

중심 축력을 받는 고강도 철근 콘크리트 기둥의 내력 및 연성에 관한 연구

Strength and Ductility of High-Strength Reinforced Concrete Columns under Uniaxial Loads

이 강 건* 이 재 연** 김 성 수*** 이 리 형****
Lee, Kang-Kun Lee, Jae-Yeon Kim, Seong-Soo Lee, Li-Hyung

ABSTRACT

This paper is to study the effect of rectilinear confinement in high-strength concrete subjected to a monotonically increasing compressive axial loads. To investigate behavior of columns rectilinearly confined with lateral ties and longitudinal rebars, twelve specimens including two plain concrete specimens were tested. The main variables in this study are volumetric ratio of lateral ties, distribution of lateral ties, yield strength of longitudinal steel, ratio of area of longitudinal steel to the area of cross section.

The test results were not only compared with an empirical model for the stress-strain curve of rectilinearly confined high-strength concrete but also the existing model. The empirical model used calculating column capacity shows better agreement with the test results than the existing model.

1. 서 론

철근 콘크리트 구조체에 있어서 기둥은 고정 하중과 적재 하중에 의한 수직 하중을 지지하는 데에는 콘크리트의 재료적인 장점을 가지고 있으나, 지진 하중과 같은 반복 수평 하중에 의하여 대변형을 경험하는 경우에는 인성이 부족하여 쉽게 전단 파괴, 휨파괴를 일으키는 구조적인 취약성을 가지고 있다. 또한 근래에 들어 건축 구조물의 고층화, 대형화 그리고 특수 구조물 등의 필요성에 따른 고강도 콘크리트 강도 증대와 더불어 취성 파괴에 대한 문제가 대두되고 있다.

고강도 콘크리트의 잇점은 고층 구조의 기둥에 사용하는 것이다. 이는 설계 하중에 대하여 고강도 콘크리트 기둥은 보다 적은 단면으로 설계할 수 있으므로 보다 큰 바닥 공간을 제공할 수 있다. 또한 고강도 콘크리트의 특성으로서 높은 탄성계수, 파괴시 보다 적은 연성 모우드, 그리고 최대 응력도에서의 큰 변형도 등을 들 수 있다.

국내외에서는 아직 고강도 콘크리트를 사용한 기둥의 연성과 종극 강도에 대한 구체적인 자료가 거의 없는 실정이며, 보통 강도 콘크리트 기둥에 대한 실험으로부터 유추한 선형 구속 콘크리트의 응력-변형도 거동에 대한 모델들을 고강도 콘크리트 기둥에 적용하여 보통 강도 이론을 그대로 사용하고 있다. 그러므로 본 연구에서는 고강도 콘크리트 선형 구속 효과에 대한 실험 결과를 제공하여 고강도 콘크리트 기둥의 구조적 거동을 규명하고 강도 및 연성을 평가하여, 제안한 구속된 고강도 콘크리트의 응력-변형 곡선 모델에 대한 적용 가능성 여부와 고강도 콘크리트의 선형 구속 효과에 관한 기초 자료를 제공하는데 그 목적을 두었다.

2. 실험

2.1 시험체 계획 및 제작

- * 한양대 대학원 석사과정
- ** 정회원, 한양대 대학원 박사과정
- *** 정회원, 청주대 부교수
- **** 정회원, 한양대 교수, 공학박사

실험 계획은 선형으로 구속된 고강도 콘크리트 기둥의 응력-변형 관계를 조사하기 위하여 주근비, 주근 강도, 띠근 보강 형태, 띠근 체적비를 주된 변수로 하여 시험체를 계획하였으며, 다음과 같은 사항을 얻기 위해 계획 실시되었다.

- (1) 횡보강 및 길이 보강이 코아 콘크리트 구속에 미치는 영향
- (2) 주근비, 주근 강도, 띠근 체적비 및 띠근 보강 형태가 기둥의 내력 및 연성에 미치는 영향
- (3) 실험 해석 모델의 각 변수에 따른 코아 콘크리트 구속 효과의 변화

이를 위해 총 12개의 시험체를 모델화 하였으며, 시험체에서 다루려는 부분에 일정한 응력 분포를 유도하고, 하중을 받는 기둥의 파괴 메커니즘 발전에 적합한 길이를 제공하기 위해 시험체 나비:길이 비율을 1:3으로 하였다. 시험체 단면 치수는 15cmX15cm이며, 응력 집중으로 인한 국부 파괴를 방지하고 중앙 부분 파괴를 유도하기 위하여 시험체 단부는 철근의 간격을 줄여 보강하였다. 사용된 주근은 SBD30, SBD40인 D10을, 띠철근은 $\phi 6$ 을 사용하였다. 콘크리트는 최대 골재 직경은 16mm, 슬럼프 11cm, 설계 기준 강도 420kg/cm² 인 고강도 콘크리트를 사용하였고 타설은 현장 조건에 맞도록 수직 타설을 하였으며 실험시까지 대기 양생하였다. 각 시험체에 대한 일람표 및 형상은 표1, 그림1 과 같다.

표1. 실험체 일람표

구분 시험체	단면 (cm ²)	높이 (cm)	이리 (cm)	주근 (cm)	비철근 비율	띠철근 간격(cm)	체적비	주근비
PL(2)	15X15	45	-	-	-	-	-	-
HCA-3-3	15X15	45	1	8-11C	c 6	5	0.0273	0.0252
HCA-3-4	15X15	45	1	8-11C	c 6	5	0.0273	0.0252
HCD-3-4	15X15	45	1	8-D10	c 6	7.5	0.0136	0.0252
HCC-1-4	15X15	45	1	8-11C	c 6	5	0.0273	0.0451
HCC-4-4	15X15	45	1	8-11C	c 6	7.5	0.0136	0.0451
HCD-3-4	15X15	45	1	8-D10	c 6	5.7	0.0273	0.0252
HCE-3-4	15X15	45	1	8-11C	c 6	8.6	0.0126	0.0252
HCF-1-3	15X15	45	1	8-11C	c 6	4.2	0.0273	0.0451
HCF-3-4	15X15	45	1	8-D10	c 6	4.2	0.0273	0.0252
HFE-3-4	15X15	45	1	8-11C	c 6	6.3	0.0136	0.0252

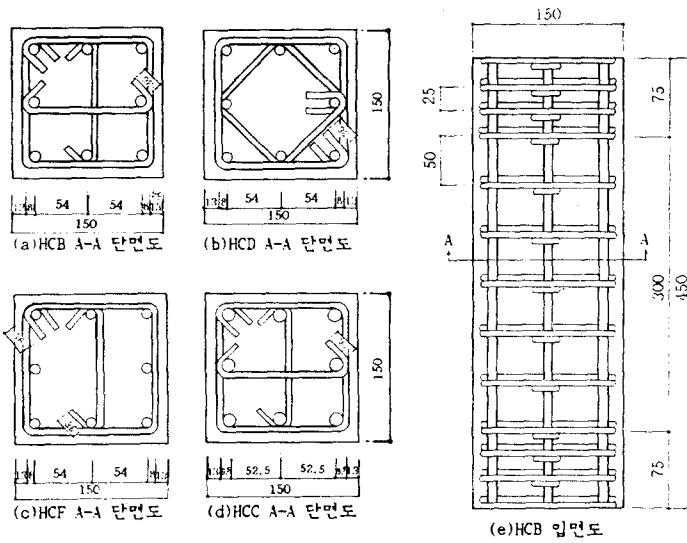


그림1. 시험체 형상

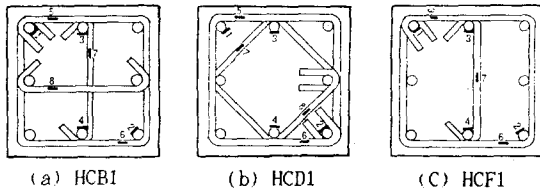


그림2. W.S.G 부착 위치

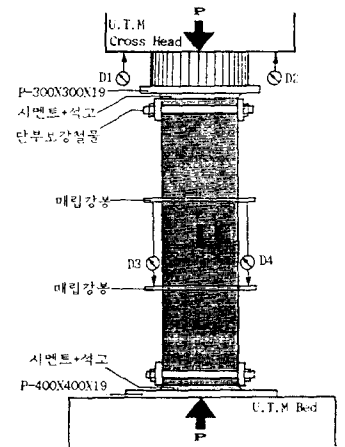


그림4. 시험체 설치 상황

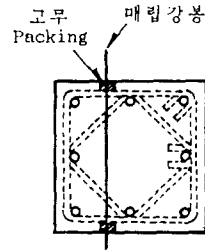


그림3. 매립 강봉 설치 단면

2.2 재료 실험

시험체에 사용된 철근과 콘크리트의 재료 시험 결과는 표2 및 표3에 나타나 있다.

2.3 실험 방법

(1) 측정 방법

시험체의 구속된 코어 콘크리트의 축변위를 측정하기 위하여 매립된 강봉에 전기 저항 다이알 게이지를 부착하여 변형도를 측정하였고, 철근 변형도는 철근 조립시 임계 단면에 해당되는 시험체 중앙부의 주근과 피철근에 W.S.G를 부착하여 측정하였으며, 피복 콘크리트의 거동은 임계 단면으로 예상되는 시험체 중앙부에 W.S.G를 부착 측정하였다. 매립 강봉은 코어 콘크리트와 피복 콘크리트 박 거동의 차이로 인한 측정오차, 피복 콘크리트 박 거동으로 인한 측정오차, 그리고 주근의 좌굴 및 피철근의 변형이 매립 강봉에 영향을 줌으로써 발생하는 측정오차를 최대한 줄이기 위하여 피복 콘크리트와 강봉 사이에 공간을 형성하였으며, 강봉을 피철근 사이에 주근과 일정한 거리를 두고 매립 하였다. 시험체의 W.S.G 부착 위치와 강봉 매립 단면의 상세는 그림2및 그림3과 같다.

(2) 재하 방법

탄성 범위내에서는 4.5t씩 가력하였고 예상 최대하중의 60~70% 이상부터는 하중-변형도 곡선을

표2. 철근의 인장 시험 결과

구분 철근	재 질	E (t/cm ²)	σ_y (t/cm ²)	ϵ_y	σ_u	신율 (%)
D 10	SBD30	1780	3.68	0.00249	5.27	17.5
	SBD40	1900	4.01	0.00258	6.25	14.03
D 13	SBD40	1910	4.03	0.00425	6.3	19.22
φ 6	-	2040	4.82	0.00262	6.95	24.3

표3. 콘크리트 압축 강도 시험 결과

구분 재령	높이 (cm)	단면적 (cm ²)	중량 (kg)	압축강도 (kg/cm ²)	F _c (t/cm ²)	tE _c * (t/cm ²)
21일	20.0	78.54	3.65	371	-	-
28일	19.9	73.54	3.645	394	297.5	285.7
35일	19.9	78.54	3.64	401	287.9	288.2

*tE_c=27.55·w^{1.5}·√F_c (1)

추적하면서 변위 조절 방식으로 가력 하였다. 시험체의 설치 상황은 그림 4와 같다.

표4. 실험 결과 일람표

시험체	LOAD(t)		STRAIN		JKs	f _{max} (kg/cm ²)	f' _a (kg/cm ²)
	Pcr	Pmax	ε _{cr}	ε _{max}			
P L-1	35.8	43.5	0.0033	0.0044	-	-	380
P L-2	31.1	37.4	0.003	0.0038	-	-	394
HCA-3-3	43.1	94.8	0.0011	0.0105	1.26	499.0	394
HCB1-3-4	48.5	92.8	0.0014	0.0102	1.22	473.2	389
HCD2-3-4	35.38	77.56	0.0011	0.0068	0.96	370.3	389
HCC1-4-4	45.36	112.7	0.0013	0.0125	1.28	499.6	389
HCC2-4-4	47.4	96.39	0.0011	0.0085	0.99	386	389
HCD1-3-4	37.19	99.34	0.0007	0.0138	1.33	517.4	389
HCD2-3-4	38.55	88.45	0.0015	0.0078	1.14	443.9	389
HCE-4-4	40.82	101.6	0.0005	0.0121	1.09	422.5	389
HCF1-3-4	33.3	86.0	0.0003	0.0120	1.10	427.34	389
HCF2-3-4	35.15	80.4	0.0007	0.0089	0.97	389.5	401

3. 실험 결과 및 분석

12개 시험체의 실험 결과는 표 4와 같으며 중앙부 하중-변형도 곡선은 그림5에 나타나 있다. 계획된 변수별로 실험 결과를 비교 분석 하면 다음과 같다.

(1) 길이 방향 및 횡방향 구속의 영향

HCA 시험체는 무근 콘크리트 시험체 PL1, PL2를 길이 방향 및 횡방향으로 구속시켜 구속 효과를 알아보기 위한 시험체이다. 표 4 및 그림5에서 알 수 있듯이 콘크리트를 구속시킨 결과 최대 강도가 23% 증가되었다. 또한 무근 콘크리트 시험체가 최대 하중 이후 소성 변형을 상실한 반면 HCA시험체는 연성이 34.4% 증가되어 급격히 파괴되는 현상을 막을 수 있었다. 이로부터 크아 콘크리트를 횡방향 및 길이 방향으로 구속하면 내력 및 연성이 상당히 증가됨을 알 수 있었다.

(2) 주근 항복 강도의 영향

HCA, HCB1 시험체는 주근의 분포, 띠철근의 체적비, 주근량이 동일한 상태에서 주근의 항복 강도 변화에 따른 거동을 알아보기 위한 시험체이다. 표 5와 그림 6에서 알 수 있듯이 주근 항복 강도가 더 높은 HCB1시험체가 HCA 시험체에 비해 강도 증가 계수에서는 3.27%, 최대 하중에서는 2.2% 낮게 나타났다. 그러나 재료 시험에서의 주근 항복 변형도(ϵ_s)를 이용하여 각 시험체 주근의 하중-변형도 곡선에서 구한 주근의 항복 하중은 HCB1 시험체가 HCA시험체에 비해 2.4% 높으며, 시험체의 항복 하중도 HCB1 시험체가 7% 높게 나타났고, 각 시험체의 연성은 HCB1이 HCA 보다 크게 나타났다. 이것은 HCB1 시험체가 편심의 영향으로 인하여 시험체가 항복한 후 급속한 균열 집전과 함께 최대 하중에 이르렀지만, 최대 하중에 도달할 때까지 주근은 괴물하지 않아 띠철근의 슬립 현상을 방지하고 띠철근의 휨 용력을 증가 시킴으로써 최대 하중 이후 시험체의 취성 파괴를 방지한 것으로 판단된다.

(3) 띠근 보강 형태 및 횡보강 체적비의 영향

HCB1과 HCB2시험체, HCD1과 HCD2시험체, HCF1과 HCF2시험체는 띠근 보강 형태에 따른 거동을 평가하기 위하여 계획되었다. 주근 분포 상태 및 단면적, 주근 항복 강도가 일정한 상태에서, HCB1, HCD1, HCF1시험체와 HCB2, HCD2, HCF2시험

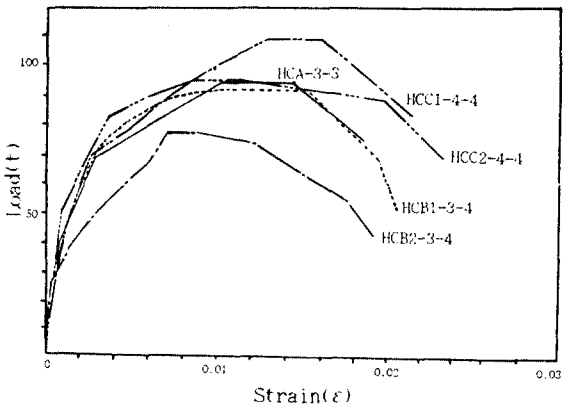
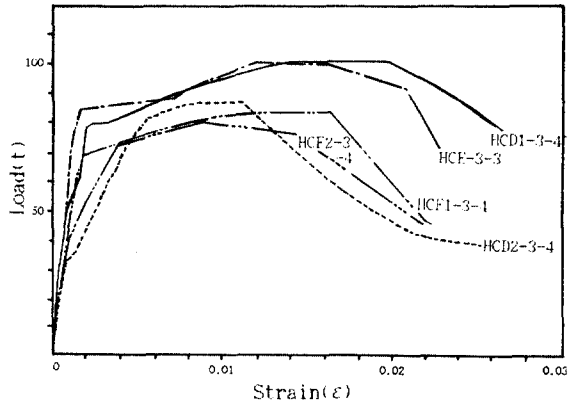


그림5. 중앙부 하중-변형도 곡선

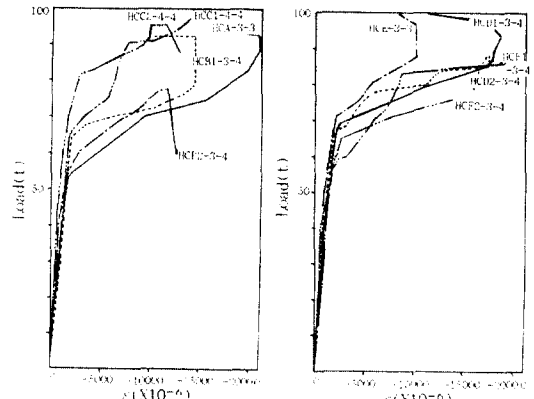


그림6. 주근의 하중-변형도 곡선 비교

체는 각각 횡보강 체적비가 일정할 때 띠근 보강 형태에 따른 시험체의 내력 및 연성의 차이를 평가하기 위한 시험체이다. 여기서 HCB시험체는 내부 띠근을 2방향 보강 띠근으로, HCD시험체는 Diagonal로 배근하였으며, HCF시험체는 1방향 보강 띠근으로 단면을 보강하였다.

그림7, 그림8과 표 4, 표 5에서 알 수 있듯이, HCB1시험체는 HCB2시험체 보다 강도 증가 계수에서 27.6%, 최대 강도에서 19.6%, 최대 강도시 변형도 ϵ_{max} 에서는 50%의 증가를 보였으며, HCD1은 HCD2 시험체보다 강도 증가 계수에서 16.6%, 최대

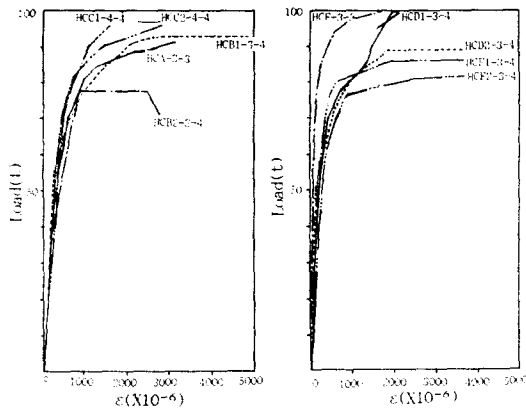


그림7. 외부 띠근 하중-변형도 곡선

강도에서 12.3%, 최대강도시 변형도 ϵ_0 에서는 75% 증가하였고, HCF1은 HCF2보다 강도 증가 계수에서 13.4%, 최대 강도에서 6.9%, ϵ_0 에서는 55%의 증가를 보였다. 동일한 띠근 형태에서 체적비가 2배로 증가되었을 때 기둥의 내력에서는 2방향 보조 띠근을 배근한 HCB시험체가 좋은 강도 증가를 보이며, 연성에서는 띠철근을 Diagonal로 배근한 HCB 시험체가 좋은 연성 증가를 보이고 있으나, 동일한 체적비에서 단면 형태별 비교에서는 Diagonal로 배근한 HCB시험체가 강도 증가 계수, 최대 강도 및 연성에서 좋은 결과를 보이고 있다. 이는 Diagonal로 배근한 보조 띠근이 1방향 및 2방향 보조 띠근 보다도 더 효과적으로 코아 콘크리트를 구속하여 콘크리트 내력을 증가 시킨 것으로 판단된다. 이는 보조 띠근이 주근 좌굴시 까지 큰 변형이 없어 코아 콘크리트 구속 효과가 적은 반면, Diagonal인 보조 띠근은 그 내부의 코아 콘크리트의 횡방향 부피 팽창에 대하여 1차적으로 구속하며, 하중 증대에 따라 코아 콘크리트 부피 팽창을 외부 띠근이 구속 하여 강도 및 연성을 증가시킨 것으로 판단된다.

(4) 주근비의 영향

HCB1과 HCC1시험체, HCB2와 HCC2시험체, HCE와 HCF1시험체는 각각 주근비에 따른 기둥의 거동을 파악하여 강도 증가 및 내력에 미치는 영향을 파악 하기 위한 것이다.

그림6과 표5 에서 알 수 있듯이 주근비가 큰 HCC 시험체가 HCB보다 최대 강도 및 강도 증가 계수면에서 각각 22%, 6%의 증가를 보였으며, HCE는 HCF1보다 각각 18%, -1%증가를 보였다. 재료 시험으로 나타난 주근의 항복 변형도(ϵ_y)을 이용하여 구한 주근의 항복 하중에서는 HCC1은 HCB1보다 11%, HCC2는 HCB2보다 34%, HCE는 HCF1보다 28% 증가를 보였으며, 최대 하중시 주근의 축력 분담비는 HCC1이 HCB1보다 11.9%, HCC2이 HCB2보다 13%, HCE이 HCF1보다 13.8% 증가되었다.

이상과 같이 주근비의 증가는 증가된 양만큼 피복과의 부착 면적을 증가시켜 피복의 분리를 지연시키며 아울러 콘크리트 유효 구속 면적이 증가되어 시험체의 내력 증대를 가져오고, 주근 단면적의 증가로 인해 주근의 항복도 지연된다. 그러나 1방향 보조 띠근으로 보강된 HCF1과 HCE 시험체가 충분한 내력을 보이지 못한 것은 최대 하중에 이룰때까지는 일정한 비율로 내력이 증가되었지만

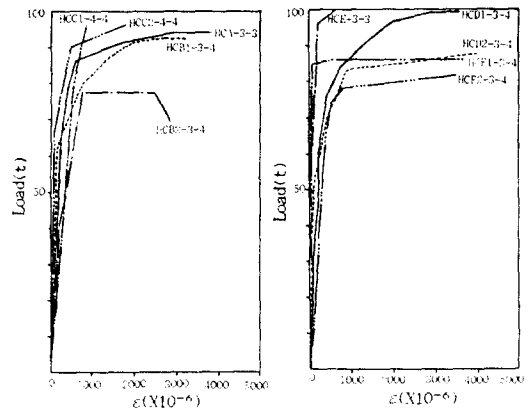


그림8. 보조 띠근 하중-변형도 곡선

최대 하중에 도달하면 구속된 코아 콘크리트의 부피 팽창에 의하여 임계 단면에서 구속된 단면중 약한 단면으로 응력이 집중되어 주근의 좌굴을 일으키고, 이로 인하여 구속 효과를 증대시키지 못하여 피복 박리와 코아 콘크리트 단면 결손에 의해 더 이상의 내력을 발휘하지 못하고 파괴에 이른 것으로 사료된다.

(5) 띠근의 응력-변형도 관계

외부띠근과 내부 띠근의 거동은 그림7, 그림8의 하중-변형도 곡선에서 알 수 있듯이 초기 탄성 범위에서는 변형의 진전이 거의 없어 시험체 거동에 미소한 영향만을 미쳤으며 또한 시험체가 항복 하중에 도달했을 때에도 띠철근의 응력은 아직 탄성 범위에 머물러 전체 하중에 대한 기여도가 낮음을 알 수 있다. 시험체가 최대 하중에 도달할때의 변형 상태를 보면 띠철근 간격이 7.5cm인 HCB2, HCC2 시험체와 1방향 보조 띠근으로 보강된 시험체를 제외한 모든 시험체는 재료 시험에서 구한 최대 변형도를 이미 넘어 변형 경화 상태에 있는 것을 알 수 있다. 그러나 HCB2, HCC2 시험체는 띠근이 코아 콘크리트 팽창에 의한 주근의 좌굴을 구속하기에는 간격이 크고, 또한 구속 횡보강량의 제한치를 제한하고 있는 ACI 규준에 비해 22% 부족 하였기 때문에 임계단면에서의 주근 좌굴로 띠근이 충분한 강도를 발휘하기 전에 시험체의 내력이 저하된 것으로 판단된다. 또한, 1방향 보조 띠근으로 보강된 시험체는 주근의 조기 좌굴로 인하여 띠근이 충분한 응력을 발휘하지 못하는 것으로 사료된다. 이에 반하여 다른 시험체에서는 외부 띠근과 보조 띠근이 최대 하중 이전에 항복하며 그 이후 콘크리트를 효과적으로 구속하는 것으로 나타났다.

4. 실험 결과와 기존 해석 모델과의 비교 분석

표6는 실험 결과와 기존 모델 해석 결과를 비교한 것이다. 그림9, 그림10은 HCB1, HCC1, HCB1, HCF1 시험체에 대해 비교 결과를 도식화 한 것이다. 표에서 알 수 있듯이 최대 강도와 강도 증가 계수에 있어서 1방향 및 2방향 보조 띠근으로 보강된 시험체의 실험치가 이론치 보다 낮게 평가된 것은 해석상 보조 띠근이 체적비로 환산되어 코아 콘크리트 구속 기구로 평가 되므로서 이론치가 크게

표5. 실험 결과의 비교

구분 시험체	Pcr	Py	σPmax	Pcr/Py	σPmax/Py	σKs
P L-1	35.8	43.7	43.5	0.82	1.0	-
P L-2	31.1	37.4	37.4	0.83	1.0	-
HCA-3-3	43.1	66	94.8	0.65	1.44	1.26
HCB1-3-4	48.5	71	92.8	0.68	1.3	1.22
HCB2-3-4	35.38	47	77.56	0.75	1.65	0.96
HCC1-4-4	45.36	80	112.7	0.57	1.4	1.28
HCC2-4-4	47.4	77	96.39	0.62	1.25	0.99
HCD1-3-4	37.19	80	99.34	0.46	1.24	1.33
HCD2-3-4	38.55	76	88.45	0.51	1.16	1.14
HCE-4-4	40.82	85	101.6	0.48	1.19	1.09
HCF1-3-4	33.3	70	86.0	0.48	1.22	1.10
HCF2-3-4	35.15	70	80.4	0.50	1.14	0.97

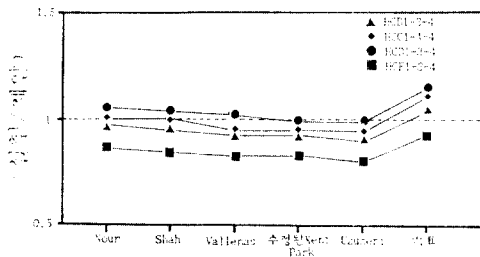


그림9. 기존 모델에 대한 강도 증가 계수 Ks (실험치/제안치) 비교

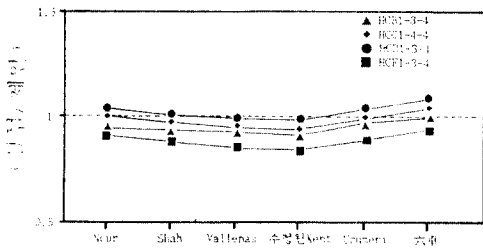
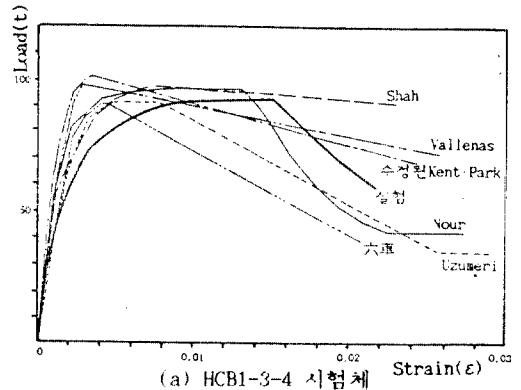
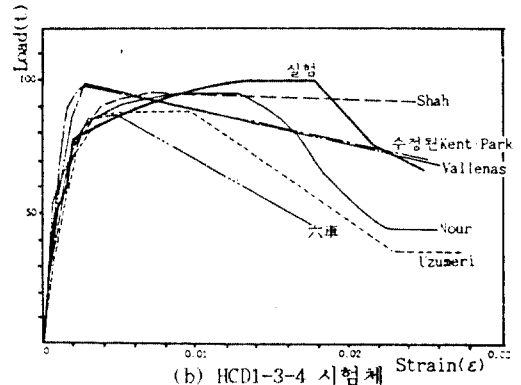


그림 10. 제안 모델에 대한 극한 강도 Pmax (실험치/제안치) 비교

나타난 반면 실제로는 보조띠근이 굵아 콘크리트 구속 기구보다는 주근의 좌굴을 구속하는 역할을 하고 있기 때문이라 사료된다. 또한 최대 강도와 강도 증가 계수에 있어서 六車의 모델이 다른 모델에 비하여 4%, 11% 정도 높게 나타났다. 이것은 Nour, Shah, Vallenas, Kent, Uzueroi 등의 이론은 하중이 증가 하므로서 팽창된 모아 콘크리트 제철을 띠철근이 구속하여 이론값에 의한 내력은 증가하였으나, 六車의 구속 계수 이론은 재료 배합비를 변수로 도입하였으므로 단위 시멘트량이 많은 고강도 콘크리트에서는 그 내력을 작게 평가 하고 있다. 그림으로부터 Nour의 실험 모델이 최대 하중과 강도 증가 계수에 있어서 0.98, 0.973 으로 다른 기존 제안 모델 보다 비교적 잘 일치 하였다. ACI 규준과의 극한 강도 비교에서는 ACI 규준 값이 실험치 보다 14% 정도 낮게 나타났다. 이것은 현행 ACI 규준의 극한 설계는 재료의 성질 및 시공상의 오차를 충분히 고려한 안전 규정이라 하겠다.



(a) HCB1-3-4 시험체



(b) HCD1-3-4 시험체

그림11. 실험과 기존 모델의 하중-변형도 곡선 비교

그림12는 HCB1와 HCD1시험체의 하중-변형도 곡선과 비교한 것이다. 그림에서 실험 곡선이 Nour의 모델 곡선에 근접하고 있는 것을 알 수 있다. 각 이론의 최대 하중에서의 변형 차이는 피복의 박리를 수반한 갑작스런 파괴에 의한 오차 및 각 제안 모델마다의 시험체 특성, 측정 장치 등 제반 여건의 차이에서 생기는 오차라고 판단된다. 소성 변형치의 하중-변형도 곡선에 대한 앞으로의 보다 많은 연구가 보완되어야 한다고 사료된다.

5. 결 론

이상의 실험 및 해석 연구로부터 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 동일 띠근 형태에서 체적비 2배 증가에 따른 내력 증가는 2방향 보조 띠근을 배근한 HCB시험체가 19.6%로 좋은 강도 증가를 보이며 연성에 있어서는 보조 띠철근을 Diagonal로 배근한 HCD시험체가 75%의 증가를 보이고 있다. 또한 동일한 체적비에서 띠근 형태에 따른 내력을 비교하면 Diagonal로 보조 띠근을 배근한 HCD시험체가 강도 증가 계수 및 최대 강도, 연성에서 좋은 결과를 보이고 있어 띠근 보강 형태로 Diagonal이 효과적이라고 사료된다.

2) HCB2, HCF2시험체는 ACI 규준량 보다 22% 부족한 띠근을 배근하였다. 이것은 내력에 있어 이론치에 11% 부족한 값을 나타내었다. 즉, HCB2, HCC2, HCF2시험체의 횡보강근의 구속량은 피복 파괴와 더불어 일어나는 주근의 좌굴에 의한

표6. 실험 결과와 기존 모델 해석 결과의 비교

실험체명	구분	실험치	Nour	Shah	Vallenas	수정된	Ent	六車	ACI
			Park	Park	Park	Uzumer	六車	ACI	
HCC-3-3	k_s	1.26	1.26	1.27	1.32	1.33	1.37	1.17	-
	P_{max}	94.8	94.4	96.73	98.8	99.7	83.86	90.0	74.24
	σ_{ks}/σ_{ks}	-	1.00	0.998	0.96	0.95	0.92	1.08	-
	$\sigma_{pmax}/\sigma_{pmax}$	-	1.00	0.98	0.96	0.95	1.05	1.05	1.27
HCC1-3-4	k_s	1.22	1.26	1.27	1.32	1.33	1.375	1.165	-
	P_{max}	92.8	96.0	100.0	102.2	103.1	95.22	93.2	77.28
	σ_{ks}/σ_{ks}	-	0.97	0.96	0.92	0.92	0.89	1.04	-
	$\sigma_{pmax}/\sigma_{pmax}$	-	0.97	0.93	0.91	0.90	0.97	0.99	1.20
HCC2-3-4	k_s	0.96	1.13	1.18	1.2	1.16	1.2	1.07	-
	P_{max}	77.56	88.6	94.41	95.29	92	87.6	84.32	77.28
	σ_{ks}/σ_{ks}	-	0.85	0.81	0.80	0.83	0.80	0.90	-
	$\sigma_{pmax}/\sigma_{pmax}$	-	0.82	0.82	0.82	0.84	0.92	0.88	1.00
HCC1-4-4	k_s	1.22	1.28	1.28	1.36	1.33	1.38	1.16	-
	P_{max}	112.7	112.4	117.6	122.1	120.5	114.7	110.7	89.58
	σ_{ks}/σ_{ks}	-	1.00	1.00	0.94	0.96	0.93	1.1	-
	$\sigma_{pmax}/\sigma_{pmax}$	-	1.00	0.96	0.92	0.93	0.98	1.02	1.26
HCC2-4-4	k_s	0.99	1.14	1.18	1.25	1.17	1.2	1.07	-
	P_{max}	96.52	104.6	111.9	115.2	110.4	101.8	105.0	89.58
	σ_{ks}/σ_{ks}	-	0.87	0.84	0.79	0.84	0.825	0.93	-
	$\sigma_{pmax}/\sigma_{pmax}$	-	0.82	0.86	0.84	0.97	0.95	0.92	1.08
HCC1-3-4	k_s	1.23	1.23	1.28	1.31	1.34	1.35	1.16	-
	P_{max}	99.34	94.9	99.38	101.1	102.3	95.22	92.2	77.28
	σ_{ks}/σ_{ks}	-	1.00	1.04	1.01	0.99	0.98	1.14	-
	$\sigma_{pmax}/\sigma_{pmax}$	-	1.04	0.999	0.98	0.97	1.04	1.07	1.28
HCC2-3-4	k_s	1.14	1.12	1.18	1.2	1.17	1.18	1.07	-
	P_{max}	88.45	87.5	93.5	94.2	92.2	82.4	86.6	77.28
	σ_{ks}/σ_{ks}	-	1.02	0.96	0.95	0.98	0.97	1.06	-
	$\sigma_{pmax}/\sigma_{pmax}$	-	1.01	0.95	0.94	0.96	1.07	1.02	1.26
HCC1-4-4	k_s	1.09	1.3	1.28	1.37	1.34	1.41	1.17	-
	P_{max}	101.6	113.0	117.5	122.5	120	112.3	111.2	89.58
	σ_{ks}/σ_{ks}	-	0.84	0.84	0.78	0.80	0.76	0.92	-
	$\sigma_{pmax}/\sigma_{pmax}$	-	0.90	0.87	0.83	0.85	0.91	0.913	1.13
HCC1-3-4	k_s	1.10	1.28	1.28	1.32	1.34	1.41	1.17	-
	P_{max}	85.0	95.7	99.3	101.7	102.5	97.12	92.9	77.28
	σ_{ks}/σ_{ks}	-	0.86	0.86	0.83	0.82	0.78	0.94	-
	$\sigma_{pmax}/\sigma_{pmax}$	-	0.90	0.86	0.84	0.84	0.88	0.925	1.11
HCC2-3-4	k_s	0.97	1.10	1.17	1.2	1.16	1.23	1.07	-
	P_{max}	80.4	89.4	95.3	96.8	94.0	86.72	88.9	77.28
	σ_{ks}/σ_{ks}	-	0.98	0.83	0.81	0.83	0.79	0.9	-
	$\sigma_{pmax}/\sigma_{pmax}$	-	0.90	0.84	0.83	0.85	0.93	0.90	1.04

* $\sigma_{ks}, \sigma_{pmax}$: 실험치
 $\sigma_{ks}, \sigma_{pmax}$: 계산치

재하능력이 감소하는 데에 대한 대안으로 불충분한 것으로 판단된다.
 3) 극한 강도와 강도 증가 계수에 있어서 실험 결과와 기존 제안 모델과를 비교해 볼때, Nour의 모델이 강도증가 계수(실험치/제안치)에서 0.973, 최하중(실험치/제안치)에서는 0.98로 다른 모델 보다도 같일치 하고 있다. 따라서 Nour의 실험적 해석 모델이 고강도 철근 콘크리트 응력-변형도 곡선 으로서 적용 가능하다고 사료된다.

끝으로 본 연구는 한국 과학 재단의 연구비 지원하에 이루어진 것으로서 관계관 제위께 감사의 뜻을 표합니다.

참 고 문 헌

1. ACI318-89, "Building Code Requirements for Reinforced Concrete", A.C.I., Detroit, 1989.
2. Yong, Y.K., Nour, M.G., and Nawy, E.G., "Behavior of Laterally Confined High-Strength Concrete under Axial Load," Proceedings, ASCE, VOL. 114, NO. 2, Feb, 1988, PP332-351
3. Vallenas, J., Bertero, V.B., and Popov, E.P., "Concrete Confined by Rectangular Hoops and Subjected to Axial Loads," Re-search Report No. UC B/ERC-77/13, Earthquake Engineering Research Center, Univ. of California, Berkeley, aug, 1977, p 114.
4. Sheikh, Shamim A. and Uzumeri, S.M., "Analytical Model for Concrete Confinement in Tied Columns," Proceedings, ASCE, VOL. 108, ST. 12, DEC, 1982, PP 2703-2722
5. Sheikh, Shamim A. and Uzumeri, S.M., "Strength and Ductility of Tied Concrete Columns," Proceedings, ASCE, VOL. 106, ST. 5, May, 1980, PP. 1079-1102
6. Fafitis, A. and Shah, S.P., "Predictions of Ultimate Behavior of Confined Columns Subjected to Large Deformation," ACI Journal, proceedings, Vol. 82, NO. 4, July-Aug., 1985, pp423-433
7. Sargin, M., "Stress-Strain Relationships for Concrete and the Analysis of Structural Concrete Sections," Study NO. 4, Solid Mechanics Division, Univ of Waterloo, Waterloo, Canada, 1971, PP. 167
8. Park, R., Nigel Priestley, M.J., and Gill, W.D., "Ductility of Square-Confined Concrete Column," Proceedings, ASCE, VOL. 108, ST. 4, April, 1982, PP. 9 29-951
9. Shah, S.P. and Ahmad, S.H., "Structural Properties of High Strength Concrete and its Implications for Precast Prestressed Concrete," PCI Journal, V. 30, No. 6, Nov-Dec, 1985, PP. 92-119.
10. 六車他, "高強度フープによるコンクリートの曲げ壓縮靱性改善について", 第1回日本コンクリート工學年次講演會, 1979年
11. 六車他, "橫補強による高強度コンクリートのじん性改善に関する研究", 第5回日本コンクリート工學年次講演會, 1983年
12. 朱代他, "鐵筋コンクリート柱壓縮靱の強度じん性に及ぼす橫補強筋の評價", 第5回日本コンクリート工學年次講演會, 1983年