



구조검토 보고서

검토대상 : SINGLE ANCHOR TYPE OPTIMA (2020.05.31., Rev.0)

부산대학교 산학협력단

Institute for Research and Industry Cooperation of Pusan National University



This page is intentionally blank



제 출 문

㈜이비엠리더 대표이사 귀하

본 보고서를 '열교차단 파스너 내진성능검증 및 내진설계방안 개발 용역' 중 "SINGLE ANCHOR TYPE OPTIMA 구조검토"에 대한 보고서로 제출합니다.

제출일시 : 2020. 05. 31.

연구책임자 : 부산대학교 건설융합학부 교수 이 상 호 (인)





구조검토서

T.B FASTENER

(T.B CYLINDER : $\phi 80\text{mm} \times 1.6\text{T}$, T.B ANCHOR : $\phi 9.5\text{mm}$ - Depth :45 mm,

T.B BRACKET L-60 $\times$ 70 $\times$ 5T)

상기 열교차단 파스너는 건축구조기준(시행 2019.03.14.)에 따라 내진성능을 확인하였으므로, 본 보고서에 표시된 구조형식, 사용재료 및 강도, 하중조건 등을 확인하여 도면에 표기하시기 바랍니다.

2020.05.31.

건축구조기술사 김 경 민 (인)





1. 검토개요 및 요약

- (1) 제 품 명 : T.B FASTENER
- (2) 제 조 사 : (주)이비엠리더
- (3) 용 도 : 외장재 고정용 파스너
- (4) 규 격 : T.B CYLINDER : $\phi 80\text{mm} \times 1.6\text{T}$,
T.B ANCHOR : $\phi 9.5\text{mm}$ - Depth : 45 mm
T.B BRACKET : L-60 $\times$ 70 $\times$ 5T
- (5) 적용기준 : 건축구조기준(시행 2019.03.14.), 건축물 내진설계기준(KDS 41 17 00:2019)
- (6) 검토방법 : 한계상태설계법
- (7) 검토결론 : 1) 본 검토에서는 지진하중조합에 대해 T.B CYLINDER, T.B ANCHOR와 T.B BRACKET이 포함된 석재용/프레임용 T.B FASTENER가 SET 당 받을 수 있는 허용지력과 이 중 수직방향의 처짐에 취약할 것으로 판단되는 석재형 T.B FASTENER BRACKET의 0.5mm 허용처짐에 대한 허용중량을 산정하였으며, 보수적인 조건인 S_D 지반에 발생하는 지진하중에 대하여 가장 불리한 조건인 최상층에 위치한 경우를 검토함; 2) 본 검토에서는 풍하중조합에 대해 석재용/프레임용 T.B FASTENER가 세트 당 받을 수 있는 허용지력과 이 중 수직방향의 처짐에 취약할 것으로 판단되는 석재형 T.B FASTENER BRACKET의 0.5mm 허용처짐에 대한 허용중량을 산정하였으며, 보수적인 조건인 Wind Speed : 45m/s / Exposure Category : C / Roof Height : 100m에 대한 허용지력을 검토함
- (8) 개정사항

구분	일시	개정내용	비고
0	2020.05.31	최초작성	

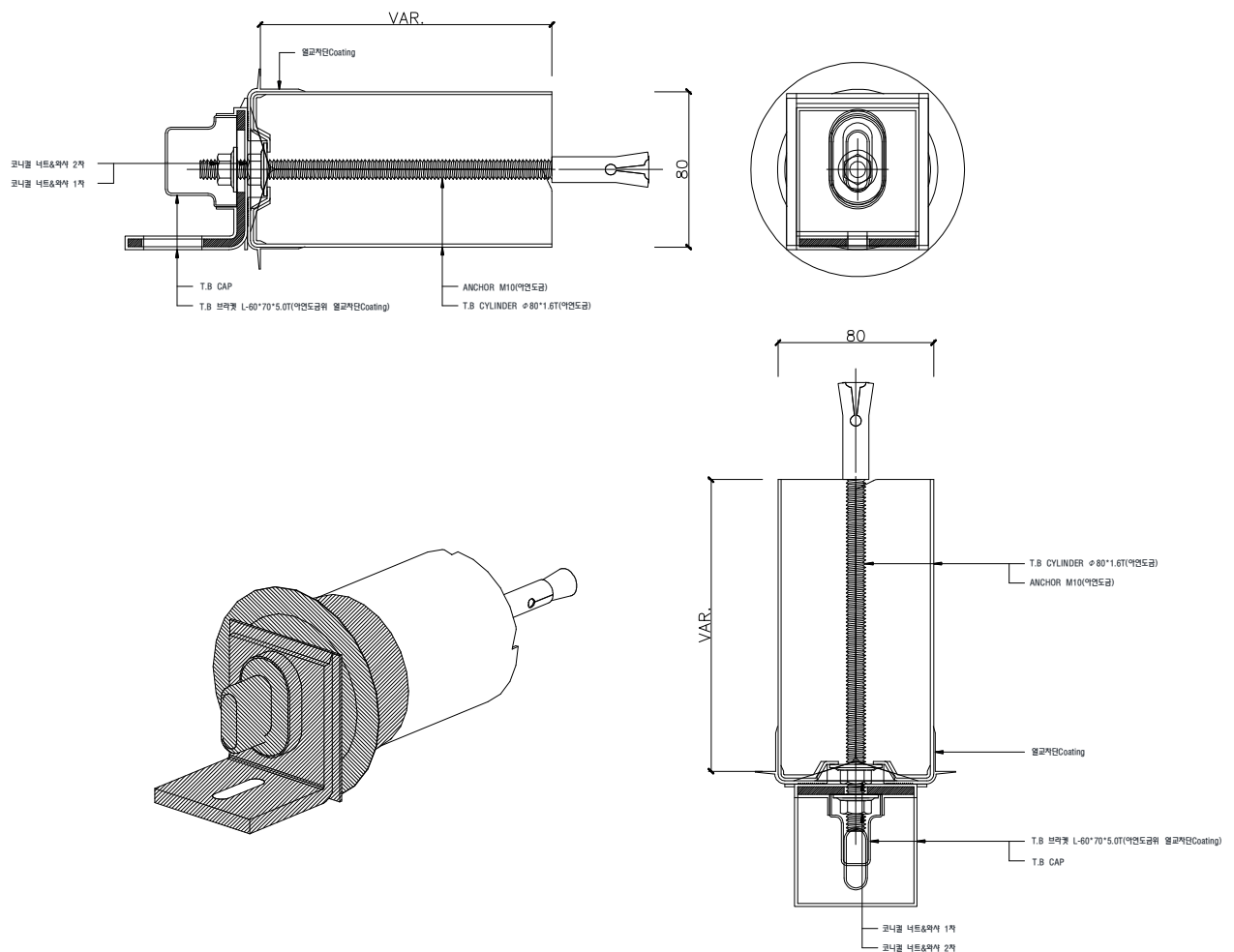
(9) 저작권에 관한 사항

Copyright© Seismic Research and Test Center (SESTEC) of Pusan National University. All rights reserved. No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system or transmitted in any form by any means, electric, mechanical Figure-copying, recording, or otherwise without the written permission of SESTEC.

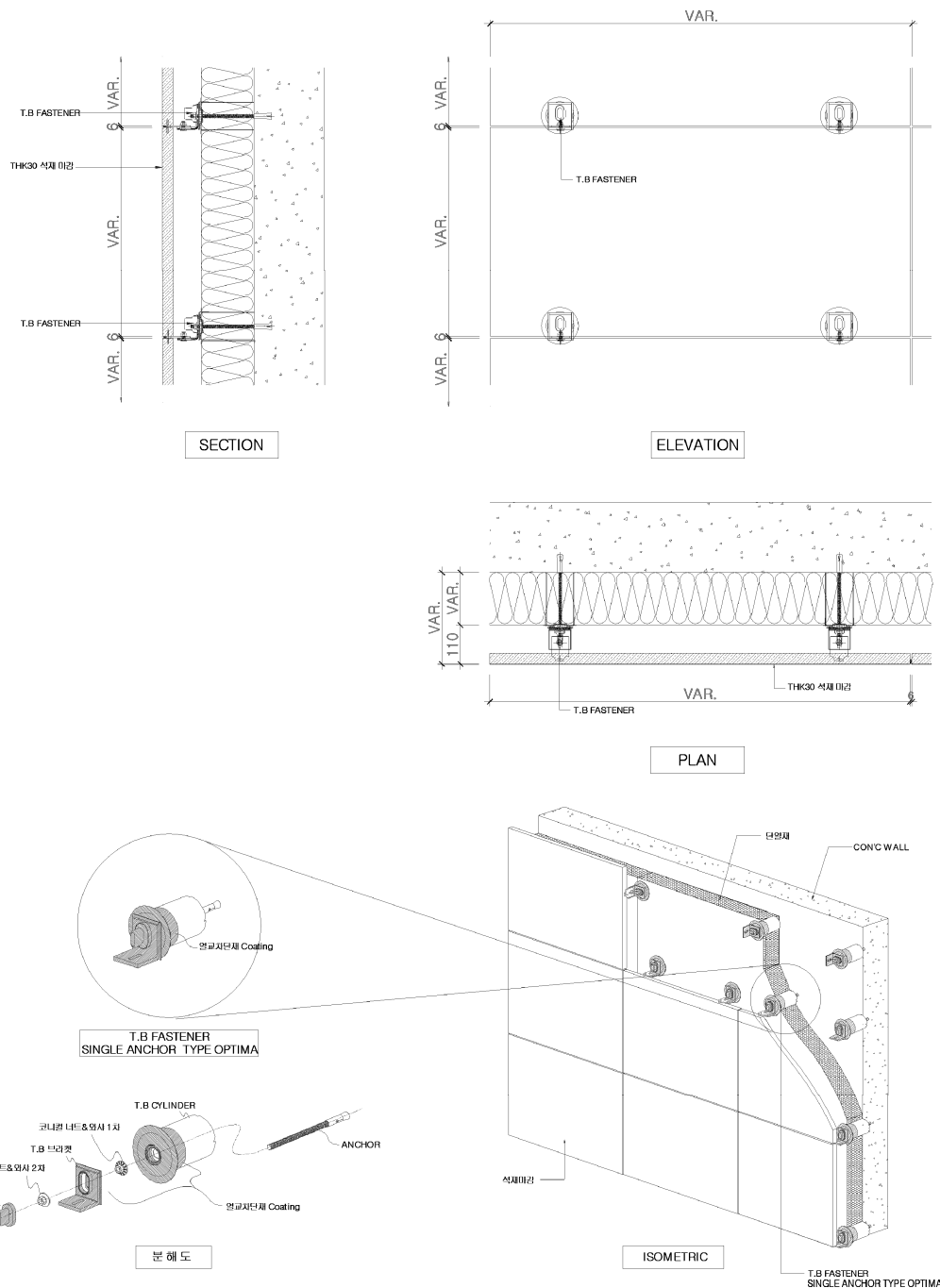
2. 검토조건

(1) 구성요소 및 구조형상

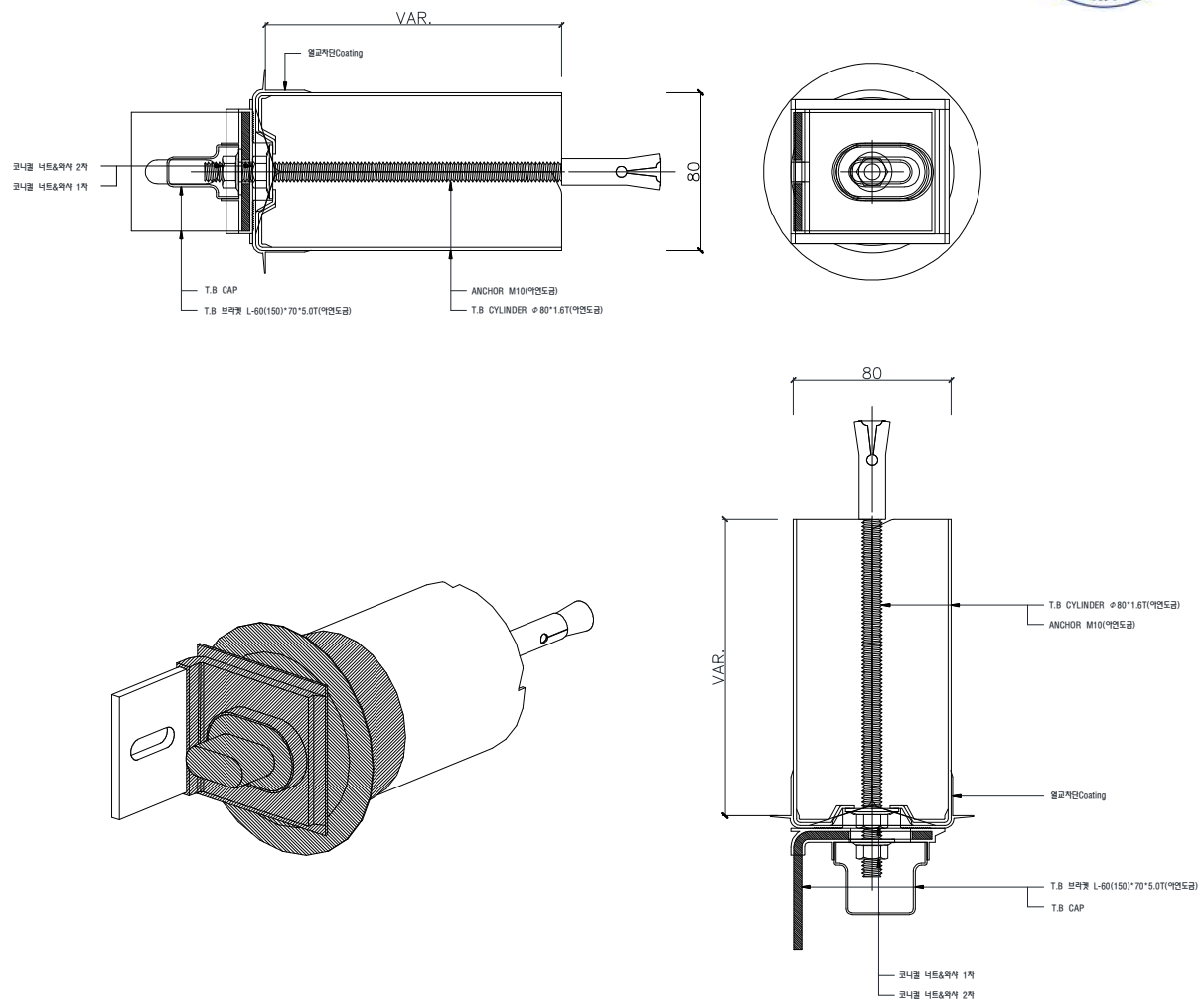
T.B FASTENER는 마감종류에 따라 석재용 T.B FASTENER와 프레임용 T.B FASTENER로 분류하며, 이들의 구성요소는 각각 [그림 1]과 [그림 2]를 참조한다. T.B FASTENER는 T.B CYLINDER, T.B BRACKET과 T.B ANCHOR로 구성되어 있으며, T.B CYLINDER의 길이는 210 mm 이내로 설치된다. 석재용 T.B FASTENER의 경우 벽체와 마감거리는 310 mm로 이내로 설치되고, 프레임용 T.B CYLINDER의 경우 벽체와 마감거리는 마감조건에 따라 달라진다. T.B CYLINDER는 T.B BRACKET을 지지하고 브라켓 외측으로 조정판이 볼트로 결합되어 설치되며, 조정판 상부에 마감재가 설치된다.



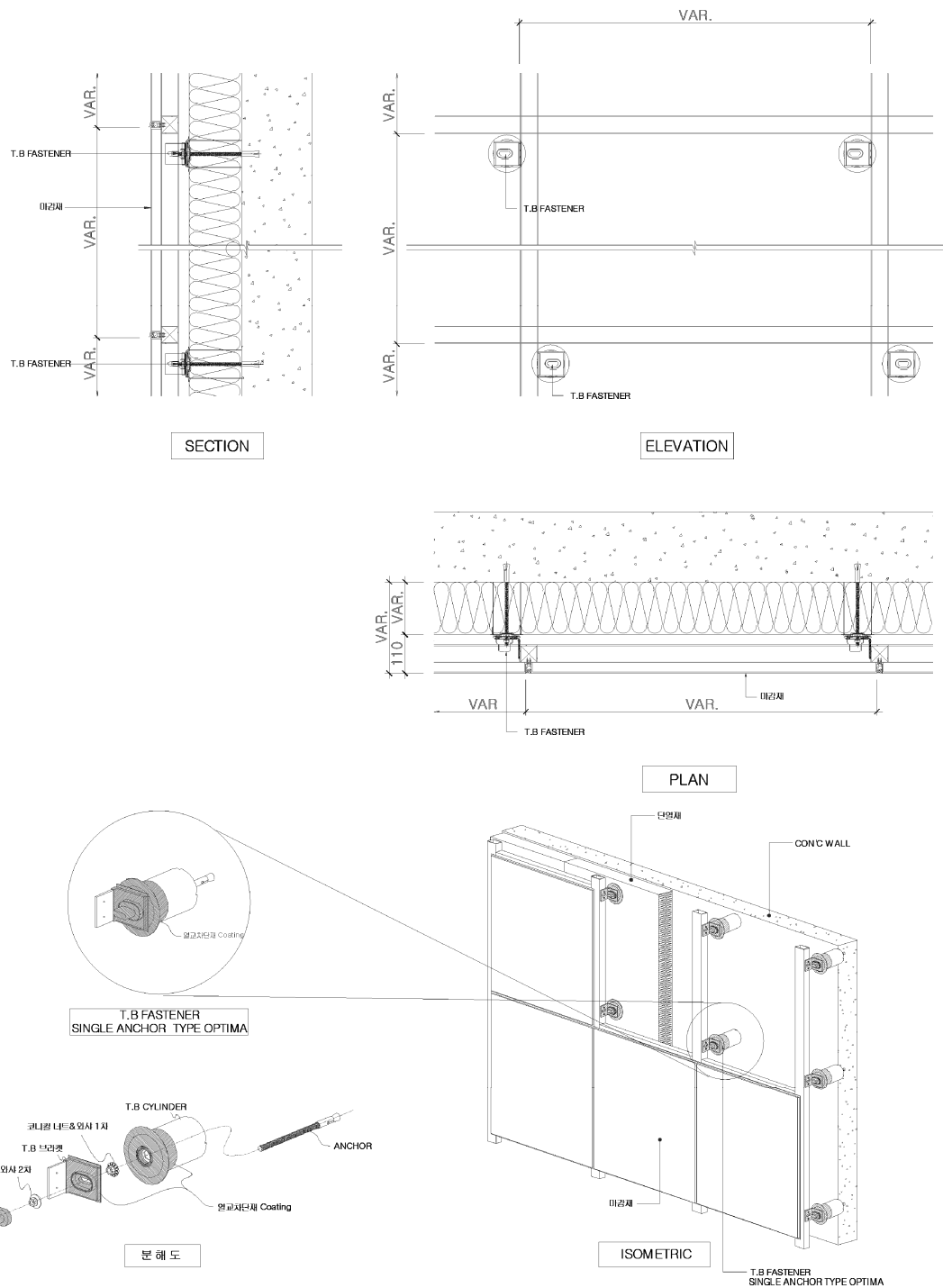
[그림 1] 석재용 T.B FASTENER의 구성도



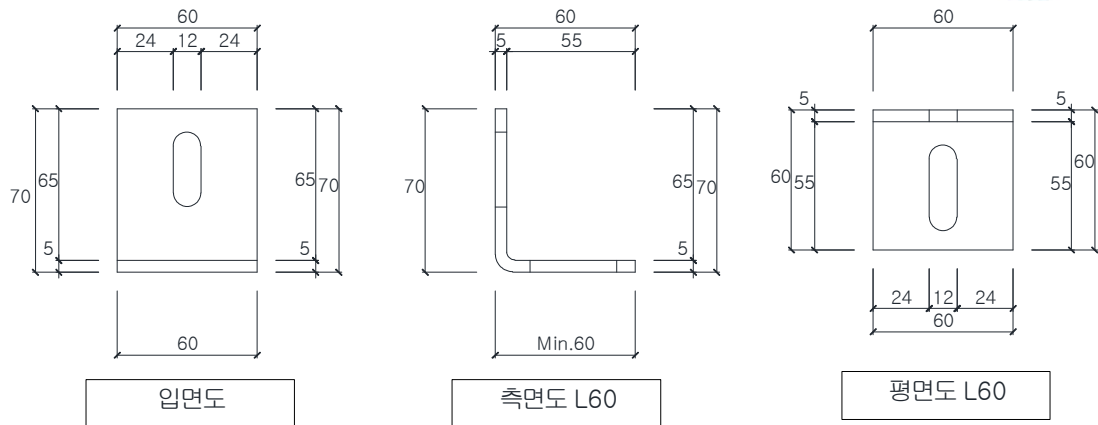
[그림 2] 석재용 T.B FASTENER 설치도



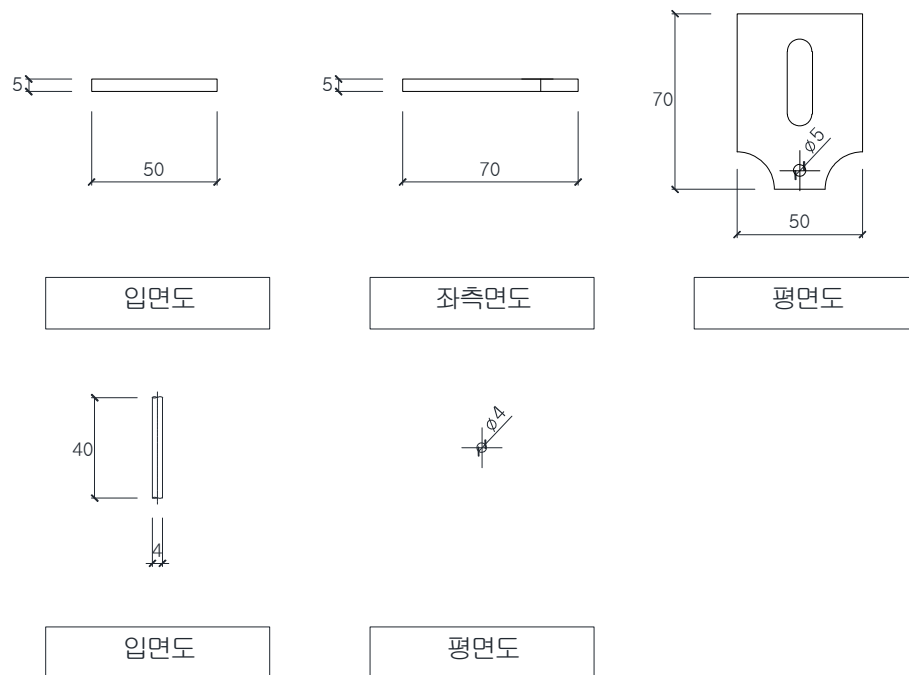
[그림 3] 프레임용 T.B FASTENER의 구성도



[그림 4] 프레임용 T.B FASTENER 설치도



[그림 5] T.B FASTENER 브라켓 상세도



[그림 6] 석재고정용 조정판 및 핀 상세도



(2) 재료속성

- T.B CYLINDER : $\phi 80\text{mm} \times 1.6\text{T}$

$$E_{cyl} = 205 \text{ [GPa]}, F_y = 235 \text{ [MPa]}, F_u = 340 \text{ [MPa]}$$

- T.B BRACKET : L-60 $\times$ 70 $\times$ 5T

$$E_{bra} = 205 \text{ [GPa]}, F_y = 295 \text{ [MPa]}, F_u = 400 \text{ [MPa]}$$

- T.B ANCHOR : $\phi 9.5\text{mm}$ (SET ANCHOR)

$$E_{anc} = 205 \text{ [GPa]}, F_y = 235 \text{ [MPa]}, F_u = 400 \text{ [MPa]}$$

(3) 구조검토조건

본 검토에서는 고정하중, 지진하중과 풍하중에 대한 검토를 실시하였으며, 이들 하중이 포함된 하중조합 중 불리한 하중조합을 검토조건으로 고려하였다.

- 고정하중: 건축구조기준 (KDS 41 13)

$$\text{중량 } F_D = W_p g \text{ [kN]}$$

여기서

$$g: \text{중력가속도 } 9.806 \text{ [m/s}^2\text{]}$$

$$W_p: \text{질량 [t]}$$

- 지진하중: 건축구조기준(KDS 41 13)

1) 수평설계지진력

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

여기서

$$W_p: \text{질량 [t]}$$

$$a_p: \text{비구조요소의 증폭계수 [-]}$$

$$I_p: \text{비구조요소의 중요도계수 [-]}$$

$$R_p: \text{반응수정계수 [-]}$$

$$z: \text{구조물의 밑면으로부터 비구조요소가 부착된 높이 [m]}$$

$$h: \text{구조물 지붕층의 높이 [m]}$$

$$S_{DS}: \text{단주기설계스펙트럼가속도(KDS 41 17 00, 4.2.2)로 다음과 같이 산정함}$$

$$S_{DS} = S \times \frac{2}{3} \times 2.5 \times F_a \text{ [g]}$$

여기서

S : 유효지반가속도 [g]

F_a : 단주기지반증폭계수 [-]

단 수평설계지진력은 다음의 값 이하이어야 한다.

$$F_p = 1.6 S_{DS} I_p W_p \text{ [kN]}$$

2) 수직설계지진력

$$F_v = 0.2 S_{DS} W_p$$

3) 설계조합하중

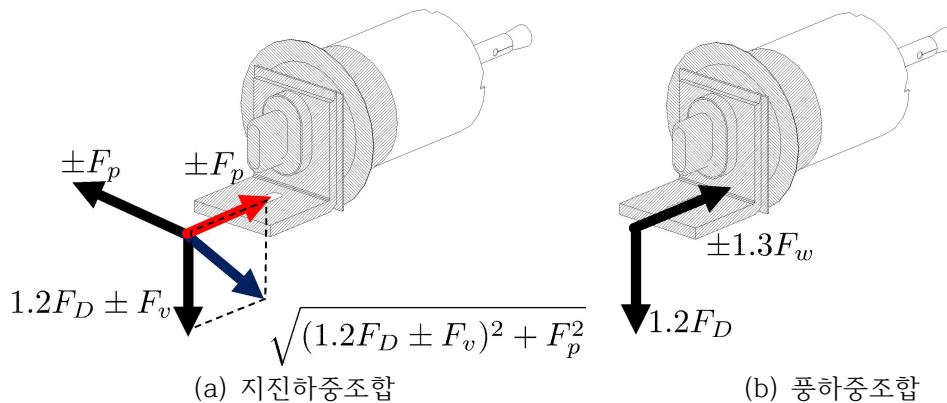
- 하중조합 (KDS 41 10 15, 1.5.2)

(LC 1) $1.4F_D$

(LC 2) $1.2F_D \pm F_p \pm F_v$

(LC 3) $1.2F_D \pm 1.3F_w$

이 중 가장 불리한 조건인 (LC 2)와 (LC 3)을 바탕으로, 각 조합에 대해 T.B FASTENER 당 허용지지력을 산정하고, 이 중 최소치를 최종 허용지지력으로 정하여 이를 테이블로 구성함



[그림 7] 석재용 T.B FASTENER에 적용된 설계조합하중(프레임용 동일)

(4) 저감계수

- $\phi = 0.75$ (강도 저감 계수), $\eta = 0.85$ (반복하중에 의한 저감계수)



3. 구조검토

(1) 설계지진하중 산정

- 고정하중

$$F_D = W_p g \text{ [kN]}$$

- 수평설계지진력

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

단 이 값은 $0.3 S_{DS} I_p W_p$ 보다 작아선 안 되고, $1.6 S_{DS} I_p W_p$ 를 초과할 필요는 없다.

- 수직설계지진력

$$F_v = 0.2 S_{DS} W_p \text{ [kN]}$$

(2) 설계풍하중 산정

- 고정하중

$$F_D = W_p g \text{ [kN]}$$

- 풍하중

본 검토에서는 풍하중조합에 대해 T.B FASTENER 개당 받을 수 있는 허용지지력을 산정하였으며, 보수적인 조건인 Wind Speed : 45m/s / Exposure Category : C / Roof Height : 100m에 대한 허용지지력을 검토하였다 ([그림 8] 참조).

(3) 설계강도 산정

- T.B CYLINDER의 설계전단강도

T.B CYLINDER의 전단력에 따른 설계전단강도는 한계상태로 산정되었다. 이 경우, 이격거리를 갖고 작용하는 전단력에 의해 T.B CYLINDER와 앵커 볼트에 각각 압축력과 인장력이 작용하여 모멘트가 유발되며, 이 때 한계상태는 실린더의 압축영역대가 항복강도에 이르게 되는 항복전단강도와 압축영역대가 좌굴에 이르는 좌굴전단강도 중 작은 값으로 택한다.

**BeST.Pro**MEMBER : **wind load**

Project Name :

Designer :

Date : 11/26/2017

Page : 1

Design Conditions**(1). Title & DesignCode**

- Title : wind load
- Design Code : KBC2016

(2). Building Shape & Member Data

- Building Type : 일페형 건축물
- Roof Type : 박공지붕
- Roof Slope θ : 0 °
- Mean Roof Ht. H : 100.00 m
- Effective Area A_{eff} : 1.00 m²
- Ht. from Ground z : 100.00 m

Calculate Wind Pressure

- Basic Wind Speed V_0 : 45 m/sec
- Ground Exposure Category : C
- Topographic Factor K_{zt} : 1.00
- Importance Factor I_w : 1.00
- Design Portion : ⑤

(1). Velocity Pressure at Height z above Ground

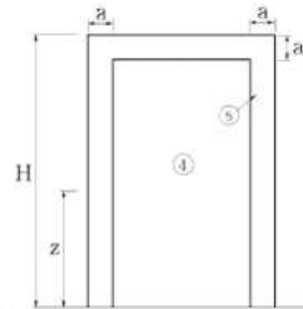
- z = 100.00 m > Z_b = 10.00 m
- $K_{zt} = 0.71 \times z^{0.15} = 1.42$

(2). Velocity Pressure at Mean Roof Height

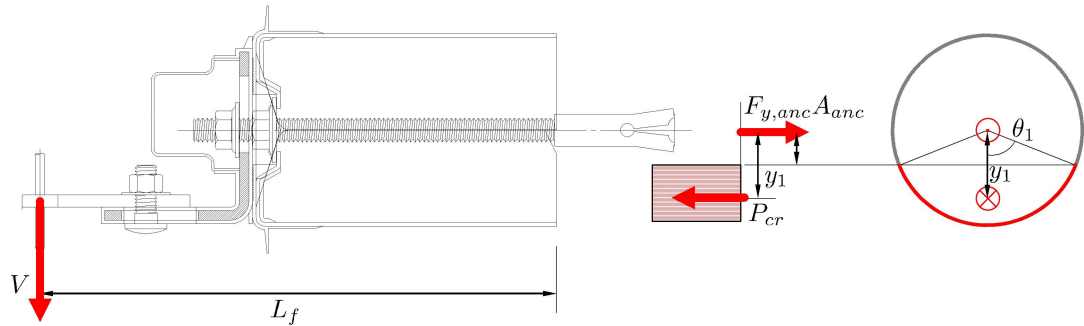
- H = 100.00 m > Z_b = 10.00 m
- $K_{zt} = 0.71 \times H^{0.15} = 1.42$
- $V_h = V_0 \times K_{zt} \times K_{zt} \times I_w = 63.75$ m/sec
- $q_h = 1/2 \times \rho \times V_h^2 = 2479$ N/m²

(3). Design Wind Pressures

- $GC_{pe,P} = 1.800$ $GC_{pe,N} = -3.600$
- $GC_{pi} = 0.000, -0.520$ $k_z = 0.935$
- $P_{c,P} = k_z q_h (GC_{pe,P} - GC_{pi}) = 5379$ N/m²
- $P_{c,N} = q_h (GC_{pe,N} - GC_{pi}) = -8924$ N/m²



[그림 8] 풍하중 산정



[그림 9] 소성전단강도산정을 위한 자유물체도(석재용/프레임용 동일)

1) T.B CYLINDER의 설계소성전단강도 $V_{p,d}$ 는 [그림 9]의 자유물체도를 바탕으로 아래의 식을 통해 산정한다.

$$V_{p,d} = \phi \eta V_p = \phi \eta \frac{y_c}{L_f} F_{y,anc} A_{anc}$$

여기서 ϕ 는 강도저감계수(=0.75), η 는 반복하중에 대한 저감계수(=0.85), L_f 는 석재중심선과 브라켓 중심 간의 마감거리이고, $F_{y,anc}$ 와 A_{anc} 는 각각 앵커의 항복강도와 단면적이다. 또한 y_c 는 실린더 중심부로부터 압축영역대의 도심까지의 거리로 다음과 같이 산정한다.

$$y_c = \frac{r_c \sin \theta_1}{\theta_1}.$$

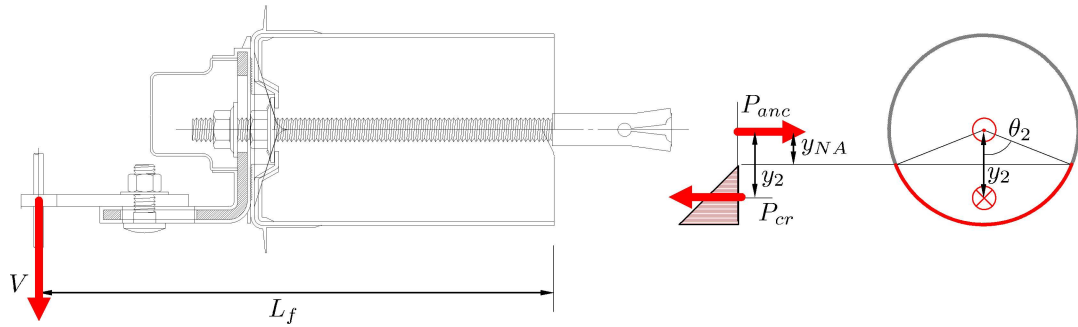
여기서 θ_1 는 실린더 압축영역대를 형성하는 각의 절반으로 단면의 소성응력으로 인한 힘의 합력이 0이라는 조건으로부터 아래와 같이 산정한다.

$$\theta_1 = \frac{1}{2r_c t} \frac{F_{y,anc}}{F_{y,cyl}} \frac{\pi d_a^2}{4}.$$

2) T.B CYLINDER의 탄성좌굴전단강도 $V_{cr,d}$ 는 [그림 10]의 자유물체도를 바탕으로 아래의 식을 통해 산정한다.

$$V_{cr,d} = \phi \eta V_{cr} = \phi \eta \frac{y_c}{L_f} P_{cr,eff}$$

여기서 ϕ 는 강도저감계수(=0.75), η 는 반복하중에 대한 저감계수(=0.85), L_f 는 석재중심선과 브라켓 중심 간의 마감거리이고, P_{cr} 은 실린더 중 압축영역대에 위치한 곡면을 형성하는 헬 형상의 좌굴강도로 4면이 단순지지된 실린더형 헬에 대한 식에 따라 아래와 같이 산정한다 [ref. 1].



[그림 10] 좌굴강도산정을 위한 자유물체도(석재용/프레임용 동일)

$$P_{cr} = \frac{\beta}{6} \frac{2E_{cyl}r_c t \theta_2}{1 - \nu^2} \left[\sqrt{12(1 - \nu^2) \left(\frac{t}{r_c} \right)^2 + \left(\frac{\pi}{2\theta_2} \frac{t}{r_c} \right)^4} + \left(\frac{\pi}{2\theta_2} \frac{t}{r_c} \right)^2 \right]$$

여기서 E_{cyl} 은 실린더 재료의 탄성계수, θ_2 는 압축 영역대를 형성하는 반각, β 는 불균등 응력분포를 고려하기 위한 보정계수, ν 는 실린더 재료의 프아송비, r_c 와 t 는 각각 실린더의 반경과 두께이고 또한 y_{NA} 는 실린더 중심부로부터 힘에 대한 중립축까지의 거리로 다음과 같은 관계식을 가진다.

$$y_{NA} = \frac{y_2 A_{cyl}}{A_{cyl} + n A_{anc}} = \frac{2y_2 r_c \theta_2 t}{2r_c \theta_2 t + n \pi d_a^2 / 4} = r_c \cos \theta_2$$

여기서 n 은 탄성계수의 비 E_{anc}/E_{cyl} 이고, y_2 는 실린더 중심부로부터 압축영역대의 도심까지의 거리로 다음과 같이 산정한다.

$$y_2 = \frac{r_c \sin \theta_2}{\theta_2}.$$

상기 식을 중립축에 대한 식에 대입하면 아래의 압축 영역대를 형성하는 각에 대한 식을 얻는다.

$$\theta_2 - \tan \theta_2 - n \frac{\pi d_{anc}^2 / 4}{2r_c t} = 0$$

β 는 압축 영역대에서의 불균등한 응력분포에 대한 등가응력분포의 비로, 압축영역대에서의 코사인형태를 보이는 응력분포에 대한 평균값으로부터 아래의 등가응력을 위한 계수 β 를 산정한다.

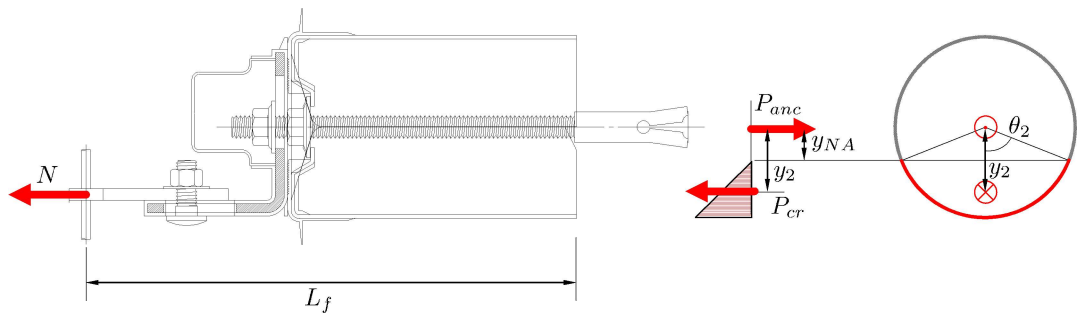
$$\beta = \frac{2}{\pi}.$$

- T.B CYLINDER의 설계인장강도

T.B CYLINDER의 전단력에 따른 설계좌굴강도는 한계상태로 산정되었으며, 이 때 설계인장강도 N_d 는 편심인장력에 따른 모멘트가 유발하는 압축영역대의 설계좌굴강도, 설계강재파괴강도와 설계콘크리트파괴강도 중 가장 작은 값으로 산정한다. 이 경우, 이격거리를 갖고 작용하는 전단력에 의해 T.B CYLINDER와 앵커 볼트에 각각 압축력과 인장력이 작용하여 모멘트가 유발된다. T.B CYLINDER의 설계전단강도 N_d 는 아래의 식을 통해 산정한다.

$$N_d = \min(N_{cr,d}, N_{a,d}, N_{c,d})$$

1) T.B CYLINDER의 인장력에 따른 설계좌굴강도



[그림 11] 인장강도산정을 위한 자유물체도(석재용/프레임용 동일)

T.B Cylinder의 편심인장력에 따른 모멘트가 유발하는 압축영역대의 설계좌굴강도 $N_{cr,d}$ 는 [그림 11]의 자유물체도를 바탕으로 아래의 식을 통해 산정한다.

$$N_{cr,d} = \phi \eta N_{cr} = \phi \eta \frac{1}{1 + y_e/y_2} P_{cr}$$

여기서 ϕ 는 강도저감계수(=0.75), η 는 반복하중에 대한 저감계수(=0.85), y_e 는 앵커에 재하되는 반력과 인장력 간의 편심거리이고 P_{cr} 은 실린더 중 압축영역대에 위치한 곡면을 형성하는 쉘 형태의 좌굴강도로 4면이 단순지지된 실린더형 쉘에 대한 식에 따라 아래와 같이 산정한다.

$$P_{cr} = \frac{\beta}{6} \frac{2E_{cyl}r_c t \theta_2}{1 - \nu^2} \left[\sqrt{12(1 - \nu^2) \left(\frac{t}{r_c} \right)^2 + \left(\frac{\pi}{2\theta_2} \frac{t}{r_c} \right)^4} + \left(\frac{\pi}{2\theta_2} \frac{t}{r_c} \right)^2 \right]$$

여기서 E_{cyl} 은 실린더 재료의 탄성계수, θ_2 는 압축 영역대를 형성하는 반각, β 는 불균등 응력분포를 고려하기 위한 보정계수, ν 는 실린더 재료의 프아송비, r_c 와 t 는 각각 실린더의 반경과 두께이고 또한 y_{NA} 는 실린더 중심부로부터 힘에 대한 중립축까지의 거리로 다음과 같은 관계식을 가진다.



$$y_{NA} = \frac{y_2 A_{cyl}}{A_{cyl} + n A_{anc}} = \frac{2y_2 r_c \theta_2 t}{2r_c \theta_2 t + n \pi d_a^2 / 4} = r_c \cos \theta_2$$

여기서 n 은 탄성계수의 비 E_{anc}/E_{cyl} 이고, y_2 는 실린더 중심부로부터 압축영역대의 도심까지의 거리로 다음과 같이 산정한다.

$$y_2 = \frac{r_c \sin \theta_2}{\theta_2}.$$

상기 식을 중립축에 대한 식에 대입하면 아래의 압축 영역대를 형성하는 각에 대한 식을 얻는다.

$$\theta_2 - \tan \theta_2 - n \frac{\pi d_{anc}^2 / 4}{2r_c t} = 0$$

β 는 압축 영역대에서의 불균등한 응력분포에 대한 등가응력분포의 비로, 압축영역대에서의 코사인형태를 보이는 응력분포에 대한 평균값으로부터 아래의 등가응력을 위한 계수 β 를 산정한다.

$$\beta = \frac{2}{\pi}.$$

2) 앵커 설계파괴강도

앵커의 설계파괴강도 $N_{a,d}$ 는 다음과 같이 산정한다.

$$N_{a,d} = \phi \eta N_a = \eta \frac{1}{1 + y_e / y_2} N_{sa}$$

여기서 N_{sa} 는 앵커의 파단강도로 다음과 같이 산정한다.

$$N_{sa} = A_{se, N} f_{uta}.$$

상기 설계식을 바탕으로 마감거리 별 석재용과 프레임용 T.B CYLINDER의 설계전단강도와 설계인장강도를 산정한 값을 [표 1]과 [표 2]에 정리하였다. [표 1]과 [표 2]에 제시된 설계강도에는 강재앵커의 인장강도에 대한 검토가 포함되었다.



[표 1] 석재용 T.B CYLINDER의 설계전단강도와 설계인장강도

실린더 길이 [mm]	마감 거리 [mm]	설계전단강도	설계인장강도	
		좌굴강도 $V_{cr,d}$ [kN]	좌굴강도 $N_{cr,d}$ [kN]	강재파괴강도 $N_{a,d}$ [kN]
70	180	2.19	8.18	31.65
80	190	2.08	8.18	31.65
90	200	1.97	8.18	31.65
100	210	1.88	8.18	31.65
110	220	1.79	8.18	31.65
120	230	1.72	8.18	31.65
130	240	1.64	8.18	31.65
140	250	1.58	8.18	31.65
150	260	1.52	8.18	31.65
160	270	1.46	8.18	31.65
170	280	1.41	8.18	31.65
180	290	1.36	8.18	31.65
190	300	1.31	8.18	31.65
200	310	1.27	8.18	31.65

[표 2] 프레임용 T.B CYLINDER의 설계전단강도와 설계인장강도

실린더 길이 [mm]	마감 거리 [mm]	설계전단강도	설계인장강도	
		좌굴강도 $V_{cr,d}$ [kN]	좌굴강도 $N_{cr,d}$ [kN]	강재파괴강도 $N_{a,d}$ [kN]
70	300	1.31	8.18	31.65
80	310	1.27	8.18	31.65
90	320	1.23	8.18	31.65
100	330	1.20	8.18	31.65
110	340	1.16	8.18	31.65
120	350	1.13	8.18	31.65
130	360	1.10	8.18	31.65
140	370	1.07	8.18	31.65
150	380	1.04	8.18	31.65
160	390	1.01	8.18	31.65
170	400	0.99	8.18	31.65
180	410	0.96	8.18	31.65
190	420	0.94	8.18	31.65
200	430	0.92	8.18	31.65

(4) 사용하중 시 브라켓 처짐에 대한 허용지지력 산정

브라켓의 처짐은 앵글접합부의 처짐산정을 위한 간략식을 통해 산정한다. 석재용 T.B FASTENER 시스템에서 하중에 의한 브라켓의 처짐은 마감재가 결합되는 단부가 수직방향으로 거동한다고 가정하여, [그림 12]와 같이 초등역학에 의한 단부가 고정단인 보의 처짐식으로부터 아래와 같이 계산된다 [ref 2].

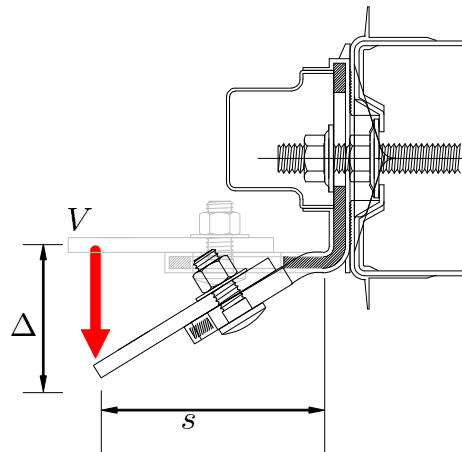
$$\Delta = \frac{Vs^3}{48EI}$$

여기서 E 와 I 는 각각 브라켓 받침부의 탄성계수와 단면2차모멘트, B 는 브라켓의 폭, s 는 실린더 단부로부터 석재 마감재까지의 길이이고 V 는 브라켓에 가해지는 전단력이다. 실린더에 가해지는 힘은 마감재의 중량 $V = W_p g$ 로 계산되고, 브라켓의 단면2차모멘트는 $I = BT^3/12$ 로 계산됨에 따라, 이들 값을 상기 식에 대입하면 다음의 값을 얻는다.

$$\Delta = \frac{W_p g s^3}{48E(BT^3/12)} = \frac{W_p g}{2EB} \left(\frac{s}{T} \right)^3$$

상기 식은 T.B.FASTENER의 처짐제한조건에 대한 만족여부를 확인하는데 활용할 수 있다. T.B FASTENER의 경우 브라켓의 두께 T 는 5mm이고, 가장 불리한 경우의 석재용 T.B브라켓의 마감재와 실린더 간 길이 s 는 140mm이므로, 이들 값을 대입하여 허용처짐에 대한 허용중량을 산정할 수 있다. 보수적으로 T.B브라켓의 처짐이 전체 처짐의 절반이라 가정하여(즉 앵커부의 추가 신장을 고려하여) T.B브라켓의 허용처짐을 보수적으로 0.5mm로 둘 경우, 허용처짐에 대한 최대 브라켓 허용중량은 다음과 같다.

$$W_p g = 2EB \left(\frac{T}{s} \right)^3 \Delta_{allow} = 2 \times 205000 \times 50 \left(\frac{5}{140} \right)^3 \times 0.5 = 467 \text{ [N]}$$



[그림 12] 석재용 T.B브라켓의 처짐산정을 위한 브라켓 휨거동 모식도

브라켓과 프레임이 용접, 볼트나 직결피스 등을 통해 안정적으로 고정되어 별도의 처짐이 발생하지 않을만큼 충분히 견고하다고 가정했을 때, 석재용 T.B FASTENER의 브라켓이 0.5mm 처지기 위한 중량은 467 N으로 산정된다.

프레임용의 경우 브라켓을 수직방향으로 설치하기 때문에 초등역학에 의한 단부가 고정단인 보의 처짐식으로부터 아래와 같이 계산된다.



$$\Delta = \frac{Vs^3}{48EI}$$

여기서 E 와 I 는 각각 브라켓 받침부의 탄성계수와 단면2차모멘트, B 는 브라켓의 폭, s 는 실린더 단부로부터 석재 마감재까지의 길이이고 V 는 브라켓에 가해지는 전단력이다. 실린더에 가해지는 힘은 마감재의 중량 $V = W_p g$ 로 계산되고, 브라켓의 단면2차모멘트는 $I = TB^3/12$ 로 계산됨에 따라, 이들 값을 상기 식에 대입하면 다음의 값을 얻는다.

$$\Delta = \frac{W_p g s^3}{48E(BT^3/12)} = \frac{W_p g}{2ET} \left(\frac{s}{B} \right)^3$$

상기 식은 T.B.FASTENER의 처짐제한조건에 대한 만족여부를 확인하는데 활용할 수 있다. T.B FASTENER의 경우 브라켓의 두께 T 는 5mm이고, 가장 불리한 경우의 프레임용 T.B 브라켓의 마감재와 실린더 간 길이 s 는 230mm이므로, 이들 값을 대입하여 허용처짐에 대한 허용중량을 산정할 수 있다. 보수적으로 T.B브라켓의 처짐이 전체 처짐의 절반이라 가정하여(즉 앵커부의 추가 신장을 고려하여) T.B브라켓의 허용처짐을 보수적으로 0.5mm로 둘 경우, 허용처짐에 대한 최대 브라켓 허용중량은 다음과 같다.

$$W_p g = 2ET \left(\frac{B}{s} \right)^3 \Delta_{allow} = 2 \times 205000 \times 5 \left(\frac{50}{140} \right)^3 \times 0.5 = 46.7 \text{ [kN]}$$

브라켓과 프레임이 용접, 볼트나 직결피스 등을 통해 안정적으로 고정되어 별도의 처짐이 발생하지 않을만큼 충분히 견고하다고 가정했을 때, 프레임용 T.B FASTENER의 브라켓이 0.5mm 처지기 위한 중량은 46.7 kN으로 석재용 T.B FASTENER의 브라켓보다 월등한 강성을 확보할 수 있게 된다. 이에 따라 프레임용 T.B FASTENER의 설계강도는 후술할 실린더의 허용지지중량으로부터 결정된다.

(5) 실린더 허용지지중량 산정

실린더의 허용지지중량은 [그림 7]로부터 산정된 지진하중과 풍하중에 대한 하중조합을 가장 불리한 단면인 벽측의 실린더 단면에 적용하여, 구조안전성이 확보되면서 계수하중조합이 공칭강도를 넘지 않는 최대중량을 허용지지력으로 산정하였다.



[표 3] 지진력조합에 대한 석재용 T.B CYLINDER 별 허용지지중량

실린더길이 H_{cyl} [mm]	마감거리 L_f [mm]	허용지지중량 W_{pg} [kN]		
		면내방향에 대한 허용지지중량	면외방향에 대한 허용지지중량	허용지지중량
70	180	1.11	1.29	1.11
80	190	1.05	1.24	1.05
90	200	1.00	1.19	1.00
100	210	0.95	1.15	0.95
110	220	0.90	1.10	0.90
120	230	0.87	1.06	0.87
130	240	0.83	1.03	0.83
140	250	0.80	1.00	0.80
150	260	0.77	0.96	0.77
160	270	0.74	0.93	0.74
170	280	0.71	0.91	0.71
180	290	0.69	0.88	0.69
190	300	0.66	0.85	0.66
200	310	0.64	0.83	0.64

참고: 석재용 T.B FASTENER 브라켓의 허용처짐 0.5mm에 대한 허용지지중량은 0.467 kN이며, T.B FASTENER 세트의 허용지지중량은 브라켓의 허용중량을 넘어설 수 없음

[표 4] 풍하중조합에 대한 석재용 T.B CYLINDER 별 허용지지중량

실린더길이 H_{cyl} [mm]	마감거리 L_f [mm]	허용지지중량 W_{pg} [kN]
70	180	1.72
80	190	1.63
90	200	1.55
100	210	1.48
110	220	1.41
120	230	1.35
130	240	1.29
140	250	1.24
150	260	1.19
160	270	1.15
170	280	1.11
180	290	1.07
190	300	1.03
200	310	1.00

참고:
 1) 본 허용지지력은 마감재면적 1m²에 대한 검토결과임
 2) 석재용 T.B FASTENER 브라켓의 허용처짐 0.5mm에 대한 허용지지중량은 0.467 kN이며, T.B FASTENER 세트의 허용지지중량은 브라켓의 허용중량을 넘어설 수 없음



[표 5] 지진력조합에 대한 프레임용 T.B CYLINDER 별 허용지지중량

실린더길이 H_{cyl} [mm]	마감거리 L_f [mm]	허용지지중량 W_{pg} [kN]		
		면내방향에 대한 허용지지중량	면외방향에 대한 허용지지중량	허용지지중량
70	300	0.66	0.85	0.66
80	310	0.64	0.83	0.64
90	320	0.62	0.81	0.62
100	330	0.60	0.79	0.60
110	340	0.59	0.77	0.59
120	350	0.57	0.75	0.57
130	360	0.55	0.73	0.55
140	370	0.54	0.71	0.54
150	380	0.52	0.70	0.52
160	390	0.51	0.68	0.51
170	400	0.50	0.67	0.50
180	410	0.49	0.65	0.49
190	420	0.47	0.64	0.47
200	430	0.46	0.63	0.46

참고: 프레임용 T.B FASTENER 브라켓의 허용처짐 0.5mm에 대한 허용지지중량은 46.7 kN이며, 이 경우 T.B FASTENER 세트의 허용지지중량은 브라켓과 실린더의 허용중량 중 최소값으로 산정함

[표 6] 풍하중조합에 대한 프레임용 T.B CYLINDER 별 허용지지중량

실린더길이 H_{cyl} [mm]	마감거리 L_f [mm]	허용지지중량 W_{pg} [kN]
70	300	1.03
80	310	1.00
90	320	0.97
100	330	0.94
110	340	0.91
120	350	0.89
130	360	0.86
140	370	0.84
150	380	0.82
160	390	0.80
170	400	0.78
180	410	0.76
190	420	0.74
200	430	0.72

참고:
 1) 본 허용지지력은 마감재면적 1m²에 대한 검토결과임
 2) 프레임용 T.B FASTENER 브라켓의 허용처짐 0.5mm에 대한 허용지지중량은 46.7 kN이며, 이 경우 T.B FASTENER 세트의 허용지지중량은 브라켓과 실린더의 허용중량 중 최소값으로 산정함



4. 참고문헌

- Young, W. C., Budynas, R. G., & Sadegh, A. M. (2002). Roark's formulas for stress and strain (Vol. 7). New York: McGraw-Hill.
- Salmon, C. G., & Johnson, J. E. (2008). Steel Structures: Design and Behavior (5th Edition). Pearson.