자기장 변화에 따른 전류 위상차를 이용한 열차 위치검지 장치

A Train Locating Device Using the Current Phase Difference Upon Magnetic Field Variation

최재식 · 김 백 · 노성찬*

Jae Sik, Choi · Baik, Kim · Sung Chan, Rho

Abstract Traditionally, the track circuits have been used for the purpose of train locating. However, the recent train control systems like a CBTC(Communications Based Train Control) do not utilize the track circuits to minimize the amount of ground signal devices. Therefore, there are increasing concerns over the system that can locate the position of train exactly without using the track circuits. Then, the contactless locating methods are added to ensure safety when the shunting sensitivity of the track circuit becomes low for the existing sections equipped with the track circuits. In this paper, a prototype of train locating device has been designed and tested, which utilizes the current phase difference upon magnetic field variation. The results show improved features of this method over the conventional track circuits method.

Keywords : Contactless train detection, Track circuit

초 록 열차의 위치는 전통적으로 궤도회로를 사용하여 검지하였으나 CBTC와 같은 최근의 열차제어 시스템은 지상신호설비를 최소화 하기 위하여 궤도회로를 사용하지 않고 열차를 검지하는 방식을 사용한다. 따라서 궤도회로를 사용하지 않고 열차의 정확한 위치를 검지하는 시스템에 대한 관심이 증대되고 있다. 또한 기존의 궤도회로 사용구간에도 단락감도 저하시 안정적으로 열차검지를 위하여 비접촉식 열차검지장치를 보완 설치한다. 본 논문은 비 접촉식 열차검지기 장치의 일종으로 자기장의 변화에 따른 전류위상차를 이용하여 열차검지시스템을 설계하고 시제품을 제작하여 열차검지 성능과 설계조건 등을 판단하였으며, 기존 궤도회로장치에 비하여 다양한 장점이 있음을 알 수 있었다.

주요어 : 비접촉식 열차검지, 궤도회로

1. 서 론

궤도회로는 열차검지를 위하여 전통적으로 사용하여 온, 철도신호에서 가장 중요한 부분이다. 궤도회로에 의해서 열차가 검지되기 시작하면서 열차의 속도향상과 안전을 위한 철도신호시스템의 개발이 이루어 졌다. 하지만 철도신호시스템이 지상신호방식에서 차상신호방식으로 변환하면서 열차를 검지하는 방식이 다양하게 변화하였다.

궤도회로를 사용하지 않고 열차를 검지하는 방식으로는 인덕티브 루프를 통한 위상변화를 이용한 열차검지방식과 차량의 차축검지장치를 통한 열차위치검지방식, RF 태그를 통한 열차를 검지하는 방식, 지상의 엑셀카운터를 통한 불연속 열차검지방식 등 다양한 기법들이 소개되고 있다[1].

불연속 열차검지시스템은 궤도회로의 차륜 단락에 의하여 특정 구간에 연속적으로 열차를 검지하는 방식 대신 특정 지점에 열차를 검지할 수 있는 열차검지 센서를 설치하고 열차가 블록의 시점 열차검지기를 통과하면 블록의 끝 열차검

지기를 통과하기 전까지 블록내에 열차가 존재하는 것으로 처리하여 열차를 검지하는 방식을 말한다. 따라서 연속적으로 열차를 검지하는 궤도회로보다는 안전성은 저하되나, 열차검지장치의 시공비용이 현저하게 절약되며, 궤도회로의 길이에 관한 제약이 없어진다는 장점이 있다.

또한 기존의 궤도회로와는 달리 열차검지기 설치구간에서 열차의 평균속도 측정이 가능함으로 건널목 제어장치와 같이 열차의 속도판단이 필요한 개소에 적용될 수 있다.

본 논문은 이러한 불연속 열차검지 시스템의 열차검지방식 중 자기장의 변화에 따른 전류위상차를 이용한 비 접촉식 열차검지 시스템을 설계하고, 시제품을 제작하여 열차검지 성능과 설계조건 등을 판단하였다.

2. 본 론

2.1 불연속 열차검지 장치

2.1.1 현황

불연속 열차검지장치는 열차의 위치를 특정 지점에서만 검지하는 장치로 1개의 폐색구간에 시점과 종점에 각각 열차검지장치가 설치되어 시점열차검지장치에서 열차가 검지되면 종점 열차검지장치가 열차를 검지하기 전까지 구간내에

*Corresponding author.

Tel.: +82-70-8855-1663, E-mail : scrho@naver.com

©The Korean Society for Railway 2012

<http://dx.doi.org/10.7782/JKSR.2012.15.6.604>

열차가 존재하는 것으로 연산하여 열차의 위치를 파악 하는 장치이다.

불연속 열차검지 시스템을 활용하는 방안으로는 역구내의 궤도회로를 구성하기도 하며, 궤도회로가 설치되기 어려운 차량검수고의 열차검지를 위하여 사용되기도 한다[8]. 또한 건널목 경보장치와 같이 특정 시점에서 열차를 검지하여 열차의 위치를 파악하고 열차의 속도를 파악할 필요가 있을 경우에도 사용된다. 또 열차축소검지장치와 같이 특정점에서 열차를 검지하여 열차를 진단할 필요가 있을 경우에도 사용된다.

현재 FRAUSCHER사에서는 Wheel sensor RSR 121, 122, 123, 180시리즈의 불연속 열차검지장치를 개발하여 오스트리아, 폴란드, 스위스, 스웨덴의 조차장 구내에 설치하여 사용하고 있으며, 독일과 오스트리아의 산업선 철도에 사용하였다. 또한 유럽의 중장거리 철도에도 사용하고 있다[2-6].

국내 철도의 경우도 신분당선의 구내에서도 엑셀카운터를 이용한 불연속 열차검지 시스템을 사용하고 있다. 신 분당선에 설치된 엑셀 카운터는 THALES사의 Zp30C로 SK30C 감지장치 헤드와 EAK30C 전자장치, Junction Box로 구성되어 있다. SK30C는 레일의 내측과 외측에 수신코일과 송신코일을 각각 2개씩 설치하여 각각 역 위상으로 동작하게 하여 1조(CT)의 검지코일은 열차가 검지되지 않았을 경우 ON 상태를 유지하고, 다른 1조(OT)는 OFF 상태를 유지한다. 열차를 검지기 내로 진입하면 차륜에 의하여 자계의 세기가 변화하여 CT는 OFF, OT는 ON 상태로 변화한다. 하지만 이 경우 교류 전철구간에서 전차선 귀선전류에 의한 자기장의 영향이 커질 수 있으며, 설치 시 케이블의 수가 늘어나고, 설치에 따른 부대설비 수가 증가하는 단점이 있다[6,7].

Fig. 1 Photo of the axel counter head and operation principle

2.1.2 불연속 열차검지장치 구성

본 논문에서 연구하는 불연속 열차검지장치는 차륜검지센서부와 접속함, 신호처리장치 등으로 구성되어 있다.

차륜검지센서는 자기장의 변화를 이용하여 열차 차륜을 검지하는 장치이고 접속함은 차륜검지센서에 전원을 인가하고,

열차검지신호를 생성하는 차륜검지센서 제어장치이다. 신호처리장치는 접속함을 통하여 수신된 열차검지신호를 처리하여 열차유무를 최종적으로 판단하는 장치이다.

Fig. 2는 불연속 열차검지장치의 구성을 나타낸 것이다.

Fig. 2 Configuration of discontinuous train detector

2.2 불연속 열차검지장치 센서

2.2.1 구성

불연속 열차검지장치의 센서는 접속함과 차륜검지 센서를 통틀어 센서라 할 수 있다. 차륜검지센서는 “口”자형 변압기의 코어를 상단부만 절단한 구조로 1차 코일과 2차 코일의 상단부는 공극을 통하여 결합하고, 하단부는 코어를 통하여 결합하는 구조로 되어 있다. 또한 1차코일과 2차코일을 연결하는 전기회로에 공진콘덴서 C를 첨가하여 직렬공진회로가 구성되도록 하였다. LC직렬공진 주파수는 열차를 검지하지 않을 시로 하여, 열차를 검지하지 않고 있는 평상시에 계속적으로 발진이 이루어 지도록 구성하여 자기회로 감시기능이 이루어지도록 구성하였다.

다음 식은 센서 주변의 자기장의 세기 H를 나타낸 식이다.

$$H = \frac{NI_0}{l} \quad (1)$$

$$H = \frac{B_f(l-l_g)}{\mu} + \frac{B_f(l_g)}{\mu_0} \quad (2)$$

여기서 B_f 는 회로전체의 자속밀도를 나타내며, l 은 전체 자로의 길이, l_g 는 공극의 길이를 나타내며, l_w 는 차륜 결합 시 센서와 결합한 차륜의 길이를 나타낸 것이다. μ 는 페라이트 자로의 투자율, μ_0 는 공기의 투자율, μ_w 는 차륜 결합 시 차륜의 투자율을 나타내고 있다.

이때 차륜이 센서에 결합하면 철에 의한 투자율로 인하여 투자율이 변화하므로 위 식은 아래와 같이 변화하게 된다.

$$H_r = \frac{B_f(l-l_g-l_w)}{\mu} + \frac{B_f(l_g)}{\mu_0} + \frac{B_f(l_w)}{\mu_w} \quad (3)$$

$$L = \frac{N\phi}{I_0} = \frac{NBS}{I_0} = \frac{N\mu HS}{I_0} \quad (4)$$

따라서 자기장의 세기 H 가 H_r 로 변화하면 인덕턴스 L 도 변화하게 되어 센서에 흐르는 전류의 위상이 변화하게 된다.

아래의 그림은 센서의 형상을 나타낸 것이다.

Fig. 3 Shape of train detection sensor

센서의 크기는 코어 중심에서 중심까지의 거리가 50[mm]이고 높이는 20[mm]이며 코일의 감은 횟수는 240회로 인덕턴스의 값은 각각 2[mH]로 제작하였다. 센서에 직렬 콘덴서 732[pF]을 연결하여 직렬공진회로를 구성하고 73[kHz] 12[V]의 구형파 전원을 인가하여 시뮬레이션을 수행하면 35[mm]높이 차륜과 차륜 결합 할 때의 자로와 차륜이 결합하지 않을 때의 자로의 변화가 발생함을 알 수 있다.

(a) Magnetic Flux density (b) Magnetic Field

Fig. 4 Magnetic analysis of train detector sensor at decoupled

(a) Magnetic Flux density (b) Magnetic Field

Fig. 5 Magnetic analysis of train detector sensor at coupled

위 시뮬레이션 결과로 센서에 차륜이 결합하면 자기장의 세기 H는 최고 40.3[A/m]에서 최저 6.12×10^{-5} [A/m]이고 자속은 최고 1.58×10^{-4} [T]에서 최저 7.69×10^{-11} [T]로 측정되었다. 또한 차륜이 결합하지 않을 시의 자기장의 세기 H는 최고 49.11[A/m]에서 최저 4.94×10^{-4} [A/m]로 측정되었으며, 자속 B는 최고 1.62×10^{-4} [T]에서 최저 6.2×10^{-10} [T]로 측정되었다. 위 결과에서 자기장의 세기 H가 증가하면 인덕턴스 L은 감소하고 H가 감소하면 L은 증가하므로 차륜결합시 센서의 인덕턴스는 차륜이 결합하지 않았을 경우의 인덕턴스 값에 비하여 증가하였을 것으로 예측되었다.

이는 차륜이 센서와 결합하면서 센서 자속에 의한 역기전력을 생성하여 역방향의 자기력선을 생성하므로 센서의 자기장의 세기를 감소 시키는 원인으로 작용한 것으로 해석된다.

2.3 불연속 열차검지장치 검지신호 발생회로

열차 검지장치의 검지신호 발생부는 센서에 73[kHz]의 구형파 전원을 인가하고 센서의 인덕턴스 변화에 의하여 열차의 유무를 판단할 수 있는 신호를 발생시키는 회로이다.

회로의 구성은 전원부와 기준신호 발생회로, 열차검지신호 발생회로, 열차검지회로 등으로 구성되어있다.

기준신호 발생회로는 비안정 멀티바이브레이터를 이용하여 12[V]의 직류전원을 73[kHz] 주파수의 구형파 전원으로 변환하여 센서에 인가할 수 있는 구조로 되어있다. 센서는 LC공진에 의하여 구형파 신호를 정현파로 변환하여 열차검지신호 발생회로에 인가된다.

열차검지신호발생회로는 비안정 멀티바이브레이터에서 ON Duty를 위한 충전 커패시터를 제거한 구조로 단안정 멀티바이브레이터와 같은 원리로 동작한다. 센서의 공진 전류에 의하여 TR을 ON/OFF하는 구조이나 열차를 검지하게 되면 인덕턴스의 증가에 의하여 전류위상이 변화하게 되어 공진 전류가 0점까지 떨어지지 않게 되어 TR을 OFF하지 못하게 되어 발진회로가 발진신호를 발생하지 못하게 된다. 따라서 열차가 없을 시에는 공진전류에 의하여 발진회로가 ON/OFF를 반복하나 열차를 검지하면 출력신호가 항상 LOW가 되어 열차검지를 나타내게 된다.

Fig. 6은 열차를 검지하지 않은 경우의 각파형을 나타낸 것이다. 그림에서 기준신호전압은 LOW일 경우 최소값이 320[mV]로 트랜지스터를 OFF시키는 전압으로 떨어져 열차검지신호 발생회로가 구형파 신호를 출력하여 열차가 없음을 나타낸다.

(a) Photo of the sensor (b) Output Waveform

Fig. 6 Output waveform of the train detector at decoupled

Fig. 7은 열차를 검지하였을 경우의 출력 파형을 나타낸 것으로 열차 차륜이 센서로부터 40[mm]거리에 놓이게 하였

(a) Photo of the sensor (b) Output Waveform

Fig. 7 Output Waveform of the train detector at coupled

을 경우 열차검지능력을 시험한 파형이다. 그림에서 기준신호전압이 최소 560[mV]이하로 낮아지지 않아 열차검지신호 발생회로의 TR을 OFF할 수가 없어서 열차검지신호가 LOW가 되어 열차가 있음을 나타내고 있다.

Fig. 8은 열차검지시와 열차를 검지하지 않았을 경우 센서에 흐르는 전류의 위상차를 측정한 것으로 전류 위상차가 792[nS], 즉 73[kHz]에서 약 18도 정도의 위상차가 발생함을 알 수 있었다. 열차검지신호발생회로는 정해진 센서 전류 위상에서 트랜지스터를 On/Off하는 회로이나 Fig. 8과 같이 센서전류의 위상이 변화하면 트랜지스터가 Off되지 않고 On 상태를 계속해서 유지하여 구형파 신호를 발생할 수 없는 상태가 된다. 따라서 열차검지신호는 구형파 신호가 아닌 직류신호로 유지하게 되어 열차를 검지하였음을 나타내게 된다.

Fig. 8 Phase different by coupled and decoupled on train wheel

불연속 열차검지장치는 레일에 부착하여 열차를 검지하는 장치로 전철화구간에서도 사용될 수 있다. 이 경우 전차선 귀선전류에 의한 고조파에 의한 열차검지신호의 간섭이 발생할 수 있다. 따라서 열차검지신호 발생회로에서는 구형파와 열차검지신호를 사용함으로써 신호처리장치에 열차검지신호를 전송할 때 발생할 수 있는 귀선전류 고조파에 의한 영향을 최소화할 수 있도록 하였다.

이와 같이 실험을 수행한 결과 열차검지 센서로부터 차륜과 약 40[mm]이격 거리에서도 열차를 검지할 수 있음을 확인하였다.

또한 발진주파수를 70[kHz]까지 상승 시킴으로 고속열차의 열차검지 안정성을 향상시킬 수 있을 것으로 사료된다. 센서의 중심간 거리가 약 40[mm]일 때 70[kHz]의 주파수 일 경우 열차속도 500[km/H]에서 약 20.7주기의 신호가 열차검지 시 발생되지 않으므로, 신호처리장치에서 약 20주기 이하의 무 신호는 기기 오동작으로 처리하여 열차검지의 신뢰성을 향상시킬 수 있도록 할 수 있다. 하지만 발진 주파수가 낮은 경우 기기 오동작과 열차 검지를 구분할 수 있는 주기값의 차가 적어 신호처리장치에서 오동작과 검지장치의 고장을 판단하는데 불리하다.

3. 결 론

열차검지는 철도신호에서 매우 중요한 요소이다. 하지만 궤도회로를 이용한 열차검지 방식은 오염이나 노반의 상태와 같은 외부적인 영향에 의하여 열차검지성능이 변화할 수 있다. 또한 기존의 궤도회로는 열차의 연속 검지는 가능하나 열차의 속도, 방향, 차량 편성수와 같은 열차 운행정보를 검지할 수 없다. 따라서 외부 환경변화에 무관하게 열차검지 성능을 일정하게 유지할 수 있으며, 열차의 속도, 방향, 차량편성정보와 같은 열차운행정보를 동시에 검지할 수 있는 열차검지 방식이 필요하다.

본 연구에서는 이와 같은 조건을 만족할 수 있는 열차검지장치를 설계하고 실험을 통하여 그 성능을 입증하였다.

시작품으로부터 40[mm] 떨어진 거리의 차륜을 검지할 수 있음을 확인하였고, 검지신호주파수를 증가시킴으로써 열차의 안정적 검지에 기여할 수 있음을 확인하였다. 또한 열차검지신호의 디지털화로 외부 노이즈에 의한 열차검지신호의 영향을 저감시킬 수 있을 것으로 사료된다.

향후 현장시험을 통한 기기의 온도 및 EMI/EMC에 관한 종합적인 시험이 이루어져야 할 것으로 사료된다.

참고문헌

- [1] Tony Godber (2010) Train Detection Principles, IRSE Australasia Technical Meeting : Perth.
- [2] James Clendon, John Skilton (2011) Axle Counter - The New Zealand Experience, IRSE Australasia Technical Meeting : Sydney.
- [3] Simeon Cox (2011) A Review of Axle Counter Application; Reset Restore Methods, Their History, Their Current Application and Future. IRSE Australasia Technical meeting : Sydney.
- [4] D.A.Norris B.E. (1993) Integrating an Axle Counting Function into the VPI Computer based interlocking, IRSE Integrated Axle Counter System.
- [5] John Gifford Firse, Trevor Moore Firse, Joe Borg (2007) Axle Counters-For Heavy Traffic Applications, IRSE Technical Conference; Brisbane.
- [6] Eugene Broderick, Stephen Lemon(2011) Case Study : Application of CBTC on DLR, IRSE Australasia Technical Meeting : Sydney.
- [7] Andreas Rottmann(2004), Why choose Axle Counters for Track Vacancy Detection, IRSE AGM and Technical Convention-Melbourne.
- [8] M.-C. Lee, Y.-H. Ko, M.-S. Kim, J.-W. Lee (2012), A Study on the Application of Virtual Track Circuit by Considering Software Fault Tolerance Techniques in Depot, *Journal of The Korean Society for Railway*, 15(2), pp. 122-128.

접수일(2012년 9월 6일), 수정일(2012년 10월 26일),
게재확정일(2012년 11월 6일)

Jae Sik Choi : khsrman@korail.com

Korail research Instituted, Korea Railroad. 240, Jungangno,
Dong-gu, Deajeon City, Korea

Baik Kim : whitek@ut.ac.kr

Department of Railroad Electrical & Electronics Engineering. Korea
National University of Transportation, 734-18, Wolam-dong,
Uiwang-si, Kyunggi-do, Korea

Sung Chan Rho : scrho@naver.com

Department of Railroad Electrical & Electronics Engineering. Korea
National University of Transportation, 734-18, Wolam-dong,
Uiwang-si, Kyunggi-do, Korea