

## 해빙시스템을 위한 기후변화에 따른 전차선 온도특성에 관한 연구

정 명 섭\*, 김 용\*, 이 병 송\*\*, 권 삼 영\*\*, 정 호 성\*\*

\*동국대학교, \*\*한국철도기술연구원

## A Study on the Temperature Feature of Electric Car Line by the Climatic Change for the De-icing System

Myung-Sub Jung\*, Yong Kim\*, Byung-Song Lee\*\*, Sam-young Kwon\*\*, Ho-Sung Jung\*\*  
Dongguk Univ.\*, KRRI\*\*

**Abstract** - In the cold and temperate regions of Korea the icing and ice coats on 25[kV] electric car line during winter is a very serious problem.

This generates shocks at the mechanical interface of the collecting strips of the pantograph and the contact wire and extra electrical resistance, which may affect quality of current collection at the contact wire / collecting strips of pantograph interface.

De-icing operations should be performed just before train operation to avoid the formation of another ice layer. This paper presents temperature analysis of the de-icing system which could be applied to the electric car line of railways.

방법으로 유도된 도체의 열평형 방정식을 이용한 시물레이션 수행하였다. 전기철도는 일반적인 부하와 달리 이동을 하는 부하이므로, 시간에 따른 열평형 방정식으로 계산되어야 한다. 따라서 이 열평형 방정식은 전류에 의한 줄열 및 태양 일사에 의한 온도 상승과 전선의 복사 및 대류에 의한 열 방산에 기초한 열평형 방정식으로 전차선 주변의 기후조건에 따른 시간에 따라 변화하는 전차선의 온도를 미분 방정식으로 구성하였다.[2]

$$\frac{dT}{dt} = \frac{1}{A^2 \rho_{sc}} [I^2 \rho_{20} (1 + \alpha(T - 20)) \beta_a + Ad\eta H - AUh_c(T - T_a) - AU\eta\sigma\{(T + 273)^4 - (T_a + 273)^4\}] \quad (1)$$

## 1. 서 론

전기철도차량은 전차선을 통하여 급전 받아 운행되고 있는데 겨울철에 전차선 주변 온도가 0℃ 이하로 떨어지게 되면 가공 전차선에 서리 및 결빙이 발생한다. 이때 차량 운행 시 팬터그래프의 습동판과 전차선 사이에 아크가 발생하여 팬터그래프가 파손되고 집전전류의 품질이 저하되며 아크로 인한 전자파의 발생으로 선로주변의 통신선에 영향을 미치는 등의 여러 가지 문제점이 발생된다. 이러한 문제로 전기급전차량이 전차선에서 급전을 받기 전 전차선에 전류를 투입하여 발생하는 Joule열로 결빙을 녹일 수 있는 설비인 해빙시스템이 필요로 되고 있다. 그러나 국내 해빙시스템은 경부고속철도에만 설치되어 운영되고 있으며, 현재 설치되어있는 해빙시스템은 프랑스 SNCF(국영철도회사)의 기술에 의해 구축되어 우리나라의 환경조건에 맞지 않으며 유지 및 보수에 어려움을 겪고 있는 상황이다. 또한, 현재 기존구간에서는 해빙시스템의 기술적인 검토조차 이뤄지지 않고 있는 실정이다. 그러므로 해빙시스템은 센서의 개발도 중요하지만, 온도·습도·풍속 등의 기후조건에 따른 해빙효과와 연구에 대한 검토가 필요로 하다.[1]

본 논문에서는 해빙효과를 분석하기 위해 여러 기후환경에 따라 전차선에 투입되는 전류량의 변화가 전차선 온도 상승에 어떤 효과를 나타내는 지를 시물레이션 하였으며, 전차선의 실제적인 해빙효과를 검증하기 위하여 다양한 조건에서의 모의시험을 실시하여 우리의 실정에 맞는 해빙시스템 개발을 위한 자료구축과 그에 따른 연구 및 검토가 수행되었다.

## 2. 본 론

## 2.1 해빙효과와 이론적 고찰

해빙효과와 분석을 위해서 본 논문에서는 수치 해석적

$\rho_{20}$  : 20℃에서의 도체의 저항률 [ $\Omega \cdot m$ ]

$\eta$  : 도체 표면에서의 열방사율(흑체계수)

$\alpha$  : 저항의 온도계수  $s$  : 도체의 비중 [ $kg/m^3$ ]

$T$  : 도체의 온도 [℃]  $c$  : 도체의 비열 [ $J/kg \cdot ^\circ C$ ]

$A$  : 도체의 단면적 [ $m^2$ ]  $U$  : 도체의 둘레길이 [ $m$ ]

$L$  : 도체의 길이 [ $m$ ]  $h$  : 열 방산 계수 [ $W/m^2 \cdot ^\circ C$ ]

$I$  : 전류 [ $A$ ]  $\sigma$  : 볼츠만 상수 [ $W/m^2 \cdot K^4$ ]

$d$  : 케이블 직경 [ $m$ ]  $T_a$  : 주위 공기의 온도 [℃]

$H$  : 일사량

## 2.2 해빙효과 시물레이션

위에서 제시된 식(1)을 이용하여 각각의 기후조건에 따라 전류량을 변화시켜 그에 따른 전차선의 온도특성에 대한 시물레이션이 수행되었다.

시물레이션에서는 주위 공기 온도를 0℃로 하며, 해빙시스템이 작동되는 시간이 새벽임을 고려하여 일사량을 "0"으로 결정하였다. 또한, 전기철도 기존구간에서 쓰이고 있는 전차선과 동일한 전차선 용량으로 선정하였다.

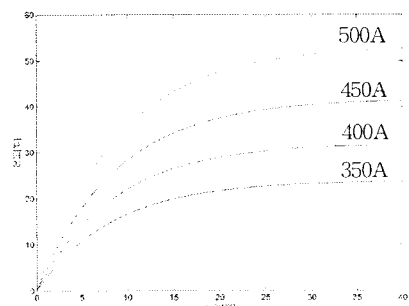


그림 1. 전류 변화에 따른 전차선 온도변화 곡형

그림1에서 나타난 과정은 전류변화에 따른 전차선의 온도변화 시뮬레이션이다. 초기 전차선 온도는 0℃로 하였고, 전류는 350A~500A의 범위에서 50A씩 증가시켰다.

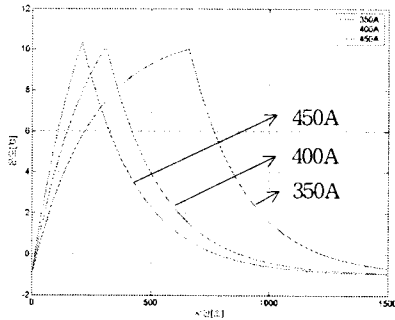


그림 2. 전류에 따른 목표온도 도달시간 (10℃)

그림 2는 전차선에 해빙전류를 통전시킨 후, 전차선 온도가 10℃가 되면 전류를 차단시켜 초기상태가 되는 시간을 온도변화에 따른 시뮬레이션 과정을 나타낸다. 온도를 10℃로 잡은 것은 해빙온도, 즉 전차선에 결빙이 제거되기 위한 최저의 온도를 의미한다. 따라서 전차선 결빙 시 해빙을 위한 전류량과 전류 투입에 어느 정도의 시간소요가 필요로 할지를 추측할 수 있다.

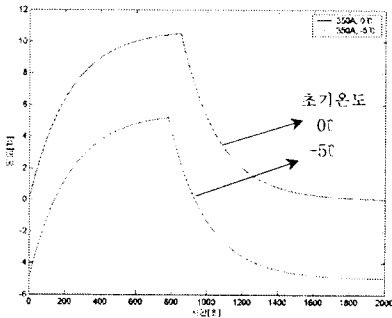


그림 3. 전차선 초기 온도 (-0.1℃, -4.5℃)에 따른 온도변화

그림 3은 전차선의 초기온도를 각각 다르게 주어지고 전차선에 해빙전류를 흘렸을 때의 시뮬레이션이다. 전차선 결빙 시 외부환경의 요인으로 그 온도가 항상 일정치 않기 때문에 각각의 온도 차에 따라 어떤 해빙효과가 발생되는지 검토하기 위해 구한 파형이다. 온도의 차가 있더라도 상승과 하강 곡선에 큰 차이를 보이지 않음을 알 수 있다.

### 2.3 해빙효과 모의시험 방법

해빙효과는 전차선에 인가하는 전류의 크기가 전차선 온도변화에 가장 큰 영향을 미치므로 이에 따른 각각의 시뮬레이션을 수행하였으며 보다 정확한 검증의 필요성으로 실제 전기철도 선로에서의 시험 수행이 필요하다. 하지만, 실제 선로에 전류를 흘려 전차선 온도를 측정하게 되면 사고의 위험성과 매번 전류량을 변화시켜 투입하는 것 불가능 하며, 전차선이 결빙되는 조건이 환경적 요인에 많은 영향을 받기 때문에 시험에 어려움이 있다. 따라서 이러한 문제점을 해결하기 위한 방법으로 실제 선로의 환경과 유사한 모의시험을 수행하여 위험성을 줄였고 전류량을 쉽게 변화시켜 투입할 수 있다. 또한, 전차선 결빙에 대한 기후요인도 항온·항습기를 사용하여 인위적으로 만들어 줄 수 있기 때문에 전차선 온도특성

에 대한 정확한 시험이 이루어 질 수 있다.

시험 장치	비 고
항온·항습기	고려엔지니어링 (제작사)
전력공급기	유입 변압기
전차선 지그	외부 용역 제작 (6kV용 애자사용)
전차선 온도 측정 장치	NI PXI-1052 NI SCXI-1112(써머커플 모듈) 써머커플 (K-type)
전차선	Cu재질의 110 mm <sup>2</sup>

표 1. 시험장치 구성표

모의시험 수행을 위해 실제 전차선을 바닥과 절연시킬 수 있으며 전차선에 전력공급이 가능한 시험용 지그를 제작하였다. 이 시험용 지그를 항온·항습기내부에 설치하였고, 항온·항습기로 전차선을 결빙시킬 수 있는 기후적 요인(항온·항습조의 온도는 영하 1도를 유지, 풍속은 0.5m/s 로 구성.)을 제공하여 전차선이 결빙되었을 때 전류를 투입하여 전차선의 해빙효과에 대해 시험하였다. 이 시험에서 전차선 온도측정을 위해서 전차선에 써머커플러(K-Type)를 부착시키고 NI PXI-1052에 연결시켜 Labview를 이용한 온도측정 프로그램을 구성하였다.

### 2.4 시험파형

모든 시험파형은 전류의 변화에 따른 전차선 온도변화로 나타내었고, 이 파형들은 NI-PXI의 온도측정 프로그램으로 시험 시 실시간으로 측정된 것들이다.

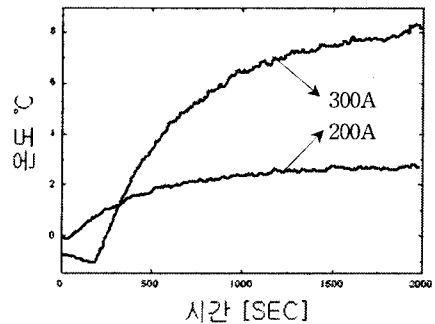


그림 4. 200A·300A 투입한 전차선 온도변화의 모의시험 파형

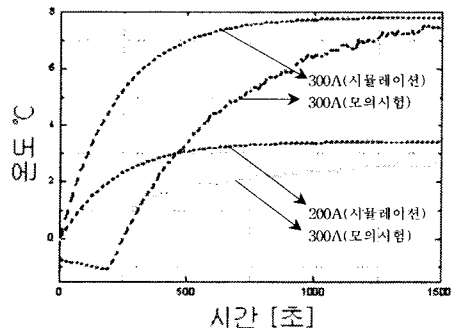


그림 5. 200A·300A 투입한 전차선 온도변화의 모의시험과 시뮬레이션 비교

모의시험에서 전류변화에 따른 전차선의 온도변화를 전류가 200A와 300A 일 경우에 위와 같이 그림 4에서 나타내었다. 그림 5에서는 모의시험 파형과 시뮬레이션 파형을 비교하였는데 약간의 오차는 존재하지만, 모의시험임을 고려했을 때 거의 일치함을 보인다.

이 시험에서는 전류가 300A 이하에서는 전차선 온도 증가가 해빙효과와 목표치인 10℃에 도달하지 못한다는 것을 알 수 있다. 모의시험임을 감안하여 볼 때 실제 선로에서는 더 큰 주변 환경의 변화가 일어날 수 있으므로, 300A 이하의 전류 투입은 해빙효과에 적정치 않은 전류범위로 판단되어 질 수 있다. 따라서 해빙효과와 전류범위는 350A·400A·450A 로 규정하여 시험을 수행하였다.

다음 파형들은 전차선 온도가 해빙온도인 10℃에 도달했을 때 전류투입을 차단하여 초기상태의 온도에 도달하기까지의 시간동안 모의시험을 수행하였고, 그에 따른 시뮬레이션 파형과 비교해 놓았다.

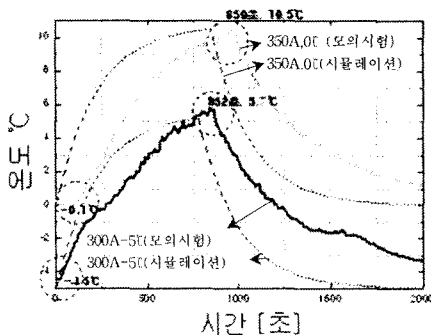


그림 6. 300A·350A 투입한 전차선의 해빙온도 도달시간

그림 6은 350A 투입 시 전차선 주변온도가 0℃에서 시작하였고, 300A 투입 시에는 전차선 주변온도가 -5℃에서 시작하였고 전차선 주변온도가 전차선 온도와 같다고 보았다.

이 시험을 통해서 350A를 전차선에 투입하면 859초 정도면 해빙온도에 도달할 수 있다는 것을 볼 수 있다.

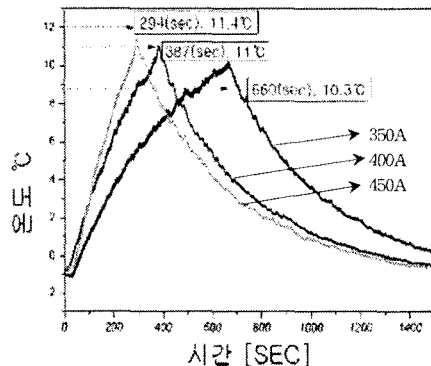


그림 7. 전류변화에 따른 전차선 온도측정 모의시험 결과 파형

그림 7은 350A·400A·450A의 전류를 각기 같은 조건 하에서 투입시켰다. 시뮬레이션의 결과와 매우 유사함을 알 수 있으며, 여러 요인에 맞는 적절한 전차선 해빙전류 투입이 필요로 될 것이다.

### 3. 결 론

본 논문에서는 전차선 해빙시스템 구성에 따른 해빙효과를 분석하기 위하여 시험용 지그 위의 전차선으로 해빙루프 구성 후 항온·항습기에서 전차선을 결빙시켜 전류를 투입하여 해빙온도를 측정하였다. 전차선에 NI PXI-1052에 연결시켜 Labview를 이용한 온도측정 프로그램으로 전차선 온도를 측정하였으며, 열평형 방정식으로부터 전차선의 온도를 시뮬레이션 한 결과로 실제적인 해빙효과와 그에 따른 성능평가가 이루어 질 수 있었다. 이번 시험을 통해 전차선 온도 상승은 해빙전류에 의해 급격히 증가하고 300A이하의 전류투입은 해빙온도에 도달하지 않는다고 결론내릴 수 있었다. 또한, 전류값에 따른 전차선 온도 상승 시간이 다르므로 그 구간이나 환경적 요인에 맞는 적절한 전류투입이 필요로 하다.

앞으로 이러한 해빙 모의시험에 대한 더욱 많은 자료의 정립이 요구되는 바이며, 추후 이에 대한 서리감지센서 및 해빙시스템의 개발은 전기철도의 집전능력 향상과 안정성을 확보하여 공공 교통수단인 철도가 국제수준의 체제로 구축될 수 있을 것이다.

### [참 고 문 헌]

- [1] 한국철도시설공단, “해빙시스템 교육자료” 한국철도시설공단. 2002.
- [2] 김주락, 권상영, 이기원, 장상훈, “시간 변수를 고려한 전차선로 허용전류 계산 기법 연구” 2001년도 대한전기학회 전기기기 및 에너지변환시스템 춘계학술대회 논문집, 2001.
- [3] T. W. Choi, C. S. Lee, and S. C. Yoo, “Electrical ceramics”, Proc. 2002 Summer Conf. KIEEME, p. 10, 2002.
- [4] 한전자, “복합 스트레스에 의한 열화진단”, 전기전자재료학 회논문지, 15권, 1호, p. 10, 2001.
- [5] (주)유신코퍼레이션, 경부선 천안~조치원간 전철, 전력설비 설치 설계보고서, (주) 유신코퍼레이션, 1999. 6