

도시철도 레일 누적통과톤수에 따른 레일마모 분석

Analysis on Rail Wear based on Accumulated Traffic Tonnage of Urban Railway

장태경*†, 이달재*, 최삼혁*, 강용석**, 박용걸***

Tae-Gyeong Jang*†, Dal-Jae Lee*, Sam-Hyeok Choi*, Yun-Suk Kang**, Yong-Gul Park***

Abstract In order to predict progression of wear in the curves with operation of urban railway and, based on this, systematically manage rail wear, this study, based on data on wear measured by Seoul Metro, conducted comparison analysis on rail wear progression rate according to accumulated passing tonnage on installed rail through regression analysis by radius of curve and different rail grades, and during the progression of wear based on accumulated traffic tonnage, analyzed the progression trend of wear.

As the result of the analysis, it was verified that rail wear progression based on accumulated traffic tonnage showed different trend according to radius of curve and different rail grades and after rail grinding, wear progression rate slows down for a certain period.

Keywords : Rail wear, Accumulated traffic tonnage, Rail grinding, Urban railway

초 록 본 논문은 도시철도 열차운행에 따라 곡선부에서 발생하는 레일마모에 대하여 마모 진전을 예측하고 이를 통하여 레일마모를 체계적으로 관리하고자 서울메트로에서 측정된 마모데이터를 기초로 하여, 부설된 레일의 누적통과톤수에 따른 레일마모 발생 추이를 곡선반경, 레일종별에 따라 회귀분석을 통하여 레일마모 진전율을 비교 분석하였으며 또한 레일 누적통과톤수에 따른 마모 진행 중 레일연마차에 의한 레일연마 후 마모의 진행 추이를 분석하였다. 이 결과 레일 누적통과톤수에 따른 레일마모 진전은 곡선반경, 레일종별에 따라 각각 다른 마모발생 추이를 보였으며, 레일연마 후 일정기간 마모 진전율이 둔화되는 것을 확인하였다

주요어 : 레일마모, 누적통과톤수, 레일연마, 도시철도

1. 서 론

도시철도의 경우 레일 누적통과톤수는 집중적으로 일정하게 발생하게 되며, 동일한 운영 기관의 노선이라도 운송수요가 상이하어 이에 따라 누적통과톤수를 노선 및 구간별로 다르게 적용하여 레일을 관리하고 있다. 본 논문에서는 국내 최대 일일 평균 인력수송량을 가진 서울메트로에서 주기적으로 측정된 마모 데이터를 분석하여, 레일의 누적통과톤수와 레일마모간의 상관관계를 곡선반경 및 레일종별로 나누어 레일마모 데이터를 분석하고 레일마모 발생추이를 예측함으로써 합리적인 레일마모관리의 기초지표를 제시하고자 한다.

† 교신저자: 서울과학기술대학교 철도전문대학원 철도건설공학과 (tkjang@seoulmetro.co.kr)

* 서울메트로 궤도사업소, ** 한국철도기술연구원, 책임연구원, 공학박사

*** 서울과학기술대학교 철도전문대학원 철도건설공학과 교수, 공학박사

2. 본 론

2.1 레일마모의 유형 및 누적통과톤수의 기준

2.1.1 레일마모의 유형 및 관리기준

열차 주행에 따라 레일에 차륜을 통하여 동적하중이 가해지며, 두 금속간의 접촉으로 레일면의 강한 마찰로 인하여 레일마모가 발생하며, 마모의 유형 및 관리기준은 아래와 같다.

(1) 레일 마모의 유형

- 직마모(V0) : 레일의 두부면을 기준으로 중앙부에 수직(90°)하여 발생한 마모로, 곡선부 내측레일면에 주로 발생한다.
- 측마모(C0) : 레일의 두부면을 기준으로 궤간내측 코너부(45°)에 발생한 마모로, 곡선부 외측레일면에 주로 발생한다.

(2) 레일 마모에 의한 레일단면적 감소 유형

레일은 차륜의 거동에 따라 수직과 수평방향 모두에서 레일마모가 발생하여 레일단면적의 감소를 가져오며, 레일의 소성변형 또한 단면적 감소를 초래한다.[1] 아래의 (Fig. 1)은 동일한 통과톤수는 아니지만, 곡선반경별 레일마모에 의한 레일단면적 감소를 보여주고 있으며, 이는 차량의 작은 동적거동 차이에 의한 영향이 레일의 마모 단면에는 상당히 큰 영향을 주는 것을 확인할 수 있다.

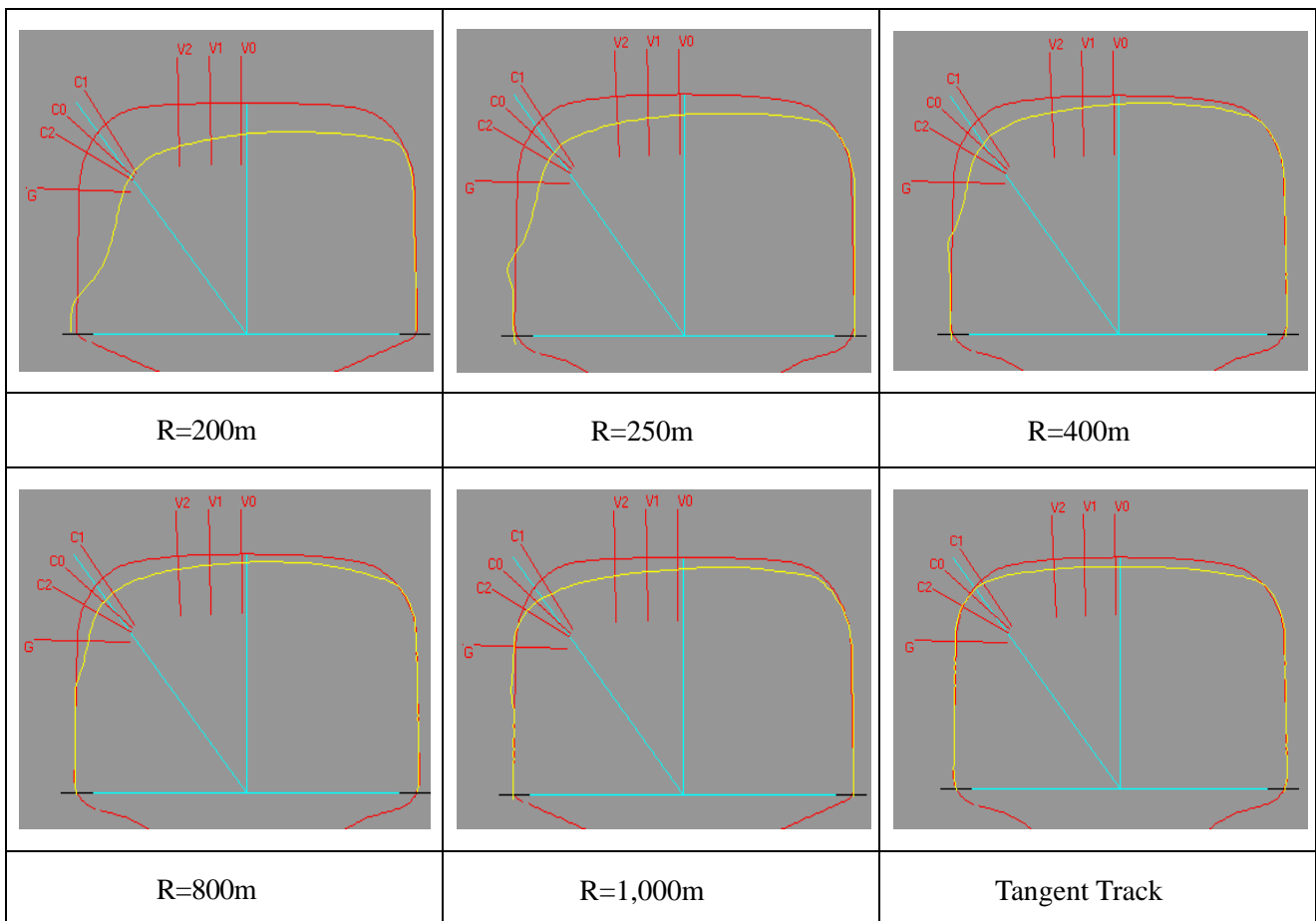


Figure 1: A Range of Rail Profiles Encountered on Railways (Seoul Metro)

(3) 레일마모 관리기준

서울메트로의 레일마모에 의한 한도 기준은 아래의 'Table 1'과 같으며, 한도마모량 상태를 초과하기 전에 레일을 교환하여야 한다

Table 1 Rail wear limits on Seoul Metro

레일 종류	본, 측선	직마모	측마모	비고
60kg 레일	본선	13mm	15mm	
50kg 레일	본선	13mm	15mm	
	측선	15mm	18mm	

2.1.2 서울메트로 레일 누적통과톤수 관리기준

서울메트로에서는 일일 승객 혼잡도, 열차운행 횟수, 편성량수를 고려하여 누적통과톤수를 아래 'Table 2'와 같이 노선별로 구분하여 관리하고 있다.

Table 2 Accumulated traffic tonnage on Seoul Metro

호선	1일 운행횟수	편성량수	1량 하중(ton)	최대평균 혼잡율	1일 평균 누적통과톤수 (ton)	1년 누적통과톤수 (ton)
1	308	10	49.5	138%	152,520	55,669,800
2	271	10	55.5	235%	150,416	54,901,840
3	216	10	51.2	166%	110,670	40,394,550
4	249	10	55.2	230%	137,379	50,143,335

2.2 레일마모 분석대상 데이터

레일마모 분석을 위한 대상 데이터는 서울메트로에서 주기적으로 측정한 데이터를 분석하였으며, 그 분석대상의 범위는 'Table 3'과 같다.

Table 3 Analysis object range of Rail wear

구분	내용
측정방법	종합검측차(Roger-600)를 이용한 레이저 비접촉식 검측
측정기간	2010년 1분기 ~ 2015년 2분기(5.5년)
측정주기	매 분기별 1회 측정
분석대상 위치	곡선반경 R=1200m 이하 곡선의 원곡선 중앙부
레일마모 측정위치	레일 측(편)마모 - 레일두부 꺾개측 45°
기타사항	본선 부설 레일에 한정(정거장 및 도유기설치개소 제외)

2.3 누적통과톤수에 의한 레일마모분석

2.3.1 누적통과톤수별 레일마모 진전 분석

서울메트로에 부설된 곡선반경 $R=400m$ 곡선의 마모데이터를 분석한 결과, 누적통과톤수가 증가함에 따라 레일마모의 진전 또한 이에 비례하여 증가되는 것을 확인하였다. 이때 마모 진전율은 레일종별에 따라 차이를 나타냈으며, 마모 진전율은 $50kgN > 60kgK > 60kg HH370$ 순으로 크게 나타나는 것으로 분석되었다.

2.3.2 통과톤수 1억톤(100MGT) 누적시, 곡선반경별 레일마모 진전을 분석

레일 통과톤수 1억톤이 누적되는 동안의 마모 진전율을 곡선반경($R=400\sim 1200m$)에 따라 나누어 분석한 결과, 곡선반경이 작아짐에 따라 마모진행이 급격하게 증가하는 것을 확인하였다.

곡선반경 $R=300m$ 이하의 곡선의 경우 모든 곡선에 도유기가 설치되어 있어, 분석대상에서 제외하였다.

2.3.3 통과톤수 1억톤(100MGT) 누적시, 레일종별 레일마모 진전을 분석

레일 통과톤수에 따른 레일마모 진전율을 레일종별에 따라 구분하여, 최대, 최소, 평균값의 진행 추이를 분석한 결과 $50kgN$ 과 $60kgK$ 레일의 차이를 확인 할 수 있었다. 회귀분석을 통하여 분석한 결과 $50kgN$ 레일이 $60kgK$ 레일에 비하여 마모 진전율의 차이가 비교적 개소별로 평균값과 유사한 거듭제곱 (Power law) 곡선형태로의 진전을 보였으며, 이는 $50kgN$ 레일이 $60kgK$ 레일에 비하여 곡선반경과의 상관관계에서 더 많은 영향을 받는다는 것을 확인할 수 있다.

2.3.4 누적통과톤수에 따른 마모 진전중 레일연마 효과 분석

레일연마는 휠-레일간의 상호작용을 유지관리할 수 있는 중요한 방법 중 하나이다. 레일연마는 파상마모, headchecks과 같은 레일표면 결함의 제거뿐만 아니라, 최적의 레일 profile을 유지하기 위한 방법으로 사용되어 왔으며[2], 이에 누적통과톤수에 따른 마모 진전 중 레일연마에 의한 효과를 분석해 보았다.

레일의 마모 진전은 누적통과톤수에 따라 비교적 선형적으로 진전된다는 것을 이전의 분석을 통해 확인하였다. 이러한 마모 진전 중 레일연마차를 통한 레일연마와 레일마모의 상관관계를 확인한 결과 통과톤수에 따른 마모 진전 중, 예방연마를 시행한 결과 마모의 진전이 일정기간 동안 둔화된다는 것을 확인하였다. 이는 레일연마를 통하여 레일의 두부형상을 최적의 profile로 복원함으로써, 휠-레일간의 접촉응력의 감소를 통하여 레일마모가 일정기간 감소한 것으로 보인다.

3. 결 론

본 논문은 도시철도 레일 누적통과톤수에 의한 레일마모 진전을 예측하기 위한 기초자료로 측정된 마모데이터를 회귀분석을 통하여 분석을 시행하였으며, 다음과 같은 결론을 도출하였다.

1. 레일 누적통과톤수가 증가함에 따라, 곡선반경 $R=400m$ 인 곡선외측 측마모(45°)의 진행은 선형적으로 증가하는 것을 보였으며, 레일 종별에 따라 마모 증가율에 차이를 보였다.

2. 통과톤수 1억톤(100MGT)누적에 따른 레일 측마모 진전율은 곡선반경이 커짐에 따라 급격히 감소하는 것으로 분석되었다.

3. 통과톤수 1억톤(100MGT)누적에 따른 동일한 곡선반경내 레일 종별 측마모 진전율은 50kgN, 60kgK, 60kg HH370레일 순으로 마모진전이 작게 나타나는 것을 확인하였으며, 50kg레일이 60kg레일에 비하여 곡선반경에 따른 영향이 큰 것으로 분석되었다.

4. 통과톤수 누적에 따른 레일 측마모 진행중 레일연마차를 통한 예방연마를 시행하면 레일 마모 진전율이 일정기간 둔화되는 것을 확인하였다.

5. 본 연구를 통하여 레일의 통과톤수 누적에 따라 다양한 변동성을 가진 레일 마모진전에 대하여, 어떤 특정곡선의 정확한 수치적 마모예측이 아니라, 여러곡선의 마모 진행 분석을 통해 도출된 통과톤수가 고려된 진전율을 마모예측에 적용함으로써 합리적인 도시철도 레일 관리를 위한 지표 및 기초데이터로 활용하고자 한다.

참고문헌

- [1] Corus Rail and voestalpine Schienen(2006), Rail Degradation Algorithms, INNOTRACK
- [2] Jonas Lundmark(2007) Rail Grinding and its impact on the wear of Wheels and Rails, Licentiate Thesis, Lulea University of Technology. pp. 6-8