

일본에서의 레일 손상 관리



권석진 | 한국철도기술연구원 선임연구원



나성훈 | 한국철도기술연구원 주임연구원



이동형 | 한국철도기술연구원 선임연구원

1. 레일의 손상형태

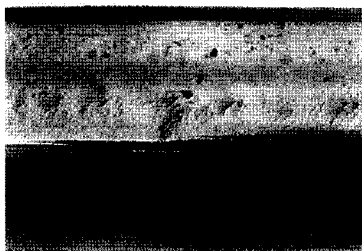
레일의 손상은 선로 고장 중에서 복구에 시일이 걸리며 운송품질을 크게 저하 시키는 요인이다. 레일의 마모와 그림 1에서와 같이 셸링, 헤드첵에 의한 결함에 따른 레일의 관리와 교환은 연간 선로 보수 비용의 절반을 점유하고 있기 때문에 레일의 손상 관리를 정확하게 실시하는 것은 궤도관리에서 중요한 역할이다. 본 고에서는 일본의 JR 각 회사의 레일 손상에 대한 관리와 대책 방법에 대하여 소개하고자 한다.

2. JR 회사에서의 레일 손상관리

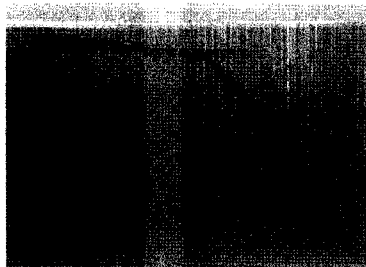
일반적으로 레일의 검사는 일반검사(마모, 외관 검사)와 정밀검사(탐상기에 의한 검사)로 크게 구분된다. JR 각 회사에 따라 조금씩 다르지만 일반검사는 급선 구분 없이 연간 1회 실시하며 마모측정, 육안검사 및 파상마모 및 squat의 손상을 검사한다. 정밀검사는 1,2급선은 연간 1회, 3급선은 연간 2회, 4급선은 연간 4회 실시하며 레일 탐상차에 의한 검사를 실시한다.

레일의 손상방지를 위하여 JR 히가시니혼(東日本)에서는 레일의 탐상차에 의한 탐상검사와 레일 관리방법에 대하여 2004년도에 레일 결함순위를 재검토하였으며 처리 기한을 명확화 하여 개정하였다. 주요 골자는 다음과 같다.

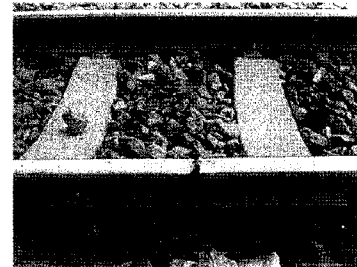
- 결함등급에 따른 A 순위를 폐지하고 탐상차에서 보고 종류별(일반, 긴급사항)로 판정순 위로 맞추었다.



헤드첵 균열



횡단균열



레일파단(JR북해도, 2005년)

그림 1. 레일 손상 사례

- 각각의 순위에 대응한 처리 내용과 일률적으로 처리 기일을 선로구간 중요도별로 구분하였다.
- 동절기를 11월~3월로 정하고 기본적으로 레일 결합 발견 시부터 처리까지 2회의 동절기를 경험하지 않도록 처리하도록 하였다.

JR 니시니혼(西日本)에서는 기존의 쉘링 결합의 관리방법을 재검토하였다. 재검토 배경은 검사시 판정 순위가 레일 교환기준에 도달하지 않음에도 불구하고 쉘링 횡단균열이 급진전되어 파손에 도달하는 경우가 많았으며 무도상 교량위와 그 전후구간에서는 잡음이 발생하기 쉽고 횡단균열이 급진전하는 가능성이 높지만 일반구간과 동일하게 관리가 진행되고 있었다. 또한, 경두레일 부설구간에서는 레일 표층부에 결합이 연속적으로 발생하여 검사에 많은 노력과 비용이 소모되며 레일절손도 증가하는 경향이 있었다. 그래서 표1~ 표3과 같이 레일 손상에 대한 관리기준을 세분화하여 관리하고 있다.

JR 홋카이도(北海道)에서는 레일 탐상차에 의한 레일 정밀검사를 실시하고 있으며 레일 쉘링의 관리에 대해서는 별

도로 실시하고 있다. 쉘링 검사는 육안검사를 포함하여 수평균열, 횡단균열의 측정을 실시하고 있다. 검사주기는 요주의 구간에 대하여 년 2회, 기타구간에 대하여 년 1회 실시하고 있지만 기술의 향상에 따라 현재에는 요주의구간에 대해서는 년 1회 이상(단, 인장축력이 크게 되는 10월~3월 사이에 1회는 반드시 실시) 기타 구간에 대해서는 년 1회 실시하고 있다.

JR 홋카이도에서 2004년 레일 탐상시 이전까지 발견되지 않았던 레일 복부 중립축 부근에 수평균열이 발견되었다. 2004년에 초기 탐상시 80개소 2005년, 2006년에 추가 확인되어 100개소의 균열이 확인되었다. 균열의 발생원인, 시기와 진전속도는 불명확하지만 발생즉시 전체 레일을 교체하고 있다. 또한, 결합의 크기는 최대 260mm인 것도 있으며 그 중에는 횡단 균열 방향으로 결합이 진전되는 것도 있다. 검사기기의 도입 이래 7년간 쉘링에 기인한 레일의 파단 발생건수는 4건(2001년 1건, 2003년 2건, 2005년 1건)이며 쉘링 관리 체제는 정비되어 있지만 레일의 파단발생은 동절기에서 해빙기에 집중되어 있으며 이러한 시기는 특히 주의

표 1. JR 서일본 쉘링 판정기준

rank	판정기준(횡단균열 깊이)	처리
A1	10mm 미만	감시 마크
A2	10mm 이상 15mm 미만	감시 마크
B	15mm 이상 30mm 미만	보강 이음판 설치하여 차년도 10월까지 교환
C	30mm 이상	신속히 교환

표 2. 무도상 교량위와 전후 구간에서 발생된 쉘링 처리(JR 서일본)

검사시 횡단균열깊이	처리
15mm 이상	신속하게 교환
15mm 미만	보강 이음판을 부착
10mm 이상	차년도 동절기까지 교환
10 mm 미만	감시 마크를 기입

표 3. 경두레일 부설구간의 레일 교환기준(JR 서일본)

동레일 구간	곡선의 레일 탐상차에 의한 표층부 수평균열 검출 개수가 100개/100m 이상으로 될 경우 계획적으로 레일을 교환
--------	---

표 4. JR 북해도의 쉘링 판정기준

rank	판정기준	처리
A1	수평균열(squat) 또는 표면균열이 존재하거나 20mm 미만의 수평균열이 검지된 경우	감시 마크를 붙임
A2	20mm 이상의 수평균열 또는 깊이 15mm 미만의 횡단균열이 검지된 경우	감시 마크를 붙임
B	50mm 이상의 수평균열 또는 깊이 15mm 이상의 횡단균열이 검지된 경우	이음판 설치
C	100mm 이상의 수평균열 또는 깊이 35mm 이상의 횡단균열이 검지된 경우	신속히 교환

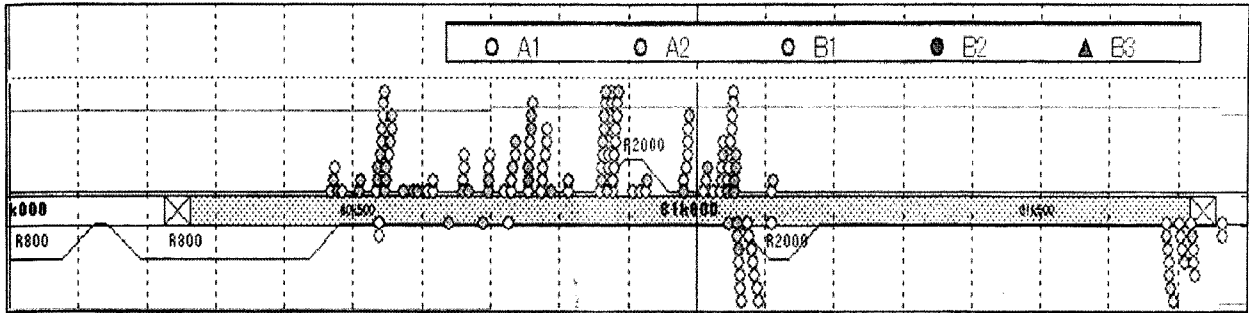


그림 2. 쉘링 분포도(JR큐슈)

표 5. JR 큐슈의 쉘링 판정기준

Rank	판정기준	처리
A1	측정불능	감시 마크를 기입
A2	10mm 이상 15mm 미만	감시 마크를 기입
B1	15mm 이상 20mm 미만	- 감시 마크를 기입 - 이음판으로 보강 - 계획적으로 제거
B2	20mm 이상 25mm 미만	- 감시 마크를 기입 - 이음판으로 보강 - 6개월이내 제거
B3	25mm 이상 30mm 미만	- 감시 마크를 기입 - 절연 이음판으로 보강 - 1개월 이내 제거
C	30mm 이상	- 감시 마크를 기입 - 절연 이음판으로 보강 - 15일 이내에 제거

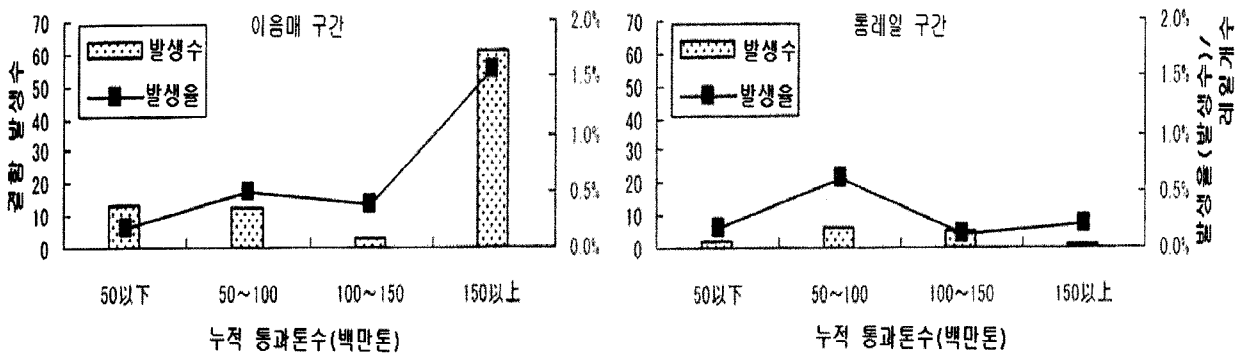


그림 3. 누적통과톤수 별 결함 발생건수

표 6. 원인별 레일 교환연장(단위 km)

원인	년도	2004년	2005년	2008년
손상		23.9	24.5	25
경년(열화)		3.4	10	4.8
마모		1.6	1.1	5.1
기타		0.1	0.1	0.7
합계		29	35.7	35.6

표 7. 레일 손상 개소

결함종류	판정 순위			계	
	A1	A2	B		
쉘링	28	22	9	59	
수평 균열	두부	27	2	1	30
	복부	1			1
횡단 균열	두부	15	3	2	20
	복부	1	1		2
	저부	12			12
계	84	28	12	124	

를 집중하여 순회와 검사를 실시하고 있다.

표 4는 일반부 레일의 쉘링 검사판정표이다. 검사 결과 판정표에 따라 처리를 실시하고 있지만 B 순위(rank)로 판정 되면 이음매 판을 설치한 장소에 대하여 경과를 관찰하면서

차년도에 레일 교환을 계획하는 것을 원칙으로 하고 있다.

JR 큐슈(九州)에서는 표 5와 같이 2005년부터 B 순위를 B1 ~ B4로 세분화하였으며 순위별로 보면 A1과 A2 순위의 비

표 8. 레일의 결함 판정(JR 시코쿠)

Rank	판정내용		손상형태		처리방법
	수직탐상	사각탐상	외부	내부	
A1	20mm 미만 수평균열	깊이 10mm 미만 횡단균열			진존 손상레일 대장으로 관리 감시마크를 기입
A2	20mm 이상 수평균열	깊이 10mm 이상 횡단균열			
B	50mm 이상 수평균열	깊이 15mm 이상 횡단균열			이음판으로 보강 계획적으로 교체
C	100mm 이상 수평균열	깊이 30mm 이상 횡단균열			신속하게 교체

율이 대부분을 차지하고 있다. 그림 2의 쉘링 분포도를 살펴 보면 직선과 완화곡선과의 경계부근에서 많이 발생한다. 또한 하나의 쉘링을 기점으로 열차 진행방향 끝나는 지점에 새로운 쉘링이 발생하는 경향도 많은 장소에서 확인되고 있다. 이 중에서 2.68m 등간격으로 무리지어 발생하는 경우도 있으며 차륜 원주길이(약 2.7 m)와 대개 일치하기 때문에 무리지어 발생하는 요인으로서의 차륜의 영향도 간과할 수 없다.

JR 시코쿠(四國)에서는 그림 2와 같이 누적통과톤수 150 백만톤을 초과한 레일에서의 결함 발생율이 높아지는 경향이 있으며 차륜-레일의 구름접촉피로 및 이음매의 충격하중이 레일 손상에 미치는 영향이 큰 것으로 보고되고 있다. 표 6과 표 7에서와 같이 레일 손상은 이음매 탈락과 부식, 편마모 등이 있으며 점차적으로 쉘링에 의한 손상이 증가 추세에 있다.

3. 향후의 연구과제

- 1) 차량의 역행구간과 제동작용 구간에서 주행상태가 현저하게 변화되는 장소에서는 차량에서 레일로 전달되는 응력이 커짐에 따라 쉘링 발생에 지배적인 인자로 작용한다. 쉘링 분포도를 발생장소와 상관관계를 분석해야 한다.
- 2) 레일 두부 횡단균열 진행속도와 통과 열차속도에 대하여 분석을 실시하고 있지만 향후에는 쉘링부의 낙하량 측정을 실시하여 두부 횡단균열 진행에 지배적인 요소가 무엇인가를 명확하게 하여야 한다.
- 3) 어떠한 장소에서 결함 군집이 발생하기 쉬운가에 대하여 분석을 실시하고 특히 등간격에 발생하는 쉘링에 대한 원인과 대책을 명확하게 하여야 한다. S

♣ 참고 문헌

1. 레일探傷車의 傷檢知精密度의 更なる 向上, 新線路, 2009. 1
2. シェリング傷의 効果的な探傷方法의 確立, 新線路, 2007. 1
3. JR-北海道における 레일管理, 新線路, 2008. 1
4. 차륜-레일 구름접촉피로에 의한 연구동향, 한국철도학회지, 2008.12