

관리번호

사본번호

서울제물포터널 민간투자사업 건설공사

구조계산서

배수공, 캐노피방음시설 계산서 [변경]

- 2구간 - [도로분야]

2021. 04



서울터널주식회사

목 차

배 수 공

1. 램프C, D구간 배수검토_#85-1	3
2. #97-2 램프C 자립식 옹벽 설치 실정보고_제6회 변경	9
3. 캐노피 방음시설계산서	99

배 수 공 - 설 계 변 경

1. 램프C, D구간 배수검토_#85-1

#1

BOX, PIPE 수 리 계 산 표

토사퇴적 및 유송잡물

도로명 및 STA. : 0 + 750.00

하 천 명 :

구 조 물 번 호 :

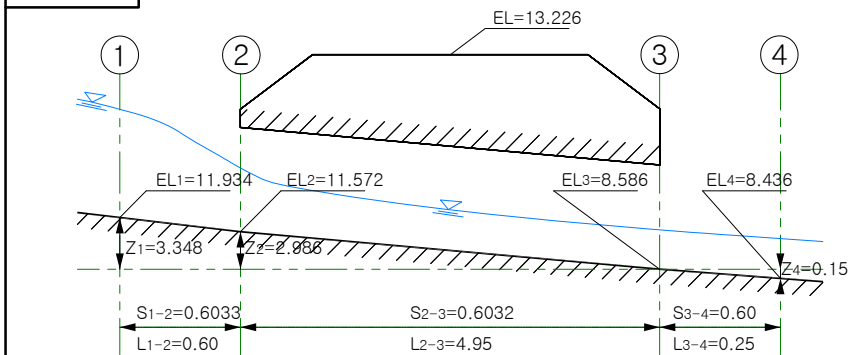
설 계 기 관 : (주)진우엔지니어링코리아

설 계 자 :

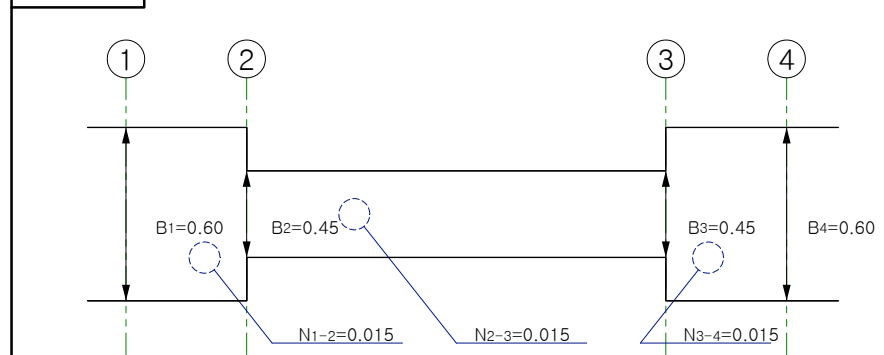
일 자 : 2020. 07.

기 초 자 료	수 리 조 건	토사퇴적 및 유송잡물 고려
강 우 지 역 : 서 울	유역면적(A) : 0.003 km ²	상시 토사 퇴적을 고려한 여유 (α ₁) : 20 %
설계생기빈도 : 30 년	유출계수(C) : 0.70	유송잡물의 유입을 고려한 여유 (α ₂) : 0 %
도달시간(TC) : 0.083 hr	유달거리(L) : 120.00 m	
강우강도(I) : 221.54 mm/hr	표 고 차 : 4.23 m	
	설계유량(합리식) Qd = 0.2778 · C · I · A = 0.129 m ³ /sec	

횡단면도



평면도



형 태	Qd/련수 (m ³ /sec)	규 격	수 두 계 산								소 건	비 고
			H ₀₄	H _{C2-3}	S _{C2-3}	ε	h ₁	h ₂	V ₃	TYPE		
PIPE	0.129	φ450	0.073	0.254	0.007	0.063	0.168	0.254	12.662	1 형식	O.K	

사용자 소견 :

#2

BOX, PIPE 수 리 계 산 표

토사퇴적 및 유송잡물

도로명 및 STA. : 0 + 890.00

하 천 명 :

구 조 물 번 호 :

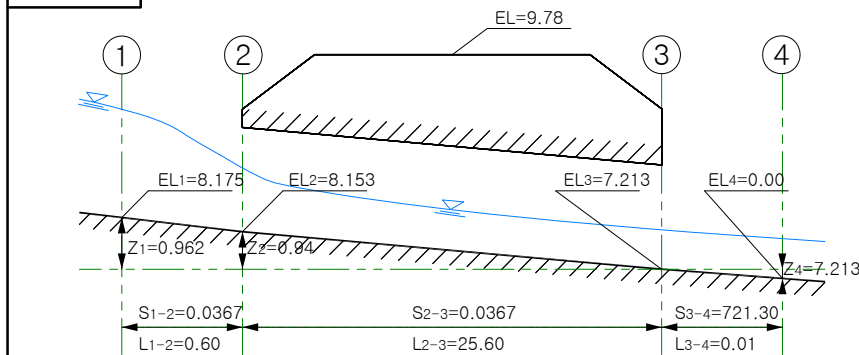
설 계 기 관 : (주)진우엔지니어링코리아

설 계 자 :

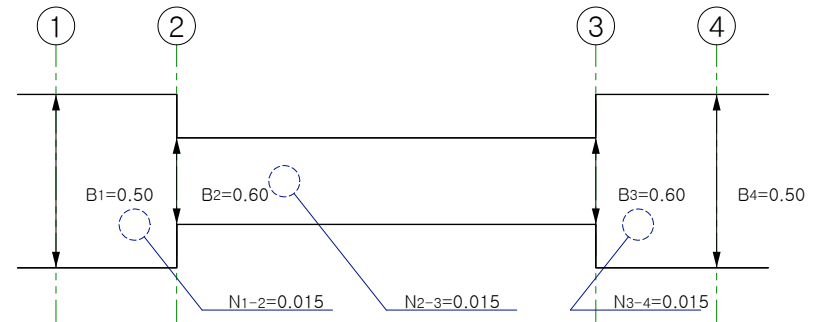
일 자 : 2020. 07.

기 초 자 료	수 리 조 건	토사퇴적 및 유송잡물 고려
강 우 지 역 : 서 울	유역면적(A) : 0.01 km ²	상시 토사 퇴적을 고려한 여유 (α_1) : 20 %
설계생기빈도 : 30 년	유출계수(C) : 0.70	유송잡물의 유입을 고려한 여유 (α_2) : 0 %
도달시간(TC) : 0.083 hr	유달거리(L) : 200.00 m	
강우강도(I) : 221.54 mm/hr	표 고 차 : 5.70 m	
	설계유량(합리식) $Q_d = 0.2778 \cdot C \cdot I \cdot A$ $= 0.431 \text{ m}^3/\text{sec}$	

횡단면도



평면도



형 태	Qd/련수 (m ³ /sec)	규 격	수 두 계 산								소 건	비 고
			H ₀₄	H _{C2-3}	S _{C2-3}	ϵ	h ₁	h ₂	V ₃	TYPE		
PIPE	0.431	φ600	0.025	0.433	0.009	-	0.423	0.433	4.062	1 형식	O.K	

사용자 소견 :

#3

#3

BOX, PIPE 수 리 계 산 표

토사퇴적 및 유송잡물

도로명 및 STA. : 0 + 142.00

하 천 명 :

구 조 물 번 호 :

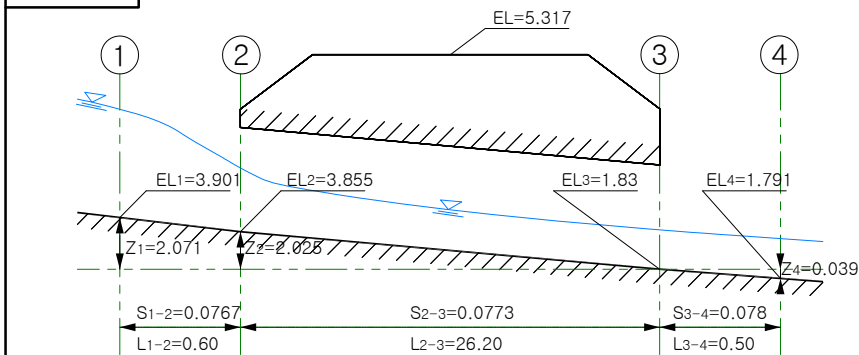
설 계 기 관 : (주)진우엔지니어링코리아

설 계 자 :

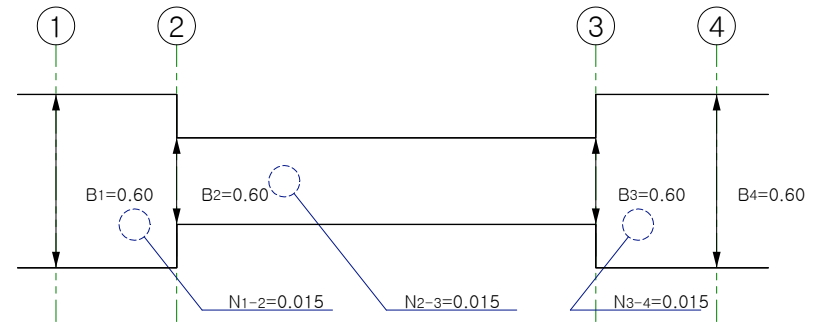
일 자 : 2020. 07.

기 초 자 료	수 리 조 건	토사퇴적 및 유송잡물 고려
강 우 지 역 : 서 울	유역면적(A) : 0.004 km ²	상시 토사 퇴적을 고려한 여유 (α ₁) : 20 %
설계생기빈도 : 30 년	유출계수(C) : 0.70	유송잡물의 유입을 고려한 여유 (α ₂) : 0 %
도달시간(TC) : 0.083 hr	유달거리(L) : 160.00 m	
강우강도(I) : 221.54 mm/hr	표 고 차 : 3.84 m	
	설계유량(합리식) Qd = 0.2778 · C · I · A = 0.172 m ³ /sec	

횡단면도



평면도



형 태	Qd/련수 (m ³ /sec)	규 격	수 두 계 산								소 건	비 고
			H ₀₄	H _{C2-3}	S _{C2-3}	ε	h ₁	h ₂	V ₃	TYPE		
PIPE	0.172	φ600	0.138	0.269	0.006	-	0.203	0.269	4.987	1 형식	O.K	

사용자 소견 :

#4

BOX, PIPE 수 리 계 산 표

토사퇴적 및 유송잡물

도로명 및 STA. : 0 + 370.00

하 천 명 :

구 조 물 번 호 :

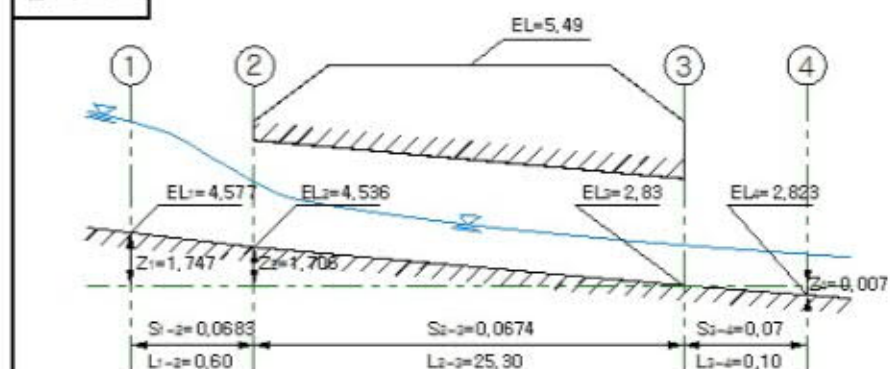
설 계 기 관 : (주)진우엔지니어링코리아

계 자 :

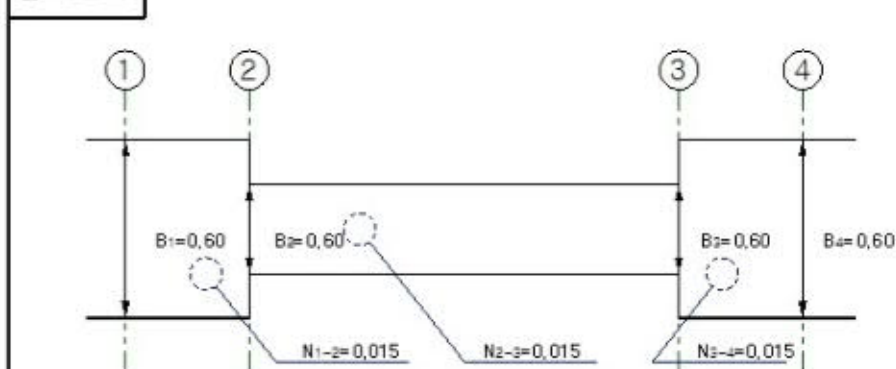
인 자 : 2020. 07.

기 초 자 료	수 리 조 건	토사퇴적 및 유송잡물 고려
강 우 지 역 : 서 울	유역면적(A) : 0.001 km ²	상시 토사 퇴적을 고려한 여유 (α_1) : 20 %
설계생기빈도 : 30 년	유출계수(C) : 0.70	유송잡물의 유입을 고려한 여유 (α_2) : 0 %
도달시간(TC) : 0.083 hr	유달거리(L) : 30.00 m	
강우강도(I) : 221.54 mm/hr	표 고 차 : 6.00 m	
	설계유량(합리식) $Q_d = 0.2778 \cdot C \cdot I \cdot A$ $= 0.043 \text{ m}^3/\text{sec}$	

횡단면도



평면도



형 태	Qd/연수 (m ³ /sec)	규 격	수 두 계 산								소 견	비 고
			H ₀₄	H _{C2-3}	S _{C2-3}	ε	h ₁	h ₂	V ₃	TYPE		
PIPE	0.043	φ600	0.072	0.131	0.006	-	0.081	0.131	3.172	1 형식	O.K	

사용자 소견 :

기호 설명

구 분	기 호	내 용
기존수리계산	HW/D	유입부에서 연결되는 기존수로에서 흐르는 수두와 설치될 암거와의 비율
	HW	지배단면이 유입부 일때의 유입부수두
	Ce	유입부손실수두
	H	위치수두
	dc	한계수심
	TW	유출부수두
	ho	중립축의 높이
	SoL	경사도
	HW	지배단면이 유출부일 경우의 유입부수두
	조정 HW	통제단면의 HW
	Vo	유출부 유속
토사유적 수리계산	h_1	상류측 등류수심
	h_2	유입부의 등류수심
	v_3	유출부의 유속
	Ho4	하류측 등류수심
	$Hc_2 - 3$	암거내 한계수심
	$Sc_2 - 3$	암거내 한계경사
	ϵ	단면 축소에 의한 에너지 손실 계수

2. #97-2 램프C 자립식 옹벽 설치 실정보고_제6회 변경

서울제물포터널 민간투자사업

자립식 옹벽 검토

2021. 01

㈜ 태근엔지니어링
엔지니어링사업자 E-09-005160

대표이사 이민근 

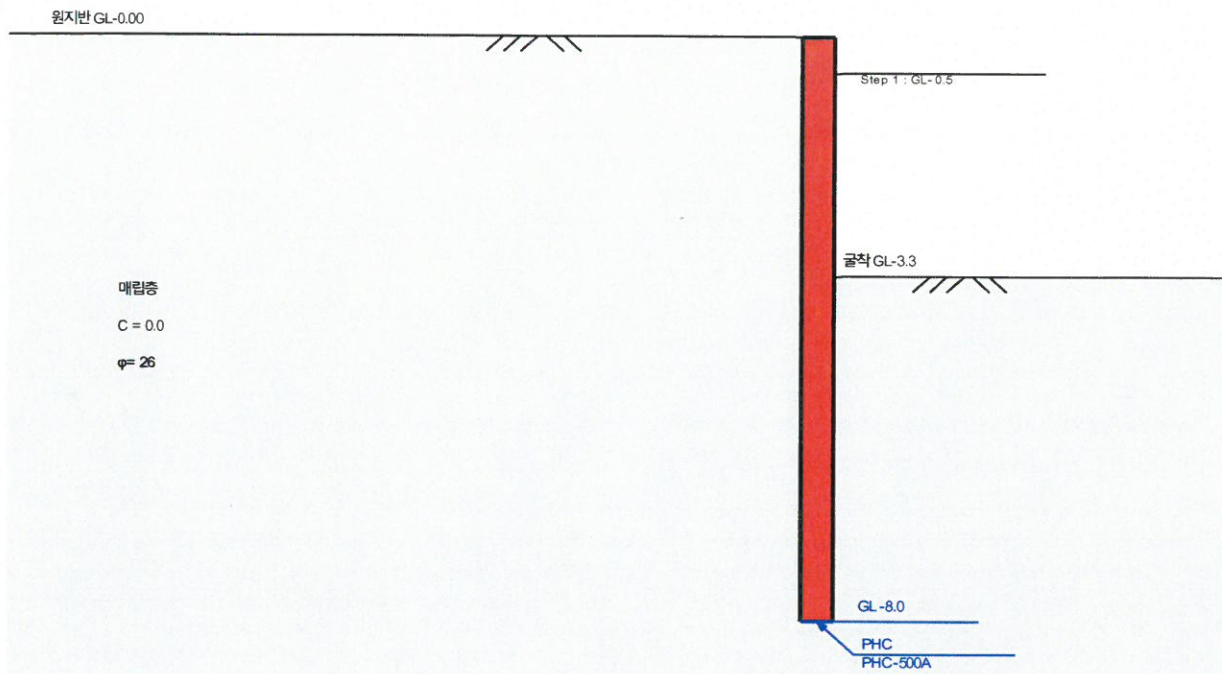
토질및기초기술사 이민근 

자립식용벽($H=3.28\text{m}$)

목 차

1. 표준단면도
2. 설계요약
3. 설계조건
4. PHC 파일 설계
5. 외적 안정성 및 굴착영향 검토
 - 5.1 벽체의 굴착 단계별 변위 검토
 - 5.2 침하영향검토
 - 5.3 근입장에 대한 안정검토
6. SUNEX 입력데이터
7. SUNEX 단계별 계산 결과 집계표
8. SUNEX 단계별 계산결과 그래픽(토압, 변위, 전단력, 모멘트)

1 표준단면도



Graphics by MetaDraw ©

사용부재

PHC

심도구간 : 0.0 m - 8.0 m 부재규격 : PHC-500A

지반특성

토층번호	심도 (m)	지반명칭	γ_t kN/m ³	γ_{sub} kN/m ³	C kN/m ²	φ 도	Ks kN/m ³
1	12	매립층	18.0	9.0	0.0	26	17,000.0

2 설계결과 요약

공종	위치/규격	검토사항	단위	발생최대치	허용치	발생/허용치	판정
PHC 파일	0.0~8.0	휨모멘트	kN m	71.8	131.8	54.48 %	O.K
		전단력	kN	35.2	171.5	20.52 %	O.K
		축력	kN	35.1	1187.9	2.95 %	O.K
		균열	mm	0.026	0.200	13.00 %	O.K
		지지력	kN	21.9	246.6	8.88 %	O.K
안정성 검토	굴착깊이3.3	최대변위	mm	16.29	16.50	98.73 %	O.K
		변위율	변위/깊이	0.49 %	0.50 %	98.00 %	O.K
안정성 검토	굴착 GL-3.30	침하량	mm	14.69			O.K
		근입장	m	4.7	3.8	80.85 %	O.K

3 설계조건

가 해석방법 : 탄소성보법

적용토압 : 굴착 및 해체시 = Rankine, Coulomb 토압

최종굴착시 = PECK 토압

두 케이스를 비교하여 큰 부재력으로 설계

사용프로그램 : Ver W7.42 2019-N-118

나. 허용응력 할증

① 가설구조물에 대한 허용응력의 증가

가설구조물의 경우 1.50 (철도하중 지지시 1.3)

영구구조물로 사용되는 경우

시공도중 1.25

완료 후 1.00

② 고재사용시 허용응력 감소 0.90

공사기간이 2년 미만인 경우 가설구조물로, 2년 이상일 경우 영구구조물로 간주하여 설계한다.

다. 재료의 허용응력

재료의 허용응력은 다음을 기준으로 위 나.항에 따라 할증한다.

① 강재의 허용응력 MPa (가설흙막이 설계기준, KDS 21 30 00:2020, 표 3.3-1)

종류		SS275, SM275, SHP275(W)	SM355, SHP355W	비고
축방향인장(순단면)		160	210	
축방향압축(총단면)	$\frac{1}{\gamma} \leq 20$ 일 경우 160	$\frac{1}{\gamma} \leq 16$ 일 경우 210	l(cm): 유효좌굴장 γ(cm): 단면2차반경	
	$20 < \frac{1}{\gamma} \leq 90$ 일 경우 $160 - 1.0 \left(\frac{1}{\gamma} - 18 \right)$	$16 < \frac{1}{\gamma} \leq 80$ 일 경우 $210 - 1.467 \left(\frac{1}{\gamma} - 16 \right)$		
	$\frac{1}{\gamma} > 90$ 일 경우 $\left[\frac{1,250,000}{6,000 + \left(\frac{1}{\gamma} \right)^2} \right]$	$\frac{1}{\gamma} > 80$ 일 경우 $\left[\frac{1,267,000}{4,500 + \left(\frac{1}{\gamma} \right)^2} \right]$		
인장면(순단면)	인장면(순단면)	160	210	
	압축면(총단면)	$\frac{1}{\beta} \leq 4.5 ; 160$	$\frac{1}{\beta} \leq 4.0 ; 210$	l: 플랜지의 고정점 간 거리 β: 압축플랜지 폭
		$4.5 < \frac{1}{\beta} \leq 30$ $160 - 1.933 \left(\frac{1}{\beta} - 4.5 \right)$	$4.0 < \frac{1}{\beta} \leq 27$ $210 - 2.867 \left(\frac{1}{\beta} - 4.0 \right)$	
전단응력(총단면)		90	120	
지압응력		240	310	강관과 강판
용접 강도	공장	모재의 100%	모재의 100%	
	현장	모재의 90%	모재의 90%	

(가설흙막이 설계기준에 있는 표 3.3-1에서 가설 할증을 1.5를 나눈 값임.)

3.3.1 (1) 에서 가설기간에 따라 1.0, 1.25, 1.3 또는 1.5 의 할증율을 곱하도록 하고 있음.)

② 강널말목 MPa (가설흙막이 설계기준, KDS 21 30 00:2020, 표 3.3-2)

종 류		SY300, SY300W	SY400, SY400W	비 고
정 응 력	인장응력	180	240	* Type-W는 용접용
	압축응력	180	240	
	전단응력	100	135	

③ 콘크리트의 허용응력 MPa

허용 휨 압축응력 $f_{ca} = 0.4 f_{ck}$

허용 전단응력 $v_a = 0.08\sqrt{f_{ck}}$

전단보강철근과 콘크리트에 의해 허용되는 최대전단응력 = $v_{ca} + 0.32\sqrt{f_{ck}}$

④ 철근의 허용(압축 및 인장)응력 (가설흙막이 설계기준, KDS 21 30 00:2016, 식 3.3-3 ~ 4)

가. 허용휨인장응력

$$f_{sa} = 0.5 f_y$$

나. 허용압축응력

$$f_{sa} = 0.4 f_y$$

⑤ 볼트의 허용응력 MPa (가설흙막이 설계기준, KDS 21 30 00:2020, 표 3.3-3)

볼트 종류	응력의 종류	허용 응력	비 고
보통 볼트	전단	90 (SM400 기준)	100 (SS275 기준)
	지압	190	
고장력 볼트	전단	150	F8T 기준
	지압	235 (SM400기준)	270 (SS275 기준)

SS275기준은 한국강구조 학회 안임

⑥ 목재의 허용응력 MPa

(가설흙막이 설계기준, KDS 21 30 00:2020, 표 3.3-2)

목재종류		허용응력 MPa		
		휨	압축	전단
침엽수	소나무, 해송, 낙엽송, 노송나무, 솔송나무, 미송	9	8	0.7
	삼나무, 가문비나무, 미삼나무, 전나무	7	6	0.5
활엽수	참나무	13	9	1.4
	밤나무, 느티나무, 졸참나무, 너도밤나무	10	7	1.0

⑦ 흙막이판용 강판의 허용응력 MPa

(도로교설계기준 2010, 표 3.3.4, 표 3.3.5), KDS 24 14 30 2019 표 4.2-1)

강재의 종류		허용응력 MPa		
		휨	압축	전단
SS400 SM400		140	140	80
SM490		190	190	110
SS275, SM275, SHP275(W)		160	160	90
SM355, SHP355(W)		210	210	120

라. 가설흙막이의 안전율 (KDS 21 30 00:2020, 표 3.2-1)

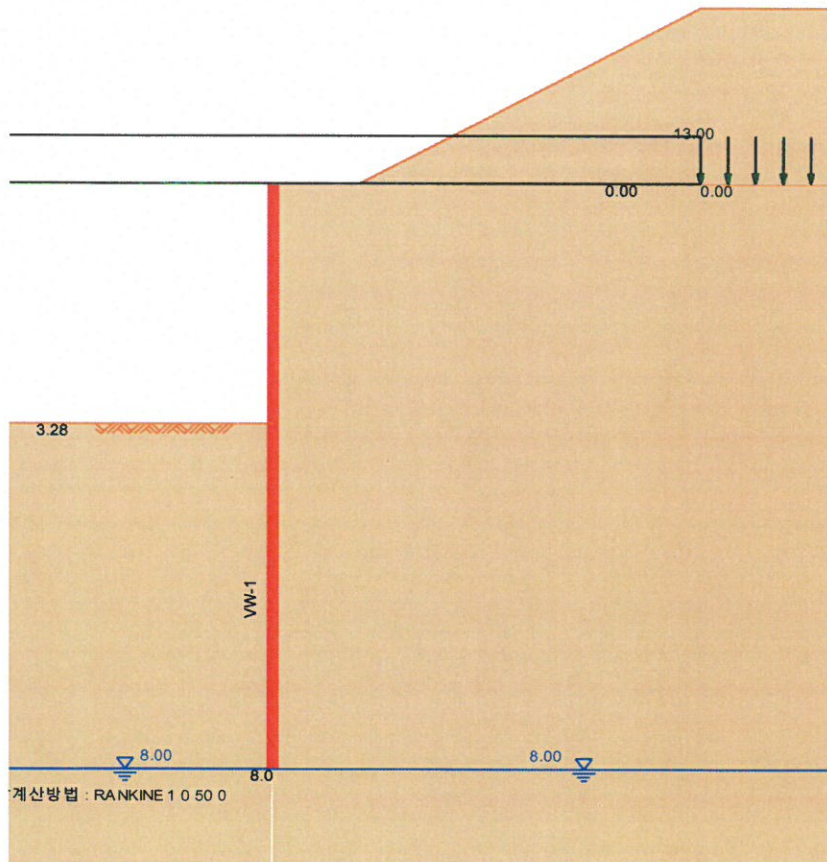
조건			안전율	비고
지반의 지지력			2	극한지지력에 대하여
활동			1.5	활동력(슬라이딩)에 대하여
전도			2	저항모멘트와 전도모멘트의 비
사면안정			1.1	1년 미만 단기안정성
근입깊이			1.2	수동 및 주동토압에 의한 모멘트 비
굴착저부의안정	보일링	단기	1.5	사질토 대상, 단기는 2년 미만
		장기	2	
	히빙		1.5	점성토
지반앵커	사용기간2년 미만		1.5	인발저항에 대한 안전율
	사용기간2년 이상		2.5	

마. 벽체의 최대 수평변위 입력치 : 굴착깊이의 0.5 %

벽체 상단의 최대 허용변위 입력치 : mm

이 기준을 초과할 때는 주변시설물에 대한 별도의 안정검토가 필요하다.

바. 계산에 적용된 과재하중, 건물하중, 경사면성토하중, 수압등은 다음과 같다.



4 PHC 파일 설계

적용구간 0.00 ~ 8.00 (m)

가. 설계조건

(1) 사용파일 : PHC-500A

PHC 파일 설치간격 : 0.53 m

가설부재 허용응력 할증율 : 1.00

(2) SUNEX 해석결과 부재력

최대모멘트 Mmax : 84.65 kN·m/m 1 본당 => 84.65 x 0.53 = 44.87 kN·m

최대전단력 Smax : 41.51 kN/m 1 본당 => 41.51 x 0.53 = 22.00 kN

최대축력 Pmax : 41.36 kN/m 1 본당 => 41.36 x 0.53 = 21.92 kN

(3) 안전검토 방법 (강도설계법)

① 도로교 시방서의 강도설계법에 준하여 설계한다.

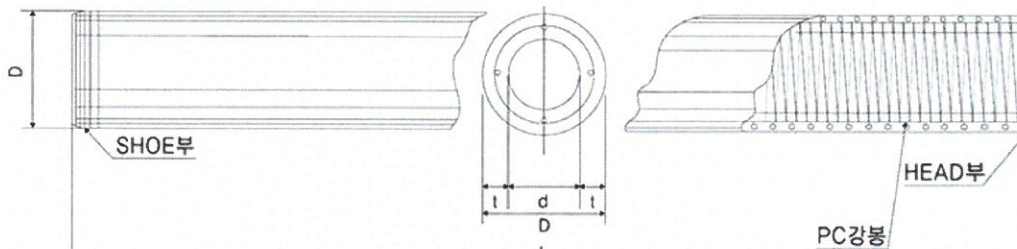
② 계수모멘트 $M_u < \text{설계모멘트 } M_d$ 가 만족 되어야 한다. 가설구조물은 가시설 할증율을 고려한다.

③ 계수모멘트 $M_u = \text{SUNEX 해석결과 모멘트} \times \text{하중계수}(1.6)$

④ 설계모멘트 $M_d = \text{강도감소계수} \phi \times \text{파괴모멘트 } M_f$

나. PHC 파일의 사양

(1) 표준 성능표 (KSF 4306 및 제조사의 사양)



외경 D (mm)	두께 t (mm)	종류	강선		콘크리트 단면적 Ac (cm ²)	환산단면적 Ae (cm ⁴)	단면2차모멘트 ie (cm ⁴)		단면계수 환산단면 z (cm ³)	단위질량 (kg/m)
			직경 (mm)	개수 (n)			콘크리트 단면	환산 단면		
350	60	A			547	563	59,930	61,600	3,523	142
		B				579		63,320	3,617	
		C				585		63,960	3,655	
400	65	A	φ 8.3	8	684	704	99,580	102,200	5,122	178
		B	φ 8.3	16		722		104,900	5,245	
		C	φ 9.2	16		735		106,500	5,327	
450	70	A	φ 8.3	9	836	861	156,000	106,600	7,131	217
		B	φ 8.3	18		887		165,200	7,340	
		C	φ11.0	14		899		167,300	7,437	
500	80	A	φ 9.2	9	1,056	1,084	241,200	247,800	9,914	274
		B	φ 9.2	18		1,113		253,900	10,180	
		C	φ11.0	18		1,137		259,100	10,370	
600	90	A	φ 9.2	12	1,442	1,480	483,400	496,700	16,350	375
		B	φ 9.2	24		1,519		508,400	17,010	
		C	φ11.0	24		1,550		518,600	17,335	

주) A, B 및 C의 유효프리스트레스는 각각 3.92 MPa(40 kgf/cm²), 7.85(80), 9.81(100) 이다.

외경 350 이하 제품과 각 직경별 종류 B와 C는 제조사에 제조가능 여부를 확인해야 한다

(2) PHC 파일의 강도특성 (KSF 4306 및 제조사의 사양)

바깥지름 mm	종류	균열 휨모멘트 kN·m (tf·m)	파괴 휨모멘트 kN·m (tf·m)	전단력 kN·m (tf·m)	축력 kN (tf)
350	A	34.3 (3.5)	52.0 (5.3)	118.7 (12.1)	891 (90)
	B	49.0 (5.0)	88.3 (9.0)	150.1 (15.3)	902 (92)
	C	58.9 (6.0)	117.7 (12.0)	162.8 (16.6)	892 (91)
400	A	54.0 (5.5)	81.4 (8.3)	148.1 (15.1)	1098 (112)
	B	73.6 (7.5)	132.4 (13.5)	187.4 (19.1)	1128 (115)
	C	88.3 (9.0)	176.6 (18.0)	204.0 (20.8)	1108 (113)
450	A	73.6 (7.5)	110.8 (11.3)	180.5 (18.4)	1343 (137)
	B	107.9 (11.0)	194.2 (19.8)	227.6 (23.2)	1383 (141)
	C	122.6 (12.5)	245.2 (25.0)	248.2 (25.3)	1363 (139)
500	A	103.0 (10.5)	155.0 (15.8)	228.6 (23.3)	1697 (173)
	B	147.2 (15.0)	264.9 (27.0)	288.4 (29.4)	1746 (178)
	C	166.8 (17.0)	333.5 (34.0)	313.9 (32.0)	1717 (175)
600	A	166.8 (17.0)	250.2 (25.5)	311.0 (31.7)	2315 (236)
	B	245.2 (25.0)	441.4 (45.0)	392.4 (40.0)	2384 (243)
	C	284.5 (29.0)	569.0 (58.0)	427.7 (43.6)	2354 (240)

주) 1 tf = 9.81 kN

(3) PHC 파일 콘크리트의 일반적 특성

항목	특성치	비고
압축파괴강도 MPa (kgf/cm ²)	78.5	
압축파괴 변형 %	0.25	
휨인장 강도 MPa (kgf/cm ²)	7.4 (75)	
인장강도 MPa (kgf/cm ²)	5.4 (55)	
탄성계수 MPa (kgf/cm ²)	39,200 (400,000)	
탄성계수 MPa (kgf/cm ²)	34,300 (350,000)	프리스트레스 도입시
크리프계수	2	
건조수축율	2.00E+06	

다. 안전 검토

① 계수하중 (작용하중)

계수모멘트 = 1 본당의 모멘트 x 하중계수/가시설할증율 = $44.9 \times 1.6 / 1.00 = 71.8 \text{ kN m}$

계수전단력 = 1 본당의 전단력 x 하중계수/가시설할증율 = $22.0 \times 1.6 / 1.00 = 35.2 \text{ kN}$

계수축력 = 1 본당의 축력 x 하중계수/가시설할증율 = $21.9 \times 1.6 / 1.00 = 35.1 \text{ kN}$

② 설계하중(파일의 강도)

설계모멘트 = $\phi \times \text{파괴모멘트} = 0.85 \times 155.0 = 131.8 \text{ kN m}$

설계전단력 = $\phi \times \text{전단력} = 0.75 \times 228.6 = 171.5 \text{ kN}$

설계축력 = $\phi \times \text{축력} = 0.70 \times 1697.0 = 1187.9 \text{ kN}$

③ 안전판단

▶ 모멘트 : 계수모멘트 = 71.8(kN m) < 설계모멘트 = 131.8 O.K

▶ 전단력 : 계수전단력 = 35.2kN < 설계전단력 = 171.5 O.K

▶ 축력 : 계수축력 = 35.1kN < 설계축력 = 1187.9 O.K

라. 균열에 대한 검토

하중이 발생할 때 발생하는 균열이 허용치 이내인지 검토한다.(도로교설계기준 2008, 4.4.9.3)

① 허용 균열폭

$W_a = \{1.005 \times \text{철근의 피복두께 } C_c\} \text{ 와 } 0.2 \text{ mm 중에서 큰 값}$

$$C_c = \text{피복두께} = \text{파일의 두께} / 2 - \text{강선의 직경} / 2 = 80 / 2 - 9.2 / 2 = 35.40 \text{ mm}$$

$$W_a = 0.005 \times 35.4 = 0.177 \text{ mm}$$

$$W_a = \text{Max} (0.177 , 0.2) = 0.2 \text{ mm}$$

② 균열폭 계산

$$W = 1.08 R f_s^3 (\sqrt{d_c A}) \times 1.0E-05 \text{ mm}$$

$R = \text{중립축에서 인장연단까지의 거리} / \text{중립축에서 철근도심까지의 거리}$

$$= (500 / 2) / (500 - 80) / 2 = 250 / 210 = 1.190$$

$f_s = \text{강선의 응력} = M_{\text{max}} / Z * \text{탄성계수비}$

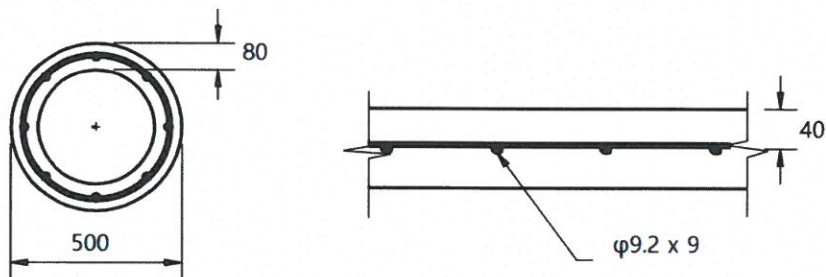
$$\text{탄성계수비} = \text{강선의 탄성계수} / \text{콘크리트의 탄성계수} = 200000 / 34300 = 5.831$$

$$f_s = (44.87 \text{ kN m} \times 0.001) / (9,914 \text{ cm}^2 \times 1.0E-6) \times 5.831 = 26.388 \text{ MPa}$$

$$d_c = \text{표면에서 강선중심까지 거리} = 0.5 \times \text{두께} = 0.5 \times 80 = 40 \text{ mm}$$

$A = \text{콘크리트 단면적을 철근개수로 나눈 유효인장면적 mm}^2$

$$= 1056 \text{ cm}^2 \times 100 / 9 = 11733.33 \text{ mm}^2$$



$$W = 1.08 \times 1.190 \times 26.388 \times (40 \times 11733.33)^{1/3} \times 1.0E-5 = 0.026 \text{ mm}$$

③ 균열에 대한 안전판단

▶ 계산된 균열폭 = 0.026 mm < 허용균열폭 = 0.2 mm O.K

5. 외적 안정성 및 굴착영향 검토

5.1 공사 단계별 변위에 대한 검토

공사단계별로 발생하는 흙막이 벽의 최대 변위와 허용변위를 비교하여 안전을 판단한다.

허용변위율 = 0.50 % , 허용변위 = 허용변위율 x 굴착깊이

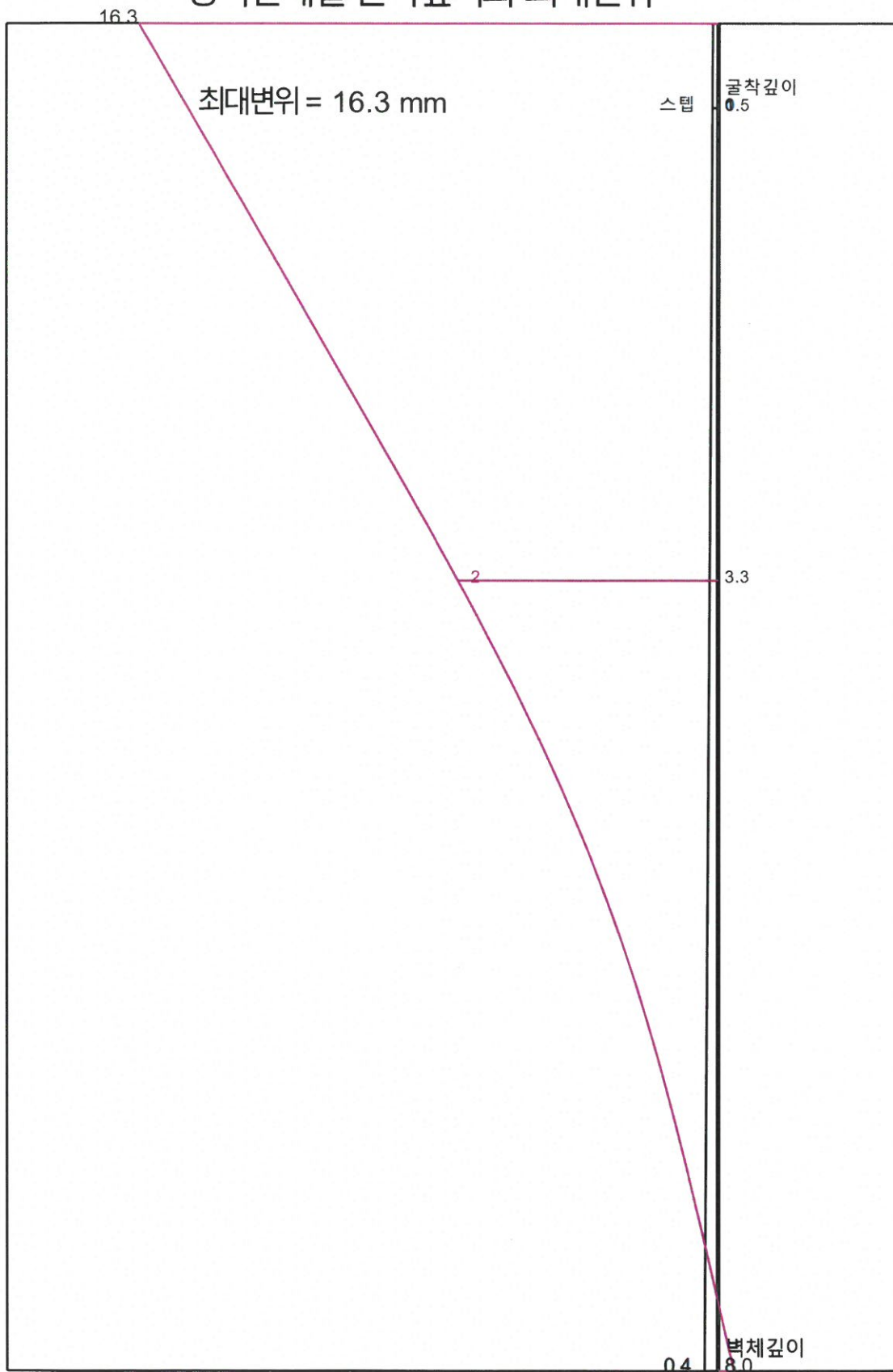
허용변위 계산깊이 적용 : 0 : 매 단계별 굴착깊이

말뚝상단의 허용변위 입력치 = 16.5 mm

스텝번호	스텝설명	굴착깊이 m	발생변위 mm	허용변위 mm	안전율 %	안전판단
1	EXCAVATION TO 0.5	0.5	0.4	2.5	15.7	O.K
2	EXCAVATION TO 3.28	3.3	16.3	16.5	98.7	O.K

(주) 최대변위는 지표에서 흙막이벽체 바닥 사이의 최대변위임

공사단계별 굴착깊이와 최대변위



5.2 침하에 대한 주변영향 검토

굴착으로 인한 지표면의 침하량은 흙막이 벽체의 변위와 관계된다고 보고 흙막이 벽체의 변위량으로 부터 침하량을 추정하는 방법을 Caspe(1966)가 제안하고, Bowles가 다음과 같은 단계로 재정리 하였다.

(1) 침하영향거리 계산

굴착깊이 HW = 3.3 m

굴착폭 B = 10.0 m

평균내부마찰각 φ_{avg} = 26 도

$$H_p = (0.5 B \tan(45 + \phi_{avg}/2)) = 8.0 \text{ m}$$

$$H_t = (H_w + H_p) = 11.3 \text{ m}$$

영향거리 $D = Ht \cdot \tan(45 - \phi_{avg}/2)) = 7.1 \text{ m}$

영향거리/굴착깊이(D/Hw)의 최대비율 = 10.0

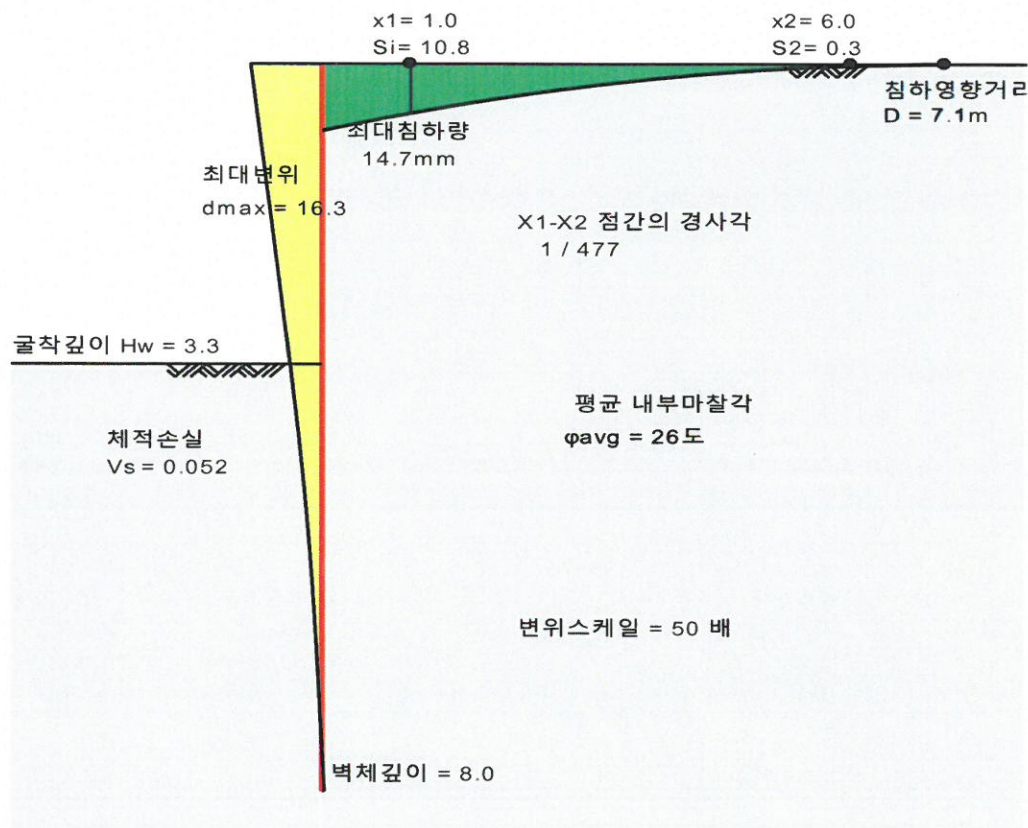
수정된 영향거리 D = 7.1 m

(2) 굴착으로 인한 체적 손실량 $V_s = 0.052 \text{ m}^3$

(3) 벽체에서의 침하량 $S_w = \frac{2 V_s}{D} = 14.7 \text{ mm}$

(4) 벽체로 부터 거리별 침하량 $S_i = S_w \left(\frac{D-x}{D} \right)^2$

홀막이 벽으로 부터의 거리	0.0 x D	0.1 x D	0.2 x D	0.3 x D	0.5 x D	1.0 x D	X1	X2
m	0.00	0.71	1.41	2.12	3.53	7.06	1.00	6.00
침하량 mm	14.7	11.9	9.4	7.2	3.7	0.0	10.8	0.3
각변위 (1 / X)		253	283	320	401	961		477



참고 : 칸막이 벽이나 바닥에 첫 균열이 예상되는 한계 = 1/300

건물에 균열이 없도록 하는 안정한계 = 1/500 (Bjerrum,1981)

5.3 근입장 검토

자립식

자립식 흙막이 벽의 근입깊이는

주동토압에 의한 모멘트 = 수동토압에 의한 모멘트 가 되는 균형깊이를 구하고 여기에 안전율을 곱하여 구한다.

(1) 설계내용

굴착깊이 H1 = 3.3 m

근입깊이 H2 = 4.7 m

전체 벽체 길이 H1 + H2 = 8 m

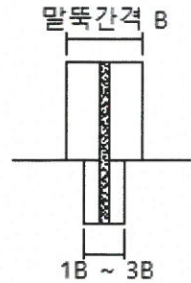
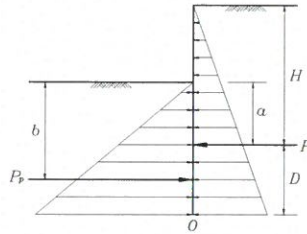
(2) 균형깊이 D의 계산

D = 2.9 m 일때

주동토압에 의한 모멘트 Ma = 266.0 kN.m

수동토압에 의한 모멘트 Mp = 275.3 kN.m

안전율 $F_s = \frac{M_p}{M_a} = 1.03$



(3) 근입장의 계산 ($F_s = 1$ 이상일 때만 해당함)

근입깊이는 균형깊이에 1.3 배를 하여 구한다.

소요 근입깊이 H2 = 1.3 x D = 3.77 m

전체 말뚝길이 = 굴착깊이 + 근입깊이 = 3.3 + 3.77 = 7.07 m

▶ 안전판단 설계된 근입깊이 4.7 > 소요근입깊이 3.77 따라서 O.K

(4) 설계된 근입장에 대한 안전율 계산

설계된 근입장 = 4.7 m

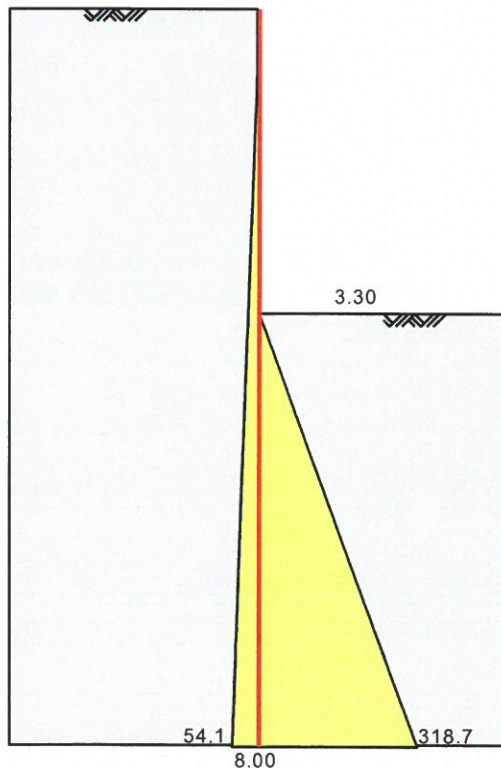
주동토압에 의한 모멘트 Ma = 574.6 kN.m

수동토압에 의한 모멘트 Mp = 1172.7 kN.m

안전율 $F_s = \frac{M_p}{M_a} = \frac{1172.7}{574.6} = 2.041$

주동토압(kN/m²)
0.00

수동토압(kN/m²)



자립식 근입장 체크 - Cantilever Wall, FS = Mp/Ma (벽체 바닥에서)

1) FS >= 1.0 이 되는 균형깊이 계산(반복계산에 따라 구함)

Node No.	Depth (m)	주동 토압 (kN/m2)	기타 횡력 (kN/m2)	주동 모멘트 (kNm)	수동 토압 (kN/m2)	기타 횡력 (kN/m2)	수동 모멘트 (kNm)	안전율
1	0.00	0.00	0.00	0.00				
2	0.10	0.62	0.00	0.38				
3	0.20	1.23	0.00	0.74				
4	0.30	1.86	0.00	1.10				
5	0.40	2.48	0.00	1.44				
6	0.50	3.12	0.00	1.78				
7	0.60	3.76	0.00	2.11				
8	0.70	4.41	0.00	2.43				
9	0.80	5.07	0.00	2.74				
10	0.90	5.73	0.00	3.04				
11	1.00	6.40	0.00	3.33				
12	1.10	7.07	0.00	3.61				
13	1.20	7.75	0.00	3.87				
14	1.30	8.43	0.00	4.13				
15	1.40	9.12	0.00	4.38				
16	1.50	9.81	0.00	4.61				
17	1.60	10.50	0.00	4.83				
18	1.70	11.19	0.00	5.04				
19	1.80	11.89	0.00	5.23				
20	1.90	12.58	0.00	5.41				
21	2.00	13.28	0.00	5.58				
22	2.10	13.98	0.00	5.73				
23	2.20	14.68	0.00	5.87				
24	2.30	15.38	0.00	6.00				
25	2.40	16.08	0.00	6.11				
26	2.50	16.78	0.00	6.21				
27	2.60	17.48	0.00	6.29				
28	2.70	18.17	0.00	6.36				
29	2.80	18.87	0.00	6.42				
30	2.90	19.57	0.00	6.46				
31	3.00	20.27	0.00	6.49				
32	3.10	20.97	0.00	6.50				
33	3.20	21.67	0.00	6.50				
34	3.30	22.36	0.00	6.49	0.00	0.00	0.00	0.00
35	3.40	23.06	0.00	6.46	-6.78	0.00	-1.90	0.01
36	3.50	23.75	0.00	6.41	-13.56	0.00	-3.66	0.03
37	3.60	24.45	0.00	6.36	-20.34	0.00	-5.29	0.07
38	3.70	25.14	0.00	6.29	-27.12	0.00	-6.78	0.10
39	3.80	25.84	0.00	6.20	-33.90	0.00	-8.14	0.14
40	3.90	26.53	0.00	6.10	-40.68	0.00	-9.36	0.19
41	4.00	27.22	0.00	5.99	-47.46	0.00	-10.44	0.24

42	4.10	27.91	0.00	5.86	-54.24	0.00	-11.39	0.29
43	4.20	28.60	0.00	5.72	-61.02	0.00	-12.20	0.34
44	4.30	29.29	0.00	5.56	-67.80	0.00	-12.88	0.39
45	4.40	29.97	0.00	5.40	-74.58	0.00	-13.42	0.45
46	4.50	30.66	0.00	5.21	-81.36	0.00	-13.83	0.50
47	4.60	31.35	0.00	5.02	-88.14	0.00	-14.10	0.55
48	4.70	32.03	0.00	4.80	-94.92	0.00	-14.24	0.60
49	4.80	32.71	0.00	4.58	-101.70	0.00	-14.24	0.65
50	4.90	33.40	0.00	4.34	-108.48	0.00	-14.10	0.70
51	5.00	34.08	0.00	4.09	-115.26	0.00	-13.83	0.74
52	5.10	34.76	0.00	3.82	-122.04	0.00	-13.42	0.79
53	5.20	35.44	0.00	3.54	-128.82	0.00	-12.88	0.83
54	5.30	36.12	0.00	3.25	-135.60	0.00	-12.20	0.87
55	5.40	36.80	0.00	2.94	-142.38	0.00	-11.39	0.90
56	5.50	37.47	0.00	2.62	-149.16	0.00	-10.44	0.93
57	5.60	38.15	0.00	2.29	-155.94	0.00	-9.36	0.96
58	5.70	38.83	0.00	1.94	-162.72	0.00	-8.14	0.98
59	5.80	39.50	0.00	1.58	-169.50	0.00	-6.78	1.00
60	5.90	40.17	0.00	1.21	-176.28	0.00	-5.29	1.02
61	6.00	40.85	0.00	0.82	-183.06	0.00	-3.66	1.03
62	6.10	41.52	0.00	0.42	-189.84	0.00	-1.90	1.03
63	6.20	42.19	0.00	0.00	-196.62	0.00	0.00	1.03

1320.31 0.00 265.98 -2949.30 0.00 -275.27

합계 주동 모멘트 (Ma) = 265.98

합계 수동 모멘트 (Mp) = -275.27

안전율 (Mp/Ma) = 1.03

안전율이 1 이상이 되는 균형깊이에 30%를 가산한 깊이를 최소 근입장으로 해야함

균형깊이 = 2.90

소요근입장(균형깊이×1.3) = 3.77, 최소벽체길이(굴착깊이+소요근입장) = 7.07

2) 실제 벽체 깊이에서의 안전율 계산

Node No.	Depth (m)	주동 토압 (kN/m2)	기타 횡력 (kN/m2)	주동 모멘트 (kNm)	수동 토압 (kN/m2)	기타 횡력 (kN/m2)	수동 모멘트 (kNm)	안전율
1	0.00	0.00	0.00	0.00				
2	0.10	0.62	0.00	0.49				
3	0.20	1.23	0.00	0.96				
4	0.30	1.86	0.00	1.43				
5	0.40	2.48	0.00	1.89				
6	0.50	3.12	0.00	2.34				
7	0.60	3.76	0.00	2.78				
8	0.70	4.41	0.00	3.22				
9	0.80	5.07	0.00	3.65				
10	0.90	5.73	0.00	4.07				
11	1.00	6.40	0.00	4.48				

12	1.10	7.07	0.00	4.88				
13	1.20	7.75	0.00	5.27				
14	1.30	8.43	0.00	5.65				
15	1.40	9.12	0.00	6.02				
16	1.50	9.81	0.00	6.37				
17	1.60	10.50	0.00	6.72				
18	1.70	11.19	0.00	7.05				
19	1.80	11.89	0.00	7.37				
20	1.90	12.58	0.00	7.68				
21	2.00	13.28	0.00	7.97				
22	2.10	13.98	0.00	8.25				
23	2.20	14.68	0.00	8.51				
24	2.30	15.38	0.00	8.76				
25	2.40	16.08	0.00	9.00				
26	2.50	16.78	0.00	9.23				
27	2.60	17.48	0.00	9.44				
28	2.70	18.17	0.00	9.63				
29	2.80	18.87	0.00	9.81				
30	2.90	19.57	0.00	9.98				
31	3.00	20.27	0.00	10.14				
32	3.10	20.97	0.00	10.27				
33	3.20	21.67	0.00	10.40				
34	3.30	22.36	0.00	10.51	0.00	0.00	0.00	0.00
35	3.40	23.06	0.00	10.61	-6.78	0.00	-3.12	0.01
36	3.50	23.75	0.00	10.69	-13.56	0.00	-6.10	0.04
37	3.60	24.45	0.00	10.76	-20.34	0.00	-8.95	0.07
38	3.70	25.14	0.00	10.81	-27.12	0.00	-11.66	0.12
39	3.80	25.84	0.00	10.85	-33.90	0.00	-14.24	0.16
40	3.90	26.53	0.00	10.88	-40.68	0.00	-16.68	0.22
41	4.00	27.22	0.00	10.89	-47.46	0.00	-18.98	0.28
42	4.10	27.91	0.00	10.88	-54.24	0.00	-21.15	0.34
43	4.20	28.60	0.00	10.87	-61.02	0.00	-23.19	0.40
44	4.30	29.29	0.00	10.84	-67.80	0.00	-25.09	0.46
45	4.40	29.97	0.00	10.79	-74.58	0.00	-26.85	0.53
46	4.50	30.66	0.00	10.73	-81.36	0.00	-28.48	0.59
47	4.60	31.35	0.00	10.66	-88.14	0.00	-29.97	0.66
48	4.70	32.03	0.00	10.57	-94.92	0.00	-31.32	0.73
49	4.80	32.71	0.00	10.47	-101.70	0.00	-32.54	0.79
50	4.90	33.40	0.00	10.35	-108.48	0.00	-33.63	0.86
51	5.00	34.08	0.00	10.22	-115.26	0.00	-34.58	0.93
52	5.10	34.76	0.00	10.08	-122.04	0.00	-35.39	0.99
53	5.20	35.44	0.00	9.92	-128.82	0.00	-36.07	1.05
54	5.30	36.12	0.00	9.75	-135.60	0.00	-36.61	1.11
55	5.40	36.80	0.00	9.57	-142.38	0.00	-37.02	1.18
56	5.50	37.47	0.00	9.37	-149.16	0.00	-37.29	1.23
57	5.60	38.15	0.00	9.16	-155.94	0.00	-37.43	1.29
58	5.70	38.83	0.00	8.93	-162.72	0.00	-37.43	1.35
59	5.80	39.50	0.00	8.69	-169.50	0.00	-37.29	1.40

60	5.90	40.17	0.00	8.44	-176.28	0.00	-37.02	1.45
61	6.00	40.85	0.00	8.17	-183.06	0.00	-36.61	1.51
62	6.10	41.52	0.00	7.89	-189.84	0.00	-36.07	1.55
63	6.20	42.19	0.00	7.59	-196.62	0.00	-35.39	1.60
64	6.30	42.86	0.00	7.29	-203.40	0.00	-34.58	1.65
65	6.40	43.53	0.00	6.96	-210.18	0.00	-33.63	1.69
66	6.50	44.19	0.00	6.63	-216.96	0.00	-32.54	1.73
67	6.60	44.86	0.00	6.28	-223.74	0.00	-31.32	1.77
68	6.70	45.53	0.00	5.92	-230.52	0.00	-29.97	1.80
69	6.80	46.19	0.00	5.54	-237.30	0.00	-28.48	1.84
70	6.90	46.86	0.00	5.15	-244.08	0.00	-26.85	1.87
71	7.00	47.52	0.00	4.75	-250.86	0.00	-25.09	1.90
72	7.10	48.19	0.00	4.34	-257.64	0.00	-23.19	1.93
73	7.20	48.85	0.00	3.91	-264.42	0.00	-21.15	1.95
74	7.30	49.51	0.00	3.47	-271.20	0.00	-18.98	1.97
75	7.40	50.17	0.00	3.01	-277.98	0.00	-16.68	1.99
76	7.50	50.83	0.00	2.54	-284.76	0.00	-14.24	2.01
77	7.60	51.49	0.00	2.06	-291.54	0.00	-11.66	2.02
78	7.70	52.15	0.00	1.56	-298.32	0.00	-8.95	2.03
79	7.80	52.81	0.00	1.06	-305.10	0.00	-6.10	2.04
80	7.90	53.46	0.00	0.53	-311.88	0.00	-3.12	2.04
81	8.00	54.12	0.00	0.00	-318.66	0.00	0.00	2.04

2193.43 0.00 574.64 -7647.84 0.00 -1172.67

합계 주동 모멘트 (Ma) = 574.64

합계 수동 모멘트 (Mp) = -1172.67

안전율 (Mp/Ma) = 2.04

설계된 근입장 4.70 > 소요근입장 3.77 이므로 O.K

6. 입력 데이터

ELO 0.00

PROJECT 종점부 RAMP-C U-TYPE 검토 (H=3.28m)

UNIT kN

ELGL GL 0.00

SOIL 1 매립층

18 9 0 26 17000 0 0 0 0.0E+00 1.00

PROFILE 1 12 1 1

VWALL 1 8 .1084 .002478 3.5E+07 .53 .53 .53 0 0

Division 0.1

Solution 0

Output 1

NoteMode 1

MINKS 0

ECHO

STEP 1 excavation to 0.5

RANKINE 1 0 50 0

LOAD 0 5 13 20 13 1

SLOPE 1 31 4 1

excavation 0.5

STEP 2 excavation to 3.28

excavation 3.28

ground settlement

depth check

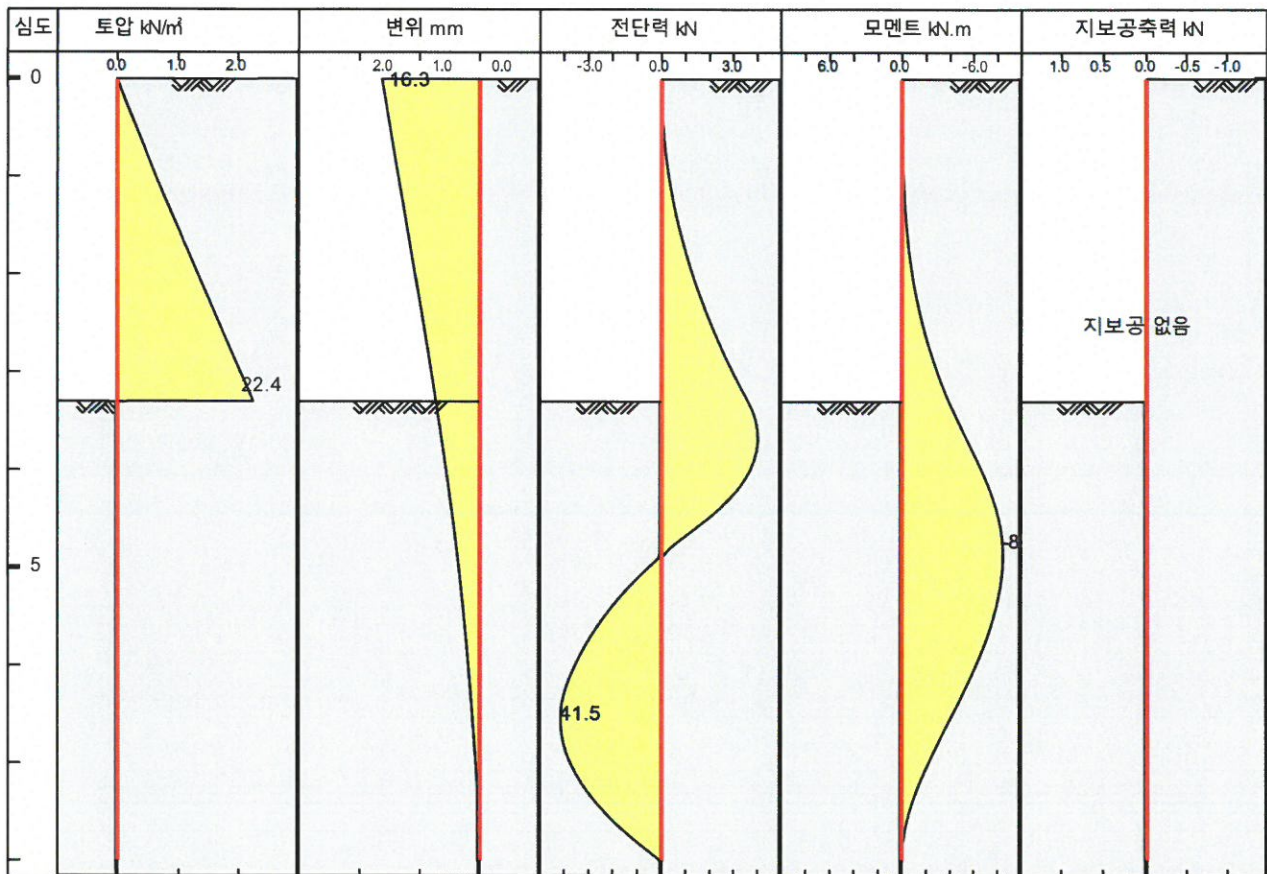
DISPLACEMENT 0.5 0 0

END

7. 단계별 계산결과 집계표

가 깊이별 최대토압, 변위, 전단력 및 모멘트

절점	구간심도 m	토압	변위	전단력 kN		모멘트 kN.m	
		kN/m ²	mm	굴착측	배면측	굴착측	배면측
1	0.00	0.00(0)	16.29(2)	0.00(2)	0.00(0)	0.00(1)	0.00(0)
6	0.50	3.12(2)	16.01(2)	0.00(0)	0.78(1)	0.00(2)	0.12(1)
11	1.00	6.40(2)	14.63(2)	0.00(0)	3.15(2)	0.00(0)	1.03(2)
16	1.50	9.81(2)	13.26(2)	0.00(0)	7.19(2)	0.00(0)	3.54(2)
21	2.00	13.28(2)	11.88(2)	0.10(1)	12.96(2)	0.00(0)	8.50(2)
26	2.50	16.78(2)	10.52(2)	0.29(1)	20.47(2)	0.00(0)	16.78(2)
31	3.00	20.27(2)	9.16(2)	0.39(1)	29.74(2)	0.00(0)	29.25(2)
36	3.50	22.36(2)	7.84(2)	0.40(1)	39.39(2)	0.00(0)	46.73(2)
41	4.00	0.00(0)	6.57(2)	0.39(1)	40.21(2)	0.00(0)	66.48(2)
46	4.50	0.00(0)	5.37(2)	0.33(1)	34.55(2)	0.06(1)	81.16(2)
51	5.00	0.00(0)	4.29(2)	5.55(2)	13.87(2)	0.16(1)	84.65(2)
56	5.50	0.00(0)	3.32(2)	23.56(2)	0.00(0)	0.21(1)	83.54(2)
61	6.00	0.00(0)	2.49(2)	35.59(2)	0.00(0)	0.22(1)	74.24(2)
66	6.50	0.00(0)	1.76(2)	41.51(2)	0.06(1)	0.21(1)	58.05(2)
71	7.00	0.00(0)	1.12(2)	41.51(2)	0.12(1)	0.16(1)	37.89(2)
76	7.50	0.00(0)	0.55(2)	35.38(2)	0.13(1)	0.10(1)	18.21(2)
	최대치	22.36(0)	16.29(0)	41.51(0)	40.21(0)	0.22(0)	84.65(0)



전단력과 모멘트에는 WALLOUT 으로 입력된 스텝별 하중계수가 곱해진 값임

STEP 1 2

Factor 1.00 1.00

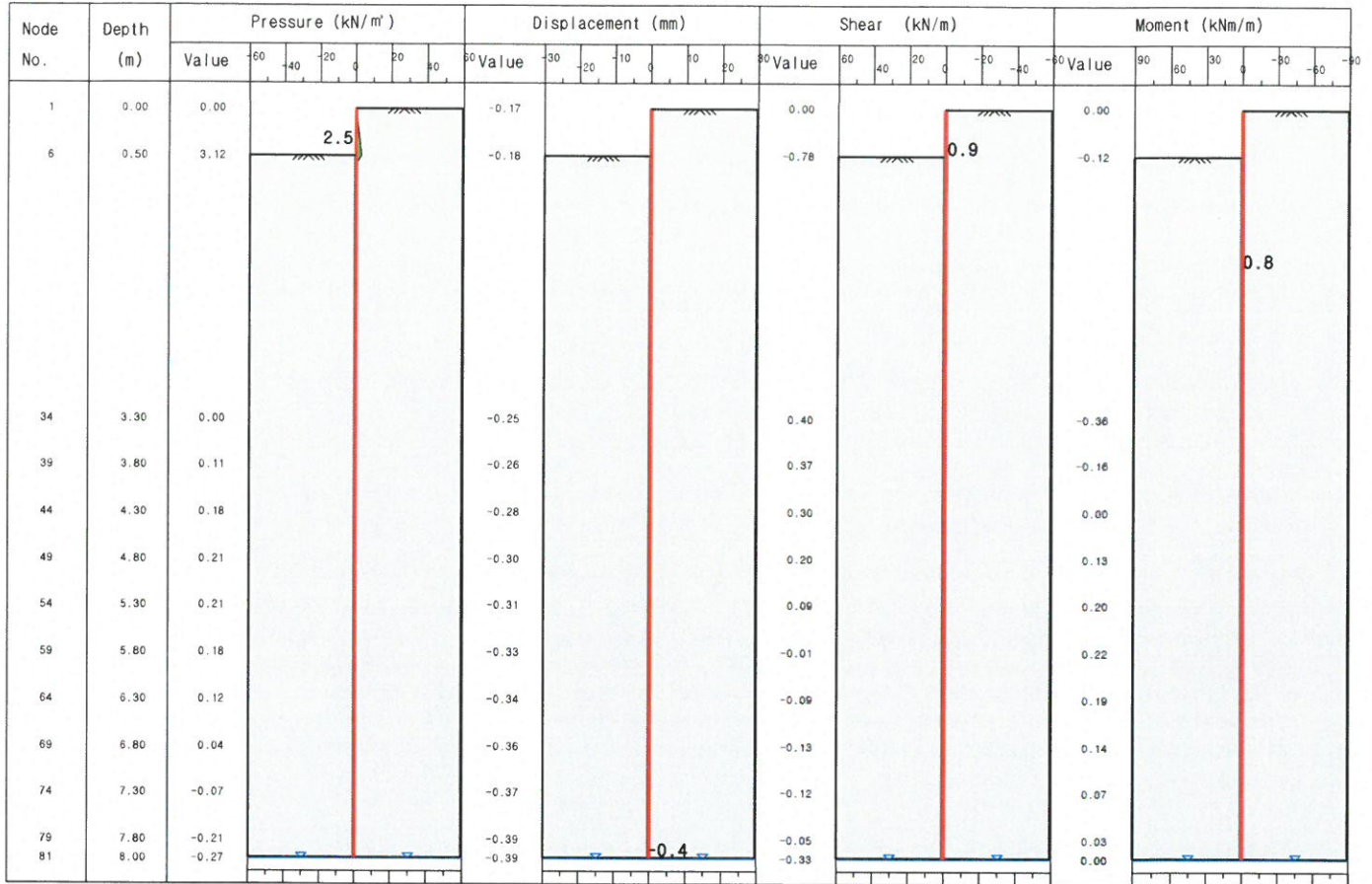
다. 굴착 단계별 최대토압, 변위, 전단력 및 모멘트

굴착 단계	굴착깊이 m	토압	변위	전단력 kN		모멘트 kN.m	
		kN/m ²	mm	굴착측	배면측	굴착측	배면측
1	0.50	3.12	0.39	0.4	0.92	0.22	0.77
2	3.30	22.36	16.29	41.51	40.21	0.07	84.65
	최대치	22.36	16.29	41.51	40.21	0.22	84.65

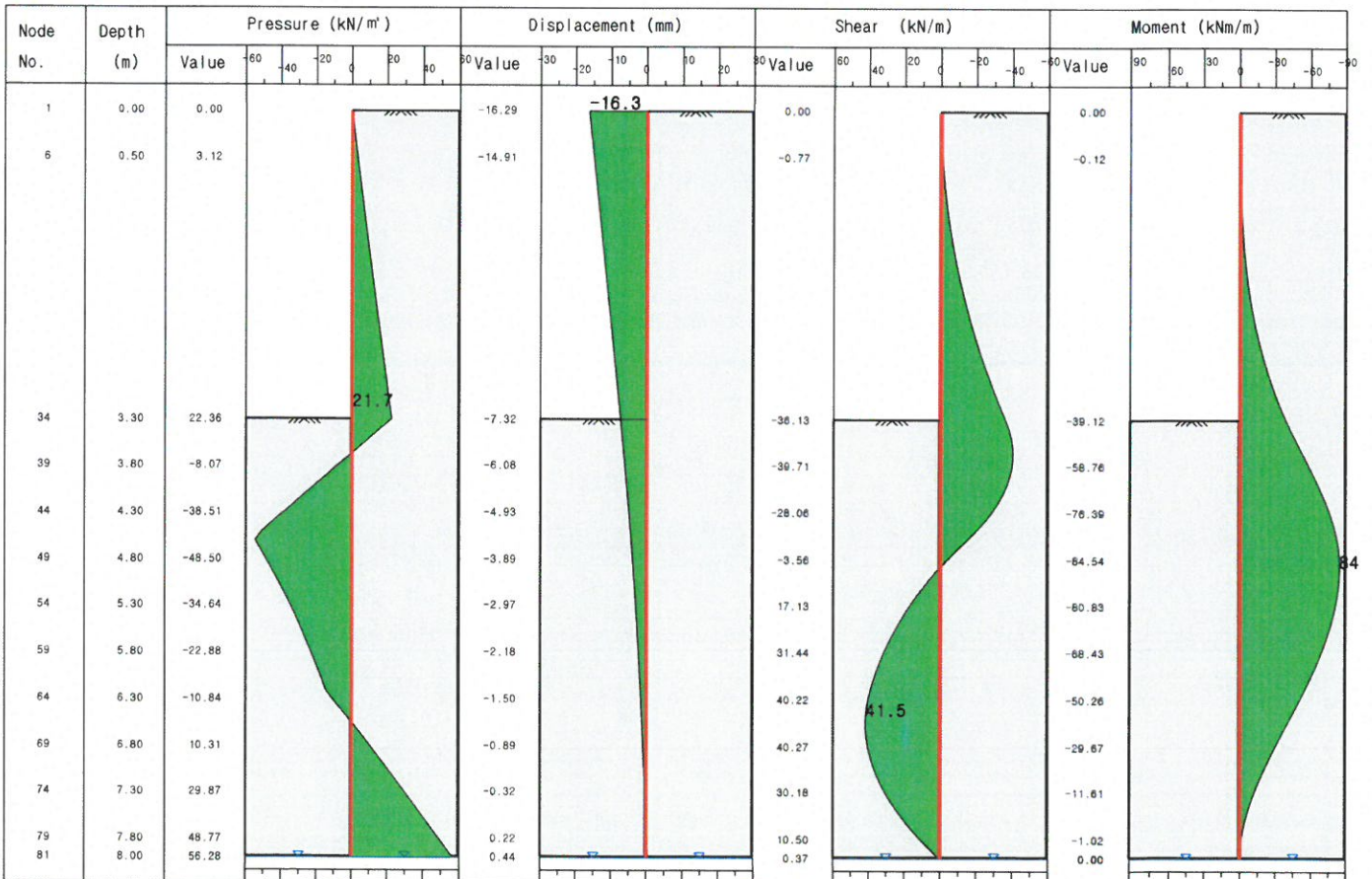
최대 변위는 흙막이 벽 바닥까지의 변위중 최대치임
하중계수가 곱해지지 않은 SUNEX 출력결과 그대로임

8 공사단계별 그래픽 출력(토압, 변위, 전단력, 모멘트)

Step No. 1 << EXCAVATION TO 0.5 >>



Step No. 2 << EXCAVATION TO 3.28 >>

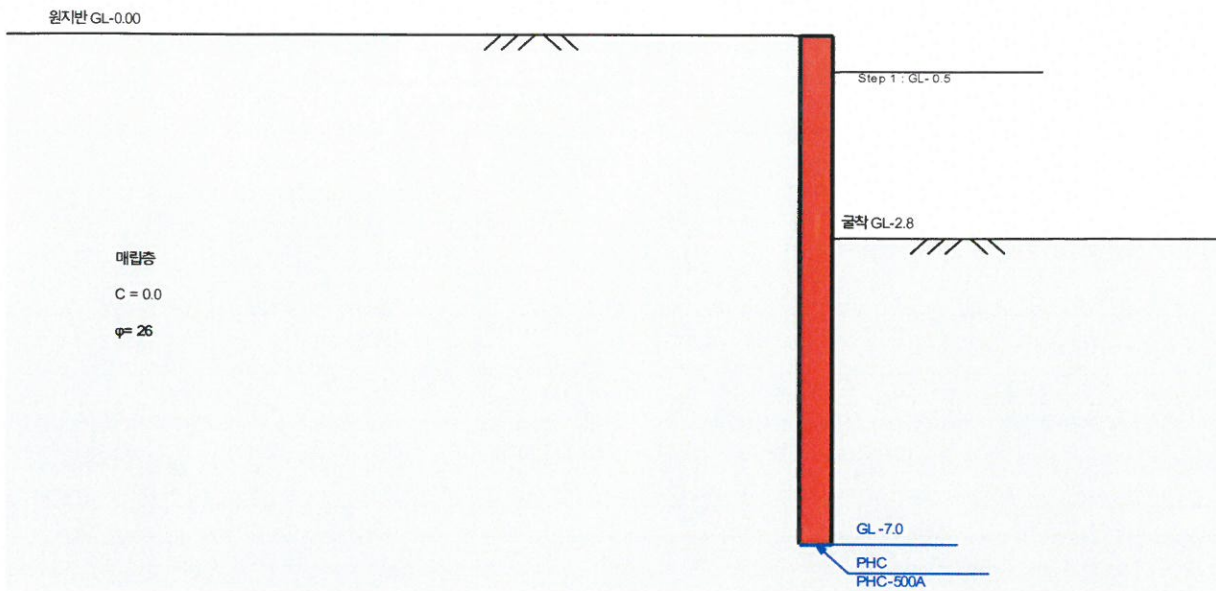


자립식용벽(H=2.79m)

목 차

1. 표준단면도
2. 설계요약
3. 설계조건
4. PHC 파일 설계
5. 외적 안정성 및 굴착영향 검토
 - 5.1 벽체의 굴착 단계별 변위 검토
 - 5.2 침하영향검토
 - 5.3 근입장에 대한 안정검토
6. SUNEX 입력데이터
7. SUNEX 단계별 계산 결과 집계표
8. SUNEX 단계별 계산결과 그래픽(토압, 변위, 전단력, 모멘트)

1 표준단면도



Graphics by MetaDraw ©

사용부재

PHC

심도구간 : 0.0 m - 7.0 m 부재규격 : PHC-500A

지반특성

토층번호	심도 (m)	지반명칭	γ_t kN/m ³	γ_{sub} kN/m ³	C kN/m ²	ϕ 도	Ks kN/m ³
1	12	매립층	18.0	9.0	0.0	26	17,000.0

2 설계결과 요약

공종	위치/규격	검토사항	단위	발생최대치	허용치	발생/허용치	판정
PHC 파일	0.0~7.0	휨모멘트	kN m	43.7	131.8	33.16 %	O.K
		전단력	kN	24.4	171.5	14.23 %	O.K
		축력	kN	30.7	1187.9	2.58 %	O.K
		균열	mm	0.016	0.200	8.00 %	O.K
		지지력	kN	19.2	239.7	8.01 %	O.K
안정성 검토	굴착깊이2.8	최대변위	mm	10.08	14.00	72.00 %	O.K
		변위율	변위/깊이	0.36 %	0.50 %	72.00 %	O.K
안정성 검토	굴착 GL-2.80	침하량	mm	8.81			O.K
		근입장	m	4.2	3.3	78.57 %	O.K

3 설계조건

가 해석방법 : 탄소정보법

적용토압 : 굴착 및 해체시 = Rankine, Coulomb 토압

최종굴착시 = PECK 토압

두 케이스를 비교하여 큰 부재력으로 설계

사용프로그램 : Ver W7.42 2019-N-118

나. 허용응력 할증

① 가설구조물에 대한 허용응력의 증가

가설구조물의 경우 1.50 (철도하중 지지시 1.3)

영구구조물로 사용되는 경우

시공도중 1.25

완료 후 1.00

② 고재사용시 허용응력 감소 0.90

공사기간이 2년 미만인 경우 가설구조물로, 2년 이상일 경우 영구구조물로 간주하여 설계한다.

다. 재료의 허용응력

재료의 허용응력은 다음을 기준으로 위 나.항에 따라 할증한다.

① 강재의 허용응력 MPa (가설흙막이 설계기준, KDS 21 30 00:2020, 표 3.3-1)

종류		SS275, SM275, SHP275(W)	SM355, SHP355W	비고
축방향인장(순단면)		160	210	
축방향압축(총단면)	$\frac{1}{\gamma} \leq 20$ 일 경우 160	$\frac{1}{\gamma} \leq 16$ 일 경우 210	l(cm) : 유효좌굴장 γ (cm) : 단면2차반경	
	$20 < \frac{1}{\gamma} \leq 90$ 일 경우 $160 - 1.0 \left(\frac{1}{\gamma} - 18 \right)$	$16 < \frac{1}{\gamma} \leq 80$ 일 경우 $210 - 1.467 \left(\frac{1}{\gamma} - 16 \right)$		
	$\frac{1}{\gamma} > 90$ 일 경우 $\left[\frac{1,250,000}{6,000 + \left(\frac{1}{\gamma} \right)^2} \right]$	$\frac{1}{\gamma} > 80$ 일 경우 $\left[\frac{1,267,000}{4,500 + \left(\frac{1}{\gamma} \right)^2} \right]$		
인장면(순단면)	인장면(순단면)	160	210	l : 플랜지의 고정점 간 거리 β : 압축플랜지 폭
	압축면(총단면)	$\frac{1}{\beta} \leq 4.5 ; 160$	$\frac{1}{\beta} \leq 4.0 ; 210$	
		$4.5 < \frac{1}{\beta} \leq 30$ $160 - 1.933 \left(\frac{1}{\beta} - 4.5 \right)$	$4.0 < \frac{1}{\beta} \leq 27$ $210 - 2.867 \left(\frac{1}{\beta} - 4.0 \right)$	
전단응력(총단면)		90	120	
지압응력		240	310	강관과 강판
용접강도	공장	모재의 100%	모재의 100%	
	현장	모재의 90%	모재의 90%	

(가설흙막이 설계기준에 있는 표 3.3-1에서 가설 할증을 1.5를 나눈 값임.)

3.3.1 (1) 에서 가설기간에 따라 1.0, 1.25, 1.3 또는 1.5 의 할증율을 곱하도록 하고 있음.)

② 강널말뚝 MPa (가설흙막이 설계기준, KDS 21 30 00:2020, 표 3.3-2)

종 류		SY300, SY300W	SY400, SY400W	비 고
침 입 력	인장응력	180	240	* Type-W는 용접용
	압축응력	180	240	
	전단응력	100	135	

③ 콘크리트의 허용응력 MPa

허용 휨 압축응력 $f_{ca} = 0.4 f_{ck}$

허용 전단응력 $v_a = 0.08 \sqrt{f_{ck}}$

전단보강철근과 콘크리트에 의해 허용되는 최대전단응력 = $v_{ca} + 0.32 \sqrt{f_{ck}}$

④ 철근의 허용(압축 및 인장)응력 (가설흙막이 설계기준, KDS 21 30 00:2016, 식 3.3-3 ~ 4)

가. 허용휨인장응력

$$f_{sa} = 0.5 f_y$$

나. 허용압축응력

$$f_{sa} = 0.4 f_y$$

⑤ 볼트의 허용응력 MPa (가설흙막이 설계기준, KDS 21 30 00:2020, 표 3.3-3)

볼트 종류	응력의 종류	허용 응력	비 고
보통 볼트	전 단	90 (SM400 기준)	100 (SS275 기준)
	지 압	190	
고장력 볼트	전 단	150	F8T 기준
	지 압	235 (SM400기준)	270 (SS275 기준)

SS275기준은 한국강구조 학회 안임

⑥ 목재의 허용응력 MPa

(가설흙막이 설계기준, KDS 21 30 00:2020, 표 3.3-2)

목재종류		허용응력 MPa		
		휨	압축	전단
침엽수	소나무, 해송, 낙엽송, 노송나무, 솔송나무, 미송	9	8	0.7
	삼나무, 가문비나무, 미삼나무, 전나무	7	6	0.5
활엽수	참나무	13	9	1.4
	밤나무, 느티나무, 졸참나무, 너도밤나무	10	7	1.0

⑦ 흙막이판용 강판의 허용응력 Mpa

(도로교설계기준 2010, 표 3.3.4, 표 3.3.5), KDS 24 14 30 2019 표 4.2-1)

강재의 종류		허용응력 MPa		
		휨	압축	전단
SS400 SM400		140	140	80
SM490		190	190	110
SS275, SM275, SHP275(W)		160	160	90
SM355, SHP355(W)		210	210	120

라. 가설흙막이의 안전율 (KDS 21 30 00:2020, 표 3.2-1)

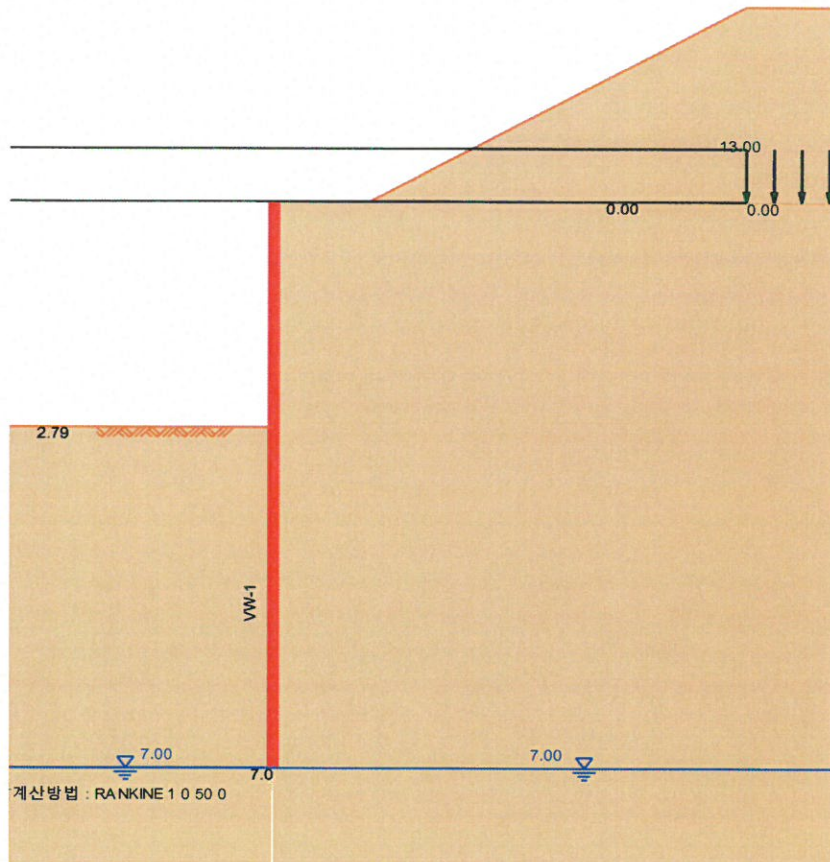
조건			안전율	비고
지반의 지지력			2	극한지지력에 대하여
활동			1.5	활동력(슬라이딩)에 대하여
전도			2	저항모멘트와 전도모멘트의 비
사면안정			1.1	1년 미만 단기안정성
근입깊이			1.2	수동 및 주동토압에 의한 모멘트 비
굴착저부의 안정	보일링	단기	1.5	사질토 대상, 단기는 2년 미만
		장기	2	
	히빙		1.5	점성토
지반앵커	사용기간 2년 미만		1.5	인발저항에 대한 안전율
	사용기간 2년 이상		2.5	

마. 벽체의 최대 수평변위 입력치 : 굴착깊이의 0.5 %

벽체 상단의 최대 허용변위 입력치 : mm

이 기준을 초과할 때는 주변시설물에 대한 별도의 안정검토가 필요하다.

바. 계산에 적용된 과재하중, 건물하중, 경사면성토하중, 수압등은 다음과 같다.



4 PHC 파일 설계

적용구간 0.00 ~ 7.00 (m)

가. 설계조건

(1) 사용파일 : PHC-500A

PHC 파일 설치간격 : 0.53 m

가설부재 허용응력 할증율 : 1.00

(2) SUNEX 해석결과 부재력

최대모멘트 Mmax : 51.57 kN·m/m 1 본당 => 51.57 x 0.53 = 27.33 kN·m

최대전단력 Smax : 28.75 kN/m 1 본당 => 28.75 x 0.53 = 15.24 kN

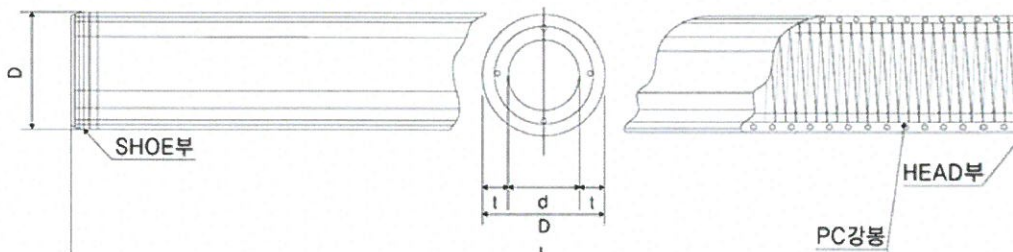
최대축력 Pmax : 36.19 kN/m 1 본당 => 36.19 x 0.53 = 19.18 kN

(3) 안전검토 방법 (강도설계법)

- ① 도로교 시방서의 강도설계법에 준하여 설계한다.
- ② 계수모멘트 $M_u < \text{설계모멘트 } M_d$ 가 만족 되어야 한다. 가설구조물은 가시설 할증율을 고려한다.
- ③ 계수모멘트 $M_u = \text{SUNEX 해석결과 모멘트} \times \text{하중계수}(1.6)$
- ④ 설계모멘트 $M_d = \text{강도감소계수} \phi \times \text{파괴모멘트 } M_f$

나. PHC 파일의 사양

(1) 표준 성능표 (KSF 4306 및 제조사의 사양)



외경 D (mm)	두께 t (mm)	종류	강선		콘크리트 단면적 Ac (cm ²)	환산단면적 Ae (cm ⁴)	단면2차모멘트 Ie (cm ⁴)		단면계수 환산단면 z (cm ³)	단위질량 (kg/m)
			직경 (mm)	개수 (n)			콘크리트 단면	환산 단면		
350	60	A			547	563	59,930	61,600	3,523	142
		B				579		63,320	3,617	
		C				585		63,960	3,655	
400	65	A	φ 8.3	8	684	704	99,580	102,200	5,122	178
		B	φ 8.3	16		722		104,900	5,245	
		C	φ 9.2	16		735		106,500	5,327	
450	70	A	φ 8.3	9	836	861	156,000	106,600	7,131	217
		B	φ 8.3	18		887		165,200	7,340	
		C	φ11.0	14		899		167,300	7,437	
500	80	A	φ 9.2	9	1,056	1,084	241,200	247,800	9,914	274
		B	φ 9.2	18		1,113		253,900	10,180	
		C	φ11.0	18		1,137		259,100	10,370	
600	90	A	φ 9.2	12	1,442	1,480	483,400	496,700	16,350	375
		B	φ 9.2	24		1,519		508,400	17,010	
		C	φ11.0	24		1,550		518,600	17,335	

주) A, B 및 C의 유효프리스트레스는 각각 3.92 MPa(40 kgf/cm²), 7.85(80), 9.81(100) 이다.

외경 350 이하 제품과 각 직경별 종류 B와 C는 제조사에 제조가능 여부를 확인해야 한다

(2) PHC 파일의 강도특성 (KSF 4306 및 제조사의 사양)

바깥지름 mm	종류	균열 휨모멘트 kN·m (tf·m)	파괴 휨모멘트 kN·m (tf·m)	전단력 kN·m (tf·m)	축력 kN (tf)
350	A	34.3 (3.5)	52.0 (5.3)	118.7 (12.1)	891 (90)
	B	49.0 (5.0)	88.3 (9.0)	150.1 (15.3)	902 (92)
	C	58.9 (6.0)	117.7 (12.0)	162.8 (16.6)	892 (91)
400	A	54.0 (5.5)	81.4 (8.3)	148.1 (15.1)	1098 (112)
	B	73.6 (7.5)	132.4 (13.5)	187.4 (19.1)	1128 (115)
	C	88.3 (9.0)	176.6 (18.0)	204.0 (20.8)	1108 (113)
450	A	73.6 (7.5)	110.8 (11.3)	180.5 (18.4)	1343 (137)
	B	107.9 (11.0)	194.2 (19.8)	227.6 (23.2)	1383 (141)
	C	122.6 (12.5)	245.2 (25.0)	248.2 (25.3)	1363 (139)
500	A	103.0 (10.5)	155.0 (15.8)	228.6 (23.3)	1697 (173)
	B	147.2 (15.0)	264.9 (27.0)	288.4 (29.4)	1746 (178)
	C	166.8 (17.0)	333.5 (34.0)	313.9 (32.0)	1717 (175)
600	A	166.8 (17.0)	250.2 (25.5)	311.0 (31.7)	2315 (236)
	B	245.2 (25.0)	441.4 (45.0)	392.4 (40.0)	2384 (243)
	C	284.5 (29.0)	569.0 (58.0)	427.7 (43.6)	2354 (240)

주) 1 tf = 9.81 kN

(3) PHC 파일 콘크리트의 일반적 특성

항목	특성치	비고
압축파괴강도 MPa (kgf/cm ²)	78.5	
압축파괴 변형 %	0.25	
휨인장 강도 MPa (kgf/cm ²)	7.4 (75)	
인장강도 MPa (kgf/cm ²)	5.4 (55)	
탄성계수 MPa (kgf/cm ²)	39,200 (400,000)	
탄성계수 MPa (kgf/cm ²)	34,300 (350,000)	프리스트레스 도입시
크리프계수	2	
건조수축율	2.00E+06	

다. 안전 검토

① 계수하중 (작용하중)

계수모멘트 = 1 본당의 모멘트 x 하중계수/가시설할증율 = $27.3 \times 1.6 / 1.00 = 43.7 \text{ kN m}$

계수전단력 = 1 본당의 전단력 x 하중계수/가시설할증율 = $15.2 \times 1.6 / 1.00 = 24.4 \text{ kN}$

계수축력 = 1 본당의 축력 x 하중계수/가시설할증율 = $19.2 \times 1.6 / 1.00 = 30.7 \text{ kN}$

② 설계하중 (파일의 강도)

설계모멘트 = $\phi \times \text{파괴모멘트} = 0.85 \times 155.0 = 131.8 \text{ kN m}$

설계전단력 = $\phi \times \text{전단력} = 0.75 \times 228.6 = 171.5 \text{ kN}$

설계축력 = $\phi \times \text{축력} = 0.70 \times 1697.0 = 1187.9 \text{ kN}$

③ 안전판단

▶ 모멘트 : 계수모멘트 = $43.7(\text{kN m}) < \text{설계모멘트} = 131.8 \text{ O.K}$

▶ 전단력 : 계수전단력 = $24.4\text{kN} < \text{설계전단력} = 171.5 \text{ O.K}$

▶ 축력 : 계수축력 = 30.7kN < 설계축력 = 1187.9 O.K

라. 균열에 대한 검토

하중이 발생할 때 발생하는 균열이 허용치 이내인지 검토한다.(도로교설계기준 2008, 4.4.9.3)

① 허용 균열폭

$W_a = \{1.005 \times \text{철근의 피복두께 } C_c\} \text{ 와 } 0.2 \text{ mm 중에서 큰 값}$

$C_c = \text{피복두께} = \text{파일의 두께} / 2 - \text{강선의 직경} / 2 = 80 / 2 - 9.2 / 2 = 35.40 \text{ mm}$

$W_a = 0.005 \times 35.4 = 0.177 \text{ mm}$

$W_a = \text{Max} (0.177 , 0.2) = 0.2 \text{ mm}$

② 균열폭 계산

$W = 1.08 R f_s^3 (\sqrt{d_c A}) \times 1.0E-05 \text{ mm}$

$R = \text{중립축에서 인장면단까지의 거리} / \text{중립축에서 철근도심까지의 거리}$

$= (500 / 2) / (500 - 80) / 2 = 250 / 210 = 1.190$

$f_s = \text{강선의 응력} = M_{\text{max}} / Z \times \text{탄성계수비}$

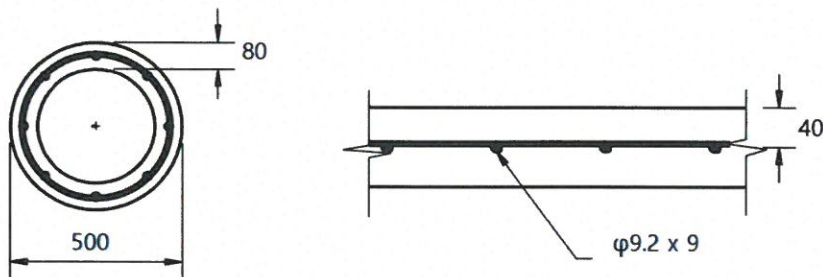
$\text{탄성계수비} = \text{강선의 탄성계수} / \text{콘크리트의 탄성계수} = 200000 / 34300 = 5.831$

$f_s = (27.33 \text{ kN m} \times 0.001) / (9,914 \text{ cm}^2 \times 1.0E-6) \times 5.831 = 16.075 \text{ MPa}$

$d_c = \text{표면에서 강선중심까지 거리} = 0.5 \times \text{두께} = 0.5 \times 80 = 40 \text{ mm}$

$A = \text{콘크리트 단면적을 철근개수로 나눈 유효인장면적 mm}^2$

$= 1056 \text{ cm}^2 \times 100 / 9 = 11733.33 \text{ mm}^2$



$W = 1.08 \times 1.190 \times 16.075 \times (40 \times 11733.33)^{1/3} \times 1.0E-5 = 0.016 \text{ mm}$

③ 균열에 대한 안전판단

▶ 계산된 균열폭 = 0.016 mm < 허용균열폭 = 0.2 mm O.K

5. 외적 안정성 및 굴착영향 검토

5.1 공사 단계별 변위에 대한 검토

공사단계별로 발생하는 흙막이 벽의 최대 변위와 허용변위를 비교하여 안전을 판단한다.

허용변위율 = 0.50 % , 허용변위 = 허용변위율 x 굴착깊이

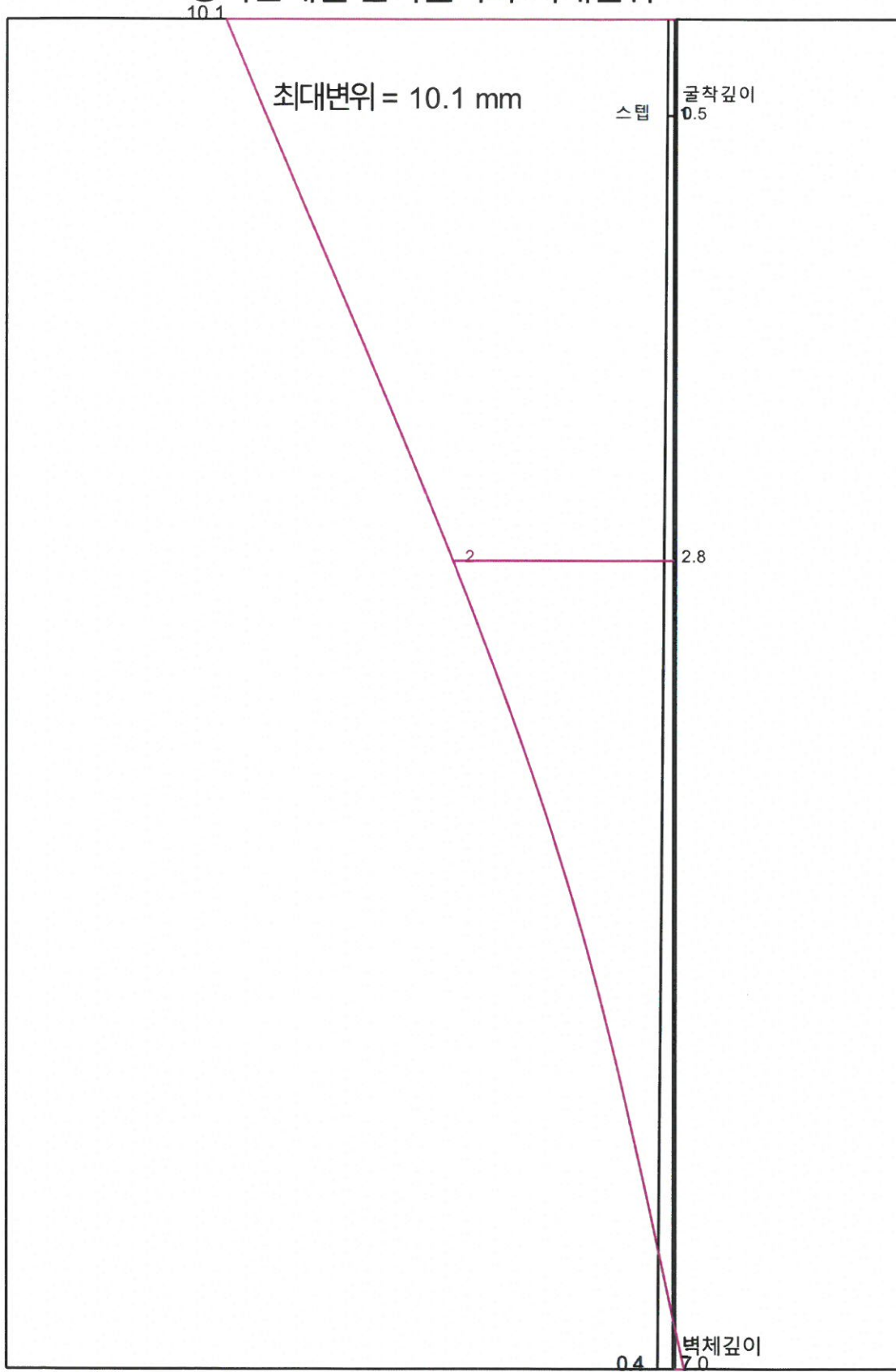
허용변위 계산깊이 적용 : 0 : 매 단계별 굴착깊이

말뚝상단의 허용변위 입력치 = 14 mm

스텝번호	스텝설명	굴착깊이 m	발생변위 mm	허용변위 mm	안전율 %	안전판단
1	EXCAVATION TO 0.5	0.5	0.4	2.5	14.7	O.K
2	EXCAVATION TO 2.79	2.8	10.1	14.0	72.0	O.K

(주) 최대변위는 지표에서 흙막이벽체 바닥 사이의 최대변위임

공사단계별 굴착깊이와 최대변위



5.2 침하에 대한 주변영향 검토

굴착으로 인한 지표면의 침하량은 흙막이 벽체의 변위와 관계된다고 보고 흙막이 벽체의 변위량으로 부터 침하량을 추정하는 방법을 Caspe(1966)가 제안하고, Bowles가 다음과 같은 단계로 재정리 하였다.

(1) 침하영향거리 계산

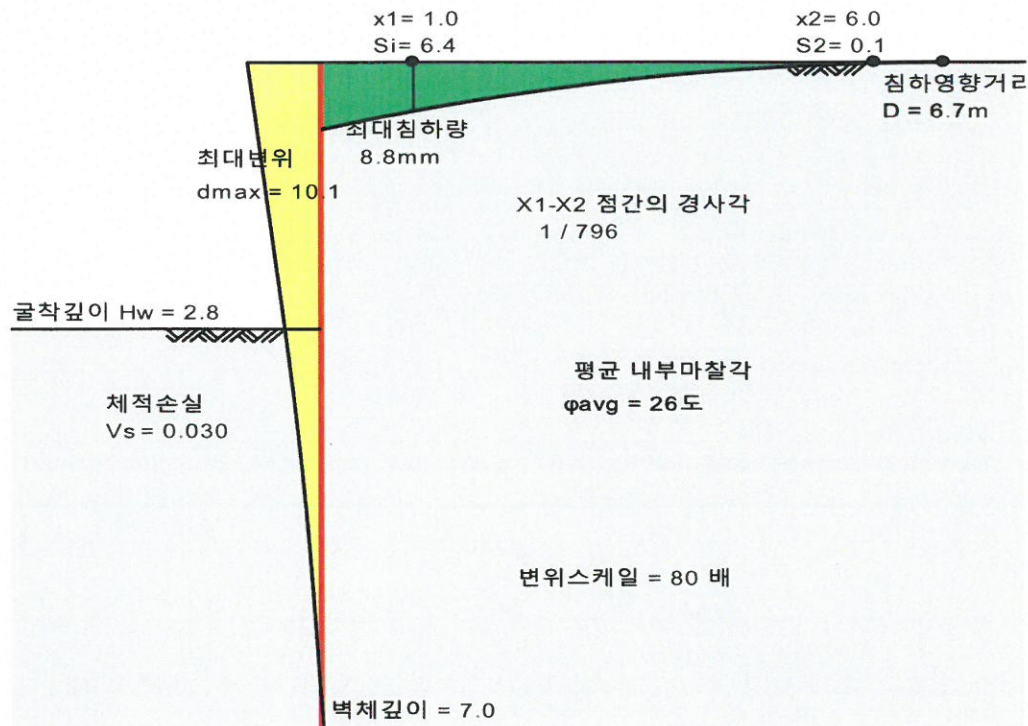
$$\begin{aligned}
 \text{굴착깊이 } H_w &= 2.8 \text{ m} \\
 \text{굴착폭 } B &= 10.0 \text{ m} \\
 \text{평균내부마찰각 } \phi_{avg} &= 26 \text{ 도} \\
 H_p &= (0.5 B \tan(45 + \phi_{avg}/2)) = 8.0 \text{ m} \\
 H_t &= (H_w + H_p) = 10.8 \text{ m} \\
 \text{영향거리 } D &= H_t \cdot \tan(45 - \phi_{avg}/2) = 6.7 \text{ m} \\
 \text{영향거리/굴착깊이}(D/H_w) \text{의 최대비율} &= 10.0 \\
 \text{수정된 영향거리 } D &= 6.7 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$(2) \text{ 굴착으로 인한 체적 손실량 } V_s = 0.030 \text{ m}^3$$

$$(3) \text{ 벽체에서의 침하량 } S_w = \frac{2 V_s}{D} = 8.8 \text{ mm}$$

$$(4) \text{ 벽체로부터 거리별 침하량 } S_i = S_w \left(\frac{D-x}{D} \right)^2$$

흙막이 벽으로 부터의 거리	0.0 x D	0.1 x D	0.2 x D	0.3 x D	0.5 x D	1.0 x D	X1	X2
m	0.00	0.67	1.35	2.02	3.37	6.75	1.00	6.00
침하량 mm	8.8	7.1	5.6	4.3	2.2	0.0	6.4	0.1
각변위 (1 / X)		403	451	511	639	1533		796



참고 : 칸막이 벽이나 바닥에 첫 균열이 예상되는 한계 = 1/300

건물에 균열이 없도록 하는 안정한계 = 1/500 (Bjerrum,1981)

5.3 근입장 검토

자립식

자립식 흙막이 벽의 근입깊이는

주동토압에 의한 모멘트 = 수동토압에 의한 모멘트 가 되는 균형깊이를 구하고 여기에 안전율을 곱하여 구한다.

(1) 설계내용

굴착깊이 H1 = 2.8 m

근입깊이 H2 = 4.2 m

전체 벽체 길이 H1 + H2 = 7 m

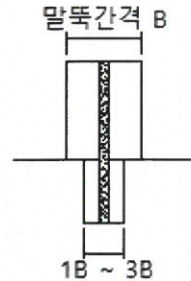
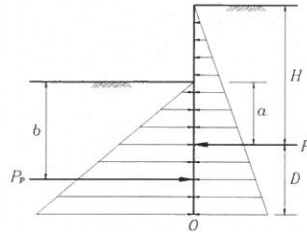
(2) 균형깊이 D의 계산

D = 2.5 m 일때

주동토압에 의한 모멘트 Ma = 165.3 kN.m

수동토압에 의한 모멘트 Mp = 176.3 kN.m

안전율 $F_s = \frac{M_p}{M_a} = 1.07$



(3) 근입장의 계산 ($F_s = 1$ 이상일 때만 해당함)

근입깊이는 균형깊이에 1.3 배를 하여 구한다.

소요 근입깊이 H2 = 1.3 x D = 3.25 m

전체 말뚝길이 = 굴착깊이 + 근입깊이 = 2.8 + 3.25 = 6.05 m

▶ 안전판단 설계된 근입깊이 4.2 > 소요근입깊이 3.25 따라서 O.K

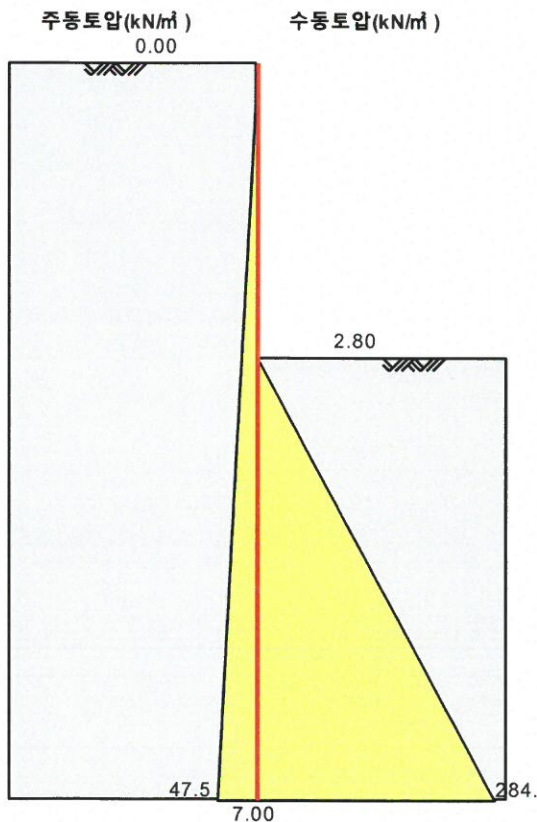
(4) 설계된 근입장에 대한 안전율 계산

설계된 근입장 = 4.2 m

주동토압에 의한 모멘트 Ma = 384.0 kN.m

수동토압에 의한 모멘트 Mp = 836.7 kN.m

안전율 $F_s = \frac{M_p}{M_a} = \frac{836.7}{384.0} = 2.179$



자립식 근입장 체크 - Cantilever Wall, FS = Mp/Ma (벽체 바닥에서)

1) FS >= 1.0 이 되는 균형깊이 계산(반복계산에 따라 구함)

Node No.	Depth (m)	주동 토압 (kN/m ²)	기타 횡력 (kN/m ²)	주동 모멘트 (kNm)	수동 토압 (kN/m ²)	기타 횡력 (kN/m ²)	수동 모멘트 (kNm)	안전율
1	0.00	0.00	0.00	0.00				
2	0.10	0.62	0.00	0.32				
3	0.20	1.23	0.00	0.63				
4	0.30	1.86	0.00	0.93				
5	0.40	2.48	0.00	1.22				
6	0.50	3.12	0.00	1.50				
7	0.60	3.76	0.00	1.77				
8	0.70	4.41	0.00	2.03				
9	0.80	5.07	0.00	2.28				
10	0.90	5.73	0.00	2.52				
11	1.00	6.40	0.00	2.75				
12	1.10	7.07	0.00	2.97				
13	1.20	7.75	0.00	3.18				
14	1.30	8.43	0.00	3.37				
15	1.40	9.12	0.00	3.56				
16	1.50	9.81	0.00	3.73				
17	1.60	10.50	0.00	3.88				
18	1.70	11.19	0.00	4.03				
19	1.80	11.89	0.00	4.16				
20	1.90	12.58	0.00	4.28				
21	2.00	13.28	0.00	4.38				
22	2.10	13.98	0.00	4.47				
23	2.20	14.68	0.00	4.55				
24	2.30	15.38	0.00	4.61				
25	2.40	16.08	0.00	4.66				
26	2.50	16.78	0.00	4.70				
27	2.60	17.48	0.00	4.72				
28	2.70	18.17	0.00	4.73				
29	2.80	18.87	0.00	4.72	0.00	0.00	0.00	0.00
30	2.90	19.57	0.00	4.70	-6.78	0.00	-1.63	0.02
31	3.00	20.27	0.00	4.66	-13.56	0.00	-3.12	0.05
32	3.10	20.97	0.00	4.61	-20.34	0.00	-4.47	0.09
33	3.20	21.67	0.00	4.55	-27.12	0.00	-5.70	0.14
34	3.30	22.36	0.00	4.47	-33.90	0.00	-6.78	0.19
35	3.40	23.06	0.00	4.38	-40.68	0.00	-7.73	0.25
36	3.50	23.75	0.00	4.28	-47.46	0.00	-8.54	0.31
37	3.60	24.45	0.00	4.16	-54.24	0.00	-9.22	0.37
38	3.70	25.14	0.00	4.02	-61.02	0.00	-9.76	0.44
39	3.80	25.84	0.00	3.88	-67.80	0.00	-10.17	0.50
40	3.90	26.53	0.00	3.71	-74.58	0.00	-10.44	0.56
41	4.00	27.22	0.00	3.54	-81.36	0.00	-10.58	0.62

42	4.10	27.91	0.00	3.35	-88.14	0.00	-10.58	0.68
43	4.20	28.60	0.00	3.15	-94.92	0.00	-10.44	0.74
44	4.30	29.29	0.00	2.93	-101.70	0.00	-10.17	0.79
45	4.40	29.97	0.00	2.70	-108.48	0.00	-9.76	0.84
46	4.50	30.66	0.00	2.45	-115.26	0.00	-9.22	0.89
47	4.60	31.35	0.00	2.19	-122.04	0.00	-8.54	0.93
48	4.70	32.03	0.00	1.92	-128.82	0.00	-7.73	0.96
49	4.80	32.71	0.00	1.64	-135.60	0.00	-6.78	1.00
50	4.90	33.40	0.00	1.34	-142.38	0.00	-5.70	1.02
51	5.00	34.08	0.00	1.02	-149.16	0.00	-4.47	1.04
52	5.10	34.76	0.00	0.70	-155.94	0.00	-3.12	1.06
53	5.20	35.44	0.00	0.35	-162.72	0.00	-1.63	1.07
54	5.30	36.12	0.00	0.00	-169.50	0.00	0.00	1.07

964.84 0.00 165.33 -2203.50 0.00 -176.28

합계 주동 모멘트 (Ma) = 165.33

합계 수동 모멘트 (Mp) = -176.28

안전율 (Mp/Ma) = 1.07

안전율이 1 이상이 되는 균형깊이에 30%를 가산한 깊이를 최소 근입장으로 해야함

균형깊이 = 2.50

소요근입장(균형깊이×1.3) = 3.25, 최소벽체길이(굴착깊이+소요근입장) = 6.05

2) 실제 벽체 깊이에서의 안전율 계산

Node Depth 주동 기타 주동 수동 기타 수동 안전율

No.	토압	횡력	모멘트	토압	횡력	모멘트	
(m)	(kN/m2)	(kN/m2)	(kNm)	(kN/m2)	(kN/m2)	(kNm)	
1	0.00	0.00	0.00				
2	0.10	0.62	0.00				
3	0.20	1.23	0.00				
4	0.30	1.86	0.00				
5	0.40	2.48	0.00				
6	0.50	3.12	0.00				
7	0.60	3.76	0.00				
8	0.70	4.41	0.00				
9	0.80	5.07	0.00				
10	0.90	5.73	0.00				
11	1.00	6.40	0.00				
12	1.10	7.07	0.00				
13	1.20	7.75	0.00				
14	1.30	8.43	0.00				
15	1.40	9.12	0.00				
16	1.50	9.81	0.00				
17	1.60	10.50	0.00				
18	1.70	11.19	0.00				
19	1.80	11.89	0.00				
20	1.90	12.58	0.00				

21	2.00	13.28	0.00	6.64				
22	2.10	13.98	0.00	6.85				
23	2.20	14.68	0.00	7.04				
24	2.30	15.38	0.00	7.23				
25	2.40	16.08	0.00	7.39				
26	2.50	16.78	0.00	7.55				
27	2.60	17.48	0.00	7.69				
28	2.70	18.17	0.00	7.82				
29	2.80	18.87	0.00	7.93	0.00	0.00	0.00	0.00
30	2.90	19.57	0.00	8.02	-6.78	0.00	-2.78	0.02
31	3.00	20.27	0.00	8.11	-13.56	0.00	-5.42	0.05
32	3.10	20.97	0.00	8.18	-20.34	0.00	-7.93	0.10
33	3.20	21.67	0.00	8.23	-27.12	0.00	-10.31	0.16
34	3.30	22.36	0.00	8.27	-33.90	0.00	-12.54	0.22
35	3.40	23.06	0.00	8.30	-40.68	0.00	-14.64	0.29
36	3.50	23.75	0.00	8.31	-47.46	0.00	-16.61	0.36
37	3.60	24.45	0.00	8.31	-54.24	0.00	-18.44	0.44
38	3.70	25.14	0.00	8.30	-61.02	0.00	-20.14	0.52
39	3.80	25.84	0.00	8.27	-67.80	0.00	-21.70	0.60
40	3.90	26.53	0.00	8.22	-74.58	0.00	-23.12	0.68
41	4.00	27.22	0.00	8.17	-81.36	0.00	-24.41	0.76
42	4.10	27.91	0.00	8.09	-88.14	0.00	-25.56	0.84
43	4.20	28.60	0.00	8.01	-94.92	0.00	-26.58	0.92
44	4.30	29.29	0.00	7.91	-101.70	0.00	-27.46	1.00
45	4.40	29.97	0.00	7.79	-108.48	0.00	-28.20	1.07
46	4.50	30.66	0.00	7.67	-115.26	0.00	-28.81	1.15
47	4.60	31.35	0.00	7.52	-122.04	0.00	-29.29	1.22
48	4.70	32.03	0.00	7.37	-128.82	0.00	-29.63	1.29
49	4.80	32.71	0.00	7.20	-135.60	0.00	-29.83	1.36
50	4.90	33.40	0.00	7.01	-142.38	0.00	-29.90	1.43
51	5.00	34.08	0.00	6.82	-149.16	0.00	-29.83	1.49
52	5.10	34.76	0.00	6.60	-155.94	0.00	-29.63	1.56
53	5.20	35.44	0.00	6.38	-162.72	0.00	-29.29	1.62
54	5.30	36.12	0.00	6.14	-169.50	0.00	-28.82	1.67
55	5.40	36.80	0.00	5.89	-176.28	0.00	-28.20	1.73
56	5.50	37.47	0.00	5.62	-183.06	0.00	-27.46	1.78
57	5.60	38.15	0.00	5.34	-189.84	0.00	-26.58	1.83
58	5.70	38.83	0.00	5.05	-196.62	0.00	-25.56	1.88
59	5.80	39.50	0.00	4.74	-203.40	0.00	-24.41	1.92
60	5.90	40.17	0.00	4.42	-210.18	0.00	-23.12	1.96
61	6.00	40.85	0.00	4.08	-216.96	0.00	-21.70	2.00
62	6.10	41.52	0.00	3.74	-223.74	0.00	-20.14	2.03
63	6.20	42.19	0.00	3.38	-230.52	0.00	-18.44	2.06
64	6.30	42.86	0.00	3.00	-237.30	0.00	-16.61	2.09
65	6.40	43.53	0.00	2.61	-244.08	0.00	-14.64	2.11
66	6.50	44.19	0.00	2.21	-250.86	0.00	-12.54	2.14
67	6.60	44.86	0.00	1.79	-257.64	0.00	-10.31	2.15
68	6.70	45.53	0.00	1.37	-264.42	0.00	-7.93	2.17

69	6.80	46.19	0.00	0.92	-271.20	0.00	-5.42	2.17
70	6.90	46.86	0.00	0.47	-277.98	0.00	-2.78	2.18
71	7.00	47.52	0.00	0.00	-284.76	0.00	0.00	2.18

1681.85 0.00 383.98 -6122.34 0.00 -836.72

합계 주동 모멘트 (Ma) = 383.98

합계 수동 모멘트 (Mp) = -836.72

안전율 (Mp/Ma) = 2.18

설계된 근입장 4.20 > 소요근입장 3.25 이므로 O.K

6. 입력 데이터

ELO 0.00

PROJECT 종점부 RAMP-C U-TYPE 검토 (H=2.79m)

UNIT kN

ELGL GL 0.00

SOIL 1 매립층

18 9 0 26 17000 0 0 0 0.0E+00 1.00

PROFILE 1 12 1 1

VWALL 1 7 .1084 .002478 3.5E+07 .53 .53 .53 0 0

Division 0.1

Solution 0

Output 1

NoteMode 1

MINKS 0

ECHO

STEP 1 excavation to 0.5

RANKINE 1 0 50 0

LOAD 0 5 13 20 13 1

SLOPE 1 31 4 1

excavation 0.5

STEP 2 excavation to 2.79

excavation 2.79

ground settlement

depth check

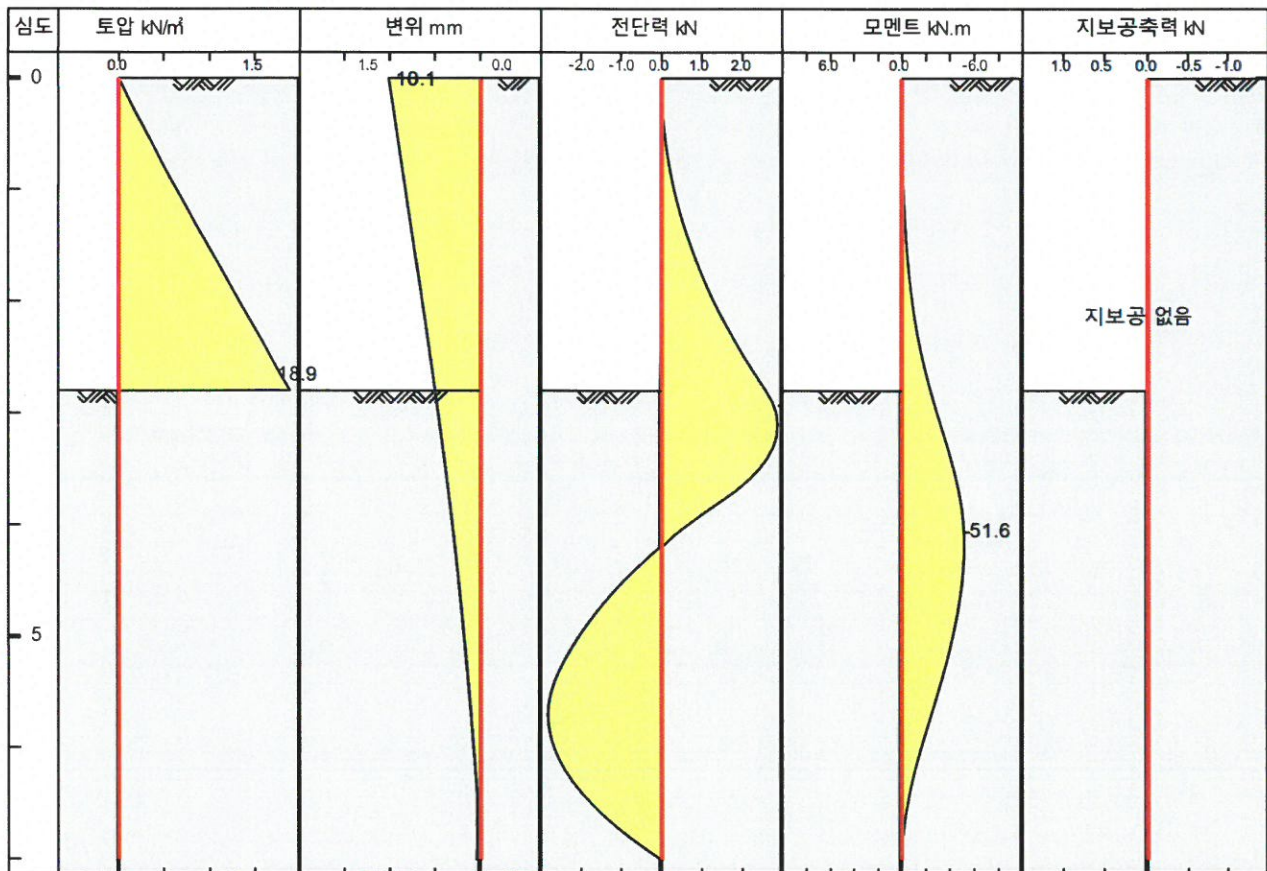
DISPLACEMENT 0.5 0 0

END

7. 단계별 계산결과 집계표

가 깊이별 최대토압, 변위, 전단력 및 모멘트

절점	구간심도 m	토압	변위	전단력 kN		모멘트 kN.m	
		kN/m ²	mm	굴착측	배면측	굴착측	배면측
1	0.00	0.00(0)	10.08(2)	0.00(2)	0.00(0)	0.00(1)	0.00(0)
5	0.40	2.48(2)	9.90(2)	0.00(0)	0.49(1)	0.00(2)	0.06(1)
9	0.80	5.07(2)	9.16(2)	0.00(0)	2.00(2)	0.00(0)	0.52(2)
13	1.20	7.75(2)	8.43(2)	0.00(0)	4.56(2)	0.00(0)	1.79(2)
17	1.60	10.50(2)	7.69(2)	0.00(0)	8.21(2)	0.00(0)	4.31(2)
21	2.00	13.28(2)	6.96(2)	0.08(1)	12.96(2)	0.00(0)	8.50(2)
25	2.40	16.08(2)	6.24(2)	0.24(1)	18.83(2)	0.00(0)	14.82(2)
29	2.80	18.87(2)	5.52(2)	0.33(1)	25.82(2)	0.00(0)	23.71(2)
33	3.20	0.00(0)	4.82(2)	0.36(1)	28.75(2)	0.00(0)	34.94(2)
37	3.60	0.00(0)	4.15(2)	0.36(1)	27.66(2)	0.00(0)	45.30(2)
41	4.00	0.00(0)	3.51(2)	0.33(1)	18.18(2)	0.00(0)	50.99(2)
45	4.40	0.00(0)	2.92(2)	6.63(2)	2.90(2)	0.00(0)	51.57(2)
49	4.80	0.00(0)	2.38(2)	16.67(2)	0.00(0)	0.00(1)	50.03(2)
53	5.20	0.00(0)	1.88(2)	23.96(2)	0.00(0)	0.05(1)	44.29(2)
57	5.60	0.00(0)	1.43(2)	28.06(2)	0.00(0)	0.06(1)	35.37(2)
61	6.00	0.00(0)	1.02(2)	28.25(2)	0.00(1)	0.06(1)	24.44(2)
65	6.40	0.00(0)	0.62(2)	25.55(2)	0.04(1)	0.06(1)	13.47(2)
69	6.80	0.00(0)	0.35(1)	17.47(2)	0.05(1)	0.04(1)	4.67(2)
71	7.00	0.00(0)	0.36(1)	4.14(2)	0.02(1)	0.02(1)	0.16(2)
	최대치	18.87(0)	10.08(0)	28.25(0)	28.75(0)	0.06(0)	51.57(0)



전단력과 모멘트에는 WALLOUT 으로 입력된 스텝별 하중계수가 곱해진 값임

STEP 1 2

Factor 1.00 1.00

다. 굴착 단계별 최대토압, 변위, 전단력 및 모멘트

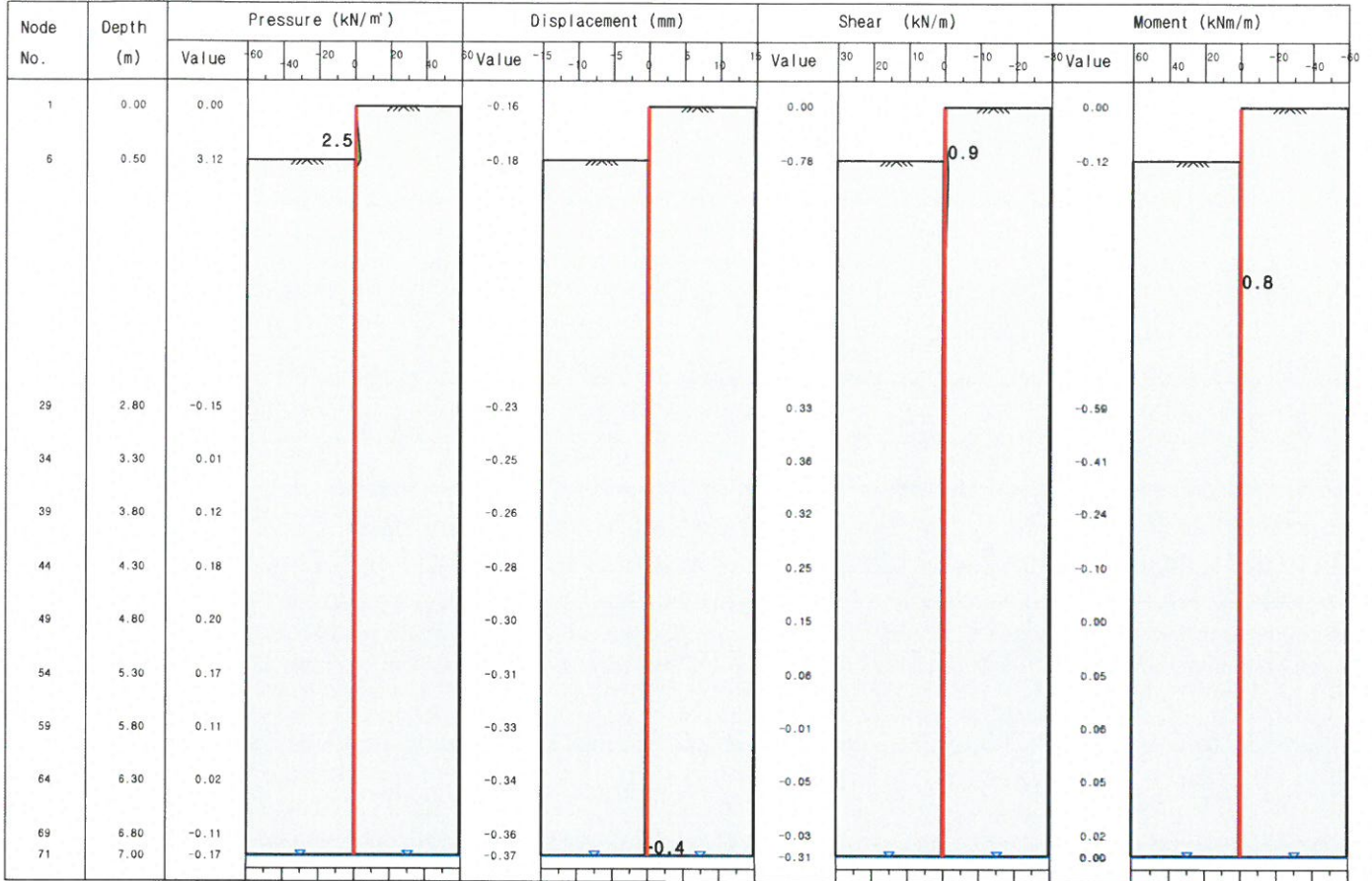
굴착 단계	굴착깊이 m	토압	변위	전단력 kN		모멘트 kN.m	
		kN/m ²	mm	굴착측	배면측	굴착측	배면측
1	0.50	3.12	0.37	0.36	0.92	0.06	0.78
2	2.80	18.87	10.08	28.25	28.75	0.06	51.57
	최대치	18.87	10.08	28.25	28.75	0.06	51.57

최대 변위는 흙막이 벽 바닥까지의 변위중 최대치임

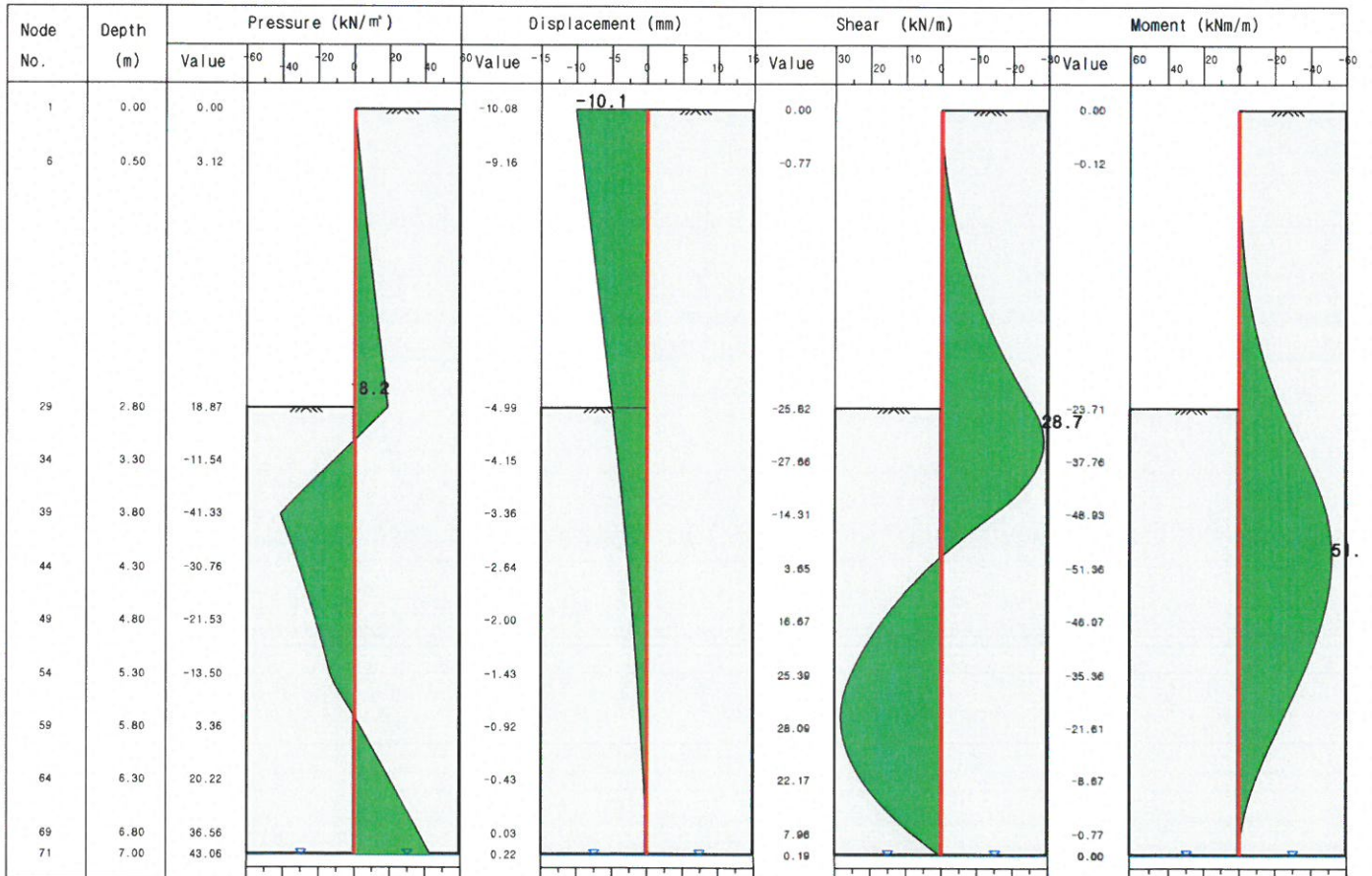
하중계수가 급해지지 않은 SUNEX 출력결과 그대로임

8 공사단계별 그래픽 출력(토압, 변위, 전단력, 모멘트)

Step No. 1 << EXCAVATION TO 0.5 >>



Step No. 2 << EXCAVATION TO 2.79 >>

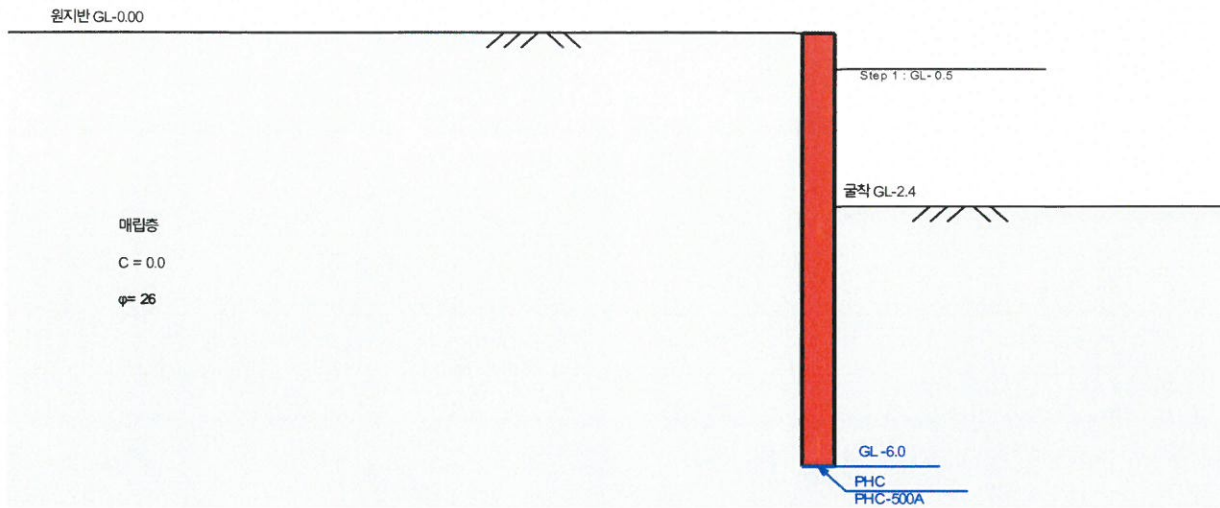


자립식용벽(H=2.4m)

목 차

1. 표준단면도
2. 설계요약
3. 설계조건
4. PHC 파일 설계
5. 외적 안정성 및 굴착영향 검토
 - 5.1 벽체의 굴착 단계별 변위 검토
 - 5.2 침하영향검토
 - 5.3 근입장에 대한 안정검토
6. SUNEX 입력데이터
7. SUNEX 단계별 계산 결과 집계표
8. SUNEX 단계별 계산결과 그래픽(토압, 변위, 전단력, 모멘트)

1 표준단면도



Graphics by MetaDraw ©

사용부재

PHC

심도구간 : 0.0 m - 6.0 m 부재규격 : PHC-500A

지반특성

토층번호	심도 (m)	지반명칭	γ_t kN/m ³	γ_{sub} kN/m ³	C kN/m ²	φ 도	Ks kN/m ³
1	12	매립층	18.0	9.0	0.0	26	17,000.0

2 설계결과 요약

공종	위치/규격	검토사항	단위	발생최대치	허용치	발생/허용치	판정
PHC 파일	0.0~6.0	휨모멘트	kN m	27.4	131.8	20.79 %	O.K
		전단력	kN	17.7	171.5	10.32 %	O.K
		축력	kN	26.3	1187.9	2.21 %	O.K
		균열	mm	0.010	0.200	5.00 %	O.K
		지지력	kN	16.4	231.5	7.08 %	O.K
안정성 검토	굴착깊이2.4	최대변위	mm	7.44	12.00	62.00 %	O.K
		변위율	변위/깊이	0.31 %	0.50 %	62.00 %	O.K
안정성 검토	굴착 GL-2.40	침하량	mm	6.09			O.K
		근입장	m	3.6	2.7	75.00 %	O.K

3 설계조건

가 해석방법 : 탄소정보법

적용토압 : 굴착 및 해체시 = Rankine, Coulomb 토압

최종굴착시 = PECK 토압

두 케이스를 비교하여 큰 부재력으로 설계

사용프로그램 : Ver W7.42 2019-N-118

나. 허용응력 할증

① 가설구조물에 대한 허용응력의 증가

가설구조물의 경우 1.50 (철도하중 지지시 1.3)

영구구조물로 사용되는 경우

시공도중 1.25

완료 후 1.00

② 고재사용시 허용응력 감소 0.90

공사기간이 2년 미만인 경우 가설구조물로, 2년 이상일 경우 영구구조물로 간주하여 설계한다.

다. 재료의 허용응력

재료의 허용응력은 다음을 기준으로 위 나.항에 따라 할증한다.

① 강재의 허용응력 MPa (가설흙막이 설계기준, KDS 21 30 00:2020, 표 3.3-1)

종류		SS275, SM275, SHP275(W)	SM355, SHP355W	비고
축방향인장(순단면)		160	210	
축방향압축(총단면)	$\frac{1}{\gamma} \leq 20$ 일 경우 160	$\frac{1}{\gamma} \leq 16$ 일 경우 210	$l(\text{cm})$: 유효좌굴장 $\gamma(\text{cm})$: 단면2차반경	
	$20 < \frac{1}{\gamma} \leq 90$ 일 경우 $160 - 1.0 \left(\frac{1}{\gamma} - 18 \right)$	$16 < \frac{1}{\gamma} \leq 80$ 일 경우 $210 - 1.467 \left(\frac{1}{\gamma} - 16 \right)$		
	$\frac{1}{\gamma} > 90$ 일 경우 $\left[\frac{1,250,000}{6,000 + \left(\frac{1}{\gamma} \right)^2} \right]$	$\frac{1}{\gamma} > 80$ 일 경우 $\left[\frac{1,267,000}{4,500 + \left(\frac{1}{\gamma} \right)^2} \right]$		
인장면	인장면(순단면)	160	210	
	압축면(총단면)	$\frac{1}{\beta} \leq 4.5$; 160	$\frac{1}{\beta} \leq 4.0$; 210	l : 플랜지의 고정점 간 거리 β : 압축플랜지 폭
		$4.5 < \frac{1}{\beta} \leq 30$ $160 - 1.933 \left(\frac{1}{\beta} - 4.5 \right)$	$4.0 < \frac{1}{\beta} \leq 27$ $210 - 2.867 \left(\frac{1}{\beta} - 4.0 \right)$	
전단응력(총단면)		90	120	
지압응력		240	310	강관과 강판
용접강도	공장	모재의 100%	모재의 100%	
	현장	모재의 90%	모재의 90%	

(가설흙막이 설계기준에 있는 표 3.3-1에서 가설 할증을 1.5를 나눈 값임.)

3.3.1 (1) 에서 가설기간에 따라 1.0, 1.25, 1.3 또는 1.5 의 할증율을 곱하도록 하고 있음.)

② 강널말뚝 MPa (가설흙막이 설계기준, KDS 21 30 00:2020, 표 3.3-2)

종 류		SY300, SY300W	SY400, SY400W	비 고
휨 응 력	인장응력	180	240	* Type-W는 용접용
	압축응력	180	240	
	전단응력	100	135	

③ 콘크리트의 허용응력 MPa

허용 휨 압축응력 $f_{ca} = 0.4 f_{ck}$

허용 전단응력 $v_a = 0.08 \sqrt{f_{ck}}$

전단보강철근과 콘크리트에 의해 허용되는 최대전단응력 = $v_{ca} + 0.32 \sqrt{f_{ck}}$

④ 철근의 허용(압축 및 인장)응력 (가설흙막이 설계기준, KDS 21 30 00:2016, 식 3.3-3 ~ 4)

가. 허용휨인장응력

$$f_{sa} = 0.5 f_y$$

나. 허용압축응력

$$f_{sa} = 0.4 f_y$$

⑤ 볼트의 허용응력 MPa (가설흙막이 설계기준, KDS 21 30 00:2020, 표 3.3-3)

볼트 종류	응력의 종류	허용 응력	비고
보통 볼트	전단	90 (SM400 기준)	100 (SS275 기준)
	지압	190	
고장력 볼트	전단	150	F8T 기준
	지압	235 (SM400 기준)	270 (SS275 기준)

SS275기준은 한국강구조 학회 안임

⑥ 목재의 허용응력 MPa

(가설흙막이 설계기준, KDS 21 30 00:2020, 표 3.3-2)

목재종류		허용응력 MPa		
		휨	압축	전단
침엽수	소나무, 해송, 낙엽송, 노송나무, 솔송나무, 미송	9	8	0.7
	삼나무, 가문비나무, 미삼나무, 전나무	7	6	0.5
활엽수	참나무	13	9	1.4
	밤나무, 느티나무, 졸참나무, 너도밤나무	10	7	1.0

⑦ 흙막이판용 강판의 허용응력 MPa

(도로교설계기준 2010, 표 3.3.4, 표 3.3.5), KDS 24 14 30 2019 표 4.2-1)

강재의 종류		허용응력 MPa		
		휨	압축	전단
SS400 SM400		140	140	80
SM490		190	190	110
SS275, SM275, SHP275(W)		160	160	90
SM355, SHP355(W)		210	210	120

라. 가설흙막이의 안전율 (KDS 21 30 00:2020, 표 3.2-1)

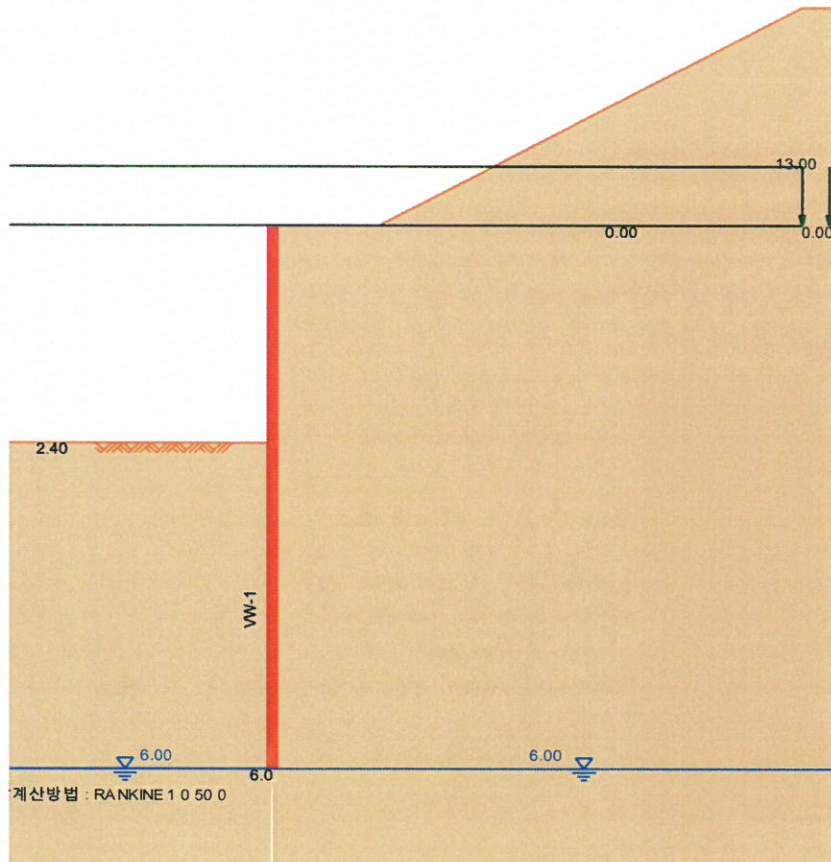
조건	안전율	비고
지반의 지지력	2	극한지지력에 대하여
활동	1.5	활동력(슬라이딩)에 대하여
전도	2	저항모멘트와 전도모멘트의 비
사면안정	1.1	1년 미만 단기안정성
근입깊이	1.2	수동 및 주동토압에 의한 모멘트 비
굴착저부의 안정	보일링 단기	사질토 대상, 단기는 2년 미만
	장기	
	히빙	점성토
지반앵커	사용기간 2년 미만	인발저항에 대한 안전율
	사용기간 2년 이상	

마. 벽체의 최대 수평변위 입력치 : 굴착깊이의 0.5 %

벽체 상단의 최대 허용변위 입력치 : mm

이 기준을 초과할 때는 주변시설물에 대한 별도의 안정검토가 필요하다.

바. 계산에 적용된 과재하중, 건물하중, 경사면성토하중, 수압등은 다음과 같다.



4 PHC 파일 설계

적용구간 0.00 ~ 6.00 (m)

가. 설계조건

(1) 사용파일 : PHC-500A

PHC 파일 설치간격 : 0.53 m

가설부재 허용응력 할증율 : 1.00

(2) SUNEX 해석결과 부재력

최대모멘트 Mmax : 32.27 kN·m/m 1 본당 => 32.27 x 0.53 = 17.10 kN·m

최대전단력 Smax : 20.92 kN/m 1 본당 => 20.92 x 0.53 = 11.09 kN

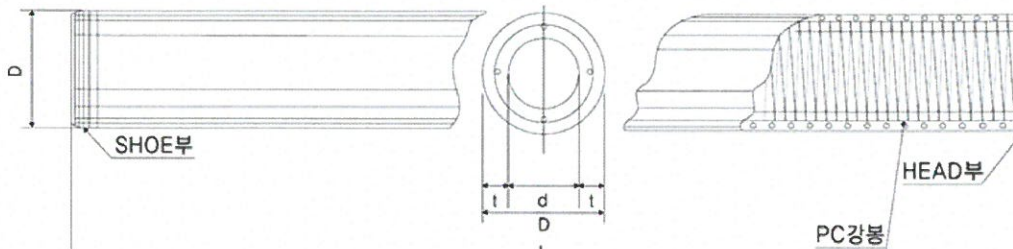
최대축력 Pmax : 31.02 kN/m 1 본당 => 31.02 x 0.53 = 16.44 kN

(3) 안전검토 방법 (강도설계법)

- ① 도로교 시방서의 강도설계법에 준하여 설계한다.
- ② 계수모멘트 $M_u < \text{설계모멘트 } M_d$ 가 만족 되어야 한다. 가설구조물은 가시설 할증율을 고려한다.
- ③ 계수모멘트 $M_u = \text{SUNEX 해석결과 모멘트} \times \text{하중계수}(1.6)$
- ④ 설계모멘트 $M_d = \text{강도감소계수 } \phi \times \text{파괴모멘트 } M_f$

나. PHC 파일의 사양

(1) 표준 성능표 (KSF 4306 및 제조사의 사양)



외경 D (mm)	두께 t (mm)	종류	강선		콘크리트 단면적 Ac (cm ²)	환산단면적 Ae (cm ⁴)	단면2차모멘트 Ie (cm ⁴)		단면계수 환산단면 z (cm ³)	단위질량 (kg/m)
			직경 (mm)	개수 (n)			콘크리트 단면	환산 단면		
350	60	A			547	563	59,930	61,600	3,523	142
		B				579		63,320	3,617	
		C				585		63,960	3,655	
400	65	A	φ 8.3	8	684	704	99,580	102,200	5,122	178
		B	φ 8.3	16		722		104,900	5,245	
		C	φ 9.2	16		735		106,500	5,327	
450	70	A	φ 8.3	9	836	861	156,000	106,600	7,131	217
		B	φ 8.3	18		887		165,200	7,340	
		C	φ11.0	14		899		167,300	7,437	
500	80	A	φ 9.2	9	1,056	1,084	241,200	247,800	9,914	274
		B	φ 9.2	18		1,113		253,900	10,180	
		C	φ11.0	18		1,137		259,100	10,370	
600	90	A	φ 9.2	12	1,442	1,480	483,400	496,700	16,350	375
		B	φ 9.2	24		1,519		508,400	17,010	
		C	φ11.0	24		1,550		518,600	17,335	

주) A, B 및 C의 유효프리스트레스는 각각 3.92 MPa(40 kgf/cm²), 7.85(80), 9.81(100) 이다.

외경 350 이하 제품과 각 직경별 종류 B와 C는 제조사에 제조가능 여부를 확인해야 한다

(2) PHC 파일의 강도특성 (KSF 4306 및 제조사의 사양)

바깥지름 mm	종류	균열 휨모멘트 kN·m (tf·m)	파괴 휨모멘트 kN·m (tf·m)	전단력 kN·m (tf·m)	축력 kN (tf)
350	A	34.3 (3.5)	52.0 (5.3)	118.7 (12.1)	891 (90)
	B	49.0 (5.0)	88.3 (9.0)	150.1 (15.3)	902 (92)
	C	58.9 (6.0)	117.7 (12.0)	162.8 (16.6)	892 (91)
400	A	54.0 (5.5)	81.4 (8.3)	148.1 (15.1)	1098 (112)
	B	73.6 (7.5)	132.4 (13.5)	187.4 (19.1)	1128 (115)
	C	88.3 (9.0)	176.6 (18.0)	204.0 (20.8)	1108 (113)
450	A	73.6 (7.5)	110.8 (11.3)	180.5 (18.4)	1343 (137)
	B	107.9 (11.0)	194.2 (19.8)	227.6 (23.2)	1383 (141)
	C	122.6 (12.5)	245.2 (25.0)	248.2 (25.3)	1363 (139)
500	A	103.0 (10.5)	155.0 (15.8)	228.6 (23.3)	1697 (173)
	B	147.2 (15.0)	264.9 (27.0)	288.4 (29.4)	1746 (178)
	C	166.8 (17.0)	333.5 (34.0)	313.9 (32.0)	1717 (175)
600	A	166.8 (17.0)	250.2 (25.5)	311.0 (31.7)	2315 (236)
	B	245.2 (25.0)	441.4 (45.0)	392.4 (40.0)	2384 (243)
	C	284.5 (29.0)	569.0 (58.0)	427.7 (43.6)	2354 (240)

주) 1 tf = 9.81 kN

(3) PHC 파일 콘크리트의 일반적 특성

항목	특성치	비고
압축파괴강도 MPa (kgf/cm ²)	78.5	
압축파괴 변형 %	0.25	
휨인장 강도 MPa (kgf/cm ²)	7.4 (75)	
인장강도 MPa (kgf/cm ²)	5.4 (55)	
탄성계수 MPa (kgf/cm ²)	39,200 (400,000)	
탄성계수 MPa (kgf/cm ²)	34,300 (350,000)	프리스트레스 도입시
크리프계수	2	
건조수축율	2.00E+06	

다. 안전 검토

① 계수하중 (작용하중)

계수모멘트 = 1 본당의 모멘트 x 하중계수/가시설할증율 = $17.1 \times 1.6 / 1.00 = 27.4 \text{ kN m}$

계수전단력 = 1 본당의 전단력 x 하중계수/가시설할증율 = $11.1 \times 1.6 / 1.00 = 17.7 \text{ kN}$

계수축력 = 1 본당의 축력 x 하중계수/가시설할증율 = $16.4 \times 1.6 / 1.00 = 26.3 \text{ kN}$

② 설계하중(파일의 강도)

설계모멘트 = $\phi \times \text{파괴모멘트} = 0.85 \times 155.0 = 131.8 \text{ kN m}$

설계전단력 = $\phi \times \text{전단력} = 0.75 \times 228.6 = 171.5 \text{ kN}$

설계축력 = $\phi \times \text{축력} = 0.70 \times 1697.0 = 1187.9 \text{ kN}$

③ 안전판단

▶ 모멘트 : 계수모멘트 = $27.4(\text{kN m}) < \text{설계모멘트} = 131.8 \text{ O.K}$

▶ 전단력 : 계수전단력 = $17.7\text{kN} < \text{설계전단력} = 171.5 \text{ O.K}$

▶ 축력 : 계수축력 = 26.3kN < 설계축력 = 1187.9 O.K

라. 균열에 대한 검토

하중이 발생할 때 발생하는 균열이 허용치 이내인지 검토한다.(도로교설계기준 2008, 4.4.9.3)

① 허용 균열폭

$W_a = \{1.005 \times \text{철근의 피복두께 } C_c\} \text{ 와 } 0.2 \text{ mm 중에서 큰 값}$

$C_c = \text{피복두께} = \text{파일의 두께} / 2 - \text{강선의 직경} / 2 = 80 / 2 - 9.2 / 2 = 35.40 \text{ mm}$

$W_a = 0.005 \times 35.4 = 0.177 \text{ mm}$

$W_a = \text{Max} (0.177 , 0.2) = 0.2 \text{ mm}$

② 균열폭 계산

$W = 1.08 R f_s^3 (\sqrt{d_c A}) \times 1.0E-05 \text{ mm}$

$R = \text{중립축에서 인장연단까지의 거리} / \text{중립축에서 철근도심까지의 거리}$

$= (500 / 2) / (500 - 80) / 2 = 250 / 210 = 1.190$

$f_s = \text{강선의 응력} = M_{\text{max}} / Z \times \text{탄성계수비}$

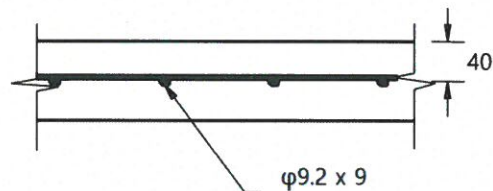
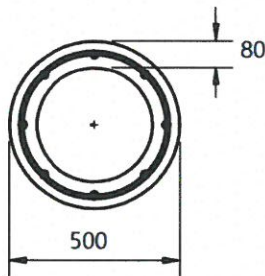
$\text{탄성계수비} = \text{강선의 탄성계수} / \text{콘크리트의 탄성계수} = 200000 / 34300 = 5.831$

$f_s = (17.10 \text{ kN m} \times 0.001) / (9,914 \text{ cm}^2 \times 1.0E-6) \times 5.831 = 10.059 \text{ MPa}$

$d_c = \text{표면에서 강선중심까지 거리} = 0.5 \times \text{두께} = 0.5 \times 80 = 40 \text{ mm}$

$A = \text{콘크리트 단면적을 철근개수로 나눈 유효인장면적 mm}^2$

$= 1056 \text{ cm}^2 \times 100 / 9 = 11733.33 \text{ mm}^2$



$W = 1.08 \times 1.190 \times 10.059 \times (40 \times 11733.33)^{1/3} \times 1.0E-5 = 0.010 \text{ mm}$

③ 균열에 대한 안전판단

▶ 계산된 균열폭 = 0.010 mm < 허용균열폭 = 0.2 mm O.K

5. 외적 안정성 및 굴착영향 검토

5.1 공사 단계별 변위에 대한 검토

공사단계별로 발생하는 흙막이 벽의 최대 변위와 허용변위를 비교하여 안전을 판단한다.

허용변위율 = 0.50 % , 허용변위 = 허용변위율 x 굴착깊이

허용변위 계산깊이 적용 : 0 : 매 단계별 굴착깊이

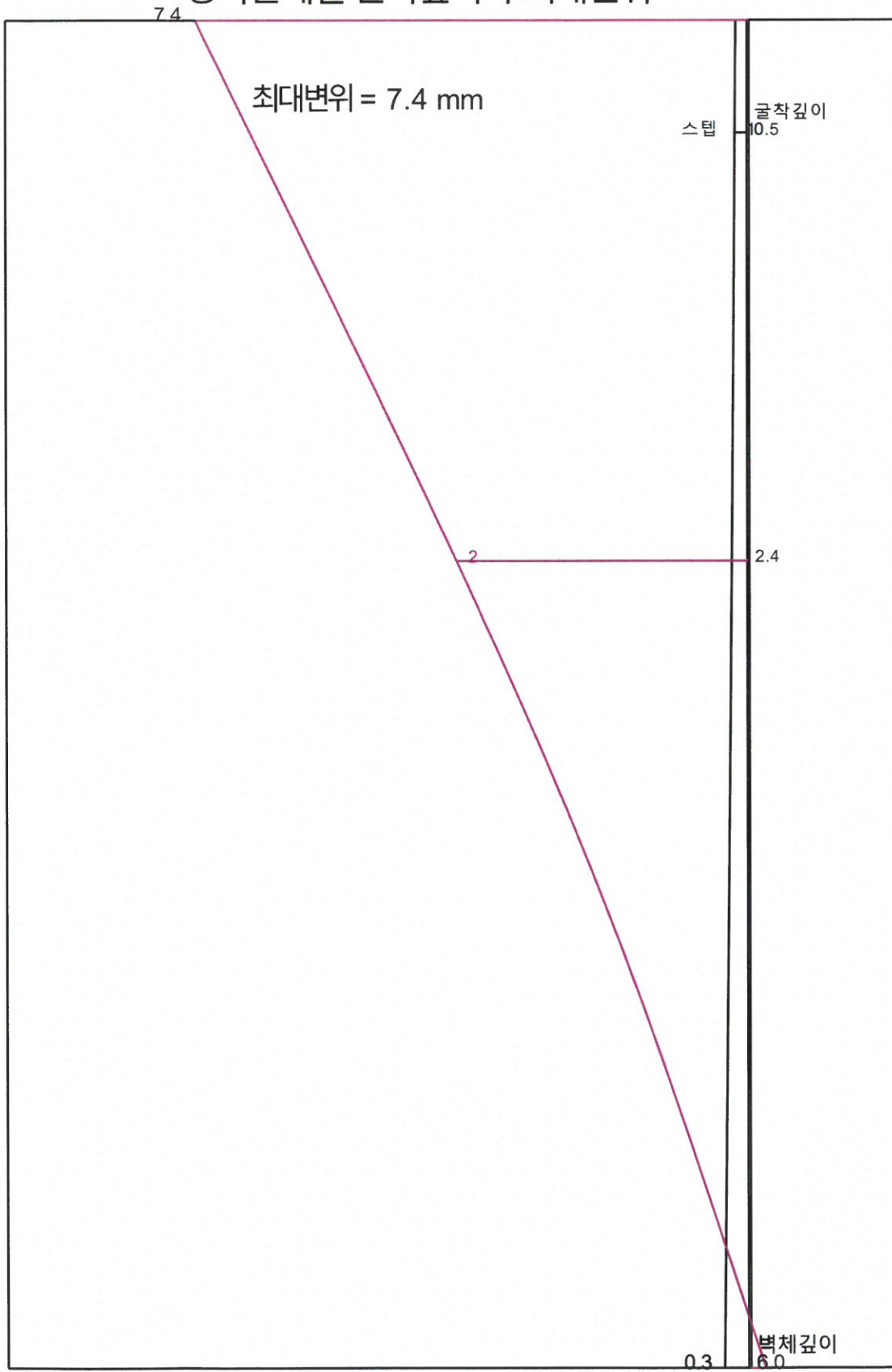
말뚝상단의 허용변위 입력치 = 12 mm

스텝번호	스텝설명	굴착깊이 m	발생변위 mm	허용변위 mm	안전율 %	안전판단
1	EXCAVATION TO 0.5	0.5	0.3	2.5	13.5	O.K
2	EXCAVATION TO 2.40	2.4	7.4	12.0	62.0	O.K

(주) 최대변위는 지표에서 흙막이벽체 바닥 사이의 최대변위임

최대변위율과 말뚝상단의 허용변위는 스텝데이터 'DIPLACEMENT'에서 설정가능함

공사단계별 굴착깊이와 최대변위



5.2 침하에 대한 주변영향 검토

굴착으로 인한 지표면의 침하량은 흙막이 벽체의 변위와 관계된다고 보고 흙막이 벽체의 변위량으로 부터 침하량을 추정하는 방법을 Caspe(1966)가 제안하고, Bowles가 다음과 같은 단계로 재정리 하였다.

(1) 침하영향거리 계산

$$\text{굴착깊이 } H_w = 2.4 \text{ m}$$

$$\text{굴착폭 } B = 10.0 \text{ m}$$

$$\text{평균내부마찰각 } \phi_{avg} = 26 \text{ 도}$$

$$H_p = (0.5 B \tan(45 + \phi_{avg}/2)) = 8.0 \text{ m}$$

$$H_t = (H_w + H_p) = 10.4 \text{ m}$$

$$\text{영향거리 } D = H_t \cdot \tan(45 - \phi_{avg}/2) = 6.5 \text{ m}$$

$$\text{영향거리/굴착깊이}(D/H_w) \text{의 최대비율} = 10.0$$

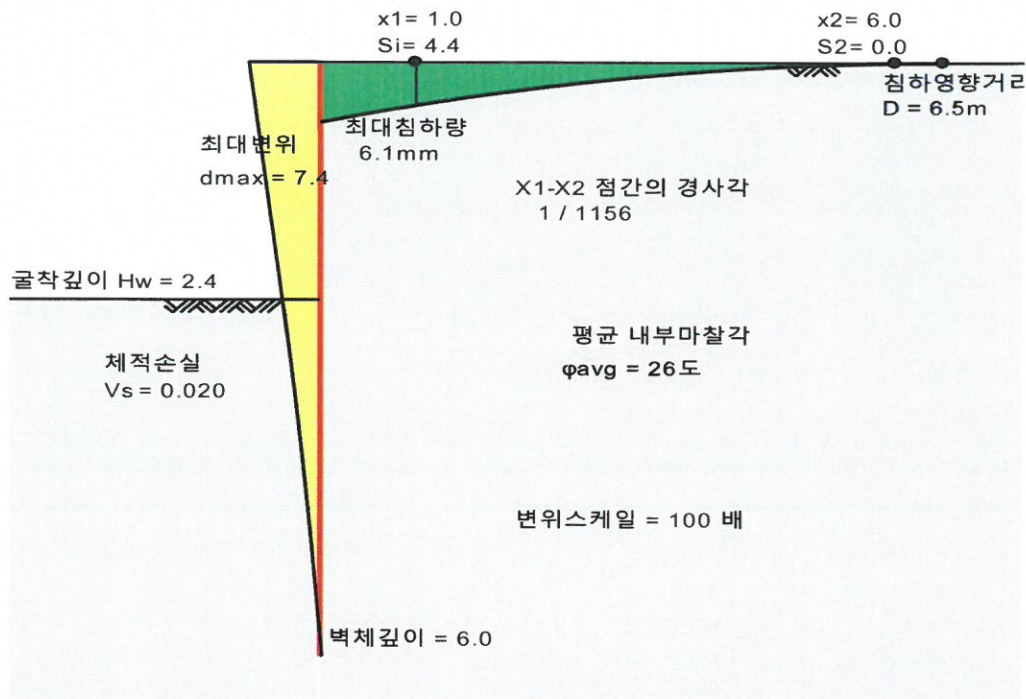
$$\text{수정된 영향거리 } D = 6.5 \text{ m}$$

$$(2) \text{ 굴착으로 인한 체적 손실량 } V_s = 0.020 \text{ m}^3$$

$$(3) \text{ 벽체에서의 침하량 } S_w = \frac{2 V_s}{D} = 6.1 \text{ mm}$$

$$(4) \text{ 벽체로 부터 거리별 침하량 } S_i = S_w \left(\frac{D-x}{D} \right)^2$$

흙막이 벽으로 부터의 거리	0.0 x D	0.1 x D	0.2 x D	0.3 x D	0.5 x D	1.0 x D	X1	X2
m	0.00	0.65	1.30	1.95	3.25	6.50	1.00	6.00
침하량 mm	6.1	4.9	3.9	3.0	1.5	0.0	4.4	0.0
각변위 (1 / X)		562	628	712	889	2135		1156



참고 : 칸막이 벽이나 바닥에 첫 균열이 예상되는 한계 = 1/300

건물에 균열이 없도록 하는 안정한계 = 1/500 (Bjerrum,1981)

5.3 근입장 검토

자립식

자립식 흙막이 벽의 근입깊이는

주동토압에 의한 모멘트 = 수동토압에 의한 모멘트 가 되는 균형깊이를 구하고 여기에 안전율을 곱하여 구한다.

(1) 설계내용

굴착깊이 H1 = 2.4 m

근입깊이 H2 = 3.6 m

전체 벽체 길이 H1 + H2 = 6 m

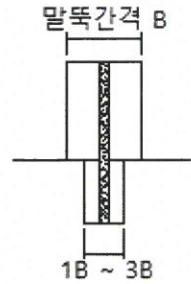
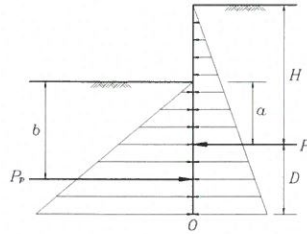
(2) 균형깊이 D의 계산

D = 2.1 m 일때

주동토압에 의한 모멘트 Ma = 100.6 kN.m

수동토압에 의한 모멘트 Mp = 104.4 kN.m

안전율 $F_s = \frac{M_p}{M_a} = 1.04$



(3) 근입장의 계산 ($F_s = 1$ 이상일 때만 해당함)

근입깊이는 균형깊이에 1.3 배를 하여 구한다.

소요 근입깊이 H2 = 1.3 x D = 2.73 m

전체 말뚝길이 = 굴착깊이 + 근입깊이 = 2.4 + 2.73 = 5.13 m

▶ 안전판단 설계된 근입깊이 3.6 > 소요근입깊이 2.73 따라서 O.K

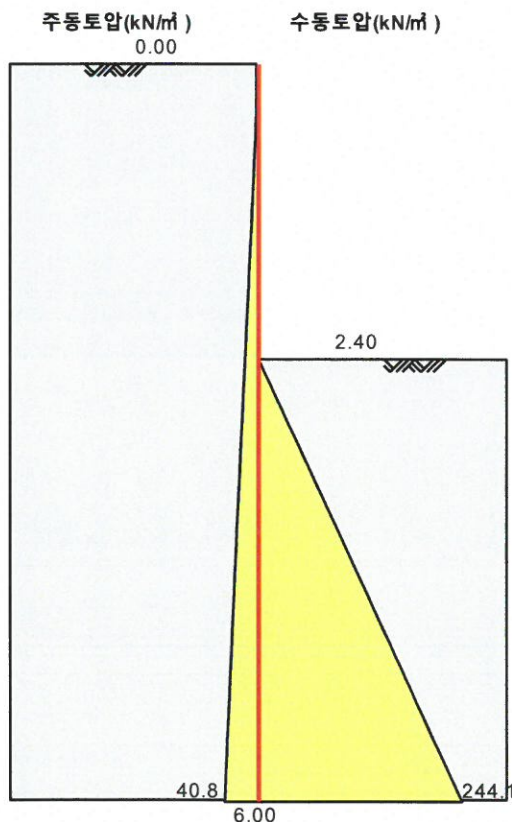
(4) 설계된 근입장에 대한 안전율 계산

설계된 근입장 = 3.6 m

주동토압에 의한 모멘트 Ma = 240.8 kN.m

수동토압에 의한 모멘트 Mp = 526.8 kN.m

안전율 $F_s = \frac{M_p}{M_a} = \frac{526.8}{240.8} = 2.187$



자립식 근입장 체크 - Cantilever Wall, FS = Mp/Ma (벽체 바닥에서)

1) FS >= 1.0 이 되는 균형깊이 계산(반복계산에 따라 구함)

Node No.	Depth (m)	주동 토압 (kN/m ²)	기타 횡력 (kN/m ²)	주동 모멘트 (kNm)	수동 토압 (kN/m ²)	기타 횡력 (kN/m ²)	수동 모멘트 (kNm)	안전율
1	0.00	0.00	0.00	0.00				
2	0.10	0.62	0.00	0.27				
3	0.20	1.23	0.00	0.53				
4	0.30	1.86	0.00	0.78				
5	0.40	2.48	0.00	1.02				
6	0.50	3.12	0.00	1.25				
7	0.60	3.76	0.00	1.47				
8	0.70	4.41	0.00	1.68				
9	0.80	5.07	0.00	1.87				
10	0.90	5.73	0.00	2.06				
11	1.00	6.40	0.00	2.24				
12	1.10	7.07	0.00	2.40				
13	1.20	7.75	0.00	2.56				
14	1.30	8.43	0.00	2.70				
15	1.40	9.12	0.00	2.83				
16	1.50	9.81	0.00	2.94				
17	1.60	10.50	0.00	3.04				
18	1.70	11.19	0.00	3.13				
19	1.80	11.89	0.00	3.21				
20	1.90	12.58	0.00	3.27				
21	2.00	13.28	0.00	3.32				
22	2.10	13.98	0.00	3.35				
23	2.20	14.68	0.00	3.38				
24	2.30	15.38	0.00	3.38				
25	2.40	16.08	0.00	3.38	0.00	0.00	0.00	0.00
26	2.50	16.78	0.00	3.36	-6.78	0.00	-1.36	0.02
27	2.60	17.48	0.00	3.32	-13.56	0.00	-2.58	0.06
28	2.70	18.17	0.00	3.27	-20.34	0.00	-3.66	0.12
29	2.80	18.87	0.00	3.21	-27.12	0.00	-4.61	0.18
30	2.90	19.57	0.00	3.13	-33.90	0.00	-5.42	0.24
31	3.00	20.27	0.00	3.04	-40.68	0.00	-6.10	0.31
32	3.10	20.97	0.00	2.94	-47.46	0.00	-6.64	0.39
33	3.20	21.67	0.00	2.82	-54.24	0.00	-7.05	0.46
34	3.30	22.36	0.00	2.68	-61.02	0.00	-7.32	0.53
35	3.40	23.06	0.00	2.54	-67.80	0.00	-7.46	0.60
36	3.50	23.75	0.00	2.38	-74.58	0.00	-7.46	0.67
37	3.60	24.45	0.00	2.20	-81.36	0.00	-7.32	0.74
38	3.70	25.14	0.00	2.01	-88.14	0.00	-7.05	0.80
39	3.80	25.84	0.00	1.81	-94.92	0.00	-6.64	0.85
40	3.90	26.53	0.00	1.59	-101.70	0.00	-6.10	0.90
41	4.00	27.22	0.00	1.36	-108.48	0.00	-5.42	0.94

42	4.10	27.91	0.00	1.12	-115.26	0.00	-4.61	0.98
43	4.20	28.60	0.00	0.86	-122.04	0.00	-3.66	1.01
44	4.30	29.29	0.00	0.59	-128.82	0.00	-2.58	1.03
45	4.40	29.97	0.00	0.30	-135.60	0.00	-1.36	1.04
46	4.50	30.66	0.00	0.00	-142.38	0.00	0.00	1.04

694.95 0.00 100.57 -1566.18 0.00 -104.41

합계 주동 모멘트 (Ma) = 100.57

합계 수동 모멘트 (Mp) = -104.41

안전율 (Mp/Ma) = 1.04

안전율이 1 이상이 되는 균형깊이에 30%를 가산한 깊이를 최소 근입장으로 해야함

균형깊이 = 2.10

소요근입장(균형깊이×1.3) = 2.73, 최소벽체길이(굴착깊이+소요근입장) = 5.13

2) 실제 벽체 깊이에서의 안전율 계산

Node Depth 주동 기타 주동 수동 기타 수동 안전율

No.	토압	횡력	모멘트	토압	횡력	모멘트	안전율
(m)	(kN/m2)	(kN/m2)	(kNm)	(kN/m2)	(kN/m2)	(kNm)	
1	0.00	0.00	0.00				
2	0.10	0.62	0.00	0.36			
3	0.20	1.23	0.00	0.72			
4	0.30	1.86	0.00	1.06			
5	0.40	2.48	0.00	1.39			
6	0.50	3.12	0.00	1.72			
7	0.60	3.76	0.00	2.03			
8	0.70	4.41	0.00	2.34			
9	0.80	5.07	0.00	2.63			
10	0.90	5.73	0.00	2.92			
11	1.00	6.40	0.00	3.20			
12	1.10	7.07	0.00	3.46			
13	1.20	7.75	0.00	3.72			
14	1.30	8.43	0.00	3.96			
15	1.40	9.12	0.00	4.19			
16	1.50	9.81	0.00	4.41			
17	1.60	10.50	0.00	4.62			
18	1.70	11.19	0.00	4.81			
19	1.80	11.89	0.00	4.99			
20	1.90	12.58	0.00	5.16			
21	2.00	13.28	0.00	5.31			
22	2.10	13.98	0.00	5.45			
23	2.20	14.68	0.00	5.58			
24	2.30	15.38	0.00	5.69			
25	2.40	16.08	0.00	5.79	0.00	0.00	0.00
26	2.50	16.78	0.00	5.87	-6.78	0.00	-2.37
27	2.60	17.48	0.00	5.94	-13.56	0.00	-4.61
28	2.70	18.17	0.00	6.00	-20.34	0.00	-6.71

29	2.80	18.87	0.00	6.04	-27.12	0.00	-8.68	0.20
30	2.90	19.57	0.00	6.07	-33.90	0.00	-10.51	0.28
31	3.00	20.27	0.00	6.08	-40.68	0.00	-12.20	0.37
32	3.10	20.97	0.00	6.08	-47.46	0.00	-13.76	0.46
33	3.20	21.67	0.00	6.07	-54.24	0.00	-15.19	0.55
34	3.30	22.36	0.00	6.04	-61.02	0.00	-16.48	0.65
35	3.40	23.06	0.00	6.00	-67.80	0.00	-17.63	0.74
36	3.50	23.75	0.00	5.94	-74.58	0.00	-18.64	0.84
37	3.60	24.45	0.00	5.87	-81.36	0.00	-19.53	0.93
38	3.70	25.14	0.00	5.78	-88.14	0.00	-20.27	1.02
39	3.80	25.84	0.00	5.68	-94.92	0.00	-20.88	1.11
40	3.90	26.53	0.00	5.57	-101.70	0.00	-21.36	1.20
41	4.00	27.22	0.00	5.44	-108.48	0.00	-21.70	1.28
42	4.10	27.91	0.00	5.30	-115.26	0.00	-21.90	1.36
43	4.20	28.60	0.00	5.15	-122.04	0.00	-21.97	1.44
44	4.30	29.29	0.00	4.98	-128.82	0.00	-21.90	1.52
45	4.40	29.97	0.00	4.80	-135.60	0.00	-21.70	1.59
46	4.50	30.66	0.00	4.60	-142.38	0.00	-21.36	1.66
47	4.60	31.35	0.00	4.39	-149.16	0.00	-20.88	1.72
48	4.70	32.03	0.00	4.16	-155.94	0.00	-20.27	1.78
49	4.80	32.71	0.00	3.93	-162.72	0.00	-19.53	1.84
50	4.90	33.40	0.00	3.67	-169.50	0.00	-18.64	1.89
51	5.00	34.08	0.00	3.41	-176.28	0.00	-17.63	1.94
52	5.10	34.76	0.00	3.13	-183.06	0.00	-16.48	1.99
53	5.20	35.44	0.00	2.84	-189.84	0.00	-15.19	2.03
54	5.30	36.12	0.00	2.53	-196.62	0.00	-13.76	2.07
55	5.40	36.80	0.00	2.21	-203.40	0.00	-12.20	2.10
56	5.50	37.47	0.00	1.87	-210.18	0.00	-10.51	2.13
57	5.60	38.15	0.00	1.53	-216.96	0.00	-8.68	2.15
58	5.70	38.83	0.00	1.16	-223.74	0.00	-6.71	2.17
59	5.80	39.50	0.00	0.79	-230.52	0.00	-4.61	2.18
60	5.90	40.17	0.00	0.40	-237.30	0.00	-2.37	2.19
61	6.00	40.85	0.00	0.00	-244.08	0.00	0.00	2.19

1236.61 0.00 240.83 -4515.48 0.00 -526.81

합계 주동 모멘트 (Ma) = 240.83

합계 수동 모멘트 (Mp) = -526.81

안전율 (Mp/Ma) = 2.19

설계된 근입장 3.60 > 소요근입장 2.73 이므로 O.K

6. 입력 데이터

ELO 0.00

PROJECT 종점부 RAMP-C U-TYPE 검토 (H=2.40m)

UNIT kN

ELGL GL 0.00

SOIL 1 매립층

18 9 0 26 17000 0 0 0 0.0E+00 1.00

PROFILE 1 12 1 1

VWALL 1 6 .1084 .002478 3.5E+07 .53 .53 .53 0 0

Division 0.1

Solution 0

Output 1

NoteMode 1

MINKS 0

ECHO

STEP 1 excavation to 0.5

RANKINE 1 0 50 0

LOAD 0 5 13 20 13 1

SLOPE 1 31 4 1

excavation 0.5

STEP 2 excavation to 2.40

excavation 2.40

ground settlement

depth check

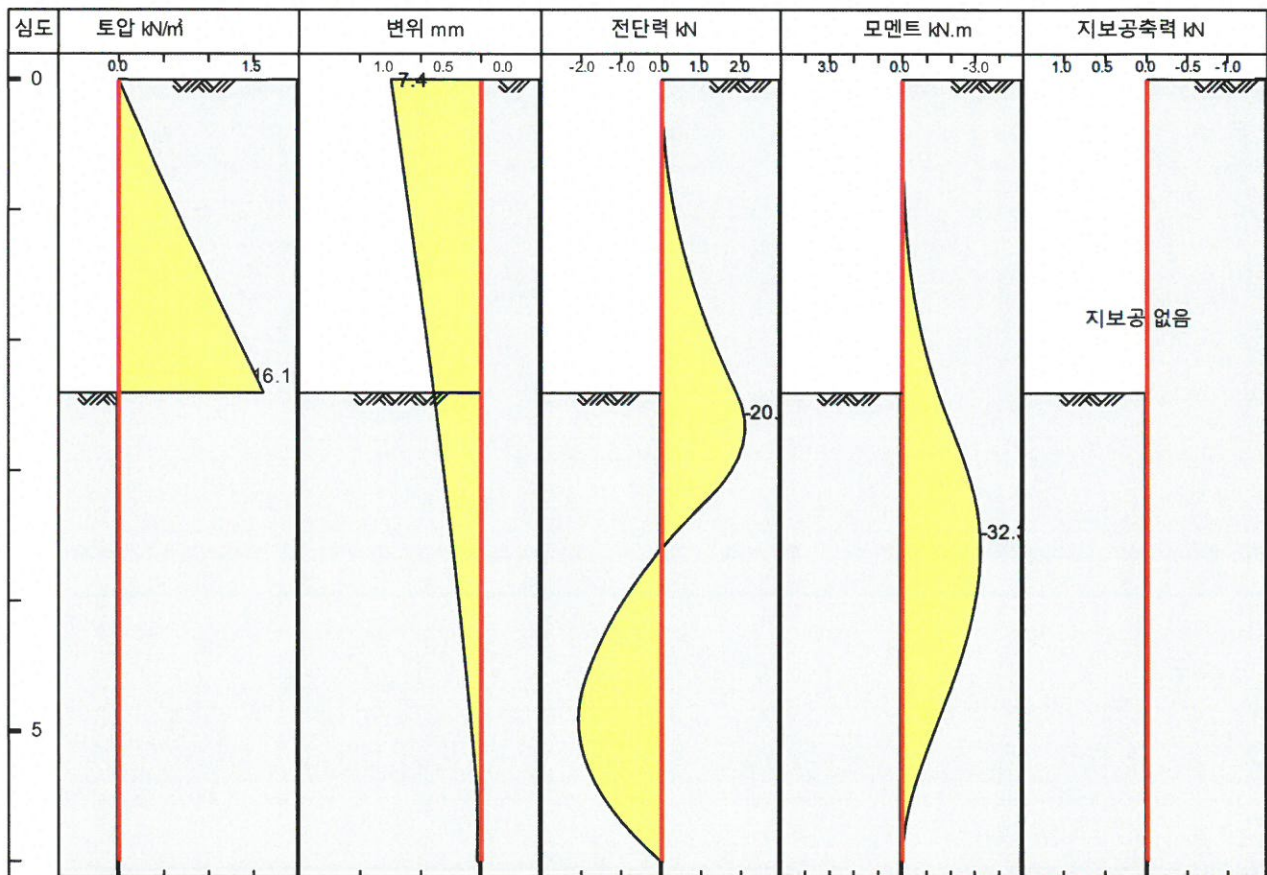
DISPLACEMENT 0.5 0 0

END

7. 단계별 계산결과 집계표

가 깊이별 최대토압, 변위, 전단력 및 모멘트

절점	구간심도 m	토압	변위	전단력 kN		모멘트 kN.m	
		kN/m ²	mm	굴착측	배면측	굴착측	배면측
1	0.00	0.00(0)	7.44(2)	0.00(2)	0.00(0)	0.00(2)	0.00(0)
5	0.40	2.48(2)	7.30(2)	0.00(0)	0.49(1)	0.00(2)	0.06(1)
9	0.80	5.07(2)	6.71(2)	0.00(0)	2.00(2)	0.00(0)	0.52(2)
13	1.20	7.75(2)	6.12(2)	0.00(0)	4.56(2)	0.00(0)	1.79(2)
17	1.60	10.50(2)	5.53(2)	0.00(0)	8.21(2)	0.00(0)	4.31(2)
21	2.00	13.28(2)	4.94(2)	0.07(1)	12.96(2)	0.00(0)	8.50(2)
25	2.40	16.08(2)	4.36(2)	0.22(1)	18.83(2)	0.00(0)	14.82(2)
29	2.80	0.00(0)	3.79(2)	0.31(1)	20.92(2)	0.00(0)	23.03(2)
33	3.20	0.00(0)	3.24(2)	0.34(1)	19.27(2)	0.00(0)	29.92(2)
37	3.60	0.00(0)	2.71(2)	0.34(1)	8.97(2)	0.00(0)	32.27(2)
41	4.00	0.00(0)	2.21(2)	9.58(2)	0.00(0)	0.00(0)	32.13(2)
45	4.40	0.00(0)	1.74(2)	16.50(2)	0.00(0)	0.00(0)	29.18(2)
49	4.80	0.00(0)	1.30(2)	20.55(2)	0.00(0)	0.00(0)	23.21(2)
53	5.20	0.00(0)	0.88(2)	20.77(2)	0.00(0)	0.00(0)	15.30(2)
57	5.60	0.00(0)	0.48(2)	18.10(2)	0.00(0)	0.02(1)	7.31(2)
	최대치	16.08(0)	7.44(0)	20.77(0)	20.92(0)	0.02(0)	32.27(0)



전단력과 모멘트에는 WALLOUT 으로 입력된 스텝별 하중계수가 곱해진 값임

STEP 1 2

Factor 1.00 1.00

다. 굴착 단계별 최대토압, 변위, 전단력 및 모멘트

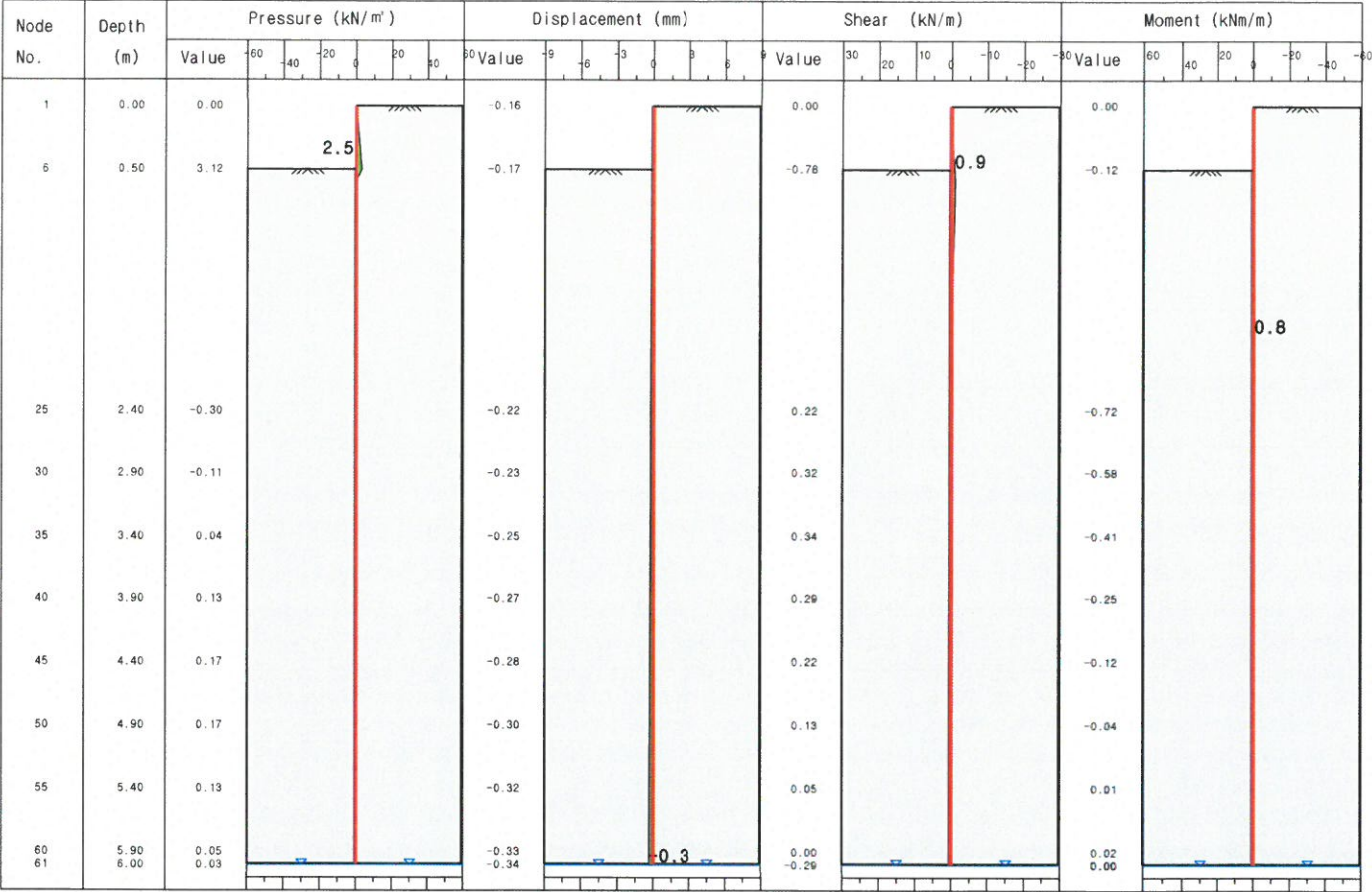
굴착 단계	굴착깊이 m	토압	변위	전단력 kN		모멘트 kN.m	
		kN/m ²	mm	굴착측	배면측	굴착측	배면측
1	0.50	3.12	0.34	0.34	0.92	0.02	0.78
2	2.40	16.08	7.44	20.77	20.92	0.05	32.27
	최대치	16.08	7.44	20.77	20.92	0.05	32.27

최대 변위는 흙막이 벽 바닥까지의 변위중 최대치임

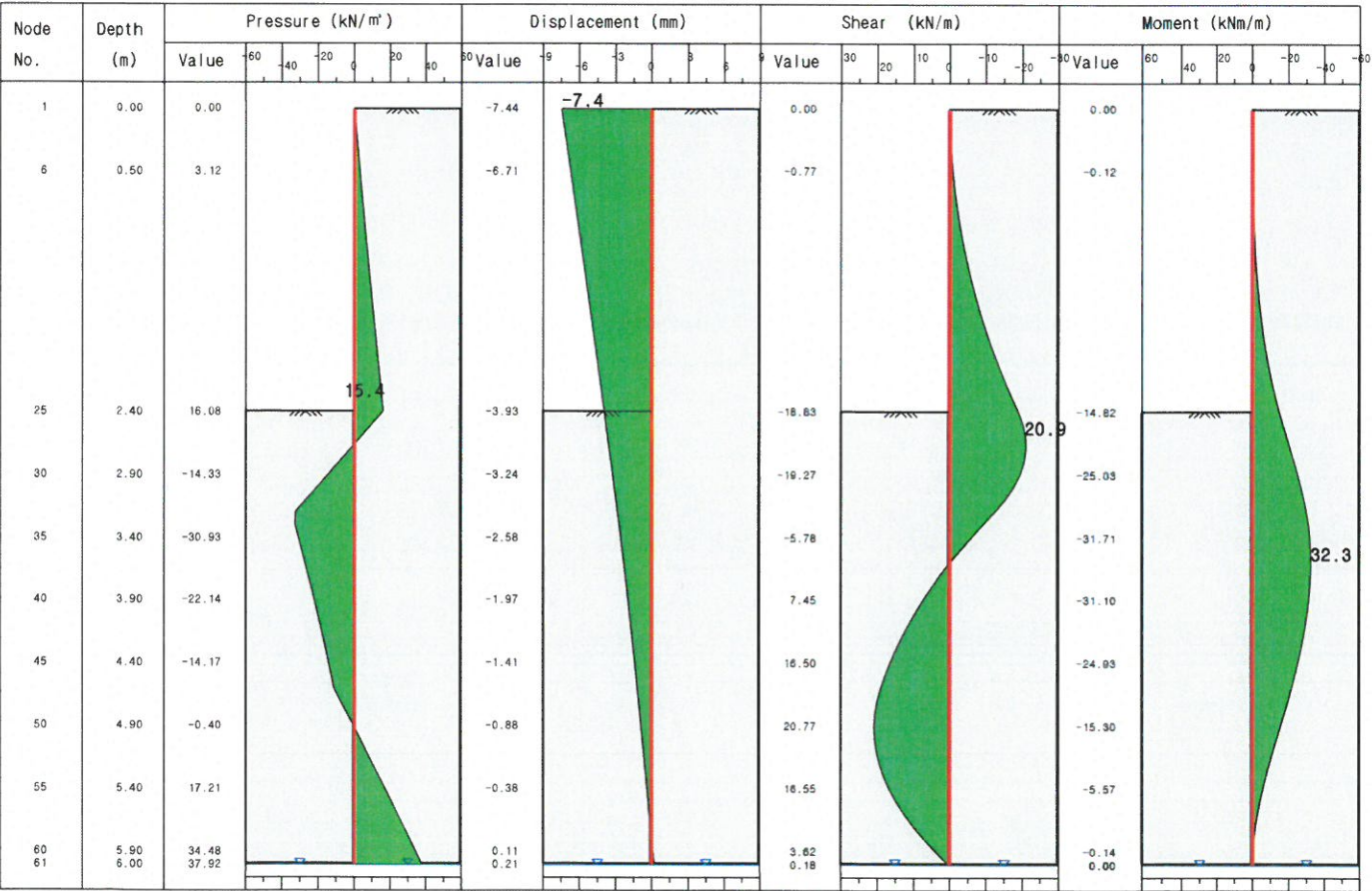
하중계수가 급해지지 않은 SUNEX 출력결과 그대로임

8 공사단계별 그래픽 출력(토압, 변위, 전단력, 모멘트)

Step No. 1 << EXCAVATION TO 0.5 >>



Step No. 2 << EXCAVATION TO 2.40 >>

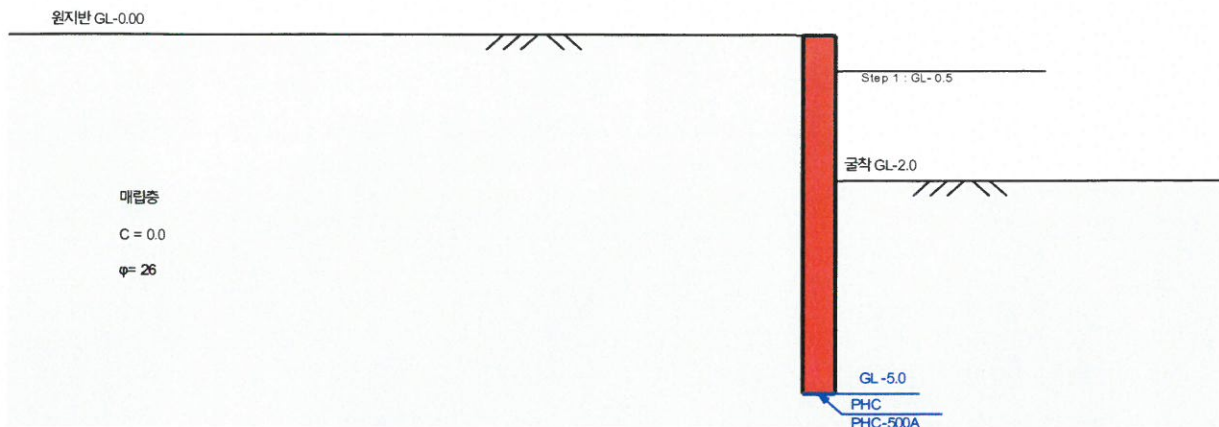


자립식용벽(H=2.03m)

목 차

1. 표준단면도
2. 설계요약
3. 설계조건
4. PHC 파일 설계
5. 외적 안정성 및 굴착영향 검토
 - 5.1 벽체의 굴착 단계별 변위 검토
 - 5.2 침하영향검토
 - 5.3 근입장에 대한 안정검토
6. SUNEX 입력데이터
7. SUNEX 단계별 계산 결과 집계표
8. SUNEX 단계별 계산결과 그래픽(토압, 변위, 전단력, 모멘트)

1 표준단면도



Graphics by MetaDraw ©

사용부재

PHC

심도구간 : 0.0 m - 5.0 m 부재규격 : PHC-500A

지반특성

토층번호	심도 (m)	지반명칭	γ_t kN/m ³	γ_{sub} kN/m ³	C kN/m ²	φ 도	Ks kN/m ³
1	12	매립층	18.0	9.0	0.0	26	17,000.0

2 설계결과 요약

공종	위치/규격	검토사항	단위	발생최대치	허용치	발생/허용치	판정
PHC 파일	0.0~5.0	휨모멘트	kN m	15.7	131.8	11.91 %	O.K
		전단력	kN	12.2	171.5	7.11 %	O.K
		축력	kN	21.9	1187.9	1.84 %	O.K
		균열	mm	0.006	0.200	3.00 %	O.K
		지지력	kN	13.7	223.3	6.14 %	O.K
안정성 검토	굴착깊이2.0	최대변위	mm	5.55	10.00	55.50 %	O.K
		변위율	변위/깊이	0.28 %	0.50 %	56.00 %	O.K
안정성 검토	굴착 GL-2.00	침하량	mm	4.09			O.K
		근입장	m	3.0	2.3	76.67 %	O.K

3 설계조건

가 해석방법 : 탄소정보법

적용토압 : 굴착 및 해체시 = Rankine, Coulomb 토압

최종굴착시 = PECK 토압

두 케이스를 비교하여 큰 부재력으로 설계

사용프로그램 : Ver W7.42 2019-N-118

나. 허용응력 할증

① 가설구조물에 대한 허용응력의 증가

가설구조물의 경우 1.50 (철도하중 지지시 1.3)

영구구조물로 사용되는 경우

시공도중 1.25

완료 후 1.00

② 고재사용시 허용응력 감소 0.90

공사기간이 2년 미만인 경우 가설구조물로, 2년 이상일 경우 영구구조물로 간주하여 설계한다.

다. 재료의 허용응력

재료의 허용응력은 다음을 기준으로 위 나.항에 따라 할증한다.

① 강재의 허용응력 MPa (가설흙막이 설계기준, KDS 21 30 00:2020, 표 3.3-1)

종류		SS275, SM275, SHP275(W)	SM355, SHP355W	비고
축방향인장(순단면)		160	210	
축방향압축(총단면)		$\frac{1}{\gamma} \leq 20$ 일 경우 160	$\frac{1}{\gamma} \leq 16$ 일 경우 210	l(cm) : 유효좌굴장 γ (cm) : 단면2차반경
		$20 < \frac{1}{\gamma} \leq 90$ 일 경우 $160 - 1.0 \left(\frac{1}{\gamma} - 18 \right)$	$16 < \frac{1}{\gamma} \leq 80$ 일 경우 $210 - 1.467 \left(\frac{1}{\gamma} - 16 \right)$	
		$\frac{1}{\gamma} > 90$ 일 경우 $\left[\frac{1,250,000}{6,000 + \left(\frac{1}{\gamma} \right)^2} \right]$	$\frac{1}{\gamma} > 80$ 일 경우 $\left[\frac{1,267,000}{4,500 + \left(\frac{1}{\gamma} \right)^2} \right]$	
합 계	인장면(순단면)	160	210	
	압축면 (총단면)	$\frac{1}{\beta} \leq 4.5$; 160	$\frac{1}{\beta} \leq 4.0$; 210	l : 플랜지의 고정점 간 거리 β : 압축플랜지 폭
		$4.5 < \frac{1}{\beta} \leq 30$ $160 - 1.933 \left(\frac{1}{\beta} - 4.5 \right)$	$4.0 < \frac{1}{\beta} \leq 27$ $210 - 2.867 \left(\frac{1}{\beta} - 4.0 \right)$	
전단응력(총단면)		90	120	
지압응력		240	310	강관과 강판
용접 강도	공장	모재의 100%	모재의 100%	
	현장	모재의 90%	모재의 90%	

(가설흙막이 설계기준에 있는 표 3.3-1에서 가설 할증을 1.5를 나눈 값임.)

3.3.1 (1) 에서 가설기간에 따라 1.0, 1.25, 1.3 또는 1.5 의 할증율을 곱하도록 하고 있음.)

② 강널말뚝 MPa (가설흙막이 설계기준, KDS 21 30 00:2020, 표 3.3-2)

종류	SY300, SY300W	SY400, SY400W	비고
용 접 강 도	인장응력	180	240
	압축응력	180	240
전단응력		100	135

* Type-W는 용접용

③ 콘크리트의 허용응력 MPa

허용 휨 압축응력 $f_{ca} = 0.4 f_{ck}$

허용 전단응력 $v_a = 0.08\sqrt{f_{ck}}$

전단보강철근과 콘크리트에 의해 허용되는 최대전단응력 = $v_{ca} + 0.32\sqrt{f_{ck}}$

④ 철근의 허용(압축 및 인장)응력 (가설흙막이 설계기준, KDS 21 30 00:2016, 식 3.3-3 ~ 4)

가. 허용휨인장응력

$$f_{sa} = 0.5 f_y$$

나. 허용압축응력

$$f_{sa} = 0.4 f_y$$

⑤ 볼트의 허용응력 MPa (가설흙막이 설계기준, KDS 21 30 00:2020, 표 3.3-3)

볼트 종류	응력의 종류	허용 응력	비 고
보통 볼트	전단	90 (SM400 기준)	100 (SS275 기준)
	지압	190	
고장력 볼트	전단	150	F8T 기준
	지압	235 (SM400기준)	270 (SS275 기준)

SS275기준은 한국강구조 학회 안임

⑥ 목재의 허용응력 MPa

(가설흙막이 설계기준, KDS 21 30 00:2020, 표 3.3-2)

목재종류		허용응력 MPa		
		휨	압축	전단
침엽수	소나무, 해송, 낙엽송, 노송나무, 솔송나무, 미송	9	8	0.7
	삼나무, 가문비나무, 미삼나무, 전나무	7	6	0.5
활엽수	참나무	13	9	1.4
	밤나무, 느티나무, 졸참나무, 너도밤나무	10	7	1.0

⑦ 흙막이판용 강판의 허용응력 Mpa

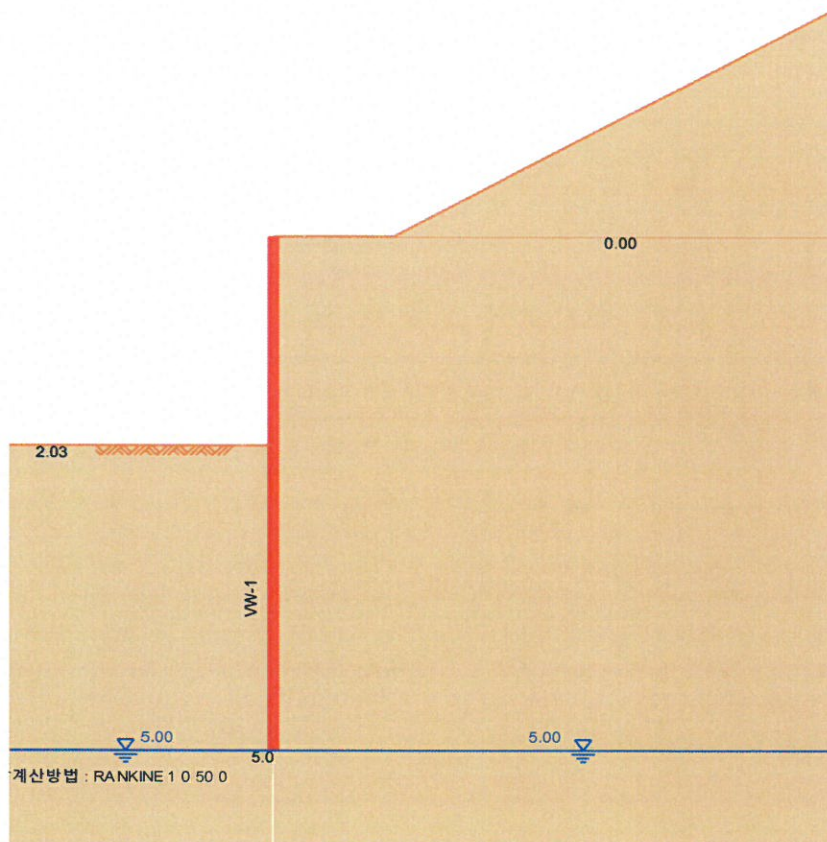
(도로교설계기준 2010, 표 3.3.4, 표 3.3.5), KDS 24 14 30 2019 표 4.2-1)

강재의 종류		허용응력 MPa		
		휨	압축	전단
SS400 SM400		140	140	80
SM490		190	190	110
SS275, SM275, SHP275(W)		160	160	90
SM355, SHP355(W)		210	210	120

라. 가설흙막이의 안전율 (KDS 21 30 00:2020, 표 3.2-1)

조건			안전율	비고
지반의 지지력			2	극한지지력에 대하여
활동			1.5	활동력(슬라이딩)에 대하여
전도			2	저항모멘트와 전도모멘트의 비
사면안정			1.1	1년 미만 단기안정성
근입깊이			1.2	수동 및 주동토압에 의한 모멘트 비
굴착저부의 안정	보일링	단기	1.5	사질토 대상, 단기는 2년 미만
		장기	2	
	히빙		1.5	점성토
지반앵커	사용기간 2년 미만		1.5	인발저항에 대한 안전율
	사용기간 2년 이상		2.5	

- 마. 벽체의 최대 수평변위 입력치 : 굴착깊이의 0.5 %
 벽체 상단의 최대 허용변위 입력치 : mm
 이 기준을 초과할 때는 주변시설물에 대한 별도의 안정검토가 필요하다.
 바. 계산에 적용된 과재하중, 건물하중, 경사면성토하중, 수압등은 다음과 같다.



4 PHC 파일 설계

적용구간 0.00 ~ 5.00 (m)

가. 설계조건

(1) 사용파일 : PHC-500A

PHC 파일 설치간격 : 0.53 m

가설부재 허용응력 할증율 : 1.00

(2) SUNEX 해석결과 부재력

최대모멘트 Mmax : 18.51 kN·m/m 1 본당 => 18.51 x 0.53 = 9.81 kN.m

최대전단력 Smax : 14.40 kN/m 1 본당 => 14.40 x 0.53 = 7.63 kN

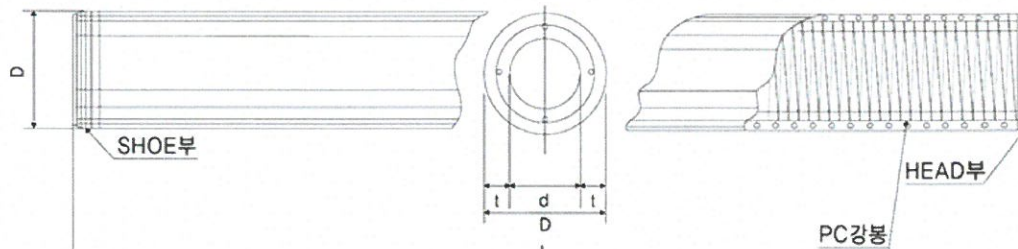
최대축력 Pmax : 25.85 kN/m 1 본당 => 25.85 x 0.53 = 13.70 kN

(3) 안전검토 방법 (강도설계법)

- ① 도로교 시방서의 강도설계법에 준하여 설계한다.
- ② 계수모멘트 $M_u < \text{설계모멘트 } M_d$ 가 만족 되어야 한다. 가설구조물은 가시설 할증율을 고려한다.
- ③ 계수모멘트 $M_u = \text{SUNEX 해석결과 모멘트} \times \text{하중계수}(1.6)$
- ④ 설계모멘트 $M_d = \text{강도감소계수 } \phi \times \text{파괴모멘트 } M_f$

나. PHC 파일의 사양

(1) 표준 성능표 (KSF 4306 및 제조사의 사양)



외경 D (mm)	두께 t (mm)	종류	강선		콘크리트 단면적 Ac (cm ²)	환산단면적 Ae (cm ⁴)	단면2차모멘트 ie (cm ⁴)		단면계수 환산단면 z (cm ³)	단위질량 (kg/m)
			직경 (mm)	개수 (n)			콘크리트 단면	환산 단면		
350	60	A			547	563	59,930	61,600	3,523	142
		B				579		63,320	3,617	
		C				585		63,960	3,655	
400	65	A	φ 8.3	8	684	704	99,580	102,200	5,122	178
		B	φ 8.3	16		722		104,900	5,245	
		C	φ 9.2	16		735		106,500	5,327	
450	70	A	φ 8.3	9	836	861	156,000	106,600	7,131	217
		B	φ 8.3	18		887		165,200	7,340	
		C	φ11.0	14		899		167,300	7,437	
500	80	A	φ 9.2	9	1,056	1,084	241,200	247,800	9,914	274
		B	φ 9.2	18		1,113		253,900	10,180	
		C	φ11.0	18		1,137		259,100	10,370	
600	90	A	φ 9.2	12	1,442	1,480	483,400	496,700	16,350	375
		B	φ 9.2	24		1,519		508,400	17,010	
		C	φ11.0	24		1,550		518,600	17,335	

주) A, B 및 C의 유효프리스트레스는 각각 3.92 MPa(40 kgf/cm²), 7.85(80), 9.81(100) 이다.

외경 350 이하 제품과 각 직경별 종류 B와 C는 제조사에 제조가능 여부를 확인해야 한다

(2) PHC 파일의 강도특성 (KSF 4306 및 제조사의 사양)

바깥지름 mm	종류	균열 휨모멘트 kN·m (tf·m)	파괴 휨모멘트 kN·m (tf·m)	전단력 kN·m (tf·m)	축력 kN (tf)
350	A	34.3 (3.5)	52.0 (5.3)	118.7 (12.1)	891 (90)
	B	49.0 (5.0)	88.3 (9.0)	150.1 (15.3)	902 (92)
	C	58.9 (6.0)	117.7 (12.0)	162.8 (16.6)	892 (91)
400	A	54.0 (5.5)	81.4 (8.3)	148.1 (15.1)	1098 (112)
	B	73.6 (7.5)	132.4 (13.5)	187.4 (19.1)	1128 (115)
	C	88.3 (9.0)	176.6 (18.0)	204.0 (20.8)	1108 (113)
450	A	73.6 (7.5)	110.8 (11.3)	180.5 (18.4)	1343 (137)
	B	107.9 (11.0)	194.2 (19.8)	227.6 (23.2)	1383 (141)
	C	122.6 (12.5)	245.2 (25.0)	248.2 (25.3)	1363 (139)
500	A	103.0 (10.5)	155.0 (15.8)	228.6 (23.3)	1697 (173)
	B	147.2 (15.0)	264.9 (27.0)	288.4 (29.4)	1746 (178)
	C	166.8 (17.0)	333.5 (34.0)	313.9 (32.0)	1717 (175)
600	A	166.8 (17.0)	250.2 (25.5)	311.0 (31.7)	2315 (236)
	B	245.2 (25.0)	441.4 (45.0)	392.4 (40.0)	2384 (243)
	C	284.5 (29.0)	569.0 (58.0)	427.7 (43.6)	2354 (240)

주) 1 tf = 9.81 kN

(3) PHC 파일 콘크리트의 일반적 특성

항목	특성치	비고
압축파괴강도 MPa (kgf/cm ²)	78.5	
압축파괴 변형 %	0.25	
휨인장 강도 MPa (kgf/cm ²)	7.4 (75)	
인장강도 MPa (kgf/cm ²)	5.4 (55)	
탄성계수 MPa (kgf/cm ²)	39,200 (400,000)	
탄성계수 MPa (kgf/cm ²)	34,300 (350,000)	프리스트레스 도입시
크리프계수	2	
건조수축율	2.00E+06	

다. 안전 검토

① 계수하중 (작용하중)

계수모멘트 = 1 본당의 모멘트 x 하중계수/가시설할증율 = $9.8 \times 1.6 / 1.00 = 15.7 \text{ kN m}$

계수전단력 = 1 본당의 전단력 x 하중계수/가시설할증율 = $7.6 \times 1.6 / 1.00 = 12.2 \text{ kN}$

계수축력 = 1 본당의 축력 x 하중계수/가시설할증율 = $13.7 \times 1.6 / 1.00 = 21.9 \text{ kN}$

② 설계하중(파일의 강도)

설계모멘트 = $\phi \times \text{파괴모멘트} = 0.85 \times 155.0 = 131.8 \text{ kN m}$

설계전단력 = $\phi \times \text{전단력} = 0.75 \times 228.6 = 171.5 \text{ kN}$

설계축력 = $\phi \times \text{축력} = 0.70 \times 1697.0 = 1187.9 \text{ kN}$

③ 안전판단

▶ 모멘트 : 계수모멘트 = $15.7(\text{kN m}) < \text{설계모멘트} = 131.8 \text{ O.K}$

▶ 전단력 : 계수전단력 = $12.2\text{kN} < \text{설계전단력} = 171.5 \text{ O.K}$

▶ 축력 : 계수축력 = 21.9kN < 설계축력 = 1187.9 O.K

라. 균열에 대한 검토

하중이 발생할 때 발생하는 균열이 허용치 이내인지 검토한다.(도로교설계기준 2008, 4.4.9.3)

① 허용 균열폭

$W_a = \{1.005 \times \text{철근의 피복두께 } C_c\} \text{ 와 } 0.2 \text{ mm 중에서 큰 값}$

$$C_c = \text{피복두께} = \text{파일의 두께} / 2 - \text{강선의 직경} / 2 = 80 / 2 - 9.2 / 2 = 35.40 \text{ mm}$$

$$W_a = 0.005 \times 35.4 = 0.177 \text{ mm}$$

$$W_a = \text{Max} (0.177 , 0.2) = 0.2 \text{ mm}$$

② 균열폭 계산

$$W = 1.08 R f_s^3 (\sqrt{d_c A}) \times 1.0E-05 \text{ mm}$$

$R = \text{중립축에서 인장면단까지의 거리} / \text{중립축에서 철근도심까지의 거리}$

$$= (500 / 2) / (500 - 80) / 2 = 250 / 210 = 1.190$$

$f_s = \text{강선의 응력} = M_{\text{max}} / Z * \text{탄성계수비}$

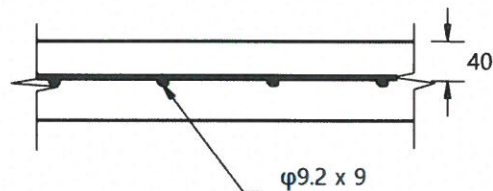
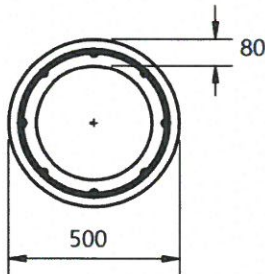
$$\text{탄성계수비} = \text{강선의 탄성계수} / \text{콘크리트의 탄성계수} = 200000 / 34300 = 5.831$$

$$f_s = (9.81 \text{ kN m} \times 0.001) / (9,914 \text{ cm}^2 \times 1.0E-6) \times 5.831 = 5.770 \text{ MPa}$$

$$d_c = \text{표면에서 강선중심까지 거리} = 0.5 \times \text{두께} = 0.5 \times 80 = 40 \text{ mm}$$

$A = \text{콘크리트 단면적을 철근개수로 나눈 유효인장면적 mm}^2$

$$= 1056 \text{ cm}^2 \times 100 / 9 = 11733.33 \text{ mm}^2$$



$$W = 1.08 \times 1.190 \times 5.770 \times (40 \times 11733.33)^{1/3} \times 1.0E-5 = 0.006 \text{ mm}$$

③ 균열에 대한 안전판단

▶ 계산된 균열폭 = 0.006 mm < 허용균열폭 = 0.2 mm O.K

5. 외적 안정성 및 굴착영향 검토

5.1 공사 단계별 변위에 대한 검토

공사단계별로 발생하는 흙막이 벽의 최대 변위와 허용변위를 비교하여 안전을 판단한다.

허용변위율 = 0.50 % , 허용변위 = 허용변위율 x 굴착깊이

허용변위 계산깊이 적용 : 0 : 매 단계별 굴착깊이

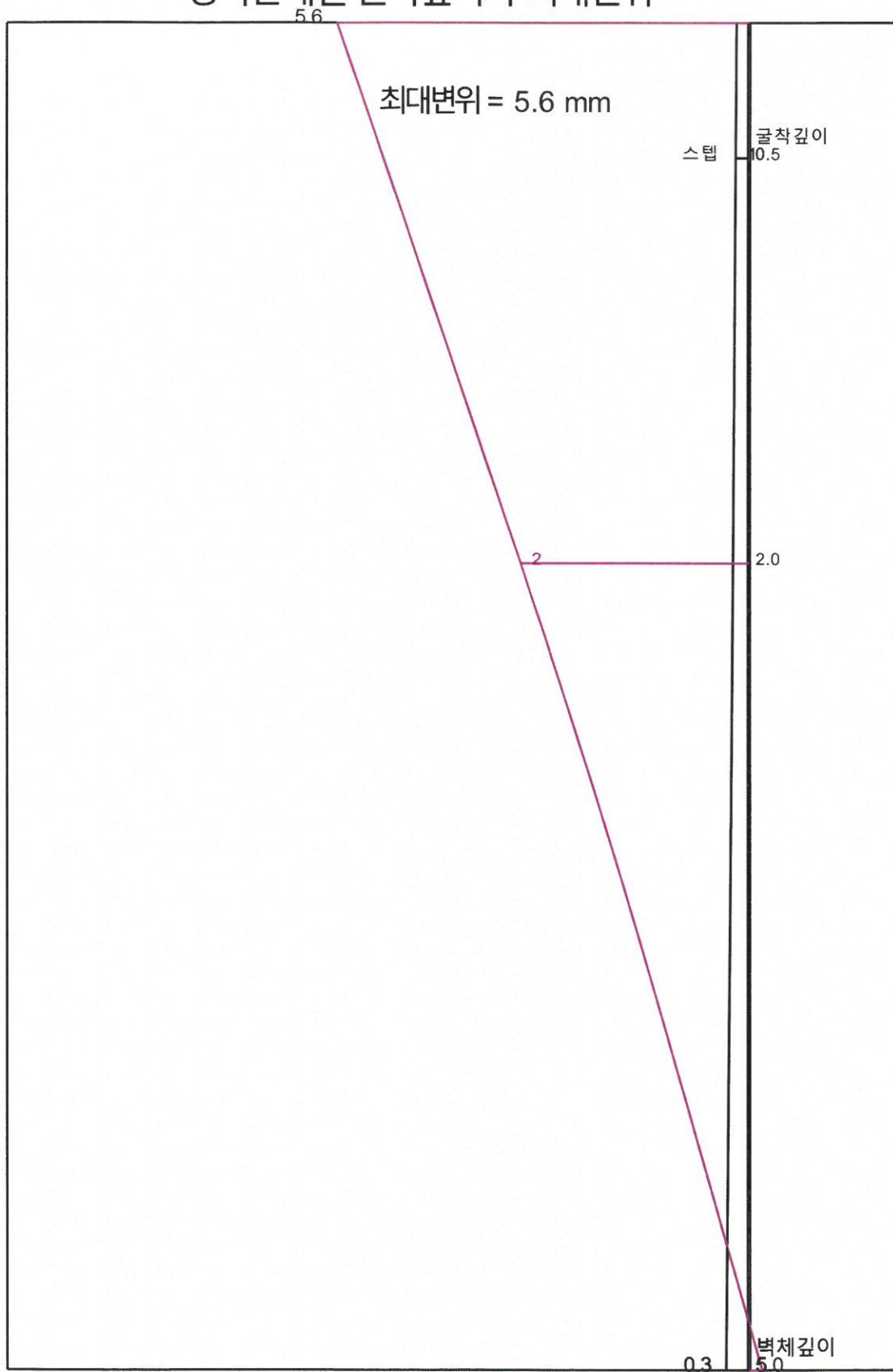
말뚝상단의 허용변위 입력치 = 10 mm

스텝번호	스텝설명	굴착깊이 m	발생변위 mm	허용변위 mm	안전율 %	안전판단
1	EXCAVATION TO 0.5	0.5	0.3	2.5	12.0	O.K
2	EXCAVATION TO 2.03	2.0	5.6	10.0	55.5	O.K

(주) 최대변위는 지표에서 흙막이벽체 바닥 사이의 최대변위임

최대변위율과 말뚝상단의 허용변위는 스텝데이터 'DIPLACEMENT'에서 설정가능함

공사단계별 굴착깊이와 최대변위



5.2 침하에 대한 주변영향 검토

굴착으로 인한 지표면의 침하량은 흙막이 벽체의 변위와 관계된다고 보고 흙막이 벽체의 변위량으로 부터 침하량을 추정하는 방법을 Caspe(1966)가 제안하고, Bowles가 다음과 같은 단계로 재정리 하였다.

(1) 침하영향거리 계산

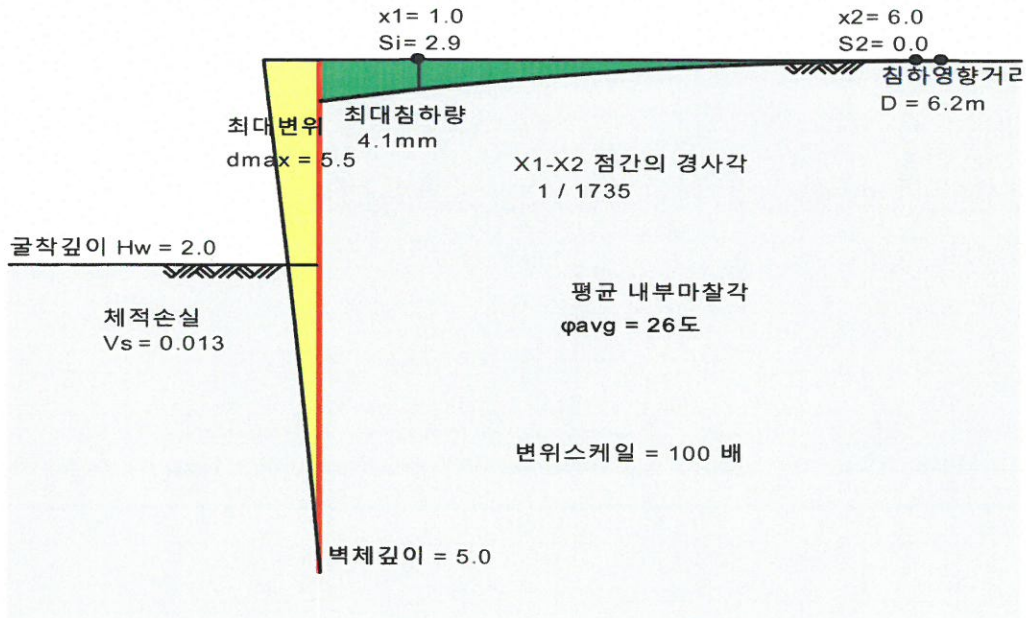
$$\begin{aligned}
 \text{굴착깊이 } H_w &= 2.0 \text{ m} \\
 \text{굴착폭 } B &= 10.0 \text{ m} \\
 \text{평균내부마찰각 } \varphi_{avg} &= 26 \text{ 도} \\
 H_p &= (0.5 B \tan(45 + \varphi_{avg}/2)) = 8.0 \text{ m} \\
 H_t &= (H_w + H_p) = 10.0 \text{ m} \\
 \text{영향거리 } D &= H_t \cdot \tan(45 - \varphi_{avg}/2) = 6.2 \text{ m} \\
 \text{영향거리/굴착깊이}(D/H_w) \text{의 최대비율} &= 10.0 \\
 \text{수정된 영향거리 } D &= 6.2 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$(2) \text{ 굴착으로 인한 체적 손실량 } V_s = 0.013 \text{ m}^3$$

$$(3) \text{ 벽체에서의 침하량 } S_w = \frac{2 V_s}{D} = 4.1 \text{ mm}$$

$$(4) \text{ 벽체로부터 거리별 침하량 } S_i = S_w \left(\frac{D-x}{D} \right)^2$$

흙막이 벽으로부터의 거리	0.0 x D	0.1 x D	0.2 x D	0.3 x D	0.5 x D	1.0 x D	X1	X2
m	0.00	0.62	1.25	1.87	3.12	6.25	1.00	6.00
침하량 mm	4.1	3.3	2.6	2.0	1.0	0.0	2.9	0.0
각변위 (1 / X)		804	898	1018	1272	3054		1735



참고 : 칸막이 벽이나 바닥에 첫 균열이 예상되는 한계 = 1/300

건물에 균열이 없도록 하는 안정한계 = 1/500 (Bjerrum, 1981)

5.3 근입장 검토

자립식

자립식 흙막이 벽의 근입깊이는

주동토압에 의한 모멘트 = 수동토압에 의한 모멘트 가 되는 균형깊이를 구하고 여기에 안전율을 곱하여 구한다.

(1) 설계내용

굴착깊이 H1 = 2.0 m

근입깊이 H2 = 3.0 m

전체 벽체 길이 H1 + H2 = 5 m

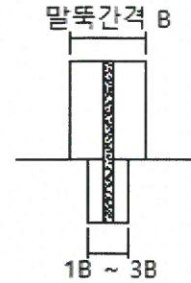
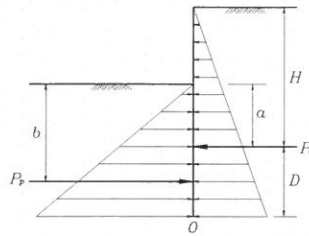
(2) 균형깊이 D의 계산

D = 1.8 m 일때

주동토압에 의한 모멘트 Ma = 60.1 kN.m

수동토압에 의한 모멘트 Mp = 65.7 kN.m

안전율 $F_s = \frac{M_p}{M_a} = 1.09$



(3) 근입장의 계산 ($F_s = 1$ 이상일 때만 해당함)

근입깊이는 균형깊이에 1.3 배를 하여 구한다.

소요 근입깊이 H2 = 1.3 x D = 2.34 m

전체 말뚝길이 = 굴착깊이 + 근입깊이 = 2 + 2.34 = 4.34 m

▶ 안전판단 설계된 근입깊이 3 > 소요근입깊이 2.34 따라서 O.K

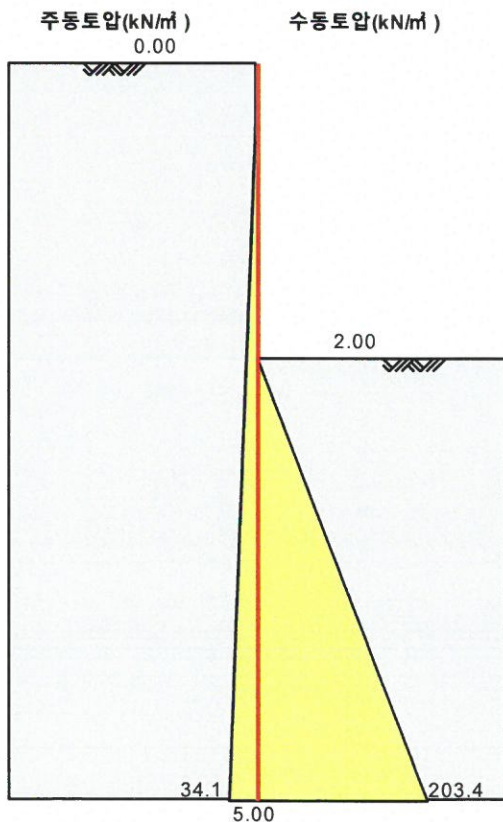
(4) 설계된 근입장에 대한 안전율 계산

설계된 근입장 = 3 m

주동토압에 의한 모멘트 Ma = 138.5 kN.m

수동토압에 의한 모멘트 Mp = 304.8 kN.m

안전율 $F_s = \frac{M_p}{M_a} = \frac{304.8}{138.5} = 2.2$



자립식 근입장 체크 - Cantilever Wall, FS = Mp/Ma (벽체 바닥에서)

1) FS >= 1.0 이 되는 균형깊이 계산(반복계산에 따라 구함)

Node No.	Depth (m)	주동 토압 (kN/m ²)	기타 횡력 (kN/m ²)	주동 모멘트 (kNm)	수동 토압 (kN/m ²)	기타 횡력 (kN/m ²)	수동 모멘트 (kNm)	안전율
1	0.00	0.00	0.00	0.00				
2	0.10	0.62	0.00	0.23				
3	0.20	1.23	0.00	0.44				
4	0.30	1.86	0.00	0.65				
5	0.40	2.48	0.00	0.84				
6	0.50	3.12	0.00	1.03				
7	0.60	3.76	0.00	1.20				
8	0.70	4.41	0.00	1.37				
9	0.80	5.07	0.00	1.52				
10	0.90	5.73	0.00	1.66				
11	1.00	6.40	0.00	1.79				
12	1.10	7.07	0.00	1.91				
13	1.20	7.75	0.00	2.01				
14	1.30	8.43	0.00	2.11				
15	1.40	9.12	0.00	2.19				
16	1.50	9.81	0.00	2.26				
17	1.60	10.50	0.00	2.31				
18	1.70	11.19	0.00	2.35				
19	1.80	11.89	0.00	2.38				
20	1.90	12.58	0.00	2.39				
21	2.00	13.28	0.00	2.39	0.00	0.00	0.00	0.00
22	2.10	13.98	0.00	2.38	-6.78	0.00	-1.15	0.03
23	2.20	14.68	0.00	2.35	-13.56	0.00	-2.17	0.09
24	2.30	15.38	0.00	2.31	-20.34	0.00	-3.05	0.16
25	2.40	16.08	0.00	2.25	-27.12	0.00	-3.80	0.24
26	2.50	16.78	0.00	2.18	-33.90	0.00	-4.41	0.33
27	2.60	17.48	0.00	2.10	-40.68	0.00	-4.88	0.42
28	2.70	18.17	0.00	2.00	-47.46	0.00	-5.22	0.51
29	2.80	18.87	0.00	1.89	-54.24	0.00	-5.42	0.60
30	2.90	19.57	0.00	1.76	-61.02	0.00	-5.49	0.68
31	3.00	20.27	0.00	1.62	-67.80	0.00	-5.42	0.76
32	3.10	20.97	0.00	1.47	-74.58	0.00	-5.22	0.84
33	3.20	21.67	0.00	1.30	-81.36	0.00	-4.88	0.90
34	3.30	22.36	0.00	1.12	-88.14	0.00	-4.41	0.96
35	3.40	23.06	0.00	0.92	-94.92	0.00	-3.80	1.01
36	3.50	23.75	0.00	0.71	-101.70	0.00	-3.05	1.05
37	3.60	24.45	0.00	0.49	-108.48	0.00	-2.17	1.08
38	3.70	25.14	0.00	0.25	-115.26	0.00	-1.15	1.09
39	3.80	25.84	0.00	0.00	-122.04	0.00	0.00	1.09
		494.78	0.00	60.12	-1159.38	0.00	-65.70	

합계 주동 모멘트 (Ma) = 60.12
 합계 수동 모멘트 (Mp) = -65.70
 안전율 (Mp/Ma) = 1.09

안전율이 1 이상이 되는 균형깊이에 30%를 가산한 깊이를 최소 근입장으로 해야함

균형깊이 = 1.80

소요근입장(균형깊이×1.3) = 2.34, 최소벽체길이(굴착깊이+소요근입장) = 4.34

2) 실제 벽체 깊이에서의 안전율 계산

Node Depth 주동 기타 주동 수동 기타 수동 안전율
No. 토압 횡력 모멘트 토압 횡력 모멘트

	(m)	(kN/m2)	(kN/m2)	(kNm)	(kN/m2)	(kN/m2)	(kNm)	
1	0.00	0.00	0.00	0.00				
2	0.10	0.62	0.00	0.30				
3	0.20	1.23	0.00	0.59				
4	0.30	1.86	0.00	0.87				
5	0.40	2.48	0.00	1.14				
6	0.50	3.12	0.00	1.40				
7	0.60	3.76	0.00	1.65				
8	0.70	4.41	0.00	1.90				
9	0.80	5.07	0.00	2.13				
10	0.90	5.73	0.00	2.35				
11	1.00	6.40	0.00	2.56				
12	1.10	7.07	0.00	2.76				
13	1.20	7.75	0.00	2.94				
14	1.30	8.43	0.00	3.12				
15	1.40	9.12	0.00	3.28				
16	1.50	9.81	0.00	3.43				
17	1.60	10.50	0.00	3.57				
18	1.70	11.19	0.00	3.69				
19	1.80	11.89	0.00	3.80				
20	1.90	12.58	0.00	3.90				
21	2.00	13.28	0.00	3.98	0.00	0.00	0.00	0.00
22	2.10	13.98	0.00	4.05	-6.78	0.00	-1.97	0.04
23	2.20	14.68	0.00	4.11	-13.56	0.00	-3.80	0.10
24	2.30	15.38	0.00	4.15	-20.34	0.00	-5.49	0.18
25	2.40	16.08	0.00	4.18	-27.12	0.00	-7.05	0.28
26	2.50	16.78	0.00	4.19	-33.90	0.00	-8.47	0.38
27	2.60	17.48	0.00	4.19	-40.68	0.00	-9.76	0.49
28	2.70	18.17	0.00	4.18	-47.46	0.00	-10.92	0.60
29	2.80	18.87	0.00	4.15	-54.24	0.00	-11.93	0.72
30	2.90	19.57	0.00	4.11	-61.02	0.00	-12.81	0.83
31	3.00	20.27	0.00	4.05	-67.80	0.00	-13.56	0.94
32	3.10	20.97	0.00	3.98	-74.58	0.00	-14.17	1.05
33	3.20	21.67	0.00	3.90	-81.36	0.00	-14.64	1.16
34	3.30	22.36	0.00	3.80	-88.14	0.00	-14.98	1.26
35	3.40	23.06	0.00	3.69	-94.92	0.00	-15.19	1.36

36	3.50	23.75	0.00	3.56	-101.70	0.00	-15.25	1.46
37	3.60	24.45	0.00	3.42	-108.48	0.00	-15.19	1.55
38	3.70	25.14	0.00	3.27	-115.26	0.00	-14.98	1.63
39	3.80	25.84	0.00	3.10	-122.04	0.00	-14.64	1.71
40	3.90	26.53	0.00	2.92	-128.82	0.00	-14.17	1.79
41	4.00	27.22	0.00	2.72	-135.60	0.00	-13.56	1.86
42	4.10	27.91	0.00	2.51	-142.38	0.00	-12.81	1.92
43	4.20	28.60	0.00	2.29	-149.16	0.00	-11.93	1.98
44	4.30	29.29	0.00	2.05	-155.94	0.00	-10.92	2.03
45	4.40	29.97	0.00	1.80	-162.72	0.00	-9.76	2.08
46	4.50	30.66	0.00	1.53	-169.50	0.00	-8.47	2.12
47	4.60	31.35	0.00	1.25	-176.28	0.00	-7.05	2.15
48	4.70	32.03	0.00	0.96	-183.06	0.00	-5.49	2.17
49	4.80	32.71	0.00	0.65	-189.84	0.00	-3.80	2.19
50	4.90	33.40	0.00	0.33	-196.62	0.00	-1.97	2.20
51	5.00	34.08	0.00	0.00	-203.40	0.00	0.00	2.20

858.52 0.00 138.52 -3152.70 0.00 -304.76

합계 주동 모멘트 (Ma) = 138.52

합계 수동 모멘트 (Mp) = -304.76

안전율 (Mp/Ma) = 2.20

설계된 근입장 3.00 > 소요근입장 2.34 이므로 O.K

6. 입력 데이터

ELO 0.00

PROJECT 종점부 RAMP-C U-TYPE 검토 (H=2.03m)

UNIT kN

ELGL GL 0.00

SOIL 1 매립층

18 9 0 26 17000 0 0 0 0.0E+00 1.00

PROFILE 1 12 1 1

VWALL 1 5 .1084 .002478 3.5E+07 .53 .53 .53 0 0

Division 0.1

Solution 0

Output 1

NoteMode 1

MINKS 0

ECHO

STEP 1 excavation to 0.5

RANKINE 1 0 50 0

LOAD 0 5 13 20 13 1

SLOPE 1 31 4 1

excavation 0.5

STEP 2 excavation to 2.03

excavation 2.03

ground settlement

depth check

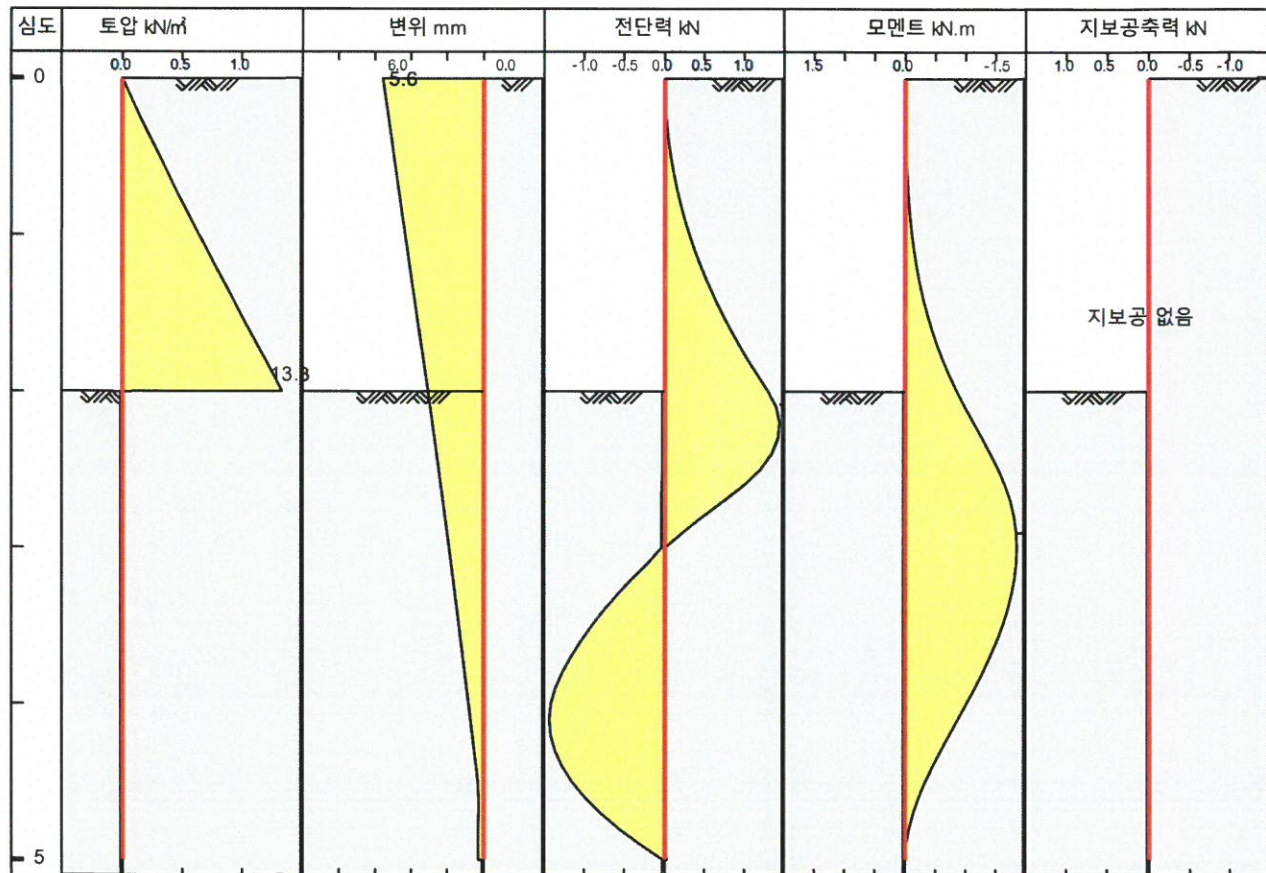
DISPLACEMENT 0.5 0 0

END

7. 단계별 계산결과 집계표

가 깊이별 최대토압, 변위, 전단력 및 모멘트

절점	구간심도 m	토압	변위	전단력 kN		모멘트 kN.m	
		kN/m ²	mm	굴착측	배면측	굴착측	배면측
1	0.00	0.00(0)	5.55(2)	0.00(2)	0.00(0)	0.00(2)	0.00(0)
4	0.30	1.86(1)	5.43(2)	0.00(0)	0.28(1)	0.00(2)	0.03(1)
7	0.60	3.76(2)	5.06(2)	0.00(0)	1.12(2)	0.00(0)	0.22(2)
10	0.90	5.73(2)	4.68(2)	0.00(0)	2.54(2)	0.00(0)	0.75(2)
13	1.20	7.75(2)	4.31(2)	0.00(0)	4.56(2)	0.00(0)	1.79(2)
16	1.50	9.81(2)	3.94(2)	0.00(0)	7.19(2)	0.00(0)	3.54(2)
19	1.80	11.89(2)	3.57(2)	0.00(0)	10.45(2)	0.00(0)	6.17(2)
22	2.10	13.28(2)	3.20(2)	0.15(1)	13.99(2)	0.00(0)	9.87(2)
25	2.40	0.00(0)	2.84(2)	0.27(1)	14.40(2)	0.00(0)	14.14(2)
28	2.70	0.00(0)	2.48(2)	0.34(1)	12.00(2)	0.00(0)	17.45(2)
31	3.00	0.00(0)	2.13(2)	0.37(1)	4.84(2)	0.00(0)	18.51(2)
34	3.30	0.00(0)	1.79(2)	5.87(2)	0.00(0)	0.00(0)	18.41(2)
37	3.60	0.00(0)	1.46(2)	10.43(2)	0.00(0)	0.00(0)	16.92(2)
40	3.90	0.00(0)	1.14(2)	13.60(2)	0.00(0)	0.00(0)	14.00(2)
43	4.20	0.00(0)	0.83(2)	14.35(2)	0.00(0)	0.00(0)	10.06(2)
46	4.50	0.00(0)	0.52(2)	13.65(2)	0.00(0)	0.00(0)	5.79(2)
49	4.80	0.00(0)	0.29(1)	9.93(2)	0.00(0)	0.01(1)	2.16(2)
51	5.00	0.00(0)	0.30(1)	3.01(2)	0.00(0)	0.02(1)	0.12(2)
	최대치	13.28(0)	5.55(0)	14.35(0)	14.40(0)	0.02(0)	18.51(0)



전단력과 모멘트에는 WALLOUT 으로 입력된 스텝별 하중계수가 곱해진 값임

STEP 1 2

Factor 1.00 1.00

다. 굴착 단계별 최대토압, 변위, 전단력 및 모멘트

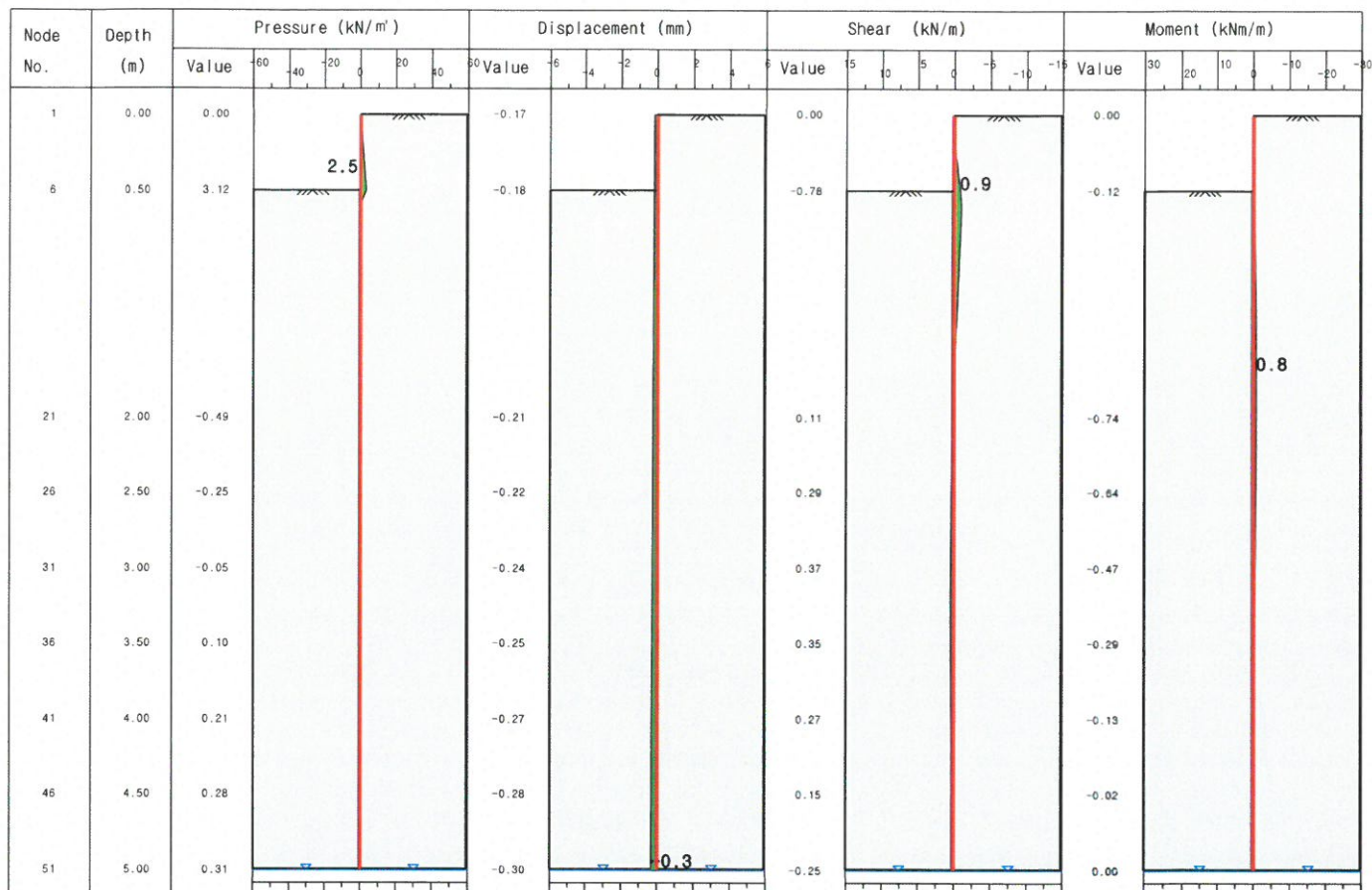
굴착 단계	굴착깊이 m	토압	변위	전단력 kN		모멘트 kN.m	
		kN/m ²	mm	굴착측	배면측	굴착측	배면측
1	0.50	3.12	0.3	0.37	0.92	0.02	0.76
2	2.00	13.28	5.55	14.35	14.4	0.04	18.51
	최대치	13.28	5.55	14.35	14.4	0.04	18.51

최대 변위는 흙막이 벽 바닥까지의 변위중 최대치임

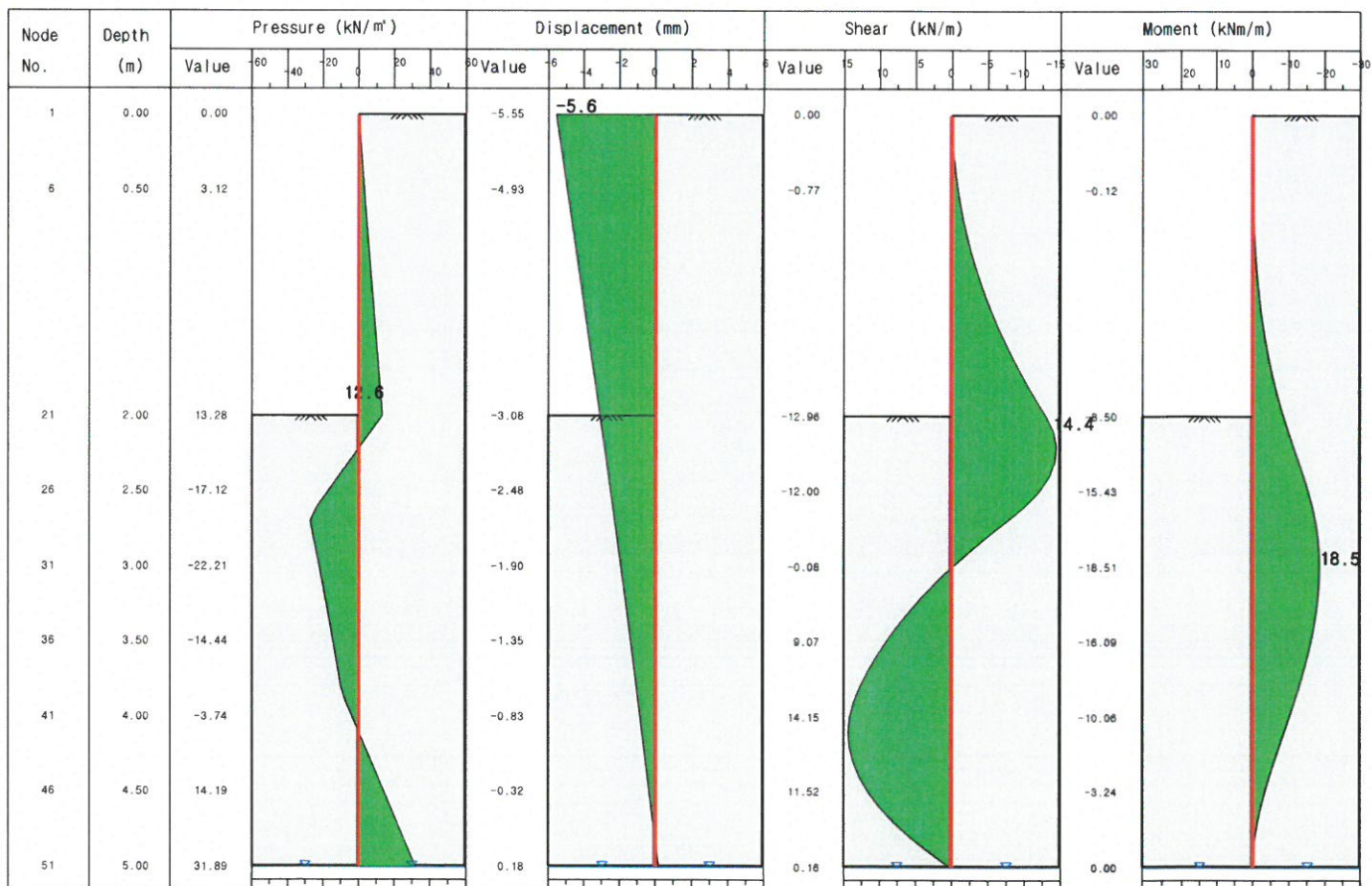
하중계수가 곱해지지 않은 SUNEX 출력결과 그대로임

8 공사단계별 그래픽 출력(토압, 변위, 전단력, 모멘트)

Step No. 1 << EXCAVATION TO 0.5 >>

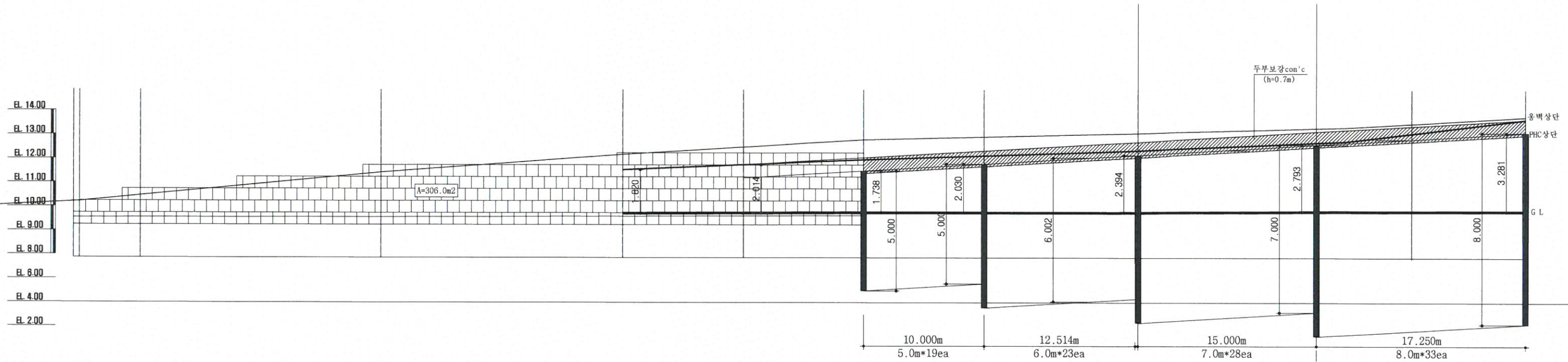


Step No. 2 << EXCAVATION TO 2.03 >>



#붙임3. 관련도면

R-C 경관옹벽 대안현황도 (PHC PILE공법)



구 간	L=5.00m	L=20.00m	L=20.00m	L=20.00m	L=20.00m	L=20.00m	L=15.00m
옹 벽 높 이	1.50	1.5	2.50	3.00	3.50	4.00	4.50
옹 벽 계획고	상단고	10.87	11.74	12.24	12.74	13.24	13.74
	하단고	9.37	9.24	9.24	9.24	9.24	9.24
지 반 고	9.67	9.68	9.69	9.72	9.76	9.75	9.81
추 가 거 리	8.98	5.50	25.50	45.50	65.50	85.50	105.50
점 간 거 리	8.98	5.00	20.00	20.00	20.00	20.00	15.00
측 +9.00 면	NO.1 +9.00	NO.1 0.00	NO.0 +980.00	NO.0 +960.00	NO.0 +940.00	NO.0 +920.00	NO.0 +900.00

시 행 사	공 사 명	시 공 사	공 사 관 계 자			도 면 명	축 척	도면번호
 서울터널 (주)	서울제물포터널 (2공구) 민간투자사업	디엘이앤씨 (주)	구 분	현장대리인	책임건설사업 관리기술자			
			성 명	이철수	고용준			
			98 시 명					

3. .캐노피 방음시설계산서

터널형 방음시설 구조계산서

캐노피 [도로폭 B=10.27m]

2020.11

검토자 : 토목구조기술사
이운병(01163070018T)



터널형 방음시설 구조계산서

캐노피 [도로폭 B=10.27m]

계산서 목차

1. 기본설계조건

2. 단면가정

3. 허용응력식

3.1 허용응력 (공통)

3.2 축방향력 및 휨모멘트를 받는 부재

4. 하중산정

4.1 고정하중

4.2 설하중

4.3 온도하중

4.4 지점침하

4.5 풍하중

5. 구조해석

5.1 지점경계조건

5.2 Load Combination

5.3 모델링

5.4 하중재하

5.5 해석결과

6. 부재 검토

6.1 외측기둥부 검토

6.2 지붕부 검토

6.3 브라켓부 검토

7. 이음부 검토

7.1 지붕거더부 볼트 이음 검토

8. 지주 검토

8.1 지주 검토 (측벽부)

8.2 지주 검토 (중분대부)

9. 용접검토

1.기본설계조건

1)방음터널설치지역: 내륙(서울)

2)기본풍속 : 30.0 m/s

방음벽 기초 및 지주의 지역별 표준 설계풍하중 (국토해양부 2010.12)

기본풍속 (m/s)	지명	토 공 부 (방음벽높이) kN/m ²			교 량 부 kN/m ²
		H≤4.5m	4.5m≤H≤9.0m	9.0m<H	
30.0	서울, 인천, 대구, 대전, 광주, 춘천, 청주, 수원, 추풍령, 전주, 익산, 진주, 서산	0.7	0.9	1.0	1.1
35	부산, 울산, 강릉, 포항, 군산, 목포, 충무	0.9	1.2	1.3	1.5
40	여수, 속초	1.2	1.5	1.5	2.0
45	-	1.5	1.5	1.5	2.5

주) "이상기상 대비 구조물의 내풍설계기준 정비 및 개발", 2010. 반영

3)방음터널 폭(B): 12.32 M

4)방음터널 지주설치간격(W): 2.00 M

5)방음터널기초설계강도(fck): 27.0 MPa

6)허용응력

- ① POST, BEAM, BASE PLATE 허용휨응력(f_a): 160 MPa (도로교설계기준 3.3.2.1 구조용강재의 허용응력)
- ② POST, BEAM, BASE PLATE 허용전단응력(τ_a): 90 MPa (도로교설계기준 3.3.2.1 구조용강재의 허용응력)
- ③ 앵커볼트허용인장응력(τ_{ba}): 140 MPa (도로교설계기준 3.3.2.1 구조용강재의 허용응력)
- ④ 앵커볼트허용전단응력(τ_{sa}): 90 MPa (도로교설계기준 3.3.2.3 이음용강재의 허용응력)

⑤ H.T.B (F10T) M22의 허용전단응력(2면마찰): 78 kN/EA (도로교설계기준 3.3.2.3 이음용강재의 허용응력)

⑥ 공장용접허용전단응력(τ_w): 110 MPa (도로교설계기준 3.3.2.3 용접부의 허용응력)

7)하중조합

- ① D+SW
- ② D+(±T)
- ③ D+(±T)+SW
- ④ D+W+SW
- ⑤ D+W+(±T)+SW
- ⑥ D+W
- ⑦ D+(±T)+W

8)사용재료

8.1) 주요강재

- 측면 기둥재(H 형강) : H - 194×150×6×9 (SM 275)
- 중앙부 기둥재(H 형강) : H - 194×150×6×9 (SM 275)
- 지붕재(H 형강) : H - 194×150×6×9 (SM 275)
- 종방향 보강재(H 형강) : H - 100X100X6X8 (SM 275)
- 판보강재(Square Bar) : □ - 75X75X2.3T (SM 275)

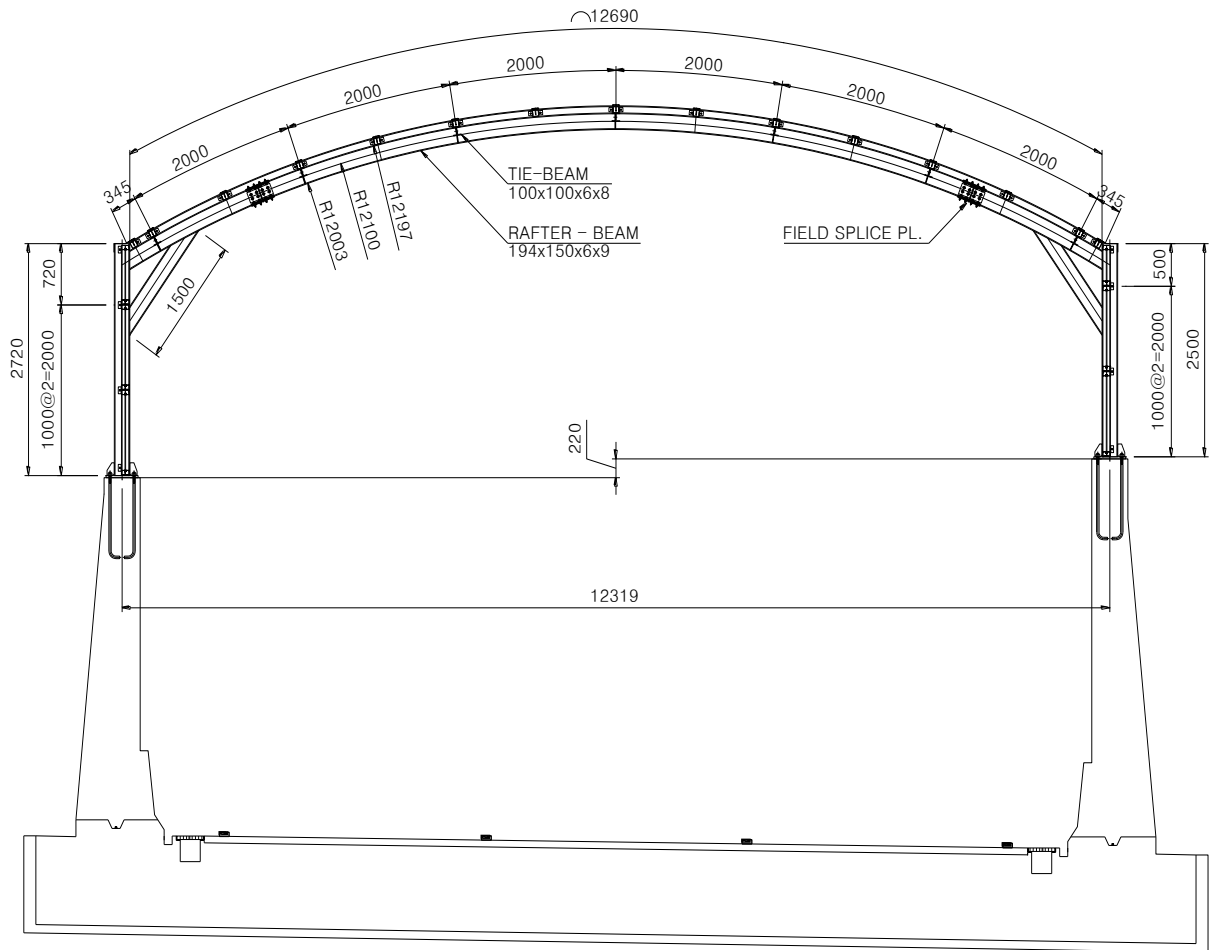
8.2) 이음볼트 및 앵커볼트

- 부재연결용: F10T M20
- 기초고정용: L형앙카볼트 M30

8.3) 방음판

- 지붕용 PC SHEET 10T : 단위중량 = 180.0 (N/m²)

2.단면가정



3. 허용응력식

* 여기서의 표 및 식 No.는 도.설.기의 No.임

3.1 허용응력 (공통)

표 3.3.1 허용축방향인장응력, 허용휨인장응력 (MPa)

종 류		일반구조용 압연강재 SS275, SM275	비 고
축 방 향 인 장 (순 단 면)		240	160 x 1.5 = 240
축 방 향 압 축 (총 단 면)		$\ell / r \leq 20$ 일 경우 240	ℓ : 유효좌굴장(mm) r : 단면2차반경(mm)
		$20 < \ell / r \leq 93$ 일 경우 240-1.5(ℓ / r -18)	
		$\ell / r > 90$ 일 경우 $1875000 / (6000 + (\ell / r)^2)$	
휨 응 력	인장연(순단면)	240	
	압축연(총단면)	$\ell / b \leq 4.5$ 일 경우 240	ℓ : 플랜지의 고정점 간 거리 b : 압축플랜지폭
		$4.5 < \ell / b \leq 30$ 일 경우 240-2.9(ℓ / b -4.5)	
전단응력(총단면)		135	90 x 1.5 = 135
지 압 응 력		360	강판과 강판
용접강도	공 장	모재의 100%	
	현 장	모재의 90%	

3) 볼트의 허용응력

(단위 : MPa)

볼트의 종류	응 력 의 종 류	허 용 응 력	비 고
보 통 볼 트	전 단	90	SS400 기준
	지 압	190	
고장력 볼 트	전 단	150	F10T 기준
	지 압	250	SS275 기준

3.2 축방향력 및 휨모멘트를 받는 부재

- 축방향력이 인장인 경우 [도기 P90]

$$f_t + f_{bty} + f_{btz} \leq f_{ta} \quad (3.4.8)$$

$$-\frac{f_t}{f_{ta}} + \frac{f_{bcy}}{f_{bagy}} + \frac{f_{bcz}}{f_{bao}} \leq 1.0 \quad (3.4.9)$$

$$-f_t + f_{bcy} + f_{bcz} \leq f_{cal} \quad (3.4.10)$$

- 축방향력이 압축인 경우 [도기 P90]

$$\frac{f_c}{f_{caz}} + \frac{f_{bcy}}{f_{bagy} \left(1 - \frac{f_c}{f_{Ey}}\right)} + \frac{f_{bcz}}{f_{bao} \left(1 - \frac{f_c}{f_{Ez}}\right)} \leq 1.0 \quad (3.4.11)$$

$$f_c + \frac{f_{bcy}}{\left(1 - \frac{f_c}{f_{Ey}}\right)} + \frac{f_{bcz}}{\left(1 - \frac{f_c}{f_{Ez}}\right)} \leq f_{cal} \quad (3.4.12)$$

여기서,

f_t, f_c : 각각 단면에 작용하는 축방향력에 의한 인장 및 압축응력.

단, 축방향 인장응력 계산시는 순단면적, 압축응력 계산시는 총단면적 사용(MPa)

f_{bty}, f_{btz} : 각각 강축(y축) 및 약축(z축)둘레에 작용하는 휨모멘트에 의한 휨인장응력(MPa)

f_{bcy}, f_{bcz} : 각각 강축(y축) 및 약축(z축)둘레에 작용하는 휨모멘트에 의한 휨압축응력(MPa)

f_{ta} : 표 3.3.1의 허용축방향인장응력(MPa)

f_{caz} : 식(3.3.1)에 의해 산출되는 각각 약축방향(z축)의 허용응력(MPa)

f_{bagy} : 표 3.3.4의 국부좌굴을 고려하지 않는 강축(y축)둘레의 허용휨압축응력(MPa)

f_{bao} : 표 3.3.2의 국부좌굴을 고려하지 않는 허용휨압축응력의 상한값(MPa)

f_{cal} : 양면지지판, 자유돌출판 및 보강된 판에 대해서 각각 규정된 국부좌굴응력에 대한 허용응력(MPa)

f_{Ey}, f_{Ez} : 각각 강축(y축) 및 약축(z축)둘레의 허용오일러좌굴응력

$$f_{Ey} = \frac{1200000}{(l/r_y)^2}, \quad f_{Ez} = \frac{1200000}{(l/r_z)^2}$$

l : 유효좌굴길이(mm)

r_y, r_z : 각각 y축 및 z축 둘레의 단면2차반경(mm)

4. 하중산정

4.1 고정하중

- 기동재, 지붕재 자중은 프로그램 자동 계산(기타부재 및 Splice, Bolt 감안 하여 10% 할증)

1) 지붕부

- 투명 방음판(PC10T) 자중 (180 N/㎡)	: 180 x 2 x 12.690	= 4.568 kN
- 강재 자중 : 100X100X6X8 - 172 N/m	: 172 x 2 x 7 x 1.1	= 2.649 kN
연결부 51.4 N/m	: 51 x 2 x 15 x 1.1	= 1.696 kN
		= 8.913 kN

$$\text{적용하중} : 8.913 / 12.690 = 0.702 \text{ kN/m}$$

2) 단부 기동부

- 흡음형 방음판 - 300 N/㎡	: 300 x 2 x 2.500	= 1.500 kN
- 투명 방음판(PC10T) 자중 (180 N/㎡)	: 180 x 2 x 2.500	= 0.9 kN
- 강재 자중 : 100X100X6X8 - 172 N/m	: 172 x 2 x 0 x 1.1	= 0 kN
연결부 51.4 N/m	: 51 x 2 x 4 x 1.1	= 0.452 kN
		= 2.852 kN

$$\text{적용하중} : 2.852 / 2.500 = 1.141 \text{ kN/m}$$

4.2 설하중 (건축물 하중기준, 4장. 적설하중)

$$\text{- 경사지붕 설하중 } S_s = C_s \times S_f \text{ (kN/㎡)} = 0.504 \text{ (kN/㎡)}$$

여기서, C_s : 경사도계수 $C_s=1$ 적용

S_f : 평지붕 적설하중

$$S_f = C_b \times C_e \times C_t \times I_s \times S_g \text{ (kg/㎡)} = 0.504 \text{ (kN/㎡)}$$

여기서, C_b : 기본지붕적설하중계수 일반적으로 $C_b=0.7$ 적용

C_e : 노출계수 $C_e=1.0$ 적용 (주변환경(3))

구분	주변환경	C_e
(1)	지형, 높은 구조물, 나무 등 주변환경에 의해 모든면이 바람막이가 없이 노출된 지붕이 있는 거센바람이 부는 지역	0.8
(2)	약간의 바람막이가 있는 거센바람이 부는 지역	0.9
(3)	바람에 의한 눈의 제거가 지형, 높은 구조물, 또는 근처의 몇몇 나무들 때문에 지붕하중의 감소를 기대할 수 없는 위치	1.0
(4)	바람의 영향이 많지 않은 지역 및 지형과 높은 구조물 또는 몇몇 나무들에 의하여 지붕에 바람막이가 있는 지역	1.1
(5)	바람의 영향이 거의 없는 조밀한 숲지역으로서, 촘촘한 침엽수 사이에 위치한 지붕	1.2

Ct : 온도계수 Ct=1.2적용(비난방구조)

난방상태	Ct
난방구조물(적설하중 제어구조)	1.0
비난방구조물(적설하중 비제어구조)	1.2

Is : 중요도계수 Is=1.2(중요도(특))

중요도	건축물의 용도 및 규모	중요도계수(Is)
(특)	o 연면적이 1,000제곱미터 이상인 위험물저장 및 처리시설, 병원, 방송국, 전신전화국, 발전소, 소방서, 공공업무시설 및 노약자시설 o 15층이상 아파트	1.2
(1)	o 연면적이 5,000제곱미터 이상인 관람집회시설, 운동시설, 운수시설, 전시시설 및 판매시설 o 5층이상인 숙박시설, 오피스텔, 기숙사 및 아파트	1.1
(2)	중요도 (특), (1), (3)에 해당하지않는 시설물	1.0
(3)	가설건축물, 농가건축물 및 소규모창고	0.8

Sg : 지상적설하중 Sg=0.5kN/㎡

지역	지상적설하중 (kN/㎡)
서울, 수원, 춘천, 서산, 청주, 대전, 추풍령, 포항, 군산, 대구, 전주, 울산, 광주, 부산, 충무, 목포, 여수, 제주, 서귀포, 진주, 울진, 이천	0.5
인천	0.8
속초	2.0
강릉	3.0
울릉도, 대관령	7.0

$$\text{적용하중} : 0.504 \times 2 = 1.008 \text{ kN/m}$$

$$\text{** 눈과 비의 혼합하중에 따른 추가하중 } 0.250 \text{ kN/m}^2 \times 2 = 0.500 \text{ kN/m}$$

$$\text{적용하중} : 1.008 + 0.500 = 1.508 \text{ kN/m}$$

4.3 온도하중

$$\pm T = \pm 30^{\circ}\text{C}$$

4.4 지점침하

$$d = 20\text{mm}$$

4.5 풍하중

1) 설계 풍하중 : 0.7kN/m^2 [방음벽 기초 및 지주의 지역별 표준 설계풍하중 (국토해양부 2010.12)]

적용하중 : $0.7 \times 2 = 1.4 \text{ kN/m}$

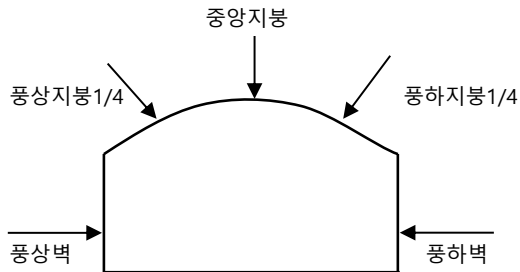
2) 내풍하중- 2009 건축구조기준

수평 풍하중 $W_r = P_r \times A \text{ (N)}$

여기서, P_r : 지붕의 설계풍압(N/m²)

A : 유효수압면적(m²)

설계적용하중



풍상벽체	470.929	x	2.00	=	941.858	N/m	0.942 KN/m
풍하벽체	-294.33	x	2.00	=	-588.660	N/m	-0.589 KN/m
풍상지붕	-529.8	x	2.00	=	-1059.590	N/m	-1.060 KN/m
중앙지붕	-494.48	x	2.00	=	-988.950	N/m	-0.989 KN/m
풍하지붕	-294.33	x	2.00	=	-588.660	N/m	-0.589 KN/m

가) 밀폐형 건축물의 주골조설계용 지붕의 설계풍압(P_r) 산정

① 지붕부(풍상)

$$P_r = q_H \times (G_{pe} \times C_{pe} - G_{pi} \times C_{pi})$$

$$= 228.962 \times (2.571 \times -0.9 - 1.3 \times 0)$$

$$= -529.8 \text{ N/m}^2$$

여기서,

q_H :	지붕면의 평균높이 H에 대한 설계속도압	=	228.962 N/m ²
G_{pe} :	지붕의 외압거스트 영향계수	=	2.571
G_{pi} :	내압거스트 영향계수	=	1.3
C_{pe} :	외압계수	=	-0.90
C_{pi} :	내압계수	=	0

② 지붕부(중앙부)

$$P_r = q_H \times (G_{pe} \times C_{pe} - G_{pi} \times C_{pi})$$

$$= 228.962 \times (2.571 \times -0.84 - 1.3 \times 0)$$

$$= -494.48 \text{ N/m}^2$$

여기서,

q_H :	지붕면의 평균높이 H에 대한 설계속도압	=	228.962 N/m ²
G_{pe} :	지붕의 외압거스트 영향계수	=	2.571
G_{pi} :	내압거스트 영향계수	=	1.3
C_{pe} :	외압계수	=	-0.84
C_{pi} :	내압계수	=	0

③ 지붕부(풍하)

$$\begin{aligned}
 P_r &= q_H \times (G_{pe} \times C_{pe} - G_{pi} \times C_{pi}) \\
 &= 228.962 \times (2.571 \times -0.5 - 1.3 \times 0) \\
 &= -294.33 \text{ N/m}^2
 \end{aligned}$$

여기서,

q_H :	지붕면의 평균높이 H에 대한 설계속도압	=	228.962 N/m ²
G_{pe} :	지붕의 외압거스트 영향계수	=	2.571
G_{pi} :	내압거스트 영향계수	=	1.3
C_{pe} :	외압계수	=	-0.50
C_{pi} :	내압계수	=	0

④ 벽체(풍상)

$$\begin{aligned}
 P_r &= q_H \times (G_{pe} \times C_{pe} - G_{pi} \times C_{pi}) \\
 &= 228.962 \times (2.571 \times 0.8 - 1.3 \times 0) \\
 &= 470.929 \text{ N/m}^2
 \end{aligned}$$

여기서,

q_H :	지붕면의 평균높이 H에 대한 설계속도압	=	228.962 N/m ²
G_{pe} :	지붕의 외압거스트 영향계수	=	2.571
G_{pi} :	내압거스트 영향계수	=	1.3
C_{pe} :	외압계수	=	0.80
C_{pi} :	내압계수	=	0

⑤ 벽체(풍하)

$$\begin{aligned}
 P_r &= q_H \times (G_{pe} \times C_{pe} - G_{pi} \times C_{pi}) \\
 &= 228.962 \times (2.571 \times -0.5 - 1.3 \times 0) \\
 &= -294.33 \text{ N/m}^2
 \end{aligned}$$

여기서,

q_H :	지붕면의 평균높이 H에 대한 설계속도압	=	228.962 N/m ²
G_{pe} :	지붕의 외압거스트 영향계수	=	2.571
G_{pi} :	내압거스트 영향계수	=	1.3
C_{pe} :	외압계수	=	-0.50
C_{pi} :	내압계수	=	0

⑥ 지붕면의 평균 높이 H에 대한 설계속도압 (q_H)

$$\begin{aligned}
 q_H &= 1/2 \times \rho \times V_H^2 = 0.5 \times 1.25 \times 366.34^2 = 228.962 \text{ N/m}^2 \\
 \text{여기서, } \rho &= 1.25 \text{ (N}\cdot\text{s}^2/\text{m}^4\text{) 공기밀도로서 균일하게 적용} \\
 V_H &= \text{지표면으로부터 지붕면 평균높이 H에 대한 설계풍속 (m/s)}
 \end{aligned}$$

◆ 설계풍속(V_H)

$$\begin{aligned}
 V_H &= V_o \times K_{Hr} \times K_{zt} \times I_w = 30 \times 0.58 \times 1 \times 1.1 = 19.14 \text{ m/s} \\
 \text{여기서, } V_o &= \text{기본풍속 (m/s)} = 30 \text{ m/s} \\
 K_{Hr} &= \text{고도분포 계수} = 0.58 \\
 K_{zt} &= \text{지형계수} = 1 \\
 I_w &= \text{중요도 계수} = 1.1
 \end{aligned}$$

◆ 기본풍속(V_o) 30 m/sec

지역		V_o (m/sec)
서울, 경기도	서울, 인천, 김포, 부천, 부평, 구리, 오산, 송탄, 평택, 시흥, 과천, 안양 수원, 안산, 군포, 의왕, 안성, 강화	30
	양평, 성남, 하남, 용인, 의정부, 동두천, 포천, 파주, 광주, 기흥, 미금, 여주, 이천, 신갈, 장호원	25
강원도	속초, 강릉, 양양, 주문진	40
	거진, 간성, 동해, 삼척, 원덕	35
	춘천, 화천, 양구, 철원, 김화, 인제, 영월, 정선, 태백, 원주, 평창, 홍천	25
충청도	장항	40
	태안, 서산, 청주, 대천, 서천, 안면도, 조치원, 천안, 홍성, 광천, 아산	35
	대전, 당진, 합덕, 성환, 진천, 증평, 온양	30
	음성, 청양, 금산, 영동, 공주, 논산, 제천, 충주, 부여, 보은, 단양, 괴산, 옥천	25
경상도	포항, 울릉도, 구룡포, 오천, 흥해, 감포	45
	부산, 기장, 장안, 연일, 외동, 가덕도	40
	울산, 통영, 거제, 고성, 진해, 김해, 마산, 창원, 양산, 진영, 울산, 평해, 안강, 경주, 남해, 삼천포	35
	건천, 가야, 삼랑진, 영덕, 사천	30
	대구, 영주, 구미, 김천, 영천, 안동, 봉화, 풍기, 예천, 청송, 영양, 하양, 경산, 청도, 남지, 의령, 추풍령, 상주, 선산, 군위, 의성, 문경, 점촌, 함창, 진주거창, 함양, 산청, 고령, 창녕, 합천, 밀양	25
전라도	군산, 미성	40
	목포, 여수, 완도, 진도, 옥구, 노화, 익산, 금일, 해남, 관산, 대덕, 도양, 고흥	35
	광주, 나주, 화순, 영암, 일노, 강진, 장흥, 보성, 별교, 순천, 광양, 무안, 함평, 영광	30
	전주, 함열, 진안, 무주, 삼례, 담양, 부안남원, 순창, 구례, 고창, 정주, 장수, 승주, 임실, 태인	25
제주도	전지역	40

◆ 고도분포 계수, K_{Hr} , K_{Zr}

$$K_{Hr} = 0.58$$

H (지표면으로부터의 높이) : 4.200 m

노풍도 구분 : A

Z_b (대기경계층의 시작 높이) : 20 m

Z_g (기준경도풍 높이) : 500 m

α (풍속의 고도분포지수) : 0.33

노풍도 구분	주변지역의 지표면 상태
A	대도시 중심부에서 10층이상의 대규모 고층건축물이 밀집해 있는 지역.
B	높이 3.5m 정도의 주택과 같은 건축물이 밀집해 있는 지역.
	중층건축물이 산재해 있는 지역.
C	높이 1.5~10m 정도의 장애물이 산재해 있는 지역.
	저층건축물이 산재해 있는 지역
D	장애물이 거의 없고, 주변 장애물의 평균높이가 1.5m 이하인 지역
	해안, 초원, 비행장.

노풍도 구분	A	B	C	D
Z_b (m)	20	15	10	5
Z_g (m)	500	400	300	250
α	0.33	0.22	0.15	0.1

여기서, Z_b = 대기경계층의 시작 높이. (m)

Z_g = 기준경도풍 높이 (m)

α = 풍속의 고도분포지수

지표면으로부터의 높이H(m)	노풍도 구분			
	A	B	C	D
$H \leq Z_b$	0.58	0.81	1	1.13
$Z_b < H \leq Z_g$	$0.22 H^\alpha$	$0.45 H^\alpha$	$0.71 H^\alpha$	$0.97 H^\alpha$

◆ 지형에 의한 풍속할증계수, K_{zt}

산, 언덕 및 경사지의 영향을 받지 않는 평탄한 지역

$K_{zt} = 1.00$

◆ 중요도계수, I_w 1.1

중요도	건축물의 용도 및 규모	I_w
(특)	- 연면적 1000 m ² 이상인 위험물저장 및 처리시설, 종합병원, 방송국, 전신전화국, 발전소, 소방서, 공공업무시설, 및 노약자시설 - 15층 이상 아파트	1.10
(1)	- 연면적이 5000 m ² 이상인 관람집회시설, 운동시설, 운수시설, 전시시설 및 판매시설 - 5층 이상인 숙박시설, 오피스텔, 기숙사 및 아파트	1.00
(2)	- 중요도 (특), (1), (3)에 해당하지 않는 건축물	0.95
(3)	- 가설 건축물, 농가 건축물, 소규모 창고	0.81

◆ 지붕 및 돔지붕의 외압 거스트 영향계수(G_{pe})

$$G_{pe} = 1 + 4r_{pe} \sqrt{B_{pe}} = 2.571$$

$$\text{여기서, } r_{pe} = 2.2 I_H^2 + 0.19 = 0.914$$

$$B_{pe} = 0.36 / [(I/H)^{0.84} \times (b/H)^{0.09}] = 0.185$$

$$I_H = \text{기준높이 H에서의 난류강도} = 0.1(H/Z_g)^{-\alpha-0.05} = 0.574$$

$$l = \text{지붕의 경간(m)} = 12.319$$

$$b = \text{하중분담 폭(m)} = 2.000$$

$$H = \text{지붕면의 평균 높이(m)} = 5.043$$

◆ 밀폐형 건축물의 구조골조용 벽면 외압계수, C_{pe}

	D/B	C_{pe}	적용 속도압
--	-----	----------	--------

풍상벽	모든값	0.8	q_z
풍하벽	0 ~ 1	-0.5	q_H
	2	-0.3	
	≥ 4	-0.2	
측 벽	모든값	-0.7	q_H

여기서, q_z = 지표면에서 높이 z 에 대한 설계속도압 (N/m^2)

q_H = 지붕면 평균높이 H 에 대한 설계속도압 (N/m^2)

B = 건축물의 풍향직각방향 치수 (m)

D = 건축물의 풍향방향 치수 (m)

$D/B = 0.308$

◆ 곡면지붕의 외압계수, C_{pe}

조 건	높이 대 경간비 $r (f/l)$	C_{pe}		
		풍상면 1/4 부분	중앙부 1/2 부분	풍하면 1/4 부분
$hr > 0$	$0 < r < 0.2$	-0.90	-0.84	-0.50
	$0.2 \leq r < 0.3$	$1.5r-0.3$	$-0.7-r$	-0.50
	$0.3 \leq r \leq 0.6$	$2.75r-0.7$	$-0.7-r$	-0.50
$hr = 0$	$0 < r \leq 0.6$	$1.4r$	$-0.7-r$	-0.50

$r = 0.14$

◆ 내압계수(C_{pi}) 및 내압거스트 영향계수(G_{pi})

밀폐의 분류	C_{pi}	G_{pi}
밀폐형 건축물	0 or -0.4	1.3
부분개방형 건축물	+0.55 또는 -0.55	1.5
탁월한 개구부가 있는 건축물	+0.7 또는 -0.7	2.0
개방형 건축물	0	0

5. 구조해석

5.1 지점경계조건

- Anchor부는 Bolt Connection으로 계획하며 Bolt의 설계를 위하여 방음터널 해석시는 Fixed로 계산된 지점 작용력 및 Flame 단면력을 사용한다.

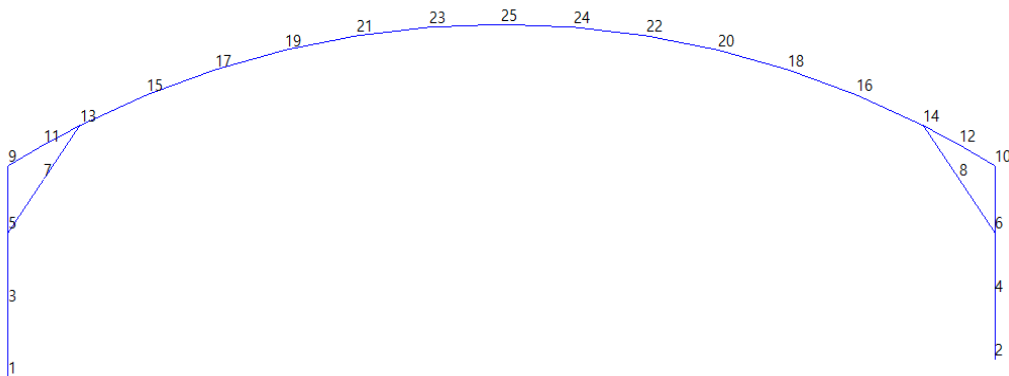
5.2 Load Combination

LC 1	D+SW	- 허용응력 증가계수 : 1.00	여기서, D:	고정하중
LC 2	D+(±T)	- 허용응력 증가계수 : 1.15	SW:	설하중
LC 3	D+(±T)+SW	- 허용응력 증가계수 : 1.15	T:	온도하중
LC 4	D+W+SW	- 허용응력 증가계수 : 1.25	W:	풍하중
LC 5	D+W+(±T)+SW	- 허용응력 증가계수 : 1.35	E:	지진하중
LC 6	D+W	- 허용응력 증가계수 : 1.25		
LC 7	D+(±T)+W	- 허용응력 증가계수 : 1.35		
LC 8	D+E	- 허용응력 증가계수 : 1.5		

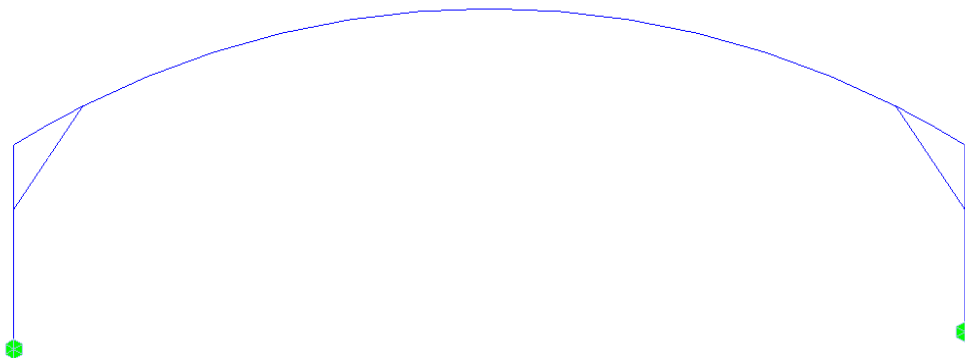
- 허용응력에 허용응력 증가계수를 곱하여 허용응력을 할증하는 대신, 작용하중을 증가계수로 나누어 부재응력 검토시 허용응력이 일정한 값이 되게 한다.

5.3 모델링

① 절점 및 부재



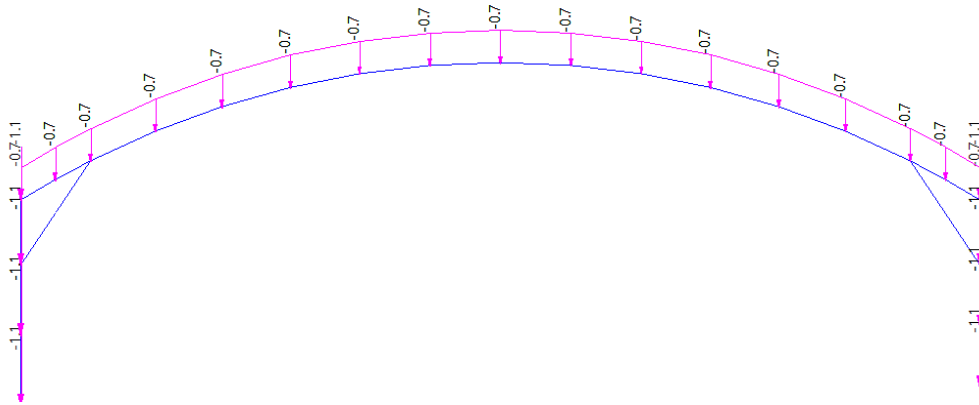
② 지점조건



5.4 하중재하

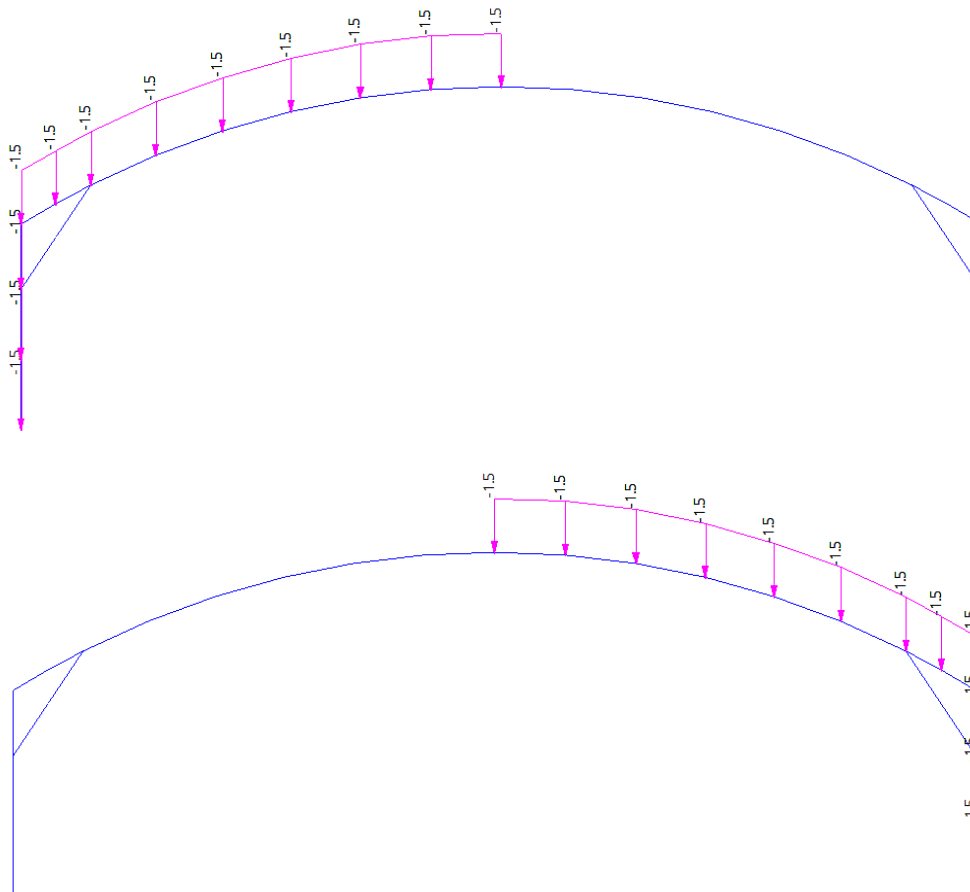
LC1: 고정하중

등분포하중

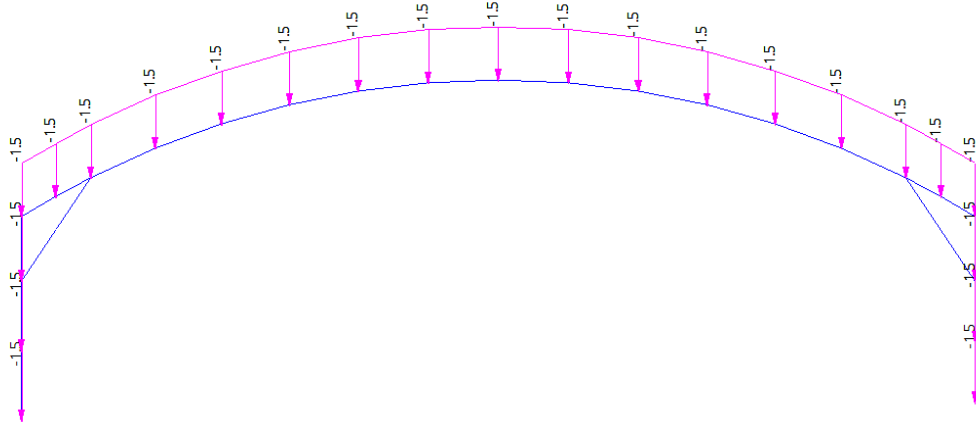


LC2: 설하중

· 편측재하

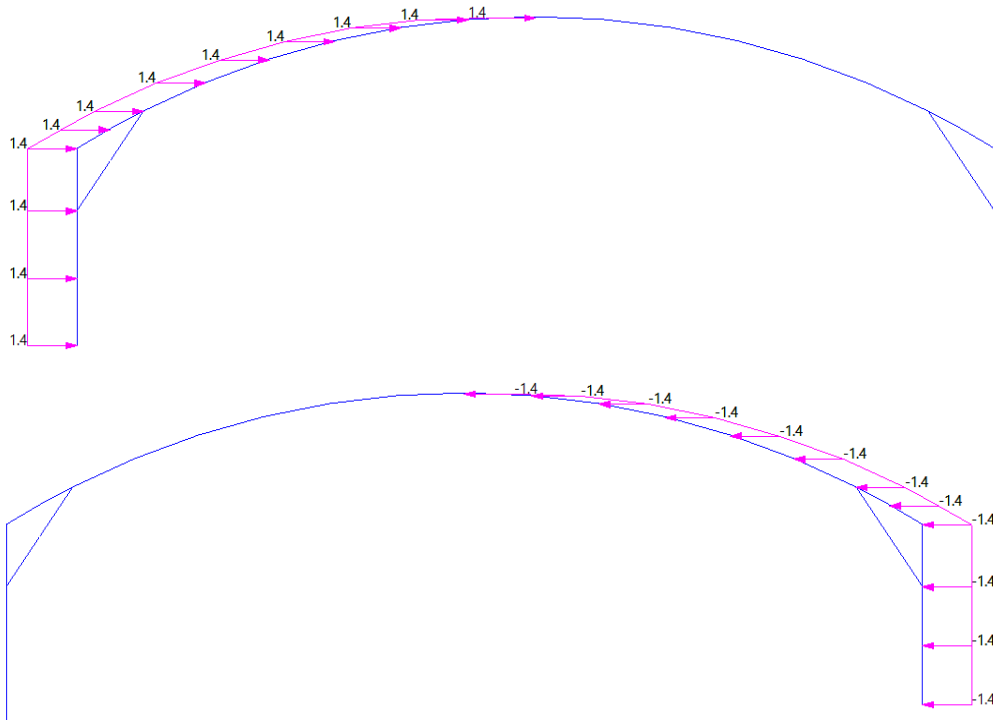


- 전체재하

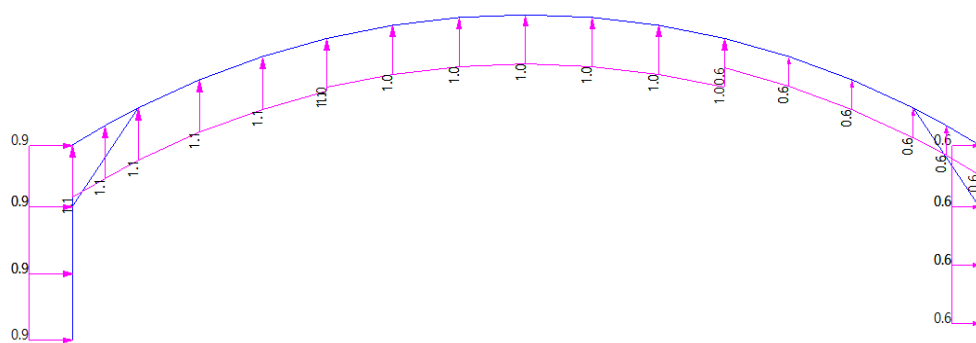


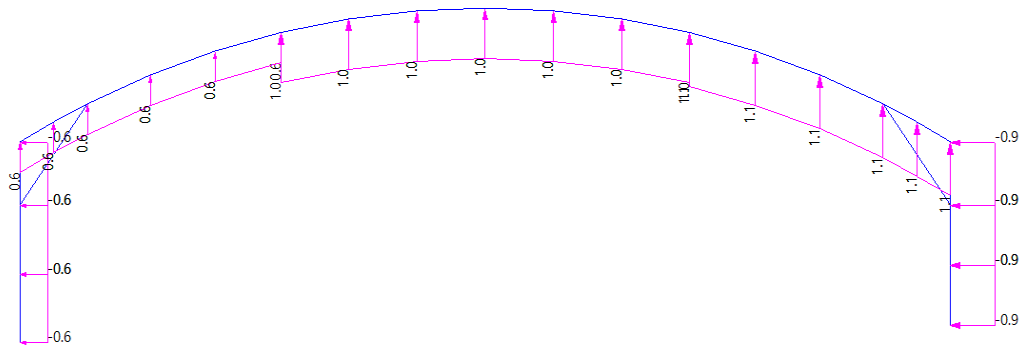
LC3: 풍하중

- 풍하중 편측재하

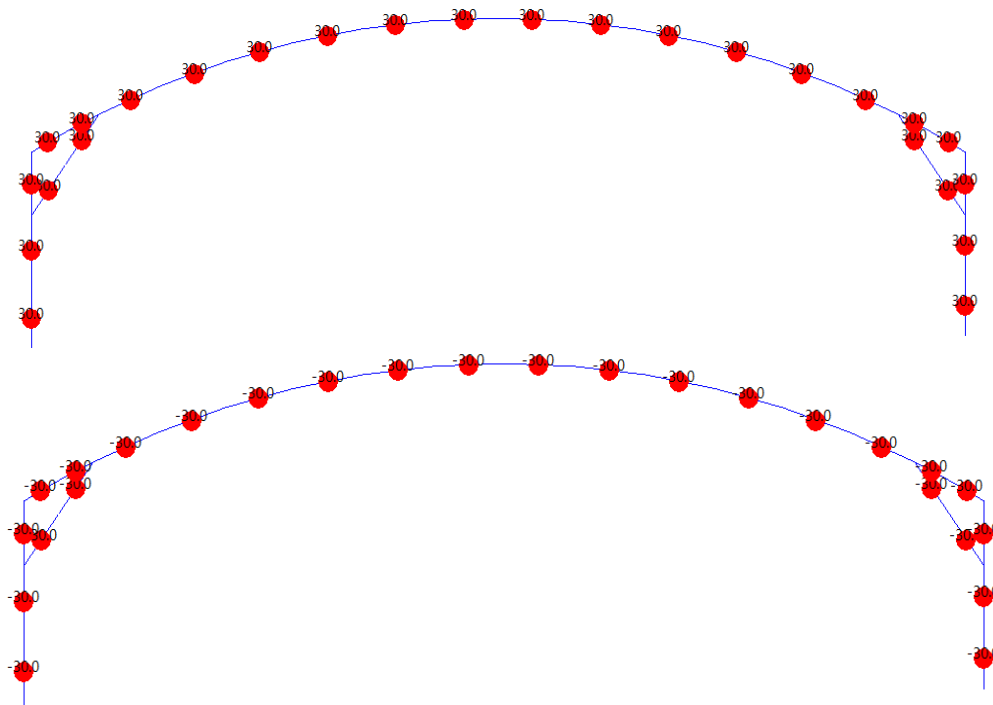


- 풍하중 편측재하(건축구조기준)

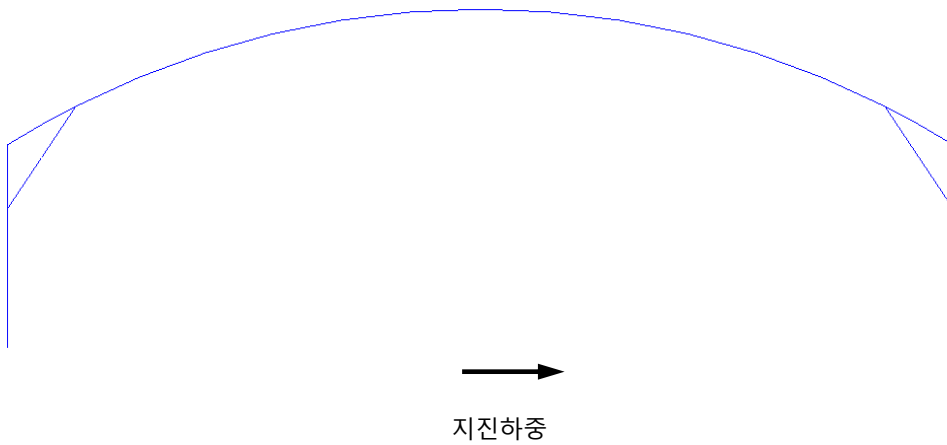




LC4 : 온도하중(+, -)



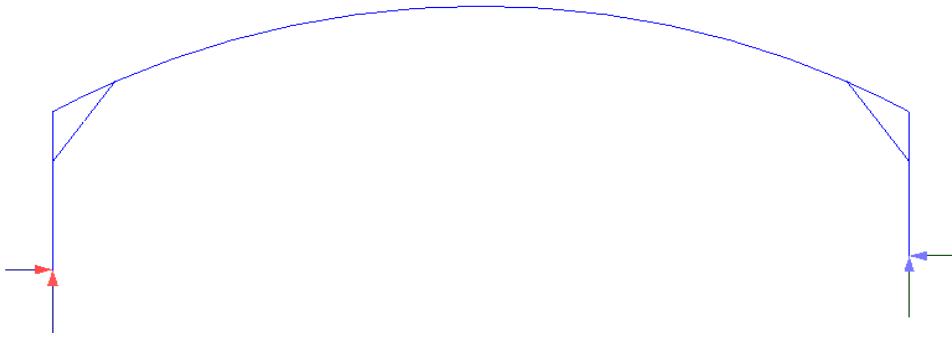
LC5 : 지진하중



지진하중

5.5 해석결과

1) REACTION

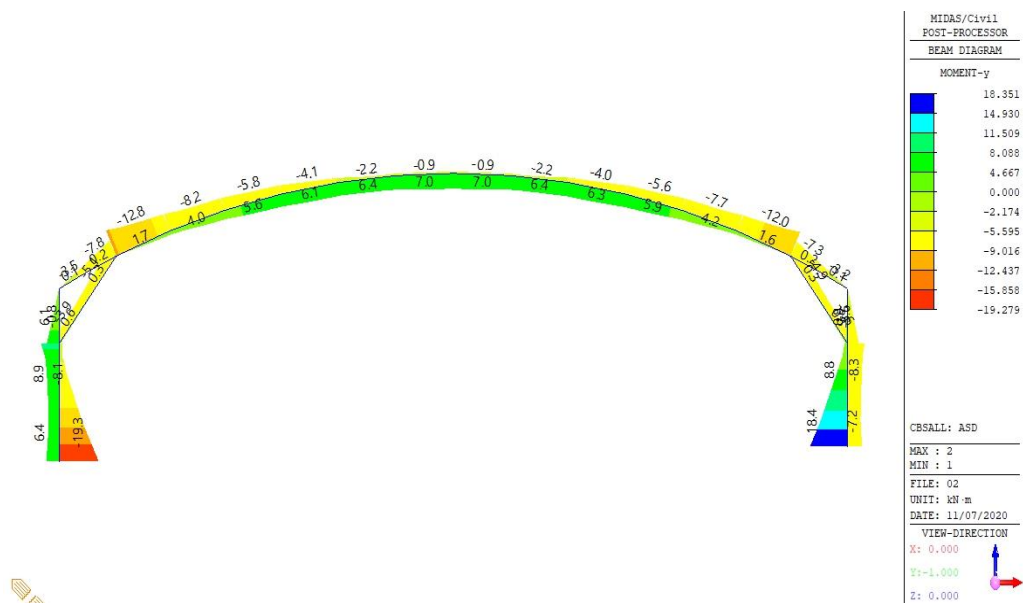


Node	Load	지점작용력			1M당 지점작용력			비고
		S(kN)	N(kN)	M(kN.m)	S(kN)	N(kN)	M(kN.m)	
1(좌측부)	고정(자중)	1.859	3.491	1.979	0.930	1.745	0.989	
2(우측부)	고정(자중)	-1.859	3.399	-1.686	-0.930	1.699	-0.843	
1(좌측부)	고정하중	3.799	7.432	4.109	1.899	3.716	2.054	
2(우측부)	고정하중	-3.799	7.142	-3.515	-1.899	3.571	-1.758	
1(좌측부)	설하중(좌)	4.146	11.567	2.404	2.073	5.784	1.202	
2(우측부)	설하중(좌)	-4.146	1.996	-6.224	-2.073	0.998	-3.112	
1(좌측부)	설하중(우)	4.025	2.038	6.435	2.012	1.019	3.217	
2(우측부)	설하중(우)	-4.025	11.193	-1.338	-2.012	5.596	-0.669	
1(좌측부)	설하중(전체)	8.171	13.605	8.839	4.085	6.802	4.419	
2(우측부)	설하중(전체)	-8.171	13.189	-7.563	-4.085	6.594	-3.781	
1(좌측부)	풍하중(좌)	-8.062	-1.288	-11.548	-4.031	-0.644	-5.774	
2(우측부)	풍하중(좌)	-4.513	1.288	-8.923	-2.256	0.644	-4.461	
1(좌측부)	풍하중(우)	3.955	1.271	8.004	1.977	0.635	4.002	
2(우측부)	풍하중(우)	8.312	-1.271	11.801	4.156	-0.635	5.901	
1(좌측부)	온도하중(+)	1.047	0.018	3.122	0.524	0.009	1.561	
2(우측부)	온도하중(+)	-1.047	-0.018	-3.111	-0.524	-0.009	-1.556	
1(좌측부)	온도하중(-)	-1.047	-0.018	-3.122	-0.524	-0.009	-1.561	
2(우측부)	온도하중(-)	1.047	0.018	3.111	0.524	0.009	1.556	
1(좌측부)	건풍하중(좌)	-7.280	-6.598	-7.061	-3.640	-3.299	-3.530	
2(우측부)	건풍하중(좌)	3.550	-4.952	3.705	1.775	-2.476	1.853	
1(좌측부)	건풍하중(우)	-3.491	-5.007	-4.389	-1.745	-2.504	-2.195	
2(우측부)	건풍하중(우)	7.144	-6.543	6.058	3.572	-3.272	3.029	
1(좌측부)	지진하중	2.741	0.678	5.244	1.371	0.339	2.622	
2(우측부)	지진하중	2.650	0.687	5.277	1.325	0.343	2.639	
1(좌측부)	지점침하(all)	0.073	0.432	2.401	0.036	0.216	1.201	
2(우측부)	지점침하(all)	0.073	-0.432	2.911	0.036	-0.216	1.455	

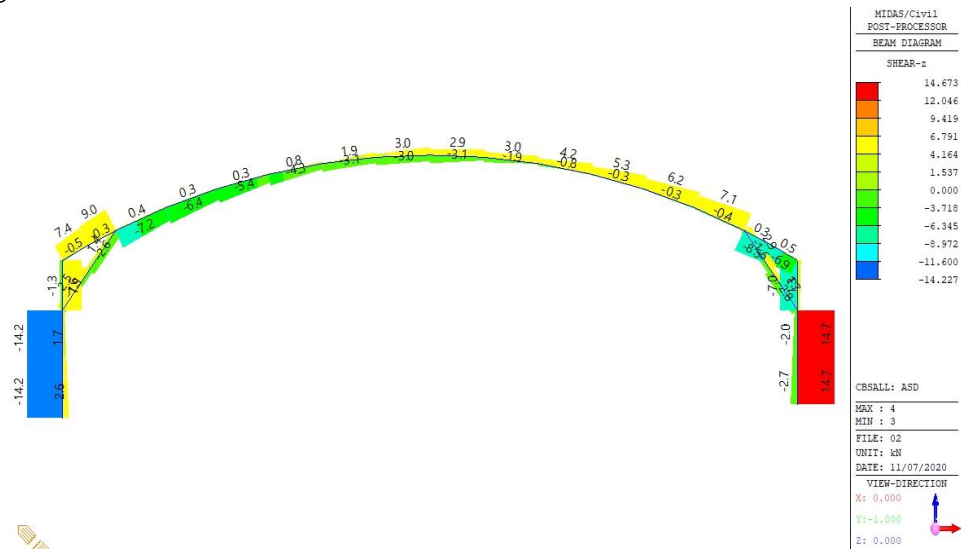
(+ 방향 : → ↓ 시계방향)

Node	Load	지점작용력		
		S(kN)	N(kN)	M(kN.m)
1(좌측부)	SLC1(all)	13.829	24.527	14.926
	SLC2(all)	6.705	10.940	9.210
	SLC3(all)	14.876	24.545	18.048
	SLC4(all)	17.784	25.798	22.930
	SLC5(all)	18.831	25.816	26.052
	SLC6(all)	9.613	12.194	14.091
	SLC7(all)	10.660	12.211	17.213
	SLC8	8.399	11.600	11.332
	최대부재력	18.831	25.816	26.052
2(우측부)	SLC1(all)	-13.829	23.729	-12.764
	SLC2(all)	-6.705	10.559	-8.313
	SLC3(all)	-14.876	23.747	-15.876
	SLC4(all)	-18.342	25.017	-21.687
	SLC5(all)	-19.389	25.035	-24.798
	SLC6(all)	-10.171	11.828	-14.124
	SLC7(all)	-11.218	11.846	-17.236
	SLC8	-3.008	11.227	0.076
	최대부재력	-19.389	25.035	-24.798
측벽부 적용부재력		19.389	25.816	26.052

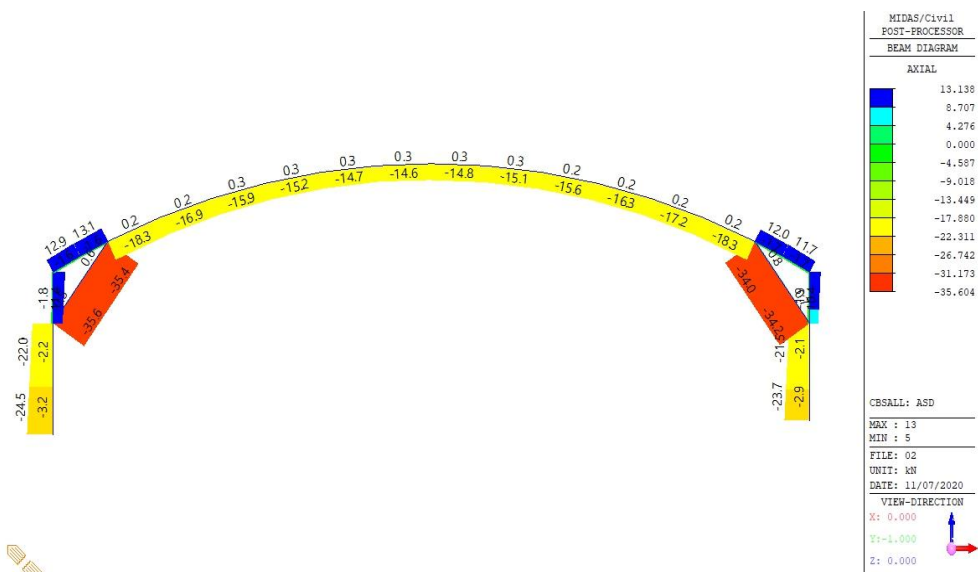
2) BMD



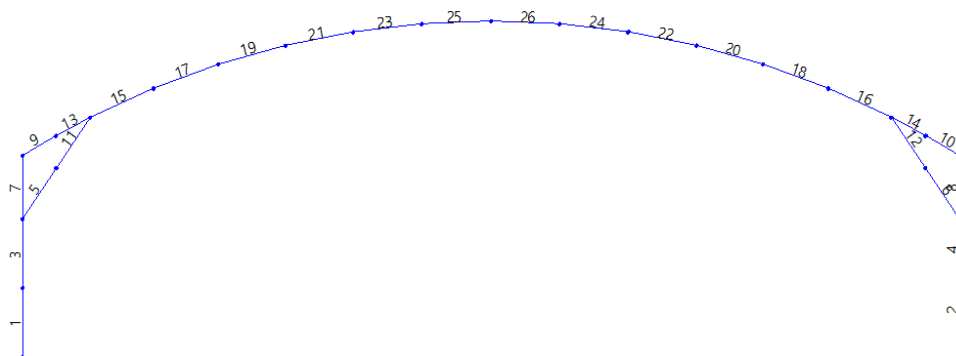
3) S.F.D



4) A.F.D



5) 단면력 집계



① 기둥부 단면력집계

외측 기둥부

ELEMENT		N(kN)	S(kN)	M(kN.M)	비 고
LC1(max)	1	-12.960	-9.680	-8.490	I[1]
LC1(max)	1	-11.690	-9.680	-0.030	J[3]
LC1(max)	2	-12.540	13.830	12.760	I[2]
LC1(max)	2	-11.430	13.830	4.040	J[4]
LC1(max)	3	-11.690	-9.680	-0.030	I[3]
LC1(max)	3	-10.420	-9.680	8.940	J[5]
LC1(max)	4	-11.430	13.830	4.040	I[4]
LC1(max)	4	-10.320	13.830	-3.340	J[6]
LC1(max)	7	9.080	7.600	6.050	I[5]
LC1(max)	7	11.450	7.600	0.080	J[9]
LC1(max)	8	8.070	-3.210	-2.520	I[6]
LC1(max)	8	10.440	-3.210	0.030	J[10]
LC2(max)	1	-9.490	-4.010	-2.580	I[1]
LC2(max)	1	-8.380	-4.010	0.880	J[3]
LC2(max)	2	-9.150	5.830	7.230	I[2]
LC2(max)	2	-8.190	5.830	2.840	J[4]
LC2(max)	3	-8.380	-4.010	0.880	I[3]
LC2(max)	3	-7.280	-4.010	4.340	J[5]
LC2(max)	4	-8.190	5.830	2.840	I[4]
LC2(max)	4	-7.230	5.830	-1.550	J[6]
LC2(max)	7	3.590	3.550	2.810	I[5]
LC2(max)	7	4.610	3.550	0.030	J[9]
LC2(max)	8	3.450	-1.380	-1.150	I[6]
LC2(max)	8	4.470	-1.380	0.010	J[10]
LC3(max)	1	-11.260	-7.510	-4.670	I[1]
LC3(max)	1	-10.160	-7.510	1.900	J[3]
LC3(max)	2	-10.890	12.940	13.810	I[2]
LC3(max)	2	-9.930	12.940	5.540	J[4]
LC3(max)	3	-10.160	-7.510	1.900	I[3]
LC3(max)	3	-9.050	-7.510	8.920	J[5]
LC3(max)	4	-9.930	12.940	5.540	I[4]
LC3(max)	4	-8.960	12.940	-1.570	J[6]
LC3(max)	7	8.500	7.470	5.930	I[5]
LC3(max)	7	10.560	7.470	0.090	J[9]

LC3(max)	8	7.840	-1.760	-1.410	I[6]
LC3(max)	8	9.900	-1.760	0.060	J[10]
LC4(max)	1	-5.090	-1.300	2.450	I[1]
LC4(max)	1	-4.070	-2.260	4.060	J[3]
LC4(max)	2	-4.790	14.670	17.350	I[2]
LC4(max)	2	-3.910	14.670	7.650	J[4]
LC4(max)	3	-4.070	-2.260	4.060	I[3]
LC4(max)	3	-3.060	-3.220	6.930	J[5]
LC4(max)	4	-3.910	14.670	7.650	I[4]
LC4(max)	4	-3.020	14.670	0.230	J[6]
LC4(max)	7	8.290	5.840	4.470	I[5]
LC4(max)	7	10.190	5.640	0.180	J[9]
LC4(max)	8	6.940	-0.440	-0.090	I[6]
LC4(max)	8	8.840	0.160	0.030	J[10]
LC5(max)	1	-4.700	-0.420	4.570	I[1]
LC5(max)	1	-3.760	-1.320	5.400	J[3]
LC5(max)	2	-4.420	14.350	18.350	I[2]
LC5(max)	2	-3.600	14.350	8.800	J[4]
LC5(max)	3	-3.760	-1.320	5.400	I[3]
LC5(max)	3	-2.820	-2.210	7.380	J[5]
LC5(max)	4	-3.600	14.350	8.800	I[4]
LC5(max)	4	-2.780	14.350	1.350	J[6]
LC5(max)	7	8.180	6.130	4.700	I[5]
LC5(max)	7	9.940	5.950	0.190	J[9]
LC5(max)	8	7.110	0.470	0.590	I[6]
LC5(max)	8	8.870	1.020	0.050	J[10]
LC6(max)	1	-3.460	1.920	4.370	I[1]
LC6(max)	1	-2.440	0.960	3.130	J[3]
LC6(max)	2	-3.200	8.140	11.300	I[2]
LC6(max)	2	-2.310	8.140	5.170	J[4]
LC6(max)	3	-2.440	0.960	3.130	I[3]
LC6(max)	3	-1.430	0.000	2.720	J[5]
LC6(max)	4	-2.310	8.140	5.170	I[4]
LC6(max)	4	-1.430	8.140	0.250	J[6]
LC6(max)	7	3.780	2.230	1.600	I[5]
LC6(max)	7	4.720	2.040	0.120	J[9]
LC6(max)	8	2.900	-0.090	0.150	I[6]

LC6(max)	8	3.840	0.510	-0.020	J[10]
LC7(max)	1	-3.190	2.550	6.350	I[1]
LC7(max)	1	-2.250	1.660	4.530	J[3]
LC7(max)	2	-2.940	8.300	12.750	I[2]
LC7(max)	2	-2.130	8.300	6.500	J[4]
LC7(max)	3	-2.250	1.660	4.530	I[3]
LC7(max)	3	-1.310	0.770	3.490	J[5]
LC7(max)	4	-2.130	8.300	6.500	I[4]
LC7(max)	4	-1.310	8.300	1.370	J[6]
LC7(max)	7	4.010	2.790	2.050	I[5]
LC7(max)	7	4.880	2.620	0.130	J[9]
LC7(max)	8	3.380	0.790	0.810	I[6]
LC7(max)	8	4.250	1.350	0.010	J[10]
LC8	1	-6.860	-1.950	-0.560	I[1]
LC8	1	-6.010	-1.950	1.160	J[3]
LC8	2	-6.600	5.570	7.020	I[2]
LC8	2	-5.860	5.570	2.870	J[4]
LC8	3	-6.020	-2.010	1.160	I[3]
LC8	3	-5.170	-2.010	3.070	J[5]
LC8	4	-5.860	5.530	2.870	I[4]
LC8	4	-5.120	5.530	-1.190	J[6]
LC8	7	3.280	2.410	1.940	I[5]
LC8	7	4.060	2.410	0.040	J[9]
LC8	8	2.600	-1.210	-0.970	I[6]
LC8	8	3.390	-1.210	0.000	J[10]
LC1(min)	1	-24.530	-13.830	-14.930	I[1]
LC1(min)	1	-21.960	-13.830	-4.170	J[3]
LC1(min)	2	-23.730	9.680	6.540	I[2]
LC1(min)	2	-21.480	9.680	-0.750	J[4]
LC1(min)	3	-21.960	-13.830	-4.170	I[3]
LC1(min)	3	-19.380	-13.830	4.190	J[5]
LC1(min)	4	-21.480	9.680	-0.750	I[4]
LC1(min)	4	-19.240	9.680	-8.060	J[6]
LC1(min)	7	6.160	3.940	3.070	I[5]
LC1(min)	7	7.530	3.940	-0.060	J[9]
LC1(min)	8	5.470	-6.830	-5.480	I[6]
LC1(min)	8	6.640	-6.830	-0.100	J[10]

LC2(min)	1	-9.520	-5.830	-8.010	I[1]
LC2(min)	1	-8.410	-5.830	-2.980	J[3]
LC2(min)	2	-9.190	4.010	1.820	I[2]
LC2(min)	2	-8.220	4.010	-1.200	J[4]
LC2(min)	3	-8.410	-5.830	-2.980	I[3]
LC2(min)	3	-7.310	-5.830	2.060	J[5]
LC2(min)	4	-8.220	4.010	-1.200	I[4]
LC2(min)	4	-7.260	4.010	-4.220	J[6]
LC2(min)	7	2.390	1.820	1.480	I[5]
LC2(min)	7	3.410	1.820	-0.010	J[9]
LC2(min)	8	1.820	-3.440	-2.730	I[6]
LC2(min)	8	2.830	-3.440	-0.050	J[10]
LC3(min)	1	-21.350	-12.940	-15.700	I[1]
LC3(min)	1	-19.120	-12.940	-5.550	J[3]
LC3(min)	2	-20.660	7.510	2.980	I[2]
LC3(min)	2	-18.710	7.510	-2.670	J[4]
LC3(min)	3	-19.120	-12.940	-5.550	I[3]
LC3(min)	3	-16.880	-12.940	2.500	J[5]
LC3(min)	4	-18.710	7.510	-2.670	I[4]
LC3(min)	4	-16.750	7.510	-8.350	J[6]
LC3(min)	7	4.760	2.570	2.010	I[5]
LC3(min)	7	5.950	2.570	-0.080	J[9]
LC3(min)	8	3.940	-6.970	-5.550	I[6]
LC3(min)	8	4.960	-6.970	-0.120	J[10]
LC4(min)	1	-20.640	-14.230	-18.340	I[1]
LC4(min)	1	-18.580	-14.230	-7.010	J[3]
LC4(min)	2	-20.010	1.100	-4.210	I[2]
LC4(min)	2	-18.220	1.940	-5.350	J[4]
LC4(min)	3	-18.580	-14.230	-7.010	I[3]
LC4(min)	3	-16.520	-14.230	0.070	J[5]
LC4(min)	4	-18.220	1.940	-5.350	I[4]
LC4(min)	4	-16.420	2.780	-7.150	J[6]
LC4(min)	7	0.810	0.700	0.280	I[5]
LC4(min)	7	1.910	0.100	-0.070	J[9]
LC4(min)	8	0.650	-5.970	-4.520	I[6]
LC4(min)	8	1.590	-5.080	-0.170	J[10]
LC5(min)	1	-19.100	-13.930	-19.280	I[1]

LC5(min)	1	-17.200	-13.930	-8.120	J[3]
LC5(min)	2	-18.530	0.240	-6.200	I[2]
LC5(min)	2	-16.860	1.020	-6.670	J[4]
LC5(min)	3	-17.200	-13.930	-8.120	I[3]
LC5(min)	3	-15.300	-13.930	-0.910	J[5]
LC5(min)	4	-16.860	1.020	-6.670	I[4]
LC5(min)	4	-15.200	1.800	-7.750	J[6]
LC5(min)	7	0.240	-0.080	-0.300	I[5]
LC5(min)	7	1.250	-0.640	-0.090	J[9]
LC5(min)	8	-0.090	-6.390	-4.850	I[6]
LC5(min)	8	0.770	-5.570	-0.180	J[10]
LC6(min)	1	-9.750	-7.690	-11.270	I[1]
LC6(min)	1	-8.740	-7.690	-4.640	J[3]
LC6(min)	2	-9.460	-2.120	-5.280	I[2]
LC6(min)	2	-8.580	-1.280	-4.000	J[4]
LC6(min)	3	-8.740	-7.690	-4.640	I[3]
LC6(min)	3	-7.720	-7.690	-0.340	J[5]
LC6(min)	4	-8.580	-1.280	-4.000	I[4]
LC6(min)	4	-7.690	-0.440	-3.350	J[6]
LC6(min)	7	-1.360	0.020	-0.200	I[5]
LC6(min)	7	-0.430	-0.580	-0.020	J[9]
LC6(min)	8	-1.300	-2.720	-1.920	I[6]
LC6(min)	8	-0.370	-1.830	-0.110	J[10]
LC7(min)	1	-9.040	-7.890	-12.740	I[1]
LC7(min)	1	-8.100	-7.890	-5.930	J[3]
LC7(min)	2	-8.770	-2.740	-7.190	I[2]
LC7(min)	2	-7.950	-1.960	-5.420	J[4]
LC7(min)	3	-8.100	-7.890	-5.930	I[3]
LC7(min)	3	-7.160	-7.890	-1.290	J[5]
LC7(min)	4	-7.950	-1.960	-5.420	I[4]
LC7(min)	4	-7.130	-1.180	-4.240	J[6]
LC7(min)	7	-1.770	-0.710	-0.750	I[5]
LC7(min)	7	-0.910	-1.270	-0.030	J[9]
LC7(min)	8	-1.900	-3.390	-2.450	I[6]
LC7(min)	8	-1.040	-2.570	-0.130	J[10]
max	2	-10.890	13.830	13.810	
min	2	-19.100	-13.935	-19.280	

② 지붕부 단면력집계

ELEMENT		N(kN)	S(kN)	M(kN.M)	비 고
LC1(max)	9	12.240	6.240	0.060	I[9]
LC1(max)	9	12.870	7.370	-2.400	J[11]
LC1(max)	10	11.710	-4.670	-2.220	I[12]
LC1(max)	10	11.070	-3.830	0.030	J[10]
LC1(max)	13	12.550	7.900	-2.400	I[11]
LC1(max)	13	13.140	9.050	-5.240	J[13]
LC1(max)	14	11.990	-5.390	-4.840	I[14]
LC1(max)	14	11.410	-4.930	-2.220	J[12]
LC1(max)	15	-11.950	-3.160	-8.940	I[13]
LC1(max)	15	-11.580	-2.300	-3.590	J[15]
LC1(max)	16	-11.650	4.960	-3.170	I[16]
LC1(max)	16	-12.030	7.070	-8.360	J[14]
LC1(max)	17	-11.370	-3.160	-3.590	I[15]
LC1(max)	17	-11.060	-2.280	0.680	J[17]
LC1(max)	18	-11.140	4.060	1.040	I[18]
LC1(max)	18	-11.460	6.240	-3.170	J[16]
LC1(max)	19	-10.860	-3.100	0.680	I[17]
LC1(max)	19	-10.620	-2.200	3.720	J[19]
LC1(max)	20	-10.610	3.030	4.030	I[20]
LC1(max)	20	-10.950	5.260	1.040	J[18]
LC1(max)	21	-10.420	-2.990	3.720	I[19]
LC1(max)	21	-10.130	-0.770	5.460	J[21]
LC1(max)	22	-9.990	1.950	5.690	I[22]
LC1(max)	22	-10.420	4.150	4.030	J[20]
LC1(max)	23	-10.040	-1.530	5.460	I[21]
LC1(max)	23	-9.780	0.760	6.150	J[23]
LC1(max)	24	-9.650	1.780	6.280	I[24]
LC1(max)	24	-9.910	2.960	5.690	J[22]
LC1(max)	25	-9.790	0.030	6.150	I[23]
LC1(max)	25	-9.720	2.330	6.800	J[25]
LC1(max)	26	-9.600	1.600	6.800	I[25]
LC1(max)	26	-9.680	2.530	6.280	J[24]
LC2(max)	9	5.350	2.270	0.010	I[9]
LC2(max)	9	5.580	2.670	-1.180	J[11]
LC2(max)	10	5.420	-2.190	-1.060	I[12]

LC2(max)	10	5.190	-1.790	0.010	J[10]
LC2(max)	13	5.460	2.900	-1.180	I[11]
LC2(max)	13	5.670	3.310	-2.610	J[13]
LC2(max)	14	5.510	-2.710	-2.330	I[14]
LC2(max)	14	5.300	-2.300	-1.060	J[12]
LC2(max)	15	-5.640	-2.180	-4.470	I[13]
LC2(max)	15	-5.310	-1.430	-2.200	J[15]
LC2(max)	16	-5.310	2.120	-2.110	I[16]
LC2(max)	16	-5.630	2.860	-4.050	J[14]
LC2(max)	17	-5.140	-1.950	-2.200	I[15]
LC2(max)	17	-4.870	-1.180	-0.250	J[17]
LC2(max)	18	-4.860	1.740	-0.180	I[18]
LC2(max)	18	-5.130	2.510	-2.110	J[16]
LC2(max)	19	-4.720	-1.670	-0.250	I[17]
LC2(max)	19	-4.510	-0.890	1.310	J[19]
LC2(max)	20	-4.510	1.310	1.370	I[20]
LC2(max)	20	-4.720	2.100	-0.180	J[18]
LC2(max)	21	-4.400	-1.360	1.310	I[19]
LC2(max)	21	-4.250	-0.550	2.460	J[21]
LC2(max)	22	-4.240	0.840	2.500	I[22]
LC2(max)	22	-4.400	1.650	1.370	J[20]
LC2(max)	23	-4.170	-1.010	2.460	I[21]
LC2(max)	23	-4.080	-0.200	3.170	J[23]
LC2(max)	24	-4.080	0.350	3.180	I[24]
LC2(max)	24	-4.170	1.160	2.500	J[22]
LC2(max)	25	-4.040	-0.640	3.170	I[23]
LC2(max)	25	-4.010	0.180	3.410	J[25]
LC2(max)	26	-4.010	-0.160	3.410	I[25]
LC2(max)	26	-4.040	0.650	3.180	J[24]
LC3(max)	9	11.690	5.530	0.080	I[9]
LC3(max)	9	12.250	6.510	-2.060	J[11]
LC3(max)	10	11.480	-3.850	-1.860	I[12]
LC3(max)	10	10.930	-3.120	0.060	J[10]
LC3(max)	13	11.960	7.020	-2.060	I[11]
LC3(max)	13	12.470	8.010	-4.460	J[13]
LC3(max)	14	11.720	-4.430	-4.000	I[14]
LC3(max)	14	11.210	-4.030	-1.860	J[12]
LC3(max)	15	-9.560	-2.400	-7.770	I[13]

LC3(max)	15	-9.230	-1.650	-2.800	J[15]
LC3(max)	16	-9.310	4.690	-2.570	I[16]
LC3(max)	16	-9.630	6.530	-7.110	J[14]
LC3(max)	17	-9.030	-2.470	-2.800	I[15]
LC3(max)	17	-8.760	-1.700	1.170	J[17]
LC3(max)	18	-8.840	3.850	1.380	I[18]
LC3(max)	18	-9.110	5.740	-2.570	J[16]
LC3(max)	19	-8.560	-2.480	1.170	I[17]
LC3(max)	19	-8.350	-1.690	4.020	J[19]
LC3(max)	20	-8.360	2.890	4.210	I[20]
LC3(max)	20	-8.650	4.820	1.380	J[18]
LC3(max)	21	-8.170	-2.440	4.020	I[19]
LC3(max)	21	-7.910	-0.520	5.670	J[21]
LC3(max)	22	-7.800	1.880	5.820	I[22]
LC3(max)	22	-8.170	3.800	4.210	J[20]
LC3(max)	23	-7.830	-1.250	5.670	I[21]
LC3(max)	23	-7.600	0.750	6.360	J[23]
LC3(max)	24	-7.490	1.670	6.440	I[24]
LC3(max)	24	-7.720	2.700	5.820	J[22]
LC3(max)	25	-7.600	0.040	6.360	I[23]
LC3(max)	25	-7.550	2.050	6.930	J[25]
LC3(max)	26	-7.440	1.440	6.930	I[25]
LC3(max)	26	-7.520	2.250	6.440	J[24]
LC4(max)	9	9.920	6.110	0.070	I[9]
LC4(max)	9	10.430	7.010	-0.780	J[11]
LC4(max)	10	8.700	-1.450	-0.710	I[12]
LC4(max)	10	8.190	-0.850	0.030	J[10]
LC4(max)	13	10.120	7.440	-0.780	I[11]
LC4(max)	13	10.590	8.350	-1.610	J[13]
LC4(max)	14	8.890	-1.470	-1.460	I[14]
LC4(max)	14	8.420	-1.480	-0.710	J[12]
LC4(max)	15	-4.200	-0.060	-2.960	I[13]
LC4(max)	15	-4.200	-0.070	1.010	J[15]
LC4(max)	16	-4.230	3.810	1.170	I[16]
LC4(max)	16	-4.220	5.910	-2.760	J[14]
LC4(max)	17	-4.190	-0.390	1.010	I[15]
LC4(max)	17	-4.190	-0.410	3.830	J[17]
LC4(max)	18	-4.220	3.020	4.100	I[18]

LC4(max)	18	-4.210	4.770	1.170	J[16]
LC4(max)	19	-4.150	-0.720	3.830	I[17]
LC4(max)	19	-4.070	-0.620	5.350	J[19]
LC4(max)	20	-4.110	2.480	5.690	I[20]
LC4(max)	20	-4.180	4.260	4.100	J[18]
LC4(max)	21	-4.010	-0.930	5.350	I[19]
LC4(max)	21	-3.910	0.690	5.640	J[21]
LC4(max)	22	-3.830	1.890	6.010	I[22]
LC4(max)	22	-4.040	3.660	5.690	J[20]
LC4(max)	23	-3.900	-0.020	5.640	I[21]
LC4(max)	23	-3.780	1.920	5.050	J[23]
LC4(max)	24	-3.690	2.050	5.400	I[24]
LC4(max)	24	-3.820	2.990	6.010	J[22]
LC4(max)	25	-3.820	1.150	5.050	I[23]
LC4(max)	25	-3.800	3.030	4.790	J[25]
LC4(max)	26	-3.700	2.170	4.790	I[25]
LC4(max)	26	-3.750	2.920	5.400	J[24]
LC5(max)	9	10.070	5.730	0.090	I[9]
LC5(max)	9	10.530	6.560	-0.690	J[11]
LC5(max)	10	9.150	-1.170	-0.590	I[12]
LC5(max)	10	8.680	-0.610	0.050	J[10]
LC5(max)	13	10.250	7.000	-0.690	I[11]
LC5(max)	13	10.680	7.850	-1.400	J[13]
LC5(max)	14	9.320	-1.130	-1.170	I[14]
LC5(max)	14	8.890	-1.140	-0.590	J[12]
LC5(max)	15	-3.170	0.250	-2.730	I[13]
LC5(max)	15	-3.170	0.230	1.210	J[15]
LC5(max)	16	-3.210	3.840	1.240	I[16]
LC5(max)	16	-3.200	5.790	-2.420	J[14]
LC5(max)	17	-3.140	-0.120	1.210	I[15]
LC5(max)	17	-3.140	-0.130	4.040	J[17]
LC5(max)	18	-3.180	3.070	4.190	I[18]
LC5(max)	18	-3.170	4.680	1.240	J[16]
LC5(max)	19	-3.090	-0.480	4.040	I[17]
LC5(max)	19	-3.010	-0.380	5.620	J[19]
LC5(max)	20	-3.060	2.510	5.860	I[20]
LC5(max)	20	-3.120	4.160	4.190	J[18]
LC5(max)	21	-2.940	-0.730	5.620	I[19]

LC5(max)	21	-2.850	0.770	6.000	J[21]
LC5(max)	22	-2.780	1.910	6.300	I[22]
LC5(max)	22	-2.980	3.540	5.860	J[20]
LC5(max)	23	-2.840	0.050	6.000	I[21]
LC5(max)	23	-2.720	1.850	5.530	J[23]
LC5(max)	24	-2.650	1.990	5.820	I[24]
LC5(max)	24	-2.760	2.860	6.300	J[22]
LC5(max)	25	-2.760	1.080	5.530	I[23]
LC5(max)	25	-2.740	2.820	5.300	J[25]
LC5(max)	26	-2.650	2.050	5.300	I[25]
LC5(max)	26	-2.690	2.740	5.820	J[24]
LC6(max)	9	4.090	3.110	0.020	I[9]
LC6(max)	9	4.300	3.480	0.030	J[11]
LC6(max)	10	3.120	0.080	0.020	I[12]
LC6(max)	10	2.910	0.380	-0.020	J[10]
LC6(max)	13	4.150	3.650	0.030	I[11]
LC6(max)	13	4.340	4.030	0.100	J[13]
LC6(max)	14	3.170	0.120	0.080	I[14]
LC6(max)	14	2.980	0.110	0.020	J[12]
LC6(max)	15	-0.590	0.150	0.080	I[13]
LC6(max)	15	-0.600	0.130	1.560	J[15]
LC6(max)	16	-0.550	1.440	1.600	I[16]
LC6(max)	16	-0.540	2.530	0.060	J[14]
LC6(max)	17	-0.610	0.080	1.560	I[15]
LC6(max)	17	-0.620	0.060	2.520	J[17]
LC6(max)	18	-0.560	1.080	2.670	I[18]
LC6(max)	18	-0.550	1.790	1.600	J[16]
LC6(max)	19	-0.620	0.020	2.520	I[17]
LC6(max)	19	-0.530	0.120	2.860	J[19]
LC6(max)	20	-0.570	1.030	3.080	I[20]
LC6(max)	20	-0.560	1.760	2.670	J[18]
LC6(max)	21	-0.540	0.070	2.860	I[19]
LC6(max)	21	-0.540	0.650	2.690	J[21]
LC6(max)	22	-0.560	0.940	2.950	I[22]
LC6(max)	22	-0.570	1.680	3.080	J[20]
LC6(max)	23	-0.540	0.200	2.690	I[21]
LC6(max)	23	-0.540	1.060	2.120	J[23]
LC6(max)	24	-0.550	0.830	2.400	I[24]

LC6(max)	24	-0.560	1.580	2.950	J[22]
LC6(max)	25	-0.540	0.520	2.120	I[23]
LC6(max)	25	-0.540	1.310	1.550	J[25]
LC6(max)	26	-0.550	0.700	1.550	I[25]
LC6(max)	26	-0.550	1.450	2.400	J[24]
LC7(max)	9	4.670	2.960	0.030	I[9]
LC7(max)	9	4.860	3.300	0.050	J[11]
LC7(max)	10	3.990	0.250	0.080	I[12]
LC7(max)	10	3.800	0.530	0.010	J[10]
LC7(max)	13	4.720	3.500	0.050	I[11]
LC7(max)	13	4.900	3.850	0.180	J[13]
LC7(max)	14	4.030	0.330	0.250	I[14]
LC7(max)	14	3.860	0.320	0.080	J[12]
LC7(max)	15	0.170	0.430	0.070	I[13]
LC7(max)	15	0.160	0.420	1.720	J[15]
LC7(max)	16	0.200	1.650	1.640	I[16]
LC7(max)	16	0.210	2.660	0.190	J[14]
LC7(max)	17	0.170	0.320	1.720	I[15]
LC7(max)	17	0.170	0.300	2.830	J[17]
LC7(max)	18	0.210	1.270	2.870	I[18]
LC7(max)	18	0.210	1.930	1.640	J[16]
LC7(max)	19	0.180	0.210	2.830	I[17]
LC7(max)	19	0.260	0.300	3.310	J[19]
LC7(max)	20	0.220	1.170	3.450	I[20]
LC7(max)	20	0.220	1.840	2.870	J[18]
LC7(max)	21	0.260	0.200	3.310	I[19]
LC7(max)	21	0.270	0.740	3.270	J[21]
LC7(max)	22	0.240	1.030	3.470	I[22]
LC7(max)	22	0.240	1.710	3.450	J[20]
LC7(max)	23	0.270	0.260	3.270	I[21]
LC7(max)	23	0.270	1.050	2.810	J[23]
LC7(max)	24	0.260	0.870	3.050	I[24]
LC7(max)	24	0.250	1.560	3.470	J[22]
LC7(max)	25	0.270	0.500	2.810	I[23]
LC7(max)	25	0.270	1.230	2.300	J[25]
LC7(max)	26	0.270	0.690	2.300	I[25]
LC7(max)	26	0.270	1.380	3.050	J[24]
LC8	9	4.010	2.460	0.030	I[9]

LC8	9	4.180	2.760	-0.570	J[11]
LC8	10	3.760	-1.290	-0.610	I[12]
LC8	10	3.590	-0.980	0.000	J[10]
LC8	13	4.150	2.860	-0.570	I[11]
LC8	13	4.310	3.180	-1.350	J[13]
LC8	14	3.850	-1.790	-1.440	I[14]
LC8	14	3.690	-1.480	-0.610	J[12]
LC8	15	-3.830	-1.510	-2.040	I[13]
LC8	15	-3.580	-0.940	-0.310	J[15]
LC8	16	-3.610	1.900	-0.340	I[16]
LC8	16	-3.870	2.470	-2.170	J[14]
LC8	17	-3.620	-1.430	-0.310	I[15]
LC8	17	-3.410	-0.840	1.030	J[17]
LC8	18	-3.430	1.450	1.100	I[18]
LC8	18	-3.640	2.050	-0.340	J[16]
LC8	19	-3.500	-1.150	1.030	I[17]
LC8	19	-3.340	-0.550	1.890	J[19]
LC8	20	-3.340	1.050	2.070	I[20]
LC8	20	-3.500	1.660	1.100	J[18]
LC8	21	-3.470	-0.700	1.890	I[19]
LC8	21	-3.360	-0.080	2.280	J[21]
LC8	22	-3.340	0.860	2.530	I[22]
LC8	22	-3.460	1.470	2.070	J[20]
LC8	23	-3.540	-0.210	2.280	I[21]
LC8	23	-3.470	0.420	2.190	J[23]
LC8	24	-3.440	0.730	2.490	I[24]
LC8	24	-3.510	1.350	2.530	J[22]
LC8	25	-3.670	0.230	2.190	I[23]
LC8	25	-3.640	0.860	2.000	J[25]
LC8	26	-3.620	0.540	2.000	I[25]
LC8	26	-3.640	1.170	2.490	J[24]
LC1(min)	9	7.130	4.120	-0.080	I[9]
LC1(min)	9	7.390	5.080	-3.460	J[11]
LC1(min)	10	6.320	-6.870	-3.240	I[12]
LC1(min)	10	6.060	-5.750	-0.100	J[10]
LC1(min)	13	7.170	5.390	-3.460	I[11]
LC1(min)	13	7.400	5.850	-7.750	J[13]
LC1(min)	14	6.350	-8.500	-7.260	I[14]

LC1(min)	14	6.120	-7.350	-3.240	J[12]
LC1(min)	15	-18.250	-7.200	-12.760	I[13]
LC1(min)	15	-17.330	-5.090	-7.180	J[15]
LC1(min)	16	-17.270	2.160	-6.540	I[16]
LC1(min)	16	-18.190	3.020	-12.000	J[14]
LC1(min)	17	-16.900	-6.370	-7.180	I[15]
LC1(min)	17	-16.130	-4.200	-4.010	J[17]
LC1(min)	18	-16.080	2.140	-3.660	I[18]
LC1(min)	18	-16.850	3.030	-6.540	J[16]
LC1(min)	19	-15.770	-5.390	-4.010	I[17]
LC1(min)	19	-15.170	-3.170	-1.610	J[19]
LC1(min)	20	-15.130	2.070	-1.370	I[20]
LC1(min)	20	-15.730	2.970	-3.660	J[18]
LC1(min)	21	-14.890	-4.290	-1.610	I[19]
LC1(min)	21	-14.460	-2.070	0.690	J[21]
LC1(min)	22	-14.430	0.700	0.810	I[22]
LC1(min)	22	-14.860	2.870	-1.370	J[20]
LC1(min)	23	-14.270	-3.100	0.690	I[21]
LC1(min)	23	-14.010	-1.900	2.830	J[23]
LC1(min)	24	-13.990	-0.850	2.860	I[24]
LC1(min)	24	-14.250	1.450	0.810	J[22]
LC1(min)	25	-13.910	-2.640	2.830	I[23]
LC1(min)	25	-13.820	-1.700	4.730	J[25]
LC1(min)	26	-13.820	-2.430	4.730	I[25]
LC1(min)	26	-13.900	-0.120	2.860	J[24]
LC2(min)	9	3.260	2.080	-0.030	I[9]
LC2(min)	9	3.490	2.470	-1.240	J[11]
LC2(min)	10	2.820	-2.600	-1.210	I[12]
LC2(min)	10	2.590	-2.210	-0.050	J[10]
LC2(min)	13	3.380	2.620	-1.240	I[11]
LC2(min)	13	3.590	3.020	-2.810	J[13]
LC2(min)	14	2.930	-3.230	-2.750	I[14]
LC2(min)	14	2.720	-2.830	-1.210	J[12]
LC2(min)	15	-7.320	-2.880	-4.480	I[13]
LC2(min)	15	-7.000	-2.130	-2.840	J[15]
LC2(min)	16	-6.960	1.360	-2.480	I[16]
LC2(min)	16	-7.290	2.100	-4.370	J[14]
LC2(min)	17	-6.870	-2.530	-2.840	I[15]

LC2(min)	17	-6.600	-1.760	-1.420	J[17]
LC2(min)	18	-6.570	1.110	-1.120	I[18]
LC2(min)	18	-6.840	1.880	-2.480	J[16]
LC2(min)	19	-6.490	-2.120	-1.420	I[17]
LC2(min)	19	-6.280	-1.330	-0.250	J[19]
LC2(min)	20	-6.260	0.810	-0.030	I[20]
LC2(min)	20	-6.470	1.600	-1.120	J[18]
LC2(min)	21	-6.200	-1.660	-0.250	I[19]
LC2(min)	21	-6.040	-0.860	0.610	J[21]
LC2(min)	22	-6.030	0.470	0.760	I[22]
LC2(min)	22	-6.180	1.280	-0.030	J[20]
LC2(min)	23	-5.980	-1.180	0.610	I[21]
LC2(min)	23	-5.890	-0.370	1.160	J[23]
LC2(min)	24	-5.880	0.110	1.230	I[24]
LC2(min)	24	-5.980	0.920	0.760	J[22]
LC2(min)	25	-5.860	-0.670	1.160	I[23]
LC2(min)	25	-5.830	0.140	1.370	J[25]
LC2(min)	26	-5.830	-0.260	1.370	I[25]
LC2(min)	26	-5.860	0.560	1.230	J[24]
LC3(min)	9	5.160	3.480	-0.090	I[9]
LC3(min)	9	5.380	4.320	-3.040	J[11]
LC3(min)	10	4.200	-6.180	-2.900	I[12]
LC3(min)	10	3.970	-5.210	-0.120	J[10]
LC3(min)	13	5.190	4.540	-3.040	I[11]
LC3(min)	13	5.400	4.950	-6.850	J[13]
LC3(min)	14	4.240	-7.660	-6.520	I[14]
LC3(min)	14	4.030	-6.660	-2.900	J[12]
LC3(min)	15	-16.720	-6.620	-11.100	I[13]
LC3(min)	15	-15.910	-4.780	-6.570	J[15]
LC3(min)	16	-15.850	1.500	-5.880	I[16]
LC3(min)	16	-16.660	2.250	-10.600	J[14]
LC3(min)	17	-15.560	-5.830	-6.570	I[15]
LC3(min)	17	-14.900	-3.940	-4.070	J[17]
LC3(min)	18	-14.850	1.550	-3.660	I[18]
LC3(min)	18	-15.510	2.320	-5.880	J[16]
LC3(min)	19	-14.600	-4.910	-4.070	I[17]
LC3(min)	19	-14.080	-2.980	-2.180	J[19]
LC3(min)	20	-14.040	1.550	-1.890	I[20]

LC3(min)	20	-14.560	2.340	-3.660	J[18]
LC3(min)	21	-13.850	-3.890	-2.180	I[19]
LC3(min)	21	-13.480	-1.950	-0.330	J[21]
LC3(min)	22	-13.450	0.420	-0.160	I[22]
LC3(min)	22	-13.820	2.310	-1.890	J[20]
LC3(min)	23	-13.320	-2.790	-0.330	I[21]
LC3(min)	23	-13.090	-1.740	1.460	J[23]
LC3(min)	24	-13.080	-0.860	1.510	I[24]
LC3(min)	24	-13.300	1.140	-0.160	J[22]
LC3(min)	25	-13.010	-2.320	1.460	I[23]
LC3(min)	25	-12.940	-1.500	3.100	J[25]
LC3(min)	26	-12.930	-2.160	3.100	I[25]
LC3(min)	26	-13.010	-0.160	1.510	J[24]
LC4(min)	9	1.030	0.800	-0.180	I[9]
LC4(min)	9	1.020	1.600	-3.310	J[11]
LC4(min)	10	0.640	-6.420	-3.060	I[12]
LC4(min)	10	0.640	-5.530	-0.170	J[10]
LC4(min)	13	0.950	1.640	-3.310	I[11]
LC4(min)	13	0.950	1.630	-7.310	J[13]
LC4(min)	14	0.570	-7.700	-6.730	I[14]
LC4(min)	14	0.580	-6.780	-3.060	J[12]
LC4(min)	15	-17.910	-5.820	-12.390	I[13]
LC4(min)	15	-17.170	-3.730	-8.230	J[15]
LC4(min)	16	-17.540	0.020	-7.670	I[16]
LC4(min)	16	-18.280	0.010	-11.580	J[14]
LC4(min)	17	-16.840	-5.010	-8.230	I[15]
LC4(min)	17	-16.230	-3.270	-5.780	J[17]
LC4(min)	18	-16.610	0.360	-5.570	I[18]
LC4(min)	18	-17.230	0.340	-7.670	J[16]
LC4(min)	19	-15.940	-4.480	-5.780	I[17]
LC4(min)	19	-15.460	-2.690	-3.710	J[19]
LC4(min)	20	-15.860	0.550	-3.690	I[20]
LC4(min)	20	-16.340	0.670	-5.570	J[18]
LC4(min)	21	-15.210	-3.840	-3.710	I[19]
LC4(min)	21	-14.870	-2.060	-1.500	J[21]
LC4(min)	22	-15.290	-0.650	-1.630	I[22]
LC4(min)	22	-15.630	0.860	-3.690	J[20]
LC4(min)	23	-14.670	-3.140	-1.500	I[21]

LC4(min)	23	-14.460	-2.170	0.230	J[23]
LC4(min)	24	-14.900	-1.930	0.240	I[24]
LC4(min)	24	-15.100	0.020	-1.630	J[22]
LC4(min)	25	-14.330	-3.010	0.230	I[23]
LC4(min)	25	-14.630	-2.260	1.600	J[25]
LC4(min)	26	-14.700	-3.080	1.600	I[25]
LC4(min)	26	-14.770	-1.190	0.240	J[24]
LC5(min)	9	0.060	0.660	-0.190	I[9]
LC5(min)	9	0.060	1.400	-3.080	J[11]
LC5(min)	10	-0.520	-6.120	-2.900	I[12]
LC5(min)	10	-0.510	-5.290	-0.180	J[10]
LC5(min)	13	0.000	1.400	-3.080	I[11]
LC5(min)	13	-0.010	1.390	-6.850	J[13]
LC5(min)	14	-0.570	-7.350	-6.410	I[14]
LC5(min)	14	-0.560	-6.500	-2.900	J[12]
LC5(min)	15	-17.280	-5.680	-11.460	I[13]
LC5(min)	15	-16.590	-3.750	-7.890	J[15]
LC5(min)	16	-16.920	-0.300	-7.250	I[16]
LC5(min)	16	-17.610	-0.320	-10.850	J[14]
LC5(min)	17	-16.310	-4.880	-7.890	I[15]
LC5(min)	17	-15.750	-3.270	-5.840	J[17]
LC5(min)	18	-16.100	0.060	-5.550	I[18]
LC5(min)	18	-16.660	0.050	-7.250	J[16]
LC5(min)	19	-15.490	-4.330	-5.840	I[17]
LC5(min)	19	-15.050	-2.680	-4.100	J[19]
LC5(min)	20	-15.420	0.290	-4.000	I[20]
LC5(min)	20	-15.860	0.410	-5.550	J[18]
LC5(min)	21	-14.830	-3.690	-4.100	I[19]
LC5(min)	21	-14.520	-2.040	-2.180	J[21]
LC5(min)	22	-14.900	-0.760	-2.250	I[22]
LC5(min)	22	-15.220	0.640	-4.000	J[20]
LC5(min)	23	-14.340	-2.980	-2.180	I[21]
LC5(min)	23	-14.150	-2.080	-0.640	J[23]
LC5(min)	24	-14.550	-1.890	-0.610	I[24]
LC5(min)	24	-14.740	-0.080	-2.250	J[22]
LC5(min)	25	-14.030	-2.800	-0.640	I[23]
LC5(min)	25	-14.300	-2.110	0.610	J[25]
LC5(min)	26	-14.370	-2.890	0.610	I[25]

LC5(min)	26	-14.440	-1.150	-0.610	J[24]
LC6(min)	9	-0.710	-0.490	-0.120	I[9]
LC6(min)	9	-0.720	-0.100	-1.650	J[11]
LC6(min)	10	-0.630	-3.130	-1.510	I[12]
LC6(min)	10	-0.620	-2.770	-0.110	J[10]
LC6(min)	13	-0.720	-0.130	-1.650	I[11]
LC6(min)	13	-0.720	-0.140	-3.600	J[13]
LC6(min)	14	-0.630	-3.630	-3.260	I[14]
LC6(min)	14	-0.630	-3.260	-1.510	J[12]
LC6(min)	15	-9.270	-2.380	-6.300	I[13]
LC6(min)	15	-8.970	-1.300	-4.800	J[15]
LC6(min)	16	-9.360	-0.110	-4.550	I[16]
LC6(min)	16	-9.660	-0.130	-5.850	J[14]
LC6(min)	17	-8.840	-1.970	-4.800	I[15]
LC6(min)	17	-8.590	-1.260	-3.340	J[17]
LC6(min)	18	-9.000	-0.050	-3.240	I[18]
LC6(min)	18	-9.250	-0.070	-4.550	J[16]
LC6(min)	19	-8.480	-1.900	-3.340	I[17]
LC6(min)	19	-8.280	-1.180	-1.940	J[19]
LC6(min)	20	-8.700	-0.130	-1.980	I[20]
LC6(min)	20	-8.900	-0.010	-3.240	J[18]
LC6(min)	21	-8.170	-1.800	-1.940	I[19]
LC6(min)	21	-8.030	-1.060	-0.640	J[21]
LC6(min)	22	-8.460	-0.600	-0.780	I[22]
LC6(min)	22	-8.600	-0.090	-1.980	J[20]
LC6(min)	23	-7.930	-1.660	-0.640	I[21]
LC6(min)	23	-7.840	-0.910	-0.050	J[23]
LC6(min)	24	-8.280	-1.040	-0.020	I[24]
LC6(min)	24	-8.370	-0.180	-0.780	J[22]
LC6(min)	25	-7.750	-1.500	-0.050	I[23]
LC6(min)	25	-8.090	-0.750	0.010	J[25]
LC6(min)	26	-8.170	-1.330	0.010	I[25]
LC6(min)	26	-8.200	-0.540	-0.020	J[24]
LC7(min)	9	-1.550	-0.540	-0.130	I[9]
LC7(min)	9	-1.560	-0.180	-1.550	J[11]
LC7(min)	10	-1.690	-3.070	-1.460	I[12]
LC7(min)	10	-1.680	-2.740	-0.130	J[10]
LC7(min)	13	-1.550	-0.240	-1.550	I[11]

LC7(min)	13	-1.550	-0.250	-3.420	J[13]
LC7(min)	14	-1.680	-3.580	-3.190	I[14]
LC7(min)	14	-1.680	-3.240	-1.460	J[12]
LC7(min)	15	-9.290	-2.500	-5.830	I[13]
LC7(min)	15	-9.010	-1.500	-4.720	J[15]
LC7(min)	16	-9.360	-0.420	-4.360	I[16]
LC7(min)	16	-9.640	-0.440	-5.550	J[14]
LC7(min)	17	-8.910	-2.070	-4.720	I[15]
LC7(min)	17	-8.690	-1.410	-3.580	J[17]
LC7(min)	18	-9.060	-0.310	-3.400	I[18]
LC7(min)	18	-9.290	-0.330	-4.360	J[16]
LC7(min)	19	-8.590	-1.950	-3.580	I[17]
LC7(min)	19	-8.410	-1.280	-2.460	J[19]
LC7(min)	20	-8.800	-0.340	-2.420	I[20]
LC7(min)	20	-8.980	-0.220	-3.400	J[18]
LC7(min)	21	-8.320	-1.790	-2.460	I[19]
LC7(min)	21	-8.190	-1.110	-1.380	J[21]
LC7(min)	22	-8.590	-0.720	-1.460	I[22]
LC7(min)	22	-8.720	-0.240	-2.420	J[20]
LC7(min)	23	-8.100	-1.610	-1.380	I[21]
LC7(min)	23	-8.030	-0.920	-0.900	J[23]
LC7(min)	24	-8.430	-1.060	-0.840	I[24]
LC7(min)	24	-8.510	-0.270	-1.460	J[22]
LC7(min)	25	-7.950	-1.400	-0.900	I[23]
LC7(min)	25	-8.260	-0.710	-0.860	J[25]
LC7(min)	26	-8.330	-1.270	-0.860	I[25]
LC7(min)	26	-8.360	-0.540	-0.840	J[24]
max	59	-9.720	2.330	6.800	
min	59	-18.252	-7.204	-12.759	

③ 브라켓부 단면력집계

ELEMENT		N(kN)	S(kN)	M(kN.M)	비 고
LC1(max)	5	-21.560	1.520	-1.120	I[5]
LC1(max)	5	-21.350	1.670	-2.360	J[7]
LC1(max)	6	-20.190	-0.180	-2.110	I[8]
LC1(max)	6	-20.400	-0.030	-0.810	J[6]
LC1(max)	11	-21.140	-0.360	-3.310	I[13]
LC1(max)	11	-21.350	-0.210	-2.360	J[7]
LC1(max)	12	-20.190	1.740	-2.110	I[8]
LC1(max)	12	-19.980	1.890	-3.140	J[14]
LC2(max)	5	-12.340	0.700	-0.580	I[5]
LC2(max)	5	-12.160	0.830	-1.170	J[7]
LC2(max)	6	-11.360	-0.080	-1.010	I[8]
LC2(max)	6	-11.550	0.040	-0.400	J[6]
LC2(max)	11	-11.970	-0.210	-1.660	I[13]
LC2(max)	11	-12.160	-0.080	-1.170	J[7]
LC2(max)	12	-11.360	0.850	-1.010	I[8]
LC2(max)	12	-11.180	0.980	-1.620	J[14]
LC3(max)	5	-18.310	1.700	-0.490	I[5]
LC3(max)	5	-18.120	1.830	-1.870	J[7]
LC3(max)	6	-16.820	0.220	-1.590	I[8]
LC3(max)	6	-17.000	0.350	-0.160	J[6]
LC3(max)	11	-17.940	0.060	-2.780	I[13]
LC3(max)	11	-18.120	0.190	-1.870	J[7]
LC3(max)	12	-16.820	1.900	-1.590	I[8]
LC3(max)	12	-16.630	2.020	-2.690	J[14]
LC4(max)	5	-5.550	2.280	0.210	I[5]
LC4(max)	5	-5.390	2.400	-0.530	J[7]
LC4(max)	6	-4.970	1.340	-0.440	I[8]
LC4(max)	6	-5.140	1.460	0.320	J[6]
LC4(max)	11	-5.220	1.010	-0.830	I[13]
LC4(max)	11	-5.390	1.130	-0.530	J[7]
LC4(max)	12	-4.970	2.630	-0.440	I[8]
LC4(max)	12	-4.800	2.750	-0.770	J[14]
LC5(max)	5	-4.750	2.430	0.600	I[5]
LC5(max)	5	-4.600	2.540	-0.340	J[7]
LC5(max)	6	-3.960	1.560	-0.200	I[8]

LC5(max)	6	-4.110	1.670	0.760	J[6]
LC5(max)	11	-4.440	1.260	-0.680	I[13]
LC5(max)	11	-4.600	1.360	-0.340	J[7]
LC5(max)	12	-3.960	2.760	-0.200	I[8]
LC5(max)	12	-3.800	2.870	-0.670	J[14]
LC6(max)	5	-0.070	1.360	0.140	I[5]
LC6(max)	5	0.100	1.480	0.100	J[7]
LC6(max)	6	0.050	1.050	0.090	I[8]
LC6(max)	6	-0.120	1.170	0.100	J[6]
LC6(max)	11	0.270	0.760	0.190	I[13]
LC6(max)	11	0.100	0.880	0.100	J[7]
LC6(max)	12	0.050	1.670	0.090	I[8]
LC6(max)	12	0.220	1.780	0.210	J[14]
LC7(max)	5	0.320	1.580	0.530	I[5]
LC7(max)	5	0.480	1.690	0.260	J[7]
LC7(max)	6	0.680	1.300	0.290	I[8]
LC7(max)	6	0.530	1.410	0.560	J[6]
LC7(max)	11	0.630	1.020	0.270	I[13]
LC7(max)	11	0.480	1.130	0.260	J[7]
LC7(max)	12	0.680	1.870	0.290	I[8]
LC7(max)	12	0.840	1.980	0.240	J[14]
LC8	5	-7.920	0.900	-0.470	I[5]
LC8	5	-7.780	1.000	-0.820	J[7]
LC8	6	-7.990	0.320	-0.830	I[8]
LC8	6	-8.130	0.420	-0.220	J[6]
LC8	11	-7.660	0.160	-0.690	I[13]
LC8	11	-7.800	0.260	-0.820	J[7]
LC8	12	-8.000	1.010	-0.830	I[8]
LC8	12	-7.860	1.110	-0.730	J[14]
LC1(min)	5	-35.600	0.060	-2.980	I[5]
LC1(min)	5	-35.390	0.210	-3.890	J[7]
LC1(min)	6	-34.010	-1.740	-3.610	I[8]
LC1(min)	6	-34.220	-1.590	-2.860	J[6]
LC1(min)	11	-35.180	-1.820	-5.000	I[13]
LC1(min)	11	-35.390	-1.670	-3.890	J[7]
LC1(min)	12	-34.010	0.180	-3.610	I[8]
LC1(min)	12	-33.800	0.330	-4.740	J[14]

LC2(min)	5	-13.240	-0.050	-1.530	I[5]
LC2(min)	5	-13.060	0.080	-1.550	J[7]
LC2(min)	6	-12.870	-0.850	-1.510	I[8]
LC2(min)	6	-13.050	-0.720	-1.490	J[6]
LC2(min)	11	-12.870	-0.960	-1.870	I[13]
LC2(min)	11	-13.060	-0.830	-1.550	J[7]
LC2(min)	12	-12.870	0.080	-1.510	I[8]
LC2(min)	12	-12.680	0.210	-1.720	J[14]
LC3(min)	5	-31.430	-0.320	-3.080	I[5]
LC3(min)	5	-31.240	-0.190	-3.570	J[7]
LC3(min)	6	-30.340	-1.900	-3.390	I[8]
LC3(min)	6	-30.520	-1.770	-3.030	J[6]
LC3(min)	11	-31.060	-1.960	-4.460	I[13]
LC3(min)	11	-31.240	-1.830	-3.570	J[7]
LC3(min)	12	-30.340	-0.220	-3.390	I[8]
LC3(min)	12	-30.160	-0.100	-4.180	J[14]
LC4(min)	5	-31.730	-1.250	-2.590	I[5]
LC4(min)	5	-31.560	-1.130	-3.360	J[7]
LC4(min)	6	-29.920	-2.630	-2.980	I[8]
LC4(min)	6	-30.090	-2.510	-2.850	J[6]
LC4(min)	11	-31.390	-2.520	-5.080	I[13]
LC4(min)	11	-31.560	-2.400	-3.360	J[7]
LC4(min)	12	-29.920	-1.340	-2.980	I[8]
LC4(min)	12	-29.750	-1.220	-4.850	J[14]
LC5(min)	5	-29.730	-1.470	-2.800	I[5]
LC5(min)	5	-29.580	-1.360	-3.270	J[7]
LC5(min)	6	-28.320	-2.760	-2.960	I[8]
LC5(min)	6	-28.470	-2.650	-3.100	J[6]
LC5(min)	11	-29.420	-2.650	-4.790	I[13]
LC5(min)	11	-29.580	-2.540	-3.270	J[7]
LC5(min)	12	-28.320	-1.560	-2.960	I[8]
LC5(min)	12	-28.160	-1.450	-4.530	J[14]
LC6(min)	5	-15.000	-1.000	-1.170	I[5]
LC6(min)	5	-14.840	-0.880	-1.500	J[7]
LC6(min)	6	-13.850	-1.670	-1.250	I[8]
LC6(min)	6	-14.020	-1.550	-1.430	J[6]
LC6(min)	11	-14.670	-1.600	-2.700	I[13]

LC6(min)	11	-14.840	-1.480	-1.500	J[7]
LC6(min)	12	-13.850	-1.050	-1.250	I[8]
LC6(min)	12	-13.690	-0.940	-2.590	J[14]
LC7(min)	5	-14.260	-1.240	-1.490	I[5]
LC7(min)	5	-14.110	-1.130	-1.550	J[7]
LC7(min)	6	-13.450	-1.870	-1.370	I[8]
LC7(min)	6	-13.610	-1.760	-1.790	J[6]
LC7(min)	11	-13.950	-1.800	-2.590	I[13]
LC7(min)	11	-14.110	-1.690	-1.550	J[7]
LC7(min)	12	-13.450	-1.300	-1.370	I[8]
LC7(min)	12	-13.300	-1.190	-2.440	J[14]
max	19	-5.140	1.460	0.320	
min	19	-35.180	-1.820	-5.000	

④ 현장이음부 (지붕부)

ELEMENT		N(kN)	S(kN)	M(kN.M)	비 고
LC1(max)	17	-11.370	-3.160	-3.590	I[15]
LC1(max)	17	-11.060	-2.280	0.680	J[17]
LC1(max)	18	-11.140	4.060	1.040	I[18]
LC1(max)	18	-11.460	6.240	-3.170	J[16]
LC2(max)	17	-5.140	-1.950	-2.200	I[15]
LC2(max)	17	-4.870	-1.180	-0.250	J[17]
LC2(max)	18	-4.860	1.740	-0.180	I[18]
LC2(max)	18	-5.130	2.510	-2.110	J[16]
LC3(max)	17	-9.030	-2.470	-2.800	I[15]
LC3(max)	17	-8.760	-1.700	1.170	J[17]
LC3(max)	18	-8.840	3.850	1.380	I[18]
LC3(max)	18	-9.110	5.740	-2.570	J[16]
LC4(max)	17	-4.190	-0.390	1.010	I[15]
LC4(max)	17	-4.190	-0.410	3.830	J[17]
LC4(max)	18	-4.220	3.020	4.100	I[18]
LC4(max)	18	-4.210	4.770	1.170	J[16]
LC5(max)	17	-3.140	-0.120	1.210	I[15]
LC5(max)	17	-3.140	-0.130	4.040	J[17]
LC5(max)	18	-3.180	3.070	4.190	I[18]
LC5(max)	18	-3.170	4.680	1.240	J[16]
LC6(max)	17	-0.610	0.080	1.560	I[15]
LC6(max)	17	-0.620	0.060	2.520	J[17]
LC6(max)	18	-0.560	1.080	2.670	I[18]
LC6(max)	18	-0.550	1.790	1.600	J[16]
LC7(max)	17	0.170	0.320	1.720	I[15]
LC7(max)	17	0.170	0.300	2.830	J[17]
LC7(max)	18	0.210	1.270	2.870	I[18]
LC7(max)	18	0.210	1.930	1.640	J[16]
LC8	17	-3.620	-1.430	-0.310	I[15]
LC8	17	-3.410	-0.840	1.030	J[17]
LC8	18	-3.430	1.450	1.100	I[18]
LC8	18	-3.640	2.050	-0.340	J[16]
LC1(min)	17	-16.900	-6.370	-7.180	I[15]
LC1(min)	17	-16.130	-4.200	-4.010	J[17]
LC1(min)	18	-16.080	2.140	-3.660	I[18]

LC1(min)	18	-16.850	3.030	-6.540	J[16]
LC2(min)	17	-6.870	-2.530	-2.840	I[15]
LC2(min)	17	-6.600	-1.760	-1.420	J[17]
LC2(min)	18	-6.570	1.110	-1.120	I[18]
LC2(min)	18	-6.840	1.880	-2.480	J[16]
LC3(min)	17	-15.560	-5.830	-6.570	I[15]
LC3(min)	17	-14.900	-3.940	-4.070	J[17]
LC3(min)	18	-14.850	1.550	-3.660	I[18]
LC3(min)	18	-15.510	2.320	-5.880	J[16]
LC4(min)	17	-16.840	-5.010	-8.230	I[15]
LC4(min)	17	-16.230	-3.270	-5.780	J[17]
LC4(min)	18	-16.610	0.360	-5.570	I[18]
LC4(min)	18	-17.230	0.340	-7.670	J[16]
LC5(min)	17	-16.310	-4.880	-7.890	I[15]
LC5(min)	17	-15.750	-3.270	-5.840	J[17]
LC5(min)	18	-16.100	0.060	-5.550	I[18]
LC5(min)	18	-16.660	0.050	-7.250	J[16]
LC6(min)	17	-8.840	-1.970	-4.800	I[15]
LC6(min)	17	-8.590	-1.260	-3.340	J[17]
LC6(min)	18	-9.000	-0.050	-3.240	I[18]
LC6(min)	18	-9.250	-0.070	-4.550	J[16]
LC7(min)	17	-8.910	-2.070	-4.720	I[15]
LC7(min)	17	-8.690	-1.410	-3.580	J[17]
LC7(min)	18	-9.060	-0.310	-3.400	I[18]
LC7(min)	18	-9.290	-0.330	-4.360	J[16]
MAX		0.21	6.24	4.19	
MIN		-17.23	-6.37	-8.23	
적용부재력		17.23	6.37	8.23	

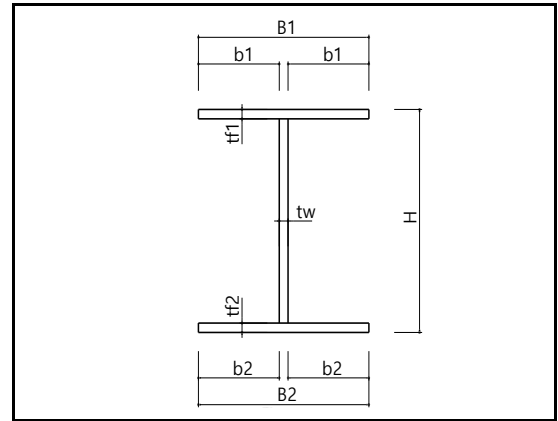
6. 부재 검토

6.1 외측기둥부 검토

1.1 단면 제원

사용강종 : SM275

B_1	=	0.1500	m	B_2	=	0.1500	m
b_1	=	0.0720	m	b_2	=	0.0720	m
t_{f1}	=	0.0090	m	t_{f2}	=	0.0090	m
t_w	=	0.0060	m	H	=	0.1940	m



1.2 단면 계수

A (mm ²)	3.901000E+03	I_{yy} (mm ⁴)	2.690000E+07	I_{zz} (mm ⁴)	5.070000E+06
r_y (mm)	8.303531E+01	r_z (mm)	3.605620E+01	K (mm ⁴)	8.560000E+04

검토위치	y_1 (mm)	-75.0	z_1 (mm)	97.0	y_2 (mm)	75.0	z_2 (mm)	97.0
	y_3 (mm)	75.0	z_3 (mm)	-97.0	y_4 (mm)	-75.0	z_4 (mm)	-97.0

1.3 작용하중

구 분	F_x (kN)	F_y (kN)	F_z (kN)	M_x (kN·m)	M_y (kN·m)	M_z (kN·m)	비 고
Max	-10.890	0.000	13.830	0.000	13.810	0.000	
Min	-19.100	0.000	-13.935	0.000	-19.280	0.000	

1.4 응력검토

[1] Max

1) 허용휨인장응력 (f_{ta})

[도기 P3-10, 표3.3.1]

구 분	SM275	
Top Flange	16 이하	240.000
Bottom Flange	16 이하	240.000
Left Web	16 이하	240.000

2) 국부좌굴을 고려하지 않은 허용축방향압축응력 (f_{cag})

[도기 P3-11, 표3.3.2]

▶ Y 축에 대한 유효좌굴길이

부재의 유효좌굴길이	ℓ_y	=	2500.000	mm
부재 총단면의 단면회전반경	r_y	=	83.035	mm
세장비	ℓ_y/r_y	=	30.108	

▶ Z 축에 대한 유효좌굴길이

부재의 유효좌굴길이	ℓ_z	=	2500.000	mm
부재 총단면의 단면회전반경	r_z	=	36.056	mm
세장비	ℓ_z/r_z	=	69.336	

▶ 세장비 검토

세장비	ℓ / r	=	69.336	≤	120.000
-----	------------	---	--------	---	---------

..... OK

구 분		SM275	
Top Flange	16이하	$20 < \ell/r \leq 93.0$	
		$F_{cagz} = 240 - 1.5 \times (\ell/r - 18) =$	162.996
Bottom Flange	16 이하	$20 < \ell/r \leq 93.0$	
		$F_{cagz} = 240 - 1.5 \times (\ell/r - 18) =$	162.996
Left Web	16이하	$20 < \ell/r \leq 93.0$	
		$F_{cagz} = 240 - 1.5 \times (\ell/r - 18) =$	162.996
Top Flange	16 이하	$20 < \ell/r \leq 93.0$	
		$F_{cagz} = 240 - 1.5 \times (\ell/r - 18) =$	221.838
Bottom Flange	16 이하	$20 < \ell/r \leq 93.0$	
		$F_{cagz} = 240 - 1.5 \times (\ell/r - 18) =$	221.838
Left Web	16 이하	$20 < \ell/r \leq 93.0$	
		$F_{cagz} = 240 - 1.5 \times (\ell/r - 18) =$	221.838

3) 허용휨압축응력 (f_{bagy})

[도기 P3-16, 표3.3.4]

▶ Top Flange

압축플랜지 고정점간 거리	ℓ	=	2000.000 mm
압축플랜지 폭	b	=	150.000 mm
복부판의 총단면적	A_w	=	1056.000 mm ²
압축플랜지 총단면적	A_c	=	1350.000 mm ²

$$\frac{A_w}{A_c} = 0.782 \leq 2.000, \quad \frac{\ell}{b} = 13.333, \quad K = \sqrt{3 + \frac{A_w}{2A_c}} = 1.841$$

구 분		SM275	
$\frac{A_w}{A_c} \leq 2.0$	16 이하	$4.5 < \ell/b \leq 30.0$	
		$240 - 2.9 \times (\ell/b - 4.5) =$	214.558

▶ Bottom Flange

압축플랜지 고정점간 거리	ℓ	=	2000.000 mm
압축플랜지 폭	b	=	150.000 mm
복부판의 총단면적	A_w	=	1056.000 mm ²
압축플랜지 총단면적	A_c	=	1350.000 mm ²

$$\frac{A_w}{A_c} = 0.782 \leq 2.000, \quad \frac{\ell}{b} = 13.333, \quad K = \sqrt{3 + \frac{A_w}{2A_c}} = 1.841$$

구 분		SM275	
$\frac{A_w}{A_c} \leq 2.0$	16 이하	$4.5 < \ell/b \leq 30.0$	
		$240 - 2.9 \times (\ell/b - 4.5) =$	214.558

▶ Left Web

압축플랜지 고정점간 거리	ℓ	=	2000.000 mm
압축플랜지 폭	b	=	176.000 mm
복부판의 총단면적	A_w	=	2700.000 mm ²
압축플랜지 총단면적	A_c	=	1056.000 mm ²

$$\frac{A_w}{A_c} = 2.557 > 2.000, \quad \frac{\ell}{b} = 11.364, \quad K = \sqrt{3 + \frac{A_w}{2A_c}} = 2.068$$

구 분		SM275	
$\frac{A_w}{A_c} > 2.0$	16 이하	$9.3/K < \ell/b \leq 30.0$	
		$240 - 1.86 \times (K \times \ell/b - 9.3) =$	213.587

4) 허용 오일러 좌굴응력

[도기 P3-47, 식3.4.13~14]

f_{Ey} (MPa)	$1200000/(l_y/r_y)^2$	1323.814
f_{Ez} (MPa)	$1200000/(l_z/r_z)^2$	249.610

5) 허용전단응력 (v_a)

[도기 P3-18, 표3.3.5]

구 분	SM275	
Top Flange	16 이하	135.000
Bottom Flange	16 이하	135.000
Left Web	16 이하	135.000

6) 자유돌출판의 국부좌굴에 대한 허용응력

▶ 압축응력을 받는 자유돌출판의 최소두께

[도기 P3-37]

Top Flange(L)

$$t_{\min} = b / 16 = 72.0 / 16.0 = 4.500 \text{ mm} \leq t_f = 9.000 \text{ mm} \quad \text{..... OK}$$

Top Flange(R)

$$t_{\min} = b / 16 = 72.0 / 16.0 = 4.500 \text{ mm} \leq t_f = 9.000 \text{ mm} \quad \text{..... OK}$$

Bottom Flange(L)

$$t_{\min} = b / 16 = 72.0 / 16.0 = 4.500 \text{ mm} \leq t_f = 9.000 \text{ mm} \quad \text{..... OK}$$

Bottom Flange(R)

$$t_{\min} = b / 16 = 72.0 / 16.0 = 4.500 \text{ mm} \leq t_f = 9.000 \text{ mm} \quad \text{..... OK}$$

▶ 자유돌출판의 국부좌굴에 대한 허용응력 (f_{cal})

[도기 P3-38, 표3.4.4]

Top Flange(L) $t = 9.000 \text{ mm}$

$$t_1 = b / 12.9 = 72.0 / 12.9 = 5.581 \text{ mm}$$

구 분	SM275
16 이하	$b/12.9 \leq t$
	240.000

Top Flange(R) $t = 9.000 \text{ mm}$

$$t_1 = b / 12.9 = 72.0 / 12.9 = 5.581 \text{ mm}$$

구 분	SM275
16 이하	$b/12.9 \leq t$
	240.000

Bottom Flange(L) $t = 9.000 \text{ mm}$

$$t_1 = b / 12.9 = 72.0 / 12.9 = 5.581 \text{ mm}$$

구 분	SM275
16 이하	$b/12.9 \leq t$
	240.000

Bottom Flange(R) $t = 9.000 \text{ mm}$

$$t_1 = b / 12.9 = 72.0 / 12.9 = 5.581 \text{ mm}$$

구 분	SM275
16 이하	$b/12.9 \leq t$
	240.000

7) 보강된판 및 양연지지판의 국부좌굴에 대한 허용응력

▶ Left Web

판두께 $t = 6.0 \text{ mm}$ 판의 고정연 사이의 거리 $b = 176.0 \text{ mm}$ 응력구배계수 $i = 0.65\Phi^2 + 0.13\Phi + 1.0 = 3.551$ 응력구배 $\Phi = (f_1 - f_2) / f_1 = 1.884$ 판의 양연에서의 응력 $f_1 = -47.969 \text{ MPa}, f_2 = 42.386 \text{ MPa}$

압축응력을 받는 양연지지판의 최소두께

[도기 P3-35, 표3.4.2]

$$t \leq 40\text{mm}$$

$$t_{\min} = b / 56i = 176 / 198.86 = 0.9 \leq t = 6.0 \text{ mm} \quad \text{..... OK}$$

양연지지판의 국부좌굴에 대한 허용응력 (f_{cal})

[도기 P3-36, 표3.4.3]

구 분	SM275
16 이하	$b/39.3i \leq t$
	240.000

8) 허용응력 요약

구 분	f_{cal}	f_{caz}	f_{cay}	f_{ta}	v_a
Top Flange	240.000	162.996	221.838	240.000	135.000
Bottom Flange	240.000	162.996	221.838	240.000	135.000
Left Web	240.000	162.996	221.838	240.000	135.000

$$f_{ca} = f_{cag} \cdot f_{cal} / f_{cao}$$

9) 축방향력 및 휨모멘트를 받는 부재의 허용응력 검토

▶ 축방향력에 의한 응력

$$f_c = P / A = -10.890 \times 10^3 / 3.9010\text{E}+03 = -2.792 \text{ MPa}$$

▶ 휨모멘트에 의한 응력

$$\begin{aligned} f_{by1} &= M_y \times z_1 / I_{yy} = -49.798 \text{ MPa} & f_{bz1} &= M_z \times y_1 / I_{zz} = 0.000 \text{ MPa} \\ f_{by2} &= M_y \times z_2 / I_{yy} = -49.798 \text{ MPa} & f_{bz2} &= M_z \times y_2 / I_{zz} = 0.000 \text{ MPa} \\ f_{by3} &= M_y \times z_3 / I_{yy} = 49.798 \text{ MPa} & f_{bz3} &= M_z \times y_3 / I_{zz} = 0.000 \text{ MPa} \\ f_{by4} &= M_y \times z_4 / I_{yy} = 49.798 \text{ MPa} & f_{bz4} &= M_z \times y_4 / I_{zz} = 0.000 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$f_{11} (y_1, z_1)$	-52.590	$f_{22} (y_2, z_2)$	-52.590
$f_{33} (y_3, z_3)$	47.007	$f_{44} (y_4, z_4)$	47.007

▶ Position 1 (y-direction)

$$\begin{aligned} f_c + \frac{f_{bcy}}{\left(1 - \frac{f_c}{f_{Ey}}\right)} + \frac{f_{bcz}}{\left(1 - \frac{f_c}{f_{Ez}}\right)} &\leq f_{cal} \\ -2.792 + \frac{-49.798}{\left(1 - \frac{-2.792}{1323.814}\right)} + \frac{0.000}{\left(1 - \frac{-2.792}{249.610}\right)} & \\ = -52.695 \text{ MPa} \leq f_{cal} = 240.000 \text{ MPa} & \quad \text{..... OK} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{f_c}{f_{caz}} + \frac{f_{bcy}}{f_{bagy} \left(1 - \frac{f_c}{f_{Ey}}\right)} + \frac{f_{bcz}}{f_{bao} \left(1 - \frac{f_c}{f_{Ez}}\right)} &\leq 1.0 \\ \frac{-2.792}{162.996} + \frac{-49.798}{214.558 \left(1 - \frac{-2.792}{1323.814}\right)} + \frac{0.000}{240.000 \left(1 - \frac{-2.792}{249.610}\right)} & \\ = -0.250 \leq 1.000 & \quad \text{..... OK} \end{aligned}$$

▶ Position 2 (y-direction)

$$f_c + \frac{f_{bcy}}{\left(1 - \frac{f_c}{f_{Ey}}\right)} + \frac{f_{bcz}}{\left(1 - \frac{f_c}{f_{Ez}}\right)} \leq f_{cal}$$

$$-2.792 + \frac{-49.798}{\left(1 - \frac{-2.792}{1323.814}\right)} + \frac{0.000}{\left(1 - \frac{-2.792}{249.610}\right)}$$

$$= -52.695 \text{ MPa} \leq f_{cal} = 240.000 \text{ MPa}$$

..... OK

$$\frac{f_c}{f_{caz}} + \frac{f_{bcy}}{f_{bagy} \left(1 - \frac{f_c}{f_{Ey}}\right)} + \frac{f_{bcz}}{f_{bao} \left(1 - \frac{f_c}{f_{Ez}}\right)} \leq 1.0$$

$$\frac{-2.792}{162.996} + \frac{-49.798}{214.558 \left(1 - \frac{-2.792}{1323.814}\right)} + \frac{0.000}{240.000 \left(1 - \frac{-2.792}{249.610}\right)}$$

$$= -0.250 \leq 1.000$$

..... OK

► Position 3 (y-direction)

$$f_c + \frac{f_{bcy}}{\left(1 - \frac{f_c}{f_{Ey}}\right)} + \frac{f_{bcz}}{\left(1 - \frac{f_c}{f_{Ez}}\right)} \leq f_{cal}$$

$$-2.792 + \frac{49.798}{\left(1 - \frac{-2.792}{1323.814}\right)} + \frac{0.000}{\left(1 - \frac{-2.792}{249.610}\right)}$$

$$= 47.112 \text{ MPa} \leq f_{ta} = 240.000 \text{ MPa}$$

..... OK

► Position 4 (y-direction)

$$f_c + \frac{f_{bcy}}{\left(1 - \frac{f_c}{f_{Ey}}\right)} + \frac{f_{bcz}}{\left(1 - \frac{f_c}{f_{Ez}}\right)} \leq f_{cal}$$

$$-2.792 + \frac{49.798}{\left(1 - \frac{-2.792}{1323.814}\right)} + \frac{0.000}{\left(1 - \frac{-2.792}{249.610}\right)}$$

$$= 47.112 \text{ MPa} \leq f_{ta} = 240.000 \text{ MPa}$$

..... OK

► Position 1 (z-direction)

$$f_c + \frac{f_{bcz}}{\left(1 - \frac{f_c}{f_{Ez}}\right)} + \frac{f_{bcy}}{\left(1 - \frac{f_c}{f_{Ey}}\right)} \leq f_{cal}$$

$$-2.792 + \frac{0.000}{\left(1 - \frac{-2.792}{249.610}\right)} + \frac{-49.798}{\left(1 - \frac{-2.792}{1323.814}\right)}$$

$$= -52.695 \text{ MPa} \leq f_{cal} = 240.000 \text{ MPa}$$

..... OK

$$\frac{f_c}{f_{cay}} + \frac{f_{bcz}}{f_{bagz} \left(1 - \frac{f_c}{f_{Ez}}\right)} + \frac{f_{bcy}}{f_{bao} \left(1 - \frac{f_c}{f_{Ey}}\right)} \leq 1.0$$

$$\frac{-2.792}{221.838} + \frac{0.000}{213.587 \left(1 - \frac{-2.792}{249.610}\right)} + \frac{-49.798}{240.000 \left(1 - \frac{-2.792}{1323.814}\right)}$$

$$= -0.221 \leq 1.0$$

..... OK

► Position 2 (z-direction)

$$f_c + \frac{f_{bcz}}{\left(1 - \frac{f_c}{f_{Ez}}\right)} + \frac{f_{bcy}}{\left(1 - \frac{f_c}{f_{Ey}}\right)} \leq f_{cal}$$

$$-2.792 + \frac{0.000}{\left(1 - \frac{-2.792}{249.610}\right)} + \frac{-49.798}{\left(1 - \frac{-2.792}{1323.814}\right)}$$

$$= -52.695 \text{ MPa} \leq f_{cal} = 140.000 \text{ MPa} \quad \text{..... OK}$$

$$\frac{f_c}{f_{cay}} + \frac{f_{bcz}}{f_{bagz} \left(1 - \frac{f_c}{f_{Ez}}\right)} + \frac{f_{bcy}}{f_{baoy} \left(1 - \frac{f_c}{f_{Ey}}\right)} \leq 1.0$$

$$\frac{-2.792}{221.838} + \frac{0.000}{213.587 \left(1 - \frac{-2.792}{249.610}\right)} + \frac{-49.798}{240.000 \left(1 - \frac{-2.792}{1323.814}\right)}$$

$$= -0.221 \leq 1.0 \quad \text{..... OK}$$

► Position 3 (z-direction)

$$f_c + \frac{f_{bcz}}{\left(1 - \frac{f_c}{f_{Ez}}\right)} + \frac{f_{bcy}}{\left(1 - \frac{f_c}{f_{Ey}}\right)} \leq f_{cal}$$

$$-2.792 + \frac{0.000}{\left(1 - \frac{-2.792}{249.610}\right)} + \frac{49.798}{\left(1 - \frac{-2.792}{1323.814}\right)}$$

$$= 47.112 \text{ MPa} \leq f_{ta} = 240.000 \text{ MPa} \quad \text{..... OK}$$

► Position 4 (z-direction)

$$f_c + \frac{f_{bcz}}{\left(1 - \frac{f_c}{f_{Ez}}\right)} + \frac{f_{bcy}}{\left(1 - \frac{f_c}{f_{Ey}}\right)} \leq f_{cal}$$

$$-2.792 + \frac{0.000}{\left(1 - \frac{-2.792}{249.610}\right)} + \frac{49.798}{\left(1 - \frac{-2.792}{1323.814}\right)}$$

$$= 47.112 \text{ MPa} \leq f_{ta} = 140.000 \text{ MPa} \quad \text{..... OK}$$

10) 전단응력에 대한 검토

$$v_z = F_z / A_w + M_x \times t / K$$

$$= 13.830 \times 10^3 / 1164.000 + 0.000 \times 10^6 \times 6.000E+00 / 8.5600E+04$$

$$= 11.881 \text{ MPa} \leq v_a = 135.000 \text{ MPa} \quad \text{..... OK}$$

$$v_y = F_y / A_f + M_x \times t / K$$

$$= 0.000 \times 10^3 / 1800.000 + 0.000 \times 10^6 \times 9.000E+00 / 8.5600E+04$$

$$= 0.000 \text{ MPa} \leq v_a = 135.000 \text{ MPa} \quad \text{..... OK}$$

여기서, t = 복부 두께 .

11) 합성응력에 대한 검토

$$\left(\frac{f_b}{f_a}\right)^2 + \left(\frac{v_b}{v_a}\right)^2 = \left(\frac{49.798}{240.000}\right)^2 + \left(\frac{11.881}{135.000}\right)^2 = 0.051 < 1.200 \quad \text{..... OK}$$

[2] Min

1) 허용휨인장응력 (f_{ta})

[도기 P3-10, 표3.3.1]

구 분	SM275	
Top Flange	16 이하	240.000
Bottom Flange	16 이하	240.000
Left Web	16 이하	240.000

2) 국부좌굴을 고려하지 않은 허용축방향압축응력 (f_{cag})

[도기 P3-11, 표3.3.2]

▶ Y 축에 대한 유효좌굴길이

부재의 유효좌굴길이	ℓ_y	=	2500.000 mm
부재 총단면의 단면회전반경	r_y	=	83.035 mm
세장비	ℓ_y/r_y	=	30.108

▶ Z 축에 대한 유효좌굴길이

부재의 유효좌굴길이	ℓ_z	=	2500.000 mm
부재 총단면의 단면회전반경	r_z	=	36.056 mm
세장비	ℓ_z/r_z	=	69.336

▶ 세장비 검토

세장비	ℓ / r	=	69.336	≤	120.000	 OK
-----	------------	---	--------	---	---------	----------

구 분		SM275	
Top Flange	16 이하	$20 < \ell/r \leq 93.0$	
		$F_{cagz} = 240 - 1.5 \times (\ell/r - 18) =$	162.996
Bottom Flange	16 이하	$20 < \ell/r \leq 93.0$	
		$F_{cagz} = 240 - 1.5 \times (\ell/r - 18) =$	162.996
Left Web	16 이하	$20 < \ell/r \leq 93.0$	
		$F_{cagz} = 240 - 1.5 \times (\ell/r - 18) =$	162.996
Top Flange	16 이하	$20 < \ell/r \leq 93.0$	
		$F_{cagz} = 240 - 1.5 \times (\ell/r - 18) =$	221.838
Bottom Flange	16 이하	$20 < \ell/r \leq 93.0$	
		$F_{cagz} = 240 - 1.5 \times (\ell/r - 18) =$	221.838
Left Web	16 이하	$20 < \ell/r \leq 93.0$	
		$F_{cagz} = 240 - 1.5 \times (\ell/r - 18) =$	221.838

3) 허용휨압축응력 (f_{bagy})

[도기 P3-16, 표3.3.4]

▶ Top Flange

압축플랜지 고정점간 거리	ℓ	=	2000.000 mm
압축플랜지 폭	b	=	150.000 mm
복부판의 총단면적	A_w	=	1056.000 mm ²
압축플랜지 총단면적	A_c	=	1350.000 mm ²

$$\frac{A_w}{A_c} = 0.782 \leq 2.000, \quad \frac{l}{b} = 13.333, \quad K = \sqrt{3 + \frac{A_w}{2A_c}} = 1.841$$

구 분		SM275	
$\frac{A_w}{A_c} \leq 2.0$	16 이하	$4.5 < \ell/b \leq 30.0$	
		$240 - 2.9 \times (\ell/b - 4.5) =$	214.558

▶ Bottom Flange

압축플랜지 고정점간 거리	ℓ	=	2000.000 mm
압축플랜지 폭	b	=	150.000 mm
복부판의 총단면적	A_w	=	1056.000 mm ²
압축플랜지 총단면적	A_c	=	1350.000 mm ²

$$\frac{A_w}{A_c} = 0.782 \leq 2.000, \quad \frac{l}{b} = 13.333, \quad K = \sqrt{3 + \frac{A_w}{2A_c}} = 1.841$$

구 분		SM275	
$\frac{A_w}{A_c} \leq 2.0$	16 이하	$4.5 < \ell/b \leq 30.0$	
		$240 - 2.9 \times (\ell/b - 4.5) =$	214.558

▶ Left Web

압축플랜지 고정점간 거리 $\ell = 2000.000 \text{ mm}$
 압축플랜지 폭 $b = 176.000 \text{ mm}$
 복부판의 총단면적 $A_w = 2700.000 \text{ mm}^2$
 압축플랜지 총단면적 $A_c = 1056.000 \text{ mm}^2$

$$\frac{A_w}{A_c} = 2.557 > 2.000, \quad \frac{\ell}{b} = 11.364, \quad K = \sqrt{3 + \frac{A_w}{2A_c}} = 2.068$$

구 분		SM275
$\frac{A_w}{A_c} > 2.0$	16 이하	$9.3/K < \ell/b \leq 30.0$
		$240 - 1.86 \times (K \times \ell/b - 9.3)$ 213.587

4) 허용 오일러 좌굴응력

[도기 P3-47, 식3.4.13~14]

$f_{Ey} \text{ (MPa)}$	$1200000/(\ell_y/r_y)^2$	1985.721
$f_{Ez} \text{ (MPa)}$	$1200000/(\ell_z/r_z)^2$	374.414

5) 허용전단응력 (v_a)

[도기 P3-18, 표3.3.5]

구 분	SM275	
Top Flange	16 이하	135.000
Bottom Flange	16 이하	135.000
Left Web	16 이하	135.000

6) 자유돌출판의 국부좌굴에 대한 허용응력

▶ 압축응력을 받는 자유돌출판의 최소두께

[도기 P3-37]

Top Flange(L)

$$t_{\min} = b / 16 = 72.0 / 16.0 = 4.500 \text{ mm} \leq t_f = 9.000 \text{ mm} \quad \text{..... OK}$$

Top Flange(R)

$$t_{\min} = b / 16 = 72.0 / 16.0 = 4.500 \text{ mm} \leq t_f = 9.000 \text{ mm} \quad \text{..... OK}$$

Bottom Flange(L)

$$t_{\min} = b / 16 = 72.0 / 16.0 = 4.500 \text{ mm} \leq t_f = 9.000 \text{ mm} \quad \text{..... OK}$$

Bottom Flange(R)

$$t_{\min} = b / 16 = 72.0 / 16.0 = 4.500 \text{ mm} \leq t_f = 9.000 \text{ mm} \quad \text{..... OK}$$

▶ 자유돌출판의 국부좌굴에 대한 허용응력 (f_{cal})

[도기 P3-38, 표3.4.4]

Top Flange(L) $t = 9.000 \text{ mm}$

$$t_1 = b / 12.9 = 72.0 / 12.9 = 5.581 \text{ mm}$$

구 분	SM275
16 이하	$b/12.9 \leq t$
	240.000

Top Flange(R) $t = 9.000 \text{ mm}$

$$t_1 = b / 12.9 = 72.0 / 12.9 = 5.581 \text{ mm}$$

구 분	SM275
16 이하	$b/12.9 \leq t$
	240.000

Bottom Flange(L) $t = 9.000 \text{ mm}$

$$t_1 = b / 12.9 = 72.0 / 12.9 = 5.581 \text{ mm}$$

구 분	SM275
16 이하	$b/12.9 \leq t$
	240.000

Bottom Flange(R) $t = 9.000 \text{ mm}$

$$t_1 = b / 12.9 = 72.0 / 12.9 = 5.581 \text{ mm}$$

구 분	SM275
16 이하	$b/12.9 \leq t$
	240.000

7) 보강된판 및 양연지지판의 국부좌굴에 대한 허용응력

▶ Left Web

$$\begin{aligned}
 \text{판두께} \quad t &= 6.0 \text{ mm} \\
 \text{판의 고정연 사이의 거리} \quad b &= 176.0 \text{ mm} \\
 \text{응력구배계수} \quad i &= 0.65\Phi^2 + 0.13\Phi + 1.0 = 3.480 \\
 \text{응력구배} \quad \Phi &= (f_1 - f_2) / f_1 = 1.856 \\
 \text{판의 양연에서의 응력} \quad f_1 &= -67.968 \text{ MPa}, \quad f_2 = 58.176 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

압축응력을 받는 양연지지판의 최소두께

[도기 P3-35, 표3.4.2]

$$t \leq 40\text{mm}$$

$$t_{\min} = b / 56i = 176 / 194.89 = 0.9 \leq t = 6.0 \text{ mm} \quad \text{..... OK}$$

양연지지판의 국부좌굴에 대한 허용응력 (f_{cal})

[도기 P3-36, 표3.4.3]

구 분	SM275
16 이하	$b/39.3i \leq t$
	240.000

8) 허용응력 요약

구 분	f_{cal}	f_{caz}	f_{cay}	f_{ta}	σ_a
Top Flange	240.000	162.996	221.838	240.000	135.000
Bottom Flange	240.000	162.996	221.838	240.000	135.000
Left Web	240.000	162.996	221.838	240.000	135.000

$$f_{ca} = f_{cag} \cdot f_{cal} / f_{cao}$$

9) 축방향력 및 휨모멘트를 받는 부재의 허용응력 검토

▶ 축방향력에 의한 응력

$$f_c = P / A = -19.100 \times 10^3 / 3.9010E+03 = -4.896 \text{ MPa}$$

▶ 휨모멘트에 의한 응력

$$\begin{aligned}
 f_{by1} &= M_y \times z_1 / I_{yy} = 69.523 \text{ MPa} & f_{bz1} &= M_z \times y_1 / I_{zz} = 0.000 \text{ MPa} \\
 f_{by2} &= M_y \times z_2 / I_{yy} = 69.523 \text{ MPa} & f_{bz2} &= M_z \times y_2 / I_{zz} = 0.000 \text{ MPa} \\
 f_{by3} &= M_y \times z_3 / I_{yy} = -69.523 \text{ MPa} & f_{bz3} &= M_z \times y_3 / I_{zz} = 0.000 \text{ MPa} \\
 f_{by4} &= M_y \times z_4 / I_{yy} = -69.523 \text{ MPa} & f_{bz4} &= M_z \times y_4 / I_{zz} = 0.000 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

$f_{11} (y_1, z_1)$	64.626	$f_{22} (y_2, z_2)$	64.626
$f_{33} (y_3, z_3)$	-74.419	$f_{44} (y_4, z_4)$	-74.419

▶ Position 1 (y-direction)

$$f_c + \frac{f_{bcy}}{\left(1 - \frac{f_c}{f_{Ey}}\right)} + \frac{f_{bcz}}{\left(1 - \frac{f_c}{f_{Ez}}\right)} \leq f_{cal}$$

$$\begin{aligned}
 -4.896 &+ \frac{69.523}{\left(1 - \frac{-4.896}{1985.721}\right)} + \frac{0.000}{\left(1 - \frac{-4.896}{374.414}\right)} \\
 &= 64.798 \text{ MPa} \leq f_{ta} = 240.000 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

..... OK

► Position 2 (y-direction)

$$f_c + \frac{f_{bcy}}{\left(1 - \frac{f_c}{f_{Ey}}\right)} + \frac{f_{bcz}}{\left(1 - \frac{f_c}{f_{Ez}}\right)} \leq f_{cal}$$

$$-4.896 + \frac{69.523}{\left(1 - \frac{-4.896}{1985.721}\right)} + \frac{0.000}{\left(1 - \frac{-4.896}{374.414}\right)}$$

$$= 64.798 \text{ MPa} \leq f_{ta} = 240.000 \text{ MPa}$$

..... OK

► Position 3 (y-direction)

$$f_c + \frac{f_{bcy}}{\left(1 - \frac{f_c}{f_{Ey}}\right)} + \frac{f_{bcz}}{\left(1 - \frac{f_c}{f_{Ez}}\right)} \leq f_{cal}$$

$$-4.896 + \frac{-69.523}{\left(1 - \frac{-4.896}{1985.721}\right)} + \frac{0.000}{\left(1 - \frac{-4.896}{374.414}\right)}$$

$$= -74.591 \text{ MPa} \leq f_{cal} = 240.000 \text{ MPa}$$

..... OK

$$\frac{f_c}{f_{caz}} + \frac{f_{bcy}}{f_{bagy} \left(1 - \frac{f_c}{f_{Ey}}\right)} + \frac{f_{bcz}}{f_{bao} \left(1 - \frac{f_c}{f_{Ez}}\right)} \leq 1.0$$

$$\frac{-4.896}{162.996} + \frac{-69.523}{118.254 \left(1 - \frac{-4.896}{1985.721}\right)} + \frac{0.000}{240.000 \left(1 - \frac{-4.896}{374.414}\right)}$$

$$= -0.616 \leq 1.000$$

..... OK

► Position 4 (y-direction)

$$f_c + \frac{f_{bcy}}{\left(1 - \frac{f_c}{f_{Ey}}\right)} + \frac{f_{bcz}}{\left(1 - \frac{f_c}{f_{Ez}}\right)} \leq f_{cal}$$

$$-4.896 + \frac{-69.523}{\left(1 - \frac{-4.896}{1985.721}\right)} + \frac{0.000}{\left(1 - \frac{-4.896}{374.414}\right)}$$

$$= -74.591 \text{ MPa} \leq f_{cal} = 240.000 \text{ MPa}$$

..... OK

$$\frac{f_c}{f_{caz}} + \frac{f_{bcy}}{f_{bagy} \left(1 - \frac{f_c}{f_{Ey}}\right)} + \frac{f_{bcz}}{f_{bao} \left(1 - \frac{f_c}{f_{Ez}}\right)} \leq 1.0$$

$$\frac{-4.896}{98.396} + \frac{-69.523}{118.254 \left(1 - \frac{-4.896}{1985.721}\right)} + \frac{0.000}{240.000 \left(1 - \frac{-4.896}{374.414}\right)}$$

$$= -0.636 \leq 1.000$$

..... OK

► Position 1 (z-direction)

$$f_c + \frac{f_{bcz}}{\left(1 - \frac{f_c}{f_{Ez}}\right)} + \frac{f_{bcy}}{\left(1 - \frac{f_c}{f_{Ey}}\right)} \leq f_{cal}$$

$$-4.896 + \frac{0.000}{\left(1 - \frac{-4.896}{374.414}\right)} + \frac{69.523}{\left(1 - \frac{-4.896}{1985.721}\right)}$$

$$= 64.798 \text{ MPa} \leq f_{ta} = 240.000 \text{ MPa} \quad \text{..... OK}$$

► Position 2 (z-direction)

$$f_c + \frac{f_{bcz}}{\left(1 - \frac{f_c}{f_{Ez}}\right)} + \frac{f_{bcy}}{\left(1 - \frac{f_c}{f_{Ey}}\right)} \leq f_{cal}$$

$$-4.896 + \frac{0.000}{\left(1 - \frac{-4.896}{374.414}\right)} + \frac{69.523}{\left(1 - \frac{-4.896}{1985.721}\right)}$$

$$= 64.798 \text{ MPa} \leq f_{ta} = 240.000 \text{ MPa} \quad \text{..... OK}$$

► Position 3 (z-direction)

$$f_c + \frac{f_{bcz}}{\left(1 - \frac{f_c}{f_{Ez}}\right)} + \frac{f_{bcy}}{\left(1 - \frac{f_c}{f_{Ey}}\right)} \leq f_{cal}$$

$$-4.896 + \frac{0.000}{\left(1 - \frac{-4.896}{374.414}\right)} + \frac{-69.523}{\left(1 - \frac{-4.896}{1985.721}\right)}$$

$$= -74.591 \text{ MPa} \leq f_{cal} = 240.000 \text{ MPa} \quad \text{..... OK}$$

$$\frac{f_c}{f_{cay}} + \frac{f_{bcz}}{f_{bagz} \left(1 - \frac{f_c}{f_{Ez}}\right)} + \frac{f_{bcy}}{f_{bao} \left(1 - \frac{f_c}{f_{Ey}}\right)} \leq 1.0$$

$$\frac{-4.896}{221.838} + \frac{0.000}{213.587 \left(1 - \frac{-4.896}{374.414}\right)} + \frac{-69.523}{240.000 \left(1 - \frac{-4.896}{1985.721}\right)}$$

$$= -0.312 \leq 1.0 \quad \text{..... OK}$$

► Position 4 (z-direction)

$$f_c + \frac{f_{bcz}}{\left(1 - \frac{f_c}{f_{Ez}}\right)} + \frac{f_{bcy}}{\left(1 - \frac{f_c}{f_{Ey}}\right)} \leq f_{cal}$$

$$-4.896 + \frac{0.000}{\left(1 - \frac{-4.896}{374.414}\right)} + \frac{-69.523}{\left(1 - \frac{-4.896}{1985.721}\right)}$$

$$= -74.591 \text{ MPa} \leq f_{cal} = 240.000 \text{ MPa} \quad \text{..... OK}$$

$$\frac{f_c}{f_{cay}} + \frac{f_{bcz}}{f_{bagz} \left(1 - \frac{f_c}{f_{Ez}}\right)} + \frac{f_{bcy}}{f_{bao} \left(1 - \frac{f_c}{f_{Ey}}\right)} \leq 1.0$$

$$\frac{-4.896}{221.838} + \frac{0.000}{213.587 \left(1 - \frac{-4.896}{374.414}\right)} + \frac{-69.523}{240.000 \left(1 - \frac{-4.896}{1985.721}\right)}$$

$$= -0.313 \leq 1.0 \quad \text{..... OK}$$

10) 전단응력에 대한 검토

$$u_z = F_z / A_w + M_x \times t / K$$

$$= -13.935 \times 10^3 / 1164.000 + 0.000 \times 10^6 \times 6.000\text{E}+00 / 8.5600\text{E}+04$$

$$= -11.972 \text{ MPa} \leq u_a = 135.000 \text{ MPa} \quad \text{..... OK}$$

$$u_y = F_y / A_f + M_x \times t / K$$

$$= 0.000 \times 10^3 / 1800.000 + 0.000 \times 10^6 \times 9.000\text{E}+00 / 8.5600\text{E}+04$$

$$= 0.000 \text{ MPa} \leq u_a = 135.000 \text{ MPa} \quad \text{..... OK}$$

여기서, $t =$ 복부 두께 .

11) 합성응력에 대한 검토

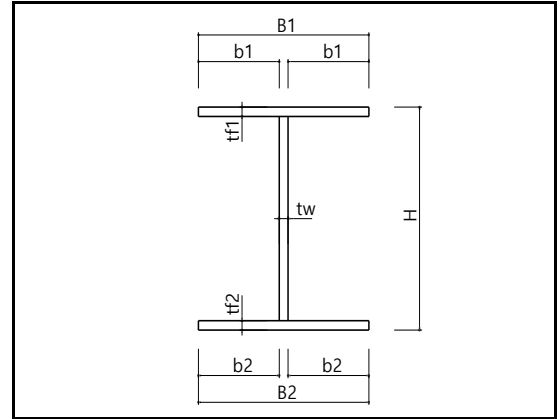
$$\left(\frac{f_b}{f_a}\right)^2 + \left(\frac{v_b}{v_a}\right)^2 = \left(\frac{-69.523}{240.000}\right)^2 + \left(\frac{-11.972}{135.000}\right)^2 = 0.092 < 1.200 \quad \text{..... OK}$$

6.2 지붕부 검토

1.1 단면 제원

사용강종 : SM275

B_1	=	0.1500	m	B_2	=	0.1500	m
b_1	=	0.0720	m	b_2	=	0.0720	m
t_{f1}	=	0.0090	m	t_{f2}	=	0.0090	m
t_w	=	0.0060	m	H	=	0.1940	m



1.2 단면 계수

A (mm ²)	3.901000E+03	I_{yy} (mm ⁴)	2.690000E+07	I_{zz} (mm ⁴)	5.070000E+06
r_y (mm)	8.303531E+01	r_z (mm)	3.605620E+01	K (mm ⁴)	8.560000E+04

검토위치	y_1 (mm)	-75.0	z_1 (mm)	97.0	y_2 (mm)	75.0	z_2 (mm)	97.0
	y_3 (mm)	75.0	z_3 (mm)	-97.0	y_4 (mm)	-75.0	z_4 (mm)	-97.0

1.3 작용하중

구 분	F_x (kN)	F_y (kN)	F_z (kN)	M_x (kN·m)	M_y (kN·m)	M_z (kN·m)	비 고
Max	-9.720	0.000	2.330	0.000	6.800	0.000	
Min	-18.252	0.000	-7.204	0.000	-12.759	0.000	

1.4 응력검토

[1] Max

1) 허용휨인장응력 (f_{ta})

[도기 P3-10, 표3.3.1]

구 분	SM275	
Top Flange	16 이하	240.000
Bottom Flange	16 이하	240.000
Left Web	16 이하	240.000

2) 국부좌굴을 고려하지 않은 허용축방향압축응력 (f_{cag})

[도기 P3-11, 표3.3.2]

▶ Y 축에 대한 유효좌굴길이

부재의 유효좌굴길이	ℓ_y	=	12700.000	mm
부재 총단면의 단면회전반경	r_y	=	83.035	mm
세장비	ℓ_y/r_y	=	152.947	

▶ Z 축에 대한 유효좌굴길이

부재의 유효좌굴길이	ℓ_z	=	12700.000	mm
부재 총단면의 단면회전반경	r_z	=	36.056	mm
세장비	ℓ_z/r_z	=	352.228	

▶ 세장비 검토

세장비	ℓ / r	=	352.228	
-----	------------	---	---------	--

구 분		SM275	
Top Flange	16 이하	90.0 < ℓ/r	
		$F_{cagz} = 1875000 / (6000 + (\ell/r)^2) =$	14.416
Bottom Flange	16 이하	90.0 < ℓ/r	
		$F_{cagz} = 1875000 / (6000 + (\ell/r)^2) =$	14.416
Left Web	16 이하	90.0 < ℓ/r	
		$F_{cagz} = 1875000 / (6000 + (\ell/r)^2) =$	14.416
Top Flange	16 이하	90.0 < ℓ/r	
		$F_{cagz} = 1875000 / (6000 + (\ell/r)^2) =$	145.407
Bottom Flange	16 이하	90.0 < ℓ/r	
		$F_{cagz} = 1875000 / (6000 + (\ell/r)^2) =$	145.407
Left Web	16 이하	90.0 < ℓ/r	
		$F_{cagz} = 1875000 / (6000 + (\ell/r)^2) =$	145.407

3) 허용휨압축응력 (f_{bagy})

[도기 P3-16, 표3.3.4]

▶ Top Flange

압축플랜지 고정점간 거리	ℓ	=	2000.000 mm
압축플랜지 폭	b	=	150.000 mm
복부판의 총단면적	A_w	=	1056.000 mm ²
압축플랜지 총단면적	A_c	=	1350.000 mm ²

$$\frac{A_w}{A_c} = 0.782 \leq 2.000, \quad \frac{l}{b} = 13.333, \quad K = \sqrt{3 + \frac{A_w}{2A_c}} = 1.841$$

구 분		SM275	
$\frac{A_w}{A_c} \leq 2.0$	16 이하	4.5 < $\ell/b \leq 30.0$	
		$240 - 2.9 \times (\ell/b - 4.5) =$	214.384

▶ Bottom Flange

압축플랜지 고정점간 거리	ℓ	=	2000.000 mm
압축플랜지 폭	b	=	150.000 mm
복부판의 총단면적	A_w	=	1056.000 mm ²
압축플랜지 총단면적	A_c	=	1350.000 mm ²

$$\frac{A_w}{A_c} = 0.782 \leq 2.000, \quad \frac{l}{b} = 13.333, \quad K = \sqrt{3 + \frac{A_w}{2A_c}} = 1.841$$

구 분		SM275	
$\frac{A_w}{A_c} \leq 2.0$	16 이하	4.5 < $\ell/b \leq 30.0$	
		$240 - 2.9 \times (\ell/b - 4.5) =$	214.384

▶ Left Web

압축플랜지 고정점간 거리	ℓ	=	2000.000 mm
압축플랜지 폭	b	=	176.000 mm
복부판의 총단면적	A_w	=	2700.000 mm ²
압축플랜지 총단면적	A_c	=	1056.000 mm ²

$$\frac{A_w}{A_c} = 2.557 > 2.000, \quad \frac{l}{b} = 11.364, \quad K = \sqrt{3 + \frac{A_w}{2A_c}} = 2.068$$

구 분		SM275	
$\frac{A_w}{A_c} > 2.0$	16 이하	9.3/K < $\ell/b \leq 30.0$	
		$240 - 1.86 \times (K \times \ell/b - 9.3) =$	213.587

4) 허용 오일러 좌굴응력

[도기 P3-47, 식3.4.13~14]

f_{Ey} (MPa)	$1200000/(l_y/r_y)^2$	51.298
f_{Ez} (MPa)	$1200000/(l_z/r_z)^2$	9.672

5) 허용전단응력 (v_a)

[도기 P3-18, 표3.3.5]

구 분	SM275	
Top Flange	16 이하	135.000
Bottom Flange	16 이하	135.000
Left Web	16 이하	135.000

6) 자유돌출판의 국부좌굴에 대한 허용응력

▶ 압축응력을 받는 자유돌출판의 최소두께

[도기 P3-37]

Top Flange(L)

$$t_{\min} = b / 16 = 72.0 / 16.0 = 4.500 \text{ mm} \leq t_f = 9.000 \text{ mm} \quad \text{..... OK}$$

Top Flange(R)

$$t_{\min} = b / 16 = 72.0 / 16.0 = 4.500 \text{ mm} \leq t_f = 9.000 \text{ mm} \quad \text{..... OK}$$

Bottom Flange(L)

$$t_{\min} = b / 16 = 72.0 / 16.0 = 4.500 \text{ mm} \leq t_f = 9.000 \text{ mm} \quad \text{..... OK}$$

Bottom Flange(R)

$$t_{\min} = b / 16 = 72.0 / 16.0 = 4.500 \text{ mm} \leq t_f = 9.000 \text{ mm} \quad \text{..... OK}$$

▶ 자유돌출판의 국부좌굴에 대한 허용응력 (f_{cal})

[도기 P3-38, 표3.4.4]

Top Flange(L) $t = 9.000 \text{ mm}$

$$t_1 = b / 12.9 = 72.0 / 12.9 = 5.581 \text{ mm}$$

구 분	SM275
16 이하	$b/12.9 \leq t$
	240.000

Top Flange(R) $t = 9.000 \text{ mm}$

$$t_1 = b / 12.9 = 72.0 / 12.9 = 5.581 \text{ mm}$$

구 분	SM275
16 이하	$b/12.9 \leq t$
	240.000

Bottom Flange(L) $t = 9.000 \text{ mm}$

$$t_1 = b / 12.9 = 72.0 / 12.9 = 5.581 \text{ mm}$$

구 분	SM275
16 이하	$b/12.9 \leq t$
	240.000

Bottom Flange(R) $t = 9.000 \text{ mm}$

$$t_1 = b / 12.9 = 72.0 / 12.9 = 5.581 \text{ mm}$$

구 분	SM275
16 이하	$b/12.9 \leq t$
	240.000

7) 보강된판 및 양연지지판의 국부좌굴에 대한 허용응력

▶ Left Web

판두께 $t = 6.0 \text{ mm}$ 판의 고정연 사이의 거리 $b = 176.0 \text{ mm}$ 응력구배계수 $i = 0.65\Phi^2 + 0.13\Phi + 1.0 = 3.336$ 응력구배 $\Phi = (f_1 - f_2) / f_1 = 1.799$ 판의 양연에서의 응력 $f_1 = -24.737 \text{ MPa}, f_2 = 19.754 \text{ MPa}$

압축응력을 받는 양연지지판의 최소두께

[도기 P3-35, 표3.4.2]

$$t \leq 40\text{mm}$$

$$t_{\min} = b / 56i = 176 / 186.84 = 0.9 \leq t = 6.0 \text{ mm} \quad \text{..... OK}$$

양연지지판의 국부좌굴에 대한 허용응력 (f_{cal})

[도기 P3-36, 표3.4.3]

구 분	SM275
16 이하	$b/39.3i \leq t$
	240.000

8) 허용응력 요약

구 분	f_{cal}	f_{caz}	f_{cay}	f_{ta}	v_a
Top Flange	240.000	14.416	145.407	240.000	135.000
Bottom Flange	240.000	14.416	63.791	240.000	135.000
Left Web	240.000	14.416	63.791	240.000	135.000

$$f_{ca} = f_{cag} \cdot f_{cal} / f_{cao}$$

9) 축방향력 및 휨모멘트를 받는 부재의 허용응력 검토

▶ 축방향력에 의한 응력

$$f_c = P / A = -9.720 \times 10^3 / 3.9010\text{E}+03 = -2.492 \text{ MPa}$$

▶ 휨모멘트에 의한 응력

$$\begin{aligned} f_{by1} &= M_y \times z_1 / I_{yy} = -24.520 \text{ MPa} & f_{bz1} &= M_z \times y_1 / I_{zz} = 0.000 \text{ MPa} \\ f_{by2} &= M_y \times z_2 / I_{yy} = -24.520 \text{ MPa} & f_{bz2} &= M_z \times y_2 / I_{zz} = 0.000 \text{ MPa} \\ f_{by3} &= M_y \times z_3 / I_{yy} = 24.520 \text{ MPa} & f_{bz3} &= M_z \times y_3 / I_{zz} = 0.000 \text{ MPa} \\ f_{by4} &= M_y \times z_4 / I_{yy} = 24.520 \text{ MPa} & f_{bz4} &= M_z \times y_4 / I_{zz} = 0.000 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$f_{11} (y_1, z_1)$	-27.012	$f_{22} (y_2, z_2)$	-27.012
$f_{33} (y_3, z_3)$	22.029	$f_{44} (y_4, z_4)$	22.029

▶ Position 1 (y-direction)

$$\begin{aligned} f_c + \frac{f_{bcy}}{\left(1 - \frac{f_c}{f_{Ey}}\right)} + \frac{f_{bcz}}{\left(1 - \frac{f_c}{f_{Ez}}\right)} &\leq f_{cal} \\ -2.492 + \frac{-24.520}{\left(1 - \frac{-2.492}{51.298}\right)} + \frac{0.000}{\left(1 - \frac{-2.492}{9.672}\right)} & \\ = -28.264 \text{ MPa} \leq f_{cal} = 240.000 \text{ MPa} & \quad \text{..... OK} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{f_c}{f_{caz}} + \frac{f_{bcy}}{f_{bagy} \left(1 - \frac{f_c}{f_{Ey}}\right)} + \frac{f_{bcz}}{f_{bao} \left(1 - \frac{f_c}{f_{Ez}}\right)} &\leq 1.0 \\ \frac{-2.492}{14.416} + \frac{-24.520}{214.384 \left(1 - \frac{-2.492}{51.298}\right)} + \frac{0.000}{240.000 \left(1 - \frac{-2.492}{9.672}\right)} & \\ = -0.282 \leq 1.000 & \quad \text{..... OK} \end{aligned}$$

▶ Position 2 (y-direction)

$$f_c + \frac{f_{bcy}}{\left(1 - \frac{f_c}{f_{Ey}}\right)} + \frac{f_{bcz}}{\left(1 - \frac{f_c}{f_{Ez}}\right)} \leq f_{cal}$$

$$-2.492 + \frac{-24.520}{\left(1 - \frac{-2.492}{51.298}\right)} + \frac{0.000}{\left(1 - \frac{-2.492}{9.672}\right)}$$

$$= -28.264 \text{ MPa} \leq f_{cal} = 210.000 \text{ MPa}$$

..... OK

$$\frac{f_c}{f_{caz}} + \frac{f_{bcy}}{f_{bagy} \left(1 - \frac{f_c}{f_{Ey}}\right)} + \frac{f_{bcz}}{f_{bao} \left(1 - \frac{f_c}{f_{Ez}}\right)} \leq 1.0$$

$$\frac{-2.492}{13.765} + \frac{-24.520}{214.384 \left(1 - \frac{-2.492}{51.298}\right)} + \frac{0.000}{240.000 \left(1 - \frac{-2.492}{9.672}\right)}$$

$$= -0.290 \leq 1.000$$

..... OK

► Position 3 (y-direction)

$$f_c + \frac{f_{bcy}}{\left(1 - \frac{f_c}{f_{Ey}}\right)} + \frac{f_{bcz}}{\left(1 - \frac{f_c}{f_{Ez}}\right)} \leq f_{cal}$$

$$-2.492 + \frac{24.520}{\left(1 - \frac{-2.492}{51.298}\right)} + \frac{0.000}{\left(1 - \frac{-2.492}{9.672}\right)}$$

$$= 23.281 \text{ MPa} \leq f_{ta} = 240.000 \text{ MPa}$$

..... OK

► Position 4 (y-direction)

$$f_c + \frac{f_{bcy}}{\left(1 - \frac{f_c}{f_{Ey}}\right)} + \frac{f_{bcz}}{\left(1 - \frac{f_c}{f_{Ez}}\right)} \leq f_{cal}$$

$$-2.492 + \frac{24.520}{\left(1 - \frac{-2.492}{51.298}\right)} + \frac{0.000}{\left(1 - \frac{-2.492}{9.672}\right)}$$

$$= 23.281 \text{ MPa} \leq f_{ta} = 240.000 \text{ MPa}$$

..... OK

► Position 1 (z-direction)

$$f_c + \frac{f_{bcz}}{\left(1 - \frac{f_c}{f_{Ez}}\right)} + \frac{f_{bcy}}{\left(1 - \frac{f_c}{f_{Ey}}\right)} \leq f_{cal}$$

$$-2.492 + \frac{0.000}{\left(1 - \frac{-2.492}{9.672}\right)} + \frac{-24.520}{\left(1 - \frac{-2.492}{51.298}\right)}$$

$$= -28.264 \text{ MPa} \leq f_{cal} = 240.000 \text{ MPa}$$

..... OK

$$\frac{f_c}{f_{cay}} + \frac{f_{bcz}}{f_{bagz} \left(1 - \frac{f_c}{f_{Ez}}\right)} + \frac{f_{bcy}}{f_{bao} \left(1 - \frac{f_c}{f_{Ey}}\right)} \leq 1.0$$

$$\frac{-2.492}{59.815} + \frac{0.000}{213.587 \left(1 - \frac{-2.492}{9.672}\right)} + \frac{-24.520}{240.000 \left(1 - \frac{-2.492}{51.298}\right)}$$

$$= -0.149 \leq 1.0$$

..... OK

► Position 2 (z-direction)

$$f_c + \frac{f_{bcz}}{\left(1 - \frac{f_c}{f_{Ez}}\right)} + \frac{f_{bcy}}{\left(1 - \frac{f_c}{f_{Ey}}\right)} \leq f_{cal}$$

$$-2.492 + \frac{0.000}{\left(1 - \frac{-2.492}{9.672}\right)} + \frac{-24.520}{\left(1 - \frac{-2.492}{51.298}\right)}$$

$$= -28.264 \text{ MPa} \leq f_{cal} = 210.000 \text{ MPa} \quad \text{..... OK}$$

$$\frac{f_c}{f_{cay}} + \frac{f_{bcz}}{f_{bagz} \left(1 - \frac{f_c}{f_{Ez}}\right)} + \frac{f_{bcy}}{f_{baoy} \left(1 - \frac{f_c}{f_{Ey}}\right)} \leq 1.0$$

$$\frac{-2.492}{59.815} + \frac{0.000}{183.579 \left(1 - \frac{-2.492}{9.672}\right)} + \frac{-24.520}{240.000 \left(1 - \frac{-2.492}{51.298}\right)}$$

$$= -0.149 \leq 1.0 \quad \text{..... OK}$$

► Position 3 (z-direction)

$$f_c + \frac{f_{bcz}}{\left(1 - \frac{f_c}{f_{Ez}}\right)} + \frac{f_{bcy}}{\left(1 - \frac{f_c}{f_{Ey}}\right)} \leq f_{cal}$$

$$-2.492 + \frac{0.000}{\left(1 - \frac{-2.492}{9.672}\right)} + \frac{24.520}{\left(1 - \frac{-2.492}{51.298}\right)}$$

$$= 23.281 \text{ MPa} \leq f_{ta} = 240.000 \text{ MPa} \quad \text{..... OK}$$

► Position 4 (z-direction)

$$f_c + \frac{f_{bcz}}{\left(1 - \frac{f_c}{f_{Ez}}\right)} + \frac{f_{bcy}}{\left(1 - \frac{f_c}{f_{Ey}}\right)} \leq f_{cal}$$

$$-2.492 + \frac{0.000}{\left(1 - \frac{-2.492}{9.672}\right)} + \frac{24.520}{\left(1 - \frac{-2.492}{51.298}\right)}$$

$$= 23.281 \text{ MPa} \leq f_{ta} = 210.000 \text{ MPa} \quad \text{..... OK}$$

11) 전단응력에 대한 검토

$$v_z = F_z / A_w + M_x \times t / K$$

$$= 2.330 \times 10^3 / 1164.000 + 0.000 \times 10^6 \times 6.000\text{E}+00 / 8.5600\text{E}+04$$

$$= 2.002 \text{ MPa} \leq v_a = 135.000 \text{ MPa} \quad \text{..... OK}$$

$$v_y = F_y / A_f + M_x \times t / K$$

$$= 0.000 \times 10^3 / 1800.000 + 0.000 \times 10^6 \times 9.000\text{E}+00 / 8.5600\text{E}+04$$

$$= 0.000 \text{ MPa} \leq v_a = 135.000 \text{ MPa} \quad \text{..... OK}$$

여기서, t = 복부 두께 .

12) 합성응력에 대한 검토

$$\left(\frac{f_b}{f_a}\right)^2 + \left(\frac{v_b}{v_a}\right)^2 = \left(\frac{24.520}{240.000}\right)^2 + \left(\frac{2.002}{135.000}\right)^2 = 0.011 < 1.200 \quad \text{..... OK}$$

[2] Min

1) 허용힘인장응력 (f_{ta})

[도기 P3-10, 표3.3.1]

구 분	SM275	
Top Flange	16 이하	240.000
Bottom Flange	16 이하	240.000
Left Web	16 이하	240.000

2) 국부좌굴을 고려하지 않은 허용축방향압축응력 (f_{cag})

[도기 P3-11, 표3.3.2]

▶ Y 축에 대한 유효좌굴길이

부재의 유효좌굴길이	ℓ_y	=	12700.000 mm
부재 총단면의 단면회전반경	r_y	=	83.035 mm
세장비	ℓ_y/r_y	=	152.947

▶ Z 축에 대한 유효좌굴길이

부재의 유효좌굴길이	ℓ_z	=	12700.000 mm
부재 총단면의 단면회전반경	r_z	=	36.056 mm
세장비	ℓ_z/r_z	=	352.228

▶ 세장비 검토

세장비	ℓ / r	=	352.228
-----	------------	---	---------

구 분		SM275	
Top Flange	16 이하	$90.0 < \ell/r$	
		$F_{cagz} = 1875000 / (6000 + (\ell/r)^2) =$	256.848
Bottom Flange	16 이하	$90.0 < \ell/r$	
		$F_{cagz} = 1875000 / (6000 + (\ell/r)^2) =$	256.848
Left Web	16 이하	$90.0 < \ell/r$	
		$F_{cagz} = 1875000 / (6000 + (\ell/r)^2) =$	256.848
Top Flange	16 이하	$90.0 < \ell/r$	
		$F_{cagy} = 1875000 / (6000 + (\ell/r)^2) =$	145.407
Bottom Flange	16 이하	$90.0 < \ell/r$	
		$F_{cagy} = 1875000 / (6000 + (\ell/r)^2) =$	145.407
Left Web	16 이하	$90.0 < \ell/r$	
		$F_{cagy} = 1875000 / (6000 + (\ell/r)^2) =$	145.407

3) 허용휨압축응력 (f_{bagy})

[도기 P3-16, 표3.3.4]

▶ Top Flange

압축플랜지 고정점간 거리	ℓ	=	2000.000 mm
압축플랜지 폭	b	=	150.000 mm
복부판의 총단면적	A_w	=	1056.000 mm ²
압축플랜지 총단면적	A_c	=	1350.000 mm ²

$$\frac{A_w}{A_c} = 0.782 \leq 2.000, \quad \frac{l}{b} = 13.333, \quad K = \sqrt{3 + \frac{A_w}{2A_c}} = 1.841$$

구 분		SM275	
$\frac{A_w}{A_c} \leq 2.0$	16 이하	$4.5 < \ell/b \leq 30.0$	
		$240 - 2.9 \times (\ell/b - 4.5) =$	214.558

▶ Bottom Flange

압축플랜지 고정점간 거리	ℓ	=	2000.000 mm
압축플랜지 폭	b	=	150.000 mm
복부판의 총단면적	A_w	=	1056.000 mm ²
압축플랜지 총단면적	A_c	=	1350.000 mm ²

$$\frac{A_w}{A_c} = 0.782 \leq 2.000, \quad \frac{l}{b} = 13.333, \quad K = \sqrt{3 + \frac{A_w}{2A_c}} = 1.841$$

구 분		SM275	
$\frac{A_w}{A_c} \leq 2.0$	16 이하	$4.5 < \ell/b \leq 30.0$	
		$240 - 2.9 \times (\ell/b - 4.5) =$	214.558

▶ Left Web

압축플랜지 고정점간 거리 $\ell = 2000.000 \text{ mm}$
 압축플랜지 폭 $b = 176.000 \text{ mm}$
 복부판의 총단면적 $A_w = 2700.000 \text{ mm}^2$
 압축플랜지 총단면적 $A_c = 1056.000 \text{ mm}^2$

$$\frac{A_w}{A_c} = 2.557 > 2.000, \quad \frac{\ell}{b} = 11.364, \quad K = \sqrt{3 + \frac{A_w}{2A_c}} = 2.068$$

구 분		SM275
$\frac{A_w}{A_c} > 2.0$	40 이하	$9.3/K < \ell/b \leq 30.0$
		$240 - 1.86 \times (K \times \ell/b - 9.3) = 213.587$

4) 허용 오일러 좌굴응력

[도기 P3-47, 식3.4.13~14]

$f_{Ey} \text{ (MPa)}$	$1200000/(\ell_y/r_y)^2$	51.298
$f_{Ez} \text{ (MPa)}$	$1200000/(\ell_z/r_z)^2$	9.672

5) 허용전단응력 (v_a)

[도기 P3-18, 표3.3.5]

구 분	SM275	
Top Flange	16 이하	135.000
Bottom Flange	16 이하	135.000
Left Web	16 이하	135.000

6) 자유돌출판의 국부좌굴에 대한 허용응력

▶ 압축응력을 받는 자유돌출판의 최소두께

[도기 P3-37]

Top Flange(L)

$$t_{\min} = b / 16 = 72.0 / 16.0 = 4.500 \text{ mm} \leq t_f = 9.000 \text{ mm} \quad \text{..... OK}$$

Top Flange(R)

$$t_{\min} = b / 16 = 72.0 / 16.0 = 4.500 \text{ mm} \leq t_f = 9.000 \text{ mm} \quad \text{..... OK}$$

Bottom Flange(L)

$$t_{\min} = b / 16 = 72.0 / 16.0 = 4.500 \text{ mm} \leq t_f = 9.000 \text{ mm} \quad \text{..... OK}$$

Bottom Flange(R)

$$t_{\min} = b / 16 = 72.0 / 16.0 = 4.500 \text{ mm} \leq t_f = 9.000 \text{ mm} \quad \text{..... OK}$$

▶ 자유돌출판의 국부좌굴에 대한 허용응력 (f_{cal})

[도기 P3-38, 표3.4.4]

Top Flange(L) $t = 9.000 \text{ mm}$

$$t_1 = b / 12.9 = 72.0 / 12.9 = 5.581 \text{ mm}$$

구 분	SM275
16 이하	$b/12.9 \leq t$
	240.000

Top Flange(R) $t = 9.000 \text{ mm}$

$$t_1 = b / 12.9 = 72.0 / 12.9 = 5.581 \text{ mm}$$

구 분	SM275
16 이하	$b/12.9 \leq t$
	240.000

Bottom Flange(L) $t = 9.000 \text{ mm}$

$$t_1 = b / 12.9 = 72.0 / 12.9 = 5.581 \text{ mm}$$

구 분	SM275
16 이하	$b/12.9 \leq t$
	240.000

Bottom Flange(R) $t = 9.000 \text{ mm}$

$$t_1 = b / 12.9 = 72.0 / 12.9 = 5.581 \text{ mm}$$

구 분	SM275
16 이하	$b/12.9 \leq t$
	240.000

7) 보강된판 및 양연지지판의 국부좌굴에 대한 허용응력

▶ Left Web

$$\begin{aligned}
 \text{판두께} \quad t &= 6.0 \text{ mm} \\
 \text{판의 고정연 사이의 거리} \quad b &= 176.0 \text{ mm} \\
 \text{응력구배계수} \quad i &= 0.65\Phi^2 + 0.13\Phi + 1.0 = 3.336 \\
 \text{응력구배} \quad \Phi &= (f_1 - f_2) / f_1 = 1.798 \\
 \text{판의 양연에서의 응력} \quad f_1 &= -46.417 \text{ MPa}, \quad f_2 = 37.059 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

압축응력을 받는 양연지지판의 최소두께

[도기 P3-35, 표3.4.2]

$$t \leq 40 \text{ mm}$$

$$t_{\min} = b / 56i = 176 / 186.82 = 0.9 \leq t = 6.0 \text{ mm} \quad \text{..... OK}$$

양연지지판의 국부좌굴에 대한 허용응력 (f_{cal})

[도기 P3-36, 표3.4.3]

구 분	SM275
16 이하	$b/39.3i \leq t$
	240.000

8) 허용응력 요약

구 분	f_{cal}	f_{caz}	f_{cay}	f_{ta}	σ_a
Top Flange	240.000	256.848	145.407	240.000	135.000
Bottom Flange	240.000	14.416	63.791	240.000	135.000
Left Web	240.000	14.416	63.791	240.000	135.000

$$f_{ca} = f_{cag} \cdot f_{cal} / f_{cao}$$

10) 축방향력 및 휨모멘트를 받는 부재의 허용응력 검토

▶ 축방향력에 의한 응력

$$f_c = P / A = -18.252 \times 10^3 / 3.9010E+03 = -4.679 \text{ MPa}$$

▶ 휨모멘트에 의한 응력

$$\begin{aligned}
 f_{by1} &= M_y \times z_1 / I_{yy} = 46.007 \text{ MPa} & f_{bz1} &= M_z \times y_1 / I_{zz} = 0.000 \text{ MPa} \\
 f_{by2} &= M_y \times z_2 / I_{yy} = 46.007 \text{ MPa} & f_{bz2} &= M_z \times y_2 / I_{zz} = 0.000 \text{ MPa} \\
 f_{by3} &= M_y \times z_3 / I_{yy} = -46.007 \text{ MPa} & f_{bz3} &= M_z \times y_3 / I_{zz} = 0.000 \text{ MPa} \\
 f_{by4} &= M_y \times z_4 / I_{yy} = -46.007 \text{ MPa} & f_{bz4} &= M_z \times y_4 / I_{zz} = 0.000 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

$f_{11} (y_1, z_1)$	41.328	$f_{22} (y_2, z_2)$	41.328
$f_{33} (y_3, z_3)$	-50.685	$f_{44} (y_4, z_4)$	-50.685

▶ Position 1 (y-direction)

$$f_c + \frac{f_{bcy}}{\left(1 - \frac{f_c}{f_{Ey}}\right)} + \frac{f_{bcz}}{\left(1 - \frac{f_c}{f_{Ez}}\right)} \leq f_{cal}$$

$$-4.679 + \frac{46.007}{\left(1 - \frac{-4.679}{51.298}\right)} + \frac{0.000}{\left(1 - \frac{-4.679}{9.672}\right)}$$

$$= 45.945 \text{ MPa} \leq f_{ta} = 240.000 \text{ MPa}$$

..... OK

► Position 2 (y-direction)

$$f_c + \frac{f_{bcy}}{\left(1 - \frac{f_c}{f_{Ey}}\right)} + \frac{f_{bcz}}{\left(1 - \frac{f_c}{f_{Ez}}\right)} \leq f_{cal}$$

$$-4.679 + \frac{46.007}{\left(1 - \frac{-4.679}{51.298}\right)} + \frac{0.000}{\left(1 - \frac{-4.679}{9.672}\right)}$$

$$= 45.945 \text{ MPa} \leq f_{ta} = 240.000 \text{ MPa}$$

..... OK

► Position 3 (y-direction)

$$f_c + \frac{f_{bcy}}{\left(1 - \frac{f_c}{f_{Ey}}\right)} + \frac{f_{bcz}}{\left(1 - \frac{f_c}{f_{Ez}}\right)} \leq f_{cal}$$

$$-4.679 + \frac{-46.007}{\left(1 - \frac{-4.679}{51.298}\right)} + \frac{0.000}{\left(1 - \frac{-4.679}{9.672}\right)}$$

$$= -55.303 \text{ MPa} \leq f_{cal} = 210.000 \text{ MPa}$$

..... OK

$$\frac{f_c}{f_{caz}} + \frac{f_{bcy}}{f_{bagy} \left(1 - \frac{f_c}{f_{Ey}}\right)} + \frac{f_{bcz}}{f_{bao} \left(1 - \frac{f_c}{f_{Ez}}\right)} \leq 1.0$$

$$\frac{-4.679}{256.848} + \frac{-46.007}{214.558 \left(1 - \frac{-4.679}{51.298}\right)} + \frac{0.000}{240.000 \left(1 - \frac{-4.679}{9.672}\right)}$$

$$= -0.213 \leq 1.000$$

..... OK

► Position 4 (y-direction)

$$f_c + \frac{f_{bcy}}{\left(1 - \frac{f_c}{f_{Ey}}\right)} + \frac{f_{bcz}}{\left(1 - \frac{f_c}{f_{Ez}}\right)} \leq f_{cal}$$

$$-4.679 + \frac{-46.007}{\left(1 - \frac{-4.679}{51.298}\right)} + \frac{0.000}{\left(1 - \frac{-4.679}{9.672}\right)}$$

$$= -55.303 \text{ MPa} \leq f_{cal} = 240.000 \text{ MPa}$$

..... OK

$$\frac{f_c}{f_{caz}} + \frac{f_{bcy}}{f_{bagy} \left(1 - \frac{f_c}{f_{Ey}}\right)} + \frac{f_{bcz}}{f_{bao} \left(1 - \frac{f_c}{f_{Ez}}\right)} \leq 1.0$$

$$\frac{-4.679}{256.848} + \frac{-46.007}{214.558 \left(1 - \frac{-4.679}{51.298}\right)} + \frac{0.000}{240.000 \left(1 - \frac{-4.679}{9.672}\right)}$$

$$= -0.213 \leq 1.000$$

..... OK

► Position 1 (z-direction)

$$f_c + \frac{f_{bcz}}{\left(1 - \frac{f_c}{f_{Ez}}\right)} + \frac{f_{bcy}}{\left(1 - \frac{f_c}{f_{Ey}}\right)} \leq f_{cal}$$

$$-4.679 + \frac{0.000}{\left(1 - \frac{-4.679}{9.672}\right)} + \frac{46.007}{\left(1 - \frac{-4.679}{51.298}\right)}$$

$$= 45.945 \text{ MPa} \leq f_{ta} = 240.000 \text{ MPa} \quad \text{..... OK}$$

► Position 2 (z-direction)

$$f_c + \frac{f_{bcz}}{\left(1 - \frac{f_c}{f_{Ez}}\right)} + \frac{f_{bcy}}{\left(1 - \frac{f_c}{f_{Ey}}\right)} \leq f_{cal}$$

$$\begin{array}{c} -4.679 \\ + \frac{0.000}{\left(1 - \frac{-4.679}{9.672}\right)} + \frac{46.007}{\left(1 - \frac{-4.679}{51.298}\right)} \end{array}$$

$$= 45.945 \text{ MPa} \leq f_{ta} = 240.000 \text{ MPa} \quad \text{..... OK}$$

► Position 3 (z-direction)

$$f_c + \frac{f_{bcz}}{\left(1 - \frac{f_c}{f_{Ez}}\right)} + \frac{f_{bcy}}{\left(1 - \frac{f_c}{f_{Ey}}\right)} \leq f_{cal}$$

$$\begin{array}{c} -4.679 \\ + \frac{0.000}{\left(1 - \frac{-4.679}{9.672}\right)} + \frac{-46.007}{\left(1 - \frac{-4.679}{51.298}\right)} \end{array}$$

$$= -55.303 \text{ MPa} \leq f_{cal} = 240.000 \text{ MPa} \quad \text{..... OK}$$

$$\frac{f_c}{f_{cay}} + \frac{f_{bcz}}{f_{bagz} \left(1 - \frac{f_c}{f_{Ez}}\right)} + \frac{f_{bcy}}{f_{bao} \left(1 - \frac{f_c}{f_{Ey}}\right)} \leq 1.0$$

$$\begin{array}{c} -4.679 \\ 145.407 + \frac{0.000}{213.587 \left(1 - \frac{-4.679}{9.672}\right)} + \frac{-46.007}{240.000 \left(1 - \frac{-4.679}{51.298}\right)} \end{array}$$

$$= -0.243 \leq 1.0 \quad \text{..... OK}$$

► Position 4 (z-direction)

$$f_c + \frac{f_{bcz}}{\left(1 - \frac{f_c}{f_{Ez}}\right)} + \frac{f_{bcy}}{\left(1 - \frac{f_c}{f_{Ey}}\right)} \leq f_{cal}$$

$$\begin{array}{c} -4.679 \\ + \frac{0.000}{\left(1 - \frac{-4.679}{9.672}\right)} + \frac{-46.007}{\left(1 - \frac{-4.679}{51.298}\right)} \end{array}$$

$$= -55.303 \text{ MPa} \leq f_{cal} = 240.000 \text{ MPa} \quad \text{..... OK}$$

$$\frac{f_c}{f_{cay}} + \frac{f_{bcz}}{f_{bagz} \left(1 - \frac{f_c}{f_{Ez}}\right)} + \frac{f_{bcy}}{f_{bao} \left(1 - \frac{f_c}{f_{Ey}}\right)} \leq 1.0$$

$$\begin{array}{c} -4.679 \\ 145.407 + \frac{0.000}{213.587 \left(1 - \frac{-4.679}{9.672}\right)} + \frac{-46.007}{240.000 \left(1 - \frac{-4.679}{51.298}\right)} \end{array}$$

$$= -0.243 \leq 1.0 \quad \text{..... OK}$$

11) 전단응력에 대한 검토

$$u_z = F_z / A_w + M_x \times t / K$$

$$= -7.204 \times 10^3 / 1164.000 + 0.000 \times 10^6 \times 6.000\text{E}+00 / 8.5600\text{E}+04$$

$$= -6.189 \text{ MPa} \leq u_a = 135.000 \text{ MPa} \quad \text{..... OK}$$

$$u_y = F_y / A_f + M_x \times t / K$$

$$= 0.000 \times 10^3 / 1800.000 + 0.000 \times 10^6 \times 9.000\text{E}+00 / 8.5600\text{E}+04$$

$$= 0.000 \text{ MPa} \leq u_a = 135.000 \text{ MPa} \quad \text{..... OK}$$

여기서, $t =$ 복부 두께 .

12) 합성응력에 대한 검토

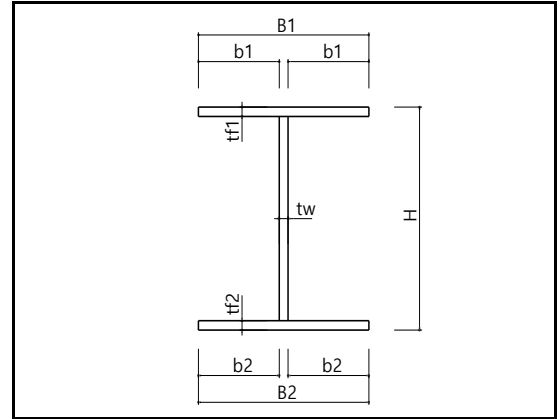
$$\left(\frac{f_b}{f_a}\right)^2 + \left(\frac{v_b}{v_a}\right)^2 = \left(\frac{-46.007}{240.000}\right)^2 + \left(\frac{-6.189}{240.000}\right)^2 = 0.037 < 1.200 \quad \text{..... OK}$$

6.3 브라켓 검토

1.1 단면 제원

사용강종 : SM275

B_1	=	0.1500	m	B_2	=	0.1500	m
b_1	=	0.0720	m	b_2	=	0.0720	m
t_{f1}	=	0.0090	m	t_{f2}	=	0.0090	m
t_w	=	0.0060	m	H	=	0.1940	m



1.2 단면 계수

A (mm ²)	3.901000E+03	I_{yy} (mm ⁴)	2.690000E+07	I_{zz} (mm ⁴)	5.070000E+06
r_y (mm)	8.303531E+01	r_z (mm)	3.605620E+01	K (mm ⁴)	8.560000E+04

검토위치	y_1 (mm)	-75.0	z_1 (mm)	97.0	y_2 (mm)	75.0	z_2 (mm)	97.0
	y_3 (mm)	75.0	z_3 (mm)	-97.0	y_4 (mm)	-75.0	z_4 (mm)	-97.0

1.3 작용하중

구 분	F_x (kN)	F_y (kN)	F_z (kN)	M_x (kN·m)	M_y (kN·m)	M_z (kN·m)	비 고
Max	-5.140	0.000	1.460	0.000	0.320	0.000	
Min	-35.180	0.000	-1.820	0.000	-5.000	0.000	

1.4 응력검토

[1] Max

1) 허용휨인장응력 (f_{ta})

[도기 P3-10, 표3.3.1]

구 분	SM275	
Top Flange	16 이하	240.000
Bottom Flange	16 이하	240.000
Left Web	16 이하	240.000

2) 국부좌굴을 고려하지 않은 허용축방향압축응력 (f_{cag})

[도기 P3-11, 표3.3.2]

▶ Y 축에 대한 유효좌굴길이

부재의 유효좌굴길이	ℓ_y	=	1500.000	mm
부재 총단면의 단면회전반경	r_y	=	83.035	mm
세장비	ℓ_y/r_y	=	18.065	

▶ Z 축에 대한 유효좌굴길이

부재의 유효좌굴길이	ℓ_z	=	1500.000	mm
부재 총단면의 단면회전반경	r_z	=	36.056	mm
세장비	ℓ_z/r_z	=	41.602	

▶ 세장비 검토

세장비	ℓ / r	=	41.602	
-----	------------	---	--------	--

구 분		SM275	
Top Flange	16이하	$20 < \ell/r \leq 93.0$	
		$F_{cagz} = 240 - 1.5 \times (\ell/r - 18) =$	204.597
Bottom Flange	16 이하	$20 < \ell/r \leq 93.0$	
		$F_{cagz} = 240 - 1.5 \times (\ell/r - 18) =$	204.597
Left Web	16이하	$20 < \ell/r \leq 93.0$	
		$F_{cagz} = 240 - 1.5 \times (\ell/r - 18) =$	204.597
Top Flange	16 이하	$20 < \ell/r \leq 93.0$	
		$F_{cagy} =$	240.000
Bottom Flange	16 이하	$20 < \ell/r \leq 93.0$	
		$F_{cagy} =$	240.000
Left Web	16 이하	$20 < \ell/r \leq 93.0$	
		$F_{cagy} =$	240.000

3) 허용휨압축응력 (f_{bagy})

[도기 P3-16, 표3.3.4]

▶ Top Flange

압축플랜지 고정점간 거리	ℓ	=	2000.000	mm
압축플랜지 폭	b	=	150.000	mm
복부판의 총단면적	A_w	=	1056.000	mm ²
압축플랜지 총단면적	A_c	=	1350.000	mm ²

$$\frac{A_w}{A_c} = 0.782 \leq 2.000, \quad \frac{l}{b} = 13.333, \quad K = \sqrt{3 + \frac{A_w}{2A_c}} = 1.841$$

구 분		SM275	
$\frac{A_w}{A_c} \leq 2.0$	16 이하	$4.5 < \ell/b \leq 30.0$	
		$240 - 2.9 \times (\ell/b - 4.5) =$	214.558

▶ Bottom Flange

압축플랜지 고정점간 거리	ℓ	=	2000.000	mm
압축플랜지 폭	b	=	150.000	mm
복부판의 총단면적	A_w	=	1056.000	mm ²
압축플랜지 총단면적	A_c	=	1350.000	mm ²

$$\frac{A_w}{A_c} = 0.782 \leq 2.000, \quad \frac{l}{b} = 13.333, \quad K = \sqrt{3 + \frac{A_w}{2A_c}} = 1.841$$

구 분		SM275	
$\frac{A_w}{A_c} \leq 2.0$	16 이하	$4.5 < \ell/b \leq 30.0$	
		$240 - 2.9 \times (\ell/b - 4.5) =$	214.558

▶ Left Web

압축플랜지 고정점간 거리	ℓ	=	2000.000	mm
압축플랜지 폭	b	=	176.000	mm
복부판의 총단면적	A_w	=	2700.000	mm ²
압축플랜지 총단면적	A_c	=	1056.000	mm ²

$$\frac{A_w}{A_c} = 2.557 > 2.000, \quad \frac{l}{b} = 11.364, \quad K = \sqrt{3 + \frac{A_w}{2A_c}} = 2.068$$

구 분		SM275	
$\frac{A_w}{A_c} > 2.0$	16 이하	$9.3/K < \ell/b \leq 30.0$	
		$240 - 1.86 \times (K \times \ell/b - 9.3) =$	213.587

4) 허용 오일러 좌굴응력

[도기 P3-47, 식3.4.13~14]

f_{Ey} (MPa)	$1200000/(l_y/r_y)^2$	3677.260
f_{Ez} (MPa)	$1200000/(l_z/r_z)^2$	693.360

5) 허용전단응력 (v_a)

[도기 P3-18, 표3.3.5]

구 분	SM275	
Top Flange	16 이하	135.000
Bottom Flange	16 이하	135.000
Left Web	16 이하	135.000

6) 자유돌출판의 국부좌굴에 대한 허용응력

▶ 압축응력을 받는 자유돌출판의 최소두께

[도기 P3-37]

Top Flange(L)

$$t_{\min} = b / 16 = 72.0 / 16.0 = 4.500 \text{ mm} \leq t_f = 9.000 \text{ mm} \quad \text{..... OK}$$

Top Flange(R)

$$t_{\min} = b / 16 = 72.0 / 16.0 = 4.500 \text{ mm} \leq t_f = 9.000 \text{ mm} \quad \text{..... OK}$$

Bottom Flange(L)

$$t_{\min} = b / 16 = 72.0 / 16.0 = 4.500 \text{ mm} \leq t_f = 9.000 \text{ mm} \quad \text{..... OK}$$

Bottom Flange(R)

$$t_{\min} = b / 16 = 72.0 / 16.0 = 4.500 \text{ mm} \leq t_f = 9.000 \text{ mm} \quad \text{..... OK}$$

▶ 자유돌출판의 국부좌굴에 대한 허용응력 (f_{cal})

[도기 P3-38, 표3.4.4]

Top Flange(L) $t = 9.000 \text{ mm}$

$$t_1 = b / 12.9 = 72.0 / 12.9 = 5.581 \text{ mm}$$

구 분	SM275
16 이하	$b/12.9 \leq t$
	240.000

Top Flange(R) $t = 9.000 \text{ mm}$

$$t_1 = b / 12.9 = 72.0 / 12.9 = 5.581 \text{ mm}$$

구 분	SM275
16 이하	$b/12.9 \leq t$
	240.000

Bottom Flange(L) $t = 9.000 \text{ mm}$

$$t_1 = b / 12.9 = 72.0 / 12.9 = 5.581 \text{ mm}$$

구 분	SM275
16 이하	$b/12.9 \leq t$
	240.000

Bottom Flange(R) $t = 9.000 \text{ mm}$

$$t_1 = b / 12.9 = 72.0 / 12.9 = 5.581 \text{ mm}$$

구 분	SM275
16 이하	$b/12.9 \leq t$
	240.000

7) 보강된판 및 양연지지판의 국부좌굴에 대한 허용응력

▶ Left Web

판두께 $t = 6.0 \text{ mm}$ 판의 고정연 사이의 거리 $b = 176.0 \text{ mm}$ 응력구배계수 $i = 0.65\Phi^2 + 0.13\Phi + 1.0 = 1.625$ 응력구배 $\Phi = (f_1 - f_2) / f_1 = 0.885$ 판의 양연에서의 응력 $f_1 = -2.364 \text{ MPa}, f_2 = -0.271 \text{ MPa}$

압축응력을 받는 양연지지판의 최소두께

[도기 P3-35, 표3.4.2]

$$t \leq 40\text{mm}$$

$$t_{\min} = b / 56i = 176 / 90.987 = 1.9 \leq t = 6.0 \text{ mm} \quad \text{..... OK}$$

양연지지판의 국부좌굴에 대한 허용응력 (f_{cal})

[도기 P3-36, 표3.4.3]

구 분	SM275
16 이하	$b/39.3i \leq t$
	240.000

8) 허용응력 요약

구 분	f_{cal}	f_{caz}	f_{cay}	f_{ta}	v_a
Top Flange	240.000	204.597	240.000	240.000	135.000
Bottom Flange	240.000	204.597	240.000	240.000	135.000
Left Web	240.000	204.597	240.000	240.000	135.000

$$f_{ca} = f_{cag} \cdot f_{cal} / f_{cao}$$

9) 축방향력 및 휨모멘트를 받는 부재의 허용응력 검토

▶ 축방향력에 의한 응력

$$f_c = P / A = -5.140 \times 10^3 / 3.9010\text{E}+03 = -1.318 \text{ MPa}$$

▶ 휨모멘트에 의한 응력

$$\begin{aligned} f_{by1} &= M_y \times z_1 / I_{yy} = -1.154 \text{ MPa} & f_{bz1} &= M_z \times y_1 / I_{zz} = 0.000 \text{ MPa} \\ f_{by2} &= M_y \times z_2 / I_{yy} = -1.154 \text{ MPa} & f_{bz2} &= M_z \times y_2 / I_{zz} = 0.000 \text{ MPa} \\ f_{by3} &= M_y \times z_3 / I_{yy} = 1.154 \text{ MPa} & f_{bz3} &= M_z \times y_3 / I_{zz} = 0.000 \text{ MPa} \\ f_{by4} &= M_y \times z_4 / I_{yy} = 1.154 \text{ MPa} & f_{bz4} &= M_z \times y_4 / I_{zz} = 0.000 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$f_{11} (y_1, z_1)$	-2.472	$f_{22} (y_2, z_2)$	-2.472
$f_{33} (y_3, z_3)$	-0.164	$f_{44} (y_4, z_4)$	-0.164

▶ Position 1 (y-direction)

$$\begin{aligned} f_c + \frac{f_{bcy}}{\left(1 - \frac{f_c}{f_{Ey}}\right)} + \frac{f_{bcz}}{\left(1 - \frac{f_c}{f_{Ez}}\right)} &\leq f_{cal} \\ -1.318 + \frac{-1.154}{\left(1 - \frac{-1.318}{3677.260}\right)} + \frac{0.000}{\left(1 - \frac{-1.318}{693.360}\right)} & \\ = -2.472 \text{ MPa} \leq f_{cal} = 240.000 \text{ MPa} & \quad \text{..... OK} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{f_c}{f_{caz}} + \frac{f_{bcy}}{f_{bagy} \left(1 - \frac{f_c}{f_{Ey}}\right)} + \frac{f_{bcz}}{f_{bao} \left(1 - \frac{f_c}{f_{Ez}}\right)} &\leq 1.0 \\ \frac{-1.318}{204.597} + \frac{-1.154}{214.558 \left(1 - \frac{-1.318}{3677.260}\right)} + \frac{0.000}{240.000 \left(1 - \frac{-1.318}{693.360}\right)} & \\ = -0.012 \leq 1.000 & \quad \text{..... OK} \end{aligned}$$

▶ Position 2 (y-direction)

$$f_c + \frac{f_{bcy}}{\left(1 - \frac{f_c}{f_{Ey}}\right)} + \frac{f_{bcz}}{\left(1 - \frac{f_c}{f_{Ez}}\right)} \leq f_{cal}$$

$$\begin{aligned}
 & -1.318 + \frac{-1.154}{\left(1 - \frac{-1.318}{3677.260}\right)} + \frac{0.000}{\left(1 - \frac{-1.318}{693.360}\right)} \\
 & = -2.472 \text{ MPa} \leq f_{cal} = 240.000 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

..... OK

$$\begin{aligned}
 & \frac{f_c}{f_{caz}} + \frac{f_{bcy}}{f_{bagy} \left(1 - \frac{f_c}{f_{Ey}}\right)} + \frac{f_{bcz}}{f_{bao} \left(1 - \frac{f_c}{f_{Ez}}\right)} \leq 1.0 \\
 & \frac{-1.318}{204.597} + \frac{-1.154}{214.558 \left(1 - \frac{-1.318}{3677.260}\right)} + \frac{0.000}{240.000 \left(1 - \frac{-1.318}{693.360}\right)} \\
 & = -0.012 \leq 1.000
 \end{aligned}$$

..... OK

► Position 3 (y-direction)

$$\begin{aligned}
 & f_c + \frac{f_{bcy}}{\left(1 - \frac{f_c}{f_{Ey}}\right)} + \frac{f_{bcz}}{\left(1 - \frac{f_c}{f_{Ez}}\right)} \leq f_{cal} \\
 & -1.318 + \frac{1.154}{\left(1 - \frac{-1.318}{3677.260}\right)} + \frac{0.000}{\left(1 - \frac{-1.318}{693.360}\right)} \\
 & = -0.163 \text{ MPa} \leq f_{cal} = 240.000 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

..... OK

$$\begin{aligned}
 & \frac{f_c}{f_{caz}} + \frac{f_{bcy}}{f_{bagy} \left(1 - \frac{f_c}{f_{Ey}}\right)} + \frac{f_{bcz}}{f_{bao} \left(1 - \frac{f_c}{f_{Ez}}\right)} \leq 1.0 \\
 & \frac{-1.318}{204.597} + \frac{1.154}{214.558 \left(1 - \frac{-1.318}{3677.260}\right)} + \frac{0.000}{240.000 \left(1 - \frac{-1.318}{693.360}\right)} \\
 & = -0.001 \leq 1.000
 \end{aligned}$$

..... OK

► Position 4 (y-direction)

$$\begin{aligned}
 & f_c + \frac{f_{bcy}}{\left(1 - \frac{f_c}{f_{Ey}}\right)} + \frac{f_{bcz}}{\left(1 - \frac{f_c}{f_{Ez}}\right)} \leq f_{cal} \\
 & -1.318 + \frac{1.154}{\left(1 - \frac{-1.318}{3677.260}\right)} + \frac{0.000}{\left(1 - \frac{-1.318}{693.360}\right)} \\
 & = -0.163 \text{ MPa} \leq f_{cal} = 240.000 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

..... OK

$$\begin{aligned}
 & \frac{f_c}{f_{caz}} + \frac{f_{bcy}}{f_{bagy} \left(1 - \frac{f_c}{f_{Ey}}\right)} + \frac{f_{bcz}}{f_{bao} \left(1 - \frac{f_c}{f_{Ez}}\right)} \leq 1.0 \\
 & \frac{-1.318}{204.597} + \frac{1.154}{214.558 \left(1 - \frac{-1.318}{3677.260}\right)} + \frac{0.000}{240.000 \left(1 - \frac{-1.318}{693.360}\right)} \\
 & = -0.001 \leq 1.000
 \end{aligned}$$

..... OK

► Position 1 (z-direction)

$$\begin{aligned}
 & f_c + \frac{f_{bcz}}{\left(1 - \frac{f_c}{f_{Ez}}\right)} + \frac{f_{bcy}}{\left(1 - \frac{f_c}{f_{Ey}}\right)} \leq f_{cal} \\
 & -1.318 + \frac{0.000}{\left(1 - \frac{-1.318}{693.360}\right)} + \frac{-1.154}{\left(1 - \frac{-1.318}{3677.260}\right)}
 \end{aligned}$$

$$= -2.472 \text{ MPa} \leq f_{cal} = 240.000 \text{ MPa}$$

..... OK

$$\frac{f_c}{f_{cay}} + \frac{f_{bcz}}{f_{bagz} \left(1 - \frac{f_c}{f_{Ez}}\right)} + \frac{f_{bcy}}{f_{bao} \left(1 - \frac{f_c}{f_{Ey}}\right)} \leq 1.0$$

$$\frac{-1.318}{240.000} + \frac{0.000}{213.587 \left(1 - \frac{-1.318}{693.360}\right)} + \frac{-1.154}{240.000 \left(1 - \frac{-1.318}{3677.260}\right)}$$

$$= -0.010 \leq 1.0$$

..... OK

► Position 2 (z-direction)

$$f_c + \frac{f_{bcz}}{\left(1 - \frac{f_c}{f_{Ez}}\right)} + \frac{f_{bcy}}{\left(1 - \frac{f_c}{f_{Ey}}\right)} \leq f_{cal}$$

$$-1.318 + \frac{0.000}{\left(1 - \frac{-1.318}{693.360}\right)} + \frac{-1.154}{\left(1 - \frac{-1.318}{3677.260}\right)}$$

$$= -2.472 \text{ MPa} \leq f_{cal} = 240.000 \text{ MPa}$$

..... OK

$$\frac{f_c}{f_{cay}} + \frac{f_{bcz}}{f_{bagz} \left(1 - \frac{f_c}{f_{Ez}}\right)} + \frac{f_{bcy}}{f_{bao} \left(1 - \frac{f_c}{f_{Ey}}\right)} \leq 1.0$$

$$\frac{-1.318}{240.000} + \frac{0.000}{213.587 \left(1 - \frac{-1.318}{693.360}\right)} + \frac{-1.154}{240.000 \left(1 - \frac{-1.318}{3677.260}\right)}$$

$$= -0.010 \leq 1.0$$

..... OK

► Position 3 (z-direction)

$$f_c + \frac{f_{bcz}}{\left(1 - \frac{f_c}{f_{Ez}}\right)} + \frac{f_{bcy}}{\left(1 - \frac{f_c}{f_{Ey}}\right)} \leq f_{cal}$$

$$-1.318 + \frac{0.000}{\left(1 - \frac{-1.318}{693.360}\right)} + \frac{1.154}{\left(1 - \frac{-1.318}{3677.260}\right)}$$

$$= -0.163 \text{ MPa} \leq f_{cal} = 240.000 \text{ MPa}$$

..... OK

$$\frac{f_c}{f_{cay}} + \frac{f_{bcz}}{f_{bagz} \left(1 - \frac{f_c}{f_{Ez}}\right)} + \frac{f_{bcy}}{f_{bao} \left(1 - \frac{f_c}{f_{Ey}}\right)} \leq 1.0$$

$$\frac{-1.318}{240.000} + \frac{0.000}{213.587 \left(1 - \frac{-1.318}{693.360}\right)} + \frac{1.154}{240.000 \left(1 - \frac{-1.318}{3677.260}\right)}$$

$$= -0.001 \leq 1.0$$

..... OK

► Position 4 (z-direction)

$$f_c + \frac{f_{bcz}}{\left(1 - \frac{f_c}{f_{Ez}}\right)} + \frac{f_{bcy}}{\left(1 - \frac{f_c}{f_{Ey}}\right)} \leq f_{cal}$$

$$-1.318 + \frac{0.000}{\left(1 - \frac{-1.318}{693.360}\right)} + \frac{1.154}{\left(1 - \frac{-1.318}{3677.260}\right)}$$

$$= -0.163 \text{ MPa} \leq f_{cal} = 240.000 \text{ MPa}$$

..... OK

$$\frac{f_c}{f_{cay}} + \frac{f_{bcz}}{f_{bagz} \left(1 - \frac{f_c}{f_{Ez}}\right)} + \frac{f_{bcy}}{f_{baoy} \left(1 - \frac{f_c}{f_{Ey}}\right)} \leq 1.0$$

$$\frac{-1.318}{240.000} + \frac{0.000}{213.587 \left(1 - \frac{-1.318}{693.360}\right)} + \frac{1.154}{240.000 \left(1 - \frac{-1.318}{3677.260}\right)}$$

$$= -0.001 \leq 1.0 \quad \text{..... OK}$$

11) 전단응력에 대한 검토

$$u_z = F_z / A_w + M_x \times t / K$$

$$= 1.460 \times 10^3 / 1164.000 + 0.000 \times 10^6 \times 6.000E+00 / 8.5600E+04$$

$$= 1.254 \text{ MPa} \leq u_a = 135.000 \text{ MPa} \quad \text{..... OK}$$

$$u_y = F_y / A_f + M_x \times t / K$$

$$= 0.000 \times 10^3 / 1800.000 + 0.000 \times 10^6 \times 9.000E+00 / 8.5600E+04$$

$$= 0.000 \text{ MPa} \leq u_a = 135.000 \text{ MPa} \quad \text{..... OK}$$

여기서, t = 복부 두께 .

12) 합성응력에 대한 검토

$$\left(\frac{f_b}{f_a}\right)^2 + \left(\frac{v_b}{v_a}\right)^2 = \left(\frac{1.154}{240.000}\right)^2 + \left(\frac{1.254}{135.000}\right)^2 = 0.0001 < 1.200 \quad \text{..... OK}$$

[2] Min

1) 허용휨인장응력 (f_{ta})

[도기 P3-10, 표3.3.1]

구 분	SM275	
Top Flange	16 이하	240.000
Bottom Flange	16 이하	240.000
Left Web	16 이하	240.000

2) 국부좌굴을 고려하지 않은 허용축방향압축응력 (f_{cag})

[도기 P3-11, 표3.3.2]

▶ Y 축에 대한 유효좌굴길이

$$\begin{aligned} \text{부재의 유효좌굴길이} \quad \ell_y &= 1500.000 \text{ mm} \\ \text{부재 총단면의 단면회전반경} \quad r_y &= 83.035 \text{ mm} \\ \text{세장비} \quad \ell_y / r_y &= 18.065 \end{aligned}$$

▶ Z 축에 대한 유효좌굴길이

$$\begin{aligned} \text{부재의 유효좌굴길이} \quad \ell_z &= 1500.000 \text{ mm} \\ \text{부재 총단면의 단면회전반경} \quad r_z &= 36.056 \text{ mm} \\ \text{세장비} \quad \ell_z / r_z &= 41.602 \end{aligned}$$

▶ 세장비 검토

$$\text{세장비} \quad \ell / r = 41.602$$

구 분	SM275	
Top Flange	16 이하	$20 < \ell/r \leq 93.0$
		$F_{cagz} = 240 - 1.5 \times (\ell/r - 18) = 162.996$
Bottom Flange	16 이하	$20 < \ell/r \leq 93.0$
		$F_{cagz} = 240 - 1.5 \times (\ell/r - 18) = 162.996$
Left Web	16 이하	$20 < \ell/r \leq 93.0$
		$F_{cagz} = 240 - 1.5 \times (\ell/r - 18) = 162.996$
Top Flange	16 이하	$\ell/r \leq 18.6$
		$F_{cagy} = 240.000$

Bottom Flange	16 이하	$\ell/r \leq 18.6$
		$F_{cagy} = 240.000$
Left Web	16 이하	$\ell/r \leq 18.6$
		$F_{cagy} = 240.000$

3) 허용휨압축응력 (f_{bagy})

[도기 P3-16, 표3.3.4]

▶ Top Flange

압축플랜지 고정점간 거리	ℓ	=	2000.000	mm
압축플랜지 폭	b	=	150.000	mm
복부판의 총단면적	A_w	=	1056.000	mm ²
압축플랜지 총단면적	A_c	=	1350.000	mm ²

$$\frac{A_w}{A_c} = 0.782 \leq 2.000, \quad \frac{\ell}{b} = 13.333, \quad K = \sqrt{3 + \frac{A_w}{2A_c}} = 1.841$$

구 분		SM275	
$\frac{A_w}{A_c} \leq 2.0$	16 이하	$4.5 < \ell/b \leq 30.0$	
		$240 - 2.9 \times (\ell/b - 4.5) =$	214.558

▶ Bottom Flange

압축플랜지 고정점간 거리	ℓ	=	2000.000	mm
압축플랜지 폭	b	=	150.000	mm
복부판의 총단면적	A_w	=	1056.000	mm ²
압축플랜지 총단면적	A_c	=	1350.000	mm ²

$$\frac{A_w}{A_c} = 0.782 \leq 2.000, \quad \frac{\ell}{b} = 13.333, \quad K = \sqrt{3 + \frac{A_w}{2A_c}} = 1.841$$

구 분		SM275	
$\frac{A_w}{A_c} \leq 2.0$	16 이하	$4.5 < \ell/b \leq 30.0$	
		$240 - 2.9 \times (\ell/b - 4.5) =$	214.558

▶ Left Web

압축플랜지 고정점간 거리	ℓ	=	2000.000	mm
압축플랜지 폭	b	=	176.000	mm
복부판의 총단면적	A_w	=	2700.000	mm ²
압축플랜지 총단면적	A_c	=	1056.000	mm ²

$$\frac{A_w}{A_c} = 2.557 > 2.000, \quad \frac{\ell}{b} = 11.364, \quad K = \sqrt{3 + \frac{A_w}{2A_c}} = 2.068$$

구 분		SM275	
$\frac{A_w}{A_c} > 2.0$	16 이하	$9.3/K < \ell/b \leq 30.0$	
		$240 - 1.86 \times (K \times \ell/b - 9.3) =$	213.587

4) 허용 오일러 좌굴응력

[도기 P3-47, 식3.4.13~14]

f_{Ey} (MPa)	$1200000/(\ell_y/r_y)^2$	3677.260
f_{Ez} (MPa)	$1200000/(\ell_z/r_z)^2$	693.360

5) 허용전단응력 (v_a)

[도기 P3-18, 표3.3.5]

구 분	SM275	
Top Flange	16 이하	135.000
Bottom Flange	16 이하	135.000
Left Web	16 이하	135.000

6) 자유돌출판의 국부좌굴에 대한 허용응력

▶ 압축응력을 받는 자유돌출판의 최소두께

[도기 P3-37]

Top Flange(L)

$$t_{\min} = b / 16 = 72.0 / 16.0 = 4.500 \text{ mm} \leq t_f = 9.000 \text{ mm} \quad \text{..... OK}$$

Top Flange(R)

$$t_{\min} = b / 16 = 72.0 / 16.0 = 4.500 \text{ mm} \leq t_f = 9.000 \text{ mm} \quad \text{..... OK}$$

Bottom Flange(L)

$$t_{\min} = b / 16 = 72.0 / 16.0 = 4.500 \text{ mm} \leq t_f = 9.000 \text{ mm} \quad \text{..... OK}$$

Bottom Flange(R)

$$t_{\min} = b / 16 = 72.0 / 16.0 = 4.500 \text{ mm} \leq t_f = 9.000 \text{ mm} \quad \text{..... OK}$$

▶ 자유돌출판의 국부좌굴에 대한 허용응력 (f_{cal})

[도기 P3-38, 표3.4.4]

Top Flange(L) $t = 9.000 \text{ mm}$

$$t_1 = b / 12.9 = 72.0 / 12.9 = 5.581 \text{ mm}$$

구 분	SM275
16 이하	$b/12.9 \leq t$
	240.000

Top Flange(R) $t = 9.000 \text{ mm}$

$$t_1 = b / 12.9 = 72.0 / 12.9 = 5.581 \text{ mm}$$

구 분	SM275
16 이하	$b/12.9 \leq t$
	240.000

Bottom Flange(L) $t = 9.000 \text{ mm}$

$$t_1 = b / 12.9 = 72.0 / 12.9 = 5.581 \text{ mm}$$

구 분	SM275
16 이하	$b/12.9 \leq t$
	240.000

Bottom Flange(R) $t = 9.000 \text{ mm}$

$$t_1 = b / 12.9 = 72.0 / 12.9 = 5.581 \text{ mm}$$

구 분	SM275
16 이하	$b/12.9 \leq t$
	240.000

7) 보강된판 및 양연지지판의 국부좌굴에 대한 허용응력

▶ Left Web

판두께 $t = 6.0 \text{ mm}$

판의 고정연 사이의 거리 $b = 176.0 \text{ mm}$

응력구배계수 $i = 0.65\Phi^2 + 0.13\Phi + 1.0 = 2.248$

응력구배 $\Phi = (f_1 - f_2) / f_1 = 1.289$

판의 양연에서의 응력 $f_1 = -25.375 \text{ MPa}, f_2 = 7.339 \text{ MPa}$

압축응력을 받는 양연지지판의 최소두께

[도기 P3-35, 표3.4.2]

$t \leq 40\text{mm}$

$$t_{\min} = b / 56i = 176 / 125.88 = 1.4 \leq t = 6.0 \text{ mm} \quad \text{..... OK}$$

양연지지판의 국부좌굴에 대한 허용응력 (f_{cal})

[도기 P3-36, 표3.4.3]

구 분	SM275
16 이하	$b/39.3i \leq t$
	240.000

8) 허용응력 요약

구 분	f_{cal}	f_{caz}	f_{cay}	f_{ta}	U_a
Top Flange	240.000	162.996	240.000	240.000	135.000
Bottom Flange	240.000	162.996	240.000	240.000	135.000
Left Web	240.000	162.996	240.000	240.000	135.000

$$f_{ca} = f_{cag} \cdot f_{cal} / f_{cao}$$

10) 축방향력 및 휨모멘트를 받는 부재의 허용응력 검토

▶ 축방향력에 의한 응력

$$f_c = P / A = -35.180 \times 10^3 / 3.9010E+03 = -9.018 \text{ MPa}$$

▶ 휨모멘트에 의한 응력

$$\begin{aligned} f_{by1} &= M_y \times z_1 / I_{yy} = 18.030 \text{ MPa} & f_{bz1} &= M_z \times y_1 / I_{zz} = 0.000 \text{ MPa} \\ f_{by2} &= M_y \times z_2 / I_{yy} = 18.030 \text{ MPa} & f_{bz2} &= M_z \times y_2 / I_{zz} = 0.000 \text{ MPa} \\ f_{by3} &= M_y \times z_3 / I_{yy} = -18.030 \text{ MPa} & f_{bz3} &= M_z \times y_3 / I_{zz} = 0.000 \text{ MPa} \\ f_{by4} &= M_y \times z_4 / I_{yy} = -18.030 \text{ MPa} & f_{bz4} &= M_z \times y_4 / I_{zz} = 0.000 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$f_{11} (y_1, z_1)$	9.012	$f_{22} (y_2, z_2)$	9.012
$f_{33} (y_3, z_3)$	-27.048	$f_{44} (y_4, z_4)$	-27.048

▶ Position 1 (y-direction)

$$\begin{aligned} f_c + \frac{f_{bcy}}{\left(1 - \frac{f_c}{f_{Ey}}\right)} + \frac{f_{bcz}}{\left(1 - \frac{f_c}{f_{Ez}}\right)} &\leq f_{cal} \\ -9.018 + \frac{18.030}{\left(1 - \frac{-9.018}{3677.260}\right)} + \frac{0.000}{\left(1 - \frac{-9.018}{693.360}\right)} & \\ = 9.056 \text{ MPa} \leq f_{ta} = 240.000 \text{ MPa} & \end{aligned}$$

..... OK

▶ Position 2 (y-direction)

$$\begin{aligned} f_c + \frac{f_{bcy}}{\left(1 - \frac{f_c}{f_{Ey}}\right)} + \frac{f_{bcz}}{\left(1 - \frac{f_c}{f_{Ez}}\right)} &\leq f_{cal} \\ -9.018 + \frac{18.030}{\left(1 - \frac{-9.018}{3677.260}\right)} + \frac{0.000}{\left(1 - \frac{-9.018}{693.360}\right)} & \\ = 9.056 \text{ MPa} \leq f_{ta} = 240.000 \text{ MPa} & \end{aligned}$$

..... OK

▶ Position 3 (y-direction)

$$\begin{aligned} f_c + \frac{f_{bcy}}{\left(1 - \frac{f_c}{f_{Ey}}\right)} + \frac{f_{bcz}}{\left(1 - \frac{f_c}{f_{Ez}}\right)} &\leq f_{cal} \\ -9.018 + \frac{-18.030}{\left(1 - \frac{-9.018}{3677.260}\right)} + \frac{0.000}{\left(1 - \frac{-9.018}{693.360}\right)} & \\ = -27.092 \text{ MPa} \leq f_{cal} = 240.000 \text{ MPa} & \end{aligned}$$

..... OK

$$\frac{f_c}{f_{caz}} + \frac{f_{bcy}}{f_{bay} \left(1 - \frac{f_c}{f_{Ey}}\right)} + \frac{f_{bcz}}{f_{bao} \left(1 - \frac{f_c}{f_{Ez}}\right)} \leq 1.0$$

$$\frac{-9.018}{162.996} + \frac{-18.030}{214.558 \left(1 - \frac{-9.018}{3677.260}\right)} + \frac{0.000}{240.000 \left(1 - \frac{-9.018}{693.360}\right)}$$

$$= -0.139 \leq 1.000$$

..... OK

► Position 4 (y-direction)

$$f_c + \frac{f_{bcy}}{\left(1 - \frac{f_c}{f_{Ey}}\right)} + \frac{f_{bcz}}{\left(1 - \frac{f_c}{f_{Ez}}\right)} \leq f_{cal}$$

$$\frac{-9.018}{162.996} + \frac{-18.030}{214.558 \left(1 - \frac{-9.018}{3677.260}\right)} + \frac{0.000}{240.000 \left(1 - \frac{-9.018}{693.360}\right)}$$

$$= -27.092 \text{ MPa} \leq f_{cal} = 210.000 \text{ MPa}$$

..... OK

$$\frac{f_c}{f_{caz}} + \frac{f_{bcy}}{f_{bagy} \left(1 - \frac{f_c}{f_{Ey}}\right)} + \frac{f_{bcz}}{f_{bao} \left(1 - \frac{f_c}{f_{Ez}}\right)} \leq 1.0$$

$$\frac{-9.018}{162.996} + \frac{-18.030}{214.558 \left(1 - \frac{-9.018}{3677.260}\right)} + \frac{0.000}{240.000 \left(1 - \frac{-9.018}{693.360}\right)}$$

$$= -0.139 \leq 1.000$$

..... OK

► Position 1 (z-direction)

$$f_c + \frac{f_{bcz}}{\left(1 - \frac{f_c}{f_{Ez}}\right)} + \frac{f_{bcy}}{\left(1 - \frac{f_c}{f_{Ey}}\right)} \leq f_{cal}$$

$$\frac{-9.018}{162.996} + \frac{0.000}{214.558 \left(1 - \frac{-9.018}{693.360}\right)} + \frac{18.030}{3677.260 \left(1 - \frac{-9.018}{3677.260}\right)}$$

$$= 9.056 \text{ MPa} \leq f_{ta} = 240.000 \text{ MPa}$$

..... OK

► Position 2 (z-direction)

$$f_c + \frac{f_{bcz}}{\left(1 - \frac{f_c}{f_{Ez}}\right)} + \frac{f_{bcy}}{\left(1 - \frac{f_c}{f_{Ey}}\right)} \leq f_{cal}$$

$$\frac{-9.018}{162.996} + \frac{0.000}{214.558 \left(1 - \frac{-9.018}{693.360}\right)} + \frac{18.030}{3677.260 \left(1 - \frac{-9.018}{3677.260}\right)}$$

$$= 9.056 \text{ MPa} \leq f_{ta} = 240.000 \text{ MPa}$$

..... OK

► Position 3 (z-direction)

$$f_c + \frac{f_{bcz}}{\left(1 - \frac{f_c}{f_{Ez}}\right)} + \frac{f_{bcy}}{\left(1 - \frac{f_c}{f_{Ey}}\right)} \leq f_{cal}$$

$$\frac{-9.018}{162.996} + \frac{0.000}{214.558 \left(1 - \frac{-9.018}{693.360}\right)} + \frac{-18.030}{3677.260 \left(1 - \frac{-9.018}{3677.260}\right)}$$

$$= -27.092 \text{ MPa} \leq f_{cal} = 240.000 \text{ MPa}$$

..... OK

$$\frac{f_c}{f_{cay}} + \frac{f_{bcz}}{f_{bagz} \left(1 - \frac{f_c}{f_{Ez}}\right)} + \frac{f_{bcy}}{f_{bao} \left(1 - \frac{f_c}{f_{Ey}}\right)} \leq 1.0$$

$$\frac{-9.018}{240.000} + \frac{0.000}{213.587 \left(1 - \frac{-9.018}{693.360}\right)} + \frac{-18.030}{240.000 \left(1 - \frac{-9.018}{3677.260}\right)}$$

$$= -0.113 \leq 1.0 \quad \text{..... OK}$$

► Position 4 (z-direction)

$$f_c + \frac{f_{bcz}}{\left(1 - \frac{f_c}{f_{Ez}}\right)} + \frac{f_{bcy}}{\left(1 - \frac{f_c}{f_{Ey}}\right)} \leq f_{cal}$$

$$\frac{-9.018}{240.000} + \frac{0.000}{213.587 \left(1 - \frac{-9.018}{693.360}\right)} + \frac{-18.030}{240.000 \left(1 - \frac{-9.018}{3677.260}\right)}$$

$$= -27.092 \text{ MPa} \leq f_{cal} = 240.000 \text{ MPa} \quad \text{..... OK}$$

$$\frac{f_c}{f_{cay}} + \frac{f_{bcz}}{f_{bagz} \left(1 - \frac{f_c}{f_{Ez}}\right)} + \frac{f_{bcy}}{f_{baoy} \left(1 - \frac{f_c}{f_{Ey}}\right)} \leq 1.0$$

$$\frac{-9.018}{240.000} + \frac{0.000}{213.587 \left(1 - \frac{-9.018}{693.360}\right)} + \frac{-18.030}{240.000 \left(1 - \frac{-9.018}{3677.260}\right)}$$

$$= -0.113 \leq 1.0 \quad \text{..... OK}$$

11) 전단응력에 대한 검토

$$v_z = F_z / A_w + M_x \times t / K$$

$$= -1.820 \times 10^3 / 1164.000 + 0.000 \times 10^6 \times 6.000\text{E}+00 / 8.5600\text{E}+04$$

$$= -1.564 \text{ MPa} \leq v_a = 135.000 \text{ MPa} \quad \text{..... OK}$$

$$v_y = F_y / A_f + M_x \times t / K$$

$$= 0.000 \times 10^3 / 1800.000 + 0.000 \times 10^6 \times 9.000\text{E}+00 / 8.5600\text{E}+04$$

$$= 0.000 \text{ MPa} \leq v_a = 135.000 \text{ MPa} \quad \text{..... OK}$$

여기서, t = 복부 두께 .

12) 합성응력에 대한 검토

$$\left(\frac{f_b}{f_a}\right)^2 + \left(\frac{v_b}{v_a}\right)^2 = \left(\frac{-18.030}{240.000}\right)^2 + \left(\frac{-1.564}{135.000}\right)^2 = 0.006 < 1.200 \quad \text{..... OK}$$

7. 이음부 검토

7.1 지붕거더부 볼트 이음 검토

1) 부재 자원

- 연결부재 : H형강 194x150x6x9 (SM275)

$$f_a = 240.0 \text{ Mpa} \quad \tau_a = 130.0 \text{ Mpa}$$

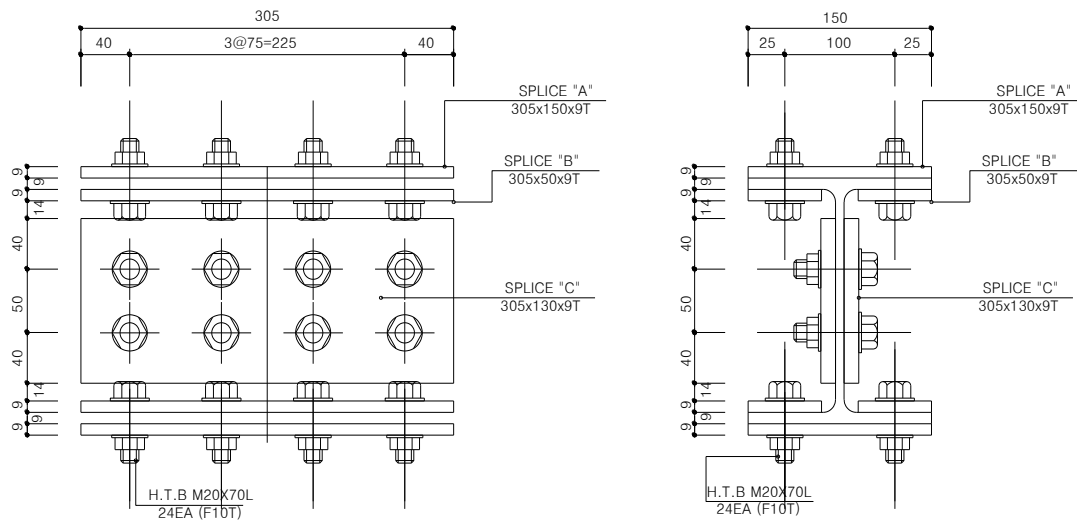
- 이음부재 : PLATE (SM275)

$$f_a = 240.0 \text{ Mpa}$$

- 연결볼트 : F10T M20 고장력볼트

허용전단력(2면마찰) : 78 kN (도로교 설계기준 3.3.2.3절 참조)

2) Flange 연결



- Bolt 소요 개수 산정

작용응력과 모재강도 75%중 큰 값으로 설계

$$\text{Flange 단면적 } A_f = B \times t = 1,350 \text{ mm}^2$$

$$\text{작용응력 } f_t(\text{작용}) = (M \times y) / I = 29.7 \text{ MPa} \quad (\text{발생 모멘트}=8.23\text{kN} \cdot \text{m}, \text{발생전단력}=6.37\text{kN})$$

$$\text{모재강도 } 75\% f_t(\text{모재}) = 180.0 \text{ MPa}$$

$$\text{계산작용력보단 모재강도75\%가 크므로 } f_t = 180.0 \text{ MPa}$$

$$\text{Flange 단면인장력 } T_f = f_t \times A_f = 180 \times A_f = 243 \text{ kN}$$

$$F_{sa} > \frac{T_f}{n} \quad n > \frac{T_f}{F_{sa}} = 3.115$$

따라서 n=4ea 사용 (연단거리 40mm, 중심간격 75mm)

- SPLICE PLATE

외부 PLATE - PL 305x150x9

내부 PLATE - 2 PL 305x50x9 사용

압축응력 검토

$$\text{외부 PL } A_f = 150 \times 9 = 1,350 \text{ mm}^2$$

$$\text{내부 PL } A_f = 50 \times 9 \times 2ea = 900 \text{ mm}^2$$

$$\text{따라서 PL } \Sigma A = 2,250 \text{ mm}^2$$

$$f_c = \frac{T_f}{\Sigma A} = 108.0 \text{ Mpa} < 240.0 \text{ Mpa} \quad \text{O.K}$$

인장응력 검토

$$\text{외부 PL 순단면적} = 1350 - (25 \times 9 \times 2ea) = 900.0 \text{ mm}^2$$

$$\text{내부 PL 순단면적} = 900 - (25 \times 9 \times 2ea) = 450.0 \text{ mm}^2$$

$$\text{따라서 PL } \Sigma A = 1,350.0 \text{ mm}^2$$

$$f_t = \frac{T_f}{\Sigma A} = 180.0 \text{ Mpa} < 240.0 \text{ Mpa} \quad \text{O.K}$$

- BOLT 작용력 검토

연직력에 대한 검토

$$P_p = \frac{T_f}{n} = \frac{243.0}{4} = 60.75 \text{ KN} < 78 \text{ KN} \longrightarrow \text{O.K}$$

휨전단력에 대한 검토

$$P_h = \frac{V \times Q}{I} \times \frac{P}{n} = \frac{538,902}{281,500,000.00} \times \frac{75.00}{2} = 0.07 \text{ KN}$$

여기서, V = 전단력 (KN)

Q = 중립축에 대한 접합선 외측의 단면1차모멘트 (mm^3)

I = 중립축에 대한 총단면의 단면 2차모멘트 (mm^4)

p = 접합선 방향의 볼트의 평균 핏치 = 플랜지 전폭 / 횡방향 볼트수 (mm)

n = 접합선 직각의 볼트의 개수 (ea)

합성력 검토

$$P = \sqrt{P_p^2 + P_h^2} = \sqrt{60.75^2 + 0.07^2} = 60.75 < 78 \text{ KN} \longrightarrow \text{O.K}$$

- 모재의 응력 검토

$$A_s = 194 \times 9 = 1746 \text{ mm}^2$$

$$A_{sn} = (194 - 23 \times 2) \times 9 = 1332.0 \text{ mm}^2$$

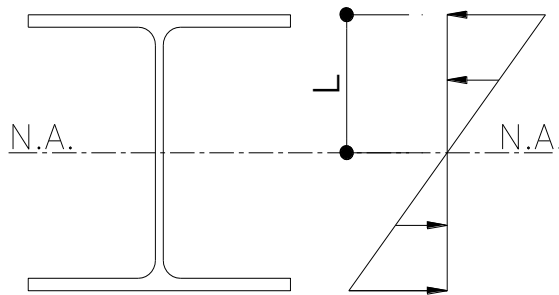
$$f_t = 1746 \times 180.0 / 1332.0$$

$$= 236 \text{ Mpa} < 240 \text{ Mpa} \longrightarrow \text{O.K}$$

3) Web 연결

- BOLT

각 위치에 작용하는 응력 산정.



L	t(Web두께)	비 고
75	6	

$$f_1 = M \times y / I = 29.7 \text{ Mpa}$$

$$f_2 = 180.0 \text{ Mpa}$$

볼트 작용력

$$f = \frac{180.0}{f_1, f_2 \text{ 중 큰 값}} \left(\frac{194}{2} - 68 \right) / 75$$

$$= 69.60 \text{ Mpa}$$

볼트 개당 작용력

$$P_n = 69.60 \times 75 \times 9\text{mm} / 2$$

$$= 23.5 \text{ kN} < 78.0 \text{ kN} \quad \text{O.K}$$

전단력에 의해 볼트에 작용하는 작용력

$$V_n = V / 4 = 1.59 \text{ kN/ea} < 78.0 \text{ kN} \quad \text{O.K}$$

볼트 1개에 작용하는 총 작용력 P는

$$P = \sqrt{P_n^2 + V_n^2} = 23.54 \text{ kN} < 78.0 \text{ kN} \quad \text{O.K}$$

- SPLICE PLATE

$$t = 9\text{mm} \text{ 적용시}$$

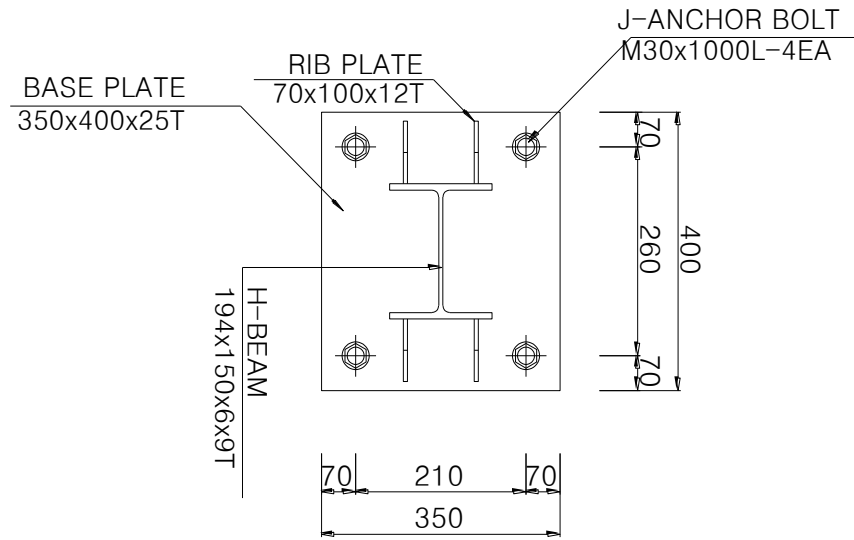
$$I_{sw} = 3,295,500 \quad / = 26,900,000$$

$$M_{sw} = M_s \times I_{sw} / I = 8.23 \times 3,295,500 / 26,900,000 = 2.0 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$f = M_{sw} \times y / I_{sw} = 2 \times 0.065 / 3,295,500 = 39 \text{ Mpa} < 240.0 \text{ Mpa} \quad \text{O.K}$$

8. 지주 검토

8.1 지주 검토 (측벽부)



측벽부 H - 194 X 150 X 6 X 9 사용

8.1.1 기본설계조건

·방음터널 설치 지역 :	내륙(남양주)		
·기본풍속	30.0	kN/m	(도로교설계기준 2.1.11 풍하중)
·방음터널 설치높이(H'):	2.5	m	
·방음터널 설치간격(B'):	2.0	m	
·방음터널 기초 설계강도(fck) :	27.0	MPa	
·허용응력증가계수 :	1.0		(도로교설계기준 2.2.2.2 풍하중만 고려할 경우 증가계수)
·지주 ,BASE 허용휨응력(fa) :	160.0	MPa	(도로교설계기준 3.3.2.1 구조용 강재의 허용응력)
·POST,BASE 허용전단응력(τ_a) :	90.0	MPa	(도로교설계기준 3.3.2.1 구조용 강재의 허용응력)
·앵커볼트 허용전단응력(τ_{sa}) :	60.0	MPa	(도로교설계기준 3.3.2.3 이음용 강재의 허용응력)
·앵커볼트 허용인장응력(τ_{ba}) :	160.0	MPa	(도로교설계기준 3.3.2.1 구조용 강재의 허용응력)
·공장용접 허용휨응력(fwa) :	160.0	MPa	(도로교설계기준 3.3.2.3 용접부 허용응력)
·공장용접 허용전단응력(τ_{wa}) :	90.0	MPa	(도로교설계기준 3.3.2.3 용접부 허용응력)
·Con'c 허용휨압축응력(fca) :	10.8	MPa	(도로교설계기준 2.2.2.4 콘크리트에서의 허용응력)
·Con'c 부착강도(fck) :	0.7	MPa	(일본도로설계요령 5.2.2 콘크리트의 허용부착응력도)
·Steel 탄성계수(Es) :	210000.0	MPa	
·Con'c 탄성계수(Ec) :	24847.3	MPa	
·n = Es / Ec =	8		

8.1.2. 앵커 볼트 및 BASE PLATE 규격 설계

1) 발생 단면력

$$M = 26.05 \text{ kN.m} \quad (\text{방음터널 계산서 midas output 참조})$$

$$V = 19.39 \text{ kN} \quad (\text{방음터널 계산서 midas output 참조})$$

2) BASE PLATE 치수가정

앵커볼트 설계시 BASE는 Rib Plate 길이 70mm와 여유치 10mm이상을 고려한 사각형으로 가정

$$\text{BASE } H = h + \text{Rib} + \text{여유치} = 400 \text{ mm} \quad (\text{여유치 } 30 \text{ mm고려})$$

$$\text{BASE } B = b + \text{연단} + \text{여유치} = 350 \text{ mm} \quad (\text{여유치 } 30 \text{ mm고려, 연단거리 } 70 \text{ mm고려})$$

3) 앵커볼트 Diameter 설계

전단력에 대한 검토시

$$\tau_s = \frac{V}{4Ab} = \frac{19.39}{4Ab} \leq \tau_{sa} = 60.0 \text{ MPa}$$

$$\longrightarrow Ab \geq \frac{V}{4\tau_{ba}} = \frac{19.39 \times 10}{4 \times 60} = 0.8079 \text{ cm}^2$$

$$\longrightarrow D \geq \frac{\sqrt{0.808 \times 4}}{\sqrt{\pi}} = 1.0145 \text{ cm} = 10.1 \text{ mm}$$

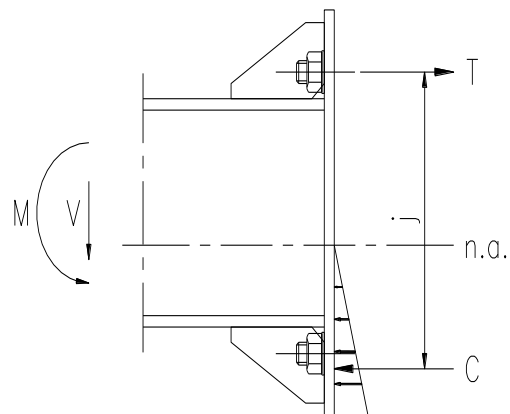
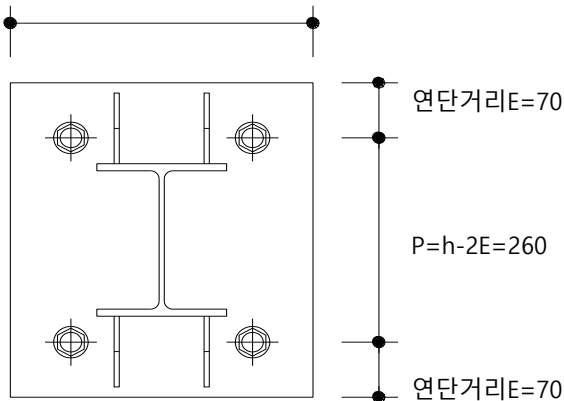
모멘트에 대한 검토시

전단력 검토시 나온 지름보다 큰 값으로 가정하며, 사용갯수는

4 개로 함.

앵커볼트 지름 D를 **M30** 으로 가정하면 $Ab = 7.07 \text{ cm}^2$

$$B = 350$$



$$2nAs(P+E-y) = \frac{B \times y^2}{2} \quad y = 11.723 \text{ cm}$$

$$\text{중립축거리 } j = P + E - y/3 = 29.092 \text{ cm}$$

$$T = \frac{M}{j} = \frac{26 \times 100}{29.09} = 89.5 \text{ KN}$$

$$\tau_b = \frac{T}{2Ab} = \frac{89.5}{2Ab} \leq \tau_{ba} = 160.0 \text{ MPa}$$

$$\longrightarrow Ab \geq \frac{T}{2\tau_{ba}} = \frac{89.5}{2 \times 160/10} = 2.7982 \text{ cm}^2$$

$$\longrightarrow D \geq \frac{\sqrt{2.798 \times 4}}{\sqrt{\pi}} = 1.888 \text{ cm} < \text{가정 } D = 30 \text{ mm} \quad \text{----- O.K}$$

4) 앵커볼트 매입길이 설계

앵커볼트와 콘크리트와의 허용부착강도로 부터

$$L \geq \frac{T}{2\pi D f_{ca}} = \frac{90 \times 100}{2 \times \pi \times 30 \times 0.7} = 67.897 \text{ cm}$$

HOOK를 설치한 앵커의 경우 (일본 가설구조물의 해설 中 앵커볼트 매입길이 검토)

$$L_h \geq \frac{2}{3} L = \frac{2 \times 67.9}{3} = 45.3 \text{ cm} \longrightarrow \text{매입길이는 여유치 적용하여 } 490 \text{ mm}$$

BASE두께 25mm 너트와서 30mm 노출높이 15mm 를 고려한 M30 x **560** 이상의 L 사용

5) BASE PLATE SIZE 검토

콘크리트 허용휨압축응력에 대하여

$$f_c = \frac{2T}{yB} = \frac{2 \times 89.5}{11.7 \times B} \leq f_{ca} = 10.8 \text{ MPa}$$

$$\longrightarrow B \geq \frac{2T}{y f_{ca}} = \frac{2 \times 89.5 \times 10}{11.7 \times 11} = 14.144 \text{ cm} < \text{가정 } B = 350 \text{ mm} \quad \text{----- O.K}$$

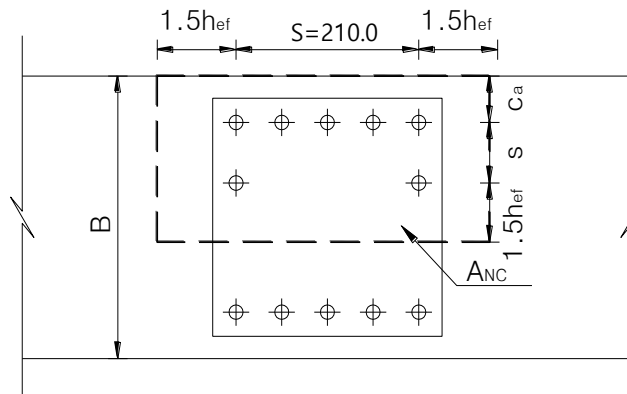
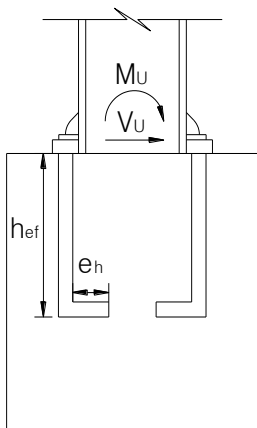
6) 콘크리트 파괴강도(ϕN_{cbg})

* 발생 단면력(강도 설계법) - 하중증가계수 1.3 적용

$$M = 33.9 \text{ kN.m}$$

$$V = 25.2 \text{ kN}$$

$$T = \frac{M}{j} = \frac{33.9 \times 100}{29.09} = 116.4 \text{ KN}$$



방음벽 기초 폭원

$$B = 450 \text{ mm}$$

$$Ca_1 = 95 \text{ mm}$$

$$Ca_2 = 95 \text{ mm}$$

$$S = 0 \text{ mm}$$

$$\Phi N_{cbg} = \Phi \times \frac{A_{Nc}}{A_{Nco}} \times \Psi_{ec,N} \times \Psi_{ed,N} \times \Psi_{c,N} \times \Psi_{cp,N} \times Nb$$

여기서,

$\Phi = 0.75$ (콘크리트의 잠재적인 프리즘 형태의 파괴를 구속하기 위하여 보조철근이 설치되어 있는 경우, 조건 A : 콘크리트용 앵커 설계법 및 예제집-2010.06)

$$\frac{C_{a,max}}{1.5} = \frac{95.0}{1.5} = 63.3 \text{ mm}$$

$$\frac{\text{최대앵커간격}}{3} = \frac{210.0}{3} = 70.0 \text{ mm}$$

h_{ef} 는 위의 두값중 큰값 적용

따라서, $h_{ef} = 70.0 \text{ mm}$ 여기서, $1.5h_{ef} = 105.0 \text{ mm}$

$$\frac{A_{Nc}}{A_{Nco}} = \frac{(95+260+105) \times (105+210+105)}{9h_{ef}^2} = \frac{193,200}{44,100} = 8.8$$

$\Psi_{ec,N} = 1.0$ (앵커그룹에서 각 앵커볼트에 인장력이 균등하게 가해질때 인장력 편심에 대한 수정계수, 콘크리트용 앵커 설계법 및 예제집-2010.06)

$\Psi_{ed,N} = 1.0$ $C_{a,min} \geq 1.5h_{ef}$ 인 경우 $\Psi_{ed,N} = 1.0$
 $C_{a,min} < 1.5h_{ef}$ 인 경우

$$\Psi_{ed,N} = 0.7 + 0.3 \left(\frac{C_{a,min}}{1.5h_{ef}} \right) = 1.0$$

$\Psi_{c,N} = 1.0$ (사용시 콘크리트에 균열이 발생하는 것으로 가정하고, 선설치

$\Psi_{cp,N} = 1.0$ 앵커일때 $\Psi_{c,N}$, $\Psi_{cp,N}$ 각각의 수정계수)

$Nb = k_c \sqrt{f_{ck}} h_{ef}^{1.5} = 30431.9 \text{ N}$ 여기서 $k_c = 10$ (선설치앵커)

따라서,

$$\begin{aligned} \Phi N_{cbg} &= \Phi \times \frac{A_{Nc}}{A_{Nco}} \times \Psi_{ec,N} \times \Psi_{ed,N} \times \Psi_{c,N} \times \Psi_{cp,N} \times Nb \\ &= 0.75 \times 8.8 \times 1.0 \times 1.0 \times 1.0 \times 1.0 \times 30431.9 \\ &= 194,267 \text{ N} \\ &= 194.27 + 178.74 = 373.01 \text{ KN} \end{aligned}$$

보강철근량의 산정 $0.5h_{ef} + \text{앵커설치구간}$ D 16.0 - 4 EA

$$\Phi M_n = 0.75 \times 4 \times 198.6 \times 300 / 1000 = 178.74 \text{ KN}$$

(콘크리트 설계기준 2012, P483 (9)항 참조)

7) 앵커 뺨힘강도(ΦN_{pn})

$$\Phi N_{pn} = \Phi \times \Psi_{c,P} \times N_p \times N = 0.75 \times 1.4 \times 116.6 \times 3 = 367.4$$

여기서,

$$\Phi = 0.75 \quad (\text{뺨힘강도에는 조건A를 적용})$$

$$\Psi_{c,P} = 1.4 \quad (\text{사용하중 상태에서 콘크리트에 균열 미발생})$$

단일 갈고리 볼트가 인장력을 받는 경우 뺨힘강도 N_p 는 다음값을 초과할 수 없다.

$$N_p = 0.9 f_{ck} e_h d_0 = 0.9 \times 27.0 \times 160 \times 30.0 = 116,640 \text{ N} = 116.6 \text{ KN}$$

$$e_h = 160, \quad 3d_a \leq e_h \leq 4.5d_a$$

(e_h : 샤프트 안쪽면으로부터 L형볼트 바깥쪽 끝까지 거리)

8) 측면 파열강도(ΦN_{sb})

갈고리 볼트의 경우 해당 안됨.

9) 콘크리트 전단 파괴강도(ΦV_{cb})

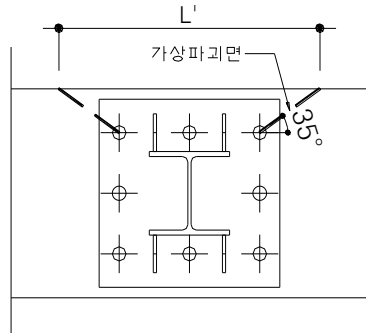
$$\Phi V_{cb} = \Phi \times \frac{A_{Vc}}{A_{Vco}} \times \Psi_{ec,V} \times \Psi_{ed,V} \times \Psi_{c,V} \times V_b$$

여기서,

$$\Phi = 0.75 \quad (\text{콘크리트의 파괴를 구속하기 위하여 보조철근이 설치되어 있는 경우, 조건 A : 콘크리트용 앵커 설계법 및 예제집-2010.06})$$

$$\frac{A_{Vc}}{A_{Vco}} = \frac{L' \times (1.5ca_1')}{4.5ca_1'^2} = \frac{54692.0}{40612.5} = 1.35$$

$$\text{여기서, } L' = 1.5ca_1' + S + 1.5ca_1' = 452.0 \text{ mm}$$



$$ca_1' = \max \left(\left(\frac{175}{3} \right), \left(\frac{121}{1.5} \right), \left(\frac{95}{1.5} \right) \right) = 80.7 \text{ mm} \quad (\text{콘크리트용 앵커 설계법 및 예제집-2010.06, p77참조})$$

$$\Psi_{ec,V} = 1 / (1 + 2 e_n / 3 h_{ef}) \leq 1 \quad (\text{앵커그룹에서 각 앵커볼트에 전단력이 균등하게 가해질때 편심 } e_n=0) \\ (\text{콘크리트 설계기준 2012, P492참조})$$

$$= 1.0$$

$$\Psi_{ed,V} = 0.9 \quad \begin{array}{l} Ca_2 \geq 1.5Ca_1 \text{ 인 경우} \\ Ca_2 < 1.5Ca_1 \text{ 인 경우} \end{array} \quad \Psi_{ed,V} = 1.0$$

$$\Psi_{ed,N} = 0.7 + 0.3 \left(\frac{Ca_2}{1.5Ca_1} \right) = 0.9$$

$$\Psi_{c,V} = 1.0 \quad (\text{사용시 콘크리트에 균열이 발생한다고 가정하고, D13미만의 가장자리 보조철근이 설치되는 경우, 콘크리트용 앵커설계법 및 예제집-2010.06})$$

$$V_b = 0.6 \left(\frac{L_e}{d_a} \right)^{0.2} \sqrt{d_a} \sqrt{f_{ck}} \left(C_{a1} \right)^{1.5} \\ = 0.6 \left(\frac{240}{30} \right)^{0.2} \sqrt{30} \sqrt{27} \left(95 \right)^{1.5} = 23966.1 \text{ N}$$

여기서,

$$L_e = \text{전단을 받는 볼트에 있어서 전단력이 작용하는 길이, 볼트직경의 최대 8배(8da)} \\ = 8da = 8 \times 30 = 240 < h_{ef} = 490 \text{ mm}$$

$$\Phi V_{cb} = 0.75 \times 1.35 \times 1.0 \times 0.9 \times 1.0 \times 23966.1 \\ = 21785.4 \text{ N} \\ = 21.8 \text{ KN}$$

10) 콘크리트 프라이아웃강도(ΦV_{cp})

$$\Phi V_{cp} = \Phi \times k_{cp} \times N_{cbg}$$

여기서,

$$\Phi = 0.7 \quad (\text{프라이아웃강도에는 조건B를 적용})$$

$$k_{cp} = 2.0 \quad (h_{ef} \geq 65\text{mm인 경우})$$

앞의 콘크리트 파괴강도에서

$$N_{cbg} = 259.02 \text{ KN}$$

$$\Phi V_{cp} = 0.7 \times 2.0 \times 259.02 = 362.6 \text{ KN}$$

- 설계 인장강도

콘크리트 파괴강도	ΦN_{cbg}	373.01	
앵커뿔힘강도	ΦN_{pn}	367.42	
콘크리트 측면 파열강도	ΦN_{sb}	-	

$$\Phi N_n \geq N_{ua}, \quad 367.42 \text{ KN} \geq 116.42 \text{ KN} \quad \text{----- O.K}$$

(전체인장력)

- 설계 전단강도

콘크리트 전단 파괴강도	ΦV_{cb}	21.79	
콘크리트 프라이아웃강도	ΦV_{cp}	362.63	

$$\Phi V_n \geq V_{ua}, \quad 21.79 \text{ KN} \geq 25.21 / 4 = 6.30 \text{ KN} \quad \text{----- O.K}$$

(전체수평력/앵커개수)

- 인장과 전단이 동시에 작용하는 경우

$$\begin{aligned} N_{ua} &= 116.42 \text{ KN} \\ 0.2\Phi N_n &= 0.20 \times 367.42 = 73.48 < N_{ua} = 116.42 \\ V_{ua} &= 6.30 \text{ KN} \\ 0.2\Phi V_n &= 0.20 \times 21.79 = 4.36 < V_{ua} = 6.30 \end{aligned}$$

$N_{ua} > 0.2\Phi N_n$ 이고 $V_{ua} > 0.2\Phi V_n$ 인 경우, 다음식을 적용하여 검토해야 한다.

$$\frac{N_{ua}}{\Phi N_n} + \frac{V_{ua}}{\Phi V_n} \leq 1.2$$

$$\left(\frac{116.42}{367.42} + \frac{6.30}{21.79} \right) = 0.606 \leq 1.2 \quad \text{----- O.K}$$

8.1.3. POST - BASE 용접부 및 BASE PLATE 두께 설계

1) 발생 단면력

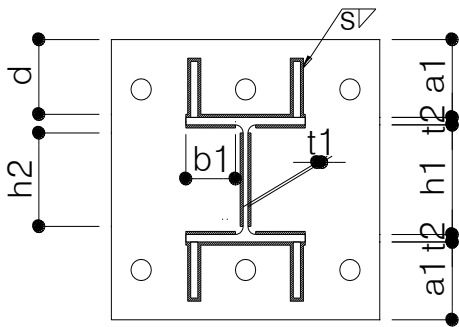
$$M = 26.05 \text{ kN.m}$$

$$V = 19.39 \text{ kN}$$

2) 용접부 설계

용접각장 가정 $S = 10\text{mm}$ (도로교 설계기준 3.5.2.4 최소모재두께 8mm이상시 6mm이상으로 함)

$$\text{용접부 목두께 } a = S \times \sin 45^\circ = 7.07 \text{ mm}$$



- 용접부 부재별 치수(mm) -

BASE h =	400	BASE b =	350
POST H =	194	POST B =	150
POST t1 =	6	POST t2 =	9
용접부 h1 =	176	용접부 h2 =	156
Rib a1 =	103	Rib d =	60
POST r =	13	용접부 b1 =	59
Rib 길이 s =	70	Rib개수(n)	4 EA
중립축 길이 y =	167		

단면2차모멘트

$$\begin{aligned}
 I_x &= 2 \times \left[\frac{a \times h_2^3}{12} \right] + 2 \times B \times a \times \left[\frac{H}{2} + \left(\frac{a}{2} \right) \right]^2 + 4 \times a \times \left(\frac{B}{2} - r - \frac{t_1}{2} \right) \times \left[\frac{h_1}{2} - \left(\frac{a}{2} \right) \right]^2 + 2n \times \left[\frac{a \times d^3}{12} \right] + 2n \times a \times d \times \left[\frac{H}{2} + t_2 + \left(\frac{d}{2} \right) \right]^2 \\
 &= 2 \times \frac{7.07 \times 156^3}{12} + 2 \times 150 \times 7.07 \times (194/2 + 7.07/2)^2 + 4 \times 7.07 \times (150/2 - 13 - 6/2) \times (176/2 - 7.07/2)^2 \\
 &\quad + 8 \times \frac{7.07 \times 60^3}{12} + 8 \times 7.07 \times 60 \times (194/2 + 9 + 60/2)^2 \\
 &= 101,616,297 \text{ mm}^4 = 10,162 \text{ cm}^4 \\
 Z_x &= \frac{I_x}{y} = 608 \text{ cm}^3
 \end{aligned}$$

전단에 대한 단면적

$$A_w = 2(h_2 \times a) + 4(b_1 \times a) + 2(B \times a) + 4(d \times a) = 7,693 \text{ mm}^2 = 76.9332 \text{ cm}^2$$

휨응력 검토

$$f_{wb} = \frac{M}{Z_x} = \frac{26 \times 100}{608} = 42.8 \text{ MPa} < f_{wa} = 160.0 \text{ MPa} \text{ ----- O.K}$$

전단응력 검토

$$\tau_{ws} = \frac{V}{A_w} = \frac{19}{76.93} = 2.52 \text{ MPa} < \tau_{wa} = 90.0 \text{ MPa} \text{ ----- O.K}$$

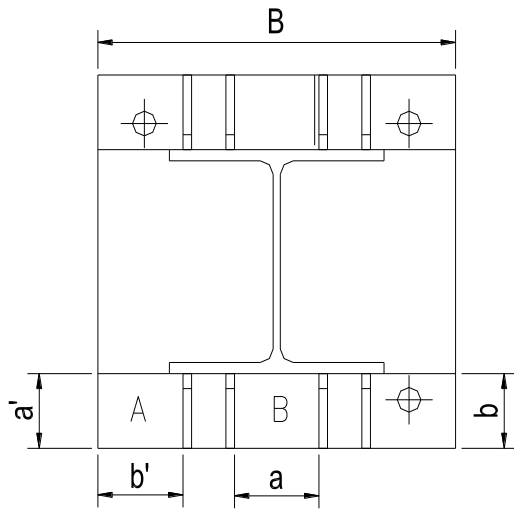
휨과 전단의 합성응력에 대한 검토

(도로교 설계기준 3.5.2.8 용접이음부의 합성응력 검토)

$$(f_{wb}/f_{wa})^2 + (\tau_{ws}/\tau_{wa})^2 = 0.07 < 1.0 \text{ ----- O.K}$$

3) BASE PLATE 두께 설계

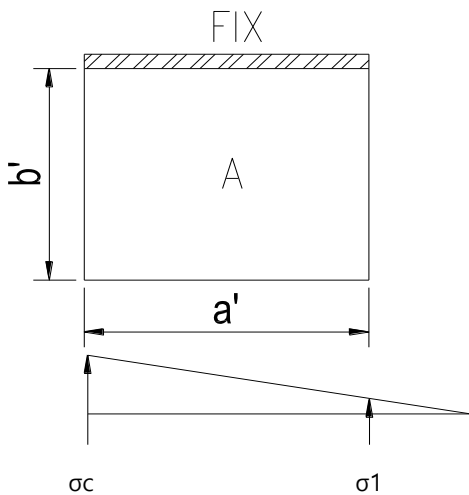
$$f_c = \frac{2T}{y \times B} = \frac{2 \times 90 \times 10}{11.7 \times 35} = 4.4 \text{ MPa}$$



BASE PLATE 폭 B = 350 mm
 Rib간 최대간격 a = 100 mm
 H-Flange - BASE끝단거리 a' = b = 103 mm
 Rib - BASE끝단거리 b' = 113 mm

A 영역에서의 모멘트(1번지지)

(Theory of Plates and Shells, TIMOSHENKO)



콘크리트 압축면 거리 y' = 11.723 cm

$f_c = 4.4 \text{ MPa}$

$f_1 = 4.4 \times (11.7 - 10) / 10 = 0.6 \text{ MPa}$

$f_q = (4 + 0.6) / 2 = 2.5 \text{ MPa}$

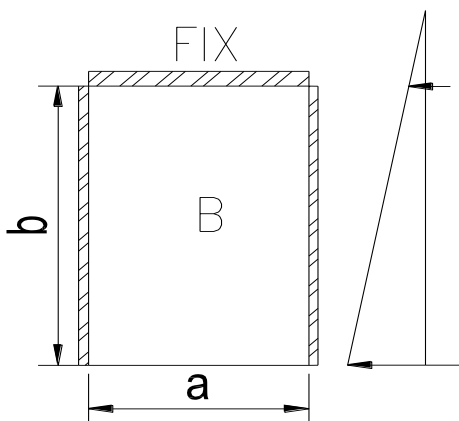
$b' / a' = 1.0971 \rightarrow \alpha = 0.0914$

$M_{\max} = \alpha \times f_q \times b'^2$

$= 0.091 \times 2.5 \times 0.113^2 = 2,898.2 \text{ N}\cdot\text{m}$ (단위폭 1m당)

B 영역에서의 모멘트(3번지지)

(Theory of Plates and Shells, TIMOSHENKO)



$f_c = 4.4 \text{ MPa}$

$f_1 = 4 \times (11.7 - 10.0) / 10.0 = 0.6 \text{ MPa}$

$f_q = (4 + 0.6) / 2 = 2.5 \text{ MPa}$

$b / a = 1.03 \rightarrow \alpha = 0.05806$

$M_{\max} = \alpha \times f_q \times b^2$

$= 0.058 \times 2.5 \times 0.103^2 = 1,529.9 \text{ N}\cdot\text{m}$ (단위폭 1m당)

BASE PLATE 두께 설계

$$f_b = \frac{6M_{max}}{Bxt^2} = \frac{6 \times 2,898}{1 \times t^2} \leq f_a = 160.0 \text{ MPa}$$

$$\longrightarrow t \geq \frac{\sqrt{6M_{max}}}{\sqrt{f_a}} = \frac{\sqrt{6 \times 2,898}}{\sqrt{160}} = 1.04 \text{ cm} < \text{설계 } t = 25 \text{ mm} \text{ ----- O.K}$$

4) RIB PLATE 설계

RIB 길이 s = 70 mm RIB 높이 h' = 100 mm 압축측 RIB갯수 = 2 ea

RIB부 작용 전단력 산정

$$V_r = f_q \times B \times a' / 2 = 2.5 \times 0.350 \times 0.103 / 2 = 44.771 \text{ KN (RIB 한개당)}$$

$$\tau_r = \frac{V_r}{t \times h'} = \frac{44.771}{0.100 \times t} \leq \tau_{ca} = 90.0 \text{ MPa}$$

$$\longrightarrow t \geq \frac{V_r}{h' \tau_{ca}} = \frac{44.771}{0.100 \times 90} = 0.4975 \text{ cm} < \text{설계 } t = 12 \text{ mm} \text{ ----- O.K}$$

(단, 용접치수보다 크게 두께 설계)

9. 용접검토

1) 설계용접(필렛용접) 치수 검토 (도로교 설계기준 3.5.2.4)

주요부재의 응력을 전달하는 필렛용접의 치수는 다음의 제한 내에 있는 것을 표준으로 한다.

$$t_1 > S \geq \sqrt{2t_2}$$

여기서, t_1 = 얇은 쪽의 모재의 두께 (mm)

t_2 = 두꺼운 쪽의 모재의 두께 (mm)

S = 용접치수 (mm)

$t_1 = 9$ mm ----- H형강 PLATE 두께

$t_2 = 9$ mm ----- H형강 PLATE 두께

$$\sqrt{(2 \times t)} = \sqrt{(2 \times 9)} = 4.243 \text{ mm}$$

∴ $S = 6$ mm

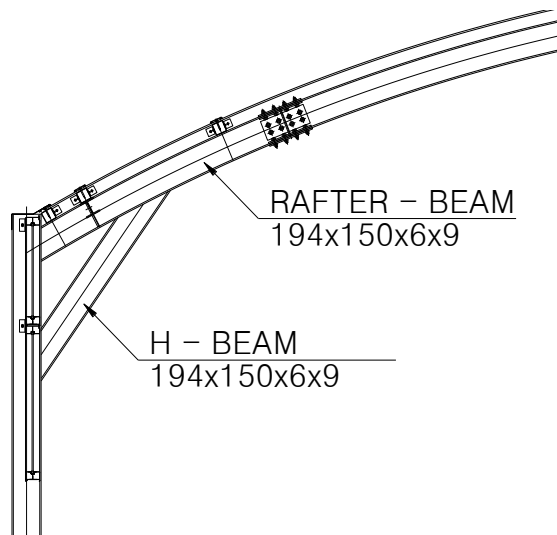
2) 용접부 목두께(유효두께)

$$a = 0.707 \times s \quad a = 4.2 \text{ mm}$$

3) 용접부 허용응력(MPa)

강 종		응력의종류	SM275
공장용접	전단면용입 홈 용 접	압축응력	160
		인장응력	160
		전단응력	90
	필렛용접 부분용입홈용접	전단응력	90
현장용접		각각의 경우에 있어서 상기의 90%로 한다.	

4) 공장용접부 응력검토



① 용접 "A" (방음터널도면 참조)

㉠ 전단력

$$V = 9.1 \text{ kN}$$

㉡ 용접의 유효길이 (용접길이)

$$L = (2 \times 150) + (4 \times 69) + (2 \times 371) = 1318 \text{ mm}$$

(2면 필렛용접)

㉢ 전단응력 검토

$$\tau = \frac{P_h}{a \times L} = \frac{9.05 \times 10^3}{4.24 \times 1318}$$

$$\tau = 1.6 \text{ MPa} < \tau_a = 90 \text{ MPa} \quad \text{----- O.K}$$