

KR C-14030

Rev.3, 20. December 2016

자갈궤도 구조

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

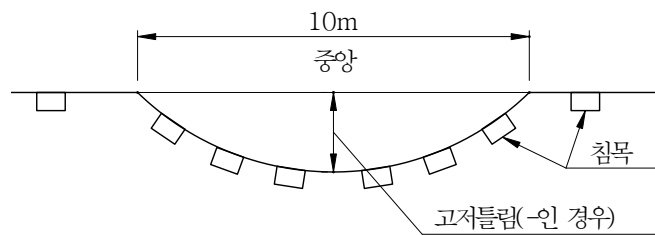
1. 용어의 정의	1
2. 설계 기본방향	5
3. 자갈궤도 표준단면	5
3.1 R.L-F.L 적용 기준	5
3.2 자갈도상 표준단면	6
4. 궤도 구조역학 검토 사항	7
4.1 구조계산의 구성	7
4.2 하중의 분류 및 적용	7
4.3 작용하중	7
4.4 궤도자재의 허용응력	8
4.5 궤도구조계산	8
4.6 궤도틀림 진행에 관한 검토	9
 해설 1. 자갈궤도 표준단면	10
1. R.L-F.L 적용	10
1.1 일반사항	10
1.2 R.L-F.L 적용 검토	11
2. 자갈궤도 표준 단면	14
해설 2. 작용하중	22
1. 하중의 분류 및 적용	22
2. 표준 정적하중	22
3. 표준 동적하중	22
4. 통과하중(통과톤수)	26
5. 횡하중	27
6. 종방향하중	27
해설 3. 궤도자재의 허용응력	29
1. 레일의 허용응력	29
2. 침목의 허용응력	29
3. 도상자갈의 허용압력	29
4. 노반의 허용압력	30



해설 4. 궤도구조 계산	31
1. 궤도 합성 스프링정수의 계산	31
2. 레일 처짐량	34
3. 레일 응력 및 휨모멘트	35
4. 수직력	36
5. 침목 응력 및 휨모멘트	37
6. 도상 압력	37
7. 노반 압력	38
해설 5. 궤도틀림진행에 관한 검토	39
부 록. PC침목설계절차	40
RECORD HISTORY	47

1. 용어의 정의

- (1) 강성(剛性) : 구조물의 단단한 정도를 말하며, 보통 단위 변형을 일으키는 힘의 크기로 나타냄
- (2) 고속철도 전용선(高速鐵道 專用線) : 철도건설법 제2조제2호에 따른 고속철도 구간의 선로
- (3) 고저(면틀림) : 한쪽 레일의 레일길이 방향에 대한 레일면의 높이차

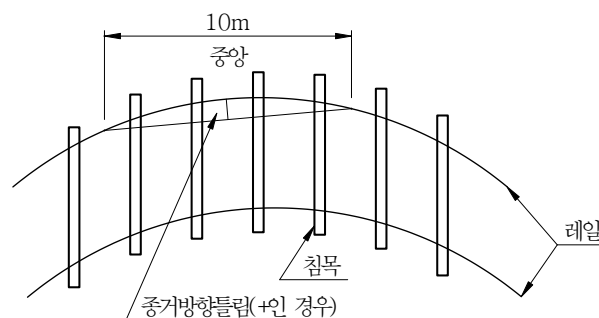


- (4) 궤광(軌框 : track panel) : 레일에 침목을 체결한 것으로 사다리 모양의 형상이 되어 있는 것
- (5) 궤도(軌道) : 레일 · 침목 및 도상과 이들의 부속품으로 구성된 시설
- (6) 궤도계수(軌道係數) : 단위 길이당 궤도 스프링정수
- (7) 궤도 중심(軌道 中心) : 궤도의 선형 중심선
- (8) 궤도틀림(irregularity of track) : 열차의 반복하중에 의해 궤도에 발생하는 궤간, 수평, 방향, 고저, 평면성 등의 틀어짐
- (9) 기지(基地) : 화물의 취급 또는 차량의 유치 등을 목적으로 시설한 장소로서 화물기지, 차량기지, 주박기지, 보수기지 및 궤도기지
- (10) 노반(路盤) : 궤도를 부설하기 위한 토목구조물 및 토공
- (11) 노반 스프링정수 : 노반을 수직방향으로 단위량만 침하시키는 데 요하는 하중 강도
- (12) 노반압력(路盤壓力) : 열차 하중에 의해서 도상 아래에서 노반이 받는 수직 압력
- (13) 도상(道床) 두께 : 레일 직하의 침목 하면에서 노반까지 가장 가까운 거리의 도상 두께
- (14) 도상 스프링정수 : 침목 아래의 도상면을 수직방향으로 단위량만 침하시키는 데 요하는 하중 강도
- (15) 도상 어깨폭 : 침목 끝단으로부터 도상 어깨까지의 직선거리 폭
- (16) 도상압력(道床壓力) : 열차하중에 의해서 침목 아래에서 도상이 받는 수직 압력
- (17) 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 깎자



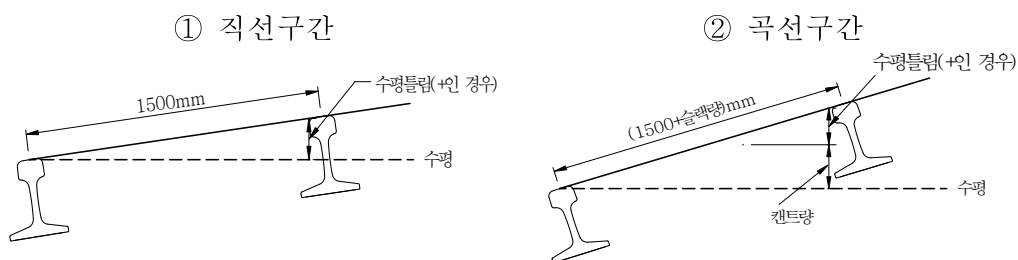
갈 또는 콘크리트가 사용

- (18) 동적하중(動的荷重) : 열차가 정적하중 외에 주행시 궤도틀림에 의한 하중 증가, 캔트부족 또는 초과에 기인하는 하중 증가, 레일절손, 용접부 불량, 차륜 플랫 등에 의한 하중 증가에 의한 추가 변동하중
- (19) 동적 할증계수 : 차량이 주행한 경우, 궤도면의 부정, 차량의 동요 등의 영향에 의해 증가한 하중을 속도와 연계하여 계수로서 나타낸 것
- (20) 레일(Rail) : 레일은 열차하중을 직접 지지하며, 차륜이 탈선하지 않도록 유도하여 차량의 안전운행을 확보. 레일은 침목과 도상을 통하여 열차하중을 넓게 노반에 분포시키며, 원활한 주행면을 제공하여 주행저항을 적게 하고, 신호전류의 궤도회로, 동력전류의 통로도 형성하는 역할을 하여 열차를 안전하게 유도하는 궤도의 가장 중요한 재료
- (21) 레일응력 : 열차 하중에 의해서 레일에 발생하는 응력
- (22) 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
- (23) 레일패드 : 레일과 침목 또는 레일과 베이스플레이트의 사이에 삽입하는 탄성체
- (24) 레일패드 스프링정수 : 궤도 패드를 수직방향으로 단위량만큼 침하시키는 데 요하는 하중강도
- (25) 방향(줄틀림 : 方向) : 궤간 측정선에 있어서의 레일 길이 방향의 좌우 굴곡차



- (26) 본선(本線) : 열차운행에 상용할 목적으로 설치한 선로 (예 : 주본선, 부분선)
- (27) 부동구간(不動區間) : 장대레일 단부에서 일정거리 이상은 레일의 변위가 발생하지 않는 구간
- (28) 부분선(副本線) : 정거장 내에 있어 주본선 이외의 본선 (예 : 상·하부분선, 착발선, 도착선, 통과선, 대피선, 교행선)

- (29) 분기기(Turnout or Switch) : 분기기는 열차 또는 차량을 한 궤도에서 타궤도에 전이시키기 위하여 설치한 궤도상의 설비
- (30) 선로(線路) : 차량을 운행하기 위한 궤도와 이를 받치는 노반 또는 인공구조물로 구성된 시설
- (31) 설계속도 : 해당 선로를 설계할 때 기준이 되는 상한속도
- (32) 설정온도(設定溫度) : 장대레일 설정 또는 재설정시 체결장치를 체결하기 시작할 때부터 완료할 때까지의 장대레일 평균온도
- (33) 수평(수평틀림) : 레일의 직각방향에 있어서 좌우 레일면의 높이차



- (34) 스프링정수 : 스프링정수는 Spring Constant 또는 Stiffness 또는 Secant Modulus로 표현되며 임의 재료의 작용하중과 변위량의 계수를 말함. 주로 스프링, 고무와 같이 비선형적인 변형그래프를 보이는 재질에 사용하며, 동일한 재질이라 하더라도 필요한 하중범위에 따라 값이 변함. 궤도자재 중에는 고무패드, 자갈에 대하여 스프링정수 사용을 원칙으로 함
- (35) 시공기면(Foundation Level) : 노반을 조성하는 기준이 되는 면을 말하며, 시공기면(F.L)의 기준점은 궤도중심에서 수평거리 750mm 되는 레일두부 정점에서 아랫방향으로 노반면까지의 최단거리점으로 함
- (36) 신축이음매(Rail expansion joint) : 신축이음매란 장대레일의 온도상승 및 하강에 따라 발생하는 축력이 허용 좌굴강도를 초과하거나 파단시 개구량이 허용량을 초과하는 개소에 설치하는 장치
- (37) 열차(列車) : 동력차에 객차 또는 화차 등을 연결하여 본선을 운전할 목적으로 조성한 차량
- (38) 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
- (39) 윤중(輪重) : 차량의 1개 차륜으로부터 레일에 가해진 수직인 힘
- (40) 일반철도(一般鐵道) : 열차가 주요구간을 시속 200킬로미터 미만의 속도로 주행하는 열차
- (41) 장대레일(長大) : 레일을 연속으로 용접하여 한 개의 길이가 200m 이상으로 구성된



레일

- (42) 장척레일(長尺) : 레일을 연속으로 용접하여 레일 한 개의 길이가 25m 이상, 200m 미만으로 구성된 레일
- (43) 전동차 전용선(電動車 專用線) : 축중 180kN 이하의 전동차를 전용으로 운행하는 선로
- (44) 전차선(電車線) : 전기차량의 집전장치에 직접 접촉되어 전기를 공급하는 전선
- (45) 정거장(停車場) : 여객 또는 화물의 취급을 위한 철도시설 등을 설치한 장소[주차장(열차의 조성 또는 차량의 입환을 위하여 철도시설 등이 설치된 장소) 및 신호장(열차의 교차 통행 또는 대피를 위하여 철도시설 등이 설치된 장소)을 포함]
- (46) 정적하중(靜的荷重) : 선로에 투입할 차량의 정적상태에서의 허용한계 축중으로서 해당 선로에 대한 적용하중의 기초가 됨
- (47) 정척레일(定尺) : 레일 한 개의 길이가 25m인 레일
- (48) 종곡선(縱曲線) : 차량이 선로기울기의 변경지점을 원활하게 운행할 수 있도록 종단면상에 두는 곡선
- (49) 좌굴(Buckling) : 레일의 온도상승에 의해 레일이 휘는 현상
- (50) 주본선(主本線) : 정거장 내에 있어 동일방향의 열차를 운전하는 본선이 2개 이상 있을 경우 그 가운데에서 가장 중요한 본선 (예 : 상·하본선)
- (51) 진동(振動) : 진동이란 질점 또는 물체가 외력을 받아 평형위치에서 반복 운동하는 현상. 진동에는 주기운동과 불규칙으로 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
- (52) 차량(車輛) : 선로를 운행할 목적으로 제작된 동력차·객차·화차 및 특수차
- (53) 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
- (54) 초기 노반 지지력 계수 : 하중 강도-침하곡선의 할선의 기울기를 나타내는 노반 지지력 계수의 초기값
- (55) 축중(軸重) : 차량 1쌍의 축이 레일에 가해진 수직인 힘
- (56) 충격하중(衝擊荷重) : 동적하중 중에서 레일절손, 용접부 불량, 차륜 플랫 등과 같은 열차운행 중 예외적으로 발생하는 하중을 말하며 비교적 변동이 큰 하중
- (57) 측선(側線) : 본선 외의 선로 (예 : 유치선, 조성선, 예비차선, 압상선, 전송선, 인상선, 분별선, 화물적하선, 반복선, 기회선, 기대선, 세척선, 검수선, 안전측선 등)

(58) 침목(Sleeper or Tie) : 침목은 레일을 소정위치에 고정시키고 지지하며, 궤간을 정

확하게 유지하며, 레일을 통하여 전달되는 하중을 도상에 넓게 분포시키는 역할

(59) 캔트(Cant) : 차량이 곡선구간을 원활하게 운행할 수 있도록 안쪽 레일을 기준으로 바깥쪽 레일을 높게 부설하는 것

(60) K30 : 직경 30cm의 재하판을 이용하여 ‘도로의 평판재하 시험방법’(KS F 2310)에 의해서 구해진 침하량 1.25mm에 대응하는 노반 지지력 계수

(61) 콘크리트궤도 : 도상구조에 콘크리트를 사용하는 방식의 궤도구조로서 ‘사전제작 콘크리트궤도’와 ‘현장타설 콘크리트궤도’ 등을 말함

(62) 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

(63) 통과하중(通過荷重) : 특정 선구에 열차가 일정기간 통과하여 궤도에 미치는 누적된 하중톤 수의 총합

(64) PC침목 : Pre-stressed Concrete 침목

(65) 하중(荷重) : 구조물 또는 부재에 응력이나 변형의 증감을 일으키는 전체의 작용력

2. 설계 기본방향

(1) 자갈궤도는 자갈 사이의 마찰력에 의해 궤도의 안정성을 유지하고 그 자체의 탄성력으로 충격 및 진동을 흡수하는 구조로 경제성, 환경성 및 유지보수 등을 고려 설계하여야 한다.

(2) 자갈궤도는 열차의 반복 통과에 의한 자갈도상이나 노반의 점진적인 소성침하·변형에 의해서 궤도면의 틀림의 발생·성장을 수반하기 때문에 원활한 열차 주행을 확보하기 위한 유지관리가 주기적으로 필요하다는 특징을 가진다. 따라서, 필요시 궤도틀림 진행에 대하여 유지해야할 궤도 상태나 보수작업 방법·비용 등을 고려하여야 한다.

3. 자갈궤도 표준단면

3.1 R.L-F.L 적용 기준

(1) 1개 선구의 시공기면(F.L)은 레일면고(R.L)를 기준으로 결정하는 것을 원칙으로 한다. 즉, 레일면고(R.L)를 기준으로 시공기면(F.L)의 높낮이를 결정하여야 한다.

(2) 시공기면(F.L)은 노반을 조성하는 기준이 되는 면을 말하며, 선로 중심선 노반 상면의



높이를 레일면(RL)으로부터 레일높이, 침목두께, 도상두께, 배구구배에 따른 높이 변

화량을 감안하여 정한다. 토공, 교량 및 터널의 시공기면은 동일한 높이로 해야 한다.

(3) 자갈케도의 R.L-F.L의 공칭값은 설계속도, 최소도상두께, 레일종별, 침목종별, 레일 체결장치를 고려하여 적용 한다.

(4) 자갈도상의 두께는 설계속도에 따라 다음 표의 값 이상으로 한다.

설계속도 $V(\text{km/hr})$	최소 도상두께(mm)
$200 < V \leq 350$	350(도상매트 포함)
$120 < V \leq 200$	300
$70 < V \leq 120$	270
$V \leq 70$	250

단, 장대레일인 경우 최소 도상두께 300mm로 한다.

(5) 본선과 측선간에 레일면 단차가 있을 경우 체감방법에 대하여 검토하여야 한다.

(6) 본선과 본선간에 레일면 단차가 있을 경우 체감방법에 대하여 검토하여야 한다.

3.2 자갈도상 표준단면

(1) 설계속도 $V \leq 200\text{km/h}$ 이하의 자갈케도 표준단면은 아래를 표준으로 한다.

① 도상 어깨폭의 기울기는 직선 및 곡선을 포함하여 장대화와 관계없이 1:1.6을 표준으로 한다.

② 최소 도상 어깨폭은 다음을 표준으로 한다.

가. 장대 및 장척레일 구간 : 450mm 이상

나. 정척레일 구간 : 350mm 이상

③ 장대 및 장척레일 구간은 도상어깨 상면에서 100mm이상 더돋기를 한다. 다만, 현장 여건을 감안하여 제외할 수 있다.

(2) 설계속도 $200 < V \leq 350\text{km/h}$ 구간의 자갈케도 표준단면은 아래를 표준으로 한다.

① 도상 어깨폭의 기울기는 직선 및 곡선을 포함하여 장대화와 관계없이 1:1.8을 표준으로 한다.

② 장대 및 장척레일 구간의 최소 도상 어깨폭은 500mm 이상으로 한다.

③ 본선의 자갈도상은 도상자갈 비산을 방지하기 위하여 케도중심으로부터 침목양단 끝부분 까지는 침목상면 보다 50mm 낮게 부설한다.

④ 본선의 일반구간은 더돋기를 하지 않는 것으로 하며, 다만, 본선의 다음 개소에서는 도상어깨 상면에서 100mm이상 더돋기를 한다.

가. 장대레일 신축이음매 전후 100m 이상의 구간

나. 교량전후 50m 이상의 구간

다. 분기기 전후 50m 이상의 구간

라. 터널입구로부터 바깥쪽으로 50m 이상의 구간

마. 곡선 및 곡선 전후 50m 이상의 구간

4. 궤도 구조역학 검토 사항

4.1 구조계산의 구성

- (1) 부재 · 궤광의 발생 응력에 관한 검토
- (2) 궤도틀림 진행에 관한 검토(필요시)
- (3) 좌굴 안정성에 관한 검토

4.2 하중의 분류 및 적용

- (1) 궤도에 작용하는 힘은 수직하중, 횡하중, 종방향하중으로 구분한다.
- (2) 수직하중은 주행 중인 열차의 차륜으로부터 궤도면에 직각인 상하방향으로 가해지는 차량, 운전조건, 선형 등으로부터 결정되는 하중이며 정적하중, 동적하중, 통과하중으로 분류한다.
- (3) 정적하중은 축중 P 또는 반분인 $1/2$ 을 윤중 Q 로 표현하고, 궤도구조 계산에 사용하는 하중은 윤중 사용을 원칙으로 한다.
- (4) 동적하중은 궤도틀림에 의한 하중 증가, 캔트부족 또는 초과에 기인하는 곡선에서의 하중 증가를 고려한 유효하중과 레일절손, 용접부 불량, 차륜 플랫폼 등에 의한 예외적인 하중 증가를 고려한 충격하중으로 분류한다.
- (5) 궤도의 좌굴 안정성의 검토에 이용하는 종방향 하중으로는 온도하중만으로 한다. 단, 레일 복진에 관한 검토를 하는 경우에는 제동 하중 및 시동 하중을 고려한다.
- (6) 레일치짐에 대한 검토는 유효하중을 사용하고, 궤도재료에 대한 안정성 검토는 충격하중을 적용하며, 궤도틀림에 관한 검토에는 통과하중을 이용하는 것을 원칙으로 한다.
- (7) 속도 향상시험 등에 의해 실측값이 얻어지는 경우에는 이것을 이용해도 좋다.

4.3 작용하중

- (1) 정적하중의 기준은 여객화물혼용선, 여객전용선, 전동차전용선으로 구분하며, 선로에 투입할 차량의 정적상태에서의 허용한계 축중으로서 해당 선로에 대한 적용하중의 기초가 된다.
- (2) 구조계산에 사용되는 표준 정적하중은 다음을 표준으로 한다. 단, 레일치짐량이나 동적특성 등 궤도의 실제거동특성을 검토할 경우에는 실차 하중을 적용할 수 있다.
 - ① 여객화물혼용선의 경우



여객화물혼용선의 경우에는 KRL-2012 하중을 기준으로 정적축중 $P=220\text{kN}$ 과 정적운중 $Q=110\text{kN}$ 을 표준으로 한다.

② 여객전용선의 경우

여객전용선의 경우에는 KRL-2012하중의 75%를 적용한 0.75KRL-2012하중을 기준으로 정적축중 $P=165\text{kN}$ 과 정적운중 $Q=82.5\text{kN}$ 을 표준으로 한다.

③ 전동차 전용선의 경우

전동차 전용선의 경우에는 EL-18하중을 기준으로 정적축중 $P=180\text{kN}$ 과 정적운중 $Q=90\text{kN}$ 을 표준으로 한다.

- (3) 궤도틀림 및 캔트부족 또는 캔트초과에 기인하는 윤하중을 고려한 유효하중을 검토하여야 한다.
- (4) 차륜/레일 간 요철, 레일절손 등에 기인하는 차량 탄성하 부분의 상하 진동에 따른 예외적인 충격에 의한 동적하중을 검토하여야 한다.
- (5) 궤도피로 또는 궤도틀림의 검토시에는 통과하중(통과톤수)을 검토하여야 한다.
- (6) 차량이 레일에 횡방향으로 작용하는 힘과 곡선상에서의 불평형 원심력 또는 궤도의 틀림 등으로 인한 횡하중을 검토하여야 한다.
- (7) 장대레일의 부동구간에 온도하중으로 인하여 레일에 작용하는 종방향하중과 열차시·제동하중을 검토하여야 한다.

4.4 궤도자재의 허용응력

- (1) 레일의 휨에 의한 허용 응력은 반복하중의 피로에 의한 레일저면의 허용응력을 기준으로 한다.
- (2) 레일의 탄성계수는 $210,000\text{MPa}$ 를 기준으로 한다.
- (3) 레일의 선팽창계수는 $1.14 \times 10^{-5} / ^\circ\text{C}$ 를 기준으로 한다.
- (4) 침목의 구조계산은 PC침목 설계시방서 및 재료편의 PC침목 설계기준을 따른다.
- (5) 침목하면의 도상자갈에 작용하는 허용 접촉압력에 대하여 검토하여야 한다.
- (6) 도상자갈 하면의 노반에 작용하는 허용압력에 대하여 검토하여야 한다.

4.5 궤도구조계산

- (1) 궤도의 구조계산에 사용하는 궤도의 합성스프링정수에 대하여 검토하여야 한다.
- (2) 레일의 처짐량은 정해진 레일의 강성, 체결장치 스프링정수, 침목 간격, 윤증을 고려한 차륜 직하의 레일에서의 처짐량에 대하여 계산한다.
- (3) 레일의 처짐량은 축간거리가 3m 이하인 경우 축간 영향에 대하여 반영한다.
- (4) 1개 지점의 수직방향에 대한 레일에 작용하는 최대 휨모멘트에 대하여 검토하여야 한다.
- (5) 1개 지점의 수직방향에 대한 레일의 저부 중앙에 작용하는 최대 휨응력에 대하여 검토하여야 한다.
- (6) 1개 지점의 수직방향에 대한 침목에 작용하는 최대 휨응력에 대하여 검토하여야 한다.

- (7) 1개 지점의 수직방향에 대한 도상에 작용하는 최대 압력에 대하여 검토하여야 한다.
- (8) 1개 지점의 수직방향에 대한 노반에 작용하는 최대 압력에 대하여 검토하여야 한다.
- (9) 온도하중 또는 시, 제동 하중으로 인하여 레일에 작용하는 종방향하중에 의한 궤도의 안정성 검토는 장대레일 편을 참조한다.

4.6 궤도틀림 진행에 관한 검토

- (1) 고저 틀림 진행에 대해서는 목표 보수 레벨과 보수 조건으로부터 정해진 허용 고저 틀림과 궤도 구조 조건과 차량운전 조건으로부터 정해진 추정 고저 틀림과의 조사에 의해 궤도 구조의 적부를 판정한다.
- (2) 방향틀림 진행에 대해서는 목표 보수 레벨과 보수 조건으로부터 정해진 허용 방향틀림과, 궤도 구조 조건과 차량운전 조건으로부터 정해진 추정 방향틀림과의 조사에 의해, 궤도 구조의 적부를 판정한다.



해설 1. 자갈케도 표준단면

1. R.L-F.L 적용

1.1 일반사항

- (1) 블록형이나 오목형의 시공기면의 정점은 $F.L \pm X$ 로 표기한다.
- (2) 설계속도별 최소 도상두께에서 시공기면의 시공오차는 고려하지 않는 것으로 한다.
즉, 토공구간의 시공오차 $\pm 30\text{mm}$, 교량 및 터널구간의 시공오차 $\pm 20\text{mm}$ 는 최소도상두께에 영향을 미치지 않는 것으로 한다.
- (3) 자갈케도의 R.L-F.L의 공칭값은 설계속도를 고려하여 아래의 기준에 따라 적용한다.
다만, 레일의 종별이나, 침목형상, 레일패드 등의 변경에 따라 이 값을 변경할 수 있다.

설계속도 V (km/h)	레일(kg/m)	최소 도상두께(mm)	R.L-F.L(mm)
$200 < V \leq 350$	60	350(도상매트 포함)	740
$120 < V \leq 200$	60	300	680
$70 < V \leq 120$	50	270(장대레일구간 300)	630
$V \leq 70$	50	250	610

- (4) 보통역의 경우 본선을 제외한 상·하선 한쪽의 측선 수가 3선 이하인 경우 시공기면은 본선과 측선을 동일하게 적용한다. 본선(주본선, 부분선 포함)을 제외한 상·하선 한쪽의 측선 수가 3선을 초과하는 경우와 기지의 경우에는 본선을 제외한 측선부터는 $V \leq 70$ 기준 R.L-F.L을 적용하는 것을 원칙으로 한다. 단, 이 경우 구내에 체수가 되지 않도록 배수계통에 이상이 없는 지를 반드시 확인하여야 한다. 부득이한 경우에는 본선을 제외한 측선부터 시공기면을 본선과 동일하게 한 상태에서 $V \leq 70$ 기준으로 레일면고를 조정할 수 있고, 이때 본선과 측선의 레일면 단차는 아래의 기준에 따라 체감하되 분기기 시종점 내에 기울기 변경점이 생기지 않도록 하여 체감한다.

선로1 V (km/h)	선로2 V (km/h)	단차(mm)	체감배수
$200 < V \leq 350$	$V \leq 70$	120	600배 이상
$120 < V \leq 200$	$V \leq 70$	70	600배 이상

- (5) 본선과 본선 간에 레일면 단차가 있을 경우에는 아래의 기준에 따라 체감하고 기울기 경합 제한조건에 해당하지 않아야 한다.

선로1 V (km/h)	선로2 V (km/h)	단차(mm)	채감배수
$200 < V \leq 350$	$120 < V \leq 200$	50	1000배 이상
$120 < V \leq 200$	$70 < V \leq 120$	50	1000배 이상

1.2 R.L-F.L 적용 검토

자갈도상의 R.L-F.L의 산정은 장기적인 궤도안정성 측면에서나 궤도와 노반과의 인터페이스 측면에서 노반의 시공기면을 정하는 데 있어 매우 중요한 요소이다.

R.L-F.L 을 산정하는 데 있어 고려하여야 할 사항으로는,

- (1) 최소 도상두께
- (2) 레일높이
- (3) 레일패드 또는 베이스 플레이트 높이
- (4) 침목두께
- (5) 노반시공 오차 및 여유로서 이중 가장 중요한 요소는 장기적인 열차운행에 따른 도상의 안정성을 확보할 수 있는 최소 도상두께라 할 수 있다. 이하는 국내 및 국외의 최소 도상두께 및 R.L-F.L면 적용에 대한 기준을 검토한 후 최적의 R.L-F.L 면을 산정하는 데 그 목적이 있다.

① 철도의 건설기준에 관한 규정 제16조

가. 자갈도상의 두께는 다음의 두께 이상으로 하여야 한다. 다만, 자갈도상이 아닌 경우 도상의 두께는 「철도건설법」 제8조의 규정에 의한 사업시행자가 별도의 설계기준을 마련하여 시행한다.

설계속도 V(km/h)		최소 도상두께(mm)
고속철도	$200 < V \leq 350$	350(도상매트 포함)
일반철도	$120 < V \leq 200$	300
	$70 < V \leq 120$	270(장대레일구간 300)
	$V \leq 70$	250

나. 레일의 중량은 아래 표에서 정하는 크기 이상으로 하는 것을 원칙으로 한다. 다만 열차 통과톤 수, 축중, 속도 등을 고려하여 건설비와 유지보수비 등 생애주기비용의 측면에서 가장 경제적이 되도록 조정할 수 있다.

설계속도 V_d (km/h)	레일의 중량(kg/m)	
	본 선	측 선
$V_d > 120$	60	50
$V_d \leq 120$	50	50



다. 도상과 노반의 두께, 폭 등 크기와 강도 등은 안전성과 경제성을 고려하여 정하여야 한다.

② 토공구간의 F.L면

토공구간의 F.L면 기준은 <그림 1>에서 보는 바와 같이 노반면 정점을 기준으로 하고있다.

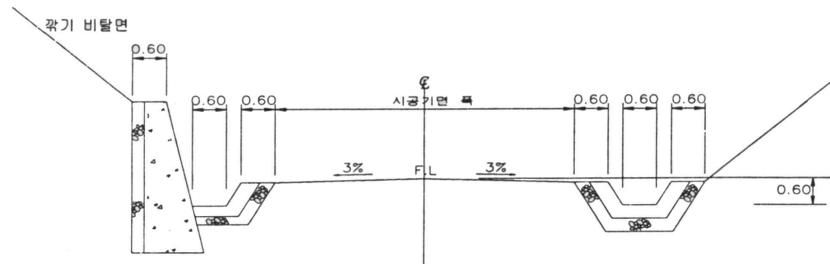


그림 1. 토공구간 F.L면 기준점

③ 교량구간의 F.L면

교량구간의 F.L면 기준은 <그림 2>에서 보는 바와 같이 상부 슬래브면 정점을 기준으로 하고 있다.

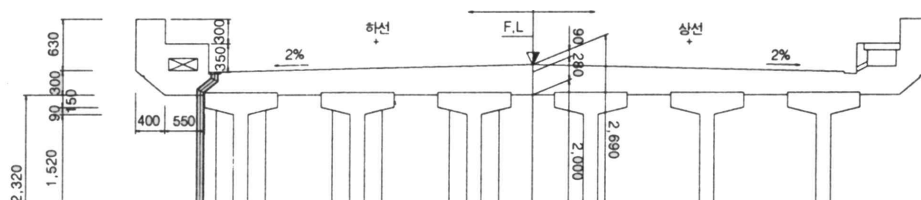


그림 2. 교량구간 F.L면 기준점

④ 터널구간의 F.L면

터널구간의 F.L면 기준은 <그림 3>에서 보는 바와 같이 터널바닥면 저점을 기준으로 위 방향으로 80mm 되는 위치를 기준으로 하고 있다

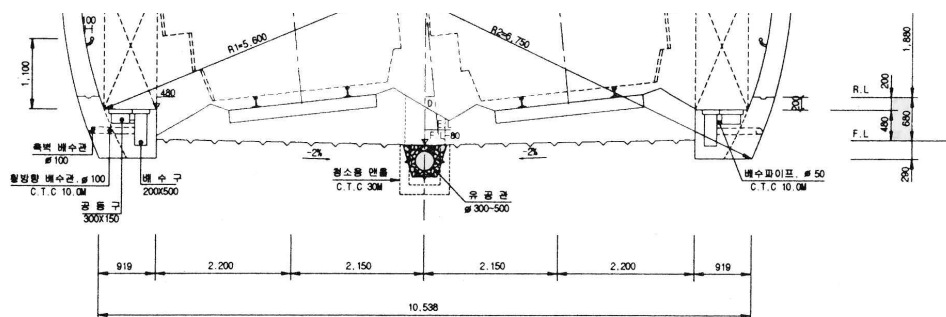


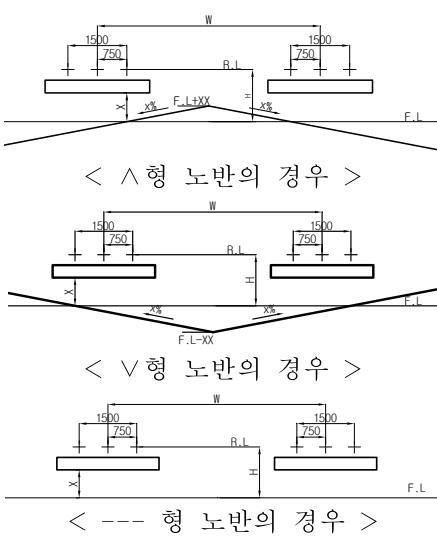
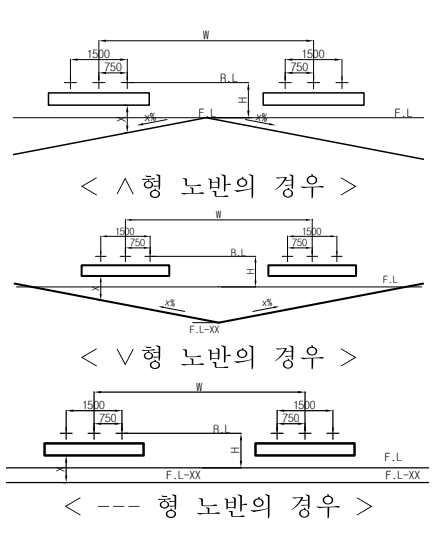
그림 3. 터널구간 F.L면 기준점

⑤ R.L-F.L 산정

최소 도상두께는 장기적인 자갈도상의 안정성 측면이나 노반압력, 장기침하 등 유지관리 측면에서 중요한 요소로서 도상두께는 각 나라마다 차이가 있으며 적용은 현행 ‘철도건설규칙’의 최소 도상두께를 따른다.

최소 도상두께를 기준으로 급선별 R.L-F.L 산정에 관한 적용, 검토는 다음과 같다.

표 1. 시공기면(F.L) 산정 기준 검토

구분	침목직하 최단거리로 할 경우	△형 정점으로 할 경우
개요도	 <p>< △형 노반의 경우 ></p> <p>< V형 노반의 경우 ></p> <p>< --- 형 노반의 경우 ></p>	 <p>< △형 노반의 경우 ></p> <p>< V형 노반의 경우 ></p> <p>< --- 형 노반의 경우 ></p>
특징	<ul style="list-style-type: none"> △형 또는 V형 노반면 형태, 선로간격과 관계없이 일정한 도상두께 및 R.L-F.L 높이 확보 가능 자갈량 감소로 경제적 	<ul style="list-style-type: none"> 일정한 도상두께 확보 곤란 배수기울기, 선로간격 변경에 따라 침목직하 도상두께가 불균일 하고 일반적으로 자갈량이 증가함
적용	◎	

결론적으로, 위 기준에 따라 산정한 R.L-F.L 높이 산정기준은 <표 2>와 같다.

표 2. R.L-F.L 산정기준

설계속도 (km/h)	레일(mm)	레일패드 (mm)	침목높이 (mm)	최소도상두께 (mm)	여유 (mm)	R.L-F.L 산정기준
$200 < V \leq 350$	174 (60kg)	10mm	203 (PCT)	350	3	740
$120 < V \leq 200$	174 (60kg)	10mm	195 (PCT)	300	1	680
$70 < V \leq 120$	153 (50N)	10mm	195 (PCT)	270	2	630
$V \leq 70$	153 (50N)	10mm	195 (PCT)	250	2	610



(6) 레일면고 차이 적용 검토

본선과 측선의 레일면고의 경우, 측선을 $V \leq 70\text{km/h}$ 의 선로로 가정하고 측선의 레일면고를 610mm로 할 경우, 본선과 측선과의 레일면고 차이는 레일면을 조정하는 방법과 시공기면을 조정하는 방법이 있다.

레일면고를 적용할 경우 발생할 수 있는 단점은 아래와 같다.

- ① 유지관리가 곤란함(부설 후 기간이 경과하면 정확한 구배변경점 확인이 어려우며, 1종 작업 등 유지관리시 자연스럽게 본선 높이로 조정되는 경향이 있음)
- ② 전차선 구간일 경우 전차선 높이 조정 곤란
- ③ 일정길이 체감 후 실제 낮은 레일면고 적용 연장이 짧다.(보통 100~300m)

따라서, 보통역의 경우 본선을 제외한 상·하선 한쪽의 측선 수가 3선 이하인 경우 시공기면을 본선과 측선을 동일하게 적용하는 것으로 하였다. 본선(주본선, 부분선 포함)을 제외한 상·하선 한쪽의 측선 수가 3선을 초과하는 경우와 기지의 경우에는 본선을 제외한 측선부터는 $V \leq 70$ 기준 R.L-F.L을 적용하는 것으로 하였고 부득이한 경우에는 본선을 제외한 측선부터 시공기면을 본선과 동일하게 한 상태에서 $V \leq 70$ 기준으로 레일면고를 조정할 수 있도록 하였다.

(7) 레일면고 체감 적용 검토

선별 레일면고 차이의 체감의 경우, 본선과 측선의 레일면고의 차이는 종곡선 설치 필요없는 600배 이상(약 1.7‰로서 차량 2량 이상의 길이)의 길이에서 하도록 하였다. 단, 측선에서의 체감의 경우, 분기기 내에는 기울기 변경점이 발생하지 않도록 연장을 조정할 수 있도록 하였다.

본선과 본선의 체감은 더 나은 승차감을 보장하기 위하여 1000배 이상으로 체감토록하고, 기울기 경합 조건에 해당하지 않도록 하였다.

2. 자갈케도 표준 단면

- (1) 더돋기를 하는 구간과 하지 않는 구간이 연속적으로 발생할 경우 현장여건을 반영하여 더돋기를 할 수 있다.
- (2) 터널구간은 온도차가 크지 않는 점을 감안하여 더돋기 없이 측벽면까지 직선으로 연장하는 것으로 한다.
- (3) 교량구간의 곡선에서는 도상 어깨선의 높이가 교측보도 높이를 초과할 경우 자갈막이를 설치하도록 하여 도상단면을 안정적으로 확보할 수 있도록 하여야 한다.
- (4) 정거장 측선은 열차운용요원의 편의를 위하여 더돋기 없이 선로 간 빈공간을 채우는 것으로 한다.
- (5) 선로 간 중심간격이 5m 이하인 구간의 선로간 중앙은 도상자갈로 채우는 것을 원칙으로 한다.

(6) 이상의 기준에 따라 노반기울기 형태 또는 구조물별로 구분한 자갈궤도 표준 단면은 다음과 같다.

여기서, D : 선로중심 간격(mm)

H : R.L~F.L(mm)

h : 최소 도상두께(mm)

W : 침목폭(mm)

B : 최소 도상어깨폭(mm)

b : 더듬기까지의 도상 어깨폭(mm)

C : 캔트량(mm)

X : 시공기면 횡단 기울기(%)

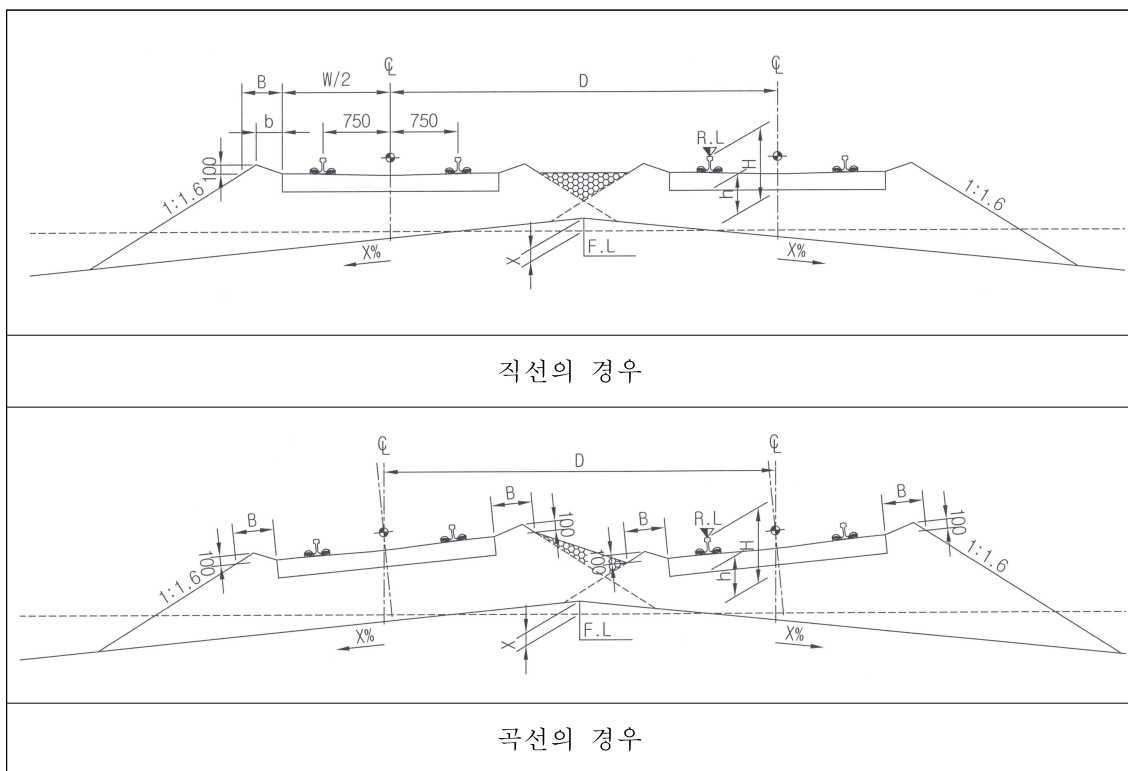


그림 4. 노반면이 블록형(△형)이고 장대·장척구간의 경우($V \leq 200\text{km/h}$)

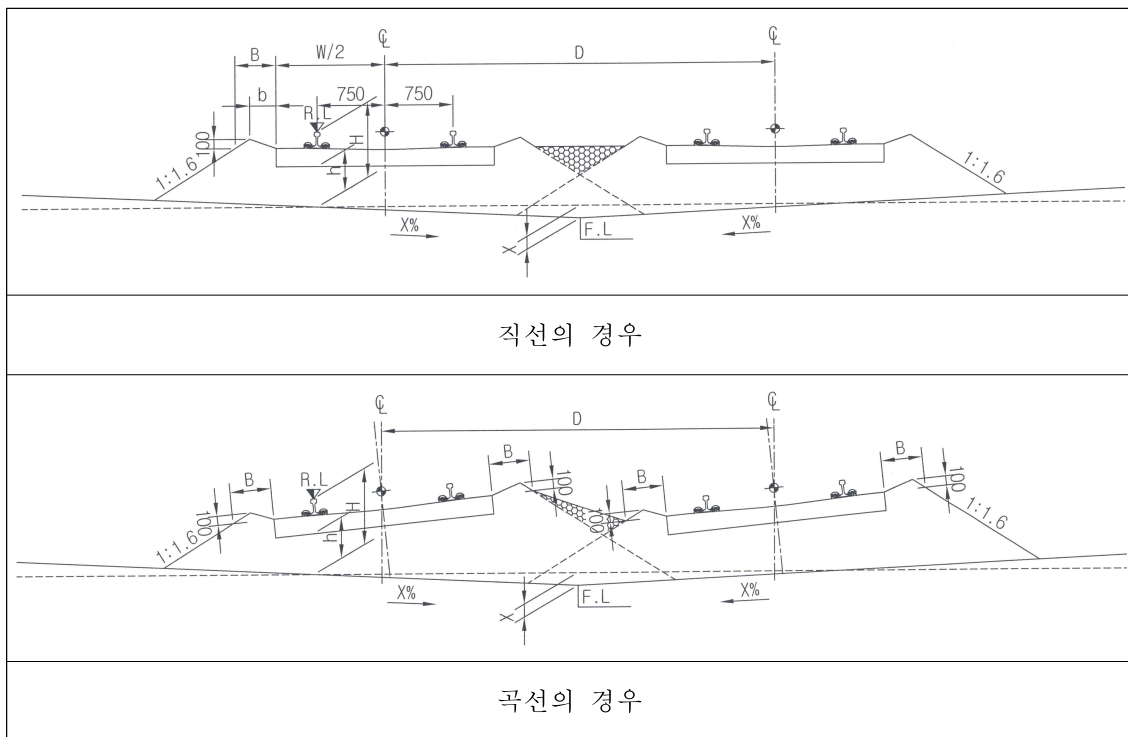


그림 7. 노반면이 오목형(V형)이고 장대·장척구간의 경우($V \leq 200\text{km/h}$)

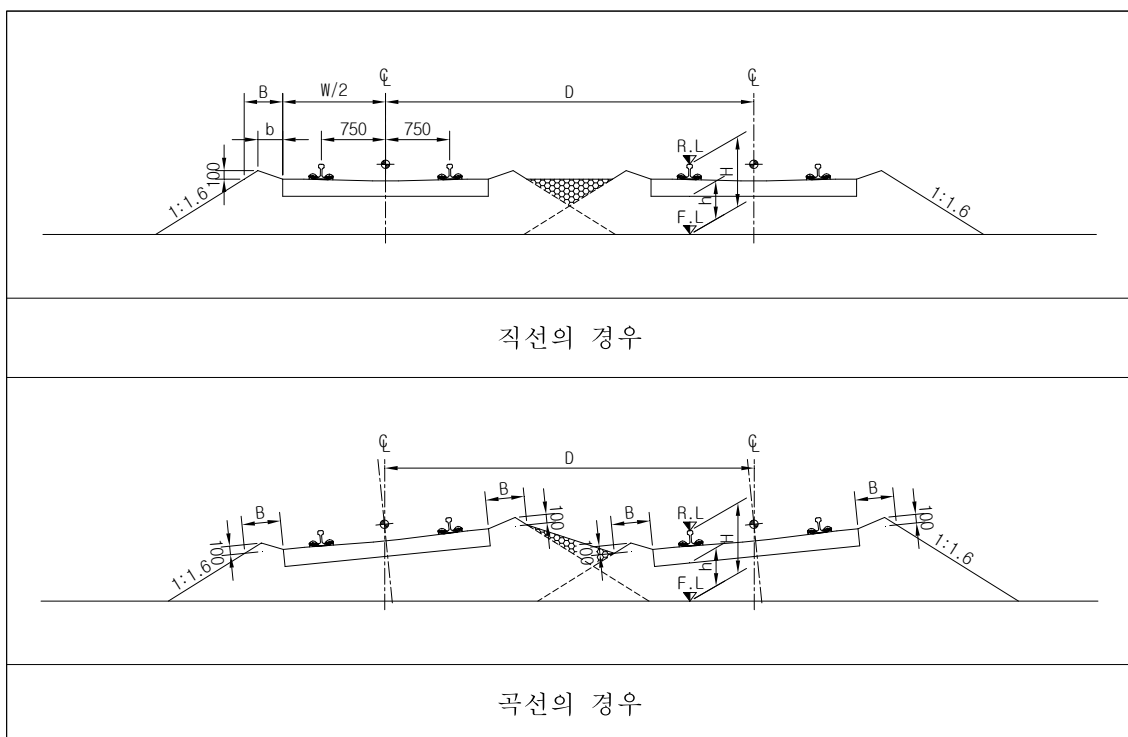


그림 10. 노반면이 평면형(Level 형)이고 장대·장척구간의 경우($V \leq 200\text{km/h}$)

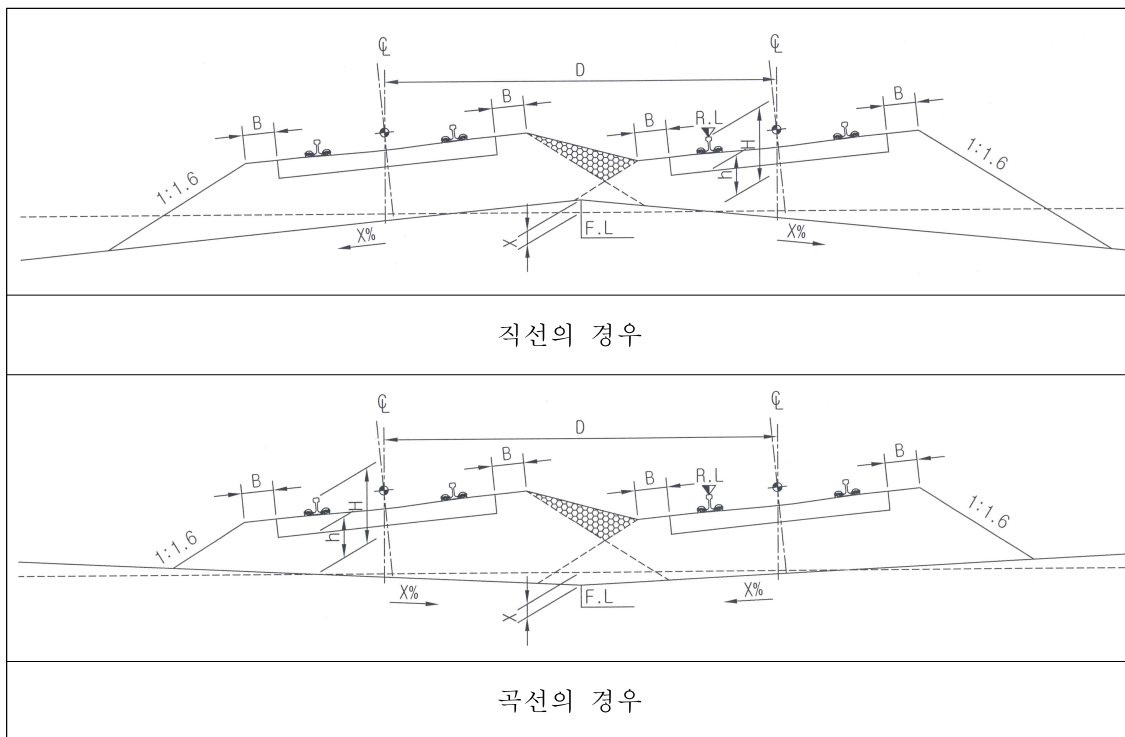


그림 11. 노반면이 볼록형(△형)이고 정척구간의 경우($V \leq 200\text{km/h}$)

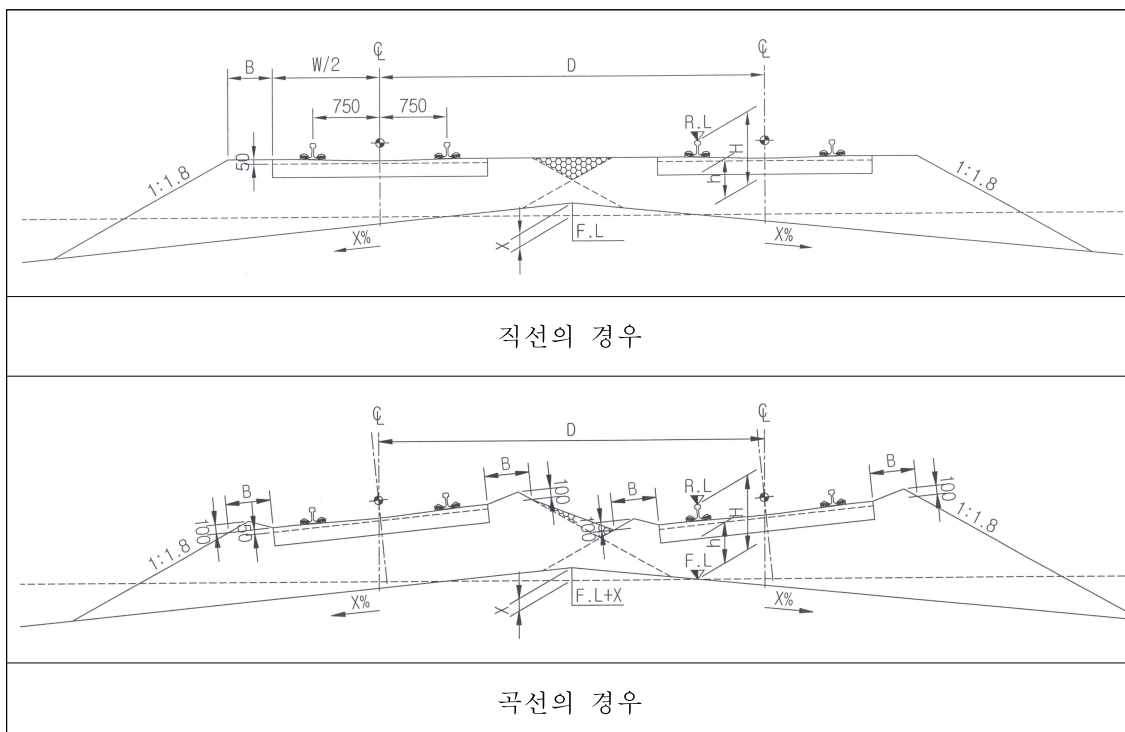


그림 14. 노반면이 오목형(▽형)이고 정척구간의 경우($V \leq 200\text{km/h}$)

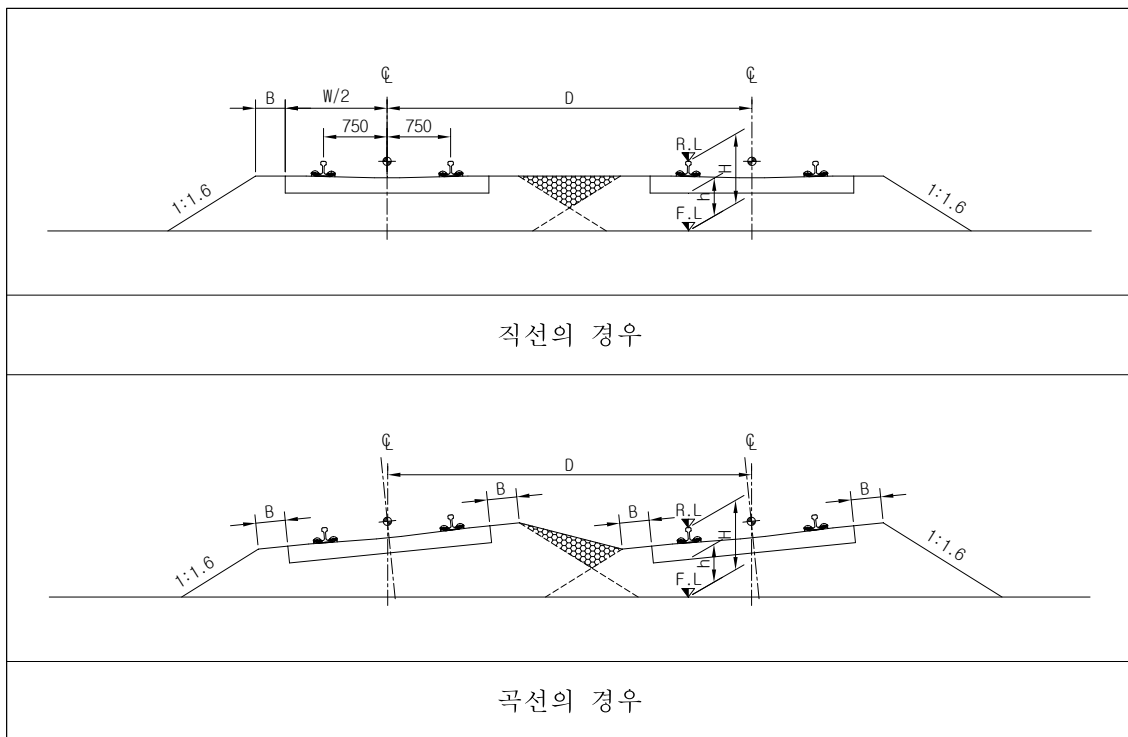


그림 17. 노반면이 평면형(Level 형)이고 정척구간의 경우($V \leq 200\text{km/h}$)

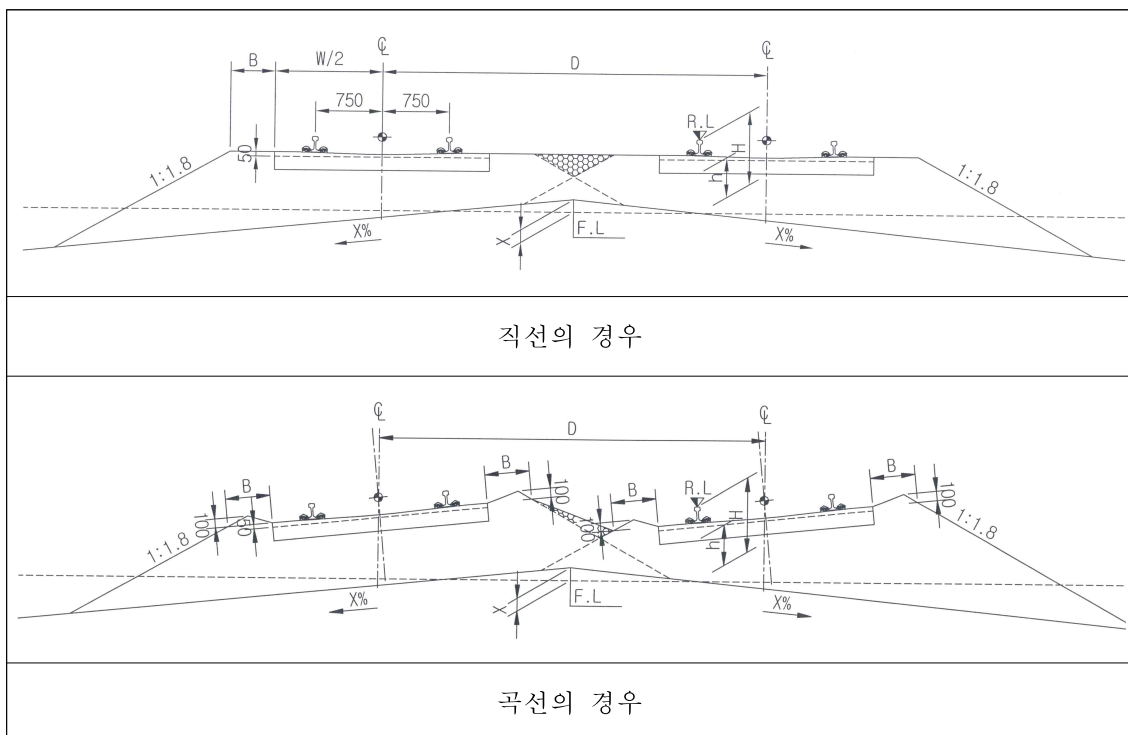


그림 18. 노반면이 블록형(△형)이고 장대·장척구간의 경우($200 < V \leq 300\text{km/h}$)

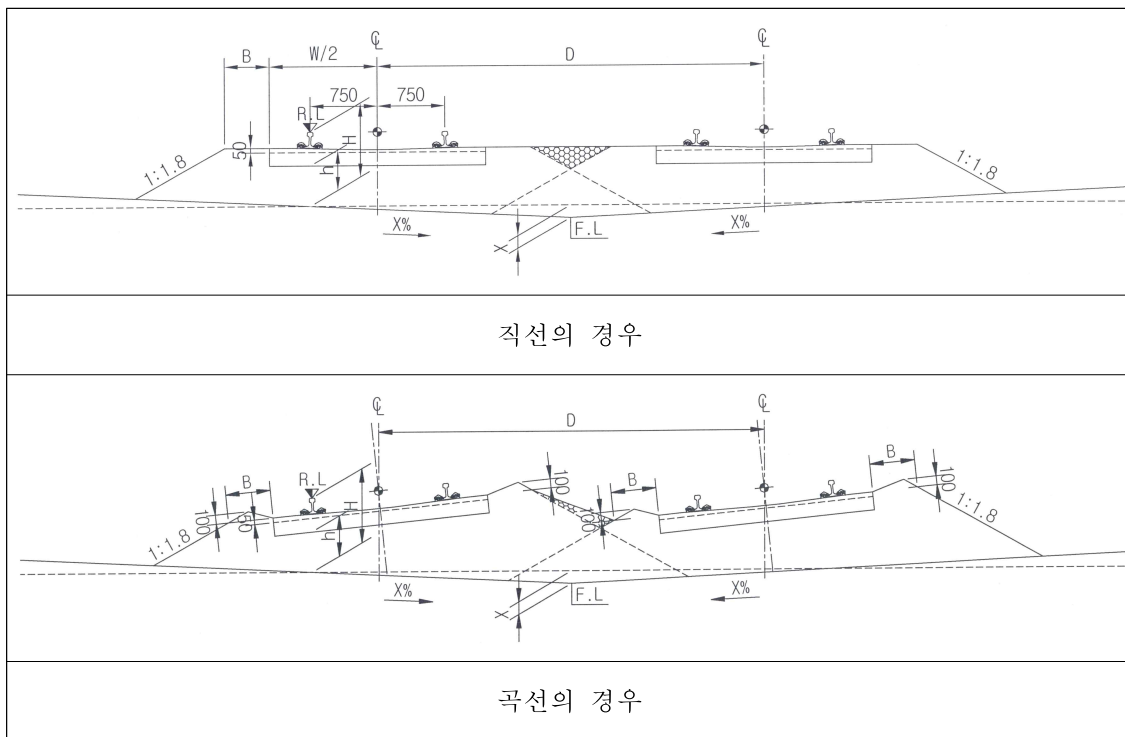


그림 21. 노반면이 오목형(V형)이고 장대·장척구간의 경우($200 < V \leq 300 \text{km/h}$)

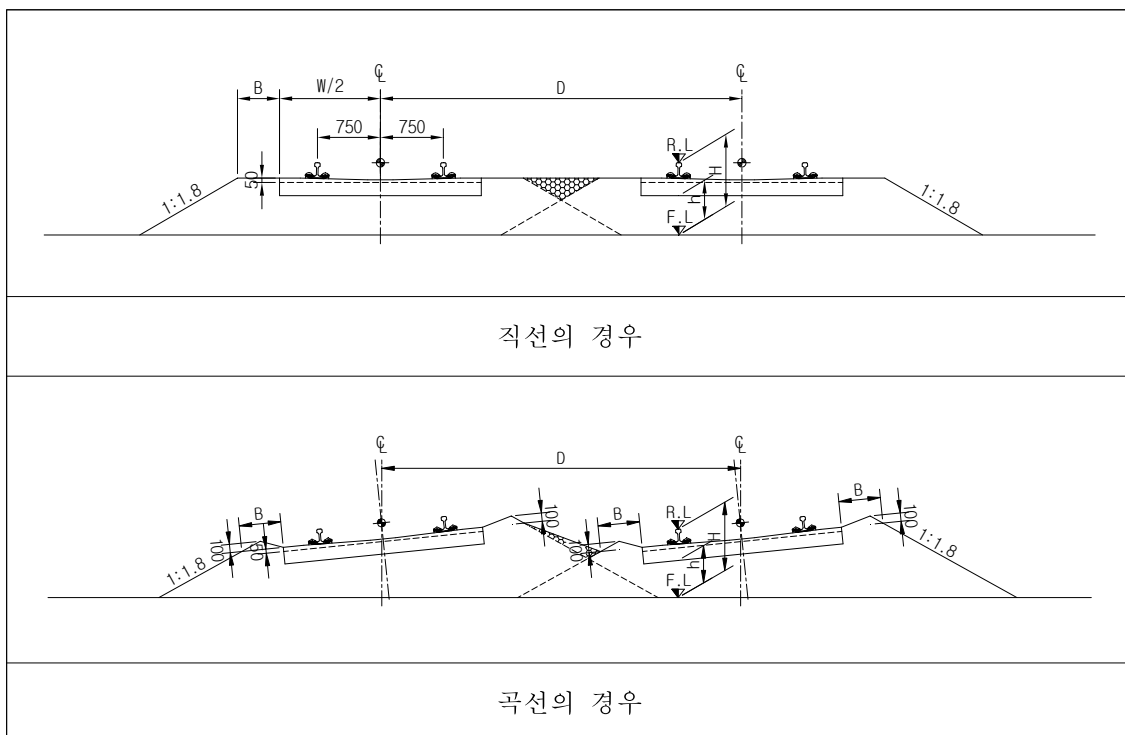


그림 24. 노반면이 평면형(Level형)이고 장대·장척구간의 경우($200 < V \leq 300 \text{km/h}$)

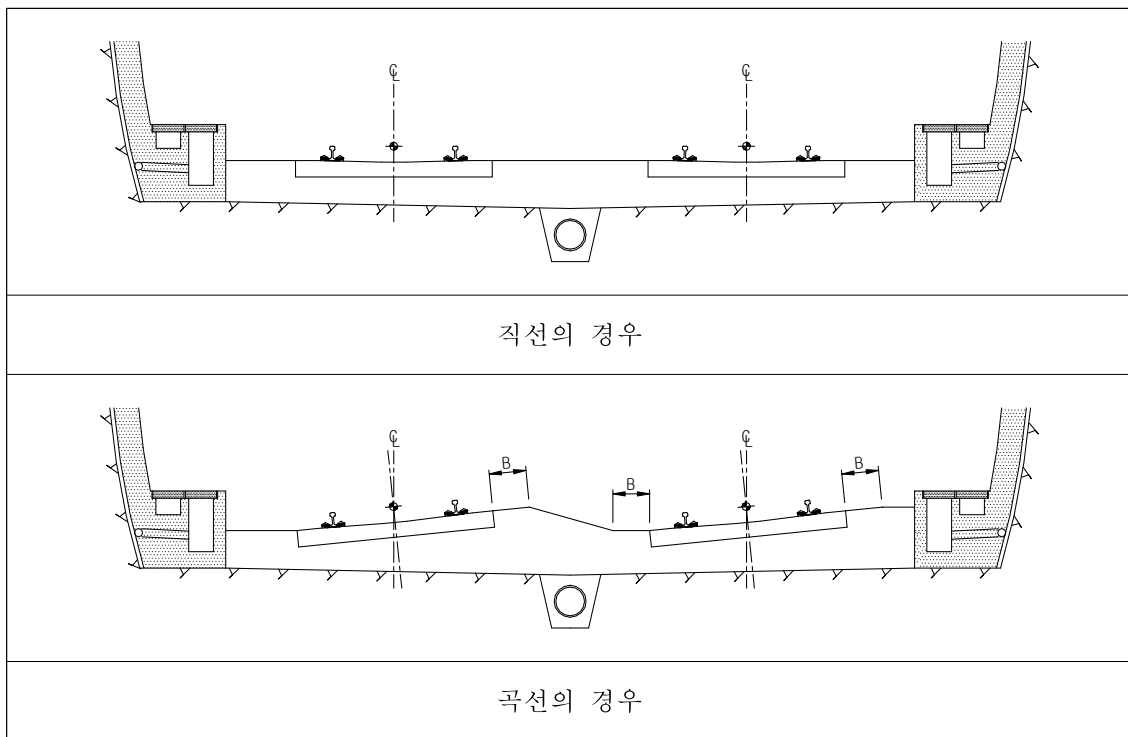


그림 25. 터널의 경우

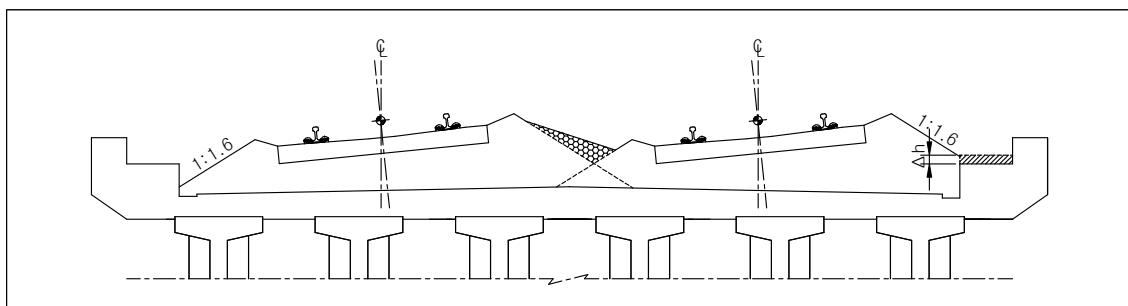


그림 26. 교량구간 곡선의 경우

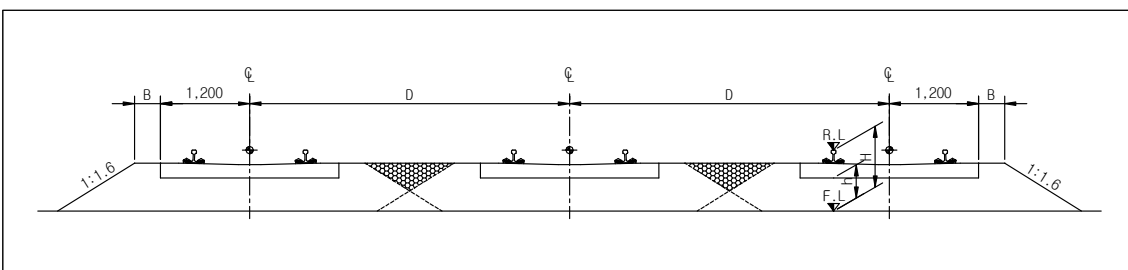


그림 27. 정거장 측선구간의 경우

(7) 도상어깨폭 및 더돋기

외국의 사례와 ‘선로정비지침’ 등을 감안하여

- ① 장대 및 장척레일 구간 : 450mm 이상 (단, 고속전용선의 경우 500mm 이상)
- ② 정척레일 구간 : 350mm 이상
- ③ 장대 및 장척레일 구간의 도상어깨는 도상 횡저항력 강화를 목적으로 침목끝단에서 300mm(고속전용선의 경우 특수한 개소에 350mm) 까지 100mm 더돋기 하는 것을 원칙으로 한다.

(8) 도상어깨 기울기

- ① 기존 ‘선로정비지침’상의 장척, 장대레일구간 도상어깨기울기 기준이 1:1.577인 점
- ② 유럽의 경우 도상어깨기울기는 대부분 1:1.5를 적용하고 있는 점
- ③ 모래.자갈의 안식각이 1:1.6~1:1.4인 점
- ④ 도상어깨기울기가 도상횡저항력에 미치는 영향이 적은 점 등을 감안하여 장대, 장척, 정척과 속도별 구분없이 1:1.6으로 통일 적용한다.

다만, 고속철도의 경우는 고속선의 ‘선로정비지침’과 신간선에서의 사례를 감안하여 기준과 동일한 1:1.8로 적용하였다.



해설 2. 작용하중

1. 하중의 분류 및 적용

궤도에 작용하는 하중으로서 수직하중, 횡하중, 종방향 하중으로 크게 구분할 수 있으며, 수직하중은 <그림 16>에서와 같이 정적하중, 동적하중, 통과하중으로 구분이 가능하다. 또한, 동적하중은 다시 유효하중과 충격하중으로 구분할 수 있으며, 이렇게 세부적으로 하중을 구분하는 목적은 궤도의 안전성 검토에서 검토 목적에 따라 적합한 하중을 사용하여야 하기 때문이다.

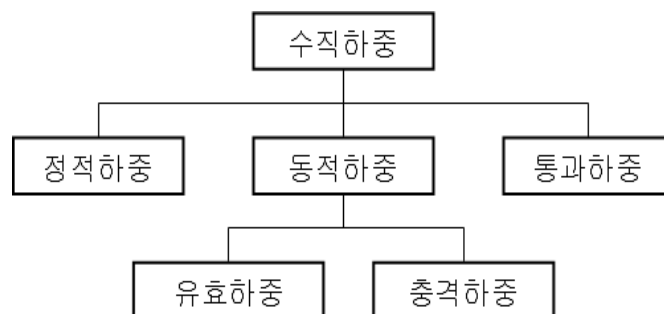


그림 16. 열차하중에 대한 영향 인자

예를 들어, 궤도재료의 안전성을 검토할 경우에는 가장 예외적인 하중이 작용하였을 경우를 가정하여 안전측에서 검토하여야 하지만, 레일의 처짐량을 계산할 경우에는 예외적인 경우 보다는 통상적으로 일어날 수 있는 하중의 조건에서 검토하는 것이 합리적이라 하겠다.

또한, 궤도의 피로도나 궤도틀림을 검토할 경우에는 누적된 하중의 크기를 기준으로 검토하는 것이 합리적이라 할 수 있다.

이러한, 이유로 궤도구조의 안전성 검토에 있어 적절한 하중의 적용은 중요한 사항이라 할 수 있다.

2. 표준 정적하중

일반철도, 전동차전용선, 고속철도전용선에 대한 정적축중은 구조물설계와의 일관성, 자갈궤도와 콘크리트궤도 구조계산과의 일관성을 고려하여 상위규정인 ‘철도의 건설기준에 규정(국토해양부)’에 의거 적용하였다.

3. 표준 동적하중

(1) 표준 동적하중의 계산은 아래의 식을 이용한다.

- ① 궤도틀림 및 캔트부족 또는 캔트초과에 기인하는 윤하중을 고려한 유효하중은 아래의 식을 이용한다.

$$Q_{eff} = Q \times 1.2$$

- ② 차륜/레일 간 요철, 레일절손 등에 기인하는 차량 탄성하 부분의 상하 진동에 따른 예외적인 충격에 의한 동적하중은 아래의 식을 이용한다.

$$Q_{dyn} = Q_{eff} \times DAF$$

여기서, $V \leq 60\text{km/h}$ 일 경우, $DAF = 1 + t \cdot \phi$

$$60 < V \leq 300\text{km/h} \text{ 여객열차일 경우, } DAF = 1 + t \cdot \phi \left(1.0 + 0.5 \frac{V-60}{190}\right)$$

$$60 < V \leq 140\text{km/h} \text{ 화물열차일 경우, } DAF = 1 + t \cdot \phi \left(1.0 + 0.5 \frac{V-60}{80}\right)$$

여기서, Q : 정적운중 (kN)

Q_{eff} : 유효운중 (kN)

Q_{dyn} : 동적운중 (kN)

DAF(Dynamic Amplitude Factor) : 동적할증계수

t : 확률의 신뢰구간에 좌우되는 표준편차의 가중치

ϕ : 궤도품질에 좌우되는 계수

가. t 의 적용 기준 :

$t = 1$ (확률 68.3%), 접촉응력, 노반 구조계산에 적용

$t = 2$ (확률 95.4%), 횡하중, 도상 구조계산에 적용

$t = 3$ (확률 99.7%), 레일 응력, 체결장치, 침목 구조계산에 적용

나. ϕ 의 적용 기준 :

매우 양호한 궤도의 경우 $\phi = 0.1$

양호한 궤도의 경우 $\phi = 0.2$ (설계시 추천 적용값)

불량한 궤도의 경우 $\phi = 0.3$

- (2) 철도차량이 혼용하는 구간의 경우에는 축중별 최고속도에 의한 동적하중을 비교하여 더 큰 동적하중을 적용한다.

- (3) 동적하중 적용사유

동적하중의 크기에 대한 이론식은 매우 다양하여 어느 것이 정답이라고 하기에는 어려움이 있지만, 다양한 조건에서 동적하중 값을 찾을 수 있고, 화물과 여객열차 구분적용이 가능하고, 운행속도 300km/h까지 적용이 가능한 유럽의 Track compendium에 제시된 식을 반영하였다. <그림 17>에서 보듯이 150km/h 이하에서는 현재 우리나라식과 일본의 정척 경우의 식, Track compendium에 제시된 노반양호의 식이 비슷한 크기를 보이고 있으며, 일본의 장대의 경우와 Eisenmann 식의 노반 매우양호 상태가 비슷한 크기를 보이는 것을 알 수 있으며, 150km/h 초과 속도에서는 Track compendium에 제시된 노반양호 식의 결과가 일본의 장대의 경우와 유사함을



알 수 있다.

<그림 18>은 같은 유럽식이라 하더라도 Track compendium에 제시된 식과 Esveld 책에서 제시된 Eisenmann 식과는 상당한 차이가 있음을 알 수 있으며, 여기서는 구조계산의 일관성을 위하여 Track compendium에 제시된 식을 적용하였다.

그림 29. 나라별 적용 충격계수의 비교

그림 30. 유럽의 조건별 충격계수의 비교

표 3. 적용식별 충격계수 비교표

속도 (km/h)	국내 -	Modern Railway Track			일본		track compendium		
		노반매 우양호	노반 양호	노반 불량	정척	장대	노반매 우양호	노반 양호	노반 불량
10	1.051	1.300	1.600	1.900	1.050	1.030	1.300	1.600	1.900
20	1.103	1.300	1.600	1.900	1.100	1.060	1.300	1.600	1.900
30	1.154	1.300	1.600	1.900	1.150	1.090	1.300	1.600	1.900
40	1.205	1.300	1.600	1.900	1.200	1.120	1.300	1.600	1.900
50	1.257	1.300	1.600	1.900	1.250	1.150	1.300	1.600	1.900
60	1.308	1.300	1.600	1.900	1.300	1.180	1.300	1.600	1.900
70	1.359	1.321	1.643	1.964	1.350	1.210	1.308	1.616	1.924
80	1.410	1.343	1.686	2.029	1.400	1.240	1.316	1.632	1.947
90	1.462	1.364	1.729	2.093	1.450	1.270	1.324	1.647	1.971
100	1.513	1.386	1.771	2.157	1.500	1.300	1.332	1.663	1.995
110	1.564	1.407	1.814	2.221	1.550	1.330	1.339	1.679	2.018
120	1.616	1.429	1.857	2.286	1.600	1.360	1.347	1.695	2.042
130	1.667	1.450	1.900	2.350	1.650	1.390	1.355	1.711	2.066
140	1.718	1.471	1.943	2.414	1.700	1.420	1.363	1.726	2.089
150	1.770	1.493	1.986	2.479	1.750	1.450	1.371	1.742	2.113
160	1.821	1.514	2.029	2.543	1.800	1.480	1.379	1.758	2.137
170	1.872	1.536	2.071	2.607	1.850	1.510	1.387	1.774	2.161
180	1.923	1.557	2.114	2.671	1.900	1.540	1.395	1.789	2.184
190	1.975	1.579	2.157	2.736	1.950	1.570	1.403	1.805	2.208
200	2.026	1.600	2.200	2.800	2.000	1.600	1.411	1.821	2.232
210	2.077				2.050	1.630	1.418	1.837	2.255
220	2.129				2.100	1.660	1.426	1.853	2.279
230	2.180				2.150	1.690	1.434	1.868	2.303
240	2.231				2.200	1.720	1.442	1.884	2.326
250	2.283				2.250	1.750	1.450	1.900	2.350
260	2.334				2.300	1.780	1.458	1.916	2.374
270	2.385				2.350	1.810	1.466	1.932	2.397
280	2.436				2.400	1.840	1.474	1.947	2.421
290	2.488				2.450	1.870	1.482	1.963	2.445
300	2.539				2.500	1.900	1.489	1.979	2.468
310	2.590				2.550	1.930	1.497	1.995	2.492
320	2.642				2.600	1.960	1.505	2.011	2.516
330	2.693				2.650	1.990	1.513	2.026	2.539
340	2.744				2.700	2.020	1.521	2.042	2.563
350	2.796				2.750	2.050	1.529	2.058	2.587



4. 통과하중(통과톤수)

(1) 일개 선로구간의 일일통과하중(일일통과톤수)의 계산은 아래의 식을 따른다.

$$T_f = S_v \cdot (T_v + K_t \cdot T_{tv}) + S_m (K_m \cdot T_m + K_t \cdot T_{tm})$$

여기서,

T_f : 이론 통과하중

S_v 와 S_m 은 주행열차의 속도와 관련된 계수로서,

S_v = 가장빠른 여객열차의 속도와 관련된 계수

S_m = 일반 화물열차의 속도와 관련된 계수

$V \leq 60\text{km/h}$ 일 경우, S_v 와 $S_m = 1.00$

$60\text{km/h} < V \leq 80\text{km/h}$ 일 경우, S_v 와 $S_m = 1.05$

$80\text{km/h} < V \leq 100\text{km/h}$ 일 경우, S_v 와 $S_m = 1.15$

$100\text{km/h} < V \leq 130\text{km/h}$ 일 경우, S_v 와 $S_m = 1.25$

$130\text{km/h} < V \leq 160\text{km/h}$ 일 경우, $S_v = 1.35$

$160\text{km/h} < V \leq 200\text{km/h}$ 일 경우, $S_v = 1.40$

$200\text{km/h} < V \leq 250\text{km/h}$ 일 경우, $S_v = 1.45$

$250\text{km/h} < V$ 일 경우, $S_v = 1.50$

T_v = 여객열차 일일통과하중

K_t = 기관차 축의 마모를 고려한 계수 (1.40)

T_{tv} = 여객열차 견인에 사용된 기관차의 일일통과하중

S_m = 보통의 화물열차의 속도와 관련된 계수

K_m = 화물열차 보기의 하중과 차륜의 마모를 고려한 계수(보통 $K_m=1.15$, 20톤이상의 빈도가 50% 이상, 22.5톤 이상의 빈도가 25%일 경우에는 $K_m=1.30$, 20톤이상의 빈도가 75% 이상, 22.5톤 이상의 빈도가 50%일 경우에는 $K_m=1.45$)

T_m = 화물열차 일일통과하중

T_{tm} = 화물열차 견인에 사용된 기관차의 일일통과하중

(2) 일개 선로구간의 연간통과하중(연간통과톤수)의 계산은 일일통과톤수×365일을 기준으로 한다.

(3) 일일 통과하중의 적용

일일통과하중의 계산식은 자료별로 약간씩의 차이는 있으나 적용은 가장 공신력이 있다고 판단되는 UIC에서 규정한 계산식을 따른다.

5. 횡하중

- (1) 차륜이 접촉하는 레일에의 정적과 동적횡하중을 고려하여 레일의 측면 1지점에 작용하는 횡하중은 아래의 식에 의한다.

$$F_H = H_s + H_d$$

여기서, F_H = 횡하중(kN)

H_s = 정적횡하중(kN)

H_d = 동적횡하중(kN)

곡선상에서 불평형 원심력과 구동력에 따른 정적횡하중의 계산은 다음식에 의한다.

$$H_s = \frac{P \cdot C_d}{1500}$$

여기서, P = 축중(kN)

C_d = 최대 캔트부족량(mm) (100mm 를 표준)

동적횡하중은 궤도의 틀림이나 차량의 결함에 의한 추가적인 횡하중으로 계산은 다음 식에 의한다.

$$H_d = \frac{P \cdot V}{1000}$$

여기서, P = 축중(kN)

V = 설계속도(km/h)

횡력의 한도는 다음을 초과하지 않아야 한다.

$$F_H < 10 + \frac{P}{3}$$

여기서, F_H = 횡하중(kN)

P = 축중(kN)

- (2) 적용 사유

횡력의 크기에 대한 이론식은 다양하여 어느 것이 정답이라고 하기에는 어려움이 있지만, 유럽 및 미국에서 주로 사용하고 있고, 궤도구조 계산 파라미터의 일관성을 유지하고, 불평형 원심력과 속도별 조건으로 횡력을 구할 수 있는 유럽식을 적용하였다.

횡력의 한도는 유럽에서 오랫동안 연구되어 TSI에서 적용하고 있는 Prud'homme 공식을 적용하였다.

6. 종방향하중

- (1) 장대레일의 부동구간에 온도하중으로 인하여 레일에 작용하는 종방향하중은 아래 식에 의한다.



$$F_L = EA\beta(t - t_0)$$

여기서, F_L : 종방향하중(kN)

E : 레일강의 영률(kN/mm^2) = $210\text{kN}/\text{mm}^2 = 210,000\text{N}/\text{mm}^2$

A : 레일의 단면적(mm^2)

β : 레일강의 선팽창계수

t : 장대레일 온도($^{\circ}\text{C}$)

t_0 : 장대레일 설정 온도($^{\circ}\text{C}$)

(2) 궤도에 작용하는 시·제동 하중의 적용 및 크기는 아래에 의한다.

- ① 제동 하중 및 시동 하중의 작용 위치는 열차 또는 차량의 중심 위치로 하고 궤도에 대해서 평행하고 수평으로 작용하는 것으로 한다.
- ② 극한한계 상태의 검토에 이용하는 제동하중은 축중의 15%에 의하는 것으로 한다.
- ③ 극한한계 상태의 검토에 이용하는 시동하중은 동륜 축중의 25%에 의하는 것으로 한다.
- ④ 열차 하중의 재하 길이는 부재에 최대의 영향을 주는 범위로 한다.

(3) 교량구간에 온도하중 또는 시·제동 하중으로 인하여 궤도에 작용하는 종방향력의 계산은 ‘장대레일편’을 참조.

(4) 레일에 작용하는 종방향력에 의한 궤도의 안정성 검토는 ‘장대레일편’을 참조.

(5) 적용 사유

온도에 의한 종방향력은 일반적인 온도팽창에 의한 축압력 이론 식을 적용하고 시·제동하중에 대하여는 현행 국내의 기준을 적용하였다.

해설 3. 궤도자재의 허용응력

1. 레일의 허용응력

- (1) 50kgN, 60kg, 60kgKR 레일의 허용 인장응력은 $\sigma_t=800\text{N/mm}^2$ 을 기준으로 하고 반복하중의 피로에 의한 레일의 허용응력은 $\sigma_f=200\text{N/mm}^2$ 이하이어야 한다.
- (2) 60kgK, UIC 60kg 레일의 허용 인장응력은 $\sigma_t=880\text{N/mm}^2$ 을 기준으로 하고 반복하중의 피로에 의한 레일의 허용응력은 $\sigma_f=220\text{N/mm}^2$ 이하이어야 한다.
- (3) 교량상에서 레일의 허용응력을 검토하는 경우 교량상 허용부가응력(6.6 자갈궤도 적용 검토기준 및 6.7 콘크리트궤도 적용 검토기준)을 제외한 응력을 레일의 허용응력으로 고려하여야 한다.
- (4) 레일의 탄성계수는 $210,000\text{MPa}$ 를 기준으로 한다.
- (5) 레일의 선팽창계수는 $1.14 \times 10^{-5} / ^\circ\text{C}$ 를 기준으로 한다.
- (6) 적용사유

레일의 허용 피로응력에 대한 기준은 일본과 유럽, 레일상태별로 서로 상이하지만 궤도구조 계산식의 적용 및 판별의 일관성을 유지하고자 Esveld 책에 제시된 유럽식을 적용하였다. 따라서, 동일한 재질인 60kgK 레일과 UIC 60kg 레일의 허용 인장응력은 $\sigma_t=880\text{N/mm}^2$ 을 기준으로 반복하중의 피로에 의한 레일의 허용응력은 $\sigma_f=220\text{N/mm}^2$ 적용하였고, 허용 인장응력이 $\sigma_t=800\text{N/mm}^2$ 인 50kgN, 60kg, 60kgKR 레일의 허용응력은 인장응력에 대한 비례식으로 10%가 감소한 $\sigma_f=200\text{N/mm}^2$ 를 적용하였다.

2. 침목의 허용응력

- (1) 침목의 허용지압응력은 아래의 식을 따른다.

$$f_{ca} = 0.25f_{ck}$$

여기서, f_{ca} : 허용지압응력

f_{ck} : 재령 28일 콘크리트 압축강도

- (2) PC침목 설계에 관한 표준은 KR C-14030 자갈궤도 구조 [부록 1] “PC침목 설계절차”를 따르며, 기타 사항은 콘크리트구조기준(국토교통부)을 준용한다.

3. 도상자갈의 허용압력

- (1) 침목하면의 도상자갈에 작용하는 허용 접촉압력은 여객열차 전용구간은 0.3N/mm^2 이하로 하고, 여객/화물열차 혼용구간은 0.5N/mm^2 이하로 한다..
- (2) 적용 사유

침목하면에 작용하는 도상자갈의 허용 접촉압력은 안전치를 고려하여 Track



Compendium에서 제시한 값을 적용하였다.

4. 노반의 허용압력

(1) 도상자갈 하면의 노반에 작용하는 허용압력은 다음의 식에 의한다.

$$\sigma_z = \frac{0.006E_{v2}}{1+0.7\log N}$$

σ_z : 노반의 허용압력(N/mm²)

E_{v2} : 평판재하시험의 두 번째 하중 단계에서 취한 탄성계수

N : 하중 사이클의 반복 수(2백만회를 표준)

노반의 상태에 따른 허용압력의 계산값은 다음표와 같다.

노반 상태	E_{v2} (N/mm ²)	K_{30} (N/mm ²)	σ_z (N/mm ²) $n=2 \cdot 10^6$
매우 불량	10	0.011	0.011
불량	20	0.022	0.022
보통	50	0.055	0.055
양호	80	0.089	0.089
양호	100	0.111	0.111
매우 양호	120	0.133	0.133

(2) 노반의 탄성계수나 지지력계수에 대한 값은 노반 설계조건을 기준으로 적용하고 관련 자료를 구할 수 없을 경우에는 실측에 의한 값 또는 노반 양호상태의 값을 적용한다.

(3) 적용 사유

노반에 대한 허용압력의 식은 유럽에서 주로 사용하는 Heukelom 과 Klomp의 경험식을 적용하였으며, E_{v2} 와 K_{30} 값에 따른 2백만회 수에서의 허용응력값도 함께 제시하였다.

해설 4. 궤도구조 계산

1. 궤도 합성 스프링정수의 계산

- (1) 자갈궤도의 구조계산에 사용하는 궤도의 합성 스프링정수는 아래의 방법에 의한다.
단, 아래의 탄성체 구성요소가 변경될 경우에는 탄성체를 추가하거나 삭제할 수 있다. 예를 들어, 바ラスト매트, 이중 탄성패드와 같은 경우에는 항을 추가하고 도상자갈과 노반과의 스프링정수를 분리하지 않고 단일 스프링정수를 사용할 경우에는 항을 감소하는 것으로 한다.

$$K_T = \frac{1}{\frac{1}{K_f} + \frac{1}{K_b} + \frac{1}{K_s}}$$

여기서, K_T = 궤도 합성 스프링정수(kN/mm)

K_f = 레일패드 스프링정수(kN/mm)

K_b = 도상자갈 스프링정수(kN/mm)

K_s = 노반 스프링정수(kN/mm)

- (2) 레일패드의 스프링 정수 K_f 는 레일처짐에 대한 검토시에는 공칭 정적 스프링정수값을 적용하지만, 궤도부재에 대한 안정성 검토는 안전측의 설계를 위해 구조설계 시에는 동적 스프링정수를 적용한다. 별도의 시험값이 없다면 동적 스프링정수는 설계 정적 스프링정수의 2배 이상으로 가정한다.
- (3) 침목반분에 대한 순수한 도상자갈만의 스프링정수는 200kN/mm를 표준으로 한다. 다만, 도상두께 또는 도상조건에 따른 상세 도상 스프링정수의 계산을 위한 K_b 는 다음의 산식으로 구한다.
- ① 침목하면의 응력분포는 <그림 19>와 같이 침목하면 15cm까지는 응력이 확산되지 않은 것으로 가정하고, 그 이상의 깊이에서는 45°각도로 확산되는 것으로 가정한다. 이러한 가정을 토대로, 도상을 탄성체로 가정할 경우 침목, 상층, 중층, 하층도상 사이의 스프링계수를 각각 다음 식에 의하여 구할 수 있다.

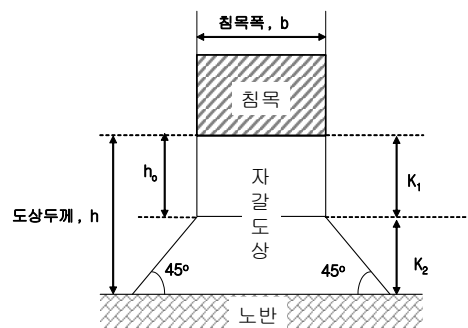


그림 19. 침목하면의 응력분포 (일반적인 경우)



$$k_1 = \frac{E_s \times b \times l}{2h_o}$$

$$k_2 = \frac{d_{k1} \times d_{k2}}{d_{k1} + d_{k2}}$$

여기서, b : 침목의 유효폭

l : 침목의 유효길이(침목길이의 반분)

h : 도상두께

h_o : 침목하면에서 응력이 확산되지 않은 두께(15cm)

E_s : 도상탄성계수(일반적으로 210MN/m²)

나머지 변수들은 다음 식으로 계산된다.

$$h_h = h - h_o \quad d_b = b + 2 \times h_h \quad d_l = l + 2 \times h_h$$

$$z_1 = b \times l + b \times d_l + d_b \times l + 3 \times d_b \times d_l$$

$$z_2 = 2 \times b \times l + b \times d_l + d_b \times l + 2 \times d_b \times d_l$$

$$z_s = \frac{h_h \times z_1}{2 \times z_2}$$

$$g_{l1} = \log \frac{(h_h + b/2) \times l}{(h_h + l/2) \times b}$$

$$g_{l2} = \log \frac{(h_h - z_s + b/2) \times l}{(h_h - z_s + l/2) \times b}$$

$$d_{k1} = \frac{E_s \times (l - b)}{g_{l2}}$$

$$d_{k2} = \frac{E_s \times (l - b)}{(g_{l1} - g_{l2})}$$

따라서 도상두께 h에 대한 도상강성은 다음 식으로 주어진다.

$$K_b = \frac{1}{1/k_1 + 1/k_2}$$

- ② 침목하면이 완전 고결된 경우는 강성이 무한한 것으로 가정하고, 부분 고결되었을 경우는 상기의 도상강성 계산방식에서 고결된 깊이 만큼을 도상두께 h에서 뺀 두께에 대한 도상강성을 구한다.

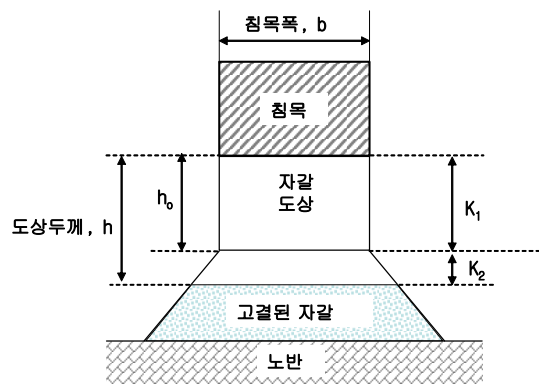


그림 20. 침목하면의 응력분포 (자갈이 부분고결된 경우)

- ③ 도상이 완전 고결된 경우는 <그림 21>의 응력확산에 대한 가정으로부터 d_b 및 d_l 를 구한 후 식에 의하여 강성을 구한다.

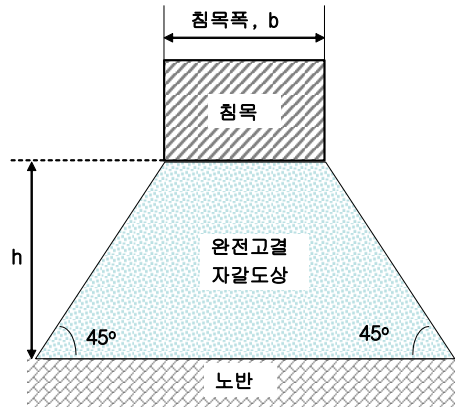


그림 21. 침목하면의 응력분포 (자갈이 완전고결된 경우)

- (4) 노반의 스프링 정수는 도상내 압력 분포를 이용한 노반 압력의 분포 면적과 초기 노반 지지력 계수를 구하고 산식은 다음 식에 의한다.

$$K_s = C_s \cdot S_b / 2$$

$$C_s = 2 \times K_{75} = 2 \times K_{30} / 2.2$$

여기서, K_s : 노반지지면적 반분에 대한 노반 스프링정수(kN/mm)

C_s : 초기 노반 지지력계수(N/mm³)

S_b : 침목당 평균 노반 압력의 분포 면적(mm²)

K_{30} : 직경 30cm의 재하판을 이용한 평판재하시험에 의해서 구해진 침하량 1.25mm에 대응하는 노반 지지력계수

K_{75} : 직경 75cm의 재하판을 이용한 평판재하시험에 의해서 구해진 침하량 1.25mm에 대응하는 노반 지지력계수

침목당 평균 노반압력의 분포면적 S_b 는 다음의 <그림 22>에 제시된 바와 같이 구한다.

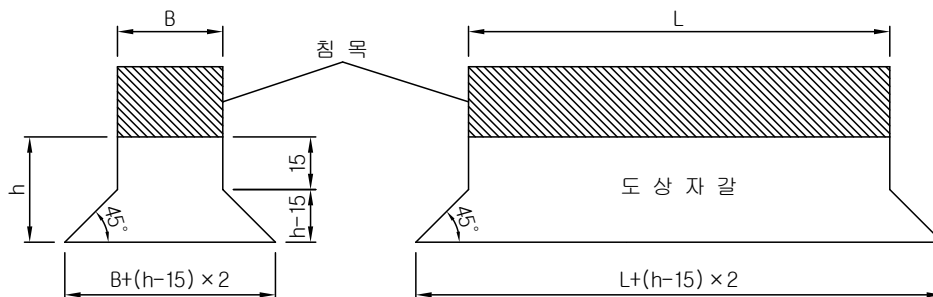


그림 22. 평균 노반 압력의 분포 면적



단, 노반이 교량이나 터널구간과 같이 콘크리트 도상으로 구성된 강체 구간일 경우 스프링정수는 무한대로 가정 한다.

- ① 노반의 탄성계수 E_v 와 노반의 지지력계수 C 와의 관계식은 다음과 같다.

$$C = \frac{2E_v}{\pi r \cdot (1 - \nu^2)} = \frac{E_v}{1.5r}$$

여기서, E_v : 노반의 탄성계수(N/mm²)

C : 노반 지지력계수(N/mm³)

r : 평판플레이트 직경(mm)

위 식은 760mm 직경의 플레이트와 1.25mm의 표준 처짐상태에서의 프와송 비 $\nu = 0.21$ 를 적용한 결과이며, 플레이트의 직경이 다른 것을 사용하였을 경우에는 보정 계수를 곱하여 준다. 300mm 직경의 플레이트는 0.5를 곱하고 500mm 직경의 플레이트는 0.76을 곱한다.

- ② 노반상태에 따른 노반의 탄성계수 E_{v2} 와 노반의 지지력계수 K_{30} 는 다음을 표준으로 한다.

노반 상태	E_{v2} (N/mm ²)	K_{30} (N/mm ³)
매우 불량	10	0.011
불량	20	0.022
보통	50	0.055
양호	80	0.089
양호	100	0.111
매우 양호	120	0.133

(5) 적용 사유

순수 도상자갈의 스프링정수는 재료의 비등방성, 서로 링크되지 않은 자갈 크기의 다양성, 비선형성 등으로 인하여 자료마다 편차가 큰 관계로 특정한 값을 정하기가 곤란한 사항이나, 그중에서도 가장 일반적인 200kN/mm를 표준으로 하였고 도상두께나 도상조건에 따른 상세 검토에 대하여는 철도기술연구원에서 가장 최근에 완료한 ‘콘크리트궤도 인터페이스 성능향상에 대한 연구(2008)’ 보고서에서 제시된 도상두께에 따라 스프링정수를 구하는 과정을 도출한 연구결과에 의한 산식을 적용하였다.

2. 레일 처짐량

- (1) 정해진 레일의 강성, 체결장치 스프링정수, 침목 간격, 윤중에 대한 차륜 직하 레일에서 1개 지점의 수직방향 레일 처짐량 계산은 아래의 식에 의한다.

$$y = \frac{QL^3}{8EI} \eta(x) = \frac{Q}{2KL} \eta(x)$$

$$\text{또는, } y = \frac{Q}{K_{track}} \eta(x)$$

$$K_{track} = \sqrt[4]{64EIK^3} = \sqrt[4]{64EI \left(\frac{K_T}{a} \right)^3}$$

$$\eta(x) = e^{\frac{-x}{L}} \left[\cos \frac{x}{L} + \sin \frac{x}{L} \right]$$

$$L = \sqrt[4]{\frac{4EI}{K}} = \sqrt[4]{\frac{4EIa}{K_T}}$$

$$K = \frac{K_T}{a}$$

여기서, y = 레일처짐량(mm)

x = 하중 작용점에서 x 축 방향으로의 이격거리(mm)

Q = 유효윤중(Q_{eff}) 또는 동적윤중(kN)

E : 레일강의 영률(kN/mm^2) = $210\text{kN/mm}^2 = 210,000\text{N/mm}^2$

I_y = 레일의 y 방향 2차모멘트(mm^4)

L = 특성길이(mm)

K_{track} = 하중분배를 고려한 궤도 스프링정수(kN/mm)

K = 궤도계수(kN/mm/mm)

K_T = 지지점의 궤도 합성 스프링정수(kN/mm)

a = 침목 간격(mm)

(2) 축간거리가 3m 이하인 경우 축간 영향에 대하여 반영하고 아래의 식에 의한다.

$$y = y1 + y2$$

3. 레일 응력 및 휨모멘트

(1) 1개 지점의 수직방향에 대한 레일에 작용하는 최대 휨모멘트는 아래의 식에 의한다.

$$M(x) = \frac{QL}{4} \mu(x)$$

$$\mu(x) = e^{\frac{-x}{L}} \left[\cos \frac{x}{L} - \sin \frac{x}{L} \right]$$

(2) 1개 지점의 수직방향에 대한 레일의 저부 중앙에 작용하는 최대 휨응력은 아래의 식에 의한다.



$$\sigma_{\max} = DAF \cdot \sigma_{\text{mean}}$$

$$\sigma_{\text{mean}} = \frac{M}{W} = \frac{QL}{4W} = \frac{Q}{A} \cdot \frac{A^4 \sqrt{I}}{4W} \cdot \sqrt[4]{\frac{4Ea}{K_T}}$$

여기서, DAF = 동적할증계수(레일에 대하여 $t=3$ 를 적용)

Q = 유효 윤하중(kN)

L = 특성길이(mm)

W = 레일저부에 관련된 단면계수(mm^3)

K_T = 지지점의 궤도 합성 스프링정수(kN/mm)

(3) 차륜반경 및 레일의 인장응력과 관련한 반복하중 작용 시의 허용윤하중은 아래의 식에 의한다.

$$\bar{Q} = 4.9 \times 10^{-7} \cdot r \cdot \sigma_t^2$$

여기서, r = 차륜반경(mm)

\bar{Q} = 허용 유효 윤하중(kN)

σ_t = 레일의 인장응력(N/ mm^2)

4. 수직력

(1) 궤도에 작용하는 수직력의 계산은 불연속 지지방식(Discrete rail support)에 의한 Winkler 가설을 기초로 하며, 기초계수가 k 인 탄성 기초에 연속적으로 지지(Continuously supported)된 무한의 긴 휨강성 EI 의 레일 위로 수직 하중이 작용하는 상태를 가정하여 계산한 Zimmermann 계산식에 의한다.

(2) 정해진 체결장치 스프링정수, 침목 간격, 윤중에 대하여 차륜 직하의 레일 1지점에 작용하는 수직력은 아래의 식에 의한다.

$$F_{\text{mean}} = \frac{Q}{2} \sqrt[4]{\frac{Ka^4}{4EI}} = \frac{Q}{2} \sqrt[4]{\frac{K_T a^3}{4EI}} = \frac{Qa}{2L}$$

$$L = \sqrt[4]{\frac{4EI}{K}} = \sqrt[4]{\frac{4EIa}{K_T}}$$

$$K = \frac{K_T}{a}$$

여기서, F_{mean} : 수직력(kN)

Q : 유효윤중(Q_{eff}) 또는 동적윤중(Q_{dyn})(kN)

L : 특성길이(mm)

E : 레일강의 영률(kN/mm^2) = $210\text{kN}/\text{mm}^2$ = $210,000\text{N}/\text{mm}^2$

I : 레일의 2차모멘트(mm^4)

K : 궤도계수(kN/mm/mm)

K_T : 궤도 합성 스프링정수(kN/mm)

a : 침목간격(mm)

5. 침목 응력 및 휨모멘트

(1) 침목의 구조계산은 PC침목 설계시방서 및 재료편의 PC침목 설계기준을 따른다.

(2) 한쪽 레일에 작용하는 최대 수직력은 아래의 식을 따른다.

$$F_{\max} = DAF \cdot F_{\text{mean}}$$

여기서, DAF : 동적할증계수(침목에 대하여 $t=3$ 을 적용)

F_{\max} : 최대 수직력(kN)

F_{mean} : 수직력(kN)

(3) 1개 지점의 수직방향에 대한 침목에 작용하는 최대 휨모멘트는 아래의 식을 따른다.
다만, 침목에 작용하는 휨모멘트의 정밀한 계산이거나 검증을 필요로 할 경우에는
유한 요소법을 사용한 해석결과에 의할 수 있다.

$$\textcircled{1} \text{ 레일직하 : } M_{\max} = \frac{F_{\max} u}{4}$$

여기서, M_{\max} : 레일직하에서 최대 휨모멘트(kN.m)

F_{\max} : 최대 수직력(kN)

u : 침목끝단에서 레일직하까지의 거리(m)

(4) 1개 지점의 수직방향에 대한 침목에 작용하는 최대 지압응력은 아래의 식에 의한다.

$$\sigma_{rs} = \frac{F_0 + F_{\max}}{A_{rs}}$$

여기서, F_0 = 레일 지점에서 체결장치의 총 체결력(kN)

F_{\max} : 최대 수직력(kN)

A_{rs} = 유효레일지지 면적(mm²)

주) 레일과 침목 사이에 중간 베이스 플레이트가 있을 경우에는 베이스 플레이트 면적

(5) 침목에 작용하는 응력을 구하기 위한 침목과 도상 간의 유효접촉 면적은 침목끝단
에서 레일직하까지 거리의 2배에 걸쳐 분포된다고 가정한다.

6. 도상 압력

(1) 1개 지점의 수직방향에 대한 도상에 작용하는 최대 압력은 아래의 식에 의한다.



$$\sigma_{bmax} = DAF \cdot \sigma_{bmean}$$

$$\sigma_{bmean} = \frac{F_v}{A_b} = \frac{Qa}{2LA_b} = \frac{Q}{2A_b} \sqrt[4]{\frac{K_T a^3}{4EI}}$$

여기서, DAF = 동적할증계수(도상에 대하여 $t=2$ 를 적용)

Q = 유효 운하중(kN)

a = 체결구 간격(mm)

F_v = 수직력(kN)

A_b = 침목의 반분에 대한 침목과 도상 간의 접촉면적(mm²)

K_T = 지지점의 궤도 합성 스프링정수(kN/mm)

EI = 한쪽 레일의 휨강성(kN.mm⁴)

(2) 도상압력을 구하기 위한 침목과 도상 간의 도상압력의 분포면적은 침목저면 전면에 고르게 지지하는 것으로 고려한다.

7. 노반 압력

(1) 1개 지점의 수직방향에 대한 노반에 작용하는 최대 압력은 아래의 식에 의한다.

$$\sigma_{sbmax} = DAF \cdot \sigma_{sbmean}$$

$$\sigma_{sbmean} = \frac{F_{mean}}{A_{sb}} = \frac{Qa}{2LA_{sb}} = \frac{Q}{2A_{sb}} \sqrt[4]{\frac{K_T a^3}{4EI}}$$

여기서, DAF = 동적할증계수(노반에 대하여 $t=1$ 을 적용)

Q = 유효 운하중(kN)

a = 체결구 간격(mm)

F_{mean} = 수직력(kN)

K_T = 지지점의 궤도 합성 스프링정수(kN/mm)

A_{sb} = 침목의 반분에 대한 도상과 노반 간의 접촉면적(mm²)

(2) 도상과 노반 간의 노반압력의 분포면적 A_{sb} 은 다음의 <그림 23>에 제시된 바와 같이 구한다.

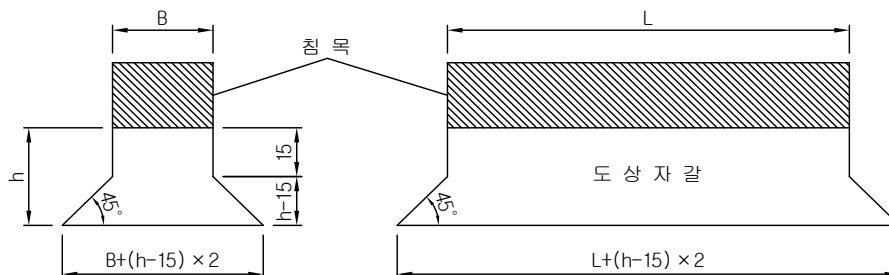


그림 23. 노반 압력의 분포 면적

해설 5. 궤도틀림진행에 관한 검토

자갈궤도의 상태는 열차하중에 의해 열화하고 궤도보수에 의해 회복하는 과정을 반복하는 것으로 한다.

【참고 자료】

○ 유도상궤도 설계표준 p74

유도상 궤도에서의 차량의 주행 안전성 및 주행 안정성에 대해서 검토하는 경우, 궤도틀림 진행에 관한 조사는 불가피한 요소이다. 일반적으로 궤도틀림의 진행에 따라서 차량의 주행 안정성이 손상되며 상하·좌우 방향의 차체 동요가 증가하여 승객의 승차감이 악화한다. 또 나아가 궤도틀림이 진행하면 차체 동요에 따른 관성력의 증대에 의해 탈선의 위험성이 생긴다. 이 때문에 종래부터 궤도틀림 정비 기준 등이 제정되어 궤도틀림이 일정한 크기를 넘는 경우에는 열화된 궤도 상태를 복원하기 위해 궤도의 보수가 시행된다. 이 궤도 상태의 열화-복원의 과정은 일반적으로 아래에 나타난 바와 같은 보수 투입시를 주기로 한 사이클이 된다.

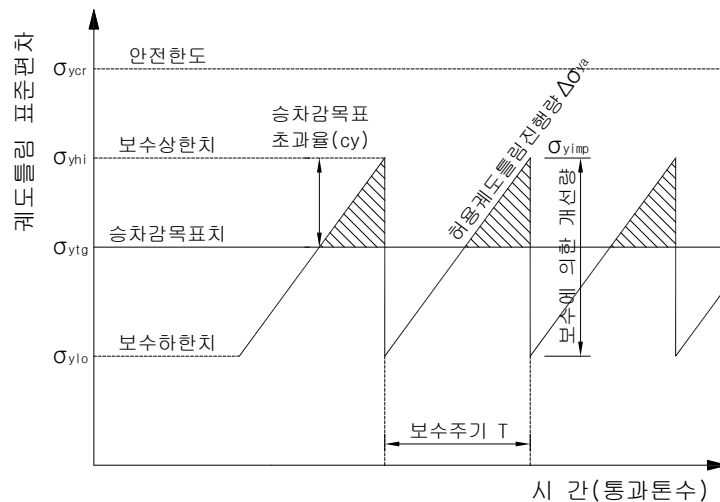


그림 24. 궤도 상태의 열화-복원 사이클



PC 침목설계절차

제1장 총 칙

제1조(목적) 이 시방서는 자갈궤도용 PC침목설계에 관한 표준을 정함을 목적으로 한다.

제2조(적용) PS강선 또는 강봉(이하 PS강재라 한다)을 사용하여 제작하는 프리스트레스 콘크리트침목(이하 PC침목이라 한다)의 설계는 이 시방서에 의하고 이 시방서에 정하지 않은 사항은 콘크리트표준시방서에 의한다.

제3조(설계일반)

- ① 설계단면의 산정은 탄성이론에 따르는 것을 원칙으로 하되 강도설계법에 의하여 내하력을 검사하여야 한다.
- ② 프리스트레싱에 의하여 발생하는 응력집중은 설계시 검사되어야 한다.
- ③ 침목구체의 설계계산은 가장 불리하게 재하된 정하중 및 동하중으로 인한 응력, 변형, 인장, 피로 등을 검토하여야 한다.

제4조(설계가정)

- ① 변형율은 중립축으로 부터 거리에 직선적으로 비례한다.
- ② 균열단면에서는 콘크리트의 인장강도를 무시한다.
- ③ 콘크리트와 PS강재를 탄성체로 본다.
- ④ 콘크리트의 전단면을 유효하다고 본다.

제5조(설계도) 설계도에는 다음 사항을 표기하여야 한다.

- 1. 명칭, 형식, 치수 및 축척, 설계변경, 설계년월일
- 2. 설계에 기본이 되는 하중 및 레일압력
- 3. 콘크리트의 압축강도, 도입강도, 굽은 골재 최대치수 등
- 4. 프리스트레스량
- 5. 재료표
- 6. 기타 필요한 사항

제2장 재 료

제6조(콘크리트의 허용응력) ① 프리스트레스 도입 직후 크리이프나 건조 수축에 의한 프리스트레스의 손실이 일어나기 전의 허용력은 다음과 같은 값을 초과하여서는 안된다.

1. 허용횡 압축응력 $0.6 f_{ci}'$
2. 허용횡 인장응력 $0.75\sqrt{f_{ci}'}$

f_{ci}' : 프리스트레스 도입시의 콘크리트 압축강도

② 모든 프리스트레스의 손실이 일어난 후 사용하중 작용시의 콘크리트 휨응력은 다음 값을 초과하여서는 안된다.

1. 허용휨 압축응력 $0.4 f_{ck}$
2. 허용휨 인장응력 $0.75\sqrt{f_{ck}}$

f_{ck} : 콘크리트의 설계기준 강도

③ 부재 단부에 적절한 보강철근을 배치한 포스트텐션 방식의 침목에 있어서 정착장치에 의해 발생하는 콘크리트의 지압응력은 다음 값을 초과하여서는 안된다.

1. 긴장재 정착직후 $0.75 f_{ci}' \sqrt{Ab'/Ab} - 0.2 \leq 1.1 f_{ci}'$
2. 프리스트레스 손실 발생후 $0.5 f_{ck} \sqrt{Ab'/Ab} \leq 0.9 f_{ck}$

Ab : 정착판의 면적

Ab' : 정착판의 도심과 일치하는 정착판의 닻은꼴을 부재 단부에 가장 크게 그렸을 때의 그 도형의 면적

제7조(콘크리트의 탄성계수) 콘크리트의 탄성계수는 다음식으로 계산하여야 한다.

$$E_c = 10,500 \sqrt{f_{ck}} + 70,000$$

제8조(프리스트레스 도입시의 콘크리트강도)

① 프리텐션방식에서 프리스트레싱을 할수 있는 콘크리트의 압축강도는 프리스트레스를 준 직후에 콘크리트에 일어나는 최대 압축응력 1.7배 이상 또는 350kgf/cm² 이상 이어야 한다.



② 포스트텐션 방식에서 프리스트레싱을 할 수 있는 콘크리트의 압축강도는 프리스트레스를 준 직후에 콘크리트에 일어나는 최대 압축응력의 1.7배 이상이어야 한다.

제9조(PS강재의 허용응력) PS강재의 인장응력은 다음 값을 초과하여서는 안 된다.

1. 긴장시 : $0.8 f_{pu}$ 와 $0.820 f_{py}$ 중 작은 값
2. 프리스트레스 도입직후
 - 프리텐서닝 : $0.74 f_{pu}$ 와 $0.82 f_{py}$ 중 작은 값
 - 포스트텐서닝 : $0.7 f_{pu}$

f_{pu} : PS강재의 인장강도

f_{py} : PS강재의 항복강도

제10조(PS강재의 탄성계수) PS강재의 탄성계수는 실험에 의하여 결정하거나 제조자에 의하여 주어지는 것이 원칙이지만 그러하지 못하는 경우는 다음에 의하여야 한다.

$$E_{ps} = 2.0 \times 10^6 \text{ kgf/cm}^2$$

제11조(PS강재의 리락세이션) PS강재의 리락세이션 감소율은 실험에 의하여 정하거나 제조자의 시험성적서 또는 KS에 의하여야 한다.

제12조(프리스트레스의 손실) 유효 프리스트레스를 결정하기 위하여 다음과 같은 프리스트레스 손실원인을 고려하여야 한다.

1. 정착장치에서의 활동
2. 콘크리트의 탄성 수축
3. PS강재와 쉬스사이의 마찰
4. 콘크리트의 크리프
5. 콘크리트의 건조수축
6. PS강재의 리락세이션

제13조(콘크리트의 탄성수축) 탄성수축에 의한 프리스트레스의 손실량은 다음 식으로 계산하여야 한다.

$$E_s = K_{es} \cdot E_{ps} \cdot f_{cir} / E_{ci}$$

E_s : 탄성수축에 의한 수축

K_{es} : 계수로서 프리텐션의 경우 1.0, 포스트텐션의 경우 0.5

E_{ps} : PS강재의 탄성계수

E_{ci} : 프리스트레스가 작용할 때의 콘크리트 탄성계수

f_{cir} : 프리스트레스가 콘크리트에 도입된 직후 긴장재 중심에서의 콘크리트 순압축

응력

제14조(마찰손실) 포스트텐션방식에서 긴장재의 마찰손실 영향은 다음식으로 계산하여야 한다.

$$P_x = P_0 \cdot e^{-(k l_x + \mu \alpha)}$$

P_x : 임의점 x 에서 긴장재의 인장력

P_0 : 긴장재 단부의 인장력

k : PS강재의 단위길이 1m당 파상 마찰계수

(PS강선 : 0.0033~0.0050)

l_x : 정착단으로부터 임의점 x 까지의 PS강재의 길이

μ : 곡선부에서 PS강재의 곡률마찰계수(1radian당)

(PS강선 : 0.15~0.25)

α : 긴장단으로부터 임의점 x 까지를 radian으로 나타낸 긴장재의 총 각 변위량

e : 편심거리

제15조(콘크리트의 크리프) 크리프에 의한 손실량은 다음 식으로 계산하여야 한다.

$$\Delta f_{pc} = \psi n f_{ci}$$

Δf_{pc} : 콘크리트 크리프 손실량

ψ : 콘크리트 크리프계수로서 프리텐션 2.0, 포스트텐션 1.6

n : 탄성계수비

f_{ci} : 프리스트레스 도입직후 PS강재도심 위치에서 콘크리트의 압축응력

제16조(콘크리트의 건조수축) 콘크리트의 건조수축 변형율은 실험에 의하여 결정되지 않는 경우 다음 식으로 계산하여도 좋다.



$$\varepsilon_{sh}(t) = \frac{t}{a+t} \cdot k_s \cdot k_h \cdot \varepsilon_{su}$$

단, C : 콘크리트의 크리프도

t : 콘크리트 수중양생후 경과된 시간(일)

a : 습윤양생 : 35

증기양생 : 55

k_s : 콘크리트 체적과 표면적과의 비에 따른 보정계수

k_h : 상대습도 보정계수

ε_{su} : 최종 건조수축 변형율

제17조(PS강재의 리락세이션) 리락세이션에 의한 손실량은 제11조의 감소율로 계산하여야 한다.

제3장 설계하중과 궤도조건

제18조(하중) 설계하중은 최대 기관차 윤중 및 특별 하중을 가정하여 최대값으로 하여야 한다.

제19조(충격) PC침목 설계시 충격을 고려하여야 하며 충격계수는 다음식으로 계산하여야 한다.

$$i = 0.513 \times V / 100$$

V : 설계속도

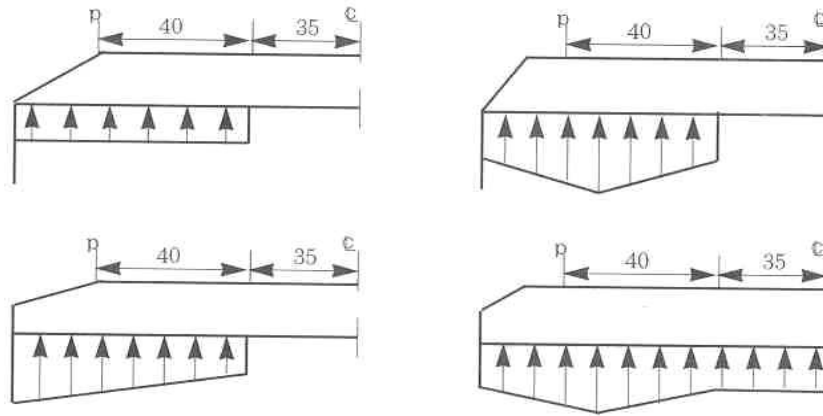
제20조(횡방향력) PC침목 설계하중의 25%에 상당하는 횡방향력이 작용한다고 가정하여 설계하여야 한다.

제21조(레일압력) 레일압력은 10m당 16개의 침목이 부설된 50kgN 레일 상에 제17조 및 제19조의 하중이 작용할 때 침목상면의 레일 압력으로 하여야 한다.

제22조(침목의 찢수) PC침목의 길이는 240cm 이상으로 하고 PC침목 저면 유효지압 면적은 5,000cm² 이상이어야 한다.

제23조(침목 저면의 반력) 설계하중에 의해 PC침목 저면에 발생하는 반력은

다음 그림과 같이 분포한다고 가정하여 계산한 값중 최대의 것을 취하여야 한다.



제4장 구체의 설계

제24조(응력의 검토) PC침목의 콘크리트 및 강재에 대한 응력은 프리스트레스 도입직후 및 프리스트레스 손실후의 상태를 검토하여야 한다.

제25조(PS강재의 배치) PS강재의 간격은 수평,수직 방향으로 모두 PS 강재 직경의 3배이상 수평방향에 대하여서는 잔골재 최대치수의 1.3배 이상이어야 한다. 포스트텐션(Post Tention)방식의 경우에는 PS강재 정착부 부근의 쉬스(Sheath)를 잔골재 최대치수의 1.3배 이상 그 외의 곳에서는 콘크리트를 다지는데 지장 없도록 하고 또 PS강재에 인장력을 도입할 때 쉬스가 파손되지 않도록 주의하여야 한다.

제26조(PS강재의 피복두께) PS강재의 피복은 2.5cm 이상 또는 PS강재 직경의 2.5배 이상이라야 한다. 포스트텐션방식의 경우 쉬스의 피복은 4.0cm 이상이라야 한다.

제27조(강재의 보호) 콘크리트에 프리스트레스를 도입한 후 PS강재와 그 정착부는 그라우팅(Grouting)하여야 한다.

제28조(정착부의 보강)



① PS강재 정착부의 PS강재와 직각면의 인장응력에 저항하는 스테럽등을 배치하여 콘크리트를 보강하여야 한다.

② PS강선 정착부는 두께 3cm 이상의 콘크리트로서 피복하여야 한다.

제29조(균열 모멘트) 균열 모멘트는 다음식에 의하여 계산하여야 한다.

$$M_{cr} = \sigma_r \cdot Z_z + P_e \left(\frac{r c^2}{y_2} + e_p \right)$$

M_{cr} : 휨균열 모멘트

σ_r : 콘크리트 휨인장강도

Z_z : 하연에 대한 단면계수

P_e : 유효프리스트레스힘(최종적으로 긴장재에 작용하는 인장력)

$r c^2$: 콘크리트 회전반경($\sqrt{I_c / A_c}$)

y_2 : 단면 하연으로 부터 콘크리트 단면도심까지의 거리

e_p : 단면도심으로 부터 PS강재까지 거리

제30조(파괴 모멘트) PC침묵은 다음 하중 상태에서 각부 단면은 안전하여야 한다.

2.5×설계하중

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 궤도처 “철도설계지침 및 편람(궤도편)개정 요청사항 반영(궤도처-975, '13. 3.27)

Rev.2('14.1.?) 철도의 건설기준에 관한 규정(국토교통부고시제2013-236호, '13.5.16) 및 철도설계기준(국토교통부고시제2013-757호, '13.12.5)이 개정 고시됨에 따라 개정내용을 반영

Rev.3('16.12.20 도상자갈의 허용압력 개정(설계기준처-3595호, '16.12.20)