

철도시설공학

Introduction of Railway Engineering



학과명 : 토목공학과

담당교수명 : 최준혁 교수

연락처 : 공학관 203호 032-610-3311

학과사무실 : 032-610-3310, 3319

이메일 : cjunh@bc.ac.kr

참고교재 : 자체 제작(제본)

레일의 훼손, 손상(failure of rail)

(1) 정의

- 레일이 외력의 작용과 레일자신이 보유하고 있는 내부결함 또는 양자의 결함으로 사용불능상태로 되는 것

(2) 레일훼손의 주요원인

- ① 레일 제작(製作)시 결함(缺陷)
 - 레일제작시 강괴(鋼塊) 내부의 결함
 - 압연(壓延) 작업불량으로 품질(品質)적인 결함 발생
 - 압연(壓延)시 가스에 의한 내부 공기공(空氣空)이 발생하거나,
 - 냉각수축에 의한 종양부에 관상(管狀) 줄 발생
- ② 레일의 취급방법과 부설방법이 불량할 때
- ③ 레일의 단면이 하중에 비하여 약(弱)할 때
- ④ 부식, 이음매부, 레일 끝 처짐 등으로 레일상태가 악화(惡化) 될 때
- ⑤ 궤도보수상태가 불량일 때
- ⑥ 차량불량과 탈선, 전복사고가 발생 할 때

(3) 레일훼손의 종류

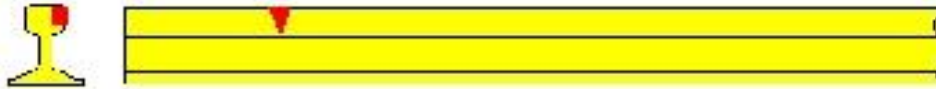
- ① 유궤(流潰), 좌궤(座潰): 레일이 열차의 반복하중을 받아서 두부정부의 일부가 궤간 내측으로 찌그러지거나 두부정부(頂部)의 전부가 압좌되어서 알아지는 현상.



- ② **종열** : 두부의 연직면을 따라서 발생. 때로는 복부의 볼트 구멍을 따라서 발생.



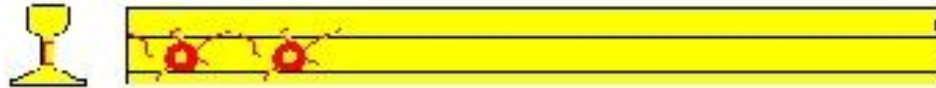
- ③ **횡열** : 두부내부에 발생한 핵심균열이 반복하중에 의하여 발달.



- ④ **파단(split web at rail end), 파저(broken base)** :

이음매 볼트 부근의 응력집중이 원인. 방사선상으로 균열발생. 레일헤손의 약 50%를 점유.

(방지대책 - 터널내 갱화주기 파악, 국부적 노반침하분리 등 응력조건을 개선 즉, 보수를 철저히 할 것)



- ⑤ **절손** :

- 레일이 완전히 부러지거나 절손되게하는 대횡열이 발생하는 것.
- 내부결함이 원인이며 경질레일에서 많이 발생.
- 절손은 내부적인 진행과정 후 돌발적으로 발생하기 쉽다.

- ⑥ **손상** : 불량차륜, 차륜의 공전, 급격한 제동, 각종 공구 충격에 의한 레일의 손상 등으로 발생.

- ⑦ **흑점균열** :

- 고속중량운전에서 곡선외궤두부에 발생한 흑색반점상의 균열.
- 휠과 레일의 접촉부의 큰 압력으로 쪽이 묻어 난 듯한 상처 발생.
- 표면에 나타난 부분은 작은 균열이라도 레일부에서는 큰 횡열로 발달되어 두부의 대부분에 균열이 퍼져있는 수가 있다.

레일의 내구연한(durability of rail)

- 1) 레일 내구연한은 훼손, 마모, 부식 등의 3요인에 의해 결정.
- 2) 레일의 수명은 열차의 통과톤수, 차량중량 또는 궤도가 해변이나 터널 등 부설된 조건에 따라 일정치 않음.
(대략 직선부 20~30년, 해안 12~16년, 터널내 5~10년 정도)
- 3) 급곡선(R=400m이하)에서 발생하는 편마모를 줄이기 위해 레일의 두부를 열처리하여 경도를 높인 경두레일을 곡선외측에 부설.

(1) 마모(wear)

- ◆ 레일의 마모는 레일과 차륜의 접촉면적이 적은 상태에서 차륜이 주행하므로 레일면은 강한 마찰로 마모되며, 주로 마모진행이 빠른 경우는 아래와 같다.
 - 레일이 무른 경우
 - 경량레일
 - 직선보다 곡선의 외궤
 - 곡선반경이 적을수록
 - 구배가 심할수록
 - 열차중량, 속도, 통과수가 많을수록
- ◆ 이와는 달리 레일의 길이 방향으로 수_{cm}씩 파형으로 마모되는 파상(波狀) 마모 현상이 있으나 이것은 도상이 과도하게 견고한 장소와 콘크리트 도상 등 레일의 지승체(支承體)가 견고하여 탄성력이 부족하여 발생한다.
- ◆ 레일의 마모 방지는 레일 경질(硬質)화, 중량(重量)화, 마모방지레일 설치 및 도유 실시로 마모를 감소시킬 수 있다.
- ◆ 레일의 교환기준

레일종별	레일두부마모(mm)	단면감소율(%)	비 고
60kg	13(15)	24	() 편마모
50N, 50PS	12(13)	18(22)	

평가하기

레일의 손상의 종류에 대해 간단히 설명하시오

(2) 파상마모(corrugation, undulatory wear)

- 파장을 결정하는 메커니즘과 레일두부상면에 마모 혹은 소성변형에 의하여 요철을 형성하고 이를 진행시키는 메커니즘.
- 파장 결정 메커니즘은 궤도지지 스프링 위에서 차량 스프링하 질량(unsprung mass)에 의존하는 고유진동, 윤축의 비틀림 진동 등이 스스로 발생하는 진동.
- 레일/차륜간의 레일 길이 방향의 미끄러짐에 의한 오목부의 마모.
- 레일 길이 방향의 비교적 고주파인 공진에 의한 오목부의 마모.
- 윤하중 변동에 의한 오목부의 소성변형 등.
- 초기요철에 의해 파장 결정 메커니즘인 자력 진동이 발생.



단파장 파상마모가 진행된 상태



장파장 파상마모가 진행된 상태

(3) 부식(corrosion)

- 부식에 의해 부식 피트라 불리는 작은 오목부가 생기고 현저하게 피로강도가 저하됨
- 부식이 심한 터널의 레일은 항상 주의를 요함

(4) 전식(electrolytic corrosion, electric erosion)

- 직류구간에서 레일의 전위(電位)가 항상 소정 이상의 정전위로 되어 물 등의 부식환경이 수반되어 발생
- 급격한 단면 감소, 작은 오목부 발생, 단면감소 부분에서 손상이 발생

(5) 피로(fatigue)

- 열차하중의 반복에 의한 소성변형(plastic deformation)이 누적되어 균열이 발생하고 진전하는 과정.
- 이 균열이 최종적으로 레일의 기능을 잃어버린 시점을 손상(failure)이라 한다.
- 레일의 재질, 작용하중에 의한 응력레벨 및 반복 수, 레일표면의 부식 등과 관계
- 보통 이음매부의 볼트구멍에서의 파단
- 레일용접부의 피로
- 레일두부 상면의 전동 접촉피로인 레일 쉼링(shelling)



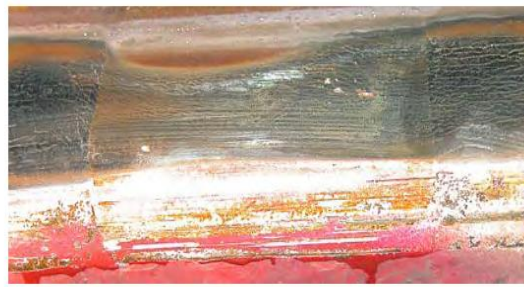
게이지코너 가공경화가 심하게 진행되어
박리로 발전되어 가는 상태



두부면 가공경화가 심하게 진행되어
박리로 발전되어 가는 상태



표면박리가 심하게 진행되어 깊어진 상태



퍼짐현상이 심하게 진행되어 두부면의
단차가 있는 상태



엔진화손이 심하게 진행되어 퍼진 후 패인상태

[그림] 반복 열차하중에 의해 발생하는 레일의 피로손상 유형

레일 이음매(Rail joint)

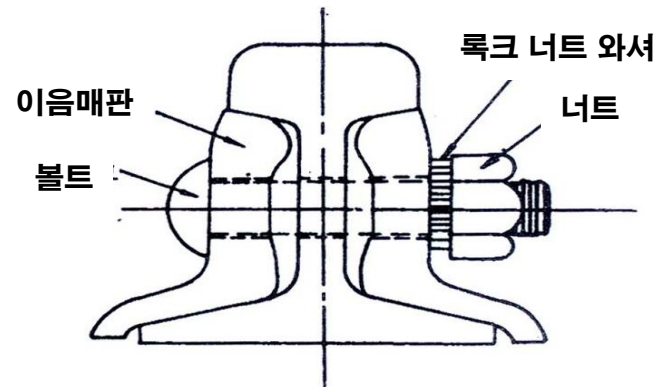
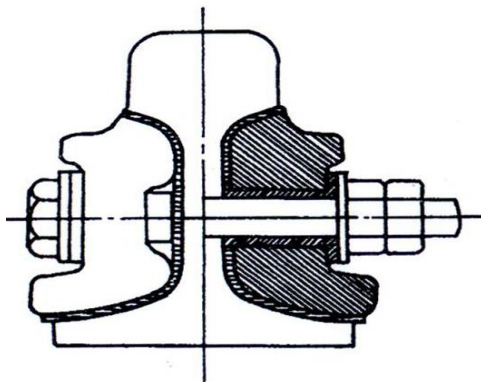
(1) 레일이음매의 기능 및 구비조건

- 1) 분단된 전후의 양레일은 연속으로 작동되므로 레일이음매 이외의 부분은 강도와 강성이 동일할 것.
- 2) 양레일의 단부 온도신축에 대하여 필요한 응력과 길이방향으로 이동할 수 있을 것.
- 3) 구조가 간단하고 이음매 재료의 제조 보수작업이 용이할 것.
- 4) 연직하중 및 횡압력에 충분히 견딜 수 있을 것.
- 5) 제작비, 보수비가 저렴할 것.
- 6) 전철화 등의 구간에서는 전기절연이 양호할 것.

(2) 레일이음매 종류(kinds of rail joint)

1) 이음매 구조상의 분류

- ① 보통이음매 : 한쌍의 이음매판, 볼트, 너트, 록크 너트 와셔(lock nut washer)로 구성

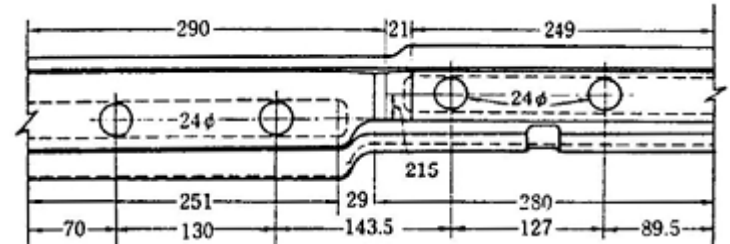


[그림] 이음매의 구조

② 특수이음매



(a) 절연이음매
- 전기신호구간에 사용



(b) 이형이음매
- 이종레일의 연결점에 사용



(c) 신축이음매 (expansion joint)
- 용접한 장대레일의 단부에 사용



(d) 용접이음매 (welding joint)
- 용접하여 외관상으로 이음매가 없음

2) 이음매 배치상의 분류

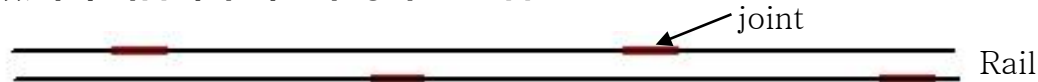
① 상대식 이음매(even joint, opposite joint) :

- 좌우 레일의 이음매가 동일위치에 있으며 소음이 크고 이음매부의 열화도가 큼.



② 상호식 이음매(alternate joint or broken joint) :

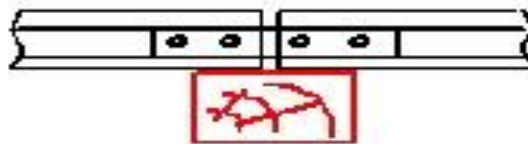
- 편측레일의 이음매가 타측레일의 대략 중앙부에 있도록 배치한 것으로 충격과 소음이 적고,
- 곡선부에 있어서 이음매의 개소가 많이 소요 됨.



3) 침목 위치상의 분류

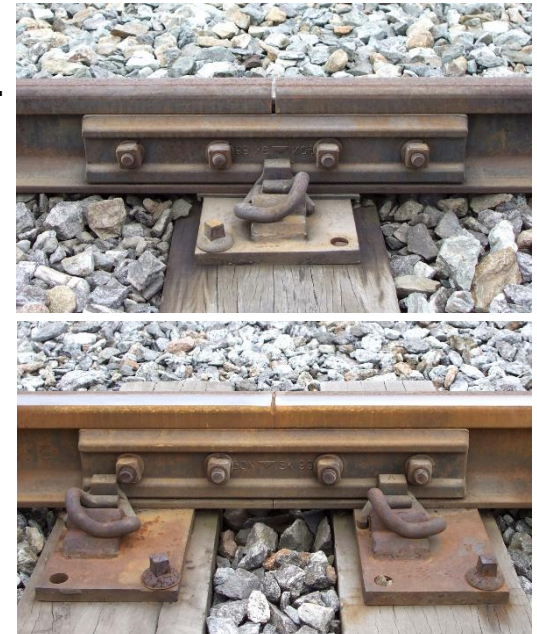
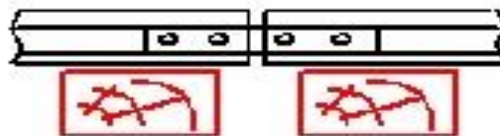
① 지점법(supported joint) : 이음매를 침목 직상부에 두는 것.

- 충격이 직접 침목에 전달. 침목의 침하가 심함.
- 이음매침목 사용시 진동과 충격을 흡수하여 레일과 이음매판의 열화 방지.



② 현점법(suspended joint) : 레일이음매를 침목상간의 중앙부에 두는 것.

- 레일의 단부가 내민보(cantilever)역할
▶ 레일끝 처짐 및 이음매판의 균열이 발생.
- 이음매의 충격을 완화하여 침목의 침하가 비교적 적음.



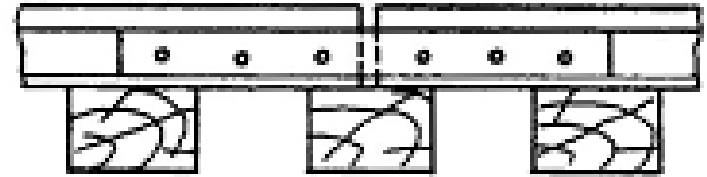
③ 2정 이음매법(two tie joint) :

- 지점법에서 지지력 부족을 보강하기 위하여 2개의 보통침목을 병설.
- 레일 끝 처짐과 이음매부의 처짐 방지.
- 도상다지기 작업이 다소 곤란.



④ 3정 이음매법(three tie joint) :

- 현점법과 지점법을 병용한 것.
- 이음매판이 다른 것보다 긴 것을 사용.
- 침목 3정이 동일지지를 유지하기 힘들.



(3) 이음매판(fish plate, splice plate or joint bar)

1) 이음매판의 작용

- 휨응력이 발생하므로 단면 2차 모멘트가 큰 형상이 유리.
- 레일 높이와 두부폭으로 인하여 제한을 받아 임의 설계가 불가능함.
- 온도변화에 의한 레일두부의 신축을 극도로 구속하지 않도록 볼트구멍에 약간의 여유를 둠.
- 레일과의 접촉면은 레일 복부에서 공극을 두어 이음매판에 충격하중이 적게 발생하도록 함.
- 레일 신축에 대해 무리가 없도록 함.

2) 이음매판의 종류

1) 이음매판 단면형상에 의한 분류



- ① 단책형 (flat splice bar)
- 노치가 없어 복진방지를 못함.



(a) 두부접촉형



(b) 두부자유형

② I형 이음매판

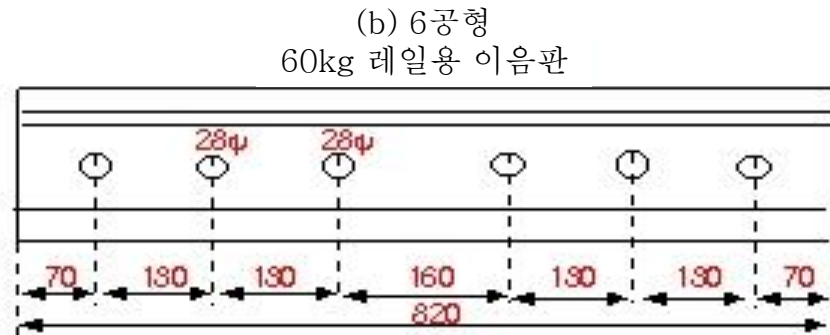


- ③ L형 (angle splice plate)
- 휨압저항이 큼.
 - 노치에 스파이크를 박아 복진방지.

평가하기

레일의 손상의 종류에 대해 간단히 설명하시오

2) 이음매판 볼트 수에 의한 분류



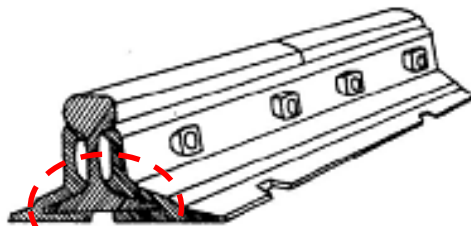
[그림] 이음매판의 형상 및 치수

3) 역학적 작용에 의한 분류

- ① **두부접촉형(head contact type)** : 레일두부와 레일저부의 상부곡선에 밀착하여 쐼기(wedge) 작용.
- ② **두부자유형(head free type)** : 상하부의 접촉부분의 일부를 띄어 레일 목에 집중응력이 발생치 않도록 함.

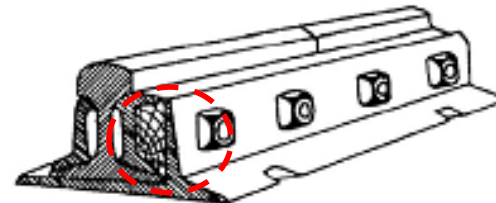
4) 기타 이음매판

타이플레이트 역할. 고가.



연속식 이음매판

목괴 삽입. 진동 완화.
이음매판 볼트의 이완 예방.



웨버 이음매판

(4) 이음매부 유간(joint clearance or expansion space)

1) 정의 :

- 레일은 온도의 상승 또는 하강에 따라 신축함.
- 이 온도 신축을 처리하기 위해 이음매부의 레일 상호간에 적당한 간격이 필요한데 이를 유간이라 함.

2) 레일 이음매 유간은 레일 온도 변화의 범위, 레일강의 선팽창계수, 레일길이에 의해 계산하여 설정 함.

3) 레일온도 변화 특성 :

- 밤중이나 흐린 날에는 대기온도와 큰 차이가 없으나 일광의 직사를 받으면 하절기에 대기온도보다 20℃ 가량 높고 동절기엔 대기온도와 별 차이가 없음.

① 이론적인 유간

$$e = \beta \cdot t \cdot L$$

- 가정 - 레일은 자유 신축
- 레일온도 : 60~(-15℃)
- 레일의 선팽창계수 : 0.0000114
- 레일의 길이 : 10m

$$\therefore 0.0000114 \times (60 - (-15)) \times 10 \times 10^3 = 8.55 \text{ (mm)}$$

② 실제 레일의 유간

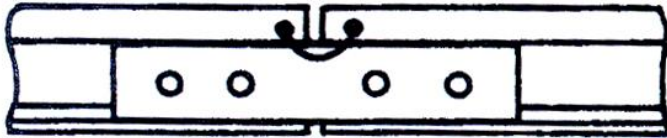
이음매판과 레일간의 마찰저항, 레일과 침목간의 체결저항, 침목과 도상간의 도상저항 등에 의해 20m, 25m 레일의 실제 유간은 12mm 정도임.

- 4) 온도상승으로 인해 이음매 유간이 0으로 된 후 팽창에 대항하는 것은 그 축방향력이며 도상저항도 이에 가세함. 이 축방향력이 커지면 궤광은 횡방향으로 좌굴(buckling)을 일으킴.
- 5) 레일 작업과 이음매부 작업 등은 혹서, 혹한을 피해야 함.

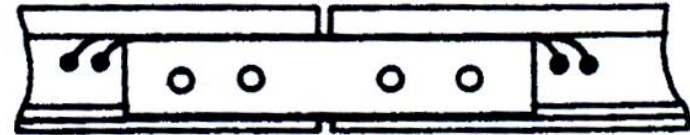
(5) 특수이음매(special rail joint)

1) 본드이음매(bonded joint)

- 레일을 자동신호기의 전기회로로 사용할 경우.
- 전철구간에 있어서 레일을 전차전류의 귀선으로 이용할 때.



(a) 전차전류용



(b) 신호전류용

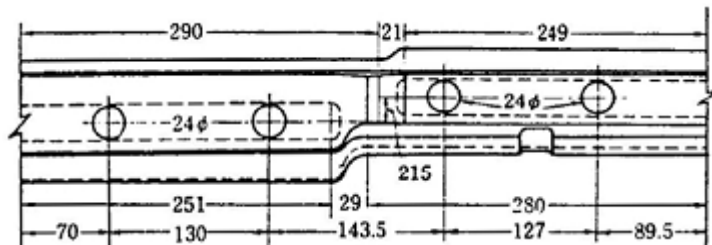
[그림] 본드이음매

2) 절연이음매(insulated joint)

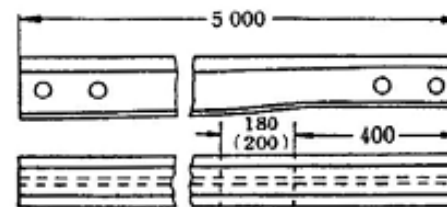
- 전기적 구역으로 분할하기 위하여 이음매를 전기적으로 절연하여야 할 개소에 사용.
- 이음매판 볼트 주위 및 유간에 화이버(fiber) 또는 합성수지(plastic) 및 기타의 재료로 된 절연재를 삽입.

3) 이종레일의 이음매(step joint or cranked splice)

- 단면이 서로 다른 2종의 레일을 연결할 때 사용.
- 경우에 따라 이음매판 대신 중계레일(taper rail or transition rail)을 삽입.



[그림] 이형이음매판



[그림] 중계레일

4) 용접이음매(welded joint)

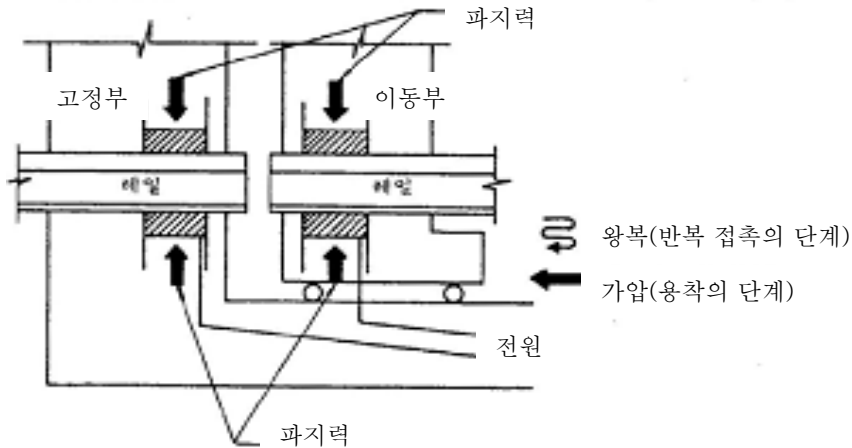
- 레일을 연속 용접하여 기계적인 이음매를 없게 하는 것

① 후레쉬 버트 용접(flash-butt welding)

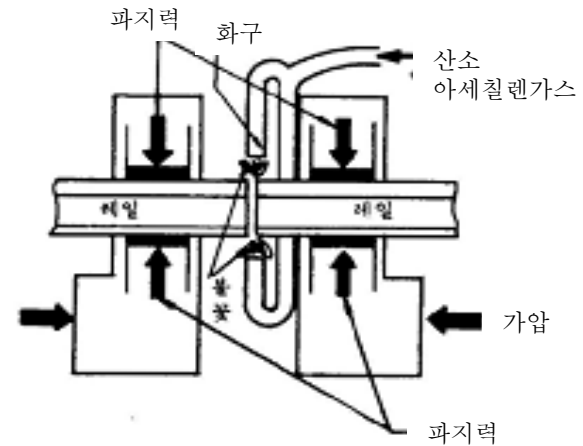
- 용접할 2개의 레일 단부를 약 2mm 띄어 전류를 통하게 한 후 양단부를 접촉과 분리를 반복하여 전류회로를 단락시키면 전기저항이 발생.
- 전기저항으로 발생하는 열에 의하여 접합단부를 가열한 후 양모재를 밀착시켜 강압하는 용접법.
- 장 점 : 강도의 균일성이 높음, 기계적인 작업으로 단시간에 용접.
- 단 점 : 기계장치, 전원설비가 대규모.

② 가스 압접(gas pressure welding)

- 산소, 아세틸렌, 프로판가스 등으로 양 레일의 단부를 가열해서 양모재를 가압하여 용접시키는 방법.
- closed butt 법과 open 법이 있음.(한국철도에서는 closed butt법 사용)
- 장 점 : 장치가 간단하여 현장에서 용접할 수 있고 장치의 신뢰도가 높음.(국내 주사용)



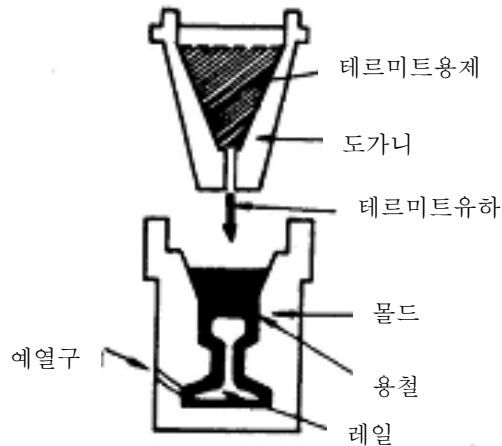
[그림] 후레쉬 버트 용접



[그림] 가스 압접 용접

③ 테르미트 용접(thermit welding)

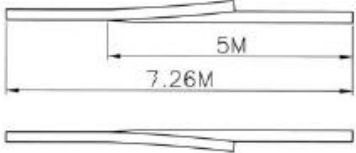

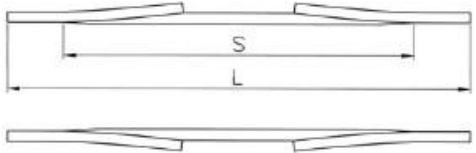
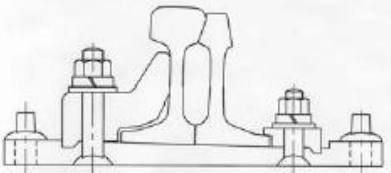
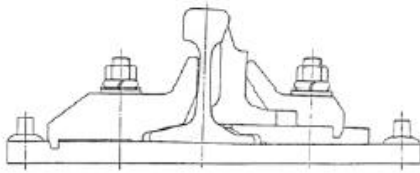
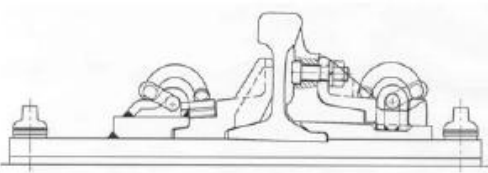



- 양레일을 예열해서 간극에 테르미트라는 산화철과 알루미늄의 분말을 혼합한 용제를 점화시켜 가열시킴.
- 화학반응에 의해 발생하는 고열과 용융철분을 얻어 레일과 레일사이에 간격을 메워 용접
- 장 점 : 부설되어 있는 상태의 레일 이음매에 형틀을 설치하여 간단한 설비로 시행가능



④ 엔크로즈 아크 용접(enclosed arc welding)

- 양레일단부에 용접봉에 의한 전류를 통해서 발생시킨 arc 열에 의해 레일단을 용접봉으로 용접하는 것.
- 한국철도에서는 절연접착레일, 이형레일 제작에 쓰이고 있음.
- 장 점 : 장비가 저렴
- 단 점 : 제품의 신뢰가 떨어짐. 용접시간이 오래 걸려 작업능률이 떨어짐.
통과 열차회수가 많은 선에서는 현장용접이 불가능.

5) 신축이음매(expansion joint)

신축이음매 종류 주요부 비교	50kgN 신축이음매장치 (철도 2250-1022마)	개량형(50kgN/60kg) 신축이음매장치 (철도 2250-1048나)	P.C 침목용 탄성크립체결 신축이음매장치 (실용신안 제 0197752호)
기본 선형 형상			
주요부 단면 비교			
형 상			
비교내용	<ul style="list-style-type: none"> • 신축량 : $\pm 62.5\text{mm}$ • 전 장 : 7.26M • 텅레일(고정레일)길이 : 5M • 형 상 : 편단 신축 • 궤간 확대/축소 발생 • 체결방식 : 볼트 • 구 조 : 이동레일, 텅레일 (50kgN) 각 2분 • 레일브레이스 및 놀림쇠를 T-Bolt로 체결 • 적 용 : 일반구간에서 사용, 교량구간에서 제한적임 	<ul style="list-style-type: none"> • 신축량 : $\pm 62.5\text{mm}$ • 전 장 : 17.49M • 텅레일(고정레일)길이 : 10.2M • 형 상 : 양단 신축 • 궤간변화 : 없음 • 체결방식 : 볼트 • 구 조 : 이동레일(60kg) 4분, 텅레일(70S) 2분 • 레일브레이스 및 놀림쇠를 T-Bolt로 체결 • 적 용 : 장대레일구간에서 사용, 교량구간에서 제한적임 	<ul style="list-style-type: none"> • 신 축 량 : $\pm 150\text{mm}$, $\pm 250\text{mm}$, $\pm 300\text{mm}$(고속용) • 전 장 : 17.49M, 21.75M, 50.4M • 텅레일 길이: 10.4M, 13.45M, 39.95M • 형 상 : 양단 신축 • 궤간변화 : 없음 • 체결방식 : 탄성크립(e2007-K) • 구 조 : 이동레일(60kg) 4분, 텅레일(70S) 2분 • 특수설계된 레일브레이스와 조절플레이트로 복진방지 및 일정 체결력 유지 • 정밀시공으로 궤도선형의 유지 양호 • 적 용 : 장대레일구간 및 교량구간에도 사용

평가하기

레일의 손상의 종류에 대해 간단히 설명하시오

(6) 레일의 체결(rail fastening)

1) 레일체결장치의 역할

- 레일을 침목위 소정위치에 고정시키는 것을 레일체결(rail fastening).
- 레일을 침목 또는 다른 레일 지지구조물에 결속시키는 장치를 레일 체결장치(rail fastening device).

2) 레일체결장치의 기능 (구비조건)

- ① 부재의 강도(내구성) - 각종하중에 대해 충분한 강도 확보
- ② 궤간의 확보 - 수평 및 레일 경사에 대한 저항력 필요
- ③ 레일 체결력 - 레일을 누르는 힘.

레일의 복진 방지, 레일 신축 및 축력의 규제, 레일 부상(浮上)등 궤도의 안정성에 관계

→ 항상 일정한 힘 유지

- ④ 하중의 분산과 충격의 완화
- ⑤ 진동의 감쇠 및 차단
- ⑥ 전기적 절연성능의 확보
- ⑦ 조절성 - 슬랙, 레일마모, 궤도틀림에 의한 궤도의 조절성.
- ⑧ 구조의 단순화 및 보수성력화 - 부설수량이 많으므로 시공·보수제작이 용이.

3) 체결장치의 종류

① 일반체결

- 일반스파이크(dog spike) : 가장 단순하며 오래 전부터 사용.







단점 - 지지력이 적고, 침목이 손상되고, 부식되기 쉬움. 유지보수성 떨어짐.

- 나사스파이크(screw spike) : 개못의 지지력을 증대시키기 위한 것으로 스크류 스파이크, 스크류 볼트라고 함.

단점 - 박기와 뽑기의 힘이 많이 들고 침목의 천공위치에 정확을 요함.

② 단 탄성체결(single elastic fastening) : 탄성클립만으로 체결하는 것.

③ 2중 탄성체결(double elastic fastening) : 고무제의 타이패드(tie pad)를 깔고 상하 쌍방에서 체결하는 것.

종 별	세 별	요 지	체결력방식
일반체결 (단순체결)	스파이크체결	강성적으로 레일을 누름	
	나사스파이크체결	상 동	상 동
	타이플레이트 병 용 체 결	체결강화를 한 것	
탄성체결	단 순 탄 성	레일을 위에서 탄성적으로 누르는 것	
	이 중 탄 성	레일의 상하방향에서 탄성적으로 누르는 것	
	실 전 탄 성	레일의 상하좌우에서 탄성적으로 누르는 것	
	다 중 탄 성	탄성체결을 한 것	

4) 탄성체결구의 특징

- ① 레일 압력에 따른 레일의 안정성을 얻을 수 있고 열차로부터의 진동과 충격을 흡수 완화한다.
- ② 레일과 침목이 항상 압착상태에 있으므로 레일의 복진을 방지하고 횡압력에도 유효하게 저항한다.
- ③ 타이패드를 사용하면 침목수명을 연장시킬 수 있다.
- ④ 궤간의 틀림, 레일두부의 경사, 레일마모 등에 대하여 효과적이다.
- ⑤ 높은 진동수의 진동이 흡수되기 용이하므로 침목이동의 동적 부담력을 완화하고 궤도의 동적 틀림을 경감시킨다.
- ⑥ 궤도보수노력의 절감과 소음의 흡수가 어느 정도 가능하다.
- ⑦ 콘크리트침목 및 콘크리트도상의 탄성부족을 보충할 수 있다.
- ⑧ 타이패드의 전기절연성에 의한 레일과 침목과의 절연을 확보할 수 있다.



[그림] Pandrol e-clip



[그림] Pandrol Fastclip



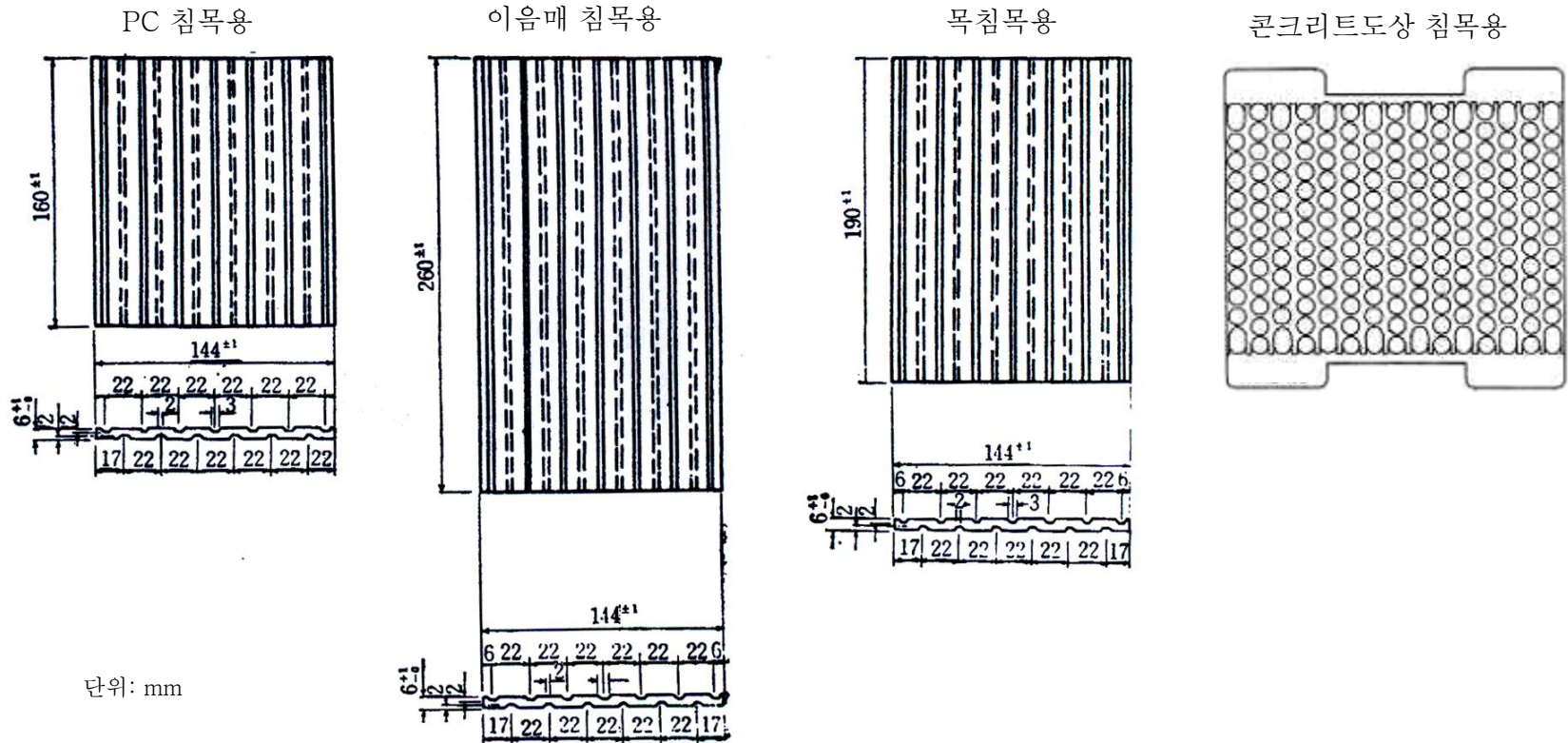
[그림] Vossloh Fastening System



[그림] Nabla Fastening System

5) 궤도패드(Track pad) - 타이패드(tie pad)

- 레일과 침목사이 레일과 타이플레이트 사이, 타이플레이트와 침목사이에 삽입하는 완충판.
- 궤도패드의 역할 : 레일로부터의 진동, 소음 완화 및 하중분산과 복진저항의 증가 및 전기절연 등의 역할.
- 재질은 양질의 고무 또는 합성고무를 주성분으로 함.
- 형상과 크기는 궤도구조에 따라 다름.

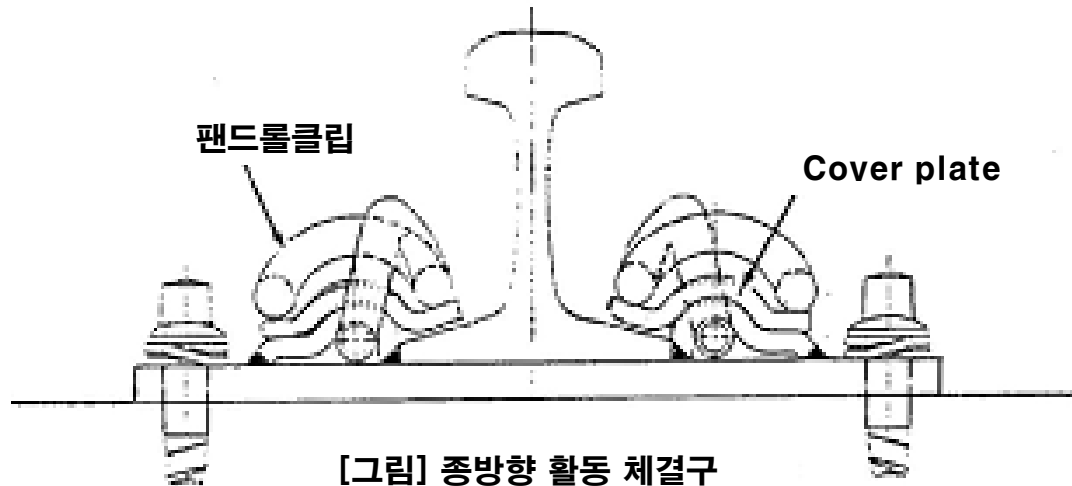


[그림] 타이패드

6) 특수체결구

① 종방향 활동체결구

- 교량상 장대레일 설치시 거더의 신축이 레일의 축력에 영향을 미치지 않게 하기 위해 사용.
- 종방향으로는 자유신축, 횡방향과 상향에 대해서는 구속.
- 레일절손시 개구량이 확대되어 사용구간의 길이를 제한해야 함.



② 교량용 체결구

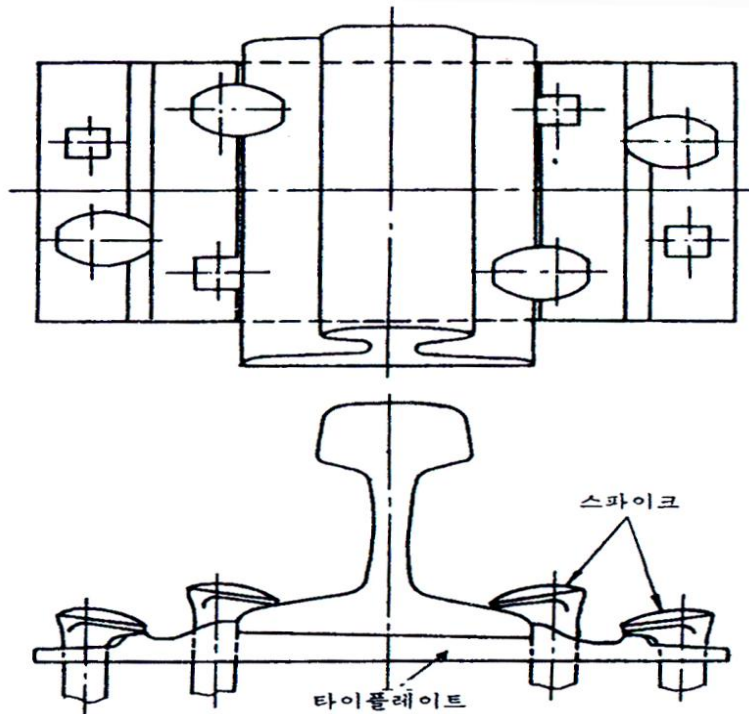
- 거더의 신축에 의한 레일축력의 급격한 증가를 막기 위해 사용.
- 독일의 경우 일반구간용과 교량용을 구분하여 사용.

(7) 타이플레이트(tie plate)

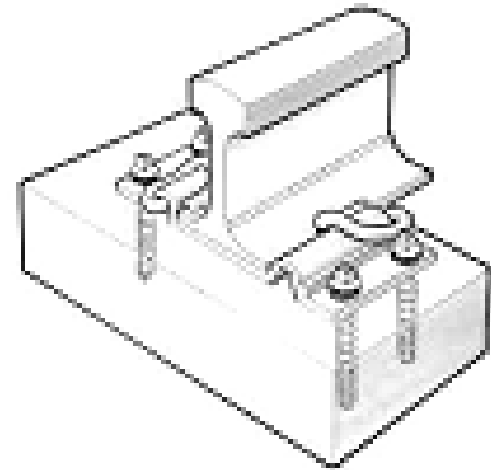
1) 정의 : 레일의 체결을 강화하기 위하여 레일과 침목사이에 삽입하는 철판.

2) 역할

- 목침목의 내구연한을 증대시킴(레일로부터의 하중을 광범위하게 전달하여 레일 박힘 등을 경감시킴).
- 레일의 횡압에 저항하여 궤간의 틀림을 적게 함.
- 침목의 공혈(孔穴) 손상 방지.
- 타이플레이트 상면에 경사(1/20~1/40)를 두어 레일두부의 마모 감소 및 횡압력에 대한 레일의 안전성을 증대시킴.



[그림] 타이플레이트



[그림] 팬드를 압연식 베이스플레이트

궤도의 부속 장치

(1) 복진 방지 장치(anticreeper)

1) 복진이란?

- 열차의 주행과 온도변화의 영향으로 레일이 전후방향으로 이동하는 현상.
- 체결장치가 불충분할 때는 레일만 밀림.
- 체결력 불충분할 때 침목까지 이동하여 궤도가 파괴되고 장력이 발생.
- 동절기에 심하고 도상 이완 및 궤간틀림 발생.

2) 복진의 원인

- ① 열차의 견인과 진동에 있어서 차륜과 레일간의 마찰에 의한다.
- ② 차륜이 레일단부에 부딪쳐 레일을 전방으로 떠민다.
- ③ 열차 주행 시 레일에는 파상진동이 생겨 레일이 전방으로 이동되기 쉽다.
- ④ 기관차 및 전동차의 구동륜이 회전하는 반작용으로 레일이 후방으로 밀리기 쉽다.
- ⑤ 온도상승에 따라 레일이 신장되면 양단부가 양측레일에 밀착한 후 레일의 중간부분이 약간 치솟아 차륜이 레일을 전방으로 떠민다.

3) 복진이 일어나는 장소 - 일정치 않음.

- ① 열차방향이 일정한 복선구간
- ② 급한 하구배
- ③ 분기부와 곡선부
- ④ 도상이 불량한 곳
- ⑤ 열차 제동회수가 많은 곳
- ⑥ 교량 전·후의 궤도탄성 변화가 심한 곳
- ⑦ 운전속도가 큰 선로구간

4) 복진에 의한 결과

- ① 침목배치가 흐트러진다.
- ② 도상이 이완
- ③ 궤간에 틀림이 발생
- ④ 이음매 유간이 고르지 못함
- ⑤ 장출(buckling of rail) 발생

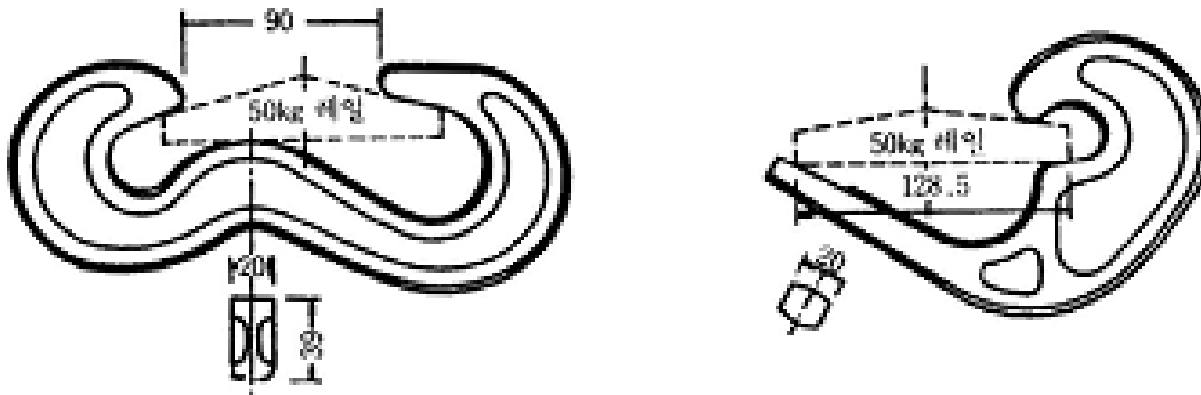
5) 복진방지

① 레일과 침목간의 체결력을 강화한다.

- 탄성체결장치를 사용, 체결을 확고히 하고 풍부한 탄성을 활용함.

② 레일앵커(rail anchor)를 부설한다.

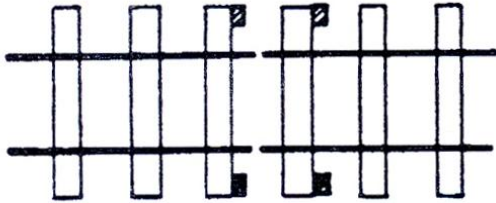
- 레일앵커는 복진방지 쇠붙이로서 레일저부에 장치하여 복진방향의 침목측면에 닿도록 설치.
- 연간 밀립량이 25mm 이상되는 구간에 설치.
- 1개소에 집중시키는 것보다는 분산시키는 것이 효과적.
- 궤도 10m당 8개 표준, 최대 16개까지 설치 가능.



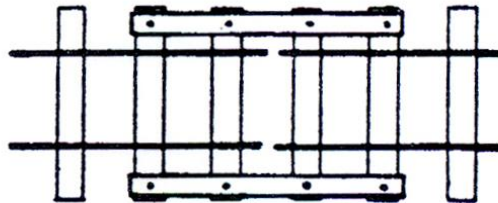
[그림] 레일앵커

③ 침목의 이동을 방지한다.

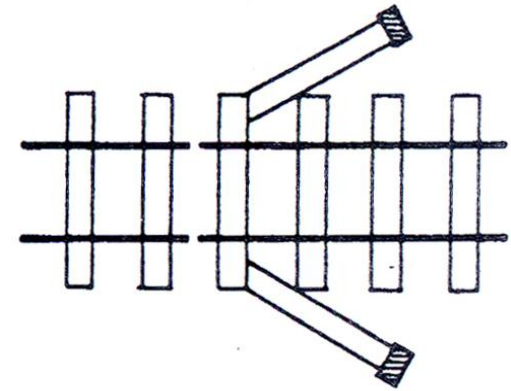
- 말뚝식 : 이음매판 침목에 상접시켜 복진방향과 반대측에 말뚝을 박는다.
- 계재식 : 이음매전후에 수개의 침목을 계재로 연결하여 수개의 침목의 도상저항을 협력시킨다.
- 버팀바리식 : 이음매침목에서 궤간외에 팔자형으로 2개의 지재를 설치하는 것이며 레일앵카 부설이 불가할 때 사용.



(a) 말뚝식



(b) 계재식



(c) 버팀바리식

[그림] 침목이동방지

④ 축방향력에 의한 복진현상의 기본식

$$r = (1 + m \cdot P_r) K_0 \cdot y$$

K_0 : 체결장치와 도상저항력의 레일방향 합성스프링 상수

P_r : 레일압력(kg)

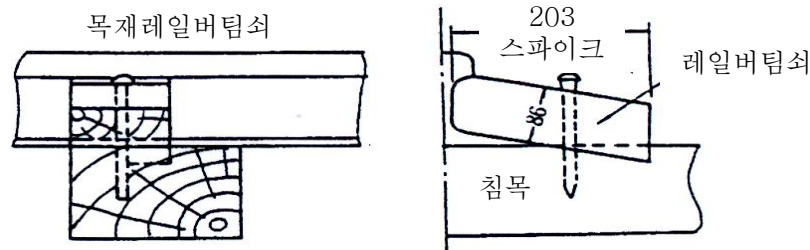
m : 상수(보통 3.5×10^{-3} 정도)

(2) 레일 버팀쇠(Rail brace)

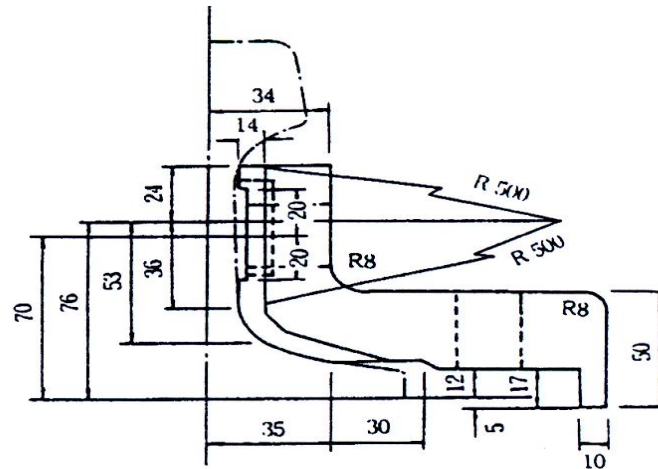
레일 체결부의 강도가 불충분하고 특히 tie plate를 사용하지 않는 곡선부에서는 레일에 작용하는 횡압력으로 인해 일 반스파이크의 솟아 오름 및 못구멍의 확대 등으로 궤간틀림이 일어나는데(레일의 경좌현상) 레일을 궤도 외방에서 지지 할 필요가 있으며 이 지지물을 레일 버팀쇠라 함.

※ 레일의 경좌(傾座) 현상

레일이 열차의 하중에 의하여 부설위치에서 안쪽 또는 바깥쪽으로 경사진 것을 말함.



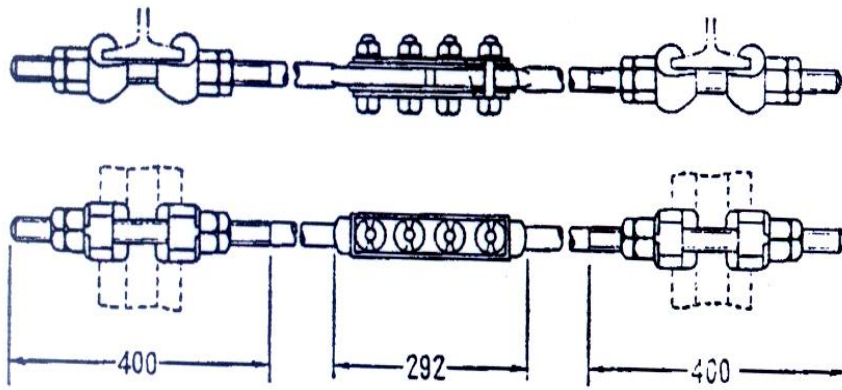
레일버팀쇠(분기부)



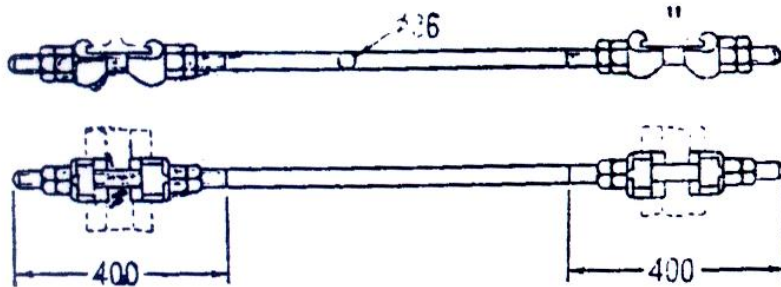
[그림] 레일 버팀쇠

(3) 게이지 타이(궤간계재, Gauge tie or gauge rod)

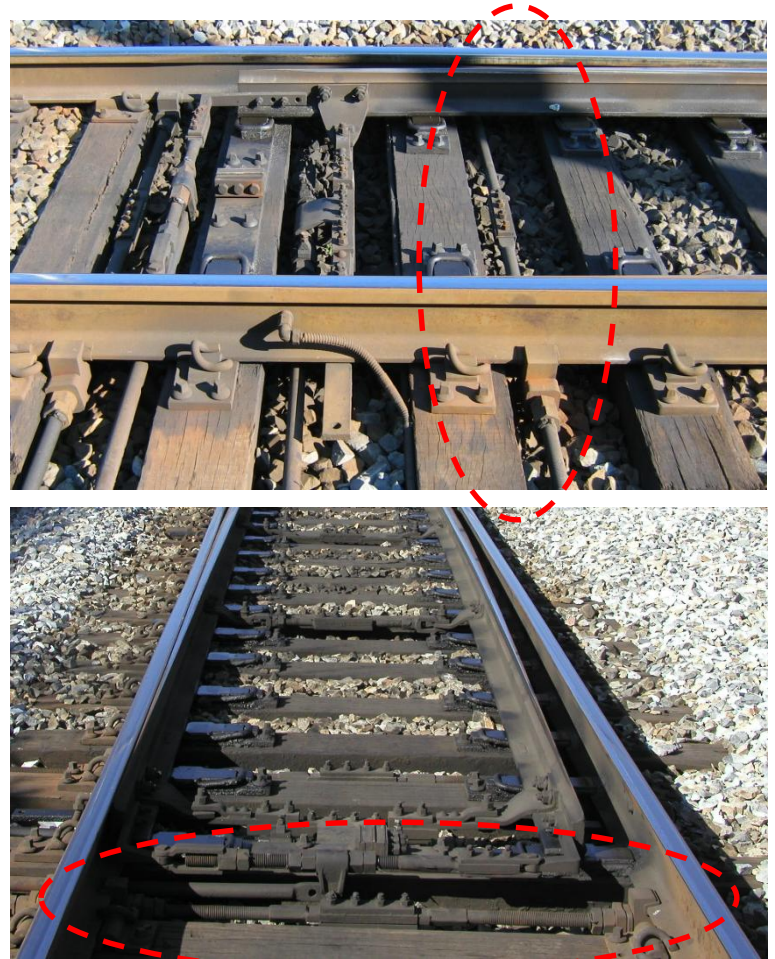
- 종침목 구간이나 분기입구에서 궤간확대 경향이 많으므로 좌우레일을 연결시켜 궤간을 확보할 때 쓰임.
- 자동신호 구간에는 좌우레일을 전기적으로 절연하는 구조로 할 것.



(a) 전기절연용



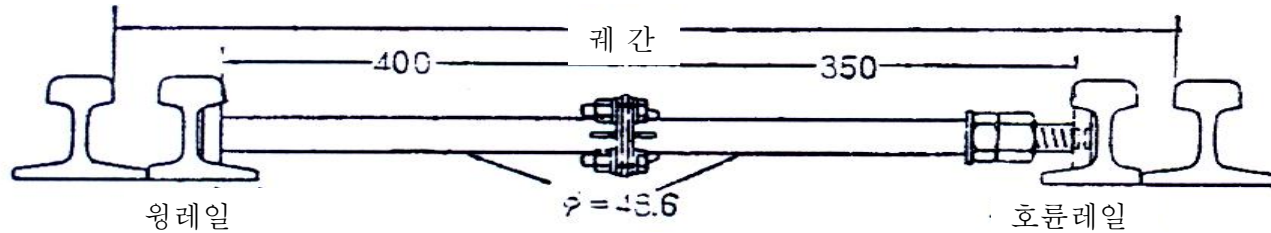
(b) 일반용



[그림] 게이지 타이로드

(4) 게이지 스트러트(Gauge strat)

- 분기부의 크로싱부에서 궤간의 축소를 방지하기 위해 사용.



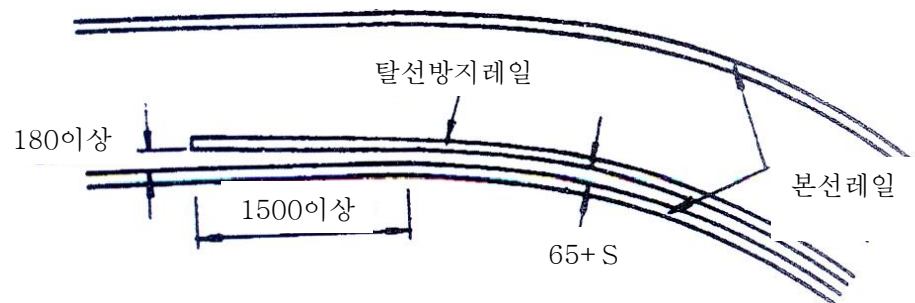
[그림] 게이지 스트러트

(5) 호륜레일(Guard rail)

- 열차 주행시 차량의 탈선을 방지.
- 만약의 탈선시에도 사고를 최소한으로 방지.
- 본선레일 내측 또는 외측에 일정간격으로 부설한 레일.

1) 탈선방지레일

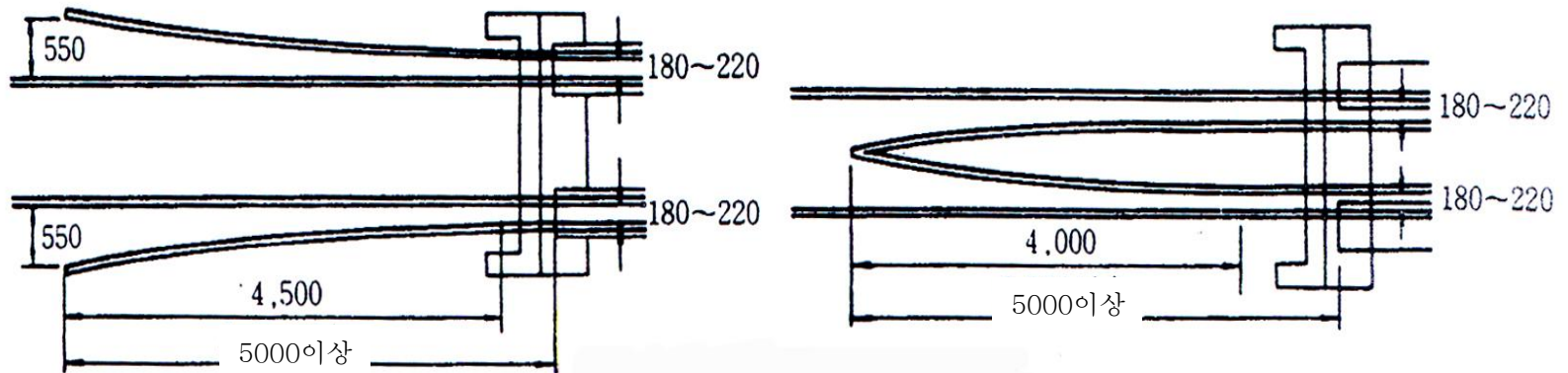
- 급곡선부에서는 외측레일에 횡압이 작용.
- 레일에 편마모가 심하고 차륜의 플렌지가 마찰에 의하여 외측에 올라타는 경향
- 이를 방지하기 위해 곡선의 내측에 설치한 호륜레일.
- 본선과 탈선방지레일의 두부 내측간격은 곡선의 슬랙 +65mm로 함.



2) 교량호륜레일(bridge guard rail)

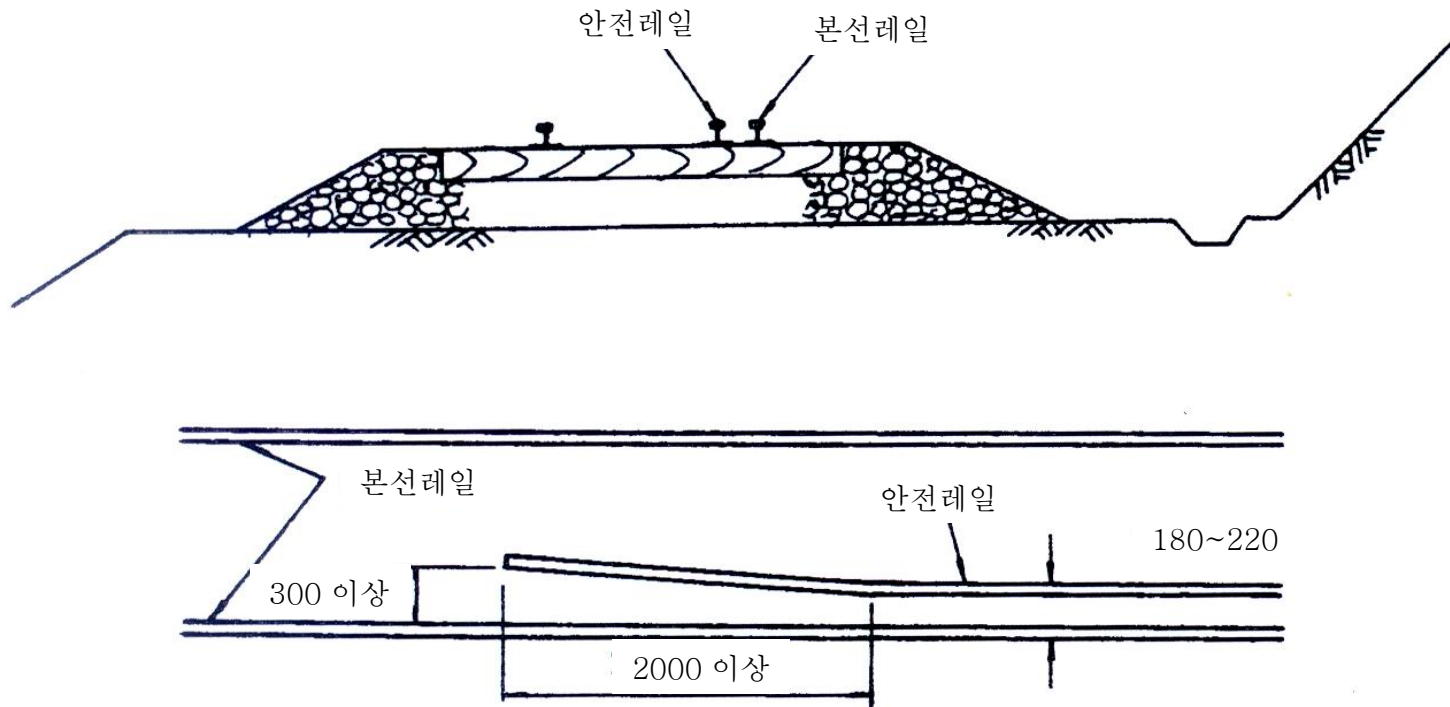
- 교량위 또는 교량부근에서 열차의 탈선시 중대한 사고를 미연에 방지하고 탈선차량을 본선쪽으로 유도하기 위함.
- 본선레일의 내측 또는 외측에 일정한 간격으로 교량전장에 부설하는 레일
- 급곡선과 급기울기선중에 있는 교량 전부와 직선중에 있는 교량연장 18m이상의 교량에 부설.

(국철에서는 교량 전후로 5m 이상 부설토록 규정)



3) 안전레일(safety rail)

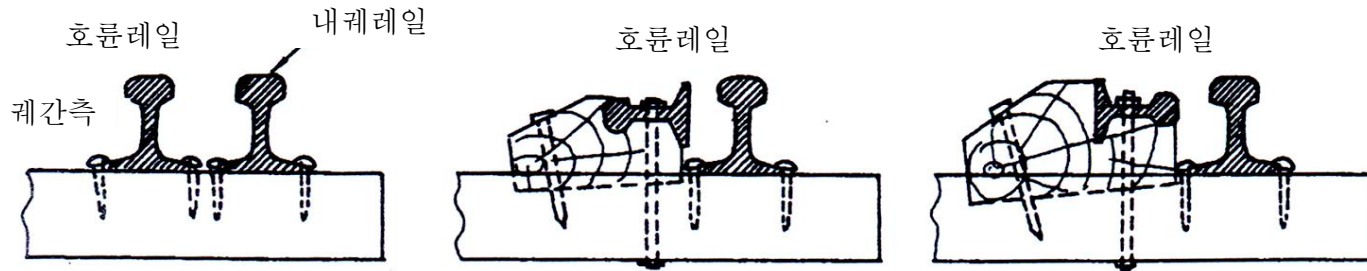
- 높은 축제 또는 고가선에서 열차 탈선으로 인한 중대한 사고를 예방하기 위함.
- 위험개소에는 탈선된 차륜을 유도하기 위해 내측 또는 외측에 별도로 부설하는 레일.
- 내궤 또는 외궤에 본선레일과 180~220mm 간격으로 부설.
- 안전레일의 위치는 내외궤측 차량의 탈선시 피해정도를 비교하여 결정.



[그림] 안전레일

(6) 마모방지 레일(antiwear of rail)

- 급곡선부 외측레일의 두부내측은 차륜에 의한 마모가 심하여 내측궤도의 내측에 마모를 방지하기 위해 부설한 레일.
- 본선과 마모방지용 레일과의 간격은 탈선방지용 레일보다 좁아야 효과가 있음.

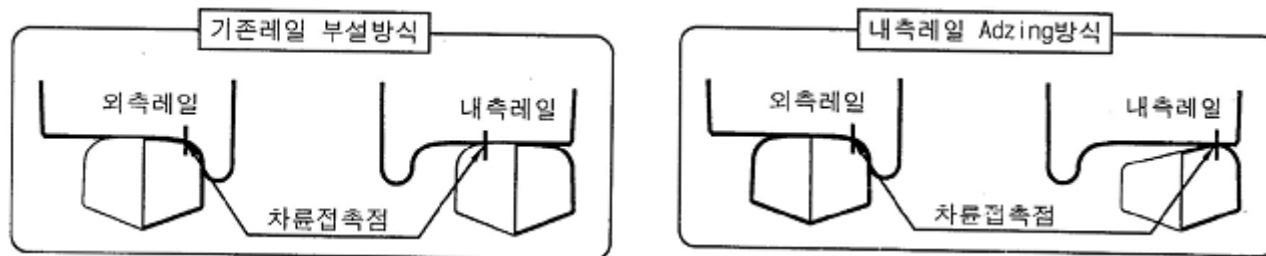


[그림] 마모방지레일

(7) 급곡선부 주행성 향상을 위한 두부처리

- 급곡선부의 경우 외측레일과 내측레일간 레일의 길이차에 비하여 차륜의 직경차가 현저히 작음.
- 내측레일에서 차륜이 공전을 함.
- 차륜공전에 의한 소음과 레일의 접촉부분 마모는 주행성을 악화시키고, 궤도재료의 수명을 단축시킴.
- 내측레일의 두부를 Adzing하여 곡선의 주행성 향상.

(일반적으로 곡선반경이 100m이하인 경전철 및 급곡선인 지하철에서 적용)

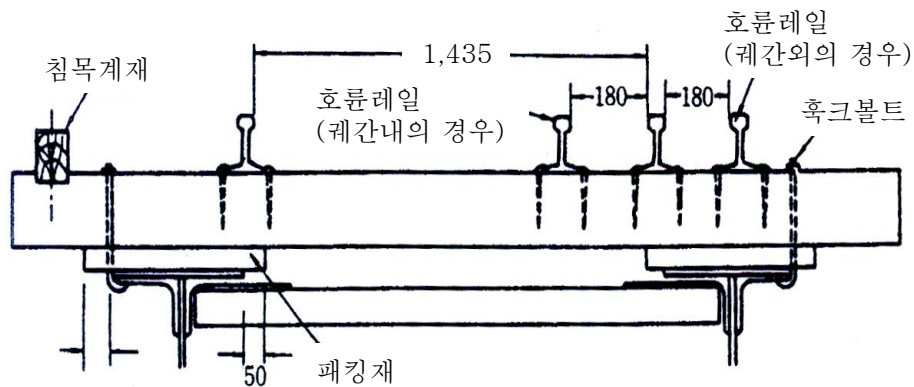


[그림] 내측레일 Adzing으로 차량의 곡선주행성을 향상시킨 모습

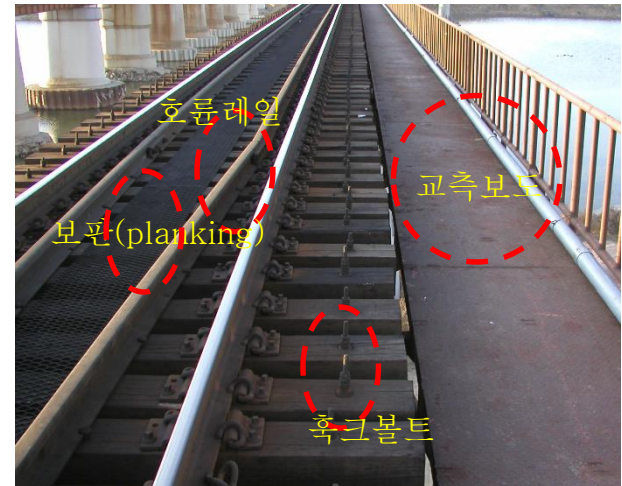
(8) 교량상의 궤도설비

교량상의 궤도설비중 제일 중요한것은 교량침목을 소정위치에 고정시키는 것이다.

- ① **훅볼트(hook bolt)**
 - 침목을 교형에 정착시키기 위해 사용.
- ② **침목계제(guard timber)**
 - 교량침목이 훅볼트만으로 고정되기 어려우므로 침목양단에 각재, 철판, 앵글, 종고레일 등으로 계재를 설치.
 - 교량침목의 이동을 방지.
- ③ **보판(planking)**
 - 작업원의 통행 또는 작업에 편리하도록 궤간내에 폭 약 30cm의 보판을 설치.
- ④ **대피소**
 - 장대교량에서 작업원이 열차 통과 시 일시 대피하는 장소.(30~50m의 간격으로 설치)
- ⑤ **교측보도**
 - 장대교량 혹은 투시가 불량한 교량에서 안심하고 작업과 대피를 할 수 있도록 교량편측에 설치한 보도.(약 1m)



[그림] 교량의 궤도설비



❖ 평가 문제

문제] 장척레일을 부설조건 3가지를 쓰시오.

- 1) 반경600미만의 곡선은 피한다.
- 2) 레일복진이 현저한 구간은 피한다.
- 3) 분기기 및 절연이음 전,후는 피한다.

문제] 레일궤환의 기준을 쓰시오.

- 1) 레일두부의 최대마모
- 2) 레일 마모부식에 따른 단면적 감소
- 3) 파상마모
- 4) 기타 운전상 위험하다고 인정되는 것

문제] 레일 편마모 방지대책을 쓰시오.

- 1) 레일의 경질화(경두레일 부설)
- 2) 마모방지레일 부설
- 3) 레일 도유 실시

문제] 레일이음매가 궤도상에 미치는 영향을 쓰시오.

- 1) 보수노력의 증대
- 2) 차량동요발생 및 소음, 진동발생
- 3) 승차 기분 저해

문제] 이음매 유간의 설치 목적을 쓰시오.

- 1) 레일의 장출 방지
- 2) 이음매판용 보울트에 무리가 걸리지 않기 위하여
- 3) 열차에 과대한 충격을 주지 않아야 하며 가능하면 정규 유간량에 틀림량이 2mm 이하가 되도록 하는 것이 바람직.

문제] 레일이음매 유간의 계산 설정요소를 쓰시오.

- 1) 레일 온도변화의 범위
- 2) 레일간의 팽창계수
- 3) 레일의 길이

문제] 이음매유간(12mm) 설정시 고려사항을 쓰시오.

- 1) 레일온도변화의 범위
- 2) 선팽창 계수
- 3) 레일의 길이
- 4) 이음매판과 레일간의 마찰저항
- 5) 레일과 침목간 체결저항
- 6) 침목과 도상간 도상저항

문제] 이음매판이 손상되는 주원인을 쓰시오.

- 1) 이음매판 보수불량**
- 2) 볼트이완**
- 3) 궤간틀림 및 유간의 과대**
- 4) 노반의 연약과 도상이완**

문제] 이음매판 볼트가 이완되는 이유를 쓰시오.

- 1) 열차 차량통과시의 진동**
- 2) 도상이 낮추어져서 이음매침목이 침하가 되었을 때**
- 3) 록크낫트왓샤 효과가 없어졌을 때**
- 4) 록크낫트왓샤의 취부(取付) 불량**
- 5) 유간의 확대 및 부식마모**

문제] 이음매볼트를 교호(交互)로 조이는 이유를 쓰시오.

- 1) 차량이 탈선하였을 때 가능한 손상을 적게 하기 위함
- 2) 30kg 레일은 궤간내에 취부하면 건축한계에 지장되며, 전부 궤간외로 취부 함
- 3) 37kg, 50kg 레일 및 N레일은 내외 교호로 취부 함
- 4) 탈선방지레일, 가드레일이 부설되어 있는 개소는 보수상 윤연로(輪緣路) 외측에 취부 함

문제] 궤도패드의 역할을 쓰시오.

- 1) 레일로부터의 진동감소
- 2) 충격완화
- 3) 하중분산
- 4) 복진저항증가
- 5) 전기절연

문제] 타이플레이트의 구비조건을 쓰시오.

- 1) 차량의 무게를 균등하게 분포하도록 충분한 넓이를 가져야한다.
- 2) 두께는 차량하중에 의해서 휘지 않는 정도의 두께를 가져야 한다.
- 3) 산(酸) 기타 불순물에 침해되지 않아야 한다.

문제] 타이플레이트의 부설효과를 쓰시오

- 1) 레일저부의 침목 침식을 저지하고 침목수명을 연장시킨다.
- 2) 레일이 받는 압력을 넓은면으로 분포시키기 때문에 침목손상을 막는다.
- 3) 스파이크류는 횡압력에 대하여 내외 2개가 일체가 되어 작용하므로 궤간의 틀림을 방지한다.
- 4) 스파이크의 지지력을 증대시키고 레일이 파상운동이 적으므로 승차감이 좋아진다.

침목(tie, sleeper)

(1) 침목의 역할

- 침목은 레일을 소정위치에 고정시키고 지지.
- 레일을 통하여 전달되는 차량의 하중을 도상에 넓게 분포시키는 역할을 함.

(2) 침목의 구비조건

- 1) 레일과의 견고한 체결에 적당하고 열차하중을 지지할 수 있을 것.
- 2) 강인하고 내충격성, 완충성이 있을 것.
- 3) 저면적이 넓고, 동시에 도상다지기 작업이 편리할 것.
- 4) 도상이동 (침목의 종 · 횡이동)에 대한 저항이 클 것.
- 5) 재료구입이 용이하고 가격이 저렴할 것.
- 6) 취급이 간편하고 내구년한이 길 것.
- 7) 전기절연성이 양호할 것.

(3) 침목의 종류

1) 사용목적에 따른 분류

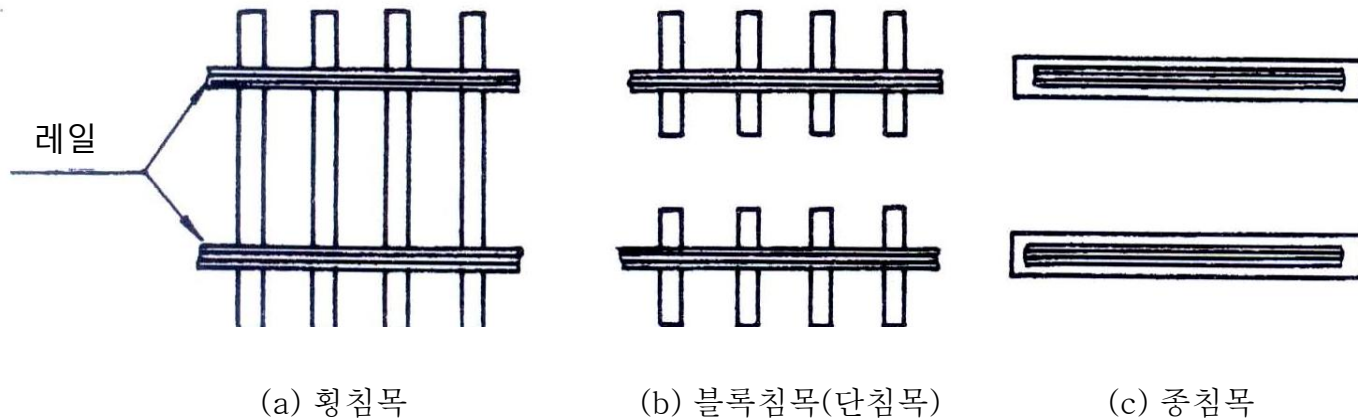
- ① **보통침목(common tie)**
- ② **분기침목(switch tie)**
- ③ **교량침목(bridge tie)**

2) 재질에 따른 분류

- ① **목침목**
 - **소재(素材)침목** : 목재에 주약(注藥)하지 않고 그대로 사용.
 - **주약침목** : 방부처리하여 사용.
- ② **콘크리트 침목**
 - **철근 콘크리트 침목(reinforced concrete tie)**
 - **P.S 콘크리트 침목(prestressed concrete tie)** : PC 침목이라 함.
- ③ **철침목(metal tie)**
- ④ **조합침목(composite tie)**

3) 부설법에 따른 분류

- ① 횡침목 : 레일의 직각으로 나란히 부설
- ② 블록침목(block tie) : 짧은 침목을 좌우 레일별로 부설. 단침목(mono block)
- ③ 종침목(longitudinal sleeper) : 레일방향으로 나란히 부설



(4) 목침목(Wooden tie)

1) 목침목의 장점

- ① 레일의 체결이 용이하고 가공이 편리하다.
- ② 탄성이 풍부하며 완충성이 크다.
- ③ 보수와 교환 작업이 용이하다.
- ④ 전기 절연도가 높다.

2) 목침목의 단점

- ① 자연부식으로 내구연한이 비교적 짧다.
- ② 하중에 의한 기계적 손상을 받기 쉽다.
- ③ 증기기관차의 경우 화상과 소상의 우려가 있다.
- ④ 충해를 받기 쉬우며 주약해서 사용해야 한다.
- ⑤ 갈라지기 쉽다.

3) 방부처리 방법(주약처리 방법 : 크레오소트52%+중유50%) : 침목의 수명연장

- ① 소재침목을 6개월~1년간 야적하여 완전히 건조시킨 후 크레오소드유의 가압주입법을 사용한다.
- ② 방부처리방법은 베셀법(Bethell), 로오리법(Lowry), 루핑법(Rueping), 불톤법(Boulton) 등이 있다.
- ③ 방부제 효과를 높이기 위해서 주약전에 침목표면에 자상을 내어 침목 전체의 주입효과를 올려야 한다.
- ④ 레일못 위치에 예비천공을 하여 레일못 주위에 주입도를 높인다.

4) 목침목 교환원인별 비율 (일본철도조사)

교 체 원 인	%
부 패	60.4
레 일 박 힘	15.4
할 열 (割裂)	12.4
레일못자리 불량	10.6
절 손	1.2

[표] 목침목의 종류와 크기

종 별	치 수(cm)	부 피(m³)
보통침목	(높이×폭×길이) 15×24×250	0.090
분기침목	15×24×280	0.101
	15×24×310	0.112
	15×24×340	0.122
	15×24×370	0.133
	15×24×400	0.144
	15×24×440	0.155
	15×24×460	0.166
교량침목	23×23×250	0.132
	23×23×270	0.145
	23×23×300	0.159
이음매 침목	15×30×250	0.113

침목(tie, sleeper)

(1) 침목의 역할

- 침목은 레일을 소정위치에 고정시키고 지지.
- 레일을 통하여 전달되는 차량의 하중을 도상에 넓게 분포시키는 역할을 함.

(2) 침목의 구비조건

- 1) 레일과의 견고한 체결에 적당하고 열차하중을 지지할 수 있을 것.
- 2) 강인하고 내충격성, 완충성이 있을 것.
- 3) 저면적이 넓고, 동시에 도상다지기 작업이 편리할 것.
- 4) 도상이동 (침목의 종 · 횡이동)에 대한 저항이 클 것.
- 5) 재료구입이 용이하고 가격이 저렴할 것.
- 6) 취급이 간편하고 내구년한이 길 것.
- 7) 전기절연성이 양호할 것.

(3) 침목의 종류

1) 사용목적에 따른 분류

- ① **보통침목(common tie)**
- ② **분기침목(switch tie)**
- ③ **교량침목(bridge tie)**

2) 재질에 따른 분류

- ① **목침목**
 - **소재(素材)침목** : 목재에 주약(注藥)하지 않고 그대로 사용.
 - **주약침목** : 방부처리하여 사용.
- ② **콘크리트 침목**
 - **철근 콘크리트 침목(reinforced concrete tie)**
 - **P.S 콘크리트 침목(prestressed concrete tie)** : PC 침목이라 함.
- ③ **철침목(metal tie)**
- ④ **조합침목(composite tie)**

(5) 콘크리트 침목(Concrete tie)

- 콘크리트 침목은 제조방법에 따라 R.C침목과 P.C침목으로 구분되며, 주로 P.C침목을 사용함.
- P.C침목은 Prestress 도입시기에 따라 프리텐션 방식과 포스트텐션 방식으로 구분.

※ 프리텐션방식(Pre-tension method)이란?

긴장 abutment에 P.C 강선을 병렬하고 소정의 인장력을 준 상태에서 콘크리트를 놓고 양생하여 경화된 후 거푸집 외측의 강선을 절단하므로써 P.C강선과 콘크리트와의 부착력에 의하여 침목에 압축응력을 도입시키는 공법.

※ 포스트텐션방식(Post-tension method)이란?

P.C 강봉이 콘크리트에 부착되지 않도록 한 후에 콘크리트가 경화한 후 P.C 강봉에 인장력을 주어 콘크리트에 압축응력을 도입시키는 공법.

1) 콘크리트 침목의 장점

- ① 부식의 염려가 없고 내구연한이 길다.
- ② 자중이 커서 안정이 좋기 때문에 궤도틀림이 적다.
- ③ 기상작용에 대한 저항력이 크다.
- ④ 보수비가 적게 소요되어 경제적이다.

2) 콘크리트 침목의 단점

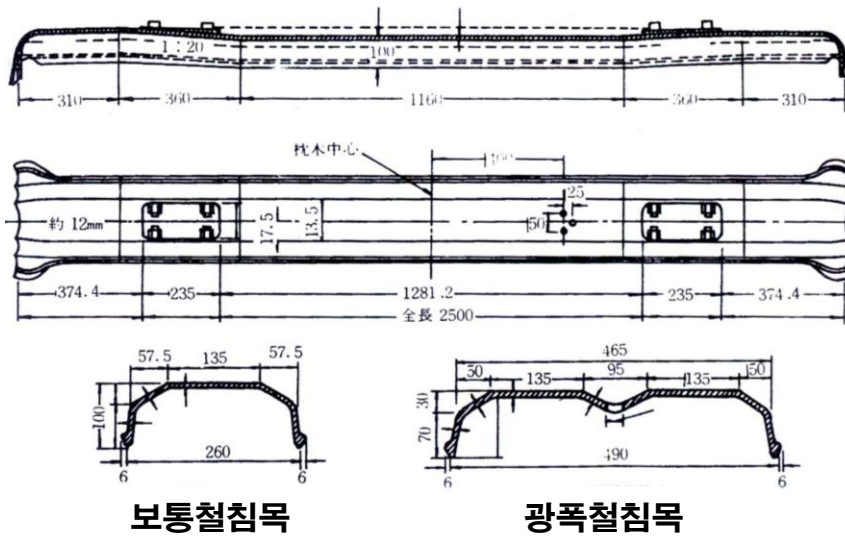
- ① 중량이 무거워 취급이 곤란하고 부분적 파손이 발생하기 쉽다.
- ② 레일체결이 복잡하고 균열발생의 염려가 크다.
- ③ 충격력에 약하고 탄성이 부족하다.
- ④ 전기 절연성이 목침목보다 부족하다.

3) P.C 침목의 특징

- ① 설계하중에 대하여 균열을 완전히 방지시킬 수 있으며, 혹시 과다하중으로 균열이 발생하였어도 P.C강선의 탄성한계 내에서는 실사용상 지장이 없다.
- ② 철근콘크리트 침목보다 단면이 작으므로 자중이 적고 재료를 절약할 수 있다.
- ③ 수입목침목에 비하여 가격에 대차가 없다.
- ④ 목침목보다 중량이 커서 궤도의 안전도가 높다.

(6) 철침목(Metal tie or steel sleeper)

평균중량 84.85kg



(6) 철침목(Metal tie or steel sleeper)

1) 철침목의 장점

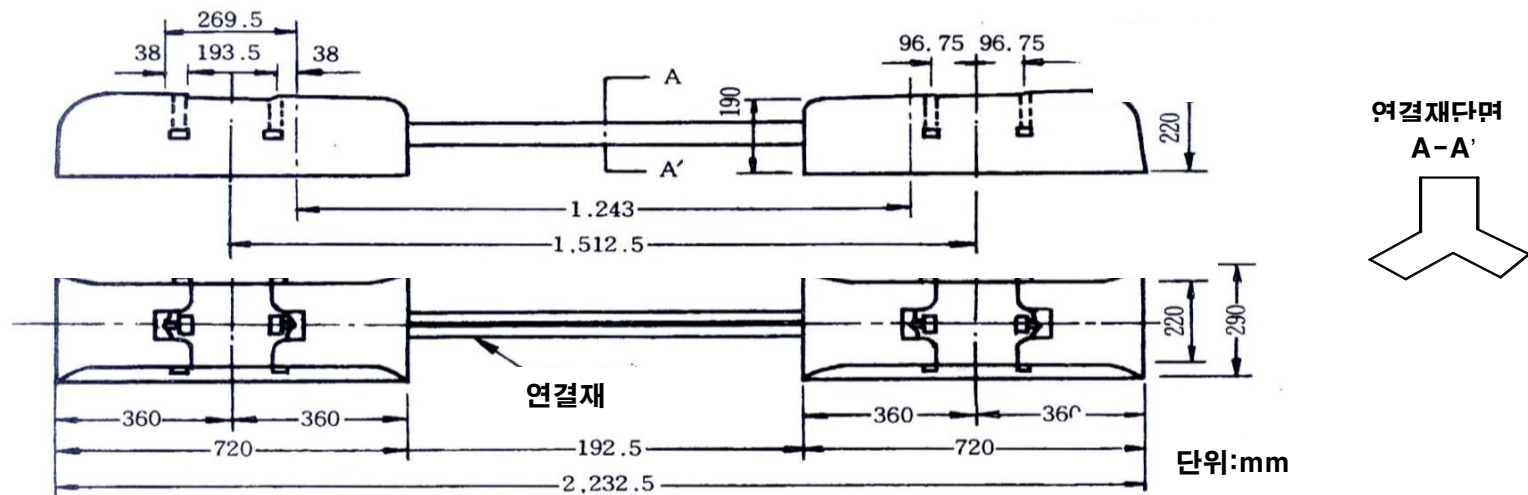
- ① 재질이 강인하므로 내구연한이 길다.
- ② 레일의 체결력이 견고하고 도상저항이 큼.
- ③ 궤간, 캔트 유지가 확실하므로 궤도 보수비가 적음.

2) 철침목의 단점

- ① 고가이다.(con'c 침목의 약2배)
- ② 습지 특히 해안지역에서는 부식하기 쉽다.
- ③ 레일의 체결장치가 복잡하다.
- ④ 전기절연을 필요로 하는 개소에는 부적당하다.
- ⑤ 방식을 고려하여야 한다.

(7) 조합침목(Composite tie, 組合枕木)

- 철근 콘크리트침목 이외에 철재와 콘크리트 또는 목재와 철재 등의 이종의 재료를 조합하여 각 부재의 장점을 발휘할 수 있도록 만든 침목으로 **조합침목**, **합성침목** 또는 **집성침목**이라 한다.



[그림] R.S. 콘크리트침목

※ R.S. 콘크리트침목이란?

콘크리트 침목의 일종. 2-블록침목.

2개 의 콘크리트 블록을 강재로 연결한 것으로 고안자인 프랑스의 Roger Sonnevile의 머릿글자를 따서 명명한 것. - STEDEF track system

(8) 침목의 배치

1) 침목의 배치간격 및 부설수(국철)

- 침목의 배치간격은 열차하중의 대소, 곡선반경 및 기울기의 대소와 밀접한 관계.

[표] 침목배치정수(횡침목방식의 경우)

침목종별	본선				측 선	비 고
	1급선	2급선	3급선	4급선		
P.C침목	17	17	16	16	15	10m 당
목침목	17	17	16	16	15	10m 당
교량침목	25	25	25	25	18	10m 당



4.7 도상(Ballast)

(1) 도상의 역할

- 레일 및 침목으로부터 전달되는 하중을 널리 노반에 전달할 것.
- 침목을 탄성적으로 지지하고 충격력을 완화해서 선로의 파괴를 경감시키고 승차기분을 좋게 할 것.
- 침목을 소정위치에 고정시키고 수평마찰력(도상저항)이 클 것.
- 궤도틀림 정정 및 침목교환 작업이 용이하고 재료공급이 용이하며 경제적인 것.

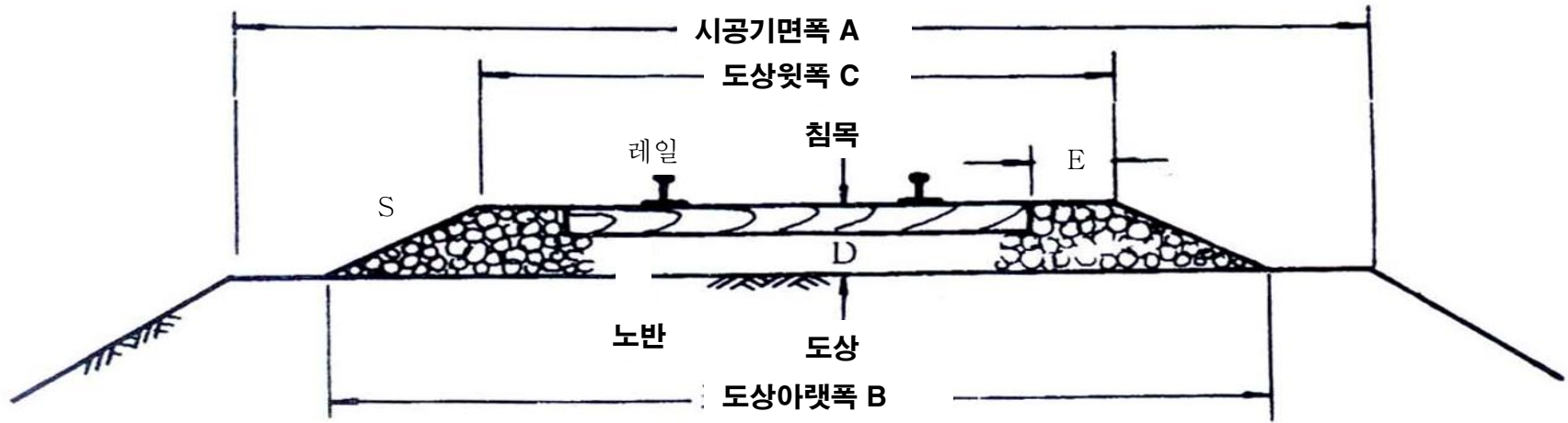
(2) 도상재료의 구비요건

- 경질로서 충격과 마찰에 강할 것.
- 단위중량이 크고, 모서리각이 풍부하고 입자간의 마찰력이 클 것.
- 입도가 적정하고 도상작업이 용이할 것.
- 점토 및 불순물의 혼입률이 적고 배수가 양호할 것.
- 동상 풍화에 강하고 잡초육성을 방지할 것.
- 양산이 가능하고 값이 싼 것.

(3) 도상재료의 종류

- 갠자갈(쇄석, crushed stone) : 화강암, 안산암 등 경암을 쇄석기로 파쇄한 것.
입경이 22.4~63mm 이내.
- 친자갈(gravel) : 재료구입 용이. 마찰력이 적어 근래에는 사용하지 않음.
- 광재(slag) : 용광로의 부산물인 괴재(clinker)를 파쇄하여 사용.
모서리각이 너무 커 침묵손상이 큼.
- 석탄재(cinder) : 증기기관차, 화력발전소 및 보일러에서 사용.
특별선, 중요치 않은 측선과 응급재료로 충당.
- 막자갈(pit run) : 수해응급, 특별선, 건설선에서 도상침하의 우려가 있을 경우에 한하여 사용.

(5) 선로등급별 도상치수



[그림] 도상횡단면도

[표] 도상 치수 종별

종 별 등 급	시공기면폭	도상아래폭	도상윗폭	도상두께	도상어깨폭	비탈기울기
	A(m)	B(m)	C(m)	D(m)	E(m)	S(m)
고속선	9.00	6.40	3.60	0.35	0.50	1:1.8
1급선	8.00	5.10	3.30	0.30	0.45	1 : 1.8
2급선	8.00	5.10	3.30	0.30	0.45	1 : 1.8
3급선	7.00	5.00	3.30	0.27	0.45	1 : 1.8
4급선	6.00	4.92	3.30	0.25	0.45	1 : 1.8

(6) 도상두께의 결정요인

- 열차하중의 크기와 속도, 통과톤수 등급에 따라 다르다.
- 침목하면에서 시공기면까지 25~35cm가 적당하다.
- 도상자갈의 측면기울기는 열차진동과 안식각(安息角)을 고려 1:1.5~1: 2.0으로 한다.
- 다지기작업, 보수작업, 궤도강도 등을 고려하여 결정한다.
- 침목의 형상치수, 침목간격, 도상재료의 하중분산성, 노반의 지지력 등을 고려하여 결정한다.

(7) 도상의 강도

1) 도상의 양부(良否)를 평가하는 요인

- 궤도틀림 발생량
- 진동가속도
- 승차 기분
- 보수 비용

2) 도상계수

- 공식 :

$$K = \frac{p}{r}$$

K: 도상계수(kg/cm³)

p: 도상반력(kg/cm²)

r: 측정지점의 탄성침하량(cm)

- K는 도상재료가 양호할수록, 다지기가 충분할수록, 노반이 견고할수록 큰 값.

- 판정기준

K = 5kg/cm³ : 불량노반

K = 9kg/cm³ : 양호노반

K = 13kg/cm³ : 우량노반

(8) 분니 현상(mud-gush)

1) 분니 현상이란?

- 열차의 반복하중에 의해 빗물로 연하게 된 노반의 흙이 도상채석 사이로 상승하여 도상을 고결화시키는 현상.
- 레일 이음매에서는 진흙탕물의 분출현상을 일으키기도 한다.

2) 분니 발생원인

- | | |
|--------------------|------------------|
| ① <u>노반의 배수 불량</u> | ② <u>도상두께 부족</u> |
| ③ <u>도상재료 불량</u> | ④ <u>노반토질 불량</u> |

3) 분니 발생개소

- | | |
|-----------------------|------------------------|
| ① <u>점토질의 깎기 개소</u> | ② <u>노반의 배수불량개소</u> |
| ③ <u>다지기작업 불량개소</u> | ④ <u>동상개소</u> |
| ⑤ <u>노반이 점토질인 개소</u> | ⑥ <u>불량토질이 수분 함유 시</u> |
| ⑦ <u>도상재료가 불량인 개소</u> | |

4) 분니 발생대책

① 토질의 치환

③ 유공관 매설

⑤ 약액주입

② 맹암거 설치

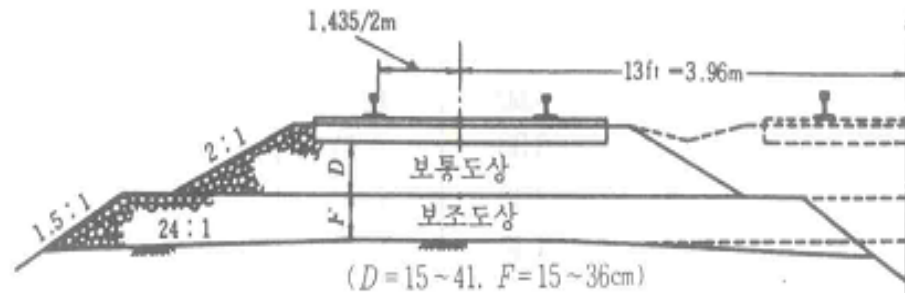
④ 지하배수

⑥ 그라우팅 및 콘크리트도상 대체방법(연약지반 보강 방법)

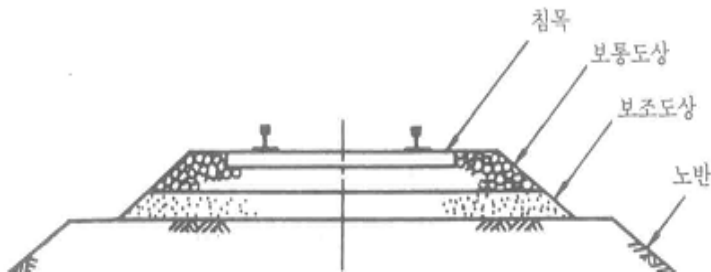
- 시공기면을 더 깊게 하여 보조도상을 설치
- 겔도랑을 깊이 파서 노반의 수분을 유도하여 배수상태를 양호하게 한다.
- 도상 및 노반의 연약지반을 치환하여 유공관이나 맹하수를 설치한다.
- 분니방지공법 적용

(9) 보조도상(補助道床, Sub ballast)

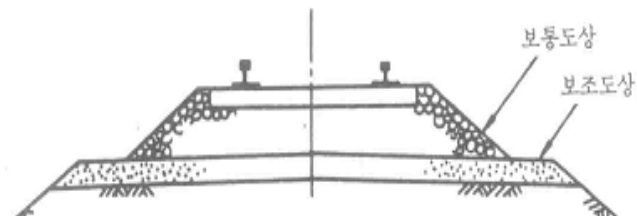
- 수송량이 큰 선로에서 도상의 두께를 더욱 크게하여 노반에 전달되는 압력을 균등하게 분포시킴.
- 연약노반, 습지 등에서 배수를 좋게함.
- 보통도상 하부에 두께 20-30cm 정도의 자갈, 석탄재, 호박돌 등을 깔아 배수효과를 증진시킬 수 있음.



(a) A.R.E.A(미국철도기술협회)의 표준단면 No.1



(b) 배수구배가 없는 경우



(c) 배수구배가 있는 경우

[그림] 보조도상(Sub ballast)

(10) 콘크리트 도상(concrete bed)

1) 콘크리트 도상의 필요성

- 보수작업이 불편한 지하철도와 장대터널, 건널목 등에 사용되어 왔으나 보수주기를 연장하고 고강도의 목적으로 근래에는 도시철도, 고속철도, 일반철도 및 터널에 많이 채택하고 있음.

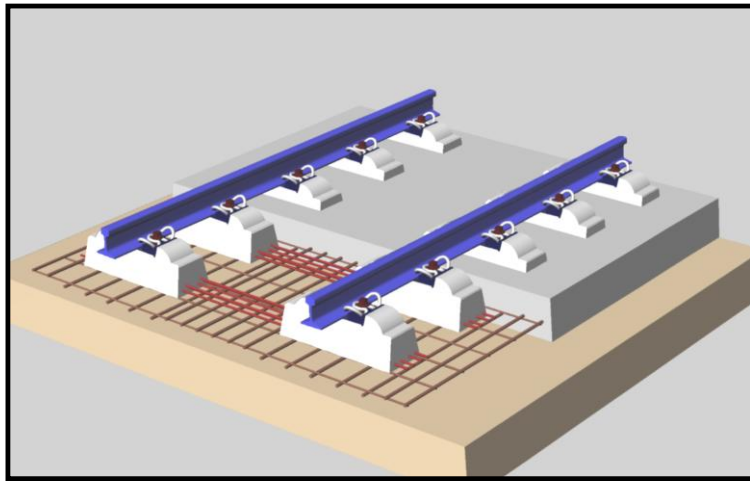
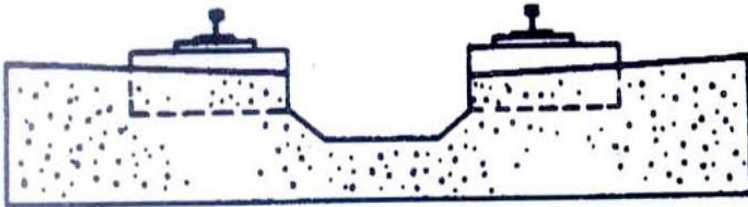
2) 콘크리트 도상의 장점

- 도상다짐이 불필요하므로 보수노력이 경감된다.
- 배수가 양호하여 동상이 없고 잡초발생이 없다.
- 도상의 진동과 차량의 동요가 적어 승객안전성과 승차감이 양호하다.
- 궤도의 세척과 청소가 용이함.
- 궤도틀림 진행이 적음.
- 궤도 횡방향 안전성 개선.(도상의 고강도 확보)
- 궤도강도가 향상되어 장대구간확대 가능.
- 궤도강도가 향상되어 에너지비용, 차량수선비, 궤도보수비 감소.
- 자갈도상에 비해 두께가 낮으므로 구조물의 규모를 줄일 수 있다.
- 차량탈선 시 궤도의 피해를 줄일 수 있다.
- 역구내의 청결유지 및 환경개선.

3) 콘크리트 도상의 단점

- 궤도의 탄성이 적으므로 **충격과 소음이 크다.**
- 시공기간이 길어 **초기 건설비가 크다.**
- **레일의 파상마모 우려가 있다.**
- 레일 이음매부의 손상, 침목교환, 도상파손 시 **수선이 곤란**하다.
- 장래 선로변경에 대한 융통성이 없음.
- 수명이 다했을 경우 **막대한 교환비용**이 듦.
- 탄성부족으로 충격과 소음이 높아 **별도의 방진설비가 필요.**

✓ 콘트리트도상은 탄성이 부족하여 이를 보충하기 위해 탄성체결장치 및 고무제 패드(Pad)로 탄성을 주고 있음.



LVT(Low Vibration Track)


(a) 단침목식



Alternative-II(서울지하철 당산철교)

(b) 직결식

[그림] 콘크리트 도상

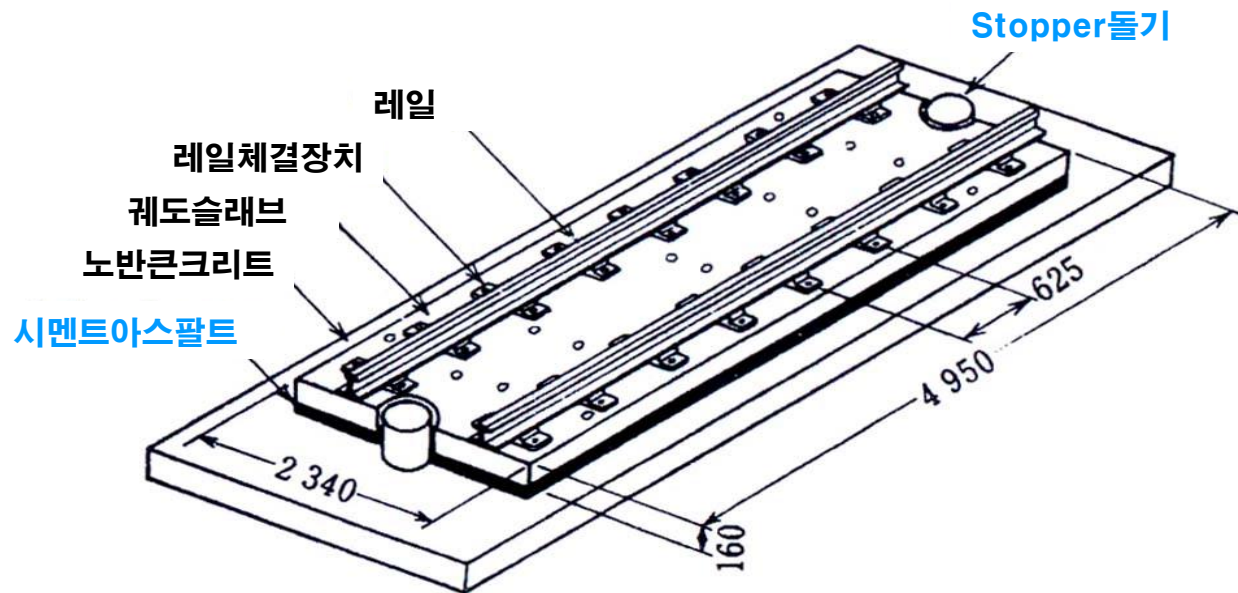
궤도구조	STEDF 궤도	L V T 궤도
구조개요	Bi-Block 형태의 RC침목을 Tie Bar로 연결하여 Pandrol 체결장치와 방진 상자를 조합하여 콘크리트도상에 매입한 구조	Bi-Block 형태의 RC침목(Tie-Bar없음)을 Pandrol 체결장치와 방진상자를 조합하여 콘크리트도상에 매입한 구조
사진		
적용사례	<ul style="list-style-type: none"> · 서울 2기 지하철(5,6,7,8호선) · 부산, 대전, 대구지하철 	<ul style="list-style-type: none"> · 외국 유로터널, 인천지하철 · 부산 3호선, 대구 2호선, 국철 터널구간
안전성	<ul style="list-style-type: none"> · 국내운영결과 안전성 보장 	<ul style="list-style-type: none"> · 국내운영결과 안전성 보장
소음·진동	<ul style="list-style-type: none"> · 저주파수대 유리 (인접시설 민원 대책 유리) 	<ul style="list-style-type: none"> · 저주파수대 유리 (인접시설 민원 대책 유리)
기술확보	<ul style="list-style-type: none"> · 국내 기술 충분 	<ul style="list-style-type: none"> · 국내 기술 충분
시공성	<ul style="list-style-type: none"> · 시공 용이 	<ul style="list-style-type: none"> · 시공 용이
자재조달	<ul style="list-style-type: none"> · 전 자재 국산화 	<ul style="list-style-type: none"> · 전 자재 국산화
교량적용성	<ul style="list-style-type: none"> · 방진재 기상노출 시 불리 예상 · 하중경감 불리 	<ul style="list-style-type: none"> · 방진재 기상노출 시 불리 예상 · 하중경감 불리

궤도구조	방진상궤도(영단형)	Rheda 궤도
구조개요	Mono Block 형태의 PC침목에 일본식 RN 체결장치 와 방진상자를 조합하여 콘크리트도상에 매입한 구조	Bi-Block형태, Mono Block, 또는 철근조합 RC침목형태에 독일식 System300 체결장치를 사용하여 침목을 직접 콘크리트도상에 매입한 구조
사진		
적용사례	<ul style="list-style-type: none"> · 서울1기 지하철 개량 · 광주지하철 · 일본지하철 	<ul style="list-style-type: none"> · 독일철도 · 경부고속철도 터널구간, 서울지하철3호선(동호철교일부)
안전성	· 국내운영결과 안전성 보장	· 독일철도 및 경부고속철도 운영결과 안전성 보장 판단
소음·진동	· 저주파수대 유리 (인접시설 민원 대책 유리)	· 고주파수대 유리 (차내 및 터널내 민원대책 유리)
기술확보	· 체결구 기술자료 확보 미흡	· 계속 자료 확보 필요
시공성	· 중량물이므로 시공 다소 불리	· 시공 용이
자재조달	· 전 자재 국산화	· 체결구 중 일부 부품 독일에서 수입 (점차 국산화 필요)
교량적용성	· 방진재 기상노출 시 불리 예상 · 하중경감 불리	· 기상작용에 영향 없음 · 하중경감 불리

궤도구조	Alternative 궤도	System336 궤도
구조개요	강판과 방진고무를 접착한 방진체결장치에 Pandrol체결구를 사용(Vossloh체결구 가능)하여 침목 사용 없이 콘크리트도상에 설치한 구조	강판과 콘크리트도상 사이에 탄성고무를 삽입한 방진체결장치에 Vossloh체결구를 사용하여 침목 사용 없이 콘크리트도상에 설치한 구조
사진		
적용사례	<ul style="list-style-type: none"> 독일, 호주철도 서울1기 지하철 개량(정거장) 부산, 대구, 대전, 광주지하철, 국철터널구간 	<ul style="list-style-type: none"> 독일철도 싱가폴 등
안전성	<ul style="list-style-type: none"> 국내운영결과 안전성 보장 	<ul style="list-style-type: none"> 독일철도 운영결과 안전성 확보가능 판단
소음·진동	<ul style="list-style-type: none"> 고주파수대 유리(차내 및 터널내 민원대책 유리) 	<ul style="list-style-type: none"> 고주파수대 유리(차내 및 터널내 민원대책 유리)
기술확보	<ul style="list-style-type: none"> 국내 기술 충분 	<ul style="list-style-type: none"> 계속 자료 확보 및 외국운영 자료 확인 필요
시공성	<ul style="list-style-type: none"> 시공 용이 	<ul style="list-style-type: none"> 시공 용이
자재조달	<ul style="list-style-type: none"> 전 자재 국산화 	<ul style="list-style-type: none"> 체결구 중 일부 부품 독일에서 수입(점차 국산화 필요)
교량적용성	<ul style="list-style-type: none"> 기상작용에 영향 없음 하중경감 유리 	<ul style="list-style-type: none"> 기상작용에 영향 없음 하중경감 유리

(11) 슬래브궤도(Slab Track)

- 직결도상 체결방식에 의한 콘크리트 도상과 노반사이에 시멘트 아스팔트 모르터를 완충재로 삽입시키는 궤도.
- 기존 콘크리트 도상의 약점인 소음과 진동을 감소시킬 수 있음.
- 산업구조의 변화로 중노동 기피 및 부족현상을 해결할 수 있는 생력화(省力化) 궤도.



[그림] 슬래브궤도

(12) 방진궤도 개발배경



철도의 고속화/중량화, 지하철구간증대로 인접 주변건물에 미치는 진동, 소음저감 필요성 증대

(1) 강화된 환경기준 만족

(2) 소음, 진동공해 발생 예방으로 민원대비

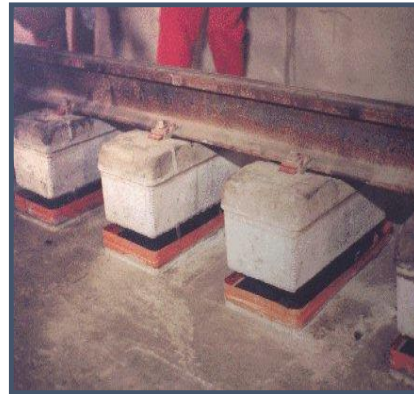


궤도구성품과 시스템의 방진성능을 향상한 방진궤도가 가장 효과적

Stedef형



LVT 방진침목



Floating Slab형

