

Zn/Al 금속용사 방식공법을 적용한 고력볼트 접합부의 미끄럼계수 평가

An Evaluation of Slip Coefficient in High Strength Bolt Joint using
Zn/Al Metal Spray Corrosion Resistance Method

김 태 수* 이 한 승** 태 성 호*** 안 현 진**** 오 상 훈*****
Kim, Tae-Soo Lee, Han-Seung Tae, Sung-Ho Ahn, Hyun-Jin Oh, Sang-Hoon

Abstract

In high strength bolted joints, the corrosion of base material causes the reduction of slip resistance of the joints. In this study, tensile tests on slip-critical joints utilizing Zn/Al metal spraying corrosion resistance method were carried out in order to prevent the corrosion and meet the required mechanical characteristics of joints. In addition, slip coefficient and surface roughness were calculated. The key parameters were surface finishing condition and thickness of coating with the identical geometry in all specimens. From the results, it is found that the slip coefficient of the joints with coated finish after sand blast treatment as well as those of non-coated joints with only sand blast treatment were similar or superior to 0.45, which is a specification criteria of slip coefficient in friction-typed joints.

요 지

강구조물의 고력볼트 마찰접합부에 있어서 마찰면의 부식은 장기적으로 마찰력 감소와 접합부 내력저하를 초래한다. 본 연구는 고력볼트 접합부의 부식을 방지하고 소요 역학적 성질을 만족시키기 위해 접합부의 마찰면에 Zn/Al 금속용사 방청처리 한 고력볼트 접합부를 대상으로 마찰면의 표면처리방법과 피막두께를 주요 변수로 하여 인장시험을 실시하였고, 실험으로 부터 마찰면 표면거칠기와 미끄럼계수를 측정하였다. 무도장 샌드블라스트 처리한 접합부 및 샌드블라스트 처리 후 금속용사를 실시한 볼트 접합부의 미끄럼계수는 국내 규준의 규정 값과 비교하여 동등 이상의 우수한 미끄럼계수 값을 나타냈다.

Keywords : Zn/Al metal spray, Corrosion resistance method, Surface roughness, Slip coefficient

핵심 용어 : Zn/Al 금속용사, 방식공법, 표면 거칠기, 미끄럼 계수

* 정회원, 한양대학교 친환경건축연구센터 연구조교수

** 정회원, 한양대학교 건축학부 부교수, 교신저자

*** 정회원, 한양대학교 친환경건축연구센터 연구조교수

**** 정회원, 대신종합건설(주) 대리

***** 정회원, 포항산업과학연구원 책임연구원

E-mail : ercleehs@hanyang.ac.kr 031-400-4023

• 본 논문에 대한 토의를 2007년 10월 31일까지 학회로 보내주시면 2008년 1월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

1. 서 론

최근, 강구조물의 현장 이음방식으로는 신속성, 간편성, 역학적 특성이 우수한 고력볼트 접합이 광범위하게 사용되어지고 있다. 이러한 고력볼트 접합부는 접합부와 모재간의 마찰상태와 강도, 고력볼트의 크기 및 배치, 도입축력의 상이에 따라 그 성능이 좌우되며 특히, 모재와 이음판의 마찰면 상태는 고력볼트 접합부의 미끄러짐 내력 및 피로강도에 큰 영향을 미친다.⁽¹⁾⁽²⁾ 따라서, 건축공사 표준시방서⁽³⁾ 및 강구조 한계상태 설계기준 및 해설⁽⁴⁾에서는 고력볼트 접합부 강재표면은 볼트구멍주위의 흑피를 쇼트블라스트 또는 샌드블라스트로 제거한 후 자연방치상태에서 붉은 녹이 발생한 상태를 표준으로 해서 볼트접합부의 미끄럼강도를 규정하고 있다. 이때 모재와 이음판 사이의 마찰면은 무도장을 원칙으로 하고 있으며, 이러한 마찰면의 마감상태로 미끄럼계수(μ)가 0.45이상 확보되도록 규정하고 있다. 그러나, 장기간의 제작 및 가설공정이 필요한 경우, 무 방식처리 접합부에서 부식에 기인한 부재 단면감소와 체결력의 저하가 예상되며, 가설 후에도 접합부에 우수 등이 침투하여 부식의 진행이 가속화될 위험성이 높다. 이러한 이유에서 고력볼트 접합부의 부식을 방지하고 소요의 역학적 성질을 만족시키기 위하여 모재와 이음판의 마찰면에 방청처리(방식공법 도입)가 요구되어지고 있다.⁽⁶⁾⁽¹⁵⁾

현재, 강구조물의 방청처리로서는 용융아연도금공법(Zinc galvanizing)과 징크릿치(Zinc-Rich) 도료를 프라이머에 도포하고 에폭시수지 도료와 불소수지 도료 등을 조합한 중방식 도장공법(Heavy duty coating)과 등이 일반적으로 사용되어지고 있다.⁽³⁾⁽⁷⁾⁽⁸⁾ 그러나 용융아연도금공법은 구조부재 크기의 제한, 모재의 열변형, 용접부 및 고력볼트 접합부의 도금시공의 어려움 등의 문제점이 유발되고 있으며, 중방식도장공법은 코팅 도막의 부착력 확보, 도막 손상에 의한 강재 부식발생, 유지관리 비용의 증가 등의 문제점이 제시되고 있다.⁽¹³⁾ 그러나, 최근 아연(Zn)과 알루미늄(Al)금속을 아크용사기를 이용하여 순간적으로 강재표면에 도금하는 금속용사방식 즉, Zn/Al 금속용사 방식공법의 우수성이 입증되고 있다.⁽⁷⁾⁽¹⁰⁾ 즉, 표면처리

방법에 따른 방청재료의 부착강도 및 방식성능의 평가에 관한 연구가 진행되어왔다. 따라서, 희생양극 방식원리를 이용한 Zn/Al 금속용사 방식공법이 강구조물의 접합부 방식공법으로 적용가능하게 된다면 접합부 부식에 기인한 미끄러짐 내력 및 피로강도의 저하를 방지, 고내구성의 강구조물을 실현 가능할 것으로 기대된다.

그러므로, 본 연구에서는 모재와 이음판의 마찰면에 Zn/Al 금속용사 방청처리를 한 고력볼트접합부에 대한 인장시험을 통해 표면처리방법과 방청피막두께에 따른 미끄럼계수 및 표면거칠기(粗度)를 산정했고, 미끄럼하중과 최대하중을 검토하였다.

2. Zn/Al 금속용사 방식공법

2.1 방식공법 원리

Zn/Al 금속용사 방식공법은 희생양극 방식성능이 있는 아연과 알루미늄을 용사기에 의해 전기적인 아크를 발생시켜 용융된 금속이 원형 환상의 슬릿으로 분출되어 아크점을 감싸면서 원추형상 수축기류에 흡입되고 분산과 냉각작용을 받으며 운반되어 확산된 금속용액이 강재표면에 충돌, 막을 형성하면서 적층, 고화하여 다공질의 금속 용사 피막을 형성하는 시스템이다. Fig. 1은 Zn/Al 금속용사 방식공법의 개요를 나타낸다. 특히, Zn/Al 금속용사 방식공법에서는 기존 방식공법과 달리 강재표면에 브라스트(Blast) 처리를 하지 않고 도포형의 조면형성제를 적용하여 강재표면에 적절한 앵커패턴을 형성시켜 충분한 부착강도를 확보하는 특징을 가지고 있으며 불연속의 조면형성제 도포면을 통하여 용융된 Zn/Al 합금이 강재와 전기적으로 연결됨으로써 희생양극방식을 가지게 된다.⁽⁷⁾⁽¹⁰⁾⁽¹⁵⁾

2.2 희생양극방식

전위가 다른 이종의 금속이 전기적으로 접촉된 경우, 상대적으로 전위가 낮은 금속이 Anode부, 전위가 높은 금속이 Cathode부가 되는 전기회로가 형성된다.

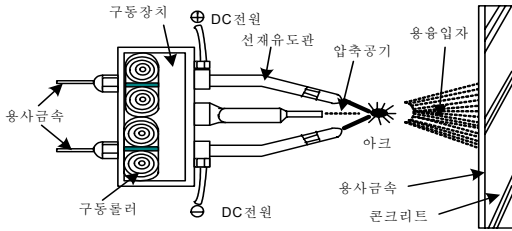


Fig. 1 Zn/Al 금속용사 방식공법의 개요

결국 Anode부 금속에서 부식이 발생하게 되며, 이러한 부식현상을 갈바닉 부식이라 일컫는다. 희생양극방식이란, 이러한 이종 금속간에 발생하는 갈바닉 부식현상을 이용한 방식공법으로 철(Fe)보다 상대적으로 전위가 낮은 아연(Zn)이나 알루미늄(Al)을 Fe와 전기적으로 접촉시킴으로써 아연(Zn)이나 알루미늄(Al)이 전자를 방출, 부식하게 되고 철(Fe)은 Cathode부로서 부식이 억제되는 원리의 방식법이다. Zn/Al 금속용사 방식공법은 이러한 희생양극방식을 이용한 강재의 방식공법이다.⁽¹²⁾

2.3 고력볼트 접합부의 미끄럼계수

고력볼트 접합부의 설계에서 가장 중요한 인자인 미끄럼계수는 접합부와 모재간의 표면처리상태, 볼트의 크기 및 배치 등의 영향을 받으며, 고력볼트 축에 도입되는 축력이 클수록 증가한다. 국내의 건축공사표준시방서⁽³⁾에서는 일률적으로 미끄럼계수가 0.45이상으로 확보하도록 하고 있다. 1장에서 언급했던 것과 같이 마찰면의 처리방법은 자연발생 녹 또는 블라스트 처리중 한가지 방법으로 권장하고 있고, 이외의 특수한 마찰면의 처리방법은 공사시방서에 따른다고 규정하고 있다. 일본의 건축공사 표준시방서에서도 국내와 동일한 미끄럼계수인 0.45를 규정하고 있으며, 도목분야에서 사용되는 도로교표준시방서에서는 시공성을 고려하여 볼트연결부의 표면처리는 블라스트에 등에 의해 녹, 흑피를 제거하여 0.4이상 얻어지도록 규정하고 있다. 그 외의 ASSHTO LRFD, Eurocode 등의 외국기준에서는 접촉면의 처리상태에 따라 세분화해서 0.22~0.50으로 규정하고 있다.⁽¹¹⁾

3. 실험개요 및 방법

마찰면에 방청처리된 강구조물 접합부에서 요구되는 내력확보를 위해 필요한 미끄럼계수를 유도함으로써 Zn/Al 금속용사 방식공법의 적절성을 검증할 수 있다. Zn/Al 금속용사 방식공법을 이용한 고력볼트 접합부의 표면거칠기 및 미끄럼계수를 측정하기위해 Fig. 2와 같이 대칭단면을 갖는 2열배치 2면전단 마찰접합부를 계획하여 정적단순인장 실험을 실시하였다. 각 시험체는 미끄럼계수 평가 전 표면 거칠기를 측정함으로써 강재의 표면거칠기와 미끄럼계수와의 상관관계에 대하여 검토하였다.

3.1 재료실험

접합부 시험체는 모재와 이음판 그리고 고력볼트 세트 구성된다. 모재와 이음판은 강종 SM 490B를 사용하였으며, 고력볼트(직경 : M22)와 너트의 재질은 F10T, 와서는 F35T를 사용하였다. 모재와 고력볼트의 기계적 성질 평가는 KS B 0802(금속재료 인장시험방법)에 의해 인장시험을 수행하였다. Table 1은 모재와 이음판, 고력볼트의 기계적 성질을 나타낸다.

Table 1 재료의 기계적 성질

종 류		물리적 성질	
		항복강도 (MPa)	인장강도 (MPa)
모재, 이음판	SM490B	368.3	529.2
고력볼트	F10T	1027	1077

3.2 표면처리 방법 및 수준

미끄럼 계수에 가장 많은 영향을 미치는 표면거칠기와 미끄럼계수와의 관계를 검토하기 위하여 Table 2와 같은 마찰면의 표면처리방법 및 수준(모래종류 및 피막두께)을 갖는 시험체를 제작했다. 샌드블라스트(Sand blast)처리로 체번호 #20, #40, #80에 의한 세가지 종류의 모래를 사용하여 분사거리 30cm, 분사각도 45°로 표면거칠기를 조절하여 3수준으로 실시한 시험체가 S시리즈이며, 샌드블라스트가 아닌 조

Table 2 실험인자 및 수준

시험체 기호	표면처리방법	수준 (체번호, 피막두께)
S20	샌드블라스트	#20
S40	샌드블라스트	#40
S80	샌드블라스트	#80
SK50	샌드블라스트+Zn/Al 금속용사	#20+50 μ m
SK100	샌드블라스트+Zn/Al 금속용사	#20+100 μ m
SK200	샌드블라스트+Zn/Al 금속용사	#20+200 μ m
GK100	그라인딩+Zn/Al 금속용사	#20+100 μ m

면형성 재료써 표면거칠기를 확보한 시험체, 즉 그라인더로 연마한 시험체에 조면형성제를 도포한 후 금속용사를 실시한 시험체가 GK시리즈이다. 금속용사 피막두께에 따른 미끄럼 계수의 변화를 검토하기 위해 전처리 작업으로 샌드블라스트(#20)를 실시하고 조면형성제를 도포한 후 3수준의 피막두께(50 μ m, 100 μ m, 200 μ m)의 Zn/Al 금속용사를 실시한 시험체(샌드블라스트+Zn/Al 금속용사)SK 시리즈이다.

3.3 시험체의 형상 및 치수

2면전단 마찰접합 시험체의 형상 및 치수는 Fig. 2과 같다. 고력볼트 공칭지름(d)은 22mm, 볼트 구멍의 지름(ϕ)은 24mm로 하였다. 모재와 이음판의 두께(t)는 각각 20mm, 15mm이다. 시험체에서 볼트의 하중방향 연단거리와 하중직각방향의 연단거리는 수동가스절단기준으로 해서 최소연단거리인 40mm로 계획했고 볼트볼트 중심간거리인 피치는 80mm로 하였다. 그리고, 시험체 설계시 모재의 항복하중이 접합부의 미끄럼 강도 이상이 되도록 계획했다.

3.4 실험방법

3.4.1 표면거칠기

표면거칠기는 KS B 0601 「표면거칠기 정의 및 표시」에 준하여 M사의 소형 표면거칠기 측정기를 이용하여 측정하였다.⁽³⁾ 또한, 표면거칠기의 정량화를 위하여 KS B 0161에서 정한 Ry (최대높이, 최대산과 최대골 사이의 높이의 합), Rz(10점 평균거칠기, 5개의 산과 5개의 골 평균높이의 합)와 Sm(요철의 평균간격)을 측정하였고, Sm/Rz(산술평균 거칠기)을 산출하였다.

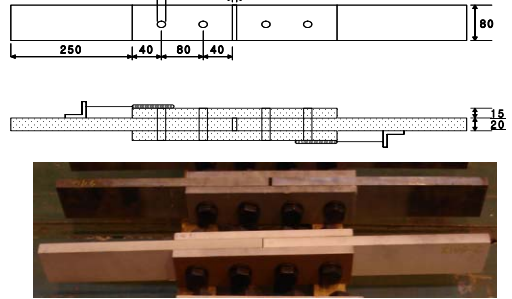


Fig. 2 시험체의 형상

Ry는 Rp와 Rv의 합으로 정의한다. 여기서, Rp는 최대 단면 산의 높이로써 평균선에서부터 가장 높은 단면 산의 높이이며, Rv는 최대단면 골 깊이로써 평균선으로부터 가장 깊은 단면 골의 깊이이다. Rz는 거칠기 곡선에서 그 평균선의 방향에 기준 길이만큼 뽑아내어 이 표본의 평균선에서 세로 배열의 방향으로 측정된 가장 높은 산봉우리로부터 5번째 산봉우리까지의 표고의 절대값의 평균값과 가장 낮은 골바닥에서 5번째까지의 골바닥의 표고의 절대값의 평균값과의 합이다. Sm은 거칠기 곡선에서 그 평균선의 방향에 기준길이 만큼 뽑아내어 이 부분에서 하나의 골에 대응한 평균선의 길이의 합(요철의 간격)을 구하여 이 다수의 요철간격을 산술평균한 값이다.

3.4.2 고력볼트 체결

본 실험에서 사용한 M22 고력볼트의 도입속력은 「강구조 한계상태 설계기준 및 해설」⁽⁴⁾의 표준볼트 장력 221.48kN과 식(2)을 이용해 토크치, 828.1kN·mm를 적용해 토크렌치로 체결했다. 토크계수값은 값인 0.17을 채용했다. 표준볼트장력(N)은 식(1)에 의해 산정된 설계볼트장력(N_0)에 10%를 할증해 계산한다.

$$N_0 = 0.75 \cdot \sigma_y \cdot A_n \quad (1)$$

$$T = k \cdot d \cdot N \quad (2)$$

여기서, σ_y 는 볼트의 항복 강도치(N/mm²), A_n 는 볼트 유효단면적(mm²), T는 토크(kN·mm), k

는 토크계수(0.15~0.19, 적용 토크계수치는 평균값인 0.17사용), d(mm)는 고력볼트 축부의 공칭직경(mm), N은 표준볼트장력(=221.48kN)이다.

3.4.3 정적인장실험 및 미끄럼계수 산정

정적인장실험은 Fig. 3과 같이 유압식 만능시험기를 사용하였다. 변위량 측정은 시험체 양단에 설치된 변위계를 이용하여 모재와 이음판의 상대변위를 측정하였다. 시험체에 대한 가력은 0.01mm/sec속도로 서서히 재하하여 미끄러짐이 발생한 후 모재가 파단되는 시점까지 실시하였다. 시험체설치 및 가력상황은 Fig. 3에 나타났다. 또한, 실험결과로 얻어진 하중-변위관계 곡선으로부터 하중의 증감이 반복되거나 급격히 저감되기 시작하는 지점을 미끄럼 발생개시부로 간주했으며, 그때의 하중을 미끄럼 하중(P_{slip})으로 정의한다. 식(3)에 근거하여 미끄러짐 계수를 산출하였다.

$$\mu = \frac{P_{slip}}{n \times m \times N} \quad (3)$$

여기서, μ 는 미끄러짐 계수, P_{slip} 는 미끄럼 하중(kN), m은 접합면의 수(m=2), n은 고력볼트 수(n=2), N은 표준볼트장력이다

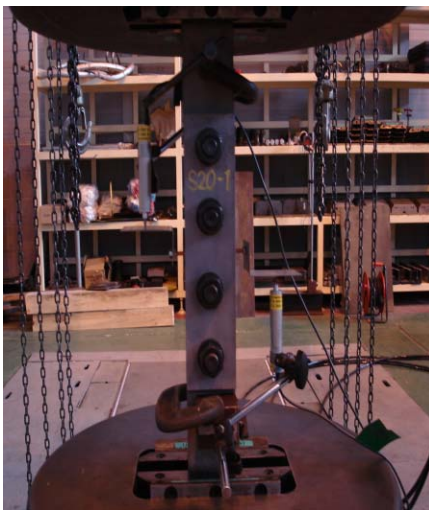


Fig. 3 시험체의 설치 및 가력

Table 3 표면거칠기 측정결과

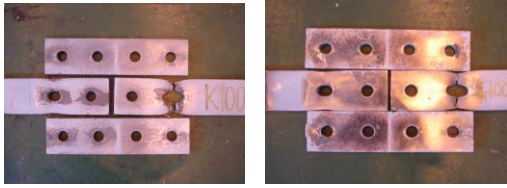
시험체	Ry (μm)	Sm (μm)	Rz (μm)	S_m/R_z
S20	50.03	112.72	38.34	2.94
S40	30.80	80.32	20.36	3.94
S80	20.22	75.91	17.45	4.35
SK50	65.34	134.35	44.93	2.99
SK100	72.25	110.84	40.76	2.72
SK200	66.35	121.42	42.86	2.83
GK100	63.06	198.30	43.97	4.51

3.5 실험결과 및 고찰

방청처리하지 않은 마찰면의 표면거칠기의 측정결과가 Table 3이다. 여기서 S시리즈는 샌드블라스트 처리한 면에서 측정된 값이고, SK시리즈와 GK시리즈는 각각 샌드블라스트처리와 그라인딩 처리 후 조면형성제를 도포한 면에서 측정된 값이다. 또한, 실험으로부터 얻어진 하중-변위곡선이 Fig. 5, Fig. 6이며, 미끄럼하중(P_{slip}), 미끄럼계수(μ) 및 최대하중(P_{ma})은 Table 4에 나타낸다.

3.5.1 표면거칠기

3.4.1에서 언급했던 Ry (최대산과 최대골사이의 높이의 합), Rz (10점 평균거칠기), Sm/Rz (산술평균 거칠기)등을 이용하여 표면거칠기를 평가하였다. Table 3에 표면처리 방법에 따른 거칠기의 측정결과를 나타냈다. 샌드블라스트의 경우 S20에서 S80으로 증가할수록(즉, 표면처리용 골재크기가 작을수록) 요철의 평균간격, Sm과 10점 평균깊이, Rz는 감소하는 경향을 나타내는 반면, 산술평균 거칠기인 Sm/Rz은 증가하는 경향을 나타냈다. 한편, 동일한 샌드블라스트 처리를 실시한 시험체 SK50, SK100, SK200은 도포량(피막두께)가 증가하여도 Sm과 Rz, Sm/Rz이 거의 동일한 값을 나타냈다. 그라인딩 후 조면형성제를 도포한 후 측정한 시험체 GK100은 그라인더에 의해 표면의 소요깊이의 산과 골의 확보가 어려우므로, SK50, SK100, SK200과 비교하여 다소 큰 Sm/Rz이 측정되었다. SK시리즈의 Sm/Rz은 GK100과 비교하여 상대적으로 작았으며 대략 S20의 Sm/Rz과 유사하였다.



(a) SK100 (b) SK200
Fig. 4 시험체의 파단 형상

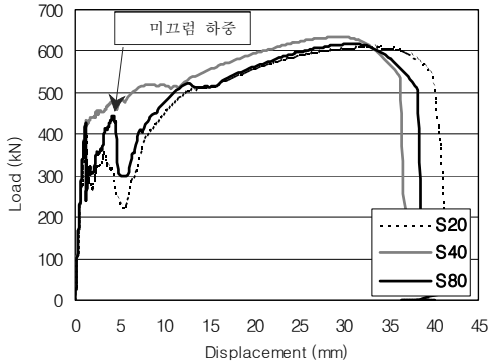


Fig. 5 샌드블라스트의 하중-변위선도

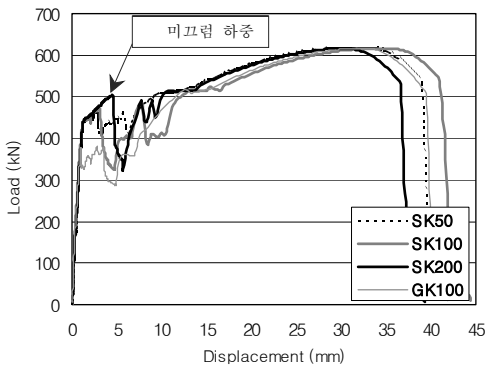


Fig. 6 Zn/Al 금속용사공법의 하중-변위선도

3.5.2 파단형상과 최대하중

가력종료시 시험체의 대표적인 종국파단형상이 Fig. 4이다. 대상 시험체 모두 모재에서 하중 직각방향으로 인장파단되었다. 최대하중인 경우 마찰면 표면처리 방법외에는 동일치수, 동일 볼트장력을 갖는 시험체이므로 Table 4에서 보는 바와 같이 최대하중에 있어서는 큰 차이가 없었다.

Table 4 실험결과

시험체	미끄럼 하중 P_{slip} (kN)	미끄럼 계수 μ	최대 하중 P_{max} (kN)	S_m/R_t
S20	396.60	0.448	610.43	2.94
S40	441.20	0.498	634.31	3.94
S80	444.34	0.502	617.23	4.35
SK50	462.78	0.522	620.13	2.99
SK100	471.92	0.533	616.81	2.72
SK200	503.69	0.569	615.92	2.83
GK100	376.15	0.425	616.30	4.51

3.5.3 표면처리 방법에 따른 하중-변위선도 및 미끄럼계수 평가

(1) 샌드블라스트 시험체(S20, S40, S80)

Fig. 5 샌드블라스트 시험체의 인장시험 결과로부터 얻어진 하중-변위선도를 나타낸다. 각 시험체는 변형 거동은 가력초기 볼트 체결력에 의해 발생하는 마찰력으로 외력에 저항하고, 하중의 증가와 함께 외력이 마찰력을 초과하는 순간 시험체에의 미끄러짐이 발생하고 이러한 미끄러짐 현상이 반복되다가 볼트 축부와 모재가 지압상태가 되어 볼트의 전단력과 판재의 지압내력으로 외력에 저항하는 거동을 보였다. 최종적으로는 모재의 네킹(Necking)현상을 동반한 순단면 파단이 발생했다. 측정된 미끄러짐 하중을 식(3)에 대입하여 미끄럼계수(μ)를 산출하였으며 그 결과를 Table 4에 정리하였다. Table 4의 미끄럼계수 실험 결과에 의하면 샌드블라스트에 의한 전 수준에서 건축공사 표준시방서등의 규정치 0.45 동등이상의 값이 측정되었다.

(2) Zn/Al 금속용사 시험체(SK50, SK100, SK200, GK100)

Fig. 6은 SK시리즈(샌드블라스트+Zn/Al 금속용사)와 GK100(그라인딩+Zn/Al 금속용사)의 정적인장시험 결과 얻어진 하중-변위선도를 나타낸다. Fig. 6의 Zn/Al 금속용사의 하중-변위선도는 Fig. 5의 무도장 공법의 경우와 같이 각 시험체에서는 미끄러짐 하중에 이르기까지의 선형적 거동과 미끄러짐 하중 이후의 미소 미끄러짐 현상이 관찰되었다. SK시리즈(샌드블라스트+Zn/Al 금속용사)의 경우, 모든 시험체에서 0.5이상의 미끄럼계수가 산정되었고, SK시리즈

의 미끄럼계수는 Zn/Al 금속용사 피막두께가 증가함에 따라 증가하는 경향을 보였지만 큰 차이는 없으므로 나타났다. 현재, Zn/Al 금속용사 방식공법은 방식성, 경제성 및 시공적 측면을 고려하여 피막두께 100 μm 로 시공되고 있으며, 실험결과의 피막두께 100 μm 에서 미끄럼계수의 규정치 0.45를 상회하는 0.522의 미끄럼계수가 측정된 것으로 미루어 볼 때 피막두께 100 μm 의 Zn/Al 금속용사 방식공법은 요구 방식성, 시공성 및 미끄럼계수를 충족가능한 적절한 피막두께라고 사료된다.⁽¹¹⁾ 한편, GK100(그라인딩+Zn/Al 금속용사)의 경우는 미끄럼계수 0.425로 산정되었으며 건축공사 표준시방서 규정치 0.45보다 낮게 나타났지만, 도로교 표준시방서⁽⁵⁾의 규정치 0.4보다는 크게 나타났다.(Fig. 7 참조) 종합해보면, 별도의 물리적인 표면처리를 실시하지 않고 조면형성제만을 도포한 시험체 GK100의 경우도 조면형성제의 확실한 품질확보가 이루어진다면 표면처리 없이 Zn/Al 금속용사를 실시하는 것만으로 고력볼트 접합부에 요구되어지는 마찰력을 확보하는데 크게 문제가 없을 것으로 판단된다.

(3) 표면처리방법에 따른 미끄럼계수

Fig. 7에서 보는 바와 같이 무도장 공법인 샌드블라스트 표면처리된 시험체(S시리즈)의 미끄럼계수는 전 수준에서 0.45값을 상회했고, SK시리즈(샌드블라스트+Zn/Al 금속용사)의 시험체에서 얻어진 미끄럼계수는 샌드블라스트 시험체보다 높은 값이 측정되었다.

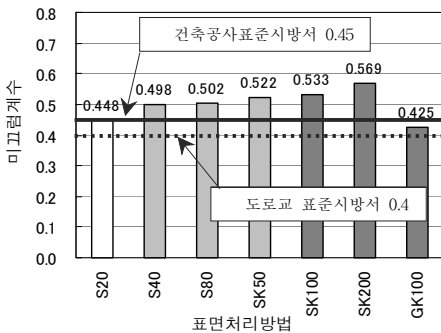


Fig. 7 표면처리방법에 따른 미끄럼계수 평가

Table 5 Sm/Rz 및 피막두께와 미끄럼계수와의 관계

시험체	사용모래 피막두께	S_m/R_z	$\frac{S_m/R_z}{S_{mi}/R_{zi}}$	미끄럼계수 μ	μ/μ_i
S20	#20	2.94	1.00	0.448	1.00
S40	#40	3.94	1.34	0.498	1.11
S80	#80	4.35	1.48	0.502	1.12
SK50	50 μm	2.99	1.00	0.522	1.00
SK100	100 μm	2.72	0.91	0.533	1.02
SK200	150 μm	2.83	0.95	0.569	1.09

주) 1. SK시리즈는 #20의 모래사용해 표면처리 한 것이다.

2. $\frac{S_m/R_z}{S_{mi}/R_{zi}}$, μ/μ_i 는 각각 S20, SK50의 산술평균 거칠기와 미끄럼계수로 기준화한 값이다.

이로부터, 샌드블라스트 후 Zn/Al 금속용사를 실시한 경우, 단순히 미끄럼계수 확보를 위해 샌드블라스트 처리한 경우와 비교하여 높은 미끄럼계수의 확보가 가능함은 물론 Zn/Al 금속용사의 희생양극방식에 의하여 강재의 부식저항성도 향상되는 효과를 얻을 수 있을 것으로 기대된다.

3.5.4 Sm/Rz 및 피막두께와 미끄럼계수와의 관계

Table 5는 각 시험체의 Sm/Rz(산술평균 거칠기) 및 피막두께와 미끄럼계수와의 관계를 나타낸 결과이다. 이 고찰결과로부터 무도장 샌드블라스트 처리된 S시리즈의 경우, 거칠기 정도를 나타내는 Sm/Rz가 증가할수록 동일단면의 접합부에서 미끄럼하중이 커짐에 따라(Table 4) 미끄럼계수는 증가하는 경향을 나타냈다. 동일한 샌드블라스트 처리 후 피막두께를 달리한 SK시리즈의 경우, 3.5.1에서 언급한 바와 같이 피막두께가 증가해도 Sm/Rz의 값에는 큰 변화가 없었고, 미끄럼계수는 증가하는 경향을 보였다. 이는 도포량(피막두께)가 증가할수록 방식막의 부착성능에 있어서 안정성이 확보되었고,⁽⁷⁾⁽⁸⁾ 이로 인해 볼트접합부의 미끄럼강도가 증가했기 때문으로 판단된다.

4. 결 론

본 연구에서는 강구조물 접합부의 부식방지를 통한 내구성 증진 및 장기간의 허용내력 유지를 위해 접합마찰면에 방청처리(Zn/Al 금속용사 방식공법)한 고력

볼트 마찰 접합부의 역학적 거동을 인장실험을 통하여 고찰하였다. 실험결과를 통해 얻어진 결과는 다음과 같다.

- 1) 표면처리방법 및 방청피복두께를 달리한 동일한 치수를 갖는 고력볼트 마찰접합부의 인장실험결과 모든 시험체에서 순단면 파단이 관찰되었으며, 최대 하중도 거의 동일하게 관측되었다.
- 2) 일반 고력볼트 접합부의 표준 시공방법인 마찰면을 샌드블라스트 처리한 무도장공법 시험체인 S20, S40, S80의 경우는 미끄럼계수가 0.448~0.502로 건축공사표준시방서의 규정치 0.45를 대부분 상회하였다. 또한, 분사용 모래입자의 크기가 작을수록 표면 거칠기의 증가로 인한 미끄럼 계수가 크게 평가되었다.
- 3) 샌드블라스트+Zn/Al 금속용사를 병행한 SK50, SK100, SK200 시험체의 미끄럼계수는 0.522~0.569로 건축공사표준시방서의 규정치 0.45이상으로 나타났으며, 동일분사용 모래 고력볼트를 이용한 접합부의 방식공법으로 현장시공시에 특별한 조치 없이 적용 가능하다고 판단된다. 동일크기의 분사용 모래를 사용했으므로 측정된 평균거칠기는 금속용사 피막두께에 큰 영향을 받지 않았으며, 피막두께가 증가할수록 미끄럼계수는 증가하는 경향을 보였지만, 부착성능의 안정성, 시공의 경제적 측면을 고려해볼 때 피막두께는 100 μ m으로 선정하는 것이 적절하다. 또한, 그라인딩+Zn/Al 금속용사를 한 GK100 시험체의 미끄럼계수는 0.425로 건축공사표준시방서의 규정치보다 약간 낮게 측정되었고, 도로교 표준시방서의 미끄럼계수 0.40보다 높아 별도의 표면처리 없이 Zn/Al 금속용사를 실시하는 것으로서 고력볼트 접합부에 요구되어지는 마찰력 확보가 가능할 것으로 판단된다.

이상의 결과로부터, 기존의 연구문헌에 의해 건축 및 토목구조물의 강제 표면처리 방법으로 Zn/Al 금속용사 공법의 방식 우수성이 입증되었고, 본 연구를 통해 고력볼트 접합부의 마찰면에 이 공법에 의해 방청처리된 경우, 무처리한 경우에 비교하여 동등이상의 구조성능을 발휘하는 것으로 나타났으며, 규준에서 정하는 미끄럼 계수이상의 값이 확보된다는 것을 확인했

다. 따라서 고력볼트 접합부를 채용한 건축 및 토목구조물의 효율적인 유지관리 및 내구성 확보를 위한 방청처리 공법의 추후연구에 대한 기초적인 자료가 될 것이라 사료된다. 또한, 본 연구는 한정된 시험체수의 범위내에서 금속용사에 의한 고력볼트 접합부면에 있어서 미끄럼 계수가 평가되었으므로, 금후 다양한 변수에 의한 추가연구를 수행할 예정이며, 단순인장 시험체뿐 아니라 모멘트를 받는 접합부에 있어서의 접합 성능에 대해 검토가 요망된다.

감사의 글

본 연구는 과학기술부 우수연구센터육성사업인 한양대학교 친환경건축 연구센터의 지원(R11-2005-056-04003)과 건설교통부 건설핵심기술연구개발사업인 콘크리트코리아 연구단의 지원에 의한 결과(05-CCT-D11)입니다.

참고문헌

1. 장동일, 이승용, 김동주, "방청처리한 고장력볼트 이음부의 릴렉세이션 및 미끄러짐 특성", 대한토목학회 학술발표논문집, 1998. 10.
2. 이승용, 고력볼트 이음부의 역학적 특성에 영향을 미치는 제인자의 평가, 한양대학교 석사논문, 1998.
3. 대한건축학회, 건축공사표준시방서, 기문당, 2006.
4. 대한건축학회, 강구조한계상태 설계기준 및 해설, 1998.
5. 건설교통부, 도로교표준시방서, 한국도로교통협회, 2006.
6. 장순익, 도장실무가이드(기초에서 실무까지), 세화, 1999.
7. 정성호, 이문섭, "Zn/Al 금속용사 방식공법에서 Zn과 Al의 구성비율이 강재의 방식성능에 미치는 영향 및 방식 수명평가에 관한 실험적 연구", 대한건축학회 논문집 (구조계), 제19권, 10호, 2003, pp. 59~66.
8. 김형래, 이정철, 김찬수, 정하선, 이한승, "강재의 바탕처리방법이 금속용사 방식마감의 부착강도에 미치는 영향", 대한건축학회 학술발표논문집, 2002. 4.
9. 이승용, 경갑수, "고장력 볼트 마찰이음의 합리적 설계 및 시공에 관한 연구", 대한토목학회논문집(구조공학), 제26권, 3A호, 2006, pp. 513-521.
10. 이한승, "Zn-Al 상온금속용사공법을 적용한 강재의 방식성능 평가", 대한건축학회논문집(구조계), 제16권, 6호, 2002, pp. 77-84.

-
11. 이승용, 장동일, “고장력 볼트 이음부의 정적 및 피로 거동에 관한 연구(1)-마찰면의 표면처리 조건의 영향-”, 대한토목학회논문집(구조공학), 제18권, I-4호, 1998, pp. 507-515.
 12. 近藤照夫, 常溫金屬溶射技術の現狀, 日本防蝕技術協會溶射部會講演會, 1999.
 13. 北村義治, 防蝕技術-腐蝕の基礎と防蝕地人書館, 1999.
 14. 副島啓治, 塗裝實務讀本, 日刊工業新聞社, 1998
 15. 日本コンクリート工學, コンクリート構造物の構造耐久設計境界問題研究委員會報告書, 1998.

금행(접수일자 : 2007년 6월 8일)