복합 센서의 상태 판정 알고리즘을 적용한 노면결빙 예측 및 강설 감지 시스템 개발에 관한 연구

Study on the Development of Road Icing Forecast and Snow Detection System Using State Evaluation Algorithm of Multi Sensoring Method

김 종 우¹⁾ 정 영 우^{2)*} 남 진 원³⁾
Jong-Woo Kim Young-Woo Jung Jin-Won Nam

Abstract

The road icing forecast and snow detection system using state evaluation algorithm of multi sensor optimizes snow melting system to control spread time and amount of chemical spread application. This system operates integrated of contact/non-contact sensor and infrared camera. The state evaluation algorithm of the system evaluates road freezing danger condition and snowfall condition (snowfall intensity also) using acquired data such as temperature/humidity, moisture detection and result of image signal processing from field video footage. In the field experiment, it proved excellent and reliable evaluated result of snowfall state detection rate of 89% and wet state detection rate of 94%.

Keywords : Road icing prediction algorithm, Snowfall detection algorithm, Image Signal Processing (ISP)

1. 서 론

겨울철 폭설 및 노면결빙 현상은 도로망 및 도로주행속도 향상에 나쁜 영향을 주는 대표적인 기상재해로, 이로 인한 미끄럼 사고는 겨울철 사고의 50%에 육박한다. 이러한 눈길과 빙판길 사고는 경미한 사고로 그치지 않고 잇따른 대형 사고로 이어져 교통흐름을 방해하고 물적·인적 피해뿐만 아니라 사회적·경제적 손실을 크게 발생시키고 있는 실정이다 (Traffic Accident Analysis Center, 2008). 현재 고속도로에서는 이러한 폭설과 노면 결빙 현상을 사전에 방지하기 위해 도로 융설 시스템이 개발되어 운영 중에 있으나 감지 부분에서 여러 가지 문제점이 존재한다.

첫째, 결빙 위험 감지 정확도가 낮다. 현존 결빙 센서 중 접촉식 센서는 도로 표면에 매설되어 직접 노면의 위험 상태를 판단할 수 있으나 낮은 내구성과 보수가 어려운 문제가 있다. 이를 보완하기 위한 비접촉식 센서는 적외선 레이저를

이용한 방식으로 갓길이나 주변 시설물에 설치되어 보수가 용이하나, 고가이고 적외선 특성상 어는 점 근방에서 정확도가 낮다. 현 시스템에서는 이 중 단일 센서만을 이용하여 융설 시스템을 제어하고 있고, 접촉식 센서 표면, 혹은 비접촉식 센서 레이저 스팟의 국소 부위만을 감지하여 설치 지점 전체의 결빙 위험 상황을 파악하고 있는 실정이다. 또한 전량 국외 제품에 의존하여, 어는점을 찾는 알고리즘이 국내 기후 실정에 맞지 않아 여름철에도 오분사 되는 등 감지 정확도가 낮다는 문제점이 있다. 둘째, 별도의 강설 센서가 필요하다. 강설을 모니터링하기 위해서는 결빙 센서 외에 고가의 강설 센서를 별도로 설치하여 기존 시스템에 연동하여 운영해야 하는 번거로움이 있다. 셋째, 분사량 제어가 불가능하다. 현 시스템은 강설 강도와는 상관없이 융설 상황을 on, off로 제어하므로 강설 상태가 지속될 때, 초기분사 이후 강설 강도에 따른 재분사 시점 산정이 불가능하다. 따라서 관리자는 재분사 시점을 육안으로 판단하여 무절제한 융설액

1) 정회원, 주식회사 유디코 대표이사, 공학박사
2) 정회원, 주식회사 유디코 주임연구원, 공학사, 교신저자
3) 정회원, 주식회사 바이텍코리아 수석연구원, 공학박사

* Corresponding author : super0119976@nate.com

• 본 논문에 대한 토의를 2013년 10월 31일까지 학회로 보내주시면 2013년 11월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

살포로 이어지거나, 용설 시스템을 임시 대응용으로만 운영하여 그 실효성을 제대로 발휘하지 못하고 있다 (KICTEP, 2012). 따라서 본 연구에서는 국내 실정에 맞고, 내구성이 높은 온도 센서로만 구성된 접촉식 센서와 비접촉식 센서를 통합 운영하는 노면결빙 예측 및 강설 감지 알고리즘을 고안하여, 내구성 및 정확도 같은 단점을 상쇄할 수 있도록 시도하였다. 또한 별도의 강설 센서 대신에 적외선 카메라를 이용하였다. 현재 고속도로에서는 교통 상황 모니터링용 카메라가 전 구간에 약 5km 간격으로 설치되어 운영되고 있고, 만일 위험 구간에 설치된 카메라를 이용하여 강설 감지에 이용할 수 있다면, 설치비용을 절감 할 수 있고 관리자가 직접 현장 상황 파악이 가능함과 동시에 실시간 강설 상태를 구분할 수 있다는 장점이 있다. 또한 이를 기반으로 강설 강도에 따라 용설 시스템의 분사량을 제어하게 된다면, 적시적소에 적당량을 살포 할 수 있으므로 무절제한 용설액 살포로 인한 환경오염 및 재원 낭비로부터 도로 유지관리 비용을 절감시킬 수 있을 것으로 예상된다 (Kathleen, 2010). Fig. 1은 제안하는 노면결빙 예측 및 강설 감지 시스템의 개요도이다.

2. 복합 센서의 상태판정 알고리즘을 적용한 노면결빙 예측 및 강설 감지 시스템

제안하는 노면결빙 예측 및 강설 감지 시스템은 현재의 노면 및 기상 상태를 모니터링하고 상태판정 알고리즘을 수행하여 현 도로 상황을 파악하고 용설 시스템의 분사시기를 산

Fig. 1 Road icing forecast and snow detection system

정하기 위하여 사용된다. 용설 시스템에서 용설액이 분사되어야 하는 시점은 노면이 결빙 위험 상황과 강설 상황이다. 이때에 강설량과 결빙 위험도에 따라 용설액 분사량을 최적화 할 수 있다면, 용설 효과를 극대화 할 수 있다. 상태판정 알고리즘은 접촉식/비접촉식 센서로부터 표면온도와 대기 온도/습도, 수분 감지 여부, 영상 이미지 데이터를 취득하여 상태판정을 수행하게 되며, 건조, 습윤, 결빙위험, 적설의 노면상태로 구분하는 '결빙 예측 알고리즘'과 일반, 소설, 중설, 대설의 강설상태로 구분하는 '강설 감지 알고리즘'으로 구성된다. 상태 판정 결과는 분사 시기 산정을 위한 알고리즘의 기초 데이터로 활용되게 되며 전체 알고리즘의 시스템 구성은 다음 Fig. 2와 같다.

2.1 노면결빙 예측 알고리즘

결빙 예측 알고리즘은 경계값 분석 시나리오를 수행하는 알고리즘으로, 분석 절차는 Fig. 3과 같다.

Fig. 2 System configuration

Fig. 3 Procedures of road freezing prediction algorithm

해당 경계값은 결빙 위험 상태가 가능한 표면온도, 습윤/강설 상태가 발생할 수 있는 최소 대기습도, 응결 현상이 발생할 수 있는 표면온도와 이슬점 차, 수분 감지 여부, 적설이 가능한 최소 강설 유지 시간이 있다. 노면 물성치는 설지 지점 포장체의 열전도율 평균치 (콘크리트: 1.8[W/mK], 아스팔트: 0.69[W/mK])를 적용하여 채움재와의 온도차를 보상하고, 노면 상태판정에 사용되는 온도와 습도는 센서 출력 신호로부터, 이슬점은 대기 온/습도값을 Magnus 공식 (Hardy, 1998)에 대입하여 손쉽게 유추할 수 있다. 수증기압 E (Pa)에서의 이슬점 Dp (°C)는 다음 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다 (Sonntag, 1990).

$$Dp = \frac{\lambda \times \ln\left(\frac{E}{\alpha}\right)}{\beta - \ln\left(\frac{E}{\alpha}\right)} \quad (1)$$

여기서 Dp 는 이슬점 온도 (°C), α , β , λ 는 매그너스 파라미터로 -45°C~60°C 범위에서 $\alpha=6.112$, $\beta=17.62$, $\lambda=243.12$ 로 정의된다. E 는 수증기압 (Pa)으로 상대습도로 표현하면 $E = \frac{RHSEW}{100}$ 과 같고, 이를 대입하여 정리하면 이슬점은 다음 식 (2)와 같이 표현 할 수 있다.

$$Dp(T, RH) = \frac{234.12 \times \left(\ln\left(\frac{RH}{100}\right) + \frac{17.62 \times T}{243.12 + T}\right)}{17.62 - \left(\ln\left(\frac{RH}{100}\right) + \frac{17.62 \times T}{234.12 + T}\right)} \quad (2)$$

여기서 T 는 대기 온도 (°C), RH 는 상대습도 (%)로, 구하고자 하는 이슬점을 접촉식/비접촉식 센서에서 취득한 온/습도 데이터에 의한 식으로 나타낼 수 있다.

2.1.1 습윤상태 판정

습윤 상태는 강수에 의한 습윤 상태와 표면 응결 현상에 의한 습윤 상태로 나눌 수 있으며, 습윤 상태 판정에 사용된 경계값은 동절기 취득 샘플 데이터를 기반으로 설정하였다. 먼저, 강수에 의한 습윤 상태 샘플 데이터 그래프는 Fig. 4와 같으며, 구간 (A)에 해당하는 강수 시간대에서 대기 습도가 70% 이상으로 나타났다. 수분 감지 값은 강수 감지기의 센서 표면에 수분이 감지되면 트리거 형식으로 출력되며, 구간 (A)와 같이 1분 동안 누적 감지된 트리거가 15회 초과하면 산발적인 강수 상황에서도 강수 여부를 안정적으로 파악할

Fig. 4 Rain event sample graph

Fig. 5 Wet event sample graph

수 있는 것으로 나타났다.

또한 표면 응결 현상에 의한 습윤 상태의 경우, 알고리즘에서 유추된 이슬점과 포장체의 실제 이슬점과는 차이가 있을 수 있으므로 샘플 데이터를 취득하여 분석하였으며, 그래프는 다음 Fig. 5와 같다. 구간 (A)시간대의 현장 촬영 이미지 확인 결과 응결에 의한 습윤 상태로 나타났고, 이 구간에 선 강수 상태가 아니므로 수분 감지 값의 변화는 없으나 접촉식 센서로부터 직접 측정된 노면의 표면온도와 이슬점 차이가 3°C 미만으로 떨어져 대기 중 물방울 입자가 노면 표면에 응결이 이루어지는 것을 확인할 수 있었다. 또한 표면온도와 이슬점 차이가 3°C 이상 올라가지 않으면 노면에 응결된 물 입자가 증발되지 않고 계속 습윤 상태에 머무르는 것을 확인하였으며, 본 시스템에서는 이 경계값들을 기준으로 습윤 상태로 판정하도록 하였다.

2.1.2 결빙위험상태 판정

결빙위험상태가 발생할 수 있는 경우는 어는 비와 같은 이상 강수와 영하 상태에서 표면 응결에 의한 살얼음으로 분류할 수 있다. 어는 비와 살얼음은 모두 노면이 습윤 상태일

때 기본 조건으로 하여 표면 온도가 어는 점 이하로 내려갈 경우에 발생하는 현상으로, 알고리즘 상에서도 습윤 상태의 전체 조건 하에서 표면 온도가 물의 어는점인 0℃ 이하로 떨어진 경우를 결빙위험상태로 판정하였다. 이상 노면결빙 예측 알고리즘에서에서 사용된 경계값은 다음 Table 1과 같으며, 분석 절차는 Fig. 5와 같다.

2.2 강설 감지 알고리즘

강설 감지 알고리즘은 강설 감지만만 아니라 분사량 조절을 위한 강설 강도 구분이 가능하여야 한다. 본 연구에서는 이를 위해 적외선 카메라와 강수 감지 센서를 알고리즘에 이용하였다. 적외선 카메라는 밤에도 촬영이 가능하므로 24시간 ISP (Image Signal Processing)을 이용하여 강설 강도 분석에 사용할 수 있으며, 강설 상태를 직접 육안으로 확인할 수 있다는 장점이 있다. 여기서 구현된 강설 감지 알고리즘의 분석 절차는 다음 Fig. 6과 같으며, 강수 감지 센서는 알고리즘의 신뢰성을 높이기 위한 보조 인자로 사용되었다.

2.2.1 샘플링 (Sampling)

먼저 적외선 카메라로부터 취득한 영상 이미지는 ISP를 수행하는 프레임의 속도를 높이고 하드웨어 메모리의 할당량을 낮춰 동작 프로세스의 원활한 처리를 위해 PSS (Progressive Skip Sampling) mode를 사용하여 일반적인 640×480 픽셀 크기 대신에 320×240의 해상도로 낮춘다 (Santos, 2007).

2.2.2 차영상, 합영상 (Difference image, sum image)

차영상, 혹은 합영상은 감시 카메라에서 움직임을 포착하

Table 1 The threshold value of road icing prediction algorithm

result [condition]	result [code]	surf temp [T, °C]	humidity [h, %]	dew point [d, °C]	moisture [m, ea/min]	time [t, min]
dry	D					
wet	W		$h \geq 70$	$d < 3$	$m \geq 15$	
freezing	F	$T < 0$	$h \geq 70$	$d < 3$	$m \geq 15$	
snow piled	P					$t > 5, P = 0$

Fig. 6 Procedures of snowfall detection algorithm

거나 움직이는 물체의 이동경로 등을 파악하기 위한 방법으로 사용되며, 본 연구에서는 현상 강설 시 눈의 움직임을 감지하기 위한 방법으로 사용되었다. 먼저 두 이미지 사이의 산술 또는 논리 연산을 픽셀 단위로 변환하고 변환된 이미지의 현재 영상과 이전 영상 이미지를 NAND 처리하게 되면 동일 Pixel 값을 빼기 때문에 영상에 차이가 있던 부분만 효과적으로 추출해 낼 수 있다. 강설 영상의 차영상을 구하게 되면 변화가 없는 배경 이미지는 제거 되므로 다음 Fig. 7과 같이 눈발이 훑날리는 부분만 추출할 수 있게 된다 (Karmann, 1990).

이렇게 구해진 차영상의 변화 면적 픽셀값을 환산하면 강설량을 간접적으로 측정 할 수 있게 되며, 이를 강설 강도 구분 기준 값으로 사용하였다. 반대로 현재 영상과 이전 영상의 합영상을 이용하면 변화가 없는 배경 부분만을 추출할 수 있으므로, 합영상의 픽셀값을 이용하여 적설 판정에 응용하였다.

2.2.3 관심 영역 설정 (Region of interest setting)

한편, 촬영 하는 곳이 도로이다 보니 계속해서 차량이 움직이고 있는 상태이기 때문에 전체 영상을 가지고 차영상을 구하면, Fig. 8과 같이 차량에 의한 자취가 남아 정확한 강설 및 눈 또는 비가 내리는 상황을 판정하기가 난해하다. 따라서 관심영역을 적용하여 영상 이미지 중 차량 등 움직임에 영향이 적은 부분으로 선택하여, 해당 영역 안에서만 강설 강도 변화량을 효율적으로 감시하도록 하였다.

2.2.4 이진화 (Binarization)

관심영역 영상에서 원하는 부분의 변화 정도를 수치화 하려면, 들어오는 영상에 대해서 이진화 처리가 필요하다. 그 레이스케일로 들어오는 영상에서는 이미지 내에 지역 및 배

Fig. 7 Difference Image

Fig. 8 Region of interest

경에 찾고자 하는 픽셀 강도와 입자 객체를 포함하고 있으므로, 특정 임계값을 적용하여 이미지를 이진화하면 카운트하고자 하는 픽셀값을 환산할 수 있다 (Kim, 2011). 샘플 데이터를 기반으로 수동 임계값 변화에 따라 이진화를 수행하면 다음 Fig. 9와 같으며, 노이즈를 제거하면서 눈 입자는 찾을 수 있는 적정 경계값을 설정하였다. 이렇게 처리된 이진화 영상에서는 전체 픽셀 대비 움직임이 있는 픽셀 수의 변화면적을 백분율로 구하여 강설 강도를 구분하는 척도로 사용하였다.

2.2.5 필터처리 (Filtering)

적외선 카메라가 설치되는 지점은 도로 위나 갓길 부근의 실외 환경으로 ISP 분석에 영향을 주는 요인이 많이 작용하게 된다. Fig. 10과 같이 빛, 안개, 차량 불빛 등으로 인한 영상 자체의 왜곡이나, 대형 차량이 지나갈 때 생기는 구조물 흔들림 등이 있다. 이러한 외부 요인들은 강설 이벤트가 없는 경우라도 이진화 영상에도 영향을 주어 픽셀값 수치 변화가 수반될 수 있으므로 별도의 노이즈 제거 필터가 필요하다.

본 연구에서는 배경에 소형 객체 제거를 위한 침식 (Erosion) 필터를 1차로 적용하였다. 침식 필터는 고립된 픽셀을 제거하고 구조 요소에 의해 정의된 템플릿에 따라 입자의 윤곽을 침식시키는 필터로, 해당 필터를 적용하면 배경에 노이즈 성분으로 따로 떨어져 있는 작은 크기의 형체를 제거하여 상대적으로 큰 눈 입자만 효과적으로 추출할 수 있다. 또한 카메라가 설치된 구조물의 흔들림이나 야간의 차량 전조등에 의한 영상 변화율은 이전 프레임과 대비하여 일정 크기 이상

Fig. 9 Binarization result of threshold 3, 6, 10

Fig. 10 Environment image distortion

급격히 상승하면 무시하도록 2차 필터 처리하였다. 그 결과, 다음 Fig. 11과 같이 외부 환경 요인에 의한 노이즈가 제거된 깨끗한 눈의 흔적을 찾을 수 있었다.

2.2.6 이동평균 카운트 (Moving average count)

강설 영상을 ISP 처리 후 픽셀 변화율 분석 결과, 강설 영상은 순간적인 강설강도 변동이 심한 것으로 나타났다. 따라서 판단의 편차를 줄이고 안정적인 강도 판단을 위해 픽셀 변화율에 이동 평균을 취하도록 하였다. 각각 5, 60, 300 프레임의 변화율로 이동 평균을 취하면 Fig. 12와 같으며, 300 프레임의 변화율 이동평균 값이 안정적으로 강설 강도 구분 가능한 것으로 나타났다. 이렇게 취득한 300프레임 변화율 이동평균값은 강설 상태에서 강설 강도를 구분하는 척도로 사용하였다.

강설 강도 구분을 위한 이동평균 경계값은 테스트베드에서 취득한 샘플 영상인 소설 (적설량 0-1cm/h), 중설 (적설량 1-3cm/h), 대설 (적설량 3cm/h 이상)을 각각 시뮬레이션 한 결과값을 기반으로 설정하였고, 신뢰성을 높이기 위하여 습윤 상태 판정과 같이 대기 습도와 수분감지 값을 보조 인자로 추가하였다. 이상 강설 감지 알고리즘에서 사용된 경계값은 다음 Table 2와 같다.

2.2.7 경계검출 (Edge detection)

적설 상태는 강설 상태가 5분 이상 지속되면, 영상 이미지상의 차선에 경계검출 함수를 수행하고 차선 감지가 되지 않

Fig. 11 Filtering result

Fig. 12 Frame-by-pixel moving average rate of change

Table 2 The threshold value of snowfall detection algorithm

snow result [Condition]	result [Code]	intensity [Pixel, %]	humidity [h, %]	moisture [m, ea/min]
strong	S	$\rho \geq 30$	$h \geq 60$	$m \geq 15$
moderate	M	$10 \leq \rho < 30$	$h \geq 60$	$m \geq 15$
weak	W	$0.5 \leq \rho < 10$	$h \geq 60$	$m \geq 15$
normal	N	$\rho < 0.5$	$h \geq 60$	$m \geq 15$

Fig. 13 Boundary Changes of the lane

Fig. 14 Edge detection for the Lane

을 경우를 적설 상태로 간주하도록 하였다. 본 시스템에서는 차량 주행에 영향을 덜 받는 도로의 최외곽 차선을 활용하였다. 적설이 될 경우, Fig. 13과 같이 도로의 외곽 차선 경계가 모호해지거나 일반 상태보다 증가하게 된다.

따라서 취득한 영상에 차선을 잘 구별할 수 있는 경계값으로 이진화하고 Fig. 14와 같이 선 형태의 관심영역을 설정하여 설정 영역 안의 그레이 스케일 픽셀값을 비교하도록 하였다. 설정 경계값 이상으로 레벨 상승 시 경계검출을 수행하도록 하여 차선을 감지에 실패하면 적설로 판정하는 방법을 사용하였다 (Lindeberg, 2001).

3. 현장 적용 실험

3.1 실험 장소

현장 적용 실험은 65번 동해고속도로 강릉5터널 입구에서 2011년 11월부터 2012년 3월 동절기 기간 동안 수행하였으며, 설치 그림은 다음 Fig. 15와 같다.

Fig. 15 Field Test

3.2 실험 방법

실험 방법은 강설이나 습윤 이벤트 발생 시, 노면 및 기상 상태판정 결과와 동시간대에 실제 촬영된 영상 파일을 육안으로 확인하여 현장 상태를 비교하였다. 간혹 외부 환경 영향에 의해 카메라 촬영상태가 좋지 않아 육안으로 현장 상태 확인이 불가능한 시점은 근방 관측소의 관측 자료를 활용하여 비교하였다.

3.3 실험 결과

3.3.1 결빙 위험 감지

실험 기간 동안 어는 비나 살얼음 등과 같은 직접적인 노면결빙 이벤트는 발생하지 않았으나, 일반 강수 상황이나 응결 현상에 의한 노면 습윤 상태 감지 동작은 원활하게 수행되었다. 노면결빙 위험 판정은 습윤 상태에서 표면 온도 경계값 이하로 온도가 하강되는 조건이 추가되므로, 습윤 상태 감지가 정상적으로 수행된다면 결빙 위험 경계 조건이 발생 시에도 원활한 판정 동작을 수행할 것으로 예상된다. 실험 기간 도중 2012년 1월 17일 발생한 습윤 감지 그래프를 살펴보면 다음 Fig. 16과 같으며, 여기서 (B)구간은 일반 상태, (A), (C)구간에서는 습윤 상태로 판정되었다. 해당 구간은

Fig. 16 Wet detection - 2012/01/17

Fig. 18 Snow detection - 12/01/22

Fig. 17 Wet Image - 12/01/17

Fig. 19 Snow image - 12/01/22

대기 습도가 상승하고 이슬점과 표면온도 차가 3°C 이하로 떨어지는 표면 응결 현상에 의한 습윤 상태로 접어드는 것으로 판단된다.

해당 이벤트 구간의 현장 촬영 이미지를 매칭시켜 육안으로 확인해보면 판정 결과와 일치하는 것을 확인하였으며, 매칭 이미지는 다음 Fig. 17과 같다.

3.3.2 강설 강도 감지

강설 이벤트는 노면 결빙 이벤트에 비해 발생 횟수가 많고, 현장 촬영 이미지와 육안 구분이 수월하였다. 실험 기간 동안 발생한 14번의 강설 이벤트 모두 감지에 성공하였고, 대표적으로 2012년 1월 22일과 2012년 1월 31일에 발생한 강설 이벤트를 살펴보면 다음과 같다.

먼저, 1월 22일 강설 이벤트 그래프는 Fig. 18과 같으며, 해당 그래프에서 (A), (C)구간은 일반 상태, (B)구간은 강설 상태로 판정하였다. 해당 구간에서 픽셀 변화율은 17시 12분부터 강설 강도 구분 경계값을 초과하였고, 소설부터 대설까지 점차적으로 증가하여 18시 27분에는 최대 34.6%까지 나타났다.

해당 강설 이벤트는 짧은 2시간 안에 소설, 중설, 대설이 모두 발생한 이벤트로 당시 현장 촬영 이미지를 매칭시켜 육안으로 확인해보면 판정 결과와 일치하는 것을 확인할 수 있으며, 일치한 촬영 이미지는 다음 Fig. 19와 같다.

Fig. 20 Snow detection - 12/01/31

1월 31일 강설 이벤트 결과 그래프는 Fig. 20과 같으며, 해당 그래프에서 (A), (C)구간은 일반 상태, (B)구간은 강설 상태로 판정하였다. (B)구간의 강설 상태는 5시간에 걸쳐 지속되었고, 그 중 대설 상태가 3시간 10분간 지속된 폭설 이벤트로 나타났으며, 당시 현장 촬영 이미지를 매칭 시켜보면

Fig. 21 Snow image - 12/01/31

Table 3 Event detection rate

Condition	Snow event			Road icing event	
	Strong	Moderate	Weak	Dry	Wet
Event [sec]	3421	1980	2848	6381	13649
Detect [sec]	3193	1959	2180	7543	12792
Rate [%]	93	99	77	118	94

판정 결과와 일치하였다. (A), (B), (C)구간의 촬영 이미지는 다음 Fig. 21과 같다.

4. 결과 분석

실험 중 기상상태와 노면상태의 상태 판정 결과를 파악하기 위해 실제 이벤트가 발생한 시간과 알고리즘에서 판정된 이벤트 시간을 비교하였다. 결과는 Table 3과 같으며, 강설 감지율 89%, 습윤 감지율 94%로 나타났다.

그러나 향후 원활한 현장 적용을 위해서 몇 가지 업그레이드가 수반되어야 할 것으로 판단된다. 먼저 ISP의 경우 카메라 설치 위치에 따라 차량 주행에 의한 노이즈 영향이 크게 좌우되어 판정 결과에 오차가 발생된다. 따라서 카메라 최적 설치 기준과 관심 영역 설정에 대한 보편적 기준이 확보되어 다양한 현장 상황에서도 적용이 가능해야 한다. 또한 낮과 밤의 조도 영향에 따라 ISP의 강설 강도 구분 경계값을 수동으로 변경해야하므로, 강설 강도 구分的 안정적인 동작을 위한 노이즈 필터나 자동 감지 경계값 설정 등의 업그레이드가 추가로 연구되어야 할 것으로 판단된다.

5. 결 론

본 연구의 결론을 요약하여 정리하면 다음과 같다.

- (1) 국내 실정에 맞고, 접촉식/비접촉식 센서를 통합 운영하여 현재의 노면 및 기상 상태를 모니터링 하여 결빙 예측 및 강설 감지에 응용하는 노면결빙 예측 및 강설 감지 알고리즘을 구축하였다.
- (2) 알고리즘에서 강설 강도 구분과 적설 판정을 위하여 적외선 카메라를 이용한 ISP 기법을 도입하였고, 매그너스 방정식을 이용한 이슬점 환산 방법과 포장체 표면온도와 대기 온습도, 수분 감지 센서를 이용하여 습윤/결빙 위험 상태 구分的 가능성을 평가하였다.
- (3) 상태판정 결과를 기반으로 강설량과 결빙 위험도를 구분하여 융설 시스템의 최적 분사를 유도한다면 기존의 De-icing 방식이 아닌 Anti-icing 방식의 사전 융설의 개념을 도입할 수 있으므로 체설 효과를 높이고, 무절제한 제설제의 살포로 인한 환경오염 및 손실을 감소시킬 수 있으므로 효율적인 도로 관리에 기여할 수 있을 것으로 예상된다.

감사의 글

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

References

1. De los Santos, P. A., "Progressive Random Sampling With Stratification", Systems, Man, and Cybernetics, Part C: Applications and Reviews, IEEE Transactions on, Vol. 37, Issue 6, 2007, pp.1223-1230.
2. Hardy B., "The proceedings of the Third international Symposium on Humidity & Moisture, 4", 1998, pp.12-20.
3. K. Karmann, et al., "Moving object segmentation based on adaptive reference images", Signal Processing, Vol. 5, 1990, pp.951-954.
4. Kathleen S., Farideh A., Joe H., "The Mn/DOT Anti-icing Committee, Mn/DOT Anti-Icing Guide", 2010, pp.51-59.
5. KICTEP, "SMART Highway Road infrastructure development of core technologies report 2", Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs, 2012, pp.5-26 (in Korean).
6. Kim, J. H., "Distortion Invariant Vehicle License Plate Extraction and Recognition Algorithm", Journal of the Korea Contents Association'11, Vol. 11, No. 3, 2011, pp.3-4 (in Korean).

-
7. Lindeberg, Tony, "Edge detection", in Hazewinkel, Michiel, Encyclopedia of Mathematics, Springer, ISBN 978-1-55608-010-4, 2001, pp.3-4.
 8. Sonntag D., "Important New Values of the Physical Constants of 1986", Vapour Pressure Formulations based on the IST-90 and Psychrometer Formulae, Z. Meteorol, 1990, pp.340-344.
 9. Traffic Accident Analysis Center, "Traffic Accident Analysis", Road Traffic Authority, 2008, pp.173-176 (in Korean).

Received : 06/27/2013
Revised : 07/12/2013
Accepted : 07/18/2013

요 지

본 연구의 복합 센서의 상태 판정 알고리즘을 적용한 노면결빙 예측 및 강설 감지 시스템은 기존 단일 센서만을 이용하던 기존 방식에서 벗어나, 접촉식/비접촉식 센서 및 적외선 카메라를 통합 운영하여 분사 시스템의 분사 시기와 용설액 분사량을 최적 제어한다. 시스템에 적용된 상태 판정 알고리즘은 취득한 온/습도 데이터와 수분 감지 데이터, 관측된 도로 영상의 영상처리기술 등을 이용하여 노면결빙 위험 상태와 강설 상태 뿐만 아니라 강설 강도까지 구분하여 판정을 수행한다. 제작된 시스템의 현장 적용 실험에서는 강설 상태 감지율 89% 습윤 상태 감지율 94%의 우수한 판정 결과와 신뢰성을 검증하였다.

핵심 용어 : 노면결빙 예측 알고리즘, 강설 감지 알고리즘, 영상처리기술