도시철도 곡선궤도의 완화곡선과 레일 편마모 상관관계 연구

A Study on a Relationship between Transition Curve and Side Wear for curved track

서정호*†, 이종규*, 국윤모*, 최일윤** 박용걸***

Jung Ho Seo*†, Jong Ku Lee*, Youn Mo Kook*, IL Yoon Choi**, Yong Gul Park***

Abstract The purpose of this study is to investigate the mutual relations between transition curve and side wear for curved track. For this, we have done a comparative analysis for curves that nearly reach limitation of the rail wear patterns at the beginning point of curve and the rail wear fluctuation in the section of circular curve . As a result, we found that curves which don't have transition curve steep incline pattern of rail wear at the beginning point of curve and high coefficient of variation in the circular curve.

Keywords **:** Transition curve, Circular curve, Side Wear

초 록 본 연구의 목적은 완화곡선이 레일 편마모에 미치는 상관관계를 고찰하기 위함이다. 이를 위해 편마모량이 레일 교체수준에 도달한 곡선구간을 대상으로 차량의 곡선 진입구간 편마모량 기울기 및 원곡선 구간 파형 변동성을 완화곡선 삽입 유무별로 비교분석 하였다. 그 결과 완화곡선 미설치 구간은 상대적으로 곡선 진입부의 편마모량 변화율 추세가 급하고, 원곡선 구간의 마모파형 변동률이 큰 것으로 분석되었다.

주요어 : 완화곡선, 원곡선, 편마모

1. 서 론

도심지에 건설되는 도시철도는 토지활용의 제약과 짧은 역간거리로 인해 상대적으로 많은 급곡선 선형을 채택하여 운영되고 있다. 궤도구조의 대표적인 취약부로 분류되는 곡선부는 횡압과 궤도충격에 기인한 차륜과 레일의 접촉으로 외측레일에 심각한 편마모를 일으키며, 이는 소음진동 및 승차감에 미치는 영향이 크고 궤도구조의 파괴를 촉진시키는 등 유지보수 부담을 가중시키고 있다. 한편 곡선과 직선이 만나는 접속구간에서 캔트체감을 위해 설치하는 완화곡선은 주행안전과 승차감에 직접적인 영향을 미치는 중요 선형요소로서 본 연구에서는 완화곡선 미설치 구간의 편마모 파형 기울기 및 변동성 등을 완화곡선 설치구간과 비교 분석함으로서 레일 편마모와 완화곡선과의 상관관계를 고찰하였다.

† 교신저자 : 서울과학기술대학교 철도전문대학원 철도건설공학과 석사과정
(jhseo73@smrt.co.kr)
* 서울도시철도공사, 전략사업본부 해외사업처 대리
* 서울도시철도공사, 기술본부 토목처 처장
** 한국철도기술연구원, 책임연구원, 공학박사
*** 서울과학기술대학교 철도전문대학원 철도건설공학과 교수, 공학박사

2. 본 론

2.1 연구범위 및 내용

서울도시철도 선로 정비규정에는 본선 60kg 레일의 편마모 관리기준을 15㎜로 정하고 있다. 이에 따라 본 연구에서는 최대 마모량 13㎜ 전후의 레일교체 시기가 도래한 곡선부 35개소(완화곡선 설치 15개소, 미설치 20개소)를 연구범위로 설정하였다.

완화곡선과 레일 편마모의 상관관계를 분석하기 위하여 분기별 궤도 검측차의 편마모 데이타를 조사하여 대상 곡선별 거리에 따른 마모량(㎜)에 대한 파형 그래프를 작성하고, 각각의 최대 마모량(마모 진행률), 기울기 추세, 변동율을 분석하였다.

2.2 관련 이론

2.2.1 편마모

곡선부에서 외측레일은 차륜 플랜지에서 레일의 게이지 코너로 강한 횡압과 충격을 받으면서 차륜의 회전에 수반하여 큰 미끄러짐을 일으키게 되며, 이때의 차륜과 레일의 점착과 마찰로 인해 편마모가 발생한다. 도시철도 콘크리트 궤도구조는 자갈궤도에 비해 탄성측면에서 불리할 뿐 아니라 급곡선부가 많아 편마모가 급속히 진행되고 있으며, 이로 인한 레일교환으로 궤도 유지관리비용이 증가하고 있는 추세이다.

2.2.2 완화곡선

일정한 크기 이하의 곡선반경을 갖는 원곡선과 직선 사이 또는 두개의 원곡선 사이에는 철도차량의 주행안전성과 승차감 확보를 위하여 완화곡선을 삽입하여야 한다. 완화곡선 생략시는 캔트부족량의 급변화 등으로 불균형 횡방향 가속도가 급변하게 되고, 급격한 횡압과 좌우진동 발생 등 승차감을 악화시키며 심할 경우 열차탈선과 궤도파괴를 유발한다.

서울도시철도의 완화곡선 설치기준은 곡선반경(R) 600m 이하에 적용하고 있으나, 일부구간은 설치기준의 예외를 두고 있다.

2.3 조사 및 분석

2.3.1 편마모 관리현황 및 분석대상

서울도시철도 5~8호선 편마모 관리대상 곡선은 총 507개소 이며, 곡선 반경별로 R500이하, R600이하, R1200이하, R2000이하로 구분하여 최대 편마모량 및 편마모 진행률 등을 관리하고 있다.

본 연구에서는 곡선반경 R300~2000 구간 중 최대 마모량 13㎜ 내외의 총 35개소 곡선을 대상으로 완화곡선 유무별 결과를 분석하였다.

2.4 측정결과 및 분석

2.4.1 곡선 진입부 편마모량 변화율 분석

곡선부 35개소에 대하여 완화곡선 유무별 접속부 편마모량 변화율(기울기 추세) 분석을 통한 마모특성을 연구하였다. 완화곡선 설치구간은 전동차 진입부를 기준으로 완화곡선 시점에서 원곡선 시점까지의 거리별 편마모량(㎜) 증가추세를 일차원 선형으로 분석하였으며, 완화곡선 미설치 구간은 곡선시점에서 마모량 변곡점까지를 분석하였다.

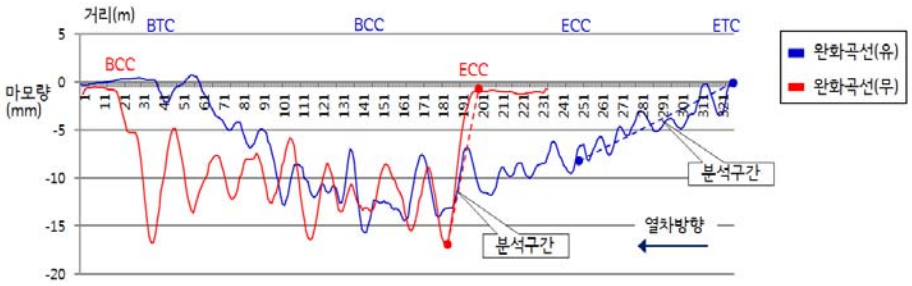

Fig. 1. 완화곡선 유무별 진입부 편마모량 변화율 기울기 분석(예)

2.4.2 곡선 진입부 편마모량 변화율 분석결과

도시철도 차량이 진입하는 곡선시점으로부터 일정구간에 대한 각각의 편마모량 변화율 기울기 추세를 일차원 선형으로 분석한 결과, 완화곡선 설치구간 15개소는 추세선의 기울기 값 평균이 약 0.12, 완화곡선 미설치 구간 20개소는 약 0.98로 완화곡선 미설치 구간이 설치구간에 비해 약 8.16배 큰 것으로 분석되었다.

완화곡선 미설치 구간은 완화곡선 설치구간에 비해 상대적으로 평면선형이 직선에서 원곡선으로 급격히 변동되면서 순간적인 횡가속도 변화 및 차량의 Jerking현상 등 발생으로 인해 충격과 동요로부터 더 큰 영향을 받아 곡선진입부의 편마모량 변화율이 큰 것으로 예측되었다.

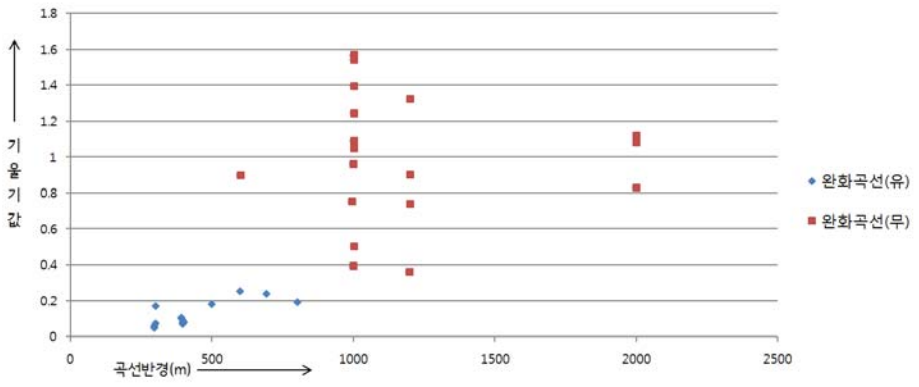

Fig. 2. 완화곡선 유무별 진입부 편마모량 변화율 분석결과 그래프

2.4.3 원곡선부 편마모 변동성 분석

곡선부 35개소에 대하여 원곡선 전체연장(B.C.C~E.C.C)의 편마모량 평균값에 대한 완화곡선 유무별 변동율을 변동계수(표준편차/평균, Coefficient of Variation)로 상호 비교 분석하였다.

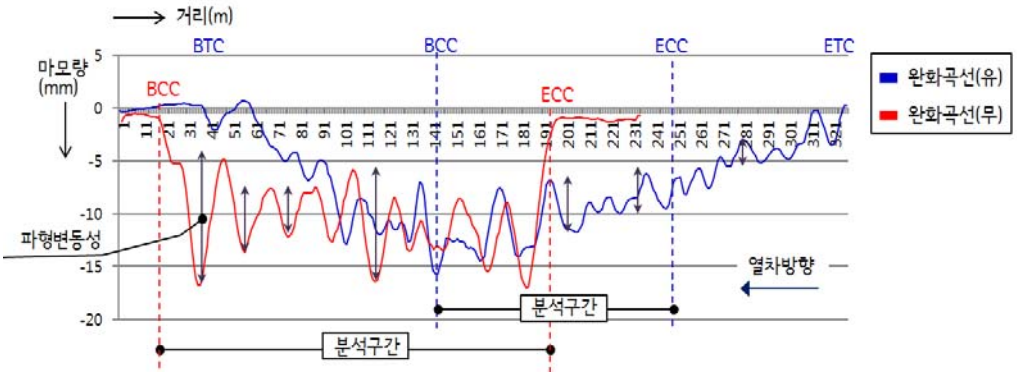

Fig.3. 완화곡선 유무별 원곡선부 편마모량 변동률 분석(예)

2.4.4 원곡선부 편마모 변동성 분석결과

원곡선 전체 연장에 대한 편마모량 평균 값의 변동계수를 분석한 결과, 완화곡선 설치구간 15개소는 변동계수 값 평균이 약 0.19, 완화곡선 미설치 구간 20개소는 약 0.49로 완화곡선 미설치 구간이 설치구간에 비해 편마모 변동율이 약 2.58배 정도 큰 것으로 분석되었다.

완화곡선 미설치 구간의 변동계수가 크게 나타나는 것은 직선에서 곡선시점으로 열차진입시 선형의 급격한 변동에 따른 충격과 열차동요, 사행동 양상 등이 차량의 곡선부 통과시까지 영향을 미쳐 마모파형의 급격한 변동이 유발되는 것으로 예측되었다.

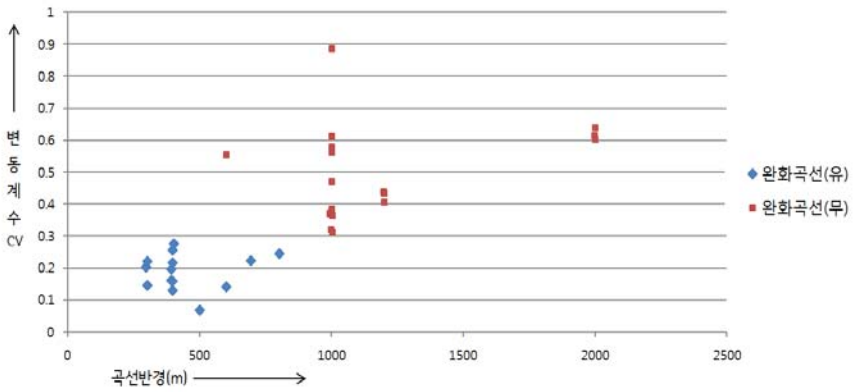

Fig.4. 완화곡선 유무별 원곡선부 편마모량 변동률 분석결과 그래프

3. 결 론

본 연구에서는 서울도시철도 콘크리트 궤도구조(STEDEF) 곡선구간에 대한 레일의 편마모량을 완화곡선과의 상관관계로 분석하였으며, 다음과 같이 결론을 얻었다.

첫째, 완화곡선 미설치 구간은 도시철도 차량이 직선에서 곡선으로 진입하는 구간에서의 편마모량 변화율 추세가 완화곡선 설치구간에 비해 급한 것으로 분석되었다.

둘째, 완화곡선 미설치 구간은 원곡선부의 편마모량 파형 변동률이 완화곡선 설치구간에 비해 다소 증가하는 것으로 분석되었으며, 이는 곡선반경이 큰 구간이라도 완화곡선 없이 직선과 곡선이 접속 할 경우 급격한 기하학적 선형변화가 순간적인 횡가속도 및 차량충격 등을 발생시켜 편마모를 증대시키는 하나의 원인이 되는 것으로 판단된다.

참고문헌

(1) 서사범 저(1999), “선로공학” pp.201~205, 461~467

(2) 홍철기(2001.12) 레일마모의 요인별 상관관계 및 저감방안에 관한 연구, 석사학위, 서울산업대학교

(3) 최일윤(2010.10) 완화곡선 형상별 차량 주행안전성 및 승차감 분석, 한국철도학회지 논문집, pp.509~515

(4) 정민철(2010.7) 지하철 마모데이터 회귀분석을 통한 궤도 수명평가, 구조물진단학회지 제14권 제4호

(5) 철도건설규칙 해설서(2013.12.) 제8조 완화곡선의 삽입, pp.41~61