
트윈앵커타입 베이직 석재용 구조검토서

ANCHOR: $\phi 1/2''$ (12.7mm), T.B PLATE: 70×225×5T

(주)성신구조ENG

2020.11.9

구조검토서

트윈앵커타입 베이직 석재용

ANCHOR: $\phi 1/2"$ (12.7mm), T.B PLATE: 70×225×5T

상기 열교차단 파스너는 구조설계기준(KDS 14 00 00:2018)과 건축물 내진설계기준(KDS 41 17 00:2019)에 따라 구조성능을 확인하였으므로, 본 보고서에 표시된 구조형식, 사용재료 및 강도, 하중조건 등을 확인하여 도면에 표기하시기 바랍니다.

2020.11.9

건축구조기술사 김 경 민 (인)

1 검토개요 및 요약

- 1) 제품명: 트윈앵커타입 베이직 석재용
- 2) 제조사: (주)이비엠리더
- 3) 용도: 치장용 외장재 연결재
- 4) 규격:

구성	규격	항복강도 F_y , MPa	인장강도 F_u , MPa	탄성계수 E , GPa
ANCHOR	$\phi 1/2''$ (12.7mm) [†]	343	539	205
T.B PLATE	70×225×5T	170	270	205

- 5) 적용기준: KDS 14 00 00:2018(구조설계기준), KDS 41 17 00:2019(건축물 내진설계기준)
- 6) 검토방법: 극한하중설계법
- 7) 검토결론: 하기 조건에 대해 석재용 트윈앵커타입 베이직 파스너가 개당 받을 수 있는 허용지지력을 산정함
 - a) 지진하중의 경우 2400년 재현주기의 지진에 상응하는 유효지반가속도에 대한 S_5 지반(보통암까지의 깊이 20m 이상)에 대해 건축물 최상층에 설치되는 경우에 대한 가장 불리한 조건
 - b) 풍하중의 경우 1m^2 의 풍압면적에 대해 풍속 45m/s, 노풍도 C 에 지붕높이 100m의 최상층에 설치한 조건

2 허용지지중량

하기의 표에 제시된 값은 각 파괴모드별 허용중량의 최소값으로, 단열재 두께에 따라 허용되는 지지중량을 결정하는데 활용한다.

트윈앵커타입 베이직 석재용 허용중량

단열재 두께, mm	마감거리, mm	허용지지중량, kN
70	170	0.40
80	180	0.39
90	190	0.38
100	200	0.37
110	210	0.36
120	220	0.35
130	230	0.34
140	240	0.33
150	250	0.32
160	260	0.31
170	270	0.30
180	280	0.21

1) 석재용 연결철물(앵글, 조정판, 핀 등)은 KDS 41 17 00:2019의 18장에 제시된 실험을 통해 진동대를 활용한 실물대 실험을 실시한 결과 실험 후에도 견고하게 석재를 지지하는 것으로 확인됨(<부산대 실험보고서> 참조).

2) 나사부가 전단면에 포함된다고 보수적으로 가정함.

3) 적설하중을 고려해야하는 경우 상기 값에서 고려하고자 하는 적설하중을 저감한 값을 허용지지중량으로 결정함.

4) 설계용 허용중량은 보수적 판단을 위해 산정된 공칭중량으로부터 동일한 강도를 가지더라도 단열재 두께가 두꺼워짐에 따라 감소하도록 결정됨.

5) 파스너가 개당 분담하는 면적은 1m×1m를 대상으로 하였으며, 다른 크기의 면적에 대한 검토를 하고자 할 경우 본 하중으로부터 산정된 값을 면적비로 스케일링할 수 있음.

3 검토조건

트윈앵커타입 베이직의 전개도와 설치도는 아래를 참조한다.

앵커의 길이는 단열재 두께 70mm에서 180mm에 대해 연결거리에 따라 150에서 260mm까지 가변적이다. 마감거리는 최대 280mm이고 앵커 근입깊이는 50mm이다. 본 검토에서는 트윈앵커타입 베이직 프레임용의 허용지지중량을 산정하였다.

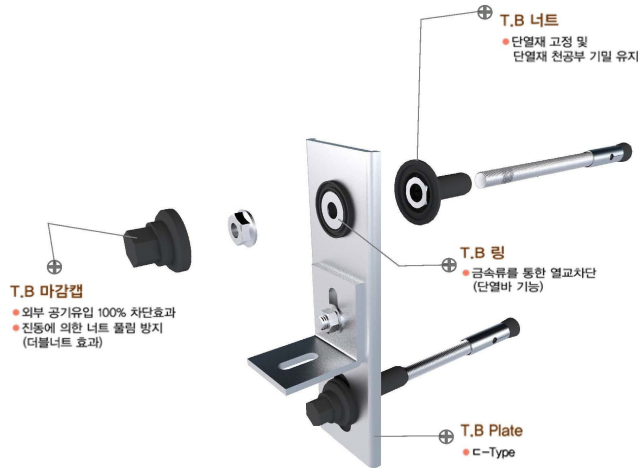


그림 1: 트윈앵커타입 베이직 전개도

본 해석모델에는 다음과 같은 가정이 사용되었다.

- 앵커는 압축과 휨에 동시에 저항한다.
- 풍하중을 받는 면적은 1m²으로 가정한다.

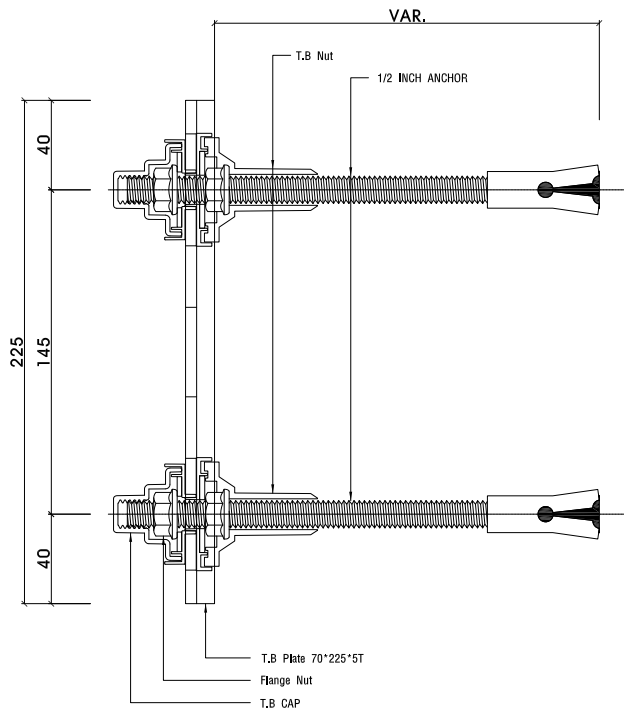
3.1 고정하중

본 검토에서 고려하는 외장재는 금속шит패널, 고밀도목재패널 등과 같은 경량의 건축물 외장재와 석재, 테라코타패널 등과 같은 중량의 건축물 외장재로 구별되며, 경량 외장재의 경우 프레임용 타입이, 중량 외장재의 경우 석재용 타입이 적용되어 외장재를 구조적으로 안전하게 지지한다. 외장재의 고정하중은 대개 부착되는 재료의 종류와 접합상세에 따라 달라진다. 본 검토에서는 외장재에 활하중은 가해지지 않는다고 가정한다.

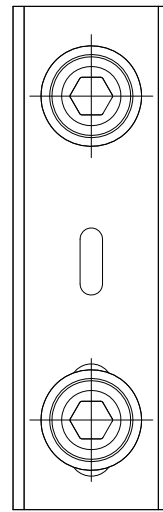
3.2 지진하중 및 조합

3.2.1 지진하중

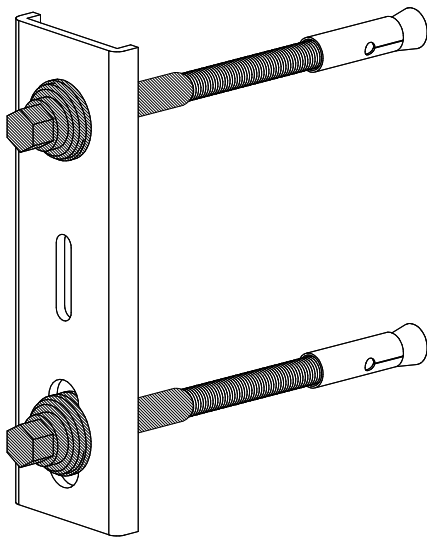
지진하중 산정에 있어 본 검토에서는 고려할 수 있는 가장 불리한 조건들을 가정하였다. 구체적으로는 서울의 지진구역, 지반분류의 경우 매우 드물게 나타나는 연약한 토사지반을



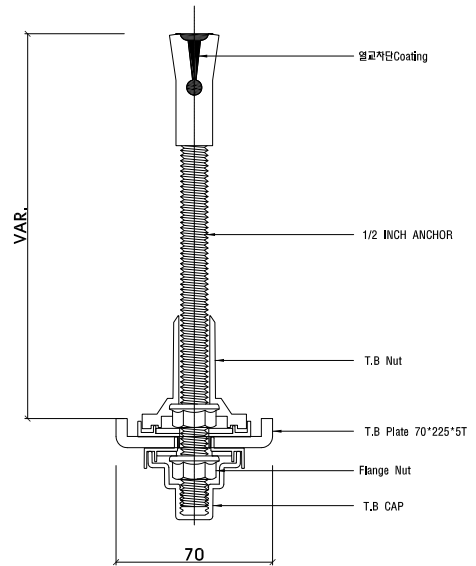
단면도



입면도

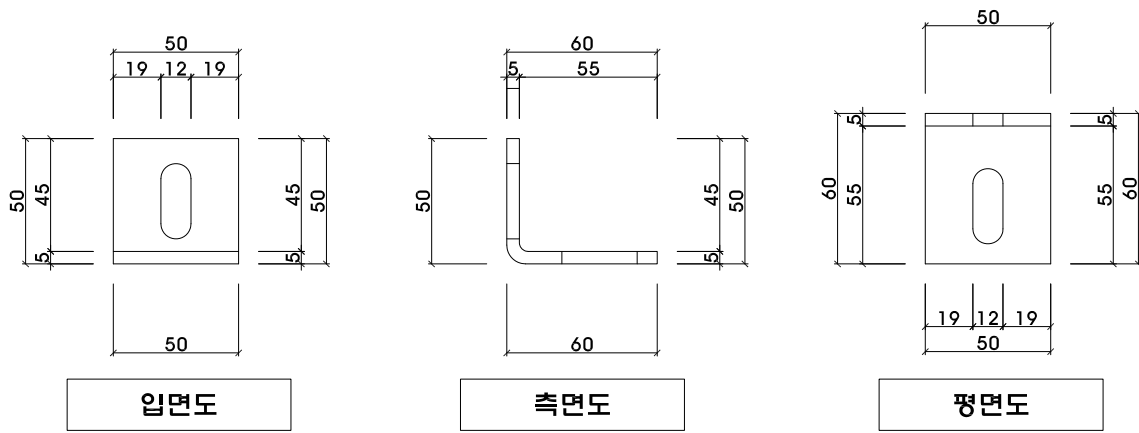


형상도

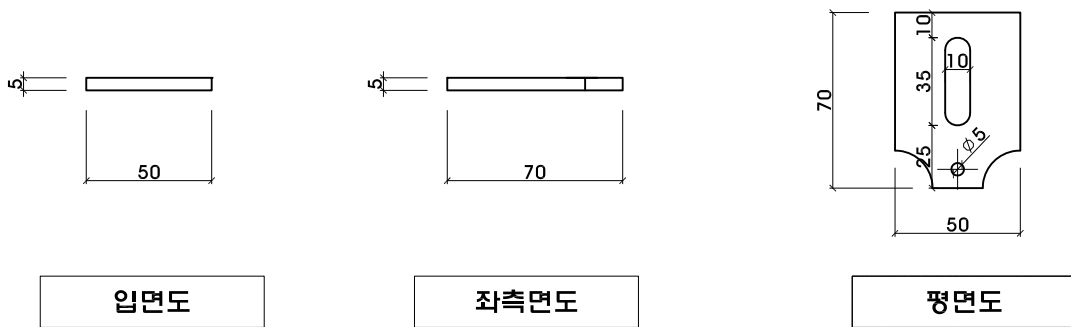


평면도

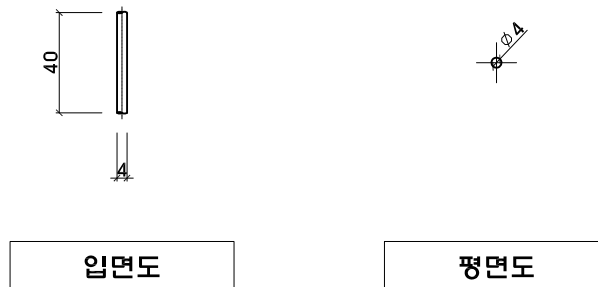
그림 2: 트윈앵커타입 베이직 석재용 구성도



석재 앵글 상세도



조정판 상세도



핀 상세도

그림 3: 트윈앵커타입 베이직 석재용 석재앵글, 조정판, 핀 상세도

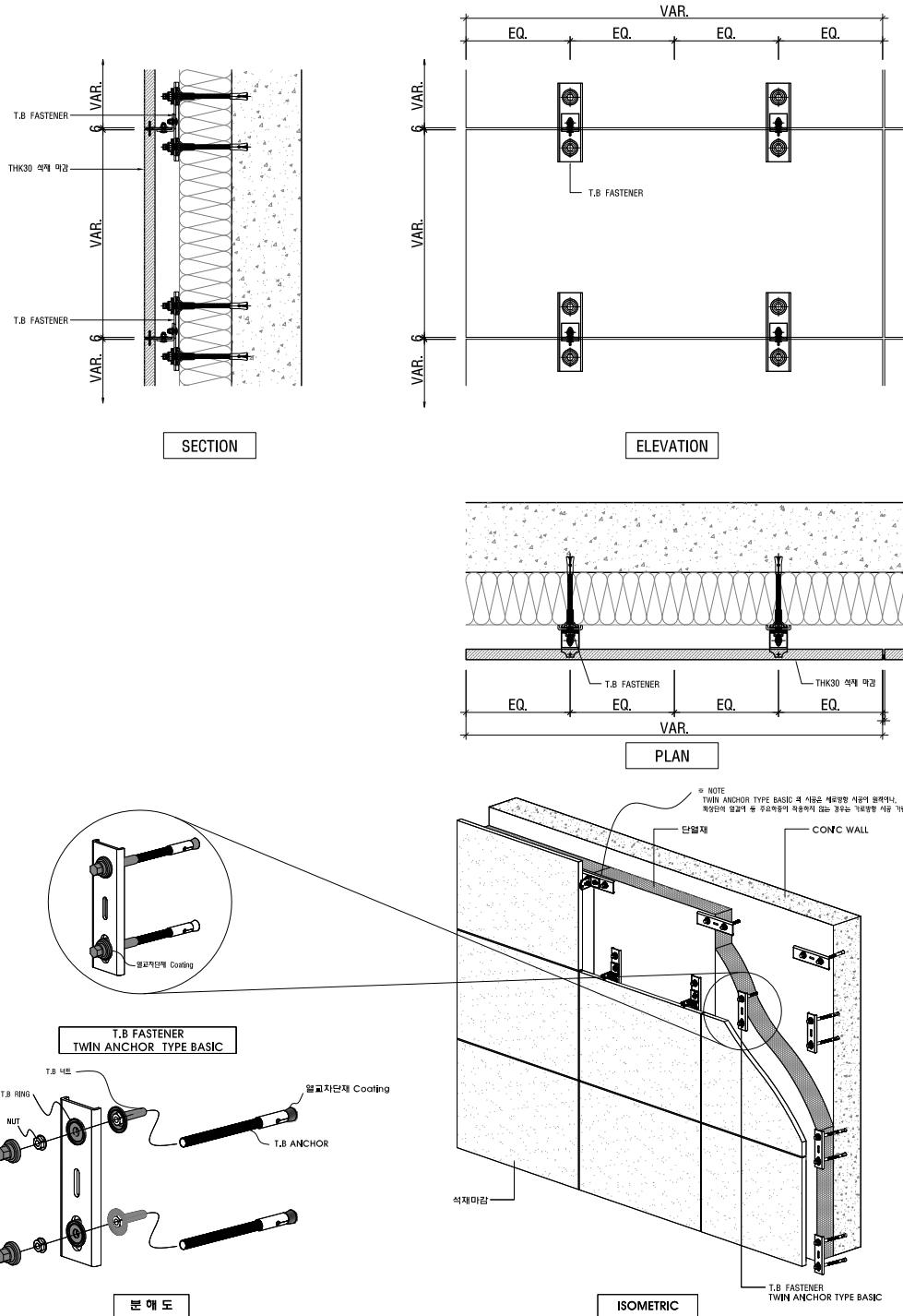


그림 4: 트윈앵커타입 베이직 석재용 설치도

제외한, 설계에 있어 통상적으로 고려할 수 있는 지반 중 가장 불리한 조건인 지반을 택하였으며, 설치위치 역시 가장 큰 증폭을 유발하는 건축물 최상층에 대한 검토를 실시하였다. 지진하중 산정 조건을 요약하면 다음과 같다.

- 건물위치장소: 서울 지진구역(I), 지진구역계수(0.22g)
- 지반분류: S_5 (보통암까지의 깊이 20m 이상)
- 내진등급: 1등급
- 비구조요소 설치위치: 건축물 최상층

건축물 비구조요소는 지진 발생 시 전도나 탈락으로 인해 건물 내외부의 인명에 손상을 줄 수 있으므로, 내진설계에 의하여 구조적 안전성을 만족해야 하며, 지진 발생 후에 화재 등의 2차 효과를 일으킬 수 있는 설비 등의 비구조요소 역시 내진설계를 통해 안전성이 확보되어야 한다. 콘크리트 앵커와 같이 구조물에 영구히 설치되는 비구조요소는 이 조항에 따라 결정된 등가정적하중과 변위에 견디도록 설계하여야 한다. 본 연구에서는 가장 불리한 경우를 가정하기 위해 2400년 재현주기를 갖는 지진에 대하여 비구조요소의 내진설계를 수행하고자 한다. 현행 건축구조기준 KDS 41 17 00:2019에서 제시한 지진구역계수는 2400년 재현주기를 갖는 지진에 상응하는 유효지반가속도이며, 이 값을 적용하는 경우 리히터 규모 약 6.5의 지진에 대한 내진설계를 수행하는 것과 같다. 가장 불리한 경우를 가정한 지진구역 I의 유효지반가속도는 0.22g가 된다. 참고로, 500년 재현주기에 상응하는 리히터 규모 6.0의 지진에 대한 내진 설계를 수행하는 경우 지진구역I의 유효지반가속도는 상기 값의 절반인 0.11g가 된다.

KDS 41 17 00:2019에서 제시하는 비구조패널에 대한 설계지진하중 F_p 는 등가정적하중 산정식에 의하여 아래 식에 의해 구한다.

$$F_p = \frac{0.4a_p S_{DS} W_p}{R_p / I_p} \left(1 + 2 \frac{z}{h} \right) \quad (1)$$

여기서 설계지진하중 F_p 는 다음의 값을 초과할 필요는 없다.

$$F_p = 1.6 S_{DS} I_p W_p \quad (2)$$

그러나 F_p 는 다음의 값 이상이 되어야 한다.

$$F_p = 0.3 S_{DS} I_p W_p \quad (3)$$

여기서 a_p 는 1.0과 2.5 사이의 값을 갖는 증폭계수, I_p 는 비구조요소의 중요도계수로서 1.0 또는 1.5, h 는 구조물의 밑면으로부터 지붕층까지의 평균높이, z 는 구조물의 밑면으로부터 비구조요소 위치까지의 높이, R_p 는 비구조요소의 반응수정계수로서 1.0과 3.5 사이의 값, S_{DS}

표 1: 건축비구조요소 또는 부재의 주요 계수값(KDS 41 17 00:2019)

비구조요소	증폭계수 a_p	반응수정계수 R_p
변형이 제한된 기타 연성의 부재 및 부착물	2.5	2.5
외측 비구조벽체 접합시스템의 조임구	1.25	1.0

는 결정한 단주기에서의 설계스펙트럼가속도이고, W_p 는 비구조요소의 가동중량이다.

수직방향 설계지진력은 아래의 F_{pv} 를 산정하여 작용하는 수직하중과 동시에 고려하되, 비부착식 바닥패널이나 비부착식 천장패널에는 적용하지 않는다.

$$F_{pv} = 0.2S_{DS}W_p. \quad (4)$$

비구조요소의 증폭계수 a_p 는 접합된 장비의 강성에 대한 계수이며, 통상적으로 1.0과 2.5 사이의 값을 갖는데, 1.0은 강하게 접합된 경우에, 2.5는 유연하게 접합된 장비의 경우에 사용한다. 표 1는 건축구조기준 KDS 41 17 00:2019에 제시된 증폭계수 중 본 과제에 사용된 주요 계수값을 정리하고 있다. 본 과제에서는 대상 파스너에 대한 보수적인 판단을 위해 기타 연성의 비구조요소 중 변형에 제한된 부재 및 부착물에 대한 값으로 증폭계수는 2.5를, 반응수정계수는 접합시스템의 조임구에 대한 값인 1.0을 택하였으며, 이는 공진에 의한 응답의 증폭을 반영하되 후설치앵커를 통해 고정된다는 본 시스템의 특성 상 접합시스템의 연성이 구조물만큼 충분하지는 않다는 조건을 부여한 것이다. 이러한 가정은 건축비구조요소 설계에서 택할 수 있는 보수적인 가정을 택한 것이다.

비구조패널에 대한 설계지진하중 산정을 위해서 건물의 입지지역과 지반조건을 고려해서 지반의 증폭계수를 구하여 비구조요소에 적용할 단주기에서의 설계스펙트럼 가속도(S_{DS})를 구한다. 여기서 단주기에서의 설계스펙트럼 가속도는 평가지진 중 성능수준에 따라 최대고려지진이 고려되는 경우 단주기에서의 설계스펙트럼 가속도로 다음 식에 따라 결정한다.

$$S_{DS} = S \times 2.5 \times F_a \times 2/3 = 0.22g \times 2.5 \times 1.3 \times 2/3 = 0.4766g \quad (5)$$

여기서 F_a 는 지반증폭계수로 표 2에 따라 구하거나 부지고유의 지진응답해석을 수행하여 결정할 수 있다.

3.2.2 지진하중을 포함한 하중조합

본 검토에서는 지진하중에 대해 KDS 41 10 15:2019 건축구조기준 설계하중 기준에서 규정한 하중을 기본으로 다음의 하중조합에 의한 하중효과에 저항하도록 설계하였다.

$$0.9D + 1.0E \quad (6)$$

여기서 D 는 고정하중으로, 본 검토에서는 프레임과 석재를 포함한 마감재가 유발하는 중량이고, E 는 지진하중으로, 상기 내용으로부터 산정된 수직방향과 수평방향을 모두 포함한다.

3.3 풍하중 및 조합

3.3.1 풍하중

본 검토에서는 KDS 41 10 15:2017에 제시된 외장재설계용 설계하중에 따라 파스너가 개당 분담하는 풍하중을 다음과 같이 산정하였으며, 다음의 조건을 고려하였다.

- 기본풍속은 45m/s를 적용한다.
- 노풍도 C 에 대해 검토한다.
- 기준 높이는 100m이다.
- 밀폐형 건축물에 대한 기준을 적용한다.
- 경사가 없는 박공지붕에 대한 풍압계수를 적용한다.
- 파스너가 개당 분담하는 면적은 1m^2 로 하며, 다른 크기의 면적에 대한 검토를 하고자 할 경우 본 하중으로부터 산정된 값을 면적비로 스케일링할 수 있다.

외장재설계용 풍하중 W_C 는 다음 식에 따라 산정한다.

$$W_C = p_C A_C \quad (7)$$

여기서 p_C 는 외장재설계용 설계풍압 (N/m^2)이며, 단, 500 N/m^2 보다 작아서는 안 되고, A_C 는 외장재 등의 유효수압면적(m^2)이다.

본 검토에서는 보수적 검토를 위해 기준높이 100m 건물의 최상층에 위치하는 외장재를 검토 대상으로 선정하였다. 설계기준에 따르면 기준높이가 20 m 이상인 건축물의 외장재설계용

표 2: 단주기 지반증폭계수 F_a (KDS 41 17 00:2019)

지반종류	지진지역		
	$s \leq 0.1$	$s = 0.2$	$s = 0.3$
S_1	1.12	1.12	1.12
S_2	1.4	1.4	1.3
S_3	1.7	1.5	1.3
S_4	1.6	1.4	1.2
S_5	1.8	1.3	1.3

설계풍압 p_C 는 아래 두 종류로 구분하여 산정한다.

$$\text{정압인 외벽: } p_C = k_z q_H (GC_{pe} - GC_{pi}) \quad (8a)$$

$$\text{부압인 외벽 및 지붕면: } p_C = q_H (GC_{pe} - GC_{pi}) \quad (8b)$$

여기서 k_z 는 높이방향압력분포계수, q_H 는 기준높이 H 에 대한 설계속도압(N/m^2), GC_{pe} 는 외장재설계용 피크외압계수이고, GC_{pi} 는 외장재설계용 피크내압계수이다.

기준높이 H 에서의 설계속도압 q_H 는 다음 식으로 산정한다.

$$q_H = \frac{1}{2} \rho V_H^2 \quad (9)$$

ρ 는 공기밀도로서 균일하게 1.22kg/m^3 이고, V_H 는 설계풍속으로 다음 식으로 산정한다.

$$V_H = V_0 K_{zr} K_{zt} I_w \quad (10)$$

여기서 V_0 는 기본풍속(m/s), K_{zr} 은 풍속고도분포계수로 기준높이 H 에서의 값, K_{zt} 는 지형계수이고, I_w 는 건축물의 중요도계수로, 1.0을 적용하였다.

본 검토에서 기본풍속은 국내 모든 지역을 커버하기 위한 목적으로 45m/s 으로 하였고 지형계수 K_{zt} 는 산, 언덕 및 경사지의 영향을 받지 않는 평탄한 지역에 대한 1.0을 적용하였으며, 풍속고도분포계수 K_{zr} 는 노풍도 C 에 대한 기준높이 100m를 적용하여 다음과 같이 산정한다.

$$K_{zr} = 0.71 \times H^{0.15} = 1.42 \quad (11)$$

외장재설계용 풍압계수는 기준높이가 20 m 이상인 건축물의 외장재설계용 피크외압계수와 밀폐형 피크내압계수로부터 다음과 같이 결정하였다.

$$GC_{pe,P} = 1.800, \quad GC_{pe,N} = -3.600, \quad GC_{pi} = 0.000 \text{ or } -0.520, \quad k_z = 0.935 \quad (12)$$

결과적으로 본 검토에서 산정된 가정된 조건에 대한 풍하중은 정압에 의한 압축력의 경우 5.38kN 이고, 부압에 의한 인발력은 8.924kN 이다.

3.3.2 풍하중을 포함한 하중조합

본 검토에서는 풍하중에 대해 KDS 41 10 15:2019 건축구조기준 설계하중 기준에서 규정한 하중을 기본으로 다음의 하중조합에 의한 하중효과에 저항하도록 설계하였다.

$$0.9D + 1.3W \quad (13)$$

여기서 D 는 고정하중으로, 본 검토에서는 프레임과 석재를 포함한 마감재가 유발하는 중량이고, W 는 지진하중으로, 상기 내용으로부터 산정된 압축력을 포함한다.

3.4 검토 구조조건 및 하중조합

결과적으로 본 검토에서는 한계상태설계법에 따라 다음의 하중조합에 의한 하중효과에 저항하도록 설계되었다. 고려된 하중조합은 세 개로 다음과 같으며, 이를 표 3에 정리하였다. 또한 본 검토에서는 사용에 지장이 되는 변형이나 진동이 생기지 않도록 하기 위해, 충분한 강성과 인성의 확보를 목적으로 자중에 대한 1mm 처짐을 사용성으로써 고려하였다.

LC1 $1.4D$

LC2 $0.9D + 1.0E$

LC3 $0.9D + 1.3W$

표 3: 하중조합에 따른 소요압축강도 및 전단력

하중조합	소요축력 P_u , kN	수직방향 전단력 V_v , kN	수평방향 전단력 V_t , kN
LC1	0	$1.4W_p g$	0
LC2	$1.6S_{DS}W_p$	$(0.9g + 0.2S_{DS})W_p$	$1.6S_{DS}W_p$
LC3	$1.3F_W$	$0.9W_p g$	0

4 앵커 허용중량

각 하중조합에 대한 중량을 표 4과 같이 산정하였으며, 이하에 각 하중조합에 대한 허용중량 산정식을 정리하였다.

4.1 LC1

원형강봉에 대한 공칭휨강도 M_n 은 항복강도(소성모멘트)로, 트윈앵커임을 감안하여 다음과 같이 산정한다.

$$M_n = M_p = F_{y,anc}(2Z_{anc}) \leq 1.6M_y = 1.6F_{y,anc}(2S_{anc}) \quad (14)$$

원형강봉의 경우 탄성단면계수와 소성단면계수는 각각 $S = \pi d^3/32$ 와 $Z = d^3/6$ 이므로 $Z/S = 1.667$ 임에 따라, 소성강도는 최소값인 $1.6F_{y,anc}S_{anc}$ 로 산정된다.

중력하중에 대한 극한모멘트로부터 설계 만족조건은 아래와 같다.

$$1.4L_I W_p g \leq \phi_b 1.6F_{y,anc}(2S_{anc}) \quad (15)$$

이로부터 하중조합 LC1에 대한 허용지지증량은 다음과 같이 산정된다.

$$W_p g = \frac{1.6\phi_b F_{y,anc}(2S_{anc})}{1.4 L_I} = 0.2857\phi_b F_{y,anc} A_{anc} \frac{d}{L_I} \quad (16)$$

여기서 A_{anc} 는 앵커의 단면적, d 는 앵커의 직경이고, L_I 는 마감재의 두께이다.

4.2 LC2

2축 대칭단면 부재인 원형강봉에 있어서 휨과 압축력의 상관관계는 아래 식에 의해 제한된다.

$$\frac{P_u}{P_r} + \frac{8}{9} \left(\frac{M_{ux}^*}{M_{rx}} + \frac{M_{uy}^*}{M_{ry}} \right) \leq 1.0 \quad \text{for } \frac{P_u}{P_r} \geq 0.2 \quad (17a)$$

$$\frac{P_u}{2P_r} + \frac{8}{9} \left(\frac{M_{ux}^*}{M_{rx}} + \frac{M_{uy}^*}{M_{ry}} \right) \leq 1.0 \quad \text{for } \frac{P_u}{P_r} < 0.2 \quad (17b)$$

여기서 P_u 는 하중조합으로 구한 소요압축강도, P_r 은 설계압축강도, M_u 는 하중조합으로부터 압축력을 고려해 증폭된 모멘트를 반영한 소요증폭모멘트, M_r 은 설계휨강도이고 x, y 는 각각 강축과 약축 휨을 나타내는 아래첨자이다. 본 검토에서는 x 와 y 를 각각 연직방향과 수평방향으로 설정하여 이들을 v 와 t 로 기술한다.

$$M_{ut}^* + M_{uv}^* = \frac{9}{8} \left(1.0 - \frac{P_u}{C_2 P_r} \right) M_{rv} \quad (18)$$

여기서 C_2 는 $P_u/P_r < 0.2$ 일 때 2, 그 외에는 1이다[식 (49) 참조].

압축력에 의해 증폭된 증폭모멘트 M_{ut}^* 와 M_{uv}^* 는 각각 비회구속 골조효과에 따른 증폭계수 B_2 를 반영한 값으로, 이로부터 증폭되지 않은 모멘트 M_{ut} 와 M_{uv} 에 대한 휨과 압축력의 상관관계를 통한 설계식은 아래와 같이 산정된다.

$$M_{ut} + M_{uv} = \frac{1}{B_2} \frac{9}{8} \left(1.0 - \frac{P_u}{C_2 P_r} \right) M_{rv} \quad (19)$$

여기서 B_2 는 모멘트 증폭계수로 다음과 같이 산정한다.

$$B_2 = \frac{1}{1 - \sum P_u / \sum P_{e2}} = \frac{1}{1 - P_u / P_{e2}} \quad (20)$$

이 때 $\sum P_u$ 와 $\sum P_{e2}$ 는 각각 앵커에 작용하는 총 계수연직하중과 횡변위가 수반되는 좌굴모드에 대한 마감재 전체의 탄성좌굴강도로, 앵커가 벽면에 고르게 배치된다는 전제조건으로부터 단일앵커에 작용하는 축력과 이에 대한 탄성좌굴강도로 취급할 수 있다. 양단이 회전에 대해 고정이며 단부가 이동자유인 횡변위에 구속되지 않은 압축재에 대한 유효좌굴길이계수 K 는 설계기준에 따라 1.2이며, 이에 대한 B_2 값을 산정하면 다음과 같다.

$$B_2 = \frac{1}{1 - P_u / P_{e2}} = \frac{1}{1 - 1.6S_{DS}W_p(KL_I)^2 / \pi^2 E_{anc}(2I)} \quad (21)$$

표 3의 값을 대입하면 다음의 식을 얻는다.

$$W_{pg} = \frac{1}{[1.6S_{DS}/g + (0.9 + 0.2S_{DS}/g)]L_I B_2} \frac{9}{8} \left(1.0 - \frac{1.6S_{DS}W_p}{C_2 P_r} \right) \phi_b F_{y,anc}(2Z_{anc}) \quad (22)$$

4.3 LC3

2축 대칭단면 부재인 원형강봉에 있어서 휨과 압축력의 상관관계는 식 (49)에 의해 제한된다. 풍하중의 경우 수평방향에 대한 모멘트는 없으므로, 연직방향에 대한 모멘트만 고려한다.

압축력에 의해 증폭된 증폭모멘트 M_{uv}^* 에 대한 휨과 압축력의 상관관계를 통한 설계식은 아래와 같이 산정된다.

$$M_{uv}^* = \frac{9}{8} \left(1.0 - \frac{P_u}{C_2 P_r} \right) M_{rv} \quad (23)$$

여기서 C 는 $P_u/P_r < 0.2$ 일 때 2, 그 외에는 1이다[식 (49) 참조].

1m²의 풍압면적을 가지는 파스너 한 개가 받는 압축력은 다음과 같이 산정된다.

$$P_u = 1.3F_W = 1.3 \times 5.38 \text{ kN/m}^2 \times 1 \text{ m}^2 = 6.99 \text{ kN} \quad (24)$$

상기 값은 모멘트 증폭된 값으로, 이를 반영한 모멘트는 다음과 같이 산정된다.

$$M_{uv} = \frac{1}{B_2} \frac{9}{8} \left(1.0 - \frac{P_u}{C_2 P_r} \right) M_{rv} \quad (25)$$

여기서 B_2 는 모멘트 증폭계수로 다음과 같이 산정한다.

$$B_2 = \frac{1}{1 - \sum P_u / \sum P_{e2}} = \frac{1}{1 - P_u / P_{e2}} = \frac{1}{1 - 1.3F_W(KL_I)^2 / \pi^2 E_{anc}(2I)} \quad (26)$$

표 3의 값을 대입하면 다음의 식을 얻는다.

$$W_{pg} = \frac{1}{0.9L_I B_2} \frac{9}{8} \left(1.0 - \frac{P_u}{C_2 P_r} \right) \phi_b F_{y,anc}(2Z_{anc}) \quad (27)$$

5 정착부 허용증량

KDS 14 20 54:2016에 따르면 인장력과 전단력이 동시에 작용하여 $V_{ua} > 0.2\phi V_n$ 이고 $N_{ua} > 0.2\phi N_n$ 인 경우 다음의 식을 적용하며, $V_{ua} \leq 0.2\phi V_n$ 인 경우 전체 인장강도를, $N_{ua} \leq 0.2\phi N_n$ 인 경우 전체 전단강도를 사용한다.

$$\frac{N_{ua}}{\phi N_n} + \frac{V_{ua}}{\phi V_n} \leq 1.2 \quad (28)$$

여기서 N_{ua} 는 앵커에 작용하는 계수 인장하중, N_n 은 공칭인장강도, V_{ua} 는 앵커에 작용하는 계수 전단하중, V_n 은 공칭전단강도이고, ϕ 는 강도저감계수이다.

인장력을 받는 단일 앵커의 공칭강도는 다음 식을 통해 산정한다.

$$\phi N_n = \min(\phi N_{sa}, \phi N_{pn}, \phi N_{sb}, \phi N_{cb}) \quad (29)$$

여기서 N_n 은 공칭인장강도, N_{sa} , N_{pn} , N_{sb} 와 N_{cb} 는 각각 강재의 파괴에 의해 결정되는 앵커의 공칭인장강도, 인장력을 받는 단일 앵커의 공칭뿔힘강도, 인장력을 받는 앵커의 콘크리트측면파열강도와 인장력을 받는 앵커의 콘크리트 파괴강도이다.

우선 인장력을 받는 앵커의 설계강재파괴강도 ϕN_{sa} 는 현행 콘크리트 구조기준의 강도식을 통해 아래와 같이 산정하였다.

$$N_{sa} = nA_{se,N}f_{ua} = 2 \times \frac{\pi \times 12.7^2 \text{ mm}^2}{4} \times 539 \text{ MPa} \times \frac{1 \text{ kN}}{10^3 \text{ N}} = 76.4 \text{ kN} \quad (30)$$

여기서 n 은 앵커 그룹에서 앵커의 수로 개당 지지력을 산정하는 본 검토에서는 1이고, $A_{se,N}$ 는 인장에 대한 단일 앵커의 유효단면적이며, f_{ua} 는 앵커 항복강도의 1.9배인 $1.9f_{ya}$ 또는 인장강도 중 작은 값으로, 트윈앵커타입 베이직 앵커의 경우 539 MPa이다.

인장력을 받는 앵커의 공칭뽑힘강도 N_{pn} 은 다음 값 이하이어야 한다.

$$N_{pn} = \psi_{e,p} N_p = 22 \text{ kN} \quad (31)$$

여기서, $\psi_{e,p}$ 는 사용하중을 받을 때 균열발생 유무에 따른 수정계수로, 보수적 판단을 위해 균열이 발생될 경우로 1.0을 택하며, N_p 의 경우 후설치 확장앵커로써 계산값이 허용되지 않으므로 파스너에 요구되는 하중을 넘어서도록 하되 최소 인발하중을 10kN으로 하며, 이하에서는 콘크리트 기준강도를 21MPa로 하여 파괴강도를 검토하였다.

앵커에 대한 공칭측면파괴강도 N_{sb} 는 건물 외벽의 가장자리에 대한 측면파괴강도로, 일반적으로 외벽 가장자리에서 충분히 떨어진 벽면에 설치되는 정착부에는 발생할 가능성이 거의 없다. 이에 따라, 본 검토에서는 공칭측면파괴강도를 않으며, 다만 설치 장소에 따라서 이 파괴 유형의 발생가능성이 없는지 우선적으로 검토할 필요가 있다.

콘크리트 파열파괴강도 N_{cb} 는 다음과 같이 산정한다.

$$N_{cb} = \frac{A_{Nc}}{A_{Nco}} \psi_{ed,N} \psi_{c,N} \psi_{cp,N} N_b = 1 \times 1 \times 1 \times 1 \times 9.7 \text{ kN} = 9.7 \text{ kN} \quad (32)$$

여기서 A_{Nco} 는 연단거리가 $1.5h_{ef}$ 이상인 단일 앵커에 대한 콘크리트 파괴면의 투영면적이 고, A_{Nc} 는 앵커의 중심으로부터 $1.5h_{ef}$ 밖으로 투영하여 만들어진 파괴단면인 사각형상을 기초로 하여 계산된 단일 앵커 파괴면의 투영면적으로 본 검토에서는 고려면적이 1m^2 로 $1.5h_{ef}$ 의 거리로부터 형성되는 $9h_{ef}^2$ 의 파괴단면이 50mm 근입깊이에 대해 0.02m^2 로써 고려면적의 2%수준에 그치지 않음을 고려했을 때 A_{Nco} 와 같은 값을 택하였으며, 단일 앵커의 기본 콘크리트 파괴강도 N_b 는 다음 식에 의해 산정한다.

$$N_b = k_c \lambda \sqrt{f_{ck}} h_{ef}^{1.5} = 7 \times 1 \times \sqrt{21} \times 45^{1.5} = 9.7 \text{ kN} \quad (33)$$

여기서 후설치셋트앵커에 대한 k_c 는 7 이다. 후설치 셋트앵커의 k_c 값은 별도의 제품 시험에 근거하여 7 이상의 값을 사용할 수 있으나, 10을 초과할 수 없다. 는 경량콘크리트 계수로 경량콘크리트는 0.75, 모래경량콘크리트는 0.85로 주어진다. f_{ck} 는 콘크리트의 설계기준압축강도이고, h_{ef} 는 앵커의 묻힘깊이이다.

$\psi_{ed,N}$, $\psi_{c,N}$ 와 $\psi_{cp,N}$ 는 각각 연장거리 영향계수, 부재가 사용하중을 받을 때 콘크리트에 균열이 발생하지 않는다고 해석된 위치에 설치된 앵커에 대한 수정계수와 보조철근을 사용하지 않는 비균열 콘크리트에 사용되는 후설치앵커의 수정계수이다.

KDS 14 20 54:2016에 따르면 전단력을 받는 단일 앵커의 공칭전단강도는 다음을 통해 산정한다.

$$\phi V_n = \min(\phi V_{sa}, \phi V_{cb}, \phi V_{cp}) \quad (34)$$

여기서 V_n 은 공칭전단강도, V_{sa} , V_{cb} 와 N_{cp} 는 각각 강재의 파괴에 의해 결정되는 앵커의 공칭전단강도, 전단을 받는 단일 앵커의 공칭콘크리트 파괴강도와 단일 앵커의 공칭콘크리트 프라이아웃 강도이다.

전단력을 받는 앵커의 공칭강도 V_{sa} 는 앵커의 재료적 특성과 치수에 근거하여 계산하여야 하며, 선설치 헤드볼트와 갈고리볼트 그리고 슬리브가 전단 파괴면까지 연장되어 있지 않은 후설치앵커의 경우 다음 값 이하하여야 한다.

$$V_{sa} = n0.6A_{se,V}f_{uta} = 1 \times 0.6 \times \frac{\pi \times 12.7^2 \text{ mm}^2}{4} \times 539 \text{ MPa} \times \frac{1 \text{ kN}}{10^3 \text{ N}} = 22.9 \text{ kN} \quad (35)$$

여기서 n 은 앵커 그룹에서 앵커의 수로 개당 지지력을 산정하는 본 검토에서는 1이고, $A_{se,V}$ 는 인장에 대한 단일 앵커의 유효단면적이며, f_{uta} 는 앵커 항복강도의 1.9배인 $1.9f_{ya}$ 또는 인장강도 중 작은 값으로, 트윈앵커타입 베이직 앵커의 경우 539 MPa이다.

앵커의 콘크리트파괴 전단강도 V_{cb} 는 건물 외벽의 가장자리 방향으로 전단력이 작용 시 콘크리트가 피라미드를 반으로 절단한 형태의 파괴체를 형성하며 깨지는 파괴 유형이다. 이 파괴 유형은 건물 외벽의 가장자리에서 발생하므로 일반적으로 외벽 가장자리에서 충분히 떨어진 벽면에 설치되는 정착부에는 발생할 가능성이 거의 없음에 따라, 본 검토에서는 여기서는 콘크리트파괴에 의한 전단강도를 고려하지 않는다. 다만 설치 장소에 따라서 이 파괴 유형의 발생가능성이 없는지 우선적으로 검토할 필요가 있다.

단일 앵커에 대한 공칭 콘크리트프라이아웃강도 V_{cp} 는 다음의 값 이하이어야 한다.

$$V_{cp} = k_{cp}N_{cb} = 1 \times 9.7 \text{ kN} = 9.7 \text{ kN} \quad (36)$$

여기서 N_{cb} 는 콘크리트 파열파괴강도로 식 (32)를 통해 산정하며, h_{ef} 가 65mm보다 작은 경우 k_{cp} 값은 1.0이다.

앵커의 강도감소계수 ϕ 는 상기 계산값에 따라 콘크리트 파괴, 측면파열, 뿔힘 또는 프라이아웃 강도에 의해 지배되는 앵커 조항을 따른다. 이에 따라 전단력에 대해서는 0.70을, 인장력에 대해서는 시방이 규정된 신축건물에의 설치임을 고려해 낮은 민감도와 높은 신뢰도의 강도 감소계수인 0.65를 적용하였으며, 지진하중에 대한 감소치 0.75를 추가로 적용하였다.

5.1 LC1

하중조합 LC1의 경우 전단만 작용하며, 이에 대한 앵커의 안정성 검토를 위한 식은 다음과 같다.

$$V_{ua} = 1.4W_p g \leq 0.75\phi V_n = 0.75 \times 0.70 \times 9.7 \text{ kN} = 5.09 \text{ kN} \quad (37)$$

이에 따라 허용지지중량을 산정하면 다음과 같다.

$$W_p g \leq 3.64 \text{ kN} \quad (38)$$

5.2 LC2

하중조합 LC2의 경우 인장과 전단이 동시에 작용하며, 이에 대한 앵커의 안정성 검토를 위한 식은 다음과 같다.

$$\frac{N_{ua}}{0.75\phi N_n} + \frac{V_{ua}}{0.75\phi V_n} = \frac{1.6S_{DS}W_p}{0.75\phi N_n} + \frac{\sqrt{(0.9 + 0.2S_{DS}/g)^2 + (1.6S_{DS}/g)^2}W_p g}{0.75\phi V_n} \leq 1.2 \quad (39)$$

이에 따라 허용지지중량을 산정하면 다음과 같다.

$$W_p g \leq 2.50 \text{ kN} \quad (40)$$

5.3 LC3

하중조합 LC3의 경우 인장과 전단이 동시에 작용하며, 이에 대한 앵커의 안정성 검토를 위한 식은 다음과 같다.

$$\frac{N_{ua}}{\phi N_n} + \frac{V_{ua}}{\phi V_n} = \frac{1.3F_w}{\phi N_n} + \frac{0.9W_p g}{\phi V_n} \leq 1.2 \quad (41)$$

이에 따라 허용지지중량을 산정하면 다음과 같다.

$$W_p g \leq 1.77 \text{ kN} \quad (42)$$

6 T.B PLATE 허용중량

2축 대칭단면 부재인 원형강봉에 있어서 휨과 압축력의 상관관계는 아래 식에 의해 제한된다.

$$\frac{P_u}{P_r} + \frac{8}{9} \left(\frac{M_{ux}^*}{M_{rx}} + \frac{M_{uy}^*}{M_{ry}} \right) \leq 1.0 \quad \text{for } \frac{P_u}{P_r} \geq 0.2 \quad (43a)$$

$$\frac{P_u}{2P_r} + \left(\frac{M_{ux}^*}{M_{rx}} + \frac{M_{uy}^*}{M_{ry}} \right) \leq 1.0 \quad \text{for } \frac{P_u}{P_r} < 0.2 \quad (43b)$$

여기서 P_u 는 하중조합으로 구한 소요압축강도, P_r 은 설계압축강도, M_u 는 하중조합으로부터 압축력을 고려해 증폭된 모멘트를 반영한 소요증폭모멘트, M_r 은 설계휨강도이고 x, y 는 각각 강축과 약축 힘을 나타내는 아래첨자이다. 본 검토에서는 x 와 y 를 각각 연직방향과 수평방향으로 설정하여 이들을 v 와 t 로 기술한다.

$$M_{ut}^* + M_{uv}^* = C_1 \left(1.0 - \frac{P_u}{C_2 P_r} \right) M_{rv} \quad (44)$$

여기서 C_1 과 C_2 는 각각 $P_u/P_r < 0.2$ 일 때는 9/8와 1이고, 그 외에는 1과 2이다[식 (49) 참조].

압축력에 의해 증폭된 증폭모멘트 M_{ut}^* 와 M_{uv}^* 는 각각 비횡구속 골조효과에 따른 증폭계수 B_2 를 반영한 값으로, 이로부터 증폭되지 않은 모멘트 M_{ut} 와 M_{uv} 에 대한 휨과 압축력의 상관관계를 통한 설계식은 아래와 같이 산정된다.

$$M_{ut} + M_{uv} = \frac{C_1}{B_2} \left(1.0 - \frac{P_u}{C_2 P_r} \right) M_{rv} \quad (45)$$

여기서 B_2 는 모멘트 증폭계수로 다음과 같이 산정한다.

$$B_2 = \frac{1}{1 - \sum P_u / \sum P_{e2}} = \frac{1}{1 - P_u / P_{e2}} \quad (46)$$

이 때 $\sum P_u$ 와 $\sum P_{e2}$ 는 각각 앵커에 작용하는 총 계수연직하중과 횡변위가 수반되는 좌굴모드에 대한 마감재 전체의 탄성좌굴강도로, 앵커가 벽면에 고르게 배치된다는 전제조건으로부터 단일앵커에 작용하는 축력과 이에 대한 탄성좌굴강도로 취급할 수 있다. 양단이 회전 대해 고정이며 단부가 이동자유인 횡변위에 구속되지 않은 압축재에 대한 유효좌굴길이계수 K 는 설계기준에 따라 1.2이며, 이에 대한 B_2 값을 산정하면 다음과 같다.

$$B_2 = \frac{1}{1 - P_u / P_{e2}} = \frac{1}{1 - 1.6 S_{DS} W_p (KL)^2 / \pi^2 E_{anc} I_{anc}} \quad (47)$$

여기서 I_{anc} 는 앵커의 단면2차모멘트이다.

표 3의 값을 대입하면 다음의 식을 얻는다.

$$W_p g = \frac{1}{[1.6 S_{DS} / g + (0.9 + 0.2 S_{DS} / g)] L_l B_2} C_1 \left(1.0 - \frac{1.6 S_{DS} W_p}{C_2 P_r} \right) \phi_b F_{y,anc} Z_{anc} \quad (48)$$

T.B PLATE의 휨과 압축력의 상관관계는 아래 식에 의해 제한된다.

$$\frac{P_u}{P_r} + \frac{8}{9} \left(\frac{M_{ux}^*}{M_{rx}} + \frac{M_{uy}^*}{M_{ry}} \right) \leq 1.0 \quad \text{for } \frac{P_u}{P_r} \geq 0.2 \quad (49a)$$

$$\frac{P_u}{2P_r} + \left(\frac{M_{ux}^*}{M_{rx}} + \frac{M_{uy}^*}{M_{ry}} \right) \leq 1.0 \quad \text{for } \frac{P_u}{P_r} < 0.2 \quad (49b)$$

여기서 P_u 는 하중조합으로 구한 소요압축강도, P_r 은 설계압축강도, M_u 는 하중조합으로부터 압축력을 고려해 증폭된 모멘트를 반영한 소요증폭모멘트, M_r 은 설계휨강도이고 x, y 는 각각 강축과 약축 휨을 나타내는 아래첨자이다. 본 검토에서는 x 와 y 를 각각 연직방향과 수평방향으로 설정하여 이들을 v 와 t 로 기술한다.

$$W_p g = \frac{1.6\phi_b F_{y,anc} S_{anc}}{1.4 L_I} = \frac{1.6\phi_b F_{y,anc} A_{anc} d_{anc}}{1.4 \times 8 L_I} = 0.1429\phi_b F_{y,anc} A_{anc} \frac{d_{anc}}{L_I}. \quad (50)$$

$$M_u = 1.4W_p g L' \leq \phi M_n = \phi F_{y,bra} Z_{bra} \quad (51)$$

7 사용성에 대한 허용지지력

캔틸레버 원형강봉의 휨에 대한 힘과 단부처짐 간의 관계식은 다음과 같이 산정된다.

$$\Delta = \frac{W_p g L_I^3}{3E_{anc}(2I_{anc})} + \frac{W_p g L_f^3}{3E_{bra}I_{bra}} \quad (52)$$

여기서 Δ 는 하중이 가해지는 지점에서의 처짐, E_{anc} 와 I_{anc} 는 원형강봉의 탄성계수와 단면2차모멘트, E_{bra} 와 I_{bra} 는 T.B PLATE의 탄성계수와 단면2차모멘트, L_f 는 T.B PLATE의 하중이 가해지는 점까지 내민거리이고 L_I 는 단열재두께이다.

본 검토에서는 단부에서의 처짐이 1mm와 일반적으로 캔틸레버의 사용성검토에 사용되는 지지길이의 1/150 중 최소값을 통해 검토했으며, 이에 대한 허용지지중량은 하기 식에 허용 처짐값을 대입하여 산정한다:

$$W_p g = \frac{3E_{anc}(2I_{anc})}{L_I^3} \Delta + \frac{3E_{bra}I_{bra}}{L_{bra}^3} \Delta. \quad (53)$$

표 4: 트윈앵커타입 베이직 석재용에 대한 허용증량

단열재 두께 L_i , mm	허용증량 W_{pg} , kN													
	앵커			정착부			T.B PLATE					사용성		
	LC1	LC2	LC3	최소	LC1	LC2	LC3	최소	LC1	LC2	LC3	최소	최소	최소
70	2.03	1.71	2.54	1.71	7.28	5.00	3.54	3.54	0.68	0.50	0.63	0.50	1.42	0.50
80	1.77	1.50	2.13	1.50	7.28	5.00	3.54	3.54	0.68	0.50	0.63	0.50	1.22	0.50
90	1.58	1.33	1.79	1.33	7.28	5.00	3.54	3.54	0.68	0.50	0.63	0.50	1.10	0.50
100	1.42	1.20	1.52	1.20	7.28	5.00	3.54	3.54	0.68	0.50	0.63	0.50	1.02	0.50
110	1.29	1.09	1.29	1.09	7.28	5.00	3.54	3.54	0.68	0.50	0.63	0.50	0.98	0.50
120	1.18	1.00	1.09	1.00	7.28	5.00	3.54	3.54	0.68	0.50	0.63	0.50	0.96	0.50
130	1.09	0.92	0.91	0.91	7.28	5.00	3.54	3.54	0.68	0.50	0.63	0.50	0.96	0.50
140	1.01	0.86	0.75	0.75	7.28	5.00	3.54	3.54	0.68	0.50	0.63	0.50	0.97	0.50
150	0.95	0.80	0.61	0.61	7.28	5.00	3.54	3.54	0.68	0.50	0.63	0.50	0.98	0.50
160	0.89	0.75	0.48	0.48	7.28	5.00	3.54	3.54	0.68	0.50	0.63	0.50	0.94	0.48
170	0.83	0.71	0.37	0.37	7.28	5.00	3.54	3.54	0.68	0.50	0.63	0.50	0.91	0.37
180	0.79	0.67	0.26	0.26	7.28	5.00	3.54	3.54	0.68	0.50	0.63	0.50	0.89	0.26

1) 석재용 연결철물(앵글, 조정판, 핀 등)은 충분한 강도와 강성을 가지고 브라켓에 결합되어 있어야 하며, KDS 41 17 00:2019의 18장에 제시된 실험을 통해 내진성능을 확인한다.

2) 파스너가 해당 분담하는 면적은 $1m \times 1m$ 를 대상으로 하였으며, 다른 크기의 면적에 대한 검토를 하고자 할 경우 본 하중으로부터 산정된 값을 면적비로 스케일링할 수 있다.