

## AF 무절연 궤도회로 경계구간 축소에 관한 연구 A Study on reduction of AF Jointless Track Circuit boundary

박동훈\*, 노성찬\*, 유광균\*†

Dong-Hoon Park \*, Sung-Chan Rho \*, Kwang-Kiun Yoo \*†

**Abstract** A track circuit to determine a movement position of a train is divided at a regular distance. These methods of dividing the track have Joint type and Jointless type. The Joint Track Circuit has cut the rail and installs the Joint between rails. The Jointless Track Circuit without the Joint has electrically divided to cut off a current. The track boundary is not clearly separated than the Joint Track Circuit and an overlapping section is generated in the Jointless Track Circuit system. S-form S-BOND of the AF Track circuit has a track boundary overlap of approximately 7m. This paper has studied about an increase accuracy of track circuit operation and about the improvement efficiency of the line use when reduced the overlap of the S-BOND installed in the track circuit boundary.

**Keywords** : S-BOND, AF Jointless Track Circuit

**초 록** 열차의 위치를 파악하기 위한 궤도회로는 궤도구간을 일정한 간격으로 분할하고 있다. 이렇게 궤도구간을 분할하는 방식으로는 레일을 절단하고 중간에 레일절연을 설치하는 유절연 궤도회로와 전기적으로 전류를 차단하여 분할하는 무절연 궤도회로가 있다. 전기적으로 분리하는 무절연 궤도회로 방식은 궤도경계가 유절연 궤도회로 방식보다는 명확히 분할되지 않고 일정구간의 중첩되는 구간이 발생하게 된다. AF 무절연 궤도회로 중 S자 형태의 S-BOND는 약 7m 가량 궤도경계 중첩구간이 있다. 본 논문은 궤도회로 경계구간에 설치된 S-BOND의 중첩된 경계구간을 줄였을 때 궤도회로 동작의 정확성 향상 및 선로이용 효율증대에 관한 연구이다.

**주요어** : S-BOND, AF 무절연 궤도회로

### 1. 서 론

궤도회로는 열차의 이동위치 파악과 신속하고 안전한 열차운행 확보를 위한 신호시스템의 근간이 되는 설비로 거듭된 시스템 발전을 통해 현재는 AF(AUDIO FREQUENCY) 방식의 레일절연을 설치하지 않는 무절연 궤도회로를 채택하고 있다. 이로 인해 열차의 승차감을 향상시키고 유지보수의 단순화 및 효율화라는 장점이 있지만 초기 구축 시에 정밀한 주파수 튜닝이 필요하고 장애 발생시 고장위치와 원인파악이 쉽지 않은 단점이 있다.

\* 한국교통대학교 철도대학 철도전기전자공학과

\*† 교신저자: 한국교통대학교 철도전기전자공학과 교수

AF 궤도회로 방식 중 S-BOND 방식은 전 세계적으로 널리 구축되어 있는 신뢰도가 높은 무절연 AF 궤도회로 방식으로 궤도회로 양쪽 경계구간에 각각 송신 및 수신역할을 하는 S-BOND가 설치되어 궤도회로의 경계를 분할하여 사용하고 있다. S-BOND 는 한 쪽 경계구간에 약 7m 설치 구간이 필요하고, S-BOND 전체 길이의 1/2인 약 3.5m의 사전단락 및 사후단락 허용구간이 발생하는 단점이 있다.

본 논문은 궤도회로 경계구간에 설치되어 있는 S-BOND의 경계구간 및 사전단락 구간을 최소한으로 축소하여 궤도회로 경계부의 동작특성 향상을 위한 시험 하였다.

## 2. 본 론

### 2.1 FTGS 궤도회로

S-BOND는 자동열차제어장치(LZB 700M)에서 사용하는 궤도회로 장치인 FTGS(The Remote-fed and Coded Jointless Audio-Frequency Track Circuit) 에 설치되어 있다.

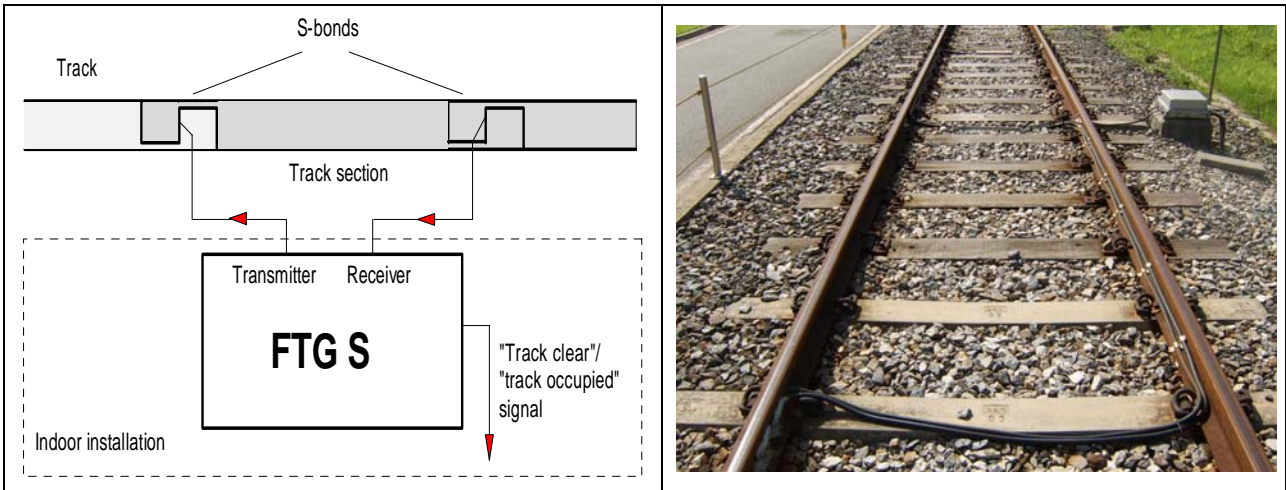


Fig. 1 FTGS Block Diagram and S-bond

FTGS 궤도회로 시스템은 물리적으로 구성된 궤도를 전기적으로 일정구간 분할 한다. Fig.1 'FTGS Block Diagram'에서와 같이 기계적인 요소가 없이 순수하게 전기적인 궤도구간의 분리는 S-Bond라 불리는 S자형 Bond에 의해 이루어지며, 부가적으로 S-BOND 는 운행선로에서 귀선전류의 보정을 가능하게 한다. 궤도회로 시작점에서 송신기에 의해 AC 전원이 가청주파수로 선로로 송신되며 궤도회로 끝에서 수신기는 입력전류를 평가한다. 입력 전류값에 의해 “궤도 점유” 및 “비점유” 를 판단한다. 송신기와 수신기는 신호기계실에 설치되며, 최대거리는 6.5km 까지 설치가 가능하다.

궤도회로로 송신되는 교류를 귀선전류의 고조파로 인한 간섭으로부터 보호하기 위해 주파수 편이변조(FSK: frequency shift keying)를 한다. 열차 점유 시에는 열차로 열차운행정보 Telegram 송신은 위상편이변조 (PSK: phase shift keying) 방식이 사용 된다.

## 2.2 궤도회로 현황 및 경계구간 범위

현재 인천도시철도 신호시스템의 궤도회로 방식은 AF 무절연 궤도회로 방식을 채택하여 운용 중에 있다. 궤도회로의 경계분할 방식은 S-BOND 형태로 설치 되어 있으며, 궤도회로 양쪽 경계구간에 궤도회로를 전기적으로 분할하기 위하여 궤도회로간 중첩되는 구간 즉, 중복단락 구간이 발생하게 된다.

예를 들어 Track 1 과 Track 2 및 Track 3는 전혀 다른 궤도회로 장치이다. 하지만 단락방식이 유절연 방식과 달리 무절연 방식에서 열차가 이동하는 경우 일시적으로 Track 1 과 Track 2과 동시에 열차 점유로 인지하는 구간(중첩구간)이 발생하게 된다.

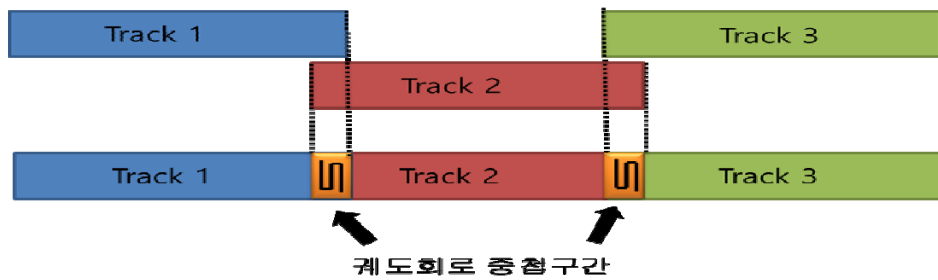


Fig. 2 Track circuit boundary section

인천도시철도 신호시스템의 궤도회로는 약 7m의 중첩구간이 발생한다. 궤도회로 중첩구간은 선로이용 효율 측면에서 볼 때 손실되는 구간으로 되어진다.

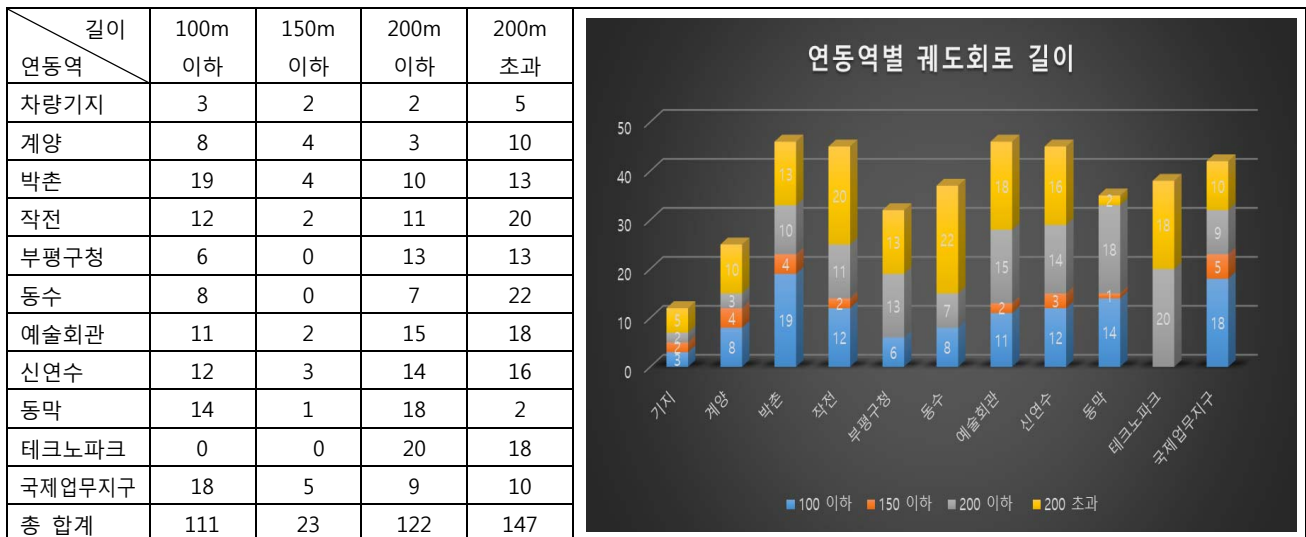


Fig. 3 Incheon Urban railway track circuit status

AF 무절연 궤도회로는 길이는 최소 30m부터 최대 252m 까지 다양하게 구성되어 있다. 100m 이하의 궤도회로의 수량이 전체 궤도회로 중 약 27.5 % (총407개 중 111개)에 해당한다. 인천도시철도 궤도회로 시스템 기준으로 궤도양단에 각각 7m의 손실구간이 발생한다. 궤도회로 중 가장 짧은 30m 궤도의 경우에는 25%가 중첩 구간에 해당되어 궤도구간이 짧을 수록 선로이용 효율성에서 떨어지게 된다.

### 2.3 S-BOND 형태 변경

S-BOND 는 약 7m 설치구간이 필요하다. 따라서, S-BOND 중성점에서 부터 약 3.5m까지의 사전단락 허용구간이 발생하는 단점이다. 이를 개선하기 위하여 기존 S-BOND의 동작특성을 그대로 유지하면서 설치 구간 및 사전단락 구간을 줄일 수 있는 방안을 위해 분석하였다.

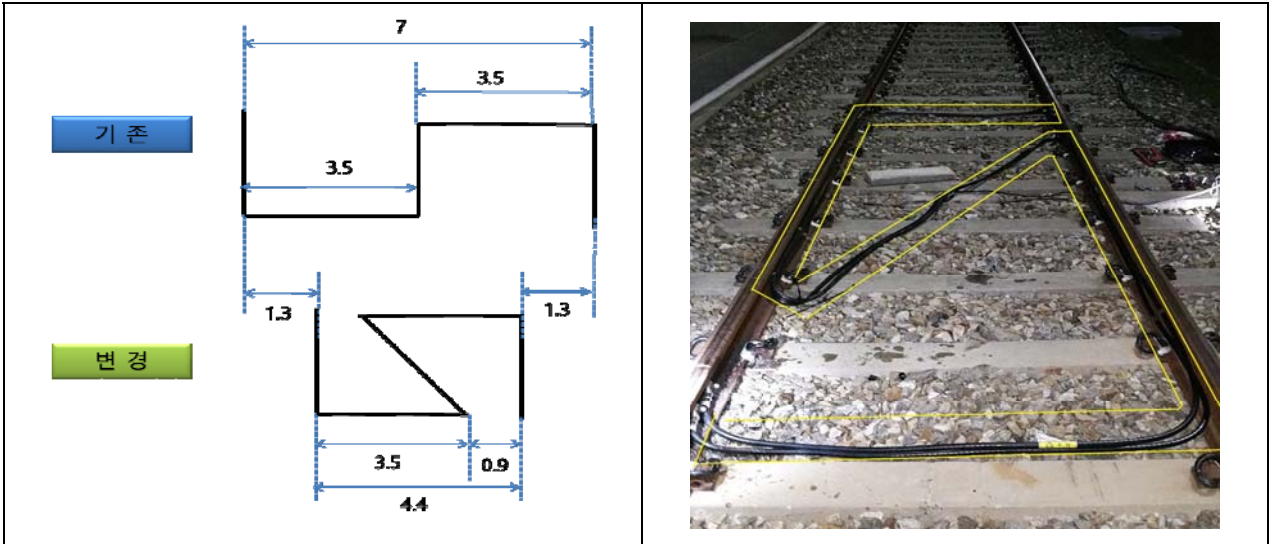


Fig. 4 Construction of the change model S-BOND

기존 S-BOND 송신 및 수신 특성연구에서 파악 된 S-BOND와 레일면과의 유도결합 면적을 최대한으로 3.5m를 유지하였고 기존 S-BOND와 동일하게 단락감도와 궤도 동작특성을 유지하면서 설치구간을 기존대비 약 37%를 감소하여 설치구간을 4.4m로 줄여서 궤도회로 경계구간 단축으로 인한 궤도회로 경계부 열차검지의 정확성 향상 방안을 구상하였다. ‘Fig 4’와 같이 차량기지 시험선 구간을 활용하여 S-BOND 경계구간 축소여부를 확인할 수 있는 시험모델을 구축하였다

### 2.4 단락감도 및 동작특성 측정

#### 2.4.1 단락감도 시험

S-BOND 를 사용하는 무절연 AF궤도회로 장치는 사전단락 현상이 일어난다. 이 사전단락 구간을 최소화 하기 위해 공진주파수를 조정하는 궤도회로 장치 실내 및 실외 튜닝작업이 이루어 져야 한다. 송신 및 수신 측 Tuning Unit 조정을 통해 적절한 계측기로 그 값을 확인하고 조정을 통해서 단락시험을 수행하였다. Pre-Shunt 및 Post-Shunt시험에서는 본드 중성점을 기준으로 사전단락위치는 1m 80cm 이고, 사후단락 위치는 1m로 각각 측정되었다. 이 수치는 기존 S-BOND의 단락감도와 비교하였을 때 크게 차이가 나지 않았다.

Table 1 Track Circuit Shunt Test data

| 구분        | Pre-Shunt | Post-Shunt | 시스템 제조사 단락범위     |
|-----------|-----------|------------|------------------|
| 기존 S-BOND | 1m 90cm   | 80cm       | 중성점에서 부터 3.5m 이내 |
| 변경 S-BOND | 1m 80cm   | 1m         | -                |

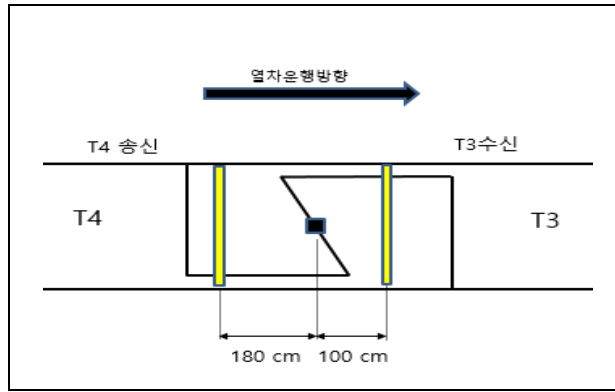


Fig. 5 Pre-Shunt and Post-Shunt Test

‘Fig. 5’ 에서 처럼 시험용 BOND의 설치길이는 총 길이 4.4m 이고, 중성점을 기준으로 좌우 각각 2.2m 가 된다. 열차 차속에 의한 궤도회로 레벨저하(궤도 점유) 구간을 기존 S-BOND는 중성점에서 3.5m 이내이고, 변경 S-BOND는 중성점에서 2.2m로 감소시키고자 하였다.

Pre-Shunt 시험. 즉, 열차운행이 T4 궤도에서 T3 궤도로 이동하는 경우 T3 궤도가 사전 점유로 인지 되어지는 시점이 1.8m 로 측정되었다. 이 값은 BOND 설치 구간 2.2m 구간 이내에 들어오는 수치로 열차운행 시 정상적으로 경계구간을 인지할 수 있는 정상범위이다.

#### 2.4.2 동작특성 측정

S-BOND의 형태를 변경 설치하여 기존 S-BOND와 변형 S-BOND의 궤도회로 전압 변동값의 추이를 분석하여 보면 실내측 전압변동은 거의 없는 것으로 나타났고, 실외측 전압 중 송신전압은 거의 동일하나 수신전압이 일부 저하된 것으로 측정되었다. 16/20 단자전압이 수신 Tuning Unit에서 측정한 전압으로 0.767[V] 에서 0.529[V] 로 약간의 전압저하가 발생되었고, 기계실에서 현장 접속함 사이의 케이블보상 저항치 변경으로 추가적으로 송신 및 수신 전압상승이 가능한 것으로 파악되었다.

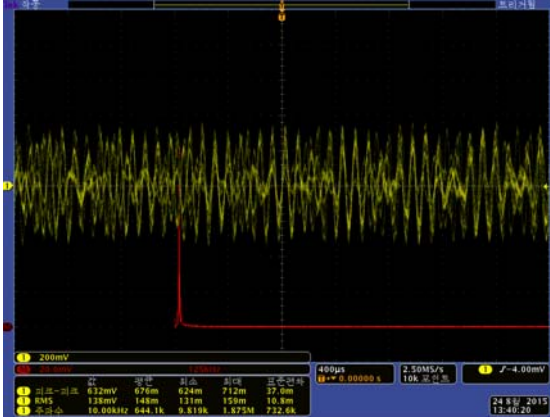
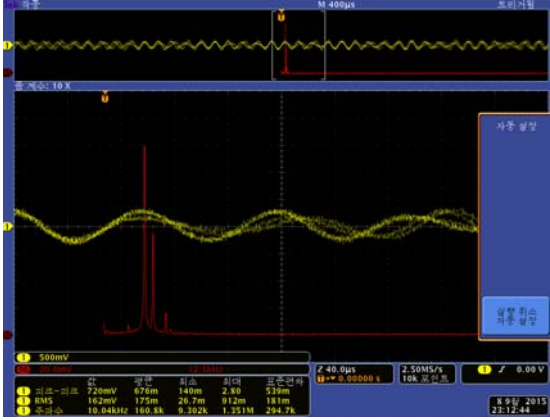
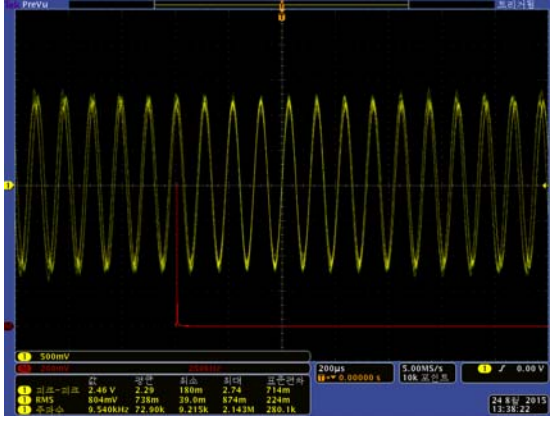
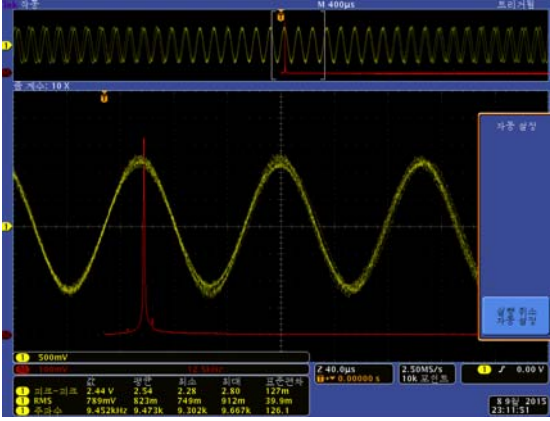
Table 2 Track circuit voltage variation comparison

| <div style="text-align: center;"> </div> |          |        |              |         |         |              |        |         |
|--|----------|--------|--------------|---------|---------|--------------|--------|---------|
| 궤도회로                                     | 주파수      | S-BOND | 실내 측 전압(기계실) |         |         | 실외 측 전압(접속함) |        |         |
|  |          |        | 3/4          | E1/E2   | I5/Π8   | 9/10         | 11/14  | 16/20   |
| T3(수신)                                   | 11.5 KHz | 기존     | 59.4 V       | 0.581 V | 12.59 V | 0.786 V      | -      | 0.767 V |
|  |          | 변경     | 58.1 V       | 0.694 V | 15.56 V | 0.539 V      | -      | 0.529 V |
| T4(송신)                                   | 9.5 KHz  | 기존     | 53.8 V       | 0.496 V | 12.21 V | 5.39 V       | 33.5 V | -       |
|  |          | 변경     | 53.9 V       | 0.547 V | 13.38 V | 4.38 V       | 32.6 V | -       |

※ 3/4 : 증폭 및 필터전압, E1/E2 : 수신전압, I5/Π8 : 수신증폭전압

9/10 : S-BOND 입출력 전압, 11/14: 송신 Tuning Unit 전압, 16/20: 수신 Tuning Unit 전압

Table 3 Track circuit waveform comparison

| 기존 S-BOND 파형   | 변경 S-BOND 파형  |
|--|---|
| <p style="text-align: center;">T3 수신파형</p>  <p style="text-align: center;">Peak: 632mV, RMS: 138mV</p>  | <p style="text-align: center;">T3 수신파형</p>  <p style="text-align: center;">Peak: 720mV, RMS: 162mV</p>  |
| <p style="text-align: center;">T4 송신파형</p>  <p style="text-align: center;">Peak: 2.46V, RMS: 804mV</p> | <p style="text-align: center;">T4 송신파형</p>  <p style="text-align: center;">Peak: 2.44V, RMS: 789mV</p> |

S-BOND 송·수신부 및 Tuning Unit으로 전달되는 전류 및 주파수를 확인하기 위하여 계측장비 Oscilloscope와 AC Current probe를 이용하여 측정을 시행하였다.

기존 S-BOND와 변형 S-BOND의 궤도회로 송수 및 수신 파형의 레벨값을 비교·분석결과 거의 동일한 수준의 값으로 확인되었다

### 3. 결론

S-BOND는 무절연 궤도회로 방식에서 경계구간을 구분하는 기능을 하고 있다. 하지만 궤도경계를 물리적으로 분리하는 유절연 궤도회로와 달리 전기적으로 분리하는 무절연 궤도회로는 궤도 경계가 명확하지 못해 궤도경계를 구분하기 위한 여유구간이 필요하다.

본 논문은 AF 무절연 궤도회로장치 중 S-BOND를 사용하는 구간에서 궤도회로 경계부의 BOND 사이즈를 감소시켜도 열차검지 및 열차안전운행 확보에 전혀 문제점이 없음을

확인하였고, AF 궤도회로 동작의 정확도 향상 및 선로이용 효율증대의 매우 효과적이라는 결론을 얻었다.

실험 결과 S-BOND의 기본적인 동작특성을 유지하면서 경계구간을 7m에서 4.4m로 축소하더라도 Pre-Shunt 및 Post-Shunt Test에서 기존형태의 S-BOND와 비교하여 동일수준의 성능을 유지하고 있음을 확인하였다. 궤도회로 송수신부의 동작전압 및 파형분석을 통해서도 궤도회로가 열차검지를 위한 정상범위 구간에 있는 것으로 분석되었다.

향후에는 S-BOND 시험설비 구축구간에 열차운행 시험을 통해 자동열차제어장치와 전자연동장치의 안정화 유무를 추가적으로 확인하여 1차적으로 정상적인 궤도 검지 시험이 이루어 지면, 2차적으로 지상장치와 차상장치간의 Telegram 수신 시험을 통한 ATO(Automatic Train Operation) 정상운행 여부를 확인할 계획이다.

### 참고문헌

- [1] G. DAddio, P. Ferrari, A. Mariscotti, P. Pozzobon, INTEGRATED MODELLING OF AUDIO FREQUENCY TRACK CIRCUITS.
- [2] 박동훈외 2인, “A Study on Characteristics of AF track circuit using the S-BOND” 한국철도학회 춘계학술대회논문집, 2015.
- [3] FTGS Track Circuit Maintenance Manual, SIEMENS.
- [4] FTGS Track Circuit Tuning Adjusting instructions Manual, SIEMENS.
- [5] LZB 700M Maintenance Manual, SIEMENS.
- [6] Maintenance Handbook on Audio Frequency, INDIAN RAILWAYS, 2013.

2015년 한국교통대학교 지원을 받아 수행하였음