

## KTX36호(300km/h) 단락전류의 반파장주기( $\lambda/2$ )에 관한 연구

박기범\*, 이태훈, 이기천, 전용주  
KORAIL 철도연구개발센터

### A study on the period $\lambda/2$ of the short current( $I_{cc}$ ) by KTX36(300km/h)

Park Ki-bum\*, Lee Tae-hoon, Lee Gi-chun, Jeon Yong-joo  
Korea Railroad Coporation KORAIL Research & Development Center

**Abstract** - 본 논문은 KTX36호(300km/h) 운행시 수집된 검측데이터를 효과적으로 분석하여 유지보수에 활용하기 위한 단락전류의 반파장주기( $\lambda/2$ )에 관한 연구 수행 결과를 나타낸다. KTX36호는 현재 하나의 객실을 검측차로 개조하여 운행속도에서 각종 검측을 수행하고 있다. 우리나라의 고속선 궤도회로는 프랑스의 궤도회로와 달리 토공, 교량, 터널 구간으로 나뉘어 있으며, 상용전원 주파수도 프랑스는 50Hz, 우리나라는 60Hz를 사용하고 있어 정보전송을 위해 사용하는 반송주파수도 다르다. 또한 특성임피던스와 감쇠정수/위상정수를 결정짓는 중요한 변수인 선로정수(R,L,G,C)가 다르기 때문에 KTX36호의 단락전류에 대한 반파장주기( $\lambda/2$ )는 검측데이터를 활용한 유지보수에 있어 매우 중요한 역할을 한다. 본 논문에서는 프랑스에서 사용하는 단락전류의 반파장주기( $\lambda/2$ )에 대해 언급하고 연구결과 산출된 국내 단락전류의 반파장주기( $\lambda/2$ )를 비교하였다.

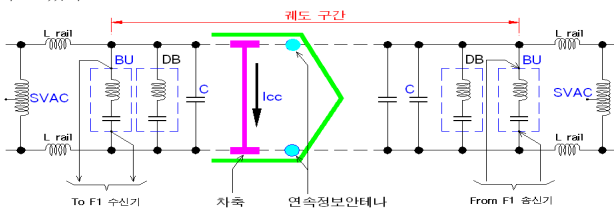
#### 1. 서 론

2004년 4월 1일자로 KTX가 개통 된지 3주년이 지난 지금도 고속선 현장에서는 많은 유지보수요원들이 고객의 안전을 위해 밤낮으로 최선을 다하고 있다. 그러나 고속선은 구간이 넓고 시설물이 많아서 유지보수에 많은 인력과 시간이 필요하다. 이러한 이유로 고속선 궤도회로의 상태를 차상에서 측정하여 결함이 발견된 지점에 대해서만 유지보수를 수행하기 위해 KTX36호에 차상검측시스템을 구축하였다. 그러나 국내 기술로 자체 개발된 차상검측시스템의 검측데이터를 분석하고 유지보수에 활용하기 위해서는 자체 분석기준과 활용지침이 필요하다. 한국철도공사는 프랑스 철도청 SNCF의 데이터 및 연구결과를 바탕으로 자체 개발된 KTX36호의 차상신호검측데이터 분석기준을 마련하고자 연구를 수행해왔다. 본 논문에서 언급하고자 하는 부분은 분석기준의 일부분으로써 차상검측데이터를 분석하는데 매우 중요한 연구이다.

#### 2. 본 론

##### 2.1 고속선 궤도회로의 정보전송 원리 및 특성

고속선의 궤도회로는 특별한 반송주파수를 이용하여 열차에 코드화된 연속정보데이터를 전송한다. 이러한 시스템은 기관사에게 안전구역 내에서 최고속도를 제시하며, 궤도회로의 송신기는 AC전류를 공급한다. 전 송라인은 양쪽레일에 의해 구성되어지고, 수신기는 송신기와 반대쪽에 연결된다. 보내진 전류는 궤도의 유도성분 때문에 감쇠되어진다. 전기적인 조정과 전송레벨의 향상을 위해서 레일에는 일정한 간격으로 보상컨덴서가 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 2m전방에 있는 연속정보안테나로부터 연속정보를 수신하고 차상검측데이터도 차축에 의해 수집되는 단락전류를 측정하여 검측데이터로 활용하고 있다.



<그림 1> 고속선 궤도회로 정보전송 원리

##### 2.1.1 프랑스와 우리나라의 고속선 궤도회로 차이점 비교

<표 1>과 같이 프랑스와 우리나라의 궤도회로는 많은 차이점을 보인다. 그 중에 주파수와 레일의 특성임피던스를 감소시켜서 그에 따른 전류의 감쇠를 억제하고 보상하는 보상컨덴서의 용량이 다른 것이 특성임피던스와 반파장주기에 영향을 미친다.

<표 1> 프랑스와 국내 고속선 궤도회로의 차이점

비교항목	France	Korea
상용전원주파수	50Hz	60Hz
반송주파수	1700Hz,2000Hz,2300Hz,2600Hz	2040Hz,2400Hz,2760Hz,3120Hz
보상컨덴서 용량	22 $\mu$ F	25 $\mu$ F
침묵 종류	Twin block	Mono block

##### 2.1.2 우리나라 고속선 궤도회로의 선로정수

단락전류의 반파장주기( $\lambda/2$ )를 계산하기 위해서는 궤도회로의 선로정수가 반드시 필요하다. 우리나라의 고속선은 아래 표와 같이 구간별로 선로정수가 다르게 나타난다. 이 값들은 고속선 궤도회로의 절연구간인 JES 길이를 산정하기 위해 실측되어진 값으로 단락전류의 시뮬레이션 수행에 있어서도 매우 중요한 값이다.[1]

<표 2> 토공구간의 선로정수 평균값

구분	R(m $\Omega$ /m)	L( $\mu$ H/m)	G( $\mu$ S/m)	C(nF/m)	R <sub>b</sub> ( $\Omega \cdot$ km)
2040Hz	1.315	1.312	0.248	282	4032
2400Hz	1.456	1.305	0.276	280	3637
2760Hz	1.688	1.300	0.304	279	3292
3120Hz	1.852	1.296	0.332	278	3016

<표 3> 교량구간의 선로정수 평균값

구분	R(m $\Omega$ /m)	L( $\mu$ H/m)	G( $\mu$ S/m)	C(nF/m)	R <sub>b</sub> ( $\Omega \cdot$ km)
2040Hz	1.589	1.225	0.141	281	7115
2400Hz	1.769	1.215	0.164	280	6101
2760Hz	1.939	1.206	0.188	280	5321
3120Hz	2.106	1.200	0.212	279	4720

<표 4> 터널구간의 선로정수 평균값

구분	R(m $\Omega$ /m)	L( $\mu$ H/m)	G( $\mu$ S/m)	C(nF/m)	R <sub>b</sub> ( $\Omega \cdot$ km)
2040Hz	1.327	1.288	443(0.141)	18.74(281)	2.26(7115)
2400Hz	1.382	1.274	508(0.164)	19.28(280)	1.97(6101)
2760Hz	1.486	1.265	536(0.188)	17.36(280)	1.87(5321)
3120Hz	1.573	1.257	562(0.212)	15.96(279)	1.78(4720)

##### 2.1.3 프랑스 고속선 궤도회로의 선로정수

프랑스 고속선은 선로가 대부분 토공으로 이루어져 있기 때문에 토공 구간 선로정수만으로 반파장주기( $\lambda/2$ )를 계산한다.

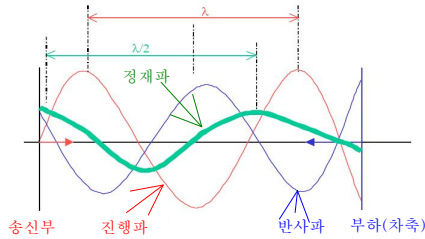
<표 5> 프랑스 토공구간의 선로정수 평균값

구분	R(m $\Omega$ /m)	L( $\mu$ H/m)	G( $\mu$ S/m)	C(nF/m)	R <sub>b</sub> ( $\Omega \cdot$ km)
1700Hz	1.23	1.324	0.312	370	3200
2000Hz	1.35	1.318	0.357	365	2800
2300Hz	1.45	1.311	0.416	360	2400
2600Hz	1.6	1.305	0.500	357	2000

## 2.2 단락전류(Icc)의 생성 원리 및 패턴의 거동

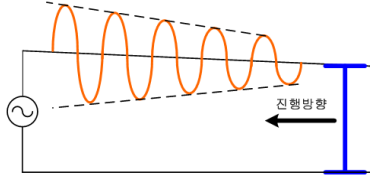
### 2.2.1 전송선로에서의 파동의 발생

전송선로 즉, 레일 송신부에 고주파 전원을 인가하면 전류파와 전압파는 계속 한쪽 방향으로 진행하는데 이와같은 파동을 진행파라고 부른다. 이러한 진행파가 그 선로의 특성임피던스와 다른 부하 즉, 차축을 만나게 되면 부하임피던스에 의해 반사파가 발생하게 된다. 따라서, 이 진행파와 반사파가 서로 간섭하여 동위상으로 만나는 곳에서 파동이 정지해 있는 것처럼 보이는 정제파 혹은 정상파가 발생한다.<그림 2>



<그림 2> 전송선로에서의 파동의 발생

이렇게 만들어진 정제파를 단락전류 파형이라고 부르며 단락전류 진폭의 최대치와 최대치, 최소치와 최소치간의 거리를  $\lambda/2$ 라고 하며, 레일은 손실이 존재하는 전송선로이므로 송신부에서 수신부 방향으로 단락전류 진폭의 크기가 점차적으로 감소하게 된다.<그림 3> 선로상을 진행하는 전압이나 전류의 위상이 선로상에서  $2\pi$ [rad]로 변화하는 사이의 거리를 파장( $\lambda$ )이라 하므로 파장과 위상정수( $\beta$ )와의 관계는  $2\pi = \beta\lambda$ , 따라서  $\lambda/2 = \pi/\beta$ 로 나타낼 수 있다.



<그림 3> 단락전류 레벨 생성 원리

전송선로의 파동방정식에 의해 정확한  $\lambda/2$ 를 계산하기 위해서 토공, 교량, 터널구간에 대한 특성임피던스(Characteristic Impedance)  $Z_c$ 와

$$Z_c = \sqrt{\frac{Z}{Y}}, Z_c = \sqrt{\frac{R + j2\pi fL}{G + j2\pi fC}} \quad (2-1)$$

전파정수(Propagation Constant)  $\theta = \sqrt{ZY} = \alpha + j\beta$ 를 구한다.[2]

$$\theta = \sqrt{(R + j2\pi fL)(G + j2\pi fC)} = \alpha + j\beta \quad (2-2)$$

여기에서  $f$ 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. 계산을 위해 필요한 선로정수 값은 고속철도 궤도회로 설치당시 JES 절연구간의 길이를 정의하기 위해 측정된 구간별 선로정수 값을 이용하였다.<표 2, 3, 4>

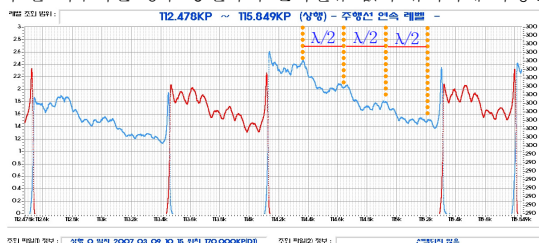
식(2-2)와 다음 식을 이용하여, 감쇠정수  $\alpha$ [neper/m]와 위상정수  $\beta$ [rad/m]를 수치적으로 산출하였다.

$$\alpha = \frac{1}{2}(R\sqrt{\frac{C}{L}} + G\sqrt{\frac{L}{C}}) = \frac{1}{2}\sqrt{LC}\left(\frac{R}{L} + \frac{G}{C}\right) \text{ [neper/m]} \quad (2-3)$$

$$\beta = \omega\sqrt{LC} \text{ [rad/m]} \quad (2-4)$$

### 2.2.2 단락전류(Icc) 패턴의 거동

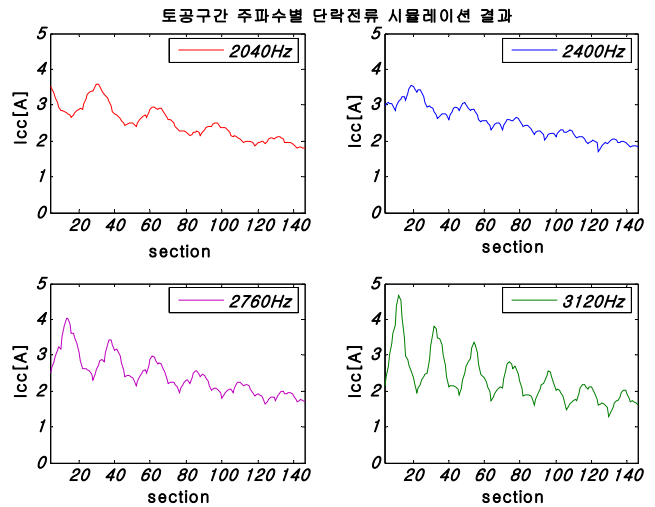
단락전류의 최대치와 최대치간의 거리는  $\lambda/2$ 로 표현하며, 최소치와 최소치간의 거리도  $\lambda/2$ 로 표현이 가능하다. 또한, 단락전류의 일정간격으로 보상콘덴서의 기능에 의한 진폭이 발생된다. 수신측에 나타나는 전류의 큰 진폭은 차축이 수신측 동조유닛을 통과할 경우 발생하는 현상으로 보상이 잘 이루어진 경우 송신측의 단락전류 값과 유사하게 측정된다.



<그림 4> KTX36호 단락전류 패턴의 거동(2400Hz)

### 2.2.3 주파수별 단락전류(Icc) 시뮬레이션 수행

우리는 반파장주기( $\lambda/2$ )와 주파수와의 상관관계를 파악하기 위해 동일한 궤도에서 주파수만 달리하여 단락전류 시뮬레이션을 수행하였다. 토공, 교량, 터널에서 모두 반파장주기는 주파수에 반비례하는 것으로 나타났다. 단락전류 시뮬레이션을 통해 우리는 주파수가 증가할수록 반파장주기는 짧아짐을 확인하였다.



<그림 5> 토공구간의 단락전류 시뮬레이션 수행 결과

## 2.3 반파장주기( $\lambda/2$ )의 산출 비교

우리는 구간별 선로정수를 이용하여 특성임피던스와 전파정수를 산출하였고 식(2-2)와 식(2-4)에 의해 위상정수  $\beta$ [rad/m]를 계산하여 파장( $\lambda$ )를 예측하였다. 터널구간에 대한 선로정수는  $G$ 와  $C$ 에 대해 교량구간의 값으로 계산하였다.

<표 6> 국내 구간별 반파장주기( $\lambda/2$ ) 대한 수치해석 값[m]

주파수	토공구간	교량구간	터널구간	비고
2040 Hz	402	417	407	
2400 Hz	344	357	348	
2760 Hz	300	311	304	
3120 Hz	266	276	270	

수치해석결과 시뮬레이션 수행한 결과와 유사하게 반파장주기가 주파수에 반비례하는 것으로 산출되었으며, 이 계산식의 검증에 위해 프랑스의 주파수와 선로정수를 이용하여 자체 수치해석한 결과 두 개의 주파수는 같게 나왔는데, 나머지 두 주파수는 다르게 나타났다. 이 부분은 추후 정확하게 검증이 필요한 부분이다.

<표 7> 프랑스에서 반파장주기( $\lambda/2$ ) 실제길이 및 자체 수치해석 값[m]

주파수	UM71C TVM 300	UM71C TVM 430	TVM 430 자체 수치해석 결과
1700 Hz	550	420	420
2000 Hz	470	360	360
2300 Hz	400	360	316
2600 Hz	340	320	281

## 3. 결 론

본 연구에서는 KTX36호의 검측데이터를 분석하기 위해 필요한 반파장주기에 대해 수치해석 및 시뮬레이션을 통해 검증하였으며, 향후 결함 발생시 변화하는 반파장주기에 대한 연구와 더불어 검측데이터의 정확한 분석방안도 제시할 계획이다.

### [참 고 문 헌]

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