Journal of the Korea Concrete Institute
Vol. 28, No. 5, pp. 563~570, October, 2016
http://dx.doi.org/10.4334/JKCI.2016.28.5.563

pISSN 1229-5515
eISSN 2234-2842
www.jkci.or.kr

철근콘크리트 합성 H-Pile의 휨성능

김민준 [1] · 신근옥 [1] · 정제평 [1]*

[1] 호남대학교 토목환경공학과

Flexural Capacity of RC Composited H-Pile

Min-June Kim,[1] Geun-Ock Shin,[1] and Je-Pyong Jeong[1]*

[1]Dept. of Civil Environmental Engineering, Honam University, Gwangju 62399, Rep. of Korea

ABSTRACT The composited structural member in which two or more materials having different stress-strain relationships (steel & concrete) has increased greatly in recent years. This paper presents the experimental results of flexural capacity of the composited H-Pile subjected to bending moment. Eight composited beams were tested under direct loading condition using the frame tester. Based on the experimental results it is noted that flexural capacity of composited H-Pile increased about 20~30% and ductility ratio significantly increased. Limit state analysis of the specimens was conducted and the result shows that flexural strength by limit state analysis is conservative.

Keywords : H-Pile, composited section, flexural test, L.S.D, ductility

1. 서 론

최근 도심지의 구조물이 고층화 및 장대화 되면서 토압과 지하수로 인한 수압에 효과적으로 저항할 수 있는 흙막이 가시설 공법에 대한 관심이 증가하고 있다. 건설현장의 가시설은 띠장과 버팀보 또는 어스앵커, 토류판으로 구성되며, 굴착작업으로 인한 토체의 구조적 안전성을 확보하여 최종 목적구조물을 완성하기 위한 임시구조물이다.[1,2] 개착공사에 사용되는 가시설(H-Pile)의 시공 간격이 조밀하면 H-Pile의 개수와 시공 시 항타 횟수가 많아져 공사비가 증가하게 된다.[3] 특히 지하철 공사를 위한 개착 가시설과 같이 연장이 긴 경우에는 사용되는 H-Pile의 개수에 따라 공사비 증감효과가 크게 나타난다. 일반적으로 현장에서 시공되는 엄지말뚝의 간격은 1.5~2.0 m 이지만,[4] Fig. 1과 같이 기존 H-Pile에 철근콘크리트를 합성하여 강성을 증가시키면 엄지말뚝의 간격을 보다 크게 시공할 수 있으므로 경제적이다. 따라서 단면은 단순하고 시공은 간편하면서 큰 강성을 발휘할 수 있는 합성 H-Pile에 대한 연구가 필요하다.[5] 본 연구에서는 철근콘크리트 합성 H-Pile의 보강효과를 확인하기 위하여 콘크리트 충진률과 보강 철근비를 실험변수로 한 총 8개의 실험체를 제작하여 휨 실험을 수행하였다. 또한, 제작한 실험체에 대해 한계상태해석을 수행하고 해석결과와 실험결과를 비교·분석하였다.

*Corresponding author E-mail : safecon@honam.ac.kr
Received April 1, 2016, Revised August 10, 2016,
Accepted August 29, 2016
ⓒ2016 by Korea Concrete Institute

2. 한계상태해석

2.1 응력-변형률 곡선

LSD (Limited State Design, 한계상태설계법)에서는 단면의 휨설계를 위하여 콘크리트의 압축거동을 이상화한 콘크리트의 응력-변형률 곡선을 사용할 수 있도록 하고 있다. LSD에서는 Fig. 2와 같이 포물선과 직선으로 구성된 응력-변형률 구성관계 즉, 포물-사각형 응력-변형률 곡선(Parabola-

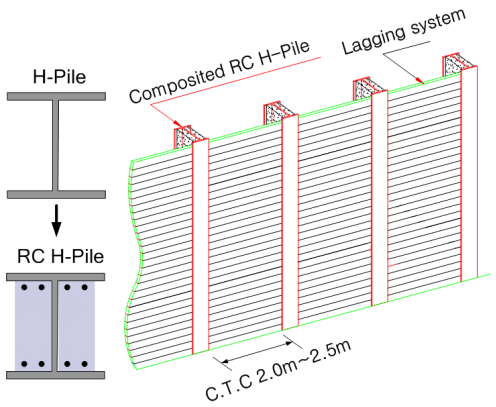


Fig. 1 Concept of the composited RC H-Pile

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

rectangular stress-strain curve; p-r 곡선)을 사용하도록 제안하고 있고, 콘크리트의 응력을 변형률의 함수로서 구간에 따라 다음 식 (1)과 (2)로 제시하고 있다.[6]

$$f_c = 0.85 f_{ck}\left[1-(1-\frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{co}})^n\right] \quad (0 \le \varepsilon_c \le \varepsilon_{co}) \tag{1}$$

$$f_c = 0.85 f_{ck} \quad (\varepsilon_{co} < \varepsilon_c \le \varepsilon_{cu}) \tag{2}$$

여기서, f_{ck}는 콘크리트의 설계기준강도, ε_{co}는 콘크리트의 정점변형률, ε_{cu}는 한계변형률이며 n은 상승 곡선부의 형상을 나타내는 지수로서 Table 1에 주어진 값을 갖는다.[7]

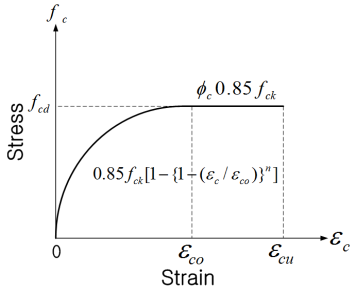


Fig. 2 Stress-strain curve of concrete

Table 1 Coefficient of stress-strain curve

$f_{ck}(MPa)$	≤40	50	60	70	80	90
$\varepsilon_{co}(10^{-3})$	2.0	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5
$\varepsilon_{cu}(10^{-3})$	3.3	3.2	3.1	3.0	2.9	2.8
n	2.0	1.92	1.50	1.29	1.22	1.20

본 연구에서 사용한 콘크리트의 압축강도는 31.3 MPa 이므로 한계상태해석 시 정점변형률(ε_{co}) 0.002, 한계변형률(ε_{cu}) 0.0033 및 지수(n) 2.0을 사용하였다. 강재는 Fig. 3과 같이 이중선형(Bi-Linear)의 응력-변형률 곡선을 사용하였고 극한변형률(ε_u)는 항복변형률(ε_y)의 20배인 $20\varepsilon_y$를 적용하였다.

2.2 공칭휨모멘트 산정

본 연구에서는 한계상태해석을 위하여 베르누이 가정 및 강재와 콘크리트의 완전부착을 적용하였다. 강재의 항복과 강재의 파단 또는 콘크리트의 압괴에 대하여 해석을 수행 하였으며 각 단면의 각 단계에 대한 변형률 및 응력분포를 Fig. 4에 도시화하였다. 부재의 공칭휨모멘트는 식 (3d)와 같이 구성재료들의 공칭휨모멘트 합으로 나타낼 수 있고, 강재의 공칭휨모멘트(M_s), 콘크리트의 공칭휨모멘트(M_c) 및 철근의 공칭휨모멘트(M_s')는 다음의 식을 통해 계산할 수 있다.[8]

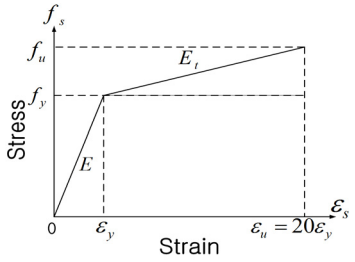


Fig. 3 Stress-strain curve of steel

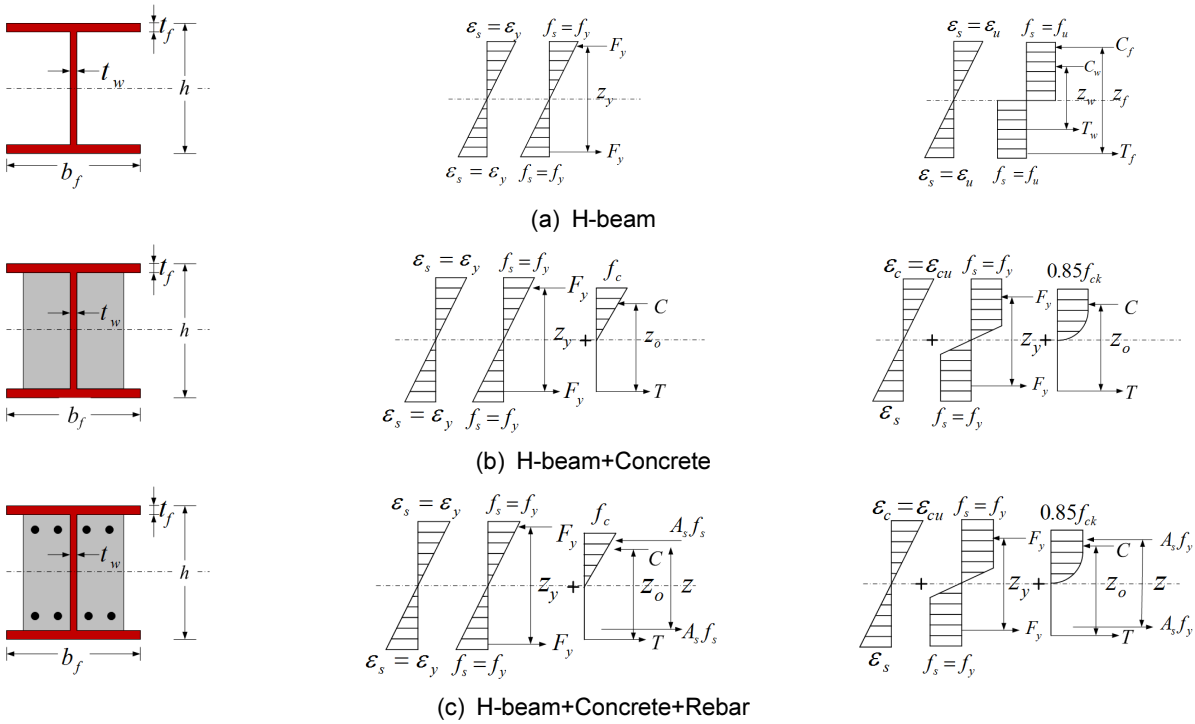


Fig. 4 Stress-strain distribution of section

$$M_s = F_y Z_y \tag{3a}$$

$$M_c = C Z_o \tag{3b}$$

$$M_s' = A_s f_y Z \tag{3c}$$

$$M_n = M_s + M_c + M_s' \tag{3d}$$

3. 실험계획

3.1 실험재료

3.1.1 콘크리트

본 연구에서 사용한 콘크리트의 배합표는 Table 2와 같다. 시멘트는 1종 보통 포틀랜드시멘트를 사용하였고 굵은 골재 최대치수(G_{max}) 20 mm와 물-시멘트비(W/C)는 38%를 사용하였다.

3.1.2 강재 및 이형철근

H-Pile은 H250×250×9×10과 H300×300×10×15의 2종류를 사용하였고 철근은 H10, H16, H25의 이형철근을 사용하였다. Table 3은 H-Pile과 철근의 재료조건을 나타낸 것이다.[8)]

Table 2 Concrete mix proportion

f_{ck} (MPa)	G_{max} (mm)	W/C (%)	S/a (%)	Unit weight(kg/m^3)			
				C	W	S	G
30	20	38	43	680	259	914	994

Table 3 Materials specification

Index	Spec	f_y(MPa)	f_u(MPa)	E_s(MPa)	ν
H-Pile	SS400	240	400	200,000	0.3
Rebar	SD400	400	560		

3.2 실험체 제원 및 실험체 제작

실험체의 기하학적 제원은 Table 4에 나타낸 것과 같다. 2개의 무보강 H-Pile과 6개의 철근콘크리트 합성H-Pile을 제작하였다. 콘크리트로 충진된 실험체는 복부 폭의 2/3를 충진한 것과 1/2을 충진시킨 두 가지 형태로 제작하였다. 종방향 단면제원은 Fig. 5와 같다. 실험체의 전체 길이는 3,500 mm이고, 경간길이는 3,300 m이며, 경간 중앙에 집중하중을 재하하여 휨실험을 실시하였다. H-Pile과 충진 콘크리트가 수평전단에 의해 분리되지 않고 합성작용을 할 수 있도록 직선형 스터럽과 K형 스터럽을 300 mm 간격으로 교차하여 배치하였다. 스터럽 배치상세와 계측시스템 구성도는 Fig. 6과 같다.

H-Pile 하부 중앙에 2개의 스트레인게이지를 부착하여 H-Pile의 항복여부를 판단하였고, 실험체 중앙과 양쪽 전단경간 중앙에 각각 LVDT를 설치하여 처짐을 측정하였다.

합성H-Pile은 H-beam을 3.5 m 크기로 절단한 후, 철근과 스터럽을 용접하고 콘크리트를 타설하여 제작하였다. 28일간의 양생과정을 거쳐 실험체 제작을 완료하였고, 제작과정

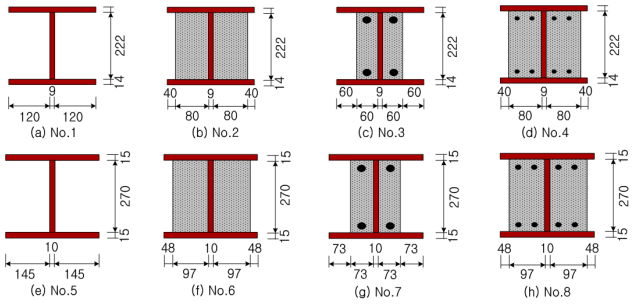


Fig. 5 Shape and dimensions of cross section

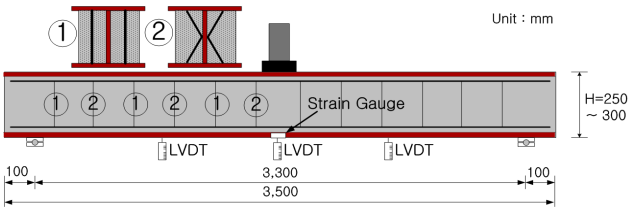


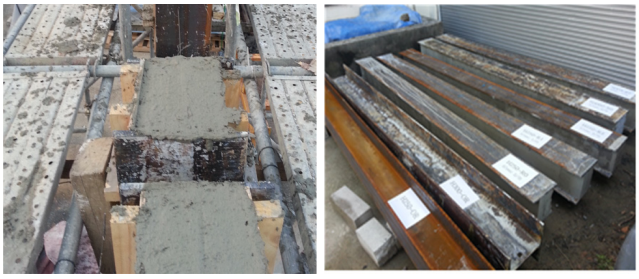
Fig. 6 Shape and dimensions of longitudinal section

Table 4 Summary of variables for beam tests

Specimen		f_{ck} (MPa)	b (mm)	H (mm)	L (m)	A_s (mm^2)	ρ_s^* (%)	I (mm^4)	W (kN)	Remark
No.1	H250-OR	31.3	250	250	3.5	-	-	105,788,119	2.53	H-Pile
No.2	H250-Con					-	-	124,098,419	5.51	Composited
No.3	H250-Rebar4					2,027(4@H25)	1.62	123,660,500	5.24	
No.4	H250-Rebar8					571(8@H10)	0.46	128,723,879	5.67	
No.5	H300-OR		300	300		-	-	199,327,500	3.29	H-Pile
No.6	H300-Con					-	-	238,964,141	7.49	Composited
No.7	H300-Rebar4					2,027(4@H25)	1.13	258,325,109	5.21	
No.8	H300-Rebar8					1,589(8@H16)	0.88	261,862,949	7.93	

$* \rho_s = 0.5A_s/(b \times H) \times 100$

(a) welding work of stirrup (b) form work



(c) concrete placing (d) curing 28 days

Fig. 7 Production process of composited RC H-Pile

을 Fig. 7에 나타내었다.

4. 실험 결과 및 분석

4.1 균열형상

Fig. 8은 실험체의 파괴 후 모습과 균열형상을 나타낸 것이다. 무보강 H-Pile (No.1, No.5)는 모두 하중 재하점 플랜지가 국부좌굴을 일으켜 파괴되었다. 합성H-Pile의 하중점 부근에서는 수직 휨균열이 발생하였고, 지점에 가까울수록 경사 전단균열이 관찰되었다. 관찰된 균열의 개수와 길이를 Table 5와 Fig. 9에 정리하였다. 최초의 휨균열은 모든 실험체에서(0.2~0.25) V_u의 하중 범위 내에서 발생하였다. 대부분의 실험체가 하중이 증가함에 따라 균열의 개수가 선형적으로 증가하였고, 철근을 배치하지 않고 콘크리트만을 충진한 실험체가 전체 하중단계에 대하여 가장 많은 균열이 발생하였으며 이러한 현상은 H250에서 두드러지게 나타났다. No.7 실험체는 제작 중 하부플랜지가 손상되어 찢김 파괴가

(a) No.1 (b) No.2

(c) No.3 (d) No.4

(e) No.5 (f) No.6

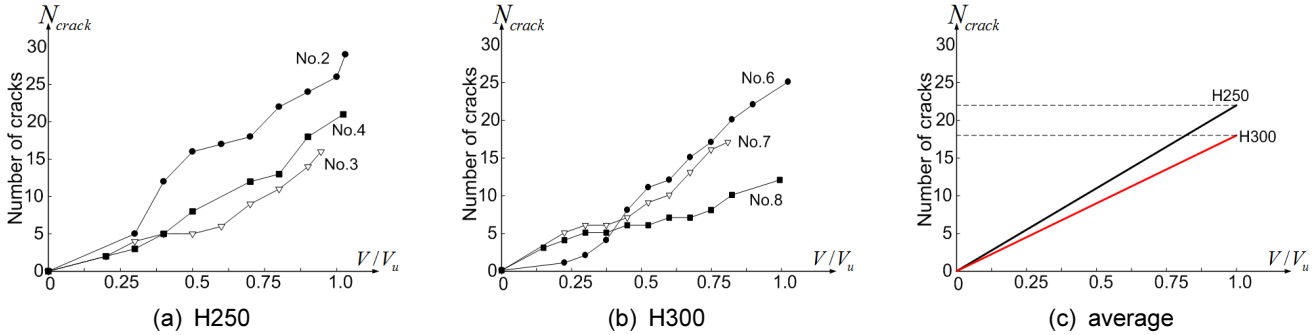
(g) No.7 (h) No.8

Fig. 8 Crack pattern of bending specimens

Table 5 Result of Crack pattern

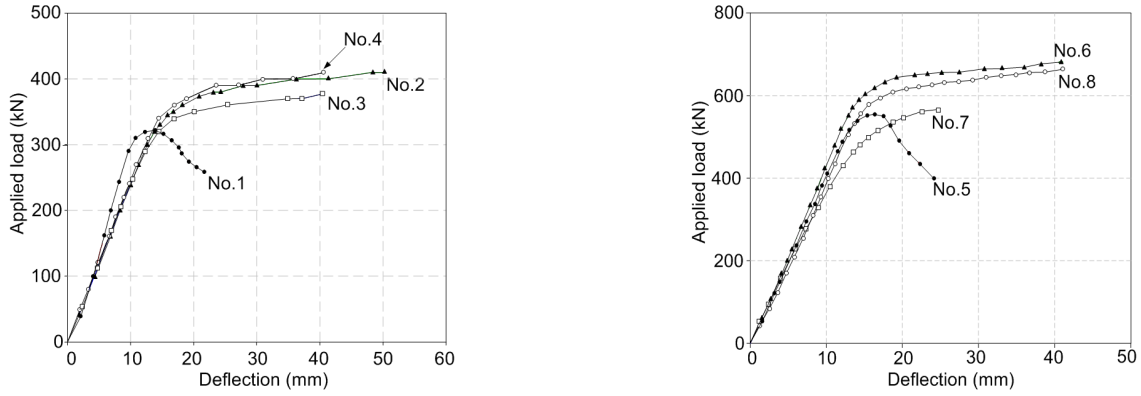
Specimen	Crack length (mm)		Crack count (ea)		Cracking range (mm)		Failure Mode
	Maximum (mm)	Average (mm)	All sectors	Loading point (B=500 mm)	Horizontal	Verticality	
No.1	-	-	-	-	-	-	S.B
No.2	225	169	29	13	3300	230	T.F
No.3	215	177	16	6	2500	210	T.F
No.4	225	148	21	11	2300	225	T.F
No.5	-	-	-	-	-	-	S.B
No.6	250	153	25	16	3000	250	C.C
No.7	250	194	17	7	3100	250	S.T
No.8	250	174	12	5	2900	250	T.F

∗ *S.B: Steel Buckling, T.F: Tenslie Failure, C.C: Concrete Crushing, S.T: Steel Tearing*



(a) H250 (b) H300 (c) average

Fig. 9 Crack count as applied load (V/V_u)



(a) test of H250 (b) test of H300

Fig. 10 Load-deflection curves

Table 6 Test result of yielding and ultimate load

Specimen		Yielding state			Ultimate state		
		P_y (kN)	η_y^*	δ_y (mm)	P_u (kN)	η_u^*	δ_u (mm)
No.1	H250-OR	315	1.00	10.5	323	1.00	14.1
No.2	H250-Con	372	1.18	16.3	412	1.28	50.7
No.3	H250-R4	340	1.08	14.0	378	1.17	41.0
No.4	H250-R8	373	1.18	15.8	409	1.27	41.0
No.5	H300-OR	531	1.00	13.8	556	1.00	16.4
No.6	H300-Con	632	1.19	14.5	684	1.23	42.0
No.7	H300-R4	521	0.98	13.4	-	-	-
No.8	H300-R8	600	1.13	16.0	664	1.19	42.0

$*\eta_y = P_{y,test}/P_{y,H-Pile}$, $*\eta_u = P_{u,test}/P_{u,H-Pile}$

발생하였고, 다른 실험체들과 달리 전체 하중단계에서 상대적으로 많은 균열이 발생하였다. H250과 H300 실험체의 전단경간-깊이비(a/H)는 각각 6, 5로 H250의 전단경간-깊이비가 더 크고, No. 3과 No. 7 실험체를 제외하면 전단경간비가 더 큰 H250실험체에서 균열 개수가 많이 관찰되었다.

4.2 하중-처짐

Fig. 10은 실험 의한 하중-변위 관계를 나타낸 것이고 Table 6은 각 실험체의 항복과 극한상태에서의 하중과 처짐을 나타낸 것이다. 실험체는 처음 항복에 이르기까지 거의 선형적인 거동을 나타냈으나 그 이후 비선형적인 거동을 보여주었다. 각 실험체의 항복여부 및 항복하중은 실험체 경간 중앙에 설치한 스트레인게이지의 변형률을 통해 결정하였고, 측정된 변형률에 의하면 모든 실험체가 파괴되기 전에 항복하였다. No.7 실험체는 제작 중 하부플랜지가 손상되어 찢김 파괴가 발생하여 파괴되었다. 무보강 실험체인 No. 1과 No. 5는 다른 실험체들과 달리 항복 후 충분한 연성능력을 발휘하지 못하고 급작스럽게 파괴되었는데, 이는 No. 1과 No. 5 실험체가 하중 재하점 상부플랜지에서 국부좌

굴에 의해 파괴되었기 때문으로 판단된다. No. 1과 No. 5를 제외한 다른 합성H-Pile은 항복하중 이후에 큰 소성변형이 발생하며 충분한 연성능력을확보하였다. 사용한 계측장비의 용량한계 이유로 강재 파단을 확인하지 못하고 중간에 실험을 중단하였고, 실험결과만을 가지고 비교하였을 때 합성H-Pile의 연성능력이 무보강 H-Pile의 두 배 이상임을 확인할 수 있다. 일반적으로 H-Pile에 철근이나 콘크리트를 보강하면 강성이 증가하고 하중-처짐 곡선에서 직선구간의 기울기가 커지게 된다. 하지만 H250에 대한 하중-처짐 곡선 Fig. 10(a)와 Fig. 10(b)의 No. 7 실험체에 대한 하중-처짐 곡선을 살펴보면 이와 반대되는 결과를 보인다. 이러한 원인으로는 제작오차와 실험오차로 추정된다. 하중특성을 살펴보면, 콘크리트와 철근으로 보강한 H-Pile의 항복하중은 보강하지 않은 H-Pile보다 약 10~20%, 극한하중은 약 20~30% 증가하였다. 이는 콘크리트와 철근으로 보강한 실험체들이 항복이후 변형경화(strain hardening)구간을 나타낸 반면, 무보강 H-Pile은 항복 후 바로 국부좌굴로 파괴되어 변형경화구간이 발현되지 못했기 때문이다. 콘크리트만을 충진한 실험체인 No. 2와 No. 6의 하중 증가량이 같은 면적의 콘크리트에 철근을 보강한 실험체인 No. 4과 No. 8의 하중 증가량보다 오히려 조금 높게 나타났다. 또한 철근비(ρ_s)가 상대적으로 높지만 콘크리트 충진이 적게 된 No. 3 (ρ_s=1.62%)과 No. 7 (ρ_s=1.13%) 실험체의 보강효과가 철근비는 낮지만 콘크리트 충진이 많이 된 No. 4 (ρ_s=0.46%)와 No. 8 (ρ_s=0.88%) 실험체의 보강효과보다 떨어지는 것으로 나타났다. 즉 본 연구에 사용한 실험체의 실험결과에 의하면 콘크리트 충진이 철근 배근에 의한 보강효과보다 뛰어난 것으로 나타났고 이는 좁은 콘크리트 면적에 철근을 배근하게 되면서 피복이 부족하여 오히려 부착성능을 떨어뜨려 강성을 저하시키는 것으로 판단된다.

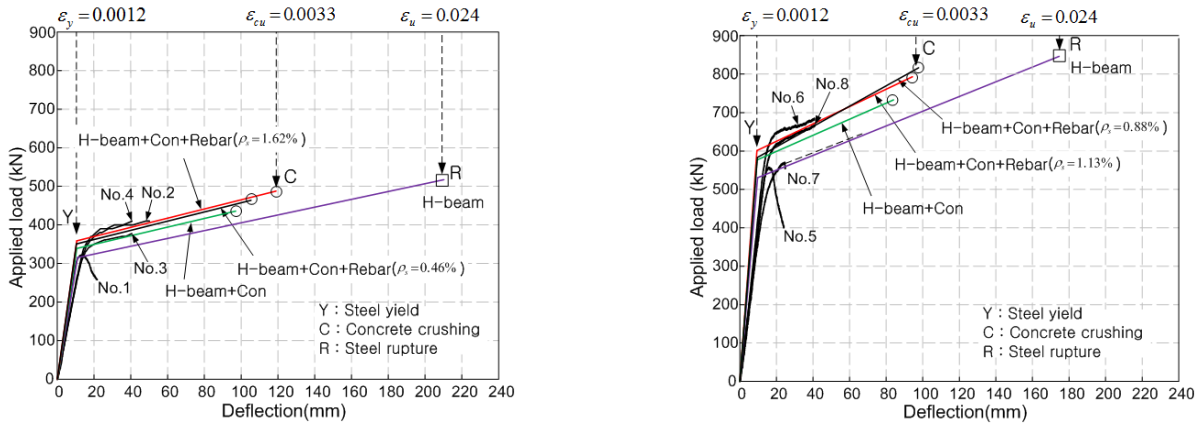
4.3 한계상태해석

본 연구에서는 실험체의 한계상태해석을 위하여 베르누이 변형률 분포 및 강재와 콘크리트의 완전부착을 가정하였고 강재의 항복, 콘크리트 압괴 및 강재의 파단 등을 기준으로 한계상태해석을 수행하였다. 해석 시 휨균열이 발생한 이후 인장단면의 콘크리트는 무시하였고, 합성단면의 중립축 변화를 고려하였다. 강재 항복, 콘크리트 압괴 및 강재 파단의 각 단계에서 식 (3)을 적용하여 하중이력해석 결과를 Table 7에 나타내었다. 그리고 한계상태해석과 실험에 의한 하중-처짐을 비교하여 Fig. 11에 나타내었다.

한계상태해석결과에 의하면 실험에서와 유사하게 H-Pile에 콘크리트만을 충진한 경우 강도증가효과가 가장 크게 나타났지만, 철근비에 대해서는 실험결과와 달리 철근비가 증가할수록 강도가 증가하는 경향을 나타내었다. 한계상태해

Table 7 Limit state analysis

	Index		P_y (kN)	δ_y (mm)	P_u (kN)	δ_u (mm)	Remark
H250	No. 1	H-Beam	315.0	8.74	517.2	208.3	Steel rupture
	No. 2	H-Beam+Con	338.5	8.71	434.3	95.0	Concrete crushing
	No. 3	H-Beam+Con+Rebar (ρ_s=1.62%)	358.1	8.71	486.5	116.8	Concrete crushing
	No. 4	H-Beam+Con+Rebar (ρ_s=0.46%)	350.9	8.71	460.9	103.6	Concrete crushing
H300	No. 5	H-Beam	531.0	7.26	845.6	171.8	Steel rupture
	No. 6	H-Beam+Con	575.3	7.26	731.8	80.9	Concrete crushing
	No. 7	H-Beam+Con+Rebar (ρ_s=1.13%)	601.6	7.26	792.4	91.9	Concrete crushing
	No. 8	H-Beam+Con+Rebar (ρ_s=0.88%)	583.3	7.26	817.4	95.6	Concrete crushing



(a) H250 (b) H300

Fig. 11 Load - deflection curves

석에 의한 결과는 실험에 비해 다소 보수적인 예측을 하는 것으로 나타났다.

4.4 연성능력 및 에너지소산능력

Fig. 12와 같이 하중-처짐 곡선에서 항복하중과 극한하중을 구분하면 연성능력 및 에너지소산 능력을 평가할 수 있다.[9] 항복점을 결정하기 위하여 Moehle Method[10,11]를 이용하였고, 각 실험체의 하중-처짐 곡선에 항복하중과 극한하중을 Fig. 13에 도시화하였다. 각 실험체의 연성능력과 에너지소산능력을 산정하여 Table 8에 정리하였다. No.7 실험체는 제작 중 하부플랜지 손상으로 찢김 파괴가 발생하여 연성능력 및 에너지소산능력을 평가할 수 없었다.

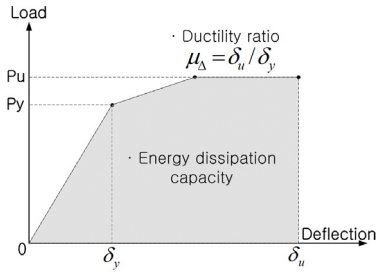


Fig. 12 Deformation characteristics definition

Table 8 Result of energy dissipation capacity

Specimen	$\mu_\Delta(\delta_u/\delta_y)$*	E (kN·mm)*	$E/P_y\delta_y$
No. 1	1.34	25,760	7.79
No. 2	3.11	155758	25.69
No. 3	2.93	122860	23.71
No. 4	2.59	121117	20.55
No. 5	1.19	45879	6.26
No. 6	2.83	204453	22.31
No. 7	-	-	-
No. 8	2.56	194531	20.26

* μ_Δ: Ductility ratio
* E : Area of P-δ curve up to failure load

4.4.1 연성능력

H250 실험체의 No. 1 실험체에 대한 연성비 증가율은 No. 2에서 2.32, No. 3은 2.19 그리고 No. 4는 1.93으로 나타났다. 그리고 H300 실험체의 연성비는 No. 5에 비해 No. 6은 2.38배, No. 8은 2.15배 증가하였다. 즉 보강하지 않은 H-Pile보다 합성된 H-Pile에서 약 2배 이상의 연성효과가 나타났고 이는 충진 콘크리트가 H-Pile의 국부좌굴을 방지하였기 때문으로 판단된다.

4.4.2 에너지소산능력

에너지소산능력은 하중-처짐 곡선의 전체면적을 항복점까지의 면적으로 나누어 산정할 수 있고 각 실험체의 에너지소산능력을 산정하여 Table 8에 나타내었다.[12] 보강하지 않은 No. 1 실험체의 에너지 소산능력은 7.79이고 합성시킨 실험체 No. 2는 25.69, No. 3는 23.71 그리고 No. 4는 20.55로 나타났다. 또한 H300 실험체의 에너지소산능력은 보강하지 않은 No. 5는 6.26이고, 보강한 실험체 No. 6는 22.31 그리고 No. 8은 20.26로 나타났다. 합성한 실험체의 에너지소산능력은 보강하지 않은 H-Pile에 비해 약 3배 이상 크게 나타났고, 이러한 이유로는 연성능력과 마찬가지로 충진 콘크리트가 H-Pile의 국부좌굴을 방지하였기 때문으로 판단된다.

5. 결 론

본 연구에서는 서로 다른 응력-변형률 구성관계를 갖는 2가지 이상의 재료로 구성된 철근콘크리트 합성 H-Pile의 휨성능을 파악하고자 실험체를 제작하여 휨파괴 실험을 수행

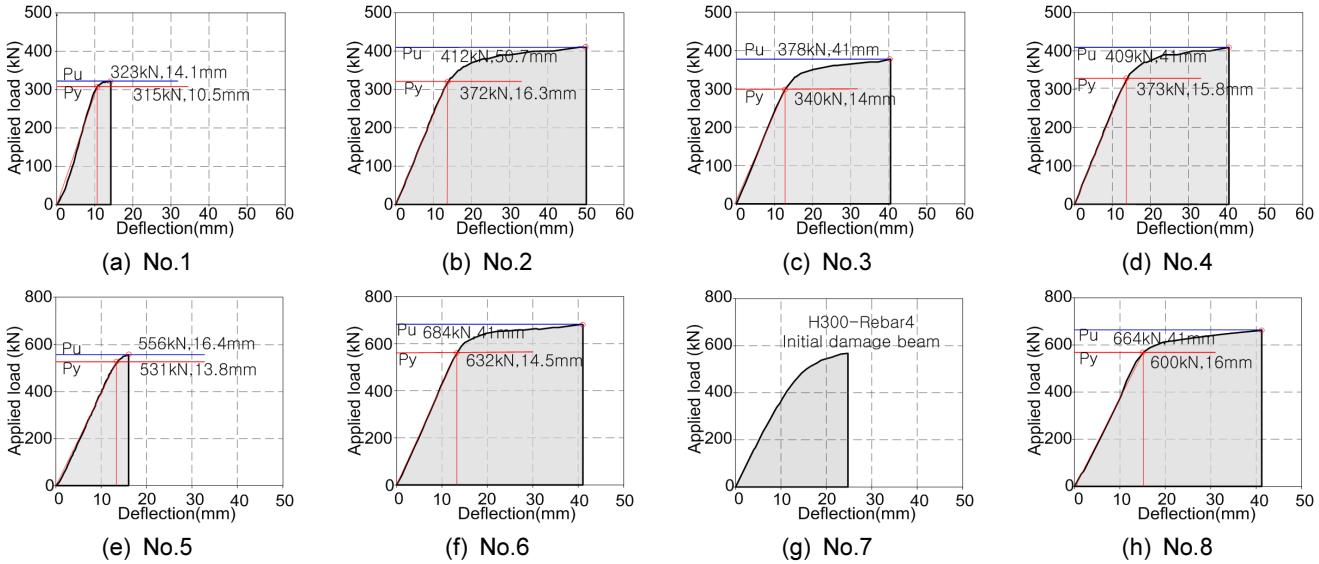


Fig. 13 Ductility curves for bending test specimens

하였다. 실험 결과를 이용하여 균열형상, 하중-변위 곡선, 한계상태해석 및 연성능력과 에너지소산능력을 분석하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 콘크리트와 철근으로 보강한 H-Pile의 항복하중은 보강하지 않은 H-Pile보다 약 10~20%, 극한하중은 약 20~30% 크게 나타났다. 또한, 콘크리트만을 충진한 실험체가 철근과 콘크리트로 보강한 실험체보다 큰 휨저항능력을 나타내었고 철근비가 높은 실험체가 낮은 실험체보다 휨성능이 떨어지는 것으로 나타났다.
2) 한계상태해석으로 분석한 결과, 파괴하중은 실험결과보다 보수적인 예측을 하였다. 또한, 실험결과와 달리 철근비가 커질수록 극한하중이 커지는 경향을 나타냈고, 무보강 실험체는 국부좌굴을 반영한 하중이력곡선을 정확히 예측할 수 없었다.
3) 콘크리트 및 철근으로 보강한 실험체는 무보강 H-Pile보다 2배 이상의 연성효과와 3배 이상의 에너지소산능력을 갖는 것으로 관찰되었고, 이는 무보강 H-Pile에서 관찰된 국부좌굴이 콘크리트 충진에 의해 방지되었기 때문으로 판단된다.

References

1. Cho, K. J., Jun, S. H., Suh, J. W., Yoo, N. J., and Park, B. S., "Numerical Study for Application of Sheet Pile Retaining Wall Reinforced with H-pile", *Journal of the Korea Geoenvironmental Society*, Vol.16, No.7, 2015, pp.23-33.
2. Park, S. E., Park, M. H., and Kim, J. K., "Discrete Optimum Design of the Strut Supported Temporary Structures", *Journal of the Korea Society of Industrial Application*, Vol.11, No.3, 2008, pp.127-134.
3. Kim, M. J., Lee, C. S., Ma, J. H., and Jeong, J. P., "Flexural Analysis of H-Pile Composite with RC for Excavation", *Korea Concrete Institute Conference*, 2015, pp.155-156.
4. Temporary Work Standard Specification, Ministry of Land, 2014, pp.98-120.
5. Yoo, S. W., and Suh, J. I., "A Study on the Experiment of Flexural Behavior of Composite Beamwith Steel Fiber Reinforced UHPC and Inverted-T Steel Considering Compressive Strength Level", *Journal of the Korea Concrete Institute*, Vol.27, No.6, 2015, pp.677-685.
6. Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs highway bridge design standards 2012, pp.180-240.
7. K, W., "Limit state design of concrete structures", donghwa technique, 2014, pp.10-60.
8. Korea Institute of Steel Construction. Steel Structure Design Criteria, Goomibook, 2007, pp.15-200 (in Korean).
9. Yang, I. H., and Kim, K. C., "An Experimental Study on Flexural Behavior of Beams Reinforced with Zinc-Coated Rebar", *Journal of the Korea Concrete Institute*, Vol.26, No.3, 2014, pp.299-306.
10. Wilam, and T. Tanbe., Finite Element Analysis of Reinforced Concrete Structures, ACI SP-205, 2001, pp.2-30 (in USA).
11. Pan, A. D., and Moehle, J. P., "Lateral Displacement Ductility of Reinforced Concrete Flat Plate", *ACI Structural Journal*, Vol.86, No.3 1989, pp.250-258.
12. Oh, Y. H., Nam, Y, G., and Kim, J. H., "Strength and Ductility of Steel Fiber Reinforced Composite Beams without Shear Reinforcements", *Journal of the Korea Concrete Institute*, Vol.19, No.1, 2007, pp.103-111.

요 약 서로 다른 응력-변형률 구성관계를 갖는 2가지 이상의 재료로 구성된 합성구조부재의 사용이 크게 증가하고 있다. 본 연구에서는 철근 및 콘크리트로 보강한 합성 H-Pile의 휨성능을 평가하고자 8개의 실험체를 제작하여 휨실험을 실시하였다. 실험결과 합성H-Pile의 휨성능이 무보강 H-Pile보다 10~30%정도 크게 나타났고, 연성능력은 2배 이상, 에너지소산능력은 3배 이상 증가하였다. 한계상태해석 결과는 실험보다 보수적인 강도예측을 하였다.

핵심용어 : H형강, 합성단면, 휨실험, 한계상태설계, 연성