

레일시험부설을 통한 레일 편마모 연구

Rail through attached to uneven wear test analysis

공형식*[†], 이선길*, 박용걸**, 엄기영***

Hyung-Sik Gong*[†], Seon-Gil Lee*, Yong-Geol Park**, Gi-Young Eon***

Abstract The purpose of this paper is the maintenance of city facilities of railway track rail wear on the study is to present an effective wear reduction plan. To this end, the Urban Area of railway track STEDEF on concrete road curve radius (R) 600 or less curved section to section 60K heat-treated rails and rails and rails 60 attached to the test through the measured data based on the value of rail wear, rail and multiple factors and uneven wear correlations were compared and analyzed. Rails attached to the test data obtained from the uneven wear full array of value comparison, analysis by type rail, jonggu baebyeol, radius-specific factors impact on the wear resistance of the rails are particularly large, curved cant lack of wealth and influence, such as train speed acceleration and deceleration large station premises ($R \leq 600$) If the rail is worn duhwa was found to be effective in reducing.

Keywords : Manuscript preparation, Template, Paper title, Railway technology, Key words

초 록 본 논문의 목적은 도시철도 궤도시설물의 유지관리 중 레일 마모에 관한 연구로 효과적인 마모저감방안을 제시하는 것이다. 이를위해 서울시 도시철도 콘크리트도상의 STEDEF 궤도 구간 중 곡선반경(R) 600이하 곡선부 구간에 열처리 레일과 60레일 및 60K레일의 시험부설을 통하여 측정된 레일마모 데이터값을 토대로 레일 편마모와 여러 요인과의 상관관계를 비교, 분석하였다. 레일 시험부설로 얻어진 편마모 데이터값을 다각적으로 비교, 분석한 결과 레일종류별, 종구배별, 곡선반경별 요인이 레일의 내마모성에 미치는 영향이 크고, 특히 곡선부의 부족 캔트 및 열차속도 가감속등의 영향력이 큰 정거장구내($R \leq 600$)에서는 레일 경도화가 마모저감에 효과적임을 알 수 있었다.

주요어 : 레일시험부설, 곡선반경, 편마모, 열처리, 60, 60k 레일

1. 서론

서울도시철도 지하철은 도심구간내 복잡한 지형의 영향으로 불가피하게 운영구간에 급곡선이 많이 설치되어 열차의 곡선구간 주행시 궤도에 충격이 가해져 레일에 마모가 발생된다. 그 중 레일 측마모는 곡선반경, 레일의 재질 및 조직, 열차운행속도, 캔트부족량 등에 따라 마모량에 차이가 발생되고 또한 콘크리트 궤도부설이 증가되고 있어 콘크리트궤도의 곡선부 레일 측마모 저감을 위한 연구가 필요한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 레일의 시험부설을 통하여 레일마모 데이터값을 현장측정하여 레일 편마모와 여러 요인과의 상관관계를 비교, 분석하여 레일 편마모 저감연구를 통한 승객과 열차의 안전운행을 확보하고, 궤도시설물 유지관리에 효과적으로 기여할 수 있기를 기원한다.

† 교신저자: 서울과학기술대학교 철도전문대학원 철도건설공학과 석사과정
(2060344@smrt.co.kr)

* 서울과학기술대학교 철도전문대학원 철도건설공학과 석사과정

** 서울과학기술대학교 철도전문대학원교수,공학박사

*** 한국철도기술연구원 수석연구원, 공학박사

2. 본 론

2. 레일마모 이론

2.1 마모의 정의 및 종류

철도는 차량이 레일 위를 주행하므로 레일은 차량에서 주행에 따른 동적하중을 포함한 차량중량과 주행에 따른 구동력 또는 점착력을 받는다. 이에 따라 열차 주행시 레일면은 강한 마찰로 마모되게 된다. 이 현상은 레일이 무르고 경량일수록 심하고 직선보다 곡선의 외측이 곡선반경이 적을수록 심하다. 또한 열차중량, 속도, 통과톤수가 많을수록 진행이 빠르다. 레일마모 요인으로는 열차측면에서 통과톤수, 열차의 종류, 운전조건 등이 있고, 또한 궤도측면에서 레일의 종류, 궤도 선형, 보수상태, 레일도유의 유무 등이 있다. 또한 터널내외, 해안지대, 공업지대 또는 강우, 강설량의 대소, 습도, 기온 등의 환경과도 관계한다. 레일에는 차량에 의한 운중, 역행 또는 제동에 의하여 생기는 점선력, 곡선 통과에 수반되는 횡압, 좌우차륜의 주행로 차이에 의한 윤축의 틀림에 기인하는 점선력 등 외력이 작용한다. 이들 외력이 기상 및 레일 운할조건 등과 맞물려 레일 두부면과 궤간내의 측면을 마모 시킨다. 특히 곡선 외측 레일에서는 차량 플랜지에서 레일의 게이지 코너로 횡압을 받으면서 차량의 회전에 수반하여 큰 미끄러짐을 일으키기 때문에 측마모가 작용한다. 레일두부 상면에서도 어떤 일정한 간격의 요철을 가지고 파상으로 마모하게 되는데 이 현상을 파상마모라고 한다. 파상마모는 3~6cm 의 단파장과 수십 cm 의 장파장으로 대별되지만 외관, 발생 및 성장 요인은 서로 다르다. 단파장 파상마모 레일의 형상부는 빛나며, 파형지부는 어두운 색을 나타내며 결도 거칠다. 장파장의 파상마모는 주로 파상의 굽힘이 원인이 된다. 일반적으로 레일마모는 선로선행조건, 열차운행조건, 궤도구조, 열차속도, 차량과 레일답면 등 매우 많은 인자에 의하여 영향을 받고, 또한 복잡한 메커니즘에 의하여 발생 특성 및 전진속도로 달라지게 된다.

2.2 레일마모 발생 메커니즘

레일마모는 레일과 차량과의 접촉시에 발생하는 것으로 레일은 차량으로부터 주행에 수반하는 동적하중을 포함한 차량 중량과 주행에 필요한 구동력 혹은 제동력을 받는다. 한편 차량은 그 반작용을 레일로부터 받으므로 레일과 차량의 재료 및 형상에 따라 다르게 작용하는 힘에 의하여 접촉면에서의 응력의 크기가 달라진다. 마멸이나 접촉피로 등 손상부는 레일두부 주행접촉면에 균일하게 분포되어 있지 않다. 차량 주행의 불안정성 또한 동일한 횡셋 내에서 차량반경의 심한 차이로 인하여 직선 선로에서도 플랜지 접촉이 발생할 수 있

다. 그러나 이는 매우 예외적인 경우이며 레일에 심한 마멸이나 손상을 일으키지 않는다. 반면에 휠셋의 공격각에 의한 곡선구간에서의 플랜지 접촉은 빈번히 발생하여 곡선구간에서의 바람직하지 않은 게이지측면에서의 마멸을 발생시킨다. 차륜 플랜지와 레일 게이지측면 사이의 접촉면적은 대부분 주행방향으로 뻗어있는 타원형태이다. 레일두부 및 게이지에 나타나는 마멸이나 피로손상은 접촉빈도관련 하중, 사이클의 횟수, 접촉응력의 크기, 미세미끄럼과 표면력의 크기, 소성유동의 크기 등의 영향을 받는다.

2.3 레일종류 및 특성

Table 1 The chemical composition of rail

레일 기호		C(탄소)	Si(규소)	Mn(망간)	P(인)	S(황)	Cr(크롬)	V(바나듐)	비고
보통 레일	60KS	0.63~0.75	0.15~0.30	0.70~1.10	0.03이하	-	-	-	
	60KR								
	60K								
열처리 레일	HH340	60KS	0.10~0.55	0.70~1.10	0.030이하	0.020이하	0.20이하	*0.03이하	
		60KR							
		60K							
	HH370	60KS	0.10~0.65	0.80~1.20	0.030이하	0.020이하	0.20이하	*0.03이하	
		60KR							
		60K							

Table 2 Mechanical properties of the rail

레일 기호		인장강도 (N/mm ²)	연신율 (%)	머리부분 표면경도		단면 경화층의 경도		비고	
				브리넬경도 (HB)	쇼어경도 (HSC)	게이지코너 (A점)	머리부의 중심선(B점)		
보통 레일	60KS	800이상	10이상	235이상	-	-	-		
	60KR								
	60K								
열처리 레일	HH340	60KS	8이상	-	47~53	311이상	311이상		
		60KR							
		60K							
	HH370	60KS	1,130이상	8이상	-	49~56	331이상	331이상	
		60KR							
		60K							

브리넬경도: 재료의 시험면에 강구로 뾰족을 내는데 요하는 하중(kg)을 그영구 뾰족의 표면적(mm²)으로 나눈값

쇼어경도: 재료의 시험면 위에 일정한 높이에서 낙하시킨 추의 반발 높이에 비례한 수

3. 레일마모 시험부설

3.1 시험부설 비교대상 현황

동일구간 및 조건이 유사한 구간에서 60 레일과 60열처리 레일, 60 레일과 60k 레일, 60열처리레일과 60k 열처리레일의 시험부설을 통한 레일종류에 따른 비교, 분석과 마모 발생요인 중 종구배와 곡선반경별 차이에 따른 편마모 진행량을 각 Test구간에 시험부설시점을 기준으로 12개월 기간으로 편마모를 비교, 분석였다.

Table 3 60 common rail Vs 60 heat treated rail (TEST 1)

시험구간	레일종류	곡선반경	부설일	비 고
동대문역사문화공원역구내 29k707~30k305(L=598m)	60 열처리레일	612m	'08.7	
동일	60 보통레일	동일개소	'02.7	

Table 4 60k common rail Vs 60 common rail (TEST 2-1)

시험구간	레일종류	곡선반경	부설일	비 고
5 호선 마포~공덕 22k476~22k713(L=237m)	60k 보통레일	621m	'07.8	3년간 원곡선 마모량 ('96.12~'00.1 분기)
동일	60 보통레일	동일	'96.12	

Table 5 60k heat treated rail Vs 60 heat treated rail (TEST 2-2)

시험구간	레일종류	곡선반경	부설일	비 고
서대문~광화문 26k322~26k677 (L=355m)	60k 열처리레일	409m	'07.9	
청구~금호 30k791~31k185(L=394m)	60 열처리레일	400m	'07.9	

Table 6 over gradient Vs under gradient (TEST 3)

시험구간	레일종류	종구배(%)	곡선반경	부설일	비고
5 호선 동대문역사문화공원역구내 29k707~30k305(L=598m)	60 열처리레일	15(상구배) 이하	612m	'08.7.8	
6 호선 녹사평역구내 19k809~20k019(L=210m)	60 열처리레일	15(하구배) 이하	607m	'09.6.19	

Table 7 Tests By radius (TEST 4)

시험구간	레일종류	곡선반경	부설일	비 고
종로 3 가~을지로 4 가 28k035~28k247(L=212)	60 열처리레일	248m	' 09.2 분기	
마장~답십리 34k491~34k958(L=467)	60 열처리레일	300m	'12.1 분기	
아차산~광나루 38K958~39k352(L=394)	60 열처리레일	400m	'07.9	

삼각지~녹사평 18k887~19k241(L=354)	60 열처리레일	500m	'05.4 분기
6 호선 녹사평역구내 19k809~20k019(L=210m)	60 열처리레일	600m	'09.6

3.2 레일시험부설 결과 및 분석

Table 8 Status rail uneven wear (TEST 1)

구간	곡 선 반 경 (m)	구분	편마모(mm)		년간진행량		비 고
			최대	평균	최대	평균	
TEST 1	612	보 통	15.09	9.29	2.52	1.55	'02.7(교환)~'08.7
		열처리	1.47	1.08	0.735	0.54	'09.7(12 개월경과)
		대 비			△70%	△65%	

TEST1 은 09 년 7 월 기준으로(부설후 경과시간 12 개월) 60 열처리 레일과 60 레일의 편마모진행을 비교, 분석한 결과 60 열처리레일의 곡선부 연간 편마모 진행량이 60 레일에 비해 최대 70%, 평균 60% 저감 되었다. 그 이유는 시험구간이 정거장구내로 곡선반경이 600 정도로 급곡선부는 아니지만 열차 속도 가감속으로 인한 충격이 큰 구간으로 레일의 내마모성이 더 좋은 열처리 레일이 이구간서 마모저감에 효과를 나타낸 것을 보임.

Table 9 Status rail uneven wear (TEST 2)

구간	곡 선 반 경 (m)	구분	편마모(mm)		년간진행량		비 고
			최대	평균	최대	평균	
TEST 2-1	621	60	6.50	5.37	2.02	1.67	개통후 3년간
		60k	2.76	2.27	2.12	1.74	'08.4 분기(12 개월 경과)
		대비			▽4%	▽4%	
TEST 2-2	409	60 열처리	3.10	1.55	2.48	1.24	'08.4 분기(12 개월 경과)
		60k 열처리	1.72	1.48	1.38	1.18	
		대비			△44%	△5%	

TEST2 는 08 년 4 분기 기준(12 개월)으로 60K 레일과 60 레일을 비교한결과 60K 레일이 60 레일에 보다 편마모 연간 진행량이 최대 4%, 평균 4%씩 증감되었고, 60K 열처리레일은 60 열처리레일에 비해 연간 편마모 진행량이 최대 44%, 평균 5% 저감 되었다. 첫번째

60K 레일의 경우 60 레일보다 편마모진행량이 오히려 증감된 이유는 강도 및 경도가 향상되었지만 시험부설후 12 개월 기간 동안만 비교분석한 것으로 추후 24 개월 더 마모량을 측정하여 비교분석한 결과 많은양의 감속을 보였다. 이는 곡선부 환경에 어느정도의 초기마모에 정착기간동안은 증감될 수 있음을 알 수 있었다.

Table 10 Status rail uneven wear (TEST 3)

구간	곡 선 반 경 (m)	구분	편마모(mm)		년간진행량		비 고
			최대	평균	최대	평균	
TEST 3	612	열처리	1.47	1.08	0.735	0.54	'08.7(12 개월 경과)
	607	열처리	1.18	0.68	1.18	0.68	'09.6(12 개월 경과)
		대 비			△37%	△20%	

TEST3 은 곡선반경 및 조건이 유사한 60 열처리레일의 곡선부 구간중 구배가 상,하 로 반대일 경우 편마모 진행량을 비교, 분석한것으로 시험결과 상구배 곡선구간이 하구배 인 경우 보다 연간 편마모 진행량이 최대 37%, 평균 20% 저감 된 것으로 나타났다. 이는 곡선부의 종구배도 레일의 마모에 영향을 미치는 것으로 하구배시 차륜과 레일의 마찰이 마모에 더 크게 작용한것으로 보인다.

Table 11 Status rail uneven wear(TESt 4)

구간	곡 선 반 경 (m)	구분 (부설일)	편마모(mm)		비 고 (측정일)
			최대	평균	
Test 4-1	248	60 열처리 (' 09.2 분기)	3.36	2.94	'10.2 분기
Test 4-2	300	60 열처리 (' 12.1 분기)	3.30	2.39	'13.1 분기
Test 4-3	400	60 열처리 (' 07.9 월)	3.19	2.14	'08.9 월
Test 4-4	500	60 열처리 (' 05.4 분기)	2.01	1.22	'06.4 분기

TEST4 는 60 열처리 레일로 레일의 종류가 동일한 경우 곡선반경별 변화에 따른 레일 마모의 차이를 보는 시험으로 시험결과 곡선반경이 커질수록 레일 편마모량이 증가함으로 나타났다. 이는 레일의 강도를 향상시키더라도 레일의 종류에 관계없이 곡선반경의 변화에 따라 비례하여 레일마모량이 변화함을 알 수 있다.

3. 결 론

본 연구는 레일 편마모 저감을 위해 레일 종류, 종구배, 곡선반경에 차이를 주어 레일 시험부설을 시행하여 현장 측정된 레일마모 데이터값을 다각적으로 비교, 분석하였다.

1) 곡선반경 600 이하 정거장 구내에 60 열차리 레일의 시험부설 분석결과 레일 편마모량이 현저하게 감소되었는데, 이는 정거장구내 특성상 곡선부의 부족캔트 및 열차속도가감속으로 인한 충격이 큰 구간임을 감안할 때 레일의 경두화가 마모에 효과적임을 알수 있다

2) 곡선반경의 조건이 비슷한 구간에서 레일의 종류에 따른 마모 진행량을 비교, 분석한 시험으로 60K 레일과 60 레일, 60K 열차리 레일과 60 열차리 레일을 시험부설하여 비교한 결과 60K 열차리 레일의 편마모 진행량이 저감됨을 알 수 있었다. 다만, 60K 레일의 경우 편마모 진행량이 약간 증감되었는데 이유는 레일시험부설후 12 개월 기간만의 편마모 측정데이터를 비교한 결과 초기마모 정착기간으로 일시적 증감을 보였고 12 개월이후 부터는 측정결과 현격히 감소된것으로 나타났다. 이에 강도 및 경도가 약 10% 향상된 60K 레일이 기존레일에 비해 마모에 효과가 있어 레일 내마모성 향상에 따른 레일 수명 증가가 기대된다.

3) 곡선반경 및 레일의 종류가 같은 환경에서 곡선부 구배가 편마모에 미치는 영향을 시험한 것으로 상구배가 하구배보다 편마모에 효과적인것으로 나타났다. 하지만 이는 한번의 시험으로 얻어진 결과로 더 다양한 환경에서 종구배의 시험이 필요할 것으로 본다.

4) 레일의 종류가 동일한 경우 곡선반경별 변화에 따른 레일 편마모 변화량의 차이를 비교, 분석한 시험으로 60 열차리 레일로 강도를 증가시켜 곡선반경 248~500 의 구간에서 시험한 결과 곡선반경이 커질수록 레일 편마모량도 비례하여 증가되었다. 이는 급곡선일수록 레일의 종류에 관계없이 마모에 취약하여 급곡선의 경우는 레일의 경두화 외에도 레일도유, 캔트 및 슬랙의 조정등 더 다양한 방법이 레일 편마모 저감을 위하여 요구되어 진다.

참고문헌

- [1]C.K. Hong , S.C. Yang, Y.T. Gim (2001) Lack of correlation between perception study teuryang and rail wear, Korea Railway Association Proceedings 2001, pp 481-487
- [2]G.Y. Ha, H.S. Kim (2007) Acceleration/Deceleration Rate of Rail Wear Phenomena under Study, The Journal of the Korean Society for Railway, Vol.10 No.5, pp.607-612
- [3]B.G. Ju, G.C. Sin, S.G. Jeong (2007) A Study on Wearing of Rail and Adjustment of Cant in Accordance with Increase in Running Speed of Train, Korea Railway Association Proceedings 2007, pp 1121-1128
- [4]W.S. Kim (2007) The Reduction Case of Occurrence of Abnormal Wearing of Rail in Compound Curve Part, Korea Railway Association Proceedings 2007, pp 1097-1106
- [5] S.B. Seo H(2012) Line Engineering, Bgbookgallery, pp 225-267
- [6]Seoul Metropolitan Rapid Transit Corporation track maintenance Regulations, pp 2-15