

DC 궤도회로의 효율적인 운용방법에 대한 연구

(A study on efficient operation of DC track circuit)

장동완* · 전태현**

(Dongwan Jang · Taehyun Jeon)

Abstract

A track circuit is a critical piece of equipment that allows the existence of the trains on the track to be detected. Train detection is very important for the signal safety equipment. It allows for the confirmation of a train's location, the locking of switch points, the coordination of safe distance between trains, and the advance notice of a train's arrival. Track circuits can be powered by AC or DC. The DC track circuits are usually used on non-electrified tracks. On these tracks, many signal errors can be caused by lightning or problems with the power source. These problems can also cause damages to the rectifiers which must be repaired or replaced, promptly. This issue is especially problematic in the summer because of the higher frequency of thunderstorms. Issues with track circuits also cause problems for other equipment, such as railroad crossings and switch points. This further disrupts the safe operation of trains. This study aims to enhance maintenance efficiency and improve safety by utilizing parallel operation and multiplexing of a DC track circuit as well as installing an external surge protector. The experimental results on the operation of the proposed method is also presented.

Key Words : DC Track Circuit, Parallel Operation, Signal Safety Equipment

1. 서 론

철도에서 사용되는 궤도회로는 궤도구간에 열차가 존재하면 차륜이 레일을 단락시켜서 열차의 존재를 판단하는 회로이다[1]. 궤도회로는 현재 사용하는 철도 신호보안 장치의 기본이며 궤도회로 조건에 의해 연동장치, 신호기 장치, 선로 전환기 장치 등이 모든 설비와 연동하여 동작을 한다. 이러한 궤도회로는 신호보안과 관련된 다양한 시스템의 동작에 필수적인 제공하는 기본 장치인 만큼 정확한 열차 유무에 대한

* 주저자 : 서울과학기술대학교 NID융합기술대학원 박사과정

** 교신저자 : 서울과학기술대학교 전기정보공학과

* Main author : Seoul National University of Science and Technology

** Corresponding author : Seoul National University of Science and Technology

Tel : 02-970-6402, Fax : 02-978-2754

E-mail : thjeon@seoultech.ac.kr

접수일자 : 2013년 11월 4일

1차심사 : 2013년 11월 9일, 2차심사 : 2013년 12월 8일

심사완료 : 2013년 12월 25일

신호의 제공은 매우 중요한 요구 조건이다.

궤도회로를 구성하는 기기는 전원장치, 한류장치, 레일절연 및 궤도계전기로 구분된다. 주로 사용 전원, 회로 구성, 레일절연에 따라 분류한다[2]. 사용 전원에 따른 궤도회로 분류는 직류, 교류, 정류, 코드, 가청 주파수 등으로 구분된다. DC 궤도회로는 직류전원을 이용한 궤도회로로 직류 궤도계전기를 사용한다. DC 궤도회로의 전원은 정전에 대비하여 부동식 충전방식을 사용한다. 이는 평상 시 축전지에 충전된 전원을 정전이 되었을 때 사용하기 위해서이다[3]. 한국철도공사 관내 DC 궤도회로는 총 1,834개소이며, 경원선 소요산~백마고지간 DC 궤도회로는 147개가 설치되어 있다[4]. 2013년 1월부터 8월까지의 경원선 동두천~신탄리간 장애 현황을 보면 총 22건이며, 그중 정류기 불량으로 인한 장애가 13건으로 약 60%의 원인이 되고 있다. 최근 자료에 의하면 1년간 궤도회로 장애처리 및 유지보수를 위해 걸린 시간은 총296시간으로 이를 위하여 상당한 양의 인적 및 물적 자원이 소요되는 상황이다.

특히 DC 궤도회로는 낙뢰 및 집중호우가 많은 여름철에 집중되고 있다. 이로 인한 건물목 보안장치, 연동 폐색장치에 영향을 주어 열차 운행에 지장을 초래하고 있다. 현재 철도에서 사용하는 궤도회로의 경우 전철구간에는 AF 궤도회로와 임펄스 궤도회로가 사용되며 AF 궤도회로의 경우 모델링 분석을 통한 특성 연구 등 다양한 연구가 진행되고 있고 임펄스 궤도회로의 경우 공동 접지구간에서의 오동작에 대한 연구가 진행된바 있으나 비전철구간에서 사용하는 DC 궤도회로의 경우는 현재까지 특별한 연구결과가 없다.

본 논문에서는 현재 경원선 동두천~백마고지간 등 비전철구간에 사용하는 DC 바이어스 궤도회로의 운용 방식에 대한 효율적인 방법을 제시하고자 한다.

2. DC궤도회로의 이론

2.1 DC궤도회로의 원리

DC 궤도회로는 철도의 궤도가 형성하는 일종의 전기 회로로서, 이는 전원장치, 한류장치, 계전기 등 그림 1과 같이 구성되어 있다.

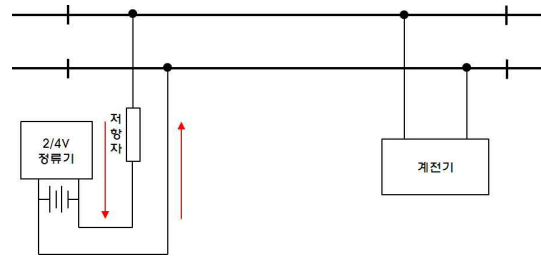


그림 1. DC 궤도회로의 구성
Fig. 1. Configuration of DC track circuit

전원부는 각 궤도회로마다 설치되는 것으로서 DC 궤도회로에서는 2/4V 정류기와, 2V36Ah 축전지를 사용한다. 궤도 단락 시 전원장치에 과전류가 흐르는 것을 제한하기 위한 한류장치(저항자, 초크), 인접궤도회로와 전기적으로 절연하기 위한 레일절연, 계전기로 구성되어 있다[2]. 궤도회로는 레일을 적당한 구간으로 구분하여 인접 궤도회로와 독립된 회로를 구성하기 위하여 경계부에 레일절연을 설치하고 궤도이음매 부분을 접속저항을 적게 하기 위하여 본드로 접속한다. 한쪽에는 직류전원을 부하쪽에는 궤도계전기를 연결하여 전기회로를 구성한다. 전기적으로 구성된 궤도회로는 평상 시 여자상태 이나, 열차점유 시 차륜에 의해 단락되어 궤도계전기는 무여자되고 그 조건으로 열차점유 현황 및 다양한 신호보안 장치와 연동한다. DC궤도회로의 자세한 규격은 표 1과 같다.

표 1. DC 궤도회로의 규격
Table 1. The specification of DC track circuit

구분	규격
전원장치	정류기 : 2/4V-5A, 축전지 : 2V36Ah×2 직렬
한류장치	25Ω-100W
레일절연	접착식 절연레일, 절연체 이음매판
레일본드	케이블본드 B22-1200, 1500
연결선	CV 7/2.0×2C, CVV 7/1.6×2C
궤도계전기	정격전압 : 1.42V, 동작전류 : 65.5mA, 낙하전류 : 45.7mA, 권선저항 : 17.9Ω, 접점수 : 2F1B

2.2 DC궤도회로의 응용

DC궤도회로의 경우 전차선이 없는 지선에서 많이 설치되어 있으며, ATS 장치, 건널목 보안장치, 선로 전환기 등에 연동되어 사용된다.

ATS(Automatic Train Stop)장치는 궤도회로 조건에 의한 신호현시 상태에 따라 제어계전기함 내부의 계전기/콘덴서와 ATS지상자를 통하여 제한속도 정보를 열차로 전송하는 장치로, 신호현시상태에 따른 속도를 무시하고 운행될 경우 열차를 자동으로 정지시키는 신호보안 장치이다[5]. 철도 건널목 보안장치는 철도와 도로가 평면 교차하는 곳에 설치되어 열차가 건널목을 통과하는 일정시간 전에 궤도회로나 그 외의 설비를 통해 열차의 접근을 통행하는 모든 차량과 보행자에게 알려주어 정지 또는 안전을 확보하게 함으로써 사고를 방지하기 위한 설비이다[6]. 또한 선로전환기의 경우 전기적, 기계적으로 쇄정을 하는데 전기적인 쇄정, 해정을 하는 역할을 수행하는 것이 궤도회로이다. 이처럼 궤도회로는 거의 모든 신호보안 장치 조건에 기본이 되며 다양하게 응용되고 있다.

3. DC궤도회로의 효율적인 운용방안

3.1 DC궤도회로의 단일운용

제안된 운용방안의 하나의 적용 예로서 본 논문에서는 경원선 신탄리역의 설치 예를 들어 설명한다. 이 장치에서는 1T, 2T, 3T, 4T, 5T 5개의 궤도회로를 하나의 전원으로 단일 구성하였다. 궤도계전기의 정격 전원이 1.42V, 동작 전류가 65.5mA, 낙하전류가 45.7mA이며, 철도 신호보안 장치 유지보수 규정에 의해 궤도전압을 맑은날 정격값의 1.1~1.3배가 되도록 궤도상의 전압은 1.56V~1.85V로 조정해야 한다[7]. 저항자 이외의 저항개소는 선로, 전선로, 침목이며, 신탄리역의 경우 목침목을 사용한다. 목침목의 저항이 200Ω이하인 경우에 목침목 간격마다 누설 전류가 발생하여 단락 전류 및 궤도회로 중단의

전압이 감소하여 열차가 정보를 수신하지 못한다[8]. 실제 측정결과 목침목으로 인한 누설전류의 양이 없었다. 이에 대한 등가회로는 그림 2와 같다. 전원부는 2/4V 정류기보다 높은 5V정류기를 사용했으며, 현장에서 저항자를 대부분 7Ω으로 설정 유지보수 하고 있어 병렬운용을 감안하여 가장 근접한 궤도의 저항자를 20Ω으로 설정하였다. 즉 궤도의 합성저항은 5Ω으로 설정하였다. 선로 및 케이블 저항은 궤도별 측정결과 평균 10Ω정도였다. 안정적인 전원공급을 위해서는 DC 궤도회로의 경우 100mA이상의 전류가 흘러야 한다. 그림 2 회로와 같이 구성 시 전류의 값은 200mA가 흐르게 된다. 따라서 최대한 현장의 조건을 고려한 회로도를 바탕으로 병렬운용하기 위해 그림 3과 같이 구성하였다.

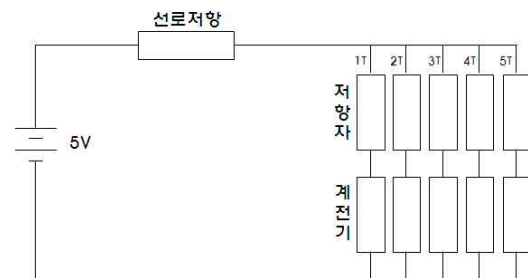


그림 2. DC 궤도회로의 병렬운용
Fig. 2. Parallel operation of DC track circuits

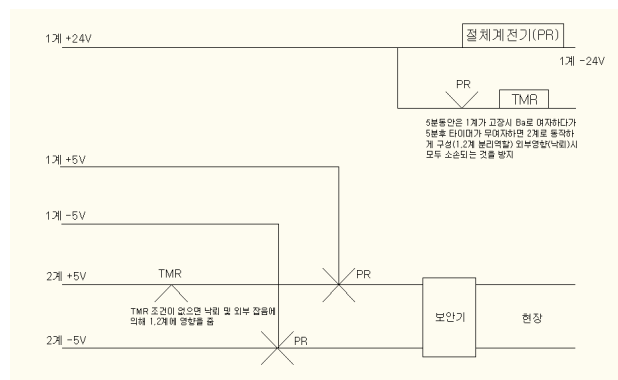


그림 3. 단일전원 절체 회로도
Fig. 3. Switching circuit with single power supply

정류기를 2중계로 구성하였으며, 낙뢰로 인한 1계 정류기 파손 시 2계 정류기가 동작하여 궤도회로를 안

정적으로 동작하게 구성하였다. 또한 타이머를 부착하여 낙뢰 및 외부 영향으로 인한 1, 2계의 손상을 예방하였다. 평상 시 1계 운용을 하고 있던 정류기가 낙뢰로 인하여 고장 시 추가 낙뢰에 대비하여 바로 2계로 운용하는 것이 아니라, 일정기간(5분) 축전지로 운용하다가 2계로 운용되도록 하였다. 또한, 입력단에 보안기를 설치하여 외부서지로부터 정류기를 보호하였다. 주전원인 1, 2계가 고장일 경우를 대비하여 2V96Ah의 축전지를 병렬로 연결하여 3중계를 구성하였다.

3.2 무선통신을 활용한 유지보수 효율화

케도회로의 경우 계전기가 조작반에 고장 시 표시가 되나, 이 설비의 경우 1, 2계로 운용이 되기 때문에 1계 정류기에 문제가 발생하는 경우, 신탄리역으로 무선통신 기기를 통한 정보 제공이 가능하도록 구성하여, 신속한 유지보수를 할 수 있도록 하였다. 무선통신 송수신기는 장거리 송수신이 가능한 AFSK 변조방식으로 (424.825MHz, 1200bps) 선택하였으며, 신탄리역 현장과 역과의 1km정도의 거리에서 충분히 사용 가능한 것으로 선택하였다. 구성 방법은 그림 4와 같다.



그림 4. 무선 데이터 송수신 시스템 구성 방법
Fig. 4. Configuration of wireless data transmission system

구성된 무선 송수신 모듈은 최대 4km까지 송수신이 가능한 시스템을 선택하였다. 케도 모듈에서 신탄리역 간 거리는 500m 정도로 충분히 송수신이 가능한 거리이며 주변 장애 요소가 없어 원활한 통신이 가능하다.

4. 실험

병렬운용을 위하여 우선 실내에서 그림 5와 같이 단

락시험을 통해 5개 케도 운용에 대한 검증을 하였다. 시험을 위하여 현장과 같은 조건으로 선로저항 10Ω을 연결하였으며, 케도저항자를 20Ω으로 하여 순차적으로 케도를 무여자 시키며 동작상태를 확인하고, 테스트기를 통해 다른 케도계전기의 전압의 변화를 측정하였다.

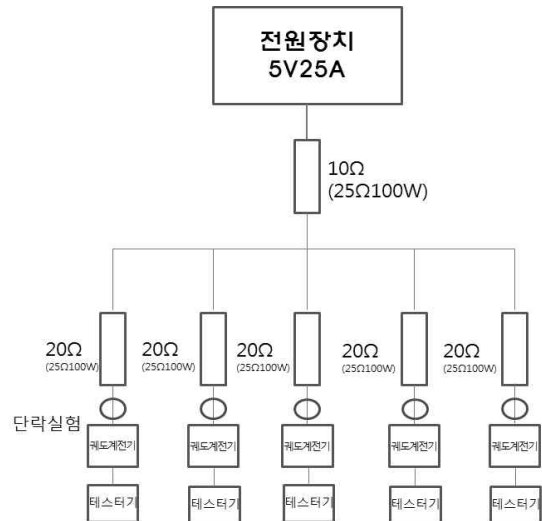


그림 5. 실험 구성도
Fig. 5. Block diagram for the experimental system

기존방식과 개선방식의 차이는 표 2와 같으며 실험 결과는 표 3에 정리되었다. 실험 결과 케도단락 시 인접케도에 영향이 없었으며, 5개 케도회로를 단일화하여 최대 4개 케도 무여자시에도 전혀 영향이 없었으며, 구내케도 중 5~6개 케도회로를 단일전원으로 구성하는 것이 가장 적합한 것을 확인하였다. 이러한 실험결과를 토대로 실제로 신탄리역에 그림 6와 같이 설치 운용하였다.

기존에 사용하고 있는 정류기와 같이 전압계와 전류계를 부착하고 1계 고장 시 현장에서 확인할 수 있는 램프를 부착하였다. 또한 인입단에는 보안기를 설치하여 낙뢰발생 시에도 보안기에서 서지를 흡수하여 외부영향으로 인한 정류기 피해를 최소화하였다. 또한 정류기 주전원이 고장 발생 시를 대비하여 기존 축전지(2V36Ah)보다 용량이 큰 축전지(2V96Ah)를 병렬로 부착하여 3중화를 기하였다. 제안된 시스템은 신탄

탄리역에 설치한 후 1년 간의 운용시험 기간동안 단 한건의 장애도 발생하지 않고(장애기록부 참고) 정상적으로 동작하였음을 확인하였다.

제안된 시스템의 비용 효율적인 측면에 대한 정량적 분석을 위해 개선전 후의 소요 비용 산출을 비교 분석하였다. DC궤도회로 비용측면에서 보면 개선 전 장애 보수 및 유지보수 시간 총296시간에서 개선 후 유지보수 시간이 3.5시간으로 산출하였을 때 기존 5,219,960원에서 61,722원으로 개선되었다. 현재 운행되는 철도에는 아직도 비전철구간이 많이 있으며, 그곳의 경우 대부분 DC궤도회로를 사용한다. 본 논문에서 제시한 방법은 저비용 고효율적인 궤도회로 운용환경 구축에 기여할 것으로 예상된다. 반면 무선통신 장치의 활용 측면에 있어서 본 연구는 장애 정보에 대한 전송 목적으로 활용되었다. 그러나 무선통신 시스템의 다양한 기능 및 장점을 활용한다며 향후에는 궤도의 조건과 열차의 운행조건을 양방향 송수신하는 방식을 채용한 향상된 신호보안 시스템 구축에 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

표 2. 기존방식과의 비교
Table 2. Comparison with the conventional method

구분	기존	개선
궤도운용	1개	5개
전원장치	2/4V-5A	5V-25A
축전지	2V36Ah×2	2V96Ah×2
한류장치	동일	동일
고장검지 장치	계전기 조건으로 연동장치 표시	무선통신 방식 활용

표 3. 제안된 시스템의 실험운영 결과
Table 3. Experiment results for the proposed system

구분	1T	2T	3T	4T	5T
정상시	1.92V	1.73V	1.8T	2.1V	1.5V
1개 궤도 단락	×	1.73V	1.8T	2.1V	1.5V
2개 궤도 단락	×	×	1.8T	2.1V	1.5V
3개 궤도 단락	×	×	×	2.1V	1.5V
4개 궤도 단락	×	×	×	×	1.5V



그림 6. 시스템의 현장설치 사진
Fig. 6. Field installation of the experimental system

5. 결 론

본 논문에서는 DC 궤도회로의 병렬운용과 3중화 방식, 외부서지프로텍터 부착 등을 통한 유지보수 효율성 증대 및 열차안전운행 방안을 제안하였다. 이를 위하여 제작된 시스템을 일부 시험 구간에 설치하여 운영 결과를 분석하여 DC궤도회로 병렬운용에 대한 효율성을 실험적 입증하였다. 운영 실험 결과 규모가 상대적으로 작은 역의 경우 5개 정도의 궤도를 병렬로 운용할 수 있으며, 그로 인하여 잦은 낙뢰로 인한 정류기 고장과 장애에 인한 피해를 최소화하고 비용절감 및 유지보수의 어려움을 예방할 수 있을 것으로 기대된다.

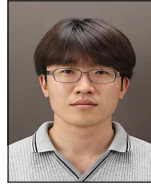
이 연구는 서울과학기술대학교 교내 학술연구비 일부 지원으로 수행되었습니다.

References

- [1] Seungin Han, Young-Woon Chung, Ki-Ha Cheon, Key-Seo Lee, Young-Soo Park, Kwang-Kyun You, A Study on the Electrical Characteristics of Track Circuit, KIEE Conference, Vol.A, pp. 635~637, 1996.
- [2] Young-Tae Kim, Signalling Control System, Tech Media, pp. 35~36, 2004.
- [3] Yong-Kyu Kim, Jong-Hyun Baek, Chang-keun Ryu, A Study on the track circuit characteristic in electrified classical line, KIEE Conference, Vol.B, pp. 1397~1399, 2004.

- [4] KORAIL, Electrical work material, KORAIL, pp.252~253, 2012.
- [5] Yang-Ok Ko, Gi Seung Lee, Nam-II Lee, Ho-Hung Jung, Interoperable System Construction with Urban Signalling System for Train Control system, Proceedings of the Korean Society for Railway, pp. 204~210, 2011.
- [6] Bong-Kwan Cho, Sang-Hwan Ryu, Hyeon-Chyeol Hwang, Jae-II Jung, Accident Prevention Technology at a Level Crossing, The Transactions of the KIEE, Vol.57, No.12, pp. 2220~2227, 2008.
- [7] KORAIL, Signal Control Equipment Maintenance Instructions, KORAIL, pp. 16~17, 2012.
- [8] In-Mo Yoon, Min-Seok Kim, Young-Hwan Ko, Jong-Woo Lee, Network Modeling on Track Circuit and Analysis of Resistance Characteristic on Wood Sleeper, journal of Korean Society for Railway, Vol.13, No.6, pp. 565~569, 2010.

◇ 저자소개 ◇



장동완(張東完)

2007년 서울산업대학교 전자정보공학과 졸업. 2010년 서울산업대학교 산업대학원 전기공학과 졸업(석사). 2011년~현재 서울과학기술대학교 NID융합기술대학원 박사과정. 2001년~현재 한국철도공사 수도권동부분부 근무.



전태현(田太賢)

1989년 연세대학교 전기공학과 졸업. 1993년 Minnesota 대학교 대학원 졸업(석사). 1997년 Minnesota 대학교 대학원 졸업(박사). 1997년 Motorola 연구원. 1998년 Texas Instruments 연구원. 2002년 한국전자통신연구원(ETRI) 선임 연구원. 2005년~현재 서울과학기술대학교 전기정보공학과 교수.

Tel : (02)970-6409

Fax : (02)978-2754

E-mail : thjeon@seoultech.ac.kr