

고강도 콘크리트를 사용한 RC보의 최대철근비

Maximum Shear Reinforcement of RC Beams using High Strength Concrete

이 정윤*, 황 현복**

Lee, Jung-Yoon*, Hwang, Hyun-Bok**

ABSTRACT

The ACI 318-05 code requires the maximum amount of shear reinforcement in reinforced concrete (RC) beams to prevent possible sudden shear failure due to over reinforcement. The design equations of the maximum amount of shear reinforcement provided by the current four design codes, ACI 318-05, CSA-04, EC2-02, and JCI-99, differ substantially from one another. The ACI 318-05, CSA-04, and EC2-02 codes provide an expression for the maximum amount of shear reinforcement ratio as a function of the concrete compressive strength, but Japanese code does not take into account the influence of the concrete compressive strength. For high strength concrete, the maximum amount of shear reinforcement calculated by the EC2-02 and CSA-04 is much greater than that calculated by the ACI 318-05. This paper presents the effects of shear reinforcement ratio and compressive strength of concrete on the maximum shear reinforcement in reinforced concrete beams. Ten RC beams having various shear reinforcement ratio were tested. Although the test beams were designed to have much more amount of shear reinforcement than that required in the ACI 318-05 code, all beams failed due to web concrete crushing after the stirrups reached the yield strain.

요 약

현행 기준식에서는 철근콘크리트 보의 취성적 전단 파괴를 방지하기 위하여 전단보강철근이 항복한 이후에 복부 콘크리트가 압축파괴하도록 최대전단철근비에 대한 제한을 두고 있다. 최대전단철근비에 대한 제한은 각 기준식마다 매우 상이하다. ACI 318-05, CSA-04 와 EC2-02기준에서는 최대전단철근비가 콘크리트의 압축강도에 따라서 변화하지만, 일본기준식은 압축강도와 무관하게 일정한 값이다. 고강도콘크리트가 사용될 경우에 CSA-04와 EC2-02기준에서 요구하는 최대전단철근비는 ACI 318-05의 두 배 이상으로 기준식마다 상이하게 최대전단철근비를 제한하고 있다. 이 연구에서는 10개의 철근콘크리트 보 실험을 통하여 최대철근비가 미치는 보의 거동 및 내력을 평가하였다. 실험 결과에 의하면 ACI 318-05에서 요구하는 철근비보다 많은 전단보강철근이 배근된 보에서도 전단보강철근이 항복한 이후에 콘크리트가 압축파괴하였다.

* 정회원, 성균관대학교, 건축공학과, 부교수

** 정회원, 성균관대학교, 건축공학과, 박사과정

1. 서 론

현행 콘크리트구조설계기준의 철근콘크리트 부재에 대한 전단설계법에서는 최소전단보강철근비에 대한 규정, 최대 전단보강철근의 간격에 대한 규정 및 최대전단보강철근에 대한 규정 등이 있다. 최소 전단보강철근비 및 최대 전단보강철근의 간격에 대한 규정은 부재의 복부에 최초의 사인장 균열이 발생할 때의 외력을 철근이 지지하지 못하게 되어 사인장균열이 발생함과 동시에 부재가 파괴되는 것을 방지 하며, 사인장균열이 최소한 한 개 이상의 전단보강철근을 관통하여 취성적으로 파괴되지 않고 균열의 폭이 사용성 한계 이상으로 커지는 것을 방지하기 위함이다. 한편, 최대전단보강철근비에 대한 규정은 아래와 같이 크게 세 가지 요인에 기인한다.

- ① 콘크리트의 압축파괴 방지 : 전단보강철근비가 균형철근비보다 많은 경우, 철근이 항복하기 이전에 콘크리트가 압축파괴. 이 경우에는 전단보강철근이 항복하지 않으므로 소성설계에 기본을 둔 현행전단보강철근 저항식에서 전단보강철근의 항복응력을 사용할 수 없다.
- ② 균열 폭: 전단보강철근이 저항하는 전단부담내력이 증가함에 따라서 콘크리트에 발생하는 균열의 폭이 증대할 수 있다.
- ③ 경제성 : 하계소성이론에 의한 전단설계법에 의하면 전단보강비보다 적어서 전단보강이 항복응력에 도달한 후 콘크리트가 압축파괴하는 경우에도 전단저항력은 전단보강철근의 양에 비례하여 증가하지 않는다. 전단저항력은 원에 가까운 형태로 전단보강철근의 양이 증가함에 따라서 전단저항력의 증가분이 감소한다.

ACI 318-05¹⁾에서는 식(1)과 같이 최대전단철근비(ρ_{max})를 제한하고 있다.

$$\rho_{max} = \frac{2}{3} \frac{\sqrt{f_{ck}}}{f_y} \tag{1}$$

여기서 f_{ck} 는 콘크리트의 압축강도이며 f_y 는 전단보강철근의 항복강도이다.

최대전단철근비에 대한 제한은 각 기준식마다 매우 상이하다. ACI 318-05¹⁾, CSA-04²⁾ 와 EC2-02³⁾기준에서는 최대 전단철근비가 콘크리트의 압축강도에 따라서 변화하지만, 일본기준식(AIJ-99)⁴⁾은 압축강도와 무관하게 일정한 값이다. 그림 1는 콘크리트의 압축강도와 각국의 최대철근비의 관계를 나타내고 있다. 보통강도 콘크리트에 비하여 고강도콘크리트가 사용될 경우에 CSA-04와 EC2-02기준에서 요구하는 최대전단철근비는 ACI 318-05의 두 배 이상으로 기준식마다 상이하게 최대전단철근비를 제한하고 있음을 알 수 있다. 이 연구에서는 실험을 통하여 최대 전단철근비 제한값을 평가하였다.

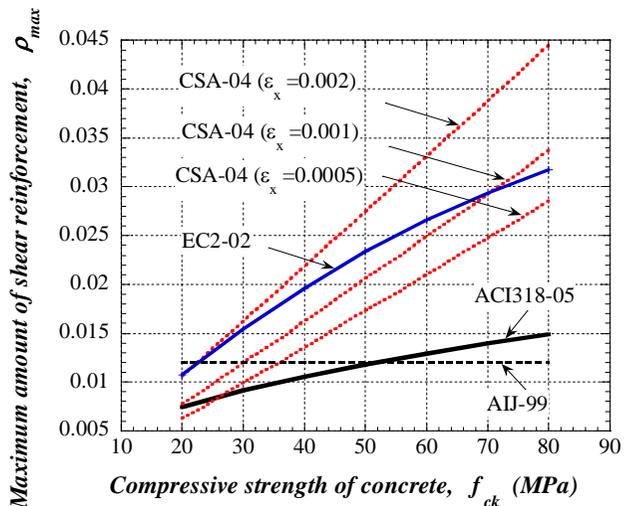


Fig.1 Maximum amount of shear reinforcement vs. compressive strength of concrete

2. 실험 계획

철근콘크리트 보의 최대전단철근비를 평가하기 위하여 콘크리트 압축강도 63.0MPa(Group-F60) 과 84.6MPa(Group-F80)의 10개의 철근콘크리트 보 실험을 수행하였다. 실험체의 주요 변수는 표 1에 표시한 것과 같이 콘크리트의 압축강도와 전단보강철근의 양이다. 각 실험체에 배근된 전단보강철근의 양은 ACI 318-05¹⁾, CSA-04²⁾, EC2-02³⁾, AIJ-99⁴⁾기준식의 전단보강철근의 양과 비교되었다. 실험체는 그림 2와 같이 단면 200mm x 300mm 이며 전단경간비가 3인 실험체이다. 실험은 중앙점에서 일점 가력하였고, 전단보강철근 및 주인장철근에 스트레인 게이지를 부착하여 철근의 변형률을 측정하였다. 또한 실험체의 전단위험단면에 6개의 LVDT를 설치하여 보의 평균변형률을 측정하였다.

Table 1—Specification of specimens and material properties.

Beams	f_{ck} (MPa)	Longitudinal tensile bars		Shear steel bars			ρ_{max}				
		ρ_l (%)	f_{ly} (MPa)	s (mm)	ρ_t (%)	f_{ty} (MPa)	ACI 318-05	CSA- 04	EC2-0 2	JCI-99	
Group-F60	F60-1	63.0	2.55	1068	250	0.507	508	1.042	2.628	2.454	1.200
	F60-2	63.0	2.55	1068	120	1.056	508	1.042	2.628	2.454	1.200
	F60-3	63.0	3.82	1068	90	1.408	508	1.042	2.628	2.454	1.200
	F60-4	63.0	5.54	1068	65	1.949	508	1.042	2.628	2.454	1.200
	F60-5	63.0	5.54	1068	50	2.534	508	1.042	2.628	2.454	1.200
Group-F80	F80-1	84.6	2.55	1068	130	0.975	508	1.207	3.572	3.295	1.200
	F80-2	84.6	3.82	1068	85	1.491	508	1.207	3.572	3.295	1.200
	F80-3	84.6	5.10	1068	63	2.011	508	1.207	3.572	3.295	1.200
	F80-4	84.6	5.54	1068	50	2.534	508	1.207	3.572	3.295	1.200
	F80-5	84.6	6.92	1068	42	3.017	508	1.207	3.572	3.295	1.200

여기서, ρ_l : 주인장철근비, f_{ly} : 주인장철근의 항복강도, s 는 전단보강철근의 간격, ρ_t 는 전단보강철근비, f_{ty} 는 전단보강철근의 항복강도이다.

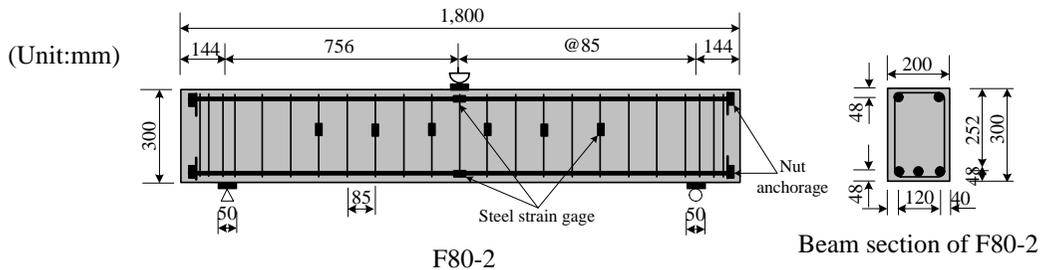


Fig. 2 Dimensions and reinforcement of test beam F80-2.

3. 실험 결과

실험체 F60-5를 제외하고 모든 실험체는 주인장철근이 항복하기 이전에 전단파괴하였다. 실험체 F60-5는 주인장철근이 항복한 이후에 파괴하였다. 그림 3은 Group-F60과 Group-F80 실험체의 하중과 처짐 곡선을 나타낸다. 그림에서 전단보강철근의 양이 증가함에 따라서 전단 내력은 거의 일정하게 증가함을 알 수 있다.

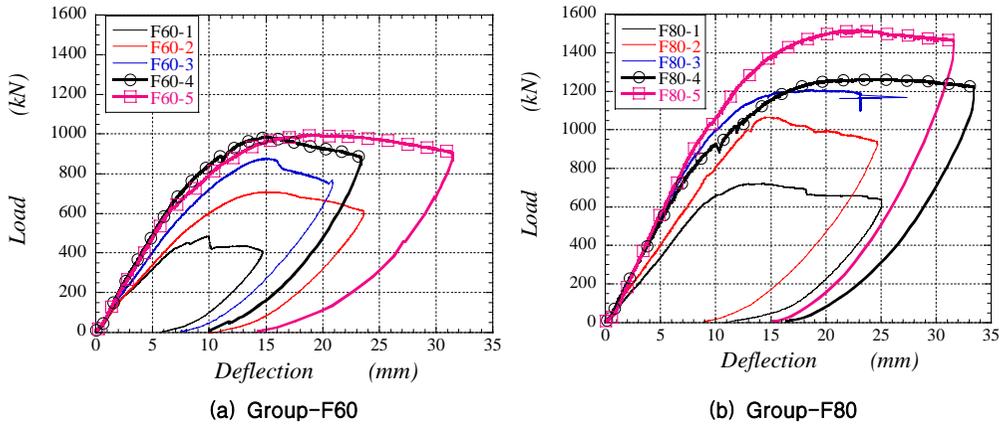


Fig. 3 Load vs. deflection curves of tested beams

실험체 F60-5를 제외한 모든 실험체에 배근된 전단보강철근은 최대 전단내력에 도달하기 이전에 파괴하였다. 특히 실험체 F60-3, 4 와 F80-3, 4, 5는 모두 ACI 318-05에서 요구하고 있는 최대철근비 제한조건을 넘었음에도 불구하고 전단보강철근이 항복한 이후에 전단 내력에 도달하였다. 또한 균열의 크기는 최대 하중이 증가하여도 크게 증가하지 않았으며 내력이 큰 부재와 내력이 작은 부재의 파괴 시의 균열 폭은 거의 일정하였다. 전단보강철근의 양이 많은 실험체가 적은 실험체에 비하여 균열의 수가 증가하였다.

4. 결론

최대전단철근비에 대한 제한은 각 기준식마다 매우 상이하다. 이 연구에서는 철근콘크리트 보의 최대전단철근비를 실험을 통하여 살펴보았다. 콘크리트의 압축강도가 63MPa과 84.6MPa인 10개의 실험 결과에 의하면 ACI 318-05에서 요구하고 있는 최대철근비 제한조건 이상으로 배근된 실험체도 전단 보강철근이 항복한 이후에 전단 내력에 도달하였으며 전단 내력은 전단보강철근의 양에 거의 비례하여 증가하였다.

감사의 글

이 논문은 건설교통R&D정책·인프라사업 성능중심의 건설기준 표준화 과제('06~'11) 연구결과의 일부입니다.

참고문헌

1. ACI Committee 318, "Building Code and Requirements for Structural Concrete (318-05) and Commentary (318-05)," *American Concrete Institute*, Farmington hills, Michigan, 2005.
2. CSA Committee A23.3-04, "Design of Concrete Structures for Buildings CAV3-A23.3-04," Canadian Standards Association, Canada, 2004, 232pp.
3. Comete European de Normalisation (CEN), "Eurocode 2: Design of Concrete Structures. Part 1- General Rules and Rules for Buildings," prEN 1992-1, 2002, 211pp.
4. Architectural Institute of Japan, "Standard for Structural Calculation of Reinforced Concrete Structures," Architectural Institute of Japan, Japan, 1999, 412pp.