

기술기사

노면결빙 예측 및 강설 감지 시스템 개발연구 소개

Introduction of System and Method for Forecasting Road Icing and Sensing Snowfall



김 종 우^{1)*}

Kim, Jong Woo



정 영 우²⁾

Jung, Young Woo



양 은 익³⁾

Yang, Eun Ik

1. 개 요

국내 도로는 최근 20여년간 고속도로, 고속국도, 및 지방도 등 도로건설이 크게 증가하였고, 또한 도로의 각종 설계 및 시공기술의 발전으로 도로 주행속도가 높아지고 있는 실정으로 특히 산업 발전과 생활환경의 발달로 갈수록 물류량 및 이동량이 늘어남으로써 더욱 빠르고 안전한 도로 환경이 요구되고 있다.

이러한 도로망 및 도로주행속도의 향상에 나쁜 영향을 주는 대표적인 것들 중 하나가 폭설 및 노면 결빙 현상이고 겨울철 강설과 결빙으로 인한 미끄럼 사고는 겨울철 사고의 50%를 육박할 정도로 차지하고 있으며, 매년 끊임없이 발생하는 등의 사회문제로 급부상하고 있다. 대표적

인 것이 2001년 폭설로 인한 강원도지방의 도로 마비, 2003년 경부고속도로 충청권 도로망의 마비 등이 있다.

최근에도 눈길과 빙판길 사고는 경미한 사고로 그치지 않고 잇따른 대형 추돌사고로 이어져 교통흐름을 방해하므로 물적·인적 피해뿐만 아니라 이로 인한 간접적인 사회적·경제적 손실이 크게 발생하는 등, 돈으로 환산할 수 없는 피해까지 일으키고 있는 실정이다(Fig. 1).



Fig. 1 2011년 03월 01일 대관령 4호터널 눈길 22중 추돌 사고

1) 정회원, (주)유디코 대표이사, 공학박사
2) 정회원, (주)유디코 주임연구원, 공학사
3) 정회원, 강릉원주대학교 정교수, 공학박사
* E-mail : jwkim3387@empal.com

이처럼 동절기 도로에 발생한 강설 및 결빙은 많은 차량 사고의 원인이 되어 이를 사전에 방지하기 위한 응설 시스템이 개발되고 있고, 폭설이나 어는비 등 이상 기후 현상에 대한 사고와 관심이 높아지면서 전 지구적인 기상재해에 대한 방재 요구가 확산되고 있으며, 해외 시장에서는 이미 앞선 기술력을 바탕으로 이에 대한 대책을 마련하여 상용 중에 있다.

현재까지 국내외에서 개발된 기술로서 강설 및 결빙에 대한 가장 적극적인 대처는 응설 시스템과 기상 관측 시스템, 그리고 결빙 감지 센서의 조합이며, 일기예보를 통하여 강설 및 결빙이 예측될 경우에 도로 선형 부근에 설치된 기상 관측 시스템이 획득한 주변의 상세 기상 정보와 결빙 감지 센서의 조합이 이루어질 경우 도로의 결빙 여부가 예측 가능하다. 여기에 응설 시스템이 부가될 경우 능동적인 선제 대응을 통하여 도로에 쌓이는 눈을 녹이거나, 도로면에서 발생할 수 있는 결빙을 사전에 예방함으로써 도로의 주행 안전성을 확보할 수 있다.

2. 감지기술동향

2.1 국내 동향

결빙 방지 자동 응설액 분사 시스템의 실효성은 노면의 결빙정도를 판단하는 노면결빙 예측 및 강설 감지 시스템에 의해 좌우된다. 그러나 현재까지 대부분의 노면결빙 센서는 도로 기상 모니터링 시스템과 연계하여 해당지역의 기후조건과 노면에 직접 설치된 온도계 및 습도계에 의해 결빙상태를 판단하는 방법만이 주를 이루고 있다.

그러나 이러한 기존 방법으로는 도로의 결빙 상태를 정확히 판단하기 어려울 뿐 아니라 응설 후 2차 결빙 등과 같은 부가적인 상황에 대한 감

지도 난해하다. 따라서 선진외국에서는 적외선 센서를 이용하여 노면온도를 측정하거나, 결빙 노면상의 광학적인 반사특성이 상이하다는 이론을 적용한 비접촉식의 방법을 병행하기도 한다.

현재 결빙 감지에 관련된 국산 센서는 전무한 상태이며, 국내 도입된 시스템은 대부분 수입 제품이기에 가격이 고가이고 국내 실정에도 맞지 않아 실제로도 여름철에도 분사 시스템이 가동되는 등 오작동, 오판의 문제가 빈번히 발생되어져왔다. 그리하여 시스템의 운영도 자동화보다는 기상청에서 발표하는 광역 및 지역 예보에 의존하는 등 그 실효성을 거두지 못하고 있는 실정이다.

2.2 국외 동향 (일본)

폭설로 인한 자연재해로 많은 사망자와 부상자가 발생하는 일본, 특히 매년 3~4m 폭설의 제설작업을 하다가 사망하는 사람들이 40여명이나 되는 등 피해가 많은 북부지방에서는 다양한 감지제품 등이 운영 중이다.

비접촉식 센서의 경우, 적외선이나 레이더를 이용하여 강설량을 감지하고 현재 노면 온도와 대기 상태에 따라 결빙 위험도와 전열량을 환산하여 제설 및 도로 결빙을 예방하는 방법이 사용되고 있으며, 노면 습윤 상태에서 표면온도가 1℃ 이하로 떨어지거나 0.2℃/min 기율기로 하강 시 결빙 위험으로 판정하는 알고리즘을 수행하여 제설 시스템의 동작 온도 경계값을 설정하여 제어하거나, 세 개의 온도로 조절된 콘솔 박스에서 제설 및 결빙 방지 소요 전열량을 직접 측정하여 현재 노면 온도에서 최적 전열량을 선형 추세로 산정하여 반영하는 방법 등이 운영 알고리즘으로 사용되고 있다(Fig. 2).

최근 개최된 24회 제설박람회에서는 ISP*를

* ISP: Image signal processing, 영상 신호처리 기법



Fig. 2 'HOKKAIDO NOF'社의 비접촉식 센서

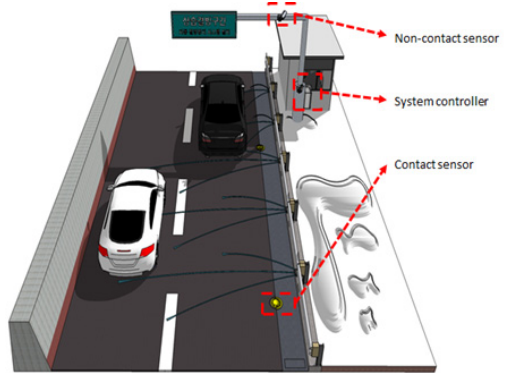


Fig. 4 노면결빙 예측 및 강설 감지 시스템 개요도



Fig. 3 ISP를 이용한 적설 상태 감지 기술

적용하여 차영상과 필터를 이용한 적설 상태를 감지하는 연구 내용의 발표도 있었으며, 차량 영향에 대한 효과를 제거하는 필터를 적절히 이용하여 보정하는 방법 등이 이용되고 있으나 현장 적용은 어려운 것으로 나타났다(Fig. 3).

3. 노면결빙 예측 및 강설 감지 시스템 시작품

3.1 시작품 개요

스마트하이웨이 사업의 연구개발 결과물로 제작된 본 시작품은 자동 융설액 살포 장치가 설치될 지점에 함께 설치되는 것으로서 도로의 기상상태와 노면의 표면 상태를 감시 및 예측하여 결빙 위험이나, 강설시 융설액 분사 신호를 송신한다(Fig. 4).

본 시작품은 도로 노면 온도센서, 포장체 온도

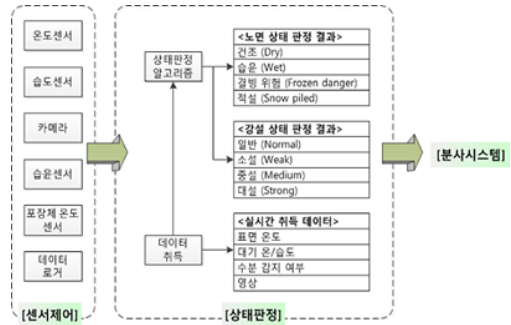


Fig. 5 노면결빙 예측 및 강설 감지 시스템 동작흐름도

센서, 대기 온도센서 및 대기 상대습도센서, 기상상태를 영상 관측할 수 있는 적외선 카메라 등을 필요로 하며, 위 센서들로부터 수집된 데이터를 통해 상태 판정 알고리즘을 수행하고 기상상태와 노면상태를 판정하여 융설 시스템의 최적 분사를 유도한다(Fig. 5).

3.2 시작품 특징

본 시작품의 특징은 아래와 같다.

- 국내 현장 실정에 맞는 보급형 국산품
- 접촉식 및 비접촉식 센서를 통합 운영하여 판정 정확도 향상
- 기상, 노면 영상 자료 취득 및 상태 확인이 가능

- 강설 강도를 구분 감지하여 분사량 제어
- 결빙 위험 및 2차 결빙 위험을 예측
- 차량 이동시에도 측정이 가능
- 데이터 취득: 포장체 온도, 대기 온습도, 수분 감지, 영상 이미지
- 노면 상태 판정: 건조, 습윤, 결빙위험, 적설
- 강설 상태 판정: 일반, 소설, 중설, 대설

기존의 국외 장비와는 달리 적외선 카메라를 이용한 ISP를 적용함으로써, 사람이 직접 눈으로 현장 상황을 파악이 가능함과 동시에 ISP를 이용하여 강설 강도 구분이 가능하며, 각 강설 강도별 분사 정량화를 통해 최적화된 분사 신호를 송신함으로써 용설액을 적시적소에 적당량을 살포할 수 있기 때문에 무절제한 용설액 살포로 인한 환경오염 및 손실을 감소시킬 수 있다. 또한 국외 비접촉식 센서의 경우, 적외선 온도 측정을 수행하여 차량이 계측 스팟에 위치한 경우 측정이 불가하나 본 시스템은 접촉식 센서로 포장체 온도를 직접 측정하므로 차량의 유무에 관계없이 측정 및 판정이 가능하다.

3.3 시스템 구성

본 시스템은 시공부와 통신부, 센서부, 검지부로 구성되며, 각 파트는 서로 유기적으로 동작하여 상태판정 알고리즘을 수행한다(Fig. 6).

센서부에서는 표면 온도와, 대기 온/습도, 수분 감지 여부, 영상 이미지를 아날로그 신호로 변환하고, 이 신호들은 통신부를 거쳐 검지부에서 수집된다. 검지부에서는 FPGA 및 RT 옵션 에드온을 이용하여 로거 컨트롤러를 제어하고 각각의 로거 모듈로부터 취득한 아날로그 신호를 처리한다. 또한 이미지 수집 Vision 옵션 에드온을 이용하여 적외선 카메라의 이미지 센서로부터 취득되는 NTSC 신호를 VGA 디지털 영

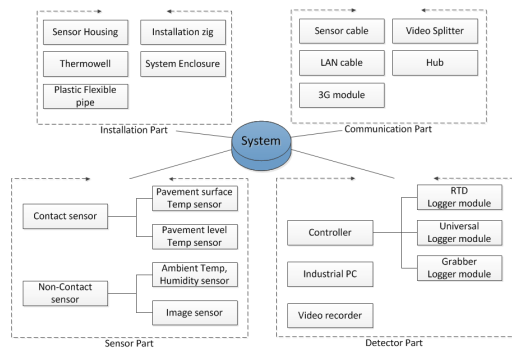


Fig. 6 시스템 구성

상 변환하고 ISP를 통한 판정을 수행한다. DAQ에 의해 취득된 포장체 온도, 대기 온습도, 수분 감지 여부, 영상 이미지는 경계값 시나리오 분석 알고리즘을 수행하여 상태 판정 결과를 송출한다.

3.4 센서 응용 기술

본 시스템에 사용된 접촉식 센서는 온도센서와 수분감지 센서로 구성되는데, 이중 온도 센서는 자기보호관형 센서로 고순도의 가는 백금선을 마이카나 석영에 감고 스테인리스로 만들어진 보호관에 넣어 절연물질로 충전된 구조로 차량 하중에 의한 충격과 진동, 계절 온도 변화에 의한 포장체의 열화 거동으로부터 백금선을 보호하고 4선식 RTD로 도선 저항에 대한 영향을 보정하여 높은 정밀도 취득 가능하다. ET필름 위 도전성 박막 회로는 수분 감지 기능을 하는 센서로 그라비아 인쇄기술을 이용하여 개발되었으며, 차량 주행에 방해가 되지 않는 두께 350um 이하의 얇은 필름형 센서로 체설시와 같이 누수 부분의 액체가 제거되면 언제든지 바로 검지 대기 가능하고, 센서 AMP케이스는 완전방수 및 PTFE코팅처리를 하여 용설액과 같은 액체에 대한 내 부식성이 강하다.

비접촉식 센서로 사용된 대기 온습도센서와 적외선 카메라에서는 각각 mA와 NTSC 타입의

신호 출력을 가지는데, 이는 유니버설 모듈과 별도의 그래버 모듈로 수집하게 되고, 각각의 신호를 취득하는 모듈은 재구성 FPGA 사시와 임베디드 리얼 타임 컨트롤러로 제어 및 운영하여 상태판정을 수행한다.

3.5 구현알고리즘

노면결빙 예측 및 강설 감지 시스템에 적용된 판정 알고리즘은 RESUM (Road-icing Evaluation System Using Multi sensing) algorithm이라고 칭하며, 이는 여러 가지 센서로부터 취득되는 신호를 조합하여 기상 및 노면의 상태를 판정하는 알고리즘을 의미하며, Logic 0부터 DAQ logic, Sleep mode logic, Threshold analysis logic, Image processing logic, AMPS logic, Estimate of condition logic, Sending signal logic의 Logic 6까지 구성된다.

한가지의 센서에 의존하여 노면 및 기상 상태를 판정하는 기존 국외 센서들과는 달리, 여러 가지 센서를 통합적으로 운영하여 취득한 데이터를 토대로 만들어진 시나리오 분석하여 각 상태판정 경계값에 따라 케이스별로 구분함으로써 여러 가지 다양한 환경적 요인에 의해 발생하는 강설, 결빙 현상에 대해 총체적으로 분석하여 보

다 정확한 노면상태를 효과적으로 판정할 수 있다.

상태판정에서 사용되는 경계값에는 첫째로, 강설 강도를 구분을 위하여 ISP를 이용한 영상 중 추출된 강설 감지 픽셀값, 둘째로, 적설 판정을 위한 ISP를 이용한 차선감지 픽셀값, 셋째로 결빙 위험 상태가 가능한 최대 표면온도, 넷째로 습윤/강설 상태가 발생할 수 있는 최소 대기습도, 다섯번째로, 응결 현상이 발생할 수 있는 표면온도와 이슬점의 차, 여섯번째로, 수분 감지 여부, 일곱번째로 적설이 가능한 최소 강설 유지 시간이 있다.(Table 1)

노면 상태판정에 사용되는 온도와 습도는 센서 출력값의 칼리브레이션으로부터, 이슬점은 대기 온/습도 취득값을 매그너스 방정식의 -45°C to 60°C 범위에서, 매그너스 파라미터 $\alpha=6.112\text{m}$ $\beta=17.62$ $\lambda=243.12$, 상대습도 RH(%)의 정의 즉, $E=\text{RH}8\text{EW}/100$ 을 대입하여 환산하고 이를 상태판정에 이용한다.(Fig. 7)

ISP에서 강설강도 판정의 경우, ‘영상차분 → ROI 영역 설정 → 이진화 → 소형객체제거 필터 → 차량영향제거 필터 → 변화율 누적 평균치 환산’의 순서로 이루어지며(Fig. 8), 여기서 사용되는 영상차분은 감시 카메라와 같은 종류에서 움직임을 포착하기 위해서 혹은 움직이는 물체의 이동경로 등을 파악하기 위한 방법으로,

Table 1 상태판정 경계값

구분	판정결과	판정결과	강설강도	차선감지	표면온도	대기습도	이슬점차	수분감지	강설시간
(강설/노면)	(Condition)	(Code)	(Pixel %)	(Pixel %)	(T, °C)	(h, %)	(d, °C)	(m, V)	(t, min)
강설상태	대설	SS	$p \geq 20$	-	-	$h \geq 60$	-	-	-
	중설	SM	$10 \leq p < 20$	-	-	$h \geq 60$	-	-	-
	소설	SW	$5 \leq p < 10$	-	-	$h \geq 60$	-	-	-
	일반	N	$p < 5$	-	-	-	-	-	-
노면상태	건조	D	-	-	-	-	-	-	-
	습윤	W	-	-	-	$h \geq 70$	$d < 3$	$m \geq 20$	-
	결빙위험	F	-	-	$T < 1$	$h \geq 70$	$d < 3$	$m \geq 20$	-
	적설	P	-	$p \leq 1$	-	-	-	-	$t > 5$

$$- D_p(T, RH) = \frac{\lambda \times (\ln(\frac{RH}{100}) + \frac{\beta \times T}{\lambda + T})}{\beta - (\ln(\frac{RH}{100}) + \frac{\beta \times T}{\lambda + T})}$$

$$- H = \frac{\log_{10}(RH) - 2}{0.4343} + \frac{17.62 \times T}{243.12 + T}, \quad D_p = \frac{243.12 \times H}{17.62 - H}$$

Fig. 7 매그너스 방정식을 이용한 이슬점 환산

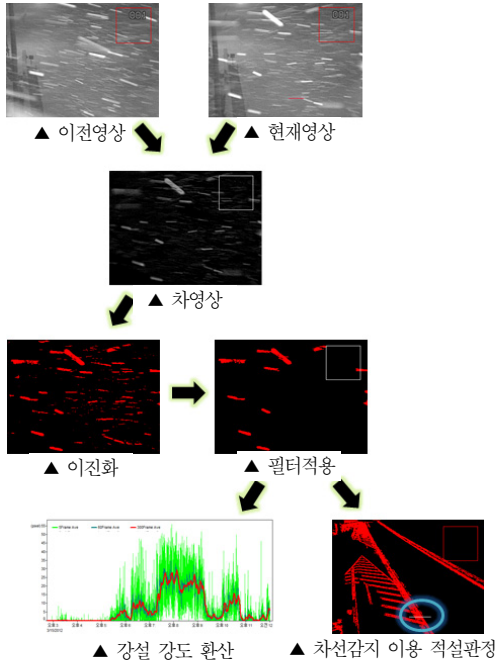


Fig. 8 적용된 ISP 알고리즘의 동작 예

본 연구에서는 현장 강설 시, 도로에 설치된 카메라를 통해 얻어지는 영상을 기반으로 눈이 내리고 있는 상태를 결정하기 위해서 눈의 움직임을 감지하기 위한 방법으로 사용되었다. Vision의 Pixel by pixel 변환을 이용하여 두 이미지 사이에 같은 위치의 Pixel의 값이 연산자에 의해 결과 영상으로 만들어지고, 빛의 영향이 적을 경우 동일한 이미지를 차영상 처리하게 되면 동일 Pixel 값을 빼기 때문에 영상에 차이가 있던 부분만 효과적으로 추출해 낼 수 있다.

한편, 촬영 하는 곳이 도로이다 보니 계속해서

차량이 움직이고 있는 상태이기 때문에 전체 영상을 가지고 강설 및 눈 또는 비가 내리는 상황을 정확히 판정하기 어렵다. 따라서 ROI (Region of interest) 영역을 움직임이 덜 한 부분으로 선택하여 그 부분만을 효율적으로 감시하도록 하였다.

ROI 영상에서 원하는 부분의 변화 정도를 수치화 하려면 들어오는 영상에 대해서 이진화 처리가 필요하며, 이진화 영상에서 전체 픽셀 대비 움직임이 있는 픽셀 수의 백분율로 변화율을 구하는 형태로 눈이 내리는 정도를 파악한다.

그러나 환경적인 요인(빛, 안개, 차량 불빛 등)으로 인한 Pixel의 수치에 변화가 많고 카메라가 외부 환경에 노출된 상태이다 보니 외부 환경인 바람 등에 영향을 받으므로, 빠른 판정과 에러율을 낮추기 위해 이진화 영상에서 노이즈 제거가 필요하다. 이에 주변의 내용을 침식(Erosion)시켜 따로 떨어져 있는 작은 크기의 형태를 제거하는 영상 후처리 방법 적용하여 1차 필터링 처리하였고, 카메라가 설치된 구조물의 흔들림이나 야간의 차량 전조등에 의한 ROI 영상의 변화율을 이전 프레임과 대비하여 일정 크기 이상 급격히 상승하면 무시하도록 2차 필터링 처리하였다. 그 결과 노이즈가 제거된 깨끗한 눈의 흔적을 찾을 수 있다.

강설 영상은 순간적인 강설강도 변동이 심해 강도 판단의 편차가 커지므로 판단의 편차를 줄이고 안정적인 강도 판단을 위해 최종적으로 얻어진 ROI 영상 이미지의 변화율은 프레임 평균을 취하도록 하였다.

적설 판정의 경우, 주/야간의 밝기값 히스토그램이 다르게 나타나기 때문에 히스토그램으로의 판단은 거의 불가능하다. 따라서 본 시스템에서는 영상에서 외부 요인(자동차, 바람 등)에 영향을 덜 받는 도로의 최외곽 차선을 활용하였다. 적설이 될 경우, 그 부분에서 차선의 경계가 모

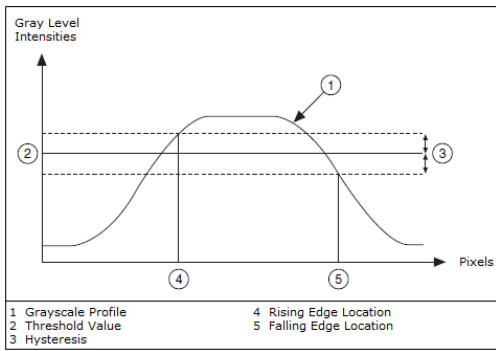


Fig. 9 차선감지에 사용된 Edge detection

호해지거나 일반 상태보다 증가하게 되므로, 취득한 영상에 차선을 잘 구별할 수 있는 경계값값으로 이진화하고 Line 형태의 관심영역을 설정하여 설정 Line상의 그레이 스케일 픽셀값을 비교하도록 하였다. 설정 경계값 이상으로 레벨 상승시 Edge를 검출하도록 하여 차선을 감지하지 못하면 적설로 판정하는 방법을 사용하였다 (Fig. 9).

4. 현장적용결과

시작품의 테스트베드 설치 장소는 상습결빙지역 중에서 65번 동해고속도로의 강릉5터널과 강릉4터널 사이에 터널 입구에 위치해 있다(Fig. 10).

본 테스트베드에는 실외형 검지기 시작품과

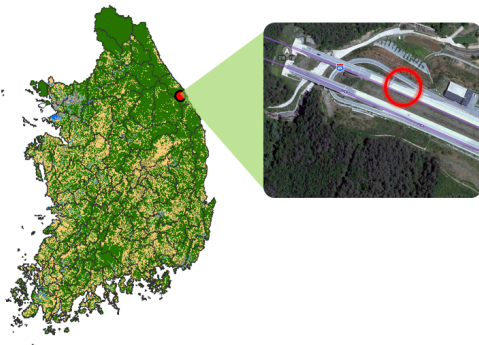


Fig. 10 동해고속도로 강릉 5터널 입구

접촉식/비접촉식 센서 시작품이 설치되어 있고, 2011년 11월부터 2012년 03월까지 동절기 기간 동안 시험 운영을 수행하였다(Fig. 11).

테스트베드 적용 결과, ISP를 이용한 강설 강도 구분이 가능하였으며, 대설의 경우 10.0p 이상 픽셀 변화율이 감지되었고 이는 영상 데이터와 일치하였다(Fig. 12).

대기온/습도 취득 데이터를 이용하여 계산된 이슬점과 표면 온도의 차이를 구하고 이를 영상 정보와 매칭시켜 비교한 결과, 3°C 이하로 떨어지게 되면 도로 표면은 응결현상에 의해 습윤 상태로 나타나는 것을 확인 하였다. 반대로 이슬점

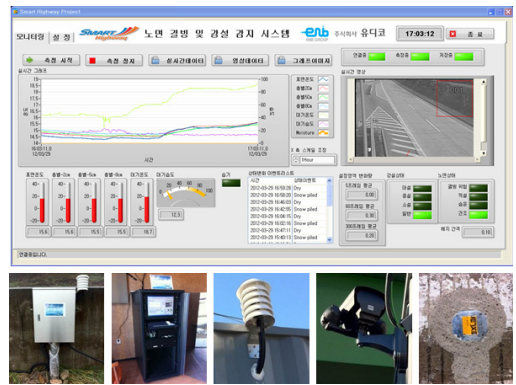


Fig. 11 테스트베드 운영 중인 시작품 프로그램과 설치 사진

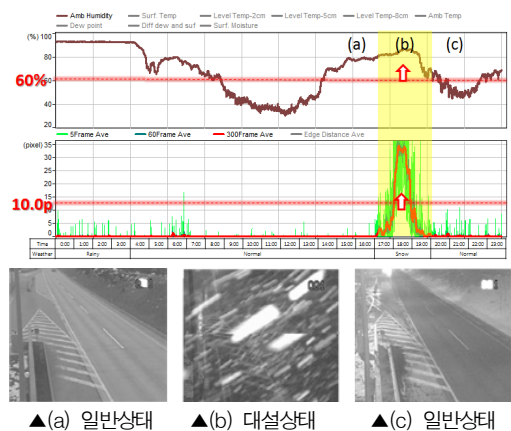


Fig. 12 강릉5터널 2012/01/22 대설 구간 추출 그래프 예시

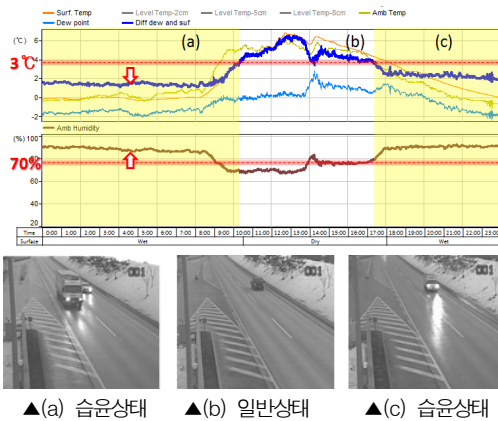


Fig. 13 강릉5터널 2012/01/17 습윤 구간 추출 그래프 예시

과 표면온도와의 차가 3°C 이상으로 벌어지게 되면 도로 표면이 응결현상에 의해 습윤하다 하더라도 시간이 흐름에 따라 증발되어 건조 상태로 바뀌는 것을 확인하였다(Fig. 13).

2010년도 테스트베드 데이터를 조사 결과 습윤 상태의 경우 대기 습도가 70% 이상으로 나타났으며, 이는 이번 동절기의 습윤 상태 경계값에서도 동일하게 나타나는 것을 확인하였다.

5. 결론

현대 사회는 산업 발전과 생활환경의 발달로 갈수록 물류량 및 이동량이 늘어남으로써 더욱 빠르고 안전한 도로 환경이 요구되고 있다. 이에 따라 폭설이나 어는비 등 이상 기후등 기상 현상에 대한 사고와 관심이 높아지면서 전 지구적인 기상재해에 대한 방재 요구가 확산되고 있으며, 본 과제와 관련된 제품 및 기반 기술은 국내 시장 뿐만 아니라 해외시장에서도 지속적으로 요구될 것으로 보인다.

노면결빙 예측 및 강설감지 시스템 시작품의 현장 적용 결과, ISP를 이용한 강설 강도 구분과 적설 상태 판정, 포장체 표면온도와 대기 온습

도, 수분 감지 센서를 이용한 습윤/결빙 위험 상태 구분의 가능성을 타진하였다.

이러한 판정 결과가 응설액 분사 시스템과 연동되어 자동 응설액 분사 장치로 작동하게 된다면, 기존의 De-icing 방식이 아닌 Anti-icing 방식의 개념을 도입하여 사전 응설에 의한 제설 효과를 높이고, 응설액을 적시적소에 적당량을 살포할 수 있기 때문에 무절제한 제설제의 살포로 인한 환경 오염 및 손실이 감소될 것이며, 겨울철 미끄러움으로 인한 사고를 줄이고 사고로 인한 인적/물적 피해 감소 효과를 얻을 수 있다. 또한 국산화 기술 개발로 기술자립도를 확보하고 외산대비 저렴한 설치비용으로 효율적인 도로 관리에 기여할 수 있을 것으로 예상된다.

그러나 향후 원활한 현장 적용을 위해서는 몇 가지 업그레이드가 반드시 수반 되어야 할 것이다. 첫째, 내구성 증대를 위하여 수분 감지 센서의 대체용으로 도로 표면에 직접적으로 노출되지 않는 LWS 결로 센서의 적용성 검토 및 결빙 감지 알고리즘에서 수분 감지 센서에 대한 의존도를 낮추는 수정이 필요하다. 둘째, ISP의 경우 카메라 설치 위치에 따라 차량 주행에 의한 노이즈 영향이 크게 좌우되고, 이에 따라 ISP 판정 오차가 발생되므로 카메라 최적 설치 기준과 ROI 영역 설정에 대한 보편적 기준이 확보되어 다양한 현장 상황에서도 적용이 가능해야 한다. 그리고 최적 감지 경계값 설정과 안정적인 동작 성능 구현 및 정확도 향상을 위한 ISP 노이즈 필터 등의 업그레이드가 동반되어야 할 것이다. 셋째, 노면 및 강설 상태판정을 토대로 현재 노면 및 대기 상태와 조합하여 어느 시점에 적정 살포량을 분사할 것인지에 대한 분사 판정 알고리즘이 분사 시스템과의 통신에 반영되어 최적 분사 제어를 수행할 수 있어야 할 것이다.

감사의 글

본 연구는 국토해양부 건설기술혁신 연구개발사업의 연구비지원(과제번호 07-기술혁신-A01)에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

1. 광두영, "LabView 컴퓨터 기반의 제어와 계측 solution", 2002.
2. 김영록 외, "결빙도로 안전관리 시스템 개발", 대한 토목학회 정기학술대회, 2005.
3. 정봉채, "교통사고 통계분석", 도로교통공단, 2008.
4. 한국건설기술교통평가원, "SMART Highway 도로 기반시설 핵심기술 개발 2단계보고서", 국토해양부, 2012.
5. Hardy B, Hardy98, "The proceedings of the

Third international Symposium on Humidity & Moisture, 4. 1998".

6. Kathleen Schaefer, Farideh Amiri, Joe Huneke, "The Mn/DOT Anti-icing Committee, Mn/DOT Anti-Icing Guide", 2010.
7. Sonntag D, "Important New Values of the Physical Constants of 1986", 1990.
8. Standard Specifications for Highways and Bridges, Division II-Construction
9. TRANSPORTATION RESEARCH BOARD EXECUTIVE COMMITTEE, "Snow and Ice Control: Guidelines for Materials and Methods", 2004.

담당 편집위원: 김종우
(유디코 대표)
jwkim@judico.co.kr