

# 철근콘크리트 인장부재의 인장강성에 관한 실험적 연구

## Experimental Study on Tension Stiffening of RC Tension Members

이 봉 학\* · 윤 경 구\*\* · 장 동 일\*\*\*  
Lee, Bong Hak · Yun, Kyong Ku · Chang, Dong Il

### Abstract

The tension stiffening in reinforced concrete member means increase of stiffness caused by the effective tensile stress between cracks and the tension softening behavior of concrete. This paper presents on the tensile behavior and tension stiffening of RC tension members. Direct tension tests were performed with a main experimental variables such as concrete strength, rebar diameter and strength. The tension stiffening was analyzed from the load-displacement relationship and was compared with ACI code, CEB model and the proposed by Collins & Mitchell. The results are as follows ; The tension behaviors of RC members were quite different from those of bare bar and were characterized by loading and concrete cracking steps. The effect of tension stiffening decreased rapidly as the rebar diameter and strength increased, and the concrete strength increased. The proposed by Collins & Mitchell described well the experimental results, regardless of rebar types and concrete. But, ACI code and CEB model described a little differently, depending on the types. The effect of tension stiffening in RC member was the biggest near at concrete cracking step and decreased gradually to the bare bar's behavior as loading closed to the breaking point. Thus, tension stiffening in RC members should be taken into account when the load-deflection characteristics of a member are required or a precise analysis near the load of concrete cracking is needed.

### I. 서 론

일반적으로 철근콘크리트는 경제성, 효율성, 강도특성 등이 구조 재료로서의 조건에 적합하여 다양한 구조물에 폭넓게 사용되고 있다. 그러나 하중이 증가함에 따라 콘크리트의 취약한 인장강도로 인하여 구조물이 손상을 입게 된다. 과대하

중이 작용할 경우 구조물의 안전성과 사용성을 확보하기 위해서는 각 하중단계별 구조적 거동을 정확히 예측할 필요가 있으며 콘크리트의 인장강도는 부재의 극한강도에 영향이 거의 없기 때문에 최근까지는 무시되었으나 정확한 변형을 예측해야 할 필요성이 있는 구조물에서는 중요성이 더욱 증대되어졌다.<sup>1,2,5,8,9)</sup>

\* 강원대학교 공과대학

\*\* 한국도로공사 도로연구소

\*\*\* 한양대학교 공과대학

키워드 : 인장강성, 인장거동, 콘크리트 균열, RC 인장부재

철근 콘크리트 휨 부재에서 인장강성 효과가 무시된다면, 계산에 의한 부재의 변형은 사용하중 하에서 균열후 범위에서의 변형보다 반드시 크게 될 것이다.<sup>1,4)</sup> 인장강성 효과는 균열과 균열 사이의 콘크리트에 의해 주어진 유효강성에 의하여 철근 콘크리트의 강성이 증가하는 것으로 정의된다.<sup>9)</sup> 그러나, 실제로 균열이 발생할 때 인장 연화거동이 또한 추가적으로 강성에 영향을 미치며, 인장강성 효과는 균열과 균열 사이의 콘크리트 단면의 부분적인 부착 파괴<sup>4,7)</sup>에 기인한 비선형성과 인장 연화거동에 기인한 비선형성 때문에 복잡한 현상이 된다.<sup>6)</sup>

따라서, 이 연구에서는 철근 콘크리트 부재의 인장거동을 분석하기 위하여 부재내 철근의 직접 인장시험을 수행하였으며 하중-변위 관계로부터 콘크리트의 강도와 철근직경에 따른 인장강성 효과를 구명하였고, 인장강성 효과에 대한 ACI 모델, CEB 모델, Collins & Mitchell의 제안식과 비교, 분석을 통하여 인장강성 효과가 구조물에 미치는 영향을 파악하고자 하였다.

## II. 균열 콘크리트의 인장강성 모델

철근콘크리트 부재에서 나타나는 인장강성 효과는 콘크리트의 극한강도 이후 콘크리트의 인장 연화거동과, 균열과 균열사이의 콘크리트에 의해 주어지는 강성에 의해 발생한다. 전자는 콘크리트의 균열후 거동과 관계가 있고, 후자는 균열사이의 콘크리트의 부착특성과 관계가 있다. 비록 이 두 거동이 서로 독립적이지만, 둘 다 명백히 비선형적 특성을 나타내고 있다. 유한요소법을 사용하여 균열이 발생한 콘크리트를 계산할 때 동일한 인장강성 효과를 계산하는 여러 가지 방법들이 제안되었다. 그러한 방법들 중 하나는 철근과 콘크리트 접합면의 부착-미끄러짐 관계와 함께 보강재와 무근 콘크리트의 구성관계를 평가하여 얻어지는 유한요소 해석에 근거를 두는 것이다.

균열과 균열사이의 콘크리트의 강성효과는 균열발생 상태에 따른 하중과 평균변형률의 관계로 Fig. 1과 같이 나타낼 수 있다. 하중  $P$ 가  $0 \sim P_{cr}$  까지의 범위에서는 균열이 발생되지 않으며, 직선 OA를 따른다. 이때 하중과 변형률의 관계는 식 (1)과 같다.

$$P = E_c A_g (1 - \rho + n\rho) \epsilon = (EA)_{uc} \epsilon \dots\dots (1)$$

여기서,  $E_c$  : 콘크리트의 탄성계수  
 $A_g$  : 총단면적  
 $\rho$  : 철근비  
 $n$  : 탄성계수비  
 $\epsilon$  : 변형률  
 $(EA)_{uc}$  : 균열발생 이전의 단면강성

이때 콘크리트가 무시된다면 직선 OB를 따르며, 하중과 변형률의 관계는 식 (2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$P = E_s A_s \epsilon = n E_c \rho A_g \epsilon = (EA)_{cr} \epsilon \dots (2)$$

여기서,  $E_s$  : 철근의 탄성계수  
 $A_s$  : 철근의 단면적  
 $(EA)_{cr}$  : 철근의 단면강성

하중이  $P_{cr}$ 보다 증가하게 되면 실제거동은 비균열과 완전균열의 한계 사이에서 나타나게 될 것이며 Fig. 1에서 AD 및 식 (3)과 같이 나타낼 수 있다.

$$P = (EA)_e \epsilon_m \dots\dots\dots (3)$$

여기서,  $(EA)_e$ 는 부재의 축방향 단면 강성의 효과,  $\epsilon_m$ 은 평균변형률이다.

### 1. 콘크리트의 유효면적을 사용한 인장강성(ACI Model)

콘크리트의 유효면적과 콘크리트의 탄성계수의 향으로 하중과 변형률의 관계를 식 (4)와 같이 나타내었다.

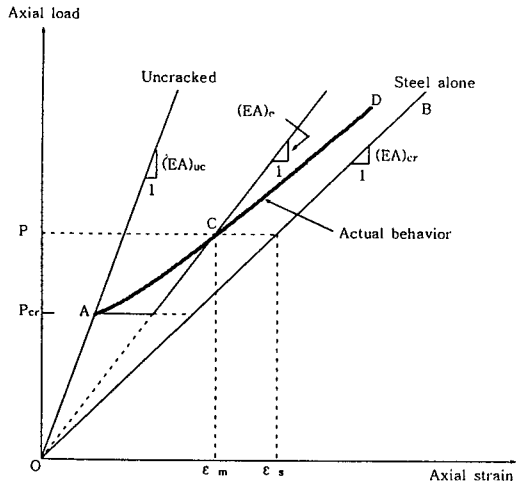


Fig. 1. Tensile load-average strain relationships

$$P = E_c m A_e \epsilon_m \dots\dots\dots (4)$$

여기서,  $A_e$ 는 콘크리트의 유효단면적  
 이러한 접근은 Branson과 ACI 318<sup>10)</sup>에 의해  
 전개된 균열간 철근 콘크리트 보의 처짐을 계산  
 하기 위한 유효관성모멘트와 유사하다. 유효관성  
 모멘트를 사용하는 것과 같이 동일한 식을 사용  
 하면 부재의 유효단면적은 식 (5)와 같이 나타  
 낼 수 있다.

$$A_e = A_g \left( \frac{P_{cr}}{P} \right)^3 + A_{cr} \left[ 1 - \left( \frac{P_{cr}}{P} \right)^3 \right] \dots (5)$$

여기서,  $A_{cr} = n A_s$ 이다.

$P_{cr}$  = 초기균열하중

2. 유효강성을 사용한 인장강성 (CEB Model)

식 (3)의  $(EA)_e$ 항은 철근의 면적  $A_s$ 와 철근  
 의 유효 탄성계수  $E_{sm}$ 의 항으로 표현할 수 있다.

$$P = E_{sm} A_s \epsilon_m \dots\dots\dots (6)$$

CEB Model<sup>12)</sup>(Fig. 2)에서, 평균 변형률과 유효

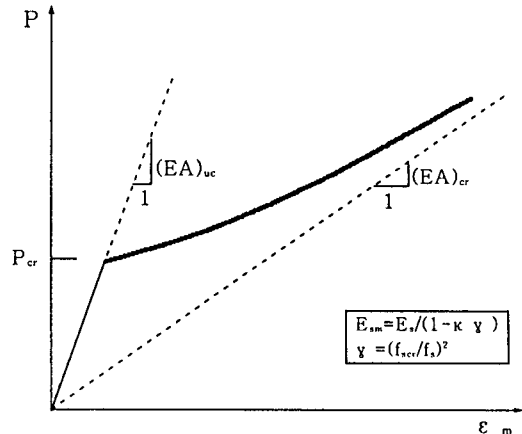


Fig. 2. Load-average strain model that account for tensile stiffening by CEB model

효 탄성계수는 다음과 같이 정의되었다.

$$\epsilon_m = \epsilon_s \left[ 1 - k \left( \frac{f_{scr}}{f_s} \right)^2 \right] \dots\dots\dots (7)$$

여기서,  $\epsilon_s$  : 철근의 변형률

$f_s$  :  $P/A_s$

$f_{scr}$  :  $P_{cr}/A_s$

$k$  : 1.0 ; 지속하중, 0.5 ; 반복하중

$$E_{sm} = \frac{E_s}{\left[ 1 - k \left( \frac{f_{scr}}{f_s} \right)^2 \right]} \dots\dots\dots (8)$$

3. Collins & Mitchell의 제안식<sup>3,4)</sup>

초기균열이 발생할 때 콘크리트의 평균응력  $f_c$   
 는 균열응력  $f_{cr}$ 과 같다. 균열이 형성된 후에는  
 균열이 발전됨에 따라 평균응력이 감소하게 된  
 다. Fig. 3에서  $N_c = A_c f_c$ 이므로  $f_c$ 는 다음과  
 같다.

$$f_c = \frac{a_1 a_2 f_{cr}}{1 + \sqrt{500} \epsilon_{cf}}, \quad \epsilon_{cf} > \epsilon_{cr} \dots\dots\dots (9)$$

여기서,

$\epsilon_{cf}$  ; 응력에 의해 발생된 콘크리트의 변형률

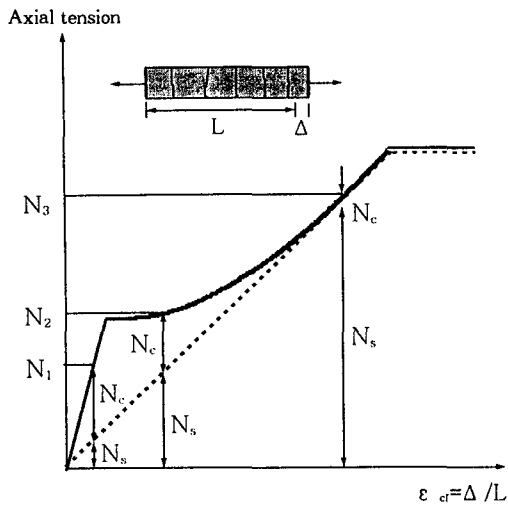


Fig. 3. Influence of tension in concrete on load-deformation response

$\epsilon_{cr}$  ; 균열이 발생 할때의 콘크리트의 변형률

$\alpha_1$  = 철근의 부착특성계수

$\alpha_1 = 1.0$  ; 이형철근

$\alpha_1 = 0.7$  ; PC강봉, PC강선, 부착된 PC연선

$\alpha_1 = 0$  ; 부착되지 않은 철근

$\alpha_2$  = 지속하중 또는 반복하중계수

$\alpha_2 = 1.0$  ; 단기단조

$\alpha_2 = 0.7$  ; 지속 또는 반복

### III. 실험

이 실험의 목적은 직접인장을 받는 철근콘크리트 부재에서 균열과 균열 사이의 콘크리트가 인장 강성에 미치는 영향을 고찰하고, 인장강성의 감소와 하중단계에 따른 균열형상과의 관계를 분

석하고자 하였다. 주요 실험 변수로는 콘크리트 강도, 철근의 강도(SD30, SD40), 철근의 직경(D22, D29)을 선택하여 실험을 수행하였다. 기초물성 실험은 굳지 않은 콘크리트의 특성으로 슬럼프시험과 압력법에 의한 공기함유량 시험을 KS F 2402, 2421의 방법에 의해 실시하였으며, 경화된 콘크리트의 특성으로는 콘크리트 압축강도, 할렐 인장강도 시험을 KS F 2405, 2423 방법에 의해 수행하였다.

#### 1. 재료의 시험 및 특성

##### 가. 콘크리트

이 연구에 사용된 시멘트는 국내 H사 제품인 1종 보통 포틀랜드 시멘트이며, 고강도 콘크리트 제조를 위해 혼화재로 실리카흄 10%를 혼입하였으며, 굵은 골재는 홍천 북방에서 생산된 쇄석 골재이며, 잔골재는 소양강에서 채취한 강모래를 사용하였다. 시험체 제작에 사용된 콘크리트는 2종류로서 배합설계 내용과 실험결과는 Table 1 및 Table 2와 같다. 콘크리트 타설시 온도는 23℃, 습도는 45%였으며 시험체는 살수양생을 하였다.

##### 나. 철근

철근실험에 사용된 철근은 국내산 SD30, SD40 이형철근으로서 직경은 D22와 D29이며, 인장시험을 실시하여 Table 3과 같은 결과를 얻었다.

#### 2. 부재 실험체의 제작

철근콘크리트 인장부재 단면의 크기는 Fig. 4에 나타난 바와 같이 철근이 D22인 경우는 122(B)×122(D)×1500(L)으로 하고 D29인 경우는 129(B)×129(D)×1500(L)로 하여 철근의

Table 1. Mix proportions of concretes

| Types | Strength level<br>(kgf/cm <sup>2</sup> ) | W/C<br>(%) | S/a<br>(%) | Water | Cement | Sand | Gravel | Silica | (unit : kgf/m <sup>3</sup> ) |             |
|-------|--|------------|------------|-------|--------|------|--------|--------|------------------------------|-------------|
|       |  |            |            |       |        |      |        |        | AE<br>(%)                    | S.P.<br>(%) |
| NSC   | 270                                      | 45         | 41.0       | 177   | 392    | 714  | 1072   | -      | 0.15                         | 0.5         |
| HSC   | 550                                      | 28         | 34.8       | 154   | 550    | 609  | 1142   | 55     | 0.04                         | 1.7         |

**Table 2. Mechanical properties of concretes**

| Classification                                   | NSC                 | HSC                 |
|--|---------------------|---------------------|
| Slump(cm)  | 12                  | 16                  |
| Air content(%)                                   | 3                   | 4                   |
| Compressive strength(kgf/cm <sup>2</sup> )       | 295                 | 532                 |
| Splitting tensile strength(kgf/cm <sup>2</sup> ) | 31.2                | 51.5                |
| Elastic modulus(kgf/cm <sup>2</sup> )            | 2.5×10 <sup>5</sup> | 3.3×10 <sup>5</sup> |

**Table 3. Properties of bar reinforcement**

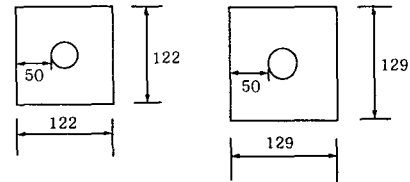
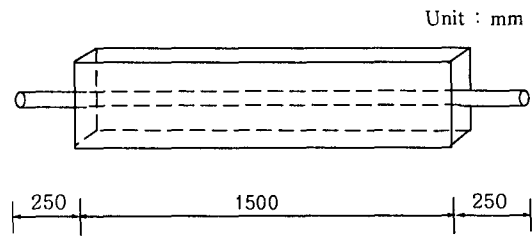
| Bar designation | Bar diameter (mm) | Nominal area (mm <sup>2</sup> ) | Yielding stress (kgf/mm <sup>2</sup> ) |
|-----------------|-------------------|---------------------------------|--|
| SD30            | D22               | 387.1                           | 30.50                                  |
|                 | D29               | 624.4                           | 33.20                                  |
| SD40            | D22               | 387.1                           | 42.00                                  |
|                 | D29               | 642.4                           | 40.56                                  |

**Table 4. Details of test specimens**

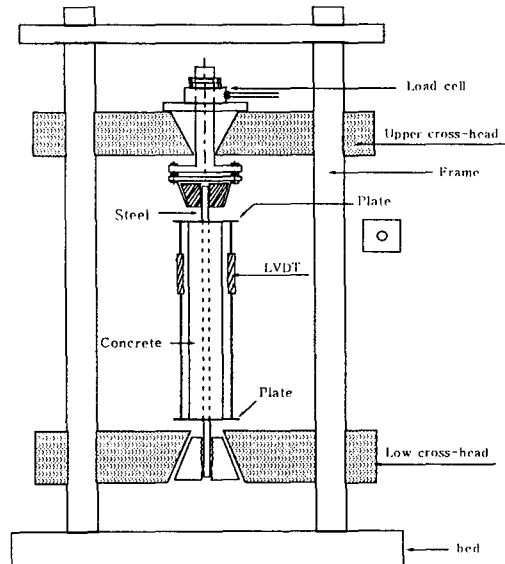
| Specimen series | Strength of concrete             | Bar designation                  | Bar diameter |     |
|-----------------|----------------------------------|----------------------------------|--------------|-----|
| N-SD30-D22-1    | NSC<br>(200kgf/cm <sup>2</sup> ) | SD30                             | D22          |     |
| N-SD30-D22-2    |                                  |                                  | D29          |     |
| N-SD30-D29-1    |                                  | SD40                             | D22          |     |
| N-SD30-D29-2    |                                  |                                  | D29          |     |
| N-SD40-D22-1    |                                  | HSC<br>(600kgf/cm <sup>2</sup> ) | SD30         | D22 |
| N-SD40-D22-2    |                                  |                                  |              | D29 |
| N-SD40-D29-1    |                                  |                                  | SD40         | D22 |
| N-SD40-D29-2    |                                  |                                  |              | D29 |

주) N, H : 콘크리트 강도  
SD30, 40 : 철근 강도  
D22, 29 : 철근 직경

직경에 관계없이 콘크리트 피복두께를 50mm로 일정하게 유지하였다. 따라서, 부재의 철근비는 철근이 D22, D29인 경우 각각 0.026, 0.0386이다. 실험의 주변수를 콘크리트 강도, 철근의 강



**Fig. 4. Reinforced concrete specimens**



**Fig. 5. Setting of load cell and specimen**

도 및 직경으로 하였으며 실험체의 계획내용은 Table 4와 같다.

### 3. 재하 및 측정방법

본 실험에서는 200t 용량의 UTM을 사용하여 하중제어로 인장실험을 수행하였으며, 로드셀을 이용하기 위하여 시험체 고정용 장치를 주문 제작하였다. 실험은 철근의 인장실험과 철근콘크리

트 부재의 직접 인장실험으로 수행되었다. 철근의 인장실험은 철근콘크리트 부재의 콘크리트 변위 측정과 동일한 길이의 변위를 측정하였다. 철근콘크리트 부재의 인장실험은 콘크리트만의 변위를 측정하기 위하여 콘크리트 양단에 LVDT 거치용 판을 예폭시로 부착하여 변위계를 설치하였다. 시험체에 하중을 가했을 때 로드셀을 통하여 전달되는 하중의 크기와 자동 변위계 및 변형계이지에서 감응되는 변위는 데이터 로거를 이용하여 측정하였다. Fig. 5는 철근콘크리트 부재의 실험용 장치도를 나타낸 것이다.

#### IV. 실험결과 및 고찰

##### 1. 철근콘크리트 부재의 인장거동 특성

철근콘크리트 부재의 인장거동을 분석하기 위해 대표적으로 부재의 인장거동 특성을 나타내는 H-SD40-D22 시험체의 실험결과를 하중-변위의 관계로서 Fig. 6에 나타내었다. 실선은 철근콘크리트 부재의 거동이며, 점선은 철근(bare bar)만의 거동을 나타낸 것이다. 철근콘크리트 부재의 인장거동은 크게 세 영역으로 다음과 같이 구

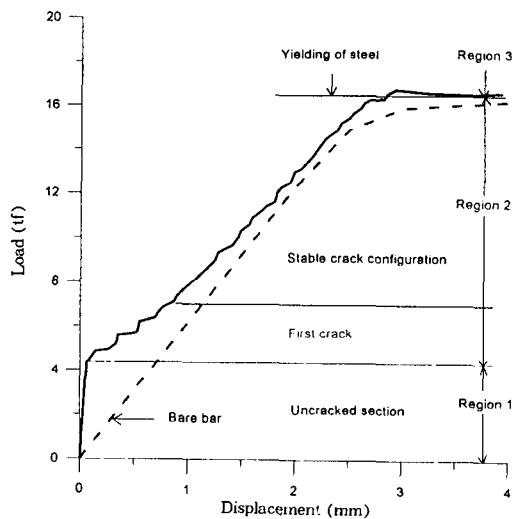


Fig. 6. Typical load-displacement relationship (H-SD40-D22)

분할 수 있다.

첫번째 영역은 균열이 발생하지 않는 부분으로서 선탄성 거동을 하며, 두번째 영역에서 균열이 발생되면서 콘크리트는 연화(softening)가 되며, 철근의 거동과 근접하게 된다. 이때 콘크리트의 균열과 균열사이에 인장강성이 존재하게 되며, 균열이 증가할수록 콘크리트의 인장강성이 감소하게 되어 철근의 거동에 근접하게 되는 것이다. 세번째 영역은 콘크리트의 인장강성이 소멸되어 철근의 거동과 동일하게 되면서 철근이 항복하게 된다. 이와 같이 철근콘크리트 부재의 인장거동 특성은 철근의 거동특성과는 커다란 차이를 보이며, 콘크리트에 균열 발생 단계에 따라서 다르게 거동한다.

##### 2. 철근이 인장강성에 미치는 영향

철근콘크리트의 직접 인장시험에 대한 하중-변위의 관계를 보면 콘크리트의 인장강도가 철근에 비해 현저하게 작기 때문에 전체적으로 철근의 하중-변위 관계와 유사하게 나타난다. 그러나 콘크리트에 균열이 발생하기 전까지는 철근콘크리트의 하중이 급격히 증가하나 변위가 0.03mm

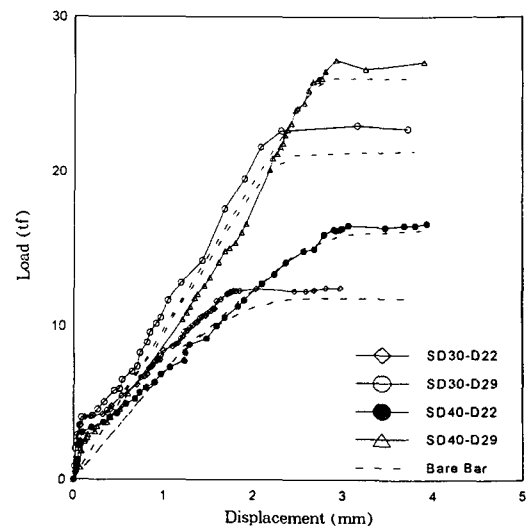


Fig. 7. Load-elongation relationship of NSC members

이상이 되면 콘크리트에 균열이 발생하고 응력이 감소하게 된다. 콘크리트의 잔여 인장응력이 모두 소멸하게 되면 철근콘크리트는 결국 철근의 거동과 유사하게 된다. Fig. 7은 NSC에서 철근의 직경에 따른 직접인장시험 결과이다. 철근콘크리트의 거동은 콘크리트가 균열이 발생하기 전에는 탄성적인 거동을 나타내고 있으나 균열이 발생한 시점부터는 콘크리트의 연화현상이 나타나면서 철근의 거동과 전체적으로 유사한 거동을 보인다. 일반적으로 콘크리트의 인장력은 균열이 발생한 후에는 무시해 왔는데 실험결과에 의하면 초기 균열이 발생한 이후 균열사이의 인장응력에 의해 지배되며 균열의 진전에 따라 인장응력은 감소하여 철근만의 거동과 일치하는 경향을 나타내고 있다.

Fig. 8은 HSC의 철근직경에 따른 인장강성 영향을 하중-변위의 관계로 나타낸 것이다. Fig. 9는 동일한 콘크리트 강도를 갖는 SD30, SD40에 대한 철근 D22의 인장강성 영향을 나타낸 것이고, Fig. 10은 철근의 항복강도에 따른 인장강성의 영향을 나타낸 것이다. 철근 직경이 크고 항복강도가 높을수록 균열후 급격히 인장응력이 감

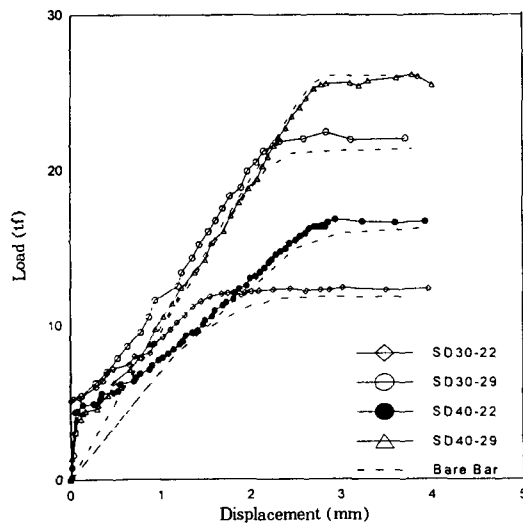


Fig. 8. Load-elongation relationship of HSC members

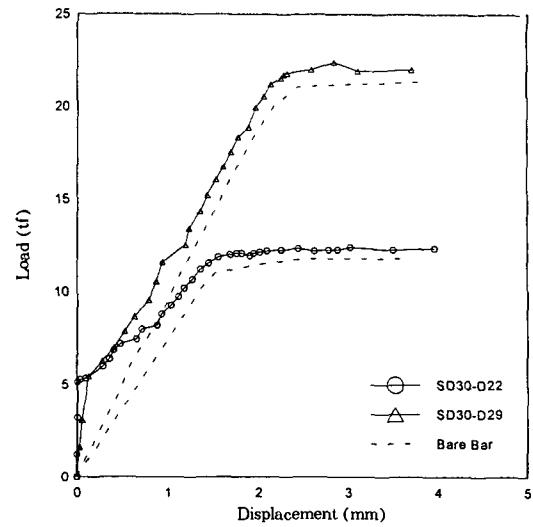


Fig. 9. Tension responses of specimens H-SD30-D22 & H-SD30-D29

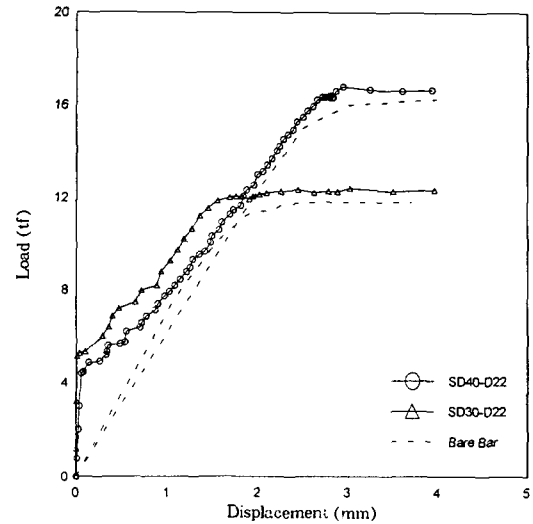


Fig. 10. Tension responses of specimens H-SD30-D22 & H-SD40-D22

소하여 철근의 거동과 유사함을 알 수 있다.

### 3. 콘크리트 강도가 인장강성에 미치는 영향

동일한 철근에 대하여 콘크리트 부재의 인장강성에 대한 영향은 콘크리트의 인장강도에 지배를 받는다. Fig. 11~12는 철근콘크리트 부재에 있

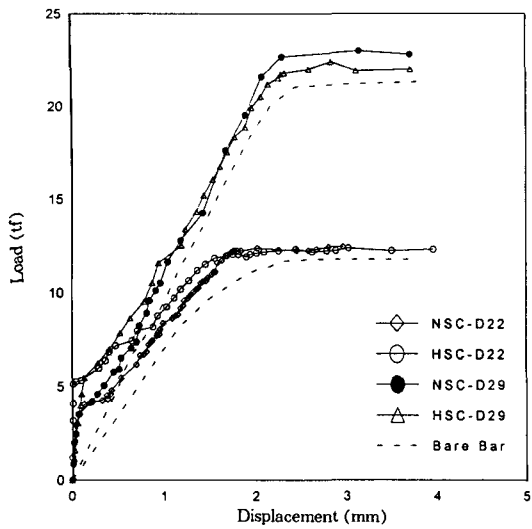


Fig. 11. Effect of concrete strength into tension stiffening (SD30-D22, D29)

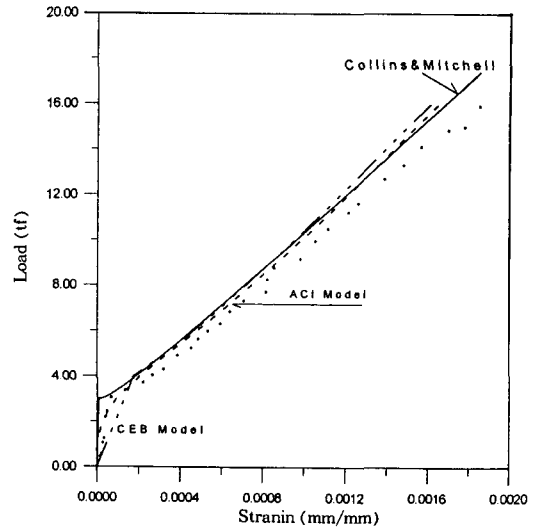


Fig. 13. Comparison of test results and code (N-SD40-D22)

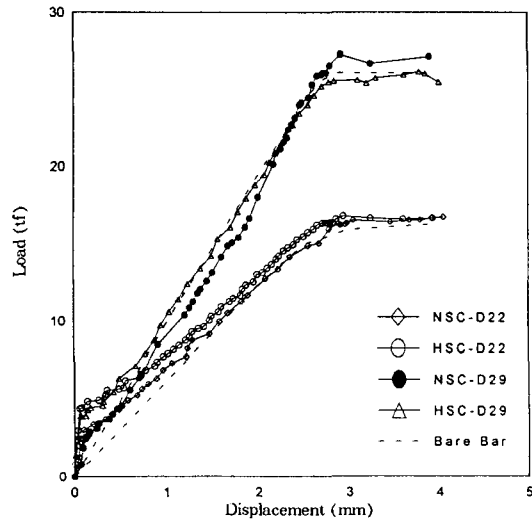


Fig. 12. Effect of concrete strength into tension stiffening (SD40-D22, D29)

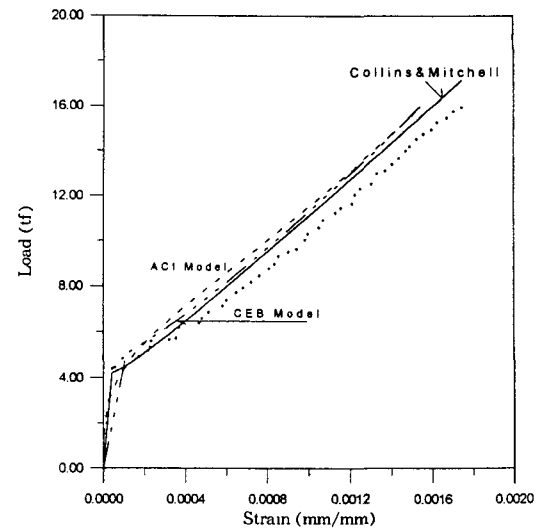


Fig. 14. Comparison of test result and code (H-SD40-D22)

어서 콘크리트의 강도에 따른 인장강성의 영향을 나타낸 것이다. 균열 후 콘크리트 파괴까지의 거동은 철근에 거의 종속적이지만 균열이 발생하기 전의 거동은 하중이 콘크리트의 인장 강도만큼 증가하는 것을 알 수 있다. 저강도 콘크리트의

거동은 균열 발생 후에 철근의 거동에 서서히 접근하지만 고강도일수록 철근의 거동에 빠르게 접근함을 알 수 있다. 즉 콘크리트가 고강도일수록 취성파괴에 의해 인장강성 효과가 감소한다는 것을 나타낸다.



4. 인장강성 제안식과 실험결과 비교

실험결과와 콘크리트 유효면적을 사용한 ACI 모델, 유효강성을 사용한 CEB 모델, 균열후 콘크리트의 평균 응력을 이용한 Collins & Mitchell의 제안식에 대하여 철근콘크리트 부재의 인장강성을 비교하였다. Fig. 13~14는 직경 22mm인

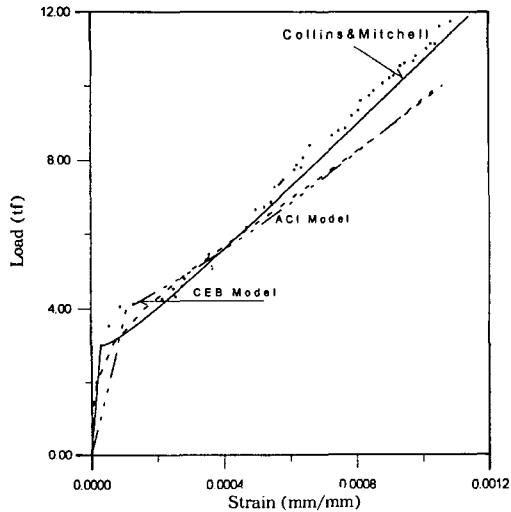


Fig. 15. Comparison of test results and code (N-SD30-D22)

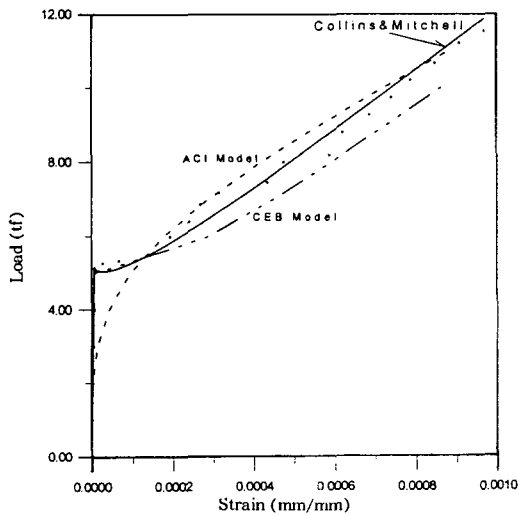


Fig. 16. Comparison of test result and code (H-SD30-D22)

SD40 철근을 사용한 철근콘크리트 부재의 콘크리트 강도에 따른 실험결과와 제안식을 나타내었고, Fig. 15~16은 SD30인 경우의 실험결과와 제안식을 비교한 것이다.

SD40인 경우는 콘크리트 강도에 관계없이 제안식의 값이 실험값 보다 크게 나타났고 하중 증가량이 실험값과 거의 일치하고 있지만 SD30인 경우에는 하중의 증가량이 실험값보다 작게 나타났으며 특히 Fig. 15에서는 ACI모델이나 CEB 모델보다는 Collins & Mitchell 모델이 더 실험값과 유사하였다.

Fig. 15~16을 비교하여 살펴본 결과 Collins & Mitchell 모델은 콘크리트 강도에 관계없이 실험값과 거의 유사한 결과를 보이지만 ACI모델이나 CEB모델은 낮은 하중단계에서는 비교적 실험값과 일치하나 하중이 증가함에 따라 실험값과는 차이를 나타내었다. 그러므로 이 실험에서는 Collins & Mitchell 모델이 콘크리트 강도와 철근의 강도에 관계없이 실험값과 유사하였고, ACI모델이나 CEB모델의 경우에는 SD40에서 비교적 유사한 결과를 얻었으나, SD30에서는 콘크리트의 강도가 높은 경우에만 유사한 결과를 나타내었다.

V. 결 론

철근콘크리트 직접인장 부재의 인장강성의 효과를 구명하고자 콘크리트 강도, 철근의 강도, 철근의 직경을 주변수로 하여 콘크리트 내의 철근에 대한 직접인장 실험을 실시하고 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 철근콘크리트 인장부재의 거동은 철근만의 거동특성과는 큰 차이를 보이며 콘크리트의 균열 발생 단계에 따라서 다르게 거동한다.
2. 철근콘크리트 부재의 인장강성 효과는 철근의 직경이 증가할수록, 철근의 항복강도가 높을수록 그리고 콘크리트의 강도가 높을수록 균열후 철근만의 거동에 빠르게 접근하여 인장강성이 급

격히 감소하였다. 이는 콘크리트가 철근콘크리트 합성부재에 미치는 강성과 콘크리트의 취성 때문인 것으로 판단된다.

3. Collins & Mitchell 제안식이 콘크리트 강도와 철근의 강도에 관계없이 실험값과 유사하였고, ACI모델이나 CEB모델의 경우에는 철근과 콘크리트의 종류에 따라 차이를 보였다.

4. 철근콘크리트 부재에서 인장강성 효과는 균열발생 전후에 가장 크게 나타나며, 파괴하중에도달할수록 무시되므로 항복하중 전후의 정확한 해석을 위해서는 인장강성 효과를 고려해야 한다.

### 참 고 문 헌

1. ACI Committee 224.(1992), Control of Cracking in Concrete Structures, 224R-90, ACI Manual of Concrete Practice Part 3, Use of Concrete in Building-Design, Specifications, and Related topics, ACI Publication
2. ACI Committee 224.(1996), Cracking of Concrete Members in Direct Tension, 224.2R-92, ACI Manual of Concrete Practice Part 3, Use of Concrete in Building-Design, Specifications, and Related topics, ACI Publication
3. Abrishami and Denis Mitchell.(1996), Influence of Splitting Cracks on Tension Stiffening, ACI Structural Journal, pp. 703-710.
4. Collins, M.P. and Mitchell, D.(1991), Prestressed Concrete Structures, Prentice Hall, pp.124-167.
5. Floegl, H., and Mang, H. A.(1982), Tension Stiffening Concept based on bond slip, J. Struct. Div., ASCE, 108(12), pp. 2681-2701.
6. Gopalaratnam V. S. and Shah, S. P.(1985), Softening Response of Plain Concrete in Direct Tension, ACI Journal, Vol. 82, No. 3, pp. 310-323.
7. Guo, Z. H., and Ahang, Z. Q.(1987), Investigation of Complete Stress-Deformation Curves for Concrete in Tension, ACI Material J., pp. 279-285.
8. Houde, J., and Mirza, M. S.(1972), A Study of Bond Stress-Slip Relationships in Reinforced Concrete, Structural Concrete Series No. 72-8, Dept. of Civil Eng. and Applied Mechanics, McGill University, Montreal, pp. 124.
9. Tanner, J. A.(1971), An Experimental Determination of Bond Slip in Reinforced Concrete, M. S. Thesis, Cornell University, Ithaca, N. Y.
10. ACI Committee 318 (1963), Building Code Requirements for Reinforced Concrete, ACI, Detroit.
11. CEB-FIP Model Code (1993), Comite Euro-International du Beton, Bulletin D'Information, Thomas Telford Services Ltd. pp. 203-205.