

기존선 전철화에 따른 궤도회로 특성 연구

김용규\*, 백종현\*, 유창근\*\*

\* 한국철도기술연구원, \*\* 남서울 산업대학교

A Study on the track circuit characteristic in electrified classical line

KIM Yong-Kyu\*, BAEK Jong-Hyun\*, RYU Chang-Keun\*\*

\* Korea Railroad Research Institute, \*\* Namseoul University

**Abstract** - 기존선 전철화, 철도시설물 정비사업 및 고속철도 연계 운행을 위한 우리나라의 전철화 구간용 궤도회로는 역 구내는 임펄스 궤도회로로, 역간은 AF 궤도회로로 선정하였다. 본 논문에서는 이들 궤도회로의 특성 및 역할을 열차운행속도와 안전측면에서 분석하였다.

1. 서 론

궤도회로는 열차 점유 검지를 위해 1869년 미국의 윌리엄 로빈슨에 의해 발명되었다. 초기의 궤도회로는 개전로식이지만 1872년부터 현재까지는 주로 폐전로식을 사용한다. 궤도회로는 동작 특성에 따라 신호장치, 선로 전환장치, 기타의 보안장치를 직접 또는 간접으로 제어할 목적으로 설치하며, 주로 열차검지, 정보의 전송, 레일 절손 검지, 귀선 전류 귀환 등에 사용된다[1].

궤도회로는 주로 사용전원, 회로 구성, 궤도 절연에 따라 분류한다. 사용 전원에 따른 궤도회로 분류는 직류, 교류, 정류, 코드, 가청주파수(AF) 등으로 구분된다. 직류 궤도회로는 직류전원을 이용한 궤도회로로 직류궤도 계전기를 사용한다. 직류궤도회로의 전원은 정전에 대비하여 부동식 충전방식을 사용한다. 이는 평상시 축전지에 충전된 전원을 정전이 되었을 때 사용하기 위해서이다. 교류 궤도회로는 교류 전원의 무정전 확보가 가능한 지역에서 많이 사용한다. 사용주파수에 따라 50Hz 또는 60Hz를 사용하는 상용주파수 방식과 25Hz를 사용하는 분주 궤도회로 방식 등이 있다. 교류 궤도회로의 특징은 가동부분이나 트랜지스터 등이 없으므로 수명이 길고 신뢰성이 높으며 제어구간이 길고 유지보수가 용이한 장점을 갖는다. 정류 궤도회로는 교류를 정류한 맥류를 전원으로 이용하는 특수한 목적을 위해 사용하는 궤도회로 방식이다. 코드궤도회로는 궤도에 흐르는 신호전류를 임의의 코드(부호)로 전송하고, 이 코드 전류가 코드 계전기를 동작시킨 다음 복조기를 통하여 정류의 코드(부호)일 때에만 코드 반응 계전기를 동작하도록 하는 원리를 사용한다. 이러한 궤도회로의 특징은 궤도회로 제어거리의 증대, 열차 궤도단락감도 향상 및 미소전류에 의한 오동작을 방지한다. 가청주파수(AF) 궤도회로는 신호전류에 1 kHz 가량의 가청주파수를 변조기로 변조하여 송신하고 수신단에서는 변조된 주파수중 선택증폭기로 해당 주파수를 증폭, 정류하여 궤도 계전기를 동작시키는 방식이다. 경부고속선의 UM71과 기존선 전철화에 따라 역간에 사용하는 TI21 궤도회로가 이러한 궤도회로의 대표적인 예로 주어진다[2].

구성 방법에 따른 궤도회로의 분류는 개전로식과 폐전로식으로 주어진다. 개전로식은 초기의 궤도회로에서 사용된 방식으로 회로를 구성하는 전기회로가 상시 개방되어 계전기에 전류가 흐르지 않지만 열차가 궤도회로 내에 진입하면 차축을 통하여 계전기에 전류가 흘러 궤도 계전기가 동작하게 된다. 이러한 방식은 전력 소모가 적지만 안전도가 감소하기 때문에 특별한 경우 이외에는

사용하지 않는다. 반대로, 폐전로식은 회로를 구성하는 전기회로가 폐회로로 구성되어 평상시에서도 계전기에 전류가 흐르지만 열차가 궤도에 진입하면 차축에 의하여 궤도가 단락되므로 계전기에는 전류가 흐르지 않게 된다. 이러한 방식은 전원의 고장, 회로의 단선, 그 외의 기기 고장 발생시에도 계전기가 안전측으로 동작하므로 신호보안장치에서 가장 많이 이용하지만 회로에 항상 전류가 흐르고 있기 때문에 전력소비가 큰 단점이 있다.

궤도절연에 따른 분류는 절연의 유무에 따라 유절연식과 무절연식으로 구분한다. 유절연 궤도회로방식은 궤도회로 경계지점에 접촉식 절연레일 또는 절연체 이음매판을 사용하여 전기적으로 회로를 분리하는 방식으로 장래 레일 사용이 불가능하고 레일 복전에 의한 궤조 절연 파괴현상이 빈번하게 발생되며, 절연파괴에 의한 궤도회로 장애 발생시 복구에 많은 시간이 소요된다. 특히 임피던스 본드, 튜닝 유닛 등과 같은 역간 궤도경계구간의 현장설비 증가로 인해 유지보수가 어렵고 궤도회로 장애 시에는 복구시간 지연에 따른 열차운행에 많은 지장을 초래하는 취약한 방식으로 고밀도 운전이 요구되는 도시철도에서는 거의 사용하지 않는다. 이는 절연 방식에 따라 단궤조식과 복궤조식으로 구분되며, 단궤조식은 궤도회로를 구성하는 궤도의 한쪽만을 절연하는 방식으로 전철구간에서 한쪽 궤도에 귀선 전류를 흘리기 위하여 많이 사용하는 반면, 복궤조식 궤도회로는 궤도회로를 구성하고 있는 양쪽의 궤도를 절연하는 방법으로서 일반적으로 많이 사용한다. 무절연식 궤도회로는 궤도회로 경계지점에 궤도 절연대신에 본드나 튜닝 유닛을 설치하여 전기적으로 회로를 분리한다. 이 방식은 송·수신 설비를 신호기계실에 집중화하여 장비의 신뢰성을 향상함으로써 유지보수가 용이하고 다량의 정보전송 및 원거리의 궤도회로 제어시에 사용한다.

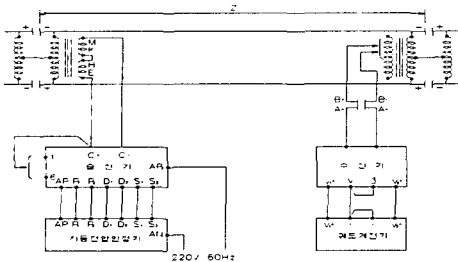
2. 궤도회로의 특징

궤도회로의 사용은 침묵, 장대 레일 사용 유무, 기존의 절연 이음매를 갖는 일반 궤도, 고정된 신호기 위치, 절연 위치 등에 따라 설치 위치가 검토되어야 한다. 유절연 궤도회로방식은 각 궤도회로 경계지점에 접촉식 절연레일 또는 절연체 이음매판을 설치하므로 기존 변화가 심한 경우에는 레일의 신축현상이 많이 발생함에 따라 이러한 신축현상이 절연개소에 집중됨으로서 궤조 절연의 파괴가 빈번하게 발생되어 절연파괴에 의한 궤도회로 장애 발생시 복구에 많은 시간이 소요된다. 특히 유절연 궤도회로방식은 역간 장대레일화가 불가능하며 승차감이 떨어지고 열차검지 및 전차선의 귀선전류를 흐르게 하기 위한 임피던스본드, 튜닝유닛 등의 현장설비의 증가로 유지보수가 어렵고 궤도회로 장애시 복구시간지연에 따라 열차안전운행에 많은 지장을 초래한다. 반면 무절연 궤도회로는 "전기적 이음매"에 의해 인접 구간을 분리하며 역간에 있어서 길이가 750m 이하의 궤도 회로인 경우에 궤도를 따라 선로간에 어떠한 콘덴서 및 절연 이음

매를 필요로 하지 않는 용이한 유지 보수성 및 궤도 회로를 통해 흐르는 귀선 전류의 감소 등으로 인해 최상의 궤도 회로 시스템으로 주어진다. 따라서 절연부분에서 발생되는 장애 요인을 원천적으로 제거할 수 있는 무절연 AF 궤도회로를 역간에 설치하는 것이 열차속도 향상에 따른 열차안전운행 및 정시 운전은 물론 신호설비의 안전성과 신뢰성 확보 차원에서 최초 건설비는 유절연 방식에 비해 다소 많이 소요되지만 장기적인 측면에서는 더 경제적이고 유지보수비용도 절감할 수 있는 실용적인 설비가 될 것으로 분석된다. 그러나 역구내 궤도회로장치는 분기부에서 주파수 간섭을 방지하기 위해 궤조 절연을 삽입해야 함은 물론 연동장치, Switching 회로 보호, 구간 경계의 정확성 및 간선 선로의 산화(De-shunting risk protection) 등, 안전 문제로 인해 임펄스 궤도 회로를 주로 설치한다. 임펄스 궤도회로는 귀선 전류의 용량에 따라 적절한 임피던스 본드를 선택해야 한다. 일반적으로 견인력이 주어지는 위치(변전소, 구분소), 유절연과 무절연 궤도회로 경계 및 기존선/고속선 연결선 구간 등에서는 안전의 이유로 430A용 임피던스 본드를, 그 외의 경우에는 대부분 200A용 임피던스 본드를 사용한다.

현재 우리나라에서 사용중인 기존선 구간의 궤도회로는 고속전철 운영을 위한 시설물 정비사업과 기존선 전철화 사업에 따라 현재의 궤도회로는 역 구내의 경우에는 전철화 구간에서 일반적으로 사용하는 유절연 방식의 임펄스 궤도회로(HVI : High Voltage Impulse)를 설치하는 것이 안전 및 경제적인 측면에서 적절할 것으로 분석되었다. 또한 역간에는 무절연 AF 궤도회로를 사용하는 것으로 결정됨에 따라 현재 Bombardier에서 제작한 TI21 AF 무절연 궤도회로가 설치 중에 있다. AF 궤도회로는 역 구내에 설치할 경우 일부 구간에서는 설치 효과가 클 수 있지만 분기부 밀집지역에서는 주파수 반전현상이 발생되기 때문에 절연 설치가 불가피하다[3].

그림 1은 임펄스 궤도회로의 구성을 나타내며, 구성 요소에 따라 송신기, 수신기, 궤도 계전기, 임피던스 본드로 구성된다.



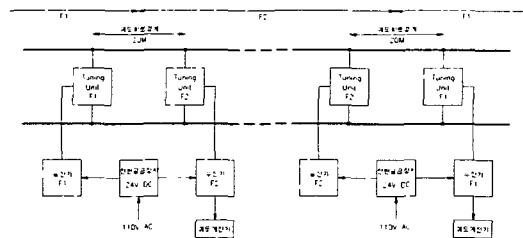
<그림 1> 임펄스 궤도회로의 구성

그림 1에서 자동 전압 안정기는 송신기에 정격 AC 전원을 공급하며 입력 전압 변동시의 출력 전압 변동은  $\pm 10\%$ 로 주어진다. 송신기는 제어부, 송신부에 정격 DC 전원을 공급하는 정류부, 제어부, 제어부의 R.C 충전 및 방전회로 작동에 의해 일정한 간격(180펄스/분 $\pm 5\%$ )으로 동작하며, 임피던스 본드를 통해서 정펄스와 부펄스로 구성되는 비대칭 파형의 임펄스를 궤도로 송신하는 송신부로 구성된다. 수신기는 임피던스 본드로부터 전송된 비대칭 파형의 임펄스를 수신하여 궤도 계전기를 동작시킨다. 여기서 인접 궤도 회로와의 송·수신 파형은 상호반대가 되도록 접속됨에 따라 인접 궤도회로의 궤도 절연이 파손될 경우, 정·부 펄스가 대칭으로 주어짐으로서 궤도 계전기는 낙하된다. 임피던스 본드는 송신형과 수신형으로 구분하여 궤도회로를 경계하는 각 절연과에 설치함으로써 전차선 귀선 전류의 흐름, 인접 궤도회

로의 신호 전류의 유입 방지, 및 송·수신 임펄스 전압 조정의 역할을 실행한다. 궤도 계전기는 동작에 필요한 직류 전원을 공급하는 수신기에 연결되며 주어진 임펄스가 충분한 진폭 및 정확한 대칭파를 발생하지를 확인한다.

궤도	주파수 관련 문자	공칭 주파수 (Hz)	실제 주파수 (Hz)
1	A	1699	1682 ~ 1716
	B	2296	2279 ~ 2313
2	C	1996	1979 ~ 2013
	D	2593	2576 ~ 2610
3	E	1549	1532 ~ 1566
	F	2146	2129 ~ 2163
4	G	1848	1831 ~ 1865
	H	2445	2428 ~ 2462

<표 1> TI21 AF 궤도회로 주파수 배분표



<그림 2> TI21 AF 궤도회로 구성

기존선 전철화 구간의 역간에 사용 예정인 TI21 AF 무절연 궤도회로는 Bombardier에서 개발된 AC 또는 DC 전철화 구간 모두에서 사용이 가능한 궤도회로로 표 1과 같이 1,459~2,563Hz의 가칭 주파수(AF)에서 A~G 8 종류의 AF 궤도회로 주파수를 A/B, C/D, E/F 및 G/H의 4조로 구성하여 사용한다. 4조로 구성된 TI21 무절연 궤도회로장치는 하나의 궤도에 1조를 구분해서 A와 B를 교대로 사용한다. 동일한 선로에는 동일한 1조의 주파수를 교대로 사용하며 2조의 주파수를 동일한 선로에 설치하지 않는다. 만약 사용이 필요한 경우에는 경계점에 절연을 설치하여야 한다[4].

### 3. 전철화 관련 궤도회로 검토

차상신호 설치 또는 현재 진행중인 전철화 사업 관련 운행 열차 속도 향상의 경우 기존의 궤도회로는 속도와 연관하여 특별한 제약을 받지 않지만 열차 안전, 정시 운행 및 신호설비의 안전성과 신뢰성 확보를 위해 우리나라에서 현재 적용중인 역 구내 유절연 궤도회로(고전압 임펄스 궤도회로), 역간 무절연 AF 궤도회로(TI21 AF 궤도회로)의 사용이 최적의 궤도회로 구성방안으로 검토된다. 만약 새로운 궤도회로를 설치할 경우에는 궤도회로 사용 환경의 공급 전원 주파수 관련 고주파 간섭 현상과 Pole, Zero 장애 시험이 안전성의 차원에서 다음과 같이 검토되어야 한다.

#### 3.1 고조파 환경에 따른 궤도회로 검토

주로 무절연 AF 궤도회로에서 고조파 환경에 따른 간섭 현상의 검토가 필요하다. 유럽의 경우, 16Hz, 50 Hz 및 1500DC, 25kv AC, 2x25kv AC 등 여러 종류의 주파수와 전력원의 조합이 사용됨에 따라 이들 전원에 적합하도록 궤도회로 주파수가 주어지는 반면, 우리나라의 경우에는 기본 60Hz에 2x25kv AC가 사용됨에 따라 궤도회로 제작사에서 사용하는 주파수를 그대로 적용하기에는 고주파에 의한 안전성 문제의 유발 가능성이 있다. 현재 경우

고속선에서 사용하는 UM71 AF 궤도회로의 경우에도 유럽에서 사용하는 전력원 주파수 50Hz에 대한 궤도회로 주파수를 우리나라의 60Hz 주파수에 적합하도록 변경함으로써 관련 궤도회로 요소에 대한 주파수 조정을 실행하였다. 표 2는 고속선에서 사용하는 UM71 AF 궤도회로에 대한 60Hz 고조파 시험 결과를 주파수 영역으로 표시한 결과이다. 표 2에서 궤도 회로는 안전측 동작 원리 (Fail-Safe)에 따라 기본 공칭 주파수를 주파수 축 이동 (FSK : Frequency Shift Key)한 두 개의 축 이동 주파수 ( $F - \Delta F = 1700 - 10 = 1690$ ,  $F + \Delta F = 1700 + 10 = 1710$ )로 정보 전송을 실행하며, 주어진 두 개의 축 이동 주파수(1690, 1710)는 공칭 기본 주파수를 중심으로  $F \pm 50\text{Hz}$ 의 주파수 범위(1650Hz~1750Hz) 내에서 동작한다. 이러한 결과를 우리나라의 60Hz 환경에 적용하기 위해 1700Hz는 2040Hz로, 나머지 주파수는 표 2와 같이 변경하였다. 이는 적용 대상 주파수를 60Hz의 짝수 고조파에 인접하게 함으로써 차량에서 발생하는 기수 고조파에 의한 궤도회로 영향을 최소화하기 위해서이다.

궤도회로 주파수	제1 주파수	제2 주파수	제3 주파수	제4 주파수
프랑스의 UM71 궤도회로 주파수(50Hz)	1700	2300	2000	2600
UM71 궤도 주파수 관련 차량 고조파(50Hz)	1700 (34차 고조파)	2300 (46차 고조파)	2000 (40차 고조파)	2600 (52차 고조파)
유럽의 TI21 궤도회로 주파수(50Hz)	1699	2296	1996	2593
TI21 궤도회로 주파수 관련 차량 고조파(50Hz)	1700 (34차 고조파)	2300 (46차 고조파)	2000 (40차 고조파)	2600 (52차 고조파)
경부고속선의 UM71 궤도회로 주파수(60Hz)	2040	2760	2400	3120
UM71 궤도회로 주파수 관련 차량 고조파(60Hz)	2040 (30차 고조파)	2760 (46차 고조파)	2400 (40차 고조파)	3120 (52차 고조파)
기존선의 TI21 궤도회로 주파수	1699	2296	1996	2593
TI21 궤도회로 주파수 관련 차량 고조파(60Hz)	1680 (28차 고조파)	2280 (38차 고조파)	1980 (33차 고조파)	2580 (43차 고조파)

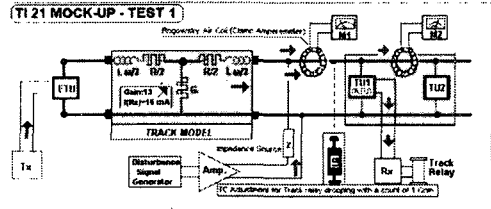
<표 2> 고조파 관련 궤도회로 주파수 비교

### 3.2 Pole과 Zero 장애 시험

Pole과 Zero 장애 시험은 궤도회로의 안전한 동작과 밀접한 관계를 갖는다. 고속선 연계 운행에 따라 기존선 전철화 구간에서 사용하는 TI21 AF 궤도회로 주파수에 대한 Pole end와 Zero end 실험은 다음과 같이 실행하였다.

#### 1) Pole end 장애 시험

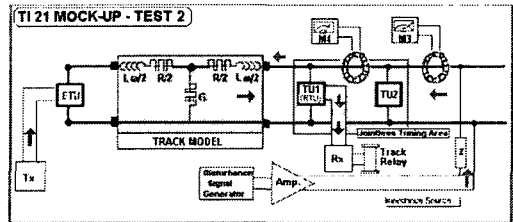
TI21 AF 궤도회로의 제작사인 Bombardier 사는 Pole end 시험을 위해 그림 3과 같은 회로를 구성한 후,  $M_1$ 과  $M_2$ 에서의 측정을 실행하였다.  $M_1$  측정에서의 전류 측정기는 선로에 흐르는 전류를 측정하기 위해 설치되며, 궤도회로 계전기의 단락을 유발하는데 필요로 하는 장애 전류는 어떠한 환경에 관계없이 최소 0.08A가 되어야 한다.  $M_2$  측정에서의 전류 측정기는 궤도회로의 turning 영역 전류를 측정하기 위해 설치되며,  $M_2$  위치에서의 방해 전류는 주로 궤도 회로 계전기의 단락을 유발하는 원인으로 주어지기 때문에  $M_2$ 의 측정은 궤도회로 동작에 매우 중요한 역할을 하며, 방해 전류에 의한 어떠한 위험 상황도 궤도회로에 인가되지 않아야 한다.



<그림 3> Pole end 시험 회로

#### 2) Zero end 장애 시험

Zero end에 대한 궤도 회로 시험도 Pole end에 대한 시험과 동일한 형태로 시험 회로를 구성한다.  $M_3$  측정에서의 전류 측정기는 turning 영역에 설치된다. 이 위치에서는 방해 전류가 단락된 계전기의 값을 상승시킬 수 없기 때문에 어떠한 특수한 경우도 고려되지 않는다.(전류 값 범위 : 2A~10A).  $M_4$  측정에서의 전류 측정기는 선로에 흐르는 전류를 측정하기 위해 설치된다. 궤도 회로 계전기의 단락을 유발할 수 있는 장애 전류가 매우 강하게 도달함에 따라 어떠한 위험 상황도 궤도회로에 인가되지 않아야 한다.



<그림 4> Zero end 시험 회로

### 3. 결 론

본 논문에서는 기존선 전철화 및 속도 향상에 관련된 궤도회로의 특성에 대해 분석하였다. 그 결과, 궤도회로는 속도 향상에 대해 무관한 것으로 검토되었다. 기존선 구간에 있어서 궤도회로는 역간에는 AF 궤도회로가, 역구내에는 임펄스 궤도회로 설치가 최적의 방안으로 주어지며, 안전 측면에 있어서 전철화 궤도회로의 선택에는 반드시 공급 전력 주파수에 대한 차량 고조파 영향과 궤도회로의 안전성을 위한 Pole, Zero end 장애 시험이 실행되어야 한다. 또한 AF 궤도회로와 임펄스 궤도회로 연결 부근에서의 연결 방안도 함께 검토되어야 한다.

#### [참 고 문 헌]

- [1] "철도 전철망 구축 기본 계획", 한국개발연구원, 2003
- [2] "호남선 전철화 타당성 조사 및 기본 계획", 한국철도기술연구원, 2001
- [2] 고속철도 연계 운행을 위한 시설정비사업 및 기존선 전철화 사업 관련 기술자문 보고서, 한국철도기술연구원, 2002.12
- [4] 김용규, 백종현, 유창근, "차상신호 방식에서의 자동 폐색 시스템의 역할", 대한전기학회 춘계학술대회 논문집, pp 241 - 243, 2004.04