한국복합신소재구조학회 논문집 제6권, 제4호, 2015년 12월
J. Korean Soc. Adv. Comp. Struc. Vol. 6, No. 4, pp. 30-37, December 2015
DOI http://dx.doi.org/10.11004/kosacs.2015.6.4.030

ISSN 2093-5145(Print)
ISSN 2288-0232(Online)

비표면처리 강판을 사용한 iFLASH 시스템의 휨성능 평가

김용열[1] · 류재호[2] · 윤성원[3] · 주영규[4]

고려대학교 건축사회환경공학과 석사과정[1], 고려대학교 건축사회환경공학부 연구교수[2],
서울과학기술대학교 건축학부 교수[3], 고려대학교 건축사회환경공학부 교수[4]

Flexural Behavior of iFLASH System with No Blast Metal Cleaned Steel Plates

Kim, Yong-Yeal[1] · Ryu, Jaeho[2] · Yoon, Sung-Won[3] · Ju, Young K.[4]

[1]Master Student, Department of Civil, Environmental and Architectural Engineering, Korea University, Seoul, Korea
[2]Research Professor, School of Civil, Environmental and Architectural Engineering, Korea University, Seoul, Korea
[3]Professor, School of Architecture, Seoul National University of Science & Technology, Seoul, Korea
[4]Professor, School of Civil, Environmental and Architectural Engineering, Korea University, Seoul, Korea

Abstract: iFLASH System is new structural floor system which consists of sandwich panels filled with nano-composite. The nano-composite has low specific gravity and high bonding strength with steel plates. The bonding strength is one of important factors for structural performance of iFLASH System and it can further be improved by surface preparation such as blast metal cleaning. However, using none blast steel plates is recommended since surface preparation generates additional fabrication time and cost. In this study, a bonding strength test and bending experiment were conducted to check feasibility of applying none blast steel plates to iFLASH System. Moreover, stress in bonding plane between steel plates and nano-composite was analytically evaluated by finite element method. Consequently, flexural capacity of the specimen was 11% higher than theoretically calibrated value and its flexural behavior was structurally efficient without defect of bonding.

Key Words: nano-composite, sandwich panel, flexural capacity, bonding strength

1. 서 론

현대의 건축물은 도시 인구 및 시설의 집약화로 나날이 고층화 되고 있으며, 이에 따라 공간 효율성 및 임대수익 증가를 위하여 층고 절감 및 시공효율성을 증진 시킬 수 있는 새로운 합성구조 시스템에 대한 연구가 활발히 진행되어 왔다.

국내에서는 i-TECH 합성보, TSC 합성보, MHS 합성보, 스마트빔(SMARTBEAM), 미국과 유럽에서는 비대칭 형강에 춤이 깊은 데크나 하프 PC(Half PC) 등을 적용한 플렉스 프레임(Flex Frame)과 슬림플로어(Slim Floor)가 각각 개발되어 층고 절감 및 사용성 향상을 도모하였다.

그러나 위의 시스템은 보를 슬래브에 매립함으로써 복잡한 상세를 가지므로 시공성이 저하되는 단점이 있다. PC공법은 이와 같은 문제점을 해결하고, 거푸집 제작 및 현장 타설 콘크리트의 양을 줄임으로써 공기단축 및 시공효율성을 도모하였으나 높은 중량, 덧침콘크리트 타설, 접합부 설치를 위하여 숙련공이 필요한 점은 여전히 한계점으로 지적되고 있다. 특히 국내의 PC 공법은 추가공정 및 운반비로 추가비용이 발생하여 현장 타설에 비해 경제성이 떨어진다는 단

주요어: 특수나노소재, 샌드위치 패널, 휨성능, 부착강도

Corresponding author: Ju, Young K.
School of Civil, Environmental and Architectural Engineering, Korea University, 202 College of Engineering, Anam-dong 5-ga, Seongbuk-gu, Seoul 136-713, Korea.
Tel: +82-2-3290-3327, E-mail: tallsite@korea.ac.kr

Received October 30, 2015 / Revised November 16, 2015 / Accepted November 17, 2015

점이 있다.

따라서 시공성 및 공기 문제를 해결하고, 자중을 저감하여 구조적 효율성을 확보하고자 새로운 바닥구조 시스템을 제안하였다. 새로이 개발된 iFLASH (innovative Fire-proof Light-weighted Absorbed Shallow Hybrid) 시스템은 Fig. 1과 같이 강판사이에 신소재인 특수나노소재가 충진된 합성 패널로 구성되는데, 여기에 사용된 특수나노소재는 고성능의 부착강도로 슬래브가 높은 휨 저항 성능을 발휘하도록 하며, 낮은 비중을 가지므로 자중을 저감시킨다. 또한 모듈-골조 및 모듈-모듈 간의 결속을 볼트접합 및 용접을 이용하므로 공기가 단축되며, 세장한 두께와 경량성으로 층고 절감 및 구조물량 저감을 도모할 수 있다.

iFLASH 시스템을 구성하는 부재는 Fig. 2와 같이 기본모듈(typical module)과 개보수용 모듈(renovation module)이 있다. 기본모듈은 약15m^{2}의 면적을 갖는 대형 모듈로서 양중장비를 이용하여 신축건물에 적용하기에 적절하며, 개보수용 모듈은 약1.5m^{2}의 면적을 갖는 소형 모듈로서 인력양중이 가능한 정도의 크기를 갖는다.

본 고에서는 iFLASH 시스템의 개보수용 모듈에 사용된 강판과 특수나노소재의 부착강도와 휨 성능에 대하여 주로 검토하였다. 여기서 부착강도는 모듈의 구조성능 확보를 위하여 중요하게 고려되는데, 부착력이 충분하지 못한 경우에는 강판을 블라스트 (Blast) 처리하여 부착성능 증진하는 방법이 사용 될 수 있다. 그러나 이것은 추가 공정을 발생시켜 제작 단가를 상승시킬 수 있으므로, 충분한 부착성능이 확보된다면 일반 강판을 사용하는 것이 경제적이다. 따라서 본 연구는 다양한 표면처리의 강판과 특수나노소재의 부착강도를 실험적으로 평가하고, 휨실험을 수행하여 일반강판의 적용가능성을 확인하였다. 그리고 유한요소해석을 수행하여 부착면에 작용하는 응력상태를 검토하였다.

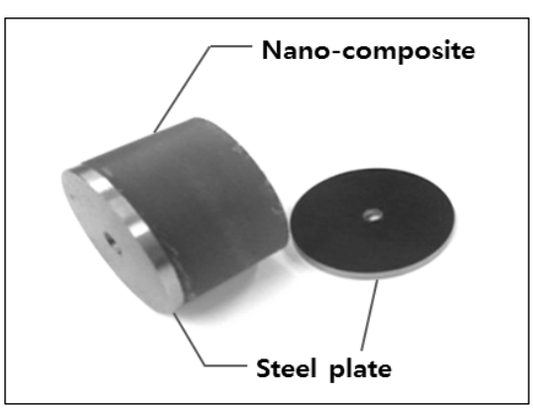

Fig. 1 Components of iFLASH System

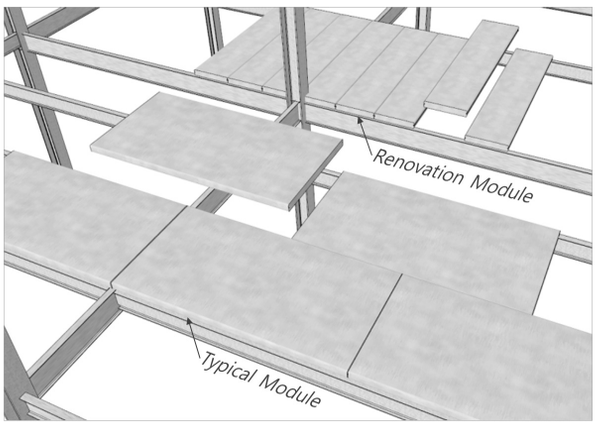

Fig. 2 Typical and renovation module

2. 부착강도 실험

2.1 실험계획

부착강도 실험체는 다양한 표면처리조건의 부착성능을 알아보기 위하여 Fig. 3 과 같이 무늬강판, 도장강판, 일반강판, SP10, SP5으로 블라스트 처리된 강판 위에 특수나노소재를 20mm 두께로 양생하여 제작하였다. SP10과 SP5는 미국도장협회 (SSPC; the Society for Protective Coatings)에서 정한 금속의 표면처리 기준으로서, 각각 'Near-White Blast Cleaning', 'White Metal Blast Cleaning'으로 통칭한다. Near-White Blast Cleaning은 강재 표면의 이물질이 분포된 면적이 블라스트 처리 면적의 5%이내인 상태로 규정된다. White Metal Blast Cleaning은 표면의 이물질이 완벽히 제거된 상태로 규정되며, Near-White Blast Cleaning보다 더 높은 조도(roughness)를 갖는다.

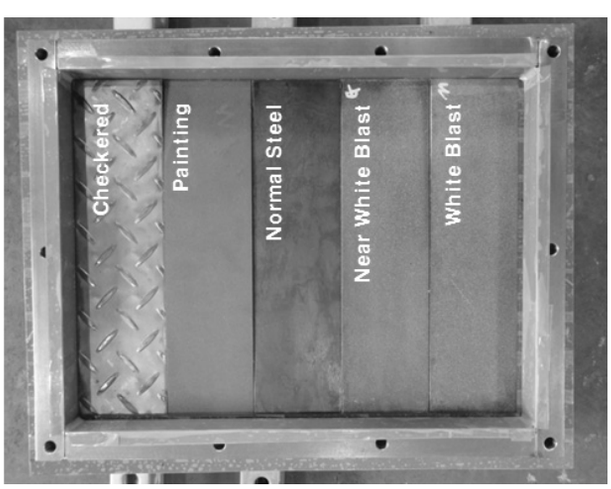

Fig. 3 Specimen of Bonding Strength

실험은 Fig. 4와 같이 강판위에 경화된 특수나노소재를 직경 20mm로 천공하고 그 위에 고정철물을 설치한 다음, Fig. 5의 Pull-off Adhesion Tester로 인발하여 부착강도 실험을 수행하였다.

Fig. 4 Bonding Strength Test

Fig. 5 Pull-off Adhesion Tester, AT-A

2.2 실험결과

부착강도 실험은 각각 5회 수행되었으며, 그 값들의 결과를 Table 1에 나타내었다. 실험결과 SP10으로 블라스트 처리한 강판은 일반 강판에 비하여 약 4%, SP5로 블라스트 처리한 강판은 약 2% 높게 나타나 부착성능 증진 효과가 크지 않은 것으로 나타났다.

Table 1. Results of Bonding Strength Test

	Checkered Plate (MPa)	Painted Plate (MPa)	Normal Plate (MPa)	SP10 (MPa)	SP5 (MPa)
1	8.46	6.89	8.24	9.12	7.93
2	5.87	6.56	6.69	6.97	7.81
3	5.61	6.28	6.17	6.68	7.52
4	5.52	6.09	6.15	6.10	6.29
5	4.93	5.46	6.08	5.71	4.35
Mean	**6.08**	**6.26**	**6.67**	**6.92**	**6.78**
Ratio	**0.91**	**0.94**	**1.00**	**1.04**	**1.02**

도장강판은 일반강판에 비하여 약 6% 낮은 부착성능을 나타내었는데, 이것은 강재 표면에 형성된 도장막이 특수나노소재와 같이 박리되기 때문이다. 예상과 달리 무늬강판은 다른 종류의 표면처리를 한 강판에 비해 낮은 부착성능을 나타내었는데, 그 이유는 표면이 아연도금처리 되었기 때문인 것으로 사료된다. 따라서 강재 표면의 블라스트 처리는 부착성능 증진 효과가 크지 않으므로 비표면처리 강판을 사용하여 iFLASH 시스템을 제작하여도 휨성능에 큰 영향이 없을 것으로 판단되었다.

3. 휨성능 실험

3.1 실험계획

3.1.1 실험체 형상

비표면처리 강판을 적용한 iFLASH 시스템의 휨성능을 평가하기위해 실대규모의 실험체를 제작하여 휨실험을 실시하였다. 실험체는 2.5mm두께의 두 강판 사이에 특수나노소재를 20mm두께로 충진한 샌드위치 형태의 패널로서, 총 두께는 25mm이다. 실험체의 크기는 인력양중이 가능한 정도로 하였으며, 그 크기는 너비 500mm, 길이 2,500mm, 두께 25mm이다. 상·하 강판은 모두 SS400이 사용되었으며, Fig. 6과 같이 길이 2,500mm, 너비 520mm로 재단되어 양끝 10mm 씩 90°로 절곡된 형태를 가진다. 절곡된 상·하 강판은 그 측면을 따라 밀실하게 용접하여 특수나노소재 충진이 가능하도록 하였고, 실험체 마구리에 특수나노소재 충진을 위한 주입구 및 배출구를 두었다.

가력부 및 지점부는 집중하중이 작용하는 곳이므로, 국부적인 파괴를 방지하기 위하여 50×100×20mm 크기의 철물을 배치하여 보강하였다. 실험체의 자세한 규격 및 형상을 Fig. 7에 나타내었다.

Fig. 6 Angled Steel Plates

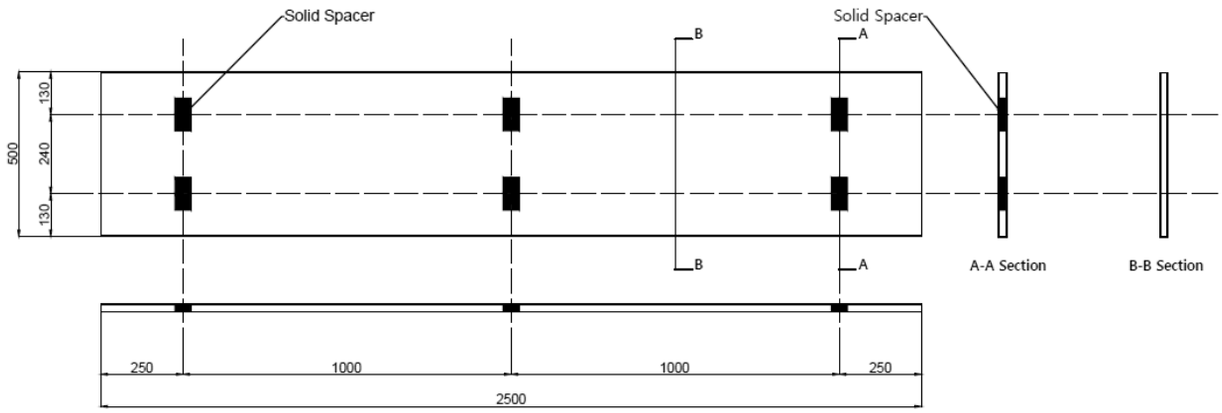

Fig. 7 Specification of Specimen

3.1.2 가력 및 계측 계획

지점은 롤러를 사용하여 단순지지 하였으며, 실험체 전면에 걸쳐 균일하게 휨이 발생할 수 있도록 너비에 대해 선형적으로 지지하였다. 지간 거리는 2,000mm로 실험체 두께에 대한 가력점 까지의 거리비 (전단스팬비 (a/d))가 40으로 휨성능을 평가하기에 적절하도록 하였다. 가력은 5,000kN UTM(Universal Testing Machine)을 사용하여 변위 제어 4~30 mm/min의 속도로 가력하였다. 가력점은 실험체 중앙부 너비방향으로 배치되도록 하여 1점 단조 가력하였다. Fig. 8 은 휨 실험 셋업(Setup)을 나타낸 것이다. 또한 실험체의 처짐을 계측하기 위하여 실험체 하부 중앙부에 1,000mm 용량의 변위계를 설치하였으며, 상·하부 강판의 변형률을 계측하기 위해 가력점으로부터 125mm 떨어진 지점의 너비방향 중심선상에 변형률 게이지를 부착하였다.

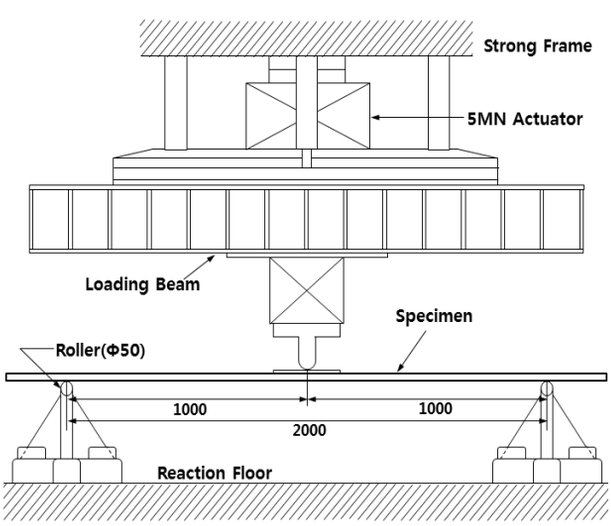

Fig. 8 Test Setup

3.2 휨내력

iFLASH 시스템의 휨내력은 식 (1)과 같이 소성응력분포이론에 근거하여 이론적 휨내력을 산정할 수 있다. 극한상태에서의 응력분포는 Fig. 9와 같이 강재와 특수나노소재 모두 전단면이 항복응력에 도달한 상태의 하중을 극한상태의 휨내력으로 하였다. 강판과 특수나노소재는 완전합성거동한다고 가정하였다.

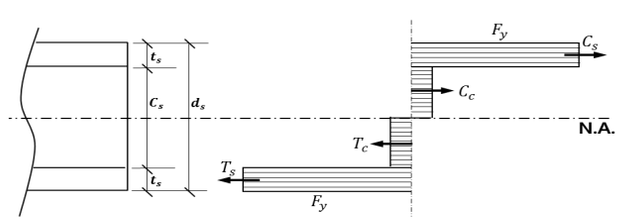

Fig. 9 Stress Distribution in Ultimate State

$$C_s = T_s = A_s F_y$$
$$C_c = T_c = A_c F_c$$
$$M_n = C_s(d_s - t_s) + C_c \frac{c_s}{2} \quad (1)$$

여기서, C_s: 상부강판에 작용하는 압축력
T_s: 하부강판에 작용하는 인장력
C_c: 특수나노소재에 작용하는 압축력
T_c: 특수나노소재에 작용하는 인장력
F_y: 강재의 항복강도
F_c: 특수나노소재의 항복강도
t_s: 강판의 두께
c_s: 특수나노소재의 두께
d_s: 패널의 두께

3.3 실험결과

3.3.1 재료실험

실험체에 사용된 강재의 인장실험은 'KS B 0801' 및 'KS B 0802'에 의거하여 5호 시편에 대하여 수행되었다. 그 결과, 항복강도는 304.4MPa, 극한강도는 454.7MPa, 탄성계수는 205,866MPa를 나타냈다. 특수나노소재의 기계적 특성에 대한 재료실험 결과는 Table 2 에 나타내었으며, 인장력에 대한 응력-변형률 곡선을 Fig. 10에 나타내었다.

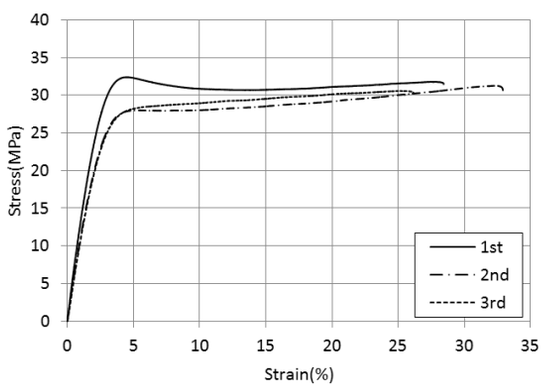

Fig. 10 Stress-Strain Curve of Nano-composite

(a) Steel **(b) Nano-composite**

Fig. 11 Tensile Test of Steel and Nano-composite

Table 2. Mechanical Properties of Nano-composite

Mechanical Property	Testing Method	Test Result (MPa)
Tensile Stress	ASTM D638	31.4
Yield Stress		25.9
Compressive Stress	ASTM D695	23.1
Elastic Modulus	ASTM D638	1,280

3.3.2 구조적 거동 및 휨내력

Fig. 12는 실험체의 하중 변위 곡선을 나타낸 것이다. 실험체의 하중증가는 가력초기에 선형으로 나타났으며, 14.3kN의 하중 작용시 항복이 발생하였다. 항복 이후 하중은 크게 증가하지 않았으며 변형이 진행되는 소성구간이 길게 이어졌다. 실험체는 하중이 21.6kN 일 때, 극한상태에 도달하였으며, 이후의 하중 감소 및 최종파괴는 특수나노소재와 강판 사이의 미세한 탈착에 의한 것으로 예상된다. 실험체의 파괴 형상은 Fig. 13과 같다.

실험체의 이론적 최대내력 값(P_t)는 소성응력분포 이론에 근거하여 제안한 식 (1)을 통하여 산정하였으며, Table 3에 실험 결과값과 같이 나타내었다. 산정한 이론적 휨내력 값은 19.4kN으로 나타났으며, 실험을 통해 얻어진 최대 휨내력은 이론값에 비하여 약 11% 상회하였다. 극한상태의 변형(δ_u)은 320mm로 나타났으며, 항복상태의 변형(δ_y)과의 비율은 5.43으로 나타나 실험체가 연성적으로 거동하는 것을 알 수 있었다.

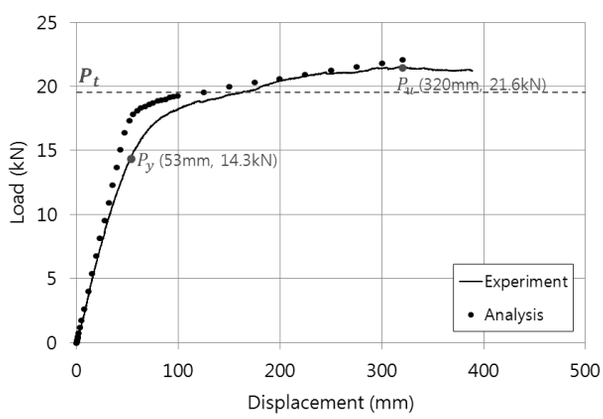

Fig. 12 Load-Displacement Curve

Table 3. Results of Bending Test

Load					Displacement			K_i (kN/mm)
P_t (kN)	P_y (kN)	P_u (kN)	$\frac{P_u}{P_t}$	$\frac{P_u}{P_y}$	δ_y (mm)	δ_u (mm)	μ	
19.4	14.3	21.6	1.11	1.51	53	320	5.43	0.312

Note: P_t: Theoretical Ultimate Strength
P_y: Yield Strength
P_u: Ultimate Strength
δ_y: Displacement in Yielding
δ_u: Displacement in Ultimate State
K_i: Initial Stiffness
μ: Ductility ($\mu = \delta_u / \delta_y$)

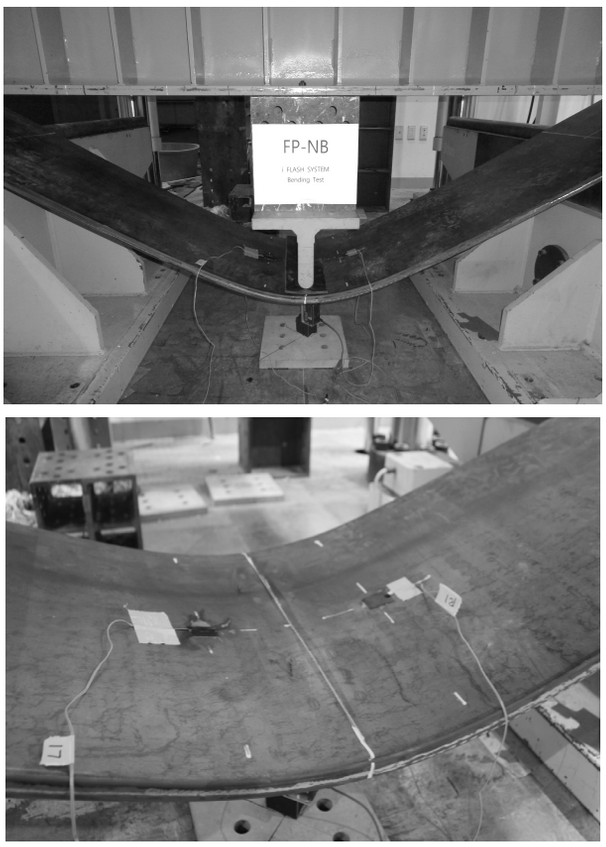

Fig. 13 Failure of Specimen

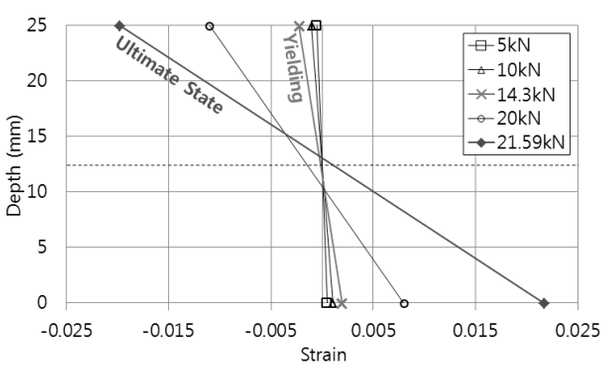

Fig. 14 Distribution of Strain

Fig. 14는 하중증가에 따른 실험체 중앙부에서의 변형률 변화를 나타낸 것이다. 이것을 통하여 실험체의 휨거동시 중립축 변화를 확인할 수 있었다. 실험체의 중립축은 항복이전까지 단면의 중심에 위치하였으며, 항복이후 서서히 아래로 이동하였다. 이것은 실험체의 상부강판에서 먼저 항복이 일어났으며, 하부강판도 뒤이어 항복에 도달하며 소성상태에 도달했기 때문이다. 그리고 극한하중에 이르러 중립축이 다시 중심으로 이동한 것은 상·하 강판이 모두 극한상태에 도달하며 파괴가 발생했기 때문인 것으로 보인다.

4. 유한요소해석

4.1 유한요소 해석모델

휨성능 실험을 통해 확인된 표면처리를 하지 않은 iFLASH 패널의 변형 형상 및 최대 내력을 근거로 부착파괴가 예상되는 위치에서의 강판과 특수나노소재 사이에 발생되는 응력 상태를 검토하기위해 Abaqus6.10을 사용하여 유한요소해석을 실시하였다. 해석 모델의 치수는 실험체 실측을 통해 획득한 강판 두께 2.4mm, 특수나노소재 19mm를 적용하였으며, 해석의 편의를 위해 전체 실험체의 1/4만을 모델링하였다. Fig. 15에 해석 모델에 대한 구체적인 경계조건을 나타내었다. 해석에 사용된 요소는 육면체의 20개 노드를 가지는 솔리드 요소(solid element: C3D20R)를 사용하였으며, 대변형(large deformation)에 의한 비선형 거동을 반영하기 위해 기하비선형(geometric nonlinearity) 특성을 추가하였다. 요소 크기(element size)는 5mm로 충분히 조밀하게 요소망을 형성하였으며, 해석에 사용된 재료 물성치는 재료실험으로부터 획득한 값을 적용하여 해석을 실시하였다.

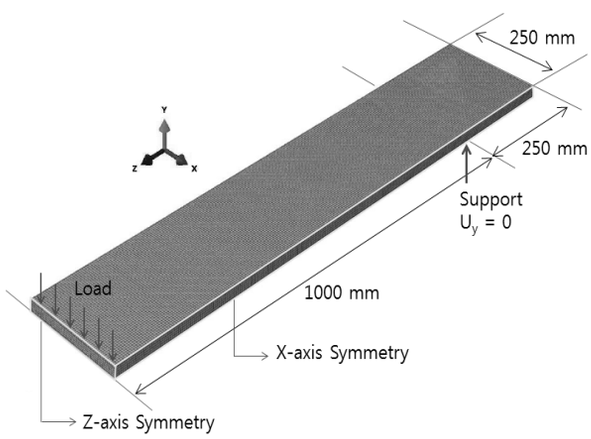

Fig. 15 Finite Element Model

4.2 유한요소모델 검증

해석에 사용된 요소망 및 조건들에 대한 신뢰성을 검증하기 위해 해석 결과를 실험과 비교, 검토하였다. Fig. 12에 나타낸 하중-변위 곡선에서 확인해 볼 수 있듯이 실선으로 나타낸 실험 결과와 점선으로 나타낸 FE 모델의 해석 결과가 서로 잘 일치함을 확인할 수 있다. 또한 Fig. 16과 같이 실험체 상·하부 강판의 변형률을 확인하기 위해 부착한 게이지로부터 계측된 변형률의 값 역시 해석값과 유사한 경향을 나타내며 증가하였다. 이를 통해 사용된 유한요소 해석모델의 신뢰성을 확보할 수 있다.

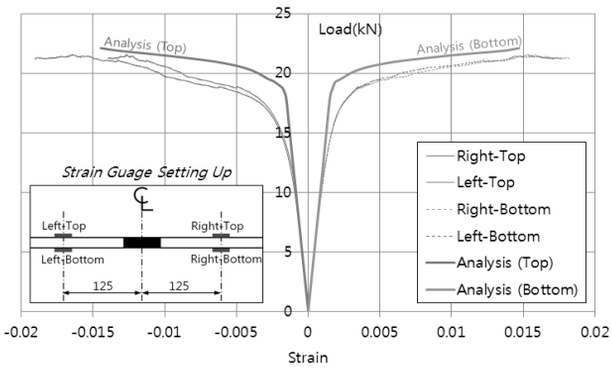

Fig. 16 Load-Strain Curve

4.3 부착면 응력 분포

최대내력에 도달한 순간, 부착파괴가 예상되는 가력점 부근의 강판과 특수나노소재 사이의 응력분포를 확인해 보았다. 응력 검토 위치는 실험체 중앙으로부터 25mm 떨어진 지점으로서 가력점에 보강된 철물 바로 측면을 선정하였다. Fig. 18에 나타낸 바와 같이, 상부강판과 특수나노소재 사이의 수직응력(σ_{yy})은 휨변형에 의한 휨압축응력으로 인해 그에 수직인 면에 대해서 팽창하려는 힘이 구속되면서 압축응력이 발생하는 것을 확인할 수 있다. 그 크기는 중앙부에서 약 3MPa로 가장 컸으며 측면으로 갈수록 작아지는 경향을 나타냈다. 두 재료 사이에 발생되는 수평전단응력(τ_{yz})의 경우, 중앙부에서 약 9MPa의 크기를 나타냈으며, 수직응력과 마찬가지로 실험체 측면으로 이동할수록 작아지는 경향을 나타냈다. 이 수평전단응력의 크기는 두 재료 사이에 발생되는 압축응력에 의해 수직응력이 작용하지 않았을 경우보다 더 증진되었을 것으로 판단된다.

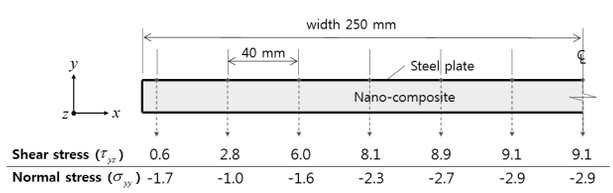

Fig. 18 Stress Distribution in the Surface between Top Steel Plate and Nano-composite

5. 결 론

비표면처리 강판을 이용한 iFLASH 시스템의 적용 가능성을 평가하기 위하여 부착성능 실험 및 유한요소해석을 수행하였으며, 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 강판과 특수나노소재가 충분한 부착성능을 갖는지 알아보기 위하여 부착강도실험을 수행하였다. 블라스트 처리한 강판의 부착강도는 표면 처리를 하지 않은 강판의 부착강도 보다 2~4% 증진되었으므로, 경제성을 고려할 때 일반강판을 사용하는 것이 효율적이다.

2) 소성응력분포이론에 근거하여 iFLASH 시스템의 이론적 휨내력을 산정하였다. 실험값은 이론값 보다 약 11% 상회하여, 제시한 설계값이 타당한 것을 확인하였다. 또한 강판에 추가적인 표면처리를 하지 않더라도 충분한 휨내력과 연성능력을 발휘하는 것을 확인하였다.

3) iFLASH 시스템이 최대내력을 받는 경우 부착면에 작용하는 응력을 유한요소해석을 통하여 확인하였다. 해석결과 강판과 특수나노소재의 부착성능은 압축응력 3MPa, 전단부착응력 9MPa의 조합응력상태를 견딜 수 있는 것으로 나타났다.

ACKNOWLEDGMENT

This research was financially supported by the National Research Foundation of Korea (NRF-2013R1A2A2A 01067872). The writers are grateful to the authorities for their support.

References

ASTM D638 (2014), “Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics”, *American Society for Testing and Materials (ASTM)*, Pennsylvania, USA.

ASTM D649 (2010), “Standard Test Method for Compressive Properties of Rigid Plastics”, *American Society for Testing and Materials (ASTM)*, Pennsylvania, USA.

Banghai J., Zhibin L. and Fangyun L. (2015), Failure Mechanism of Sandwich Beams subjected to Three-Point Bending, *Composite Structures*, Vol. 133, pp.739-745.

Choi, J. W., Kim, S. M., Kim, Y. H., Kim, S. S., Lee, C. N. and Kim, K. S. (2001), T type Steel Concrete Composite Beam Analysis, *Journal of Architectural Institute of Korea*, Vol. 21, No. 2, pp.305-308. (in Korean)

Flores-Johnson E. and Li, Q. M. (2011), Experimental Study of the Indentation of Sandwich Panels with Carbon Fibre-Reinforced Polymer Face Sheets and Polymeric Foam Core, *Composites Part B:*

Engineering, Vol. 42, No. 5, pp.1212-1219.

Frederic J. P. (1996), Sandwich Construction: The Bending and Buckling of Sandwich Beams, Plate, and Shells. *John Wiley & Sons*, pp. 1-5.

Heo, S. J., Cho, S. H., Roh, Y. S., Park, T. W., Lee, S. H. and Chung, L. (2010), Structural Performance of Waffle Shaped Precast Prestressed Concrete Slab, *Journal of Architectural Institute of Korea*, Vol. 26, No. 1, pp.3-10. (in Korean)

Ji, H. S., Chun, K. S., Park, D. Y. and Son, B. J. (2011), An Experimental Study on Static Behaviors of Composite Sandwich Bridge Decks with Hybrid GFRP-Steel Core, *Journal of Korean Society for Advanced Composite Structures*, Vol 2, No. 3, pp.12-17. (in Korean)

Ju, Y. K., Kim, D. H. and Kim, S. D. (2005), Experimental Assessment of the Shear Strength of an Asymmetric Steel Composite Beam with Web Openings. *Canadian Journal of Civil Engineering*, Vol. 32, No. 2, pp.314-328.

Ju, Y. K., Kim, J. Y. and Kim, S. D. (2007), Experimental Evaluation of New Concrete Encased Steel Composite Beam to Steel Column Joint, *Journal of structural engineering*, Vol. 133, No. 4, pp.519-529.

Ju, Y. K., Chun, S. C. and Kim, S. D. (2009), Flexural Test of a Composite Beam Using Asymmetric Steel Section with Web Openings, *Journal of Structural Engineering, American Society of Civil Engineers*, Vol. 135, No. 4, pp.448-458.

Kang, J. S., Won D. H. and Kang, Y. J. (2011), Large displacement behaviors of foam-insulated concrete sandwich panels subjected to uniform pressure, J*ournal of Korean Society for Advanced Composite Structures*, Vol 2, No. 4, pp.35-43.

Kim, K. J. (2006), Introduction of Slimfloor System using Slim Beam, *Journal of Architectural Institute of Korea*, Vol. 50, No. 12, pp.71-73. (in Korean)

KS B 0801 (2007), "Test Pieces for Tensile Test for Metallic Materials", *Korean Standards Association (KSA)*, Seoul, Korea. (in Korean)

KS B 0802 (2003), "Method of Tensile Test for Metallic Materials", *Korean Standards Association (KSA)*, Seoul, Korea. (in Korean)

Lee, H. C. (2008), Introduction of Modularized Hybrid System, *Article of the Korean Structural Engineers Association*, Vol. 15, No. 1, pp.55-65. (in Korean)

Mastali M., Valente I., Barros J. A. and Gonçalves D. M. (2015), Development of Innovative Hybrid Sandwich Panel Slabs: Experimental Results, *Composite Structures*, Vol. 133, pp.476-498.

Mullett D. L. and Lawson, R.M. (1993), Slim floor construction using deep decking, *Steel Construction Institute*, U.K.

Naccarato P. A. (2000), Low Floor-to-Floor Heights, Modern Steel Construction, *American Institute of Steel Construction* (*AISC)*, U.S.A.

Oh, M. H., Ju, Y. K., Kim, M. H. and Kim, S. D. (2006), Structural Performance of Steel-Concrete Composite Column subjected to Axial and Flexural Loading. *Journal of Asian Architecture and Building Engineering*, Vol. 5, No. 1, pp.153-160.

Qingxian H., Sawei Q. and Yuebo H. (2015), Development on Preparation Technology of Aluminum Foam Sandwich Panels, *Rare Metal Materials and Engineering*, Vol. 44, No. 3, pp.548-552.

Ryu, J. H., Ju, Y. K. and Yoon, S. W. (2014), Dynamic Characteristic of Composite Beam using the Sandwich Plate System, *Journal of Korean Association for Spatial Structures*, Vol. 14, No. 4, pp.65-72. (in Korean)

Uysal M. U. and Güven U. (2015), Buckling of Functional Graded Polymeric Sandwich Panel under Different Load Cases, *Composite Structures*, Vol. 121, pp.182-196.