

공학석사 학위논문

차높이 제한장치의 설계에 관한 연구

지도교수 이 동 욱



이 논문은 공학석사 학위논문으로 제출함.

2005 년 8 월

부경대학교 산업대학원

토목공학과

권 성 기

이 논문을 권성기의 공학석사
학위논문으로 인준함

2005년 6월 17일

주 심 공학박사 김 명 식



위 원 공학박사 국 승 규



위 원 공학박사 이 동 욱



목 차

그림 목차	iii
표 목차	v
ABSTRACT	vi
1. 서 론	1
2. 차높이 제한장치의 설계시 고려사항	3
2.1 도로교통 안전시설의 분류	3
2.2 차높이 제한장치의 설계시 고려사항	4
2.2.1 형식	4
2.2.2 하중	4
3. 구조형식 및 기본이론	7
3.1 구조형식	7
3.2 보해석의 기본이론	8
3.3 기둥해석의 기본이론	13
3.4 보와 기둥의 연결부	22
3.5 앵커부 설계의 기본이론	23
4. 설계 예	28
4.1 설계순서	28

4.2 설계조건	29
4.3 보의 설계	30
4.4 기둥의 설계	36
4.5 보와 기둥의 연결부 설계	46
4.6 앵커부의 설계	47
 5. 응력해석 및 해석결과의 비교	 55
5.1 응력 해석	55
5.2 해석결과 비교·검토	59
5.2.1 결과의 비교·검토	59
5.2.2 고찰	62
 6. 결 론	 63
 참고문헌	 64
 감사의 글	 66

그림 목차

- 그림 3.1.1 차높이 제한장치의 전경
- 그림 3.1.2 차높이 제한장치의 구조
- 그림 3.2.1 평면도형의 도심
- 그림 3.2.2 보의 자중(사하중)의 재하상태
- 그림 3.2.3 충돌하중의 재하상태
- 그림 3.2.4 풍하중의 재하상태
- 그림 3.3.1 사하중에 따른 연직력 재하상태
- 그림 3.3.2 충돌하중의 재하상태
- 그림 3.3.3 사하중의 재하상태
- 그림 3.3.4 사하중에 의한 휨모멘트도
- 그림 3.3.5 차높이 제한장치에 작용하는 충돌하중 재하상태
- 그림 3.3.6 충돌하중에 의한 휨모멘트도
- 그림 3.4.1 보와 기둥의 접합부 상세
- 그림 3.5.1 앵커부의 구조와 작용응력
- 그림 3.5.2 베이스 플레이트 상세도
- 그림 4.1.1 차높이 제한장치의 설계순서
- 그림 4.2.1 차높이 제한장치의 일반도
- 그림 4.3.1 보의 단면
- 그림 4.3.2 보의 자중(사하중)의 재하상태
- 그림 4.3.3 충돌하중의 재하상태
- 그림 4.3.4 풍하중의 재하상태
- 그림 4.4.1 기둥의 단면
- 그림 4.4.2 사하중에 따른 연직력 재하상태

그림 4.4.3 충돌하중의 재하상태
그림 4.4.4 사하중의 재하상태
그림 4.4.5 사하중에 의한 휨모멘트도
그림 4.4.6 충돌하중의 재하상태
그림 4.4.7 충돌하중에 의한 휨모멘트도
그림 4.5.1 보와 기둥의 연결부 상세
그림 4.6.1 앵커부의 상세
그림 4.6.2 A-A 단면의 상세
그림 4.6.3 B-B 단면의 상세
그림 4.6.4 면내방향의 단면 상세
그림 5.1.1 MIDAS 해석모델 형상
그림 5.1.2 차높이 제한장치의 반력
그림 5.1.3 사하중의 모멘트
그림 5.1.4 충돌하중의 모멘트
그림 5.1.5 전체하중의 모멘트

표 목차

- 표 2.2.1 지표조도 구분에 의한 z_G , z_b , a 의 값
- 표 2.2.2 지역별 기본풍속
- 표 5.2.1 두지점의 반력
- 표 5.2.2 사하중의 모멘트
- 표 5.2.3 충돌하중의 모멘트
- 표 5.2.4 전체하중의 모멘트
- 표 5.2.5 보 중앙에서의 최대 처짐값

Design for Installation of Limiting Vehicle Height

Seong-Gee Kwon

*Department of Civil Engineering, Graduate School of
Industry, Pukyong National University*

ABSTRACT

With the drastic expansion of economic infrastructures and a sudden growth in population, the larger, heavier became a trend of recent highway transportation methods. The types of accidents occurring at the highways are caused by reckless driving, inexperienced driving, poor management of the road ways during and after constructions, and lack of protective barriers. These cause can load to loss of human lives and destruction of properties affect on major social problems nowadays.

It is necessary to enforce the specifications on expansion of new projects as an amount of traffic increases.

This study show that specification of the Installation of Limiting Vehicle Height and consideration. We arrange to principal theory Once input the member section, we have obtained that stress of member and anchor. Also the result of principal theory compare with the FEM-analysis which had conducted.

By comparing the result, we found that the principal theory of Installation of Limiting Vehicle Height is reliably used to design as well as the additional traffic safty facilities.

1. 서 론

국가의 도로는 산업물동량 수송은 물론 사회간접자본 시설로서의 기능을 담당하고 있다. 1980년대 국가의 고도 성장기에 많은 도로가 건설되었으며, 최근에는 대도시내의 고가교 및 해상을 통과하는 해상교량 및 장대교량의 건설이 증가하고 있다. 그러나 매년 교통 사고로 인한 사망자 중 10 ~ 15%가 도로교통 안전시설의 미비로 인해 귀중한 생명을 잃고 있는 상황으로 도로안전 시설의 합리적인 설치와 운영이 절실히 요구되고 있다^{1)~3)}. 또한, 과적 및 도로교통법상의 차높이 규정을 준수하지 않는 통행차량으로 인해 교량의 공용수명에 많은 지장을 초래하고 있는 실정이다³⁾.

합리적인 도로교통망의 안전시설을 설치하기 위해서는 적합한 지침이 정립되고, 설계 및 설치 계획시 이를 적극 활용하여 합리적인 시설 설치가 이루어져야 한다. 그러나 도로안전시설은 워낙 다양하고 정비해야 할 부분이 많으며, 현실적으로 제한된 예산 등의 여건내에서만 안전시설이 설치되고 있다^{2)~5)}.

자동차를 안전하고 쾌적하게 주행시키기 위해 도로에는 신축장치, 표지, 방음벽 등이 노면 상에 설치되어 있고, 노면 아래에는 낙교방지장치, 검사로, 배수장치 등이 있다. 이러한 시설물은 주형, 상판, 교각, 교대 등의 본체 구조물에 대한 일종의 부속시설이다^{2), 4), 5)}. 이들 부속 시설은 본체 구조물을 설계하는 경우와 비교하면 설계시점도 다르고 경우에 따라서는 가법게 보아 넘기는 경향이 있다^{2)~5)}. 이러한 부속시설은 자질구레한 부재들로 조립되어 있기 때문에 본체 구조물과 동시에 고려하여 두지 않으면 현장작업을 다시 실시하여야 하는 경우도 발생하므로 설계 시점에서 충분히 배려하여야 할 시설이다^{3)~5), 6), 9)~11)}.

한편 도로교 시방서의 공통 편에서는 교량용 방호울타리, 배수 등 신축

장치, 점검시설 등의 부속시설 및 첨가물에 대한 기본방침만 수록되어 있으며 자세한 기준, 상세부의 설계에 대한 지침, 요령 등에 대해서는 체계적으로 수록되어 있지 않다^{1), 6)~8), 9)~13)}.

도로교에서 부속시설의 일종인 차높이제한장치는 도로법규에서 정한 최고한도의 높이를 초과하는 차량의 진입방지와 사고의 방지, 이상기상과 정체 등이 발생하는 도로에 필요하다고 인정되는 경우에 차량의 진입을 방지하는 것을 목적으로 설치되며, 진입로가 평면인 도로에 설치된다^{3)~5), 6), 13)}.

본 논문에서는 차높이 제한장치의 설계 규정과 설계시 고려해야 할 사항을 기술하고, 설계단면만을 입력하면 부재 및 기초부의 응력을 산정하여 설계까지의 결과를 산출할 수 있는 기본이론을 정리하였다^{14)~19)}. 또한 실예로 기본이론에 의한 계산을 실시하고 유한요소법에 의한 응력해석을 실시하여 하여 계산결과를 비교·검토하였다^{20)~22)}.

2. 차높이 제한장치의 설계시 고려사항

2.1 도로교통 안전시설의 분류

도로교통 안전시설은 도로안전시설과 교통관리(운영)시설로 크게 2가지로 분류되며, 그 내용을 정리해 보면 다음과 같다^{3)~5), 13)}.

1) 도로안전시설

도로안전시설은 도로의 부대시설개념의 시설구성요소로서 안전성을 기하기 위한 구조물이다. 도로안전시설에는 차높이 제한장치, 시선유도장치, 방호울타리, 충격흡수시설, 과속방지장치, 미끄럼방지시설, 도로반사경장치, 조명시설, 중앙분리대, 현광방지시설, 교량난간, 장애물 표적표시, 단주(bollard), 횡단보도육교 등이 있다^{2)~6)}.

2) 교통관리(운영)시설

교통관리(운영)시설은 운전자 및 보행자가 도로를 이용하는데 있어서 직접적으로 원활하고 안전한 이용을 도모할 수 있도록 하는 시설이다. 교통관리(운영)시설에는 안전표지, 도로표지, 노면표시, 신호기, 도로정보 안내표지, 긴급연락시설(비상전화), 교통감시시설 등이 있다.

3) 기타 도로교통 관련시설

기타 도로교통관련 시설로는 비상주차대, 버스정류시설, 주차장, 휴게시설, 긴급제동시설, 부가차선, 길어깨, 낙석방지시설, 방설시설(제설시설), 방파시설, 신체장애자를 위한 시설, 도로연거리표(도로원표 및 이정표), 도로수선용 재료적치장, 가로수, 방음시설, 공동구 등이 있다.

2.2 차높이 제한장치의 설계시 고려사항

2.2.1 형식

차높이 제한장치는 원칙적으로 진입로가 평면도로와 접하는 곳에 설치되며, 선형이 양호한 곳이나 터널, 기타 차량의 진·출입에 주의가 필요한 곳에 설치된다. 차높이 제한장치의 형식에 대해 국내의 지방서 및 설계기준에 수록된 사항은 전무한 실정이다^{7~9)}. 차높이 제한장치와 형식이 비슷한 도로교통정보 안내시설을 예로 들면, 문형식(Over Head), 내민식(Over Hang)등이 있다. 현재 대도시내의 고가교나 도로상에 건설되고 있는 형식은 주로 문형식이 대부분을 차지하고 있다. 한국도로공사에서는 차높이를 4.2m로 제한하도록 규정하고 있으며, 도로 지장물의 구성에 따라 제한판 등을 설치하여 높이를 조정 할 수 있는 것도 있다^{2)~5)}.

2.2.2 하중

사용되는 하중은 사하중, 충돌하중 및 풍하중이다. 각 하중에 대해 기술하면 다음과 같다^{6)~9), 12)}.

1) 사하중

사하중은 설계시 사용되는 재료에 따라 결정되는 하중이며, 사용되는 재료는 대부분 강재가 주종을 이루고 있다.

2) 충돌하중

도로교 설계기준 “2.1.19 충돌하중”의 항목에서 충돌하중의 작용높이는 차량의 높이를 고려하여 노면 위 1.8m에서 수평으로 작용하도록 규정하고 있다. 그러나 차높이 제한장치에 대해서는 국내의 지방기준에서는 수록되어 있지 않으며, 다만 보에 차량이 충돌하는 경우가 있으므로 국외의 지방기준을 참고하여 적용한다.

3) 풍하중

국내 도로교 설계기준에 의하면 구조물의 정적 설계를 위한 단위면적 당 풍하중 $p(\text{kgf/cm}^2)$ 는 설계기준 풍속 $V_d(\text{m/s})$, 공기밀도 $\rho(=0.125 \text{ kgf} \cdot \text{s}^2/\text{m}^4)$, 항력계수 C_d 및 거스트 응답계수 G 를 사용하여 다음 식 (2.2.1)에 의하여 구한다.

$$p = \frac{1}{2} \rho V_d^2 C_d G \quad \dots \dots \dots (2.1)$$

여기서, G (거스트 응답계수) : 순간풍속 변동의 영향을 보정하기 위한 계수(종래의 수평길이 보정계수를 제곱)

태풍이나 돌풍에 취약한 지역(해안 인접지역)에 위치한 구조물은 풍속 기록과 구조물 주변의 지형, 환경, 그리고 교량 상부구조의 지상높이 등을 고려하여 식(2.1)에서 구한 풍하중으로 설계한다. 그러나 대상지역의 풍속자료가 적절하지 못한 경우에는 식(2.2) 및 식(2.3)에 따라 설계기준 풍속을 추정할 수 있다.

$$V_d = 1.925 \left[\frac{z}{z_G} \right]^a V_{10}, \quad z \geq z_b \quad \dots \dots \dots (2.2)$$

$$V_d = 1.925 \left[\frac{z_b}{z_G} \right]^a V_{10}, \quad z < z_b \quad \dots \dots \dots (2.3)$$

여기서, z_G , z_b , a 등은 지표면의 거친 정도, 즉 조도의 조건에 따라 달라지는 것으로서 표 2.1으로 부터 결정한다. 이때 지표조도 구분은 교량 상부구조 높이의 약 100배 범위(최소 500m)에서의 평균적인 지표상황으로부터 결정한다.

표 2.2.1 지표조도 구분에 의한 z_G , z_b , α 의 값

조도구분	지표상황	α	$z_G(m)$	$z_b(m)$	조도
I	· 해상, 해안	0.12	500	5	↑ ↓ 작다
II	· 개활지, 농지, 전원 · 수목과 지층건축물이 산재	0.16	600	10	
III	· 수목과 지층건축물이 밀집 · 중·고층 건물이 산재 · 완만한 구릉지	0.22	700	15	
IV	· 중·고층 건물이 산재 · 기복이 심한 구릉지	0.29	700	30	

한편 기본풍속이란 재현기간 100년에 대한 최대풍속의 비초과확률이 60%에 해당하는 개활지에서의 지상 10m의 10분간 평균풍속을 말하며 표 2.2에 지역별 기본풍속을 나타낸다. 이 지역별 기본풍속은 각 지역별 측후소의 장기 풍속기록(태풍 또는 계절풍)과 지역적 위치를 동시에 고려하여 재현기간 100년에 대한 값이다^{7), 9)}.

표 2.2.2 지역별 기본풍속

조도구분	지 역	지 명	기본풍속(m/s)
I	내륙	서울, 대구, 대전, 춘천, 청주, 수원, 추풍령, 전주, 이리, 진주, 광주	30
II	서해안	서산, 인천	35
III	서남해안 남해안 동남해안	군산 여수, 충무, 부산 포항, 울산	40
IV	동해안 제주지역 특수지역	속초, 강릉 제주, 서귀포 목포	45
V		울릉도	50

3. 구조형식 및 기본이론

3.1 구조형식

차높이 제한장치의 구조는 그림 3.1.1 및 그림 3.1.2와 같으며 그림 3.1.1에서 알 수 있는 바와 같이 기본 구조는 보, 기둥 및 베이스플레이트로 구성되어 있다. 따라서 보의 해석과 기둥의 해석에 관한 기본 이론을 정리하여 해석을 실시하여야 한다.

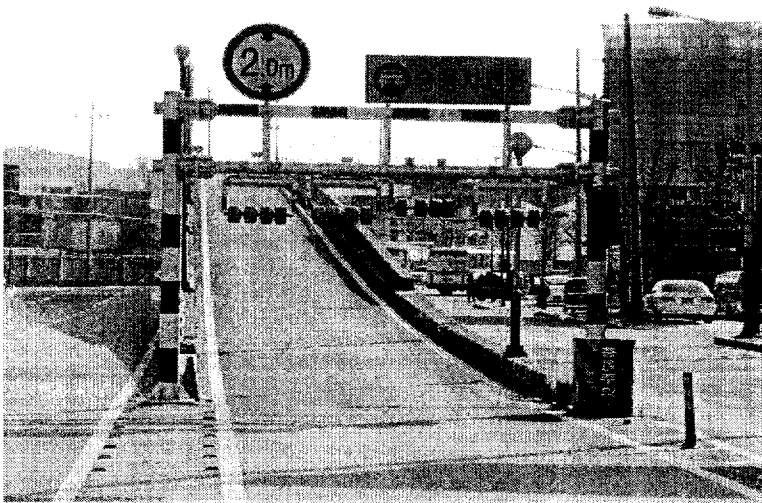


사진 3.1.1 차높이 제한장치의 전경

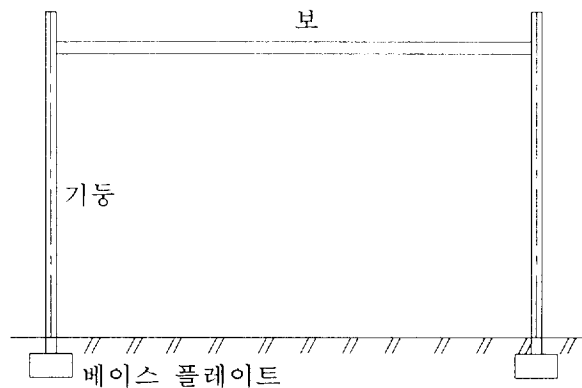


그림 3.1.2 차높이 제한장치의 구조

식(3.2.4)에서 상·하연의 단면계수(Z_u 및 Z_l)를 구하는 식은 식(3.2.5)과 같다.

$$\left. \begin{aligned} Z_u &= \sum A \cdot y^2 / y_u \\ Z_l &= \sum A \cdot y^2 / y_l \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (3.2.5)$$

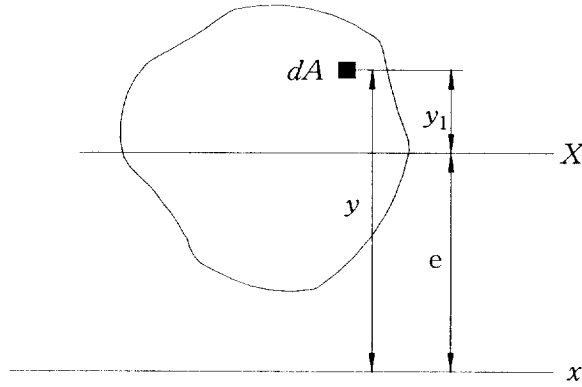


그림 3.2.1 평면도형의 도심

2) 보의 단면력 계산

보의 사용재료에 대한 단면특성이 결정되면, 단면력을 계산하게 된다. 그림 3.2.2는 보의 자중(사하중)의 재하상태를, 그림 3.2.3은 충돌하중의 재하상태를, 그림 3.2.4는 풍하중의 재하상태를 각각 나타낸다.

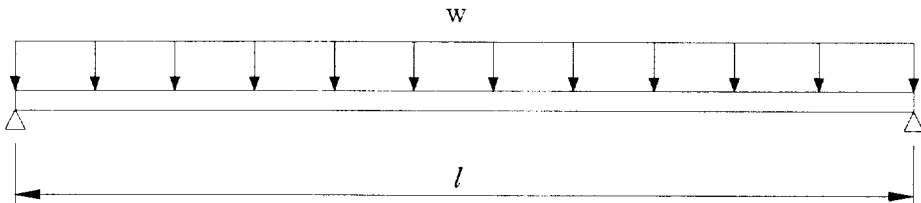


그림 3.2.2 보의 자중(사하중)의 재하상태

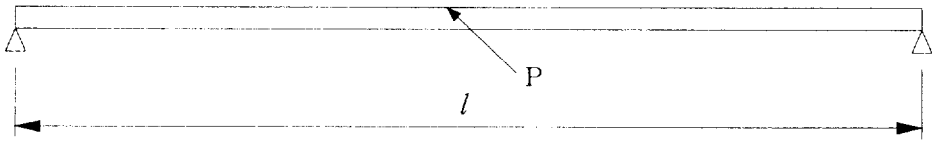


그림 3.2.3 충돌하중의 재하상태

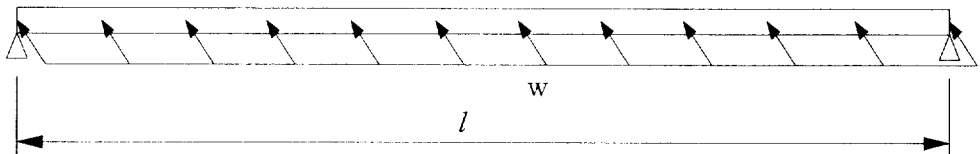


그림 3.2.4 풍하중의 재하상태

사하중에 대한 모멘트(M_d) 및 전단력(S_d)을 구하는 식은 식(3.2.6)과 같다.

$$\left. \begin{aligned} M_d &= w \cdot l^2 / 8 \\ S_d &= w \cdot l / 2 \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (3.2.6)$$

충돌하중에 대한 모멘트(M_i) 및 전단력(S_i)은 식(3.2.7)과 같다.

$$\left. \begin{aligned} M_i &= P \cdot l / 4 \\ S_i &= P \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (3.2.7)$$

풍하중에 대한 단면력은 설계풍속에서 구한 하중이 보에 등분포하중으로 작용하는 것으로 간주하고 설계를 실시한다. 풍하중을 구하는 식은 식(3.2.8)와 같으며, 식(3.2.9)에 풍하중에 대한 모멘트(M_w)와 전단력(S_w)을 구하는 식을 각각 나타내었다.

$$w = \frac{\rho \cdot V^2 \cdot C_D \cdot A}{2} \quad \dots \dots \dots (3.2.8)$$

여기서, ρ : 공기의 밀도= 0.125(kgf · s²/m⁴)

V : 설계풍속

C_D : 항력계수

A : 단위길이에 대해 받는 바람면적

풍하중(w)에 대한 보의 모멘트(M_w) 및 전단력(S_w)은 다음과 같다.

$$\left. \begin{array}{l} M_w = w \cdot l^2 / 8 \\ S_w = w \cdot l / 2 \end{array} \right\} \dots \dots \dots (3.2.9)$$

사하중에 의한 보의 응력을 계산하는 식은 식(3.2.10)과 같다.

$$\left. \begin{array}{l} \sigma_{ud}(\text{상연응력}) = M_d / Z_u \\ \sigma_{ld}(\text{하연응력}) = M_d / Z_l \\ \tau_d(\text{전단응력}) = S_d / A \end{array} \right\} \dots \dots \dots (3.2.10)$$

충돌하중에 대한 하연응력(σ_{li}) 및 전단응력(τ_i)은 식(3.2.11)과 같다.

$$\left. \begin{array}{l} \sigma_{li} = M_i / Z_l \\ \tau_i = S_i / A \end{array} \right\} \dots \dots \dots (3.2.11)$$

만약 사용강재를 SM400을 사용할 경우 강재의 허용응력은 1,400(kgf/cm²)이며, 보의 휨에 의한 응력은 식(3.2.12)와 같다. 여기서, 도로교 설계기준 “3.3 허용응력(2) 부하중 및 부하중에 해당하는 특수하중을 고려하는 경우 허용응력은 하중증가계수를 할증하도록” 규정되어 SM400의 허용응력에 1.7배 한 값을 사용한다^{7), 9), 26), 27)}.

$$\sigma = \text{사하중에 의한 휨응력}(\sigma_{ld}) + \text{충돌하중에 의한 휨응력}(\sigma_{li}) \cdot (3.2.12)$$

보에는 교통안내 표지판이 부착되므로 표지판의 부착시 볼트 구멍(5%)을 공제하면 유효단면적은 95%이므로 유효단면적에 의한 응력을 구하

는 식은 식(3.2.13)과 같다.

$$\sigma = \text{합성응력} / 0.95 \quad \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot (3.2.13)$$

또한 사하중에 의한 처짐을 구하면 식(3.2.14)와 같으며, 도로교 설계기준에서 규정한 기타형식 처짐의 허용값은 $L/600$ 이다^{7), 9)}.

$$\delta = \frac{5 \cdot w \cdot l^4}{384 \cdot E \cdot I} < L/600 \quad \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot (3.2.14)$$

여기서, l : 보의 길이

3.3 기동해석의 기본이론

1) 부재 단면특성의 계산

기둥의 단면은 도심, 단면 2차 모멘트, 단면계수, 회전반경 등을 계산하여 보의 단면력 및 응력의 안정성을 검토하게 된다. 도심, 단면계수 및 회전반경을 구하는 식은 “3.2.1의 보의 계산 1) 부재 단면계수의 산정”을 참고하고 단면의 회전반경(γ)을 산정하는 식을 식(3.3.1)에 나타낸다^{14), 15), 19)}.

$$\text{회전반경}(\gamma) = \sqrt{I/A} \quad (3.3.1)$$

여기서, I : 부재의 단면 2차모멘트

A : 부재의 단면적

2) 기둥의 단면력 계산

(1) 면외하중에 대한 단면력

기둥의 사하중에 대한 단면력은 집중하중(보의 사하중)과 기둥에 부착된 부속물 중량의 합력으로 식(3.3.2)와 같으며, 사하중에 대한 연직력 재하상태는 그림 3.3.1과 같다^{26), 27)}.

[illegible]

여기서, P : 보의 사하중(tf)

 w : 기둥에 부착된 부속물의 중량(가정)
$$h : \text{기둥 높이 (m)}$$

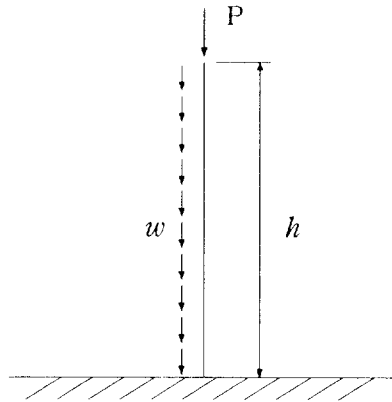


그림 3.3.1 사하중에 따른 연직력 재하상태

또한, 충돌하중에 의한 단면력(모멘트 및 전단력)에 의한 식은 식 (3.3.3)와 같으며, 그림 3.3.2는 충돌하중의 재하상태를 나타낸다. 기둥에서 풍하중에 대한 영향은 극히 미소하여 제외한다.

$$\left. \begin{array}{l} M = P \times h \\ S = P \end{array} \right\} \dots \dots \dots (3.3.3)$$

여기서, P : 충돌하중 가정(tf)

h : 기둥높이(m)

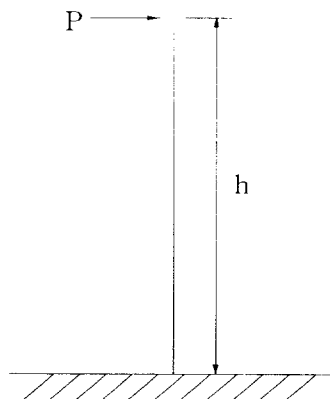


그림 3.3.2 충돌하중의 재하상태

① 사하중에 대한 단면력

[illegible] I_2 : 보의 단면 2차 모멘트
$$C_{BC} = \frac{w_1 \times l^2}{12} \text{ (tf} \cdot \text{m)} \quad (3.3.5)$$
$$\left[\begin{array}{l} M_{AB} = \phi_B \\ M_{BA} = 2\phi_B \\ M_{BC} = k \cdot \phi_B - C_{BC} \end{array} \right] \dots\dots\dots (3.3.6)$$
$$\Sigma M_B = M_{BA} + M_{BC} = 0 \Rightarrow (2+k) \cdot \phi_B - C_{BC} = 0 \quad \cdot \quad (3.3.7)$$

[illegible]

식(3.3.8)로 구한 계산한 ϕ_B 를 식(3.3.6)에 대입하여 정리하면,

$$\left. \begin{aligned} M_{AB} &= -M_{DC} = \phi_B \\ M_{BA} &= -M_{CD} = 2 \times \phi_B \\ M_{BC} &= -M_{CB} = k \times \phi_B - C_{BC} \end{aligned} \right] \dots \dots \dots (3.3.6)'$$

또한, 기둥의 두 지점에서 발생하는 반력을 계산하는 식은 식(3.3.9)과 같다.

$$\left. \begin{aligned} V_A &= V_D = \frac{(w_1 \times l)}{2} + w \times h \\ H_A &= \frac{(M_{AB} + M_{BA})}{h} \end{aligned} \right] \dots \dots \dots (3.3.9)$$

여기서, w_1 : 보의 단위길이 당 중량(tf/m)

w : 기둥에 부착된 부속물의 중량(가정)

h : 기둥 높이(m)

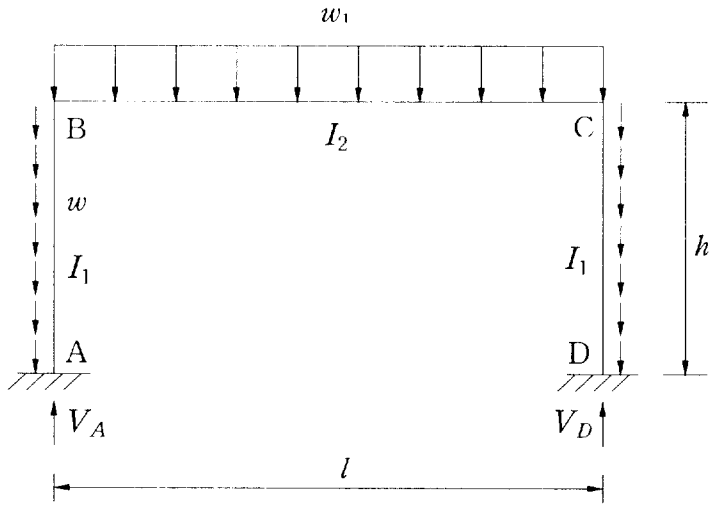


그림 3.3.3 사하중의 재하상태

휨모멘트 및 반력을 바탕으로 사하중에 의한 휨모멘트도를 나타내면 그림 3.3.4와 같다.

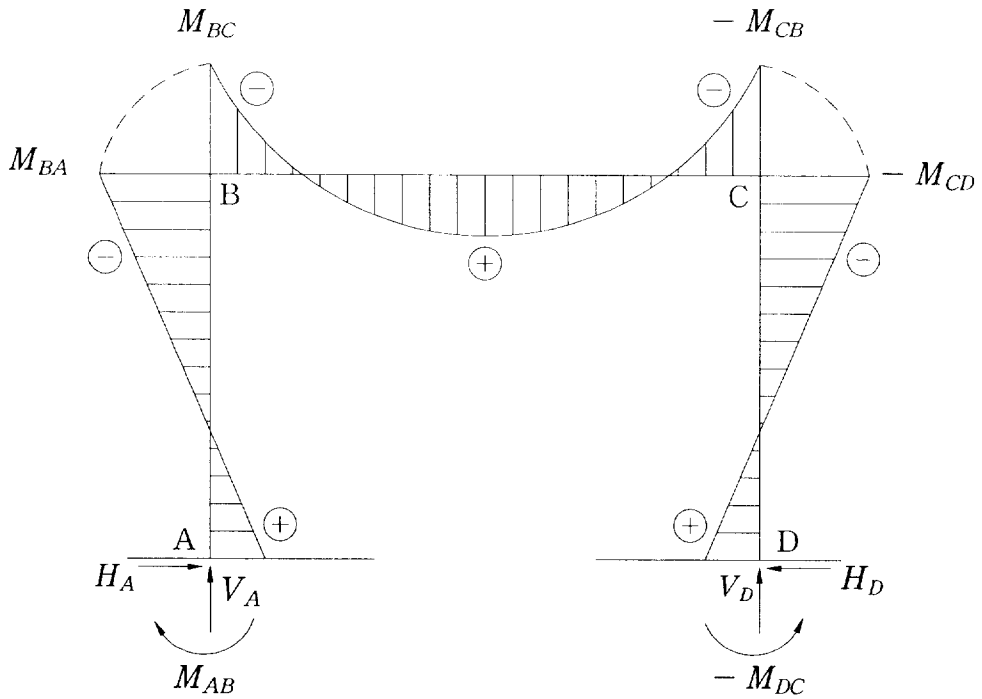


그림 3.3.4 사하중에 의한 휨모멘트도

② 충돌하중에 대한 단면력

그림 3.3.5 a) 및 b)에 차높이 제한장치의 정면도 및 평면도를 각각 나타낸다. 충돌하중은 그림 b)와 같이 45°방향으로 하중이 작용한다고 가정한다. 따라서 기둥 및 보에 작용하는 충돌하중은 면내방향에 대해 45°방향으로 작용한다. 단면력을 계산하는 방법은 사하중에 대한 단면력을 계산하는 방법과 동일하다. 단면력은 라멘공식에 대한 절점 모멘트로 계산한다. 충돌하중에 대한 휨모멘트를 계산하기 위한 조건은 식(3.3.10)과 같다^{10)~12), 28)}.

$$\left. \begin{aligned} M_{AB} &= \phi_B + \chi \\ M_{BA} &= 2\phi_B + \chi \\ M_{BC} &= 3k \cdot \phi_B \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (3.3.10)$$

여기서, χ : 층간 상대변위

식(3.3.10)을 구하기 위하여 절점 방정식 식(3.3.11) 및 층방정식 식(3.3.12)은 다음과 같다.

$$\left. \begin{aligned} \sum M_B &= M_{BA} + M_{BC} = 0 \\ (2 + 3k) \cdot \phi_B + \chi &= 0 \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (3.3.11)$$

$$\left. \begin{aligned} 2(M_{AB} + M_{BA}) + H \cdot h &= 0 \\ 3\phi_B + 2\chi + H \cdot h/2 &= 0 \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (3.3.12)$$

여기서, H : 그림 3.3.5에서 B점에 작용하는 수평력

식 (3.3.11) 및 (3.3.12)을 연립으로 풀면 식(3.3.13)같이 된다.

$$\left. \begin{aligned} \phi_B &= \frac{H}{2} \cdot \frac{h}{6k+1} \\ \chi &= -\frac{H \cdot h}{2} \cdot \frac{3k+2}{6k+1} \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (3.3.13)$$

식(3.3.13)으로부터 구한 ϕ_B 및 상대변위(χ)로부터 모멘트를 구하면,

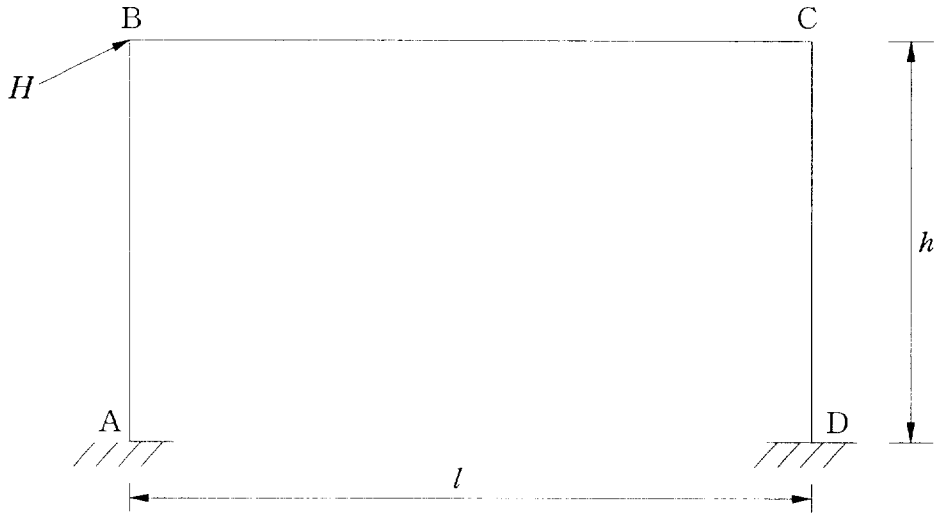
$$M_{AB} = -M_{DC} = \phi_B - \chi$$

$$M_{BA} = -M_{CD} = 2 \times \phi_B - \chi$$

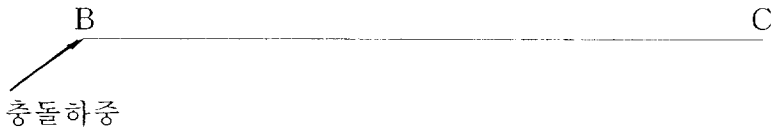
$$M_{BC} = -M_{CB} = 3 \times k \times \phi_B$$

$$H_A = H_D = H/2$$

$$V_D = -V_A = (M_{BC} - M_{CD})/l$$



(a) 정면도



(b) 평면도

그림 3.3.5 차높이 제한장치에 작용하는 충돌하중 재하상태

충돌하중에 의한 휨모멘트도는 그림 3.3.6과 같다.

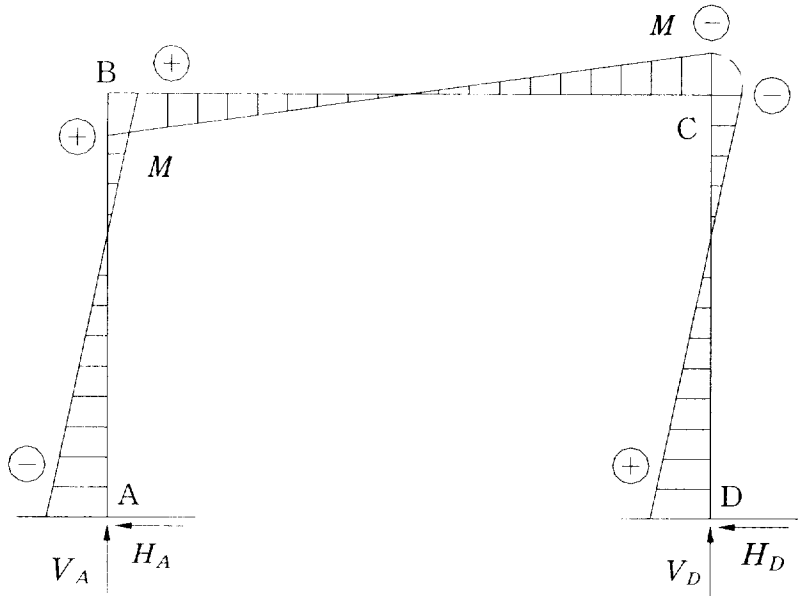


그림 3.3.6 충돌하중에 의한 휨모멘트도

③ 사하중 + 충돌하중에 대한 검토

면내하중에 대해서도 면외하중과 같이 (사하중 + 충돌하중)에 대해서 검토한다. 먼저 기둥의 받침부에 작용하는 단면력은 대칭구조이므로 A점에 대해서만 검토를 실시한다.

i) A점에서의 단면력

$$\begin{aligned}
 \sum M_A &= \text{사하중 휨모멘트 } (M_{AB}) + \text{충돌하중 휨모멘트 } (M_{AB}) \\
 \sum H_A &= \text{사하중 수평 반력 } (H_A) + \text{충돌하중 수평 반력 } (H_A) \\
 \sum V_A &= \text{사하중 수직 반력 } (V_A) + \text{충돌하중 수직 반력 } (V_A) \\
 &\dots\dots\dots (3.3.14)
 \end{aligned}$$

④ 응력검토

기둥의 단면계수 및 단면력을 통하여 응력 검토를 실시한다. 도로 교 설계기준에서 1단 고정, 타단 힌지일 경우 유효길이는 $2l$ 이며, 기둥의 세장비(l/γ)에 따라 허용축방향 압축응력을 구하는 식은 달라지지만, 기계산에서 세장비가 93보다 크므로 허용축방향 압축응력은 다음 식(3.3.15)과 같다^{7), 9)}.

$$\sigma_{ca} = \frac{12,000,000}{6,700 + (l/\gamma)^2} \quad \dots \dots \dots (3.3.15)$$

여기서, $r = \sqrt{I/A}$

면외하중 및 면내하중에 대한 허용축방향 압축응력은 각각 다음식 (3.3.16) 및 (3.3.17)로 구해진다.

i) 면외하중

$$\left. \begin{aligned} \sigma_c(\text{압축응력}) &= N/A_y \\ \sigma_b(\text{인장응력}) &= M_i/Z_y \\ \text{합성응력비: } \frac{\sigma_c}{\sigma_{ca}} + \frac{\sigma_b}{\sigma_{ba}} &< 1 \\ \tau(\text{전단응력}) &= S_i/A \end{aligned} \right] \dots \dots \dots (3.3.16)$$

ii) 면내하중

$$\left. \begin{aligned} \sigma_c(\text{압축응력}) &= V_D/A_x \\ \sigma_b(\text{인장응력}) &= M_D/Z_z \\ \text{합성응력비: } \frac{\sigma_c}{\sigma_{ca}} + \frac{\sigma_b}{\sigma_{ba}} &< 1.0 \\ \tau(\text{전단응력}) &= H_D/A \end{aligned} \right] \dots \dots \dots (3.3.17)$$

3.4 보와 기둥의 연결부

보와 기둥의 연결부는 마찰접합용 고장력 볼트 M22로 체결하며 연결부는 식(3.4.1)과 같다^{7), 9), 27), 28)~31)}.

$$\rho = S/n \leq \rho_a \quad \quad (3.4.1)$$

여기서, S : 작용하중 (식3.3.3의 충돌하중)

n : 사용볼트 개수

ρ_a : M22 고장력볼트 허용력(1면 마찰 4800kg)

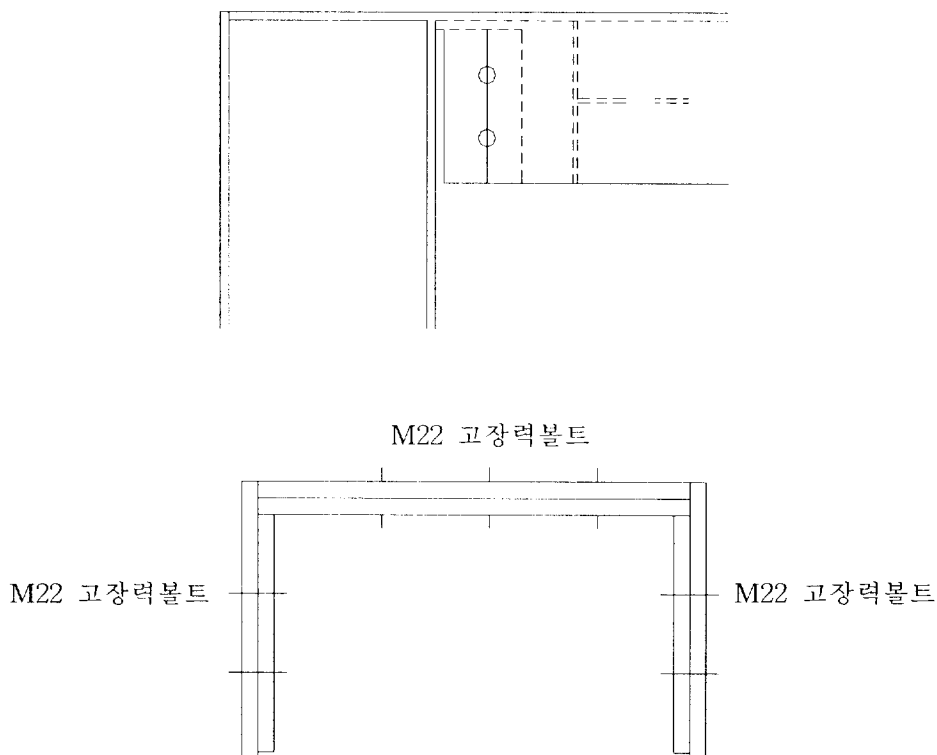


그림 3.4.1 보와 기둥의 접합부 상세

3.5 앵커부 설계의 기본이론

베이스 플레이트는 좌우측 기둥이 사하중 및 충돌하중을 지탱하는 부분으로서 기둥에 편심하중이 작용하는 경우 앵커부에 대한 기본 이론은 다음과 같다^{15), 25), 27)}.

(1) 면외하중에 대한 검토

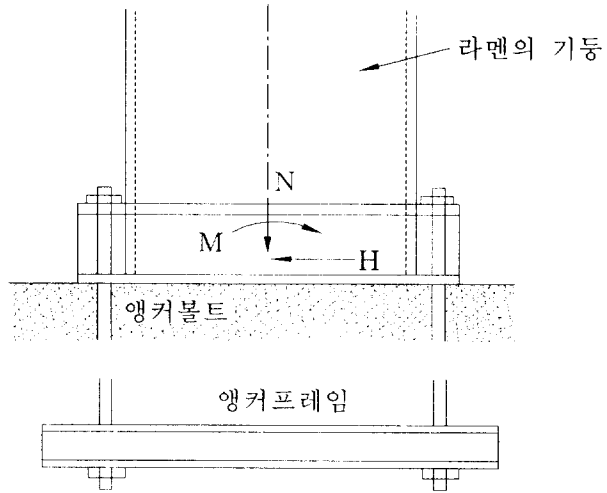
기둥 하부의 앵커부에는 그림 3.5.1(a)과 같이 압축력 (N)과 휨모멘트 (M)이외에 수평력 (H)이 작용한다. 휨모멘트(M)를 압축력(N)으로 나누어 편심거리(e)에 축방향 압축력(N)이 작용하는 계(系)로 치환하며 식 (3.5.1)과 같다.

$$\text{편심거리}(e) = \frac{M}{N} \quad \dots \dots \dots (3.5.1)$$

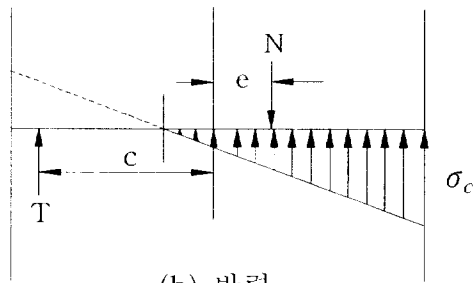
여기서, N : 기둥에 작용하는 연직력

M : 기둥에 작용하는 휨모멘트

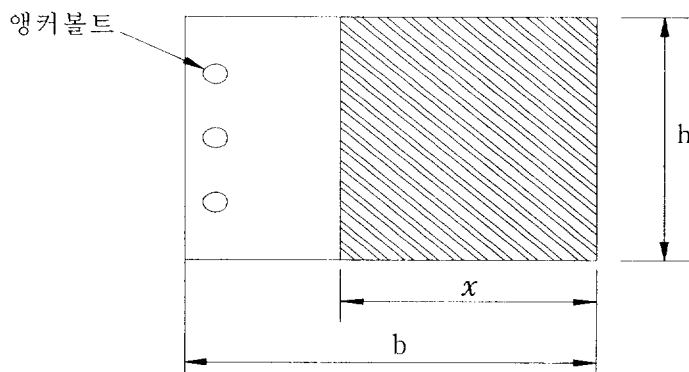
여기서, 축방향 압축력 N의 작용위치는 단면 핵(core)의 내에 있어야 하므로 b를 베이스 플레이트의 폭으로 하면, $e \geq b/6$ 이 되어야 한다. 이와 같은 상태에 대한 베이스 플레이트의 반력도를 그림 3.5.1(b)에 나타낸다. 즉 그림의 표시와 같이 인장력에 대해서는 콘크리트가 완전히 저항하지 않는 것으로 하면, 그림 3.5.1(c)의 평면도에서 사선으로 표시한 폭 x 부분의 콘크리트만이 압축력 N에 저항하며, 인장력 T는 모두 앵커볼트가 부담하는 일종의 단철근 콘크리트 보로 치환할 수 있다. 우선 베이스 플레이트의 중립축 위치(x)는 다음의 식(3.5.2)와 같이 된다^{14), 15)}.



(a) 앵커부의 구조와 작용단면력



(b) 반력



(c) 압축을 받는 베이스 플레이트

그림 3.5.1 앵커부의 구조와 작용응력

$$x^3 - 3\left(\frac{h}{2} - e\right)x^2 + \frac{6 \times n \times A_s}{b}(e + c)x - \frac{6 \times n \times A_s}{b}\left(c + \frac{h}{2}\right)(e + c) = 0$$

(3.5.2)

여기서, n : 강재와 콘크리트의 탄성계수 비($E_s / E_c = 15$)

A_s : 볼트개수 $\times$ 볼트 단면적(cm^2)

b : 베이스 플레이트 폭(cm)

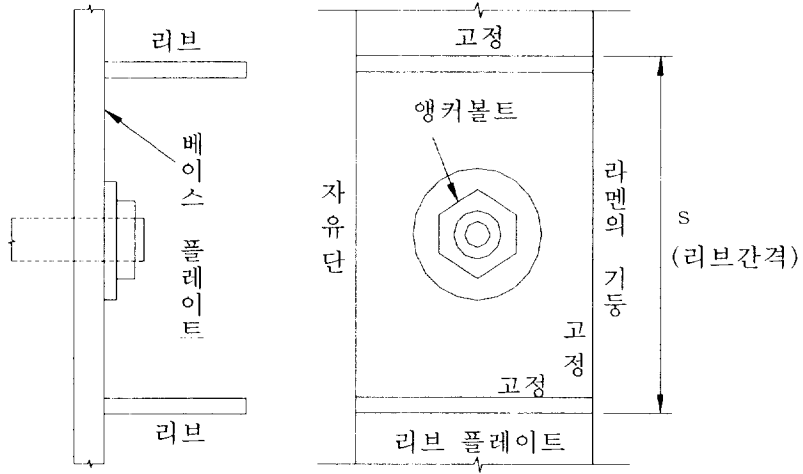
h : 베이스 플레이트 높이(cm)

c : 앵커볼트간 거리 / 2 (cm)

식(3.5.2)로 부터 중립축 거리 x 가 구해지면 콘크리트의 최대 압축응력 (σ_c), 앵커볼트에 작용하는 수직응력 (σ_s) 및 전단응력 (τ)는 식(3.5.3)과 같다. 단, 콘크리트 설계기준 강도(σ_{ck}), 앵커볼트의 허용축방향 인장강도 (σ_{sa}), 전단강도(σ_{ta}) 와 콘크리트 및 강재의 허용응력 증가계수는 시방서에 주어짐^{7), 9), 28)}.

$$\left. \begin{aligned} \sigma_c &= \frac{N}{\frac{h \times x}{2} - \frac{n \times A_s}{x} \left(c + \frac{b}{2} - x \right)} \\ \sigma_s &= \frac{n \times \sigma_c}{x} \left(c + \frac{b}{2} - x \right) \\ \tau &= \frac{S}{A} \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (3.5.3)$$

한편, 기둥의 기초부를 구성하는 베이스 플레이트와 리브 플레이트의 상세부를 그림 3.5.2에 나타낸다. 여기서 리브 플레이트는 베이스 플레이트와 기둥에 의해 3변이 고정된다.



(a) 베이스 플레이트와 리브의 측면도

(b) 베이스 플레이트와 리브의 평면도

그림 3.5.2 베이스 플레이트 상세도

면외하중은 사하중+충돌하중에 대하여 검토를 실시한다. 먼저, 면외하중에 대하여 사하중+충돌하중에 대한 단면력은 식(3.5.4)과 같다.

$$\left. \begin{aligned} N &= \text{기둥의 연직력} \\ M &= \text{기둥의 충돌하중에 의한 모멘트} \\ S &= \text{충돌하중에 의한 전단력} \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (3.5.4)$$

앵커볼트(SD40)는 한쪽에 3본을 사용한다고 가정하고 A_s 를 앵커볼트의 유효단면적, A_s 를 한 쪽에 체결된 앵커볼트 단면적이라고 하면, 기둥에서 면외하중(충돌하중)의 모멘트(식 3.3.3)에 의한 편심거리(e)는 식(3.5.5)와 같다.

$$\left. \begin{aligned} A_s &= 3 \times A \\ e &= \frac{M}{N} \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (3.5.5)$$

여기서, N : 식(3.3.2)에서 주어짐.

(2) 앵커볼트의 매입길이

앵커볼트의 매입길이는 앵커볼트에 작용하는 장력(T) 및 허용부착응력 (τ_a)에 의해 결정되므로, 앵커볼트의 장력과 앵커볼트의 매입길이(l)를 구하는 식은 식(3.5.6)와 같으며, 여기서 τ_a 는 철근과 콘크리트의 부착강도이다. 또한 도로교 설계기준·해설에서 증가계수는 1.5임^{7), 9)}.

$$\left. \begin{aligned} T &= \sigma_s \times A \\ l &= \frac{T}{3.8 \times \pi \times \tau_a \times 1.5} \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (3.5.6)$$

따라서 베이스 플레이트의 설계는 단면력 산정, 단면계수 결정, 응력검토의 순서로 이루어진다.

3) 면내하중의 검토

면내하중을 받는 경우 콘크리트 응력(σ_c), 앵커볼트가 받는 응력(σ_s) 및 앵커볼트의 전단응력(τ)의 검토는 1) 면외하중에 대한 검토에서 베이스 플레이트 폭(b)과 길이(h)만 바뀌며 기본 이론은 동일하다.

4. 설계 예

3장에서 설명한 보 및 기둥의 이론에 의해 실례로 계산 및 설계를 실시한다.

4.1 설계순서

차높이 제한장치의 설계순서는 그림 4.1과 같다.

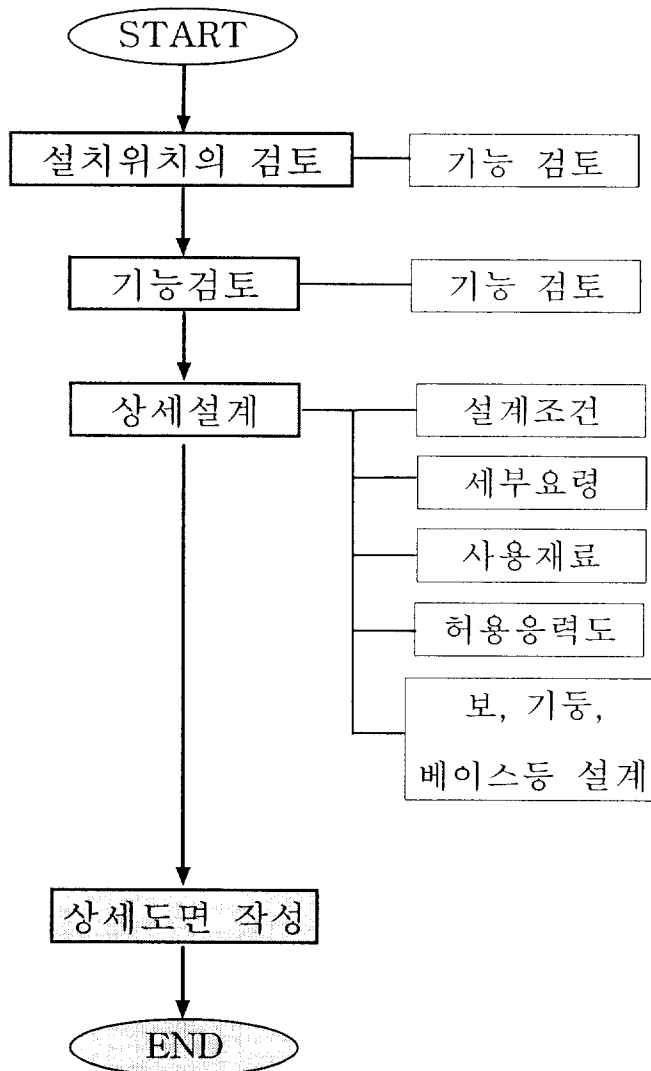


그림 4.1.1 차높이 제한장치의 설계순서

4.2 설계조건

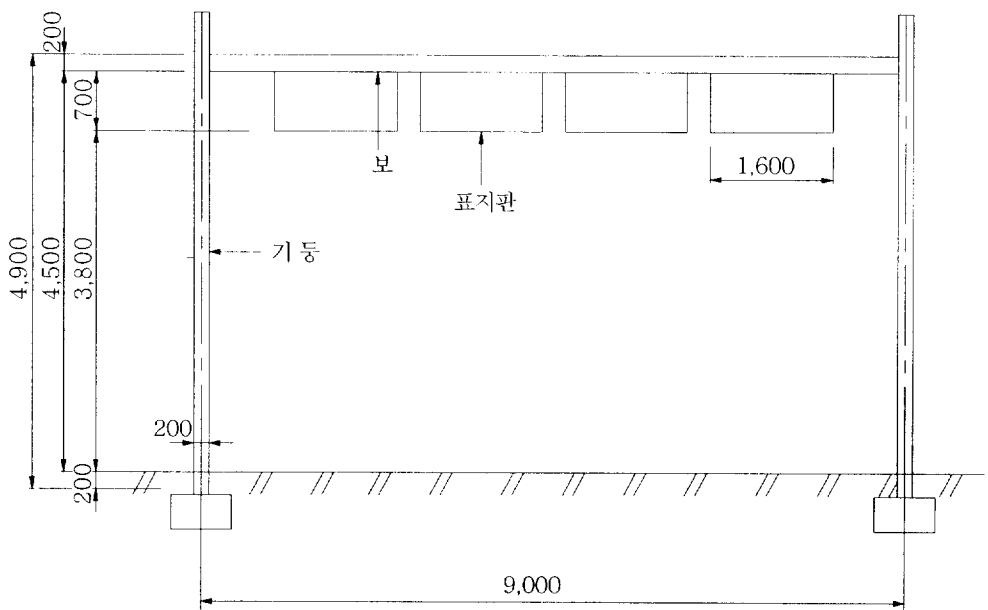
설계조건은 다음과 같으며, 설계조건에 따른 차높이 제한장치의 일반도를 그림 4.2.1에 나타낸다.

- 1) 형 식 : 문형식 구조
- 2) 길 이 : 9.000 m
- 3) 높 이 : 4.500 m(지상기준)
- 4) 사용강재 : SM 400(허용응력 : $1,400 \text{ kgf/cm}^2$)
- 5) 하 중 : 사하중(사용재료에 따라 계산)

충돌하중(보의 중앙에 충돌하중 6.000tf가 작용)

풍하중(설계풍속 : 50m/sec)

- 6) 참고사항 : 통행금지 규제판 설치



(단위 : mm)

그림 4.2.1 차높이 제한장치의 일반도

4.3 보의 설계

3.2 보해석에서 정리한 기본이론을 이용하여 차높이 제한장치중 보에 대한 설계를 실시하였으며, 풍하중의 설계풍속은 부산의 경우 도로교 설계기준에서는 40(m/s)으로 규정하였으나, 2003년도의 태풍 ‘매미’의 경우와 같은 최악의 경우를 가정하여 풍속을 50(m/s)로 하였다. 그림 4.3.1은 보의 단면을 나타낸다^{7), 9)}.

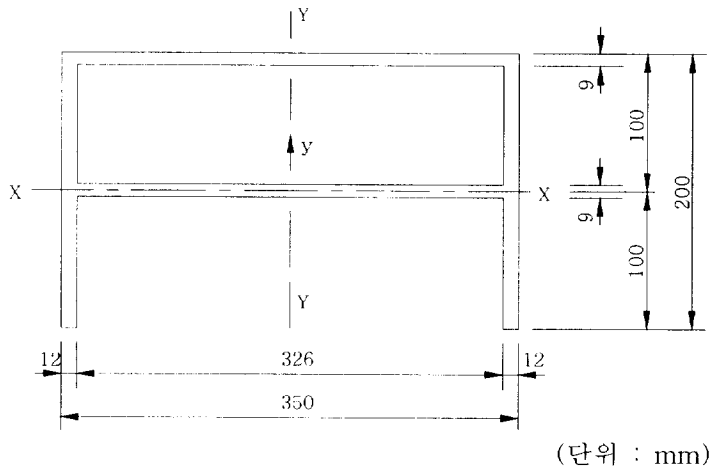


그림 4.3.1 보의 단면

1) 부재의 단면특성 계산

(1) 면내 단면계수(X-X축)

		$A \text{ (cm}^2\text{)}$	$y \text{ (cm)}$	$Ay \text{ (cm}^3\text{)}$	$Ay^2 \text{ (cm}^4\text{)}$
1-PL	326×9	29.34	9.55	280	2,676
1-PL	326×9	29.34	-	-	-
2-PL	200×12	48.00	-	-	1,600
		106.68	-	280	4,276

보의 X축 도심(e)는 식(3.2.1)에 의해 식(4.3.1)과 같이 구해진다.

$$e = \sum A \cdot y / \sum A = 2.62 \text{ cm} \dots \dots \dots (4.3.1)$$

도심에 대한 단면 2차 모멘트를 구하면 식(4.3.2)와 같으며

$$A \cdot e^2 = 732 \text{ cm}^4 \quad \dots \dots \dots (4.3.2)$$

전체 도심에 대한 단면 2차 모멘트(I_x)는 식(3.2.3)으로부터 다음과 같이 구해진다.

$$I_x = I_x - e^2 A = 3,544 \text{ cm}^4 \quad \dots \dots \dots (4.3.3)$$

도심축에서 상·하연까지의 거리는 식(4.3.4)와 같다.

$$\left. \begin{array}{l} y_u = 7.38 \text{ cm} \\ y_l = 12.62 \text{ cm} \end{array} \right\} \dots \dots \dots (4.3.4)$$

식(3.2.5)에 의해 상·하연의 단면계수를 구하면 식(4.3.5)와 같다.

$$\left. \begin{array}{l} Z_u = \sum A \cdot y^2 / y_u = 480 \text{ cm}^3 \\ Z_l = \sum A \cdot y^2 / y_l = 281 \text{ cm}^3 \end{array} \right\} \dots \dots \dots (4.3.5)$$

(2) 면외 단면계수(Y-Y축)

		$A \text{ (cm}^2\text{)}$	$x \text{ (cm)}$	$Ax \text{ (cm}^3\text{)}$	$Ax^2 \text{ (cm}^4\text{)}$
2-PL	200×12	48.00	16.9	-	13,709
2-PL	326×9	58.68	-	-	5,197
		106.68	-	-	18,906

면외방향의 단면계수는 식(4.3.6)과 같다.

$$Z_y = \sum A \cdot x^2 / \text{보의 } x\text{축 연단거리} = 1,080 \text{ cm}^3 \quad \dots \dots \dots (4.3.6)$$

2) 보의 단면력 계산

보의 단면계수가 산정되었으므로 단면력을 산정하여야 한다. 단면력은 좌·우측 기둥을 중심으로 단순보로 가정하여 단면력을 구하였다.

(1) 사하중에 의한 단면력(면내)

보의 사하중은 표지판등을 포함하여 등분포 하중으로 재하하였다. 단순보에 등분포하중이 재하될 때의 최대 모멘트와 전단력은 식(3.2.6)을 이용하면 식(4.3.7)과 같고 그림 4.3.2에 보의 자중(사하중)의 재하상태를 나타낸다^{25), 26)}.

$$\left. \begin{aligned} w &= 0.100 \text{ tf/m (제한판 등을 포함한 하중)} \\ M_d &= \frac{w \cdot l^2}{8} = 1.013 \text{ tf} \cdot \text{m} \\ S_d &= \frac{w \cdot l}{2} = 0.450 \text{ tf} \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (4.3.7)$$

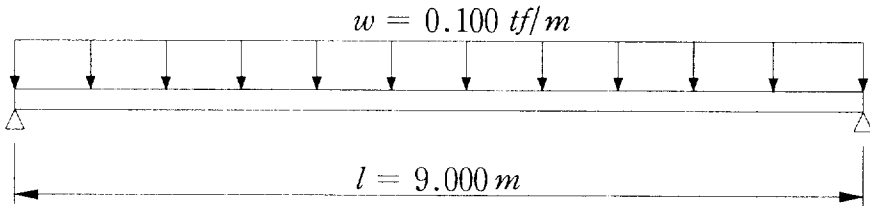


그림 4.3.2 보의 자중(사하중)의 재하상태

(2) 충돌하중에 의한 단면력(면외)

국내에서는 차높이 제한장치의 충돌하중에 관한 시방기준이 규정되어 있지 않으므로 일본 도로표식시설기준을 참고하여 보 중앙의 표지판에 집중하중(P)으로 충돌하중(6.000tf)이 재하되는 것으로 하였다^{10)~12)}. 단순보에 집중하중(6.000tf)이 재하될 때의 최대 모멘트와 전단력은 식(3.2.7)에 의해 식(4.3.8)이 되며 그림 4.3.3에 충돌하중의 재하상태를 나타낸다.

$$\left. \begin{aligned} M_i &= \frac{P \cdot l}{4} = 13.500 \text{ tf} \cdot \text{m} \\ S_i &= P = 6.000 \text{ tf} \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (4.3.7)$$

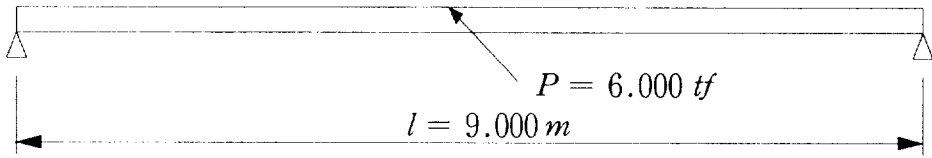


그림 4.3.3 충돌하중의 재하상태

(3) 풍하중에 대한 단면력(면외)

풍하중에 의한 단면력은 설계풍속 50(m/s)가 보에 등분포하중으로 작용하는 것으로 하였고, 식(3.2.8)을 이용하여 풍하중(w)를 구한다.

$$w = \frac{\rho \cdot V^2 \cdot C_D \cdot A}{2} = 169\text{ kgf/m} \quad \dots \dots \dots (4.3.8)$$

여기서, ρ : 공기의 밀도 = $0.125(\text{kgf} \cdot \text{s}^2/\text{m}^4)$

V : 설계풍속 = 50(m/s)

C_D : 항력계수 = 1.2

A : 보 및 표지판의 단위길이당 바람을 받는 면적(보 = 0.2m^2 ,
표지판 = 0.7m^2)

풍하중에 의한 모멘트(M_w)와 전단력(S_w)는 식(3.2.9)에 의해 식(4.3.9)와 같이 구해진다.

$$\left. \begin{aligned} M_w &= \frac{w \cdot l^2}{8} = 1.711\text{ tf} \cdot \text{m} \\ S_w &= \frac{w \cdot l}{2} = 0.761\text{ tf} \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (4.3.9)$$

그림 4.3.4에 풍하중에 의한 재하상태를 나타낸다.

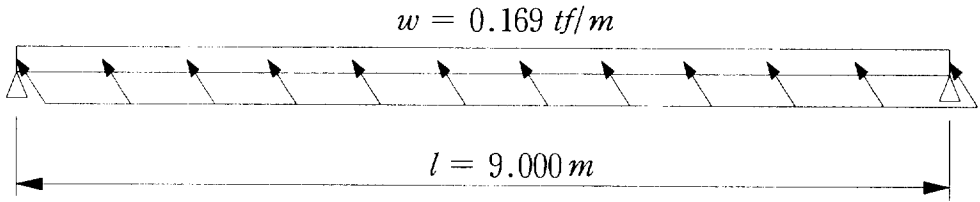


그림 4.3.4 풍하중의 재하상태

3) 응력의 검토

사하중 및 충돌하중에 대해 검토하며 응력산정시 풍하중에 의한 휨응력은 그 영향이 작으므로 응력검토시 제외한다.

(1) 사하중에 의한 응력

사하중에 의한 보의 응력은 식(3.2.10)을 이용하면 식(4.3.10)과 같다.

$$\left. \begin{aligned} \sigma_{ud}(\text{상연응력}) &= \frac{M_d}{Z_u} = 211 \text{ kgf/cm}^2 \\ \sigma_{ld}(\text{하연응력}) &= \frac{M_d}{Z_l} = 360 \text{ kgf/cm}^2 \\ \tau_d(\text{전단응력}) &= \frac{S_d}{A} = 9 \text{ kgf/cm}^2 \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (4.3.10)$$

(2) 충돌하중에 의한 응력

충돌하중에 의한 하연응력(σ_{li}) 및 전단응력(τ_i)는 식(3.2.11)에 의해 다음 식(4.3.11)과 같다.

$$\left. \begin{aligned} \sigma_{li} &= \frac{M_i}{Z_l} = \frac{1,350,000}{1,080} = 1,250 \text{ kgf/cm}^2 \\ \tau_i &= \frac{S_i}{A} = 204 \text{ kgf/cm}^2 < 800 \times 1.7 = 1360 \text{ kgf/cm}^2 \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (4.3.11)$$

(3) 합성응력

사하중 및 충돌하중에 의해 하연에 작용하는 합성응력은 도로교 설계기준의 하중증가계수를 할증한 허용응력을 초과하지 않는 범위 내에서 식(3.2.12)에 의해 식(4.3.12)와 같이 구해진다.

$$\sigma = \text{사하중에 의한 휨응력}(\sigma_{sd}) + \text{충돌하중에 의한 휨응력}(\sigma_{H})$$

$$= 1,610 < 1,400 \times 1.7 = 2,380 \text{ kgf/cm}^2 \dots\dots\dots (4.3.12)$$

여기서, 허용응력의 하중증가계수는 1.7이며, 허용응력에 대해서는 도로교 설계기준 “강교편 3.3 허용응력” 참조^{7), 9)}. 또한, 보에는 교통안내 표지판이 부착되므로 볼트 구멍(5%)를 공제한 유효단면적(95%)의 합성응력은 식(3.2.13)에 의해 식(4.3.13)과 같이 구해진다.

$$\sigma = \text{합성응력} / 0.95 = 1,695 \text{ kgf/cm}^2 < 2,380 \text{ kgf/cm}^2$$

$$\dots\dots\dots (4.3.13)$$

4) 사하중에 의한 처짐

보의 사하중에 의한 처짐은 식(3.2.14)를 이용하며 도로교 설계기준에서 규정한 기타형식 처짐의 허용값은 $L/600$ 이다^{7), 9)}.

$$\delta = \frac{5 \cdot w \cdot l^4}{384 \cdot E \cdot I_X} = 1.15 \text{ cm} \leq 9.0 / 600 = 1.5 \text{ cm} \dots\dots\dots (4.3.14)$$

여기서, w : 보의 단위 사하중(그림 4.3.2 참조)

l : 보의 길이(cm)

4.4 기둥의 설계

3.3 기둥해석의 기본이론을 이용하여 기둥을 설계하였으며, 기둥 단면의 검토는 보단면의 검토와 동일한 순서로 응력을 계산하였다. 그림 4.4.1은 기둥의 단면을 나타낸다.

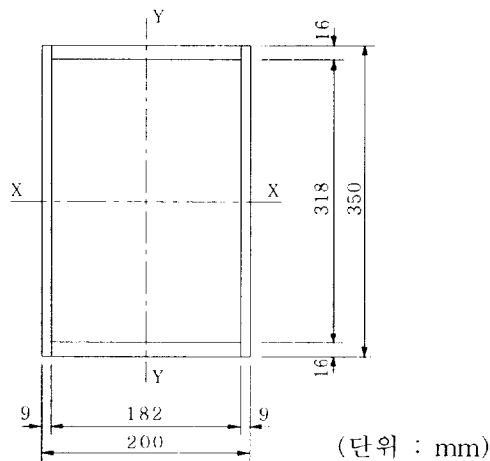


그림 4.4.1 기둥의 단면

1) 부재의 단면특성 산정

(1) 면외 단면계수(X-X축)

		$A \text{ (cm}^2\text{)}$	$y \text{ (cm)}$	$Ay \text{ (cm}^3\text{)}$	$Ay^2 \text{ (cm}^4\text{)}$
2-PL	182×54	58.24	16.7	972.61	16,243
2-PL	350×9	63.0	-	-	6,431
		$A_y = 121.24 \text{ (cm}^2\text{)}$	-	-	$I_y = 22,674 \text{ (cm}^4\text{)}$

기둥의 면외방향 단면계수의 기본식은 식(3.3.1)에 의해 구할 수 있으며, 식(4.4.1)에 기둥의 면외방향의 단면계수 및 회전반경을 나타낸다.

$$\left. \begin{aligned} Z_y &= \frac{I_y}{y'} = 1,296 \text{ cm}^3 \\ r_y &= \sqrt{I_y / A_y} = 13.7 \text{ cm} \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (4.4.1)$$

(2) 면내 단면계수(Y-Y축)

		$A \text{ (cm}^2\text{)}$	$x \text{ (cm)}$	$Ax \text{ (cm}^3\text{)}$	$Ax^2 \text{ (cm}^4\text{)}$
2-PL	350×9	63.0	9.55	601.65	5,746
2-PL	182×16	58.24	-	-	1,608
		$A_x=121.24(\text{cm}^2)$	-	-	$I_x=7,354(\text{cm}^4)$

$$\left. \begin{aligned} Z_x &= \frac{I_x}{y'} = 735 \text{ cm}^3 \\ r_x &= \sqrt{I_x/A_x} = 7.79 \text{ cm} \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (4.4.2)$$

2) 면외하중에 의한 단면력

(1) 사하중에 의한 단면력

기둥의 사하중에 대한 단면력은 기둥에 작용하는 보의 사하중(집중하중)과 기둥에 부착된 부속물 중량의 합력으로 구해지며, 식(3.3.2)에 의해 기둥의 연직력을 식(4.4.3)에, 사하중 재하상태를 그림 4.4.2에 나타낸다.

$$N = P + w \cdot h = 1.038 \text{ tf} \dots \dots \dots (4.4.3)$$

여기서, P : 보의 사하중(P=0.450tf)

w : 기둥에 부착된 부속물의 중량(w=0.120tf/m)

h : 기둥 높이(m)

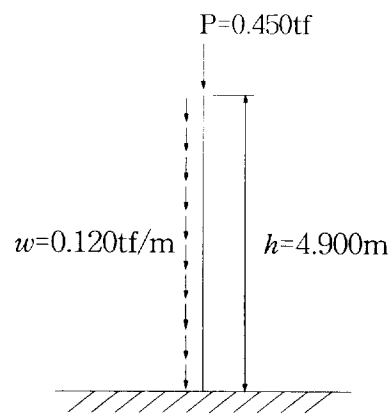


그림 4.4.2 사하중에 따른 연직력 재하상태

(2) 충돌하중에 의한 단면력

충돌하중에 의한 단면력은 식(3.3.3)에 의해 식(4.4.4)와 같으며 그림 4.4.3은 충돌하중에 의한 재하상태를 나타낸다.

$$\left. \begin{aligned} M &= P \cdot h = 29.400 \text{ tf} \\ S &= 6.0 \text{ tf} \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (4.4.4)$$

여기서, P : 충돌하중(6.000tf)

h : 기둥 높이(m)

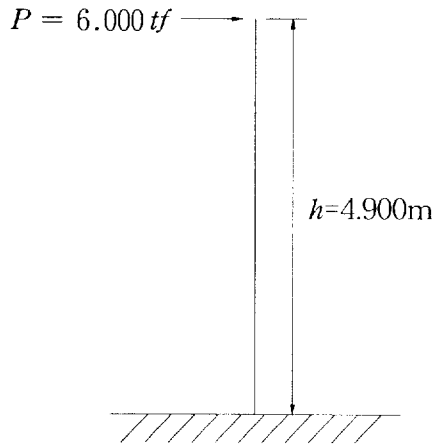


그림 4.4.3 충돌하중의 재하상태

(3) 풍하중에 의한 단면력

풍하중에 의한 영향은 매우 작으므로 그에 따른 단면력 계산은 생략한다.

3) 면내하중의 단면력

(1) 사하중에 의한 단면력

사하중의 의한 단면력은 라멘공식을 이용하여 고정단 모멘트를 구하여 계산한다. 그림 4.4.4는 사하중 재하상태를 나타낸다.

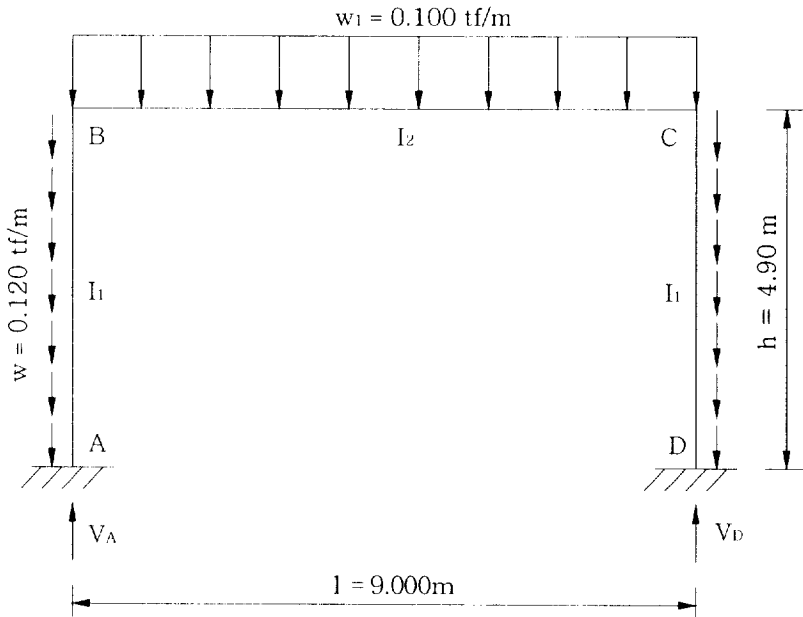


그림 4.4.4 사하중의 재하상태

여기서, I_1 : 기둥의 단면 2차모멘트(면내 단면계수 I_x)

I_2 : 보의 단면 2차모멘트(식 4.3.3의 I_x)

w_1 : 보의 단위길이 당 중량(0.100tf/m)

w : 기둥에 부착된 부속물의 중량(0.120tf/m)

식(3.3.4)에 의해 보와 기둥의 강성비를 계산하면 식(4.4.5)와 같다.

$$I_1 = 7534 \text{ cm}^4, I_2 = 3544 \text{ cm}^4$$

$$k = \frac{I_2}{I_1} \cdot \frac{h}{l} = 0.262 \quad \dots \dots \dots (4.4.5)$$

보를 양단 고정으로 가정한 뒤 양단의 고정단 모멘트를 식(3.3.5)를 이용하여 계산하면 식(4.4.6)과 같다.

$$C_{BC} = = \frac{w_1 \times l^2}{12} = 0.675 \text{ tf} \cdot \text{m} \dots \dots \dots (4.4.6)$$

그림 4.4.4에서 B점의 부재회전각(ϕ_B)을 구하기 위해 식(3.3.6) 및 식 (3.3.7)을 참조하면 ϕ_B 는 식(4.4.7)과 같다.

$$\therefore \phi_B = \frac{C_{BC}}{2 + k} = 0.298 \dots \dots \dots (4.4.7)$$

부재회전각 ϕ_B 를 식(3.3.6)에 대입하여 각 절점의 고정단 모멘트를 구하면 식(4.4.8)과 같다.

$$\left. \begin{aligned} M_{AB} &= -M_{DC} = 0.298 \text{ tf} \cdot \text{m} \\ M_{BA} &= -M_{CD} = 0.596 \text{ tf} \cdot \text{m} \\ M_{BC} &= -M_{CB} = -0.596 \text{ tf} \cdot \text{m} \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (4.4.8)$$

각 기둥의 지점에서 발생하는 반력을 계산하기 위해 식(3.3.9)를 이용하면 식(4.4.9)과 같다.

$$\left. \begin{aligned} V_A = V_D &= \frac{(w_1 \times l)}{2} + w \times h = 1.038 \text{ tf} \\ H_A &= \frac{(M_{AB} + M_{BA})}{h} = 0.182 \text{ tf} \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (4.4.9)$$

여기서, V_A 및 V_D : 그림 4.4.5에서 A점 및 D점의 수직반력

H_A : 그림 4.4.5에서 A점의 수평반력

w_1 : 보의 단위길이당 중량(tf/m)

w : 기둥에 부착된 부속물의 중량(tf/m)

h : 기둥 높이(m)

이상에서 구한 사하중에 의한 휨모멘트 및 반력을 단면력도에 나타내면 그림 4.4.5와 같다.

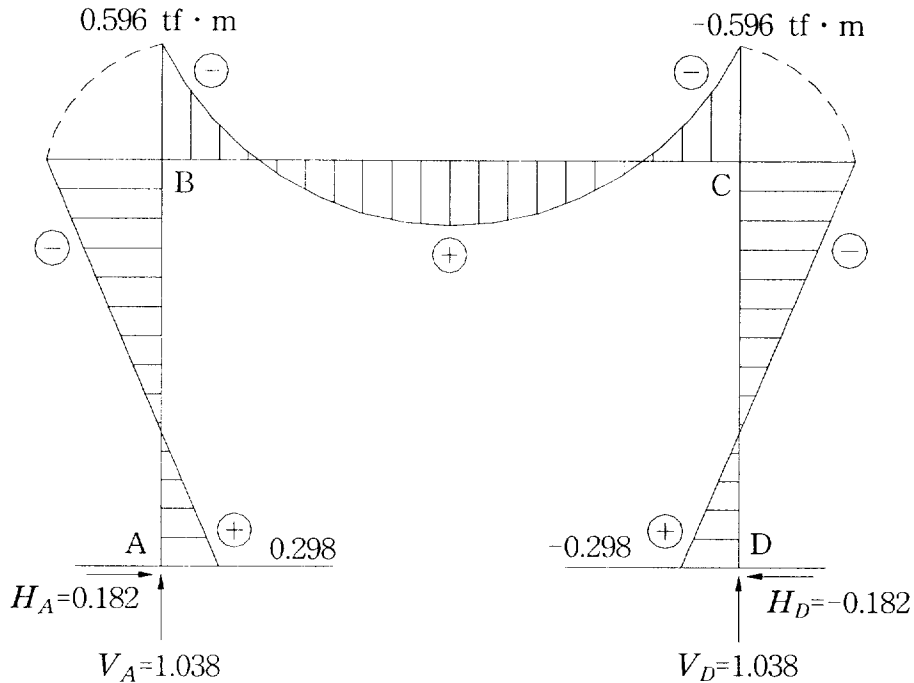


그림 4.4.5 사하중에 의한 휨모멘트도

(2) 충돌하중에 의한 단면력

그림 3.3.5 a) 및 b)에서 단면력을 계산하는 방법은 사하중에 대한 단면력을 계산하는 방법과 동일하며, 단면력은 라멘공식에 대한 절점 모멘트로 계산한다. 충돌하중은 현재 도로교 시방서 상에 부속시설에 관한 규정이 없으므로 일본 도로표식시설기준을 참조하여 차량이 보의 표지판에 충돌할 경우 충돌하중 6.0tf이 면내방향에 대해 45°방향으로 작용한 경우를 상정하였으며, 그림 4.4.6에 충돌하중의 재하상태를 나타낸다^{10)~12)}.

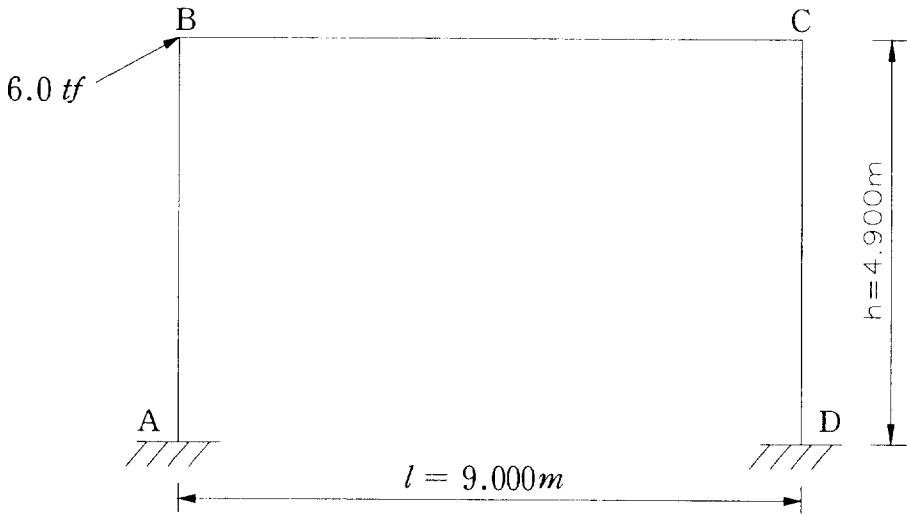


그림 4.4.6 충돌하중의 재하상태

충돌하중에 대한 휨모멘트를 계산하기 위해 식(3.3.10), 식(3.3.11) 및 식(3.3.12)를 이용하여 부재회전각(ϕ_B)와 층간 상대변위(χ)를 구하면 식(4.4.10)과 같다.

$$\left. \begin{aligned} \phi_B &= \frac{H}{2} \cdot \frac{h}{6k+1} = 4.001 \\ x &= -\frac{H \times h}{2} \cdot \frac{3k+2}{6k+1} = -11.146 \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (4.4.10)$$

여기서, $H = 6.000 \text{ tf} \times \sin 45^\circ = 4.200 \text{ tf}$

식(4.4.10)로부터 구한 부재회전각 ϕ_B 와 상대변위 χ 를 식(3.3.10)에 대입하여 각 절점의 휨모멘트와 수평·수직반력을 구하면 식(4.4.11)과 같다.

$$M_{AB} = -M_{DC} = -7.145 \text{ tf} \cdot \text{m}$$

$$M_{BA} = -M_{CD} = -3.144 \text{ tf} \cdot \text{m}$$

$$M_{BC} = -M_{CB} = 3.144 \text{ tf} \cdot \text{m}$$

$$H_A = H_D = 2.1 \text{ tf}$$

$$V_D = -V_A = (M_{BC} - M_{CD})/l = 0.692 \text{ tf} \quad \dots \dots \dots (4.4.11)$$

이상으로부터 충돌하중에 의한 단면력도는 나타내면 그림 4.4.7과 같다.

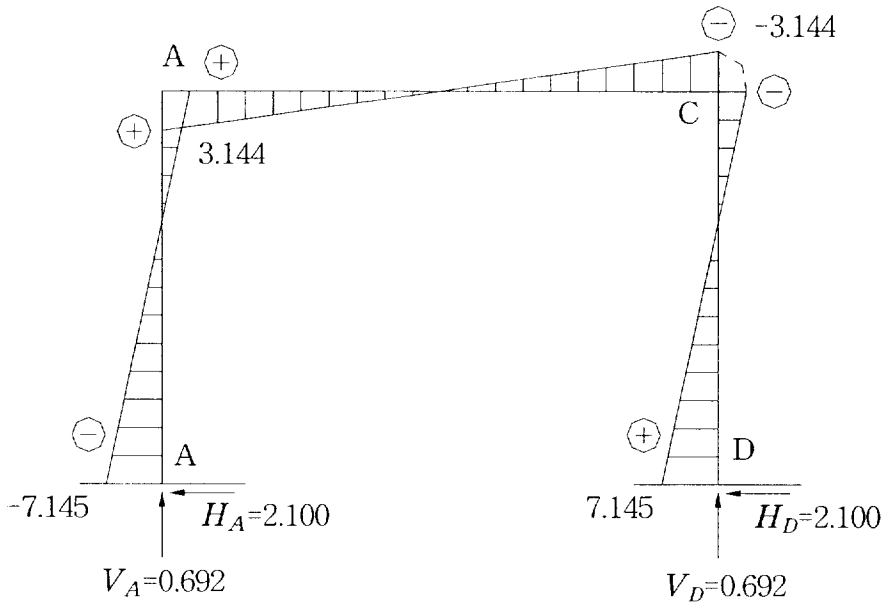


그림 4.4.7 충돌하중에 의한 휨모멘트도

(3) 사하중+충돌하중에 대한 검토

면내하중에 대해서도 면외하중과 같이 (사하중+충돌하중)에 대해서 검토한다.

① A점에서의 단면력

식(3.3.14)를 이용하면 A점에서의 단면력은 식(4.4.12)와 같다.

$$\left. \begin{aligned} M_A &= 6.847 \text{ tf} \cdot \text{m} \\ H_A &= 1.918 \text{ tf} \cdot \text{m} \\ V_A &= 0.339 \text{ tf} \cdot \text{m} \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (4.4.12)$$

② D점에서의 단면력

D점에서의 단면력은 대칭구조이기 때문에 부호만 다르다. 따라서 D점에서의 단면력은 식(4.4.13)과 같다.

$$\left. \begin{aligned} M_D &= 7.443 \text{ tf} \cdot \text{m} \\ H_D &= 2.282 \text{ tf} \cdot \text{m} \\ V_D &= 1.737 \text{ tf} \cdot \text{m} \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (4.4.13)$$

4) 기둥의 응력검토

면내하중과 면외하중의 검토로부터 구한 단면력에 대해 응력검토를 실시한다. 기둥의 허용축방향 압축응력을 구하기 위해 도로교 설계기준에서 1단 고정, 타단 힌지일 경우에 기둥의 유효길이($2l$), 회전반경(γ) 및 세장비(l/γ)를 구하면 식(4.4.14)와 같다.

$$\left. \begin{aligned} l &= 9.800 \text{ m} \\ r &= \sqrt{I/A} = 7.790 \text{ cm} \\ l/\gamma &= 125.8 > 93 \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (4.4.14)$$

세장비가 93보다 크므로 허용축방향 압축응력은 식(3.3.15)를 이용하면 식(4.4.15)와 같다.

$$\sigma_{ca} = \frac{12,000,000}{6,700 + (l/\gamma)^2} = 533 \text{ kgf/cm}^2 \dots \dots \dots (4.4.15)$$

여기서 σ_{ca} : 국부좌굴을 고려하지 않은 허용축방향 압축응력

(1) 면외하중

면외하중에 대한 허용응력을 검토하기 위해 식(3.3.16)에 의하면 식(4.4.16)와 같다.

$$\begin{aligned}
 \sigma_c(\text{압축응력}) &= \frac{N}{A_y} = 9 \text{ kgf/cm}^2 < \sigma_{ca} = 533 \times 1.7 = 906 \text{ kgf/cm}^2 \\
 \sigma_b(\text{인장응력}) &= \frac{M_i}{Z_y} = 2269 \text{ kgf/cm}^2 < \sigma_{ba} = 1,400 \times 1.7 = 2,380 \text{ kgf/cm}^2 \\
 \text{합성응력비: } \frac{\sigma_c}{\sigma_{ca}} + \frac{\sigma_b}{\sigma_{ba}} &= 0.96 < 1.0 \\
 \tau(\text{전단응력}) &= \frac{S_i}{A} = 95 \text{ kgf/cm}^2 < \tau_a = 800 \times 1.7 = 1,360 \text{ kgf/cm}^2
 \end{aligned}
 \quad (4.4.16)$$

(2) 면내하중

면내하중에 대한 허용응력 검토는 식(3.3.17)과 같으며, 그 결과를 식 (4.4.17)에 나타낸다.

$$\begin{aligned}
 \sigma_c(\text{압축응력}) &= \frac{V_D}{A_x} = 14 \text{ kgf/cm}^2 < \sigma_{ca} = 533 \times 1.7 = 906 \text{ kgf/cm}^2 \\
 \sigma_b(\text{인장응력}) &= \frac{M_D}{Z_z} = 1013 \text{ kgf/cm}^2 < \sigma_{ba} = 1,400 \times 1.7 = 2,380 \text{ kgf/cm}^2 \\
 \text{합성응력비: } \frac{\sigma_c}{\sigma_{ca}} + \frac{\sigma_b}{\sigma_{ba}} &= 0.44 < 1.0 \\
 \tau(\text{전단응력}) &= \frac{H_D}{A} = 39 \text{ kgf/cm}^2 < \tau_a = 800 \times 1.7 = 1,360 \text{ kgf/cm}^2
 \end{aligned}
 \quad (4.4.17)$$

4.5 보와 기둥의 연결부 설계

보와 기둥의 연결부는 마찰접합용 고장력 볼트 M22 3본을 사용하며 연결부는 식(3.4.1)을 이용하면 그 결과는 식(4.5.1)과 같다. 그림 4.5.1은 보와 기둥의 접합부 상세를 나타낸다^{7), 9), 27), 28)~31)}.

$$\rho = S/n < \rho_a = 2000 \text{ kgf} < \rho_a = 4800 \text{ kgf} \cdots \cdots (4.5.1)$$

여기서 S : 충돌하중(식 4.4.4)

n : 사용볼트 개수

ρ_a : 볼트 1개의 허용력(1면 마찰 4800kgf)

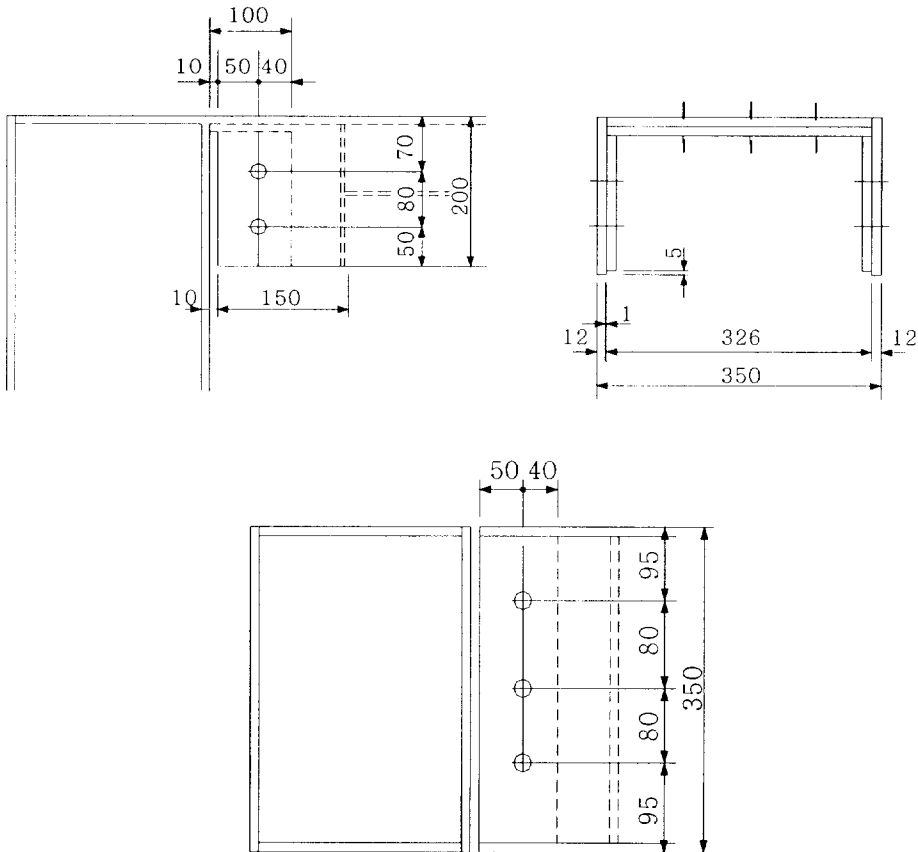


그림 4.5.1 보와 기둥의 연결부 상세

4.6 앵커부의 설계

앵커부는 차높이 제한장치가 사하중, 충돌하중 및 풍하중에 저항하는 기초 부분으로서 3.5의 앵커부의 기본이론을 이용하여 설계한다^{26)~28)}.

1) 면외하중에 대한 검토

면외하중에 대해서는 사하중+충돌하중의 조합에 대해서 검토하여야 하며, 식(3.5.4)의 단면력이 작용할 경우 그 값은 식(4.6.1)과 같다.

$$\left. \begin{array}{l} N = 1.038 \text{ tf} \\ M = 29.400 \text{ tf} \cdot \text{m} \\ S = 6.000 \text{ tf} \end{array} \right\} \dots \dots \dots (4.6.1)$$

앵커볼트는 그림 4.6.1과 같이 D38(SD40)을 한쪽에 3본을 사용하면 나사부는 M36이 되고, 볼트 한본의 유효단면적(A_s)을 8.31cm^2 이라 하면 한쪽에 체결된 앵커볼트 면적 A_s 및 기둥의 연직력(N)에 대한 충돌하중의 모멘트(M)의 편심거리(e)는 식(3.5.5)에 의해 식(4.6.2)와 같다.

$$\left. \begin{array}{l} A_s = 3(\text{본}) - M36 = 24.93 \text{ cm}^2 \\ e = \frac{M}{N} = 2,832 \text{ cm} \end{array} \right\} \dots \dots \dots (4.6.2)$$

$$\begin{aligned}
 \sigma_c &= 86.1 \text{ kgf/cm}^2 < \sigma_{ca} = 80 \times 1.5 = 120 \text{ kgf/cm}^2 \\
 \sigma_s &= 2,212 \text{ kgf/cm}^2 < \sigma_{sa} = 1,800 \times 1.5 = 2,700 \text{ kgf/cm}^2 \\
 \tau &= \frac{S}{A} = 120 \text{ kgf/cm}^2 < \tau_a = 800 \times 1.5 = 1,200 \text{ kgf/cm}^2
 \end{aligned}
 \quad \left. \vphantom{\begin{aligned} \sigma_c \\ \sigma_s \\ \tau \end{aligned}} \right\} \dots \dots \dots (4.6.4)$$

여기서, S : 수평력(=6.000tf)

A : 앵커볼트의 총단면적(= 6 × 8.31cm²)

σ_{ca} : 콘크리트의 허용압축강도($\sigma_{ck}/3$)

σ_{ck} : 240 kg/cm²(콘크리트 설계기준강도)

σ_{sa} : 앵커볼트의 허용축방향 인장강도(1800kg/cm²)

τ_a : 앵커볼트의 전단강도(800kg/cm²)

증가계수 : 충돌하중이 주하중 및 주하중에 해당하는 특수하중과 동시에 고려되는 부재는 철근콘크리트 구조에서는 50% 증가시킴
(도로교 설계기준·해설 참조)^{7), 9)}.

2) 앵커볼트의 매입길이

앵커볼트의 매입길이는 식(3.5.6)식에 의해 볼트에 작용하는 장력(T)와 허용부착응력(τ_a)를 구한 뒤 계산하면 식(4.6.5)과 같다^{28)~28)}.

$$\begin{aligned}
 T &= \sigma_s \times A = 18,382 \text{ kgf} \\
 l &= 64.2 \text{ cm}
 \end{aligned}
 \quad \dots \dots \dots (4.6.5)$$

여기서, $\tau_a = 16 \text{ kgf/cm}^2$

3) 베이스 플레이트의 설계

베이스 플레이트의 설계는 그림 4.6.1에서 A-A 단면과 B-B 단면에 대하여 각 단면의 응력을 검토한다.

(1) A-A 단면

그림 4.6.2에 A-A 단면의 상세를 나타내며 앵커볼트가 리브를 벗어날 때(A-A 단면을 벗어날 때)의 응력은 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
 M &= T \times 5.4 = 99,263 \text{ kgf} \cdot \text{cm} \\
 Z &= 48.6 \text{ cm}^3 \\
 \sigma &= \frac{M}{Z} = 2,042 \text{ kgf/cm}^2 < \sigma_a = 1400 \times 1.7 = 2,380 \text{ kgf/cm}^2
 \end{aligned}
 \quad \dots \dots \dots (4.6.6)$$

여기서, T : 볼트에 작용하는 응력

t : 바닥판 두께 ($t = 3.2 \text{ cm}$)

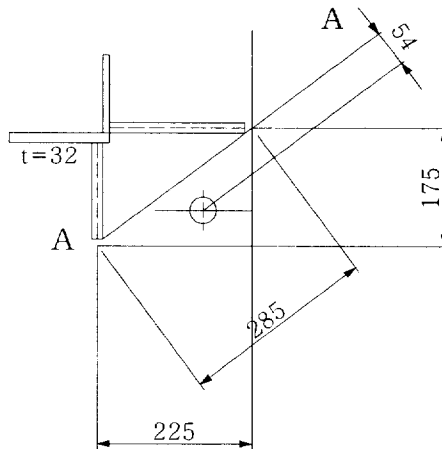


그림 4.6.2 A-A 단면의 상세

(2) B-B 단면

그림 4.6.3에 B-B 단면의 상세를 나타내며, 베이스 플레이트 및 리브 상면 및 하면에 대한 응력은 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
 M &= \text{볼트 3본} \times T \times \text{리브 도심까지의 거리} = 496,314 \text{ kgf} \cdot \text{cm} \\
 &\dots \dots \dots (4.6.7)
 \end{aligned}$$

		$A \text{ (cm}^2\text{)}$	$x \text{ (cm)}$	$Ax \text{ (cm}^3\text{)}$	$Ax^2 \text{ (cm}^4\text{)}$
1-PL	600×32	192	9.0	1,728	15,552
2-PL	148×16	47.36	-	-	864
		239.36	-	1,728	16,416

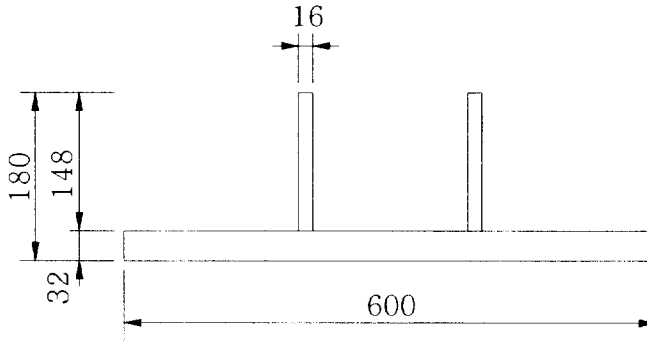


그림 4.6.3 B-B 단면의 상세

B-B 단면의 상·하연 응력을 구하면 식(4.6.8)과 같다.

$$\begin{aligned}
 e &= \frac{\sum A \times y}{\sum A} = 7.22 \text{ cm} \\
 A \times e^2 &= 12,475 \text{ cm}^4 \\
 I &= 3,941 \text{ cm}^4 \\
 y_u &= 14.62 \text{ cm} , \quad Z_u = 270 \text{ cm}^3 \\
 y_l &= 3.38 \text{ cm} , \quad Z_l = 1,166 \text{ cm}^3 \\
 \sigma_u &= 1838 \text{ kgf/cm}^2 < \sigma_{ca} = 2,380 \text{ kgf/cm}^2 \\
 \sigma_l &= 426 \text{ kgf/cm}^2 < \sigma_a = 2,380 \text{ kgf/cm}^2
 \end{aligned}
 \quad \dots \dots (4.6.8)$$

4) 면내하중에 대한 검토

면내 하중은 면외 하중에 의한 검토와 동일하게 사하중+충돌하중의 조합에 대해 검토하면 기본이론과 계산식은 동일하다. 그러나 면내 방향은

면의 방향과 좌표축이 다르므로 중립축 계산시 베이스 플레이트의 폭(b)

과 길이(h), 앵커볼트의 개수가 달라진다.

면내하중 방향에 작용하는 단면력은 식(4.4.13)에서 연직력(N), 모멘트(M) 및 수평하중(S)은 식(4.6.9)와 같다.

$$\left. \begin{aligned} N &= 1.737 \text{ tf} \\ M &= 7.443 \text{ tf} \cdot \text{m} \\ S &= 2.282 \text{ tf} \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (4.6.9)$$

앵커볼트는 그림 4.6.1과 같이 D38(SD40)을 한쪽에 2본을 사용하고 나사부는 M36을, 볼트의 유효단면적(A_s)은 8.31 cm^2 이라 하면 한쪽에 체결된 앵커볼트 면적 A_s 와 기둥에서 면외하중(충돌하중)의 모멘트에 의한 편심거리(e)는 식(3.5.5)에 의해 식(4.6.10)과 같다.

$$\left. \begin{aligned} A_s &= 2(\text{본}) - M36 = 16.62 \text{ cm}^2 \\ e &= \frac{M}{N} = 428 \text{ cm} \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (4.6.10)$$

앵커볼트와 콘크리트의 응력을 구하기 위해 중립축까지의 거리(x)는 식(3.5.2)에 $n = 15$ (강과 콘크리트의 탄성계수비), $b = 65 \text{ cm}$, $h = 60 \text{ cm}$, $c = 24 \text{ cm}$ 를 대입하면 식(4.6.11)과 같다.

$$\begin{aligned} x^3 + 1194x^2 + 10402x - 561684 &= 0 \\ \therefore x &= 17.66 \text{ cm} \end{aligned} \dots \dots \dots (4.6.11)$$

식(4.6.11)로부터 중립축의 거리 x 가 구해졌으므로 식(3.5.3)에 x 값을 대입하면 콘크리트의 최대 압축응력(σ_c), 앵커에 작용하는 수직응력(σ_s) 및 전단응력(τ)은 식(4.6.12)와 같다.

$$\begin{aligned}
 \sigma_c &= 67.7 \text{ kgf/cm}^2 < \sigma_c = 80 \times 1.5 = 120 \text{ kgf/cm}^2 \\
 \sigma_s &= 2,233 \text{ kgf/cm}^2 < \sigma_{sa} = 1800 \times 1.5 = 2700 \text{ kgf/cm}^2 \\
 \tau &= \frac{S}{A} = 46 \text{ kgf/cm}^2 < \tau_a = 800 \times 1.5 = 1200 \text{ kgf/cm}^2
 \end{aligned}
 \quad \dots \dots \dots (4.6.12)$$

5) 앵커볼트의 매입길이

앵커볼트의 매입길이는 식(4.6.13)과 같다.

$$\begin{aligned}
 T &= \sigma_s \times A = 18,556 \text{ kgf} \\
 l &= 64.76 \text{ cm}
 \end{aligned}
 \quad \dots \dots \dots (4.6.13)$$

여기서, $\tau_a = 16 \text{ kgf/cm}^2$

6) 베이스 플레이트의 설계

$$T = \sigma_s \times A = 1,855 \text{ kgf}$$

$$M = 259,784 \text{ kgf} \cdot \text{cm}$$

		$A \text{ (cm}^2\text{)}$	$x \text{ (cm)}$	$Ax \text{ (cm}^3\text{)}$	$Ax^2 \text{ (cm}^4\text{)}$
1-PL	650×32	208	9.0	1,872	16,848
2-PL	148×16	47.36	-	-	864
		255.36	-	1,872	17,712

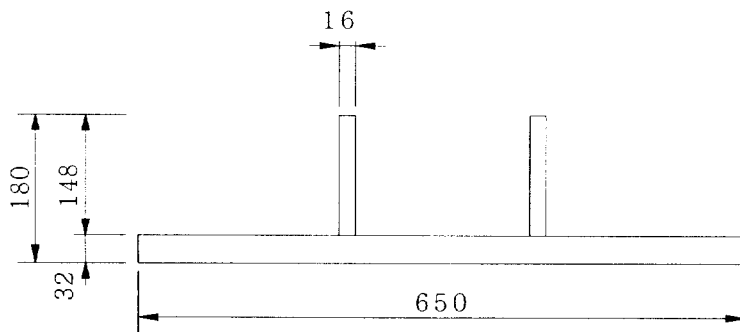


그림 4.6.4 면내방향의 단면 상세

면내방향 단면의 상·하연 응력을 구하면 식(4.6.14)와 같다.

$$\begin{aligned}
 e &= \frac{\sum A \times y}{\sum A} = 7.33 \text{ cm} \\
 A \times e^2 &= 13,723 \text{ cm}^4 \\
 I &= 3,989 \text{ cm}^4 \\
 y_u &= 3.27 \text{ cm} \quad , \quad Z_u = 271 \text{ cm}^3 \\
 y_l &= 3.27 \text{ cm} \quad , \quad Z_l = 1,220 \text{ cm}^3 \\
 \sigma_u &= 959 \text{ kgf/cm}^2 < \sigma_{ca} = 2,380 \text{ kgf/cm}^2 \\
 \sigma_l &= 213 \text{ kgf/cm}^2 < \sigma_a = 2,380 \text{ kgf/cm}^2
 \end{aligned}
 \quad \dots \dots \dots (4.6.14)$$

5. 응력해석 및 해석결과의 비교

5.1 응력 해석

1) 모델 형상

범용구조해석 프로그램인 MIDAS를 이용하여 차높이 제한장치의 해석을 실시하였다. 차높이 제한장치의 재질, 단면제원 및 하중은 설계 예에서 사용한 단면특성을 그대로 사용하였다. 또한, 지점조건은 차높이 제한장치가 지반에 묻히는 경우를 고려하여 양단을 고정점으로 두고 모델링을 실시하였다. 그림 5.1.1은 MIDAS 해석모델 형상을 나타낸다^{20), 21), 29)~31)}.

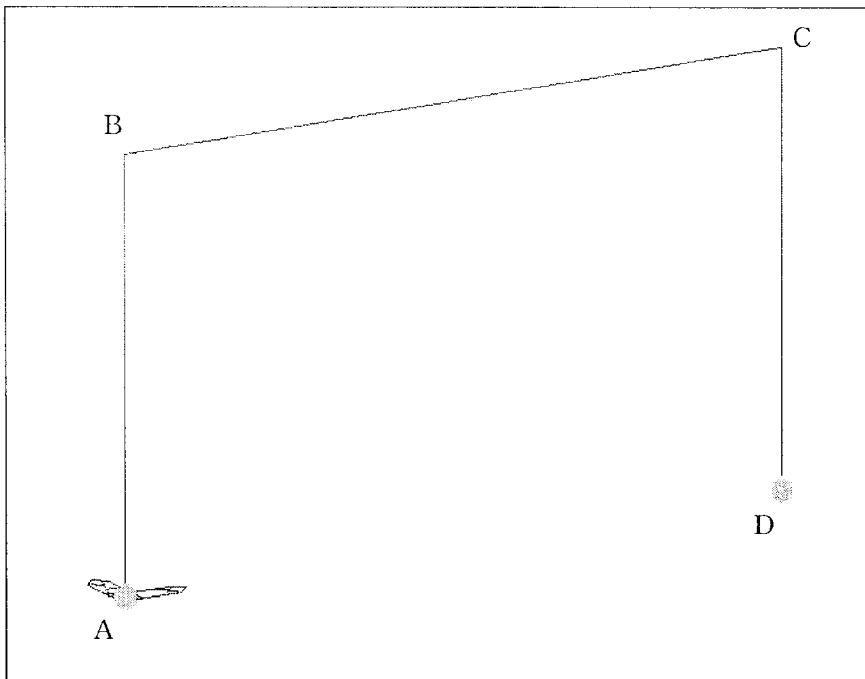


그림 5.1.1 MIDAS 해석모델 형상

2) 해석결과

차높이 제한장치의 해석 프로그램에 의한 기둥의 수직(V_A, V_D) 및 수평(H_A, H_D) 반력값은 다음과 같으며, 그림 5.1.2에 반력을 나타낸다. 또한 사하중 모멘트, 충돌하중의 모멘트, 전체하중에 의한 모멘트도를 그림 5.1.3, 그림 5.1.4 및 그림 5.1.5에 각각 나타낸다.

(1) 기둥의 반력값

수직반력 : $V_A = 0.349tf$, $V_D = 1.669tf$

수평반력 : $H_A = 1.884tf$, $H_D = 2.315tf$

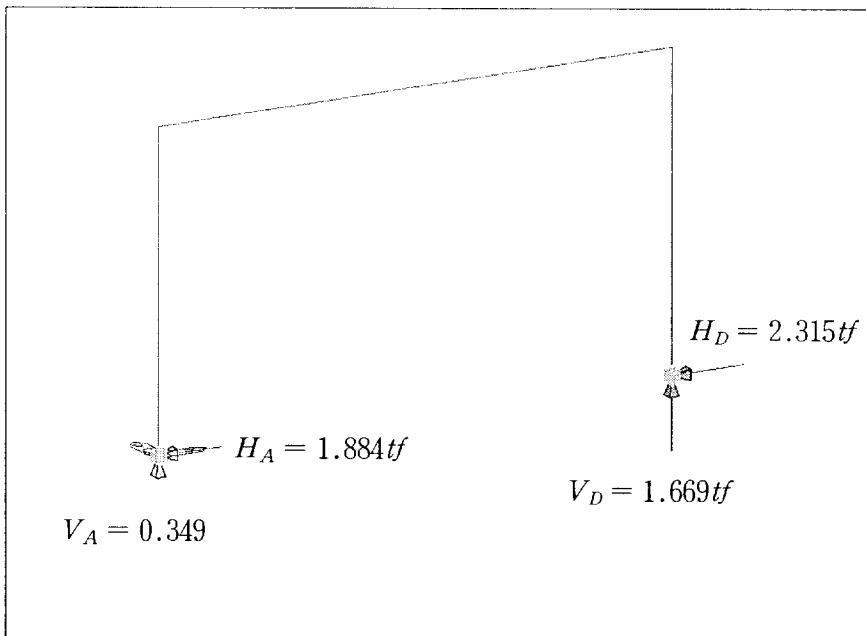


그림 5.1.2 차높이 제한장치의 반력

(2) 모멘트

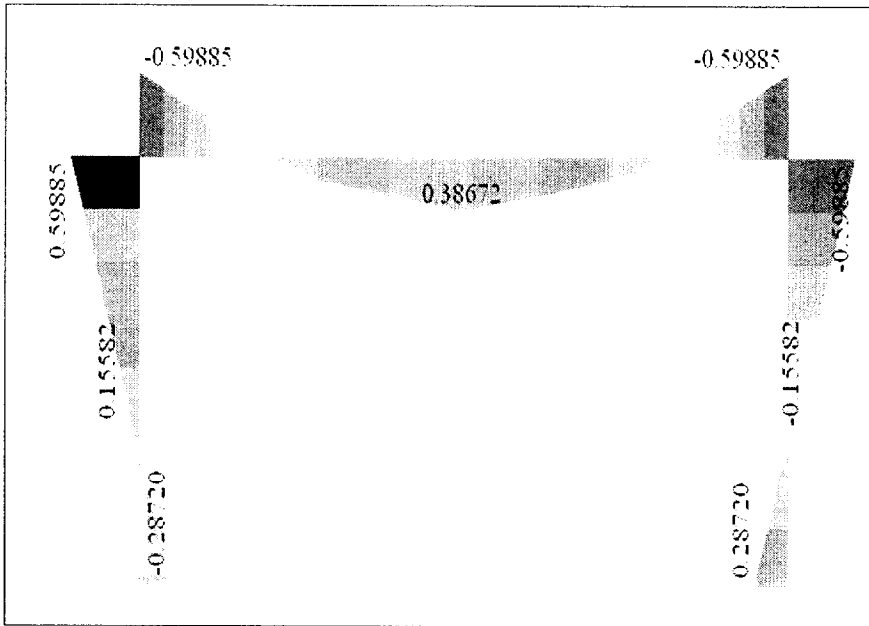


그림 5.1.3 사하중의 모멘트

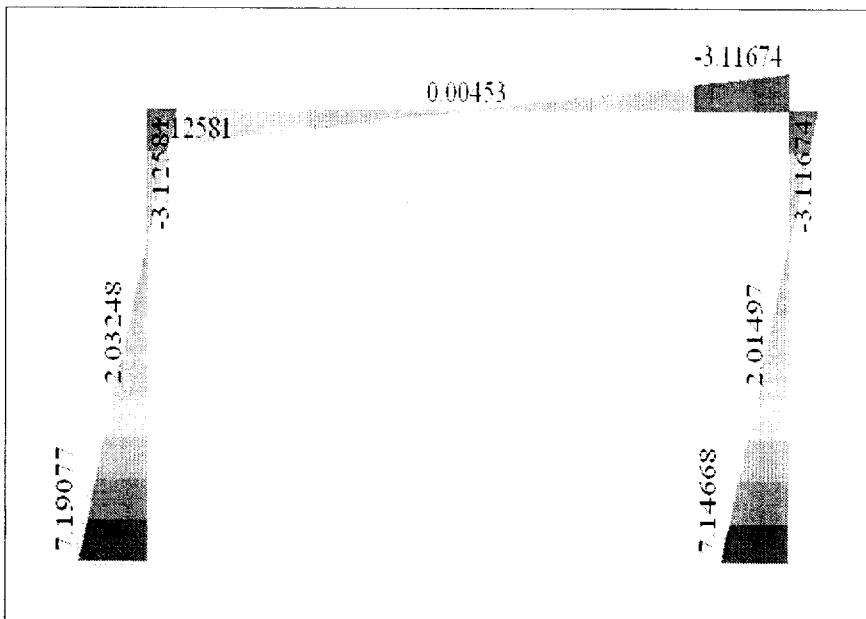


그림 5.1.4 충돌하중의 모멘트

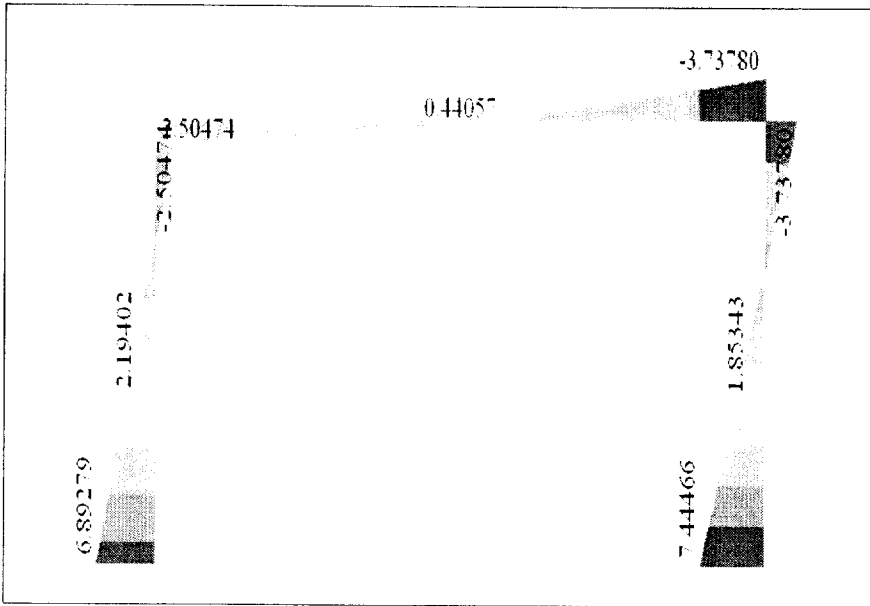


그림 5.1.5 전체하중의 모멘트

5.2 해석결과 비교·검토

차높이 제한장치의 기본이론에 의한 계산 결과와 프로그램에 의한 해석결과를 비교·검토하였다. 비교·검토 위치는 기둥의 두 지점에서의 반력값, 사하중의 모멘트, 충돌하중의 모멘트, 전체 모멘트에 대한 결과값을 비교·검토하였다.

5.2.1 결과의 비교·검토

1) 반력

기본이론에 의한 계산결과와 해석결과를 표 5.2.1에 나타내며, 표에서 알 수 있는 바와 같이 지점부의 수직반력에서 최대 3.9%의 차이를 나타내어 수직반력 및 수평반력은 거의 일치한 결과를 나타내고 있음을 알 수 있다.

표 5.2.1 두지점의 반력

(단위 : tonf)

항 목	수직반력		수평반력	
	A점	D점	A점	D점
기 본 이 론	0.339	1.737	1.918	2.282
해 석 결 과	0.349	1.669	1.884	2.315
해석결과/기본이론	1.029	0.961	0.982	1.014

2) 사하중의 모멘트

사하중에 의한 모멘트는 기본이론에 의한 계산 결과와 해석결과를 표 5.2.2에 나타내며, 표에서 알 수 있는 바와 같이 지점부, 기둥과 보의 연결부에 대한 사하중 모멘트의 계산결과와 해석결과는 A 및 D점에서 최대 3.7%의 차이를 나타내어 거의 일치하는 값을 얻을 수 있다.

표 5.2.2 사하중의 모멘트

(단위 : tonf/m)

항 목	A점	B점	C점	D점
기 본 이 론	0.298	0.596	0.596	0.298
해 석 결 과	0.287	0.598	0.598	0.287
해석결과/기본이론	0.963	1.003	1.003	0.963

2) 충돌하중의 모멘트

충돌하중에 의한 모멘트는 기본이론에 의한 계산 결과와 해석결과를 표 5.2.3에 나타내며, 표에서 알수 있는 바와 같이 지점부, 기둥과 보의 연결 부에 대한 충돌하중 모멘트의 계산결과와 해석결과는 거의 일치하는 값을 얻을 수 있었다.

표 5.2.3 충돌하중의 모멘트

(단위 : tonf/m)

항 목	A점	B점	C점	D점
기 본 이 론	7.145	3.144	3.144	7.145
해 석 결 과	7.191	3.126	3.126	7.191
해석결과/기본이론	1.006	0.994	0.994	1.006

3) 전체 하중의 모멘트

전체하중에 의한 모멘트는 기본이론에 의한 계산 결과와 해석결과를 표 5.2.4에 나타내며, 표에서 알수 있는 바와 같이 지점부, 기둥과 보의 연결 부에 대한 전체하중 모멘트의 계산결과와 해석결과는 B점에서 1.7%의 차이를 나타내어 거의 일치한 결과를 나타내었다.

표 5.2.4 전체하중의 모멘트

(단위 : tonf/m)

항 목	A점	B점	C점	D점
기 본 이 론	6.847	2.548	3.740	7.445
해 석 결 과	6.893	2.505	3.738	7.443
해석결과/기본이론	1.007	0.983	0.998	0.998

4) 처짐

사하중에 의한 보 중앙의 처짐 값은 기본이론에 의한 계산과 해석결과를 표 5.2.5에 나타내며, 표에서 알 수 있는 바와 같이 보 중앙의 처짐에 대한 결과는 거의 일치함을 알 수 있다.

표 5.2.5 보 중앙에서의 최대 처짐값

항 목	최대처짐(cm)
기 본 이 론	1.15
해 석 결 과	1.17

5.2.2 고찰

1. 차높이 제한장치의 기본이론과 해석에서 구한 지점의 반력, 모멘트, 부재의 응력 및 보의 최대처짐값을 비교한 결과, 약 1~4% 정도의 차이가 발생하여 어느 특정한 부재에 대한 응력산정도 기본이론으로 계산을 실시하여도 충분히 안전한 값을 구할 수 있음을 알 수 있다.
2. 차높이 제한장치에서 보, 기둥 및 연결부의 반력 및 응력을 산정하는 기본식을 체계적으로 정리하고 산정된 값을 해석결과와 비교·검토하여 결과값이 거의 일치하였으므로 이러한 결과는 임의의 부재가 부분적으로 손상이 생겼을 경우 손상부재를 기본식에 의해 간단히 계산을 실시하여 손상부재를 보수하는데에 충분히 활용할 수 있음을 알 수 있다.
3. 앞에서 정리한 기본이론 및 해석은 차높이 제한장치 뿐만 아니라 도로 교통의 안내표지판 등을 설치하기 위한 시설로서도 충분히 활용할 수 있다고 여겨진다.

6. 결 론

본 연구에서는 일반 도로 및 교량에 가설되는 차높이 제한장치의 반력, 모멘트, 처짐 및 부재의 응력등을 기본이론에 의한 계산 및 유한요소법에 의한 응력해석에 의한 결과를 비교·검토하였다. 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 차높이 제한장치의 설계에서 정리한 기본이론은 사용강재의 종류와 단면이 주어지면 지점의 반력, 부재 및 연결부의 응력을 간단히 산정할 수 있다.
2. 차높이 제한장치의 기본이론과 해석에서 구한 지점의 반력, 모멘트, 보의 최대처짐값을 비교한 결과, 거의 동일한 값을 나타내었다.
3. 차높이 제한장치에서 기본식을 활용하여 보, 기둥 및 연결부의 반력 및 응력을 산정한 결과는 해석결과와 거의 일치하였으므로 이러한 결과는 임의의 부재가 부분적으로 손상이 생겼을 경우에도 손상부재를 기본식에 의해 간단히 계산할 수 있음을 알 수 있다.

참 고 문 헌

- 1) 한국건설기술연구원, “도로공사 연보”, 1996.
- 2) 한국도로공사, “도로설계요령-제6권 도로안전 및 부대시설”, 1992.
- 3) 건설교통부, “도로의 구조·시설기준에 관한 규격 및 지침”, 2000.
- 4) 한국건설기술연구원, “교통사고 많은 지점 개선방안에 관한 연구”, 1990.
- 5) 경찰청, 교통안전시설 실무 편람, 2000.
- 6) 건설교통부, “도로설계편람(Ⅲ)”, 도서출판 건설정보, 2001. 3.
- 7) 대한토목학회, “도로교 설계기준·해설”, 2003.
- 8) 건설교통부, “강도로교 상세부 설계지침”, 1997.
- 9) 한국도로교통협회 “도로교 표준시방서”, 2005
- 10) 日本道路協會, “鋼道路橋 施工便覽”, 1985. 2.
- 11) 日本道路協會, “道路橋示方書・同解説 I 共通編, II 鋼橋編”, 2002.
- 12) 日本道路協會, “道路橋示方書・同解説, V 耐震設計編”, 2002.
- 13) 都市高速道路研究會, “都市高速道路 附屬構造物の設計”, 山海堂, 1998.
- 14) Gere and Timoshenko, “재료역학”, 반도출판사, 1999. 1.
- 15) 中井 傳, 北田俊行 “鋼橋設計の基礎”, 共立出版(株), 1992.
- 16) Hiroshi Nakai Chai Hong Yoo, “Analysis and Design of Curved Steel Bridges”, McGraw- Hill , 1988.
- 17) C. P. Heins, “Bending and Torsional Design in Structural Members”, Lexington, 1975.
- 18) J. T. Oden, E. A. Ripperger, “Mechanics of Elastics Structures”, McGraw- Hill , 1980.
- 19) S. P. Timoshenko and J. N. Goodier, “Theory of Elasticity”, McGraw- Hill , 1982.

- 20) 마이다스아이티, “MIDAS CIVIL”, (주) 마이다스 아이티, 1989
- 21) Daryl L. Logan, “A First Course in the Finite Element Method”,
BROOKS/COLE, 2002.
- 22) 日本 關西道路研究會・道路橋調査研究委員會, “コンピュータによる 鋼
橋の終局強度解析と座屈設計”, 共立出版(株), 1998.
- 23) 韓國鋼構造學會, “鋼構造便覽 第1卷 建設鋼材”, 1995.
- 24) 韓國鋼構造學會, “鋼構造便覽 第2卷 鋼構造의 接合”, 1995.
- 25) 韓國鋼構造學會, “鋼構造便覽 第4卷 鋼道路橋의 設計”, 1995.
- 26) 韓國鋼構造學會, “鋼構造便覽 第7卷 鋼構造物의 設計 例”, 1995.
- 27) 장동일, “강구조보강설계”, 건설도서, 1995. 5.
- 28) AASHTO “LRFD Bridge Design Specifications I,II” Third edition,
2004.
- 29) D. U. Lee, S. M. Choi, “Shape Control of Welded Joint with
Backing Strip” Steel Structures ISSS 05, pp. 720~731, 2005. 3. 10
- 30) S. M. Choi, S. D. Hong, D. G. Kim, Y.S Kim, J. H. Kim,
“Structural Capacities of Tention Side for CFT Square
Column-to-Beam Connections with Combine-Cross-Diaphragm”,
PSSC, pp. 24~27, Mar., 2004
- 31) SAC(1997), SAC/BD-97/02 Version 1.1, “ Protocol for
Fabrication, Inspection, Testing, and Documentation of
Beam-Column Connection Tests and Other Specimens”, SAC
Joint Venture, sacramento, CA.

감사의 글

오랜 기간 현업에 종사하면서 무언가 부족하다고 느끼면서도 바쁘다는 이유로 그 부족한 무엇을 잊고 생활하던 중 늦게나마 그 길을 찾아 주었을 뿐만 아니라 본 논문이 완성되기까지 바쁘신 일정 속에서도 세심한 지도와 가르침으로 부족한 제자를 끝까지 이끌어 주신 이동욱 지도교수님께 진심으로 감사의 말씀을 드립니다.

또한, 저의 미흡한 논문을 지도하여 주시고 심사하신 김명식 교수님, 국승규 교수님께도 깊은 감사를 드립니다.

그리고, 현업에 종사하면서 학업에 충실하지 못하였지만 끝까지 지켜봐 주시고 이해하고 지도하여 주신 건설공학부 교수님들께도 깊은 감사를 드립니다.

논문이 완성되기까지 내일처럼 항상 웃으면서 격려와 도움을 준 강구조 연구실의 식구들에게 지면을 통해 진심으로 고마움을 전합니다.

그리고, 직장생활을 하면서 본 논문이 있기까지 항상 힘이 되고 도움을 주신 분들에게 감사의 말을 전합니다.

끝으로 직장생활을 충실히 할 수 있도록 항상 이해하고 사랑으로 아껴준 가족에게 더 없는 고마움을 느끼며 이 기쁨을 함께 나누고자 합니다.