

# 내후성강재 고장력볼트 이음부 미끄럼계수 평가 실험(I)

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

박 용 명<sup>1)</sup> . 성 택 룡<sup>2)</sup>

*Park, Yong Myung . Seong, Taek Ryong*

요 약 : 본 논문에서는 내후성강재의 고장력볼트 마찰이음부 미끄럼계수 평가를 위한 실험연구를 수행하였다. 표면 상태는 흑피 부착표면을 수동 및 전동솔질로 청소한 경우, 슛브라스트 표면, 무기징크 하도 및 웨더코트를 적용한 경우들을 고려하였다. 또한, 각 표면 상태에 대하여 500 시간 동안 볼트축력 감소율을 측정하였다. 실험결과로부터 흑피표면을 전동솔질한 경우를 제외하면 미끄럼계수는 모두 0.4보다 컸다. 볼트축력 감소율은 표면상태에 따라 달랐으며 3~8% 정도로서 10% 이내의 값을 보였다.

ABSTRACT: An experimental research to evaluate the slip coefficient of high-strength slip-critical-type bolt connection of weathering steel plate has been performed in this paper. Experiments were performed with several surface conditions such as clean mill scale with hand or power brush cleaning, shot blast cleaned, inorganic zinc primer coated, and weather coated surfaces. Also, the relaxation of bolt clamping force was estimated during 500 hours. It was ascertained from the experiments that slip coefficients are greater than 0.40 in all faying surface conditions except mill scale surface with power brushing. The quantity of relaxation depended on the surface conditions and was 3~8%, i.e., less than 10%.

핵심용어 : 내후성강재, 마찰이음, 표면상태, 미끄럼계수, 볼트축력감소율

KEYWORDS : weathering steel, slip-critical-type bolt connection, surface condition, 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. 서론

일반강의 단점인 부식에 대처하기 위해 내식성이 강한 구리, 크롬, 니켈 등의 원소를 소량 첨가한 내후성강은 강재표면에 생성된 보호산화막(protective oxide film)이 도막 역할을 하여 추가적인 부식을 억제하는 강재이다. 따라서 내후성강재는 무도장 상태로 사용이 가능하여 유지관리비용의 절감이 가능하며, 미국의 경우 1964년에 처음으로 강교량에 적용이 되었고, 국내에서는 1994년 경기도 파주시 마정육교에 적용이 된 이래 현재 12개 교량이 완공되었다.

강교량은 일반 강구조물과 마찬가지로 공장제작 및 현장가설의 순서로 이루어지며 현장에서는 고장력볼트에 의한 마찰이음이 일반적이다. 고장력볼트 마찰이음에서는 모재 및 이음판의 마찰면의 상태에 따라 미끄럼계수가 달라지며, 이는 이음부의 미끄럼 내력을 지배하는 인자가 된다.

도로교표준시방서<sup>(1)</sup>에 의하면 소형시험편 실험에서 흑피(mill scale)를 제거한 경우 미끄럼계수는 평균 0.50 이상을 얻을 수 있으나 미끄럼하중의 변화나 축력의 감소를 고려하여 0.40으로 규정하고 있다. 시공에 있어서는 미끄럼계수 0.40 이상을 확보하기 위해 마찰면의 흑피를 제거하고 접촉면에 도장을 실시해서는 안 되는 것으로 규정하고 있다. 즉, 국내 시방서는 마찰면에 대해 표면조도 50S정도의 브라스팅을 실시하도록 하는 단일 조건만을 규정하고 있다. 그러나, 국내 현장에서는 도장 강교량의 경우에 볼트체결 기간 동안의 부식방지 등을 위하여 이음면에 무기 징크프라이머를 도포하고 있는 것이 현실이다.

한편, 국내와는 달리 구미 국가에서는 볼트 이음부 집합면의 상태에 따라 미끄럼계수를 구분하여 적용하고 있다. 예를 들어, 미국 AASHTO<sup>(2)</sup>에서는 흑피 부착 상태, 브라스팅, 도장 및 도금의 종류 등 표면처리의 종류에 따라 미끄럼계수를 Class A, B 및 Class C로 구분하여 각각 0.33, 0.50 및 0.40으로 규정하고 있다. 따라서, 이음

면의 표면처리 종류에 따라서 각기 다른 미끄럼계수를 규정한 허용력을 적용할 수 있다.

기존 연구<sup>(3,4,5)</sup>에 의하면 내후성강재의 흑피는 일반강의 그것에 비해 더 매끄럽고 모재에의 밀착성이 강하다고 알려져 있다. 이에 따라 흑피가 부착된 내후성강재 마찰면의 미끄럼계수를 0.23(일반강의 경우 0.33)으로 평가하고, 일반강보다 낮은 허용력을 적용할 것을 AASHTO 규정에 추천하였으나,<sup>(3)</sup> AASHTO에서는 일반강과 내후성강재의 구분없이 흑피 부착상태는 Class A로 규정하고 있다.

본 연구에서는 국내 생산 무도장 내후성강재를 사용한 고장력볼트 마찰이음에 있어서 볼트이음면의 다양한 표면처리 형태별로 미끄럼계수를 평가하기 위한 실험 연구를 수행하였다. 이를 위해 고려한 이음면의 표면처리 종류는 흑피 부착상태, 브라스팅으로 흑피를 제거한 상태(SIS Sa 2 및 Sa 2½), 무기 징크프라이머로 도장한 상태, 그리고 무도장 내후성강재용 특수도료인 웨더코트 하도를 적용한 경우에 대해 각각 미끄럼계수를 실험으로 평가하였다. 또한, 내후성강재의 표면처리 종류별로 볼트 체결 후 500시간 동안의 볼트축력 감소율을 측정하였다.

## 2. 실험 개요

### 2.1 시험편

#### 2.1.1 재료

본 연구의 실험에서 사용한 모든 시험편의 모재 및 이음판은 용접구조용 내후성 열간압연강재(KS D 3529) 중 무도장 내후성강 교량에 적용하는 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 무도장 내

후성강 교량에 적용되고 있는 것이다.<sup>(6)</sup>

### 2.1.2 시험편의 종류

내후성강재의 볼트이음부 마찰면 표면처리 종류에 따른 미끄럼계수를 평가하고, 시간경과에 따른 표면처리 종류별 볼트 축력의 변화를 평가하기 위하여 모재 및 이음판의 표면처리 종류를 흑피 부착상태-수동솔질 및 전동솔질 청소, SIS(Swedish Standards Institution) Sa 2(commercial blast cleaning) 및 SIS Sa 2½(near-white blast cleaning) 브라스팅 상태, 목표도막두께 20 $\mu$ m 및 60 $\mu$ m의 무기 징크프라이머 도포상태, 그리고 웨더코트 하도 도포상태 등 크게 7 가지로 정하였다(표 1 참조).

표 1에서 시험편 MO-X는 제강 압연과정에서 생기는 흑피가 부착된 상태의 강판을 와이어 브러시로 가볍게 표면을 쓸어내는 정도로 다듬질한 것이고 MP-X는 전동솔로 청소한 것이다.

숫브라스트로 흑피를 제거한 BT-X와 BH-X의 구체적인 브라스팅 사양은 표 2에 수록하였다.

P2-X와 P6-X는 내후성강재를 SIS Sa 2½로

표 1. 시험편 구분

시험편 기호	표면처리 종류	가력 제어방법
MO-1 MO-2	흑피부착 - 수동솔질 (Hand brushing)	변위제어
MP-1 MP-2 MP-3	흑피부착 - 전동솔질 (Power brushing)	변위제어
BT-1 BT-2 BT-3	브라스팅 (SIS Sa 2)	하중제어후 변위제어 하중제어후 변위제어 하중제어후 변위제어
BH-1 BH-2 BH-3	브라스팅 (SIS Sa 2½)	하중제어후 변위제어 하중제어후 변위제어 하중제어
P2-1 P2-2 P2-3	무기 징크프라이머 (목표도막두께 20 $\mu$ m)	변위제어
P6-1 P6-2 P6-3	무기 징크프라이머 (목표도막두께 60 $\mu$ m)	변위제어
WC-1 WC-2 WC-3	웨더코트 (목표도막두께 30 $\mu$ m)	변위제어

표 2. 브라스팅 사양

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

표 3. 도장 시험편의 측정 도막 두께( $\mu$ m)

시험편 종류		최대값	최소값	평균	전체평균
무기 징크 프라이머 20 $\mu$ m	P2-1	42	27	33	35
	P2-2	41	29	34	
	P2-3	44	33	38	
무기 징크 프라이머 60 $\mu$ m	P6-1	82	67	74	73
	P6-2	82	62	72	
	P6-3	78	67	73	
웨더코트 하도 30 $\mu$ m	WC-1	41	37	39	55
	WC-2	65	60	62	
	WC-3	73	59	65	

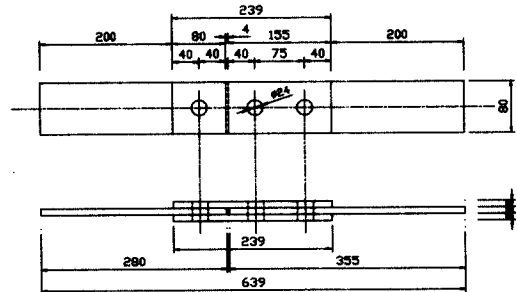


그림 1. 시험편의 규격 및 형상

브라스팅한 후 일반 도장 강교량에서 볼트 체결 이전까지 부식방지를 위해 볼트이음면의 하도로 사용되고 있는 무기 징크프라이머를 각각 목표도막두께 20 $\mu$ m 및 60 $\mu$ m로 도포한 시험편이다.

한편, WC-X 시험편은 국내에서 개발 생산되고 있는 웨더코트의 볼트 이음면 하도를 목표도막두께 30 $\mu$ m로 도포한 것이다. 웨더코트는 내후성강재용 도장시스템으로서, 산소 및 수분의 완전 차단을 목표로 하는 일반 도장과는 달리 이를 적절히 투과시킴으로써 녹안정화를 진행시키고 초기 외관의 불리를 극복하는 기능을 가진다.

표 3에는 무기 징크프라이머 및 웨더코트를 도포한 시험편의 도막두께를 전자기식 도막두께측정기(측정정도, 50 $\mu$ m미만:  $\pm 1.0\mu$ m, 50 $\mu$ m이상:  $\pm 3\%$ )로 측정된 결과를 수록하였다.

### 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<sup>(1)</sup>의 볼트구멍 간격, 최소연단거리 등을 고려하였다. 한편, 볼트구멍의 직경은 24mm로 하였고, 모재 및 이음판의 두께는 10mm로 하였다. 시험편의 상세한 규격은 그림 1과 같다.

## 2.2 실험방법

### 2.2.1 볼트 체결 및 축력 보정

볼트 체결은 토크제어법에 의하였다. 볼트 도입 축력은 도로교 표준시방서의 설계볼트축력 20.5 tf로 설정하였고 일부 시험편에 대해서는 표준볼트 축력인 22.6 tf로 설정하였다. 볼트축력의 보정은 다음 절차로 실시하였다.

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

$$T = kdN = 0.168 \times 2.2 \times 22,600 \quad (1)$$

$$\approx 8,350 \text{ kgf} \cdot \text{cm}$$

- 2) 그림 2와 같은 볼트를 사용하여 토크치 8,350 kgf·cm에 해당하는 볼트의 변형률을 3회 측정된 결과 평균 변형률은  $2,720 \times 10^{-6}$ 이다(표 4). 따라서, 보정된 볼트 축력은 다음과 같다.

$$F = A_b E \epsilon = \left(\frac{\pi}{4} \times 2.2^2\right) \times \quad (2)$$

$$(2.1 \times 10^6)(2,720 \times 10^{-6}) = 21.71 \text{ tf}$$

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

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

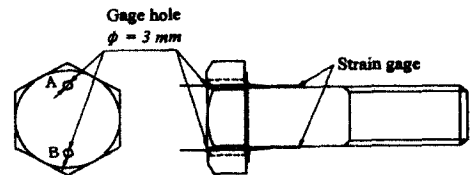


그림 2. 게이지 부착 볼트

표 4. 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	

### 2.2.2 미끄럼계수 평가실험

표 1의 시험편에 대한 미끄럼계수를 측정하기 위한 정적인장시험에는 100톤 정적인장시험기를 사용하였다. 가력 방법은 표 1에 수록하였으며, 변위제어의 경우 재하속도는 0.5mm/분으로 설정하였다.

시험중 미끄럼량의 측정은 사진 1에서와 같이 전기식 변위변환계(LVDT)를 사용하여 실시하였다. 한편, 하중-미끄럼 상관곡선의 형태는 일반적으로 그림 3에서 보이는 바와 같다. 이중 ①, ② 및 ④곡선의 경우에는 미끄럼 하중이 비교적 명확히 구별되지만(▲ 표시부), ③곡선과 같은 경우에는 명확한 점이 구해지지 않으므로 Yura 등<sup>(3)</sup>의 방법에 따라 0.5mm의 미끄럼이 발생한 점을 미끄럼 하중으로 정의하였다. ③곡선은 대체로 브라스팅을 실시한 시험편에서 얻어졌으며, 가력 중에 미세한 미끄럼이 발생하더라도 미끄럼 내하력은

위 상관곡선의 일례를 보인 것이다. 브라스팅을 실시한 BT-1, 도장 처리한 P2-3, P6-1 및 WC-1은 전반적으로 부드러운 곡선을 보이고 있으나, 흑피부착상태인 MO-1 및 MP-1은 미끄럼이 급작스럽게 발생하고 이후에는 톱니 모양의 추세를 보이는 것을 알 수 있다. 이는 미끄럼이 발생하고 난 후 가력이 계속됨에 따라 잔류 미끄럼 저항과 소량의 미끄럼이 반복되었던 때문인 것으로 판단된다.

사진 1. 시험편 설치 전경

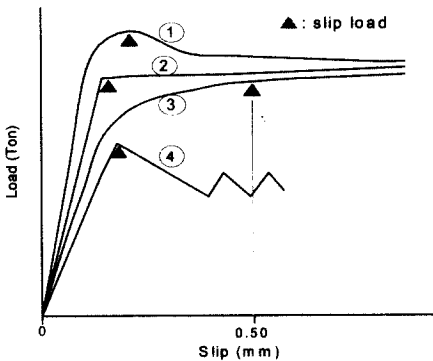


그림 3. 미끄럼 하중의 결정

조금씩 증가하였다. 이러한 현상은 볼트이음면의 조도와 관계가 있는 것으로 판단된다.

### 2.2.3 볼트 축력 감소율의 측정

정적인장 시험과는 별도로 시험편에 볼트를 체결한 시점을 기준으로 약 500시간 동안의 볼트 축력의 변화율을 측정하였다. 축력 변화의 측정은 그림 2와 같이 볼트의 축부에 변형률 게이지를 부착하여 수행하였다. 단, 이 경우에 게이지는 1개만 설치하였다.

## 3. 실험결과 및 고찰

### 3.1 표면처리 종류별 미끄럼계수 평가 실험

그림 4는 본 실험에서 수행한 하중-미끄럼 변

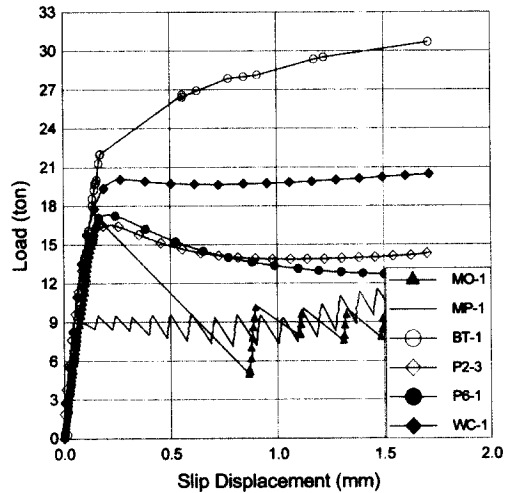


그림 4. 하중-미끄럼 변위 관계도

표면처리 종류별 미끄럼계수를 평가한 결과는 표 5와 그림 5에 나타내었다.

먼저, 흑피 부착상태인 MO-X의 미끄럼계수는 평균 0.446으로서 기존의 연구결과<sup>(3)</sup>보다도 높은 값을 보였다. 흑피를 전동솔질로 청소한 MP-X 경우는 미끄럼계수가 현저히 감소한 값인 0.267을 보였다.

브라스팅을 실시한 BT-X(SIS Sa 2) 및 BH-X(SIS Sa 2½)의 실험결과는 각각 평균 0.568과 0.617로서 두 경우 모두 도로교표준시방서의 0.40 및 AASHTO의 0.50을 초과함을 알 수 있다. 내후성강재를 무도장상태로 적용하는 무도장 내후성강 교량에서는 외관상 균일성을 확보하고 제작시 효율성을 확보하기 위하여 SIS Sa 2 정

표 5. 표면처리 종류별 미끄럼 계수

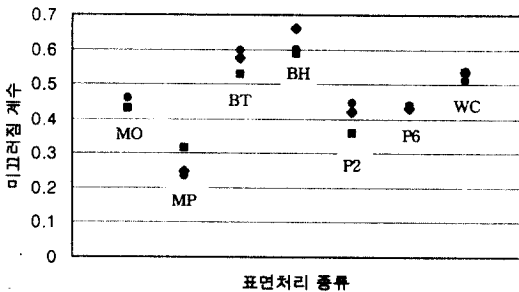


그림 5. 표면처리 종류별 미끄럼 계수 비교

도의 브라스팅 처리를 하도록 추천<sup>(6)</sup>하고 있는데, 따라서 이러한 표면처리 조건일 때 내후성장재는 시방규정을 만족하는 미끄럼계수가 얻어짐을 알 수 있다. 단, 철구조물 이후부터 시공완료까지에는 시간이 걸리므로 대기 중에 노출되어 강재 표면에 녹이 발생하게 되는데 이 경우에 대해서는 후속 연구에서 다루기로 한다.

한편, 내후성장재에 무기 징크프라이머를 도포한 P2-X와 P6-X의 미끄럼계수는 0.409와 0.438로서 도막의 두께가 두꺼운 P6-X가 더 큰 미끄럼계수를 보이며, 일반강에 도장을 실시한 실험결과<sup>(8,9)</sup>와 유사한 값을 나타냄을 알 수 있다. 따라서, 도장을 실시하는 경우에 있어서 미끄럼계수는 일반강 혹은 내후성장의 강종 차이보다는 주로 도장 자체의 특성에 의존한다고 할 수 있다.

일반적으로, 도장을 실시한 마찰이음면의 미끄럼계수는 도료의 조성, 도막의 두께 그리고 폭로 기간 등에 영향을 받는다고 알려져 있다. 만일, 동일 조성의 도료인 경우라면 주로 도막의 두께에 의해 미끄럼계수가 좌우되는데, 도막 두께가 두꺼워질수록 크리프에 의해 볼트 축력의 감소가 크게 되므로(3.2절 참조) 미끄럼계수는 적어지는 경향이 있다. 그러나, 문헌<sup>(8)</sup>에 의하면 도막의 크리프에 의한 볼트축력의 저하가 미끄럼계수에 미치는 영향은 상대적으로 적고 도막의 두께 차에 의한 미끄럼계수의 변화 경향은 도료 조성에 따라 일정하지 않으므로 소정의 미끄럼계수를 얻기 위해서는 도료 성분 및 조성에 적합한 도막 두께를 선정하는 것이 중요하다고 하겠다.

마지막으로, 국산 웨더코트 하도층을 실시한 WC-X의 실험결과는 미끄럼계수 0.529로서 도로교표준시방서의 기준을 만족하는 값을 얻을 수 있었다. 따라서, 무도장 내후성장 교량에 적용하는 국산 웨더코트 도장처리 사양은 적절하다고 판단할 수 있다.

### 3.2 시간경과에 따른 볼트축력 감소율

볼트 축력이 시간에 따라서 감소되는 것은 볼트 나사부의 크리프, 이음판 및 모재의 볼트 구멍부 주변의 고응력화, 볼트 머리 및 너트부의 이음판의 국부적 탄성회복 등에 의한 것으로 알려져 있다<sup>(7,8,9)</sup>. 도로교표준시방서에서는 이러한 축력의 감소와 크리프 등을 고려하여 미끄럼계수 및 체결 볼트축력을 결정하고 있다.

그림 6에는 본 연구에서 수행한 표면처리 종류별 볼트축력의 감소율을 측정된 결과를 나타내었다. 모든 표면처리 종류에 있어서 공히 볼트 축력의 감소는 체결후 약 24시간이 경과하면 500시간 동안의 전체 감소율의 70~80%가 발생하며, 그 이후에는 축력 감소율의 변화가 점차 줄어드는 것을 알 수 있다.

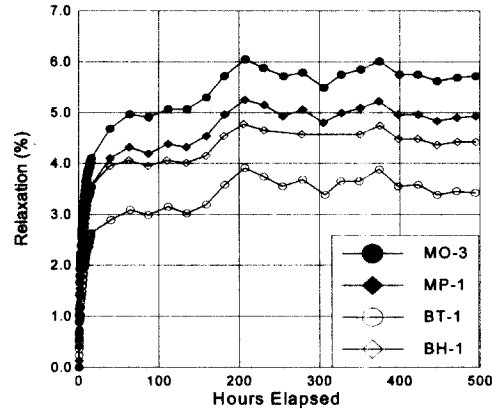
도장을 실시하지 않은 경우인 그림 6(a)를 살펴보면 흑피부착 상태의 축력 감소율은 5~6% 정도이고 브라스팅을 실시한 경우는 5% 이내임을 알 수 있다. 그림 6(b)의 무기 징크프라이머를 실시한 경우에는 6~8% 정도이고 그림 6(c)의 웨더코트를 도포한 경우 5~8% 정도이다. 도장을 실시한 경우와 실시하지 않은 경우를 비교해보면 도장을 실시한 시험편의 경우가 도장을 실시하지 않은 시험편에 비하여 축력의 감소율이 조금 크게 나타나는 것을 알 수 있다. 이러한 경향은 기존의 연구와 동일한 결과로서 축력의 감소율이 커지는 것은 도막의 크리프에 의한 것으로 알려져 있다.<sup>(7,9,10)</sup>

한편, 그림 6(b)에서 도막의 두께에 따르는 축력 감소율의 경향을 파악할 수 있다. 즉, 측정 도막두께가 각각 평균  $35\mu\text{m}$  및  $73\mu\text{m}$ 인 P2-X와 P6-X 시험편의 축력 감소율을 비교하면 도막두께가 상대적으로 두꺼운 P6-X 시험편이 축력의 감소율이 다소 크다는 것을 알 수 있다. 이러한 경향을 볼 때, 도막의 두께가 두꺼울수록 시간경과에 의한 볼트 축력의 감소율이 크다는 것을 알 수 있다.

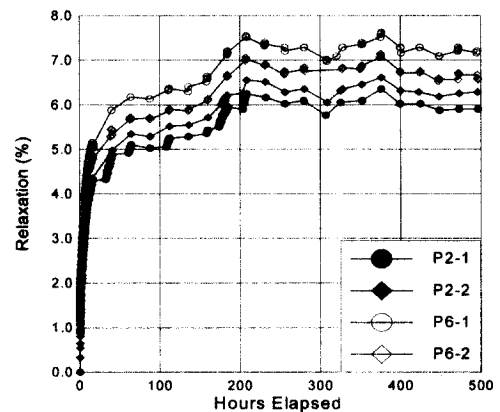
그림 6(c)에서 국산 웨더코트에 대한 시험결과는 두 시험편(WC-1, WC-2)간의 차이가 다소 크게 나타났으나 감소율의 범위는 무기 징크프라이머의 경우와 유사한 것을 알 수 있다.

#### 4. 결 론

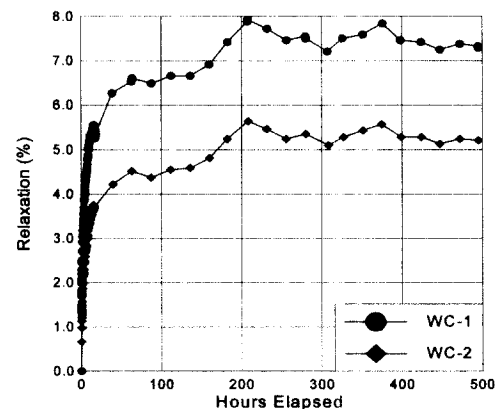
본 연구에서는 내후성강재의 마찰이음 미끄럼 계수 및 볼트 축력의 감소율을 평가하기 위한 실



(a) 흑피 부착상태 및 브라스팅 상태



(b) 무기 징크프라이머



(c) 웨더코트 하도

그림 6. 볼트 축력 감소율

험을 수행하였다.

표면처리 종류별 미끄럼계수의 평가에 있어서는 다음과 같은 결과를 얻었다.

- (1) 흑피가 부착된 경우 평균 미끄럼계수는 0.446으로서 기존 연구결과<sup>(3)</sup>인 0.23에 비해 큰 값을 보였고, 이는 일반강에 대한 문헌치<sup>(2)</sup> 0.33에 비해서도 큰 값이다. 이는 시험편의 제작에 사용된 강판의 하면이 녹이 조금 발생하여 면이 매끄럽지 않았기 때문인 것으로 판단되며 향후 추가적인 실험이 필요한 것으로 판단된다.
- (2) 브라스팅을 실시한 경우에 있어서는 SIS Sa 2½에 의한 것이 SIS Sa 2에 의한 것보다 조금 큰 미끄럼계수를 보였다. 그러나, 두 경우 모두 시방 기준치 0.4에 비해 높은 값을 보였다.
- (3) 목표 도막두께 20 $\mu$ m의 무기 징크프라이머를 사용한 경우에는 평균 미끄럼계수가 0.409로 기준치를 겨우 만족하였으며 목표 도막두께 60 $\mu$ m의 경우는 이보다 조금 크게 나타나, 두 가지 경우만을 비교했을 때에는 도막 두께가 두꺼운 쪽이 미끄럼계수가 큰 것을 알 수 있었다.
- (4) 웨더코트 하도의 평균 미끄럼계수는 0.529로 나타나, 국산 웨더코트 하도 사양은 적절한 것으로 판단된다.

표면처리 종류별 볼트 축력의 감소율 측정에 있어서는 다음의 결과를 얻었다.

- (1) 모든 실험 대상에 있어서 볼트 축력의 시간에 따른 감소는 축력 도입 초기에 크게 발생하고 시간이 증가함에 따라 감소율의 증가가 급격히 둔화되는 것을 알 수 있었다.
- (2) 도장을 실시한 경우가 그렇지 않은 경우에 비해 축력의 감소율이 컸다.
- (3) 도장을 실시하지 않은 경우에 있어서는 흑피가 있는 경우가 흑피를 브라스팅으로 제

거한 경우에 비해 축력의 감소율이 컸다.

- (4) 무기 징크프라이머를 도포한 경우에 있어서는 목표 도막두께 60 $\mu$ m가 20 $\mu$ m에 비해 축력의 감소율이 크게 나왔다.
- (5) 웨더코트 하도 적용시 축력의 감소율은 무기 징크프라이머의 경우와 유사한 결과를 보였다.

한편, 내후성강재를 무도장 상태로 교량 구조물 등 강구조물에 적용하는 경우에는 철구제작 시점부터 시공완료까지 대기 중에 노출되어 강재 표면에 녹이 발생하여 미끄럼계수의 변화가 예상되며, 이에 대해서는 후속 연구에서 다루기로 한다.

## 참 고 문 헌

- (1) 건설교통부, 1996, 도로교 표준시방서.
- (2) AASHTO, 1992, Standard Specifications for Highway Bridges, 15th ed. Chap. 6.
- (3) 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.
- (4) 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.
- (5) W. L. Mathay, 1993, Uncoated Weathering Steel Bridges, Highway Structures Design Handbook, Vol. I, Chap. 9, AISC.
- (6) 포항산업과학연구원, 1998, 무도장 내후성강 교량 적용요령, 보고서 No. BR-D-98-001.
- (7) 이승용, 장동일, 1998, "고장력볼트 이음부의 정적 및 피로거동에 관한 연구(I)", 대한토목학회 논문집, 제18권, 제1-4호, pp. 507-515.



- (8) 山本善行, 久保操, 1978, “接合面にジンクリッチペイントを塗装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.
- (9) 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.

- (10) 夏波義幸, 越智勝, 森邦久, 1978, “塗装を施した摩擦接合継手の性能試験”, 本四技報, No. 6, pp. 22-27.

(접수일자 : 1999년 11월 15일)