

KR C-14050

Rev.2, 20. December 2016



장대레일



2016. 12. 20



한국철도시설공단

경 과 조 치

이 “철도설계지침 및 편람” 이전에 이미 시행 중에 있는 설계용역이나 건설공사에 대하여는 발주기관의 장이 인정하는 경우 종전에 적용하고 있는 우리공단 “철도설계지침 및 편람”을 그대로 사용할 수 있습니다.

일 러 두 기

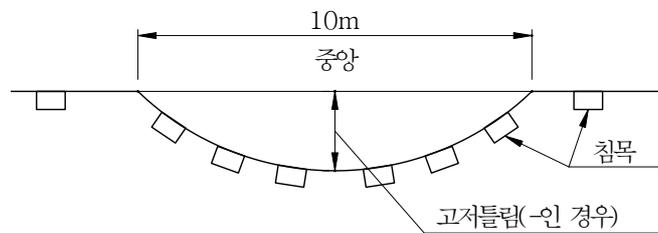
- 사용자의 이용 편의를 위하여 책 단위로 구성된 “철도설계지침” 및 “편람”을 국제적인 방식에 맞게 체계를 코드별로 변경하였습니다.
또한, 코드에 대한 해설 및 목차역할을 하는 KR CODE 2012, 각 코드별로 기준 변경사항을 파악할 수 있도록 Review Chart 및 Record History를 제정하였습니다.
- 이번 개정된 “철도설계지침 및 편람”은 개정 소요가 발생할 때마다 각 항목별로 수정되어 공단 EPMS, CPMS에 게시될 것이니 설계적용 시 최신판을 확인 바랍니다.
- “철도설계지침 및 편람”에서 지침에 해당하는 본문은 설계 시 준수해야 하는 부분이고, 해설(이전 편람) 부분은 설계용역 업무수행의 편의를 제공하기 위해 작성한 참고용 기술도서입니다. 여기서, 제목 부분의 편람은 각 코드에서의 해설을 총칭한 것입니다.

목 차

1. 용어의 정의	1
2. 장대레일화 설계의 기본방향	4
3. 장대레일 부설을 위한 선로 조건	4
4. 장대레일구간의 궤도구조 조건	5
5. 장대레일화 해석	5
5.1 흙노반구간의 레일장대화 해석	5
5.2 터널구간의 레일장대화 해석	6
5.3 교량구간의 레일장대화 해석	6
5.4 기준 요약	7
6. 장대레일 설정 및 용접기준	8
6.1 적용	8
6.2 장대레일 설정온도	8
6.3 장대레일 설정방법	8
6.4 장대레일 용접	8
6.5 장대레일 설정시 유의사항	8
6.6 설정의 기록	8
해설 1. 흙노반구간의 레일장대화 해석 보완	9
해설 2. 궤도/구조물 상호작용에 미치는 영향요소	12
해설 3. 레일 체결장치 상향력(Uplifting force) 검토	13
해설 4. 장대레일 용접	14
1. 용어정의	14
2. 일반사항	15
3. 후레쉬버트 용접	16
4. 가스압접	18
5. 테르밋트 용접	20
6. 엔크로즈드아크 용접	22
7. 용접의 품질관리	24
부록 1. 레일용접부 초음파 탐상	34
RECORD HISTORY	43

1. 용어의 정의

- (1) 강성(剛性) : 구조물의 단단한 정도를 말하며, 보통 단위 변형을 일으키는 힘의 크기로 나타냄
- (2) 건조수축(乾燥收縮) : 콘크리트에서 시멘트의 수화에 관여하지 않은 잉여수분이 증발되면서 콘크리트의 체적이 감소하는 현상
- (3) 고속철도(高速鐵道) : 열차가 주요구간을 시속 200킬로미터 이상의 속도로 주행하는 열차
- (4) 고저(면틀림) : 한쪽 레일의 레일길이 방향에 대한 레일면의 높이차

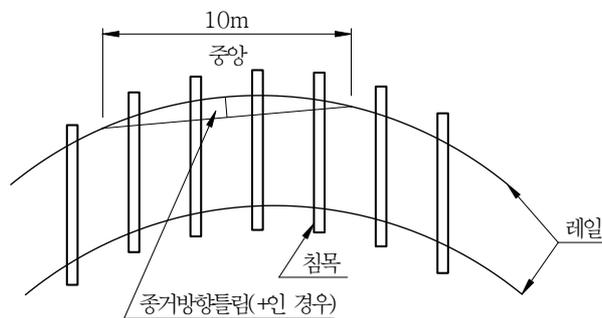


- (5) 궤간(軌間) : 양쪽 레일 안쪽 간의 거리 중 가장 짧은 거리를 말하며, 레일의 윗면으로부터 14밀리미터 아래지점을 기준으로 함
- (6) 궤광(軌框 : track panel) : 레일에 침목을 체결한 것으로 사다리 모양의 형상이 되어 있는 것
- (7) 궤도(軌道) : 레일 · 침목 및 도상과 이들의 부속품으로 구성된 시설
- (8) 궤도틀림(irregularity of track) : 열차의 반복하중에 의해 궤도에 발생하는 궤간, 수평, 방향, 고저, 평면성 등의 틀어짐
- (9) 노반(路盤) : 궤도를 부설하기 위한 토목구조물 및 토공
- (10) 도상(道床) : 도상은 레일 및 침목으로부터 전달되는 열차하중을 노반에 넓게 분산시키고, 침목 또는 체결장치를 소정위치에 고정시키는 기능을 하며, 온도에 의한 레일의 좌굴을 방지하고 침목의 종방향력에 저항하는 궤도재료로서 일반적으로 깎자갈 또는 콘크리트가 사용
- (11) 도상 저항력(道床 抵抗力) : 자갈도상 내의 침목이 수평 이동할 때 생기는 저항력
- (12) 도상 종저항력(道床 從抵抗力) : 침목의 이동이 궤도의 길이 방향일 때의 도상 저항력
- (13) 도상 횡저항력(道床 橫抵抗力) : 침목의 이동이 궤도와 직각 방향일 때의 도상 저항력
- (14) 레일(Rail) : 레일은 열차하중을 직접 지지하며, 차륜이 탈선하지 않도록 유도하여 차량의 안전운행을 확보. 레일은 침목과 도상을 통하여 열차하중을 넓게 노반에 분



포시키며, 원활한 주행면을 제공하여 주행저항을 적게 하고, 신호전류의 궤도회로, 동력전류의 통로도 형성하는 역할을 하여 열차를 안전하게 유도하는 궤도의 가장 중요한 재료

- (15) 레일신축 : 레일이 온도의 변화에 따라서 신축하는 현상
- (16) 레일응력 : 열차 하중에 의해서 레일에 발생하는 응력
- (17) 레일 체결장치(Rail fastening device) : 레일을 침목 또는 다른 레일 지지구조물에 결속시키는 장치를 레일 체결장치라 함. 레일 체결장치는 레일에 가해지는 각종 부하요소, 즉, 레일 상하방향, 레일 좌우방향, 레일 종방향의 하중 또는 작용력, 여기에 수반된 회전력, 충격력 및 진동에 저항할 수 있어야 함. 레일 체결장치는 좌우레일을 항상 바른 위치로 유지시켜야 하며, 이와같은 부하요소를 침목, 도상 등 하부구조에 전달 또는 차단하는 역할을 함
- (18) 레일 축력(Axial force) : 레일의 길이방향으로 발생하는 힘
- (19) 방향(줄뜰림 : 方向) : 궤간 측정선에 있어서의 레일 길이 방향의 좌우 굴곡차



- (20) 본선(本線) : 열차운행에 상용할 목적으로 설치한 선로 (예 : 주본선, 부분선)
- (21) 부동구간(不動區間) : 장대레일 단부에서 일정거리 이상은 레일의 변위가 발생하지 않는 구간
- (22) 부분선(副本線) : 정거장 내에 있어 주본선 이외의 본선 (예 : 상·하부분선, 착발선, 도착선, 통과선, 대피선, 교행선)
- (23) 분기기(Turnout or Switch) : 분기기는 열차 또는 차량을 한 궤도에서 타궤도에 전이시키기 위하여 설치한 궤도상의 설비
- (24) 선로(線路) : 차량을 운행하기 위한 궤도와 이를 받치는 노반 또는 인공구조물로 구성된 시설
- (25) 설정온도(設定溫度) : 장대레일 설정 또는 재설정시 체결장치를 체결하기 시작할 때부터 완료할 때까지의 장대레일 평균온도
- (26) 신축이음매(Rail expansion joint) : 신축이음매란 장대레일의 온도상승 및 하강에 따라 발생하는 축력이 허용 좌굴강도를 초과하거나 파단시 개구량이 허용량을 초과

하는 개소에 설치하는 장치

- (27) 열차(列車) : 동력차에 객차 또는 화차 등을 연결하여 본선을 운전할 목적으로 조성한 차량
- (28) 완화곡선(緩和曲線) : 캔트 체감에 대응한 곡률 저감을 위해 원곡선과 직선 사이에 위치하는 곡선
- (29) 유도상궤도(有道床軌道) : 자갈 또는 콘크리트 등의 재료로 구성되어 레일 및 침목으로부터 전달되는 차량하중을 노반에 넓게 분산할 수 있는 도상을 갖춘 궤도
- (30) 윤중(輪重) : 차량의 1개 차륜으로부터 레일에 가해진 수직인 힘
- (31) 일반철도(一般鐵道) : 열차가 주요구간을 시속 200킬로미터 미만의 속도로 주행하는 열차
- (32) 장대레일(長大) : 레일을 연속으로 용접하여 한 개의 길이가 200m 이상으로 구성된 레일
- (33) 장대레일 재설정(長大레일 再設定) : 부설된 장대레일의 체결장치를 풀어서 응력을 제거한 후 다시 체결함을 말함
- (34) 전동차 전용선(電動車 專用線) : 축중 180kN 이하의 전동차를 전용으로 운행하는 선로
- (35) 접속구간(接續區間) : 교량과 토공 또는 터널과 토공과 같이 노반상태가 변화하는 구간이나 유도상궤도와 무도상궤도와 같이 궤도구조 형식이 변화하는 구간
- (36) 정척레일(定尺) : 레일 한 개의 길이가 25m인 레일
- (37) 종곡선(縱曲線) : 차량이 선로기울기의 변경지점을 원활하게 운행할 수 있도록 종단면상에 두는 곡선
- (38) 좌굴(Buckling) : 레일의 온도상승에 의해 레일이 휘는 현상
- (39) 진동(振動) : 진동이란 질점 또는 물체가 외력을 받아 평형위치에서 반복 운동하는 현상. 진동에는 주기운동과 불규칙적으로 운동하는 비주기 운동으로 나눌 수 있음. 일반적으로 기계나 구조물은 질량, 강성, 감쇠가 분포된 계로써, 질량과 강성은 물체가 정적인 평형위치를 중심으로 진동하는 원인이 되며, 감쇠는 시간이 경과함에 따라 진동이 소멸되는 원인이 됨
- (40) 차량(車輛) : 선로를 운행할 목적으로 제작된 동력차·객차·화차 및 특수차
- (41) 철도(鐵道) : 전용 용지에 토공, 교량, 터널, 배수시설 등 노반을 조성하여 그 위에 레일, 침목, 도상 및 그 부속품으로 구성된 궤도를 부설하고 그 위를 기계적, 전기적 또는 기타 동력으로 차량을 운행하여 일시에 대량의 여객과 화물을 수송하는 육상 교통기관
- (42) 축중(軸重) : 차량 1쌍의 축이 레일에 가해진 수직인 힘
- (43) 충격하중(衝擊荷重) : 동적하중 중에서 레일절손, 용접부 불량, 차륜 플랫 등과 같은



열차운행 중 예외적으로 발생하는 하중을 말하며 비교적 변동이 큰 하중

- (44) 침목(Sleeper or Tie) : 침목은 레일을 소정위치에 고정시키고 지지하며, 궤간을 정확하게 유지하며, 레일을 통하여 전달되는 하중을 도상에 넓게 분포시키는 역할
- (45) 콘크리트궤도 : 도상구조에 콘크리트를 사용하는 방식의 궤도구조로서 ‘사전제작 콘크리트궤도’와 ‘현장타설 콘크리트궤도’ 등을 말함
- (46) 탄성계수(彈性係數) : Elastic Modulus 또는 Young’s Modulus 로 표현되며 임의 재질의 탄성 특성을 나타내는 척도로서 재질내 임의의 공간 위치와 시간에 대하여 응력과 변형을 사이의 비례계수. 탄성계수는 선형적으로 변형하는 주로 탄성범위 안에서 사용되는 철, 콘크리트, 유리, 등에 사용. 궤도자재 중에는 레일, 침목, 노반에 대하여는 탄성계수 사용을 원칙
- (47) 탄성(彈性)체결 : 레일을 침목에 탄성적으로 체결하는 것
- (48) PC침목 : Pre-stressed Concrete 침목
- (49) 하중(荷重) : 구조물 또는 부재에 응력이나 변형의 증감을 일으키는 전체의 작용력

2. 장대레일화 설계의 기본방향

- (1) 궤도와 구조물 상호작용 해석 및 이와 수반하는 설계의 기본방향은 교량상에 장대레일 부설시 좌굴 또는 궤도틀림 등 안전성에 미치는 영향과 함께 유지관리 부분을 고려하여 가능한 레일신축이음장치를 적용하지 않도록 설계한다.
- (2) 교량구간과 달리 구조물의 변위가 없는 일반 흡노반 구간과 터널구간의 경우는 도상 종저항력과 도상 횡저항력, 곡선반경이 장대레일에 미치는 좌굴안정성에 대하여 검토함을 목표로 한다.
- (3) 장대레일 해석 프로그램은 범용 유한요소 구조해석 소프트웨어 사용을 기본으로 하며 전용프로그램의 경우, 예제 검증을 통해 신뢰성을 확보한 후 사용하여야 한다.
- (4) 이 지침에 기재되지 않은 사항은 별도로 정하여 설계 할 수 있다.

3. 장대레일 부설을 위한 선로 조건

장대레일을 부설하는 장소는 다음에 따라 충분히 검토 결정하여야 한다.('선로정비지침' 제76조)

- (1) 자갈도상구간의 반경 300m 미만의 곡선에는 부설치 않는다. 다만, 600m 미만의 곡선에는 충분한 도상 횡저항력을 확보할 수 있는 조치를 강구해야 한다.
- (2) 기울기 변경점의 종곡선은 반경 3,000m 이상으로 한다.
- (3) 전장 25m 이상인 무도상 교량(교량침목)은 가능한 한 피하며 무도상 교량(교량침목) 구간에 장대레일화 설계시는 궤도의 종방향 및 횡방향 저항력을 충분하게 확보토록 하고 거어더 신축에 따른 상세한 장대레일 해석을 시행, 상응한 조치를 취해야 한다.

- (4) 반경 1,500m 미만의 반향 곡선은 연속해서 1개의 장대레일로 할 수 없다.
- (5) 불량노반 개소는 피하여야 한다.
- (6) 터널내만을 장대레일화 할 경우에는 별도로 시행하는 터널내 장대레일로서 부설 및 보수하여야 한다. 그러나, 일반 노천 장대레일 구간에 짧은 터널이 있을 시에는 이 기준에 따라 1개의 장대레일로 할 수 있다.
- (7) 밀림이 심한 구간은 피하여야 한다.
- (8) 흑열흡, 공전흡 등 레일이 부분적으로 손상되는 구간은 피해야 한다.

4. 장대레일구간의 궤도구조 조건

장대레일의 궤도구조는 주로 좌굴방지와 신축량 과다방지의 목적을 위하여 다음 의 조건을 구비하여야 한다.(선로정비지침 제77조)

- (1) 일반구간의 장대레일 양단에는 원칙적으로 레일신축이음장치를 사용하는 것으로 하 되 경우에 따라 완충레일을 부설할 수 있다.
- (2) 궤도강성을 확보하기 위하여 콘크리트침목 사용을 원칙으로 한다.
- (3) 토공, 터널구간의 경우에는 충분한 종방향 저항력확보를 위하여 비교적 강력한 체결 구를 적용토록 하며, 교량구간의 경우 거더 신축에 따른 장대레일 축력을 관리하 기 위하여 다소 하향조정된 체결구를 사용한다.
- (4) 장대레일을 곡선상에 부설할 때에 양쪽 레일신축이음장치의 위치는 가능한 한 곡선 시종점 부근의 직선상에 배치하는 것을 원칙으로 한다.
- (5) 레일은 50kg 또는 60kg의 신폼레일로 하되 정밀검사를 한 후 사용하여야 한다.
- (6) 침목은 원칙상 PC침목으로 하고 도상 횡저항력 500 kgf/m 이상, 도상 종저항력 500 kgf/m 이상이 되도록 침목을 배치하여야 한다.
- (7) 도상은 깎자갈로 하고 도상 저항력이 500kgf/m이 되도록 도상폭 및 두께를 확보하 여야 하며 필요시 장대레일 설정전에 도상 저항치를 확인하여야 한다.
- (8) 교량 위 레일체결부 및 침목과 거더와의 체결부는 횡방향의 저항력을 가질뿐 아니라 부상을 충분히 방지할 수 있는 구조이어야 한다. 그러나 무도상교량과 5m 이상의 유도상교량에 있어서는 전후방향의 종저항력을 주지 않도록 하여야 한다. 또 교대와 교각은 장대레일로 인하여 발생하는 힘에 대하여 충분히 견딜 수 있는 구조이어야 한다.

5. 장대레일화 해석

5.1 흙노반구간의 레일장대화 해석

- (1) 일반 토공구간의 경우 교량구간과 같이 상판의 신축으로 인한 추가발생 축력을 감안



할 필요가 없으므로 순수하게 장대레일에 작용하는 대기 온도변화에 의한 레일축력만을 검토하면 된다.

- (2) 흠노반 구간의 좌굴안정성에 관한 검토는 동일한 궤도 표준단면을 갖는 경우 해당 선구의 최소곡선반경에 대해서만 검토·시행 한다.
- (3) 도상 횡저항력의 산정
 - ① 도상 횡저항력은 운행선에서 측정된 횡저항력의 실측치를 이용하는 것을 원칙으로 한다.
 - ② 도상 횡저항력의 실측치 적용값은 침목 횡변위가 2mm로 될 때 측정된 침목 횡저항력값의 70%를 실효값, 즉 적용값으로 하며, 측정시기는 도상 다짐작업이나 도상 교환작업 직후와 같이 도상 횡저항력이 가장 저하되었다고 생각되는 시기를 선정하여 실시하는 것으로 한다.
 - ③ 실측값을 구할 수 없을 경우, 무재하 시의 침목 1개당 도상 횡저항력은 식으로 산정할 수 있다.
- (4) 궤도의 좌굴안정성에 관한 검토는 아래와 같이 접근한다.

$$P_{\max} \leq \frac{P_{t\min}}{1.2C_t}$$

여기서, P_{\max} : 상정된 레일 온도 변화에 의한 최대 레일 축압력

$P_{t\min}$: 레일종별, 도상 횡저항력 등의 조건으로부터 산출되는 궤도의 최저 좌굴강도

5.2 터널구간의 레일장대화 해석

- (1) 터널구간의 장대레일 해석은 토공구간의 장대레일 해석 방법과 동일하게 한다.
- (2) 터널구간의 온도변화는 터널 시·중점으로부터 100m 구간 이내의 구간에 대하여 $\pm 20^\circ\text{C}$ 를 표준으로 한다.

5.3 교량구간의 레일장대화 해석

교량구간의 축력계산은 교량설계자가 기초제원, 하부구조제원, 상부제원을 근간으로 해석을 시행한다. 레일장대화 해석은 일반적으로 수계산으로 하기에는 복잡하므로 범용 구조해석 프로그램을 이용하여 해석을 기본으로 하며, 궤도설계자는 이를 해석하고 교량설계시 적용되었던 레일신축 이음매, 체결구의 소요제원 등 각종 궤도제원을 궤도설계에 반영토록 한다.

5.4 기준 요약

구분	항목		하중	허용기준	
				자갈궤도	콘크리트궤도
상관 양단 모두 장대 레일 인 경우	레일부가응력	압축	· 온도하중 · 시/제동하중 · 열차수직하중	R ≥ 1500: 72N/mm ² R ≥ 700: 58N/mm ² R ≥ 600: 54N/mm ² R ≥ 300: 27N/mm ²	92N/mm ²
		인장	· 온도하중 · 시/제동하중 · 열차수직하중	92N/mm ²	92N/mm ²
	교량상관 종방향상대변위		· 시/제동하중	≤5mm	체결구 압상 및 압축 안정성 검토
	인접상관 끝단상부면 사이 또는 상관 끝단상부면과 교대끝단 상부면 사이 종방향변위		· 열차수직하중	· 교량/궤도 상호작용을 고려하는 경우 ≤8mm · 교량/궤도 상호작용을 고려하지 않는 경우 ≤10mm	
	인접상관 끝단상부면 사이 또는 상관 끝단상부면과 교대끝단 상부면 사이 단차		· 열차수직하중	· 열차속도 160km/h 이하인 경우 ≤2mm · 열차속도 160km/h 이상인 경우 ≤2mm	
일단에 신축 이음매 가 있는 상관인 경우	교량상관 종방향 상대변위		· 시/제동하중	≤5mm	체결구 압상 및 압축 안정성 검토
	인접상관 끝단상부면 사이 또는 상관 끝단상부면과 교대끝단 상부면사이 종방향변위		· 열차수직하중 (충격하중 포함)	· 교량/궤도 상호작용을 고려하는 경우 ≤8mm · 교량/궤도 상호작용을 고려하지 않는 경우 ≤10mm	
	인접상관 끝단상부면 사이 또는 상관 끝단상부면과 교대끝단 상부면 사이 단차		· 열차수직하중	· 열차속도 160km/h 이하인 경우 ≤3mm · 열차속도 160km/h 이상인 경우 ≤2mm	
	분기기 및 신축이음매가 있는 개소의 상관 꺾임각		· 열차수직하중	○	
양단에 신축이 음매가 있는 상관인 경우	교량상관 종방향 상대변위		· 시/제동하중	· 자갈도상이 상관끝단에서 연속으로 부설되어 있는 경우 ≤30mm · 상관끝단에서 자갈막이관이 있는 경우 ≥30mm	
	인접상관 끝단상부면 사이 또는 상관 끝단상부면과 교대끝단 상부면 사이 단차		· 열차수직하중	· 열차속도 160km/h 이하인 경우 ≤3mm · 열차속도 160km/h 이상인 경우 ≤2mm	
	분기기 및 신축이음매가 있는 개소의 상관 꺾임각		· 열차수직하중	○	



6. 장대레일 설정 및 용접기준

6.1 적용

레일축력을 고르게 분포시키기 위하여 중위온도에서 레일을 체결하는 장대레일 설정 계획 시는 철도건설공사 전문시방서(궤도편) 제2장 2-7을 적용한다.

6.2 장대레일 설정온도

- (1) 레일의 최고온도 및 최저온도는 $-20\sim 60^{\circ}\text{C}$, 중위온도는 20°C 를 기준으로 한다.
- (2) 자갈도상의 경우 5°C 를 더하여 25°C 로 하며 이때 레일온도는 중위온도 20°C 를 그대로 적용한다.
- (3) 토공구간은 자연온도에서 자갈도상 $25\pm 3^{\circ}\text{C}$, 콘크리트도상 $20\pm 3^{\circ}\text{C}$, 인장기 사용시 자갈도상 $0\sim 22^{\circ}\text{C}$, 콘크리트도상 $0\sim 17^{\circ}\text{C}$ 의 온도조건을 적용한다.
- (4) 터널구간(터널 입구에서 100m 이상 구간)에서는 자연온도에서 자갈도상 및 콘크리트도상 $15\pm 5^{\circ}\text{C}$, 인장기 사용시 자갈도상 및 콘크리트도상 $0\sim 10^{\circ}\text{C}$ 의 온도조건을 적용한다.
- (5) 교량구간에서는 자연온도에서 시행을 원칙으로 하며, 콘크리트 궤도에서 레일 $20\pm 3^{\circ}\text{C}$ ($17\sim 23^{\circ}\text{C}$), 교량거더 중위온도 $\pm 5^{\circ}\text{C}$ 를 적용한다.

6.3 장대레일 설정방법

- (1) 자연온도에서 설정
- (2) 인장기를 사용하여 설정

6.4 장대레일 용접

- (1) 용접방법은 가스압접 및 플래시벳 용접으로 한다.
- (2) 장대레일과 장대레일 연결은 테르밋 용접으로 한다.

6.5 장대레일 설정시 유의사항

- (1) 마지막 양로 작업을 하고 동적안정기로 안정화시킨 후에 시행한다.
- (2) 설정하기 전 도상 채움상태를 확인한다.
- (3) 레일 절단은 기용접된 부분을 절단한다.
- (4) 설정온도 범위는 상한치에서 하강중인 온도일 때 시행한다.
- (5) 설정시 타작업 및 타작업 열차운행 금지
- (6) 가열 또는 냉각을 필요로 하는 경우 미리 승인을 받는다.

6.6 설정의 기록

시공을 완료한 경우에는 시공완료 시마다 설정구간, 시공시의 기후, 기온, 설정온도 및 레일 각인 번호 등 필요 사항의 기록을 하여야 한다.

해설 1. 폭노반구간의 레일장대화 해석 보완

- (1) 레일의 온도변화는 부설 시의 온도 또는 재설정온도를 기준으로 +40°C, -20°C를 기준으로 한다.
- (2) 레일축력에 대해 레일이 축방향으로 전혀 구속되지 않고 자유로운 상태에서 대기 온도가 변화하게 되면, 레일은 선팽창계수에 따라서 신축하게 된다. 이때의 레일 신축량 Δl 및 축력 P는 선팽창계수에 따라서 신축하게 되며, 이때의 레일 신축량 Δl 은 다음 식을 이용한다.

$$P = 0$$

$$\Delta l = \beta \Delta t L$$

- (3) 레일이 완전하게 구속되어 있는 경우에는 레일의 축력은 다음 식을 이용한다.

$$\Delta l = 0 \quad \Delta l = \beta \Delta t L$$

$$P = EA\beta \Delta t$$

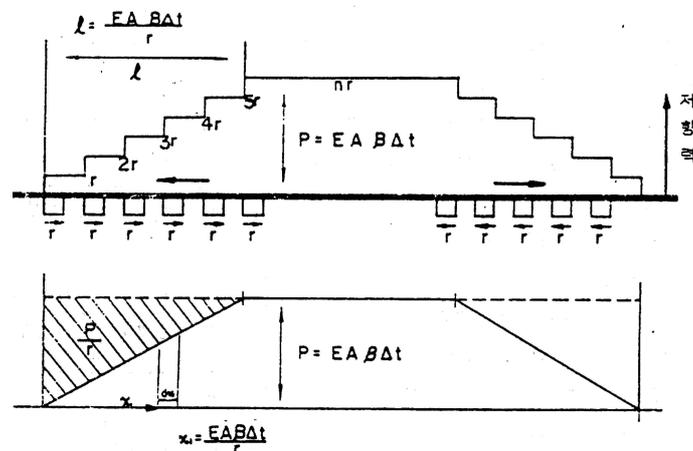


그림 1. 장대레일의 축력 분포 개요도

- (4) 장대레일 단부에서 부동구간까지의 신축구간의 길이 l 은 다음 식을 이용한다.

$$l = \frac{EA\beta \Delta t}{r}$$

이때, 장대레일 단부에서의 이동량 y_0 는 다음 식을 이용한다.

$$y_0 = \frac{1}{2EAro} (EA\beta \Delta t)^2 = \frac{EA\beta^2 \Delta t^2}{2ro}$$

여기서, P : 레일축력

L : 레일길이

y_0 : 장대레일 단부 이동량

E : 레일강의 탄성계수 ($2.1 \times 10^5 \text{N/mm}^2$)



A : 레일단면적

β : 레일강의 선팽창계수 ($1.14 \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$)

Δt : 장대레일 온도변화량 ($^{\circ}\text{C}$)

r_o : 도상종저항 (N/cm/레일)

(5) 도상 횡저항력의 산정

- ① 실측값을 구할 수 없을 경우, 무재하 시의 침목 1개당 도상 횡저항력은 다음 식으로 산정 할 수 있다.

$$g_o = a \times W_m + b \times \gamma_B \times G_t + c \times \gamma_B \times G_s$$

여기서, g_o : 침목 1개당의 도상 횡저항력

W_m : 침목 1개당의 궤광 중량

γ_B : 자갈도상의 단위 중량

G_t : 침목단부의 상변 주위의 단면1차 모멘트

G_s : 침목측면의 상변 주위의 단면1차 모멘트

a, b, c : 침목 및 도상 종별에 따른 계수

침목/도상 \ 계 수	a	b	c
콘크리트 - 쇄석	0.75	29	1.8
목 침 목 - 쇄석	0.75	29	1.3
목 침 목 - 자갈	0.6	29	1.4

(6) 궤도의 최저 좌굴강도에 관한 식은 다음을 따른다.

- ① $R \geq R_o$ 의 경우

$$P_{t_2} = 10.6J^{0.388}g_o^{0.521}$$

- ② $R < R_o$ 의 경우

$$P_{t_1} = 11.6J^{0.374}g_o^{0.534} - aJ^b g_o^c / R$$

여기서, $R_o = \frac{aJ^b g_o^c}{11.6J^{0.374}g_o^{0.534} - 10.6J^{0.388}g_o^{0.521}}$

P_{tn} : 파수 n의 좌굴 파형에 의한 궤도의 최저 좌굴강도

J : 레일의 휨강성

g_o : 도상 횡저항력

a, b, c : 계수

R : 곡선 반경

계수	레일 종별	
	50kgN	60kg
a	152	109
b	1.04	1.04
c	-0.266	-0.186

(7) 궤도의 좌굴안정성에 관한 조사는 다음을 따른다.

$$P_{\max} \leq \frac{P_{tmin}}{1.2C_t}$$

여기서, P_{\max} : 상정된 레일 온도 변화에 의한 최대 레일 축압력

P_{tmin} : 레일종별, 도상 횡저항력 등의 조건으로부터 산출되는 궤도의 최저 좌굴강도

$$C_t = \frac{\{P_{tmin}\}_{g=gr}}{\{P_{tmin}\}_{g=ga}} : \text{곡선 반경에 따른 안전율의 보정계수}$$

$\{P_{tmin}\}_{g=gr}$: 아래식에 의해 산출한 최저 좌굴강도

- 50N 레일의 경우 $gr = 23.2 + 10000/R$

- 60kg 레일의 경우 $gr = 26.8 + 14000/R$

$\{P_{tmin}\}_{g=ga}$: 실제 도상 횡저항력으로부터 구해진 최저 좌굴강도(P_{tmin} 과 동일)



해설 2. 궤도/구조물 상호작용에 미치는 영향요소

토공구간에 장대레일이 부설될 경우는 레일양단의 자유신축부를 제외하고는 그 내부에 레일변위는 발생하지 않고 응력만 발생하는 부동구간이 존재하게 된다. 그러나 부동구간 하부에 구조물이 있을 경우 구조물의 거동으로 인하여 궤도에 변위가 발생하게 되고 레일은 토공구간에 있는 부동구간과는 달리 길이방향으로 변위 및 응력변화가 발생하게 된다. <그림 2>은 부동구간하부에 구조물이 존재할 때 구조물의 열팽창에 의하여 상부 레일에 발생하는 응력 및 변위의 일례를 나타낸다.

이러한 현상은 궤도 및 구조물 제원 및 물리적 특성에 의하여 상호 연관되어 다르게 나타난다. 그에 대한 해석 규정은 KR C-08080 궤도-교량 종방향 상호작용 해석을 따른다.

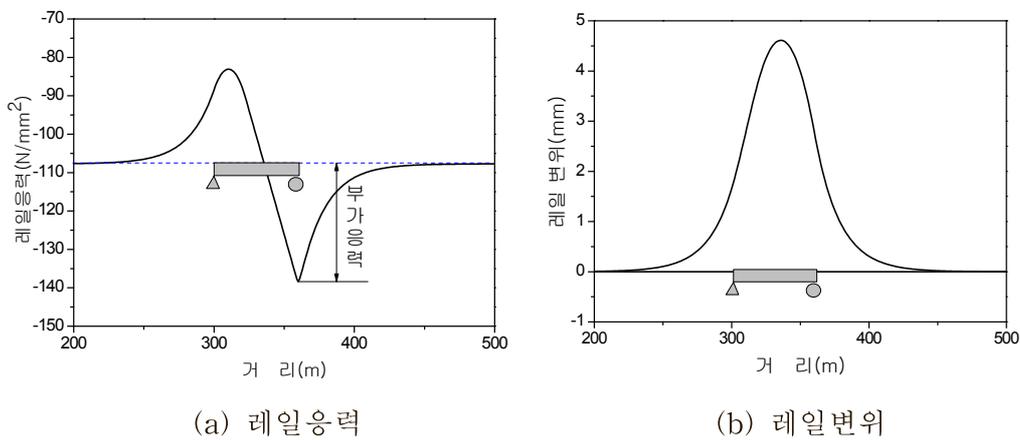


그림 2. 궤도/교량 상호작용에 의한 레일응력 및 변위발생

해설 3. 레일 체결장치 상향력(Uplifting force) 검토

- (1) 교량의 상판과 상판간의 접속구간, 즉, 토목구조물의 신축이음 위치에 대하여는 열차의 수직하중으로 인하여 레일의 들림을 일으키는 상향력을 검토할 필요가 있다. 이때 계산된 상향력의 최대치가 레일체결장치의 허용 상향력(체결장치의 체결력과 관계)을 초과하지 않도록 제한하여야 한다.
- (2) 레일에 상향력이 발생하는 요인은 다음과 같다.
 - ① 열차의 수직하중으로 인해 발생하는 인접 교량상판 간의 상대 변위
 - ② 교각기초의 침하에 따른 변위
 - ③ 상판 위아래(상.하면)의 온도차에 따른 변위
- (3) 레일체결장치 상향력에 관한 해석은 DS 804를 참고하여 FEM으로 해석할 수 있으며, 이와 관련된 레일체결장치의 기능성과 적용에서는 체결장치 제조사에서 제시한 값을 바탕으로 판단한다.



해설 4. 장대레일 용접

1. 용어정의

- (1) "레일용접(이하 "용접")"이라 함은 철도선로의 레일, 텅레일 및 크로싱의 수명연장을 위한 살부치기 용접과 레일 상호간의 연결을 위한 이음용접을 의미한다.
- (2) "레일용접공(이하 "용접공")"이라 함은 철도안전법 제77조 2항, 동법 시행령 제63조 4항 및 국토해양부 고시 제2007-274호에 의거, 국토교통부 위탁 자격관리기관에서 시행하는 철도레일용접인정자격 시험에 합격하여 철도안전전문인력(레일용접) 자격증명서(이하 "용접자격증명서")를 발급받은 자를 의미한다.(개정 2013.5.2.)
- (3) "현장기술자"라 함은 공사시행에 관하여 제법규 및 규정을 숙지하고 충분한 경험이 있는 자로서 발주처에 공사 착공계 제출시 등록된 자를 의미한다.
- (4) "감독자"라 함은 '국가를 당사자로 하는 계약에 관한 법률' 제16조 및 '건설기술관리법' 제27조 제4항 및 동법 시행령 제52조의 규정의 업무범위에서 정한 업무를 수행하기 위하여 공단이 임명한 직원 또는 그의 대리인을 의미한다. 다만, '건설기술관리법' 제27조의 규정에 의하여 책임감리를 하는 공사에 있어서는 당해공사의 감리를 수행하는 감리원을 의미한다.
- (5) "현장용접"이라 함은 기 부설된 궤도상 또는 부설 예정개소의 노반면에서의 용접을 말한다.
- (6) "언더컷(undercut)"이라 함은 용접할 때 발생하는 결함의 하나로 용착금속과 모재와의 경계에 용착금속이 채워지지 않고 홈이 되어 남아 있는 부분을 의미한다.
- (7) "블로우 홀(blow hole, 鑄接氣孔)"이라 함은 용접금속이 서로 접합되지 않고 작은 구멍이 형성되는 현상을 의미한다.
- (8) "트리밍(trimming)"이라 함은 용접부 외부에 과잉 응고된 용재나 압축용접시 용착부 둘레에 밀려나와 응고된 용융금속을 열기가 남아있는 동안에 제거하는 작업을 의미한다.
- (9) "노멀라이징(normalizing, 燒準)"이라 함은 재료의 입자가 크게 성장되어 조직이 거칠어지거나 내부응력이 축적되어 기계적 성질이 좋지 못한 것을 변태점 이상 40~60℃ 로 일정시간 가열하여 미세한 조직으로 만든 후 공기 중에서 서냉하여 적당한 강도와 경도로 만드는 작업을 의미한다. 아세틸렌을 이용하여 용접할 경우에 시행한다.
- (10) "운봉법(運棒法, weaving method)"이라 함은 살부치기 용접에서 용착금속이 모재에 용착된 형상이 구름 봉우리 형상으로 용착되도록 용접하는 방법을 의미한다.
- (11) "후퇴법(後退法, backstep method)"이라 함은 용재를 토치 뒤에 오게 하여 진행시키는 용접방법을 의미한다.

- (12) “비석법(飛石法, skip method)”이라 함은 용접선을 여러 구간으로 나누어 하나 건너씩 용접한 후 나중에 나머지 구간을 용접하는 방법을 의미한다.

2. 일반사항

(1) 사용 레일

용접시 사용하는 레일의 길이는 10m 이상의 것을 원칙으로 한다. 단, 부득이한 경우 10m이하 레일을 사용할 수 있다. 또한, 재사용레일을 사용하고자 할 경우에는 굴곡된 것을 사용하지 않도록 하고, 마모 단면을 선별하여 동일한 단면의 것끼리 사용하여야 하며, 단부의 끝닿음 부분은 충분히 절단한 후 용접하여야 한다.

(2) 레일 및 크로싱의 마모 및 훼손

살부치기 용접은 레일 및 크로싱의 일부 마모 및 결함으로 인하여 열차운행 및 선로보수에 지장이 있어 살부치기 용접이 필요한 경우에 시행하여야 한다.

(3) 레일 용접부의 재용접

- ① 최초로 가스압접, 플래시벧용접, 테르밋용접 공법으로 용접을 시행한 후에 훼손이나 결함 등이 발생하여 재용접이 필요한 개소에는 68mm 테르밋 용접을 시행하여야 하며, 용접부 절단길이는 최소 65mm 이상이어야 한다.
- ② 68mm 테르밋 용접을 시행한 개소에 재용접을 시행할 경우에는 용접부의 절단길이가 200mm 이상이어야 한다.

(4) 용접봉

레일용접 시에는 직경 4mm와 5mm의 고장력 강용피복 아크용접봉 또는 표면 경화용 피복아크 용접봉을 사용하되 이들의 물리적 성질은 다음 표를 따른다.

종 류	인장강도(MPa)	신율(%)
고장력강용	800 이상	20 이상
표면경화용	800 이상	10 이상

(5) 용접봉의 취급

용접봉은 피복재가 벗겨지지 않도록 주의하고, 훼손되었거나 습기를 흡수한 것은 사용하지서는 안되며, 사용 전에 반드시 105±5℃의 온도로 1시간 이상 건조시킨 후에 사용하여야 한다.

(6) 레일 절단

레일을 절단할 경우에는 반드시 수직 고정 장치가 장착된 레일절단기를 사용하여 수직으로 절단하여야 한다.

(7) 후로우 제거

살부치기 용접을 할 경우에는 모재의 표면을 그라인딩 하여야 하고, 후로우를 완전히 삭제 제거하여야 한다.

(8) 레일 천공



레일에 구멍을 뚫을 경우에는 반드시 레일드릴을 사용하여야 하고, 천공면은 손줄 또는 그라인더 등으로 면밀히 정리하여야 한다.

(9) 사전 다듬질

용접 시 레일절단이 필요 없는 경우에는 와이어 브러시나 스톱 햄머 등으로 레일 단부면 및 용접부 전후 10cm 구간을 철저히 청소하여 불순물과 녹 등을 완전히 제거하여야 한다. 특히 가스압접 시에는 단면용 그라인더로 단면을 다듬질한 후 전면의 거칠기가 50S(KS B0507)가 되도록 하고, 각의 둘레를 줄로 삭정하여야 한다.

(10) 끝 다듬질

용접 후 용접개소의 여성부는 모재면(저부는 제외)에 맞추어 다듬질하되, 다듬질 후의 표면 거칠기는 레일 두부의 상면 및 측면에서 50S, 복부 및 기타 부분에서 100S 이내이어야 한다.

(11) 원상복구

레일 체결장치 해체 등과 같이 용접하기 전에 준비 작업으로 행한 궤도의 임시 변상(變狀) 및 재료의 이동 등은 용접이 끝난 즉시 감독자 입회하에 원상복구 하여야 한다.

(12) 철거발생품

공사 중에 발생된 철거발생품은 감독자의 지시에 따라 적치 정돈하여야 한다.

(13) 방청도유

레일 용접 후 또는 크로싱 재생 후에는 용접부의 모든 표면을 깨끗이 청소하고 백 등유 등을 발라야 한다.

(14) 표시

- ① 이음용접 시공 후에는 용접부 근처 레일 두부 측면의 윗면에서 하방 20mm 지점에 글자의 윗부분이 일치되도록 스탬프 펀치를 이용하여 용접년도와 용접공 고유번호를 표시하여야 한다. 이 때의 표시 양식은 다음과 같다.

○ ○ ○ ○ ○ ○
용접년도 용접공 고유번호

- ② 글자의 크기는 가로 6.6mm x 세로 10mm가 되도록 한다.

3. 후레쉬벳트 용접

(1) 개요

접합할 두 레일을 서로 맞대어 큰 전류를 통전시킴으로써 후레쉬를 발생시켜 부재를 가열하고, 단면이 용융한 시점에서 강한 압력을 가해 접합하는 방법이다.

(2) 용접과정

- ① 예비 Flash
- ② 예열

- ③ Flashing
- ④ Up set
- ⑤ Trimming
- ⑥ 연삭

(3) 특징

- ① 다른 용접부에 비해 영향부가 좁다
- ② 열 영향부의 경도가 높다.
- ③ 용접시간이 타용접에 비해 비교적 빠르다(3~5분)
- ④ 전공정이 비교적 자동화되어 있어 용접품질의 신뢰가 높다.

(4) 레일의 단부 및 측면처리

- ① 레일의 단부는 전류의 흐름이 원활하도록 녹 및 기름 등의 불순물을 제거하여야 한다.
- ② 용접기의 전극이 접촉하는 레일복부의 양쪽측면은 전류의 흐름이 원활하도록 연마를 하여야 하고 양각 문자는 제거하여야 한다. 이때 연마면의 위치 및 크기는 감독자의 승인을 받아야 한다.
- ③ 레일단부의 경사, 요철은 3.0mm이하가 되도록 한다. 부득이 3mm를 초과하는 경우에는 수동으로 플래시를 발생시켜 레일 접합면을 가능한 평행하게 한 후 단면의 플래시메탈을 제거한다.

(5) 레일의 맞춤 및 중심합치기

- ① 용접할 레일은 용접기 내로 삽입하여 정확한 위치에 정치시켜야 한다. 레일의 중심 및 면맞춤은 정확히 시행하여야 하며, 특히 레일공차 등에 의하여 레일면이 다른 경우에는 레일 두부상면 및 궤간선측을 기준으로 하여 조정한다.
- ② 최종적으로 전극과 클램프로 고정시킨 상태에서 레일 단면간의 거리가 3~6mm가 되도록 조정한다. 레일과 접촉하는 전극면은 불순물이 없도록 사포, 줄, 압축공기 등으로 깨끗이 청소하여야 한다.
- ③ 용접기 전극면의 마모상태를 수시로 점검하고 이상 마모 등이 발생할 경우에는 이를 즉시 교환하여야 한다.

(6) 용접시공

- ① 용접조건은 용접기의 사양에 따르되 감독자의 승인을 얻은 후에 시행할 한다.
- ② 용접부에 유해한 결함이 발생한 경우에는 레일절단기로 절단하고 재용접할 한다.
- ③ 용접은 다음 조건을 표준으로 시공할 한다.

레일 종별	예열 회수	플래시량 (mm)	가입량 (mm)	용접시간 (sec)
50N	4	15~25	14~28	60~110
60kg	6	15~25	14~28	70~120



④ 트리밍후 용접부 교정은 “4. 가스압접 (4) 레일맞춤 및 중심합치기”를 준용할 한다.

(7) 용접시공시 준수사항

- ① 용접 부착물(Burr)은 용접 후 즉시 절단기로 제거하여야 하며, 시공시 용접 부착물의 잔여분은 연마기로 제거하여야 한다. 이 때 다른 부분이 손상 받지 않도록 하고, 절단기날은 항상 레일 두부를 중심으로 좌우 등간격으로 절단할 수 있도록 조정하여야 한다.
- ② 용접개소의 주위상황에 맞게 간이막이를 설치하여 위험요소를 제거하고, 바람 또는 지열로 인하여 용접품질이 영향을 받지 않도록 사전조치한 후 용접을 시행한다.

(8) 두부 열처리레일용접의 후열처리

두부 열처리레일을 용접할 경우에는 “4. 가스압접 (8) 두부 열처리레일용접의 후열처리”에서 정한 바에 의하여 후열처리를 하여야 하고, 경도측정위치는 [별표 3]과 같다.

4. 가스압접

(1) 개요

산소, 아세틸렌으로 접합할 레일의 양단면을 약 1,200℃로 가열하여 압접하는 방법이다.

(2) 용접과정

- ① 레일에 압접기 설치
- ② 가압력 설정
- ③ 가열 및 압접
- ④ Trimming
- ⑤ 열간 교정
- ⑥ 연삭

(3) 특징

- ① 용접시간이 빠른편이다.(5~8분)
- ② 플래시 버트 용접과 같은 정도의 신뢰성이 있다.

(4) 레일맞춤 및 중심합치기

- ① 단면이 오손 또는 변형되지 않도록 레일을 도입한다.
- ② 단면의 직각은 틀림이 없어야 하며 레일 두부면의 차는 0.1mm 이하로 한다.
- ③ 양단면을 합칠 때의 틀림은 저부에서 0.2mm 이내, 복부에서 0.4mm 이내로 한다.
- ④ 이음용접 후 레일의 사용방향(좌측 또는 우측)이 확실한 것은 레일 두부 상면과 궤간 내측을 직선이 되도록 한다.
- ⑤ 레일의 사용방향(좌측 또는 우측)이 확실치 않은 것은 좌우 방향을 중심으로 맞추고 상하 방향은 두부 상면이 직선이 되도록 한다. 단, 오차는 저부 하면으로 가도록 한다.

(5) 레일 교정

레일의 엇갈림, 굴곡 등은 적열(適熱) 중(공법에 따라 노멀라이징 후)에 교정하여야 한다. 교정 도중에 냉각되어 교정이 곤란한 경우에는 재가열한 후에 교정하여야 한다.

(6) 트리밍

- ① 가열 압접이 끝난 후에는 되도록 빨리 트리밍하되, 트리밍은 적열 중에 시행하고, 깊이 깎여 들어가지 않도록 하며, 여유 두께가 1~1.5mm가 되도록 한다.
- ② 레일이동 및 가공은 트리밍이 끝난 후 용접중심부의 두부 표면온도가 600℃이하가 된 후 시행한다.

(7) 가압 및 가열표준

- ① 가압, 가열 및 용접은 장비제작자의 사용 설명서와 다음 표에 의한다.

레일 종별	가압력 (ton _f)	크램프 압력 (ton _f)	혼합가스 압력 (mmHg)	압축량(mm)	
				HH340 HH370	기타
50N	16~18	20~21	45~60	30이상	24이상
60	17~19	20~21	50~65	30이상	24이상

(8) 두부 열처리레일용접의 후열처리

- ① 후열처리 전에는 후열처리용 버너의 정비, 각종 압력계 및 유량계의 조정 등 사전준비를 면밀히 한다.
- ② 후열처리장치를 사용할 경우에는 가열개시 및 시공시간, 가열범위, 공냉시간, 공냉범위 등에 유의하고, 다음 조건을 표준으로 한다.

가. 용접중심부의 두부 표면온도가 600℃가 될 때 재가열을 시행하며, 용접 범위를 열처리하여 적당한 온도(레일 두부표면온도 약 1,000℃)까지 가열한 후 버너를 끄고 강제 공냉한다. 이때 버너의 움직임 폭은 150mm로 한다.

나. 가열조건은 다음 표를 표준으로 한다.

구분	유량계 입구압력	유량계눈금
산소	5.0 bar (0.5 MPa)	100 ℓ/min
아세틸렌	0.6 bar (0.6 Mpa)	100 ℓ/min

다. 냉각을 시행할 경우에는 용접기 통과 직후 200초(HH340=300초, HH370=480초) 동안 신속히 송풍을 시행한 후 송풍기 스위치를 끄고, 레일두부표면의 온도가 250~300℃가 되면 공냉헤드와 레일 두부표면간의 거리를 10mm로 유지한다.

라. 연화부의 범위(쇼어 경도 HH370=49, HH340=47이하)는 20mm이하이어야 한다.

마. 후열처리 후의 레일두부면 경도는 [별표 1]에서 정한 위치에서 측정하고 다음의 경도가 되어야 한다.



경도별	브리넬 경도	쇼어 경도	비커스 경도
HH370	331 ~ 388	49 ~ 56	331 이상
HH340	321 ~ 375	47 ~ 53	311 이상

5. 테르밋 용접

(1) 개요

산화철과 알루미늄 분말과의 혼합에 의한 테르밋 반응에 따라 2,000℃ 정도의 발열에 의해 용융한 용강을 접합할 레일 사이에 주입하여 용접하는 방법

(2) 용접과정

- ① 접할 부재간 적당한 간격을 유지하고,
- ② 그 주위를 몰드로 감싸고,
- ③ 몰드내 모재를 예열,
- ④ 도가니 내의 테르밋 용제에 점화
- ⑤ 테르밋 반응으로 생성된 용강을 도가니로부터 주입
- ⑥ 몰드 및 도가니 제거
- ⑦ Trimming
- ⑧ 연삭

(3) 특징

- ① 전원 및 가압장치가 필요 없다.
- ② 기동성이 좋다.
- ③ 사용기구가 간단하다.
- ④ 용접부가 주물이어서 용접결함이 생기지 않는다.
- ⑤ 레일바닥의 여성이 응력집중의 원인이 되어 강도적으로는 다른 용접법보다 약하다.

(4) 레일 조정

- ① 이음매판을 철거하고 양편으로 2, 3개 정도의 레일 체결장치를 풀어 늦추어 놓는다.
- ② 이음매부의 부식, 후로우 등을 정리한 뒤, 25mm 용접일 경우에는 유간이 25±1mm (PLA 경우 25±2mm), 68mm 용접일 경우에는 유간이 68±3mm가 되도록 한다. 단, 용접 시 적정한 유간이 없는 경우에는 레일을 절단한다.
- ③ 레일단면은 “2. 일반사항 (9) 사전다듬질”에 의하여 청소한다.
- ④ 레일의 양측면은 1m 수평 철자로 측정하여 직선이 되도록 하고, 레일 두부는 이음매부의 중심을 기준으로 하여 1m 직각자의 한쪽 끝이 1.75~2.0mm가 낮아지도록 한다.

(5) 몰드 설치

- ① 고정 장치는 소정위치에 견고히 고정시키고 형틀은 한쪽에 고정시킨 다음 다른 한쪽을 맞추어 고정시키고 양측을 견고하게 조인다.
- ② 틈막이 모래가 이음매부 내로 들어가지 않도록 하며, 용철이 새지 않도록 형틀의 저

부, 측면을 빈틈없이 막은 다음 예열버너로 모울드 내의 모래 등을 날려 청소한다.

- ③ 도가니는 고정장치 위에 설치하여야 하며, 오토탭과 프라그는 소정 위치에 정확히 거치한다.

(6) 예열

산소 압력은 5bar(0.5MPa), 프로판 압력은 1.5bar(0.15MPa)로 조정(PLA 경우 산소 1.5bar,프로판 0.4bar)하여 예열을 시행하여야 하며, 이 때 레일두부로부터 버너파이프까지의 간격과 예열시간은 다음 표를 표준으로 한다. 또한, 포장을 제거하지 않은 1회용 도가니를 사용하여 완전 건조 상태에서 작업해야 한다.

<레일두부로부터 버너파이프까지의 간격>

구분	원형 버너파이프	사각 버너파이프
간격(mm)	40	50

<레일종류 및 용접방법에 따른 예열시간>

레일종류	50kg _t /m		60kg _t /m	
	용접방법		용접방법	
용접방법	25mm 용접	25mm 용접	68mm 용접	68mm 용접
예열시간(분)	4	5	6	6

(7) 점화 및 주입

- ① 예열하는 동안 도가니에 테르밋 용제를 넣고, 예열이 끝난 후에 점화제를 주입하여 용제를 점화시키며, 이 때 반응은 약 40초 내외에 완료되어야 한다.
- ② 용제는 오토 탭을 사용하여 자동 탭핑 되도록 하고, 오토 탭의 작동시간은 점화 후 15~30초를 표준으로 한다. 또한, 표준 작동시간을 벗어난 경우에는 재용접을 원칙으로 하나, 작동시간이 미세하게 벗어난 경우에는 주의 깊게 끝 다듬질 검사를 시행하여 결함유무를 확인하고, 이상이 없을 경우 다음 공정으로 진행한다.

(8) 몰드 제거

25mm 용접을 할 경우에는 용철이 흘러 주형 내에 들어간지 3분 이후(PLA 경우 5분 30초), 68mm 용접을 할 경우에는 10분 이후에 몰드 케이스 및 클램프 장치를 해제하고, 다시 6분(68mm 용접 경우 12분)이 경과하면 레일 상면에서 약 10mm까지의 상부 몰드를 제거한다. 이 때 레일 복부 및 저부의 몰드는 제거하여서는 안 된다.

(9) 트리밍

트리밍은 적열 중에 전단 잭크를 사용하여 시행하되, 깊이 깎여 드러나지 않도록 하고, 여유 두께 1~1.5mm를 확보하여야 한다. 또한, 서냉한 후의 레일 상면은 “2.일 반사항 (9) 끝 다듬질”의 표면 거칠기 기준을 만족하도록 끝 다듬질을 시행하여야 한다. 저부 측면의 경우에는 여성부를 레일면과 같게 양쪽 모두 같아야 한다.

(10) 두부 열처리(레일용접의 후열처리)



두부열처리 레일을 용접할 경우에는 “4. 가스압접 (8) 두부 열처리레일용접의 후열처리”에 따라 후열처리를 시행하여야 한다.

6. 엔크로즈드아크 용접

(1) 개요

피복용접봉과 레일을 전극으로 하여 그 사이에서 발생한 전기 아크열로 용접봉을 용융시켜 모재의 일부와 함께 용접금속을 형성하여 용접하는 방법

(2) 용접과정

- ① 레일 정렬 및 사금과 동판 설치
- ② 예열
- ③ 용접(저부→복부→두부)
- ④ 사금절단
- ⑤ 후열처리
- ⑥ 연삭

(3) 특징

- ① 작업시간이 비교적 길다.(150~180분)
- ② 전원설비가 비교적 대형이다.
- ③ 용접 강도가 비교적 높지만 용접공의 기량에 따라 품질 신뢰도가 좌우된다.

(4) 적용 범위

엔크로즈드 아크용접은 이음용접, 레일 끝닿음용접 및 크로싱 살부치기용접, 레일두부표면 살부치기용접 등에 적용한다.

(5) 레일 조정

이음용접의 경우에는 레일의 단면간 거리는 $17\pm 3\text{mm}$ (두부열처리레일의 경우 $14+3\text{mm}$, $14-2\text{mm}$)를 표준으로 하고, 단면을 맞출 때에는 사용방향에 따라 레일 두부 및 궤간 내측이 직선이 되도록 맞추어야 하며, 냉각 후 수평이 되도록 레일 조정 시 4~5mm정도의 캠버를 붙여야 한다.

(6) 예열

- ① 이음용접시 모재를 예열할 경우에는 레일 단면의 양측 약 150mm를 균등 가열하고, 레일 저부는 500°C 가 되도록 가열하며, 예열이 레일 단면 전체에 미치도록 한다. 레일 끝닿음 용접 및 크로싱 살부치기 용접에서 모재를 예열할 경우에는 레일 두부에 필요한 길이만큼 $120\sim 180^{\circ}\text{C}$ 가 되도록 가열하여야 한다.
- ② 용접봉 직경에 따른 사용전류의 표준은 다음과 같다.

용접봉 직경	전류
4mm	130~170A
5mm	200~250A

(7) 동판설치

이음용접을 할 경우에는 중앙부에 V자형으로 특수 가공된 동판을 레일 밑바닥 면에 붙인 후 그 위에 용접을 시행하여야 한다. 또한, 레일 끝닿음 용접 및 크로싱 살부치기 용접을 할 경우에는 레일 저부 양측을 버팀쇠로 고정시켜야 하고, 용접을 개시할 때 아크는 이 버팀쇠에서 발생시켜야 하며, 두부 양측에 자석으로 동판을 붙인 다음 용접을 시행하여야 한다.

(8) 용접방법

- ① 운봉법은 원형운봉 또는 반원형운봉을 이용한다.
- ② 용접선과 용접봉 간의 각도는 70~80°를 유지한다.
- ③ 용접은 비석법으로 시행하되 1차 용착두께는 2.5~3.0mm 이하, 용착폭은 8mm 이하, 용입은 1.5mm 이상으로 한다.
- ④ 용접부의 초과두께는 1~2mm 정도로 할 것
- ⑤ 용접진행방향에 따른 용접방법은 후퇴법을 사용한다.
- ⑥ 용접봉은 포장을 개봉하지 않은 것을 사용하고, 개봉한 것을 사용할 경우에는 건조로에서 105±5℃로 1시간 이상 건조시킨 뒤에 사용하도록 한다.

(9) 이음용접

- ① 저부용접은 동판위에 용접을 하여 레일저부를 만든다.
- ② 복부 및 두부 용접은 수냉장치된 치구로 둘러싸인 공간을 용접하되 매 1층 용접이 끝나면 쇄슬로 슬래그를 제거한 다음에 용접을 시행한다.
- ③ 용접이 끝나면 치구를 제거하고 버팀쇠를 토치 램프로 절단 한다.

(10) 표면경화용 및 고장력강용 용접봉

레일 끝닿음 용접 및 크로싱 살부치기 용접에 사용하는 표면경화용 용접봉과 고장력강용 용접봉은 60~70% : 30~40%의 비율로 사용하여야 한다.

(11) 끝 다듬질

서냉이 끝나면 “2. 일반사항 (9) 끝다듬질”에서 정한 바에 의하여 끝 다듬질을 하여야 한다.

(12) 레일두부표면 살부치기 용접 절차

- ① 예비연마 : 결함의 폭, 깊이, 주행면의 위치 및 통과조건을 감안하여 레일연마 단면을 정한 후 예비연마를 시행하여야 한다.
- ② 자분탐상검사 또는 침투액수평분할탐상 : 레일표면의 결함상태를 확인하고, 결함이 발견될 경우 연마를 다시 시행하여 결함이 발견되지 않도록 하여야 한다.
- ③ 예열 : 레일온도가 350~400℃이내로 가열하여야 한다.
- ④ 용접방법 : 테두리선을 먼저 작업한 다음 좌, 우로 이동하면서 용접을 시행한다.
- ⑤ 초벌다듬기 연마 : 주행면을 기준으로 금속부의 초과 두께가 0.54mm를 넘지 않도록 연마하여야 한다. 단, 마감연마 시행을 위하여 초과 두께가 0.3mm 이하로 내려가지 않도록 연마한다.



- ⑥ 마감연마 : 용접 후 레일두부의 최종단면을 복구하여야 한다. 마감연마는 레일 온도 50℃ 이하에서 시행하여야 하며 지나치게 연마되지 않고 평평하게 유지되도록 한다. 이 때 틈새 게이지로 측정된 초과 두께는 곡선부를 포함하여 0.1~0.2mm 사이여야 한다.
- ⑦ 후열처리 : 용접부 끝에서 100mm 이상을 600~700℃로 20분(표준)간 후열처리를 한 후 석면포를 덮어 20분 이상 서냉시켜야 한다.
- ⑧ 끝다듬 : 서냉이 끝나면 “2. 일반사항 (13) 끝다듬질”에서 정한 바에 의하여 끝다듬 손질을 하여야 한다.

7. 용접의 품질관리

(1) 기상조건

현장에서 시행하는 테르밋트 용접의 경우 우천, 강풍 등 용접 결과에 나쁜 영향을 미칠 우려가 있으므로 용접을 하지 말아야 한다. 용접을 하려면 야간작업이나 습도가 많은 날의 용접은 지양하되 별도의 방호설비를 하고 용접품질에 나쁜 영향을 미치지 않는다고 인정이 되어 승인을 받는 경우에는 가능하다.

(2) 끝다듬

① 끝다듬 종사자

끝다듬 종사자는 충분한 경험을 가진 자로 하며 이에 종사하는 자 중 1명은 레일 용접 기술자를 배치한다.

② 끝다듬 시공

용접부 표면 거칠부는 레일두부상면 및 궤간선 쪽은 50S 이상으로 하고 최종 연삭시는 그라인더의 작업 방향을 레일 길이방향으로 한다.

끝다듬 후 레일용접 끝다듬 정도는 8. 용접부의 검사 (7) 줄맞춤 및 면맞춤 검사 같으며, 검사방법은 <그림 1><그림 2>와 같다.

그림 1. 줄맞춤 검사

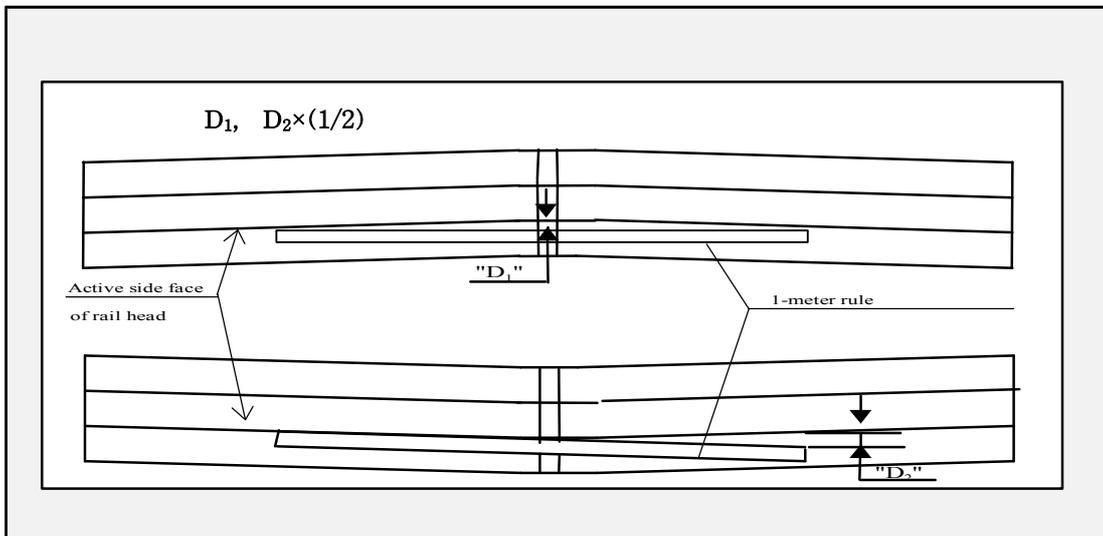
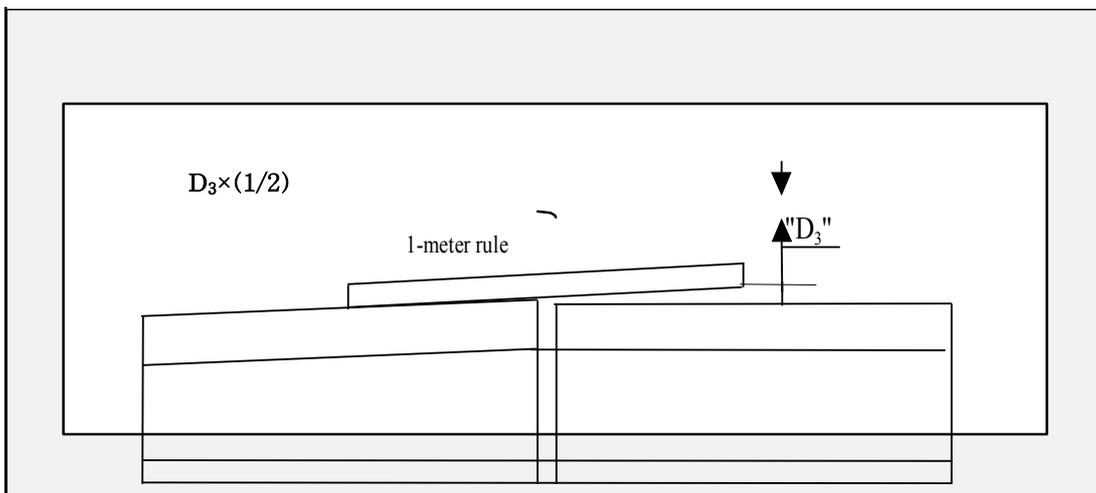


그림 2. 면맞춤 검사



③ 자분탐상에 의한 확인

레일 용접부의 자분탐상에 의한 확인은 전 용접개소에 대하여 시행하고 균열 및 손상 등의 유해한 결함이 없어야 한다.

④ 초음파 탐상에 의한 확인

레일 용접부의 초음파 탐상에 의한 확인은 전 용접개소에 대하여 시행하고 균열, 블로우 홀, 모래구멍 등의 유해한 결함이 없어야 한다.

8. 용접부의 검사

(1) 검사종목

- ① 용접방법별 검사종목은 다음과 같다. 다만, 엔크로즈드 아크용접 중에서 레일 및 크로싱 살부치기용접은 외관검사와 경도시험만을 시행한다.



용접공법 검사종목	엔크로즈드 아크용접	가스압접 용접 *주)	테르밋 용접	플래시벳 용접
외관검사	전수	전수	전수	전수
침투 탐상검사	전수		전수	전수
자분 탐상검사	전수	전수		전수
초음파 탐상검사	전수		전수	전수
경도시험	5%이상 (1개소5점)	5%이상 (1개소5점)	5%이상 (1개소5점)	5%이상 (1개소5점)

* 주) 가스압접용접의 검사종목 중 좌측란의 자분탐상검사가 곤란한 경우는 우측란의 침투탐상 및 초음파탐상검사를 실시한다.

(2) 외관검사

레일용접부에 대한 외관검사는 다음 각 호를 검사하되, 결점이 있어서는 안된다.

- 가. 두부면 요철, 균열
- 나. 굽힘, 비틀림
- 다. 언더컷, 블로우홀

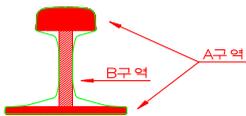
(3) 자분탐상검사

검사결과 유해한 결함이 없어야 한다.

(4) 초음파 탐상검사

① 모든 용접개소에 대하여 레일 용접부의 초음파 탐상을 실시하여 용합불량(불출분한 용해)과 같은 유해한 결함이 없어야 한다.

② 측정 위치



- 가. 두부 및 저부 : 2등급 이상의 결함
- 나. 복부 : 3등급 이상의 결함

③ 결함의 범위

구역	유해한 결함의 범위
A구역	2, 3, 4등급
B구역	3, 4 등급

④ 결함등급의 분류는 KR C-14050 장대레일 [부록 1] “레일용접부 초음파 탐상”에 의한다.

(5) 경도시험

브리넬 또는 쇼어 경도로서 다음 범위 내에 들어야하며, 경도측정위치는 [별표 4]와 같다.

구 분	브리넬 경도(Hb)	쇼어 경도(Hs)
경도 범위	240~340	36~50

단, 브리넬 경도시험은 표준강구(d=10mm),

하중 3,000kg_f 사용

(6) 낙중시험 및 굴곡시험

- ① 시험편의 제작은 별도 지급레일을 길이 750mm±50mm로 절단하고 당해공사와 동일 조건에서 용접하여 소정의 열처리 및 마무리를 한다. 용접별 시험편의 제작본 수는 1회에 2개로 하며 시험편에는 공사건명, 시공년월일, 시공장소, 시공회사명, 시공자명 및 시공시의 전·후 날씨, 기온 등의 환경상태를 표시한다.
- ② 낙중시험은 용접부를 중심으로 지점간 거리를 914mm로 하여 중량 907kg_f의 추를 0.5m 높이로부터 0.5m씩 낙고를 높이면서 반복 시행하며, 다음 표의 최대 높이에서도 레일 두부 및 레일 저부의 어느 부분에도 파손, 균열, 터짐이 없어야 한다.

<낙중시험 최대높이>

레일종류	엔크로즈드 아크용접	가스압접 용접	테르밋 용접	플래시벳 용접
50kg _f /m 신폼레일	1.5m	2.0m	1.5m	2.0m
60kg _f /m 신폼레일	2.0m	3.0m	2.0m	3.0m
50kg _f /m 사용레일	1.0m	1.5m	1.0m	1.5m
60kg _f /m 사용레일	1.5m	2.5m	1.5m	2.5m

- ③ 굴곡시험은 낙중시험을 할 수 없을 경우에 시행한다. 이 때 용접부를 중심으로 지점간 거리는 1.0m로 하고, 레일두부와 저부를 각각 상면으로 놓은 후 레일 용접부를 일정속도로 가압한다. 시험은 각각 1분씩 시행하며, 시험결과 2분 모두 다음 표에 기재된 최대하중 및 처짐량 이상에서 균열 또는 파단이 발생하지 않아야 한다.

레일 종별	레일 종별	가압 방법	적요	엔크로즈드 아크용접	가스압접용접		테르밋용접		플래시벳 용접
					일반	경두	일반	경두	
신폼 레일	50 kg _f /m	두부상	하중	100ton _f	100ton _f		85ton _f		100ton _f
			처짐	25mm	25mm		10mm		25mm
	두부하	하중	85ton _f	90ton _f		80ton _f		90ton _f	
		처짐	15mm	20mm		13mm		20mm	
	60 kg _f /m	두부상	하중	140ton _f	140ton _f	140ton _f	110ton _f	110ton _f	140ton _f
			처짐	25mm	25mm	10mm	13mm	10mm	25mm
두부하	하중	115ton _f	125ton _f	125ton _f	110ton _f	110ton _f	125ton _f		
	처짐	15mm	20mm	9mm	13mm	9mm	20mm		
사용 레일	50 kg _f /m	두부상	하중	70ton _f	75ton _f		70ton _f		70ton _f
			처짐	25mm	25mm		10mm		25mm
	두부하	하중	70ton _f	75ton _f		70ton _f		70ton _f	
		처짐	15mm	20mm		13mm		20mm	
	60 kg _f /m	두부상	하중	100ton _f	105ton _f		90ton _f		105ton _f
			처짐	25mm	25mm		10mm		25mm
두부하	하중	95ton _f	105ton _f		95ton _f		95ton _f		
	처짐	15mm	20mm		13mm		20mm		



(7) 줄맞춤 및 면맞춤 검사

용접 후의 **궤간내부의** 줄맞춤 및 면맞춤 틀림은 용접부를 중심으로 **1m직각자로** 검사하여야 하며 **레일두부 및 궤간내측부에** 한하여 10배 확인이 가능한 **레일직진도** 검사기로 점검할 수 있다. 줄맞춤 및 면맞춤에 대한 틀림값은 다음 치수 이내 이어야 한다.

종별 항목	신폼레일(mm)		중고레일 (mm)
	고속철도	일반철도	
줄맞춤	±0.3	±0.4	±0.5
면맞춤	+0.3	+0.4	±0.5
	0.0	-0.1	

(8) 끝 다듬질 검사

끝다듬 검사는 KS B0507(표면거칠기 표준면)에 따라 촉감 및 시각 등으로 비교 검사하여 “2. 일반사항 (10) 끝다듬질”에서 정한 기준을 만족하여야 한다.

(9) 재용접부의 검사

재용접 개소에 대한 용접방법별 검사종목 및 품질기준은 『8. 용접부의 검사』에서 정한 바에 의한다.

(10) 보관 및 보고

감독자는 공사감독일지와 [별표 5]의 시공기록표를 하자담보책임기간(5년) 동안 보관하고, 하자 발생 시의 보고양식은 [별지서식 1]과 같다.

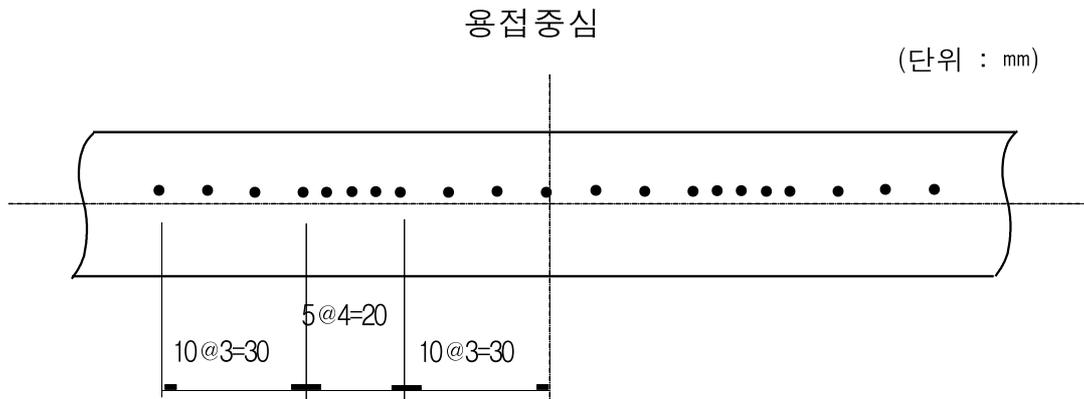
(11) 자격관리 및 벌칙

용접공의 철도레일용접자격의 관리 및 벌칙은 “1. 용어정의 (2)”의 자격관리기관에서 정하는 별도의 규정을 따른다.



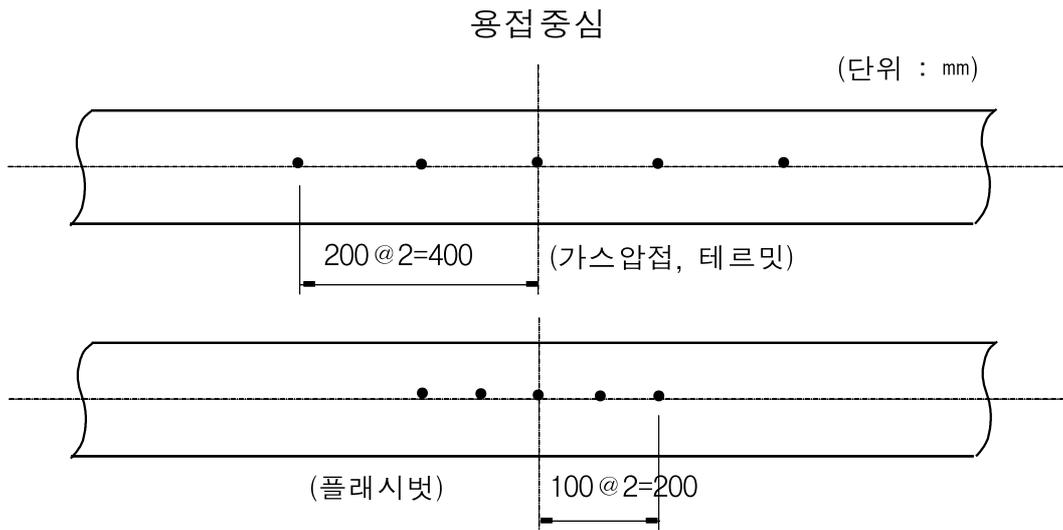
[별표 3]

경도측정위치 (제52조 관련)



[별표 4]

경도측정위치 (제57조 관련)



[별표 5]
가스압접 시공 기록표(제62조 관련)

		감리자				감독자										
계약번호		건명		시공업자명		레일용접 작업책임자명		레일용접 기술자명								
선명		구간		위치		레일종별		용접기명								
				상하												
레일의조건			용접조건						끝다른상태의 확인			비고				
용접번호	레일길이	레일기호	용접년월일	천후	용접시간	레일온도(℃)	가압력(t)	압축량(mm)	가열온도(℃)	가열시간(분)	검사년월일		외관상태 면틀링(mm) 홀틀링(mm)		자분, 초음파탐상	판정

제출 : 년 월 일 기록자 : (인)

테르밋 용접 시공 기록표

		감리자				감독자											
계약번호		건명		시공업자명		레일용접 작업책임자명		레일용접 기술자명									
선명		구간		위치		레일종별		용접기명									
				상하													
레일의조건			용접조건						끝다른상태의 확인			비고					
용접번호	레일길이	레일기호	용접년월일	천후	용접시간	이음매 볼트구멍유무	용접간격(mm)	도가니 사용횟수(회)	도가니 건조시간(분)	예열시간(초)	유도압착용시분(초)		용강조입분(분)	검사년월일	외관상태 면틀링(mm) 홀틀링(mm)		자분, 초음파탐상

제출 : 년 월 일 기록자 : (인)

[별지서식 1]

레 일 용 접 하 자 보 고 (제62조 관련)

문서번호 :

받 음 :

참 조 :

○ ○ ○ ○ ○

인 가 번 호	○ ○ 제 2000-○ ○ 호			
건 명				
수 급 인			착공년월일	
하자담보책임기간			준공년월일	
레일용접공	관리번호		성 명	
	발 급 일		발 급 종 목	
하자발생현황	위 치		용 접 종 별	
	레일종별		하자발생일	
	용 접 일		하자보수일	
	훼손상태			
비 고	붙 임 : 레일훼손보고			



부록 1. 레일용접부 초음파 탐상

1. 목적과 적용 범위

- (1) 이 부록은 레일용접 개소의 용접결함 검출을 목적으로 하며, 용접시공시의 “레일 용접부의 비파괴 검사방법”중에 초음파탐상에 적용한다.
- (2) 초음파탐상은 펄스반사법에 의한 기본 표시의 포터블 초음파 탐상기를 사용하며, 탐촉자의 수동 주사에 의한 직접 접촉법으로 한다.

2. 장치 및 부속품

(1) 탐상기

A-scope 표시의 펄스 반사식 초음파 탐상기를 사용한다.

(2) 탐촉자

- ① 주파수 2 MHz, 진동자 크기 10×10, 공칭 굴절각 45°의 사각 탐촉자를 사용한다.
- ② 정밀도가 높게 결함의 위치를 찾기 위하여 KS B 0829에 규정된 초음파 탐상용 표준시험편(STB-A1)을 사용하여 탐촉자의 입사점, 굴절각을 정확히 측정한다.

가. 입사점의 측정

STB-A1 시험편의 100R 곡면을 향하여 초음파를 입사한다. 탐촉자를 전후로 이동(전후 주사)시켜 곡면으로부터의 에코 높이가 최대가 되는 위치에서 고정한다. 이 때, 100R의 중심을 나타내는 표시(silt의 곡면측)에 대응시켜 탐촉자 측면의 입사점 눈금을 0.5 눈금 단위로 읽는다. 이 값이 사용 탐촉자의 입사점이다.

※ 반드시 탐촉자 밑면에 썸을 부착한 후 사용한다.

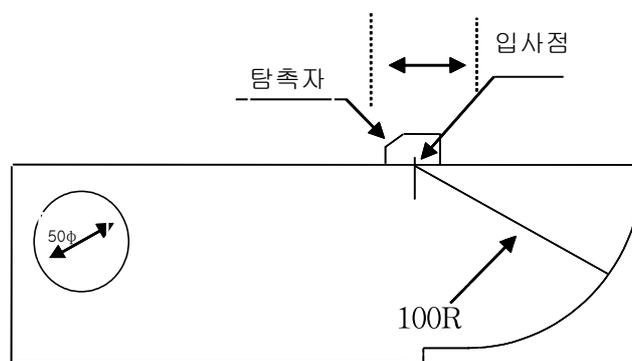


그림 1 입사각 측정방법

나. 굴절각의 측정

STB-A1 시험편의 45°부근에서 50φ 구멍을 향하여 탐촉자를 전후 주사하여 에코가 최대가 되는 위치를 구한다. 이때 ①에서 측정한 입사점에 대한 표준 시험편의 각도 눈금을 0.2° 단위로 읽는다. 이 값이 사용 탐촉자의 굴절각이다.

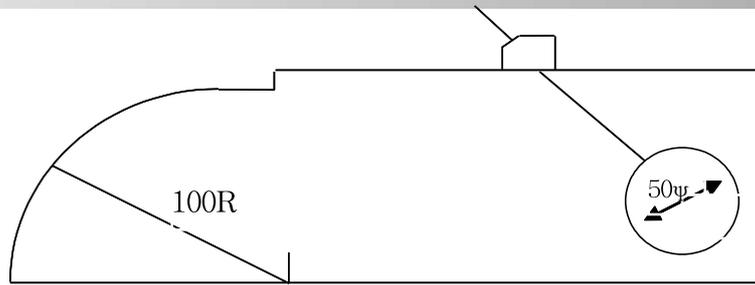


그림 2 굴절각의 측정방법(STB-A1)

(3) 대비 시험편

대비 시험편(RW1-60형 · 레일 용접부 탐상용)은 JIS E 1101-1990에 규정된 60kg 레일을 가공한 것을 사용한다. 이에 대한 형상 및 크기는 그림 3과 같다

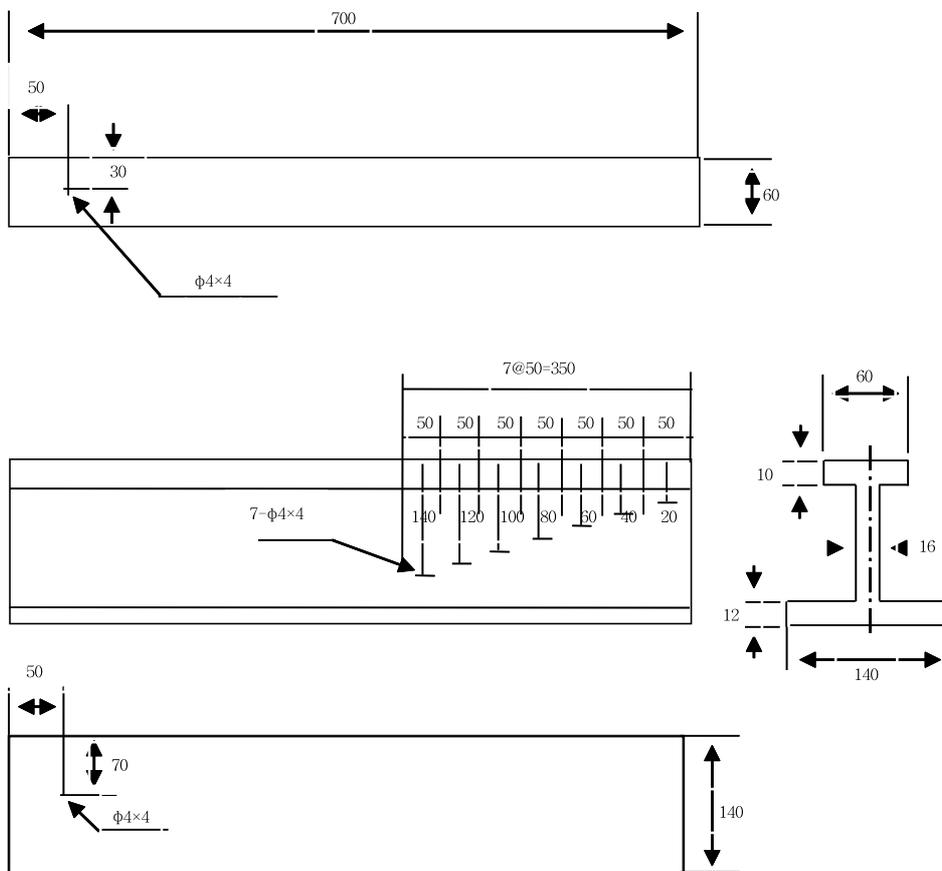


그림 3 레일 용접부 탐상용 대비 시험편 (단위 mm)

(4) 접촉매질

접촉매질은 원칙적으로 글리세린, 기계유를 사용한다.

3. 탐상준비

(1) 용접부 및 탐상면의 손질

- ① 두부 및 저부 측면의 덧살이 잘 제거되었는지를 확인한다. 탐상에 지장을 줄 수 있는 단이 용접부 표면에 존재할 경우는 그 부분을 매끄럽게 마무리한다.



- ② 테르밋 용접부에 있어서는 특히 저부 측면의 덧살하부에 주의하여야 한다.
 - ③ 탐상면이 되는 두부면(용접부 양측 약 200mm의 범위), 두부측면(용접부의 양측 약 100mm) 및 저부측면(용접부 양측 약 150mm)에 대해서는 스페터, 녹, 페인트, 스케일 등을 제거하고, 탐촉자의 안정된 접촉과 주사를 할 수 있도록 평활하게 한다.
- (2) 주파수·리젝션·펄스 폭 등의 설정
- 주파수는 2 MHz, 리젝션 및 DAC는 “0” 또는 “OFF”, 펄스폭 및 파형은 “보통”으로 한다.
- (3) 시간축의 조정
- 실제로 사용하는 탐상기와 탐촉자의 조합에 의해 일탐촉자법으로 조정한다.
- ① 대비 시험편(RW1-60형)의 결함 수직거리(탐상면에서 중심까지의 깊이)가 20 mm인 표준구멍을 직사에 의한 에코가 시간축 눈금 5에, 결함 수직거리가 140mm인 표준구멍을 직사에 의한 시간축 눈금 35에 위치하도록 측정 범위 및 원점을 조정한다.
 - ② 수직 결함 거리 40mm, 60mm, 80mm, 100mm의 표준 구멍으로부터의 직사에 의한 에코가 각각 시간축 눈금 10, 15, 20, 25 및 30이 되는지를 확인한다.
- (4) 이(2)탐촉자법의 감도조정
- ① 두부를 탐상할 경우는 대비시험편 두부 상면의 표준구멍(A1)으로부터의 반사 에코 높이가 80%가 되도록 감도를 조정한다. 이 때의 에코 위치는 시간축 눈금 7~8부근이 된다. 또한, 이 감도를 H2 기준 감도라 한다. 또한, 저부를 탐상할 경우에도 저부하면의 표준구멍(A2)으로부터의 반사에코 높이가 80%가 되도록 감도를 조정한다. 이 때의 에코 위치는 시간축 눈금 18 부근이 된다. 또한, 이 감도를 B2 기준감도로 한다.
 - ② 게인을 조정하여 H2 또는 B2 기준 감도에서 6dB만큼 감도를 내려 이 때의 에코 높이가 40 %임을 확인한다. 또한 기준감도에서 12dB내렸을 경우의 에코 높이가 20%, 18dB 내렸을 경우의 에코 높이가 10% 정도임을 확인한다.
- (5) 일(1)탐촉자법의 감도조정과 거리진폭특성곡선
- ① 결함수직거리 140mm인 표준구멍의 직사에 의한 에코가 최대가 되는 위치에서 에코 높이가 60%가 되도록 감도를 조정한다. 이 때의 에코 선단위치를 눈금 상판에 플로트한다. 또한, 이 감도를 H 기준 감도로 한다.
 - ② 게인을 조정하여 H 기준감도상에서 6dB만큼 감도를 내리고 이 때의 에코높이(에코 선단 위치)를 눈금상판에 플로트한다. 또한, 6dB만큼 감도를 내려 같은 형태로 플로트한다. 에코 높이가 5%를 넘을 때까지 이를 반복한다.
 - ③ 탐촉자를 이동하여 (2)에서 설정한 각 감도에 대하여 결함수직거리가 다른 표준 구멍의 직사에 의한 에코 높이를 눈금상판에 플로트한다.
 - ④ 결함 수직거리가 다른 표준구멍에 대해 에코 높이의 플로트 점을 각 감도별로 직선으로 연결하여 시간축상 눈금 35 이상은 45까지 직선을 연장한다. 또한, 시간축 눈

급 5 이내는 5 눈금의 에코높이의 플로트 점과 같은 높이의 선으로 한다. H기준 감도의 선을 H선, H선에서 6dB 낮은 선을 A선, A선에서 6dB 낮은 선을 B선, B선에서 6dB 낮은 선을 C선, C선에서 6dB 낮은 선을 D선, D선에서 6dB 낮은 선을 E선으로 한다. 이와 같이 하여 구해진 곡선군을 거리진폭 특성곡선이라 하며, 그 작성 예는 그림 4와 같다.

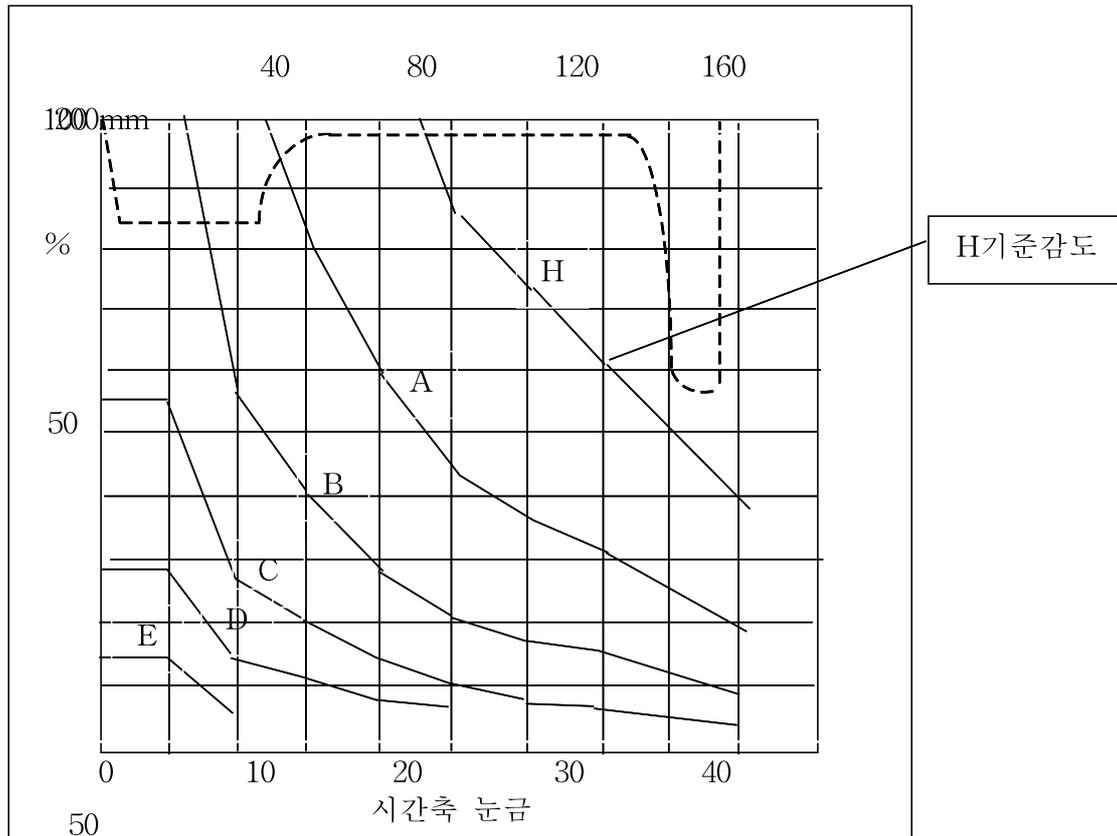


그림 4 거리진폭 특성곡선의 일례

4. 탐상방법

레일용접부의 초음파 탐상은 이(2)탐촉자법과 일(1)탐촉자법에 의한 사각탐상을 병행하여 용접부의 양측에 대하여 실시한다.

(1) 이탐촉자에 의한 탐상

① 탐상의 범위

탐상면은 두부 및 저부 양측면으로 하고, 탐상의 범위는 용접부 양측 0.5 skip내로 한다.

② 탐촉자의 주사

송신용 탐촉자로부터의 초음파 빔 중심이 직사이며, 용접부의 전체를 덮듯이 다소의 목 돌림 및 좌우주사를 병행하여 0~0.5 스킵(skip)거리의 범위를 레일길이방



향으로 주사한다. 이때, 수신용 탐촉자를 송신용 탐촉자의 이동과 역방향으로 이동시켜 송신파가 용접결합에서 반사되었을 경우에 수신되는 기하학적 위치에 항상 대응시킬 필요가 있다.

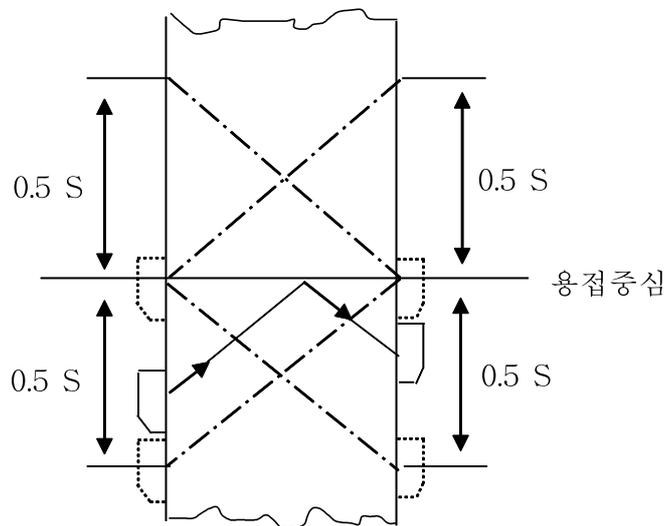
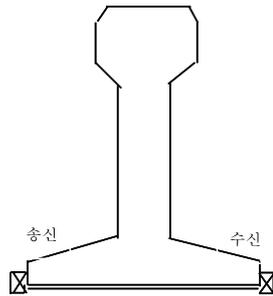


그림 5 이 탐촉자법에 의한 용접저부의 탐상

③ 시간축의 확인

저부의 용접부를 사이에 두고 송신용 탐촉자와 수신용 탐촉자를 대칭시켜 구해진 투과 에코가 나타나는 위치가 UIC 60 레일의 경우에는 시간축 눈금이 16부근임을 확인 한다.

④ 탐상감도의 설정

탐상의 기본강도는 두부를 탐상할 경우는 H2 기준감도, 저부를 탐상할 경우에는 B2 기준 감도로 한다. 대비 시험편의 표준구멍(A1 및 A2)의 반사에코 높이가 80%가 되는 감도이다.

⑤ 결함 에코의 등급분류

결함에코는 최대 에코 높이를 기준으로 표 1과 같이 4개의 등급으로 분류한다. 용접부의 양측 탐상으로 동일 결함으로부터의 에코를 구하여 그 결함등급이 다를 때에는 하위의 급으로 한다.

표 1. 이탐측자법에 의한 결함의 등급분류

최대 에코 높이	등 급
10%초과 ~ 20%이하	1
20%초과 ~ 40%이하	2
40%초과 ~ 80%이하	3
80% 초과	4

⑥ 결함 위치의 측정

송수신용 탐상면에 대한 탐측자와 용접부 중심의 거리 및 굴절각으로부터 결함과 탐상면의 수직거리 및 결함과 용접부 중심과의 거리를 구하여 결함의 위치를 정한다.

(2) 일탐측자법에 의한 탐상

① 탐상의 범위

탐상면은 두부상면, 두부 양측면 및 저부 양측면으로 하고 용접부 양측의 0.5 스킵(skip) 거리에 60mm를 더한 범위로 한다.

② 탐측자의 주사

탐측자의 주사는 초음파 빔이 직사이며, 전 용접부를 덮도록 다소의 목돌림 및 좌우주사를 병행한 전후주사를 한다.

③ 시간축의 확인

측정 범위 및 원점의 위치가 거리 진폭 특성곡선 작성시와 같게 되도록 대비 시험편의 결함 수직거리 20mm 및 140mm의 표준구멍을 사용하여 시간축을 확인한다.

④ 탐상감도의 설정

탐상의 기본감도는 H기준 감도로 한다. 대비 시험편 표준구멍의 에코높이가 거리 진폭 특성곡선의 H선에 맞는지를 확인한다.

⑤ 탐상감도의 변경

④에서 설정한 기본감도로 탐상하고 검출된 결함 에코높이가 100%를 넘을 경우는 100% 이하가 될 때까지 탐상감도를 6dB 스텝으로 내린다. 기본 감도보다 6dB 내렸을 때의 탐상감도를 A감도, 12dB 내렸을 때의 탐상감도를 B감도, 18dB 내렸을 때의 탐상 감도를 C감도라 한다. A감도에 대한 특성곡선은 A선, B감도에 대한 특성곡선은 B선, C감도에 대한 특성곡선은 C선이다.

⑥ 결함 에코 높이의 영역구분

탐상감도와 대응하는 특성곡선보다도 18dB 낮은 곡선을 넘고, 12dB 낮은 곡선 이하의 범위를 영역 I, 6dB 낮은 곡선 이하에서 영역 I 을 넘는 범위를 영역 II, 탐상감도곡선에서 영역 II를 넘는 범위를 영역 III, 영역 III(탐상감도의 곡선)을 넘는 범위를 영역 IV로 한다. 기본감도(H 기준감도)로 탐상하였을 경우 및 B감도로 탐상하였을 경우의 영역구분을 그림 6(a), (b)에 나타내었다.

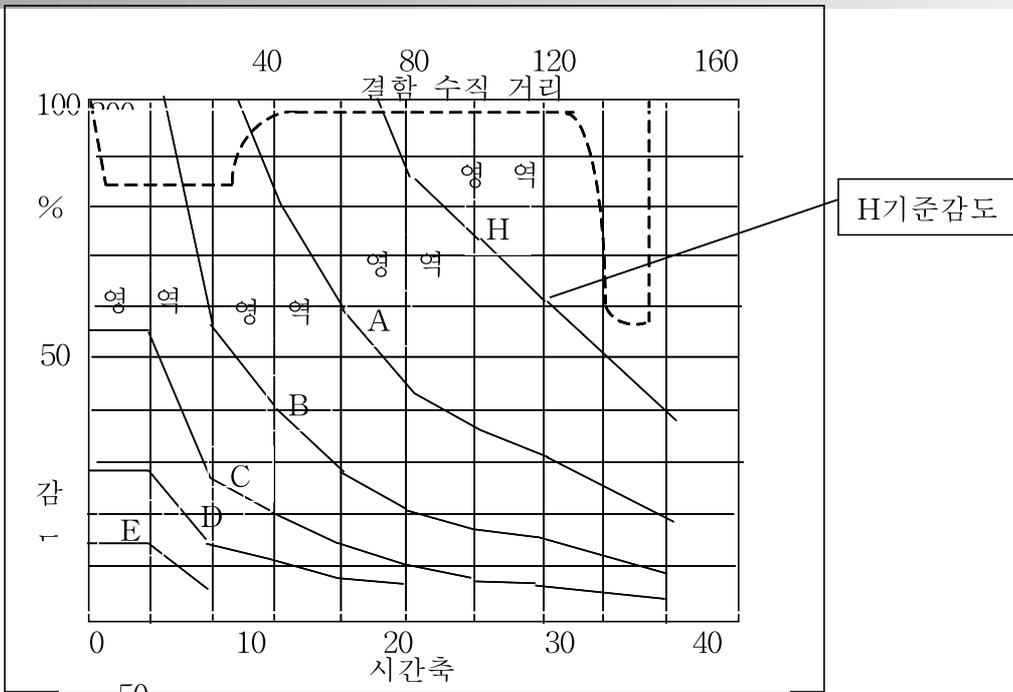


그림 6(a) H기준 감도에 대한 영역구분

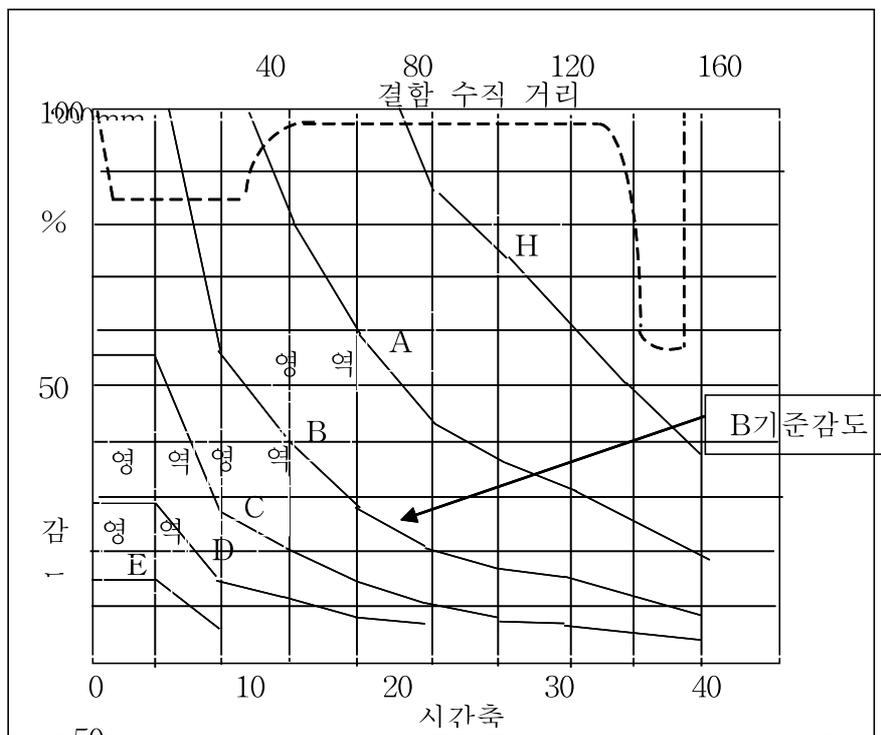


그림 6(b) B기준 감도에 대한 영역구분

⑦ 결함에코의 등급분류

결함에코는 최대 에코 높이의 출현 영역에 따라 표 2와 같이 4등급으로 분류한다.
두 방향 이상에서 탐상하였을 경우에 동일 결함 에코의 등급이 다를 때는 하위의

급을 적용한다.

표 2 일탐측자법에 의한 결함의 등급분류

최대 에코 높이 출현 영역	등 급
영역 I	1
영역 II	2
영역 III	3
영역 IV	4

⑧ 결함 위치의 측정

시간축상에서 에코의 위치, 탐측자와 용접부 중심의 거리(입사점에서 용접중심까지의 거리) 및 굴절각으로부터 결함과 탐상면의 수직거리 및 결함과 용접부 중심의 거리를 구하여 결함의 위치를 정한다.

5. 탐상기록

검사를 한 후에는, [별지 1]의 양식에 다음의 사항을 기록한다.

- (1) 공사건명 및 검사건명
- (2) 탐상검사 시행개소명
- (3) 탐상검사 년월일
- (4) 탐상검사 기술자명
- (5) 탐상기형식 및 번호(또는 관리번호)
- (6) 탐측자의 성능(굴절각, 입사점, H, H2, B2 기준감도)
- (7) 용접부 번호 또는 기호
- (8) 레일의 종류
- (9) 용접의 종류
- (10) 결함의 위치
- (11) 결함의 크기(결함 에코 높이, 결함 등급, 탐상감도)



별지 1(2.4 탐상기록 관련)

초 음 파 탐 상 검 사 기 록 표

공 사 명	검사년월일	레일종별	용접종류	검사회사/검사자

선 명	구 간	위 치	탐상기명

용접번호	영역	개소	종별	감도	최대에코높이	에코탐상위치	결함등급
	A영역	두부	1탐				
			2탐				
	저부	1탐					
		2탐					
B영역	복부	1탐					
용접번호	영역	개소	종별	감도	최대에코높이	에코탐상위치	결함등급
	A영역	두부	1탐				
			2탐				
	저부	1탐					
		2탐					
B영역	복부	1탐					
용접번호	영역	개소	종별	감도	최대에코높이	에코탐상위치	결함등급
	A영역	두부	1탐				
			2탐				
	저부	1탐					
		2탐					
B영역	복부	1탐					
용접번호	영역	개소	종별	감도	최대에코높이	에코탐상위치	결함등급
	A영역	두부	1탐				
			2탐				
	저부	1탐					
		2탐					
B영역	복부	1탐					
용접번호	영역	개소	종별	감도	최대에코높이	에코탐상위치	결함등급
	A영역	두부	1탐				
			2탐				
	저부	1탐					
		2탐					
B영역	복부	1탐					

RECORD HISTORY

Rev.0('12.12.5) 철도설계기준 철도설계지침, 철도설계편람으로 나누어져 있는 기준 체계를 국제적인 방법인 항목별(코드별)체계로 개정하여 사용자가 손쉽게 이용하는데 목적을 둬.

Rev.1('13.10.24) 궤도분야 업무효율화를 위한 협력사 합동 토론회결과(궤도처-426, '13. 2. 7) 반영 및 국제화 방식의 기준체계 재정비 방안 반영(설계기준처-1112호, '12. 4.20)

Rev.2('16.12.20) 전문시방서내용 반영 및 공냉기준 제시 등(설계기준처-3595호, '16.12.20)