

철근 콘크리트 보의 보강을 위한 하이브리드 조립형 보강기법에 관한 해석적 연구

Analytical Study on Hybrid Prefabricated Retrofit Method for Reinforced Concrete Beams

문 상 필*
Moon, Sang-Pil

이 성 호**
Lee, Sung-Ho

이 영 학***
Lee, Young-Hak

김 민 숙****
Kim, Min-Sook

Abstract

In this paper, the hybrid prefabricated retrofit method that improve structural performance and reduce construction period was developed by using a finite element analysis. The hybrid prefabricated retrofit method consist of a Z-shaped side plate, a L-shaped lower plate, and a bottom plate containing an steel plate with openings. This shape has advantage that a retrofit method is possible regardless of the size of the beams and a follow-up process such as reinforcement bars placing are not required. The finite element analysis of hybrid Prefabricated retrofit method showed the most ideal stress distribution when the thickness of bottom plate was 10mm, the thickness of the L-shaped lower plate was 5mm, the thickness of the Z-shaped side plate was 2.5mm, and the bolt spacing was 200mm. The bending strength equation of Hybrid prefabricated retrofit method was proposed through the plastic stress distribution method in KDS 41 31 00. The result of Comparison the proposed equation with the finite element analysis, it is determined that the design of hybrid prefabricated retrofit method is possible through the KDS 41 31 00.

Keywords : Hybrid prefabricated retrofit method, Seismic retrofit, Finite element analysis, Stress analysis

1. 서론

철근 콘크리트 구조물이 사용 기간 중 충분한 기능을 발휘하기 위해서는 구조물의 안전성을 검토하여야 하며, 노화나 파손 부위가 발생할 경우 보수 및 보강을 통해 안전성을 확보하여야 한다¹⁾. 특히 최근 국내에서 발생한 지진피해는 2005년 개정된 내진설계기준 이전에 지어진 비내진상세를 갖는 건축물에서 대부분 발생하였다. 따라서 이러한 비내진상세를 갖는 건축물의 성능 및 안정성을 향상시키기 위해 내진 성능을 보강할 필요가 있다.

일반적으로 내진보강공법은 주로 기둥과 같은 수직 부재 또는 보-기둥 접합부를 보강하는 것에 초점이 맞춰져 있다. 그러나 수직 부재만 보강할 경우 수평 부재와 수직 부재의 강성 차이로 인해 수평 부재에 하중이 집중되어 파괴가 발생할 수 있으므로 수평 부재도 함께 보강되어야 한다.

기존 수평 부재의 내진보강은 부재 외부에 강판 및 FRP를 부착하거나 부재의 단면을 증설하는 등의 공법을 주로 사용하고 있다. 부착공법은 부착재료의 열화 및 탈락 등으로 인한 부착파괴가 발생할 수 있으며, FRP 재료를 사용할 경우 재료 자체의 파단변형률이 작으므로 연성이 작아 취성파괴의 위험이 있다^{2),3)}. 단면증설은 추가 단면에서의 주철근에 대한 적절한 정착과 구속이 이루어진다면 부재의 강성, 내력 및 연성 향상에 유리할 수 있다. 반면 건물의 중량이 증대되고 건물의 이용공간이 좁아지며 시공 시 넓은 공간이 필요하다는 문제점이 있다^{4),5)}. 이에 따라 본 연구에서는 최근 많은 연구가 진행된 하이브리드보를 적용하여 기존 내진보강공법의 문

* 주저자, 학생회원, 경희대학교 건축공학과, 석사과정
Architectural Engineering, Kyung Hee University
** 정회원, 경희대학교 재정운영본부 특임교수
Financial Management Div., Kyung Hee University
*** 정회원, 경희대학교 건축공학과 교수
Architectural Engineering, Kyung Hee University
**** 교신저자, 정회원, 경희대학교 건축공학과 학술연구교수
Architectural Engineering, Kyung Hee University
Tel: 031-201-2864 Fax: 031-204-8114
E-mail: kimminsook@khu.ac.kr

제점을 개선하고자 하였다. Cho & Kim(2016)은 합성보와 하이브리드보의 개념을 적용시킨 HyFo 합성보를 개발하여 실험을 통해 부재의 휨성능을 평가하였다. 실험 결과, 기존 합성보 내력평가식을 HyFo 합성보에 적용 가능하다는 것을 보였다⁶⁾. Jun et al.(2017)은 고강도강재를 적용한 비대칭 하이브리드 합성보의 휨성능을 실험적으로 평가하여 소성중립축의 높기와 최대 휨강도의 관계로부터 소성중립축의 높이가 단면 내에서 높은 위치에 있을수록 합성보의 강도 발현과 연성능력에 유리함을 확인하였다⁷⁾. 하이브리드 구조시스템은 신축 구조물에 관하여 많은 연구가 진행되었으나 구조부재의 보강 또는 내진보강공법에 적용이 미미한 실정이다.

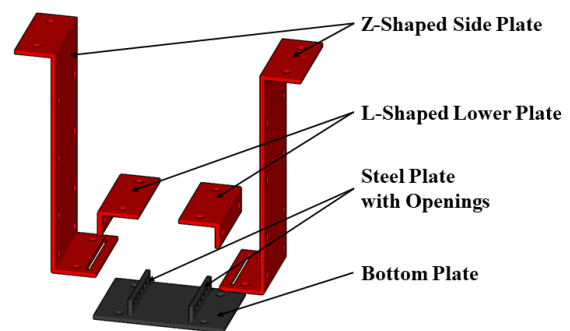
따라서 본 연구에서는 기존 공법의 시공성을 개선하여 구조성능 향상 및 공기 단축이 가능한 하이브리드 조립형 보강공법의 상세를 제안하는 것을 목표로 하였다. 이를 위해 하이브리드 조립형 보강공법의 형상을 제안한 후 유한요소해석을 통해 응력해석을 수행하여 하이브리드 조립형 보강공법의 상세를 도출하였다.

2. 하이브리드 조립형 보강공법 형상 제안

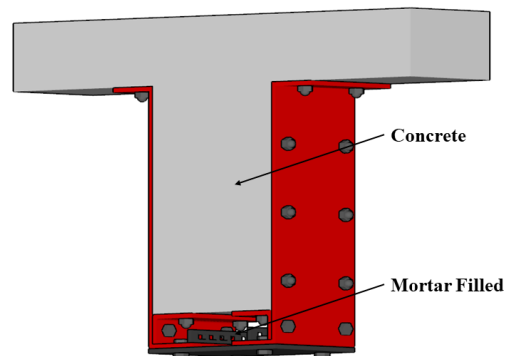
하이브리드보는 소성중립축에서 가장 먼 위치에 존재하는 강재보 하부 플랜지에서 가장 큰 인장력을 받는다. 대부분의 압축력은 콘크리트 슬래브에서 부담하고 하부 플랜지와 콘크리트 슬래브에서 우력을 형성하여 부재의 휨모멘트에 대한 저항능력을 형성해 가력된 하중에 저항한다⁷⁾. 그러나 하이브리드보는 전단스터드와 같은 접합부로 콘크리트와 결합된 형상으로 일체성이 낮으며, 휨 저항 시 웹에서 국부파괴가 발생할 수 있는 불안정성이 있다⁸⁾.

본 연구에서 하이브리드의 개념을 적용시킨 하이브리드 조립형 보강공법을 <Fig. 1>과 같이 제안하였다. 하이브리드 조립형 보강공법은 L자 형태의 하부판과 Z형상의 측판, 유공형보강재가 수직방향으로 가공된 바닥판으로 구성된다. 케미칼 앵커를 이용하여 2개의 L자형 하부판과 Z형 측판을 콘크리트에 접합하고, 고장력볼트를 이용하여 Z형 측판과 L자형 하부판을 접합시킨다. Z형 측판에 바닥판을 삽입한 후 고장력볼트로 접합시켜 내부를 모르타르 채움을 하여 마무리한다. 이는 기존 보 증설보강 방법에 비해 단순한 시공을 기대할 수 있다.

본 연구에서 개발하고자 하는 하이브리드 조립형 보강공법은 L자형 하부판과 Z형 측판을 볼트로 조립하는 형상이다. 이는 증설 부위의 깊이 조절 및 보의 형상에 상관없이 자유로운 설계가 가능하며, 바닥판에 인장 및 전단 보강 역할을 하는 유공형 보강재가 설치된 형태로 보강 부위에 추가적인 철근 및 전단보강재를 설치하는 후속 공정이 요구되지 않는다. 또한 바닥판의 유공형 보강재가 Z형 측판에 삽입되어 볼트접합 후 모르타르를 채워줌으로써 효과적인 일체화가 이루어진다.



(a) Shape of steel plate



(b) Modeling of retrofit

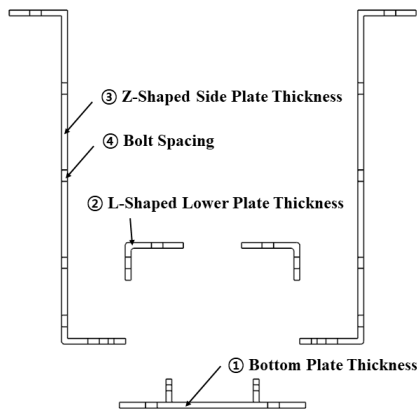
<Fig. 1> Hybrid prefabricated retrofit method

3. 상세 제안을 위한 유한요소해석

3.1 유한요소해석 개요

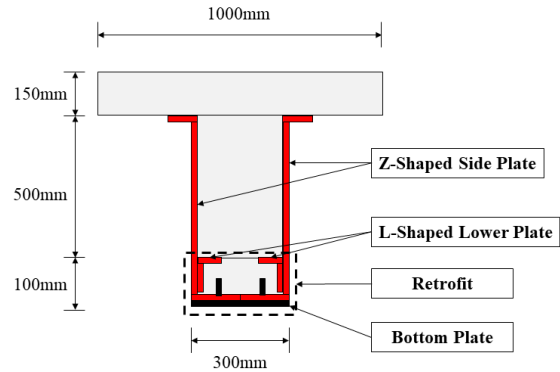
본 연구에서는 기존 철근 콘크리트 보에 효과적인 보강이 가능한 하이브리드 조립형 보강공법의 상세를 제안하는 것을 목표로 하므로 제안한 형상을 적용한 철근 콘크리트 보에서 발생하는 응력분포를 평가하기 위하여 범용해석프로그램인 ANSYS 16.0을 사용하였다. 하이브리드 조립형 보강공법의 상세 도출을 위해 ① 바닥판의

두께, ② L자형 하부판의 두께, ③ Z형 측판의 두께, ④ 볼트 간격을 해석변수로 고려하였으며, 각 변수에 해당하는 부분을 <Fig. 2>에 나타내었다. 해석모델은 바닥판의 두께 10mm, L자형 하부판과 Z형 측판의 두께 5mm, 볼트 간격 200mm를 기본 설정으로 하여 해석을 수행하였다. 형상 개발은 각 변수를 고려한 유한요소해석을 통해 효율적인 응력 및 변형을 발생시키는 상세의 치수를 조합하여 최종 상세를 도출하는 방식으로 진행하였다.



<Fig. 2> Variables for developed hybrid prefabricated retrofit method

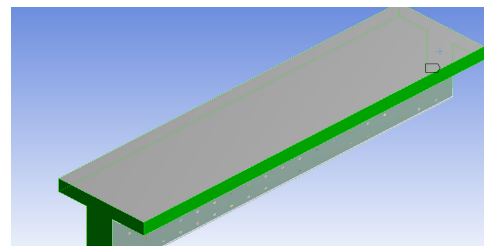
해석모델의 단면 형상은 <Fig. 3>과 같이 T형보로 설계하였다. 콘크리트 부재의 크기는 슬래브 1,000 x 150mm, 보 300 x 650mm, 보강 부위 300 x 100mm, 길이 4,000mm로 설계하였다. 모든 보강 플레이트의 볼트 구멍 지름은 20mm이며, Z형 측판에 바닥 플레이트가 삽입되는 구멍은 지름 10mm로 설계하였다. 해석모델에 사용된 콘크리트는 압축강도 24MPa, 탄성계수 24,500MPa, 강재 및 볼트는 항복강도 250MPa, 극한인장강도 460MPa, 탄성계수 200,000MPa를 사용하였으며 <Table 1>에 재료의 물성치를 정리하였다. 지점조건은 콘크리트 4개의 측면을 Fixed support로 설정하였으며, 하중조건은 콘크리트 윗면에 500kN의 하중을 분포하중으로 가력하였다. 볼트접합부는 용접 또는 완전 접촉 상태를 고려하기 위하여 Bonded type으로 설정하였으며, 플레이트와 콘크리트 접촉면은 No separation type으로 설정하여 두 부재 사이에 접촉면 방향으로 약간의 Sliding을 허용하였다. 지점조건 및 하중조건, 부재간 접촉면 정의는 모든 해석모델에 동일하게 적용하였으며, 지점조건 및 하중조건은 <Fig. 4>에 나타내었다.



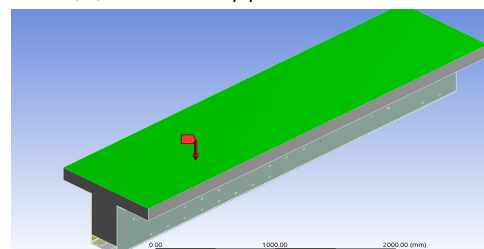
<Fig. 3> Section of hybrid prefabricated retrofit method

<Table 1> Material properties for finite element analysis

	Compressive strength (MPa)	Modulus of elasticity (MPa)	Poisson's ratio
Concrete	24	24500	0.18
	Yield strength (MPa)	Ultimate tensile strength (MPa)	Modulus of elasticity (MPa)
Steel, Bolt	250	460	200000
			Poisson's ratio
			0.3



(a) Fixed support of model



(b) Loaded face of model

<Fig. 4> Support and load condition

3.2 변수별 유한요소해석 결과

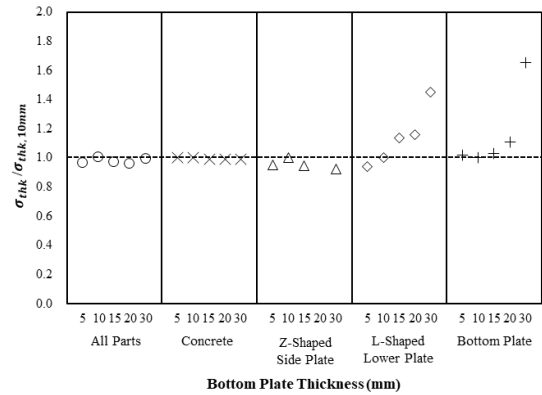
3.2.1 바닥판 두께에 따른 해석 결과

하이브리드 조립형 보강공법에서 최하단부에 위치한 바닥판은 가장 큰 인장력을 받는 부재로서 바닥판의 두께에 따라 구조물의 처짐 및 파괴양상이 달라질 수 있다. 특히 두께가 과도하게 큰 경우 하중이 증가함에 따라 콘크리트의 최대압축력을 초과하여 콘크리트 압괴가 발생할 수 있어 효율적인 두께를 제안하는 것을 목표로 하였다. 바닥판의 두께는 5mm, 10mm, 15mm, 20mm, 30mm에 변화를 주어 유한요소해석을 수행하였으며, 해석 결과는 <Table 2>에 정리하였다.

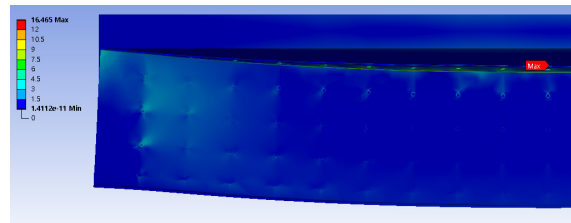
모든 해석모델은 슬래브 하부와 Z형 측판 사이의 볼트 부분에서 최대응력이 발생하였으며, 두께가 증가함에 따라 해석모델의 처짐량은 감소하였다. 바닥판의 두께 변화에 따른 콘크리트 및 Z형 측판의 응력변화는 미미하였으나 두께가 증가할수록 L자형 하부판과 바닥판의 볼트 구멍에서 응력이 증가하는 것을 관찰하였다. 이는 바닥판 두께가 증가함에 따라 콘크리트와 바닥판의 처짐량에 차이가 생겨 볼트에서 많은 응력을 부담하는 것으로 판단된다. 바닥판의 두께가 15mm 이상인 경우 바닥판의 연성 파괴 이전에 볼트의 전단 파괴가 발생할 우려가 있으며, 5mm와 10mm 바닥판의 응력을 비교하면 응력이 감소하는 것을 관찰할 수 있다. 이에 따라 바닥판의 두께는 응력 및 변형률의 증가가 없는 10mm로 결정하였다. 바닥판의 두께 변화에 따른 최대응력을 비교하여 <Fig. 5>에 나타내었다. <Fig. 6>은 바닥판의 두께가 10mm인 해석모델의 응력분포 및 바닥판의 응력분포를 나타낸다.

3.2.2 L자형 하부판 두께에 따른 해석 결과

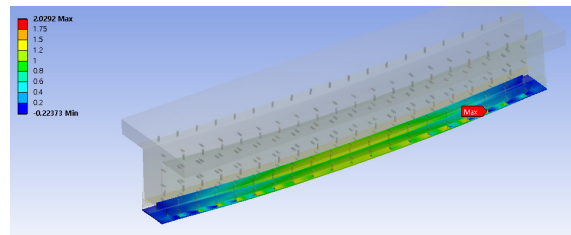
L자형 하부판은 기존 철근 콘크리트 보 하부에 설치되어 보강 부위와 기존 구조물의 일체성을 확보하기 위한 부재이므로 처짐량의 변화가 상대적으로 적으며 연성 파괴까지 구조물의 일체화를 유지할 수 있는 두께를 제안하는 것을 목표로 하였다. L자형 하부판의 두께는



<Fig. 5> Comparison of maximum stress with various bottom plate thickness



(a) Stress distribution



(b) Stress distribution on bottom plate

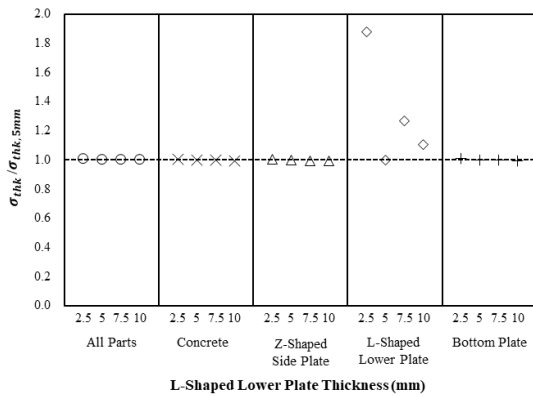
<Fig. 6> Stress distribution of model with thickness 10mm on bottom plate

2.5mm에서 10mm까지 2.5mm씩 증가하여 해석을 수행하였으며 해석 결과는 <Table 3>과 같다.

콘크리트 및 Z형 측판, 바닥판에서 발생한 응력은 L자형 하부판의 두께 변화에 따라 미미하게 감소하였으나 <Fig. 7>과 같이 L자형 하부판은 두께가 2.5mm일 때

<Table 2> Maximum stress of hybrid prefabricated retrofit method by bottom plate thickness variation

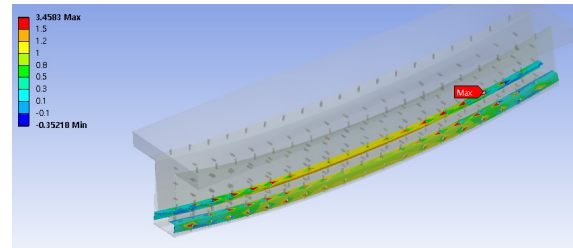
Thickness (mm)	Maximum stress (MPa)					Deformation (mm)
	All parts	Concrete	Z-shaped side plate	L-shaped lower plate	Bottom plate	
5	15.88	4.06	14.94	1.72	2.06	0.034988
10	16.47	4.06	15.73	1.84	2.03	0.034799
15	15.91	4.02	14.90	2.09	1.91	0.034647
20	15.77	4.02	15.70	2.14	2.24	0.034525
30	16.26	4.02	14.48	2.66	3.35	0.034379



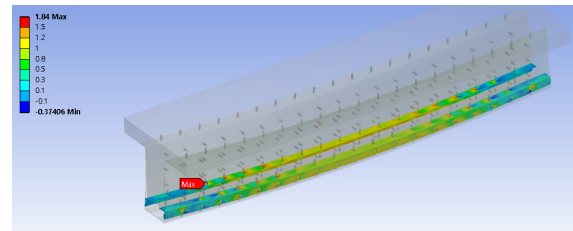
〈Fig. 7〉 Comparison of maximum stress with various L-shaped lower plate thickness

최대응력이 발생하였으며, 두께가 5mm일 때 가장 낮은 응력을 보였고, 두께가 7.5mm 이상부터 다시 응력이 증가하였다. 〈Table 4〉 및 〈Table 5〉에 정리된 것과 같이 Z형 측판의 두께, 볼트 간격에 대한 변수해석을 수행한 결과에서도 L자형 하부판의 응력변화 패턴이 모두 유사하게 나타난 것으로 보아 L자형 하부판의 두께가 응력에 미치는 영향이 미미한 것으로 판단된다. 그러나 최대응력이 볼트 구멍 내에서 발생한 것으로 보아 볼트로 인한 지압과괴가 발생할 우려가 있으므로 가장 작은 응력이 발생한 5mm 두께로 결정하였다. 〈Fig. 8〉은 두께 변화에 따른 L자형 하부판의 응력분포를 나타내며, 최대응력은 양단부에서 발생하였다.

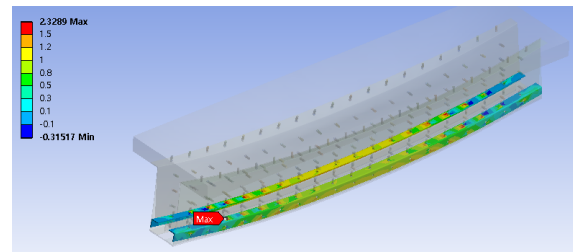
3.2.3 Z형 측판 두께에 따른 해석 결과



(a) Stress distribution with thickness 2.5mm



(b) Stress distribution with thickness 5mm



(c) Stress distribution with thickness 7.5mm

〈Fig. 8〉 Stress distribution of model on L-shaped lower plate

Z형 측판은 기존 보의 측면에 설치되어 지진과 같은 횡력 발생 시 보에 발생하는 비틀림에 대해 저항하기 위한 부재이다. 또한 Z형 측판의 두께가 증가하면 콘크리

〈Table 3〉 Maximum stress of hybrid prefabricated retrofit method by L-shaped lower plate thickness variation

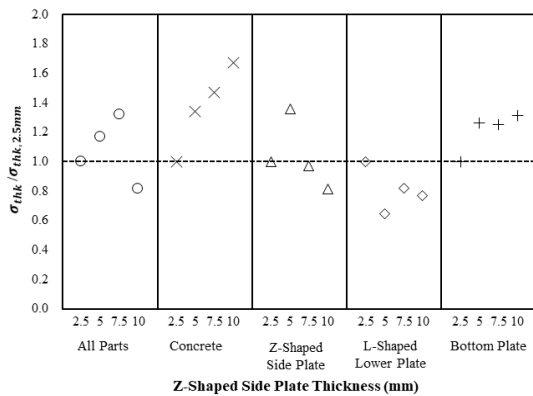
Thickness (mm)	Maximum stress (MPa)					Deformation (mm)
	All parts	Concrete	Z-shaped side Plate	L-shaped lower plate	Bottom plate	
2.5	16.51	4.07	15.78	3.46	2.05	0.034876
5	16.47	4.06	15.73	1.84	2.03	0.034799
7.5	16.42	4.05	15.62	2.33	2.03	0.034737
10	16.39	4.04	15.58	2.03	2.02	0.034671

〈Table 4〉 Maximum stress of hybrid prefabricated retrofit method by Z-shaped side plate thickness variation

Thickness (mm)	Maximum stress (MPa)					Deformation (mm)
	All parts	Concrete	Z-shaped side plate	L-shaped lower plate	Bottom plate	
2.5	14.13	3.02	11.58	2.85	1.61	0.035375
5	16.47	4.06	15.73	1.84	2.03	0.034799
7.5	18.60	4.44	11.23	2.33	2.01	0.033993
10	11.49	5.06	9.41	2.19	2.10	0.033251

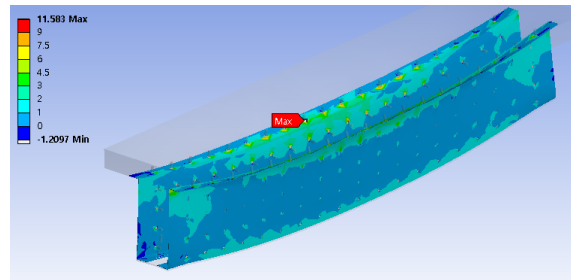
트와 플레이트 간의 처짐 차이가 생겨 콘크리트의 압괴가 발생할 수 있기 때문에 Z형 측판의 적절한 두께를 결정하는 것을 목표로 하였다. Z형 측판의 두께는 2.5mm에서 10mm까지 2.5mm씩 증가시켜 해석을 수행하였으며, 해석 결과는 <Table 4>에 정리하였다.

해석 결과, 해석모델의 최대응력은 Z형 측판의 두께가 얇으면 슬래브 하부와 Z형 측판 사이의 볼트에서 발생하였고, 두께가 증가할수록 슬래브와 보의 경계면에 위치한 콘크리트에서 발생하였다. 이는 두께에 따라 플레이트 경계면의 라운드 지름도 동일하게 증가하여 콘크리트와의 이격거리가 늘어나 콘크리트에 응력이 증가된 것으로 판단된다. <Fig. 9>와 같이 Z형 측판의 두께가 증가할수록 콘크리트가 부담하는 응력은 증가하였으며 플레이트가 부담하는 응력은 감소하였다.



<Fig. 9> Comparison of maximum stress with various Z-shaped side plate thickness

구조물에서 가장 취약한 부재인 콘크리트에 발생하는 응력이 증가하게 되면 강재의 항복보다 콘크리트의 파괴가 먼저 발생하여 취성파괴가 발생할 수 있다. 또한 Z형 측판은 강재량이 가장 많은 부재이므로 경제적인 설계를 위해서는 두께를 최소화하는 것이 적절하다. 따라서 Z형 측판의 두께는 콘크리트에 발생하는 응력을



<Fig. 10> Stress distribution of model with thickness 2.5mm on Z-shaped side plate

줄이기 위해 라운드 지름이 가장 작은 2.5mm로 결정하였다. <Fig. 10>은 Z형 측판의 두께가 2.5mm인 해석모델의 응력분포 및 변형분포, Z형 측판의 응력분포를 나타낸다.

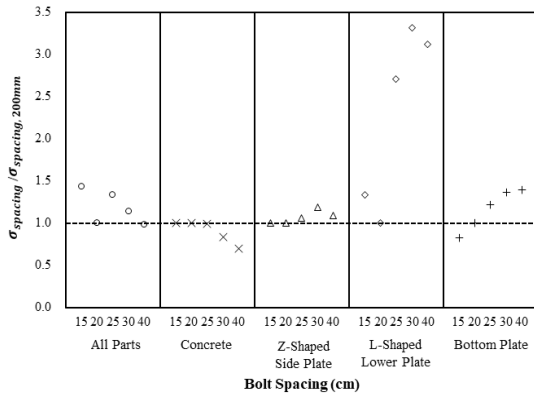
3.2.4 볼트 간격에 따른 해석 결과

하이브리드 조립형 보강공법은 기존 철근 콘크리트 보와 플레이트 혹은 플레이트와 플레이트 간 접합을 볼트접합을 통해 시공이 이루어진다. 볼트의 간격은 각 부재 간의 일체화 거동 및 응력분산에 가장 큰 영향을 미치는 변수이므로 효율적인 응력분산이 가능한 볼트 간격을 목표로 하였다. 볼트 간격은 150mm, 200mm, 250mm, 300mm, 400mm로 변화를 주어 유한요소해석을 수행하였으며, 해석 결과를 <Table 5>에 정리하였다.

볼트 간격이 구조물의 처짐에 미치는 영향은 거의 없었으나, 볼트의 간격이 늘어남에 따라 콘크리트에서 발생하는 응력이 감소하였으며 볼트 구멍 내부에서 응력이 증가하는 양상이 관찰되었다. 이는 간격이 늘어남에 따라 볼트의 개수가 줄어 각각의 볼트가 부담해야 하는 응력이 커져 볼트 구멍 내부에서 지압응력이 증가하였다고 판단된다. <Fig. 11>과 같이 볼트 간격이 250mm 이상부터는 플레이트에 발생하는 응력이 증가하므로 비교적 균일한 응력분포 및 변형을 분포를 보인 볼트 간격 200mm로 결정하였다.

<Table 5> Maximum stress of hybrid prefabricated retrofit method by bolt spacing variation

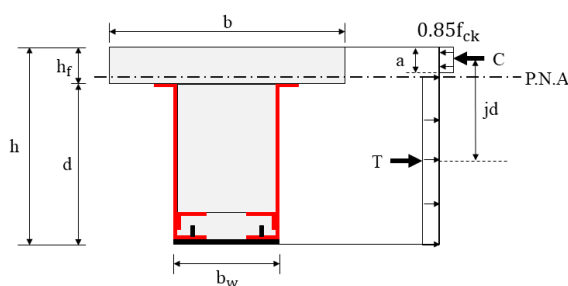
Thickness (mm)	Maximum stress (MPa)					Deformation (mm)
	All parts	Concrete	Z-shaped side plate	L-shaped lower plate	Bottom plate	
150	23.62	4.05	15.69	2.45	1.68	0.034861
200	16.47	4.06	15.73	1.84	2.03	0.034799
250	22.04	4.02	16.67	4.97	2.46	0.034898
300	18.78	3.37	18.65	6.59	2.77	0.034813
400	16.23	2.81	17.11	6.03	2.83	0.034951



〈Fig. 11〉 Comparison of maximum stress with various bolt spacing

4. 국내설계기준에 따른 적용성 평가

국내 강구조 설계기준인 KDS 41 31 00⁹⁾에 따르면 합성단면의 공칭강도는 소성응력분포법 또는 변형률적합법에 따라 결정한다. 본 연구에서 수행한 해석모델은 〈Fig. 12〉와 같이 소성중립축이 콘크리트 슬래브 내에 위치하므로 소성응력분포법에 따른 합성보 공칭휨강도 산정식과 동일한 원리로 산정하였다. 소성중립축이 콘크리트 슬래브 내 위치한 경우 공칭휨강도는 소성중립축을 중심으로 압축영역 중심과 인장영역 중심 간의 거리에 강재의 인장력을 곱하여 산정한다. 공칭휨강도 산정식은 식 (1)~(4)와 같다.



〈Fig. 12〉 Hybrid prefabricated retrofit method with P.N.A in concrete slab

$$M_n = T \times jd \quad (1)$$

$$T = A_s F_y + A_l F_y + A_b F_y + A_{bo} F_y \quad (2)$$

$$jd = \frac{A_s d_{sc} + A_l d_{lc} + A_b d_{bc} + A_{bo} d_{boc}}{A_s + A_l + A_b + A_{bo}} - \frac{a}{2} \quad (3)$$

$$a = \frac{T}{0.85 f_{ck} b} \quad (4)$$

여기서, M_n 은 공칭휨강도, T 는 강재의 인장력, A_s 는 Z형 측판의 단면적, A_l 은 L자형 하부판의 단면적, A_b 는 바닥판의 단면적, A_{bo} 는 바닥판에 설치된 유공형 보강재의 단면적, F_y 는 강재의 항복강도, jd 는 압축영역 중심과 인장영역 중심 간의 거리, d_{sc} 는 압축최단에서 Z형 측판 도심까지의 거리, d_{lc} 는 압축연단에서 L자형 하부판 도심까지의 거리, d_{bc} 는 압축연단에서 바닥판 도심까지의 거리, d_{boc} 는 압축연단에서 유공형보강재 도심까지의 거리, f_{ck} 는 콘크리트의 압축강도, b 는 콘크리트 슬래브의 폭을 의미한다.

하이브리드 조립형 보강공법 산정식의 적용성을 평가하고자 인장연단에 위치하여 휨에 영향이 큰 바닥판의 두께를 변수로 하여 유한요소해석에서 사용된 해석모델에 따른 하이브리드 조립형 보강공법의 휨강도와 국내 설계기준에 따른 산정식을 이용한 휨강도를 비교하여 〈Table 6〉에 나타내었다. 유한요소해석과 산정식의 결과를 비교하였을 때 휨강도의 차이는 약 0.99로 미미하였다.

유한요소해석과 산정식의 휨강도 비교를 통하여 국내 설계기준에서 제시하고 있는 소성응력분포법을 이용한 하이브리드 조립형 보강공법 산정식으로 휨 설계가 가능한 것으로 판단된다. 또한 하이브리드 조립형 보강공법 상세를 도출하기 위한 유한요소해석의 결과가 신뢰성이 있음을 확인하였다.

〈Table 6〉 Comparison bending moment between FEM and KDS code by bottom plate thickness variation

Thickness (mm)	M_n (kN-m)	M_{FEM} (kN-m)	M_n / M_{FEM}
5	1189.1	1187.9	1.001
10	1451.9	1455.6	0.997
15	1712.2	1714.8	0.999
20	1966.5	1969.9	0.998
30	2462.1	2467.6	0.998

5. 결론

본 연구에서는 시공성 및 구조성능이 개선된 하이브리드 조립형 보강공법의 형상을 개발하기 위하여 유한요소해석을 수행하였다. 또한 국내설계기준을 이용하여 개발된 하이브리드 조립형 보강공법의 휨강도 산정식과

유한요소해석 결과와 비교하였다. 연구를 통해 얻은 주요 결론은 다음과 같다.

1) 하이브리드 조립형 보강공법은 L자형 하부판, Z형 측판, 유공형 보강재가 포함된 바닥판으로 구성된다. L자형 하부판과 Z형 측판을 볼트접합하여 보의 크기에 상관없이 보강이 가능하며, 유공형 보강재가 포함된 바닥판으로 인해 보강 부위에 철근 설치 등의 후속 공정이 요구되지 않는다.

2) 구조물의 연성거동 및 볼트의 지압파괴를 고려하여 하이브리드 조립형 보강공법의 상세치수를 결정하였다. 해석 결과, 유공형 보강재가 포함된 바닥판의 두께는 10mm, L자형 하부판의 두께는 5mm, Z형 측판의 두께는 2.5mm, 볼트 간격은 200mm일 때 콘크리트 및 볼트에서 발생하는 응력분포가 가장 이상적인 거동을 하였다.

3) 국내설계기준에서 제시하고 있는 소성응력분포법을 이용한 휨강도 산정식을 통하여 유한요소해석 결과와 비교하였을 때 차이가 미미하였다. 따라서 국내설계기준을 적용하여 하이브리드 조립형 보강공법의 설계가 가능할 것으로 판단된다.

4) 본 연구의 해석으로부터 하이브리드 조립형 보강공법의 상세를 제안하였으며, 국내설계기준을 통한 휨설계의 유효성을 확인하였다. 향후 제안된 하이브리드 조립형 보강공법의 성능을 더욱 정확히 평가하고 신뢰성 높은 해석모델을 제안할 수 있는 추가 실험이 필요할 것으로 판단된다.

감사의 글

이 성과는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. 2019R1A2C1090033).

References

1. Lee, K. S., Jung, J. S., & Lee, J. G., "Seismic Performance Evaluation of Seismic Strengthening Method using SRCF External Connection of Medium and Low-rise R/C Buildings", Journal of the Korea Concrete Institute, Vol.27, No.2, pp.147~155, 2015,

- doi: 10.4334/JKCI.2015.27.2.147
2. Lee, W. C., & Yhim, S. S., "Study on Seismic Performance of RC Column with Super-Flexibility Membrane", Journal of the Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection, Vol.17, No.5, pp.1~12, 2013, doi: 10.11112/jksmi.2013.17.5.001
3. Al-Salloum, Y. A., Siddiqui, N. A., Elsanadedy, H. M., Abadel, A. A., & Aqel, M. A., "Textile-Reinforced Mortar versus FRP as Strengthening Material for Seismically Deficient RC Beam-Column Joints", Journal of Composites for Construction, Vol.15, No.6, pp.920~933, 2011
4. Lee, K. I., Yoon, H. S., & Yang, K. H., "Compressive and Adhesive Strengths of Mortars using Re-emulsification Type Polymer and Ultra-Rapid-Hardening Cement", Journal of the Korea Institute of Building Construction, Vol.18, No.4, pp.329~335, 2018, doi: 10.5345/JKIBC.2018.18.4.329
5. Kim, J., Kwon, M. H., Lim, J. H., & Seo, H. S., "Analytical Study on the Determination of Shape for Connector of Seismic Reinforced Strip", Journal of the Korean Society for Advanced Composite Structures, Vol.4, No.3, pp.1~6, 2013, doi: 10.11004/kosacs.2013.4.3.001
6. Cho, S., & Kim, S., "An Experimental Study on Bending Performance of HyFo Composite Beam", Journal of the Korean Society of Hazard Mitigation, Vol.16, No.6, pp.9~19, 2016, doi: 10.9798/KOSHAM.2016.16.6.9
7. Jun, S. C., Han, K. H., Lee, C. H., & Kim, J. W., "Flexural Testing of Asymmetric Hybrid Composite Beams Fabricated from High-Strength Steels", Journal of Korean Society of Steel Construction, Vol.29, No.3, pp.217~228, 2017, doi: 10.7781/kjoss.2017.29.3.217
8. Hadi, M. N. S., & Yuan, J. S., "Experimental

Investigation of Composite Beams Reinforced with GFRP I-Beam and Steel Bars”, Construction and Building Materials, Vol.144, pp.462~474, 2017

9. KDS 41 31 00, Korean Design Standard, Korea Construction Standard Center, 2019.

- Received : July 03 2020
- Revised : July 22, 2020
- Accepted : July 31, 2020