

# 퍼포본드 FRP를 영구거푸집으로 활용한 합성보의 휨거동에 관한 유한요소해석 연구

국무성<sup>1</sup>, 유승운<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>(주)신한기술개발, <sup>2</sup>관동대학교 토목공학과

## Finite Element Analysis for Bending Behavior of Composite Beam with Perfobond FRP Used as a Permanent Formwork

Kook, Moo-Sung<sup>1</sup> and Yoo, Seung-Woon<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>SinHan Engineering Consultants Co, Ltd

<sup>2</sup>Department of Civil Engineering, Kwandong University

**요 약** 최근 철근 콘크리트 바닥판의 단점을 원천적으로 보완할 목적으로 재료적 측면과 구조적 측면에서 새로운 바닥판 시스템을 개발하려는 노력이 계속 되어 왔다. 본 연구에서는 퍼포본드 FRP를 영구거푸집 및 인장 보강재로 이용한 콘크리트 합성보에 대해 비선형 유한요소해석 프로그램을 활용하여 검증해석을 실시하고 이를 분석하였다. 실험결과와 비교해서 극한파괴하중의 경우 약 8-15% 내외의 차이를 보여 주었으며, 파괴 시 변형도 분포형태는 실험과 유사한 경향을 보여주었다.

**Abstract** In recent years, many efforts have steadily been allocated to develop a new deck system in terms of its materials and structures in order to make up for the shortcomings of reinforced concrete deck. This study implemented and analyzed the verification for concrete composite beam with perfobond FRP as a permanent formwork and the tensile reinforcement, using non-linear finite element analysis program. Approximately 8-15% difference of ultimate failure load between numerical and experimental results were found and showed a similar figure of strain distribution in failure state.

**Key Words** : Perfobond FRP, FEM, Permanent formwork, FRP reinforcement, Composite beam

### 1. 서론

현재 우리나라 전국에 가설되어 있는 도로교 중 바닥판이 있는 거더교 형식의 교량은 전체의 약 30%정도를 차지하고 있으며, 교량 바닥판의 경우 대부분 철근 콘크리트 구조로 가설하고 있다[1]. 콘크리트 교량 바닥판의 경우 차량하중을 직접적으로 받는 부재로서 동결, 용해, 습윤 및 건조 등을 반복적으로 받고, 제설재인 염화칼슘과 같은 부식 촉진제와 직접 접촉하는 부재로서 교량의 타 부재에 비해 쉽게 손상을 입는 경향을 보여주고 있으며, 특히 철근 콘크리트 바닥판의 경우 철근의 부식에 의

한 내구성 저하가 큰 문제로 대두되고 있다.

국내외적으로 FRP(fiber reinforced polymer)가 건설재료로 인식되어 관심을 갖게 된 것은 비교적 최근의 일이다 [6,7,10]. FRP는 다른 건설재료에 비해 고가이므로 주로 구조물의 보수보강 재료로 활용[17]되다가 최근 주 구조부재로의 활용이 시도되고 있다[11,12,14]. 교량 바닥판 건설에서 FRP 판의 이용은 처음 재래의 목재 및 강재 거푸집 대용으로 사용하기 시작하였으나 상대적으로 내구성이 뛰어나고, 경량이며, 방식성능이 뛰어난 FRP 판을 거푸집으로 적극 활용하게 되었다. 그 후 점차 시공성을 향상시키기 위해 콘크리트 양생 후에도 FRP 판을 제거하

본 연구는 중소기업청에서 지원하는 2010년도 산학연공동기술개발사업(000407380110)으로 수행되었음.

\*교신저자 : 유승운(swyoo@kd.ac.kr)

접수일 11년 02월 07일 수정일 (1차 11년 04월 20일, 2차 11년 06월 17일, 3차 11년 07월 06일) 게재확정일 11년 07월 07일

지 않는 영구 거푸집으로 활용하게 되면서, 이를 거푸집 역할 외에 구조부재로서 활용하고자 하는 연구가 최근에 많은 연구자에 의해 진행되고 있다[2,4,8]. FRP 합성 바닥판의 설계 개념은 콘크리트 타설 시 FRP 거푸집 부재만으로 자중과 시공 하중을 지지하고, 향후 콘크리트가 양생 된 후에는 FRP 보강재와 콘크리트가 일체적 합성거동으로 인한 합성단면으로 추가 고정하중과 활하중을 지탱하는 구조 형식이다[3,5].

본 시스템이 효과적으로 기능하기 위해서는 FRP 판과 현장타설 콘크리트의 합성작용이 매우 중요한 역할을 담당한다[2,4]. 본 연구에서는 타설 콘크리트와 FRP 판의 일체 거동을 증진시키기 위해 FRP 판에 에폭시를 이용하여 잔골재를 부착하며, FRP 판의 리브에 구멍을 뚫은 퍼포본드(perfobond) FRP를 활용하여 결합력을 증진시킨다. 여기서, 퍼포본드는 합성구조에서 이종재간의 합성작용을 위한 전단연결재의 한 종류로서 1980년대 후반에 개발되어 최근 각종 구조물의 전단연결재로 사용되고 있다[16].

본 연구는 철근 콘크리트 바닥판 구조형식을 대신할 FRP 합성 콘크리트 구조에 관한 것으로, 이에 대한 구조적 성능 및 거동 특성을 규명하고자 수직하중에 대한 휨저항성능에 대해 수치해석을 수행하고 본 연구자들이 수행한 실험결과[3]와 비교분석을 하고자 한다. 비선형 유한요소해석 소프트웨어인 ABAQUS[13]를 이용하여 3차원 해석 모델을 구성, 비선형해석을 수행하였다. 비선형 해석과 관련하여 철근 및 콘크리트의 대변형에 따른 기하학적 비선형성과 FRP 및 콘크리트의 재료 비선형을 동시에 고려하였으며, 재료 물성은 재료실험을 통하여 얻어진 기본 물성을 바탕으로 이론적인 응력-변형률 관계식을 적용하여 해석에 반영하였다[15].

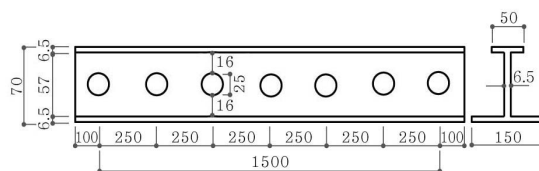
## 2. 실험체 개요 및 형상

본 연구에 사용한 실험 시편 및 비교 실험 시편의 제원은 표 1에 자세히 나타내었다. 본 실험에서는 인장 보강재 및 거푸집으로 FRP 판을 사용하였고 그 외 추가적인 인장 및 전단 보강은 하지 않았으며, 실험시편 제작에 사용한 콘크리트의 28일 압축강도는 38MPa이다. 본 연구에서 실험시편의 제작은 먼저 FRP 판을 폭 150mm 길이 1700mm로 절단한 후 FRP 판 내부 상단, 하단 플랜지 부분에 에폭시를 도포한 후, 에폭시가 경화되기 전에 구멍이 뚫린 버킷(bucket)을 이용하여 전체 표면의 약 30% 정도를 골재 부착하였다. FRP 판에 골재를 부착 할 때 에폭시 두께가 너무 두꺼워 골재를 완전히 덮는 경우가 없도록 하였고 골재 간격이 1.5cm 이상 떨어지는 경우가

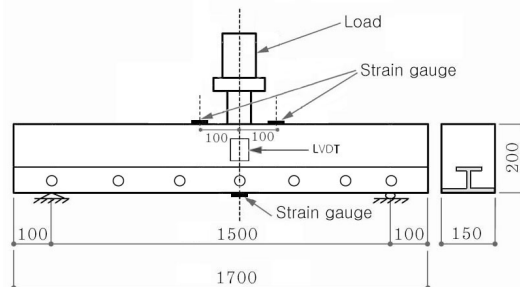
없도록 주의하여 제작하였다[7].

[표 1] 실험 및 수치해석 합성보 상세  
[Table 1] List of test specimens

실험체 명	천공유무	부재길이 (mm)	비고
F1-1	No perfobond	1700	
F1-2	No perfobond	1700	
F1-3	Perfobond	1700	
F1-4	Perfobond	1700	
F1-5	-	1700	2-D16 steel reinforcement



[그림 1] 퍼포본드 FRP 판의 형상 및 치수  
[Fig. 1] Profile and dimension of perfobond FRP plank



[그림 2] 합성보의 형상 및 실험장치  
[Fig. 2] Installation and testing apparatus

[그림 1]은 실험 및 수치해석에 사용한 FRP 판 및 콘크리트 합성보의 형상 및 치수를 나타내고 있으며, [그림 2]는 실험체 형상 및 실험장치를 나타내고 있다[3].

본 연구에 이용된 시편은 실험시편 F1-1 ~ 5로 명명한 폭 150mm 높이 200mm의 총 5개의 실험시편을 이용하였다. 실험시편 F1-x는 총 길이가 1700mm이며 이 가운데 F1-1과 F1-2 실험시편은 FRP 판의 웹 부분에는 구멍을 뚫지 않았고, F1-3과 F1-4 실험시편은 그림 1에서 보는 바와 같이 FRP 판의 웹 부분을 일정한 간격으로 구멍을 뚫어 사용하였다. F1-5 실험시편은 깊이 160mm에 D16 2개의 철근만 보강한 경우로써 추가적인 전단 및 FRP 판 보강은 하지 않고 제작하였다. 이 비교 실험시편은 일반적으로 사용하는 철근을 인장보강재로 사용한 철

근 콘크리트 보와 FRP 판을 보강재로 사용한 본 연구와의 비교를 위해 제작하였으며, 참고문헌[3]에 상세한 내용이 기술되어 있다.

### 3. 유한요소 모델

#### 3.1 재료 특성

보통 콘크리트의 경우, 압축강도로 부터 응력-변형률 관계를 위한 제안식이 많이 제안되었으나, 본 연구에서는 Carreira 와 Chu[9]가 제안한 관계식을 이용하여 콘크리트의 응력-변형률 관계를 결정하였으며, 다음과 같다.

$$\sigma_c = \frac{f'_c \gamma (\epsilon_c / \epsilon'_c)}{\gamma - 1 + (\epsilon_c / \epsilon'_c)} \quad \gamma = \left| \frac{f'_c}{32.4} \right|^3 + 1.55 \quad (1)$$

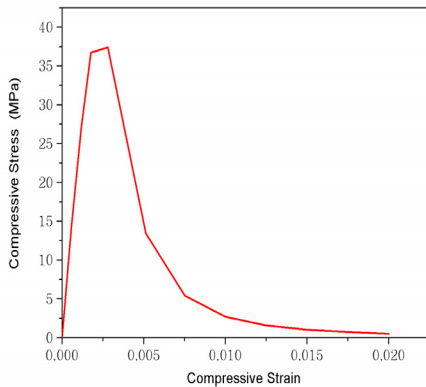
여기서,  $\sigma_c$  ; 콘크리트 압축응력

$\epsilon_c$  ; 콘크리트 변형률

$f'_c$  ; 콘크리트 공시체의 압축강도

$\epsilon'_c$  ;  $f'_c$ 에 대응하는 변형률(0.002)

상기의 관계식을 이용하여 콘크리트 재료의 응력-변형률 관계를 유도한 결과를 그림 2에 나타내었으며, 여기서  $0.4f'_c$  까지를 선형탄성한계로 가정하였고, 그 이상의 응력상태에 대해서 소성 변형률을 적용하였다. 콘크리트의 탄성계수(EC)는  $4,700 \sqrt{f_{ck}}$  를 적용하였고, 콘크리트의 인장응력-변형률 관계는 일축 압축응력에 대한 일축 인장응력의 비를 0.0836으로 가정하였다.



[그림 3] 콘크리트 응력-변형률 관계곡선  
[Fig. 3] Stress-strain curve for concrete

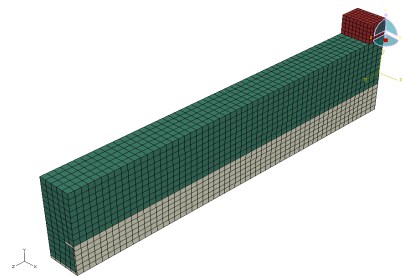
[표 2] FRP 재료 물리 상수

[Table 2] Mechanical properties of FRP

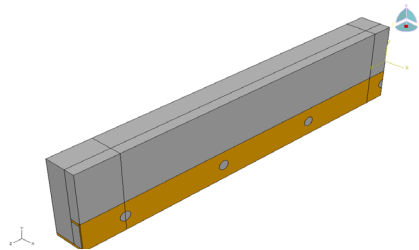
종류	인장강도 (MPa)	압축강도 (MPa)	탄성계수 (GPa)
GFRP	427	355	33.4

#### 3.2 해석모델 및 경계조건

유한요소해석은 범용구조 해석 소프트웨어인 ABAQUS를 사용하였고, 3차원 구조해석 모델을 구성하여 비선형 해석을 수행하였다. 비선형 해석과 관련하여 FRP 판 및 콘크리트의 변형에 따른 기하학적 비선형과 재료 비선형을 동시에 고려하였으며, 재료 물성은 재료실험을 통하여 얻어진 기본 물성을 바탕으로 [그림 2]와 같은 이론적인 응력-변형률 관계식을 적용하여 구조해석에 반영하였다. FRP 판의 재료특성은 표 2의 물성치를 적용하였다.



(a) Non-Perfobond FRP 보강 실험체 해석모델



(b) Perfobond FRP 보강 실험체 해석모델

[그림 4] 실험체 해석모델

[Fig. 4] Analysis model of specimen

실험결과를 모사하기 위한 유한요소 해석은 FRP 판이 보강된 실험체 F1-1,2, F1-3,4 경우, FRP 판으로 보강된 실험체의 경우, FRP 판을 보강한 콘크리트 보 내에 매립된 형태의 경계조건을 표현하기 위하여 ABAQUS의 접촉조건(contact condition) 중 거친 마찰조건(rough condition) 모델을 적용하였으며, 이 경우에는 FRP 보강재와 콘크리트 경계면에서의 파괴보다 인접한 콘크리트의 파괴가 선행하는 것으로 가정하는 것으로서 본 실험 경험과

유사하여 적용하였다. 경계면에서 전단마찰은 발생하지 만 완전부착에 가까운 거동을 하는 경우 판단하여 마찰 계수를 1000으로 가정하였다[13].

실험체 F1-5는 인장철근이 보강된 철근 콘크리트 보로서 콘크리트 내의 철근을 모사하기 위하여 매립구속(embedded constraint) 조건을 적용하였으며, 철근을 모사한 트러스 요소가 콘크리트 솔리드 요소 내에 매립되는 것으로 가정하였다.

해석모델은 대칭성과 해석 효율성을 고려하여 그림 4a, b에 보인 것과 같은 1/4 대칭 모델로 하였고, 콘크리트와 FRP 보강재는 감차적분(reduced integration)을 적용한 8절점 3차원 솔리드요소(C3D8R)로 모델링하였고, 철근은 2절점 선형 3차원 트러스(2-node linear 3D truss, T3D2) 요소로 하였다. 재하조건은 강성이 큰 강재 블럭을 사용하여 재하판을 모사하고, 비선형해석을 위하여 재하시간 2000sec, 재하속도 0.01mm/sec으로 변위제어를 하는 것으로 가정하였다.

## 4. 유한요소 해석 및 결과

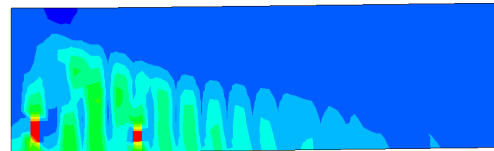
### 4.1 FRP 및 철근 콘크리트 보의 해석결과

천공 및 비 천공 FRP 보강재 제원을 고려한 실험 결과를 수치 해석한 결과와 비교하면, 비 천공 실험체 F1-1,2의 유한요소해석에 의한 최대 파괴하중은 52.0kN으로 실험에 의한 최대 파괴하중, 58.9, 60.8kN에 비해 13, 17%의 오차를 보여 주고 있다. 또한 천공 실험체 F1-3,4의 경우 유한요소해석에 의한 최대 파괴하중 53.7kN으로 실험에 의한 파괴하중, 59.7, 55.8kN에 비해 11, 4%정도 작게 나오고 있다.

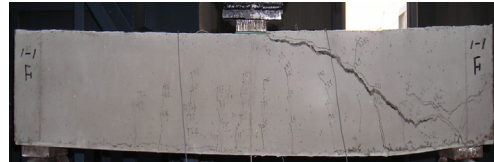
[그림 5]와 [그림 6]은 균열분포를 보인 것으로서, 실험결과와의 균열패턴이 비교적 유사하게 나타났다. 그림 7은 최대 주응력방향의 변형률 분포를 보인 것으로서 F1-1,2 실험체(Non-Perfobond FRP)는 웹 천공이 없으므로 콘크리트 도웰에 의한 저항력이 발현되지 못하고, 주로 큰 사인장 균열에 의해 파괴에 도달하는 것으로 나타났다. 또한 F1-3,4 실험체에서는 콘크리트 보의 인장부 수직균열과 다수의 사인장 균열 양상을 보이며 실험결과와 유사하게 나타나는 것으로 판단된다.

FRP 판으로 보강되지 않은 일반적인 철근 콘크리트 보인 실험체 F1-5의 해석결과는 다음과 같다. 실험체 F1-5의 파괴하중은 36.0kN으로서, 실험 시 측정값에 비해 약 9% 오차를 보이는 것으로 나타났다. [그림 8]은 3축 방향의 소성변형률 분포를 보인 것으로서, 실험결과와의 균열

패턴이 비교적 유사하게 나타나는 것으로 판단된다.

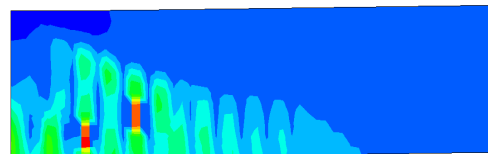


(a) 실험체 F1-1,2 해석 결과

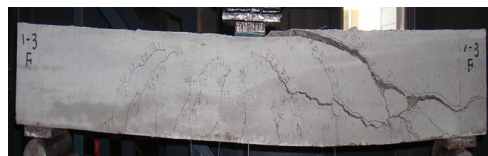


(b) 실험체 F1-1,2 실험 결과

[그림 5] 실험체 F1-1,2 균열분포  
[Fig. 5] Failure modes of F1-1 & F1-2

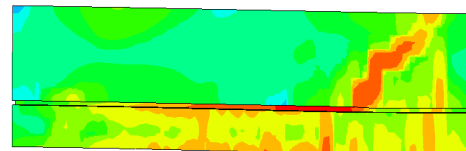


(a) 실험체 F1-3,4 해석 결과

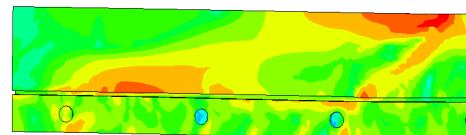


(b) 실험체 F1-3,4 실험 결과

[그림 6] 실험체 F1-3,4 균열분포  
[Fig. 6] Failure modes of F1-3 & F1-4

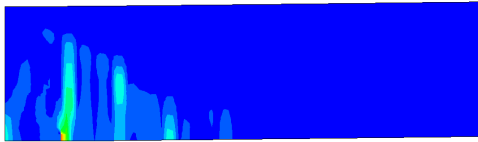


(a) 실험체 F1-1,2 해석결과



(b) 실험체 F1-3,4 해석결과

[그림 7] 실험체 변형률 분포 해석결과  
[Fig. 7] Strain field distributions for FEM analysis



(a) 실험체 F1-5 해석 결과



(b) 실험체 F1-5 실험 결과

[그림 8] 실험체 F1-5 균열분포  
[Fig. 8] Failure modes of F1-5

#### 4.2 수치해석 결과 분석

천공 및 비 천공 FRP 보강 콘크리트 합성보 및 기존 철근 콘크리트 보의 각 실험체에 대해 최대 파괴하중과 파괴 시 변형을 실험 결과와 유한요소 해석 결과를 [표 3]에 비교하여 정리하였다.

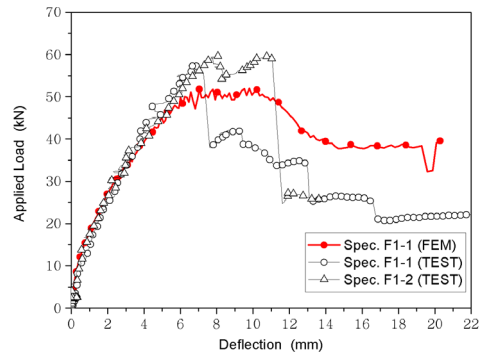
[표 3] 실험치와 해석치 결과 비교

[Table 3] Comparison between experimental and numerical results

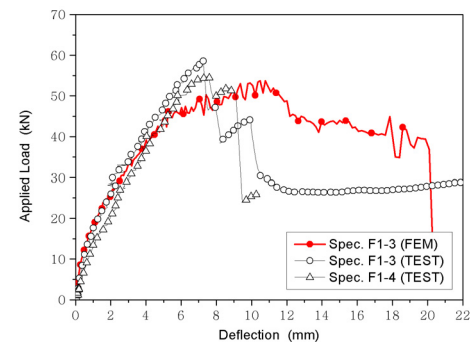
실험체명	파괴하중 (kN)		파괴시 변위 (mm)		Fu(실험) ----- Fu(해석)
	실험 결과	해석 결과	실험 결과	해석 결과	
F1-1	58.9	52.0	6.49	9.8	1.13
F1-2	60.8		7.98		
F1-3	59.7	53.7	7.26	10.5	1.11
F1-4	55.8		7.51		
F1-5	39.4	36.0	4.85	5.9	1.09

최대 파괴하중의 경우, 실험 결과에 대한 해석 결과의 오차율은 약 8%에서 15% 내외로 나타났고, 파괴시의 변위도 비교적 실험 결과에 근사한 값을 보임으로써 유한요소해석에 적용한 재료 모델 및 기하학적 모델은 비교적 실제 거동에 가까운 결과를 얻을 수 있는 것으로 나타났다. 해석 결과와 실험 결과에서 얻은 하중-변위 곡선을 각 실험체별로 구분하여 [그림 9]~[그림 11]에 나타내었다.

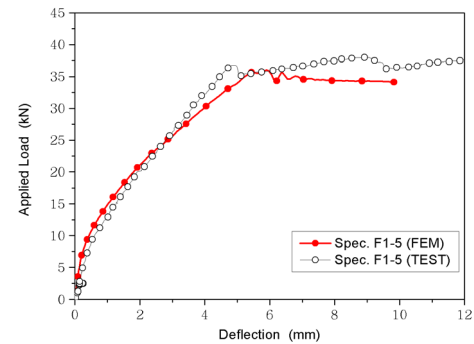
일반적으로 실험결과와 유한요소해석 결과는 요소의 구성방법이나 재료모델 등에 따라 다소 차이를 보여주고 있으나, 대체적인 경향은 실험결과 값보다 작은 경향을 보여준다. 이러한 경향은 해석결과를 보수적으로 운영하는 측면에서 유리하다고 생각되며, 본 결과도 다소 작게 나오는 경향을 보여주고 있다. 추후 요소의 세분화, 재료상수 값 등에 대한 매개변수 연구를 계속 진행할 예정이다.



[그림 9] 실험체 F1-1~2의 하중-변위 곡선  
[Fig. 9] Load-displacement curves for F1-1 & F1-2



[그림 10] 실험체 F1-3~4의 하중-변위 곡선  
[Fig. 10] Load-displacement curves for F1-3 & F1-4



[그림 11] 실험체 F1-5의 하중-변위 곡선  
[Fig. 11] Load-displacement curves for F1-5

## 5. 결론

본 연구는 철근 콘크리트 바닥판 구조형식을 대신할 FRP 합성 콘크리트 구조에 관한 것으로, 이에 대한 구조

적 성능 및 거동 특성을 규명하고자 수직하중에 대한 휨 저항성능에 대해 수치해석을 수행하고 본 연구자들이 수행한 실험결과와 비교분석하였다. 본 연구는 FRP 판을 보강재로 활용한 콘크리트 보 실험체를 대상으로 재하 실험결과를 모사할 수 있는 유한요소모델을 결정하고, 콘크리트 합성보의 보강효과를 검토하였다. 주요사항은 다음과 같다.

- (1) 최대 파괴하중과 파괴 시 변위의 실험과 해석 결과를 비교한 결과 파괴하중의 경우, 실험값에 대한 해석 결과의 오차율은 약 8%에서 15% 내외로 나타났다, 파괴시의 변형도 비교적 실험 결과에 근사한 값을 보임으로써 유한요소해석에 적용한 재료 모델 및 기하학적 모델은 비교적 실제 거동에 가까운 결과를 얻을 수 있는 것으로 나타났다.
- (2) F1-1,2 실험체는 웹브 천공이 없으므로 콘크리트 도월에 의한 저항력이 발휘되지 못하고, 주로 큰 사인장 균열에 의해 파괴에 도달하는 것으로 나타났다, F1-3,4 실험체는 콘크리트 보의 인장부 수직균열과 다수의 사인장 균열 양상을 보이며 실험결과와 유사하게 나타났다.
- (3) 본 연구는 영구거푸집으로 활용한 퍼포본드 FRP의 여러 가지 형상, 유공의 모양, 위치 및 크기, 웹브 플랜지의 크기효과 등의 매개변수 해석을 위한 기초 연구이며, 앞으로 제안할 퍼포본드 FRP 영구거푸집의 형태 및 유공 결정 연구의 기초적인 자료로 활용하고자 한다.

## References

- [1] The Ministry of Construction and Transportation , "Bridge Status Reference in Korea", 2005.
- [2] Yoo, S.W., "A Proposal of Simplified Bond Stress-Slip Model between FRP Plank and Cast-In-Place Concrete", Journal of Korea institute for Structural Maintenance Inspection, Vol.12 No.1, pp.65-72, 2008.
- [3] Yoo, S.W. and Kook, M.S., "An Experimental Study of Perfobond FRP-Concrete Composite Beam", Journal of Korea institute for Structural Maintenance Inspection, Vol.14 No.2, pp.121-127, 2010.
- [4] Yoo, S.W. and Bae, H.U., "Bond Slip Behavior Cast-In-Place Concrete and FRP Plank Used as Permanent Formwork and Tensile Reinforcement ", Journal of the Korean Society of Civil Engineers, Vol.27 No.1, pp.69-77, 2007.
- [5] Yoo, S.W., Bae, H.U., Oliva, M.G. and Bank, L.C., "Experimental Study of Concrete Beam with FRP Plank as Formwork and Reinforcement", Journal of Korea Concrete Institute, Vol.19 No.1, pp.67-74, 2007.
- [6] Joo, H.J., Jung, J.H., Kim, B.S. and Yoon, S.J., "An Experimental Study on the Behavior of Shear Connectors for FRP-Concrete Composite Deck", Conference of the Korean Society of Civil Engineers, pp.1-4, 2005.
- [7] Bank, L.C., "Composites for construction: Structural design with FRP materials", John Wiley & Sons, USA, 2006.
- [8] Bank, L.C., Oliva, M.G., Bae, H.U., Barker, J. and Yoo, S.W., "Pultruded FRP plank as formwork and reinforcement for concrete members", Advances in Structural Engineering, Vol.10, No.5, pp.1-11, 2007.
- [9] Carreira, D.J. and Chu, K.H., "Stress-Strain Relationship for Reinforced Concrete in Tension", ACI Journal, Vol.83, No.1, pp21-28, 1985.
- [10] Deskovic, N., Triantafillou, T.C. and Meier, U., "Innovative design of FRP combined with concrete : Short-term behavior", Journal of Structural Engineering, Vol.121, No.7, pp.1069-1078, 1995.
- [11] Dieter, D.A., Dietsche, J.S., Bank, L.C., Oliva, M.G. and Russell, J.S., "Concrete bridge decks constructed with FRP stay-in-place forms and FRP grid reinforcing", Transportation Research Record No.1814, Journal of the Transportation Research Board, pp.219-226, 2002.
- [12] Hall, J.E. and Mottram, J.T., "Combined FRP reinforcement and permanent formwork for concrete members", Journal of Composites for Constructions, Vol.2, No.2, pp.78-86, 1998.
- [13] HKS, "ABAQUS User's manual", Hibbitt, Karlsson & Sorensen Inc., Pawtucket, RI, USA, 2008.
- [14] Hulatt, J., Holloway, L. and Thorne, A., "The use of advanced polymer composites to form an economic structural unit", Construction and Building Materials, Vol.17, No.1, pp.55-68, 2003.
- [15] Moussa, G.S., "Nonlinear finite element analysis of fiber composite reinforced concrete bridge deck system", MS Thesis, University of Central Florida, USA, 2003.
- [16] Oguejiofor, E.C. and Hosain, M.U. "A parametric study of perfobond rib shear connectors", Canadian Journal of Civil Engineering, Vol.121, 1994, pp.614-625.

- [17] Teng, T.G., Chen, J.F., Smith, S.T. and Lam, L.  
"FRP-strengthened RC structures", John Wiley &  
Sons, England, 2002.
- 

**국 무 성(Moo-Sung Kook)**

[정회원]



- 1996년 2월 : 관동대학교 공과대  
학 토목공학과 (공학사)
- 1998년 2월 : 관동대학교 공과대  
학 토목공학과 (공학석사)
- 2010년 2월 : 관동대학교 공과대  
학 토목공학과 (공학박사)
- 2000년 8월 ~ 2011년 1월 : (주)  
경원엔지니어링 건축사사무소

- 2011년 2월 ~ 현재 : (주)신한기술개발

<관심분야>

구조공학, 토목구조, 안전진단 및 설계

---

**유 승 운(Seung-Woon Yoo)**

[정회원]



- 1985년 2월 : 연세대학교 공과대  
학 토목공학과 (공학사)
- 1987년 2월 : KAIST 토목환경  
공학과 (공학석사)
- 1991년 2월 : KAIST 토목환경  
공학과 (공학박사)
- 2005년 7월 ~ 2006년 8월 : 위  
스콘신대학교 방문교수

- 1995년 3월 ~ 현재 : 관동대학교 토목공학과 교수

<관심분야>

구조공학, 신소재 토목구조응용

---