

볼트 체결된 와이어 로프를 이용한 RC 보의 전단보강에 대한 연구

김선영¹⁾·송진규^{2)*}·이영욱³⁾·변항용⁴⁾

¹⁾전남대학교 바이오하우징 연구사업단 ²⁾전남대학교 건축공학과 ³⁾군산대학교 건축공학과 ⁴⁾(주)고려E&C

(2005년 11월 7일 원고접수, 2006년 3월 30일 심사완료)

Study on the Shear Strengthening of Concrete Beams with Wire Rope Clamped by Bolts

Sun-Young Kim¹⁾, Jin-Gyu Song^{2)*}, Young-Uk Lee³⁾, and Hang-Yong Byun⁴⁾

¹⁾BHRI, Chonnam National University, Gwangju 500-757, Korea

²⁾Dept. of Architecture, Chonnam National University, Gwangju 500-757, Korea

³⁾Dept. of Architecture, Kunsan National University, Kunsan 573-701, Korea

⁴⁾Korea Engineering & Consultant, Hwasun-gun, Jeollanam-do 519-807, Korea

(Received November 7, 2005, Accepted March 30, 2006)

ABSTRACT

The paper describes an experimental study on the shear strengthening of concrete beams with exposed wire rope. The strengthening method is using the mechanical bolting of wire rope tensioned on the exterior of beam section. There are two shear strengthening types. The first is closed type wrapped beam section with wire rope like as closed stirrup. The second is U type tensioned at the anchor located in the side of beam section.

The main parameters of specimens are strengthening spacings of wire rope with 150, 200, and 250mm for the closed and U type respectively. The shear span ratio of specimens applied by 3-point loading is 4. The results showed that the ultimate shear strength and ductility of strengthened beams increased significantly compared with non-strengthened beams. Especially, the strengthening effect of closed type was very preferable to U type. Therefore, the shear strengthening method with wire rope is very reasonable in view of repair and rehabilitation of beams.

Keywords : wire rope, bolt, nut, close type, U type

1. 서 론

최근까지 철근콘크리트 보의 전단 보강에 대한 연구는 대부분 에폭시를 부착제로 사용하는 탄소섬유보강공법 또는 강판보강공법이 주를 이룬다. 강판 또는 탄소섬유 등으로 보강된 보의 파괴 형태는 주로 보강재와 콘크리트 간의 계면 박리에 의한 파괴이며, 전단경간내 측면 전체 보강의 경우도 단부에서 박리가 일어나기 때문에 전체 접착면이 최대 전단응력에 일반적으로 도달하지 않는다¹⁾. 즉, 에폭시를 이용한 보의 보강방법들은 최대내력의 상승은 있을지 모르지만 최대하중이후 대부분 취성파괴가 발생한다. 또한, 대부분의 연구 또는 공사는 보강시의 온도, 습도 등의 외기조건들의 변화, 그리고 양생후의 온도, 습도뿐만 아니라 동결융해 등과 같은 환경적 요인에 대한 충분한 검증이 없는 실정이다.

따라서 본 연구에서는 에폭시를 이용한 보강공법들이 갖는 취성 특성 및 내구성에 대한 의심을 떨칠 수 있는 대안으로서 와이어 로프를 이용한 전단보강방법²⁾을 제시한다. 볼트의 체결을 이용한 기존 구조체의 보강공법이 구조적 장점 및 경제적 측면의 여러 장점이 있어 구조체의 보강공법³⁻⁵⁾으로 최근에 시도되었던 방법들과 개념적으로 같을 수 있지만 실용적인 측면에서 새로운 방법이다.

제안된 공법의 개념은 볼트와 너트를 이용한 와이어 로프의 기계적 정착을 통해서 콘크리트 단면의 외부에 전단 보강하는 방법으로 볼트의 조임력은 토오크 렌치를 이용하여 제어하고, 동시에 와이어 로프를 체결하여 긴장력을 도입함으로써 와이어 로프에 의한 외부구속에 의해 콘크리트 단면의 전단내력을 증가시킨다. 이와 같이 와이어 로프에 의한 전단보강 방법은 구조적인 장점뿐만 아니라 공사기간이 매우 빠르고, 공사중 먼지 발생, 화재시의 유해물질을 발생시키지 않으며, 콘크리트 구조물외에도 다른 기타 재료를 이용한 구조물의 전단보강에도 폭넓게 활용될 수 있는 친환경적인 장점을 기대할 수 있다.

* Corresponding author

E-mail : jgsong@chonnam.ac.kr

©2006 by Korea Concrete Institute

본 연구에서는 와이어 로프를 이용한 전단보강 실험을 하여 전단보강 효과를 확인하며, 현행 전단설계기준과의 비교를 통해 적용가능성을 평가한다. 최종적으로 볼트 체결에 의한 와이어 로프의 전단보강 설계 및 시공에 유용한 기초 자료를 제시하고자 한다.

2. 와이어 로프로 보강한 보의 전단강도

2.1 개요

일반적인 콘크리트 보의 전단균열 양상은 크게 복부-전단균열과 휨-전단균열의 경사균열로 나눌 수 있다. 복부-전단균열은 인장 주응력이 콘크리트의 인장강도를 초과할 경우에 부재의 내측에서 시작하며, 휨-전단균열은 전단응력과 휨인장응력의 조합응력이 콘크리트 인장강도를 초과할 때 발생한다. 마찬가지로 전단내력이 부족한 보에 와이어 로프로 외부 전단보강할 경우, 보강간격이 넓을 때에는 복부-전단균열이 나타날 수 있으며, 보강간격이 좁을 때에는 와이어 로프의 구속효과에 의해서 복부 전단균열이 억제되어서 휨-전단균열이 나타날 수 있다. 따라서 와이어 로프로 외부 보강한 단면의 경우도 일반적인 콘크리트 보의 전단균열 양상을 나타내므로 설계기준⁶⁷⁾에서 제시하는 것과 마찬가지로 전단강도(V_n)는 콘크리트 단면이 저항하는 V_c , 전단보강철근이 저항하는 V_s , 그리고 와이어 로프가 저항하는 V_w 의 합으로 식(1)과 같이 표현할 수 있다.

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

2.2 콘크리트의 전단강도

전단보강근 스테럽이 보강되지 않고 균열이 발생하지 않은 콘크리트 보의 전단강도는 식(2)와 같이 설계기준에서 제시하고 있다. 식(2)는 인장철근비가 0.0075~0.025의 범위에서 신뢰할만하지만 인장철근비가 낮아지면 콘크리트의 전단강도를 과대평가하게 된다. 왜냐하면 인장철근비가 작은 경우에는 휨균열이 보의 상부 압축측으로 더 깊이 진행되며, 사인장 균열의 발생이 더 빨라져서 콘크리트 전단강도가 낮아지기 때문이다. 따라서 설계기준에서는 콘크리트 전단강도를 더 정확하게 계산하는 경우 전단력과 휨모멘트의 상관관계를 고려하여 식(3)과 같이 제시하고 있다.

와이어 로프는 Fig. 1과 같이 아이볼트와 너트의 조임력에 의해서 긴장력이 작용하게 되고, 이 긴장력은 콘크리트 단면을 외부에서 구속하는 효과를 갖는다. 따라서 와이어 로프의 구속에 의해서 콘크리트의 전단강도가 증가하지만 콘크리트가 분담하는 전단강도를 정확히 평가하는 것은 매우 어려우므로 본 연구에서는 실용적인 측면에서 일반적인 콘크리트의 전단강도에 대해서 설계기준에서 제시하고 있

는 식(2)를 따른다고 가정한다.

$$V_c = \frac{1}{6} \sqrt{f_{ck}} b_w d \quad (2)$$

$$V_c = \left(0.16 \sqrt{f_{ck}} + 17.6 \rho_w \frac{V_u d}{M_u} \right) b_w d \quad (3)$$

2.3 전단보강근의 전단강도

전단보강근은 콘크리트 단면 내에 배근되어 있는 철근 스테럽과 단면 외부에 보강된 와이어 로프로 나뉜다. 설계 기준에서는 전단철근이 부재측에 직각으로 배근되어 있을 경우 전단강도를 식(4)와 같이 제시하고 있다. 여기서, A_v 는 전단철근 간격(S)내에서의 전단철근 단면적이고, d 는 부재의 유효층, 그리고 f_y 는 전단보강근의 항복강도로 설계기준에서는 용접 이형철망을 제외하고 전단보강근의 설계기준 항복강도를 400 MPa로 제한하고 있다. 이는 전단 파괴가 아직 발생하지 않은 시점에서 사인장 균열이 계속 진행하여 균열의 폭이 커지는 것은 단면이 더 이상 전단에 저항하지 못하는 것으로 보기 위함이다. 그러나 ACI 318-95에서는 사인장 균열의 폭을 억제할 수 있는 용접 이형철망의 경우에는 항복강도를 560 MPa까지 상향조정하였다. 즉, 사인장 균열의 폭을 억제할 수만 있다면 와이어 로프의 전단강도 계산을 위해 항복강도를 400 MPa로 제한할 필요는 없음을 의미한다.

와이어 로프의 전단보강 효과는 Ashin⁸⁾, Marti⁹⁾, Matamoros¹⁰⁾, Cook¹¹⁾ 등이 제시한 바와 같이 식(5)로 간략히 나타낼 수 있다. 여기서, n 는 전단과괴 영역인 경사 균열면과 교차하는 와이어 로프의 개수이고, A_w 는 와이어 로프의 단면적, 그리고 f_{ws} 는 와이어 로프에 작용하는 응력으로 본 연구에서는 와이어 로프의 항복강도, 설계기준에서 제한하는 400 MPa로 놓고 계산하여 비교하였으며, 실험 결과 값을 토대로 최대전단강도에서 와이어 로프의 응력을 추정하였다.

$$V_s = \frac{A_v f_y d}{S} \quad (4)$$

$$V_w = n A_w f_{ws} \quad (5)$$

3. 실험

3.1 실험 개요

와이어 로프를 보의 외부에서 체결하는 전단 보강방법은 Fig. 1과 같이 슬래브를 관통하여 와이어 로프를 폐쇄형으로 보강하는 방법(이하 폐쇄형)과 보 옆면의 정착구에 와이어 로프를 고정시켜 U자형으로 보강하는 방법(이하 U자

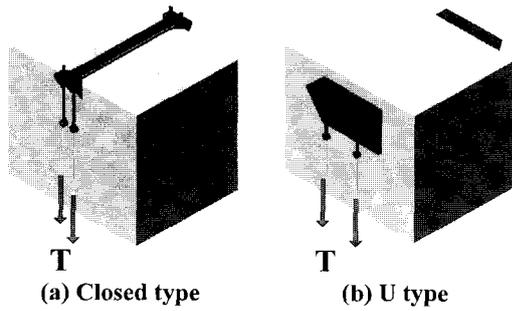


Fig. 1 Shear strengthening concept

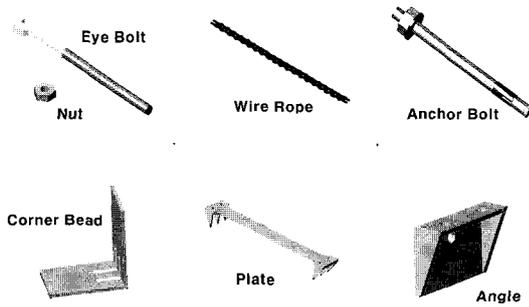


Fig. 2 Details of shear strengthening

형)으로 나뉜다. 폐쇄형은 슬래브 상부면의 Plate에서 볼트와 너트를 이용하여 와이어 로프에 체결에 의한 긴장력을 도입하며, U자형은 보 옆면에 정착구를 앵커로 고정시킨 후, 와이어 로프에 긴장력을 준다. 전단보강을 위한 각각의 구성요소는 Fig. 2와 같다.

3.2 실험체 계획

와이어 로프를 이용한 보의 전단 보강 실험을 위한 주요 변수로는 Table 1과 같이 폐쇄형과 U자형 전단보강에 대해서 각각 보강 간격을 150, 200, 250 mm로 변화시켰다. 실험체에 휨 파괴가 발생하지 않고 전단파괴가 발생하도록 배근하였으며, 철근을 이용한 전단 보강근은 배근하지 않고 순수하게 콘크리트의 전단강도에 대해서 와이어 로프에

Table 1 Experimental matrix

Specimens	Section (mm)	Shear span ratio(a/d)	Strengthening type	Spacing (mm)
NS0 (Prototype)	150×300	4	None	0
CS150				150
CS200				200
CS250			250	
US150			U	150
US200				200
US250				250

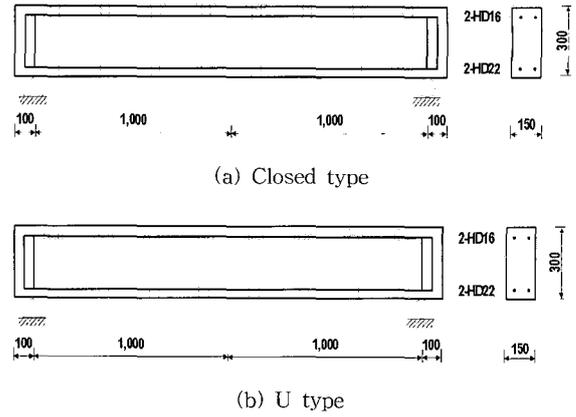


Fig. 3 Shapes of specimens

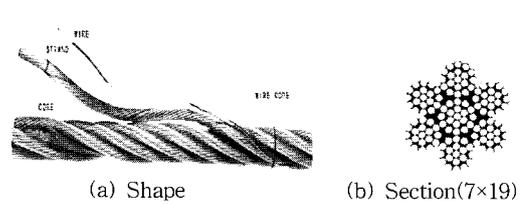


Fig. 4 Wire rope

의한 전단강도 증가 효과를 보고자 하였다. 볼트의 체결은 토크 값을 20 Nm로 일정하게 하였으며 이 때 와이어로프에 전달된 축력은 5.6 kN이었다. 실험체의 배근 및 형상은 Fig. 3과 같다. 실험체의 단면크기는 150 mm×300 mm이고, 지점간 실험체의 길이는 2,000 mm로 하였다. 압축철근은 2-HD16, 인장철근은 2-HD22로 배근하였으며, 와이어 로프는 4-φ4.8 mm로 보강하였다.

3.3 재료

실험에 사용된 콘크리트의 압축강도는 24 MPa이고, 주철근은 항복강도 450 MPa(SD400)의 HD22와 HD19를 사용하였다. 보강재료는 Fig. 4와 같이 항공케이블 또는 파수원용 등으로 널리 사용되는 GAC(Galvanized Aircraft Cable) 와이어 로프이며, 인장실험결과는 Table 2와 Fig. 5와 같다.

3.4 재하 및 측정 방법

철근콘크리트 보의 전단보강 실험을 위한 하중재하는 프레임에서 유압잭으로 재하하였으며, 전단스팬비(a/d)는 4이다. 유압잭 하부면에 로드셀(load cell)과 보 실험체의 수직변위

Table 2 Properties of wire ropes

Dxia. (mm)	Area (mm ²)	Elongation (%)	Elastic modulus (MPa)	Yield strength (MPa)	Tensile strength (MPa)
4.8	10.83	4.15	193,000	1,810	2,150

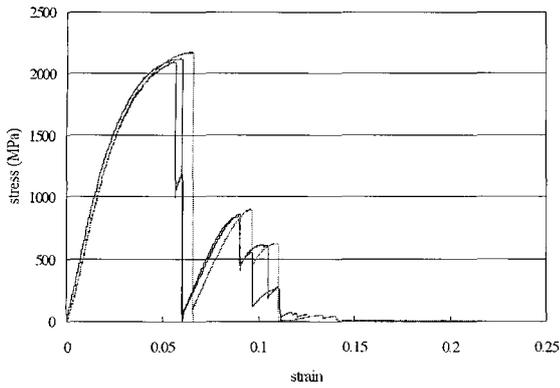


Fig. 5 Stress-strain relation of wire ropes

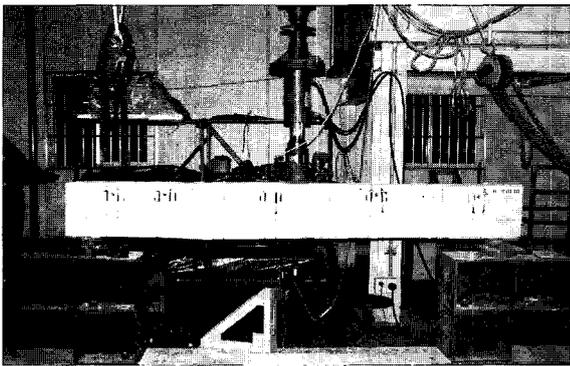


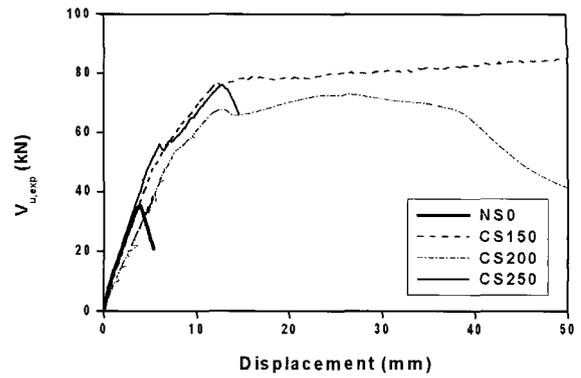
Fig. 6 Experimental set-up

를 측정하기 위하여 중앙부에 변위계(LVDT)를 설치하였다 (Fig. 6). 가력점과 지지점 판의 폭은 100mm로 하였다.

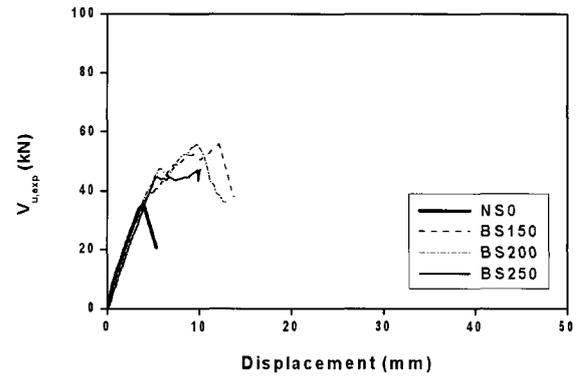
3.5 실험 결과 및 분석

3.5.1 전단력-변위 관계

Fig. 7은 작용 전단력에 대한 부재 중앙에서의 처짐을 나타낸 것으로 무보강 실험체(NS0)에 대해서 포스트텐션으로 보강한 실험체는 모두 초기 사인장 강도와 최대전단 내력이 증가함을 보여준다. 이것은 프리스트레싱에 의한



(a) Closed type



(b) U type

Fig. 7 Relation of shear force vs displacement

긴장력에 의해서 콘크리트 단면에 수직방향으로 구속응력이 작용하여 초기 콘크리트 복부의 사인장 균열하중이 증가하였으며, 그 이후 와이어 로프가 전단에 대해서 주로 저항한 결과로 최대 전단내력도 증가한 것으로 판단된다.

폐쇄형 전단보강의 경우, CS150과 CS200 실험체는 최종 파괴 유형이 전단파괴가 아니고 휨에 의한 파괴로 진행됨을 알 수 있다. 그러나 CS250 실험체는 취성적인 전단 파괴가 발생하였다. 이는 철근을 사용하는 일반적인 전단 보강 방법보다 보강 와이어 로프의 단면적(10.83 mm²)이

Table 3 Experimental results(unit : kN)

Specimen	Calculated strength					Experimental strength		Strength ratio			Ductility ratio	$\left(\frac{V_{d,exp}}{V_{p,exp}}\right)$	$\left(\frac{V_{u,exp}}{V_{p,exp}}\right)$
	V_c	V_{wy1}	V_{wy2}	V_{n1}	V_{n2}	$V_{d,exp}$	$V_{u,exp}$	$\frac{V_{u,exp}}{V_c}$	$\frac{V_{u,exp}}{V_{n1}}$	$\frac{V_{u,exp}}{V_{n2}}$	$\frac{\delta_u}{\delta_d}$		
NS0	29.6	-	35.7	35.7	1.21	-	1.00	-	-	-	-	-	-
CS150	29.6	29.1	124.8	58.7	154.4	62.1	85.3	2.88	1.45	0.55	6.19	1.74	2.39
CS200	29.6	21.8	93.6	51.4	123.2	54.3	73.0	2.47	1.42	0.59	3.41	1.52	2.04
CS250	29.6	17.5	74.9	47.1	104.5	55.7	76.6	2.59	1.63	0.73	2.08	1.56	2.15
US150	29.6	29.1	124.8	58.7	154.4	51.8	56.4	1.91	0.96	0.37	1.38	1.45	1.58
US200	29.6	21.8	93.6	51.4	123.2	49.5	56.5	1.91	1.10	0.46	1.66	1.39	1.58
US250	29.6	17.5	74.9	47.1	104.5	45.0	47.9	1.62	1.02	0.46	1.86	1.26	1.34

V_c : Shear strength of concrete, V_{wy1} : Shear strength of wire rope calculated by $f_{ws} = 400\text{MPa}$, V_{wy2} : Shear strength of wire rope calculated by $f_{ws} = 1,810\text{MPa}$, $V_{n1} = V_c + V_{wy1}$, $V_{n2} = V_c + V_{wy2}$, $V_{d,exp}$: Inclined cracking load, $V_{u,exp}$: Maximum shear failure load, $V_{p,exp}$: Shear failure load of NS0(prototype)

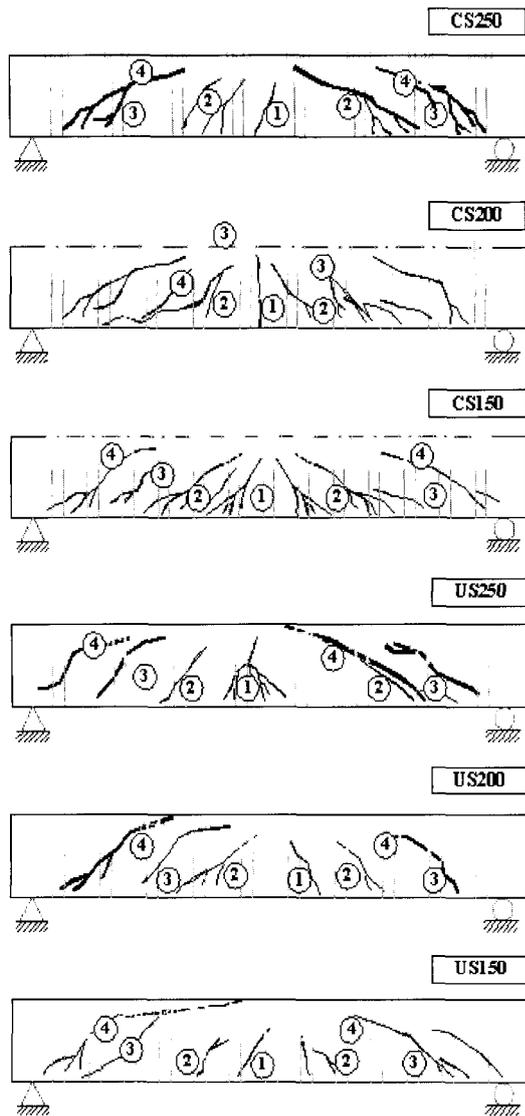


Fig. 8 Crack diagrams of specimens : ① Initial crack, ② Flexural crack, ③ Diagonal crack, ④ Shear crack

작은 상황에서 보강간격이 단면의 유효높(d) 이상 멀어짐에 따라 와이어 로프에 의한 구속효과가 보강간격 사이에서 작아져 전단균열이 진행된 것으로 사료된다. U자형 전단보강의 경우, 모두 기준 실험체(NS0) 보다 최대 전단내력이 증가하였지만 취성적인 전단파괴가 발생하였다. 보강간격이 작을수록 콘크리트 단면의 복부에 사인장 균열이 발생 후 최대전단하중까지 내력이 증가하였지만 그 증가폭은 크지 않았다. 또한, 폐쇄형 전단보강 방법이 U자형 전단보강 방법보다 전단보강효과 및 훨씬 에너지 흡수 능력이 우수함을 알 수 있다. CS150 실험체는 전단보강이 충분하여 거의 휨거동을 하며, CS200은 최대하중에 도달하기까지 휨이 지배를 하지만 보강간격사이의 사인장 균열의 증가로 최종적으로 파괴가 발생하였다.

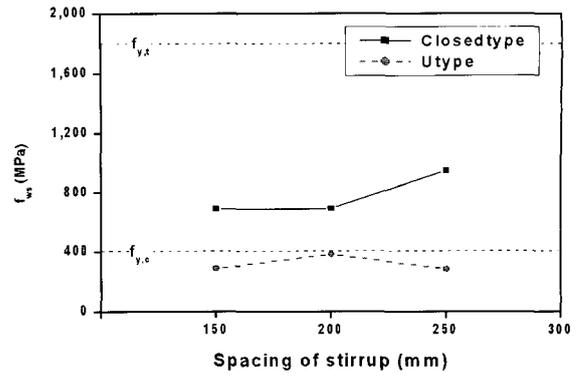


Fig. 9 Stress of wire rope at ultimate stage

3.5.2 파괴 형상 및 유형

와이어 로프를 이용한 전단보강 실험체의 균열도는 Fig. 8과 같다. 폐쇄형 전단보강의 경우, 초기 휨 균열이 낮은 하중에서 발생한 후 미세한 휨 균열이 진행되다가 콘크리트 단면의 복부에서 사인장 균열이 발생하였다. 이후 콘크리트 실험체의 처짐 및 변형이 증가하기 시작하면서 와이어 로프에 응력이 크게 작용한 것으로 판단된다. 사인장 균열이 커지면서 압축측 콘크리트의 압괴가 발생하고 복부의 사인장 균열이 지점으로 향하면서 최종적인 파괴가 발생하였다. 폐쇄형 전단보강은 비록 보강 단면적이 작음에도 불구하고 와이어 로프의 긴장력에 의한 구속효과에 의해서 보강간격이 좁을수록 휨 균열의 양상이 나타났지만 보강간격이 상대적으로 넓은 CS250 실험체는 휨이 아닌 전단파괴가 발생하였다.

U자형 전단보강의 경우, 초기 휨 균열, 콘크리트 단면의 복부에서의 사인장균열의 발생 진행순서는 폐쇄형 전단보강의 경우와 같지만 휨균열은 크게 진행되지 않고 복부에서 발생한 사인장 균열이 계속 진행되어 최종적으로 취성적인 전단파괴가 발생하였다.

그러나 사인장 균열의 발생 이후에 균열의 진행 양상이 전단보강 간격에 따라 달라졌다. 즉 US150 실험체인 경우에는 사인장 균열이 하중점에서 지점으로 하지 못하고 정착판을 고정시킨 앵커위치에서 수평으로 균열이 진행되면서 콘크리트 피복의 박리로 파괴가 일어났다. 즉, 와이어 로프에 의한 전단보강은 충분하지만 와이어 로프를 정착시키기 위해 천공한 구멍에 의한 내력상실로 사료된다. US200 실험체의 경우는 콘크리트 피복의 박리로 인한 파괴는 일어나지는 않았지만 앵커볼트 간격 사이에서 수평 균열이 진행되다가 지점으로 진행하여 파괴가 발생하였다. US250 실험체의 경우에는 사인장 균열이 발생한 후에 더 이상 내력의 큰 증가는 있지 못하고 와이어 로프가 저항하다가 하중점과 지점을 잇는 압축대가 형성되면서 파괴가 발생하였다. 따라서 U자형 전단보강의 경우에는 앵커볼트의 간격에 유의할 필요가 있으므로 주의가 필요함을 알 수 있다.

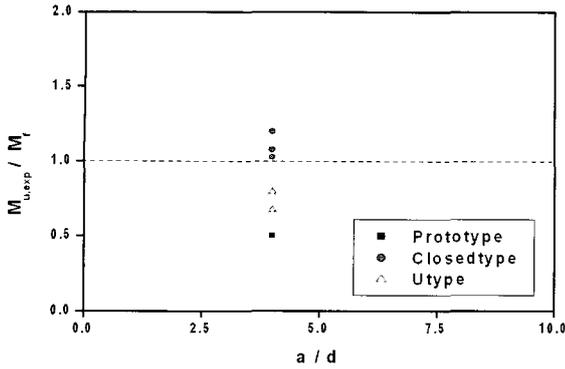


Fig. 10 Shear strengthening effect

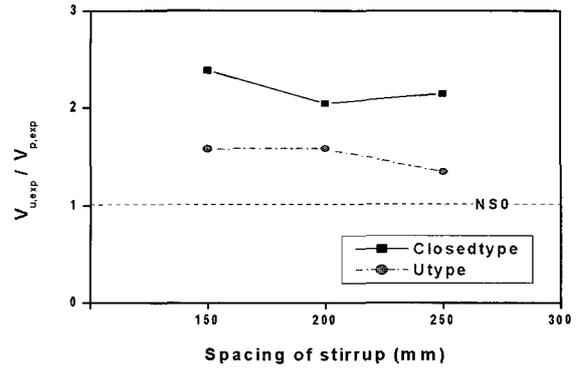


Fig. 12 Incremental ratio of ultimate shear strength

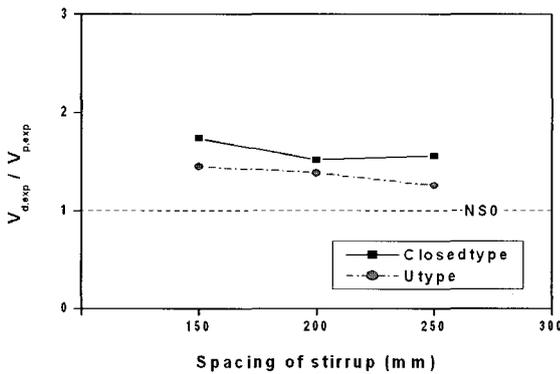


Fig. 11 Incremental ratio of Initial diagonal tension shear strength

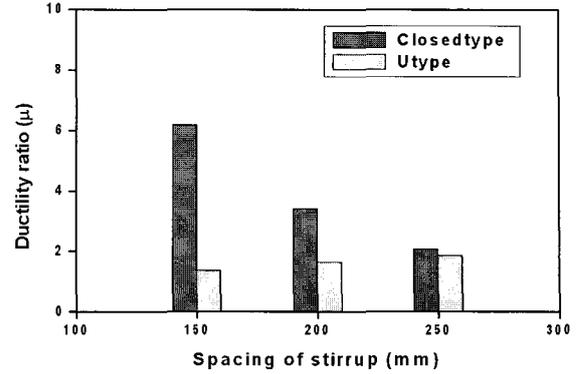


Fig. 13 Ductility ratio

3.5.3 전단보강효과

Table 3에서 V_{wy1} 은 f_{ws} 를 400MPa로 구한 값이고, V_{wy2} 는 와이어 로프의 재료시험결과에서 얻은 항복강도 1,810MPa로 구한 값이다. 폐쇄형 전단보강의 경우에는 f_{ws} 를 400MPa로 구한 V_{n1} 에 대한 최대 전단력($V_{u,exp}$)의 비가 1.45, 1.42, 1.63이고, f_{ws} 를 1810MPa로 구한 V_{n2} 에 대한 최대 전단력($V_{u,exp}$)의 비는 0.55, 0.59, 0.73이었다. 한편, U자형 전단보강의 경우, V_{n1} 에 대한 $V_{u,exp}$ 의 비는 0.96, 1.10, 1.02이고 V_{n2} 에 대한 $V_{u,exp}$ 의 비는 0.37, 0.46, 0.46이었다. 한편, 최대 전단력으로부터 식(5)를 이용하여 구한 와이어 로프에 작용한 응력을 Fig. 9로 나타내었다. 따라서 폐쇄형 전단보강방법은 f_{ws} 를 400MPa로 전단강도를 계산할 경우 안전측임을 알 수 있으나 U자형 전단보강방법은 설계기준에 따라 계산할 경우 안전측이 아닐 수도 있으므로 유의할 필요가 있으며, 이에 대한 추가적인 연구가 필요할 것으로 판단된다. 또한, 실험체의 휨강도(M_p)에 대한 작용 휨모멘트(M_u)에 대한 비인 Fig. 10에서 알 수 있듯이 최대 하중에서 폐쇄형 전단보강 실험체는 휨파괴로 지배되었고, U자형 전단보강 실험체는 전단파괴로 지배되었음을 알 수 있다.

Fig. 11은 전단보강근이 없는 기준 실험체(NS0)에 대한

복부에 초기 발생하는 사인장 균열하중을 나타낸 것으로 폐쇄형과 U자형 전단보강 방법 모두 초기 균열하중도 증가함을 알 수 있다. Fig. 12는 NS0 실험체에 대한 최대 전단보강내력의 증가비는 폐쇄형 전단보강의 경우 2.39, 2.04, 2.15이고, U자형 전단보강의 경우 1.58, 1.58, 1.34로 크게 증가하였다. 상대적으로 폐쇄형 전단보강방법이 더욱 효과적임을 알 수 있다.

3.5.4 연성 증가효과

연성은 어떤 하중이상에서의 비탄성 변형을 유지할 수 있는 능력으로 본 연구에서는 연성비(μ)의 정의를 보의 복부에 초기 사인장 균열이 발생한 시점에서의 변위(δ_d)에 대한 최대 전단내력에서의 변위(δ_u)로 정의한다.

$$\mu = \frac{\delta_u}{\delta_d} \quad (6)$$

NS0 실험체는 콘크리트의 복부의 사인장 균열하중과 최대전단하중이 같기 때문에 연성비가 1이다. 따라서 Table 3과 Fig. 13의 각 실험체별 연성비는 와이어 로프에 의한 연성증가효과를 의미한다. 폐쇄형 전단보강의 경우가 U자

형 전단보강보다 연성비가 크게 증가함을 알 수 있다. 일반적으로 전단에 의한 파괴는 최대강도 이후에 연성능력이 거의 없이 갑작스런 파괴를 하며, 특히 에폭시를 이용한 보강공법을 이용한 경우에도 마찬가지이다. 따라서 구조 부재의 연성능력을 확보할 수 있는 보강공법은 불확실한 내구연한 등을 고려할 때 매우 고무적이라고 할 수 있다.

4. 결 론

볼트와 너트의 체결에 의한 와이어 로프의 비부착 전단 보강 실험에 대한 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 와이어 로프의 포스트텐션을 이용한 콘크리트 전단보강 방법은 폐쇄형과 U자형 전단보강방법 모두 최대전단내력이 크게 증가하였으며, 폐쇄형 전단보강방법은 외부 전단보강 단면적이 크지 않음에도 불구하고 휨내력 이상에서 파괴가 발생하였다.
- 2) 복부에 발생하는 초기 사인장균열의 발생시 변위에 대한 최대하중에서의 변위의 비로 정의한 연성비에서 폐쇄형 전단보강방법은 6.19, 3.41, 2.08이고, U자형 전단보강방법은 1.38, 1.66, 1.86으로 볼트와 너트의 체결에 의한 와이어 로프 전단보강방법은 초기 사인장 균열이후의 에너지 흡수능력도 매우 큼을 알 수 있다.
- 3) 폐쇄형 전단보강방법의 경우, 와이어 로프의 항복응력을 설계기준에서 제시하고 있는 400MPa로 계산할 경우 안전축이지만, U자형 전단보강방법은 400MPa를 채택할 경우 실험 결과를 잘 예측하였지만 안전축이 아닐 수도 있으므로 추가적인 연구가 필요할 것으로 판단된다.
- 4) 최대 전단강도에 도달할 때 와이어 로프에 작용하는 응력은 폐쇄형 전단보강방법의 경우, 인장강도의 55, 59, 73 %이고, U자형 전단보강방법은 37, 46, 46 %이었다. 따라서 파괴시 와이어 로프는 항복하지 않음을 알 수 있다.

감사의 글

본 연구는 “2005년도 교육인적자원부 지방연구중심대학 육성사업”의 일환으로 수행되었으며 이에 깊은 감사를 드립니다.

참고문헌

1. Sharif, A., Al-Sulamani, Basunbul, G. J., I. A., Baluch, M. H., and Husan, M., “Strengthening of Shear-damaged RC Beams by External Bonding of Steel Plates”, *Magazine of Concrete Research*, Vol.47, No.173, Dec., pp.329~334.
2. M&S(주), (주)고려E&C, “콘크리트 구조물 보수용 보강재 및 그것을 이용한 콘크리트 구조물의 보수보강공법”, 특허 제 0414448호(2003.12.24).

3. 박상렬, “외부 프리스트레싱으로 보강된 RC보에서 강재량 및 텐던깊이에 따른 프리스트레싱 강재의 극한응력”, *콘크리트학회논문집*, 15권 4호, 2003. 8, pp.585~593.
4. 박순규, 이상윤, “합성섬유로프 인장재로 보강된 RC보의 휨거동”, *대한건축학회 논문집*, 20권 8호, 2004. 8, pp.19~26.
5. 민락기, 오창렬, “포스트텐셔닝을 이용한 기존 구조물 보강”, *콘크리트학회지*, 8권 4호, 1996. 8, pp.65~75.
6. 한국콘크리트학회, *콘크리트 구조설계기준*, 2003.
7. ACI Committee 318, *Building Code Requirement for Reinforcement Concrete and Commentary*, American Concrete Institute, 2005.
8. Asin, M., *The Behavior of Reinforced Concrete Continuous Deep Beams*, Delft University Press, 1999.
9. Marti, P., “Basic Tools of Reinforced Concrete Beam Design”, *ACI Structural Journal*, Vol.82, No.1, Jan.-Feb., 1985, pp.46~56.
10. Matamoros, A. B. and Wong, K. H., “Design of Simply Supported Deep Beams Using Strut-and-Tie Models”, *ACI Structural Journal*, Vol.100, No.6, Nov.-Dec., 2003, pp.704~712.
11. Cook, W. D. and Mitchell, D., “Studies of Disturbed Regions near Discontinuities in Reinforced Concrete Members”, *ACI Structural Journal*, Vol.85, No.3, Mar.-Apr., 1988, pp. 206~216.
12. Ramirez Julio A., “Strut-Tie Design of Pretensioned Concrete Members”, *ACI Structural Journal*, Sep.-Oct, 1994, pp.572~578.
13. Teng Susanto, Kong Fung-Kew, Poh Soon-Ping, Guan Lingwei W., and Tan Kang-Hai, “Performance of Strengthened Concrete Deep Beams Predamaged in Shear”, *ACI Structural Journal*, Vol.93 No.2, Mar.-Apr., 1996, pp.159~171.
14. Stone, W.C. and Breen, J. E., “Behavior of Post-Tensioned Girder Anchorage Zones”, *PCI Journal*, Vol.29, No.1, Jan.-Feb. 1984, pp.64~109.
15. MacGregor, J. G., *Reinforced concrete : Mechanics and design*, Prentice-Hall International, Inc. 1997.
16. Collins, Michael P., Mitchell, Denis, Adebar, Perry, and Vecchio, Frank J., “A General Shear Design Method”, *ACI Structural Journal*, Vol.93, No.1, Jan.-Feb., 1996, pp.36~45.
17. Mhphonde, Andrew G., and Frantz, Gregory C., “Shear Tests of High-and Low-Strength Concrete Beams Without Stirrups”, *ACI Structural Journal*, Vol.81, No.4, Jul.-Aug., 1984, pp.350~357.
18. Mark K. Johnson and Julio A. Ramirez, “Minimum Shear Reinforcement in Beams with Higher Strength Concrete”, *ACI Structural Journal*, Vol. 86, No.4, Jul.-Aug., 1984, pp.376~382.

요 약

본 연구는 와이어 로프를 이용한 비부착 보의 전단보강에 대한 실험에 대한 것이다. 전단보강 방법은 와이어 로프를 보 단면의 외부에 노출시킨 형태로 볼트와 너트로 기계적 정착을 하는 폐쇄형과 U자형이 있다. 폐쇄형 전단보강방법은 슬래브를 관통하여 와이어 로프로 보 단면을 둘러싼 후 슬래브 상부면에서 와이어 로프를 긴장 고정시키는 방법이고, U자형 전단보강방법은 슬래브 하부면과 접하는 보 옆면의 정착장치에 U자형으로 와이어 로프를 설치하는 방법이다. 콘크리트 압축강도가 24 MPa이고 전단스팬비(a/d)가 4인 실험체의 주요변수로 폐쇄형과 U자형에 대해서 보강 간격을 각각 150, 200, 250 mm로 하였다. 실험 결과, 와이어 로프를 이용한 전단보강방법은 무보강 실험체에 대해서 폐쇄형과 U자형 보강실험체의 내력의 최대 증가비가 각각 2.88, 1.91배로 증가하였으며, 복부의 초기 사인장균열시의 처짐에 대한 최대전단강도에서의 처짐의 비로 정의한 연성도 크게 증가하였으며, 특히 폐쇄형의 전단보강의 경우 U자형 전단보강방법에 비해 내력 및 연성의 증가가 두드러졌다. 따라서 본 연구는 와이어 로프를 이용한 전단보강방법의 타당성을 평가하기 위한 실험으로서 중요한 가능성을 제시하며, 전단보강 설계 및 시공에 유용한 기초 자료로서 의의가 있다.

핵심용어 : 와이어 로프, 볼트, 너트, 폐쇄형 전단보강, U자형 전단보강
