

# 전기 에너지를 이용한 도로용설 시스템



이 현 중  
세종대학교 토목  
환경공학과 교수  
hlee@sejong.ac.kr



김 태 우  
세종대학교 토목환  
경공학과 박사과정  
jjang717@dreamwiz.com



김 형 배  
한국도로공사 도로교통  
연구원 책임연구원  
kimhyun13@freeway.co.kr

## 1. 서 론

기존 국내의 도로 용설에 주로 적용되고 있는 염화물계 용설제를 살포하는 방식은 환경오염을 야기할 뿐만 아니라 도로에 설치된 각종 구조물을 손상 시켜 구조물의 수명을 단축시키는 문제를 유발하고 있다. 이러한 문제를 근본적으로 해결할 수 있는 새로운 용설 시스템의 개발은 중요하면서도 매우 시급한 과제이다. 특히 전기발열방식의 용설 시스템은 환경오염 방지뿐만 아니라 포장과 구조물의 부식을 근본적으로 해결할 수 있으며 강설시 즉각적인 대응이 가능하기 때문에, 예기치 않은 폭설에 효과적으로 대처하기 위해서는 반드시 확보하여야 할 필수적인 기술이다.

겨울철 강설 및 결빙 시 도로의 급경사 구간이나 빌딩

및 아파트의 주차장 램프, 터널의 입출구 등 교통사고의 예상이 발생하는 지역에 교통안전 확보의 수단으로 취약 지점에 대한 효율적인 제설 작업 체계가 필요하다(김지원, 2003). 용설 시스템은 포장체(콘크리트, 아스팔트 등)의 표면에 강우 및 강설 후 기온 하강에 의하여 노면에 결빙이 발생할 때 포장체 표면온도와 풍속, 습도 등을 고려하여 포장면의 온도를 결빙점 이상으로 유지하여 포장면 위의 수분이나 잔설이 얼지 않도록 하는 것이다.

본 연구는 총 5년에 걸쳐 진행되는 국토해양부 연구 과제로 시행되었으며, 여러 종류의 발열체를 개발 및 평가하여 최종 발열체를 선정하고(심상현, 2007), 현장 적용성 평가를 위하여 시험시공을 실시하여 지속적인 추적조사를 통한 최종적인 용설 시스템의 성능 평가를 연구수행하였다.

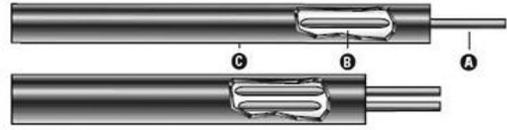
## 2. M.I Heating Cable

### 2.1 M.I Heating Cable 특성

M.I Cable은 Mineral Insulator Sheathed Metal Tube Cable의 줄임말이다. 피복재인 금속관 안에 '기능 소선'인 도체선이 있어 용도에 따라 그 기능이 Heating이 주목적인 경우 전열선을 넣고, 열전대로 사용할 경우에는 열전대 소선 또는 보상도선을 넣고 무기절연재로 금속관과 기능소선간을 절연시켜 고도로 압축시켜 만든 케이블을 M.I Cable이라고 하며, 본 연구에서 선정한 M.I Heating Cable이란 도체선의 용도가 Heating이 주목적인 Heating Cable이다. 일반적으로 발열체인 도체선은 한 가닥(Single Type) 또는 두 가닥(Double Type)의 형태가 많이 쓰이나, 사용목적 및 용도에 따라 다양한 형태로 만들어 지며, 그 배열 또한 여러 종류가 있다.

### 2.2 Heating Cable 비교 분석

본 연구에서는 두 가닥형보다 상대적으로 고열량 발열이 가능한 한 가닥형 발열체를 선택하였다. 그림 1에서 A는 니켈크롬합금이 주로 쓰이며, 전기저항에 의해 발열을 하게 되어있다. B는 외피와 발열체사이에 있는 미네랄 재질로 전기적 절연을 구성하고 있으며, 기계적 강도 및 화학적 특성이 일반 케이블보다 우수하며 내열특성이 매우 좋다. 특히 무기 절연재중 유리섬유를 사용하여 내부 열선의 움직임에 따른 열선 또는 금속 보호관 사이에 간격변화 및 케이블이 굽혔을 때에 변화를 전혀 일으키지 않고 내진동 특성이 뛰어난 Copper 혹은 알루미늄 Tube로 감싸도록 구성되었다. C는 Cable 전체를 보호하는 역할로 니켈합금, 스테인리스, 동, HEPE(High Density Polyethylene)로 제작되고 있어 외부 환경으로부터 절연체 및 발열체를 보호한다. 본 연구는 사용되는 M.I Heating Cable은 도로표면에 적용되기에 시멘트 포장의 경우 강한 알칼리성 성분과 계절 변화에 따른 수축팽창에



〈그림 1〉 M.I Heating Cable 기본 구성도

대한 저항성이 우수한 HDPE를 사용하였다.

## 3. 총진제

### 3.1 아크릴 수지 특성

전기 에너지를 이용한 용설 시스템은 공용중인 도로에 깊이 3~4cm, 폭 7mm로 커팅하여 두께 5mm의 M.I Heating Cable을 매설한 후 아크릴 수지(MMA, Methyl Methacrylate)를 주입하여 시공을 완료하기 때문에 포장체의 파손없이 시공이 가능하다. 본 연구에 사용되는 아크릴 수지는 Acrylic과 Methacrylic Acid Ester의 중합반응공정을 거쳐 이중 탄소 결합을 갖도록 만든 반응형 수지로 내구성 및 내열성, 내화학성, 내마모성 UV 안전성 등이 뛰어나기 때문에 여러 선진국에서는 오래전부터 토목을 비롯한 여러 산업분야 널리 사용되고 있는 재료이다. 이런 화학적 합성물의 특징은 탄소 이중결합 집합(C=C) 구조를 갖는다. 본 연구에서는 발열체에서 발생하는 열에 대한 강도 및 변형 저항성이 우수하여야 하기 때문에 열경화성 수지를 개발하였다.(서재운, 2007). 또한 열전도율을 증대시키기 위해 아크릴수지에 산화철 및 알루미늄을 일정량 혼합하여 사용한다. 아크릴 수지의 주입 후 구배에 따른 흐름현상을 억제함과 동시에 주입 시 컷팅한 홈에 잘 스며들기 위해 점도가 약 350~450Cp의 아크릴 수지를 사용하였다.

### 3.2 경화제

경화제로는 일명 BPO(Benzoyl Peroxide)로 불리우는 벤질 퍼옥사이드를 사용한다. 벤질 퍼옥사이드는 여러유

기과산화물 중 그 산화력이 가장 강하여 가열 및 마찰, 충격 등에 의해 쉽게 폭발, 인화되나 수분을 함유하고 있으면 그 위험성이 현저히 떨어지는 물질이다. 물에는 쉽게 녹지 않으나 에테르 등의 유기용제에는 잘 녹으며, 용제 속에서는 열분해에 의하여 페닐라디칼과 벤조에이트라디칼을 생성하여 비닐 단위체의 라디칼 중합을 개시하는 중합개시제로 주로 사용되고 있다.

#### 4. 소규모 시험시공을 통한 용설 효과 분석

##### 4.1 전기 에너지를 이용한 용설 시스템 공법

M.I Heating Cable을 이용한 용설 시스템 공법은 표면을 절삭하는 방법이 아닌 휠 패스 구간만 컷팅하는 방식으로 시공방법은 다음과 같다.



〈그림 2〉 용설 시스템 시공 공정

상기와 같은 컷팅 시공방법은 절삭으로 인한 기존 포장체의 내구성 저하를 미연에 방지하고 재포장으로 인한 시공 비용절감 효과가 크다. 특히 콘크리트 포장의 경우 양생기간이 길어 도로 사용자의 불편을 초래한다는 단점이 발생한다.

본 연구에서의 컷팅 공법을 이용한 전기 에너지 용설 시스템은 아래와 같은 장점이 있다.

- 용설 시스템 + 그루빙(Grooving)구현으로 미끄럼 방지 효과

- MMA 수지 사용으로 용설 시스템의 고 내구성 확보
- 기존 포장체 파손을 최소화하여 내구성 확보
- 원형 모양의 발열체를 이용하여 발열효과 우수
- 시공 작업시간의 단축
- 아스팔트 및 콘크리트 포장에 적용 가능

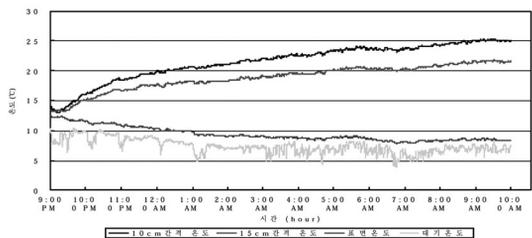


〈그림 3〉 최적 용설 시스템 단면도

##### 4.2 1차 소규모 시험시공

전기 에너지 용설 시스템의 경우 고효율의 케이블 발열체를 매설하여 포장체의 온도를 높이 녹을 수 있는 상온(0℃ 이상)을 유지하기 위한 목적이 있다. 이러한 케이블을 많이 사용하여 간격을 줄일 경우 단 시간에 고열을 발생시켜서 열효율 자체는 상승하지만 그에 따른 단가의 상승은 피할 수 없다. 본 1차 소규모 시험시공을 통하여 케이블 간의 적절한 간격을 결정하는 것은 단지 경제성측면에서 최적의 효과를 보기 위함뿐만 아니라 발열체의 성능을 최대대로 유지하여 공용성 증대 및 향후 유지보수 비용을 절감 효과를 얻을 수 있기 때문에 중요하다.

소규모 시험시공은 동수원 IC 구 요금소 폐도에서 실시하였으며, 초기 강설에 대응하기 위하여 깊이 2cm에 케이블만을 적용하였으며, 경제성을 고려하여 케이블 간격을 각각 10cm, 15cm로 시험을 수행하고 온도를 측정하였다.

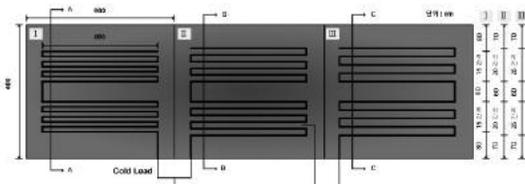


〈그림 4〉 매설 간격별 온도 측정 결과

케이블 간격 사이의 표면온도를 Thermocouple을 사용하여 24시간동안 측정하였다. 매설 간격이 조밀한 10cm 간격이 15cm 간격에 비하여 온도 상승률이 더 좋음을 알 수 있다. 하지만 15cm 간격의 발열량도 10cm 간격의 발열량에 비하여 적지 않으며, 표면온도와 비교하여 볼 때, 15cm 간격도 충분한 융설 능력이 있다고 판단하여 2차 소규모 시험시공에서는 케이블 간격을 15cm, 20cm, 25cm로 나누어 발열온도를 시험하였다.

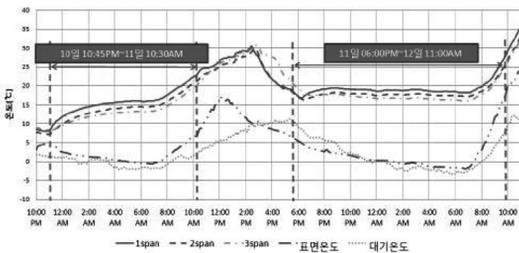
### 4.3 2차 소규모 시험시공

1차 소규모 시험시공에서 M,I Heating Cable을 융설 시스템에 적용하기에 충분하다는 결과를 도출하였다. 2차 시험시공을 통하여 케이블 간격 및 매설깊이를 다르게 하고, 발열량의 효율을 증대시키기 위하여 단열제를 적용하여 중부고속도로 오창 IC 진출부 요금소 앞 콘크리트 도로에 시험시공을 실시하였다.



(그림 5) 시험시공 계획도

시험시공의 완료시기를 고려하였을 때 실질적인 강설 또는 강우의 환경을 기대하기는 어려운 시기였다. 표면온도와 대기온도가 가장 낮은 새벽시간대를 이용하여 양일간 측정하였으며 그 결과 아래와 같은 결과를 도출하였다.



(그림 6) 1차 소규모 시험시공 온도측정 결과

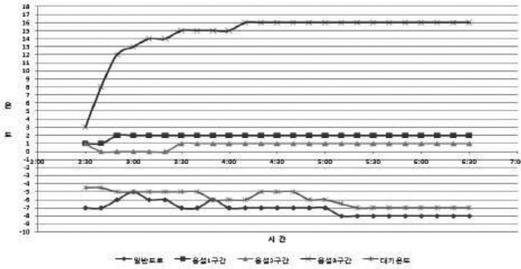
포장체의 표면온도와 대기온도의 경우 영하의 온도를 유지하여 노면결빙시의 온도를 유지했다고 판단되며, 이때의 Cable이 매설된 각각의 Span의 온도는 5~15℃ 정도를 유지하는 것으로 나타나 충분히 융설 및 결빙 방지의 효과가 있을 것으로 예상된다. 1~3span의 온도를 살펴보면 약 3℃ 정도의 차이가 발생하였다. 하지만 세가지 span중 가장 간격이 넓은 25cm 간격의 3번 span의 경우도 충분히 융설 능력이 있는 것으로 판단되었다. 최종적으로 지역 특성을 고려하여 강원 및 산간지역처럼 온도가 많이 떨어지는 구간은 15cm 간격으로 매설하며, 일반 지역은 20cm~25cm 간격으로 매설하여도 충분한 융설 효과가 있는 것으로 판단된다.

### 4.4 3차 시험시공

도로표면 및 대기온도가 영하에서도 충분한 발열량을 확보 할 수 있는 것으로 판단하여 춘천 톨게이트 하이패스 구간에 케이블의 간격은 25cm, 깊이 3cm로 적용하여 시공하였다. 하이패스구간은 차량이 톨게이트로 진입 시 속도를 급격하게 줄이기 때문에 겨울철 제설 작업이 아주 필요한 구간이다.

#### 4.4.1 초기 대응시간 측정

기상상태는 예측이 불허하다. 더욱이 영하의 기온이 잦은 겨울의 강원도 지역은 시도 때도 없이 폭설이 내린다. 이처럼 급작스런 폭설에 대비하여 융설 시스템 또한 발열체의 최대 온도에 도달하는 시간이 길지 않아야 한다. 최대온도 도달 시간이 늦어지면 많은양의 눈과 결빙지역을 제빙해야 하므로 경제적인 손실과 안전사고의 위험에 노출되기 쉽기 때문이다. 따라서 본 시험에서는 M,I Heating Cable을 이용한 융설 시스템의 발열체가 최대온도 도달하는 시간을 측정하고자 실시하였다.



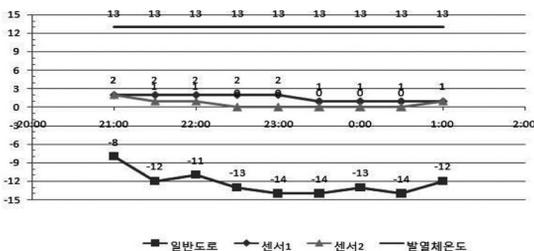
〈그림 7〉 초기대응 시간

일반도로의 표면 온도가 영하 7°C일때 전기 에너지 용설 시스템을 가동 후 온도변화를 살펴 보았다. 20~30분까지는 급속하게 발열체의 온도가 증가하는 것을 볼 수 있으며, 시간이 지남에 따라 최고 온도가 지속됨을 알 수 있다. 케이블 간격 사이의 콘크리트 표면의 온도는 약 30분~1시간이 경과 후 영상의 온도를 유지하고 있다.

#### 4.4.2 추적조사

09년 12월 29일 춘천 요금소의 하이패스 구간에 설치된 용설 시스템의 추적조사를 실시하였다. 시공 당시는 실질적으로 기온이 높았기 때문에 용설 시스템의 성능에 대한 평가를 실시하기 어려운 실정이었다. 그래서 시공이 완료된지 약 6개월이 지난 후 강원도 춘천지역에 폭설에 대한 예보가 있어 영하의 온도에 시스템 작동에 대한 평가를 위하여 추적조사를 실시하였다. 또한 1~2 구간에는 케이블과 케이블 사이에 온도센서를 매설하였으며, 3구간에는 케이블 위에 온도센서를 매설하였다.

춘천 IC 하이패스 구간 온도변화 보면 영하의 기온에서 용설 시스템이 설치되어있지 않은 일반도로의 온도는 약



〈그림 8〉 춘천IC 온도측정 결과



일반 차로 구간      용설 시스템 적용 구간

〈그림 9〉 용설 시스템 효율 비교

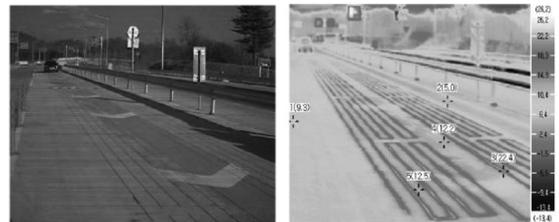
영하 12°C~14°C 도인 반면 용설 시스템이 설치된 하이패스 구간에는 평균적으로 0도 이상의 온도를 유지하고 있는 것을 알 수 있다.

폭설 시 춘천 요금소의 일반차로와 용설 시스템이 설치된 하이패스 차로를 비교한 자료로서 용설 시스템의 용설 및 제빙 능력을 평가할 수 있다.

#### 4.5 4차 시험시공

춘천 IC는 강원도 지역으로 폭설이 많이 내리는 지역중에 하나이다. 전기 에너지를 이용한 용설 시스템의 효과는 보았지만, 더 많은 폭설이 내릴 경우 케이블 간격 25cm로는 약간 역부족이라 판단 하였다. 5차 시공은 강원도 북부주 IC 신설 고속도로 하이패스구간에 케이블 간격 20cm를 적용하여 시공하였다. 시공방법은 춘천IC 전기 에너지를 이용한 용설 시스템과 동일하게 적용하였다.

시공 일자는 2010년 08월 27일부터 약 4일간 시공하였으며, 11월 중순 열화상 카메라를 사용하여 도로 표면의 온도를 측정하였다.



〈그림 10〉 열화상 카메라 용설 시스템 측정

용설 시스템을 약 30분 가동 후 열화상 카메라를 이용하여 온도를 측정하였다. 측정 당시의 콘크리트의 표면 온

도가 영상 최저 5.0℃, 최대 9.3℃이었지만 발열체 표면위 온도는 22.4℃로 약 12~17℃이상 온도가 높게 나타났다. 만일 콘크리트의 표면온도가 영하로 떨어질 경우 온도차는 더욱 높을 것으로 판단된다.

## 5. 전기 에너지를 이용한 융설 시스템의 가동 비용

### 5.1 M.I Heating Cable 소비 전력량 산정

본 연구에서 수행한 융설 시스템 방식은 전기에너지를 사용하고 있다. M.I Heating Cable의 발열온도를 100℃를 기준으로 1m당 80W의 전력을 소모하게 된다. 본 융설 시스템의 공사 구간 연장에 따른 전력량은 식1에 의하여 산정한다.

$$\text{총 연장} \times \text{휠 패스구간 Cable 수(짝수)} \times 2 \times 80W/m \quad (\text{식 1})$$

만약 총 연장 100m 융설 시스템 시공 시 케이블 간격 20cm로 시공할 경우 휠 패스 구간은 케이블 매설 수는 각각 6개씩 총 12줄의 케이블이 매설된다. 이때 총 소비전력은 다음과 같다.

$$100m \times 6 \times 2 \times 80W/m = 96KW$$

### 5.2 전력 소모량에 따른 전기료 산정

융설 시스템의 특성상 겨울철만 사용을 하게 된다. 사용기간은 1년에 약 4개월(12월~3월)만을 사용하기 때문에 계절전기를 신청하여 사용하며, 폭설 예보 시 가동하기 때문에 전기료에 대한 부담이 줄어든다. 기본적으로 전기는 100kw를 기준으로 저압과 고압으로 나뉘게 된다. 저압용으로 사용 시 기본료는 약 4,350원/kw로 소비전력 1kw/hr당 56.7원의 요금이 발생하고 고압용으로 사용 시 기본료는 약 4,260원/kw~5,310원/kw로 소비전력 1kw/hr당 51.8원~56.6원의 요금이 발생하게 된다.

$$(\text{기본료} \times \text{소비전력}) + (\text{소비전력} \times 1KW \text{사용요금} \times T(\text{시간})) \quad (\text{식 2})$$

### 5.2.1 저압용 사용시 전기료 산정

전기 소모량이 96KW인 융설 시스템을 4개월간 24시간 가동하였을 경우 전기료를 산정하면 다음과 같다.

$$(4,350\text{원}/KW \times 96KW) + (96KW/hr \times 56.7\text{원}/KW \times 2,880hr) = 16,094,016\text{원}$$

### 5.2.2 고압용 사용시 전기료 산정

전기 소모량이 100KW인 융설 시스템을 4개월간 24시간 가동하였을 경우 전기료를 산정하면 다음과 같다.

$$(4,260\text{원}/KW \times 100KW) + (100KW/hr \times 51.8\text{원}/KW \times 2,880hr) = 15,344,400\text{원}$$

## 6. 결론

본 연구에서 수행되어진 전기 에너지를 이용한 융설 시스템은 염화물계 융설제를 살포하는 방식에 비하여 기존 구조물의 손상을 미연에 방지하며, 2차적으로 유발되는 환경오염 문제를 근본적으로 해결할 수 있는 시스템이다. 또한 기존 도로의 포장면을 파손시키지 않는 커팅식 공법으로 재포장에의한 공사비 단가를 줄일 수 있고 그루빙 효과를 동시에 얻을 수 있다. 특히 전기 발열방식의 융설 시스템은 강설예보에 따른 즉각적인 대응이 가능한 공법이다.

- 여러 산업분야에 걸쳐 사용되는 M.I Heating Cable 을 사용하여 안전성과 내구성을 확보하였다.
- 기존 포장체에 커팅을 하여 발열체 케이블을 매설하는 방식으로 포장체의 내구성 저하를 미연에 방지하고, 환경오염에 문제점을 해결 가능한 전기에너지 융설 시스템 공법을 확보하였다.
- M.I Heating Cable의 외피는 알카리성에 대한 저항성이 우수하여야 하며, 계절 변화에 따른 포장체의 거동에 순응 할 수 있도록 HDPE(High Density

Polyethylene)로 구성된 발열체를 사용하였다.

- 충전제로는 내 화학성, 방수성 및 연성이 우수한 아크릴 수지를 사용하여 발열체를 보호하며, 철가루 및 알루미늄을 혼합하여 열 전도율을 증대시켰다.
- 발열체 자체의 최대 온도 도달시간이 30분 이내로 초기 대응이 우수하며, 가장 확실한 융설효과를 가져올 수 있다.
- 타 융설 시스템과 다르게 연화물 및 펌프시설 등의 별도의 부지가 필요하지 않으며, 제설 장비의 진입으로 인한 교통통제가 불필요하다.
- 계절 요금제를 사용하고 강설이 예보된 경우만 가동하기 때문에 전기료에 대한 부담을 줄일 수 있다.

### 감사의 글

본 연구는 국토해양부 “장수명·친환경 도로포장 재료 및 설계 시공기술 개발” 사업지원으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

### 참고문헌

1. 김지원, 강설철, 이동현, 조윤희 (2003) “겨울철 도로 사용자 안전 확보를 위한 제설/융설 시스템 소개”, 토목공학회지 제 51권 12호.
2. 서재운, 이현종 (2007), “교면포장에 사용될 방수 및 보수용 MMA에 관한 기초연구”, 한국도로학회 학술발표회 논문집, 한국도로학회, P423-429.
3. 심상현 (2007), “그리드형 발열체를 이용한 도로 노면의 융설 시스템 개발 연구”, 석사학위논문, 세종대학교.
4. 이광호 등 (2009), “장수명·친환경 도로포장 재료 및 설계시공 개발 연구보고서”, 건설핵심기술연구개발사업 보고서, R&D/05건설핵심D08-01, 한국도로공사.