

# 용접 띠철근으로 보강된 철근콘크리트 기둥의 강도와 연성(II)

- 보편적인 띠철근 보강 기둥과의 비교를 중심으로

Strength and Ductility of R/C Columns with Welded Reinforcement Grids(II)  
- Focused on Comparisons with Columns Confined by Conventional Reinforcement

최창식\* Murat Saatcioglu\*\* Mongi Grira\*\*\*  
Choi, Chang Sik

---

## ABSTRACT

Conventional confinement reinforcement for rectangular columns consist of closely spaced perimeter hoops, overlapping hoops, and crossties. One of the potential alternatives to conventional reinforcement is a welded reinforcement grid, prefabricated to required size and volumetric ratio of transverse reinforcement. An experimental investigation was carried out to investigate the strength and deformability of reinforced concrete columns confined with welded reinforcement grids.

The comparisons of the envelopes of experimental force-displacement hysteretic relationships for columns confined by welded grids with analytically generated force-displacement curves for columns confined with conventional ties. In general, inelastic deformability beyond the peak, as indicated by the slope of the covers, was similar to those indicated by columns with conventional ties. The superior performance of columns with welded grids may be attributed to the improved confinement characteristics of grids associated with increased rigidity of welded ties.

---

### 1. 서 론

지진다발 지역에서는 철근콘크리트 기둥의 콘크리트 단면을 합리적으로 구속함과 동시에 횡보강근의 세심한 배근 등에 의하여 그 강도와 변형능력을 향상시킬 수 있으며, 이로써 구조물 전체의 안정성을 확보할 수 있다. 정장방형 기둥에 보편적으로 사용되고 있는 횡보강 띠철근의 요구조건은 때로 높은 체적비, 조밀한 간격, 겹침, 구부림, 구부림의 확장 등을 유발시킨다. 비록, 이러한 조건들이 기둥의 내진성능 향상에는 필요하지만, 기둥 횡보강근 간격의 조밀을 유발시킬 수 있음과 동시에 시공상의

---

\* 정회원, 대전대학교 건축공학과 조교수, 공학박사

\*\* University of Ottawa(Canada) 교수, 공학박사

\*\*\* University of Ottawa(Canada) 박사과정

어려움과 콘크리트 타설상의 문제를 발생시킬 수도 있다.

이러한 문제점을 해결하기 위한 한 방법으로는 요구되는 횡보강근의 체적, 배열, 크기 등에 따라 이를 기조립, 용접하여 사용하는 것이다. 용접된 격자형 횡보강근의 사용은 겹침과 구부림, 구부림의 연장 등이 필요하지 않기 때문에 조립이 간편하고, 축방향 철근의 지지에 적합한 치수의 정확성과 재료를 절감시킬 수 있다. 더우기, 단면 내 횡보강근의 간격이 조밀해짐으로써, 코아 콘크리트 주변의 구속력을 균등히 분배시키게 되고, 이에 따라 코아 콘크리트의 거동을 향상시키는 결과를 얻을 수가 있다.

이러한 용접된 격자형 띠철근으로 보강된 철근콘크리트 기둥의 역학적 거동을 규명함과 동시에 철근콘크리트 기둥의 내진성능 향상을 위한 기초자료로 연구결과의 일부를 1차 발표하였으며<sup>(1)</sup>, 본 연구에서는 분석된 나머지 실험결과 및 보편적인 띠철근과의 비교 및 분석을 중심으로 논하고자 한다.

## 2. 실험

### 2.1 시험체 계획

시험체는 기초와 기둥 변곡점 사이의 1층 기둥부분의 실물크기로 총 4개의 시험체를 제작하였으며, 주요 시험체의 단면 및 배근 상황은 그림 1과 같다. 시험체는 350 mm의 정방형 단면을 가지며, 시험체의 변수는 횡보강근의 배근상태, 체적비와 축방향 철근비 및 축력 등이다. 콘크리트 설계기준강도는  $350 \text{ Kg/cm}^2$ , 축방향 주철근의 항복강도는  $4000 \text{ Kg/cm}^2$ 이며, 재료 및 시험체 일람은 표 1과 같다.

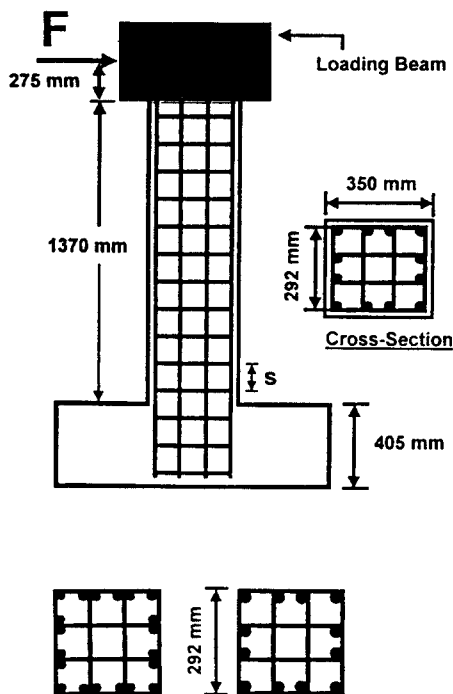


그림 1 시험체 단면 및 배근상황도

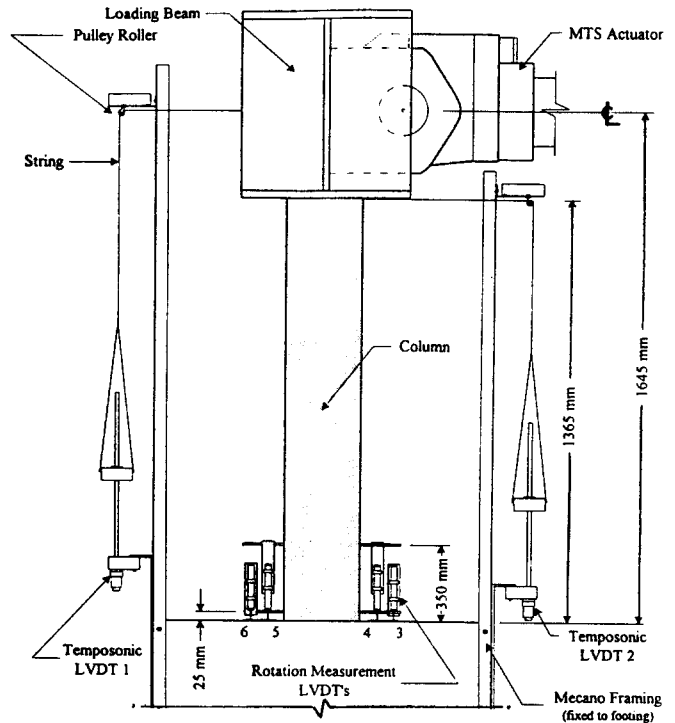


그림 2 LVDT 설치 상황도

표 1 재료와 시험체 일람표

Col. Label	Reinf. Arrng	$\rho$ (%)	$d_b$ (mm)	s (mm)	$f_{yt}$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	$\rho_s$ (%)	$(\rho_s)_{ACI}$ (%)	$\rho_s/(\rho_s)_{ACI}$	P (t)	P/P <sub>0</sub>
BG-7	12-#20	2.94	6.60	76	5786	1.26	1.52	0.83	196.1	0.38
BG-8	12-#20	2.94	6.60	76	5786	1.26	1.52	0.83	98.0	0.19
BG-9	20-#15	3.26	6.60	76	5786	1.26	1.52	0.83	196.1	0.38
BG-10	20-#15	3.26	9.53	76	5888	2.66	1.55	1.72	196.1	0.38

$P_0 = 0.85f_c(A_g - A_s) + A_s f_y$ ,  $d_b$  : 띠철근의 직경  $f_{yt}$  : 띠철근의 항복강도  $\rho$  : 축방향 주철근비

## 2.2 가력 및 측정장치와 변위이력

수평변위, 소성흔지 부분의 회전각, 철근의 변형도 등을 측정하기 위하여 그림 2에서와 같이 LVDT 들을 설치하였다. 특히, 기둥과 기초의 접촉면 직상부의 횡보강근, 기둥 위험단면 직하부에 배근되어 있는 축방향 철근 2개를 포함한 계획된 위치에 W.S.G.들을 부착하였다.

시험체의 설치상황은 본 저자들에 의하여 기 발표된 참고문헌 1에 나타내었으며, 3개의 100ton MTS Actuator를 사용하여 축력과 횡력을 가력하였다. 특히, 일정한 축력을 작용시키기 위하여 2개의 Actuator를 기둥의 양쪽에 수직으로 설치하였다. 기둥 BG-8에서는 0.2P<sub>0</sub>, 나머지 3개의 기둥들에는 약 0.4P<sub>0</sub> 정도의 일정한 축력을 가력하였다. 횡하중은 그림 3과 같은 점증 변위법을 채택하였으며, 강도의 심각한 저하가 발생될 때까지 실험을 계속하였다.

## 3. 실험결과 및 분석

각 시험체의 강도와 횡변위에 대한 결과 일람표를 표 2에, 모멘트 - 변위 관계 곡선을 그림 4에 각각 나타내었다.

### 3.1 전반적인 이력거동

모든 기둥들이 초기에는 유사한 이력거동을 보였다. 0.5 %의 변위에서는 미소한 휨균열들이 발생되었으며, 1 %의 변위시 휨균열이 증대됨과 더불어 사인장 균열이 형성되기 시작했다. 그러나, 이때까지는 모든 기둥들에 콘크리트의 손상과 강도의 저하현상은 발생되지 않았다. 부재의 최대강도는 2 %의 횡변위에 도달하였을 때 발생되었다. 본 하중 스테이지에서의 휨능력은 콘크리트 구속에 따른 강도증대 효과를 고려한 ACI 318-95 규준<sup>(3)</sup>에 나타난 공칭 모멘트 강도보다 높게 나타났다. 이러한 강도에 대한 일람표를 전술한

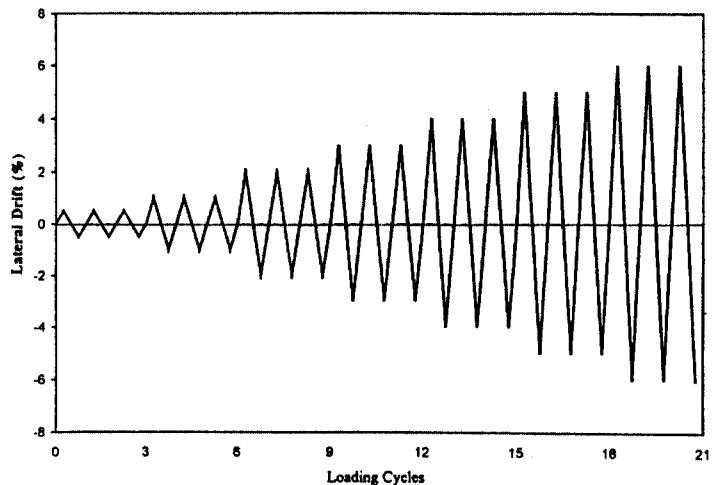


그림 3 변위이력(Loading Sequence)

표 2 강도와 횡변위 결과 일람표

Column	Column Moment Resistance		Column Force Resistance		ACI 318-95
	$(M_{test})_{Max}$	Min. Drift@	$(F_{test})_{Max}$	Min. Drift@	$M_n$
	(tm)	80% $(M_{test})_{Max}$	(t)	80% $(F_{test})_{Max}$	(tm)
BG-7	35.5	4%	18.8	3%	27.6
BG-8	33.2	6%	18.8	4%	28.4
BG-8	36.6	3%	18.2	3%	27.5
BG-10	37.3	5%	19.6	3%	27.3

\*1  $(M_{test})_{Max}$  and  $(F_{test})_{Max}$  : 각 하중방향으로의 평균 최대 모멘트와 횡하중 \*2 Min. Drift Capacity : 이력곡선중 3 사이클에서 강도가 20 % 이상 저감되지 않은 상태를 만족하는 횡변위

표 2에 각각 나타내었다. 2 %의 횡변위에 도달하였을 때, 휨과 전단균열이 증대됨과 더불어 기초와의 접합면에서 다소 피복 콘크리트의 부서짐이 발생되었다. 이후 하중이 증대됨에 따라 기둥의 이력거동은 축력의 레벨과 횡보강근의 양 및 배치에 따라 다소 차이를 보였다.

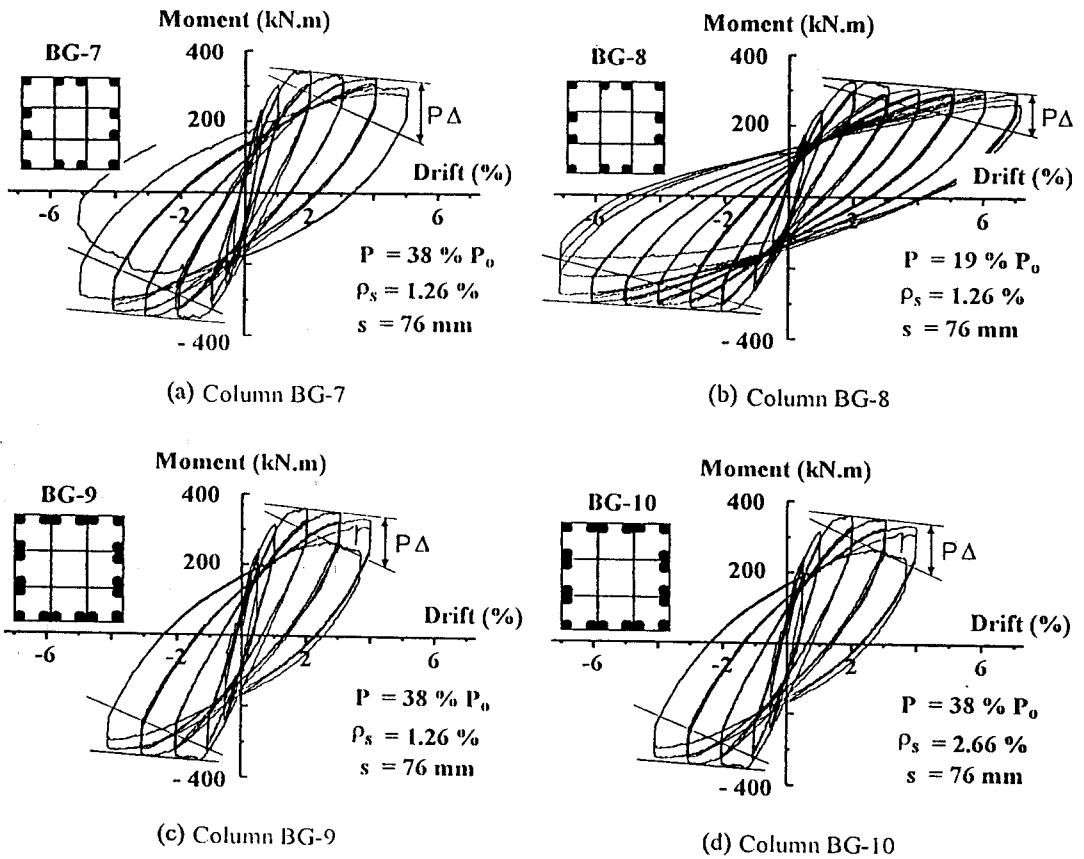


그림 4 모멘트 - 횡변위 관계 이력곡선

격자형 횡보강근의 배치를 개선시킨 기둥에서는 그 역학적 거동에 영향을 미치지 않으면서 횡보강근 체적비의 요구 조건을 완화할 수 있을 것으로 생각할 수 있다. 이 점을 검토하기 위하여 셀의 수는 증대시키지만, 체적비는 오히려 감소시킨 기둥의 실험을 통하였다. 기둥 BG-7과 BG-8은 9개의 셀과 12개의 축방향 철근으로 보강되었으며, 격자형 횡보강근의 직경은 6.60 mm로 작은 것을 사용하였다. 따라서, 체적비는 1.26 %로 감소되어 이는 ACI 318-95 규준에서 요구되는 횡보강근 체적비의 83 %이다. 기둥 BG-7은 약  $0.4P_0$ 의 일정한 축력하에서 실험되었는 반면, 기둥 BG-8은 약  $0.2P_0$ 의 일정한 축력하에서 실험되었다. 그림 4(a) 및 4(b)에서 보여지는 이력관계 곡선에서 알 수 있듯이 두 시험체 모두 연성적인 거동을 나타내고 있다. 기둥 BG-7의 모멘트 저항에 있어서는 심각한 강도 저감 없이 4 %의 횡변위까지 유지되는데 반하여 20 % 강도 저감시 2 %의 변위를 보였다. 기둥 BG-8에서는 비록 횡하중 저항능력이 P- $\Delta$  효과에 기인하여 4 %의 횡변위시 최대강도의 80 %까지 떨어졌지만, 모멘트 저항능력에 있어서는 6 %의 횡변위에 이를때까지도 강도 저감 없이 더 나은 성능의 향상을 나타내었다. 본 시험체는 횡변위 7 %의 두번째 사이클 진행중 축방향 철근이 좌굴되었다. 본 기둥에서는 이 한계변형 수준을 넘어서 변형되도록 계속 힘을 받았을 때, 소성힌지지역에 있는 2개의 횡보강근이 용접부 주변에서 부서졌다. 본 두 시험체의 실험결과에 의하면, 9개의 셀로 구속된 기둥에서는 ACI 318-95에서 요구하는 횡보강근의 간격 요구조건만 만족하면 본 규준에서 요구하는 횡보강근 체적비의 84 %만 보강되더라도 연성적인 거동을 확보할 수 있음을 알 수 있다.

기둥 BG-9과 BG-10은 격자형 횡보강근의 각 접합부에 각각 2개의 축방향 철근을 보강했을 때의 역학적 성능을 조사하기 위하여 실험되었으며, 이에 따라 20개의 축방향 철근과 9개의 셀로 구성되었다. 기둥 BG-9는 ACI 318-95에서 요구하는 횡보강근 체적비의 83 %로 그 직경이 6.60 mm인 반면, BG-10에서는 9.53 mm로서 ACI 318-95의 129 %에 달하는 체적비로 증대시켰다. 그림 4(c) 및 (d)의 이력곡선에서 알 수 있듯이 격자형 횡보강근의 피해없이 두 시험체 모두 연성적인 거동을 나타내고 있다. 기둥 BG-9는 강도의 심각한 저하없이 4 %의 횡변위에 이르도록 개선되었고, 4 %의 횡변위에 해당하는 사이클에서 파괴되었다. 본 기둥의 실험결과는 BG-7과 비교할 수 있을 것이며, 20 %의 강도저감시 BG-7과 유사한 연성능력을 보였다. 그러나, BG-9는 축방향 철근의 불안정성 때문에 연이은 사이클에서 급격한 강도저감현상이 발생되었다. 이는 본 기둥에 사용된 축방향 철근의 직경이 작음에 따라 압축좌굴에 좀 더 민감하였기 때문인 것으로 판단된다. 본 시험체는 4 %의 횡변위에 이를 때 까지도 격자형 횡보강근의 안정성이 유지되었으며, 축방향 철근의 좌굴이 발생한 이후까지도 그 역할을 충분히 하고 있었다. 그러므로, 횡변위 4 %가 초과되었을 때 급격한 강도저감현상이 발생된 이유가 횡보강근의 각 접합부에 각각 2개의 축방향 철근을 보강함에 따른 것으로 보기는 어렵다. 기둥 BG-10은 BG-9보다 더 좋은 성능을 보여 모멘트의 심각한 저감없이 5 %까지 횡변위가 개선되었다. 횡하중 저항능력은 P- $\Delta$  효과 때문에 감소되어 약 3 %의 횡변위시 최대하중의 약 80 %에 도달하였다. 이러한 본 기둥의 성능향상은 횡보강근 체적비의 증대로 설명될 수 있다.

### 3.2 철근의 변형도

연단부 축방향 철근의 대부분은 1 %의 횡변위시 항복하였다. 용접된 격자형 횡보강근의 변형도는 1 %의 횡변위시 약 0.001 정도였고, 3 %의 횡변위에 도달했을 때에 항복되었다.

### 3.3 보편적인 횡보강근과의 비교

본 연구에서는 보편적인 횡보강근으로 보강된 기둥의 실험을 행하는 대신에 기존의 실험결과<sup>(5)(6)</sup>를 해석적으로 처리하여 비교하였다. P- $\Delta$  효과를 고려한 횡력 - 횡변위의 상관관계, 철근의 용력도-변

형도 상관관계, 정착의 부족에 따른 미끄러짐 변형 관계 등을 주로 비교하였다.

단조가력 곡선은 일반적으로 이력 관계 곡선의 적합한 근사치로 간주될 수 있는 점을 고려하여, 보편적인 횡보강근으로 보강된 기둥에 대하여 일정한 축력하에서 단조가력된 경우를 대상으로 하중-변위 곡선을 해석하였다. 용접된 격자형 횡보강근과 일반적인 타이(Ties)형 보강근의 구조적 성능에 대한 비교 자료가 가능할 것으로 판단되는 바, 이러한 곡선들은 본 연구대상인 용접된 격자형 횡보강근으로 보강된 기둥의 실험 결과와 비교되었다. 중요한 것은 이러한 비교는 비탄성 하의 하중-변위 상관 관계 곡선을 예측하는데 사용될 수 있는 점과 동시에 해석적 접근의 유용성이 가능하다는 것이다. 이 과정에서 Saatcioglu와 Razvi<sup>(6)</sup>에 의하여 개선된 구속 콘크리트 모델(그림 7)과 그림 5와 같은 띠기둥의 횡구속 압력분포를 사용한 휨 해석과, 실험결과 얻어진 변형 경화를 고려한 철근의 응력-변형도 관계를 사용하였다. 소성현지역에 대한 소성화 과정 및 곡률분포는 그림 6과 같은 Razvi와 Saatcioglu<sup>(7)</sup>의 알고리즘을 따랐으며, 정착의 부족에 기인된 미끄러짐에 따른 변형도는 Alsiwat와 Saatcioglu<sup>(4)</sup>가 제시한 해석모델을 사용하였다. 이러한 해석모델에 대한 결과들은 집중하중, 편심하중, 반복하중을 받는 다수의 기둥 실험결과와 비교 및 검증 되었으며, 실험결과들과 비교적 좋은 대응<sup>(6)(7)(8)</sup>을 보였다. 따라서, 이 해석모델에 의한 하중-변위 관계는 보편적인 띠철근과 동일한 체적비, 간격과 배열을 가진 용접 격자형 횡보강근으로 구속된 본 실험대상 기둥 및 본 저자들의 기 발표 기둥 실험결과<sup>(1)</sup>들에 대하여 적용하였다. 다만, BG-6 기둥에서는 동일한 간격 및 체적비이지만 9개의 셀을 가짐으로서, 보편적인 횡보강 띠철근인 경우에는 4개의 축방향 철근이 보강된 경우를 대상으로 함에 따라 다소 배열상의 차이가 있었다.

용접 격자형 횡보강근으로 구속된 본 실험대상 기둥 및 본 저자들의 기 발표 기둥 실험결과들과 보편적인 띠철근 보강 기둥에 대한 하중 - 변위 관계 곡선을 비교하여 그림 8에 각각 나타내었다.

전반적인 이력거동은 보편적인 횡보강근으로 보강된 시험체와 대체로 유사하게 나타났으나, 용접된 띠철근으로 보강된 본 연구대상의 시험체가 다소 개선된 콘크리트 구속효과를 나타냈으며, 강도 또한 약 5 %에서 10 %정도 높게 나타났다. 이는 일정하게 용접된 모든 횡보강근의 위치에서 강접합된 효과를 나타냄으로써 강성이 증대되어 그 구속효과가 개선되었기 때문으로 판단되며, 이에 대해서는 향후 지속적인 보완 연구가 필요한 것으로 판단된다.

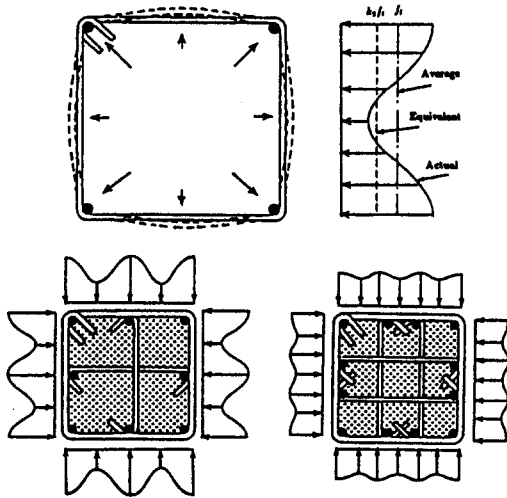


그림 5 띠기둥의 횡구속 압력분포

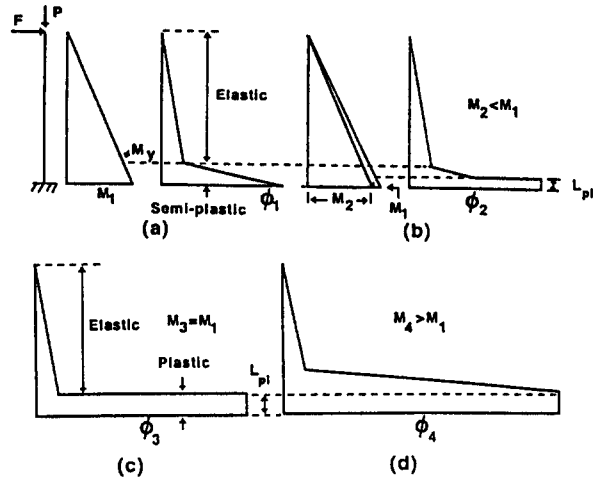


그림 6 기둥의 소성현지역 및 곡률 분포도

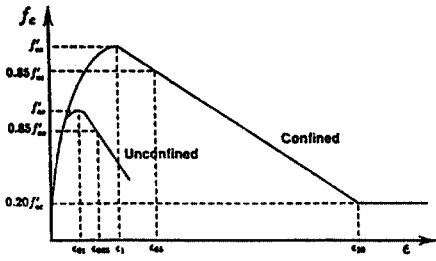


그림 7 콘크리트의 응력도-변형도 곡선

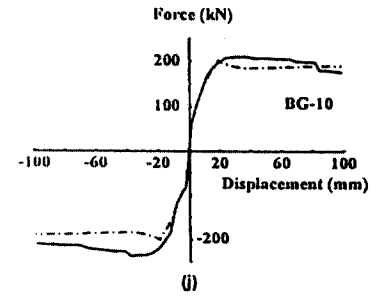
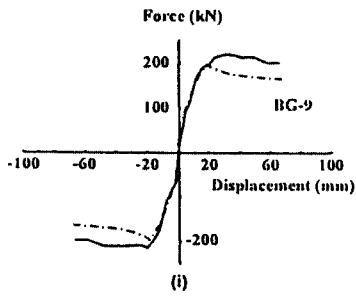
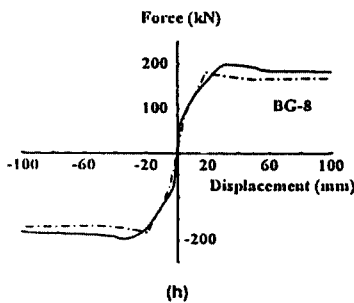
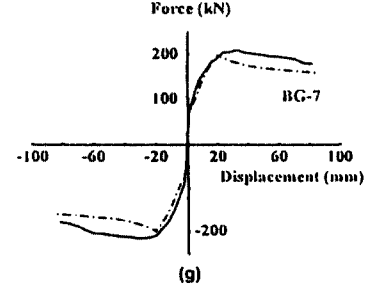
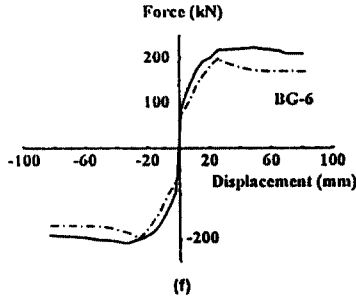
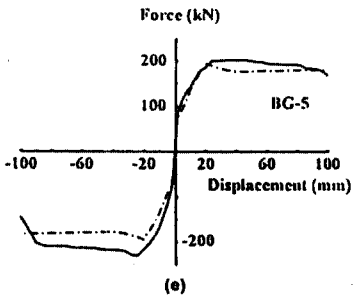
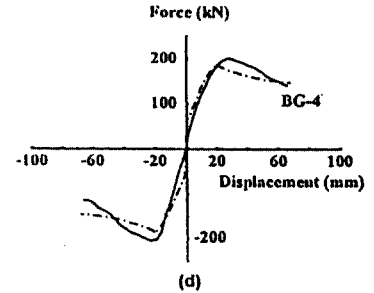
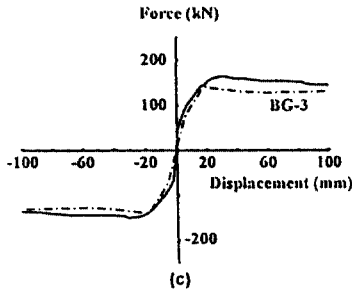
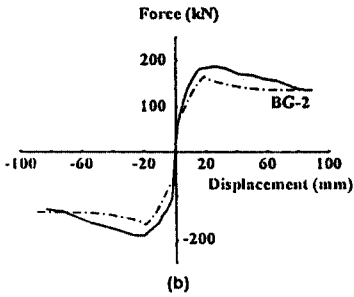
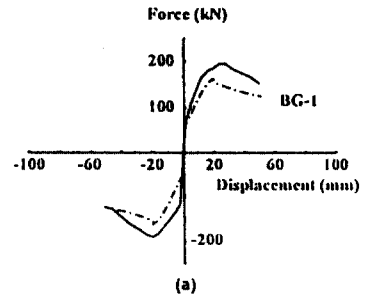


그림 8 하중 - 변위 관계 곡선 비교

— Grids - Exp.  
 - - - Ties - Anal.

#### 4. 결론

이상의 연구로부터 얻어진 결론은 다음과 같다.

(1) 횡보강근의 강도와 연성에 영향을 미치지 않도록 용접된 격자형 접합부위의 강도가 횡보강근의 모재강도 이상임과 동시에 4 % 이상의 충분한 신률을 가진다면, 용접된 격자형 횡보강근은 다소 복잡한 상세를 요구하는 내진 구조물의 기둥부재에 있어 경제적인 한 보강방법인 것으로 판단된다.

(2) 용접된 격자형 횡보강근으로 구속된 기둥은 체적비, 항복강도, 배근방법 및 간격 등이 같은 조건 의 보편적인 띠철근으로 보강된 기둥에 비하여, 전반적인 이력거동은 유사하거나 다소 개선된 콘크리트 구속효과를 나타냈으며, 강도 또한 약 5 %에서 10 %정도 높게 나타났다. 이는 일정하게 용접된 모든 횡보강근의 위치에서 강접합 효과를 나타냄으로써 그 구속효과가 개선되었기 때문으로 판단된다. 다만, 이에 대해서는 향후 계속적인 보완 연구가 필요한 것으로 판단된다.

(3) 동일한 체적비와 간격을 갖는 용접된 격자형 횡보강근에 있어서, 9개의 쉘인 경우가 4개의 쉘인 경우에 비하여 더 나은 연성능력을 나타내었다.

#### 감사의 글

본 연구는 한국과학재단의 1995년도 전반기 해외 Post-Doc. 연구비 지원하에 수행된 연구결과의 일 부로서 관계관 여러분께 감사드립니다.

#### 참고문헌

1. 최창식, Grira, M. and Saatcioglu, M., "용접된 띠철근으로 보강한 철근콘크리트 기둥의 강도와 연 성," 한국콘크리트학회 학술발표 논문집, 제 9권, 제 1호, 1997.5, pp. 492-499.
2. Grira, M. and Saatcioglu, M., "Concrete Columns Confined with Welded Reinforcement Grids," Research Report OCEERC 96-05, The Ottawa - Carleton Earthquake Engineering Research Center, Dept. of Civil Engineering, University of Ottawa, Sept. 1996, pp. 89.
3. ACI Committee 318, "Building Code Requirements for Reinforced Concrete and Commentary (ACI 318-95)," American Concrete Institute, Detroit, 1995, 369 pp.
4. Alsiwat, J., and Saatcioglu, M., "Reinforcement Anchorage Slip under Monotonic Loading," Journal of Structural Engineering, ASCE, Vol. 118, NO. 9, 1992, pp. 2421-2438.
5. Saatcioglu, M., and Ozcebe, G., "Response of Reinforced Concrete Columns to Simulated Seismic Loading," ACI Structural Journal, Vol. 86, No. 1, January-February 1989, pp. 3-12.
7. Saatcioglu, M., and Razvi, S., "Strength and Ductility of Confined Concrete," Journal of Structural Engineering, ASCE, Vol. 118, No. 6, 1992, pp. 1590-1607.
8. Razvi, S. R., and Saatcioglu, M., "Design of Reinforced Concrete Columns for Confinement Based on Lateral Drift," Research Report, Ottawa-Carleton Earthquake Engineering Research Center, Dept. of Civil Engineering, University of Ottawa, Ottawa, Ont., 1994.
9. Saatcioglu, M., Salamat, A. H. and Razvi, S. R., "Confined Columns under Eccentric Loading," ASCE Journal of Structural Engineering, Vol. 121, No. 11, November 1995, pp. 1547-1556.