

고속철도 AF궤도회로경계구간 케이블길이 변화에 따른 전기특성 분석연구

최재식*, 김희식², 박주훈¹, 김범곤¹

¹한국철도공사 연구원, ²서울시립대학교 전자전기컴퓨터공학부

A Study on Analysis Electrical Characteristics of Cable Length change about area Boundary of UM71C Audio Frequency Track Circuit

Jae Sik Choi^{1*}, Hie Sik Kim², Ju Hun Park¹, Bum Gon Kim¹

¹Department of Technology Research, KORAIL Research Institute

²Dept. of ECE, University of Seoul

요약 본 논문은 2004년 경부고속선 개통이후 UM71C AF궤도회로 현장 구성품(BU, SVaC, DB)들이 선로내측 자갈도상에 설치되어 있기 때문에 겨울철 고속차량 낙빙 및 시설분야 장비작업으로 인한 파손사례가 자주 발생되어 시설물 보호를 위한 개선대책 일환으로 선로내측에 설치된 구성품을 선로외측으로 이설할 경우 케이블 길이 변화에 따른 임피던스 특성변화와 보상콘덴서 추가구성을 위하여 MATLAB Simulink를 이용하여 시뮬레이션을 시행하였고 또한 고속선 현장실증시험을 통하여 시뮬레이션과 동일한 결과를 얻었다. 향후 궤도회로사구간에 대한 보완과 구성품내부 임피던스 재설계 연구를 통하여 실제 현장에 적용될 수 있을 것으로 기대된다.

Abstract It has been often occurred for the outside components(BU, SVaC, DB) of UM71c AF track circuits to be broken down caused by some pieces of falling ice in the winter time or by infrastructure repairing equipments while facility maintenance works since 2004, opening of Kyeongbu High Speed Rail Express. In this paper, we proposed that we could move the outside components of UM71c track circuit out of wayside from present place. Then we can assure that the life time of those components would be extended. So we simulated the electrical characteristics by changing cable length using MATLAB Simulinks and we designed the compensation capacitor. Also, we obtained the same results as those of simulation by field demonstration test on site. The design specifications obtained from this field verification test could be applied in the absent section of track circuit, if only have a little more intensified research to compensate changed electrical characteristics and to redesign inner impedance of the track circuit.

Keywords : UM71C AF Track Circuit, BU, SVaC, DB, Impedance

1. 서론

본 연구의 목적은 현재 사용중인 고속선 UM71C궤도회로의 구성품(DB, BU, SVAC 등)이 선로내측에 설치되어 있어, 겨울철 혹한기 차량하부 얼음 낙빙에 따른 궤도회로 구성품 설비의 보호와 장비차량 기계작업 및 보선수작업으로부터 구성품 파손방지 및 고장에 따른 열차안

전을 위하여 구성품을 선로 외측으로의 이설이 요구되었다.

이러한 필요에 따라 구성품을 이설 시 케이블 길이 변화에 따른 궤도경계점의 전기적 특성의 변화로 인한 송수신 전압의 변화가 발생하므로 시뮬레이션을 통해 이론적인 궤도회로 선로정수의 재 산출과 케이블 길이를 반영하여 시뮬레이션과 현장계측 비교분석을 통하여 케이블의 길이변화에 따른 전기특성을 검증하였다.

*Corresponding Author : Jae-Sik Choi(Korail Research Institute)

Tel: +82-42-615-4710 email: khsrman@korail.com

Received June 22, 2015

Revised July 15, 2015

Accepted July 16, 2015

Published July 31, 2015

2. AF궤도회로 전기특성

프랑스 CSEE사에서 제작하여 한국고속철도(KTX)에 설치된 UM71C 궤도회로는 비 전철구간, AC전철구간, DC전철구간 등 모든 궤도구간에서 사용할 수 있는 ATC용 궤도회로로 궤도구간의 구분시에 무절연 방식을 채택하여 좀 더 기능적이고 열차의 진동을 방지할 수 있는 시스템이다. 궤도구간의 구분시에 사용되는 전기적절연접속(Electrical Separation Joint)은 인접궤도구간과의 중첩을 유도하여 열차검지를 연속적으로 한다. UM71C 무절연 궤도회로는 크게 실내설비와 선로변설비로 구분된다. Fig 1은 UM71C 무절연 AF궤도회로의 블록다이어그램을 나타낸 것이다.

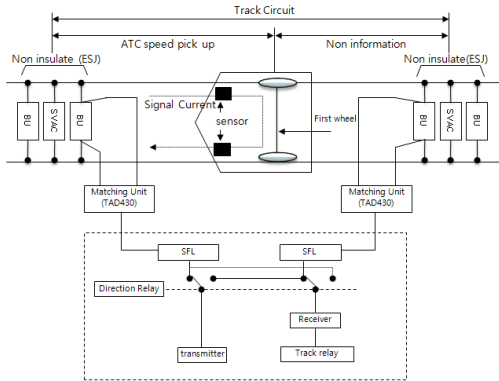


Fig. 1. UM71C AF Track Circuit Block Diagram

F1 동조유니트에서 주파수 F1의 공진회로는 C1 값을 가진 커패시터로서 동작한다. Fig 2와 같이 실제로는 공심유도자가 존재할 수 있도록 하기 위해 C'1가 된다. 주파수 F2에서는 이 주파수로 돌아온 직렬 자기용량 공진회로에 의해 단락 기능을 한다.

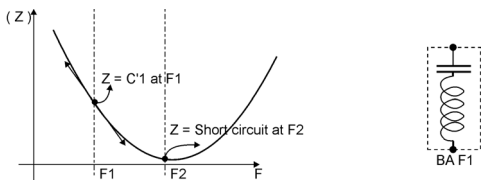


Fig. 2. F1 Tuning Unit

F2 동조 유니트에서 주파수 F1은 인덕터로서 작용하는 공진 회로로 단락 기능을 한다. 커패시터는 이 주파수에서 용량성의 임피던스 C2를 수행하기 위해 여기에 병

렬로 연결된다. Fig 3과 같이 실제로는 공심유도자가 존재할 수 있도록 하기 위해 C'2가 된다.

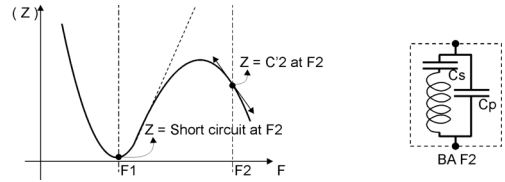


Fig. 3. F2 Tuning Unit

동조 유니트는 공심유도자의 인덕턴스 값을 허용하므로 비전철 구간에서도 공심유도자를 설치할 수 있다.

다음 Fig 4는 인접한 두 개의 무절연궤도회로 경계부에서의 전압변화를 나타낸 것이다.

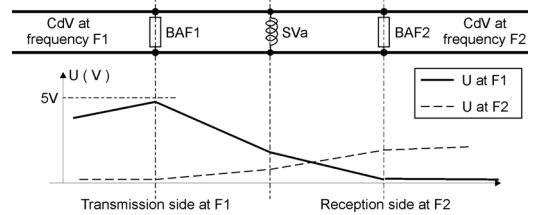


Fig. 4. UM71C AF Track Circuit boundary

무절연 AF 궤도회로는 궤도구간을 전기적으로 구분한다. 이를 위하여 무절연접속부를 사용한다. 무절연접속부는 궤도구간의 전기적인 구분을 위하여 일종의 LC 공진회로로서 동작한다. 2개의 동조유니트(Tuning Unit)와 그 사이의 공심인덕터(Air Core Inductor)로 구성되어 있다. 두 개의 동조유니트는 각각 직렬공진회로와 병렬공진회로로 작용한다. 따라서 인접한 궤도구간의 궤도신호는 무절연접속부에서 서로 중첩되므로 열차검지의 연속성을 보장받을 수 있다. Fig 5는 무절연접속부를 나타낸 것이다.

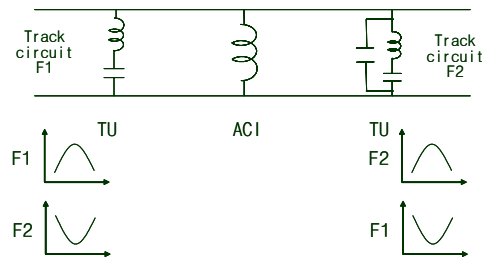


Fig. 5. Non-Insulated AF Track Circuit Connecting Diagram

Fig 5에서 무절연접속부는 인접한 케도회로의 케도주파수 F1에 대하여 직렬공진 동조유니트는 극점으로 동작하고, 병렬공진 동조유니트는 영점으로 동작하는 공진회로가 된다. 그리고 반대편 케도회로의 케도주파수 F2에 대하여 병렬공진 동조유니트가 극점으로 동작하고, 직렬공진 동조유니트는 영점으로 동작한다. 따라서 주파수 F1의 케도신호는 직렬공진 동조유니트에는 전류가 거의 흐르지 않고 병렬공진 동조유니트와 공심인덕터를 거쳐 귀환한다. 마찬가지로 주파수 F2의 케도신호는 병렬공진 동조유니트에는 전류가 거의 흐르지 않고 직렬공진 동조유니트와 공심인덕터를 거쳐 귀환한다. Fig 6은 공진회로의 기능을 하는 무절연접속부의 전기적 등가회로를 나타낸 것이다. [1, 2, 3]

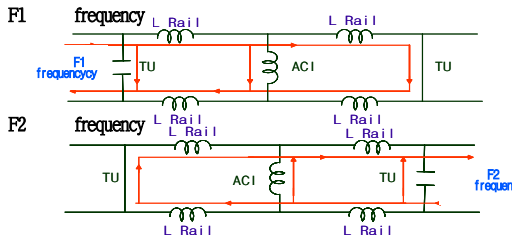


Fig. 6. equivalent circuit of UM71C AF Track Circuit electrical Connecting part

Fig 7은 공심유도자(SVAC)를 이용한 무절연케도회로 경계부의 설치기준을 나타낸다.[7, 8, 9]

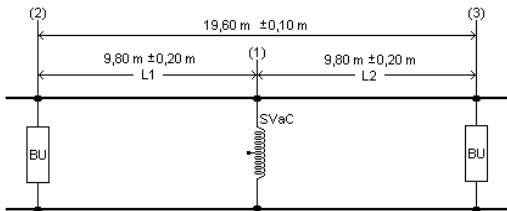


Fig. 7. Design of UM71C AF Track Circuit using ACI(Aire Core Inductor)

Fig 8은 공심유도자가 있는 무절연케도회로의 다양한 단락구역을 표시한다.

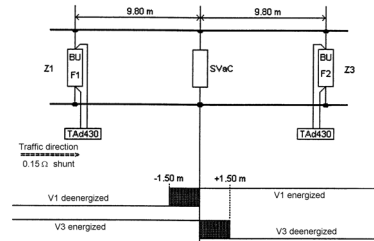


Fig. 8. Short Circuit Area of UM71C AF Track Circuit using ACI

3. 전기특성 시뮬레이션

케이블 길이 변화에 따른 전기적인 특성 시뮬레이션을 통하여 알아보기 위하여 MatLab을 이용하여 0.8[m] 케이블 길이로 케도 중심에 설치되었을 경우의 임피던스와 설치케이블 길이를 선로외측으로 안전거리를 감안하여 6m로 연장하였을 때 각 BU점에서의 임피던스 변화를 살펴보았다.

이를 구현하기 위하여 MatLab Simulink를 이용하여 케도회로 경계구간을 구현하였으며, 9.8[m]의 중복단락구간을 SVaC를 중심으로 양쪽으로 설치하는 분포정수회로를 구성하였으며, 양단에 BU의 기존 파라미터를 이용하여 필터회로를 구성하였다. Fig 9는 케도회로 전기특성 시뮬레이션 구현회로를 나타낸 것이다.[5, 6]

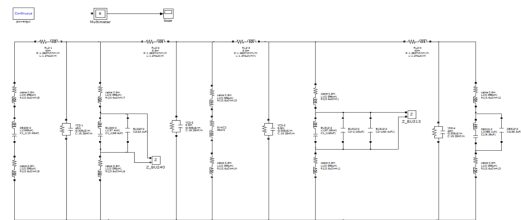


Fig. 9. UM71C AF Track Circuit Matlab Simulation

아래 Fig 10은 주파수를 X축으로 하여 Y축에 임피던스 변화를 나타낸 것이다. BU2400의 경우 3120[Hz]에서 임피던스 최저를 나타내고 2340[Hz]에서 임피던스 최고점을 이루고 있는 BU2400의 위상변화를 통한 필터의 성능을 보여주는 그림이다. 임피던스 최저점인 3120[Hz]에서 임피던스의 위상이 -90도에서 +90도로 변화하였으며, 2340[Hz]에서 위상이 0도를 나타내고 있다. 기본적으로 임피던스 최고점을 2400[Hz]에서 이루

어저야 0도의 위상을 나타내어야 하나, 중복단락구간의 케도정수에 따라 임피던스 최고점의 주파수가 변화하고 있음을 알 수 있다. [4]

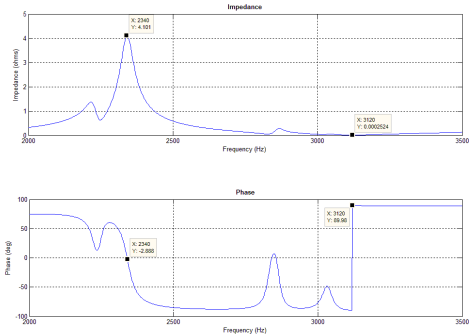


Fig. 10. Impedance and Phase change Graph of BU2400(0.8m cable)

같은 방법으로 BU3120의 임피던스를 측정된 결과를 아래 Fig 11에 나타내었다.

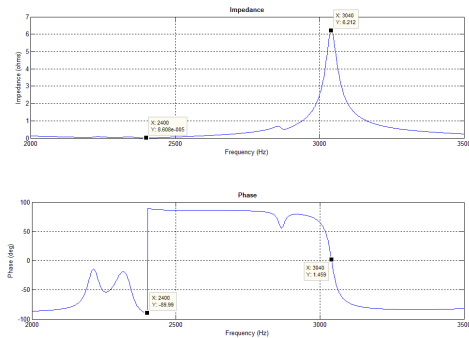


Fig. 11. Impedance and Phase Change Graph of BU3120(0.8m cable)

위 Fig 11에서 2400[Hz]에서 임피던스 최저를 나타내고 3040[Hz]에서 임피던스 최고를 보이고 있다.

아래 Fig 12은 DB, BU, SVAC케이블의 길이를 각각 6[m]로 연장하여 BU의 임피던스를 측정된 결과를 나타낸 것이다.

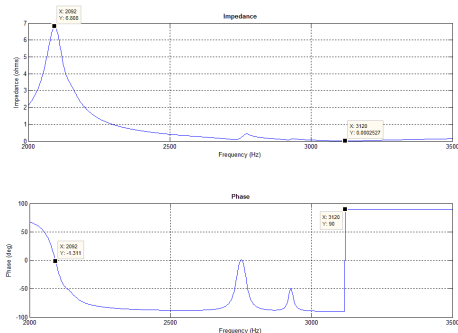


Fig. 12. Impedance and Phase change Graph of 2400Hz DB, BU, SVAC (6m cable)

BU2400의 경우 케이블의 길이가 연장되면서 중복단락 구간의 임피던스가 변화하였으나, 대역소거필터의 주파수는 3120[Hz]로 변화하지 않았으나 대역통과필터의 대역통과 주파수는 2092[Hz]로 2340[Hz]에서 248[Hz] 변화함을 알 수 있다 따라서 2340[Hz]의 임피던스가 낮아져서 전압강하가 크게 발생하여 착전전압 또는 송전전압이 감쇠함을 예측할 수 있다.

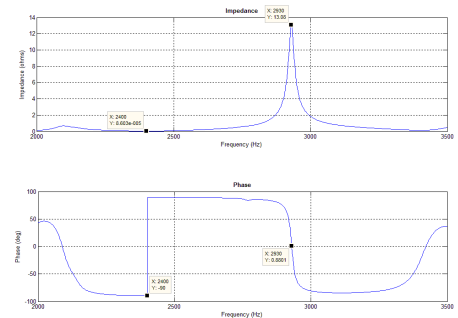


Fig. 13. Impedance and Phase change Graph of 3120Hz DB, BU, SVAC (6m cable)

위의 Fig 13은 BU3120의 임피던스 변화를 나타낸 것이다. BU3120의 경우도 대역소거필터의 주파수는 2400[Hz]로 변화하지 않고 있으나 대역통과필터의 최고점 임피던스를 나타내는 주파수가 2930[Hz]로 기존의 3040[Hz]에서 110[Hz]이동함을 알 수 있다. 따라서 기존 최고점 임피던스 구간의 임피던스가 현저하게 낮아져 수신 또는 송신 전압의 강하를 나타낼 수 있음을 예측할 수 있다.

따라서 케이블의 길이가 6[m]로 변화하였을 때 임피

던스 최고점 주파수를 기존과 동일하게 하기위해 BU의 병렬콘덴서 값을 조정하여 대역 통과필터의 통과주파수를 조정할 수 있었다.

4. 전기특성 현장측정결과 및 분석

케이블 길이 연장에 따른 궤도회로 전기특성을 분석하기위하여 고속선 광명역구내에서 케이블의 길이를 연장시키면서 궤도회로 수신측의 전압특성값을 측정하였다. 아래 Fig 14는 6m케이블을 사용하여 궤도회로구성품(BU)를 접속하는 작업이며 Fig 15는 케이블의 길이를 연장했을 때 그리고 콘덴서를 추가했을 때의 전기특성값을 측정하였다.

Table 1은 고속선 현장에서 궤도회로의 기능상태를 나타내는 기준레벨과 케이블의 길이를 연장했을 때 그리고 콘덴서를 추가했을 때의 수신전압을 나타낸 것으로 케이블과 콘덴서를 추가하기 전의 전압값이 382[mmV]였으나 6[m]케이블을 연장했을 때는 338[mmV]로 44[mmV] 감소하였으며, 콘덴서를 추가했을 때 22[mmV]로 증가하였다. 표에서 알수 있듯이 케이블의 길이가 증가할 경우 궤도회로 수신전압값이 감소했다가 콘덴서 값을 증가했을 때 비례해서 수신전압도 상승하였다.



Fig. 14. 6m Cable connect Fig.15. Capacitor addition

Table 1. Track circuit receiver voltage for cable and capacitor

Test step	LFSTC [V]	Receiver [mmV]
Base level value	18.67	371
Measure value nomal	18.9	382
6m cable replace BU	17.0	338
10[μF] capacitor add	18.0	360
6m cable replace other BU	16.2	325
10[μF] capacitor add	17.4	348
16[μF] capacitor add	18.0	361

5. 결론

본 연구에서는 궤도회로 경계구간 케이블길이 연장에 따른 전기적인 특성 시뮬레이션과 현장실증시험을 통하여 케이블 길이가 증가할 경우 콘덴서를 병렬로 연결하여 궤도회로 수신전압을 보상할 수 있다고 판단되었다. 반면 현장측정결과 케이블 길이가 연장될 경우, 궤도회로경계가 중첩되는 사구간이 증가되었다. 궤도회로 사구간이 늘어나면 길이가 짧은 열차의 경우 궤도회로 경계구간에서 열차점유가 안되는 현상이 일어날 수 있기 때문에 정상적인 AF궤도회로 기능확보를 위하여 향후 궤도회로 사구간의 길이를 단축하는 추가적인 연구가 필요할 것으로 판단된다.

References

- [1] Jae Sik Choi, A study on the analysis of electrical characteristic at the both of terminal jointless audio frequency track circuit, a master's thesis, the university of seoul, 2002.
- [2] Seung Jin Han, Young Woon Chung, Ki Ha Cheon, Key Seo Lee, Young Soo Park, Kwang Kyun You, A study on the electrical characteristics of track circuits, Journal of the summer conference 1996 Korean Institute of Electrical Engineers.
- [3] Gang Yell An, Keun Su Yoo, Kyoung Il Choi, Jae Young Park, Jong Hyun Baek, Young Kyu Kim, Analysis on turning unit BA on the interface section between high speed line and conventional line, Journal of the autumn conference 2009 Korean Society for Railway.
- [4] Young Kyu Kim, Jong Hyun Baek Chang Keun Ryu, A study on the track circuit characteristic in electrified classical line, Journal of the summer conference 2004 Korean Institute of Electrical Engineers.
- [5] Ki Bum Park, Jae young Park, Mun Sung Jang, Myoung Sub Lim, Hwan Kim, A study on the internal modeling of track circuit(UM71C) on HSL, Journal of the summer conference 2006 Korean Institute of Electrical Engineers.
- [6] Ki Bum Park, Tae Hoon Lee, A Internal signal modeling for a defect diagnosis of track circuit on HSL, Journal of the autumn conference 2006 Korean Society for Railway.
- [7] Ki Bum Park, Tae Hoon Lee, Gi Chun Lee, A study on

the improvement for a defect diagnosis of track circuit on HSL, Journal of the autumn conference 2007 Korean Society for Railway.

[8] Jung Youl Kim, Seok Kyun Shin, Youg Hoon Joung, Key Seo Lee, Gil Young Lee, Ki Bum Park, Tae Hoon Lee, Gi Chun Lee, A study on the improvement for a defect diagnosis of track circuit on HSL, Journal of the spring conference 2000 Korean Society for Railway.

[9] Ki Bum Park, Sang Hwan Ryu, Young Kyu Kim, A study on the on-board Measuring system of track circuit for improving of maintenance efficiency on HSL, Journal of the spring conference 2006 Korean Society for Railway.

최 재 식(Jae-Sik Choi)

[정회원]



- 2003년 2월 : 서울시립대학교 산업대학원 전자전기컴퓨터학과(공학석사)
- 2006년 2월 : 서울시립대학교 일반대학원 전자전기컴퓨터학과(박사수료)
- 2004년 1월 ~ 2010년 10월 : 기술본부 전기기술단 신호제어처 차장

• 2011년 10월 ~ 현재 : 한국철도공사 연구원 책임연구원

<관심분야>

철도신호, 융합IT, 응용센서

김 희 식(Hie-Sik Kim)

[정회원]



- 1979년 2월 : 한국과학기술원 생산공학과(공학석사)
- 1987년 2월 : 독일 Stuttgart대학교(공학박사)
- 1987년 8월 ~ 1989년 2월 : 한국과학기술원 CAD/CAM연구실 선임연구원
- 1989년 3월 ~ 현재 : 서울시립대학교 전자전기컴퓨터학과 교수

<관심분야>

계측용센서응용, 생산측정검사 자동화, 영상처리 패턴인식

박 주 훈(Ju-Hun Park)

[정회원]



- 2007년 8월 : 서울시립대학교 산업대학원 전자전기컴퓨터학과(공학석사)
- 2011년 2월 : 서울시립대학교 일반대학원 전자전기컴퓨터학과(박사수료)
- 2009년 4월 ~ 2014년 7월 : 기술본부 전기기술단 신호제어처 차장
- 2014년 7월 ~ 현재 : 한국철도공사 연구원 책임연구원

<관심분야>

철도신호, 융합IT, 응용센서

김 범 곤(Bum-Gon Kim)

[정회원]



- 2005년 2월 : 서울시립대학교 일반대학원 전자전기컴퓨터학과(공학석사)
- 2010년 8월 : 서울시립대학교 일반대학원 전자전기컴퓨터학과(공학박사)
- 1999년 3월 ~ 2003년 1월 : 한국사프 기술개발팀 팀원

• 2010년 10월 ~ 현재 : 한국철도공사 연구원 책임연구원

<관심분야>

철도무선통신, 이동통신