

극한 상태에서 고장력 볼트 세트의 체결 품질에 관한 연구

The study on the joint quality of high strength bolt, nut and washer set in the extreme situations

석한길*, 조인습**

* 강원대학교 재료금속공학과

** KPF 품질보증부

1. 서 론

본 연구는 일반 고장력 볼트 세트에서 요구되는 체결특성 품질검사 외에 본 규격만이 유일하게 추가적으로 요구하는 극한 상태의 체결(현장 체결각도: 약 2배) 품질을 규정하고 있어 실험을 통해 Spec.에서 요구하는 품질특성을 고찰한다.

1.1 목적

AASHTO(AASHTO: American Association of State Highway & Transportation Officials) 규격이 적용되는 A490 볼트 세트에 대하여 체결각도를 결정하는 너트의 윤활(Lubricant) 변화를 통하여 규격에서 의도된 윤활성과 연성(Ductility) 및 강도와의 상관관계성을 연구하기 위함이다.

1.2 범위

A490 볼트 세트에 대한 너트의 윤활 3가지 조건에 대하여 AASHTO 요구사항 중 체결축력 실험에 한정 한다.

Table 1 Different Lubricant(Coating) Samples for Nuts

품명 및 규격	너트 피막의 종류			인장실험 볼트
	Plain	Phosphate	Wax	
A490 1"X 4 1/4"	5 Sets	5 Sets	5 Sets	2ea

2. 규격요건 및 실험방법

2.1 규격요건

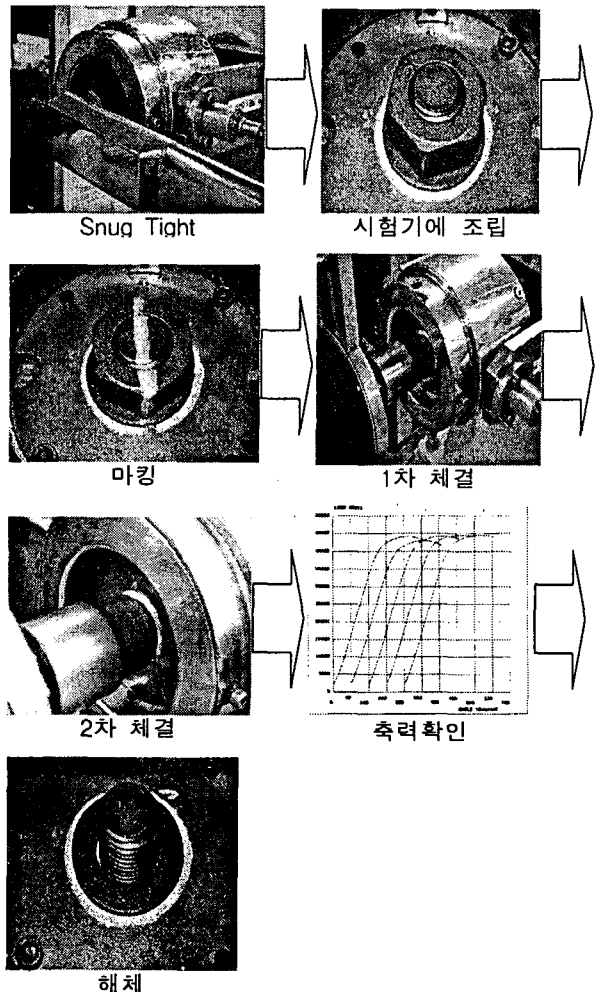
Table 2 Requirement of AASHTO Spec.

품명 및 규격	Snug Tight	1차 체결	2차 체결 (Total)min	인장실험 min / max
A490 1"	6 kips (2722 kg)	64 kips (29029 kg)	74 kips (33566 kg)	90900 lbf / 173000 lbf

주) 2차 체결은 마킹 후 Total 체결각도 360°까지 체결

2.3 실험결과 판정 기준

a. 축력실험 순서는 다음과 같다.



b. 인장실험 : ASTM F606 시험방법중 Full Size Tension Test

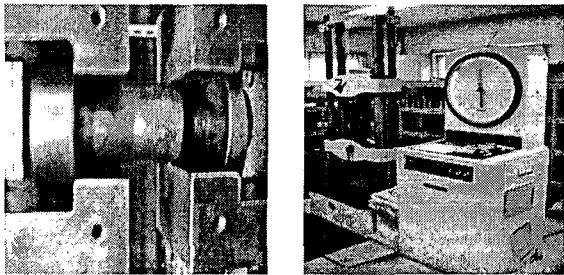


Photo 1 Tensile Tester & Jig

2.3 실험결과 판정 기준

- a. 1차 체결 후 토오크를 확인하여 $T=0.25 \cdot D \cdot N$ (1차 체결축력)의 식에 대입, 아래와 같이 계산하여 토오크(T)가 1334 ft·lb(184.4kg·m) 이하인지 여부를 확인한다.

$$T=0.25 \cdot 1 \cdot 64000=16000 \text{ in} \cdot \text{lb}(1334 \text{ ft} \cdot \text{lb})$$

- b. 2차 체결 후 축력이 74 kips(33566 kg) 이상인지 여부를 확인한다.
- c. 해체 후 볼트의 Torsion 혹은 Tensile 파손, Thread Stripping, 절단 등이 없어야 한다 (단, 나사부 연신은 합격).

3. 실험결과 및 분석

3.1 상기 실험방법에 의한 실험결과는 다음 표와 같다.

Table 3 Results of Experiment

시료조건	시료번호	Snug Tight	1차 체결축력	토오크 (kg·m)	토오크계 수치(k)	2차 체결 축력(kg)	최대축력 (kg)	인장허중 (kg)
Plain	1-1	6 kips (2722 kg)	64 kips (29029 kg)	142.94	0.194	29100	38686	평균(n=2) : 45750 n1=45700 n2=45800
	1-2			134.08	0.182	32800	38064	
	1-3			132.28	0.179	31500	38331	
	1-4			132.83	0.180	32500	39004	
	1-5			133.27	0.181	35100	40064	
Phosphate	2-1	6 kips (2722 kg)	64 kips (29029 kg)	116.62	0.158	41200	42873	
	2-2			109.47	0.148	42000	43809	
	2-3			117.61	0.160	39500	40783	
	2-4			109.27	0.148	40800	42351	
	2-5			117.27	0.159	41300	42552	
Plain	3-1	6 kips (2722 kg)	64 kips (29029 kg)	94.51	0.128	42800	44013	
	3-2			102.68	0.139	41500	42884	
	3-3			96.19	0.130	43500	44153	
	3-4			96.84	0.130	43800	44464	
	3-5			96.76	0.131	43300	44472	

3.2 상기 합격 판정기준에 의한 합부

a. 1차 체결 후 Torque

Table 4 Results of Torque Value after Initial Tightening

시료 조건	A490 1" (Max. 184.4kg·m)
Plain	Min. 132.28
	Max. 142.94
	AVG. 135.08
Phosphate	Min. 109.27
	Max. 117.61
	AVG. 114.05
Plain	Min. 94.51
	Max. 102.68
	AVG. 97.20

상기 결과와 같이 A490 1" 규정인 184.4 kg·m 이하를 만족하므로 전체 합격임.

b. 2차 체결 후 축력

Table 5 Results of Axial Force after Second Tightening

시료 조건	A490 1" (Max. 74 kips (33566 kg))
Plain	Min. 29100
	Max. 35100
	AVG. 32200
Phosphate	Min. 39500
	Max. 42600
	AVG. 41080
Plain	Min. 41500
	Max. 43800
	AVG. 42980

상기 Table9-9와 같이 A490 1" Plain 5개중 4개(시료번호 1-1~1-4)는 규정에 미달(기타는 전량 합격)된다.

c. 해체 후 외관 검사결과

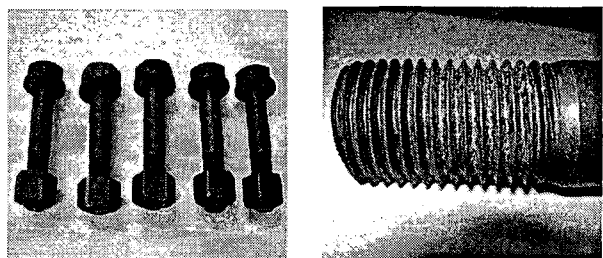


Photo 2 Samples for Appearance Inspection

볼트 및 너트에 대한 외관검사 결과, 규격에서 요구하는 Torsion 혹은 Tensile 파손, Thread Stripping, 절단 등의 결함 없이 전체(15개)가 합격이다(단, 나사부에 연신은 발생함).

실험결과 분석 및 고찰

d. Plain 상태에서는 2차 체결실험에서 불합격 제품이 발생된다.

e. 피막 종류(즉, 윤활성)에 따라 최대 축력, 2차 체결 후 축력 및 연성(ductility)의 차이가 크다.

- 최대축력 차이 : 약 13.3%

- 2차 체결 후 축력 차이 : 약 33.5%

f. 피막 종류(윤활)에 따라 최대축력/인장강도 비 및 연성의 차이가 크다(윤활성이 좋을수록 최대축력/인장강도의 비 및 연성이 큼).

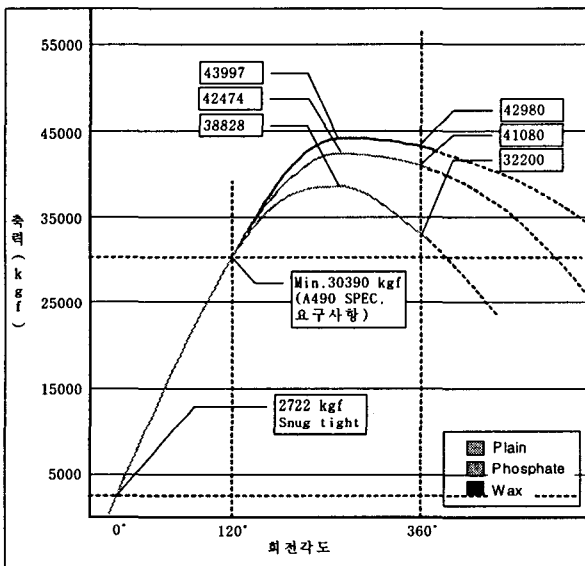


Fig. 1 Max. Axial Force & Axial Force at the Second Tightening for Different Coating

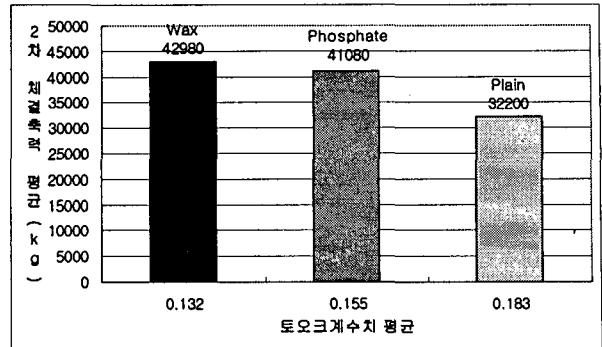


Fig. 2 Relationship of Torque Coefficient & Second Tightening Axial Force

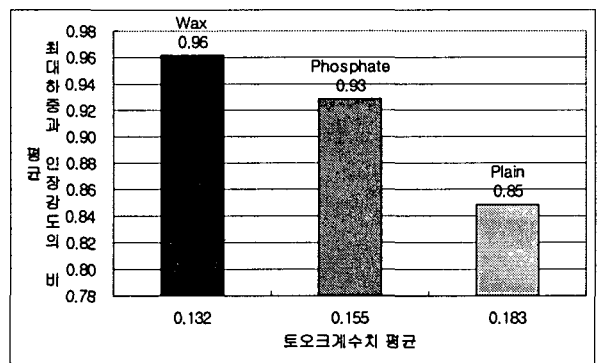


Fig. 3 Relationship of Torque Coefficient & Max. Axial Force/Tensile Strength

4. 결 론

상기 실험데이터 및 분석결과를 통해, 규격에서 요구하는 체결축력 및 볼트의 연성 향상을 위하여 너트를 피막 또는 Wax하여 윤활성을 확보하거나, Plain 상태인 경우 윤활성 있는 방청유를 선택하여 A490의 경우 약 0.175 이하로 관리해야 한다는 결론을 얻을 수 있다.