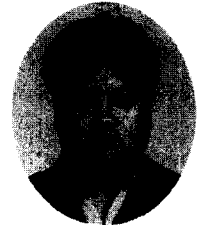

축소모델 철근콘크리트 보의 휨부착거동에 있어서의 상사성

Similitude in Flexural Bond Behavior of Small-Scale Reinforced Concrete Beams



이한선*

Lee, Han-Seon



고동우**

Ko, Dong-Woo

ABSTRACT

The small-scale models have been utilized for the prediction of inelastic behavior of reinforced concrete structures for several decades. The parameters that affect the similitude between the model and prototype are various. Among them, the effect of bond between the model reinforcement and the model concrete is one of the most important factors. The study reported herein is addressed to verifying this similitude in bond behavior. The simple beams which have the lap splice at the midspan were made and flexural tests were performed under two-point loading. The length of lap splice are varied from $0.4 l_d$ through $0.7 l_d$, and up to $1.0 l_d$ where l_d is the development length of the reinforcement. The selected scales are 1/1, 1/5, 1/10 and 1/12. Two prototype specimens and three models were tested in addition to the associated material tests and the test results are compared from the viewpoint of similitude.

Keywords : similitude, bond, scale factor, small-scale model, prototype, reinforcement, concrete

* 정회원, 고려대학교 건축공학과 부교수

** 정회원, 고려대학교 건축공학과 박사과정

• 본 논문에 대한 토의를 1999년 10월 30일까지 학회로 보

내주시면 1999년 12월 호에 토의회답을 게재하겠습니다.

1. 서론

축소모형을 이용한 실험기법은 철근콘크리트구조물의 비탄성영역에서의 거동을 파악하는데 많이 이용되고 있다. 이 때, 축소모형과 실물의 거동상사성 확보를 통해 축소모형 실험에 대한 신뢰성을 확보할 필요가 있으며, 거동상사성은 각각의 재료뿐만 아니라 재료상호간의 관계에 의한 거동의 측면에서도 일치시켜야 한다. 특히, 철근콘크리트 구조물에서 주로 이음정착문제가 구조물의 파괴양상을 지배한다고 볼 때, 축소모형을 이용한 구조물 거동실험을 수행하는데 있어 실물과 축소모형의 휨부착의 거동상사성을 일치시키는 것은 매우 중요하다. 따라서, 본 연구에서는 중저층 철근콘크리트 구조물 실험에 사용되는 1/5모형⁽¹⁰⁾과 고층 또는 대형 철근콘크리트 구조물 실험에 사용되는 1/10모형⁽⁵⁾과 1/12모형⁽⁹⁾에 대해 재료실험을 수행한 후 선정된 재료로 제작된 이음걸이를 달리한 단순보의 휨부착실험을 통하여 실험실험과 축소모형 사이의 휨부착거동관계를 상사성의 관점에서 연구하였다.

2. 상사성 법칙

철근콘크리트 축소모형을 제작하고 실험하는데 있어 최소한 실물과 모형의 기하학적 형태를 일치시키고, 철근과 콘크리트의 인장과 압축에 대한 응력-변형률곡선 및 모형과 실물의 파괴시 변형률을 일치시켜야 한다.

그러나, 축소모형을 제작함에 있어 모형철근과 실물철근의 탄성계수는 일치하나, 콘크리트는 골재의 크기와 양이 변함에 따라 탄성계수가 달라질 수 있다. Table 1에 각각의 경우에 적용할 수 있는 축소율을 보여주고 있다. 실물과 모형에 대해 철근과 콘크리트 각 재료의 최대응력은 다르지만, 최대응력시 변형률이 일치할 때는 true model의 축소율을 사용하고, 응력-변형률 곡선이 일치할 때 적용할 수 있는 축소율이 case I에 해당하며, 철근과 콘크리트의 최대응력은 다르지만, 철근과 콘크리트의 탄성계수가 모두 일치하는 경우에는 case II 모델을 적용하고, 철근의 탄성계수는 일치하고 콘크리트의 탄성계수가 일치하지 않을 때는 case III 모델을 적용하여 실물과 모

Table 1 Summary of scaling factors for reinforced concrete models⁽³⁾

Quantity	Dimension	True model	Practical model case I	Distorted model case II	Distorted model case III
Concrete stress, σ_c	FL^{-2}	S_σ	1	S_σ	S_σ
Concrete strain, ϵ_c	-	1	1	S_ϵ	S_ϵ
Modulus of concrete, E_c	FL^{-2}	S_σ	1	S_σ/S_ϵ	S_σ/S_ϵ
Poisson's ratio, ν_c	-	1	1	1	1
Mass density, ρ_c	FL^{-3}	S_σ/S_l	$1/S_l$	S_σ/S_l	S_σ/S_l
Reinforcing stress, σ_r	FL^{-2}	S_σ	1	S_σ	S_σ
Reinforcing strain, ϵ_r	-	1	1	S_ϵ	S_ϵ
Modulus of reinforcing, E_r	FL^{-2}	S_σ	1	1	1
Length, l	L	S_l	S_l	S_l	S_l
Displacement, δ	L	S_l	S_l	$S_\epsilon \cdot S_l$	$S_\epsilon \cdot S_l$
Angular displacement, β	-	1	1	S_ϵ	S_ϵ
Area of reinforcement, A_r	L^2	S_l^2	S_l^2	S_l^2	$S_\sigma \cdot S_l^2 / S_\epsilon$
Concentrated load Q	F	$S_\sigma \cdot S_l^2$	S_l^2	$S_\sigma \cdot S_l^2$	$S_\sigma \cdot S_l^2$
Line load, w	FL^{-1}	$S_\sigma \cdot S_l$	S_l	$S_\sigma \cdot S_l$	$S_\sigma \cdot S_l$
Pressure, q	FL^{-2}	S_σ	1	S_σ	S_σ
Moment, M	FL	$S_\sigma \cdot S_l^3$	S_l^3	$S_\sigma \cdot S_l^3$	$S_\sigma \cdot S_l^3$

델사이의 거동을 관계지을 수 있다.⁽³⁾

본 연구에서는 철근의 경우 직경을 축소율에 맞도록 정확히 일치시키기 어려워 항복응력(yielding stress)대신 항복력(yielding force)에 맞추어 모델철근을 제작하였으며, 재료실험시 재료의 정확한 응력-변형률관계를 얻는데 어려움이 있어 각 재료의 탄성계수 및 응력-변형률은 일치한다고 가정한 case I의 경우를 적용하여 모델거동의 상사성을 분석하였다.

이러한 가정아래 하중-처짐의 관계를 분석하는데 있어서 모델의 하중에서 축소율의 제곱만큼 곱한 값과 실물의 하중을 비교하고, 모델의 처짐량에서 축소율만큼 곱한 값을 실물의 처짐과 비교하고자 한다. 또한 실물과 모델을 구조물의 강도와 연성등의 측면에서 비교 분석하며, 파괴양상은 취성파괴와 연성파괴의 여부와 균열양상등의 측면에서 분석하고자 한다.

3. 모델콘크리트 실험

모델콘크리트의 성질을 실물과 정확히 일치시키기 위해서는 콘크리트 구성재료의 크기뿐만 아니라 내부공극이나 시멘트입자까지 줄여야 하나 이는 현실적으로 어렵다. 따라서 축소율에 따라 골재의 크기를 줄임으로써 모델콘크리트를 제작하게 되는데, 이렇게 골재가 줄어들므로 인해 모델콘크리트는 축소율이 커질수록 강성이 작아지고 압축강도에 대한 인장강도의 비는 커지며 워커빌리티가 떨어지는 경향을 보인다.⁽²⁾

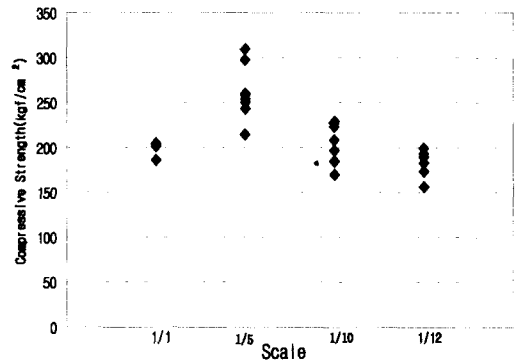
실물콘크리트는 슬럼프 값이 12cm이고, 설계강도가 210kgf/cm², 최대 골재크기는 25mm인 D사의 레미콘을 사용하였으며, 실험결과 슬럼프 값은 20.5cm, 평균압축강도는 약 198.95 kgf/cm², 인장강도/압축강도비는 0.095로 나타났다. 모델콘크리트의 시멘트는 보통포틀랜드시멘트를 사용하였으며, 굵은 골재는 석분을, 잔골재는 모래를 24시간동안 건조기에서 절건상태가 되도록 건조시킨 후 축소율에 맞도록 체가름하여 사용하였다. Table 2에 실제 사용된 실물 및 모델콘크리트 배합비가 나와 있다. 실물콘크리트의 공시체는 $\phi 10\text{cm} \times 20\text{cm}$ 몰드를 사용하였고, 모델콘크리트의 공시체는 $\phi 5\text{cm} \times 10\text{cm}$ 의 몰드를

사용하였다.

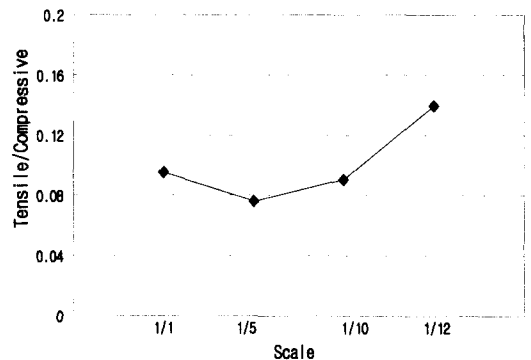
Fig. 1은 실험체 제작에 실제로 사용된 콘크리트의 축소율에 따른 압축강도, 인장강도/압축강도비의 변화를 보여주고 있는데, 축소율이 커질수록 압축강도는 줄어들고, 상대적인 인장강도비는 커지는 경향을 볼 수 있다.

Table 2 Mix ratio of prototype and model concrete (weight mix)

Mix	Water	Cement	Sand	Gravel	Super-Plasticizer
Prototype	46.3	100	256.4	287.8	0.3
Model	57	100	118.3	137.7	1



(a) Compressive strength



(b) Tensile strength / compressive strength

Fig. 1 Mechanical characteristics of concrete Mix 1

4. 모델철근 실험

모델철근과 실물철근의 거동상사성을 확보하기 위해서는 응력-변형률 곡선의 형상, 항복강도, 연성, 부착거동을 실물철근과 일치시켜야 한다.^(1,2)

실물철근의 경우 SD35를 사용하였는데, 실험 결과 항복강도는 D19의 경우 4,380kgf/cm², D13은 4,364kgf/cm², D10은 4,025kgf/cm²로 나타났다. 모델철근은 기성제품을 구할 수 없어 시중에서 쉽게 구할 수 있는 경강선을 사용하였는데, 항복점이 명확하지 않고 연성이 충분하지 않아 Fig. 2와 같은 진공전기기로 인해 열처리온도와 유지시간을 변수로 진공열처리를 하여 충분한 연성과 항복강도를 갖도록 하였다.^(3,7,8) 열처리 후 Fig. 2에서와 같이 5개의 구역(Zone)에 따라 시편을 20cm간격으로 절단하여 인장실험을 수행하여 요구항복력에 근접한 모델철근을 실험체 제작에 사용하였다.

Table 3은 실험체에 사용된 철근의 종류와 직경 및 실물철근의 항복력과 이에 따른 모델철근의 요구항복력을 보여주고 있다. 원형철근의 직경과 이형화에 따른 길이 변화를 측정하여 이형화된 모델철근의 직경을 산정하였다. 그 결과 직경이 3.08mm와 1.96mm로 나타나 각각 D3.1과 D2.0으로 표기하였다. 1mm의 경우 이형화의 어려움으로 인해 원형철근을 그대로 사용하였다. 모델철근의 직경을 상사성에 따른 요구직경에 정확히 맞추지 못함에 따라 모델철근의 항복응력(yielding stress)이 아닌, 항복력(yielding force)

(force)에 대한 상사성이 일치하도록 하였으며, 요구항복력은 상사성의 원리에 따라 실물철근의 항복력을 축소율의 제곱으로 나눈 값을 취하였다. Table 4는 실험체 제작에 사용된 모델철근의 열처리 온도 및 유지시간, 평균항복력을 나타내었다. Fig. 3은 열처리 전과 후의 힘-변형률 곡선을 보여주고 있다. 모델철근은 D2.0의 Zone1을 제외하고는 뚜렷한 항복강도가 생기고, 연성이 증가하는 모습을 보여주고 있다. Fig. 4는 각 축소율별로 상사성의 법칙에 따라 힘과 변형률의 관계를 조정한 모델과 실물철근의 힘-변형률 곡선을 비교하고 있다. 그 결과 1/5 모델실험체에 사용된 모델철근의 항복력은 7%, 1/10 모델실험체에 사용된 모델 철근의 항복력은 18%, 1/12 모델실험체에 사용된 모델철근의 항복력은 48% 정도 높게 나타났으며, 열처리 Zone별로 편차를 보여주어 요구항복력에 가장 근접한 Zone의 모델철근을 실험체 제작에 사용하였다.

5. 단순보의 휨부착 실험

5.1 실험체의 제작

본 실험은 철근과 콘크리트의 휨부착거동의 상사성을 확인하기 위하여 실물은 이음이 없는 실험체와 이음길이가 1.0 l_d , 0.7 l_d , 0.4 l_d 인 단순보를 제작하였으며, 모델은 1.0 l_d , 0.7 l_d , 0.4 l_d 인 단순보를 1/5, 1/10, 1/12 축소모델

Table 3 Size and yielding force of reinforcement

Scale		Prototype		1/5 Model		1/10 Model		1/12 Model	
		Required	Used	Required	Used	Required	Used	Required	Used
Bottom bar	Diameter (mm)	-	19.1 (D19)	3.82	3.08 (D3.1)	1.90	1.96 (D2.0)	1.59	1.96 (D2.0)
	Yielding force (kgf)	-	12,505	500.2	550	125.1	141.6	86.8	130.4
Top bar	Diameter (mm)	-	12.7 (D13)	2.54	1.96 (D2.0)	1.27	1.0 (ϕ 1)	1.06	1.0 (ϕ 1)
	Yielding force (kgf)	-	5,550	222	141.6	51.5	34.6	38.5	34.6
Stirrup	Diameter (mm)	-	9.53 (D10)	1.91	1.96 (D2.0)	0.95	1.0 (ϕ 1)	0.79	1.0 (ϕ 1)
	Yielding force (kgf)	-	2,869.8	114.8	130.4	28.7	34.6	19.9	34.6

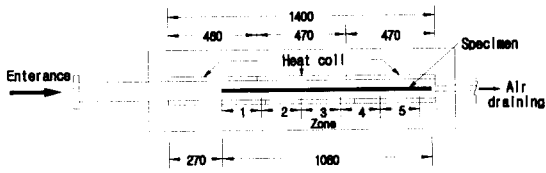
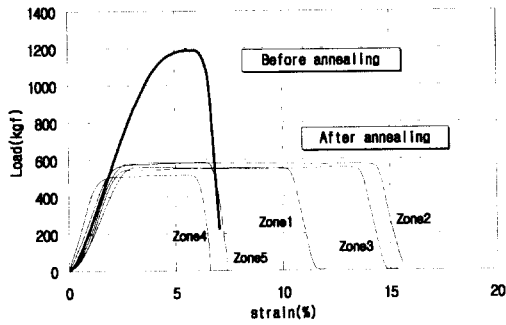
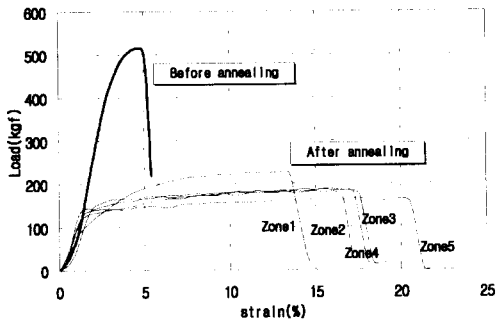


Fig. 2 Detail of vacuum electric furnace and zone of specimen (unit:mm)

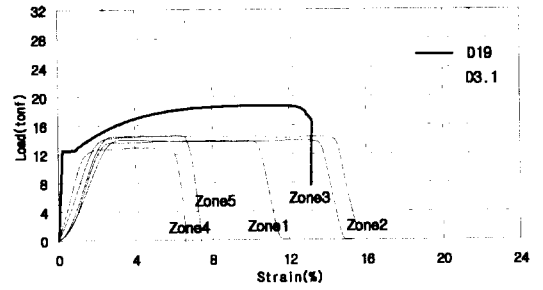


(a) D3.1 (1/5 model)

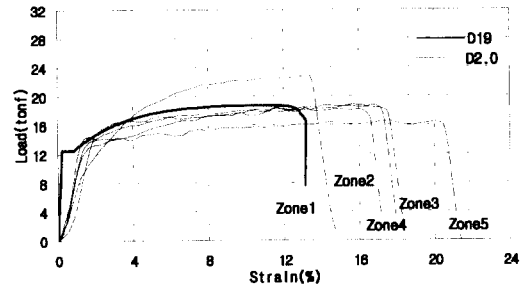


(b) D2.0 (1/10 model)

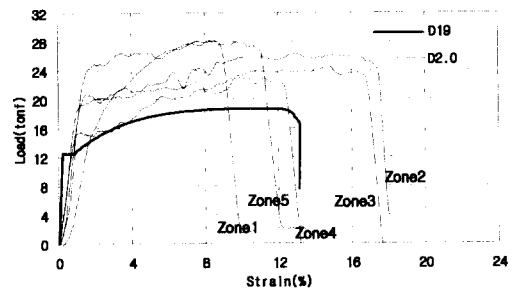
Fig. 3 Comparison of reinforcement before and after annealing



(a) 1/5 Model reinforcement



(b) 1/10 Model reinforcement



(c) 1/12 Model reinforcement

Fig. 4 Strain-force relations of prototype and model reinforcement

Table 4 Yielding force of model reinforcement

Scale	Temperature Duration	Batch No.	Yielding force(kgf)				
			Zone1	Zone2	Zone3	Zone4	Zone5
1/5	620°C 2hr. 00min.	D3.1-1	550	580	560	500	570
		D3.1-2	554	570	550	506	560
		Average	552	575	555	503	565
1/10	720°C 2hr. 30min.	D2.0-1	-	140	160	130	140
		D2.0-2	-	135	138	150	*
		Average	-	137.5	149	140	140
1/12	720°C 1hr. 30min.	D2.0-3	-	140	135	110	170
		D2.0-4	-	110	*	95	148
		Average	-	125	135	102.5	159
stirrup (1/10,1/12)	740°C 10min	φ1	-	36	40	37.5	25

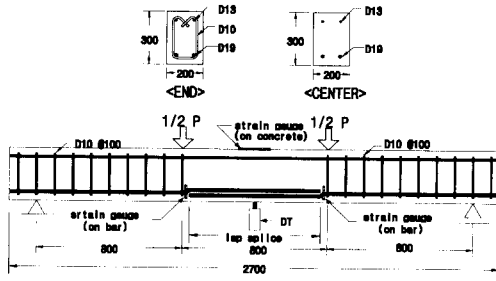
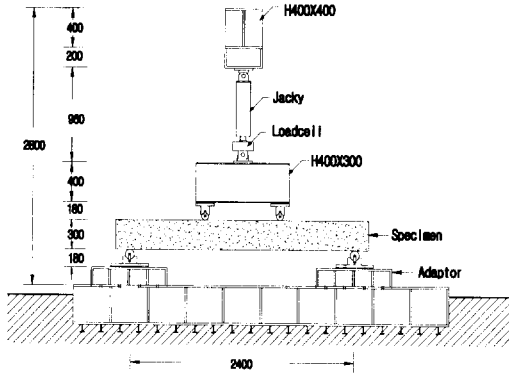
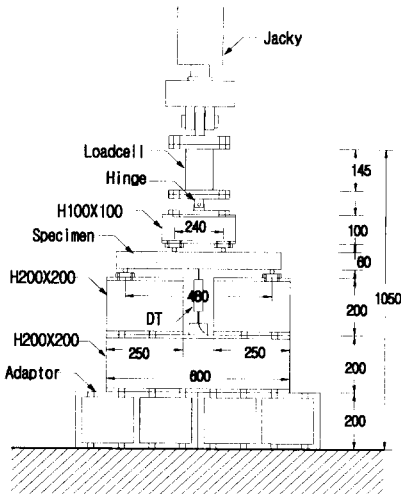


Fig. 5 Geometry and dimension of specimen (unit:mm)



(a) Prototype



(b) Model

Fig. 6 Experimental setup (unit:mm)

로 제작하였다.

실물실험체에 대한 이음길이 $1.0 l_d$ 는 ACI 318-95⁽⁶⁾에 따라 계산한 76cm를 취하였다. 모델의 경우 모델철근의 실제직경에 따라 이음길이를 다시 계산하지 않고, 실물철근의 이음길이를 축소율로 나눈 값을 모델에서의 이음길이로 선택하였다. 실물실험체는 각 이음길이별로 2개씩 제작하였고, 축소모델실험체는 3개씩 제작하여 실험을 수행하였다. Fig. 5는 이음이 있는 실물실험체와 변위측정기 및 스트레인게이지 부착 위치를 보여주고 있다.

5.2 실험장치 및 방법

실물과 모델 모두 3등분점에 2개의 등집중하중을 가하는 방식을 택하였다. 실험체의 하부 중앙에 설치된 변위측정기를 통해 측정된 중앙부 처짐과 로드셀을 통해 측정된 가력하중을 사용하여 모델과 실물 각각에 대한 하중-처짐관계를 비교하였다. 실물의 경우 보의 상부에 콘크리트용 스트레인게이지 2개를 부착하고, 하부근의 이음단부에 철근용 스트레인게이지 4개를 부착하여 각 이음길이별로 변형률을 비교할 수 있도록 하였으며, 모델의 경우 실험체가 너무 작아 스트레인게이지는 부착하지 않았다. Fig. 6은 실물과 1/5 모델의 단순보 실험 장치를 보여주고 있다.

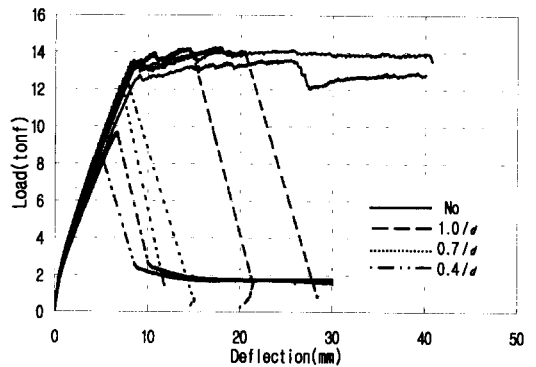
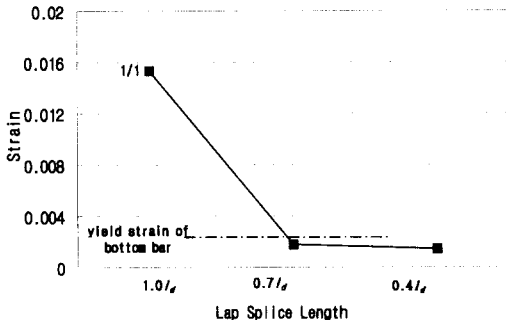


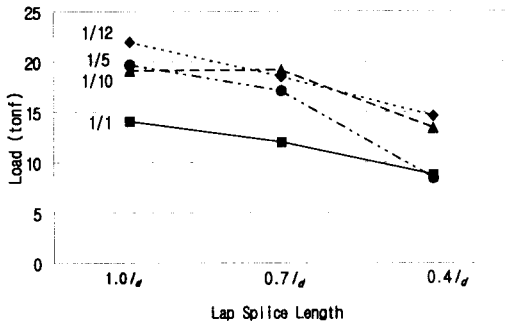
Fig. 7 Comparison of P- δ curves for prototype beams with different length of lap splice

5.3 실험결과 분석

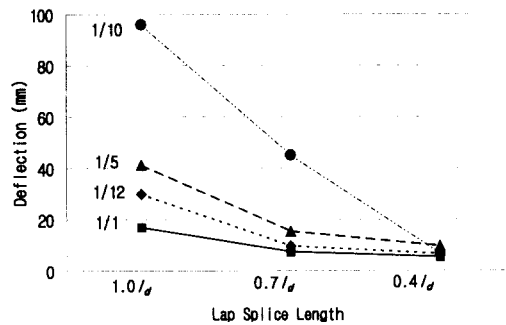
Fig. 7은 실험실험체의 이음길이별 하중-처짐 곡선을 보여주고 있다. Fig. 7에서 이음 없는 실험체의 경우 상부가 압축파괴에 이를 때까지 40mm의 처짐이 진행된 반면 1.0 l_d 이음의 경우 항복 후 어느 정도 연성을 유지하다가 약 20mm의 처짐에서 부착파괴에 이르렀다. 0.7 l_d 미만의



(a) Max. strain of reinforcement at the end of lap splice



(b) Average of Max. load

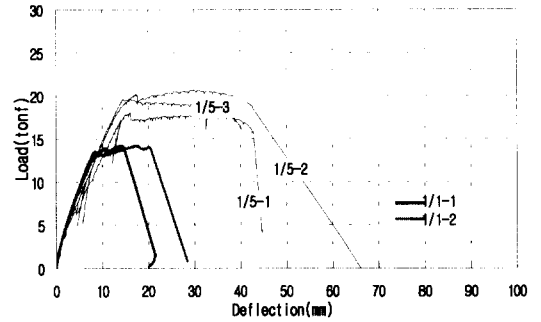


(c) Average of Max. deflection

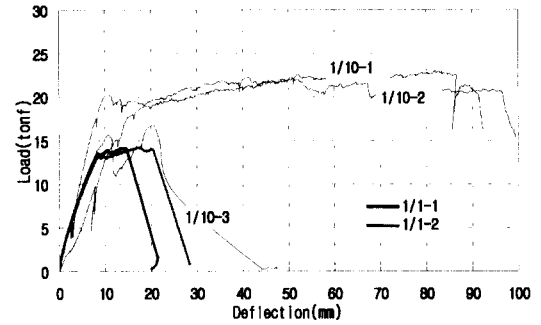
Fig. 8 Comparison of maximum response in flexural development test

이음길이에서는 항복에 이르기 전에 부착파괴가 발생하였다.

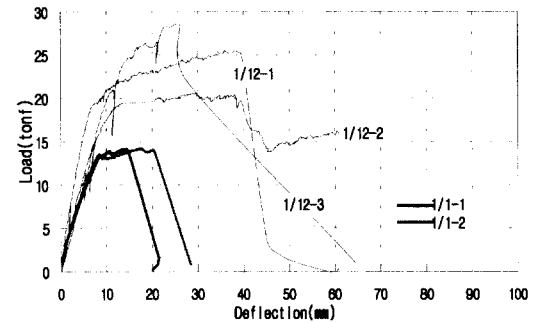
Fig. 8(a)는 실험실험체의 주근의 이음단부에서 변형률을 측정된 결과인데, 이음길이가 1.0 l_d 인 경우 철근의 변형률이 뚜렷이 증가하여 항복변형률을 넘어서는 모습을 보여주고 있다. Fig. 8(b)와 (c)에서는 실험실험체와 상사성의 법칙에 따라 조정한 모델실험체의 이음길이별 평



(a) 1/5 Model and prototype



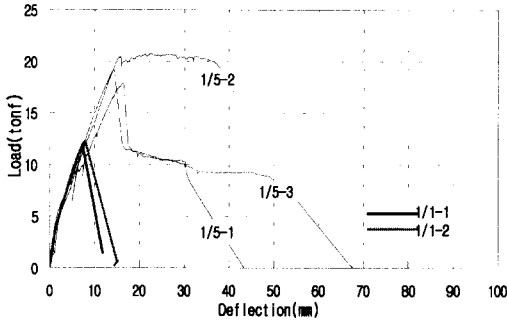
(b) 1/10 Model and prototype



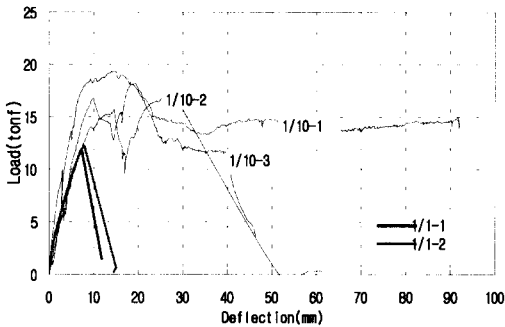
(c) 1/12 Model and prototype

Fig. 9 Comparison of P- δ curves for beams with 1.0 l_d lap splice

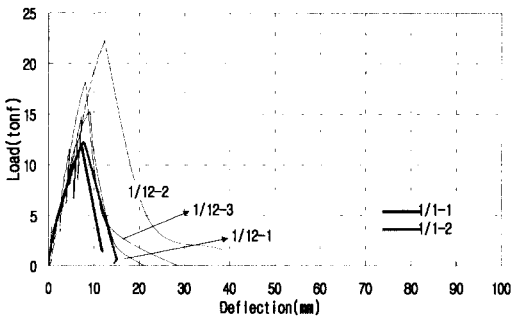
균최대하중과 처짐의 관계를 보여주고 있는데, 모델철근의 항복강도가 실물철근의 항복강도보다 크기 때문에 대체로 모델실험체의 최대하중이 실물실험체의 최대하중보다 큰 값을 보여주고 있으며, 모델실험체의 처짐이 큰 것은 모델철근의 연성과 관련이 있는 것으로 보인다. 강도측면에서는 각 축소율별로 $1.0 l_d$, $0.7 l_d$ 및 $0.4 l_d$ 에 걸쳐



(a) 1/5 Model and prototype



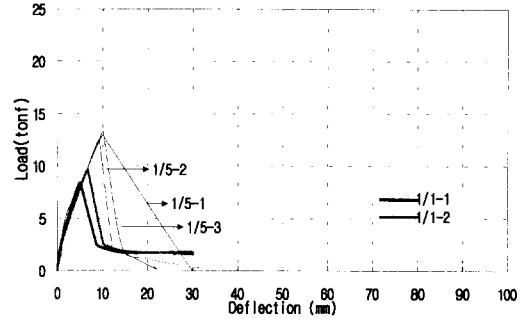
(b) 1/10 Model and prototype



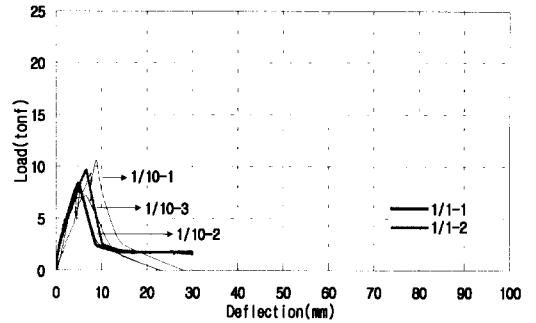
(c) 1/12 Model and prototype

Fig. 10 Comparison of P- δ curves for beams with $0.7 l_d$ lap splice

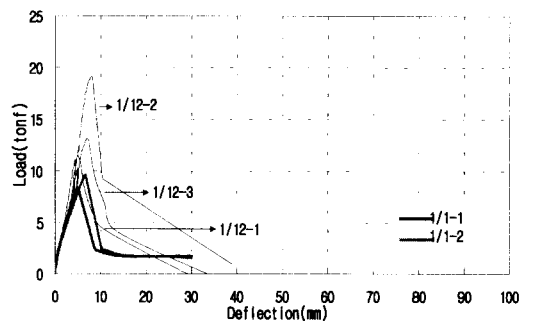
거의 비슷한 감소추세를 나타내고 있다. Fig. 9~Fig. 11은 실물과 모델실험체의 이음길이에 따른 P- δ 곡선을 비교하여 보여주고 있다. 실물과 모델실험체 모두 $1.0 l_d$ 의 경우 일단 항복한 후 어느 정도의 연성을 유지하다가 파괴되는 경향을 보여주고 있고, 연성비는 모델실험체가 실물실험체에 비해 2배 이상 큰 경향을 보이고 있다.



(a) 1/5 Model and prototype



(b) 1/10 Model and prototype



(c) 1/12 Model and prototype

Fig. 11 Comparison of P- δ curves for beams with $0.4 l_d$ lap splice

Table 5 Comparison of ratios of strength in model / prototype

Scale	1.0 l_d (model/prototype)	0.7 l_d (model/prototype)	0.4 l_d (model/prototype)	Yielding force(tonf) (model/prototype)
1/5	19.09/13.38=1.43	19.17/12.08=1.59	12.96/8.83=1.47	13.34/12.51=1.07
1/10	18.00/13.38=1.34	16.22/12.08=1.34	8.21/8.83=0.93	14.75/12.51=1.18
1/12	19.35/13.38=1.45	18.37/12.08=1.52	14.61/8.83=1.65	18.53/12.51=1.48

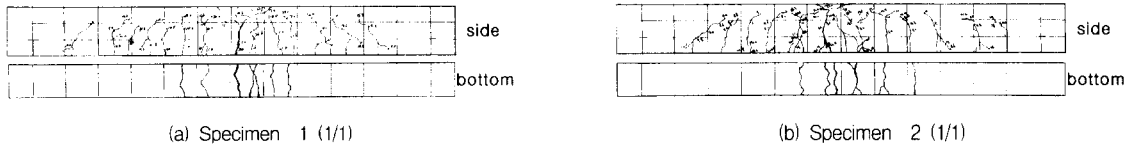


Fig. 12 Crack patterns of beams without lap splice (1/1)

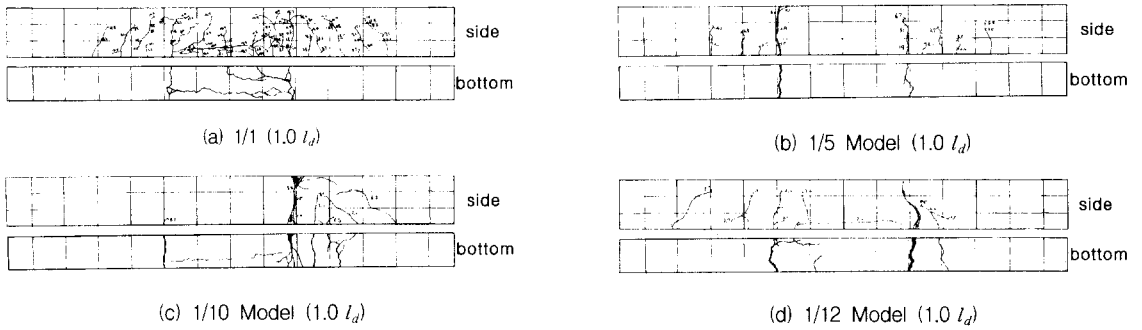


Fig. 13 Crack patterns of beams with 1.0 l_d lap splice

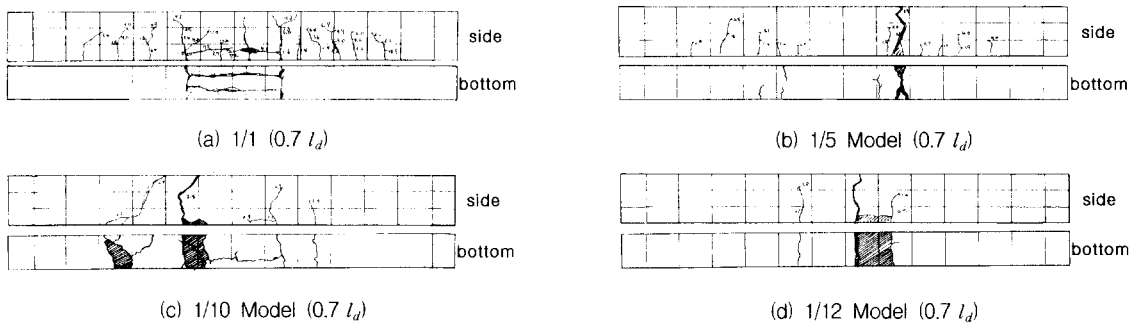


Fig. 14 Crack patterns of beams with 0.7 l_d lap splice

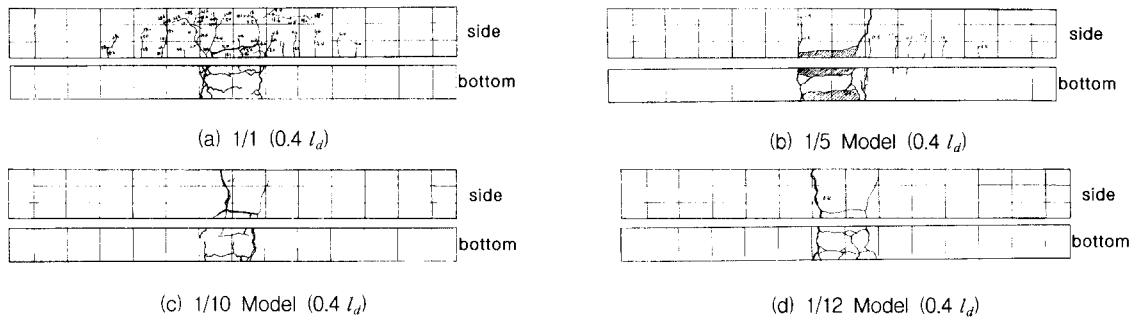


Fig. 15 Crack patterns of beams with 0.4 l_d lap splice

이음길이가 $0.7 l_d$ 이하인 실험체에서는 대부분 취성파괴를 보여주고 있는데, 1/10모델로 이음길이가 $0.7 l_d$ 인 실험체는 최대하중에서 하중이 급락한 이후에도 연성적 거동을 보여주었다. P- δ 곡선에서 초기균열을 보여주는 점은 실물과 1/5모델에서는 뚜렷이 나타나고 있다.

Table 5에서는 실물철근의 항복력에 대한 모델철근의 항복력의 비와 실물실험체의 파괴강도에 대한 모델실험체의 파괴강도의 비를 보여주고 있다. 철근의 항복강도가 보의 휨파괴강도를 지배한다고 볼 때, 모델철근의 실제항복력이 요구항복력보다 높더라도 실물철근의 항복력에 대한 모델철근의 항복력의 비와 실물실험체의 파괴강도에 대한 모델실험체의 파괴강도의 비는 거의 일치하여야 한다. 그러나, 본 논문의 결과 1/12모델에서는 그 비가 거의 일치하고 있으나, 1/5모델과 1/10모델에서는 실물실험체의 파괴강도에 대한 모델실험체의 파괴강도의 비가 큰 경향을 보여주고 있는데, 이는 실험체 제작에 사용된 모델철근의 항복력의 편차 때문인 것으로 보인다.

Fig. 12~Fig. 15는 이음길이에 따른 각 실험체 전면과 하부의 균열양상을 각각 보여주고 있는데, Fig. 12에 나타났듯이 이음이 없는 실물실험체의 경우 하부는 휨균열을 보여주었고 상부 압괴에까지 이르렀다. Fig. 13은 이음길이가 $1.0 l_d$ 인 실험체의 균열양상을 보여주고 있다. 실물에서는 휨균열도 골고루 생기고, 하부에 쪼갬균열이 뚜렷이 나타났으나 1/5모델에서는 이음단부에서의 파괴양상만 보여주었고, 1/10모델과 1/12모델은 쪼갬균열이 나타나기는 하였으나, 최종파괴는 이음단부의 균열심화에 따른 파괴를 보여주었다. Fig. 14는 이음길이가 $0.7 l_d$ 인 실험체의 균열양상을 보여주고 있다. 이음길이가 $0.7 l_d$ 일 때는 $1.0 l_d$ 의 파괴양상과 거의 유사한 모습으로 1/5모델은 쪼갬균열 없이 이음단부의 파괴를 보여주었고, 1/10모델과 1/12모델은 쪼갬균열이 발생한 후 파괴시 하부피복이 떨어져 나갔다. Fig. 15는 $0.4 l_d$ 의 균열양상을 보여주고 있다. 모든 축소율에 걸쳐 쪼갬균열을 발견할 수 있었고, 파괴양상 또한 유사한 모습을 보여주었다.

축소율이 커질수록 휨균열이 골고루 퍼지기 보다는 일단 균열이 발생한 부분에서의 균열이 심화되는 양상을 보여주었다. 실물실험체의 경우 미세균열도 많이 발생하고 쪼갬균열의 양상도 뚜렷이 나타났으나, 모델실험체는 대체로 이음단부에서 발생한 균열로 인한 파괴를 보여주었다. 전체적인 균열의 수와 폭에서도 실물실험체에서는 잔균열을 많이 관찰할 수 있었으나, 축소율이 커질수록 균열의 수는 현저히 줄어들고 균열폭은 상대적으로 커지는 현상을 보여주었다.

6. 결론

이상의 실험결과에 의해 축소모델 철근콘크리트 보의 휨부착거동에 관한 상사성에 대한 결론은 다음과 같다.

- (1) 실험체의 항복강도는 실물보다 모델이 큰 값을 보여주었는데, 이는 모델철근과 실물철근의 항복강도의 차이 때문인 것으로 보이며, 실제 실험체 제작에 사용된 모델철근의 항복력에 큰 편차가 존재하며 이로 인해 모델실험체 강도가 대체로 예상보다 높게 나타났다. 따라서 일정한 항복력을 가지고 편차가 적은 모델철근을 제작하는 기법을 개발하는 것이 당면과제로 대두되고 있다.
- (2) 철근의 물성을 맞추는데 있어서 항복력을 맞추기 위해 다양한 철근열처리법을 사용하였으나, 철근의 물성을 완전히 일치시키는데 어려움을 발견하여 이에 대한 추가적인 연구가 필요하며, 부득이한 경우 철근의 개수나 이음길이를 조절하는 방법으로 휨부착강도 및 처짐상사성을 일치시키는 방법을 시도해 볼 수 있다.
- (3) 연성측면에서 이음길이가 $0.7 l_d$ 이하인 실험체에서는 1/10모델이 $0.7 l_d$ 에서 연성파괴를 보인 것을 제외하면 대체로 실물실험체에서의 취성파괴를 잘 재현시키고 있다. 그러나, $1.0 l_d$ 인 실험체에서는 축소모델이 축소율에 상관없이 실물에 비해 2배 이상의 연성비를 보여줌을 알 수 있다.
- (4) 균열 양상의 측면에서 보면 실물실험체의 경우 미세균열이 많으며, 쪼갬균열의 양상도 뚜렷이 나타났으나, 모델실험체는 이음길이가 $1.0 l_d$

와 $0.7 l_d$ 인 실험체에서는 쪼갬균열이 실물실험 체처럼 두드러지게 나타나지 않고 이음단부에서 균열이 확대되어 파괴되는 양상이 나타날 수 있음을 보여주었으며, 축소모델 사용시 쪼갬파괴를 정확히 재현시키지 못할 수도 있다는 점을 확인할 수 있었다.

이상의 결과로 볼 때, 축소모델을 이용한 실험이 전체적인 거동의 파악에는 적용할 수 있으나, 축소율이 커질 경우 파괴양상 혹은 균열양상은 실물과 일치하지 않을 수 있음을 발견할 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 고려대학교 교비연구과제로 수행되었으며, 부분적으로 1997년도 건교부 국책과제인 "우리나라 중,저층 철근콘크리트 건축물의 지진피해예측 및 보수보강법연구"의 일환으로 수행된 것입니다. 이 지원에 대해 감사드립니다.

참고문헌

1. ACI Ad Hoc Committee on Structural Models, "Models for Concrete Structures", ACI SP.24, Detroit, Michigan, 1970.
2. Noor, F.A., Boswell, L.F., "Small Scale Modelling of Concrete Structures", Elsevier Science Publishers LTD, 1992,

3. Sabnis, G.M., Harris, H.G., White, R.N., and Mirza, M.S., "Structural Modeling and Experimental Techniques", Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1983
4. Sabnis, G.M., Mirza, M.S., "Size Effects in Model Concretes?", Journal of the Structural Division, ASCE, June, 1979
5. Benjamin.A.W., Helmut.K., "Small-scale Model Experimentation on R/C Assemblies U.S.-Japan Research Program", Report No. CEE-8021119.CEE-8320588, Department of Civil Engineering Stanford University, Stanford, California, 1985
6. ACI Committee 318, "Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI319-95)" and "Commentary (ACI 318R-95)", American Concrete Institute, Detroit, 1995
7. 김 우, 김대중, 강성후, "철근콘크리트 구조연구를 위한 소축적구조실험기법", 한국콘크리트학회 논문집, 제 3권 제 4호, 1991.12
8. 이한선, "구조물의 축소모델 재료에 관한 연구", Report No. STRESS94-06-04-3, 한양대학교 초대형구조시스템 연구센터, 1995.2
9. 이한선, "고층철근콘크리트 건축구조물의 실험적 모델해석", Report No. STRESS-97-22, 한양대학교 초대형구조시스템 연구센터, 1998.2
10. 이한선의 4인, "1/5축소 비연성 3층 철근콘크리트 골조의 진동대실험", 1997년 한국콘크리트학회 가을학술발표회, 제 9권 2호, 1997

요 약

수십년동안 철근콘크리트구조물의 비탄성거동을 예측하기 위해 축소모델실험기법이 사용되어 왔다. 이때 축소모델과 실물 사이의 상사성에 영향을 끼치는 요소는 여러 가지가 있는데, 그 중에서도 모델 철근과 모델콘크리트사이의 부착력은 가장 중요한 요소중의 하나이다. 본 연구에서는 이러한 관점에서 부착거동의 상사에 대해서 연구하였다. 실험은 스펜중앙부에서 겹침이음길이를 $1.0 l_d$, $0.7 l_d$, $0.4 l_d$ 로 만든 단순보에 대해 3등분점 가력하는 방식을 취하였다. 여기서 l_d 는 철근의 정착길이를 말한다. 실험체의 축척은 1/1, 1/5, 1/10, 1/12모델을 대상으로 하였으며, 재료실험 후 실물은 2개씩, 축소모델은 3개씩 실험체를 제작하여 그 실험결과를 실물과 축소모델의 거동상사성의 관점에서 비교분석하였다.

(접수일자 : 1998.12.7)