

여기서, t : 판의 두께 (mm)

D : 핀의 직경 (mm)

ϕ_b : 지압에 대한 저항계수로서 $\phi_b = 1.0$

4.5.2.3 아이바 핀의 최소치수

- (1) 핀의 직경 D 는 다음의 값보다 커야 한다.

$$D \geq \left(\frac{3}{4} + \frac{F_y}{2760} \right) b \quad (4.5-17)$$

여기서, F_y : 핀의 최소항복강도 (MPa)

b : 아이바 몸체의 폭 (mm)

4.5.2.4 핀과 너트

- (1) 핀은 나사부가 연결부재 내에 있지 않도록 충분한 길이를 가져야 한다.

4.5.3 말뚝

4.5.3.1 일반사항

- (1) 말뚝은 모든 상재하중을 안전하게 지지할 수 있는 구조부재로 설계해야 한다.
- (2) 휨하중을 받는 연직말뚝 만으로 구성된 군말뚝의 경우, 말뚝의 구조해석 시 말뚝-흙-말뚝 상호작용으로 알려진 군말뚝 효과를 반드시 고려해야 한다.

4.5.3.2 구조적인 저항

- (1) 강도한계상태의 저항계수 ϕ 는 한계상태 관련조항에 규정된 값으로 한다. 말뚝 타입에 의해 손상을 입는 압축력을 받는 말뚝의 축력에 대한 저항계수는 손상을 받기 쉬운 단면에만 적용 한다. 그러므로 휨하중 없이 압축력만을 받는 말뚝에 대한 0.50~0.70의 값을 가지는 축저항 계수 ϕ_c 는 말뚝의 압축 성능에만 적용한다. 저항계수 ϕ_c 값 0.70~0.80 그리고 ϕ_f 값 1.0은 압축과 흙을 조합한 상관관계식에서 말뚝의 압축과 흙에 대해 각각 적용한다.

4.5.3.3 압축저항

4.5.3.3.1 축압축

- (1) 압축하중을 받는 말뚝의 경우 저항계수 ϕ_c 는 0.9를 사용하고 압축강도는 4.2.3에 규정한 값으로 한다.

4.5.3.3.2 축압축과 흙의 조합

- (1) 축하중과 흙을 받는 말뚝은 한계상태 관련조항에 규정된 저항계수 ϕ_c 와 ϕ_f 를 사용하는 4.4.1.1에 따라 설계해야 한다.

4.5.3.3.3 좌굴

수중 또는 대기 중으로 연장된 말뚝의 안정문제는 4.2에 규정된 바와 같이 검토해야 한다. 수중 또는 대기 중으로 연장한 말뚝은 지표면으로부터 적당한 높이에서 고정된 것으로 간주한다. 안정문제는 4.2에 따라 횡방향 비지지길이와 고정점까지의 매입깊이를 합한 말뚝의 등가길이를 적용하여 검토한다. 고정점까지의 깊이는 수직말뚝에 대하여는 $P - \Delta$ 해석을 적용하여 구하고, 경사말뚝에 대하여는 아래와 같이 구한다.

(1) 점성토

$$1.4 \left| \frac{E_p I_p}{E_s} \right|^{0.25} \text{ (mm)} \quad (4.5-18)$$

(2) 사질토

$$1.8 \left| \frac{E_p I_p}{n_h} \right|^{0.25} \text{ (mm)} \quad (4.5-19)$$

여기서, E_p : 말뚝의 변형계수 (MPa)

I_p : 말뚝의 단면2차모멘트 (mm^4)

E_s : 점성토의 변형계수, $67 S_u$ (MPa)

S_u : 점성토의 비배수전단강도 (MPa)

n_h : 깊이에 따른 사질토의 변형계수 증가율 (MPa/mm)

표 4.5-1 깊이에 따른 사질토의 변형계수 증가율 (n_h)

연경도(밀도)	건조 또는 습윤	포화
느슨	9.4×10^{-3}	4.7×10^{-3}
중간	0.025	0.013
조밀	0.063	0.031

4.5.3.4 최대 허용항타응력

(1) 두부 항타 강말뚝의 최대 허용항타응력은 파동방정식 해석이나 파일 항타 시 두부의 하중 및 가속도를 측정하여 구한다.

(2) 최대 허용항타력은 다음을 초과해서는 안 된다.

① 압축 : $0.9 F_y A_g$

② 인장 : $0.9 F_y A_n$

4.5.4 파형강판 구조물

(1) 4.5.4는 구조용 파형강판을 이용한 구조물의 해석 및 설계관련 일반적인 요구사항을 규정 한다.

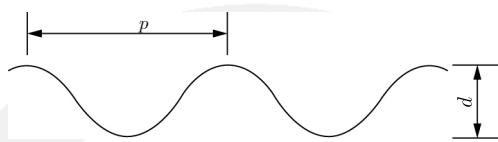
4.5.4.1 일반사항

4.5.4.1.1 파형강판 규격 및 재료

(1) 일반형 및 대골형 파형강판의 규격은 표 4.5-2에 따르며, 재료는 KS D 3503 및 KS D 3506 을 따른다.

표 4.5-2 파형강판의 규격

종류	골의 피치 (p)	골의 깊이 (d)	최소항복강도
일반형	150~200mm	50~55mm	225 MPa
대골형	380~500mm	140~250mm	275 MPa



4.5.4.1.2 연결재

(1) 일반형과 대골형 파형강판 연결에는 지압면이 구면인 볼트와 너트를 사용한다.

4.5.4.1.3 구조적 뒤채움 재료

(1) 구조용 파형강판을 지중구조물에 사용하는 경우에는 주변의 일정한 영역을 구조적 뒤채움 재료로 다짐 시공해야 한다. 구조적 뒤채움 재료는 통일분류법에 의하여 표 4.5-3과 같이 분류되는 재료를 사용한다.

표 4.5-3 파형강판의 규격

분류	구조적 뒤채움 재료 I	구조적 뒤채움 재료 II
통일분류 기호	GW, GP, SW, SP	GC, SC, SM

(2) 상대다짐도에 따른 흙의 할선탄성계수는 표 4.5-4에 따라 적용할 수 있으며 상대다짐도가 표에 제시된 값의 사이값일 경우 흙의 할선탄성계수는 선형 보간하여 적용한다. 다짐밀도는 KS F 2312 ‘C’, ‘D’ 또는 ‘E’ 방법으로 구한 최대건조밀도를 기준으로 한다.

표 4.5-4 상대다짐도에 따른 흙의 합선탄성계수

상대다짐도	E_s (MPa)	
	구조적 뒤채움 재료 I	구조적 뒤채움 재료 II
85%	6	3
90%	12	6
95%	24	12
100%	30	15

4.5.4.1.4 한계상태

- (1) 파형강판 구조물의 구조적 안전성은 강도한계상태 및 사용한계상태에 대하여 검토한다. 강도한계상태는 압축좌굴, 시공 중 압축력과 휨모멘트에 의한 소성힌지 발생, 대골형의 경우 완공 후 압축력과 휨모멘트에 의한 소성힌지 발생 및 이음부 파괴에 대한 것이고, 사용한계상태는 시공 중 변형에 대한 것이다.

4.5.4.1.5 저항계수

- (1) 아치형과 박스형 파형강판 구조물에 대한 저항계수는 표 4.5-5에 따른다.

표 4.5-5 저항계수

구조물의 종류	저항계수	
아치형	압축강도	$\phi_t = 0.80$
	휨모멘트와 압축력에 의한 소성힌지	시공 중 $\phi_{hc} = 0.90$
		완공 후 $\phi_h = 0.85$
박스형	이음부강도	$\phi_j = 0.70$
	압축강도	$\phi_t = 0.90$
	휨모멘트와 압축력에 의한 소성힌지	$\phi_h = 0.90$
	휨모멘트	$\phi_h = 0.90$
	이음부강도	$\phi_j = 0.70$

4.5.4.1.6 하중

- (1) 고정하중, 활하중, 지진의 영향을 고려한다. 파형강판 구조물에 대한 하중조합 및 하중계수는 최대하중조합효과가 계산되도록 선정하며 하중조합 및 하중계수는 표 4.5-6에 따른다.

표 4.5-6 하중조합 및 하중계수(α)

하중조합	고정하중(α_D)	활하중(α_L)	지진하중(α_E)
조합 I	1.25	1.70	-
조합 II	1.25	-	1.00
조합 III	1.00	1.00	-
조합 IV	1.35	-	-

(2) 조합 I은 파형강판 구조물설계 시 일반 하중조합 조건이며, 조합 II는 지진하중 고려 시 적용한다. 조합III은 파형강판 구조물의 시공성 검토 시 적용하며, 조합IV는 고정하중만 작용하는 경우 적용한다.

4.5.4.1.7 토피고

(1) 파형강판 구조물의 상부 뒤채움 흙의 높이는 활하중에 의한 응력집중을 분산시켜 구조물의 안정성을 확보할 수 있도록 구조물형식에 따른 최소토피고 H_{min} 이상 확보해야 한다. 설계 토피고 H 는 그림 4.5-7과 같이 산정하는데 최소토피고가 확보되지 않는 경우에는 콘크리트 등으로 적절한 보강이 필요하다.

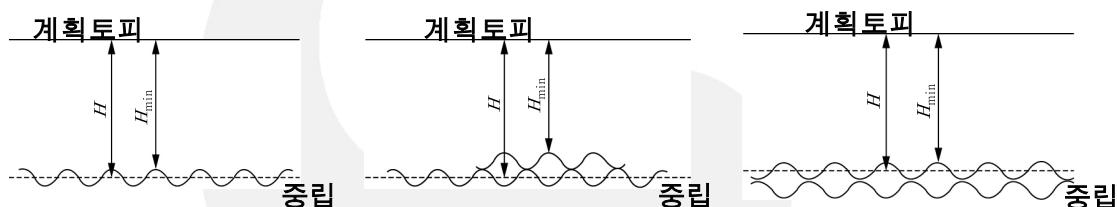


그림 4.5-7 아치형과 박스형구조물의 최소토피고와 설계토피고

4.5.4.1.8 보강단면의 단면계수 산정

(1) 파형강판 구조물의 내하력을 증대시키기 위해 구조물을 보강할 수 있다. 강재를 이용한 보강단면의 힘에 대한 단면계수는 원단면과 보강단면 각각의 힘에 대한 단면계수 합으로 산정한다. 강재 원단면과 강재 보강단면으로 폐합된 내부에 콘크리트가 충진된 경우는 콘크리트 단면을 제외한 강재 원단면과 강재 보강단면 만의 힘에 대한 합성단면으로 단면계수를 산정한다. 강재와 콘크리트의 합성효과가 실험으로 입증되는 경우에는 힘에 대한 단면계수 계산에 그 효과를 포함할 수 있다.

4.5.4.1.9 내구성

(1) 내구성을 요하는 구조물일 경우 파형강판, 볼트, 너트 및 기타 금속 자재는 용융알루미늄도금 등의 부식방지 처리를 한다.

4.5.4.1.10 정밀해석에 의한 설계

(1) KDS 14 31 10에서 제시하는 관용식은 파형강판 구조물이 연성구조로 거동하고, 뒤채움

흙의 강성기여가 보장될 때에 사용 가능하다. 뒤채움 흙의 강성기여를 고려하지 않거나, 토피고를 고려하지 않을 경우, 또는 뒤채움 흙의 다짐도를 완화하여 준강성 구조로 설계하고자 할 경우에는 정밀해석을 수행해야 한다.

4.5.4.1.11 처짐 검토

- (1) 파형강판 구조물의 허용변위는 공정단계별로 검토되어야 하며 아치형 파형강판 구조물에서 일반형의 경우에는 그림 4.5-9에서 정의한 구조물의 높이(R)의 5% 이내, 대골형의 경우에는 2% 이내로 한다. 박스형 파형강판 구조물의 경우에는 그림 4.5-11에서 정의한 구조물의 지간(D_s)의 1% 이내로 한다.
- (2) 허용변위의 기준값은 아래와 같다
 - ①지간장 6.0m 이상인 구조물 : 설계 형상 기준
 - ②지간장 6.0m 이하인 구조물 : 설계 형상 또는 조립 완료 후 형상 기준

4.5.4.2 아치형 파형강판 구조물

4.5.4.2.1 적용범위

- (1) 그림 4.5-8과 같은 아치형 파형강판 구조물은 구조물 높이(Rise)와 지간(Span)의 비가 0.3 이상이고, 아치단면의 최소곡률반경 R_{min} 이 상부아치의 정점부 곡률반경 R_c 의 0.2배 이상이고, 종방향 이음부에서 인접하는 두 파형강판의 곡률반경 간의 비가 8 이하인 구조물설계에 적용한다. 그림 4.5-9는 다양한 아치형 파형강판 구조물의 단면형상과 지간 D_h 및 높이 D_v 의 정의를 보여준다.

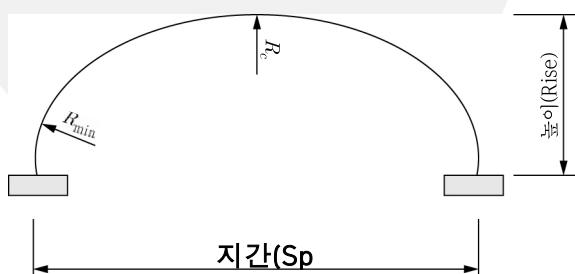
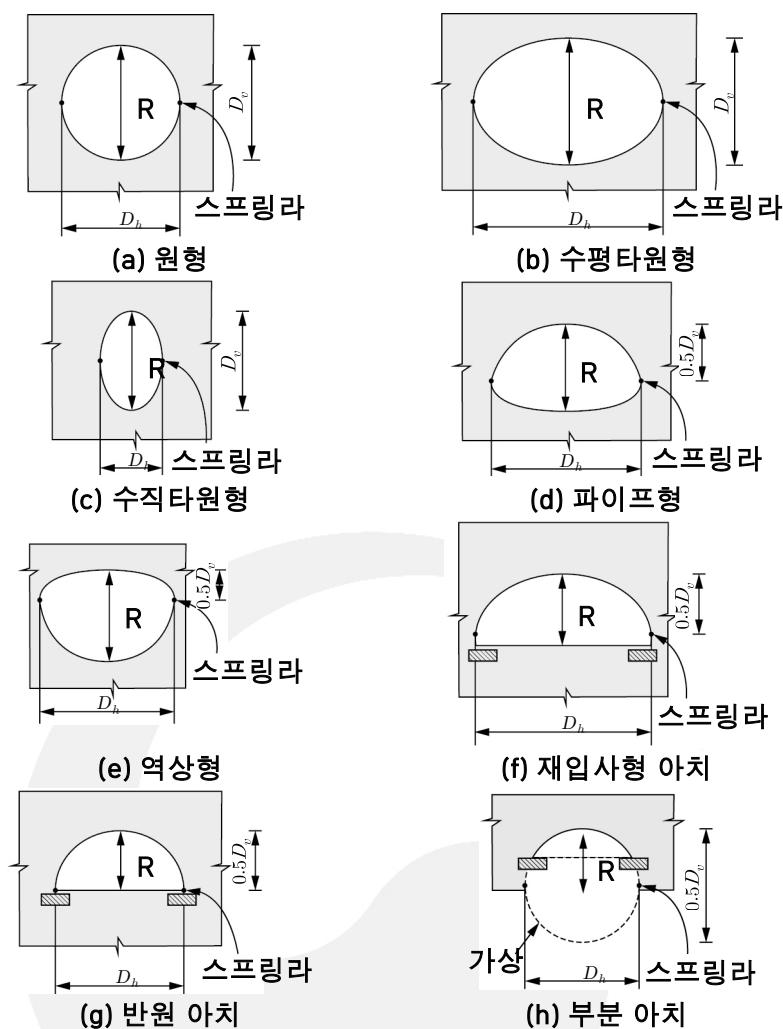


그림 4.5-8 아치형 파형강판 구조물 단면

그림 4.5-9 아치형 파형강판 구조물 단면형상 및 R , D_h , D_v

4.5.4.2.2 최소토피고

(1) 최소토피고 H_{min} 은 아치형 파형강판 지중구조물의 단면 정점부에서 뒤채움 흙의 최소높이로서, 다음 3가지 값 중 가장 큰 값으로 결정한다.

$$0.6 \text{ (m)}, \frac{D_h}{6} \left(\frac{D_h}{D_v} \right)^{0.5} \text{ (m)}, 0.4 \left(\frac{D_h}{D_v} \right)^2 \text{ (m)} \quad (4.5-20)$$

여기서, D_h : 구조물 스프링라인 사이 거리 (m)

D_v : 구조물 단면 정점부에서 스프링라인까지 연직거리의 2배 (m)

(2) 대골형 파형강판의 최소토피고는 식 (4.5-20)으로 산정한 값과 1.5 m 중 작은 값으로 한다.

4.5.4.2.3 설계압축력

(1) 아치형 파형강판 구조물의 설계압축력 T_f (kN/m)는 다음과 같이 산정한다.

$$T_f = \alpha_D T_D + \max \{ \alpha_L T_L (1 + i), \alpha_E T_E \} \quad (4.5-21)$$

여기서, T_D : 고정하중에 의한 압축력 (kN/m)

T_L : 활하중에 의한 압축력 (kN/m)

T_E : 지진하중에 의한 압축력 (kN/m)

α_D : 고정하중 하중계수

α_L : 활하중 하중계수

α_E : 지진하중 하중계수

i : 충격계수

4.5.4.2.3.1 고정하중에 의한 압축력

(1) 상부 토피하중에 의한 압축력 T_D 는 다음과 같이 산정한다.

$$T_D = 0.5 (1.0 - 0.1 C_s) A_f W \text{ (kN/m)} \quad (4.5-22)$$

여기서, C_s : 뒤채움 흙과 구조물의 상대 축강성 매개변수 $\left(C_s = \frac{1000 E_s D_v}{EA} \right)$

E_s : 뒤채움 흙의 할선탄성계수 (MPa)

D_v : 구조물 단면의 정점부에서 스프링라인까지 연직거리의 2배 (m)

E : 파형강판의 탄성계수 (MPa)

A : 파형강판의 단면적 (mm^2/mm)

A_f : 단면형상과 토피고에 따른 무차원 악칭계수(그림 4.5-4),

H / D_h 값이 0.2보다 작은 경우는 외삽하여 사용할 수 있다.

W : 상부아치 위 뒤채움 흙과 포장의 자중 (kN/m)

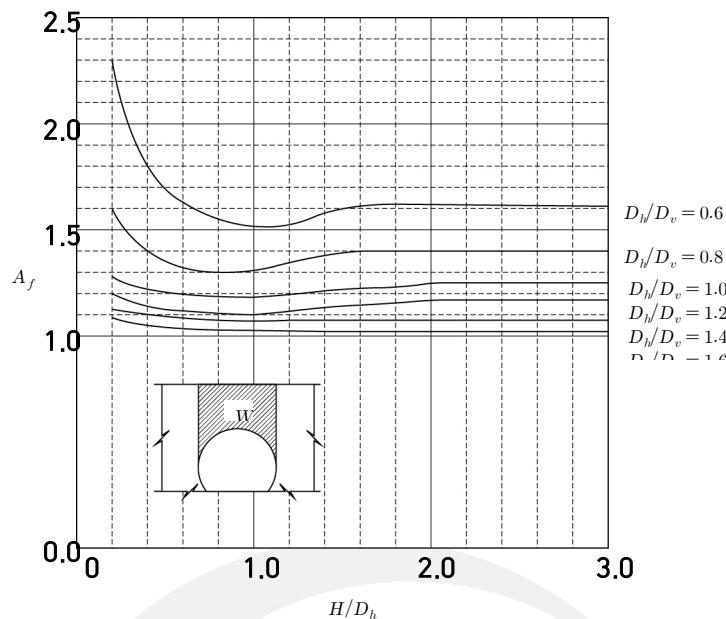


그림 4.5-10 단면형상과 토피고에 따른
무차원 아침계수(A_f)와 흙의 자중(W)

4.5.4.2.3.2 활하중에 의한 압축력

(1) 활하중에 의한 압축력은 차량진행 직각방향 하중분포, 차량진행방향 하중분포, 그리고 윤하중의 작용거리에 따른 영향을 염밀히 고려하여 식 (4.5-23)으로 산정한다. 시간에 비해 토피가 낮은 구조물에서는 차량진행방향 하중분포 폭을 구조물의 전 시간으로 가정할 경우, 압축력을 과대평가할 수 있으므로 설계지간 D_h 와 차량진행방향 하중분포 폭 l_t 중 작은 값을 적용한다.

$$T_L = 0.5D_h f_L m_f \quad (4.5-23)$$

$$= 0.5l_t f_L m_f \text{ (kN/m)}$$

여기서, f_L : 등가활하중 (kN/m^2) $\left(f_L = \frac{n \times P_{DB}}{l_t \times l_l} \right)$

n : 차선수

D_h : 설계지간 (m)

P_{DB} : 축당 설계하중 (kN)

l_l : 연직 대 수평경사 2:1로 산정한 차량진행 직각방향 활하중분포 폭 (m)

l_t : 연직 대 수평경사 1:1로 산정한 차량진행 방향 활하중분포 폭 (m)

단, 분산된 하중이 겹칠 때는 하중이 각각의 분산면적 가장자리에 쌓이는 사각형 면적에 균일하게 분포되는 것으로 가정한다.

m_f : 차량하중이 재하되는 차선수에 따른 보정계수

차선수 $n=1$ 일 때 1.0, $n=2$ 일 때 0.9, $n=3$ 일 때 0.8,

$n = 4$ 일 때 0.70, $n = 5$ 일 때 0.6, $n \geq 6$ 일 때 0.55

4.5.4.2.3.3 지진하중에 의한 압축력

(1) 지진하중에 의한 압축력 T_E 는 다음과 같이 산정한다.

$$T_E = T_D A_V (\text{kN/m}) \quad (4.5-24)$$

여기서, T_D : 고정하중에 의한 압축력 (kN/m)

$$A_V : \text{수직가속도계수} \left(A_V = \frac{2}{3} A_H \right)$$

A_H : 수평가속도계수

4.5.4.2.3.4 충격계수

(1) 도로의 지중구조물인 경우에는 활하중에 따른 충격계수를 적용하며, 충격계수 i 는 토피고 H 에 따라 다음과 같이 산정한다. 최소 충격계수 i_{\min} 는 0.1을 적용한다.

$$i = 0.4 (1 - 0.5 \times H) \geq 0.1 \quad (4.5-25)$$

여기서, H : 설계토피고 (m)

4.5.4.2.4 압축좌굴

(1) 파형강판 구조물의 압축좌굴 안정성 검토는 다음 식을 따른다.

$$f_c = \frac{T_f}{A} \leq f_b \quad (4.5-26)$$

여기서, f_c : 설계압축응력 (MPa)

T_f : 설계압축력 (kN/m)

A : 파형강판의 단면적 (mm^2/mm)

f_b : 설계좌굴강도 (MPa)

(2) 4.5.4.2.4에서 아치구조물의 정점부의 곡률중심과 정점부를 연결하는 직선에서 각도 $\pm \theta_0$ ($\theta_0 = 1.6 + 0.2 \log [EI/(E_m R^3)]$)만큼 이격되고 정점부 곡률중심을 지나는 두 직선 사이의 아치부분을 상부라 하고 그 이외의 부분을 하부라 한다.

(3) 아치단면의 곡률반경 R 과 등가곡률반경 R_e 에 따라 설계좌굴강도 f_b 는 다음과 같이 산정한다.

① $R \leq R_e$ 인 경우

$$f_b = \phi_t F_m \left[F_y - \frac{F_y^2}{12 E \rho} \left(\frac{K R}{r} \right)^2 \right] \quad (4.5-27)$$

② $R > R_e$ 인 경우

$$f_b = \frac{3 \phi_t \rho F_m E}{(K R / r)^2} \quad (4.5-28)$$

여기서, ϕ_t : 좌굴저항계수

F_y : 파형강판의 항복강도 (MPa)

F_m : 병렬구조물에 따른 감소계수

단일구조물과 대골형 병렬구조물 : $F_m = 1.0$

대골형을 제외한 병렬구조물 : $F_m = (0.85 + 0.3 S/D_h) \leq 1.0$

S : 병렬구조물의 인접 구조물 간 최소거리 (m)

$$R_e : 등가곡률반경 (mm) \left(R_e = \frac{r}{K} \left[\frac{6 E \rho}{F_y} \right]^{0.5} \right)$$

E : 파형강판의 탄성계수 (MPa)

r : 파형강판의 회전반경 (mm)

$$\rho : 토피고를 고려한 감소계수 \left(\rho = \left[1000 \frac{(H+H')}{R_c} \right]^{0.5} \leq 1.0 \right)$$

$$K : 인접한 흙에 대한 구조물의 상대강성계수 \left(K = \lambda \left[\frac{E I}{E_m R^3} \right]^{0.25} \right)$$

λ : 구조물 높이와 D_h 의 비가 0.4 이하인 단일곡률 부분아치의 경우를 제외한 상부는

$$\lambda = 1.22 \left[1.0 + 1.6 \left\{ E I / (E_m R_c^3) \right\}^{0.25} \right] \text{이고, 그 외는 } \lambda = 1.22 \text{ 적용}$$

E_m : 뒤채움 흙의 탄성계수 (MPa)

$$\text{상부 강판에서는 } \left(E_m = E_s \left[1 - \left\{ \frac{R_c}{R_c + 1000 (H+H')} \right\}^2 \right] \right)$$

측면 및 하부 강판에서는 $E_m = E_s$

E_s : 측면 및 하부 강판 뒤채움 흙의 할선탄성계수 (MPa)

R : 파형강판 지중구조물 상부 또는 측면 곡률반경 (mm)

R_c : 파형강판 구조물 상부의 곡률반경 (mm)

H : 토피고 (m)

H' : 단면 정점부에서 스프링라인까지 연직거리의 1/2 (m)

I : 파형강판의 단면2차모멘트 (mm^4/mm)

4.5.4.2.5 힘모멘트와 압축력에 의한 소성힌지

4.5.4.2.5.1 일반사항

- (1) 파형강판 구조물은 시공 시와 완공 시에 대하여 힘모멘트와 압축력의 복합작용에 의한 소성힌지 검토를 만족해야 한다. 시공 중 검토는 뒤채움 토피가 구조물의 정점부까지 시공된 상태와 다짐 장비하중이 재하될 수 있는 시공단계에 대해 만족해야 한다.

4.5.4.2.5.2 시공 중 검토

- (1) 시공 중 힘모멘트와 압축력에 의한 소성힌지 검토는 다음 식을 따른다.

$$\left(\frac{P}{P_{pf}}\right)^2 + \left|\frac{M}{M_{pf}}\right| \leq 1 \quad (4.5-29)$$

여기서, P : 시공 중 작용하는 압축력 (kN/m) ($P = T_D + T_C$)

T_D : 파형강판에 작용하는 고정하중에 의한 압축력 (kN/m)

T_C : 파형강판에 작용하는 시공장비에 의한 압축력 (kN/m)

P_{pf} : 파형강판의 소성압축강도 (kN/m) ($P_{pf} = \phi_{hc} A F_y$)

ϕ_{hc} : 시공 중 소성힌지 저항계수

A : 파형강판의 단면적 (mm^2/mm)

F_y : 파형강판의 항복강도 (MPa)

M : 시공 중 작용하는 흡모멘트 (kN·m/m) ($M = M_1 + M_B + M_C$)

M_1 : 상부 아치 정점부까지 고정하중에 의한 흡모멘트 (kN·m/m)

$$(M_1 = K_{m1} R_B \gamma D_h^3)$$

M_B : 상부 아치 정점부 위의 고정하중에 의한 흡모멘트 (kN·m/m)

$$(M_B = -K_{m2} R_B \gamma D_h^2 H_c)$$

M_C : 시공 중 활하중에 의한 흡모멘트 (kN·m/m)

$$(M_C = K_{m3} R_L D_h A_c / k_4)$$

H_c : 시공 중 안정성 검토대상 토피고 (m)

단, 시공 중 검토대상 토피고 H_c 가 최소토피고보다 작은 경우 작용 압축력 P 는 0으로 가정한다.

K_{m1}, K_{m2}, K_{m3} : 고정하중 시공단계 및 활하중 재하 시 흡강성비에 따른 무차원계수

$$K_{m1} = 0.0046 - 0.0010 \cdot \log_{10}(N_F) \quad (N_F \leq 5,000)$$

$$K_{m1} = 0.0009 \quad (N_F > 5,000)$$

$$K_{m2} = 0.018 - 0.004 \cdot \log_{10}(N_F) \quad (N_F \leq 5,000)$$

$$K_{m2} = 0.0032 \quad (N_F > 5,000)$$

$$K_{m3} = 0.120 - 0.018 \log_{10}(N_F) \quad (N_F \leq 100,000)$$

$$K_{m3} = 0.030 \quad (N_F > 100,000)$$

N_F : 구조물과 흙의 흡강성비 ($N_F = E_s (1000 D_h)^3 / (EI)$)

E_s : 뒤채움 흙의 할선탄성계수 (MPa)

E : 파형강판의 탄성계수 (MPa)

I : 파형강판의 단면2차모멘트 (mm^4/mm)

γ : 뒤채움 흙의 단위증량 (kN/m³)

R_B : 단면형상에 따른 감소계수

$$R_B = 0.67 + 0.87[(D_v/2D_h) - 0.2] \quad (0.2 \leq D_v/2D_h \leq 0.35)$$

$$R_B = 0.80 + 1.33[(D_v/2D_h) - 0.35] \quad (0.35 < D_v/2D_h \leq 0.50)$$

$$R_B = D_v/D_h \quad (0.50 < D_v/2D_h)$$

R_L : 흡강성비, 시간 및 토피고에 따른 감소계수

$$R_L = [0.265 - 0.053 \log_{10}(N_f)] / (H_c/D_h)^{0.75} \leq 1.0$$

A_c : 시공장비 축하중 (kN)

k_4 : 표 4.5-7에서 제시된 등가선하중 환산계수 (m)

M_{pf} : 파형강판의 소성모멘트강도 (kN·m/m) ($M_{pf} = \phi_h Z F_y$)

F_y : 파형강판의 항복강도 (MPa)

Z : 파형강판의 소성단면계수 (mm³/mm)

표 4.5-7 등가선하중 산정을 위한 k_4 값

토파고 (m)	k_4 (m)		
	차축 당 2륜	차축 당 4륜	차축 당 8륜
0.3	1.3	1.5	2.6
0.6	1.6	2.0	2.8
0.9	2.1	2.7	3.2
1.5	3.7	3.8	4.1
2.1	4.4	4.4	4.5
3.0	4.9	4.9	4.9
4.6	6.7	6.7	6.7
6.1	8.5	8.5	8.5
9.1	12.2	12.2	12.2

4.5.4.2.5.3 완공 후 검토

- (1) 대골형 파형강판을 적용한 파형강판 지중구조물은 완공 후 작용하는 압축력과 힘모멘트에 대하여 안전성을 확보해야 하며 다음 식을 만족해야 한다.

$$\left(\frac{T_f}{P_{pf}} \right)^2 + \left| \frac{M_f}{M_{pf}} \right| \leq 1 \quad (4.5-30)$$

여기서, T_f : 설계압축력 T_f 는 4.5.4.2.3 식 (4.5-21)을 적용하여 구한다.

P_{pf} : 파형강판의 소성압축강도 (kN/m) ($P_{pf} = \phi_h A F_y$)

ϕ_h : 완공 후 소성힌지저항계수

A : 파형강판의 단면적 (mm²/mm)

F_y : 파형강판의 항복강도 (MPa)

M_f : 완공 후 작용하는 힘모멘트 (kN·m/m)

$$(M_f = \alpha_D \cdot |M_i + M_D| + \alpha_L \cdot M_L (1 + i))$$

M_i : 상부 아치 정점부까지 고정하중에 의한 힘모멘트 (kN·m/m)

$$(M_i = K_{ml} R_B \gamma D_h^3)$$

M_D : 상부 아치 정점부 위의 고정하중에 의한 힘모멘트 (kN·m/m)

$$(M_D = - K_{m2} R_B \gamma D_h^2 H_e)$$

M_L : 완공 후 활하중에 의한 힘모멘트 (kN·m/m)

$$(M_L = K_{m3} R_U D_h A_L / k_4)$$

H_e : 토피고 H 와 $D_h/2$ 중 작은 값 (m)

K_{m1}, K_{m2}, K_{m3} 및 R_B : 8.4.2.5.2절의 시공 중 검토식 참조

R_U : 지간 및 토피고에 따른 하중감소계수

$$(R_U = [0.265 - 0.053 \log_{10}(N_f)] / (H/D_h)^{0.75} \leq 1.0)$$

A_L : 차량축하중 (kN)

k_4 : 표 4.5-7에서 제시된 등가선하중 환산계수 (m)

단, 토피고가 3.0m 보다 큰 경우는 4.9m 적용

M_{pf} : 파형강판의 소성모멘트강도 (kN·m/m) ($M_{pf} = \phi_h Z F_y$)

Z : 파형강판의 소성단면계수 (mm^3/mm)

4.5.4.2.6 이음부 강도

- (1) 주어진 하중조건에서 파형강판 구조물의 길이방향(구조물 축방향)의 볼트 이음부는 충분한 강도를 보유하여 파괴되지 않아야 한다. 이음부 공칭강도(S_s)는 국내 · 외 기준에 등재된 값의 사용을 원칙으로 한다.

$$T_f < \phi_j \cdot S_s \quad (4.5-31)$$

여기서, T_f : 설계압축력 (kN/m)

ϕ_j : 이음부 저항계수

S_s : 이음부 공칭강도 (kN/m)

- (2) 기준에 등재된 재료 및 두께와 다를 경우 이음부 공칭강도는 실제 이음부의 특성이 반영된 공인기관의 실험값을 사용한다.

4.5.4.2.7 구조적 뒤채움 범위

- (1) 구조적 뒤채움 범위는 연직방향으로 최소토피고까지이고, 횡방향으로 표 4.5-8에 따른다.

표 4.5-8 횡방향 구조적 뒤채움 범위

뒤채움 조건		구조물 스프링라인 외측으로 최소 횡방향거리
절토조건	원지반이 구조적 뒤채움 보다 양호한 절토조건	2.0 m 와 $D_h/2$ 중 작은 값
	원지반이 구조적 뒤채움 보다취약한 절토조건	5.0 m 와 $D_h/2$ 중 작은 값, 그러나 구조물 높이와 $D_v/2$ 중 작은 값 보다는 큰 값
성토조건		5.0 m 와 $D_h/2$ 중 작은 값, 그러나 구조물 높이와 $D_v/2$ 중 작은 값 보다는 큰 값

4.5.4.3 박스형 파형강판 구조물

4.5.4.3.1 적용범위

(1) 4.5.4.3에 제시된 박스형 파형강판 구조물의 일반적 형상은 그림 4.5-11과 같으며 4.5.4.3에 제시된 설계법은 높이, 지간 및 토피고의 범위가 표 4.5-9를 만족하는 경우에 적용할 수 있다. 표의 범위를 벗어나는 경우에는 흙과 구조물의 상호작용을 고려하는 엄밀한 구조해석이 필요하다.

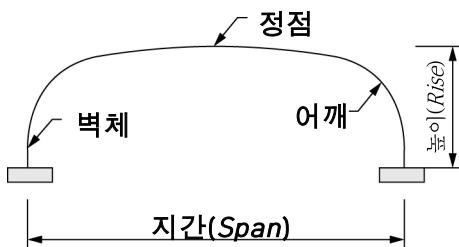


그림 4.5-11 박스형 파형강판 구조물 단면

표 4.5-9 박스형 파형강판 구조물의 형상한계

구분	최소 (m)	최대 (m)
높이	0.8	3.2
지간, D_s	2.7	8.0
토피고, H	0.3	1.5

4.5.4.3.2 최소토피고

(1) 박스형 파형강판 구조물의 최소토피고는 0.3 m 이상을 유지해야 한다.

4.5.4.3.3 설계휨모멘트

(1) 박스형 파형강판 구조물의 정점부 설계휨모멘트 M_{cf} 및 어깨부 설계휨모멘트 M_{hf} 는 다음과 같이 산정한다.

$$M_{cf} = \alpha_D M_{cD} + \max\{\alpha_L M_{cL} (1 + i), \alpha_E M_{cE}\} \quad (4.5-32)$$

$$M_{hf} = \alpha_D M_{hD} + \max\{\alpha_L M_{hL} (1 + i), \alpha_E M_{hE}\} \quad (4.5-33)$$

여기서, M_{cf} : 정점부 설계휨모멘트 (kN·m/m)

M_{cD} : 고정하중에 의한 정점부 휨모멘트 (kN·m/m)

M_{cL} : 활하중에 의한 정점부 휨모멘트 (kN·m/m)

M_{cE} : 지진하중에 의한 정점부 휨모멘트 (kN·m/m)

M_{hf} : 어깨부 설계휨모멘트 (kN·m/m)

M_{hD} : 고정하중에 의한 어깨부 휨모멘트 (kN·m/m)

M_{hL} : 활하중에 의한 어깨부 휨모멘트 (kN·m/m)

M_{hE} : 지진하중에 의한 어깨부 흡모멘트 (kN·m/m)

α_D : 고정하중 하중계수

α_L : 활하중 하중계수

α_E : 지진하중 하중계수

i : 충격계수

4.5.4.3.3.1 고정하중에 의한 흡모멘트

(1) 고정하중에 의한 정점부 및 어깨부 흡모멘트는 다음 식을 따른다.

$$M_{cD} = \kappa M_D \quad (4.5-34)$$

$$M_{hD} = (1 - \kappa) M_D \quad (4.5-35)$$

여기서, κ : 정점부 흡모멘트 분배계수 ($0.70 - 0.0328 D_s$)

M_D : 정점부와 어깨부의 고정하중 및 흡모멘트의 합 (kN·m/m)

$$k_1 \gamma D_s^3 + k_2 \gamma \left[H - \left(0.3 + \frac{d}{2000} \right) \right] D_s^2$$

k_1 : 고정하중 시공단계별 시간에 따른 계수

$$(0.0053 - 0.00024 (3.28 D_s - 12))$$

k_2 : 고정하중 시공단계별 시간에 따른 계수 (0.053)

H : 토피고(m)

d : 파형강판의 골 깊이(mm)

4.5.4.3.3.2 활하중에 의한 흡모멘트

(1) 활하중에 의한 정점부 및 어깨부 흡모멘트는 다음 식을 따른다.

$$M_{cL} = \kappa M_L \quad (4.5-36)$$

$$M_{hL} = (1 - \kappa) k_R M_L \quad (4.5-37)$$

여기서, κ : 정점부 흡모멘트 분배계수 ($0.70 - 0.0328 D_s$)

k_R : 어깨부 흡모멘트 감소계수 ($0.425 H + 0.48 \leq 1.0$)

M_L : 트력하중에 의한 흡모멘트 (kN·m/m) ($C_1 k_3 D_s A_L / k_4$)

C_1 : 차량 축 개수와 시간에 따른 감소계수

1.0 ; 차량축이 하나일 경우

$$0.5 + \frac{D_s}{15.24} \leq 1.0 ; \text{차량축이 하나 이상일 경우}$$

k_3 : 활하중 재하 시 시간 및 토피에 따른 계수

$$\frac{0.08}{\left[\frac{H}{D_s}\right]^{0.2}} ; D_s \leq 6m \text{ 인 경우}$$

$$\frac{[0.08 - 0.002(3.28D_s - 20)]}{\left[\frac{H}{D_s}\right]^{0.2}} ; 6m < D_s \leq 8m \text{ 인 경우}$$

A_L : 차량축하중 (kN)

차량 축 하나의 하중 ; $D_s < 3.6m$ 인 경우

인접한 두 축의 합 하중 ; $D_s \geq 3.6m$ 인 경우

k_4 : 표 4.5-7에서 제시된 등가선하중 환산계수 (m)

4.5.4.3.3.3 지진하중에 의한 힘모멘트

(1) 지진하중에 의한 정점부 및 어깨부 힘모멘트는 다음 식을 따른다.

$$M_{cE} = \kappa M_E \quad (4.5-38)$$

$$M_{hE} = (1 - \kappa) M_E \quad (4.5-39)$$

여기서, M_E : 지진하중에 의한 힘모멘트(kN·m/m) ($M_D A_V$)

A_V : 수직가속도계수 $\left(A_V = \frac{2}{3} A_H\right)$

A_H : 수평가속도계수

4.5.4.3.4 힘강도 검토

(1) 한계상태에서 정점부 설계힘모멘트 M_{cf} 및 어깨부 설계힘모멘트 M_{hf} 는 소성설계모멘트 M_{pf} 를 초과하지 못한다.

$$M_{pf} = \phi_h Z F_y \quad (4.5-40)$$

여기서, ϕ_h : 소성힌지 저항계수

Z : 파형강판의 소성단면계수 (mm^3/mm)

F_y : 파형강판의 항복강도 (MPa)

4.5.4.3.5 이음부 강도

(1) 힘에 대해서만 설계하는 경우에 이음부 강도, $\phi_j \cdot S_m$ 은 M_{pf} 이상이어야 한다. 압축력과 힘을 동시에 고려할 경우에 이음부 강도 $\phi_j \cdot S_s$ 는 T_f 이상이어야 한다. 압축 및 힘에 의한 이음부 공칭강도 S_s 및 S_m 은 국내·외 기준에 등재된 값의 사용을 원칙으로 한다.

(2) 이음부는 설계하중에 의한 이음부의 힘모멘트와 $0.75 M_{pf}$ 중 큰 값을 사용하여 설계한다.

4.5.4.3.6 구조적 뒤채움 범위

최소토피고 H_{min} 은 0.3 m이고, 박스형 파형강판 구조물의 흉방향 구조적 뒤채움 최소범위는 그림 4.5-12과 같다.

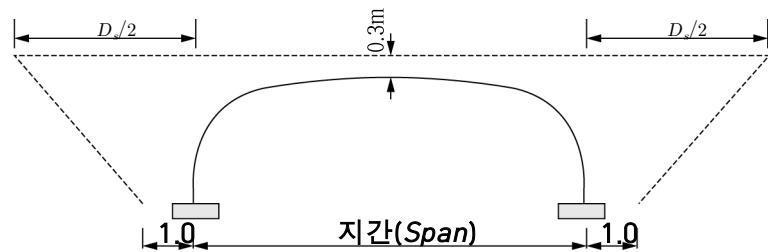


그림 4.5-12 박스형 파형강판 구조물 최소 구조적 뒤채움 범위

부 록

A. 조밀 또는 비조밀 웨브를 갖는 부모멘트부 합성 및 비합성 직선 I-거더의 휨저항강도

A.1 일반규정

이 규정들은 다음 요건을 모두 만족하는 직선교 및 사각이 20° 미만이고 중간 다이아프램 또는 크로스프레임이 지점과 평행한 선을 따라 설치된 직선교 단면에만 적용해야 한다.

- 플랜지와 웨브의 최소항복강도는 460 MPa를 초과해서는 안 된다.
- 웨브는 다음의 비조밀 세장비 한계를 만족해야 한다.

$$\frac{2D_c}{t_w} < 5.7 \sqrt{\frac{E}{F_{yc}}} \quad (\text{A.1-1})$$

- 플랜지는 다음의 단면2차모멘트비를 만족해야 한다.

$$\frac{I_{yc}}{I_{yt}} \geq 0.3 \quad (\text{A.1-2})$$

여기서, D_c : 탄성범위 내에서 웨브의 압축 측 높이 (mm). 합성단면의 경우 D_c 는 B.3.1의 규정으로 구 한다.

I_{yc} : 웨브 단면의 중심축(수직축)에 관한 압축플랜지의 단면 2차모멘트 (mm^4)

I_{yt} : 웨브 단면의 중심축(수직축)에 관한 인장플랜지의 단면 2차모멘트 (mm^4)

위에 기술된 단면이 아닌 경우에는 4.3.3.1.8의 규정에 따라 설계해야 한다.

여기에 기술된 규정에 따라 설계된 단면은 A.2 규정에 정의된 조밀 웨브 또는 비조밀 웨브를 가져야 한다.

A.1.1 불연속적으로 횡지지된 압축플랜지

강도한계상태에서 다음의 조건을 만족해야 한다.

$$M_u + \frac{1}{3}f_l S_{xc} \leq \phi_f M_{nc} \quad (\text{A.1.1-1})$$

여기서, ϕ_f : 휨에 관한 강도저항계수

f_l : 4.3.3.1.1.6의 규정에 따라 결정된 플랜지의 횡방향 휨응력 (MPa)

M_{nc} : A.3의 규정에 따라 구한 압축플랜지 항복기준 공칭휨저항강도 ($\text{N} \cdot \text{mm}$)

M_u : 4.3.3.1.1.6의 규정에 따라 구한 강축에 대한 단면의 휨모멘트 ($\text{N} \cdot \text{mm}$)

M_{yc} : B.2의 규정으로 구한 압축플랜지 항복기준 항복모멘트 ($\text{N} \cdot \text{mm}$)

$S_{xc} : M_{yc}/F_{yc}$ 로 구하는 압축플랜지의 강축에 대한 탄성단면계수 (mm^3)

A.1.2 불연속적으로 횡지지된 인장플랜지

강도한계상태에서 다음 조건을 만족해야 한다.

$$M_u + \frac{1}{3}f_l S_{xt} \leq \phi_f M_{nt} \quad (\text{A.1.2-1})$$

여기서, M_{nt} : A.4의 규정으로 구한 인장플랜지 항복기준 공칭휨저항강도 ($\text{N} \cdot \text{mm}$)

M_{yt} : B.2의 규정으로 구한 인장플랜지 항복기준 항복모멘트 ($\text{N} \cdot \text{mm}$)

$S_{xt} : M_{yt}/F_{yt}$ 로 구하는 인장플랜지의 강축에 대한 탄성단면계수 (mm^3)

A.1.3 연속적으로 횡지지된 압축플랜지

강도한계상태에서 다음을 만족해야 한다.

$$M_u \leq \phi_f R_{pc} M_{yc} \quad (\text{A.1.3-1})$$

여기서, M_{yc} : B.2의 규정으로 구한 압축플랜지 항복기준 항복모멘트 ($\text{N} \cdot \text{mm}$)

R_{pc} : A.2.1 또는 A.2.2에 규정된 압축플랜지의 웨브 소성화계수

A.1.4 연속적으로 횡지지된 인장플랜지

강도한계상태에서 다음 조건을 만족해야 한다.

$$M_u \leq \phi_f R_{pt} M_{yt} \quad (\text{A.1.4-1})$$

여기서, M_{yt} : B.2의 규정으로 구한 인장플랜지 항복기준 항복모멘트 ($\text{N} \cdot \text{mm}$)

R_{pt} : A.2.1 또는 A.2.2에 규정된 인장플랜지의 웨브 소성화계수