

내후성강재 고장력볼트 이음부 미끄럼계수 평가 실험(Ⅱ)

Experiments on Slip Coefficients of High-Strength Bolt Connection with Weathering Steel(Ⅱ)

박 용 명¹⁾ · 성 택 룡²⁾

Park, Yong Myung · Seong, Taek Ryong

요 약 : 본 논문에서는 대기 중에 폭로한 내후성강재의 고장력볼트 마찰이음부 미끄럼 계수 평가를 위한 실험연구를 수행하였다. 표면 상태는 흑피 부착된 시험체와 숏브라스트로 흑피를 제거한 시험체를 각각 3개월 및 6개월 폭로한 후 수동솔질, 전동솔질 및 청소하지 않은 표면 등을 고려하였다. 또한, 6개월 폭로 시험편의 각 표면 상태에 대하여 600시간 동안 볼트축력 감소율을 측정하였다. 실험으로부터 모든 시험체에서 폭로 기간에 따라 미끄럼 계수는 증가하였으며 흑피부착 표면을 전동솔질로 청소한 경우를 제외하곤 모두 0.6 이상의 값을 보였다. 볼트 축력 감소율 역시 초기 비폭로 시험체에 비해 폭로한 시험체에서 증가하였으며 최대 감소율은 약 10%에 이르렀다.

ABSTRACT : An experimental research to evaluate the slip coefficients of high-strength friction-type bolt connection of weathering steel plate has been performed in this paper. The test specimens with mill scale or shot blast had been exposed in open air during 3 and 6 months and cleaning of rust surface by hand brushing, power tool brushing and no cleaning was considered. The relaxation of bolt clamping force had also been measured during 600 hours. It was found that slip coefficients increased to the value over 0.6 with exposure except mill scale surface by power tool brushing. The relaxation of bolt tension force in exposed specimens also increased and maximum value reached to about 10%.

핵심용어 : 내후성강재, 폭로시험체, 마찰이음, 미끄럼 계수, 볼트축력 감소율

KEYWORDS : weathering steel, exposed specimen, friction-type bolt connection, slip coefficients, bolt force relaxation

-
- 1) 정회원, (재)포항산업과학연구원 강구조연구소 책임연구원, 공학박사
 - 2) 정회원, (재)포항산업과학연구원 강구조연구소 선임연구원

본 논문에 대한 토의를 2000년 10월 31일까지 학회로 보내주시면 토의 회답을 게재하겠습니다.

1. 서 론

일반강에 구리, 크롬, 니켈 등의 원소를 소량 첨가함으로써 내식성을 향상시킨 내후성강은 무도장 상태로 사용시 강재표면에 자연적으로 생성되는 보호산화막(protective oxide film)이 도막 역할을 하여 추가적인 부식을 억제하는 강재이다.

현재 국내 도로교표준시방서⁽¹⁾에 의하면 고장력 볼트의 마찰이음부는 흑피를 제거하고 표면조도 50S 정도의 브라스팅을 실시하도록 규정하고 이 때 미끄럼 계수는 0.40으로 명시하고 있다. 그리고 현장 볼트이음시 이음면의 부식된 부분은 와이어 브러쉬 등으로 깨끗하게 청소하도록 하고 있다. 그러나 일반 도장 강교량에서는 녹 방지를 위해 볼트이음부에 후막형 무기징크리치 하도를 실시하고 있으므로 이러한 규정은 도장을 실시하지 않고 적용하는 무도장 내후성강 구조물에 보다 타당한 것이라 판단된다.

한편, AASHTO 규정에 의하면 흑피 부착 상태, 브라스팅, 도장 및 도금의 종류 등 표면처리의 종류에 따라 Class A, B 및 Class C로 구분하고 미끄럼 계수를 각각 0.33, 0.50 및 0.40으로 규정하고 있다.⁽²⁾

향후 무도장 내후성강 구조물의 활성화가 예상됨에 따라 내후성강(SMA 재)을 무도장 상태로 구조물에 적용할 때 볼트이음부의 내하력 평가는 매우 중요한 항목이 된다. 이 때 도장을 실시하는 일반 구조용강에 비해 무도장 내후성강에서는 부재의 야외 보관에 따른 다음의 의문점이 야기된다.

- 1) 흑피(mill scale)가 부착된 표면을 장기간 폭로한 후 볼트이음부 내하력의 변화 정도
- 2) 흑피를 블라스트로 제거한 표면을 장기 폭로하여 녹이 발생했을 때 표면 청소 방법에 따른 볼트이음부의 내하력 차이
- 3) 브라스팅한 표면에 볼트 체결후 장기 폭로시 볼트이음부의 내하력 변화
- 4) 흑피 부착 또는 브라스팅하여 장기 폭로한

볼트이음면의 볼트 축력 감소율의 정도

본 연구에서는 상기의 현상을 분석하기 위해 내후성강 시험체를 대기 중에 폭로한 후 고장력 볼트 마찰이음부의 미끄럼 계수 평가를 위한 실험 연구를 수행하였다. 먼저 상기 1) 및 2)의 현상을 파악하기 위하여 흑피가 부착된 경우와 흑피를 브라스팅으로 제거한 경우를 고려하였고, 볼트이음면의 청소는 수동솔질(hand brushing), 전동솔질(power tool brushing) 및 청소하지 않은 경우에 대해 고장력 볼트 마찰이음의 내하력 평가 실험을 각각 수행하였다. 시험편은 각각 3개월 및 6개월 동안 대기중에 폭로하여 자연 흑피 탈락 또는 녹 생성을 유도하였다. 상기 3)의 현상을 분석하기 위하여 브라스팅한 시험체에 볼트를 체결하고 6개월 동안 폭로한 후 미끄럼 계수 평가를 실시하였다. 마지막으로 4)의 현상 규명을 위해 흑피 부착 및 브라스팅 후 6개월 동안 폭로한 시험체의 청소 방법에 따른 600시간 동안의 볼트축력 감소율을 측정하였다.

2. 실험 개요

2.1 시험편

2.1.1 재 료

본 연구의 실험에서 사용한 모든 시험편의 모재 및 이음판은 용접구조용 내후성 열간압연강재(KS D 3529)중 SMA50BW 강재를 사용하였고 볼트는 내후성 고장력볼트 M22 F10TW를 사용하였다. 내후성 고장력볼트는 현재 KS에 규격화되어 있지는 않으나 KS B 1010에 규정된 고장력볼트의 기계적 성질을 만족하고, 여기에 내후성 원소를 첨가하여 부식저항성을 보강한 제품으로서

표 1. 내후성 고장력볼트 · 너트용 선재의 화학성분(%)

규 격	C	Si	Mn	P	S	Cu	Cr	Ni	B	Al
POSTEN 20W	0.20 ~ 0.25	0.15 ~ 0.25	0.70 ~ 0.90	0.03 이하	0.03 이하	0.30 ~ 0.50	0.60 ~ 0.80	0.30 ~ 0.50	0.001 ~ 0.003	0.04 ~ 0.08

표 2. 고장력볼트 제품의 기계적 성질(KS B 1010)

등 급	인장하중(최소) (kgf)			경 도 (HRC)
	M20	M22	M24	
F 8T	19,600	24,200	28,200	18~31
F10T	24,500	30,300	35,300	27~38

무도장 내후성강 교량에 주로 적용되고 있는 것이다(표 1, 2).⁽³⁾

2.1.2 시험편의 종류

대기중에 폭로한 내후성강재의 볼트이음부 마찰면의 브라스팅 실시 여부 및 청소 방법에 따른 미끄럼 계수의 평가를 위한 시험체의 종류는 표 3과 같다.

기존 연구^(4,5,6)에 의하면 내후성강재의 흑피는 일반강의 그것에 비해 더 매끄럽고 모재에의 밀착성이 강하다고 알려져 있어 표 3에서 흑피 부착 시험편은 흑피를 제거하지 않은 표면을 대기중에 장기간 폭로함으로써 흑피가 부분적으로 박리된 표면의 미끄럼 계수를 평가하고자 한 것이다.

브라스팅으로 흑피를 제거한 경우에는 시험체의 대기 폭로로 시험편에 녹이 발생하게 되는데 내후성강의 녹은 일반강의 녹에 비해 치밀하고 모재에의 밀착성이 강한 특성이 있다.⁽⁵⁾ 볼트 체결에 앞서 볼트이음면의 청소방법에 따른 미끄럼 계수의 비교를 위해 SIS(Swedish Standards Institution) Sa 2(commercial blast cleaning) 브라스팅을 실시한 시험편은 수동솔질, 전동솔질 및 청소하지 않은 표면과 체결후 폭로한 경우를 고려하였고 SIS Sa 2½(near-white blast

표 4. 숏브라스팅 사양

브라스팅 종류 브라스팅 조건	SIS Sa 2	SIS Sa 2½
	불, 그릿 입도	0.2~1.2 mm
공기압	7.5kg/cm ²	7.5kg/cm ²
노즐 직경	12 mm	12 mm
브라스팅 거리	50~60 cm	35~45 cm
브라스팅 각도	90 °	90 °

cleaning) 브라스팅한 시험체는 수동솔질로 청소한 경우만을 고려하였다(표 3 참조). 숏브라스팅 사양은 표 4에 수록한 바와 같다.

사진 1은 시험체를 대기중에 폭로한 상황이며, 사진 2는 흑피 부착 시험체를 6개월 동안 폭로한 후흑피가 부분 박리된 표면상태, 사진 3은 브라스팅 한 시험체를 6개월 동안 폭로한 후 표면을 수동솔질 및 전동솔질로 청소한 시험체이다. 수동솔질은 와이어브러시를 사용하여 손으로 가볍게 쓸어내는 정도이고, 전동솔질은 파워툴을 이용하여 청소한 것이다.

한편, 볼트는 실제 여건을 감안하여 대기 중에 폭로하지 않은 볼트를 사용하였다.

표 3. 시험편 구분

표면종류	청소 방법	시험편 기호
흑피	수동솔질	MS-H
	전동솔질	MS-P
브라스트 (SIS Sa 2)	청소 안함	BT-N
	수동솔질	BT-H
	전동솔질	BT-P
	체결후 폭로	BT-F
브라스트 (SIS Sa 2½)	수동솔질	BH-H

한편, 본 연구의 시험편(그림 1)은 일본건축학회에서 제시한 표준시험편⁽⁷⁾과 판두께 및 볼트 배치가 다소 상이하다. 그 이유는 본 연구 수행시 조달가능했던 내후성강재의 두께가 10mm이었고, 따라서 표준시험편에서와 같이 양측에 2개씩의 볼트를 배치하면 모재의 항복이 우려되었기 때문이다.

2.2 실험방법

2.2.1 볼트체결 및 축력 보정

볼트의 체결은 수동식 토크렌치(사진 4 참조)를 사용하였으며 토크제어법에 의하였다. 볼트 도입축력은 도로교표준시방서의 설계볼트축력 20.5 tf로 설정하였고 일부 시험편에 대해서는 표준볼트축력인 22.6 tf로 설정하였다. 볼트축력의 보정은 다음 절차로 실시하였다.

- 1) 본 실험에 사용한 내후성강 고장력볼트의 토크계수치는 볼트제조업체에서 실험한 결과 0.168이었다. 따라서, 표준볼트축력 22.6 tf에 대해 토크는 다음과 같다.

$$T = kdN = 0.168 \times 2.2 \times 22,600 \approx 8,350 \text{ kgf} \cdot \text{cm} \quad (1)$$

참고로 고장력볼트는 토크계수치에 따라 A : 0.110~0.150, B : 0.150~0.190으로 구분되며(KS B 1010) 일본 도로교시방서에서는 토크계수치의 평균값이 0.110~0.160인 것을 사용하도록 하고 있으나,⁽⁸⁾ 우리나라 도로교시방서에서는 별도의 규정이 없다. 본 연구에서 사용한 볼트는 토크계수치가 0.16을 초과하는 B종에 해당되는데, 이는 현재 국내에서 생산 사용되는 현황을 가급적 그대로 반영하고자 한 것이다.

- 2) 그림 2와 같은 볼트를 사용하여 토크치 8,350 kgf·cm에 해당하는 볼트의 변형률을 3회 측정한 결과 평균 변형률은 2.720×10^{-6} 이다(표 5). 따라서, 보정된 볼트 축

사진 3. 브라스트 시험체 - 6개월 폭로

2.1.3 시험편의 설계

시험편의 한쪽에는 한 개의 볼트구멍을, 다른 한쪽은 두 개의 볼트구멍을 두어 인장시험시 한 개의 볼트구멍을 가진 측에서 먼저 미끄럼이 일어나도록 설계하였으며, 현행 도로교표준시방서⁽¹⁾의 볼트구멍 간격, 최소연단거리 등을 고려하였다. 볼트구멍의 직경은 24mm로 하였고, 모재 및 이음판의 두께는 10mm로 하였다. 시험편의 상세한 규격은 그림 1과 같다.

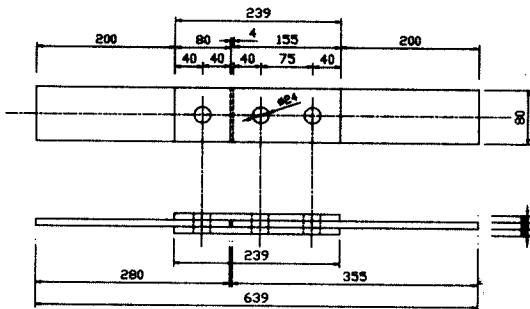


그림 1. 시험편의 규격 및 형상

력은 다음과 같이 정하였다.

$$F = A_b E \varepsilon = \left(\frac{\pi}{4} \times 2.2^2\right) \times (2.1 \times 10^6)(2,720 \times 10^{-6}) = 21.71 \text{ tf} \quad (2)$$

3) 한편, 설계볼트축력 20.5 tf에 해당하는 토크치는 식 (1)로부터 $T = 7,550 \text{ kgf} \cdot \text{cm}$ 로 구해지며 보정된 볼트축력은 다음과 같이 정하였다.

$$F' = 21.71 \text{ tf} \times \frac{7,550}{8,350} = 19.63 \text{ tf} \quad (3)$$

사진 4. 수동식 토크렌치(일본 KANON사)

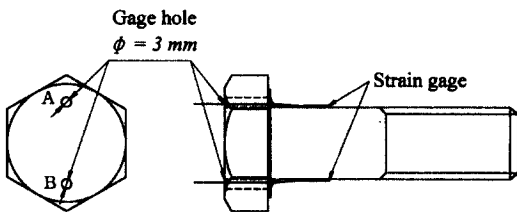


그림 2. 게이지 부착 볼트

상기의 볼트축력 보정 방법의 정확도를 확인하기 위해 볼트 인장실험을 시도하였다. 볼트인장력-변형률의 상관관계 측정을 위해 변형률 게이지(볼트 1개당 4개)를 부착한 볼트 3개를 25 tf까지 인장하려고 하였으나, 2번째 볼트 인장 중에 19.12tf에서 볼트의 나사부를 물고 있던 인장그립의 파단으로 실험을 완결하지 못하였다. 실험결과 판은 그림 3에 도시하였다. 두 개 볼트의 인장으로부터 볼트인장력-변형률 관계는 거의 직선을 보였으며 두 개의 직선은 거의 일치하였다. 두 개 볼트의 실험 결과로부터 하중 19.0 tf에 해당하

는 변형률은 $2,318 \times 10^{-6}$ 이었으며, 선형보간으로부터 변형률 $2,720 \times 10^{-6}$ 에 해당하는 볼트축력은 22.3tf으로 구해진다. 이 축력은 식 (2)에서 계산된 축력 21.71tf에 비해 2.6%의 오차를 보인다. 그러나, 볼트인장실험이 완결되지 못하였고 양자간의 오차가 작으므로 여기서는 식 (2)로 결정된 볼트축력을 미끄럼계수 결정에 사용하기로 한다.

표 5. 토크 8,350 kgf·cm 적용시 볼트변형률

볼트번호	변형률($\times 10^{-6}$)		평균($\times 10^{-6}$)
	구멍-A	구멍-B	
1	2,736	2,546	2,720
2	2,603	2,730	
3	3,097	2,610	

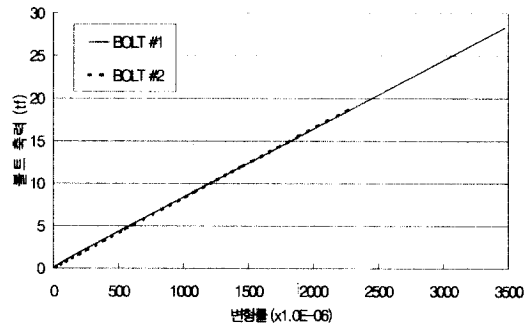


그림 3. 볼트인장력-변형률 실험 결과

2.2.2 미끄럼 계수 평가실험

표 3의 시험편에 대한 미끄럼 계수를 측정하기 위한 정적인장시험에는 100톤 정적인장시험기를 사용하였다. 가력은 변위제어에 의하였으며 재하 속도는 0.5mm/분으로 설정하였다. 시험은 각 경우별로 세 개의 시험체에 대해 수행하였다.

2.2.3 볼트 축력 감소율의 측정

정적인장 시험과는 별도로 시험편에 볼트를 체결한 시점을 기준으로 약 600시간 동안의 볼트 축력의 변화율을 측정하였다. 볼트 축력 감소율은 표

3의 시험체 중에서 6개월 동안 폭로한 MS-H, BT-N, BT-H, BT-P에 대해서 수행하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 표면처리 종류별 미끄럼 계수 평가 실험

그림 4는 6개월 동안 폭로한 시험체의 종류별로 미끄럼 계수 실험 결과를 도시한 것이다. 본 그래프로부터 흑피 표면 시험체 MS-H와 MS-P 및 브라스팅한 시험체를 전동솔질로 청소한 BT-P와 볼트 체결후 폭로한 BT-F 시험체는 급작스런 미끄럼 형상을 보이며 특히 MS-P는 하

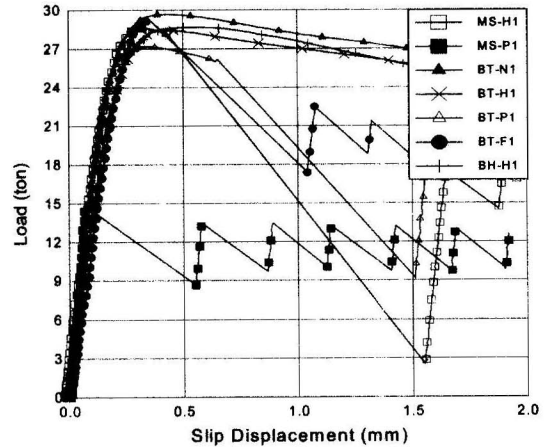


그림 4. 하중-미끄럼 변위도

표 6. 미끄럼 계수 평가 실험 결과

구분	기호	0 개월(비폭로) ⁽⁹⁾			3 개월 폭로			6 개월 폭로		
		볼트축력	미끄럼 하중	미끄럼 계수	볼트축력	미끄럼 하중	미끄럼 계수	볼트축력	미끄럼 하중	미끄럼 계수
흑피 - 수동솔질	MS-H1	21.71	18.09	0.461	19.63	25.48	0.649	19.63	28.62	0.728
	MS-H2	19.63	16.93	0.431	"	26.30	0.669	"	26.03	0.663
	MS-H3	-	-	-	"	24.88	0.633	"	29.84	0.760
	평균			0.446			0.650			0.717
흑피 - 전동솔질	MS-P1	19.63	9.18	0.234	19.63	19.71	0.502	19.63	14.89	0.379
	MS-P2	"	12.51	0.318	"	23.67	0.603	"	17.52	0.446
	MS-P3	"	9.73	0.248	-	-	-	"	18.25	0.464
	평균			0.267			0.552			0.430
SIS Sa 2 청소 안함	BT-N1	21.71	26.00	0.599				19.63	29.67	0.755
	BT-N2	"	22.99	0.529				"	30.03	0.765
	BT-N3	"	25.01	0.576				-	-	-
	평균			0.568						0.760
SIS Sa 2 수동솔질	BT-H1				19.63	26.36	0.671	19.63	28.43	0.724
	BT-H2				"	26.86	0.684	"	29.17	0.743
	BT-H3				"	29.60	0.753	"	27.85	0.709
	평균						0.702			0.725
SIS Sa 2 전동솔질	BT-P1				19.63	27.47	0.699	19.63	27.18	0.692
	BT-P2				"	27.37	0.697	"	25.26	0.643
	BT-P3				-	-	-	"	28.69	0.730
	평균						0.683			0.688
SIS Sa 2 체결후 폭로	BT-F1							21.71	29.18	0.672
	BT-F2							"	26.45	0.609
	BT-F3							"	26.22	0.603
	평균									0.628
SIS Sa 2½ 수동솔질	BH-H1	21.71	26.12	0.602	19.63	26.81	0.682	19.63	28.69	0.730
	BH-H2	19.63	23.10	0.588	"	26.05	0.663	"	26.52	0.675
	BH-H3	"	25.96	0.661	"	27.56	0.702	"	26.86	0.684
	평균			0.617			0.682			0.696

중 증가 도중 급작스런 미끄럼이 일어났다. 이에 비해 브라스팅한 시험체를 수동솔질로 청소한 BT-H, BH-H, 청소하지 않은 시험체 BT-N은 하중-변위 곡선이 완만한 형상을 보이며 급작스런 미끄럼 현상은 발생하지 않았다.

표면처리 종류별 각 시험체의 미끄럼 계수를 평가한 실험 결과는 표 6과 같고 각 경우별 평균 값을 도시한 것은 그림 5와 같다. 표 6에서 0개월(비폭로) 경우는 대기 중에 폭로하지 않은 즉, 녹이 발생하지 않은 시험체로 시험한 것이다.⁽⁹⁾

그림 5로부터 평균 미끄럼 계수는 모든 시험체에서 폭로 기간이 길어짐에 따라 증가하는 것을 알 수 있다. MS-P에서는 3개월 폭로한 경우가 6개월 폭로한 경우보다 크게 나왔는데 이는 파윌틀 청소 정도의 차이에 기인한 것으로 판단된다.

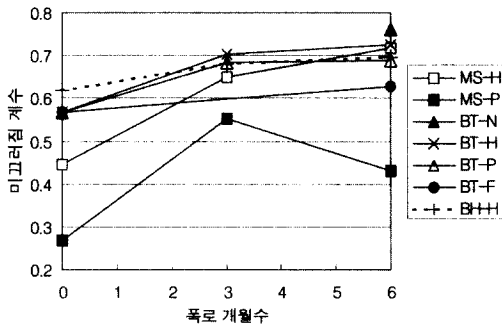


그림 5. 평균 미끄럼 계수

본 연구와 A588 강을 이용한 기존 연구⁽⁴⁾를 비교한 결과를 그림 6에 도시하였다. 여기서 MS-P 및 BT-N은 본 연구에 의한 것이고 MS-A588 및 GB-A588은 Yura 등⁽⁴⁾이 A588 강을 이용하여 흑피 표면 및 그릿브라스팅한 시험체를 대기 중에 폭로한 후 볼트이음면은 아세톤으로 세척한 것이다. 본 연구와 Yura 등의 연구 결과를 직접 비교하는데는 강재 및 이음면의 청소방법 등의 차이로 인해 다소 무리가 있으나 폭로에 의해 미끄럼 계수가 증가하는 현상은 일치함을 알 수 있다.

한편, 표 6으로부터 시험체 BT-F는 폭로하기 전에 실험(BT-N)한 초기 미끄럼 계수가 0.568에서 6개월 폭로 후 0.628로 약 10% 가량 증가하였음을 알 수 있다. 본 시험체는 해체해 본 결과 볼트이음면이 거의 녹이 슬지 않은 원래 표면 상태에 가까운 면을 유지하고 있었다.

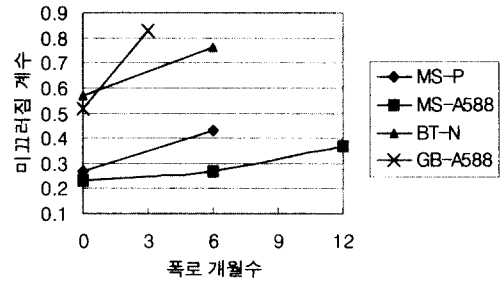


그림 6. 미끄럼 계수 비교

3.2 시간경과에 따른 볼트축력 감소율

볼트 축력이 시간의 경과에 따라서 감소되는 것은 볼트 나사부의 크리프, 이음판 및 모재의 볼트 구멍부 주변의 고응력화, 볼트 머리 및 너트부 주변 이음판의 국부적 탄성회복 등에 의한 것으로 알려져 있다^(10,11,12). 도로교표준시방서에서는 이러한 축력의 감소와 크리프 등을 고려하여 미끄럼 계수 및 체결 볼트축력을 결정하고 있다.

6개월 동안 폭로한 시험체의 표면처리 종류별 볼트축력의 감소율을 측정된 결과를 그림 7에 나타내었다. 모든 표면처리 종류에 있어서 공히 볼트 축력의 감소는 체결후 약 24시간이 경과하면 600시간 동안의 최대 감소율의 55~70%가 발생하며, 그 이후에는 축력 감소율의 변화가 점차 줄어드는 것을 알 수 있었다.

그림 7로부터 흑피부착면을 수동솔질한 MS-H의 축력 감소율은 최대 9.6%로 거의 10% 정도에 이르고 브라스팅을 실시한 경우에는 표면 청소 상태에 따라 감소율에 차이를 보인다. 즉, 청소하지 않은 시험체 BT-N에서는 최대 9.2%, 수

동솔질로 청소한 BT-H는 8.4%, 전동솔질한 BT-P는 8.3% 정도임을 알 수 있다.

한편, 초기 폭로하지 않은 시험체⁽⁹⁾와 본 연구의 폭로한 시험체의 표면 종류별 최대 볼트축력 감소율은 표 7과 같다. 이로부터 초기 비폭로 시험체에 비해 대기 중에 폭로한 시험체의 볼트 축력 감소율이 증가됨을 알 수 있는데, 이는 폭로에 의해 강재 표면에 생성된 녹층의 크리프가 원인인 것으로 판단된다.

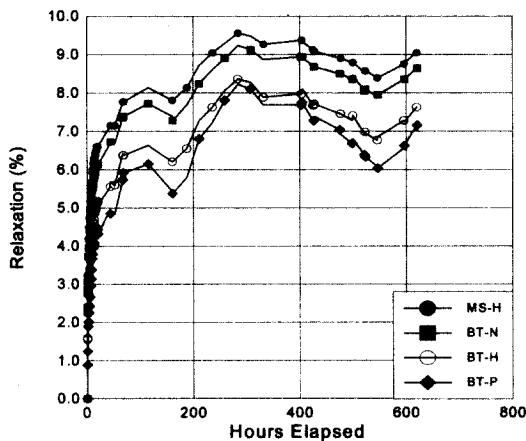


그림 7. 볼트 축력감소율

표 7. 최대 볼트축력감소율(%)

표면	청소 방법	초기 비폭로 ⁽⁹⁾	6개월 폭로
흑피	수동솔질	6.1	9.6
	전동솔질	5.3	-
브라스트 SIS Sa 2	청소하지 않음	4.0	9.2
	수동솔질		8.4
	전동솔질		8.3

4. 결론

본 연구에서는 대기 중에 장기간 폭로한 내후성강재의 마찰이음 미끄럼 계수 및 볼트 축력의 감소율을 평가하기 위한 실험을 수행하였으며 다음과 같은 결과를 얻었다.

- 1) 흑피 부착 표면과 브라스팅으로 흑피를 제거한 시험체 모두 폭로 기간에 따라 미끄럼 계수는 증가하였다.
- 2) 흑피가 부착된 시험체를 6개월 폭로 후 수동솔질한 경우 미끄럼 계수는 0.717로 매우 큰 값을 보였다. 이는 시험편의 제작에 사용된 강판의 하면이 초기에 흑피가 일부 박리되어 면이 매끄럽지 않았기 때문인 것으로 판단되며 향후 보완 연구가 필요한 것으로 판단된다.
- 3) 흑피 부착된 시험체를 전동솔질로 청소한 경우에는 초기 0.267에서 6개월 폭로 후 0.430으로 구해져 수동솔질에 비해 미끄럼 계수가 현저히 작게 구해졌으며 미끄럼도 급작스럽게 발생하였다.
- 4) 브라스팅 시험체를 대기 중에 폭로한 후 표면 청소 방법을 달리한 결과 미끄럼 계수는 청소하지 않은 표면, 수동솔질한 표면, 전동솔질한 표면 순으로 크게 나타났다.
- 5) 실험에 고려한 모든 시험체에 있어서 볼트 축력의 감소는 노출하지 않은 초기 시험체에 비해 폭로한 시험체에서 크게 나타났다.
- 6) 흑피가 부분적으로 박리된 시험체를 수동솔질로 청소한 경우가 볼트 축력 감소율이 가장 컸으며 그 정도는 약 10%에 이르렀다.
- 7) 브라스팅으로 흑피를 제거하고 폭로한 시험체에서 표면을 청소하지 않은 경우와 솔질로 청소한 경우에 볼트 축력의 최대 감소율은 미세한 차이가 있었으나, 수동솔질과 전동솔질청소에 의한 차이는 감지되지 않았다.

참고 문헌

- (1) 건설교통부, 1996, 도로교 표준시방서.
- (2) AASHTO, 1992, Standard Specifications for Highway Bridges, 15th. ed. Chap. 6.
- (3) 포항산업과학연구원, 2000, 무도장 내후성강

- 교량 적용요령, 보고서 No. BR-D-98-001 (개정판).
- (4) J. A. Yura, K. H. Frank, and L. Cayes, 1981, "Friction-Type Bolted Connections with A588 Weathering Steel", Report No. FHWA/ RD-81/147, Federal Highway Administration.
- (5) P. Albrecht, S. K. Coburn, F. M. Wattar, G. L. Tinklenberg, and W. P. Gallagher, 1989, "Guidelines for the Use of Weathering Steel in Bridges", NCHRP Report 314, National Cooperative Highway Research Program, Transportation Research Board.
- (6) W. L. Mathay, 1993, Uncoated Weathering Steel Bridges, Highway Structures Design Handbook, Vol. I, Chap. 9, AISC.
- (7) 日本建築學會, 1993, 高力ボルト接合設計施工指針.
- (8) 日本道路協會, 1996, 道路橋示方書・同解説, II 鋼橋編.
- (9) 박용명, 성택룡, 2000, 내후성강재 고장력볼트 이음부 미끄럼계수 평가 실험 연구(I), 한국강구조학회 논문집(2000. 4월호 게재 예정).
- (10) 이승용, 장동일, 1998, "고장력볼트 이음부의 정적 및 피로거동에 관한 연구(I)", 대한토목학회 논문집, 제18권, 제I-4호, pp. 507-515.
- (11) 山本善行, 久保操, 1978, "接合面にジंकリッチペイントを塗裝した摩擦接合継手の滑り試験", 橋梁と基礎, Vol. 12, No. 3, pp. 14-18.
- (12) 石澤成夫, 多田修, 伊東孝, 1973, "塗膜, 溶射膜を接合面にもつ高力ボルト継手の耐力", 土木技術, 28卷 7号, pp. 53-60.

(접수일자 : 2000년 2월 10일)