

표면처리공정이 S10T 고장력 볼트 세트의 염수분무 내식성에 미치는 영향

최윤오* · 한정우* · 홍현선** · 석한길***,†

*KPF(주) 품질보증부

**성신대학교 청정에너지 융합과

***강원대학교 재료금속공학과

Study on the Corrosion Resistance of High Strength Bolt, Nut and Washer Aet (S10T) Related to the Surface Treatment Conditions

Youn O Choi*, Jung Woo Han*, Hyun Seon Hong**, and Han Gil Suk***,†

*Quality Assurance Team, Korea Parts & Fasteners(KPF) Co., Ltd, Chungju, 27327, Korea

**Dept. of Environment & Energy Engineering, Sungshin University, Seoul, 01133, Korea

***Dept. of Materials and Metallurgical Engineering, Kangwon National University, Samcheok, 259213, Korea

†Corresponding author : hgsuk@kangwon.ac.kr

(Received May 30, 2017 ; Revised August 10, 2017 ; Accepted September 11, 2017)

Abstract

The reliability of quality assurance was undermined because the bridge and building were constructed with products that have “rust” after joining the bolts at the sites. Moreover some bolts used at several sites were stored outdoors for storage, or in extreme conditions, instead of room temperature as required in the specifications. So, it was necessary to analyze how the surface treatment that enhanced corrosion-resistance affected the high strength bolts, nuts and washers. This test focuses on the correlations between the coating thickness after surface treatments and the corrosion resistance of the surface treatments (Geomet, Dacro, Green Kote, Armor Galv.). The quality characteristics of the corrosion resistance required by the KS D9502 standards were discussed. Surface treatments were implemented on the S10T sets of bolts under the same environmental factors. All corrosion resistance after surface treatments meets the criterion required by the specifications. Although the coating thickness after surface treatment should be considered as its own characteristic of the surface treatment process, Armor Galv. was the highest at $52.7 \mu\text{m} \sim 57.6 \mu\text{m}$ and Dacro was the lowest at $10.6 \mu\text{m} \sim 12.1 \mu\text{m}$. The coating thickness after surface treatment did not affect the corrosion resistance of these high strength bolts.

Key Words : High tension bolt, Corrosion resistance, Coating thickness, Surface treatment

1. 서 론

최근 구조물이 거대화되는 추세에 따라 콘크리트 건물에 비해 자중이 적고 강성이 큰 강구조물이 많이 건설되고 있다. 작은 건물들도 건설공기가 짧고, 건축비용이 경제적이므로 조립식 건축물이 늘어나고 있는 추세이다. 강구조물은 구조물의 특성상 많은 접합부위가 발생되며, 가장 많이 사용되는 접합방식은 용접과 리벳

결합, 볼트체결 등이 사용되고 있으나, 최근에는 간편성과 신뢰성을 고려하여 볼트체결이 증가하고 있다. 볼트는 대체로 마찰접합에 의하여 시공되며, 접합부의 강성확보와 응력전달의 효율성이란 관점에서 전단 또는 인장접합에 비하여 뛰어난 성능을 보여준다.

과거 상용화된 고장력 볼트의 체결은 체결공구와 피체결물간의 마찰에 의한 큰 소음으로 인해 건설현장의 나쁜 작업환경과 주민 민원도 발생하였으나, 단점을 보완하여 체결 시 소음이 거의 없고 체결품질도 우수한

볼트 Maker에 의해 보증된 Torshear (이하T/S) Bolt 가 개발되어 널리 사용됨에 따라 소음에 대한 문제해결 뿐만 아니라 체결 품질도 한층 더 고급화 되었다. 또한 건축의 대형화 및 고층화와 더불어 교량은 통행량의 급증과 중량화 등으로 인해 반복하중과 피로강도에 견딜 수 있는 고장력 볼트 접합이 더욱 보편화되고 있다. 고장력 볼트 접합부는 다른 접합방식의 접합부에 필연적으로 발생하는 국부적인 집중응력이 없고, 응력전달이 원활하고 강성 및 내력이 크며 또한 반복하중에 대해서도 높은 피로강도를 발휘할 수 있다^{1,2,3,4)}.

위에 설명한 바와 같이 단점이 보완된 T/S 고장력 볼트 접합이 건설부문에 사용되었으나, 체결 후 발생하는 “녹”으로 인하여 시공된 교량, 건축에 대한 품질보증에 대한 신뢰성이 하락되었다. 이를 방지할 수 있는 고장력 볼트의 내식성이 증가된 표면처리에 대한 기술 습득이 절실히 요구되어지고 있다. 또한 강구조물의 접합을 위한 T/S 고장력 볼트, 너트 및 와셔의 내식성을 강화하기 위한 표면처리의 요구가 급증하고 있는 상황이며 온도, 습도 등 주위 환경에 영향을 적게 받는 내식성이 우수한 표면처리가 요구되고 있다.

본 연구에서는 실험을 통해 KS B2819 (구조용 토크-전단형 고장력 6각볼트, 6각너트, 평와셔의 세트) & EN 14399-10 (High-strength structural bolt-ing assemblies for preloading. Part 10: System HRC Bolt and nut assemblies with calibrated preload) 규격에서 요구되는 품질 특성을 고찰⁵⁻⁸⁾하고, 표면처리(Armor Galv, Green Kote, Dacro 및 Geomet)별 도금 두께가 내식성⁹⁻¹¹⁾에 미치는 영향에 대한 상관관계를 연구하였다. 본 연구의 결과는 향후 표면처리를 통하여 내식성이 강화된 고장력 볼트를 개발 및 상용화하는데 연구 자료로 활용될 것이다.

2. 실험 방법

2.1 시험편 준비

S10T 고장력 볼트 세트에 대하여 4종류의 표면처리된 시험편을 각 제조사에서 제작하였으며, 제작된 시험편들의 내식성 실험 및 도금 두께 측정 실험을 수행하였다.

실험에 사용된 표면처리 조건은 Dacro, Geomet, Green Kote, Armor Galv의 4가지 종류였으며 각 표면처리별 1세트씩 총 4세트를 실험하였다. 샘플 1세트는 볼트, 너트 와셔로 구성되었다. 여기서 소재는 S10T (M24X80, 120)이다. Fig. 1은 Armor Galv. 표면처리, Green Kote 표면처리, Dacro 표면처리 및 Geomet 표면처리를 실시하여 실험에 사용된 시료의 모습이다.

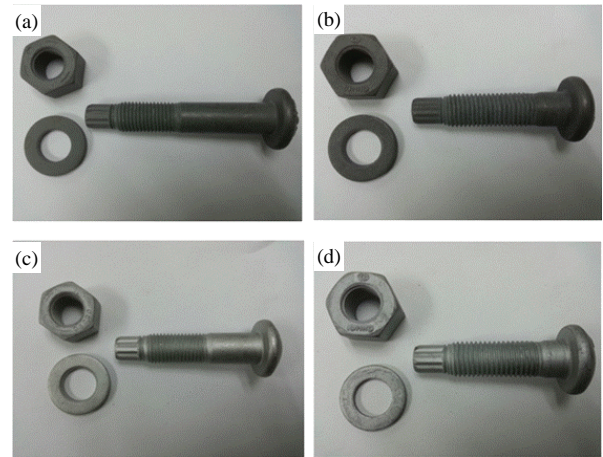


Fig. 1 Photos of the surface treated samples according to (a) Armor galv. (b) Green kote (c) Dacro and (d) Geomet

Table 1 Conditions of salt spray test

Division	Reference value	Measured value
Temperature (spray room)	33.3 ~ 36.1 °C	34.5
Spray pressure	0.7 ~ 1.8 kg/cm ²	1.0
Density	4 ~ 6%	4.9
pH	6.5 ~ 7.2	7.1

Table 1은 표면 처리 내식성 실험을 위한 염수분무 시험 S.S.T. (Salt Spray Test) 설비의 작업조건에 대한 기준치 및 실측값을 나타내었다. 또한 표면 처리 조건별 내식성 요구 시간은 다음과 같다. Dacro 처리는 적정 480 h 이상(제조사의 내부 표준에 따름), Geomet 처리는 적정 850 h 이상(제조사의 내부 표준에 따름), Green Kote 처리는 적정 1,000 h 이상¹²⁾, Armor Galv. 처리는 적정 1,000 h 이상¹²⁾의 조건을 요구하고 있다. 본 실험의 시료는 Table 1과 같은 실험 조건에서 각 표면처리 제품을 각 1 Set씩 채취하여 실험할 수 있도록 준비하였다. 내식성 분석을 위한 시험기 조건은 아래 조건과 같다.

2.2 염수분무 실험 및 도금특성 분석실험

본 연구에서 표면 처리 제품의 내식성을 실험하는 염수분무 시험기는 비전텍(주)에서 제작한 장치이며, 규격은 900 mm × 600 mm × 60 mm 이다. 염수분무 실험에 대한 절차는 다음과 같다. 우선 시험기 내부 온도를 34 °C로 유지하였다. 다음 온도 평형상태에 다다른 후 샘플을 투입하였고, 주기적으로 시험편의 표면 부

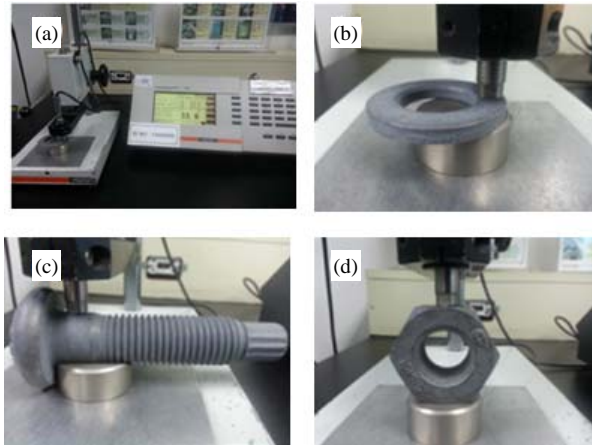


Fig. 2 Photos for plating thickness measurement (a) apparatus (b) washer sample (c) bolt sample and (d) nut sample

식 상태를 육안으로 확인하였다. 기준시간 유지 후 전원을 차단하고 부식실험 시편을 수거하였다. 다음 흐르는 물로써 표면에 묻은 염분 제거 후, 결함(적청) 유무 확인하고 부식상태를 분석하였다.

Fig. 2(a)는 본 실험에서 사용된 표면처리 도금두께를 측정하는 독일 Fischer사의 설비로써 2000 um 두께 까지 측정 가능하다. Fig. 2(b)는 와셔의 도금 두께를 측정하는 모습, Fig. 2(c)는 볼트의 도금 두께를 Fig. 2(d)는 너트의 도금 두께를 측정하는 모습을 보여주고 있다. 도금 두께 측정 실험 절차는 다음과 같이 진행되었다. 우선 표준 두께 필름을 이용하여 각 두께 별로 calibration을 실시하였다. 다음 제품 측정 프로그램을 선정하고 샘플 도금 두께를 측정하였다.

3. 실험결과 및 분석

3.1 표면처리 조건별 내식성 분석

Fig. 3은 Dacro 표면 처리 제품의 내식성 실험 결과를 보여주고 있다. 내식성 실험은 염수분무 조건으로 168 시간, 336 시간, 504 시간, 672 시간, 840 시간 및 1,000 시간 유지하였고 실험 후 표면 상태를 분석하였다. Dacro 표면 처리 제품의 경우는 염부분수 내식성 실험시간이 168 시간에서 1,000 시간으로 증가하여도 표면에 적색의 “녹”이 발생하지 않았다.

Fig. 4은 Geomet 표면 처리 제품의 내식성 실험 결과를 보여주고 있다. 내식성 실험 염수분무 조건은 Dacro 표면 처리 제품의 조건과 동일하게 유지하였고 실험 후 표면 상태를 분석하였다. Geomet 표면 처리 제품의 경우는 Dacro 표면 처리 제품과 마찬가지로 염수분무 내식성 실험시간이 168 시간에서 1,000 시간으로

Salt spray testing	Dacro surface appearance
initial	
for 168 h	
for 336 h	
for 504 h	
for 672 h	
for 840 h	
for 1,000 h	

Fig. 3 Salt spray testing result of dacro specimen for 1,000 h

로 증가하여도 표면에 적색의 “녹”이 발생하지 않았다.

Fig. 5는 Green kote 표면 처리 제품의 내식성 실험 결과를 보여주고 있다. 내식성 실험을 위한 염수분무 조건은 Dacro 표면 처리 제품의 조건과 동일하게 유지하였다. 168 시간 실험한 볼트 시편의 경우 시편 일부 분에서 녹이 생성되기 시작하는 것을 볼 수 있었다. 시간이 증가하면 시편에 생성된 녹은 표면적이 점진적으로 증가하였고, 1000 시간이 지난 후 시편을 보면 시편 전체에 녹이 생성되었다.

Fig. 6은 Armor Galv. 표면 처리 제품의 내식성 실험 결과를 보여주고 있다. 내식성 실험을 위한 염수분무 조건은 앞의 세 제품의 조건과 동일하게 유지하였고 실험 후 표면 상태를 분석하였다. 168 시간 실험한 볼트 시편의 경우 아직까지 적색의 녹이 형성되지는 않았다. 내식성 실험 시간이 672 시간이 돼야 시편 일부 분에서 녹이 생성되었다. 시간이 증가하면서 시편에 생

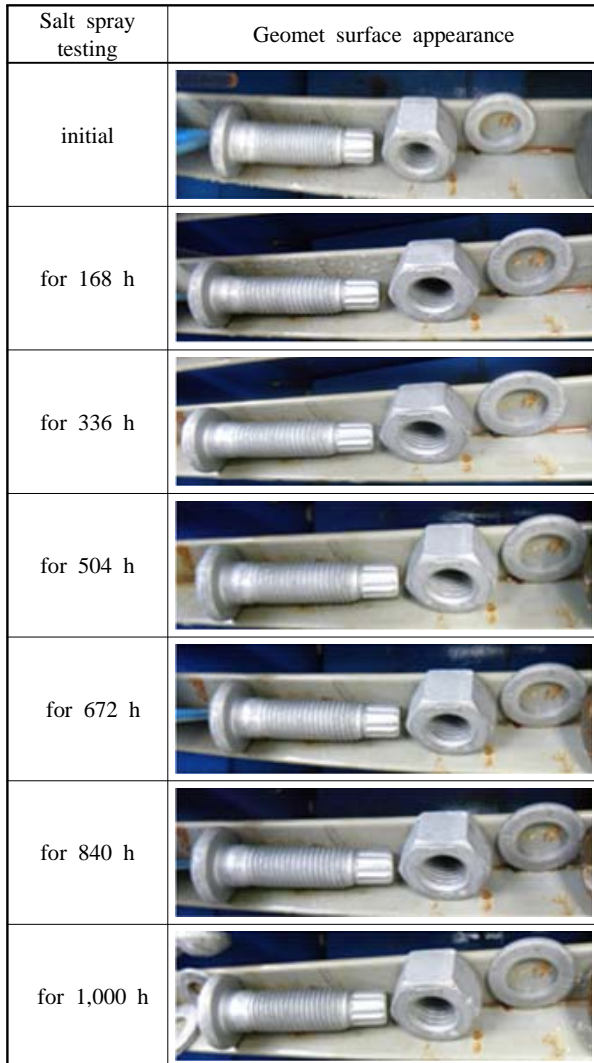


Fig. 4 Salt spray testing result of geomet specimen for 1,000 h

성된 녹은 표면적이 점진적으로 증가하였고, 1000 시간이 지난 후 시편을 보면 많은 부분에 녹이 형성되었으나 시편 전체에 녹이 생성되지는 않았다.

Fig. 7(a)는 Green Kote 표면 처리 제품 내식성 실험 (Salt Spray Test, S.S.T.) 1,000 시간 완료품을 Brush로 “녹” 제거 후 표면 상태 사진이며, Fig. 7(b)는 Armor Galv. 표면 처리 내식성 실험 (S.S.T.) 1,000 시간 실험이 완료된 시편을 Brush로 “녹” 제거 후 표면상태 사진이다. Green Kote / Armor Galv.의 내식특성은 요구기준에 비해 불만족이나 제품의 표면에 발생된 “녹”은 흐르는 물에 Brush로 “녹” 제거 시 내부로 침투되지 않는 특성이 관찰되었다.

3.2 각 표면처리 공정의 영향

Dacro 표면 처리, Geomet 표면 처리, Armor Galv.

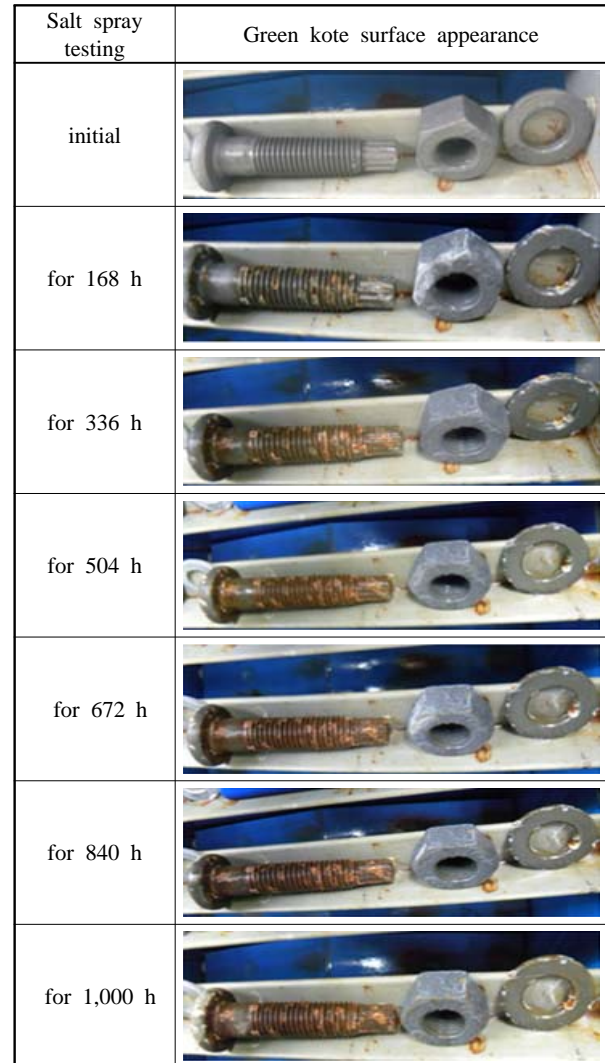


Fig. 5 Salt spray testing result of green kote specimen for 1,000 h

표면처리 및 Green Kote 표면 처리를 실시한 제품에 대하여 도금 두께 실험결과를 Table 2에 나타내었다. 각종 표면 처리 후 표면 두께에 대한 실험결과, 각 표면 처리 고유 공정의 특성을 고려하였으며, Armor Galv. 표면처리가 53-58 μm 로 가장 높았고, Green Kote 표면 처리 27-31 μm 로 높은 수치를 보였다. Dacro 표면 처리가 11-12 μm 로 가장 적은 값을 나타내었다. 이러한 결과를 내식성 실험결과와 비교를 해보면, 도금 두께와 내식성은 비례관계에 있지 않음을 알 수 있다. 따라서 본 연구에서는 도금두께와 관계없이 표면처리 공정에 따라 내식성을 향상시킬 수 있는지를 조사하였다.

내식성에 대한 표면 처리 공정의 영향을 알아보기 위해 각 처리공정의 절차를 분석하였다. 우선 Green Kote 표면처리, Armor Galv. 표면처리 공정은 다음과 같다. 표면에 존재하는 기름 등 이물질 유, 무 확인 후 표면에 묻은 이물질을 Steel Ball을 사용하여 제거한다. 이



Fig. 6 Salt spray testing result of Armor Galv. specimen for 1,000 h

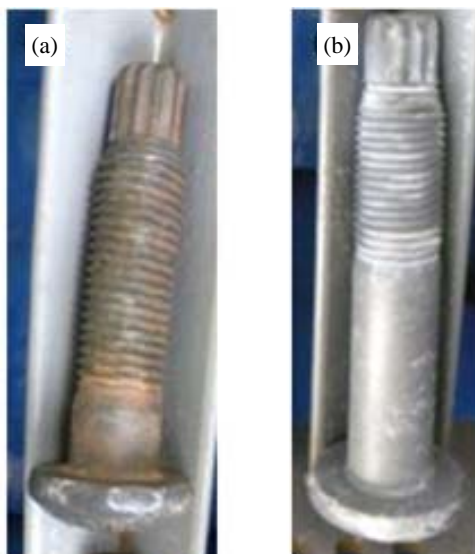


Fig. 7 Surface condition after red rust removal from (a) green kote surface and (b) Armor galv

Table 2 Test results of plate thickness

Plate thickness Surface treatment	Plate thickness of bolt (μm)	Plate thickness of nut (μm)	Plate thickness of washer (μm)
Dacro	11	12	11
Geomet	20	21	19
Armor galv	58	53	55
Green kote	27	31	28

후 제품과 Green Kote 가루 또는 Armor Galv. 가루 & 미디어 (나사부 적힘 방지용)와 함께 오븐에 470℃~510℃의 온도에서 가열하여 표면에 Green Kote 또는 Armor Galv.을 화학 반응시켜 부착시킨다. 가열 후 표면에 부착된 이물질 및 미디어를 세척제를 이용하여 제거하면서 냉각시켜 최종제품을 제조하게 된다.

반면에 Dacro 표면처리, 또는 Geomet 표면처리 공정은 다음과 같다. 탈지공정에서 제거되지 못하는 수용성 염료 등의 이물질 유/무를 확인하고, 잔존한 기름을 제거하기 위해 온도 (증기조) 38~45℃를 유지한다. 제품 표면에 발생된 녹 및 이물질을 쇼트볼 (Steel Ball)을 이용하여 제거한다. 이후 Dacro 또는 Geomet 1차 코팅을 하게 되는데, 점도, 온도, 비중이 관리된 용액에 제품을 디핑하여 꺼낸 후 제품표면의 액고임 현상을 방지하기 위해 탈루 실시하게 된다. Dacro 또는 Geomet 1차 건조은 코팅이 완료된 제품의 코팅액을 건조하는 작업이다. 이후 Dacro 또는 Geomet 2차 코팅을 하게 되는데:점도, 온도, 비중이 관리된 용액에 제품을 디핑하여 꺼낸 후 제품표면의 액고임 현상을 방지하기 위해 탈루 실시한다. 코팅이 완료된 제품의 코팅액을 건조하는 작업으로 제조를 완료하게 된다.

Dacro 또는 Geomet 표면처리 제품의 특징은 Green Kote 가루 또는 Armor Galv. 표면처리 제품과는 다르게 표면 코팅을 1차와 2차로 나누어 실시한다는 것이다. 두 번의 코팅 공정을 통해 좀 더 치밀한 구조의 코팅 층을 형성할 수 있었을 것으로 생각되며 이러한 이유로 염수분무 실험에서 높은 내식성을 보인 것으로 유추할 수 있다.

각종 표면 처리에 대한 내식성 실험 결과는 Table 3에 각 표면 처리 실시된 시료에 대한 결과를 나타내었고, Dacro & Geomet 표면처리는 요구기준을 만족하였으며, Green Kote 및 Armor Galv. 표면처리는 요구기준 불만족이나 제품의 표면에 발생된 “녹”은 흐르는 물에 Brush로 “녹” 제거 시 내부로 침투되지 않는 특성을 발견하였다. 고장력 볼트 제품에 적용되는 각종

Table 3 Salt spray testing results

Surface treatment	Dacro	Geomet	Green kote	Armor galv.	Remarks
Corrosion resistance standard	Over 480 hours	Over 850 hours	Over 1,000 hours	Over 1,000 hours	Corrosion resistance test method: KS D9502 ¹¹⁾
Experimental results	No rust	No rust	Red rust	Red rust	

표면 처리는 내식성이 우수한 제품이 지속적으로 요구될 것으로 예측되므로, 내식성을 높일 수 있도록 각 공정의 표준 관리가 필요하다.

고장력 볼트 제품의 내식성이 우수한 제품을 제조하기 위하여 표면처리 두께에 대한 관리가 필요하다. 본 연구결과를 정리하면 표면처리 두께가 두꺼울수록 내식성이 우수할 것 이라는 선입견과 다르게 표면처리 두께가 가장 낮은 Dacro 제품이 가장 높은 Armor Galv. 제품보다 내식성이 우수한 것으로 관찰된다. 이는 도금두께가 두꺼울수록 내식성이 좋은 것이 아님이 증명되며, 도금두께와 관계없이 표면처리 용액의 성질과 방법에 따라 내식성을 우수하게 만들 수도 있다는 분석결과를 나타내었다.

4. 결 론

본 연구에서는 건설부문 등에 널리 사용되며 KS B2819 (S10T 고장력 볼트) & EN 14399-10 (10.9HRC 고장력 볼트) 규격에서 적용되는 고장력 볼트, 너트 및 와셔 세트에 대하여 내식성 (“녹 방지”)을 높이기 위한 표면처리별 내식성 실험 (내식성 시험방법 KS D9502)과 도금두께 변화에 대한 측정을 통해 자료를 분석한 결과 아래와 같은 결론을 얻을 수 있다.

1) Dacro & Geomet은 요구기준을 만족하였으며, Green Kote & Armor Galv.는 요구기준을 불만족하였으나 제품의 표면에 발생된 “녹”은 흐르는 물에 연마솔로 “녹” 제거 시 내부로 침투되지 않는 특성을 발견하였다.

2). 각종 표면 처리 후 표면 두께에 대한 실험결과, Armor Galv. 표면처리가 52.7~57.6 μm 로 가장 높고 Dacro 표면처리 가 10.6~12.1 μm 로 가장 적은 값을 나타내어 도금 두께와 내식성은 비례관계에 있지 않음을 알 수 있었다.

3) 본 연구에서는 각 표면처리 고유 공정의 특성을 고려하여 공정을 분석하였다. 분석 결과 도금두께와 관계없이 표면처리 용액의 성질과 공정방법에 따라 내식성을 향상시킬 수 있음을 알 수 있었다. 따라서 향후에 고장력 볼트 제품에 적용되는 각종 표면 처리는 내식성이 우수한 제품이 지속적으로 요구될 것으로 예측되므로, 내식성을 높일 수 있도록 각 공정의 표준 관리가 필요함을 제안한다.

Acknowledgement

“2015년도 강원대학교 대학회계 학술연구조성비로 연구하였음(관리번호-620170044)”

ORCID:Youn O Choi: <http://orcid.org/0000-0002-1273-1850>

ORCID: Han Gil Suk: <http://orcid.org/0000-0002-3859-3011>

References

1. Youn-O Choi, Han-Gil Suk, and Hyun Seon Hong, The joining quality of high strength bolt, nut and washer set (S10T & 10.9HRC) under the surface treatment conditions *J. Kor. Inst. Surf. Eng.*, 48 (2015), 93-99
2. Han-Gil Suk, In-Seup Cho, The variations of quality characteristics according to environmental factors of high tension bolt, nut and washer set, *Proceedings of the KWS*, 46 (2006), 322-325
3. John H. Blackford, An Introduction to the Design and Behavior of Bolted Joints, *Marcel Dekker Inc., New York and Basel*, (1981), 5
4. Han-Gil Suk, In-Seup Cho, The influence on the axial force by the size scattering of high tension bolt, nut and washer set, *Proceedings of the KWS*, 46 (2006), 319-321
5. KS B1010, Set of high strength hexagon bolt, hexagon nut and plain washers for friction grip joints, *Korean Standards Association*, (2009)
6. JIS B1186, Set of high strength hexagon bolt, hexagon nut and plain washers for friction grip joints, *Japanese Standards Association*, (2013)
7. KS B2819, Sets of torque-shear type high tension bolt, hexagon nut and plain washer for structural joints, *Korean Standards Association*, (2013)
8. EN14399-10, High-strength structural bolting assemblies for preloading. Part 9: System HRC Bolt and nut assemblies with calibrated preload, *European Committee for Standardization*, (2009)
9. ASTM B117-16, Standard Practice for Operating Salt Spray (Fog) Apparatus, *ASTM International*, (2016)
10. ASTM B499, Standard Test Method for Measurement of Coating Thicknesses by the Magnetic Method: Non-magnetic Coatings on Magnetic Basis Metals, *ASTM International*, (2016)
11. KS D9502, Neutral, acetic acid and copper-accelerated acetic acid salt spray, *Korean Standards Association*, (2009)
12. ASTM F1136/F1136M, Standard Specification for Zinc/Aluminum Corrosion Protective Coatings for Fasteners, *ASTM International*, (2016)