

자동차용 나사 제품과 그 공정설계

小沢 順造¹

Screw and its Processing Design in Automobile

J. Ozawa

1. 개요

자동차는 나사제품이 1대당 약 3000개 사용되고 있다. 나사제품의 사용개수는 차종이나 품질이론다면 소형차와 대형차의 차이, 전동시트, 동력창의 장비 유무 등에 의해 달라진다. 또, 사용하고 있는 나사제품의 분포는 그림 1에서 볼트가 약 60%, 너트가 약 20%로 나머지의 약 20%가 작은 너트들이다.

여기서는 형상 종류가 많은 볼트에 초점을 맞추어 논문을 전개하고자 한다. 소형차에서의 일례를 들면 다음과 같이 되어 있다. 크기를 분류하면 볼트 M6(6mm)에서 M16(16mm)까지 사용되고 있다. 강도에 대해서는 강도 구분 4.8(400N/mm²)에서 12.9(1,200N/mm²)가 사용되고 있다. 최근의 동향으로서의 장비의 콤팩트화, E/G 고출력의 영향을 받아 볼트에 대하여 보다 고강도의 것이 개발되고 있다. 현재 일부의 차종에서는 1,300N/mm² 급의 것이 실용화되고 있다.

2. 볼트의 기본기능

볼트의 기본기능은 자동차에 일반적으로 쓰이는 것과 같다. 볼트의 기본기능으로서는 아래의 기능이 요구된다.

- (1) 조임에 필요로 하는 축력을 발생시킨다.
- (2) 발생한 축력이 유지 된다.
- (3) 분해, 재조임 될 때 사용 내구성이 있어야

한다.

(1)의 축력에 대해서는 등가응력선도와 토크 출력선도에서 실제의 조임 시험에 의해 조임 토크를 정하여 체결이 행해진다.

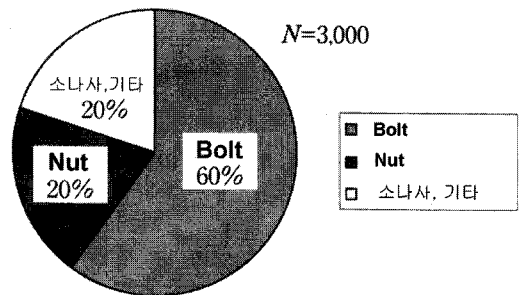


그림 1 자동차 1 대에 사용되는 나사제품의 분포

그림 2 는 등가응력선도와 토크-출력선도를 겹쳐서 표시한 것이다.

그림 2 에 있어서 등가응력곡선과 종축(F:축력)과의 교점 F₀ 는 그 볼트가 갖는 인장강도 (항복) 을 나타낸다. 또 횡축(T:토크)와의 교점 T₀ 는 비틀림 강도를 나타낸다. 등가응력곡선은 볼트가 파손하는가 았하는가의 경계를 나타낸 것으로 곡선(등가응력곡선), 종축과 횡축에서 둘러 싸인 영역에서 파단이 일어나지 않는 것을 나타내고 있다. 직선은 볼트를 조일 때의 조임 토크와 출력의 관계를 나타낸다. 볼트를 조일 때에는 피조임 물건과 볼트사이에서 마찰력이 발생한다. 이 마찰력에는 볼

1. (株)靑山製作所技術本部 (우)480-0198 愛知県丹羽郡大口町高橋 1-8, Japan

기술해설: 소성과 가공(일본소성가공학회지) 제47권 제541호 pp. 91~94(2006.2)

번역자: 박정서(자유번역가), 김인수(금오공과대학교 신소재시스템공학부, 교수)

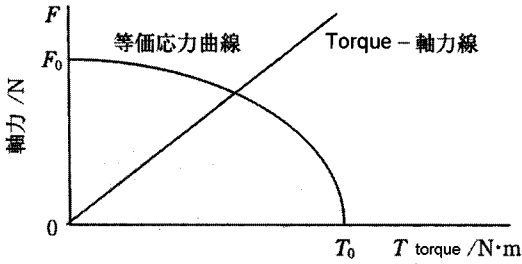


그림 2 등가응력곡선도, 토크 - 출력선도

트의 좌면과 조여 붙인 것의 표면과의 사이에 작용하는 좌면 마찰과 수나사와 암나사와의 사이에 발생하는 나사면 마찰이 있다. 이것들의 크기는 볼트와 피조임 물건의 갖는 마찰계수에 의해 정해지는 것이며 좌면 마찰계수, 나사면 마찰계수를 합한 것을 총마찰계수이라 부른다. 실제의 체결에는 볼트강도의 편차, 마찰계수의 편차를 고려해서 등가응력곡선과 종축, 횡축에 둘러싸인 영역에서 벗어나지 않게 조임 토크 설정하지 않으면 안된다. 그림 3 에서 조임 토크는 T_1 이하로 되지 않으면 축력이 등가응력곡선을 벗어날 가능성이 있다.

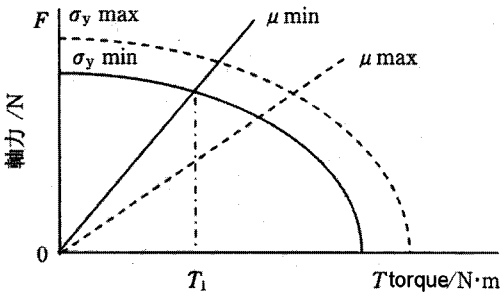


그림 3 등가응력곡선, 토크-출력선도

<참고> 등가응력은 다음 식으로 표시한다.

$$\sigma_{eq} = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2}$$

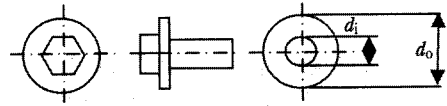
σ_{eq} 등가응력 (N/mm²)

σ 축력에 의한 인장응력 (N/mm²)

τ 비틀림에 의한 전단응력 (N/mm²)

여기서 σ_{eq} 가 그 재료의 단축인장항복응력 σ_y 이상으로 되었을 때는 볼트의 기능을 잃어 버린다.

등가응력곡선도는 볼트의 강도에 따라 다르다. 강도를 올리는데는 볼트의 강도를 올리든가 크기를 올리는 것이 필요하다. 그림 5에 등가응력곡선과 강도의 관계, 그림 6에 등가응력곡선과 볼트



摩擦係수는 다음식으로 나타낸다.

$$\mu = (2T/F - P/\pi)/(d_2/\cos\alpha + d_w)$$

$$\mu_s = (2T_s/F - P/\pi)/(d_2/\cos\alpha)$$

$$\mu_w = 2T_w/F/d_w$$

$$d_w = 2(d_o^3 - d_i^3)/3(d_o^2 - d_i^2)$$

$$T = T_s + T_w$$

- | | |
|-------------------------|---------------------|
| T : 조이기 torque /N·m | d_2 : 有効径 /mm |
| T_s : 나사면 torque /N·m | α : 나사山半角 /° |
| T_w : 座面 torque /N·m | d_w : 座面等価直径 /mm |
| F : 軸力 /N | d_o : 座面接触外径 /mm |
| P : pitch /mm | d_i : 座面接触内径 /mm |

그림 4 마찰계수에 관계하는 변수

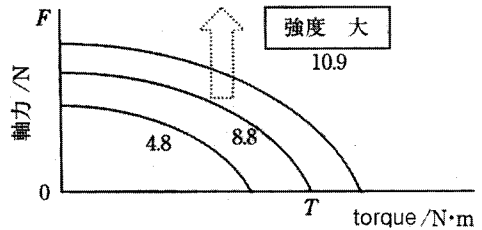


그림 5 등가응력곡선과 강도의 관계

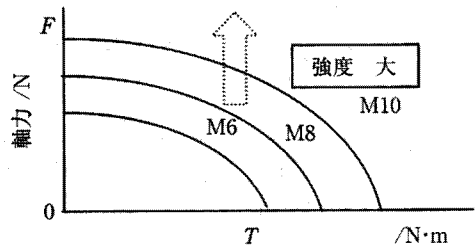


그림 6 등가응력곡선과 볼트 크기의 관계

크기와 관계 표시하였다. 볼트크기는 같은데 강도를 올리려면 볼트의 경도를 변경해야 한다. 강도와 강도는 비례한다. 일반적으로 4.8에는 저탄소강, 8.8에는 중탄소강 또는 합금강, 10.9에는 합금강이 쓰여진다. 강도가 같다고 하여도 볼트 크기를 변경하여 고효율로 사용할 수가 있다.

축력에 대해서는 이상과 같이 검토한 뒤 볼트의 크기, 강도(재질, 열처리), 표면처리의 종류가 결정된다.

(2)에서는 외력 진동에 대해 여유를 갖은 체결

축력으로 체결하는 것이 중요하며 그것에 건디어 내는 볼트의 강도 설정에 대해서는 (1)에서 설명한 것과 같다.

(3)의 사용내구성에 대해서는 볼트의 강도 및 표면처리의 종류, 나사산의 형상이 중요하게 된다. 이상과 같은 요구를 만족하도록 볼트의 도면에는 치수, 재질, 강도, 표면처리뿐 아니라 기하 공차를 명기하고 있다. 그 예를 그림 7에 표시하였다.

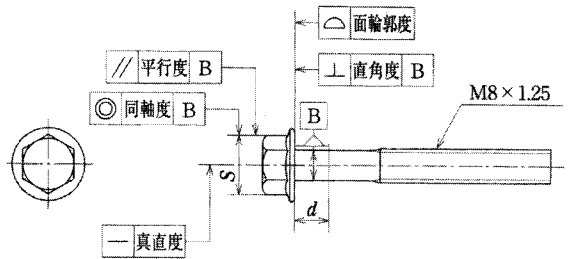


그림 7 볼트에 요구되는 기하정밀도

3. 볼트에 요구되는 부가기능

자동차산업은 심한 국제 경쟁 환경 관계에 있으며 볼트에 요구하는 기능도 기본적인 기능의 고도화 이외에 품질 비용의 면에서 아래의 예에 표시하는바와 같은 부가기능이 요구되고 있다.

(1) 작업성

작업성은 자동차의 조립 비용에 직접 영향을 주는 항목으로서 고객의 요구가 높은 것이다. 특히 최근에는 상대물체에의 삽입성능과 접합 방지 기능에 대한 요구가 높다(그림 8).

(2) 높은 토크 전달성

볼트의 고강도화에 따라서 조임 토크도 높아지고 있다. 종래의 머리 형상에서는 머리부가 변형하고 말며 필요한 토크를 전달되지 않는다는 문제가 발생하므로 그림9와 같은 형상이 새롭게 ISO규격으로서 채택되었다.

(3) 잘라내기 기능

자동차의 바디에는 의장성, 내식성, 내후성을 고려하여 도장이 행해지고 있다. 그와 같은 부위에 볼트가 사용되면 암나사에 볼트 토크가 수나사와 사이에 끼어들고 접합되어 체결 불량률의 원인이 된다. 체결 시에 암나사에 눌러 붙은 도료를 떼어내는 기능이 새로이 요구되고 있다. 그 일례를 그림 10에 표시하였다.

(4) 전도성

자동차에는 많은 전장품이 사용되고 있으며 접지를 잡을 필요가 있으나 바디나 그 외의 부품은 내식성을 갖게 하기 위해 도장, 또는 전기도금이 행해지고 있어 전도 성능을 낮춘다. 양호한 접지 성능을 만들기 위해서는 접지 볼트와 바디 사이에 금속 접촉이 필요하다. 체결 시에 금속 접촉하는 기능을 가진 볼트의 예를 그림 11에 표시하였다. 미리 변형시킨 볼트의 나사산이 체결할 때 상대의 나사산을 간섭하여 변형을 일으켜 표면의 피막이 박리되고 금속면에 접촉이 생긴다.



그림 8 작업성을 고려한 볼트의 선단형상의 예



그림 9 머리형상의 예



그림 10 잘라내기 기능을 갖는 형상의 예

이제까지 자동차 산업에 어떤 볼트가 사용되고 있는가를 소개하였다. 여기에 소개된 것은 극히 일부이며 용도 및 사용 부위에 따라 여러 가지로 분류할 수 있다. 관심을 가지고 자동차의 엔진 룸등을 관찰하면 그 종류의 많음을 실감할 수 있으리라 생각한다.

4. 볼트의 제조

최근의 볼트 제조에 대하여 소개하고자 한다. 볼트의 원소재(나사를 전조하기 전의 상태의 것을 말한다)는 주로 냉간단조로 성형한다. 볼트 소재는 나사를 전조하기에 필요한 정밀도가 요구된다. 정밀도로서 값에 약간의 차이는 있기는 하나 공차 범위가 5/100mm 전후이다. 이와 같은 정밀도가 요구되는 것은 가장 치수 정밀도의 높은 냉간단조에 쓰인다. 또 표면상태도 스케일이 발생하지 않는 냉간단조가 가장 뛰어나며 나사 전조에 대해서도 적합하다. 원소재의 가공에는 횡형의 단조기가 주로 쓰여 지고 있다. 원소재는 코일이 주로 쓰인다. 나사의 가공에는 전조기를 쓰며 평다이스

를 쓴 레시프로칼 형태, 둥근 다이스와 세그먼트 다이스를 쓴 프래너리 형태, 복수 둥근 다이스를 쓴 롤 형태가 있다. 기계가공 된 후 일반적인 공정으로서 열처리와 표면처리를 하여 완성품이 만들어진다.

5. 볼트의 공정설계

볼트의 원소재를 냉간단조로 성형하는 경우 그 공정개발이 대단히 중요하다.

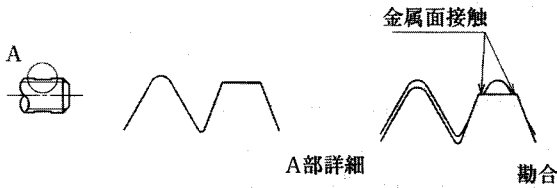


그림 11 금속 접촉 기능을 가진 볼트의 예

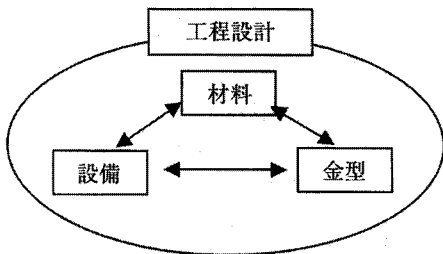


그림 12 설비, 금형, 재료, 공정설계의 관계

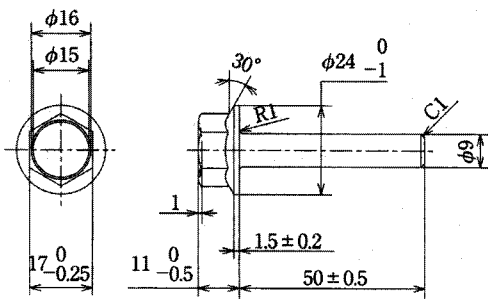


그림 13 M 10 볼트의 상세 치수

냉간단조에는 온간 및 열간 단조에 비하여 성형 하중이 아주 높다. 단조는 가공설비, 금형, 재료의 비강도 등의 관계로 제품이 가공되지만, 설비 파손 또는 금형 파손을 고려하여야 한다.

그 비강도의 관계를 결정하는 것이 설계자가 하는 공정설계인 것이다(그림 12).

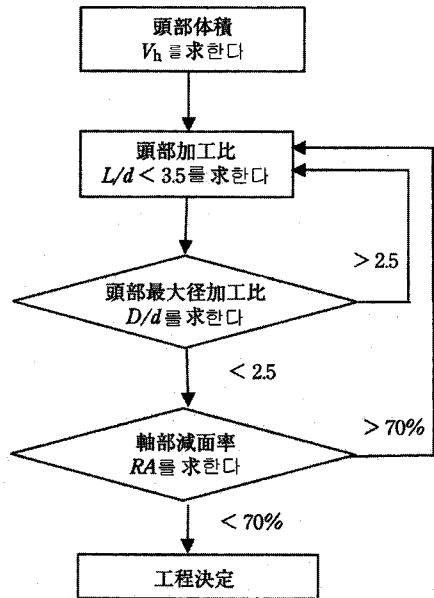


그림 14 공정설계의 흐름도

다음에 실제로 공정설계 하기 위해서 검토하여야 할 점에 대하여 설명한다. 여기에서는 net shape 가공(chipless 가공)의 공정설계로 압축하여 설명하고자 한다(잘라낼 자투리가 발생하는 트리밍 공법은 균살을 붙이고 마무리하는 공정에서 균살을 제거하는 공법이기 때문에 공정설계가 net shape 공법에 비해서 매우 용이하다고 생각된다.). 공정설계를 행하는데 있어서 검토 해야 할 항목으로서는 아래의 3개의 항목에 중요하다.

(1) 머리부 가공비

L/d L: 머리부에 필요한 체적을 채우는 소재 길이

d: 소재 선재 지름

(2) 머리부 최대 지름 가공비

D/d D: 최대 가공 지름

예) 좌우 육각 볼트의 바깥 지름

(3) 축부 감면율

$$RA(\%) = (d_0^2 - d_1^2) / d_0^2 \times 100$$

d_0 : 원소재 선재 지름

d_1 : 조임 가공 후 지름

(1), (2), (3)에는 각각 한계 값이 있으며 그 값에 의하여 쓰이는 공법도 다르다.

(1) 머리부 가공비

$L/d \leq 2$: 자유장착

2 < L/d ≤ 3.5 : 구속장착

L/d > 3.5 : 소재 선径 재조사.

(2) 머리부 최대 지름 가공비

D/d ≤ 2.5 : 진원도 0.5

D/d > 2.5 : 공차범위와의 관계로 소재 선径

(3) 재조사

축부 감면율

RA ≤ 30% : 자유조임

30% < RA < 70% : 밀폐조임

RA > 70% 선재 지름 재조사

이상과 같은 항목에 대하여 그 가공의 가부를 검토하면 목적으로 하는 제품을 성형하기 위한 최적의 소재 선径, 설비에 필요한 방법이 명확하게 나온다. 또 금형에 대하여서도 공법이 가공의 강도에 따라 다르게 되기 때문에 최적의 금형 설계를 할 수 있다. 다음에 그 최적의 예로 이제 까지 시술 해온 것을 어떻게 전개 하는 가를 표시하였다. 그림13에는 볼트 원소재의 설계 예를 나타낸 것이다. 공정설계는 다음의 계산절차에 의해 이루어 진다.

1) 머리부의 체적 계산(개산)

이 경우는 (1)육각주의 부분, (2)원추대 부분, (3) 원기둥 부분, (4)머리부 오목한 곳의 부분으로 나누어 계산한다.

$$\begin{aligned} V_h &= (1) + (2) + (3) - (4) \\ &= (1/2) \cdot (16.8/2) \cdot (19/2) \cdot 6 \cdot 8 \\ &\quad + (\pi/12) \cdot 1.5 \cdot (19^2 + 19 \cdot 24 + 24^2) \\ &\quad + (\pi/4) \cdot 24^2 \cdot 1.5 \\ &\quad - (\pi/12) \cdot 1 \cdot (16^2 + 16 \cdot 15 + 15^2) \\ &= 2,952 \end{aligned}$$

2) 머리부 가공비가 3.5 이하로 되는 소재선径를 구한다.

$$L = V_h / (\pi/4 X d_2)$$

$$\text{가공비 } L/d = 4 V_h / (\pi X d_3) < 3.5$$

$$d > 10.24$$

$$d = 10.3 \text{ 이다.}$$

3) 머리부 최대 지름 가공비 D/d 를 구한다.

$$D/d = 24/10.3$$

$$= 2.33$$

4) 축부 감면율을 구한다.

$$RA = (d_0^2 - d_1^2) / d_0^2 \times 100$$

$$= (10.3^2 - 9^2) / 10.3^2 \times 100$$

$$= 23.6 \%$$

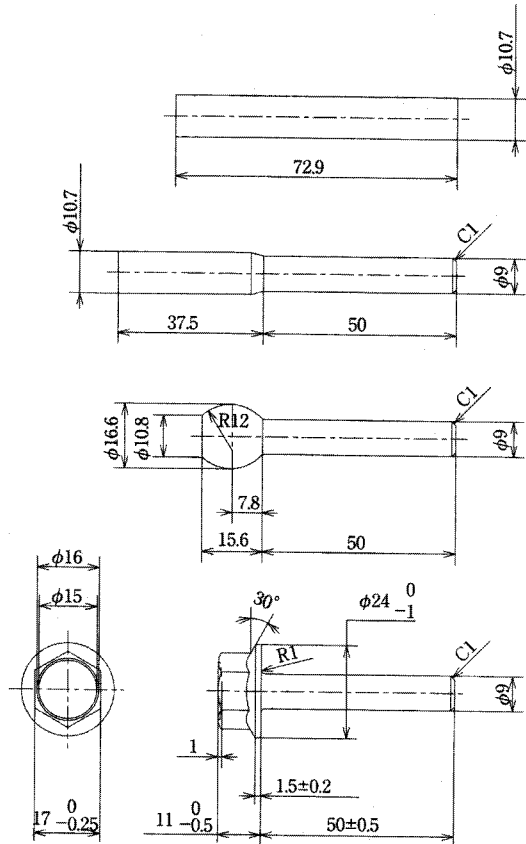


그림 15 단조 공정 개략도

이상의 설계 결과에서 이 볼트의 원소재는 그림 15의 공정과 같이 가공이 가능하다. 설비로서는 3단 압연단조 설비가 필요하다. 상기의 계산을 표로 나타내면 그림 14와 같이 된다. 이상의 계산 결과에서 그림 15와 같은 단조공정을 얻을 수 있다. 단 이것은 개략적인 것이기 때문에 실제의 가공에 있어서는 예비형상의 검증을 하고 최종적인 공정을 얻을 필요가 있다.

6. 기타 최근 응용

자동차용 볼트에 대하여 개략을 설명했지만 상세한 문헌, 참고도서를 아래에 소개하였다.

본 논문은 한국소성가공학회와 일본소성가공학회의 번역 게재협정에 의하여 저자의 허락을 생략하고 번역하여 게재합니다.

참 고 문 헌

- [1] 酒井智次: nut 체결개론, 양현당.
- [2] 山本晃: nut 이야기, 일본규격협회.
- [3] 山本晃: nut 체결 이론과 계산, 양현당.
- [4] 松木啓介: nut 체결 '신' 상식의 오류, 일경 BP 사.