

고강도콘크리트의 부착특성에 관한 연구

A Study on the Bond Properties of High Strength Concrete



홍건호*
Hong, G.H.



신영수**
Shin, Y.S.



정일영***
Chung, I.Y.

요 약

고강도콘크리트에 매립된 철근의 부착특성을 실험적으로 규명하기 위하여 80개의 보단부형 시험체에 대한 부착실험을 수행하였다. 실험의 변수로는 콘크리트의 압축강도를 주변수로 설정하고 그외 부착특성에 영향을 미치는 여러 요인중 부착길이, 피복두께, 철근 직경 등을 변수로 설정하여 각 변수의 영향을 콘크리트의 압축강도와 비교하도록 하였다.

본 연구의 주요 결과를 살펴보면 고강도콘크리트에서의 부착강도는 부착길이의 증가에 직접적으로 비례하지는 않는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 콘크리트의 강도가 증대함에 따라 더욱 큰 영향을 미치게 되는데 고강도콘크리트에서는 부착길이를 증가시키더라도 철근과의 부착강도는 상당히 제한된 증가를 나타내는데 불과하였다. 한편 부착강도와 피복두께와의 관계는 콘크리트의 강도에 관계없이 선형으로 비례하는 것으로 나타났으며, 특히 콘크리트의 강도가 증가함에 따라 그 비례상수는 오히려 더 증가함을 알 수 있었다.

Abstract

The purpose of this study is to find experimentally bond properties of deformed bars in high strength concrete. Bond properties of deformed bars in high strength concrete are

* 정회원, 포항산업과학연구원, 공학박사

** 정회원, 이화여대 건축학과 교수, 공학박사

*** 정회원, 서울대 건축학과 교수, 공학박사

• 본 논문에 대한 토의를 1996년 12월 30일까지 학회로 보내주시면 1997년 2월호에 토의 회답을 게재하겠습니다.

tested in tensile stress state. Eighty beam-end specimens are used for this experiment. Concrete compressive strength is used as main experimental variable, in addition a few variables affecting bond properties are used : bond length, cover thickness and bar diameter.

The principal results obtained from this study are as follows :

- Bond strength is not proportionate to bond length in high strength concrete. The rate of bond strength increase followed by bond length rapidly diminish according to concrete strength increase. The reason is analyzed in FEM analysis that bond stress is not uniformly distributed in high strength concrete and concentrate on loading area.

- Bond strength is linearly proportionate to cover thickness without regard to concrete strength. Especially the rate of strength increase is gradually increased by concrete strength.

Keywords : bond strength, high strength concrete, development length, bond stress, cover

1. 서 론

철근과 콘크리트가 하나의 구조재료로서 일체성 거동을 하기 위해서는 두 재료 사이의 부착파괴를 방지해야 하며, 이를 위해서는 부재내 철근의 부착 강도 성능을 명확히 규명할 필요가 있다. 최근 초고층, 무지주 대공간 등 구조물 형태의 다양화에 따라 그 필요성이 급증하고 있는 고강도콘크리트의 경우에는 아직까지 그 특성의 규명이 명확치 않은 상태로서 이를 실제 구조물에 응용하기 위해서는 많은 연구자료를 필요로 하고 있다. 따라서 본 연구에서는 고강도콘크리트를 실제 구조물에 응용하기 위해서 필요한 여러가지의 특성중 철근콘크리트 부재로서의 활용을 위한 부착특성의 규명을 그 목적으로 하였다.

기존의 연구결과에 따르면 부착파괴는 콘크리트의 할열인장파괴에 기인하게 되며, 따라서 부착력은 콘크리트 압축강도의 제곱근에 비례하는 것으로 알려져 있다. 그러나, 이는 보통강도의 콘크리트에 대한 실험결과이며, Dewar 등에 의하면 콘크리트의 압축강도가 증가함에 따른 콘크리트의 할열인장 강도의 증가비율이 압축강도의 증가비율에 미치지 못하게 된다.¹⁾ 또한, Ghosh 등의 실험결과에 의하면²⁾ 부착길이를 따른 응력의 분포가 고강도콘크리트의 경우에는 보통강도의 경우에서와 같이 균등하

게 분포하지 않으며, 가력부분에 응력이 집중되는 현상이 나타났다. 이와같은 연구결과를 종합하여 볼 때 고강도콘크리트에서의 부착설계를 위해서는 콘크리트의 강도증대에 따른 부착거동의 변화에 대한 명확한 검증이 필요하다고 볼 수 있다.

2. 실험계획

2.1 시험체 계획

철근과 콘크리트 사이의 부착강도를 측정하기 위한 일반적인 실험방법으로서 기존의 ASTM 규준에 명시된 Pullout Test나 이 시험방법을 수정한 Tensile Pullout Specimen 이라 불리는 시험체가 사용될 수 있다. 또한, 부재내의 휨인장균열이 부재의 부착거동에 상당한 영향을 미치는 것으로 판명됨에 따라 이러한 휨인장의 거동을 연구하기 위해 보형태의 시험체가 개발되었으며, 이러한 보의 시험방법으로는 National Bureau of Standards 및 University of Texas at Austin의 보 시험체 등을 들 수 있다.³⁾ 본 실험에서는 부재의 부착거동을 보다 실제에 근접하게 관찰할 수 있는 보형태의 시험체를 사용하되 그 크기와 비용을 줄이기 위한 보단부형 시험체를 사용하였다.⁵⁾(그림 1)

2.2 변수 계획

본 연구에서는 부착강도에 영향을 미치는 수많은

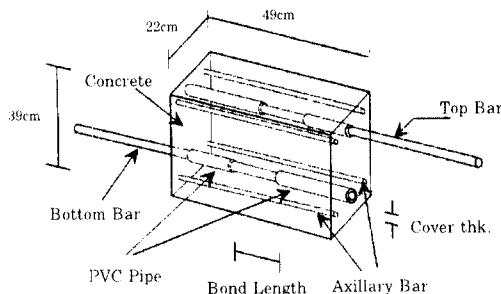
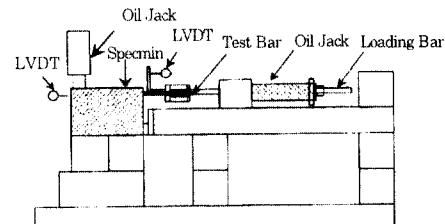


Fig. 1 Beam-end specimen

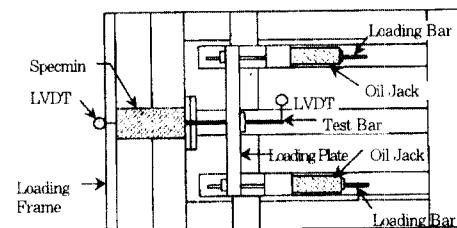
인자 중 콘크리트의 압축강도를 주변수로 선정하고 현행 ACI 규준의 정착길이 산정시에 고려하게 되는 인자들을 중심으로 하여 고강도콘크리트 부재에서의 변화를 관찰할 수 있도록 구성하였다. 일차적으로 부착강도에 영향을 미치는 부착길이, 철근직경, 피복두께의 영향을 고려하도록 하였다. 연구의 주변수인 콘크리트의 강도는 국내 레미콘 생산설비 및 품질관리의 수준을 감안하여 단기간 내에 실용화가 가능하다고 판단되는 $800\text{kg}/\text{cm}^2$ 를 최대강도로 하여 이를 3단계로 나누었으며 철근은 3가지 직경의 이형철근을 사용하였고, 콘크리트의 할열강도에 직접적인 관계가 있는 콘크리트의 피복두께는 1, 2, $3d_b$ 에 대하여 실험하였다. 철근과 콘크리트의 부착길이는 시험체의 제작조건 및 철근의 항복강도를 고려하여 6, 10, $15d_b$ 의 3가지로 변화시켜 실제응력분포의 균등성 정도를 실험하였다. 이상과 같은 변수계획에 의거하여 80개의 시험체를 제작·실험하도록 하였으며, 그 내용을 요약하여 보면 표 1과 같다.

Table 1 Test variable (Top & bottom Bar)

	Concrete Compressive Strength (kg/cm^2)	Bar Diameter	Bond Length	Cover thickness
Variable	240(300)	D13	$3d_b$	$1d_b$
	600	D16	$10d_b$	$2d_b$
	800	D19	$15d_b$	$3d_b$



(a) Elevation



(b) Plan

Fig. 2 Test apparatus

3. 재하 및 측정방법

본 실험에서 실시한 재하방법은 그림 2(Brett mann et al. 1984)와 같다. 하중은 30 ton 용량의 중공 유압식 재키 2개를 사용하여 가력하였으며, 이 하중은 직경 2.5cm의 냉간가공된 강봉과 재하판을 통하여 철근에 인장력을 작용시키게 된다. 이 때 재하판과 실험장치사이에서 발생할 수 있는 마찰력을 최소화시키기 위하여 재하판과 실험장치 사이에는 화학섬유질의 패드를 사용하여 마찰효과를 최소화 하도록 하였다. 실험시 철근의 미끄러짐량은 하중단 및 자유단 등 2개소에서 측정하였으며, 시험체의 하중-미끄러짐의 관계는 자유단의 변위를 사용하였다. 콘크리트 압축강도의 측정은 시험체 타설시 제작하여 시험체와 동일한 조건에서 양생된 실린더형 공시체를 사용하였으며, 공시체의 캐핑시 고강도콘크리트에 대하여는 공시체의 상하부를 절삭가공함으로써 캐핑방법에 의한 공시체 강도의 변화를 최소화 하도록 하였다.

4. 실험결과 및 고찰

4.1 콘크리트의 강도증대에 따른 부착강도의 변화

철근콘크리트 부재에서의 부착파괴는 주로 콘크리트의 할열인장파괴나 인발파괴의 형태로 나타나게 된다. 본 연구에서는 고강도콘크리트 부재에서의 부착 및 정착길이 산정의 기초자료를 확보하기 위하여 할열인장파괴를 유도하여 콘크리트의 부착강도를 측정하도록 하였다. 본 연구의 실험결과 콘크리트의 강도증대에 따른 부착강도의 변화는 다음의 그림 3~7 및 표 2와 같다. 그림 3에서 콘크리트의 압축강도에 대한 극한 부착강도 변화의 평균값은 대체로 콘크리트의 강도가 증가함에 따라 그 제곱근에 비례하여 증가하는 것으로 볼 수 있다. 한편, 콘크리트 압축강도 233kg/cm^2 시의 부착강도를 기준으로 콘크리트 강도증대에 따른 부착강도 발현비를 비교하여 보면 그림 4와 같다. 그림에서 콘크리트 퍼복두께의 변화나 철근의 직경을 변화시켰을 경우 부착강도의 증가는 대체로 압축강도의 제곱근에 비례하게 되나, 부착길이가 증가할 경우에는 동일 부착길이를 갖는 보통강도의 콘크리트에 비하여 그 강도의 증가경향이 두드러지게 감소하고 있으며, 그 값을 압축강도의 세제곱근에도 훨씬 미치지 못하는 것으로 나타났다. 단위압축강도에 대한 부착강도의 비율을 도식하여 보면 그림 5와 같다. 그림과 같이 단위압축강도에 대한 부착강도의 발현비는 콘크리트의 압축강도가 증가함에 따라 대체로 지수함수의 형태로 감소함을 알 수 있다. 따라서, 제한된 부착길이를 갖는 경우에 대하여 극한부착강도의 값을 콘크리트 압축강도의 제곱근으로 나누 값을 콘크리트의 강도와 비교하여 보면 그림 6과 같이 콘크리트의 강도변화에 무관하게 거의 일정한 값을 나타내게 됨을 알 수 있다. 한편, 최대부착용력도의 값을 콘크리트 압축강도의 제곱근으로 나누어 이를 콘크리트의 강도와 비교하여 보면 그림 7과 같다. 그림에서 부착길이 $6d_b$ 의 경우에는 그림 6에서와 같이 콘크리트의 강도에 거의 무관한 일정한 값을 나타내고 있으나, 부착길이가 증가함에 따라 점차 그 값이 감소하게 됨을 알 수 있다. 이상의

결과로부터 제한된 부착길이를 갖는 철근과 콘크리트 사이의 부착강도는 콘크리트 강도의 제곱근에 비례한다고 가정할 수 있으며, 이후 부착길이의 증가에 따른 부착강도의 증가량은 콘크리트의 강도가 증가함에 따라 감소하게 됨을 알 수 있다.

본 연구에서 계획한 변수별로 실험의 결과를 요

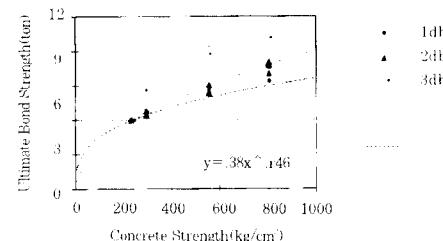
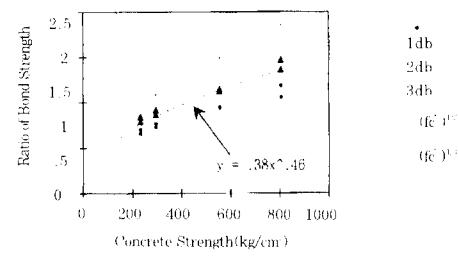
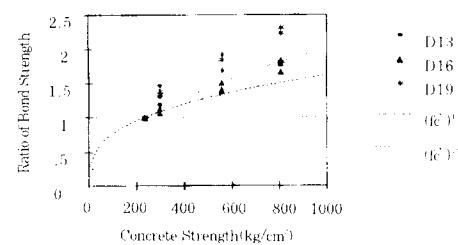


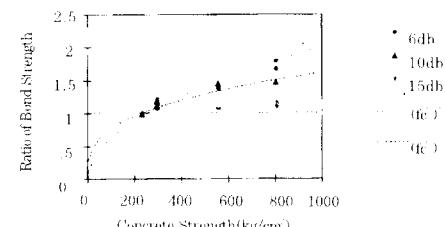
Fig. 3 Bond strength by concrete strength



(a) By cover thickness



(b) By bar diameter



(c) By bond length

Fig. 4 Bond strength ratio (by concrete strength)

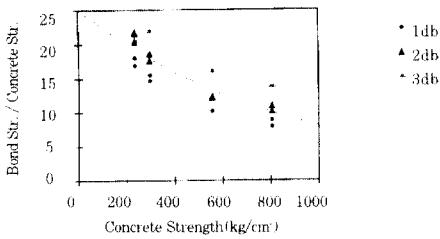


Fig. 5 Bond strength ratio by unit strength

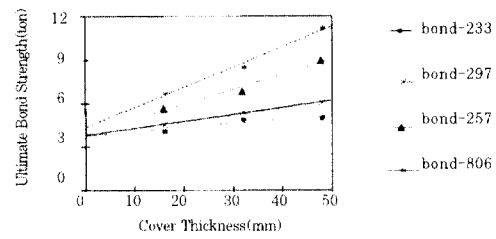


Fig. 8 Ultimate bond strength by cover thickness

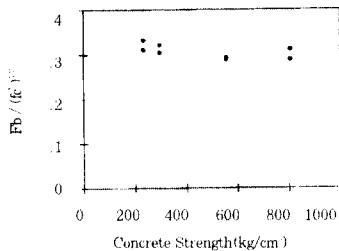


Fig. 6 Relationship between $F_b / (f'_c)^{0.5}$ and strength

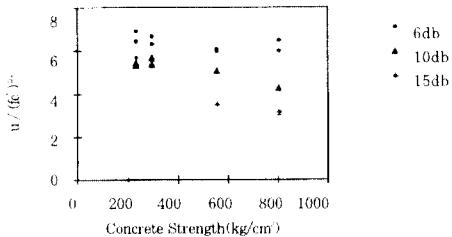


Fig. 7 Relationship between V_b / f'_c and strength

약·분석하여 보면 다음과 같다.

(1) 피복두께의 변화에 따른 부착강도

피복두께에 따른 부착강도의 변화를 관찰하기 위하여 본 연구에서는 피복두께를 $1 \sim 3d_b$ 로 변화시켜 그 결과를 관찰하였다.

콘크리트 압축강도 $233\text{kg}/\text{cm}^2$ 의 경우에 대하여 부착강도를 분석하여 보면 피복두께 $2d_b$ 를 기준으로 볼 때 $1d_b$ 의 경우에는 하부근에서 약 83%, 상부근에서는 약 70% 정도의 값을 나타내고 있다. 반면에 $3d_b$ 의 경우에는 상·하부근에서 각각 106%, 101%의 부착강도를 나타낸다. 압축강도 $297\text{kg}/\text{cm}^2$ 의 경우에는 피복두께 $2d_b$ 를 기준으로 할 때 $1d_b$ 의

경우에는 하부근에서 약 83%로 $233\text{kg}/\text{cm}^2$ 의 경우와 거의 동일하게 나타나고 있으나, 상부근에서는 약 87%로 $233\text{kg}/\text{cm}^2$ 의 경우보다 크게 나타나고 있다. 반면에 피복두께 $3d_b$ 의 경우에는 하부근과 상부근에서 각각 1.11, 1.21배의 값을 나타내고 있다. 한편 콘크리트의 압축강도 $557\text{kg}/\text{cm}^2$ 및 $806\text{kg}/\text{cm}^2$ 의 경우에는 피복두께 $1 d_b$ 의 경우 하부근에서 각각 83%, 82%의 값을 나타내고 있으며, 피복두께 $3d_b$ 의 경우에는 하부근에서 모두 131%의 강도를 나타내어 보통강도의 경우 보다 피복두께의 영향이 더 크게 나타남을 알 수 있다. 이러한 실험의 결과를 그림으로 도식하여 보면 그림 8과 같다. 그림 8에서 피복두께와 극한부착강도와의 관계는 대체로 선형으로 비례한다고 판단할 수 있다. 이때 그림 8에서의 콘크리트의 강도에 따른 직선의 기울기에서 알 수 있듯이 피복두께에 따른 극한부착강도의 증가는 콘크리트의 압축강도가 증가함에 따라 더욱 큰 영향을 받게 됨을 알 수 있다.

(2) 부착길이의 변화에 따른 부착강도

현재 사용되고 있는 규준에서는 전체 부착길이를 통하여 그 부착용력도가 동일하다고 가정하여 소요 부착길이를 계산하도록 규정하고 있다. 이러한 가정에 대한 검증과 실제 부착길이를 연장시켰을 경우의 부착강도의 변화를 관찰하기 위하여 본 연구에서는 기본 부착길이를 $6d_b$ 로 고정하고 이를 10, $15d_b$ 로 변화시켰을 경우의 부착강도의 변화를 관찰하였다. 표 2에서 콘크리트의 압축강도 $233\text{kg}/\text{cm}^2$ 의 경우에는 부착길이를 167%, 250%로 연장함에 따라 하부근에서는 135%, 190%, 상부근에서는 각각 138%, 221%의 강도증진을 나타내었으며, 압축강도 $297\text{kg}/\text{cm}^2$ 의 경우에는 하부근에서

는 각각 142%, 210%, 상부근에서는 각각 174%, 212%의 강도 증진을 나타내었다. 따라서, 보통강도의 경우 상·하부근의 차이는 약간 있으나 평균적으로 부착길이의 연장에 따라 약 0.8 정도의 비례상수를 가지며 거의 선형으로 비례하여 부착강도의 증진이 있다고 볼 수 있다. 한편, 콘크리트의 강도 557kg/cm²의 경우에는 그 강도의 증진이 하부근에서는 각각 141%, 147%, 상부근에서는 각각 126%, 157%로 나타났으며, 806kg/cm²의 경우 하부근에서는 각각 115%, 126%, 상부근에서는 각각 127%, 132%로 나타나 보통강도의 경우보다 부착강도의 증가율이 상당히 감소함을 알 수 있었다. 이러한 실험결과를 그림으로 도식하여 보면 다음의 그림 9~10과 같다. 그림 9에서 나타나듯이 부착강도의 증가 기울기는 콘크리트의 강도가 증가함에 따라 점차로 감소하게 된다. 또한 그림 10에서 단위부착길이에 대한 부착강도의 비율은 콘크리트의 압축강도가 높을 수록 부착길이에 따른 차이가 많이 나타남을 알 수 있다.

(3) 철근의 직경에 따른 부착강도

철근과 콘크리트 사이의 부착에 있어 철근의 직경은 부착길이와 더불어 부착면적의 변화를 가져오게 된다. 본 연구에서는 이러한 철근의 직경효과를

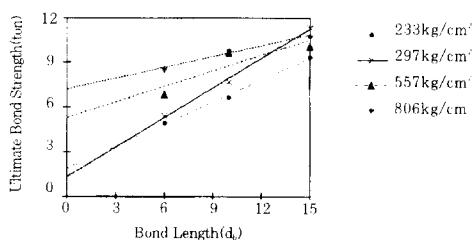


Fig. 9 Ultimate bond strength by bond length

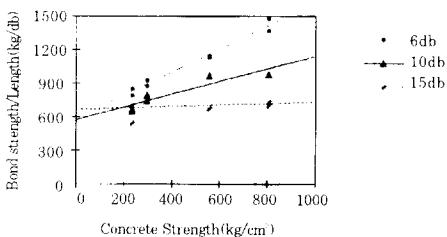


Fig. 10 Bond strength ratio by unit length

관찰하기 위하여 D13, D16, D19의 3가지 종류의 이형철근을 사용하여 그 부착강도의 변화를 관찰하고자 하였다. 표에서 콘크리트의 압축강도 233 kg/cm²의 경우에는 철근의 직경을 변화시킴에 따라 D16을 기준으로 볼 때 D13에서는 약 54%의 부

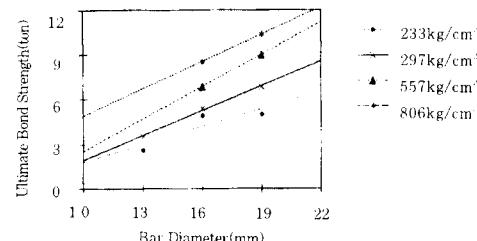


Fig. 11 Ultimate bond strength by bar diameter

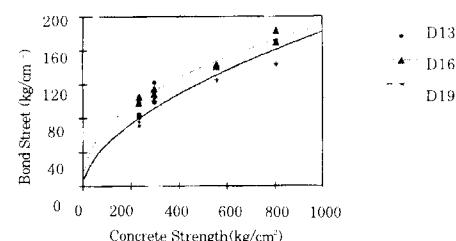
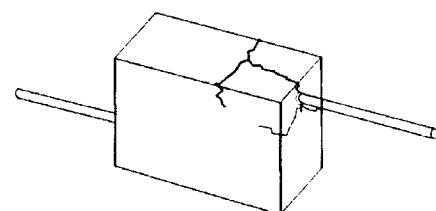
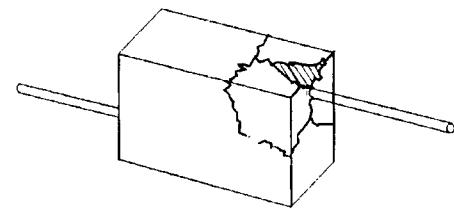


Fig. 12 Bond stress by bar diameter



(a) Normal strength concrete specimen



(b) High strength concrete specimen

Fig. 13 Fracture mode of specimen

착강도를 나타내어 비교적 큰 차이를 나타내었으나, D19의 경우에는 102~108%로서 거의 강도변화가 관찰되지 못하였다. 압축강도 297kg/cm^2 의 경우에는 철근의 직경을 변화시킴에 따라 D16을 기준으로 볼 때 D13에서는 65~76%의 부착강도를 나타내었고, D19의 경우에는 120~126%로서 철근의 직경이 변화함에 따라 거의 선형으로 강도증진이 나타났다. 또한, 콘크리트의 강도 557kg/cm^2 및 806kg/cm^2 의 경우에는 철근의 직경 D16과 D19에 대하여 실험한 결과 그 강도의 증진이 각각 132~133%, 121~132%로 나타나 역시 선형의 강도증진 효과가 관찰되었다. 철근의 직경변화에 따른 부착강도의 변화 및 부착응력도의 변화를 도식하여 보면 그림 11, 12와 같다. 그림 11로 부터 철근의 직경변화는 0.55 정도의 기울기를 가지고 거의 선형으로 부착강도의 증진을 가져오며, 이러한 결과는 콘크리트의 강도 806kg/cm^2 까지는 압축강도에 거의 관계가 없다고 볼 수 있다. 그림 12의 부착응력도의 변화를 보더라도 D19의 부착응력도는 D16인 경우의 부착응력도 보다 전반적으로 약간 적게 나타날 뿐 콘크리트의 강도변화에 따른 변화양상은 거의 동일함을 알 수 있다.

4.2 콘크리트의 강도증대에 따른 파괴양상

고강도콘크리트의 단점중의 하나로서 대표적인 것으로는 그 취성적인 파괴를 꼽을 수 있다. 이러한 취성적인 파괴는 건축구조물에 있어 상당히 불리한 여건을 조성할 수 있으므로 이에 대한 고려가 반드시 필요하게 된다. 본 연구에서 사용한 부착시험체의 경우 시험체의 전체적인 파괴형태는 철근주변 콘크리트의 할열파괴에 의한 부착파괴의 형태로 나타났다. 이러한 부착파괴의 형태는 그림 13과 같다. 그림에서 시험체의 전체적인 파괴형상은 강도에 관계없이 대체로 유사하게 나타나고 있음을 알 수 있다. 다만 보통강도의 경우에는 철근 하부에 발생되는 균열의 방향이 철근주변에서부터 약 30° 의 각을 이루며 사선방향의 균열이 하중단계를 따라 점진적으로 발생하고 있으나, 고강도콘크리트의 경우에는 철근 상하부로 거의 수직에 가까운 균열이 최대 부착강도시 급격하게 발생하게 되며, 일부 시

험체의 경우에는 피복상부의 콘크리트가 파열되어 시험체로 부터 완전히 분리되는 현상이 나타났다. 특히 피복두께가 1d인 경우에는 피복부위의 콘크리트가 전체 부착부분에서 완전히 파열되는 현상이 나타났다. 시험체 상부의 파괴양상은 보통강도 및 고강도에서 모두 부착길이까지는 철근의 배근방향을 따라 균열이 발생되며, 콘크리트와의 부착이 끝나는 부분에서는 이와 수직하는 방향에 대하여 약간의 경사를 나타내는 균열이 발생하였다. 이처럼 균열의 전체적인 형태는 강도에 관계없이 거의 일정하게 나타나고 있으나, 균열의 폭 및 진행과정은 강도에 따라 상당한 차이를 나타내고 있다. 보통강도의 콘크리트에서는 최대하중의 약 80%정도에서 균열이 발생하기 시작하며, 균열의 발생 이후에도 균열의 진전과 더불어 하중저항능력을 발휘할 수 있었으나, 고강도콘크리트의 경우에는 최대하중 이전에는 의견상의 균열이 전혀 발견되지 않았으며 최대하중 도달시 큰 소음을 일으키며 피복 콘크리트의 파괴와 함께 부착파괴되는 현상을 나타내었다. 시험체 표면에서의 최대 균열폭은 보통강도에서는 대체로 1mm 내외로 나타났으나, 고강도콘크리트의 경우에는 2mm 이상의 급격하며 심각한 균

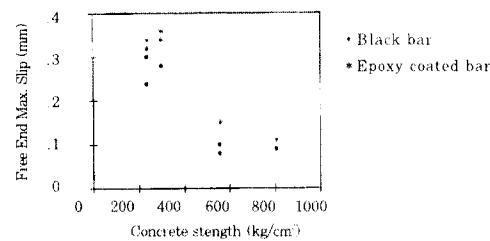


Fig. 14 Max. slip by concrete strength

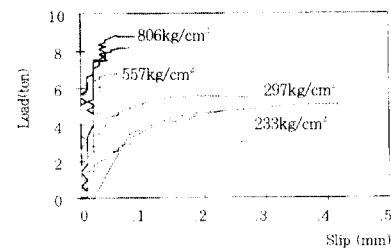


Fig. 15 Load - slip curve

열의 양상을 나타내었다. 한편 최대 부착강도시의 자유단 미끄러짐량을 비교해 보면 보통강도에서는 대체로 0.25~0.3mm 정도로 나타나게 되나 고강도콘크리트의 경우에는 0.1mm 이하로 거의 발생하지 않으며, 최대강도 이후 급격한 파괴가 나타나게 된다(그림 14, 15). 따라서, 고강도콘크리트의 부착설계는 보통강도에서와 같이 단순히 정착강도를 확보하는 것 이외에 연성파괴를 유도할 수 있는 방안을 병용하여 강구하는 것이 필요하다고 볼 수 있다.

5. 결 론

이상과 같은 고강도콘크리트의 부착특성에 대한 실험의 결과를 요약하여 보면 다음과 같다.

- 1) 고강도콘크리트에 대한 극한부착강도는 본 연구에서 실시한 바와 같이 $6d_b$ 정도의 제한된 길이의 부착길이를 갖는 경우에는 800kg/cm^2 까지는 대체적으로 콘크리트 압축강도의 제곱근에 비례하여 증가하였다.
- 2) 고강도콘크리트의 경우에는 부착길이의 연장에 의한 부착면적의 확대가 극한부착강도의 증진에 큰 영향을 끼치지 못하였다.
- 3) 부착강도에 대한 피복두께의 영향은 콘크리트 압축강도의 변화에 관계없이 모든 경우에서 거의 선형으로 비례하였으며, 이때 부착강도의 증가 기울기는 콘크리트의 강도가 높을 수록 더욱 큰 기울기를 갖게 된다.
- 4) 철근 직경의 변화는 부착면적의 변화를 가져오게 되며, 이는 콘크리트의 압축강도에 관계없이 극한부착강도와 0.55 정도의 기울기를 가지며 거의 선형으로 비례하게 된다.
- 5) 본 실험에서 사용된 시험체에 대한 파괴양상

을 분석하여 본 결과 시험체의 전체적인 파괴형태는 콘크리트의 강도에 관계없이 대체로 유사하게 나타나고 있다. 다만, 보통강도 콘크리트의 경우에는 최대강도의 약 80% 정도에서 균열이 발생하기 시작하여 균열의 진전과 더불어 부착강도가 증가하였으며, 최대강도시의 미끄러짐량도 0.25~0.3mm에 달하였으나, 고강도콘크리트의 경우에는 최대하중 도달 전에는 시험체의 표면에서 균열이 발견되지 않았으며, 최대하중시 0.1mm 미만의 자유단 변위에서 소음을 동반한 급격한 균열의 발생과 함께 시험체의 부착파괴가 나타나는 축성적인 파괴양상을 나타내었다.

참 고 문 헌

1. State-of-the-Art Report on High Strength Concrete. American Concrete Institute, Sep., 1992
2. Atorod Azizinamini, Mark Stark, John J. Roller, and S. K. Ghosh, "Bond Performance of Reinforcing Bars Embedded in High-Strength Concrete," ACI Structural Journal, Sep.-Oct., 1993, pp. 554-561
3. Ezeldin, A. S. and Balaguru, P. N., "Bond Behavior of Normal and High-Strength Fiber Reinforced Concrete," ACI Materials Journal, Vol. 86, No. 5, Sep.-Oct., 1989, pp. 515-524
4. Phil M. Feruson, Reinforced Concrete Fundamentals 3rd Ed., John Wiley & Sons, New York, pp. 156-179
5. Choi O. C., Bond Strength of Epoxy-Coated Reinforcement to Concrete, Ph. D. Dissertation, University of Kansas, 1990

(접수일자 : 1996. 7. 1)