

# 도로 결빙방지 시스템



김은수  
로알정보기술(주) SOC사업본부이사

## 1. 시스템 개요

겨울철 도로는 강설, 결빙, 압설 등의 현상으로 도로표면이 미끄러워 크고 작은 사고의 발생빈도가 높고, 기능 회복(제설/제빙 등)을 위한 시간, 장비, 인력 투입 등 고비용이 요구된다. 본 시스템은 도로면의 결빙(강설, 강우이후의 결빙 등)을 근원적으로 방지하여 교통안전도를 향상시키며, 제설작업을 신속하게하여 도로기능의 정상회복에 필요한 시간 및 비용을 절약하게하는 방식이다.

### 1.1 시스템의 필요성

최근 계획되는 도로는 고속화, 직진화하여 터널이나 교량의 수 및 그 연장도 증가하는 추세이다. 이런 경향은 터널/교량 입출구 부근에서의 갑작스런 노면 상태 변화(결빙, 강설 등)가 있는 경우 대형교통사고를 일으키는 원인이 되기도 한다.

즉, 동절기 취약지역의 기후조건(강설과 서리 및 동결횃수 등)이 차량 통행에 많은 지장을 초래할 수 있으므로 도로결빙방지시스템을 설치하여 안전한 도로상태를 유지할 필요가 있다.

### 1.2 시스템의 검토방향

결빙방지 및 제설작업은 강설 초기에 신속하게 작업을 하는 것이 매우 중요하다. 제설작업은 인력 및 제설차량 등의 장비를 현장까지 투입시키는 장비이동시간이 필요하고, 장비 이동 중에는 도로내의 교통흐름을 방해하기도 한다. 또한 제설/용설 과정 중 또는 제설 전후의 저온기후의 영향으로 도로 이곳저곳 부분적인 결빙상태가 존재할 수도 있어 제설작업은 도로의 결빙에 대한 충분한 대책은 되지 않고 있다.

그러므로 터널 입/출구, 터널 사이의 개구부 및 교량 등 상시 안전한 노면확보가 어려운 지역에는 보다 신속하고 결빙방지 효과가 높은 시설을 갖추어 이용객에의 안전소 및 서비스향상을 도모하고 시설투자효율 및 유지관리비용등이 저렴한 경제성있는 시스템검토가 필요하다.

## 2. 시스템 선정기준

주로 음지구간이거나, 기후가 급변하고, 기온이 낮고, 기온변화가 크며, 적설빈도가 높고, 바람이 많은 곳 등 눈

이나 비로 인한 결빙이 예측되는 도로와 관련한 시설물에 적용한다.

## 2.1 터널 입, 출구

터널 입, 출구는 터널과 대기의 경계가 되는 구간으로 온도차 및 환경(외부의 조명 휘도차, 강우, 강설시 도로 노면 상태의 변화, 시야의 변화, 주행속도 등)의 급격한 변화로 차량의 급제동, 급감속 빈도가 높은 구간으로서 결빙방지 및 초기제설이 미흡한 경우, 잦은 교통사고로 인명과 재산의 손실 및 교통체증이 자주 발생할 수 있는 구간이다.

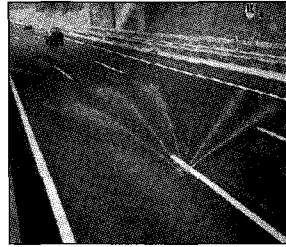


그림 1. 터널 인근 도로

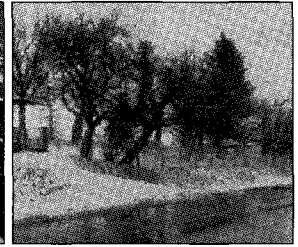


그림 2. 산악지역

## 2.2 교량구간

교량은 지면위의 도로와는 달리 지열이 차단되어 주변 자연환경(외기온도, 습도, 풍속, 등)의 영향을 받아 응설이 더디고, 심야에는 주변의 습기 또는 노면의 수분 등에 의해 결빙이 자주 발생하는 구간이다. 특히 교량에서의 미끄럼에 의한 사고는 차량추락이라는 보다 심각한 사고를 발생케 하는 등 보다 대형의 재해가 발생되기도 하는 구간이다.



그림 3. 공항 활주로

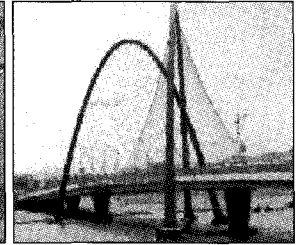


그림 4. 교량

- ▶ 제설 대상 구간이 산재된 광범위한 지역
- ▶ 대규모 전력 수전이 불가능한 지역
- ▶ 지역의 공급이 차단되는 교량부
- ▶ 지반 침하가 예상되는 지역
- ▶ 급경사지역 또는 급커브지역
- ▶ 동절기 기상변화가 심한 지역
- ▶ 노면의 배수가 원활한 장소
- ▶ 터널의 입, 출구 구간
- ▶ 도로의 보수공사가 잦고 증설이 요구되는 구간 등

## 2.3 기타구간

지형적 또는 시공상의 요인으로 도로면이 장시간 그늘진 구간이나, S자형으로 회전하는 도로, 경사도가 7%이상의 도로 등은 강설 시 상습적으로 노면이 결빙되는 구간이다.

## 3. 시스템 적용

### 3.1 결빙방지 시스템 적용 대상지역

### 3.2 시스템 구성

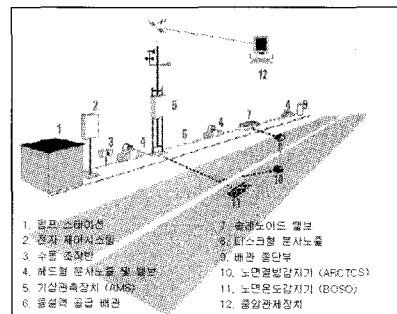


그림 5. 시스템 구성도

### 3.3 기상관측장치

기상관측장치는 도로면과 대기의 상태를 측정하는 장치로서 용설액을 최적의 조건에서 분사하기위한 기초 자료를 관장하는 장치이다. 국내에는 대기의 온·습도, 강수/강우, 노면상태 및 결빙여부 등을 감지하는 측정장치로 구성, 적용하고 있다.

현장 여건에 따라, 강설량계 및 풍향/풍속계 등을 추가 설치하여 보다 효과적인 기상관측 기능을 갖출 수 있다.

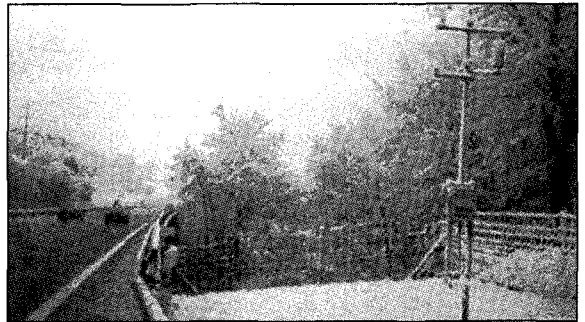


그림 6. 기상관측장치

### 3.4 자동 용설액 분사시스템

본 시스템은 기상관측장치로부터 수집된 도로 및 대기 상태에 대한 정보를 활용하여 용설액을 도로면에 자동 또는 수동으로 분사시켜주는 설비이다.

시스템구성은 펌프하우스를 중심으로 내부에는 용설액 저장탱크, 소용량의 모터 및 제어장치로 구성되고, 도로 갓길에는 15M~20M 간격으로 용설액을 분사시켜주는 노즐을 설치한다.

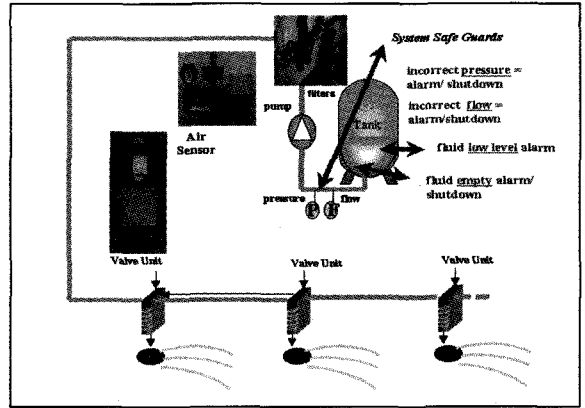
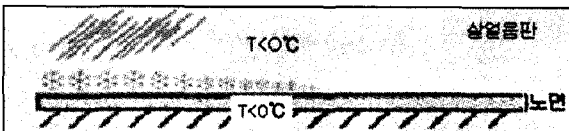


그림 7. 자동 용설액 분사시스템

## 4. 도로 표면의 결빙 및 제설대책 진행과정

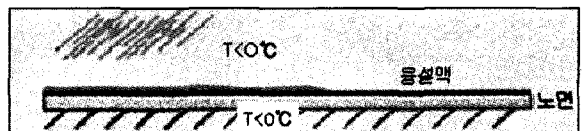
### 4.1 도로 표면의 결빙

◆ 용설액 분사 시스템이 설치되지 않은 불리한 상태

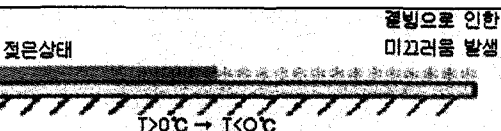


도로표면의 온도가 0°C보다 낮을 때 또는 눈이 되어 내릴 때 살얼음의 결빙이 발생한다.

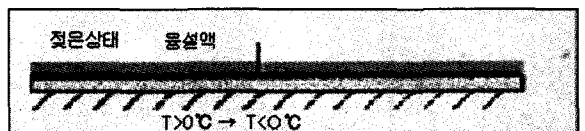
◆ 용설액 분사 시스템이 설치시 장점



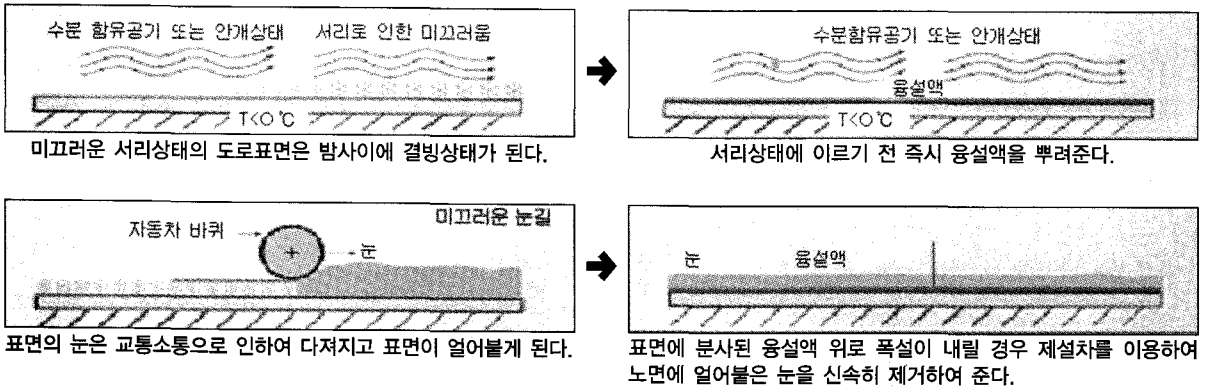
살얼음의 상태감지시 즉시 용설액을 뿌려준다.



기온하강 시 젖은 상태가 결빙이 된다.

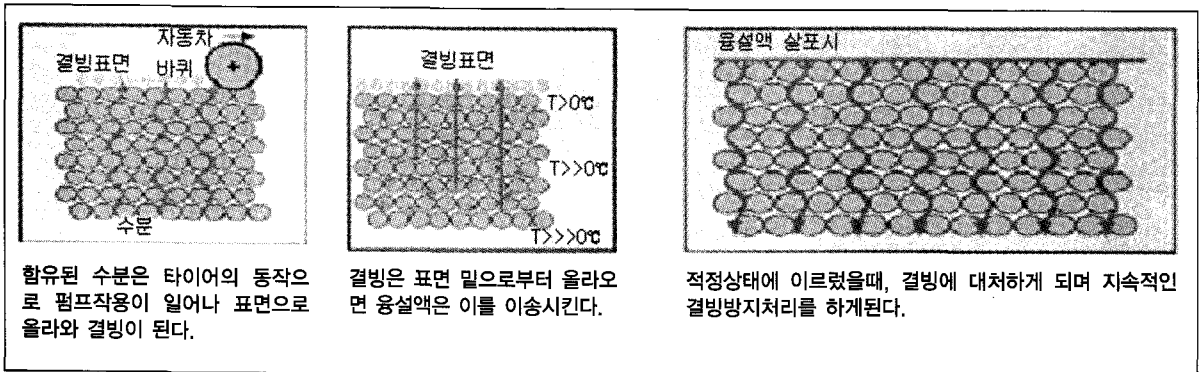


젖은 상태가 결빙상태에 도달하기 이전 다시 용설액을 뿌려준다.



## 4.2 아스팔트 표면의 배수작용

◆ 온도조절을 위한 분사



## 5. 주요감지기 및 소프트웨어

### 5.1 대기 온·습도 감지기

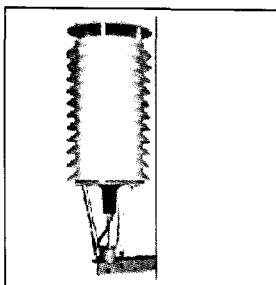


그림 8. 대기온·습도감지

- ◆ 대기중의 온도와 습도를 감지하여 결빙 예측 및 기상 관측 자료로 활용
- ◆ 측정 범위:  
 $0 \sim 100\%RH$   
 $-40^{\circ}\text{C} \sim +70^{\circ}\text{C}$ .

### 5.2 강수/강우 감지기

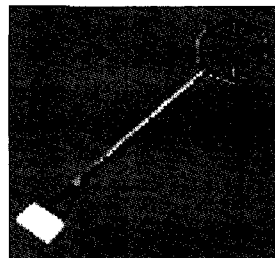


그림 9. 강수/강우 감지기

- ◆ 대기중의 비 또는 눈을 식별하여 결빙 또는 적설 이전에 응설액을 분사할 수 있는 기상관측 자료로 활용

수평면에 서로 수직으로 설치된 4개의 Light Gate로 구성되며 적외선 LED로 구

성된 각 Gate는 감지기내에 감지되는 물방울의 성분을 통과시간 및 전기적 신호펄스를 분석하여 식별기능을 수행한다.

### 5.3 노면결빙점 감지기

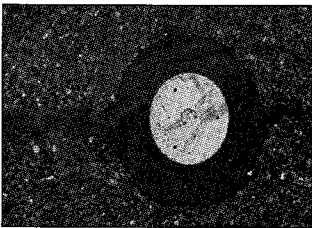


그림 10. 노면결빙점 감지기

♣ 도로 표면에서 온도 측정 및 빙점을 탐지하는 동적센서. 도로에 부분적인 가열과 냉각작용을 지속적으로 반복.

### 5.4 노면상태 감지기

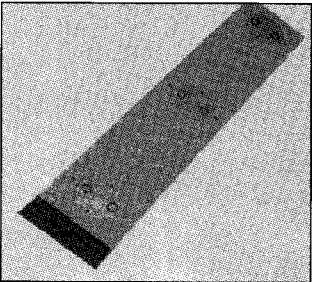


그림 11. 노면상태 감지기

♣ 도로 표면의 온도, 저항을 측정하는 동적센서 얼음 탐지 및 생성 위험성을 판단. 도로에 부분적인 가열과 냉각작용을 지속적으로 반복.

감지기가 제공하는 자료는 다음과 같다.

1. 노면온도 및 염분상태(Dry, Wet)
2. 3단계의 정보 제공
  - A1 : 도로의 온도가 0 °C정도 일 때/도로의 습기 (습도가 증가하여 결빙 위험이 있음을 알림)
  - A2 : 얼음 형성의 위험 (결빙 위험이 있음을 알림)
  - A3 : 얼음 존재 상태를 알림

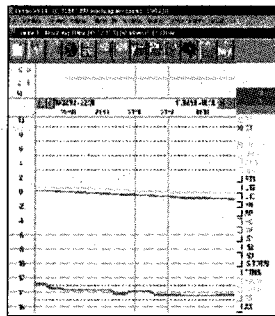
### 5.5 소프트웨어 감시기능

관리자는 중앙통제실에서 시스템 가동에 대한 전반적

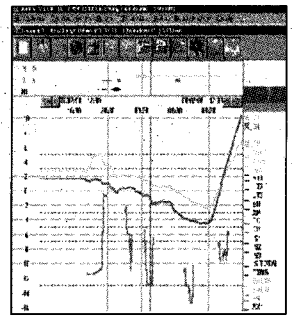
인 데이터를 분석하고 관리할 수 있다.

“어떠한 상황에서 몇 회의 응설액을 분사했는가”하는 자료들은 향후 시스템 유지관리의 효율을 향상하는데 활용될 수 있다.

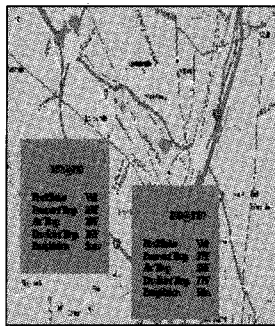
이 소프트웨어는 크게 7단계의 프로그램을 내장하여 기상조건의 변화에 따라 다양하게 응설액을 분사시킬 수 있다.



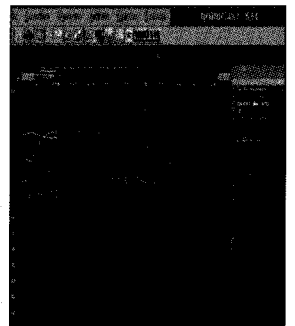
2-hours Historic display



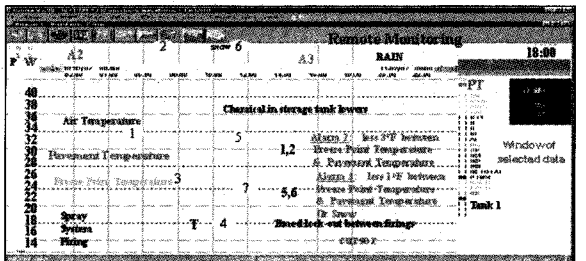
24-hours Historic display



Site Maps



24-hours Pavement forecasts



Remote Monitoring

그림 12. 모니터 분석감시기능

## 6. 용설액 분사 노즐

### 6.1 노즐의 형태

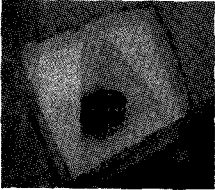
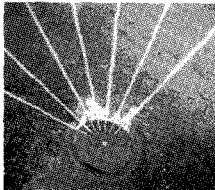
헤드형	디스크형
	
- 규격 : 108×62mm - 노즐 : 4노즐 - 설치 장소 : 벽면 (Niche)가드레일	- 규격 : 250×40mm 2. 노즐 : 6노즐 3. 설치 장소 : 포장도로면

그림13. 노즐의 형태

### 6.2 노즐의 설치

◆ 도로의 측면 또는 도로노면에 매립하며, 고속도로 중앙분리대나 교량의 난간부에 삽입 설치할 수 있다. 또한 난간부의 후면에 작동밸브를 설치하고, 노즐까지는 배관으로 연결할 수도 있다.

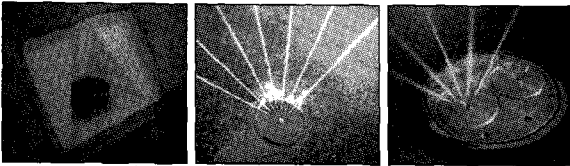
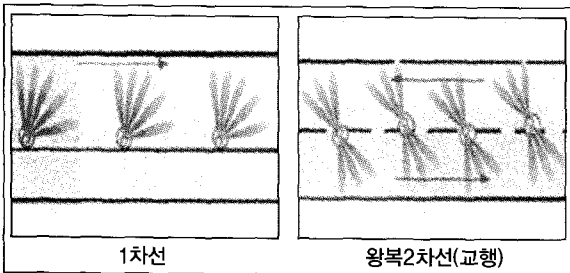


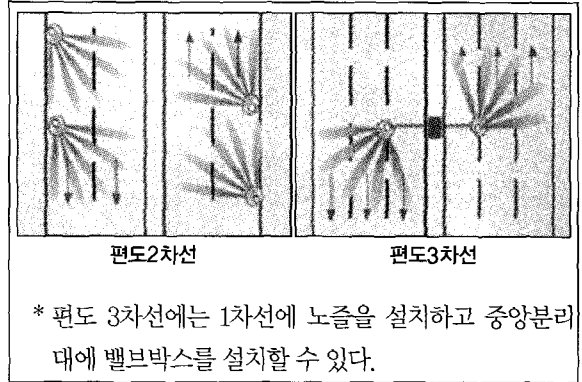
그림 14. 노즐의 설치

### 6.3 노즐의 차선별 배치형태



1차선

왕복2차선(교행)



편도2차선

편도3차선

\* 편도 3차선에는 1차선에 노즐을 설치하고 중앙분리대에 밸브박스를 설치할 수 있다.

그림 15. 도로형태별 배치

## 7. 제설제의 종류

### 7.1 제설제 일반

눈을 녹이는 물리화학적인 작용제를 제설제라고 하지 만 넓은 의미는 얼음을 녹이는 기능인 제빙제까지의 의미도 가지며 일본에서는 용설제, 영문으로는 Deicer 또는 Snow melter 등으로 표기되고 있다.

### 7.2 제설제 선정시 고려사항

- ▶ 제설(용설, 제빙)의 신속성
  - 고체 상태의 제설제는 얼음에 빨리 침투할 수 있어야 한다. 초기 용해도가 높은 제설제가 제설에 효과적이며 경제적이다.
- ▶ 철구조물에 대한 저부식성
  - 구조물에 대한 저부식성의 것이 장기적으로 간접비용을 절감할 수 있다.
- ▶ 콘크리트 구조물에 대한 친밀성
  - 담수의 결빙과 해빙이 반복될 때, 콘크리트는 열화현상으로 약화되므로 결빙과 해빙시 제설제의 응력이 적은 것이 바람직하다.
- ▶ 낮은 온도에서의 제설, 제빙효과

- 충분히 낮은 온도에서 제설, 제빙성능이 있는 것이 좋으며, 재결빙으로 인한 2차 제설이 불필요한 것, 저빙점형 등이 바람직하다.
- ▶ 제설, 제빙 후 잔유물 유무
- 암염, 요소, 염화칼륨 및 이들의 혼합물로 만든 제설제는 제설 후 잔유물의 상태 및 잔유량의 확인이 필요하다. (제설 후 다른 2차적 문제점 발생여부의 확인)
- ▶ 식물에의 유해성
- 대부분의 제설제는 비료로 사용될 수 있지만, 식물체에 다소의 유해요인을 갖고 있으므로 식물체를 보호하기 위해서는 고효율의 제설제를 최소한으로 사용하는 것이다.
- ▶ 경제성
- 제설제의 단가나, 사용량만을 검토하기보다는 앞서 언급한 환경성등의 조건을 종합적으로 검토하여야 하며, 유지 보수비용, 간접비, 인건비, 효율 등을 고려하여 제설제를 선정하여야 한다.

### 7.3 제설제의 종류 및 특성

표 1. 제설제의 종류 및 특성

종류	생산국	주요성분	형질	빙점
Safeway Ka	독일	· 초산칼륨 · 부식억제 혼합물	액체	-60℃(49%)
염화나트륨	한국	· NaCl	고체	-21℃(22.5%)
염화칼슘	한국	· CaCl	액체, 고체	-51℃(30%)

◆ 염화칼슘

염화칼슘은 가격이 저렴하고 대량조달/공급이 용이하며 고체나 물에 쉽게 용해되고 빙점도 낮아 용해상태에서 염화물이 결빙되지 않는 특성이 있어 국내외에서 가장 많이 제설제로 활용하고 있다.

◆ 염화나트륨

다른 제설제에 비해 가격이 크게 저렴하지만 빙점이 높고 용설력이 다소 떨어지는 결점이 있다.

◆ Safeway Ka

액체로서 빙점이 낮고 유해물질이 없어 환경 친화적으로 사용하기에 적합하나 고가의 수입품이다.

## 8. 결빙방지시스템의 운전

### 8.1 수동운전

▶ 펌프하우스에서의 수동운전

- 운전자가 도로면을 보며 수동으로 조작한다

▶ 중앙감시반에서의 수동운전

- 프로그램상의 전자제어장치를 이용하여 다양한 수동조작 방식 중에서 선택, 운전 조작한다.

### 8.2 자동운전

Program 제어 자동운전은 다음의 경우를 고려하여 각 조건의 조합으로 다양한 환경에 대응, 자동으로 운전되는 모드를 선정하여 운전할 수 있다.

- 강설 여부
- 얼음의 존재여부
- 결빙위험의 유무
- 노면 상태 감지기의 측정결과
- 노면 결빙점 감지기의 측정결과
- 노면상태/감지기의 측정점과 예약된 작동조건과의 비교에 의한 운전제어

## 9. 결빙 방지 시스템 적용 사례

### 9.1 국내

표 2. 국내의 적용사례

구분	고속도로 및 교량명	적용구간
고속도로 및 터널	· 영동고속도로 / 진부1,2터널 상행선 입, 출구	210M
	· 영동고속도로 / 대관령2, 3터널 입, 출구	480M
일반도로	· 강원랜드 / SMALL CASINO 진입도로	782M

9.2 외국

표 3. 외국의 적용사례

구분	국명	고속도로 및 교량명	적용구간
고속도로 및 터널	독일	· A44AM Ludens Chied	6,900M
		· A8AM Dracken steiner Hang	1,965M
		· BIO Stuttgart Zuffenhausen	1,500M
		· Autobann	45,000M
	스위스	· Lausanne ring	16,500M
		· Canton Fribourg	1,365M
		· Canton Geneva	750M
	러시아	· Moscow ring	1,560M
	체코	· Strahovski 터널	480M
교량	독일	· Munster	340M
		· Iengerich	510M
		· Bielefeld	2,000M
		· Haseltal	1,650M
		· Drackensteniner	1,695M
		· Donauworth	900M
		· Haselholmer tai	650M
		· Eibe	420M
	스위스	· Geneva	750M
		· Fribourg	1,365M
	덴마크	· Borreveile	150M
	이탈리아	· SAV-Buthier	870M
	체코	· Barrandov	180M
· Bulhar 960M		960M	
캐나다 Ontario	· Othawa MT0401-416	10 Nozzles	
미국	· 펜실베이니아		
	- Erie E79	70 Nozzles	
	- Allegheny	17 Nozzles	
	· 미네아 폴리스 미시시피 교량	76 Nozzles	