

고강도 철근을 적용한 철근콘크리트 전단벽체의 내진성능평가를 위한 해석적 연구

천주현^{1*}, 김정민², 박광민³, 신현목⁴

Analytical Study on Seismic Performance Assessment of Reinforced Concrete Shear Wall using High-Strength Reinforcing Bar

Ju-Hyun Cheon^{1*}, Kyung-Min Kim², Kwang-Min Park³, Hyun-Mock Shin⁴

Abstract: The purpose of this study is to establish a reasonable analytical method for the estimation of overall behavior characteristic from cracking to yielding of rebar and crushing of concrete and seismic performance of reinforced concrete shear wall with high-strength reinforcing bar. A total of 8 specimens of reinforced concrete walls which have constant aspect ratio and a variety of variables such as reinforcement ratio, reinforcement yielding strength, reinforcement details, concrete design strength, section shape and whether lateral restraint hoop were selected and the analysis was performed by using a non-linear finite element analysis program (RCAHEST) applying the proposed constitutive equation by the authors. The mean and coefficient of variation for maximum load from the experiment and analysis results was predicted 1.04 and 8%. The mean and coefficient of variation for displacement corresponding maximum load from the experiment and analysis results was predicted 1.17 and 19% respectively. The analytical results were predicted relatively well the fracture mode and the overall behavior until fracture for all specimens. These results are expected to be used as basic data for application of high-strength reinforcing bar to design codes in the future.

Keywords: High-strength reinforcing bar, Reinforced concrete shear wall, Seismic performance estimation, Nonlinear finite element analysis, RCAHEST

1. 서 론

최근 전세계적으로 대형화, 장경간화 그리고 초고층화된 건설 구조물들이 널리 설계·시공되고 있으며 경제성과 내구성 및 지진 등에 의한 구조물의 안전성 확보를 위해 고강도 재료가 널리 사용되고 있는 실정이다.

특히, 사회적 중요 구조물인 원전구조물은 매우 높은 수준의 안전성과 내구성이 요구되며 이를 위해 상대적으로 매우 많은 양의 철근이 소요되는 보수적인 설계로 인한 비경제성과 공사 기간의 연장 및 콘크리트 재료분리와 같은 성능저하의 원인이 되고 있다(Cheon et al., 2015). 또한, 후쿠시마 원전 사고에서 보듯이 국내에서도 2015년 9월 경주에 발생한 5.8의 강진 발생 이후 현재까지의 수백차례의 여진이 이어져 오

고 있으며 그로 인해 월성원전 1~4호기를 수동정지 조치하는 등 국내 원전의 지진 안전에 대한 사회적 관심은 지속적으로 증가하고 있는 실정이다.

이러한, 현재의 사회적 및 기술적 상황에서 국내외적으로 고강도 철근의 적용을 위한 기준 개정을 위한 요구와 이를 위한 실험 및 해석적 연구가 국내외적으로 일부 수행되고 있으며 특히, 효율적인 횡하중 저항능력으로 인하여 내진 구조 시스템의 중요한 구조 요소로서 주로 형상비 2.0 이하의 철근콘크리트 전단벽으로 구성되어 있는 원전구조물에 고강도 철근의 적용성과 내진성능 및 여러 항목들에 대한 성능 검토는 원전구조물에 고강도 철근 적용을 위해 반드시 필요하다고 할 수 있다(Park et al., 2013).

전단벽의 횡하중 거동을 모사하기 위해서는 단부 콘크리트의 횡보강근, 인장철근 및 수직철근의 배근상세, 축력비, 형상비 및 콘크리트 강도 등 다양한 변수에 의해 영향을 받기 때문에 일반적으로 예측이 어려우며, 이에 고강도 철근이 사용된 원전구조물에 대한 성능 검증을 위해 실험적 연구뿐만 아니라 신뢰성 있는 구성관계식과 재료모델의 개발은 필수적이다.

Lee et al.(2012)은 전단벽의 휨변형을 나타내는 섬유요소와 전단변형을 나타내는 전단스프링으로 철근콘크리트 전단

¹정회원, (재)한국건설생활환경시험연구원 주임연구원, 교신저자

²정회원, (재)한국건설생활환경시험연구원 선임연구원

³정회원, (재)한국건설생활환경시험연구원 주임연구원

⁴정회원, 성균관대학교 건설환경공학부 교수

*Corresponding author: jhcheon@kcl.re.kr

High-Tech Construction Materials Center, Korea Conformity Laboratories / Seoul, 08503, Korea

•본 논문에 대한 토의를 2017년 4월 1일까지 학회로 보내주시면 2017년 5월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

벽을 모델링하기 위한 해석모델을 구성하는 방법에 대해 정리하였고 형상비가 비교적 큰 대상 실험체에 대해 비선형 동적해석을 수행함으로써 그 적용성을 확인하였다.

Mun et al.(2014)은 철근콘크리트 전단벽의 횡하중 거동과 연성을 합리적으로 평가하기 위해서 모멘트 - 곡률관계를 정립하고 이로부터 단순화된 횡하중 - 횡변위 관계를 제시하였으며 형상비가 2.3 이상의 휨이 지배적인 실험결과와 비교하여 최대내력 이후의 거동에 대한 검증은 수행하였다. 또한, Mun et al.(2015)은 철근콘크리트 전단벽의 전단강도를 예측하기 위한 기존 연구자들의 스트럿 - 타이 모델(STM)에 콘크리트 파괴역학의 균열 띠 이론에 기반한 단순한 STM을 제시하였으며 기존 실험결과들과의 비교·분석을 통해 전단강도에 대한 검증은 수행하였다.

최근에 저자 등에 의해 고강도 철근이 사용된 철근콘크리트 패널 및 기초와 벽체가 이중 타설된 벽체를 대상으로 파괴에 이르기까지의 전반적인 거동특성을 합리적으로 예측할 수 있는 해석적 방안을 제시하고 해석결과에 대한 적용성을 검증하였다(Cheon et al., 2015a; Cheon et al., 2016b).

본 연구에서는 철근의 효율적인 사용을 위해 원전구조물 콘크리트 벽체에 적용되는 철근의 최대허용 항복강도를 증가시키고자 저자 등에 의해 기존에 수행된 고강도 철근(550 MPa)이 사용된 철근콘크리트 전단벽체 실험체를 대상으로 내진성능평가를 위한 보다 합리적인 해석적 방안을 제시하는 것을 목표로 한다.

이를 위하여 그 동안 저자 등에 의해 개발된 비선형유한요소 해석 프로그램(RCAHEST)을 사용하였으며 총 8개의 실험체에 대한 검증 수행을 통해 해석 결과에 대한 적용성과 타당성을 검증하였다(Park et al., 2015; cheon et al., 2015).

2. 철근콘크리트 비선형 재료모델 및 해석 프로그램

2.1 고강도 철근콘크리트 비선형 재료모델

고강도 철근콘크리트 평면응력 요소의 구성방정식은 Fig. 1 및 Fig. 2에서와 같이 저자 등에 의해 기존에 개발된 분산균열 개념에 근거한 보통강도 콘크리트의 재료모델을 바탕으로 콘크리트의 압축모델, 균열 직각 방향의 인장모델, 균열면에서 전단전달모델, 그리고 콘크리트에 포함된 철근의 해석모델로 각각 구성되어있다(Cheon et al., 2012). 여기에, 고강도 콘크리트의 재료특성을 감안할 수 있도록 저자 등에 의해 새로이 수정된 이차원 평면응력 요소를 적용하였으며, 선행 연구 수행을 통해 다양한 하중을 받는 고강도 콘크리트 기둥의

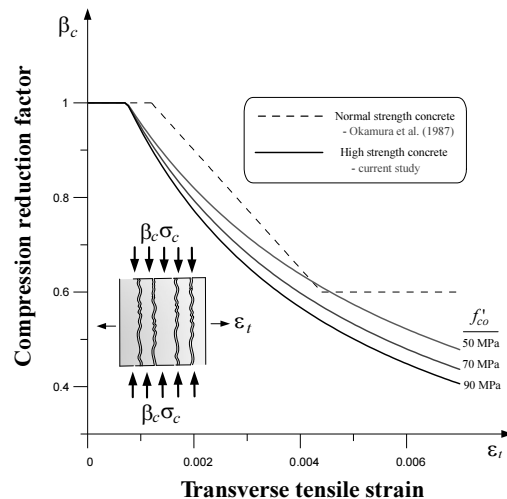


Fig. 1 Compression reduction factor for high-strength concrete

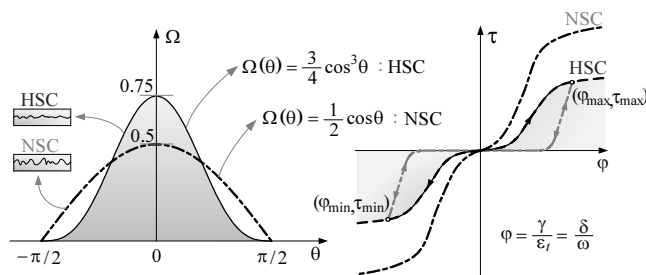


Fig. 2 Contact density function and shear transfer model for high-strength concrete

Table 1 Element Library

2D or 3D			
Flexibility-Based	4 nodes	PSC	4 nodes Elastic
Fiber Beam-Column	Shell Element	Shell Element	Spring Element
Element			
Joint Element	RCAHEST		4 nodes RC Shell Element
Reinforcing or Prestressing Bar Element	Interface Element	RC Plane Stress Element	2D Elastio-Plastic Plane Stress Element

내진거동 해석에 적용하여 해석 결과에 대한 신뢰성을 검증하였다(Seong et al., 2011). 또한, 저자 등에 의해 수행된 고강도 철근이 배근된 총 12개의 철근콘크리트 패널 실험체를 대상으로 파괴시까지의 극한거동 특성을 보다 합리적으로 예측함으로써 그 적용성과 타당성을 검증하였다(Cheon et al., 2015).

2.2 비선형유한요소 해석프로그램(RCAHEST)

고강도 철근을 적용한 철근콘크리트 전단벽체의 내진거동 특성을 파악하기 위하여 Table 1에서와 같은 비선형 유한요소 해석 프로그램 RCAHEST(Reinforced Concrete Analysis in Higher Evaluation System Technology)를 사용하였다. 해석 프로그램(RCAHEST)은 미국 버클리 대학의 Taylor가 개발한 범용 유한요소해석 프로그램인 FEAP ver. 7.2에 저자 등에 의하여 그 동안 개발된 철근콘크리트 평면응력요소 등을 이식하여 모듈화된 프로그램으로 대상 구조물체의 적용을 통해 해석 결과에 대한 검증은 수행하였다(Kim et al., 2003; Kim et al., 2005; Seong et al., 2012; Cheon et al., 2012).

3. 철근콘크리트 전단벽체 실험체

총 8기 검증대상 철근콘크리트 전단벽체는 모두 일정한 축

력하에서 같은 형상비(h_w/l_w) 1.0을 갖으며, 수평/수직/단부 휨철근비(ρ), 콘크리트와 각 방향으로의 철근 재료물성과 배근상세, 단부형상 및 단부 횡구속 후프(Hoop) 여부 등을 주요 변수로 설계·제작하여 반복이력하에서 파괴시까지 실험을 수행하였다. 실험체에 대한 단면 형상, 배근 상세 및 재료 물성 값을 Fig. 3과 Table 2에 각각 나타내었다.

검증 대상 실험체는 Fig. 4에서와 같이 1,500×1,500 mm의 직사각형 벽체에 200 mm의 일정한 두께 단면을 갖는 실험체 (S1, S2, S3, S5, S6, S7 및 S8)와 같은 크기의 직사각형 벽체에 대하여 단면형태에 따른 전단강도에 대한 영향을 검증하기 위해 200×300 mm의 바벨형 단면 단부를 갖는 실험체(S4)로 크게 구분되며, 기초부와 상부부의 두께는 각각 1,000 mm와 500 mm이다. 수평철근의 항복강도에 따른 전단강도에 대한 영향을 검증하기 위해 420 MPa급 D13 수평철근을 적용한 S2 실험체를 제외한 모든 실험체는 수평철근(D13), 복부수직철

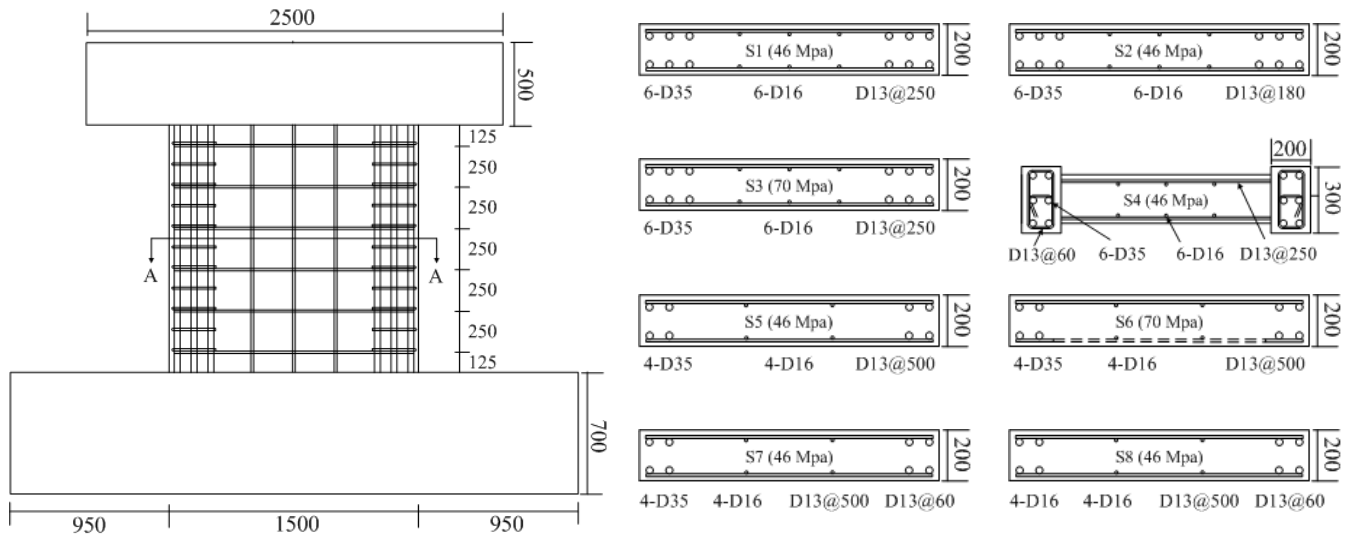


Fig. 3 Dimensions and reinforcement layout of specimens

Table 2 Test variables and materials properties

Specimens	Compressive strength of concrete f_{ck} (MPa)	Web				Boundary		
		Horizontal(D13)		Vertical(D16)		Flexural(D36)		Hoop (Y/N)
		ρ_h	f_{yh} (MPa)	ρ_v	f_{yv} (MPa)	ρ_f	f_{yf} (MPa)	
S1	46.5	0.0051	667	0.0066	653	0.097	617	N
S2		0.0068	445					
S3	70.3	0.0051	667	0.0054	653	0.097	617	Y
S4	46.5							
S5	46.1	0.0025	667	0.0036	653	0.097	617	N
S6	70.3							
S7	46.5	0.0025	667	0.0036	653	0.097	617	Y
S8								

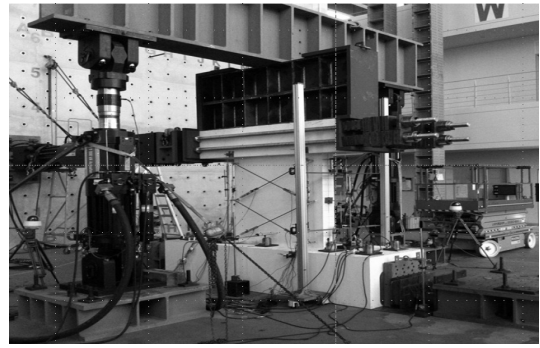
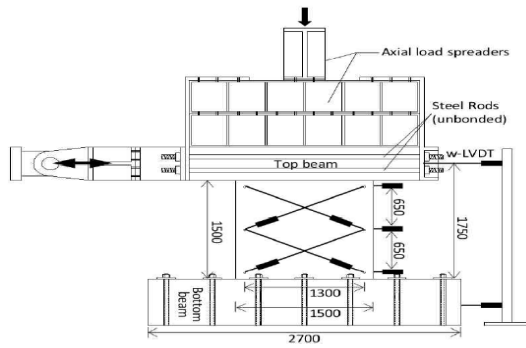


Fig. 4 Test set-up

근(D16) 및 단부휨철근(D35 또는 D16)에 550 MPa의 철근을 각각 사용하였다.

현재 원전구조물에서 콘크리트 벽체에 대한 전단설계는 ACI 318, ACI 349 및 콘크리트구조설계기준과 KEPIC SNC을 근간으로 하여 전단강도 V_n 을 콘크리트에 의한 강도 V_c 와 수평철근에 의한 강도 V_s 의 합으로 식 (1)~(3)으로부터 계산하고 있으며, 대상 실험체에 이를 적용하여 전단설계를 수행하였다(Park et al., 2015; ACI 318; ACI 349).

$$V_n = V_c + V_s \quad (1)$$

$$V_c = 0.28 \sqrt{f_{ck}} h d + \frac{N_u d}{4 l_w} \quad (2a)$$

$$V_c = \left[0.05 \sqrt{f_{ck}} + \frac{l_w \left(0.10 \sqrt{f_{ck}} + 0.2 \frac{N_u}{l_w} h \right)}{\frac{M_u}{V_u} - \frac{l_w}{2}} \right] \quad (2b)$$

$$V_s = \frac{A_{vh} f_y d}{s_h} \quad (3)$$

$$V_n \leq \frac{5}{6} \sqrt{f_{ck}} h d \quad (4)$$

$$V_{smax} = \frac{5}{6} \sqrt{f_{ck}} h d - V_c \quad (5)$$

$$V_{smax} = \frac{5}{6} \sqrt{f_{ck}} h d - \alpha A_{cv} \sqrt{f_{ck}} \quad (6)$$

여기서, f_{ck} 는 콘크리트 설계기준 압축강도(MPa), l_w 는 벽체 단면길이(mm), h 는 벽체 두께(mm), d 는 종방향 인장철근의 중심에서 압축콘크리트 연단까지의 거리, α_c 의 값은 $h_w/l_w \leq 1.5$ 일

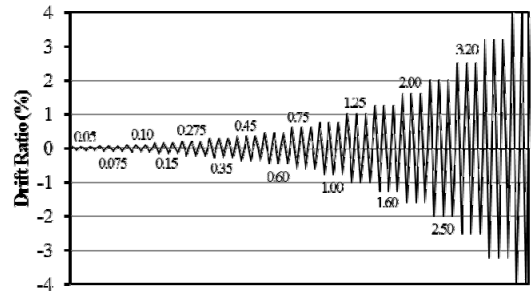


Fig. 5 Lateral loading scenario

때 0.25이며, 콘크리트에 의한 전단강도 V_c 는 식 (2a)와 식 (2b) 중에서 작은 값으로 한다.

V_n 의 최대값은 식 (4)과 같이 제한하며 최대 전단철근의 기여도는 각각 식 (5) 및 식 (6)과 같이 정의된다.

식 (1)~(6)에 따라 실험체 S1~S4는 전단철근에 의한 전단강도가 $V_s \approx V_{smax}$ 으로 설계하였으며, 나머지 실험체 S5~S8은 전단철근비가 작은 경우의 거동 특성을 분석하기 위하여 $V_s \approx V_{smax}/2$ 으로 각각 전단철근을 설계제작하였다.

실험체 S3과 S6은 각각 같은 배근 상세를 갖는 S1과 S5 실험체에 대해 콘크리트 압축강도가 전단강도에 미치는 영향을 검증하기 위해 70 MPa의 고강도 콘크리트를 적용하였다.

휨강도가 전단강도의 약 2배가 되도록 함으로써 휨항복전에 전단파괴가 발생하도록 설계된 실험체(S1~S7)에 대해 벽체단부에 휨철근과 복부수직철근을 각각 배치하였고, 휨항복 실험체 S8에 대해서는 8-D35의 단부 휨철근 대신에 8-D16을 사용함으로 설계전단강도와 설계휨강도가 동일하도록 설계하여 전단파괴전에 휨항복의 발생여부를 검증하였다.

각 실험체의 수평철근비에 따라 복부수직철근비를 결정하였으며 ACI 318 및 ACI 349에 따른 최소철근간격을 만족하도록 설계하였다.

Fig. 4 및 Fig. 5에서와 같이 실험체를 설치한 후 단면 형상(직사각형 또는 단부 바벨형)에 따른 압축력($A_c f_{ck}$)의 약 7% 수준으로 일정하게 축력을 재하하면서 동시에 횡방향으로의

반복가력($\pm 0.05\%$, $\pm 0.075\%$, $\pm 0.1\%$, $\pm 0.15\% \dots \pm 4\%$)을 통해 최종 파괴시까지 단계별 실험과 관찰 결과로부터 거동특성 차이에 대한 비교·분석을 수행하였다.

4. 비선형 유한요소해석

검증 대상 실험체에 대해 Fig. 6과 같이 8절점 철근콘크리트

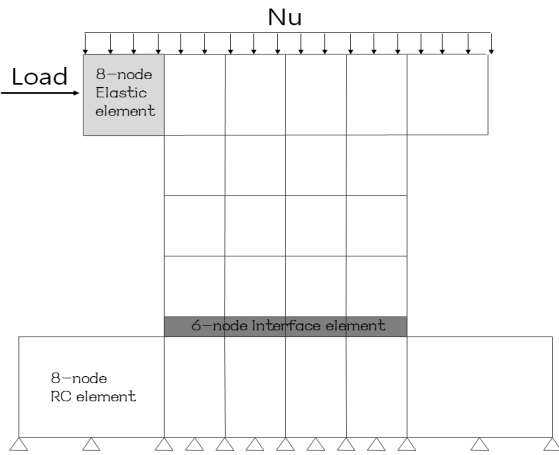


Fig. 6 Finite element mesh used analysis

트 평면응력 요소와 하중이 작용하는 상부부에 콘크리트의 국부파괴를 방지하기 위한 탄소성 평면응력 요소를 사용하여 비선형 유한요소해석을 수행하였다. 여기에, 기초와 벽체 경계면에는 불연속 변위를 모사하기 6절점 경계면요소(Interface element)를 사용하였다.

철근 및 콘크리트에 대한 재료 물성은 Table 1에 나타난 것과 같은 실제의 재료 물성 값을 그대로 적용하였으며, Fig. 4 및 Fig. 5에서와 같이 실험과 같은 하중 가력 조건을 만족하도록 하중을 가하면서 해석을 수행하였다.

5. 실험 및 해석 결과와의 비교·분석

총 8개의 검증 대상 전단벽체 실험체에 대한 실험 및 해석으로부터의 하중-변위 결과를 비교하여 Fig. 7에 각각 나타내었다. 실험체 S1~S7의 경우 실험과 해석에서 모두 최초의 대각전단균열의 발생과 반복 재하이력 동안의 대각균열의 확대 이후, 단부와 복부에서의 콘크리트 압괴로 최종 파괴되는 전형적인 전단파괴 양상을 나타내었다. 휨항복 실험체인 S8의 경우에는 초기 휨균열의 발생 이후, 대각경사균열의 발생과 확대로 복부 콘크리트 압괴가 발생하는 전형적인 휨-전단 파괴모드로 휨항복 후 전단파괴에 이르기까지 상대적으로 높은

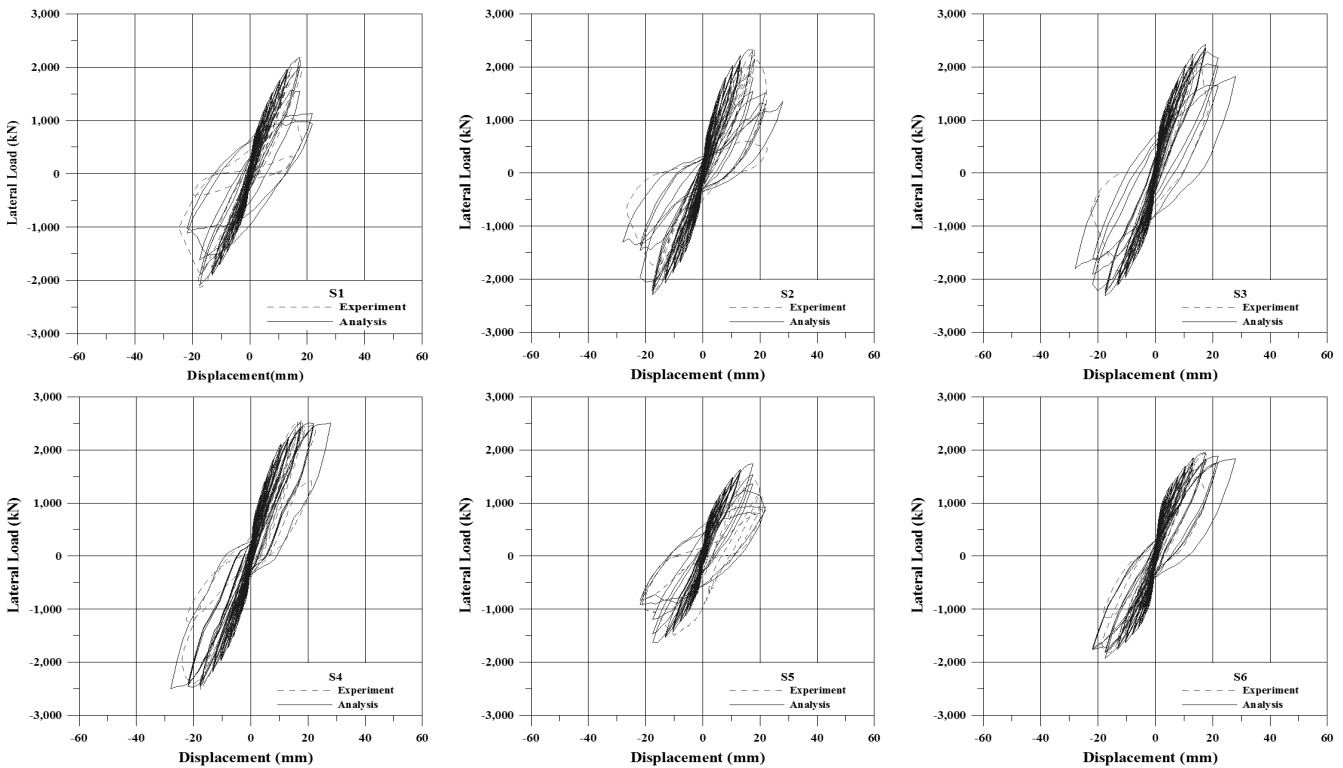


Fig. 7 Comparison of experimental and analytical results for load vs displacement

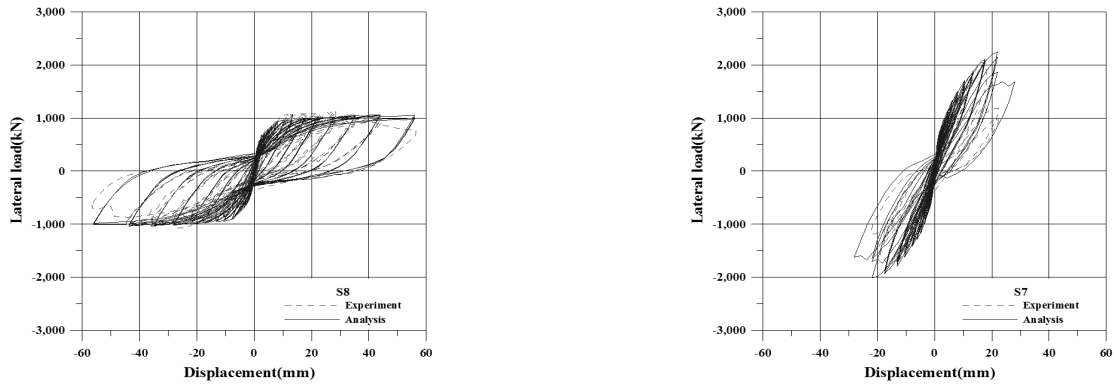


Fig. 7 Comparison of experimental and analytical results for load vs displacement(Continued)

Table 3 Comparison of experiment with analysis

Specimens	Experiment		Analysis		Design Code ACI 349 V_n (kN) ⑤	Failure Mode		③/①	④/②	⑤/①
	Load (kN) ①	Disp. (mm) ②	Load (kN) ③	Disp. (mm) ④		Experiment	Analysis			
S1	2,158	16.6	2,180	17.5	1,258			1.01	1.05	0.58
S2	2,298	17.1	2,321	17.5	1,300			1.01	1.02	0.57
S3	2,085	12.8	2,425	17.5	1,455			1.16	1.37	0.70
S4	2,544	17.9	2,513	17.5	912	Shear	Shear	0.99	0.98	0.36
S5	1,477	17.6	1,740	17.5	908			1.18	0.99	0.61
S6	1,876	17.2	1,948	17.5	1,104			1.04	1.02	0.59
S7	2,060	16.2	2,246	21.9	873			1.09	1.35	0.42
S8	1,149	28.0	1,054	43.8	873	Flexure/Shear	Flexure/Shear	0.92	1.56	0.76
Mean								1.05	1.17	0.57
S.T.D								0.09	0.22	0.13
C.O.V								0.08	0.19	0.24

연성도를 확보하고 있으며 해석에서도 실험에서와 같은 파괴 거동 특성을 비교적 정확히 예측하고 있음을 확인하였다.

Table 3에는 실험과 해석으로부터 전단벽체 실험체에 대한 최대하중과 이에 대응되는 변위 및 파괴모드를 각각 비교하여 나타내었다. 여기에, 고강도 철근을 적용한 경우의 전단강도에 대한 적절성을 검토하기 위해 대표적으로 ACI 349에 따른 설계전단강도도 비교하여 함께 나타내었다. 모든 대상 실험체들에 대한 최대하중 예측은 실험 결과와 비교하여 평균 및 변동계수는 각각 1.05와 약 8%로써 해석결과는 실험결과를 적절히 예측하고 있음을 알 수 있다.

최대하중에 대응되는 변위에 대한 예측은 실험 결과와 비교하여 평균 및 변동계수는 각각 1.17과 약 19%정도로서 최대하중 예측결과와 유사하게 이에 대응되는 변위 예측에도 비교적 큰 신뢰도를 확보하고 있는 것을 확인할 수 있다.

한편, ACI 349에 따른 전단강도에 대한 실험으로부터의 최

대하중은 평균과 변동계수가 각각 0.57과 약 24%정도로서 형상비(h_w/l_w) 1.0의 전단벽체에 550 MPa급 고강도 철근을 사용하였을 경우에도 보통강도의 철근을 적용한 기존의 여러 연구결과에서와 같이 설계기준에 따른 전단강도 예측결과는 전반적으로 상당히 보수적임을 알 수 있으며, 특히 단면 단부가 바벨형인 경우에는 강도 예측이 36%정도에 불과한 것으로 보아 현행의 설계기준에서는 이에 대한 영향을 적절히 반영하고 있지 못하고 있는 것으로 판단된다.

유사한 배근상세를 갖으며 550 MPa급과 420 MPa급의 D13 수평철근을 각각 적용한 S1 및 S2 실험체의 경우에도 Table 2에서와 같이 수평철근의 항복강도에 따른 전단강도는 실험과 해석에서 모두 약 6%정도로서 그 영향 역시 미미하지만, 실험 결과에서 발생 균열의 분포와 균열 폭에는 영향을 미치고 있는 것으로 나타났다(Park et al., 2015).

콘크리트 압축강도가 각각 40 MPa와 70 MPa이며 전단철

근에 의한 전단강도가 $V_s \approx V_{smax}$ 으로 설계된 두 실험체 S1과 S3은 실험으로부터의 최대 강도는 각각 2,158 kN과 2,085 kN으로써 550 MPa급의 고강도 철근이 적용된 경우에 대해 콘크리트 압축강도가 전단강도 증가에 미치는 영향은 미미하며 해석결과 역시 이에 대한 영향을 비교적 적절히 예측하고 있음을 알 수 있다. 전단철근비가 $V_s \approx V_{smax}/2$ 으로 작은 경우에 대해 콘크리트 압축강도가 각각 40 MPa와 70 MPa인 두 실험체 S5와 S6은 앞에서의 결과와 달리 약 27% 이상의 강도 증가를 나타내었으며, 해석결과 역시 이러한 경향을 적절히 예측하고 있음을 알 수 있다.

6. 결 론

본 연구에서는 고강도 철근이 배근된 철근콘크리트 전단벽체 실험체에 대하여 균열의 발생에서부터 철근의 항복과 콘크리트의 파쇄에 이르는 전반적인 거동 특성과 함께 내진성능 평가 예측을 위한 합리적인 해석적 방안을 마련하는 것을 목표로 한다. 이를 위해 저자 등에 의해 수행된 총 8개의 검증 실험체를 대상으로 새로이 수정된 구성관계식을 적용한 비선형 유한요소해석 프로그램(RCAHEST)을 통한 적용성과 타당성에 대한 검증을 수행하였다. 일정한 형상비($h_w/l_w=1.0$)를 갖는 대상 실험체는 각 방향으로 철근의 항복강도와 철근비, 콘크리트 설계 강도, 단부형상 및 단부 횡구속 후프(Hoop) 여부 등을 주요 변수로 실험을 수행하였다. 실제 실험과 같은 조건하에서 해석을 수행하여 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- 1) 최초 휨 균열의 발생 이후 최종적으로 복부 콘크리트 압괴가 발생하는 전형적인 휨-전단파괴 양상을 나타내며 상대적으로 높은 연성도를 확보하고 있는 일부 실험체를 제외하고는 모두 최초의 대각전단균열의 발생과 반복 재하하역 동안의 대각균열의 확대 이후 단부와 복부에서의 콘크리트 압괴로 최종 파괴되는 전단파괴 양상을 나타내었다. 해석 결과 역시 일반적으로 균열의 발생과 파괴까지의 비탄성영역에 대한 전반적인 거동 특성을 비교적 적절히 예측하고 있음을 확인할 수 있다.
- 2) 모든 검증 대상 실험체에 대한 실험과 해석으로부터의 최대 하중은 평균, 표준편차 및 변동계수가 각각 1.05와 9% 및 8%정도로서 최대하중 예측에 대한 해석결과는 높은 신뢰도를 확보하고 있고 있음을 알 수 있다. 특히, 설계기준(ACI 349)에 따른 설계전단강도와 실험으로부터의 최대 하중은 평균과 변동계수가 각각 0.57과 약 24%정도로서 기존의 여러 연구결과에서와 같이 설계기준에 따른 전단강도 예측결과는 전반적으로 상당히 보수적임을 알 수 있다.

- 3) 최대하중에 대응되는 변위에 대한 실험과 해석으로부터의 결과는 평균, 표준편차 및 변동계수가 각각 1.17과 22% 및 19%정도로서 최대강도 예측 결과에 비해 다소 변동성이 있으나 전반적으로 볼 때, 이 연구에서 적용한 비선형유한요소 해석프로그램을 통한 변위 예측 결과에도 최대하중 예측에서와 같이 높은 신뢰도를 확보하고 있음을 확인할 수 있다.
- 4) 실험과 해석 모두에서 주요 변수인 철근의 항복강도가 최대내력과 연성도의 증가에 미치는 영향은 미미함을 확인하였지만 발생 균열의 분포와 균열의 진전 및 균열 폭에는 상당한 영향을 미치고 있는 것을 실험으로부터 확인하였다.
- 5) 고강도 철근의 적용과 관련된 국내외 설계기준 보완과 반영 및 시공성과 경제성 향상을 위한 기초자료로 활용될 수 있도록 다양한 형상비와 재료 물성 및 설계기준에 따른 배근 상세 등을 변수로 갖는 전단벽체에 대한 실험체의 확보와 함께 추후 연구 수행을 통해 보다 명확한 구성관계식의 마련이 필요할 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 국토교통부 국토교통기술촉진연구사업의 연구비지원(15CTAP-C097438-01)에 의해 수행되었습니다.

References

- ACI Committee 318 (2011), Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-11) and Commentary, American Concrete Institute, Farmington Hills, 520.
- ACI Committee 349 (2014), Code Requirements for Nuclear Safety-Related Concrete Structures (ACI 349-13) and Commentary, American Concrete Institute, Farmington Hills, 200.
- Cheon, J. H., Kim, T. H., Lee, B. J., Lee, J. H., and Shin, H. M. (2012), Inelastic Behavior and Ductility Capacity of Circular Hollow Reinforced Concrete Bridge Piers under Earthquake, *Magazine of Concrete Research*, 64(10), 919-930.
- Cheon, J. H., Seong, D. J., Cho, H. J., Cho, J. Y., and Shin, H. M. (2015), Nonlinear Finite Element Analysis of the Reinforced Concrete Panel using High-Strength Reinforcing Bar, *Journal of the Korea Concrete Institute*, 27(5), 481-488.
- Cheon, J. H., Lee, K. H., Back, J. W., Park, H. G., and Shin, H. M. (2016), Analytical Study on Behavior Characteristic of Shear Friction on Reinforced Concrete Shear Wall-Foundation Interface using High-Strength Reinforcing Bar, *Journal of the Korea Concrete Institute*, 28(4), 473-480.
- Kim, T. H., Lee, K. M., Yoon, K. M., and Shin, S. H. (2003), Inelastic Behavior and Ductility Capacity of Reinforced Concrete Bridge

- Piers under Earthquake. I; Theory and Formulation, *Journal of Structural Engineering, ASCE*, 129(9), 1199-1207.
- Kim, T. H., Lee, K. M., Chugn, Y. S., and Shin, S. H. (2005), Seismic Damage Assesment of Reinforced Concrete Bridge Columns, *Engineering Structures*, 27(4), 576-592.
- Lee, K. H., You, T. S., Kim, T. W., and Jeong, S. H. (2012), Nonlinear Modeling of RC Shear Walls Using Fiber and Shear Spring Elements, *Journal of the Korea Concrete Institute*, 24(5), 559-566.
- Mun, J. H., and Yang, K. H. (2014), Generalized Lateral Load-Displacement Relationship of Reinforced Concrete Shear Walls, *Journal of the Korea Concrete Institute*, 26(2), 159-169.
- Mun, J. H., and Yang, K. H. (2015), Strut-and-Tie Model for Shear Strength of Reinforced Concrete Squat Shear Walls, *Journal of the Korea Concrete Institute*, 27(6), 615-623.
- Park, H. G., Baek, J. W., Lee, J. H., and Shin, H. M. (2015), Cyclic Loading Test for Shear Strength of Low-rise Reinforced Concrete Walls With Grade 550 MPa Bars, *ACI Structural Journal*, 112(3), 299-310.
- Seong, D. J., Kim, T. H., Oh, M. S., and Shin, H. M. (2011), Inelastic Performance of High-Strength Concrete Bridge Columns under Earthquake Loads, *Journal of Advanced Concrete Technology*, 9(2), 205-220.

Received : 01/10/2017

Revised : 01/18/2017

Accepted : 01/18/2017

요 지 : 본 연구는 고강도 철근이 배근된 철근콘크리트 전단벽체 실험체에 대하여 균열의 발생에서부터 철근의 항복과 콘크리트의 파쇄에 이르는 전반적인 거동 특성과 함께 내진성능 평가 예측을 위한 합리적인 해석적 방안을 마련하는 것을 목표로 한다. 1.0의 일정한 형상비를 갖으며 각 방향으로 철근비와 항복강도, 배근상세, 콘크리트 설계 강도, 단부형상 및 단부 횡구속 후프(Hoop) 여부 등을 주요 변수로 갖는 총 8개의 실험체를 검증 대상으로 선정하여 기존에 저자 등에 의해 새로이 수정된 구성관계식을 적용한 비선형 유한요소해석 프로그램(RCAHEST)을 통한 해석을 수행하였다. 실험과 해석으로부터의 최대 하중 및 이에 대응되는 변위에 대한 평균과 변동계수는 각각 1.05와 8% 및 1.17과 19% 정도로 예측하였다. 모든 실험체에 대한 파괴모드와 파괴시까지의 전반적인 거동 특성 역시 비교적 적절히 예측하고 있음을 확인하였으며 이러한 연구결과들은 향후, 고강도 철근의 적용과 관련된 국내외 설계기준에의 적용을 위한 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

핵심용어 : 고강도 철근, 철근콘크리트 전단벽체, 내진성능평가, 비선형 유한요소해석, RCAHEST
