

콘크리트가 RC 인장부재의 인장거동에 미치는 영향

홍창우* · 김남윤** · 윤경구*** · 이봉학****

Effect of Concrete on the Tension Behavior of RC Members

Hong, Chang-Woo* · Kim, Nam-Yun** · Yun, Kyong-Ku*** · Lee, Bong-Hak****

ABSTRACT

This paper presents evaluation results of the tensile behavior of reinforced high strength concrete. The effects of different sizes of reinforcing bar, ranging from D22 to D29, on the formation of cracks was investigated. Two different strength concretes, 270kg/cm² and 550kg/cm², were used in the specimens to investigate the influence if concrete strength on tension stiffening. In the present investigation a method was developed to obtain reliable load-deformation behavior in tension. The experimental results show that (1)high-strength concrete members exhibited larger amounts of tension stiffening than the companion normal-strength concrete members, (2) as the bar diameter increases, the beneficial influence of high-strength concrete on tension stiffening is reduced.

1. 서 론

콘크리트의 인장거동은 부재의 극한 강도의 영향이 거의 없기 때문에 최근까지 무시되었으나, 정확한 변형을 예측해야 할 필요성이 있는 구조물에서는 중요성이 더욱 증대되어졌다.^(1, 2, 9, 12, 14)

철근 콘크리트 휨 부재에서 인장강성 효과가 무시된다면, 계산에 의해 부재에 발생하는 변형은 사용하중 하에서 균열후 범위에서의 변형보다 반드시 크게 될 것이다.^(1, 3, 8) 인장 강성 효과는 균열과 균열 사이의 콘크리트에 의해 주어진 유효강성에 의하여 철근 콘크리트의 강성이 증가하는 것으로 정의된다.⁽¹⁴⁾

그러나, 실제로 균열이 발생할 때 인장 연화 거동이 또한 추가적으로 강성에 영향을 미치며, 인장 강성 효과는 균열과 균열 사이의 콘크리트 단면의 부분적인 접촉(bond) 파괴^(8, 11)에 기인한 비선형성과 인장 연화 거동에 기인한 비선형성 때문에 복잡한 현상이 된다.⁽¹⁰⁾ 따라서 본 연구에서는 고강도 콘크리트를 사용한 철근 콘크리트 부재의 인장거동을 분석하기 위해서 부재내 철근의 직접인장시험을 통한 하중-변위 관계로부터 콘크리트의 강도와 철근직경에 따른 인장강성 효과, 균열발생 거동 및 파괴거동에 대해서 고찰하고자 하였다.

2. 실험계획 및 방법

2.1 재료의 시험 및 특성

2.1.1 콘크리트

본 논문에서 사용된 시멘트는 국내 H사 제품인

* 강원대학교 대학원 토목공학과 박사과정

** 강원대학교 대학원 토목공학과 석사과정

*** 한국도로공사 책임연구원, 공학박사

**** 강원대학교 토목공학과 교수

1종 보통 포틀랜드 시멘트이며, 고강도 콘크리트 제조를 위해 혼화제로 실리카흙 10%를 혼입하였으며, 굵은 골재는 홍천 북방에서 생산된 쇄석골재이며, 잔골재는 소양강에서 채취한 강모래를 사용하였다. 시험체 제작에 사용된 콘크리트는 2종류로서 배합설계 내용과 실험결과는 Table 2.1과 2.2와 같다.

Table 2.1 Mix Proportion of Concrete.

Specified Strength (kg/cm ²)	%		Mixtures (kg/m ³)						
	W/C	S/a	W	C	S	G	Slica	AE (%)	SP (%)
270	45	41.0	177	392	714	1072	-	0.15	0.5
550	28	34.8	154	495	609	1142	55	0.04	1.7

Table 2.2 Mechanical Properties of Concretes.

Property \ Mixtures		NSC	HSC
Slump (cm)		12	16
Air Content (%)		3	4
Compressive Strength (kg/cm ²)	σ_{28}	244	532
	σ_{56}	263	623
Splitting Tensile Strength (kg/cm ²)		29.3	41.5
Elastic Modulus (kg/cm ²)		229,456	332,079

2.1.2 철근

철근실험에 사용된 철근은 국내산 SD30, SD40 이형철근으로서 직경은 D22와 D29로 하여 인장시험을 실시하였다.

2.2 부재 실험체의 제작

철근콘크리트 인장부재 단면의 크기는 철근의 직경이 22mm인 경우는 122(b)×122(D)×1500(L)으로 하고 29mm인 경우는 129(b)×129(D)×1500(L)로 하여 철근의 직경에 관계없이 콘크리트 피복두께를 50mm로 일정하게 유지하였다. 따라서,

부재의 철근비는 22mm, 29mm 철근은 각각 0.0247, 0.0368이다. 부재단면의 형상은 Fig. 2.1과 같다. 실험의 주변수로는 콘크리트 강도, 철근의 강도, 철근의 직경으로 하여 계획하였으며 실험체의 계획내용은 Table 2.3과 같다.

Table 2.3 Details of Test Specimens

Concrete Strength	Rebar Grade	Diameter of Steel (mm)	Specimen ID
270kg/cm ²	SD30	D22	N-SD30-D22
		D29	N-SD30-D29
	SD40	D22	N-SD40-D22
		D29	N-SD40-D29
550kg/cm ²	SD30	D22	H-SD30-D22
		D29	H-SD30-D29
	SD40	D22	H-SD40-D22
		D29	H-SD40-D29

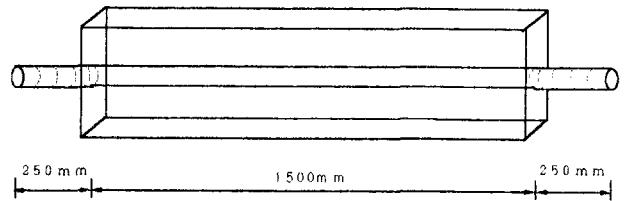


Fig. 2.1 Reinforced Concrete Specimens.

2.3 재하 및 측정방법

본 실험에서는 200t 용량의 UTM을 사용하여 인장실험을 수행하였으며, 로드셀을 이용하기 위해 시험체 고정용 장치를 주문 제작 하였다. 실험은 철근의 인장실험과 철근 콘크리트 부재의 직접 인장실험으로 수행되었다. 철근의 인장실험은 철근 콘크리트 부재의 콘크리트 변위 측정과 동일한 길이의 변위를 측정하였다.

철근 콘크리트 부재의 인장실험은 콘크리트만의 변위를 측정하기 위해 콘크리트 양단에 LVDT 거치용 판을 에폭시로 부착하여 변위계를 설치 하였다.

시험체에 하중을 가했을 때 로드셀을 통하여 전달되는 하중의 크기와 자동변위계 및 변형계가

지에서 감응되는 변위는 데이터 로거를 이용하였으며, 철근콘크리트 부재는 균열 진전형상을 하중 단계에 따라 시험체에 나타내었다. Fig.2.2는 철근 콘크리트 부재의 실험용 장치도를 나타낸 것이다.

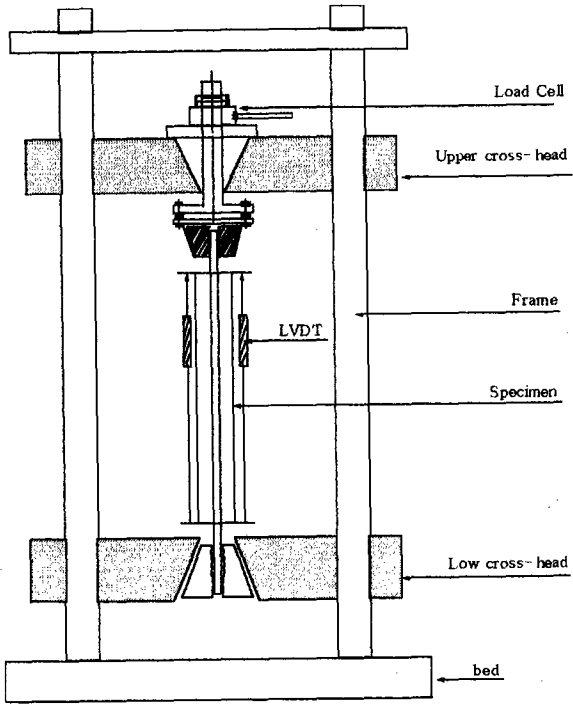


Fig. 2.2 Setting of Load Cell and Specimen.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 철근콘크리트 부재의 인장거동 특성

철근콘크리트 부재의 인장거동을 분석하기 위해 H-SD40-D22 시험체의 실험결과를 하중-변위의 관계로 나타내어 Fig 3.1에 나타내었다. Fig 3.1에 있어서 실선은 철근콘크리트 부재의 거동이며, 점선은 철근(bare bar)만의 거동을 나타낸 것이다.

철근콘크리트 부재의 인장거동을 크게 세 영역으로 구분할 수 있다.

첫 번째 영역은 균열은 발생하지 않는 부분으로서 선탄성 거동을 하며, 두 번째 영역에서 균열이 발생되면서 콘크리트는 연화(Softening)가 되며, 철근만의 거동과 근접하게 된다. 이때 콘크리트의 균열과 균열사이 인장강성이 존재하게 되며, 균열이 증가할수록 콘크리트의 인장강성이 감소하게 되어 철근만의 거동에 근접하게 되는 것이다.

세 번째 영역은 콘크리트의 인장강성이 소멸되어 철근(bare bar)의 거동과 동일하게 되면서 철근이 항복하게 된다. 이와같이 철근콘크리트 부재의 인장거동 특성은 하중-변위와의 관계로 나타낼 수 있다.

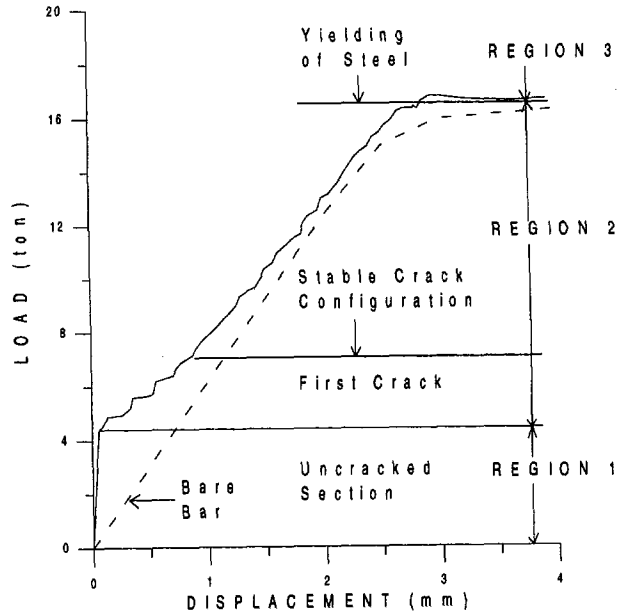


Fig. 3.1 Typical Load-Elongation Relationship (Specimen H-SD40-D22)

3.2 철근이 인장강성에 미치는 영향

철근 콘크리트의 직접 인장시험에 대한 하중-변위의 관계를 보면 콘크리트의 인장강도가 철근에 비해 현저하게 작기 때문에 전체적으로 철근의 하중-변위관계와 유사하게 나타난다. 그러나 콘크리트에 균열이 발생하기 전까지는 철근 콘크리트의 하중이 급격히 증가하나 변위가 0.03mm 이상이 되면 콘크리트에 균열이 발생하고 응력이 감소하게 된다. 콘크리트의 잔여 인장응력이 모두 소멸되면 철근 콘크리트는 결국 철근만의 거동과 일치하게 된다. Fig. 3.2는 NSC콘크리트에서 철근의 직경에 따른 직접인장시험 결과이다. 철근 콘크리트의 거동은 콘크리트가 균열이 발생하기 전에는 탄성적인 거동을 나타내고 있으나 균열이 발생한 시점에서 부터는 콘크리트의 연화(softening) 현상이 나타나면서 철근만의 거동과 전체적으로 유사한 거동을 보인다. 일반적으로 콘크리트의 인장력은 균열이 발생한 후에는 무시해 왔는데 실험 결과에 의하면 초기 균열이 발생한 이후 균열사이

의 인장응력에 의해 지배되며 균열의 진전에 따라 인장응력은 감소하여 철근(bare bar)만의 거동과 일치하는 경향을 나타내고 있다.

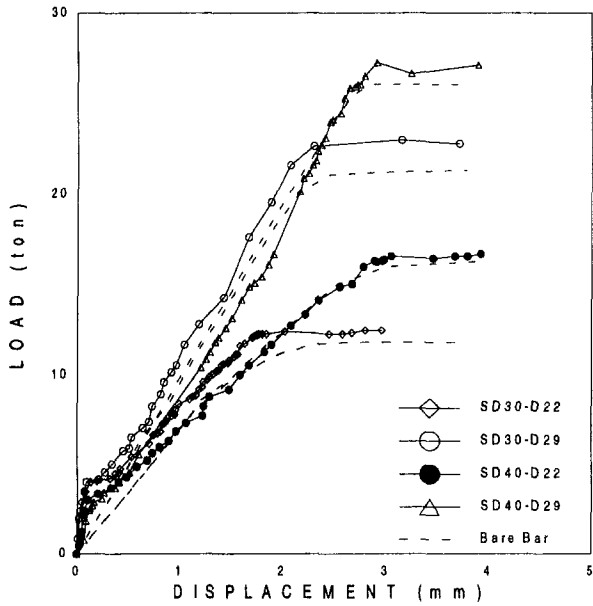


Fig. 3.2 Tension vs. Elongation Responses of Normal-Strength Concrete Specimens

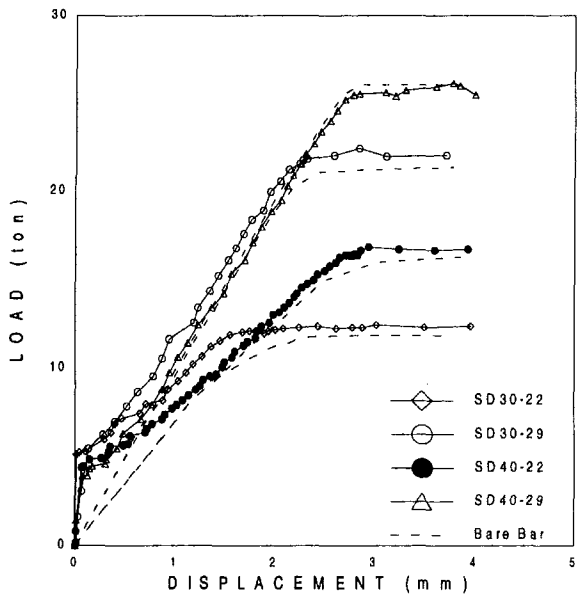


Fig. 3.3 Tension vs. Elongation Responses of High-Strength Concrete Specimens

Fig. 3.3은 HSC 콘크리트의 철근직경에 따른 인장강성 영향을 하중-변위의 관계로 나타낸 것이

다. Fig. 3.4와 Fig. 3.5는 동일한 콘크리트 강도를 갖는 SD30, SD40에 대한 철근직경 22mm와 29mm의 인장강성 영향을 나타낸 것이고, Fig. 3.6과 Fig. 3.7은 철근의 항복강도에 따른 영향을 나타낸 것이다. 철근 직경이 크고 항복강도가 높을수록 균열후 급격히 인장응력이 감소하여 철근(bare bar)의 거동과 유사함을 알 수 있다.

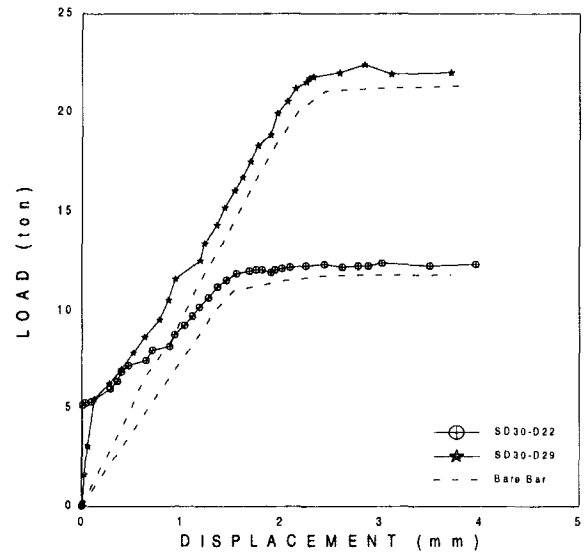


Fig. 3.4 Tension Responses of Specimens SD30-D22 & SD30-D29

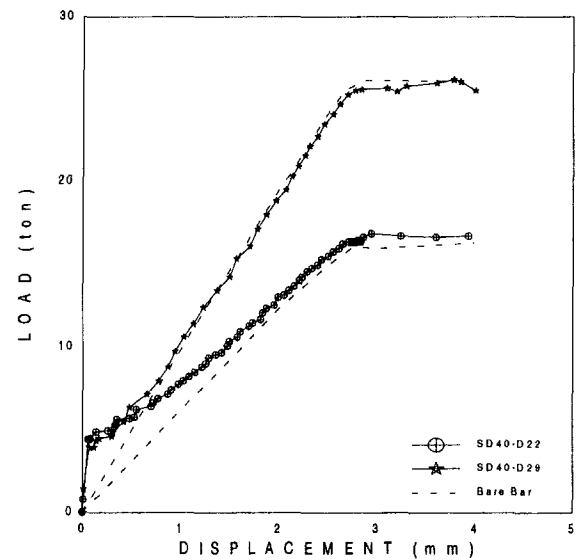


Fig. 3.5 Tension Responses of Specimens SD40-D22 & SD40-D29

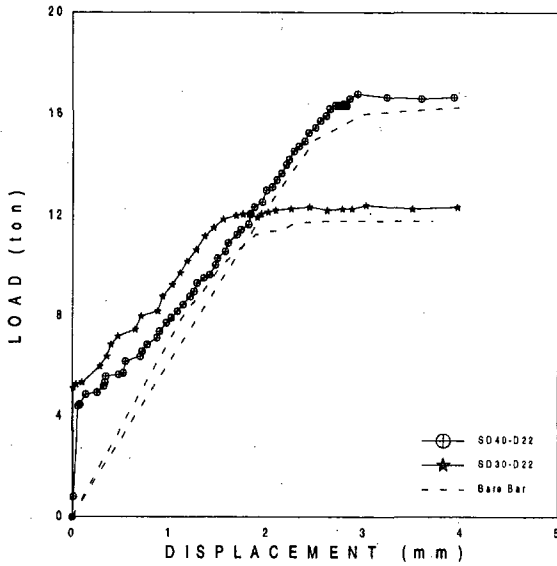


Fig. 3.6 Tension Responses of Specimens SD30-D22 & SD40-D22

3.3 콘크리트 강도가 인장강성에 미치는 영향

동일한 철근에 대하여 각기 다른 강도의 콘크리트 부재에서 인장강성의 영향은 콘크리트의 인장강도에 지배를 받는다. Fig. 3.8 ~ Fig. 3.11은 철근콘크리트 부재에 있어서 콘크리트의 강도에 따른 인장강성의 영향을 나타낸 것이다.

균열후 콘크리트의 파괴까지의 거동은 철근에

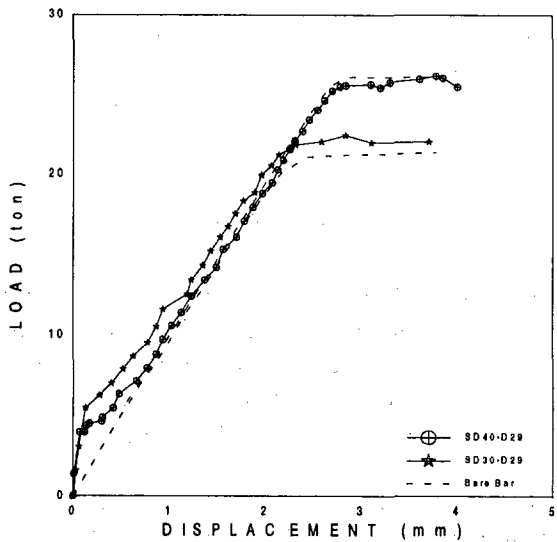


Fig. 3.7 Tension Responses of Specimens SD30-D29 & SD40-D29

거의 종속적이지만 균열이 발생하기 전의 거동은 하중이 콘크리트의 인장 강도만큼 증가하는 것을 알 수 있다. 낮은 강도의 콘크리트의 거동은 균열 발생 후에 철근의 거동에 서서히 접근하지만 강도가 높아질수록 철근의 거동에 빠르게 접근함을 알 수 있다. 즉 콘크리트의 강도가 높아질수록 취성과파괴에 의해 인장강성 효과가 감소한다는 것을 나타낸다.

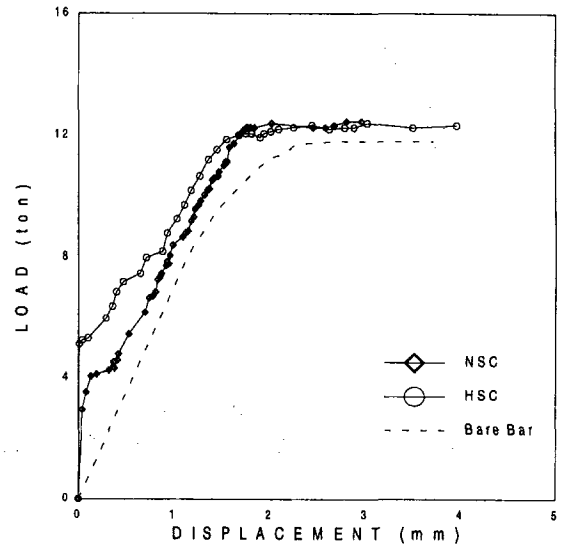


Fig. 3.8 Influence of Concrete Strength on Tension Stiffening (Specimen SD30-D22)

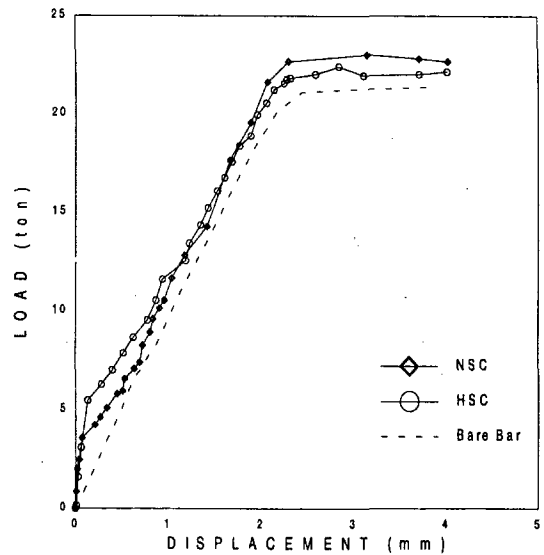


Fig. 3.9 Influence of Concrete Strength on Tension Stiffening (Specimen SD30-D29)

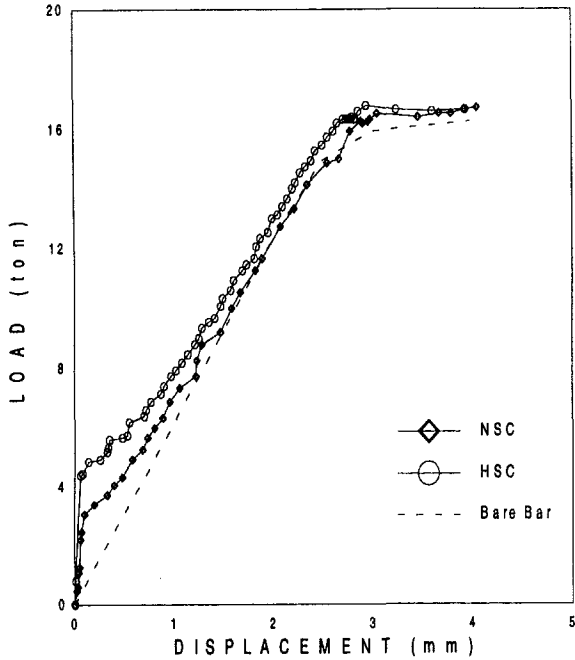


Fig. 3.10 Influence of Concrete Strength on Tension Stiffening (Specimen SD40-D22)

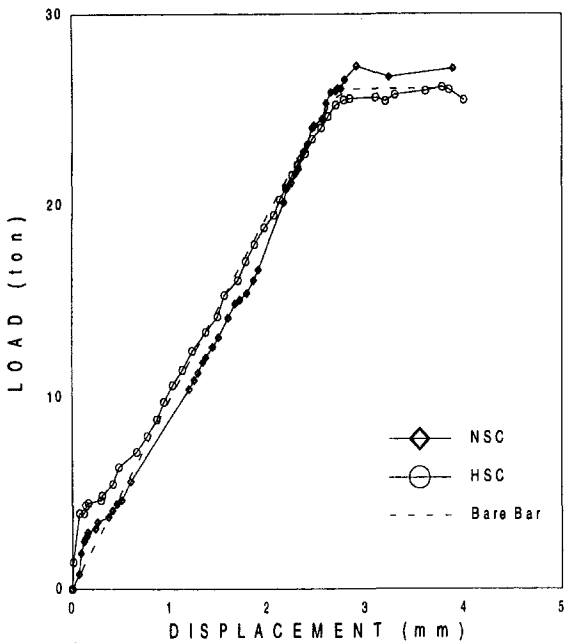


Fig. 3.11 Influence of Concrete Strength on Tension Stiffening (Specimen SD40-D29)

4. 결 론

철근 콘크리트 직접인장 부재의 인장강성효과, 균열발생 거동 및 파괴거동을 규명하고자 콘크리트 강도, 철근의 강도, 철근의 직경을 주변수로 하여 콘크리트 내의 철근에 대한 직접인장 실험을 실시한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 철근 콘크리트 인장부재는 하중-변위의 관계로부터 콘크리트에 대한 인장강성효과를 확인하였다.
2. 철근 콘크리트 인장부재의 거동은 콘크리트가 균열이 발생하기 전에는 탄성적인 거동을 보이거나 균열이 발생한 시점에서 부터는 콘크리트의 연화현상이 나타나면서 철근(bare bar)만의 거동에 근접되며, 철근 직경이 증가하고 철근의 강도가 높은 것일수록 균열 후 콘크리트의 인장강성이 급격히 감소됨을 알 수 있었다.
3. 콘크리트의 강도가 증가될수록 취성적인 특성에 의해 균열 발생 후 인장강성 효과가 급격히 감소되며, 낮은 강도 콘크리트의 거동은 균열 발생 후에 철근만의 거동에 완만하게 접근됨을 알 수 있었다.
4. 철근 콘크리트 인장 부재에서 일반적으로 콘크리트의 인장강성은 무시되어 왔으나, 실제로 콘크리트의 인장강성이 철근의 항복이후에도 존재하며 정확한 해석을 위해서는 적합한 인장강성 모델을 사용한 콘크리트의 인장강성 효과를 고려해야 한다.

참고문헌

1. ACI Committee 224. "Control of Cracking in Concrete Structures", 224R-90, ACI Manual of Concrete Practice 1992, Part 3, Use of Concrete in Building-Design, Specifications, and Related topics, ACI Publication
2. ACI Committee 224, "Cracking of Concrete Members in Direct Tension", 224. 2R-92, ACI Manual of Concrete Practice 1992, Part
3. Use of Concrete in Buildings - Design,

Specifications, and Related topics, ACI Publication

Mechanics, McGill University, Montreal, 1972, pp. 124

4. Abrishami and Denis Mitchell, "Influence of Splitting Cracks on Tension Stiffening", ACI Structural Journal, 1996, pp. 703-710.
5. Bazant, Z. P., "Instability, ductility and Size Effect in Strain-Softening Concrete", Journal of Engineering Mechanics Division, ASCE, Vol. 102, 1976, pp. 331-344
6. Beeby, A. W., A study of Cracking in Reinforced Concrete Members Subjected to Pure Tension", Cement and Concrete Association Technical 42.468, June 1972, pp. 28.
7. Clark, L.A., and Speirs, D. M., "Tension Stiffening in Reinforced Concrete Beams and Slabs under Short-Term Load", Technical Report No. 42. 521, Cement and Concrete Association, London, 1978, 20 pp.
8. Collins, M. P. and Mitchell, D., "Response of Members Subjected to Axial Load (Ch. 4)", Prestressed Concrete Structures, Prentice Hall, 1991, pp. 124-167
9. Floegl, H., and Mang, H. A., "Tension Stiffening Concept based on bond slip", J. Struct. Div., ASCE, 108(12), 1982, pp. 2681-2701.
10. Gopalaratnam V. S. and Shah, S. P., "Softening Response of Plain Concrete in Direct Tension", ACI Journal, Vol. 82, No. 3, May-June 1985, pp. 310-323
11. Guo, Z. H., and Ahang, Z. Q., "Investigation of Complete Stress-Deformation Curves for Concrete in Tension", ACI Material J., Jul.-Aug. 1987, 279-285.
12. Houde, J., and Mirza, M. S., "A Study of Bond Stress-Slip Relationships in Reinforced Concrete", Structural Concrete Series No. 72-8, Dept. of Civil Engr. and Applied Mechanics, McGill University, Montreal, 1972, pp. 124
13. Hwang, L. S., and Rizkalla, S. H., "Behavior of Reinforced Concrete in Tension at Post-cracking Range", Engineering Report, Department of Civil Engineering, University of Manitoba, Winnipeg, April 1983, 198 pp.
14. Tanner, J. A., "An Experimental Determination of Bond Slip in Reinforced Concrete", M. S. Thesis, Cornell University, Ithaca, N. Y., Nov. 1971.
15. Tae-song Ahn, "Tension Stiffening in Reinforced Concrete Membranes", Ph. D. Thesis, Missouri-Columbia University, 1995.
16. Wu, Z., Yoshikawa, H., and Tanabe, T., "Tension Stiffness Model for Cracked Reinforced Concrete", J of Strc. Engr., Vol. 117, No. 3, March 1991, pp. 715-732.