

# 고가교 주변 AF궤도회로의 전압 변동 안정성 향상에 관한 연구

## A study on improving stability of AF track circuit voltage fluctuation around railway bridge

권부석\*, 김경화<sup>†</sup>, 장인수\*

Bu-Seok Kwon\*, Kim<sup>†</sup>, In-Su Jang\*

**Abstract** Most of the domestic urban rail operating agencies are use the AF Track circuits in order to ensure the safe operation of the train by using the rail as part of the electrical circuit and monitoring the presence or absence of the train.

Currently AF track circuits are installed on the Seoul Metro a total of 1557 points and 361 points is the aboveground AF track circuit. Around special structures such as Viaduct, railway bridge, the track circuit failure caused intermittently by unstable voltage fluctuations of unknown causes.

Although the maintainer are performed a number of inspection and work such as replacement of hardware a long period of time, it is difficult to stabilize the track circuit voltage. Therefore, it is necessary theoretical approaches and root cause analysis also considers factors due to the electrical, temperature, humidity, snow, environmental factors, and ballast or adjacent Steel Structures, etc.

**Keywords** : Viaduct, AF Track circuit, Voltage fluctuations, Track circuit Voltage

**초 록** 국내 도시철도 운영기관 대부분은 열차의 안전운행을 확보하기 위하여 레일을 전기회로의 일부로 사용하여 열차의 유무를 감지하는 AF궤도회로 장치를 사용한다.

현재 서울메트로에 설치된 AF궤도회로는 총 1,557개소이며 그 중에 지상부 AF궤도회로는 361개소이다. 지상부 AF궤도회로 중 고가교, 철교 등 특수 구조물 주변의 궤도회로에서 원인 불명의 불안정한 전압 변동으로 인한 궤도회로 고장이 간헐적으로 발생하고 있다.

현장 유지보수자들이 장기간에 걸쳐 수많은 점검과 작업 등을 실시하고 있으나 하드웨어적인 조치만으로는 궤도회로 전압의 안정화가 어려운 편이다. 따라서 온도, 습도, 눈, 비 등을 고려한 환경적인 요소 및 도상이나 인접한 철골 구조물 등에 의한 전기적인 요인들도 고려한 이론적 접근과 근본적인 원인 분석이 필요하다.

**주요어** : 고가교, AF궤도회로, 전압변동, 궤도전압

## 1. 서 론

궤도회로는 레일을 전기회로의 일부로 사용하여 열차의 유무를 감지하기 때문에 레일의 전기적인 특성을 파악하는 것은 궤도회로의 설계 시 중요하다. 이것은 사용되는 궤도회로 주파수 및 귀선전류의 고조파 영향을 받으며 또한 궤도 레일이 설치되어 있는 장소의 환경적인 요인으로부터도 영향을 받기 때문이다.

<sup>†</sup> 교신저자: 서울과학기술대학교 정보통신대학 전기정보공학과(k2h1@seoultech.ac.kr)

\* 서울메트로 도시철도연구원

최근 철도의 도상은 기존의 자갈도상에서 콘크리트도상의 사용이 점차 증대되고 있으며, 콘크리트 도상은 균열 등을 방지하기 위하여 많은 철근을 사용하여 그 내구성을 향상시키고 있다. 철근 콘크리트도상에서 고주파 교류궤도회로의 사용은 철근콘크리트 도상 제작 시 사용되는 철근이 궤도회로의 회로 정수에 영향을 미쳐 궤도회로의 순간적인 전압강하로 인한 오동작을 일으키기도 한다.[1]

## 2. 본론

### 2.1 서울메트로 AF궤도회로 현황

서울메트로에 설치된 AF궤도회로는 총 1,557개소이며 그 중에 지상부 AF궤도회로는 361개소이다. 1, 3, 4호선에는 국내 제작제품인 AF-840A, YK-900A 등을 사용하고 있으며 2호선은 독일 SIEMENS 사의 FTG-S 궤도회로 제품을 사용하고 있으며 구성은 그림1과 같다.

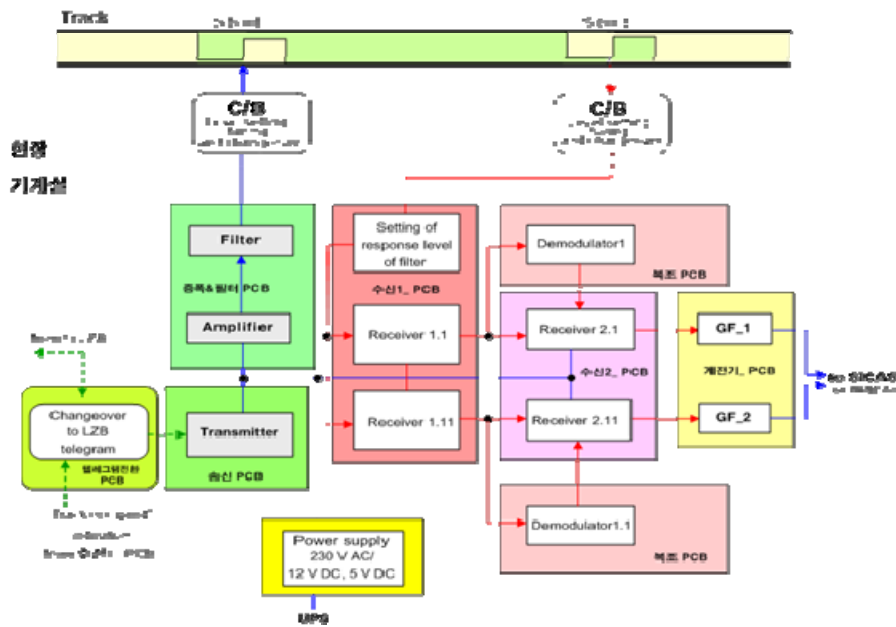


Fig. 1 Configuration of FTG-S track circuit

### 2.2 FTG-S 궤도회로 논리점유

지상부 AF궤도회로 중 고가교, 철교 등 특수 구조물 주변의 궤도회로에서 원인 불명의 불안정한 전압 변동 및 순간적인 전압 강하 등이 간헐적으로 발생하고 있다.

특히 2호선 FTGS 궤도회로는 논리점유 표시 기능이 있는데 이는 정상적인 궤도회로 계전기의 낙하/강상이 아닌 순간적인 전압 강하로 인한 궤도회로 계전기의 낙하/강상 또는 모타카 왕복 운행 등 비 정상적인 열차 운행 시 발생하며 운전취급실 취급자 또는 종합관제소에서 관제사가 직접 해제할 수 있다.

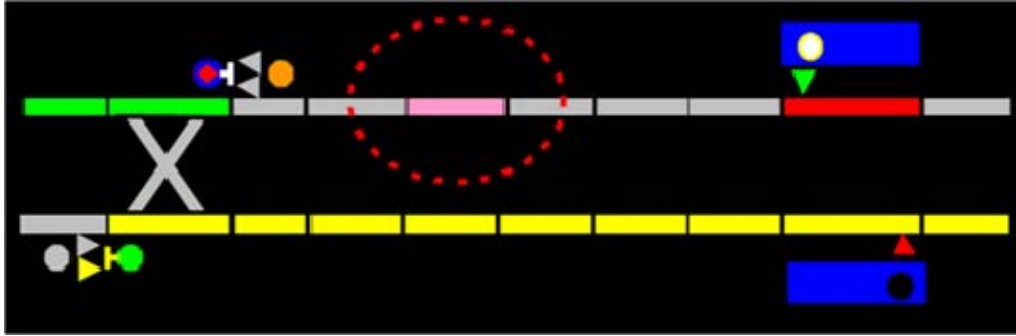


Fig. 2 Display form of Logical Occupancy

이러한 기능은 신호장애로 분류되지 않지만 해당 궤도회로의 전압 변동 등 현장의 환경적인 요인을 파악할 수 있는 중요한 지표가 될 수 있다. 물론 국내 제품들도 순간적인 전압강하를 로그파일로 기록은 하고 있으나 모니터에 표시를 해주는 기능이 없어서 해당 궤도회로의 불안정 상태를 쉽게 인지하기에 어려움이 있다.

### 2.3 서울메트로 2호선의 논리점유 분석 현황

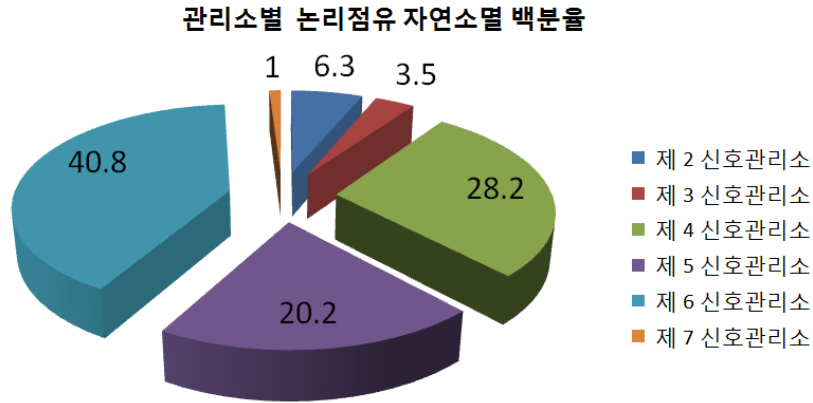
설비의 고장 또는 궤도회로 튜닝 불량 등에 의해 발생하는 논리점유의 경우 유지보수자가 직접조치(자체복구)하게 되나 순간적인 전압강하에 의한 간헐적인 논리점유의 경우 유지보수자 또는 관제사가 콘솔에서 해제 후 궤도회로가 정상 상태로 복귀(자연소멸)한다.

자연소멸의 경우 전압강하의 원인은 존재하나 정확한 분석이 불가능하여 현장 유지보수 직원들에게는 매우 어려운 문제점으로 대두되고 있다.

표1.과 그림3.은 2015년 1월~2016년 8월까지 2호선 신호관리소에서 발생한 논리점유의 발생 및 조치내역을 정리한 건수를 나타낸 것이다.

Table 1 Natural frequencies of a cantilevered periodic lattice beam

구분	계		자체복구		자연소멸		비고
	개소	횟수	개소	횟수	개소	횟수	
총계	1710	2921	245	885	1465	2036	
제2신호관리소	119	293	33	164	86	129	
제3신호관리소	101	128	38	56	63	72	
제4신호관리소	395	823	59	249	336	574	
제5신호관리소	393	545	39	135	354	410	
제6신호관리소	673	1101	66	270	607	831	
제7신호관리소	29	31	10	11	19	20	

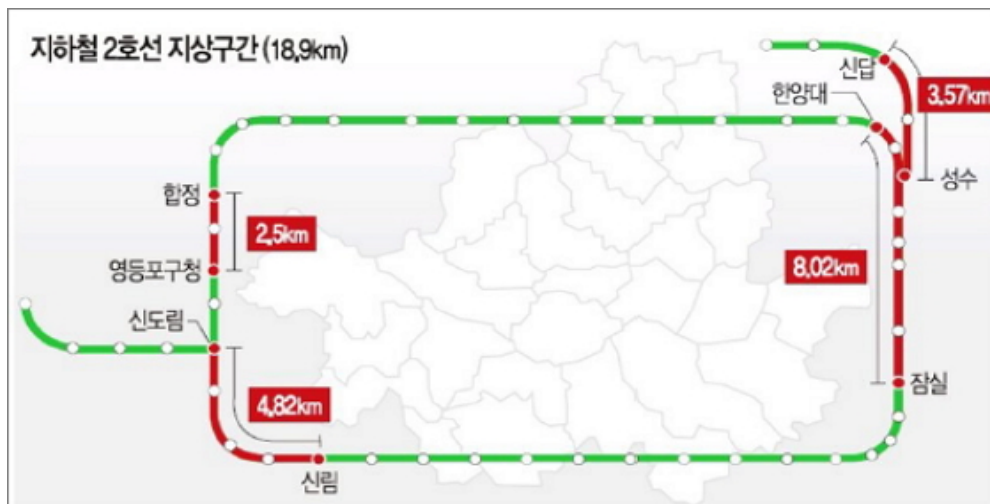


**Fig. 3** Percentage of Logical occupancy natural extinction

분석한 결과 하나의 개소에서 다수의 논리점유가 발생할 수 있음을 알 수 있으며 3곳의 신호관리소에서 89.2%로 집중 발생하는 것을 발견할 수 있다. 이는 해당 신호관리소의 담당구간과 매우 밀접한 관계를 보여주고 있는데 모두 2호선의 지상구간을 담당하고 있는 신호관리소이다.

서울지하철 2호선의 지상구간은 총 18.9km로서 성수지선을 제외하고 모두 고가교로 이루어져 있으며 그림 4과 같다.

위 구간 중 제4신호관리소는 한양대 ~ 강변 구간, 제5신호관리소는 강변~잠실, 제6신호관리소는 신림~신도림, 영등포구청~당산철교 구간을 담당하고 있다.



**Fig. 4** Ground section of Subway Line No.2

서울메트로 고가교의 궤도회로의 개수는 내외선을 합쳐 169개소이며 자갈도상이 55개소, 철근콘크리트 도상이 114개소이다. 또한 침목은 B2S를 비롯하여 100% 콘크리트 침목으로 교체 완료되었다.

관리소별 고가교 궤도회로 백분율

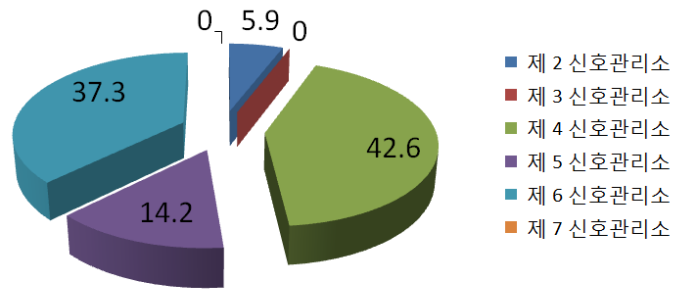


Fig. 5 Percentage of viaduct track circuit for each Management Office

## 2.4 콘크리트 도상 궤도와 궤도회로간 인터페이스

궤도회로장치는 비교적 자갈도상에서 자기장에 의한 영향을 받지 않는다. 한편 콘크리트 도상 궤도는 콘크리트의 강도를 유지하기 위하여 내부에 종, 횡의 철근(Reinforcing Bar)을 배근하게 되는데 이러한 철근 구조물은 물리적으로 자성체이며 다음 그림과 같이 궤도회로 정보전송 신호전류와 커플링 효과에 의해서 상호작용을 하게 된다.[2]

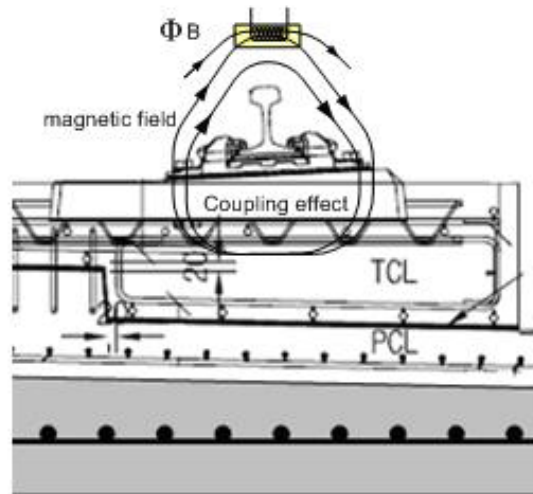


Fig. 6 Interaction between the concrete slab rail and track circuit [2]

즉, 변압기와 같이 궤도회로는 1차 측, 철근 구조물은 2차 측 회로를 형성하게되며 2차 측 회로는 부하처럼 인식되어 궤도회로의 임피던스 값을 증가시킨다. 이러한 임피던스 값의 증가는 궤도회로 정보전송에 많은 영향을 미치게 되며 결과적으로 궤도회로 정보전송 길이를 단축시키게 된다.[2]

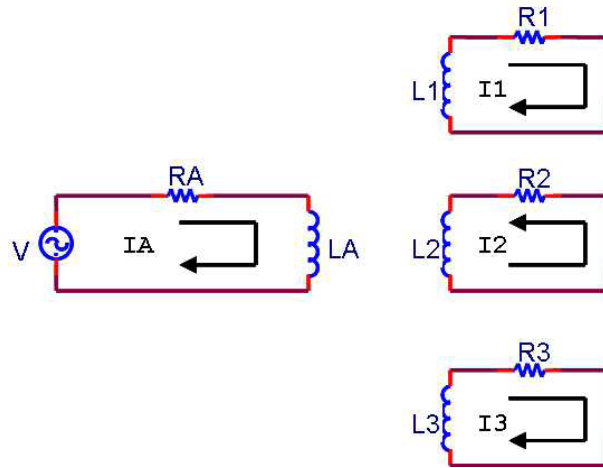


Fig. 7 Electric diagram between Rail and Reinforced Structures[2]

또한 종철근의 양이 늘어남에 따라 철근에 최대 전류가 흐르는 주파수가 감소하고 철근의 층수가 늘어남에 따라 철근에 최대 전류가 흐르는 주파수가 증가된다. 따라서 궤도회로 주파수가 철근에 영향을 가장 적게 미치는 형태는 철근의 층수가 단층이고, 종철근의 양을 증가시킨 구조이며 이러한 문제점은 교차되는 철근을 절연시켜 레일과 철근간의 상호인덕턴스가 줄어들어서 레일의 저항 및 자기인덕턴스의 변화가 줄어드는 연구를 통해 해결됨을 알 수 있다.[3]



Fig. 8 Insulation of reinforcing bars[3]

서울메트로의 고가교 중 콘크리트 도상은 외선기준으로 전체 18.9Km 중 약 62%인 11.6Km이며 서울메트로의 대표적인 B2S 패널 구조의 경우 상, 하로 구분된 2층의 철근 구조와 0.1~0.2[m] 간격의 보강 철근이 배열되어 있다. 이런 경우 상기와 같이 궤도회로 주파수에 영향을 미칠 가능성이 있다.

물론 서울메트로 내부에서도 고가교 주변의 궤도회로 전압의 불안정 현상으로 2014년부터

꾸준하게 신호분야와 궤도분야의 합동 점검을 실시하여 문제점을 해결해 나가고 있으나 완벽하게 원인을 규명하기에는 다소 어려움이 있다. 따라서 선행된 연구를 통해 콘크리트 도상의 시공 초기부터 신호와 궤도의 협업을 통해 좀더 정형화된 설계 및 시스템 개발의 필요성이 대두되고 있다.

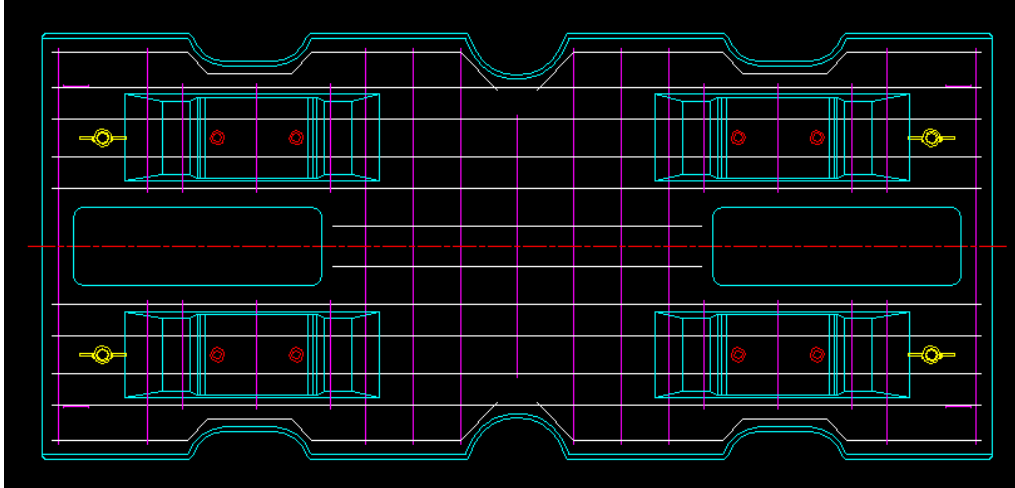


Fig. 9 B2S Rebar arrangement

### 3. 결론

본 논문에서는 FTG-S 궤도회로의 논리점유 발생 횟수와 해당 궤도회로 구간의 구조적인 연관성을 근거로 철근 콘크리트 도상 또는 고가형 철근 콘크리트 구조물과 AF궤도회로 간 상호 간섭에 의해 발생 가능한 궤도회로 전압의 불안정성 문제를 제기하였다. 궤도회로의 설치 시 현장의 환경적인 여건에 따라 신호와 궤도분야에 수 많은 상호 영향을 미치는 요소가 존재하지만 특히 지상구간의 궤도회로의 경우 환경적인 요인은 온도, 습도, 눈, 비 등 날씨에 관한 문제 뿐만 아니라 노반이나 철근 콘크리트 도상 또는 인접한 철골 구조물 등의 의한 요인들도 고려되어야 한다.

또한 지하구간인 1호선을 제외한 3, 4호선의 고가교 AF궤도회로에서의 전압 변동 및 콘크리트 도상 외에 서울메트로 고가교의 구조적인 모델링을 통하여 레일과 철근의 저항 및 상호 인덕턴스를 계산한 시뮬레이션과 이를 토대로 상호 영향을 저감시킬 수 있는 이론적인 방안을 제시하기 위하여 추가적인 연구가 필요하다.

## 참고문헌

- [1] H.S. Hong, K.K. Yoo, S.C. Rho (2010) A Study on the Method of preventing from Reduction of AF Track Circuit Signal Current on a Ferroconcrete Roadbed, *Journal of the Korean Society for Railway*, 13(5), pp. 500-503.
- [2] J.S. Ko (2008) A Study of Rail Impedance Calculation on the Concrete Slab Track, Master's Thesis, Seoul National University of Science & Technology.
- [3] M.S. Kim (2008) The Influence of Track Circuit Frequency upon Induction Current of Reinforcing Bar in Concrete Slab Track, Master's Thesis, Seoul National University of Science & Technology.