

궤도회로의 유지보수 효율화를 위한 동조 유니트 특성 분석

김용규¹, 백종현^{1*}, 박재영²
¹한국철도기술연구원, ²우송대학교 철도전기신호학과

Analysis of Tuning Unit Characteristic for Track Circuit Maintenance Efficiency

Kim Yong Kyu¹, Baek Jong Hyen^{1*} and Park Jae Young²

¹Korea Railroad Research Institute,

²Department of Railroad Electric & Signaling, Woosong University

요약 경부고속선에서 사용하는 열차제어시스템은 ATC, IXL, CTC로 분류되며, 열차 속도 제어 및 간격 제어에 관련된 ATC 정보는 UM71 AF 궤도회로와 BSP Loop를 통해 지상에서 차상으로 전송된다. 궤도회로를 통해 전송되는 정보는 주로 열차 운행에 직접적인 영향을 주는 운영 정보로 구성된다. 특히 BSP Loop를 통해 전송되는 정보는 터널, 차축온도 감지장치, 또는 절연구간과 같이 특수한 선로변 환경에 대해 추가적인 정보 전송을 필요로 하는 구간에서 사용된다. 본 논문에서는 경부고속선 개통 이후부터 현재까지 기존선과 고속선 연결 구간에서 주로 사용되는 UM71 AF 궤도회로의 BA형 동조 유니트 특성을 기준값과 측정값을 비교하여 분석하였다. 이러한 분석을 통해 BA형 동조 유니트가 설치된 구간의 궤도회로 장애와 같은 문제 발생시 원인규명 및 유지보수를 보다 쉽게 이룰 수 있을 것이다.

Abstract The train control system used in Gyeongbu-line is classified in ATC, IXL and CTC. The ATC data related to speed and space control for trains are transmitted from wayside to onboard by way of UM71 AF track circuits and BSP Loop. The information transferred by track circuits is composed of operation data which directly influence to the train operation and the information transferred by BSP Loop is used in the section which requires the additional data transmission about the particular track-side environment such as tunnel, hot box detector or insulated section. In this paper, for the BA type turning unit of the UM71 AF track circuits which is mainly used in the linking section of existing and high-speed lines from the opening of the Gyeongbu line till the present, we not only analyze the characteristics of BA but also compare and analyze baseline values and the measured values. With this analysis, we will be able to propose how to solve the problems about operation and maintenance such as track circuit malfunctions of the relevant sections.

Key Words : Train Control, Track Circuit, Signalling System, Maintenance

1. 서론

경부고속선의 고속선 및 기존선 연결구간에서 사용하고 있는 UM71 AF 궤도회로는 프랑스 Ansaldo(Ex-CSEE)에 의해 개발된 후, 프랑스의 TGV 동남선, 대서양선 등의 고속선 및 기존선에서 사용되고 있는 AF(Audio Frequency) 궤도회로이다[1].

다음 그림 1과 같이 구성되는 UM71 AF 궤도회로는 송수신 장치를 신호기계실에 집중 설치함으로써 지상에서 차상으로의 정보 전송과 열차 감지 기능을 중점적으로 수행하는 AF 궤도회로이다. 이러한 궤도회로는 레일을 전기회로의 일부로 사용하여 회로를 구성한 후, 차량이 레일을 통과하는 순간에 차량의 차축에 의해 레일을 단락시킴으로서 선로에서의 열차 위치 감지, 레일 절손

본 논문은 국토해양부 “한국형 틸팅열차 신뢰성 평가 및 운용기술개발” 연구과제로 수행되었음.

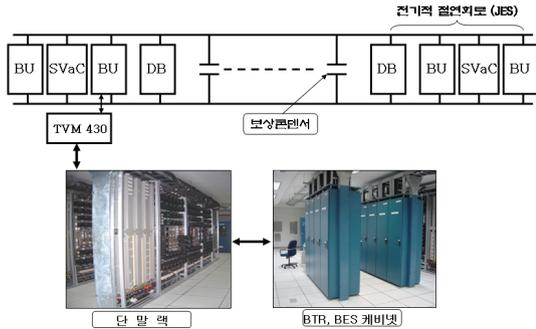
*교신저자 : 백종현(jhbaek@krti.re.kr)

접수일 09년 08월 26일

수정일 09년 12월 02일

게재확정일 09년 12월 16일

검지 및 열차 운행 정보 전송 등의 기능을 수행한다[2].



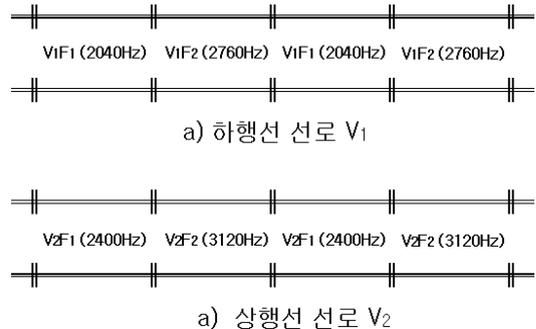
[그림 1] UM71 AF 궤도회로의 구성

이러한 UM71 AF 궤도회로의 구성은 보상 콘덴서 C(Condenser), 동조 유닛 TU(Tuning Unit), 공심 유도자 ACI(Air Core Inductor), 매칭 유닛 TAD430(Matching Unit) 및 양극자 블록 DB(Blocking Dipole) 등의 현장 설비와 송신기 TM(Transmitter), 수신기 RE(Receiver), 궤도 계전기 R(Relay), 거리 조정기 또는 가공지선 SFL(Symmetrical Fictive Line) 등의 실내설비로 분류된다. 이러한 설비 구성을 통해 연속적으로 정보를 전송하기 위한 연속 정보 전송용 메시지 구성에 0.88~17.52Hz 27Bits로 구성된 가칭 주파수를 사용한다. 구성된 메시지는 연속 정보용 반송 주파수 F1, F2, F3, F4, F5, F6, F7, F8을 통해 지상에서 차상으로 전송된다. 경부고속선에서는 592개의 UM71 AF 궤도회로에 대해 F1(V1F1), F2(V2F1), F3(V1F2), F4(V2F2)로 구성된 아래와 같은 주파수가 사용된다. 이러한 주파수는 유럽에서 사용되는 UM71 AF 궤도회로 주파수의 변형된 형태로써 유럽에서는 50Hz 전원 주파수의 홀수 고조파 영향을 최소화하기 위해 구성된 주파수이지만 국내에서는 60Hz 전원 주파수에 응용하기 위해 다음과 같이 변환된 주파수를 사용한다[3].

- F1(V1F1) : 2040Hz = 1700Hz × 60/50
- F2(V2F1) : 2400Hz = 2000Hz × 60/50
- F3(V1F2) : 2760Hz = 2300Hz × 60/50
- F4(V2F2) : 3120Hz = 2600Hz × 60/50

반송 주파수는 상행선과 하행선에 있어서 인접한 궤도회로와의 상호 주파수 간섭이 발생하지 않도록 주파수를 구분하여 배열하며, 이러한 이유로 인해 동일 선로에서도 2 종류의 반송 주파수를 교대로 사용한다. 다음의 그림 2는 경부고속선에 배열되어 있는 반송 주파수를 보여주고

있다.

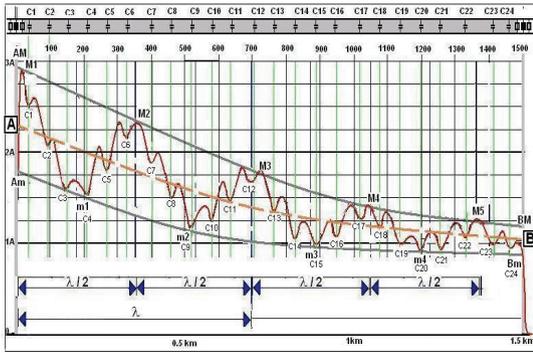


[그림 2] 경부고속선 반송 주파수 배열

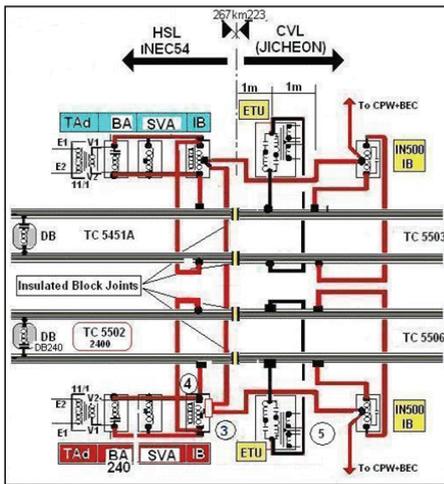
2. 궤도회로의 측정

고속선에 연속적으로 설치된 궤도회로는 전기적 이음매(ESJ : Electrical Separation Joint)를 통해 인접 주파수 궤도회로와 절연되며, 이들 궤도회로에는 60m~80m 간격으로 송신 데이터를 보상하기 위한 보상 콘덴서가 설치된다. 이러한 UM71 궤도회로를 수학적 또는 물리적으로 표현하기에는 매우 복잡할 뿐 아니라, 전기적 이음매의 송신측에서 수신측으로 이동하는 전압 레벨과 단락 전류의 측정치는 규칙적인 하강 곡선을 그리지 않기 때문에 장애 발생에 따른 결함 검출을 위해서는 이러한 궤도회로의 특성에 대한 측정 곡선 형태를 완벽하게 이해하고 있어야 한다[4].

다음의 그림 3은 궤도회로의 측정값 변화 곡선을 보여주고 있으며, 이러한 곡선은 위쪽 포물선을 구성하고 있는 M1, M2, M3, M4, M5의 상한점(AM-BM)과 아래쪽 포물선을 구성하고 있는 m1, m2, m3, m4(Am-Bm)를 통과하게 된다. 또한 각각의 콘덴서가 존재함을 나타내는 C1, C2 등이 표시되며, 일반적으로 A와 B구간의 평균곡선으로 표시할 수 있다. 따라서 궤도회로의 측정은 송신기(Tx)와 수신기(Rx), 콘덴서(C), 그리고 각각의 콘덴서 간에 측정된 값을 통해 Icc 전류에 대한 실제적인 측정 곡선을 구성할 수 있으며, 사용된 기준치는 장애시 검출된 수치와 상호 비교함으로써 장애 원인을 더욱 신속하고 용이하게 찾아낼 수 있다. 이러한 궤도회로의 측정위치 및 측정하는 사진을 다음의 그림 4에서 보여주고 있다 [5].



[그림 3] 궤도회로의 측정값 예시



a) 궤도회로의 측정 위치



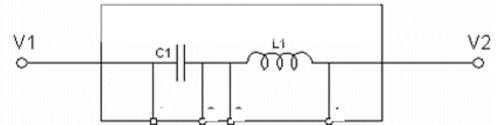
b) BA측정(VS 190K 전압계사용)

[그림 4] 궤도회로의 측정

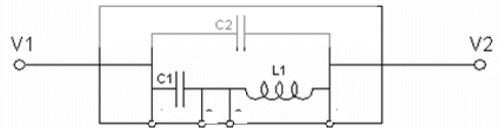
3. 동조 유닛 TU의 특성 분석

동조 유닛 TU는 공심유도자 ACI와 전기적으로 결합하여 공진회로를 구성함으로써 궤도회로 주파수를 동조시키는 역할을 한다. 이러한 동조 유닛은 물리적 절연없이 전자적으로 회로를 구분하며, 궤도회로 1개소당 2개의 동조 유닛을 선로에 직접 연결하는 무절연형 BU

와 공심유도자 ACI에 연결하여 병렬공진 회로를 구성하는 유절연형 BA로 구분된다. 본 논문에서는 기존선과 고속선의 연결 구간에서 주로 사용되는 BA형 동조 유닛에 대해 중점적으로 분석하였다. 이들 각각의 동조 유닛은 V1F1, V1F2, V2F1, V2F2의 4개 반송주파수 별로 4종류의 동조 유닛이 사용되고, V1F1, V2F1 주파수는 용량성 임피던스로, V1F2, V2F2 주파수는 낮은 유도성 임피던스를 가지며 다음의 그림 5와 같이 L과 C의 직렬 또는 병렬 구조로 구성된다[3,4].



a) 주파수 V1F1, V2F1용



b) 주파수 V1F2, V2F2용

[그림 5] 동조 유닛 BA의 구조

유절연형 BA의 주파수 F1형은 주파수 F2에 동조되는 직렬 공진 회로로 구성되며, F1 주파수에서는 등가 커패시터로, F2 주파수에서는 단락 회로로 작용한다. 유절연형 BA의 주파수 F2형은 주파수 F1에 동조되는 직렬 공진 회로로 구성되며, 고용량 커패시터와 병렬로 결합된다. 이는 주파수 F1에서 단락 회로로, 주파수 F2에서는 등가 커패시터로 작용하며, 직렬 공진 회로는 주파수 F2의 인덕턴스와 등가가 된다[2].

한 예로 V2F1에 대한 레일간 임피던스는 다음의 표 1의 값을 활용하면 아래와 같다. 만약 임피던스의 실수부를 무시한다면,

$$\frac{Z_c}{Z_L} = \frac{U_c}{U_L} \text{ 이 된다.}$$

여기서, Z_c = 콘덴서 임피던스 = $R_c - j/C_w$

Z_L = 자기 인덕턴스 임피던스

$$= R_L + jwL$$

U_c = 콘덴서 단자 전압

U_L = 자기 인덕턴스 단자 전압

따라서 U_c/U_L 비율은 임피던스 Z_c 와 Z_L 의 비율로 다음의 수식 1 및 2와 같이 결정되고, 관련 Pole 및 Zero 주

파수를 삽입함으로써 구해진다.

[표 1] BA 동조 유니트의 구성 값

	Pole (Hz)	Zero (Hz)	C1 (μF)	L1 (μH)	C2 (μF)
BA 204	2040	2760	91	30	-
BA 240	2400	3120	56	39	-
BA 276	2760	2040	82	66	82
BA 312	3120	2400	60	62	60

$$Pole\ ratio = \frac{U_c}{U_L} = \frac{Z_c}{Z_L} = 2.22 \quad (1)$$

$$Zero\ ratio = \frac{U_c}{U_L} = \frac{Z_c}{Z_L} = 1.21 \quad (2)$$

앞에서 설명하였듯이, 동조 유니트 BA는 인접 궤도회로 주파수(임피던스 zero)에 대해서는 단락 기능을 실행하며, 타 궤도회로 구성품의 임피던스와 연계되어, BA 설치 궤도 회로의 주파수(임피던스 Pole)에 적합한 동조 회로를 구성한다. 따라서 이러한 특성을 갖는 동조 유니트 BA의 점검은 앞에서 언급한 2 가지의 BA 기능에 대해 각기 실시되는 것으로, BA 타입에 따라, 극(Pole) 주파수 BA와 제로(Zero) 주파수 BA를 구분하여, 각각의 임피던스 값을 측정한다. 측정된 값은 앞의 수식을 통해 계산된 전극 C1의 전압 U_c 와 전극 L1의 전압 U_L 을 통해 계산된 이론적 전압비와 비교한다. 이때 측정은 자신의 주파수와 인접 주파수에 대해 실시한다. 다음의 표 2는 이론상의 U_c/U_L 비율을 보여주고 있다. 참고로 다음의 표 계산에서는 코일의 직렬 저항은 매우 작게 주어짐으로서 고려되지 않았다[2].

[표 2] 이론상의 U_c/U_L 비율

기능	단락	콘덴서
2040	1.23	2.25
2400	1.21	2.05
2760	1.13	0.62
3120	1.17	0.7

4. 유절연 동조 유니트 BA 분석

동조 유니트 BA는 인접 궤도회로 주파수(zero 임피던스)에 대해서는 단락 기능을 실행하고, 타 궤도회로 구성

소자의 임피던스와 연계되어, BA 설치 궤도 회로의 주파수(Pole 임피던스)에 맞는 회로를 구성한다. BA의 분석은 이러한 두 가지의 BA 기능에 대한 확인 과정으로 BA 유형에 Pole 주파수 BA와 Zero 주파수 BA를 구분하여 각각의 임피던스 값을 측정 후, U_c/U_L 에 대한 이론치와 검측치를 비교·분석하였다. 이때 BA의 특성에 따라 주어지는 각각의 주파수에 대한 Pole과 Zero 기능의 분석을 위해 기준 주파수가 BA 설치 인접 주파수인 경우와 BA 설치 궤도회로 주파수인 경우로 분류하였다[5].

4.1 Zero 기능 분석

BA204의 V1F1(2040 Hz)의 경우, 관련 전압은 주파수 V1F2(2760Hz) 상태에서 VS190 측정기를 사용하여 그림 5 a)의 콘덴서 C1과 인덕턴스 L1에서 측정한 결과 U_c/U_L 비율은 약 1.23으로 측정되었다[6, 7].

BA276의 V1F2(2760Hz)의 경우, 관련 전압은 주파수 V1F1(2040Hz) 상태에서 VS190 측정기를 사용하여 콘덴서 C1과 인덕턴스 L1에서 측정한 결과 U_c/U_L 비율은 약 1.13으로 측정되었다.

BA240의 V2F1(2400Hz)의 경우, 관련 전압은 주파수 V2F2(3120Hz) 상태에서 VS190 측정기를 사용하여 콘덴서 C1과 인덕턴스 L1에서 측정한 결과 U_c/U_L 비율은 대략 1.21로 측정되었다.

BA 312의 V2F2(3120Hz)의 경우, 관련 전압은 주파수 V2F1(2400Hz) 상태에서 VS190 측정기를 사용하여 콘덴서 C1과 인덕턴스 L1에서 측정한 결과 U_c/U_L 비율은 대략 1.17로 측정되었다.

결론적으로, Zero 기능은 BA 주파수에 관계없이 U_c/U_L 비율이 “1.13 < U_c/U_L < 1.23”로 측정되었다. 따라서 만약 측정된 U_c/U_L 의 비율이 이러한 범위를 이탈하게 되면, 관련 BA는 장애가 발생한 것으로 추정할 수 있다.

4.2 Pole 기능 분석

Pole 기능 분석을 위한 측정 방법은 Zero 기능 분석에서 사용한 방식과 동일하지만, Zero 기능 분석과의 차이점은 기준 주파수가 BA 설치 궤도회로 주파수로 주어지는 점이다. 전압비는 C1과 L1의 단자 전압을 측정하여 U_c/U_L 비를 산출하며, $U_c/U_L = Z_c/Z_L$ 로 정의될 수 있다.

BA204의 V1F1(2040Hz)의 경우, 관련 전압은 주파수 V1F1(2040Hz) 상태에서 VS190 측정기를 사용하여 콘덴서 C1과 인덕턴스 L1에서 측정한 결과 U_c/U_L 비율은

참고문헌

- [1] 백종현, 이창구, 설남오, “단상 MJ81 전기선로전환기 국산화를 위한 구동부 성능 개선” 한국산화기술학회 논문지 제10권 제3호. pp.535-541, 2009.
- [2] CSTransport, “UM71 Track circuit”. 1995.
- [3] Eukorail, “Corrective maintenance sheet, Train Control System”. 2004.
- [4] Eukorail, “Preventive Corrective maintenance sheet, Train Control System”. 2004.
- [5] 김용규, 백종현외, “고속선 신호설비 유지보수 기술자문 연구보고서” 한국철도공사, 2007.
- [6] 김용규, 백종현외, “고속선 신호설비 안정화와 성능 개선을 위한 연구보고서” 한국철도공사, 2006.
- [7] 김용규, 백종현외, “고속선 신호설비 안정화와 성능 개선을 위한 연구보고서” 한국철도공사, 2005.

김 용 규(Yongkyu Kim)

[정회원]



- 1987년 2월 : 단국대학교 전자공학과 석사
- 1993년 9월 : DEA in Control Engineering from Institute National Polytechnique de Lorraine, France
- 1997년 7월 : Ph.D in Control Engineering from Institute National Polytechnique de Lorraine, France
- 1997년 12월 ~ 현재 : 한국철도기술연구원 열차제어통신연구실장

<관심분야>

자동제어, 지능형시스템, 제어계측

백 종 현(Jong-Hyen Baek)

[정회원]



- 1995년 2월 : 전북대학교 제어계측공학과 학사
- 1997년 2월 : 광주과학기술원 메카트로닉스공학과 석사
- 2009년 8월 : 전북대학교 메카트로닉스공학과 박사
- 1997년 1월 ~ 현재 : 한국철도기술연구원 열차제어통신연구실 선임연구원

<관심분야>

현대제어, 지능형시스템, 시스템엔지니어링

박 재 영(Jaeyoung Park)

[정회원]



- 1989년 2월 : 서울산업대학교 전기공학과 학사
- 1996년 8월 : 고려대학교 산업대학원 전기공학과 석사
- 2007년 2월 : 서울산업대학교 철도전문대학원 철도전기신호공학과 박사
- 1970년 2월 ~ 2007년 3월 : 한국철도공사 오송고속철도전기사무소장
- 2007년 3월 ~ 현재 : 우송대학교 철도전기신호공학과 교수

<관심분야>

자동제어, 지능형시스템, 제어계측