

8장

토목 일반

8.1 철도선로(鐵道線路)

학습목표

- ✓ 철도선로와 관련한 용어의 정의를 공학적으로 이해하고 설명할 수 있다.
- ✓ 선로의 기하학적 조건이 열차 운전에 미치는 영향을 이해하고 선로제표 등이 제공하는 운전 정보를 활용하여 안전 운행을 할 수 있다.

[핵심용어]

선로, 궤간, 완화 곡선, 확대 궤간, 캔트, 기울기, 분기기, 건축 한계, 차량 한계, 궤도 중심 간격, 선로제표

8.1.1 개론

8.1.1.1 용어의 정의

(1) 토목 일반 관련 용어

- 1) ‘본선’이란 열차의 운전에 상용(常用)하는 선로를 말한다.
- 2) ‘측선’이란 본선이 아닌 선로를 말한다.
- 3) ‘설계 속도’란 해당 선로를 설계할 때 기준이 되는 상한 속도를 말한다.
- 4) ‘선로’란 철도차량을 운행하기 위한 궤도와 이를 받치는 노반(路盤) 또는 인공 구조물로 구성된 시설을 말한다.
- 5) ‘궤간’이란 양쪽 레일 안쪽 간의 거리 중 가장 짧은 거리를 말하며, 레일의 윗면으로부터 14mm 아래 지점을 기준으로 한다.
- 6) ‘캔트(Cant)’란 차량이 곡선 구간을 원활하게 운행할 수 있도록 안쪽 레일을 기준으로 바깥쪽 레일을 높게 부설하는 것을 말한다.

7) ‘정거장’이란 여객 또는 화물의 취급을 위한 철도 시설 등을 설치한 장소로써 다음의 장소를 말한다.

- ① ‘역’이란 열차를 정차하고 여객 또는 화물의 취급을 위하여 설치한 장소를 말한다.
- ② ‘조차장’이란 열차의 조성 또는 차량의 입환(入換)을 위하여 설치한 장소를 말한다.
- ③ ‘신호장’이란 열차의 교행 또는 대피를 위하여 설치한 장소를 말한다.

8) ‘종곡선(縱曲線)’이란 차량이 선로 기울기의 변경 지점을 원활하게 운행할 수 있도록 종단면에 두는 곡선을 말한다.

9) ‘궤도’란 철도차량이 운행할 수 있도록 레일·침목 및 도상(道床)과 이들의 부속품으로 구성된 시설을 말한다.

10) ‘도상’이란 레일 및 침목으로부터 전달되는 차량 하중을 노반에 넓게 분산시키고 침목을 일정한 위치에 고정시키는 기능을 하는 자갈 또는 콘크리트 등의 재료로 구성된 구조 부분을 말한다.

11) ‘슬랙(Slack, 확대 궤간)’이란 차량이 곡선 구간의 선로를 원활하게 통과하도록 바깥쪽 레일을 기준으로 궤간을 넓히는 것을 말한다.

12) ‘건축 한계’란 차량이 안전하게 운행될 수 있도록 궤도 위에 설정한 일정한 공간을 말한다.

(2) 운전 일반 관련 용어

1) ‘철도차량’이란 선로를 운행할 목적으로 제작된 동력차·객차(客車)·화차(貨車) 및 특수차를 말한다.

2) ‘열차’란 본선을 운행할 목적으로 철도 운영자가 편성하여 열차 번호를 부여한 철도차량을 말한다.

3) ‘열차 제어 시스템’이란 열차 운행을 직접 또는 간접적으로 제어하기 위하여 신호장치 및 열차 자동 제어장치 등을 유기적으로 결합하여 하나의 시스템을 구성하는 것을 말한다.

4) ‘신호소’란 열차의 교차 통행 및 대피를 위한 시설이 없이 열차의 운행에만 필요한 상치신호기(常置信號機)(열차 제어 시스템을 포함한다)를 취급하기 위하여 시설한 장소를 말한다.

(3) 차량 일반 관련 용어

‘기지’란 화물의 취급 또는 차량의 유치 등을 목적으로 시설한 장소로서 화물 기지, 차량 기지, 주박 기지(駐泊基地), 보수 기지 및 궤도 기지 등을 말한다.

(4) 전기 설비 일반 관련 용어

- 1) ‘전차선로’란 동력차에 전기 에너지를 공급하기 위하여 선로를 따라 설치한 시설물로서 전선, 지지물(支持物) 및 관련 부속 설비를 총괄하여 말한다.
- 2) ‘전기동차 전용선’이란 도시 교통 처리를 주목적으로 전기동차가 운행되는 선로로서 디젤 기관 등에 의한 여객 열차·화물 열차는 운행되지 아니하는 선로를 말한다.

(5) 신호 일반 관련 용어

- 1) ‘분기기’란 열차 또는 차량을 한 궤도에서 다른 궤도로 이동시키기 위하여 설치한 궤도의 설비를 말한다.
- 2) ‘궤도회로’란 레일을 전기회로 일부분으로 사용하여 차량의 차축에 의해 전기회로를 단락 또는 개방함으로써 열차의 유무를 검지하도록 전기적으로 구성된 회로를 말한다.
- 3) ‘건널목 보안장치’란 도로와 철도가 평면 교차 하는 건널목에 열차, 자동차 및 사람 등의 통행에 안전을 확보하기 위하여 설치하는 각종 보안 설비를 말한다.
- 4) ‘신호기’란 폐색구간(閉塞區間)의 경계 지점 또는 측선의 시점 등 필요한 곳에 설치하여 열차 또는 차량의 진입 여부를 지시하는 신호기 및 신호표지 등의 장치를 말한다.
- 5) ‘폐색구간’이란 선로를 여러 개의 구간으로 나누어 반드시 하나의 열차만 점유하도록 정한 구간을 말한다.
- 6) ‘연동장치’란 신호기·선로 전환기·궤도회로 등의 제어 또는 조작이 일정한 순서에 따라 연쇄적으로 동작되는 장치를 말한다.(출처:철도건설규칙 2019.03.20)

(6) 정보 통신 관련 용어

‘통신 설비’란 열차 운행 및 철도 운영에 관한 정보(음성, 부호, 문자 및 영상 등)를 송수신 하거나 표출하기 위한 통신선로 등의 통신 설비와 이에 부속되는 설비 등을 말한다.

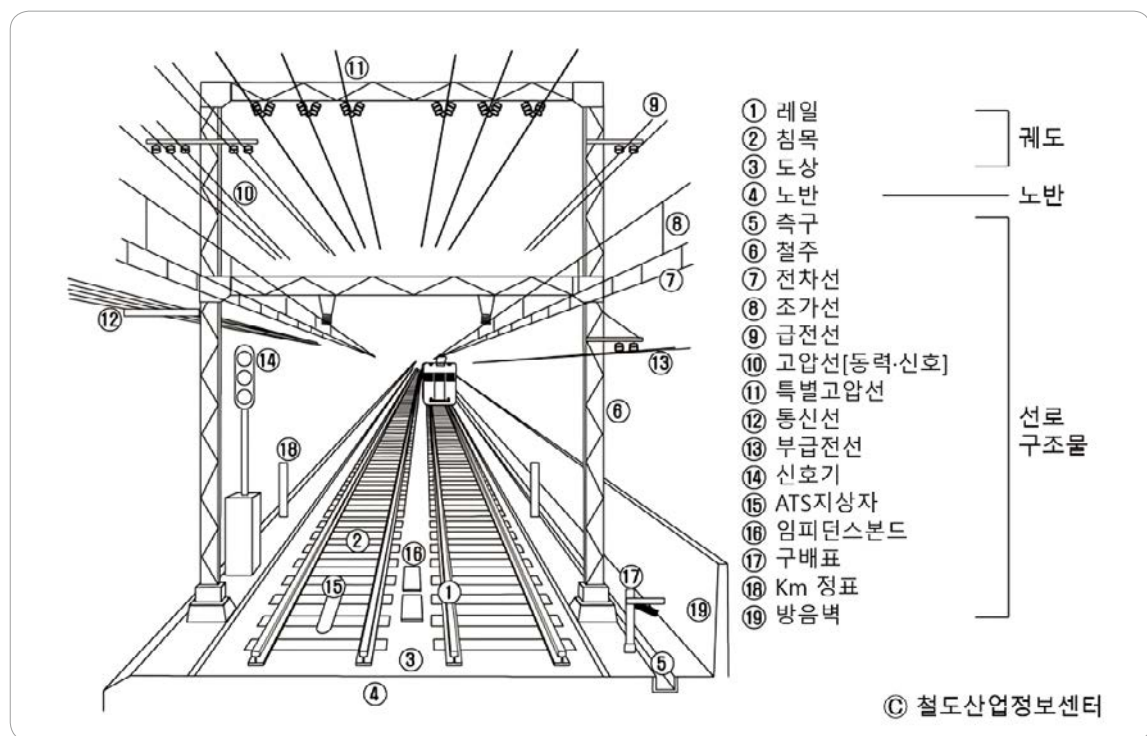
8.1.1.2 철도선로의 정의

(1) 철도선로

철도선로는 여객 또는 화물을 운송하는 데 필요한 철도 시설 즉, 철도차량을 운행하기 위한 궤도와 이를 받치는 노반 또는 공작물로 구성된 시설로 이와 관련된 운영·지원 체계가 유기적으로 구성된 운송 체계를 말하는 것(철도산업발전기본법)으로 폭넓게 정의할 수 있다. 여기서는 철도 시설 일부분으로 철도선로를 정의하고자 한다.

궤도는 레일, 침목, 도상으로 이루어지는 철도선로의 중요한 부분으로 레일과 침목을 체결하는 부속품을 포함한다. 레일과 침목, 도상으로 전달된 열차 또는 차량 하중을 직접 지지하는 노반과 관련 부속 선로 구조물을 포함하면 궤도와 구분하여 선로라는 용어를 사용한다.

철도선로를 건설하기 위해서는 건설 대상 지역의 지형적 지리적 여건을 충분히 반영하여야 하므로 직선, 곡선, 교량, 터널, 깎기, 성토, 오르막, 내리막 등 기울기와 다양한 제한 조건을 수용하지 않을 수 없다. 근본적으로 고속으로 주행하는 열차의 안전 운행을 위한 여러 가지 조건과 한도를 철도건설규칙(2019.03.20)과 도시철도건설규칙(2014.07.08)에서 규정하고 있다.



[그림 8-1] 철도시설물

(2) 선로(線路)의 구조(構造)

도시철도선로의 설계 속도는 노선, 수송량, 차량의 형식 등 여러 요소에 영향을 미친다. 신설 및 개량 노선의 설계 속도를 정하기 위해서는 초기 건설비, 운영비, 유지 보수 비용 및 차량 구입비 등의 총비용 대비 효과 분석, 역간 거리, 해당 노선의 기능, 장래 교통 수요 등을 고려하여 속도별 비용 및 효과 분석을 시행하여 결정하여야 한다.

도심지 통과 구간, 시·종점부, 정거장 전후 및 시가지화 구간 등 노선 내 다른 구간과 동일한 설

계 속도를 유지하기 어렵거나, 동일한 설계 속도 유지에 따르는 경제적 효율성이 낮은 경우에는 구간별로 설계 속도를 다르게 정할 수 있다(철도건설규칙).

[표 8-1] 선로 구조 기준

항 목		기 준	비 고
건축 한계 (폭×높이)		3,600×5,150(5,500)mm 지하, (지상)	
차량 한계 (폭×높이)		3,200×4,750mm	
기울기 한도	정거장 밖 본선	35/1000, 곡선인 경우 곡선 보정 기울기	
	정거장 안	3/1000, 차량 분리. 연결 유치하는 경우	
		8/1000 (10/1000 부득이한 경우)	
	측선	3/1000	
		45/1000, 차량을 유치하지 않는 측선	
종곡선 삽입		기울기 변화 5/1000 초과 경우 R=3,000m이상	• 철제 차륜 형식 경량 전철의 경우 R=2,000m이상 • 고무 차륜 형식 경량 전철의 경우 R=1,000m이상
열차 하중		차량의 축중 16톤 이하	경량 전철 13.5톤 이하
승강장 연단 높이		레일 윗면으로부터 1.135m	
최대 캔트량		160mm	철제 차륜 형식 경량 전철의 경우 150mm

[표 8-2] 궤도 구조 기준(서울교통공사)

항 목			기 준				비 고
레 일			레일의 중량은 m당 50kg 이상				
침 목 (20m당 침목 수)			지하 본선(정)		고가 본선(정)		교량 : 50 차량 기지 : 30
			W.T	P.C.T	W.T	P.C.T	
			34	34	35	34	
구 분			도상 두께(mm)		너 비(mm)		건설 시(R.L에서 F.L) : - 자갈도상 : 지상, 고가 600 지하 : 700 - 콘크리트 도상 : 500
콘크리트 도상			120		3,150		
자 갈 도 상	지하 및 고가부		250		3,200		
	지상부	단선	250		도상 위	3,200	
		복선	250		도상 위	7,200	
	차량 기지		170		3,200		

8.1.1.3 궤간(軌間, Gauge)

(1) 궤간의 정의

차량은 좌우 두 레일에 의하여 유도되어 주행한다. 레일에 접하는 차륜의 주행 면 및 플랜지 면에는 좌우 한 쌍의 차륜이 항상 궤도의 중심을 따라 주행하도록 기울기가 붙여져 있다. 이와 같은 상태로 차량이 주행하면 차륜과 레일의 접촉부는 상호 간 마모가 생겨 변형되고 양자의 허용 오차 영향도 있어 접촉 위치는 항상 어떤 범위 내로 한정되어 있어야 한다. 이 접촉 위치의 양측 레일 간의 최단 거리를 궤간이라 한다(2000, 서사범 철도공학의 이해).

현행 도시철도건설규칙에서는 궤간에 대하여 다음과 같이 정의하고 있다.

‘궤간’이란 다음 각 항의 구분에 따른 궤도 사이의 간격을 말한다.

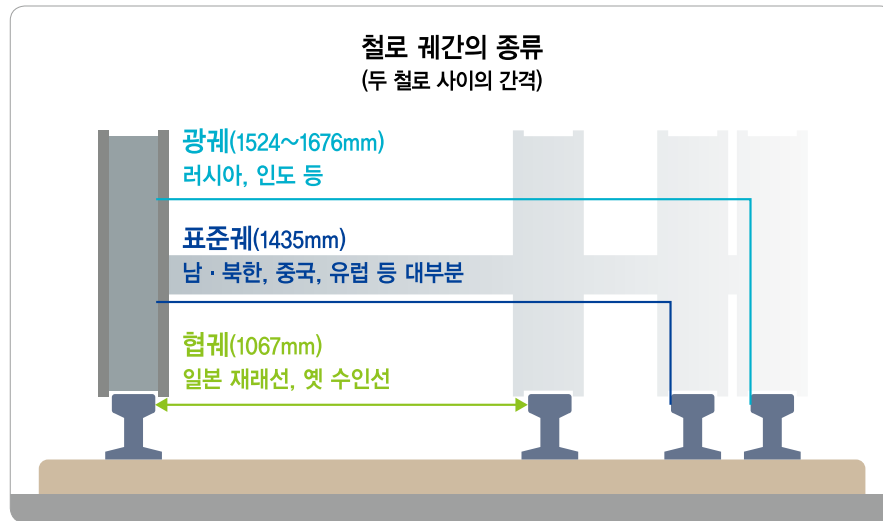
- 1) 철제 차륜을 사용하는 도시철도차량(이하 ‘차량’이라 한다)의 경우: 레일의 맨 위쪽 부분으로부터 14mm 아래 지점에 위치한 양쪽 레일의 안쪽 간의 가장 짧은 거리
- 2) 고무 차륜을 사용하는 차량의 경우: 차륜 중심 간의 거리
- 3) 자기 부상 추진 방식을 사용하는 차량의 경우: 부상 레일 중심 간의 거리

위의 가장 짧은 거리는 레일 플로우(flow)를 고려한 것이며 레일 두부 형상과 차륜 플랜지 형상의 상관관계를 보면 양자가 상시 접촉하는 범위는 마모 상황을 고려하여도 레일 면부터 13mm 전후이며 여유를 보아 14mm에서 측정하도록 하고 있다.

(2) 궤간의 종류와 특징

세계 주요 국가에서 이용하고 있는 궤간은 1,676mm에서 762mm까지 다양하지만 대부분 1,435mm인 표준 궤간(standard gauge)을 채용하고 있으며 이보다 넓은 궤간은 광궤(broad gauge), 좁은 궤간은 협궤(narrow gauge)로 분류한다.

궤간의 대소는 운전 속도, 수송량, 차량의 주행 안전성, 건설비 등에 많은 영향을 준다. 광궤는 건설비를 제외하면 모든 면에서 유리하며 차륜의 지름을 크게 할 수 있으므로 충격이 작고 승차감이 좋으며, 차량 궤도의 파괴를 감소시킬 수 있다. 반면 협궤는 모든 구조물을 작게 할 수 있으므로 용지비를 포함한 건설비가 싸며 곡선 통과가 쉬우므로 곡선 반경의 제한이 적게 된다. 철도를 운영하는 기관 간의 궤간이 다를 경우에는 상호 직통 운행이 불가능하므로 도시철도건설규칙에서 표준 궤간으로 정한 것이다.



[그림 8-2] 궤간의 분류

8.1.2 곡선(曲線, Curve)

(1) 곡선의 종류

철도선로는 운전 및 유지 보수 측면에서도 가장 이상적인 것은 직선으로 건설하는 것이다. 그러나 여러 가지 지형적인 제한 조건으로 곡선 선형의 철도 노선이 불가피하다. 곡선 선형에서는 전방이 불량하고 원심력의 작용 때문에 차량의 안정을 나쁘게 하고 운전에 위험이 있으며, 승차감이 좋지 않다. 또한 열차 저항을 증가시키며 궤도 파손이 빠르고 속도가 제한되는 등 불리한 점이 많다.

곡선은 평면 곡선과 종단 곡선으로 분류하며 평면 곡선은 원곡선(circular curve), 완화 곡선(transition curve), 복심 곡선(compound curve), 반향 곡선(reverse curve) 등이 있으며 종방향의 기울기 변화 점에는 종단 곡선(vertical curve)을 설치한다.

(2) 곡선의 표시 방법

철도 선형은 지형 조건상 부득이 곡선 선형의 삽입이 불가피하다. 곡선의 설치는 대부분 원곡선을 사용하며 곡선의 표시는 곡선 반경 $R(m)$ 로 표시하는 방법과 곡선도(100ft의 현으로 표시되는 각) θ° 로 표시하는 방법이 있으나 일반적으로 곡선 반경 R 로 표시한다.

(3) 최소 곡선 반경(minimum radius of curve)

철도선로의 곡선 반경은 열차의 안전 운행 및 선로 유지 보수의 측면에서 가능하다면 큰 것이 좋으

나, 부득이하게 곡선 반경이 작은 곡선을 설치할 수밖에 없는 경우가 많다. 해당 선구의 최소 곡선 반경은 궤간, 열차 속도, 차량의 고정 축거(Rigid Wheel Base)등에 따라 결정된다.

1) 철도의 건설 기준에 관한 규정 제6조(2020.07.07)

[표 8-3] 선로의 곡선 반경

일반 본선			정거장 전후 등 부득이한 경우		전기동차 전용선
설계 속도 V(km/h)	최소 곡선 반경(m)		설계 속도 V(km/h)	최소 곡선 반경 (m)	
	자갈도상 궤도	콘크리트도상 궤도			
400	— ^①	6,100	—	—	설계 속도에 관계없이 250m
350	6,100	4,700	—	—	
300	4,500	3,500	—	—	
250	3,100	2,400	200<V≤400	운전속도 고려 조정	
200	1,900	1,600	150<V≤200	600	
150	1,100	900	120<V≤150	400	
120	700	600	70<V≤120	300	
V≤70	400	400	V≤70	250	

① 설계속도 350<V≤400 킬로미터/시간 구간에서는 콘크리트상 궤도를 적용하는 것을 원칙으로 하고, 자갈도상 궤도 적용 시에는 별도로 검토하여 정한다.

※ 부분선, 측선 및 분기기에 연속되는 경우 200m까지 축소 가능

2) 도시철도건설규칙 기준

선로의 곡선 반경은 선로의 구간 및 기능 등에 따라 그 크기를 시·도지사 등이 정한다.(제10조)

[표 8-4] 선로의 곡선 반경(서울특별시 도시철도 기준) (단위 : m)

선로별 구 분		중량 전철			경량 전철	
		1호선	2호선	1, 2호선 외의 선로	철제 차륜	고무 차륜
정거장 외의 본 선	일반의 경우	160	180	250	100	100
	부득이한 경우	135	140	180	50	40
정거장 내의 본선		400	400	400	300	250
측 선	일반의 경우	120	120	120	50	30
	부득이한 경우	—	—	90		
분 기 부 대		145	145	150		

[표 8-5] 선로의 곡선 반경(부산광역시 도시철도 기준) (단위 : m)

구 분	선로별	중량 전철	경량 전철	
		철제 차륜	철제 차륜	고무 차륜
본선	일반의 경우	200	100	100
	부득이한 경우	160	50	40
정거장		300	300	250
측선		120	50	30
분기 부대		145	-	-

(4) 완화 곡선(transition curve)

1) 완화 곡선의 정의

열차가 직선(直線) 선로에서 곡선(曲線) 선로로 운행할 때나 또는 그 반대일 경우, 곡률의 급격한 변화로 차량은 심하게 요동하게 된다. 이 점을 보완하기 위해 직선과 원곡선 사이에 완화 곡선을 삽입하여 회전각의 변화(곡률의 변화)를 완화하는 것이다.

2) 완화 곡선의 종류

완화 곡선에는 한국철도공사에서 채택하고 있는 3차 포물선, 도시철도에서 채용하고 있는 클로 소이드 곡선, 사인 반 파장 곡선 등 여러 종류의 완화 곡선이 있다.

3) 완화 곡선의 길이를 결정할 때 고려할 사항

- ① 차량의 고정 축거로 3점 지지에 의한 차량의 부상 경향이 있으므로 캔트의 체감을 완만하게 하여 부상으로 인한 탈선의 위험이 없도록 한다.
- ② 주행 차량이 받는 단위 시간당의 캔트량의 변화와 캔트 부족량의 변화는 승차 기분이 나쁘지 않은 범위 내에서 일정한 값 이상이어야 한다. 따라서 완화 곡선의 길이는 열차 운전 속도에 비례하여 길이를 정하게 된다. 철도의 건설 기준에 관한 규정 제8조에서는 완화 곡선 설치에 대하여 자세히 규정하고 있다.

(5) 확대 궤간(슬랙, Slack)

1) 확대 궤간의 필요성

차량이 곡선을 통과하는 경우 차량이 안전하고 원활하게 주행하기 위해서는 차축이 곡선의 중

심을 향하고 있는 것이 바람직하다. 그러나 곡선부에 차량이 주행할 때는 차량의 차축 중에 2개 또는 3개의 차축이 대차에 강결 되어 고정된 프레임으로 구성되어 있다. 따라서 이 차량이 곡선을 통과할 경우에는 전후 차축의 위치 이동이 불가능할 뿐 아니라 플랜지(flange)가 있어 원활한 통과가 어렵고 차축의 한쪽 또는 양쪽 모두가 궤도 진행 방향과 직각이 될 수 없다. 차륜은 레일과 어떤 각도로 접촉하면서 진행하게 되는데 차축의 간격이 클수록 차륜이 레일에 닿는 각도가 크게 된다. 만약 각도가 크게 되면 원활한 주행이 어렵다. 그 결과, 차량의 동요, 횡압이 증대하며 보수 측면에서도 궤간 및 줄 틀림의 증가와 레일 마모에도 영향을 주게 된다. 이러한 영향을 최소화하기 위해서는 곡선부에서는 곡선 반경의 대소에 따라서 궤간을 확대하는데 이를 ‘슬랙(gauge widening 또는 slacking)’이라 하고, 이 넓히는 양을 ‘슬랙량’이라고 한다.

2) 슬랙량의 산정

슬랙량의 산정은 고정 차축 거리, 차륜 가동 여유치 등을 고려하여 다음과 같이 결정한다.

$$S = \frac{2,400}{R} - S'$$

여기서 S : 확대 궤간(슬랙, 밀리미터)

R : 곡선 반경(미터)

S' : 조정치

확대 궤간은 곡선 부분의 안쪽 레일에 두어야 하며, 그 치수는 25mm를 초과하지 아니하는 범위에서 해당 곡선의 반경 등을 고려하여 특별시장·광역시장·도지사·특별자치도지사·시장 또는 군수(이하 ‘시·도지사들’이라 한다)가 정하는 것으로 도시철도건설규칙 제7조에 규정되어 있다.

(6) 캔트(Cant)

1) 캔트(Cant)의 정의

열차가 곡선을 통과하는 경우 열차에서 발생하는 원심력이 곡선 외측으로 작용하기 때문에 승객의 몸이 곡선 외측으로 쏠림에 따른 승차감 저하, 외측 레일에 열차의 중량과 횡압 증가에 따른 궤도의 보수량 증가, 곡선 외측으로 열차의 전복 위험 증가 등이 발생하게 된다.

이러한 원심력에 의한 악영향을 방지하기 위하여 열차의 주행 속도에 따라 곡선의 외측 레일을 높여 주는 것을 ‘캔트(cant)’라고 하며, 높여 주는 양을 ‘캔트량’이라 한다.

$$f = \frac{V^2}{R} : \text{원심 가속도}$$

R : 곡선 반경

V : 열차 속도

g : 중력 가속도

2) 설정 캔트

일반적으로 곡선부에서 통과 열차의 속도와 선로 상태가 일정하지 않으므로, 아래의 식과 같이 고속 및 저속 열차에 대한 불균형과 승객의 승차감, 그리고 현장 실정을 고려하여 캔트를 조정하도록 조정치 즉, 부족 캔트 C_d 을 두어 설정 캔트를 결정한다. 따라서 균형 캔트 C_{eq} 는 설정 캔트 C' 와 부족 캔트 C_d 의 합이다.

$$C = 11.8 \frac{V^2}{R} - C_d$$

여기서 C : 설정 캔트(mm)

V : 열차 속도(km/h)

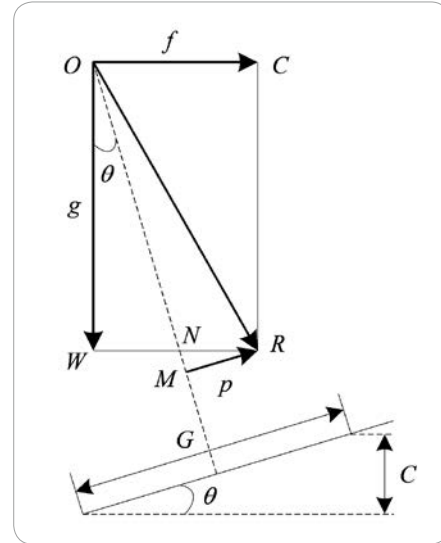
R : 곡선 반경(m)

C_d : 부족 캔트(mm)

철도의 건설기준에 관한 규정 제7조 (2020.07.07.)

[표 8-6] 캔트의 한계기준

설계 속도(km/h)	자갈 도상 궤도		콘크리트 도상 궤도	
	최대 설정 캔트(mm)	최대 부족 캔트 ^① (mm)	최대 설정 캔트(mm)	최대 부족 캔트 ^① (mm)
$350 \leq V$	- ^②	- ^②	180	130
$200 < V \leq 350$	160	80	180	130
$V \leq 200$	160	100 ^③	180	130



[그림 8-3] 캔트의 원리

- ① 최대 부족 캔트는 완화 곡선이 있는 경우 즉, 부족 캔트가 점진적으로 증가하는 경우에 한한다.
- ② 설계속도 $350 < V \leq 400$ 킬로미터/시간 구간에서는 콘크리트도상 궤도를 적용하는 것을 원칙으로 하고, 자갈도상 궤도 적용 시에는 별도로 검토하여 정한다.
- ③ 선로를 고속화하는 경우에는 최대 부족 캔트를 120mm까지 할 수 있다.
- ④ 도시철도건설규칙 제11조에서는 최대 캔트를 160mm를 초과할 수 없다고 규정하고 있다.

8.1.3 기울기(勾配)

(1) 기울기의 정의

선로의 기울기는 선로의 종방향 선형에서 높이 변화를 의미하는 것으로 일정 구간을 기준으로 시점부 보다 종점부의 위치가 높을 경우에는 상향 기울기로, 시점부 보다 종점부의 위치가 낮을 경우에는 하향 기울기로 정의한다. 선로의 기울기 결정은 다른 선형 조건들과 마찬가지로 설계 · 공사비의 증감 및 영업 차량의 운행 배치 최적화와 직결되는 부분이므로 세심한 검토가 요구되며, 기울기 결정 대상 구간의 기본 특성(상향 기울기, 하향 기울기, 역사 등과 같은 정지 구역의 존재 여부 등)이 선결된 이후에 가능하다.

기울기 결정 대상 구간의 기본 특성이 결정된 이후, 상향 기울기 부분에 대해서는 정지 시의 재가동 여부를 포함한 등판능력 검토가 수행되어야 하며, 하향 기울기 부분에 대해서는 비상제동 시 제동거리의 확보 여부에 대한 검토가 수행되어야 한다. 이는 곧 운행할 차량의 중량, 견인력, 제동력, 제동 초기 속도, 공주시간, 출발 저항, 주행 저항, 기울기 저항, 곡선 저항 등의 차량 특성 요소에 대한 종합적인 고려가 수반되어야 함을 의미한다.

(2) 기울기의 표시 방법

1) 천분율(‰)

수평 거리 1000m에 대한 수직 높이를 천분율로 표시하고, 한국, 프랑스, 독일, 일본 등 세계 각국 철도에서 많이 사용한다. (예 : 수평 거리 1000m에 대한 고저 차가 30m일 때 30‰로 표시)

2) 백분율(%)

수평 거리 100m에 대한 수직 높이를 백분율로 표시하고, 미국 철도와 우리나라의 도로에서 사용하고 있다. (예 : 수평 거리 100m에 대한 고저 차가 20m일 때 20%로 표시)

(3) 최급 기울기

열차 운전 구간 중 가장 경사도가 심한 기울기를 말한다. 우리나라의 경우 최급 기울기는 설계 속도, 선로의 구분, 또는 운전 조건 등으로 상당한 제한을 두고 있으며 그 제한은 다음과 같다.

1) 철도의 건설기준에 관한 규정 제10조 (2020.07.07)

[표 8-7] 선로의 한계기울기

설계 속도 $V(\text{km/h})$		일 반(%)	부득이한 경우(%)
여객전용선	$400 \leq V$	35 ^{①②}	—
여객화물혼용선	$200 < V \leq 250$	25	30
	$150 < V \leq 200$	10	15
	$120 < V \leq 150$	12.5	15
	$70 < V \leq 120$	15	20
	$V \leq 70$	25	30
전기동차 전용선		설계 속도와 관계없이 35	—

① 연속한 선로 10킬로미터에 대해 평균기울기는 1천분의 25이하하여야 한다.

② 기울기가 1천분의 35인 구간은 6킬로미터를 초과할 수 없다.

2) 정거장 내

① 일반적인 경우 : 2%

② 열차를 분리 또는 연결하지 아니하는 본선

— 전기동차 전용선 : 10%

— 그 외 : 8%

③ 열차를 유치하지 아니하는 측선 : 35%

3) 도시철도건설규칙 기준[도시철도건설규칙 제15~17조]

[표 8-8] 선로의 한계기울기(도시철도건설규칙 기준)

구 분			기울기 한도(%)
일반 본선			35
정거장 내	본선	차량을 분리·연결 또는 유치 용도로 사용	3
		그 외(부득이한 경우)	8(10)
	측선	일반	3
		차량을 유치하지 않는 측선	45

(4) 기울기의 분류

1) 최급 기울기(最急勾配)

열차 운전 구간 중 가장 높이차가 심한 기울기를 말하며, 장대 터널 내부는 습기가 많아 레일이 미끄러우므로 기관차의 견인력이 감소하고 열차에 대한 공기 저항이 증대되므로 최급 기울기를 규정하고 있다. 전차 전용 선로(電車專用線路)의 경우 한도를 35‰로 정하였다.

2) 제한 기울기(制限勾配)

기관차의 견인정수(牽引定數)를 제한하는 기울기를 말하며, 반드시 최급 기울기(最急勾配)와 일치하는 것은 아니다.

3) 타력 기울기(惰力勾配)

제한 기울기보다 심한 기울기라도 그 연장이 짧으면 열차의 타력에 의하여 이 기울기를 통과할 수 있을 때의 기울기를 말한다.

4) 표준 기울기(標準勾配)

열차 운전 계획상 정거장 사이마다 조정된 기울기로서, 역 사이의 임의 지점 간의 거리 1km의 연장 중 가장 급한 기울기로 조정된다.

5) 가상 기울기(假想勾配)

기울기 선을 운전하는 열차의 속도(velocity head, $\frac{v^2}{2g}$)의 변화를 기울기로 환산하여 실제의 기울기에 대수적으로 가산한 것을 가상 기울기라 하고, 열차 운전의 시(時)·분(分)에 적용된다.

(5) 종곡선

선로(線路)의 기울기가 변화하는 개소에는 열차의 운전 속도 및 차량의 구조 등을 고려하여 열차의 주행 안전성 및 승차감에 지장을 주지 않도록 종곡선을 설치하여야 한다.

1) 철도의 건설기준에 관한 규정 제11조 (2020.07.07)

① 종곡선을 설치해야 하는 경우

선로의 기울기가 변화하는 개소의 기울기 차이가 설계 속도에 따라 다음 표의 값 이상인 경우에는 종곡선을 설치하여야 한다.

[표 8-9] 종곡선 설치 기준

설계 속도 $V(\text{km/h})$	기울기 차(‰)
$200 < V \leq 350$	1
$70 < V \leq 200$	4
$V \leq 70$	5

② 종곡선의 반경

[표 8-10] 최소 종곡선 반경

설계 속도 $V(\text{km/h})$	최소 종곡선 반경(m)
$335 \leq V$	40,000
300	32,000
250	22,000
200	14,000
150	8,000
120	5,000
$V \leq 70$	1,800

(주) 이외의 값은 다음의 공식에 의해 산출한다.

$$R_v = 0.35V^2$$

여기서 R_v : 최소 종곡선 반경(m)

V : 설계 속도(km/h)

다만, 종곡선 반경은 자갈도상궤도는 25,000m, 콘크리트 도상 궤도는 40,000m이하로 하여야 한다.

③ 도심지 통과 구간 및 시가지화 구간 등 부득이한 경우에는 설계 속도에 따라 다음 표의 값과 같이 최소 종곡선 반경을 축소할 수 있다.

[표 8-11] 부득이한 경우의 최소 종곡선 반경

설계 속도 $V(\text{km/h})$	최소 종곡선 반경(미터)
200	10,000
150	6,000
120	4,000
70	1,300

(주) 이외의 값은 다음의 공식에 의해 산출한다.

$$R_v = 0.25V^2$$

여기서 R_v : 최소 종곡선 반경(m)

V : 설계 속도(km/h)

다만, 종곡선 반경은 500미터 이상으로 하여야 한다.

- ④ 종곡선 연장은 20미터 이상으로 하여야 한다.
- ⑤ 종곡선은 직선 또는 원의 중심이 1개인 곡선 구간에 부설해야 한다(부득이한 경우에는 콘크리트 도상 궤도에 한하여 완화 곡선 또는 직선에서 완화 곡선과 원의 중심이 1개인 곡선 구간까지 걸쳐서 설치 가능).

2) 도시철도건설규칙 기준(도시철도건설규칙 제18조)

선로의 기울기가 변하는 경우로서 인접 기울기의 변화가 1천분의 5를 초과하면 반경 3천 미터 이상의 종곡선(從曲線)을 삽입하여야 한다.

(6) 곡선 보정

1) 곡선 보정의 정의

차량이 곡선 구간을 주행하는 경우, 관성에 의해 궤도에 가해지는 횡압, 마찰력 등으로 곡선 저항력이 발생한다. 이와 같은 곡선 저항을 고려하여 기울기를 보정하는 것을 곡선 보정이라 한다.

2) 기울기의 곡선 보정

기울기 구간에 곡선이 중첩되어 있을 때는 열차의 곡선 저항이 가산되므로 이럴 경우 곡선저항과 동등한 기울기만큼 최대 기울기를 완화해야 한다.

3) 환산 기울기

곡선의 저항을 기울기 저항으로 환산하여 표시한 기울기를 말하며 그 크기는 $G_c = \frac{700}{R}$ 이다.

4) 보정 기울기

기울기 중에 곡선이 있을 때는 최대 기울기를 완화하기 위하여 곡선 저항을 선로 기울기로 환산하여 차인하게 되는데, 이때의 기울기를 보정 기울기라고 한다.

5) 상당 기울기

상당 기울기란 설치하는 실제 기울기와 환산 기울기와의 합계를 말하며, 이는 제한 기울기를 초과할 수 없다. 그 크기는 $i_e = i + G_c = i + \frac{700}{R}$ 이다.

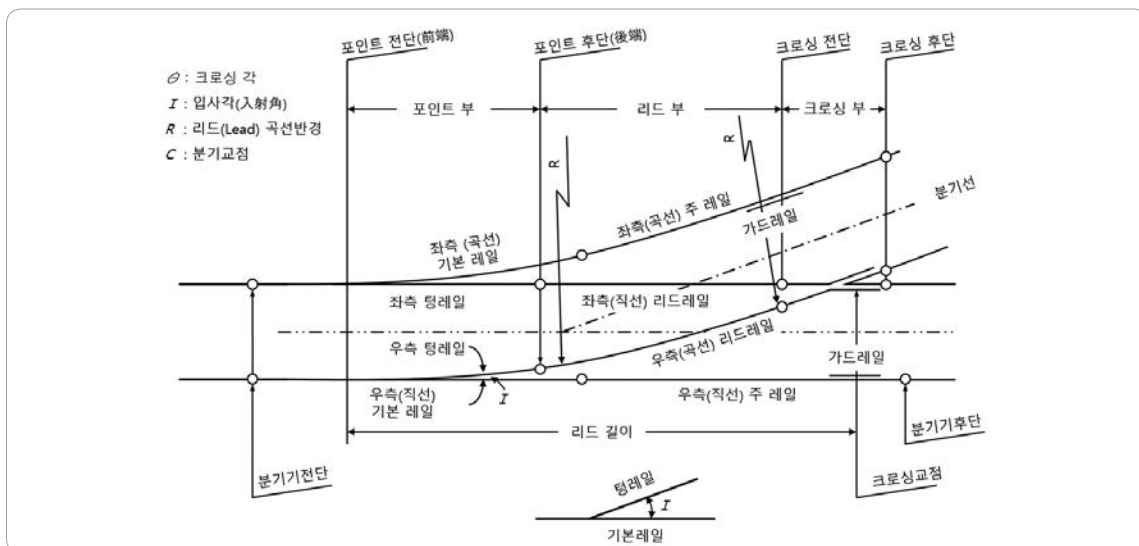
여기서 i_e =상당 기울기

i =실제 기울기
 G_c =환산 기울기
 R =곡선 반경

8.1.4 분기기

(1) 분기기의 정의

차량 또는 열차 등의 운행 선로를 변경시키기 위한 설비를 말한다. 하나의 선로를 두 방향으로 나누는 설비, 즉 철도선로의 방향 전환 장치를 말하는 것으로 다음 그림과 같이 포인트부, 리드부, 크로싱부의 세 부분으로 구성된다.



[그림 8-4] 분기기 일반



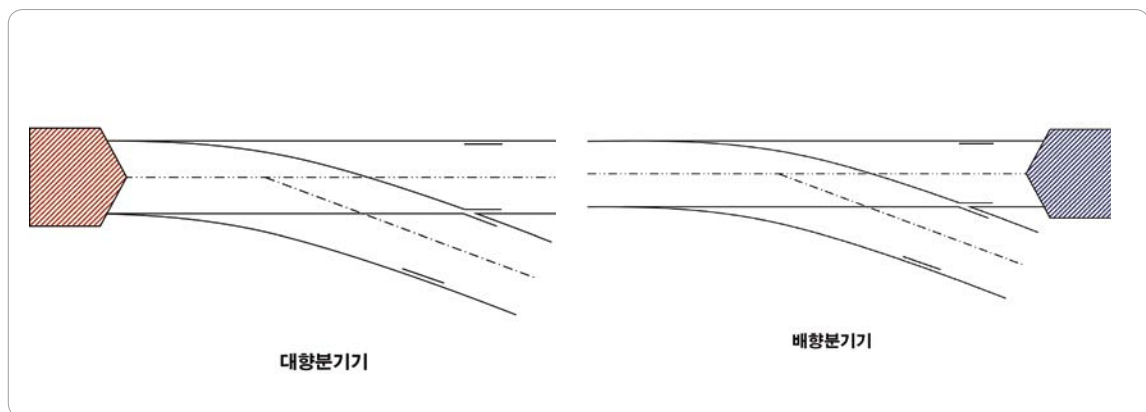
[그림 8-5] 포인트



[그림 8-6] 크로싱

(2) 분기기의 대향과 배향

차량이 분기기를 통과하는 경우에 분기기의 전단에서 후단의 방향으로 진입할 때의 차량은 분기기에 대하여 대향(facing)이라고 하고 반대로 크로싱을 통하여 포인트를 통과하는 경우를 배향(trailing)이라고 한다. 열차 운전상의 안전도 측면에서 대향의 위치에 있을 때의 위험도가 높으므로 정거장의 배선 시에는 대향 분기기를 가능한 한 적게 하는 것이 좋다.



[그림 8-7] 분기기의 대향과 배향

(3) 분기기의 정위(定位)와 반위(反位)

포인트는 전환기에 의하여 임의의 방향으로 진로를 개통시킬 수 있으나 이것을 임의 상태로 방치하는 것은 운전 보안상 대단히 위험하다. 그러므로 평상시는 일정 방향으로 개통시키고 사용이 끝나는 직후 원래의 방향으로 복귀시킨다. 이 경우 상시 개통되어 있는 방향을 포인트의 정위라 하고 반대로 개통되어 있는 것을 반위라 한다.

실제에서는 포인트가 어떤 방향이 정위인가는 대략 운전 횟수가 많은 중요한 방향이 정위가 되며 표준은 다음과 같다.

- 본선과 본선의 경우 주요한 본선. 다만, 단선 운전 구간의 정거장에서는 열차가 진입할 본선
- 본선과 측선의 경우 본선
- 본선 또는 측선과 안전 측선(피난선을 포함)의 경우 안전 측선
- 측선과 측선의 경우 주요한 측선
- 탈선 분기기 또는 탈선기는 탈선시킬 상태에 있는 것을 정위로 한다.

(4) 분기기의 종류

1) 구조에 의한 포인트의 분류

- ① 둔단 포인트 : 우리나라에서는 사용하지 않음
- ② 선단 포인트 : 주로 사용
- ③ 스프링 포인트
- ④ 승월 포인트

2) 구조에 의한 크로싱의 분류

크로싱부는 기준선 측과 분기선 측의 분기기 안쪽 레일이 서로 교차하는 개소이다.

① 고정 크로싱

크로싱은 가동 부분이 없으며 차륜의 플랜지가 통과하는 플랜지 웨이 폭을 확보하기 위하여 결선부를 두고 있다. 차량이 어떤 방향으로 진행하든지 결선부를 통과하여야 하므로 차륜의 진동과 소음이 크고 승차 기분이 불쾌하다. 크로싱의 대부분이 이 형식이다.

고정 크로싱은 제조 방법에 따라 다음과 같이 분류한다.

- ㉠ 조립 크로싱
- ㉡ 망간 크로싱
- ㉢ 용접 크로싱
- ㉣ 압접 크로싱

② 가동 크로싱

가동 크로싱은 고정 크로싱의 최대 약점인 결선부를 없게 하여 차량의 충격, 동요, 소음 등을 해소하고 승차 기분을 개선하여 고속 운행 시 안전도를 향상하는 데 그 목적이 있다.



[그림 8-8] 고정 망간 크로싱

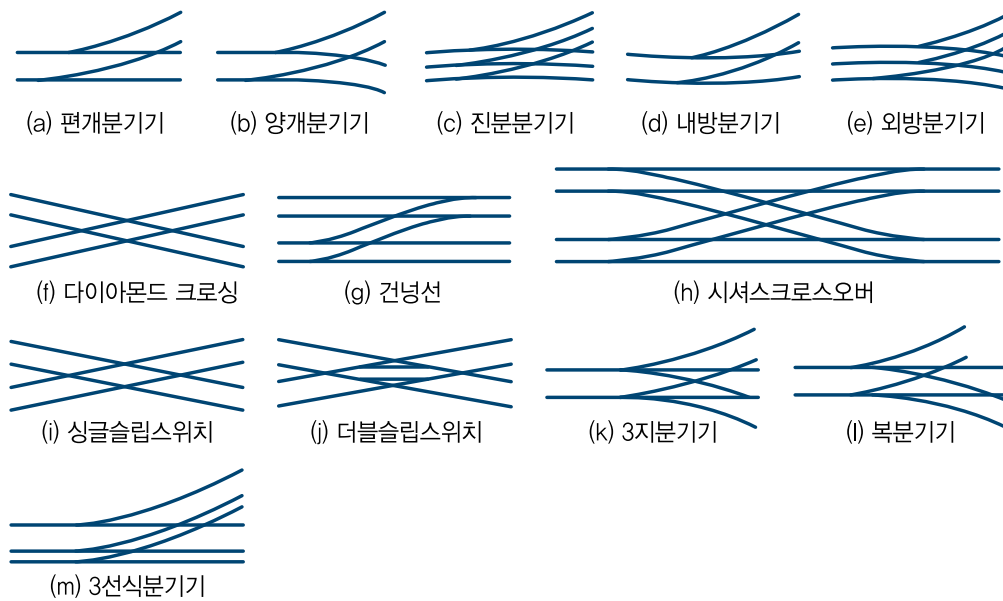


[그림 8-9] 노즈 가동 크로싱

- ㉠ 가동 노즈 크로싱 : 노즈 레일이 움직이도록 되어 있음. 결선부가 없어 승차감 및 안전도가 높다.
- ㉡ 가동 둔단 크로싱(천이 포인트)
- ㉢ 가동 K자 크로싱

3) 배선에 의한 분기기의 분류

- ① 단 분기기(보통 분기기)
 - ㉠ 편개 분기기(좌개, 우개)
 - ㉡ 양개 분기기
 - ㉢ 곡선 분기기(내방, 외방)
- ② 특수 분기기
 - ㉠ 건넘선
 - ㉡ 교차 건넘선
 - ㉢ 승월 분기기
 - ㉣ 천이 분기기

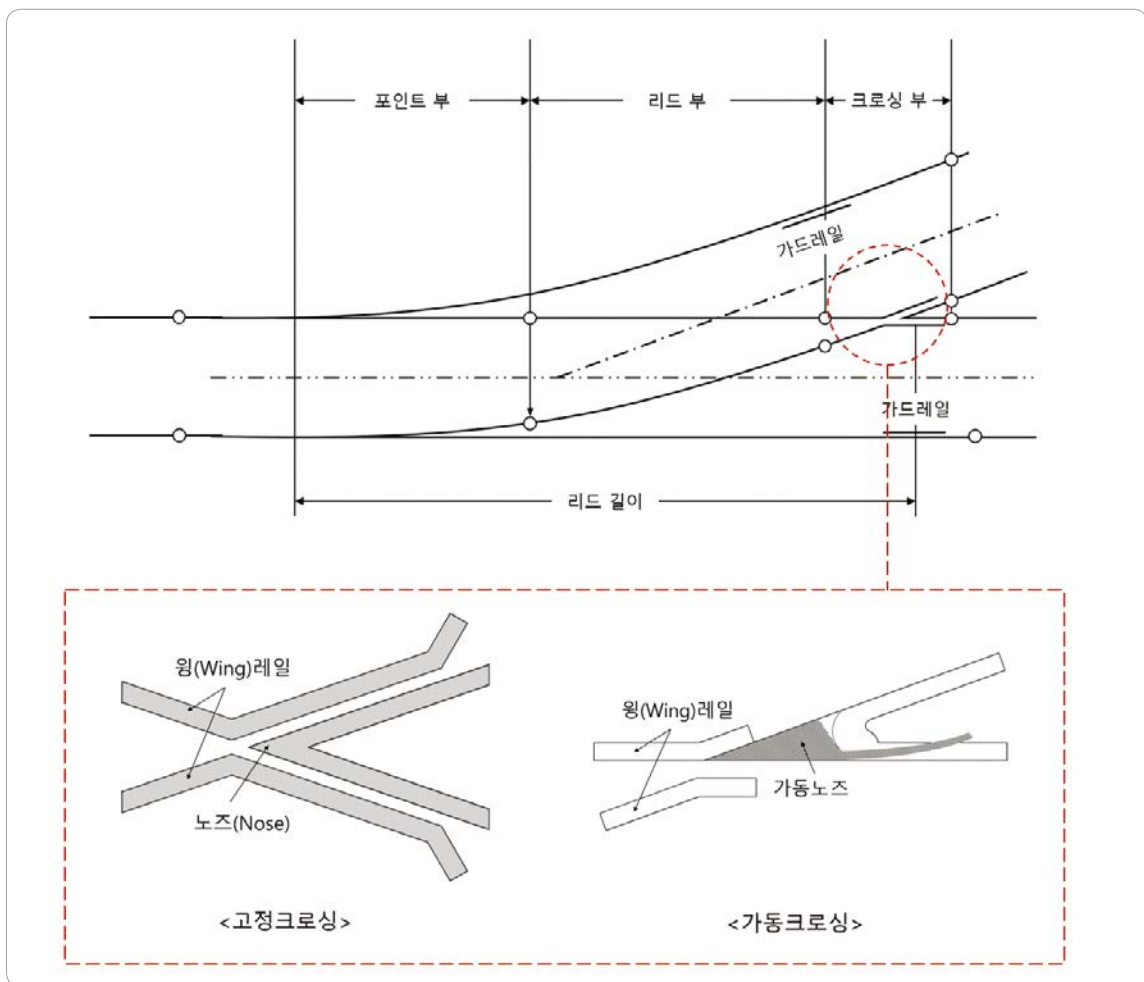


[그림 8-10] 분기기의 분류

- ㊤ 탈선 분기기
- ㊤ 갠틀릿 궤도
- ㊤ 탄성 포인트

(5) 분기기의 명칭

1) 분기기의 각부 명칭



[그림 8-11] 분기기와 크로싱

2) 크로싱의 번호

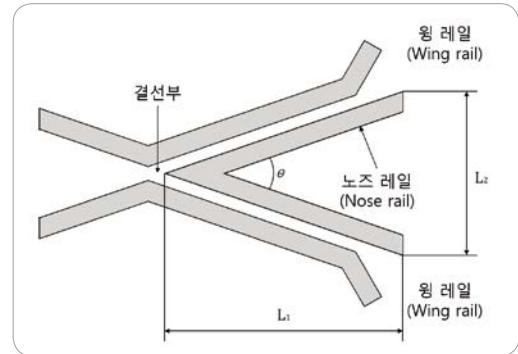
분기기는 크로싱 각의 대소에 따라 다르며 크로싱 번호는 N으로 표시.

크로싱 각이란 크로싱의 교차하는 각도, 즉 기준선 측과 분기선 측의 안쪽 레일이 교차하는 각도

를 말하며 이 각의 대소를 표현하기 위해 크로싱 변수를 사용한다.

분기 변수가 커지면 분기 각도가 작아지고 열차가 받는 횡방향 동요도 적어지므로 열차의 분기기 통과 속도를 높일 수 있다.

[그림 8-12]에서 분기기 변수 $N = \frac{L_1}{L_2}$ 이 된다.



[그림 8-12] 고정 크로싱 상세도

8.1.5 건축 한계와 차량 한계

(1) 건축 한계와 차량 한계

철도차량이 안전하게 선로를 주행하기 위해서는 철도선로에 인접하여 구축되는 모든 건조물과는 상당한 여유 공간을 확보하여야 한다. 건조물이란 정거장·사무실·창고·주택 등의 건조물 및 각종 시설물을 말하며, 일정 한계 내에는 상기의 건조물을 설치하여서는 아니 된다. 다만, 가공 전차선 및 그 현수 장치와 선로 보수 등의 작업상 필요한 일시적 시설로서 열차 운행에 지장이 없을 경우에는 그렇지 않다. 이 목적을 달성하기 위하여 궤도 위에 일정한 공간을 설정하며 이 공간은 열차 안전 운행의 절대적인 조건이다.

(2) 건축 한계

‘건축 한계’란 차량이 안전하게 운행될 수 있도록 궤도 위에 설정한 일정한 공간을 말하며 다음 사항을 고려하여 정해야 한다.

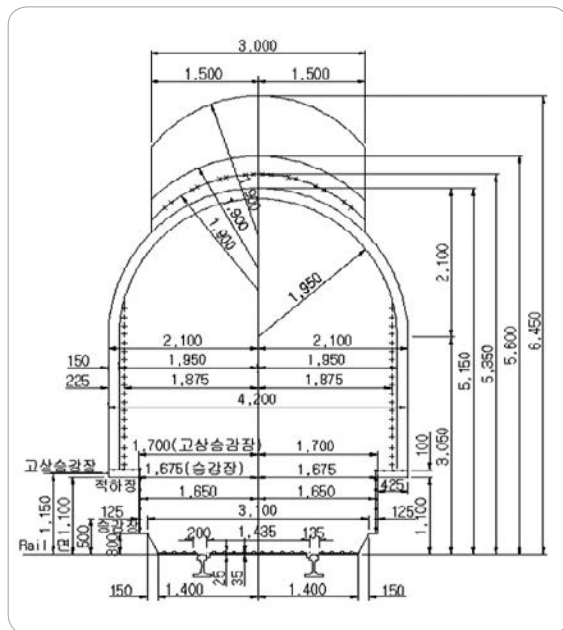
- 직선 구간의 건축 한계와 차량 한계의 간격은 차량이 주행할 때 발생하는 동요 등을 고려하여 차량의 주행과 여객 및 승무원의 안전에 지장을 주지 않도록 정할 것
- 전기 기관차 또는 전차가 주행하는 경우 직선 구간의 건축 한계와 차량 한계의 간격은 차량이 주행할 때 발생하는 동요 등을 고려하여 감전 및 화재가 발생하지 않도록 정할 것
- 곡선 구간의 건축 한계는 캔트(철도차량이 곡선 구간을 원활하게 운행할 수 있도록 안쪽 레일을 기준으로 바깥쪽 레일을 높게 부설하는 것을 말한다)의 크기에 따른 차량의 기울기에 따라 산정된 건축 한계보다 확대하여 정할 것
- 건축 한계 외부라 하더라도 건축 한계 내로 무너질 우려가 있는 것을 두어서는 아니 된다.(철도 시설의 기술기준)

(3) 차량 한계

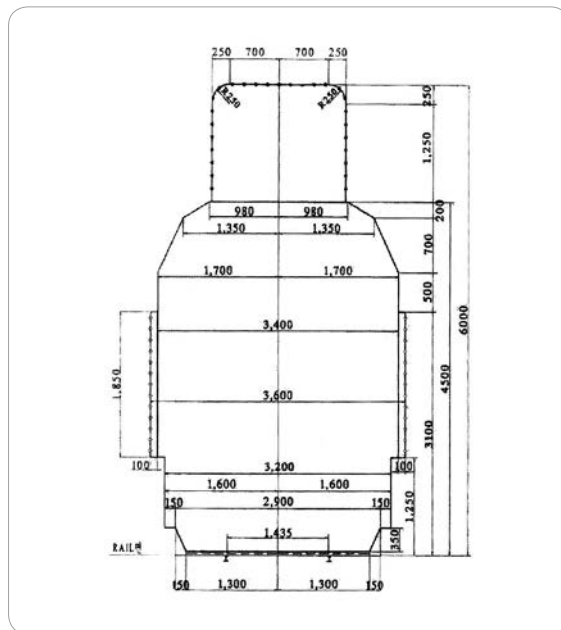
‘차량 한계’란 철도차량의 안전을 확보하기 위하여 궤도 위에 정지된 상태에서 측정한 철도차량의 길이·너비 및 높이의 한계를 말하며 건축 한계보다 좁게 설정하여 철도 시설물과 차량과의 접촉을 방지하는 것이다.

[표 8-12] 건축한계와 차량한계

구 분	폭	높이	승강장 높이	직선 승강장		곡선부 확 폭
				궤도 중심 폭	간격	
건축 한계	한국철도공사	4,200	5,150~6,450	1,150	1,700	$\frac{24,000}{R}$
	서울	3,600	5,150	1,100	1,650	
	부산	3,200	5,070	1,100	1,600	
차량 한계	한국철도공사	3,600	4,500~6,000	—	1,600	$\frac{\text{부산은 } 20,000}{R}$
	서울	3,200	4,750	—	1,600	
	부산	2,800	4,320	—	1,400	

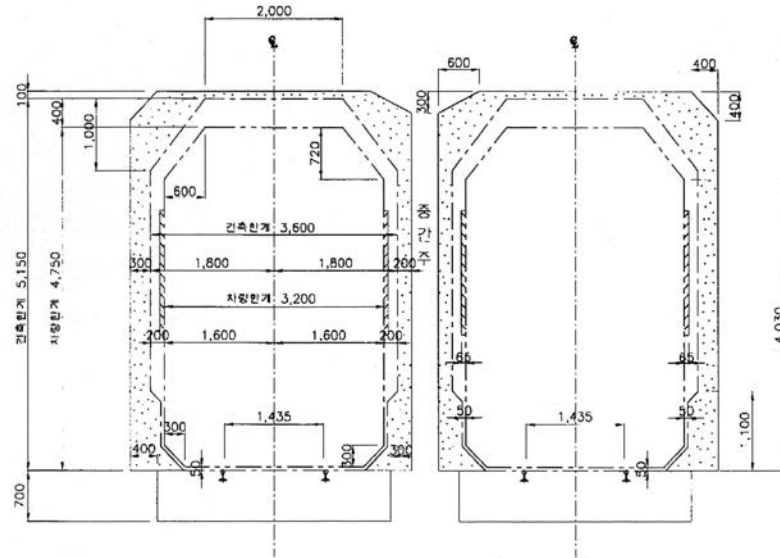


[그림 8-13] 철도건설규칙에 의한 직선 구간 건축 한계

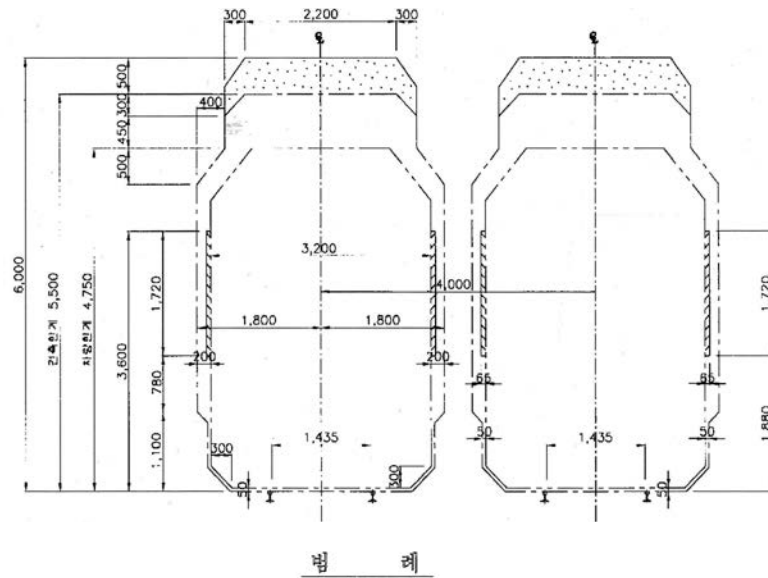


[그림 8-14] 철도차량 안전기준에 관한 규칙에 의한 차량 한계

[서울교통공사의 건축 한계 및 차량 한계]



[그림 8-15] 지하 부분 건축 및 차량 한계도(직선)



- 범례
- 건축한계(단 전차선 및 현수장치 제외)
 - 차량한계(단 판타그래프를 접은 높이 포함)
 - ////// 표시 및 표지등에 대한 한계
 - 건축한계의 여유공간

[그림 8-16] 지상 부분 건축 및 차량 한계도(직선)

8.1.6 궤도 중심 간격(軌道中心間隔)

(1) 궤도 중심 간격(軌道中心間隔)의 의의(意義)

궤도(軌道)가 2선(線)이상으로 나란히 부설(敷設)되었을 때는 궤도 중심 간격을 충분히 확보하여 열차의 교행(郊行)에 지장이 없고, 열차 내의 승객이나 승무원에게 위험이 없어야 하며, 또 정차장 내 병렬 유치되어 있는 차량 사이에서 종사원이 차량 정비 작업 및 입환 작업을 할 수 있는 여유가 있어야 한다. 그러나 궤도 중심 간격(軌道中心間隔)이 너무 넓게 되면 용지비와 건설비가 증대되므로 일정한 한계를 정하게 된다. 직선 구간의 궤도 중심 간격은 차량 한계의 최대 폭과 차량의 안전 운행 및 유지 보수 편의성 등을 고려하여 설정한다.

(2) 궤도 중심 간격(軌道中心間隔)

1) 철도의 건설기준에 관한 규정 제14조 (2020.07.07)

① 정거장 외 구간

2개의 선로를 나란히 설치하는 경우 궤도의 중심 간격은 설계 속도에 따라 다음 표의 값 이상으로 하여야 한다.

[표 8-13] 궤도의 중심 간격

설계 속도 V(km/h)	궤도의 최소 중심 간격(M)
$350 < V \leq 400$	4.8
$250 < V \leq 350$	4.5
$150 < V \leq 200$	4.3
$70 < V \leq 150$	4.0
$V \leq 70$	3.8

② 정거장 내 구간

① 정거장(기지 포함) 안에 나란히 설치하는 궤도의 중심 간격은 4.3미터 이상 되어야 한다.

② 6개 이상의 선로를 나란히 설치하는 경우에는 5개 선로마다 궤도의 중심 간격을 6.0미터 이상 확보해야 한다.

③ 선로 사이에 전차 선로 지지주 및 신호기 등을 설치하여야 하는 때에는 궤도의 중심 간격을 그 부분만큼 확대하여야 한다.

- ㉔ 곡선 구간 궤도의 중심 간격은 소정의 궤도 중심 간격에 건축 한계 확대량을 더하여 확대하여야 한다. 다만, 곡선 반경이 2,500미터 이상의 경우는 확대량을 생략할 수 있다.

2) 도시철도건설규칙[도시철도건설규칙 제22조~23조]

- ① 열차가 서로 반대 방향으로 운행되는 본선 궤도의 경우에는 열차와 승객 등의 안전을 위하여 궤도 간의 간격을 충분히 두어야 한다.
- ② 궤도의 간격은 해당 궤도의 지상부, 지하부, 궤도 병설 수 및 차체 규격 등을 고려하여 시·도지사 등이 기준을 정한다. 이 경우 궤도 사이에 가공 전차선 지주(支柱)나 신호기 지주 등을 설치하는 경우에는 해당 부분만큼 궤도의 간격을 확대하여야 한다.
- ③ 곡선인 궤도의 중심 간격은 곡선부의 건축 한계 확대 치수의 두 배 이상으로 확대하여야 한다.

8.1.7 선로제표

(1) 선로제표의 정의

철도선로에는 열차 운행에 필요한 정보를 제공해 주기 위하여 곡선, 기울기 등의 운전상 필요한 선로 조건을 알리고 선로 유지 보수를 담당하는 종사원에게 선로 정보를 제공하며 일반 시민에게 철도 용지 경계, 건널목 위치 등을 알리기 위해 선로의 소정 위치에 선로제표를 건식한다.

(2) 선로제표의 분류

1) 건식표(부착표 포함)

① 거리표

선로의 기점에서 종점 쪽으로 거리를 표시하는 것으로 1km마다 건식하는 킬로미터표와 그 중간 200m(지하 구간은 100m)마다 건식하는 미터 표를 선로 좌측에 설치한다.

② 기울기표

선로 기울기의 변환점에 건식하여

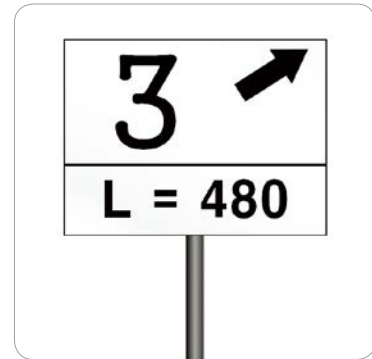


[그림 8-17] 킬로미터표



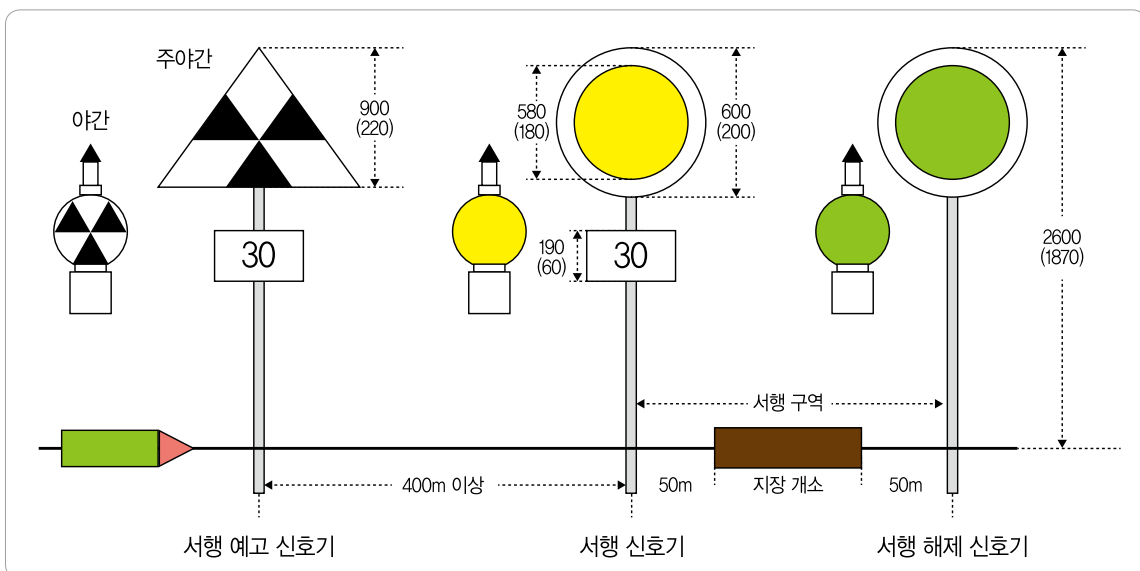
[그림 8-18] 미터표

기울기의 상, 하의 정도를 표시하여 열차운전 편의를 제공한다. [그림 8-19]의 해당 표지는 3/1,000의 기울기의 상구배로 기울기 연장이 480m라는 의미이다.



[그림 8-19] 기울기표

- ③ 선로 작업표 : 선로 작업 상황을 알리는 표지로 열차 진행 방향에 대향으로 건식한다.
- ④ 용지 경계표 : 철도 용지의 경계를 표시하고 관리하도록 하는 제표이다.
- ⑤ 차량 접촉 한계표 : 인접 궤도의 차량과 접촉을 피하고자 건식하는 표지로서 궤도 중심 간격 4m 지점에 설치한다.
- ⑥ 관할 경계표
- ⑦ 수준표 : 선로의 표고를 측정하는 기준이 되며 약 1km마다 선로의 우측에 설치한다.
- ⑧ 낙석표
- ⑨ 취약 지구 경고표
- ⑩ 서행 예고 신호기 : 서행 신호기를 향하는 열차 또는 차량에 대하여 그 앞쪽에 서행 신호의 현시 있음을 예고하는 신호기



[그림 8-20] 서행 관련 신호기

- ⑫ 차단기 없는 건널목표
- ⑬ 열차 정지목표
- ⑭ 기적표 : 건널목, 교량, 급곡선 등 기적을 올릴 필요가 있는 곳에 열차 진행 방향 400m이상 앞쪽에 설치한다.
- ⑮ 속도 제한표 : 서행표라고도 하며 속도를 제한할 사유가 있는 곳의 400m 외방에 설치한다.
- ⑯ 속도 제한 해제표
- ⑰ 서행 신호기 : 서행 운전할 필요가 있는 구간에 진입하려는 열차 또는 차량에 대하여 그 구간을 서행할 것을 지시하는 신호기
- ⑱ 정거장 구역표 : 정거장의 구내 외의 경계를 표시하는 제표로서 장내신호기 설치에 따른다.
- ⑲ 곡선표 : 원곡선의 시점과 종점에 세워 곡선 반경, 캔트, 확대 궤간 등을 기입한다.
- ⑳ 서행 해제 신호기 : 서행 구역을 진출하려는 열차 또는 차량에 대한 것으로서 서행 해제되었음을 지시하는 신호기



[그림 8-21] 철길건널목 표지판



[그림 8-22] 곡선표

2) 기록표

- ① 교량
- ② 구교
- ③ 터널
- ④ 정거장 중심표 : 정거장의 중심 위치를 표시한다.
- ⑤ 분기기 번호
- ⑥ 양수표 : 하천의 출수 상태를 조사하기 위해 건식하는 표식
- ⑦ 레일 번호 : 선로 시설 유지 관리의 효율을 기하기 위해 레일마다 고유 번호를 기재하여 관리한다.
- ⑧ 곡선 종거 및 캔트량 : 해당 곡선의 위치별 종거 및 캔트량을 레일에 기재하여 선로 관리의 효율성을 높인다.
- ⑨ 운전 취급 규정(한국철도공사)의 각종 표지

[표 8-14] 표지(한국철도공사)

열차 정지 표지	차량 정지 표지	정거장 경계 표지	차막이 표지	차량 접촉 한계 표지
열차 정지 위치표지 지상용		열차 정지 위치표지 벽면 부착용	열차 정지 위치표지 선로 중앙 설치용	일단 정지 표지 지상용
일반 열차	일반 지상용			
일단 정지 표지 지하 구간용	속도 제한 표지	선로 작업 표지	기적 표지	기적 제한 표지

☑ 핵심정리



1. 핵심 용어인 선로, 궤간, 완화곡선, 확대궤간, 캔트, 기울기, 분기기, 건축한계, 차량한계, 궤도중심 간격, 선로제표에 대해 간단히 설명해 보시오.
2. 열차의 안전운행에 영향을 미치는 선로의 기하학적 구조요소에는 어떤 것이 있을까요?(선로의 선형조건, 확대궤간, 캔트, 기울기)
3. 분기부는 (), (), ()의 세부분으로 구성된다.
4. 각종 선로제표를 그려 보세요.

8.2 궤도(Track)

학습목표

- ☑ 궤도를 구성하는 주요 요소에 대하여 공학적으로 이해하고 설명할 수 있다.
- ☑ 궤도를 구성하는 주요 요소와 열차 안전 운행과의 상관관계에 이해하고 열차 안전 운전에 적용할 수 있다.

[핵심용어]

궤도, 궤도 구조, 레일, 침목, 도상, 레일 체결 장치

8.2.1 궤도 구조(軌道構造)

8.2.1.1. 궤도의 의의(意義)

철도(鐵道 · railroad)가 다른 교통 기관과 다른 특징은 일정한 선로 위를 차량이 주행하는 점이다. 철도선로의 일반적인 구조는 견고한 노반 위에 정해진 두께의 도상을 설치하고 그 위에 침목을 일정 간격으로 부설한 후 침목 위에 두 줄의 레일을 소정 간격으로 체결하는 구조로 이루어진다. 특히 궤도(Track)는 철도선로를 구성하는 가장 주요한 부분으로 레일과 그 부속품(체결구), 침목 및 열차 하중을 직접 지지하는 도상으로 구성된다.

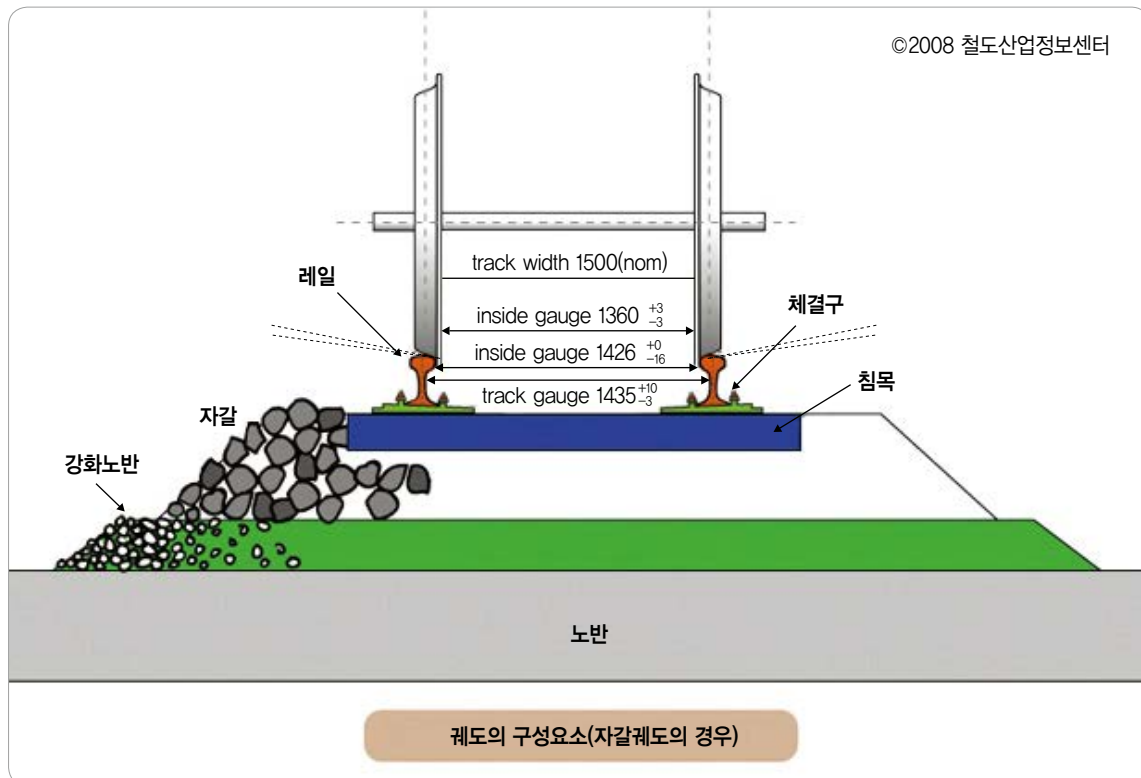
궤도의 주요한 구성 요소 및 기능은 다음과 같다.

- 레일 : 차량 하중을 직접 지지하며, 차량에 대해 주행면과 주행선을 제공하여 주행을 유도한다.
- 침목 : 레일로부터 받은 하중을 도상에 전달시키는 역할을 하며 레일을 일정한 간격의 궤간을 확보하며 그 위치를 유지한다.
- 도상 : 침목으로부터 받는 하중을 분포시켜 노반에 전달하며, 침목 위치를 유지하고 탄성에 의한 충격력을 완화한다.

8.2.1.2 궤도의 구비 조건

철도선로의 가장 중요한 구성 요소인 궤도는 열차의 주행 하중 및 충격 하중을 직접 받으므로 이에 견딜 수 있는 재료로 구성되어야 하며, 열차 하중을 시공기면 이하의 노반에 광범위하고 균등하게 전달할 수 있어야 한다. 또한 차량의 동요와 진동이 적고 승차감이 좋게 주행할 수 있어야 한다. 선

로의 공용 사용 중에는 유지 보수가 쉽고 구성 재료의 교환이 간편해야 할 뿐 아니라 궤도 틀림이 적고 열화 진행이 완만하여야 한다. 철도차량의 원활한 주행과 안전이 확보되고 경제적이어야 하는 것도 궤도가 갖추어야 하는 필수 조건이다.



[그림 8-23] 궤도 구성 요소

8.2.2 레일(Rail)

(1) 레일의 역할

레일은 열차 하중을 직접 받아 침목과 도상을 통하여 노반에 전달하고 주행 저항을 작게 하여 차량의 안전 운행을 확보하여야 한다.

레일에 작용하는 힘은 수직력 이외에도 측면에 작용하는 횡압력과 길이 방향의 축방향력이 동적으로 작용하므로 이에 충분히 견딜 수 있는 구조로 제작되어야 한다.

궤도를 구성하는 궤도 재료 중 레일은 가장 중요한 역할을 한다.

1) 레일의 역할

- ① 열차와 차량의 하중을 직접 지지한다.
- ② 평면, 종단의 선형을 유지하여 차량의 운행 방향을 안내한다.
- ③ 적절한 유지 보수를 통하여 평탄한 주행면을 제공한다.
- ④ 전기 및 신호 전류의 흐름을 원활하게 하여 시스템 엔지니어링 기능을 유지한다.

2) 레일의 구비 요건

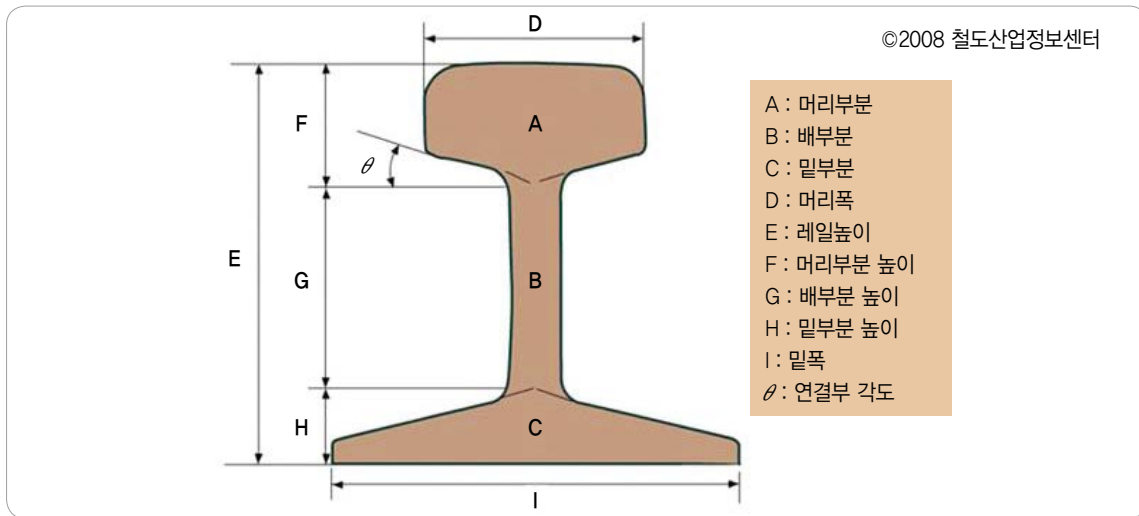
- ① 넓지 않은 단면적으로 수직 및 수평 방향의 작용력에 대하여 충분한 강도와 강성을 가질 것
- ② 두부의 마모가 적고, 마모에 대하여 충분한 여유가 있으며, 내구연한이 길 것
- ③ 침목과 체결이 쉬우며, 외력에 대하여 구조적 안정성을 가질 것
- ④ 소음 및 진동 저감에 유리할 것

3) 레일에 작용하는 하중

- ① 차륜에 의해 레일 두부에 수직 방향으로 작용하는 윤중
- ② 레일 두정면에서 길이 방향에 대하여 직각, 수평 방향으로 작용하는 횡압
- ③ 온도 변화 때문에 레일 길이 방향으로 작용하는 축방향력
- ④ 차륜과의 마찰력에 의한 접선력

(2) 레일의 단면 형상과 중량

레일은 윤하중이나 진동 등의 수직력 외에 좌우 방향의 사행동이나 횡압력 등의 수평력 등에 대해서도 강도상으로 충분히 견딜 수 있어야 한다. 레일 단면 형상에서 바람직한 조건으로는 차륜이 탈선하기 어려운 두부 형상이어야 하고, 마모 후의 형상과 큰 차이가 없어야 한다. 또 수직 하중에 대하여 높이가 높은 쪽이 유리하며, 저부의 형상은 폭이 넓어 안정적이고 부식에 대해 고려되어야 한다. 이러한 조건을 충분히 만족하는 레일 형상으로는 단면 2차 모멘트가 큰 형상의 레일로 평저 레일이 유리하며, 현재 우리나라에서 사용하는 대부분 레일은 평저 레일이다. 중량에 대해서는 레일의 단위 미터당의 중량 kg/m로 구분하는 방법으로 50kg, 60kg을 주로 사용한다. 이들에 대한 주요 제원은 다음과 같다.



[그림 8-24] 레일의 단면 형상

[표 8-15] 레일의 단면 제원

종 별	두부 폭(mm)	저부 폭(mm)	높이(mm)	중량(kg/m)	단면 2차 모멘트 I_x (cm ⁴)
50kg N	65	127	153.00	50.40	1,960
50kg PS	67.86	127	144.46	50.40	1,740
UIC 60	72	150	172	60.34	3,055
KS 60kg	65	145	174.5	60.80	3,090

(3) 레일의 선정

도시철도를 운행하기 위한 궤도 부설 시 사용하는 레일의 종류를 결정하기 위해서는 다음과 같은 환경적 특성을 고려해야 한다.

1) 도시철도의 환경적 특성

- ① 빈번한 열차 운행 횟수 및 높은 승객 혼잡도에 의한 열차 통과 톤수
- ② 협소한 지하 터널 공간과 제한된 유지 보수 시간
- ③ 곡선 반경이 작은 노선으로 이어지는 불리한 선형 조건
- ④ 지하 터널의 누수로 인한 부식과 전식

2) 레일 중량화의 장점

레일 중량화란 단위 미터당의 레일 중량이 가벼운 레일에서 더 무거운 레일로 교환하는 것을 의

미하는 것으로 다음과 같은 장점이 있다.

- ① 단면 2차 모멘트가 상대적으로 커서 외부에서 작용하는 하중에 대해 구조적으로 안전하다.
따라서 열차 안전 운행을 도모할 수 있다.
- ② 단면적 등이 넓어 마모 한도 등 내구연한이 길다.
- ③ 열차 하중에 대한 궤도 틀림량이 작아 유지 보수비를 절감할 수 있다.
- ④ 소음 및 진동 저감에 유리하다.

(4) 레일의 마모와 수명(壽命)

레일 마모는 직선에서는 레일 위를 작은 미끄러짐으로 주행하여 작은 마모량이 발생하지만 곡선부에서는 큰 미끄러짐 비율로 주행하면서 마모량이 크다. 이 현상은 레일이 경도가 낮고 경량 레일일수록, 직선보다 곡선 외궤가, 곡선 반경이 작을수록, 평탄선 보다는 구배선이 심하며, 열차 중량, 속도, 통과 톤수가 많을수록 마모 진행이 빠르다. 탈선을 방지하기 위한 레일의 교환 기준은 차륜 플랜지와 최대 마모 높이의 관계로 정해진다. 이와는 달리 레일의 길이 방향으로 수 cm씩 파형으로 마모되는 파상(波狀) 마모 현상이 있는데, 이것은 도상이 과도하게 견고한 장소나 콘크리트 도상 등 레일의 지승체(支承體)가 견고하여 탄력성이 부족함에 따라 균열이 발생하는 것을 말한다.

레일의 마모 방지는 레일 경질(硬質)화, 중량(重量)화, 레일 도유기 설치로 가능하다.

열차 운행 이후 공용 사용 기간의 경과와 레일 위를 통과한 차량 중량의 총계(통과 톤수)에 따라 레일 교환의 목표가 정해지기도 하지만 궤도 보수의 방침이나 궤도 재료의 운용 면에서 수명이 결정되는 경우도 많다. 열차 속도 등의 조건, 궤도 보수의 정도, 경영 상황 등에 따라서도 레일 수명이 결정된다. 일반적인 레일의 교환 기준과 수명은 다음과 같다.(선로유지관리지침)

[표 8-16] 레일의 교환 기준과 수명

종 류	구분		
	수직 마모(mm)	편 마모(mm)	통과 톤수(억 톤)
60kg	13	15	6
50kg	12	13	5

(5) 레일의 길이

레일의 이음매는 철도선로의 궤도 구조상 가장 취약한 개소로 유지 보수 노력이 증가하고 차량 동요와 진동을 유발하여 승차 기분을 해친다.

레일은 길이가 길면 길수록 이음매 수가 감소하여 보수 노력의 경감 등 여러 장점이 있지만, 다음과 같은 이유로 그 제작 길이를 제한한다.

- 온도 신축에 따른 이음매 유간의 제한
- 레일 구조상의 제한
- 운반 및 보수 작업상의 제한
- 레일 길이와 차량의 고유 진동 주기와의 관계

한국철도공사에서 사용하는 레일은 25m를 정척 레일로 사용하고 있으나 도시철도에서는 도로 운송에 대한 제약을 비롯해 지하 터널 및 고가 구조물로의 레일 투입과 운반의 어려움을 고려하여 한 개의 레일 길이를 20m로 하는 정척 레일을 사용하고 있다.

[표 8-17] 레일의 길이에 의한 분류

레일의 분류	한 개의 길이 (m)
장대 레일 (Long Rail, C.W.R:Continuous Welded Rail)	200m 이상
장척 레일 (Longer Rail)	20m 이상 ~ 200m 미만
정척 레일 (Standard Rail)	20m (한국철도공사 : 25m)
단척 레일 (Shorter Rail)	10 ~ 20m 미만

(6) 레일의 재질

레일의 재질은 강도, 내마모성, 내식성 등에서 일반적으로 우수한 고탄소강을 채용하고 있다. 또한 내접촉 피로성, 용접성 등도 요구되는 재질의 성능이다.

[표 8-18] 주요 화학 성분과 기계적 성질

종 류	화 학 성 분				
50kgN, 60kg	C(탄소)	Si(규소)	Mn(망간)	P(인)	S(유황)
50kgN, 60kg	인장 강도		800MPa	연신율	10%

(7) 특수 레일

1) 고탄소강 레일

탄소강 레일의 탄소 함유량을 증가(탄소 함유량을 0.85% 정도)시켜 내마모성을 증가시킨 것이다.

2) 경두 레일(솔바이트 Sorbite Rail, 열처리 레일)

레일 두부 표면에서 약 20mm를 열처리하여 솔바이트(sorbite) 조직으로 한 것이다.

강인하고 내마모성이 크며, 1910년경 영국에서 레일을 압연할 때 적열 상태에서 레일에 냉수를 분사시켜 급랭하여 제작하였다.

이음매부의 끝 닳음을 예방하기 위하여 보통 레일의 끝부분을 10~20cm 정도 표면을 열처리한 것을 레일 끝부분 열처리(Rail end hardening)라 한다.

3) 망간 레일(Manganese rail)

망간(Mn)을 10~15% 정도 함유시킨 레일로서 내구연한이 길며(보통 레일의 6배) 마모가 심한 곳에 주로 쓰이며, 또한 인장 강도는 100kg/mm²(보통 레일 80kg/mm²)이며 신율도 40%나 된다.

망간은 레일의 성분 중 제강 시 탈산제(인이나 유황의 유해성 제거) 작용 양이 증가함에 따라 경도나 항장력은 증대시키나 연성은 감소되게 하는 성분이다.

4) 복합 레일(합성 레일, Compound rail)

레일 두부만 내마모성이 큰 특수강을 사용하여 제작한 레일로 두부에 고탄소 크롬강을, 복부 및 저부에는 저탄소강을 사용한 것이다.

내마모성이 보통 레일의 약 6배이다.

크롬[기호 : Cr/24/51.996]은 백색의 단단하면서도 잘 부서지는 금속 원소로 자성이 강하고, 공기와 물속에서 녹이 슬지 않아 도금이나 합금으로 쓰인다.

(8) 레일의 훼손(毀損)

레일이 외력의 작용과 레일 자신이 보유하고 있는 내부 결함 또는 양자의 결함으로 사용 불능 상태로 되는 것을 말한다.

1) 레일 훼손의 주요 원인

① 레일 제작 시 결함

㉠ 레일 제작 시 강철 덩어리 내부의 결함

- ㉠ 압연 작업 불량으로 품질적인 결함 발생
- ㉡ 압연 시 가스에 의한 내부 공기공이 발생하거나, 냉각 수축에 의한 중앙부에 관상 줄 발생
- ② 레일 부설 및 취급에 의한 결함
 - ㉠ 레일의 취급 방법과 부설 방법이 불량할 때
 - ㉡ 레일의 단면이 하중에 비하여 약할 때
 - ㉢ 부식, 이음매부, 레일 끝 처짐 등으로 레일 상태가 악화될 때
 - ㉣ 궤도 보수 상태가 불량한 때
 - ㉤ 차량 불량과 탈선, 전복 사고가 발생한 때

8.2.3 침목(枕木, Tie)

(1) 침목의 역할 및 구비 조건

1) 침목의 역할

침목은 레일을 소정 위치에 견고히 고정하고 지지하며 레일을 통하여 전달되는 차량의 하중을 도상에 널리 분포시키는 역할을 함

2) 침목의 구비 조건

- ① 레일과 견고한 체결에 적당하고 열차 하중을 지지할 수 있을 것
- ② 탄성이 풍부하고 내충격성, 완충성이 있을 것
- ③ 저면적이 넓고 동시에 도상 다지기 작업(자갈 도상)이 편리할 것
- ④ 도상 저항력(침목의 종·횡방향 이동에 대한 저항성)이 클 것
- ⑤ 재료 구입이 용이하고 가격이 저렴하여 경제적인 것
- ⑥ 취급이 간편하고 내구연한이 길 것
- ⑦ 전기 절연성이 양호할 것

(2) 침목의 종류

1) 사용 목적에 의한 분류

- ① 보통 침목(Common Tie)
- ② 분기 침목(Switch Tie)
- ③ 교량 침목(Bridge Tie)

2) 재질에 의한 분류

- ① 목 침목(Wooden Tie)
- ② 콘크리트 침목(Concrete Tie)
- ③ 철 침목(Metal Tie)
- ④ 조합 침목(Composite Tie) : 철재, 콘크리트, 또는 목재 등의 조합으로 만든 침목

3) 재질에 따른 특성

현재 세계 각국에서는 궤도의 안정성과 유지 보수비 측면에서 유리한 침목을 채택하고 있으며, 대부분 목 침목과 콘크리트 침목을 사용하고 있다. 콘크리트 침목은 목 침목에 비하여 중량이 크므로 궤도 틀림에 대한 저항력이 증대되어 궤도의 안정성에 미치는 효과가 클 뿐만 아니라 수명도 길어(약 3배 이상) 훨씬 경제적이다.

그러나 분기부 및 레일 이음매부 등 열차 통과 시 충격이 심한 개소나 급곡선부의 확대 궤간 체감에서는 그 구조상 취약성을 나타내므로 이런 구간에는 목 침목이 유리하다.

(3) 목 침목

1) 목 침목의 장점

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

2) 목 침목의 단점

- ① 자연 부식으로 내구연한이 비교적 짧다.
- ② 하중에 의한 기계적 손상을 받기 쉽다.
- ③ 충해를 받기 쉬우며 주약해서 사용해야 한다.
- ④ 갈라지기 쉽다.

3) 방부 처리 방법

- ① 주약 처리 방법 : 크레오소트 50% + 중유 50% : 침목의 수명 연장
- ② 소재 침목을 6개월~1년간 야적하여 완전히 건조시킨 후 크레오소트유의 가압 주입법을 사용한다.
- ③ 방부 처리 방법에는 베셀법(Bethell), 로오리법(Lowry), 루핑법(Rueping), 불톤법(Bouiton) 등이 있다.

④ 방부제 효과를 높이기 위해서 주약 전 침목 표면에 자상을 내어 침목 전체의 주입 효과를 올려야 한다.

⑤ 레일 못 위치에 예비 천공을 하여 레일 못 주위에 주약의 주입도를 높여야 한다.

4) 침목의 치수 [길이×폭×두께(mm)]

① 보통 침목 $2,500 \times 240 \times 150$

② 이음매 침목 $2,500 \times 300 \times 150$

③ 분기 침목(분기 침목은 폭과 두께는 일정하고, 길이가 300mm씩 길어진다.)

$2800 \times 240 \times 150$, 3100, 3400, 3700, 4000, 4300, 4600 등 7종이 된다.

④ 교량 침목 $3,000 \times 230 \times 230$

(4) P.C 침목

콘크리트 침목은 제조 방법에 따라 R.C 침목과 P.C 침목으로 구분되며, 주로 P.C 침목을 사용한다.

P.C 침목은 Prestress 도입 시기에 따라 프리텐션(Pre tensioning) 방식과 포스트텐션(Post tensioning) 방식이 있다

1) 프리텐션 공법(Pre tensioning Method)

프리텐션 방식은 긴장 abutment에 P.S 강선을 배열하고 소정의 인장력을 준 상태에서 콘크리트를 타설한 뒤 양생하여 경화되면 거푸집 외측의 강선을 절단함으로써 P.S 강선과 콘크리트와의 부착력에 의하여 침목에 압축 응력을 도입시키는 공법이다. 우리나라에서 사용되고 있다.

2) 포스트 텐션 공법(Post tensioning Method)

P.S 강선이 콘크리트에 부착되지 않도록 쉬스관을 배치하고 콘크리트를 타설한 후 P.S 강선에 인장력을 주어 콘크리트에 압축 응력을 도입시키는 공법이다. 대형 구조물에 많이 반영하여 시공한다.

3) 콘크리트 침목의 장점

① 부식의 염려가 없고 내구연한이 길다.

② 자중이 커서 안정이 좋아 궤도 틀림이 적다.

③ 기상 작용에 대한 저항력이 크다.

④ 보수비가 적게 소요되어 경제적이다.

4) 콘크리트 침목의 단점

① 중량이 무거워 취급이 곤란하고 부분적 파손이 발생하기 쉽다.

② 레일 체결이 복잡하고 균열 발생의 염려가 크다.

- ③ 충격력에 약하고 탄성이 부족하다.
- ④ 전기 절연성이 목 침목 보다 부족하다.
- ⑤ 인력 보수 작업 시 침목에 손상이 우려된다.

(5) 침목의 부설 수 및 배치 간격(서울교통공사의 예)

[표 8-19] 침목의 부설 수 및 배치

구 분	침 목 별	20m당 부설수	1km당 부설수	침목 간격(mm)			장대 레일 구간
				A	B	C	
지하 본선	WT, PCT	34정	1,700	480	595	595	588
지하 정거장	단 침목	68	3,400	480	595	595	588
고 가	WT	35	1,750	463	578	578	—
본 선	PCT	34	1,700	480	595	595	588
교 량	교량 침목	50	2,500	400	400	400	—
차량 기지	WT, PCT	30	1,500	550	675	675	—

8.2.4 도상(道床, Ballast)

(1) 도상의 역할

도상은 침목을 소정 위치에 견고히 안정시키는 동시에 침목에서 받는 차량 하중을 노반에 전달하는 역할을 한다. 도상은 자갈 도상과 콘크리트 도상으로 구분되며 자갈 도상은 자갈 사이의 마찰력에 의해 안정성을 유지하고 그 자체의 탄력성으로 충격 및 소음을 흡수하며, 콘크리트 도상은 침목을 콘크리트로 지지하거나 레일 자체를 콘크리트에 직접 체결하는 구조로 안정성을 확보하고 별도의 탄성 대책으로 충격과 진동을 흡수하는 구조이다.

도상의 역할은

- 레일 및 침목으로부터 전달되는 하중을 널리 노반에 전달할 것
- 침목을 탄성적으로 지지하고 충격력을 완화하여 선로의 파괴를 경감시키고 승차 기분을 좋게 할 것
- 침목을 소정 위치에 고정하는 경질일 것
- 수평 마찰력(도상 저항)이 클 것
- 궤도 틀림 정정 및 침목 교환 작업이 쉽고 재료 공급이 수월하며 경제적인 것 등이다.

(2) 자갈 도상 궤도

1) 도상 자갈의 구비 조건

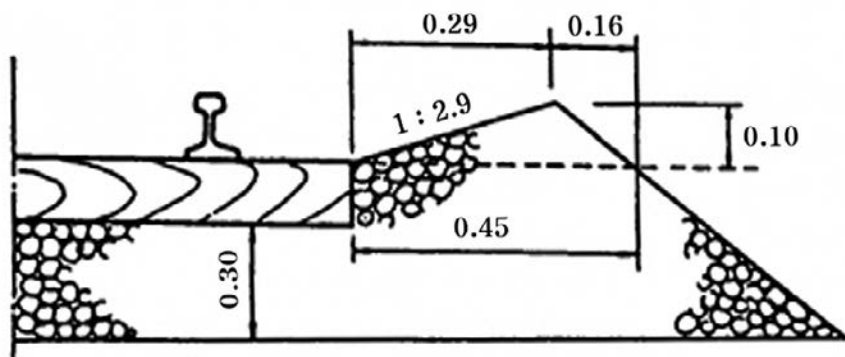
- ① 경질로서 충격과 마찰에 강할 것
- ② 단위 중량이 무겁고, 능각(모서리각)이 풍부하고 입자 간의 마찰력이 클 것
- ③ 입도가 적정하고 도상 작업이 쉬울 것
- ④ 점토 및 불순물의 혼입률이 적고 배수가 양호할 것
- ⑤ 동상과 풍화에 강하고 잡초 육성을 방지할 것
- ⑥ 양산이 가능하고 값이 경제적인 것

2) 도상의 단면 형상

도상 횡단면의 표준은 시공기면 위에 사다리꼴 모양으로 형성된다. 도상의 조건에는 침목 저면의 압력을 가능한 한 균등하게 노반에 분포시키는데 필요한 도상 두께와 침목 길이 방향의 도상 횡저항력을 확보하기 위한 침목 연단으로부터 도상 어깨까지의 어깨 폭, 또한 열차의 진동에 따른 도상 붕괴가 일어나지 않을 적당한 경사가 요구된다.

도상 두께는 침목의 형상 치수, 침목 간격, 도상 재료의 하중 분산성, 열차 하중의 크기 및 노반의 지지력에 의해 결정된다. 또한 도상 횡방향 저항력을 위해 필요한 어깨 폭의 유효 폭은 사용된 도상 재료의 석질 침목의 노출량에 따라 다르나 도시철도에서는 350mm~450mm로 정하고 있다.

도상의 두께는 열차 하중과 속도, 통과 톤수, 선로 등급에 따라 다르나 침목 하면에서 25cm~35cm 정도로 정한다.



[그림 8-25] 도상단면의 형상

3) 도상의 강도

도상의 품질은 궤도의 안전성을 지배하며, 궤도 틀림 발생량, 보수 노력비, 진동 가속도, 승차 기분 등에서 평가하여야 한다. 도상 자갈의 품질에 따라 보수 노력의 절감 정도가 크고, 도상 두께가 클수록 보수 노력이 적게 든다. 도상 강도를 표시하는 데는 도상 계수(道床 係數 Ballast coefficient)를 사용한다. 도상 계수의 정의는 다음과 같다.

① 도상 계수

- 공식 : $K = P/R$ (K: 도상 계수(MPa), P: 도상 반력(MPa), R: 측점 지점의 탄성 침하량(cm))
- K는 도상 재료가 양호할수록, 다지기가 충분할수록, 노반이 견고할수록 큰 값이 된다.

② 판정 기준

- k = 0.5MPa : 불량 노반
- k = 0.9MPa : 양호 노반
- k = 1.3MPa : 우량 노반

(3) 콘크리트 도상 궤도

1) 개요

콘크리트 도상 궤도는 자갈 도상 궤도의 문제점을 보완하고 궤도 분야 기술 발전을 꾀하고자 유럽, 일본 등 철도 선진국에서 개발했으며, 이는 대부분 레일을 지지하는 침목을 도상 콘크리트 속에 매입하거나 레일 자체를 콘크리트 슬래브에 직접 체결하는 구조로서 별도의 탄성 대책과 함께 채택 부설했다.

이 형식은 자갈 도상 궤도와 비교하면 건설비가 고가이고 시공에 정밀을 필요로 하지만 궤도의 강성을 높여 건설 후 유지 보수비를 대폭 줄일 수 있을 뿐 아니라 잦은 보수 작업 없이도 지속 가능해서 승객에게 쾌적한 승차감을 제공할 수 있는 장점이 있다.

2) 콘크리트 도상의 특징

① 기술성

- ㉠ 궤도의 선형 유지가 좋아 선형 유지용 보수 작업이 거의 필요치 않다.
- ㉡ 궤도의 횡방향 안전성이 개선되어 레일 좌굴에 대한 저항력이 향상되므로 급곡선에도 레일의 장대화가 가능하다.
- ㉢ 궤도 강도가 향상되어 에너지 비용, 차량 수선비, 궤도 보수비 등이 감소한다.
- ㉣ 자갈 도상보다 시공 높이가 낮으므로 구조물의 규모를 줄일 수 있다.

- ㉔ 궤도의 세척과 청소가 쉽다.
- ㉕ 열차 속도 향상에 유리하다.
- ㉖ 궤도 주변의 청결로 인해 각종 궤도 재료의 부식이 적어 수명이 연장된다.

② 경제성

자갈 도상 궤도의 경우 부설 후 지속적인 유지 보수가 필요하고 더욱이 열차 운행 횟수의 증가는 궤도 보수 주기를 더욱 단축하기 때문에 보수 작업 투입은 더욱 빈번해진다. 이에 비해 콘크리트 도상 궤도 구조는 초기 투자비가 많은 대신 유지 보수의 실질적인 감소와 보수 작업을 위한 열차 운행 제한이 감소된다.

콘크리트 도상 궤도의 건설비는 자갈 도상 궤도보다 약 1.5~2.5배가 되므로 건설 시 통상의 조건으로서는 경제성 효과가 있다고 말할 수 없으나, 자갈 도상의 경우 보수비가 계속 투입되어야 하므로 콘크리트 도상 궤도가 경제적이다.

3) 콘크리트 도상의 장단점

① 콘크리트 도상의 장점

- ㉑ 도상 다짐이 불필요하므로 보수 노력이 경감
- ㉒ 배수가 양호하여 동상이 없고 잡초 발생이 없음
- ㉓ 도상의 진동과 차량의 동요가 적어 승객 안전성과 승차감이 양호
- ㉔ 궤도의 세척과 청소가 쉬움
- ㉕ 궤도 틀림 진행이 적음
- ㉖ 궤도 횡방향 안전성 개선(도상의 고강도 확보)
- ㉗ 궤도 강도가 향상되어 장대 구간 확대 가능
- ㉘ 궤도 강도가 향상되어 에너지 비용, 차량 수선비, 궤도 보수비 감소
- ㉙ 자갈 도상보다 두께가 낮으므로 구조물 규모를 줄일 수 있음
- ㉚ 차량 탈선 시 궤도의 피해를 줄일 수 있음
- ㉛ 역 구내의 청결 유지 및 환경 개선

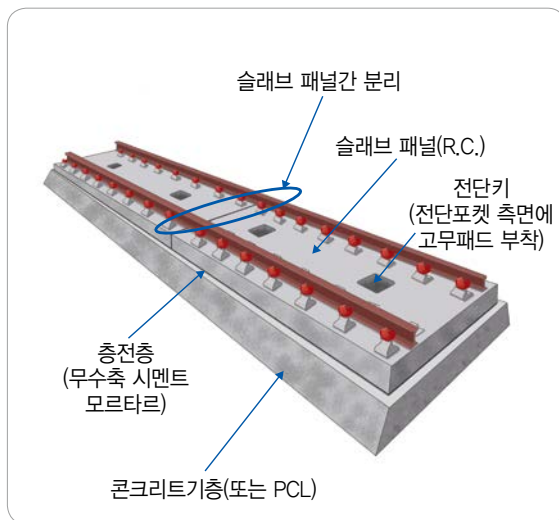
② 콘크리트 도상 단점

- ㉑ 궤도의 탄성이 적으므로 충격과 소음이 큼
- ㉒ 시공 기간이 길어 건설비가 많음

- ㉔ 레일이 파상 마모될 우려가 있음
- ㉕ 레일 이음매부의 손상, 침목 교환, 도상 파손 시 수선이 곤란
- ㉖ 장래 선로 변경에 대한 융통성이 없음
- ㉗ 수명이 다했을 경우 막대한 교환 비용이 소요됨
- ㉘ 탄성 부족으로 충격과 소음이 높아 별도의 방진 설비가 필요

(4) 슬래브 궤도(Slab Track)

직결 도상 체결 방식에 의한 콘크리트 도상과 노반 사이에 시멘트 아스팔트 모르타르를 완충재로 삽입시키는 궤도를 말하며, 기존 콘크리트 도상의 약점인 소음과 진동을 감소시킬 수 있다. 공장 제작 시공으로 품질이 우수하고 공기를 단축할 수 있는 장점이 있는 궤도 구조로 서울교통공사에서 개발한 B2S Track 시스템이 있다.



[그림 8-26] 슬래브 궤도



[그림 8-27] 서울교통공사 "B2S"개량궤도

8.2.5 레일 체결 장치(Rail Fastener)

(1) 체결 장치

궤도를 구성하는 주요 요소인 레일과 침목을 소정 위치에 견고하게 강결 고정하는 것을 레일 체결 이라 하고, 레일을 침목 또는 다른 레일 지지 구조물에 결속시키는 장치를 레일 체결 장치라 한다.

(2) 체결 장치의 역할

레일 체결 장치는 레일에 가해지는 각종 부하 요소, 즉 레일의 상하 방향, 좌우 방향, 종방향의 하중 또는 작용력, 여기에 수반된 회전력, 충격력 및 진동에 저항할 수 있어야 한다. 좌우 레일을 항상 바른 위치로 유지시켜야 하며, 이와 같은 부하 요소를 침목, 도상 등 하부 구조에 전달 또는 차단하는 역할을 한다.

(3) 체결 장치의 기능

1) 내구성 부재의 강도

각종 하중에 대해 충분한 강도를 가지고 내구성이 있어야 하며 각 부재로 결합 구성되어 있으므로 강도가 균일해야 한다.

2) 궤간의 확보

가장 기본적인 기능으로 어떤 형식의 체결 장치에서도 불가결한 요소이므로 이 경우 단순한 수평 하중뿐만 아니라 레일 경사에 대해서도 억제 기능이 필요하다.

3) 레일 체결력

레일을 누르는 힘, 레일의 복진 방지, 레일의 신축 및 축력의 규제, 레일의 부상(浮上) 등은 궤도의 안전성 관계되는 것으로 항상 일정한 힘으로 체결력을 유지하여야 한다.

4) 하중의 분산과 충격의 완화

레일 체결 장치의 부재 자체 및 침목 등 지지 구조물의 부담력을 경감시켜 부재를 보호하기 위해서는 하중을 넓게 분산시키고 충격력을 완화하는 것이 필요하다.

5) 진동의 감쇠, 차단

도상의 열화, 유동 등의 궤도 파괴는 진동으로 인한 것이 대부분이다.

레일에 일어나는 진동은 가능한 한 침목, 도상 등 하부 구조에 전달되는 것을 저감 또는 차단해야 한다. 최근에는 구조물 진동으로 인한 환경 공해 방지 대책이 주요 기능의 하나로 요구되고 있다.

6) 전기적 절연 성능의 확보

레일은 일반적으로 각종 열차의 신호 또는 제어의 궤도회로 및 전차 전류의 귀선 회로로 구성되

어 있으므로 체결부에 있어 레일과 하부 구조물과 절연 저항의 신뢰성을 유지하지 않으면 안 된다.

7) 조절성

확대 궤간(Slack), 레일 마모, 궤도 틀림 등에 대해 궤간은 조정되어야 한다.

특히 최근 콘크리트 도상 궤도 등의 직결 궤도 구조에서는 궤도 부설 시공 시의 위치 조정, 궤도 틀림의 보수를 주로 체결 장치가 받게 되어 조절성은 기능은 매우 중요하다.

8) 구조의 단순화 및 보수 노력 절약

부설 수량이 대단히 많으므로 시공, 보수, 제작이 쉬워야 한다.

따라서 부품 및 형상의 단순화, 유지 관리의 노력 절약, 사용 조건(예를 들면, 레일 침목 종별의 변경에 대한 부재의 실용과 호환성을 고려할 필요가 있다.

(4) 체결 장치의 종류

레일 체결 장치는 궤도 조건과 궤도 구조의 조합에 의해 여러 종류, 모양으로 고안되어 있으나 실용적으로는 레일, 침목 형상, 치수 등의 물리적 제약, 하중과 기능을 고려하여 체결구 형식을 통일화 할 필요가 있다.

1) 일반 체결

- ① 일반 스파이크(개 못) : 가장 단순하며 오래전부터 사용된 것으로, 단점으로는 지지력이 작고, 침목 섬유 손상이 심하며, 부패하기 쉽고, 박았던 것을 다시 뽑아 박으면 체결력이 떨어진다.
- ② 나사 스파이크 : 일반 스파이크의 지지력을 증대시키기 위한 것으로 스크류 스파이크, 스크류 볼트라고 하며, 단점으로는 박기와 뽑기의 품이 많이 소모된다.

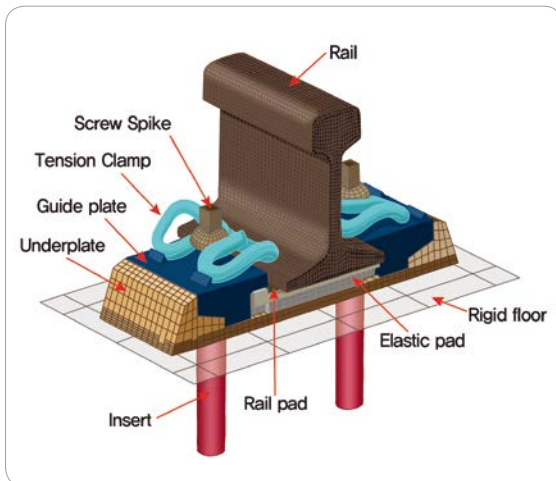
2) 탄성 체결 장치

탄성 체결이란 열차가 주행할 때 레일에 발생하는 고주파(매초 1,000회 정도) 진동을 흡수 완화하기 위해, 탄성이 있는 클립과 타이 패드 등을 사용하게 되는데, 탄성 클립만으로 체결하는 것을 단 탄성 체결이라 하며, 고무제의 탄성 패드를 깔고 상하 쌍방에서 체결하는 것을 이중 탄성 체결이라 한다.

- ① 단 탄성 체결 : 탄성 클립만으로 체결하는 것
- ② 이중 탄성 체결 : 고무제의 타이 패드를 깔고 상하 쌍방에서 체결하는 것

3) 탄성 체결구의 특징

- ① 레일 압력에 따른 레일의 안정성을 얻을 수 있고 열차로부터의 진동과 충격을 흡수 완화한다.
- ② 레일과 침목이 항상 압착 상태에 있으므로 레일의 복진을 방지하고 횡압력에도 유효하게 저항한다.
- ③ 타이 패드를 사용하면 침목 수명을 연장할 수 있다.
- ④ 궤간의 틀림, 레일 두부의 경사, 레일 마모 등에 대하여 효과적이다.
- ⑤ 높은 진동수의 진동이 흡수되기 쉬우므로 침목 이동의 동적 부담력을 완화하고 궤도의 동적 틀림을 경감시킨다.
- ⑥ 궤도 보수 노력의 절감과 소음의 흡수가 어느 정도 가능하다.
- ⑦ 콘크리트 침목 및 콘크리트 도상의 탄성 부족을 보충할 수 있다.
- ⑧ 타이 패드의 전기 절연성에 의한 레일과 침목과의 절연을 확보할 수 있다.



[그림 8-28] 탄성 체결구



[그림 8-29] Vossloh사 System300 체결장치

☑ 핵심정리



1. 궤도를 구성하는 주요 요소는 (), (), (), () 등 이다.
2. 레일(Rail)의 기능에 대하여 말해 보시오.
3. 침목(枕木, Tie)의 역할에 대하여 말해 보시오.
4. 도상(道床, Ballast)의 역할에 대하여 말해 보시오.
5. 체결장치의 기능에 대하여 설명해 보시오.



참고 문헌

1. 철도공학개론, 이종득 2017.2 노해출판사, 서울
2. 철도공학 및 설계, 김응록, 2010.12, 송원대학 출판부, 광주
3. 제2종 전기차량 운전면허 도시철도시스템 일반, 2018.2, 서울교통공사 인재 개발원
4. 철도건설규칙 2019.03.20
5. 도시철도건설규칙 2014.07.08
6. 도시철도운전규칙 2018.01.08
7. 철도의 건설기준에 관한 규정 2020.07.07
8. 철도시설의 기술기준 2019.03.21
9. 운전취급규정 2020.01.07
10. 도시철도법 2019.07.01
11. 철도산업발전기본법 2017.07.18
12. 철도안전법 2020.06.09.
13. 부산광역시 도시철도의 건설기준에 관한 규칙 2015.11.25.
14. 한국철도표준규격 KRS TR 0001-15(R) 레일
15. 서울시 도시철도건설 기준에 관한 규칙 (서울시규칙 제4143호, 2017.02.23)