

장대레일구간 접촉절연레일의 안전성 검토

A Research on Safety of Rail Insulation in CWR's Track Circuit

*박옥정¹, #임정순²

*O. J. Park¹, #J. S. Lim(jsim@kyonggi.ac.kr)²

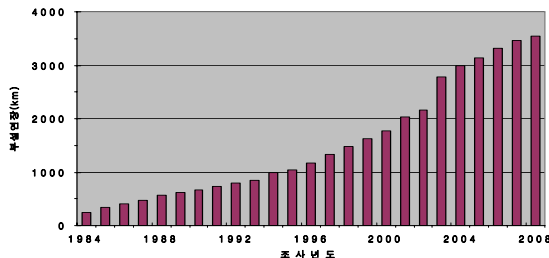
¹ 한국철도기술연구원 차륜레도연구실 책임연구원, ² 경기대학교 토목공학과 교수

Rail Insulation, Track Circuit, Continuous Welded Rail (CWR), Rail Bending Test

1. 서론

1.1 우리나라의 장대레일 현황

장대레일은 레일 이음매부를 용접한 궤도구조로서 이음매 충격소음 및 차량진동이 줄어 승차감이 개선되며 열차통과속도 증속과 더불어 안전성, 경제성, 친환경성이 향상되고, 궤도파괴 저감 및 궤도보수 주기 연장으로 유지보수비를 저감할 수 있는 등 많은 장점이 있는 획기적인 철도 기술로써 우리나라는 1956년 경부선 삼랑진~원동간에서 정척레일을 ARC용접하여 100m 장척레일 3개로 시험 부설한 이후, 1966년 경부선 영등포~안양, 오산~서정리구간 6개소에서 가스용접으로 100m 장척화한 후 현장에서 테르미트 용접으로 연결하여, 1,200~1,800m의 장대레일을 부설한 이래, 꾸준히 장대화 레일개량사업에 지속적인 투자를 확대하여 분기부, 교량, 급곡선부를 포함한 전구간을 장대화하고 있으며 2005년도 기준으로 3,145km를 장대화하였고 2004년 개통한 경부고속철도는 본선 전체를 한 개의 장대레일로 연결하여 그림 1.1과 같이 2008년도말 현재 그림 1.1의 "년도별 장대레일 부설연장"과 같이 3,546km를 장대화하였다. 또한, 최근 한국철도시설공단에서는 2008년 개정된 철도건설규칙의 선로등급별 속도제한규정 폐지취지를 살려, 주요 간선철도 본선 전구간을 장대레일을 채택하도록 설계요구조건에 명시하고 있어 수 년 내에 주요본선은 전면 장대화가 될 것으로 전망된다.



[그림 1.1] 년도별 장대레일 부설연장

1.2 궤도회로

궤도회로(Track Circuit)는 레일을 전기회로의 일부로 사용하여 회로를 구성하고 차량의 차축에 의하여 레일사이를 단락함에 따라 열차의 유무를 검지하는 것으로 단순히 열차 유무만 검지하는 것이 아니라, 레일의 절손이나 각종 운전보안설비와의 인터페이스와 열차 운행에 필요한 정보를 제공하는 등 다양한 기능으로 사용하고 있으며, 궤도회로를 구성하는 기기는 전원장치와 환류장치, 레일절연 및 궤도계전기로 구성된다. 이 장치는 1869년 미국의 William Robinson이 개진로식 궤도회로를 발명하였으나 안전상 우려가 있어 1872년부터는 폐진로식으로 개량하여 현재에 이르고 있다.

(1) 궤도회로의 원리

궤도회로는 궤도회로내에 열차가 없을 때 궤도계전기가 여자(ON)되고, 열차가 궤도회로를 진입하면 열차의 차축에 의해 레일 사이가 단락됨에 따라 궤도계전기가 무여자(OFF) 되고 이러한 궤도회로 조건(ON 또는 OFF)을 케이블을 통해 신호기장치와 연결하여 열차의 진행 가부를 현시하게 된다.

(2) 궤도회로의 분류

유절연식 궤도회로인 단궤조식 궤도회로와 복궤조식 궤도회

로, 무절연식 궤도회로로 구분한다.

- 단궤조식 궤도회로는 궤도회로를 구성하는 레일의 한쪽만을 절연하는 방식으로 전철구간에서 한쪽 레일에 귀선전류를 흘리기 위하여 주로 사용하며 복궤조식보다 레일 절연수가 적고 임피던스본드를 사용하지 않아 설치비가 적은 장점이 있는 반면, 절연되지 않은 쪽의 레일절연이 불량할 경우 인접 궤도의 전류가 유입되어 오동작 등의 장애 유발우려가 있다.

- 복궤조식 궤도회로는 양쪽의 레일을 절연하는 방식으로 보편적으로 사용하고 있는 방식이며 전철구간에서 이 방식을 사용할 때에는 전차선전류와 신호전류를 구분하기 위하여 임피던스본드를 설치해야 하므로 설치비가 많이 소요되나 단궤조식과 같은 결점이 없으므로 전철구간 뿐만 아니라 비전철구간에도 널리 사용한다.

- 무절연식 궤도회로는 레일절연을 사용하지 않고 직접 레일에 주파수를 흘려, 레일 임계점에서 상호주파수에 대한 공진회로를 이용한 궤도회로로써 표 1.1과 같이 장점이 많아 고속화 선구 등 주요 본선을 중심으로 신호개량 사업을 추진하고 있다.

표 1.1 절연유무별 궤도회로 방식의 장단점

유절연 궤도회로방식	무절연 궤도회로방식
장점: -궤도회로 경계가 명확 단점: -복진 등 절연파괴 장애유발 -절연장애 복구시간 지연 -제약사항과다(곡선,교량 등) -장대레일 사용 불가능	장점: -절연파괴에 의한 장애 없음 -보수유지 및 관리 용이 -급곡선에도 구성 가능 -장대레일 사용 가능 -장기 유지보수비 절감 단점: -궤도회로 경계부 중첩구간 발생

1.3 레일절연과 접촉절연레일

레일절연(Rail Insulation)은 인접 궤도회로와 전기적으로 절연시키는 기능을 하도록 레일 이음부에 설치하는 절연체이다. 위 표 1.1에서 본 바와 같이 유절연 궤도회로 방식의 대표적인 취약점인 장대레일 구간에 구성이 제한되는 점을 보완하기 위하여 기존 절연이음매판을 개량하여 그림 1.3의 접촉절연레일 형태로 보완함으로써 주요 본선의 장대화 전구간에 적용하게 되어 핵심적인 궤도구성품으로써 안전도 유지가 매우 중요하게 되었다.



[그림 1.3] 접촉절연레일

2. 장대 접촉 절연레일 유간발생 현상

대부분 운행선에서 앞서 소개한 장대레일궤도용 접촉절연레일은 별 문제없이 사용되고 있으나 2007년 개통한 경원선 의정부-동안간 복선전철 궤도부설 공사에 사용한 접촉절연레일 380개소 중 50개소가 겨울철 레일신축·복진에 의하여 1~3mm정도의

유간이 발생하므로 신호장애 또는 궤도파괴 우려가 있어 안전성 평가가 요청되었다.

3. 접촉 절연레일 성능 평가

3.1 레일절연과 접촉절연레일의 절연성능 요구사항

절연이음매판의 절연저항 기준은 접촉절연레일과 동일한 성능이 유지되어야 하지만 다음과 같이 흡수 체적저항율을 규정하는 등 다소 상이하다. 즉, 절연수지는 흡수율을 시험한 후 시험편을 철재 정반위에 놓고 그 위에 직경 25mm원형 전극으로 500g 압력을 가하여 정반과 전극간의 DC 250V 이상의 절연저항계로 1분간 충전시킨후 절연저항을 측정하며 체적저항율로 15(MΩ-cm) 이상을 확보하도록 규정하고 있다.

이 것을 고유 절연저항값으로 환산해 보면

$$\text{체적저항율}(M\Omega\text{-cm}) = \frac{\text{측정치}(M\Omega) \times \text{적극대향면적}(cm^2)}{\text{흡수후의 두께}(cm)}$$

$$\Rightarrow 15 (M\Omega\text{-cm}) = \frac{\text{절연저항치}(M\Omega) \times 77 (cm^2)}{0.3 (cm)}$$

$$\text{절연저항}(M\Omega) = \frac{\text{절연체 고유체적저항율}(M\Omega\text{-cm}) \times \text{절연체 두께}(cm)}{\text{적극대향면적}(cm^2)}$$

$$\text{절연저항}(M\Omega) = \frac{15 (M\Omega\text{-cm}) \times 0.3 (cm)}{77 (cm^2)} = 0.058 (M\Omega) = 58 (k\Omega)$$

즉, 흡수율 시험 후의 기준이라는 차이는 있지만 절연레일 및 신호기기의 요구 절연성능에 비하여 상당히 여유가 있는 값인 58(kΩ)에 머무르고 있다.

3.2 장대레일 관리상 문제점 분석

(1) 유간발생에 의한 안전도 분석

과대유간이 발생하는 레일파단시 개구량 허용 유간 기준은 국제적으로 큰 차륜기준으로 4in(100mm)이다. 일본신간선 장대레일설계기준의 경우 레일의 파단시 개구량 허용치 69mm와 레일좌굴강도 허용치를 1레일당 1,000kN으로 적용하고 있다.

또 일본 신간선의 실차시험 결과 침목 중간부에 20mm의 개구 절단개소를 만들고, 응급이음매판을 설치하여 차량통과시험을 했지만 레일의 좌우 변위는 거의 없고 레일 진동 등 모든 측정항목에서 정상적 장대레일 상의 주행 때와 크게 변함없는 값을 보이며, 레일 용접부가 파단된 경우에도 그 파손상황이 일반적이고(중대레일 용접부의 파손은 대부분이 횡균열) 또 차륜형압에 이상이 없으면 20mm 개구량 발생시 200km/h의 고속운전에 대해서도 안전한 것으로 나타났다.

(2) 레일수직처짐 안전도 분석

2010. 4. 5. 한국철도기술연구원 궤도시험실에서 유간이 3mm 정도 발생하여 철거한 절연레일을 그림 3.1과 같이 300ton 레일굴곡시험기로 테르미트 용접레일과 동일한 하중을 재하하여 시험한 결과 변위 17mm, 하중 90ton에서 파단되지 않고 양호한 결과를 보여 지지강성에 전혀 문제가 없음이 입증되었다



[그림 3.1] 접촉절연레일 굴곡시험

(3) 레일좌굴(장출) 안전도 분석

곡선궤도는 레일의 온도상승으로 인하여 궤도가 원곡선 외부로 팽창하게 되며 궤도 선형에 필연적으로 발생하는 궤도틀림과 이러한 팽창력이 직선 궤도에 비하여 추가적으로 발생됨으로 궤도의 안정성에 불리하게 작용되게 된다. 따라서 급곡선궤도 구조는 취약궤도로 분류되고 곡선반경 600m이하 급곡선은 장대화를 지양하였었다. 그러나 우리나라 도상저항력의 특성을 고려하여 이론적 해석과 실험 등을 통하여 도상저항력의 적절한 확보로 이들 곡선에서도 장대화가 가능하다는 연구 결과를 제시하였고 곡선 반경에 따라 레일 꺾임 길이를 변수로 좌굴 해석 모델링을 하고 이들과 정상적인 곡선 궤도와 비교검토하여 기온 강하시 정상궤도와 틀림궤도의 온도상승에 따른 횡변위 2mm일 때의 온도를 좌굴하중으로 가정하여 분석하면 표 3.1과 같이 정상궤도에 비하여 꺾임 궤도의 좌굴온도가 낮아지게 된다.

표3.1 정상궤도와 꺾임궤도의 좌굴온도 비교 (단위 °C)

g R _{lim}	300kg/m		400kg/m		500kg/m		600kg/m		700kg/m	
	정상	꺾임	정상	꺾임	정상	꺾임	정상	꺾임	정상	꺾임
400	46.4	43.6	57.8	55.9	68.3	66.7	77.9	76.7	87.0	85.5
500	51.8	49.0	64.0	62.3	75.3	73.8	85.5	84.6	95.1	94.0
600	56.0	53.3	68.9	67.2	80.5	79.3	91.2	90.5	101.1	100.3

4. 결론

이상과 같이 장대구간 접촉절연레일의 안전성을 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 기존 절연이음매판의 절연저항 요구기준은 58(kΩ)으로 흡수율 시험 후의 기준이라는 차이는 있지만 절연레일 및 신호기기의 요구 절연성능에 비하여 상당히 여유가 있음을 알 수 있었으며 장기간 사용한 장대레일구간 절연부에서 레일복진에 의한 유간 발생시 이 기준을 적용하여 절연 성능을 평가하는 것이 합리적인 것으로 판단된다.

2. 일본 신간선에서 침목 중간부에 20mm의 개구 절단개소를 만들고 응급이음매판을 설치하여 200km/h의 고속운전 실차시험을 시행한 결과 레일의 좌우 변위는 거의 없고 레일 진동 등 모든 측정항목에서 정상적 상태와 크게 변함없는 값을 보였다. 따라서 경원선 접촉절연레일의 최대 유간3mm는 안전상 전혀 문제가 없는 것으로 평가된다.

3. 표 3.1 꺾임궤도의 좌굴허용온도를 분석한 결과 경원선의 경우처럼 도상횡방향 저항력이 500kg/m 유지되는 본선궤도에서는 다소간 이음부 횡변위가 있는 궤도라 하더라도 설정온도로부터 66°C이상 상승하여야 좌굴이 발생하므로 우리나라 기후환경 조건으로 볼 때 안전상 전혀 문제가 없을 것으로 평가된다.

그러나 장출 거동은 레일복진, 불균형 축력 등 복잡한 변수에 따라 좌우되므로 일교차가 심하고 불안정하며 급격한 레일온도 상승이 예상되는 초여름에 최대한 취약한 개소에 대하여 유간 및 절연측정 등 현장조사와 추가적인 분석을 수행하면 보다 신뢰성 있는 결과가 나타날 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 박옥정(2009) 『기후변화와 유지관리를 고려한 장대레일 설정 온도에 관한 연구』, 경기대학교 박사학위논문
2. 박옥정 (2006), 『장대레일 재설정 시행기준 및 유지관리 효율화 방안연구』, 대전:한국철도공사
3. 박옥정 외(1992), 장대레일의 안전도성 향상에 관한 연구 『철도기술연구보』, Vol 26 No. 1
4. 박옥정 외(1991), 급곡선부 장대레일 안전도에 관한 연구 『철도기술연구보』, Vol 25 No. 2
5. 민경주(1998), 『레일 용접부의 특성에 관한 연구』, 경기: 한국철도기술연구원,
6. 한국철도공사(2008), 『철도신호교제』 경기: 철도인력개발원