

## 마디접촉조건에 따른 나사철근의 기계식 이음 특성

김정민<sup>1</sup> · 최성욱<sup>2</sup> · 김병민<sup>#</sup>

### Mechanical Splicing Characteristic of the Threaded Bar according to the Contact Conditions of the Transverse Rib

J. M. Kim<sup>1</sup>, S. W. Choi<sup>2</sup>, B. M. Kim<sup>#</sup>

(Received March 22, 2019 / Revised April 19, 2019 / Accepted April 26, 2019)

#### Abstract

The objective of this study is to analyze the mechanical splicing characteristic of the threaded bar according to the contact conditions of the transverse rib. In order to consider the contact conditions of the rib, selection of the main variables including the gap of the core diameter ( $l_c$ ), rib angle ( $\theta$ ), and the number of contacts ( $C_N$ ) of transverse rib was done. So as to analyze the splicing characteristic of the D51 threaded bar, a finite element (FE) simulation of the tensile test was conducted using the designed D51 threaded bar and coupler. Through FE simulation results, it was verified that the mechanical splicing characteristics varied based on the main design variables ( $l_c$ ,  $\theta$ , and  $C_N$ ). It was further confirmed that it was important to determine the  $C_N$  in consideration of  $l_c$ . Additionally, the tensile test results of the D25 and D51 threaded bar combined with the couplers were similar to FE simulation results. Furthermore, to quantitatively evaluate FE simulation and test results, the calculation equation for the contacted projection area ratio ( $R$ ) of the transverse rib was proposed. To secure a mechanical splicing joint of the threaded bar, it was established that the  $R$  calculated using the proposed equation had to be greater or equal to 40%.

**Key Words:** Threaded bar coupler, Mechanical splicing characteristic, Transverse rib contact area, FE simulation, Contacted projection area ratio

#### 1. 서론

철근의 고강도화 및 엘리베이터 성능 향상으로 인해 빌딩, 아파트, 대형 교각 등의 철근 콘크리트 구조물이 초고층화 및 대형화가 되고 있는 추세이고 이러한 철근 콘크리트 구조물 시공에서 중요한 사항이 공기 단축, 비용 절감, 품질이다. 이러한 사항을 확보하기 위한 방법이 커플러를 이용한 철근 기계식 이음 방법이고 이음 방법은 Fig. 1, 2와 같이 한 개의 커플러에 두 개의 철근을 체결하는 것이다. 커

플러와 체결하기 위해서는 일반 철근 표면에 전조와 나사산 가공이 적용되지만 모재부 손상에 따른 강도 저하로 인해 구조물의 안전성 및 품질 문제가 제기되고 있으므로[1] 이 문제들을 해결하기 위해 나사철근이 개발되었다.



Fig. 1 Mechanical splicing joint for the threaded bar

1. 부산대학교 대학원 정밀가공시스템  
2. 동국제강 중앙기술연구소

# Corresponding Author : School of Mechanical Engineering, Pusan Nat'l university, bmkim@pusan.ac.kr

나사철근은 길이 방향 리브가 없으며 마디가 나선형 형태를 가진 철근이다[2]. 나사철근은 마디형상이 나선형이기 때문에 철근 표면 가공 없이 커플러와 체결된다. 나사철근의 기계식 이음은 체결 방법이 간단하여 시간 단축 및 비용 절감이 가능하고 모재부 손상이 없기 때문에 일반 철근 기계식 이음에 비해 구조적으로 안정한 이음 방법이다. 나사철근을 콘크리트 구조물 공사에 적용하기 위해 2012년부터 나사철근의 기계식 이음 평가 및 구조물의 성능 평가를 수행하였고[3-5] 성능 평가 결과를 통해 2016년에 콘크리트용 봉강 규격에 나사철근이 포함되었다[7]. 국내 제강사에서는 나사철근 수요에 대응하기 위해 나사철근 압연공정설계 연구를 수행했으며 유한요소해석, 인공신경망 분석, 압연실험을 통해 설계된 나사철근의 압연공정 검증 및 제품 개발이 완료되었다[2]. 나사철근을 시공 현장에 적용하기 위해서는 기계식 이음 규격에서 제시된 조건을 만족해야 하고[8] 제시된 조건 중에 하나가 철근의 모재부 파단이다. 철근의 모재부 파단은 철근과 커플러가 접촉하는 마디접촉조건에 의해 결정되기 때문에 나사철근 커플러 설계 시 마디접촉조건을 고려하는 것이 필요하다.

현재 나사철근 커플러 설계 시 마디접촉조건을 고려한 정량적인 커플러 설계 기준이 정립되지 않으며 대부분 엔지니어의 경험을 바탕으로 제작되기 때문에 정량적이면서 체계화된 커플러 설계 연구가 부족한 실정이다.

본 연구 목표는 나사철근의 마디접촉조건이 반영된 정량적이면서 체계화된 커플러 설계 기준을 제시하는 것이다. 마디접촉조건을 결정하는 커플러의 설계 주요 변수를 선정하여 나사철근 및 커플러를 설계하고 나사철근과 커플러의 기계식 이음 특성을 평가하기 위해 유한요소해석과 인장시험을 수행하고 해석 및 시험결과를 통해 커플러 설계 기준을 제시한다.

## 2. 나사철근 D51 및 커플러 설계

### 2.1 설계 변수 선정

나사철근의 기계식 이음에서 나사철근이 커플러를 통과되어야 하기 때문에 나사철근과 커플러의 간격이 필요하다. Fig. 2에서  $l_h$  와  $l_w$  는 나사철근과 커플러 간의 마디높이 및 폭의 간격,  $l_c$  는 내경 간격

이고  $T$  는 나사철근,  $C$  는 커플러를 의미한다.  $h$  는 마디높이,  $\theta$  는 마디각도,  $d$  는 내경이다. 본 연구에서 마디접촉조건은 나사철근과 커플러 간의 마디접촉면적과 상관성이 있다고 판단하였고 마디접촉면적과 상관성이 있는 변수를 커플러의 주요 설계 변수로 선정하였다. 마디접촉면적은 마디접촉길이 ( $l_r$ ) 과 나사철근의 내경부 호 ( $r_r$ ) 의 곱이고 Fig. 3과 같이  $l_c$  에 따라  $l_r$  차이가 있다.  $\theta$  에 따라  $l_r$  이 다르기 때문에 마디접촉면적과 관계가 있는 커플러의 주요 설계 변수로  $l_c$  와  $\theta$  가 선정되었다.  $l_r$  은  $l_c$  와  $\theta$  가 적용된 식(1)에 의해 계산된다.  $r_r$  를 계산하기 위해 Fig. 4(a)의 나사철근 단면 그림과 같이 식(2), (3)을 이용하여  $r_c$  를 계산한다. 나사철근의 마디는 나선각도 ( $\beta$ )를 가지고 있으므로 식(4)를 이용하여 나사철근 한 마디에 대한 접촉면적이 계산된다.

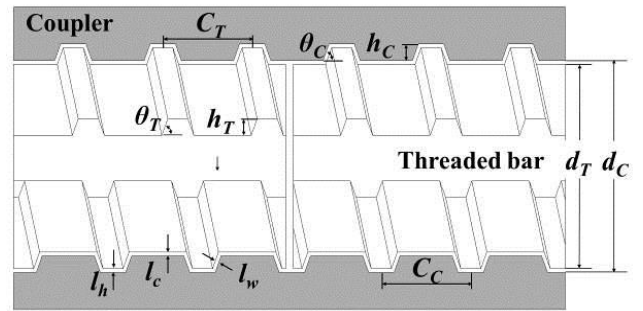
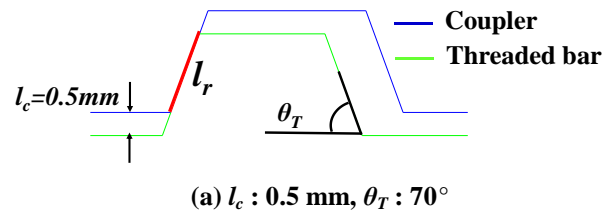
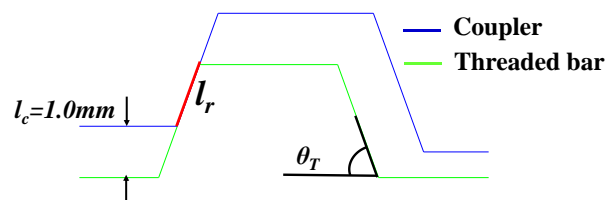


Fig. 2 Main shape design variables of the threaded bar and coupler



(a)  $l_c : 0.5 \text{ mm}, \theta_T : 70^\circ$



(b)  $l_c : 1.0 \text{ mm}, \theta_T : 70^\circ$

Fig. 3 Schematic diagram of  $l_r$  according to  $l_c$

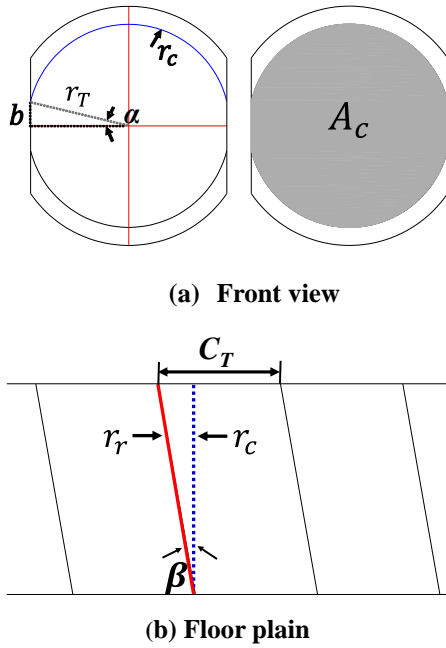


Fig. 4 Schematic diagram of the threaded bar shape

Fig. 5와 같이 마디접촉수 ( $C_N$ ) 에 의해 나사철근과 커플러가 접촉하는 총 마디면적이 결정되므로 식(5)와 같이 총 마디접촉면적 계산식이 도출되었고 총 마디접촉면적을 결정하는  $l_c$ ,  $\theta$ ,  $C_N$  을 커플러의 주요 설계 변수로 선정하였다.

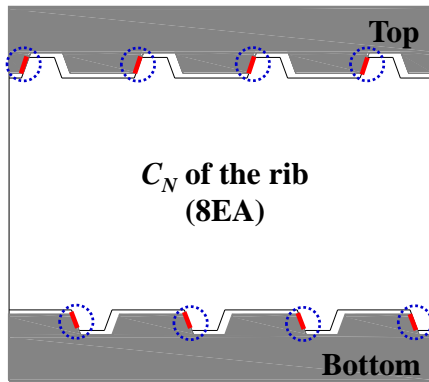


Fig. 5 Schematic diagram of mechanical splicing joint according to  $C_N$  of the transverse rib

$$l_r = \frac{h_T - l_c}{\sin(\theta_T)} \quad (1)$$

$$\alpha = \sin^{-1}\left(\frac{360 \cdot b}{d_T \cdot \pi}\right) \quad (2)$$

$$r_c = \pi \cdot d_T \cdot \frac{(90 - \alpha)}{180} \quad (3)$$

$$a_r = l_r \cdot r_r = \frac{h_T - l_c}{\sin(\theta_T)} \cdot \frac{r_c}{\cos(\beta)} \quad (4)$$

$$A_r = C_N \cdot a_r \quad (5)$$

## 2.2 나사철근 D51 및 커플러 설계

제시된 나사철근 커플러 설계 변수를 이용하여 나사철근 D51과 나사철근 커플러를 설계하였다. 나사철근 D51 설계 시 나사철근 D51 최종 형상, 규격 등을 참조하여 설계하였다[2, 7].  $d_T$  는 48.6 mm,  $h_T$  는 2.5 mm, 마디간격 ( $C_T$ ) 은 20.5 mm,  $\theta_T$  는 45°, 60°, 70° 로 적용하였다. 철근 규격에서  $\theta_T$  는 45° 이상으로 적용하는 기준이 있으며[7] 75° 이상 시, 철근과 콘크리트간의 부착응력이 감소되어 전단파괴가 발생된다[6]. Table 1은 나사철근 D51의 주요치수를 나타낸 것이다.

나사철근 D51 커플러 설계에서  $d_c$  는 49.6, 50.6 mm 로 설정하였다. 나사철근의 압연공정과 커플러 성형과정에서 발생하는 치수 오차로 인해  $l_c$  를 0.5 mm 미만으로 설정하는 것이 한계가 있다고 판단하였고  $l_c$  를 1.0 mm 초과 적용하면 인장시험 시 슬립 발생 가능성이 높다고 예측하였다. 나사철근이 커플러를 통과해야 하므로 마디간격 ( $C_C$ ) 과  $\theta_C$  는 나사철근 D51과 동일한 치수로 적용되었다.  $C_N$  는  $l_c$  를 고려하여 5, 6, 7, 8EA로 설정하였고,  $C_N$  는 Fig. 5와 같이 한 개의 나사철근에 대한 상, 하  $C_N$  이다. 커플러 외경 ( $D_C$ ) 은 80 mm 로 고정하였고 커플러 길이는  $C_C$  와  $C_N$  을 참조하여 커플러 길이 ( $L_C$ ) 를 결정하였다. 본 연구에서 적용된  $L_C$  는 한 개의 나사철근의 대한  $L_C$  이므로 기계식 이음에 사용되는 커플러 길이는 2배이다.

Table 1 Design variables data for the D51 threaded bar

Case	$d_T$ (mm)	$C_T$ (mm)	$h_T$ (mm)	$\theta_T$
1	48.6	20.5	2.5	45°
2				60°
3				70°

**Table 2 Design variables data for the coupler**

$d_C$ (mm)	$h_C$ (mm)	$C_C$ (mm)	$D_C$	$\theta_C$	$C_N$	$L_C$ (mm)
49.6	2.5	20.5	80	45°	5	51.3
				60°	6	61.5
70°				7	71.8	
-				8	82.0	
50.6						

Table 2에서 제시된 커플러 주요 설계 치수를 이용하여 24 Case 의 커플러를 설계하였고  $C$  와  $\theta$  는 동일한 조건에서 Table 3과 같이 24 Case 의 나사철근 D51의 기계식 이음과 총 마디접촉면적 계산을 수행하였다.

**Table 3 Data of the mechanical splicing joint for the D51 threaded bar**

Case	D51 threaded bar	Coupler			$A_r$ (mm <sup>2</sup> )
		$d_C$ (mm)	$\theta_C$	$C_N$ (EA)	
1	Case1	49.6	45°	5	952
2				6	1142
3				7	1332
4				8	1523
5	Case2	49.6	60°	5	777
6				6	932
7				7	1099
8				8	1243
9	Case3	49.6	70°	5	716
10				6	859
11				7	1002
12				8	1146
13	Case1	50.6	45°	5	714
14				6	856
15				7	999
16				8	1141
17	Case2	50.6	60°	5	583
18				6	699
19				7	816
20				8	932
21	Case3	50.6	70°	5	537
22				6	644
23				7	752
24				8	859

### 3. 유한요소해석

#### 3.1 해석모델 및 조건

마디접촉조건에 따른 나사철근의 기계식 이음 특성을 평가하기 위해 유한요소해석을 수행하였다. 기계식 이음 검사 규격의 대표적인 시험이 인장시험이며 ABAQUS/CAE 와 탄소성 유한요소법을 이용하여 인장시험해석을 수행하였다.

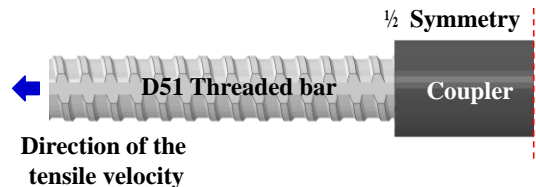
$$\sigma = K \cdot \epsilon^n \quad (6)$$

**Table 4 Tensile test results of the D51 threaded bar with yield strength 600MPa**

Category	Strength (MPa)		Elongation
	Yield	Tensile	
Standard [7]	600↑ (Nominal)	710↑ (Nominal)	0.1↑ (Nominal)
D51 threaded bar	646 (Nominal)	750 (Nominal)	0.16 (Nominal)
	647 (True)	870 (True)	0.15 (True)

**Table 5 Process condition of FE-simulation**

Category	Condition	Value	
		$K$ (MPa)	$n$
Material	Flow stress	1120	0.0922
	Poisson' ratio	0.3	
	Density	7850 kg/m <sup>3</sup>	
	Elastic modulus	210 GPa	
Coupler		Rigid	
Boundary Condition	Friction factor	0.15 (Coulomb)	
	Tensile velocity	0.5 mm/s	
	-	1/2 symmetry	



**Fig. 6 Three-dimensional modeling of the mechanical splicing joint (1/2 symmetry)**

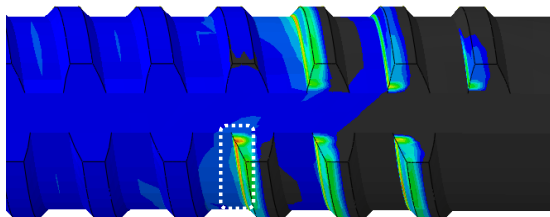
항복강도 600 MPa 급 나사철근 D51의 Stress-Strain curve 를 식(6)의 Hollomon 모델로 적용하였고[11] 탄성계수와 푸아송비는 210 GPa, 0.3으로 설정하였다.

본 연구에서는 슬립 또는 모재부 파단의 판단 기준은 나사철근 D51의 최대 인장강도 또는 파단 연신율로 설정하였다. 기계식 이음 평가에서 발생하는 슬립은 나사철근의 마디접촉부 파손에 의해 발생되기 때문에, 나사철근의 마디접촉부의 von-Mises 응력 또는 유효변형률이 나사철근 최대 인장강도 또는 파단연신율 도달했을 때 마디접촉부가 파손된다고 판단하였다. 최대 인장강도 870 MPa 또는 파단연신율 0.15를 적용한 이유는 다음과 같다. Table 4와 같이 현재 생산하고 있는 항복강도 600 MPa 급 나사철근 최대 인장강도와 파단연신율은 750 MPa, 0.16 이고 이 결과는 공칭응력 및 변형률 결과이다. 유한요소해석을 수행하기 위해 공칭응력-공칭변형률의 결과를 진응력-진변형률로 변환 시 인장강도와 연신율은 870 MPa, 0.15 로 계산되었다.

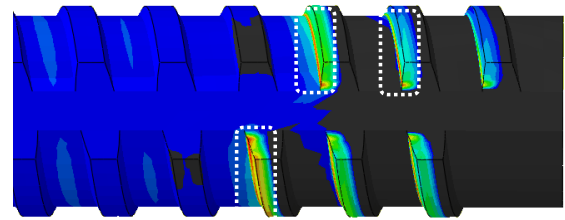
커플러의 강도는 철근의 강도 보다 1.5배 이상 크기 때문에 본 연구에서는 강체로 설정하였고 나사철근과 커플러 간의 접촉마찰계수는 쿨롱마찰계수 0.15로 적용하였다. 인장속도는 인장시험규격에서 제시하는 조건을 참조하여 0.5 mm/s 로 설정하였다 [10]. Table 5는 해석조건을 나타낸 표이고 나사철근의 기계식 이음은 하나의 커플러에 2개의 나사철근으로 구성되어 있기 때문에 Fig. 6과 같이 1/2 대칭 조건을 적용하였다.

### 3.2 해석결과

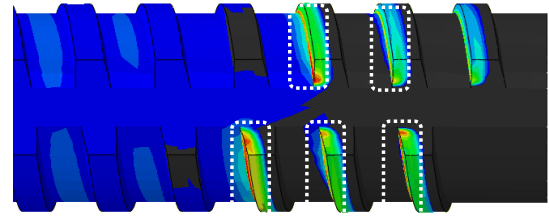
기계식 이음 특성을 분석하기 위해 24 Case 의 인장시험해석을 수행하였다. Fig. 7은  $C_N$  6EA 적용 시,  $l_c$  와  $\theta$  에 따른 나사철근 D51의 von-Mises 응력분포 결과이고 Fig. 8은  $l_c$  1.0 mm,  $\theta$  45° 적용 시,  $C_N$  에 따른 von-Mises 응력분포 결과이다. 여기서 나사철근 D51 모재부 von-Mises 응력이 항복강도 (600-650 MPa)에 도달했을 때 응력 결과이다.



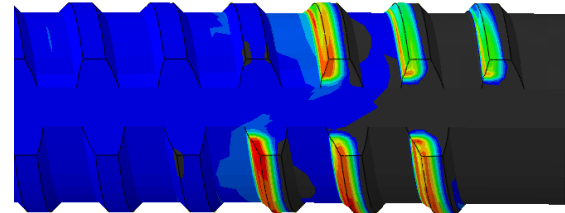
(a) Case 2 ( $l_c$  : 0.5 mm,  $\theta$  : 45°)



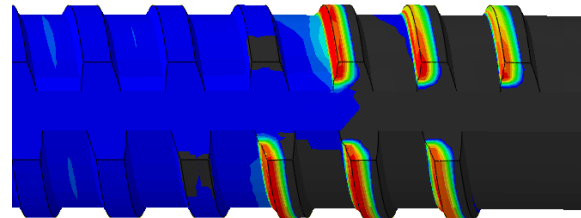
(b) Case 6 ( $l_c$  : 0.5 mm,  $\theta$  : 60°)



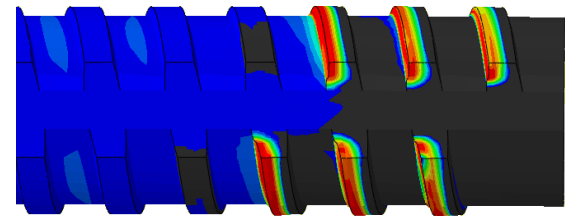
(c) Case 10 ( $l_c$  : 0.5 mm,  $\theta$  : 70°)



(d) Case 14 ( $l_c$  : 1.0 mm,  $\theta$  : 45°)



(e) Case 14 ( $l_c$  : 1.0 mm,  $\theta$  : 60°)



(f) Case 14 ( $l_c$  : 1.0 mm,  $\theta$  : 70°)

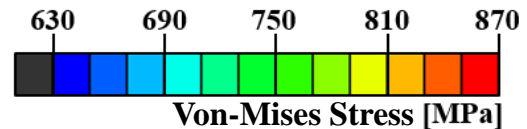
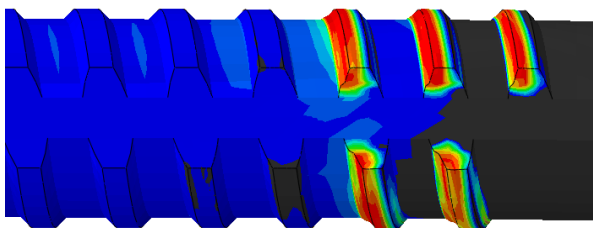


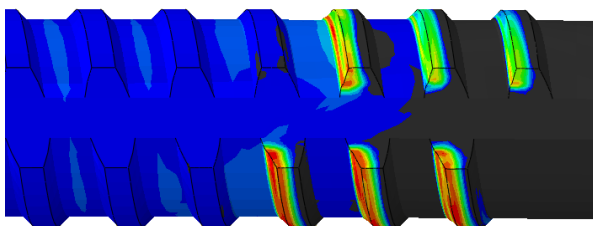
Fig. 7 Comparison of Von-Mises stress of D51 threaded bar transverse rib according to changes  $l_c$  and  $\theta$

Fig. 7(a), (b), (c) 경우,  $l_c$  0.5 mm 적용 시, 나사철근의 마디접촉부 von-Mises 응력이 나사철근 D51의 최대 인장강도 870 MPa 보다 낮게 발생되었지만 Fig. 7(a), (b), (c) 에서 표시된 것과 같이 부분적으로 마디접촉부 응력이 최대 인장강도에 도달하였다. 이 해석 결과로 명확하게 마디접촉부 파손으로 인한 슬립이 발생된다고 판단하는 것은 한계가 있기 때문에 인장시험으로 검증 할 필요가 있다고 판단된다.

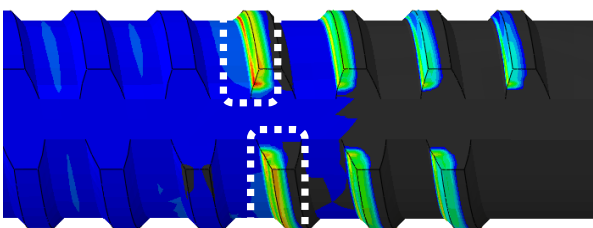
Fig. 7(d), (e), (f) 경우,  $l_c$  1.0 mm 적용 시, 마디접촉부 von-Mises 응력이 나사철근 D51의 최대 인장응력 870 MPa에 도달하는 것으로 확인되었고 마디접촉부 파손에 의해 슬립이 발생할 가능성이 높다고 판단하였다. 이 결과는  $l_c$  가 클수록 접촉면적이 감소됨에 따라 von-Mises 응력이 높게 발생된 것으로 판단되며  $l_c$  에 의한 마디접촉면적에 따라 기계식 이음 특성 차이가 있다는 것을 확인하였다. Fig. 7(a), (b), (c) 에서 표시된 것과 같이  $\theta$  에 따른 von-Mises 응력 변화는 있지만,  $l_c$  에 비해 응력 변화가 작다고 확인되었다.



(a) Case 13 ( $l_c$  : 1.0 mm,  $C_N$  : 5EA)



(b) Case 14 ( $l_c$  : 1.0 mm,  $C_N$  : 6EA)



(c) Case 14 ( $l_c$  : 1.0 mm,  $C_N$  : 7EA)

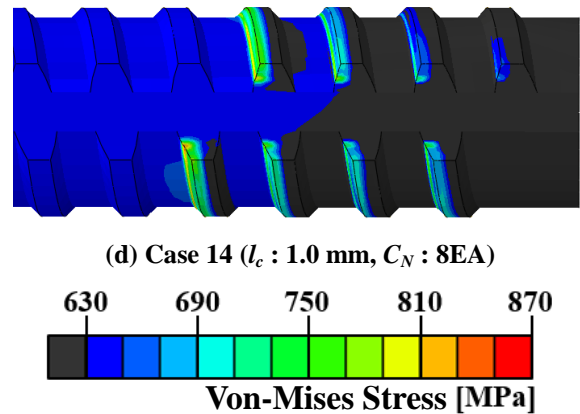
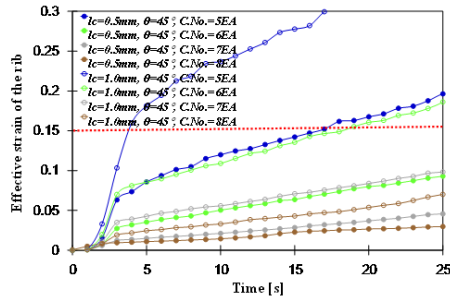


Fig. 8 Comparison of Von-Mises stress of D51 threaded bar transverse rib according to changes  $C_N$

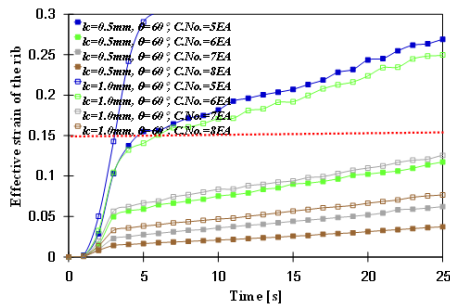
Fig. 8에서  $C_N$  5, 6EA 적용 시, 마디접촉부의 von-Mises 응력이 나사철근 D51 최대 인장강도에 도달하게 되어 마디접촉부 파손으로 인한 슬립이 발생할 것으로 예측하였다.  $C_N$  8EA 적용 시, 마디접촉부의 von-Mises 응력이 최대 인장강도 보다 낮게 발생되어 슬립이 발생되지 않을 것으로 판단하였다. 다만  $C_N$  7EA 적용 시, 표시된 것과 같이 부분적으로 최대 인장강도에 도달하는 것으로 판단되어 인장시험을 통해 검증할 필요가 있다고 예상된다. 이러한 결과를 통해  $C_N$  이 증가할수록 마디 총 접촉면적이 증가되어 마디접촉부의 von-Mises 응력이 감소하는 것으로 확인되었다. Fig. 7, 8의 해석 결과를 통해 본 연구에서 제시한 커플러의 주요 설계 변수인  $l_c$  와  $C_N$  에 의한 마디의 접촉 면적에 따라 기계식 이음 특성 차이가 있다는 것을 확인하였고 커플러 설계 시,  $l_c$  를 고려한  $C_N$  를 선정하는 것이 중요하다고 판단된다.

Fig. 7(a), (b), (c) 에서 부분적으로 von-Mises 응력이 최대 인장강도에 도달하였고 슬립 또는 모재부 파단을 검증하기 위해 마디접촉부의 평균 유효변형률을 분석하였다. Table 4의 나사철근 D51 인장시험 결과에서 파단연신율이 0.15로 확인되었고 마디접촉부의 유효변형률이 0.15 도달 시 마디접촉부 파단에 의해 슬립이 발생된다고 설정하였다. Fig. 9는 커플러 주요 설계 변수에 따른 마디접촉부의 유효변형률 결과이다. 마디접촉부의 응력 결과와 유사하게  $C_N$  5EA 적용 시,  $l_c$ ,  $\theta$  와 상관없이 마디접촉부의 유효변형률이 나사철근 D51의 파단연신율에 도달하여 마디접촉부 파손이 발생되어 이로 인해 슬립이 발생될 것으로

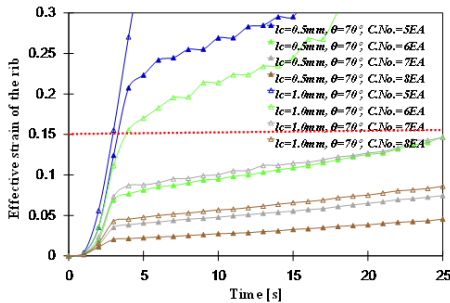
예측하였다.  $l_c$  1.0 mm,  $C_N$  6EA 적용한 결과도  $\theta$  와 상관없이 마디접촉부의 유효변형률이 나사철근 D51의 파단연신율에 도달하는 것으로 확인되어 마디부 파손이 발생 될 수 있다는 것을 판단하였다.



(a)  $\theta : 45^\circ$



(b)  $\theta : 60^\circ$



(c)  $\theta : 70^\circ$

**Fig. 9** Effective strain curves of the rib according to  $l_c$ ,  $\theta$ , and  $C_N$  of the rib

$l_c$  1.0 mm,  $C_N$  6EA 적용한 결과도  $\theta$  와 상관없이 마디접촉부의 유효변형률이 나사철근 D51의 파단연신율에 도달하는 것으로 확인되어 마디부 파손이 발생 될 수 있다는 것을 판단하였다.

$C_N$  8EA 적용 시,  $l_c$  와 상관없이 마디부의 유효변형률이 파단연신율 보다 낮은 것으로 확인되었다. von-Mises 응력 분석 결과와 유사하게  $\theta$  가 증가 할

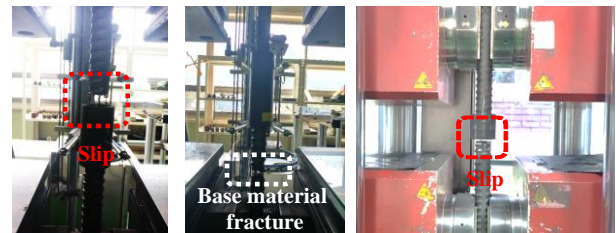
수록 마디부의 유효변형률이 증가하지만  $l_c$  와  $C_N$  에 비해  $\theta$  의 영향은 작다고 판단하였다. 특히  $l_c$  0.5 mm,  $C_N$  6EA를 적용한 유효변형률 결과가  $l_c$  1.0 mm  $C_N$  7EA를 적용한 결과와 유사하며 0.15 에 근접하는 것으로 확인하였고 인장시험을 통해 검증할 필요성이 있다고 판단되었다. von-Mises 응력 및 유효변형률 분석 결과를 통해 커플러의 주요 설계 변수가 고려된 마디접촉조건에 따라 기계식 이음 특성이 차이가 있다는 것을 확인하였다.

#### 4. 인장시험 및 고찰

##### 4.1 인장시험개요 및 결과

유한요소해석결과를 검증 및 기계식 이음 특성을 평가 하기 위해 인장시험을 수행하였다. 대상 사이즈는 항복강도 600 MPa 급 나사철근 D25, D51이고 Table 5에서 제시한 커플러 설계 변수에 따른 커플러를 제작하여 나사철근과 체결한 후 Fig. 10과 같이 인장시험을 수행하였고 인장속도는 유한요소해석과 동일하게 0.5 mm/s로 적용하였다[8-10].

Fig. 10, Table 6과 같이 인장시험 결과는 해석결과와 유사한 것으로 확인하였다.  $C_N$  5EA를 적용한 경우에는 모두 슬립이 발생되었다.  $C_N$  8EA 적용 시, D25, D51 모두 슬립 없이 모재부 파단이 나타났으며 인장강도도 기계식 이음 규격을 만족하는 것으로 확인되었다[8]. D25  $C_N$  6EA, D51  $C_N$  7EA 적용한 시험 결과도 모재부 파단과 인장강도가 규격을 만족하는 것으로 확인되었다.



(a) D25 5EA (b) D25 8EA (c) D51 5EA



(d) D51 8EA

**Fig. 10** Uniaxial tensile test results

Table 6 Results of tensile test

Size	$l_c$ (mm)	$\theta$	$C_N$ (EA)	Slip	Tensile strength (MPa)	
					Standard[8]	Results
D25	0.5	70°	5	Y	750↑	-
D25	0.5	70°	6	N	750↑	756
D25	0.5	70°	8	N	750↑	773
D51	0.7	45°	5	Y	750↑	-
D51	0.7	45°	7	N	750↑	775
D51	0.7	45°	8	N	750↑	785

4.2 고찰

유한요소해석과 인장시험 결과에 대한 정량적인 평가와 나사철근 커플러 설계 기준을 도출하기 위해 본 연구에서는 마디의 투영접촉면적비 ( $R$ ) 를 제시하였다.  $R$  은 Fig. 4(a)의 나사철근의 코어부 단면적에 대한 식(5)의 총 마디접촉면적비이고 von-Mises 응력 및 유효변형률 분석을 통해  $\theta$  의 영향이 작다고 판단되어 식(7)과 같이 마디의  $R$  계산식을 도출하였다. 여기서  $C_N$  은 앞에서 언급한 것과 같은 개의 나사철근에 대한 상, 하 마디접촉수이다. Fig. 11은 유한요소해석과 인장시험의 결과에 대해 계산된  $R$  결과이다.

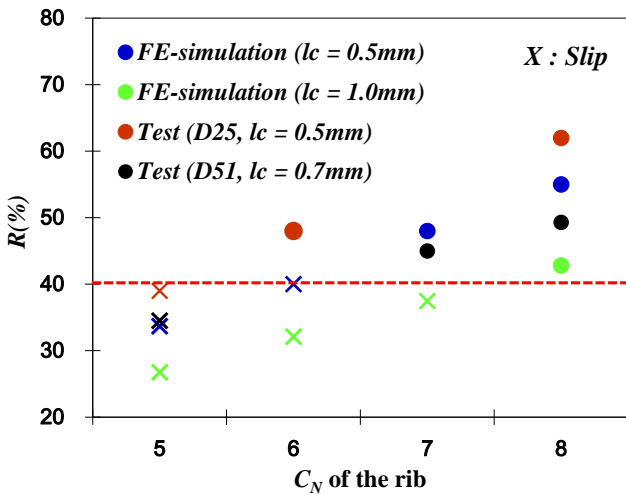


Fig. 11 Results of contacted projection area ratio ( $R$ )

$$R = \frac{A_r}{A_c} \sin(\theta_T) \quad (7)$$

$R$  40% 이상이 되면 철근 파단이 발생이 되는 것으로 확인되었고 이로 인해 커플러 설계 시,  $R$  40% 이상으로 확보하는 것이 중요하다고 판단된다. 다만 커플러의 주요 설계 변수인  $l_c$ ,  $\theta$ ,  $C_N$  가 동일하더라도 철근 사이즈에 따라  $A_c$  와  $h_T$  가 다르기 때문에  $R$  의 차이는 발생할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 커플러 설계 시, 나사철근의 기계식 이음 성능을 확보하기 위해 2단계의 커플러의 설계 기준을 제시하고자 한다. 1 단계는 앞에서 언급한 것과 같이  $R$  40% 이상을 확보하는 것이고 2 단계에서는  $R$  40% 확보 하기 위해,  $l_c$  를 최소화 하는 것 보다  $C_N$  을 증가하는 것이다. 이는 나사철근의 압연공정과 커플러의 성형공정에서 발생하는 치수 오차를 제어하는 것이 한계가 있기 때문이다. 적합한  $l_c$  를 선정 한 후,  $R$  계산식을 이용하여 40% 이상을 확보하는  $C_N$  를 선정한다.

5. 결론

본 연구에서는 나사철근의 마디 접촉조건에 따른 기계식 이음 특성을 분석하기 위해, 커플러 주요 설계 변수 선정하여 나사철근 D51 및 커플러를 설계 하였고, 유한요소해석과 인장시험을 통해 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 나사철근의 기계식 이음 특성에 영향이 미치는 커플러의 주요 설계 변수 ( $l_c$ ,  $\theta$ ,  $C_N$ ) 를 선정하였고, 설계 변수가 적용된 마디접촉면적비를 고려하여 나사철근 D51 및 커플러를 설계하였다.
- (2) 설계된 나사철근 D51 및 커플러를 이용하여 유한요소해석을 수행하였고 선정된 커플러의 주요 설계 변수에 따라 기계식 이음 특성 차이가 있다는 것을 확인하였고 마디의 접촉면적이 클수록 철근 모재부 파단 발생 가능성이 높다는 것을 확인하였다.
- (3) 해석결과를 검증하기 위해 인장시험을 수행하였고 시험결과도 해석결과와 유사하다는 것을 확인하였다. 해석 및 시험결과를 이용하여 커플러 설계 기준인  $R$  계산식을 도출하였고,  $R$  40% 이상을 확보하는 것이 중요하며  $R$  40% 이상을 확보하기 위해서는  $l_c$  를 최소화 하는 것 보다  $C_N$  증가하는 것을 제안한다.



## REFERENCES

- [1] H. B. Choi, G. H. Kim, J. Y. Kim, D. S. Seo, K. I. Kang, 2003, A Study on Development of Tempcore Re-bar Mechanical Connection, Arch. research. Vol. 19, No. 13, pp. 99~106.
- [2] J. M. Kim, S. B. Won, B. M. Kim, Study on Hot rolling process of the D51 large-diameter threaded bars, 2018, J. Mech. Sci. Technol. Vol. 32, No. 4, pp. 1761~1768.
- [3] B. H. Lee, W. S. Cho, I. K. Baik, S. H. Cho, S. H. Lee, L. Chung, 2012, Splice of High-strength Threaded bar, Proc. Kor. Conc. Inst., pp. 83~84.
- [4] B. H. Lee, W. S. Cho, I. K. Baik, S. H. Cho, S. H. Lee, L. Chung, 2012, Coupler Splice Performance of High-strength Threaded bar, Proc. Kor. Conc. Inst., pp. 109~110.
- [5] D. K. Hwang, H. Y. Kim, H. H. Choi, K. S. Park, J. H. Choi, J. H. Lee, 2014, Performance Assessment of High strength Threaded Steel Reinforcement, Proc. Kor. Conc. Inst., pp. 109~110.
- [6] J. S. Mihn, G. H. Hong, 2014, A FEA Study on the Bond Property according to Rib-shape of Reinforcement, J. Kor. Inst. Struct. Maint. Insp, Vol. 28, No. 2, pp. 38~46.
- [7] KS D 3504, 2016, Steel bars for concrete reinforcement, Korea Agency for Technology and Standards. Korea.
- [8] KS D 0249, 2016, Method of inspection for mechanical splicing joint of bars for concrete reinforcement, Korea Agency for Technology and Standards. Korea.
- [9] KS B 0801, 2007, Test pieces for tensile test for metallic materials. Korea Agency for Technology and Standards, Korea.
- [10] KS B 0802, 2003, Method of tensile test for metallic materials, Korea Agency for Technology and Standards, Korea.
- [11] M. A. Meyers, K. K. Chawla, 2008, Mechanical Behavior of Materials 2<sup>nd</sup> edition, Cambridge University Press, U.S.A.