

횡구속재의 종류에 따른 고강도콘크리트 기둥의 내력 및 연성에 관한 연구

A Study on the Behavior of High-Strength Concrete Columns with Variable Lateral Confinement

임정은* 김은호** 정덕우*** 윤승조**** 김성수***** 한천구*****
Lim, Jeong Eun Jin, En Hao Jung, Duk Woo Yoon, Seong Joe Kim, Seong Soo Han, Cheon Goo

ABSTRACT

High-strength concrete(HSC) is a new construction material with enormous potential. Structures using high-strength concrete are to be coming more and more popular. But high-strength reinforced concrete columns show brittle behavior. It, therefore, is necessary to improve the ductility of HSC members. The purpose of this study is to investigate the ductility and strength of high-strength columns with variable lateral confinement under concentric axial load. Five HSC columns with compressive strength 68MPa are designed with variable lateral confinements such as carbon fiber sheet(CFS), glass fiber sheet(GFS), and metal lath. Test results indicate that specimen confined by CFS show 11% higher maximum strength, 2.74 times ductility than A specimen using hoop. On comparing with the specimen A and B confined metal lath instead of hoop, strength decrease of 3%, and ductility increase of 1.21 times were observed.

1. 서론

최근 철근 콘크리트 건축물은 대형화 및 고층화되어짐에 따라 고강도 콘크리트의 수요가 증가하고 있다. 그러나 고강도 콘크리트는 일반 강도인 보통 콘크리트에 비하여 시공성, 압축강도 및 내구성이 크다는 장점이 있는 반면, 압축강도 증진에 따른 파괴형태가 취성적인 단점을 가지고 있다. 현재 고강도 콘크리트의 취성적인 파괴를 줄이고 기둥의 변형 능력을 확보하기 위하여 코어 콘크리트를 구속시키도록 의무화하고 있으며 여기서의 횡보강근은 주근의 조기좌굴을 지연시킬 뿐만 아니라 전단 보강근으로서 전단에 대해 저항하여 주근과 콘크리트 사이의 정착성능을 향상시켜 구조적 연속성을 유지하는데 매우 중요한 역할을 한다.

선행 연구¹⁾ 된 공시체를 이용한 횡구속 재료 변화에 따른 고성능 콘크리트의 역학적 특성에 관한 연구에서 메탈라스, 유리섬유시트 및 탄소섬유시트에 의한 횡구속 효과가 있는 것으로 실험 결과 입증되어 본 연구에서는 실제 구조 부재에 대한 적용성을 평가하고자 고강도 콘크리트의 적용 시 가장 이점이 있는 기둥 부재에 적용하여 내력 및 연성에 미치는 영향을 평가하고자 한다.

* 정회원, 충주대 대학원, 석사과정

** 정회원, 청주대 대학원, 석사과정

*** 정회원, 청주대 대학원, 박사과정

**** 정회원, 충주대 건축공학과 교수, 공학박사

***** 정회원, 청주대 건축공학과 교수, 공학박사

2 실험체 계획

2.1 실험체 계획 및 제작

시험체는 압축강도 68MPa의 고유동화 콘크리트를 이용하고 띠철근으로 황구속된 기준 시험체(A)와 띠철근을 사용하지 않은 메탈라스(B, C), 유리섬유(D) 및 탄소섬유시트(E)를 이용하여 기둥을 제작하여 구조체의 거동을 평가하기 위해 중심 축력을 받는 시험체 총 5개를 계획하였다.

모든 시험체의 중앙부 단면치수는 200mm×200mm, 높이 750mm로 일정하게 제작하고, 띠철근은 측정부인 중앙에서 150mm로 배근하고, 단부에는 국부파괴를 방지하기 위하여 띠철근의 배근간격을 25mm로 하였다. 주근은 D13(SD40)을 사용하였으며, 띠철근은 $\phi 6$ 을 사용하였다. 유리 섬유 시트(Glass Fiber Sheet) 및 탄소 섬유 시트(Carbon Fiber Sheet) 보강은 제작된 거푸집에 미리 정착 시킨 후 콘크리트를 타설하여 제작하고, 양생 후 탄소 섬유 시트의 겹침 부분은 에폭시를 이용하여 부착 경화 시킨다. 시험체의 배근 및 콘크리트 타설 등 시험체 제작의 모든 과정은 실험실 내에서 이루어졌다.

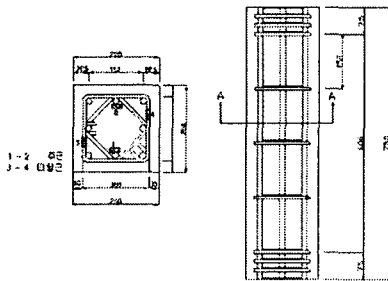


그림1 시험체 배근형태 및 게이지부착위치

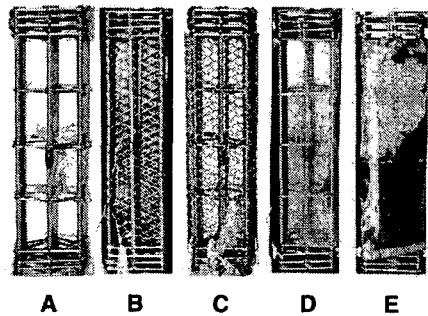


그림 2 시험체 배근현황

2.2 재료실험

표 1 콘크리트의 사용재료 및 배합비

f_{cu} (MPa)	W/C (%)	S/A (%)	W (kgf/cm ³)	용적배합 (ℓ / m ³)				중량배합(kgf / m ³)			
				C	S	G	S.F	C	S	G	S.F
68.63	30	43	183	170	245	324	33	537	658	888	73

표 2 콘크리트의 압축강도 시험결과

제형 구분	높이 (mm)	단면적 (mm ²)	f_{cu} (MPa)	ιE_c (MPa)	E_c (MPa)

* E_c 는 응력-변형률 곡선에서 최대응력의 약 1/4점에서 구한 Secant Modulus

표 3 시험체 일람표

구분 시험체	설계기준강도 (MPa)	단 면 (mm×mm)	황구속형태	주 근	비 고
A	68	200×200	띠철근	8-D13, $f_y=392\text{MPa}$	기준시험체
B			메탈라스		띠철근대용
C			띠철근+메탈라스		피복박 설치
D			띠철근+유리섬유시트		피복박 설치
E			띠철근+탄소섬유시트		피복박 설치

2.3 하중재하 및 측정방법

시험체 설치 상황은 그림 3과 같으며, 가력은 500tonf 용량의 만능 시험기(U.T.M)를 사용하여 일축 가력을 하였다. 실험 전 구간에 걸쳐 변위 제어로 중심 일축압력으로 가력하였으며, 가력하기에 앞서 가력면에 석고+시멘트를 균등하게 분포시켜 시험체에 생기는 편심과 시험체의 측정오차를 최소한으로 줄이도록 하였다. 측정기기들의 이상유무를 확인한 후 시험체의 전후·좌우를 맞추어 설치하였다. 시험체의 초기 균열, 균열상황을 육안으로 관찰하여 기록하였고 실험 종료 후 사진으로 촬영하였다. 축 변위측정을 위해서 시험체 상부에 변위측정기(LVDT)를 설치하였고, 시험체의 주근과 띠철근의 변형도를 측정하기 위한 W.S.G(Wire Strain Gage)를 부착하여 Data Logger에 연결하여 재하하기 전에 모든 게이지의 이상 유무를 확인한 후 초기화하였다.

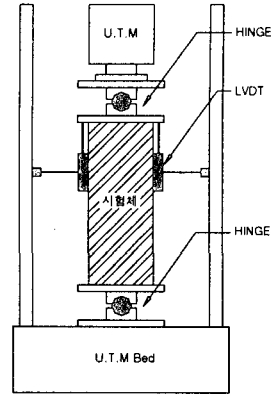


그림 3. 가력상황도

3. 실험결과 및 분석

3.1 실험 결과 및 시험체별 파괴 양상

실험결과 일람표는 표 4에 나타내고, 각 시험체의 응력-변형률 곡선은 그림 4에 나타내었다.

A 시험체는 다른 시험체와 비교하기 위한 기준 시험체로 초기균열은 1210kN에서 단부에서 미세하게 발생한 후 균열은 하중증가와 더불어 피복콘크리트와 코어 콘크리트의 경계선을 따라 중앙으로 서서히 진전되었으며 2210kN에서 취성적인 파괴를 일으켰다. 메탈라스로 황구속된 B, C 시험체는 최대 하중 이후 피복이 박리됨과 동시에 메탈라스가 박리되었다. D시험체와 E시험체는 기준 시험체에 외부에 유리섬유시트 및 탄소섬유 시트로 보강된 시험체로 최대하중 이후 탄소 섬유 및 유리섬유시트가 모서리에서 파단되었다.

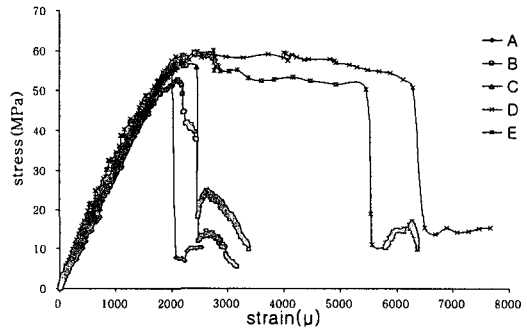


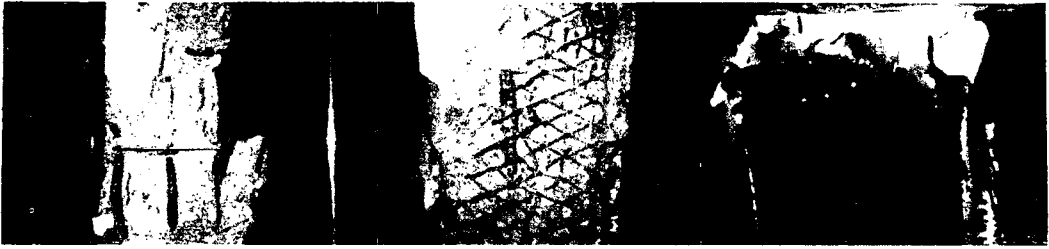
그림 4. 응력 - 변형률 곡선

그림 4는 각 시험체별 응력-변형률 곡선을 나타낸 것으로 기준 시험체(A)와 메탈라스로 보강된 시험체(B, C)의 경우 최대하중 이후 내력이 급격히 저하되어 전형적인 취성 파괴의 형태로 나타난 반면 유리섬유시트 및 탄소섬유 시트로 황구속한 시험체(D, E)들은 최대 하중 이후에도 급속히 파괴되지 않고 황구속에 의한 연성거동을 나타내었다. 유리섬유시트와 탄소섬유 시트로 보강된 시험체는 예상과는 달리 최대내력이 있어 기준 시험체에 대해 각각 10%, 11%의 증가를 보였으며, 각 시험체에 대한 파괴 사진은 그림 5와 같다.

표 4 실험 결과

시험체명	P_{max} (kN)	$0.85P_{max}$ (kN)	P_y (kN)	ϵ_{Pmax} (μ)	$\epsilon_{0.85Pmax}$ (μ)	ϵ_y (μ)	K_s	연성지수
A	2210	1887	2182	2023	2031	1941	1.00	1.05
B	2153	1830	1967	2113	2254	1757	0.97	1.28
C	2357	2000	2033	2468	2468	1983	1.07	1.24
D	2435	2050	2153	2477	6247	1843	1.10	3.39
E	2447	2080	2183	2760	5566	1931	1.11	2.88

기호설명 : P_{max} =최대하중, P_y =항복하중, ϵ_{Pmax} =최대하중에서의 변형률, $\epsilon_{0.85Pmax}$ =최대하중 이후 0.85 P_{max} 에서의 변형률, ϵ_y =항복 시 변형률, K_s =강도증가계수



↑A(기준시험체)
 피복콘크리트 박리 후 주근의
 좌굴로 코어 콘크리트가 파괴됨.

↑ B(주근+메탈라스)
 피복이 떨어져 나옴 동시에
 메탈라스가 여기저기 떨어짐.

↑E(주근+띠철근+탄소섬유시트)
 모서리에서 “쌍”하는 소리와 함께
 시트가 찢어지고 주근이 좌굴

그림 5. 시험체별 파괴 사진

3.2 연성능력

시험체의 연성 변화를 분석하기 위하여 그림 6과 같이 하중-변형도 곡선을 모델화 하였다. 최대하중의 수평직선을 A라하고 원점과 최대하중의 60%지점을 연결한 직선을 B라 할 때 직선 A와 직선 B가 만나는 교점의 변형률을 항복변형률로 이에 해당하는 하중을 항복하중이라 하고, $\epsilon_{0.85} / \epsilon_y$ 로 Szaatcioglu의 개념($\epsilon_{0.85} / 0.004$)을 도입하여 0.004대신 항복 변형률(ϵ_y)을 기준으로 하여 연성능력을 계산 하였다.

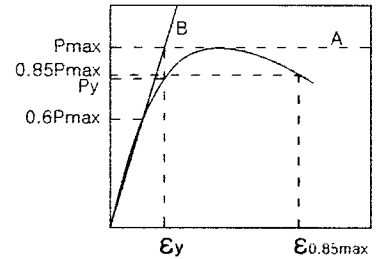


그림 6. 하중 - 변형도 곡선

$$\text{연성지수} = \frac{\epsilon_{0.85\max}}{\epsilon_y} \quad (1)$$

그 결과 기준 시험체(A)의 경우 연성지수가 1.05이었고, 메탈라스로 보강한 시험체(B)는 1.28, 메탈라스와 띠철근으로 보강한 시험체(C)는 1.24, 유리섬유시트로 보강한 시험체(D)는 3.39, 탄소섬유시트로 보강한 시험체(E)는 2.88로 나타나 유리섬유로 보강한 시험체가 기준 시험체보다 3배 이상의 연성을 보여 최대 내력 이후 고강도 콘크리트 기둥의 연성 거동에 있어 매우 효과적인 것으로 나타났다.

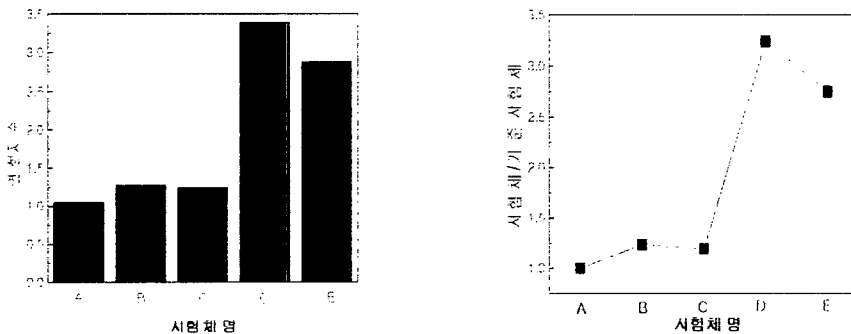


그림 7 시험체별 연성지수 및 비교

3.3 강도증가계수

본 연구에서의 강도 증가 계수 평가는 기준 시험체의 최대응력(f_{max})에 대한 다른 시험체의 최대응력의 비로 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$f_{max} = \frac{P_{max}}{A_{co}} \quad (A_{co} \text{는 구속재로 둘러싸인 코어의 면적}) \quad (2)$$

$$K_s = \frac{f_{test}}{f_{max}} \quad (f_{test} \text{는 B, C, D, E 시험체 각각의 } f_{max} \text{ 값이다.}) \quad (3)$$

기준 시험체에 대한 강도증가 계수비(K_{TEST}/K_A)는 각각 0.97(B), 1.07(C), 1.10(D), 1.11(E)로 메탈라스로 보강한 시험체(B)가 다소 낮게 나왔으며, 예상과는 달리 유리섬유시트 및 탄소 섬유 시트에 의해 횡구속된 시험체(D, E) 역시 코어의 횡구속에 의한 강도증가 효과가 그다지 크지 않은 것으로 나타났는데, 이는 시트의 보강량이 고강도 콘크리트를 충분히 구속시킬 만큼 충분하지 않았거나, 모서리에서 시트가 찢어지면서 파괴되는 현상이 발생된 것으로 보아 일반적으로 시트에 의한 보강에 적용되는 모서리 부분의 폭면 처리를 해주지 않았기 때문으로 사료된다.

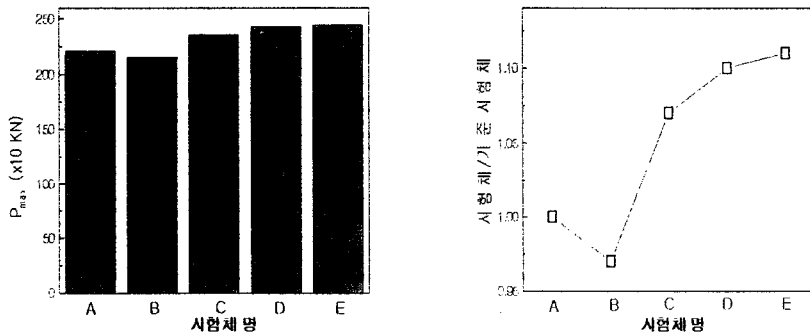


그림 8 각 시험체별 최대내력 및 강도증가계수 비교

4. 결론

본 연구는 각종보강재로 횡구속된 고강도 콘크리트 직사각형 기둥의 연성 및 내력에 관한 연구로 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 락철근으로 횡구속된 기준 시험체는 고강도 콘크리트의 파괴특성으로 최대내력에서 주근좌굴과 동시에 순간적으로 폭발하듯이 파괴 되는 양상을 나타내었으며, 이후 더 이상의 하중에 대하여 저항하지 못하였다.
- 2) 연성은 횡구속재의 종류에 따라 기준 시험체와 비교한 결과, 최대응력 이후 10%~300%까지 증대된 것으로 나타났으며, 이 중 유리 섬유 시트에 의한 연성능력은 기준 시험체에 비해 3배 이상 높은 것으로 조사되어 최대 내력 이후 고강도 콘크리트 기둥의 거동에 있어 매우 효과적인 것으로 나타났다.
- 3) 강도증가계수를 기준 시험체와 비교한 결과, 메탈라스만으로 보강된 시험체는 3%저하한 것으로 나타났으며, 메탈라스 + 락철근, 유리섬유시트 및 탄소섬유시트로 보강한 시험체 경우 각각 7%, 10%, 11%씩 내력이 다소 증가되는 것으로 나타났다.
- 4) 탄소 섬유 및 유리 섬유로 보강된 시험체에서 최종 파괴 시 모서리 부분에서 파단되는 것으로 보아 향후 이에 대한 적절한 시공이 요구된다.

참고문헌

1. 김은호, 정덕우, 홍상희, 윤기원, 한천구, "횡구속 재료변화에 따른 고성능 콘크리트의 역학적 특성에 관한 실험적 연구", 콘크리트학회 봄학술발표회, 2002. 5, pp.563~568.
2. 윤승조, "축력과 휨을 받는 고강도 철근 콘크리트 기둥의 강도 증가와 연성에 관한 연구", 박사학위논문, 1995.
3. 윤승조, 김성수, "고강도 콘크리트 기둥의 강도와 연성에 관한 연구", 대한 건축학회 논문집, 제 10권 제10호, 1994.10, pp. 193~197.
4. 이리형, 김성수, 윤승조, 이용택, "중심 축력을 받는 고강도 콘크리트 기둥에서 띠철근의 구속 효과에 관한 연구", 대한 건축학회 논문집. 제11권 제4호, 1995.4.
5. 지달영, 김성수, 이리형, "중심 축력을 받는 철근콘크리트 기둥의 내력 및 연성에 관한 연구", 대한 건축학회 학술발표회, 1998. 4, pp. 473~478.
6. 이우진, "(초)고강도 콘크리트 기둥의 연성 및 내력에 관한 연구", 석사학위논문, 1999.
7. 정봉호, 양근혁, 이영호, 곽노현, 정현수, "중심 압축력을 받는 철근콘크리트 기둥의 구속 효율성에 관한 연구", 대한건축학회 학술발표회, 1999. 10, pp. 332~337.
8. M. Saatcioglu, S. R. Razvi, "Strength and Ductility of Confined Concrete", Journal of the Structure Engineering, ASCE, Vol. 118, No.6, pp. 1590~1607, June, 1992.