

KR E-03160

Rev. 5, 29. December 2021

전차선의 높이와 기울기

2021. 12. 29.



국가철도공단

목 차

| | |
|------------------------------|---|
| 1. 전차선 높이 | 1 |
| 2. 강체전차선의 높이 | 1 |
| 3. 전차선의 기울기 | 1 |
| | |
| 해설 1. 전차선 높이 결정 | 2 |
| 1. 전차선의 높이 결정 방법과 국제기준 | 2 |
| 2. 전차선의 최적 높이 | 6 |
| 3. 전차선의 기울기(구배) | 7 |
| | |
| RECORD HISTORY | 9 |

경 과 조 치

이 철도설계지침 및 편람(KR CODE) 이전에 이미 시행중에 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 각 코드별로 변경하였습니다.
또한, 모든 항목에 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(KR CODE)”은 개정 소요가 발생할 때마다 각 코드별로 수정되어 공단 EPMS, CPMS에 게시되며 설계적용시 최신판을 확인 바랍니다.
- “철도설계지침 및 편람(KR CODE)”에서 지침에 해당하는 본문은 설계시 준수해야 하는 부분이고, 해설(편람) 부분은 설계용역 업무수행에 편의를 제공하기 위해 작성한 참고용 기술도서입니다. 여기서, 각 코드의 제목부분에서 해설은 편람을 충칭하는 것입니다.

1. 전차선 높이

- (1) 가공전차선로의 전차선 공칭 높이는 5,000[mm]에서 5,200[mm]까지로 하며, 일반철도에서 표준높이는 5,200[mm], 고속철도에서는 전차선로의 설계속도, 차량제원 등을 고려하여 최적의 높이로 한다. 다만, 속도등급 200킬로그램 이하에서 해당 노선의 특수화물 적재높이를 고려하여 전 구간을 5,400[mm]까지 높일 수 있다.
- (2) 제(1)항에도 불구하고 기존선 전철화에 따른 터널, 과선교 등의 높이 부족개소와 선로를 고속화하는 경우나 컨테이너를 2단으로 적재하여 운송하는 선로 등의 경우에는 열차안전운행이 확보되는 범위내에서 해당 선로의 전차선 높이를 다르게 적용할 수 있다.
- (3) 전차선로에 사전이도(pre-sag)를 주는 경우 경간 중앙부의 전차선 높이는 그 계산값만큼 차감한 높이로 시설한다.
- (4) 건널목 구간 등에서 안전을 위하여 전차선 높이를 부분적으로 높일 수 있으며, 기존에 시설되어 있는 터널이나 과선교 및 교량 등의 구조물을 통과하여야 하는 경우에 전차선 높이를 부분적으로 낮출 수 있다.
- (5) 경간 내에서 전차선의 처짐은 가장 낮은 지점의 전차선 높이가 공칭 높이보다 경간 길이의 1천분의 1이내이어야 한다.

2. 강체전차선의 높이

- (1) 전동차 전용 지하구간에서 강체전차선의 높이는 레일면상 4,750[mm] 이상으로 하고, 차량 구조에 따라 조정할 수 있다.
- (2) 일반철도 구간에서 강체전차선으로 설계할 경우 설계속도, 선로의 조건, 차량의 구조 등을 종합적으로 검토하여 전차선의 높이를 결정하여야 한다.

3. 전차선의 기울기

- (1) 전차선 기울기는 해당 구간의 설계속도에 따라 다음 표의 값 이내로 하여야 한다. 다만 에어섹션, 에어조인트 또는 분기구간에는 기울기를 주지 않는다.



| 설계속도 V [km/h] | 속도등급 | 기울기[‰] |
|--------------------|--------|--------|
| $350 < V \leq 400$ | 400킬로급 | 0 |
| $300 < V \leq 350$ | 350킬로급 | 0 |
| $250 < V \leq 300$ | 300킬로급 | 0 |
| $200 < V \leq 250$ | 250킬로급 | 1 |
| $150 < V \leq 200$ | 200킬로급 | 2 |
| $120 < V \leq 150$ | 150킬로급 | 3 |
| $70 < V \leq 120$ | 120킬로급 | 4 |
| $V \leq 70$ | 70킬로급 | 10 |

- (2) 전차선의 기울기가 시작되는 구간의 첫번째 경간과 마지막 경간은 규정 기울기 값의 1/2의 값으로 시설한다.

해설 1. 전차선 높이 결정

1. 전차선의 높이 결정 방법과 국제기준

(1) UIC가 권고하는 전차선 최소 높이 결정 방법

전차선 최소 높이를 결정하기 위하여 UIC 606-1 OR (1987) (Consequences of the application of the kinematic gauges defined by UIC leaflets in the 505 series on the design of the contact lines(1))를 참조하면 다음과 같다.

① 최소 전차선 높이 계산 공식

지지점에서의 최소 공칭높이 $h_{fn\min}$ 는 다음 식에 의해 결정된다.

$$h_{fn\min} = h_L + b_1 + b_2 + b_3 + f_g + f_e \{or\} f_{tu} + f_v + \sqrt{b_4^2 + b_5^2 + b_6^2 + f_{mu}^2 + f_{du}^2}$$

여기서, h_L : 차량 한계 중 차량 상부 높이(Reference profile for the kinematic gauge(Upper Parts)로서, 국내 차량한계 값을 적용하면 된다. 참고로 UIC Leaflet 505-4에 규정된 h_L 은 다음 그림의 4310mm이다.

b_1 : 대기압 하에서 평판 전극사이의 간격(대기 습도의 변동범위 반영)

b_2 : 대기압의 변동에 대한 허용범위(오차)

b_3 : 오염에 대한 고려(디젤차량 운행, 해안지역, 산업에 의한 오염)

b_4 : 전계의 불평등 분포에 대한 허용범위(오차)

b_5 : 전차선로에 나타날 수 있는 과전압에 대한 허용범위(오차)

b_6 : 대기타 안전 요소를 고려한 허용범위(조류, 운행의 불규칙성)

f_v : 전차선 이도(Sag)로서, 사전이도(Pre-sag)와 드로퍼 사이의 Sag 고려

f_{mu} : 전차선 설치오차(아래방향으로의 영향), Random 값

f_{du} : 전차선의 동적 진동에 대한 아래방향 진폭, Random 값

f_g : 궤도의 Levelling 오차

f_e : 접촉면 높이에 대한 얼음의 영향(전차선에 매달린 얼음의 영향)

f_{tu} : 상온과 비교하여 최고온도(여름철)에서의 전차선의 추가 처짐량, 자동장력조정장치가 설치되는 얇은 설비에 해당

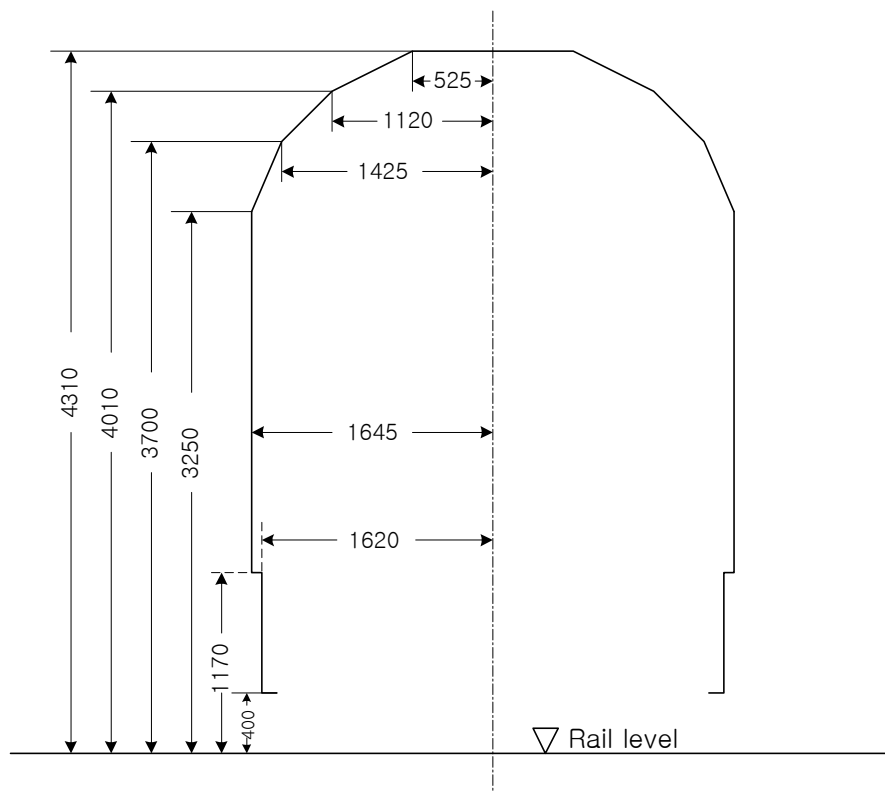


그림 1. Reference profile for the kinematic gauge(Upper Parts)

- (2) KS C IEC 60913 : 2003 (철도용 전기 설비 - 전기 견인용 가공 급전선로)의 2.1.7 (전차선 및 급전선의 높이)에 따르면 전차선의 높이는 다음과 같다.

| 시스템 종류 | 공칭 전압 (V) | 최소 높이 (m) | |
|--------|---------------------------------|-----------|------|
| | | 정적 | 동적 |
| 단상 교류 | 6250 15000 25000 50000 | 4.57 | 4.80 |

※ 기술적 최소높이로서 표준높이를 고려하여 시설하여야 함.

- (3) 참고로 해외의 경우, EN 50119:2001 (Railway applications - Fixed installations - Electric traction overhead contact lines)의 5.2.8.3 (Minimum contact wire height), 5.2.8.4 (Minimum design contact wire height), 5.2.8.5 (Nominal contact wire height), 5.2.8.6 (Maximum design contact wire height)에 전차선 높이 관련 내용이 기술되어 있으며, 그 내용은 UIC 606-1 OR의 내용과 상충되는 사항은 없고 UIC 606-1 OR의 내용을 핵심만을 요약한 것으로 되어있다.
- (4) UIC 799 OR (2002) (Characteristics of a.c. overhead contact systems for high-speed lines worked at speeds of over 200km/h)의 2.1 - Static characteristics에서는 전차선 높이에 대하여 다음과 같이 기술하고 있다.

| No. | 파라미터 | 200<V≤230 km/h | 230<V≤300 km/h | V>300 km/h |
|-----|----------------|----------------|----------------|-------------|
| 1 | 전차선 공칭 높이 [mm] | | | |
| | - 전차선 표준 높이 | 5000 ~ 5500 | 5080 ~ 5300 | 5080 ~ 5300 |
| | - 허용 오차 | ±30 | 0+20/±10 | 0+20/±10 |

- (5) DRAFT prEN 50367 (March 2002) (Railway applications-Current collection systems - Technical criteria for the interaction between pantograph and overhead line)의 5.1 Overhead contact line characteristics에는 다음과 같이 기술되어 있다.

Table 1 - Overhead contact line characteristics for AC system

| Category | AC 1 | AC 2 | AC 3 | AC 4 |
|--|------------------|------------------|------------------|------------------|
| Nominal contact wire height (m) | ≤ 6,2 | ≤ 6,0 | ≤ 5,75 | ≤ 5,3 |
| Tolerance (mm) | ± 30 | ± 30 | ± 30 | 0 + 20 |
| Limit values (m) | 4,950 and 6,200 | 4,950 and 6,000 | 4,950 and 5,750 | 5,08- |
| Permissible lateral deflection of the contact wire in maximum crosswind (m) | 0,4 ^a | 0,4 ^a | 0,4 ^a | 0,4 ^a |
| Neutral section | Clause A.1 | | | |
| NOTE The possibility of special local conditions with some variations from the general data may need to be considered. | | | | |
| ^a This value is valid for contact wire heights up to 5,3 m for greater heights the contact wire shall be checked and may be reduced in accordance with A.3. | | | | |

(6) 전차선 높이 개론

- ① UIC 산정 방법에 따라 UIC 차량 게이지와 우리나라(KNR) 차량 게이지를 적용하여 계산이 필요하며 선로를 횡단하는 건널목이 있는 경우를 고려하여야 한다.
- ② 전차선 높이를 무조건 낮추는 것은 승객과 일반 대중에 대한 직접적인 접촉 또는 유도에 의한 전기적 안전 측면에서 위험요소가 될 가능성이 있으므로, 특별히 경제적 이점이 부각되지 않는다면 전차선 높이를 낮추는 것은 바람직하지 않다.
- ③ 또한 전차선 높이는 기존 시스템과의 연관성과 일치성도 무시할 수 없는 중요한 고려 요소이며 이를 무시할 수 없으며, 향후 기술의 발전과 수요와 요구의 변화에 따라 차량 한계의 변경 가능성도 염두에 두는 것이 바람직하다.
- ④ 전차선 높이의 결정은 기존 시스템과의 일관성과 유지보수성 및 승객과 일반 대중에 대한 전기적 안전성, 본 업무에 종사하는 기술인의 정서, 그리고 경제성 등 여러 정책적이고 기술적인 요소들을 모두 고려하여 결정하여야 한다.
- ⑤ 고속철도에서 터널 단면의 축소 문제와 전차선 높이의 결정과는 무관하며, 전차선 높이를 경부고속철도 기준인 5.08m 이하로 낮추더라도 터널 단면의 축소에는 전혀 기여하는 바가 없는 것으로 사료된다. 고속철도의 터널 단면의 축소 문제는 터널 내에서 교행하는 열차의 바람에 의한 영향이 주요 관건이며 전차선 높이를 낮춤으



로서 얻어질 수 있는 사안은 아닌 것으로 판단된다.

- ⑥ 이 모든 측면을 고려하되, 무엇보다도 기존에 시설되어 운영 중인 시스템과의 일관성 및 그와의 인터페이스 및 아울러, 전차선로 분야에 종사하는 사람들의 인식을 고려하는 것이 중요하다는 판단에 따라 기존 시스템의 높이를 존중하는 차원에서 결정하였다.

2. 전차선의 최적높이

우리나라에 운행중인 전기차(EL 8200)를 기준으로 전차선 최소 높이 기준을 검토한 것으로 일반철도 구간에서 전차선의 표준높이를 5,200mm로 한 근거는 다음과 같다.

- (1) 표준정적압상력 범위내의 최소높이(EL 8,200대 기준)

- ① 정적압상력범위 최소높이 계산

$$= \text{펜터접은높이} + (\text{최대집전높이} - \text{접은높이}) \times 0.2$$

$$= 4.47\text{m} + (6.87\text{m} - 4.47\text{m}) \times 0.2 = 4.95\text{m}$$

※ EL 8,200대 접은높이 : 4.47m

EL 8,200대 최대집전높이 : 6.87m

- ② 열차진동, 궤도 유지보수 여유 : 0.05m

$$\therefore \text{전차선 최저 높이} = 4.95\text{m} + 0.05\text{m} = 5.00\text{m}$$

- (3) 전차선 표준 높이는 전차선의 이도와 온도변화에 의한 상,하 변동량 등의 여유와 가장 양호한 집전성능 Position을 고려하여 5,200mm로 정한다.

- (4) Pantograph 압상력 관리 국제표준규격

Pantograph 특성 및 시험에 관한 국제표준규격인

EN 50206-1(Railway applications-Rolling stock-Pantographs:Characteristics and tests-Part1:Pantographs for main line vehicles)에 따르면 Non spring operated pantograph(8200대 전기기관차 Pantograph 해당)의 압상력 관리 기준은 아래 그림과 같다.

Annex B (normative)
Non-spring operated pantograph

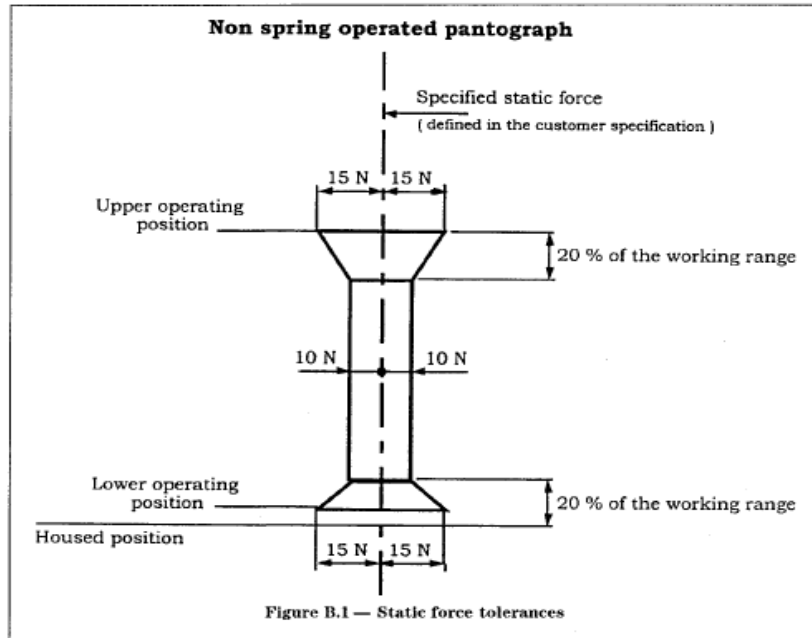


그림 2. 팬터그래프 정적압상력의 관리 구간

즉, 전작용높이를 기준으로

- ① 접은상태로부터 위로 20%에 해당하는 높이(0~20%)와 최대작용높이로부터 아래로 20%에 해당하는 높이(80~100%)는 $\pm 15\text{N}$ 의 공차 내에서 관리하고
- ② 상기 구간을 제외한 작용높이(20~80%)는 $\pm 10\text{N}$ 의 공차 내에서 관리하도록 규정하고 있다.

따라서 상 20% 와 하 20%는 작용압상력이 $\pm 20\text{N}$ 이므로 접촉 습동능력이 중앙부 보다는 불리함.

3. 호남 및 수도권고속철도 전차선 높이

(1) 350킬로급 신규 건설구간의 최대 전차선높이 계산

- ① 최대규정높이 h_{fnmax} 는 지지점에서의 최대높이로 정의되는데, 팬터그래프의 운전최대 높이 h_{samax} 에서 전차선이 윗방향으로 움직일 수 있는 요소를 뺀 값이 된다.
- ② 전차선이 팬터그래프 운전범위를 벗어나지 않도록 최대 규정

$$h_{fnmax} = h_{samax} - f_s - f_q - f_{do} - f_{to} + f_{mo}$$

- f_s : 팬터그래프에 의한 전차선 정적 압상량
- f_q : 최대속도에서 추가적인 전차선 준정적(Quasi-static)압상량
- f_{do} : 전차선의 윗 방향의 동적 진동, Random 값
- f_{to} : 상온에서와 비교하여 최저온도에서 전차선의 상승량



- f_{mo} : 전차선 설치오차(윗 방향으로의 영향), Random 값

(2) 전차선높이 결정 (UIC 799/EN50367 기준 : 5080 up to 5300)

| 요 소 | 정적상태 ($\leq 120\text{km/h}$) | 동적상태 ($\geq 120\text{km/h}$) | |
|--------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------|
| 차량한계 (KG : kinematic gauge) | 4,650(static) | 4,700(Dynamic) | UIC 4,310+b' KR 4,500+b' |
| Catenary장치진동폭 | 0.02 | 0.02 | 설치오차와 관련 |
| 전기적이격거리[m] | 0.27 | 0.17 | UIC 606-1 KS C IEC 60913 |
| 궤도유지보수 여유[m] | 0.05 | 0.05 | |
| 전차선 Pre-sag[m] | 0.03 | 0.03 | 65m기준 |
| 전차선이탈량(곡선)[m] | 0.03 | 0.03 | R=16000, Span=65m기준 |
| 전차선동적진동폭[m] | 0.0 | 0.04 | 팬터가 지난 다음 아래쪽으로 진동량 |
| 전기적이격거리여유[m] | 0.05 | 0.05 | 대기오염의 고려 |
| 합계 | 5,100 | 5,09+(압상량0.12) = 5,210 | 지지점에서 높이 (압상량 UIC 799) |

따라서, 350킬로급 신규 건설구간의 전차선 높이는 위와 같이 결정된 RL면상 5100mm를 표준 전차선 높이로 적용한다.

해설 2. 전차선의 기울기(구배)

- (1) EN 50119:2001 (Railway applications - Fixed installations - Electric traction overhead contact lines)의 5.2.8.2 (Variation in contact wire height) 의 Table 8에 다음과 같이 규정되어 있다.

| 속도 (km/h) | 최대 구배 (천분율) | 변화 허용 구배 (천분율) |
|-----------|-------------|----------------|
| 10 | 60 | 30 |
| 30 | 40 | 20 |
| 60 | 20 | 10 |
| 100 | 6 | 3 |
| 120 | 4 | 2 |
| 160 | 3.3 | 1.7 |
| 200 | 2 | 1 |
| 250 | 1 | 0.5 |
| >250 | 0 | 0 |

- (2) KS C IEC 60913 : 2003 (철도용 전기 설비 - 전기 견인용 가공 급전선로)의 2.1.9 (전철주 사이의 전차선 구배)에 다음과 같이 명시되어 있다.

| 속도 (km/h) | 최대 구배 (천분율) |
|-----------|-------------|
| 10 | 40 |
| 30 | 20 |
| 60 | 10 |
| 120 | 6 |
| 160 | 4 |
| 200 | 3 |

- (3) 다음과 같은 SNCF 시설 기준은 다음과 같다.

| 속도 | 전차선 구배 기준 |
|---------------------------|-----------|
| 100 km/h까지 | 6/1000 |
| 100 km/h ~ 120 km/h까지 | 4/1000 |
| 120 km/h ~ 160 km/h까지 | 3/1000 |
| 160 km/h ~ 200-220 km/h까지 | 2/1000 |
| 추선 40 km/h까지 | 10/1000 |

- (4) 속도등급별 전차선의 기울기(구배)



전차선 기울기는 해당 구간의 설계속도에 따라 다음 표의 값 이내로 하여야 한다. 400킬로급 전차선의 기울기는 “증속에 따른 전차선로 시스템 기술개발”연구결과 (2015.5)에 의거 속도등급과 기울기를 추가 하였다. 다만 에어섹션, 에어조인트 또는 분기구간에는 기울기를 주지 않는다.

| 설계속도 V [km/h] | 속도등급 | 기울기[‰] |
|--------------------|--------|--------|
| $350 < V \leq 400$ | 400킬로급 | 0 |
| $300 < V \leq 350$ | 350킬로급 | 0 |
| $250 < V \leq 300$ | 300킬로급 | 0 |
| $200 < V \leq 250$ | 250킬로급 | 1 |
| $150 < V \leq 200$ | 200킬로급 | 2 |
| $120 < V \leq 150$ | 150킬로급 | 3 |
| $70 < V \leq 120$ | 120킬로급 | 4 |
| $V \leq 70$ | 70킬로급 | 10 |

아울러, 구배가 주어지는 구간의 첫 경간과 마지막 경간은 규정 구배 값의 1/2씩(완화기울기)만을 준다. 두 개의 연속적인 경간에서 구배의 차이는 규정 구배 값의 1/2를 넘어서는 안 된다. 이 규정은 에어섹션이나 에어조인트 또는 분기기(Turnout) 개소를 제외하고 모든 경간에 대하여 적용된다. 에어섹션, 에어조인트 및 분기기 개소는 일정 전차선 구배가 요구된다.

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.4('15.12.30) 400km/h급 증속에 따른 전차선로 기술개발 연구결과에 따른 전차선의 높이 계산방법 및 속도등급, 전차선의 기울기 값 반영.

Rev.4('21.12.29) 400km/h급 전차선로 시스템 기술개발 결과 반영