

거푸집 관련 시방서 및 구조계산 예

편집위원회 서규석 이사(주선구조 대표), 김대호 이사(주한울구조 대표)
 금동성 이사(주삼우구조 대표), 정희용 위원(주계명구조 대표)

1. 머리말

근래에 와서 건설공사가 대형화, 복잡화되면서 건설기술은 설계 및 시공분야 등에서 괄목할 만한 성장과 발전을 이룩하였습니다. 이에 수반하여 가설공사도 대형화, 복잡화되면서 가설공법이 건설공법을 좌우하고, 사용되는 가설구조물에 따라 전체공사의 품질과 비용이 달라짐은 물론, 대부분의 건설재해도 시공 중 이거나 기 설치된 가설 구조물에서 발생하고 있어, 가설공사가 전체공사에서 차지하는 비중은 점점 커지고 있는 실정입니다.

실제로 철근콘크리트 공사에서 가장 중요한 공정중의 하나인 거푸집공사의 경우, 전체공사의 경제성과 품질을 좌우할 뿐만 아니라, 안전한 공사를 수행하기 위하여 세심한 주의를 기울여야 하는 공종입니다. 그러나 거푸집공사는 구조물의 형태와 현장조건에 따라 매번 달라질 수밖에 없어, 거푸집의 계획과 설계를 현장기술자들이 문헌상의 규정이나 경험상의 판단으로만 해결하기에는 어려운 점이 많을 것입니다. 또한 최근에는 하중전이구조를 갖는 다수의 주상복합 건축물이나 장스팬의 건축물이 설계·시공되고 있습니다. 이러한 건축물의 경우, 거푸집의 계획과 설계에 구조전문가의 참여가 필수적이라 하겠습니다. 또한 가설공사 표준시방서상에도 일정규모 이상의 거푸집 및 동바리 공사는 자격을 갖춘 기술자의 구조계산서를 제출하도록 명시하고 있습니다.

그러나 이러한 가설구조물은 공사가 완공된 후 철거되는 임시시설이라는 점 때문에 많은 부분에서 현장기술자의 경험에 의존하여 비과학적인 방법으로 설계되고 시공되어온 면이 없지 않습니다. 이로 인하여 가설공사는 건설안전에 가장 취약한 공종으로 인식되었고, 추락, 낙하, 붕괴 등으로 인하여 많은 인명사고와 재산피해를 야기해

온 것이 사실입니다.

따라서, 우리 기술사회에서는 건축물의 가설공사에 많이 사용되고 있는 거푸집의 구조안전에 관련된 설계자료 및 구조검토 예를 제시하고, 구조설계자 및 관련 기술자들이 이러한 자료를 많이 활용토록 하여, 건설재해 및 부실공사 방지에 기여하고자 합니다.

2. 가설공사 표준시방서(거푸집 관련사항 요약)

제1장 총칙

1. 적용범위 - 본 시방서는 영구 구조물 구축을 위한 가설구조물의 설계 및 시공에 관한 일반적이고 기본적인 표준을 규정하는 것이다.
2. 적용법규 - 이 시방서의 내용과 관련 상위 법규의 내용이 상충될 때에는 관련법규를 우선 적용하며 관련 법규는 다음과 같다.
 건설기술관리법, 건축법, 산업안전보건법, 산업표준화법, 소방법.
3. 일반사항
 - (1) 가설구조물 시공시 경험있는 기술자의 현장상주를 원칙으로 함.
 - (2) 공사 개시 전 시공계획서 및 시공도면을 작성하여 책임감리원에 게 제출하고 승인을 얻는다.
4. 용어의 정의
 - (1) 가설공사-가설구조물의 설치 및 해체 공사
 - (2) 가설구조물- 임시로 설치하는 시설 또는 구조물

제3장 거푸집 및 동바리

1. 일반사항

1.1 적용범위

거푸집 및 동바리의 설계 및 설치, 유지관리 및 해체에 적용.

1.3 용어의 정의

- 간격재 - 거푸집의 간격유지와 철근 또는 긴장재나 시스가 소정의 위치와 간격을 유지하도록 하기 위해 쓰이는 콘크리트제, 모르타르제, 금속제, 또는 플라스틱제 부품.
- 거푸집 - 타설 된 콘크리트가 설계된 형상과 치수를 유지하며 콘크리트가 소정의 강도에 도달하기까지 양생 및 지지하는 구조물
- 거푸집널 - 거푸집의 일부로써 콘크리트에 직접 접하는 목재나 금속 등의 판류
- 동바리 - 타설 된 콘크리트가 소정의 강도를 얻기까지 고정하중 및 작업하중 등을 지지하기 위하여 설치하는 부재
- 멩 에 - 장선과 직각방향으로 설치하여 장선을 지지하며 폼타이나 동바리로 하중을 전달하는 부재
- 슬립폼(Slip Form) - 수직 또는 수평으로 연속되는 구조물을 균일한 형상으로 시공하기 위하여 일정한 크기로 만들어져 연속적으로 이동시키면서 콘크리트를 타설하는 공법에 적용하는 거푸집
- 요크(Yoke) - 수직 슬립폼에 있어서 콘크리트의 측압, 거푸집 하중, 작업하중 등을 잭(jack)에 전달하는 부재
- 요크빔(Yoke Beam) - 요크에 걸린 하중이 잭(jack)으로 전달될 수 있도록 요크와 요크를 연결해 주는 보
- U헤드 - 멩에에 가해진 하중을 동바리로 전달하기 위하여 동바리 상부에 삽입하여 사용하는 U형태의 연결 지지재
- 이동식 거푸집(Ganged Form) - 기둥이나 벽체와 같은 수직부재의 거푸집과 작업 공간을 위한 발판을 일체로 조립하여 크레인 등으로 한꺼번에 인양시켜 사용하는 거푸집
- 이동식 동바리(Flying Table) - 슬래브 콘크리트를 타설하기 위하여 거푸집널, 장선, 멩에, 동바리 등을 일체로 제작하여 크레인 등으로 한꺼번에 인양시켜 설치, 해체하는 동바리 시스템
- 장선 - 거푸집널을 지지하여 멩에로 하중을 전달하는 부재
- 잭로드(Jack Rod) - 요크빔에 의해 전달되는 하중을 기 타설된 하부의 콘크리트로 전달하는 수직부재로, 잭이 이동하는 레일과 같은 역할을 하는 슬립폼의 부속품
- 터널폼(Tunnel Form) - 수직부재와 수평부재의 콘크리트 타설을 한번에 가능하게 하기 위하여, 수직 거푸집과 수평 거푸집을 일체로 제작한 거푸집
- 폼타이(Form Tie) - 기둥이나 벽체거푸집과 같이 마주보는 거푸집에서 거푸집널을 일정한 간격으로 유지시켜 주는 동시에 콘크리트 측압을 최종적으로 지지하는 역할을 하는 인장부재로 매립형과 관통형이 있다
- 폼행거(Form Hanger) - 콘크리트 상판을 받치는 보 형식의 동바

리재를 영구구조물의 보 등에 매다는 형식으로 사용하는 부속품

1.4 제출물

- (1) 공사시방서에 따른다. 다만 공사 시방서에서 정한 바가 없으면 시공전 시공계획서 및 시공도면을 제출하여야 한다. 시공도면에는 구조계산서가 포함되어야 한다.
- (2) 동바리 재설치는 책임 감리원의 승인을 받아 시공하여야 한다.
- (3) 다음에 해당하는 거푸집 및 동바리공사는 자격을 갖춘 기술자의 구조계산서를 제출하여야 한다.
 - ① 층고가 5m 이상인 구조물
 - ② 지상에서 20m 이상의 구조물
 - ③ 2등급 이상의 교량
 - ④ 기타 책임감리원이 필요하다고 인정하는 구조물

1.5 설계하중

- (2) 고정하중 - 철근콘크리트와 거푸집의 무게를 합한 하중
 - 보통콘크리트 - 24kN/m²(2400kgf/m²)
 - 제1종 경량콘크리트 - 20kN/m²(2000kgf/m²)
 - 제2종 경량콘크리트 - 17kN/m²(1700kgf/m²)
 - 거푸집 무게는 최소 0.4kN/m² 이상(40kgf/m²)
- (3) 활하중은 시공하중 및 충격하중을 포함한다. 활하중은 2.5kN/m²(250kgf/m²) 이상으로 설계하며, 진동식 카트장비를 이용하여 타설 할 경우 3.75kN/m²(375kgf/m²)의 활하중을 고려하여 설계한다.
- (5) 고정하중과 활하중을 합한 수직 하중은 슬래브의 두께와 상관없이 최소 5kN/m²(500kgf/m²) 이상, 전동식 카드 사용시에는 최소 6.25kN/m²(625kgf/m²) 이상으로 거푸집 및 동바리를 설계한다.

1.5.3 콘크리트 측압

- (2) 일반 콘크리트 측압은 (3)항의 경우를 제외하고 다음 식에 의해 선정한다.

$$P = W \cdot H$$

여기서

P : 콘크리트 측압 (kN/m²)

W : 생콘크리트의 단위중량 (kN/m³)

H : 콘크리트 타설높이 (m)

- (3) 보통포틀랜드시멘트를 사용하고, 단위중량 23.5(kN/m³), 슬럼프가 10cm 이하이고 혼화제를 사용하지 않은 콘크리트로 내부진동 다짐을 할 경우 기둥과 벽체의 측압은 다음과 같다.

① 기둥의 축압 $P = 7.2 + \frac{790R}{T + 18} \leq 23.5H$

R : 콘크리트 타설속도 $\leq 9\text{m/hr}$

T : 타설되는 콘크리트의 온도($^{\circ}\text{C}$)

최소축압은 $29.4\text{kN/m}^2(3.0\text{tonf/m}^2)$ 이상이고, 최대축압은 $147\text{kN/m}^2(15.0\text{tonf/m}^2)$ 이하이다.

② 벽체의 축압

가) 타설속도 2.1m/hr 이하인 경우

$$P = 7.2 + \frac{790R}{T + 18} \leq 23.5H$$

나) 타설속도가 2.1m/hr 초과하고 3.0m/hr 이하인 경우

$$P = 7.2 + \frac{1160 + 240R}{T + 18} \leq 23.5H$$

최소축압은 $29.4\text{kN/m}^2(3.0\text{tonf/m}^2)$ 이상이고, 최대축압은 $98.1\text{kN/m}^2(10.0\text{tonf/m}^2)$ 이하이다.

(4) 슬립폼의 축압은 타설높이가 높지 않고 타설속도가 빠르지 않아 축압을 낮추어 고려할 수 있다.

① 슬립폼에는 다음의 축압을 적용할 수 있다.

$$P = 4.8 + \frac{520R}{T + 18}$$

② 추가 진동으로 다짐할 경우

$$P = 7.2 + \frac{520R}{T + 18}$$

(6) 콘크리트 거푸집 하부에서 주입하는 역타설의 경우에는 주입하는 압력이 추가로 고려되어야 하며 1.5.3(2)에서의 식($p=w \cdot H$)에 50%를 추가로 고려하여야 한다.

1.5.4 풍하중

(1) 가설구조물의 설계용 풍하중(W_f)는 다음과 같다

$$W_f = P_f \cdot A$$

A : 작용면의 외각 전면적(m^2)

$$P_f = q_z \cdot G_f \cdot C_f$$

q_z : 지표면에서 임의 높이 z에 대한 설계속도압(kN/m^2)

G_f : 가설구조물 설계용 가스트 영향계수

C_f : 가설구조물의 풍력계수

$$q_z = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V_z^2$$

$$V_z = V_0 \cdot K_{zr} \cdot K_{zt} \cdot I_w$$

ρ : 공기밀도로서 균일하게 $1.23(\text{kN s}^2/\text{m}^4)$ 적용.

V_z : 지표면에서부터 임의높이 z에 대한 설계풍속(m/s)

V_0 : 기본풍속(m/s)

K_{zr} : 풍속의 고도분포계수

K_{zt} : 가설구조물의 풍속하중계수

I_w : 가설구조물의 중요도계수(0.63)

(2) 풍속하중계수

② 도심부 공사용 가설 구조물의 50m이상의 주변 고층건축물에 대하여 2배 이내의 거리에 가설구조물을 설치하는 경우 건축물 1/2 높이 부분의 가설 구조물에 작용하는 설계하중을 1.2배 이상 할증한다.

③ 태풍이 도래하는 시기에도 설계풍속의 1.1배를 할증하여 산정한다.

(3) 중요도 계수는 0.63

1.5.5 수평하중

(1) 거푸집 및 동바리는 풍하중 이외에 타설시의 충격, 또는 시공 오차 등에 의한 최소 수평하중을 고려하여야 한다.

(2) 고정하중의 2% 이상 수평길이당 $1.47\text{kN/m}(150\text{kgf/m})$ 이상 중 큰 쪽의 하중이 층 상단에 작용하는 것으로 한다.

(3) 벽체 거푸집에 고려하는 최소 수평하중은 단위면적당 $4.9\text{N/m}^2(50\text{kgf/m}^2)$ 가 작용하는 것으로 한다.

1.5.6 특수하중

(3) 슬립폼 인양시에는 벽체 길이당 최소 $2.94(300\text{kgf/m}^2)\text{kN/m}$ 이상의 마찰하중이 작용하는 것으로 한다.

1.6 설계

1.6.1 허용응력

(1) 허용응력설계법에 따른다.

1.6.2 안전율

(1) 동바리의 안전율

받침형식	안전율	시공형태
단품 지지형식	3	파이프 서포트, 강관과 같이 개개품을 이용
시스템 동바리	2.5	부재를 용접이나 기타의 방식으로 접합
보 형식의 동바리	2	수평으로 설치하여 지지

(2) 폼타이 및 긴결제 등의 부속품 안전율

부속품	안전율	시공형태	
폼타이	2	모든 경우	
앵커	전단	2	거푸집 하중과 콘크리트 축압고려
	인장	3	거푸집하중, 콘크리트축압 및 활하중고려
폼행거	2	모든 경우	
	2	모든 경우	

(3) 양중에 관련된 로프나 부속품의 안전율은 5이상

1.7 변형기준 (1_n : 순간격)

표면의 등급	상대변형	절대변형
A급	1 _n / 360	6mm
B급	1 _n / 270	6mm
C급	1 _n / 180	13mm

상대 변형과 절대변형 중 작은 값 이하

3.9 거푸집 해체 및 동바리 재설치

3.9.2 거푸집 존치기간

10℃ 이상의 온도에서 24시간 이상 양생 후 압축강도 시험 유수에 따라 아래 표와 같은 기준이 되면 거푸집을 해체할 수 있다.

압축강도 시험을 하는 경우

부재	콘크리트의 압축강도
확대기초, 보 옆, 기둥, 벽 등의 측벽	4.9×10 ³ kN/m ² (50kgf/cm ²)
슬래브 및 보의 밑면, 아치 내면	설계기준 강도의 2/3 이상 다만, 13.7×10 ³ kN/m ² 이상(140kgf/cm ²)

압축강도시험을 하지 않을 경우(기초, 보 옆, 기둥 및 벽의 측벽)

시멘트의 종류 평균기준	조강포틀랜드 시멘트	보통포틀랜드 시멘트	고로슬래그 시멘트
	20℃ 이상	2일	4일
20℃ 미만 10℃ 이상	3일	6일	8일

3.10 특수거푸집 및 동바리

3.10.1 특수문양 노출 콘크리트

(1) 시공자는 다음의 항이 포함된 시공도면을 제출하여야 한다.

- ① 변형기준
- ② 폼타이의 위치 및 형태
- ③ 거푸집 조인트의 위치 및 형태
- ④ 폼라이너의 종류와 형태

3.10.2 슬립폼

(5) 슬립폼의 작업발판에 작용하는 활화중은 다음 값 이상으로 한다

- ① 상부 작업용 바닥판
가. 판재를 지지하는 1차 부재 : 3.35kN /m²(360kgf/m²)
나. 트러스나 보와 같은 2차 부재 : 2.45kN /m²(250kgf/m²)
- ② 하부 마감용 비계 및 작업발판 : 1.23kN /m²(125kgf/m²)

3.10.3 시스템 동바리(Prefabricated Shoring System)

(1) 시스템 동바리(보 형태의 동바리 포함)는 다음 내용이 포함된 공사시방서를 제출하여 책임감리원의 승인을 받아 시공한다.

- ① 사용길이별 허용하중
- ② 시공오차
- ③ 부재간의 체결방식, 고정방식
- ④ 시공 및 해체순서

3.10.4 이동식 동바리(Flying Table)

(2) 이동식 동바리는 규준에 의한 하중이외에 양중에 의한 영향을 고려하여야 한다.

3.10.5 이동식 거푸집(Ganged Form)

(4) 시공자는 다음의 사항이 포함된 시공도면을 준비하여야 한다.

- ① 요철 규격, 리브간격, 개구부 위치 및 형태
- ② 양중 지점 및 양중 상세
- ③ 비계, 작업발판, 안전난간대 등의 위치 및 형태
- ④ 가새의 위치, 긴결재의 종류 및 긴결 상세
- ⑤ 지지 및 고정용 철물의 성능, 상세 및 위치

3.10.6 터널폼(Tunnel Form)

(2) 펌핑(pumping)방식으로 콘크리트를 타설하는 경우에는 터널폼의 부위별로 달라지는 측압의 영향을 고려하여야 한다.

(4) 거푸집 설치 및 해체를 위한 개개의 부속품은 시공하중과 측압에 대하여 안전하도록 본 시방서 1.6.2 의 안전율 이상을 확보하여야 한다.

3.10.7 영구거푸집(Permanent Form)

(1) 영구거푸집은 책임감리원의 승인을 받은 제조자의 자재 설치시방에 따라 설치하여야 하며, 자재 설치시방에는 크기, 경간, 고정 방법, 부속품 등에 관한 사항이 포함 되어야 한다.

(6) 별도의 동바리를 설치하지 않는 강제 갑판의 경우에는 안전율 2를 적용한다.

3.10.8 P.C.(Precast Concrete) 제작용 거푸집

(1) 거푸집 널재는 표면의 질감과 색상에 영향을 미칠 수 있으므로 동일한 재질로 결의 방향이 일치하도록 한다.

3.10.9 P.C.패널 거푸집(Precast Concrete Panel Form)

(2) P.C.패널 거푸집은 구조기술자의 구조계산과 거푸집의 지지방법

및 마감의 두께와 종류 등이 포함된 시공도면을 작성하여 책임 감리원의 승인을 받아 시공한다.

(3) 현장 타설 콘크리트와 P.C패널 거푸집간의 부착은 다음의 사항에 적합하게 한다.

- ① 조면 처리를 하거나 흠을 만든다.
- ② 앵커장치를 만든다.
- ③ ①과②의 조합

3. 거푸집 구조계산 예

1. 구조계산 방법

여기서는 거푸집 구성요소에 대한 기본적인 설계식 및 흐름에 대해 간략히 소개한다. 거푸집 구조계산은 먼저 하중을 산정하는데 부재의 자중, 충격하중 및 작업하중을 산정하고 콘크리트에 의한 측압을 산정한다. 다음에 거푸집 널판에 대한 검토, 거푸집을 받치고 있는 장선의 최대간격, 멍에 간격, 폼타이 간격 및 서포트 간격을 산출함으로써 거푸집 구성요소의 계산이 이루어진다. 다음은 각 구조부재별 거푸집 계산과정을 설명한다.

1) 벽 및 기둥

하중산정 → 거푸집널판 → 수직띠장 → 수평띠장 → 폼타이 산정

2) 슬라브

하중산정 → 거푸집널판 → 장선 → 멍에 → 서포트

3) 보

보의 밑면과 측면으로 구분하여 보측면의 경우에는 벽 및 기둥과 같은 과정으로 산정되고, 보 밑면의 경우에는 슬라브의 경우와 같은 흐름으로 산정하게 된다.

1.1 하중계산

1) 고정하중(w_1) : 철근콘크리트의 자중

$$w_1 = 0.0024 \times \text{슬라브두께 (cm)} \text{ (kgf/cm}^2\text{)}$$

(2) 충격하중 (w_2)

$$w_2 = w_1 \times 0.5 \text{ (kgf/cm}^2\text{)}$$

(3) 작업하중 (w_3)

w_3 는 작업의 여건에 따라 0.015~0.05 (kgf/cm²)범위에서 고려한다.

(4) 전체하중 (w_t)

$$w_t = w_1 + w_2 + w_3 \text{ (kgf/cm}^2\text{)}$$

(5) 측압

측압 산정에 있어서는 먼저 다음 사항들을 결정한 후, <표1-1>에 따라 측압(P측압)을 계산한다.

가) 콘크리트 타설속도 : 10~50 (m/h)

나) 생콘크리트의 1회 타설높이 (m)

다) 벽체의 길이

<표1-1> 거푸집 설계용 콘크리트 측압(tf/m²)

타설속도(m/h)	10이하		10초과 20이하		20초과
타설높이(m)	1.5이하	1.5초과 4.0이하	2이하	2.0초과 4.0이하	4.0이하
기둥		1.5W ₀ + 0.6W ₀ (H+1.5)		2.0W ₀ +0.8W ₀ (H+2.0)	
벽	길이 3m 이하	1.5W ₀ + 0.2W ₀ (H+1.5)	WoH	2.0W ₀ +0.4W ₀ (H+2.0)	WoH
	길이 3m 초과	1.5W ₀		2.0W ₀	

여기서, W₀는 생콘크리트의 중량이고, H는 콘크리트의 타설 높이를 의미한다.

<표1-2> 하중조건에 따른 휨모멘트 및 처짐 공식

지지조건	하중상태				
		단순지지	고정지지	양단고정	중간식
단순	최대휨모멘트	$M = \frac{PL}{4}$	$M = \frac{PL}{3}$	$M = \frac{PL}{2}$	$M = \frac{\omega L^2}{8}$
단순	최대처짐	$\delta = \frac{PL^3}{48EI}$	$\delta = \frac{23PL^3}{648EI}$	$\delta = \frac{19PL^3}{384EI}$	$\delta = \frac{5\omega L^4}{384EI}$
양단고정	최대휨모멘트	$M = \frac{PL}{8}$	$M = \frac{PL}{9}$	$M = \frac{3PL}{16}$	$M = \frac{\omega L^2}{12}$
양단고정	최대처짐	$\delta = \frac{PL^3}{192EI}$	$\delta = \frac{5PL^3}{648EI}$	$\delta = \frac{PL^3}{96EI}$	$\delta = \frac{\omega L^4}{384EI}$
중간식	최대휨모멘트	$M = \frac{PL}{6}$	$M = \frac{2PL}{9}$	$M = \frac{3PL}{8}$	$M = \frac{\omega L^2}{10}$
	최대처짐	$\delta = \frac{PL^3}{96EI}$	$\delta = \frac{14PL^3}{648EI}$	$\delta = \frac{PL^3}{32EI}$	$\delta = \frac{\omega L^4}{128EI}$
	최대전단력	$Q = \frac{P}{2}$	$Q = P$	$Q = \frac{3P}{2}$	$Q = \frac{\omega L}{2}$

1.2 수평부재

수평부재란 슬래브 및 보 밑면과 같이 수직하중을 받는 부재를 말한다.

1.2.1 거푸집 널판 검토

거푸집 널판의 구조계산은 등분포의 단위하중에 대해 단순보로 가정하여 다음과 같이 장선의 간격을 결정함으로써 산정한다.

가) 단위하중 산정

$$w = w_t \text{ (kgf/cm}^2\text{)} \times 1 \text{ (cm)} \text{ (} w_t \text{: 전체하중)}$$

나) 장선간격(l_1) 산정

널판의 지점이 되는 장선 또는 수직띠장의 간격으로서 다음의 두 가지 식 중에서 작은 값으로 한다.

$$l_1' = 4 \sqrt{\frac{\delta_{\max} \times 384 \times E_{\text{널판}} \times I_{\text{널판}}}{5 \times w}} \text{ ----- ㉑}$$

$$l_1'' = \sqrt{\frac{8 \times f_{b\text{널판}} \times Z_{\text{널판}}}{w}} \text{ ----- ㉒}$$

1.2.2 장선 검토

장선의 검토는 등분포하중이 작용하는 단순보와 양단 고정보의 중간 값에 의한 근사식을 이용하는데, 다음과 같이 명에간격을 결정함으로써 이루어진다.

가) 하중계산

$$w = w_t \times l_1 \quad (l_1: \text{장선간격})$$

나) 명에간격(l_2) : 작은 값 적용

$$l_2' = 4 \sqrt{\frac{\delta_{\max} \times 128 \times E_{\text{장선}} \times I_{\text{장선}}}{w}} \quad \text{----- ㉔}$$

$$l_2'' = \sqrt{\frac{10 \times f_{b\text{장선}} \times Z_{\text{장선}}}{w}} \quad \text{----- ㉕}$$

다) 전단검토

장선재의 전단검토는 다음 식을 이용하며, 장선재의 단면형상에 따라 형상계수(k)를 선택한다.

$$\tau = \frac{k \cdot Q}{A_s} \leq f_s \quad \text{----- ㉖}$$

1.2.3 명에 검토

명에는 장선에 의한 집중하중이 작용하게 되는데, 집중하중이 3개 이상이면 등분포 하중으로 간주할 수 있으며, 지지조건은 단순보와 양단고정보의 중간 값인 근사식을 이용할 수 있다.

가) 하중계산

$$P = w_t \times l_1 \times l_2 \quad (l_1: \text{장선간격}, l_2: \text{명에간격})$$

나) 서포트간격(l_3)

1개의 집중하중이 작용할 경우에는 다음의 식을 이용하고, 두개의 집중하중이 작용할 경우에는 <표1-2>의 공식을 이용하고, 등분포하중이 작용할 경우에는 식㉔ 및 식㉕를 이용할 수 있다.

$$l_3' = 3 \sqrt{\frac{\delta_{\max} \times 96 \times E_{\text{명에}} \times I_{\text{명에}}}{P}} \quad \text{----- ㉗}$$

$$l_3'' = \frac{6 \times f_{b\text{명에}} \times Z_{\text{명에}}}{P} \quad \text{----- ㉘}$$

다) 전단검토

명의 전단검토는 다음 식을 이용하며, 명에재의 단면형상에 따라 형상계수(k)를 선택한다.

$$\tau = \frac{k \cdot Q}{A_s} \leq f_s$$

1.2.4 서포트의 검토

서포트에 작용하는 수직하중을 계산하여 허용하중($P_{\text{서포트}}$) 이내 인지를 검토한다.

$$P = w_t \times l_1 \times l_2, \quad P \leq P_{\text{서포트}} \quad \text{----- ㉙}$$

1.3 수직부재

수직부재란 벽, 기둥 및 보의 측면과 같이 콘크리트에 의해 측압력이 작용하는 경우의 부재를 말한다. 수직부재는 실내의 경우엔 측압만을 생각하면 되지만, 실외에서 강풍이 예상되는 곳에서는 풍압도 고려되어야 한다.

1.3.1 거푸집 널판

가) 하중계산

단위폭 1cm 당 하중을 P 라 하고, 측압을 계산하여 $P_{\text{최대측압}}$ 을 기준으로 다음과 같이 계산한다.

$$w = P_{\text{최대측압}} (\text{kgf/cm}^2) \times 1 (\text{cm}) \quad \text{----- ㉚}$$

나) 수직띠장 간격(l_1)

수직띠장의 간격은 널판 지점의 기준으로서 다음의 두 가지 식 중에서 작은 값을 적용한다.

$$l_1' = 4 \sqrt{\frac{\delta_{\max} \times 384 \times E_{\text{널판}} \times I_{\text{널판}}}{5 \times w}} \quad \text{----- ㉛}$$

$$l_1'' = \sqrt{\frac{8 \times f_{b\text{널판}} \times Z_{\text{널판}}}{w}} \quad \text{----- ㉜}$$

1.3.2 수직띠장의 검토

수직띠장의 검토는 등분포하중이 작용하는 보로서 단순보와 양단고정보의 중간 값으로 한 근사식을 이용한다.

가) 하중계산

$$w = P_{\text{최대측압}} (\text{kgf/cm}^2) \times l_1 (\text{cm}) \quad \text{----- ㉝}$$

나) 수평띠장간격(l_2) : 다음 두 가지 식 중에서 작은 값을 적용

$$l_2' = 4 \sqrt{\frac{\delta_{\max} \times 128 \times E_{\text{수평띠장}} \times I_{\text{수평띠장}}}{w}} \quad \text{----- ㉞}$$

$$l_2'' = \sqrt{\frac{10 \times f_{b\text{수평띠장}} \times Z_{\text{수평띠장}}}{w}} \quad \text{----- ㉟}$$

다) 전단검토

이래 식과 같이 수직띠장재의 전단응력이 허용전단응력 이하가 되도록 한다. 특히 수직띠장재의 단면형상에 따라 형상계수(k)를 선택한다.

$$\tau = \frac{k \cdot Q}{A_s} \leq f_s \quad \text{----- ㊱}$$

1.3.3 수평띠장의 검토

수평띠장에는 집중하중 조건으로서 단순보와 양단고정보의 중간 값으로 한 근사식을 이용한다. 그리고 집중하중이 3개 이상이면 등분포 하중으로 간주할 수 있다.

가) 하중계산

$$P = P_{\text{최대측압}} (\text{kgf/cm}^2) \times \text{폼파이수직거리} (\text{cm}) \times \text{폼파이수평}$$

거리 (cm)

나) 폼타이 간격 (l_3)

1개의 집중하중이 작용할 경우 다음 두 가지 식 중에서 작은 값을 적용하고, 집중하중이 2개 이상이면 앞의 <표1-2>의 식을 적용한다.

$$l_3' = 3\sqrt{\frac{\delta_{\max} \times 96 \times E_{\text{수직띠강}} \times I_{\text{수직띠강}}}{P}}$$

$$l_3'' = \frac{6 \times f_{\text{수직띠강}} \times Z_{\text{수직띠강}}}{P}$$

다) 전단검토

전단응력은 다음 식에 의해 전단응력 이하가 되도록 검토하고, 수평 띠장의 단면형상에 따른 형상계수 (k)를 선택한다.

$$\tau = \frac{k \cdot Q}{A_s} \leq f_s$$

1.3.4 폼타이 검토

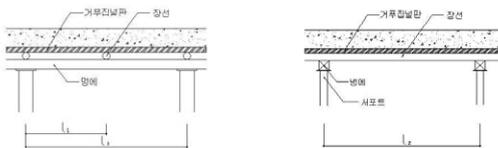
폼타이에 작용하는 하중을 구하여 다음식과 같이 폼타이의 허용하중 ($P_{\text{폼타이}}$) 이하 인지를 검토한다.

$$P = w_l \times l_1 \times l_2, \quad P \leq P_{\text{폼타이}}$$

2. 슬라브용 거푸집 설계 예

1) 설계조건

· 슬라브 두께 (t) = 18cm, 작업하중 = 0.015kgf/cm²



2) 하중계산

- 고정하중 : $0.0024 \times 18 = 0.0432 \text{ kgf/cm}^2$
- 충격하중 : $0.0432 \times 0.5 = 0.0216 \text{ kgf/cm}^2$
- 작업하중 : 0.015 kgf/cm^2
- 전체하중 : $0.0432 + 0.0216 + 0.015 = 0.0798 \text{ kgf/cm}^2$

3) 단면가정

부재	규격	l	Z	E	f_b	f_s	P_a
		cm ²	cm ³	kgf/cm ²	kgf/cm ²	kgf/cm ²	kgf
널판	12mm 합판	0.144	0.24	20000	120		
장선	50x50x2.3 각형강관	15.9	6.34	2.1*10 ⁶	2000	1600	
망에	84x84 각재	414.9	98.1	80000	60	8	
동바리	V2, $\phi 48.6 \times 2.4$	9.32	3.83	2.1*10 ⁶	2000	1600	1500

4) 널판

· 단위하중 : $w_1 = 0.798 \times 1\text{cm} = 0.0798\text{kgf/cm}$

· 장선간격 결정

$$l_1' \leq \sqrt{\frac{8 \times f_{\text{널판}} \times Z_{\text{널판}}}{0.0798}} = 53.7$$

$$l_1'' \leq 4\sqrt{\frac{384 \times \delta_{\max} \times E_{\text{널판}} \times I_{\text{널판}}}{5 \times 0.0798}} = 30.2 \approx 30\text{cm}$$

단 $\delta_{\max} = 0.3\text{cm}$

∴ 위의 두 값 중 작은 값인 30cm 적용

5) 장선

· 단위하중 : $w_2 = 0.798 \times 30\text{cm} = 2.394\text{kgf/cm}$

· 멩에간격 결정

$$l_2' \leq \sqrt{\frac{10 \times f_{\text{장선}} \times Z_{\text{장선}}}{2.394}} = 230.1\text{cm}$$

$$l_2'' \leq 4\sqrt{\frac{128 \times \delta_{\max} \times E_{\text{장선}} \times I_{\text{장선}}}{2.394}} = 152.1\text{cm} \approx 152\text{cm}$$

< 최대 150cm

∴ 위의 두 값이 모두 150cm를 넘으므로 150cm를 적용

· 전단검토

$k = 1.5$ (사각형), 2.0 (원형)

$$\tau = (k \times 150 \times 2.394) \div (2 \times A_{\text{장선}}) = 117.1\text{kgf/cm} < f_{\text{장선}} = 1600 \quad \text{O.K}$$

6) 멩에

· 단위하중 : $w_3 = 0.798 \times 150\text{cm} = 11.9\text{kgf/cm}$

· 동바리간격 결정

$$l_3' \leq \sqrt{\frac{10 \times f_{\text{멩에}} \times Z_{\text{멩에}}}{11.9}} = 70.3\text{cm} \rightarrow 60\text{cm (동바리 설치간격)}$$

$$l_3'' \leq 4\sqrt{\frac{128 \times \delta_{\max} \times E_{\text{멩에}} \times I_{\text{멩에}}}{11.9}} = 101.7\text{cm}$$

· 전단검토

$k = 1.5$ (사각형), 2.0 (원형)

$$\tau = (k \times 11.9 \times 6) \div (2 \times A_{\text{멩에}}) = 7.59\text{kgf/cm}^2 < f_{\text{멩에}} = 8 \quad \text{O.K}$$

7) 동바리

· 동바리 허용하중 (P_a) = 2,000kgf (지지길이 2.4m 일때)

· 동바리 1분당 하중

$$N = 0.0798 \times 150 \times 60 = 718.2\text{kgf} < P_a \quad \text{O.K}$$

8) 변형기준

설계용(δ _{max})		검토용(δ _e)	
노출 및 견출	0.15	노출 및 견출	1/430
미장마감	0.3	6mm 이하 마감	1/300
강재갑판	1.5	미장마감등	1/100

9) 변형검토

$$\text{널판} = \frac{5 \times 0.0798 \times 30^4}{384 \times E_{\text{널판}} \times I_{\text{널판}}} = 0.292\text{cm}$$

$$\text{장선} = \frac{2.394 \times 150^4}{128 \times E_{\text{장선}} \times I_{\text{장선}}} = 0.284\text{cm}$$

$$\text{명예} = \frac{11.9 \times 60^4}{128 \times E_{\text{명예}} \times I_{\text{명예}}} = 0.036\text{cm}$$

총처짐 : $\Sigma\delta = 0.292 + 0.284 + 0.036 = 0.612\text{cm}$

기준길이 = $\sqrt{150^2 + 60^2} = 161.5\text{cm}$

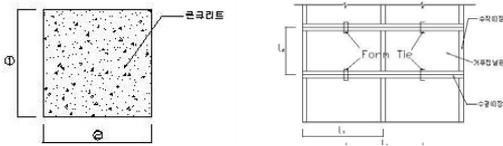
허용처짐 = $161.5 \times \delta_e = 161.5 \times \frac{1}{100} = 1.615\text{cm} > \Sigma\delta =$

0.612cm OK

3. 기동용 거푸집 설계 예

1) 평면 및 단면

- 기동크기(장변×단변) = 100cm × 100cm
- 구분 타설높이 = 250cm
- 경간 = 600cm



2) 하중계산

- 최대측압 : $0.0023 \times 250 = 0.58 \text{ kgf/cm}^2$
- 평균측압 : $0.58 \times 0.5 = 0.29 \text{ kgf/cm}^2$
- 수평하중 : $= 1.5 \text{ kgf/cm}$

3) 단면가정

부재	규격	I		Z	E	f _b	f _s	P _a
		cm ⁴	cm ⁴	cm ³	kgf/cm ²	kgf/cm ²	kgf/cm ²	kgf
널판	12mm 합판	0.144	0.24	20000	120			
띠장	84x84 각재	414.9	98.1	80000	60	8		
동바리	V2, φ48.6x2.4	9.32	3.83	2.1×10 ⁶	2000	1600	1500	
밴드	SS340, 65x6t	13.7	4.2		1750	700		

기동재의 널판 및 띠장의 검토는 벽체용 거푸집 설계방식과 동일하여 여기서는 생략한다.

4) 주밴드 간격 및 폼타이 검토

- 기동폭이 60cm를 초과할 경우에는 주밴드 중앙에 띠장을 설치한다.
- 주밴드 간격

$$\frac{f_{\text{주밴드}} \times Z_{\text{주밴드}} \times 8}{0.58 \times (100/2)^2} = 40.6\text{cm} \rightarrow 30\text{cm}$$

- 띠장 구성수(k) = 1 또는 2
- 폼타이 간격

$$\sqrt{\frac{f_{\text{띠장}} \times Z_{\text{띠장}} \times k \times 12}{0.58 \times (100/2)^2}} = 69.8\text{cm} \rightarrow 60\text{cm}$$

- 폼타이 1본당 하중검토

$$0.58 \times 60 \times 100/2 = 1740\text{kgf} < \text{부담하중} = 2000\text{kgf} \text{ O.K}$$

5) 변형기준

설계용(δ _{max})		검토용(δ _e)	
노출 및 견출	0.15	노출 및 견출	1/430
미장마감	0.3	6mm 이하 마감	1/300
		미장마감등	1/100

6) 변형검토 · 총처짐

$$\Sigma\delta = \frac{5 \times 0.58 \times 30 \times (100/2)^4}{384 \times E_{\text{주밴드}} \times I_{\text{주밴드}}} + \frac{0.58 \times 100 \div (2 \times k) \times 60^4}{128 \times E_{\text{띠장}} \times I_{\text{띠장}}}$$

$$+ 0.1(\text{or } 0.02(\text{주밴드 사용시})) = 0.114\text{cm}$$

· 기준길이 = $\sqrt{(60)^2 + (100+2)^2} = 78\text{cm}$

· 허용처짐 = $78 \times \delta_e = 78 \times \frac{1}{100} = 0.78\text{cm} > \Sigma\delta = 0.114$
O.K

7) 버팀대

- 버팀대 기울기 가정 = 60°
- 부담하중 = $600\text{cm} \times 1.5\text{kgf/cm} \div \cos(60) = 1800\text{kgf}$
- 허용하중 = 700kg(지지길이 5m에서)
- 버팀갯수 = $1800 \div 700 = 2.6\text{개} \rightarrow 3\text{개}$

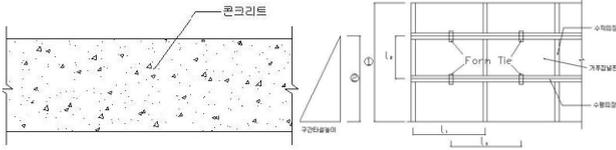
8) 턴버클

- 턴버클 기울기 가정 = 45°
- 부담하중 = $600\text{cm} \times 1.5\text{kgf/cm} \div \cos(45) = 1273\text{kg}$
- 허용하중 = 670kg
- 버팀갯수 = $1273 \div 670 = 1.9 \rightarrow 2\text{개}$

4. 벽체용 거푸집설계 예

1) 설계조건

- 벽높이 : 300cm
- 일반거푸집
- 구분 타설높이 : 150cm



2) 하중계산

- 최대측압 : $0.0023 \times 150 = 0.345 \text{ kgf/cm}^2$
- 평균측압 : $0.345 \times 0.5 = 0.173 \text{ kgf/cm}^2$
- 수평하중 : 1.5 kgf/cm^2 와 $0.005 \times 300 = 1.5 \text{ kgf/cm}$
중 큰 값 선택 = 1.5 kgf/cm

부재	규격	l	Z	E	f _b	f _s	P _a
		cm ²	cm ³	kgf/cm ²	kgf/cm ²	kgf/cm ²	kgf
널판	12mm 합판	0.144	0.24	20000	120		
띠장	84x84 각재	414.9	98.1	80000	60	8	
폼타이	φ12(1/2')						2000

4) 널판(일반거푸집 판넬)

$$l_1' \leq \sqrt{\frac{8 \times f_{b\text{널판}} \times Z_{\text{널판}}}{0.345}} = 25.8 \text{ cm}$$

$$l_1'' \leq 4 \sqrt{\frac{384 \times \delta_{\text{max}} \times E_{\text{널판}} \times I_{\text{널판}}}{5 \times 0.345}} = 20.9 \text{ cm} \rightarrow 20 \text{ cm (수평 띠장 설치간격)}$$

5) 수직띠장

$$l_2' \leq \sqrt{\frac{10 \times f_{b\text{각재}} \times Z_{\text{각재}}}{0.345 \times 20}} = 92.4 \text{ cm} \rightarrow 60 \text{ cm (수평띠장 설치간격)}$$

$$l_2'' \leq 4 \sqrt{\frac{128 \times \delta_{\text{max}} \times E_{\text{각재}} \times I_{\text{각재}}}{0.345 \times 20}} = 116.5 \text{ cm}$$

· 전단검토

k = 1.5(사각형), 2.0(원형)

$$\tau = (k \times 0.345 \times 20 \times 60) \div (2 \times A_{s\text{수직띠장}}) = 0.173 \text{ kgf/cm}^2 < f_{s\text{각재}}$$

O.K

6) 수평띠장

$$l_3' \leq \sqrt{\frac{10 \times f_{b\text{폼타이}} \times Z_{\text{폼타이}} \times 2}{0.345 \times 60}} = 75.4 \text{ cm} \rightarrow 60 \text{ cm (수폼타이 설치간격)}$$

$$l_3'' \leq 4 \sqrt{\frac{128 \times \delta_{\text{max}} \times E_{\text{폼타이}} \times I_{\text{폼타이}} \times 2}{0.345 \times 60}} = 105.3 \text{ cm}$$

· 전단검토

k = 1.5(사각형), 2.0(원형)

$$\tau = (k \times 0.345 \times 60 \times 60) \div (2 \times A_{s\text{수평띠장}} \times 2) = 6.6 \text{ kgf/cm}^2 < f_{s\text{각재}}$$

O.K

7) 폼타이 검토

· 폼타이 1본당 하중(N)

$$N = 0.345 \times 60 \times 60 = 1242 \text{ kgf} < \text{폼타이 허용하중(Pa)} = 2000 \text{ kgf O.K}$$

8) 변형기준

설계용(δ _{max})		검토용(δ)	
노출 및 견출	0.15	노출 및 견출	1/430
미장마감	0.3	6mm 이하 마감	1/300
		미장마감등	1/100

9) 변형검토

$$\text{청처짐} = \Sigma \delta = \frac{5 \times 0.345 \times 20^4}{384 \times E_{\text{널판}} \times I_{\text{널판}}} + \frac{0.345 \times 20 \times 60^4}{128 \times E_{\text{각재}} \times I_{\text{각재}}} + \frac{0.345 \times 60 \times 60^4}{128 \times E_{\text{폼타이}} \times I_{\text{폼타이}}} = 0.301 \text{ cm}$$

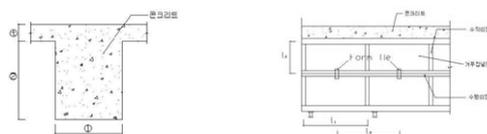
$$\text{기준길이} = \sqrt{60^2 + 60^2} = 84.8 \text{ cm}$$

$$\text{허용처짐} = 84.8 \times \delta_e = 84.8 \times \frac{1}{100} = 0.848 \text{ cm} > \Sigma \delta = 0.301 \text{ cm O.K}$$

5. 보용 거푸집 설계 예

1) 설계조건

- 보크기(폭 × 춤) : 45cm × 75cm
- 슬래브 두께 : 12cm
- 보하부 층고 : 280cm



2) 하중계산

- 최대측압 : $0.0023 \times 75 = 0.17 \text{ kgf/cm}^2$
- 고정하중 : $0.0024 \times 75 = 0.18 \text{ kgf/cm}^2$
- 충격하중 : $0.17 \times 0.5 = 0.09 \text{ kgf/cm}^2$
- 작업하중 : $= 0.015 \text{ kgf/cm}^2$
- 전체하중 : $0.18 + 0.09 + 0.015 = 0.29 \text{ kgf/cm}^2$

3) 단면가정

부재	규격	I	Z	E	f _b	f _s	P _a
		cm ⁴	cm ³	kgf/cm ²	kgf/cm ²	kgf/cm ²	kgf
보 밑면	널판	12mm	0,144	0,24	20000	120	
	장선	84x84각재	414,9	98,1	80000	60	8
	멍에	84x84각재	414,9	98,1	80000	60	8
	동바리						1800
보 옆면	널판	12mm	0,144	0,24	20000	120	
	띠장	84x84각재	414,9	98,1	80000	60	8
	폼타이						2000

4) 보 밑면

가) 널판

$$l_1' \leq \sqrt{\frac{8 \times f_{b\text{널판}} \times Z_{\text{널판}}}{0.29}} = 28.1 \text{ cm}$$

$$l_1'' \leq 4 \sqrt{\frac{384 \times \delta_{\text{max}} \times E_{\text{널판}} \times I_{\text{널판}}}{5 \times 0.29}} = 21.9 \rightarrow 20 \text{ cm (장선설치간격)} < 40 \text{ cm}$$

나) 장선

$$l_2' \leq \sqrt{\frac{10 \times f_{b\text{장선}} \times Z_{\text{장선}}}{0.29 \times 20}} = 100.7 \text{ cm} \rightarrow 50 \text{ cm (멍에설치간격)}$$

$$l_2'' \leq 4 \sqrt{\frac{128 \times \delta_{\text{max}} \times E_{\text{장선}} \times I_{\text{장선}}}{0.29 \times 20}} = 121.7 \text{ cm}$$

· 전단검토

k = 1.5(사각형), 2.0(원형)

$$\tau = (k \times 0.29 \times 20 \times 50) + (2 \times A_{s\text{장선}}) = 3.08 \text{ kgf/cm}^2 < f_{\text{전}} \quad \text{O.K}$$

다) 멍에

$$l_3' \leq \sqrt{\frac{8 \times f_{b\text{멍에}} \times Z_{\text{멍에}}}{0.29 \times 50}} = 56.9 \text{ cm} \rightarrow 45 \text{ cm (동바리설치간격)}$$

$$l_3'' \leq 4 \sqrt{\frac{384 \times \delta_{\text{max}} \times E_{\text{멍에}} \times I_{\text{멍에}}}{5 \times 0.29 \times 50}} = 85.2 \text{ cm}$$

· 전단검토

k = 1.5(사각형), 2.0(원형)

$$\tau = (k \times 0.29 \times 50 \times 45) + (2 \times A_{s\text{멍에}}) = 6.9 \text{ kgf/cm}^2 < f_{\text{전}} \quad \text{O.K}$$

라) 동바리

· 동바리 1본당 하중(N)

$$N = 50 \text{ cm} \times 45 \text{ cm} \times 0.29 = 652.5 \text{ kgf}$$

· 동바리 허용하중(Pa) = 1800 kgf (층고 280cm)

· 검토결과

$$N < Pa : 2\text{줄 기본설치}$$

5) 보 옆면

가) 널판 ($\delta_{\text{max}} = 0.3 \text{ cm}$ 적용)

$$l_1' \leq \sqrt{\frac{8 \times f_{b\text{널판}} \times Z_{\text{널판}}}{0.17}} = 36.8 \text{ cm 적용}$$

$$l_1'' \leq 4 \sqrt{\frac{384 \times \delta_{\text{max}} \times E_{\text{널판}} \times I_{\text{널판}}}{5 \times 0.17}} = 25 \text{ cm (수평띠장설치간격)}$$

나) 수평띠장 ($\delta_{\text{max}} = 0.3 \text{ cm}$ 적용)

$$l_2' \leq \sqrt{\frac{10 \times f_{b\text{띠장}} \times Z_{\text{띠장}} \times 2}{0.17 \times 25}} = 166.4 \text{ cm}$$

$$l_1'' \leq 4 \sqrt{\frac{384 \times \delta_{\text{max}} \times E_{\text{널판}} \times I_{\text{널판}} \times 2}{5 \times 0.17}} = 156.5 \text{ cm} \rightarrow 150 \text{ cm}$$

(폼타이설치간격)

다) 폼타이

· 폼타이 1본당 부담하중

$$N = 150 \times 25 \times 0.17 = 637.5 \text{ kgf} < Pa = 2000 \text{ kgf} \quad \text{O.K}$$

편집자 주

본 거푸집 구조계산 예는 접근방법의 한 예이고 검토자에 따라 의견이 다를 수 있는바, 현장적용 시 현장조건에 맞게 조정하여 건축구조기술사가 구조계산을 실시하여야 합니다.