

도로기상기술 연구동향 및 시사점

2022년 9월

요약문

- 최근 계속되는 폭설·폭우 등 이상기후로 도로재난재해 지속적 발생, 악천후로 인한 교통사고의 치사율은 '맑음' 상태일 때보다 평균 약 2.3배 높아 도로 방재·안전에 대한 중요성 부각
- 각국 정부는 기후변화에 따른 도로여건변화를 인지하고 도로기상 모니터링 시스템 구축 및 실시간 정보 제공 확대 등 안전한 도로 환경 구축을 위해 노력 중
 - * 미국 'Clarus', 영국 'National Highways', 일본 '기타노미치나비', 한국 '날씨마루 도로기상정보' 등
- 한편, 우리 정부는 도로망의 지속적 확충을 통한 전국 2시간 생활권 조성, 2027년 완전자율주행 도입 등을 국정과제로 제시
 - * (국정과제 28번) 모빌리티 시대 본격 개막 및 국토교통산업의 미래 전략산업화 (국정과제 39번) 빠르고 편리한 교통 혁신
- 산업계는 자율주행차 개발에 필요한 도로기상 및 노면상태 식별력제고를 위해 다양한 4차산업 기술을 접목한 기술개발을 추진 중
- 이러한 정책·산업·기술적 환경변화에 따라 최근 영상처리기술을 기반으로 한 노면상태 및 도로주변 기상상태 모니터링 기술이 개발 중
- 또한, 차량바퀴속도 등 차량부착 센서에서 획득한 데이터를 기존 기상정보와 결합하여 노면상태를 파악하는 기술도 개발
- 자율주행차 관련 연구로는 악기상 상태에서의 식별력 제고를 위한 각종 센서 정확도 향상 기술 개발이 진행 중이며, 가상현실을 이용한 기상상태별 자율주행 시뮬레이션 기술도 개발
- 도로관리 측면에서의 도로기상정보 제공에 대한 기술개발과 함께 자율주행차 관련 산업계 수요를 충족시킬 수 있는 융합기상기술의 지속적 개발과 지원이 필요

목차

I. 서론	1
II. 도로기상정보 제공 서비스 현황	5
1. 미국	6
2. 영국	7
3. 일본	7
4. 한국	8
III. 도로기상기술 연구동향	10
1. 영상처리 기반 도로기상 모니터링 기술	10
2. 센서 기반 도로기상 모니터링 기술	12
3. 기상인자가 자율주행에 미치는 영향 연구	14
IV. 시사점	16
참고문헌	17

I 서론

□ 최근 계속되는 폭설·폭우 등 이상기후로 도로재난재해 지속적 발생

- 최근 3년('18~'20)간 악천후로 인한 교통사고의 비중이 전체 교통사고의 약 11%에 달하며, 치사율은 '맑음' 상태 일 때보다 평균 약 2.3배가 높은 것으로 나타남

※ [표1] 교통사고지표 현황에 따르면 눈일 경우 1.2배, 안개일 경우 4.6배

[표1] 교통사고지표 현황(18~20년)

기상상태	발생건수	대형사고	중대사고		사망자수	치사율(%)	발생비중(%)
			여객(건)	화물(건)			
맑음	582,846	114	75	4,834	8,501	1.46	88.79
흐림	21,221	5	4	189	641	3.02	3.23
비	44,670	12	12	385	909	2.03	6.81
안개	678	1	1	29	46	6.78	0.10
눈	2,695	3	2	27	46	1.71	0.41
기타	4,292	0	0	29	68	1.58	0.65
합계	656,402	135	94	5,493	10,211	100	100

※ 출처: 공공데이터포털 www.data.go.kr (도로교통공단 제공)

- 안개, 폭우, 폭설 등으로 인한 사고는 치사율이 높고 대형사고로 이어지는 경우가 많음

▶ 악천후 교통사고 피해 사례

- 폭설, 눈길 고속도로에서 11중 추돌 사고(22. 3. 19./네이버뉴스)
- 미국, 눈보라 몰아 친 고속도로에서 50중 추돌(22. 3. 20./KBS)
- 대전서 빗길에 미끄러진 승용차 4대 연쇄추돌...4명 부상(22. 9. 5./네이버뉴스)
- 눈길에 곳곳 사고, 서해안고속도로 35중 추돌(21. 1. 18./한국경제)
- 안개 낀 서해대교서 14중 추돌사고(20. 10. 20./네이버뉴스)



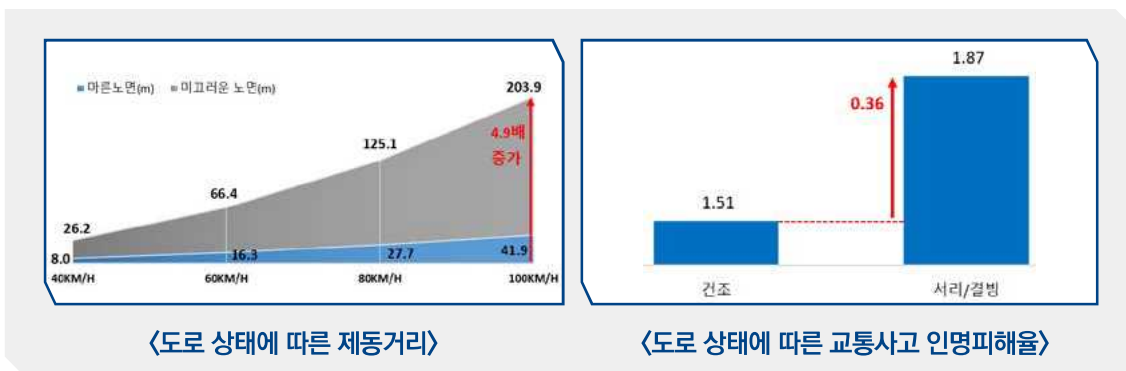
〈안개〉



〈눈, 도로살얼음〉

※ 출처: (좌) 안개 낀 서해대교서 14중 추돌사고, 네이버뉴스(2020. 10. 20.)
(우) 눈길에 곳곳 사고, 서해안고속도로 35중 추돌, 한국경제(2021. 1. 18.)

- 또한, 기상상태에 따라 달라지는 노면 상태는 교통사고 인명피해의 주요 원인으로 작용하는데 서리나 결빙 상태일 경우 인명피해율은 건조 도로보다 1.87배까지 증가



[그림1] (좌) 도로 상태에 따른 제동거리, (우) 도로 상태에 따른 교통사고 인명피해율

※ 출처: 오전 6시~10시, 빙판길 교통사고의 40.3% 발생, 행안부 보도자료(2020.12.4.)

□ 정부는 기후변화에 따른 도로여건변화를 인지하고 도로기상 모니터링 및 도로기상 안전 제고방안을 마련 중

- (국토교통부) 안전한 도로환경 조성을 위하여 도로살얼음 등 사고예방 인프라 확충 등을 담은 「제2차 국가도로망종합계획(2021~2030)」* 수립¹⁾
 - 취약구역 내 자동염수분사시설, LED 결빙주의표지, 스마트 CCTV 등 살얼음 예방을 위한 안전시설 지속 확충 및 사고예방 시스템 고도화 추진
 - 기상상황에 따라 자동으로 동작하는 스마트 도로조명 개발 및 확대 추진

* 경제, 포용, 안전, 미래 등 4대 정책방향에 따라 국가간선도로망 개편, 공공성 강화, 이용자 편의 제고, 디지털·스마트 도로 구축 등을 추진과제로 제시(국토교통부 2021. 12월)



[그림2] 겨울철 도로살얼음 예방인프라 확충(제2차 국가도로망종합계획)

1) 제2차 국가도로망종합계획(2021~2030), 국토교통부(2021)

- (행정안전부) 호우·폭우 등 기후변화에 따른 도로 인근의 붕괴 위험 예측·예보 시스템 고도화 등을 담은 「기후변화에 따른 풍수해 대응 혁신 종합대책」* 마련²⁾
 - AI·IoT·빅데이터 등 최신 기술을 도로 인프라에 적용하여 산사태 예측 체계 등 실시간 모니터링 체계를 도입하고 예방 인프라 확충 사업 지속 확대
 - * 급경사지 붕괴 방지를 위한 추진전략 제시(행정안전부 2021)
- (기상청) 도로상에서 발생하는 도로살얼음, 안개 등으로 인한 교통사고 예방을 위한 관측기반의 정보제공을 위해 「도로기상관측망 구축 및 운영계획」에 따른 관측망 구축 추진
 - '22~'25년 동안 전국 26개 고속도로 노선에 도로노면 상태 및 기상상황 파악을 위한 도로기상관측망 설치·운영, 서비스체계 구축을 목표

□ 또한, 정책환경 및 자율주행 등 산업·기술변화에 따라 도로기상기술 수요는 증가 추세

- (정책) 신정부는 도로망 지속적 확충을 통해 전국 2시간 생활권 조성을 국정과제로 제시
 - ※ 국정과제 39번, 빠르고 편리한 교통 혁신
 - (고속도로) 필요 도로연장을 최소한으로 산출 시 '30년 458km, '40년 487km 건설·확장 제시³⁾. 향후도로연장으로 인하여 산지비탈면, 터널, 교량구간 확대로 국지성 호우, 폭설 등 기상여건에 대한 재해 위험성 취약구간이 늘어날 것으로 예상
- (산업·기술환경) 자동차 업계 자율주행차 개발 경쟁으로 자율주행 기술이 급격히 발달하고 있으며, 도로 주변의 기상상태 및 노면상태 등에 대한 정확한 관측자료와 정보에 대한 수요 증대
 - 미국, 일본, 프랑스, 영국 등 선진국을 필두로 세계 각국 정부는 완전 자율주행을 위해 관련 제도 및 법률을 정비하고 있으며, 자율주행차 탑재센서(카메라, 레이더, 라이다)를 활용한 도로기상 감지 등 관련 기술의 고도화 연구 추진
 - 영국 자동차데이터분석기관 컨퓨즈드닷컴에서는 자율주행차 시대 준비가 된 국가 TOP5(미국-일본-프랑스-영국-독일 순)를 선정하였으며⁴⁾, 특히 미국은 자율주행에서의 기상정보 활용 특허 다수 보유 및 기술개발 활성화되어 있음

[표2] 미국 자율주행과 기상정보 활용 관련 특허 정보

발명의 명칭	내용	특허 등록일	출원인
전천후에서의 자율주행 (All wether autonomously driven vehicles) ⁵⁾	<ul style="list-style-type: none"> • 자동차에 부착된 센서* 자료를 활용하여 픽셀의 연속된 시간 프레임을 분석하고 기상 및 장애물의 위험요소를 감지하여 전천후에 활용할 수 있는 알고리즘 * 비, 눈, 먼지 또는 기타 불투명 입자에 의해 간헐적으로 차단되는 센서(Lidar, Radar, 영상) 	'21.06.08	Cybernet Systems Corp.

2) 강우 양상 변화를 고려한 선제적 대응체계 구축, 행정안전부 보도자료(2020. 12. 3.)

3) 제2차 국가도로망종합계획(2021~2030), 국토교통부(2021)

4) <https://post.naver.com/viewer/postView.naver?volumeNo=33744482&memberNo=48926002&vType=VERTICAL>(현대트랜시스 블로그)

자율제어 시스템을 위한 데이터 합성 (Data synthesis for autonomous control systems) ⁶⁾	• 차량에 부착된 센서 데이터의 합성을 통해 자율주행 차량 제어 시스템의 주변 탐지 및 위험요소 제어(날씨 포함) 시스템	21.06.08	Tesla Inc.
차량 탑재 센서를 이용한 안개 등 기상 조건 검출 방법 및 시스템 (Methods and systems for detecting weather conditions including fog using vehicle onboards sensors) ⁷⁾	• 자동차 탑재 센서와 수집된 데이터를 이용하여 안개를 포함한 기상조건을 식별하는 방법 및 시스템	'15.03.17	Google Inc.
자율주행 차량의 제어 및 시스템 (Control and systems for autonomously driven vehicles) ⁸⁾	• 차량용 컨트롤러의 위치센서 신호를 수신 및 활용하는 자율주행시스템 • 레이저의 에코 신호를 이용하여 폭풍우 및 광범위한 기상 조건에서 활용가능	'12.10.02	The Gray Insurance Company

※ 출처: Google patents([google.com/?tbn=pts](https://www.google.com/patents/))

- 기존의 기상 데이터는 자동기상관측장비(AWS), 종관기상, 레이더, 위성 등 관측 데이터 기반으로 제공하고 있어 산악지역, 강변, 해안가 등 지형적인 요인과 교각 등 기상상황이 급변할 수 있는 지리적 요소를 반영하는데 어려움 상존

□ 급변하는 정책·산업·기술 수요를 충족하는 도로기상 기술개발을 위해 관련 주요 이슈 및 연구 동향 검토 필요

- 도로상에서 발생하는 폭설, 폭우, 안개, 도로살얼음 등으로 인한 도로재난재해 예방을 위해서는 고속도로 및 주요도로 맞춤형 기상정보가 도로 이용자 및 관리자에게 실시간으로 제공 필요
- 완전자율주행 기술 개발을 위한 자동차 제조사 및 관련 소프트웨어, 센서 제조사 등의 도로기상 기술에 대한 수요는 지속될 것으로 예상
 - 신정부는 국정과제 2-28. '미래 모빌리티 육성'을 통해 2027년 완전자율주행을 목표로 인프라, 법·제도, 실증기반 마련 등을 공표
 - 현대자동차연구원은 '30년까지 신차 판매 중 절반은 3단계 이상의 자율주행 기술(조건부 자동화, 조향핸들 잡을 필요 없음)을 탑재 할 것으로 전망⁹⁾
- 이에, 본 보고서에서는 국내·외 도로기상 분야 기상 기술·연구 및 서비스 현황을 분석하여 향후 관련분야의 연구 기초자료로 활용 추진

5) Jacobus et al., Cybernet System Corp., All weather autonomously driven vehicles, US Patent 20210208587 A1, filed March 14, 2014, and issued July 8, 2021.

6) landola et al., Tesla Inc., Data synthesis for autonomous control systems, US Patent 10,678,244 B2, filed March 13, 2018, and issued June 9, 2020.

7) Zhu et al., Google Inc., Methods and systems for detecting weather conditions including fog using vehicle onboards sensors (Current assignee: Waymo LLC), US Patent 9,360,556 B2, filed March 14, 2015, and issued Jun 7, 2016.

8) Trepagnier et al., The Gray Insurance Company (Current assignee: Samsung Electronics Co Ltd), Control and systems for autonomously driven vehicles, US Patent 8,706,394 B2, filed April 1, 2013, and issued April 22, 2014.

9) <https://post.naver.com/viewer/postView.naver?volumeNo=33744482&memberNo=48926002&vType=VERTICAL>(현대트랜시스 블로그)

II 도로기상정보 제공서비스 현황

□ 도로기상정보 제공 서비스

- 각 국은 교통사고 감소 등 도로 이용자의 안전성 확보를 목적으로 도로기상정보를 공공서비스로 제공
- 따라서 각국의 도로기상정보시스템에 대해 고찰함으로써 공공부문의 도로기상정보 제공 기술 및 서비스 현황을 고찰

▶ 도로기상정보시스템(Road Weather Information System, RWIS)¹⁰⁾

※ 강수량 등의 기상정보와 대기 및 도로변 상태를 실시간 수집하는 시스템

○ 시스템 구성



○ 전송 처리

- ESS로부터 기온, 도로 포장면 온도, 노면 수분 상태 등을 계측하면 통신 시스템 처리 후 수집된 관측자료를 활용하여 단·장시간 예측 후 활용할 수 있는 정보의 형태로 표출 및 전송
- (대기 정보) 기온, 습도, 가시거리, 풍향·풍속, 강우 종류 및 강우 비율, 운량, 태풍 및 폭우 발생, 천둥, 폭풍 위치 및 경로, 대기질 등
- (노면 정보) 포장면 온도, 포장 결빙점, 포장 조건 등
- (물 정보) 시내, 강, 도로 주변 호수의 수위 등

[표3] 우리나라와 유럽의 RWIS 활용사례

구분	스위스	독일	슬로바키아	대한민국
사용 정보	• 0~3시간 도로기상 정보사용	• 기상관측소 자료 사용 • 최대 2시간~72시간 예보자료 사용	• 실시간 관측자료 사용 • 제설 작업을 위한 의사결정 수행	• 취약지역에 자동 스프레이 분사
메인 센서	온도, 습도, 강우, 풍향, 풍속, 자동 도로센서 (Active road sensor, Active road freezing sensor)	온도, 습도, 강수, 풍향, 풍속, 자동 도로 센서 (Active road sensor, Active road freezing sensor)	온도, 습도, 강수, 풍향, 풍속, 자동 도로 센서 (Active road sensor, Active road freezing sensor)	온도, 습도, 강수, 자동 도로 센서 (Active road sensor, Active road freezing sensor)
설치 장소	취약지역에 설치	취약지역	5km 간격의 취약지역	취약지역

10) 제설작업과 기상정보의 상관관계를 통한 제설취약성 분석(2012)

1 미국¹¹⁾

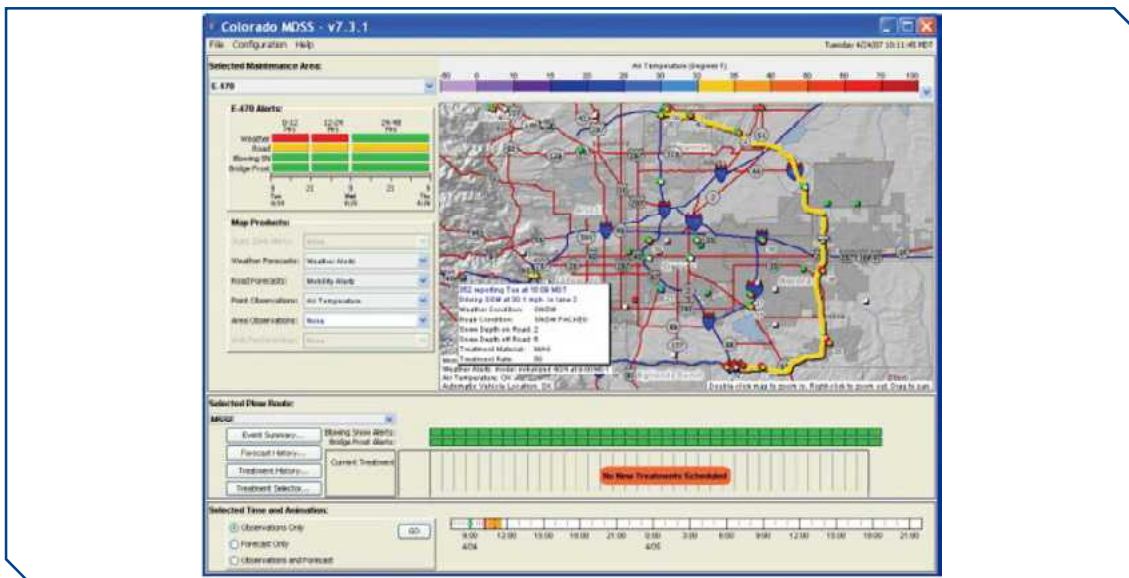
- 연방도로관리청(Federal Highway Administration, FHWA)은 전국 단위 통합된 도로기상 관측, 예측 정보제공을 위해 도로관리지원시스템(Winter road Maintenance Decision Support System, MDSS) 및 Clarus 시스템 구축

[표4] 미국 도로관리지원 시스템 및 Clarus 시스템

시스템 명	주요내용
MDSS (동절기 도로기상과 포장상태 예측하는 도로관리지원시스템)	<ul style="list-style-type: none"> • 동절기 도로의 날씨와 노면 및 제설관리를 위해 도로관리자가 합리적인 결정을 할 수 있도록 의사결정시스템을 지원 • 1h~48h의 도로 상태에 대한 예측정보 데이터 처리 • 도로의 현재 환경 상태를 가시화하여 웹사이트를 통해 제공[그림3]
Clarus (도로기상정보를 도로 이용자와 관리자에게 전달하는 시스템)	<ul style="list-style-type: none"> • 미국 교통부(Department Of Transport, DOT)의 ITS Joint Program Office와 FHWA 도로기상 관리프로그램(Road Weather Management Program, RWMP)이 공동 개발한 시스템으로 동절기 도로 및 안전관리, 홍수 관리 등을 지원 • (개발단계) ① ESS데이터를 Clarus 시스템에 제공 ② 공공기관 메타데이터와 Clarus 데이터 연결 ③ 민간사업자 제공, ITS Joint Program Office를 통해 평가 <p>※ 현재 37개주, 5개 지역청과 4개 캐나다 지역이 참여하여 데이터 제공 중</p> <ul style="list-style-type: none"> • 웹사이트를 통해 제공

- FHWA는 Clarus 시스템을 개발, NOAA는 운영 담당

※ 75% 이상의 DOT가 참여하고, 2,400개 이상의 ESS, 54,000개 이상의 개별 센서, 178대의 차량으로부터 정보 수집(2012년 기준)



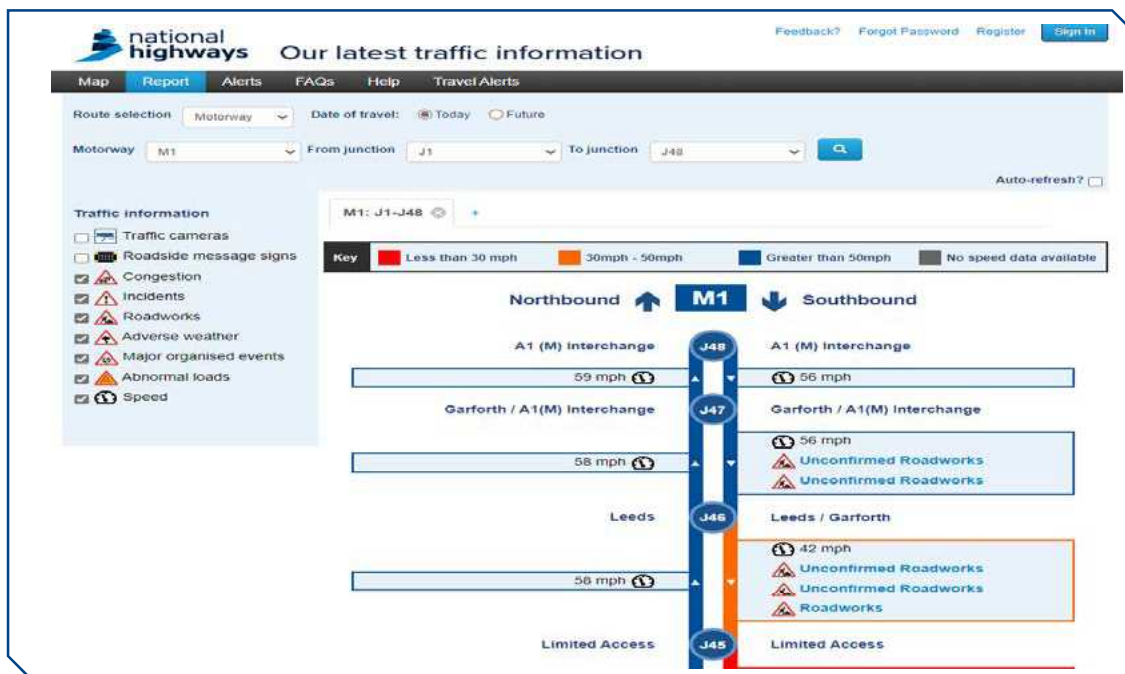
[그림3] 콜로라도 주 MDSS 예시

※ 출처: <https://ral.ucar.edu/projects/maintenance-decision-support-system->

11) 윤덕근, 도로에서의 기상정보 활용 및 시스템 구축 사례, 기상청 기상기술정책(2019)

2 영국

- 영국 내 고속도로 및 주요 도로를 운영·유지보수·개선을 위해 National Highways라는 기관을 설치하고 'Traffic England' 웹사이트를 통해 이용자들에게 도로정보 제공
 - 악천후 발생 시 노선·구간별로 도로기상 실황정보 및 도로상황을 제공하며 발생여부에 대한 예측정보도 함께 제공



[그림4] 영국 National Highways 홈페이지

※ 출처: <https://www.trafficengland.com/traffic-report>

3 일본¹²⁾

- 일본 국토교통성에서는 동절기 도로정보 제공 웹사이트를 통해 도로기상정보 사이트를 주요 노선별(행정구역별)로 제공 중에 있음
 - 구축된 웹 사이트를 통해 실시간 노면상태(적설, 결빙 여부 등), 노면의 온도와 주요 구간의 CCTV 영상 정보를 제공

[표5] 일본 주요노선 별 웹사이트

웹사이트	주요내용
홋카이도 도로정보종합안내 사이트 '기타노미치나비'	<ul style="list-style-type: none"> • 일본 한지토목연구소에서 개발, 운영중인 도로 이용정보 포털사이트 • 기온, 노면온도, 풍속, 시간우량, 적설량 등 정보제공(10분 단위 업데이트) • 홋카이도 내 주요 도시 및 관광지 간 소요시간을 기상상태 조건에 따라 추정할 수 있는 '동절기 거리와 시간검색 서비스' 제공
NEXCO 동일본 '도라토라'	<ul style="list-style-type: none"> • 일본 도호쿠 및 홋카이도지역의 고속도로 관할 도로관리기관인 NEXCO 동일본에서 운영중인 포털사이트 • (실시간 도로 영상정보 제공) 주요 지점에 설치된 CCTV 영상을 이미지 스틸컷 형태로 변환하여 제공

12) 백남철 외, 악천후 노면정보서비스 고도화 기술 개발, 한국건설기술연구원(2015)



〈기타노미치나비〉



〈도라토리〉

[그림5] 일본 노면정보제공 웹 사이트 (좌) '기타노미치나비' (우) '도라토리'

※ 출처: (기타노미치나비) <http://northern-road.jp/navi/>, (도라토리) <http://www.drivetraffic.jp/map.html>

4 한국

- (행정안전부) 겨울철 결빙으로 인한 교통사고 발생 가능성이 높은 상습결빙구간에 대해 내비게이션을 활용하여 관련 정보를 제공¹³⁾
 - (결빙정보 음성안내) SK텔레콤, 카카오모빌리티 등 내비게이션 7개사에 적용



[그림6] 제공 내비게이션 별 표출 화면(SK텔레콤, 카카오 모빌리티, 맵퍼스, KT)

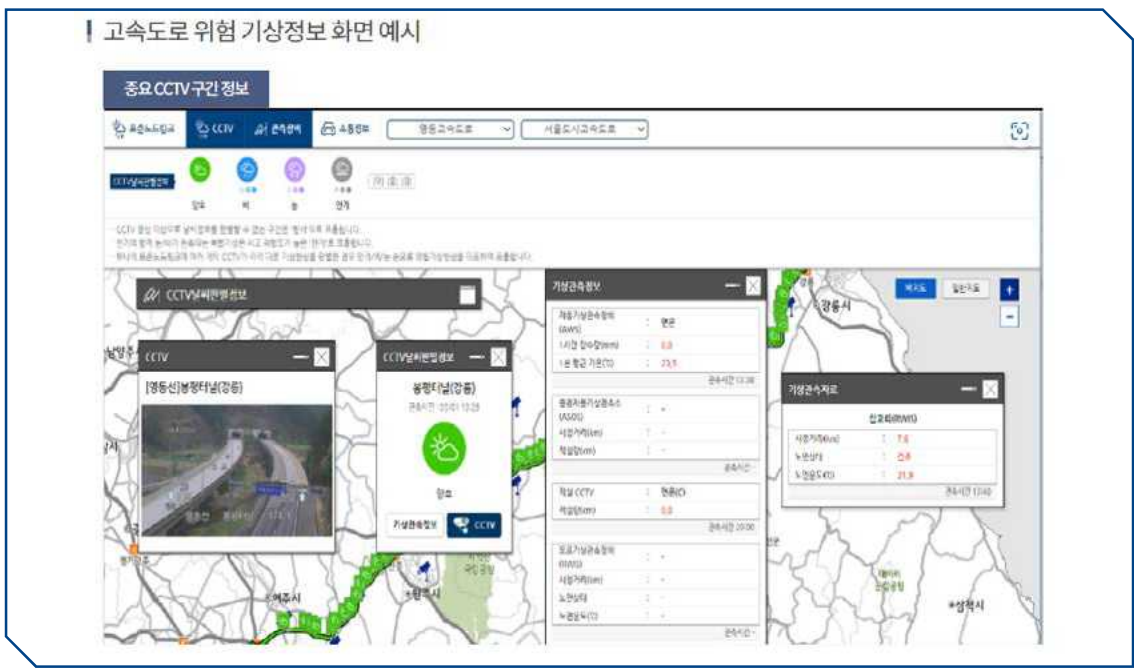
※ 출처: 오전 6시~10시, 빙판길 교통사고의 40.3% 발생 (행안부 보도자료, '20.12.4.)

- (DMB 재난경보방송) 호우·대설경보 등 기상정보가 발효되면 내비게이션을 통해 실시간 제공
- (기상청) 고속도로 구간별 설치된 CCTV 영상을 활용하여 날씨를 눈, 비, 안개로 구별하여 3단계(강, 중, 약) 정보를 실시간 제공 중¹⁴⁾
 - “날씨마루” 플랫폼을 통해 영동, 서해안, 경인, 인천국제공항 4개의 고속도로와 올림픽, 내부순환 등 9개의 서울도시고속도로 노선에 대하여 정보 제공

※ '25년까지 전국의 고속도로 노선에 적용 예정

13) 오전 6시~10시, 빙판길 교통사고의 40.3% 발생, 행안부 보도자료(2020. 12. 4.)

14) https://blog.naver.com/kma_131/222809567819(기상청 블로그)



[그림7] 고속도로 위험 기상정보 화면 예시

※ 출처: 기상청 날씨마루(<http://bd.kma.go.kr/>)

- (한국도로공사) 도로관리기관으로 도로기상관측망 5개소를 자체적으로 구축·운영하고 있으며 빅데이터에 AI 분석기법을 통해 도로 살얼을 위험도를 예측하고 자동으로 염수 분사가 가능한 관리시스템 도입¹⁵⁾
 - 현재 6개 지사(영동·전주·부안·진안·무주·고령지사)에서 시범운영중이며, 위험도를 관리자에게 사전 경보 및 운전자에게 도로전광표지, 속도제한표지 등을 활용하여 정보 제공¹⁶⁾



[그림8] 도로살얼을 대응시스템 개요

※ 출처: 2021 연차보고서 EXPRESSWAY, NEW MOBILITY INNOVATION(한국도로공사)

15) 2021 연차보고서 EXPRESSWAY, NEW MOBILITY INNOVATION, 한국도로공사

16) AI 활용한 살얼을 관리시스템 도입, 매일경제(2021. 11. 22.)

Ⅲ 도로기상 기술 연구동향

□ 최근의 도로기상 기술 연구는 영상처리 기술을 기반으로한 노면상태 모니터링 및 정확도 향상 기술개발이 활발

- 도로 내 CCTV, 블랙박스 영상자료를 활용하여 노면의 상태 및 기상상황에 대한 모니터링 기술 연구
- 또한, 4차 산업기술(AI, 빅데이터, 머신러닝 등)을 활용하여 영상에서 추출한 정보를 활용하여 특정 노면상태나 기상상태의 식별 정확도를 각각 99%, 97% 수준까지 높임

□ 또한, 차량부착 센서에서 획득한 데이터를 기존 기상정보와 결합하여 노면상태를 파악하는 기술도 개발 중

- 휠센서 등 차량 부착 센서를 통해 수집한 마찰계수와 기상예보 자료를 결합하여 노면상태 및 기상상황을 예측하는 기술 개발
- 차량 내 블랙박스 영상을 통해 추출한 도로위험기상 정보 및 차량바퀴의 움직임 특성 연구 등을 통한 노면상태 모니터링 기술도 개발

□ 한편 자율주행차 개발로 악기상 상태에서의 식별력 제고를 위한 각종 센서개발이 진행 중이며 기상상태에 따른 자율주행 시뮬레이션 가상현실 기술도 개발

- 자율주행차 기술 고도화에 따라 다양한 카메라, 라이다, 레이더 등 센서를 활용한 비·안개 등 기상상황 감지기술 연구 활발히 진행되고 있으며 기상상태에 따른 자율주행차 제어기술도 연구
- 또한 기상조건에 따른 자율주행 상황을 가상현실로 시뮬레이션 하여 테스트 할 수 있는 기술도 개발

① 영상처리 기반 도로기상 모니터링 기술

□ 도로변 영상자료(웹캠, CCTV) 기반 날씨상황 및 노면 상태 감지

- 미국 와이오밍주 교통부는 와이오밍대학과 협력하여 도로의 웹캠 데이터를 합성곱 신경망*에 적용, 도로의 날씨 및 노면 상태 감지 시스템을 개발¹⁷⁾

* 시각적 영상을 분석하는 인공지능의 한 종류로, 필터링 기법을 통해 이미지를 효과적으로 처리

- 미국 교통부에서는 도로 운영을 위해 대부분 도로(도로변)에 웹캠 설치 및 기존 습득한 영상자료 활용

17) Khan, Md Nasim, and Mohamed M. Ahmed. "Weather and surface condition detection based on road-side webcams: Application of pre-trained convolutional neural network." International Journal of Transportation Science and Technology 11.3 (2022): 468-483.

- 3가지 기상조건(맑음, 가벼운 눈, 폭설)과 3가지 노면상태(건조, 젖음, 눈)을 두고 기상은 97%, 노면상태 99% 정확도 달성



[그림9] (좌) 기상조건에 따른 분류 (우) 노면상태 감지에 따른 분류

- 컨볼루션 신경망(Convolutional Neural Network, CNN)을 활용한 도로기상현상 인지 및 분류 방법 연구¹⁸⁾
 - 난징정보공학대학 연구팀은 컨볼루션 신경망을 사용하여 도로의 날씨를 인식하고 그 상태를 분류하는 방법에 대해 연구함
 - 여러 각도의 CCTV 영상자료를 기반으로 기상현상을 인지하고 분류기를 통해 기상상태를 비, 눈 등으로 분류하였음
 - 향후 비의 양 또는 적은비, 많은비 등으로 세부적인 분류를 위한 연구를 추진 할 예정
- ㈜월드텍, CCTV 영상기반 안개 감지 알고리즘 개발¹⁹⁾
 - 도로 CCTV나 안개 관측 전용 CCTV를 이용하여 실시간 안개정보를 생산하는 영상기반의 보급형 안개 탐지 장비를 개발
 - 이를 통해 안개 유·무를 구분하고 안개 강도를 3단계로 판별하며 CCTV 내 시정거리 정보를 미터(m) 단위로 생산함 도로 내 CCTV 영상자료를 활용하여 안개의 유무, 강도 정보를 분석할 수 있는 안개 감지 알고리즘 개발



[그림10] (좌) 전방위 시정거리 측정 개념도 (우) 영상기반 안개 분석 결과 예시

18) Xia, Jingming, et al. "ResNet15: weather recognition on traffic road with deep convolutional neural network." Advances in Meteorology 2020 (2020).

19) <https://blog.naver.com/PostView.naver?blogId=kmiti&logNo=222832614395&categoryNo=23&parentCategoryNo=&from=thumbnailList>
(한국기상산업기술원 블로그)

2 센서 기반 도로기상 모니터링 기술

□ 차량 부착 센서를 활용한 도로 기상 조건 감지

- NIRA Dynamics-Klimator*, 차량에서 수집한 휠센서의 마찰 데이터(계수)로 날씨 모델 개선²⁰⁾
 - 도로기상관측소 관측정보에 커넥티드 카**의 마찰 데이터와 일반적인 일기예보를 결합한 소프트웨어 ‘Road Status Information(RIS)’을 개발
 - * (NIRA) 센서 융합 전문회사로 국제 자동차 산업을 위한 솔루션 개발, 아우디·폭스바겐·볼보 등 자동차 제조업체와 협력 중 (Klimator) 지역 도로 날씨 모델 중점 연구개발 기업
 - ** 통신망에 연결된 자동차로 최신 정보통신기술(ICT)과 결합해 양방향 인터넷·모바일 서비스가 가능한 차량
 - NIRA는 스웨덴 택시로부터 마찰 데이터 수집 후 데이터를 처리해 실시간 도로 상태 모니터링 실시 → Klimator은 현재 실시간 차량 데이터를 Klimator의 지역 도로 날씨 모델과 결합 → 데이터를 고해상도 도로 상태 예보로 전환 예정

- IMEC연구소-벨기에 Antwerp 대학*, 차량 바퀴 속도를 측정하는 센서에 기상관측 센서 탑재 실험²¹⁾
 - * (IMEC연구소-Antwerp 대학) SARWS 프로젝트**에 참여중인 컨소시엄
 - ** Secure and Accurate Road Weather Services는 벨기에 기상연구소 지원을 통해 개발중인 프로그램, 이 일환으로 추진중인 실험
 - 차량 바퀴의 센서 데이터를 활용하여 기상상황에 따른 노면 변화의 속도 신호를 감지하여 현재 기상상황을 관측
 - 다수의 차량을 이용하여 고해상도의 도로기상 서비스 제공 가능

- 한국건설기술연구원, 사업용 차량 내 디지털 운행 기록계(Digital Tacho Graph, DTG) 활용 도로 위험정보 시스템 개발²²⁾
 - (도로 위험정보 공유 시스템) 사업용 차량의 DTG 및 블랙박스 영상에서 추출한 자료를 가공·처리한 도로 위험정보(도로파손, 결빙, 안개)를 다양한 형태(예: text, index, visualization)로 제공 예정

20) [PRNewswire] NIRA Dynamics와 Klimator, 협력 강화, 연합뉴스(2018. 2. 5.)

21) Merceles, Siegfried, et al. "Towards detection of road weather conditions using large-scale vehicle fleets." 2020 IEEE 91st Vehicular Technology Conference (VTC2020-Spring). IEEE, 2020.

22) KICT Zine 2021 Vol.03, 한국건설기술연구원



[그림11] 정보 공유시스템 개요

- (노면결빙 감지시스템) ① 미끄러운 노면에서 차량 바퀴가 움직이는 특성을 분석하는 기술 ② 차량에 설치된 카메라(블랙박스 등) 영상을 분석하여 눈이 쌓인 노면과 그렇지 않은 노면을 분류하는 기술 개발 및 적용

※ 현재 상용화를 위하여 일부 상업용 차량(관광버스, 운송트럭 등)에 테스트중이며, 향후 노선버스, 택시, 도로 유지관리 차량(도로공사 순찰차량 등)에 적용 시 활용성이 높을 것으로 기대



[그림12] 노면 결빙 감지 시스템의 개념도

③ 기상인자가 자율주행에 미치는 영향 연구

□ 기상상태가 자율주행차의 식별력에 미치는 영향연구

- 호주 시드니 대학 연구팀, 악천후 조건이 자율주행 차량 센서(카메라, 라이더, 레이더)에 미치는 영향을 분석함²³⁾
 - (카메라) 맑은 기상상태일 경우 우수하나, 악천후 시에는 시스템 성능 저하가 나타나고 기온이 낮을 경우 렌즈의 품질 저하 발생 가능
 - (라이더) 맑은 기상상태의 경우 정확한 공간분해능을 가지고 있으나, 우천 시 빔방울이 방출기에 매우 가까울 경우 오염지 발생 가능성 높음
 - (레이더) 움직이는 물체의 범위와 속도를 감지할 수 있으나 강우 시 비의 후방산란효과와 강우감쇠효과로 레이더 성능 감소

□ 악기상 상태에서도 자율주행이 가능하도록 하기 위한 기상센서 기술 연구

- 자율주행차량내 날씨 감지 시스템 센서(카메라, 라이더, 레이더)를 설치하여 인공지능 기반 도로 기상 상황 감지²⁴⁾
 - 미국 미시간 대학 연구팀은 날씨감지시스템을 설치하여 자율주행에 사용되는 센서류들 중 현재 기상상태에 가장 성능이 좋은 센서의 사용 가중치를 높이는 방식에 대해 연구 추진
 - 센서별 최적화된 기상조건에 적용하여 자율주행 성능 향상 기대

※ 카메라, 라이더(LiDAR)는 악천후에 영향을 받지만, 레이더(Radar)는 전천후에 사용하나 공간 해상도가 낮음
- 영국 헤리오프트-와트 대학, 악천후 속에서도 완전 자율주행을 위한 레이더 데이터 셋 개발²⁵⁾
 - 라이더, 레이더, 스테레오 카메라, 지오폴리셔닝(Geopositioning, 물체의 지리적 위치를 추정하거나 특정하는 과정) 장치를 장착하여 악천후 데이터 수집

※ 기존 데이터 셋은 맑은 기상상태의 기준으로 데이터가 만들어져 악천후 시 제대로 작동하는데 어려움이 따름

 - 악천후에도 자율주행차가 자신의 환경을 직접 탐색하고 이를 기반으로 지도화 하는데 도움을 주는 데이터 셋이며, 악천후 시 고해상도 광학영상과 레이더의 기상 투과 기능이 결합돼 안전하게 운행 가능 시사

23) Zang, Shizhe, et al. "The impact of adverse weather conditions on autonomous vehicles: How rain, snow, fog, and hail affect the performance of a self-driving car." IEEE vehicular technology magazine 14.2 (2019): 103-111.

24) Abu-Alrub, Nader J., Albara D. Abu-Shaqra, and Nathir A. Rawashdeh. "Compact CNN-based road weather condition detection by grayscale image band for ADAS." Autonomous Systems: Sensors, Processing and Security for Ground, Air, Sea and Space Vehicles and Infrastructure 2022. Vol. 12115. SPIE, 2022.

25) <http://www.aitimes.com/news/articleView.html?idxno=140094>

□ 날씨 정보에 기반한 자율주행 제동기술 개발

- 현대자동차주식회사-기아 주식회사, 자율주행차의 날씨정보 기반 회생제동 제어방법 개발²⁶⁾
 - 날씨 정보, 차량이 주행 중인 도로 정보 및 차속을 포함하는 상태정보를 수집하는 단계와 수집된 상태정보에 기초하여 차량의 회생제동량을 조절하는 단계로 구분
 - 자율주행 시 날씨관측 및 예보정보에 따라서 자율주행 레벨을 결정함

[표6] 날씨정보에 기반한 주행레벨

주행레벨	내용
1단계	20mm 이상 강수량, 5cm 이상 강설량이면 자율 주행 레벨은 레벨 1단계로 결정
2단계	20mm 미만 강수량, 5cm 미만 강설량이면 자율 주행 레벨은 레벨 2단계로 결정
3단계	야간, 흐림이면 자율 주행 레벨은 레벨 3단계로 결정
4단계	맑음이면 자율 주행 레벨은 레벨 4단계로 결정

□ 기상조건에 따른 자율주행 시뮬레이션 기술 개발

- 미국 엔디비아*, 자율주행차의 안전운행을 위한 플랫폼 개발²⁷⁾
 - * 미국 내 CPU 설계, 반도체 기업으로 자율주행차 개발기업에 관련 기술 제공
 - 자율주행차의 프로세스, 소프트웨어, 알고리즘, 가상 시뮬레이션 등 자율주행에 필요한 기술을 포괄하는 안전 플랫폼을 개발 및 제공
 - 안전운행을 위한 다양한 상황과 기상 조건에서도 통제 가능할 수 있도록 현실적인 시뮬레이션 환경이 필수적
 - 엔디비아는 이런 기상조건들을 포함한 오토심(AutoSIM)이라는 가상 현실 시뮬레이터를 개발

26) 현대자동차주식회사-기아주식회사, 2020년, 10-2020-0125474, 날씨정보에 기반한 회생제동 제어시스템 및 제어방법

27) <https://www.elec4.co.kr/article/articleView.asp?idx=19282>

IV 시사점

□ 폭우, 폭설 등 기후변화에 따른 대규모 자연재해 위험성 증가로 도로 내 방재·안전에 대한 중요성 부각

- 강우현상으로 인한 젖은 노면 및 물고임은 수막현상을 일으켜 차량 제어를 어렵게 하며 운전자에게 시정 감소를 가져와 물체 식별을 어렵게함
- 또한, 폭설이나 겨울철 결빙으로 주행의 어려움을 발생시킬 수 있으며, 한파로 인한 상업용 차량(운송 트럭 등)의 와이퍼 장치, 타이어 등 여러 장치에 영향을 미침
- 정부는 이러한 도로 내 발생 가능한 자연재해 위험성에 대하여 인지하고 도로살얼음 사고예방 인프라 확충 등을 담은 국가도로망종합계획을 수립하는 등 도로기상 안전 제고방안을 마련

□ 안전한 도로 환경을 위해 국내·외 정부들은 도로기상 모니터링 시스템 구축 및 실시간 정보 제공 확대 노력

- 각 국의 도로관리기관에서는 도로기상정보시스템을 구축하고 노선·구간별로 도로기상 관측, 예보 정보, 도로상황을 사용자에게 제공 중
- CCTV 영상 또는 내비게이션을 통한 경고 표출, 도로전광표지를 적극 활용하여 안전환경 구축을 위해 노력

□ 자율주행차의 완전 자율화를 위한 4차 산업기술(AI, 빅데이터 등) 활용 및 관측센서(카메라, 라이다, 레이더 등) 기술개발 고도화에 따라 도로기상 기술에 대한 수요는 지속 확대 전망

- 최근의 도로기상 기술 연구는 CCTV, 블랙박스를 통한 영상처리 기술과 각종 센서를 통해 수집된 도로기상 관측데이터를 AI, 머신러닝·딥러닝 등 최신 기술과 결합하여 노면상태 및 도로기상 상태를 보다 정확하게 모니터링 하는 방식으로 추진되고 있음
- 자동차업계는 완전자율주행 단계 상용화를 위해 관련 기술 개발에 대한 투자를 이어가고 있으며, 각국 정부 역시 완전자율주행차 도입을 위한 각종 법·제도를 정비하고 있어 자율주행관련 도로기상기술 수요는 당분간 지속될 것으로 예상

□ 도로관리 측면에서의 도로기상정보 제공에 대한 기술개발과 함께 자율주행차 관련 산업계 수요를 충족시킬 수 있는 융합 기상기술의 지속적 개발과 지원이 필요

- 도로 이용자들의 안전제고를 위한 도로기상상황 및 노면상태에 대한 정확하고 신속한 정보제공을 위해 도로기상정보시스템에 대한 지속적인 기술개발이 필요
- 아울러 자율주행차 개발 가속화에 따른 도로기상정보 관측 및 데이터 수집·가공 기술 수요에 대응하기 위해 융합기상기술 개발 및 지원이 필요

참고문헌

- 윤석열정부 110대 국정과제, 제20대 대통령직인수위원회(2022)
- 제2차 국가도로망종합계획(2021~2030), 국토교통부(2021)
- 윤덕근, 도로에서의 기상정보 활용 및 시스템 구축 사례, 기상청 기상기술정책(2019)
- 2021 연차보고서 EXPRESSWAY, NEW MOBILITY INNOVATION, 한국도로공사
- KICT Zine 2021 Vol.03, 한국건설기술연구원
- 양충현, 김인수, and 전우훈. "제설작업과 기상정보의 상관관계를 통한 제설취약성 분석." 한국도로학회논문집 14.4 (2012): 141-148.
- 백남철 외, 악천후 노면정보서비스 고도화 기술 개발, 한국건설기술연구원(2015)
- Khan, Md Nasim, and Mohamed M. Ahmed. "Weather and surface condition detection based on road-side webcams: Application of pre-trained convolutional neural network." International Journal of Transportation Science and Technology 11.3 (2022): 468-483.
- Mercelis, Siegfried, et al. "Towards detection of road weather conditions using large-scale vehicle fleets." 2020 IEEE 91st Vehicular Technology Conference (VTC2020-Spring), IEEE, 2020.
- Zang, Shizhe, et al. "The impact of adverse weather conditions on autonomous vehicles: How rain, snow, fog, and hail affect the performance of a self-driving car." IEEE vehicular technology magazine 14.2 (2019): 103-111.
- Abu-Alrub, Nader J., Albara D. Abu-Shaqra, and Nathir A. Rawashdeh. "Compact CNN-based road weather condition detection by grayscale image band for ADAS." Autonomous Systems: Sensors, Processing and Security for Ground, Air, Sea and Space Vehicles and Infrastructure 2022. Vol. 12115. SPIE, 2022.
- Xia, Jingming, et al. "ResNet15: weather recognition on traffic road with deep convolutional neural network." Advances in Meteorology 2020 (2020).
- 현대자동차주식회사-기아주식회사, 2020년, 10-2020-0125474, 날씨정보에 기반한 화생제동 제어시스템 및 제어방법, 2020년 9월 28일
- Zhu et al., Google Inc., Methods and systems for detecting weather conditions including fog using vehicle onboard sensors (Current assignee: Waymo LLC), US Patent 9,360,556 B2, filed March 14, 2015, and issued Jun 7, 2016.
- Trepagnier et al., The Gray Insurance Company (Current assignee: Samsung Electronics Co Ltd), Control and systems for autonomously driven vehicles, US Patent 8,706,394 B2, filed April 1, 2013, and issued April 22, 2014.
- Jacobus et al., Cybernet System Corp., All weather autonomously driven vehicles, US Patent 20210208587 A1, filed March 14, 2014, and issued July 8, 2021.
- landola et al., Tesla Inc., Data synthesis for autonomous control systems, US Patent 10,678,244 B2, filed March 13, 2018, and issued June 9, 2020.
- 안개 낀 서해대교서 14중 추돌사고, 네이버 뉴스(2020. 10. 20.)
- 눈길에 곳곳 사고, 서해안고속도로 35중 추돌, 한국경제(2021. 1. 18.)
- 오전 6시~10시, 빙판길 교통사고의 40.3% 발생, 행안부 보도자료(2020.12.4.)
- [PRNewswire] NIRA Dynamics와 Klimator, 협력 강화, 연합뉴스(2018. 2. 5.)
- 강우 양상 변화를 고려한 선제적 대응체계 구축, 행정안전부 보도자료(2020. 12. 3.)
- AI 활용한 살얼음 관리시스템 도입, 매일경제(2021. 11. 22.)
- <https://post.naver.com/viewer/postView.naver?volumeNo=33744482&memberNo=48926002&vType=VERTICAL>(현대트랜시스 블로그)
- <https://www.trafficengland.com/traffic-report>
- <https://www.mk.co.kr/news/it/view/2022/07/629455/>
- <https://www.elec4.co.kr/article/articleView.asp?idx=19282>
- <http://www.aitimes.com/news/articleView.html?idxno=140094>
- <http://northern-road.jp/navi/>
- <http://www.drivetraffic.jp/map.html>
- <http://bd.kma.go.kr/>
- www.data.go.kr
- https://blog.naver.com/kma_131/222809567819
- <https://blog.naver.com/PostView.naver?blogId=kmiti&logNo=222832614395&categoryNo=23&parentCategoryNo=&from=thumbnailList>

기상 R&D 동향분석보고서 2022-3호

발행일 2022년 9월 30일

발행처 한국기상산업기술원 기술혁신본부 R&D기획실

- ※ 기상 R&D 동향분석 보고서는 기상 유관 분야 기술개발 동향 및 연구 성과를 소개하기 위한 참고자료로 작성되었습니다.
- ※ 게재된 내용은 한국기상산업기술원의 공식 견해와 다를 수 있으며, 본 보고서를 근거로 행해진 결과에 대하여 어떠한 책임도 부담하지 않습니다.
- ※ 무단 전재 및 복제를 금하며, 내용을 인용할 경우 출처를 명시하여 주시기 바랍니다.