

내진과 내풍을 동시에 고려한 열교차단 파스너의 구조설계

Seismic and Wind Design of Thermal Break Fastener

김성용¹, 최형석², 남동균³, 서봉수⁴

2021/3/19

¹ 조교수, 창원대학교 건축공학과

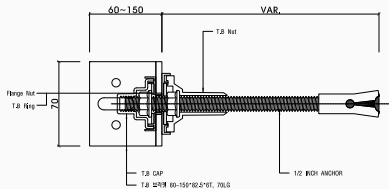
² 선임연구원, 지진방재연구센터

² 대표, (주)이비엠리더

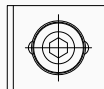
² 부장, (주)이비엠리더

Introduction

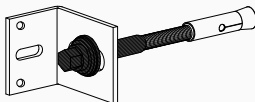
본 해석모델에는 다음과 같은 가정이 사용되었으며, 산정결과를



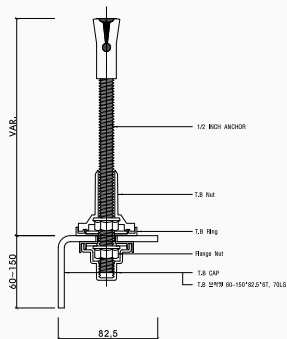
단면도



입면도

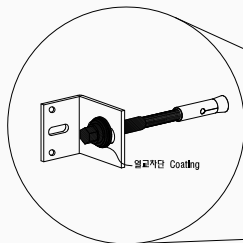


영상도

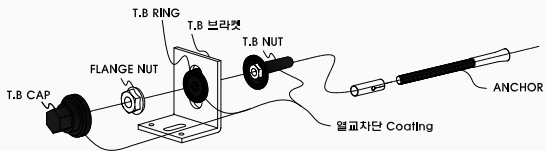


평면도

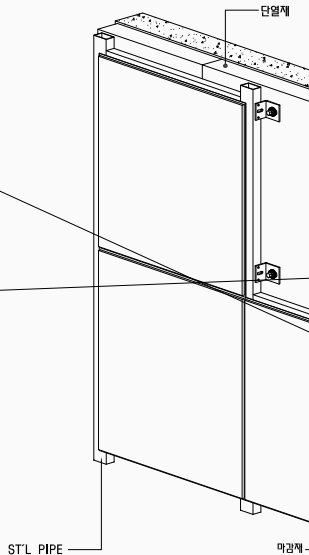
Figure 1: 대상 패스너 상세



T.B FASTENER
SINGLE ANCHOR TYPE BASIC



분 해 도



만일 외장재의 타입과 상세가 미리 자세히 결정될 수 있다면, 건축물의 구조설계 과정이나 파스너 선정을 통한 외장재 부착방안을 개발할 때 외장재의 고정하중을 산정하고 그에 따른 구조적 검토가 가능하다. 하지만 구조설계 책임자가 프레임을 설계하고 외장재에 대한 부착 전략을 수립할 때 외장재는 일반적으로 결정/설계되지 않으며 건축물이나 파스너 업체의 구조설계 책임자나 외장재의 무게를 추정해야 한다. 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.

지진하중 산정에 있어 본 검토에서는 고려할 수 있는 가장 불리한 조건들을 가정하였다. 구체적으로는 서울의 지진구역, 지반분류의 경우 매우 드물게 나타나는 연약한 토사지반을 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 2400

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} 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.

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

Table 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

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

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.

Table 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

본 검토에서는 KDS 41 10 15:2017에 제시된 외장재설계용 설계하중에 따라 파스너가 개당 부담하는 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 부담하는 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.

$$W_C = p_C A_C \quad (6)$$

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 검토대상으로 선정하였다. 설계기준에 따르면 기준높이가 20 m 이상인 건축물의 외장재설계용 설계풍압 p_C 는 아래 두 종류로 구분하여 산정한다.

$$\text{정압인 외벽: } p_C = k_z q_H (GC_{pe} - GC_{pi}) \quad (7a)$$

$$\text{부압인 외벽 및 지붕면: } p_C = q_H (GC_{pe} - GC_{pi}) \quad (7b)$$

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.

$$q_H = \frac{1}{2} \rho V_H^2 \quad (8)$$

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

$$V_H = V_0 K_{zr} K_{zt} I_\omega \quad (9)$$

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

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 $0.9D + 1.3W$

Table 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

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

KDS 14 20 54:2016에 따르면 원형강봉에 대한 공칭휨강도 M_n 은 항복강도 (소성모멘트)로, 다음과 같이 산정한다.

$$M_n = M_p = F_{y,anc}Z_{anc} \leq 1.6M_y = 1.6F_{y,anc}S_{anc} \quad (12)$$

여기서 $F_{y,anc}$ 는 앵커의 항복강도이고 S_{anc} 와 Z_{anc} 는 각각 탄성단면계수와 소성단면계수이며, $Z_{anc}/S_{anc} = 1.667$ 임에 따라 소성강도는 최소값인 $1.6F_{y,anc}S_{anc}$ 로 산정된다.

중력하중에 대한 극한모멘트로부터 설계 만족조건은 아래와 같다.

$$1.4L_I W_p g \leq \phi_b 1.6F_{y,anc}S_{anc} \quad (13)$$

여기서 ϕ_b 는 휨에 대한 강도저항계수(=0.90), $W_p g$ 는 앵커에 인가되는 중량이고, L_I 는 단열재 두께이다.

이로부터 하중조합 LC1에 대한 허용지지중량은 다음과 같이 산정된다.

$$\phi 1.6 F_{y,anc} S_{anc}$$

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.

$$\frac{N_{ua}}{\phi N_n} + \frac{V_{ua}}{\phi V_n} \leq 1.2 \quad (26)$$

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.

$$\phi N_n = \min(\phi N_{sa}, \phi N_{pn}, \phi N_{sb}, \phi N_{cb}) \quad (27)$$

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 단일앵커의 설계강재파괴강도 ϕN_{sa} 는 현행 콘크리트 구조기준의 강도식을 통해 아래와 같이 산정하였다.

$$N_{sa} = nA_{se,N}f_{uta} = 1 \times \frac{\pi \times 12.7^2 \text{ mm}^2}{4} \times 539 \text{ MPa} \times \frac{1 \text{ kN}}{1000 \text{ N}} = 38.2 \text{ kN} \quad (28) \quad 14/17$$

Specifications are written documents that describe the materials and workmanship required for a development. They do not include cost, quantity or drawn information but need to be read alongside other contract documentation such as quantities, schedules and drawings.

Specifications vary considerably depending on the stage to which the design has been developed, ranging from performance (open) specifications that require further design by a contractor or supplier, to prescriptive (closed) specifications where the design is already complete when the project is tendered.

Prescriptive specifications give the client more certainty about the end product when they make their final investment decision (i.e. when they appoint the contractor), whereas a performance specification gives the contractor and suppliers more scope to innovate and adopt cost effective methods of work, potentially offering better value for money.

Typically, performance specifications are written on projects that are straight-forward, standard building types, whereas prescriptive specifications are written for more complex buildings, or buildings where the client has requirements that might not be familiar to contractors and where certainty regarding the exact nature of the completed development is more important to the client.

For complex buildings it is not always possible or desirable to fully detail every aspect of the building before applying for building consent or commencing construction. The design of a particular building element or system might require the input of a manufacturer's technical expertise along with some experimentation and testing of prototypes to ensure the design intention and intended performance of the designer are achieved.

The architect, in association with any consultants, will need to first determine the performance requirements a particular element needs to meet, and then identify them for tendering, construction and consent purposes. A common example of this is the steelwork design provided by the project structural engineer. The building consented drawings will often need to be supplemented with further detail drawings, such as shop drawings that the steel fabricators will actually build to.

Building officials are able to compare specified performances and design intention drawings with those required by the various sections of the Building Code. For example to provide an innovative design for an external glazed wall (single storey) to an apartment block, including sliding doors opening onto balconies, openable windows, mechanical louvers and glazing, the following sections of the Code would need to

- 앵커는 압축과 휨에 동시에 저항한다.
- 프레임은 엇모배치되는 브라켓에 충분한 강도와 강성으로 접합되었다고 가정한다.
- 풍하중을 받는 면적은 1m^2 으로 가정한다.