

AF 궤도회로 미니본드 주파수 분석 및 점검 방법개선에 관한 연구

A Study on improvement of frequency analysis and checking method of AF track circuit Mini Bond

노금균*, 최규형*[†]

Keum Kyun Roh*, Gyu Hyeong Choi*[†]

Abstract Seoul Metro Line No. 3, 4 are the first ATC Signaling system based on AF Track Circuit. After then it was extended to the Korail Metropolitan Railroad and raised one step level of domestic railway signaling system. To implement the AF track circuit, AF indoor equipment is provided with an AF transmitting and receiving device. Field equipment are configured to track circuit and the mini-bond using a rail. In this paper, we analyzed the characteristics of R-L-C circuits and components of Mini-Bond for the field transmitting and receiving of AF track circuit in Seoul Metro Line 3, 4 and suggested method to improve the maintenance efficiency and prevent the AF track circuit failure through improving inspection methods

Keywords : AF Track Circuit, Mini-Bond

초 록 서울메트로 3, 4 호선은 AF(Audio Frequency)궤도회로를 기반으로 하는 ATC(Automatic Train Control)신호설비 시스템으로써 국내 최초로 도입 되었으며, 이후 철도공사 수도권 광역철도로 확장되어 국내 철도신호설비의 수준을 한 단계 높인 설비이다. AF 궤도회로를 구현하기 위해 실내설비는 AF 송, 수신 장치가 설치되어 있으며, 현장설비는 레일을 이용한 궤도회로와 미니본드(MB : Mini Bond)로 구성되어 있다.

본 논문에서는 서울메트로 3, 4호선 AF궤도회로의 현장 송수신용 미니본드(MB : Mini Bond)를 구성하는 R-L-C회로와 구성부품의 특성을 분석하고 점검방법 개선을 통하여 AF궤도회로의 유지보수 효율성을 향상하고 장애발생을 사전 예방 할 수 있는 방법을 제시한다.

주요어 : AF궤도회로, 미니본드, ATC, 공진주파수

1. 서론

서울메트로 3, 4호선 AF 궤도회로장치는 ATC(열차자동 제어장치: Automatic Train Control)기능에 따른 지상설비로 궤도에 열차유무를 검지하고 차상에 속도제어 신호를 전송하는 기능을 가지며 사람이 청각으로 들을 수 있는 16 ~ 20,000[Hz]대의 가청주파수를 사용한다. 구성은 주파수 발생 및 송신을 담당하는 송신부, 케이블 정전용량 보상을 위한 튜닝유니트, 해당궤도회로 주파수공진을 하는 미니본드(MB : Mini Bond), 수신부와 감시부로 구성되어 있다. AF(Audio Frequency) 궤도회로장치는 실내 설비부터 현장 설비의 신호 흐름에 따라 장치별로 구분된다.

그 중 미니본드(MB : Mini Bond)는 1985년 3, 4호선 개통이래 장기간 사용으로 인하여 미니본드(MB : Mini Bond)를 구성하는 자체부품 노후화로 인한 장애가 증가추세이며 궤도회로 장애 시 열차검지와 열차속도코드 주파수 문제로 열차운행에 큰 장애를 초래하는 문제점이 있다.

* 서울메트로 신호사업소(rj1014@seoulmetro.co.kr)

† 교신저자 : 서울과학기술대학교 철도전문대학원 철도전기신호공학과(khchoi@seoultech.ac.kr)

2. 본 론

2.1. 궤도회로 개요

궤도회로는 열차가 달리는 선로의 레일을 전기회로의 일부분으로 사용하여 선로 위를 달리는 열차를 검지하는 회로로서 기본적으로 열차가 달리는 레일을 일정한 길이로 나누어 한 쪽 끝에는 전원을, 다른 끝에는 궤도계전기를 접속시켜 구성할 수 있다. 레일 위에 열차가 없는 경우에는 레일을 타고 흐르는 전기가 수신부인 궤도계전기까지 도착하여 동작하나 그 구간에 열차가 진입하면 레일 사이가 차바퀴에 의해 단락되어 궤도계전기가 작동하지 않게 된다. 이를 이용하여 검지된 열차의 위치를 통해 신호기, 선로전환기, 연동장치 등 철도신호설비를 제어하여 열차간 간격, 열차의 속도, 진행방향 등의 운행정보를 알려줌으로써 열차의 안전운행에 반드시 필요한 장치이다.

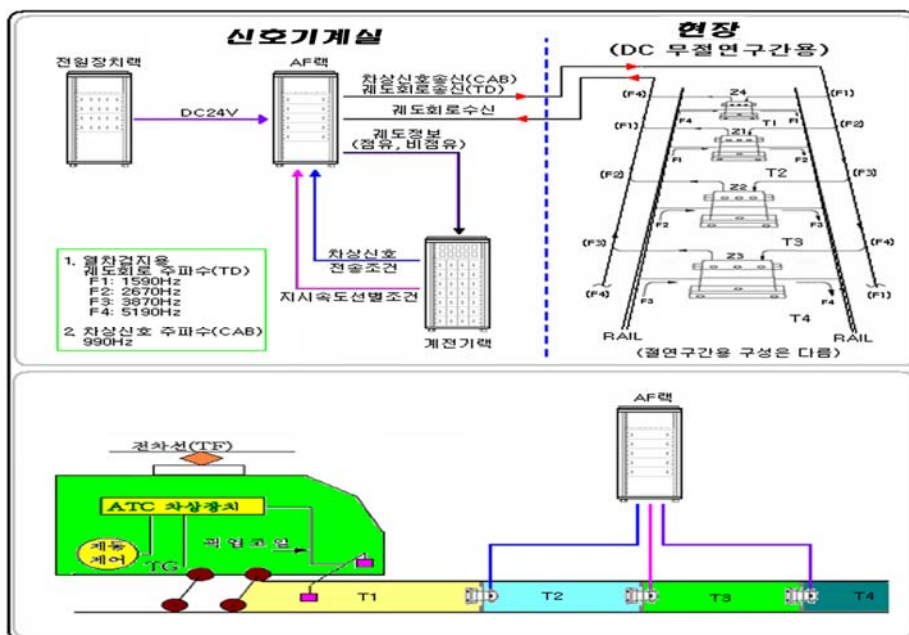


Fig.1 서울메트로 AF궤도회로 시스템 구성도

2.2. 미니본드 개요

2.2.1. 미니본드 구조

미니본드는 임피던스 본드와 커플링유니트의 결합체로 아래 그림과 같은 형태로 선로 변 또는 궤간(track gauge)에 설치되어 있다.



Fig.2 현장 설치된 미니본드 외형

(1) 임피던스 본드

임피던스 본드는 전철구간에서 전차선 귀선전류와 신호전류를 분리시키는 역할을 하며 두 개의 코일로 된 변압기로써 1차 권선은 굵은 동봉으로 되어 귀선전류를 흘릴 수 있는 구조이며 중간 탭을 이용하여 변전소로 연결한다. 2차코일은 커플링 유니트(무절연구간) 접속되어 케이블을 통하여 신호기계실로 연결된다. 1차권선과 2차 권선은 철심을 통하여 유도 결합되며 전기적으로는 절연되어 있다.

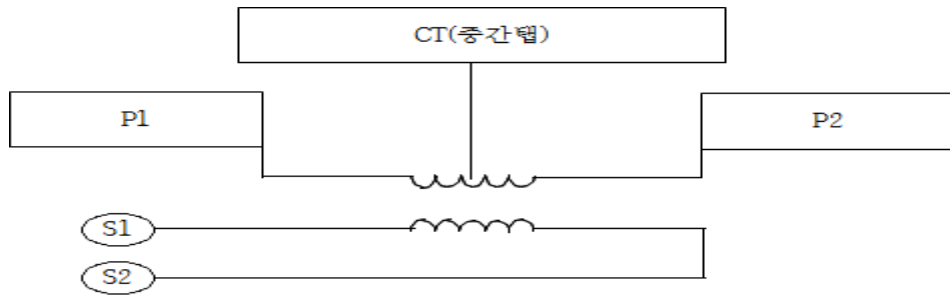


Fig.3 DC용(무절연구간) 임피던스 본드 구성도

(2) 커플링유니트

커플링유니트는 임피던스 본드와 기계적으로 결합되어 있으며 해당 궤도회로에서 특정한 2개의 열차검지주파수와 차상신호주파수를 통과시키며, 불필요한 주파수는 차단하는 특성을 갖는 필터회로로 LC 조합회로로 구성되며 해당주파수에서 공진하므로 무절연 궤도회로에서 사용된다.

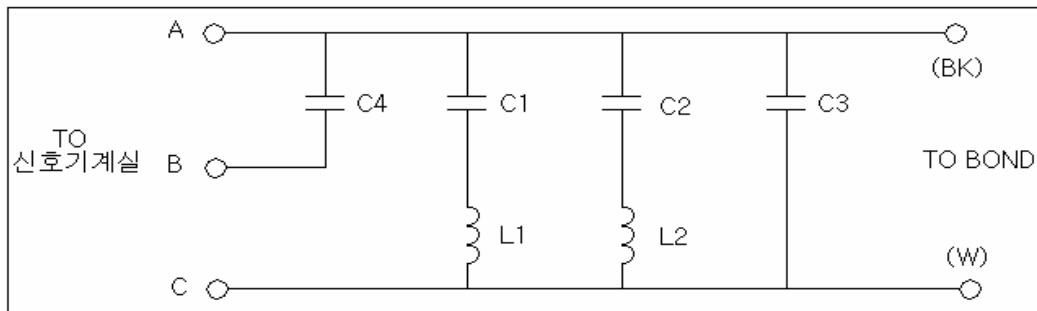


Fig.4 커플링유니트 구성도

Table 1 미니본드 최대 허용전류 및 사용주파수

형식	최대전류	사 용 주 파 수	
		차상신호주파수(CAB)	열차검지주파수(TD)
Z1	3000A	990Hz	1590Hz, 2670Hz
Z2	3000A	990Hz	2670Hz, 3870Hz
Z3	3000A	990Hz	3870Hz, 5190Hz
Z4	3000A	990Hz	5190Hz, 1590Hz

2.3. 미니본드 점검 문제점

매년 수 차례에서 수십 차례씩 연동회로에 관계되는 궤도회로의 장애가 발생하는데 현장 장애 주요 원인 중 하나는 미니 본드의 고장으로 인한 것이다. 특히 미니본드 중에서도 구성소자의 특성 상 임피던스 본드 보다는 커플링 유닛이 고장의 주 원인이 된다.

특히 미니본드는 레일 주변에 설치되는 현장 설비이기 때문에 외부 환경(온도, 진동, 강수 등)에 영향을 많이 받는데, 이를 방지하기 위하여 사실상 분해가 불가능한 밀봉 구조로 매우 견고하게 제작된다. 또한, 미니 본드 동작의 양부를 판별하는 시험기가 전무하였기 때문에 커플링 유닛 고장으로 인한 궤도회로 장애일 경우 기존에는 현장 미니본드의 장애인지 신호기계실 AF궤도회로 PCB의 장애인지 판단이 쉽지 않았다. 따라서 미니본드 장애 시 현장에 작업자가 투입되어 미니 본드 전체를 교체 하여야 하였는데 미니 본드는 무게만 30kg이상으로 성인 1명이 운반하기 힘들며, 또한 레일에 설치된 기존의 미니 본드를 제거하고 새로운 미니 본드를 장착하여야 하기 때문에 작업도 어렵고 작업시간도 많이 소요되는 구조였다.

열차 운행의 특성상 단 몇 분이라도 장애가 발생하면 후속 열차까지 순차적으로 운행이 중단되어 전체적인 운행 장애를 초래하게 되고, 나아가 이를 복구하는 작업시간이 길어질 경우 열차에 탑승하고 있는 수많은 승객들에게 불편을 초래할 뿐만 아니라 다른 대중교통까지도 마비시킬 수 있어 심각한 피해가 발생하는 문제점이 있다.

3. 점검방법 개선방안

3.1. 점검개선 연구개발 방안

본 연구에서는 기존의 미니본드(MB) 유지보수 방법을 비교 분석한 결과 다음과 같은 미니본드(MB) 점검방법 개선을 제시하였다. 기존의 유지보수법은 현장장애인지 기계실 장애인지를 판단하고, 현장장애일 경우 제일 마지막에 미니본드(MB)장애로 판정하여 미니본드를 교체 함으로서 장애조치에 장시간이 소요되었다. 본 점검개선 방법은 궤도주파수에 근접한 가청주파수 발생기를 제작하여 사용하는 주파수대의 대역폭의 2배까지 1~2Hz 단위로 증가, 또는 감소시켜가며 이의 응답특성을 측정하여 종합한 결과를 LCD로 표시하고 저장할 수 있도록 하였다.

3.2 미니본드(MB) 시험기 원리

3.2.1 공진주파수의 원리

미니본드(MB)는 R-L-C공진회로로 구성되어 있다.

아래 Fig. 5와 같이 최적의 공진주파수가 나오려면 전류(I)값이 최대가 되어야 한다.

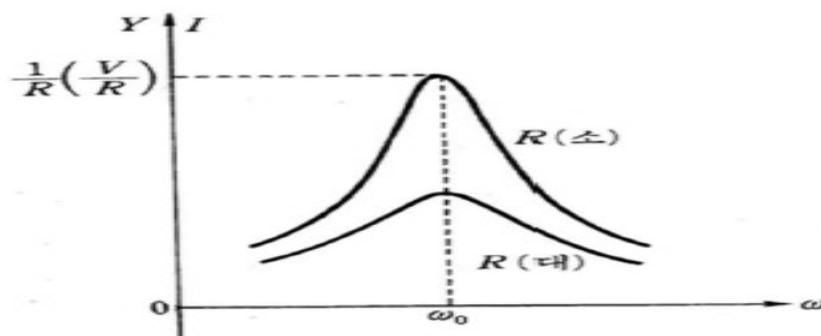
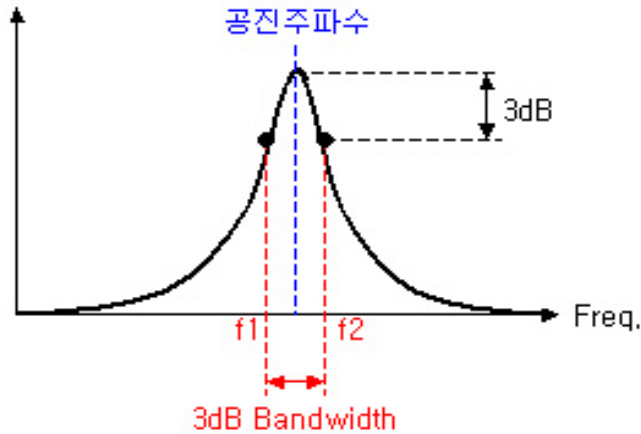


Fig. 5 공진주파수

양호도 Q(Quality Factor, Q Factor)는 공진기의 공진곡선(주파수응답)상의 첨예도를 나타내며, 공진 회로에서 축적될 수 있는 최대 에너지와 한 주기내에 소실되는 에너지와의 상대적인 크기에 의해 결정된다.

공진에서의 Q는 주파수 선택 특성 품질을 의미하며 Q값이 크면 주파수 선택도는 높아지나 민감해지는 단점이 있으며, 반대로 Q값이 작으면 대역폭이 넓어지고 주파수 선택도가 낮아진다.



$$Q = \frac{f_r}{f_2 - f_1}$$

$$= \frac{\text{resonance frequency}}{\text{3dB Bandwidth}}$$

Fig. 6 3dB 대역폭

공진주파수 점에서 양쪽으로 3dB, 즉 반으로 감쇄되는 지점의 주파수간의 차이를 소위 3dB대역폭이라고 하는데, 공진주파수를 3dB 대역폭으로 나눈 것이 바로 Q값이다. 즉 공진특성이 샤프할수록 3dB 대역폭은 좁아질 것이고, 결국 Q값은 커진다.

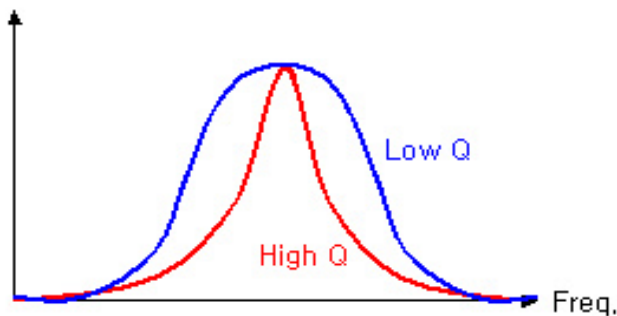


Fig. 7 circuit Q

이것은 소위 circuit Q 라고 해서 회로에서의 대역폭과 관련된 개념이다.

Q가 낮으면 대역이 넓다는 의미이고 높으면 협대역의 의미이다. 공진이란게 결국 특정 주파수의 선택특성을 말하는 것이기 때문에, 얼마나 샤프하게 주파수를 선택해낼 수 있는냐를 의미하는 지표가 결국 Q값이다. Q값은 대체로 높아야 좋은 경우가 많지만, 역으로 낮아야 할 경우도 있기 때문에 단순히 어떤 값이 좋다고 말할 수는 없다. 그보다는 Q값을 통해 어느 정도의 선택도와 대역폭을 가졌는지를 감잡는게 중요하다.

위에서 정의했던 대역폭의 Q값은 공진기에서 (1)과 같은 수식으로 표현되기도 한다

$$Q = \omega \frac{\text{average energy stored}}{\text{energy loss/second}} \quad (1)$$

결국 저장되는 에너지와 손실되는 에너지의 비에 주파수개념을 적용한 수식으로서, 같은 Q인데 표현만 다른 것이다. 대역폭의 Q값은 실제 측정을 통해 알아낼 수 있는 값이고, (2)의 수식은 공진기의 각종 조건을 통해 그 Q값을 미리 계산하기 위해 필요하다.

$$Q(\text{series LC}) = \omega_0 \frac{2W_m}{P_{loss}} = \frac{\omega_0 L}{R} = \frac{1}{\omega_0 RC}$$

$$Q(\text{shunt LC}) = \omega_0 \frac{2W_m}{P_{loss}} = \frac{R}{\omega_0 L} = \omega_0 RC \quad (2)$$

이러한 Q값의 공식을 잘 보면, LC 말고도 R값이 포함되어 있다. 즉, 실제로 공진부만의 특성을 의미하는 것이 아니라 부하(R)가 걸린 상태에서의 회로 Q값이다. (loaded Q)

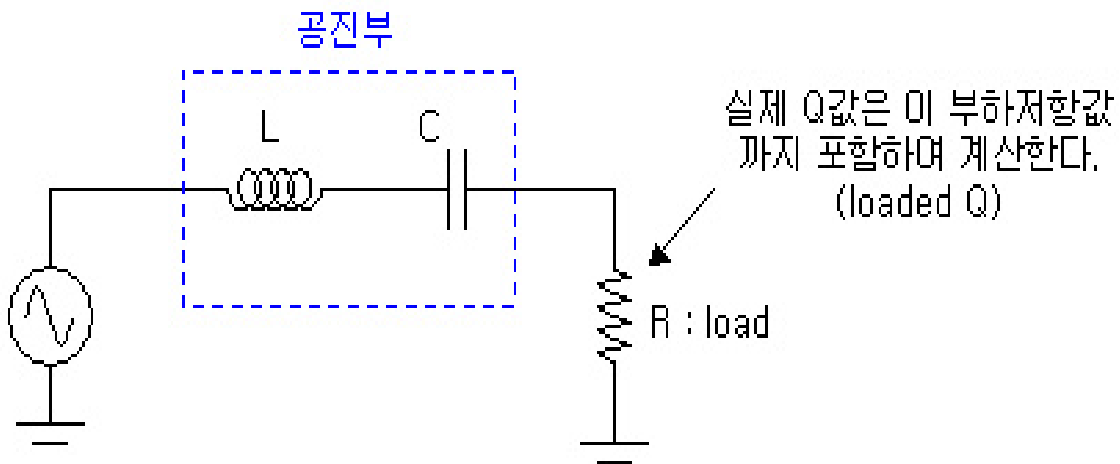


Fig. 8 R-L-C 공진회로

실제로 Q는 위에서 입출력 부하 R,L 값에 따라 Q값의 계산이 바뀌게 된다.

그렇기 때문에 실제 최종적인 Q값이 어떻게 될지는 단순히 공진부 만으로 결정되는 것이 아니라 라는 점이 문제가 된다. 그래서 부하가 걸린 상태의 Q(Loaded Q)값과 부하가 걸리지 않은 공진기만의 Q (Unloaded Q)값으로 분류가 되는 것이다.

3.2.2 미니본드 주파수 공진특성의 분석결과

공진점 변동으로 확인된 궤도에서 기록된 TD, CAB 최대 공진점 주파수를 기준 주파수로 차감하여 주파수 변동분을 환산한다.

변동분을 기준주파수 대한 백분율로 각각 환산 후 0.5% ,1% ,2% ,3% ,4% 이하, 4% 이상으로 구분한다.

구분	주파수(Hz)	주파수 변동분 (HZ)				
		±0.5%	±1%	±2%	±3%	±4%
CAB	990	±4.95	±9.9	±19.8	±29.7	±39.6
F1	1590	±7.95	±15.9	±31.8	±47.7	±63.6
F2	2670	±13.35	±26.7	±53.4	±80.1	±106.8
F3	3870	±19.35	±38.7	±77.4	±116.1	±154.8
F4	5190	±25.95	±51.9	±103.8	±155.7	±207.6

* 서울메트로 규격서상의 TD, CAB 주파수 변동폭은 주파수마다 ±10Hz 이내로 규정 되어있으나 1차분석은 각 주파수마다 0.5% 이하로 적용하여 양호상태로 환산 했음.

미니본드 불량판단 기준은 각 해당 주파수의 +/- 100Hz를 1 Hz 단위로 주파수를 변경하여 Q값을 측정하여 해당 주파수의 공진점을 찾는 방법으로서 Q값은 전압으로 표시한다.

불량 판정 방법으로는 각 해당 주파수 F1 ~ F4까지 측정한 평균 데이터를 기준으로 하여 백분율 퍼센트로 표시하며 기준 대비하여 90% ~ 104%일 경우만 정상으로 판단한다. 평균데이터의 측정은 주파수별로 20개 이상 정상적인 미니본드에서 측정하였다. 해당주파수를 -100 ~ +100HZ로 주파수를 1HZ단위로 주파수를 변경하여 Q값의 변화치를 감지하여 Q값이 변화가 없을 경우 카운터를 하여 해당 주파수 값이 190회 동안 Q값이 변화가 없을 경우 불량으로 판단한다.

4. 결 론

본 논문에서는 현장 송수신용 미니본드 점검 방법을 개선함으로써 AF케도회로의 장애 발생시 현장 미니본드의 문제인지 신호기계실 케도회로 PCB의 문제인지를 신속히 파악할 수 있는 방안에 대하여 제시하였다. 또한 AF케도회로의 장애 상황이 아니더라도 유지보수자가 일상점검 시 미니본드 R-L-C 회로 구성부품의 특성을 사전에 파악하여 불량 미니본드를 사전에 교체함으로써 장애 예방과 열차안전운행에 도움을 줄 것으로 사료된다.

참고문헌

- [1] 정호형, 김철구, 권부석 (2013)“미니본드(MB) 시험기 개발 연구보고서”, 서울메트로 기술연구원
- [2] 34호선 신호설비 정밀안전진단 용역 보고서(2011)
- [3] Seoul Metro (2013) Train operation schedule of Seoul Metro line 3,4
- [4] Seoul Metro (2013) The Return current of Substations in Seoul Metro line 3,4
- [5] Seoul Metro (2013) The Location of Substations in Seoul Metro line 3,4
- [6] Pyo Kim, Min Ki Park(2013) A study on the efficient design of the MINI-BOND in AF(Audio Frequency) track circuit