

도시철도 콘크리트 도상궤도의 레일결함 요인별 상관관계 및 저감방안 연구

A study on put urban railway track ballast concrete correlation factors by rail defect & Reduction

정천만*[†], 김광섭*, 박용걸*, 김만철**

Cheon-man Jeong*[†], Gwang-Seop Kim*, Yong-geol Park*, Man-cheol Kim**

Abstract Seoul Metropolitan Rapid Transit Corporation (Seoul Subway Line 5 to 8 operating agency) is applied to the concrete roadbed track (STEDEF) for the first time in Korea subway operating agency of the total trajectory extending 310K755 consists of concrete bed 97% (301K608) is Rather than the properties of the faults that occur mainly concrete bed rail flaw considering the linear stability of the linear trajectory of this study is better than the gravel Factors affecting the rail flaw defect data of urban rail Railroad to date from the time of opening, review analysis correlation (train speed, track cant and tilt, passing tonnage and laying period, track irregularities, season) were analyzed by. Seasonal rail train speed and temperature checks were correlated For such orbits must, passing tonnage, we did not find a correlation between R & D institutions Not clearly identified for rail defect influencing factors in this study, but not We believe you can contribute to ensuring driving safety and train them through effective rail management to present a strategy for the prevention Managing rail defects.

Keywords : Rail defects, Concrete Track, Urban railway

초 록 서울도시철도공사(서울지하철 5·8호선 운영기관)는 국내 최초로 콘크리트 도상궤도(STEDEF)를 적용한 지하철 운영기관이며, 본선 궤도연장 310K755중 97%(301K608)가 콘크리트 도상으로 구성되어 있다. 본 연구는 자갈궤도에 비해 선형 안정성이 좋아 선형 결함보다는 레일결함이 주로 발생하는 콘크리트 도상의 특성을 감안하여, 개통시점 부터 2013까지의 도시철도공사의 레일결함 자료를 분석 검토하여 레일결함에 영향을 주는 요인(열차속도, 캔트 및 선로기울기, 통과톤수 및 부설기간, 궤도틀림, 계절)별 상관관계를 분석하였다. 열차속도 및 계절별 레일온도는 상관관계가 있음을 확인하였고 궤도틀림, 통과톤수, 부설기간등에 대해서는 상관관계를 구하지 못하였다. 본 연구를 통하여 레일결함 영향요인에 대해 명확하게 규명하지는 못하였지만, 레일 결함 예방관리를 위한 전략을 제시하여, 이를 통해 효율적인 레일관리 및 열차주행안정성 확보에 기여할 수 있을것이다.

주요어 : 레일결함, 콘크리트 궤도, 도시철도

1. 서 론

서울도시철도 공사는 5·6·7·8 4개호선, 영업거리 162.2Km, 157개역을 운영하고 있으며, 일 평균 350만명이 이용하는 서울 교통의 핵심수단이다. 국내 최초로 콘크리트 도상궤도(STEDEF)를 적용한 지하철 운영기관으로 본 연구에서는 자갈궤도에 비해 선형 안정성이 좋아 선형 결함보다는 레일결함이 주로 발생하는 콘크리트 도상의 특성을 감안하여, 1995~2013년까지의 서울 도시철도공사의 레일결함에 의한 레일교환 실적을 분석, 검토하여 레일결함에 영향을 주는 요인에 대해 통계분석을 수행하고, 레일결함 상관관계 분석결과를 제시하여 효율적인 레일관리 전략제시 및 열차 주행 안정성 확보에 기여하고자 한다.

[†] 교신저자: 서울 과학기술대학교 철도전문대학원 철도건설 공학과 (jcm1943@hanmail.net)

* 서울 과학기술대학교 철도전문대학원 철도건설 공학과

** 한국철도기술연구원

2. 본 론

2.1 레일결함의 정의

2.1.1 레일결함의 유형¹

- 손상레일(Damaged rail) : 손상 레일은 균열이 가지도, 부러지지도 않았지만 일반적으로 레일표면에 다른 종류의 결함을 보이는 레일을 말한다. 이런 결함의 종류에는 헤드체킹, 파상마모 등이 있으며, 레일연마로 제거 할 수 있다.

- 균열레일(Cracked rail) : 균열 레일은 레일 전체 길이의 어느 위치에서든 단면의 위치와 상관없이 균열이 있는 레일을 말한다. 정해진 패턴은 없으며, 외관상 보일 수도 보이지 않을 수도 있다. 균열의 진전은 레일의 파괴를 촉진할수 있다.

- 파괴레일(Broken rail) : 파괴 레일은 두개 이상으로 쪼개지거나 금속 일부가 떨어져 나가, 길이방향 50mm, 깊이방향 10mm 이상의 간격이 생긴 레일을 말한다..

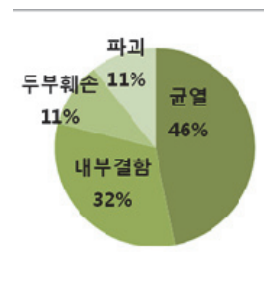
2.2 서울도시철도 레일결함 발생 현황

2.2.1 레일결함 발생 유형별 현황

서울 도시철도에서 레일결함이 발생하여 레일을 교환한 총 171건 중 내부결함, 두부훼손으로 발생한 손상레일(Damaged rail)이 73건, 균열레일(Cracked rail)이 80건, 파괴레일(Broken rail)이 18건이 발생되었으며, 분포도를 보면 균열이 46%, 손상이 43%, 파괴가 11% 발생되었다.

Table 1 Rail defect distribution

Defect type	Number	Rate
Sum	171	100
Crack rail	80	46
Internal defects	55	32
Head damage	18	11
Destroyed rail	18	11



2.2.2 레일결함 연도별, 호선별 현황

연도별 발생현황은 개통초기 증가하는 추세를 보이다가 감소→증가→감소하는 반복적인 현상을 보이며 연평균 9.5건 발생.

호선별 결함건수는 5호선>7호선>6호선>8호선순이나, 궤도연장을 고려한 가중치로 판단하면 8호선에서 발생 가중치가 가장 높은것으로 분석됨.

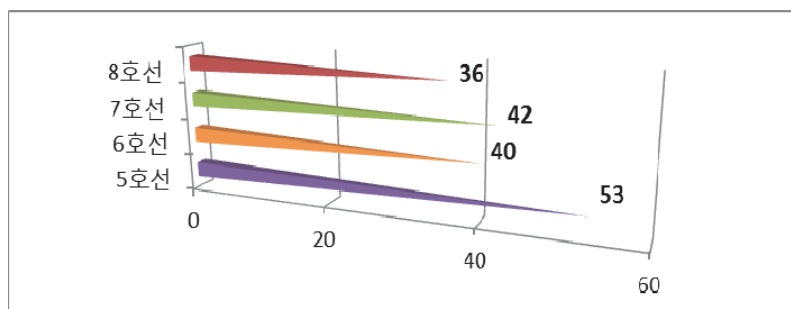


Fig. 1 In line rail defect

¹ UIC 712R Rail Defect(2002)

2.3 레일결함의 요인별 분석

2.3.1 열차 속도별 발생 분석

열차속도 50~60km 까지 훼손개소가 꾸준히 증가하였으며, 이는 속도 증가에 따라 더 큰 충격 에너지가 레일에 가해지는 것에 기인하는 것으로 판단됨.

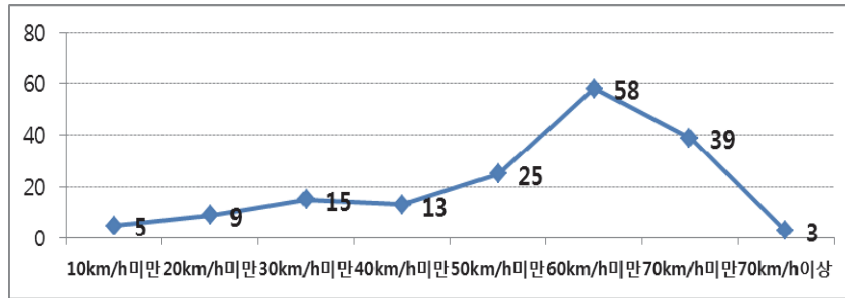


Fig.2 Train speed by rail defect

2.3.2 캔트 영향과 선로 기울기별 발생 분석

부족캔트나 과캔트가 심할경우 레일이 받는 힘이 커져, 결함이 많을것으로 예상 선로 기울기가 심할 경우도 레일이 받는 힘이 커져 결함이 많을 것으로 예상

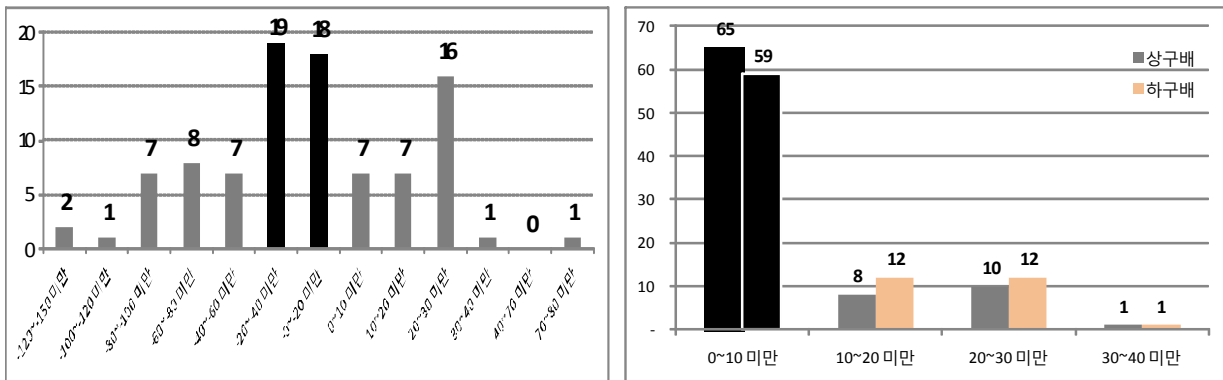


Fig. 3 Damage by CANT & Track slope

실제 레일 결함은 일반적인 분포가 가장 높은 균형캔트 부위에서 제일 많이 발생했으며, 선로 기울기에 따른 분포도가 가장 높은 10% 이하구간에서 발생했다.

2.3.3 통과톤수 및 부설 기간별 레일결함 분석

레일결함이 통과톤수 1억톤 미만, 부설연도 2년 미만에서 가장 많은 결함이 발생함.

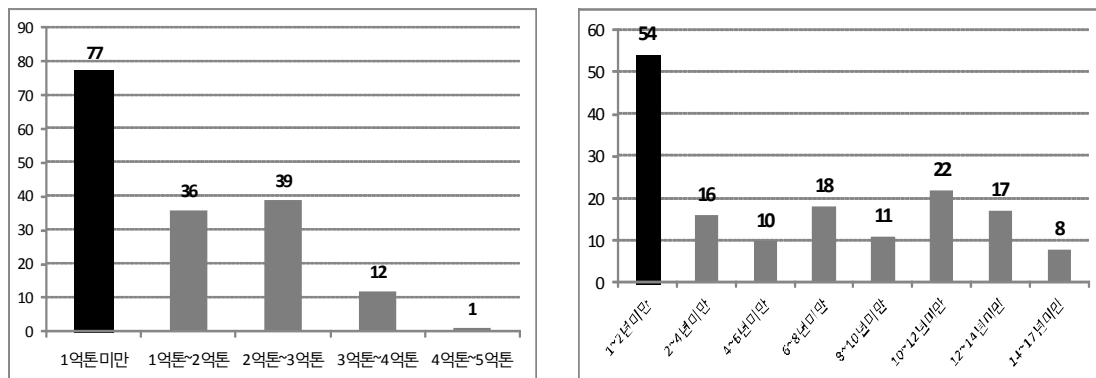


Fig. 4 Damage by Cumulative tonnage & Laying Period

2.3.4 발생 위치별 레일결함 분석

발생건수는 테르미트 용접부가 가장 많지만, 용접후 레일결함까지의 기간을 보면 엔크로 아크 용접이 가장 취약한 것으로 분석됨

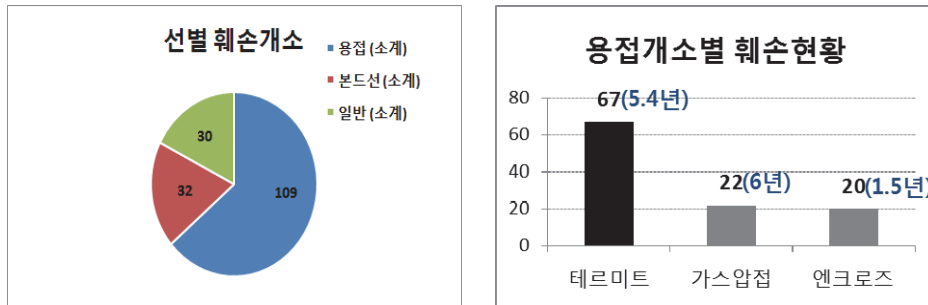


Fig. 5 Damage by Welding Category

용접부 품질에 대해서는 용접을 시행한 시공사 및 용접기술자를 기록관리하지 않아 통계할 수 없었지만 기록관리한 신호 본드선을 참고하여 보면 2012년 12건이 발생하였는데 특히 6호선 C사가 시공한 한강진~고려대 구간에서 가장 많은 결함이 발생하였다. 이는 특정 시공사가 건설시 시공한 신호 본드선 용접부위의 품질이 좋지 않았기 때문에 균열이 발생했던것으로 판단할 수 있다.

6호선 구간	시공사	발생 건수
새철~상수	A사	1
광흥창~이태원	B사	2
한강진~고려대	C사	10
일곡~봉화산	D사	1

Fig. 6 line 6 Damage by Contractor

2.3.5 궤도틀림에 따른 레일결함 분석

궤도 틀림으로 인한 외력이 레일 결함에 영향을 주는지 관별하기 위해 중복하여 발생한 구간과 아닌구간을 비교

Table 2 Track defect analysis

Division	Overlapping generation interval			Comparison Section		
	Section	Curveradius	Number of occurrences	Section	Curveradius	Number of occurrences
1	Jongro3~Elj iro4, up-line	248	7	Jongro3~Elj iro4, down-line	279	0
2	Kkachisan~Sinjung, down-line	311	6	Kkachisan~Sinjung, up-line	296	1

비교 결과는 아래표와 같으며 선형상태 및 열차 횡압이 훼손에 큰 영향을 미치지 않는것으로 판단됨.

Table 2-1 Track defect analysis

Division	Jongro3~Eljiro4		Kkachisan~Sinjung	
	UP-Line(7 Occurs)	Down-Line(0 Occurs)	Down-line(6 Occurs)	Up-line(1 Occurs)
Gauge Standard deviation	-	high	high	-
Line Standard deviation	high	-	-	-

2.3.6 계절별 레일결함 분석

동절기인 12,1,2월의 발생건수가 높으며, 이는 온도변화에 따른 레일 신축으로 축력이 발생되어 레일 결함의 영향을 미친것으로 분석됨. 또한, 온도변화가 심한 환기구 하부 100M 이내에서 레일파괴(절손)의 73%로 온도의 영향이 매우 큰 것을 알수 있다.

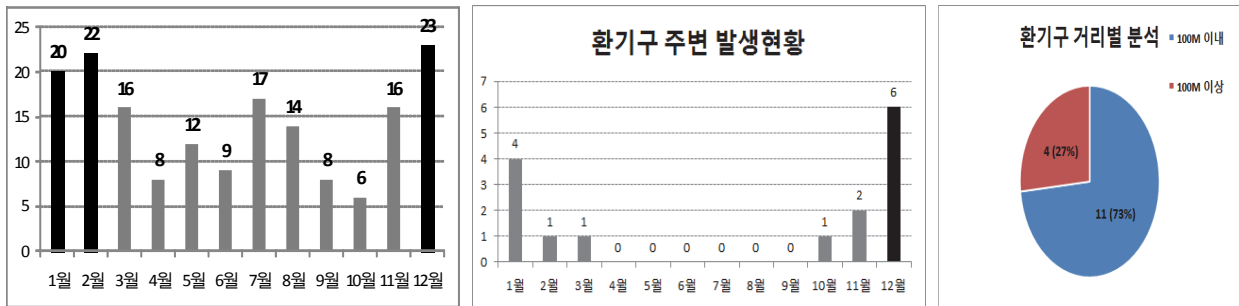


Fig.7 Damage by Monthly & Vent Around

3. 결론

서울도시철도공사 1995년 개통이후 2013년까지 레일결함 자료분석을 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1)년도별 및 호선별 레일결함 현황은 개통초기 증가하는 추세를 보이다가 감소→증가→감소하는 현상을 보이며 연평균 9.5건 발생하였다.
- (2) 레일 결함은 부설후 2년 미만, 누적 통과톤수 1억톤 미만에서 가장많이 발생해 열차 주행에 따른 피로하중 증가 뿐 아니라 다른 원인이 있음을 추측할 수 있었다.
- (3) 발생 위치별로 보면 테르미트 용접부에서 가장많이 발생하였지만, 용접후 결함까지의 구간을 보면 엔크로즈 아크 용접이 가장 취약한것으로 분석되었다.
- (4) 열차속도는 속도가 증가 할수록 계절별 기온은 동절기에 레일결함이 가장 많이 발생하여 레일결함 요인과 상관관계가 있음을 확인하였다.
- (5) 궤도틀림과 캔트, 구배등 선로조건의 좋고 나쁨은 상관관계를 구하지 못하였다.

본 연구를 통하여 레일결함에 영향을 주는 외적요인에 대하여 명확하게 규명하지 못하였지만, 레일결함 예방관리를 위한 전략을 다음과 같이 제시할 수 있다.

1. 레일 용접부 발생하는 레일 교환시 혹한기 또는 혹서기 회피
2. 혹한기 환기구 주변 용접부 관리 철저
3. 레일 용접 시공사 및 용접 기술자 기록 관리 및 용접 품질 관리
4. 균열 절손은 동일구간 중복하여 발생하는 경우가 많으므로 기 발생한 구간에 대하여 유의관리

참고문헌

참고문헌

- [1] Soon-Jung Kwon, Cheon-Hi Hong, Sang-Bae Lee, In-Cheol Kim(2012) An Analysis of the Rail Defect Classified by the Major Conventional Lines , pp6
- [2] Choi, Si Haeng (2011) A Study on the Real-Time Monitoring System Detecting the Broken Rail using electromagnetic waves, Master's degree, Graduate School of Railway, Seoul National University of Science & Technology.
- [3] Seo Sa-Beom (2012) *Track Engineering(Third Edition)*, BGbookgallery, pp. 132-134, 244-250, 354, 422-424, 578-582