ISSN 1975-8359(Print) / ISSN 2287-4364(Online)
The Transactions of the Korean Institute of Electrical Engineers Vol. 65, No. 5, pp. 895～901, 2016
http://dx.doi.org/10.5370/KIEE.2016.65.5.895

자기유도형 근접센서를 활용한 고속철도용 차륜검지센서 성능 평가

Performance Evaluation of Wheel Detection Sensor Using an Inductive Proximity Sensor for The High Speed Railway

이 광 희* · 이 종 현* · 서 기 범* · 윤 석 한†
(Kwang-Hee Lee · Jong-Hyun Lee · Ki-Bum Suh · Suk-Han Yoon)

Abstract - Nowadays, the axle counter has been developed to the wide range of the track circuit blocks as well as the wheel detection device. The axle counter, as becoming an important device for the high speed railway, must be guaranteed in accordance with the safety. With considering the safety and the high speed, performance evaluation a wheel detection sensor is described in this paper. To increase the safety, digital proximity sensor instead of analog is employed in the wheel detection sensor. Therefor the wheel detection sensor can minimize noisy signals caused by the harsh railway environments. And, to meet the high speed railway requirements, the performance of the wheel detection sensor is also successfully verified using the speed simulator at the velocity 500Km/h.

Key Words : Wheel Detection Sensor, Axle Counter, Digial Proximity Sensor, 500Km/h, Safety, High Speed Railway

1. 서 론

Axle counter는, 철도선로 중간에 일정 구간을 열차의 진입과 진출 지점으로 설정한 후 구간을 통과하는 열차 차륜 수를 계수하여, 열차가 그 구간을 완전히 통과하였는지 아니면 아직 그 구간내 존재하고 있는지를 판단하는 중요한 철도신호 제어 시스템이다[1,2]. 현재 대부분의 철도선로는 일정 구간에 궤도회로를 설치하여 그 궤도구간을 열차가 점유하고 있는지 판단하고 있으나 설치비용과 유지보수 비용이 점점 증가하여 axle counter로 대체되고 있다[3,4]. 그러나 궤도회로를 대체하는 axle counter는 열차운행의 안전성과 관련된 vital 정보를 처리해야하기 때문에 엄격하게 통제할 수 있는 기능들이 요구되고 있다[3].

그림 1은 axle counter의 개념적인 구조를 보여주고 있다. 먼저 선로변 장치로는 차륜검지센서가 있다. 차륜검지센서는 지금까지 다양한 형태로 개발되어 왔지만 최근에는 자기유도형(Magnetic inductive) 근접센서가 대세를 이루고 있다[3-5]. 그리고 제어기는 차륜검지센서의 출력을 받아 차륜이 검지되었는지 판단하고, 상위 장치인 Evaluator에게 차륜검지정보를 전달하는 장치이다. 기계실 장치로는 궤도회로 논리 기능과, 궤도구간이 "Clear" 혹은 "Occupied" 상태를 판단하는 기능과, 연동장치 인터페이스 기능이 있는 Evaluator가 있다.

그리고 비정상 상황을 위해 Reset 기능이 있어야하고, 전체 시스템의 diagnostic 기능을 갖고 있다. 또한 Evaluator는 소프트웨어 기능을 갖고 있기 때문에 위에서 언급한 기능 외에 여러 가지 제어기능과 감시기능을 구현할 수 있다. 본 논문에서는 500Km/h 고속철도에서도 적용이 가능한 차륜검지센서와 제어기 개발과 성능 검증에 관한 내용을 기술하였다.

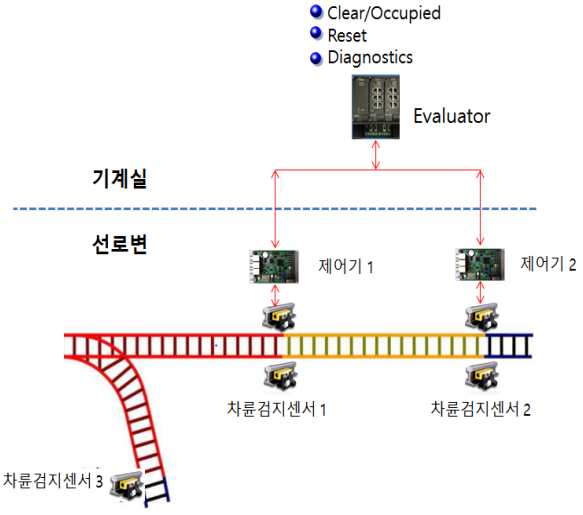


그림 1 Axle counter의 개념 구조
Fig. 1 Conceptual model of the axle counter

† Corresponding Author : Head, Research Center, Sehwa Co., Ltd., Korea.
E-mail : shy5406@sehwa.biz
* Railroad Electrical System Engineering Dept., Woosong University, Korea.
E-mail : khlee@sehwa.biz
E-mail : 7n8@korea.com
E-mail : kbsuh@wsu.ac.kr
Received : February 22, 2016; Accepted : April 22, 2016

Copyright ⓒ The Korean Institute of Electrical Engineers

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/)which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

1.1 신뢰성/안전성

지금까지 차륜검지센서들은 대부분 아날로그형 근접센서를 사용하고 있다[3-5]. 아날로그형 근접센서는 전기적 출력이 전압 혹은 전류 형태의 아날로그 값이기 때문에 정확한 값을 판단하기 어려울 뿐 아니라 전자파, 온도, 진동, 기후 등 철도선로 주변 환경 변화에 따른 잡음 오차가 크기 때문에 신뢰도가 떨어진다. 차륜검지센서의 신뢰도가 떨어지면 자연히 열차의 안전성 문제를 야기키고 철도시스템의 신뢰성을 떨어뜨리게 된다. 그래서 최근에는 axle counter의 안전성과 신뢰성을 높이기 위해 디지털 근접센서에 대한 연구가 활발하다[6,7]. 본 연구에서는 디지털 신호 출력이 가능한 자기유도형(magnetic inductive) 근접센서를 사용하였다.

그리고 안전성을 높이기 위해 동일 기능을 갖는 근접센서를 이중화하여 1개의 센서가 고장이 나도 다른 센서가 정상적인 기능을 수행하여 안전성을 높힐 수 있다. 본 논문에서는 2개의 근접센서를 하나의 차륜검지센서에 내장하여 이중화 기능을 개발하였다. 이중화된 차륜검지센서를 사용함으로써 하나의 근접센서가 고장이 나도 다른 근접센서가 차륜을 정상적으로 카운팅할 수 있도록 하였다.

1.2 고속화

철도운송은 다른 운송장비에 비해 청정에너지를 사용하고 운송 효율이 높다는 장점이 있어 점점 증가하고 있다. 특히 고속철도 시스템은 속도 향상을 위한 기술들이 지속적으로 개발되면서 급속히 발전하고 있다. 현재 우리나라 고속철도는 300Km/h으로 운행하고 있지만, 최근 개발된 고속열차인 해무는 421Km/h까지 속도 시험을 성공하였다.

세계적으로도 고속철도에 대한 국가간 속도 경쟁은 점점 가속되고 있다. 유럽은 500Km/h 성능 시험을 성공하였으며, 최근 중국은 600Km/h까지 가능한 고속열차를 개발하였다고 발표하였다. 이런 추세에 따라 차륜검지센서도 점점 고속열차의 차륜을 검지할 수 있는 기술 개발이 요구되고 있다. 현재 300Km/h 속도의 고속열차 차륜을 검지할 수 있는 axle counter는 개발되어 상용화되었고[3], 최근 미국에서는 450Km/h까지 가능한 axle counter를 개발하였다[4]. 국내에서는 axle counter는 아니지만 500Km/h 고속열차의 차축을 검지 할 수 있는 차륜검지센서를 실험실 수준에서 개발한 적이 있다[8].

2. 차륜검지센서 개발

2.1 자기유도형 근접센서

대부분의 자기유도형 근접센서는 그림 2와 같이 철도선로 옆에 부착하여 열차차륜이 근접센서 위를 통과할 때 공진 발진회로에 의해 생성된 자기장이 파괴되는 원리를 사용하고 있다. 차륜이 없을 때는 정상적인 자기장을 형성하다가 차륜이 근접센서 위를 통과하여 자기장에 변형이 일어나면 검파회로가 자기장 변형을 검지한다. 그리고 검지된 신호가 적분회로, 증폭회로, 출력회로를 통과하면서 최종적으로 차륜 검지 여부를 결정(출력)한다.

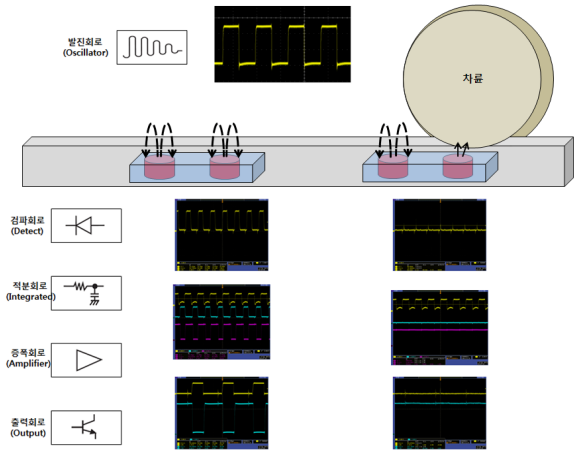
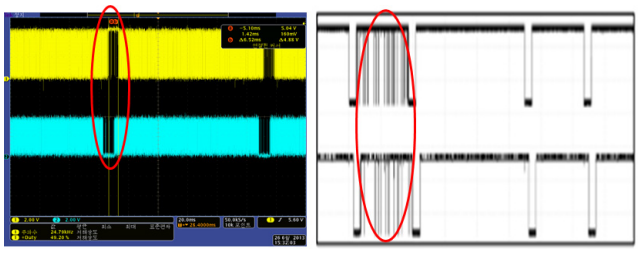


그림 2 차륜검지의 원리
Fig. 2 Principle of wheel detection

하지만 이런 아날로그형 근접센서는 철도선로 주변의 열악한 환경에서 발생하는 잡음의 영향으로 오차가 크고 신뢰성이 떨어진다. 특히 4계절 온도 변화가 심한 철도 선로 변에서는 심각한 문제를 발생시켜 차륜검지센서에 온도 보상회로가 추가되어야 한다[9]. 그림 3은 아날로그형 근접센서에서 발생하는 노이즈를 보여주고 있다. 그림 3(a) 경우 붉은 원으로 표현된 부분에 차륜이 검지되고 있지만 노이즈가 포함된 파형을 보여주고 있다[9]. 그림 3(b) 경우 역시 근접센서에서 발생하는 노이즈를 보여주고 있다[5]. 이 논문에서는 노이즈를 제거하기 위해 저대역 통과필터(LPF : Low Pass Filter)를 사용하였다.



(a) (b)

그림 3 아날로그형 근접센서의 노이즈 신호가 포함된 파형
Fig. 3 Noisy signal waveforms of analog proximity sensors

아날로그형 근접센서에서 발생하는 노이즈와 철도 선로변의 환경적인 요인으로 발생되는 문제를 극복하기 위해 본 연구에서는 디지털 출력이 가능한(zero rising time output) 자기유도형 근접센서를 사용하였다. 이 근접센서는 철도선로 옆에 부착되기 때문에 차륜까지의 거리가 최대 35mm까지 검지할 수 있어야 하고, 고속열차의 차륜을 검지하기 위해 센서의 스위칭 속도가 빨라야 하며, 철도선로에 대한 측면 자기장 내성이 강해야한다. 그

리고 온도변위(Temperature drift)가 최소화되어야 한다. 표 1은 자기유도형 근접센서의 주요 규격을 보여주고 있다.

그림 4는 디지털 자기유도형 근접센서의 출력 파형을 보여주고 있다. 파형이 high 상태 때가 차륜이 검지되는 상태이다. 좌측 그림의 파형은 일정한 주기로 차륜을 검지하는 것으로 보여주고 있으며, 우측 그림의 파형은 좌측 파형의 시간 축을 확대한 것으로 오실로스코프 중앙에서 zero rising time의 디지털 출력을 보여주고 있다.

표 1 자기유도형 근접센서(디지털)의 규격
Table 1 Specification of inductive proximity sensor(digital)

주요 항목	규격
Output Type	PNP(Digital)
Switching frequency	250Hz
Time delay	≤ 30 ms
센싱 거리	35mm
Temperature drift	± 10 %
IP 등급	IP67
Shock resistance	30g, 11ms

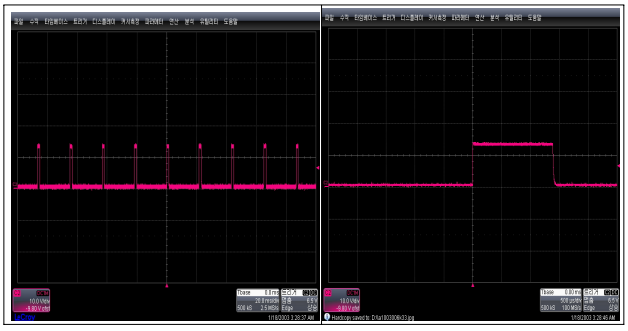
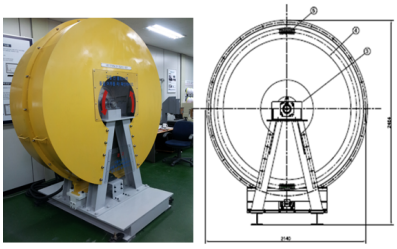


그림 4 자기유도형 근접센서 출력 파형(디지털)
Fig. 4 Output waveform of inductive proximity sensor(digital)

2.2 근접센서의 속도 시험

최고 500Km/h 열차 속도에서도 차륜을 검지하는 지 시험하기 위해 기존에 개발된 속도시험기[10]을 사용하였다. 이 속도시험기의 실험실에 설치된 실제 모습과 시스템 구성도는 그림 5와 같다. 속도시험기의 주요 구성품은 베이스 및 프레임, 구동 모터, 축, 회전원판, 차륜센서 설치대 및 위치 조절 기구, 제어대, 안전커버, 방진구이다.

속도시험기 장치는 구동 모터의 RPM을 변화시켜 목표 속도에 도달할 수 있도록 설계되었다. 고속 회전체 하단에 레일을 설치한 후 차륜검지센서를 고정시키고 목표 속도 설정을 위해 RPM을 조정하였다. 실제 차륜이 철도 선로 위를 진행할 때 자기장을 파괴시키는 금속부위는 직선 운동을 하지만 실험실 환경에서는 500Km/h까지 연속적인 시험을 위해서는 원운동으로 속도시험기를 구현하였다. 즉, 직선 운동의 차륜을 원운동 회전체로 구현하여 시뮬레이션 하였다. 구현 방법은 회전체 양 끝에 차륜에 해당되는 금속물체를 부착하여 차륜검지센서가 이 금속물체를 검지하면 차륜으로 카운팅하게 만들었다. 두 금속물체는 거리는 KTX 대차간격인 3m이다.



번호	명칭
1	Frame Ass'y
2	센서레벨링 플레이트
3	서보모터 브라켓트
4	차륜디스크
5	센서 감지바
6	구동축
7	보호커버
8	베어링 유닛서포트
9	서보 모터
10	커플링
11	베어링 유닛
12	센서 케이스
13	센서 취부대
14	레일

그림 5 속도시험기(최대 500Km/h 속도)
Fig. 5 Velocity simulator (500Km/h at maximum velocity)

그림 5의 속도시험기를 이용하여 근접센서의 속도 검증 시험을 한 결과는 아래의 그림 6과 같다. 속도시험기의 RPM을 300Km/h 속도를 유지하도록 조정한 후 디지털 출력 특성 시험을 하였다. 그 결과, 그림 6에서 보는 것과 같이 300 Km/h 속도에서도 근접센서의 출력 파형은 zero rising time을 보여 주는 거의 완전한 디지털 파형을 형성하며, 출력 신호가 high일 때 차륜(금속물체)이 검지되고 있는 상태를 나타낸다. 출력 신호 주기는 약 7.2개의 눈금이고 하나의 눈금이 4.95ms이므로 전체 주기는 약 35.64 ms이 된다. 즉, 이 주기는 KTX 대차 간격인 3m를 지나간 시간이므로 열차속도는 정확히 303Km/h (3m/35.64ms*3,600초)를 보여주고 있다.

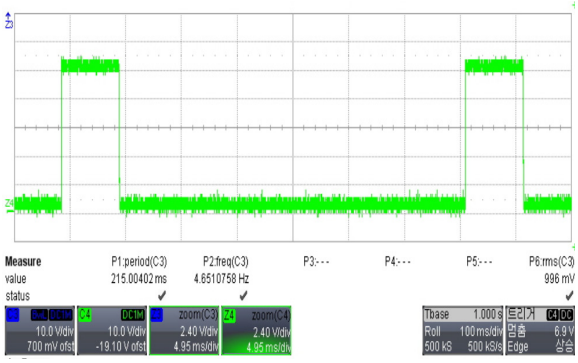


그림 6 근접센서의 차륜검지 속도(300Km/h 시)
Fig. 6 Wheel detection speed of the proximity sensor (at 300Km/h)

2.3 차륜검지센서 구현

차륜검지센서는 그림 7과 같이 2개의 근접센서를 사용하여 이중화 구조로 개발하였다. 그림 7의 좌측 그림 투명도에서 보는바와 같이 근접센서가 좌측과 우측에 2개가 내장되고 이 두 근접

센서 사이의 거리는 155mm이다. 그림 7 우측 그림의 하우징은 3D 프린팅으로 시제품을 제작하였다. 근접센서 1, 2가 내장된 모습을 보여주고 있다. 이 차륜검지센서를 사용하여 속도시험기에 설치(그림 8 참조)하여 100Km/h부터 최대 500Km/h까지 차륜검지센서의 출력 특성 및 성능 시험을 통해 검증하였다(그림 11 참조).

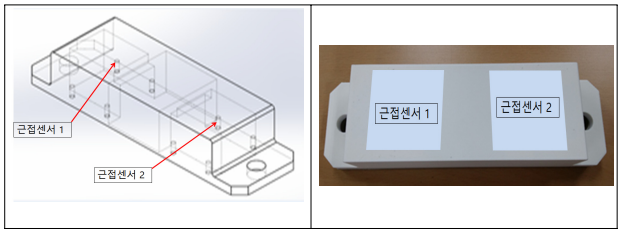


그림 7 차륜검지센서 (이중화 구조)
Fig. 7 Wheel detection sensor (Double Modular Redundancy)

그림 8은 차륜검지센서가 실제 속도시험기 설치된 모습을 보여주고 있다. 그림 8의 상단의 은색 차륜이 센서 위를 통과하는 모습을 보여주고 있다. 실제 철길 위에서는 차륜이 센서 위를 통과할 때 직선 운동으로 지나가지만 이 속도시험기는 차륜(회전체에 부착된 금속물체)이 원운동하면서 차륜검지센서 위를 지나가는 것을 시뮬레이션한 모습을 보여주고 있다.

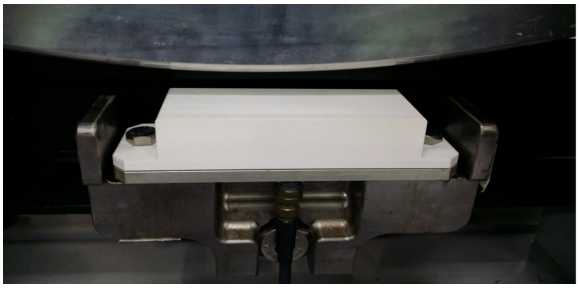


그림 8 속도시험기에 설치된 차륜검지센서
Fig. 8 Wheel detection sensor mounted on the velocity simulator

2.4 제어기 구현

차륜검지 기능을 구현하기 위해 제어기 보드를 개발하였다. 그림 9는 실제 구현된 보드의 실물 모습이고 그림 10은 블록다이어그램이다. MCU는 STM32F427(150Mhz)를 사용하여 차륜검지센서의 동작을 제어하고, 열차속도와 진행방향을 계산한다. 그리고 vital 정보인 차륜카운팅 값 2개(이중화된 센서 두개의 차륜카운팅 값)를 저장한다. RTC는 차륜의 통과 시간과 로그 및 통신 시간을 기록을 위한 내부 시계이며, 시리얼 통신(RS485, RS422, RS232, CAN)는 궤도회로용으로 사용 시 주변장치나 상위 시스템과의 통신을 위한 통신 포트이며, 릴레이는 궤도회로용으로 사용 시 궤도 점유 신호를 생성하기 위한 계전기이다.

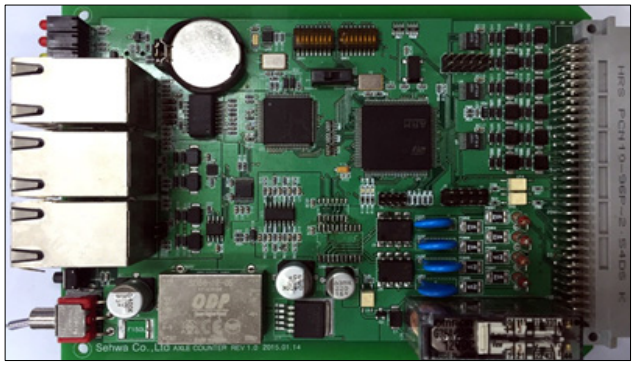


그림 9 제어기 하드웨어 보드
Fig. 9 Controller hardware board

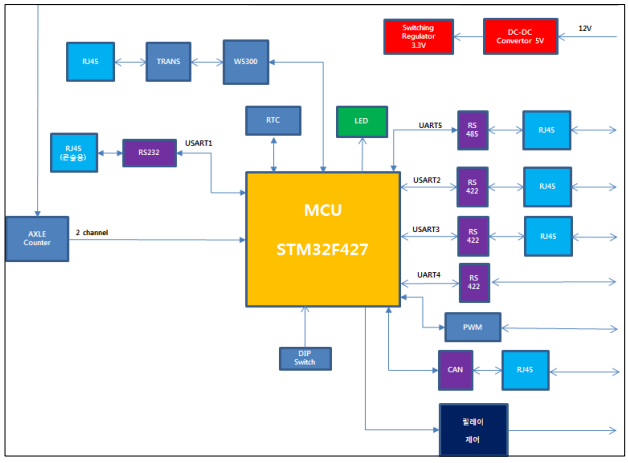


그림 10 제어기 보드의 블록 다이어그램
Fig. 10 Block diagram of the controller board

3. 차륜검지센서 및 제어기 검증

3.1 차륜검지센서의 검증

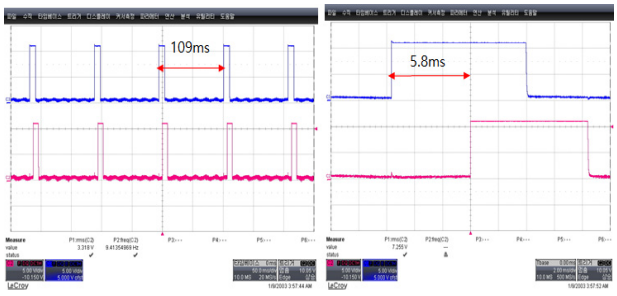
그림 11은 차륜 속도별 차륜검지센서의 출력 파형을 오실로스코프로 측정한 것이다. 그림 11의 (a), (b), (c)는 속도시험기의 속도가 각각 100Km/h, 300Km/h, 500Km/h 일 때의 파형이다. 파란색 파형은 차륜검지센서를 정면에서 봤을 때 첫 번째(왼편)에 있는 근접센서의 것이고 붉은색 파형은 두 번째(오른편)에 있는 근접센서 것이다. 파형이 high일 때 차륜이 검지되는 상태이며 신호의 주기는 KTX 기준으로 대차간격이 차륜검지상태(“high”로 표시)가 되었다. 하나의 눈금이 2ms이므로 근접센서 두 개의 사이를 5.8ms에 통과하는 것을 보여주고 있다.

그림 11(c) 500Km/h 인 경우를 분석해보면 눈금이 2.18이고 눈금 당 10ms이므로 차륜검지 주기는 21.8ms가 된다. 즉, 21.8ms 동안 대차간격인 3m를 진행하였다. 이를 다시 열차속도로 환산하면 약 495Km/h로 계산된다. 그림 11 (c)의 첫 번째(파

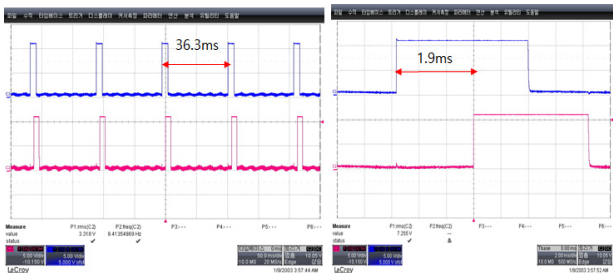
란색) 파형이 차륜검지상태("high"로 표시)인 후 2.4 눈금 뒤에 두 번째(붉은색) 파형이 차륜검지 상태("high"로 표시)가 되었다. 하나의 눈금이 500us이므로 근접센서 두 개의 사이를 1.2ms에 통과하는 것을 보여주고 있다. 차륜검지센서가 500Km/h 열차속도에서도 정확이 차륜을 검지하는 것을 보여주고 있다. 속도시험기의 오차, 오시로스코프 눈금 오차 등 모든 것을 감안하드라도 차륜검지 성능의 오차는 1% 미만인 것을 알 수 있었다. 인 3m를 진행하는 시간이다.

파형의 주기를 계산하면 속도시험기의 속도를 계산할 수 있다. 먼저 그림 11(a)의 100Km/h인 경우를 분석해보면 주기 당 눈금이 2.18이고 눈금 당 50ms이므로 차륜검지 주기는 109ms가 된다. 즉, 109ms 동안 대차간격인 3m를 진행하였다. 이를 열차속도로 환산하면 약 99Km/h로 계산된다.

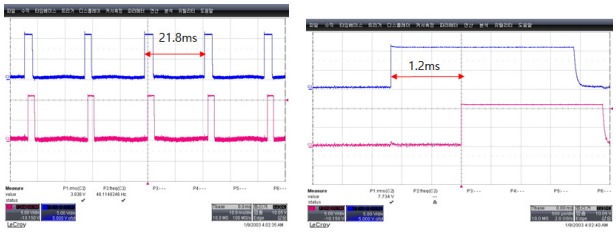
그림 11(a)의 오른쪽 그림에서 첫 번째(파란색) 파형이 차륜검지상태("high"로 표시)인 후 2.9 눈금 뒤에 두 번째(붉은색) 파 그림 11(c) 오른쪽 그림에서는 근접센서 두 개의 파형이 동일하지 않는 것을 보여주고 있다. 두 번째 센서의 파형이 첫 번째 센서의 파형보다 "high" 상태가 짧고 빨리 "low"으로 천이하고 있다. 이는 두 개의 근접센서가 서로 다른 특성을 가지고 있는 것처럼 보이고 있지만, 이런 출력 신호의 왜곡 현상은 직선운동을 하는 차륜을 원운동을 하는 속도시험기로 시뮬레이션하면서 생긴 왜곡 현상이다.



(a) 차륜속도(Wheel velocity) : 100Km/h



(b) 차륜속도(Wheel velocity) : 300Km/h



(c) 차륜속도(Wheel velocity) : 500Km/h

그림 11 속도별 차륜검지 속도와 성능 검증

Fig. 11 Wheel detection speed and performance verification for each velocity

그림 12는 이런 왜곡을 발생시키는 차륜 동작의 형상화시킨 것이다. 첫 번째(좌측) 센서는 금속물체(차륜)의 원운동 진입 시 검지하였고, 두 번째(우측) 센서는 금속물체(차륜)의 원운동 진출 시 검지하였기 때문이다. 따라서 첫 번째(좌측) 센서의 파형은 실제보다 "high" 상태가 길게 측정되고, 두 번째(우측) 센서의 파형은 실제보다 "high" 상태가 짧게 측정되었다. 실제 열차선로에서 열차가 진행하는 상황에서는 차륜이 직선 운동을 하기 때문에 두 파형이 동일하게 측정될 것이다.

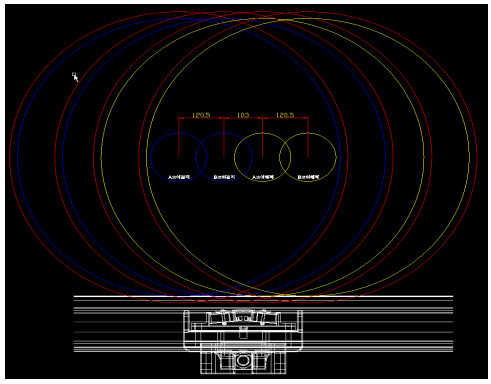


그림 12 차륜 운동의 시뮬레이션 모델

Fig. 12 Simulation model of wheel movement

3.2 제어기 기능 검증

그림 13은 구현된 차륜검지센서의 내부에 장착된 근접센서 2개 사이의 간격이 155mm 인 것을 보여주고 있다. 그리고 그림 14는 두 근접센서에 차륜이 검지되었을 때 측정파형이다.

제어기 보드는 차륜검지센서로부터 센서1, 센서2 신호를 받아 ① 차륜카운팅, ② 열차방향 결정, ③ 열차속도를 계산한다. 먼저 차륜카운팅 경우 MCU 내부에 있는 2개의 차륜 counter는 근접센서 신호 1, 2의 rising edge에서 각각 트리거되어 차륜카운팅 값을 증가시키고 저장한다. 그리고 열차방향 결정은 두 센서 신호 중 rising edge가 먼저 발생되는 센서를 기준으로 열차방향을

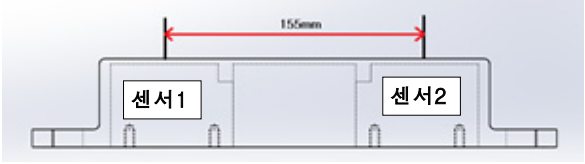


그림 13 두 센서 사이의 간격(155mm)

Fig. 13 Distance between the two sensors(155mm)

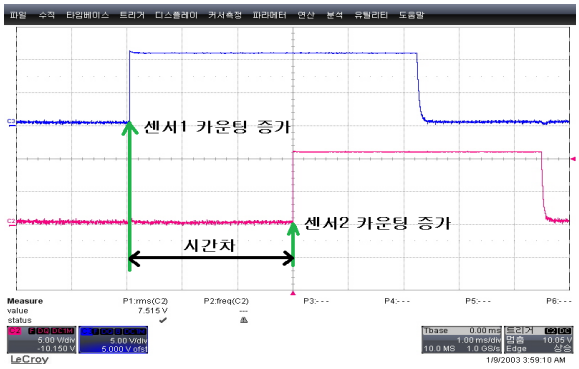


그림 14 차륜검지센서의 파형
Fig. 14 Waveform of wheel detection sensor

판단하게 된다. 즉, 센서 1의 rising edge가 먼저 발생하면 열차가 좌측에서 우측으로 진행하는 것으로 판단한다. 마지막으로 열차속도 계산이다.

열차속도를 계산하기 위해 64비트 속도 counter를 사용하였다. 이 속도 counter는 1 Mhz 클럭에 의해 매 클럭마다 값을 증가되다. 센서 1의 rising edge에서 속도 counter 1의 값을 저장하고, 다시 센서 2의 rising edge에서 속도 counter 2 값을 저장한 후, 두 속도 counter 값의 차이를 구하면 열차속도를 계산할 수 있다. 두 센서의 간격이 155 mm이므로 열차속도는 155mm / ((두 속도 counter 값의 차이) x 1 usec) x 3,600 Km/h가 된다.

그림 15는 실험실에 설치된 속도시험기에서 차륜검지센서의 차륜카운팅, 열차방향, 열차속도를 검증하는 시험 결과를 보여주고 있다. 이 그림에서 UP Speed = 5532usec에서 5532가 두 속도카운터 값의 차이이고, 이 값을 위 식에 대입하면 100.86767 Km/h 속도를 구할 수 있다.

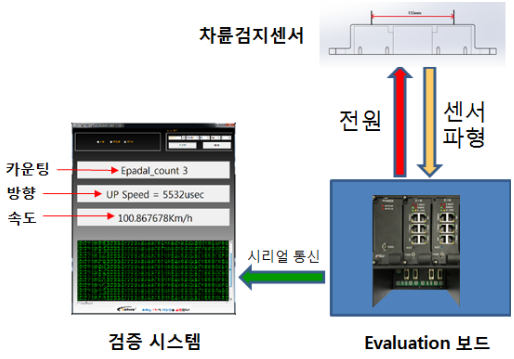


그림 15 Axle counter의 검증 시험
Fig. 15 Validation test of Axle counter

4. 결 론

Axle counter는 차륜검지뿐 아니라 불연속 제어 폐색구간의 궤도회로를 구현할 수 있어 궤도회로 대체 시스템으로 발전하고 있다. 하지만 axle counter의 기능이 중요해지고 복잡해짐에 따라 신뢰성/안전성 및 고속화에 따른 요구사항들이 충분히 고려되어야한다. 본 논문에서는 차륜검지센서의 신뢰성과 안전성을 높이기 위해 디지털 출력이 가능한 근접센서를 사용하여 아날로그 신호에서 발생되는 노이즈(그림3 참조)를 줄일 수 있었다. 시험 결과 근접센서의 디지털 출력은 차륜속도가 500Km/h 인 경우에도 zero rising time의 완전한 디지털 파형을 출력하고 있었으며, 이 신호를 이용하여 신뢰성과 안전성이 높은 차륜검지센서를 개발할 수 있었다.

그리고 500Km/h로 고속으로 달리는 열차차륜을 검지하기 위해 특별히 제작된 속도시험기를 사용하여 실제 고속열차가 최대 500Km/h까지 진행할 때 차륜검지센서는 정확히 차륜을 검지할 수 있는 것을 확인하였다. 그리고 제어기의 기능인 차륜카운팅은 물론 열차방향과 열차속도를 정확히 계산하는 것을 시험을 통해 검증되었다.

참 고 문 헌

[1] Paul Woolford and Anne Blakeney, Technical Requirements for Axle Counters, Railway Group Standard GK/RT0217, Railway Safety, Feb. 2003.

[2] BSI Standards Publication, Railway Applications - Compatibility between rolling stock and train detection systems -, Part 3 : Compatibility with axle counters, DD CLC/TS 50238-3-2010, 2010.

[3] Martin Rosenberger, “Future Challengers to Axle Counting Systems,” Institution of Railway Signal Engineers (IRSE), 2012.

[4] Honeywell, Train sensing that keeps you on the right track, MICRO SWITCH Sensing and Control, 2014.

[5] Jae-Young Park and Jin-Woo Choi, “A Study of the Apply Proximity Sensor for Improved Reliability Axle Detection,“ Journal of the Korea Academia-Industrial Cooperation Society, Vol. 16, No. 8, pp. 5534-5540, 2015.

[6] Vinay Polepalli and M Anil Kumar, “Solid State Block Proving By Axle Counter (Digital),” International Hot Box Detector for the Measurement Position Train Wheel,” KSME, Proc. of Spring, April 2014.

[7] V. Kasik and M. Tutsch, Simulation and Measurement of Axle Counter with FPGA, Department of Cybernetics and Biomedical Engineering, Technical University of Ostrava, 2012.

[8] Jae Sik Choi, Hie Sik Kim, Jun Young Go, and Jong Hyun Lee, “A Study on Design Axle Counter with Hot Box Detector for the Measurement Position Train Wheel,” KSME, Proc. of Spring, April 2014.

[9] InChang Yeo, SungChan Rho, and YongHo Kim, “Axle counter system oscillation stabilization circuit,” The

Korean Society of Railway, Proc. of Spring, May 2015.
[10] JinHo Shin, SukHan Yoon, JaeSik Choi, JaeWoo Lim, HyungTae Lim, and SooYoung Kwak, "Research on Development of HBD Velocity Simulation Device using a Rotor," The Korean Society of Railway, Proc. of Spring, May 2013.
[11] Benedetto Allotta, Pierluca D'Adamio, Alice Innocenti, Enrico Meli and Luca Pugi, "An innovative algorithm for train detection," IEEE, Conf. of Instrumentation and Measurement Technology, pp. 1057-1062, July 2015.
[12] V. Pavithradevi, D. Roopini, Rumana Vaseela Abdul Aleem, and V. Solai Shree, "Identification of the Presence of Train and its Formation," International Journal of Innovative Research in Science, Vol. 3, Special Issue 2, April 2014.
[13] Ali Zamani and Ahmad Mirabadi, "Analysis of sensor orientation in Railway axle counters, using Response Surface Methodology," Symposium on Advances in Science & Technology(SASTech), May 2011.
[14] S. C. Singhal, Maintenance Handbook on Digital Axle Counter, CAMTECH, Dec. 2008.
[15] Gerhard Grundnig and Christian Pucher, State of the art in wheel detection, White Paper, Frauscher Sensortechnik, June 2012.

저 자 소 개

이 광 희 (Kwang-Hee Lee)
1985년 한국항공대학교 항공기계학과 졸업(학사)
2007년 한국항공대학교 산업대학원 졸업(석사)
2014년 우송대학교 대학원 철도시스템 학과 박사과정
현재 ㈜세화 부사장

이 종 현 (Jong-Hyun Lee)
1983년 오산대학교 졸업(학사)
2014년 우송대학교 대학원 철도시스템 학과 졸업(석사)
2014년 우송대학교 대학원 철도시스템 학과 박사과정
현재 ㈜세화 대표이사

서 기 범 (Ki-Bum Suh)
한양대학교 졸업(박사)
현재 우송대학교 철도전기시스템학과 교수
연구분야 : ASIC 설계, 영상압축, 전자회로, 직접회로 설계

윤 석 한 (Suk-Han Yoon)
1977년 고려대학교 전자공학과 졸업(학사)
1985년 한국과학기술원 전산학과 졸업(석사)
1995년 고려대학교 전자공학과 졸업(박사)
현재 ㈜세화 부설연구소 연구소장