

## 고장력볼트로 체결되는 철판 사이의 미끄럼계수

김 흥 현<sup>†</sup>

한국과학기술연구원, 에너지메카닉스연구센터

### Slip Coefficients between Steel Plates Fixed with High Tension Bolts

Choong Hyun Kim<sup>†</sup>

Energy Mechanics Research Center, Korea Institute of Science and Technology

(Received October 13, 2008; Revised November 15, 2008; Accepted November 21, 2008)

**Abstract** – Tensile test results using three kinds of steel structure specimens are measured and compared. Slip coefficient between shot blasted steel plates was greater than 0.6. For the case of the plates coated with Super zinc, it revealed that the coefficients were greater than 0.5. On the other hand, Super epoxy coating decreased its slip coefficient less than 0.25. Steel plates coated with Super zinc are proved to be practically applicable to the steel structures with anti-corrosion characteristics and clean surfaces.

**Key words** – slip coefficient(미끄럼계수), high tension bolts(고장력볼트), steel structure(철구조물), surface treatment(표면처리)

#### 1. 서 론

교량, 대형 건물의 트러스지붕 등의 철구조물은 철판을 덧댄 후 고장력볼트를 사용하여 강한 조임력을 가함으로써 발생하는 마찰력을 이용하여 체결하는 방식으로 제작된다[1-3]. 이 경우 보통의 경우 사용되는 철판 표면에 별도의 도색이나 코팅작업 없이 작업함으로써 시간이 경과함에 따라 자연스럽게 녹(stain)이 발생하게 된다.

이 때 고장력볼트의 조임부, 즉 양쪽 철판 사이의 마찰면에서 발생한 녹은 접촉면 사이의 미끄럼계수를 높여줌으로써 체결효과를 높이는 효과를 가져온다

그러나, 청결한 작업환경이 요구되거나 습기 또는 부식가스 등에 의하여 녹(stain)이 대량으로 발생할 수 있는 환경에서는 전술한 이로운 효과보다는 철판재료의 과도한 부식으로 인한 재료의 하중지지력 감소나 이로 인한 파손 등의 위험이 뒤따르게 된다. 따라서 이러한

문제를 해결하기 위한 표면처리방법으로서 철판표면에 녹방지용 특수도료를 적용하고 있다.

본 연구에서는 서로 다른 세 가지 종류의 표면처리를 거친 철판부재를 이용한 마찰접합부 시험편을 제작한 후 인장시험을 실시하고 접합부의 미끄럼계수를 계산, 평가하였다.

#### 2. 미끄럼계수 평가

구조물 마찰접합부의 미끄럼계수( $\mu$ )는 다음 공식을 이용하여 계산할 수 있다[1].

$$\mu = \frac{P}{A \times B \times N} \quad (1)$$

여기서

$P$  : 미끄럼 하중 [ton]

$A$  : 미끄럼면의 개수=2, Fig. 2 참조

$B$  : 볼트 개수=1, Fig. 2 참조

$N$  : 볼트축력 [ton]

<sup>†</sup>주저자 · 책임저자 : chkim@kist.re.kr

단, 볼트축력은 토크쉬어형 동근머리 고장력볼트(호칭 M20)에 대한 표준값 18.2 [ton]과 설계값 16.5 [ton]을 2가지에 대하여 모두 계산, 비교한 후 미끄럼계수를 평가하였다.

### 3. 실험

본 연구에서는 Fig. 1에 나타난 Instron社의 인장시험기를 이용하여 인장시험을 실시하였다. 해당시험기는 최대인장하중이 25 [ton]이며 인장하중과 시험편 변위의 변화를 실시간으로 계측, 분석할 수 있는 성능을 보유하고 있다.

구조물 시험편은 Fig. 2에 보인 바와 같은 제원으로 제작하였다. 강판은 용접구조용 압연강재(SM490A), 볼트는 토크쉬어형 고장력 볼트(F10T, M20-L75, 한국볼트産)를 각각 사용하였다.

제작된 시험편은 Fig. 2에서 좌측부의 볼트 2개가 체결된 쪽을 인장시험기의 하단부, 그 반대쪽을 상단부에 각각 클램프로 고정한 후 상단부를 잡아당김으로써 볼트가 1개만 체결된 마찰접합부에서 미끄럼이 발생하도록 하였다.

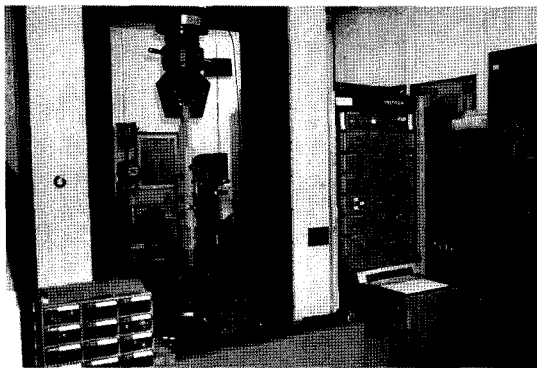


Fig. 1. Tensile tester (Instron Co., Model 1127).

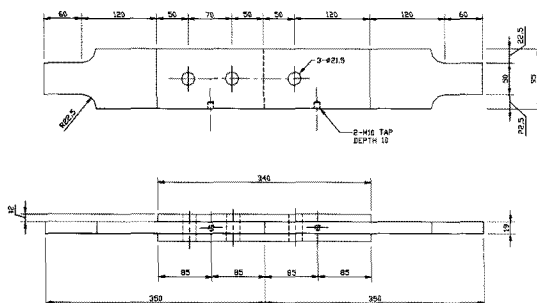


Fig. 2. Scheme of a main specimen.

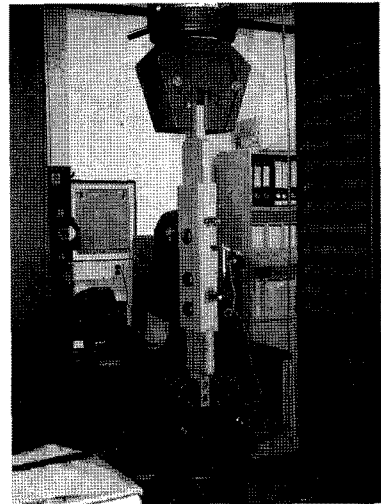


Fig. 3. Installed specimen.

Table 1. Specification of the specimens

Type No.	1	2	3
Surface treatment	Shot blast (Sa 2 1/2)	Shot blast +Coating	Shot blast +Coating
Coating material	-	Superezinc 121	Superepoxy 130 L/C
Thickness of coating [ $\mu\text{m}$ ]	-	30	40

Fig. 3은 인장시험기에 구조물시험편이 설치된 모습을 나타낸 것이다.

시험편은 Table 1과 같이 표면처리상태가 서로 다른 3종류로 제작하고 각각의 미끄럼하중값을 계측하여 미끄럼계수를 계산, 비교하였다.

구조물시험편을 조립할 때 볼트의 조임은 2차례로 나누어 체결하였다. 우선, 수동토크렌치를 이용하여 토크값을 1,500 kg\*cm로 일정하게 1차 조임을 실시한 후, 볼트와 너트, 그리고 와셔를 가로지르는 금매김을 시행하였다. 2차 조임은 고장력볼트 전용의 전동조임기(Lock Wrench, Model TSW80L, 일본 록크株式会社, 최대출력토크 80 kg\*m)를 사용하여 핀테일이 파단 될 때까지 조임을 실시하였다. 2차 조임 후 금매김을 확인한 결과 모든 볼트 조임에서 약 60°가량의 너트회전이 관찰됨으로써 볼트 체결이 시방기준에 부합되었음을 확인할 수 있었다[1-3].

설계자료에 의하면 해당 볼트조임이 이루어지는 경우 표준볼트장력 18.2 [ton]이 확보되는 것으로 알려져

있다.

한편, Figs. 2와 3에 보인 구조물시험편은 일반적인 인장시험편보다 크기와 중량이 매우 클 뿐만 아니라 여러 개의 부속이 조립되어 만들어지는 관계로 인장시험기에서 사용하는 일반적인 변위센서의 장착이 불가능한 형태이다. 따라서, 인장시험결과분석에 필수적인 시험편의 변위측정을 위하여 통상적으로 사용하는 형태의 인장시험편을 별도로 제작하여 구조물시험편 측면에 부착한 후 변위를 측정하였다.

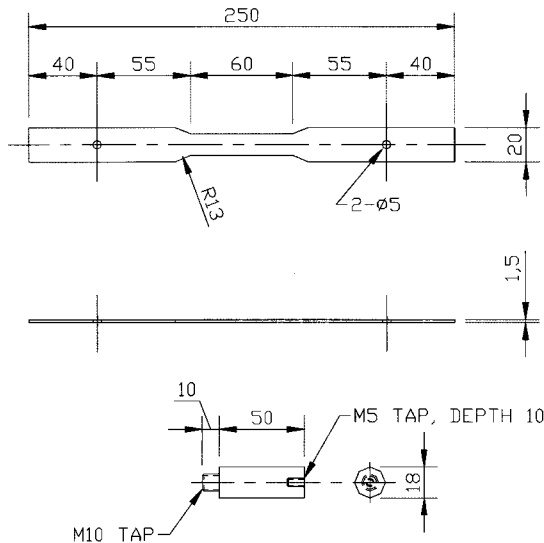


Fig. 4. Scheme of a tension specimen.

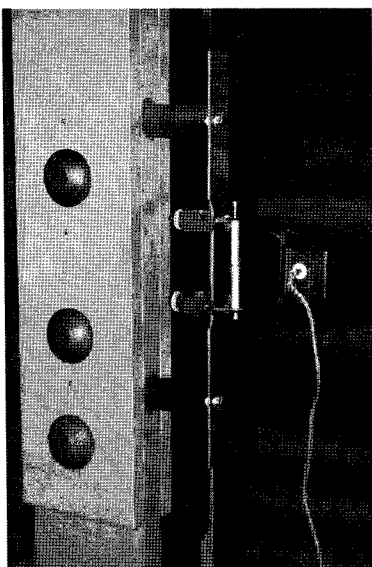


Fig. 5. Attached tension specimen.

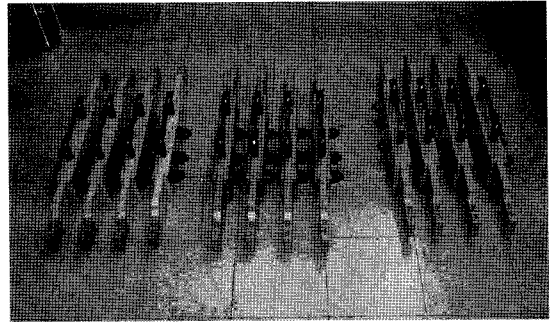


Fig. 6. Assembled specimens.

Table 2. Test conditions

Applied max. load [ton]	22.5
Tension speed [mm/min]	1
No. of specimens	12
Environment	Air
Temperature [°C]	21~22
Humidity, relative [%]	22

Fig. 4는 본 실험을 위하여 ASTM(American Society for Testing and Materials) 규격 E8M-99에 따라 제작된 변위측정용 인장시험편 도면이며 Fig. 5는 구조물시험편에 부착된 인장시험편과 변위계측기(extensometer)를 보여준다[4,5].

Fig. 6은 제작된 전체 시험편을 나타낸 것으로서 구조물시험편 본체에 변위측정용 인장시험편이 조립 완료된 상태를 볼 수 있다.

인장시험조건은 Table 2에 나타내었으며, 표면처리 3종류에 각각 4개씩의 시험편을 제작함으로써 총 12세트의 인장시험이 수행되었다. 최대적용하중은 인장시험기의 안전을 고려하여 최대인장하중의 90%인 22.5 [ton]까지만 인가하였다.

#### 4. 실험결과 및 고찰

미끄럼계수는 시험편에서 0.5 mm 이상의 미끄럼이 발생한 인장하중을 기준으로 계산하였다.

표면처리방법 차이에 따른 마찰접합부의 미끄럼계수를 살펴보면 Fig. 7과 같다. 이 때 화살표는 미끄럼발생 위치를 표시한 것이다.

Fig. 7(a)은 shot blasting만으로 표면 처리한 경우에 대한 인장시험결과를 보인 것이며 이 경우에는 22~

22.5 [ton]까지 인장하여도 마찰부에서 미끄럼이 발생하지 않는 것으로 나타났으며 최대 적용하중값을 미끄럼하중으로 가정하였다.

Fig. 7(b)의 zinc primer로 도포한 경우에는 약 19.5~20 [ton] 정도의 인장하중이 가해져야만 마찰접합부에서 미끄럼이 발생하는 것으로 나타났으며 3번의

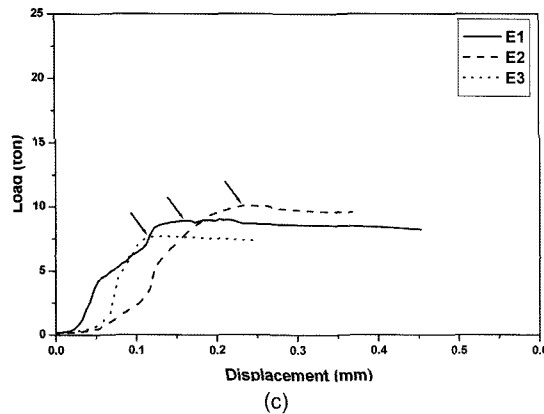
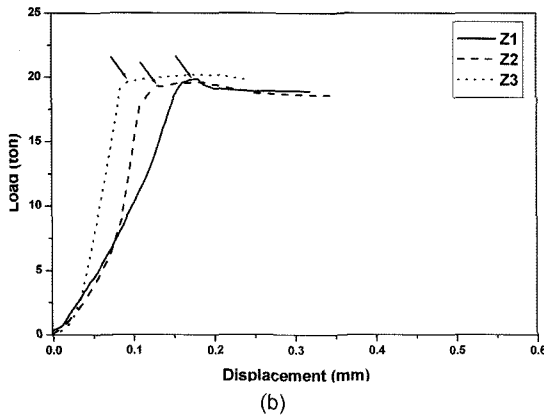
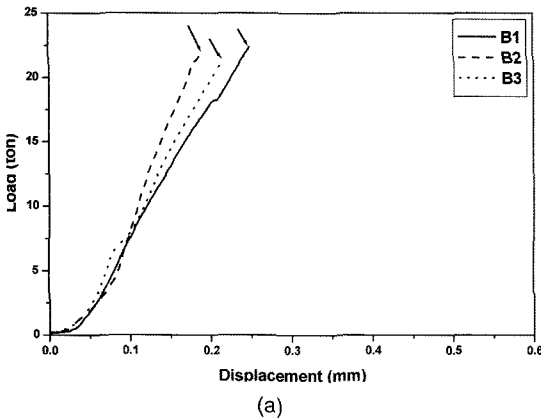


Fig. 7. Stress-strain curves : B - Shot blasting, Z - Zinc primer, E - Epoxy primer.

실험에서 얻은 미끄럼하중값이 매우 일정한 값을 보임으로써 마찰접합부용 도료로서 매우 우수한 특성을 가지는 것으로 사료된다. 이 경우에는 stress-strain curve에서 인장하중값이 최대값을 보인 후 하중이 거의 일정하게 유지되는 상태에서 변위가 계속 증가하였으므로 최대하중값을 미끄럼하중으로 결정하였다.

Fig. 7(c)의 epoxy primer의 경우에는 인장하중 8~10 [ton] 범위에서 미끄럼이 발생하기 시작하였으며 이후로 하중을 계속 작용시키면 육안으로 확인할 수 있을 정도의 큰 변위를 일으키는 것을 볼 수 있었다. 이것은 사용한 epoxy 도료를 구성하는 고분자 재료의 전단저항능력이 매우 낮아서 외력이 작용하는 경우 쉽게 미끄럼이 발생하기 때문인 것으로 사료된다.

이상과 같은 인장실험결과에 의하면 마찰접합부의 미끄럼계수만을 기준으로 볼 때, 마찰접합부 표면을 shot blasting 방법으로 처리한 경우가 마찰접합 성능이 가장 우수한 것으로 판단된다.

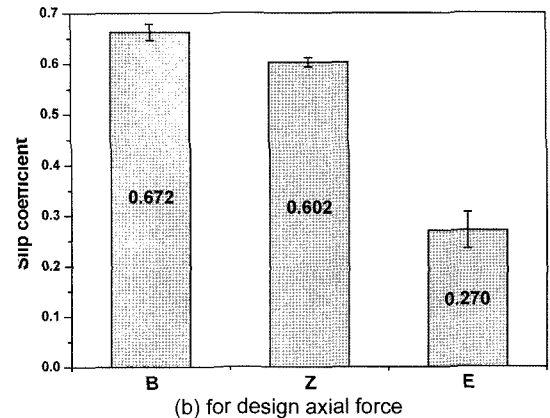
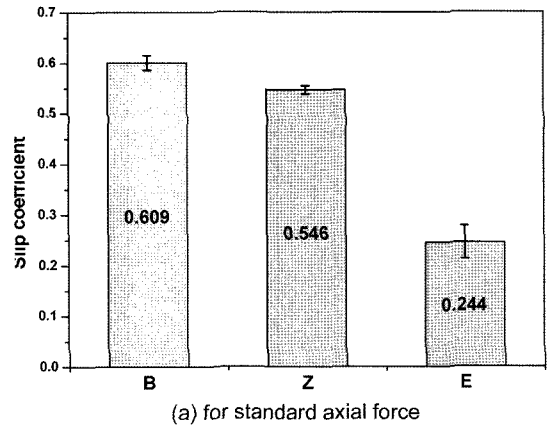


Fig. 8. Average friction coefficients : B - Shot blasting, Z - Zinc primer, E - Epoxy primer.

Table 3. Slip coefficients

	Slip load [ton]			Slip coefficient	
	1	2	3	for stand. axial force	for design axial force
Shot blasting (A)	22<	22<	22.5<	0.609<	0.672<
(A)+Super zinc 121	19.58	19.85	20.18	0.546	0.602
(A)+Super epoxy 130 L/C	7.69	9	10	0.244	0.270

Fig. 7에 보인 미끄럼하중값을 이용하여 공식 (1)로부터 미끄럼계수를 계산한 결과를 Fig. 8과 Table 3에도 나타내었다. 이 때 계산된 미끄럼계수는 0.45 이상이면 만족스러운 마찰접합성능을 보유한 것으로 평가된다[1-3].

Fig. 8(a)와 (b)는 볼트축력을 표준값 18.2 [ton]과 설계값 16.5 [ton]의 두 가지로 다르게 선정하고 계산한 미끄럼계수값을 나타낸 것이다.

표준 볼트축력을 이용한 Fig. 8(a)를 보면 shot blasting 처리, zinc primer 도료 도포, 그리고 epoxy primer 도료를 도포한 경우 미끄럼계수는 각각 0.609 이상, 0.546, 그리고 0.244이다.

Shot blasting으로 처리한 경우와 zinc primer 도료를 도포한 경우에는 표준 볼트축력값이 매우 큰 값임에도 불구하고 미끄럼계수가 0.45 이상을 나타냄으로써 우수한 마찰접합성능을 보였다.

그러나, epoxy primer 도료로 도포한 경우에는 매우 낮은 미끄럼계수를 보임으로써 사용한 epoxy primer 도료는 마찰접합부에 사용하기에는 적합하지 않은 것으로 판단된다.

설계볼트축력은 표준볼트축력보다 약 10% 낮은 값이므로 이 값을 공식 (1)의 볼트축력으로 대입하여 계산할 경우 더 큰 미끄럼계수를 보인다.

즉, Fig. 8(b)에 보인 바와 같이 설계 볼트축력으로 계산한 미끄럼계수는 shot blasting 처리, zinc primer 도료 도포, 그리고 epoxy primer 도료를 도포한 경우 각각 0.672 이상, 0.602, 그리고 0.270으로서 10% 정도 증가한 것을 볼 수 있다.

이상과 같은 미끄럼계수의 계산결과를 종합하여 보면 shot blasting 처리한 경우와 zinc primer 도료를 도포한 경우 모두 마찰접합성능이 매우 우수한 것으로 나타났다.

참고로 Shot blasting 처리한 경우와 zinc primer 도료를 도포한 경우의 미끄럼계수는 동일 시편사이의 실험결과 오차가 2% 이내로서 극히 우수한 것으로 나타났다으며 epoxy primer 도료를 도포한 경우 실험결과

사이의 오차는 13% 정도를 보였다.

## 5. 결 론

구조물시험편을 이용한 인장시험 결과 전술한 실험 조건 내에서 다음 사항들을 알 수 있었다.

(1) 고장력볼트를 이용한 철판부재의 마찰접합부 미끄럼계수 크기는 shot blasting 처리 > zinc primer 도포 > epoxy primer 도포 순서로 큰 것으로 나타났다. 따라서, 미끄럼계수만을 고려할 경우에는 shot blasting 방법으로 표면처리한 후 볼트를 체결하는 경우 마찰접합성능이 가장 우수한 것으로 판단된다.

(2) 상기 미끄럼접합부에 zinc primer를 도포한 경우에는 미끄럼계수가 0.5 이상으로서 만족스러운 마찰접합성능을 보유하고 있는 것으로 나타났으나 epoxy primer를 도포한 경우에는 미끄럼 계수가 0.25 미만으로서 마찰접합성능이 매우 낮다는 것을 알 수 있었다.

(3) 따라서 고장력볼트를 이용한 철구조물 마찰접합부에 zinc primer 도료를 도포하는 방법은 마찰접합성능이 우수할 뿐만 아니라 녹(stain) 발생을 방지하여 구조물의 내후성을 확보함과 동시에 구조물 외관을 청결하게 유지할 수 있는 우수한 시공 방법이라고 판단된다.

## 참고 문헌

1. 박용명, 성택룡, “내후성강재 고장력볼트 이음부 미끄럼계수 평가 실험(I)”, 대한토목학회논문집, Vol. 45, No. 2, pp. 455-459, 2002.
2. 삼성물산 건설부문, “건축기술지침 실무이야기”, 공간예술사, 2001.
3. 대한건축학회, “건축기술지침-건축”, 공간예술사, 2006.
4. 맹선재, 신명철, 정영훈, 이규찬, 현도빈, “재료시험”, 한국과학기술연구소 재료시험연구실, 1980.
5. ASTM Standards, “Standard Method for Tension Testing of Metallic Materials[Metric]”, 1988.