

분기기 히터장치를 위한 정전력 AC/DC 컨버터 개발

Development of a constant power AC/DC converter for point heaters equipment

민일홍*, 김 백**, 노성찬**, 정광우*†, 노성채***

Il Hong Min*, Baik Kim**, Sung Chan Rho**, Kwang woo Chung*†, Sung Chae Roh***

Abstract Turnout equipment plays a vital role in the safe operation of railroad systems. It is of great importance in ensuring safety and punctuality, and in the smooth operation of point switching mechanisms. Failure of switching gear due to climatic conditions at their site of installation is a frequent occurrence, in particular, breakdown resulting from the effects of snow and ice or of piled-up snow. To prevent this happening, heating equipment can be installed to get rid of the ice and snow. Generally speaking, a point heater comprises a heating system, an electricity supply unit, and various kinds of sensor. However, overheating sometimes occurs owing to failures caused by inadequate sensor installation, resulting in the heater becoming unusable. Therefore, a converter is proposed to prevent this overheating by controlling the electricity supply to the heater while detecting the ambient temperature without the use of such sensors.

Keywords : Pointer heater equipment, Constant power converter, AC/DC Converter

초 록 철도시스템에서 분기기는 철도의 안전한 운영을 위하여 중요한 핵심장치의 하나로 철도시스템의 정시성과 안전성을 확보하기 위하여 선로전환장치의 원활한 운영이 매우 중요하다. 분기기는 현장에 설치되어 기후의 영향을 직접적으로 받는 설비로 적설 또는 빙설에 의한 분기기의 전환불능 장애가 자주 발생한다. 이를 방지하기 위하여 분기기 히터장치를 설치하여 적설 또는 빙설을 제거할 수 있도록 하고 있다. 일반적으로 분기기 히터장치는 발열체, 전력공급부, 각종 센서부로 구성된다. 그러나 센서들의 설치환경이 열악하여 센서고장으로 인한 히터장치의 과열사고가 발생하여 분기기 히터장치를 사용할 수 없는 경우가 발생한다. 따라서 이와 같은 센서없이 외기온도만을 검출하여 히터를 정전력으로 제어하여 히터의 과열을 방지할 수 있는 전력변환장치를 제안한다.

주요어 : 분기기 히터장치, 정전력 컨버터, AC/DC 컨버터

1. 서 론

철도시스템에서 분기기는 철도의 안전한 운영을 위하여 가장 중요한 핵심장치 중 하나로 철도시스템의 정시성과 안전성 확보를 위하여서는 선로전환기의 원활한 운영이 매우 중요하다. 또한 현장에 설치되는 설비로 기후에 의하여 영향을 많이 받는 설비 중 하나이다.

따라서 선로전환기의 안전한 운영을 위하여 기계적 쇄정 및 전기적 쇄정까지 다양한 안전

† 교신저자: 한국교통대학교 철도운전시스템공학과(ckw1201@hanmail.com)

* 한국교통대학교 철도운전시스템공학과

** 한국교통대학교 철도전기전자공학과

**** 동아하이텍(주)

요소들을 포함하고 있다. 하지만 겨울철 폭설로 인한 결빙으로 선로전환기의 쇠정이가 이루어지지 않는다면 선로전환기의 기능을 마비시킬 수 있다. 철도 선진국에서는 기후조건에 의한 선로전환기의 기능상실을 방지하기 위하여 다양한 방법을 이용하여 보호설비들을 운영하고 있다.

그 중에 하나인 분기기 히터장치는 현재까지 국내에서 많이 채용되지 않았으며 인력에 의하여 유지보수가 이루어져 왔으나 경부고속철도의 도입과 더불어 선진 철도기술이 수입되면서 분기기 히터장치도 국내 철도에 일반화되기 시작되었다.

분기기 히터장치는 히터의 온도를 직접 측정하여 온도를 제어하도록 설계되어 있는 것이 일반적이다. 하지만 철도의 현장 환경이 온도센서를 직접 레일에 부착하여 온도를 제어하기에는 열악한 환경에 놓여 있으므로 실제로는 수동으로 제어하고 있는 것이 현실이다.

이 방법으로 제어할 경우 센서를 사용하지 않아 열선의 과열에 의한 소손이 발생할 우려가 크고, 수동으로 제어하는 과정에서 오류가 발생할 가능성이 많다.

본 논문은 이렇게 수동으로 제어되는 분기기 히터장치의 온도제어 방식을 개선하고자 한다.

2. 본 론

2.1 선로전환기 히터 시스템

‘선로전환기 용설장치(분기기 히터장치-PHCB)’란, 강설로 선로전환기 기본레일과 침단레일 사이에 눈이 쌓여 있거나 침단레일이 좌우로 이동할 수 있도록 하는 상판 부위가 적설 등으로 동결되면 침단 레일이 좌우로 이동이 불가능하게 되어 밀착과 쇠정이가 불가능해져 장애 및 탈선사고의 원인이 된다. 이러한 장애를 예방하기 위하여 선로전환기에 쌓인 눈이나 결빙을 녹이는 장치를 말한다.

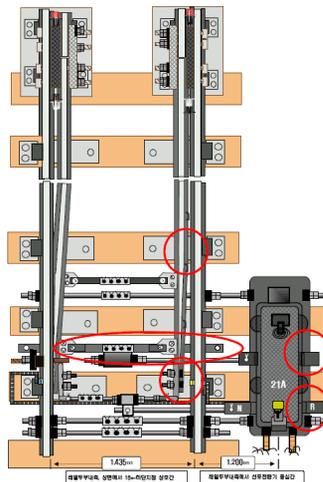


Fig. 1 Main locations of switch freezing

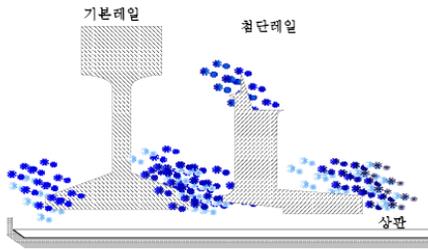


Fig. 2 Snow-Covered

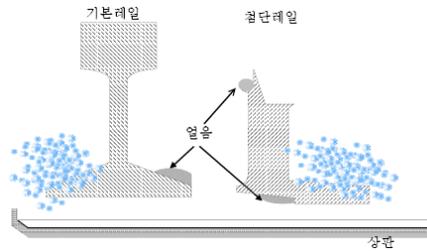


Fig. 3 Snow and ice-Covered

Fig. 2 와 Fig. 3 은 기본레일과 침단레일 사이에서 결빙이 발생하는 과정을 설명한 것이다. 눈이 침단레일과 기본레일 사이에 쌓이게 되면 선로전환기의 전환에 의하여 눈이 뭉쳐지게 되고, 뭉쳐진 눈에 선로전환기 전환으로 인한 압력으로 얼음이 형성된다. 결빙이 형성되면 선로전환기는 침단레일을 기본레일에 밀착시키지 못하는 불일치 현상을 야기하게 된다.

이와 같은 장애를 예방하기 위하여 살수, 온풍, 전열기 등을 사용한 용설장치를 사용되고 있으며, 이 중에서 여러 가지 장점이 있고 가장 편리한 전열식(전기식 point heater)이 널리 사용되고 있다

국내에서도 오래 전 강설량이 많은 태백선에 전열식 히팅장치를 사용하여 왔으며, 경부고속선 선로전환기에도 이 장치가 설치되어 운영되고 있다. 현재 선로전환기의 안전설비 중 용설장치의 현황은 한국철도공사 2012년 전기업무자료 기준으로 1,517대가 설치운영 중에 있다. 이 장치는 고속선의 경우 254대, 경부선 329대, 중앙선 112개, 호남선 30대, 장항선 12대, 충북선 26대, 영동선 74대, 경북선 19대, 경인선 27대, 경의선 38대, 경원선 114대, 경춘선 214대, 일산선 2대, 안산선 31대, 기타선 178대가 설치되어 있다.

전원공급장치는 기계실 수전반으로부터 전력을 공급 받아 일정 전압 또는 일정 전류로 히터에 전원을 공급한다. 온도제어부는 히터의 발열체 온도를 측정하여 일정 온도 이상이 되면 전력공급을 차단할 수 있는 구조로 히터의 과열을 방지한다.

2.2 발열체의 온도에 따른 저항변화

분기부 히팅장치에 사용되는 발열체는 일반적으로 온도가 증가하면 저항값이 증가하는 정저항 특성을 갖는 장치가 많이 사용된다.

하지만 정저항 특성을 갖는 발열체는 과열의 위험은 적은 반면 히터의 온도가 높아지면 저항값이 커져 발열량이 감소하므로 일정한 온도를 유지하기 위해서는 측정된 온도에 따라 히터의 전원을 수시로 ON/OFF 제어가 이루어 져야 한다.

히터에서 사용하는 발열체의 다른 종류는 부정저항 특성을 갖는 발열체이다. 이는 히터의 온도가 상승하면서 저항이 감소하여 더 많은 전력량을 필요로 하는 형태이다.

아래의 그래프는 부정저항 특성을 갖는 히터 발열체의 온도 저항 곡선을 나타낸 것이다.

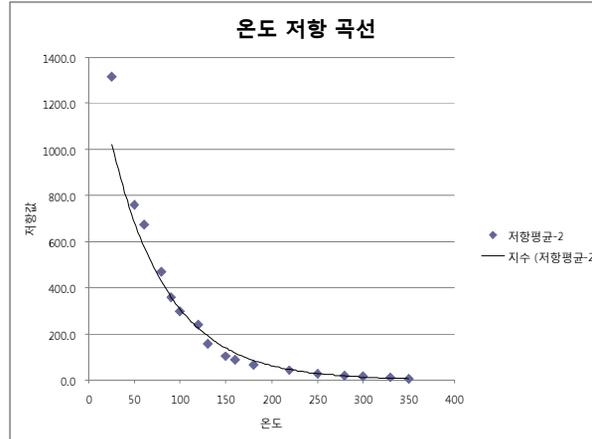


Fig. 4 Characteristic curve of negative resistance value

Fig.4 의 그래프에서 발열체의 특성은 온도가 350℃ 일 때 4.8[Ω], 25℃일 때 1,315[Ω]의 저항값을 갖는 것으로 나타났다.

온도가 증가하면 부하저항이 급격하게 감소하여 전력공급장치에 많은 부담으로 작용하게 된다. 온도가 높은 경우 전류가 감소하여 발열에 어려움이 발생할 수 있다. 따라서 정전압 또는 정전류를 공급하는 전원장치로 히팅장치의 최적 동작을 얻기에 어려움이 발생할 수 있다.

히터의 저항이 일정 저항 이상이 되면 정전류제어를 하여 높은 저항에서 히터의 발열이 원활하게 이루어 질 수 있도록 공급전력을 증가시키고, 일정 부하저항 이하가 되면 공급되는 전력량을 일정하게 제어하여 히터가 과열되는 것을 방지 할 수 있도록 제어하는 방식을 사용하여야 한다.

히터의 온도가 항상 일정하게 유지될 수 있도록 제어가 가능한 전원공급장치를 개발하여 분기기용 히팅 장치제어에 사용하면 각종 부대설비의 장애로부터 시스템을 안전하게 동작제어할 수 있을 것이다.

2.3 정전력 제어 컨버터

분기기 히팅장치용 전원장치는 히터가 항상 일정한 온도유지를 위하여 일정한 전력을 공급할 수 있도록 설계되어야 한다. 하지만 부하로 사용되는 히터저항은 온도의 상승에 대하여 그 저항값이 상승하거나 하강하는 특성을 가지고 있다.

히터의 저항을 R [Ω]이라하고 히터에 흐르는 전류를 I [A]라 하면 t [sec]동안 히터의 발열량 Q [cal]는 다음 식으로 나타낼 수 있다.

$$Q = 0.24I^2Rt \text{ [cal]} \quad (1)$$

또한 히터의 고유저항 ρ [Ωm], 히터의 단면적[m²]이고, 히터의 길이가 l [m]일 때 히터의 저항과 히터에 흐르는 전류밀도 δ [A/m²]는 다음과 같다.

$$R = \rho \frac{l}{S} [\Omega] \quad (2)$$

$$\delta = \frac{I}{S} [A/m^2] \quad (3)$$

식(2)와 식(3)을 이용하여 식(1)을 다시 표현하면 다음과 같다.

$$Q = 0.24I^2Rt = 0.24(\delta S)^2 \rho \frac{l}{S} t = 0.24\delta^2 \rho S l t [\text{cal}] \quad (4)$$

위 식에서 $S \times l$ 은 히터의 체적 V [m^3]를 나타낸다. 따라서 단위 체적당 히터의 발열량은 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$q = \frac{Q}{V} = 0.24\delta^2 \rho t \quad (5)$$

식(5)에서 단위체적당 발열량은 발열체의 고유저항과 발열체에 흐르는 전류밀도의 자승에 비례함을 알 수 있다. 또한 발열체의 고유저항은 온도에 따라 저항값이 변화한다. 따라서 히터의 저항변화는 전류밀도의 변화를 가져오므로 히터의 발열량도 같이 변화하게 되어 온도도 변화한다.

일반적으로 히터에 전원을 공급하는 전력공급장치는 일정전압 또는 일정전류로 제어되는 전력변환기를 사용한다. 온도에 따라 히터의 고유저항이 변화하면 히터의 전류밀도가 변화하여 전력량이 변화하므로 급격한 온도상승이나 온도의 저하를 가져올 수 있다.

히터의 일정 온도를 유지하기 위하여 저항의 온도변화로 일정한 전력을 공급할 수 있는 전력변환장치를 이용하여 전력을 공급할 수 있도록 하여야 한다.

Fig.5 는 히터시스템의 일정온도를 유지하기 위한 정전력제어 컨버터의 구성을 나타낸 것이다.

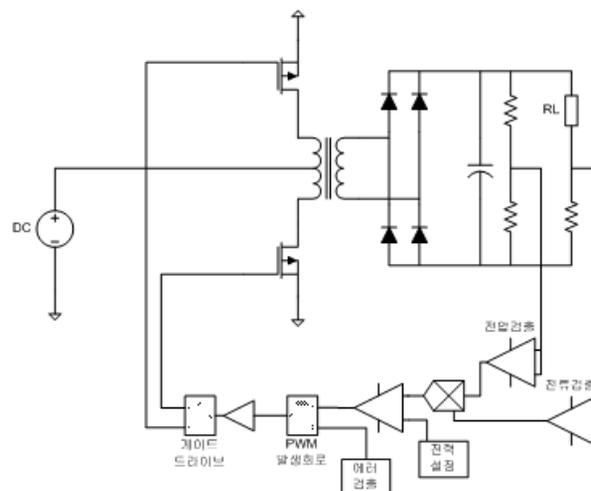


Fig. 5 Structure of the constant power control converter

컨버터의 일정전력을 제어하기 위하여 컨버터 출력의 전압과 전류를 검출하여 이를 승산기

를 통하여 전력에 비례하는 전압값을 산출하고, 미리 설정된 기준 전력에 해당하는 전압값과 비교하여 컨버터를 제어한다.

2.4 시뮬레이션

제안된 정전력 컨버터를 구현하기 위하여 **Push-Pull** 컨버터 토폴로지를 사용하였다. **Push-Pull** 컨버터는 1[kW]급 중전력 전력변환기로 많이 사용되는 형태로 풀브릿지 방식에 비하여 스위칭 소자의 수가 적고, 게이트회로의 제작이 간단하여 경제적인 전력변환기를 구성할 수 있는 장점이 있다.

선로전환기 히터 시스템의 발열체는 온도에 따라 저항이 변화하는 특성을 가지고 있으므로 정전력제어를 위하여 부하 양단의 전압과 전류의 곱이 항상 일정하게 유지되도록 제어되어야 한다. 부하의 전압과 전류를 검출하여 오차증폭기를 통해 비교기에서 일정전압과 일정 전류로 제어되도록 한다.

즉 발열체 저항의 크기가 상온일 때 설정된 전력을 출력할 수 있도록 컨버터를 제어하고 발열체의 저항값이 변화하여도 전류의 크기가 설정된 전력이상을 출력하지 못하도록 컨버터의 듀티비를 제어하도록 설계한다.

시뮬레이션을 위하여 입력전압 교류 220[V], 출력전압 제한값은 370[V], 출력전력 제한값은 650[W]로 설정하였으며, 스위칭 주파수는 36[kHz]로 설정하였다.

시뮬레이션은 **Ispice**를 사용하여 수행하였으며, 부하저항의 변화에 따라 출력전력의 변화를 측정하였다.

Fig.6 은 부하저항의 변화에 따른 듀티비의 변화를 나타낸 것이다.

부하저항이 200[Ω]일 때 듀티비는 42[%]이며 부하저항이 100[Ω]으로 감소하면 듀티비도 15[%]로 감소하여 제어됨을 나타내고 있다.

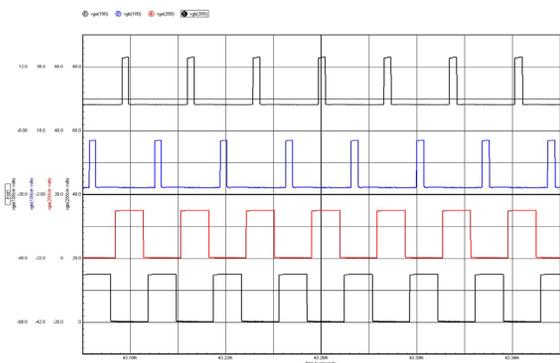


Fig. 6 Change of Duty Ratio by load resistance

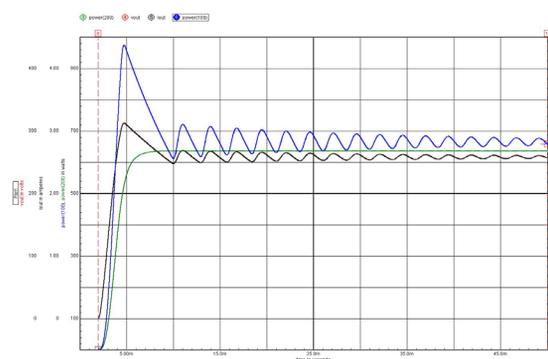


Fig. 7 Output by change of load resistance

이 때의 출력전압과 전류, 전력은 **Fig.7** 에 나타나 있다. 부하저항이 200[Ω]일 때 출력은 650[W]이며 부하저항이 100[Ω]으로 감소하여도 660[W]의 전력을 계속하여 출력하고 있음을 알 수 있다.

3. 결 론

철도 선로에서 분기기는 철도의 안전한 운영과 정시성확보를 위하여 중요한 장치의 하나로 기온의 변화에 대한 다양한 변수를 가지고 있다. 본 논문에서는 온도센서 없이 전력량에 비례한 발열량을 예측하는 방법으로 상시 일정한 온도를 유지할 수 있는 방안을 제안했다. 부하 저항의 변화에 대해 항상 일정한 전력을 출력하는 전력변환기를 사용하는 선로전환기의 용설 장치에 필요한 정전력 공급장치를 설계하고 시뮬레이션을 통하여 그 가능성을 시험하였다.

시뮬레이션 결과 부하저항이 200[Ω]에서 100[Ω]으로 변화하여도 항상 일정한 전력을 전력변환기가 출력함을 검증하였다. 향후 시제품을 제작하여 실무하에서도 시스템의 제어가 잘 이루어지고 항상 일정한 온도가 유지됨을 검증하고자 한다.

후 기

본 과제(결과물)는 교육부의 재원으로 지원을 받아 수행된 산학협력 선도대학(LINC) 육성사업의 연구결과입니다.

참고문헌

- [1] Junming Tu, "Influence of mount structure on performance of ceramic Metal Halide Lamps", Industry Application, IEEE Transaction on Volume 44, Issue 6, Nov-Dec 2008, pp1987-1992.
- [2] R.L. Steigerwald, "High Frequency Responent Transistor DC-DC Converters", IEEE Trans. Ind. Electronics, Vol. IE-31, No.2, PP181, May, 1984
- [3] B. Swaminathan, V. Ramanarayanan, "A novel resonant transition Push-Pull DC-DC converter" 2004 Indian Institute of science, pp217~232
- [4] "SMPS Components and their effects on system design" Microchip Webseminars, 2006.