

고속선 궤도회로(UM71-C)의 내부모델링에 관한 연구

박기범*, 박재영, 장문성, 임영섭, 김성환
한국철도공사*, 서울시립대학교 전자전기컴퓨터 공학부

A Study on the Internal Modeling of Track Circuit(UM71-C) on HSL

Park Ki-bum*, Park Jae-young, Jang Mun-sung, Lim Myoung-sub, Kim Sung-hwan
Korea Railroad Coporation, Electrical & Computer eng. University of Seoul.

Abstract - 본 논문은 고속선에 사용 중인 UM71-C 궤도회로에 대한 전기적인 특성에 관한 시뮬레이션 실행결과를 나타낸다. 고속선 운행선상의 샘플개소를 선정하여 환경에 따른 선로정수를 구하고 전송라인의 특성임피던스와 전파정수를 반영시켜 레일전압과 전류에 대한 시뮬레이션을 수행하였으며, 차상검측시스템에서 측정되어진 검측데이터 과형과 비교하였다. 이러한 모델링 작업은 궤도회로 구성요소의 기능저하를 사전 예측하여 열차의 안전운행을 확보하기 위한 기초자료로 사용되어 질 수 있으며, 또한 차상검측시스템에서 얻어진 검측데이터와의 비교를 통해 유지보수에 활용 가능한 활용지점 및 분석기준을 작성하기 위해 필요하다.

1. 서 론

KTX가 개통된지 2년이 지나도록 궤도회로의 유지보수는 인력에 의해 년 2회씩 점검하고 있다. 종합검측차 ROGER-1000K와 KTX36호에 신호설비 차상검측시스템이 구축되어있지만 고속선에 설치된 궤도회로의 전기적인 특성을 반영한 분석기준이 없기 때문에 효율적인 활용이 불가능한 상태이다. 차상검측시스템에서는 궤도회로에 유도되는 단락전류(Icc)가 수집되는데 이러한 검측데이터를 분석하기 위해서는 우선 전송라인의 특성임피던스와 전파정수 등에 영향을 미치는 선로정수 R,L,G,C에 대한 기준값이 정해져야 한다.[1] 우리나라 고속선은 지형특성상 토공구간, 교량구간, 터널구간으로 나뉘진다. 각 구간별 선로정수의 평균값은 설치당시에 측정값이 존재하며 그 값을 이용하여 샘플궤도회로에 적용하여 내부 모델링 작업을 수행하였다. 샘플 구간은 고속선 오송~천안아산간 T2선로의 TC2402를 선정하였다. 첫 번째로 샘플 구간에 대한 전송라인과 보상콘덴서의 등가 4단자망을 구성하여 이들의 값을 이용하여 레일전압과 전류 값을 시뮬레이션하였다. 두 번째로 샘플 구간에 대한 단락전류 현상측정 값을 차상검측시스템에서 수집된 연속정보데이터에 대한 과형과 비교하였다.

2. 본 론

2.1 궤도회로의 전기적인 특성 모델링

고속선 오송~천안아산간 TC2402의 샘플 궤도회로를 선정하여 해당구간에 대한 전송라인의 분포정수와 선로정수를 이용하여 내부 모델링을 수행하였다. TC2402는 2400Hz를 반송주파수를 사용하고 있으며 궤도길이는 1,502m, 보상콘덴서의 수량은 23개이다. 궤도회로의 등가 4단자망의 계산은 전송라인의 분포정수회로와 일정한 간격의 보상콘덴서를 구간별 선로정수 값을 적용하여 수행하였고, 보상콘덴서의 값은 설치 당시와 약간의 저항 차이가 있지만 평균적으로 25μF로 일정하다는 가정 하에 계산하였다. 변환 행렬식은 전송라인 이론[2]을 이용하여 추정하였다.

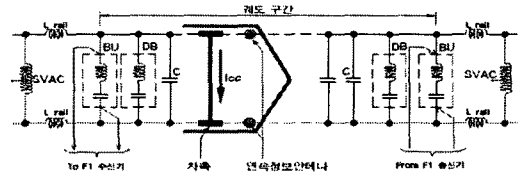
$$Z_c = \sqrt{\frac{R + j2\pi fL}{G + j2\pi fC}}$$

$$\Theta = \sqrt{(R + j2\pi fL)(G + j2\pi fC)}$$

여기에서 Z_c 는 전송라인의 선로정수값에 의한 특성임피던스이고, Θ 는 전파정수를 나타낸다. f 는 반송주파수, R 은 레일과 같은 방향의 저항, L 은 레일과 같은 방향의 인덕턴스, G 는 레일과 평행한 컨덕턴스, C 는 레일과 평행한 캐패시턴스 성분을 나타낸다.

2.1.1 궤도회로의 정보전송 원리

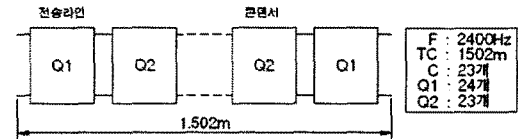
고속선의 궤도회로는 특별한 반송주파수를 이용하여 열차에 코드화된 연속정보데이터를 전송한다. 이러한 시스템은 기관사에게 안전구역 내에서 최고속도를 제시하며, 궤도회로의 송신기는 AC전류를 공급한다. 전송라인은 양쪽레일에 의해 구성되어지고, 수신기는 송신기와 반대쪽에 연결된다. 보내진 전류는 궤도의 유도성분 때문에 감쇠되어진다. 전기적인 조정과 전송 레벨의 향상을 위해서 레일에는 일정한 간격으로 보상콘덴서가 설치되는데 콘덴서의 수량은 궤도회로의 주파수와 길이에 따라 달라진다. 우리나라의 경우 전체 4개의 반송주파수를 사용하는데 2040Hz와 2400Hz에서는 60m간격으로 설치되며, 2760Hz와 3120Hz에서는 80m간격으로 일정하게 설치된다. 열차가 진행하면서 첫 번째 차축 1m전방에 있는 연속정보안테나로부터 연속정보를 수신하고 차상검측데이터도 차축에 의해 수집되는 단락전류를 측정하여 검측데이터로 활용하고 있다.



<그림 1> 궤도회로 정보전송 원리

2.1.2 샘플구간의 등가 회로

샘플 궤도회로의 전기적인 특성에 대한 시뮬레이션을 수행하기 위해 궤도회로를 전송라인과 보상콘덴서로 구분하여 4단자 정수를 계산하였다. 샘플구간의 등가회로는 <그림 2>와 같다.



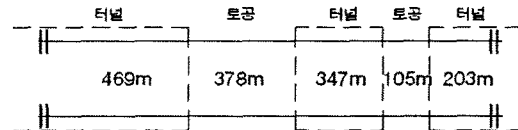
<그림 2> 샘플 궤도회로의 등가회로

전송라인 Q_1 과 보상콘덴서 Q_2 는 전송라인 이론[2]에 의해 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$Q_1 = \begin{bmatrix} ch(\Theta L) & -Z_c sh(\Theta L) \\ -\frac{1}{Z_c} sh(\Theta L) & ch(\Theta L) \end{bmatrix}$$

$$Q_2 = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ j2\pi f \times 25\mu F & 1 \end{bmatrix}$$

보상콘덴서 지점은 C 값만을 적용하기 때문에 Q_2 와 같은 식이 일정한 사용되어진다. <그림 3>은 샘플 궤도회로의 지형특성에 대한 구간별 거리를 나타낸 것이고, 이것은 구간별 선로정수가 다르기 때문에 시뮬레이션 수행시 반영시켜야 할 파라미터 중 하나이다.



<그림 3> 샘플 궤도회로의 구간별 거리

2.1.3 구간별 궤도회로의 전기적인 특성 기준값

우리나라의 고속선은 지형 특성상 토공, 교량, 터널구간으로 구분되어 설치되었다. 따라서, 구간별 궤도회로의 전기적인 특성요소 값들도 다르게 나타난다. 이러한 궤도회로의 전기적인 특성은 고속선이 설치될 당시에 측정된 데이터가 존재하여 그대로 적용시켜 모델링 기초자료로 사용할 수 있다. 연구 초기에는 프랑스 기준값을 적용시켜 선형보간법으로 국내 기준값을 산출하였으나 좀 더 정확한 모델링 수행을 위해 설치 당시의 데이터를 적용시켰다.[1]

<표 1> 토공구간의 선로정수 평균값

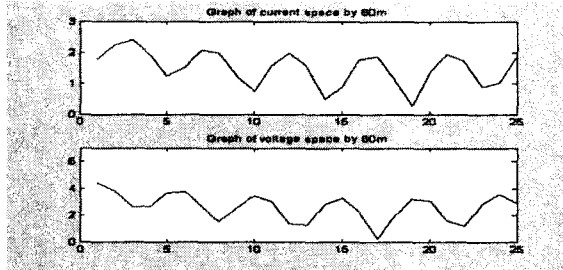
구분	R(mΩ/m)	L(μH/m)	G(μS/m)	C(nF/m)	Rδ(Ω·km)
2400Hz	1.456	1.305	0.276	0.280	3637

<표 2> 터널구간의 선로정수 평균값

구분	R(mΩ/m)	L(μH/m)	G(μS/m)	C(nF/m)	Rδ(Ω·km)
2400Hz	1.382	1.274	508	19.28	1.97

2.1.4 시뮬레이션 결과

샘플구간에 대해 일정한 간격(60m)으로 시뮬레이션을 수행하였다. 이번 논문에서 수행한 시뮬레이션에는 전송라인 Q1과 콘덴서 지점 Q2라인에 대해서만 고려하였고 환경적인 부분, 즉 도공, 터널, 교량 및 기후조건에 대해서는 계속해서 연구할 계획이다. 전체적인 구간은 25개 구간으로 나뉘지만, 송전측 전압은 4[V], 송전측 전류는 2[A], 반송주파수는 2400Hz로 시뮬레이션 수행한 결과 레일전압과 전류에 대한 특성이 반영되어 구간별로 전압이 최대일 때 전류가 최소가 되는 형태로 나타났다. 그러나, 샘플 궤도회로에 대한 선로정수 평균값은 구간별로 적용시키지 못했으며 터널구간에 대한 선로정수 평균값만 적용시켜 시뮬레이션을 수행하였다.



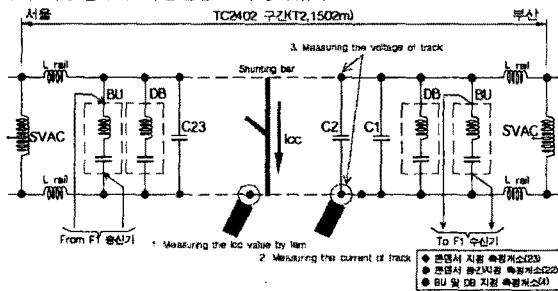
〈그림 4〉 레일전압과 레일전류의 시뮬레이션 결과 파형

2.2 현장 측정값과 차상검측데이터와의 비교

샘플 궤도회로, TC2402에 대한 현장측정은 2006년 5월 30일에 시행하였다. 측정은 선택전압측정기(VS190-K)를 이용하였고 현장설비별 위치에서 레일전압, 레일전류, 단락전류를 측정하였다. 또한 레일전압과 단락전류는 콘덴서의 중간지점에서도 측정하여 데이터의 정밀도를 향상시켰다. 한편 차상검측시스템에 의해 수집된 데이터는 2006년 2월 14일에 검측한 데이터를 참조하였다.

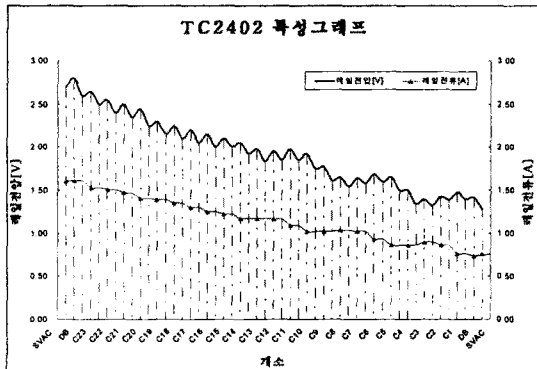
2.2.1 샘플 궤도회로에 대한 현장측정

TC2402 궤도회로에 대한 단락전류 파형과 차상검측시스템에서 수집된 검측데이터와 비교하기 위하여 우선 현장설비별 위치 및 콘덴서 중간 지점에서 단락봉(shunting bar)을 설치하고 레일에 유도되는 전류를 측정하였다. 이때 차상검측시스템에서 수집되는 방법과 동일하게 단락봉 설치 후 송전측 방향 1m전방에서 전류를 측정하였으며, 임피던스 정합여부를 확인하기 위해 레일전류와 레일전압도 측정하였다.



〈그림 5〉 샘플 궤도회로 현장측정 방법 및 개소

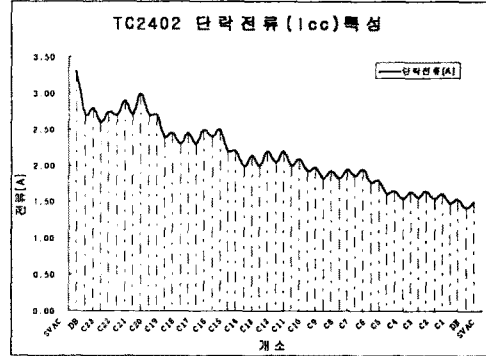
측정값은 TXT파일형태로 EXCEL프로그램을 이용하여 저장하였으며, 차상검측데이터와의 비교를 위해 파형은 그래프로 작성하여 나타내었다. 레일전압과 레일전류는 〈그림 6〉과 같이 나타났으며, 단락전류는 〈그림 7〉과 같이 나타났다.



〈그림 6〉 샘플 궤도회로 레일전압,전류 특성

레일전압과 레일전류의 특성은 시뮬레이션 결과와 비슷한 유형으로 나타

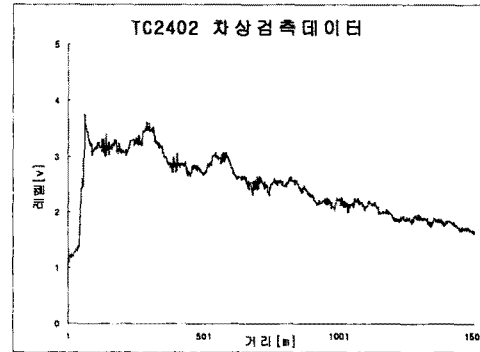
나며, 궤도회로가 정상일 때 전송라인의 송전측과 수신측에 존재하는 평균 임피던스는 약 1.8Ω으로 정합됨을 알 수 있다. 이러한 특성은 임피던스가 정합되지 않을 경우 차이가 발생하므로 설비의 기능저하를 사전에 예측하기 위한 기본 자료로 사용되어 질 수 있다. 단락전류의 특성 또한 전반적으로 파장을 그리며 나타났으며 레일에 흐르는 전류를 보상시켜주는 보상콘덴서 지점도 명확하게 확인이 가능하였다. 향후에는 이러한 단락전류의 특성을 시뮬레이션하여 검측되어진 데이터를 활용하여 고속선 전기구간에 대한 궤도회로 모델링 할 계획이다.



〈그림 7〉 샘플 궤도회로 단락전류 특성측정 결과

2.2.2 차상검측데이터 파형과의 비교

샘플 궤도회로에 대한 현장측정 결과 단락전류 파형은 차상검측데이터 파형과 거의 차이가 없음을 알 수 있다. 현장에서 직접 측정된 데이터는 약 30m간격으로 측정된 값이고 차상검측데이터는 1m 단위로 표시된 파형이므로 육안으로 확인시 완벽하게 일치하지는 않지만 전반적인 파장의 크기는 비슷하게 나타남을 알 수 있다. 차상검측데이터의 파형은 〈그림 8〉과 같다. 차상에서 수집된 데이터는 잡음성분이 표시되어 나타나지만 현장에서 측정된 단락전류와 동일한 파장을 그리는 것으로 확인되었다.



〈그림 8〉 차상검측시스템에 의해 수집된 검측데이터

현재 고속선 유지보수에 활용하고 있는 차상검측데이터의 횡축 값은 레벨(V) 전압값으로 표시되고 있다. 이러한 이유는 궤도회로의 송전, 착전측의 전압을 측정하여 유지보수 하는 것에 적용시키기 위함이었으나, 열차에 의해 궤도가 점유된 상태에서 송착전 전압을 검측하는 것은 정상시 유지보수 할 때 측정하는 궤도 비점유 상태와는 다르다고 볼 수 있다. 따라서 첫 번째 차축에 의해 단락되는 단락전류 값으로 표시되는 것이 바람직하다. 이와 함께 단락전류 검측데이터에 대한 유지보수 활용지침도 필요하다.

3. 결 론

본 논문에서는 2가지의 결론을 얻었다. 첫째, 궤도회로 샘플구간에 대한 전기적인 특성, 즉 선로정수를 이용한 시뮬레이션을 통해 레일전류와 레일전압의 형태를 전송라인 이론에 근거하여 추측할 수 있었고, 이는 추후에 계속될 연구의 기초자료로 활용할 예정이다. 둘째, 샘플 궤도회로에 대한 단락전류, 레일전류, 레일전압을 현장에서 측정함으로써 차상검측시스템에서 수집되는 검측데이터와 비교할 수 있었다. 이와함께 차상검측시스템에서 표시되는 횡축 값에 대해서 레벨전압을 단락전류값 형태로 변경하도록 제안하고, 추후 환경적인 부분에 대한 파라미터를 반영시켜 완벽한 모델링 작업을 수행하여 단락전류값에 대한 활용지침 및 분석기준을 마련할 것이다.

〈참고 문헌〉

- [1] F.BERTON, "Korea TGV Track Circuit UM71 60Hz Track Characterisation", 1999.
- [2] F.Fessant, P.Aknin, F.Vilette, M.Antoni. "Modelisation electrique du circuit de voie, element du systeme de transmission voie-machin des TGV", Revue 3EI n°27,pp.46-52.2001