

# 철도전기실의 초박형 액체단열재 적용을 통한 에너지 절감효과

## The Evaluation of Energy Saving using Ultrathin Heat Insulation in Railway Electrification Substation

김형철\*<sup>†</sup> · 장정훈\*\* · 신승권\* · 박용섭\*\*\* · 김상암\* · 김형래\*\* · 현병수\* · 김진호\*  
(Hyungchul Kim · Junghoon Jang · Sungkwon Shin · Yongsub Park · Sangam Kim ·  
Hyeong Rae kim · Byungsoo Hyun · Jinho Kim)

**Abstract** - In this paper, because of global environmental problems such as energy shortage and abnormal climate, green energy development and energy saving technology development is being magnified. Heat insulation, the most basic and traditional energy saving method, is highly expected. Especially, simple and advanced heat insulation technique based on Nano material is promising future technology. The railway system also requires heat insulation. Especially, traditional heat insulator such as glass wool has been adopted frequently to rolling stock. The heat insulator is also adopted in general railway service buildings. Take account of cost-effective heat blocking performance, the heat insulator shall be adopted in diverse fields such as electric power, railroad, signal and communication. The only and direct solution for this problem is installing heat insulator with outstanding endurance, corrosion resistance and heat resistance to block outer heat Upgrading heat specification of equipment can be a solution, but since price and maintenance cost rise severely, this plan might be incongruous. In this research, energy saving effect of ultrathin heat insulator film was demonstrated by installing the film on roof of electrical room.

**Key Words** : Energy saving, Ultrathin heat insulation, Railway electrification substation

### 1. 서 론

지구 온난화 및 기후 변화 등 전 지구적인 환경 문제로 인하여 친환경, 에너지 절감 및 그린 에너지 관련 기초 및 응용기술의 개발에 큰 관심이 모아지고 있다. 그 중에서도 에너지 절감 방법인 단열 관련 제품 관련 기술이 부각되고 있다. 특히 초박막 소재 첨단기술과 소재를 적용한 간편하면서도 극대화된 단열기술이 유망한 미래기술로 떠오르고 있다. 철도 시스템 또한 단열과 무관하지 않으며, 특히 철도차량에는 그라스울 등 전통적인 단열재가 많이 적용되어 왔다. 물론 철도시설에 해당하는 일반적인 건축물에도 단열재가 적용되고 있음은 두 말할 나위 없다. 법과 제도로 강제하고 있지 않더라도 비용 대비 효과를 고려해보면, 전력, 선로, 신호/통신 등 다양한 분야에 단열재를 적용해야 할 필요성은 너무나 많다고 볼 수 있다[1].

최근 기후변화로 인해 여름철 기온 상승, 연평균기온 상승 및 계절 변화시 일교차도 증가하는 추세에 있다. 실제로 2012년 여름 최고기온이 40℃ 전후까지 상승하며 철도 시설물에도 적잖은

영향을 미칠 수 있다. 예를 들면 레일온도가 55℃ 이상으로 올라가면 궤도선형 변화에 따른 탈선위험이 증가할 수 있다. 이러한 레일표면온도 상승억제를 위해서는 단열재를 레일표면에 시공하면 효과를 볼 수 있으리라 기대된다. 한편, 선로변 제어유니트를 포함하여 전력/신호/통신 분야의 각종 기구함(전력/신호/통신) 내부 기온 상승으로 기기 오동작 현상이 발생이 일어날 수 있으므로 단열재의 철도 분야의 적용은 철도안전에 기여하리라 보여진다.

위 사례들에 대한 직접적인 해결책은 단열 성능이 우수하면서도 내구성, 내부식성, 친환경성, 내화성 등 물리적 특성이 뛰어난 단열재를 적용하여 외부로부터의 열을 차단하는 방법이 유일하다. 기기와 장치의 열 관련 사양을 업그레이드하는 방안도 있으나 가격과 유지보수 비용이 상승하는 등 비용 측면에서 바람직하지 않다. 본 논문에서는 천안 전기실 지붕에 초박막 단열재를 시공한 사례를 보여주고 있다.

### 2. 본 론

#### 2.1 액체 단열체 특성

단열재는 전통적으로 건축과 전기/전자 분야에서 널리 사용되어 왔으며, 특히 주택과 가전 분야에서 사용되는 일반 단열재는 종류도 다양하고 그 시장 규모도 대단히 크다고 할 수 있다. 건축물에 사용되는 일반 무기단열재 시장의 경우 우리나라의 경우

<sup>†,\*</sup> Corresponding Author : Dept. of Metropolitan Transportation Research Center, Kiee University, Korea.

E-mail: hckim@krri.re.kr

\*\* Seoul National University of Science & Technology

\*\*\* Chosun college of Science & Technology

Received : , 2014; Accepted : , 2014

연간 3,500억원, 미국의 경우 2011년 61.15억달러, 2016년에는 89억달러에 달할 것으로 보고 있다[2].

단열재는 건축물과 산업용으로 과거부터 널리 사용되고 있는 미네랄울, 암면, 폴리우레탄, 유리섬유 등 전통적인 단열재로부터 최근에 주목받고 있는 VIP(Vacuum Insulation Panel), 에어로젤, 그리고 미래기술로 연구되고 있는 VIM(Vacuum Insulation Material), DIM(Dynamic Insulation Material) 및 NIM(Nano Insulation Material) 등이 있다. 최신의 단열재인 매우 낮은 열전도율을 지닌 VIP 및 에어로젤은 기존 단열재에 비해 에너지 소모를 줄일 수 있으므로 주거면적을 크게 확대할 수 있는 장점이 있으며, 특히 에어로젤은 반투명 및 투명재질로 만들 수 있어 건물에 응용될 수 있는 가능성이 매우 크다. 단열재는 낮은 열전도율뿐만 아니라, 건설현장 응용성, 기계적강도, 내화성, 비용 및 환경영향 등을 고려하여야 하므로, 기존의 단열재 및 최신 단열재를 활용하는 동시에 미래기술을 확보하고자 하는 지속적인 노력이 이루어지고 있다. 단열재로서 낮은 열전도율이 가장 중요한 특성이지만, 기계적 강도, 내화성, 내구성 등 자재가 가져야 하는 특성도 필요하다.

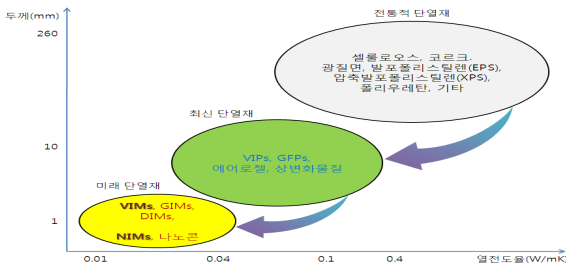


그림 1 단열 기술 발전 추이

Fig. 1 Trends of insulation technology

표 1 일반단열재와 고성능 단열코팅재(UTHITM)의 특성비교  
Table 1 Characteristic comparison of General Insulation and High-performance insulation coating material

Description	Unit	Rockwool	UTHI	Difference (%)
Layer thickness	mm	60	2	58 (96.7%)
Heat conductivity	W/m°C	0.041	0.001	0.040 (97.6%)
Cost of installation	running meter	1	0.5	50%
Service life	years	5	15	10
Heat losses	kcal/h m (Kcal/h m)	76.4 (0.0000764)	55.9 (0.0000559)	20.5 (36.8%)
Heat losses during heating season	kcal/5,160h m	394,224 (0.394Kcal)	288,444 (0.288Kcal)	105,780 (36.8%)

기존단열재, 최신 단열재 및 미래 가능한 단열재를 비교해 보면, 최신 단열재로서는 에어로젤이 낮은 열전도도 및 현장 적용성, 천공에 대한 영향성 측면에서 많은 장점이 있으며, 미래 단열재로서는 VIMs, NIMs의 잠재성이 가장 높은 것을 알 수 있다[3, 4].

최근 국내에서는 VIM으로 분류되는 중공 마이크로 세라믹 (hollow micro-ceramic) 물질을 폴리머로 결합한 고성능 초박형 코팅 재(페인트)가 소개되어 철도 신호 기구함에 시범 적용된 바 있다. VIM이 포함된 단열재는 진공을 유지하기 위한 외부 막이 필요 없고, 단지 롤러나 스프레이를 사용하여 페인트작업만 하면 15년 이상의 내구성을가지면서 2mm당 1 mW/mK의 열전도율을 갖는 고성능 단열 코팅재이다[5].

## 2.2 전기철도 전기실

전기철도 전기실에는 수배전에 필요한 각종 계기, 제어 개폐기, 보호 계전기 등을 안전하게 급속함에 설치하고 있다. 이러한 전기시설물은 일반적으로 보수 점검이 용이하고 신뢰성이 높은 큐비클식을 많이 사용하고 있다. 왜냐하면 설치 면적이 적고 기기의 구성이 간소하여 소형화 되며 보수 유지가 쉽고 고전압 기기가 모두 접지된 급속함에 놓여져 있으므로 사용자의 감전 재해, 기기의 고장에 의한 화재나 피해가 적고 간단하게 설비의 증설을 할 수 있는 장점이 있기 때문이다[5].



그림 2 철도 전기실 (사진: 천안역 전기실)

Fig. 2 Railway electrical room (picture: electrical room of Cheonan Station)

표 2 철도운영기관 전력사용량 증가 및 전력요금 상승 사례  
Table 2 Example of increasing power usage and power cost in Railway operating organizations

구분	2011년	2012년	2013년 (예상)	
전력사용량 [MWh]	784,171	732,999	752,793	
증,감[율]	-	-51,172	-6.5%	19,794 2.7%
전력요금[억원]	652	702	808	
증,감[율]	-	50억원	7.7%	106억원 15.1%

그러나 이러한 전기설비가 놓인 전기실에는 한여름에 온도 상승으로 인하여 오동작 발생 우려가 있다. 이러한 오동작 발생을

줄이기 위하여 한여름에는 에어컨을 작동하고 있으며, 겨울에는 히터를 가동한다. 냉난방으로 인한 전력 요금의 상승은 현재 철도운영비에 부담이 되고 있는 실정이다.

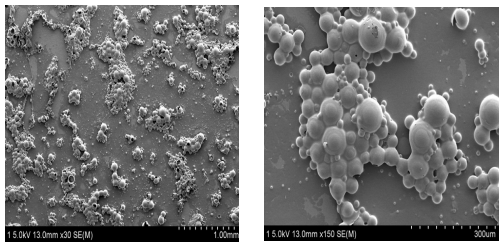
**2.3 액체 단열재 시료 분석 시험**

본 연구에서는 초박형 액체 단열재 특성 시험을 위해 스핀 코팅법을 이용하였다. 스핀 코팅(Spin Coating)은 평평한 기판에 매우 얇고 균일한 필름막을 입히는 경우 선호되는 공법이다. 스핀 코팅에서는 유체를 기판 위에 미리 배치시킨 후, 기판을 매우 빠른 속도로 회전시키면서 원심력에 의해 유체를 펼치게 됨으로써 코팅이 진행되는 방식이다. 박막의 두께, 경화 온도 등에 대한 특성 변화의 효과를 보기에 유리하여 초기 실험 단계에서 많이 사용된다. 본 논문에서도 스핀 코팅법을 이용하여 박막을 형성하였다.

**표 3 EPMA분석 결과**

**Table 3** Analysis result of EPMA

No	Element	Crystal	W.L. (A)	I-Ratio	WT (%)	Mol (%)
1	C	LS7A	44.7	5.3745	69.326	76.917
2	O	LS7A	23.62	0.7069	25.322	21.092
3	Si	PET	7.1254	0.1926	2.108	1
4	Ti	PET	2.7485	0.1651	1.907	0.531
5	Ca	PET	3.3574	0.0945	0.971	0.323
6	Br	RAP	8.3746	0.0137	0.166	0.028
7	Na	RAP	11.910	0.0082	0.134	0.078
8	Al	RAP	8.3393	0.0054	0.066	0.032



**그림 3** VIM을 포함하는 초박형 단열 코팅재의 구조

**Fig. 3** The structure of the ultra-thin insulating coating material including VIM and Electron microscope

또한 전자현미분석기(EPMA : Electron Probe Micro Analyzer) 및 주사전자 현미경(FM-SEM : Field Emission Scanning Electron Microscope)을 통하여 액체 단열 분석 시험을 하였다. 전자 현미분석기는 일본의 Shimadzu Corporation 사의 것을 사용하였다. EPMA 분석결과 중합체인 아크릴과 고무의 주성분인 탄소가 주를 이루고 있으며, 세라믹을 구성하는 주된 원소인 산소가 가장 큰 비율을 차지하고 있으며, UTHI 의 실리

콘 구와 세라믹 구를 구성하는 Si과 Ti 성분이 포함되어 있고 기타원소들이 UTHI 구성을 위해 포함된 걸 알 수 있다.

주사전자 현미경으로 확인결과 다수 직경의 200 um 이하의 실리콘 구체와 직경 100 um 이하의 세라믹 마이크로 진공체를 포함하는 폴리머 중합체를 확인할 수 있으며, Cocoon은 실리콘 microsphere와 그 주변 Ceramic microspheres의 형태로 형성되어 있다.

**2.4 초박형 액체 단열재 철도전기실 적용**

단열의 성능 확인을 위하여 천안역 변전소의 샌드위치 판넬물 옥상에 단열 시공을 하였다. 균일한 도포를 위하여 Airless 강압식 스프레이를 이용하여 시공하였으며, 단열의 시공은 0.5mm씩 4층(4-layer)코팅하였으며 전체 평균 2mm 의 코팅 하였다. 단열 전·후의 비교를 위하여 옥상의 일부는 단열 시공하지 않았으며, 8 Channel Digital 온도 센서 및 Logger를 이용하여 샌드위치 판넬 건물의 옥상의 표면 온도를 1초 간격으로 측정하였다.



**그림 4** 천안역 변전소 옥상 단열 시공

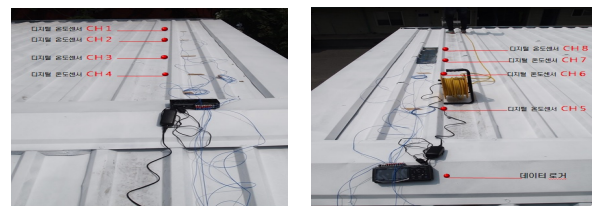
**Fig. 4** Construction of insulation on electrical room roof of Cheonan Station



**그림 5** 표면 접촉식 온도계 측정

**Fig. 5** Measurements using thermometer on the surface

또한 다음 그림 6은 열화상 카메라를 이용 단열 시공하지 않은 부분과 단열 시공한 부분의 표면 온도 측정을 한 결과를 보여준다.



**그림 6** 디지털 온도계 8채널 설치 및 데이터 로거 측정

**Fig. 6** Install of 8 channel digital temperature indicators and Measurement of Data Loggers

그림 7은 열화상 측정 결과를 보여주는 사진이다. 왼쪽 그림은 지붕에 단열시공을 보여주고 있다 그중 지붕오른쪽 끝부분(사각형)은 부분적으로 단열시공을 하지 않았다. 오른쪽 그림에서 보듯이 단열시공을 하지 않은 부분은 높은 온도인 주황색으로 열화상 카메라를 통하여 알 수 있으며, 단열시공을 한 다른 부분은 열화상 카메라측정결과 양호하게 나타나고 있다.

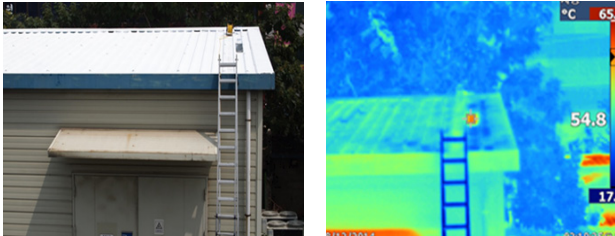


그림 7 열화상 카메라 측정  
Fig. 7 Measurement of thermo-graphic camera

단열 시공한 후 열화상 카메라를 이용하여 천안역 변전소 건물의 표면온도를 측정하여 단열 효과를 알아보았다. 단열 시공한 표면의 온도와 단열 시공 하지 않은 표면 온도는 각각 36.7°C와 54.8°C 20.8°C와 46.6°C 로 18°C이상의 차이를 보였다. 단열 코팅이 완전히 마르지 않은 것을 감안하여 24시간 경과 후부터 8채널에 연결된 디지털 온도계의 데이터 로거를 다운받아 각 개소의 온도를 살펴보았으며, 그 결과에 대해 도식화된 그림은 그림 8에 보여주고 있다. 8개의 디지털 온도센서 중, CH1~6은 단열시공한 부분의 온도를, CH7~8 은 단열시공하지 않은 부분의 온도를 측정하였다. 단열 시공한 부분과 단열 시공하지 않은 부분의 온도 측정결과 최소 6°C~ 최대 19°C의 온도 변화 차이를 보이고 있다.

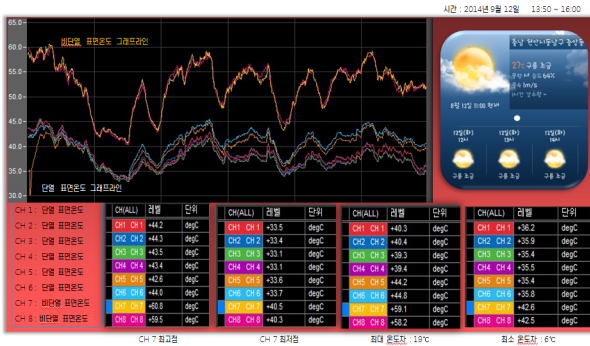


그림 8 단열 시공 표면온도 변화(8채널)  
Fig. 8 Temperature change of insulated surface(8 channel)

초박형 액체 단열재는 아크릴바인더의 페인트 계열로 건조 후에는 실내에서 최대 30년, 실외에서는 15년의 내구연한 및 우수한 접착력을 가지고 있으며, 부분 파손의 경우 파손 부위만 다시 칠할 수 있어 편리한 유지관리 기능을 가지고 있다. 본 단열시공의 경우 외부의 접촉이 거의 없는 청정 외부를 시공함으로써 상기의 조건상 실외 최대 15년의 내구성과 간단한 유지보수가 가능하다.

### 3. 결 론

본 논문에서의 샌드위치 패널로 지어진 가설건물인 천안역 변전소는 여름철 (특히 요즈음 같은 이상기온에 의한 고온현상) 대기온도 상승에 의한 외부 태양열의 상승으로 인해 지속적으로 표면온도가 증가하여 변전소 내부로의 복사열이 전달되어 내부 온도의 상승을 초래하고 있다. 본 초박형 액체 단열 시공의 결과에서 보여지는 것과 같이 변전소 천정의 표면온도가 최소 6°C~ 최대 19°C의 온도 상승을 억제하고 있으므로 변전소 내부로의 전달되는 복사열을 상당부분 줄일 수 있을 것으로 예상 된다. 또한 본 단열 시공으로 부가적으로 내부온도 상승에 의한 전기 제어장치의 오작동 방지, 기기 오작동에 의한 철도 안전 문제의 근본적인 해결, 내·외부 온도차의 감소로 인한 겨울철 결로에 의한 누전 및 오작동 방지 효과, 기존 단열재에 비해 경제적으로 비용 절감 및 효과 우수 등이 기대된다.

### 감사의 글

본 연구는 2015년도 철도기술연구원의 주요사업 '철도 그린인프라 구축을 위한 Smart 철도시스템 통합플랫폼 개발' 과제의 지원에 의하여 이루어진 연구로서, 관계 부처에 감사 드립니다.

### References

- [1] Korea railroad research institute, "The feasibility study on railway systems and nono technologies", 2012
- [2] Korea railroad research institute, "The fundamental study on nono-technology combined traction power systems", 2011.
- [3] Hyungchul Kim, "Trend of nono-technologies application on electric railway systems", The korea institute of electrical engineers, 2012
- [4] Bjorn, Petter, Jelle, "Traditional, State-of-the-Art and Future Thermal Building Insulation Materials and Solutions-Properties, Requirements and Possibilities", Energy and Buildings, 43(10), 2549-2563 (2011).
- [5] K.Ko, "Optical Properties of Columnar Structure of ZnO Thin Films Prepared by RF Magnetron sputtering Method", IFFM2011, 2011.
- [6] Byunggu Kim "The characteristic and application of nano metals materials", Advanced Material and Processing, Metals and Materials International, Vol. 14

권 2001

- [7] Sangam Kim, "Technology trend of advanced materials", The Korea Institute of Electrical Engineers, 2012
- [8] Kyunwoo Park, "A Study on Physical Characteristics of Silica Aerogel/Polymer Composite Materials", KIEE 2013
- [9] Minchul Chun, "Comparative study of characteristics between AZO and GZO thin films deposited by spin coating", KIEE 2012

## 저 자 소 개



**김형철(Hyungchul Kim)**

1967년 9월생, 1991년 고려대학교 전기공학과 졸업, 2003년 Texas A&M 졸업(공학박사). 2004년 ~ 현재 한국철도기술연구원 스마트역사연구팀 책임연구원  
 Tel : 031-460-5450  
 E-mail : hckim@krri.re.kr



**장정훈(Junghoon Jang)**

1981년 4월생, 2004년 배재대학교 경영학과 졸업, 2009년 ~ 현재 (주)그린킵스, 2013년 ~ 현재 서울과학기술대학교원 철도전문대학원 석사과정  
 Tel : 031-346-5002  
 E-mail : greenkeeps21@gmail.com



**신승권(Sungkwon Shin)**

1972년 6월생, 1998년 성균관대학교 전기공학과 졸업(공학석사). 2001년 성균관대학교 전기전자 및 컴퓨터공학부 졸업(공학박사). 2003년 ~ 현재 한국철도기술연구원 스마트역사연구팀 선임연구원  
 Tel : 031-460-5685  
 E-mail : skshin@krri.re.kr



**박용섭(Yongsub Park)**

1977년 2월생. 2008년 성균관대학교 전자전기공학과 졸업(공학박사).  
 현재 조선이공대학교 광전자과 교수  
 Tel : 062-230-8402  
 E-mail : yongspark@cst.ac.kr



**김상암(Sangam Kim)**

1968년 9월생. 1993년 고려대학교 전기공학과 졸업. 2002년 동대학원 박사. 2002년부터 한국철도기술연구원 선임연구원. 현 국토교통부 「실시간 철도안전 통합 감시제어시스템 개발 연구단」 단장.  
 Tel : 031-460-5543  
 E-mail : sangahm@krri.re.kr



**김형래(Hyeong Rae kim)**

1966년 10월생, 1990년 경기대학교 토목공학과 졸업, 1992년 동 대학원 졸업(공학 석사). 동아건설 설계팀 근무, 현재 (주)그린킵스 기획관리본부장  
 Tel : 031-346-5002  
 Fax : 031-346-6050  
 E-mail : greenkeeps21@gmail.com



**현병수(Byungsoo Hyun)**

1988년 12월생, 2013년 한밭대학교 전기공학과 졸업. 2013년 ~ 현재 한국철도기술연구원 스마트역사연구팀 연구원  
 Tel : 031-460-5866  
 Fax : 031-460-5749  
 E-mail : bshyun@krri.re.kr



**김진호(Jinho Kim)**

1964년 12월생. 1991년 서울시립대학교 건축공학과 졸업. 2003년 University of California, Davis 토목환경공학부 졸업(공학박사). 2003 ~ 현재 한국철도기술연구원 스마트역사연구팀 책임연구원  
 Tel : 031-460-5774  
 Fax : 031-460-5749  
 E-mail : zimimpa@krri.re.kr