

## 고장력 마찰접합 볼트세트의 품질특성에 관한 연구

손 승 요\*, 신 근 하\*\*

### Quality Characteristics and the Process Control of High-Strength Frictional Bolt-sets

S. Y. Son\*, K. H. Shin\*\*

#### ABSTRACT

Quality assurance in the process of manufacturing high strength bolt sets used in the frictional joints of structures is one of important concern to users as well as to manufacturers. In case of occurrences of either defective or low-quality products, even if they are quite rare, some systematic means of localizing the cause-characteristics and matching to corresponding production process is necessary. Control chart of torque factor is the primary indicator in finding defectiveness of the products. Use of correlation diagrams on hardness of the bolt set presents in part a way of screening the cause. Retest data of the bolt set provide additional ideas of localizing the cause, for which theoretical background is presented in this regard. A process-characteristics matrix relating the causes of low quality to the corresponding processes of manufacturing, which is of prime importance for the feedback control of production, is also proposed. Finally general features of control to assure quality of the set is described.

**Key Words :** Fastener, High strength frictional bolt, Quality assurance, Control matrix, Bolt set, Torque factor

#### 1. 서 론

본 연구는 고장력 마찰접합 볼트세트의 품질을 감시하는 시스템(1)을 확립하고 관리대상 변수인 토크 계수가 관리범위를 이탈하는 경우 이의 특성 용인을 밝혀 해당 공정에 이를 피드 백 시킴으로써 적정 수준의 품질이 유지되게 하는 절차와 근거를 마련하고 생산 품질을 향상시키는데 그 목적이 있다.

볼트세트라 함은 체결에 함께 사용되는 1조의 볼트,

너트 및 와셔를 말한다. KS B 1010에 규정된 마찰접합용 고장력 6각 볼트는 시공시 체결에 필요한 축력의 발생을 회전각법 또는 토크법으로 추정하고 있다. 토크법에 의한 체결축력의 제어를 전제로 할 때 생산품질은 다음 식(1, 3)으로 주어지는 토크 계수치가 얼마나 안정성을 보이는가에 의하여 품질확보 여부가 판단된다.

$$K = \frac{T}{F_p D} \tag{1}$$

여기서, K=토크 계수,  $F_p$ =볼트에 발생한 축력

\* 아주대학교 기계공학과

\*\* 아주대학교 생산자동화공학과

T = 축정된 토크, D = 볼트의 호칭지름  
 실험실 조건하에서 3각 나사로 된 볼트의 체결시험을 실시할 때 체결토크-볼트축력 간에는 다음 식이 성립한다.

$$T \approx F_p \left( \frac{P}{2\pi} + \frac{\mu_t r_t}{\cos\beta} + \mu_n r_n \right) \quad (2)$$

식 (2)를 식 (1)과 조합하면 토크 계수는 다음과 같이 기하학적인 치수 요소와 마찰(윤활) 요소의 함수로 표시된다.

$$K = \frac{P}{2\pi D} + \frac{\mu_t r_t}{D \cos\beta} + \frac{\mu_n r_n}{D} \quad (3)$$

- 여기서 P = 볼트 또는 너트에서의 피치,
- $\beta$  = 나사산 각의 반=30°
- $\mu_t$  = 나사산 접촉면에서의 마찰계수,
- $r_t$  = 나사산 평균반지름
- $\mu_n$  = 너트와 외서 좌면에서의 마찰계수,
- $r_n$  = 너트좌면 평균반지름

토크계수 K는 단순 마찰계수와는 다른 무차원화 된 양이다. 이 계수는 나사부와 너트 좌면에서의 마찰과 나사의 기하학적 형상에 의하여 좌우되며 체결 토크에 관한 종합정보를 지니고 있다. 토크 계수치는 나선인 비탈을 올라가는데 필요한 토크성분, 나사산 접촉면에서의 마찰로 인한 토크성분, 너트 좌면에서의 마찰 토크 성분 등 세가지 요소에서 오는 영향으로 구성된다. 토크법은 실제 시공에서 이 토크계수를 적정값으로 유지하므로서 자동적으로 일정 크기의 토크로 체결하면 요구되는 체결축력이 보장되도록 하는 것이다.

볼트 세트(여기서 세트라 함은 체결에 함께 사용하는 너트와 외서를 포함한 명칭임)의 제조과정에서 체결토크와 관련한 마찰계수의 크기를 좌우하는 요인(2, 5)들은 대략 다음과 같이 열거할 수 있다.

- 1) 접촉면 윤활정도 : 유체마찰/건마찰, 온도, 습도, 분진, 윤활제, 방청제, 부식정도 → 표면처리, 시험환경과 주로 관련됨
- 2) 재료의 기계적 성질 : 경도, 강도, 응력집중/항복, 조직 등 → 열처리, 이완처리에 관련됨
- 3) 접촉면 거칠기(5) : 전조금형, 탭, 금형등의 마모, 표면상처, 균열, 절삭속도 등
- 4) 치수 정밀도 : 지름, 피치, 나사산 각, 리드각, 외서 두께 - 치공구의 세팅 정밀도 등
- 5) 초기변형 : 볼트축 굽음, 볼트머리와 축 직각도, 외서 변형 → 압조, 열처리, 형상복원 등

6) 기타 : 시험기의 정밀도와 초기 세팅, 시험자 등 이러한 요소들의 복합적 작용에 의하여 마찰을 좌우하는 토크계수가 결정되므로 토크법에 의하여 체결력 보증이 이루어지기 위하여는 결국 각 제조공정에서 표준화된 절차와 순서, 환경 및 도구, 재료와 공법의 엄격한 시행/관리 즉 표준공정으로의 정착이 선결문제이다. 이를 위하여는 시험결과를 종합하여 얻어지는 이탈원인(특성요인)과 이에 해당하는 공정을 1대1로 대응시켜 관리하므로써 일정 수준의 품질확보가 이루어진다고 하겠다.

## 2. 볼트의 체결 거동에 관한 기초사항

### 2.1 너트 좌면과 나사산 접촉면의 마찰력이 토크에 미치는 영향

식 (2)에서 각 마찰계수가 토크변화에 미치는 영향을 알기 위하여 토크를 마찰계수들에 관하여 연속함수로 보고 미분을 취하면 다음과 같다.

$$\frac{\partial T}{\partial \mu_t} = \frac{r_t}{\cos\beta} F_p = A$$

$$\frac{\partial T}{\partial \mu_n} = r_n F_p = B \quad (4)$$

이러한 편도함수의 비는 마찰계수  $\mu_t$ 와  $\mu_n$ 에 대한(또는 이들 계수의 방향으로) 토크변화의 중요도를 나타낸다고 생각할 수 있으므로 이들의 비를 취하면 토크변화에 이들이 미치는 영향의 비율과 같다고 볼 수 있다. 현장에서 주로 사용하는 고장력볼트의 호칭지름별  $r_t$ ,  $\cos\beta$ ,  $r_n$ 를 윗식에 대입하면 Table 1을 얻는다.

Table 1 Ratio of torque distribution

Nominal diameter	A/B	90% of total torque considered to be distributed at A and B	
		A (%)	B (%)
M16	0.8281	40.77	49.23
M20	0.8661	41.77	48.23
M22	0.8879	42.33	47.67
M24	0.8459	41.24	48.76

이 결과는 호칭지름별로 나사산 접촉부분 마찰과 너트 좌면 마찰의 영향이 체결토크에 미치는 정도에 약간의 차이가 있음을 보여준다. 체결토크에 대하여 일반적인

으로 알려져 있는 나사산 접촉면 영향 40%. 너트 접촉면 영향 50%는 바로 이에 근거를 두고 있는 것이다.

을 수 있음을 나타낸다.

### 3. 시험방법

#### 2.2 1차시험과 2차시험(재시험)시의 체결토크 특성

##### 1) 첫번째 시험에서의 토크와 볼트축력

$$\text{-너트좌면: } T_n^s = \frac{2}{3} \mu_n (r_o + r_i) F_p^s$$

$$\text{-나사산 접촉면: } T_n^h = \frac{2}{3} \mu_t (r_o + r_i) F_p^h \quad (5)$$

단 상첨자 s는 좌면과 관련이 있음을 표시하고 h는 나사산 접촉면과의 관련을 의미한다. 마찰계수의 하첨자 n은 좌면, t는 나사산 접촉면을 나타낸다. 또 r<sub>o</sub>는 좌면이나 나사산 접촉면의 바깥 반지름을, r<sub>i</sub>는 좌면의 안 반지름 그리고 r<sub>i</sub>는 볼트의 골 반지름을 표시한다. 한편 토크 T에서 하첨자 n은 길들이지 않은 새 면을 뜻한다.

1차 볼트시험시 체결 토크와 발생 축력은 식 (1)을 참조하면 다음과 같이 표시할 수 있다.

$$T_n = T_n^s + T_n^h = \frac{2}{3} [\mu_n (r_o + r_i) F_p^s + \mu_t (r_o + r_i) F_p^h]$$

$$F_p = F_p^s + F_p^h \quad (6)$$

##### 2) 재시험시의 토크와 축력

$$T_{old} = \frac{1}{2} [\mu_n' (r_o + r_i) F_p^{s'} + \mu_t' (r_o + r_i) F_p^{h'}]$$

$$F_p = F_p^{s'} + F_p^{h'} \quad (7)$$

여기서 마찰계수와 축력에 '표가 붙은 것은 새면과 비교할 때 재 시험시의 면에서는 이들 값에 변화가 있

토크 시험은 川鐵토크 시험기에 의하였다. 이 시험기에 의한 시험은 볼트를 고정된 상태에서 너트를 1차 조임한 후 규정 축력이 얻어질 때까지 너트를 회전시킨다. 규정 축력에 도달했을 때의 토크를 읽어 이를 축력, 호칭지름과 더불어 식 (1)에 대입하여 토크 계수를 얻는다. 고장력 마찰볼트로 생산되는 것 중 가장 많이

Table 2 Reference values of bolt sets

Content	M20	M22
Nominal dia. (D) mm	20	22
Minor dia. (d <sub>1</sub> ) mm	17.29	19.29
Effective area mm <sup>2</sup>	234.99	292.37
Effective dia. (d <sub>2</sub> ) mm	18.38	20.38
Test force (kgf)	18,200	22,400
Induced stress (kgf/mm <sup>2</sup> )	77.45	76.62
Reference test force (kgf)	15,400 ~20,900	19,100 ~25,900
Reference hardness :	Bolt=HRc 27-38 Nut=HRB 95-HRC 35 Washer=HRc 35-45	
Strength (kgf/mm <sup>2</sup> )	Yield strength	Tensile strength
Bolt (AISI 51B20)	103	109
Nut (SM45C)	51	72

Table 3 Statistics of M20 bolt

Mechanical Properties	Mean	Variance	Standard deviation	c. o. v.	skewness
Torque (1st, kgf-m)	61.81	8.3635	2.89198	.046791	1.11260
Torque (2st, kgf-m)	55.51	3.2138	1.79270	.032297	-.42393
Bolt hardness (HRc)	33.02	.7280	.85321	.025842	-.15430
Nut hardness (")	24.42	4.1613	2.03993	.083552	-1.17803
Washer hardness (")	41.57	1.6091	1.26851	.030515	-1.05520
Torque coef. (1st clamping)	0.17	.0001	.00796	.046864	1.13049
Torque coef. (2nd clamping)	0.15	.0000	.00494	.032395	-.39446

Table 4 Statistics of M22 bolt

Mechanical Properties	Mean	Variance	Standard deviation	c. o. v.	skewness
Torque(1st, kgf-m)	82.04	20.5898	4.53759	.055310	-.07939
Torque(2st, kgf-m)	73.86	17.2377	4.15182	.056211	.59194
Bolt hardness(H <sub>R</sub> C)	32.64	1.2295	1.10881	.033973	-.56067
Nut hardness(“)	24.19	3.8828	1.97048	.081446	-1.04563
Washer hardness(“)	40.75	6.5900	2.56710	.062997	-2.64093
Torque coef. (1st clamping)	0.17	.0001	.00925	.055577	-.06194
Torque coef. (2nd clamping)	0.15	.0001	.00842	.056164	.58827

사용되는 M20과 M22에 대하여 각각 125개의 시험을 시행하였다. 이들은 로트당 5개로 잡았으므로 여러 로트의 것이 포함되었다.

#### 4. 결과 및 고찰

##### 4.1 각종 통계량

Table 2에는 M20, M22와 관련된 제원과 규격에서 요구하는 기준치를 표시하였으며 Table 3과 Table 4에는 M20과 M22 볼트 세트의 시험결과에 대한 통계량들을 수록하였다.

##### 4.2 경도-토크 계수 상관도

볼트 세트(볼트, 너트, 와셔)의 경도는 Table 2에서 보는 바와같이 규격에서 비교적 넓은 범위내에 들면 적정한 것으로 되어있다. 특히 너트의 경도 기준범위는 매우 넓게 정해져 있다. 이들 세트는 토크 계수가 Table 2에 있는 기준범위(1.5~1.9)내에 들도록 경도를 포함한 재료의 물성설계(강도, 경도 및 윤활유)가 되어있다. 경도는 특히 재료의 조성성분과 열처리 과정에 관련이 있으며 경도값이 일정 범위내에 들어오도록 열처리 설계가 되어 있다. 따라서 경도-토크의 상관관계는 어떤 경향을 띄기보다는 단순히 설계영역내에만 들어오면 정상이라고 볼 수 있다. 여기서는 Fig. 1에 M20 세트중 볼트경도-토크계수 상관도만 제시하였다.

##### 4.3 경도-토크 계수 주상도

품질관리용으로는 볼트세트의 경도와 토크 계수 모두

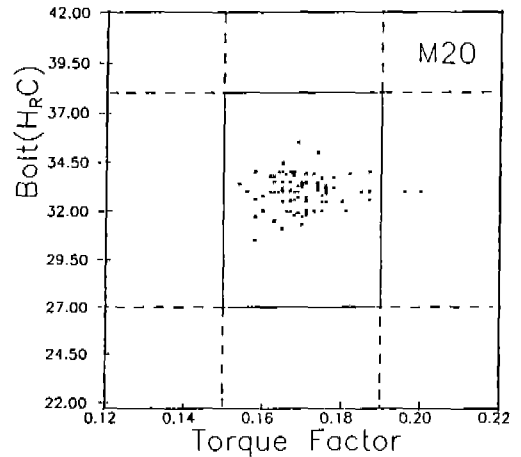


Fig.1 Correlation between torque factor vs. bolt hardness

주상도를 그려 활용하나 여기서는 볼트경도의 예만 Fig. 2에 제시하였다. 주상도는 분포의 특성을 파악하는데 필요하며 이 경우 정상적인 분포를 보이고 있다.

##### 4.4 관리도(X-R관리도)

제조업체에서 관리용으로 실험실 시험을 할 때에도 시공현장에서의 수입점사시와 마찬가지로 로트당 5개를 시험하며 이의 평균값을 관리하는 X-R관리도를 작성하는 것이 보통이나 본 연구에서는 시험결과에 대한 포괄적 분석이 주 목적이기 때문에 전체 시험에 대한 관리도를 그렸다. 중앙선(CL)은 전체시험의 평균값으로 잡았으며 상한선(UCL)과 하한선(LCL)은 규격(Table 2)

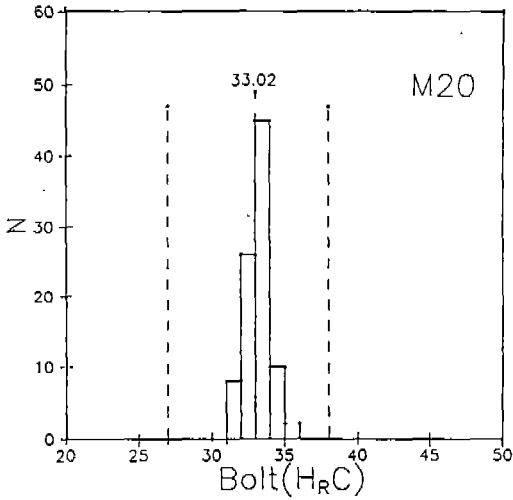


Fig.2 Histogram of bolt hardness

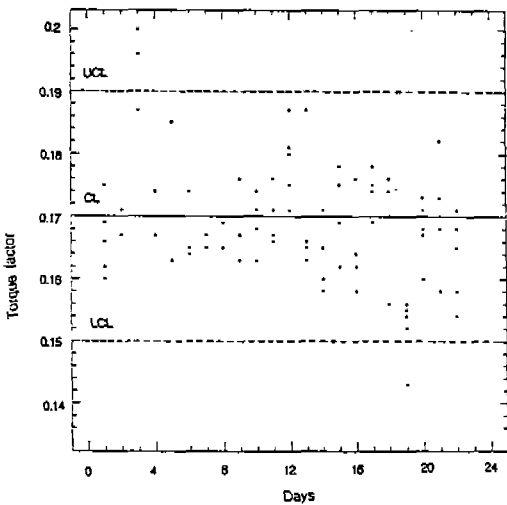


Fig.3 Control chart for torque factor of M20 set

의 기준치로 잡았다. 볼트 세트의 경도와 토크 계수치 (1차 및 재시험)에 대하여 관리도를 작성할 필요가 있으나 여기서는 M20 볼트 세트의 토크 계수치(1차시험)에 대한 관리도만 Fig.3에 제시하였다.

4.5 관리자료의 정보화

관리용 자료는 최신화등 다음과 같이 정보처리를 한다.

1) 경도 : 토크계수 표준상관도-1년 단위로 경신해가되

6개월간의 자료가 다음해로 이월되도록 하여 과거의 경향이 유지되도록 한다.

- 2) 주상도 : 볼트, 너트, 와셔의 경도분포에 대한 특성을 포괄적으로 보여주며 관리도의 수준설정에 활용된다. 상관도와 같이 최신화한다.
- 3) 경도와 토크 계수의 관리도-제품의 품질수준을 가능하고 그 변동상황을 보여준다.
- 4) 표준 공정-특성요인의 행렬-이 행렬은 볼트세트를 시험하고 제품을 관리해 온 경험과 시험자료를 바탕으로 팀워크(team work)에 의하여 중요도를 계수화한 것이다. 1년마다 전체적인 재검토를 실시하여 수정 보완한다.

이 행렬은 전절에서 제시한 관리도, 상관도, 주상도 및 재시험 결과와 외관관찰사항을 종합하여 판단된 특성요인이 제조공정의 어느 부분에 관련되어 있는지를 판별하는데 사용된다. 행렬의 각 요소는 특성요인의 토크에 미치는 중요도에 따라 0~10까지의 수치로 표시하였다. 11단계로 되어 있으므로 전문적이고 세부적인 고려가 가능하다. Table 5와 Table 6에 볼트와 너트에 관한 행렬을 제시하였는데 와셔등 볼트세트는 물론 시험방법과 환경에 대하여도 이러한 행렬을 이용한다. 이 행렬은 제조공정이나 작업자의 관리관행에 의하여 영향을 받으므로 볼트 제조회사의 특성이 반영된 자료이다.

5) 1차시험과 재시험 자료-1차 시험을 하였던 시편을 재시험하여 얻은 자료의 마찰과 관련한 토크는 2.2절에서 언급한 바와 같은 차이가 있다.

볼트의 체결력 시험은 단 한번으로 끝나며 이 시편은 다시 사용하지 못하도록 규격에서도 규정하고 있다. 그러나 볼트 세트의 품질관리를 위하여 제조회사로서는 실험실에서 토크 계수치가 관리한계를 벗어나는 경우 품질관리용 정보구축의 일환으로 이 시편에 대한 재시험을 시행하여 품질관리에 필요한 추가적 정보를 얻어내는 것은 아무런 문제도 되지 않는다. 보통 볼트세트의 토크 시험에서는 볼트 축력을 일정하게 취하므로 1차시험과 2차시험에서 체결축력의 크기는 같게 취하였다. 그런데 KS B1010에 적합한 시험시의 기준축력에 상응하는 응력값은 볼트의 지름별로 약간의 차이가 있으나 대략 76.5~77.4 kgf/mm<sup>2</sup>에 해당한다. 볼트 소재는 Table 2에 제시한 바와 같이 SCR42B와 유사한 AISI 51B20 보른강으로 규정상 F10T(인장강도 100kgf/mm<sup>2</sup>)이나 실제 시험치의 평균은 109kgf/mm<sup>2</sup>이고 항복강도는 평균이 103kgf/mm<sup>2</sup>이다. 반면 너트는

Table 5 Process vs. bolt characteristics matrix

Process Characteristics	Material	Shotblast	Drawing	Extrusion	Rolling	Heattreat	Assembling	Packing	Sum
① Mechanical P. - hardness - decarburizing	1 2					2 5			3 7
② Thread geom. - thread damage - effective dia - angle - roughness					1 3 1 3	2 1 1	2	1	6 9 1 4
③ Dimension - bending - eccentricity - perpendicular				2 2 2		1			3 2 2
④ Lubrication - water - oil						5 5			
⑤ Lot control - heat No. - furnace				1		1 2	1		3 2
Total	3			10	8	25	3	1	20

SM45C인 탄소강으로서 항복강도가 볼트에 비하여 훨씬 떨어지는 51kgf/mm<sup>2</sup>정도이므로 첫번째 시험시에 볼트 세트 내의 접촉면에서 항복은 주로 너트쪽에서 진행된다고 볼 수 있다. 비록 짧은 거리(1차조임 후 120°정도 회전하는 거리)의 상대이동이 일어나지만 너트가 회전하는 동안 너트 좌면이나 나사산 접촉면에서 국부적으로 일어나는 소성변형(마모포함)으로 인하여 첫번째 시험이 끝나면 접촉면의 상태는 새 면이라기 보다는 자리가 잡힌 길드려진 면에 가까워진다. 재시험시에는 이 길드려진 면의 접촉으로 시작되며 방청 또는 윤활처리된 표면이 마모(6)에 의하여 손상을 입은 관계로 부분적으로는 윤활성이 적은 금속면끼리의 직접 접촉이 일어나 마찰계수는 새면인 경우에 비하여 증가한다. 따라서 재시험시에는 첫번째 시험에 비하여

- 1) 마찰계수 감소효과(새면 → 길드려진 면, 식 (6)과 (7)에서 계수 2/3가 1/2로 감소)와
- 2) 마찰계수 증가효과(즉 표면손상에 의해 금속면끼리의 직접 접촉)가 일부 상쇄되어 나타난다. 이들 성질에

대한 정량적 취급은 재시험 자료를 통계적으로 정리한 자료로부터 얻어진다. 즉 정상제품의 토크 또는 계수치의 1차시험 대 재시험결과로부터 평균변화율과 표준편차를 누적해가며 한편 관리한계를 이탈한 시편 자료의 변화율을 이와 비교하여 이루어진다. 그러므로 재시험 자료의 축적은 토크계수가 관리한계를 벗어나는 세트의 원인을 보다 구체적으로 추적할 수 있는 주요한 정보이다. Table 3과 Table 4에 M20과 M22에 대한 1차시험과 재시험시의 토크 값(또는 토크 계수치)을 제시하였다.

Table에서 보는 바와 같이 정상적으로 잘 관리된(즉 합격품인) 제품에서 1차와 2차시험에서 토크 변화가 평균 10% 정도의 감소를 나타내고 있다. 이 수치는 본 연구에서 사용한 회사제품이 갖는 특성이라고 생각되며 공정의 차이(즉 제작회사)에 따라 다소의 변동을 예상할 수 있다. 이를 기준으로 토크 계수와 관련한 특성요인을 분석해보면 관리한계를 벗어나는 토크 계수가 평균치보다 크게 감소한 경우 세트는 마찰계수의 감소요인이

Table 6 Process vs. nut characteristics matrix

Process Characteristics	Material	Heating	Forming	Cooling	Shot blast	Heat treat.	Tapping	Assembling	Packing	Sum
① Mechanical P. - hardness	3	1		1		10				15
- decarburizing	2			1		7				10
② Thread geom. - roughness						1	7			2
- gauge							2			2
③ Dimension - size of contact			4							4
- shape of contact			8							8
- perpendicular			4				3		7	
- eccentricity			1							1
④ Roughness - dies			7							7
- shot balls					10					10
- contact area			9		2	2				13
⑤ Lubrication - lub. oil							8	2		10
⑥ Lot control - heat no.			5		3	3	2	2		15
- furnace						10				10
Total	5	1	38	2	15	33	22	4		120

두드러지게 나타난 때문이라고 생각되며 이는 새면에서 길들인 면으로의 변화효과를 말한다. 즉 표면거칠기, 치수정밀도 등에 의한 접촉면의 자리잡기 변화가 주 원인이라 생각된다. 반면 평균치보다 적게 토크 계수가 감소한 경우에는 마찰계수 증가요인이 강하게 나타난 것이며 이는 표면의 마모(표층 윤활성질 감소)로 금속면이 직접 접촉하여 마찰이 증가한 효과로 생각된다. 표면의 방청이나 윤활처리가 불량할 때 주로 나타난다.

품질관리의 입장에서는 표면 윤활층에 원인이 있던, 조적의 경도 불안정에 기인되었던 토크 계수에 관한한 식 (3)에서 보는 바와 같이 너트요소의 영향이 가장 지배적임에 주목하여야 한다. Table 5와 Table 6의 공정-특성요인 행렬의 중요도를 나타내는 계수의 합이 볼트에서 50, 너트에서 120으로 나타난 것은 경험적 자료를 바탕으로 수치화한 것이 너트특성과 잘 일치함을 보여주는 것이다.

### 5. 응 용

공정의 신속한 피드백 관리를 위하여는 평균치 x보다 표본자료 자체의 관리도가 적합하다. 토크계수의 X-R관리도(Fig. 3) 상에 관리한계를 벗어나는 시편이 발생한 경우 시편의 처리순서는 다음과 같다.

- 1) 철저한 외관검사(색깔, 치수, 초기변형 여부, 거칠기, 마모상태, 탈탄여부, 상처, 불순물 삼입, 윤활제 등)와 시험절차의 적합여부를 검토한다.
- 2) 세트의 경도시험을 실시하여 경도의 관련성을 파악하고 특정 요소(볼트, 너트, 와셔)의 상관정도(Fig. 1)를 비교검토한다.
- 3) 동일 시편을 재시험(토크시험)하여 계수치의 감소비를 계산하고 전체(과거 정상인 샘플들의 통계량) 평균치와 비교한다.
- 4) 위 1)~3)항에 의거하면 관리한계의 이탈원인이 불

트, 너트 와셔중 어느 요소에 주로 관련되어 있는지 그리고 표면윤활, 치수관련 또는 경도불량등 어느 요인에 의한 것인지를 판단할 수 있다.

- 5) 표준공정/특성요인 행렬(Table 5, Table 6)을 이용하여 단일 또는 우선순위가 부여된 해당공정을 결정한다.
- 6) 관리한계를 벗어난 시험세트(표본)에 대하여 제조시에 해당공정이 어떻게 수행되었는지를 추적하고 세부 공정/절차/방법/취급/보관/치공구/기계/온도등 발생 원인이 뭉뚱한 구체적인 증거를 수집한다. 이로부터 개선대안을 마련하고 해당공정이 표준화되어 정착되도록 하므로써 동일한 원인에 의한 관리대상 변수의 이탈이 재발되지 않도록 한다.

## 6. 결 론

본 연구결과 토크법에 의하여 제어되는 고장력 마찰 접합 볼트의 생산품질개선을 위한 방법과 근거를 정리하면 다음과 같다.

토크계수를 포함 볼트세트의 기계적 성질에 대한 상관도, 주상도 및 관리도를 유지, 활용하므로써 관리상태의 연속성을 확보한다.

관리한계 이탈이 발생한 경우 그 원인을 추적하기 위하여는 관찰결과와 경험, 상관도와 이탈시편의 재시험 자료를 이용하여 특성요인을 밝히고 이를 표준공정/특성요인 행렬에 적용하여 해당공정을 찾아낸다. 생산공정의 이력을 재 점검하여 발생원인을 규명하고 관리개선을 달성하도록 한다.

볼트, 너트, 와셔의 경도확보를 위한 열처리 설계범위는 기준범위보다 훨씬 좁게 평균치 부근에서 목표범위

를 설정하여 관리한다. 특히 너트는 기준경도의 범위가 넓고 토크 계수에 미치는 영향이 크므로 거칠기, 열처리, 표면처리 및 토크관리에 가장 철저를 기해야 한다.

보다 철저한 품질관리를 위하여는 원자재의 조성성분이 열처리, 표면처리, 절삭등의 조건에 변화를 줄 수 있으므로 반입시 표본시험을 하여 소재에 대한 자료의 관리가 중요하다.

## 참고문헌

1. 白井, “冷間鍛造における品質保證システム, 鍛造實務講座, 日本塑性加工學會, 鍛造分科委員會, p.35~47, 1989
2. 日本ねじ研究協會, “高強度ボルボットの締結性能に關スル標準化のための調査研究”, 報告書 I-IV, 日本ねじ研究協會, 1981. 3
3. J. H. Bickford, “An introduction to the design and behavior of bolted joints”, 2nd ed. Marcel Dekkar Inc. 1990
4. W. R. D. Wilson, “Boundary friction measurements using a new sheet metal forming simulator”, Trans. NAMRI/SME, pp.37~42, 1991
5. D. M. Bailey et al, “Effect of roughness and sliding friction on contact stresses, Trans. ASME, J. Tribol., 113-4, pp.729~738, 1991
6. 加藤 外, “熱延用ワクロラの磨耗機構に關する考察”, 材料とプロセス, Vol. 4-2, pp.458~461, 1991