

고속선 궤도회로 유지보수효율 향상을 위한 차상검측시스템에 관한 연구

A Study on the On-Board Measuring System of Track Circuit for Improving of Maintenance Efficiency on HSL

박기범*

류상환**

김용규***

Park, Ki Bum

Ryu, Sang Hwan

Kim, Yong Kyu

ABSTRACT

This paper introduces the analysis criteria of on-board measuring system of track circuit for improving maintenance efficiency on HSL. In Korea, as there is no direction for utilizing the track circuit measuring signal collected from on-board measuring system in the on-site maintenance and also there are no analysis criteria for decision of signal abnormality, this paper compared measured continuous information signal level with on-site track circuit characteristic. Also, the reference value of ballast leakage resistance and leakage conductance, which is the cause of signal level attenuation for each frequency of track circuit, has been presented and the maximum and minimum impedance value of capacitor for each frequency has been measured. Based on this, we shall provide track circuit attenuation property criteria for consistent maintenance on HSL. Though the measured data of sensor is normal voltage in the UVR of the track circuit, in case it is moved to the UVE, it is different with values of site as the shorted voltage value by the wheel axle is measured. In order to improve these problems, the analysis criteria of short circuit current level have been reviewed.

1. 개요

KTX가 개통된지 2년이 지나도록 궤도회로의 유지보수는 인력에 의해 년2회씩 점검하고 있다. 종합 검측차 ROGER-1000K와 KTX36호에 신호설비 차상검측시스템이 구축되어 있지만 우리나라 현장여건에 맞는 분석기준이 없기 때문에 효율적인 활용이 거의 불가능한 상태이다. 따라서 본 논문에서는 첫 번째로 연속정보신호레벨 값을 측정하여 현장 궤도회로의 특성과 비교하였다. 실제 검측은 고속선 대전~광명 간에서 두 차례에 걸쳐 시행되었다. 비교대상 궤도회로는 모두 7개 궤도회로이며, 그 중에 2개의 궤도회로는 선로전환기를 포함한 궤도회로에서 시행되었다.

두 번째로 국내 각 궤도회로 주파수별 궤도의 누설저항 $R_b(\Omega \cdot km)$ 및 누설콘덕턴스 $G(S/km)$ 의 기준 값과 교류궤도회로에서 주파수 증가에 비례하는 레일저항 $R(\Omega/km)$ 의 기준 값을 프랑스의 TVM430 기준 값을 이용하여 선형보간법으로 제시하였다. 실제로 평상시와 우기시에 검측한 연속정보신호레벨을 통해 감쇠현상에 의한 신호 레벨의 차이를 확인하였으며, 이는 강우량에 비례할 것으로 예상된다. 그러므로 연속정보신호레벨의 분석기준은 기후조건에 따른 데이터 확보를 바탕으로 작성되어야 한다.

* 한국철도공사 철도연구개발센터, 비회원

** 한국철도기술연구원, 정회원

*** 한국철도기술연구원, 정회원

2. 기술적 접근 방법

2.1 동조유니트의 임피던스 특성이해 및 콘덴서의 임피던스 평균값

현재 고속선에서는 4개의 반송주파수를 이용하는 UM71C 무절연 궤도회로를 사용하고 있다. 두 궤도 회로를 전기적으로 분리시키기 위해 회로의 공진특성을 이용하며, 공진회로를 구성하기 위한 요소로는 공심유도자(SVAC), 동조유니트(BU) 및 양극자 블록장치(DB) 등이 있다. 공진회로 구성과 함께 매체(레일, 도상 등)의 임피던스 성분에 의해 레일에 흐르는 전류의 양이 감소하게 되는데, 이를 보상하기 위해 60~80m 간격으로 보상콘덴서가 설치된다. 보상콘덴서는 선로의 용량성 임피던스를 증가시켜 선로길이에 따른 인덕턴스에 의한 정보전송효율을 보상하는 역할을 한다.

Fig. 1와 Fig. 2는 F1주파수(2040Hz, 2400Hz)와 F2주파수(2760Hz, 3120Hz)대역 동조유니트에서의 임피던스 특성곡선을 나타낸다.

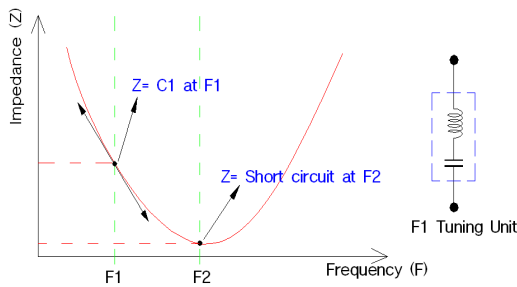


Fig.1 Impedance characteristic curve of F1 Tuning unit

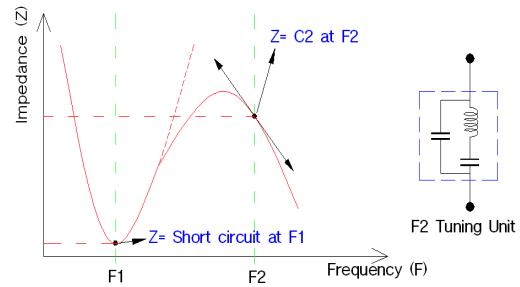


Fig.2 Impedance characteristic curve of F2 Tuning unit

이러한 임피던스 특성에 의해 구성된 궤도회로에서 각 주파수별 콘덴서의 임피던스 값이 해당 주파수와 어떠한 상관관계가 있는지 분석하기 위해 해당 주파수 별로 콘덴서 30개의 전압원에 대한 임피던스 평균값을 계산하였다.

2.2 궤도의 전기적인 특성 기준값

본 단원에서는 고속선에 대한 선로의 전기적인 환경요인, 즉 레일저항 $R(\Omega/km)$, 인덕턴스 $L(mH/km)$, 누설콘덕턴스 $G(S/km)$, 캐패시턴스 $C(nF/km)$ 에 의한 연속정보신호레벨의 영향을 파악하기 위해 궤도의 전기적인 특성 기준을 확인하였다.

이러한 궤도의 전기적인 특성은 레일을 통해 전송되는 신호전류에 있어서 대단히 중요한 요소로 작용한다. 이는 누설저항에 의한 감쇠변화량을 정확히 파악해야 차상에서 검측가능한 연속정보레벨 기준값을 정의할 수 있기 때문이다. 본 논문에서는 프랑스 주파수 대역별 선로의 전기적인 특성표를 근거로 일반적인 선형보간법에 의해 전기적인 특성 기준값을 산출하였다.

다음 식은 선형보간법의 일반적인 공식이다.

$$f(x) = f(x_0) + \frac{f(x_1) - f(x_0)}{x_1 - x_0}(x - x_0) \quad (1)$$

Equations (1)에서 $\frac{f(x_1) - f(x_0)}{x_1 - x_0}$ 는 직선 $y=f(x)$ 의 기울기를 나타낸다. 따라서 구하고자 하는 2040Hz와 2400Hz, 2760Hz, 3120Hz를 각각 x 로 놓고 계산하면 y 값을 산출할 수 있다.

이렇게 산출된 기준값은 선로의 모든 환경을 반영시킨 것이 아니므로 향후 실제 측정에 의한 값을 차상검측시스템에서 적용 가능한지 여부를 추가로 분석할 필요가 있다.

Tab.1 Track's environmental comparison of France and Korea

Item	France	Korea
Power Frequency	50Hz	60Hz
Carrier Frequency	1700Hz,2000Hz,2300Hz,2600Hz	2040Hz,2400Hz,2760Hz,3120Hz
Compensation Capacitance	22 μ F	25 μ F
A kind of sleeper(Tie)	Twin block	Mono block

2.3 연속정보레벨의 측정 및 비교

연속정보의 레벨은 종합검측차(ROGER-1000K)에 구축된 신호설비 검측시스템으로 측정되었다. 이 시스템은 연속정보안테나로부터 신호를 수신하여 변조와 증폭단계를 거쳐 데이터를 표시하는 처리단계로 구성되어 있다. 측정값은 현장의 궤도회로 특성과 비교하였다. 또한 평상시와 젖은 상태의 도상자갈 저항이 연속정보레벨에 미치는 영향을 파악하기 위해 검측데이터 레벨과 해당 궤도회로의 특성을 비교하였다. Fig. 3은 궤도회로의 송신측과 수신측 측정지점을 나타낸다.

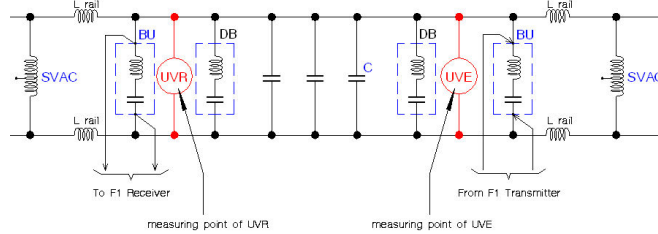


Fig.3 Measuring point of UVE and UVR on the track circuit

3. 실험결과

3.1 콘덴서의 임피던스 평균값 산출결과

다음 그림은 현장에서 측정된 각 주파수별 콘덴서의 임피던스 평균값을 나타낸다.

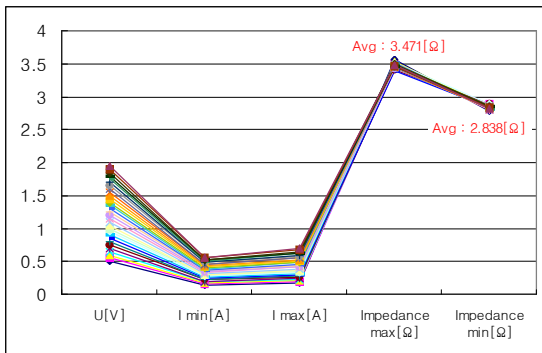


Fig.4 Impedance average of 2040Hz

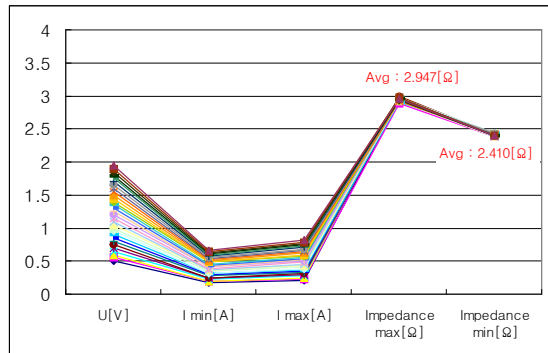


Fig.5 Impedance average of 2400Hz

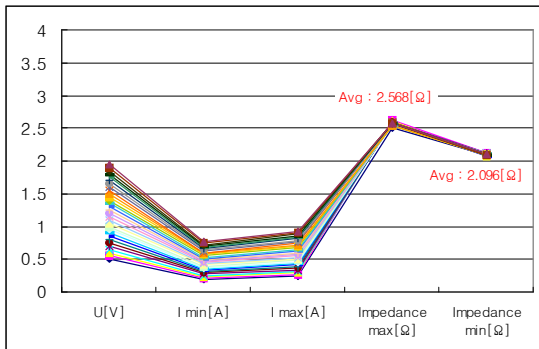


Fig.6 Impedance average of 2760Hz

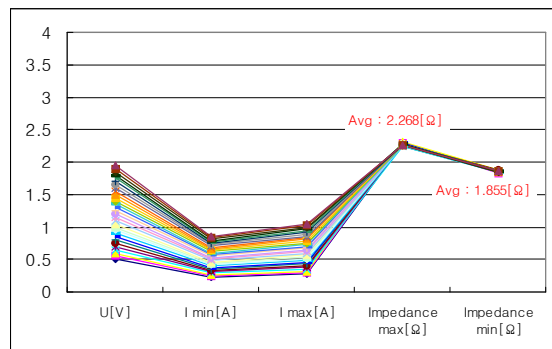


Fig.7 Impedance average of 3120Hz

여기에서 콘덴서의 임피던스 평균값은 각 주파수별 콘덴서 전압 0.5V~1.95V 사이 30개 전압원의 최대 전류와 최소전류값을 이용하여 산출한 임피던스 평균값이다. 그림에서 볼 수 있듯이 주파수가 낮을수록 콘덴서의 임피던스값은 커지고 주파수가 높을수록 콘덴서의 임피던스값은 작아진다. 콘덴서의 임피던스는 용량 C (25 μ F)와 주파수에 반비례함을 Equations (2)를 통해 알 수 있다.

$$Z_C = \frac{-j}{2\pi f C} [\Omega] \quad (2)$$

그러나 레일 임피던스는 인덕터의 성질을 갖기 때문에 교류주파수와 거의 비례하며 주파수가 높을수록 감쇠현상이 심해진다. 이것은 Equations (3)을 통해 알 수 있다.

$$Z_L = j2\pi f L [\Omega] \quad (3)$$

3.2 궤도의 전기적인 특성 기준값 산출결과

Fig. 8은 레일저항을 선형보간법으로 산출한 결과이다.

기울기 $b = \frac{1.45 - 1.35}{2300 - 2000} = 0.0003$ 이고, 2040Hz의 경우 Equations. (1)에 의해

$y = 1.35 + 0.0003(2040 - 2000) = 1.362$ 가 된다. 주파수와 레일저항의 관계는 정비례 관계로 주파수가 증가함에 따라 레일저항도 증가됨을 알 수 있다.

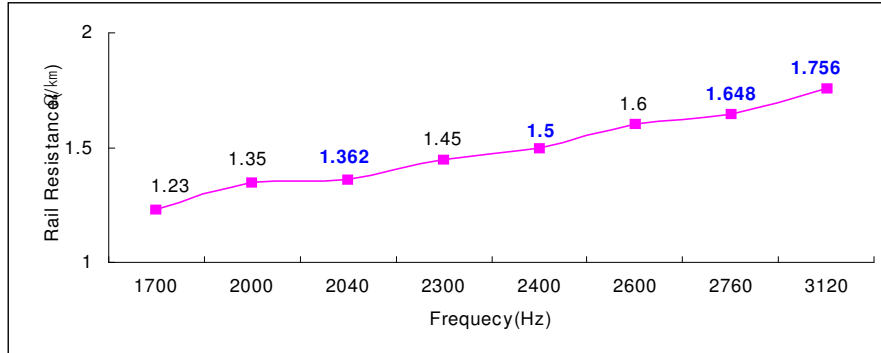


Fig.8 Relation between Rail resistance and frequency

마찬가지로 인덕턴스를 선형보간법으로 산출하면 Fig. 9와 같이 나타낼 수 있다.

기울기 $b = \frac{1.311 - 1.318}{2300 - 2000} = -0.00002$ 이고, 2040Hz의 경우 Equations (1)에 의해

$y = 1.318 + (-0.00002)(2040 - 2000) = 1.3172$ 가 된다. 나머지 주파수의 경우도 동일한 방식으로 계산할 수 있다. Fig.9에서 볼 수 있듯이 레일인덕턴스는 주파수가 증가함에 따라 감소함을 알 수 있다.

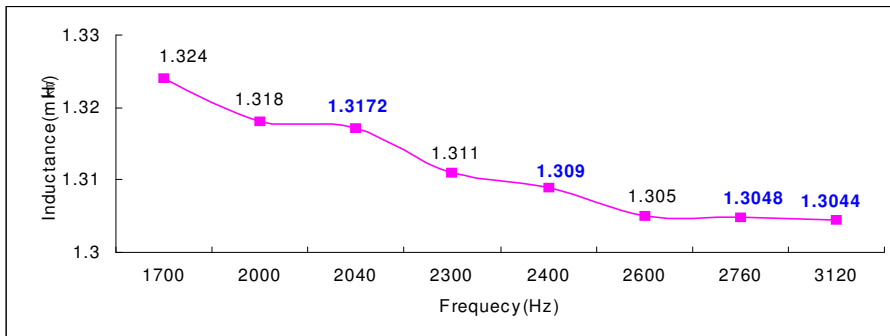


Fig.9 Relation between inductance and frequency

위와 동일한 방법으로 누설콘덕턴스 G와 캐패시턴스 C를 산출하였다. Tab. 2에서 누설콘덕턴스 G는 주파수 증가에 따라 정비례로 증가하며, 상대적으로 높은 주파수대역의 궤도회로에서 감쇠현상이 크게 나타남을 알 수 있다. 캐패시턴스 C는 주파수가 증가함에 따라 작아지는 성질을 갖는데 이는 주파수와 캐패시턴스의 반비례 관계와 동일 현상임을 나타낸다.

위와 같은 방법으로 두 점의 좌표를 이용하여 산출한 우리나라의 반송주파수별 레일저항, 인덕턴스, 누설콘덕턴스, 캐패시턴스를 Tab. 2에서 나타내었다. 이 값들은 계산에 의해 산출된 값으로 향후에는 고속선 궤도회로 현장의 선로정수를 직접 측정하여 신호의 감쇠영향을 평가할 필요가 있다.

Tab.2 Track's electrical Factors of UM71C in Korea

Carrier Frequency	R(Ω/km)	L(mH/km)	G(S/km)	C(nF/km)
2040Hz	1.362	1.3172	1/2739	364.36
2400Hz	1.5	1.309	1/2250	359
2760Hz	1.648	1.3048	1/1913	356.86
3120Hz	1.756	1.3044	1/1743	356.56

3.3 연속정보레벨의 측정 및 비교

Fig. 10은 종합검측차(ROGER-1000K)에서 측정한 고속선 대전~광명간 TC0844A와 TC0848 궤도회로의 연속레벨 분석화면이다. 분석화면은 (주)LS산전의 Labview프로그램을 이용하여 구성하였으며, 각 궤도회로별 구간설정 및 레벨 크기 설정이 가능하다. TC0844A는 2400Hz, TC0848은 3120Hz를 반송주파수로 사용하는 궤도회로로, Tab. 3과 Fig. 10에서는 연속레벨의 값과 궤도회로의 특성을 비교하였다.

Tab.3 Characters of TC0844A and TC0848

Track Circuit	UVE(V)		UVR(V)		quantity of capacitor[EA]	length of track[m]
	min	max	min	max		
TC0844A	1.9	2.81	0.87	1.73	15	1,028
TC0848	3.16	4.69	0.86	2	16	1,425

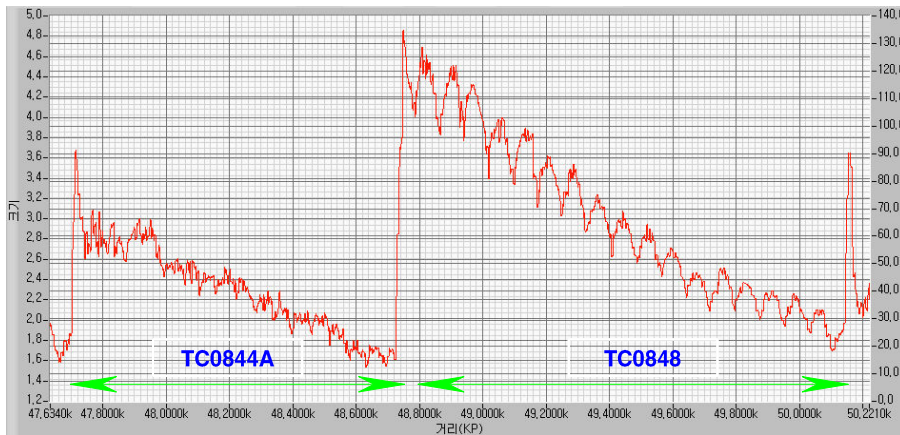


Fig.10 Continuous level of TC0844A and TC0848 on the HSL

우리는 Fig. 10에서 Tab. 4를 도출하였다. 송신측(UVE), 수신측(UVR) 전압은 Tab. 3과 비교할 때 최대값에 근접한 값으로 검측이 되었다. 그러나 2400Hz대역의 TC0844A에서의 콘덴서 수량은 분석이 불가능하였으며, 3120Hz대역의 TC0848에서는 송·수신측의 동조유닛(BU) 수량을 제외하고 콘덴서의 수량 구분이 가능하였다.

Tab.4 Results of the comparison about level and character

Track Circuit	UVE(V)	UVR(V)	quantity of capacitor[EA]
TC0844A	2.8	1.6	non-analysis
TC0848	4.4	1.9	16

Fig. 10에서 F1구간에서의 연속레벨은 진폭이 불규칙하게 발생되며, F2구간의 진폭은 비교적 규칙적으로 발생된다. 위와 같은 현상은 우리나라 고속선 전 구간에 걸쳐 발생하는 현상이며, 이러한 불규칙성 때문에 별도의 콘덴서 검측설비를 필요로 한다. Fig. 10에서 y축은 궤도회로 송수신측의 전압을 표시한 것인데, 현장의 측정결과와 차상검측시스템에서의 측정 결과는 상이하게 주어진다. 이는 현장에서 직접 측정할 때는 궤도회로가 점유되지 않은 상태에서 측정을 하지만 차상에서 검측될 때는 첫 번째 윤축에 의해 단락된 전류를 측정하기 때문이다.

우리는 평상시 궤도회로와 비운뒤 습기가 있는 상태의 궤도회로의 연속레벨 측정을 시도하였다. 이는 강우량이 많지 않았지만 마른상태의 도상자갈 저항과 젖은 상태의 도상자갈 저항이 연속레벨에 미치는 영향을 파악하기 위함이었다. 검측은 대전~광명간 TC0814와 TC0808에서 2006년 1월 12일(청색 : 평상시)과 2006년 2월 14일(적색 : 우기시)에 측정하였다. Tab. 5와 Fig. 11은 대상개소 특성과 감쇠 정도의 상호 비교를 나타내며, Tab. 6는 특성과 레벨의 비교결과를 나타낸다.

Tab.5 Characters of TC0808 and TC0814

Track Circuit	UVE(V)		UVR(V)		quantity of capacitor[EA]	length of track[m]
	min	max	min	max		
TC0808	2.38	3.59	0.83	1.9	22	1,476
TC0814	3.22	4.79	0.8	1.9	16	1,473

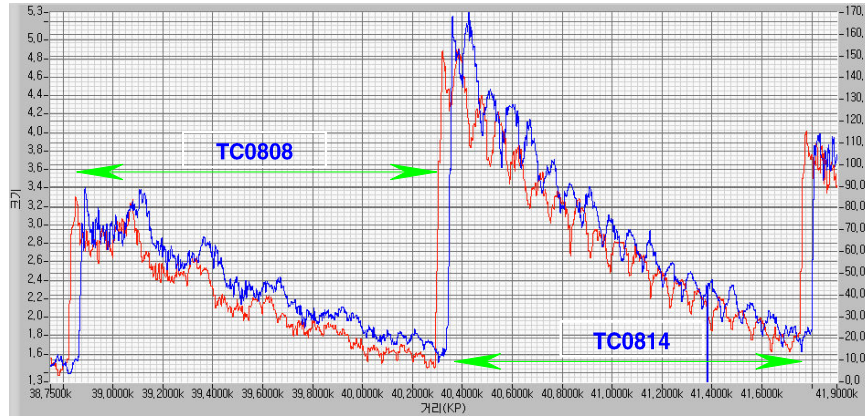


Fig.11 Attenuations of Continuous level between clear day and rainy day

Tab.6 Results of the comparison about level and character

Track Circuit	UVE(V)		UVR(V)		quantity of capacitor[EA]
	clear	rainy	clear	rainy	
TC0808	2.8	2.6	1.7	1.5	non-analysis
TC0814	4.6	4.4	1.8	1.7	16

Fig. 11에서 적색레벨은 비온 뒤 젖은 상태의 연속레벨을 나타낸다. 평상시와 거의 0.2V의 크기차가 발생되었으며, 이날 기상검지설비(METEO)에 의해 측정된 강우량은 8mm~13.6mm이다. 실제로 강우량이 많으면 많을수록 감쇠현상이 더 심해질 것으로 예상된다.

Fig. 12은 광명역 남쪽 T2선로 분기부 부근의 연속레벨 분석화면이다. Tab.7과 비교할 때 분기부의 연속레벨은 송신측과 수신측이 구분이 되지 않는다. F1, F2주파수 대역과 상관없이 진폭이 불규칙하게 나타난다. 그러므로 이런 경우에도 단락전류가 수신기 UR1R2전압에 미치는 영향을 분석할 수 있어야 한다.

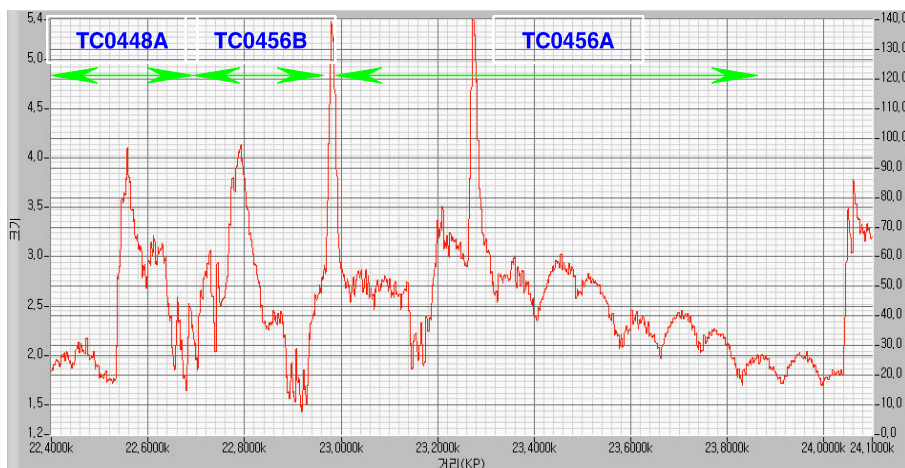


Fig.12 Continuous level of turnout area on the HSL

Tab.7 Characters of TC0448A, TC0456B and TC0456A

Track Circuit	UVE(V)		UVR(V)		quantity of capacitor[EA]	length of track[m]
	min	max	min	max		
TC0448A	2.29	3.76	1.53	2.94	3	436
TC0456B	1.55	2.57	1.23	2.19	3	293
TC0456A	2.203	3.074	0.989	1.899	7	777

4. 결론

본 연구에서는 3가지의 결론을 도출하였다. 첫째, 우리나라 궤도회로에 적합한 콘덴서의 임피던스값을 30개 전압원의 최대, 최소값을 이용하여 평균값을 산출하였다. 둘째, 우리나라 고속선의 선로환경에 적합한 궤도회로의 전기적인 요소의 기준값을 제시하기 위해 각 주파수별로 레일저항, 인덕턴스, 누설콘덴턴스, 캐패시턴스를 산출하였다. 이 값들은 연속정보레벨이 환경적인 요인에 어떠한 영향을 받는지와 정상적인 궤도회로의 유지보수를 위한 레벨감쇠의 최소 기준값을 산출하기 위해 반드시 필요하다. 셋째, 7개의 궤도회로 특성과 검측된 연속정보레벨을 비교하여 저역 주파수(2400Hz)에서의 불규칙한 진폭으로 인한 콘덴서의 검측 불가능과 분기부를 포함한 궤도회로에서 진폭의 왜곡현상 문제점을 발견하였으며, 평상시 궤도회로와 강우량이 있을 때 궤도회로의 연속정보레벨 값에는 차이가 발생한다는 것을 알 수 있었다. 향후에는 선로 환경영향이 연속정보레벨에 미치는 영향을 지속적으로 파악하고, 궤도회로의 특성을 모델링하여 유지보수 효율 향상을 위한 검측데이터의 분석기준을 정립할 계획이다.

5. 참고문헌

- [1] 경부고속철도 신호검측장비 기술교육매뉴얼, LG산전, 2004. 01
- [2] UM71C TVM궤도회로 단락전류(Icc) 검측치의 활용지침, SNCF, 2002. 10
- [3] Raymond A. DeCarlo, "Linear Circuit Analysis", OXFORD, 2005. 2. 24
- [4] High Speed Measuring Car for Korea TGV, 1999. 03, No K610
- [5] H. McClellan, "DSP first a multimedia approach", Prentice Hall, 0998
- [6] 성순욱, "DSP를 이용한 고속철도 ATC 신호분석에 관한 연구", 2001
- [7] Track Circuit UM71 60HZ Concrete Slab Track Characterization
- [8] Technical Data sheet - UM71C/TVM430 Track Circuit