

누적통과톤수에 의한 국내 레일교체기준의 타당성 평가

Logicality Estimate for Domestic the Periodic Replacement Criteria of CWR based on Accumulated Passing Tonnage

박용걸[†] · 서상교^{*} · 최정열^{**}

Yong-Gul Park · Sang-Kyo Suh · Jung-Youl Choi

Abstract This study is objected by presenting preliminary data to revise the periodic replacement criteria of continuous welded rail (CWR) in using. In this study, it is investigated information resources for foreign standards, the cause and types of damage in welded rails and the track maintenance history of Seoul metro to analysis the correlation between rail failure and accumulated passing tonnage. Also, it is performed bending test for the laid welded rail reaching the periodic replacement criteria. In result, the correlation between rail failure and accumulated passing tonnage is not obvious and it is a lot of cases for the construction error of welded rail. Also, as a result of bending test of laid welded rail, according to reducing about 17~18% the bending fracture strength of rail, the laid welded rail reaching the periodic replacement criteria is well enough ensured for the load carrying capacity of rail.

Keywords : Laid welded rail, Fatigue life, Periodic replacement criteria, Track maintenance history, Bending test

요 지 본 논문은 누적통과톤수에 의한 레일교체기준 개정을 위한 기초 데이터를 제시하는데 목적이 있다. 본 연구에서는 국외의 누적통과톤수에 의한 레일교체기준의 산정근거를 조사하였으며, 일본에서 조사된 레일용접부 결함유형 및 원인과 국내 철도운영기관인 서울메트로의 궤도유지관리이력을 조사하여 실제 레일절손과 누적통과톤수의 상관관계를 분석하였다. 또한, 누적통과톤수 기준치에 도래한 노후레일용접부를 현장에서 발취하여 레일용접부 휨시험을 수행하였다. 그 결과, 누적통과톤수와 레일절손간의 상관관계는 뚜렷하지 않았으며 레일용접부의 시공불량에 의한 절손사례가 많은 것으로 분석되었다. 또한, 노후레일휨시험 결과 신규레일용접부에 비해 파괴강도가 17~18%만이 저하된 것으로 나타나 레일교체기준에 도래한 노후레일은 사용성 측면에서 충분한 내구성 및 내하력을 확보하고 있는 것으로 분석되었다.

주요어 : 노후레일용접부, 피로수명, 교체주기기준, 궤도유지관리이력, 레일휨시험

1. 서론

철도교통의 발전과 더불어 승차감을 향상시키고 궤도유지관리비용을 감소시키기 위해서는 시공 및 유지관리 기술의 발달과 함께 유지관리 기준의 정립이 요구된다.

특히, 열차를 직접 지지하고 열차의 운행을 유도하는 매개체인 레일은 온도변화에 따른 신축 및 반복적인 변동하

중에 의한 피로와 레일/차륜의 상호작용에 의한 파상마모(Corrugation), 표면박리(Shelling), 두부미세균열(Head Check), 화손(Burning) 등 각종 결함들이 발생한다. 이러한 레일손상부위를 열차가 운행할 경우 큰 충격량이 발생하여 궤도의 손상을 초래하고 이는 유지관리비용의 증가를 가져온다. 또한, 갑작스런 레일절손은 열차의 탈선으로 이어져 대형사고를 초래할 수 있으며 절손사실을 사전에 감지하고 보수를 시도하더라도 복구시간 확보를 위한 열차운행 중단 등으로 막대한 손실을 가져올 수 있다. 이와 같이 열차의 원활한 운행을 위해 중요한 역할을 하는 레일을 관리하기 위해 국내·외 철도운영기관에서는 누적통과톤수 및 마모량에 따른 레일교체기준을 정하여 관리하고 있다. 그러나 레일관리를 위한 기준은 건설당시 국내의 시공 및

[†] 책임저자 : 정회원, 서울산업대학교 철도전문대학원 철도건설공학과 교수, 공학박사

E-mail : ygpark@snut.ac.kr

TEL : (02)978-6575 FAX : (02)971-6575

^{*} 정회원, 서울산업대학교 철도전문대학원 철도건설공학과, 박사과정
한국철도시설공단 건설본부 본부장

^{**} 정회원, 서울산업대학교 철도전문대학원 뉴레일연구소 연구원

궤도유지관리 기술 수준의 미흡으로 국내실정을 고려하지 못한 채 국외(일본)의 기준을 여과 없이 적용하였고 현재 까지 사용하고 있는 실정이다. 또한, 과거 일본에서 제시된 누적통과톤수에 의한 레일교체기준(50kg N-5억톤)은 50kg N 레일이음매부에 대한 피로수명으로 산정되었으며, 현재 일본에서는 장대레일화에 따른 레일이음매부 제거로 누적통과톤수에 의한 교체주기 기준을 모재부보다 요철량이 크게 발생하여 피로수명이 짧은 레일용접부(테르밋용접)의 피로수명에 의해 재산정(50kg N-7억톤, 60kg-8억톤)하였다 [2,9].

하지만 국내에서는 과거 레일이음매에 대한 교체기준을 그대로 적용하고 있으며, 장대레일화에 따른 레일이음매부의 제거, 궤도 생력화, 경량의 열차운행, 철강생산기술 및 레일탐상기술의 발달과 레일연마에 의한 레일 수명연장 효과 등 현재의 궤도조건들에 대해서는 반영하지 않고 있다.

따라서 본 연구에서는 국내외 레일교체주기 산정에 관한 기준 및 근거자료 검토, 레일용접부 손상유형 및 원인조사, 서울메트로의 궤도유지관리이력조사 및 교체시기에 도래한 노후레일용접부에 대한 힘강도시험을 통해 현 누적통과톤수에 의한 레일교체기준의 개정을 위한 기초자료를 제시하고자 하였다.

2. 국내 · 외 레일교체기준

2.1 일본[10]

Table 1은 일본의 궤도정비규칙에 제시된 레일마모량에 의한 레일교체기준이며, Table 2는 누적통과톤수에 의한 레일교체주기 목표치이다. 일본은 레일이음매가 있는 경우와 레일이음매가 없는 경우로 구분하여 누적통과톤수를 산정하였고, 레일을 반드시 교체해야하는 기준치와 주기적인 관리를 요구하는 목표치로 구분하여 관리하고

Table 1. Periodic replacement criteria of rail (Japan)

기준치/목표치	단위:mm			
	30kg/m	40kg/m	50kg/m	60kg/m
본선 및 중요측선	- / -	- / -	14 / 12	15 / 13
측선	11 / 10	15 / 14	16 / 15	17 / 16

Table 2. Periodic replacement criteria of rail (Japan)

정비 목표치	레일이음매가 있는 경우		레일이음매가 없는 경우	
	50kg/m	60kg/m	50kg/m	60kg/m
레일중량	50kg/m	60kg/m	50kg/m	60kg/m
누적통과톤수	6억톤	7억톤	7억톤	8억톤

있다.

2.2 유럽

Table 3은 유럽의 국가들에서 사용하고 있는 누적통과톤수에 의한 레일종류별 교체기준이다[3].

유럽의 경우 식 (1)과 같이 승객하중, 열차속도, 화물열차하중, 차륜직경에 대한 함수식을 이용해 통과톤수를 산정하는 방식을 사용하기 때문이며[6], 누적통과톤수에 의한 레일관리기준의 목적이 레일의 교체를 위한 것이 아니고 유럽의 지역적 철도운영 특성상 다양한 열차종류가 운행하는 것에 따른 국가별 철도운영기관의 선로사용료 징수문제 및 선로파괴 시 책임소재 문제를 해결하기 위한 것으로 기술적인 측면보다는 정책적인 측면에 의해서 산출된 결과이다.

$$T_f = T_p \frac{V}{100} + T_g \frac{P_c}{18D} \quad (1)$$

여기서, T_f : 등가통과톤수

T_p : 일일 승객열차의 실하중

T_g : 일일 화물열차의 실하중

V : 최대가능속도[km/h]

D : 최소차륜직경[m]

P_c : 차륜직경별 최대 축하중[tonf]

Table 3. Periodic replacement criteria of rail (Europe)

국가	레일종류	누적통과톤수
프랑스	UIC60	5.0~6.0억톤
	S49	1.5~2.0억톤
독일	S54	2.5~3.5억톤
	UIC60	4.5억톤
러시아	P50	3.5억톤
	P65	5.5억톤
	P75	6.0억톤

2.3 국내[11]

Table 4는 국내 철도운영기관들에서 적용하고 있는 레일 교체기준이다. 레일의 마모기준은 차륜의 탈선을 방지하기 위한 최소한의 수치이므로 기준치의 마모 발생 시 반드시 교체해야하는 수치이다. 반면에 누적통과톤수에 의한 레일 교체기준은 철도운영기관별로 운행하는 열차종류가 상이하 고 궤도조건 및 운행조건이 상이함에도 불구하고 60kg/m 레일은 6억톤, 50kg/m 레일은 5억톤으로 획일적인 것으로 조사되었다.

Table 4. Periodic replacement criteria of rail (Korea)

운영기관	레일 종류 (kg/m)	최대마모량(mm)		단면적감소(%)		누적통과 톤수(억톤)
		일반	편마모	본선	측선	
한국철도공사	60	13	15	24	24	6
	50	12	13	18	22	5
경부고속철도	UIC 60	13	15	-	-	7.8
	60	13	15	-	-	6
	50	12	13	-	-	5
서울메트로	60	13	15	24	-	6
	50	12	13	18	22	5
부산교통공단	60	13	15	24	-	6
	50	12	13	18	22	5
대구지하철공사	60	13	15	-	-	6
	50	13	18	-	-	5
인천공항철도	60	13	15	24	-	6
	50	12	13	22	-	5
대전도시철도공사	60	13	15	24	-	6
	50	15	18	22	-	5
기타	균열, 열차파상마모 등으로 열차운전상에 위험이 있을 때 레일교체					

3. 국내 · 외 연구동향

3.1 일본[2,7]

일본에서는 장대레일의 사용수명을 평가하여 레일의 교체 주기를 연장하고자 노후레일용접부에 대한 힘 피로시험을 수행하였고, 레일용접부의 동적해석 모델을 사용하여 레일 저부응력을 산정하였다. 힘 피로시험을 위한 노후레일용접부 시편은 궤간 1,435mm, 누적통과톤수 3억 8천만톤의 신칸센레일과 궤간 1,067mm, 누적통과톤수 5억 4천만톤의 협궤레일을 발취하여 피로시험을 수행하였다.

파괴확률 50%에 대한 노후레일용접부의 S-N선도를 적은 시편개수에 대한 가중치 확률 해석기법을 통해 Fig. 1과 같이 얻었다. 여기서 용접방법에 따른 파단 반복횟수의 차이는 뚜렷하지 않았으며, 레일용접부의 파괴는 모두 레일저부에서부터 발생하였다.

레일연마에 의한 요철 제거의 효과를 알아보기 위해 동적해석모델을 개발하여 레일저부응력을 산정하였으며, 피로 시험결과 도출한 S-N선도에 이를 적용하여 피로수명을 산정하였다. 평가결과 Fig. 2와 같이 신칸센에서 60kg 레일(6억톤)의 교체주기는 누적통과톤수 1억톤당 0.1mm 레일연마로 3억톤을 연장할 수 있으며, 협궤에서는 파괴확률 0.1%에서 평가된 사용수명으로부터 60kg(8억톤)와 50kg N(6억톤) 레일의 교체주기는 3억톤을 연장할 수 있는 것으로 나

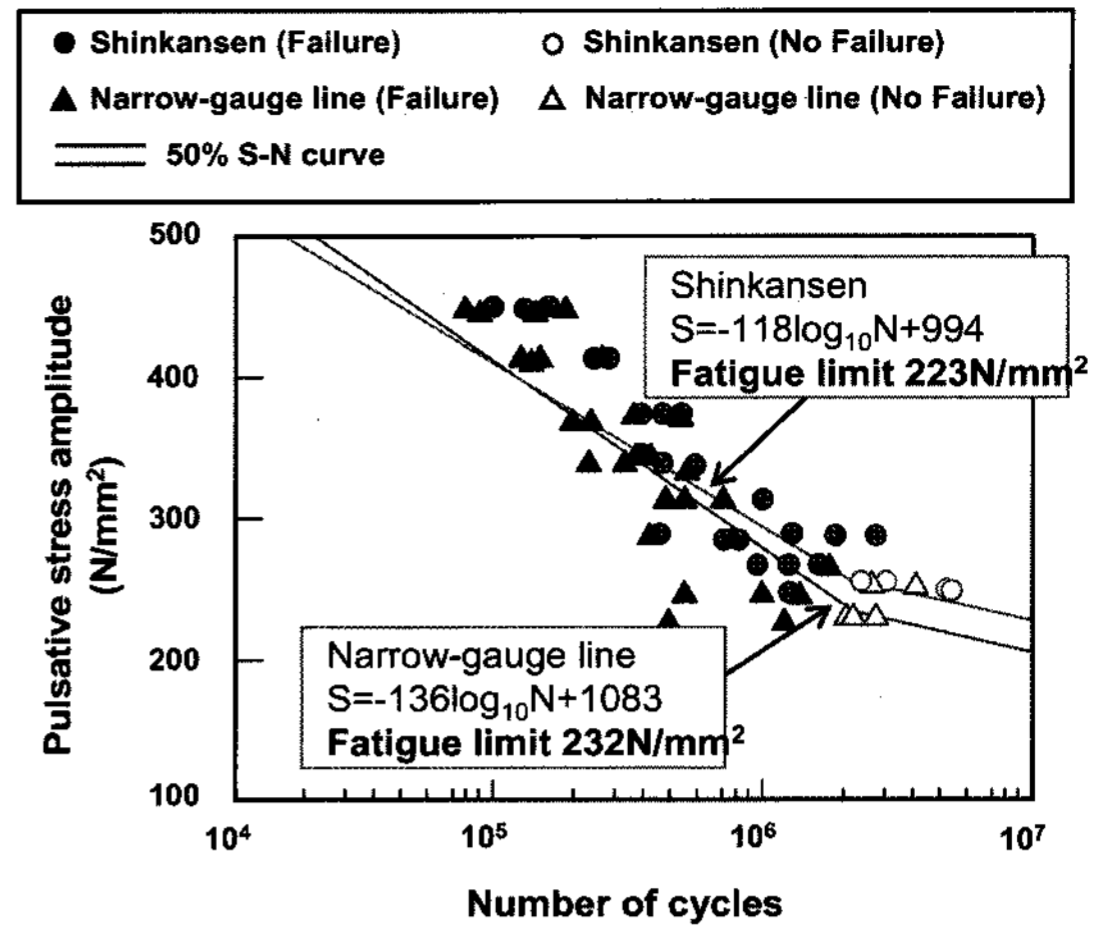
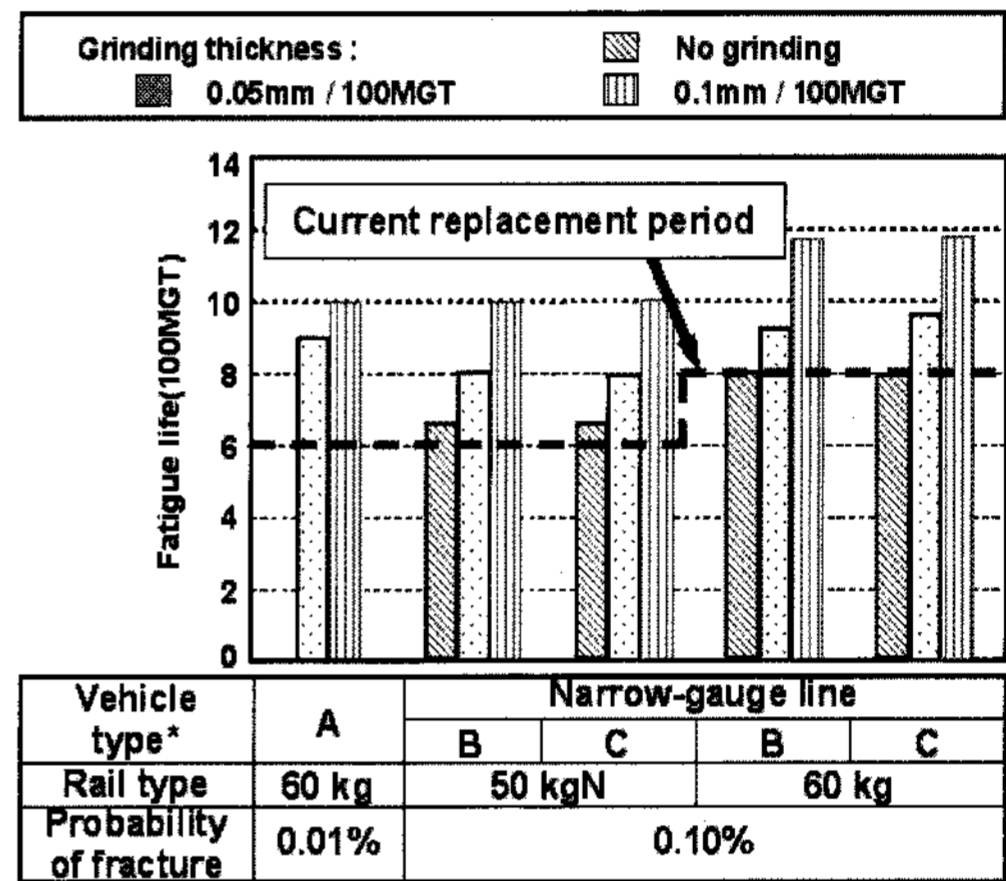


Fig. 1. S-N curve of laid CWR at 50% fracture probability



*A: Shinkansen, B: Locomotive, C: Limited express

Fig. 2. Example of estimated CWR fatigue life

타났다. 따라서 레일연마를 통해 실제로 1~2억톤의 교체주기 연장이 가능할 수 있음을 제시하였다. 이 결과 값들은 기존의 연구들에 기초하여 레일연마를 통해 레일표면 요철을 제거할 수 있으며 레일저부에서 발생하는 응력을 감소시켜 레일교체주기를 연장시킬 수 있음을 입증하였다[7].

또한, 일본철도시설협회지(2002. 3)에 수록된 “레일수명 연장에 관해”란 논문에서 다음과 같이 서술하고 있다. 레일용접부는 시공 당시의 열영향에 의해 연화부(軟化部)가 존재하고 이를 중심으로 움푹 패임현상이 발생하게 된다. 이것은 반복적인 열차하중에 의해 점점 커지게 되고 레일저부응력을 증가시킨다. 이 패임을 제거하기 위해 레일연마를 실시할 것을 제안하였으며 궤도 동적시뮬레이션을 통해 레일저부응력을 추정하고 신규레일용접부의 S-N선도에 이를 적용하여 피로수명을 산정하였다. 해석결과 신규 50kg N레일에서 7억톤, 60kg N레일에서 10억톤까지 교체주기의 연장이 가능한 것으로 나타났으며, 재하이력이 50kg N레일에

서 4억톤미만, 60kg 레일에서 5억톤미만일 경우 레일연마를 통해 설정한 교체기준을 만족하지만 그 이상의 재하이력일 경우 종래의 교체기준을 그대로 적용할 것을 제안하였다.

이와 같은 연구결과들을 통해 JR 서일본에서는 보유하고 있는 레일연마차의 운용효율과 선로의 중요성을 고려하여 Fig. 3과 같은 장대레일의 교체기준을 제시하였으며, 기존의 정기적인 레일교체 방식에서 결함 발생 수선 방식으로 변경하기 위한 합리적인 보수대책을 제시하였다[2].

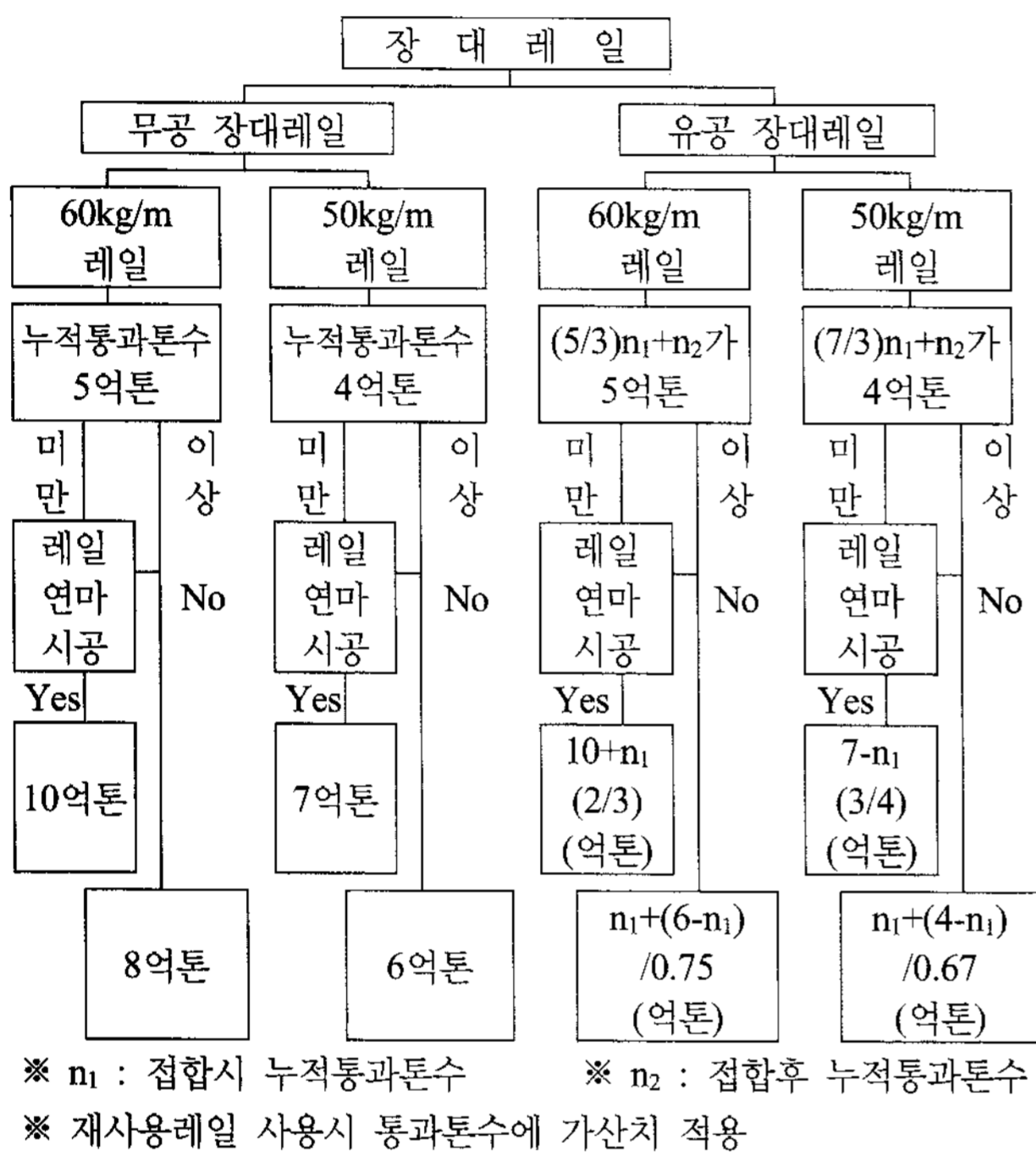


Fig. 3. Periodic replacement method of CWR(JR west)

3.2 국내[1,5]

“레일용접부의 특성에 관한 연구(1998)” 보고서에서는 신규레일용접부의 S-N선도를 도출하였고, 요철량 증가에 따른 레일저부응력의 산정으로 레일용접부의 요철깊이와 레일저부에서 발생하는 휨응력과는 일정한 상관관계가 있음을 제시하였으며 초기 요철량이 있는 경우 피로수명이 매우 단축되므로 피로수명을 향상시키기 위해서는 초기 표면처리가 매우 중요함을 강조하였다. 따라서 레일 요철을 자주 연마할 경우 피로수명을 크게 증가시킬 수 있음을 강조하였다.

4. 레일용접부 손상 사례조사[9]

1985~2001년까지 일본 JR에서 조사된 레일용접부의 손상유형은 Fig. 4와 같다. 손상된 레일용접부의 형태는 대개 횡방향 균열과 종방향 균열 2가지로 나눌 수 있으며, 횡방

향 균열은 균열의 시작 위치에 따라 레일두부, 복부, 저부 3가지로 나누어진다. 하지만 종방향 균열은 오직 레일의 복부에서만 발생하였고, 횡방향 균열은 전체 레일손상의 약 90%를 차지하였다. 또한, 손상된 레일용접부의 55%가 레일저부에서 시작된 횡방향 균열로 조사되었다.

Fig. 5는 각 용접방법별 손상유형에 따른 손상수이다. 손상유형 및 손상수는 용접방법에 따라 다르게 나타나며, 테르밋 용접부(TW)와 가스압접부(GPW)에서는 레일저부에서 시작된 횡방향 균열의 비율이 가장 높았다. 후레쉬 버트 용접부(FBW)의 손상수 절반은 레일복부에서 시작된 종방향 균열이 대부분이며, 테르밋 용접부의 레일두부에서의 횡방향 균열과 엔크로스드 아크 용접부(EAW)의 레일복부에서의 종방향 균열은 1건도 발생하지 않은 것으로 나타났다.

누적통과톤수에 의한 장대레일교체기준의 산정 근거인 테르밋 용접부의 손상원인을 조사해본 결과, 테르밋 용접부의 경우 “lack of fusion(용접금속과 레일 사이의 융합불량)”과 “centerline shrinkage(응고중 레일 움직임에 의해 발생한 균열)”에 의해 주로 발생하였고 다른 원인으로는 “porosity(불순물에 의해 레일내부에 생성된 다수의 큰 기

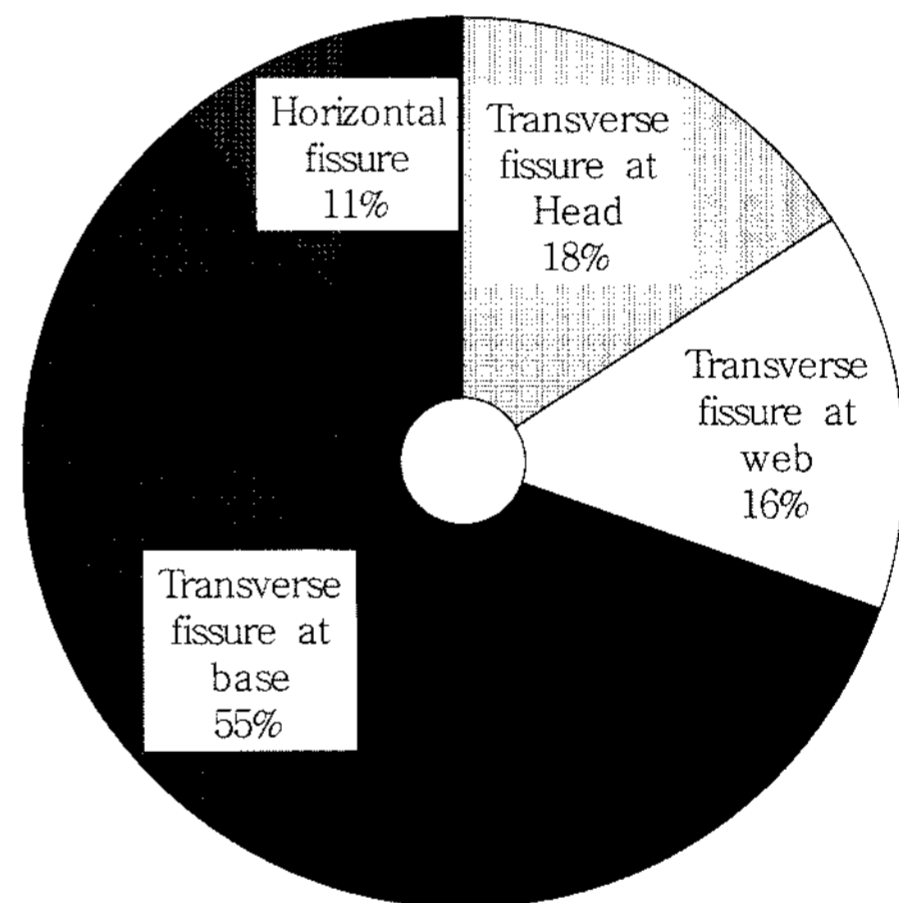


Fig. 4. Forms of damaged rail welds

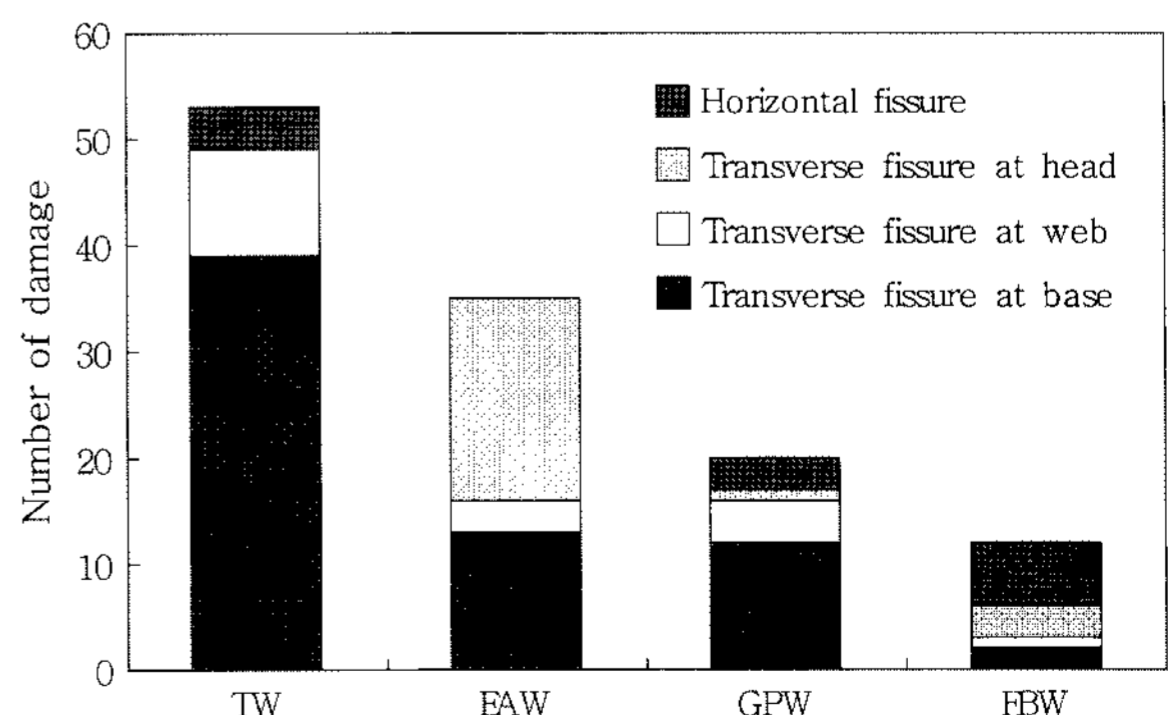


Fig. 5. Damaged forms in each welding method

포)”와 “stress concentration(테르밋 용접부에서 레일저부의 응력집중)” 등에 의해 레일저부 횡방향 균열이 나타났다. 또한, 가스압접의 경우에는 레일저부의 횡방향 균열 손상은 90% 이상이 “trimming cracks”와 “repair”에 의해 형성되었다. “trimming cracks”은 발열 균열의 한 종류로 용접부의 접촉면에서 발생하며, 만약 금속부착 강도가 낮다면 접촉면은 용접 직후 트리밍(trimming)과정에서 소성변형에 의해 형성된 응력을 견딜 수 없게 된다. “repair”는 손상 복구를 위해 용접을 실행하였음에도 불구하고 남아있는 결함을 의미한다. 여기서 레일복부의 종방향 균열은 과도한 열, 잔류 인장응력과 망치질에 의한 충격에 의해 형성되는 반면, 레일복부에서의 횡방향 균열은 높은 잔류 인장응력과 용접부위의 부식에 의해 형성되는 것으로 조사되었다.

5. 궤도유지관리이력조사

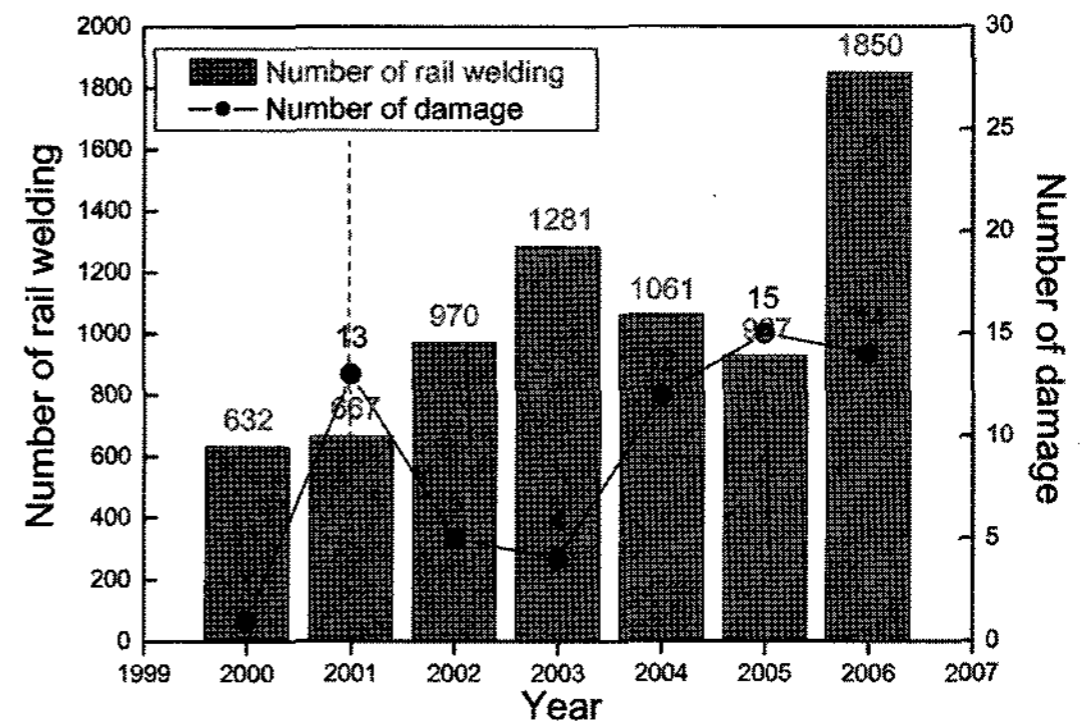
5.1 레일용접부 손상현황

장대레일화에 따른 레일의 사용수명 산정은 피로균열이 쉽게 발생하는 레일용접부(TW)의 피로수명으로 산정되었다. 따라서 본 연구에서는 1998~2006년까지 서울메트로의 궤도유지관리이력을 조사하여 레일용접부에서 발생하는 손상현황을 알아보았다.

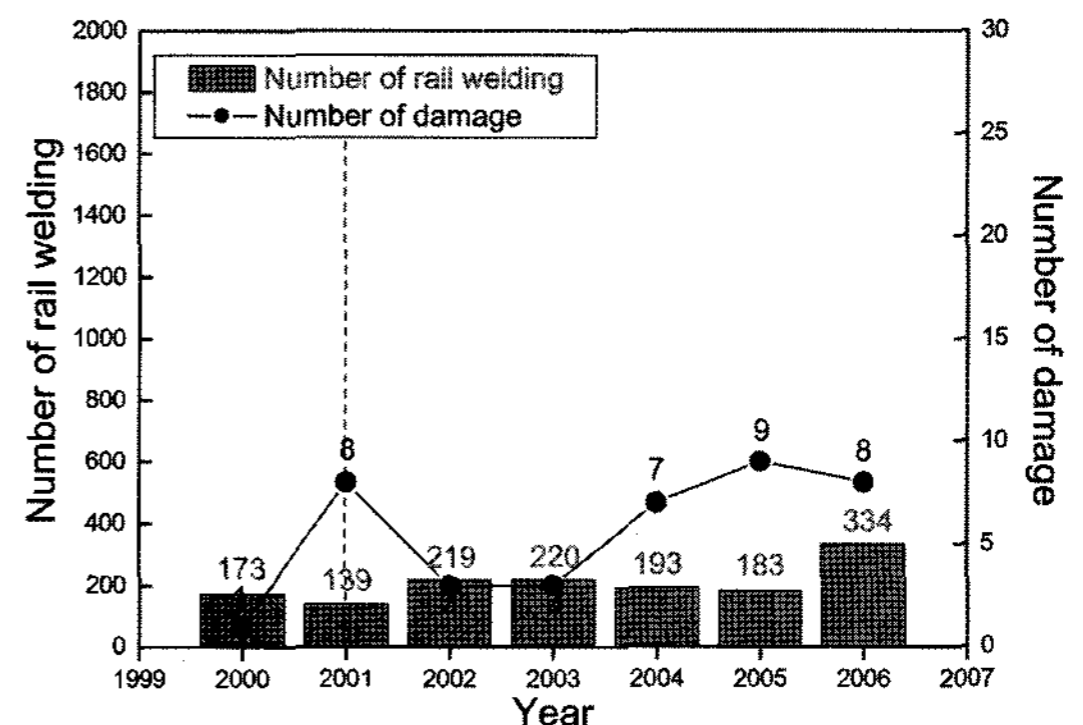
Fig. 6은 연도별 시공한 용접수와 발생한 손상수를 보여 준다. 전체 용접수 중 가스압접이 약 80%, 테르밋 용접이 약 19%를 차지하고 있었으며, 손상수는 테르밋 용접이 약 61%, 가스압접이 약 39%를 차지하고 있는 것으로 조사되었다. 이는 앞에서 조사된 일본의 레일손상빈도와 비슷한 양상을 보이며, 테르밋 용접은 적은 시공수에도 불구하고 손상수가 높은 것으로 나타났다.

Fig. 7은 레일이 부설된 년도에 따른 레일절손 발견년도를 현행 레일교체기준(실선)과 비교한 그래프이다. 실제로 레일교체기준에 도래하여 레일이 절손된 경우는 1건이었으며, 나머지 레일절손은 기준치 이상 또는 이하에서 절손된 것으로 나타났다. 여기서 레일절손은 주기적인 레일탐상 및 순회점검에 의해 검출되었으며, 레일탐상차 투입이후 손상부 검출이 증가하였고 레일연마차 투입이후 손상수가 점차 감소하는 것으로 분석되었다. 또한, 누적통과톤수에 따른 레일절손의 상관관계는 뚜렷하게 나타나지 않았다.

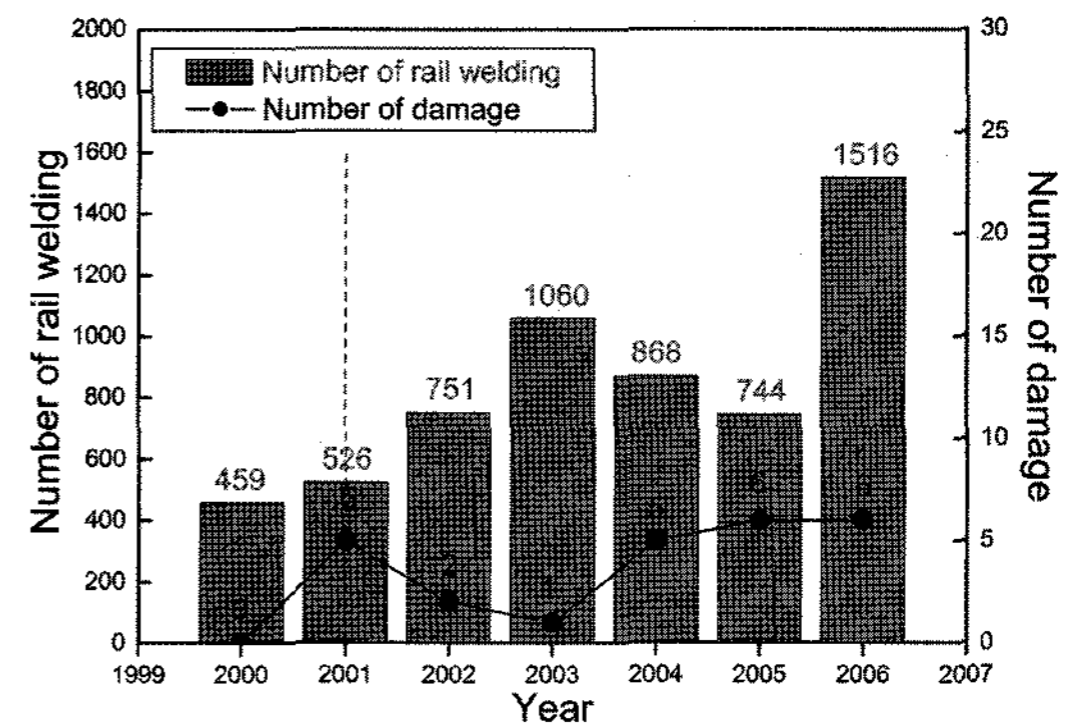
레일장대화에 따라 2003년도와 2006년도에 용접수가 증가하였으며, 2001년 이후 레일손상수의 감소는 Fig. 8에서와 같이 레일연마량의 증가에 따른 레일두부의 요철제거로 레일수명연장효과에 의한 것으로 판단된다. 또한, 주기적인 궤도유지관리로 적정수준의 궤도상태를 유지하였기 때문이라 판단된다.



(a) Total



(b) Thermite welding



(c) Gas pressure welding

Fig. 6. Number of damaged rail welds

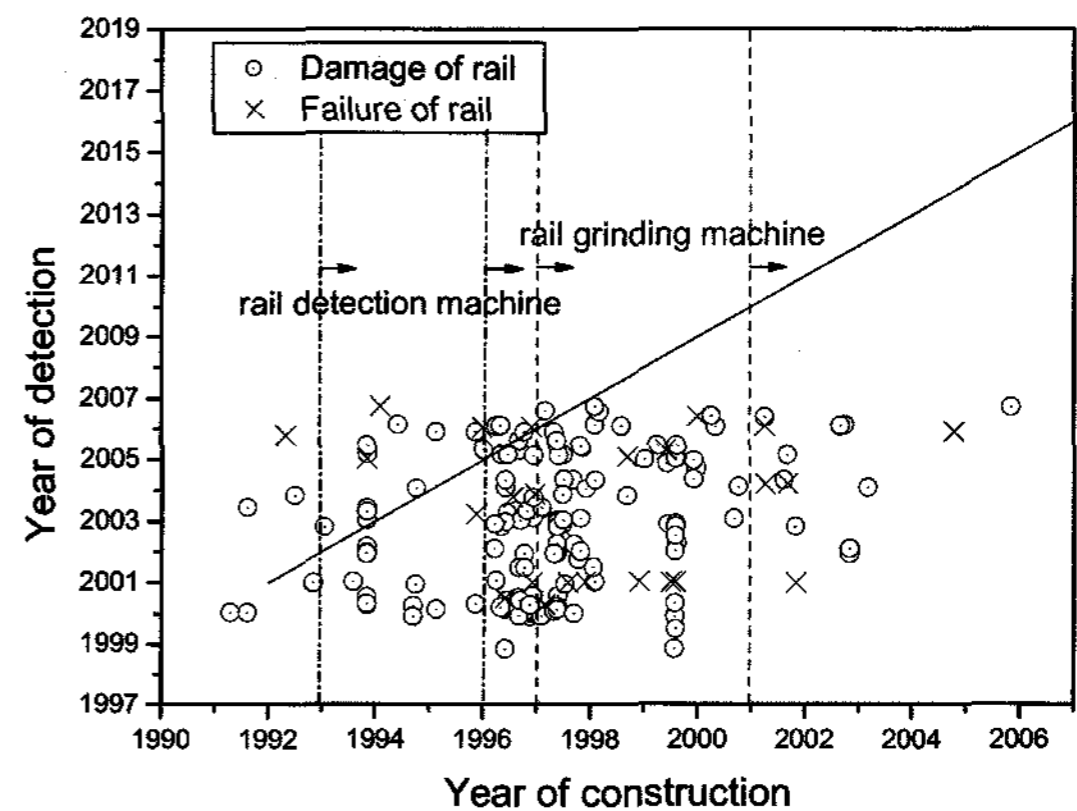


Fig. 7. Failure & damage of rail according to construction year

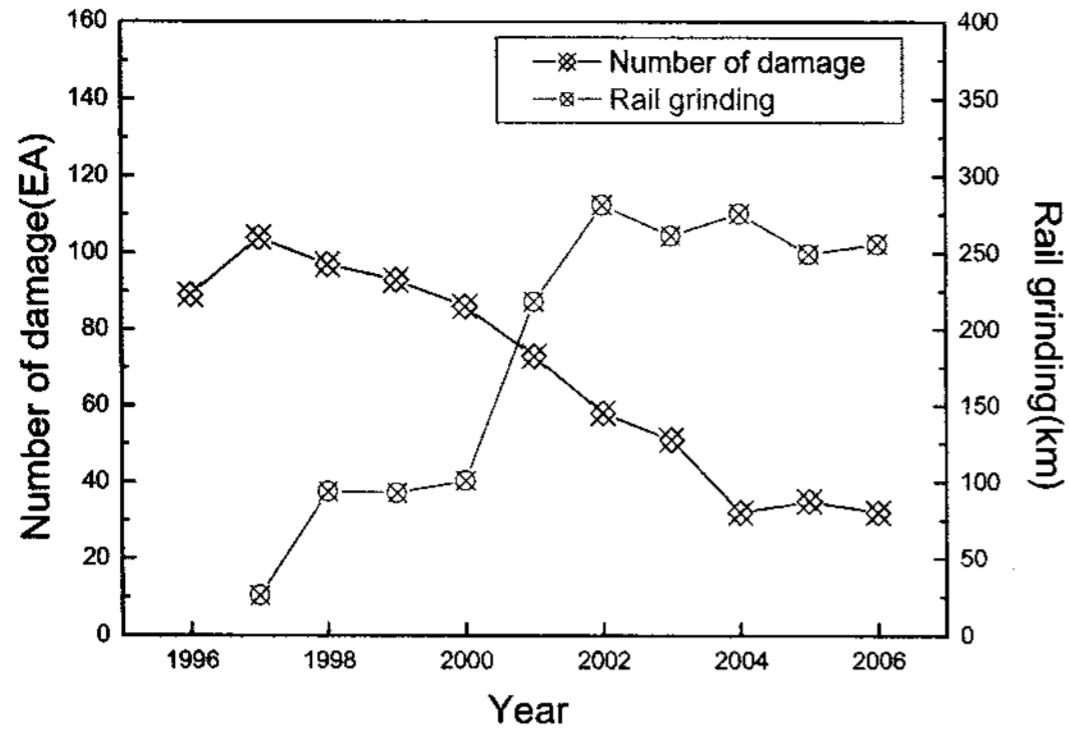


Fig. 8. Comparison of grinding & rail damage for decade

5.2 레일손상부위 및 손상발견 형태

손상부위별 현황을 조사해본 결과 Fig. 9와 같이 접촉점 연이음매, 일반이음매, 분기기, 신호본드용접부, 모재부, 용접부의 순으로 전체 손상부위별 현황 중 용접부가 차지하는 비율은 5.18%로 나타나 경미한 것으로 조사되었다. 따라서 모재부 및 용접부와 같은 일반레일의 경우 연마에 의한 꾸준한 관리로 손상을 줄일 수 있어 손상발생빈도가 적은 것으로 판단되며, 이음매부 및 분기기와 같이 구조적으로 취약한 개소는 상대적으로 손상수가 높게 나타났다.

Fig. 9(b)와 같이 레일손상 발견형태는 순회점검과 탐상차에 의한 발견이 전체의 93.1%를 차지하고 있어 일상적인 순회점검과 주기적인 탐상차 운행에 의한 레일관리의 중요성 및 실효성을 보여준다.

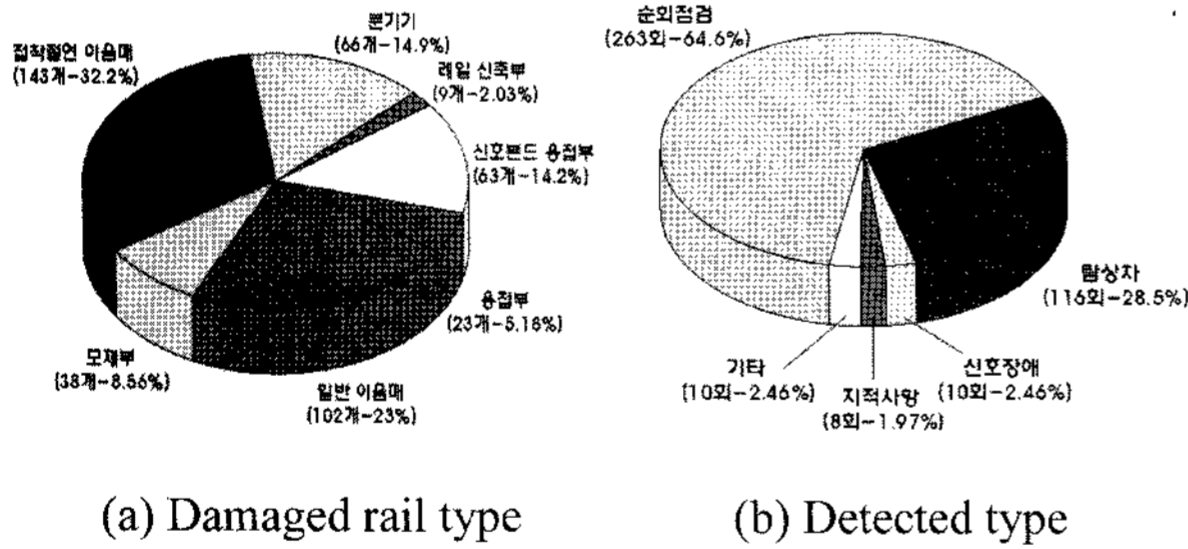


Fig. 9. Type of damaged & detected rail

6. 실내시험

6.1 실내시험 방법

노후레일용접부와 신규레일용접부에 대한 휨강도를 비교하여 노후레일용접부에 대한 내구성을 비교·평가하고자 누적통과톤수에 의한 레일교체기준에 도래한 10개의 50kg/m 용접레일시편(테르밋 5개, 가스압접 5개)에 대하여 휨강도 시험을 수행하였으며 시편에 대한 기본사항은 Table 5에 나타내었다. 레일휨강도시험을 위해 정격하중 300tonf인 UTM

을 사용하였다.

Table 5. Properties of test specimens

No.	제작연도	부설연도	도상형식	누적통과톤수	용접방법
1~5	98.10	99.09	자갈	4억톤	GPW
6~9	98.10	99.09	자갈	4억톤	TW
10	96.08	96.11	자갈	4.1억톤	TW

또한, 일본 철도총련에서 시행한 용접강도시험 결과를 본 연구에서 수행한 시험결과와 비교·분석하고자 하였으며, 일본 철도총련에서 사용한 시험레일은 JIS에서 정한 50kg N레일로 하중은 두부에서 하중을 가하는 방법을 사용했다. 한편, JR 동일본에서 제시한 레일용접부의 휨강도시험 기준표는 Table 6과 같다.

Table 6. Criteria of rail bending test (JR) [4]

구분	레일중량	가압방법	하중/변위	GPW	TW
신품레일	50kg/m	H.U	P(tonf)	100	85
			δ(mm)	25	10
사용레일	50kg/m	H.U	P(tonf)	75	70
			δ(mm)	25	10

시험방법은 Fig. 10에서와 같이 교체시기에 도래한 노후 레일을 현장에서 채취하여 용접부가 중앙에 위치하도록 길이 1.2m로 절단하였으며, 용접부를 중심으로 지점간의 거리를 1.0m로 하여 용접부를 가압하되 레일두부를 상면으로 놓고 정적재하시험을 하였다. 휨강도시험 시 하중은 레일두부에 재하하였으며 이때 충격하중이 작용하지 않도록(정하중시험을 만족하도록) KS 시험방법을 따랐다.

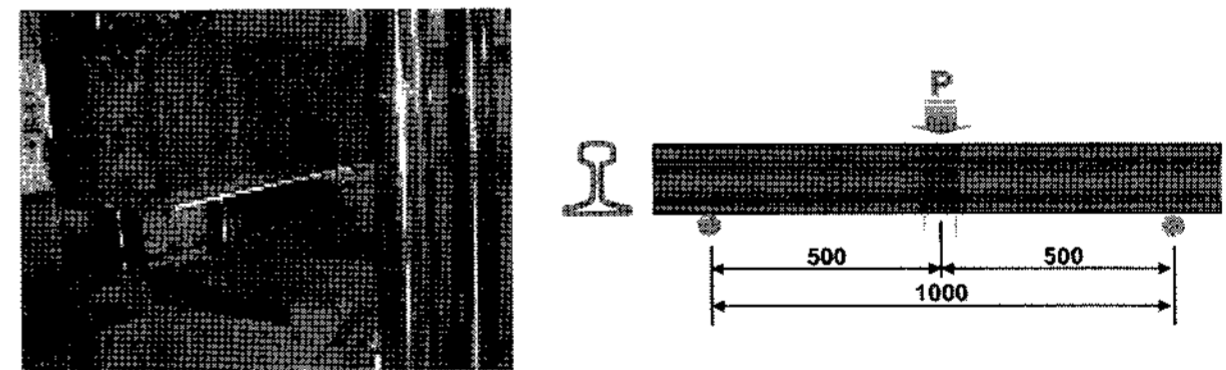
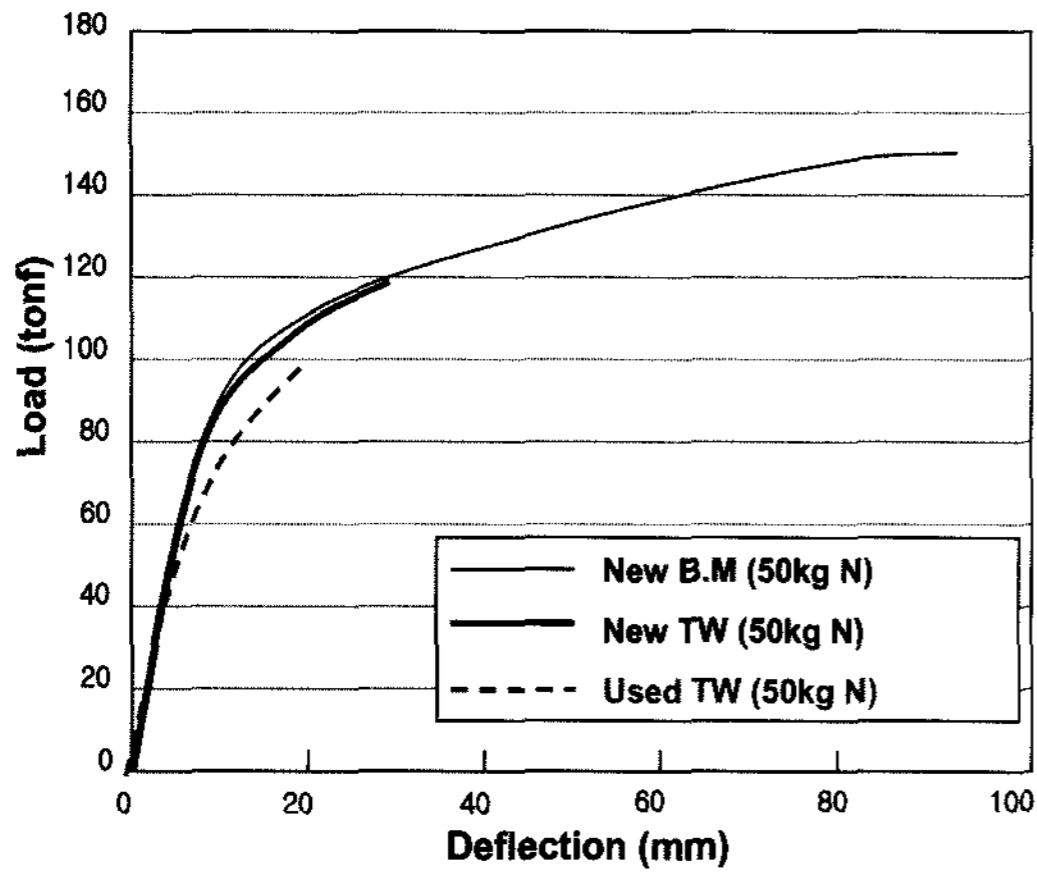


Fig. 10. View of test & test method

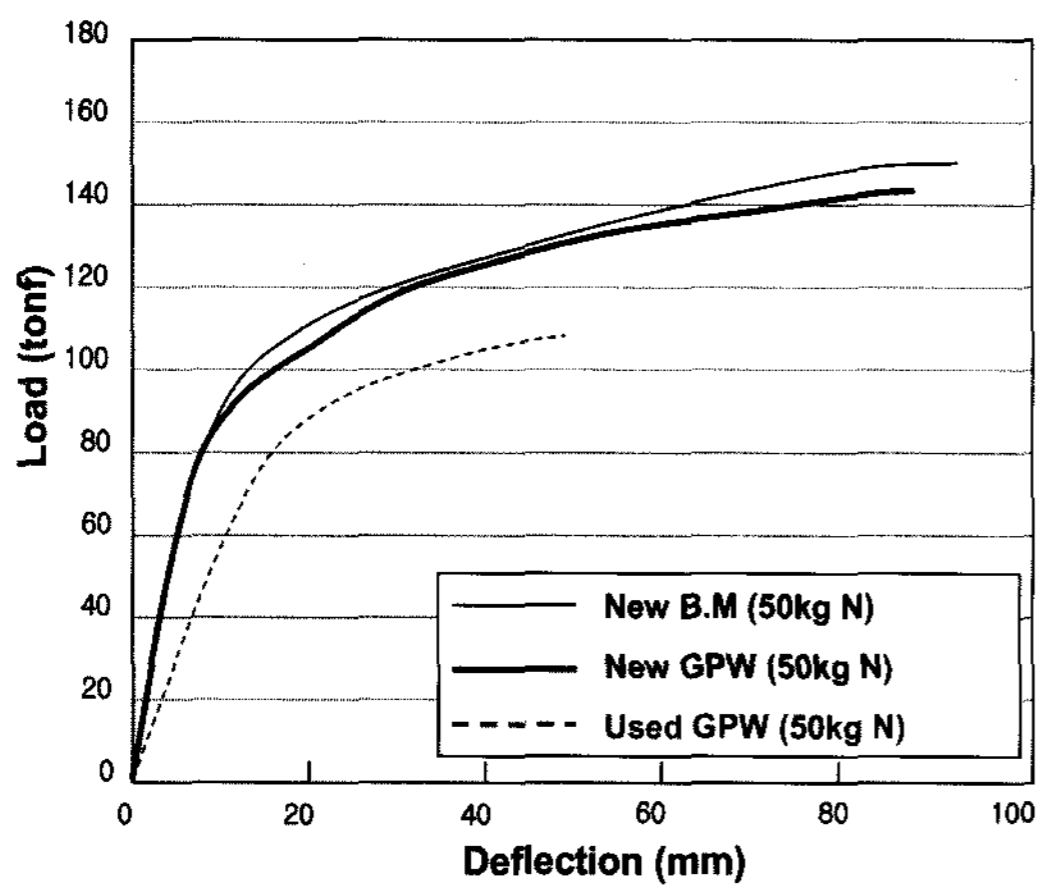
6.2 실내시험 결과 및 분석

Fig. 11(a)는 노후된 50kg/m 레일의 테르밋 용접부에 대한 결과를 최대처짐량과 파단하중의 관계로 나타낸 것이며, 신규용접부에 대한 데이터는 기존 연구결과[5]를 인용하였다.

신규레일용접부(TW)의 경우 하중 80tonf(변위량 8.0mm)까지 탄성적인 경향을 보이다가 하중 116tonf(변위량 22



(a) Thermite welding



(b) gas pressure welding

Fig. 11. Example of rail bending test result

mm)에서 파단되었으며, 노후레일용접부(TW)는 하중 73tonf(변위량 7.6mm)까지 탄성거동을 하다가 하중 98tonf(변위량 23mm)에서 파단되었다. 여기서 노후레일용접부(TW)의 파괴강도는 신규레일용접부(TW)의 파괴강도보다 약 18% 낮게 나타났다.

Fig. 11(b)는 가스압접부(GPW)에 대한 휨강도시험결과이다. 여기서 신규레일용접부의 경우는 하중 81tonf(변위량 8.2mm)까지 탄성적인 경향을 보이다가 하중 153tonf(변위량 86mm)에서 파단되지 않았으며, 노후레일용접부(GPW)는 하중 80tonf(변위량 16.6mm)까지 탄성거동을 하다가 하중 104tonf(변위량 32.0mm)에서 파단되었다.

Fig. 12와 Fig. 13은 테르밋 용접부와 가스압접부 시편에 대한 시험결과이며, 이를 일본에서 제시한 기준치 및 신규레일용접부에 대한 평균치와 비교하였다. 시험결과 테르밋과 가스압접은 각각 1개의 시편만이 기준을 만족하지 못하였고, 4개의 시편은 모두 기준치를 만족하였다. 기준치를 만족하지 못한 1개의 시편은 용접 시 발생할 수 있는 결함

에 의한 것으로 판단된다. Table 7은 본 연구에서 수행한 시험결과를 국내 및 일본에서 수행한 시험결과와 비교한 내용을 정리한 표이다.

본 연구에서 수행한 노후레일용접부와 국내 기존 연구결과 분석된 신규레일용접부의 시험결과가 일본의 시험결과와

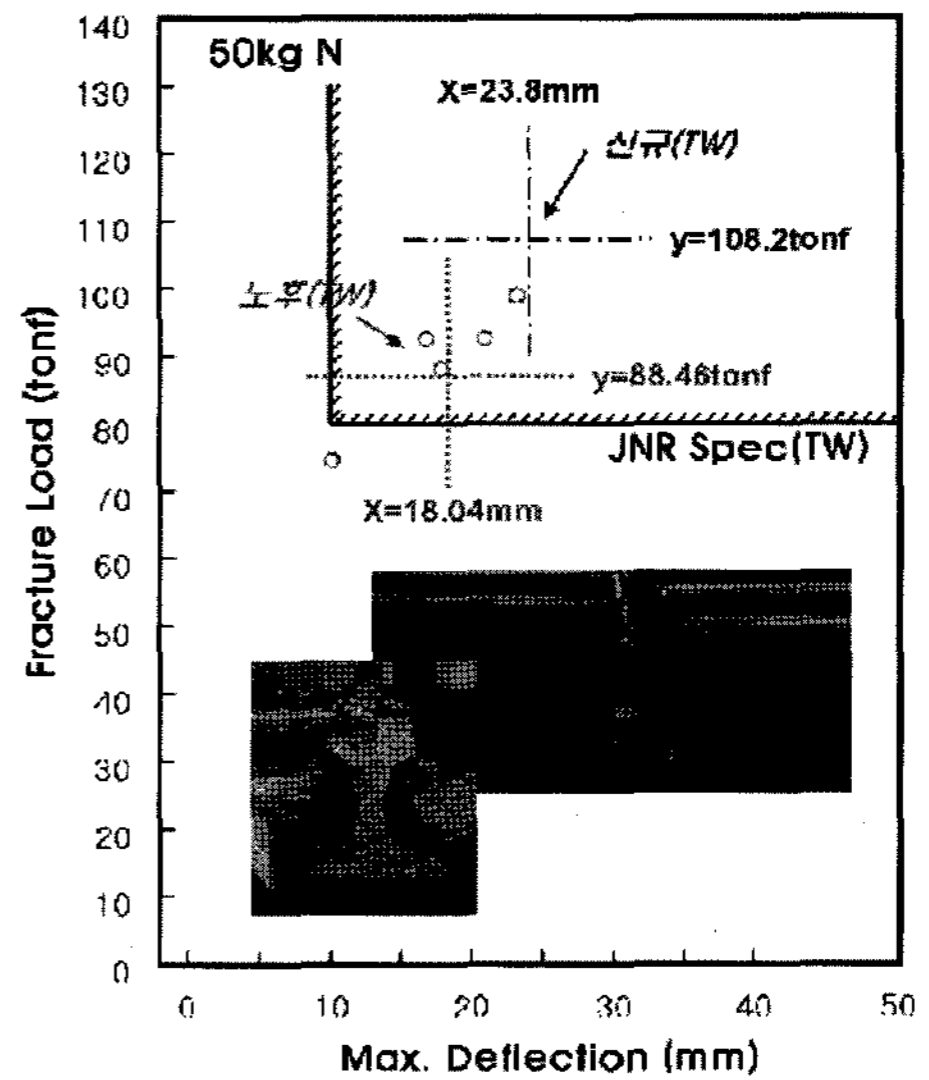


Fig. 12. Result of rail bending test (TW)

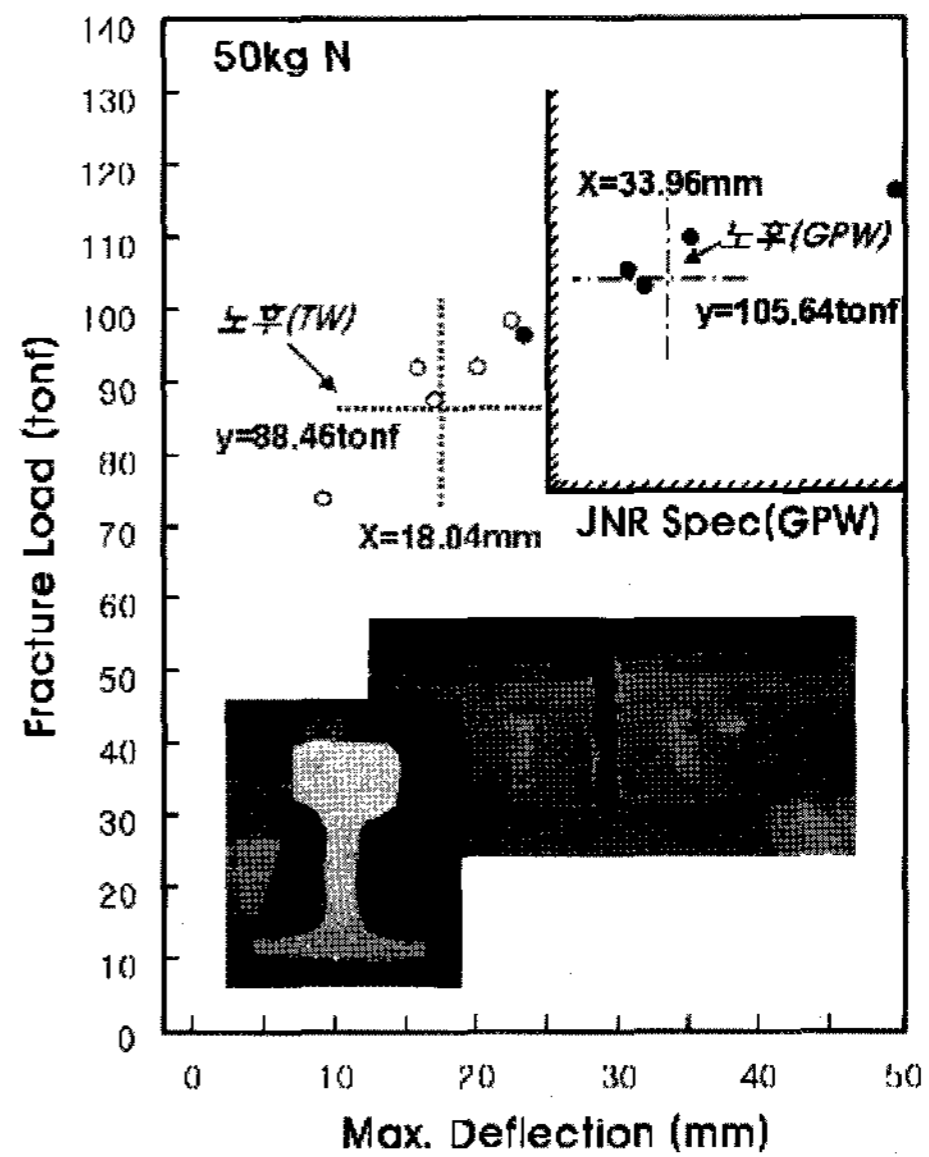


Fig. 13. Result of rail bending test (total)

Table 7. Result of rail bending test

	본 연구-노후		국내-신규[5]		일본-신규[5]	
	TW	GPW	TW	GPW	TW	GPW
P(tonf)	88.46	105.6	100.1	120.8	108.2	127
(mm)	18.04	33.96	12.80	27.9	23.8	55
%	81.75	83.15	92.51	95.12	100	100

차이가 있는 이유는 국내 레일강과 일본 레일강의 재료적 차이 및 용접 품질의 차이에서 기인한 것으로 판단된다. 본 연구에서 수행한 노후레일용접부의 휨강도시험결과 최대 파괴하중은 신규레일에 비해 약 17~18% 저하되었으나 시험 기준을 만족하였으며, 가스압접의 경우가 테르밋 용접부의 평균 파괴강도보다 약 19% 높게 나타나 가스압접이 테르밋 용접보다 내구성이 우수한 것으로 분석되었다. 또한, 교체시기에 도달한 레일임에도 불구하고 탄성영역 및 소성영역에 도달하는 하중과 변위의 최대치가 높은 수준을 유지하고 있는 것으로 분석되어 선로정비규정에 제시된 누적통과톤수에 의한 레일교체기준에 도래한 노후레일용접부는 사용성 측면에서 충분한 내구성(durability), 내하력(load carrying capacity)을 확보하고 있는 것으로 분석되었다.

7. 결론

본 연구는 현행 누적통과톤수에 의한 국내 레일교체기준의 타당성을 분석하기 위한 기초연구로써 국내·외 레일교체기준 조사, 국내·외 연구동향, 궤도유지관리이력조사 및 실내시험을 실시하였다. 이에 대한 연구 결과를 정리하면 다음과 같다.

- (1) 현재 국내에서 적용하고 있는 선로점검지침 상의 누적통과톤수에 의한 레일교체기준은 과거 일본에서 화물혼용선의 레일이음매부에 대한 피로수명으로 산정된 것으로 현재 일본에서는 장대레일화 및 유지보수여건(레일연마)에 따라 레일용접부(테르밋)의 피로수명을 평가하여 레일교체기준을 재산정(50kg-7억톤, 60kg-8억톤)하였다. 또한, 개정된 누적통과톤수에 따른 레일교체기준은 반드시 레일을 교체해야하는 기준치가 아니고 궤도정비를 위한 참고수치(목표치)로 적용하여 레일을 관리하고 있는 것으로 조사되었다.
- (2) 국내·외 연구결과 레일연마를 통한 레일두부 요철제거로 레일의 사용수명 연장이 가능한 것으로 분석되었으나, 현재 국내 철도운영기관들에서는 주기적인 레일연마를 실시하고 있음에도 불구하고 누적통과톤수에 의한 레일교체주기를 그대로 적용하고 있어 비합리적인 레일교체가 이루어지고 있는 것으로 분석되었다.
- (3) 궤도유지관리이력조사결과, 레일의 절손 및 손상 원인은 반복적인 피로하중에 의해서만 발생하는 것이 아니고 다양한 원인에 의해서 발생되며, 레일탐상차를 이용한 결함검출과 연마차를 이용한 레일관리 효과가 있음을 확인하였다.

- (4) 교체시기에 도래한 노후레일용접부의 사용성 평가를 위한 레일휨강도시험결과, 노후레일용접부의 경우 일본의 신규레일용접부와 비교하여 약 17~18% 저하된 것으로 나타났으나 일본에서 제시하는 레일휨강도시험기준치를 만족하였으며, 노후레일용접부의 내구성 및 내하력은 사용성 측면에서 안전한 것으로 분석되었다.
- (5) 따라서 장대레일용접부를 기준으로 산정한 누적통과톤수에 의한 레일교체기준 산정은 비합리적인 것으로 판단되며, 레일절손 및 손상을 관리하기 위해서는 손상의 유형을 파악하여 평가등급을 구분하고 유형에 따른 적정 유지보수 방법을 선정하여 관리하는 것이 보다 합리적인 것으로 판단된다.

후 기

본 연구는 한국건설교통기술평가원의 “차세대고속철도기술개발사업”에 의해 수행되었으며, 관련자분들께 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. 양신추 외 2인(2001), “레일용접부의 피로수명 예측”, 대한토목학회 논문집, 제20권 제1-D호, pp97~105
 2. Ska Kouzi, Kusuda Masayuki, Maeda Hiroaki(2002), “레일수명 연장에 관해”, 일본철도시설협회지.
 3. 이종득(2006), “철도공학”, 노해출판사.
 4. 서사범(2006), “선로공학(개정2판)”, 열과 알.
 5. 양신추(1998), “레일용접부의 특성에 관한 연구”, 철도청.
 6. Coenraad Esveld (2001), “Modern Railway Track,” MRT-Productions.
 7. Tadashi Deshimaru, Hiroo Kataoka (2006), “Estimation of Service Life of Aged Continuous Welded Rail”, QR of RTRI, Vol. 47, No. 4.
 8. Hideki Shitara, Yoshihira Terashita, Mitumasa Tatsumi, Yasuto Fukada (2003), “Nondestructive Testing and Evaluation Methods for Rail Welds in Japan”, QR of RTRI, Vol. 44, No. 2, pp. 53~58
 9. Yoshihiro Terashita, Mitsumasa Tatsumi (2003), “Analysis of Damaged Rail Weld”, QR of RTRI, Vol. 44, No. 2, pp. 59~64
 10. 일본JR, “궤도정비규칙”.
 11. 서울메트로, 부산지하철공사, 대구지하철공사, 인천지하철공사, 대전지하철공사, “선로정비규정”.
 12. 서울메트로, “선로검사내규”, “궤도유지관리이력”.
 13. 서울산업대학교 철도전문대학원 뉴레일연구소(2007), “노후레일의 교체주기 산정을 위한 연구보고서”.
- 접수일(2008년 1월 21일), 수정일(2008년 6월 23일), 게재확정일(2008년 6월 23일)