



동바리 연결부의 전단 및 회전 강성 실험

곽순섭^{1)*} · 김호수²⁾ · 정성진³⁾ · 홍건호⁴⁾ · 이경은⁵⁾

¹⁾ 충북대학교 ²⁾ 청주대학교 ³⁾ 영동대학교 ⁴⁾ 호서대학교 ⁵⁾ 충북대학교

(2003년 6월 30일 원고접수, 2003년 10월 30일 심사완료)

An Experimental Study on Shear and Rotation Stiffness in the Connection Parts of Shores

Soon-Seop Kwk^{1)*}, Ho-Soo Kim²⁾, Sung-Jin Jung³⁾, Geon-Ho Hong⁴⁾, and Kyoung-Eun Lee⁵⁾

¹⁾ Dept. of Architectural Engineering, Chungbuk National University, Chongju, 361-763, Korea

²⁾ Dept. of Architectural Engineering, Chongju University, Chongju, 360-764, Korea

³⁾ Dept. of Architectural Engineering, Youngdong University, Youngdong, 370-701, Korea

⁴⁾ Dept. of Architectural Engineering, Hoseo University, Cheonan, 370-701, Korea

⁵⁾ Dept. of Architectural Engineering, Chungbuk National University, Chongju, 361-763, Korea

(Received June 30, 2003, Accepted October 30, 2003)

ABSTRACT

During concrete placement, the partially distributed load due to the concrete placement paths creates the lateral force in the connection parts of the shore. In order to restrain this lateral force, the nails must be used in the upper and lower connection parts of shores. But, for the convenience of the construction and dismantling of the shores, the workers hardly use the nails. In this case, the connections of shore cannot resist the shear force and rotation. And this situation may cause the collapse of form-shore system. Therefore, contact and spring models for the connection analysis of the form-shore systems are required. If we take into account this construction situation, we need to understand the effects of shear and rotation stiffness according to the several types of connection parts in shores as a case study. This study evaluates the shear and rotation stiffness of the connection parts of shores according to the variations of the lengths, numbers and positions of nails, and then presents the experimental results depending on the end conditions of shores. And, these results can be used as a spring model and critical load evaluation data for the connection analysis of form-shore system.

Keywords : connection part of shore, shear and rotation stiffness, tied method of nail, construction situation, critical load evaluation

1. 서 론

일반적으로 콘크리트 타설시 거푸집-동바리 시스템의 연결부 연결방법에 있어서의 불안정성은 가설구조물 붕괴의 요인¹⁻⁴⁾에 큰 비중을 차지하고 있다. 즉, 시공시 편의성을 위해 동바리의 상·하단부를 못으로 연결하지 않고 상부 거푸집이나 콘크리트 바닥에 그냥 밀착시켜 놓는 경우 콘크리트 타설경로에 따른 편심하중으로 인해 동바리에 횡변위가 발생하거나 들림현상이 야기됨으로써 안정성에 큰 문제를 발생시킨다. 이러한 시공현황을 고려할 경우 동바리의 상단접합부는 접촉문제(contact problem)로 간주하여 접촉조건을 고려한 거동해석을 수행할 필요가 있으며 이 경우 실제 현황과 가장 근사하게 스프링으로

모형화하기 위한 선행연구로서 연결방법에 따른 전단 및 회전강성을 파악할 필요가 있다. 따라서 본 논문에서는 동바리 시스템의 설치에 관한 문헌⁵⁻⁷⁾과 동바리의 상·하단부 설치 현황에 관한 현장조사결과⁸⁾를 토대로 실제의 시공현장에서 사용하고 있는 거푸집과 동바리 받이판의 연결 방식에 따른 회전강성과 전단강성을 실험을 통해 측정하여 이들의 외력에 대한 저항성능을 비교·평가한 후 이를 거푸집-동바리 시스템의 해석에 이용할 수 있도록 하고자 한다.

2. 전단 및 회전강성 실험

현장조사 결과에 따라 시공 현장에서 가장 많이 쓰이는 공사방법을 고려하여 실험 변수를 정하였다. 부재시험의 회전강성 시험체수는 50개이며, 전단강성 시험체수는 40개이다. 실험변수에 따른 시험체 일람표는 Table 1과 같다.

* Corresponding author

Tel : 043-261-2436 Fax : 043-263-2635

E-mail : sskwak@trut.chungbuk.ac.kr

Table 1 Types of test specimens

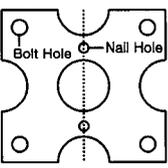
Notation	Description
	M: Rotational stiffness test S: Shear stiffness test
M-NS-AB-T-N	· NS: Numbers and positions of nails 1: Driving 4 nails into 4 bolt holes 2: Driving 2 nails into 2 diagonal bolt holes 3: Driving 2 nails into the nail holes in perpendicular direction of force 4: Driving 2 nails in the nail holes in parallel direction to the force
S-NS-AB-T-N	
Axis of Exerting Force	
	
	· AB: Lengths of nails A: 75mm B: 95mm
	· T: Nailing method α: Nailing to whole length β: Nailing by half length and bending
	· N: Specimen number

Table 1과 같이 약속할 경우 M-1-A-β-1은 길이 75 mm의 못 4개를 볼트구멍에 반만 박고 구부린 첫 번째 회전강성실험체를 나타낸다.

실험은 공사현장에서 많이 사용되는 90×90 mm 각재에 시험체를 설치한 후 가력시 각재가 밀리지 않도록 하부를 스트롱 프레임에 단단히 고정된 다음 9.8 kN 로드셀로 가력하는 방식으로 진행하였다. 이때 실험체 동바리의 길이가 길수록 회전시 자중에 의한 모멘트가 증가하여 오차가 발생하게 되므로 동바리의 외관만 설치하여 실험하였다.

회전강성실험에서는 Fig. 1과 같이 하반이판으로부터 10 cm 떨어진 높이에서 가력하였으며, 가력점과 마주보는 곳에 LVDT2를 가력축과 일치하도록 설치하여 하중 증가에 따른 변위를 측정하였다. 또한 가력에 의한 밀림 효과를 뺀 순수 회전각을 구하기 위해 가력점으로부터 15 cm 떨어진 지점에 LVDT1을 설치하였다.

전단강성실험에서는 Fig. 2와 같이 가력점을 동바리의 하반이판에 최대한 가깝게 설치하여 순수전단에 가깝도록 하였으며, 가력지점의 변위측정을 위해 로드셀과 마주보는 방향으로 LVDT2를 설치하였다. 또한 전단실험에서 발생한 회전의 영향을 알아보기 위해 LVDT2에서 20 cm 떨어진 곳에 LVDT1을 설치하였다. 가력시 두 개의 LVDT로 측정된 변위는 각각 데이터로거를 이용하여 컴퓨터에 자동 저장되도록 하였다.

3. 실험결과 분석

3.1 회전강성 실험 결과

회전강성실험에서는 동바리에서 변위가 쉽게 발생하므로 50 mm까지 변위를 측정할 수 있는 LVDT를 이용해 하단부에 설치한 LVDT로 측정된 변위가 40 mm를 넘으

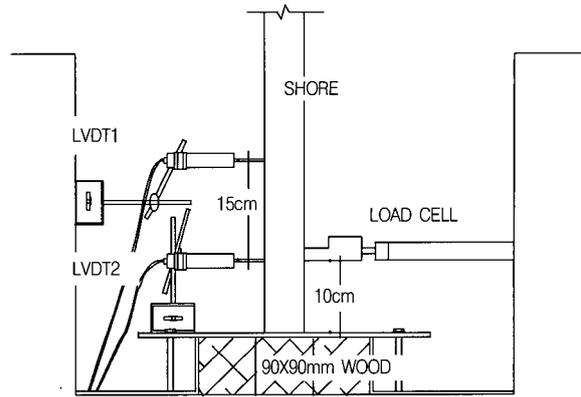


Fig. 1 Rotational stiffness test

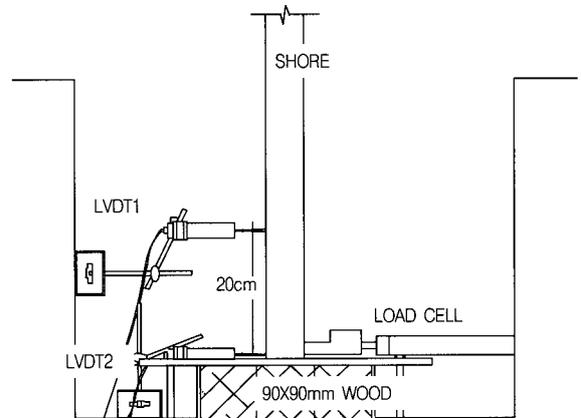


Fig. 2 Shear stiffness test

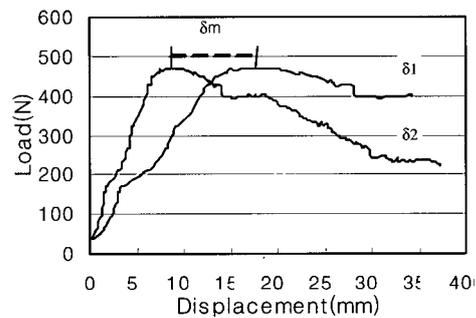


Fig. 3 Load-displacement of M-3-A-β-4 specimen

면 장착한 LVDT를 떼어내고 실험을 종료하였다. 이렇게 얻어진 하중과 변위의 관계가 Fig. 3에서 보여지고 있다.

Fig. 3는 LVDT1에 의해 측정된 동바리의 변위를 δ_1 , LVDT2로 측정된 동바리의 변위를 δ_2 라 하였을 때 하중과 변위의 관계를 나타낸 것이다. Fig. 4에서 보여지는 바와 같이 하중이 증가함에 따라 δ_1 과 δ_2 의 간격이 점점 벌어지는 것을 알 수 있다. 최대하중일 때 변위차 δ_m 는 Fig. 3에 표시된 바와 같다.

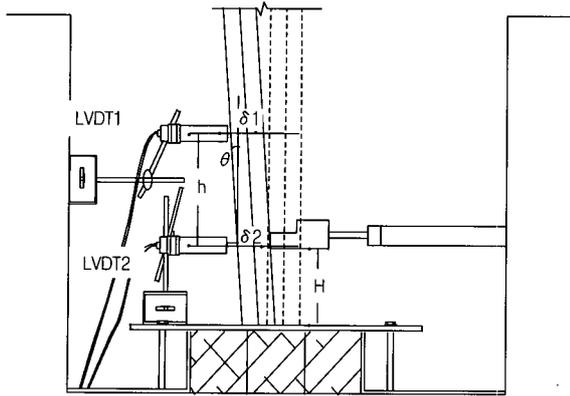


Fig. 4 Calculation of rotational stiffness

Table 2 Average of rotational stiffness

Specimen	Rotational stiffness(kN · m)
M-1-A-β	1.549
M-2-A-β	0.853
M-3-A-α	0.932
M-3-A-β	0.716
M-3-B-β	0.932
M-4-A-β	0.608

Fig. 4에서 보여지는 바와 같이 최대하중을 받는 지점에서 δ_2 는 가력에 의해 가력방향을 따라 수평이동한 변위와 같으므로, 순수하게 회전한 각만을 고려하기 위해 $\delta = \delta_1 - \delta_2$ 의 관계식을 이용하여 회전에 의한 변위를 δ 로 표시하고 그 δ 를 두 개의 LVDT 설치 간격인 h 로 나눈 값을 동바리의 회전각 θ 로 보았다. 실험으로부터 구해진 값들을 회전강성 K_r 과 연관시킬 경우 모멘트 M 과 회전각 θ 는 식(1)과 같이 구해질 수 있다.

$$M = K_r \theta \quad (1)$$

여기서 M 은 $P \times H$ 이며, 이 때 H 는 동바리 하반이판으로부터 가력점까지의 높이인 10cm이다.

여기서 식(1)을 정리하면 식(2)와 같은 회전강성 식을 구할 수 있다.

$$K_r = \frac{M}{\theta} = \frac{P \times H}{\frac{\delta}{h}} \quad (2)$$

실험에서 사용한 단위 $N \cdot mm$ 를 $kN \cdot m$ 로 환산한 다음, 각 변수별 분산과 표준편차가 크므로 90%의 신뢰구간⁹⁾을 설정하여 그 범위 밖의 실험값을 제외시킨 후 다시 평균을 내어 정리하면 Table 2과 같다.

Table 2에서 보여지고 있는 결과들을 비교해 보면, 6개의 경우 중 'M-1-A-β' 시험체, 즉, 75mm 못 4개를 볼트 구멍에 모두 반만 박고 구부리는 경우가 회전강성이 가장

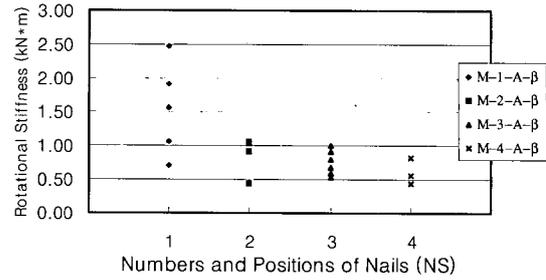


Fig. 5 Variation of rotational stiffness according to the numbers and positions of nails

크게 나옴을 알 수 있다. 이 경우는 못의 개수가 4개로서 그에 따른 회전강성이 못을 박는 위치와 상관없이 못 2개를 사용한 경우보다 커지게 되기 때문이다.

하반이판의 못박는 방법이 회전강성에 미치는 영향을 비교해보기 위해 'M-1-A-β', 'M-2-A-β', 'M-3-A-β', 'M-4-A-β'의 회전강성 평균값을 비교해본 결과 하반이판에 못박는 위치와 개수에 따라 회전강성에 끼치는 영향은 'M-1-A-β', 'M-2-A-β', 'M-3-A-β', 'M-4-A-β'의 순서로 나타났다. 즉, 못 4개를 볼트구멍에 모두 박았을 때가 가장 크고 못 2개를 대각선으로 볼트구멍에 박았을 때가 그 다음으로 큰 것을 알 수 있다. 가장 작은 평균값을 보이는 'M-4-A-β'의 회전강성 평균값을 기준으로 하여 다른 변수들과 비교하면 'M-1-A-β'는 154%, 'M-2-A-β'는 41%, 'M-3-A-β'는 18%정도의 증가를 보였다. 또한 볼트구멍에 못을 박는 경우가 못 구멍에 못을 박는 경우보다 회전강성이 크게 나타났는데, 이는 볼트구멍에 못을 박을 경우 동바리의 중심축으로부터 볼트구멍까지의 거리가 못 구멍까지의 거리보다 멀기 때문에 모멘트의 팔길이가 커져 그에 따른 저항력이 증가하기 때문이다. 또한 못 구멍에 못 2개를 박아 가력한 경우에는 힘의 진행방향과 같은 방향으로 박은 경우가 힘의 진행방향과 직각으로 박은 경우보다 회전강성이 더 작은 것으로 나타났다. 그러나 이 두 경우의 회전강성 평균값이 거의 비슷하여 결국 못 구멍에 못을 설치한 경우, 가력방향과 상관없이 회전강성이 가장 작게 나옴을 확인할 수 있었다. 따라서 하반이판의 못박는 개수와 위치에 따른 회전강성은 못 구멍에 박았을 때보다 볼트구멍에 못을 박았을 경우가 저항모멘트의 작용거리가 길어져 회전강성이 크고 또한 못의 개수가 많을 경우 회전강성이 크다는 것을 확인할 수 있었다.

Fig. 5 는 못박는 방법에 따른 회전강성의 변화를 보여 주고 있다.

Table 2 및 Fig. 6에서 보여지는 바와 같이 못의 길이에 따른 회전강성은 'M-3-B-β'가 'M-3-A-β' 보다 약 30% 정도 크게 나타나고 있다. 즉, 95mm의 못을 사용하는 경우가 75mm의 못을 사용하는 경우에 비하여 회전에 대한 저항성능이 더 커짐을 알 수 있다. 이는 95mm 못을 구부리지 않고 다 박아도 75mm의 못을 반만 박고 구부

리는 경우에 비하여 못 박는 길이가 더 길어서 각재에 박혀있는 못 부분의 마찰력이 더 커지기 때문이다.

Table 2 및 Fig. 7에서 보여지는 바와 같이 못을 박는 방법에 따른 회전강성의 변화를 비교해보면, 못 전체를 박는 경우가 못을 반만 박고 구부린 경우에 비하여 회전강성이 약 29% 정도 더 크게 나타나고 있다. 이는 못을 다 박는 경우가 못을 반만 박아 구부리는 경우보다 못과 각재의 마찰저항이 더 커져 회전강성이 증가하는 것으로 판단된다.

3.2 전단강성 실험 결과

전단강성실험에서는 실험변수를 회전강성실험과 같은 상태에서 동바리의 긴결방법에 따른 전단강성 변화를 파악하였다.

Fig. 8은 전단강성 실험에 의한 하중-변위 관계를 보여주고 있다. Fig. 9에서 보여지는 바와 같이 LVDT1에 의해 측정된 변위와 LVDT2에 의해 측정된 변위가 차이를 보이고 있는 데, 이는 가력시 동바리의 상부를 고정시키지 않고 실험을 수행하게 됨에 따라 동바리가 기울어지면서 회전이 추가되었기 때문이다.

Fig. 9, 10에서 보여지는 바와 같이 LVDT2에 의해 측정된 변위 δ_2 는 순수한 전단에 의해 발생한 변위인 δ_{2S} 와 회전에 의해 생긴 변위 δ_{2R} 의 합으로 생각할 수 있다.

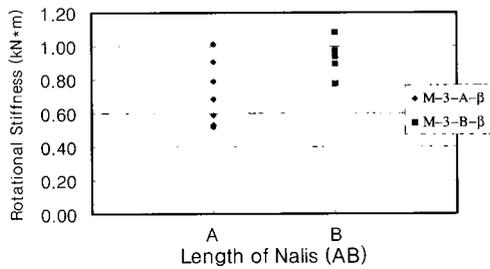


Fig. 6 Variation of rotational stiffness according to nail length

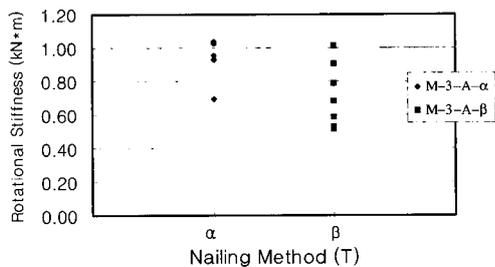


Fig. 7 Variation of rotational stiffness according to nailing method

따라서 δ_{2S} 값으로 전단강성값을 구하여야 하므로 전단에 의한 변위를 $\delta_{2S} = \delta_2 - \delta_{2R}$ 과 같이 산정할 수 있다. LVDT1, LVDT2 사이의 거리를 h , 바닥판으로부터 LVDT2까지의 높이를 H 라 하고 가력시 발생한 회전각을 θ 라 하면 회전에 의해 발생한 변위 δ_{2R} 는 식 (3)과 같이 구할 수 있다.

$$\delta_{2R} = H \times \tan \theta = H \times \frac{\delta_1 - \delta_2}{h} \quad (3)$$

로드셀에서 측정된 하중을 P 로 하면 전단강성 K_s 는 식(4)과 같이 구할 수 있다.

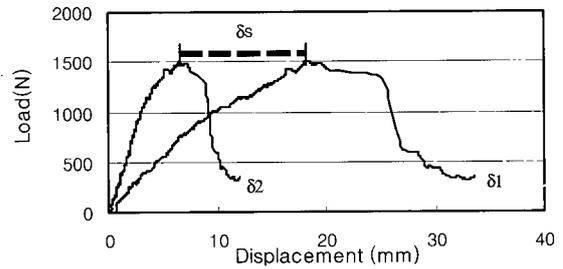


Fig. 8 Load-displacement of S-3-A-a-5 specimen

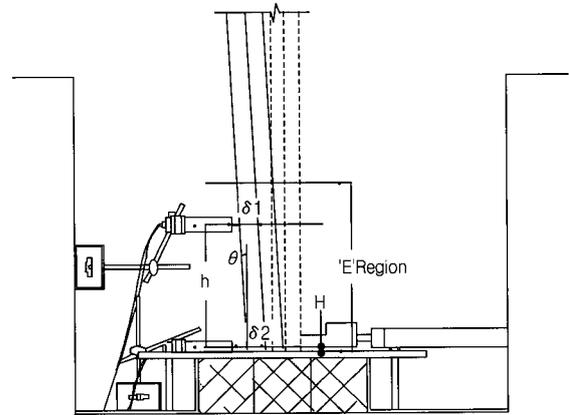


Fig. 9 Calculation of shear stiffness

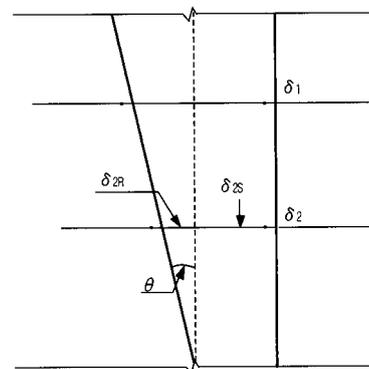


Fig. 10 Detail of 'E' region in Fig. 9

Table 3 Average of shear stiffness

Specimen	Shear stiffness(kN/m)
S-1-A-β	241.83
S-2-A-β	191.52
S-3-A-α	289.30
S-3-A-β	225.55
S-3-B-β	280.96
S-4-A-β	203.49

$$K_s = \frac{P}{\delta_{2S}} = \frac{P}{\delta_2 - \delta_{2R}} = \frac{Ph}{(H+h)\delta_2 - H\delta_1} \quad (4)$$

식 (4)을 이용하여 90% 신뢰구간에 대해 전단강성의 평균값을 구하여 정리하면 Table 3와 같다.

Table 3에서 보여지고 있는 전단강성을 분석하여 보면, 각각의 변수가 전단강성에 미치는 영향이 회전강성에 미치는 영향과 약간의 차이를 보이고 있다.

우선 하반이판에 못을 박는 방법에 따른 영향을 분석해 보면 'S-1-A-β', 'S-3-A-β', 'S-4-A-β', 'S-2-A-β'의 순으로 전단강성이 줄어드는 것을 알 수 있다. 가장 작은 'S-2-A-β'의 전단강성을 기준으로 각 실험체의 전단강성 변화를 살펴보면, 'S-1-A-β'는 26%, 'S-3-A-β'는 17%, 'S-4-A-β'는 6% 증가하였다. 즉, 못을 볼트구멍에 4개 박는 경우가 못 구멍에 2개를 박았을 경우보다 전단강성이 크게 나타났으며, 특히 동일한 개수의 못을 박는 경우에는 못 구멍에 못을 박는 경우가 볼트구멍에 못을 박는 경우보다 전단강성이 증가하였다. 이는 못 구멍에 못을 박았을 경우, 못 구멍의 지름이 볼트구멍의 지름보다 작아서 못과 동바리 하반이 판이 일체화되어 전단에 대한 저항능력이 커지기 때문인 것으로 판단된다. 또한 못 2개를 볼트구멍에 대각선으로 박았을 경우 현저하게 전단강성이 떨어지는데, 이는 동바리를 가력하면 볼트구멍이 커 전단강성이 떨어지는데다가 하반이판을 대각선상에 있는 못이 지지하므로 전단에 의한 효과에 동바리축을 중심으로한 비틀림까지 발생하여 저항능력이 급격히 떨어지기 때문인 것으로 판단된다.

Fig. 11에서는 각 시험체의 못 개수와 위치에 따른 전단강성 분포현황을 보여주고 있다.

Fig. 12에서 보여지는 바와 같이 95mm의 못을 사용하는 경우가 75mm의 못을 사용하는 경우에 비하여 약 25% 정도 전단강성이 커지는데, 이 또한 못의 길이가 길어지면 각재와 못 사이의 저항 마찰력이 커져 전단에 크게 저항하기 때문인 것으로 판단된다. 못 길이에 따른 전단강성 변화가 다음 Fig. 12에서 보여지고 있다.

Fig. 13은 못을 박는 방법에 따른 전단강성의 변화를 보여주고 있다. Fig. 13에서 보여지는 바와 같이 동바리 하반이 판에 못을 전체 다 박아서 긴결하는 경우가 못을 반만 박아 구부리는 경우에 비하여 전단강성이 약 28% 정도

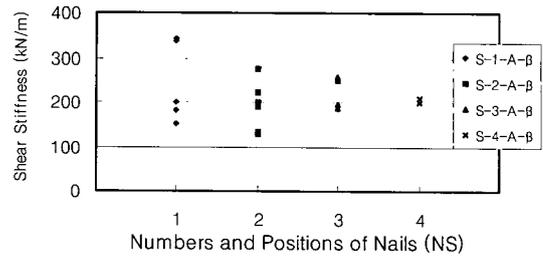


Fig. 11 Variation of shear stiffness according to the numbers and positions of nails

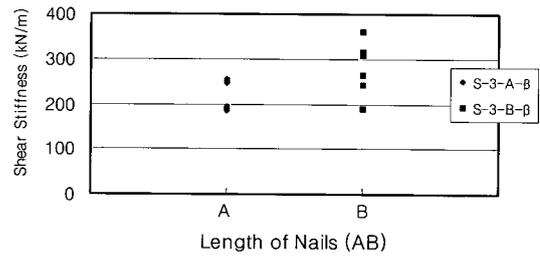


Fig. 12 Variation of shear stiffness according to length of nails

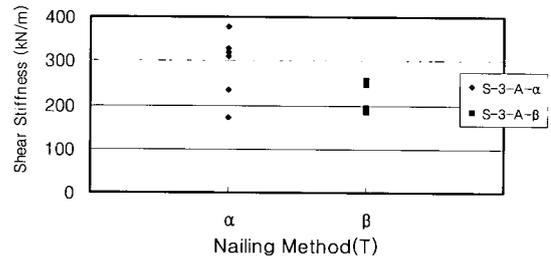


Fig. 13 Variation of shear stiffness according to nailing method

더 커지게 된다, 이 또한 회전강성과 마찬가지로 못을 전체 다 박을 경우 못이 박히는 길이가 길어지므로 그에 따른 전단 저항 능력이 커지기 때문인 것으로 판단된다. 이상의 실험결과를 종합한 결과 전단강성은 횡강성과는 달리 못 구멍에 못을 박을 때가 볼트구멍에 못을 박을 때가 보다 크게 나타났으며, 길이가 긴 못을 사용하거나 전체적으로 못을 다 박아 머리만 구부리는 경우에 전단 강성이 더 큰 것으로 나타났다.

4. 동바리 긴결방법에 따른 좌굴하중의 비교

4.1 해석모형

Fig. 14는 부재의 양단을 전단스프링과 회전스프링으로 모형화한 것이다. 이 경우 양단의 스프링상수 ($e_0, e_L, r_0,$

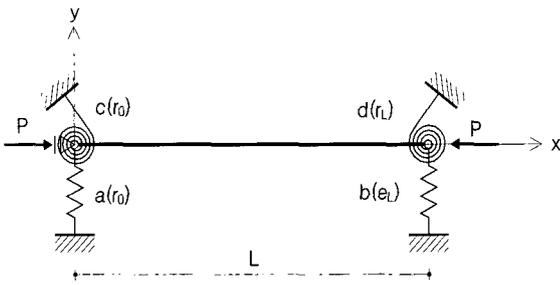


Fig 14 Beam-column with elastic support

r_L)를 조정함으로써 여러 가지 지지조건을 나타낼 수 있다. 예를 들어, 양단고정은 양단의 회전스프링과 전단스프링상수 값이 모두 ∞ 일 경우이며 양단핀은 양단의 회전스프링상수 값이 0이고 전단스프링상수 값이 모두 ∞ 인 경우이다.

4.2 경계조건에 따른 좌굴하중

압축력 P가 작용하는 부재의 좌굴방정식은 식(5)과 같다.

$$y'''' + k^2 y'' = 0 \quad (5)$$

여기서, $k^2 = \frac{P}{EI}$, $y'''' = \frac{d^4 y}{dx^4}$, $y'' = \frac{d^2 y}{dx^2}$

식(5)의 해를 무차원화 시켜 정리하면 식(6)과 같은 좌굴하중식을 유도할 수 있다¹⁰⁾.

$$[-(a+b)X^6 + (cd(a+b) + ab)X^4 + ab(c+d-cd)X^2] \sin X + [(a+b)(c+d)X^5 - ab(c+d)X^3 - 2abcdX] \cos X + 2abcdX = 0 \quad (6)$$

여기서, $a = \frac{e_0}{EI} L^3$, $b = \frac{e_L}{EI} L^3$,

$$c = \frac{r_0}{EI} L, \quad d = \frac{r_L}{EI} L, \quad X = kL$$

e_0, e_L : 전단스프링상수

r_0, r_L : 회전스프링상수

식(6)에서 a, b, c, d는 각각 전단스프링과 회전스프링상수를 무차원화한 것이다. 따라서 식(6)에서 구한 X 값을 이용하여 좌굴하중을 식(7)과 같이 구할 수가 있다.

$$P_{cr} = \frac{X^2 EI}{L^2} \quad (7)$$

식(7)에서의 X값은 전단스프링상수 및 회전스프링상수, 즉, 동바리 양단의 지지조건에 따라 달라진다. 따라서 이들을 각각의 지지조건에 따라 따로 구하여야 한다. 본 연

Table 4 Types of support conditions (* Variable)

Support condition	Extensional spring		Rotational spring	
	a	b	c	d
1	*	∞	*	∞
2	*	∞	*	0
3	*	0	*	∞
4	∞	∞	*	∞
5	*	∞	∞	∞
6	a=b=*		c=d=*	

구에서 고려하고 있는 지지조건들은 Table 4와 같다. Table 4에서 보여지고 있는 조건에 따라 각각의 지지조건에 맞는 좌굴하중식을 구한 후, 필요에 따라 $X=2u$ 로 치환하여 정리하면, 식(8)~(13)와 같은 식들을 구할 수 있다.

(1) 지지조건 1 (a, b = ∞ , c, d = ∞)

$$\tan u = \frac{4cu^3 + a(1-c)u \pm *}{8u^4 - 2au^2 - 2ac} \quad (8)$$

여기서,

$$* = u \sqrt{64u^6 + 16(c^2 - 2a)u^4 + 4a(a - 2c - 2c^2)u^2 + a^2(1+c)^2}$$

(2) 지지조건 2 (a, b = ∞ , c, d = 0)

$$\tan X = \frac{cX^3 - acX}{X^4 - aX^2 - ac} \quad (9)$$

(3) 지지조건 3 (a, b = 0, c, d = ∞)

$$\tan X = -\frac{X}{c} \quad (10)$$

이 경우 전단스프링과 관련이 있는 a 값은 좌굴하중에 영향을 주지 않는다.

(4) 지지조건 4 (a = ∞ , b = ∞ , c, d = ∞)

$$\tan u = \frac{-(1-c)u \pm u \sqrt{4u^2 + (1+c)^2}}{2u^2 + 2c} \quad (11)$$

(5) 지지조건 5 (a, b = ∞ , c = ∞ , d = ∞)

$$\tan u = \frac{-(4u^3 - au) \pm (4u^3 - au)}{2a} \quad (12)$$

(6) 지지조건 6 (a = b, c = d)

$$\tan u = \frac{32u^5 - 4(a+2c^2)u^3 - ac(2-c)u \pm *}{2ac^2 + 4acu^2 - 32cu^4} \quad (13)$$

여기서,

$$* = u \sqrt{1024u^8 + 256(2c^2 - a)u^6 + 16(a^2 - 8ac^2 + 4c^4)u^4 + 8ac(ac - 4c^2 + 2a - 2c^3)u^2 + a^2 c^2 (2+c)^2}$$

전술된 바와 같이 좌굴하중의 이론값은 경계조건에 따라 달라진다. 따라서 시공현장에서 실제로 사용되고 있는 동바리의 단부구속조건에 따라 동바리의 좌굴내력을 평가하기 위해서는 동바리 단부의 긴결조건에 따른 전단스프링상수와 회전스프링상수를 실험적으로 평가할 필요가 있다.

실험에 의해 구한 회전강성(Table 2)과 전단강성(Table 3)을 이용하면, 식(8)~식(13)의 X 값을 구할 수 있다. 이를 위해 먼저 동바리의 재질을 SPS400, 강관의 단면을 48.6×2.3으로 가정하면, $E=2.059 \times 10^8 \text{ kN/m}^2$, $I=8.9867 \times 10^{-8} \text{ m}^4$ 이 되므로, 이들을 이용해서 무차원화한 계수 a, c값을 시험체 및 길이 별로 구하면 Table 5와 같다.

Table 5에 있는 a, c 값에 따른 X값을 구하면 지지조건에 따른 실험체별 X_n 값은 같은 길이일 때 거의 비슷하다.

Table 5 values of a and c

Specimen	Shear stiffness (kN/m)		Rotational stiffness r_o (kN·m)	
1-A-β	241.83		1.549	
2-A-β	191.52		0.853	
3-A-α	289.30		0.932	
3-A-β	225.55		0.716	
3-B-β	280.96		0.932	
4-A-β	203.49		0.608	
Specimen	$a = \frac{e_o}{EI} L^3$			
	L=2.5m	L=3.5m	L=4.5m	L=5.5m
1-A-β	204.171	560.245	1190.724	2174.011
2-A-β	161.697	443.698	943.019	1721.753
3-A-α	244.243	670.204	1424.427	2600.703
3-A-β	190.427	522.531	1110.570	2027.665
3-B-β	237.206	650.893	1383.384	2525.767
4-A-β	171.798	471.414	1001.927	1829.306
Specimen	$c = \frac{r_o}{EI} L$			
	L=2.5m	L=3.5m	L=4.5m	L=5.5m
1-A-β	0.209	0.292	0.376	0.459
2-A-β	0.116	0.162	0.208	0.254
3-A-β	0.125	0.175	0.226	0.276
3-A-β	0.097	0.136	0.175	0.213
3-B-β	0.126	0.177	0.227	0.278
4-A-β	0.082	0.115	0.148	0.181

Table 6 X_n according to support conditions

	X_1	X_2	X_3
Support condition 1 (a,c,b=d=∞)	4.551	7.724	10.882
Support condition 2 (a,c,b=∞,d=0)	3.203	6.315	9.446
Support condition 3 (a,c,b=0,d=∞)	1.688	4.755	7.880
Support condition 4 (c,a=b=d=∞)	4.614	7.743	10.926
Support condition 5 (a,b=c=d=∞)	4.036	6.283	9.770
Support condition 6 (a=b,c=d)	3.260	6.346	9.467

이것은 지지조건에서 못 박는 위치, 개수, 못길이 등은 아주 특수한 경우가 아닌 일상적인 경우에는 X_n 값에 큰 차이가 없음을 보여준다. 또한 길이에 따른 X_n 값도 큰 차이가 없다. 이것은 a, c값을 무차원화 했기 때문에 당연한 것으로 사료된다. 따라서 시험체와 길이에 상관없이 지지조건에 따라 평균값을 구해서 정리하면 Table 6과 같아진다. Table 6의 X_n 값을 이용하여 각 길이별 첫 번째 좌굴 하중을 구하면 Table 7 및 Fig. 15과 같다. Table 7과 Fig. 15으로부터 다음과 같은 사실을 알 수 있다.

- 1) 한단고정($b = d = \infty$)일 때는 타단의 a, c값에 따라 좌굴 하중이 달라지는데 핀($a = \infty, c = 0$), 지지조건 1 (a, c), 지지조건 4 ($a = \infty, c$)순으로 좌굴하중이 커짐을 알 수 있다.
- 2) 한단고정($b=d=\infty$)일 때 타단은 지지조건4($a = \infty, c$)의 경우가 지지조건5($a, c = \infty$)의 경우보다 좌굴하중이 커진다. 즉, 상대적으로 전단강성이 회전강성보다 더 큰 영향을 줌을 알 수 있다.

Table 7 First buckling load according to support conditions (kN)

	Length(m)			
	2.5	3.5	4.5	5.5
Support condition 1	61.341	31.293	18.937	12.670
Support condition 2	30.371	15.495	9.375	6.276
Support condition 3	8.434	4.305	2.609	1.746
Support condition 4	63.027	32.156	19.456	13.023
Support condition 5	48.239	24.615	14.886	9.964
Support condition 6	31.470	16.053	9.709	6.502
Pinned-pinned end	29.194	14.896	9.012	6.031
Fixed-fixed end	116.787	59.585	36.049	24.134
Fixed-pinned end	59.791	30.499	18.456	12.356
Fixed-free end	6.727	3.432	2.079	1.393

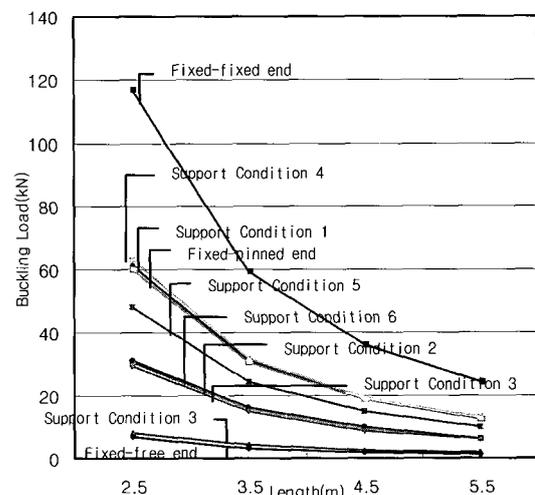


Fig. 15 Buckling Load according to Support Conditions

- 3) 한단이 편 ($b = \infty, d = 0$)일때 다른단이 편 ($a = \infty, c = 0$)보다는 a, c 값을 갖는 지지조건 2의 경우가 더 큰 하중을 받을 수 있다.
- 4) 한단의 a, c 값이 같을때 타단은 지지조건 2 ($b = \infty, d = 0$)가 지지조건 6 ($a = b, c = d$)보다는 좌굴하중 값이 작다.
- 5) 한단이 a, c 값을 가질때 타단은 지지조건 3의 ($b = 0, d = \infty$) 경우가 한단자유, 타단고정 일때보다는 약간 큰 값을 갖는다.
- 6) 전단스프링값 (b)이 0인 지지조건 3일때, 즉 횡변위를 저항하지 못할 때는 캔틸레버의 경우의 좌굴하중값으로 사용해도 큰 무리가 없어 보인다.

5. 결 론

본 연구는 실제의 시공현장에서 사용하고 있는 동바리 연결부의 긴결방식에 따른 회전강성 및 전단강성을 실험을 통해 측정하고 이를 이용하여 여러 가지 지지조건에 따른 좌굴하중을 비교해 본 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 못의 길이, 위치, 개수 등의 조건에 따른 회전강성은 0.608~1.549 kN·m 범위에 있었으며, 전단강성은 191.52~289.30 kN/m 범위에 있었다.
- 2) 회전 및 전단강성을 식(6)에 적용하기 위하여 이들을 무차원화 시키면, 길이에 따라 전단강성 a는 161.70~2600.70 범위에, 회전강성 c는 0.082~0.459 범위에 있음을 알 수 있다.
- 3) 실험에 의해 구한 전단강성 및 회전강성들을 이용하여 X_u 값을 구하면, 이는 실험체와 길이에 상관없이 거의 비슷한 값을 보여주고 있다. 즉, 못의 개수, 위치, 길이 등에 따른 회전강성과 전단강성은 제일 작은 값을 기준으로 250%에서 150%의 변화를 보이나 그 차이는 실제 좌굴하중에 거의 영향을 주지 않음을 알 수 있다.
- 4) 일반적인 전단강성(a값)과 회전 강성(c값)을 갖고 있을 경우, 타단이 고정이면 지지조건 1, 지지조건 4, 일단편 타단고정중에서 보수적으로 일단고정, 일단편으로 가정

해도 큰 무리가 없어 보이며, 양단 모두 전단 강성값과 회전 강성값을 어느 정도 갖고 있으면 지지조건 2, 지지조건 6, 양단편중에서 가장 작은 값을 갖는 양단 편으로 가정해서 사용해도 안전한 것으로 사료된다.

감사의 글

본 연구는 한국과학재단 목적기초연구(2000-1-31000-005-3)지원으로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. F.C.Hadiprino and H.K.Wang, "Analysis of Cause of Falsework Failures In Concrete Structures," *ASCE, Journal of CE & M*, Vol.112, 1986, pp.112~127.
2. A.M.E.Shahhat, D.V.Rosowsky, and W.F.Chen, "Construction Safety of multistory Concrete Buildings," *ACI Structural Journal*, Vol.90, No.4, 1993, pp.335~341.
3. B.Engliwood and E.V.Leyendecker, "Approaches for Design against Progressive Collapse," *ASCE, Journal of the Structural Division*, Vol.104, No.ST3, 1978.
4. Burnett, E.F.P., "The Avoidance of Progressive Collapse: Regulatory Approaches to the Problem," NBS-GCR 75-48, National Bureau of Standards, Washington, D.C., 1975.
5. 한국건설기술학회, "가설공사표준시방서", 서울, 2002.5.
6. 쌍용건설기술연구소, "거푸집 설계 및 시공표준안", 서울, 1994.2.
7. 대우건설연구팀, "거푸집공사의 이해와 시공", 기문당, 서울, 1993.10.
8. 김호수, 정성진, 곽순섭, 여윤기, "거푸집-동바리 시스템의 안전성에 영향을 미치는 시공현황 조사 및 분석," 대한건축학회 추계학술발표대회 논문집, 대한건축학회, 호서대, 21권2호, 2001.10, pp.619~622
9. 이창훈, 전영호, "공업통계학", 박영사, 1999.
10. 곽순섭, 김호수, 정성진, 김옥규, 박민아, "탄성지반을 갖는 동바리의 좌굴하중해석", 대한건축학회논문집 17권 7호, 2001.7, pp.35~44.

요 약

콘크리트 타설중, 콘크리트 타설경로로 인한 부분재하는 동바리의 연결부에 횡력을 발생시킨다. 이러한 횡력을 구속하기 위해 동바리의 상하부 접합부가 못으로 긴결되어야 한다. 그러나 시공성과 동바리 철거의 편의성을 위해 작업자들은 못을 거의 사용하지 않는다. 이러한 경우 동바리의 접합부는 전단력과 회전에 저항할 수 없다. 그리고 이러한 상황은 거푸집-동바리 시스템의 붕괴를 유발시킬 것이다. 그러므로 시공현장의 상황을 고려한다면 거푸집-동바리 시스템의 접합부 해석을 위해 접촉모델 및 스프링모델이 요구된다. 이에 따라 동바리에서의 접합부의 몇가지 유형에 따른 전단강성과 회전강성의 효과를 이해할 필요가 있다. 본 논문은 못의 길이, 개수, 위치의 변수에 따라 동바리의 연결부의 회전강성값과 전단강성값을 실험을 통해 평가하고자 하며 동바리의 지지단에 따른 결과를 보여준다. 그리고 이러한 결과는 실제 상황과 유사한 스프링모델 설정 및 좌굴하중 평가에 사용될 수 있다.

핵심용어 : 동바리 연결부, 전단 및 회전강성, 못의 긴결방법, 시공현황, 좌굴하중 평가