

KR E-03090

Rev.3, 5. December 2012

빔의 종별과 설계

2012. 12. 5



한국철도시설공단

목 차

1. 빔의 종별	1
2. 전철용 완철	1
3. 전주대용물	1
 해설 1. 문형지지물의 설계	2
1. 문형지지물의 구성	2
2. 문형지지물의 응력계산	2
2.1 문형지지물의 설계하중	2
2.2 문형트러스빔 구조의 응력계산	3
2.3 문형트러스라멘빔 구조의 응력계산	5
2.4 겐트리철주의 응력계산	23
2.5 2차 응력의 계산	23
 해설 2. 크로스빔 및 고정브래킷	29
1. 구조	29
1.1 크로스빔의 구조	29
1.2 고정브래킷의 구조	29
1.3 브래킷	32
1.4 크로스빔	33
2. 크로스빔 및 고정브래킷의 설계하중	34
3. 강도계산	34
3.1 크로스빔의 강도계산	34
3.2 4선용 크로스빔의 강도계산	37
3.3 고정브래킷의 강도계산	37
 RECORD HISTORY	38

1. 빔의 종별

- (1) 빔의 종별은 고정빔과 스패션빔으로 하고 그 구성은 공단이 정하는 표준도에 의한 다.
- (2) 고정빔의 길이별 호칭은 다음 표와 같이 한다.

호칭	길이[m]	호칭	길이[m]
1선용	6까지	6선용	22 초과 26까지
2선용	6 초과 10까지	7선용	26 초과 30까지
3선용	10 초과 14까지	8선용	30 초과 34까지
4선용	14 초과 18까지	9선용	34 초과 38까지
5선용	18 초과 22까지		

- (3) 고정빔은 전주밴드 또는 설치금구에 의하여 전주에 설치한다. 다만 외팔빔은 서스펜션 로드 또는 지지재에 의하여 지지한다.
- (4) 빔의 길이가 38[m]이상인 경우 스패션빔을 적용하고 다만, 인접 경간 시설물과의 조화를 위해 구조검토 하여 고정빔을 설치 할 수 있다.
- (5) 스패션은 설치금구로 철주·하수강·벽체 등에 설치한다.
- (6) 스패션에 사용하는 애자의 위치·연결 개수 등은 가능한 보수작업을 경감할 수 있도록 시설한다.

2. 전철용 완철

완철은 다음 각 호에 의하여 시설한다.

- (1) 특수한 장소 이외에는 표준도에 의한다.
- (2) 완철은 전주밴드 또는 붙임 철을 사용하고, 필요에 따라 암타이 또는 텐션바에 의하여 지지하며, 2단 이상의 경우는 암프레스를 사용할 수 있다.

3. 전주대용물

- (1) 문형완철 또는 외팔완철은 형강 또는 강관을 사용하여 빔에 시설한다.
- (2) 빔 상부에 설치된 급전선로는 수평하중 등 설계조건을 고려하여 문형완철 또는 외팔완철 형태로 설치하여 지지 한다.



해설 1. 문형지지물의 설계

1. 문형지지물의 구성

(1) 문형지지물의 구성

- ① 문형지지물은 전주와 평면트러스빔, V트러스빔, V트러스라멘빔, 강관빔 및 4각빔으로 구성한다.
- ② 철주각부는 「강구조물의 설계」에 의하고, 그의 표준구조는 표준도에 의한다.
- ③ 문형지지물로서 계산하는 것은 전주와 평면트러스빔, V트러스빔, V트러스라멘빔, 4각빔으로 구성되며 크로스빔으로 구성된 것은 문형지지물이라 칭하지 않는다.
전주와 빔은, 극단의 강도차가 없이, 강도협조가 되어 있는 것이 바람직하다. 한편 전주는 제작상으로도 표준화를 꾀할 필요가 있으며, 그러나 특수한 하중이 가해진 경우는, 반드시 표준주가 사용될 수 있는 것만은 아니므로, 그 하중조건에 적합한 전주를 설계하도록 하고 있다.
특수한 경우에 큰 하중이 걸리는 경우는 하중조건에 적합한 「철주」를 사용토록 하고 있다.

(2) 전주의 선정

- ① 문형지지물로 사용하는 전주는 빔과의 접합, 기초의 고정도, 지선의 유무 등을 고려하여 하중조건에 적합한 것을 선정한다.
- ② 철주는 표준도에 의하고, 특수한 경우는, 그의 하중조건에 적합한 철주를 설계한다.

(3) 빔의 구조

- ① 문형지지물에 사용하는 빔 구성은 표준도에 의한다.
- ② 빔의 세부구조는 표준도에 의한다.
다만, 적설 등, 특히 하중이 큰 개소에 대하여는, 그의 하중을 고려한다.

2. 문형지지물의 응력계산

2.1 문형지지물의 설계하중

문형지지물의 설계하중은 다음을 고려한다.

2.1.1 수직하중

- (1) 조가선, 전차선, 드로퍼 및 애자의 중량
- (2) 빔, 기타의 중량

2.1.2 수평하중 「선로직각방향」

- (1) 풍압하중
- (2) 전선의 횡장력

2.1.3 수평하중 「선로평행방향」

- (1) 장력조정장치 등에 의해 전선이동시에 일어나는 인장력
- (2) 빔 및 진동방지장치 등이 받는 풍압

2.1.4 기타

- (1) 작업원에 의한 수직하중을 고려할 필요가 있는 경우는, 1인당 600[N]으로 한다.
- (2) 적설에 의한 수직하중
- (3) 지지물의 특수한 사용조건에 따라 발생하는 기타의 하중

2.2 문형트러스빔 구조의 응력계산

2.2.1 계산의 적용방법

문형지지물에서 다음의 경우는, 빔을 양단 핀 구조의 단순한 것으로 하고, 수직하중만을 부담시키고 전주는 수평하중의 1/2을 각각 부담한다.

- (1) 목주에 강볼트를 이용하여 빔을 접합하였을 경우
- (2) 사재에 평강을 사용한 평면트러스빔, V트러스빔과 콘크리트주에 의해 구성하는 경우

2.2.2 계산식과 부재응력의 검정

빔은 아래 그림에 표시한 계산식에 따라 각 부재응력을 계산하고, 각 부재의 존재응력도는 그의 허용응력 이하로 한다.

- (1) 집중하중이 작용할 때,

① A-C간

$$\text{전단력 } Q_x = \frac{w \cdot b}{\ell} \text{ ----- (1)}$$

$$\text{휨모멘트 } M_x = \frac{w \cdot b \cdot x}{\ell} \text{ ----- (2)}$$

② B-C간

$$\text{전단력 } Q_x = \frac{w \cdot a}{\ell} \text{ ----- (3)}$$

$$\text{휨모멘트 } M_x = \frac{w \cdot a}{\ell} (\ell - x) \text{ ----- (4)}$$

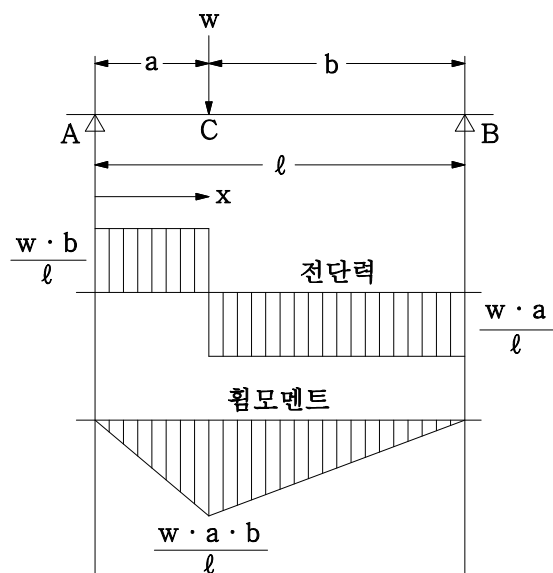


그림 1.

(2) 분포하중 w 가 작용할 때

전단력 $Q_x = \frac{w}{2}(\ell - 2x)$ ----- (5)

휨모멘트 $M_x = \frac{w \cdot x}{2}(\ell - x)$ ----- (6)

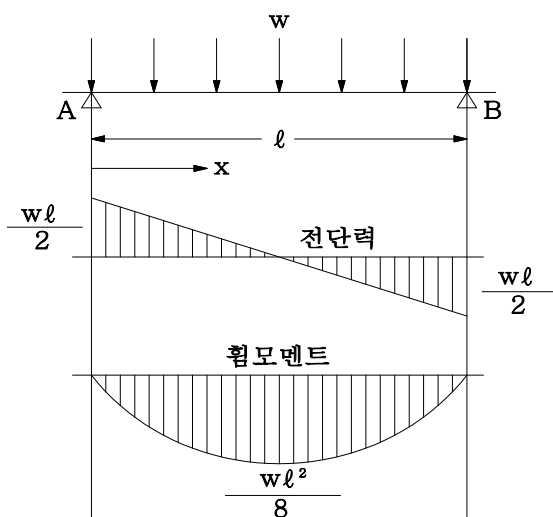


그림 2.

2.2.3 문형트러스빔 구조의 수평하중의 분담

문형지지물을, 빔과 주주의 접합 상태 및 빔의 압축강도에 의해, 문형트러스 빔과 문형트러스 라멘빔으로 구분하고 있다. 전자는 빔과 주주의 접합이 핀구조 또는 핀구조로 간주될수 있는 정도의 것, 후자는 그것이 완전한 고정 또는 고정으로 간주

할 수 있는 정도의 접합구조로 빔이 라멘구조에 전달만큼의 강도를 가지는 것이다. 문형지지물로서 취급되는 빔은 비교적 강도가 크므로, 수평하중은 오른쪽 주상에 있든지 좌의 주상에 있든지 또는 빔 위에 있든지 좌우 전주가 평등하게 분담하는 것이라 생각된다. 다만, 좌우 주의 강도가 다를 경우는 강도(EI/h)에 비례해서 분담하므로 주의를 요한다.

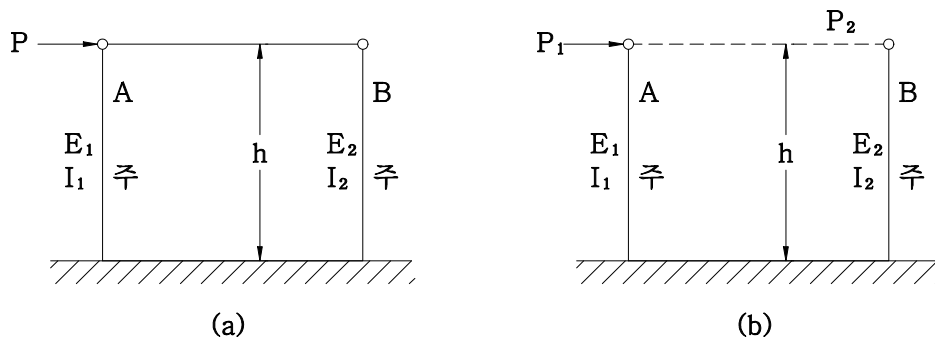


그림 3. 양주주의 강도가 다를 경우의 수평하중의 분담

2.3 문형트리스라멘빔 구조의 응력계산

2.3.1 문형트리스 라멘빔

문형트리스 라멘빔이란, 빔과 주주의 접합방법이 고정으로 간주되는 것이 아니면 안 되나, 그것과 동시에 빔이 라멘구조에 전달 만큼의 강도를 가진 것이어야만 한다. 또한, 트리스라멘빔과 콘크리트주가 접합될 경우 수재의 설치 밴드에 3t 이상의 수직력(또는 인장력)이 가해지면, 노테파(no taper)주에서는 밴드가 미끄러질 우려가 있으므로, 상하의 전주 밴드를 ㄱ형강으로 연결하는 등의 처치를 취한 후에 트리스라멘빔으로 취급해야 될 것이다.

콘크리트주, 강관주와 전주밴드와의 접촉면에 있어서의 정지마찰계수는, 전주표면의 요철, 도장, 용융아연도금의 영향 등 때문에, 그 형상이나 표면상태가 일정하지 않고 평균치에서 크게 벗어난 것이라 생각된다. 지금까지 행해진 밴드의 미끄러짐 시험결과와 여러 예에 있어서 조임토크에서 전주를 강압하는 수직력을 구하고, 정지마찰계수를 산출하면 아래표와 같으며, 콘크리트주에서는 $\mu_0=0.19\sim0.33$, 강관주에서는 $\mu_0=0.12\sim0.23$ 로 되어있다.



표 1. 전주밴드 미끄러짐 시험결과

주	직경 [mm]	폭 [mm]	두께 [mm]	볼트	조임토크 [N · cm]	미끄러짐 하중 [N]	정지마찰 계수
콘크리트주	200	50	6	W5/8	7,840	12,348	0.19
		50	9	W3/4	7,840	13,622	0.25
		120	6	W5/8×2	7,840	29,400	0.22
		150	6	W3/4×2	7,840	37,240	0.33
	350	65	9	M20	7,840	15,680	0.29
		125	6	M16×2	6,860	30,772	0.26
강관주	273	50	6	W5/8	7,840	7,840	0.12
		65	9	W3/4	980,000	9,800	0.14
		65	12	W3/4	1,176,000	19,600	0.23
	267	50	6	M16	7,840	8,134	0.12

2.3.2 계산식과 응력의 검토에 대하여

문형트러스라멘빔은 종래 기초고정의 라멘구조로 계산해 왔다. 그러나, 트러스라멘빔의 경우, 이 계산에 의하면 다소의 오차가 있으므로 문형구조 전체를 골조구조로 하여 변형법에 의해 전자계산기로 계산하게 되어 있다.

변형법으로 풀 경우는, 그 해법이 번거롭기 때문에 전자계산기에 의존할 수 밖에 없는데, 간단히 전자계산기를 취급할수 없는 경우를 위해서 근사계산하고, 문형구조를 라멘으로 계산하여, 빔의 부재응력은 트러스로서 계산해도 되는 것으로 되어 있다. 라멘의 대표적인 계산공식은 해설에 게재되어 있다.

2.3.3 기초의 고정도와 휨모멘트에 대하여

라멘으로 계산할 경우, I형기초 또는 T형 기초를 사용하면, 극단적으로 지반이 나쁠 때 이외에는 기초부를 고정으로 생각하고, 쇠석기초를 사용하면 기초부는 편구조라 생각하면 된다. 어떠한 경우도 빔 높이를 산출하는 기초위치는, 기초상면으로 한다.

2.3.4 트러스 라멘빔의 단면특성에 대하여

수재부분은 접합부로서 무시하고, 중간부분에 대해 단면2차 모멘트를 산출한다. 빔의 중심위치도 마찬가지로 중간부분의 중심위치로 한다. 아래표는 V트러스 라멘빔의 대표적인 주재구성의 단면특성이다.

표 2. V트러스 라멘빔의 단면특성

주 재 구 성		ℓ [cm]	ℓ_1 [cm]	ℓ_2 [cm]	I_x [cm ⁴]
상부주재	하부주재				
L65×65×8	L65×65×8	107	36.3	70.7	69,470
L65×65×8	L75×75×9	107.5	36.4	71.1	82,440
L75×75×9	L75×75×9	108	36.7	71.3	91,100

2.3.5 콘크리트주의 단면특성에 대하여

콘크리트주의 단면특성에 대하여 계산식이 게재되어 있으나, 실제로는 콘크리트주의 단면특성(특히 배근)이 명확하지 않은결과 PC로 되어 있으므로 즉각 계산할 수 없다. 단면특성은 제작회사에 따라 차이가 있는데, 계산상에는 거의 영향은 없다.

2.3.6 단면2차 모멘트의 환산에 대하여

라멘계산에 있어서, 반드시 탄성계수와 단면2차 모멘트의 적EI가 관계되지만 각부재의 탄성계수가 같을 경우는 계산도중에 소거되고, I만이 강비K로 형태를 바꾸어 관계하고 있는것처럼 보인다. 해설의 공식중에도 E는 눈에 띄지 않는다. 그런데, 각부재마다 E가 다르면, 소거되지 않고 남으므로 매우 복잡한 계산이 된다. 그래서 강의 탄성계수 E_s 에 대해 콘크리트의 탄성계수 $E_c=nE_s$ 라 하면, $E_c I = nE_s I = E_s(nI)$ 라 할 수가 있으므로, 탄성계수가 다른 부재를 사용해도 I만을 환산하면 그대로 공식이 적용가능 하므로, $n=E_s/E_c$ 로 I를 수정한다.

n 의 값은, 일반 철근 콘크리트에서는 10~15가 사용되고 있으나, 콘크리트주는 공장에서 원심기에 의해 충분히 견고하게 제조되므로 $n \approx 6$ 으로 하고 있다.

2.3.7 부재응력의 계산에 대해

휨모멘트 및 전단력을 문형라멘으로 산출한 후 빔 각부재의 응력은 트러스로서 계산하게 되어 있다. 그러나 빔을 트러스로 계산할 경우, 하중은 모두 격점(입속의 위치)에 작용하는 것으로 풀 필요가 있다. 따라서 전단력은, 격점에서 하중으로 환산하여 구하고 있다.

부재응력은, 트러스 해법에서는 일반적으로 인장력을 정으로 하고 있으나, 여기에서는 압축력을 정(正)으로 하고 있으므로 주의를 요한다.

부재응력은 다음과 같이 하여 구한다.

(1) 상부주재 응력

아래 그림에서, 격점(Li)의 모멘트를 M_{Li} 라 하고, 격점(Li)의 회전모멘트가 평형을 이루는 것이라 하면 $\sum M(L_i)=0$ 에서

$$\sum M(L_i) = M_{Li} + \frac{2P_i \cdot a}{3} - F_{ui} \cdot a = 0$$



$$\therefore F'_{ui} = \frac{M_{Li}}{a} + \frac{2P_i}{3}$$

상현은 2분 있으므로 $F'_{ui} = 2F_{ui}$

$$\therefore F_{ui} = \frac{F'_{ui}}{2} = \frac{M_{Li}}{2a} + \frac{P_i}{3}$$

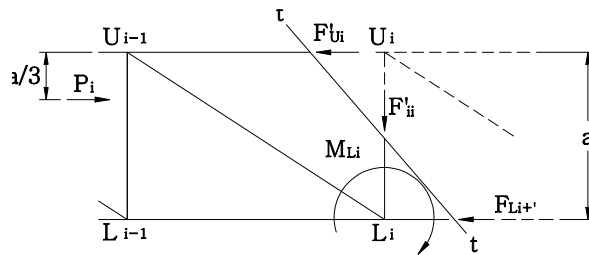


그림 4.

(2) 하부주재응력

아래 그림에서 단면 tt' 의 좌에 있는 외력의 격점(U_{i-1}) N의 모멘트를 M_{ui-1} 이라 하고, 격점(U_{i-1})의 회전모멘트의 평형조건에서

$$\Sigma M(U_{i-1}) = M_{ui-1} - \frac{P_i \cdot a}{3} + F_{Li} \cdot a = 0$$

$$\therefore F_{Li} = -\frac{M_{ui-1}}{a} + \frac{P_i}{3}$$

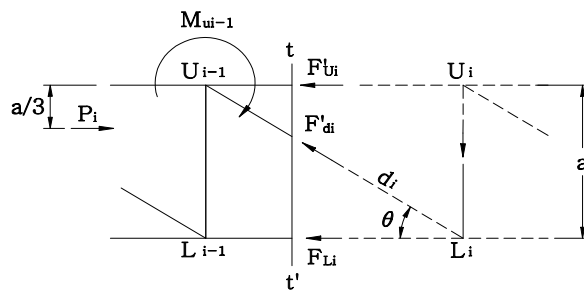


그림 5.

(3) 수재응력

수재는 아래 그림의 단면 tt' 좌의 외력(UA)점에 대한 모멘트와 M_{UA} 와의 평형에서

$$\Sigma M(U_A) = M_{UA} + \frac{P \cdot a}{3} + F'_{Li} \cdot r = 0$$

$$\therefore F'_{Li} = \frac{M_{UA}}{r} + \frac{P \cdot a}{3r}$$

부재 1분당의 응력을 F_{L1} 이라 하면 $F'_{L1} = 2F_{L1}$

$$F'_{L1} = \frac{F'_{L1}}{2} = -\frac{M_{UA}}{2r} + \frac{P \cdot a}{6r}$$

또한,

$$\frac{\ell_1}{d_1} = \frac{r}{2a} \quad \therefore r = \frac{2a \ell_1}{d_1}$$

$$\therefore F_{L1} = -\frac{M_{UA} \cdot d_1}{4a \cdot \ell_1} + \frac{P \cdot a}{6r} = -\frac{M_{UA} \cdot d_1}{4a \cdot \ell_1} + \frac{P \cdot d_1}{12 \ell_1}$$

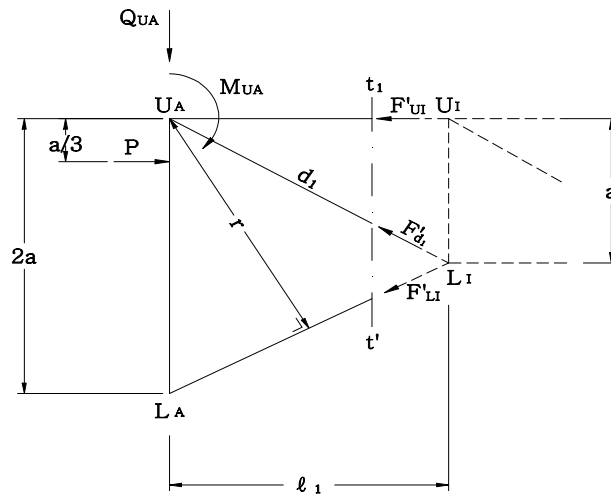


그림 6.

(4) 사재응력

아래 그림에서 단면 tt' 의 좌에 있는 외력 연직분력의 합을 Q_{Ui-1} 라 하면 사재의 응력은

$$Q_{Ui-1} - F'_{di} \cdot \sin \theta = 0$$

$$\therefore F'_{di} = \frac{Q_{ui-1}}{\sin \theta}$$

부재 1본당 응력을 F_{di} 라 하면, $F'_{di} = 2F_{di}$

$$\therefore F_{di} = \frac{F'_{di}}{2} = \frac{Q_{ui-1}}{2 \sin \theta}$$

또한,

$$\sin = \frac{a}{d_i}$$

$$\therefore F_{di} = \frac{Q_{ui-1} \cdot d_i}{2a}$$

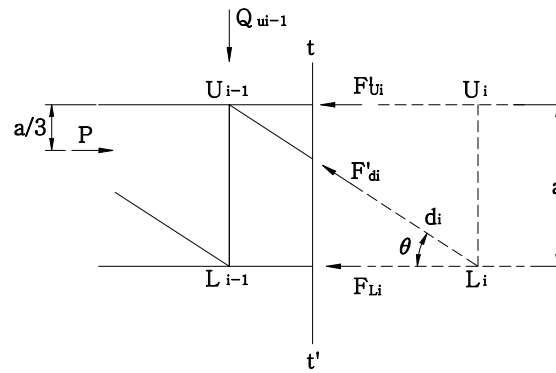


그림 7.

또한, <그림 6>의 단면 tt' 좌에 있는 외력의 연직분력의 합을 Q_{UA} 라 하면
 면단 사재의 응력은

$$\begin{aligned} Q_{UA} - F'_{di} \frac{a}{d_1} + F'_{Li} \cdot \frac{a}{d_1} \\ \therefore F_{d1} &= \frac{Q'_{UA} d_1}{a} + F_{Li} \\ \therefore F_{d1} &= \frac{F'_{d1}}{2} = \frac{Q'_{UA} \cdot d_i}{a} + F_{Li} \\ &= -\frac{Q_{UA} \cdot d_i}{a} - \frac{M_{UA} \cdot d_i}{4a \cdot \ell_1} + \frac{P \cdot d_i}{12 \ell_1} \end{aligned}$$

입속의 응력은, <그림 8>와 같이 단면 tt' 를 고려하여, 그 좌측 외력의 연직분력의
 합을 Q_{Li} 라 하면

$$Q_{Li} - F'_{ii} = 0$$

$$\therefore F'_{ii} = Q_{Li}$$

$$\text{그런데 } F'_{ii} = 2F'_{ii} \quad Q_{Li} = Q_{ui}$$

$$\therefore F'_i = \frac{Q_{ui}}{2}$$

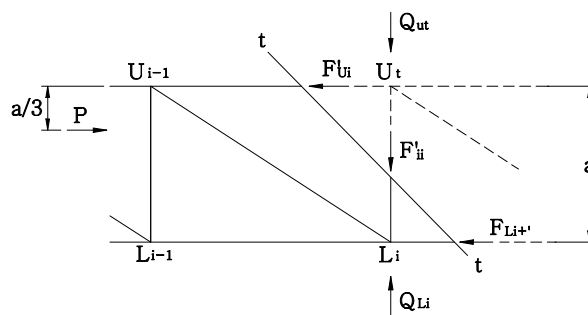


그림 8.

위의 부재응력중, FL1(수재의 응력), Fd1과 Fdi(사재의 응력) 및 Fii(입속의 응력)은 약산식이다. 이러한 응력을 FX로 나타내면, 맞는 응력은 다음과 같이 된다.

$$F_0 = \frac{F_x}{\cos \frac{\theta}{2}} + \frac{F_x \cdot B}{2Z}$$

다만, F_0 : FL1, Fd1, Fdi, Fii 등의 맞는 응력

F_x : FL1, Fd1, Fdi, Fii 등의 총칭

L : 부재의 투영장, 예를들면 입속의 길이는 a, 사재는 di 등

B : 부재의 열림폭

θ : 부재의 열림각

Z : 부재의 최소단면계수 (2차응력이 가해진 경우는 2차응력이 가산되는 축에 대한 단면계수)

L에 비해 B가 작은 경우는

$$\theta \approx 0 \quad \therefore \cos \frac{\theta}{2} \approx 1 \quad \frac{B}{2} \approx 0$$

로서 $F_0 \approx F_x$ 가 되어, 이것이 표준으로 게재되어 있다.

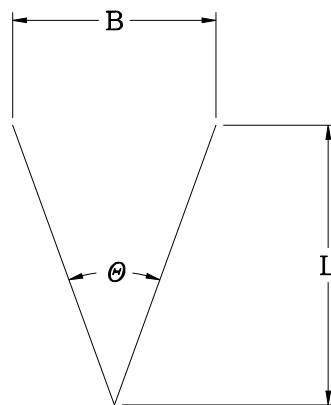


그림 9.

2.3.8 계산의 적용방법

- (1) V트러스라멘빔 또는 평면트러스라멘빔 「8m미만」과 콘크리트주에 의해 구성된 경우. 다만, 8m이상의 평면트러스라멘빔은 「2.2 문형트러스빔 구조의 응력계산」에 의한다.
- (2) V트러스빔의 사재에 ㄱ형강을 사용하고, 상하주재간격을 1m이상으로 하며, 콘크리트주와의 접합이 충분한 강도를 가질 경우
 - ① 목주에 밴드등을 사용하여, V트러스라멘빔과의 접합이 충분한 강도를 가질 경우



2.3.9 계산식과 응력의 검정

- (1) 문형트러스라멘빔은 라멘계산에 따라 휨모멘트, 반력(反力) 및 전단력을 구하고, 빔은 트러스로 응력을 산출한다.
- (2) 라멘의 계산공식은 다음에 의한다.
공식에 사용되는 부호는 다음과 같다.

각부가 빔구조의 경우



그림 10.

모멘트도의 M은 라멘의 내측(전선측)에
휨인장응력이 생기는 것을 ⊕부호로 하였다.

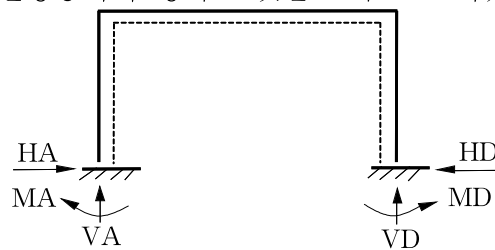
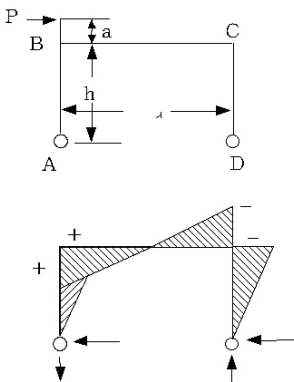
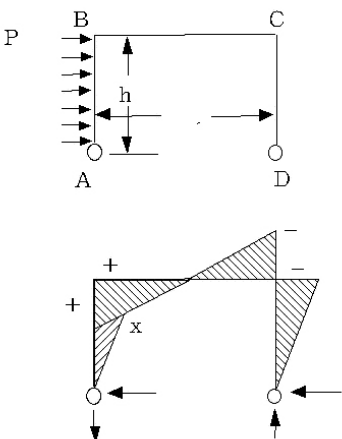
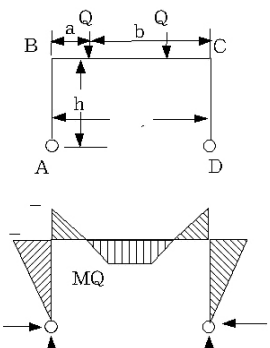
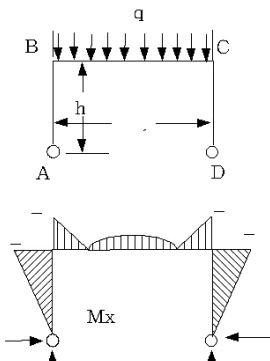


그림 11.

① 각부가 편구조의 경우

	하중 및 휨모멘트	H 수평반력 V 수직반력 M 휨모멘트
I		$V_A = -V_D = -\frac{Ph}{\ell}$ $H_A = -H_D = -\frac{P}{2}$ $M_B = -M_C = \frac{Ph}{2}$
II		$V_A = -V_D = -\frac{Pa}{\ell}$ $H_A = -(P - H_D) = -\frac{P}{2} \cdot \frac{K(\delta^3 - 3\delta + 4) + 6 - 3\delta}{2K + 3}$ $H_D = -\frac{M_C}{h}$ $M_B = \frac{Pa}{2} \cdot \frac{3 + (1 + \delta^2)K}{2K + 3}$ $M_C = -\frac{Pa}{2} \cdot \frac{3 + (3 - \delta^2)K}{2K + 3}$ $M_P = -H_A a$

	하중 및 휨모멘트	H 수평반력 V 수직반력 M 휨모멘트
III		$V_A = -V_D = -\frac{P(h+a)}{\ell}$ $H_A = -(P - H_D) = -\left[\frac{P}{2} - \frac{3Pa}{2h(3+2K)}\right]$ $H_D = \frac{P}{2} + \frac{3Pa}{2h(3+2K)}$ $M_{B_1} = -H_A h$ $M_{B_2} = M_{B_1} + Pa$ $M_C = -H_D h$
IV		$V_A = -V_D = -\frac{Ph^2}{2\ell}$ $H_A = -(Ph - H_D) = -\frac{Ph}{8} \cdot \frac{18+11K}{3+2K}$ $M_B = \frac{Ph^2}{8} \cdot \frac{6+3K}{3+2K}$ $M_C = -\frac{Ph^2}{8} \cdot \frac{6+5K}{3+2K}$ $M_X = -(H_A \cdot X + \frac{PX^2}{2})$ $H_D = -\frac{M_C}{h}$
V		$V_A = V_D = Q$ $H_A = H_D = -\frac{M_B}{h} = \frac{3Q}{h\ell} \cdot \frac{ab}{3+2K}$ $M_B = M_C = -\frac{3Q}{\ell} \cdot \frac{ab}{3+2k}$ $M_Q = M_B + Q \cdot a$
VI		$V_A = V_D = \frac{q\ell}{2}$ $H_A = H_D = -\frac{M_B}{h} = \frac{q\ell^2}{4h(3+2K)}$ $H_B = M_C = -\frac{q\ell^2}{4(3+2K)}$ $M_X = M_B + \frac{qx}{2}(\ell - x)$

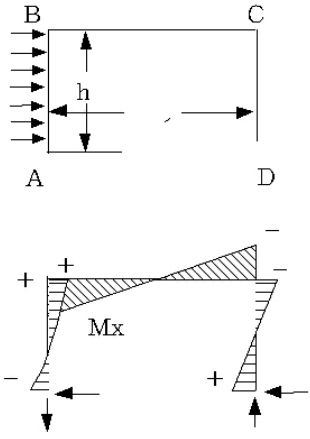
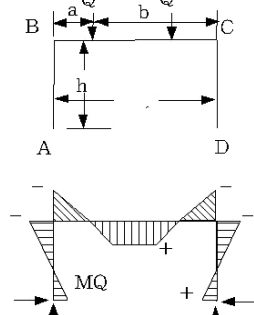
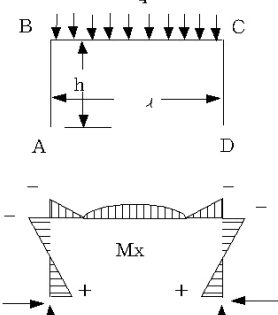


$$K = \frac{I_2}{I_1} \cdot \frac{h}{\ell}$$

$$\delta = \frac{a}{h}$$

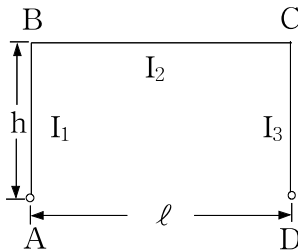
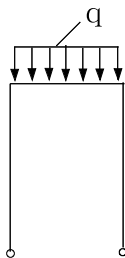
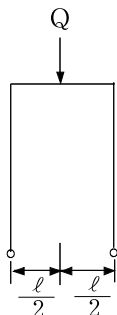
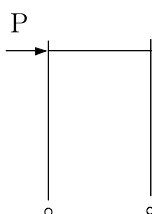
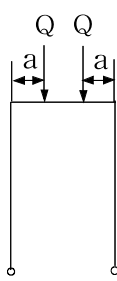
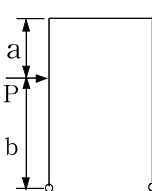
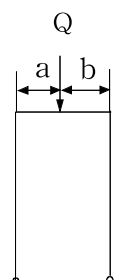
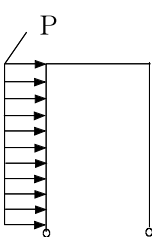
② 각부가 고정의 경우

I		$V_A = -V_D = -\frac{2M_B}{\ell} = -\frac{3PhK}{\ell(6K+1)}$ $H_A = -H_D = -\frac{P}{2}$ $M_A = -M_D = -\frac{Ph}{2} \cdot \frac{3K+1}{6K+1}$ $M_B = -M_C = \frac{Ph}{2} \cdot \frac{3K}{6K+1}$
II		$x_1 = \frac{Pab}{h} \cdot \frac{h+b(1+K)}{2h(K+2)} \quad x_2 = \frac{Pab}{h} \cdot \frac{aK}{2h(K+2)}$ $x_3 = \frac{3Pa^2K}{2h(6K+1)}$ $V_A = -V_D = -\frac{2x_3}{\ell}$ $H_A = -(P - H_D) \quad H_D = \frac{Pa}{2h} - \frac{x_1 - x_2}{h}$ $M_A = -x_1 - \left(\frac{Pa}{2} - x_3\right) \quad M_B = -x_2 + x_3$ $M_D = -x_1 + \left(\frac{Pa}{2} - x_3\right) \quad M_C = -x_2 - x_3$ $M_B = \frac{Pad}{h} + (1-\delta)M_A + \delta M_C$
III		$V_A = -V_D = -\frac{3PK}{\ell} \cdot \frac{h+2a}{6K+1}$ $H_A = -(P - H_D)$ $H_D = \frac{P}{2} \left[1 + \frac{3a}{h(K+2)} \right]$ $M_A = -\frac{P}{2} \cdot \frac{a(1-5K) + h(3K^2+7K+2)}{(K+2)(6K+1)}$ $M_D = \frac{P}{2} \cdot \frac{A(7K+3) + h(3K^2+7K+2)}{(K+2)(6K+1)}$ $M_C = -\frac{PK}{2} \cdot \frac{11a+3h(K+2)}{(K+2)(6K+1)}$ $M_{B_1} = M_{B_2} - Pa$ $M_{B_2} = \frac{PK}{2} \cdot \frac{a(12K+13) + 3h(K+2)}{(K+2)(6K+1)}$

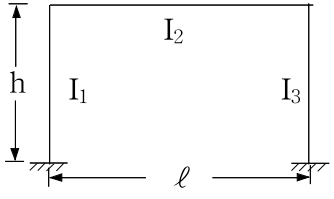
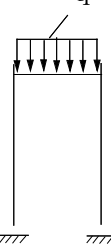
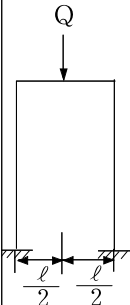
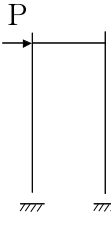
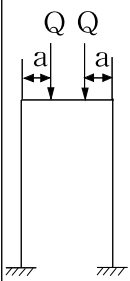
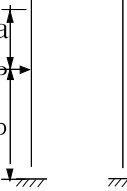
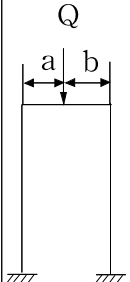
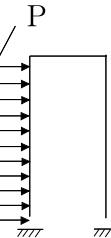
IV		$V_A = -V_D = -\frac{Ph^2K}{\ell(6K+1)}$ $H_A = -(Ph - H_D) \quad H_D = \frac{Ph(2K+3)}{8(K+2)}$ $M_A = \frac{Ph^2}{4} - \left[-\frac{K+3}{6(K+2)} - \frac{4K+1}{6K+1} \right]$ $M_D = \frac{Ph^2}{4} - \left[-\frac{K+3}{6(K+2)} + \frac{4K+1}{6K+1} \right]$ $M_B = \frac{Ph^2}{4} - \left[-\frac{K}{6(K+2)} + \frac{2K}{6K+1} \right]$ $M_C = \frac{Ph^2}{4} - \left[-\frac{K}{6(K+2)} - \frac{2K}{6K+1} \right]$ $M_X = \frac{Px(\ell-x)}{2} + \frac{\ell-x}{h}M_A + \frac{x}{h}M_B$
V		$V_A = V_D = Q$ $H_A = H_D = \frac{3M_A}{h} = \frac{3Qab}{h\ell(K+2)}$ $M_A = M_D = \frac{Qab}{\ell(K+2)}$ $M_B = M_C = -2M_A$ $M_Q = Qa + M_B$
VI		$V_A = V_D = -\frac{q\ell}{2}$ $H_A = H_D = \frac{3M_A}{h} = \frac{q\ell^2}{4h(K+2)}$ $M_A = M_D = \frac{q\ell^2}{12(K+2)}$ $M_B = M_C = -2M_A$ $M_X = \frac{qx}{2}(\ell-x) + M_B$



③ 편식 대칭주라멘

 $K_1 = \frac{I_1}{h} K_2 = \frac{I_2}{l} K_3 = \frac{I_3}{h}$ $k = \frac{K_2}{K_1} k' = \frac{K_2}{K_3}$		 $M_B = M_C = -\frac{1}{4} \left(\frac{q\ell^2}{k+k'+3} \right)$	
	$M_B = M_C = -\frac{3}{8} \left(\frac{Q\ell}{k+k'+3} \right)$		$M_B = \frac{Ph}{2} \left(\frac{3+2k'}{k+k'+3} \right)$ $M_C = -\frac{Ph}{2} \left(\frac{3+2k}{k+k'+3} \right)$
	$M_B = M_C = -\frac{3Qa(\ell-a)}{\ell(k+k'+3)}$		$M_B = \frac{Pb}{2h^2} \cdot \frac{h^2(2k'+3) - ak(h+b)}{k+k'+3}$ $M_C = -\frac{Pb}{2h^2} \cdot \frac{h^2(2k+3) - ak(h+b)}{k+k'+3}$
	$M_B = M_C = -\frac{3Qab}{2\ell(k+k'+3)}$		$M_B = \frac{Ph^2}{8} \left(\frac{4k'+6-k}{k+k'+3} \right)$ $M_C = -\frac{Ph^2}{8} \left(\frac{5k+6}{k+k'+3} \right)$

④ 주각고정비대칭주라멘

 $K_1 = \frac{I_1}{h} K_2 = \frac{I_2}{l} K_3 = \frac{I_3}{h}$ $k = \frac{K_2}{K_1} k' = \frac{K_2}{K_3}$ $\Delta = 2(11kk' + 3kk'^2 + 3kk'^2 + k^2 + k + k'^2 + k')$		$M_A = \frac{q\ell^2}{12\Delta} (15kk' - 3k'^2 + k' + k)$ $M_B = -\frac{q\ell^2}{12\Delta} (21kk' + 3k'^2 + 2k' + 2k)$ $M_C = -\frac{q\ell^2}{12\Delta} (21kk' + 3k^2 + 2k + 2k')$ $M_D = \frac{q\ell^2}{12\Delta} (15kk' - 3k^2 + k + k')$
 $M_A = \frac{Q\ell}{8\Delta} (15kk' - 3k'^2 + k' + k)$ $M_B = -\frac{Q\ell}{8\Delta} (21kk' + 3k'^2 + 2k' + 2k)$ $M_C = -\frac{Q\ell}{8\Delta} (21kk' + 3k^2 + 2k + 2k')$ $M_D = \frac{Q\ell}{8\Delta} (15kk' - 3k^2 + k + k')$		$M_A = -\frac{Ph}{\Delta} k' (2k' + 2 + 5k + 3kk')$ $M_B = \frac{Ph}{\Delta} 3kk' (k' + 2)$ $M_C = -\frac{Ph}{\Delta} 3kk' (k + 2)$ $M_D = \frac{Ph}{\Delta} k (2k + 2 + 5k' + 3kk')$
 $M_A = \frac{Qa(\ell - a)}{\ell\Delta} (15kk' - 3k'^2 + k' + k)$ $M_B = -\frac{Qa(\ell - a)}{\ell\Delta} (21kk' + 3k'^2 + 2k' + 2k)$ $M_C = -\frac{Qa(\ell - a)}{\ell\Delta} (21kk' + 3k^2 + 2k + 2k')$ $M_D = \frac{Qa(\ell - a)}{\ell\Delta} (15kk' - 3k^2 + k + k')$		$M_A = -\frac{Pb}{h^2\Delta} [k'(3kk' + 2k' + 5k + 2)(h^2 - a^2) + kab(3k'^2 + 12k' + 1)] - \frac{Pa^2b}{h^2}$ $M_B = \frac{Pbk}{h^2\Delta} [3k'(k' + 2)(h^2 - a^2) + ab(6kk' + 3k'^2 + 5k')]$ $M_C = -\frac{Pbk}{h^2\Delta} [3k'(k + 2)(h^2 - a^2) - ab(3kk' - k - 4k')]$ $M_D = \frac{Pbk}{h^2\Delta} [3kk' + 2k + 5k' + 2)(h^2 - a^2) + ab(3kk' + 3k - 3k' - 1)]$
 $M_A = \frac{Qab}{\ell^2\Delta} [kk'(7\ell + a) + k'a(3 - k') - 2k'b(k' + 1) + kb]$ $M_B = -\frac{Qab}{\ell^2\Delta} [kk'(10\ell + b) + k^2(\ell + b) + 2b(k + k')]$ $M_C = -\frac{Qab}{\ell^2\Delta} [kk'(10\ell + a) + k^2(\ell + a) + 2a(k + k')]$ $M_D = \frac{Qab}{\ell^2\Delta} [kk'(7\ell + b) + kb(3 - k) - 2ka(k + 1) + ka]$		$M_A = -\frac{Ph^2}{12\Delta} [2k'^2(9k + 5) + k'(37 + 10) + k]$ $-\frac{Ph^2}{12}$ $M_B = \frac{Ph^2k}{12\Delta} [k'(12k' + 25) - 2k(3k' + 1)]$ $M_C = -\frac{Ph^2k}{12\Delta} (18kk' + 26k' - k)$ $M_D = \frac{Ph^2k}{12\Delta} [2k'(9k + 11) + 13k + 9]$



2.3.10 기초의 고정도와 휨모멘트

문형지지물은 기초의 고정도에 따라, 각부 휨모멘트는 다음 값으로 한다.

- (1) 전주시면 휨모멘트 및 빔접합 휨모멘트는 기초를 완전고정으로 하여 계산한 휨모멘트로 한다.
- (2) 기초가 쉽게 편위한다고 생각한 경우는 각각 각부를 핀구조로 하여 계산한 휨모멘트로 한다.
- (3) 빔의 높이는 기초상면에서 빔의 중심축의 높이로 한다.

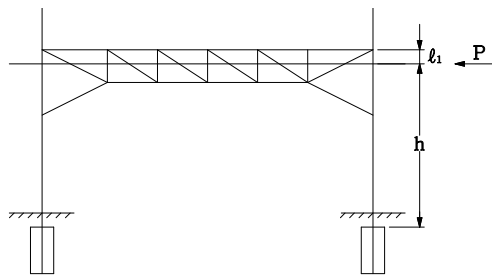


그림 12. 빔 높이 잡는 법

2.3.11 V트러스라멘빔의 단면특성

V트러스라멘빔의 단면특성 계산은 <식 (7)~(9)>에 의한다.

- (1) 상하주재가 동일한 경우

$$I_x = A(2\ell^2 \cdot x_1 + \ell^2 \cdot x_2) + 3I'_x = \frac{2A \cdot \ell_{x3}^2}{3} + 3I'_x \text{ ----- (7)}$$

I_x : 트러스빔의 X축에 관한 단면2차모멘트 [cm^4]

I'_x : 각 주재의 X축에 관한 단면2차모멘트 [cm^4]

ℓ_x : 상하주재중심거리 [cm]

ℓ_1 : X축에서 상부주재연단까지의 거리 [cm]

ℓ_2 : X축에서 하부주재연단까지의 거리 [cm]

ℓ : 상하주재연단까지의 거리 [cm]

A : ㄱ형강의 단면적 [cm^2]

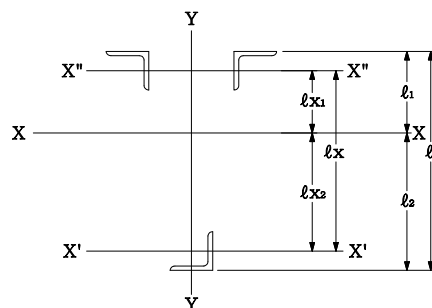
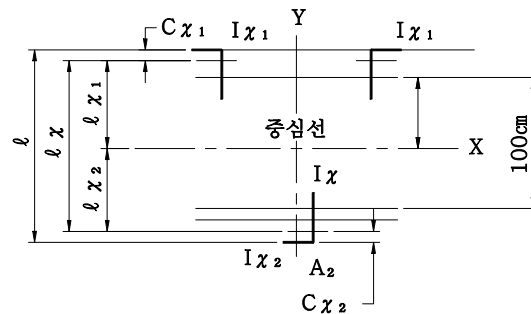


그림 13. V트러스빔 단면

(2) V트러스 라멘 빔의 특성



주 재 별	상부	L65×65×8	L65×65×8	L75×75×9
	하부	L65×65×8	L75×75×9	L75×75×9
주재단면적[cm ²]	A ₁	9.761	9.761	12.69
	A ₂	9.761	12.690	12.69
주재의 중심위치 [cm]	C _{x1}	1.88	1.88	2.17
	C _{x2}	1.88	2.17	2.17
주재의 단면 2차 모멘트 [cm ⁴]	I _{x1}	36.8	36.8	64.4
	I _{x2}	36.8	64.4	64.4
중심간거리 [cm]	ℓ _x	103.24	103.45	103.66
빔 중심과 주재 중심간 거리 [cm]	ℓ _{x1}	34.41	40.76	34.55
	ℓ _{x2}	68.83	62.69	69.11
상하주재, 연단간거리 [cm]	ℓ	107.	107.5	108.
빔 단면 2차 모멘트 [cm ⁴]	I _x	69.469	82.444	91.099

(3) 상하주재가 다른 경우

$$I_x = 2A_1 \cdot \ell_{x1}^2 + A_2 \cdot \ell_{x2}^2 + 2I_{x1}' + I_{x2}' \quad (8)$$

$$\ell_{x1} = \frac{A_2 \cdot \ell_x}{2A_1 + A_2} \quad (9)$$

I_x : V트러스빔의 X축에 관한 단면2차모멘트 [cm⁴]

I_{x1}' : 상부주재의 X'축에 관한 단면2차모멘트 [cm⁴]

I_{x2}' : 하부주재의 X'축에 관한 단면2차모멘트 [cm⁴]

ℓ_x : 상하주재중심거리 [cm]

ℓ_{x1} : V트러스빔의 X축(중심)에서 상부주재중심까지의 거리 [cm]

ℓ_{x2} : V트러스빔의 X축(중심)에서 하부주재중심까지의 거리 [cm]

A_1 : 상부주재 ㄱ형강1본의 단면적 [cm²]

A_2 : 하부주재 ㄱ형강1본의 단면적 [cm²]



2.3.12 콘크리트주의 단면특성

콘크리트주의 단면특성 계산은 <식 (10),(11)>에 의한다.

$$I = I_c + 5I_s$$

$$I_c = \frac{\pi}{4} (C_{r_0}^4 - C_{r_1}^4) \text{ ----- (10)}$$

$$I_s = \frac{S_{a_0}}{2} S_{r_0}^2 + \frac{S_{a_1}}{2} S_{r_1}^2 \text{ ----- (11)}$$

I : 콘크리트주의 단면2차모멘트 [cm^4]

I_c : 콘크리트의 단면2차모멘트 [cm^4]

I_s : 철근의 단면2차모멘트 [cm^4]

C_{r_0} : 콘크리트주의 외측반경 [cm]

C_{r_1} : 콘크리트주의 내측반경 [cm]

S_{a_0} : 외측철근군의 총단면적 [cm^2]

S_{a_1} : 내측철근군의 총단면적 [cm^2]

S_{r_0} : 외측철근군의 반경 [cm^2]

S_{r_1} : 내측철근군의 반경 [cm^2]

2.3.13 단면2차모멘트의 환산

콘크리트주와 ㄱ형강 빔은 탄성계수의 비에 따라 단면2차모멘트를 환산한다.

$$n = \frac{E_s}{E_c} \approx 6 \text{ ----- (12)}$$

E_s : 강역 탄성계수 (=20,580 kN/cm^2)

E_c : 콘크리트주의 탄성계수 (=3,263 kN/cm^2)

$$I_s' = 6I_s \text{ ----- (13)}$$

I_s : 형강빔의 단면2차모멘트 [cm^4]

I_s' : 형강빔을 콘크리트주에 환산한 단면2차모멘트 [cm^4]

2.3.14 부재응력의 계산

부재응력의 계산은 다음에 의한다.

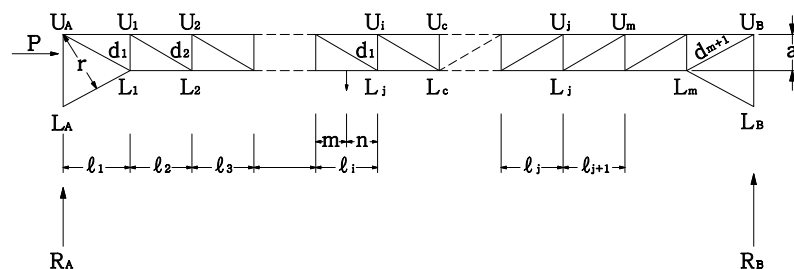


그림 14.

- P : 빔에 가해지는 축력 (=수평반력 H_A) [N]
 R_A : 빔좌측 수직반력(= V_A) [N]
 R_B : 빔우측 수직반력(= V_D) [N]
 Q_{U_1} : 입속위치 U_1 의 전단력 [N]
 F_{U_1} : 상부주재 U_{1-1} , U_1 간의 응력 [N]
 F_{L_1} : 하부주재 L_{1-1} , L_1 간의 응력 [N]
 F_{d_i} : i 번째의 사재응력 [N]
 F_{i_1} : i 번째 입속응력 [N]
 M_{U_1} : U_1 위치의 휨모멘트 [$N \cdot cm$]
 M_{L_1} : L_1 위치의 휨모멘트 [$N \cdot cm$]
 W : 입속간의 집중하중 [N]
 q : 빔의 단위길이당 중량 [N/cm]
 r : U_A 에서 수재 $L_A L_1$ 간에 내린 수직선의 길이 [cm]
 ℓ_1 : U_1 , U_{1+1} 간의 길이 [cm]
 d_i : i 번째 사재길이 [cm]
 m : 하중위치에서 좌측의 입속까지 거리 [cm]
 n : 하중위치에서 우측의 입속까지거리 [cm]
 U_i : 상부주재 i 번째 입속위치
 L_i : 하부주재 i 번째 입속위치
 a : 상하주재의 중심간격 [cm]

(1) 전단력

① 양단

$$Q_{U_A} = R_A - \frac{\ell_1}{2}q \text{ ----- (14)}$$

$$Q_{U_B} = -R_B \text{ ----- (15)}$$

② 중간

가. 입속간에 하중이 있는 경우

$$Q_{U_{i-1}} = U_{U_{i-2}} - \frac{\ell_{i-1} + \ell_i}{2}q - \frac{n}{\ell_1}W \text{ ----- (16)}$$

$$Q_{U_i} = U_{U_{i-2}} - \frac{\ell_i + \ell_{i+1}}{2}q - \frac{m}{\ell_1}W \text{ ----- (17)}$$

나. 입속간에 하중이 없는 경우

$$Q_{U_j} = U_{U_{j-1}} - \frac{\ell_j + \ell_{j+1}}{2}q \text{ ----- (18)}$$



(2) 부재응력

① 상부주재

가. 중앙에서 좌측

$$F_{U_1} = \frac{M_{L_1}}{2a} + \frac{P}{3} \text{ ----- (19)}$$

나. 중앙에서 우측

$$F_{U_j} = \frac{M_{L_{j-1}}}{2a} + \frac{P}{3} \text{ ----- (20)}$$

② 하부주재

가. 좌측의 수재

$$F_{L_A} = -\frac{M_{U_A} \cdot d_1}{4a \cdot \ell_1} + \frac{P \cdot a}{6r} \text{ ----- (21)}$$

나. 우측의 수재

$$F_{L_B} = -\frac{M_{U_B} \cdot d_{m+1}}{4a \cdot \ell_{m+1}} + \frac{P \cdot a}{6r} \text{ ----- (22)}$$

다. 중간

(가) 중앙에서 좌측

$$F_{L_1} = -\frac{M_{U_1-1}}{a} + \frac{P}{3} \text{ ----- (23)}$$

(나) 중앙에서 우측

$$F_{L_j} = -\frac{M_{U_j}}{a} + \frac{P}{3} \text{ ----- (24)}$$

③ 사재

가. 양단

$$F_{d_1} = -\frac{Q_{U_A} \cdot d_1}{2a} - \frac{M_{U_A} \cdot d_1}{4a \cdot \ell_1} + \frac{P \cdot a}{6r} \text{ ----- (25)}$$

$$F_{d_{m+1}} = -\frac{Q_{U_m} \cdot d_{m+1}}{2a} - \frac{M_{U_B} \cdot d_{m+1}}{4a \cdot \ell_{m+1}} + \frac{P \cdot a}{6r} \text{ ----- (26)}$$

나. 중간

(가) 중앙에서 좌측

$$F_{d_1} = -\frac{Q_{U_1-1} \cdot d_1}{2a} \text{ ----- (27)}$$

(가) 중앙에서 우측

$$F_{d_j} = \frac{Q_{U_j-1} \cdot d_j}{2a} \text{-----} (28)$$

④ 입속

가. 중앙에서 좌측

$$F_{11} = \frac{Q_{U_1}}{2} \text{-----} (29)$$

나. 중앙

$$F_{cc} = \frac{Q_{U_c-1} - Q_{U_c}}{2} \text{-----} (30)$$

다. 중앙에서 우측

$$F_{jj} = -\frac{Q_{U_j}}{2} \text{-----} (31)$$

2.3.15 응력의 검토

(1) 부재응력이 인장의 경우

$$\frac{F_t}{A'} < f_t \text{-----} (32)$$

(2) 부재응력이 압축의 경우

$$\frac{F_c}{A'} < f_k \text{-----} (33)$$

F_t : 부재의 인장응력 [N]

F_c : 부재의 압축응력 [N]

A : 부재 단면적 [cm²]

A' : 부재의 인장유효단면적 [cm²]

f_t : 허용인장응력도 [N/cm²]

f_k : 허용좌굴응력도 [N/cm²]

2.4 갠트리철주의 응력계산

4각빔 또는 트러스라멘빔과 철주로 구성된 문형지지물은 이것을 갠트리철주로 하며, 문형트러스라멘빔의 응력계산에 준하여 한다.

2.5 2차 응력의 계산

빔 및 철주의 격점간에 하중이 가해지는 경우는 그 부재의 최대 응력도를 다음과 같이 산출하고, 라멘으로 계산한 부재응력도에 이것을 가한다.



(1) 2차 응력이란

V트러스 라멘빔의 계산에서도 자세히 명시한 바와 같이, 트러스빔 각부의 응력계산은 하중이 각 격점에 가해지고 있는 것으로 보고 계산하지만, 실제로는 격점 이외의 점 즉, 입속과 입속간에 하중이 가해질 경우가 많다. 빔이나 철주를 트러스로 계산할 경우는, 각 부재에는 단순압축 또는 단순인장응력이 가해지는 것으로 풀지만, 위에서 기술한 바와같이 실제로는 하중이 격점간에 가해지기 때문에 각 부재에는 압축 또는 인장응력 외에 휨응력이 동시에 가해진다.

이 응력인 경우를 2차응력이라 하고, 2차응력을 발생시키는 휨 모멘트를 2차모멘트라 한다.

2차응력은 이외에, 입속과 사재가 한점으로 모이지 않는것에 의해서도 생기며, ㄱ형강이 편플랜지 만으로 접속되어 있는 경우에는 축력이 전해지는 선과 ㄱ형강의 중심선이 일치하지 않음으로서도 생긴다. 그러나 이러한 2차응력은 하중이 격점간에 있기 때문에 생기는 휨응력에 비하면 매우 작으므로 계산을 생략하는 경우가 많으나, 압축력이 축선에서 벗어나서 가해지면 좌굴에 대한 영향이 크므로, 압축력에 한해 편심이 많은 경우와 적은 경우를 허용응력은 구분하고 있다.

전기관계의 구조계산에서는 통례로 단순인장하중에 대해서는 2차응력을 고려하고 있지 않으나, 일반적으로 편플랜지 접합되는 부재의 인장하중에 대해서는, 단면적을 3배 해서 인장응력을 계산하는 경우가 많다. 그러나, 실험의 결과에 의하면 격점간에 하중이 가해져서 생기는 2차응력을 계산에 넣는 경우, 그렇게 할 필요까지는 없을 것 같다.

여기에서 말하는 2차응력이란, 처음에 기술한 바와같이 특히 격점간에 하중이 가해져서 생기는 휨응력인 경우를 말하고 있다.

예를들면 빔위에 급전선을 설비하면 전주대용물의 다리가 입속과 입속 사이에 오게 됨으로서, 입속간에 휨모멘트가 생긴다. 그러나, 빔주재는 입속간에서 독립하고 있는 것이 아니라, 연속보로 되어 있으므로 본래 대로라면 빔끝단까지 휨모멘트가 전달되는 것이나, 계산을 단순화하기 위해 휨모멘트의 전달범위를 인접 경간까지로 한다. 하현재(下弦材)에는 마찬가지로 전차선이 입속간에 설비되어 있으므로 휨모멘트가 생긴다. 이러한 고찰로 계산식이 게재되어 있다.

(2) 2차 응력 계산식의 유도

전술한 바와 같이 휨모멘트의 전달범위를 인접 경간까지로 하면, <그림 8>과 같이 된다.

3련 모멘트의 공식에서

$$\begin{aligned} \frac{\ell_m}{I_m} M_{m-1} + 2 \left(\frac{\ell_m}{I_m} + \frac{\ell_{m+1}}{I_{m+1}} \right) M_m + \frac{\ell_{m+1}}{I_{m+1}} M_{m+1} \\ = 6E (\theta'_{m\ell} - \theta'_{mr}) + 6E (\beta_m - \beta_{m+1}) \end{aligned} \quad (34)$$

<그림 15>에서 B점을 취하면

$$\ell_m = \ell_{m+1} = \ell$$

$$I_m = I_{m+1} = I$$

$$\beta_m - \beta_{m+1} = 0$$

$$M_{m-1} = 0$$

$$M_m = M_B$$

$$M_{m+1} = M_C$$

B점을 취하면

C점을 취하면

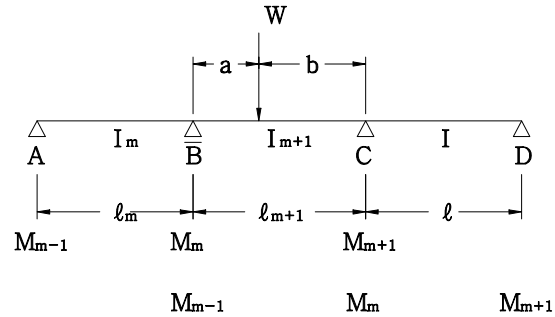


그림 15. 하중을 가하는 법

이것을 <식 (34)>에 대입하면

$$2\left(\frac{\ell}{I} + \frac{\ell}{I}\right)M_B + \frac{\ell}{I}M_C = 6E(\theta'_{m\ell} - \theta'_{mr})$$

$$\therefore 4M_B + M_C = \frac{6EI}{\ell}(\theta'_{m\ell} - \theta'_{mr}) \text{ ----- (35)}$$

고로 $\theta'_{m\ell} = 0$

$$\theta'_{mr} = \frac{W \cdot b}{6EI\ell}(\ell^2 - b^2)$$

이것을 <식 (35)>에 대입하면

$$4M_B + M_C = \frac{6EI}{\ell} \left\{ -\frac{Wb}{6EI\ell}(\ell^2 - b^2) \right\} = -\frac{Wb}{\ell^2}(\ell^2 - b^2) \text{ ----- (36)}$$

C점을 취하면

$$\ell_m = \ell_{m+1} = \ell$$

$$I_m = I_{m+1} = I$$

$$\beta_m - \beta_{m+1} = 0$$

$$M_{m-1} = M_B$$

$$M_m = M_C$$

$$M_{m+1} = 0$$

이것을 <식 (34)>에 대입하면

$$\frac{\ell}{I}M_B + 2\left(\frac{\ell}{I} + \frac{\ell}{I}\right)M_C = 6E(\theta'_{m\ell} - \theta'_{mr})$$

$$\therefore M_B + 4M_C = \frac{6EI}{\ell}(\theta'_{m\ell} - \theta'_{mr}) \text{ ----- (37)}$$

그런데 $\theta'_{m\ell} = -\frac{Wa}{6EI\ell}(\ell^2 - a^2)$



$$\theta'_{mr} = 0$$

이것을 <식 (37)>에 대입하면

$$\therefore M_B + 4M_C = \frac{6EI}{\ell} \left\{ -\frac{Wa}{6EI\ell} (\ell^2 - a^2) \right\} = -\frac{Wa}{\ell^2} (\ell^2 - a^2) \quad \text{--- (38)}$$

<식 (36)>을 <식 (37)>에 대입하면

$$\begin{aligned} M_B - 4 \left\{ 4M_B + \frac{Wb}{\ell^2} (\ell^2 - b^2) \right\} &= -\frac{Wa}{\ell^2} (\ell^2 - a^2) \\ 15M_B &= -\frac{W}{\ell^2} \{ 4b(\ell^2 - b^2) - a(\ell^2 - a^2) \} \\ &= -\frac{W}{\ell^2} \{ 4(\ell - a) \{ \ell^2 - (\ell - a)^2 \} - a(\ell + a)(\ell - a) \} \\ \therefore M_B &= -\frac{Wa}{15\ell^2} (\ell - a)(7\ell - 5a) \quad \text{----- (39)} \end{aligned}$$

<식 (39)>을 <식 (38)>에 대입하면

$$\begin{aligned} 4M_C &= -\frac{Wa}{\ell^2} (\ell^2 - a^2) + \frac{Wa}{15\ell^2} (\ell - a)(7\ell - 5a) \\ &= -\frac{Wa}{\ell^2} (\ell - a) \left\{ (\ell + a) - \frac{7\ell - 5a}{15} \right\} \\ &= -\frac{Wa}{\ell^2} (\ell - a) \frac{4(2\ell + 5a)}{15} \\ \therefore M_C &= -\frac{Wa}{15\ell^2} (\ell - a)(2\ell + 5a) \quad \text{----- (40)} \end{aligned}$$

하중점의 휨 모멘트를 M_a 라 하면

$$\begin{aligned} M_a &= \frac{Wab}{\ell} - \frac{M_D - M_C}{\ell} a + M_B \\ &= \frac{Wa}{\ell} (\ell - a) + \frac{M_C - M_B}{\ell} a + M_B \quad \text{----- (41)} \end{aligned}$$

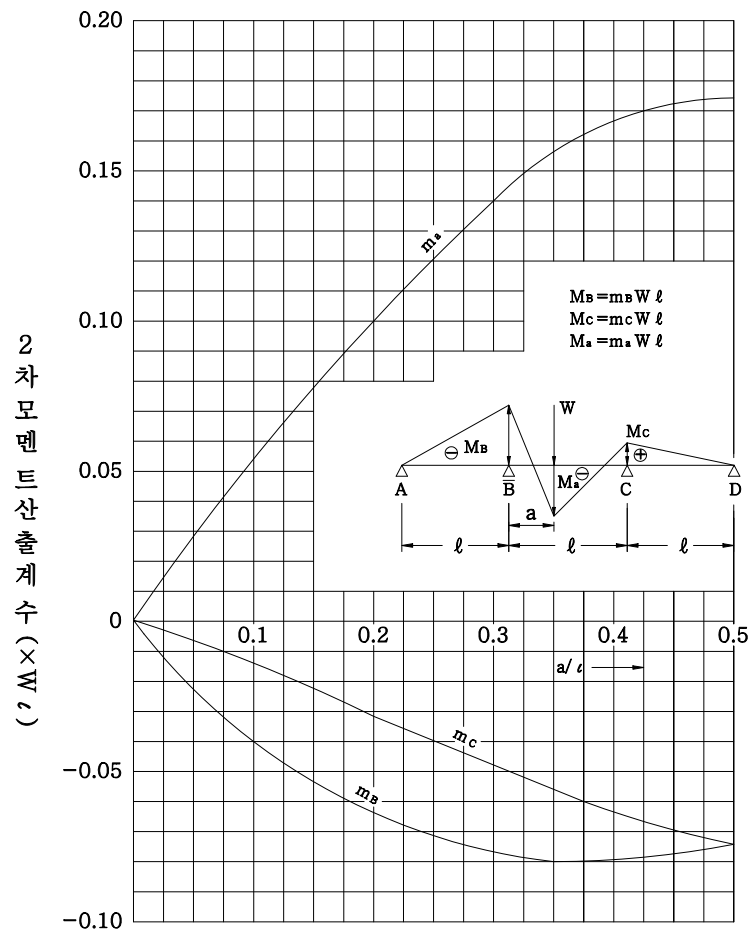


그림 16. 2차모멘트 계산도표

<그림 16>는 <식 (39), (40) 및 (41)>을 도표화 한 것으로서, 예를 들면 하중W의 위치가 입속간격 ℓ 의 1/5 인 경우라면 $a/\ell = 0.2$ 이고, 그때 $m_B = -0.064$, $m_C = -0.032$, $m_a = 0.102$ 에서

$$M_B = m_B W \ell = -0.064 W \ell$$

$$M_C = m_C W \ell = -0.032 W \ell$$

$$M_a = m_a W \ell = 0.102 W \ell$$

이다.

여기서, 정부의 기호는, 보(여기서는 상 또는 하의 주재)의 윗면에 압축력이 가해지는 휨모멘트, 바꿔말하면 보가 하측으로 만곡되는 휨모멘트를 정(正)으로 하고 있다.

- (3) 휨모멘트는, 연속량으로 <식 (42)~(44)>에 의해 계산한다. 다만, 모멘트의 영향범위는 인접경간까지로 한다.

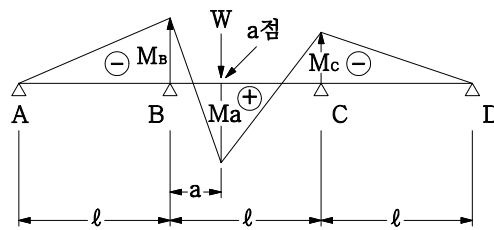


그림 17.

$$M_B = \frac{W \cdot a}{15 \cdot \ell^2} (\ell - a)(7\ell - 5a) = m_B \cdot W\ell \quad (42)$$

$$M_C = \frac{W \cdot a}{15 \cdot \ell^2} (\ell - a)(2\ell + 5a) = m_C \cdot W\ell \quad (43)$$

$$M_a = \frac{W \cdot a}{\ell} (\ell - a) + \frac{M_C - M_B}{\ell} a + M_B = m_a \cdot W\ell \quad (44)$$

$m_B \cdot m_C \cdot m_a$: 각각 M_B, M_C, M_a 의 모멘트 산출계수 (<표 3>)

(4) 인접하는 경간에 반대방향의 하중 $[-W]$ 가 있는 경우는, 이것을 가한다.

(5) 최대 응력도는 <식 (45)~(47)>중 최대치로 한다.

$$\delta_{mB} = \frac{M_B}{Z} \quad (45)$$

$$\delta_{mC} = \frac{M_C}{Z} \quad (46)$$

$$\delta_{ma} = \frac{M_a}{Z} \quad (47)$$

다만, $\delta_{mB}, \delta_{mC}, \delta_{ma}$: B점, C점, a점의 휨 응력도 $[N/cm^2]$

Z : 부재의 단면계수 $[cm^3]$

표 3. 모멘트 산출계수

계수 a	m_B	m_C	m_a
0.1ℓ	-0.039	-0.015	0.0534
0.2ℓ	-0.064	-0.032	0.1024
0.3ℓ	-0.077	-0.049	0.1414
0.4ℓ	-0.080	-0.064	0.1664
0.5ℓ	-0.075	-0.075	0.1750

해설 2. 크로스빔 및 고정브래킷

1. 구 조

크로스빔 및 고정브래킷 구조는 그림과 같다.

1.1 크로스빔의 구조

크로스빔은, 복선구간용의 고정빔으로써 구조가 매우 간단하기 때문에, 보수가 쉽고, 또한 설비비도 저렴하다. 그러므로 전차선로용 지지물은 예전부터 채용되어 왔고, 가동브래킷이 채용되기까지는 표준구조로 채택되어 왔으므로 설비수도 매우 많다. 결점은, 중하중에 견딜수 없는 것으로서 전차선로의 대형화에 따라 점점 자취를 감추는 경향이 있으나, 간이전철화 및 사고의 응급복구용으로서 뺄수가 없는 것이 빔이다.

구조의 변천에 대해 보면, 주재는, 전주에의 설치가 장볼트에서 밴드로 변환점을 빼고 거의 변하지 않았다. 사재(연결봉)는, 당초 아연도금 철연선이 많이 이용되었으나, 제2차 대전 후 전주에 콘크리트주가 많이 채용되게 된것과, 철연선의 부식이 심해서 보수에 손이 많이 가기 때문에, 연결봉이 채용되게 되었고, 또한 최근에는, 빔상부의 공간을 유효하게 이용하는 것, 또한 전주의 주장을 매우 짧게 하기 위해 수재형의 사재가 표준으로 이용되도록 되었다.

녹방지 방법은, 당초부터 녹방지 페인트도포로 해 왔으나, 최근에는, 보수에 손이 가지 않도록 용융아연도금 시공으로 하고 있다.

단형과 포합형의 사용구분은, 하중의 대소에 의해 선택한다.

크로스빔의 결점은, 강재의 일정한 길이 이상의 장대한 빔의 제작이 곤란한 것인데 이 경우는, 이음매판, 연결봉등에 문제가 있는 것 외에 전주도 긴 것이 필요하게 되므로 채용에 있어서는 경제적, 기술적으로 V트러스빔 또는 평면트러스빔과 충분히 비교 검토 하지 않으면 안 된다.

1.2 고정브래킷의 구조

고정브래킷 (단)은 단선구간용의 전차선 지지물로서, 복선구간에 있어서의 크로스빔과 대비되는 것으로서, 그의 구조특징 및 변천은, 크로스 빔인 경우와 거의 변하지 않는다. 구조상 조금 특수한 것으로서 코부리(비곡)브래킷과 V형 브래킷이 있다.

코부리브래킷은, 곡선당감장치 또는 진동방지 장치를 설치하기 위해 고안된 것인데 진동방지파이프형이 개발되어 점차 감소하는 경향이 있다.

V형 브래킷은, 브래킷 길이가 커질 경우, 및 하중이 클 경우에 이용되고, 전주건식위치에 제약이 있는 경우 등에 이점을 발휘하고 있다. 한편, 그 구조상 비틀림에 대해 약하다는 결점이 있으므로 설계시공에 있어서 주의를 요한다.



다음에 크로스빔, 및 고정브래킷(단형과 포합형)의 연결봉의 설치각도를 25°이상으로 한 이유에 대해 기술한다.

1950년경까지는, 연결봉으로서 아연도금철연선(90mm²)을 사용하여 왔으나, 부식이 심하여 보수에 손이 많이 가므로 환강제(ψ16mm) 연결봉으로 교체되어 왔다. (주. 로드화로서 애자의 연결봉, 지선상부 및 하부에도 적용되었다)

이 경우, 연결봉의 강도가 증가한 것이 되지만, 내식성을 강화했다는 사상에서 허용인장강도는 반드시 증가하지 않는 것으로 되고 있다. 연결봉의 설치각도도 아연도금철연선[90mm²]의 허용인장하중을 근거로 정한 것이다.

아연도금철연선 90mm²의 허용인장하중 T

$$T = 9,525 \text{ [N]}$$

주재(등변ㄱ형강 65×65×8 포완금)의 허용휨응력도 σ_b'

$$\sigma_b' = 14,210 \text{ [N/cm}^2\text{]}$$

주재의 단면계수(볼트 구멍을 고려한 경우) Z

$$Z = 7.1 \text{ [cm}^3\text{]}$$

에서, 주재에 허용되는 휨모멘트 M은 L65×65×8 포완금의 경우

$$M = 2\sigma_b' Z \cdot \frac{1}{F} \quad F : \text{여유 } 1.1 \text{로 한다.}$$

$$= 2 \times 14,210 \times 7.1 \times \frac{1}{1.1}$$

$$= 183,438 \text{ [N-cm]}$$

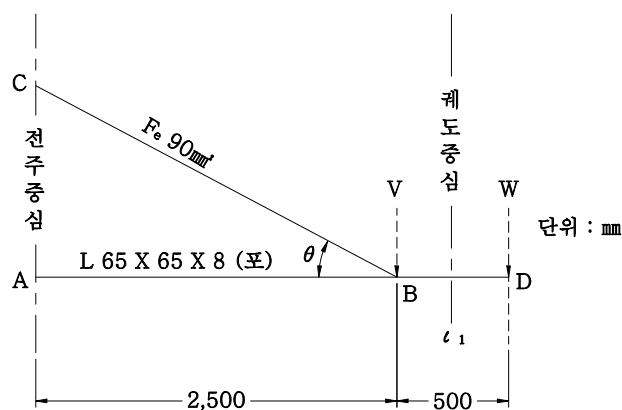


그림 18. 원본 그림파일 불량 -확인-

한편, B점에서 발생하는 휨모멘트 M'은,

$$M' = W\ell_1 + \frac{1}{2}(2w\ell_1^2) \quad w : \text{주재 L65} \times 65 \times 8 \text{의 단위장중량 } 75 \text{ [N/m]}$$

$$= W\ell_1 + w\ell_1^2$$

따라서, D점에 허용되는 집중하중 W는

$$\begin{aligned} W &= \frac{1}{\ell_1}(M' - w\ell_1^2) \\ &= \frac{1}{50}(183,438 - 75 \times 10^{-2} \times 50^2) \\ &= 3,631 \text{ [N]} \end{aligned}$$

B점에 가해지는 수직하중 V는

$$V = W + w_1 + w_2$$

w1 : B점에 가해지는 연결봉의 중량으로 아연도금 철연선의 단위장중량 q를 6.8 [N/m], 설치각도 θ 를 25도라 하면,

$$\begin{aligned} w_1 &= \left(\frac{2.5}{\cos\theta} + 1.0 \right) \times \frac{q}{2} \\ &= \left(\frac{2.5}{0.906} + 1.0 \right) \times \frac{6.8}{2} \\ &= 13 \text{ [N]} \end{aligned}$$

wB : B점에 가해지는 주재의 중량

$$\begin{aligned} w_B &= 2w \left(\frac{2.5}{2} + 0.5 \right) \\ &= 3.5w \\ &= 3.5 \times 75 \\ &= 262 \text{ [N]} \end{aligned}$$

에서, 수직하중 V는

$$\begin{aligned} V &= 3,631 + 13 + 262 \\ &= 3,906 \text{ [N]} \end{aligned}$$

V에 의해 연결봉에 가해지는 인장하중 T1은,

$$\begin{aligned} T1 &= V \operatorname{cosec}\theta \\ &= 3,906 \operatorname{cosec}\theta \end{aligned}$$

$\theta=24^\circ14'$ 에서, $T1=9,515$ [N]이 되기 때문에 다소 여유를 두어 25도로 하고 있다.

또한, 이 각도로 사재를 설치하면 형태가 좋으므로 그대로 수재의 설치 각도에도 적용하고 있다.



1.3 브래킷

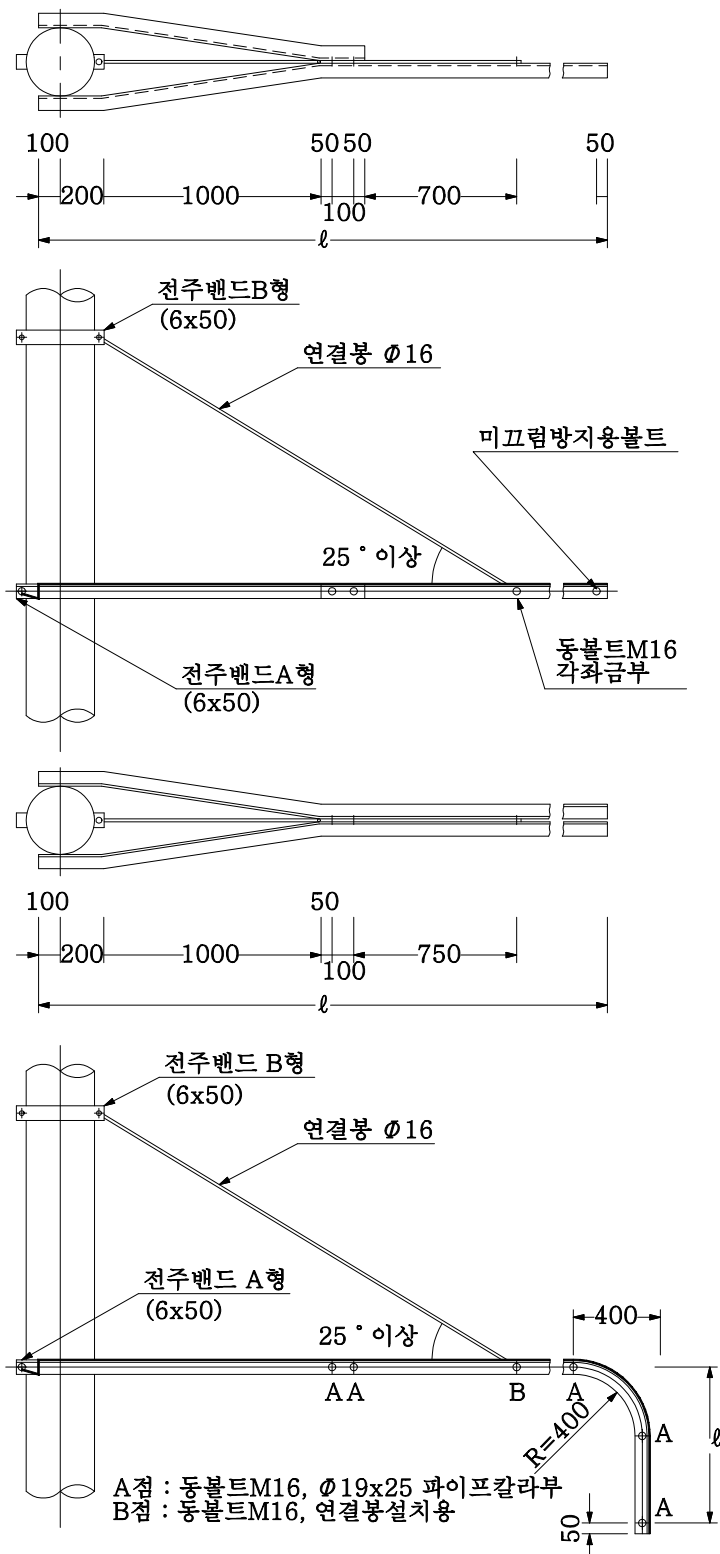


그림 19.



2. 크로스빔 및 고정브래킷의 설계하중

크로스빔 및 고정브래킷의 설계하중은 다음에 의한다.

(1) 수직하중

- ① 조가선, 전차선, 드로퍼 및 애자의 중량
- ② 빔 「하수강 등을 포함」의 자중

(2) 수평하중 「선로직각방향」

- ① 전선이 받는 풍압
- ② 전선의 횡장력. 다만, 곡선당김장치를 전주에 설치하는 경우는 고려치 않는다.

(3) 수평하중 「선로평행방향」

- ① 장력조정장치 등에 의한 전선이동시에 일어나는 인장력
- ② 빔 및 진동방지장치가 받는 풍압

(4) 기타

- ① 작업원에 의한 수직하중을 고려할 필요가 있는 경우는, 1인당 600[N]으로 한다.
- ② 적설에 의한 수직하중
- ③ 진동방지장치의 중량

3. 강도계산

3.1 크로스빔의 강도계산

크로스빔의 강도계산은 다음과 같다.

3.1.1 로드식의 경우

(1) 주재 AB의 압축력

$$F_c = W \cdot \cot \theta \pm P \text{ ----- (48)}$$

<식 (48)> 외에 <식 (49)>으로 계산한다.

$$\frac{F_c}{A_c} = \sigma_c \text{ ----- (49)}$$

$$\sigma_c \leq f_x \text{ ----- (50)}$$

A_c : 주재의 단면적 (볼트구멍을 빼지 않는다) [cm^2]

σ_c : 주재 \overline{AB} 에 발생하는 압축응력도 [N/cm^2]

f_x : 허용좌굴응력도 [N/cm^2]

<식 (50)>을 만족하지 않으면 안 된다.

이 경우, 크로스빔(단)의 주재 \overline{AB} 에는, 수재가 설치되어 있으므로 엄밀히 말하면 복잡한 계산을 필요로 하지만, 수재는 주재의 편심을 안정시키기 위한 보조재로 하

고, 주재 \overline{AB} 는, 편심이 비교적 적은 것으로 생각한다. 그래서 주재의 세장비를 계산할 경우의 주재단면의 회전반경 r 은, 중심축에서 면에 직각인 값을 취한다.

텐션로드 BC의 인장력

$$F_t = W \cdot \operatorname{cosec} \theta \text{ ----- (51)}$$

인장력 F_t 를 <식 (51)> 외에 <식 (52)>와 같이 계산하고 <식 (53)>을 만족하지 않으면 안된다.

$$\frac{F_t}{A_t} = \sigma_t \text{ ----- (52)}$$

$$\sigma_t \leq f_t \text{ ----- (53)}$$

A_t : 텐션 로드와 단면적 [cm^2]

σ_t : 텐션 로드에서 발생하는 인장응력도 [N/cm^2]

f_t : 허용인장응력도 [N/cm^2]

허용인장응력도 f_t 는, 해설 「허용응력도」를 참조하기 바란다.

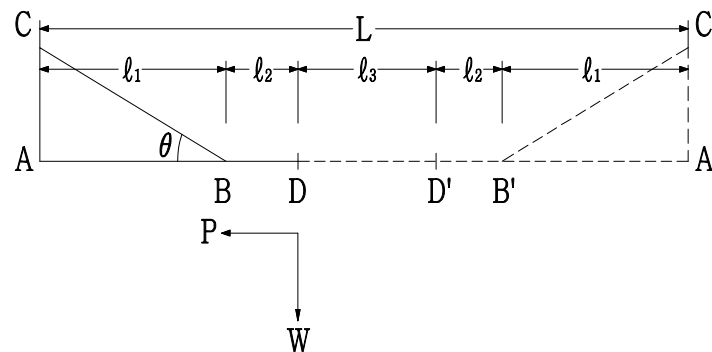


그림 21. 로드식

W : 수직하중($= \sum_{i=1}^5 W_i$) [N]

W_1 : 조가선의 중량 [N]

W_2 : 전차선의 중량 [N]

W_3 : 드로퍼의 중량 [N]

W_4 : 애자의 중량 [N]

W_5 : 빔의 자중 {빔의 단위중량 $\times (\ell_1/2 + \ell_2 + \ell_3/2)$ } [N]

다만, 관설을 고려할 필요가 있을 때는 W_5 에 가산한다.

P : 수평하중($= \sum_{j=1}^5 P_j$) [N]

P_1 : 조가선의 풍압하중 [N]



- P_2 : 전차선의 풍압하중 [N]
 P_3 : 드로퍼의 풍압하중 [N]
 P_4 : 조가선의 횡장력 [N]
 P_5 : 전차선의 횡장력 [N]
 θ : 텐션로드와 주재가 이루는 각도 [$^\circ$]
 L : 빔의 허용길이 $\{=2(\ell_1+\ell_2)+\ell_3\}$ [m]

3.1.2 수재식의 경우

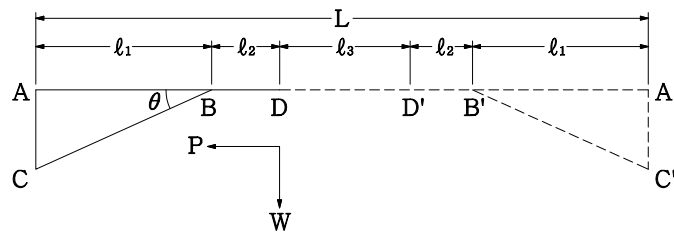


그림 22. 수재식

- (1) 지점간 $\overline{BB'}$ 을 항압재로 가정할 수 없는 경우는 주재 AB 및 수재 BC의 강도는 3.1.1항의 로드식과 같은 방법으로 계산한다.
- (2) 지점간 $\overline{BB'}$ 을 항압재로 하는 경우는 주재 $\overline{AA'}$ 을 빔으로 한 수재가 있는 문형라멘구조로서 계산한다.

3.1.3 지점 「B, B'」와 하중점 「D, D'」와의 관계

주재 $\overline{DD'}$ 의 길이 ℓ_3 는 <식 (54)>을 만족하는 값으로 정한다.

다만, 휨량의 제한치는 <식 (55)>에 의한다.

$$\ell_0 \leq \left(\frac{384E \cdot I \cdot d}{5W} \right)^{\frac{1}{4}} \quad \text{-----} \quad (54)$$

$$d \leq \frac{L}{360} \quad \text{-----} \quad (55)$$

- ℓ_0 : 주재 $\overline{BB'}$ 의 길이 $= (2\ell_2 + \ell_3)$ [cm]
 d : 빔의 휨량 [cm]
 W : 주재 $\overline{BB'}$ 간의 환산분포하중 [N/cm]
 E : 주재 $\overline{BB'}$ 간의 탄성계수 [N/cm²]
 I : 주재 $\overline{BB'}$ 간의 단면2차모멘트 [cm⁴]

3.2 4선용 크로스빔의 강도계산

4선용 크로스빔의 강도계산은 다음에 의한다.

각 부재의 응력은 「3.1 크로스빔의 강도계산」에 준한다. 이 경우 AB간에는 $F_3 + F_4$, AD간에는 $F_5 + F_6$ 가 되는 응력이 생긴다. 또한 W_B 및 W_C 는 다음과 같다.

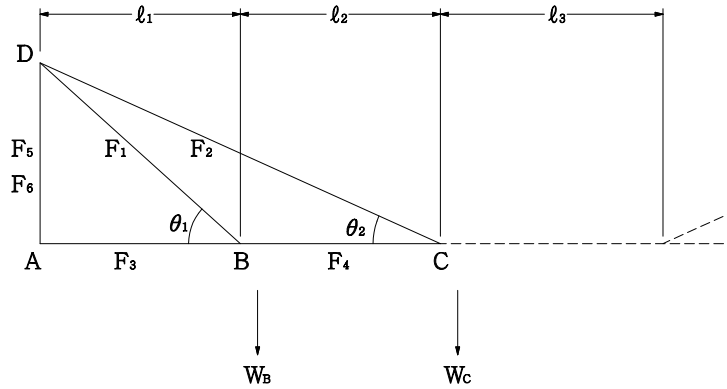


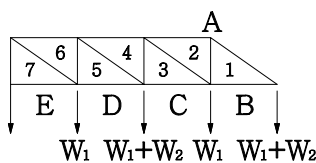
그림 23. 4선용 크로스빔

$$W_B : B\text{점에 걸리는 빔 중량 [N]} = \text{빔의 단위중량} \times \left(\frac{l_1 + l_2}{2}\right)$$

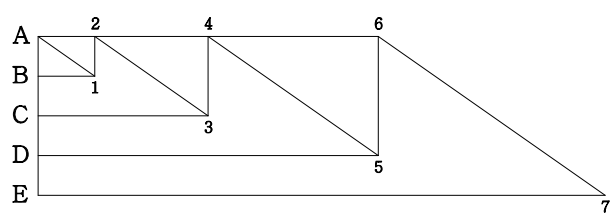
$$W_C : C\text{점에 걸리는 빔 중량 [N]} = \text{빔의 단위중량} \times \left(\frac{l_2 + l_3}{2}\right)$$

3.3 고정브래킷의 강도계산

고정브래킷의 강도계산은 다음과 같다.



(a)



(b)

그림 24. 수직하중에 의한 응력도

$$W_1 : \text{빔의 단위중량} \times \text{결합점간 길이 [N]}$$

$$W_2 : \text{가선기타 빔의 현가된 하중 [N]}$$

- (1) 단브래킷 및 평행브래킷의 강도계산은 「3.1 크로스빔의 강도계산」의 경우에 준한다.
- (2) V형 브래킷의 경우는, 하중의 작용점을 각 결합점에 집중한 것으로 계산하고, 또한 전차선이 받는 수평하중은 하부재만으로 작용하는 것으로 하고, 하부재의 각부재 응력에 각각 가감한다.



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.