

KR E-03070

Rev. 4, 29. December 2021

전차선로의 안전율

2021. 12. 29.



국가철도공단

목 차

1. 안전을	1
해설 1. 허용응력과 안전을	2
1. 단면설계	3
해설 2. 전차선의 안전을	6
해설 3. 급전선의 안전을	7
1. 전선에 걸리는 상정 하중	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 총칭하는 것입니다.

1. 안전율

각 종 전차선로 설비의 안전율은 다음을 적용한다.

- (1) 지지물 기초의 안전율은 2.0 이상으로 한다.
- (2) 전주의 안전율은 철근콘크리트주는 파괴하중에 대하여 2.0 이상, 철주는 소재 허용응력에 대하여 1.0 이상으로 한다.
- (3) 지선의 안전율은 선형일 경우 2.5 이상, 강봉형일 경우 소재 허용응력에 대하여 1.0 이상으로 한다.
- (4) 빔 및 가동브래킷은 소재 허용응력에 대하여 안전율을 1.0 이상으로 한다.
- (5) 가동브래킷의 애자의 안전율은 최대 만곡하중에 대하여 2.5 이상으로 한다.
- (6) 경동선의 경우 2.2 이상으로 한다. 다만 동합금(주석, 마그네슘 등) 전차선의 경우 2.0이상으로 할 수 있다.
- (7) 전차선 및 조가선 장력을 지탱하는 부품에 대하여 2.5 이상으로 한다
- (8) 복합체 자재(고분자 애자 포함)에 대하여 2.5 이상으로 한다
- (9) 장력조정장치 2.0 이상으로 한다



해설 1. 허용응력과 안전율

어떤 외력에 의하여 재료의 내부에 탄성한도를 넘는 응력이 생기면 재료에 영구적인 변형이 생기며, 치수가 변화하게 되고 취약해지다가 결국은 파괴될 염려가 생기게 된다. 또한, 탄성한도를 넘지 않는 응력이라도 장기간 반복하여 외력을 받게 되면 재료에 피로가 생겨 결국 위험하게 된다. 이와 같은 위험한 상태를 방지하기 위하여 재료에 생기는 응력을 탄성한계 이내에 충분히 작은 값을 취하도록 하여야 하는 데 이와 같은 응력을 안전상 허용되는 최대의 응력이라는 뜻에서 허용응력(Allowable stress)이라 하고 기호로는 σ_a 로 표시하나 응력의 종류에 따라 다음과 같은 기호를 많이 사용한다.

- 허용인장응력 : f_t
- 허용압축응력 : f_c
- 허용전단응력 : f_s 또는 v_c
- 허용휨응력 : f_b
- 허용지압응력 : f_l

재료의 허용응력을 결정짓는 요소로는 하중 및 응력의 종류와 성질, 재료의 신뢰도, 부재의 형상, 부재의 사용상태, 온도, 마멸의 정도, 부식 등의 영향, 공작방법과 그 정밀도 등의 여러 가지 배반 요소에 의하여 결정하게 되는데 이것은 구조물의 설계에 기초가 되는 사항이다. 또한, 재료의 극한강도 σ_u 와 허용응력 σ_a 와의 비를 안전율이라 하고 일반적으로 그 기호는 S 로 표시된다.

어떤 구조물을 설계할 때에는 그 구조물을 사용하는 여러 가지 조건하에서 그 구조물이 주어진 기능을 충분히 수행하여야 한다는 보증이 필요하게 된다. 구조물이 부하를 감당할 수 있는 능력이라는 관점에서 보면 구조물 속의 최대 응력은 언제나 비례한도 이하가 되어야 한다. 왜냐하면 하중을 가한 다음 제거할 때 영구변형이 생기지 않아야 하기 때문이다. 구조물에 예기치 않은 과도한 하중이 걸리거나, 발생할 수 있는 구조물의 부정확성이나 구조물의 해석에 있어서의 미지의 변수를 참작하여 보통 허용응력 또는 사용응력을 비례한도보다 낮은 값으로 잡아 줌으로써 안전율이 주어지게 되는 것이다.

예를 들면 인장하(引張下)에서 항복점이 2,320[kg/cm²인 동(銅)으로 구조물을 설계할 때 허용응력을 1,406[kg/cm²]로 하여 사용하는 경우가 많은데 이 경우 항복에 대한 안전율 1.65가 된다. 또한, 극한응력에 대한 적당한 안전율을 설정하여 사용응력을 결정하는 경우가 있는데, 이 방법은 보통 목재나 콘크리트와 같은 취성재료(脆性材料)에 대하여 사용한다. 일반적으로 허용응력을 기준으로 하여 설계를 할 때에는 다음과 같은 두 개의 식 중에서 한 식을 사용하여 사용응력 σ_a 를 구한다.

$$\sigma_a = \frac{\sigma_y}{n_1} \quad \text{또는} \quad \sigma_a = \frac{\sigma_u}{n_2}$$

여기에서 σ_y 및 σ_u 는 각각 항복점 및 극한응력을 나타내며, n_1 및 n_2 는 안전율이다. 적당한 안전율을 결정한다는 것은 복잡하고 어려운 문제이다.

그 이유는 안전율은 사용되고 있는 재료의 종류 및 그 구조물의 사용조건 등에 따라 달라지기 때문이다.

기계부품, 항공기, 철도, 교량 등에서 일어나는 하중과 같이 그 하중이 갑자기 가해지거나 크기가 변화하는, 즉 동적하중인 경우에는 피로파괴가 일어날 가능성이 많기 때문에 정하중(靜荷重) 상태의 같은 구조물의 경우보다 더 큰 안전율이 필요하게 된다. 허용응력을 사용하여 설계하는 것과는 달리 재료의 안전붕괴에 대한 안전율을 잡아서 설계하는 방법도 있다. 이 방법에는 구조물의 붕괴를 일으키는 하중의 크기를 결정한 다음 그 극한하중을 적당히 선정한 하중계수(load factor)로 나누어 줌으로써 허용하중을 결정하게 되는 것이다.

이와 같은 설계방법을 극한하중설계라 부르며, 이 경우에 있어서의 구조물 속의 실제응력은 사용하중을 결정하는데 직접적인 역할을 하지 않는다는 것을 알 수 있게 되는 것이다. 금속구조물의 설계에 있어서는 사용응력법과 극한하중법이 다같이 사용되어 안전설계를 하게 된다. 이와 같은 여러 가지 복합적인 요소로 이루어지는 안전율은 일반적으로 정하중에서 사용하는 경우가 많은데, <표 1>은 각종재료의 안전율을 나타낸 것으로 제시된 안전율의 기준값 이상으로 설계하면 동적이나 정적하중의 어느 하중에도 충분히 견디어 낼 수 있어 안전에 문제가 없게 될 것이다.

표 1. 안전율

재료	정하중	동하중		충격하중
		반복하중	교변하중	
주철, 취약한 금속	4	6	10	15
연강, 단강	3	5	8	12
주 강	3	5	8	15
동, 연금속	5	6	9	15
목 재	7	10	15	20
석 재	20	30	-	-

1. 단면설계

허용응력과 안전율 관계에서 알 수 있듯이 인장력을 받는 부재의 단면설계는 인장응력도가 허용응력도보다 작도록 단면을 결정하여야 하며, 이것을 수식으로 표현하면,



$$\sigma_t = \frac{N}{A_e} \leq f_t \quad (1)$$

가 되며, 여기에 사용된 기호는

σ_t : 부재에 일어나는 인장응력도[kg/cm²]

N : 부재에 일어나는 인장력[kg]

A_e : 부재의 유효단면적[cm²]

f_t : 허용인장응력도[kg/cm²] 이다.

또한, 전단력을 받는 부재의 단면설계에 있어서도 인장력을 받는 부재의 단면설계와 마찬가지로 전단응력도가 허용응력도보다 작도록 다음 식에 의하여 단면을 결정하게 되는 것이다.

$$\nu_{\max} = \frac{Q}{A} \leq \nu_c \quad (2)$$

ν_{\max} : 부재에 일어나는 최대전단응력도[kg/cm²]

Q : 부재에 일어나는 전단력[kg]

A : 부재의 단면적[cm²]

ν_c : 허용전단응력도[kg/cm²]

(1) 예제 3-10

인장강도가 50[kg/cm²]인 강재환봉에 3000[kg]의 인장하중을 가할 때 안전율을 8로 하면 이 강재환봉의 지름은 얼마가 되겠는가?

풀이

$$\sigma_a = \frac{\sigma_y}{n_1} = \frac{50}{8} = 6.25[\text{kg/cm}^2]$$

$$A = \frac{P}{\sigma_a} = \frac{3000}{6.25} = 480[\text{mm}^2] \quad A = \frac{\pi d^2}{4}$$

$$\therefore d = \sqrt{\frac{4A}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \times 480}{\pi}} = 24.73[\text{mm}]$$

(2) 예제 3-11

인장력 $N=3800$ [kg]를 받는 원형강의 단면을 결정하여라. 이 때 원형강의 강재의 허용인장응력 $f_t=1900$ [kg/cm²]이라 한다.

<풀이>

원형강의 소요단면적 A_e 는 <식(1)>로부터

$$A_e \geq \frac{N}{f_t} = \frac{3800}{1900} = 2[\text{cm}^2]$$

지금 단면적 A_e 를 만족시키는 원형강의 지름 d 는

$$\frac{\pi d^2}{4} = 2$$

$$\text{따라서 } d = \sqrt{\frac{2 \times 4}{\pi}} \simeq 1.6[\text{cm}]$$

즉, $\varnothing 16[\text{mm}]$ 강봉으로 설계하면 안전하고 경제적이다.

(3) 예제 3-12

지름 16[mm]의 리벳으로 9.6[t]의 인장력을 받는 이면전단 리벳을 설계하고자 한다. 철판의 허용인장 응력을 1600[kg/cm²], 리벳의 허용지압응력을 3000[kg/cm²], 허용 전단응력을 1200[kg/cm²], 리벳 16[mm]의 구멍지름은 1.7[cm]라고 할 때 필요한 철판의 두께, 폭 그리고 리벳의 수를 구하여라.

<풀이>

첫째, 필요한 전단면적 A 는 <식(2)>을 이용하여 구하면

$$A \geq \frac{Q}{\nu_c} = \frac{9600}{1200} = 8[\text{cm}^2]$$

그러므로 필요한 리벳의 수 n 은 2면전단이므로

$$n = \frac{8}{\frac{\pi \times 1.6^2}{4} \times 2} = 2$$

따라서 한쪽에 2개씩 4개가 필요하다.

둘째, 필요한 철판의 전두께를 t 라고 하면 한쪽의 리벳수가 2개이므로

$$2 \times t \times 1.6 \times 3000 = 9600[\text{kg}]$$

$$\text{따라서, } t = \frac{9600}{2 \times 1.6 \times 3000} = 1[\text{cm}]$$

이면전단이므로 그림과 같이 양쪽에 덧판을 사용한다면 덧판 1개 두께는 $\frac{1}{2} = 0.5[\text{cm}]$

씩으로 중간 철판의 두께는 1[cm]가 된다.

셋째, 리벳을 그림과 같이 일렬로 박는다면 철판의 필요한 폭 P 는 리벳 16[mm]의 구멍지름이 1.7[cm]이므로

$$(P - 1.7) \times 1 \times 1600 = 9600[\text{kg}]$$

$$\text{따라서 } P = 7.7[\text{cm}]$$

그러므로 철판의 폭은 8[cm] 이상이면 된다.



해설 2. 전차선의 안전율

그동안 우리나라의 전차선(경동선)의 안전율은 2.2이상을 적용하여 왔다. 하지만 호남고속철도(설계속도 350km/h)시스템을 설계하면서 안전율의 검토가 이루어 졌으며, 350km/h 전차선로 시스템 개발 연구 및 400km/h급 전차선로 상세설계 연구의 일환으로 국외자문을 시행을 하고 보고서를 통하여 프랑스의 경우 안전율은 2.0이상인 것을 확인 하였다.

☞ 전차선의 안전율

- (1) 프랑스 National Rule(French Ministerial Order) 은 2.0이 이는 순동 및 모든 합금 전차선에 해당되고 있다.
- (2) EN 50119에서는 조건에 따라 계산하여 안전율을 적용하는 것을 기술하고 있다.
- (3) 최대 마모율에 대하여는 공식 규정은 없으며 SNCF에서 유지보수 매뉴얼에만 기술되어 있다.
- (4) 다만, 마모율을 안전율 2.0에 준하여 검토하면 15%를 상회하며 이 값은 경험치 임
- (5) 계산 예)

- 400km/h 전차선로, 전차선 Cu-Mg 150mm², 장력 34[kN]
- 전차선의 단위면적당 파괴강도 가 540[Mpa]=540[N/mm²]이므로
150×540 = 81,000[N]

$$\text{전차선 신품의 안전율} = \frac{81,000}{34,000} = 2.38 \text{이며,}$$

마모시 안전율 2.0을 감안하면

$$34,000[\text{N}] \times 2 = 68,000[\text{N}]$$

$$\frac{68,000}{540} = 125.92[\text{mm}^2] \text{임}$$

$$\text{마모율} = \frac{150 - 125.92}{150} = 16\% > 15\% \text{ 임}$$

따라서 우리나라의 경동선(순동 전차선)의 안전율을 2.2로 규정하고 호남고속철도 및 수도권 고속철도에 적용되는 합금전차선(CuSn 및 CuMg)의 안전율은 "EN 50119"에서 제시하고 있는 계산 결과를 고려하여 안전율은 2.0이상으로 하였다.

해설 3. 급전선의 안전율

가공 전선은 케이블인 경우를 제외하고 상정 하중을 가했을 때 전선의 인장 하중의 안전율은 2.2 이상으로 하고 기타 전선은 2.5 이상이 되도록 장력(상정 최대 장력)을 시설한다. 기타 전선의 안전율을 2.5 이상으로 하는 것은 경동선에 비하여 내구성이나 신뢰성이 떨어지기 때문이다.

전선은 이도를 크게 할수록 그것에 걸리는 장력이 감소하고 전선의 인장 하중에 대한 안전율이 증가한다. 그러나 이도를 크게 하면 전선이 지표상 높이에 제한을 받기 때문에 지지물의 높이가 불필요하게 크게 되어 경제성이 없을 뿐만 아니라 바람에 의한 횡진이나 빙설에 따른 수하 등으로 사고가 날 우려가 있다.

1. 전선에 걸리는 상정 하중

가공 전선의 이도, 장력 계산 등에 이용하는 상정 하중은 전선이 케이블인 경우를 제외하고 전선 중량 등에 대한 수직 하중과 풍압 하중에 대한 수평 하중을 고려한다.

『수직 하중』은 전선 중량(자중)으로 한다. 다만 을중 풍압 하중을 적용하는 경우는 전선 주위에 두께 6[mm](비중 0.9)의 얼음이 부착한 때의 피빙 중량(빙설 중량)을 전선 중량에 가산한다.

또한, 『수평 하중』은 풍압 하중으로 하고 갑종, 을중, 병종의 3종류의 풍압 하중에 대하여 지역마다 다르게 정하고 있다.

표 2. 전선의 풍압 하중

하중 종별	전선의 빙설 두께[mm]	풍압[kgf/m ²]	기 사
갑종 풍압 하중	0	100	전선의 수직 투형 면적 1[m ²]당 풍압
을중 풍압 하중	6	50	피빙을 포함한 전선의 수직 투형 면적 1[m ²]당 풍압
병종 풍압 하중	0	50	전선의 수직 투형 면적 1[m ²]당 풍압

표 3. 전선의 풍압 하중 적용

하중 종별		적용 풍압	
		고온계	저온계
빙설이 많지 않은 지역		갑종	병종
빙설이 많은 지 방	저온계에 최대 풍속을 발생하는 지방	갑종	갑종과 을중 중 큰 것
	기타 지방	갑종	병종



(1) 갑종 풍압 하중

고온계 하중으로서 여름철 태풍을 대비한 설계 조건으로 정하고 있다. 고온계(여름에서 가을까지 계절)에서 풍속 40[m/s]로 바람이 부는 것을 가정한 경우의 하중이다. 고온계표준 풍압

(2) 을종 풍압 하중

저온계 하중으로서 겨울철 계절풍을 대비한 설계 조건으로 정한 것이다. 빙설이 많은 지방의 저온계(겨울에서 봄까지 계절로서 일반적으로 강풍은 없다)에서 전선에 빙설이 부착된 상태로 갑종 풍압 하중의 1/2 풍압을 받는다고 가정한 경우의 하중이다. (풍속 28[m/s]) 저온계 표준 풍압

(3) 병종 풍압 하중

빙설이 많은 지방의 저온계(일반적으로 강풍은 없다)에서 전선에 빙설이 부착된 상태로 갑종 풍압 하중의 1/2 풍압을 받는다고 가정한 경우의 하중이다.

RECORD HISTORY

Rev.0('12.12.05) 철도설계기준 철도설계지침, 철도설계편람으로 나누어져 있는 기준 체계를 국제적인 방법인 항목별(코드별)체계로 개정하여 사용자가 손쉽게 이용하는데 목적을 둬.

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