



## 앵커플레이트가 콘크리트 파괴 강도에 미치는 영향 및 탄성기반 해석 모델에 대한 연구

신지욱<sup>1)</sup> · 유영찬<sup>2)</sup> · 최기선<sup>2)</sup> · 김호룡<sup>2)</sup> · 김준희<sup>3)\*</sup>

<sup>1)</sup>세종대학교 건축공학과 <sup>2)</sup>한국건설기술연구원 공공건축연구본부 <sup>3)</sup>연세대학교 건축공학과

### A Study on Effect of Anchor Plate on Concrete Breakout Capacity and Elasticity-Based Analysis Model of Anchor Plate

Ji-Uk Shin,<sup>1)</sup> Young-Chan You,<sup>2)</sup> Ki-Seon Choi,<sup>2)</sup> Ho-Ryong Kim,<sup>2)</sup> and Jun-Hee Kim<sup>3)\*</sup>

<sup>1)</sup>Dept. of Architectural Engineering, Sejong University, Seoul 143-747, Korea

<sup>2)</sup>Building Research Dept., Korean Institute of Construction Technology, Goyang 411-712, Korea

<sup>3)</sup>Dept. of Architectural Engineering, Yonsei University, Seoul 120-749, Korea

**ABSTRACT** This study presents that effect of anchor plate on concrete breakout strength was evaluated. The addition of the anchor plate is to improve the concrete breakout capacity for a single anchor system in a thin-walled concrete panel (Insulated concrete sandwich wall panel). In this study, an elasticity-based simplified model was developed and used to predict effect on the anchor plate. Flexural stresses of the plate with respect to the concrete breakout strength obtained from CCD (Capacity Concrete Design) approach were compared with the test results. Through the test results, while the concrete breakout strength was improved due to increment of the width and thickness of the anchor plate, improvement of the strength was steadily declined. In addition, the It was observed that the analytical and experimental flexure of the anchor plate was comparatively in good agreement using the simplified elastic analysis model.

**Keywords** : concrete breakout capacity in tension, effect on an anchor plate, thin-walled concrete panel, elasticity-based simplified model

### 1. 서 론

중단열 콘크리트 외벽시스템(Insulated concrete sandwich wall panel system)은 에너지 효율을 극대화시키기 위해서 내부와 외부의 콘크리트 패널 사이에 단열재를 적용한다. 이러한 외벽시스템은 얇은 콘크리트 패널로 구성되어있으며, 콘크리트의 외부 패널에 선 설치된 앵커를 이용하여 건축물 외부의 슬래브/보 등에 고정시키는 방식을 적용하고 있다.<sup>1-3)</sup> Fig. 1은 일반적인 커튼월과 중단열 외벽시스템의 지지부 상세(panel to beam connection)를 나타낸 것이다. Fig. 1(a)에 나타난 것과 같이 단일부재로 구성된 일반적인 커튼월형 패널의 지지부는 바람 또는 지진하중에 대한 구조 안전성을 확보하기 위해서 콘크리트 내부에 삽입되는 앵커 시스템의 묻힘깊이를 증가시킨다.

또한, 이형 철근을 갈고리 형태로 구부려서 앵커 시스템에 설치하는 방법으로 정착깊이를 충분히 확보해야한다.<sup>3)</sup> 그러나, 40 mm에서 100 mm의 얇은 패널로 구성된 중단열 커튼월 시스템은 내부 콘크리트 패널(Fig. 1(b) ㉠참고)에 갈고리 형태의 앵커 시스템을 삽입시키기 때문에 묻힘깊이를 충분히 확보하기 어렵다. 이러한 경우, 그룹 앵커를 적용하거나 단일 앵커에 플레이트나 워셔를 추가하는 방식으로 외력에 대한 지지부의 구조 성능을 향상시킬 수 있다.<sup>4-6)</sup> 그룹 앵커는 2개 이상의 앵커를 일체화 거동시키기 위한 과정을 거쳐야 하기 때문에 단일 앵커에 비해 상대적으로 제작 과정이 복잡하고, 비용이 비싸다는 단점이 있다. 이러한 이유로 중단열 외벽시스템과 같이 얇은 콘크리트 패널은 단일 앵커에 플레이트를 추가하는 것이 효율적이다.

앵커 시스템의 정착 성능(pullout resistance)에 대한 연구는 활발히 진행되어왔다. 기존에 수행된 연구는 콘크리트의 파괴강도(concrete breakout capacity)를 보다 정확히 예측하는 방법을 제안하고 이를 실험과 해석을 통해

\*Corresponding author E-mail : junhkim@yonsei.ac.kr  
 Received October 22, 2012, Revised March 21, 2013,  
 Accepted April 1, 2013  
 ©2013 by Korea Concrete Institute

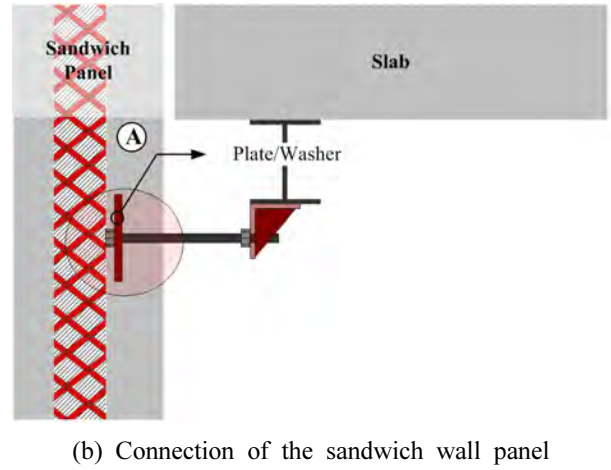
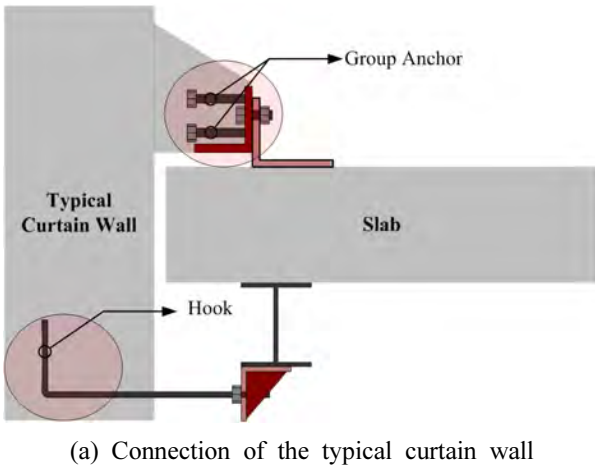


Fig. 1 Comparison between typical curtain wall and sandwich wall panel

증명하는 것에 초점을 두었다.<sup>7,8)</sup> 최근에, Yang<sup>4)</sup>에 의해 수행된 인장력을 받는 앵커시스템의 콘크리트 파괴 강도에 대한 연구에서는 소성론기반의 탄성해석을 통해 최적 파괴 형상(optimum failure surface ceneratrix)과 콘크리트의 파괴 강도를 예측하였다. 이를 통해 유효 문힘깊이에 따라 급격히 증가하는 경향을 보이는 현재 기준식이 보수적인 것으로 조사되었다. 또한, 실험을 통해 앵커의 머리 너비에 비례하여 콘크리트의 파괴 강도가 증가하는 것으로 나타났지만 현재 기준식은 이러한 영향을 고려하고 있지 않은 것으로 평가되었다. 2011년에는 앞서 제안된 소성론 기반의 해석방법을 여러 종류의 앵커 시스템에 적용하는 연구가 수행되었다.<sup>9)</sup> 이 연구를 통해 콘크리트 파괴 강도 향상에 영향을 미칠 수 있는 주요 요소로 앵커 플레이트의 종류를 언급하고 있으며 이에 대한 비선형 계수(nonlinear coefficient,  $m$ )를 제시하였다. 여러 연구문헌을 통해 플레이트나 앵커의 머리 너비 등이 콘크리트의 파괴 강도에 영향을 미치는 것을 볼 수 있다. 그러나, 플레이트의 설치가 콘크리트의 파괴 강도에 미치는 영향을 고려하여 플레이트의 크기(너비×두께)를 합리적으로 결정할 수 있는 방법을 제시하는 연구는 현재까지 미흡한 실정이다. 특히, 앵커 시스템의 파괴 강도와 관련된 연구는 대구경 앵커 또는 문힘깊이가 깊은 실험체를 대상으로 수행되고 있으며, 중단열 외벽 시스템과 같이 얇은 벽체에 적용되는 앵커 시스템에 대한 연구는 활발히 수행되고 있지 않다.

이 연구의 목적은 플레이트의 너비/두께 변화가 콘크리트 파괴 강도에 미치는 영향을 실험적으로 평가하는 것이다. 이 연구에서는 탄성론 기반 앵커 플레이트의 해석모델을 이용하여 앵커 플레이트가 콘크리트 파괴 강도에 미치는 영향을 예측하였으며, 이를 실험 결과와 비교하였다. 이 연구는 중단열 외벽 시스템의 지지부와 같이 얇은 콘크리트 패널에 적용되는 앵커 시스템을 대상으로 제한적으로 수행되었다.

## 2. 앵커 플레이트의 설계

### 2.1 KCI 2012 설계식 검토/비교

현재 국내외 콘크리트 구조 기준에서 인장력에 저항하는 앵커 시스템의 콘크리트 파괴 강도에 대한 설계 기준식을 제시하고 있다. 현재 콘크리트 구조설계기준<sup>9)</sup>(이하 KCI 2012)은 CCD(concrete capacity design)이론을 바탕으로 콘크리트 파괴 강도를 산정한다. Fig. 2는 플레이트가 고려된 앵커에 대한 KCI 2012(실선,  $b_0$ )의 파괴 투영 반경을 나타낸 것이다. 플레이트/워셔의 추가에 의한 확장된 투영 면적을 콘크리트 파괴강도 산정시 고려한다. 그러나, KCI 2012의 확장된 투영 면적( $b_0$ )은 플레이트 너비( $b_p$ )와 상관없이 앵커의 머리 너비의 가장자리( $b_B$ )에서 플레이트의 두께( $t_p$ )만큼 확장시킨 지점부터 35도의 경사각이 이루는 거리를 의미한다.<sup>10,11)</sup> 따라서, 플레이트 두께의 변화없이 너비를 증가시켰을 때 콘크리트 파괴 강도 산정식에서 정확히 플레이트의 영향을 고려할 수 없다. 또한, 플레이트/워셔의 영향을 고려하고 있지만 크기(너비 및 두께)를 합리적으로 결정하는 방법에 대하여 제시하고 있지 않다. 이 연구에서는 플레이트의 영향을 예측하기 위해서, 다음절에 제시한 앵커 플레이트의 해석모델을 이용하였다.

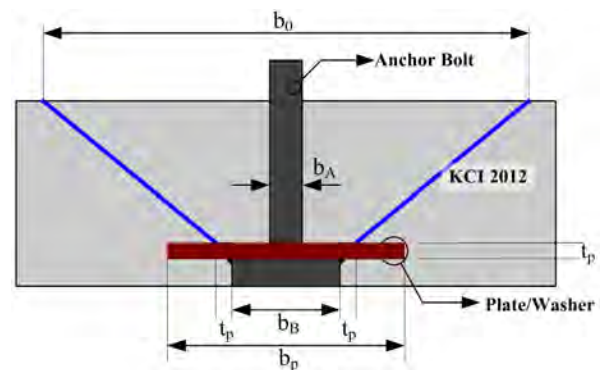


Fig. 2 Projected area of failure surface of KCI 2012

## 2.2 앵커 플레이트의 탄성해석 모델

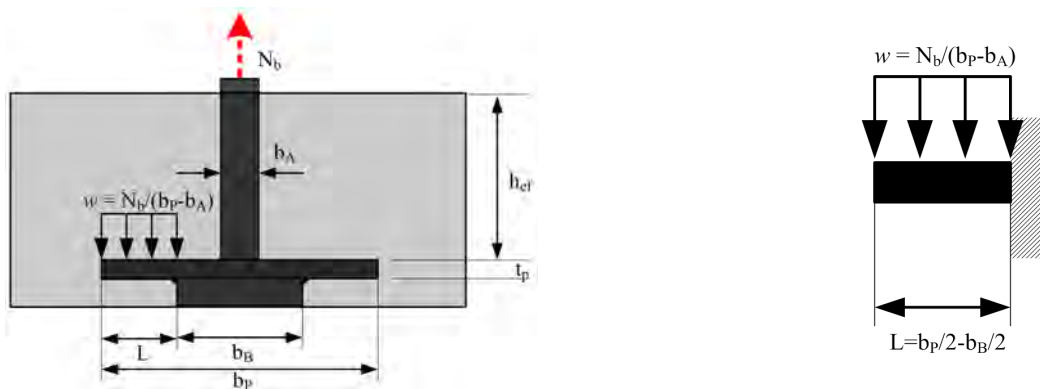
이 연구에서는 Fig. 3과 같이 플레이트가 적용된 단일 앵커시스템을 형상화하였다. Fig. 3(a)는 앵커에 인장력( $N_b$ )이 작용했을 때 플레이트에 작용하는 힘을 도식화한 것이며, Fig. 3(b)는 Fig. 3(a)에 대한 단순화된 탄성해석 모델에서 플레이트의 일부분을 자세히 나타낸 것이다. 앵커에 작용하는 힘( $N_b$ )과 플레이트에 작용하는 하중이 동일한 것으로 가정했으며, Fig. 3(a)에 나타난 것과 같이 플레이트의 너비( $b_p$ )에 따라 등분포 하중( $w = N_b / (b_p - b_A)$ )을 갖는 것으로 단순화하였다. 또한, 해석모델을 단순화시키는 과정에서 콘크리트 파괴 강도에 미세하게 영향을 미칠 수 있는 다른 요소들은 고려하지 않았다. 그 이유는 이 연구에서 대상으로 하고 있는 중단열 콘크리트 패널의 두께는 40~100 mm 정도로 콘크리트의 부착응력 등의 다양한 요소보다 플레이트의 영향이 지배적일 것으로 예상되기 때문이다. 앵커 볼트에 작용하는 힘( $N_b$ )은 CCD이론에 제시된 선설치 앵커 시스템에 대한 콘크리트 파괴 강도이며, 식 (1)에 제시하였다.

$$N_b = k_c \sqrt{f_{ck}} h_{ef}^{1.5} \quad (1)$$

여기서,  $f_{ck}$ 는 콘크리트 공칭 강도,  $h_{ef}$ 는 앵커의 유효 길이, 그리고  $k_c$ 는 선설치 앵커에 대한 상수 값이다.

Fig. 3(b)에 나타낸 것과 같이 앵커 머리(볼트 머리)의 가장자리부터 플레이트의 끝까지( $L = b_p/2 - b_B/2$ ) 플레이트 너비에 따라 작용하는 하중( $w = N_b / (b_p - b_A)$ )에 대하여 캔틸레버 거동을 하는 것으로 가정하였다. 이 연구에서 제안한 앵커 플레이트의 탄성해석모델(Fig. 3(b))을 바탕으로 사각형 형태의 플레이트에 작용하는 휨 응력을 산정하였다. 휨 응력은 플레이트의 폭을 단위 m로 환산하여 고려하였다. 휨 응력의 산정 방법은 식 (2)에 자세히 언급되어 있다.

$$\sigma = \frac{M_{\max}}{I} y = \frac{M_{\max}}{(1000t_p^3/12)} \times \frac{t_p}{2} \quad (2)$$



(a) Simplified elastic analytical model of anchor system with a steel plate (b) Elastic analytical model of the anchor plate

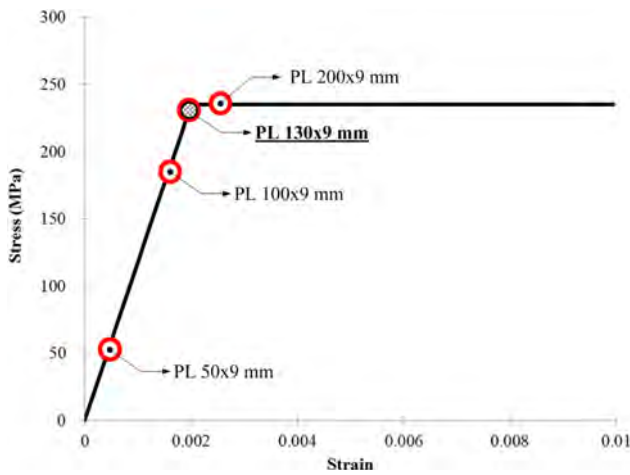
Fig. 3 Elasticity based simplified elastic anchor model

여기서,  $\sigma$ 는 플레이트에 작용하는 휨 응력,  $M$ 은  $w$ 에 대한 최대 휨 모멘트,  $I$ 는 단위 미터당 플레이트의 단면 2차 모멘트,  $y$ 는 플레이트의 중립축( $t_p/2$ ) 그리고  $t_p$ 는 플레이트의 두께이다.

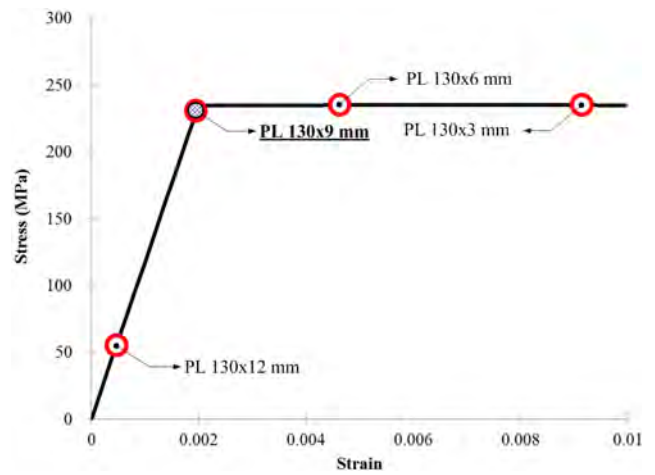
이 연구에서는 앞에 제시된 식을 바탕으로 산정된 플레이트의 휨 응력이 플레이트의 항복 응력을 초과할 때 앵커 시스템의 콘크리트 파괴 강도에 미치는 영향이 없는 것으로 가정하였다. 이는 강판 플레이트의 재료적 특성을 고려한 것이다. 실제로, 강재는 항복 응력에 도달한 이후에 항복 후 강성비( $\alpha=0.02$ )만큼 강성이 감소하기 때문에 탄성 구간에 비해 발생 변형에 대한 강도 증가율이 상당히 낮다. 이러한 이유로 탄성 구간 내에서 플레이트의 설치에 의한 콘크리트 파괴 강도의 증가가 두드러지게 나타나고, 반대의 경우 플레이트의 추가에 따라 콘크리트 파괴강도에 미치는 영향은 상당히 미비할 것으로 예상할 수 있다. 따라서, 플레이트의 강재의 재료적 특성을 항복 후 강성비가 0인 이상화된 탄소성 이선형(idealized elasto-plastic bilinear) 거동(Fig. 4 참고)을 하는 것으로 가정하였다. 이러한 가정아래, 탄성해석모델을 바탕으로 플레이트 추가에 의한 콘크리트의 파괴강도에 미치는 영향을 조사하였다.

Fig. 4는 Fig. 3의 탄성해석모델을 이용하여 CCD이론에 의해 산정된 콘크리트 파괴강도에 대한 플레이트의 휨 응력을 나타낸 것이다. Fig. 4(a)는 플레이트 너비에 의한 영향을 나타낸 것이며, Fig. 4(b)는 플레이트 두께에 의한 영향을 보여준다. Fig. 4(a)와 (b)의 탄소성 이선형 곡선에 플레이트의 너비 또는 두께의 변화에 따른 플레이트의 휨 응력을 표시하였다. 여기서 플레이트는 SS400 강재를 고려하였으며, 항복응력은 235 MPa로 가정하였다.

Fig. 4(a)에서 일정한 플레이트의 두께(9 mm)에 대하여 임의로 플레이트의 너비를 증가시켰을 때, PL130×9 mm에 대한 휨 응력이 항복 응력에 가장 근접한 것으로 나타났다(항복 응력=235 MPa, 휨 응력/항복 응력=98% 수준). Fig. 4(b)에서는 일정한 플레이트 너비(130 mm)에 대하여 플레이트의 두께를 증가시켰을 때, 플레이트의 휨 응력이 감소하는 것을 볼 수 있으며, PL 130×9 mm(항복 응력



(a) Increment of the width of the anchor plate



(b) Increment of the thickness of the anchor plate

Fig. 4 Flexural stress of the anchor plate

=235 MPa, 휨 응력/항복 응력=98% 수준)가 플레이트의 항복 응력에 가장 근접하는 것으로 조사되었다.

탄성해석모델을 통해 플레이트가 콘크리트의 파괴 강도에 미치는 영향은 9 mm의 두께에 대하여 130 mm의 너비까지 콘크리트 파괴 강도의 향상에 영향을 미칠 것으로 예상되며, 130 mm의 너비에 대하여 9 mm이상의 두께까지 콘크리트 파괴 강도를 효과적으로 향상시킬 것으로 판단된다. 또한, Fig. 4의 예시를 통해 해당 하중에 대한 가장 합리적인 플레이트의 크기는 휨 응력이 항복 응력에 가장 근접하는 PL130×9 mm임을 알 수 있다. 이 연구에서는 단순화된 탄성해석모델을 통해 나타난 플레이트의 영향에 대한 예측 결과를 다음 절부터 언급된 실험연구와 비교/분석하였다.

### 3. 실험 계획 및 방법

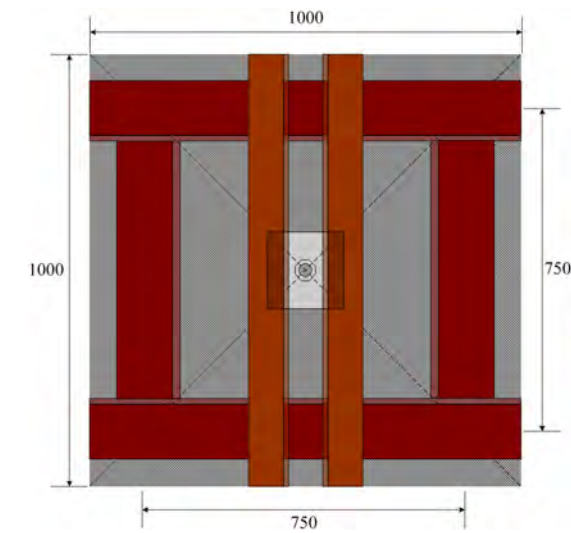
앞 절에서 제시한 탄성해석모델을 바탕으로 결정된 플

레이트의 영향을 조사하기 위해서 실험에 사용된 플레이트의 너비/두께를 Table 1과 같이 결정하였다. 실험체의 콘크리트 두께는 중단열 외벽 시스템에 앵커 볼트가 정착되는 깊이와 동일한 100 mm로 설정하였다. 단일 앵커는 M22의 볼트를 사용하였으며 그룹 앵커는 두 개의 M12 볼트를 적용하였다. Table 1을 자세히 살펴보면 플레이트를 고려하지 않은 S-P0-T0와 그룹 앵커를 적용한 G-P0-T0 실험체는 플레이트가 보강된 단일 앵커 시스템과 비교를 위해 고려하였다. S-P50-T9는 ACI 318-11에서 제시하는 확장된 파괴 투영 면적 산정 방법을 이용하여 앵커 머리의 가장자리(32 mm)에서 플레이트 두께(9 mm)만큼 연장시킨 것이다. S-P130-T9는 2절의 예시에서 해당 하중에 대한 플레이트 크기를 적용한 것이다. S-P100-T9와 S-P200-T9는 S-P130-T9를 기준으로 각각 플레이트의 너비가 작은 값과 큰 값을 갖는 실험체이다. 플레이트의 두께를 평가하기 위한 실험체(Table 1의 6부터 9)는 S-P130-T9를 기준으로 3 mm에서 12 mm까지 3 mm간격으

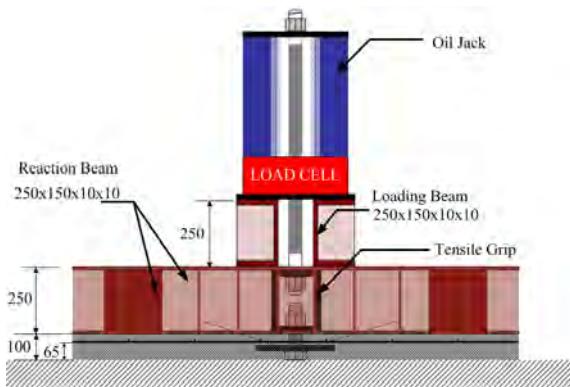
Table 1 Properties of the test specimens

No.	Specimen	Type		Detail of anchor system (mm)				Detail of concrete panel (mm)		Expected load (kN)	No. of tests
		Plate	Anchor type	Plate		Bolt head		Thickness	Effective thickness		
				Width	Thickness	Diameter	Thickness				
1	S-P0-T0	Unconsidered	Single	0	0	32	14	100	86	36.8	3
2	S-P50-T9	Considered	Single	50	9	32	14	100	77	46.2	3
3	S-P100-T9	Considered	Single	100	9	32	14	100	77	46.2	3
4	S-P130-T9	Considered	Single	130	9	32	14	100	77	46.2	3
5	S-P200-T9	Considered	Single	200	9	32	14	100	77	46.2	3
6	S-P130-T3	Considered	Single	130	3	32	14	100	83	46.4	3
7	S-P130-T6	Considered	Single	130	6	32	14	100	80	46.3	3
8	S-P130-T12	Considered	Single	130	12	32	14	100	74	46.1	3
9	G-P0-T0	Unconsidered	Group	0	0	15	12	100	88	51.9	3
A total of specimens											27

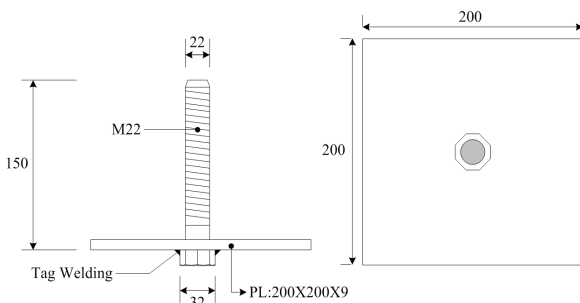




(a) Plan view



(b) Elevation view



(c) Anchor plate detail



(d) Test setup

Fig. 5 Specimen detail and test setup (unit : mm)

로 설정하였다. 3 mm 간격으로 플레이트의 두께를 조절하는 이유는 플레이트의 항복 응력을 초과하는 경우와 그 아래의 경우를 모두 고려할 수 있기 때문이다. Table 1에 제시된 예상하중은 실험 결과와 비교를 위한 것으로 Fuchs 등<sup>7)</sup>에 의해 제안된 CCD 이론식으로 산정된 것이다. 실험 결과의 정확한 비교를 위해서, CCD 방법에 근거하여 5% 파괴확률을 적용한 콘크리트 파괴강도는  $k_c$ 의 값을 10.5로 고려하여 예상하중을 계산하였다.<sup>12)</sup> 이 연구에서는 Table 1에 제시된 동일한 실험체의 변수에 대하여 3개의 실험체를 제작하여 실험을 실시하였다. 따라서, 총 27개(단일 앵커 1개×3+플레이트 보강형 앵커 7개×3+그룹 앵커 1개×3)의 실험체를 고려하였다. 실험 당일 실험체의 콘크리트 압축강도는 평균 25.9 MPa로 나타났으며, 사용된 플레이트의 항복응력은 256.4 MPa로 조사되었다.

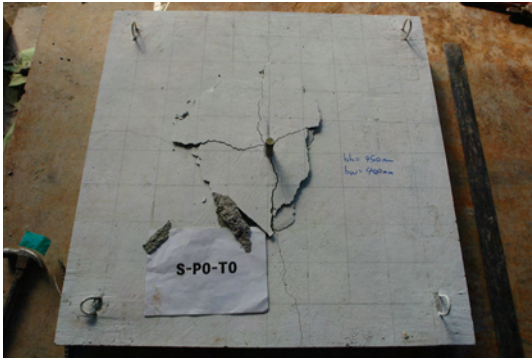
Fig. 5는 앵커 시스템의 인장 실험 현황을 보여준다. Fig. 5(a)와 (b)는 실험 계획에 대한 평면도와 입면도를 나타낸 것이며 Fig. 5(c)에는 실제 실험 모습을 제시하였다. Fig. 5(a)에 나타난 것과 같이 실험체의 연단 거리 효과를 최소화시키기 위해서 반력보는 이방향으로 배치하였으며 그 위에 가력보를 설치하였다. Fig. 5(b)에서 인장 그림은 길이가 짧은 앵커 볼트와 유압잭과 연결되어 있는 전산 볼트를 연결해 주기 위해서 제작한 것으로 전달되는 힘에 저항할 수 있도록 강성을 크게 제작하였다. 가력은 300 kN의 유압잭을 사용하여 앵커 시스템의 인장 방향으로 실시하였으며 가력 속도는 유압 펌프의 밸브를 최소로 개방하여 약 100 kN/sec의 속도로 수동으로 조작하였다. 하중은 +500 kN에서 -500 kN까지 측정 가능한 로드셀을 유압잭 아래에 설치하여 측정하였다.

## 4. 실험 결과

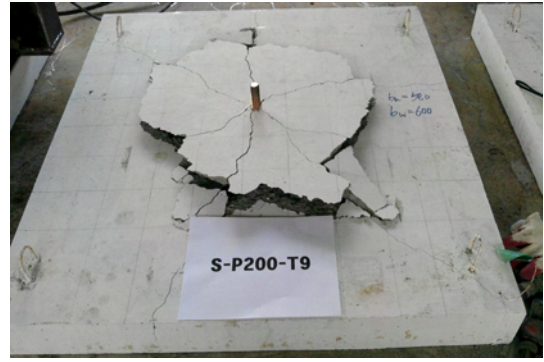
### 4.1 콘크리트 파괴 강도(concrete breakout capacity)

Fig. 6은 플레이트의 유·무에 대한 실험체 파괴모습을 보여준다. Fig. 6(a)는 플레이트가 보강되지 않은 S-P0-T0 실험체이며, Fig. 6(b)는 S-P200-T9 실험체이다. Fig. 6에 나타난 것과 같이, 플레이트 유·무와 관계없이 원추형 콘파괴가 발생한 것으로 조사되었다. 그러나, 플레이트 보강여부에 따라 파괴면의 투영 반경이 넓어진 것을 볼 수 있다.

Fig. 7은 플레이트의 너비(Fig. 7(a))와 두께(Fig. 7(b)) 변화에 대한 콘크리트의 파괴 강도의 평균값을 보여준다. 또한, 플레이트를 추가한 단일 앵커와 그룹 앵커의 콘크리트 파괴 강도를 비교하기 위해서 그룹 앵커의 실험 결과에 대한 평균값을 Fig. 7(a)와 (b)에 제시하였다. 국내 콘크리트 기준인 KCI 2012에 의해 산정된 콘크리트 파괴 강도(36.8 kN)는 비교를 위해 함께 나타났다. 앞에서 언급한 것과 같이 동일한 실험 변수에 대하여 세 번의 실험을 실시하였는데 이에 대한 실험 결과를 Fig. 7에 표시

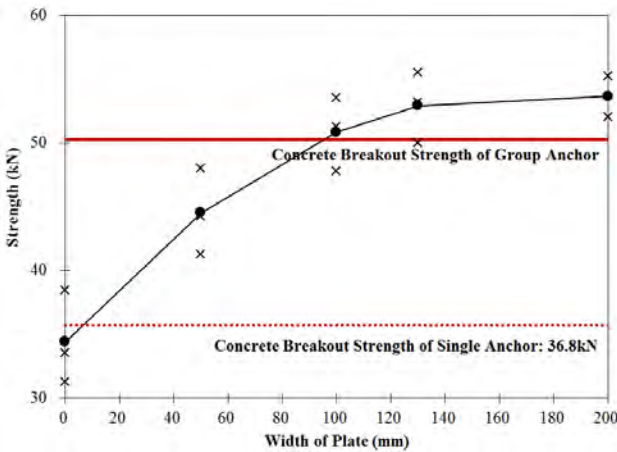


(a) S-P0-T0

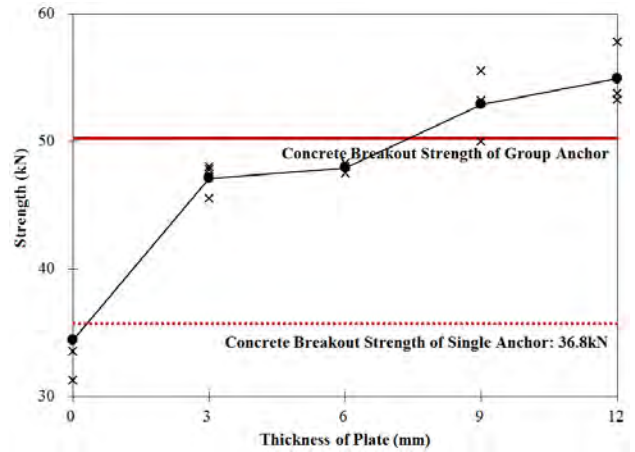


(b) S-P200-T9

Fig. 6 Failure mode of anchor plate in tension



(a) Increment of the width of the anchor plate



(b) Increment of the thickness of the anchor plate

Fig. 7 Concrete breakout strength of anchor system in tension

하였다. 이 절에서는 플레이트 추가에 의한 콘크리트 파괴 강도의 차이를 플레이트 너비 또는 두께의 차이로 나눈 값(Fig. 7(a)와 (b)의 기울기)을 콘크리트 파괴 강도의 향상 수준으로 정의하였으며, 이를 통해 플레이트 너비 또는 두께의 증가가 콘크리트 파괴 강도에 미치는 영향을 면밀히 평가하였다.

Fig. 7(a)에 제시된 것과 같이 플레이트의 너비 증가에 의해 콘크리트 파괴 강도가 증가하는 것을 볼 수 있다. 특히, 100 mm 이상의 플레이트를 적용한 경우 이 연구에서 고려한 그룹 앵커보다 최대 10% 정도 높은 콘크리트 파괴 강도를 갖는 것으로 나타났다. 플레이트 콘크리트 파괴 강도의 향상 수준을 살펴보면 50×9 mm의 플레이트를 추가에 의해 약 0.20 kN/mm의 향상 수준(최초의 향상 수준)을 보였다. 플레이트의 너비를 50에서 100 mm, 100에서 130 mm 그리고 130에서 200 mm로 증가시켰을 때 나타난 콘크리트 파괴 강도의 향상 수준은 각각 0.13, 0.10 그리고 0.04 kN/mm로 나타났다. 플레이트의 너비 증가에 의한 향상 수준은 130 mm까지 지속적으로 감소하는 경향을 보였다. 특히, 130에서 200 mm까지 플레이트의 너비를 증가시켰을 때 콘크리트 파괴 강도의 향상 수준(0.04 kN/mm)은 최초의 향상 수준(PL50×9 mm의 향상

수준=0.20 kN/mm)보다 약 80% 이상 감소하는 것으로 조사되었다. 이는 플레이트의 너비에 따라 작용한 하중( $w$ )에 의해 플레이트에 과도한 휨 변형이 발생한 것으로 사료된다. 이를 통해 해당 실험체의 경우 플레이트의 너비 증가가 앵커 시스템의 콘크리트 파괴 강도 향상에 기여할 수 있지만, 특정 수준 이상에 이르면 플레이트 너비 증가에 의한 영향이 급격히 감소하는 것을 볼 수 있다.

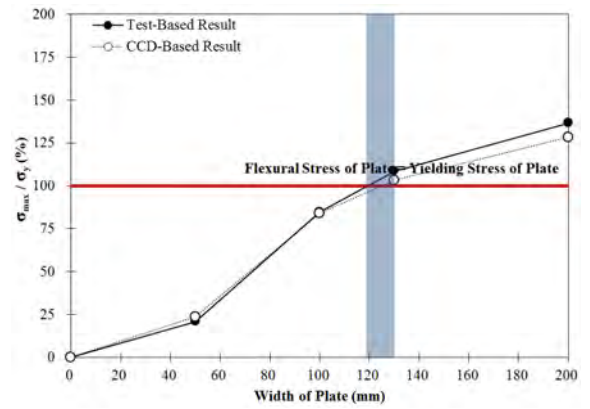
Fig. 7(b)를 살펴보면 플레이트의 너비(130 mm)를 일정하게 고려했을 때 플레이트의 두께 증가에 의해 콘크리트 파괴 강도가 증가하는 것을 볼 수 있다. 실험 결과에 따르면 플레이트의 두께가 약 7.5 mm 이상일 때 이 연구에서 고려한 그룹 앵커보다 콘크리트 파괴 강도가 높은 것으로 조사되었으며 최대 29%의 차이를 갖는 것으로 나타났다. 플레이트가 고려되지 않은 단일 앵커에 비해 130×9 mm 플레이트의 추가에 의해 4.0 kN/mm 이상의 콘크리트 파괴 강도의 향상 수준(최초의 향상 수준)을 보였다. 플레이트의 두께를 3에서 6 mm, 6에서 9 mm 그리고 9에서 12 mm로 증가시키기에 따라 향상 수준은 각각 0.28, 1.66 그리고 0.67 kN/mm로 조사되었다. 플레이트의 너비 증가에 의한 향상 수준과 달리, 플레이트의 두께 증가에 의한 향상 수준은 일정한 경향을 보이지 않았다. 플레이

트의 두께를 6에서 9 mm로 증가시켰을 때 콘크리트 파괴 강도의 향상 수준은 최초의 향상 수준(4.0 kN/mm)를 제외하고 가장 높은 값을 갖는 것으로 나타났다. 플레이트의 두께를 3에서 6 mm로 증가시키에 따라 나타난 향상 수준은 최소값(0.28 kN/mm)으로 조사되었다. 이는 플레이트 너비에 따라 작용한 하중(w)이 플레이트에 과도한 변형이 발생하여 높은 향상 수준을 갖지 못한 것으로 판단된다. 또한, 플레이트의 두께를 9에서 12 mm로 증가시켰을 때 이전 단계인 플레이트의 두께를 6 mm에서 9 mm로 증가시키에 따른 콘크리트 파괴 강도의 향상 수준(1.66 kN/mm)보다 약 60%정도 감소하는 것으로 조사되었다. 이는 플레이트의 두께 증가에 의해 콘크리트 유효 문힘깊이가 감소함에 따라 나타난 것으로 사료된다. 전체적으로, 플레이트의 두께 증가는 콘크리트 파괴 강도 향상에 기여하는 것으로 나타났다. 여기서 주의할 점은 플레이트의 휨 거동 및 콘크리트의 유효 문힘깊이를 동시에 고려했을 때 플레이트의 두께 변화에 대한 영향을 정확히 평가할 수 있는 것으로 조사되었다.

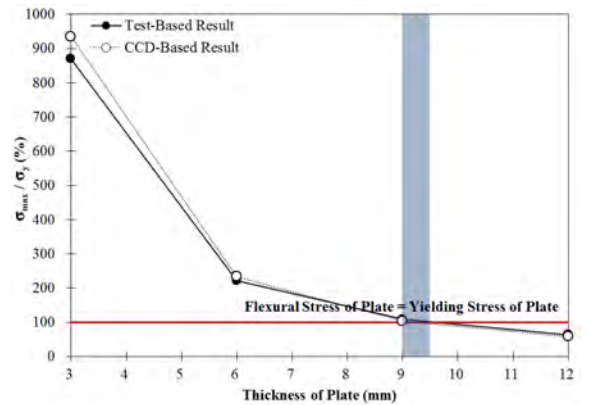
## 4.2 탄성해석모델과 실험 결과의 비교

이 절에서는 2.2절의 탄성론 기반 단순화된 탄성해석 모델을 이용하여 산정된 플레이트의 휨 응력과 실험을 통해 나타난 플레이트의 휨 응력을 비교하였다. Fig. 8은 플레이트의 너비(Fig. 8(a))와 두께(Fig. 8(b))증가에 의해 나타난 플레이트 항복 응력에 대한 플레이트의 휨 응력의 비(휨-항복 응력 비, %)를 나타낸 것이다. Fig. 8에서 접선은 2.2절에서 언급한 것과 같이 CCD이론에 의해 산정된 콘크리트 파괴강도에 대한 탄성론 기반 탄성해석모델을 이용하여 플레이트의 휨-항복 응력 비를 제시한 것이며, 실선은 실험을 통해 나타난 콘크리트 파괴 강도를 바탕으로 산정한 플레이트의 휨-항복 응력 비를 보여준다.

Fig. 8(a)와 (b)에 나타난 것과 같이 CCD이론 기반의 탄성해석모델을 이용하여 플레이트의 휨 응력과 항복 응력이 가장 근접하는 플레이트의 너비와 두께는 휨-항복 응력 비가 103.4%수준에 이르는 PL130×9 mm로 조사되었다. 그러나, 실험을 통해 나타난 플레이트의 휨-항복 응력비가 가장 근접하는 플레이트의 크기는 플레이트의 두께와 너비 증가에 따라 각각 다르게 나타났다. Fig. 8(a)에서 플레이트 너비 증가에 의한 휨-항복 응력 비를 살펴봤을 때 실험 기반 휨-항복 응력 비가 102.7%수준에 해당하는 플레이트는 PL120×9 mm로 조사되었다. 또한, Fig. 8(b)에서는 PL130×9 mm의 플레이트가 108.6%의 실험기반 휨-응력 비를 갖는 것으로 나타났다. 실험 결과를 바탕으로 나타난 플레이트(PL110×9 mm, PL130×9 mm)와 CCD 이론 기반의 탄성해석모델을 이용한 휨-항복 응력 비의 차이는 약 5~6%로 조사되었다. CCD이론 기반의 탄성해석모델의 휨-항복 응력 비가 실험 결과에 비해 다소 과



(a) Increment of the width of the anchor plate



(b) Increment of the thickness of the anchor plate

Fig. 8 Comparison on ratio of flexure-yielding stress between analysis and experiment

소평가 되었다. 이러한 차이는 이 연구에서 탄성해석모델의 단순화시키는 과정에서 콘크리트의 부착응력 등 콘크리트 파괴 강도에 영향을 미칠 수 있는 요소들을 고려되지 않은 점과 실험에서 나타난 오차에 기인한 것으로 사료된다. 보다 정확한 예측을 위해서 앵커시스템의 콘크리트 파괴 강도에 영향을 미칠 수 있는 요소들을 추후 연구에 추가 반영해야 할 것이다. 그러나, 그 차이가 5% 내외로 실험 결과와 CCD이론에 의해 결정된 플레이트의 너비 및 두께에 대한 휨-항복 응력은 비교적 잘 일치하는 것으로 판단된다. 따라서, 앵커의 문힘깊이가 얇은 콘크리트의 경우, 탄성론에 의해 플레이트의 영향을 검토할 수 있는 단순화된 탄성해석모델은 플레이트의 두께와 너비 증가에 의한 콘크리트 파괴 강도의 영향을 비교적 잘 예측할 수 있는 것으로 나타났다.

## 5. 결 론

이 연구에서는 중단열 외벽 시스템과 같은 얇은 콘크리트 패널에 사용되는 앵커의 인장 실험을 통해 플레이트의 너비와 두께의 증가가 콘크리트 파괴 강도에 미치는 영향을 조사하였다. 이 연구를 통해 나타난 결론을 정리하면 다음과 같다.



- 1) 플레이트가 고려되지 않은 단일 앵커에 비해 플레이트가 적용된 앵커 시스템의 콘크리트 파괴 강도는 플레이트의 너비 또는 두께의 증가에 의해 최소 30%에서 60%까지 향상(Fig. 7 참고)되는 것으로 나타났다. 그러나, 플레이트의 너비 또는 두께를 지속적으로 증가시켰을 때 콘크리트 파괴 강도의 향상 수준(Fig. 7 참고)은 감소하는 것으로 조사되었다. 이는 플레이트에 과도한 휨 변형이 발생하거나 콘크리트 유효 묻힘깊이가 낮아졌기 때문이다.
- 2) 이 연구에서 고려한 탄성론 기반의 단순화된 해석모델을 이용하여 CCD이론(너비&두께: PL130×9 mm)과 실험(너비: PL110×9 mm, 두께: PL130×9 mm)을 통해 나타난 플레이트의 휨 응력을 비교했을 때, 그 차이는 약 5~6%정도의 차이로 나타났다. 따라서, 중단열 외벽 시스템과 같이 얇은 콘크리트 패널(두께: 40~100 mm)에 대하여 이 연구에서 사용된 탄성해석 모델은 콘크리트 파괴 강도에 대한 플레이트의 영향을 비교적 잘 예측 할 수 있는 것으로 나타났다.

이 연구에서 나타난 해석 및 실험은 얇은 콘크리트 패널에 사용되는 앵커시스템을 대상으로 제한적으로 수행되었다. 단순화된 탄성해석모델을 이용한 플레이트에 대한 영향의 평가 및 플레이트의 너비/두께 결정 방법을 제시하기 위해서, 다양한 콘크리트 매입 두께, 플레이트의 크기, 형상 그리고 강도를 고려한 방대한 양의 실험과 해석 연구가 추후에 수행되어야 한다.

## 감사의 글

이 연구는 한국건설기술연구원 주요사업((12-주요)단열 성능이 향상된 중단열 외벽시스템 개발)의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

## References

1. You, Y. C., Kim, J. H., Kim, H. R., and Choi, K. S., "Flexural Behavior of Insulated Concrete Sandwich Wall Panels Reinforced with Glass Fiber-Reinforced Polymer

- Shear Grids by Using Different Types of Insulation," *Journal of Architectural Institute of Korea*, Vol. 27, No. 11, 2011, pp. 61-70.
2. PCI, "State of the Art of Precast Prestressed Sandwich Wall Panels," *PCI Journal*, Vol. 42, No. 3, 1997, pp. 32-48.
3. PCI, "State of the Art of Precast Prestressed Sandwich Wall Panels," *PCI Journal*, Vol. 42, No. 2, 1997, pp. 19-32.
4. Yang, K. H. and Ashour, A. F., "Mechanism Analysis for Concrete Breakout Capacity of Single Anchors in Tension," *ACI Structural Journal*, Vol. 105, No. 5, 2008, pp. 609-616.
5. Zhao, L. H., Li, L., Yang, F., and Liu, X., "Joined Influences of Nonlinearity and Dilation on the Ultimate Pullout Capacity of Horizontal Shallow Plate Anchors by Energy Dissipation Method," *International Journal of Geomechanics (ASCE)*, Vol. 11, No. 3, 2011, pp. 195-201.
6. Sawwaf, M. E. and Nazir, A. "The Effect of Soil Reinforcement on Pullout Resistance of a Existing Vertical Anchor Plate in Sand," *Computers and Geotechnics*, Vol. 33, No. 3, 2006, pp. 167-176.
7. Fuchs, W., Eligehausen, R., and Breen, J. E., "Concrete Capacity Design (CCD) Approach for Fastening to Concrete," *ACI Structural Journal*, Vol. 92, No. 6, 1995, pp. 794-802.
8. Shirvani, M., Klingner, R. E., and Graves, H. L., "Breakout Capacity of Anchors in Concrete-Part 1: Tension," *ACI Structural Journal*, Vol. 101, No. 6, 2004, pp. 812-820.
9. Korea Concrete Institute, *Concrete Design Code and Commentary*, Kimoondang Publishing Company, Korea, 2012, pp. 463-506.
10. ACI, *Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-11) and Commentary: Appendix D-Anchoring to Concrete*, American Concrete Institute, USA, 2011, pp. 318-409.
11. PCA, *Note on ACI 318-08 Building Code Requirements for Structural Concrete with Design Application: 34. Anchoring to Concrete*, Portland Cement Association, 2008, pp. 34-1~34-15.
12. Kim, S. Y., Seo, S. Y., and Kim, K. S., "Tensile Strength of Expansion Anchors Installed in Uncracked and Unreinforced Concrete," *Journal of Architectural Institute of Korea*, Vol. 19, No. 11, 2003, pp. 83-92.

**요약** 이 연구는 플레이트의 추가가 중단열 외벽 시스템과 같은 얇은 콘크리트 패널에 설치되는 단일 앵커 콘크리트의 파괴 강도에 미치는 영향을 평가하였다. 탄성론 기반의 단순화된 해석모델을 이용하여 CCD(concrete capacity design)이론을 통해 나타난 콘크리트 파괴 강도에 대한 플레이트의 휨 응력을 예측하였으며, 실험을 통해 나타난 플레이트의 휨 응력과 비교하였다. 앵커의 콘크리트 파괴 강도에 대한 실험은 100 mm의 얇은 패널을 대상으로 수행되었으며, 플레이트의 크기는 플레이트의 휨 응력과 항복 응력이 가장 근사값을 갖는 PL130×9 mm를 기준으로 계획되었다. 실험 결과를 통해, 플레이트의 너비 또는 두께 증가에 의해 콘크리트 파괴 강도는 향상되는 것으로 나타났지만, 콘크리트 파괴 강도의 향상 수준은 지속적으로 감소하는 것으로 나타났다. 또한, 탄성론 기반의 단순화된 탄성해석모델을 이용하여 해석과 실험 결과를 비교했을 때, 콘크리트 파괴 강도에 대한 플레이트의 영향을 비교적 잘 부합하는 것으로 나타났다.

**핵심용어** : 콘크리트 파괴 강도, 앵커 플레이트의 영향, 얇은 콘크리트 패널, 탄성론 기반의 단순해석모델