

Axle Counter System 국산화 개발을 위한 현장시험 결과분석

고준영*, 박재영¹
¹우송대학교 철도전기시스템학과

A Result Analysis on Field Test for Localization Development of Axle Counter System

Joon-Young Ko*, Jae-Young Park¹

¹Division of Railroad Electrical System Engineering, Woosong University

요약 열차위치 검지시스템에는 일반적으로 궤도회로장치가 거의 100여년을 안정적으로 사용되어 왔으나, 일반철도 구간의 역 구내, 측선, 해안선 구간 및 열차운행 빈도가 적은 지선 구간의 건널목 등에서는 녹 발생으로 궤도회로 단락불능에 따라 해소방안이 필요하다. 국내에서는 고속철도의 차축온도검지시스템과 통신기반열차제어시스템 분기부 일부에 차축카운터시스템이 사용되고 있으나, 해외의 경우 많은 국가에서 차축카운터 시스템이 없는 간선 및 지방 철도를 상상하는 것은 이제 불가능하고 지하철, 전차, 그리고 산업철도에서 상당한 증가가 확인되었다. 본 논문에서는 일반철도 구간의 역 구내 측선의 본선 및 분기부에 시험적용을 위해 기존 설치되어 있는 궤도회로와 병렬로 설치하여 로그분석을 하여 차축카운터시스템의 동작상태를 확인하였다. 그리고 오봉기지역 및 청주역 운행선 상 설치하여 연동장치와의 인터페이스 시험 및 이를 실용화하기 위한 시험결과를 분석하고, 시스템 안전측 설계, 제작 및 시스템 요구조건 등을 정립하였다.

Abstract A track circuit has used stably more than 100 years for detecting train position, but solution of track circuit sort circuit incapacity due to a rust is necessary for side line in station yard, coast line and level crossing for conventional line in rural line. Domestically, Axle Counter System(ACS) has partially used for Hot Box System for high speed line and turnout for CBTC system. In contrast, most of countries has used ACS not only trunk line but also rural line and its application has increased for metro, electric car and industrial railway. In this paper, we has verified the operating status of ACS which installed with existing track circuit through log analsis to implement pilot application in mail track and turnout in station yard. And interface test with interlocking system has conducted at Obong shunting yard, as well as Cheongju station and has analyzed test result. Based on a test result, we made fail safe design, manufacturing skill and established system requirement specification for the smooth operation and maintenance.

Keywords : Axle Counter System, Sensor, Sensor IF Box, Sensor IF module, PLC, Evaluator

1. 서론

열차의 안전 운행을 위해서는 열차의 정확한 위치를 판단하는 것이 제일 중요하다. 열차위치 검지시스템에는 일반적으로 궤도회로장치가 거의 100여년을 안정적으로

사용되어 왔으나, 그 동안 역 구내 측선, 해안선 구간 및 열차운행 빈도가 적은 지선 구간의 건널목 등에서는 녹 발생으로 궤도회로 단락불능에 따른 단락감도 개선방안이 필요한 시점이다.

또한, 전자 및 통신시스템의 발달로 근래에는 통신기

*Corresponding Author : Joon-Young Ko(Woosong University)
Tel: +82-10-3834-8130 email: gjy88@korail.com

Received July 14, 2015
Accepted September 11, 2015

Revised (1st September 3, 2015, 2nd September 8, 2015)
Published September 30, 2015

반 열차제어시스템이 상용화되었고 기존의 궤도회로를 사용하지 않고 무선을 통해 열차위치를 판단하고 있다. 일반적으로 통신기반 열차제어시스템은 단일선로를 운행할 경우 위치추적이 어렵지 않지만 분기기가 있는 곳이나 복선이상의 경우에는 위치추적을 명확하게 구분하기가 어려운 점이 있다.

상기 문제점을 해결하기 위해 국내외 사용되는 것이 차축카운터시스템(Axle Counter System)이다. 본 연구는 일반철도 구간의 궤도단락 불능해소 및 지선구간의 운영 및 유지보수 효율화를 위한 차축카운터시스템의 개발 및 실용화를 위해 개발단계에서의 설계 및 기술 요구사항을 검토하고 현장시험 및 설치결과 피드백을 통해 향후 국산화 및 실용화 시 고려할 사항 등에 대해 제시하고자 한다.

2. 궤도회로와 차축카운터 기술

궤도회로의 이용은 오늘날 여전히 널리 보급되어 있으나, 이 기술은 정보의 범위와 ETCS(Europe Train Control System), CBTC(Communication Based Train Control) 등 최첨단 열차제어시스템 도입 시 기술적 한계로 인해 최근 철도운영기관에서 궤도회로의 대체기술인 차축카운터 기술 도입을 검토하고 있다.

궤도회로 기술의 장점은 시스템에 리셋장치 또는 절차가 필요하지 않는 점이다. 반면에 궤도회로가 신뢰할 수 있는 레일단락의 확인을 20%에서 최대로 60%까지 보장하지 못하고, 실제로 일어날 수 있는 궤도결함의 대다수가 레일 단락이 발생하기 전에 이미 검지되고 있음으로 UIC(International Union of Railways)에서 보여준다. 또한 특정한 환경 상태 하에서 불충분한 자갈, 저항(먼지, 습기)으로 레일절연을 유지하기 어렵고, 낮은 열차 주파수(frequency)를 가진 레일을 달리는 경차량에 의한 신뢰할 수 없는 전기 접촉은 결함(가용성, 안전)의 원인이 될 수 있다. [1]

차축카운터 기술은 사용된 바퀴 센서의 품질이 각 차축카운터의 안전과 신뢰성을 결정한다. 아래 표는 최신 차축카운터 기술의 가장 중요한 특성과 궤도회로 원리를 비교하고 있다.

Table 1. Feature Comparison between Track Circuit and Axle Counter

Characteristics	Track Circuit	Axle Counter Sys.
Structure of rail	Electrical insulated	Non
Block Length	Under 2,000m	Not restricted
Recognition of rail short	Possible under special condition	Impossible
Countermeasure to track return current	Need to countermeasure (such as Mesh)	Non
Sensitivity of external influences (Overvoltage, Track current, etc)	High	Possible to correction with detecting wheel
Sensitivity of climate influences (Heat, Cold, Dust, etc)	High (Ballast resistance, Humidity, etc.)	Possible to correction with detecting wheel
Reset	Not necessary	Necessary (Various transformation, availability)
Function Range	Detecting unoccupied track	Detecting unoccupied track, direction information, velocity, etc
Modification	High Cost (Structure modification, rail junction)	Easy (Fastening Device of wheel sensor)
Maintenance cost	High	Low
Construction cost	High	High

3. 차축카운터시스템의 개요

차축카운터시스템(이하 ACS)은 전기적인 신호를 이용하는 궤도회로장치와 달리 자계신호를 이용하여 열차의 차륜을 검지하는 시스템으로, 자속의 변화를 전기적으로 바꾸어 레일상의 차륜의 수를 계수한다. 동작원리는 궤도의 일정구간에 설치되어 있는 차륜을 검지하는 휠센서를 통해 검지된 차륜이 들어오고 나간 수를 계산하여 그 구간에 열차의 존재유무를 결정하는 방법이다. 초기 자계를 이용하는 송수신장치센서를 두어 차륜을 검지하는 방법[Fig.1]을 주로 사용하였으나 최근 유도성 작동원리(Inductive operating principle)를 이용하는 휠센서[Fig.2]가 많이 사용되고 있다.

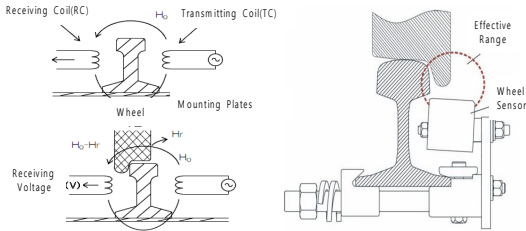


Fig. 1. Magnetic Type Fig. 2. Inductive Sensing Type

전기적인 신호장치를 이용하기가 어려운 긴 궤도구간, 궤도회로 단락불능 개소 및 통신기반열차제어시스템의 분기기 부분에 ACS를 설치해서 특정구간의 열차유무 검지를 하는데 사용되고 있으며 레일에 설치된 형태는 다음과 같다.



Fig. 3. Sensors installed on the rail

초기에는 레일을 두고 송수신기를 분리한 구조였지만 최근에는 송수신기능이 하나로 합쳐진 형태로 사용하고 있으며 단선일 경우 열차의 운행방향을 검지의 필요성에 의해 휠센서가 2개 또는 3개인 형태로 구성되어 있다.

ACS는 크게 자속의 변화를 전기적으로 바꾸는 휠센서 부분, 전기적 신호를 가지고 차륜의 수를 세는 카운터 부분, 일정구간의 차륜의 입출력 수를 계산하여 열차유무를 판단하는 Evaluator 부분으로 구성된다. 본 연구에서는 해외 ACS 제작사의 사양 및 기술을 검토하고 휠센서 부분을 제외한 장치는 국산화 개발을 통해 독자적인 모델로 구성하였다.

4. 차축카운터시스템 설계 및 개발

ACS의 사용처를 살펴보면 다음과 같다.

- (1) 전기적 신호가 힘든 궤도회로의 대응
- (2) 건널목용
- (3) 통신기반열차제어(CBTC)의 보조 궤도회로
- (4) 전기적 신호궤도회로의 대응

사용처(4)의 경우는 전체적인 궤도회로의 집합용으로 사용하므로 ACS 구성이 커지게 되며, 사용처(1), (2),

(3)은 단일 구간의 궤도회로와 같아 구성이 간단하다.

4.1 기본 요구사항

차륜은 열차의 감속 및 가속에 따라 레일과의 마찰이 생기게 되고 그에 따라 마모가 일어나며, 또한 열차의 진행 특성에 따라 좌우로 생기는 차축의 이동범위가 발생된다. ACS의 국산화 개발을 위한 설계의 기본은 휠센서가 차륜의 최대 마모시에도 안전하여야 하고, 또한 센싱하여야 하는 범위는 크고 넓게 하는 것이다. 차륜의 표준 최저치는 25mm이며 차륜의 최대 마모한계는 13mm이지만 이보다 가혹한 조건을 감안하여 여유분을 설정하고 휠센서가 손상이 되지 않아야 한다. 차축의 최대 이동범위는 Slack 30mm / R250m이며 표준궤간의 여유는 10mm 정도지만 차륜의 마모도 감안하여 센싱에 실패하지 않도록 설계하였다.

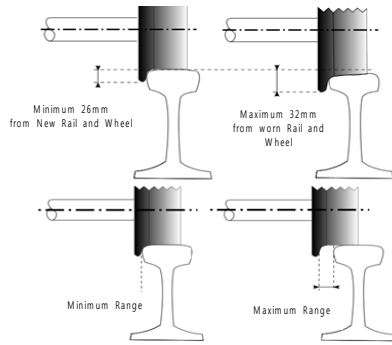


Fig. 4. Friction of Wheel and Movement of Axle

ACS를 축선이나 단선에서 사용할 경우에는 열차의 진행방향은 양방향으로 열차의 진행방향을 검지할 수 있도록 2개의 센서를 내장한 더블 휠센서 형태로 설계하였다.

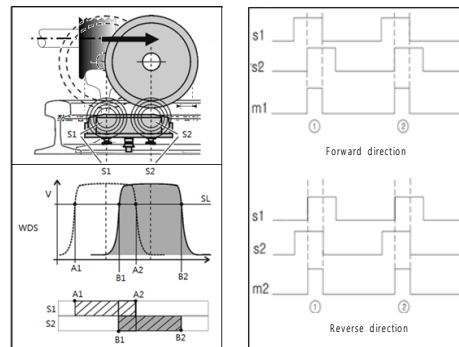


Fig. 5. Signal Analysis & Processing for wheel direction

센서 S1과 S2를 지나서 차량의 시간차에 따라 발생되는 신호펄스도 시간차가 생기게 된다. 차량계수장치에서 발생된 펄스의 시간차이를 판단하여 진행방향을 판단하고 차량의 계수를 한다. 계수의 방법은 S1-S2, 또는 S2-S1 모두를 지나갔을 때 하는 것으로 하여야 명확하다.[2]

차륜계수치의 로직은 일반적으로 운행선에 설치된 휠 센서에서는 연속적인 펄스로 입력되어 계수하는데 문제가 발생되지 않지만 본 연구의 대상인 일반철도 지선구간인 기지나 또는 입환을 할 경우에는 휠 센서의 위에서 정지할 수도 있고, 어느 하나에서만 신호가 발생할 수가 있다. 이러한 경우는 발생빈도가 낮지만 열차운영에 있어 무시할 수 없으며, 계수로직을 수정하여 처리하였다.

휠 센서는 열차의 운행에 따라 마모된 철분의 가루가 센서위에 쌓이게 되면 자속의 변화에 영향을 주기 때문에 센서의 설치 시 어느 정도 경사지게 설치하여야 한다. 설치형태는 레일에 구멍을 뚫어서 장착하는 방법과 브라켓을 사용하여 장착하는 방법이 있다.

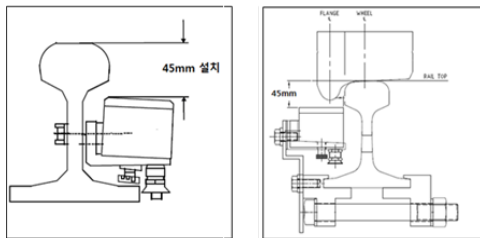


Fig. 6. Installation Type of Wheel Sensors

그러나 발생되는 진동에 의해 느슨하게 되는 경우와 외부충격에 의해 파손되는 경우도 센싱에 영향을 주게 되어 정확한 계수가 이루어지지 않으므로 이를 감지하여 시스템에 표시하여야 한다. ACS 구성품의 기본 요구사항 및 주요기능은 해외 제작사와 비교 검토하여 국산화, 성능 및 유지보수 향상을 위한 기능 및 요구사항을 정립하고 일반철도 역 구내 및 건널목에 적합한 ACS를 다음과 같이 제작하였다.

- 열차의 진행방향을 인지
- 휠 센서의 고정이상과 파손 인지
- 구간별 점유상태 및 계수값을 표시
- 계수 오류 시 변경 및 초기화 가능
- 현장설치 케이블을 최소화(PLC통신)
- 연동장치와 통신 또는 계전기접점으로 I/F

4.2 기본 구성형태

ACS의 기본구성은 휠센서, 계수장치(Sensor Interface Box), Evaluator(케도로직장치)로 한다. Evaluator와 SIB는 전자장치에 속하므로 DC 전원을 사용하며, Evaluator에서는 AC220V 입력전원으로 정류기를 거쳐 케도로직부(MPU)와 구간별 점유상태 및 계수값을 표시하기 위한 SIU(Sensor Interface Unit)에 DC 5V를 공급하고, SIB에는 전력선통신(PLC)을 위한 전원공급용으로 DC24V를 공급하도록 한다.[3]

케도로직을 담당하는 MPU에서는 외부장치와 인터페이스를 위해 통신이나 계전기출력보드를 통해 접점방식으로 처리한다. 또한 MPU와 SIU는 내부통신으로 CAN을 사용하였으며 전원의 안정화를 위해 2중 형태로 하였다. Fig. 7은 분기에 설치하는 ACS의 기본구성도를 보여준다.

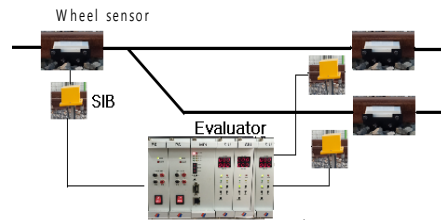


Fig. 7. Basic Configuration of ACS for Turnout

4.3 Fail-Safe 설계 및 유지보수성

(1) 아날로그 신호에 의한 고장안전측 설계

다음과 같이 차축검지처리장치의 아날로그 신호에 의한 전류범위에 따라 열차점유 및 비점유, 차륜센서의 고장상태를 진단할 수 있도록 설계하여야 한다.[4,5]

- 1) Range 1 : 열차가 없는 상태
- 2) Range 2 : 레일로 부터 센서 탈락 상태
- 3) Range 3 : 열차가 점유한 상태
- 4) Range 4 : 케이블 절손, 구성품 결함상태

(2) 디지털신호에 의한 고장안전측 설계

다음과 같이 차축검지처리장치의 디지털논리조건에 의해 고장안전측으로 동작 하도록 설계하여야 한다.[6,7]

- 1) 진입, 진출하는 차량의 차축카운터 비교 및 정보를 표시하되 일치할 경우에만 개통표시, 불일치할 경우 점유 및 고장으로 표시하여야 한다.

- 2) 이례사항 발생 시 반드시 현장 확인 후 시스템 초
기화 의무
- 3) 연속으로 최소 2개 차측 검지 시 열차인식

(3) 유지보수성

처리장치내부에는 기능상태, 고장상태, 시험을 수행
할 수 있는 모니터를 수용하여야 한다.

5. 현장설치 결과분석

차측카운터시스템의 설계사양 및 기본 기술 요구사항
(SRS)를 정립하고, 일반철도 구간의 현장시험을 국내에
서 입환이 가장 많고, 환경 제약이 심한 경부선 오봉기지
역에서 시행하였다. 센서 6개를 이용한 2개 궤도회로(4T
및 5T)와 분기기(36호, 65호의 35T 및 58T)에 시험설치
를 하였다.

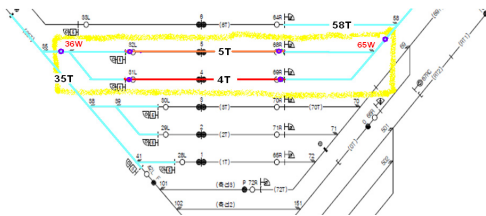


Fig. 8. ACS Pilot Test at O-bong station

오봉기지역에 설치한 궤도로직장치의 ACS 로그를
분석한 결과, 주행 시에는 휠 카운터의 에러가 발생치 않
았으나 센서 위에 열차가 정지하였을 경우에는 차량의
추가나 분리시 충격에 의해 순간적으로 진행방향이 왕복
을 하는 경우가 발생하는 것을 알 수 있었으며, 이에 내
부 SW로직을 보완하여 휠카운터의 오류를 방지하였으
며, 이후 정상적으로 동작함을 확인하였다.

날짜	열차진행시간	동작상태									
		센서(북)			센서(남)						
		351	352	353	35T	4T	5T	58T	653	652	651
10월 01일	11:35	114			14	0	100	0			
10월 01일	11:38				112	2	0	112	0		
10월 01일	11:41		2		0	0	113	1			
10월 01일	11:45				0	0	113	1		1	
10월 01일	11:49				2	0	112	0		1	
10월 01일	11:53		2		2	0	112	0			
10월 01일	11:56		84		16	0	28	0			
10월 01일	11:59		28		16	0	0	0			
10월 01일	11:55	102			12	0	0	0			
10월 01일	11:35	12			0	0	0	0			
10월 01일	1:57				0	0	0	6			6
10월 01일	1:58				0	0	6	0			6
10월 01일	1:59	6			6	0	0	0			
10월 01일	1:59	6			0	0	0	0			
10월 01일	4:18	126			16	0	110	0			
10월 01일	4:18		116		10	0	116	0			
10월 01일	4:19		4		6	0	120	0			
10월 01일	4:19	4			2	0	121	3			
10월 01일	4:19		2		2	0	121	3			3
10월 01일	4:19	4			0	0	121	5			
10월 01일	4:19	2			0	0	121	5			

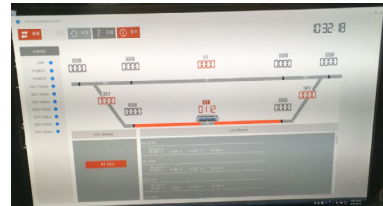


Fig. 9. Display and Log data of Pilot Test

위 화면에서 적색 표시는 궤도점유를 나타내고 수치는
궤도에 남아있는 휠 카운터를 표시한다. 4T와 5T는
일반 궤도이며, 35T와 58T는 분기기의 궤도이다.

오봉역에서 기본적인 기능시험을 완료하고 연동장치
와의 인터페이스 시험을 위해 청주역 53호 분기기에서
ACS 추가 현장설치 시험을 하였다. 연동장치와 연계시
켜 동작하도록 계전기구동모듈과 계전기를 추가로 설치
하여 연동장치로그와 비교할 수 있도록 하였다.



Fig. 10. ACS interfaced with Interlocking System at Cheong-Ju station

또한, 역무실 운영자가 ACS의 동작상태를 볼 수 있
도록 운영실의 표시제어부의 화면을 수정하였다. 청주역
에 설치한 궤도로직장치의 로그를 분석한 결과, 열차운
행 시 진동에 의해 고정핀이 풀리는 경우가 일어나 휠
카운터의 오류가 생긴 경우가 발생되었다. 이를 보완하
기 위해 고정핀의 개선 및 센서의 탈착 및 센서 이상 시
에 Fail-safe 동작이 가능하도록 근접센서 및 Fail-safe
회로를 추가하여 시험 설치하였으며 정상적으로 동작하
는 것도 확인하였다.

출력기간 : 2015.03.26 00:00:00 ~ 2015.03.26 23:59:59				
출력일시 : 2015.03.30 15:11:06				
일시	분류	번호	내 용	
03.26 14:50:03.42	동작	132	AXLE카운터 계전기 낙하	
03.26 14:50:04.32	동작	420	5SAT 점유	
03.26 14:50:21.02	동작	131	AXLE카운터 계전기 여자	
03.26 14:50:21.22	동작	441	5SAT 복구	
03.26 15:22:21.03	동작	132	AXLE카운터 계전기 낙하	
03.26 15:22:21.93	동작	420	5SAT 점유	
03.26 15:22:39.23	동작	131	AXLE카운터 계전기 여자	
03.26 15:22:39.73	동작	441	5SAT 복구	
03.26 16:42:46.66	동작	132	AXLE카운터 계전기 낙하	
03.26 16:42:47.56	동작	420	5SAT 점유	
03.26 16:42:58.56	동작	131	AXLE카운터 계전기 여자	
03.26 16:43:00.36	동작	441	5SAT 복구	
03.26 16:49:21.56	동작	132	AXLE카운터 계전기 낙하	
03.26 16:49:22.26	동작	420	5SAT 점유	
03.26 16:49:40.56	동작	131	AXLE카운터 계전기 여자	
03.26 16:49:40.96	동작	441	5SAT 복구	
03.26 16:50:50.96	동작	132	AXLE카운터 계전기 낙하	
03.26 16:52:51.66	동작	420	5SAT 점유	
03.26 16:52:57.36	동작	131	AXLE카운터 계전기 여자	
03.26 16:52:59.16	동작	441	5SAT 복구	
03.26 17:51:34.87	동작	132	AXLE카운터 계전기 낙하	
03.26 17:51:35.27	동작	420	5SAT 점유	

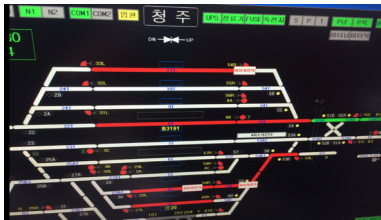


Fig. 11. Display Monitor of Interlocking System interconnected with ACS at Cheong-Ju station

또한, 센서의 탈착 및 센서 이상시에 Fail-safe 동작이 가능하도록 근접센서를 추가하여 설치하였으며 정상적으로 동작하는 것도 확인하였다.

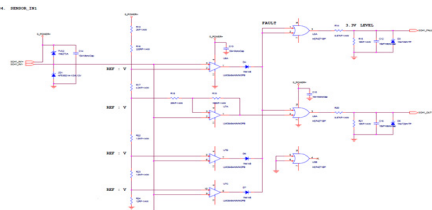
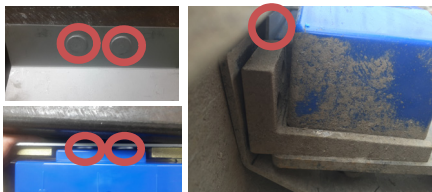


Fig. 12. Complimentary Circuit of Jig and Sensors for Fail-safe Operation

위 그림에서 적색원으로 나타낸 부분이 센서가 레일에서 탈착이 되었을 경우 Fail-safe 동작이 되도록 한 지그 및 보완회로이다.

현장설치 시험의 결과는 아래와 같으며 현재까지 정상동작하는 것을 확인하였다.

Table 2. Field Test Outline and Operation Status

Classification	Period	Operation	Remarks
O-Bong	'14.08.13~15.04.30	Normal	Demolition('15.09)
Cheong-Ju	'15.02.01~15.06.30	Normal	Demolition('15.09)

6. 결론

최근 신호시스템은 전자기술과 통신기술 및 소자의 발전속도 사이클이 엄청 빠르게 진행되고 있다. 그러나 철도신호시스템은 안전성이 가장 중요하여 새로운 제품 및 국산화된 제품의 경우는 시험실 시험이 끝나더라도 현장시험 시에는 철도환경에 따라 요구사항의 변경 및 보완이 발생한다. 특히 철도신호시스템은 상호 연동되어 동작하고 타 시스템과의 인터페이스 시험은 반드시 검증되어야 한다.

차축카운터시스템은 일반철도 구간의 역 구내, 측선 및 지선 등 녹 발생으로 인한 단락불능 감소 및 전기적 신호를 사용하기가 어려운 곳에서 필수적인 장치이고, 최근 열차신호시스템인 ETCS, 통신기반제어시스템(CBTC)에서도 반드시 필요한 장치이다. 아울러, 장기적으로는 지선 구간의 궤도회로 대응으로 유지보수비 및 운영비의 감소로 Cost-Effective 유지보수 실현도 가능할 것으로 예측된다.

본 연구를 통하여 차축카운터시스템 개발 및 현장설치를 통해 한국철도 환경에 적합하도록 Fail-Safe 및 유지보수성 향상을 고려한 설계로설비의 신뢰성 및 안전성이 확보되었다고 판단되며 국내기술을 통한 개발품의 실용화 및 제작-공급 및 유지보수를 할 수 있게 되었다. 향후 일반철도 구간에서 현장시험을 확대하여 보다 신뢰성 있고 안전적인 성능확보, 그리고 다양한 현장의 환경조건 및 사용자 요구사항을 반영하여 해외시장에서도 경쟁할 수 있도록 시스템 최적화가 필요할 것이다. 그러나 RAMS(Reliability, Availability, Maintainability, Safety) 인증, Fail-Safe 설계확인 등 안전성의 검증 및 인증에는 많은 비용이 소요되므로 이를 위해서는 정부와 산학연 상호 협력을 통해 실용화 및 국산화의 시기를 앞당겨야 하겠다.

References

- [1] A Study on the Solution of Track Circuit Short Circuit Incapacity
 - [2] Acceptance of the axle counting system ACS2000, Frauscher
 - [3] Digital Axle Counter, ALTPRO
 - [4] Axle Counting System, TIEFENBACH
 - [5] NS-MSDAC System Specs, Nippon Signal
 - [6] EBI Track 2000, Axle counter system of SOL-3 type, Bombardier
 - [7] Teaching Notes on Axle Counter & IBS Signal & Telecommunication training Centre, Byculla, Mumbai (ISO 9001-2000 Certified)
-

고 준 영(Joon-Young Ko)

[정회원]



- 2010년 2월 : 충남대학교 산업대학원 전기공학과(공학석사)
- 1988년 2월 ~ 2014년 10월 : 철도청 및 한국철도공사 신호제어처장
- 2014년 11월 ~ 현재 : 한국철도공사 행정감사처장

<관심분야>

신호제어, 무선통신기술, 제어계측

박 재 영(Jae-Young Park)

[정회원]



- 1996년 8월 : 고려대학교 산업대학원 전기공학과 (공학석사)
- 2007년 2월 : 서울산업대학교 철도전문대학원 철도전기신호공학과 (공학박사)
- 1970년 1월 ~ 2007년 2월 : 철도청 및 한국철도공사 오송고속철도 전기사무소장

- 2007년 3월 ~ 현재 : 우송대학교 철도전기시스템학과 교수

<관심분야>

자동제어, 지능형시스템, 제어계측
