

기존선 해빙시스템 구성을 위한 해빙전류 예측기법

정호성* 권삼영* 박영* 안병립** 이주***
 *한국철도기술연구원 **삼정C&M시스템 ***한양대학교

Estimation Technique of deicing current for configuration of deicing system in conventional line

Hosung Jung* Samyoung Kwon* Young Park* Byeonglib Ahn** Ju Lee***
 *Korea Railroad Research Institute **SamJung C&M System ***Hanyang Univ.

Abstract - Deicing system operated in high speed line is to melt frost or ice freezed in catenary line when the temperature is lower than 0 in winter. The principle of deicing system is to melt frost or ice by Joule heat of catenary impedance. The performance of deicing is dependant of deicing current determined by the length of deicing section, deicing impedance and current division ratio of catenary line and messenger line. So, We present technique for estimating deicing current in convention line. Deicing impedance is estimated using Carson - Pollaczek, current division ratio of catenary line and messenger line is estimated using voltage drop, and deicing current is estimated using power system data of operation secion for deicing system in this technique. To verify the validity of technique, we compare the estimated current using technique of this paper with deicing current of high speed line.

2. 본 론

2.1 고속선 해빙시스템 원리

고속선 해빙시스템은 경부고속철도 건설시 프랑스 기술의 의해 건설되어 운영 중에 있다. 고속선 해빙시스템의 기본적인 개념은 전차선을 이용하여 일정 구간의 폐회로를 구성하고 전차선에 전류를 흘려보내 주열열에 의해 서리 또는 결빙을 녹이는 원리이다. 서울-대구간 고속선 구간에 6개의 해빙시스템이 설치되어 있으며 각각의 루프는 최대 15분의 서리 제거 시간과 각 구간의 서리감지를 위하여 서리 감지 센서가 설치되어 있다. 고속선 해빙시스템의 운영은 전동차 운행이 없을 때 변전소에서 가공 전차선으로 전력을 공급함으로써 실행되며 해빙시스템 급전회로 구성은 그림 1과 같다[1,2].

1. 서 론

동절기에 전차선로 주변의 온도가 0℃ 이하가 되는 경우 가공 전차선에 서리 또는 결빙이 형성될 수 있으며, 이 때 차량이 운행될 경우 팬터그래프의 슬롯판과 전차선 사이에 절연물이 개입되고 이로 인해 아크가 발생하게 된다. 이러한 아크는 팬터그래프 접촉 스트립을 손상시키고 집전전류의 품질을 저하시켜 열차의 안전운행에 지장을 초래하게 된다. 또한 팬터그래프 슬롯판과 전차선 사이에 발생하는 아크는 전자파를 발생시켜 선로 주변의 통신선과 인체에도 영향을 줄 우려가 있다.

동절기 전차선에 발생하는 서리 및 결빙을 제거하기 위해서 경부고속철도 고속선에서는 해빙시스템을 도입하여 운영 중에 있다. 해빙시스템은 본선 전차선에 대하여 해당 구간 전차선을 임시로 폐회로를 형성하고, 폐회로에 일정 전류를 흘려주어 발생하는 Joule열(전류저항에 의한 발열)에 의해 서리나 결빙을 녹이고 건조하여 전차선의 결빙 형성을 막는 시스템이다. 이러한 해빙시스템에서의 서리 및 결빙을 제거하기 Joule열(전류저항에 의한 발열)은 해빙을 위해 구성된 임의의 폐회로에 흐르는 해빙전류와 전차선의 임피던스 크기에 좌우된다. 기존에 건설되어 운영중인 철도시스템은 회로에 흐르는 전류량을 제어하기 위한 별도의 설비 구성이 어렵기 때문에 해빙회로의 임피던스의 크기를 정확하게 예측하는 것이 해빙시스템의 성능을 좌우하게 된다.

따라서 본 논문에서는 해빙시스템에 흐르는 해빙전류 크기를 예측하기 위한 기법을 제시하였으며, 이를 통해 해빙 임피던스 크기와 해빙전류 및 전차선과 조가선에 흐르는 전류비를 예측하였다. 또한 고속선에 흐르는 해빙전류 크기와 비교하여 제시한 기법의 타당성을 검증하였다.

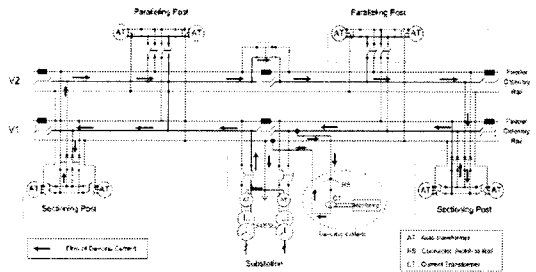


그림 1. 고속선 해빙시스템 구성도

그림 1과 같이 해빙회로는 변전소를 중심으로 양쪽에 급전분소 간에 전차선만을 이용한 폐회로를 구성한다. 폐회로를 구성하기 위해서 해빙회로에 전력을 공급하기 위한 변전소 AT를 제외한 해빙회로내의 변전소, 급전분소, 병렬구분소의 모든 AT를 분리한다. 그리고 양 급전분소의 상하타이차단기를 투입하여 상, 하선 전차선을 연결하고 변전소에서는 방면별 절연구간을 연결해주는 단로기와 전차선과 AT중성점인 접지로 연결해주는 단로기를 투입하여 전체적인 해빙시스템을 위한 폐회로를 구성한다. 경부고속철도에 설치된 해빙시스템은 0℃ 부근에서 발생한 서리를 녹이기 위해 약 15분간 해빙시스템 운전 후 전차선 온도가 10℃로 상승한다. 해빙전류 크기는 최대 1000A 이내로 제한되고 있으며, 표 1은 구간별 해빙전류 크기를 나타낸 것으로 구간길이에 따라 약간의 차이가 있다.

표 1. 고속선 해빙시스템 해빙전류

해빙구간	길이 [km]	해빙전류 [A]
안산 변전소	49.9	680
평택 변전소	46.8	730
신청주 변전소	49.6	710

2.2 해빙전류 예측기법

해빙시스템의 성능을 좌우하는 것은 해빙회로에 흐르는 해빙전류의 크기이다. 해빙회로 전류의 크기가 너무 작은 경우에는 해빙효과를 예상할 수 없으며, 반대로 해빙전류가 매우 큰 경우에는 단시간에 해빙효과를 기대할 수 있으나 전차선의 허용전류를 초과할 우려가 있으며 전차선 길이팽창으로 인한 기존 타 설비 안전에 영향을 미칠 수 있다. 따라서 해빙전류가 전차선 허용전류 이상으로 흐르는 경우에는 해빙용 변압기 등의 전류제한장치를 추가적으로 설치하거나 해빙회로 구간을 연장해야만 한다. 따라서 본 논문에서는 해빙전류 예측을 위한 기법을 그림 2와 같이 제시하였다.

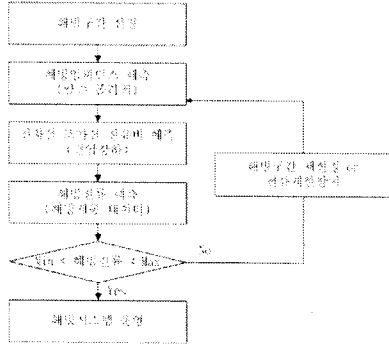


그림 2. 해빙전류 예측 흐름도

그림 2에서와 같이 해빙회로 구간을 선정하고 해빙구간의 선종 및 선로구성에 따라 해빙 임피던스를 예측한다. 해빙 임피던스는 선로 임피던스 예측에 널리 적용중인 칼슨-폴라첵을 이용한다. 해빙 임피던스가 결정되면 해빙 구간의 전원계통 데이터를 이용하여 해빙전류를 예측해야 한다. 다만 해빙전류는 전차선로로 구성된 폐회로에 전류가 흐르게 되므로 전차선뿐만 아니라 조가선에도 전류가 흐르게 된다. 전차선과 조가선은 선종이 달라 흐르는 전류분포가 다르므로 전차선과 조가선의 전류 분포를 정확히 예측하는 것이 해빙효과 및 선로 길이팽창으로 인한 타 설비의 영향을 예상할 수 있다. 최종적으로 예측된 전차선에 흐르는 해빙전류의 크기가 너무 작거나 큰 경우에는 해빙회로 구성을 조정하거나 추가적인 전류제한장치 등의 설비의 설치를 고려해야 한다. 해빙전류의 크기가 일정하게 경우에는 주변의 기후조건에 따라 해빙시간을 조정하여 해빙시스템을 운영하도록 한다.

2.3 해빙전류 예측 사례

본 논문에서 제시한 해빙전류 예측 기법의 타당성을 검증하기 위해서 충북선 충주변전소를 대상으로 해빙시스템을 구성하고 해빙전류의 크기를 예측하였다.

2.3.1 충주변전소 해빙회로 구성

충북선 충주변전소 해빙시스템은 그림 3과 같이 음성 SP에서 봉양 SP까지 50.79 km로 구성하였다.

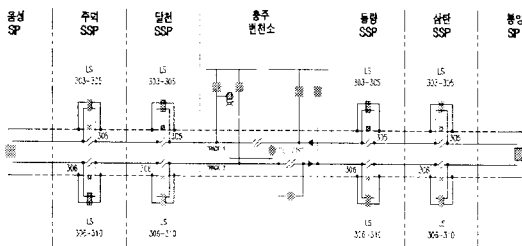


그림 3. 해빙시스템 기본 구성도

그림 4는 충북선 토공구간의 표준장주도이며, 표 2는 충북선에 적용된 전차선로 선종과 특성을 나타내었다[3].

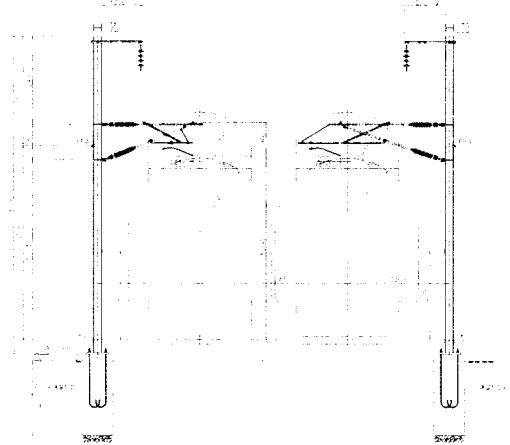


그림 4. 충북선 토공구간 표준장주도

표 2. 충북선 전차선로 선종

선종	규격	도체직경 [mm]	무게 [kg/m]	장력 [kgf]	전기저항 [Ω /km]
전차선	Cu 110 π	12.34	0.9877	1000	0.1592
조가선	CdCu 70 π	10.5	0.5974	1000	0.3315

2.3.2 칼슨-폴라첵을 이용한 해빙임피던스 예측
충북선 충주변전소 해빙임피던스 예측을 위해서 칼슨-폴라첵을 이용하였다[4,5].

i) 전차선 자기 임피던스 (Z_T , Cu 110 π)

- 내부 임피던스
 $Z_{T1} = 0.1592 + j0.0188 [\Omega/b]$
- 외부 임피던스
 $Z_{T0} = 0.0583 + j0.8932 [\Omega/b]$
- 자기 임피던스
 $= 0.2175 + j0.9120 [\Omega/b]$

ii) 조가선 자기 임피던스 (Z_M , CdCu 70 π)

- 등가높이(h_M) = $h_{M0} - \frac{2}{3} \cdot \frac{WL^2}{8T} \times 100 = 6.6355[m]$
(W : 무게, L : 장간길이(50m), T : 장력)
- 내부 임피던스
 $Z_{M1} = 0.3315 + j0.0188 [\Omega/b]$
- 외부 임피던스
 $Z_{M0} = 0.0582 + j0.9055 [\Omega/b]$
- 자기 임피던스
 $Z_M = Z_{M1} + Z_{M0} = 0.3897 + j0.9243 [\Omega/b]$

iii) 전차선과 조가선의 상호 임피던스 (Z_{TM})

- 조가선의 높이(h_M) = 6.6355 [m]
- 전차선의 높이(h_T) = 5.80 [m]
- 두선의 수평거리(b) = 0 [m]
- 상호 임피던스
 $Z_{TM} = 0.0583 + j0.5231 [\Omega/b]$

h) 전차선로 대지위로 자기 임피던스(Z_t)

$$Z_t = \frac{Z_T Z_M - Z_{TM}^2}{Z_T + Z_M - 2Z_{TM}} = 0.1758 + j0.7268[\Omega/\text{km}]$$

- 등가높이(h_e)

$$h_e = h_T + \frac{h_M \cdot S}{h_T + h_M} = 6.1794 [\text{m}]$$

$$(S = (h_M - h_T) - \frac{2}{3} \times \frac{WL^2}{8T} \times 100 = 0.7111[\text{m}])$$

v) 상선 전차선과 하선 전차선간의 상호 임피던스(Z_H)

- 전차선로 높이(h_e) = 6.1794 [m]

- 상선, 하선 전차선로의 수평거리(b) = 4.7 [m]

- 상호 임피던스

$$Z_H = 0.0583 + j0.3929 [\Omega/\text{km}]$$

ii) 해빙 임피던스

- km당 해빙 임피던스(Z_d)

$$Z_d = Z_{상선} + Z_{하선} - 2 \times Z_H = 2(Z_t - Z_H)$$

$$= 0.2350 + j0.6678 [\Omega/\text{km}]$$

- 충주변전소 해빙 임피던스($Z_{deicing}$)

$$Z_{deicing} = Z_d \times D = 11.9035 + j33.8955$$

$$= 35.9339 \angle 70.6^\circ (D : 50.76[\text{km}])$$

2.3.3 전차선과 조가선 전류비 예측

전차선과 조가선에 흐르는 전류비를 예측하기 위해서 단위길이당 전압강하가 동일한 특성을 이용하였다.

i) 전차선 전압강하 = 조가선 전압강하

$$V_T = V = Z_T I_T + Z_{TM} I_M$$

$$V_M = V = Z_{TM} I_T + Z_M I_M$$

ii) 전차선과 조가선에 흐르는 전류 계산(역행렬 이용)

$$\begin{bmatrix} I_T \\ I_M \end{bmatrix} = \frac{1}{Z_T Z_M - Z_{TM}^2} \begin{bmatrix} Z_M & -Z_{TM} \\ -Z_{TM} & Z_T \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V \\ V \end{bmatrix}$$

iii) 전차선과 조가선 전류비

$$I_T : I_M = \frac{(Z_M - Z_{TM})}{(Z_T Z_M - Z_{TM}^2)} : \frac{(Z_T - Z_{TM})}{(Z_T Z_M - Z_{TM}^2)}$$

$$= 0.7495 : 0.6076 \approx 55:45 [\%]$$

2.3.4 해빙전류 예측

해빙전류는 전차선로가 단락된 회로에 흐르는 전류를 예측하는 것으로 해빙 임피던스 뿐만 아니라 해빙회로에 전력을 제공하는 한국전력의 전원계통부터 송전선로, 스코트변압기, AT변압기의 계통 데이터를 이용하여 예측해야 한다.

표 3. 계통 임피던스

계통	기호	기준값 [%Z]	임피던스 [Ω]	55kV 환산 [Ω]
한전전원 (정상분)	Z_{hepco}	100MVA	0.186+ j2.120	0.0563+ j0.6413
송전선로 (정상분)	Z_{TL}	100MVA	0.0130+ j0.0609	0.0039+ j0.0184
스코트 변압기	Z_{scott}	15MVA	j10	j20.1667
해빙회로	$Z_{deicing}$	27.5[kV]	11.9035+ j33.8955	46.088+ j115.72

표 3은 해빙전류를 예측하기 위한 한국전력부터 해빙임피던스까지의 계통 데이터와 55[kV]기준으로 환산한 임피던스 크기를 나타낸 것이다. 스코트 변압기가 병렬운전하므로 해빙전류와 급전축 전압을 예측하면 아래와 같다.

i) 변압기 병렬운전시 해빙단락 임피던스(Z_0)

$$Z_0 = 2(Z_{hepco} + Z_{TL}) + Z_{scott} + Z_{AT} + Z_{deicing}$$

$$= 47.8428 + j157.07 = 164.192873 \angle 0.594^\circ [\Omega]$$

ii) 해빙전류($I_{deicing}$)

$$I_{deicing} = \frac{55000}{|Z_0|} = 334.9720 \angle 73.0594^\circ [\text{A}]$$

iii) 급전축 전압

$$V_{feeder} = V_{hepco} - [2(Z_{hepco} + Z_{TL}) + Z_{scott}] \times I_{deicing}$$

$$= 48.394 \angle 2.6727^\circ [\text{kV}]$$

기존선 해빙시스템을 위한 중복선 충주변전소 경우에는 50.79[km] 구간에 대해 670[A](27.5kV 기준)로 예측되었다. 경부고속철도 해빙회로에서는 49.9[km] 구간에서 해빙전류가 680[A]이므로 선종, 선로배치 및 선로구간의 차이 등을 감안하여 고속선 해빙전류의 크기와 비교할 때 본 논문에서 제시한 해빙전류의 크기와 예측기법이 타당하다는 것을 알 수 있다. 또한 전차선과 조가선의 전류비가 55:45이므로 서리 또는 결빙을 제거하기 위한 전류크기는 369[A]임을 알 수 있다. 이를 통해 실제 전차선의 임피던스와 전류량을 이용하여 전차선의 온도상승을 예측할 수 있다.

3. 결 론

본 논문에서는 동절기 전차선에 발생하는 서리 또는 결빙을 제거하기 위한 해빙시스템의 해빙전류 예측기법을 제시하였다. 해빙전류 예측을 위해서 먼저 선정된 해빙구간의 해빙 임피던스를 칼슨-폴라첵 식을 이용하여 예측하였다. 또한 단위길이당 전압강하 동일한 특성을 이용하여 전차선과 조가선의 전류 분류비를 예측하였다. 또한 해빙시스템 계통데이터를 이용하여 최종적인 해빙전류와 전차선의 전류량을 예측하였다. 예측된 해빙전류는 고속선에 운영중인 해빙시스템의 해빙전류의 크기와 비교함으로써 타당성을 검증하였다.

향후에서 해빙시스템 시험 등을 통한 해빙전류 예측기법의 타당성을 검증해야 할 것이며, 실제적인 전차선의 온도상승과 이에 따른 해빙효과 및 타 설비에의 영향 등을 연구가 진행되어야 한다.

[참 고 문 헌]

- 한국철도시설공단, "해빙시스템 교육자료" 한국철도시설공단, 2002.
- 박영, 권삼영, 정호성 외 4인, "해빙시스템을 이용한 전차선 온도특성에 관한 연구", 한국전기전자재료학회 하계학술대회, 2005
- 삼정C&M시스템, "충주변전소 보호계전기 정정보고서", 철도청, 2003.
- 한국철도기술연구원, "전차선로 회로정수 측정 및 보호회로 최적화 방안 연구", 철도청, 1998
- 한국철도기술연구원, "철도급전시스템 체계화 구축 연구", 한국철도기술연구원, 2000,