

# 용접된 띠철근으로 보강한 철근콘크리트 기둥의 강도와 연성

## Strength and Ductility of R/C Columns with Welded Reinforcement Grids

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

---

### Abstract

Experimental research was conducted to investigate structural performance of concrete columns confined with welded reinforcement grids were tested under simulated seismic loading. The columns were subjected to constant axial compression accompanied by incrementally increasing lateral deformation reversals.

The results indicate that welded reinforcement grid can be used effectively as confinement reinforcement provided that the steel used, have sufficient ductility and the welding process employed does not alter the strength and elongation characteristics of steel. The grids improved the structural performance of columns, which developed lateral drift ratios in excess of 3% with the spacing and volumetric ratio of transverse reinforcement similar to those required by the ACI 318-95 Building Code.

---

### 1. 서 론

지진이 활발한 지역에서의 철근콘크리트 기둥에는 합리적으로 단면을 구속함과 동시에 횡보강근의 세심한 배근등이 요구된다. 콘크리트 단면을 구속함으로써 기둥의 강도와 변형능력을 향상시킬 수 있으며, 이는 구조물 전체의 강도와 안정성을 얻을 수 있다. 정.장방형 기둥에 보편적으로 사용되고 있는

---

\* 정회원, 대전대학교 건축공학과 조교수

\*\* University of Ottawa(Canada) 교수

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

횡보강 띠철근의 요구조건을 만족시키기 위해서는 때때로 높은 체적비, 조밀한 간격, 겹침, 구부림, 구부림의 확장 등을 유발시킨다. 비록, 이러한 요구조건들은 기둥의 내진성능의 향상에 필요하지만, 기둥 횡보강근의 조밀을 유발시킬 수 있으며, 경우에 따라서는 시공상의 어려움과 콘크리트 타설상의 문제를 발생시킬 수도 있다.

보편적으로 사용되고 있는 횡보강근의 이러한 문제점을 해결하기 위한 한 방법으로서요구되는 횡보강근의 체적, 배열, 크기 등에 따라 이를 기초립, 용접하여 사용하는 것이다. 용접된 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 횡보강 철근의 간격이 조밀해짐으로써, 코아 콘크리트 주변의 구속력을 균등히 분배시키게 되고, 이에 따라 코아 콘크리트의 거동을 향상시키는 결과를 얻을 수가 있다.

이에 본 연구에서는 이러한 용접된 띠철근으로 보강된 철근콘크리트 기둥의 역학적 거동을 규명함과 동시에 철근콘크리트 기둥의 내진성능 향상을 위한 기초자료를 제공하고자 하였다.

## 2. 실험

### 2.1 시험체 계획

시험체는 기초와 기둥 변곡점 사이의 1층 기둥부분의 실물크기로 총 6개의 시험체를 제작하였으며, 주요 시험체의 단면 및 배근 상황은 그림 1과 같다. 시험체는 350mm의 정방형 단면을 가지며, 시험

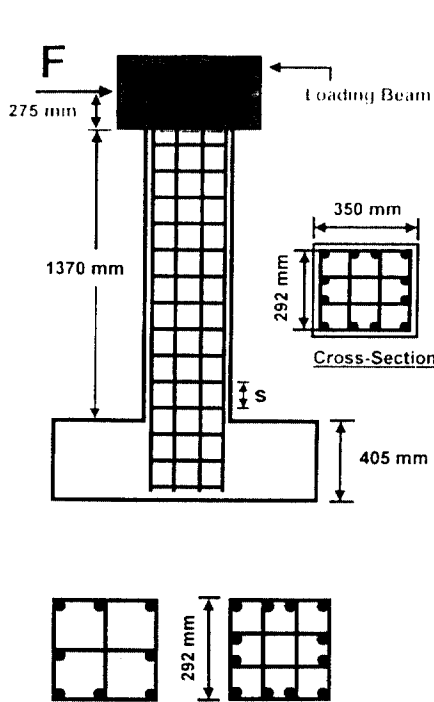


그림 1 시험체의 단면 및 배근 상황도

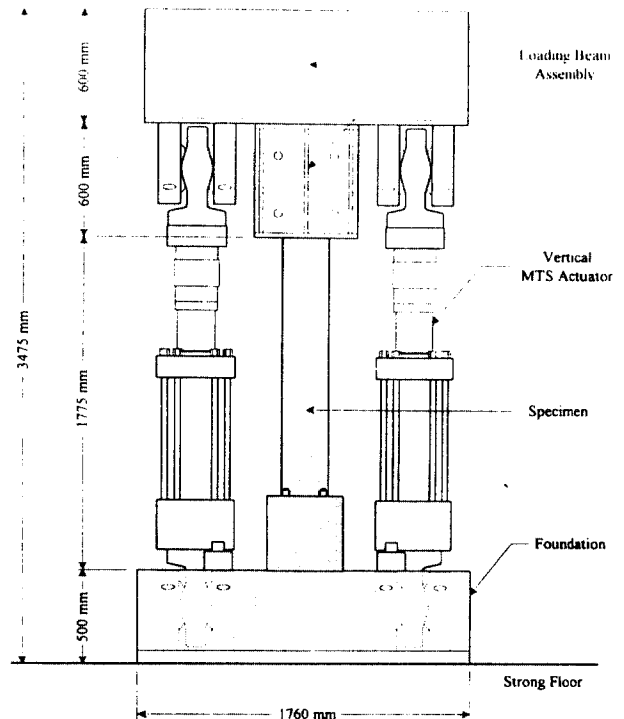


그림 2 시험체의 설치 상황도

표 1 재료와 시험체 일람표

Col. Label	Reinf. Arrng	$\rho$ (%)	$b_d$ (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-1	8-#20	1.96	9.53	152	5786	1.00	1.55	0.65	181.8	0.39
BG-2	8-#20	1.96	9.53	76	5786	2.00	1.55	1.29	181.8	0.39
BG-3	8-#20	1.96	9.53	76	5786	2.00	1.55	1.29	84.8	0.18
BG-4	12-#20	2.94	9.53	152	5786	1.33	1.55	0.86	196.1	0.38
BG-5	12-#20	2.94	9.53	76	5786	2.66	1.55	1.72	196.1	0.38
BG-6	4-#30	2.29	9.53	76	5786	2.66	1.55	1.72	193.8	0.40

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

체의 변수는 횡보강근의 배근상태, 간격, 체적비 등이다. 콘크리트 설계기준강도는 350 kg/cm<sup>2</sup>, 축방향 주철근의 항복강도는 4000 kg/cm<sup>2</sup>이며, 재료 및 시험체 일람은 표 1과 같다.

### 2.2 가력 및 측정장치와 변위이력

수평변위, 소성힌지 부분의 회전각, 철근의 변형도 등을 측정하기 위하여 LVDT(Linear Variable Displacement Transducers)와 W.S.G.들을 계획된 위치에 설치하였다. 특히, 기둥과 기초의 접촉면 직상부의 횡보강근, 기둥 위험단면 직하부에 배근되어 있는 축방향 철근 2개에 W.S.G.들을 부착하였다.

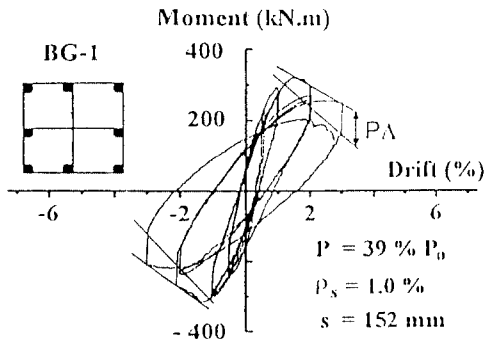
시험체의 설치상황은 그림 2와 같으며, 3개의 100ton MTS Actuator를 사용하여 축력과 횡력을 가력하였다. 특히, 일정한 축력을 작용시키기 위하여 2개의 Actuator를 기둥의 양쪽에 수직으로 설치하였다. 5개의 기둥들에는 약 0.4P<sub>0</sub>, BG-3의 기둥에는 변형능력에 대한 축압축의 영향을 연구하기 위하여 0.2P<sub>0</sub> 정도의 축압축력을 가력하였다. 가력은 변위제어법을 채택하였고, 점증형태의 이력이 적용되었다<sup>(1)</sup>. 각 변위에서는 3 싸이클을 1 스테이지로 하였고, 0.5 % 횡변위를 시작으로 1 %, 2 %, 3 % 등으로 계속되어, 강도의 심각한 저하가 발생될 때까지 실험을 계속하였다.

## 3. 실험결과 및 분석

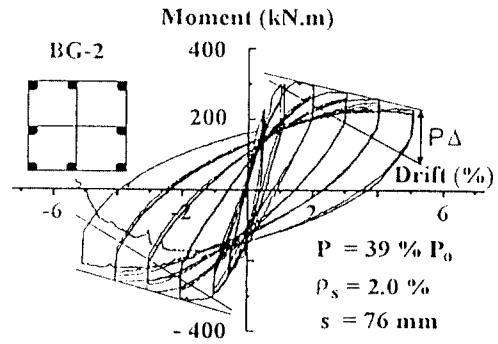
각 시험체의 강도와 횡변위에 대한 결과 일람표를 표 2에, 모멘트 - 횡변위 관계 이력곡선을 그림 3에 각각 나타내었다.

### 3.1 전반적인 이력거동

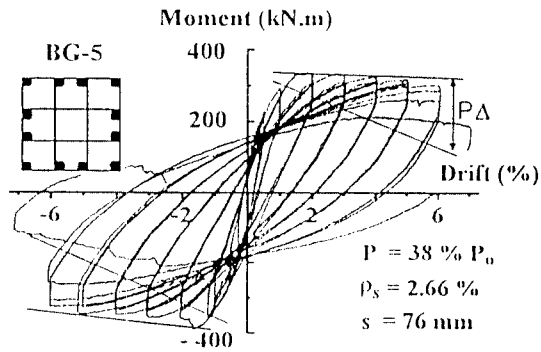
모든 기둥들이 초기에는 유사한 이력거동을 보였다. 0.5 %의 변위에서는 미소한 휨균열들이 발생되었으며, 1 %의 변위시 휨균열이 증대됨과 더불어 사인장 균열이 형성되기 시작했다. 그러나, 이때까지는 모든 기둥들에 콘크리트의 손상과 강도의 저하현상은 발생되지 않았다. 부재의 최대강도는 2 %의 횡변위에 도달하였을 때 발생되었다. 본 하중 스테이지에서의 휨능력은 콘크리트 구속에 따른 강도증대 효과를 고려한 ACI 318-95 기준<sup>(2)</sup>에 나타난 공칭모멘트 강도보다 높게 나타났다. 이러한 강도에 대한 일람표를 전술한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



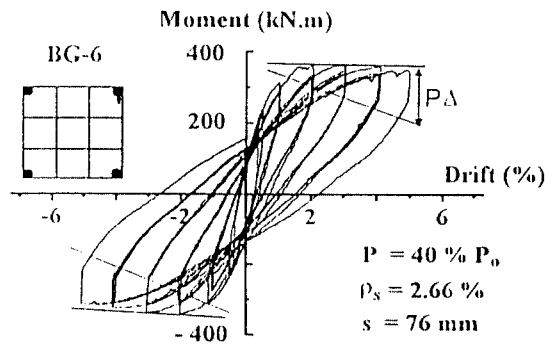
(a) Column BG-1



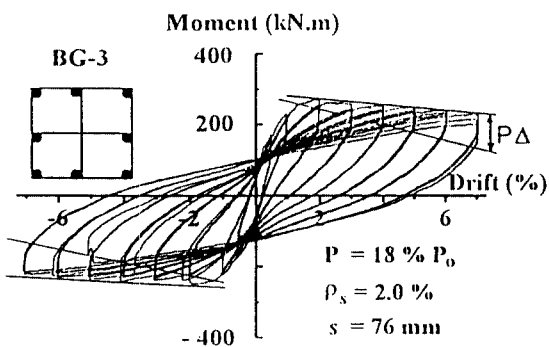
(b) Column BG-2



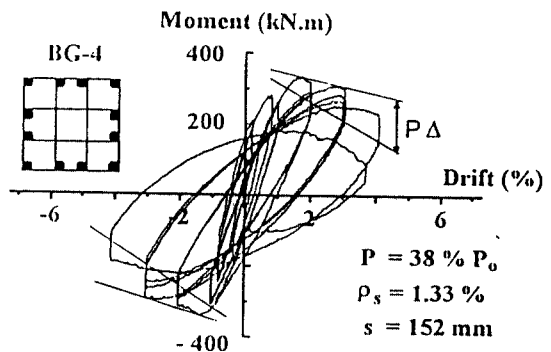
(c) Column BG-5



(f) Column BG-6



(c) Column BG-3



(d) Column BG-4

그림 3 모멘트 - 횡변위 관계 이력곡선

표 2 강도와 횡변위 결과 일람표

Column	Column Moment Resistance		Column Force Resistance		ACI 318-95 Mn (tm)
	$(M_{test})_{Max}$ (tm)	Min. Drift@ 80% $(M_{test})_{Max}$	$(F_{test})_{Max}$ (t)	Min. Drift@ 80% $(F_{test})_{Max}$	
BG-1	32.6	1%	17.2	1%	24.1
BG-2	31.7	3%	16.7	2%	24.1
BG-3	26.5	7%	14.6	4%	21.8
BG-4	34.5	2%	18.1	2%	26.7
BG-5	37.0	5%	19.4	3%	26.7
BG-6	35.8	5%	18.4	3%	27.1

\*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

열이 증대됨과 더불어 기초와의 접합면에서 다소간의 피복 콘크리트의 부서짐이 발생되었다. 이후 하중이 증대됨에 따라 기둥부재의 이력거동은 축압축력의 레벨과 횡보강근의 양 및 배치에 따라 다소 차이를 보였다.

ACI 318-95 규준에 의해 요구되는 횡보강근 체적비의 65 %, 간격은 152 mm로 규준에서 요구되는 간격의 2배를 갖는 기둥 BG-1의 모멘트 - 횡변위 관계 곡선은 그림 3(a)에 나타내었다. 본 기둥은 횡보강근의 부족으로 인하여 2 %의 횡변위에서 급속한 강도저하 현상을 보인다. 그러나, 용접된 횡보강근은 시험체의 파괴에 이르는 3 %의 횡변위에 다다를 때 까지 안정성을 확보하고 있으며, 그 역할을 충분히 다하고 있는 것으로 나타났다.

기둥 BG-2는 횡보강근의 간격을 기둥 BG-1의 반인 76 mm, ACI 318-95 규준에 의해 요구되는 횡보강근 체적비의 129 %로 증대시킨 시험체이다. 본 기둥의 이력곡선은 그림 3(b)에서 보여지는 바와 같이 상당히 향상되었다. 또한, 모멘트 저항에 있어서도 심각한 감소없이 3 %의 횡변위에 이를때까지 그 변형능력을 잘 유지하였고, 4 %와 5 %의 횡변위에 이를때까지도 다소의 강도 저감만 발생하였으며, 횡변위 5 %의 두번째 사이클에서 축방향 철근의 좌굴에 의하여 파괴되었다. 이러한 축방향 철근의 좌굴후에도 용접된 띠철근은 손상없이 완전한 상태로 유지되었다. 횡하중 저항에 있어서의 감소는 P-△ 효과에 의하여 더 높았고, 약 20 % 정도만 횡하중 저항능력이 감소되면서도 최소 2 %의 횡변위가 향상되었다. ACI 규준에서 요구하는 이 조건의 만족은 고축력에서도 충분한 연성능력을 가짐을 의미한다.

전술된 BG-1, BG-2의 두 기둥은 전술된 바와 같이 약 0.4P0의 일정한 축력하에서 실험되었는 반면, 축력의 영향을 상호 비교하기 위하여 기둥 BG-3는 약 0.2P0의 일정한 축력하에서 실험되었다. 본 기둥의 단면 및 배근 조건은 기둥 BG-2와 동일하였다. 그림 3(c)에서 보여지는 모멘트 - 횡변위 관계에서 알 수 있듯이 매우 연성적인 거동을 보였으며, 이는 낮은 축력하에서는 횡보강근의 요구 조건을 완화할 수 있다는 것을 나타내고 있다. 약 20 % 정도만 모멘트 저항능력이 감소되면서도 7 %의 횡변위가 향상되었고, 약 20 % 정도만 횡하중 저항능력이 감소되면서도 4 %의 횡변위가 향상되었다.

기둥 BG-4는 ACI 318-95 규준에 의해 요구되는 횡보강근 체적비의 86 %를 가지는 9개의 셀(Cell)과 12개의 축방향 철근으로 배근됨으로써 보강근의 배치가 개선된 시험체이다. 그러나, 횡보강근의 간격은 152 mm로 ACI 318-95 규준에서 요구되는 간격의 2배였다. 그림 3(d)에서 보여지는 모

멘트 - 횡변위 관계에서 알 수 있듯이 거의 강도저감 없이 2 %의 횡변위에 이를때까지 잘 유지되었고, 횡변위 4 %의 두번째 사이클에서 축방향 철근의 좌굴에 의하여 파괴되었다. 기둥 BG-1과 비교하여 볼 때, 본 기둥 BG-4의 내진성능 향상은 보강근의 배치와 코아 콘크리트 구속효과의 중요성을 보여준다. 또한, 본 시험체에서의 파괴시에도 기둥의 소성힌지부에 배근된 용접 띠철근은 특별한 피해없이 잘 지지하고 있었다.

ACI 318-95 규준의 요구에 적합하게 횡보강근의 간격을 76 mm로 감소시킨 기둥 BG-5의 변형능력은 더욱 개선되었다. 그림 3(e)에서 알 수 있듯이 기둥 BG-4와 동일한 축방향 철근의 배치를 가진 기둥 BG-5는 횡보강근의 체적이 늘어남에 따라 횡변위 5 %에 이를때까지도 모멘트 - 변위 관계의 안정된 이력곡선을 나타내고 있다. 또한, 본 시험체는 6 %의 높은 변위에 이를때까지도 기둥의 소성힌지부에 배근된 용접 띠철근은 코아 콘크리트를 효과적으로 구속하여 좁과 동시에 축방향 철근을 잘 지지하고 있었다. 본 시험체는 횡변위 7 %의 첫번째 사이클에서 축방향 철근의 좌굴에 의하여 파괴되었다. 횡하중 저항 메커니즘을 고려하여 볼 때, 3 %의 횡변위시 20 % 정도만 그 저항능력이 감소되었는데 이 또한 근본적으로 P- $\Delta$  효과에 기인된것이다.

횡보강근 배치의 중요성을 검토하기 위하여 9개의 셀과 각 모서리 4개의 축방향 철근으로 배근된 기둥 BG-6를 실험하였다. 본 배근방법은 모서리 사이의 횡보강근에는 축방향 철근을 보강하지 않는 것이 특징이다. 그 전반적인 역학적 거동은 9개의 셀과 12개의 축방향 철근으로 보강되는 기둥 BG-5와 유사하였다. 그림 3(f)에 나타난 모멘트 - 횡변위 이력관계 곡선에서 알 수 있듯이 모멘트 저항메카니즘에서 5 %의 횡변위에 이르러서야 20 %정도의 강도저감이 발생되었고, 횡하중 저항 측면에 있어서도 대략 같은 수준의 강도저감에서 3 %의 횡변위가 유발되었다. 본 결과는 실제건물에 적용하는데 매우 중요한 부분인데, 이는 축방향 철근보강 없이 격자형 횡보강근(Grid) 만으로도 접합부에 요구되는 횡구속 효과를 얻을 수 있다는 것을 의미한다. 즉, 콘크리트 단면내 횡보강근의 간격을 좁힘으로써 축방향 철근 없이도 횡구속력의 분배를 개선시켰다. 그러나, 이러한 배근형태의 시험체가 한 개였으므로, 이 부분에 대해서는 향후 추가 실험 연구들이 요구된다.

### 3.2 모멘트 - 회전각의 상관 관계

소성힌지는 기둥과 기초와의 접촉면에서 기둥 단면 상부로 단면크기인 350 mm 까지 연장된다고 가정하여 이 부분의 회전각을 측정하였다. 전체 회전각은 기둥의 기초부와 소성힌지부와와의 상대 회전각으로 정의하였다. 정착부족에 따른 미끄러짐(Anchorage Slip)으로 볼 수 있는 기초부내 축방향 철근 정착길이의 부족에 의한 미끄러짐에 기인된 기둥의 회전각도 측정되었으며, 전체 회전각의 한 성분으로 고려하였다. 정착부족에 의한 미끄러짐은 축방향 철근의 변형경화 이전에서만 그 중요도가 있기 때문에 위험단면에서 발생된다<sup>(3)</sup>. 따라서, 이러한 변형성분은 특히, 축력의 영향이 무시될 수 있는 보의 높은 비탄성 변형 수준에서 그 중요성을 갖는다. 낮은 축력이 작용되는 기둥들에는 정착의 부족에 기인된 미끄러짐에 따른 기둥의 회전각은 중요할 수 있다(4). 본 연구에서는 비교적 높은 축력하의 기둥들을 대상으로 하였기에 이에 따른 미끄러짐양은 전체 미끄러짐양에 비하여 미소하였다.

### 3.3 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.

### 3.4 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 응력도-변형도 상관관계, 정착의 부족에 따른 변형 관계 등을 주로 비교하였다.

전반적인 이력거동은 보편적인 횡보강근으로 보강된 시험체와 대체로 유사하게 나타났으나, 용접된 띠철근으로 보강된 본 연구대상의 시험체가 다소 개선된 콘크리트 구속효과를 나타냈다. 이는 일정하게 용접된 모든 횡보강근의 위치에서 강접합된 효과를 나타냄으로써 강성을 증대시켜 그 구속효과를 개선시켰기 때문으로 판단된다.

## 4. 결 론

이상의 연구로부터 얻어진 결론은 다음과 같다.

- (1) 횡보강근의 강도와 연성에 영향을 미치지 않도록 용접됨과 동시에 충분한 신률을 가진다면, 용접된 격자형 횡보강근은 기둥의 띠철근으로써 사용가능한 것으로 판단된다.
- (2) 용접된 격자형 횡보강근으로 구속된 기둥은 체적비, 항복강도, 배근방법 및 간격 등이 같은 조건의 보편적인 띠철근으로 보강된 기둥과 유사하거나 다소 개선된 횡변위와 연성능력을 보였다.
- (3) 용접된 격자형 횡보강근은 공기 단축, 특히 횡보강근의 다소 복잡한 상세를 요구하는 내진 구조물에 있어 경제적인 한 보강방법인 것으로 판단된다.
- (4) 용접된 격자형 횡보강근이 유효하게 거동하기 위하여는 1) 용접된 접합부위의 강도가 보강근의 모재강도 이상이어야 하고 2) 신율이 4 % 이상이어야 할 필요가 있다.

## 감사의 글

본 연구는 한국과학재단의 1995년도 전반기 해외 Post-Doc. 연구비 지원하에 수행된 연구결과의 일부로서 관계자 여러분께 감사드립니다.

## 참 고 문 헌

1. 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.
2. ACI Committee 318, "Building Code Requirements for Reinforced Concrete and Commentary (ACI 318-95)," American Concrete Institute, Detroit, 1995, 369 pp.
3. Alsawat, J., and Saatcioglu, M., "Reinforcement Anchorage Slip under Monotonic Loading," Journal of Structural Engineering, ASCE, Vol. 118, NO. 9, 1992, pp. 2421-2438.
4. 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.
5. Saatcioglu, M., and Razvi, S., "Strength and Ductility of Confined Concrete," Journal of Structural Engineering, ASCE, Vol. 118, No. 6, 1992, pp. 1590-1607.
  6. 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 Engng., Univ. of Ottawa, Ottawa, Ont., 1994.
  7. 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.