도의 조정을 하지 않음.		
13449	803	20220113 00:00	건조	건조	결빙	건조	결빙	5번 알고리즘 - 별도의 조정을 하지 않음.		
13450	804	20220113 00:00	건조	건조	결빙	건조	결빙	5번 알고리즘 - 별도의 조정을 하지 않음.		
13451	805	20220113 00:00	건조	건조	결빙	건조	결빙	5번 알고리즘 - 별도의 조정을 하지 않음.		
13452	806	20220113 00:00	건조	건조	결빙	건조	결빙	5번 알고리즘 - 별도의 조정을 하지 않음.		
13453	807	20220113 00:00	건조	건조	결빙	건조	결빙	5번 알고리즘 - 별도의 조정을 하지 않음.		
13454	808	20220113 00:00	건조	건조	결빙	건조	결빙	5번 알고리즘 - 별도의 조정을 하지 않음.		
13455	809	20220113 00:00	건조	건조	결빙	건조	결빙	5번 알고리즘 - 별도의 조정을 하지 않음.		

< 결빙 상태 지속에 의한 알고리즘 검증을 위한 적용 데이터 알고리즘 검증 결과 >



< 결빙 상태 지속에 의한 알고리즘 검증을 위한 표출 화면 >

5) 기술이전 및 사업화 추진

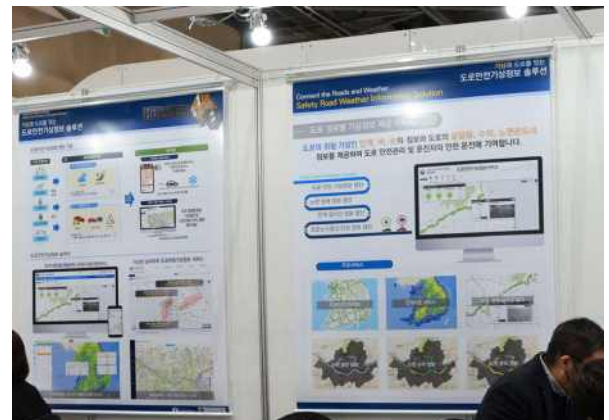
◆ 본 연구개발 기술의 수요처 발굴

○ 도로교통박람회 부스운영 및 개발기술 홍보

- 2021년 도로교통박람회 개요
 - 행사명 : 2021년 도로교통박람회
 - 행사일시 : 2021년 11월 10일(수) ~ 11월 12일(금)
 - 행사장소 : 일산 킨텍스
 - 주요내용 : 도로교통안전관련 기술, 시스템, 제품 홍보와 체험
 - 주최 : 한국도로협회, 킨텍스
- 한국외국어대학교 홍보부스 운영
 - 부스운영 : 우수 연구성과 홍보·전시체험·기술이전 상담
 - 전시 및 홍보 내용 : 도로교통융합 기상기술 개발, 도로안전 기상정보 솔루션 소개와 전시, 기술수요 방문객과의 라이선싱, 기술이전 상담, 향후 도로공사사업관련 협력사와의 계획 수립



< 도로안전기상정보 홍보 책자 >



< 도로안전기상정보 홍보 포스터 >



< 도로교통박람회 홍보부스 운영 >

< 현장 수요연계처 상담내용 >

번호	수요연계처	상담자	내용	관련분야
1	(주) 하이큐	이창규 연구소장	- VMS 개발 및 유지보수 업체 - VMS에 표출할 도로기상 데이터 수집 방안 모색 중 - 협력 방안에 대한 미팅 요청	도로기상 및 안전정보
2	진우산전	이동원 ITS 사업본부장	- 도로 무인감시, ITS 시스템, 철도 시스템 등을 납품 하는 업체 - 국가 사업 100억짜리 진행 중(100억 중 일부 내용 에 대한 용역형태로 참여 가능) - 관리하고 있는 도로 지점에 대한 세부적인 관측 정 보 데이터를 확보하고 표출하고자 함 - 기존에는 센싱 데이터 위주로 표출하고 있었음	도로결빙 예측모델
3	(주) 대보정보 통신	강종대 수석연구원	- 도로 수막 예측 부분에 대해 관심이 높음 - 정확도나 신뢰도에 대한 문의	도로수막 예측모델
4	한국도로 공사	이환필 수석연구원	- R&D 과제 선정을 위해 협업기관을 찾고 있음 - 관측 장비에 대한 연구에 관심 있음	도로노면 관측

○ 도로교통연구원 회의

- 도로결빙(살얼음) 예측에 관한 모델개발 내용을 세미나하고, 도로교통연구원 및 도로공사 재난관리처의 수요를 조사함
- 겨울철 제설에 관한 의사결정시스템과 대응매뉴얼 개선을 필요로 하며, 도로공사 재난관리처에서 자체적으로 개발을 수행하고 있음
- 각자의 기술을 가지고 협업할 수 있는 연계를 찾고자함



< 도로교통연구원 협의회 >

❖ 기술이전 추진과정

○ 기술검토 및 사전협의

- 수요기업(월드텍)의 노면분석기술에 대한 기술 확인

· 주요 추진사업 1

(추진 사업) 부산 스마트시티 도로기상정보 적용 기술 개발(기상청)

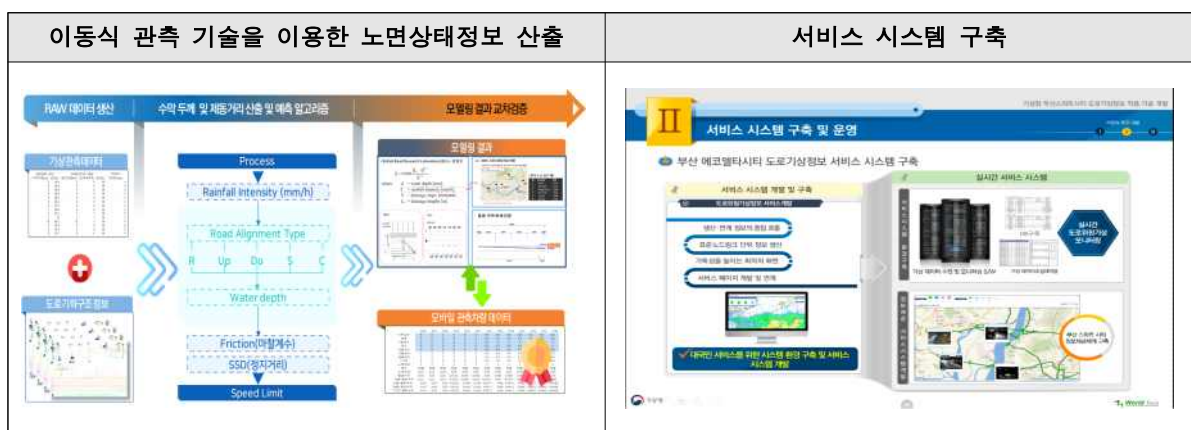
(개요)

- 최근 기후변화로 인한 자연재난 및 기상재해의 위험성이 증가되어 정보통신기술과 빅데이터를 이용한 인공지능 기술로 선제적인 위험기상요소를 모니터링 하여 서비스하는 체계가 요구됨
- 국가시범도시 사업으로 추진하는 스마트시티에 주요이슈인 자율주행(무인셔틀, 퍼스널 모빌리티 모드, 스마트도로 등)은 도로기상에 따라 교통흐름 최적화하여 시민생활과 안전을 확보하는데 차세대 지능형 교통체계가 요구됨



- CCTV 구축망 영상 활용
- CCTV 영상과 기상자료를 활용
 - 안개, 비 등 기상현상 판별
- 영상(천리안위성, 수치모델)처리 기술을 이용한 차세대 지능형 교통체계 기술 융합 활용

- 도로CCTV영상 활용 도로위험기상정보 및 노면상태 위험정보 제공서비스 개발
- 장마철 빗길 교통안전관리 서비스 기술 적용
- 노면정보 예측기술 현지 적용 및 성능분석 추진



< 자료출처 : 부산 스마트시티 도로기상정보 적용 기술 개발 최종보고서/기상청 >

(활용 현황)

- 차세대 지능형 맞춤형 도로기상 서비스 활용체계 설계
- 스마트시티 데이터센터를 고려한 정보제공(단계별, 구간별) 방안 마련을 위해 부산EDC 빗길 제동거리 산출 및 예측 및 도로관리자 모니터링이 가능한 시스템을 개발 및 구축 완료하였으며, 실시간 도로 위험에 대한 확인 및 관리가 가능하도록 하여 도로운전자 안전에 운전 기여하고 있음.

· 주요 추진사업 2

(추진 사업) 도로교통 사고분석 지원을 위한 기상융합서비스(도로교통공단)
(개요)

- 도로교통공단은 교통사고조사 및 도로안전시설 설치 업무에 기상자료를 활용하고 있으나 기상자료 수집 및 해석에 대한 객관적 근거가 부족하여 업무수행에 애로를 겪고 있음
- 교통사고조사에 필요한 기상 영향분석 및 자료처리 기술과 도로안전시설 설치지점 선정을 위한 안개 상세지도 제작기술 개발을 통해 안전한 교통환경 조성과 교통사고 예방 제고



< 도로교통공단 의견 수렴을 위한 회의 >

(활용 현황)

- 보도내용 참조(동아일보) <https://www.donga.com/news/article/all/20220118/111304185/2>

**도로교통공단, 기상정보 기반 교통사고분석 융합시스템 구축...
전국 운영 확대 추진**



< 도로교통공단 기상정보 기반 교통사고분석 융합시스템 실행 화면 >

도로교통공단은 18일 교통사고분석에 기상정보를 접목해 활용할 수 있는 '기상정보 기반 교통사고 분석 융합시스템'을 발표하고 본격적으로 운영에 들어간다고 밝혔다. 해당 사업은 공단이 지난 2020년 말 기상청 공모사업에 선정돼 작년 3월부터 대전지방기상청과 공동으로 추진한 프로젝트다. 작년 12월 관련 시스템 구축을 완료했다. 공모사업 선정 후 시범사업 일환으로 대전과 세종, 충남권역 교통사고 분석에 이 시스템을 적용했다. 이후 시스템 적용 범위를 전국으로 확대하기 위해 준비 작업을 공동으로 추진해왔다. 기상정보 기반 교통사고분석 융합시스템은 공단이 수행 중인 교통사고 분석에 기상정보를 접목해 교통사고 관련 데이터 분석을 고도화한 것으로 사고 원인을 보다 정확하게 분석하고 선제적으로 사고를 예방할 수 있도록 돕는 체계라고 공단 측은 설명했다. 이하생략

· 주요 추진사업 3

(추진 사업) 기상위성데이터를 이용한 도로 위험지역 식별 및 시각화(한국도로공사)
(개요)

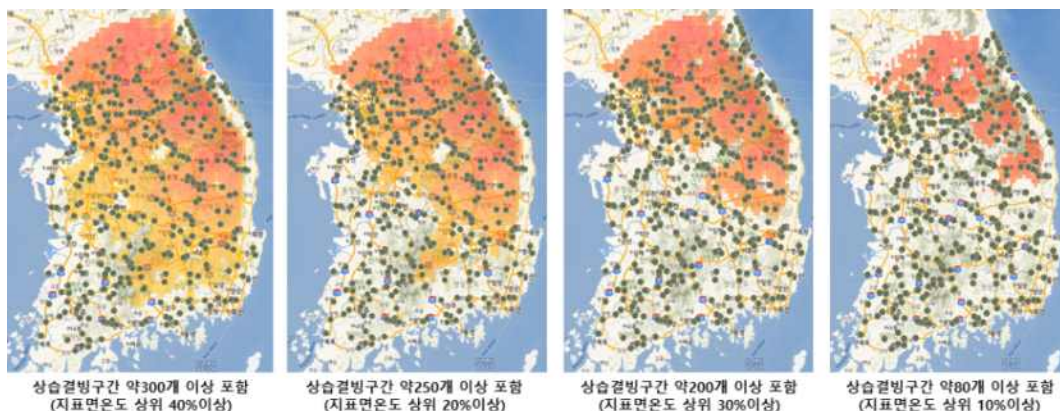
- 노면살얼음, 안개 등 국지적으로 발생하는 도로위험기상은 교통사고 및 교통혼잡, 대형 인명·재산피해의 주요 요인이며, 이를 전문적으로 분석하고 미연에 방지·대응할 수 있는 모델의 개발 필요성이 있음
- 현재 도로기상정보 수집을 위해 RWIS(도로기상정보시스템)에서 노면온도, 온도, 습도 등을 수집하고 있으나, 2018년 기준 전국 고속도로 약 4700Km에서 발생하는 기상현상을 모두 관측하기는 어려움
- 센서와 함께 노면살얼음 등을 예측하기 위해 현재 함께 사용하는 기상청의 기상예보정보는 5Km×5Km의 면(Area) 단위로 이루어지고 있음
- 이를 도로의 기상에 그대로 적용할 경우 예보와 고속도로 상의 실시간 기상과는 많은 차이를 보임(도로살얼음 피해저감을 위한 협력 포럼, 2021. 11. 12.)
- 이러한 지상기상관측의 문제점과 동네예보의 한계를 보완하기 위해 전국(한반도)을 일정하게 관측하는 기상위성에서 관측하는 정보를 노면살얼음·안개 등 도로에서 발생하는 위험기상 관측과 예측에 활용할 수 있음



< 자료출처 : 한국도로공사 2021년도 연구보고서 기상위성 데이터 검증 및 고속도로 활용 모델 연구 >

(활용 현황)

- 전국 고속도로 및 일반국도를 대상으로 410개(20년8월 기준)의 상습결빙구간을 지정하여 배포하고 있으며 해당 지점의 위경도를 활용하여 2016년 ~ 2020년의 기상위성의 지표면온도를 이용한 위험지역 분류를 통해 도로안전 관리에 활용하고 있음



< 지표면온도 위험지역과 국토교통부 상습결빙구간과의 비교 >

○ 기술이전 업무 협약 및 기술 협의

- [사전협의] 기술 검토 및 사전 협의

- 노면분석 기술에 대한 기술 내용 확인 및 기술 이전 세부 추진에 대한 협의

(기술이전 추진 절차 협의 사항)

- [사전협의] 기술 검토 및 사전 협의
 - 노면분석 기술에 대한 기술 확인 및 기술이전에 대한 추진 절차 협의.
- [기술협의 및 이전] 기술이전 관련 세부 추진 사항 협의 및 기술 이전
 - 기술 협의 후 3개월 이내, 기술 이전과 관련한 업무 추진 및 기술 이전 추진 시작
 - 기술 이전 세부 사항 협의 및 기술이전 추진
 - 노면상태 분석을 위한 SW 통합이 가능한 모듈 또는 소스코드 형태로 기술 이전 추진
- [기술교육] 기술 세미나 추진
 - 협약 기술에 대한 수요기업 활용을 위한 기술 세미나 추진
- [이전완료] 기술 이전 완료
 - 기술협의 후 6개월 이내, 수요기관의 통합 SW에 통합 및 노면 정보 생산이 가능한 경우 기술 이전 완료

- [기술협의 및 이전] 기술이전 관련 세부 추진 사항 협의 및 기술 이전

- 입력 데이터, 관측 범위, 지역, 수요기업(월드텍) 서버에 이식 방법 협의
- 세부사항
 - 도로분해능 해상도의 태양복사-노면온도-수막두께정보를 연계한 도로결빙시공간 예보시스템(기술 및 특허) 기술 내용 설명 및 이전 가능여부 확인
 - 기술이전시스템 제공 형태 협의(dll, api, exe 등)
 - 도로상태 분석에 필요한 관측데이터, 제공요소 등
 - 수요기업(월드텍) 준비 사항(이전 서버 필요)
 - 기술 세미나 및 실무자 협의
 - 노면상태 분석을 위한 SW 통합이 가능한 모듈 또는 소스코드 형태로 기술 이전 추진

기술협의(2021년 08월 27일)	실무자 협의(2021년 9월 23일)
	
장소 : 월드텍 회의실 - 한국외국어대학교 대기환경연구센터 이채연팀장 - 월드텍 허병도 외 5명	장소 : 월드텍 회의실 - 한국외국어대학교 대기환경연구센터 이채연팀장 외 1명 - 월드텍 허병도 외 6명

- 기술교육, 모듈, 자료,
 - [기술교육] 기술 세미나 추진
 - 기술 지원 1차

(목적) 도로결빙 시공간 예보시스템 내의 모듈에 대한 기술이해

(내용)

- 도로결빙에 영향을 주는 기상환경 예측모델들의 종류, 입출력, 자료흐름 설명
- 각 모델의 산출요소 검증을 위한 현장관측 센서의 종류와 방법 설명
- 모델 및 알고리즘의 정확도 검증결과에 대한 의미와 해석방법 설명
- 모델 간의 연계 구조와 실시간 운영을 위한 자동화 시스템에 대한 교육
- 향후 기술지원 방향과 서비스 시스템 구축 방안 논의

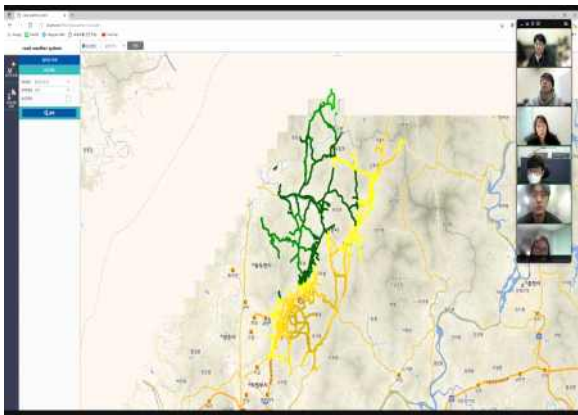
2021년 11월 16일	2021년 12월 1일
	

◦ 기술 지원 2차

(목적) 도로결빙 예측정보의 서비스시스템 구축을 위한 기술지도

(내용)

- 도로결빙 시공간 예보 시스템의 전체 구성 설명
- 초기 입력 자료의 수집·저장 시간과 운영 소요시간 설명
- 중간 산출물들의 자동 저장방식과 저장 공간에 대한 확인
- 최종 산출물들의 산출시간, 시간단위, 예측시간에 대한 구성 확인
- 서비스 시스템으로 운영을 위한 표출구성 설계 논의

2022년 01월 07일	2022년 01월 19일
	

< 기술이전 자료 목록 >

	웹 제공정보		서비스지역		자료 업데이트 주기	결과 파일형식	파일명
	출처	요소	서울	포천			
실시간 기상측량 자료	AWS	기온	○	○	10분	CSV	YYYYMMDDHHmm_AWS.csv
		강수	○	○			
		습도	○	○			
		풍속	○	○			
실시간 도로소통 정보	RADAR	강수	○	○	10분	CSV	YYYYMMDDHHmm_seoul_radar.csv
		합성 강우장	○	○			YYYYMMDDHHmm_pocheon_radar.csv
		최적 합성강우장	○	○			YYYYMMDDHHmm_seoul_rain_com.csv
							YYYYMMDDHHmm_pocheon_rain_com.csv
모델입력 자료	국토교통부	주행속도	○	○	10분	CSV	YYYYMMDDHHmm_seoul_road.csv
							YYYYMMDDHHmm_pocheon_road.csv
		기온	○	○			
		강수	○	○			
도로결빙예보 시스템 산출물	SOLWEIG	태양복사온도	×	○	6시간 (4회/1일)	CSV	YYYYMMDDHHmm_pocheon_379_model.csv
		그림자정보	×	○			
		노면온도 예측모델	○	○			
		수막발생 예측모델	○	○			
대상지역 관련 정보	GIS DB	DSM (ground and building)	○	○	-	TXT	DSM.txt
		CDSM	○	○			CDSM.txt
		LC	○	○			LC.txt
		SVF	○	○			SVF.asc
도로환경 DB	기하구조	Shadow fraction	○	○	-	CSV	shadow_fraction_on_20210121.asc
							geometry_seoul_naebu.obs.csv
							geometry_pocheon_379.obs.csv

*YYYYMMDDHHmm: 연(YYYY), 월(MM), 일(DD), 시(HH), 분(mm)을 의미함

○ 기술이전 완료

- 수요기관의 포천시 지역의 노면(수막, 노면온도) 기술 이전 완료(2022. 01. 20)
- (주) 월드텍에서 보유한 CCTV 기상정보 분석 기술과, 노면상태 분석 기술을 융합하여, 기상과 도로상태, 교통상태가 융합된 「도로안전기상정보 솔루션」 BM(Buisness Model) 개발 완료
- (주) 월드텍에서 도로안전기상정보 서비스를 위한 자체 표출시스템을 개발함 (2022. 01. 28)
- 자료 전송방식
 - 한국외대 리눅스 서버내부에서 생산된 결과자료를 scp를 이용하여 월드텍 서버 내부 지정 폴더에 복사
→ 폴더구조에 대한 협의 필요, 가안으로 년/월/일/ 형태의 폴더구조 제안
 - 자료전송을 위하여 월드텍 서버 내의 전용 별도 계정이 필요하며 원격접속 허용이 필요
→ 원격자료전송을 위한 실무자간 협의 필요
 - 예상 전송용량: 1일 단위 노면온도, 수막유무, 도로상태 결과자료 약 50MB 수준
 - 매일 14:30분경 자료 전송

분석 모듈 포팅(2021. 11. 02)	서비스 시스템 동작 테스트
	
수요기업(월드텍)서버에 분석 모듈 이식 완료	이전 기술(서비스 시스템) 동작 화면

< 분석모듈 탑재 및 시스템 동작 테스트 결과 >

○ 향후 활용계획

- 사업화전략

· 개발기술과 서비스의 사업화 전략

- 본 연구개발 결과의 사업화 성공 여부는 정확도에 대한 신뢰도 확보로 결정됨
- 개발 완료된 서비스를 운영하여 일정기간 동안의 기상을 모니터링하여 판별하도록 하고, 육안 관측 또는 기상관측장비 등과의 비교를 통해 정확도 검증은 인증 등을 통해 진행 예정
- 개발 기술 및 서비스는 전국 확대해 활용할 수 있기 때문에 범용성과 실용성, 확장성을 고려하여 개발이 진행될 예정이며, 그 과정에서 모델 입력자료에 대한 신뢰성을 확보할 수 있는 방안 마련 예정
- CCTV영상과 기상관측장비 등 다양한 정보들을 융합하여 기상 및 노면상태를 판별하는 기술적 과정에서 기상관측장비 마다 가지고 있는 기능과 성능의 차이를 고려해야 함
- 개발 완료된 서비스의 핵심기술을 이용해 더욱 다양한 기상관측장비들과 정보를 융합 및 활용하고 다양한 분야에서 사용할 수 있도록 사업 확장 및 활용성을 고려함

- 비즈니스모델

- **(B2G 비즈니스 모델)** 기상청, 한국도로공사, 도로교통공단, 국토관리청 등 안전·도로위험기상정보 및 노면상태 정보 서비스 체계 구축을 통한 사업 모델 개발
- **(B2B 비즈니스 모델)** 본 기술을 융합한 서비스 시스템을 통하여 도로위험기상정보를 서비스 페이지 또는 OpenAPI 형태의 데이터 제공을 통한 수일 창출 유도. 특히 내비게이션 업체(KT올레내비)와 사업 협의한 바 있으며, 일부 지역에 대한 국지적인 정보로는 활용도가 부족하여 전국대상에 대한 기상정보가 분석될 경우 기존 내비게이션에 적용 가능할 것이라는 의견 확인하였음. 전국 대상의 정보 분석이 필수적일 것임. 또한, 도로교통박람회 참가를 통해 VMS 개발 업체, 도로 무인감시·ITS 시스템 개발 업체도 해당 기술에 대한 수요를 확인함
- **(B2C 비즈니스 모델)** 웹 및 앱서비스를 통해 대국민에게 정보를 제공하여 국민의 안전, 편의성 제공 및 기업의 마케팅 효과로 활용 할 수 있을 것임

대국민 안전·도로위험기상정보 서비스

01 B2G 비즈니스모델

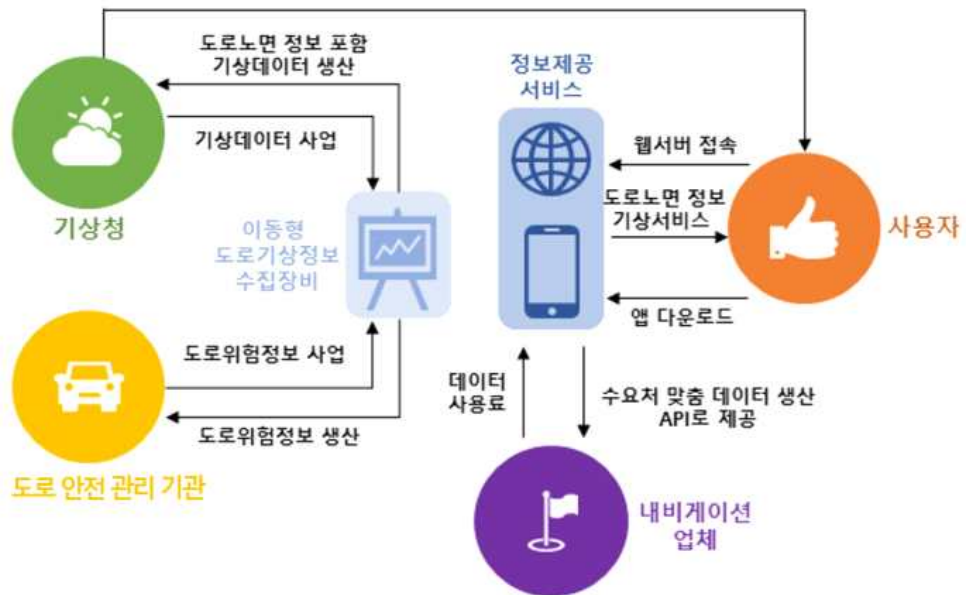
기상청, 한국도로공사, 도로교통공단, 국토관리청 등에 안전·도로위험 기상 및 노면상태 정보 서비스 체계 구축

02 B2B 비즈니스모델

현재 운용되고 있는 내비게이션에 도로위험정보를 포함하는 기상데이터를 수요처 맞춤형으로 생산하여 전용 데이터를 API 형태로 제공함으로써 수익 창출 유도

03 B2C 비즈니스모델

웹 및 앱서비스를 대국민 서비스로써 이동 중에도 사용할 수 있는 앱을 개발하여 사용자들의 편의성을 증진 기업의 마케팅 효과로 폭넓게 활용할 수 있음



< 비즈니스모델 수립에 의한 안전도로위험기상 서비스 개념도 >

- 홍보 및 판로 확보 전략

- 지식재산권 확보 및 우수 조달 등록 추진
 - 국내 지식재산권(특허, 소프트웨어 등록 등) 확보는 물론 해외 진출을 고려한 PCT출원 등을 추가적으로 진행
 - GS인증 및 특허 등록 조건으로 우수조달 제품 등록을 추진하여 판로 확보
 - 국제 전시회 참가가 가능한 환경이 될 경우, 국제기상전시회나 박람회 등의 홍보부스 운영을 위한 해외 홍보 활동 진행
 - 기술의 성능을 인증할 수 있는 공인인증서와 다국어 홍보 영상 준비
 - 해외진출 가능성이 있는 국가를 대상으로 현지 시범운영 등을 통한 정확도와 활용성에 대해 현지화 검증 및 실증을 추진하여 신뢰도를 높이하고자 함

- 투자계획

- 지속적인 기술개발, 사업화, 홍보 투자 추진
 - 연구개발 결과물의 기술 및 제품은 사용 기간이 길어지면서 관측 횟수와 분석 빈도가 잦아질수록 정확도가 향상되며, 지속적인 기술적 고도화가 필요함
 - 개발연구 결과를 사업화를 정상적으로 추진하고 핵심 기술을 이용한 수익 창출을 위해서는 사업화를 위한 투자를 지속적으로 진행해야 함
 - 기상 분야의 새로운 기술과 제품의 경우, 기존의 시스템과 비교하여 판단하는 경우가 많기 때문에 실증을 통한 마케팅 추진 및 현지화 작업이 필요함
 - 각 분야별 개발종료 이후, 투자액을 지속적으로 증가시킬 예정

- 생산계획

- 우수 조달 등록 추진
 - 기술과 제품의 우수성을 인증하는 방법 중 우수조달 등록을 통한 방법을 진행하고자 하며, 특허 등록이나 GS인증 획득을 통한 우수제품 지정을 추진하고자 함
 - 이를 추진하기 위해서 국내외 지식재산권 확보를 위한 권리화 작업 추진

- 소프트웨어 / 하드웨어 패키지
 - 도로상태 분석 또는 날씨 판별 소프트웨어 등의 시스템을 하나의 상품으로 구성하여 패키징 작업을 진행하고자 함
 - 영상 분석을 위한 하드웨어(서버, 카메라 등)도 필수적으로 필요하며 최적의 시스템 운영을 위한 최소 구성품으로 패키지를 구성하여 하드웨어, 소프트웨어 통합 패키징을 추가로 진행하고자 함
 - 본 기술은 현지화 작업이 필수적으로 필요하기 때문에 수요자의 요구사항과 현지 환경에 대한 사전 분석을 통한 맞춤형 서비스와 유지보수를 제공하고자 함

○ 사업화에 따른 기대효과

－ 매출창출 효과

- 본 기술과 제품은 직접 수요가 발생하여 매출이 즉각 창출될 수 있으며, 이를 통해 기업의 매출 증대는 물론 다양한 경제적 효과가 발생할 것으로 기대됨
- 또한, 개발된 핵심 기술의 다양한 분야로 확대 적용 및 사업화 추진을 통해 전체 매출액도 점차 증가할 것이며, 해당 기술의 관련 매출액 점유비율이 점차 높아질 것으로 기대함
- 본 연구추진에 따른 종료 후 발생 예상 매출액은 총 50억 원임

< 개발종료 이후 매출예상액 >

구 분	세부 성과지표	매출액 (단위:백만원, %)			
		개발종료 해당년	개발종료 후 1년	개발종료 후 2년	개발종료 후 3년
기업 전체 성장	예상 총매출액 (A)	4,000	6,000	8,000	10,000
개발 기술의 사업화 성과	예상 연구개발결과물 제품 매출액 (B)	500	1,000	1,500	2,000
	연구개발결과물 제품 점유비율 (C=B/A)	13%	17%	19%	20%

－ 경제·사회적 기여도

- 본 기술과 제품의 연구 및 개발이 완료된 후 실적 배치되고 서비스를 제공할 경우, 국민의 안전 보장이 강화되는 것은 물론, 다양한 환경 변화에 신속하게 대응할 수 있는 새로운 기준을 제공하게 됨
- 또한, 핵심 기술을 다양한 분야에 다양한 목적으로 확대 활용함으로써 기술개발 비용 절감은 물론 유지 관리 비용 절감 등의 큰 효과가 발생할 것으로 기대
- 특히, 안전사고 예방에 따른 사회적 비용 절감 효과가 매우 클 것으로 기대되며, 기술 개발 및 제품화 이후에 다양한 분야에서 기술의 활용성이 크게 증가할 것으로 기대함

◆ 기술이전 추진결과

○ 도로안전기상정보서비스

－ 개요

- 기상악화 실시간 경고 시스템의 부재로 대형사고로 인한 피해가 심각하기 때문에 향후 이러한 갑작스러운 기상 변화로 대형사고가 발생할 수 있으므로 관련 기상관측과 예보 기술개발 및 서비스 시스템 구축이 필요함
- 도로위험기상정보를 실시간으로 제공하기 때문에 도로를 이용하고 있는 사용자에게 위험 정보를 쉽게 제공하고 안전사고 발생을 크게 감소시킬 수 있음



< 짙은 안개와 노면결빙으로 인한 대형 연쇄추돌사고 사례 >

- ㈜월드텍은 CCTV를 활용한 기상분석 기술을 국내 최초로 실용화에 성공하였으며, 인공지능 기술, 빅데이터 분석기술을 접목한 최신 영상분석기술을 전문으로 도로위험 기상정보 시스템, 지능형 교통체계 등 기상, 교통, 재난재해, 환경 등 다양한 분야에 대한 융합 솔루션 기술 개발을 전문적으로 하고 있음
- 2018년 평창동계올림픽 기상지원을 위해 강원권 영동고속도로 구간에 대하여 시범서비스 하였으며 현재는 기상청 날씨마루를 통해 도로위험기상정보 서비스지점은 강원권 영동고속도로(여주IC~강릉IC) 및 서해안 안개 다발 지역인 서해안고속도로, 제2경인고속도로, 인천국제공항고속도로, 서울시 주요 고속도로 구간에 대하여 도로기상정보를 서비스 하고 있음



< 도로기상정보 서비스 현황 >

- 목표 서비스 시스템 구성도
- ㈜월드텍은 기 보유한 CCTV 기상정보 분석 기술과, 본사업의 노면상태정보 분석 기술을 융합하여, 기상과 도로상태, 교통상태가 융합된 「안전운전을 위한 도로안전기상정보서비스」 시스템 개발을 개발하였음



< 안전운전을 위한 도로안전 기상정보 서비스 개념도 >

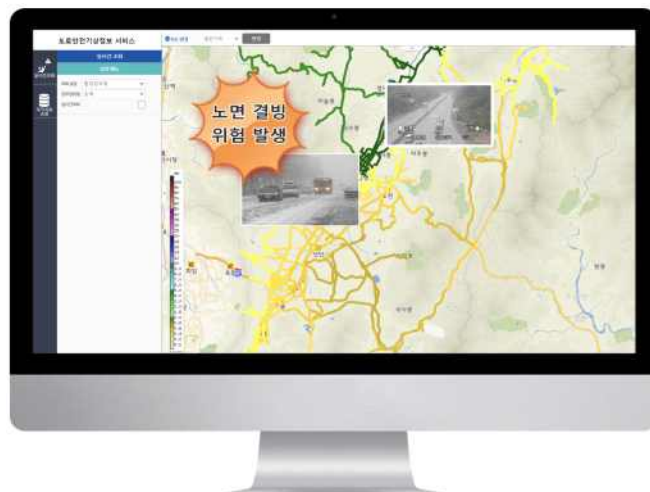
- 구축현황

데이터 베이스	CPU	8-core, 2.1GHz
	RAM	32Gb
	HDD	42Tb
	DBMS	MySQL 8.0.15
WAS	CPU	10-core, 2.2GHz CPU
	RAM	16Gb
	HDD	1.8Gb
	Software	Tomcat9
분석서버 (2대)	CPU	16-core, 2.8GHz
	RAM	32Gb
	HDD	2Tb



○ 서비스 시스템 구성

- 본 서비스 시스템은 국토교통부(V-WORLD)에서 제공하는 지도(GIS)를 기반으로 지능형교통체계관리시스템(ITS)의 표준노드링크 단위 실시간 도로상의 위험기상 및 노면상태정보 제공 시스템 개발 및 구축



도로안전기상정보서비스
(<http://www.roadweather.co.kr>)

○ 서비스 시스템 기능 및 아키텍처

- 표출 기능

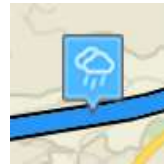
- (도로위험기상 정보 표출) 위험 기상 아이콘은 도로의 기상 상태(양호/안개/비/눈)에 따라 4가지 색상으로 표시하며 각 기상별 강도는 색상의 농도에 변화 값으로 표출 함(기상청 날씨마루-고속도로위험기상정보 범례 기준)



양호



안개



비



눈

< 표준노드링크 및 기상아이콘 색상에 따른 기상현황 >

- (도로노면상태 정보표출) 도로의 노면상태에 따라 색상으로 으로 구분하여 표출하며, 각 상태별 위험도는 위험 단계별 범례 색상으로 표출함



빗길 위험 알람

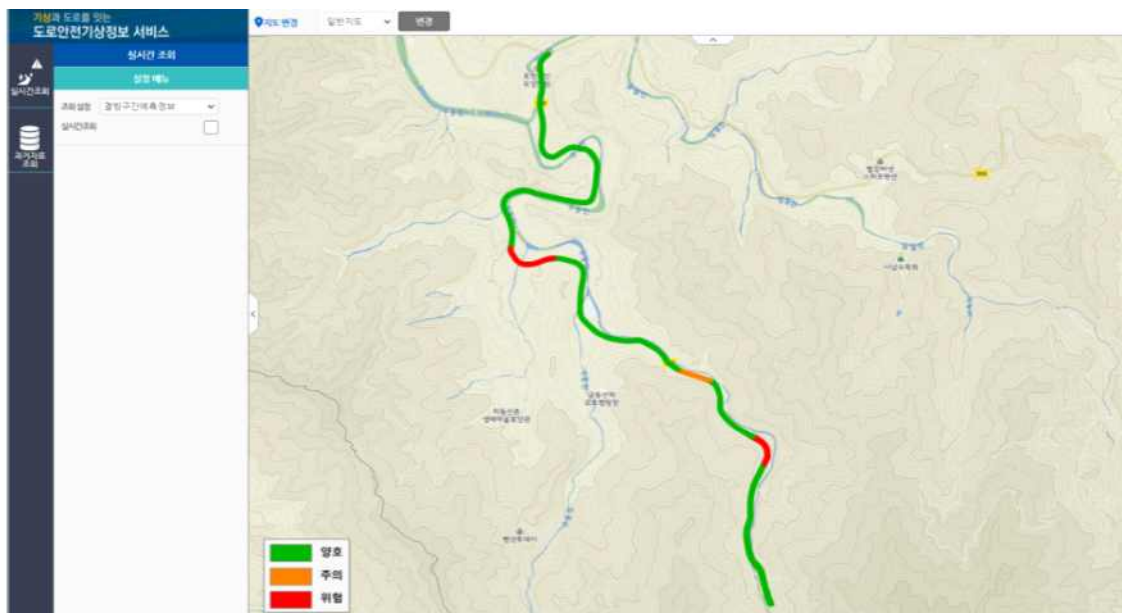


노면결빙 위험 알람

< 노면 상태 표시 예시 빗길 알람(좌), 노면결빙 알람(우) >

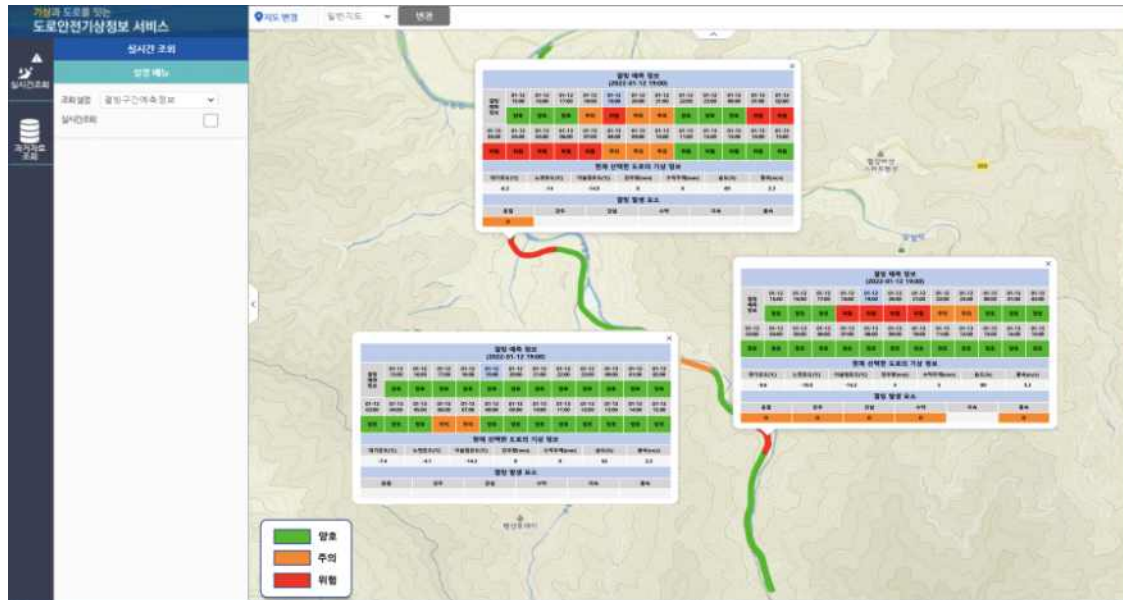
- (노면 결빙 정보 표출)

- 기본화면(도로 경로별 결빙 발생 구간 표출)



기본 화면 양호 주의 위험

- 도로 경로별 상세정보 표출(상세정보 팝업)



결빙 예측 정보 상세 정보 표출 화면

표출 정보

결빙 예측 정보

(2022-01-12 19:00)

결빙 예측 정보	01-12 15:00	01-12 16:00	01-12 17:00	01-12 18:00	01-12 19:00	01-12 20:00	01-12 21:00	01-12 22:00	01-12 23:00	01-13 00:00	01-13 01:00	01-13 02:00
	양호	양호	양호	위험	위험	위험	위험	주의	주의	양호	양호	양호
01-13 03:00	01-13 04:00	01-13 05:00	01-13 06:00	01-13 07:00	01-13 08:00	01-13 09:00	01-13 10:00	01-13 11:00	01-13 12:00	01-13 13:00	01-13 14:00	01-13 15:00
	양호	양호	양호	양호	양호	양호	양호	양호	양호	양호	양호	양호

현재 선택한 도로의 기상 정보

대기온도(℃)	노면온도(℃)	이슬점온도(℃)	강우량(mm)	수막두께(mm)	습도(%)	풍속(m/s)
-9.6	-18.0	-16.3	5	5	80	3.3

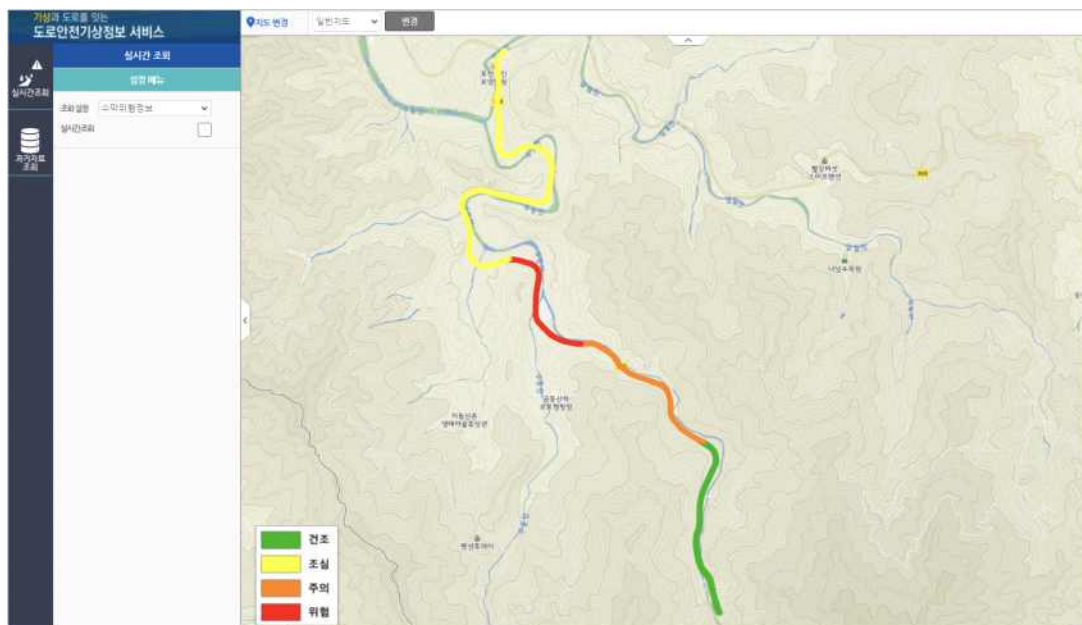
결빙 발생 요소

응결	강우	강설	수막	지속	풍속
O	O	O	O		O

-예측시작시간(15:00)부터 24시간 동안 결빙 발생 위험도를 표출

-대기온도, 노면온도, 이슬점 온도 등의 도로 기상정보와 결빙 발생유무를 운영자의 판단 및 대응 가능하도록 상세 표출 화면 제공

- (노면 수막 정보 표출)
- 기본화면(도로 경로별 수막 발생 구간 표출)



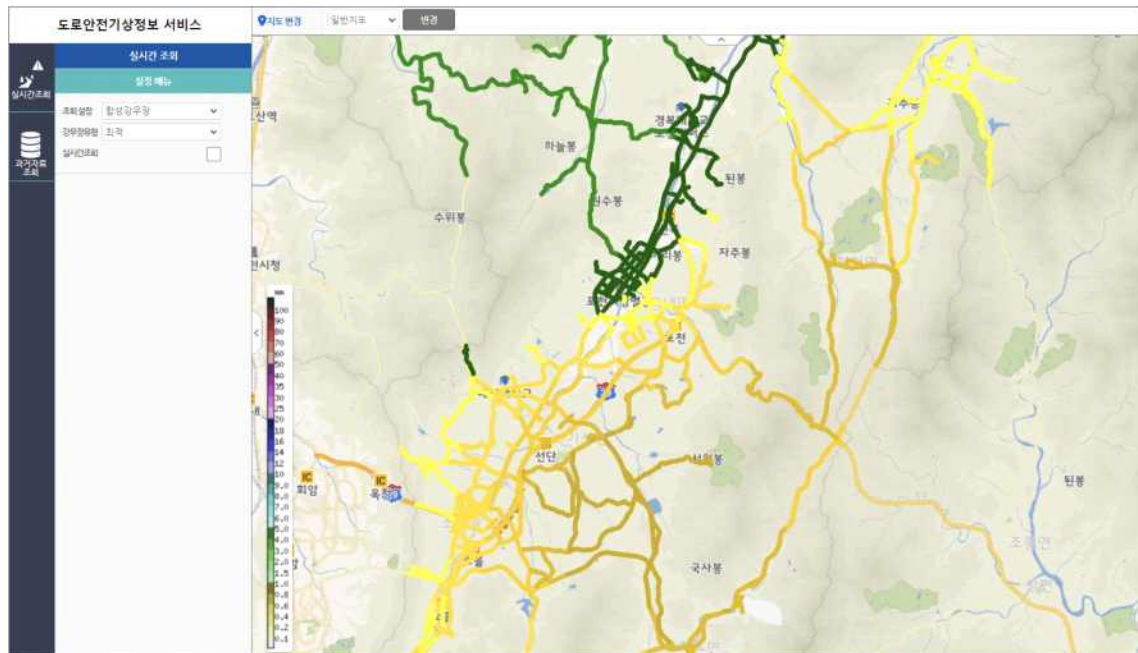
기본 화면 양호 조심 주의 위험

- 도로 경로별 상세정보 표시(상세정보 팝업)

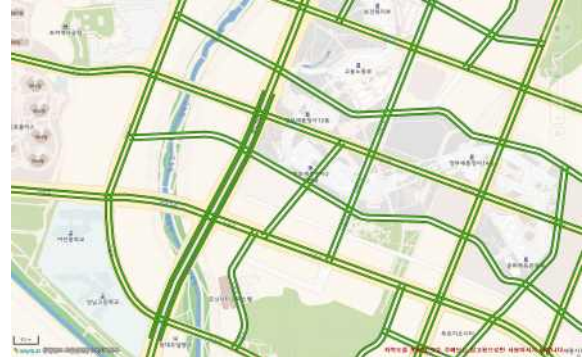
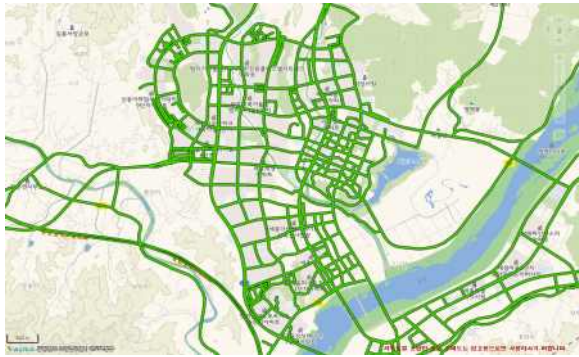


수막 예측 상세 정보 표시 화면			표출 정보
선택한 도로의 수막 정보			- 현재 시간의 수막 발생 위험도 표시 - 도로, 경로별 강우량, 수막두께, 수막 위험도 실시간 표시
강우량(mm)	수막두께(mm)	수막위험도	
30	8	위험	

- (기타 합성강우장 정보 표시) 합성강우장(최적, IDW, KNN1, KNN2, UK1, UK2, GLM, KRWF) 표시



- (지도 확대, 축소 기능) 기상정보의 상세 지역 확인을 위해 마우스 휠 업, 다운을 통한 지도 확대 축소 기능을 제공함



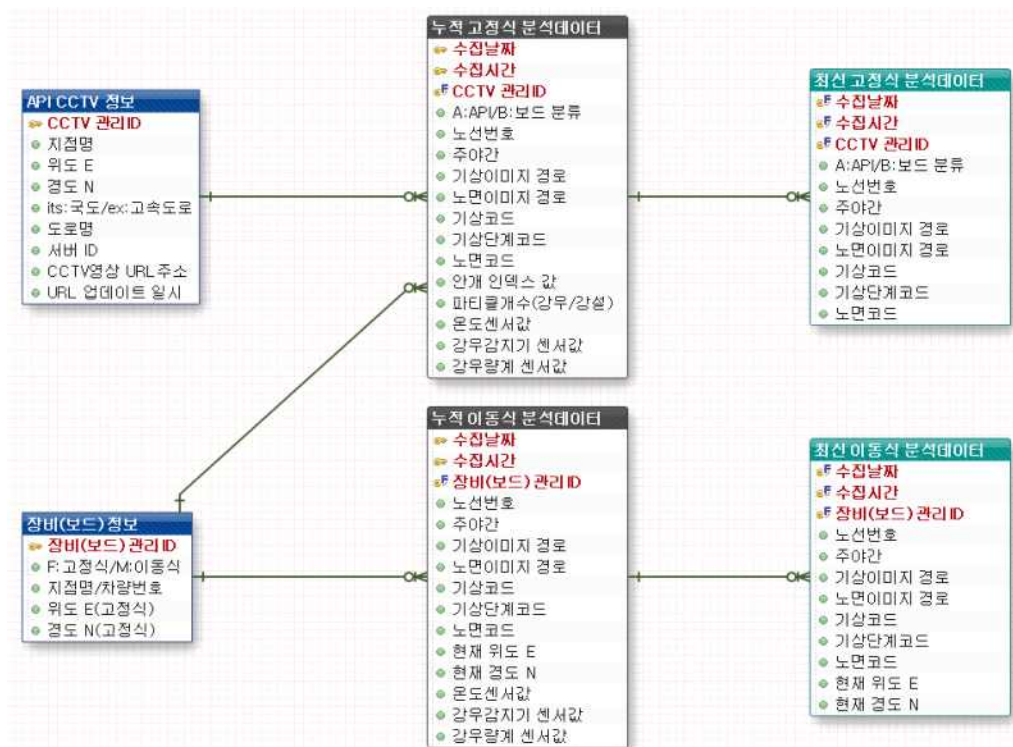
< 지도 확대 기능 기본화면(좌), 확대화면(우) >

- (배경 지도 색상 변경 기능) 제공되는 기상정보의 가시성 확보 및 사용자 편의를 위해 기본 컬러 배경지도 이외의 지도 색상을 제공함



< 배경지도 색상 변경 기능 흑색지도(좌), 회색지도(우) >

- DB 정보



- DB 정보 규칙

- EQMT_ID : 관리 ID 규칙은 다음과 같음
- [EQID(4) + 도로등급(3) + 확장번호(1) + 일련번호(6)]
- 확장번호 기본값 0
- 이하 규칙들은 *ITS(지능형교통체계관리시스템) 표준노드링크 구축기준에 따름
- ITS 표준노드링크 페이지 : http://nodelink.its.go.kr/intro/intro06_05.aspx
- T_LINK_DATA 테이블 내용 및 구분 규칙
- CITY_CODE : 권역코드를 나타내는 데이터로 지역을 알 수 있음
- ROAD_USE : 도로사용여부는 [0:사용, 1:미사용] 으로 쓰임
- TMULTI_LINK : 중용구간여부는 [0:독립구간, 1:중용구간] 으로 쓰임
- T_LINK_DATA : ITS 호환성과 상호연계 운용 효율성을 확보하고 대국민 교통정보 제공을 위한 교통정보 실시간 전국단위 표준노드링크 정보 테이블

필드명	데이터타입	PK/NN	내용
LINK_ID	VARCHAR(10)	PK/NN	링크 식별자(아이디)
CITY_DO	VARCHAR(8)	NN	행정구역(광역시.도)
CITY_DISTRICT	VARCHAR(8)	NN	행정구역(시.군.구)
CITY_CODE	VARCHAR(3)	NN	권역코드
WEB_ZOOM	VARCHAR(2)		웹서비스에서 표출될 ZOOM 단계
ROAD_NO	VARCHAR(5)	NN	도로번호
ROAD_NAME	VARCHAR(30)	NN	도로명
ROAD_RANK	VARCHAR(3)	NN	도로등급
ROAD_TYPE	VARCHAR(3)	NN	도로유형
F_NODE	VARCHAR(10)		시작노드식별자
T_NODE	VARCHAR(10)		종료노드식별자
MULTI_ID	VARCHAR(4)		부가속성번호
REMARK	VARCHAR(30)		비고
LANES	VARCHAR(4)		차로수
ROAD_USE	VARCHAR(1)		도로사용여부
MULTI_LINK	VARCHAR(1)		중용구간여부
CONNECT	VARCHAR(3)		연결로코드
MAX_SPD	VARCHAR(4)		최고제한속도
REAT_VEH	VARCHAR(5)		통행제한차량
REST_W	VARCHAR(4)		통과제한하중
REST_H	VARCHAR(4)		통과제한높이
LINK_TYPE	VARCHAR(10)		링크 타입(Feature)
GEOMETRY	VARCHAR(200)	NN	링크 geometry(경위도)

- T_FIXED_ANALY_DATA : 지점명과 해당 지점의 기상코드 등 각 CCTV 및 관측 장비의 고정식 기상영상을 분석한 결과 중 가장 최신의 데이터 저장 테이블

필드명	데이터타입	PK/NN	내용
EQMT_ID	VARCHAR(14)	PK/NN	CCTV/장비(보드) ID
COLL_DATE	VARCHAR(8)	NN	수집날짜
COLL_TIME	VARCHAR(6)	NN	수집시간
CCTV_NAME	VARCHAR(30)		CCTV지점명
EQMT_TYPE	VARCHAR(1)		A:API/B:보드 분류
ROAD_NUM	DOUBLE		도로번호
ROAD_NAME	VARCHAR(30)		도로명
DAY_CD	VARCHAR(1)		주야간
IMAGE_PATH	VARCHAR(200)		기상이미지 경로
WEATHER_CD	VARCHAR(2)		기상코드
LEVEL_CD	VARCHAR(2)		기상단계코드
ROAD_CD	VARCHAR(2)		노면상태코드
WEB_ZOOM	VARCHAR(2)		웹서비스에서 표출될 ZOOM 단계

- T_FIXED_ANALY_DATA_HIS : 지점명과 해당 지점의 기상코드 등 각 CCTV 분석 및 노면상태정보를 저장, 통계정보를 위한 누적 정보 테이블

필드명	데이터타입	PK/NN	내용
COLL_DATE	VARCHAR(8)	PK/NN	수집날짜
COLL_TIME	VARCHAR(6)	PK/NN	수집시간
EQMT_ID	VARCHAR(14)	PK/NN	CCTV/장비(보드) ID
EQMT_TYPE	VARCHAR(1)		A:API/B:보드 분류
ROAD_NUM	DOUBLE		도로번호
ROAD_NAME	VARCHAR(30)		도로명
DAY_CD	VARCHAR(1)		주야간
IMAGE_PATH	VARCHAR(200)		기상이미지 경로
WEATHER_CD	VARCHAR(2)		기상코드
LEVEL_CD	VARCHAR(2)		기상단계코드
ROAD_CD	VARCHAR(2)		노면상태코드
WEB_ZOOM	VARCHAR(2)		웹서비스에서 표출될 ZOOM 단계
FOG_LEVEL	DOUBLE		안개 인덱스 값
PARTC_CNT	DOUBLE		파티클개수(강우/강설)
TEMP_V	DOUBLE		온도센서값
RAIN_TF	DOUBLE		강우감지기 센서값
RAIN_V	DOUBLE		강우량계 센서값

- T_ROAD_ANALY_DATA : 지점명과 해당 지점의 기상코드 등 각 CCTV 분석 및 노면상태정보를 저장, 통계정보를 위한 실시간 분석 정보 테이블

필드명	데이터타입	PK/NN	내용
EQMT_ID	VARCHAR(14)	PK/NN	CCTV/장비(보드) ID
COLL_DATE	VARCHAR(8)	NN	수집날짜
COLL_TIME	VARCHAR(6)	NN	수집시간
CCTV_NAME	VARCHAR(30)		CCTV지점명
EQMT_TYPE	VARCHAR(1)		A:API/B:보드 분류
ROAD_NUM	DOUBLE		도로번호
ROAD_NAME	VARCHAR(30)		도로명
DAY_CD	VARCHAR(1)		주야간
IMAGE_PATH	VARCHAR(200)		노면이미지 경로
WEATHER_CD	VARCHAR(2)		기상코드
LEVEL_CD	VARCHAR(2)		기상단계코드
ROADCON_CD	VARCHAR(2)		노면 상태 코드
WEB_ZOOM	VARCHAR(2)		웹서비스에서 호출될 ZOOM 단계

- T_ROAD_ANALY_DATA_HIS : 지점명과 해당 지점의 노면상태분석 정보 및 관련 정보 누적 테이블

필드명	데이터타입	PK/NN	내용
COLL_DATE	VARCHAR(8)	PK/NN	수집날짜
COLL_TIME	VARCHAR(6)	PK/NN	수집시간
EQMT_ID	VARCHAR(14)	PK/NN	CCTV/장비(보드) ID
EQMT_TYPE	VARCHAR(1)		A:API/B:보드 분류
ROAD_NUM	DOUBLE		도로번호
ROAD_NAME	VARCHAR(30)		도로명
DAY_CD	VARCHAR(1)		주야간
IMAGE_PATH	VARCHAR(200)		노면이미지 경로
ROADCON_CD	VARCHAR(2)		노면상태코드
LEVEL_CD	VARCHAR(2)		노면상태 단계코드
WEB_ZOOM	VARCHAR(2)		웹서비스에서 호출될 ZOOM 단계
DEN_LEVEL	DOUBLE		위험도 단계
PARTC_CNT	DOUBLE		발생강도 누적
TEMP_V	DOUBLE		온도센서값
RAIN_TF	DOUBLE		강우감지기 센서값
RAIN_V	DOUBLE		강우량계 센서값

- T_MOBILE_ANALY_DATA : 관측 장비를 통해 얻은 기상 및 노면 상태를 분석하여 현재 위치의 경위도 및 기상코드, 노면코드 등의 가장 최신의 데이터를 저장하는 테이블

필드명	데이터타입	PK/NN	내용
COLL_DATE	VARCHAR(8)	PK/NN	수집날짜
COLL_TIME	VARCHAR(6)	PK/NN	수집시간
EQMT_ID	VARCHAR(14)	PK/NN	장비(보드) ID
ROAD_NUM	DOUBLE		도로번호
ROAD_NAME	VARCHAR(30)		도로명
DAY_CD	VARCHAR(1)		주야간
WEATHER_IMG	VARCHAR(200)		기상이미지 경로
ROAD_IMG	VARCHAR(200)		노면이미지 경로
WEATHER_CD	VARCHAR(2)		기상상태코드
LEVEL_CD	VARCHAR(2)		노면상태단계코드
ROAD_CD	VARCHAR(2)		노면코드
COLL_LAT	DOUBLE		현재 위도 E
COLL_LON	DOUBLE		현재 경도 N

3. 연구개발과제의 수행 결과 및 목표 달성 정도

1) 연구수행 결과

(1) 정성적 연구개발성과

- 노면온도-수막두께- 도로기하구조를 연계한 도로분해능 해상도 노면온도에측모델 개발
 - 도로분해능 태양복사모델과 노면온도에측모델 연계구축 완료
 - 결빙위험지역 포천시를 대상으로 기상청 수치기상모델 LDAPS의 자료를 실시간으로 수집하고 도로노면온도모델의 입력 자동화하는 모듈을 개발하여 적용 완료
 - 노면온도에측모델 구축에 필요한 변수 중 격자별 하향장파복사량(Ldown), 상향장파복사량(Lup), 하향단파복사량(Kdown)은 태양복사모델(SOLWEIG)로부터 산출된 자료를 이용하였으며, 하향단파복사량과 하향장파복사량을 통해 순하향단파복사량(NDNSW)을 계산하고, 상향장파복사량을 이용해 순하향장파복사량(NDNLW)을 계산하는 체계 구축 완료
- 도로 노면결빙 예보시스템의 1시간후(3시간후, 24시간후) 예측결과 제시 여부
 - 입력 및 산출 자료를 사용하여 도로의 위치정보(위도, 경도), LDAPS의 기상, 강수량, 강설량, 풍속, 이슬점온도, 노면온도 및 수막 예측정보 등 노면결빙 알고리즘 입력자료 생산 모듈을 개발
 - 태양복사모델, 노면온도 예측모델, 수막발생 예측모델 등의 연계를 통해 산출되는 기상요소들이 도로결빙 판단 알고리즘에 적용될 수 있는 형태로 작성하였으며, 대상지의 도로 노면결빙 예보시스템으로 구축하여 1시간단위의 예측정보 생산체계로 작성 완료
- 잠재적 도로결빙 조건을 고려한 도로결빙 시공간 예보시스템 개발
 - 도로 노면결빙 예보 결과(알고리즘)의 정확성
 - 포천 지방도 379호선에 테스트베드 현장을 지정하여 노면과 대기환경을 모니터링하였으며, 수집된 자료를 활용하여 1~4차에 걸쳐 알고리즘을 개선하였고, 이에 정확성을 높이는 성과를 얻음
 - 최종 노면결빙 예측 알고리즘은 응결에 의한 결빙, 강수에 의한 결빙, 적설에 의한 결빙, 수막에 의한 결빙 알고리즘, 풍속에 의한 결빙, 결빙 상태 지속의 총 6개의 상황에서의 결빙을 예측할 수 있도록 하였으며, 알고리즘의 적중률은 93.22%의 정확성을 보임
 - 도로 노면결빙예보시스템 사용 편의성
 - 노면결빙예보시스템 사용자 그룹별 수요조사를 통해 요구사항을 반영하여 기능을 설계하였으며, 사용자 그룹(도로 관리 주체, 엔지니어링사 등)의 업무환경에 부합되는 사용자 인터페이스를 적용하였음
 - 화면 레이아웃 트렌드 및 친숙성을 고려하여 간결한 레이아웃 배치로 화면을 구성하고, 주요 핵심기능에 대한 최소한의 메뉴와 제공정보의 지도상 시각화를 구현하여 사용자가 노면결빙예보시스템에 접근 시 쉽게 이해가 가능하도록 명시성을 높임
 - 이에 노면결빙예보시스템 사용자 만족도 조사 결과, 만족도 점수는 8.1점으로 집계되었음

(2) 정량적 연구개발성과

연차 연구개발성과지표명		주관		공동		합계	
		1차년도 (2020)	2차년도 (2021)	1차년도 (2020)	2차년도 (2021)	1차년도 (2020)	2차년도 (2021)
SCI(E)급 논문 건수	목표		1				1
	실적		0 (심사중)				0
mrnIF지수	목표						
	실적						
등재지 논문 건수	목표	1	1	1	1	2	2
	실적	1	1	1	1	2	2
IF지수	목표						
	실적						
학술대회 논문 건수	목표	0	0	0		0	0
	실적	1	2	1		2	2
소프트웨어 등록 건수	목표	0	0		1	0	1
	실적	1	1		1	1	2
S/W활용도	목표						
	실적						
S/W 활용만족도	목표						
	실적						
DB 구축 건수	목표		0				0
	실적		3				3
기술실시(이전) 건수	목표		0				0
	실적		2				2
기술료(경상)	목표		0				0
	실적		1				1
신규인력채용	목표		0				0
	실적		1				1
성과홍보	목표		0				0
	실적		1				1
보고서원문등록	목표				0		0
	실적				3		3
특허출원	목표	1			0	1	0
	실적	1			1	1	1
특허등록	목표		1				1
	실적		1 (등록결정)				1
매뉴얼등록	목표				0		0
	실적				1		1
기술요약정보	목표		0				0
	실적		1				1
현장적용시험검증	목표		0				0
	실적		1				1
시제품제작	목표		0				0
	실적		1				1
다른 국가연구개발사업에의 활용	목표		0				0
	실적		2				2
계	목표	2	3	1	2	3	4
	실적	4	18	2	7	6	25

(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	태양복사모델(SOLWEIG)의 복사플럭스 자료를 활용한 노면온도 예측	한국지리정보학회지	안숙희	23(4)	대한민국	한국지리정보학회	비SCIE	2020.12	1226-9719	100%
2	도로 노면결빙 판정모델을 적용한 도로결빙 예측에 대한 연구	한국응용과학기술학회지	임희섭	37(6)	대한민국	한국응용과학기술학회	비SCIE	2020.12	1225-9098	100%
3	차량 시뮬레이터를 이용한 연속류 도로의 고령운전자 주행특성 분석	한국ITS학회 논문지	이근희	20(1)	대한민국	한국ITS학회	비SCIE	2021.02	1738-0774	100%
4	도로 노면결빙 판정 알고리즘 연구와 알고리즘을 활용한 도로 결빙 적중률 연구	한국응용과학기술학회지	강문석	38(6)	대한민국	한국응용과학기술학회	비SCIE	2021.12	1225-9098	100%
5	복사플럭스 모의결과 검증	Urban Climate	권혁기	-	-	-	SCI	심사중	-	100%

□ 국내 및 국제 학술회의 발표

번호	회의 명칭	발표 내용	발표자	발표 일시	장소	국명
1	2020년 대한지리학회	국지적 기상과 지형구조에서 나타나는 도로결빙위험 특성 연구	이채연	2020.11.13	온라인	대한민국
2	2020년 한국구조물진단유지관리공학회	도로 노면결빙 판정모델을 적용한 도로결빙 예측에 대한 연구	임희섭	2020.11.19	온라인	대한민국
3	2021년 한국방재학회	지형효과를 반영한 도로분해능 해상도의 도로결빙예보시스템 개발	안숙희	2021.09.09	온라인	대한민국
4	2021년 한국지리정보학회	겨울철 도로 내 고해상도 복사량 산출 및 검증	권혁기	2021.11.4~5	제주시	대한민국

□ 기술 요약 정보

번호	연도	기술명	요약 내용	기술 완성도	등록 번호	활용 여부	미활용사유	연구개발기관 외 활용 여부	허용방식
1	2021	도로분해능 해상도의 태양복사-노면온도-수막두께 정보를 연계한 도로결빙 시공간 예보시스템	태양복사모델과 노면온도예측모델의 연계, 노면결빙 영향인자 분석과 예측 알고리즘 개발로 위험지역에 대한 시공간 알림 기술을 개발	시제품제작 단계	S2021017743	활용		기술이전	모듈 및 DB 제공, 기술지도

□ 보고서 원문

번호	연도	보고서 명	발간일	등록 번호
1	2021	노면결빙예보시스템 서비스 시나리오	2021.11.	-
2	2021	예보시스템 연산 효율성 향상을 위한 단계별 해석 방안 정립	2021.11.	-
3	2021	노면결빙예보시스템 사용자 요구사항 분석	2021.11.	-
4	2021	최종보고서	2021.12.	-

□ 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, 신제품, 프로그램)

번호	구분	지식재산권 등 명칭 (건별 각각 기재)	국명	출원			등록			기여율	활용 여부
				출원인	출원일	출원번호	등록인	등록일	등록번호		
1	출원 및 등록 결정	도로 시설물에 따른 결빙 음영지역 산출방법 및 장치	대한민국	이채연 이근희 권혁기	2020.10.30	10-2021-0073692	권혁기 이채연 안숙희 양호진	등록결정	-	100%	Y
2	출원	노면 결빙 예측 방법	대한민국	강문석 곽아미루 송주상 임희섭 이근희	2021.11.12	10-2021-0155607	-	-	-	100%	Y

○ 지식재산권 활용 유형

번호	제품화	방어	전용실시	통상실시	무상실시	매매/양도	상호실시	담보대출	투자	활용 예정	기타
1				√							√

□ 저작권(소프트웨어, 서적 등)

번호	저작권명	창작일	저작자명	등록일	등록번호	저작권자명	기여율
1	도시건물 및 거리규모 통풍특성분석 프로그램	2020.07.30	이채연	2020.10.19	C-2020-036086	한국외국어대학교 연구산학협력단	100%
2	태양복사모델의 상세 복사플럭스 정보를 이용한 순복사플럭스 산출 프로그램	2021.11.10	안숙희	2021.11.20	C-2021-048958	한국외국어대학교 연구산학협력단	100%
3	노면결빙예보시스템 개발 매뉴얼	2021.11.10	강문석 외	2022.01.05	C-2022-000839	평화엔지니어링	100%
4	노면결빙 예보 시스템_웹프로그램	2021.12.31	강문석 외	2022.01.07	C-2022-001902	평화엔지니어링	100%
5	포천시 기상자료 DB	2021.11.19	안숙희	2021.12.23	D-2021-000131	한국외국어대학교 연구산학협력단	100%
6	포천시 교통(주행속도)자료 DB	2021.12.12	안숙희	2021.12.23	D-2021-000132	한국외국어대학교 연구산학협력단	100%
7	포천 도로기하구조 DB	2020.09.29	안숙희	2021.12.23	D-2021-000133	한국외국어대학교 연구산학협력단	100%

□ 신기술 지정

번호	명칭	고시일	보호기간	지정번호

□ 기술 및 제품 인증

번호	인증 분야	인증기관	인증 내용		인증 획득일	국가명
			인증명	인증번호		

☐ 표준화

○ 국내 표준

번호	인증구분	인증여부	표준명	표준인증기구명	제안주체	표준종류	제안/인증일자

○ 국제 표준

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 (해당 시)
1	노면결빙 시공간 예보시스템	2021.12	평화엔지니어 링/공존	평화엔지니 어링	도로관리	-	-	-

☐ 현장적용

번호	적용기술명	적용일	발주기관명	적용 연구개발기관명	적용현장명(장소)
1	도로기상관측장비 현장구축과 예측정보 검증	2020.11~2021.12	-	한국외국어대학교	경기도 포천시 지방도 379호선

☐ 기술 실시(이전)

번호	기술 이전 유형	기술 실시 계약명	기술 실시 대상 기관	기술 실시 발생일	기술료	
					발생 연도	발생액(천원)
1	통상실시권	도로분해능 해상도의 태양복사-노면온도-수막두께 정보를 연계한 도로결빙 시공간 예보시스템(기술 및 특허)	(주) 월드텍	2021.12.13	2022	22,000

☐ 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 수치 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 수치 개선 효과(천원)	수입대체(내수)		현재	3년 후	5년 후
	수 출				

□ 고용 창출

번호	사업화명	사업화 업체명	고용창출 인원(명)		합계(명)
			yyyy년	yyyy년	
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)
1	태양복사, 노면온도, 수막두께 예측정보 산출 모듈 이해	2021.11.16. 2021.12.01.	(주) 월드텍 부설연구소 연구진	한국외국어대학교 대기환경연구센터 및 비대면	10
2	태양복사, 노면온도, 수막두께 예측정보 표출시스템 설계	2022.01.07. 2022.01.19.	(주) 월드텍 부설연구소 연구진	한국외국어대학교 대기환경연구센터 및 비대면	10

□ 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	구분 (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)
1	한국외국어대학교	2021.10.01	2022.08.31	1	1

□ 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)
1	2022	기상청	스마트시티 기상기후 융합기술 개발	IoT기반 도시 상세 열/바람 정보 및 스마트에너지 활용기술 개발	이채연	210,000
2	2022	기상청	스마트시티 기상기후 융합기술 개발	IoT기반 도로노면 위험예측 기술 개발	안숙희	110,000

□ 국제화 협력성과

번호	구분 (유치/파견)	기간	국가	학위	전공	내용

□ 홍보 실적

번호	홍보 유형	매체명	제목	홍보일
1	전시회 부스운영	국제도로교통박람회	도로안전기상정보 솔루션	2021.11.10.~2021.11.12

☐ 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)	개발여 부 (○/×)	연구시설·장비 종합정보시스템* 등록여부	연구시설·장비 종합정보시스템* 등록번호	구축일자 (YY.mm.DD)	구축비용 (천원)	비고 (설치 장소)

[그 밖의 성과]

○ 해당사항 없음

(4) 계획하지 않은 성과 및 관련 분야 기여사항

○ 해당사항 없음

2) 목표 달성 수준

연구 개발 목표	달 성 내 용	달성도(%)
○ 노면온도-수막두께- 도로기하구조를 연계한 도로분해능 해상도 노면온도예측모델 개발	○ 도로분해능 태양복사모델과 노면온도예측모델 연계구축 - 결빙위험 대상지역의 수치모델 입력자료를 R기반으로 실시간 수집모듈 개발하고 도로분해능 해상도의 태양복사모델 복사플럭스 산출체계를 구축 - 열수지기반 노면온도예측모델의 노면온도 산출체계 구축하고 태양복사모델과 노면온도예측모델 커플링기술 개발함. 물수지기반 도로 수막정보예측모델 구축과 수막두께정보 산출 ○ 도로분해능 노면온도 및 수막두께 예측모델 검증과 실시간 운영체계 구축 - 지상 및 위성 관측자료를 이용하여 노면온도 및 복사플럭스 산출자료를 검증 - 강우 시 촬영된 도로노면 수막영상자료를 기반으로 수막두께 예측모델의 공간적 검증을 수행하고, 수막이 예상되는 지점 2소에 카메라를 설치하여 수막발생 현상을 시간적 검증으로 수행	100%
○ 잠재적 도로결빙조건을 고려한 도로결빙 시공간 예보시스템 개발	○ 도로 노면결빙 영향인자 분석 및 예측 알고리즘 개발 - 노면결빙 예측모형의 알고리즘 작성을 위해 기존 도로 기상 관측 자료(온도, 습도, 풍속, 노면온도, 노면상태, 염화물이온농도, 이슬점온도 등)를 활용하여 도로 결빙 조건에 대한 시나리오를 분석 - 알고리즘 검증을 위해 테스트베드 구간에 설치할 기상 관측장비는 기온, 습도, 기압, 이슬점, 풍향, 풍속, 방위, 강우량, 강우강도, 기압 등의 기상정보와 노면온도 및 노면상태의 노면정보를 측정하는 장비를 구축 ○ 도로 노면결빙예보시스템 개발 - 노면결빙 예측 최종 알고리즘에서는 총 필요한 항목은 9가지에 경위도 좌표값 및 도로방향 및 도로명, 시간 등 지리정보와 같은 데이터 6가지를 중점적으로 데이터 처리에 활용 - 데이터 입력 방식은 CSV 파일을 자동으로 업로드하여 로드할 수 있도록 하였으며 프로그램은 리눅스의 우분투를 활용하여 서버를 구축하였으며 해당 프로그램 코딩은 파이썬을 활용하여 작성하였음 - 본 개발 프로그램에서는 노면결빙예측모듈, 노면온도예측모듈, 수막두께예측모듈을 탑재하여 아래와 같이 결빙 예보 발표를 하도록 함 · 예보 발표 시간 : 03시, 09시, 15시, 21시 KST · 횡수/간격 : 1일 4회/6시간 간격 업데이트 · 공간해상도 : 4m * 4m · 시간해상도 : 1시간 단위(0~24h 예측장 생산) · SOLWEIG, 노면온도예측모델 입력 자료 : 1일 4회 예보를 위해 LDAPS 자료사용	100%

4. 목표 미달 시 원인분석(해당사항 없음)

5. 연구개발성과의 관련 분야에 대한 기여 정도

○ 기술적 분야

- 기상·기후의 1~10m 해상도 수준(본 연구에서는 4m 해상도)의 국지적 기상정보 상세화 기술 확보에 기여
- 강수·강설 등에 따른 도로 수막정보, 도로 주변 환경을 고려한 지형정보 등을 고려한 노면온도·수막예측 모델 개발기술 확보에 기여
- 기존 도로의 잠재적 위험구간에 대한 개선 및 신규도로 설계 시 결빙구간 최소화 설계기술 확보에 기여
- 지자체 및 도로관리청 등 관리자 수준 맞춤형 겨울철 결빙 예보 시스템 구축 가능성 확보에 기여

○ 경제적·산업적 분야

- 객관적인 예측을 통해 결빙 유무판단으로 겨울철 도로관리청의 인력 및 제설제 과살포 등 인적 오류 및 예산 절감에 기여 가능
- 기상·기후 및 교통정보 등의 융합을 통해 보다 진보적인 기술 적용으로 도로교통 산업기술 발달에 기여
- 도로분해능 해상도의 태양복사-노면온도-수막두께정보를 연계한 도로결빙 시공간 예보시스템을 기술이전 하여 사업화를 추진하고, DB 이전 및 기술지도를 수행하여 기업활성화 추진에 기여
- 본 기술의 사업화로 인해 1식(R&D기여율 100%)에 대한 매출액 22,000,000원이며, 당해연도 기술매출액은 22,000,000원으로 산정되었고, 수요기업의 확보 시 경제적 성과에 기여

○ 사회적 분야

- 경험적 판단의 제설작업으로 인한 인적 오류 최소화 및 도로결빙으로 인한 교통사고감소, 사망자 및 부상자 최소화 등 교통사고로 인한 사회적 피해 저감에 기여
- 겨울철 도로의 잠재적 위험 구간 해소 등 도로교통 안전도 향상 기여
- 도로결빙 대응 사회적·국민적 수요에 융합기술서비스를 활용에 기여

6. 연구개발성과 관리 및 활용 계획

○ 현 연구현황 및 추가연구 필요성

- (공간해상도) 기상청에서 제공하는 기상자료보다 도로가 있는 곳에서의 국지적 기상자료 적용이 필요하였으며, 도로구간별 또는 국지적인 예측을 하기 위해서는 산출하고자 하는 규모 및 해상도에 적합한 입력 자료를 구축함
- (도로기하구조 DB) 도로 표면에서 가장 중요한 환경적 요인인 도로기하구조와 기상학적 요인인 상세 기상변수, 그림자 정보의 실시간 적용이 가능한 태양복사모델과 열수지 기반의 노면온도예측모델의 결합을 완료함
- (도로결빙예측정보) 열수지 및 물수지(강우·강설에 의한 물저장·눈저장량 계산) 기반의 결빙예측을 통해 대상 도로에서의 결빙발생 시작/종료 시간의 예측정보를 산출함

주요성능	전체 항목에서의 비중 (%)	세계 최고수준 보유국	연구개발 전 국내 수준(2019)	연구개발 후 국내 수준(2022)
		성능수준	성능수준	성능수준
공간해상도	30	핀란드	광역규모 (5km 해상도)	미규모 (4m 해상도)
		90%	50%	90%
도로기하구조 DB 구축	30	미국	연구용으로 일시적 구축(단일요소)	현장적용하기 위한 구축(복합요소)
		90%	50%	80%
도로결빙예측 정보	40	영국, 핀란드	센서기반 현황 정보	관측·모델기반 예측정보
		90%	50%	70%

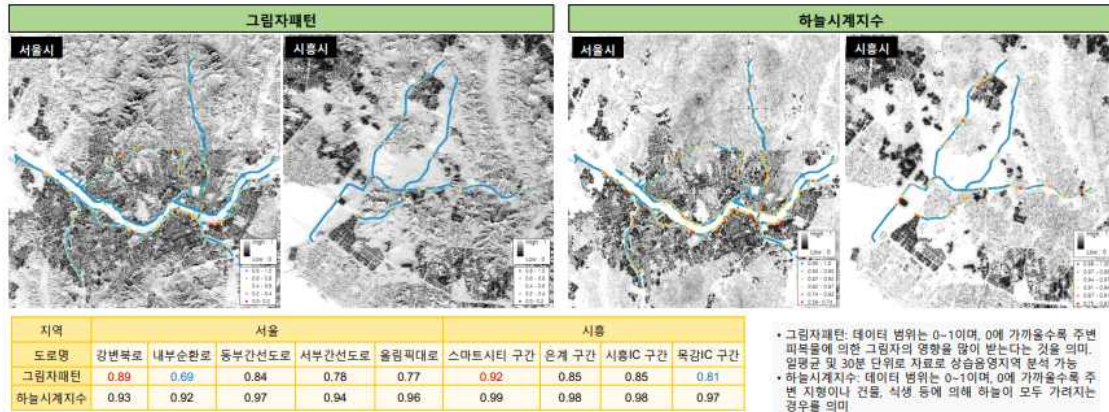
- (선진기술과의 격차해소) 정해진 예산 내 범위에서 관측장비 구축에 대한 제약이 발생했으며, 보다 더 높은 신뢰가능한 정보를 산출하기 위해서는 다양한 국지성이 나타나는 지역을 대상으로 기상, 노면에 대한 자료수집이 지속적으로 필요함. 기술이전을 받은 (주) 월드텍에서는 한국도로공사의 용역과제 수행과 함께 현장시험검증을 위해 현장 관측장비를 구축함. 본 자료를 기반으로 예측모델의 성능검증, 다양한 사례에서의 노면결빙현상의 규명 및 결빙위험 예방을 위한 추가연구가 필요함. 또한, 태양복사-노면온도-수막두께 예측모델의 연계를 통해 개발된 결빙발생지점 예측모델의 실용화를 위하여 각각의 모델에 사용된 입력자료 중 일부 데이터가 없거나 간략화할 경우 정확도 변화에 대한 민감도 분석도 추가적으로 수행되어야 함



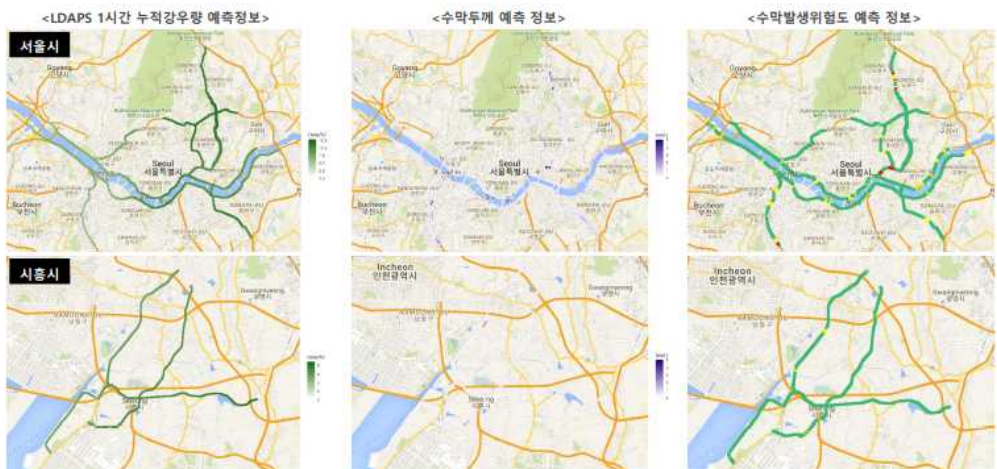
< 현장시험을 위한 테스트베드 확보(여주 스마트하이웨이), 출처: 월드텍 컨소시엄 >

○ 타 연구에의 활용

- 본 연구과제에서 개발된 도로결빙 예측기술은 기상청의 스마트시티 기상기후 융합기술개발사업의 “IoT기반 도로노면 위험예측 기술 개발” 연구 과제가 연계되어 그 방법론이 수행되고 있음
- 서울시 및 시흥시를 대상으로 도로분해능의 태양복사-노면온도-수막두께 모델의 연계 체계를 구축하고, 겨울철의 도로결빙 위험지역 및 위험도를 산출하여 이러한 정보가 시민들에게 유용한 정보가 될 수 있을지 리빙랩 운영을 통해 소통함
- 또한, 외부 인증기관(예, 한국건설생활환경시험연구원)의 공인인증시험을 통해 연구의 객관성 및 산출된 정보의 신뢰성을 확보할 예정임



< 스마트시티 내 주요도로를 대상으로 태양복사모델 적용 >



< 스마트시티 내 주요도로를 대상으로 수막예측모델 적용 >

○ 산학연 기술지원 연계와 용역 입찰추진

- 본 기술과 제품은 직접 수요가 발생하여 매출이 즉각 창출될 수 있으며, 이를 통해 기업의 매출 증대는 물론 다양한 경제적 효과가 발생할 것으로 기대됨
- 또한, 개발된 핵심 기술의 다양한 분야로 확대 적용 및 사업화 추진을 통해 전체 매출액도 점차 증가할 것이며, 해당 기술의 관련 매출액 점유비율이 점차 높아질 것으로 기대함
- 본 연구추진에 따른 종료 후 발생 예상 매출액은 총 50억 원임

구 분	세부 성과지표	매출액 (단위:백만원, %)			
		종료 해당 년	종료 후 1년	종료 후 2년	종료 후 3년
기업 전체성장	예상 총매출액 (A)	4,000	6,000	8,000	10,000
개발 기술의 사업화 성과	예상 연구개발결과물	500	1,000	1,500	2,000
	제품 매출액 (B)				
	연구개발결과물 제품 점유비율 (C=B/A)	13%	17%	19%	20%

< 별첨 >

1. 참고문헌

- 국토교통부, 2020: 도로의 구조시설 기준에 관한 규칙 해설
- 국토해양부, 2011: 도로 배수시설 설계 및 유지관리 지침
- 김상엽, 장영수, 김성규, 민동찬, 나호혁, 최재성, 2015: 겨울철 도시부 노면결빙사고 발생에 미치는 요소에 관한 연구, 한국도로학회논문집, 17(2), 79-87.
- 김종우, 정영우, 남진원, 2013: 복합 센서의 상태 판정 알고리즘을 적용한 노면결빙 예측 및 강설 감지 시스템 개발에 관한 연구, 한국구조물진단유지관리공학회 논문집, 17(5), 113-121.
- 김희준, 안숙희, 지준범, 윤상후, 2020: 공간보간법을 이용한 정량적 강우 추정 비교분석, 한국데이터정보과학회지, 31(2), 243-254.
- 신건훈, 송영준, 유영갑, 2011: 교량구간의 결빙 예측 및 감지 시스템, 한국콘텐츠학회논문지, 11(11), 42-48.
- 어성희, 최희선, 김근한, 이길상, 2021: Landsat8 위성영상을 이용한 지표면 온도와 식생피복의 관계 분석, Journal of Climate Change Research, 12(6), 713-720.
- 이만석, 김홍래, 이경하, 강민수, 송민태, 2011: 도로배수 취약구간의 개선방안에 대한 연구, 한국도로학회 논문집, 13(2), 125-131.
- 이상준, 2017: 결빙구간의 교통사고 심각도 영향 요인 연구, 한국안전학회지, 32(6), 150-156.
- 이영미, 오상율, 이수정, 2018: 제주지역 도로결빙 예측에 관한 연구, 한국환경과학회지, 27(7), 531-541.
- 이형석, 2005: GIS를 이용한 도로의 일조영향 및 노면결빙구간 분석, 한국측량학회지, 23(3), 293-301.
- 임희섭, 김상태, 2020: 도로 노면결빙 판정모델을 적용한 도로결빙 예측에 대한 연구, 한국응용과학기술학회지, 37(6), 1507-1516.
- 지준범, 김부요, 조일성, 이규태, 최영진, 2016: 고해상도 Landsat 8 위성자료기반의 지표면 온도 산출, Korean Journal of Remote Sensing, 32(2), 171-183.
- 최병길, 김중식, 2005: GIS를 이용한 도로의 노면결빙구간 추출, 대한공간정보학회지, 13(4), 19-25
- 한국도로공사, 2020: 도로설계요령 -토공 및 배수
- C. Lee, E. John, V. Andrew, 2001: Modelling of road surface temperature from a geographical parameter database Part 2:Numerical, Meteorological Applications, 8(4), 421-436.
- Cho, H. L. and Jeong, J. C., 2006: Application of spatial interpolation to rainfall data, Journal of Korea Spatial Information Society, 14, 29-41.
- D. Sonntag, 1990: Important New Values of the Physical Constants of 1986, Vapour Pressure Formulations based on the IST-90 and Psychrometer Formulae, Zeitschrift fur Meteorologie, 40(5), 340-344.
- Jang, H., Kang, N., Noh, H., Lee, D. R., Choi, C. and Kim, H. S., 2015: Applicability of spatial interpolation methods for the estimation of rainfall field, Journal of Wetlands Research, 17, 370-379.
- Kim, B. S., Kim, H. S. and Yang, D. M., 2010: Comparison of spatial distributions of rainfall derived from rain gages and a radar. Journal of Wetlands Research, 12, 63-73.
- Kim, J. P., Lee, W. S., Cho, H. and Kim, G., 2014: Estimation of high resolution daily precipitation using a modified PRISM model. Journal of the Korean Society of Civil Engineers, 34, 1139-1150.
- M. Karlsson, 2001: Prediction of hoar-frost by use of a road weather information system, Meteorological Applications: A journal of forecasting, practical applications, training techniques and modelling, 8(1), 95-105.
- N. Imacho, T. Nakamura, K. Hashiba, 2002: Road icing detection and forecasting system using optical fiber sensors for use in road management in winter, Hitachi Cable Review, 21, 29-34.

- N. Perrier, A. Langevin, J. F. Campbell, 2006: A study of models and algorithms for winter road maintenance, Part 1. system design for spreading and plowing, *Computers & Operations Research* 33, 33, 209–238.
- R. Bergel-Hayat, M. Debbarh, C. Antoniou, G. Yannis, 2013: Explaining the road accident risk: weather effects, *Accident Analysis & Prevention*, 60, 456–465.
- Traffic Accident Analysis Center, 2008: Traffic Accident Analysis, Road Traffic Authority, 173–176.
- Y. Wu, M. Abdel-Aty, J. Y. Lee, 2018: Crash risk analysis during fog conditions using real-time traffic data, *Accident Analysis and Prevention*, 114, 4–11.

2. 수막발생예측모델 검증자료(주관연구기관: 한국외국어대학교)

포천 지방도 379호선 동영상 촬영 관측자료 기반 수막발생 위치 정보

1. 핸드폰 영상 기준

구분	사진	위치정보		방향	
		위도	경도	상행선	하행선
1		37.960248	127.123372	○	○
2		37.959922	127.123427	○	
3		37.959506	127.123470	○	
4		37.959245	127.123524		○
5		37.957813	127.123415	○	○

6		37.957092	127.123542	○	
7		37.955716	127.123633	○	○
8		37.954572	127.124741	○	
9		37.955066	127.126240	○	○
10		37.951598	127.126911	○	○
11		37.951661	127.126105	○	

12		37.951669	127.125915	○	
13		37.952053	127.123875	○	
14		37.952285	127.122892	○	○
15		37.951947	127.120918	○	○
16		37.951221	127.120708	○	○
17		37.949334	127.121320	○	○
18		37.948488	127.121261	○	

19		37.947719	127.122139		○
20		37.947735	127.122151	○	○
21		37.946282	127.126569		○
22		37.937694	127.137821	○	○

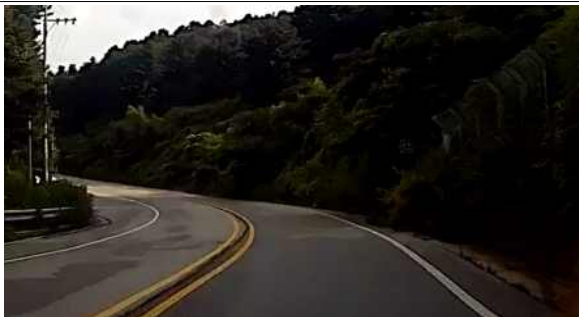
2. 블랙박스 영상 기준

구분	사진	위치정보		방향	
		위도	경도	상행선	하행선
1		37.960248	127.123372	○	○

2		37.96010	127.12340	○	
3		37.95842	127.12355		○
4		37.95847	127.12345		○
5		37.957398	127.123392	○	○
6		37.957074	127.123525	○	
7		37.955868	127.123621	○	○

8		37.954662	127.124902	○	○
9		37.955062	127.126183	○	○
10		37.951682	127.127136		○
11		37.951763	127.125317	○	
12		37.952005	127.123987	○	
13		37.952354	127.122316	○	○

14		37.951162	127.120702	○	○
15		37.949666	127.121365	○	○
16		37.949213	127.121353	○	
17		37.947693	127.122556	○	○
18		37.947693	127.122745	○	○
19		37.945778	127.126508		○

20		37.940619	127.235276		○
21		37.940123	127.136670		○
22		37.938185	127.137282	○	○
23		37.932136	127.139304	○	
24		37.930954	127.139101		○

3. 도로관련 전문가 대상 예보시스템 수요조사 보고서(공동연구기관: (주)평화엔지니어링)

노면결빙 인식 및 예보시스템에 대한 수요조사 설문결과

1) 개요

- 노면결빙예보시스템을 개발하기 위하여 도로관련 전문기관의 종사자를 대상으로 전문가 인터뷰를 진행을 통해 현재 기관에서의 결빙예보시스템의 운영 현황 및 결빙 시 도로관리 상황, 그리고 노면결빙예보시스템에 대한 수요조사를 진행함
- 인터뷰 결과는 현재 운영상황에 대한 현황과 시스템 요구사항으로 나누어 세부 인터뷰 내용을 정리하였음

2) 인터뷰 결과

○ 현재 운영상황

한국도로공사	- 결빙예보시스템 현황 · 기상청 자료를 사용하여 센서 기반의 모니터링 시스템을 개발 중이며, 기계학습을 적용한 모델로 통계적인 방법론을 통해 결빙을 예측하고 있음 · 현재 기상청과 협업하여 20km 지점마다 기상장비를 설치하였으며, 노면정보는 광학식과 접촉식 센서 둘 다 활용하여 모니터링하고 있음(도로공사는 현재 센서를 통해 정보를 받는 게 가장 정확하다고 판단하고 있음) · 하지만 센서 기반의 경우, 관측장비가 설치된 지역에서는 유리한 점이 있지만 장비설치 시 도로에 매립하거나 설치가 가능한 안전한 장소가 필요하기 때문에 신규장소 선정이 쉽지 않음 - 도로관리 및 매뉴얼 현황 · 도로공사에서는 제설작업은 결빙이 발생하기 전에 작업하는 것을 전제로 함 · 이러한 이유로 고속도로에서 결빙이 일어나는 것에 대한 모니터링은 어려움 · 현재 도로공사에서는 결빙확률에 따라 제설단계에 대한 매뉴얼이 있는 게 아니라 결빙이 예상되면 무조건 제설제를 예비 살포하는 것으로 설정하고 있음 · 제설작업 후 결빙 여부에 대한 확인과정은 없으며, 결빙이 발생하는 상황에 대해 사전에 민감하게 대응함 · 현재 도로공사의 제설제 살포 기준은 “대기온도 4도, 노면온도 2도 이하일 때”이지만, 기준에 대한 과학적인 근거자료는 없는 상황이며, 영상기반 자료를 토대로 결빙에 대한 판단을 하는 경우는 없음
국토관리청	- 결빙예보시스템 현황 · 예보시스템이 도입되어 있지 않음 - 도로관리 및 매뉴얼 현황 · 대기온도가 4℃ 혹은 2℃(기준이 명확하진 않음) 이하로 떨어질 때, 그리고 강수확률 60% 이상일 때, 습도가 80% 이상일 때 등의 조건들을 자체적으로 보유하고 있음 · 그러나 겨울철에는 대부분 습도가 80% 이상이고 온도가 4℃ 혹은 2℃ 이하로 안 떨어지는 경우가 없기때문에 기상청 예보를 참고하고 있으나, 기상청 예보는 전국단위의 정보로 실제 현장에 서는 맞지 않는 경우가 대다수이므로 겨울철에는 2~3일에 1번씩 근무를 할 수밖에 없는 상황임 · 결빙 가능성에 대한 대응은 앞서 말한 기준 이하로 떨어지면 근무 시 먼저 제설제 차량살포부터 하는 걸로 매뉴얼이 되어있으나 안 뿌려도 될 구간에 제설제를 살포하는 등의 문제점이 발생 · 제설제 살포와 관련한 또 다른 문제는 눈이 오지 않을 시에도 관리자 입장에서는 극히 적은 확률이라도 결빙이 예상되면 제설제를 살포하는 경우가 있음(도로의 전체구간을 관리하기 때문에 구간별 섬세한 관리가 어려움) · 염수의 경우 염수로 인한 결빙이 추가적으로 발생할 우려도 있어 염수 활용이 아닌 염화칼슘 분사 위주로 도로 작업을 진행하고 있고, 국토관리청의 경우 도로공사와는 다르게 작업자들에게 온도계를 지급하고 주기적으로 순찰을 통해 결빙 상태나 위험 구간에 대해 육안조사를 통해 확인을 진행하고 있음

○ 노면결빙예보시스템에 대한 요구사항

한국도로공사	· 현재 과제에서 개발하고자하는 시스템과 도로공사 내의 예보시스템이 비슷할 것으로 보임 · 두 시스템의 가장 큰 차이는 모델자료를 활용한 예측과 관측센서 기반 모니터링에 의한 예측으로 생각됨 · 예보시스템을 제작할 시 가장 필요한 부분은 신뢰도나 정확도로 제공정보에 대한 정확도를 입증할 수 있는 자료가 가장 필요함 · 신뢰도가 높은 정보를 제공하게 된다면 도로관리 시 제설 유무와 같은 의사결정 시 중요한 판단자료로 활용될 수 있을 것임 · 또한, 결빙예보가 가장 필요한 예보시간은 퇴근하기 전 17시에 예보를 해주는 것이 좋음 · 퇴근 전 예보를 통해 밤에 노면결빙이 예상되면 비상근무 및 그에 따른 인력배치와 같은 충분한 대응시간이 확보됨 · 또한 현재 시스템상에서 +1시간, +3시간, +24시간 예보를 할 경우, 도로관리자 입장에서는 체계적인 대응을 준비할 수 있음 · 현재 과제에서 진행하고 있는 4mx4m 해상도의 모델은 도로공사 기준에서 보았을 때 굉장히 디테일한 수준으로 판단됨
국토관리청	· 기상청 예보에 의해 근무가 정해지기 때문에 불확실성에 대한 문제점이 있음 · 시스템에서 결빙확률을 제시하고, 제설재 살포 유무와 비상근무 여부 등의 기준이 정립된다면 업무에 굉장히 크게 도움이 될 것 같음 ·交通安全 관련하여 국토부에서 주요 교량이나 터널 진입부에 IoT를 활용하여 계측기를 설치하여 노면온도를 측정하고 있는데 이를 시스템개발에 연동해도 될 것으로 보임 · 국도나 지방도로에서는 블랙아이스 발생 시 경험적으로 보았을 때 보통 200~500m 구간 정도 발생하기때문에 현재 개발 중인 4mx4m 해상도는 예보 규모로 충분하다고 판단됨

4. 노면결빙 인식 및 예보시스템 수요조사 보고서(공동연구기관: (주)평화엔지니어링)

노면결빙 인식 및 예보시스템에 대한 수요조사 설문결과

1) 개요

- 노면결빙예보시스템 개발 이전에 사용자 요구사항에 관한 설문지를 제작·배포하였으며, 노면결빙 및 관련 현황에 대한 일반인들의 인식을 확인하고자 설문조사를 진행함
- 설문 대상은 일반운전자 위주이며, 설문조사 표본 수는 50명 이상을 목표기준으로 진행하였음
- 전문가가 아닌 일반인을 대상으로 하는 설문조사이므로 설문문항에 난해한 질문은 삼가고, 문항수도 최소화하여 응답자의 설문참여도를 높일 수 있도록 하였음

2) 설문조사 진행 일정

- 설문조사 제작 : 2021년 9월
- 설문조사 배포 : 2021년 10월 10일 ~ 10월 30일
- 설문조사 분석 : 2021년 11월

3) 조사대상 및 방법

- 대상: 일반인 집단
- 방법: 서면조사와 인터넷 설문조사를 통한 방법으로 두 가지를 병행하였음
- 총 응답자 수는 당초 목표하였던 50명을 초과하는 87명이 응답하였음

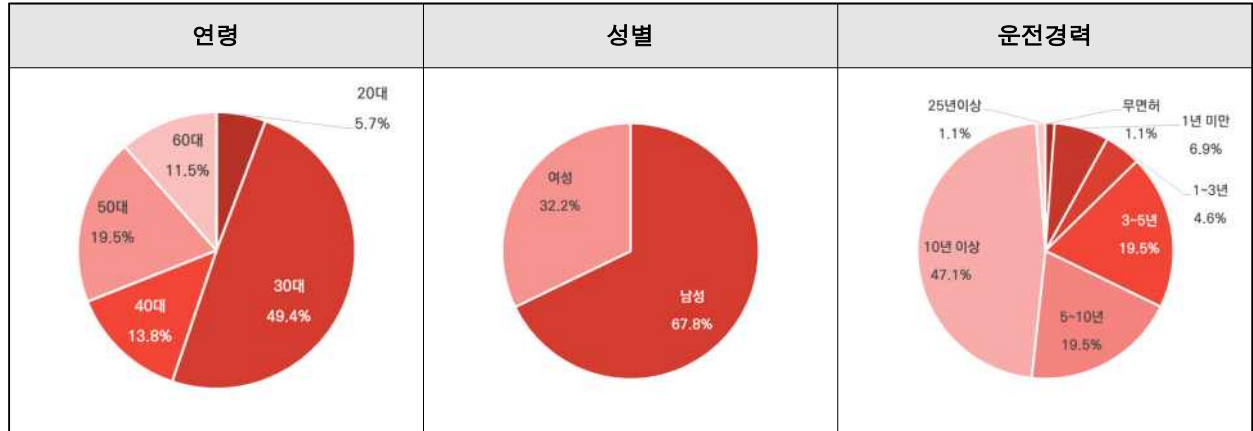
4) 주요내용

- 설문에 응답한 대상의 특징을 분석할 수 있는 인적사항을 설문지에 포함
- 도로결빙에 대한 인식, 도로기상 관련 정보 서비스, 노면결빙예보시스템 등과 관련하여 14개의 항목으로 설문지 구성

구분	설문문항	비고
인적사항	성별, 연령, 운전경력 등	
도로결빙에 대한 인식	1. 도로결빙의 인지도 2. 도로결빙의 경험 3. 도로결빙에 대한 감정	
도로기상 관련 정보 서비스	4. 도로기상 관련 정보 서비스의 경험 5. 도로기상 관련 정보 서비스의 활용 빈도 6. 도로기상 관련 정보 서비스의 획득 경로	
노면결빙예보시스템	7. 노면결빙예보시스템의 필요성 및 활용의사 8. 서비스의 선호 매체 9. 시스템의 요구사항	

5) 설문조사 결과

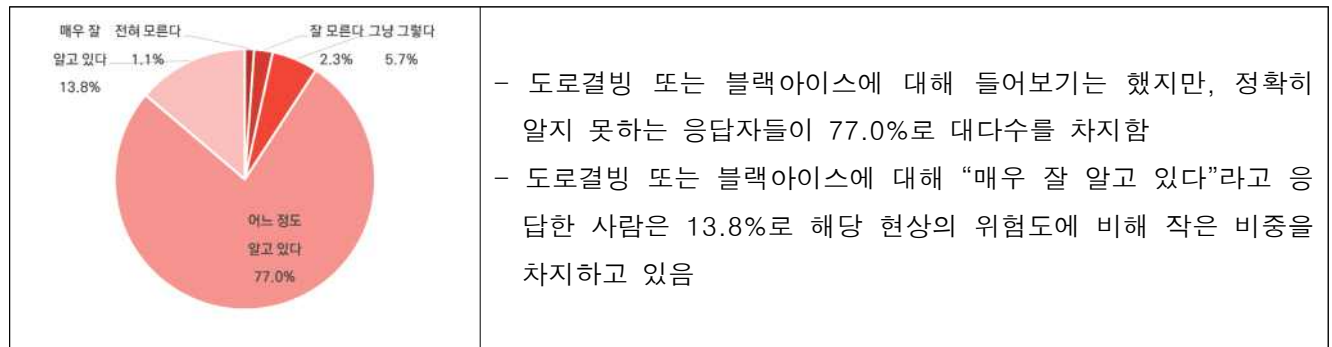
○ 인적사항



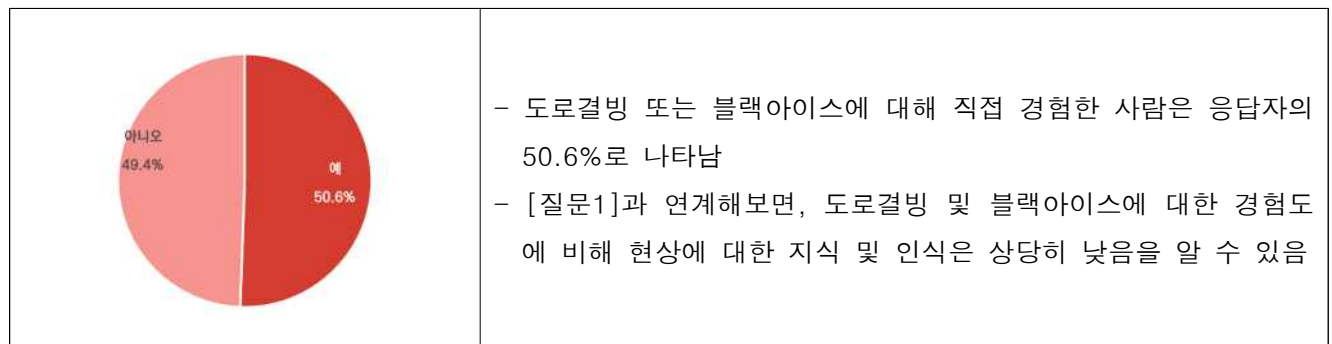
- 연령: 응답자의 절반에 달하는 49.4%가 30대를 차지하였고, 그 다음으로 50대 19.5%, 40대 13.8%, 60대 11.5%의 분포를 보였으며, 20대는 5.7%로 비교적 참여비중이 적게 나타남
- 성별: 응답자의 67.8%가 남성이었고, 나머지 32.2%가 여성으로 경찰청 통계에 따르면, 2020년 운전면허소지자 현황 비율이 남성 58.0%, 여성 42.0%로 약간의 차이는 존재함
- 운전경력: “10년 이상의 운전경력”이 47.1%로 응답자의 가장 많은 비율을 차지하였고, “3~5년”과 “5~10년”은 각각 19.5%로 그 뒤를 따랐으며, 운전경력이 비교적 적은 “3년 미만”은 12.6%를 차지하였음. 전체적으로 운전경력이 3년 이상인 응답자는 88.4%로 나타남

○ 도로결빙에 대한 인식

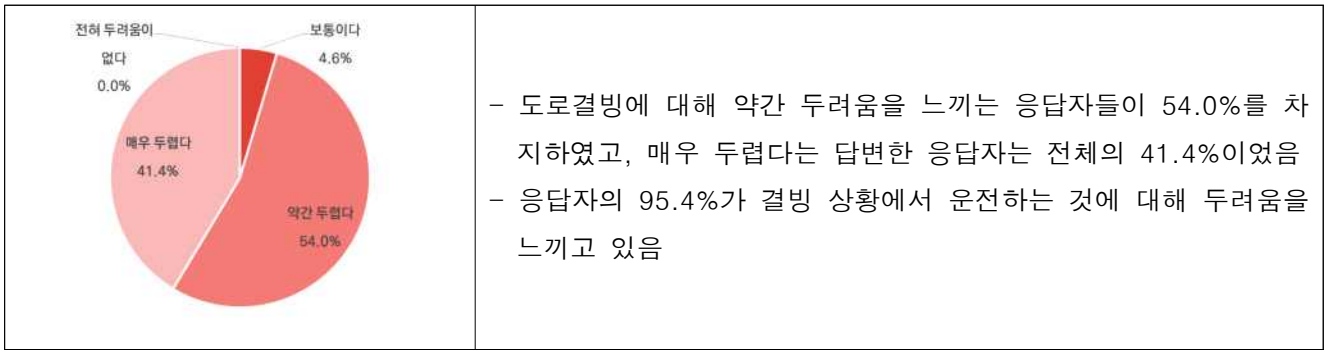
[질문1] 도로결빙 또는 블랙아이스에 대해서 알고 있습니까?



[질문2] 도로결빙 또는 블랙아이스에 대해 직접 경험하거나 보신 적이 있습니까?

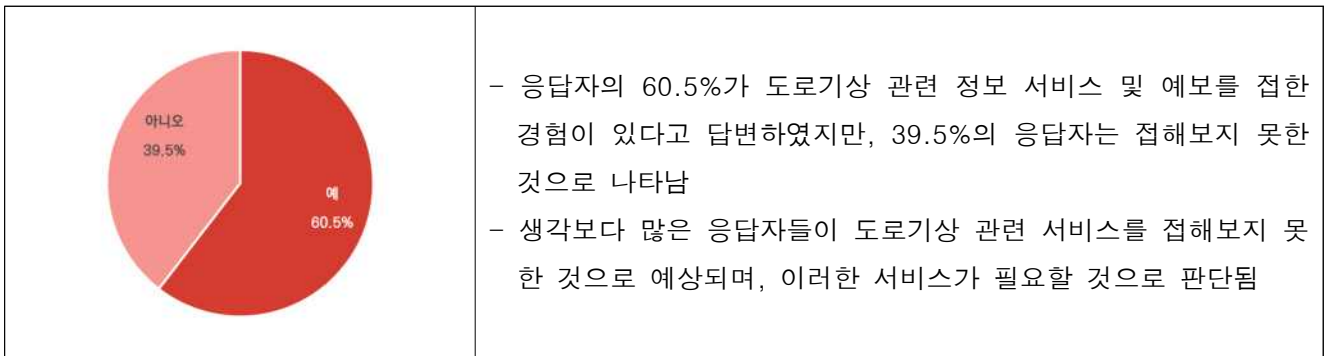


[질문3] 도로결빙 상황에서 운전하는 것에 대해 두려움이나 걱정, 무서움과 같은 감정을 느끼십니까?

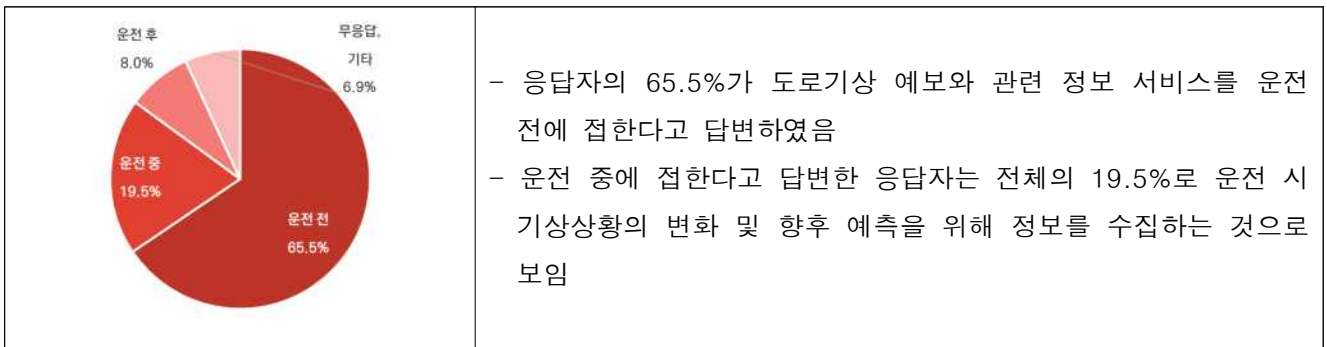


○ 도로기상 관련 정보 서비스

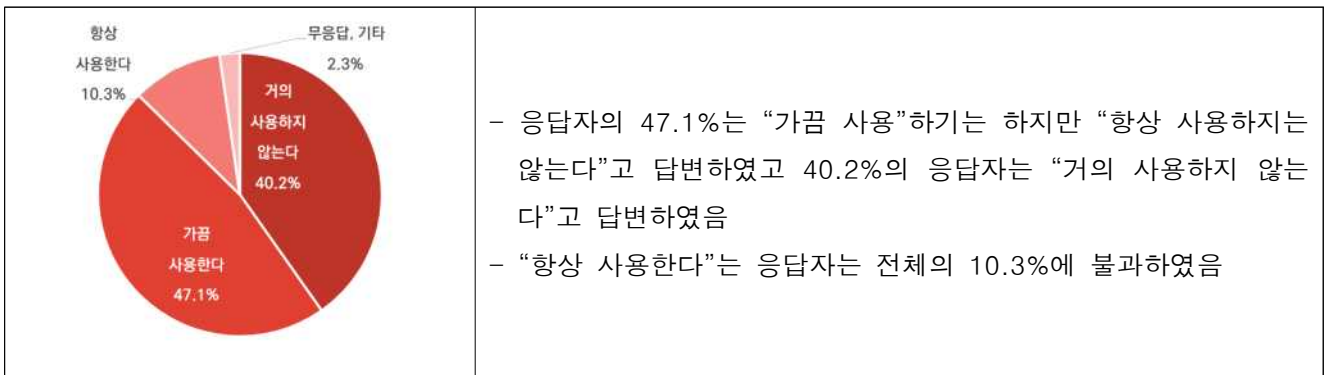
[질문4] 운전하면서 도로기상 관련 정보 서비스 및 예보를 접해보신 경험이 있습니까?



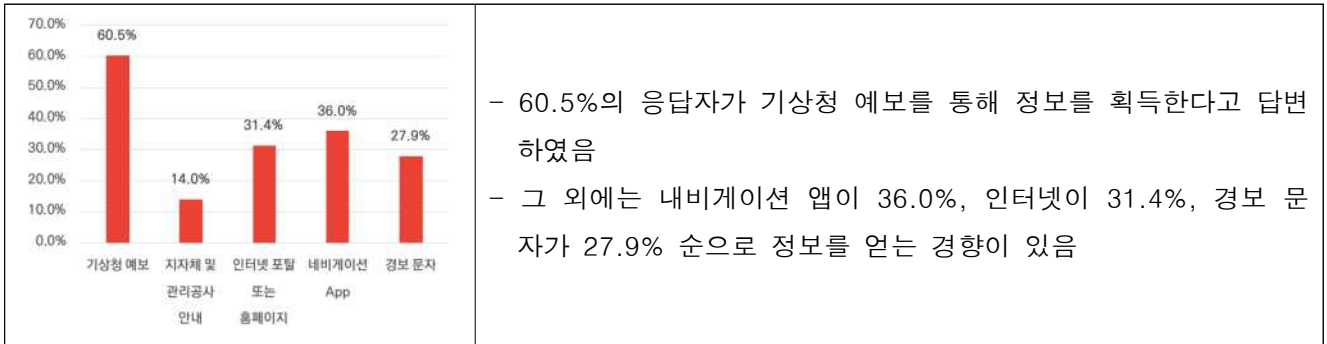
[질문5] 귀하는 도로기상 예보와 관련 정보 서비스를 주로 언제 접하십니까?



[질문6] 서비스를 사용하신다면, 얼마나 자주 사용하시나요?

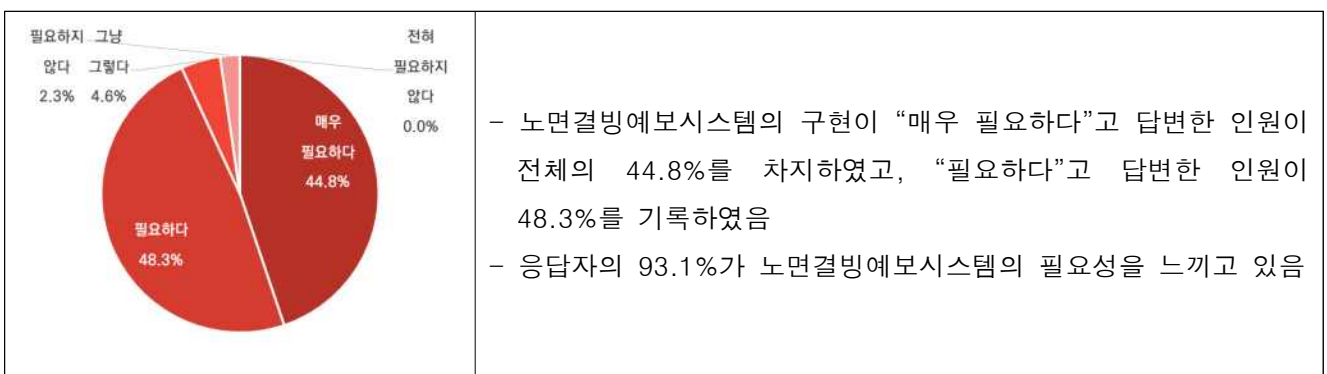


[질문7] 도로 주행 시 이러한 관련 예보시스템 정보에 대한 획득 방법은 어떤 방법입니까? (중복선택 가능)

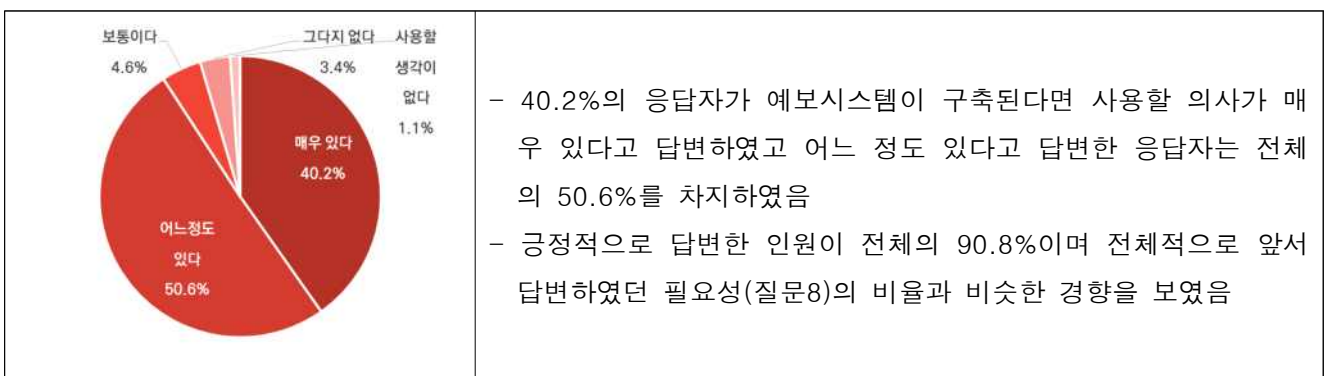


○ 노면결빙 예보 시스템

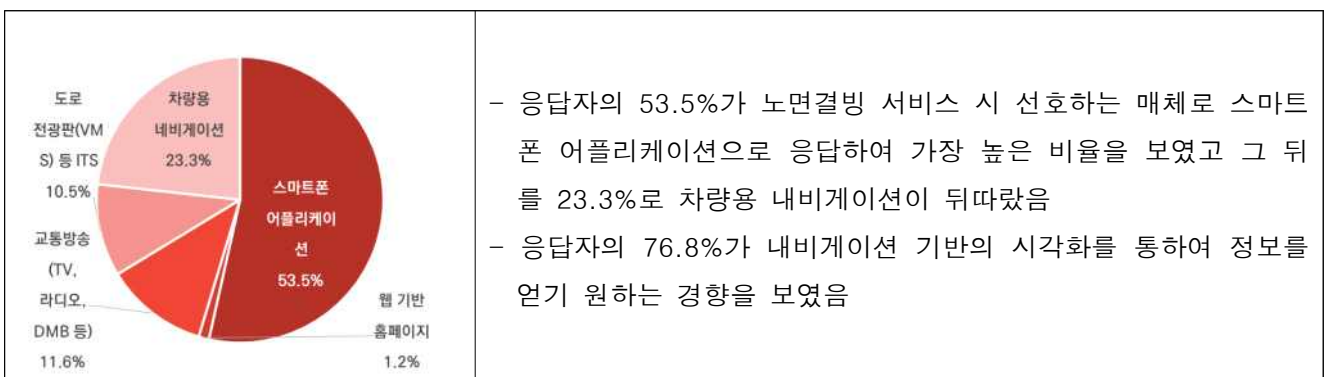
[질문8] 노면결빙(블랙아이스) 예보 시스템에 대해 구현할 필요성이 있다고 생각하십니까?



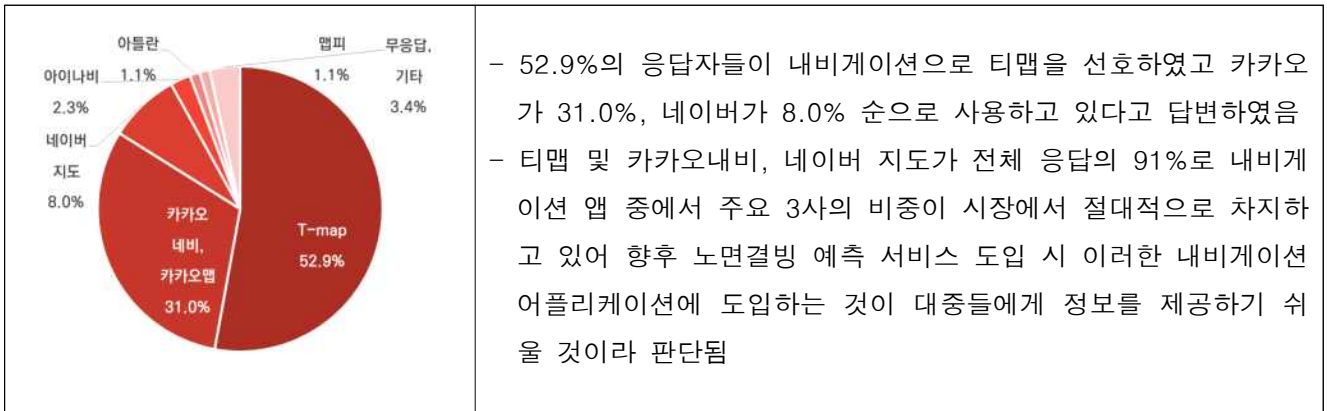
[질문9] 노면결빙(블랙아이스) 예보서비스가 구현된다면, 운전 시 이러한 서비스를 활용할 의사를 가지고 있습니까?



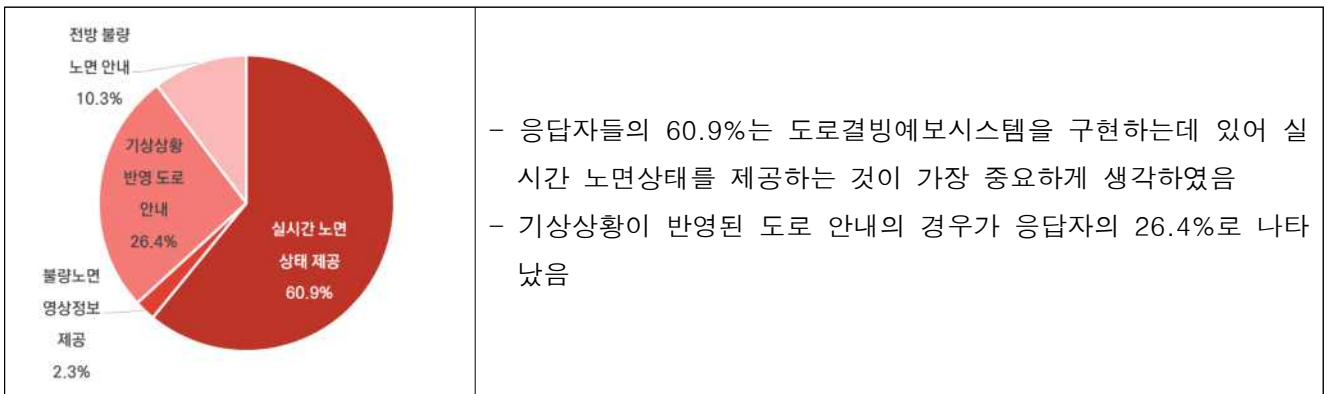
[질문10] 노면결빙 서비스 시 가장 선호하는 매체는 어떤 매체입니까?



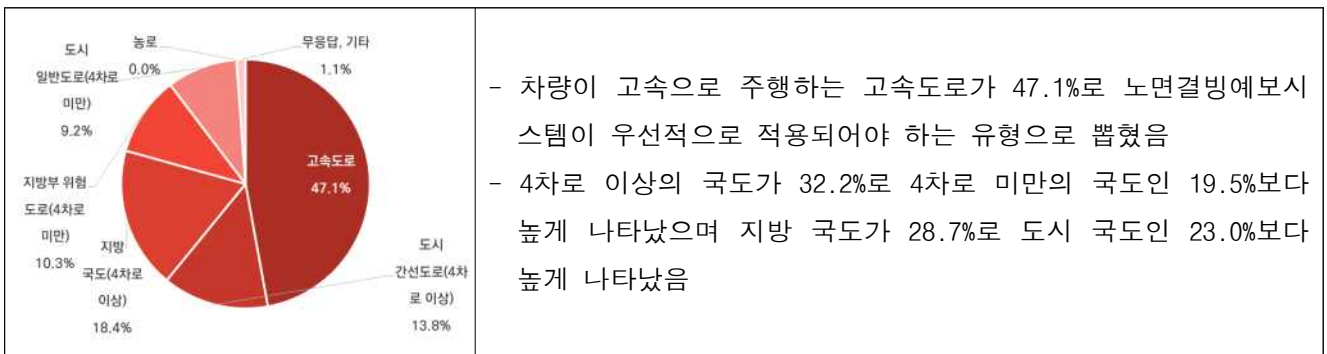
[질문11] 평소 활용하는 내비게이션 어플리케이션이 있습니까?



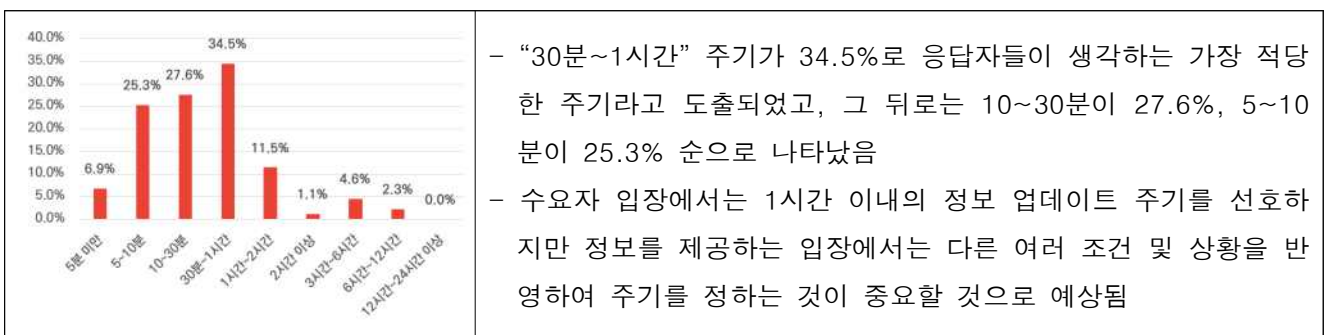
[질문12] 도로결빙 예보 시스템 개선 시 가장 구현이 시급할 것으로 예상되는 기능은?



[질문13] 노면결빙예보시스템 제작 시 우선적으로 적용되어야 하는 유형의 도로는?



[질문14] 노면 결빙 예보 시스템에 대한 정보 업데이트 주기는 어느 정도가 적당하다고 생각하십니까?
(중복선택 가능)



6) 설문조사 결론

- 도로결빙 또는 블랙 아이스에 대해 어렵פות이 알고 있지만 자세하게는 알지 못하는 사람이 대부분을 차지하고 있고 이는 도로결빙을 직접 경험한 사람과 그렇지 못한 사람의 비중이 각각 절반정도를 이루고 있는 것이 원인으로 생각됨
- 결빙 상황에서 운전하는 것에 대한 두려움이 있는 응답자는 전체의 95.4%를 차지하였고 노면결빙 예보 시스템에 대해 구현할 필요성이 있다고 대답한 사람이 전체의 93.1%로 절대다수의 사람들이 도로 결빙의 심각성을 이해하고 있음
- 운전 시 도로기상 관련 정보 서비스 및 예보를 접해보지 못했다는 답변이 전체의 39.5%를 차지하였고, 도로기상 예보 관련 서비스를 거의 이용하지 않는다는 답변이 40.2%로 상당수의 답변자가 서비스를 이용하지 않는 것으로 나타났고 사용자의 접근성이 중요한 요소인 것으로 생각됨
- 노면결빙 예보서비스가 구현된다면 서비스를 활용할 의사에 대한 긍정적인 답변이 전체의 90.8%로 구현의 필요성과 마찬가지로 활용의사가 있는 사람이 대다수를 차지하였으며 또한 응답자의 76.8%가 내비게이션을 기반으로 하여 운전 시 정보를 얻기 쉬운 방법을 선호하는 경향을 보였음
- 도로결빙 예보 시스템 개선 시 가장 시급하다고 생각하는 것은 실시간 노면 상태를 사용자에게 제공하는 것으로 나타났고 운전자는 겨울철 도로결빙의 여부와 위치가 중요하다고 생각하는 것을 알 수 있음
- 응답자들의 절반정도인 47.1%는 도로결빙 예보 시스템이 고속도로에 우선적으로 적용되어야 한다고 생각하였고, 이후로 도시국도보다는 지방국도를, 4차로 미만인 도로보다 4차로 이상인 도로를 우선으로 여겼음
- 예보 시스템에 대한 정보 업데이트 주기는 “30분~1시간 주기”라고 답한 응답자가 34.5%로 가장 많았고, 이후 “10~30분”, “5~10분”순으로 나타났으며, 또한 “1시간 이내”의 선호도를 하나라도 선택한 사람이 전체 응답자의 88.1%로 상당수를 차지하였지만 실제 정보 제공에 있어서는 다른 여러 조건 및 상황을 반영하여 주기를 결정하는 것이 중요할 것으로 예상됨

5. 노면결빙예보시스템 만족도 보고서(공동연구기관: (주)평화엔지니어링)

노면결빙예보시스템 만족도 설문결과

1) 개요

- 본 과제를 통해 개발한 노면결빙 예보시스템(<http://175.208.212.160/>)에 대한 만족도와 개선사항에 대해 조사를 하고자 설문조사를 진행함
- 집단은 전문가 집단을 위주로 서면조사를 진행하고, 인터넷 설문조사를 활용하여 일반인 집단을 포함
- 설문조사 표본수는 전문가 15명, 비전문가 5명을 예상하여 20명 이상을 목표로 진행하였음
- 설문결과에 대한 질을 높이기 위해 질문을 총 9문항으로 간소화시켜 구성하였으며, 만족도에 대한 솔직한 답변을 받고자 하였음

2) 설문조사 진행 일정

- 시스템 시연 및 설문조사 진행 : 2021년 12월
- 설문조사 분석 : 2022년 1월 진행

3) 조사대상 및 방법

- 대상: 관련 전문가 및 일반인 집단
- 방법: 서면조사와 인터넷 설문조사를 통한 방법으로 두 가지를 병행하였음
- 총 응답자 수는 당초 목표하였던 20명을 초과하는 26명이 응답하였음(전문가: 18명, 비전문가: 8명)

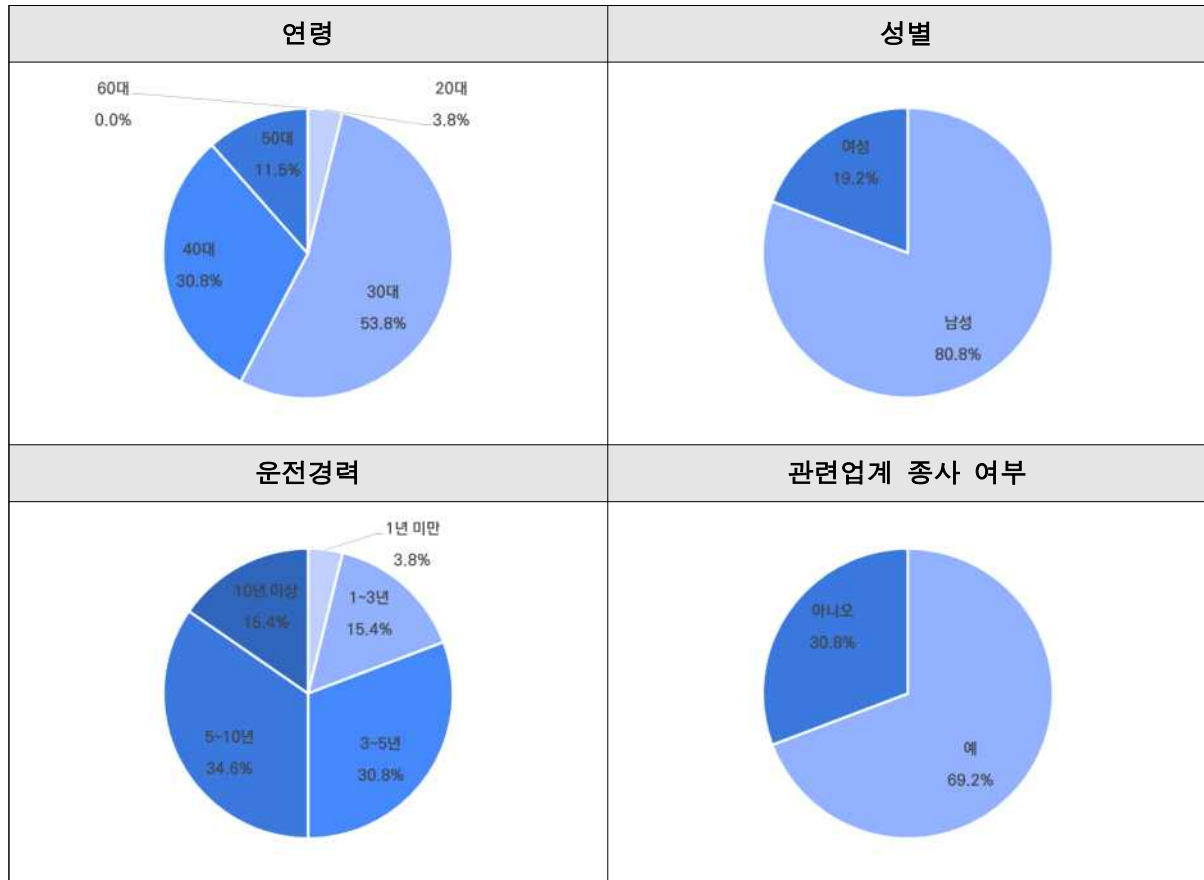
4) 주요내용

- 설문에 응답한 대상의 특징을 분석할 수 있는 인적사항을 설문지에 포함
- 시스템 품질, 정보, 사용 편의 세 부분에 대해 9개의 항목으로 설문지 구성

구분	설문문항	비고
인적사항	성별, 연령, 운전경력, 관련업계 종사 유무 등	
시스템 품질	1. 시스템 접근성 2. 시스템 구성의 용이성	
시스템 정보	3. 제공 정보의 유용성 4. 시스템의 효용성	
사용 편의	5. 시스템의 활용 가능성 및 만족도 6. 시스템 개선점	

5) 설문조사 결과

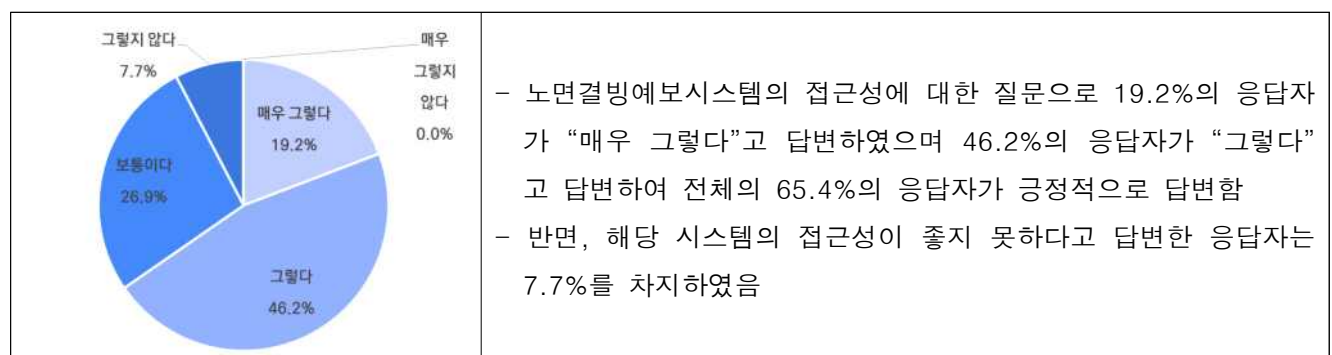
○ 인적사항



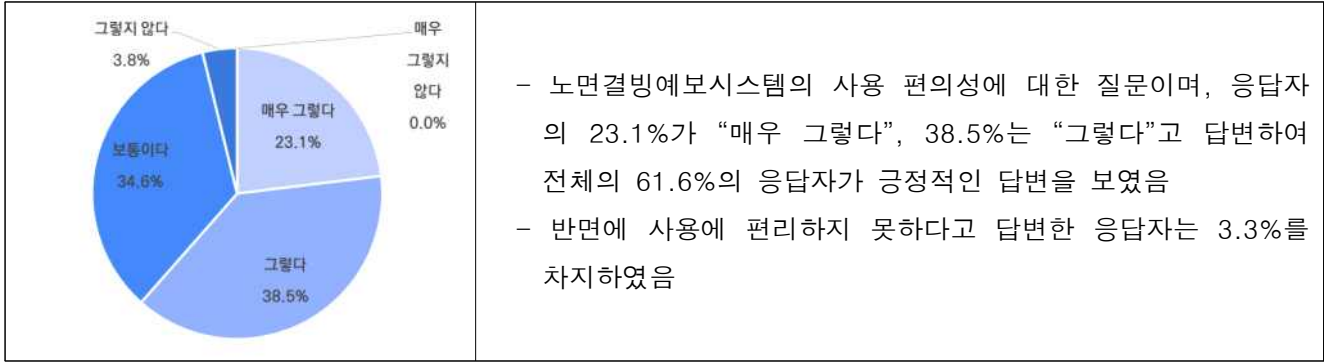
- 연령: 응답자의 절반 이상인 53.8%가 30대로 나타났으며, 40대가 30.8%로 두 번째로 높은 비중을 차지하였고, 50대, 20대는 상대적으로 적은 응답자 수를 보였음
- 성별: 설문 응답자의 80.8%가 남성이었고 여성의 비율은 19.2%를 차지하였음
- 운전경력: 34.6%가 5~10년의 운전경력을 가지고 있었으며, 3~5년 경력이 30.8%로 두 번째로 높은 비율을 차지하였고, 운전경력이 1~3년인 응답자와 10년 이상인 응답자의 비율이 15.4%로 동률을 이루었고, 1년 미만인 응답자가 3.8%로 가장 적은 비율을 차지하였음
- 관련업계 종사 유무: 응답자의 7할에 달하는 69.2%가 관련 업계 종사자라고 답변하였고, 나머지 30.8%의 응답자는 아니라고 답변하였음. 처음부터 설문지를 전문가 집단을 위주로 배포하였고 이에 맞는 분포를 보인 것으로 판단됨

○ 시스템 품질

[질문1] 사용자가 프로그램에 접근하기 쉽다고 생각하십니까?

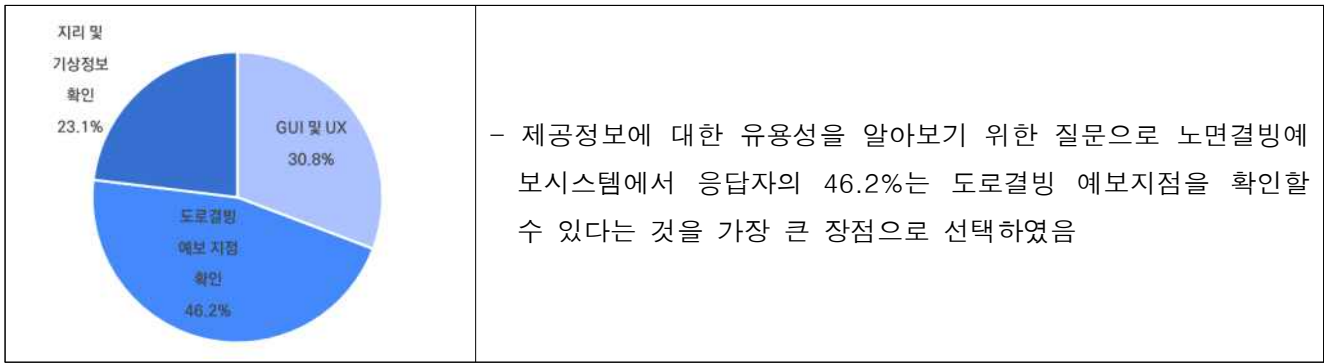


[질문2] 프로그램의 구성이나 사용하는 데 있어 편리합니까?

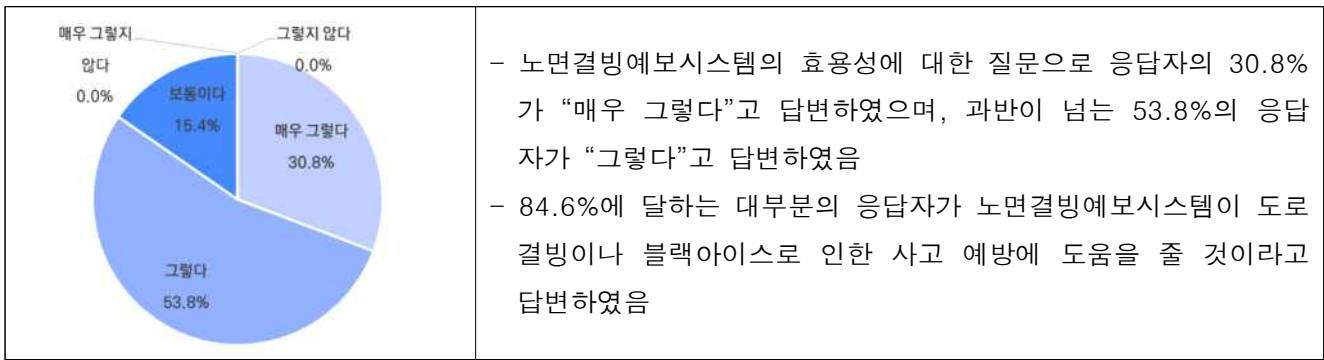


○ 시스템 정보

[질문3] 프로그램에서 어떤 점이 좋았습니까?

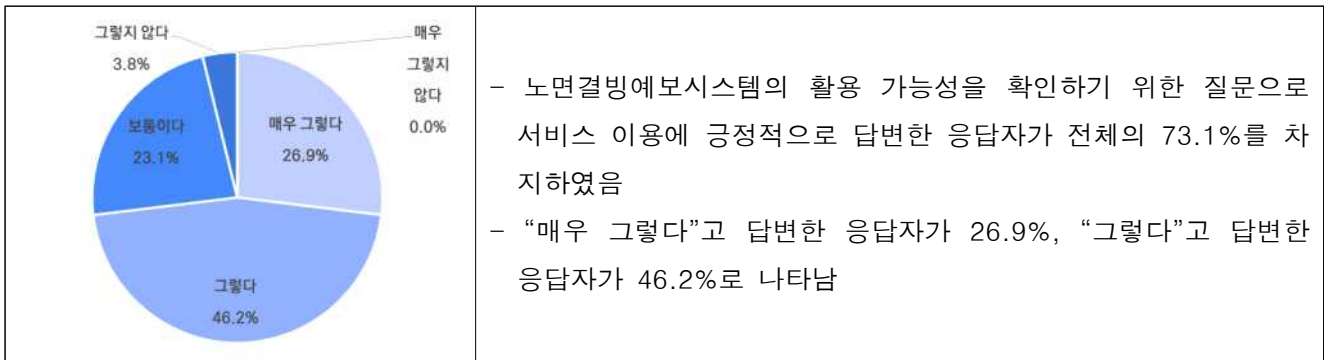


[질문4] 이 프로그램이 주행 시 도로결빙이나 블랙아이스로 인한 사고 예방에 도움이 된다고 생각하십니까?

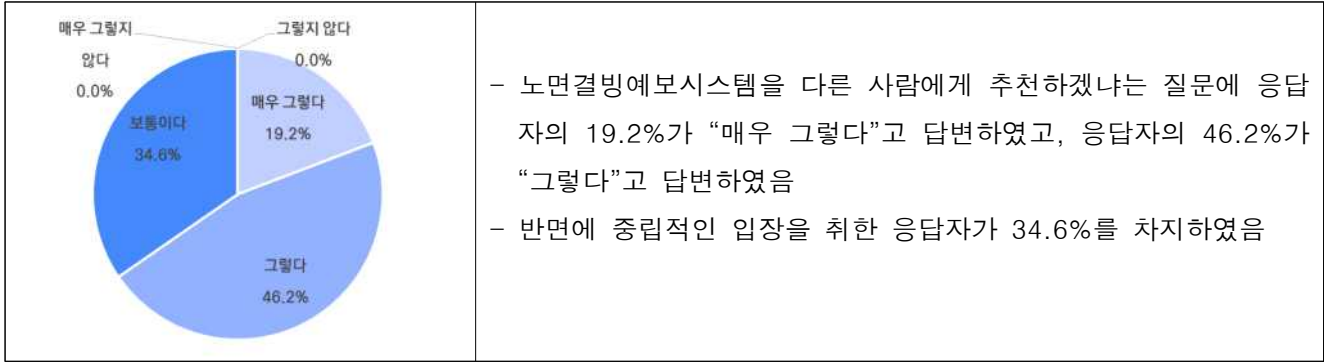


○ 사용 편의

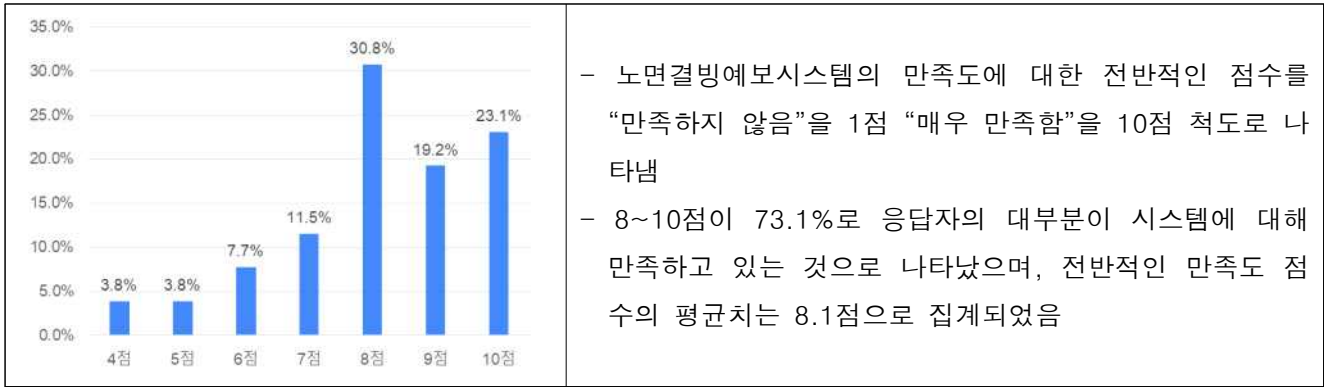
[질문5] 겨울철 차량 주행 전에 이 프로그램을 사용할 의향이 있으십니까?



[질문6] 기회가 된다면 이 프로그램을 지인에게 소개하시겠습니까?



[질문7] 프로그램의 전반적인 만족도는 어떻습니까? (1~10점)



○ 개선 사항

[질문8] 기능이 추가된다면 어떤 점이 추가되면 좋겠습니까? (복수 선택 가능)



[질문9] 프로그램에 개선해야 할 점이 있다면 서술해 주시기 바랍니다.

- 객관식 설문에서 드러나지 않은 문제점이나 그 외 개선사항에 대하여 서술형으로 답변을 받았음

의견	비고
• 서버의 반응속도 개선	현재 연구단계로 사설 서버를 사용하고 있어 일반적인 포털 사이트와 비슷한 속도를 요구하는 것은 무리가 있다고 판단되며, 향후 과제 결과에 대한 고도화 시 적극적으로 개선할 예정임
• 제공정보에 대한 표출 가시성 개선 -지도상에서 표기가 작게 되어 있는 일부 지점들이 가시성이 떨어진다는 의견 -지도상에 표출시의 조건 선택버튼의 위치 구성이 불편하다는 의견	해당 의견을 적극 수용하여 제작업체와 논의·협의 하에 UI 개선 작업을 진행하였음

6) 설문조사 결론

- 노면결빙 예보시스템의 현재 웹 기반 플랫폼의 접근성에 대하여 긍정적인 답변을 한 응답자들이 65.4%로 상당수를 차지하였으며, 반응형 웹사이트로 PC는 물론 모바일에서도 접속이 가능한 것이 큰 장점이 된 것으로 보임
- 노면결빙 예보시스템의 사용 편의성에 대하여 61.6%의 응답자가 긍정적인 답변을 보였고, 이는 접근성에 대한 답변과 비슷한 비율을 보임을 알 수 있음
- 응답자의 시선에서 시스템의 좋았던 점에 대해서는 도로결빙의 예보 지점을 확인할 수 있다는 것을 가장 큰 장점으로 본다는 것을 알 수 있었으며, 이는 도로결빙 예보가 운전자들에 있어서 굉장히 중요한 정보를 나타내는 결과이기도 함
- 이 시스템의 효용성에 대한 질문에서는 84.6%의 절대다수의 응답자들이 결빙에 의한 사고예방에 도움이 될 것이라고 답변하였고, 이를 통해 시스템이 의도대로 구현이 된다면 운전자들에게 큰 도움이 될 수 있을 것이라는 기대를 해볼 수 있음
- 겨울철 차량 주행 시 노면결빙 예보시스템을 사용할 의향의 여부에서는 73.1%의 답변자가 사용하겠다는 답변을 보여 많은 응답자들이 이러한 시스템의 필요성을 느끼고 있었음을 시사하는 결과라고 볼 수 있음
- 다른 사람에게 추천하겠냐는 질문에는 긍정적인 답변의 비율이 65.4%를 차지하였으며, 앞서 진행된 질문과 마찬가지로 긍정적인 답변의 비율이 60%이상을 차지하였음
- 노면결빙 예보시스템의 전반적인 만족도의 점수 평균은 8.1점으로 나타났으며, 대부분의 사용자가 만족하며 사용했다는 결과를 얻을 수 있음
- 추후 개선되면 좋은 점으로는 차량용이나 모바일 내비게이션과 직접 연동되어 주행 중에 안내를 받을 수 있도록 개선되면 좋겠다고 답변한 응답자가 가장 많았고, 이와 비슷한 의도로 공공지도의 웹사이트와의 연계가 두 번째로 많은 응답이었음

5. 총 연구개발기간 성과점검기준표 및 증빙자료

<성과점검 기준표>

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	
주관	1	노면온도-수막두께-도로기하구조를 연계한 도로분해능 해상도 노면온도에측 모델	1-1	결빙위험 대상지역의 수치모델 입력자료 실시간 수집모듈 개발	①	Open API를 이용한 실시간 자료수집 및 DB 구축	1일 단위/1일	시스템 구동	6	10.0				
					②	도로분해능 해상도의 GIS자료 구축	주제도 3건 이상/4건	시스템 구동						
			1-2	도로분해능 태양복사모델(SOLWEIG) 복사플렉스 산출체계 구축	①	대상지역별 천개지수(sky view factor) 산출	1~10m 해상도/4m	시스템 구동	9	15.0				
					②	대상지역별 그림자정보 산출	1시간 단위/1시간	시스템 구동						
					③	대상지역별 장파 단파 복사플렉스 산출	1시간 단위/1시간	시스템 구동						
			1-3	열수지기반 노면온도에측모델의 노면온도 산출체계 구축	①	교통자료 입력모듈 구축	1건/1건	시스템 구동	11	25.0				
					②	열수지 물리변수 산출	3종 이상/7종	시스템 구동						
					③	대상지역별 도로단위 노면온도 예측정보 산출	1시간 단위/1시간	시스템 구동						
			1-4	태양복사모델과 노면온도에측모델 커플링기술 개발	①	복사플렉스자료 연계 입력모듈 구축	1건/1건	시스템 구동	15	35.0	특허 : 출원 1/1 건 등록 1/1 건 논문 : 1/1 건 시제품 : 1 건 S/W : 0/2 건	1 건 1 건 1 건 2 건	1 건 1 건 1 건 1 건	• 특허출원 : 불임1 • 특허등록 : 불임2 • 논문 : 불임3 • S/W : 불임4, 5
					②	격자 및 포인트 상호 형식변환 모듈 구축	1건/2건	시스템 구동						
			1-5	도로 수막정보예측모델 구축과 수막두께정보 산출	①	대상지역별 강우분포장 산출	1시간 단위/1시간	시스템 구동	9	15.0	특허 : 출원 1 건 등록 1 건 논문 : 0/1 건 시제품 : 1 건 S/W : 1 건	1 건 1 건 1 건 1 건	1 건 1 건 1 건 1 건	• 논문 : 불임6
					②	대상지역별 도로기하구조 수치공간화	1지역 이상/1지역	시스템 구동						
					③	강우 사례일 수막두께정보 산출	1시간 단위/1시간	시스템 구동						
			1-6	노면온도 및 수막두께 예측모델 체계 검증	①	지상관측자료를 활용한 복사플렉스 모의결과 검증	검증지수 2개 이상/4개	결과보고서	25	45.0	특허 : 출원 1 건 등록 1 건 논문 : 1/0 건 시제품 : 1 건 S/W : 1 건	1 건 1 건 1 건 1 건	1 건 0 건 1 건 1 건	
					②	위성관측자료를 활용한 노면온도 모의결과 검증	검증지수 2개 이상/3개	결과보고서						
					③	강우자료의 다각화 및 시나리오에 따른 민감도 분석	민감도 실험 2건 이상/8건	결과보고서						
			1-7	노면온도에측모델 연계체계 개선과 실시간 운영체계 구축	①	실시간 입력-모의-출력 연계체계 모듈 구축	1건/2건	시스템 구동	25	45.0				
					②	노면온도 및 노면결빙예보 시스템 연계체계 구축	1건/1건	시스템 구동						
					③	예측시간 단위별 실시간 자료 산출	산출률 80%이상/100%	결과보고서						

공동	2	잠재적 도로결빙조건을 고려한 도로결빙 시공간 예보 시스템 해상도 노면온도에측 모델	2-1	도로 노면결빙 영향인자 분석 및 예측 알고리즘 개발	①	도로 노면결빙 기상지형·기하구조 조건별 영향인자 검토	1건/1건	결과 보고서	25	한국외 국어대 학교	50.0	특허 : 출원 <u> </u> 건 등록 <u> </u> 건 논문 : <u> </u> 1/1 <u> </u> 건 시제품 : <u> </u> 건 S/W : <u> </u> 건	<u> </u> 건 <u> </u> 건 <u> </u> 1 건	<u> </u> 건 <u> </u> 건 <u> </u> 건	• 논문 : 불임7	
					②	영향인자별 노면결빙 판단기준 정립	1건/1건	결과 보고서								
					③	노면결빙 예측 알고리즘 개발 및 영향인자별 적용모델 연계방안 도출	1건/1건	결과 보고서								
			2-2	노면결빙 예측모형 검증을 위한 테스트베드 구간 선정 및 측정장비 구축	①	노면결빙 영향인자를 고려한 테스트베드 후보구간 선정	1건/1건	결과 보고서	15		53.0					
					②	현장 기상자료(기온, 노면온도, 풍속, 노면상태 등) 실측을 위한 장비 구축	2건/2건	장비구축계획서 모니터링결과								
					③	겨울철 테스트베드 구간 기상정보 및 노면상태 측정	2건/2건	모니터링 결과								
			2-3	도로 노면결빙 예보 시스템 자동화 설계	①	입력자료 구축 및 시스템 자동화 설계	자동화 80%/80%	시스템 설계도서	10		10.4	90.0	특허 : 출원 <u> </u> 건 등록 <u> </u> 건 논문 : <u> </u> 1/1 <u> </u> 건 시제품 : <u> </u> 건 S/W : <u> </u> 건	<u> </u> 건 <u> </u> 건 <u> </u> 1 건	<u> </u> 건 <u> </u> 건 <u> </u> 건	• 논문 : 불임8
			2-4	도로 노면결빙 예보 시스템 설계	①	노면결빙 예보 시스템 사용자 요구사항 분석	만족도 80%이상/81%	사용자 만족도 조사	30							
					②	예보시스템 연산 효율성 향상을 위한 단계별 해석 방안 정립	1건/1건	결과 보고서								
					③	노면결빙 예보 시스템 서비스 시나리오 정립	1건/1건	결과 보고서								
			2-5	도로 노면결빙 예보 시스템 개발	①	노면결빙 예보 시스템 기능설계 및 GUI 설계	1건/1건	시스템 구동 여부	20		80.0	특허 : 출원 0/1 <u> </u> 건 등록 <u> </u> 건 논문 : <u> </u> 건 시제품 : <u> </u> 건 S/W : <u> </u> 0/1 <u> </u> 건	<u> </u> 1 건 <u> </u> 건 <u> </u> 건 <u> </u> 1 건	<u> </u> 건 <u> </u> 건 <u> </u> 건 <u> </u> 건	• 특허출원 : 불임9 • SW : 불임10	
					②	노면결빙 영향인자별 입력모듈 구축	1건/1건	시스템 구동 여부								
					③	노면결빙 예측모형 핵심모듈 구축	1건/1건	시스템 구동 여부								
					④	노면결빙 예보 시스템 서비스별 표출 모듈 구축	1건/1건	시스템 구동 여부								
계												특허 : 출원 1/2 <u> </u> 건 등록 1/1 <u> </u> 건 논문 : <u> </u> 4/4 <u> </u> 건 시제품 : <u> </u> 건 S/W : <u> </u> 0/3 <u> </u> 건	<u> </u> 2 건 <u> </u> 1 건 <u> </u> 4 건 <u> </u> 건 <u> </u> 3 건	<u> </u> 건 <u> </u> 건 <u> </u> 건 <u> </u> 건 <u> </u> 건		

1차년도

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
주관	1	노면온도-수막두께-도로기하구조를 연계한 도로분해능 해상도 노면온도에측 모델	1-1	결빙위험 대상지역의 수치모델 입력자료 실시간 수집모듈 개발	①	Open API를 이용한 실시간 자료수집 및 DB 구축	1일 단위/1일	시스템 구동	6	10.0				
					②	도로분해능 해상도의 GIS자료 구축	주제도 3건 이상/4건	시스템 구동						
			1-2	도로분해능 태양복사모델(SOLWEG) 복사플럭스 산출체계 구축	①	대상지역별 천개지수(sky view factor) 산출	1~10m 해상도/4m	시스템 구동	9	15.0				
					②	대상지역별 그림자정보 산출	1시간 단위/1시간	시스템 구동						
					③	대상지역별 장파단파 복사플럭스 산출	1시간 단위/1시간	시스템 구동						
			1-3	열수지기반 노면온도에측모델의 노면온도 산출체계 구축	①	교통자료 입력모듈 구축	1건/1건	시스템 구동	11	25.0				
					②	열수지 물리변수 산출	3종 이상/7종	시스템 구동						
					③	대상지역별 도로단위 노면온도 예측정보 산출	1시간 단위/1시간	시스템 구동						
			1-4	태양복사모델과 노면온도에측모델 커플링기술 개발	①	복사플럭스자료 연계 입력모듈 구축	1건/1건	시스템 구동	15	35.0	특허 : 출원 1/1 건 등록 _____ 건 논문 : 1/1 건 시제품 : _____ 건 S/W : 0/1건	1 건 _____ 건 1 건 _____ 건 1 건	_____ 건 _____ 건 _____ 건	• 특허출원 : 불임1 • 논문 : 불임3 • SW : 불임4
					②	격자 및 포인트 상호 형식변환 모듈 구축	1건/2건	시스템 구동						
			1-5	도로 수막정보예측모델 구축과 수막두께정보 산출	①	대상지역별 강우분포장 산출	1시간 단위/1시간	시스템 구동	9	15.0	특허 : 출원 _____ 건 등록 _____ 건 논문 : 0/1 건 시제품 : _____ 건 S/W : _____ 건	_____ 건 _____ 건 1 건 _____ 건 _____ 건	_____ 건 _____ 건 _____ 건	• 논문 : 불임6
					②	대상지역별 도로기하구조 수치공간화	1지역 이상/1지역	시스템 구동						
					③	강우 사례일 수막두께정보 산출	1시간 단위/1시간	시스템 구동						
공동	2	잠재적 도로결빙조건을 고려한 도로결빙 시공간 예보 시스템 해상도 노면온도에측 모델	2-1	도로 노면결빙 영향인자 분석 및 예측 알고리즘 개발	①	도로 노면결빙 기상지형·기하구조 조건별 영향인자 검토	1건/1건	결과 보고서	25	50.0	특허 : 출원 _____ 건 등록 _____ 건 논문 : 1/1 건 시제품 : _____ 건 S/W : _____ 건	_____ 건 _____ 건 1 건 _____ 건 _____ 건	_____ 건 _____ 건 _____ 건	• 논문 : 불임7
					②	영향인자별 노면결빙 판단기준 정립	1건/1건	결과 보고서						
					③	노면결빙 예측 알고리즘 개발 및 영향인자별 적용모델 연계방안 도출	1건/1건	결과 보고서						
			2-2	노면결빙 예측모형 검증을 위한 테스트베드 구간 선정 및 측정장비 구축	①	노면결빙 영향인자를 고려한 테스트베드 후보구간 선정	1건/1건	결과 보고서	15	53.0				
					②	현장 기상자료(기온, 노면온도, 풍속, 노면상태 등) 실측을 위한 장비 구축	2건/2건	장비구축계획서 모니터링결과						
					③	겨울철 테스트베드 구간 기상정보 및 노면상태 측정	2건/2건	모니터링 결과						
			2-3	도로 노면결빙 예보 시스템 자동화 설계	①	입력자료 구축 및 시스템 자동화 설계	자동화 80%/80%	시스템 설계도서	10	10.4				

계								특허 : 출원 1/1 건 등록 : 건 논문 : 2/3 건 시제품 : 건 S/W : 0/1 건	1 건 1 건 3 건 1 건 1 건	1 건 1 건 1 건 1 건 1 건	
---	--	--	--	--	--	--	--	---	---------------------------------	---------------------------------	--

2차년도

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		
주관	1	노면온도-수막두께-도로기하구조를 연계한 도로분해능 해상도 노면온도에측 모델	1-6	노면온도 및 수막두께 예측모델 체계 검증	①	지상관측자료를 활용한 복사플럭스 모의결과 검증	검증지수 2개 이상/4개	결과보고서	25	한국외국어대 학교	45.0	특허 : 출원 <u> </u> 건 등록 <u>1/1</u> 건 논문 : <u>1/0</u> 건 시제품 : <u> </u> 건 S/W : <u>0/1</u> 건	<u> </u> 건 <u>1</u> 건 <u> </u> 건 <u> </u> 건 <u>1</u> 건	<u> </u> 건 <u> </u> 건 <u>0</u> 건 <u> </u> 건 <u> </u> 건	• 특허등록 : 불임2 • S/W : 불임5		
					②	위성관측자료를 활용한 노면온도 모의결과 검증	검증지수 2개 이상/3개	결과보고서									
					③	강우자료의 다각화 및 시나리오에 따른 민감도 분석	민감도 실험 2건 이상/8건	결과보고서									
		1-7	노면온도에측모델 연계체계 개선과 실시간 운영체계 구축	①	실시간 입력-모의-출력 연계체계 모듈 구축	1건/2건	시스템 구동	25	45.0								
				②	노면온도 및 노면결빙예보 시스템 연계체계 구축	1건/1건	시스템 구동										
				③	예측시간 단위별 실시간 자료 산출	산출률 80%이상/100%	결과보고서										
공동	2	잠재적 도로결빙조건을 고려한 도로결빙 시공간 예보 시스템 해상도 노면온도에측 모델	2-4	도로 노면결빙 예보 시스템 설계	①	노면결빙 예보 시스템 사용자 요구사항 분석	만족도 80%이상/81%	사용자 만족도 조사	30	한국외국어대 학교	90.0	특허 : 출원 <u> </u> 건 등록 <u> </u> 건 논문 : <u>1/1</u> 건 시제품 : <u> </u> 건 S/W : <u> </u> 건	<u> </u> 건 <u> </u> 건 <u>1</u> 건 <u> </u> 건 <u> </u> 건	<u> </u> 건 <u> </u> 건 <u> </u> 건 <u> </u> 건 <u> </u> 건	• 논문 : 불임8		
					②	예보시스템 연산 효율성 향상을 위한 단계별 해석 방안 정립	1건/1건	결과 보고서									
					③	노면결빙 예보 시스템 서비스 시나리오 정립	1건/1건	결과 보고서									
		2-5	도로 노면결빙 예보 시스템 개발	①	노면결빙 예보 시스템 기능설계 및 GUI 설계	1건/1건	시스템 구동 여부	20	80.0	특허 : 출원 <u>0/1</u> 건 등록 <u> </u> 건 논문 : <u> </u> 건 시제품 : <u> </u> 건 S/W : <u>0/1</u> 건	<u>1</u> 건 <u> </u> 건 <u> </u> 건 <u> </u> 건 <u>1</u> 건	<u> </u> 건 <u> </u> 건 <u> </u> 건 <u> </u> 건 <u> </u> 건	• 특허출원 : 불임9 • S/W : 불임10				
				②	노면결빙 영향인자별 입력모듈 구축	1건/1건	시스템 구동 여부										
				③	노면결빙 예측모형 핵심모듈 구축	1건/1건	시스템 구동 여부										
				④	노면결빙 예보 시스템 서비스별 표출 모듈 구축	1건/1건	시스템 구동 여부										
		계												특허 : 출원 <u>0/1</u> 건 등록 <u>1/1</u> 건 논문 : <u>2/1</u> 건 시제품 : <u> </u> 건 S/W : <u>0/2</u> 건	<u>1</u> 건 <u>1</u> 건 <u>1</u> 건 <u> </u> 건 <u>2</u> 건	<u> </u> 건 <u> </u> 건 <u> </u> 건 <u> </u> 건 <u> </u> 건	

1특허 출원 및 등록

사업명	국토교통기술 촉진연구 사업	구분	출원	출원일자	2020.10.30
과제명 (성과 발생기관)	도로분해능 해상도의 태양복사-노면온도-수막두께정보를 연계한 도로결빙 시공간 예보시스템 개발 (한국외국어대학교)				
특허명	도로시설물에 따른 결빙 음영지역 산출방법 및 장치				
증빙자료					
특허출원서			과제정보 입력 부분		
관인생략 출원번호통지서 출원일자 2020.10.30 특기사항 심사청구(유) 공개신청(무) 참조번호(P20E590) 출원번호 10-2020-0143408 (접수번호 1-1-2020-1159774-00) (DAS접근코드134E) 출원인명칭 한국외국어대학교 연구산학협력단(J-2005-004898-3) 대리인성명 이은철(J-2003-000140-0) 발명자성명 권학기 이재연 이근희 발명의명칭 도로 시설물에 따른 결빙 음영지역 산출방법 및 장치 특허청장 << 안내 >> 1. 귀하의 출원은 위와 같이 정상적으로 접수되었으며, 이후의 심사 진행상황은 출원번호를 통해 확인하실 수 있습니다. 2. 출원에 따른 수수료는 접수일로부터 다음날까지 통용된 납입영수증에 성명, 납부자번호 등을 기재하여 가까운 우체국 또는 은행에 납부하여야 합니다. ※ 납부자번호 : 0131(기관코드) - 접수번호 3. 귀하의 주소, 연락처 등의 변경사항이 있을 경우, 즉시 (특허고객번호 정보변경(경장), 정정신고서)를 제출하여야 출원 이후의 각종 통지서를 정상적으로 받을 수 있습니다. ※ 특허로(patent.go.kr) 접속 > 민원서비스다오로도 > 특허법 시행규칙 별지 제5호 사식 4. 특허(실용신안등록)출원은 명세서 또는 도면의 보정이 필요한 경우, 등록결정 이전 또는 의결서 제출기간 이내에 출원서에 최초로 첨부된 명세서 또는 도면에 기재된 사항의 범위 안에서 보정할 수 있습니다. 5. 외국으로 출원하고자 하는 경우 PCT 제도(특허 실용신안)나 마드리드 제도(상표)를 이용할 수 있습니다. 국내출원일을 외국에서 인정받고자 하는 경우에는 국내출원일로부터 일정한 기간 내에 외국에 출원하여야 우선권을 인정받을 수 있습니다. ※ 제도 안내 : http://www.kipog.go.kr-특허마당-PCT/마드리드 ※ 우선권 인정기간 : 특허 출원일(연)은 12개월, 상표 디자인은 6개월 이내 ※ 미국특허상표청의 신원원을 기조로 우리나라에 우선권주장출원 시, 출원인이 미공개상태이면, 우선일로부터 16개월 이내에 미국특허상표청에 (전자특허공개비서(PTOESB)를 제출하거나 우리나라에 우선권 증명서류를 제출하여야 합니다. 6. 본 출원사실을 임의에 표시하고자 하는 경우에는 아래와 같이 하여야 하며, 이를 위반할 경우 관련법령에 따라 처벌을 받을 수 있습니다. ※ 특허출원 10-2010-0000000, 상표등록출원 40-2010-0000000 7. 출원인이 직무수행과정에서 개발한 발명을 사용자(기업)가 명확하게 승계하지 않은 경우, 특허법 제62조에 따라 심사단계에서 특허거절결정되거나, 특허법 제133조에 따라 등록이후에 특허무효사유가 될 수 있습니다. 증거타당 심사 절차에 관한 사항은 통보된 안내서를 참조하시기 바랍니다.			【성명의 국문표기】 이재연 【성명의 영문표기】 Yi Chaeyeon 【주민등록번호】 ; 【우편번호】 17035 【주소】 경기도 용인시 처인구 모현읍 외대로 81 한국외국어대학교글로벌캠퍼스 【발명자】 【성명의 국문표기】 이근희 【성명의 영문표기】 Lee Geunhee 【주민등록번호】 【우편번호】 17035 【주소】 경기도 용인시 처인구 모현읍 외대로 81 한국외국어대학교글로벌캠퍼스 【출원언어】 국어 【심사청구】 청구 【이 발명을 지원한 국가연구개발사업】 【과제고유번호】 1615011608 【과제번호】 157871 【부처명】 국토교통부 【과제관리(전문)기관명】 국토교통과학기술진흥원 【연구사업명】 국토교통기술혁신연구(R&D) 【연구과제명】 도로분해능 해상도의 태양복사-노면온도-수막두께 정보를 연계한 도로결빙 시공간 예보시스템 개발 【기여율】 1/1 【과제수행기관명】 한국외국어대학교 연구산학협력단 【연구기간】 2020.04.13 - 2020.12.31 위와 같이 특허청장에게 제출합니다. 대리인 이은철 (서명 또는 인) 3-2		

2특허 출원 및 등록

사업명	국토교통기술 촉진연구 사업	구분	등록결정	등록일자	2022.01.24. 받음
과제명 (성과 발생기관)	도로분해능 해상도의 태양복사-노면온도-수막두께정보를 연계한 도로결빙 시공간 예보시스템 개발 (한국외국어대학교)				
특허명	도로시설물에 따른 음영지역 산출장치				
증빙자료					
특허출원서			과제정보 입력 부분		
발송번호: 9-5-2022-006479882 발송일자: 2022.01.24. 수신 서울특별시 송파구 법원로11길 7(문정동, 현대자식산업센터1-2) C동 3층, 335호(이북특허법률사무소) 이재택 귀하(귀종) 05838 특 허 청 특허결정서 출 원 인 성 명 한국외국어대학교 연구산학협력단 (특허고객번호: 220050048983) 주 소 경기도 용인시 처인구 모현읍 외대로 81 대 리 인 성 명 이재택 주 소 서울특별시 송파구 법원로11길 7(문정동, 현대자식산업센터1-2) C동 3층, 335호(이북특허법률사무소) 발 명 자 성 명 권혁기 주 소 경기도 용인시 처인구 모현읍 외대로 81 발 명 자 성 명 한국외국어대학교글로벌캠퍼스 주 소 이재연 발 명 자 성 명 경기도 용인시 처인구 모현읍 외대로 81 주 소 한국외국어대학교글로벌캠퍼스 발 명 자 성 명 이근희 주 소 경기도 용인시 처인구 모현읍 외대로 81 주 소 한국외국어대학교글로벌캠퍼스 출 원 번 호 10-2021-0073692 발 명 의 영 장 도로 시설물에 따른 음영지역 산출장치 청 구 항 수 2 이 출원에 대하여 특허법 제66조에 따라 특허결정합니다. (특허권은 특허료를 납부하여 특허법 제67조에 따라 실경등록을 발령으로써 발생하게 됩니다. 한편, 특허법 제67조의2제2항에 따라 이 출원에 대한 종전 거절결정(2021.11.17)은 재심사 청구로 인하여 취소된 것으로 간주되었습니다.) 끝. [우선권주장] 우선권주장국가: KR, 우선권주장번호: 1020200143408 (우선권주장일자: 2020.10.30) [참고문헌] 1. JP2003099697 A 2. KR101516236 B1 3. KR101943759 B1 4. KR1020120027622 A 5. KR102136131 B1			【이 발명을 지원한 국가연구개발사업】 【과제고유번호】 1615011608 【과제번호】 157871 【부처명】 국토교통부 【과제관리(전문)기관명】 국토교통과학기술진흥원 【연구사업명】 국토교통기술촉진연구(R&D) 【연구과제명】 도로분해능 해상도의 태양복사-노면온도-수막두께 정보를 연계한 도로결빙 시공간 예보시스템 개발 【기여율】 1/1 【과제수행기관명】 한국외국어대학교 연구산학협력단 【연구기간】 2020.04.13 ~ 2020.12.31		

3

논문 (SCI(E) 및 등재지)

사업명	국토교통기술 촉진연구 사업	구분	비 SCI(E)	출판일자 (발표일자)	2020.12
과제명 (성과 발생기관)	도로분해능 해상도의 태양복사-노면온도-수막두께정보를 연계한 도로결빙 시공간 예보시스템 개발 (한국외국어대학교)				
논문명	태양복사모델의 복사플럭스 자료를 활용한 노면온도 예측				
mrnlF지수	-			기여율(%)	100
증빙자료					
논문 시작 페이지			사사 부분		
Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies, 23(4) 2020, pp.156-172 ISSN 1226-9729(Print) https://doi.org/10.11108/jkagis.2020.23.4.156 ISSN 2289-2932(Online) 태양복사모델(SOLWEIG)의 복사플럭스 자료를 활용한 노면온도 예측: 서울시 내부순환로 대상* 안숙희¹ · 권혁기² · 양호진² · 이근희¹ · 이재연^{1*} Predicting Road Surface Temperature using Solar Radiation Data from SOLWEIG(SOLar and LongWave Environmental Irradiance Geometry-model): Focused on Naebu Expressway in Seoul* Suk-Hee AHN¹ · Hyuk-Gi KWON² · Ho-Jin YANG² Geun-Hee LEE¹ · Chae-Yeon Yi^{1*} 요 약 본 연구는 대상으로인 내부순환로에 대해 태양복사모델(SOLar and LongWave Environmental Irradiance Geometry-model, SOLWEIG)을 통해 산출한 도로의 그림자 패턴을 사용하여 항상 그늘이 지는 용역지역을 살펴보고, 열수지법을 기반으로 한 노면온도예측모델(road surface temperature prediction model, 이하 RSTPM)과 SOLWEIG 모델을 연계하여 고해상도의 태양 복사정보를 활용한 도로의 노면온도를 예측하고자 하였다. 우선, 그림자 패턴 및 복사플럭스 산출 의 정확도를 높이기 위하여 안개, 구름, 강수 등의 영향을 최소화할 수 있는 사례임을 선결하여, 고도 및 지형의 효과에 따른 그림자의 영향을 살펴보았다. 그 결과, 터널 입출구와 고도가 높은 지 역에서 그림자 영역이 오래 지속되었고, 그림자의 영향을 많이 받는 구간의 복사량 감소가 뚜렷하 게 나타났다. 이는 노면온도 예측결과에 반영되어 지형적으로 개방된 지점에서는 노면온도가 높게 예측되고, 고도가 높은 지점들은 그렇지 않은 지점에 비해 상대적으로 낮게 예측되었다. 본 연구의 결과는 저술될 기상상황에 따른 도로 결빙구간을 예측하여 도로 관리자 및 운전자의 의사결정 자 료로서의 활용이 기대된다. 주요어 : 국지기후, 그림자 패턴, 내부순환로, 노면온도, 태양복사			2020년 11월 11일 접수 Received on November 11, 2020 / 2020년 12월 04일 수정 Revised on December 04, 2020 / 2020년 12월 04일 심사완료 Accepted on December 04, 2020 * 본 논문은 국토교통부 국토교통기술촉진연구사업(2020TAP-C157671-01)의 지원에 의하여 수행되었습니다. 1 한국외국어대학교 대기환경연구센터 책임연구원 Principal Researcher, Hankuk University of Foreign Studies 2 한국외국어대학교 대기환경연구센터 선임연구원 Senior Researcher, Hankuk University of Foreign Studies * Corresponding Author E-mail : prpr.chaeyeon@gmail.com		

4 소프트웨어 등록

사업명	국토교통기술 촉진연구 사업	구분	소프트웨어	등록일	
과제명 (성과 발생기관)	도로분해능 해상도의 태양복사-노면온도-수막두께정보를 연계한 도로결빙 시공간 예보시스템 개발 (한국외국어대학교)				
소프트웨어명	도시건물 및 거리규모 통풍특성 분석 프로그램				
증빙자료					

제 C-2020-036086 호

 **저작권 등록증**

1. 저작물의 제호(명칭)	도시 건물 및 거리규모 통풍특성 분석 프로그램
2. 저작물의 종류	컴퓨터프로그램저작물>응용프로그램>과학기술>수치계산용 S/W
3. 저작자 성명(법인명)	한국외국어대학교 연구산학협력단 경기도 용인시 처안구 모현읍 외대로
4. 생년월일(법인등록번호)	134571-0003947
5. 창작연월일	2020년07월30일
6. 공표연월일	-
7. 등록연월일	2020년10월19일
8. 등록사항	저작자 : 한국외국어대학교 연구산학협력단, 창작 : 2020.07.30

「저작권법」 제53조에 따라 위와 같이 등록되었음을 증명합니다.

2020년 10월 21일

한국저작권위원회 

5 소프트웨어 등록

사업명	국토교통기술 촉진연구 사업	구분	소프트웨어	등록일	2021.11.20
과제명 (성과 발생기관)	도로분해능 해상도의 태양복사-노면온도-수막두께정보를 연계한 도로결빙 시공간 예보시스템 개발 (한국외국어대학교)				
소프트웨어명	태양복사모델 상세 복사플렉스정보를 이용한 순복사플렉스 산출프로그램				
증빙자료					

제 C-2021-048958 호



저작권 등록증

1. 저작물의 제호(명칭)	태양복사모델(SOLWEIG)의 상세 복사플렉스 정보를 이용한 순복사플렉스 산출 프로그램
2. 저작물의 종류	컴퓨터프로그램저작물>응용프로그램>과학기술
3. 저작자 성명(법인명)	한국외국어대학교 연구산학협력단 경기도 용인시 처인구 모현읍 외대로
4. 생년월일(법인등록번호)	134571-0003947
5. 창작연월일	2021년11월10일
6. 공표연월일	-
7. 등록연월일	2021년11월20일
8. 등록사항	저작자 : 한국외국어대학교 연구산학협력단, 창작 : 2021.11.10

『저작권법』 제53조에 따라 위와 같이 등록되었음을 증명합니다.

2021년 11월 20일

한국저작권위원회



6

논문 (SCI(E) 및 등재지)

사업명	국토교통기술 촉진연구 사업	구분	비 SCI(E)	출판일자 (발표일자)	2021.01
과제명 (성과 발생기관)	도로분해능 해상도의 태양복사-노면온도-수막두께정보를 연계한 도로결빙 시공간 예보시스템 개발 (한국외국어대학교)				
논문명	차량주행시뮬레이터를 이용한 연속류 도로의 고령운전자 주행특성 분석				
mrnlF지수	-			기여율(%)	100
증빙자료					
논문 시작 페이지			사사 부분		
한국ITS학회논문지 J. Korea Inst. Intell. Transp. Syst. 차량 시뮬레이터를 이용한 연속류 도로의 고령운전자 주행특성 분석 Analysis of Driving Characteristics of Elderly Drivers on Roads Using Vehicle Simulator 이 근 혜* · 배 기 욱** * 주저자 : 한국외국어대학교 대기환경연구소 책임연구원 ** 교신저자 : 대전대학교 도시부동산공학부 교수 GEUN-HEE LEE* · GI-MOK BAE** * Research Center for Atmospheric Environment, Univ. of Hankuk ** Dept. of Urban & Real Estate Engineering, Univ. of DAejeon * Corresponding author : GI-MOK BAE, oneway@daejin.ac.kr Vol.20 No.1(2021) February, 2021 pp.146~159 gISSN 1738-0774 eISSN 2384-1729 https://doi.org/10.12815/jkits. 2021.20.1.146 Received 25 January 2021 Revised 1 February 2021 Accepted 8 February 2021 © 2021. The Korea Institute of Intelligent Transport Systems. All rights reserved. 요 약 본 연구는 고령운전자 운전특성 파악을 위한 실증적 분석의 일환으로 차량 시뮬레이터를 이용하여 고령운전자의 주행특성을 파악하고자 하였다. 이를 위해 기존연구 고찰에서 고령운전자의 주행특성 요소를 파악한 후, 시뮬레이션 환경을 구축하고 일반 운전자와의 주행 비교를 통해 고령자 운전특성을 명확히 도출하고자 하였다. 실험 결과 고령운전자는 주행속도, 운전조작(브레이크, 스티어링, 가속) 등 차도변칙을 제외한 모든 항목에서 일반 운전자와는 다른 주행특성을 보이는 사실을 확인하였으며, 주요 특성으로 차로변경 시 속도유지 및 적정 차간거리 확보가 어렵고, 돌발 상황 발생 시 정지거리와 소요시간이 더 많이 필요한 것으로 확인되었다. 결과적으로 고령운전자 주행거동의 일련적 특성을 입증할 수 있었고, 도로상태, 고령자 관련 교통정책 수립 등에 필요한 자료를 제공할 수 있을 것으로 기대된다. 핵심어 : 시뮬레이터, 고령운전자, 주행특성, 연속류 도로 ABSTRACT vehicle simulator as part of an empirical analysis the driving characteristics of elderly drivers. To this end, the driving characteristics of the elderly driver from previous study review, he driving characteristics of the elderly the driving elderly driver and general driverly summarizing these experimental results, the -test showed different driving characteristics from general drivers in all items except for one side of the lane, such as driving speed and driving operation (brake, throttle, steering operation) at a significance level of 95%. Second, when changing lanes, it was difficult for elderly driver to maintain speed and secure an appropriate distance between carsuddenly driver changed lanes even in inappropriate situations (short distances between cars). Third, in unexpected situation, elderly drivers needed more distance and time. Key words : Simulator, Elderly Driver, Driving Characteristics, Road without Traffic Lights Network, Uninterrupted flow 차량 시뮬레이터를 이용한 연속류 도로의 고령운전자 주행특성 분석 실험 장치는 실제와 유사한 도로환경을 가상현실에 구현하기 위해 FORUMS사에서 개발한 가상현실 소프트웨어 UC-wayRead ver.14.0을 활용하고 에이 주행을 통해 시뮬레이터와 실제 주행과의 거리를 최소화 하였다. 실험 결과를 종합하면 첫째, 고령운전자와 일반운전자는 도로조건 등의 운행상황 속에서 각기 다른 주행 특성을 보이는 것을 실증할 수 있었다. T-test 결과 유의수준 95%에서 주행속도, 운전조작(브레이크, 스티어링, 가속) 등 차도변칙을 제외한 모든 항목에서 일반 운전자와는 다른 주행특성을 보이는 사실을 확인 하였다. 둘째, 고령운전자는 차로변경 시 속도유지 및 적정 차간거리 확보가 어렵고, 돌발상황 발생 시 정지거리와 소요시간이 더 많이 필요한 것으로 나타났다. 셋째, 돌발 상황 발생 시, 고령운전자들은 정지거리와 소요시간이 더 많이 필요한 것으로 확인되었다. 전체적으로 보면 고령운전자 주행특성을 반영한 도로상태, 교통안전정책 수립에 기초 자료로 활용될 수 있을 것이다. 향후, 시뮬레이터 실험 자료의 일반화 확대를 위한 방법론 개발에 대한 후속 연구를 수행하고자 한다. ACKNOWLEDGEMENTS 본 연구는 국토교통부/국토교통과학기술진흥원의 지원으로 수행되었음(과제번호 : 21CTAP-C157871-02). REFERENCES Anderson J. R. and Lebiere C.(1988), "The Atomic Components of thought Hillsdale," <i>Journal of Software Engineering and Applications</i>, vol. 4, no. 1, p.39. Calvi A.(2011), "Driver Behavior on Acceleration Lanes: Driving Simulator Study," <i>Journal of the Transportation Research Board</i>, vol. 2248, no. 1, pp.70-83. Calvi A.(2012), "A driving simulator study of driver performance on deceleration lanes," <i>Accident Analysis & Prevention</i>, vol. 45, no. 2, pp.195-203. Casutt G.(2014), "Driving Simulator Training Is Associated with Reduced Inhibitory Workload in Older Drivers," <i>Journal of MDPI</i>, vol. 1, no. 3, pp.2-18. Gao Z.(2013), "Driving simulator-based study to quantify typical diagrammatic guide sign efficiency					

7

논문 (SCI(E) 및 등재지)

사업명	국토교통기술 촉진연구 사업	구분	비 SCI(E)	출판일자 (발표일자)	2020.12
과제명 (성과 발생기관)	도로분해능 해상도의 태양복사-노면온도-수막두께정보를 연계한 도로결빙 시공간 예보시스템 개발 (평화엔지니어링)				
논문명	도로 노면결빙 판정모형을 적용한 도로결빙 예측에 대한 연구				
mrnlF지수	-			기여율(%)	100
증빙자료					
논문 시작 페이지			사사 부분		
Journal of the Korean Applied Science and Technology Vol. 37, No. 6, December, 2020, 1507-1516 ISSN 1225-9098 (Print) ISSN 2288-1069 (Online) http://dx.doi.org/10.12925/jkasts.2020.37.6.1507 도로 노면결빙 판정모형을 적용한 도로결빙 예측에 대한 연구 임희섭[†] · 김상태[‡] [†]평화엔지니어링 연구원 (2020년 11월 6일 접수: 2020년 12월 18일 수정: 2020년 12월 21일 채택) A study on road ice prediction by applying road freezing evaluation model Hee-Seob Lim[†] · Sang-Tae Kim[‡] [‡]Pyeonghwa Engineering Consultants Ltd. R&D Institute (Received November 6, 2020; Revised December 18, 2020; Accepted December 21, 2020) 요 약 : 본 연구는 도로 노면결빙 판정 알고리즘을 적용하여 도로결빙 구간을 위한 시나리오를 분석하였다. 도로결빙 알고리즘 적용을 위해서, 도로 결빙에 대한 영향인자를 검토하고, 분석을 위해서 목감IC, 경음터널, 성산대교, 영랑교 등 4지점의 관측자료를 활용하였다. 관측소는 모두 고속도로에 설치되어 있으며, 도로 결빙 특성 분석을 위하여 분류하였다. 도로 결빙 판정 알고리즘의 노면온도-노면온도 차가 3℃ 이하일 때 도로결빙 발생 구간을 확인하고 결빙 구간의 노면상태와 수막두께 변화를 통해 도로 결빙 판정을 도출하였다. 주제어 : 도로결빙, 도로결빙 알고리즘, 노면온도, 노면온도, 노면상태 Abstract : This study analyzed the scenario for road freezing section by applying the road freezing evaluation algorithm. To apply road freezing algorithm, the influencing factors on road freezing were reviewed. Observation data from four points, Mokgam IC, Jeongneung tunnel, Seongsan bridge, and Yeomchang bridge were used for analysis. All observatories are installed on the expressway, and they are classified for the analysis of road freezing characteristics. When the difference between the road surface temperature and dew-point temperature of the road freezing evaluation algorithm was 3℃ or less, the section where road freezing occurred was checked. In addition, road freezing evaluation was derived through the change of the road surface condition and water film thickness of the freezing section. Keywords : Road freezing, Road freezing evaluation algorithm, Road surface temperature, Dew-points temperature, Road surface condition [†]Corresponding author (E-mail: heesubj@naver.com)			Vol. 37, No. 6 (2020) 도로 노면결빙 판정모형을 적용한 도로결빙 예측에 대한 연구 9 는 일정시간 후 온도가 영상권으로 올라갔으며, 습도가 낮아짐에 따라 도로노면이 급격하게 건조해졌지만, 영랑교 시나리오 분석에서는 대기온도 및 노면온도가 영하권이며, 습도가 지속적으로 높아 도로 결빙이 확정적으로 발생되었다고 판단된다. 5. 결 론 본 연구에서는 도로 결빙 판정 알고리즘을 개발 적용하여, 도로 결빙의 시나리오를 분석 할 수 있었다. 본 연구를 통하여 도출된 결론은 다음과 같다. 기상 관측 지점별 측정 결과를 바탕으로, 습영이 없는 고속도로, 터널 입/출구, 교량 및 횡류구간의 노면온도와 대기온도 차의 변화를 확인 할 수 있었다. 교량에서는 노면온도와 대기온도의 차이가 크지 않는 반면, 일반 고속도로 및 횡류구간에서는 추간대 및 야간대의 변화가 컸으며, 터널부에서는 큰 온도차를 확인하였다. 도로 결빙 판정 알고리즘을 활용하여, Tr과 Td의 온도 차가 3℃ 이하인 구간에서의 습도 변화가 가장 크게 나타남을 확인하였다. 습도변화가 큰 구간이 발생되고 Tr이 0℃ 이하인 상태에서는 도로 결빙 발생 가능성이 클 것으로 판단된다. 시나리오 분석 결과를 통하여 목감IC 2018년 1월과 영랑교 2018년 1월에서 도로 결빙 판정 구간이 선정되었다. 이 두 지점은 터널부나 교량부에 비해 습영이 없는 지역임에도 불구하고, 기상 조건의 영향으로 도로 결빙 판정 구간으로 선정되었다. 도로 결빙은 기상조건으로 발생됨에 따라, 기상이 예측할 수 없는 변화가 발생 시 도로상황에 큰 영향을 줄 수 있다. 이러한 상황에 대응하기 위하여, 도로 결빙 판정 알고리즘의 시나리오 데이터가 필수적으로 필요한 실정이다. 또한, 기상 조건 외의 다양한 조건으로 인한 도로 결빙이 발생됨에 따라, 추후 여러 조건의 도로 결빙에 대한 시나리오 분석이 필요할 것으로 사료된다. 감사의 글 본 연구는 국토교통부 국토교통기술촉진연구사업(과제번호: 20CTAP-C157871-01-000000)의 연구비 지원으로 수행되었습니다. References 1. Traffic Accident Analysis Center, "Traffic Accident Analysis", Road Traffic Authority, pp.173-176 (2008). 2. J. W. Kim, Y. W. Jung, J. W. Nam, "Study on the development of road icing forecast and snow detection system using state evaluation algorithm of multi-sensoring method" Journal of the Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection, Vol.17, No.5, pp.113-121, (2013) 3. S. J. Lee, "A study on factors that influence traffic accident severity in road surface freezing", Journal of the Korean Society of Safety, Vol.32, No.6, pp.150-156, (2017) 4. S. Y. Kim, Y. S. Jang, S. K. Kim, D. C. Min, H. H. Na, J. S. Choi, "A study on the effects of factors of traffic accidents caused by frozen urban road surfaces in the winter", International Journal of Highway Engineering, Vol.17, No.2, pp.79-87, (2015) 5. G. H. Sin, Y. J. Seong, Y. G. You, "Bridge road surface frost prediction and monitoring system", The Journal of the Korea Contents Association, Vol. 11, No.11, pp.42-48, (2011) 6. Y. Wu, M. Abdel-Aty, J. Y. Lee, "Crash risk analysis during fog conditions using real-time traffic data", Accident Analysis and Prevention, Vol.114, pp.4-11, (2018) 7. N. Pernier, A. Langevin, J. F. Campbell, "A study of models and algorithms for winter road maintenance, Part I, system design for spreading and plowing", Computers & Operations Research 33, Vol.33 pp.209-238, (2006) 8. R. Bergel-Hayat, M. Debbath, C. Antoniou, G. Yannis, "Explaining the road accident risk: weather effects", Accident Analysis &		

- 1515 -

8

논문 (SCI(E) 및 등재지)

사업명	국토교통기술 촉진연구 사업	구분	비 SCI(E)	출판일자 (발표일자)	2021.12
과제명 (성과 발생기관)	도로분해능 해상도의 태양복사-노면온도-수막두께정보를 연계한 도로결빙 시공간 예보시스템 개발 (평화엔지니어링)				
논문명	도로 노면결빙 판정 알고리즘 연구와 알고리즘을 활용한 도로결빙 적중률 연구				
mrnlF지수	-			기여율(%)	100
증빙자료					
논문 시작 페이지			사사 부분		
Journal of the Korean Applied Science and Technology Vol. 38, No. 6, December, 2021, 1355-1369 ISSN 1225-9098 (Print) ISSN 2288-1069 (Online) http://dx.doi.org/10.12925/jkasc.2021.38.6.1355 도로 노면결빙 판정 알고리즘 연구와 알고리즘을 활용한 도로 결빙 적중률 연구 강문석^{1*}, 임희철², 최아미루¹, 이근희^{3*} ¹평화엔지니어링 기술연구소, 연구원 ²구수(주)기술연구소, 연구원 ³한국외국어대학교 대기환경연구센터, 교수 (2021년 10월 8일 접수: 2021년 12월 2일 수정: 2021년 12월 9일 채택) A study on road ice prediction algorithm model and road ice prediction rate using algorithm model Moon-Seok Kang¹, Hee-Seob Lim², A-Mi-Roo Kwak¹, Geun-hee Lee^{3*} ¹Pyeonghwa Engineering Consultants Ltd. R&D Institute ²Pungwon R&D Center ³Research Center for atmospheric Environment (Received October 8, 2021; Revised December 2, 2021; Accepted December 9, 2021) 요 약 : 본 연구는 도로 노면결빙 판정 알고리즘에 대해 알고리즘을 개선하고 실제 현장 측정 자료와 알고리즘 예측값을 비교하였을 때 알고리즘에 대한 적중률을 분석하였다. 분석을 위하여 포천시 신희면 금 동리의 도로 및 기상을 측정하였다. 알고리즘은 기존 도로 결빙 알고리즘을 선정하여 실제 결빙 조건 및 측정 수치에 맞춰 4차 알고리즘까지 개선하였다. 최종적으로 음영에 의한 결빙, 강수에 의한 결빙, 적설에 의한 결빙, 결빙강도의 지속, 후속에 의한 결빙 5개의 알고리즘을 제작하였다. 또한 현장에서 알고리즘을 활용하여 예측한 경우 결빙 적중률이 93.22%까지 개선되었다. 결빙 알고리즘에 대한 조합 비율에 대 해 도출하였을 때 음영에 의한 결빙과 결빙강도의 지속에 대한 알고리즘이 96%를 차지하였다. 주제어 : 도로결빙, 도로결빙 알고리즘, 노면온도, 노면온도, 노면결빙 Abstract : This study improved the algorithm for the road ice prediction algorithm and analyzed the prediction rate when comparing actual field measurement data and algorithm prediction value. For analysis, road and weather conditions were measured in Geumdong-ri, Sinbuk-myeon, Pocheon-si. First algorithm selected previous research result algorithm. And the 4th algorithm was improved according to the actual freezing conditions and measured values. Finally, five algorithms were developed: freezing by condensation, freezing by precipitation, freezing by snow, continuous freezing. *Corresponding author (E-mail: ghllee@hufs.ac.kr)			Journal of the Korean Applied Science and Technology 14 강문석 임희철 최아미루 이근희 2개 알고리즘 조합이 전체의 95.76%로 절대다수 를 차지하였다. 그 외에도 강수에 강수 후속에 의한 결빙은 독립적으로 알고리즘이 적용 하지 않고 적설에 의한 결빙이나 결빙 강도의 지 속과 같은 다른 알고리즘과 함께 적용되는 사 례가 대부분이었다. 통계 알고리즘 판정 시 수직과 수평을 개선하 여 정확도를 높이는 방안으로 수정하였다. 이 러한 원인은 실제 온도 차이 이외에도 주변 환경, 도로 포장재 열적 및 기계적, 마찰과 같은 다른 요소의 영향으로 인해 발생하는 결과라 예상된다. 본 연구를 통하여 고속도로, 교량, 터널과 같은 복수 지역이 아닌 일반도로의 모 니터링을 통하여 노면 결빙 알고리즘에 대한 집중하게 되었으며 이러한 분석 결과를 통하여 도로 결빙에 대한 실 증적인 데이터 활용이 가능할 것이라 예상된다. 차후 연구에서는 결빙에 대한 기상 조건 이외에도 지형이나 도로 기하구조와 같은 환경적인 부 분을 반영할 수 있는 알고리즘 개발이 필요하여 일반도로가 아닌 교량, 터널과 같은 환경과 도로에서 모 니터링 자료를 확보하여 결빙 알고 리즘에 대한 검증이 필요할 것으로 사료된다. 참사의 글 본 연구는 국토교통부 국토교통기술촉진연구 사업(21CTAP-C157873-02)의 지원을 받아 수행 되었습니다. References 1. S. J. Lee, "A study on factors that influence traffic accident severity in road surface freezing", <i>Journal of the Korean Society of Safety</i>, Vol.32, No.6, pp.150-156, (2017). 2. S. Y. Kim, Y. S. Jang, S. K. Kim, D. C. Min, H. H. Na, J. S. Choi, "A study on the effects of factors of traffic accidents caused by frozen urban road surfaces in the winter", <i>International Journal of Highway Engineering</i>, Vol.17, No.2, pp.79-87, (2015). 3. H.-S. Lim and S.-T. Kim, "A study on road ice prediction by applying road freezing evaluation model," <i>The Korean Society of Applied Science and Technology</i>, vol. 37, no. 6, pp.1507-1516 (2020). 4. M. Karlsson, "Prediction of hoar-frost by use of a road weather information system", <i>Metereological Applications</i>, Vol.8, No.1, 95-105, (2001). 5. N. Imacho, T. Nakamura, K. Hayabusa, "Road icing detection and forecasting system using optical fiber sensors for use in road management in winter", <i>Hiroshi Cable Review</i>, Vol.21, pp.29-34, (2002). 6. J. W. Kim, Y. W. Jung, J. W. Nam, "Study on the development of road icing forecast and snow detection system using stereo evaluation algorithm of multi sensing method", <i>Journal of the Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection</i>, Vol.17, No.3, pp.113-121, (2013). 7. Traffic Accident Analysis Center, "Traffic Accident Analysis", <i>Road Traffic Authority</i>, pp.173-176 (2008). 8. G. H. Sin, Y. J. Seong, Y. G. You, "Bridge road surface frost prediction and monitoring system", <i>The Journal of the Korea Concrete Association</i>, Vol.11, No.11, pp.42-48, (2011). 9. Y. Wu, M. Abdel-Aty, J. Y. Lee, "Crash risk analysis during fog conditions using real-time traffic data", <i>Accident Analysis and Prevention</i>, Vol.114, pp.4-11, (2018). 10. N. Perron, A. Langevin, J. F. Campbell, "A study of models and algorithms for winter road maintenance. Part 1: system design for spreading and plowing", <i>Computers & Operations Research</i>, Vol.33, No.1, pp.209-238, (2006). 11. R. Bergel-Hayat, M. Debbabi, C. Antoniou, G. Yannis, "Explaining the road accident risk: weather effects", <i>Accident Analysis & Prevention</i>, Vol.60, pp.456-465, (2013).		

- 1355 -

- 1369 -

9특허 출원 및 등록

사업명	국토교통기술 촉진연구 사업	구분	출원	출원일자	2021.11.21																																			
과제명 (성과 발생기관)	도로분해능 해상도의 태양복사-노면온도-수막두께정보를 연계한 도로결빙 시공간 예보시스템 개발 (평화엔지니어링)																																							
특허명	노면결빙예측방법																																							
증빙자료																																								
특허출원서			과제정보 입력 부분																																					
출원번호 통지서 출원일자 : 2021.11.12 특기사항 : 심사청구(유) 공개신청(무) 출원번호 : 10-2021-0155607 (접수번호 1-1-2021-1306933-13) (DAS접근코드 148C) 출원인명칭 : (주)평화엔지니어링(1-1990-109388-2) 대리인성명 : 김정현(9-2008-000001-1) 발명자성명 : 장윤석,박아미,후송주성,임희갑,이근희 발명의명칭 : 노면 결빙 예측 방법 특허청장 << 인쇄 >> 1. 귀하의 출원은 위와 같이 정상적으로 접수되었으며, 이후의 심사 진행상황은 출원번호를 이용하여 특허로 출원일자(www.patent.go.kr)에서 확인하실 수 있습니다. 2. 출원에 따른 수수료는 접수일로부터 다음날까지 통보된 납입명수령에 성명, 납부자번호 등을 기재하여 가 까운 은행 또는 우체국에 납부하여야 합니다. 3. 납부자번호 : 093(가관코드) * 접수번호 4. 귀하의 주소, 연락처 등의 변경사항이 있을 경우, 즉시 (특허고객번호 정보변경(영문), 평정신고서)를 제출하 여야 출원 이후의 각종 통지서를 정상적으로 받을 수 있습니다. 5. 기타 심사 절차(제도)에 관한 사항은 특허청 홈페이지를 참고하시거나 특허고객상담센터(☎ 1544-8080)에 문의하여 주시기 바랍니다. ※ 심사제도 안내 : http://www.kipo.go.kr/ 지식재산제도			2021-11-12 【이 발명을 지명한 국가연구개발사업】 【과제고유번호】 1615012223 【부처명】 국토교통부 【연구관리 전문기관】 국토교통과학기술진흥원 【연구사업명】 국토교통기술촉진연구(R&D) 【연구과제명】 도로분해능 해상도의 태양복사-노면온도-수막두께 정보를 연계한 도로결빙 시공간 예보시스템 개발 【기여율】 1/1 【주관기관】 (주)평화엔지니어링 【연구기간】 2021.01.01 ~ 2021.12.31 【취지】 위와 같이 특허청장에게 제출합니다. 대리인 김정현 (서명 또는 인) 【수수료】 <table><tr><td>【출원료】</td><td>0</td><td>원</td><td>46,000</td><td>원</td></tr><tr><td>【가산출원료】</td><td>27</td><td>원</td><td>0</td><td>원</td></tr><tr><td>【우선권주장료】</td><td>0</td><td>원</td><td>0</td><td>원</td></tr><tr><td>【실사청구료】</td><td>6</td><td>항</td><td>407,000</td><td>원</td></tr><tr><td>【합계】</td><td></td><td></td><td>453,000</td><td>원</td></tr><tr><td>【감면사유】</td><td colspan="4">중견기업(30%감면)[1]</td></tr><tr><td>【감면후 수수료】</td><td colspan="4">317,100 원</td></tr></table> 33-3			【출원료】	0	원	46,000	원	【가산출원료】	27	원	0	원	【우선권주장료】	0	원	0	원	【실사청구료】	6	항	407,000	원	【합계】			453,000	원	【감면사유】	중견기업(30%감면)[1]				【감면후 수수료】	317,100 원			
【출원료】	0	원	46,000	원																																				
【가산출원료】	27	원	0	원																																				
【우선권주장료】	0	원	0	원																																				
【실사청구료】	6	항	407,000	원																																				
【합계】			453,000	원																																				
【감면사유】	중견기업(30%감면)[1]																																							
【감면후 수수료】	317,100 원																																							

10 소프트웨어 등록

사업명	국토교통기술 촉진연구 사업	구분	소프트웨어	등록일	2022.01.07
과제명 (성과 발생기관)	도로분해능 해상도의 태양복사-노면온도-수막두께정보를 연계한 도로결빙 시공간 예보시스템 개발 (평화엔지니어링)				
소프트웨어명	노면결빙 예보시스템_웹프로그램				
증빙자료					

제 C-2022-001902 호

 **저작권 등록증**

1. 저작물의 제호(명칭) 노면결빙예보시스템_웹프로그램

2. 저작물의 종류 컴퓨터프로그램저작물>응용프로그램>과학기술

3. 저작자 성명(법인명) 주식회사 평화엔지니어링
전라남도 나주시 문화로

4. 생년월일(법인등록번호) 111511-0019808

5. 창작연월일 2021년12월31일

6. 공표연월일 -

7. 등록연월일 2022년01월07일

8. 등록사항 저작자 : 주식회사 평화엔지니어링,
창작 : 2021.12.31, 공표 : 2021.12.31

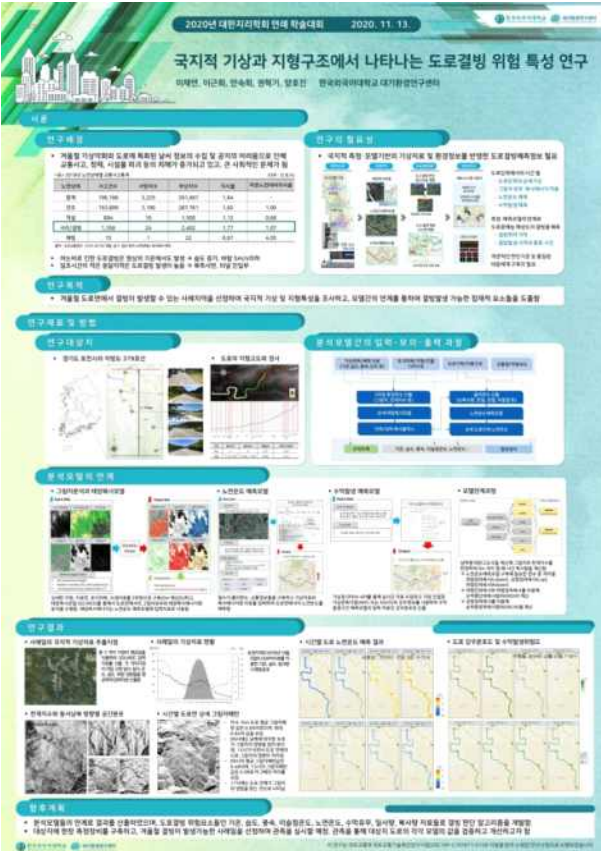
「저작권법」 제53조에 따라 위와 같이 등록되었음을 증명합니다.

2022년 01월 10일

한국저작권위원회 

6. 성과점검기준표에 작성한 성과 이외의 성과

1 국내학술회의 발표

사업명	국토교통기술 촉진연구 사업	학회명	한국지리정보학회
과제명 (성과 발생기관)	도로분해능 해상도의 태양복사-노면온도-수막두께정보를 연계한 도로결빙 시공간 예보시스템 개발 (한국외국어대학교)		
성과점검기준표	1-2-2		
발표명	국지적 기상과 지형구조에서 나타나는 도로결빙 위험특성 연구		
증빙자료			
발표자료		초록 및 사사 부분	
		국지적 기상과 지형구조에서 나타나는 도로결빙위험 특성 연구 이채연(한국외국어대학교 대기환경연구소, cxr222@hufs.ac.kr) Chaeyeon Yi (Hankuk University of Foreign Studies) 기상악화와 도로에 특화된 날씨 정보의 수집 및 재정의 어려움으로 인해 교통사고, 경제, 사생활 파괴 등의 피해가 증가되어 큰 사회적 문제가 되고 있다. 특히 안개, 물막이아이스, 어는비 등 도로교통에 직접적인 영향을 주는 위험기상의 발생빈도 증가로 인한 원인분석, 피해경감을 위한 대응 조치 등의 연구도 함께 수행되고 있다. 한파가 몰려오는 영하 10도 추위에서는 빙판길을 예상하고 운전자들은 안전운전에 대한 인식을 하고 있지만, 겨울 기온이 영하 2~8도에서 영상 5도 내외로 나타날 때에는 상대적으로 높은 기온으로 인해 운전자들이 방심을 하게 되어 사고가 발생된다. 현재 도로에서 결빙이 발생할 수 있는 곳으로 추정되는 곳은 교량, 상습 음영지역, 터널진입부 등으로 구분된다. 교량의 경우, 토공부의 포장 온도가 영상이라 하더라도 교량부 교면의 온도는 영하 이하로 떨어질 수 있어 쉽게 결빙이 발생할 수 있을 것으로 추정된다. 월조 시간이 짧은 등달구간에서도 물막이아이스에 취약하며, 등달구간은 북측사면에 가려진 경우에 일조량이 다른 구간에 비교하여 많이 부족하게 되어 교량구간과 동일한 수준의 위험도를 가진다고 볼 수 있다. 터널부도 진입부 경우에 별도의 제설대응을 실시하고 있는데, 터널 진입부에서 진입하는 차량으로 인해 유입된 눈 또는 비가 터널 초입부에 결빙되는 경우가 있고 진입부는 대부분 등달인 구간이 많아 결빙에 취약한 것으로 인식되고 있다. 국토교통부와 한국도로공사의 결빙 취약구간 조사결과, 그중 하나인 48번 국도 천등고개(경기도 김포시 고촌읍)는 낮에도 주변 건물과 지형의 영향으로 고저 경사에서 기하학 김포골드라인 고촌역까지 이르는 약 700m 내리막길 대부분 그늘이 발생한다. 도로결빙위험과 관련하여 국지적 음영정보는 매우 중요한 요소이며, 이는 국지적 지형이 반영된 도로분해능 음영정보를 산출하는 모델을 활용하여 관측적 도로결빙 위험지역 분석이 가능하다(Yi et al., 2018; Yang et al., 2019). 겨울철 도로관리 의사결정 지원을 위해, 국지적 기상과 지형구조 특성에 의해 나타나는 도로단위에서의 시간별 음영유무, 복사에너지 등이 곁통되는 도로분해능 해상도의 결빙예측 정보(결빙기형, 결빙발생 시각과 종료 시각 등)를 산출체계를 구축하고 있다. 본 연구는 그 중 국지적 기상과 지형구조에서 나타나는 상습 음영지역을 분석하고 도로결빙과의 연관성을 찾아보고자 한다. 참고문헌 Yang, H. J., Yi, C., Bae, M. K., 2019, The Analysis of Road Surface Characteristics for Road Risk Management in Heat Wave: Focused on Cheongju City, JEPA, 27(3), 951-79. Yi, C. Y., KWON, H. G. and Lindberg, F., 2018, Radiation Flux Impact in High Density Residential Areas: A Case Study from Jungnang area, Seoul, Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies, 21(4), 26-49. * 본 과제는 국토교통부 국토교통기술촉진연구사업(20CTAR-C157871-01)의 지원을 받아 수행된 연구임	

사업명	국토교통기술 촉진연구 사업	학회명	한국방재학회
과제명 (성과 발생기관)	도로분해능 해상도의 태양복사-노면온도-수막두께정보를 연계한 도로결빙 시공간 예보시스템 개발 (한국외국어대학교)		
성과점검기준표	1-3-3		
발표명	지형효과를 반영한 도로분해능 해상도의 도로결빙예보시스템 개발		
증빙자료			
발표자료 목록		초록 및 사사 부분	
2021 연국방재학회 학술발표대회 현장제고 지속가능한 방재 안전 사후분석 기반 도시침수 고위험지역 평가를 통한 생태모니터링 도시침수 저감기술 개발 임원희·신희재·심규정 연구단/사업단 제5 V. 무도상교량의 제빙장제와 시공기술 SOF 공법을 이용한 무도상 현형교 제빙장제와 최상현·문지호·장승연 시정시공 계층별제빙을 이용한 무도상교량 제빙장제 설계의 적정성 분석 최광준·최진성·김영재·이후호·박성현 제빙장제 후 무도상 현형교의 주행안전성 분석 김광준·최진성·조계현·최민영 무도상 현형교 제빙장제제를 위한 침투고형화치기 동결방해 저해책 특성 분석 임성진·현무진·이재현 합성수지침체 성능기준에 대한 연구 이후호·박진성·이승현 연구단/사업단 제6 VI. 도로살얼을 I 도로살얼을 발생 가능성 정도 서비스 추진현황 및 향후계획 김태호·남원규·김지현·이재우·조봉준·현종진·최진성·이후호·김성진·이재현 고속도로 도로살얼을 예방을 위한 도로살얼을 관리시스템 추진현황 및 발전방향 황우주·손현숙 도로결빙도 관측을 이용한 도로살얼을 위해 구간 선정 - 충북고속도로 사례 박원수·김진수·장현재·김성진·유동길·류성현 살얼을 예방을 위한 제빙제 사정 실험에 관한 연구 정대원·노시현·나원진·김대근·이재현 도로기상관측자료를 활용한 도로살얼을 발생예측하는 분석 오지현·오재호·김종준·오승재 도로살얼을 선택적 대응을 위한 스마트 제빙시스템 개발 오원진·현성우·연정호·김성재·박준규 지형효과를 반영한 도로분해능 해상도의 도로결빙예보시스템 개발 안숙희·권혁기*·양호진***·이근희****·이재현*****		연구단/사업단 제5 V 지형효과를 반영한 도로분해능 해상도의 도로결빙예보시스템 개발 Development of Road-Freezing Forecasting System with Road Resolution Reflecting the Terrain Effect 안숙희* · 권혁기** · 양호진*** · 이근희**** · 이재현***** Ahn, Sukhee* · Kwon, Hyukgi** · Yang, Hojin*** · Lee, Geunhee**** · Yi, Chaeyeon***** 요 지 현재 도로에서 결빙이 발생할 수 있는 곳으로 추정되는 곳은 교량, 상습 음영지역, 터널진입부 등으로 교량의 경우, 토공부의 포장 온도가 영상이나 하더라도 교량부 교면의 온도는 영하 이하로 떨어질 수 있어 쉽게 결빙이 발생할 수 있을 것으로 추정된다(한국도로공사, 2016). 북측사면 등에 가려진 음달구진과 같은 상습 음영지역은 일조시간이 짧아 다른 구간에 비해 일조량이 많이 부족하게 되어 블랙아이스에 취약하며, 교량구진과 동일한 수준의 위험도를 가진다 고 볼 수 있다(한국건설기술연구원, 2006). 터널진입부의 경우, 터널로 진입하는 지랑으로 인해 유입된 눈 또는 비가 터널 초입부에 결빙되는 경우가 있으며, 진입부는 대부분 음달인 구간이 많아 노면결빙에 취약한 것으로 인식되고 있다(한국도로공사, 2016). 국토교통부에서 지정한 결빙 취약구간 국도 중 하나인 46번 국도 '천등고개'(경기도 김포시 고촌읍)'는 주변 건물과 지형의 영향으로 낮에도 고개 정상에서부터 약 700m에 이르는 내리막길 대부분에 그늘이 발생하는 등 도로결빙위험과 관련하여 지형효과에 의한 국지적 음영정보는 매우 중요한 요소이며, 이는 국지적 지형이 반영된 도로분해능 음영정보를 산출하는 모델을 활용하여 광역적 도로결빙 위험지역 분석이 가능하다고(Yi et al., 2018; Yang et al., 2019). 따라서 본 연구는 겨울철 도로관리 의사결정 지원을 위해 국지적 기상과 지형구조 특성에 의해 나타나는 도로단위에서의 시간별 음영유무, 복사에너지, 노면온도, 수막 등 공간정보를 융합하여 도로분해능 해상도의 결빙예측정보 산출체계를 구축하였다. 핵심용어 : 국지기상, 상습그늘지역, 도로결빙, 예보시스템 감사의 글 본 연구는 국토교통부 국토교통기술촉진연구사업의 연구비지원(20CTAP-C157871-01)에 의해 수행되었습니다. * 정희원, 한국과학기술대학교 대기환경연구원 제빙연구팀 E-mail: shahn@hufs.ac.kr Principle Researcher, Research Center for Atmospheric Environment, HUPS ** 한국과학기술대학교 대기환경연구원 선임연구원 E-mail: hghg8743@gmail.com Senior Researcher, Research Center for Atmospheric Environment, HUPS *** 한국과학기술대학교 대기환경연구원 선임연구원 E-mail: hohokko@naver.com Senior Researcher, Research Center for Atmospheric Environment, HUPS **** 한국과학기술대학교 대기환경연구원 제빙연구팀 E-mail: 2008119@naver.com Principle Researcher, Research Center for Atmospheric Environment, HUPS ***** 고은서, 정희원, 한국과학기술대학교 대기환경연구원 제빙연구팀 E-mail: prp.chaeyeon@gmail.com Member, Principle Researcher, Research Center for Atmospheric Environment, HUPS	

- 83 -

사업명	국토교통기술 촉진연구 사업	학회명	한국지리정보학회
과제명 (성과 발생기관)	도로분해능 해상도의 태양복사-노면온도-수막두께정보를 연계한 도로결빙 시공간 예보시스템 개발 (한국외국어대학교)		
성과점검기준표	1-6-1		
발표명	겨울철 도로 내 고해상도 복사량 산출 및 검증		
증빙자료			
발표자료 목록		초록 및 사사 부분	
23 무인항공기 및 인공지능을 활용한 야적폐기 탐지 박건웅(창원대학교) / 박경훈, 송용근, 김성현, 이수아, 이호민(창원대학교) 24 주민 생활공간 맞춤형 미세먼지 문제해결을 위한 시범지역 선정에 관한 연구 백상훈(슈타트) / 손경수, 김대익, 서보문, 정윤호(슈타트) 25 공간분석을 이용한 남섬 자살률의 핫-스팟 분석 오재현(연세대학교) / 정현우, 이광수(연세대학교) 26 논리모델 및 사업특성을 활용한 스마트 그린도시 성과평가 지표 및 프레임워크 개발 동아현(부산대학교) / 강정민(부산대학교) 27 다목적실용위성 5호 SAR 영상을 이용한 지상 정보정 정비 정밀도 검증 영도현(한국항공우주연구원) / 최호영, 신재민, 김동현(한국항공우주연구원) 28 영암호 침적쓰레기 처리를 위한 침적쓰레기 분포 산정 김종민(아이엠기술개발) / 장성훈, 이진영, 국석남(아이엠기술개발) 29 산불과 가뭄 사이의 시간적 영향 분석 이상현(경희대학교) / 최진우(경희대학교) 30 지방소멸 위험지역의 대학역량에 대한 공간분석 손철(국립강릉원주대학교) 31 인스타그램 데이터의 시공간 정보 추출을 통한 재난 정보 위험 및 추적 연구 이창규(경희대학교) / 최진우(경희대학교) 32 도시복합 대응 온도저감 효과 추정에 관한 연구 이재현(한국외국어대학교) / 양호진, 이광진, 배민기(한국외국어대학교) 33 주민생활공간 미세먼지 정체구역 파악을 위한 국지 공간 바람유동 시뮬레이션 서보문(계명대학교) / 손경수, 백상훈, 김대익, 정윤호(계명대학교) 34 도시지역 복사물류스 관측자료를 이용한 태양복사모델 개선 효과분석 양호진(한국외국어대학교) / 권혁기, 이재현, 김대익(한국외국어대학교) 35 노면온도 예측을 위한 서울시 주요도로 대상 도로단위 그림자 영향 분석 안숙희(한국외국어대학교) / 권혁기, 배호성, 이재현(한국외국어대학교) 36 겨울철 도로 내 고해상도 복사량 산출 및 검증 권혁기(한국외국어대학교) / 양호진, 이재현, 영도현(한국외국어대학교) 37 정보기술을 활용한 하천정보 재공 시스템 개발 강경섭(지오씨엔아이) / 최영철, 김성민, 권윤해(지오씨엔아이) 38 무인항공기 및 다중분광센서를 이용한 하천 녹조 모니터링 김종민(아이엠기술개발) / 장선웅(아이엠기술개발)		2021 공동추계학술대회 겨울철 도로 내 고해상도 복사량 산출 및 검증 High-resolution calculations of winter road surface radiation in Pocheon 권혁기¹⁾ · 양호진²⁾ · 이재현³⁾ · 영도현⁴⁾ Kwon, Hyuk Gi · Yang, Ho Jin · Yi, Chae Yeon, Lim Do · Hyun 1) 정회원 · 한국외국어대학교 대기환경연구센터 선임연구원(E-mail:hghg8743@gmail.com) 2) 준회원 · 한국외국어대학교 대기환경연구센터 선임연구원(E-mail:hobakcz@nate.com) 3) 정회원 · 한국외국어대학교 대기환경연구센터 책임연구원(E-mail:prpr.chaeyeon@gmail.com) 4) 한국외국어대학교 대기환경연구센터 연구원(E-mail:tonydodo@naver.com) 초 록 겨울철 도로결빙에 의한 사고는 매년 반복되고 있으며, 심각한 위험을 초래한다. 본 연구에서는 경기도 포천시에 있는 국도 139번을 대상으로 도로 주변의 지형과 식생높이를 고려한 상하층 열 교환과 복사량 패턴을 분석하기 위해 태양복사모델인 SOLWEIG(Solar and Longwave Environmental Irradiance Geometry-model)를 이용해 5m 해상도의 그림자 패턴, Sky View Factor(SVF), 상하 복사플럭스를 산출하였다. 5m 해상도로 계산된 그림자 패턴을 통해 차선별 상하층 열 교환을 진행할 수 있으며, SOLWEIG에서 계산된 도로의 고해상도 복사플럭스 값의 타당성 분석을 위해 지상 기상관측 및 위성영상 데이터를 이용하여, 2020년 겨울기간 중 도로결빙 관측 알고리즘을 통해 결빙 위험이 높은 4일을 선정하여 관측값과 검증할 수 있었다. 본 연구를 통해 산출된 자료는 도로 수준의 해설도를 갖는 실시간 복사 및 노면 예측 모델에 적용할 수 있는 가능성을 확인하였다. 핵심어 : 도로결빙, SOLWEIG, 복사플럭스, 그림자패턴 1. 서론 겨울철 도로결빙으로 인한 교통사고는 매년 반복되고 있다. 한계, 블랙아이스, 어논비 등 도로표면에 영향을 주는 도로위험기상의 발생빈도가 증가하고 있지만, 도로위험기상의 정보는 일반 기상정보에서는 얻을 수 없다. 도로결빙기간 예측을 위한 노면온도 예측에는 다양한 열수지 물리변수들이 적용된다. 기상정보에는 기온, 풍속, 기압, 습도, 순하향 단과 복사 에너지, 순하향 장파 복사에너지 등이 있다. 이러한 기상정보의 고해상도, 실시간 적용을 위해서는 실시간으로 수집되는 기상예측자료가 적용된 태양복사모델과 열수지 기반의 노면온도 예측모델의 결합이 필요하다. 박문수(2014)는 기상예측결과와 노면 물리적 특성 변수를 이용해 노면온도 예측모델인 UM-Road를 개발하였으나, 이는 공간분포 모델이 아닌 point 모델로 다양한 도로의 공간적 특성을 반영하지 못하였다. 본 연구에서는 실시간 도로 분해능 단위의 태양복사모델과 기상예측모델을 결합하여, 포천 379번 지방도를 대상으로 고해상도 그림자정보, SVF, 복사플럭스를 산출하고, 상하층 열 교환에 대한 분석을 수행하였다. 또한 지상관측과 위성영상을 이용해 모델 검증할 수 있었다.	

사업명	국토교통기술 촉진연구 사업	학회명	한국구조물진단유지공학회																									
과제명 (성과 발생기관)	도로분해능 해상도의 태양복사-노면온도-수막두께정보를 연계한 도로결빙 시공간 예보시스템 개발 (한국외국어대학교)																											
성과점검기준표	2-1-2																											
발표명	도로 노면결빙 판정 알고리즘 개발에 대한 연구																											
증빙자료																												
발표참가		초록 및 사사 부분																										
발표자 성명 임희섭 소속 및 부서 명파센타-109팀 휴대전화 010-8622-4737 이메일 heesupim@naver.com 논문제목(국문) 도로 노면결빙 판정 알고리즘 개발에 대한 연구 논문제목(영문) A Study on the Development of Road Freezing Evaluation Algorithm 발표형식 ☐ 구두발표 ☒ 포스터발표 ☐ 독점세션 발표분야 ☐ 구조성능 ☐ 유지관리 ☐ 재료 및 내구성 ☐ 건설안전 및 관리 ☒ 진단 공동저자 성명 / 소속 / 이메일 / 연락처 * 교신저자 김성태 (주)명파센타-109팀 stkim199@poc.M 01077062019 +		제4권 2호 1월호 48면 도로 노면결빙 판정 알고리즘 개발에 대한 연구 A Study on the Development of Road Freezing Evaluation Algorithm 임희섭* 김성태** Lim, Hee-Seob Kim, Sung-Tae 요약 겨울철 내릴 시고온은 교통사고를 유발하고 함께 인적 피해뿐만 아니라 사회적 경제적 손실을 크게 발생시키고 있는 실정이다. 도로 노면결빙에 대한 제기나온 분석은 많은 연구를 통하여 진행되어왔지만, 다양한 변수 상황에 대한 대책이 미비한 실정이다. 이는 다양한 기상변화 조건을 분석하여 도로 결빙에 대한 예측이 필수적으로 동반되어야 한다. 도로 결빙에 대한 결빙판정 알고리즘을 활용하여, 정확한 예측을 진행하기 위해서는 다양한 결빙 시나리오가 필요하며, 이를 위해서 도로 노면결빙 판정에 대한 알고리즘 개발이 필요하다. 키워드 : 도로 결빙 / Keywords : Road freezing 최근 기후온도 급격한 변화로 인하여 2019년 12월 상순~일반 고온도로 사고온 약 40도까지 단열사고온 발생되었으며, 이는 도로의 결빙으로 발생된 사고로 사회적 문제로 대두되었다. 겨울철 결빙사고는 노면 결빙 현상을 사전에 방지하기 위해 도로 결빙 시스템이 개발되어 운영 중에 있으나 도로 결빙에 대한 다양한 대책이 강구되지 못한 실정이다. 본 연구에서는 도로결빙 조건별 영향인자를 검토하고, 도로 결빙에 대한 결빙 판정 알고리즘을 도출하여, 도로결빙 판정 알고리즘 개발에 대한 기초적 자료를 제공하고자 한다. 도로 결빙의 영향인자로는 기상조건인 현재와 과거온도, 습도, 강수량, 이슬점온도, 풍속 등이며 이에 대한 도로결빙에 대한 판정조건을 다음 Table 1에 나타냈다. Table 1 도로결빙 예측 알고리즘(판정 조건) <table><thead><tr><th></th><th>노면온도 (℃)</th><th>노면-이슬점 온도차(℃)</th><th>풍속 (m/s)</th><th>노면 상태</th></tr></thead><tbody><tr><td>Karlsson</td><td>0 이하</td><td>0.5 이하</td><td>2 이하</td><td>-</td></tr><tr><td>Imachi</td><td>0 이하</td><td>1 이하</td><td>2 이상</td><td>-</td></tr><tr><td></td><td>-1 이하</td><td>-</td><td>-</td><td>wet</td></tr><tr><td></td><td>-1 이하</td><td>-</td><td>-</td><td>wet</td></tr></tbody></table> 도로결빙에 대한 판정조건 검토를 진행하기 위하여, 2018. 01. 1개월 동안 측정된 기상데이터를 활용하여 검증하였다. 측정자료 중 과거온도, 습도를 이용하여, 이슬점온도를 계산하여 데이터를 분석하였으며, 노면온도는 노면에 설치된 센서를 이용하여 비교분석하였다. 다음 Fig 1은 2018.01 측정데이터를 분석한 결과를 나타낸 것이다. Fig 1 2018.01 측정데이터 분석 Fig 2는 Fig 1의 데이터를 활용하여, 도로결빙 판정 알고리즘을 개발한 것이다. 도로결빙 판정 알고리즘은 도로결빙 판정 조건 및 결빙 조건으로 판정할 수 있다. 참고문헌 1. M. Karlsson, "Prediction of hour-frost by use of a road weather information system", Meteorological Applications: A journal of forecasting, practical applications, training techniques and modelling, Vol.8, No.1, pp.95-105, 2001.			노면온도 (℃)	노면-이슬점 온도차(℃)	풍속 (m/s)	노면 상태	Karlsson	0 이하	0.5 이하	2 이하	-	Imachi	0 이하	1 이하	2 이상	-		-1 이하	-	-	wet		-1 이하	-	-	wet
	노면온도 (℃)	노면-이슬점 온도차(℃)	풍속 (m/s)	노면 상태																								
Karlsson	0 이하	0.5 이하	2 이하	-																								
Imachi	0 이하	1 이하	2 이상	-																								
	-1 이하	-	-	wet																								
	-1 이하	-	-	wet																								

사업명	국토교통기술 촉진연구 사업	구분	데이터베이스	등록일	2021.12.23
과제명 (성과 발생기관)	도로분해능 해상도의 태양복사-노면온도-수막두께정보를 연계한 도로결빙 시공간 예보시스템 개발 (한국외국어대학교)				
성과점검기준표	1-1-1				
저작명	기상청 자동기상관측장비 자료 활용 동절기 포천시의 기상정보				
증빙자료					

제 D-2021-000131 호

 **데이터베이스제작자권리 등록증**

1. 데이터베이스의 제호(제목)	기상청 자동기상관측장비(AWS) 자료 활용 동절기 포천시의 기상정보
2. 데이터베이스제작자 성명 (법인명)	한국외국어대학교 연구산학협력단 경기도 용인시 처인구 모현읍 외대로
3. 생년월일(법인등록번호)	134571-0003947
4. 제작연월일	2021년11월19일
5. 갱신연월일	-
6. 공표연월일	-
7. 등록연월일	2021년12월23일
8. 등록사항	제작자 : 한국외국어대학교 연구산학협력단, 제작 : 2021.11.19

『저작권법』 제98조 및 같은 법 시행규칙 제8조제1항제4호에 따라 위와 같이 등록되었음을 증명합니다.

2021년 12월 24일

한국저작권위원회



사업명	국토교통기술 촉진연구 사업	구분	데이터베이스	등록일	2021.12.23
과제명 (성과 발생기관)	도로분해능 해상도의 태양복사-노면온도-수막두께정보를 연계한 도로결빙 시공간 예보시스템 개발 (한국외국어대학교)				
성과점검기준표	1-5-2				
저작명	포천 379번 도로 기하구조정보				
증빙자료					

제 D-2021-000133 호

 **데이터베이스제작자권리 등록증**

1. 데이터베이스의 제호(제목)	포천 379번 도로 기하구조 정보
2. 데이터베이스제작자 성명 (법인명)	한국외국어대학교 연구산학협력단 경기도 용인시 처인구 모현읍 외대로
3. 생년월일(법인등록번호)	134571-0003947
4. 제작연월일	2020년09월29일
5. 갱신연월일	-
6. 공표연월일	-
7. 등록연월일	2021년12월23일
8. 등록사항	제작자 : 한국외국어대학교 연구산학협력단, 제작 : 2020.09.29

『저작권법』 제98조 및 같은 법 시행규칙 제83조제1항제4호에 따라 위와 같이 등록되었음을 증명합니다.

2021년 12월 24일

한국저작권위원회 

사업명	국토교통기술 촉진연구 사업	구분	데이터베이스	등록일	2021.12.23
과제명 (성과 발생기관)	도로분해능 해상도의 태양복사-노면온도-수막두께정보를 연계한 도로결빙 시공간 예보시스템 개발 (한국외국어대학교)				
성과점검기준표	1-3-1				
저작명	포천시의 표준링크단위 교통주행속도 자료				
증빙자료					

제 D-2021-000132 호

 **데이터베이스제작자권리 등록증**

1. 데이터베이스의 제호(제목) 포천시의 표준링크단위 교통주행속도 자료

2. 데이터베이스제작자 성명 (법인명) 한국외국어대학교 연구산학협력단
경기도 용인시 처인구 모현읍 외대로

3. 생년월일(법인등록번호) 134671-0003947

4. 제작연월일 2021년12월12일

5. 경신연월일 -

6. 공표연월일 -

7. 등록연월일 2021년12월23일

8. 등록사항 제작자 : 한국외국어대학교 연구산학협력단,
제작 : 2021.12.12

『저작권법』 제98조 및 같은 법 시행규칙 제8조제1항제4호에 따라 위와 같이 등록되었음을 증명합니다.

2021년 12월 24일

한국저작권위원회 

사업명	국토교통기술 촉진연구 사업	구분	데이터베이스	등록일	2021.11
과제명 (성과 발생기관)	도로분해능 해상도의 태양복사-노면온도-수막두께정보를 연계한 도로결빙 시공간 예보시스템 개발 (한국외국어대학교)				
성과점검기준표	1-2-3				
기술명	도로분해능 해상도의 태양복사-노면온도-수막두께정보를 연계한 도로결빙 시공간 예보시스템				

증빙자료

사업명	국토교통기술 촉진연구 사업	구분		등록일	
과제명 (성과 발생기관)	도로분해능 해상도의 태양복사-노면온도-수막두께정보를 연계한 도로결빙 시공간 예보시스템 개발 (평화엔지니어링)				
성과점검기준표	2-5-4				
매뉴얼명	도로분해능 해상도의 태양복사-노면온도-수막두께정보를 연계한 도로결빙 시공간 예보시스템				
증빙자료					

제 C-2022-000839 호

 **저작권 등록증**

1. 저작물의 제호(제목)	도로분해능 해상도의 태양복사-노면온도-수막두께정보를 연계한 도로결빙 시공간 예보시스템 개발 - 프로그램 개발 매뉴얼 -
2. 저작물의 종류	편집저작물>기획안
3. 저작자 성명(법인명)	주식회사 평화엔지니어링 전라남도 나주시 문화로
4. 생년월일(법인등록번호)	111511-0019808
5. 창작연월일	2021년11월10일
6. 공표연월일	-
7. 등록연월일	2022년01월05일
8. 등록사항	저작자 : 주식회사 평화엔지니어링, 창작 : 2021.11.10

「저작권법」 제53조에 따라 위와 같이 등록되었음을 증명합니다.

2022년 01월 05일

한국저작권위원회 

사업명	국토교통기술 촉진연구 사업	구분	기술실시(이전)	등록일	
과제명 (성과 발생기관)	도로분해능 해상도의 태양복사-노면온도-수막두께정보를 연계한 도로결빙 시공간 예보시스템 개발 (한국외국어대학교)				
성과점검기준표	1-7-3				
계약명	도로분해능 해상도의 태양복사-노면온도-수막두께정보를 연계한 도로결빙 시공간 예보시스템				
증빙자료					

기술이전계약서

■ 계약명 : 도로분해능 해상도의 태양복사-노면온도-수막두께정보를
연계한 도로결빙시공간 예보시스템(기술 및 특허)

2021년 12월 14일

계약 당사자					
갑			을		
기관명	한국외국어대학교 연구산학협력단		상 호	주식회사 월드텍	
사업자번호	135-82-11191		사업자번호	221-81-15827	
주 소	경기도 용인시 처인구 용현동 외대로11		주 소	강원도 원주시 원문로 154	
대표자	박 영		대표자	이 장 수	
담당자	기획총괄팀		담당자	기업부설연구소 이주	
연 락 처	031-330-4689		연 락 처	033-746-4884	

사업명	국토교통기술 촉진연구 사업	구분	기술지원	등록일	
과제명 (성과 발생기관)	도로분해능 해상도의 태양복사-노면온도-수막두께정보를 연계한 도로결빙 시공간 예보시스템 개발 (한국외국어대학교)				
성과점검기준표	1-7-1				
프로그램명	태양복사, 노면온도, 수막두께 예측정보 산출모듈 이해				
증빙자료					

[첨부] 기술지원 프로그램 결과보고서(사진포함)

기술지원 프로그램 결과보고서

■ 산학연 연계 기술지원 개요

- 프로그램명 : 태양복사, 노면온도, 수막두께 예측정보 산출 모듈 이해
- 일시 : 2021년 11월 16일, 12월 1일
- 장소 : 한국외국어대학교 대기환경연구센터 및 비대면
- 대상 : ㈜ 월드텍 분철연구소 연구진

■ 기술지원 프로그램 운영

- 목적 : 도로결빙 시공간 예보시스템 내의 모듈에 대한 기술이해
- 내용
 - 도로결빙에 영향을 주는 기상환경 예측모델들의 종류, 입출력, 자료흐름 설명
 - 각 모델의 산출요소 검증에 위한 현장관측 센서의 종류와 방법 설명
 - 모델 및 알고리즘의 정확도 검증결과에 대한 의미와 해석방법 설명
 - 모델 간의 연계 구조와 실시간 운영을 위한 자동화 시스템에 대한 교육
 - 향후 기술지원 방향과 서비스 시스템 구축 방안 논의
- 관련 연구과제
 - 국토교통과학기술진흥원, 도로분해능 해상도의 태양복사-노면온도-수막두께정보를
연계한 도로결빙시공간 예보시스템 개발(2020~2021)

■ 운영사진



사업명	국토교통기술 촉진연구 사업	구분	기술지원	등록일	
과제명 (성과 발생기관)	도로분해능 해상도의 태양복사-노면온도-수막두께정보를 연계한 도로결빙 시공간 예보시스템 개발 (한국외국어대학교)				
성과점검기준표	1-7-3				
프로그램명	태양복사, 노면온도, 수막두께 예측정보 표출시스템 설계				
증빙자료					

[첨부] 기술지원 프로그램 결과보고서(사진포함)

기술지원 프로그램 결과보고서

■ 산학연 연계 기술지원 개요

- 프로그램명 : 태양복사, 노면온도, 수막두께 예측정보 표출시스템 설계
- 일시 : 2022년 1월 7일, 1월 19일
- 장소 : 한국외국어대학교 대기환경연구센터 및 비대면
- 대상 : ㈜ 월드텍 분실연구소 연구진

■ 기술지원 프로그램 운영

- 목적 : 도로결빙 예측정보의 서비스시스템 구축을 위한 기술지도
- 내용
 - 도로결빙 시공간 예보 시스템의 전체 구성 설명
 - 초기 입력자료의 수집·저장 시간과 운영 소요시간 설명
 - 중간 산출물들의 자동 저장방식과 저장공간에 대한 확인
 - 최종 산출물들의 산출시간, 시간단위, 예측시간에 대한 구성 확인
 - 서비스 시스템으로 운영을 위한 표출구성 설계 논의
- 관련 연구과제
 - 국토교통과학기술진흥원, 도로분해능 해상도의 태양복사-노면온도-수막두께정보를
연계한 도로결빙시공간 예보시스템 개발(2020-2021)

■ 운영사진



사업명	국토교통기술 촉진연구 사업	구분	시제품제작	등록일	
과제명 (성과 발생기관)	도로분해능 해상도의 태양복사-노면온도-수막두께정보를 연계한 도로결빙 시공간 예보시스템 개발 (한국외국어대학교)				
성과점검기준표	1-7-3				
시제품명	도로결빙 시공간 예보시스템				
증빙자료					

[첨부] 시제품제작 결과보고서

시제품제작 결과보고서

■ 시제품 제작 개요

- 시제품명 : 노면결빙 시공간 예보시스템
- 제작기간 : 2021년 04월 ~ 2021년 11월
- 목적 : 현장연구에 필요한 자료 수집, 입력, 모의, 출력 체계의 일원화 및 시각화
- 내용 : 시스템 구축을 위한 DB, 기능, GUI 설계

■ 시제품 제작 내용

- 노면결빙 예보시스템 기능설계 및 GUI 설계
 - 노면결빙 예보시스템 사용자 그룹별 요구사항을 반영한 기능설계와 사용자 그룹의 업무환경에 부합되는 사용자 인터페이스를 설계
 - 노면결빙 저점에 대한 온도 및 강수와 같은 정보 표시 기능이 필요하고 휴대용 기기를 통해 접속하여 정보 확인이 가능하도록 설계
 - 윈도우 플랫폼 기반의 시스템이 아닌 웹페이지 기반으로 하여 PC와 모바일, 태블릿에서도 확인이 가능하도록 설계
 - 메뉴 트리는 2개의 웹소로 구성하며 메인화면에서는 시스템 소개, 기상 및 관측정보, 노면결빙 예측시스템, 데이터관리, 환경설정 중 5개의 메뉴를 상시로 최상단에 표시하도록 하며 하의 메뉴를 배치하여 조회할 수 있도록 설계



< 노면결빙 시스템 데이터 및 예측 과정 >

- 1 -

○ 노면결빙 예보시스템 제작 결과

- 상단에는 개인페이지로 돌아올 수 있는 버튼과 프로그램 관리자에게 메일을 보낼 수 있는 페이지로 연결된 버튼, 그리고 로그인과 회원가입으로 구성됨
- 실시간 수집된 기상 및 관측정보 표시, 기상예보 및 노면결빙관련 모델들의 산출자료, 교통정보 등의 표출을 수행하고 실시간으로 해당지역 정보를 나타냄



< GUI 화면 - 메인, 데이터, 설정화면 >



< 각종 확률치 표출화면 출력결과 시각화 >

현장적용 성능시험

사업명	국토교통기술 촉진연구 사업	구분	현장적용	등록일	
과제명 (성과 발생기관)	도로분해능 해상도의 태양복사-노면온도-수막두께정보를 연계한 도로결빙 시공간 예보시스템 개발 (한국외국어대학교)				
성과점검기준표	1-6-1				
시험명	도로기상관측장비 현장구축과 예측정보 검증 시험				
증빙자료					
제출 : 박근영 / 도로과 (2020-11-02 09:23:33) "세계화를 선도하는 국제 제1의 글로벌대학" 연구산학협력단 수신자 포천시청 (경유) 도로과 도로관리팀장 제목 국가연구개발사업 시험구간의 선정, 도로기상관측 및 연구성과 현장 적용 협조 요청의 건 1. 귀 기관의 무궁한 발전을 기원합니다. 2. 국토교통과학기술진흥원에서 지원하고 한국외국어대학교 대기환경연구센터에서 수행중인 국가연구개발사업 「도로분해능 해상도의 태양복사-노면온도-수막두께정보를 연계한 도로결빙 시공간 예보시스템 개발」 관련입니다. 3. 상기 사업과 관련하여 아래와 같이 귀 기관의 관내 도로인 지방도 379호선을 대상으로 동절기 도로기상정보 및 노면상태 등을 관측하고 연구성과(결빙측화 구간 추정, 결빙예측 및 결빙 등)를 측정자를 하고자 하오니 적극적인 협조 부탁드립니다. - 아 래 - 1. 대 상 : 지방도 379호선 6.1km구간 (여매리정파크-여문정보건강진료소) 2. 관측 및 적용 기간 : 2020.11.01.~2021.12.31. (기간 내 동절기) 붙임, 사업 요약 및 연구성과 현장적용 계획 1부, 끝. 한국외국어대학교 연구산학협력단장  포 천 시 수신 한국외국어대학교 연구산학협력단 (경유) 제목 국가연구개발사업 도로기상관측 및 연구성과 적용에 관한 의견 회신 1. 한국외국어대학교 연구산학협력단 기획총-1937(2020.10.28.)와 관련입니다. 2. 귀 연구협력단에서 개발중인 「도로분해능 해상도의 태양복사-노면온도-수막두께 정보를 연계한 도로결빙 시공간 예보시스템 개발」과 관련하여 아래와 같이 우리부 서 의견을 회신합니다. 가. 신북면 일원 지방도 379호선 내 동절기 도로기상정보 및 노면상태 등을 관측하는 장비의 설치(고장시설 등) 시에는 우리시에 아래 서류를 구비하여 「도로법」 제 61조에 따라 협의(도로감용허가 등)를 하여주시기 바라며, 도로 분선(지방도 379 호선)에 열함이 압록북 하여주시기 바랍니다. - 아 래 - ○ 구비서류 : 관측기기 설치위치, 규모, 기기위 종류, 관측기간 등 ○ 협의기간 : 과업 착수 전 우리부서 별도협의 바랍니다. 끝.					
포 천 시 장 주무관 박근영 도로정책팀장 협조자 시청 도로과-25420 ☎ : 11147 경기도 포천시 중앙로 87, (신원동) / www.pochon.go.kr 전화번호 031-538-2434 팩스번호 031-538-2770 / youngnam@korea.kr / 비공개(5) 문화체육관광부 경기도 포천 문화관광체육부 도로과-25420 1-1					

사업명	국토교통기술 촉진연구 사업	구분	홍보	홍보일	2021.11~13
과제명 (성과 발생기관)	도로분해능 해상도의 태양복사-노면온도-수막두께정보를 연계한 도로결빙 시공간 예보시스템 개발 (한국외국어대학교)				
성과점검기준표	1-7-3				
홍보명	도로안전기상정보 솔루션				
증빙자료					

[첨부] 운영사진



사업명	국토교통기술 촉진연구 사업	구분	일자리창출	등록일	
과제명 (성과 발생기관)	도로분해능 해상도의 태양복사-노면온도-수막두께정보를 연계한 도로결빙 시공간 예보시스템 개발 (한국외국어대학교)				
성과점검기준표	1-3-1				
증빙자료					

한국외국어대학교
Hankuk University of Foreign Studies

학생연구자 연구참여확인서(2차)

학생연구자연구관리기관의 장과 연구책임자계정의 계정책임자 이재연, 학생연구자 임도현은 다음과 같이 학생연구자 운영에 필요한 사항을 정하고 이를 신의와 성실로 준수하기 위해 등 연구참여확인서를 체결한다.

1. 학생연구자 인적사항

성명	임	학번	2018	생년월일	19
소속 (학과명)	산업경영공학과				
국가연구자번호	12817751	과정 및 학기	학사과정생 4 학기		
주소	우)07979				
연락처	(휴대전화번호) 010-				

2. 연구참여정보

가. 연구참여기간 : 2021.10.01 ~ 2022.02.28

나. 담당업무(역할) : 도로 및 교통관련 빅데이터 현황 및 통계 분석

* 연구수행내용, 역할 등 담당업무를 구체적으로 작성하고, 연구와 관련 없는 업무는 담당 할 수 없다

다. 계정단위 월 참여율 및 학생연구자 지급액

구분	9월	10월	11월	12월	1월	2월	합계 (세금포함)
연구책임자계정 지급액	0	550,000	550,000	550,000	800,000	800,000	3,250,000
지급률	%	55 %	55 %	55 %	80 %	80 %	

* 지급률 = 월 지급액 / 월별 학생연구자 계산기준

- 변경일자 : 2021.12.13

- 변경사유 : 학생연구자 참여율 변경

라. 학생연구자 지급일 : 매달 넷째 주

마. 지급방법 : 학생연구자 명의 예금통장에 입금

* 참여중단 종료 시 중단 종료일까지 참여한 업무 일(월 등)수에 대해 일할(월할 등) 계산하여 지급함

바. 계정책임자

성명	이재연
소속 (학과명)	대기환경연구센터
연락처	(연구실) 010-2872-0032 (E-mail) ppr2222@hufs.ac.kr

한국외국어대학교
Hankuk University of Foreign Studies

3. 기타 학약사항

가. 학생연구자는 연구 수행에 필요한 담당업무를 성실히 수행 한다.

나. 계정책임자는 학생연구자의 학업활동 및 연구활동, 충분한 휴식을 보장하기 위해 노력하고, 학생연구자 제도를 공정하고 투명하게 운영한다.

다. 계정책임자는 학생연구자에게 연구 내용과 무관한 업무를 지시하거나 연구참여확인서에 명시되지 않은 활동이나 사적 업무에 동원하지 않는다.

라. 계정책임자는 학생연구자의 재해 예방을 위해 안전 보건교육을 실시하고, 연구실험력단장과 협의하여 실험 사항에 대비하여 보험가입 등 안전 보건에 필요한 조치를 취한다.

마. 학생연구자에게 폭언 폭행 성추행, 성희롱, 갑질 행위는 금지한다.

바. 계정책임자는 학생연구자에게 지급된 학생연구자비를 어떠한 이유에서든지 회수하여 공동으로 관리 또는 사용(학생연구자비부담회수)하지 않는다.

사. 학생연구자는 계정책임자가 연구참여확인서 조건을 위반하였을 경우 연구개발기관에 시정을 요구 할 수 있다.

아. 학생연구자는 동 연구참여확인서에 따라 지급 받는 인건비 이외에 타 소득이 발생한 경우 계정책임자 및 소속된 연구개발기관에 반드시 통보하여야 한다.

자. 계정책임자는 학생연구자가 질병 실종 행사소수 등으로 업무 수행에 불가능하거나 업무 능력 미달 또는 업무를 성실히 수행하지 아니할 경우 연구참여확약을 취소할 수 있다.

2021년 12월 13일

학생연구자 : 임 (서명 또는 인)

계정책임자 : 이재연 (서명 또는 인) 

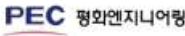
한국외국어대학교 연구실험력단장 (인) 

*** 비고**

본교 외국인 유학생이 학점취득, 논문작성 등과 관련하여 과제에 참여한 경우에는 출입국관리사무소의 허가를 득할 필요는 없으나 연구책임자의 지도하에 유학(D-2)재류자격에 위배되지 않도록 소관부처의 재유관련 지침을 준수하여야 함.

HANKUK UNIVERSITY OF FOREIGN STUDIES

Seoul Campus : 5295-4488(내선) 5295-7100 157-157, Hwaseong, Ganghwa-myeon-gu, Seoul, 02909, Korea Tel 02-2713-2714 Fax 02-960-7898
 Global Campus : 1328-8710 8711 4537 4538 4539 4540 4541 4542 4543 4544 4545 4546 4547 4548 4549 4550 4551 4552 4553 4554 4555 4556 4557 4558 4559 4560 4561 4562 4563 4564 4565 4566 4567 4568 4569 4570 4571 4572 4573 4574 4575 4576 4577 4578 4579 4580 4581 4582 4583 4584 4585 4586 4587 4588 4589 4590 4591 4592 4593 4594 4595 4596 4597 4598 4599 4600 4601 4602 4603 4604 4605 4606 4607 4608 4609 4610 4611 4612 4613 4614 4615 4616 4617 4618 4619 4620 4621 4622 4623 4624 4625 4626 4627 4628 4629 4630 4631 4632 4633 4634 4635 4636 4637 4638 4639 4640 4641 4642 4643 4644 4645 4646 4647 4648 4649 4650 4651 4652 4653 4654 4655 4656 4657 4658 4659 4660 4661 4662 4663 4664 4665 4666 4667 4668 4669 4670 4671 4672 4673 4674 4675 4676 4677 4678 4679 4680 4681 4682 4683 4684 4685 4686 4687 4688 4689 4690 4691 4692 4693 4694 4695 4696 4697 4698 4699 4700 4701 4702 4703 4704 4705 4706 4707 4708 4709 4710 4711 4712 4713 4714 4715 4716 4717 4718 4719 4720 4721 4722 4723 4724 4725 4726 4727 4728 4729 4730 4731 4732 4733 4734 4735 4736 4737 4738 4739 4740 4741 4742 4743 4744 4745 4746 4747 4748 4749 4750 4751 4752 4753 4754 4755 4756 4757 4758 4759 4760 4761 4762 4763 4764 4765 4766 4767 4768 4769 4770 4771 4772 4773 4774 4775 4776 4777 4778 4779 4780 4781 4782 4783 4784 4785 4786 4787 4788 4789 4790 4791 4792 4793 4794 4795 4796 4797 4798 4799 4800 4801 4802 4803 4804 4805 4806 4807 4808 4809 4810 4811 4812 4813 4814 4815 4816 4817 4818 4819 4820 4821 4822 4823 4824 4825 4826 4827 4828 4829 4830 4831 4832 4833 4834 4835 4836 4837 4838 4839 4840 4841 4842 4843 4844 4845 4846 4847 4848 4849 4850 4851 4852 4853 4854 4855 4856 4857 4858 4859 4860 4861 4862 4863 4864 4865 4866 4867 4868 4869 4870 4871 4872 4873 4874 4875 4876 4877 4878 4879 4880 4881 4882 4883 4884 4885 4886 4887 4888 4889 4890 4891 4892 4893 4894 4895 4896 4897 4898 4899 4900 4901 4902 4903 4904 4905 4906 4907 4908 4909 4910 4911 4912 4913 4914 4915 4916 4917 4918 4919 4920 4921 4922 4923 4924 4925 4926 4927 4928 4929 4930 4931 4932 4933 4934 4935 4936 4937 4938 4939 4940 4941 4942 4943 4944 4945 4946 4947 4948 4949 4950 4951 4952 4953 4954 4955 4956 4957 4958 4959 4960 4961 4962 4963 4964 4965 4966 4967 4968 4969 4970 4971 4972 4973 4974 4975 4976 4977 4978 4979 4980 4981 4982 4983 4984 4985 4986 4987 4988 4989 4990 4991 4992 4993 4994 4995 4996 4997 4998 4999 5000

사업명	국토교통기술 촉진연구 사업	구분	보고서	등록일	
과제명 (성과 발생기관)	도로분해능 해상도의 태양복사-노면온도-수막두께정보를 연계한 도로결빙 시공간 예보시스템 개발 (평화엔지니어링)				
성과점검기준표	2-4-3				
보고서명	노면결빙예보시스템 서비스 시나리오				
증빙자료					
노면결빙 예보 시스템 서비스 시나리오 2021.11 			노면결빙 예보 시스템 서비스 시나리오 1. 노면결빙 예보 시스템 1) 서비스 목표 • 해당 프로그램의 최종 목적은 도로분해능 해상도의 태양복사-노면온도-수막 두께정보를 연계한 도로결빙 시공간 예보시스템 개발이다. • 해당 프로젝트에서 진행하는 내용은 다음과 같다. (1) 노면온도-수막두께-도로기하구조를 연계한 해상도 노면온도예측모델 • 결빙위험 대상지역의 수치모델 입력자료 실시간 수집모듈 개발 • 도로분해능 태양복사모델(SOLWEG) 복사물류스 산출체계 구축 • 일수주기별 노면온도예측모델의 노면온도 산출체계 구축 • 태양복사모델과 노면온도예측모델 커플링기술 개발 • 도로 수막정보예측모델 구축과 수막두께정보 산출 (2) 장제적 도로결빙조건을 고려한 도로결빙 시공간 예보시스템 • 도로 노면결빙 영향인자 분석 및 예측 알고리즘 개발 • 도로 노면결빙예보시스템 자동화 설계 2) 프로그램 개요 (1) 프로그램 서비스 정의 • 본 프로그램은 국가연구개발사업인 [도로분해능 해상도의 태양복사-노면온도-수막두께정보를 연계한 도로결빙 시공간 예보시스템 개발]의 연구 성과물의 일부이다. • 노면 온도, 수막 두께, 노면 결빙 예측모델을 탑재하여 사용자에게 예·경보		

사업명	국토교통기술 촉진연구 사업	구분	보고서	등록일								
과제명 (성과 발생기관)	도로분해능 해상도의 태양복사-노면온도-수막두께정보를 연계한 도로결빙 시공간 예보시스템 개발 (평화엔지니어링)											
성과점검기준표	2-4-2											
보고서명	예보시스템 연산 효율성 향상을 위한 단계별 해석방안 정립											
증빙자료												
예보시스템 연산 효율성 향상을 위한 단계별 해석 방안 정립 2021.11 PEC 평화엔지니어링												
평화엔지니어링 연산 효율성 향상을 위한 단계별 해석 방안 정립 1. 결빙 알고리즘 제작 및 결빙 판정 분석 D) 도로결빙의 발생 요인 - 노면결빙은 도로 노면이 습한 상태에서 도로의 노면 온도가 0℃ 이하이면서 노면 온도 보다 낮은 경우에 발생 가능성이 있음. 또한, 강설이 발생하여 그대로 결빙되거나 눈이 녹았다가 얼음을 다시 반복하거나, 수증기가 응결하여 결빙하는 경우 등 다양한 경우에서 도로 결빙이 발생함. - 노면결빙은 특정 환경과 수직에서의 발생하는 것이 아니라 다양한 기상 조건 및 환경에서 발생하기 때문에 노면결빙에 대한 알고리즘은 여러 상황과 기상 조건을 반영할 수 있어야 함. - 도로에서 노면결빙이 발생하는 요인으로는 기상조건으로는 대기 온도, 습도, 강수 및 강설, 안개 발생 등이 노면에 직접적인 영향을 주는 요인이며 지형조건으로는 하도·경도, 고도, 방풍, 교량의 유무, 유량 구간 등이 있음. 그 외에도 도로의 기하구조에 의해 지도 영향을 받기도 하는데 종단경사, 도로의 폭, 방풍·경사 등에 의해 지·전길목으로 도로 결빙에 영향을 주기도 함. 표 1. 도로결빙 영향인자 <table><tr><th>조.인</th><th>영향인자</th></tr><tr><td>기상</td><td>대기 온도, 습도, 강수·강설량, 안개 유무</td></tr><tr><td>지형</td><td>하도·경도, 고도, 방풍이 강한 장소, 교량 유무, 유량 구간</td></tr><tr><td>도로 기하구조</td><td>종단경사, 도로의 폭, 방풍경사</td></tr></table> - 이러한 다양한 요인 이외에도 기상조건과 지형조건을 활용하여 노면 온도 예측이 가능함. 일반적으로 결빙은 강수와 강설 조건이 없는 경우 노면 온도가 0℃ 이하이면서 이 습한 온도 보다 낮은 경우 결빙을 가능성이 있으며 이습한 온도는 온도, 습도와의 상관관계로 계산할 수 있음. - Liao(2020)은 도로 결빙 판단 조건에 대한 연구를 정리하였으며, Karlsson(2001)은 노면 온도가 0℃ 이하이면서 노면 온도와 노면 온도 차가 1℃ 이하 조건에서 도로 결빙이 발생한다고 정리하였으며 Imachi(2002)는 노면 온도 1℃ 이하이면서 노면 상태가 습한 일 때는 도로 결빙 가능하다고 정리하였으며 -1℃ 이하 조건에서 노면 상태가 습한일 때 결빙이라고 정리하였음. - Kim(2001)은 도로 결빙 예측 알고리즘이 노면 온도가 0℃ 이하이면서 노면 온도와 노면 온도 차이가 3도 이하, 습도가 70% 이상일 때 도로 결빙이라 말하였음.					조.인	영향인자	기상	대기 온도, 습도, 강수·강설량, 안개 유무	지형	하도·경도, 고도, 방풍이 강한 장소, 교량 유무, 유량 구간	도로 기하구조	종단경사, 도로의 폭, 방풍경사
조.인	영향인자											
기상	대기 온도, 습도, 강수·강설량, 안개 유무											
지형	하도·경도, 고도, 방풍이 강한 장소, 교량 유무, 유량 구간											
도로 기하구조	종단경사, 도로의 폭, 방풍경사											

사업명	국토교통기술 촉진연구 사업	구분	보고서	등록일	
과제명 (성과 발생기관)	도로분해능 해상도의 태양복사-노면온도-수막두께정보를 연계한 도로결빙 시공간 예보시스템 개발 (평화엔지니어링)				
성과점검기준표	2-4-1				
보고서명	노면결빙 예보 시스템 사용자 요구사항 분석				
증빙자료					
노면결빙 예보 시스템 사용자 요구사항 분석 2021.11 PEC 평화엔지니어링			노면결빙 예보 시스템 사용자 요구사항 분석 1. 노면결빙 관련 전문기관 인터뷰(한국도로공사) D 예보 시스템 관련(한국도로공사) - 현재 제철 관련 대응력 담당자는 재난관리처 이후진 과장이 담당자이며, 제철 관련 예보 시스템 담당자는 재난안전처 확보된 차량(대리 물리적 손해를 대비)가 담당하고 있음. - 현재 도로공사에서도 예보 시스템을 만들고 있는데 데이터는 기상청 데이터를 기반으로 하고 현재 기반 모니터링 시스템임. - 음해부터 시험 서비스를 진행하고 있으며 전국 본부 관내에 운영하고 있으며 점진적으로 내무망을 설치하고 있음. - 현재 도로공사에서 가지고 있는 예보 시스템에 대해서 장소나 자료 공개는 어려움. - 현재 기상청과 협의하여 20km 지점마다 기상 장비를 설치하여 모니터링 하고 있고 정확히 예측이 편지 둘다 활용하여 모니터링 하고 있음. 해당 연구 과제는 현재 2025년까지 진행될 예정임. - 현재 도로공사에서는 센서를 통해서 정보를 받는 게 가장 정확하다고 판단하고 있음. - 하지만 센서 기반의 경우 정해진 지역에서는 유리한 점이 있지만 대역이나 설치물 해야 하는 문제 때문에 신규 장소나 확장에 있어서는 문제가 있음. - 시스템에서 활용 중인 정보는 기상청에서 제공하고 있으며 시스템 역시 기상청과 협의하거나 용역 발주를 통하여 제작·운영을 하고 있음. - 도로공사의 시스템은 기계학습 모델이며 기상청에서 현재 제공하고 있는 정보들은 통계적인 방법론 접근을 통해 결빙예측을 하고 있음. - 기상청에서 목표로 하는 정확도는 90%, 하지만 현재 시스템에선 정확도에 대해 검증이 되지 않은 상황임.		

사업명	국토교통기술 촉진연구 사업	구분	보고서	등록일	
과제명 (성과 발생기관)	도로분해능 해상도의 태양복사-노면온도-수막두께정보를 연계한 도로결빙 시공간 예보시스템 개발 (한국외국어대학교)				
성과점검기준표	1-7-3				
보고서명	도로분해능 해상도의 태양복사-노면온도-수막두께정보를 연계한 도로결빙 시공간 예보시스템 개발				
증빙자료					

최종보고서(일반과제용)										보안등급	
										일반[✓], 보안[]	
중앙행정기관명	국토교통부			사업명	사업명					국토교통기술촉진연구 사업	
전문기관명	국토교통과학기술진흥원			내역사업명							
공고번호	공고-제00호			출발연구개발 식별번호						-	
국가과학기술 보장본부	E10505			연구개발과제번호	200TAP-0167871-01						
출발연구개발명	구분	도로분해능 해상도의 태양복사-노면온도-수막두께정보를 연계한 도로결빙 시공간 예보시스템 개발									
	영문	Development of road-freezing space-time forecasting system by linking solar radiation, road surface temperature and water depth information with road-resolving resolution									
연구개발과제명	구분										
주관연구기관	기관명	한국외국어대학교 연구산학협력단			사업자등록번호	136-82-11191					
	주소	(주) 경기도 불린시 외대로 81			법인등록번호						
주관연구책임자	성명	이재현			직위	책임연구원					
	연락처	직장전화 031-8020-5559			휴대전화	010-2872-0032					
		전자우편 prpr2222@hufs.ac.kr			국가연구자번호	11149977					
연구개발기간	전체	2020.04.18. ~ 2021.12.31(1년, 8개월)									
	1년차	2020.04.18. ~ 2020.12.31(0년, 8개월)									
	2년차	2021.01.01. ~ 2022.12.31(1년, 0개월)									
연구개발비 (단위: 천원)	정부지원 연구개발비	기관부담 연구개발비	그 외 기관 등의 지원금				합계			연구개발 비용 지원금	
	현금	현금	현금	현금	현금	현금	현금	현금	현금		
총계	370,000	17,800	94,200	-	-	-	387,800	94,200	482,000	-	
1년차	180,000	8,800	34,200	-	-	-	188,800	34,200	200,000	-	
2년차	210,000	12,000	60,000	-	-	-	222,000	60,000	282,000	-	
공동연구기관 등	기관명	책임자	직위	휴대전화	전자우편	면담	비고				
공동연구기관	주말 화원지니어링	김상현	연구원	031-420-7811	skim99@pac.kr		공동연구				
위탁연구기관											
연구기관 외 기관	주최연구소글로벌	이종섭	대표이사	031-381-2018	dalsee@pacificglobal.co.kr		공동기업				
	주거주택	김혜원	주장	031-748-0978	u@alego@gmail.com		공동기업				
연구개발담당자 실무담당자	성명	안영호			직위	책임연구원					
	연락처	직장전화 031-8020-5559			휴대전화	010-8270-2939					
		전자우편 anahn@hufs.ac.kr			국가연구자번호	10863266					
이 최종보고서에 기재된 내용이 사실임을 확인하며, 만약 사실이 아닌 경우 관련 법령 및 규정에 따라 제재 처분 등의 불이익도 감수하겠습니다.											
2022년 02월 08일											
주관연구책임자 : 이재현 											
주관연구기관의 장 : 한국외국어대학교 연구산학협력단 박영철 (직인)											
국토교통과학기술진흥원장 귀하											

주 의

1. 이 보고서는 국토교통부에서 시행한 국토교통과학기술 연구개발사업 ‘도로분해능 해상도의 태양복사-노면온도-수막두께정보를 연계한 도로결빙 시공간 예보시스템 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.