

## 신재생에너지를 이용한 도로융설

이철우 도로교통연구원 연구원장  
서영국 도로교통연구원 도로연구실 책임연구원



### 겨울철 도로융설

이상기후의 반복과 도로이용객의 요구에 선제적으로 대응하는 제설정책으로 인하여 겨울철 제설제의 사용은 꾸준히 증가하고 있다. 현재 고속도로에서 사용하고 있는 습염식 제설방식은 2002년 이전의 모래+염화칼슘(혹은 소금) 혼합 살포방식에 비하여 제설 성능은 좋아졌지만 과거에 비하여 염화물을 많이 사용하게 되었다. 염화물계 제설제는 일반적으로 환경오염 및 구조물 열화 촉진의 원인이 되고 있다. 이를 극복하기 위해서 친환경 제설제가 도입되었으나 염화물계 제설제에 비하여 비싸고 융설 결과도 만족스럽지 않다는 평가이다. 그래서 최근에는 제설제 없이 눈을 녹이는 기법이 다양하게 시도되고 있다. 전열선 매립에 의한 도로융설은 그 중 하나로 노면 발열효과가 우수하여 터널 진출입부, 교량 상부 등에 적용할 수 있다. 그러나 운영시 막대한 전기에너지가 소모되고, 전열선과 포장체의 높은 온도 차이로 인하여 도로포장의 수명이 급격히 단축된다는 단점이 있다. 따라서, 포장에 손상을 주지 않으면서도 장기적으로 운영이 가능한 친환경 융설 시스템의 개발이 절실하게 필요하게 되었다.

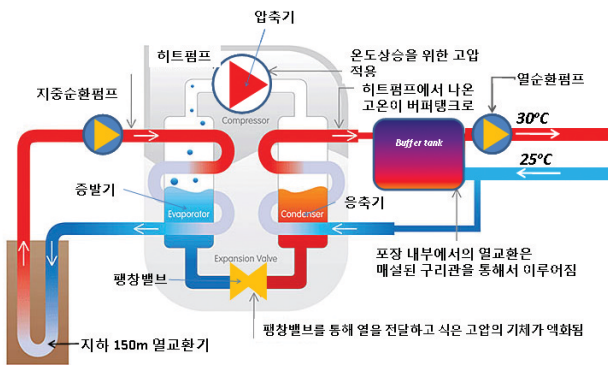
### 신재생에너지 기반 도로융설시스템

한국도로공사 도로교통연구원은 지난 2009년부터 신재생 에너지를 이용한 도로융설시스템 개발을 시작하고, 고속도로 교량이나 터널 진출입부와 같은 설해 취약지점에 적용하여 그 성능을 분석하고 있다. 본 기사에서는 지금까지 개발된 시스템 중에서 지열, 강변수열 그리고 터널 유출수열 기반 도로융설시스템을 각각 소개하고 그 특성을 비교하였다.

#### 지열 기반 도로융설시스템

지열은 지표면의 얇은 곳에서부터 수십 킬로미터 깊이에 존재하는 뜨거운 물과 암석을 포함하여 땅이 가지고 있는 에너지이다. 지열의 주요 생성원인 태양열은 약 47%가 지표면을 통해 지하에 저장되며, 이렇게 태양열을 흡수한 땅속의 온도는 지형에 따라 다르지만 지표면 가까운 땅속의 온도는 개략 섭씨 10~20도 정도이고 지하 수십 킬로미터 깊이의 지열온도는 섭씨 40~150도 이상을 유지한다. 우리나라는 미국이나 프랑스 등과 같이 심층지열을 이용한 발전사례는 없지만 지하 100m~500m 깊이의 지열을 이용하는 건물 냉

난방시스템은 많이 보급되어 있다. 지열 도로용설시스템은 지열을 추출하고 이를 히트펌프로 온도를 높여 도로에 매설된 순환관으로 보내는 구조로 되어있다.



<지열 도로용설시스템 개요도>

도로용설에 필요한 열량은 강설량, 대기온도, 상대습도 그리고 풍속과 같은 환경적인 조건과 시스템의 효율을 모두 고려하여야 한다. 아울러, 용설 효과는 목표로 하는 제설완료시간에 따라 포장에 매설하는 파이프의 간격, 설치깊이, 순환수의 유속, 그리고 포장의 열전도율 등에 영향을 받는다 (Zwarycz 2002). 우선 국내 제설현황을 고려하여 강설에서도 시스템 구동 후 2시간 이내(차량 통행이 전혀 없는 조건)에 노면이 영상으로 유지되는 것을 목표로 하여 시스템을 설계하기로 하였다. 용설에 필요한 시스템의 출력은 Chapman(1952)이 제안한 식을 이용하여 산정하고, 겨울철 환경이 모사된 실내실험을 통해 최적 용설에 필요한 설계변수를 결정하였다.

최초의 지열 도로용설시스템은 2009년 도로교통연구원 구내 순환도로에 1차로 40m 규모로 설치하고 겨울철 용설 효과를 검증하였다. 설계용량을 고려하여 지중열교환기의 형식은 수직밀폐형(지름 15cm, 깊이 150m 1공)으로 하고, 3RT(약 10.5kW)급 히트펌프를 적용하였다. 포장에 매설된 관의 간격은 25cm이고 노면에서 5cm 길이에 포장을 포설하기 전에 설치하였다. 용설 포장은 약 5~6cm 두께의 시멘트 콘크리트로 강섬유를 혼합하여 온도 및 습도변화에 영향을 덜 받도록 하였다.

도로로 보내는 순환수의 온도는 지열과 히트펌프를 통해서 섭씨 30도로 유지하였으며, 다양한 적설조건에서 용설 효과를 확인하였다. 초기운열결과 약설의 경우에는 눈이 노면에 닿자마자 녹았으며, 강설(28mm/hr)의 경우에도 약 30분에서 1시간 사이에 노면에 내린 눈이 말끔하게 제거되었다.

2010년부터는 개발된 지열 도로용설시스템을 중부내륙선



<도로교통연구원 구내 용설도로>

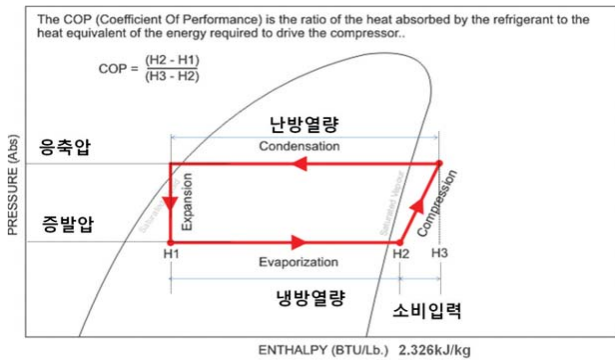
북여주영업소에 1차로 180m 규모로 확대 적용하여 운영하고 있다. 아울러 북여주영업소 건물의 냉난방을 보조할 수 있도록 설계하여 용설이 필요없는 시기에 지열에너지를 활용하고 있다.

### 강변수열 기반 도로용설시스템

우리나라 고속도로 교량은 2012년 현재 약 7,954개로 주변에는 크고 작은 하천이 흐르고 있다. 한겨울이 되면 하천의 표면은 대부분 얼어붙지만 수면아래 2~3m 깊이의 물은 전혀 얼지 않고 영상을 유지한다. 특히 하천의 수심이 깊을수록 수온은 빠르게 증가하여 용설에 필요한 열을 손쉽게 얻을 수 있다. 이를 잘 이용하면 인근 교면포장(교량상부포장)의 제설 및 결빙방지를 할 수 있다. 강변수열을 교면용설에 적용하기 위해서는 우선 열원의 추출 및 시스템의 운영효율을 검토해야 한다. 그래서 지난 2011년 4월에 경부고속도로 하행선(이정 31.3km) 천수천교 하부 회차로 중 곡선부 폭 3.4m, 길이 20m를 대상으로 강변수열 기반 도로용설시스템을 구축하였다. 설계조건은 대부분 지열 도로용설시스템과 동일하며 열원만 지열 대신에 강변수열로 적용하였다.

강변수열 기반 도로용설시스템도 도로용설에 필요한 섭씨 30~40도의 열은 히트펌프를 통해서 증온하여 얻기 때문에 어떠한 악 조건에서도 목표로 하는 용설이 가능하다. 그러나 강변수열은 일반적으로 지열에 비하여 온도가 낮기 때문에 용설에 필요한 에너지 소비가 지열에 비하여 많을 수 있다. 이를 확인하기 위해서는 동일한 용설 규모에 대하여 지열 시스템의 운영효율을 강변수열 시스템의 운영효율과 비교해 보았다.

지금까지 수행된 연구에 따르면 각각의 시스템이 최적화되어 있고 동일한 난방부하(약 175kW)에 대하여 지열의 온도차가 섭씨 5도 강변수가 섭씨 2도라고 가정하면, 지열 시스템의 효율이 강변수열 시스템에 비하여 약간 좋은 것으로 예측되었다(서영국 2012).



<냉매(R-22)의 압력-엔탈피 관계도>

이처럼 강변수는 지열에 비하여 열원의 온도가 상대적으로 낮아 효율은 낮지만 지열을 추출하기 위한 천공이 필요 없어 초기 투자비가 상대적으로 적게 소요된다. 특히, 도로 융설과 같이 부하 패턴이 일정하지 않고 연간 운전시간이 비교적 짧은 경우에는 이러한 시공비 절감효과는 더 크게 나타날 것이다.

### 터널 유출수열 기반 도로융설시스템

고속도로 현장 조사에 따르면, 대부분 배수시설을 통해 처리되는 터널 유출수는 한겨울에도 섭씨 10도 내외의 온도를 유지한다. 이는 지하 200m 폐쇄식 천공으로 수집한 지열과 비슷한 수준이며, 앞서 소개한 강변수열보다 높다. 이러한 터널 유출수의 열을 이용하면, 높은 비용이 소요되는 지하 천공 없이도 친환경 도로융설을 시행할 수 있다. 단, 유출수량이 겨울철에도 일정 수준 이상이 되어야 충분한 열 교환이 가능하다.

지열 도로융설시스템의 실용화를 계기로, 터널 유출수열 기반의 융설도로를 구상하고 2011년에 익산~장수선의 곱티터널 진출로에 적용하였다. 현재 곱티터널의 유출수는 하루 약 720톤이며 동절기 수온도 섭씨 12도로 열원으로 활용하기에 매우 좋은 조건을 갖추고 있다. 앞의 지열 및 강변수열 시스템과는 다르게 융설부 포장(콘크리트 포장)의 손상을 최소화하기 위하여 기존 포장을 그대로 두고 배관경로를 따라 홈만 파서 방청 처리된 구리관(순환관)을 안치하고 에폭시수지로 보호하였다.

2011~2012년 시운전 결과 대기온도 섭씨 1도에서 융설면은 섭씨 6도로 강설에도 별도의 제설제 살포 없이 차량통행이 가능한 조건을 제공할 수 있었다. 단, 본 시스템이 적용된 지역적(산악지형 및 고가교) 특성으로 인하여 혹한기 융설에 필요한 운영기간과 주기는 타 지역에 비하여 많을 것으로 예상되었다. 정확한 비용산정을 위하여 히트펌프 및 순환펌프에 전력량계를 추가로 설치하여 지속적으로 관측하고 있다.



<곱티터널 진출로 융설시스템 구성도>

본 시스템을 적용하면서 시행한 순환관 설치공법은 교통차단을 최소화 할 수 있고 포장의 장기 공용성에도 큰 영향이 없을 것으로 판단되나 일부 발생하고 있는 수지부 파손 등은 해결해야 할 과제로 남아있다.

### 요약 및 결론

지금까지 기술한 도로융설시스템은 지열, 강변수열 그리고 터널 유출수열을 기반으로 하기 때문에 기존 염화물계 제설제에 비하여 환경 친화적이며 구조물의 열화도 유발하지 않는다. 또한 전열선 방식의 융설 도로에 비하여 매우 경제적이다. 진행중인 연구에 따르면, 본 기사에서 제시한 도로 융설시스템의 연간운영비용은 1차로 180m 도로를 융설한다고 가정했을 경우 기존의 전열선 방식에 비하여 약 25% 정도 소요되는 것으로 분석되고 있다. 특히 강변수열이나 터널 유출수 기반 융설도로는 고비용의 천공이 필요 없어 보다 경제적인 융설시스템으로 자리잡을 수 있을 것으로 예상할 수 있다. 그러나 각각의 열원은 지역에 따라 습득할 수 있는 조건과 품질이 다르므로 현장에 따라 적당한 열원을 선택하여 시스템을 구성하여야 할 것이다.

### 참고문헌

1. K. Zwarycz, Snow melting and heating based on geothermal heat pumps at Golenios airport, Poland, Geothermal Training Programme 2002
2. W.P. Chapman, Design of snow melting system, Heating and Ventilating, 1952
3. 서영국 외 2, 교면 융설 시스템 개발을 위한 열원별 운영 효율 비교, 대한토목학회 학술발표회 2011