

# 볼트의 기초

## 목 차

1. 회사소개 .....	3
2. 볼트일반 .....	8
3. 화스너의 명칭 .....	13
4. 볼트의 기계적 성질 .....	17
5. 볼트의 제조공정 .....	32
6. 너트의 제조공정 .....	34
7. 고장력볼트 체결방법의 기본원리 .....	39
8. 열처리 .....	47
9. 표면처리 .....	69
10. 강종의 제조 및 용도 특성 .....	75
11. 고장력볼트 축력시험 .....	93
12. 현미경조직 관찰방법 .....	98
13. 고장력볼트에 대한 질의 .....	101



## 1. 회사소개



# (주) 대한볼트

DAE HAN BOLT Co., Ltd.

경북 경산시 진량읍 공단 7로 93

TEL.: 053) 857-0181 / FAX.:053) 857-0185

E-mail:dhbolt2001@hanmail.net

<http://www.dhbolt.co.kr>

### 회사개요

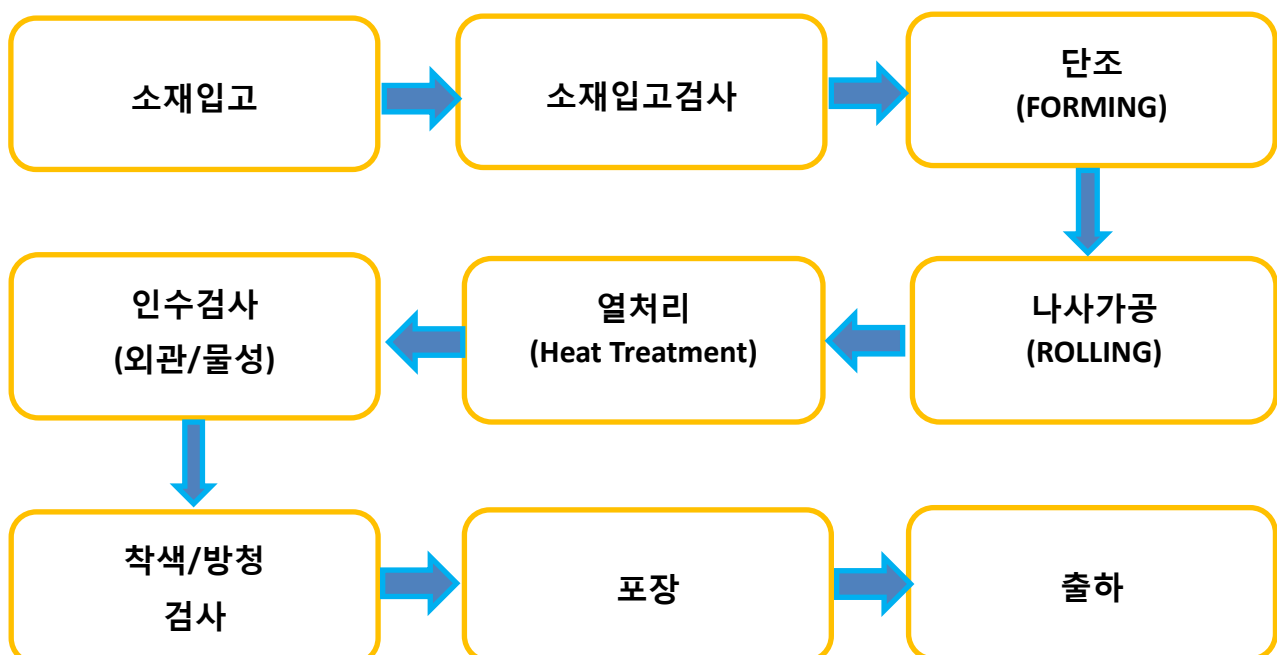
회사명	(주)대한볼트		대표이사	최 석 규	
소재지	경북 경산시 진량읍 신제리 528 (공단 7로 93)				
설립일자	1987년 1월 5일		대표전화	053) 857 - 0181	
E-mail	dhbolt2001@hanmail.net		Fax.	053) 857 - 0185	
자본금	25억5천4백만원		사업자등록번호	515-81-30965	
업 태	제조	종 목	볼트	종업원수	42명
공장규모	대지 : 14,924m <sup>2</sup> (4,520평) , 건평 : 11,564m <sup>2</sup> (3,504평)				생산능력 (년)
주요생산품목	HEX SOCKET BOLT, HEX BOLT, FLANGE BOLT등				6000톤



## 회사연혁

1987. 01	대한볼트 설립
1999. 02	D.H마크 상표등록-특허청
2003. 04	경산시장표창
2006. 10	(주)대한볼트 설립 (현물출자)
2008. 06	부품.소재 전문기업확인서 획득
2009. 11	KS제품인증획득 (6각볼트, 6각 구멍볼이 볼트)
2010. 05	경영혁신형 중소기업 (MAIN-BIZ)확인서 획득 - 중기청
2010. 06	산학 협력 협약서 체결
2010. 06	기업부설연구소 인정서 획득 - 한국산업기술진흥협회
2010. 08	KS Q ISO 9001:2009 & ISO 9001:2008 갱신인증 (KSA)
2010. 08	기술혁신형 중소기업 (INNO-BIZ) 확인서 획득 - 중기청
2010. 12	공장신축이전 (경산 진량읍 신제리 경산3산업단지)
2010. 12	6각구멍볼이볼트/6각볼트 생산개시 (M27 ~ M36)
2010. 12	경산시장표창 (장기경영인상)
2011. 02	특허획득 (강제멈춤나사용 소재 자동공급이송장치) - 특허청
2012. 05	특허획득 (볼트의 냉간단조 성형장치)
2012. 11	특허획득 (볼트의 투입장치)

## 제조공정도





## 제조설비현황

**BOLT FORMER  
NUT FORMER  
PARTS FORMER**



제조사	규격	보유대수
CHUNZU (대만) 효동기계 (한국)	M 2 ~ M36	28호기

**로링기**



제조사	규격	보유대수
보철기계 (한국)외	M 2 ~ M36	32호기
전조기	M 3 ~ M24	10호기
SEM'S로링기	M 3 ~ M10	5호기

**연속 착색로**



제조사	용량	보유대수
대구ENG. (한국)	300TON/월	2식

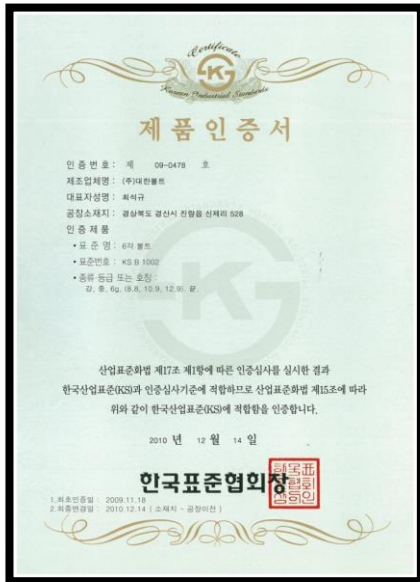
## 시험설비현황



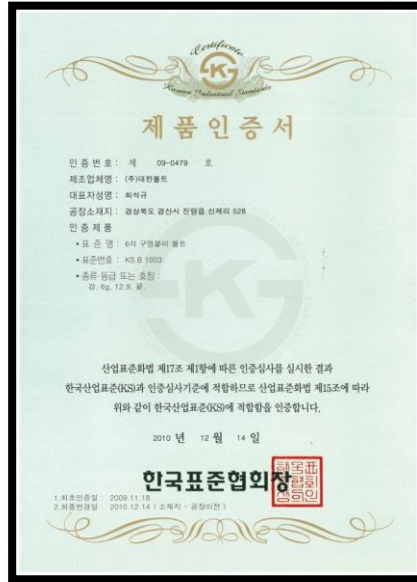


## 제증명 및 인증서

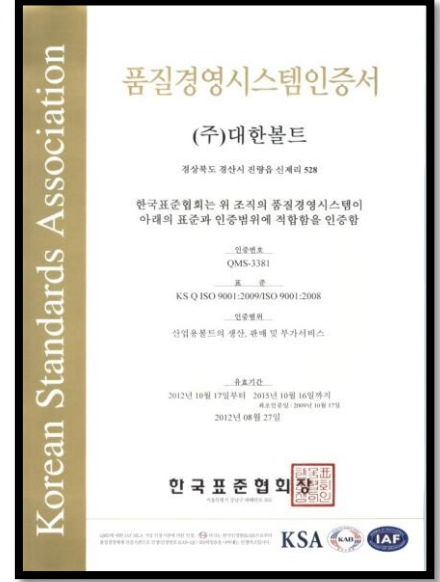
### KS제품인증서 (6각볼트)



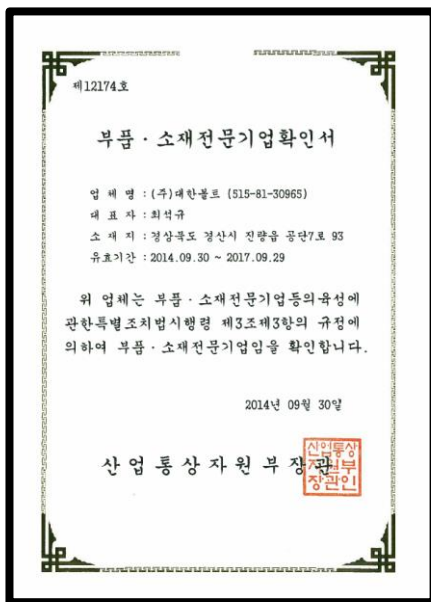
### KS제품인증서 (6각구멍볼트)



### ISO 9001:2008 인증서



### 부품 · 소재전문기업 확인서



### INNO-BIZ 확인서



### MAIN-BIZ 확인서



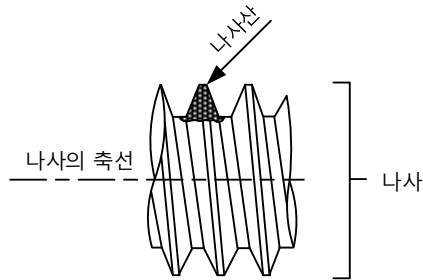
\* 기타사항은 카다로그를 참고 할것

## 2. 볼트 일반

### 2-1 나사의 정의와 명칭

#### 2-1-1 나사의 정의

원통이나 원기둥의 외면 또는 내면에 만들어진 단면이 일정한 코일 모양의 돌출부를 나사산(thread)이라 부르고 나사산을 가진 원기둥 전체를 나사(screw thread)라 한다. 또 나사산이 원기둥의 외면에 있는 경우를 수나사(external thread),내면에 있는 경우를 암나사(internal thread)라 부른다.



이상은 다소 추상적인 형태로 본 정의이나 나사산을 가진 물체를 통틀어 그것이 단체의 부품인 경우는 나사산을 가공한 부분 뿐만 아니라 그 이외의 부분도 포함하여 나사라 부르는 일이 많다.

이 경우는 앞에서 정의한 나사와 구별하기 위하여 나사부품(threaded parts)이라고 부르는 것이 더 타당하다. 나사 부품에 대하여 보조적 성격으로 사용되는 와셔(washer), 분할핀(split pin) 등은 나사부속품(accessories for threaded parts)이라 부른다.

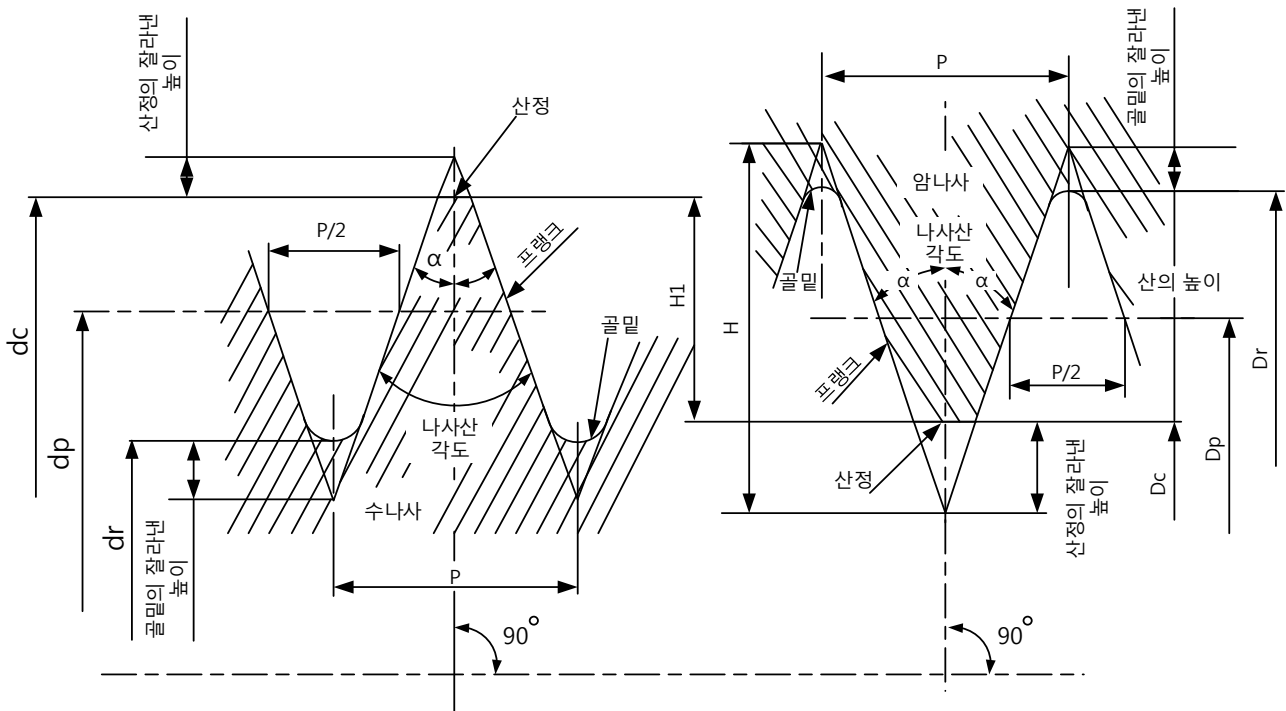
체결용 나사부품에는 나사못(wood screw), 작은나사(machine screw), 6각볼트(hex bolt), 6각너트(hex nut)등 많은 종류가 있으며 일반적으로 수나사를 가진 체결용나사로서 주로 이에 조합된 너트를 회전시켜서 조이거나 푸는 것을 볼트(bolt-너트와 같이 사용되는 경우), 수나사를 가진 체결나사 자체의 머리부에 토오크를 주어 조이거나 푸는 것을 스크류(screw - 너트 없이 단독으로 체결)라 한다. 또, 나사의 축심 또는 그 부근에 암나사를 가진 나사부품을 너트(nut)라 부른다.

주로 건설용 체결나사에 해당하지만 피체결물을 체결할 때 볼트,너트,와셔가 한 조를 이루어 체결이 이루어지므로 이들 한 조(볼트1개 + 너트1개 + 와셔1개 또는 2개)를 볼트세트(bolt set)라 부르기도 한다.

나사의 형식과 지름, 피치를 나타내는 호칭기호는 미터나사에서는 머리글자로서 영어의 M을 사용한 M10 또는 M8×0.75P 등으로 표기되는데 알파벳 M 다음에 오는 숫자 10이나 8은 나사의 바깥지름(또는 호칭지름이라고도 함)이 10mm 또는 8mm이고 ×0.75P의 0.75는 0.75mm임을 나타낸다. 한편 인치계 나사에서는 3/8-16UNC와 같은 형식으로 표기되는데 이는 바깥지름이 3/8인치이고 축방향 몸통길이 1인치(25.4mm)당 나사산의 수가 16개인 유니파이 보통나사를 나타낸다. (유니파이 가는나사는 UNF라 표기함)



## 2-1-2 나사산의 각부 명칭과 기호



$P$  : 피치 (Pitch)

$\alpha$  : 나사산의 반각 (half angle of thread)

$H$  : 기초나사산 높이 (depth of basic triangle)

$H1$  : 물림높이 (depth of thread engagement)

$dc$  : 수나사의 바깥지름 (major diameter of external thread)

$dp$  : 수나사의 유효지름 (pitch diameter of external thread) ' - 이하  $d2$ 로도 표기함

$dr$  : 수나사의 굴지름 (minor diameter of external thread) ' - 이하  $d3$ 로도 표기함

$Dr$  : 암나사의 굴지름 (major diameter of internal thread)

$Dp$  : 암나사의 유효지름 (pitch diameter of internal thread)

$Dc$  : 암나사의 안지름 (minor diameter of internal thread)

## 2-1-3 볼트 . 너트의 각부 명칭과 관련 용어

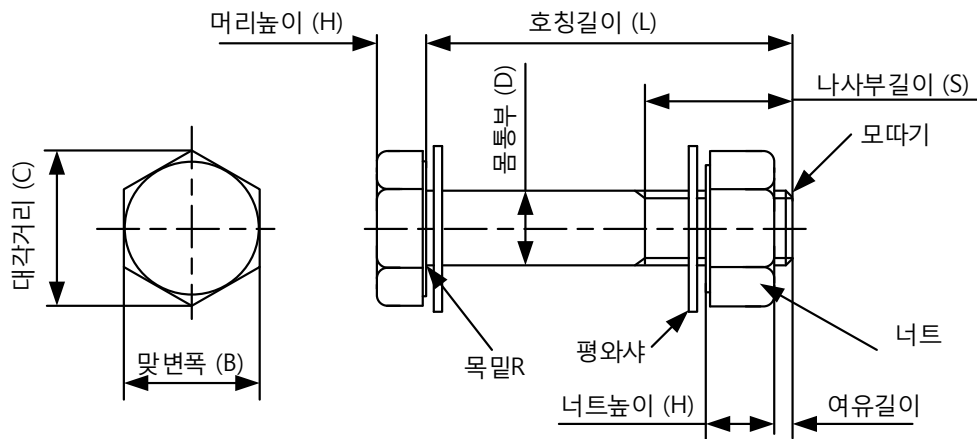


그림 3 볼트, 너트의 각부 명칭과 관련 용어

나사부의 호칭에 대한 대표적인 예로서 6각볼트와 6각너트에서 나사부품의 각부 명칭과 기호를 그림3에 나타내었고 이와 관련한 용어들은 다음과 같다.

## (1) 용어설명

- 1) 리드(lead) : 나사의 나선(녕쿨선, 나사곡선)을 따라 축의 둘레를 일주할 때 축방향으로 전진하는 거리.
- 2) 피치(pitch) : 나사의 축선을 포함하는 단면에서 서로 이웃하는 나사산에서 마주 대응하는 2점을 축선에 평행하게 측정한 거리.
- 3) 리드각(lead angle) : 평행나사인 경우 나사의 나선과 그 위의 한점을 지나며 나사축에 직각인 평면이 이루는 각도를 말한다.  
리드를  $l$ , 나사의 유효 반지름을  $r$ 이라두면 리드각  $\beta$ 는  $\tan\beta = l/2\pi r$ 인 식으로 계산된다.
- 4) 바깥지름및 안지름 : 수나사의 산봉우리에 접하는 가상적인 원통의 지름을 바깥지름, 암나사의 산봉우리에 접하는 가상적인 원통의 지름을 안지름이라 부른다.
- 5) 골지름 : 수나사의 골밀에 접하는 가상적인 원통의 지름을 수나사의 골지름, 암나사의 골밀에 접하는 가상적인 원통의 지름을 암나사의 골지름이라 부른다.
- 6) 기준산모양 : 나사산의 실제 단면 모양을 정하는데 기초가 되는 나사산 한 피치분의 모양을 기준산모양이라 한다.  
나사의 축선을 포함하는 단면 모양에 대하여 말하는 것이 보통이다.
- 7) 유효지름(pitch diameter) : 나사홈의 폭이 나사산의 폭과 동등해질 수 있는 가상적인 원통에서의 지름으로 체결나사에서 암나사면과 수나사 면이 접촉하여 발생한 마찰력의 합력이 작용하는 위치에 해당한다. 또는 유효단면적과 같은 가상원의 지름으로 정의하기도 한다.
- 8) 프랭크(franks, 나사산면) : 산봉우리와 골밀을 연결하는 면으로 축선을 포함하는 단면모양에서는 일반적으로 직선이 된다.
- 9) 나사산의 각도 : 나사의 축선을 포함하는 단면모양에서 측정한 서로 이웃하는 2개의 프랭크가 이루는 각도를 말한다. 나사산의 전각이라고도 하며 체결용 3각 나사인 미터나사나 유니파이 나사에서 나사산 각은 모두  $60^\circ$ 이다
- 10) 접촉높이 및 접촉률(thread overlap & percentage of thread engagement) : 동일한 중심에 끼워 맞추어져 있는 수나사와 암나사의 축선을 포함한 단면모양에서 수나사의 산봉우리를 잇는 직선과 암나사의 산봉우리를 잇는 직선과의 사이를 축선에 직각으로 측정한 거리( $H_1$ )를 접촉높이라 하고 이 접촉높이를 기준산 모양에서 측정한 거리  $H_1'$ 에 대한 백분율을 접촉률이라 한다.

즉

$$\text{접촉율} = (\text{실측 접촉높이 } H1 / \text{기준산모양의 접촉높이 } H1') \times 100(\%)$$

미터 보통나사에서 등급 6H, 6g의 맞춤인 경우 접촉률은 약 62% 이상 이 된다.

## (2) 나사부품의 각부 명칭

- 1) 완전나사부 : 산봉우리와 골밑 양쪽이 모두 완전한 산모양을 가진 나사부
- 2) 불완전나사부 : 나사가공 공구의 모따기부분 또는 성형부 등에서 만들어지는 산모양이 불완전한 나사부
- 3) 나사부 : 나사부품의 수나사와 암나사부분을 말함. 불완전나사부는 제외되고 모따기 부분은 포함된다. 유효나사부라고도 한다.
- 4) 볼트(또는 스크류)머리 : 볼트나 스크류에서 스패너나 드라이버를 물리는 부분 또는 이완방지용 손잡이가 달린 부분이다. 형상은 원형머리, 6각머리, 4각머리, 홈(-자 또는 +자)을 붙이는 홈볼트, 6각 홈볼트 등 용도에 따라 여러 형상을 갖는다.
- 5) 자리면 : 나사부품의 체결시 상대물과 접촉하여 직접 하중을 전달하는 부분의 면을 말한다. 단 나사면의 접촉은 제외한다.
- 6) 맞변거리및 대각거리 : 나사부품에서 스패너를 거는 부분(볼트머리나 너트)이 서로 평행으로 된 마주보는 두 면간의 거리를 맞변거리라 하고 서로 마주보는 모서리와 모서리와의 거리를 대각거리라 한다.
- 7) 모떼기(chamfer) : 수나사부품 또는 암나사 부품의 머리부, 나사끝 또는 나사구멍의 모서리를 원추형으로 가공하는 일. (면취)
- 8) 머리밀 반지름 (목밀둥금새라고도 함) : 나사축선을 포함한 단면모양에서 측정한 머리밀 둥근 부분의 반지름을 일컬음. 이 반지름 R의 크기와 모양은 응력집중을 좌우하는 인자로서 나사의 피로강도에 큰 영향을 준다.
- 9) 유효단면적 : 수나사 부품의 인장력에 대한 강도를 계산하는데 쓰이는 수나사의 단면적을 말한다.

유효지름을  $d_2$ , 골지름을  $d_3$ 라 하면 유효 단면적  $A_s$ 는 다음 식으로 계산된다.

$$A_{s, \text{nom}} = \frac{\pi}{4} \left[ \frac{d_2 + d_3}{2} \right]^2$$

- 10) 나사끝 : 수나사부품에서 나사의 끝부분을 말한다(그림1.4 참조). 나사끝의 모양은 수나사를 암나사에 끼울때 형상에 따라 끼움효율 즉 조립성에 차이가 있다. (원활한 조립성을 목적으로 면취를 한다.)

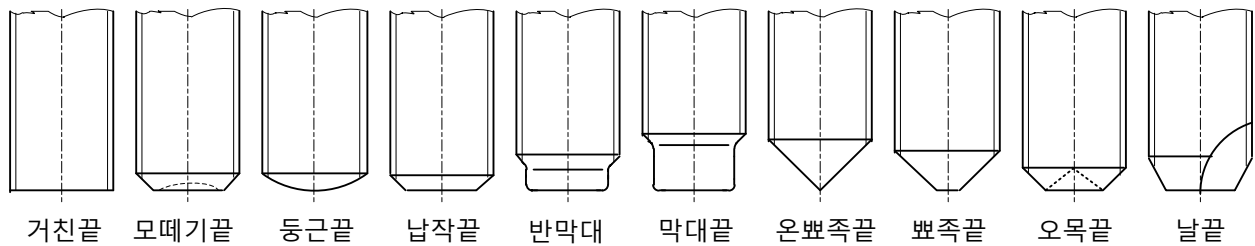


그림 1.4 나사끝 모양

## 2-2 나사의 형식

ISO 규격에 따라 KS 규격이 일치되어 있다. 나사의 형식은 나사산의 각도가 60° 산봉우리가 평탄하며 골에 일정한 틈을 두고 수나사와 암나사가 나사산 위 프랭크에서 맞물리게 되어 있다.

### 2-2-1 미터나사(Metric screw threads)

ISO 나사, 호칭은 원통부의 지름을 기준으로 한다.  
피치가 mm로 규정된다.

### 2-2-2 미터보통나사

일반용으로 주로 쓰이며 직경과 피치의 조합이 일반적이며 보통 삼각나사이다.  
ex) M4\*0.7P, M5\*0.8P, M6\*1.0P, M8\*1.25P, M10\*1.5P, M12\*1.75P

### 2-2-3 미터가는나사

보통에 비해서 직경에 대한 피치의 비율이 작은 것으로 항공기, 자동차 공작기계 등에 사용한다.  
ex) M8x1.0P, M10x1.25P, M12x1.25P, M14x1.5P

### 2-2-4 유니파이 나사(Unified screw thread)

ISO 나사, 호칭은 바깥지름과 인치당 나사산의 수를 기준으로 한다.  
인치 나사로서 피치는 25.4mm에 대한서의 산수로 규정  
유니파이 보통나사, 유니파이 가는나사 - 기계류 등에 사용한다.

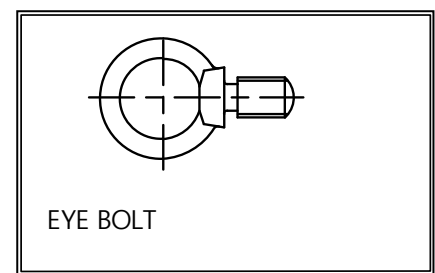
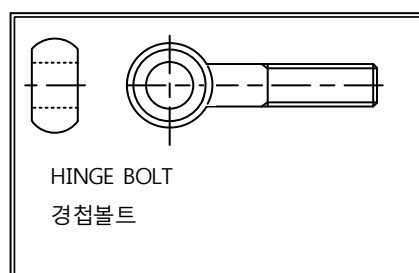
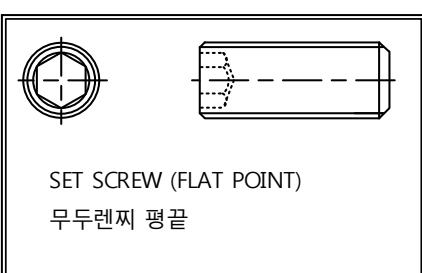
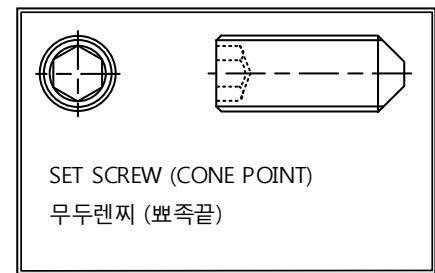
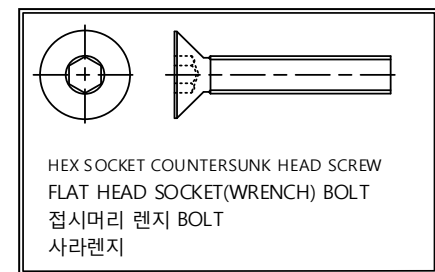
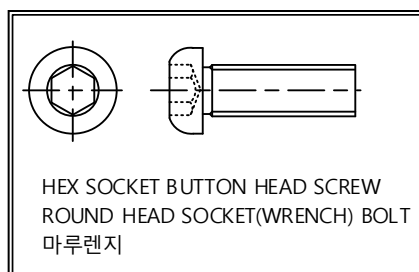
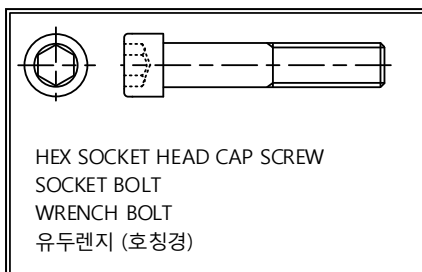
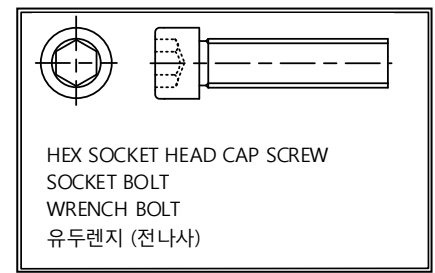
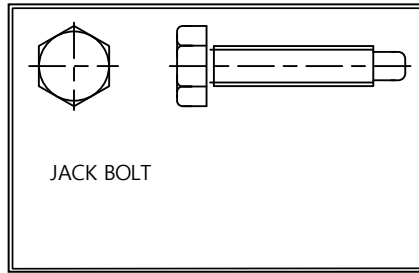
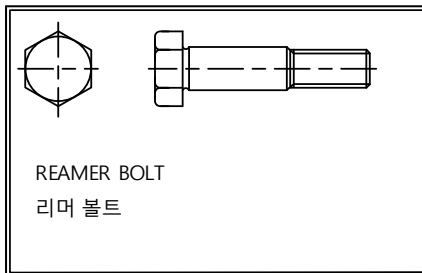
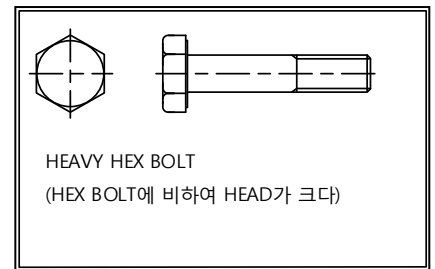
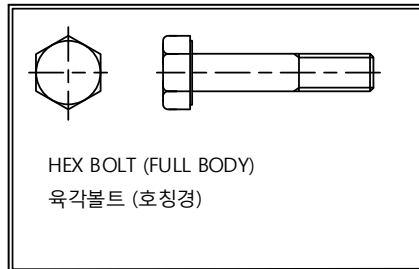
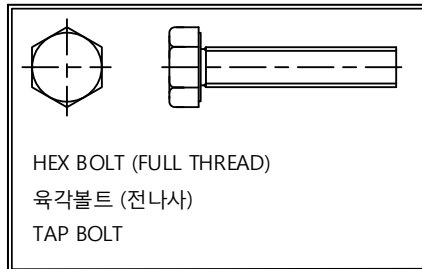
### 2-2-5 보통나사와 가는나사의 채택 근거

그림1 보통나사와 가는나사의 비교

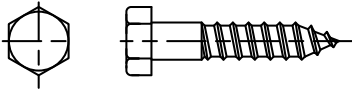
보통나사	가는나사
1) 범용 나사부품을 양산에 의하여 경제성을 확보하려는 경우	1) 경제성보다도 조립후의 이완방지가 더 우선인 경우
2) 조립후의 이완문제보다는 신속한 체결 작업이 더 중요시되는 경우	2) 수나사의 바깥지름에 비하여 높은 체결력과 강도가 필요한 경우
3) 나사조임과 풀기가 자주 반복되어 마모에 의한 나사산의 조기변형이 예상되는 경우	

- 4) 강이나 황동 등의 수나사를 주철, 베크 라이트, 경합금, 플라스틱 등의 암나사에 사용하는 경우
- 5) 조립시 더럽혀진 나사를 그대로 사용하거나 나사부에 모래등 이물질의 혼입 우려가 있는 경우
- 6) 바닷바람이나 비에 노출된다든가 약품 등의 침입에 의한 부식우려가 있는 경우

### 3. 화스너의 명칭



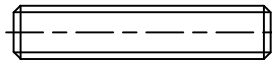




HEX LAG SCREW

육각 목나사

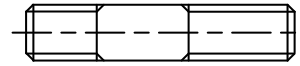
고지 스크류



STUD BOLT (FULL THREAD)

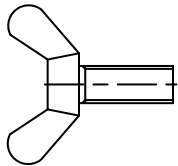
STUD BOLT (전산)

전산볼트



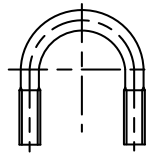
STUD BOLT (DOUBLE END THREAD)

STUD BOLT (양나사)

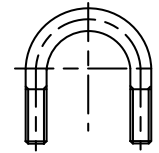


WING BOLT

나비볼트

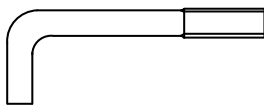


U-BOLT (유효경 TYPE)



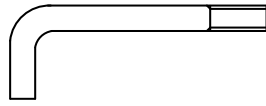
U-BOLT (호칭경 TYPE)

(KS 표준형임)



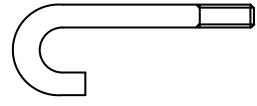
"L" ANCHOR BOLT (유효경 TYPE)

(일반적인 기초 앵카형이다)



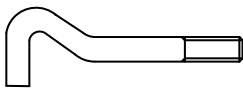
"L" ANCHOR BOLT (호칭경 TYPE)

(KS 표준형임)



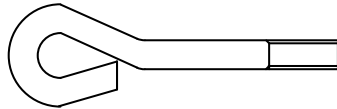
"J" ANCHOR BOLT (호칭경 TYPE)

(KS 표준형임)



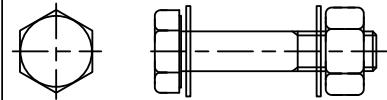
"LA" ANCHOR BOLT (호칭경 TYPE)

(KS 표준형임)



"JA" ANCHOR BOLT (호칭경 TYPE)

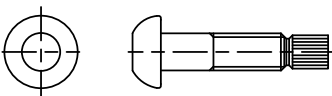
(KS 표준형임)



H/T SET

H/T BOLT NUT 2PW SET

마찰접합용 고장력 볼트

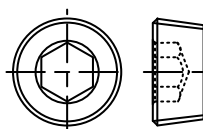


TORSHEAR TYPE HIGH STRENGTH BOLT

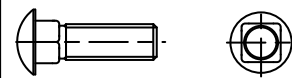
TORQUE CONTROL BOLT

T/S BOLT SET

T/C BOLT SET

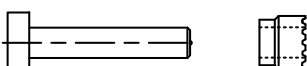


PT PLUG



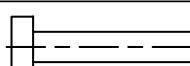
CUP HEAD SQUARE NECK BOLT

근각볼트



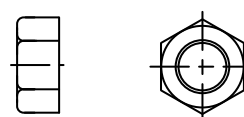
WELDING STUD (자동)

웰딩스터드 (자동)



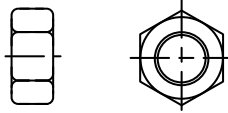
WELDING STUD (수동)

웰딩스터드 (수동)



HEX NUT (CLASS 1)

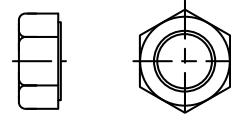
육각너트 (1종)



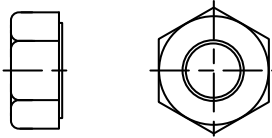
HEX NUT (CLASS 2)  
육각너트 (2종)



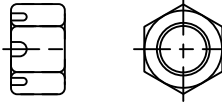
HEX NUT (CLASS 3)  
LOCK NUT (2NUT가 조합되어 사용될때)  
육각너트 (3종)  
(일반적인 너트보다 높이가 낮다)



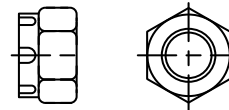
HEX NUT (CLASS 4)  
육각너트 (4종)



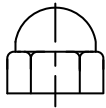
HEAVY HEX NUT  
(일반적인 너트보다 크다)



SLOTTED NUT  
PIN NUT  
홈볼이 육각너트



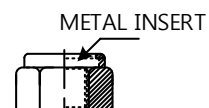
CASTLE NUT



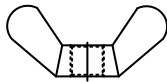
DOMED CAP NUT  
CAP NUT  
캡너트 (모자너트)



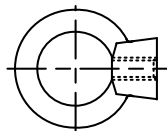
NON-METAL INSERT  
SELF LOCK NUT (NON-METAL)  
NYLON NUT  
LOCK NUT  
\*일반적으로 셀프록 너트,  
나ylon 너트, 록 너트라 한다.



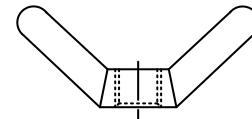
METAL INSERT  
SELF LOCK NUT (METAL)  
U-NUT



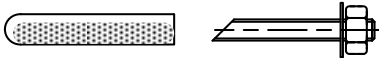
나비너트



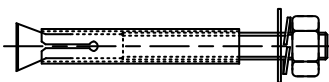
EYE NUT



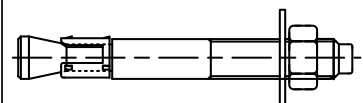
HORN NUT  
뿔너트



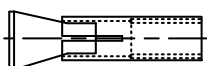
CHEMICAL ANCHOR SET  
케미칼 양카



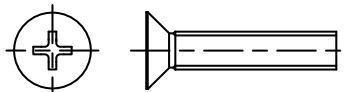
SET ANCHOR  
셋트양카



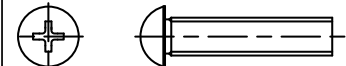
WEDGE ANCHOR  
STUD ANCHOR  
웨지양카



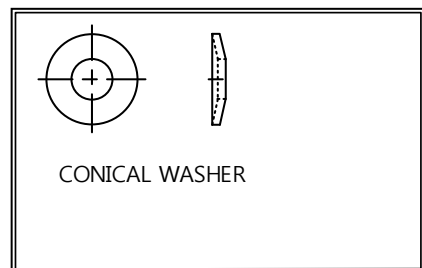
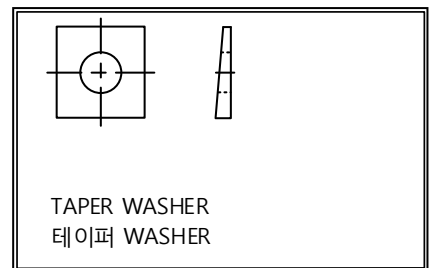
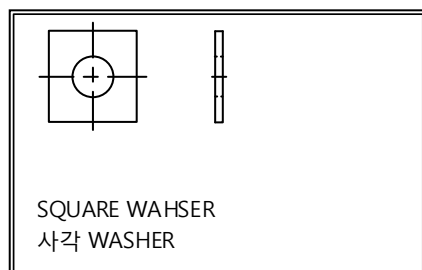
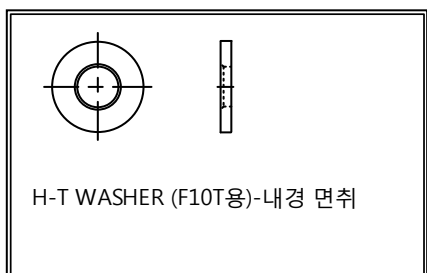
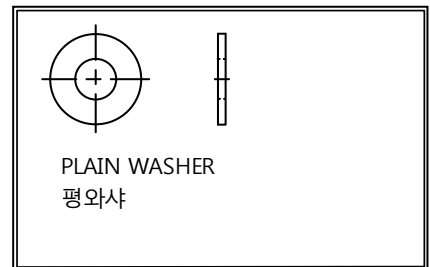
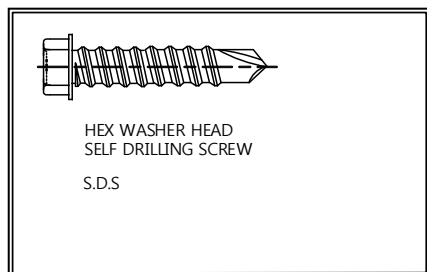
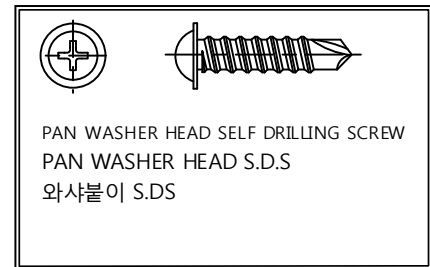
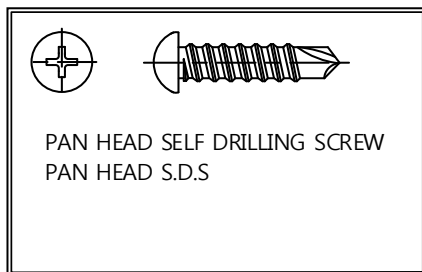
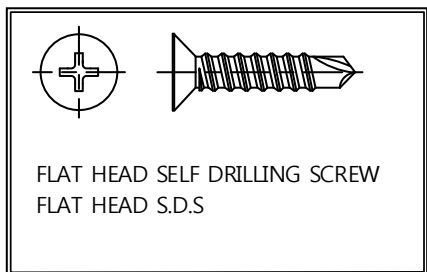
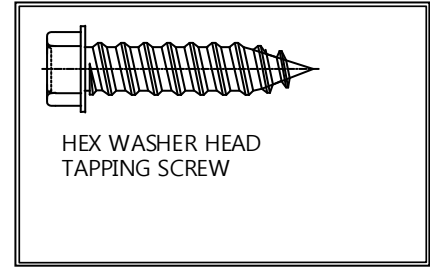
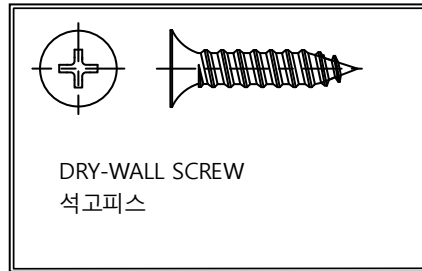
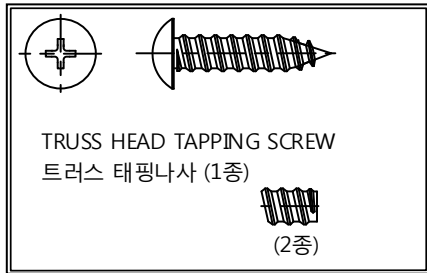
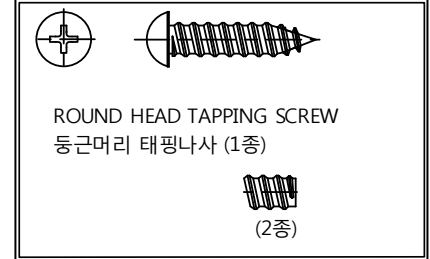
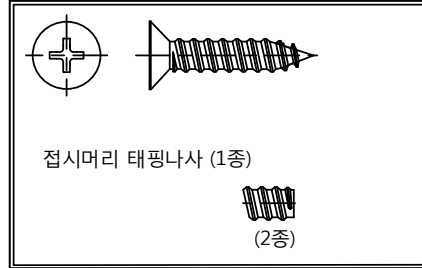
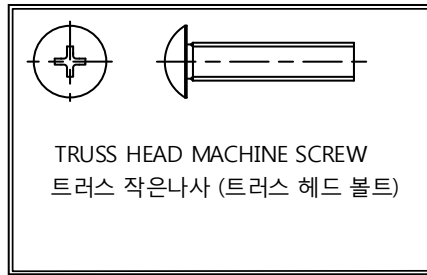
STRONG ANCHOR  
스트롱 양카

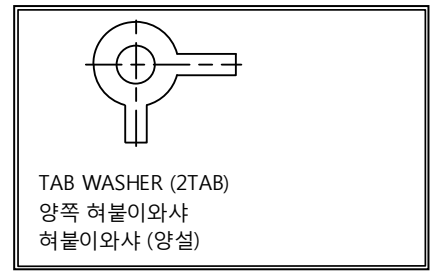
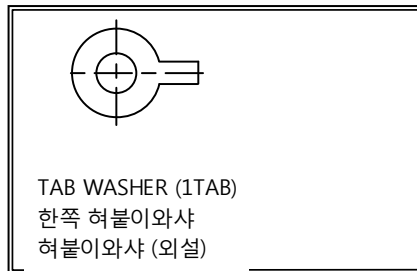
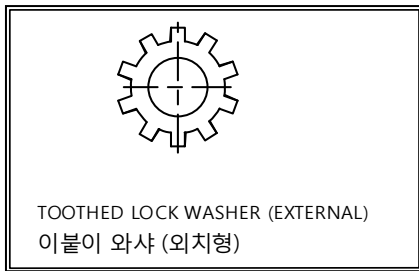


FLAT HEAD MACHINE SCREW  
접시머리 작은나사 (볼트)



ROUND HEAD MACHINE SCREW  
둥근머리 작은나사 (볼트)





## 4. 볼트의 기계적 성질

### 4-1 기계적 성질

체결력을 감당하는 나사부품의 주체는 볼트이므로 규격에서도 주로 수나사의 강도와 관련한 기계적 성질에 대하여 규정하고 있다. KS B 0233(볼트, 작은 나사의 기계적 성질)에서 기계적 성질을 대상으로 하는 시험대상 항목은 다음과 같다.

- ①인장강도 ②경도 ③항복점 또는 내력 ④보증하중 ⑤신장도(연신율) ⑥뺨기인장강도  
⑦충격강도 ⑧두부타격강도 ⑨나사부의 탈탄 및 비탈탄

한편 너트의 시험대상 항목으로는 ①보증하중과 ②경도가 규정되어 있다. 이러한 기계적 성질들을 규정함은 무작위 샘플링에 의한 시험편으로 각종 시험을 실시하여 통계적으로 정량화된 품질관리를 하도록 함으로서 나사부품들이 설계상이나 실제 사용현장의 차이에 구애됨이 없이 그 기능을 다할 수 있도록 하기 위함이다.

### 4-2 볼트의 기계적 성질시험

1) 인장시험(tensile test) : 인장시험기를 사용하여 치구를 체결한 볼트세트에 적절한 인장하중을 부하한다. 하중의 부하는 천천히 증가시키며 강도 구분에 따라 규격에서 정한 최소 인장하중에서 시험볼트가 파손되지 않는 것을 확인 한 후, 하중을 계속 증가시켜 볼트를 파단시킨다. 대체로 인장시험시 파단은 주로 볼트와 너트가 물리기 시작하는 제 1 나사부에서 발생하며 이때의 하중이 인장강도를 계산하는 기준이 된다.

인장강도는 파단하중을 나사부 유효 단면적으로 나눈 값이다. 나사부 이외의 부분이 파단되었을 때에는 시험방법의 적절여부와 볼트(특히 파단면 부근)에 켄칭 균열과 같은 제조시의 결함유무에 대하여 세심히 관찰해야 한다.

☞ 단면 수축률(Reduction of area) : 인장 시험에 있어서 시험편 절단 후에 생기는 나중 단면적과 그의 처음 단면적과의 차와 원단면적에 대한 백분율을 말한다.

$$\text{단면수축률} = \frac{(A_0 - A)}{A_0} \times 100 (\%)$$

A : 나중 단면적

A<sub>0</sub> : 처음 단면적

2) 경도시험(hardness test) : 인장강도와 경도와는 어느 정도의 범위에서 정비례하는 것으로 알려져 있으므로 시편의 제작이나 시험기에 걸기 곤란할 정도로 짧거나 작은 볼트에서는 경도시험을 하고 이로부터 인장강도를 추정하기도 한다.

제품이 단단한가 무른가는 일반적으로 줄(file)을 대어보면 손의 감각으로 어림잡을 수도 있으며 KS 규격에서는 브리넬(HB) 경도계나 로크웰(HR) 경도계를 사용하도록 규정하고 있다.

전자는 강구(鋼球)를 시험하고자 하는 시편의 표면에 일정하중으로 압입시켜 패어 들어간 자국의 면적을 구한다. 후자는 다이아몬드 원추를 압입시켜 그 들어간 깊이를 측정한다.

볼트의 경도는 측정하는 위치에 따라 그 값이 달라지는 것이 보통이다. 간단히 잴 수 있으므로 나사의 끝 부분에서 재는 경우가 많으나 나사끝은 평탄하지 않으므로 연삭기로 평탄하고 매끄럽게 연마하고 면이 축심에 직각이 되도록 한다. 때로는 볼트 머리부 쪽을 이용하기도 하는데 마크나 기타 요철은 그라인더로 매끈하게 연삭한 면을 시험기의 앤빌에 접촉하도록 한다. 긴 볼트에서는 미동변형으로 인하여 일정한 수치 값을 얻기 어려우므로 볼트머리의 6각 측면을 이용한다.

3) 항복점과 내력(yield point and strength) : 나사용 재료와 같이 지름이 일정하고 매끈한 선재 또는 볼트에서 깎아 낸 원통 모양의 시험편을 인장시험기에 걸고 축방향으로 하중을 걸어 조용히 잡아당기는 경우를 생각하자. 하중과 이로 인하여 시편이 늘어난 양(변형량)을 측정하여 직교하는 두 축(가로축에 변형량, 세로축에 하중)에 하중-변위선도가 얻어진다.

이 곡선은 재료의 종류나 열처리의 유무에 따라 다른 형태의 곡선이 된다.

하중을 원래의 단면적으로 나눈 공칭응력을 세로축에 그리고 변형량을 원래의 길이로 나눈 변형도를 가로축에 나타내어 그리면 응력-변형도 선도가 된다.

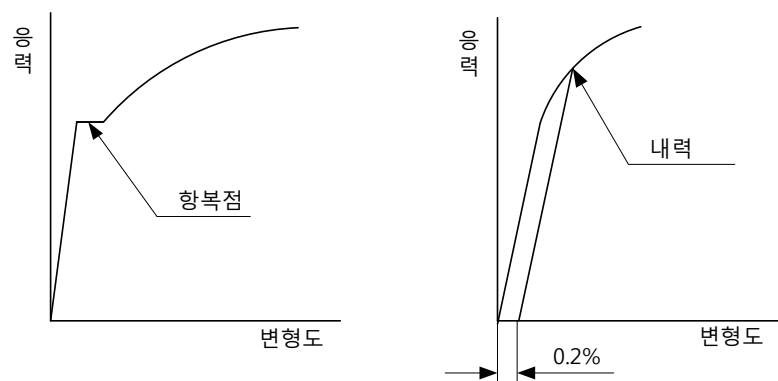
재료가 연강, 경강, 합금강 등 그 기계적 성질이 다르면 이 선도의 모양도 달라지는데 대체로 응력이나 변형도가 어떤 크기에 도달할 때 까지는 응력과 변형도간에 선형인 비례관계가 유지되다가 이 한계점을 지나면 비선형관계를 보인다. 선형비례관계인 직선부분의 경사는 매우 급하며 이 직선부의 어느 위치에서 하중을 제거하여도 원래의 상태인 변형도가 0인 위치(원점)로 돌아간다. 이러한 성질이 바로 탄성(elasticity)이다.

하중의 증가로 응력이 커짐에 따라 선형성을 잃은 변형이 일어나면 하중을 제거하여도 원래의 상태로 돌아가지 않는 항복(yielding) 변형이 일어나며 항복이 일어나기 시작할 때의 응력이 항복점이다.

재료에 따라서는 항복점을 발견할 수 없는 연속 곡선형태로 응력-변형도 관계가 이루어지거나 상, 하 항복점으로 구별되는 성질을 보이기도 한다.

그림은 응력-변형도 선도의 대표적인 두 가지 예이다.

그림의 경우처럼 항복점이 명확히 나타나지 않는 경우에는 0.2%의 영구변형(잔류변형)을 일으키는 응력점을 내력점(耐力点) 또는 그냥 내력이라 부르고  $\sigma_{0.2}$ 로 표기한다.



응력 - 변형도 선도



4) 보증하중시험(proof load test) : 볼트, 너트 세트를 인장시험기에 걸고 규격에서 설정한 하중(보증하중)을 15초간 유지한 후 시험전과 비교하여 얼마나 늘어났는지를 측정한다.

보증하중은 항복점의 약 90%로 설정되어 있다. 보증하중시험에서 합격은 하중을 걸기 전과 후의 차이가  $12.5\mu\text{m}$  이내이고 길이가 측정정밀도  $\pm 5\mu\text{m}$ 로 규격에서 정하고 있으므로 적절한 측정 정밀도를 가져야 한다.

5) 연신율(elongation) : KS B 0801 (금속재료 인장시험편)에 따른 시험편과 KS B 0802 (금속재료 인장시험방법) 및 KS B 5521 (인장시험기)에 의거 시험편이 늘어난 길이(신장)를 측정한다.

표준 인장시험편은 평행부에 지름의 5배에 해당하는 길이를 두개의 표점으로 표시하고 하중 증가에 따라 이 표점거리의 변화를 측정하여 신장값으로 하고 이를 원래의 표점거리로 나눈 값이 연신율(인장변형도)이며 이에 100을 곱한 것이 %로 표시된 연신율이다.

6) 쐐기인장시험(wedge tensile test) : 그림 1.22에 보인 바와 같이 볼트 머리부의 자리면에 볼트 호칭과 길이에 따라  $4^\circ$ ,  $6^\circ$ ,  $10^\circ$ 의 쐐기를 대고 인장시험기와 같이 인장시험기로 하중을 가한다.

이 시험에서 쐐기가 없을 때 최저 인장강도 내에서는 파괴되지 않고 이보다 큰 하중에서 파괴되었을 때 머리부와 축부의 연결부분인 목 밑 등근부에서 끊어지지 않아야 합격으로 한다. 이는 볼트의 목 밑 부분 등금새의 적정 여부와 이 부분의 충격에 대한 에너지 흡수 능력을 가늠하는 지표가 된다.

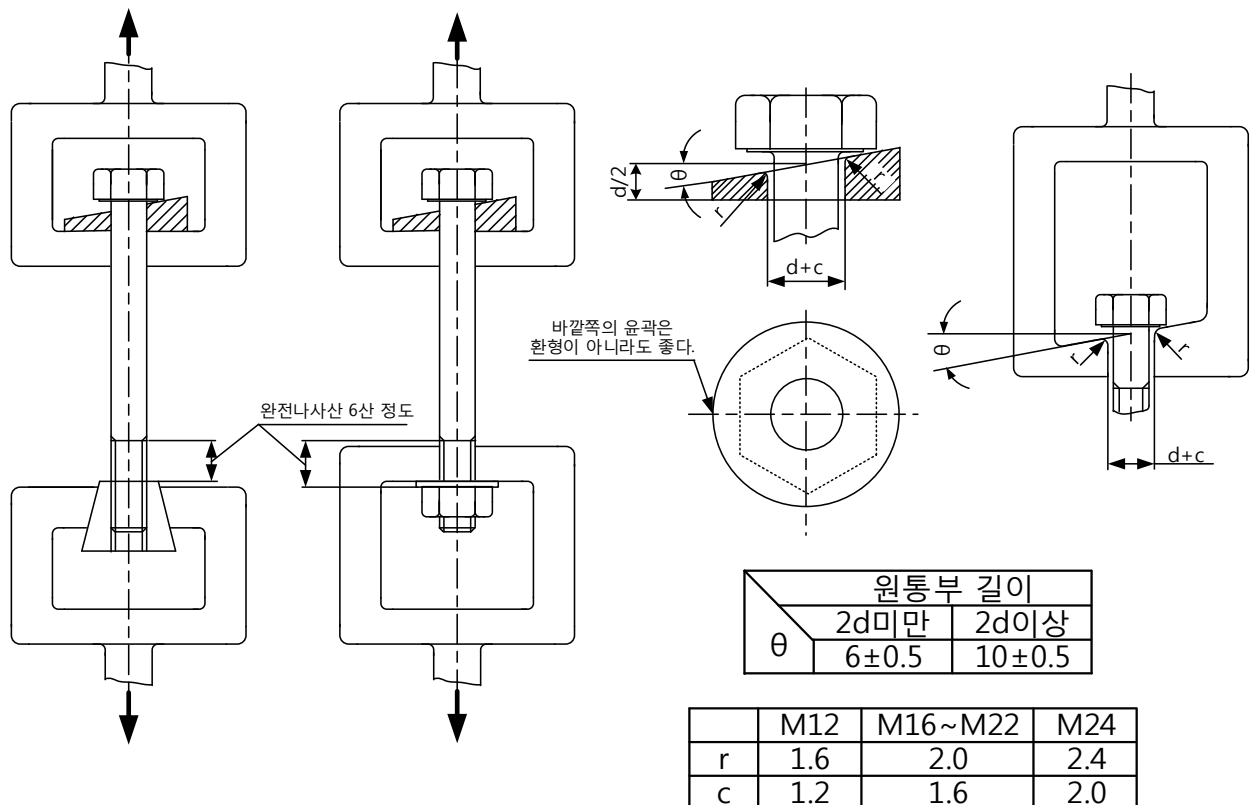


그림 1.22 쐐기인장시험 지그와 세팅

7) 전단시험(shearing test) : 금속재료의 전단강도는 보통 인장강도의 60~70% 정도로 규정되며 실제 실험에서도 이 범위의 값이 얻어진다. KS에서는 인장시험을 사용하는 시험만을 규정하고 있고 전단시험에 대하여는 별도로 지정하지 않고 있으나 경우에 따라 전단강도가 사용중의 볼트내력을 좌우하는 인자가 되는 경우에는 전단시험을 통하여 그 강도를 알 필요가 있다. 이 때에 1면 전단 또는 2면 전단형태의 지그를 사용하고 전단에 의하여 볼트를 절단한다. 2면 전단인 경우 전단면적은 1면 전단의 2배가 된다.

8) 충격시험(impact test) : KS B 0809 (금속재료 충격시험편)에 규정된 충격시험편은 호칭지름 16mm 미만의 볼트에서는 잘라내기 곤란하다. 지름 16mm 볼트에서는 10mm 각봉형태의 시험편절단이 가능하다. 볼트축에 평행하게 10mm 각의 시험편을 깎아내고 중심부근에 U자형의 홈을 새겨 넣는다. 이 홈의 등쪽을 망치를 들어올려서 내려치는 샤르피시험기로 충격강도를 조사한다. 충격치는 저온에서 사용되는 기계류에서 사용하는 나사 또는 한냉지에서 사용할 때 특히 중요한 의미를 지닌다. 저온에서 강재는 깨지기 쉬운 취성을 띄기 때문이다.

9) 머리부 타격시험(head soundness test) : 그림1.23과 같이  $\beta=60^\circ$  또는  $80^\circ$ 의 기울기를 가진 구멍에 볼트를 끼우고 머리가 수평하게 될 때까지 망치로 머리부에 타격을 가하여 목밀 동근부가 갈라지거나 균열이 발생하였는지의 여부를 조사하는 실험이다. 볼트머리 목밀 부분의 에너지 흡수능력 즉 인성을 시험하는 간단하고 유효한 방법이기도 하나 굵은 볼트에 적용이 곤란하다.

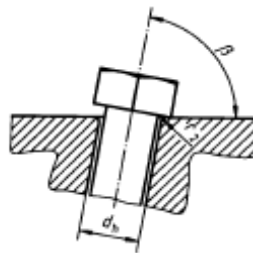


그림1.23. 볼트 머리부 타격시험

10) 탈탄시험(decarburization test) : 볼트의 중심부나 표면은 같은 조성이어야 균일한 물성을 나타내게 되는데 강재의 표면이 열이나 환경에 영향을 받아 표면부의 탄소성분이 빠져 나가고 철분만이 남게되어 표면부분이 약해지는 현상을 탈탄이라 한다. KS D 0216-1985(강의 탈탄층 깊이 측정방법)에서는 이 탈탄층의 깊이를 측정하는 시험방법을 규정하고 있다.

볼트, 작은나사의 나사산은 일반적으로 전조에 의하여 형성되며 재료의 표피부분이 나사산이 된다. 따라서 탈탄된 표피부분이 나사산이 되었을 경우 볼트의 나사 부분이 탈탄으로 인하여 열처리 효과를 충분히 얻지 못하고 약해지므로 볼트 나사산의 파손에 의한 사고의 위험을 안게 된다. 또 목밀 동근부의 탈탄도 이 부근의 응력 집중을 고려하면 매우 위험하다.

퀀칭-템퍼링으로 열처리하는 조질 볼트에서는 탈탄검사가 의무화 되어 있다.

탈탄은 볼트소재인 선재(봉강 또는 코일)의 제조과정에서 일어나는 탈탄과 볼트의 제조 공정에서 열처리시 발생하는 탈탄으로 대별된다. 검사는 선재 블랭크를 헤더(헤딩머신, 볼트머리 성형기)에 보내기전과 열처리한 볼트를 중심축에 따라 세로로 자르고 절단면을 연마/부식시켜 현미경으로 보거나 마이크로 비커스 경도계로 경도를 측정하여 탈탄여부 검사가 이루어진다.

6각 볼트의 경우 KS B 1002에 의하면 탈탄은 그림에서 보는 바와 같이 탈탄 부분이  
 골밑에서 기준나사산 높이의 1/10이하, 그리고 산봉우리까지의 비탈탄부분이 2/3 이상이  
 되도록 규정되어 있다. 우리나라 규격에서는 KS B 1002 뿐만 아니라, 각종 나사 부품의  
 규격내에서 탈탄에 대한 제한 규격을 병기하고 있는데 이들의 내용은 대체로 위의  
 기준에 준한다.

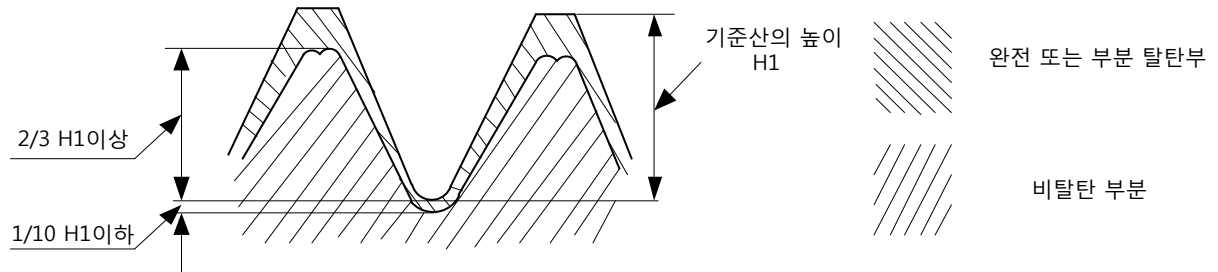








그림. 나사산 단면의 탈탄

### 4-3 볼트 및 너트의 강도별 기계적성질 및 일반적인 사용자재




#### 4-3-1 볼트의 기계적성질




\* 연신율 및 단면감소율 등은 표시하지 않고 인장강도, 항복강도, 경도를 위주로 표시하였음.

재질 마크	강도	일반적인 사용자재	적용규격 범위	인장강도 Min(N/mm <sup>2</sup> )	항복강도 Min(N/mm <sup>2</sup> )	보증하중 (N/mm <sup>2</sup> )	경도
	KS B0233 JIS B1051 4.8	SWRCH 10A S10C, S20C 등		420	340	310	HRB71~B95.0
	KS B0233 JIS B1051 8.8	S45C 51B20 등 보론강 SCM435, SCM440	d ≤ 16	800	640	580	HRC 22~C32
			d > 16	830	660	600	HRC 23~C34
 	KS B0233 JIS B1051 10.9	SCM435, SCM440  51B20 등 보론강 (보론외 기타합금 원소포함할것)		1040	940	830	HRC 32~C39
	KS B0233 JIS B1051 12.9	SCM435, SCM440		1,220	1,100	970	HRC 39~C44
	KS B1010 JIS B1186 F8T	S45C 51B20 등 보론강 SCM435, SCM440	M12 ~ M30	784.5~980.7	627.6		HRC 18~C31
	KS B1010 JIS B1186 F10T	51B20 등 보론강 (보론외 기타합금 원소포함할것) SCM435, SCM440		980.7~1176.8	882.6		HRC 27~C38
	KS B1010 JIS B1186 F11T	51B20 등 보론강 (보론외 기타합금 원소포함할것) SCM435, SCM440		1078.7~1274.9	931.6		HRC 30~C40












\* 보론강종 단순히 BORON만 첨가된 자재는 10.9용으로 부적절할 수 있다.

이는 인장이나 경도요건을 만족하나 보증하중에 문제를 야기할 수 있으므로 Cr 등의 기타 첨가물이 함유된 자재를 사용하여야 한다.

재질 마크	강도	일반적인 사용자재	적용규격 범위	인장강도 Min(psi)	항복강도 Min(psi)	보증하중 (psi)	경도
	SAE J429 Gr1	SWRCH 10A S10C, S20C 등	1/4" ~ 1 1/2"	60,000	36,000	33,000	HRB 70~B100
	SAE J429 Gr2		1/4" ~ 3/4"	74,000	57,000	55,000	HRB 80~B100
			1/4" ~ 1 1/2"	60,000	33,000	33,000	HRB 70~B100
	SAE J429 Gr5	S45C	1/4" ~ 1"	120,000	92,000	85,000	HRC 25~C34
			1" 초과 ~ 1 1/2"	105,000	81,000	74,000	HRC 19~C30
	SAE J429 Gr5.2	51B20 등 보론강	1/4" ~ 1"	120,000	92,000	85,000	HRC 26~C36
	SAE J429 Gr8	SCM435, SCM440	1/4" ~ 1 1/2"	150,000	130,000	120,000	HRC 33~C39
	SAE J429 Gr8.2	51B20 등 보론강 (보론외 기타합금 원소포함할것)	1/4" ~ 1"	150,000	130,000	120,000	HRC 33~C39






재질 마크	강도	일반적인 사용자재	적용규격 범위	인장강도 Min(psi)	항복강도 Min(psi)	보증하중 (psi)	경도
	ASTM A193 B7	AISI 4140 SCM440 SCM440H	2 1/2"이하	125,000	105,000	-	max HRC 35
			2 1/2" ~ 4"	115,000	95,000	-	max HRC 33
			4"초과	100,000	75,000	-	max HRC 29
	ASTM A193 B8 (Class 1)	AISI 304 (STS304,SUS304) (A276,A479 304)	-	75,000	30,000	-	max HRB 96
	ASTM A193 B8M (Class 1)	AISI 316 (STS316,SUS316) (A276,A479 316)	-	75,000	30,000	-	max HRB 96
	ASTM A193 B8 (Class 2)	AISI 304 Strain Hardened (STS304,SUS304) (A276,A479 304)	3/4"이하	125,000	100,000	-	max HRC 35
			3/4" ~ 1"	115,000	80,000		
			1" ~ 1 1/4"	105,000	65,000		
			1 1/4" ~ 1 1/2"	100,000	50,000		
	ASTM A193 B8M (Class 2)	AISI 316 Strain Hardened (STS316,SUS316) (A276,A479 316)	3/4"이하	110,000	96,000	-	max HRC 35
			3/4" ~ 1"	100,000	80,000		
			1" ~ 1 1/4"	95,000	65,000		
			1 1/4" ~ 1 1/2"	90,000	50,000		
	ASTM A193 B16	Cr-Mo-Va Alloy Steel (B16)	2 1/2"이하	125,000	105,000	-	max HRC 35
			2 1/2" ~ 4"	110,000	95,000	-	max HRC 33
			4"초과	100,000	85,000	-	max HRC 29
	ASTM A193 B8C (Class 1)	AISI 347 (STS347,SUS347) (A276,A479 347)	-	75,000	30,000	-	max HRB 96
	ASTM A193 B8T	AISI 321 (STS321,SUS321) (A276,A479 321)	-	75,000	30,000	-	max HRB 96
	ASTM A307 Gr A	SWRCH 10A S10C, S20C 등	-	60,000	-	-	HRB 69~100
	ASTM A307 Gr B		-	60,000 ~ 100,000	-	-	HRB 69~95
	ASTM A320 L7	AISI 4140 AISI 4142 AISI 4140	2 1/2"이하	125,000	105,000	-	-
	ASTM A320 L7M	AISI 4140 AISI 4142 AISI 4140	2 1/2"이하	100,000	80,000	-	max HRB 99
	ASTM A320 B8 (CLASS 1)	AISI 304 (STS304,SUS304) (A276,A479 304)	-	75,000	30,000	-	max HRB 96
	ASTM A320 B8M (CLASS 1)	AISI 316 (STS316,SUS316) (A276,A479 316)	-	75,000	30,000	-	max HRB 96






재질 마크	강도	일반적인 사용자재	적용규격 범위	인장강도 Min(psi)	항복강도 Min(psi)	보증하중 (psi)	경도
	ASTM A320 B8 (CLASS 2)	AISI 304 Strain Hardened (STS304,SUS304) (A276,A479 304)	3/4"(20)이하	125,000	100,00	-	max HRC 35
			3/4"(20)~1"(25)	115,000	80,000		
			1"(25)~1 1/4"(32)	105,000	65,000		
			1 1/4"(32)~1 1/2"(40)	100,000	50,000		
	ASTM A320 B8M (CLASS 2)	AISI 316 Strain Hardened (STS316,SUS316) (A276,A479 316)	3/4"(20)이하	110,000	95,000	-	max HRC 35
			3/4"(20) ~ 1"(25)	100,000	80,000		
			1"(25) ~ 1 1/4"(32)	95,000	65,000		
			1 1/4"(32)~1 1/2"(40)	90,000	50,000		
	ASTM A320 B8C (CLASS 1)	AISI 347 (STS347,SUS347) (A276,A479 347)	-	75,000	30,000	-	max HRB 96
	ASTM A320 B8T (CLASS 1)	AISI 321 (STS321,SUS321) (A276,A479 321)	-	75,000	30,000	-	max HRB 96
	ASTM A325 TYPE 1	S45C 10B30, 10B33 SCM435, SCM440	1/2" ~ 1"	120,000	85,000	-	HRC 25~C34
			1 1/8" ~ 1 1/2"	105,000	74,000	-	HRC 19~C30
	ASTM A325M TYPE 1	S45C 10B30, 10B33 SCM435, SCM440	M20 ~ M80	830MPa	660MPa	-	HRC 23~C34
	ASTM A354 Gr BC	SCM435, SCM440	1/4" ~ 2 1/2"	125,000	109,000	-	HRC 26~C36
			2 1/2"초과	115,000	99,000	-	HRC 22~C33
	ASTM A354 Gr BD		1/4" ~ 2 1/2"	150,000	130,000	-	HRC 33~C39
			2 1/2"초과	140,000	115,000	-	HRC 31~C39
	ASTM A449 TYPE 1	S45C 10B30, 10B33 SCM435, SCM440	1/4" ~ 1"	120,000	92,000	-	HRC 25~C34
			1"초과 ~ 1 1/2"	105,000	81,000	-	HRC 19~C30
			1 1/2"초과 ~ 3"	90,000	58,000	-	HB 183~235 (HRB90~99)
	ASTM A490 TYPE 1	SCM435, SCM440	1/2" ~ 1 1/2"	150,000 ~ 170,000	130,000	-	HRC 33~C38
	ASTM A490M TYPE 1	SCM435, SCM440	M12 ~ M36	1040 MPa	940 MPa	-	HRC 33~C39

#### 4-3-2 너트의 기계적성질

재질 마크	강도	일반적인 사용자재	적용규격 범위	보증하중 N/mm2	경도
	KS B0234 JIS B1052 4T	SWRCH 10A S10C, S20C 상당	M1.6 ~ M39	510 (N/mm2)	max HRC 30
	KS B0234 JIS B1052 8T	S45C 51B20 등	M1.6 ~ M39	929 (N/mm2)	max HRC 30
	KS B0234 JIS B1052 10T	S45C 51B20 등	M1.6 ~ M39	1060 (N/mm2)	HRC 28~C38

재질 마크	강도	일반적인 사용자재	적용규격 범위	보증하중 (psi)	경도
	KS B1010 JIS B1186 F8	S45C  51B20 등	M12 ~ M30	80 (kgf/mm2)	HRB 85~HRB 100
	KS B1010 JIS B1186 F10		M12 ~ M30	100 (kgf/mm2)	HRB 85~HRC 35
	SAE J995 Gr 2	SWRCH 10A S10C, WS20C 상당	1/4" ~ 1 1/2"	90,000	max HRC 32
	SAE J995 Gr 5	S45C	1/4" ~ 1"	120,000	max HRC 32
		51B20 등	1"초과 ~ 1 1/2"	105,000	
	SAE J995 Gr 8	S45C  51B20 등	1/4" ~ 5/8"	150,000	HRC 24~C32
			5/8"초과 ~ 1"		HRC 26~C34
			1"초과 ~ 1 1/2"		HRC 26~C33

재질 마크	강도	일반적인 사용자재	적용규격 범위	보증하중 (psi)		경도
	ASTM A194/194M Gr 1	S45C	1/4" ~ 4"	Heavy 130,000 (895MPa)	Min HRB 70  (Sample N:min HRB89)	
				HEX 120,000 (825MPa)		
	ASTM A194/194M Gr 2H	S45C	1/4" ~ 1 1/2"(M36)	Heavy 175,000 (1205MPa)	HRC 24~38  (Sample N:min HRB89)	
				HEX 150,000 (1035MPa)		
			1 1/2"(M36)초과 ~ 4"	-	-	HRB 95 ~ HRC 38 (Sample N:min HRB79)
	ASTM A194/194M Gr 4	AISI4140 (SCM440)	1/4" ~ 4"	Heavy 175,000 (1205MPa)	HRC 24~C38  (Sample N:min HRB94)	
				HEX 150,000 (1035MPa)		
	ASTM A194/194M Gr 7	AISI 4140 (SCM440)	1/4" ~ 4"	Heavy 175,000 (1205MPa)	HRC 24~C38  (Sample N:min HRB94)	
				HEX 150,000 (1035MPa)		
	ASTM A194/194M Gr 8	AISI 304 (STS304,SUS304) (A276,A479 304)	1/4" ~ 4"	Heavy 80,000 (550MPa)	HRB 60~B105	
				HEX 75,000 (515MPa)		
	ASTM A194/194M Gr 8M	AISI 316 (STS316,SUS316) (A276,A479 316)	1/4" ~ 4"	Heavy 80,000 (550MPa)	HRB 60~B105	
				HEX 75,000 (515MPa)		
	ASTM A194 Gr 16	B16	1/4" ~ 4"	Heavy 175,000 (1205MPa)	HRC 24~C38  (Sample N:min HRB94)	
				HEX 150,000 (1035MPa)		
	ASTM A194 Gr 8C	AISI 347 (STS347,SUS347) (A276,A479 347)	1/4" ~ 4"	Heavy 80,000 (550MPa)	HRB 60~B105	
				HEX 75,000 (515MPa)		
	ASTM A194 Gr 8T	AISI 321 (STS321,SUS321) (A276,A479 321)	1/4" ~ 4"	Heavy 80,000 (550MPa)	HRB 60~B105	
				HEX 75,000 (515MPa)		

재질 마크	강도	일반적인 사용소재	적용규격 범위	보증하중 (psi)		경도
	ASTM A563 Gr 0	SWRCH 10A S10C, S20C 상당	1/4" ~ 4"	HEX	Non Zinc 69,000 Zinc 52,000	HRB 55~C32
	ASTM A563 Gr A	SWRCH 10A S10C, S20C 상당	1/4" ~ 4"	Heavy	100,000 75,000	HRB 68~C32
			1/4" ~ 1 1/2"	Hex	90,000 68,000	
	ASTM A563 Gr B	S45C 51B20 등	1/4" ~ 1"	Heavy	133,000 100,000	HRB 69~C32
			1 1/8" ~ 1 1/2"		116,000 87,000	
			1/4" ~ 1"	Hex	120,000 90,000	
			1 1/8" ~ 1 1/2"		105,000 79,000	
	ASTM A563 Gr C	S45C	1/4" ~ 4"	Heavy	Non Zinc 144,000 Zinc 144,000	HRB 78~C38
	ASTM A563 Gr DH	S45C	1/4" ~ 4"	Heavy	Non Zinc 175,000 Zinc 150,000	HRC 24~C38
	ASTM A563M Gr 8S	S45C 51B20 등	M12 ~ M36	1,075 MPa		HRB 89~HRC 38
	ASTM A563M Gr 10S	S45C 51B20 등	M12 ~ M36	1,250 MPa		HRC 26~C 38
				over tap	1,165 MPa	

\*흔히 BOLT에 있어서 304이면 모든 규격의 304성분을 만족할것이라 생각하여 왔다.  
근래에는 특수한 목적을 위하여 많은 강종이 개발되어 사용시 특성 파악이 중요하게 되었다.  
대표적인 예로 304의 경우 냉간단조용으로 304HC를 많이 사용하여 왔는데 근래에는  
304Cu나 304J3의 사용이 증대되고 있다. 이 강종의 경우 Cr함유량에서 차이가 발생되므로  
엄격하게 적용하면 STS304, SUS304, A193 B8의 용도로는 적합하지 않다.

### 304 관련 화학성분 비교표

규격	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	Cu	N
STS304	max0.08	max1.0	max2.0	max0.045	max0.030	8.0~10.5	18.0~20.0			
SUS304	max0.08	max1.0	max2.0	max0.045	max0.030	8.0~10.5	18.0~20.0			
A193 B8	max0.08	max1.0	max2.0	max0.045	max0.030	8.0~11.0	18.0~20.0			
A320 B8	max0.08	max1.0	max2.0	max0.045	max0.030	8.0~11.0	18.0~20.0			
A276 TP304	max0.08	max1.0	max2.0	max0.045	max0.030	8.0~11.0	18.0~20.0			
A479 TP304	max0.08	max1.0	max2.0	max0.045	max0.030	8.0~10.5	18.0~20.0			
AISI304	max0.08	max1.0	max2.0	max0.045	max0.030	8.0~10.5	18.0~20.0			
304HC	max0.06	max1.0	max2.0	max0.045	max0.030	8.0~10.5	18.0~20.0	max0.60	1.0~3.0	max0.08
STS304J3	max0.08	max1.0	max2.0	max0.045	max0.030	8.0~10.5	17.0~19.0		1.0~3.0	
STS304Cu	max0.03	max1.0	max2.0	max0.040	max0.030	8.0~10.0	17.0~19.0		3.0~4.0	
XM-7	max0.08	max1.0	max2.0	max0.045	max0.030	8.0~10.5	17.0~19.0		3.0~4.0	
A2	max0.10	max1.0	max2.0	max0.050	max0.030	8.0~19.0	15.0~20.0		max4.0	

### 316 관련 화학성분 비교표

규격	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	Cu	N
STS316	max0.08	max1.0	max2.0	max0.045	max0.030	10.0~14.0	16.0~18.0	2.0~3.0		
SUS316	max0.08	max1.0	max2.0	max0.045	max0.030	10.0~14.0	16.0~18.0	2.0~3.0		
A193 B8M	max0.08	max1.0	max2.0	max0.045	max0.030	10.0~14.0	16.0~18.0	2.0~3.0		
A320 B8M	max0.08	max1.0	max2.0	max0.045	max0.030	10.0~14.0	16.0~18.0	2.0~3.0		
AISI316	max0.08	max1.0	max2.0	max0.045	max0.030	10.0~14.0	16.0~18.0	2.0~3.0		
A276 TP316	max0.08	max1.0	max2.0	max0.045	max0.030	10.0~14.0	16.0~18.0	2.0~3.0		
A479 TP316	max0.08	max1.0	max2.0	max0.045	max0.030	10.0~14.0	16.0~18.0	2.0~3.0		
A4	max0.08	max1.0	max2.0	max0.045	max0.030	10.0~15.0	16.0~18.5	2.0~3.0	max1.0	

### 4-4 나사의 조임 통칙 용어와 설명

용어	뜻	대응영어
[나사] 조임	수나사와 암나사를 끼워서 수나사 부품의 축부에 인장력, 피체결 부재에 압축력을 주는 것.	tightening
나사 체결	2개 이상의 물품(피체결 부재)을 볼트 작은나사 등의 수나사부와 너트 또는 물품에 형성된 암나사부를 끼워 맞추어 나사조임에 의하여 결합하는 방법.	thread clamping bolting
피체결부재	나사체결에 의하여 결합하는 부재 또는 부품	clamped part clamped member
나사 체결체	나사 체결부를 가진 구조물 전체 또는 나사 체결부를 포함한 구조물의 일부	bloted joint
축력	수나사 부품의 축부에 작용하는 인장력	axial tension
조임력	조임에 의하여 수나사 부품의 축부에 작용하는 인장력(축력) 또는 조임에 의하여 피체결 부재에 작용하는 압축력. 다만, 특별히 양자를 구별할 필요가 있는 경우에는 전자를 조임축력이라 한다.	clamping force
초기 조임력	조임작업 종료 직후의 조임력. 다만, 분명한 경우에는 단순히 조임력 또는 조임축력이라 하여도 좋다.	inital clamping force
조임토크	초기 조임력을 생기게 하기 위하여 너트 또는 수나사 부품을 회전시키는데 필요한 토크	tightening torque
[조임]회전각	초기 조임력을 생기게 하기 위한 수나사 부품과 암나사 부품의 상대 회전각	tightening angle
탄성역 조임	조임에 의하여 볼트가 항복되지 않는 범위의 조임	elastic-region tightening
소성역 조임	조임에 의하여 볼트가 항복하는 범위의 조임	plastic-region tightening
조임관리	조임 작업에서 초기 조임력의 관리	tightening control

토크[조임]법	조임 토크를 지표로 하여 조임 관리를 하는 방법	torque control method, calibrated wrench method
회전각 [조임]법	조임 회전각을 지표로 하여 조임 관리를 하는 방법	angle control method, turn-of-nut method
토크 기울기 [조임]법	조임 회전각에 대한 조임 토크기울기의 변화를 지표로 하여 조임 관리를 하는 방법	torque gradient control method
토크계수[값]	조임 토크와 초기 조임력의 관계를 표시하는 비례상수	torque coefficient
나사부 토크	조임토크 중 접촉하는 수나사 플랭크와 암나사 플랭크 사이(끼워진 나사부)에 작용하는 토크	torque on fitted portion of threads
자리면 토크	조임토크 중 너트 또는 볼트의 자리면과 피체결 부재 자리면 사이에 작용하는 토크	torque on bearing surfaces
나사면 마찰계수	수나사 플랭크와 암나사 플랭크 사이의 마찰계수	coefficient of friction between threads
자리면 마찰계수	너트 또는 볼트의 자리면과 피체결 부재 자리면 사이의 마찰계수	coefficient of friction between bearing surfaces
조임계수	초기 조임력의 편차를 나타내기 위한 초기 조임력의 최대치와 최소치의 비	tightening coefficient
항복조임축력	조임에 의하여 볼트가 항복되었을 때의 축력값	yield clamping force
항복조임토크	조임에서 축력이 항복 조임 축력에 도달하였을 때의 조임 토크값	yield tightening torque
극한조임축력	조임에서 볼트가 파단될 때 까지 발생하는 최대 축력값	ultimate clamping force

#### 4-5 볼트의 체결 토오크

볼트의 체결에 있어서 장비들이 발전하면서 신속하고 균일한 체결력을 유지하고자 체결토오크에 대한 관심이 상당히 증가하고 있다. 그러나 현실에서는 볼트의 여러 강도 요건에 대하여 체결 토오크에 대한 명확한 기준들이 설정되어 있지 않다.

볼트의 체결 토오크 (Tightening Torque)는 다음과 같이 표현된다.

$$T = k \times d \times F$$

T : 체결토오크 (Tightening Torque)

k : 토크계수치

lubricated : K=0.15

zinc plate & dry : K=0.17

plain & dry : K=0.20

d : 볼트 나사 바깥지름의 기준치수(cm)

F : 볼트 축력 (Clamp Load)

위의 식에서 보듯이 d와 F는 일정하나 K (마찰계수)에 의하여 체결토오크가 결정되면 이는 자리면이나 윤활등의 환경에 따라 다양한 변수를 가지고 있다.



따라서 여기서는 마찰접합용 고장력볼트를 제외한 볼트의 재질에 대한 체결토크의 계산과 적용기준을 제시하고자하며 이를 설계나 현장에서 절대적으로 신뢰하고 적용하는 것은 위험한 생각일 수 있으니 주의하여야 할것이다.

#### 4-5-1 BOLT의 체결토크 계산방법

예를 들어 설명하고자 하면

HEX BOLT, 10.9, M20 x 2.5P, 비도금+방청무 상태인 제품의 체결토크를 알고자 한다면 KS B 0233에서 아래의 값을 찾아 기록한다.

BOLT SIZE (mm)	Pitch	Stress Area (mm <sup>2</sup> )	Tensile Strength 인장강도	Yield Strength 항복강도	Proof Load Stress 보증하중응력
M20	2.5	245	min 1040N/mm <sup>2</sup>	min 940N/mm <sup>2</sup>	min 830N/mm <sup>2</sup>

위의 값들을 이용하여 CLAMP LOAD (축력)을 계산한다.

$$\text{CLAMP LOAD (축력 F)} = \text{Stress Area (단면적)} \times \text{Proof Load} \times 75\%$$

BOLT SIZE (mm)	Pitch	Stress Area (mm <sup>2</sup> )	Proof Load Stress (N/mm <sup>2</sup> )	Clamp Load (F) (N)
M20	2.5	245	830	152,513

다음으로 k = 0.20 (비도금,방청무 적용)를 하고 Tightening Torque (T)를 계산한다.

$$T (\text{Tightening Torque}) = K (\text{Torque 계수치}) \times \text{Dia (mm)} \times \text{CLAMP LOAD (축력 F)}$$

[ Torque 계수치 : (lubricated : K=0.15) (zinc plate & dry : K=0.17) (plain & dry : K=0.20)로 설정 ]

Torque 계수치 (K)	BOLT DIA (mm)	Clamp Load (F) (N)	Tightening Torque	
			(N-m)	(kgf-m)
0.2	20	152,513	610.05	62.25

$$T = (0.2) \times (20\text{mm}) \times (152,513 \text{ N}) = 610,052 \text{ N-mm} = (610,052/1000 \text{ N-m}) = (610,052/1000/9.8 \text{ kgf-m})$$

따라서 BOLT의 체결 기준 토크는 610N-m이다.

#### 4-5-2 BOLT의 체결토크

위의 4-5-1의 계산방법을 이용하여 강도별 제품의 체결토크를 계산하면 다음과 같다.

Grade		4.8			
Nominl Size	Stress Area mm <sup>2</sup>	Clamp Load (N)	Tightening Torque (T)		
			lubricated K=0.15 (N-m)	zinc plate&dry K=0.17 (N-m)	plain&dry K=0.20 (N-m)
M 4 x 0.7P	8.8	2,041	1	1	2
M 5 x 0.8P	14.2	3,302	2	3	3
M 6 x 1.0P	20.1	4,673	4	5	6
M 8 x 1.25P	36.6	8,510	10	12	14
M10 x 1.5P	58.0	13,485	20	23	27
M12 x 1.75P	84.3	19,600	35	40	47
M14 x 2.0P	115.0	26,738	56	64	75
M16 x 2.0P	157.0	36,503	88	99	117
M18 x 2.5P	192.0	44,640	121	137	161
M20 x 2.5P	245.0	56,963	171	194	228
M22 x 2.5P	303.0	70,448	232	263	310
M24 x 3.0P	353.0	82,073	295	335	394
M27 x 3.0P	459.0	106,718	432	490	576
M30 x 3.5P	561.0	130,433	587	665	783
M33 x 3.5P	694.0	161,355	799	905	1065
M36 x 4.0P	817.0	189,953	1026	1163	1368

Grade		8.8			
Nominl Size	Stress Area mm <sup>2</sup>	Clamp Load (N)	Tightening Torque (T)		
			lubricated K=0.15 (N-m)	zinc plate&dry K=0.17 (N-m)	plain&dry K=0.20 (N-m)
M 4 x 0.7P	8.8	3,819	2	3	3
M 5 x 0.8P	14.2	6,177	5	5	6
M 6 x 1.0P	20.1	8,744	8	9	10
M 8 x 1.25P	36.6	15,921	19	22	25
M10 x 1.5P	58.0	25,230	38	43	50
M12 x 1.75P	84.3	36,671	66	75	88
M14 x 2.0P	115.0	50,025	105	119	140
M16 x 2.0P	157.0	68,295	164	186	219
M18 x 2.5P	192.0	86,400	233	264	311
M20 x 2.5P	245.0	110,250	331	375	441
M22 x 2.5P	303.0	136,350	450	510	600
M24 x 3.0P	353.0	158,850	572	648	762
M27 x 3.0P	459.0	206,550	837	948	1115
M30 x 3.5P	561.0	252,450	1136	1287	1515
M33 x 3.5P	694.0	312,300	1546	1752	2061
M36 x 4.0P	817.0	367,650	1985	2250	2647

Grade		10.9			
Nominal Size	Stress Area mm <sup>2</sup>	Clamp Load (N)	Tightening Torque (T)		
			lubricated K=0.15 (N-m)	zinc plate&dry K=0.17 (N-m)	plain&dry K=0.20 (N-m)
M 4 x 0.7P	8.8	5,466	3	4	4
M 5 x 0.8P	14.2	8,840	7	8	9
M 6 x 1.0P	20.1	12,512	11	13	15
M 8 x 1.25P	36.6	22,784	27	31	36
M10 x 1.5P	58.0	36,105	54	61	72
M12 x 1.75P	84.3	52,477	94	107	126
M14 x 2.0P	115.0	71,588	150	170	200
M16 x 2.0P	157.0	97,733	235	266	313
M18 x 2.5P	192.0	119,520	323	366	430
M20 x 2.5P	245.0	152,513	458	519	610
M22 x 2.5P	303.0	188,618	622	705	830
M24 x 3.0P	353.0	219,743	791	897	1055
M27 x 3.0P	459.0	285,728	1157	1311	1543
M30 x 3.5P	561.0	349,223	1572	1781	2095
M33 x 3.5P	694.0	432,015	2138	2424	2851
M36 x 4.0P	817.0	508,583	2746	3113	3662

Grade		12.9			
Nominal Size	Stress Area mm <sup>2</sup>	Clamp Load (N)	Tightening Torque (T)		
			lubricated K=0.15 (N-m)	zinc plate&dry K=0.17 (N-m)	plain&dry K=0.20 (N-m)
M 4 x 0.7P	8.8	6,387	4	4	5
M 5 x 0.8P	14.2	10,331	8	9	10
M 6 x 1.0P	20.1	14,623	13	15	18
M 8 x 1.25P	36.6	26,627	32	36	43
M10 x 1.5P	58.0	42,195	63	72	84
M12 x 1.75P	84.3	61,328	110	125	147
M14 x 2.0P	115.0	83,663	176	199	234
M16 x 2.0P	157.0	114,218	274	311	365
M18 x 2.5P	192.0	139,680	377	427	503
M20 x 2.5P	245.0	178,238	535	606	713
M22 x 2.5P	303.0	220,433	727	824	970
M24 x 3.0P	353.0	256,808	925	1048	1233
M27 x 3.0P	459.0	333,923	1352	1533	1803
M30 x 3.5P	561.0	408,128	1837	2081	2449
M33 x 3.5P	694.0	504,885	2499	2832	3332
M36 x 4.0P	817.0	594,368	3210	3638	4279

## 5. 볼트의 제조과정

### 5-1 신선

- 목적 : 후공정에서 요구하는 치수로 가늘게 늘려주는 작업 (5~35%)

### 5-2 볼트성형

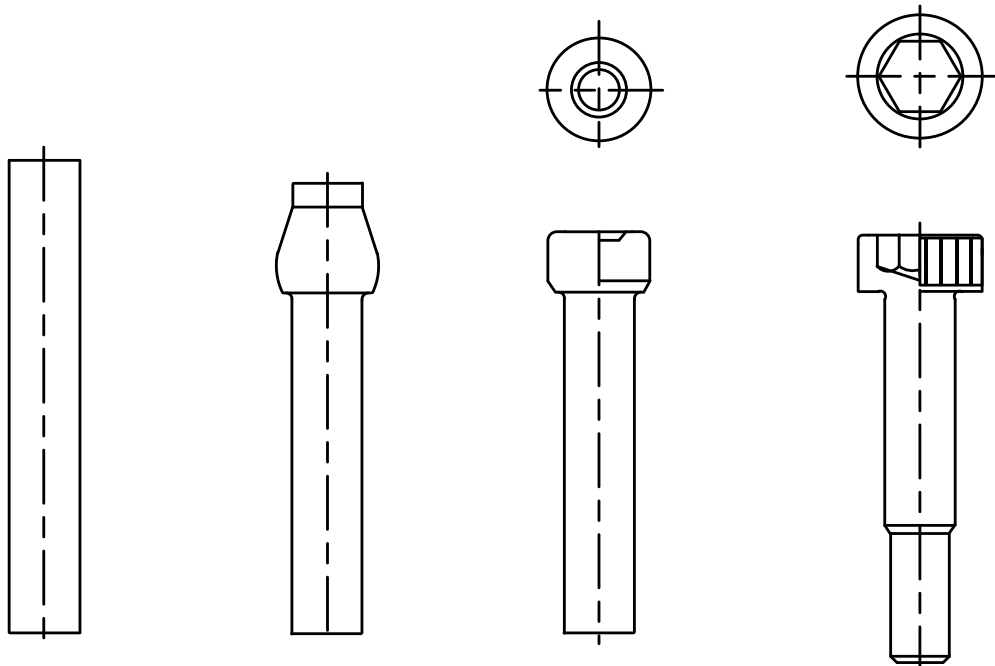
정의 : 볼트의 형상을 냉간압조시키는 작업

#### ① 냉간 성형기의 분류

성형기는 펀치의 수 및 다이스의 수에 따라 표와 같이 분류된다. 또한 성형기는 가공능력에 따라서도 분류되고, 실제의 가공에 있어서는 제품의 압조가공에 필요한 가공능력, 또한 다이스 및 펀치의 수에 의해서 많은 종류의 성형기가 있다.

압조기의 분류		다이스의 수	공정(펀치의 수)
싱글헷다		1	1
더블헷다		1	2
다단포머	2D2B	2	2
	3D3B	3	3
	2D3B	2	3
	4D4B	4	4

#### ② 공정



ㄱ) 재료의 교정 : 코일상으로 공급되는 강선은 신선가공의 권취사의 응력 때문에 휘어진 상태로 된다. 선은 성형기의 공급과정에 있어서 힘이 없는 상태로 하는 교정가공을 실시한다. 교정가공은 상하 또는 좌우에 붙어 있는 3~9개의 롤 사이에 재료를 관통시켜 강선의 힘을 제거하여 직선이 되게 한다.

ㄴ) 재료의 이송 : 이송롤러는 재료를 교정기에 통과하기 위해 당기고 그대로 절단공정의 스톱퍼 까지 장입시킨다.

ㄷ) 재료의 절단 : 재료는 소정의 절단 길이로 설정한 재료 스톱퍼까지 이송롤러에 의해 이송되고 재료를 유지하고 있는 다이스와 나이프의 전단응력에 의해 절단된다.

ㄹ) 예비성형 : 예비 성형은 강선및 가공품을 깊이 방향으로 압축가공 하는 것이다. 나사부품의 예비성형에 있어서 중요한 것은 머리에서 축으로 이어지는 메탈 플로워가 중요하다. 예비성형에 있어서의 형상은 완성 제품의 메탈 플로워에 직접적인 영향을 미치고 나사부품의 강도를 좌우한다.

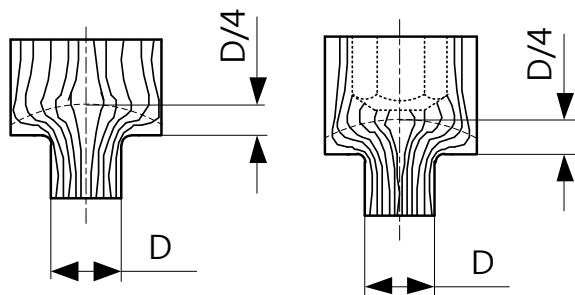


그림. 허용되는 메탈 플로워 예

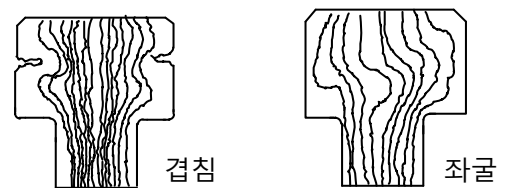
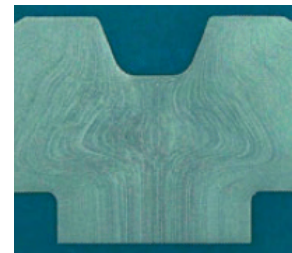
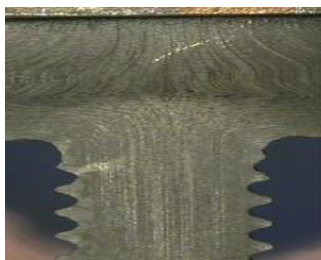


그림. 허용되지 않는 메탈 플로워 예



메탈플로워 사진

ㄹ) 압출가공 : 압출가공은 강선 또는 나사부품의 경을 가늘게 가공하는 것이고 전방압출과 후방압출이 있다.

ㅁ) 트리밍 : 원통형으로 압조한 볼트의 머리를 사각, 육각 등의 형상으로 만드는 작업이다.

### 5-3 전조

과정 : 나사의 유효경부를 전조 다이스에 밀어 붙여 굴림으로서 다이스면의 나사산이 나사 유효경으로 옮겨져 나사산이 형성된다. 특히, 나사산은 가공 경화에 의하여 강도가 절삭 나사에 비해 크다.

- 1) 롤라 로링 (수동) :
- 2) 평판로링
- 3) 로타리 로링

#### 4) 와셔 취부 로링

- 4.6T 볼트 : 와셔 끼워 전조
- 7T 볼트이상 : 열처리후 와셔 끼워 전조
- 구르는 회수가 적을시 : 나사경의 타원형 형성, 다이스의 수명감소
- 구르는 회수가 많을시 : 능률저하, 나사산면에 박리현상, 나사산의 흐름을 방해함
- 예) 연한 재질 : 구르는 횟수를 적은 쪽에  
경하고 질긴 재질 : 구르는 횟수를 늘린다.

#### 5) 불량내용

- 2중산 - 다이스 셋팅 불량시
- 나사부 표면균열, 나사산 터짐 : 소재의 실 모양의 크랙
- 산겹침 : 소재의 랩
- 나사부 주름을 동반한 균열, 다이스의 사이즈가 맞지 않는 경우  
특히, 유효경이 큰 경우 과대한 압력을 받아서 주름이 발생하며, 크랙으로 발전함.
- 유효경, 외경이 큰 경우 : 나사 유효경이 크다
- 유효경이 크고 외경이 적은 경우 : 나사산이 완전히 돌아 있으면 다이스의 나사산이 너무 낮다.
- 갈라지며, 거스러미가 일어나는 경우 : 피치 맞추기 불량, 전조압력이 너무 낮다,  
다이스면의 마모, 손상불량
- 랩 : 다이스 나사면, 골의 파손

## 6. 너트의 제조과정

### 6-1 너트의 제조법

너트의 제조방법은 너트 브랭크의 제조방법에 따라 아래와 같이 대별되고, 나사의 가공방법은 거의 공통화 되어 있다.

- 1) 냉간 단조
- 2) 열간 단조
- 3) 프레스
- 4) 절삭가공

이상의 제조방법은 그 발전단계에 있어서 각각의 분야에서 역할을 다해왔다  
여기서는 현재의 주류인 냉간단조와 열간단조에 의한 너트의 제조법과 공통적인 나사가공에 대하여 간단히 기술하고자 한다.

### 6-2 냉간 단조

냉간단조는 원형이나 육각 형상 등의 코일 상태의 재료를 상온에서 그대로 소성가공하는 방법이다.

#### 6-2-1 냉각 너트 포머

냉간 너트 포머는 크게 구분하면 2종류의 제조방법이 있는데 하나는 한대의 기계에서 재료부터 직접 너트 블랭크를 성형하는 것이고 다른 하나는 두 대의 기계에서 절단과 성형을 분담하는 방법이다. 한대의 기계에서 가능한 방법을 그림에 나타내었다.

- 1) 코일 형태의 재료를 교정기의 롤러로 기계본체까지 보낸다.



- 2) 소재를 절단 다이스에 통과시켜 재료 스톱퍼에 부딪히게 하여 나이프로 소정의 길이로 절단한다.(절단)
- 3) 절단된 블랭크는 제1번 다이에 보내져 1번 펀치에 의해 성형된다. (예비 성형)
- 4) 1번 다이에서 성형된 블랭크를 평행이송 또는 180° 회전 이송하든지 하여 2번 다이에서 예비 성형한다.
- 5) 3번 다이에서 블랭크를 마무리 성형한다. (완성성형)
- 6) 4번 다이에서 최종 피어싱을 행하여 나사내기 전의 블랭크를 만든다.(피어싱)

너트의 크기에 따라 3단~5단타 까지의 기계가 있고, 나사의 호칭으로는 M6~M20 정도 까지가 냉간 단조 분야라고 생각되고 있다.

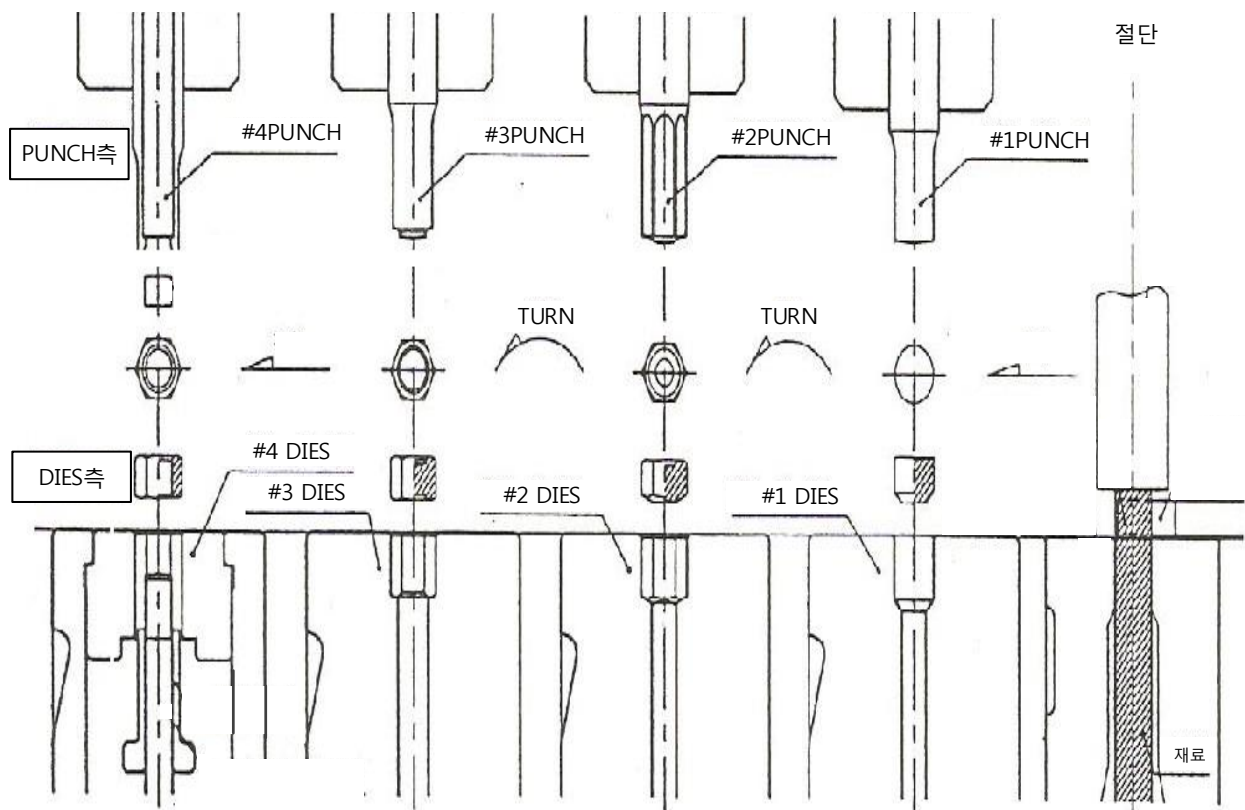


그림. 육각 너트의 냉간 단조 포머공정

## 6-2-2 열간 단조

열간 단조는 환봉 또는 코일상의 재료를 약 1250℃ 가열하여 단조 성형하는 방법이다. 열간 단조에 의해 너트를 만들기 위해서는 몇 가지 공정이 있지만 다음에 개략의 공정을 표시하였다.

재료→열간단조→열처리→쇼트처리→나사내기→표면처리→검사→포장  
 \* 나사를 낸 후 열처리를 하는 경우도 있다.



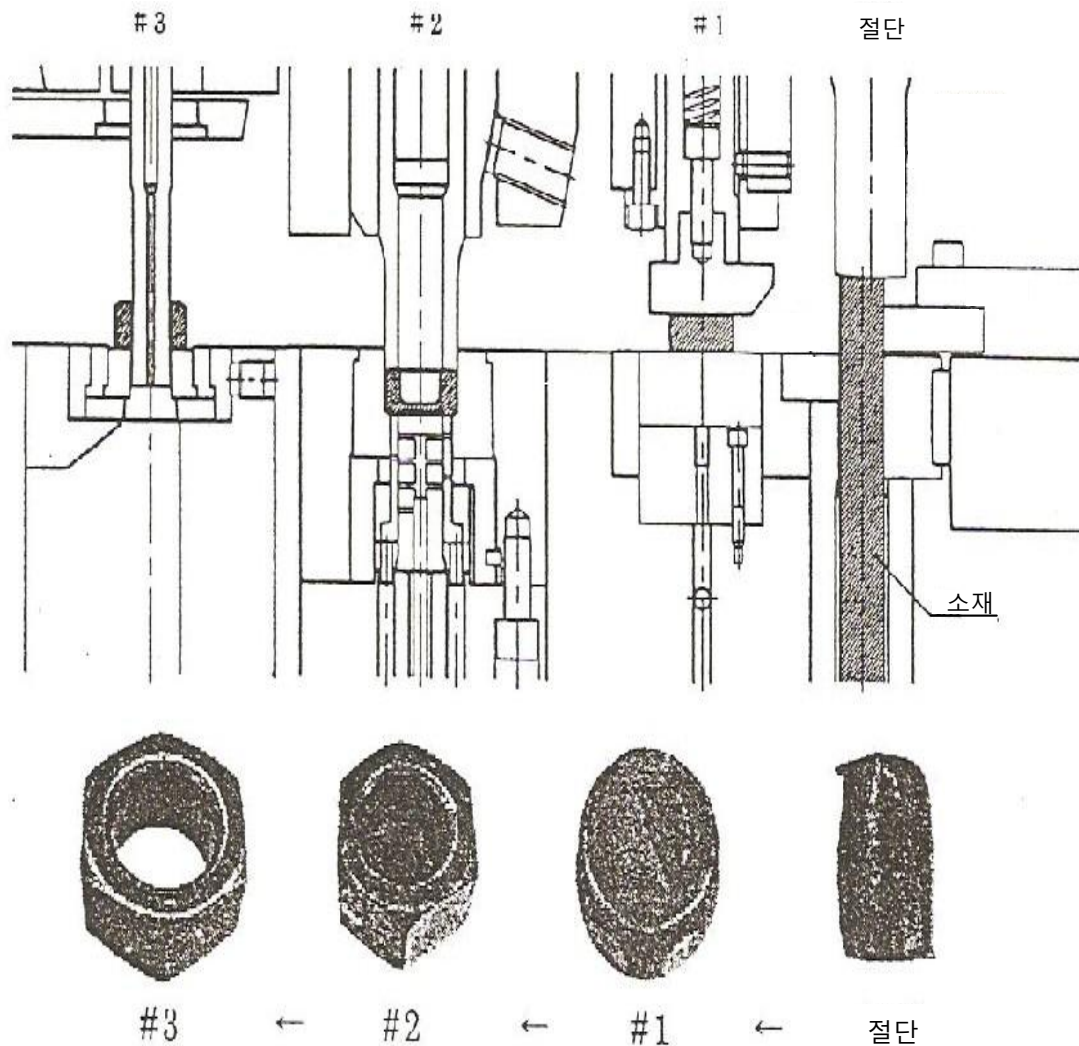


그림. 육각너트의 열간 단조 공정

### 6-3-1 열간 너트 포머

열간 너트 포머는 유럽의 기계 메이커가 선두 주자였지만 현재에는 여러 가지 기종이 구미나 일본에 개발되어 있다. 열간 너트 포머는 절단, 예비성형, 본성형, 피어싱 등을 4~6 공정으로 행하는 가공 장치를 갖고 있으며 가열된 봉재 또는 코일재를 압조 가공하여 너트 블랭크를 제조하는 기계이다. 여기서는 냉간 단조와 유사한 스위스의 하테버사(HATEBUR)의 방식에 서술해 본다.

그림에 보이는 것처럼 [1. 절단 2. 예비성형 3. 본성형 4. 피어싱]으로 이루어지는 4스테이션이 수평 동심상에 나란히 배열되어 있다.

1에서 2로 절단 나이프와 핑거에 의해 운반되고 2에서 3, 3에서 4까지는 트랜스퍼 핑거장치로 운반된다. 2, 3 및 4의 다이스 속에 각각 블랭크의 배출을 위한 이젝션 장치가 설치되어 있다. 특히 2 예비성형의 스테이션에 있어서도 여러 가지 성형이 가능하고 3, 4 스테이션과 합쳐서 복잡한 형상의 단조가 가능하다.

### 6-3-2 가열장치

열간 단조에서는 순간적으로 열을 가하여 재료(S45C 등)를 약 1250℃ 부근까지 올릴 필요가 있으므로 일반적으로는 유도가열 장치가 사용되고 있다. 가열온도에 따라 재료표면의 색이 적색이 되어 가지만 눈으로 보는 것보다도 훨씬 정확하게 온도를 측정하기 위해 옵티컬 미터를 사용한다.

### 6-3-3 냉각장치

열간 단조용 공구(펀치, 다이스 등)를 냉각하기 위하여 대량의 냉각수가 필요하다. 냉각수의 수온은 통상 28℃ 이하로 제어할 필요가 있으므로 냉각 장치를 사용한다.

<냉각수의 주용도>

설비명	냉각 개소
열간 포머	재료 이송 장치, 절단 나이프 펀치 및 다이스
가열장치 (유도가열)	가열 코일, MG 또는 싸이리스트 인버트 변압기 트랜스

## 6-4 나사가공

### 6-4-1 가공기계(자동탭핑기)

너트의 나사가공은 냉간 압조나 열간 압조에서 만들어진 블랭크의 구멍 안쪽에 탭으로 나사를 깎는 것이다. 가공 기계로는 자동탭핑기가 가장 생산성이 좋고 많이 보급되어 있으므로 이에 대해 서술해 본다.

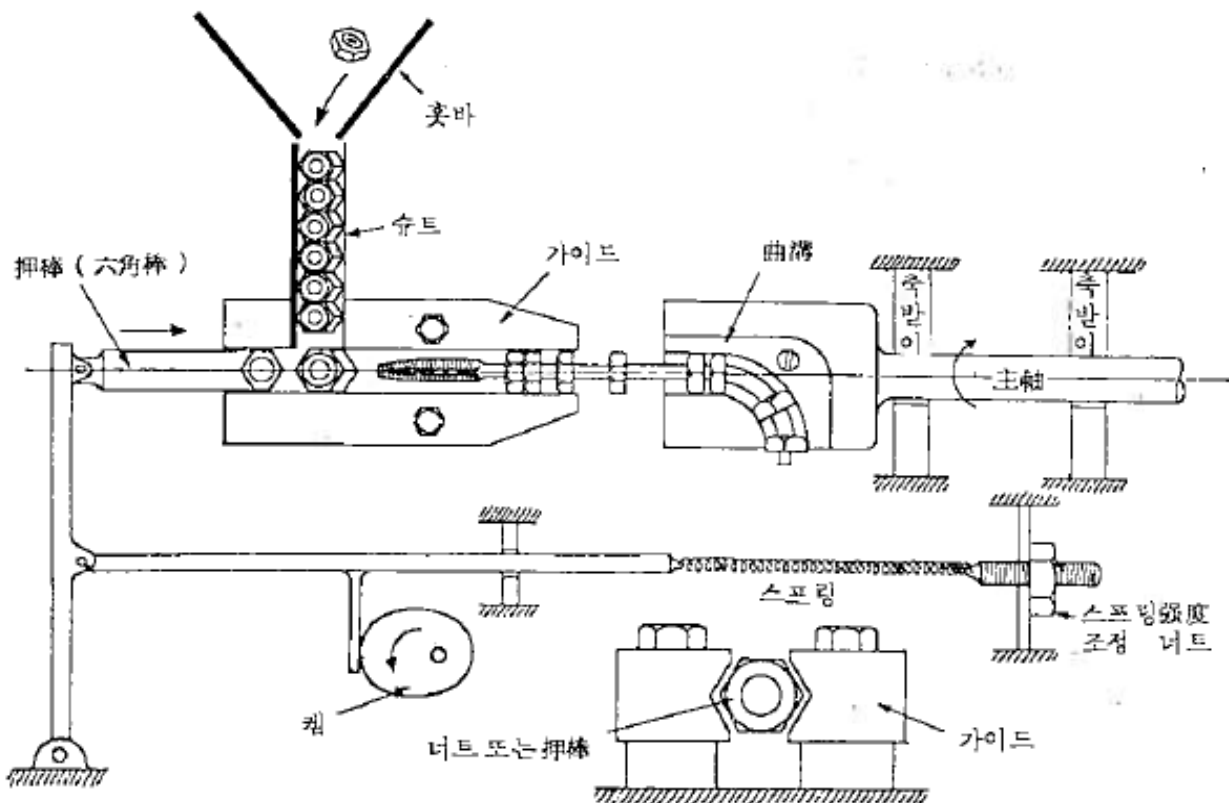


그림. Tapping 기의 원리

- 1) 자동 나사 내기는 그림과 같이 밴드 탭을 이용하여 90도로 구부린 생크부에 원심력을 가하여 탭을 회전 시킨다.
  - 2) 호퍼의 주입된 너트 블랭크는 자동적으로 슈트부를 통과하고 필대로 가이드에 삽입되어 탭에 의해 깎여져 피치 이송으로 탭핑된다.
  - 3) 나사가 난 너트는 탭생크부에 모이고 이것이 탭 자체의 축을 받쳐주어 중심 위치를 유지하게 한다.
  - 4) 그 다음의 너트가 앞에서부터 들어오면 생크부에 모여 있던 너트가 밀려 나서 원심력으로 분리되고 제품 받이에 떨어지도록 되어있다.
- 플랜지 너트 등 특수형상 너트의 탭핑에 대해서는 가이드 이동 방식이나 특수 롤러를 이용한 이송장치를 부착한 기계가 있다.

#### 6-4-2. 절삭공구(탭)

##### 1) 탭의 골수

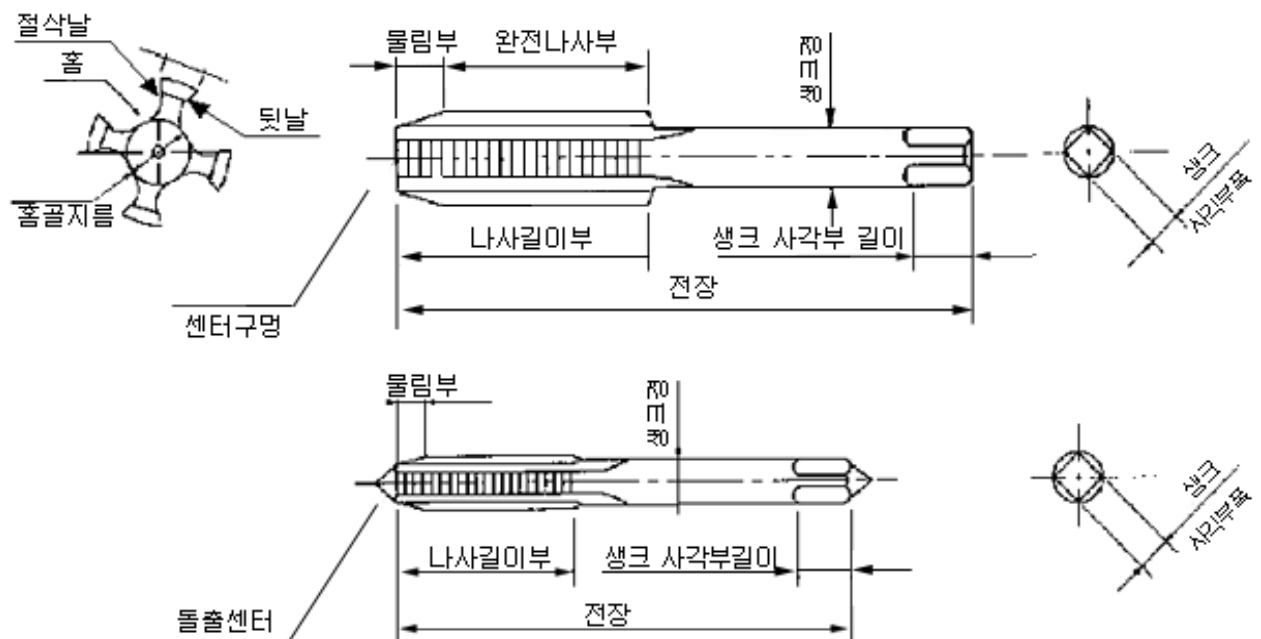
탭은 골수로 3골 4골의 두 종류가 대표적이고 대형의 탭에는 5골, 6골 짜리도 있다.  
또 절삭칩을 생기게 하지 않는 골이 없는 것도 있다.

##### 2) 탭의 종류

- ① 직선홈 탭(밴드 탭으로 일반적으로 사용)
- ② 스파이럴 탭(깊은 구멍이나 막힌 구멍의 탭핑에서 사용)
- ③ 홈 없는 탭(전조용으로 사용)

##### 3) 탭 각부의 명칭

탭 각부의 명칭을 나타내었다.



## 7. 고장력볼트 체결방법의 기본원리

### 7-1 서론

고장력볼트 접합부에서는 그 형식에 관계없이 도입되는 볼트축력이 클수록 설계내력이 증가하여 접합부의 효율을 극대화할 수 있지만 그 크기를 결정함에 있어서는 볼트의 항복강도, 파단강도, Relaxation(이완)에 의한 축력의 감소 혹은 체결작업시의 축력의 편차 등을 고려할 필요가 있다.

강구조설계기준에서는 접합부의 허용내력을 정하기 위한 고장력볼트 초기 도입축력 값으로 설계볼트장력을 규정하고 있으며 시공시에 설계볼트장력 이상의 축력 값을 확보하고 시공조건에 따른 도입 축력의 편차를 흡수하기 위해 표준볼트장력(설계볼트장력의 1.1배)을 규정해 이를 목표로 체결작업을 실시하도록 규정되어 있다.  
강구조설계기준에서의 설계볼트장력은 다음의 식으로 계산된다.

$$F8T = 0.85\sigma_y \cdot A_e$$

$$F10T = 0.75\sigma_y \cdot A_e$$

$\sigma_y$  = 볼트의 내력 최소치  
 $A_e$  = 나사부 유효단면적

고장력볼트 자체가 동일 조건의 상태인 경우, 고장력볼트 마찰접합의 내력을 좌우하는 요인으로서는 다음의 3가지 요인을 상정해 볼 수 있다.

- a) 마찰접합면의 상태(표면처리 상태)
- b) 접합부의 형상 및 치수
- c) 볼트의 축력(체결력)

이 가운데 a) 및 b) 의 영향은 엄격한 설계, 시공기준에 의거 관리를 철저히 행하면 실용상 무시 가능할 정도로 억제 가능하며 시공시험을 통해서도 설계기준의 만족여부를 확인할 수 있다. 반면에 c) 에 대해서는 시공조건, 체결방법, 체결순서 등에 의해 동일 접합부 내에서도 각 볼트의 도입축력이 편차를 보이는 경우와 축력크기가 조금씩 달라지는 특징을 보인다.

일반적으로 많이 사용되고 있는 고장력볼트 체결방법으로는 토크법(Torque Control Method), 너트회전법(Turn of Nut Method), 내력점법 등이 있다.

### 7-2 고장력볼트 체결

#### 7-2-1 기본사항

고장력볼트 체결작업은 1차 체결, Marking, 2차 체결의 3단계로 이루어진다. 고장력볼트의 2차 체결방법은 토크법, 너트회전법, 내력점법 등이 있으며 Torque Shear형 볼트(이하 T/S볼트)는 토크법에 준하는 체결방법이 사용된다. 1차 체결과 Marking의 단계까지는 체결방법에 관계없이 공통적인 사항이지만 2차 체결에서는 체결방법에 따라 조금씩 다른 공정을 나타내게 된다.

볼트의 체결순서는 그림 에서 나타난 바와 같이 접합부의 중심에서 외측으로 향하는 순서를 취하도록 규정하고 있다. 볼트의 체결은 너트를 회전시켜 작업을 하는 것이 원칙이지만 경우에 따라서는 머리 부분을 회전시켜 체결해야 하는 경우가 발생한다. 이러한 경우에는 작업자 임의의 판단에 의해 작업을 진행하는 것 보다는 설계감리자와 협의해 적절한 도입축력을 얻을 수 있도록 실험 등에 의해 확인된 방법으로 체결작업이 이루어지는 것이 바람직하다.

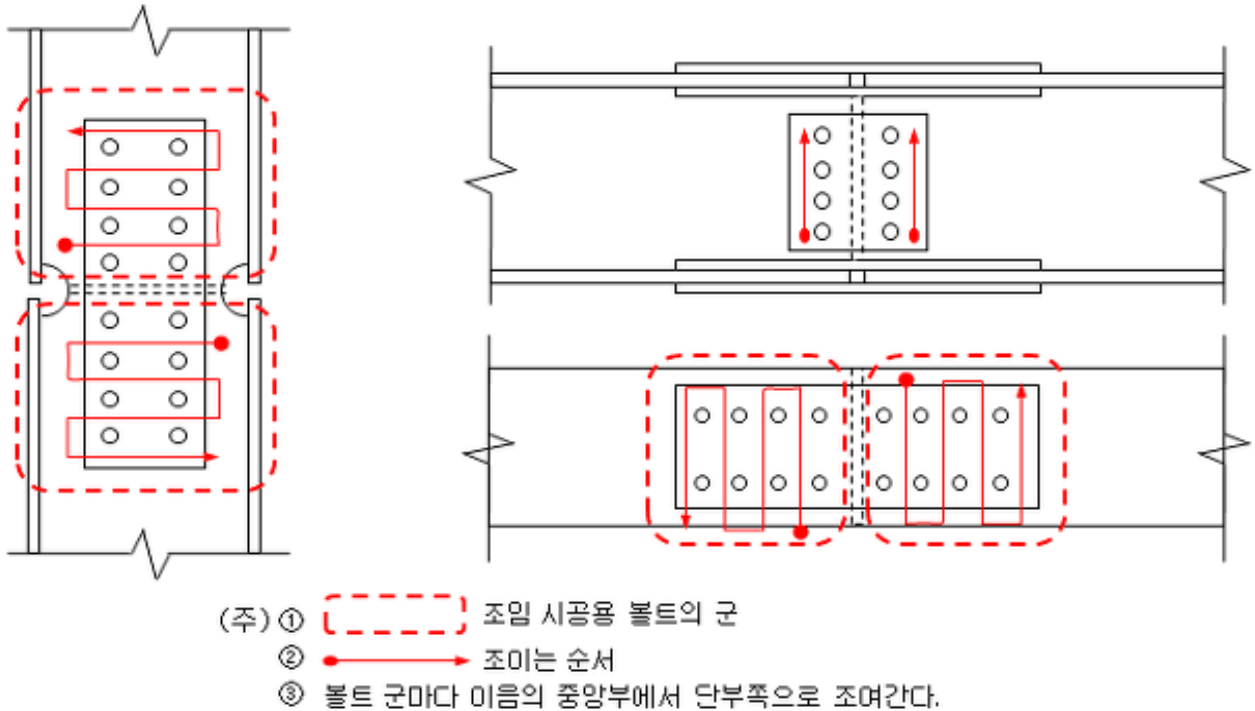


그림 고장력볼트의 체결순서

고장력볼트의 1차 체결은 2차 체결에 앞서 접합면의 밀착상태를 확보하기 위한 것이며 소형의 토크렌치를 이용해 체결토크의 60%까지 체결하는 것이 원칙이다. 통상의 판두께를 가지는 접합부에서는 체결토크의 60%까지의 토크치 정도로 접합면의 밀착상태를 확보할 수 있지만 체결하고자 하는 접합부의 판두께가 아주 두꺼운 경우에는 1차 체결 토크치로는 접합면의 밀착상태를 확보할 수 없는 경우가 있다. 이러한 경우에는 반드시 1차 체결 토크치 값에 관계없이 그 이상의 토크치로 체결하여 접합면을 밀착시킬 필요가 있다. 1차 체결이 끝나면 접합부의 모든 볼트에 대해 그림에서와 같이 마킹 작업을 실시해 1차 체결 작업이 끝났음을 표시함과 동시에 2차 체결 작업후의 체결 검사시 이용하도록 한다.

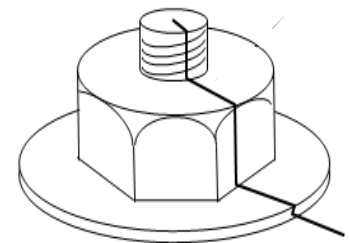


그림 1차 체결 후의 Marking

## 7-2-2 토크법 (Torque Control Method)

### 1) 기본원리

볼트체결의 가장 일반적인 방법은 토크법이며 너트를 회전시키는 토크와 볼트에 도입되는 축력이 일정한 관계에 있음을 이용한 체결방법이다. 볼트를 체결함에 있어 너트에 가해지는 토크 T와 볼트축력 N과의 관계는 일반적으로 그림에 나타난 나사에 대해 다음의 식으로 표현된다.

$$T = \frac{N}{2} \{ d_e \tan(p + \beta) + d_n \mu_n \}$$

$d_e$  : 나사부의 유효직경

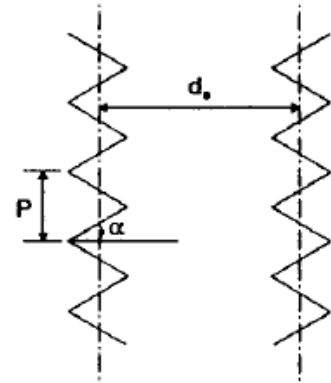
$p$  : 나사면의 마찰각,  $\tan p = \mu_s / \cos \alpha$

$\alpha$  : 나사산의 반각

$\beta$  : 리드각(=  $P / \pi d_e$ )

$d_n$  : 너트와 와셔와의 접촉면 평균직경

$\mu_n$  : 너트와 와셔간의 마찰계수



동일한 형상/치수를 가지는 볼트, 너트, 와셔의 세트에 대해서는  $d_e$ ,  $\alpha$ ,  $\beta$  및  $d_n$ 은 규정되어 있으며  $\mu_n$ 이 일정하다면 체크토크 T와 볼트축력 N과는 직선적인 관계가 된다. 일반적으로 이러한 관계를 다음의 식으로 나타낸다.

$$T = k \cdot d \cdot N$$

$$k = \frac{1}{2} \left\{ \frac{d_e}{d} \cdot \tan(p + \beta) + \frac{d_n}{d} \cdot \mu_n \right\}$$

$d$  : 볼트의 직경

위 식에서 k를 토크계수라 부르며 토크법에서 가장 중요한 요소이다. 토크계수 k를 나타내는 식에서 제1항은 나사의 치수와 나사간 마찰계수에 관계되는 항이며 제2항은 너트의 치수와 너트·와셔간의 마찰계수에 의해 결정되지만 k의 크기에 대해서는 나사 혹은 너트의 치수보다는 마찰계수의 변동에 크게 좌우된다.

이상의 관계로부터 일정한 토크계수를 가지는 볼트세트가 얻어지면 일정의 토크를 너트에 가함으로써 소정의 볼트축력을 얻을 수 있게 된다. 즉, 위 식에서 알 수 있듯이 토크법에 의한 볼트체결에서는 토크계수의 일정성이 가장 큰 변수로 작용하게 된다.

### 2) 토크관리법

토크관리법이란 볼트가 탄성범위 내에 있다고 가정하고 조임력(Torque)과 볼트 축력이 비례한다는 것을 이용한 방법이다. 즉, 토크계수치란 너트를 회전시키는 조임력과 볼트 축력과의 관계를 나타내는 값이다. 토크관리법에 의한 고장력볼트의 본 체결은 1차 체결한 후 (체결토크의 60%) 너트에 소정의 토크를 작용시켜 볼트에 축력을 도입하는 방법이다.



따라서 조임력 T는 다음 식과 같이 표현할 수 있다.

$$T = k \times d \times N$$

T : 조임력(토크, 너트를 체결하기 위한 모멘트, kg . cm)

k : 토크계수치, 0.11~0.19

d : 볼트 나사 바깥지름의 기준치수(cm)

N : 볼트 축력(너트를 체결하는 모멘트로 인하여 볼트 축방향으로 작용하는 인장력,kg)

위 식에서 토크계수치는 아래 표와 같이 토크계수치에 의한 세트의 종류에 따라 다르며 A종, B종의 차이는 너트 및 와셔의 표면처리상태이다. 따라서 동급의 고장력볼트에 있어서 A종 및 B종의 기계적 성질은 같다. A종 고장력볼트는 일반적으로 너트에 표면윤활처리를 하여 토크계수치를 낮게 안정시킨 것이고, B종의 고장력볼트는 방청제처리만 하고, 표면윤활처리는 하지 않은 것이다.

[ (A종 - 다크로 코팅), (B종 - 방청에 주로 적용됨.)]

<토크계수치>

구 분	토크계수치에 의한 세트의 종류	
	A	B
토크계수치의 평균값	0.110~0.150	0.150~0.19
토크계수치의 표준편차	0.010 이하	0.013 이하

또한, 고장력볼트의 도입축력은 표준볼트 장력을 목표로 하며 접합부의 모든 볼트에 가능한 균등하게 한다. 너트를 회전시켜 볼트를 체결하면 볼트는 비틀림을 받기 때문에 볼트를 단순히 인장한 경우의 항복하중 및 파단하중보다 각각 낮은 값을 나타내며 그 저하율은 5~15% 정도이다.

볼트내력의 규격치에 대한 설계볼트 장력의 비율은 F10T에서는 75%로 정하고 있다. 표준볼트 장력은 설계볼트 장력에 대해 82.5%에 해당한다.

A종 F10T M20의 경우 조임력 T를 구하여 보면

$$T = k \cdot d \cdot N = (0.11 \sim 0.15) \times 2\text{cm} \times 18,200\text{kg} \\ = 4,004 \sim 5,460 \text{ kg} \cdot \text{cm}$$

따라서 T=4,004~5,460 kg . cm로 고장력볼트를 조였을 때 토크계수치를 고려한 볼트의 축력은 아래 표에 나타낸 것 같이 15,400~20,900kg 범위내에 있어야 한다. 여기서 토크계수치를 고려한 볼트축력의 최소치 및 최대치, 중앙치(표준볼트장력)를 구하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} * \text{최소치} &= 0.7\sigma_y A_e = 0.7 \times 9000 \times 2.45 \\ &= 15,435 \dots \rightarrow 15,400\text{kg} \\ * \text{중앙치} &= 0.825\sigma_y A_e = 0.825 \times 9000 \times 2.45 \\ &= 18,191 \dots \rightarrow 18,200\text{kg} \\ * \text{최대치} &= 0.95\sigma_y A_e = 0.95 \times 9000 \times 2.45 \\ &= 20,948 \dots \rightarrow 20,900\text{kg} \end{aligned}$$



<설계볼트장력 및 표준볼트장력>

볼트의 등급	호 칭	설계볼트장력(t)	표준볼트장력(t)
F10T	M16	10.6	11.7
	M20	16.5	18.2
	M22	20.5	22.5
	M24	23.8	26.2

<토크계수치 시험에 의한 볼트축력>

볼트의 기계적	볼트의 축력(kgf)			
성질에 따른 등급	나사의 호칭			
F10T	M16	M20	M22	M24
	9870~13400	15400~20900	19100~25900	22200~30100

### 3) 토크계수치의 변화

토크법의 기본은 토크계수  $k$ 가 일정하다는 사실에 근거하고 있지만 실제로 그 값의 편차가 작지 않다는 것이 토크법의 가장 큰 문제점이다. 토크계수는 소정의 축력확보를 위해서 상당히 중요한 의미를 가지는 요소이지만 실제로 그 값이 얼마인지, 계수치의 변화가 어느 정도인지를 정확히 파악하기란 대단히 어려운 문제이다.

이러한 의미에서 토크계수치의 안정화는 체결작업이나 검사작업을 용이하게 할 뿐만 아니라 고장력볼트 접합의 신뢰성을 향상시키기 위한 선결과제이며 이를 위해 고장력볼트 세트의 전부 혹은 일부에 표면처리를 하는 것이 일반적이다. 그러나 토크계수치에 영향을 미치는 요인으로서는 나사간의 마찰계수, 너트좌면에서의 마찰계수 외에도 온도변화 등에 의한 영향도 상당 부분 차지하며 그 변화의 폭도 적지 않다는 보고가 있다. 즉 표면처리를 볼트에서도 토크계수치의 변동이 온도변화에 의존한다고 보고 되고 있고 대체로 1°C의 온도변화에 대해 0.5% 정도이다.

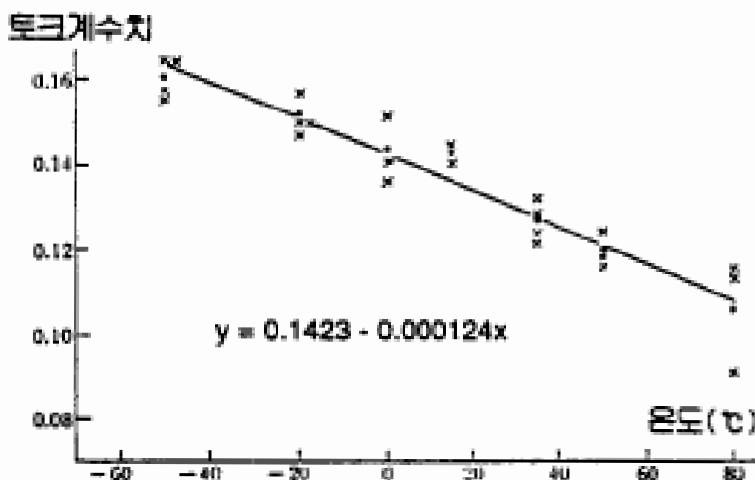


그림 1.5(a) 온도변화에 의한 토크계수의 영향

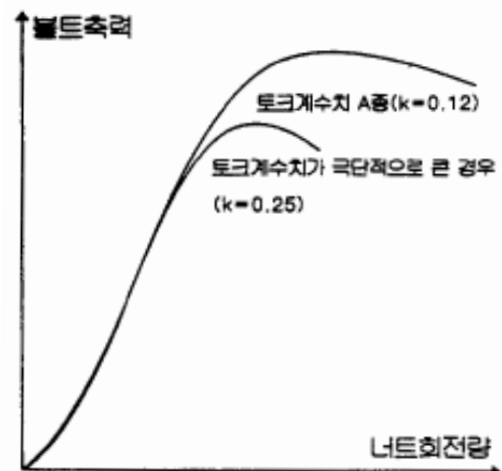


그림 1.5(b) 토크계수치의 영향

토크계수치의 대소는 볼트에 과도한 축력이 도입될 위험성과 축력부족의 결과를 낳게 되는 원인이 되므로 시공관리 측면에서 충분히 고려되어야 할 것이다.

(Calibration Test 때의 토크계수와 실제 시공시에서의 온도변화를 고려해야 한다.)

### 7-2-3 너트회전법 (Turn of Nut Method)

#### 1) 기본원리

너트회전법은 볼트에 일정량의 변형을 가해 그 변형량을 너트회전량으로 판정함으로써 볼트의 축력을 추정하는 방법, 즉 너트를 일정 각도만큼 회전시킴으로써 소요의 볼트축력을 도입하는 방법이다. 너트회전법은 너트회전각의 관리에 의해 체결이 이루어지기 때문에 토크법에 비해 시공관리가 용이하지만 소성역에서 볼트축력을 도입하는 가혹한 조건에서 볼트가 사용되는 방법이기 때문에 볼트자체의 변형 능력이 요구되는 방법이다.

이러한 이유로 영국(BS 4604)에서는 너트회전법을 금지하고 있으며 일본의 경우도 교량건설협회에서는 F8T에 한해서만 너트회전법을 인정하고 있다.

(건축의 경우는 F10T까지 인정).

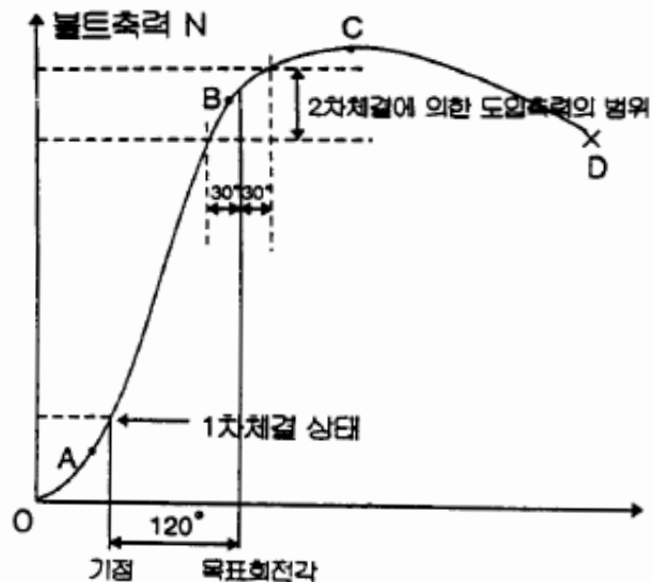


그림 1.6 너트회전량과 볼트축력 관계

고장력볼트로 접합재의 강판을 체결할 경우, 너트회전량과 볼트축에 도입되는 축력의 관계는 그림1.6과 같다. 즉 체결 초기단계에서는 강판이 완전히 밀착되어 있지 않기 때문에 너트회전량과 볼트축력과는 완전히 비례관계가 성립되지 않고 완만한 곡선관계에 있게 된다. (그림 OA구간). 강판이 완전히 밀착된 후에는 너트회전량과 볼트축의 변형량은 비례하기 때문에 너트회전량과 볼트축력과는 직선적인 관계가 된다(그림 AB구간). 이 상태에서 너트의 회전량을 증가시키면 볼트의 일정 나사부분에서는 소성영역에 들게 되어 축력의 증가에 비해 변형량은 크게 나타나게 되며 너트회전량과 볼트축력의 관계는 그래프 상단의 곡선상의 관계를 보이고 궁극적으로는 최대인장내력에 도달하게 된다(그림 C점).

일반적으로 너트회전량과 볼트축력이 직선의 비례상태에서 나사부분이 소성화가 시작될 때까지의 너트회전량은 90°~120°정도이다. 또한 볼트의 최대내력에 도달할 때까지의 너트회전량은 통상 220°~260° 정도이며 볼트 파단까지의 너트회전량은 최저 720°, 통상 800° 이상이다.

너트회전량 $\theta(^{\circ})$ 과 볼트축력(tf)이 직선관계의 범위에서 양자의 관계는 다음의 식으로 나타낼 수 있다.

$$N\left(\frac{1}{K_b} + \frac{1}{K_p}\right) = \frac{P \cdot \theta}{360}$$

$K_b$  : 볼트의 스프링상수 (tf/cm)

$K_p$  : 강판의 스프링상수 (tf/cm)

$P$  : 나사의 피치(cm)

너트회전법에 의한 고장력볼트의 체결은 상기의 관계를 이용한 체결법으로 1차 체결에 의해 접합재 강판을 완전히 밀착시키고 이를 기점으로 소정의 너트회전량 만큼 2차 체결을 실시한다.

## 2) 너트회전법에 의한 2차 체결

### (a) 볼트체결

목표축력을 도입하기 위한 소정의 너트회전량은 상기 식에 의해 결정되어야 하지만 일본 건축학회의 시공지침에서는 실용적 측면을 고려해 일률적으로 120°로 정하고 있다.

단 볼트길이(머리부분 제외)가 볼트 축 직경의 5배 이상인 경우에는 상기의 너트회전량 보다 큰 회전량이 필요하기 때문에 실험 등의 방법을 통해 적절한 회전량을 결정하도록 한다.

2차 체결에서 120°의 너트회전량으로 볼트를 체결한 경우 통상적으로 표준볼트장력의 1.2배 정도의 도입축력이 얻어진다. 체결순서는 그림에서와 같은 순서로 체결작업을 실시한다.

2차 체결의 너트회전량 목표치 120°는 너트 1번의 중심각이 60°이기 때문에 이를 기준으로 적절한 표시를 해두고 체결기기의 소켓부분에도 그림1.7에서와 같은 표시를 해두면 체결작업 뿐만이 아니라 체결 후의 검사작업도 용이해 진다.

표준볼트장력의 1.2배 정도의 도입축력이 얻어진다. 체결순서는 그림에서와 같은 순서로 체결작업을 실시한다. 2차 체결의 너트회전량 목표치 120°는 너트 1번의 중심각이 60°이기 때문에 이를 기준으로 적절한 표시를 해두고 체결기기의 소켓부분에도 그림1.7에서와 같은 표시를 해두면 체결작업 뿐만이 아니라 체결 후의 검사작업도 용이해 진다.

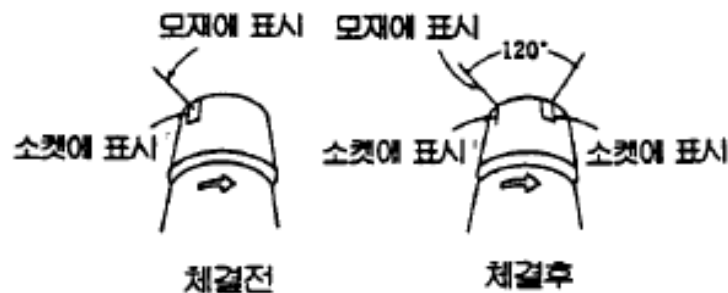


그림 1.7 소켓부분의 표시

(b) 체결 후 검사

2차 체결 후 검사는 모든 볼트에 대해 1차 및 2차 체결시 해둔 표시에 의해 육안으로 너트회전량을 검사한다. 너트회전량의 허용범위는  $120^{\circ} \pm 30^{\circ}$ 로 정해져 있기 때문에 이 범위내의 것을 합격으로 한다. 합격/불합격의 판정시에는 그림1.8에서와 같이 너트 1변의 중심을 고려하면 육안으로 쉽게 확인할 수 있다.

검사결과 과도하게 체결된 볼트는 나사부에서 소성화가 상당히 진행된 것으로 판단해도 무방하며 새로운 볼트로 교환해서 체결하도록 한다. 또한 체결부족 볼트에 대해서는 추가 체결을 실시하고 공회전이 생긴 볼트에 대해서는 새로운 볼트로 교환한다.

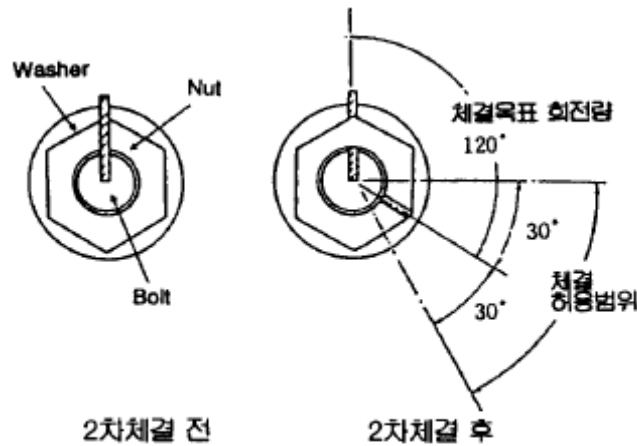


그림 1.8 Marking에 의한 너트회전량 판정

**7-2-4 T/S형 볼트의 2차 체결**

T/S 볼트는 기본적으로 토크법의 원리에 의해 체결되지만 전용의 체결기기에 의해 체결된다. T/S형 볼트는 일정한 토크에 달하면 핀테일이 절단되어 체결이 완료되도록 되어있다. 따라서 볼트세트의 토크계수치에 변동이 없는 한 거의 일정한 축력이 볼트에 도입된다.

그러나 그림1.9에서와 같이 토크계수치가 큰 폭으로 변화하면 도입축력도 크게 달라지기 때문에 토크계수치가 변동하지 않도록 특별한 주의를 필요로 한다. 1차 체결이 불충분하거나 볼트 머리부분이 닿는 접합재 부분이 마찰저항이 작은 경우에는 너트가 회전하지 않고 볼트자체가 회전하는 경우가 생기며 이 경우에는 토크계수가 작아지기 때문에 볼트에 과대한 축력이 도입되어 경우에 따라서는 볼트 나사부가 파단되는 경우도 있다.

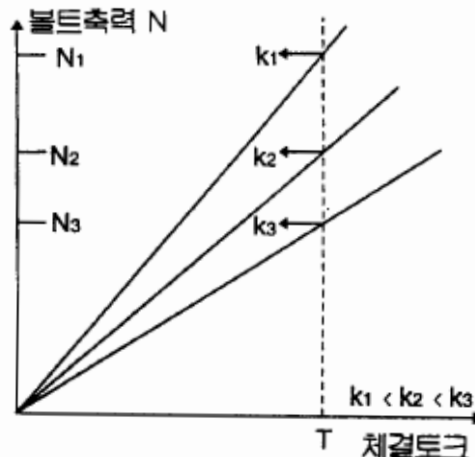


그림 1.9 토크계수의 변화

#### (a) 볼트체결

T/S형 볼트는 전용의 체결기기를 사용하여 체결한다. 위험방지를 위해 체결시에 절단된 핀테일이 낙하하여 안전사고가 발생하지 않도록 주의를 요한다.

#### (b) 체결 후 검사

T/S형 볼트의 체결 완료상태는 핀테일의 절단을 확인함으로써 간단히 확인할 수 있다. 그러나 전술한 바와 같이 1차체결이 적절히 이루어지지 않은 경우에는 도입축력에 변동이 있을 가능성이 있다. 이러한 점은 1차체결 후에 표시해둔 마크에 의해서 확인할 수 있다. 이 때 너트회전량을 육안으로 조사하고 너트회전량의 차이와 공회전 여부를 검사한다. 너트회전량의 편차가 심한 볼트 군에 대해서는 그 군의 전체 볼트에 대해 너트회전량을 측정하고 평균치를 구해 그 평균 회전량을 기준으로  $\pm 30$ 의 범위에 있는 것을 합격으로 하고 불합격한 볼트에 대해서는 새로운 볼트로 교체한다.

### 7-2-5 내력점법

내력점법은 볼트축력이 탄성범위 내에서는 너트회전량과 비례관계에 있으며 소성범위에 들어서면서는 그 관계가 변한다는 점을 이용해 그 변화점을 전기적으로 검출할 수 있는 체결기기를 사용해 시공하는 방법이다. 너트회전법과 같이 소성역에 가까운 곳까지 볼트축력이 도입되기 때문에 볼트의 변형 능력에 대해 충분히 주의할 필요가 있다.

## 8. 열처리

### 8-1 열처리의 개요

열처리란 금속으로 된 나사에 기계적성질을 개선하는 공정이며 나사 본래의 기능을 얻기 위하여 재료의 선택과 더불어 매우 중요한 공정이다.

나사는 보통 선재에서 냉간에 의해 가공되는 것이어서 사용재료를 냉간 소성가공을 할 수 있는 상태로서 그 재료의 본질적인 기능을 갖고 있지 않는 일이 많아서 냉간 소성가공된 나사를 재료에 따라 목적 온도까지 가열하여 적당한 속도를 냉각시켜 적정한 강도의 나사에 재료의 본질적인 개선을 시키는 것이다.

### 8-2 열처리의 목적

기계적 성질의 개선 : 열처리의 주목적은 나사를 만들 때 요구되는 강도에 맞추기 위해 나사의 재료인 금속 및 합금의 기계적 성질을 개선하는 것이다. 기계적 성질은 경도, 전연성, 강도 및 인성을 들 수 있고 열처리에 의해 이들의 성질에 변화를 주고 이용목적에 대응할 수 있는 것으로 개선할 수 있다.

① 경도 : 나사의 경도는 일반적으로 경도 시험의 방법, 측정위치, 측정상태 시험편의 이력 등을 동시에 기재함으로써 나타낸다. 이 경도는 나사 재료의 강도, 내마모성과 비례적 관계가 있다는 것이 알려져 있지만 이 경도에 변화를 주는 열처리로서는 담금질, 뜨임, 풀림과 침탄 등의 각종 표면 경화처리가 열거되어 있다.

② 전연성 : 전연성이란 금속이 파괴될 때까지의 연구변형 능력을 나타낸 말로 통상 인장 시험의 결과 얻어지는 신장률로 나타나 있다. 이 전연성 개선의 전형적인 예는 구상화 풀림이다.

③ 강도 : 금속의 강도는 탄성강도, 항복강도, 최대항장력 이 세 가지로 나뉜다.  
이 강도를 개선하는 열처리 예로서는 구조용 합금강의 담금질, 뜨임처리, 알루미늄 합금의 시효경화 등을 들 수 있다.

④ 인성(Toughness) : 인성은 일반적으로 강도와 전연성을 결합시키는 성질로서 사용되고 그 양은 충격값의 대소를 가지고 표시한다.  
인성은 재료의 선정 기준으로서 유효하지만 설계에서는 사용할 수 없다.  
이 인성을 개선하는 열처리로서는 오스포밍 등이 있다.

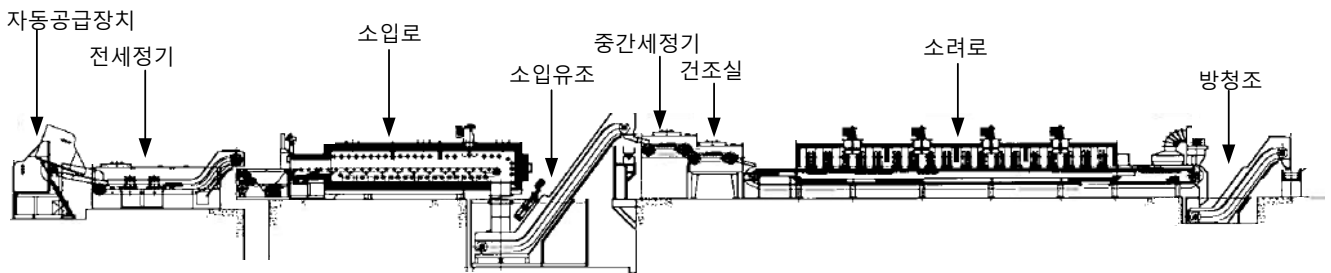


그림. 열처리 공정

### 8-3 열처리의 종류

#### 8-3-1 담금질(Quenching)

중탄소강 및 저합금강을 사용해 만든 나사류는 요구되는 강도에 맞는 제품을 만들기 위해 약 850℃의 온도로 가열하여 급냉을 하는 처리를 해야 하며, 이 때에는 가열시의 온도, 유지시간 및 냉각속도 등의 관리에 아주 조심하지 않으면 바라는 경도를 얻을 수 없다. 이와 같이 아공석강을 Ac1 이상 30~50℃ 높은 온도로 가열해서 균일한 오스테나이트 조직으로 한 다음 물이나 기름 등의 냉각제에 의해 급냉하는 조작을 담금질이라 한다.

\* 소입 최고경도 HRC =  $30 + (50 * C \%) + 2$   
소입 임계경도 HRC =  $24 + (40 * C \%)$

##### (1) 켄칭의 목적

강의 켄칭(quenching)은 오스테나이트화 온도로부터 급랭하여 마르텐사이트 조직으로 변태시켜서 강을 경화하는 열처리방법을 말하는데, 그 목적은 강의 종류에 의해 2가지로 대별된다.

그 하나는 공구강의 경우인데, 이것은 다른 금속재료를 절삭가공하기 위해 되도록 단단하거나 내마모성이 커야 하므로 고탄소 마르텐사이트의 특징인 큰 경도를 그대로 이용한다. 따라서 많은 공구강에서는 템퍼링온도를 150~200℃의 비교적 낮은 온도로 하거나, 고합금강에서처럼 500~600℃로 템퍼링을 하더라도 켄칭상태와 거의 같든지 혹은 그 이상의 경도가 얻어지도록 하여야 한다.



다른 하나의 경우는 구조용강으로서, 여기에는 강도도 요구되지만 오히려 강한 인성이 요구되는 용도로 제공하기 위해 일단 퀀칭해서 마르텐사이트 조직으로 하고, 500 ~ 700°C의 상당히 높은 온도로 템퍼링을 해서 퀀칭상태에 비해 훨씬 낮은 경도 강도의 상태로 만드는 것이다. 예를 들면 기계구조용 탄소강에서 퀀칭상태의 인장강도는 170kg/mm<sup>2</sup> 이상이고, 브리넬경도도 500 이상이지만 실제로 사용될 때에는 충분한 템퍼링을 해서 인장강도 100kg/mm<sup>2</sup> 이하, 브리넬경도 300 이하로 한다. 그렇게 볼 때 무리하게 퀀칭할 필요없이 노멀라이징 정도면 되지 않겠는가 하는 의문이 생기나, 사실은 이와 같이 퀀칭과 템퍼링을 한 강은 노멀라이징 처리한 강에 비해 강도와 인성의 면에서 현저하게 우수하다.

## (2) 오스테나이트화

강을 퀀칭해서 마르텐사이트 조직으로 변태시키기 위해서는 우선 그 강을 오스테나이트 상태로 가열하여야 한다. 이 처리를 오스테나이트화라고 하며, 일반적으로 열처리시 냉각도중에 일어나는 모든 변태는 오스테나이트로부터 시작된다. 따라서 오스테나이트를 모상(母相, parent phase)이라고도 불리어진다.

### ① 가열온도

전술한 바와 같이 마르텐사이트로 변태시키기 위해서는 우선 오스테나이트 상태로 가열해야만 하는데, 그때의 가열조건, 특히 가열온도는 강의 성질에 중대한 영향을 미치므로 가열온도의 선정은 무엇보다도 중요하다.

여기서 우선 정확히 규정해야 할 것은 용어문제로서, 상황에 따라서 가열온도, 퀀칭온도 및 오스테나이트화 온도를 구분해서 사용하기도 하지만 본절에서는 이 3가지 용어를 동일한 의미로써 사용한다.

퀀칭을 위한 가열온도는 수냉하는 경우, 아공석강에서는 Ac<sub>3</sub> 변태점 이상 30~50°C 정도, 과공석강에서는 Ac<sub>1</sub> 변태점 이상 30 ~ 50°C 범위로 하는 것이 보통이며, 유냉의 경우는 이것보다 다소 높은 온도를 사용한다. 가열온도가 이 온도범위보다 높아짐에 따라서 오스테나이트의 결정립은 점차 크게 성장하여 조대화되기 쉬워진다.

그런데 과공석강에서는 오스테나이트화 온도에서 오스테나이트와 미용해 탄화물이 공존하는데, 이 탄화물이 오스테나이트 결정립계의 이동, 즉 결정립성장을 방해하는 효과가 있다. 미용해 탄화물이 조대하거나 그 수가 적으면 그만큼 결정립은 조대해진다.

한편 아공석강에서는 오스테나이트화시 모든 탄화물이 고용되므로 결정립성장은 매우 빠른 속도로 진행된다. 이와 같이 결정립이 조대해지면 마르텐사이트변태가 용이하여 열처리가 다소 쉽게 되기는 하나 열처리후의 인성은 현저하게 감소된다.

그러나 공구강의 경우는 오스테나이트화시에 탄화물을 적당히 고용시켜서 마르텐사이트를 충분히 단단하게 하는 동시에, 잔류오스테나이트량을 줄이는 것이 동시에 중요하다. 탄소공구강에서는 상기와 같은 온도범위를 선택하면 별다른 문제는 없지만, 과공석강의 경우 온도가 지나치게 높으면 오스테나이트중의 탄소량이 많아져서 MS점이 저하하고, 상온으로 냉각시 잔류오스테나이트가 많아져 충분한 경화가 안될 뿐 아니라 열균열도 일어나기 쉽게 된다.



한편 고속도공구강 등과 같이 W이나 Cr등 탄화물을 만들기 쉬운 합금원소를 다량 함유한 강에서는 이들의 원소 때문에 공석변태점이 상승하는 동시에 오스테나이트종의 탄소고용도가 감소한다. 예를 들면 18%W-4%Cr-1%V형의 고속도강(SKH2)에서는 공석점이 850℃ 정도까지 상승되므로 900℃ 부근으로 가열해도 오스테나이트의 탄소농도는 0.20~0.25% 정도이므로 경도가 겨우 HRC 50정도밖에 되지 않는다.

가열온도를 높이면 점점 탄화물의 고용량이 증가하여 1300℃ 부근에서는 약 0.55% 정도의 탄소가 고용해서 켄칭경도는 HRC 66~67로 충분히 높아진다. 또한 고용된 W, Cr과 같은 합금원소때문에 현저하게 열처리하기 쉽고, 또 고속절삭으로 날끝온도가 상승해도 쉽게 경도가 저하되지 않는 우수한 템퍼링연화 저항성이 얻어지는 것이다.

그러나 이 경우도 지나치게 온도가 높아지면 역시 결정립의 조대화로 인해 취화된다. 이와 같이 강의 성질이 손상될 만큼의 고온까지 가열시키는 것을 과열(過熱, overheat)이라 한다. 더우기 그 정도가 더욱 심하여 입계가 일부 용융하기 시작한다든지 입계를 따라 내부까지 산화가 진행되어 나머지 열처리나 기계가공 등의 작업에서도 정상적인 성질을 회복할 수 없다든지 하는 경우를 버닝(burning)이라고 한다.

## ② 가열시간

또한 오스테나이트화시에는 가열시간도 중요하다. KS 규격이나, 여러 회사의 카탈로그에서도 켄칭온도(오스테나이트화 온도)는 규정되어 있지만 가열시간, 특히 오스테나이트화 온도에서 유지하는 시간에 대한 규정은 찾아볼 수 없다. 그러나 열처리란 가열온도, 가열시간 및 냉각의 조합이므로 필수적으로 가열시간이 필요하다.

작업능률이나 원가 등의 입장에서 가열시간은 가능한한 짧을수록 바람직하지만, 실제로는 가열방법이나 재료의 크기에 따라 그 중심부까지 필요한 온도로 상승시키기 위한 시간과 확산에 의해 탄화물이 고용되어 균일한 오스테나이트로 형성되는데에 필요한 시간을 생각해야 한다. 합금원소가 많이 함유될수록 일반적으로 열전도율은 적고 또 확산속도도 늦으므로 장시간의 가열이 필요하다.

한편 오스테나이트화 처리시의 가열시간은 승온시간(昇溫時間), 균열시간(均熱時間) 및 유지시간(維持時間)으로 이루어져 있다. 승온시간이란 부품의 표면이 소정의 오스테나이트화 온도로 도달되는데 필요한 시간을 말하고, 균열시간이란 부품의 표면과 중심의 온도가 일치하기까지의 시간을 말하며, 유지시간이란 부품 전체가 그 온도에서 유지되는 시간을 말하는 것이다. 따라서 "승온시간 + 균열시간 + 유지시간 = 가열시간"이란 관계가 성립된다.

여기서 우리가 주의해야 할 사항은 로내온도의 승온속도와 부품의 승온속도가 다르다는 것이다. 따라서 여기서 사용되는 「온도」라는 말은 부품의 실제온도를 의미하는 것으로, 라서 달라지지만 유지시간은 부품의 크기에는 별 영향이 없고, 강종에 따라서 달라진다. 즉

승온시간 = f (부품의 크기)

유지시간 = f (강종) ---- 아공석강인가 과공석강인가에 따라 다르다.

승온시간 + 유지시간 = 가열시간(soaking time)

여기서 가열시간에는 표면과 중심부의 승온시간의 차이, 즉 균열시간도 포함되어야 하지만 그 시간의 차이는 의외로 작다. 다시 말해서 표면이 퀀칭온도에 도달하면 중심부도 거의 동시에 그 온도에 도달된다고 보아도 좋다는 것이다. 표면과 중심의 승온시간의 차이는 직경 100mm의 환봉에서는 보통가열시 2분, 급속가열시 5분이다. 따라서 종전에 25mm당 30분이라고 하는 것은 유지시간을 의미하는 것이 아니라 승온시간을 포함하는 말이다. 따라서 아공석강이나 공석강에서는 A3 변태온도 이상 50°C로 가열되는 동안에 거의 완전히 오스테나이트로 변태되므로 유지시간이 필요없으나, 과공석의 탄소공구강이나 합금공구강 또는 고속도강 등과 같은 고탄소 고합금강에서는 오스테나이트 중에 어느 정도의 탄화물을 고용시킬 필요가 있으므로 10~30분 정도의 유지시간이 필요하다.

한편 탄화물이 오스테나이트에 고용되는 고용속도는 강종에 따라 틀려지는데, 특히 텅스텐이나 바나듐과 같은 강력한 탄화물 생성원소를 함유한 강은 현저하게 늦어지지만, 동일강종이라도 퀀칭전의 조직, 주로 탄화물의 크기나 분산상태에 따라서 큰 영향을 받는다. 탄화물이 조대한 구상 혹은 망상을 나타낼 때는 고용속도가 늦으므로 퀀칭전에 탄화물이 미세하고 균일하게 분산된 상태가 되도록 구상화풀림이나 노멀라이징 등의 예비처리를 할 필요가 있다.

고탄소-저크롬 베어링강에서 탄화물이 고용에 필요한 시간은 900°C의 경우, 미세펄라이트 조직에서 약 2분, 펄라이트조직에서 약 3분, 구상화조직에서 1시간 이상이 필요하다고 한다. 탄화물량이 일정값으로 안정화될 때까지 약 30~50분간이 소요되고 있지만, 탄화물이 완전히 고용되면 퀀칭했을 때의 잔류오스테나이트도 많아지고, 경도도 저하되며, 결정립의 조대화, 열균열, 시효변형등의 여러가지 문제가 발생할 수 있으므로 실제로는 반드시 평형상태까지 탄화물을 고용시킬 필요는 없다.

그리고 전술한 중심부와 표면의 승온시간의 차이도 고려해서 각 강종의 오스테나이트화 온도로의 적당한 가열시간을 선정해야 하는데, 탄소강이나 특수공구강에서 살두께 25mm당 약 30분, 다이스강에서 그 1.5배 정도, 또 스테인리스강 등은 2배인 60분 전후를 유지한다.

고속도공구강은 1200~1350°C에서 퀀칭하지만, 그로 인한 가열에는 염화바륨(BaCl<sub>2</sub>) 용융염욕을 사용하는 경우가 많고, 차가운 강재를 직접 고온염욕 중에 넣으면 균열이 생길 위험이 있으므로 1회 또는 2회의 예열을 해주는 것이 좋다.

### (3) 예열

퀀칭의 첫번째 단계는 예열(豫熱, preheating)로부터 시작된다.

즉 오스테나이트화의 전단계이다.

예열하는 목적은 부품의 전단면을 가능한한 균일하게 승온시켜서 열처리변형을 경감시키기 위한 것이다. 특히 염욕가열과 같이 급속가열되는 경우에는 예열이 필수적이다.

아공석강이나 저탄소강에서는 그렇게 예열이 필요하지는 않지만, 고탄소-고합금공구강(STD 11)이나 고속도공구강 등에서는 열전도도가 작고, 탄화물이 많이 존재하기 때문에 예열이 필요하다. 예열은 보통 1단계예열만으로 충분하지만, 형상이 복잡한 금형에서와 같이 특별히 신중을 기하고자 할 때에는 2단계예열을 채용하는 것이 좋다.

1단계열은 변태점 직하, 즉 650~700°C의 온도범위를 선택하는 것이 좋다. 왜냐하면 변태점에서 펄라이트가 오스테나이트로 변태할 때에 체적이 수축하므로 변태전에 부품 전단면을 균일한 온도로 하여 변형을 방지하기 위해서이다. 2단계열온도는 강이 탄성체에서 소성체로 변하는 온도, 즉 450~500°C의 온도범위를 선택하는 것이 좋다. 이것은 강이 소성체일 때에 변형이 일어나기 쉽기 때문이다.

한편 예열을 위한 가열시간은 25mm당 약 40분 정도가 좋다. 이 정도의 시간이면 부품의 중심부까지 예열온도에 도달된다. 그리고 유지시간은 필요치 않다.

#### (4) 냉각매체

강을 쿨링할 때 복잡한 형상의 고합금강에서는 간혹 공랭이라고 하여 단순히 공기중 방랭(放冷)만으로 마르텐사이트조직을 얻을 수 있는 경우도 있지만, 그 외의 경우는 물 또는 기름 속에 투입해서 급랭하는 것이 보통이다. 잘 알려진 것처럼 기름보다 물에서의 냉각속도가 빠르지만 기름이나 물도 그 온도에 따라, 혹은 첨가물에 따라, 혹은 교반하는 정도에 따라서도 그 냉각능력은 변화된다. 일정한 조건으로 수냉한 경우에도 강재가 냉각되는 과정이 단순하지만은 않고 냉각도중에 냉각속도는 커지거나 작아지게 되어 미묘하게 변화한다.

직경 12.7mm(0.5 in.)의 강봉을 수냉했을 때의 냉각곡선을 표시한 것으로 냉각상황은 대략 3단계로 구분된다.

- ① 제 1 단계 : 가열된 강재의 표면에 증기막이 생겨서 열전도도가 작아지므로 강의 냉각은 비교적 느다. 이 단계를 증기막단계라고 한다.
- ② 제 2 단계 : 강표면에서 심한 비등이 일어나고, 증기막은 곳곳에서 파괴 되어 기포로 되어 없어지므로 강표면은 직접 물과 접촉해서 전도와 대류에 의해 열이 방출되어 급속히 냉각된다. 이 단계를 비등단계라고 한다.
- ③ 제 3 단계 : 수증기의 발생은 없고, 강의 온도와 물의 온도의 차가 적어 지므로 다시 냉각속도는 늦어진다. 이 단계를 대류단계라고 한다.

강의 쿨링시에는 펄라이트변태가 일어나기 쉬운 A1~550°C간의 온도범위를 충분히 급랭시켜야 한다. 그렇게 하기 위해서는 특히 제 1단계가 나타나는 시간을 되도록 짧게 할 필요가 있는데, 그것은 수중에서 8자의 형태로 강재를 강하게 흔들여 준다거나 물을 심하게 교반시켜서 수증기막이 빠르게 파괴되도록 하면 된다. 또한 수온을 되도록 낮추거나 5~10% 정도의 식염이나 염화칼슘을 물에 녹이면 제 1단계는 단축된다.

그러나 Ar' 변태가 일어나는 온도범위를 충분히 빠른 속도로 냉각시키면 그 후의 냉각까지 반드시 빨리할 필요는 없다.

오히려 300°C 이하에서 냉각속도를 늦출 수만 있다면 부품내외의 온도차를 줄이고, 변태응력의 발생이 적어져 열균열이나 열변형의 위험도 없어질 것이다. 즉 약 550°C 부근까지의 냉각속도는 크고, 300°C 이하에서의 냉각속도는 반대로 작아지는 냉각매체가 이상적이라 할 수 있다.

Grossmann 등은 액의 냉각능력을 나타내는 일반적 수치로 쿨링액과 강의 계면의 열전달계수  $\alpha$ 와 강의 열전도도  $\lambda$ 의 비( $H=\alpha/\lambda$ )는 쿨링액의 냉각능(冷却能, severity of quench)이라는 값을 쓰고 있다.

## (5) 냉각방법과 냉각효과

열처리에서 냉각속도의 중요성에 대해서는 재연을 요하지 않는다. 냉각속도에 따라서 강의 성질이 軟해지기도 하고 硬해지기도 한다. 냉각매체를 냉각제라고도 하는데, 여기에는 공기, 기름 및 물 등 여러가지가 사용되고 있다.

일반적으로 공기는 냉각속도가 느리고 기름, 물의 순서로 냉각속도가 빨라진다. 그러나 이러한 냉각매체에 따른 냉각효과는 절대적인 것은 아니고, 처리품의 크기에 따라서 변화된다. 즉 냉각제의 냉각속도는 냉각제 고유의 성질일 뿐이고, 그것에 따른 처리품의 냉각효과는 처리품의 크기에 따라서 달라지게 된다. 다시 말해서 냉각속도와 처리품의 냉각효과는 항상 일치되지 않는다는 것이다.

냉각방법이 동일해도 냉각효과는 다르게 된다. 실제로 열처리에서 중요한 것은 냉각방법 이라기 보다는 냉각효과라고 할 수 있다.

노멀라이징은 대기중 방랭(放冷), 즉 공랭이라고 하는 냉각방법이 정의되어 있다. 그런데 소형부품을 방랭한 경우와 대형부품을 방랭한 경우에 냉각방법은 동일할지라도 처리품의 냉각효과는 달라진다. 따라서 대형부품에서는 방랭만으로는 냉각효과가 적으므로 선풍기 등으로 강제공랭(強制空冷)시켜야만 노멀라이징 효과가 얻어진다. 켄칭시에도 마찬가지이다. 동일하게 유냉했다 할지라도 처리품의 크기에 따라서 냉각효과가 다르므로 켄칭경화 정도도 달라진다. 소형품에서는 유냉을 해도 수냉과 동일한 효과가 있을 수 있고, 대형품에서는 공랭 정도의 효과만이 있어서 경화되지 않을 수도 있다.

KS 철강핸드북에 노멀라이징은 공랭, 풀림은 노냉, 그리고 탄소공구강(STC)의 켄칭은 수냉, 고속도강(SKH)의 켄칭은 유냉, STD 11과 같은 합금공구강의 켄칭은 공랭 등으로 규정되어 있지만, 이것은 일본공업규격(JIS)에 따르면 표준시험편의 크기(15mmφ×20mm)에 대한 것이므로 처리품의 크기에 따라서 적당히 냉각방법을 달리 하지 않으면 안된다.

## (6) 형상에 따른 냉각효과

처리품의 형상 중에서 가장 빠르게 냉각되는 것은 구형(球形)이고, 가장 느리게 냉각되는 형상은 판상(板狀)이다. 한편 하나의 제품에서도 부위에 따라 냉각효과가 다르게 된다. 평면에서의 냉각속도를 1이라 하면 二面角에서는 3, 三面角에서는 7정도로 되어 냉각속도가 커지는 반면에 凹面角에서는 오히려 1/3정도로 되어 냉각이 느려진다. 따라서 형상이 복잡한 제품일 때는 위치에 따라 냉각속도의 차이가 현저하므로 이로 인한 열처리변형이나 균열을 발생시킬 수도 있다.

## (7) 경화능

강의 켄칭경도는 강의 탄소함유량에 따라서 결정되며, 합금원소와는 거의 관계가 없다. 0.6%C까지는 탄소량에 따라서 켄칭경도는 증가하지만 그이상 탄소량이 증가되어도 켄칭경도는 그다지 증가되지 않는다.

또한 동일한 탄소량일지라도 마르텐사이트 조직은 미세펄라이트나 구상화조직에 비해서 훨씬 경도가 높다. 이것이 켄칭열처리를 통해서 마르텐사이트로 변태시키는 우선적인 이유이다. 그러나 켄칭열처리는 0.3%C 이상의 탄소를 함유한 강에서만 주로 행하여지고, 0.3%C 이하의

탄소를 함유한 강에서는 페라이트-펄라이트 조직으로 만들어 사용하는 것이 보통이다.  
이것은 0.3%C 이하에서는 켈칭경도가 그다지 높지 않기 때문이다.

한편 강에서 켈칭되는 깊이는 C%가 많을수록, 합금원소량이 많을수록, 그리고 결정립이 조대할수록 커지게 되는데, 이중에서 가장 크게 영향을 미치는 인자는 합금원소이다.  
그러므로 켈칭시에 경도를 향상시키는데에는 탄소량 증가가 효과적이고, 경화깊이를 크게 하는데에는 합금원소 첨가가 효과적이라는 사실을 기억해야만 한다.

## 1) 경화능의 정의

동일한 크기의 제품일지라도 강종에 따라 켈칭시 경화되는 깊이가 다르다. 이 경화깊이를 지배하는 강자체의 성능을 경화능(硬化能, hardenability)이라고 한다. 따라서 동일한 냉각매체로 켈칭시 경화깊이가 큰 강은 경화능이 좋고, 반대로 경화깊이가 작은 강은 경화능이 나쁜 강이라고 불리어진다. 이러한 점으로 보아 경화깊이는 합금원소 첨가로서 커지므로 탄소강은 경화능이 나쁘고, 합금강은 경화능이 좋아지게 된다.

경화능을 알기 위해서는 켈칭된 강의 단면경도분포를 측정하면 된다. 큰 강재를 켈칭하면 표면만 경화되고 중심부는 냉각속도가 느리므로 Ar'변태를 일으켜서 경화되지 않는다.  
따라서 단면경도분포는 U자형을 나타낸다. 이것을 U곡선이라고 한다.

한편 동일한 강종일지라도 제품의 크기(질량)에 따라 경화깊이가 달라진다.  
탄소강인 SAE 1045강과 합금강인 AISI6140강에 대해서 고려해 보면 SAE 1045강에서 보면 환봉직경이 커짐에 따라 표면경도가 급격한 감소를 보이고 있고 중심부 경도도 연속적인 감소를 나타내고 있다. 이와 같이 제품크기가 클수록 켈칭경도가 감소하는 현상을 질량효과(質量效果, mass effect)라고 한다. 반면에 합금강인 AISI6140강에서는 어떠한 환봉직경에서도 1045강보다 경도가 높다. 그럼에도 불구하고 강재표면으로부터 중심부까지의 경도의 편차는 여전히 존재하고 있으며 특히 직경이 클수록 이 차이는 심하다.

이상에서 알 수 있듯이 일반적으로 탄소강은 질량효과가 크고, 합금강은 질량효과가 적다.  
따라서 합금강은 제품의 크기가 클지라도 경화시키기가 용이하다.

켈칭할 때에는 강재의 경화능과 질량효과를 고려해서 냉각제의 선택 및 켈칭방법의 검토가 필요하다.

## 2) 경화능의 표시방법

임계냉각속도가 큰 강은 단면치수가 약간 커져서 중심부의 냉각속도가 작아지면 경화되지 않는다. 즉 경화능이 나쁘다. 반대로 임계냉각속도가 작은 강은 어느 정도의 두께에서는 중심부까지도 경화될 수 있다. 즉 경화능이 좋다. 따라서 경화능이 좋고 나쁜 것은 임계냉각속도가 작고 큰 것과 직접적으로 관계되므로 임계냉각속도는 경화능의 표시방법으로서 이용된다.

그러나 임계냉각속도가 몇 °C/초일 때 몇 mm의 깊이까지 완전히 경화되는지, 또 어느 정도의 크기일 때 어떤 냉각을 하면 표면으로부터 몇mm까지 경화되는지에 대한 실용적인 수치를 곧바로 얻기는 곤란하다. 오히려 『중심부까지 경화되는 임계직경』, 또는 수냉면으로부터 어느 정도 이상되는 깊이가 몇mm인지를 구하는 편이 경화능을 나타내는데 보다 실용적이다.



여기서 후자는 『一端(한쪽끝)켄칭방법』에 의한 경화능시험으로서 KS규격에도 규정되어 있고, 또 전자의 『임계직경에 의한 방법』은 전술한 냉각제의 냉각능 H와 함께 잘 연구되어 화학조성으로부터 강의 경화능을 예상하는 방법까지 거의 확립되어 있다.

#### ① 임계직경에 의한 경화능 표시방법

경화능은 보통 켄칭경화층의 깊이로서 결정한다. 이 때 경화층의 깊이를 결정하기 위해서 일반적으로 50% 마르텐사이트조직의 경도인 HRC 50 (HV=513)을 임계경도(臨界硬度, critical hardness)라고 하며, 중심부의 경도가 임계경도인 HRC 50을 나타내는 강재직경을 임계직경(臨界直徑, critical diameter)이라고 한다. 또한 강재표면으로부터 50% 마르텐사이트 부분까지의 깊이를 켄칭경화층깊이, 그리고 중심부의 조직이 50% 마르텐사이트로 되는 강재직경을 이상임계직경(理想臨界直徑, ideal diameter)라고 한다.

50% 마르텐사이트를 임계직경의 기준으로 선정하는 이유는 켄칭된 환봉의 단면을 나이탈(nital)로 부식시키면 50% 마르텐사이트-50%펄라이트 지역에서 경화부와 비경화부 사이의 부식濃淡의 차이가 매우 현저하고, 또 50%마르텐사이트 지역이 임계경도인 HRC50에 거의 해당하기 때문이다.

Ni-Cr강인 KS SNC 236강(JIS SNC 1강, AISI 3140강)을 수냉 및 유냉하였을 때 강봉 직경에 따른 중심부경도의 변화를 살펴보면 강재 직경에 따른 중심부경도의 급격한 변화는 임계경도인 HRC 50과 거의 근사하다는 사실을 알 수 있고, 또 이 임계직경은 냉각제의 종류에 따라 다른데 유냉시에는 1.25", 수냉시에는 1.83"로 수냉시가 크다는 것을 알 수 있다. 이 임계직경은 강의 화학조성과 결정립도에 따라서 결정되는 강 고유의 성질이며 경화능의 비교기준으로서 이용되고 있다.

#### ② 일단(一端)켄칭방법에 의한 경화능

일단켄칭방법에 의한 경화능시험(end-quench test)은 Jominy와 Boegehold에 의해 처음 시작되었다. 조미니시험(Jominy test)이라고도 하며 기계구조용 탄소강 및 저합금강의 경화능시험에 많이 이용되고 있다.

시험편은 직경 25mm, 길이 100mm의 원주상으로 되어 있고, 一端에 직경 28mm의 플랜지를 달고 있다. 시험장치는 일정한 유량 및 유속으로 물을 분출시켜 시험편 밑의 단면에만 분출된 물이 충돌해 그 일단만이 냉각되도록 되어 있다.

분출되는 물의 강도를 일정하게 하기 위해서는 시험편을 올려놓지 않을 때의 자유높이를  $65 \pm 10$ mm로 규정하여 이 자유높이가 일정하게 유지되도록 넘쳐 흐르는 장치를 이용하여 낙차를 일정하게 한 물탱크나 또는 물펌프를 사용한다. 시험편은 로중에서 정해진 온도로 가열을 한 후 꺼내어 5초 이내에 이 시험장치에서 분출되는 물에 의한 켄칭이 되도록 한다.

시험편의 측면에서의 공기나 복사에 의한 냉각은 분수에 의한 하단부로부터 냉각에 비해 무시할 수 있을 만큼 적으므로 시험편은 하단으로부터 위로 갈수록 점차 냉각속도가 작아진다.

즉 1개의 시험편에서 여러가지 냉각속도를 얻을 수가 있게 된다. 이렇게 해서 켄칭이 끝난 시험편의 원주면을 축방향에 따라 깊이 약 0.4mm씩 연삭해서 평행한 2면을 만들고, 이 면을 켄칭단으로부터 1.5mm씩 일정한 간격으로 경도를 측정하여, 켄칭단으로부터의 거리에 따른 경도변화를 그래프에 나타낸다 이 곡선을 경화능곡선(硬化能曲線, hardenability curve, H-curve), 또는 조미니곡선이라 한다.

한편 경화능을 나타내는데에는 경화능곡선 이외에도 경화능지수를 사용할 수 있는데, 이것은 켄칭단으로부터 일정거리에서의 경도 또는 일정경도에 대한 켄칭단으로부터의 거리이다.

경도시험에서 특정경도를 지정하는 경우 보통은 마르텐사이트와 미세펄라이트가 50%씩인 위치의 경도를 택할 때가 많다. 그것은 조직이 100% 마르텐사이트 부분으로부터 미세펄라이트로 변화되는 도중 50% 마르텐사이트 부근이 가장 급격하게 조직이 변화되는 부분이며, 이에 따라 경도변화도 현저하므로 경도곡선이나 조직관찰로부터 50% 마르텐사이트가 존재하는 위치를 결정하는 것이 쉽고 오차도 적기 때문이다.

그러나 미세펄라이트가 혼합되어 있으면 기계적성질은 좋지 않으므로 큰 힘이 가해지는 부분은 적어도 90% 이상의 마르텐사이트조직이 되도록 켄칭하는 것이 바람직하다.

더우기 일단켄칭시험에서는 일정한 치수의 시험편을 일정한 방법으로 켄칭하므로 그 특정 부분의 냉각속도는 항상 같고, 그 값은 각 부분에 대하여 측정되어 있다.

따라서 여러가지 직경의 환봉에 대하여 물이나 기름에 켄칭했을 때의 냉각속도를 측정해두면 일단켄칭시험편의 각 부분의 냉각속도와 대응시킴으로 일단켄칭시험의 결과로부터 환봉의 켄칭경화층 깊이를 예측할 수 있다.

### 8-3-2 뜨임(Tempering)

#### (1) 목적

강재는 켄칭상태 그대로 사용하는 일은 거의 없고, 보통 반드시 템퍼링을 한다. 그 이유로서는 다음과 같은 것을 들 수 있다.

① 켄칭시에 형성되는 내부응력(內部應力, internal stress) 때문에, 연삭 등의 다듬질 가공을 하면 응력의 균형이 달라져 변형이나 균열을 발생시킬 수 있고, 또 그대로 사용하면 시간이 경과함에 따라 응력이 완화되는 동시에 변형이 나타나게 된다.

② 마르텐사이트조직은 일반적으로 매우 단단하기 때문에 취약한 성질을 갖고 있다. 또한 높은 경도에 비해 인장강도가 반드시 높다고 할 수는 없으며, 항복점이나 탄성한계도 낮다. 이들의 경향은 탄소량이 많은 강일수록 심하다. 따라서 용도에 따라 적당한 인성을 유지하기 위해서 템퍼링을 해야만 한다. 특히 기계부품으로서 사용하기 위해서는 충분한 인성이 필요하기 때문에 500 ~ 650°C 정도의 고온에서 템퍼링을 한다.  
이것은 템퍼링 마르텐사이트조직이 강도와 인성의 견비라는 점에서 미세펄라이트보다 우수하기 때문이다.

③ 마르텐사이트는 조직은 불안정하여 과포화로 고용해 있는 탄소가 탄화물로서 석출하려는 경향이 강하고 여기에 수반해서 체적의 수축이 일어난다. 또 잔류오스테나이트가 함유되어 있는 경우에는 이것이 사용중에 마르텐사이트로 변태하여 체적의 팽창을 일으킨다.  
이와 같이 마르텐사이트도 잔류오스테나이트와 같이 상온에서는 불안정하여 시간에 따라 상변화를 일으켜 부품의 형상이나 치수에 오차를 일으키므로 정밀한 공구나 기계부품 등에서는 주의해야만 한다. 150 ~ 200°C에서의 템퍼링으로 경도를 크게 저하시키지 않고도 이와 같은 조직의 불안정성을 다소 제거할 수 있다.



이상과 같은 이유로부터 템퍼링을 한마디로 정의하면 퀴칭에 의해 형성된 불안정한 조직을 안정한 조직으로 변태시킴과 동시에 잔류응력을 감소시키고, 특히 인성을 개선시키기 위하여 A1점 이하의 적당한 온도로 가열유지 및 냉각하는 조작이라고 말할 수 있다.

## (2) 방법

### ① 저온템퍼링

공구강 등과 같이 높은 경도와 내마모성을 필요로 하는 경우에는 주로 150 ~ 200°C의 저온템퍼링을 해서 마르텐사이트 특유의 경도를 떨어뜨리지 않고 치수안정성과 다소의 인성을 개선시키고 있다. 템퍼링시간은 25mm 두께당 30분 유지하는 것이 일반화되어 있고, 템퍼링온도로부터의 냉각은 공랭을 한다.

### ② 고온템퍼링

기계구조용강 등과 같이 높은 인성을 필요로 하는 경우에는 400 ~ 650°C의 온도범위에서 고온템퍼링을 실시하고 있다. 이와 같이 퀴칭.템퍼링에 의해서 인성을 향상시키는 열처리를 조질(調質)이라고도 부르고 있다.

템퍼링온도로부터의 냉각은 급랭(수냉이나 유냉)을 해야만 한다. 서냉을 하는 경우에는 후술하는 템퍼링취성(temper embrittlement)이 나타나기 때문이다.

## (3) 템퍼링에 의한 조직과 성질의 변화

퀴칭상태의 마르텐사이트조직은 매우 불안정하고, 필라이트나 페라이트에 비해 현저하게 硬하다는 것은 이미 여러번 기술한 바 있다. 따라서 템퍼링의 목적은 전술한 바와 같이 퀴칭상태의 불안정한 마르텐사이트조직을 안정한 조직인 페라이트와 시멘타이트로 변화시키는 동시에 인성을 향상시키기 위한 것이다. 각 온도에서 탄화물이 석출되면 처음에는 경도가 약간 저하되지만 궁극적으로 커다란 감소를 가져온다. 잔류오스테나이트의 변태로써 어느 정도 경도에 기여하지만 이것은 기껏해야 탄화물석출에 의한 경도감소를 약간 지연시키는 효과밖에 없다. 따라서 템퍼링온도가 상승함에 따라 경도는 급격히 감소하게 된다.

## (4) 템퍼링취성

템퍼링온도가 높아짐에 따라 보통 경도와 인장강도는 감소하고, 연신율과 단면수축율 등은 증가되는 것이 일반적인 경향이다. 그러나 이와 함께 인성도 증가한다고 단언할 수는 없다.

실제로 어떤 특정한 온도범위에서 템퍼링하면 그 이하의 온도에서 템퍼링할 때보다 현저하게 취화되므로써 취성파괴(脆性破壞, brittle fracture)를 일으키는 일이 있다. 또 템퍼링온도로부터 서냉할 때에도 이와 같은 현상이 일어날 수도 있다. 이와 같이 퀴칭한 강을 어떤 온도에서 템퍼링을 했을 때 그 이하의 온도에서 템퍼링했을 때보다 오히려 취약하게 되는 현상을 템퍼링취성(temper brittleness)이라 한다.

따라서 실용강의 열처리시에는 이 점에 충분히 주의할 필요가 있고, 취화가 일어나지 않도록 템퍼링조건을 선택하여야 하며, 또 이것을 피할 수 없는 경우에는 그 위험성이 적은 다른 강종으로 변경하는 것이 바람직하다.

템퍼링취성은 300°C 전후의 온도로 템퍼링한 경우에 나타나는 것과 보다 고온의 500°C 혹은 그 이상의 온도로 템퍼링했을 때 나타나는 것의 2종류가 있는데, 전자는 저온템퍼링취성, 후자는 고온템퍼링취성이라 이름하고 있다.

### ① 저온템퍼링취성

일반적인 탄소강에 대하여 템퍼링온도에 따른 경도와 충격값의 변화를 살펴보면 경도는 템퍼링온도의 상승과 같이 단순하게 저하되어 가지만 충격값은 200°C까지의 템퍼링시에 일단은 증가하다가 200 ~ 400°C에서는 오히려 현저하게 감소되고 있다. 이 온도범위에서는 경도나 인장시험결과에 이 취화와 대응하는 특별한 변화가 나타나지 않는다.

이 현상은 인(P)이나 질소(N)를 많이 함유한 강에 확실히 나타나고, 반대로 알루미늄(Al), 티탄(Ti), 붕소(B) 등을 첨가하면 취화가 적어진다. 이 취성이 나타나는 온도범위가 마치 템퍼링 제 2단계의 온도범위와 일치하기 때문에 잔류오스테나이트의 분해가 취화원인이라고 생각되는 경우도 있다. 따라서 이 현상을 A취성이라 할 때도 있다.

그러나 0.15%C의 저탄소강에서 오히려 충격값의 저하가 현저하게 나타난다는 것, 또 심랭처리로 잔류오스테나이트량을 감소시켜도 동일하게 취화를 나타낸다는 점으로 미루어 보아 오늘날에는 잔류오스테나이트의 분해에 의하여 취화가 일어난다는 설은 옳지 않다고 여겨지고 있다.

그리고 현재도 역시 취성의 원인은 확실치 않지만 마르텐사이트의 템퍼링에 따라서 석출되는 매우 미세한 박판상 시멘타이트가 중요한 관계를 가지고 있다고 생각된다. 시멘타이트는 템퍼링 초기의 ε상으로부터 변해서 250°C 부근에서 나타나기 시작하고 이것이 충분히 성장하면 인성은 증가하지만, 극히 미세한 간격을 가지는 어떤 특정한 크기가 되었을 때 강 전체를 취약하게 한다고 볼 수 있다.

그 원인이야 어쨌든간에 이러한 취화현상을 피하기 위해서는 200 ~ 400°C의 온도범위에서는 템퍼링을 하지 않는 것이 보통이며, 많은 공구강이나 베어링강 등의 템퍼링온도를 150 ~ 180°C로 선정하는 것도 이러한 이유 때문이다.

단 Si를 강에 첨가하면 이 취성이 나타나는 온도가 상승하여 300°C 정도의 템퍼링에서도 특히 취화가 나타나지 않으므로 스프링강나 초강인강 등에서는 규소를 함유한 강을 이 부근의 온도에서 템퍼링하여 강도와 탄성을 향상시키고 있다.

### ② 고온템퍼링취성

저온템퍼링취성이라는 말은 보통 375 ~ 575°C의 온도범위에서 템퍼링하거나 이 온도범위를 서냉한 시험편을 노치충격시험할 때에 노치인성의 감소, 즉 연성-취성 천이온도가 증가되는 현상을 말한다.

Ni-Cr강을 400°C 이상에서 템퍼링한 후 수냉시킨 경우와 서냉(노냉)시킨 경우의 충격값을 템퍼링온도에 대하여 살펴보면 450°C 부근까지는 수냉 및 서냉시료 모두 급속히 인성이 증가하지만, 500 ~ 550°C의 온도범위에서는 현저한 취화를 나타낸다. 또한 550°C 이상에서는 수냉된 시료의 인성은 급속히 증가되지만 서냉시료는 수냉시료에 비해 대단히 취약하다는 것을 알 수 있다.

이 현상을 고온템퍼링취성이라 하는 것으로, 보통 간단히 템퍼링취성이라 하면 이 현상을 말하는 것이다. 또 500 ~ 550°C에서의 템퍼링으로 생기는 취성을 1차 템퍼링취성, 다시 높은 온도의 템퍼링후 서냉시에 나타내는 취성을 2차 템퍼링취성이라 구별할 때가 있다.

그러나 이 양자는 본질적으로 완전히 같은 현상으로 생각해도 된다. 요컨대 500 ~ 550°C의 온도범위는 취화를 일으키는 온도범위이기 때문에, 이 범위에서 템퍼링하든지 혹은 이 범위를 통해서 서냉하는 경우에는 현저하게 취화를 일으킨다고 해석해야 한다.

이러한 취화는 0.6% 이상의 Mn(특히 1.5% 이상의 경우)을 함유한 망간강, 혹은 Cr 또는 Ni를 함유한 구조용 특수강에서 많이 나타나는 현상으로서, 저온템퍼링취성과 같이 인장시험결과나 그밖에 여러가지 물리적성질 등에는 거의 여기에 대응하는 변화는 확인되지 않고 오로지 충격시험의 경우에만 나타난다. 그러므로 충격적인 하중을 받는 기계부품에서는 이 취성에 특별히 주의해야 한다.

또한 이 취화현상은 단순히 상온에서의 충격값의 감소를 야기시킬 뿐만 아니라 사실은 충격천이온도를 상승시키기 때문에 더욱 문제시 되는 것이다.

Cr강(SCr 440)을 620°C에서 2시간 템퍼링한 다음 급랭한 경우와 노냉한 경우로 천이온도 곡선을 살펴보면 템퍼링온도로부터의 냉각속도가 느린 노냉시편의 천이온도는 70 ~ 80°C 상승하는 것을 알 수 있다.

이 고온템퍼링취성의 원인은 현재로서는 아직 확실하게 밝혀지지는 않았다. 조직시험이나 성분분석 등의 결과로부터 이 현상은 어떤 특정한 원소가 舊오스테나이트 결정립계(prior austenite grain boundary)에 편석됨으로써 일어난다는 것을 알 수 있었는데, 이들 원소중 가장 현저한 영향을 미치는 것은 Sb, Sn, P, As 등이다.

이러한 원소들은 매우 소량만 함유되어 있어도 템퍼링취성을 야기시킬 수 있게 된다. 특히 공업용강의 P함유량을 아무리 감소시켜도 템퍼링취성을 일으키기에 충분한 양이 된다. 전에는 이러한 예민화원소들의 舊오스테나이트 결정립계 편석을 확인하지 못했으나 근래에 템퍼링취성을 일으킨 강의 파면에 대하여 Auger분석을 행하므로써 구체적으로 확인되었다. 실제로 템퍼링취성을 일으키는 조건으로 열처리된 강의 舊오스테나이트 결정립계에는 결정립내보다 200배 정도로 P의 농도가 크다는 것이 밝혀졌다. 더구나 이 고농도의 P가 약 10Å 두께내에만 존재한다는 것이다. 그러나 여러가지 분석방법을 사용해 보아도 결정립계에는 어떠한 취약한 상도 형성되어 있지 않다는 사실을 확인하였다.

Ni-Cr강(SNC 236)을 860°C에서 오스테나이트화 처리후 유냉하고, 625°C에서 1시간 템퍼링 처리후 서냉 및 수냉한 시편을 관찰해 보면 서냉한 조직에는 舊오스테나이트 결정립계를 따라 성분원소의 편석이 보여지지만 수냉한 조직에서는 그러한 흔적을 볼 수 없다.

이러한 원인들을 분석해 봄으로써 고온템퍼링취성에 대한 방지책을 수립할 수 있다. 600°C 이상의 온도에서 템퍼링하는 것, 그리고 템퍼링처리후 그 온도로부터 급냉시키는 것이 바람직하다.

강도 문제 때문에 600°C이하의 템퍼링이 요구되는 경우도 있지만 이 경우에도 템퍼링에 의한 취화를 피하기 위해 좀더 높은 온도를 사용하도록 하고 그대신 템퍼링시간을 단축시키면 되는 것이다.

단 치수나 두께가 큰 강재부품은 템퍼링후 급랭해도 중심부의 냉각속도가 느리기 때문에 취화를 피할 수 없는 경우도 있다. 그러나 이 때에는 Mo를 첨가하면 템퍼링취성을 방지할 수가 있다.

#### ◆ 강종에 따른 퀴칭 및 템퍼링방법

##### (1) 기계구조용 탄소강

탄소강은 질량효과가 크기 때문에 SM 50C에서도 경화되는 유효최대직경은 40mm 정도이므로 대형기계부품용으로는 적당치 않다.

오스테나이트화 온도는 풀림온도보다 약간 높게 하고, 냉각은 수냉으로 한다. 탄소강에서는 증기막 단계의 下限온도가 펄라이트변태 온도범위와 중첩되므로 靜水에서는 불완전 퀴칭되기 쉽다. 따라서 강하게 교반하여 증기막을 파괴시킬 필요가 있고, 水溫도 25℃ 이하로 유지하는 것이 좋다.

퀴칭경화깊이는 C나 Mn의 영향이 가장 크지만 Ni, Cr 및 B 등도 영향을 미치므로 scrap 으로부터 혼입된 이들 불순물의 영향도 간과해서는 안된다.

템퍼링온도범위는 550 ~ 600℃ 정도를 선택하여 소르바이트조직으로 만드는 調質처리가 행하여지고 있다. 침탄용강은 내마모성을 위하여 150 ~ 200℃의 저온템퍼링을 행한다.

##### (2) 기계구조용 합금강

기계구조용합금강의 탄화물은 M3C형의 複合탄화물이므로 오스테나이트에 고용하기 쉽다. 여기서 M은 금속원소를 나타내는 것으로, Fe의 일부가 다른 금속원소와 치환된 형태이다. 한예로 (Fe.Cr.Mo)3C와 같은 것이 있다. 기계구조용합금강의 퀴칭은 SMn계나 SCr계의 일부를 제외하고는 유냉이 원칙이다. 따라서 충분히 교반할 필요가 있고, 油溫도 60 ~ 80℃ 정도로 유지하는 것이 좋다.

기계구조용 합금강의 템퍼링은 원칙적으로 550 ~ 650℃의 고온템퍼링, 즉 조질처리가 행하여지고 있다. 그러나 SCr계와 같이 템퍼링연화저항성이 작은 강종은 약간 낮은 온도에서 템퍼링한다. 침탄용강은 역시 150 ~ 200℃의 저온템퍼링을 행한다.

한편 전술한 바와 같이 일반적으로 저온템퍼링과 고온템퍼링의 중간온도에서는 템퍼링취성이 나타나서 충격인성이 현저하게 떨어지므로 이 온도범위에서의 템퍼링은 피하는 것이 좋다. 또 고온템퍼링후서냉할 때에도 템퍼링취성이 나타나므로 KS규격에서도 템퍼링후에는 급랭하도록 규정하고 있다. 따라서 대형부품에서는 강제적인 냉각이 필요하게 되지만 일반적인 경우는 공랭정도면 충분히 템퍼링취성을 피할 수 있다. 물론 템퍼링취성의 방지 측면에서 볼 때에는 수냉이 가장 바람직하지만 수냉하면 변형과 녹 문제가 수반되므로 가능하면 피하는 것이 좋다.

##### (3) 탄소공구강

고탄소강은 경화능이 나쁘므로 수냉으로 경화시킨다. 오스테나이트화 온도는 760 ~ 820℃의 범위로, 온도는 정확히 조절하여 미용해 탄화물이 과잉으로 용해되지 않도록 한다. 온도가 너무 높으면 잔류오스테나이트량이 증가되어 퀴칭경도는 저하되고, 또한 퀴칭균열이나 변형이 발생되기 쉽다.

한편 고탄소강은 극히 탈탄되기 쉬우므로 가열시에 충분히 주의해야 하고, 필요에 따라서는 분위기 가열도 행한다. 탄소공구강은 STC 1~STC 7까지 7종이 KS규격에 규정되어 있는데, 템퍼링은 모두 170°C 전후에서 하도록 규정되어 있다. 일반적으로 템퍼링 오일에 의한 oil bath가 사용되고 있다. 이 강종은 템퍼링연화저항성이 없으므로 온도관리에 세심한 주의를 요한다. 템퍼링경도는 탄소량에 따라 HRC 54~65 정도로 된다.

#### (4) 합금공구강

합금공구강은 대부분 열전도도가 작으므로 800°C 전후에서 예열을 행한다. 예열에 의해서 가열시의 변형을 방지하고 오스테나이트화 온도에서의 유지시간을 단축시킬 수 있으며, 켄칭경도의 균일화 등에 효과적이다. 오스테나이트화 온도는 강종에 따라서 매우 큰 차이를 보인다. 유지시간은 두께 25mm당 보통 15~30분 정도로 한다. 냉각방법도 일정치 않고 강종에 따라 수냉, 유냉 및 공랭으로 규정되어 있다. 한편 템퍼링도 경도와 내마모성을 주로 요구하는 절삭용이나 냉간금형용 공구강은 저온템퍼링을 행하고, 충격인성이 요구된다거나 또는 열간금형용 공구강과 같이 고온에서 사용하는 강에서는 고온템퍼링을 행한다.

내충격용 공구강은 저온템퍼링하고 있지만 이 경우는 탄소량을 낮추거나 V를 첨가해서 인성을 확보하고 있다. STD 11과 같은 냉간금형용 합금공구강의 템퍼링온도가 150~200°C로 규정되어 있는데, 실제로 금형을 열처리할 때에는 500°C 부근에서 1차 템퍼링하고, 150~200°C 범위에서 2차 템퍼링하는 것이 좋다.

#### (5) 고속도강

고속도공구강은 합금원소량이 많으므로 2段 豫熱을 충분히 행하여야 한다. 오스테나이트화 온도에서의 유지시간은 3~5분 정도면 된다. 오스테나이트화 온도는 탄화물을 충분히 고용시킬 필요가 있기 때문에 W계에서는 1300°C 이상으로 매우 높지만, Mo계에서는 1250°C이하로서 충분하다. 그러나 두 경우 모두 통상적인 켄칭에 비해서는 고온이므로 오스테나이트화 온도조절과 탈탄에 특별한 주의를 기울여야 한다. 일반적으로 가열은 염욕가열이 사용되고 있다.

한편 경화능이 좋으므로 공랭으로도 경화되지만 산화피막의 형성을 억제하기 위해서는 유냉으로 300°C 정도까지 냉각시킨 후 꺼내서 공랭하는 것이 좋다. 고속도강에서 템퍼링 온도에 따른 경도변화는 200~400°C에서는 켄칭에 의한 내부응력의 제거와 마르텐사이트의 분해 등에 기인하여 경도는 약간 저하되지만, 560~600°C에서 템퍼링하면 재차 경도가 높아진다. 이것이 전술한 2차경화현상이다. 고속도강에서 나타나는 2차경화현상은

- (i) 마르텐사이트로부터의 탄화물 석출
- (ii) 잔류오스테나이트로부터의 탄화물 석출
- (iii) 템퍼링온도로부터 냉각도중 일어나는 잔류오스테나이트의 마르텐사이트화 등 3가지 현상이 합성된 경화이다.

고속도강에서도 절삭내구력을 향상시키기 위해서는 2~3회의 템퍼링이 필요하다. 즉 고합금공구강이나 고속도강에서의 잔류오스테나이트는 500°C부근의 템퍼링온도에서 냉각할 때 마르텐사이트로 변태한다. 따라서 이러한 강은 새롭게 생성된 2차 마르텐사이트에 인성을 주는 재템퍼링을 실시해야 된다. 만약 필요한 경도가 1차 템퍼링후 이미 도달되었다면 2차 템퍼링은 강의 경도가 감소되지 않도록 보다 낮은 온도에서 실시해야 한다. 실제로 이러한 2차 템퍼링은 1차 템퍼링보다 10~30°C정도 낮은 온도에서 실시한다. 이렇게 함으로써 금형과 절삭공구의 인성과 내구성이 매우 향상된다.



#### (6) 스프링강 및 베어링강

스프링강은 기계구조용강에, 베어링강은 합금공구강에 준해서 열처리하는 것이 보통이다. 스프링강은 탈탄, 표면흠 등에 의해서 피로한계를 뚜렷하게 저하시키므로 탈탄에 주의해야 하고, 특히 가열온도가 높으면 오스테나이트 결정립이 조대화되어 인성을 해치고, 표면상태가 나빠지며, 탈탄되기 쉬워지므로 조심해야 한다. 켄칭시 300℃ 정도로 냉각되면 냉각유에서 꺼내어 연속적으로 템퍼링로에 장입한다. 템퍼링온도는 450 ~ 540℃의 범위를 선택함으로써 탄성한계를 향상시키고 있다. 베어링강의 템퍼링온도는 강종과 형상에 따라 120 ~ 200℃ 범위로 한다. 또 정밀한 것을 요구할 때에는 심랭처리와 템퍼링을 조합하여 數回 반복한다.

### 8-3-3볼림(Normalizing)

비교적 큰 물품으로 고온에 가열하여 성형한 나사는 자칫하면 결정이 커져서 부분적으로 매우 경화되기도 하여 고른 성질이 되지 못하는 수가 있다. 그 때문에 고른 조직과 경도를 유지하기 위하여 물품을 어느 온도로 가열하여 공냉을 시켜줄 필요가 있다. 이 작업은 강을 Ac3 또는 Acm 이상 40~60℃의 온도로 가열한 다음 조용한 대기중에 방냉하는 방법으로 하는데 이러한 열처리 방법을 Normalizing이라 한다. 강을 표준상태로 한다고도 일컬어지지만 강의 전가공 영향을 제거하여 결정립을 미세화시켜 기계적 성질을 향상시킨다. 그 밖의 기계적 성질을 향상시키기 위해 실시 할 때도 있다. Normalizing 온도는 풀림의 경우보다 다소 높다.

#### (1) 목적

노멀라이징의 일반적인 목적은 다음과 같다.

- ① 결정립을 미세화시켜서 어느 정도의 강도증가를 피하고, 켄칭이나 완전풀림을 위한 재가열시에 균일한 오스테나이트 상태로 만들어주기 위한 것이다.
- ② 주조품이나 단조품에 존재하는 편석을 제거시켜서 균일한 조직을 만들기 위함이다.

#### 1) 단강품

단강품은 대부분 저탄소 또는 중탄소강으로서 열간가공온도나 살두께가 불균일하기 때문에 결정립의 크기가 불균일하고, 성장하여 조대해질 경우가 많다. 이러한 경우에 재차 오스테나이트화 한 다음 공랭하면 가공 등에 의한 잔류응력이 제거될 뿐만 아니라 결정립이 미세화된다. 이로써 강도와 인성이 증가된다.

단강품은 일반적으로 반드시 노멀라이징 또는 풀림을 하고 사용하여야 하며, 강도를 필요로 할 경우에 노멀라이징만으로도 상당한 효과를 얻을 수 있다. 단, 가열온도가 너무 높으면 결정립은 재차 성장하고 강도와 인성도 저하되므로 주의해야 한다.

#### 2) 주강품

주강품에서는 응고시의 편석이나 서냉에 의한 결정립 조대화를 피할 수 없으며, 단면치수가 큰 것일수록 그 경향이 현저하다. 특히 편석이 심할 경우에는 노멀라이징 온도를 높이고 유지시간도 길게 하여 우선 확산, 균질화시킨 다음 공랭시키고, 재차 A3 변태점 직상으로 가열, 새로운 미세한 오스테나이트를 형성시킨 다음 공랭하면 미세한 펄라이트가 생성된다.



## (2) 방법

강을 A3 또는 Ac<sub>m</sub>점보다 30 ~ 50°C 정도 높은 온도로 가열하여 균일한 오스테나이트 조직으로 만든 다음 대기중에서 냉각하는 열처리이다. 가열시간은 25mm당 30분이다. 이러한 통상적인 노멀라이징 방법 외에 다음과 같은 2가지 방법이 있다.

- ① 2단 노멀라이징 : 대형부품(두께 75mm 이상)이나 고탄소강(0.6 ~ 1.0C)의 백점이나 내부균열을 방지하기 위하여 사용된다.
- ② 항온 노멀라이징 : 기계구조용 탄소강이나 저탄소 합금강의 피삭성을 향상시키기 위하여 사용된다.

### 8-3-4 풀림(Annealing)

강을 적당한 온도로 가열하고 그 온도로 유지한 다음 서냉(로냉)한다.

이 목적은 나사의 내부 응력의 제거, 경도저하, 피삭성의 향상, 냉간 가공의 개선, 결정조직의 조정 혹은 소요의 기계적 물리적 또는 그 밖의 성질을 얻는 일을 말한다.

기본적으로 軟化를 목적으로 행하는 열처리로서, 일반적으로 적당한 온도까지 가열한 다음 그 온도에서 유지한 후 서냉하는 조작을 말한다. 그밖의 처리목적으로는 내부응력의 제거, 절삭성 향상, 냉간가공성 향상 등을 통하여 기계적성질을 개선하기 위한 것이다.

풀림에는 완전풀림, 항온풀림, 구상화풀림, 응력제거풀림, 연화풀림, 확산풀림, 저온풀림 및 중간풀림 등의 여러 종류가 있다.

#### (1) 완전풀림(full annealing)

완전풀림은 아공석강에서는 Ac<sub>3</sub>점 이상, 과공석강에서는 Ac<sub>1</sub>점 이상의 온도로 가열하고, 그 온도에서 충분한 시간동안 유지하여 오스테나이트 단상 또는 오스테나이트와 탄화물의 공존조직으로 한 다음, 아주 서서히 냉각시켜서 연화시키는 조작방법으로서 일반적으로 풀림이라고 하면 완전풀림을 의미한다. 따라서 이 경우의 조직은 아공석강에서는 페라이트와 펄라이트, 과공석강에서는 망상 시멘타이트와 조대한 펄라이트로 된다.

일반적으로 열간압연 또는 단조작업을 행한 강재는 조직이 불균일하다든지, 잔류응력이 존재한다든지 또는 연화가 불충분하여 절삭가공이나 소성가공이 곤란할 때가 많다. 이 경우 금속재료를 연화시켜서 절삭가공을 쉽게하기 위해서는 완전풀림을 한다.

이와 같은 처리는 탄소량이 약 0.6% 이하인 기계구조용강에 적용되며, 탄소량이 이것보다 많은 공구강에서는 구상화풀림이 적합하다.

완전풀림의 가열온도는 아공석강에서는 Ac<sub>3</sub>점 이상 30 ~ 50°C, 과공석강에서는 Ac<sub>1</sub>점 이상 약 50°C 높은 온도가 적당하며, 너무 높은 온도에서 가열하면 결정립이 조대화되므로 주의하여야 한다.

#### (2) 항온풀림(isothermal annealing)

완전풀림의 일종으로서 단지 항온변태를 이용한다는 차이만 있을 뿐이다. 즉 완전풀림은 강을 오스테나이트화한 다음 서서히 연속적으로 냉각해서 강을 연화시키는 것인데 비하여, 항온풀림은 강을 오스테나이트화 한 후 TTT곡선의 nose온도에 해당되는 600 ~ 650°C의 로속에 넣어 이 온도에서 5 ~ 6시간 동안 유지한 다음 꺼내어 공랭하는 것이다.

고속도강과 같은 합금강은 아주 서냉하지 않으면 페라이트 변태가 끝나지 않으며, 잔류오스테나이트는 베이나이트나 마르텐사이트로 변태하므로 충분히 연화시킬 수 없게 된다. 그러나 이와 같은 합금강도 어느 일정한 온도에서 유지시켜 항온 변태를 시키면 단시간 내에 변태가 끝나므로 쉽게 연화된다.

항온풀림은 자동차부품용의 기계구조용 저합금강 뿐만 아니라 합금공구강 및 고속도공구강과 같이 합금원소를 많이 함유하는 공구강에서 풀림시간을 단축시키기 위해서 현장에서 흔히 이용된다.

### (3) 확산풀림(diffusion annealing)

일반적으로 응고된 주조조직에서 주형에 접한 부분은 합금원소나 불순물이 극히 적고, 주형 벽에 수직인 방향으로 응고가 진행됨에 따라 합금원소와 불순물이 많아지며, 최후로 응고한 부분에 합금원소가 가장 많이 잔존하게 된다.

이와 같은 현상을 편석(偏析, segregation)이라 한다.

강괴의 경우, 편석은 1300°C 정도에서 수시간 동안 가열하는 균질화 처리와, 그 다음의 열간가공에 의해서 어느 정도 균질화되지만 완전히 해소되지는 못한다.

따라서 이러한 상태의 주괴를 단조나 압연을 하면 편석된 것들이 가공방향으로 늘어나 섬유상 편석이 나타난다. 인(P), 몰리브덴(Mo) 등이 많이 함유된 강에서는 그 경향이 더욱 두드러지게 나타난다.

이와 같은 주괴 편석이나 섬유상 편석을 없애고 강을 균질화시키기 위해서는 고온에서 장시간 가열하여 확산시킬 필요가 있다. 이와 같은 열처리를 확산풀림 또는 균질화풀림이라고 한다.

가열온도는 합금의 종류나 편석 정도에 따라서 다르며, 주괴편석 제거를 위해서는 1200 ~ 1300°C, 고탄소강에서는 1100 ~ 1200°C, 단조나 압연재의 섬유상 편석을 제거하기 위해서는 900 ~ 1200°C 범위에서 열처리하는 것이 적당하다. 확산풀림을 할 때 풀림온도가 높을수록 균질화는 빠르게 일어나지만 결정립이 조대화되므로 주의하여야 한다.

### (4) 구상화풀림(spheroidizing annealing)

펄라이트를 구성하는 층상시멘타이트나 또는 망상(網狀)으로 나타나는 초석시멘타이트가 그대로 존재하면 기계가공성이 나빠지고, 특히 웬칭열처리시 균열이나 변형발생을 초래하기 쉬워진다. 즉 소성가공이나 절삭가공을 쉽게 하기 위해서, 기계적성질을 개선하기 위해서, 또는 웬칭시 균열이나 변형발생을 방지할 목적으로 탄화물을 구상화시키는 열처리를 구상화풀림이라고 한다.

이 구상화처리는 보통 제강회사에서 실시하는 것이 일반적이다. 이 처리는 특히 공구강에서는 매우 중요한 처리로서, 웬칭의 전처리로서 탄화물을 필히 구상화시킬 필요가 있다.

시멘타이트가 구상화되면 단단한 시멘타이트에 의하여 차단된 연한 페라이트 조직이 연속적으로 연결되고, 특히 가열시간이 길어짐에 따라 구상 시멘타이트는 서로 응집하여 입자수가 적어지므로 페라이트의 연속성은 더욱 좋아진다. 따라서 경도는 저하되고 소성가공이나 절삭가공이 용이해진다. 즉, 구상화 풀림에 의해 과공석강은 절삭성이 향상되고, 아공석강에서는 냉간단조성 등의 소성가공성이 좋아지게 되는 것이다.

## 1) 구상화방법

① Ac1점 직상으로 가열한 후 Ar1점 이하까지 극히 서서히 냉각하든지 또는 Ar1점 이상의 어느 일정온도에서 유지한 후 냉각하는 방법.

탄소공구강은 처리가 간단하고 구상화속도도 비교적 빠르므로 이 방법으로 구상화시킨다. 이 두방법중 일반적으로 사용되는 것은 서냉법(徐冷法)이고, 이 방법의 변화된 형태로서 항온유지법(恒溫維持法)이 이용되고 있다. 서냉법에서의 냉각속도는 보통 30°C/h 이하로 되어 있지만 각각 강종에 따라서 어느 임계냉각속도가 있어서 이 속도보다 빠르게 냉각하면 층상조직이 나타나게 된다.

② Ac1점 직하(650 ~ 720°C)에서 장시간 가열유지하는 방법.

주로 퀀칭 또는 냉간가공된 강에 적용된다. 아공석강에서도 냉간가공을 30% 이상 행한 경우는 이 방법으로 구상화시킨다. 이 방법으로는 조대한 망상 시멘타이트는 구상화되지 않는다.

③ Ac1점 상하 20 ~ 30°C 사이에서 반복적으로 가열 및 냉각하는 방법.

아공석강에 가장 적합한 방법으로서, 가장 빨리 구상화시킬 수 있다. 탄화물을 A1점 이상의 온도에서 고용시키면 탄화물의 부분적인 고용이 진행되고, 이에 따라 층상탄화물이 분단된다. 그리고 고용된 부분은 냉각시 재차 잔류탄화물의 표면에 석출하여 더욱 구상화가 촉진된다.

아공석강에서는 가열온도가 높아지면 탄화물의 석출핵이 소실되어 구상화가 어려워진다. 냉각속도는 느린 편이 좋은데, 저탄소강에서는 1°C/min가 바람직하지만 탄소량이 많아지면 비교적 빠른 냉각으로도 구상화된다. 반복횟수는 아공석강 및 공석강에서는 3회, 비과공석강에서는 2회 정도면 균일한 탄화물조직으로 된다.

④ Acm선 이상으로 가열하여 시멘타이트를 완전히 고용시킨 후 급랭하여 망상시멘타이트의 석출을 억제시키고 재차 가열하여 ② 또는 ③의 방법으로 구상화하는 방법.

망상 탄화물이 존재하는 과공석강의 구상화방법이다. 미세하고 균일한 구상화조직을 얻는데에는 효과적이지만 구상화속도가 느리다. 급랭으로는 주로 공랭을 이용하지만 마르텐사이트 조직이 가장 구상화되기 쉬우므로 유냉하는 경우도 있다.

## 2) 강종에 따른 구상화풀림

① 냉간단조소재 : 냉간단조를 행한 아공석강에서는 구상화풀림이 매우 널리 이용되고 있다. 탄화물의 분포를 균일하게 하기 위해서는 전처리로서 노멀라이징을 행하여 초석페라이트와 펄라이트의 혼합조직으로 미세하게 해 놓는 것이 일반적이다.

② 탄소공구강과 합금공구강 : 절삭용, 내충격용 및 냉간금형용 공구강은 탄소공구강과 동일하지만 가열유지시간은 좀더 길고, 냉각은 좀더 신중하게 행한다.

③ 열간다이스강, 고속도강 : 공정탄화물이 있는 경우는 단조와 압연을 조합하여 행하고 있지만 이것은 통상 제강회사에서 행하여 공급하고 있다.

④ 베어링강 : 구상화조직은 베어링의 성능에 직접적으로 영향을 주므로 구상화풀림조건은 매우 엄격하게 되어 있다. 즉 1차 탄화물이 잔류하지 말아야 하고 탄화물분포가 균일해야 하며 그 입자크기도 0.4 ~ 0.5 $\mu$ m의 범위로 조절하고 있다. 구상화풀림 전에는 일반적으로 노멀라이징을 행하고, 풀림온도는 상한온도를 절대로 넘어서면 안된다.

#### (5) 응력제거풀림(stress relief annealing)

단조, 주조, 기계가공 및 용접 등에 의해서 생긴 잔류응력을 제거시키기 위해서 A1점 이하의 적당한 온도에서 가열하는 열처리를 응력제거풀림이라고 한다. 잔류응력이 남아 있는 금속 부품을 그대로 사용하면 시간이 경과함에 따라 차차 그 응력이 완화되어 치수나 모양이 변화될 경우가 있다.

또 기계가공으로 어느 한 부분을 제거하면 물체 내부의 응력이 평형을 유지할 수 없게 되어 새로운 응력 평형 상태로 변화되므로 변형이 나타나게 될 경우가 많다. 이와 같은 변형을 방지하기 위해서는 재료를 적당한 온도로 가열하여 잔류응력을 충분히 제거해 줄 필요가 있다.

통상 재결정온도(450°C) 이상 A1 변태점 이하에서 행한다. 이 온도에서 두께 25mm당 1시간 유지하고, 두께 25mm당 200°C/h로 서냉시킨다.

일반적으로 가열온도가 높아질수록 재료는 연해지고, 잔류응력에 의해 소성변형이 일어나므로 응력이 완화제거된다. 일반적으로 탄소량이 많은 강일수록 잔류응력이 많고, 또 제거하기가 어렵다. 잔류응력제거와 함께 결정립의 미세화나 조직의 조절도 동시에 하고자 할 경우에는 완전풀림이나 노멀라이징을 한다.

#### (6) 연화풀림(softening annealing)

대부분의 금속 및 합금은 냉간가공을 하면 가공경화에 의하여 강도가 증가되고 취약해지며 이 때문에 어느 정도의 가공한계 이상으로 가공할 수 없게 된다.

특히 강에서는 탄소량이 많을수록 가공경화도가 커진다. 이렇게 경화된 것을 절삭가공을 한다든지, 또는 더 많은 냉간가공을 하고자 할 때에는 강을 일단 연화시킬 필요가 있다.

이를 위해서는 적당한 온도로 가열하여 가공조직을 완전히 회복시키거나 재결정 및 결정립 성장을 시켜야 한다. 냉간가공재를 가열할 경우의 연화과정은 3단계로 이루어진다.

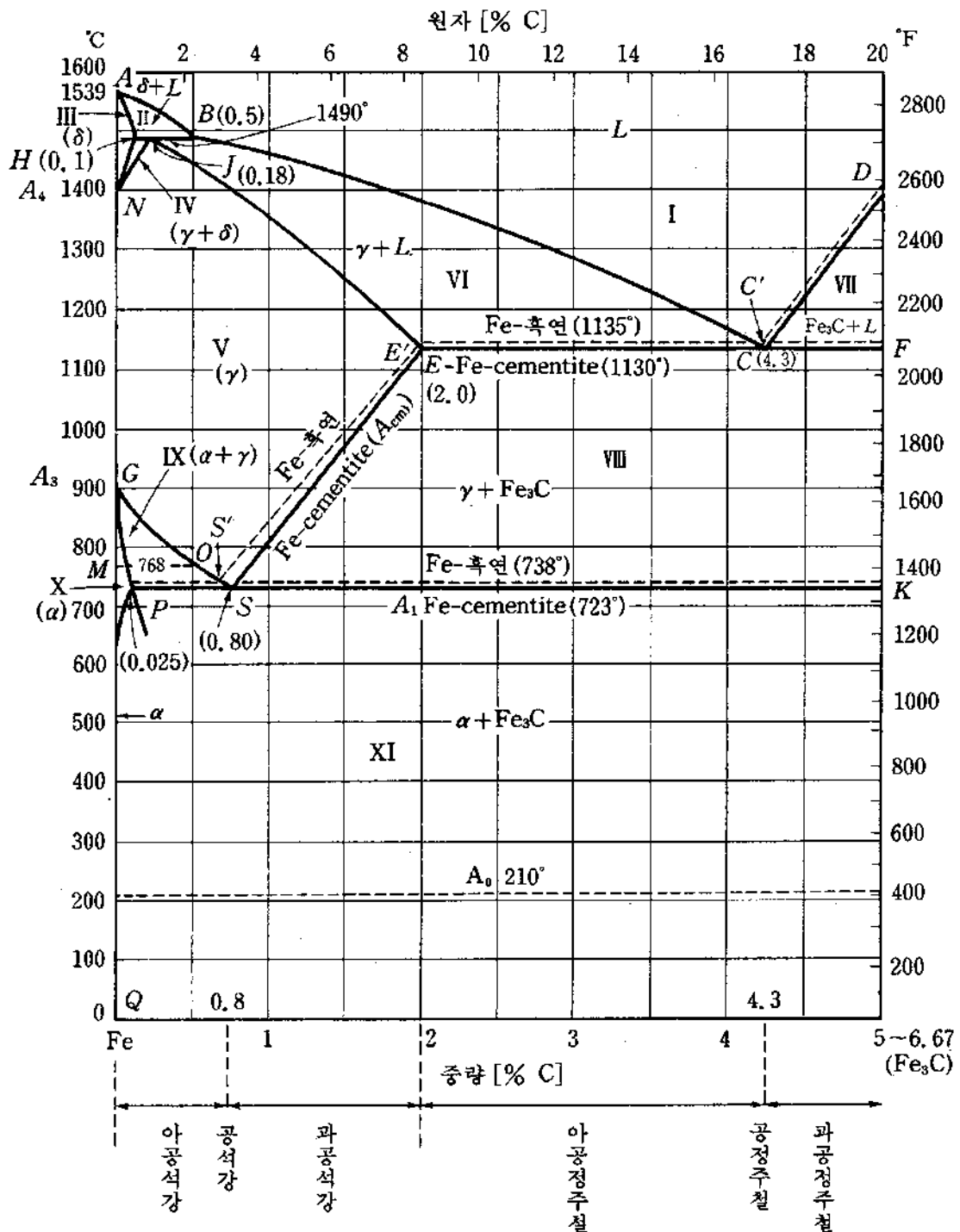
즉 가열온도의 상승과 함께 회복, 재결정 및 결정립성장의 과정으로 변화된다.

첫단계인 회복은 가공에 의해서 증가된 전위밀도 감소와 전위의 재배열로 인한 연화이고, 재결정은 변형된 입자 속에서 변형되지 않은 새로운 결정입자로 대체하는 과정이며, 온도가 더욱 높아지면 미세한 입자가 응집, 조대화되는 결정립성장 단계로 된다.

이러한 변화는 내부에너지를 감소시킴으로써 보다 안정한 상태로 가고자 하는 현상 때문이며, 이러한 내부응력의 감소에 의해서 연화되는 것이다.

이와 같이 재결정에 의해서 경도를 균일하게 저하시킴으로써 소성가공 또는 절삭가공을 쉽게 하기 위한 풀림을 연화풀림이라고 하는데, A1점 위 또는 아래의 온도에서 가열한다.

### 8-3-5 강의 주요 조직과 Fe<sub>3</sub>C 상태도



Fe-C의 평형상태도

720°C에서 A<sub>1</sub>변태, 768°C에서 A<sub>2</sub>변태, 910°C에서 A<sub>3</sub>변태, 1400°C에서 A<sub>4</sub>변태가 일어난다. A<sub>2</sub>변태점 이하의 온도의 것을 α철, A<sub>2</sub>변태점에서 A<sub>3</sub>변태점까지의 온도의 것을 β철이라 한다. 또 A<sub>3</sub>변태점 온도에서 A<sub>4</sub>변태점 온도까지의 것을 γ철이라 하고 A<sub>4</sub>로부터 용융점에 1536.5°C까지의 것을 δ철이라 한다. 그림에 표시된 Fe-C계 상태도의 각 상태를 설명하면 다음과 같다.

A : 순철의 용융점 1538°C

AB :  $\delta$ 고용체( $\delta$ -Fe에 탄소 C가 고용된 고용체)의 액상선 B점은 0.51%C

AH :  $\delta$ 고용체의 고상선, H점은 0.077%C

HJB : 포상선 1493°C, 용액(농도B)+ $\delta$ 고용체(농도H)  $\rightleftharpoons$   $\gamma$ 고용체(농도J)되는  
포정반응을 일으킨다.

BC :  $\gamma$ 고용체( $\gamma$ -Fe에 탄소 C가 고용된 고용체)에 대한 액상선

JE :  $\gamma$ 고용체의 고상선

N : 순Fe의 A4변태점(1401°C),  $\delta$ -Fe  $\rightleftharpoons$   $\gamma$ -Fe

HN :  $\delta$ 고용체가  $\gamma$ 고용체로 변화하기 시작하는 온도, 강의 A4변태가 시작되는 온도

JN :  $\delta$ 고용체가  $\gamma$ 고용체로 변화를 마치는 온도, 강의 A4변태를 종료하는 온도

CD : 시멘타이트( $\text{Fe}_3\text{C}$ )에 대한 액상선, 시멘타이트가 석출하기 시작하는 온도

E :  $\gamma$ 고용체에 대한 C의 최대 용해도, C량 2.11%

C : 공정점(eutectic point) 1132°C, E는 고용체가 F로 되는 시멘타이트가 액체로부터 동시에  
정출하는 점, C량 4.3%

ECF : 공정선(1145°C), F점은 6.67%C

ES :  $\gamma$ 고용체로부터 시멘타이트가 석출하기 시작하는 온도로 이 곡선을  $A_{cm}$ 선이라 한다.

G : 순 Fe의 A3변태점, 910°C,  $\gamma$ -Fe  $\rightleftharpoons$   $\alpha$ -Fe

GOS :  $\gamma$ 고용체로부터  $\alpha$ 고용체( $\alpha$ -Fe에 탄소C가 고용된 고용체)의 석출이 시작되는 온도,  
강의 A3변태가 시작되는 온도

GP : P점의 C량 0.02%, 이 농도 이하의  $\gamma$ 고용체로부터  $\alpha$ 고용체의 석출이 완료되는 온도,  
강의 A3 변태를 완료하는 점

M : 순Fe의  $A_2$ 변태점. 자기 변태점, 큐리점

Mo : 강의  $A_2$ 변태점, 769°C

S : 공석점, 723°C, C량 0.85%,  $\gamma$ 고용체로부터  $\alpha$ 고용체와 시멘타이트가 동시에 석출하는 온도  
 $s(\gamma\text{고용체}) \rightleftharpoons P(\alpha\text{고용체}) + K(\text{Fe}_2\text{C})$

P : 고용체에 대한 탄소(C)의 최대 용해도를 가지는 점(0.025%)

PSK : 공석선, 강의 A1변태점, 723°C: "K점의 c량 667%

PQ:다 고용제에 대한 시멘타이트의 용해도 곡선, 상온에서 C 의 용해도는 0.006%이다

## (1) 변태점

1.  $A_0(210^\circ\text{C})$  : 시멘타이트의 자기변태점
2.  $A_1(723^\circ\text{C})$  : 순철에는 없고 강에서만 일어나는 특유한 변태
3.  $A_2(768^\circ\text{C})$  : 자기변태(Fe, Ni, Co)
4.  $A_3(912^\circ\text{C})$  : 동소변태
5.  $A_4(1,400^\circ\text{C})$  : 동소변태

## (2) 강의 표준조직(normal structure)

1.  $\alpha$ 고용체 : 페라이트(강자성체로 극히 연하고 전성과 연성이 크다.  $H_B=90$ )
2.  $\gamma$ 고용체 : 오스테나이트( $A_1$ 점에서 안정된 조직으로 상자성체이고 인성이 크다.  $H_B=155$ )
3.  $\text{Fe}_3\text{C}$  : 시멘타이트(경도가 높고 취성이 크며 백색으로 상온에서 강자성체.  $H_B= 820$ )
4.  $\alpha + \text{Fe}_3\text{C}$ :펄라이트(peaylite:오스테나이트가 페라이트와 시멘타이트의 층상으로 된 조직.)  
(강도는 크고 어느 정도 연성이 있다.  $H_B=225$ )
5.  $\gamma + \text{Fe}_3\text{C}$  : 레데부라이트(상온에서 불안정하고  $\text{Fe}_3\text{C}$ 는 흑연과 지철(地鐵로) 분해한다.)



### (3) 탄소함량에 따른 분류

#### 1. 강

- ㄱ. 공석강 : 0.77%C(펄라이트)
- ㄴ. 아공석강 : 0.025~0.77%C(페라이트+펄라이트)
- ㄷ. 과공석강 : 0.77+2.0%C(펄라이트+시멘타이트)

#### 2. 주철

- ㄱ. 공정주철 : 4.3%C(레테부라이트)
- ㄴ. 아공정주철 : 2.0~4.3%C(오스테나이트 + 레테부라이트)
- ㄷ. 과공정주철 : 4.3~6.67%C(레테부라이트 + 시멘타이트)
- .포정점 : 0.18%C, 1,492°C
- .공석점 : 0.77%C, 723°C
- .공정점 : 4.3%C, 1,147°C(상온 표준조직 : 펄라이트)

## 9. 표면처리

### 9-1 표면처리의 목적

금속의 방식성은 물론 금속 자체의 내마모성, 내열성 외에 성질을 개선하여 금속의 수명을 늘이거나 금속표면의 색조 광택의 아름다움을 증가시키는 장식을 목적으로 금속에 행하는 것을 표면처리라 한다. 대별하여 보면 도장, 전기도금, 화학도금, 진공도금, 용융도금, 양극산화, 화성처리, 화학연마, 전해연마, 라이닝, 호닝, 솔 피닝, 코팅, 가스침투, 침탄, 질화, 표면경화 등이 있고, 가공방법으로 분류하면 물리적, 화학적, 전기적, 기계적, 야금적 가공법이 있다.

도금의 종류로는 니켈, 크롬, 아연, 카드뮴이 주로 사용된다. 나사에 일반적으로 쓰이는 표면처리로는 아연을 바탕으로 하는 전기아연 도금이 보급되어 있지만 육각구멍볼이 볼트들의 표면처리로는 템퍼칼라, 화성처리에 의한 흑염피막, 인산염 피막처리 등이 쓰이고 있다. 내경부에 나사가 있는 너트에 대해서는 일반적으로 전기 도금이 널리 사용되고 있다.

### 9-2 전기아연도금, 수소취성

전기아연도금의 특징은 철에 대해 뛰어난 내식성이 있으므로 외관미 보다는 내식성에 중점을 두고 있다 아연 그 자체는 대기 중에서 쉽게 부식되는 성질이 있으므로 후공정의 크로메이트 처리로 방청력을 높이고 있다.

다음으로 아연도금 공정에서 주의하지 않으면 안 될 것은 수소취성이다. 이것은 산세공정에서 소재가 산에 용해되면서 수소가 발생하는 것과 도금공정(전기도금, 전해 탈지)에서 음극의 전류 효율이 100%가 아니므로 반드시 수소가스가 발생하고 그 수소를 흡수, 간직하여 철이 부서지기 쉽게 되는 현상이다.

#### ① 수소취성이 일어나기 쉬운 소재

- ㄱ. 탄소 함유량이 큰 것
- ㄴ. 경도가 높은 것 (HRC 32이상)
- ㄷ. 침탄, 고주파, 질화처리 한 것

## ② 수소취성 제거

수소취성의 제거에 대해서는 온도 190~230°C에서 2~4시간 고르게 가열함으로써 제거 가능하지만 소재의 경도와 거칠기 도금시간과 도금두께 산세시간과 산농도 등 각각의 작업 상황에 의해 제거시간을 검토할 필요가 있다.

이 처리를 베이킹 처리 (탈수소처리)라 부르고 있다. 베이킹 처리는 크로메이트 처리 전의 도금 직후에 하는 것이 좋다.

\* 어느 정도의 경도를 가진 제품에 대하여 수소취성제거처리를 할 것인가에 대한 기준은 다양하게 정의된다.

자동차업체에서도 취성처리를 요하는 온도가 규여러가지로 나누어진다.

- 1) H사 - HRC35이상의 제품에 대하여
- 2) G사 - Hv 353 (HRC36)이상의 제품에 대하여
- 3) B사 - 인장강도 1000N/mm<sup>2</sup> 이상인 제품 (경도 HRC 31정도 이상)
- 4) C사 - HRC 32이상

\* 그동안 경험상 제일 주의하여야 하는 부분이 강도 10.9인 경우가 아닐까 한다.

일반적으로 냉간단조에서 사용되는 BORON STEEL의 경우 탄소가 적어서 수소취성 제거처리를 하지 않고 전기아연도금을 하여도 문제점이 거의 발생하지 않았으나 열간단조하는 경우에는 주로 SCM440으로 작업을 하므로 탄소의 함유량이 높아서 좀더 유발가능성이 높아지지 않았을까 생각한다.

실질적으로 10.9 강도의 볼트에 대하여는 일반적으로 수소취성제거처리를 하지 않는것이 관례화처럼 되어 있다. 따라서 10.9 강도의 볼트를 제작하여 도금하고자 하는 경우 관리경도를 HRC 35내외에서 관리하는 방안이 고려되어야 하지 않을까 생각한다.

## 9-3 다크로 처리

아연과 크롬을 조성한 피막을 만드는 것을 특징으로 하고 아연의 전기도금피막등에 비해 뛰어난 내식성을 나타낸다. 미국의 화학회사 Diamond Shamrock에 의해 개발된 것으로 미군규격 MIL-C-87115에도 채용되어 있다. 이 피막은 얇은 판자모양의 아연이 고기비늘 같이 층상으로 겹쳐지고 아연의 자기희생 보호 및 크롬산에 의해 소지표면의 부동태화와 중합물의 작용이 서로 어우러져 뛰어난 내식성을 가지고 있다. 또한 자동차 부품 등에도 채용되고 있고 겨울철 동결 방지용의 염해 대책으로도 효과적이다.

금속아연말과 6가 크롬화합물을 주성분으로 한 수용성의 액을 금속표면에 도장하고 열을 가하여 높은 내식성을 가지며 연한 아연색의 피막을 형성시키는 방청처리이다. 이 처리의 특징은 다음과 같다.

- ㄱ. 중방식용으로 고내식성능을 발휘
- ㄴ. 경제성이 있습니다.
- ㄷ. 수소취성에 의한 문제유발이 없다.
- ㄹ. 볼트체결이 용이하다.
- ㅁ. 안정된 토오크로 체결력이 안정되어 있다.
- ㅂ. 도료와의 밀착성이 우수하다.
- ㅅ. 환경오염을 최소화할 수 있다.

### 다크로 처리의 공정

순 위	공 정 명	설 비 명	재 료 명	관 리 항 목
1	입 고			- 표면상태: 녹,기타오염물질확인 - 제품표면의 기름종류 확인
2	탈 지	탈 지 기	삼염화 에칠렌 (T.C.E)	- T.C.E Temp ; 50~60℃ - b.p. : 89℃ - S.G. ; 1.400 - 침적시간 : 5~7분
3	탈 청	SHOT BLASTER	0.3ØShot Ball	- SHOT BALL 오염상태 확인 - SHOT BALL 마모상태 확인 - 투사량 주시 -투사시간 :3~10분(NUT 제외)
4	1차 코팅	코 텅 기	DX-1000	- 탈루 R.P.M : 340 - 도착두께 : 3~4μm
5	1차 경화	GAS OVEN	L.N.G.	- BAKING 시간 : 30~60분 - BAKING 온도 : 280~330℃
6	2차 코팅	코 텅 기	DX-1000	- 탈루 R.P.M : 340 - 도착두께 : 3~4μm - 일반부품
7	2차 경화	GAS OVEN	L.N.G	- BAKING 시간 : 40분~60분 - BAKING 온도 : 300~330℃
8	품질검사			- 외관 : 은백색 균일성 - 도착두께 : 6~13μm - S.S.T. : 480hrs
9	3차 코팅	코 텅 기	DX-1000	- 탈루 R.P.M : 340 - 도착두께 : 3~4μm - 발주처의 요청시 적용(고내식성)
10	3차 경화	GAS OVEN	L.N.G	- BAKING 시간 : 40~60분 - BAKING 온도 : 300~330℃
11	품질검사			- 외관 : 은백색 균일성 - 도착두께 : 6~13μm - S.S.T. : 720hrs
12	출 고			- 포장 - 형상 변형 주의

전처리에는 각종의 공정이 고려될 수 있지만 산 침적을 하게 되면 내식성이 나빠지므로 스케일을 제거하기 위해서 기계적인 방법을 취하고 있다. 제 1 도장 후, 제 1 가열, 냉각을 한 사이클 한 뒤, 이것을 2회 반복하는 것을 표준공정으로 하고 있다.

## 9-4 용융아연 도금

용융된 금속 중에 철 등을 침적시켜 금속의 피막을 만드는 방법을 용융도금이라 하고, 용융하는 금속으로는 알루미늄, 아연, 주석, 납 등이 있지만 침적되는 금속은 온도에 따라 변형, 변질이 적은 철 제품이 거의 대부분이다. 용융도금으로 대표되는 용융아연도금에 대해 설명하기도 한다. 이것은 아연의 용융액에 피처리품을 침적하여 피막을 만드는 방법이다. 철탑용 볼트와 건축용 철재물에 쓰이고 있으며 지속적으로 사용 범위가 넓어지고 있다.

규격으로는 JIS H 8641, BS729, A123, A153, F2329등의 규격이 있다. 사용되는 아연은 전기아연이나 증류 아연이 사용되지만 1:1의 혼합아연의 경우도 있다. 이 아연을 철조에 넣어 가열하여 520℃ 부근에서 용융하고 그 안에 세정한 물건을 1분 전후로 침적시키면 제품의 살두께 형상에 따라 60~100mm의 아연피막이 붙는데 도금두께는 전기아연도금처럼 엄밀하게 규제할 수는 없다. 용융아연 도금을 하면 연강판은 변형하기 쉽다.

또 열처리품은 경도에 주의하지 않으면 안된다. 용융아연의 내식성은 전기아연도금에 비해 두께가 압도적으로 두꺼우므로 장시간의 내식성은 있지만 만일 양쪽이 동일한 두께라면 전기아연도금 쪽이 약 6배의 내식성을 나타낸다. 이는 전기아연도금이 순아연에 가깝기 때문이며 용융아연 도금은 철과 아연이 확산에 의해 철소지 부근에 두꺼운 합금층이 생기기 때문이다.

용융아연도금은 다음과 같은 특징이 있다.

- ㄱ. 내식성이 우수하다.
- ㄴ. 희생적 방식작용이 있다.  
(손상으로 인한 철의 소지가 일부 노출되어도 주변의 아연이 노출을 보호한다.)
- ㄷ. 밀착성이 뛰어나다.  
(통상적인 취급상태에서는 충격, 마찰등에 의한 박리가 일어나지 않는다.)

## 9-5 인산염 피막처리

### 9-5-1 목적

인산염피막처리는 금속(주로철강)을 묽은 인산과 화학적으로 반응시켜 금속의 표면을 난용성의 결정질 인산염으로 만들어 금속의 고유성질을 바꾸는 것이다.

### 9-5-2 특성

#### 1) 종류별 특성

##### ① 인산 아연계 (Z형)

##### ㉠ 색상 : 연회색-진한회색

(처리할 금속의 탄소량이 증가 할수록 입자 크 기가 작아져 색상이 짙어짐)

##### ㉡ 처리방법

-분무식 : 1~10 g/m<sup>2</sup> 피막중량 가능

-침적식 : 1.5~40 g/m<sup>2</sup> 피막중량 가능

㉢ 용도 : 도장하지용, 냉간성형, 내마멸성, 내식성

## ② 인산망간계(M형)

- ㉠ 색상 : 검은색을 띤 흑갈색, 피막내의 MnO량에 따라 갈색이 짙어 짐. 보통은 OIL을 흡착시켜 사용하므로 OIL이 검은색을 강화 시켜 검은색을 띠게 된다.
- ㉡ 처리방법
  - 침적식만 가능, 피막 중량은 5~30 g/m<sup>2</sup> 가능
- ㉢ 특성 : 치밀한 미립자된 피막이 요구된다. Mn계 피막은 Zn계에 비해 처리 비용이 많이 소요되나 두꺼운 피막이 가능
- ㉣ 용도 : 내마멸성 개선
  - \* 이외의 종류로 인산철계, 인산납계, 인산주석계, 인산아연칼슘계 피막처리가 있다.

## 2) 응용범위

- ① 도장하지용 : 인산염 피막을 도장하지용으로 사용하는 경우 습기와 수분에 대한 내식성 증가 및 부식의 퍼짐을 방지 할 수 있다.
- ② 내식성 : 인산염 피막은 수분이 금속표면과 직접 접촉하는 것을 막아서 금속의 부식을 억제시킴, 내식성을 증가시키기 위해 방청유나 WAX 등의 후막을 덧붙여 사용하기도 한다.
- ③ 냉간 가공용 : 강을 인발시 강의 표면과 다이 사이에는 매우 큰 마찰이 생기며 이것을 줄이기 위해 사용하기도 한다.
- ④ 내마멸성 : 강 표면에 피막처리를 하여 내마멸성을 증가시킬 수 있다.

## 9-6 전기아연도금

### 9-6-1 목적

- 1) 아연도금은 아연과 철이 조합되어 아연은 부식되고(즉, 희생도금) 철은 방식되는 성질을 이용하여 철강의 부식을 방지할 목적으로 발달하였다. (내식성이 주목적)
- 2) 아연은 우리나라에서 현재 자급할 수 있는 유일한 금속이며 최근 아연도금의 사용이 크게 확대된 것은 극히 당연한 것이다.
- 3) 또한 아연도금의 용도가 확대된 원인 중의 하나는 아연도금 자체의 내식성을 향상시킬 목적으로 도금 후에 크로메이트 처리를 추가적으로 실시하는데 이로써 아연자체의 내식성은 더욱 증가되고 아울러 외관의 아름다움(광택)을 향상시켜 장식용이나 도장하지용으로 사용한다.
- 4) 아연도금 방법 : 전기도금, 세라다이징(확산침투), 용융도금, 용사 등이 있으나 순수한 아연을 도금하는 점에서 전기도금이 우수하다.

## 9-6-2 특성

### 1) 전기화학적 성질

아연의 전위는  $-0.76v$ , 철은  $-0.44v$ 로서 아연은 양극이 되어 부식되고, 철은 음극으로 되어 방식되는 효과. 즉, 희생피막의 역할을 한다. 철이 부식 환경에서 표면에 아연이 있으면 우선 아연이 철 대신 산화하면서 철이 부식되는 것을 방지해 준다. 아연은 철 대신 녹이 슬며 아연도금 중에 핀홀(Pin hole)이 있어도 철을 보호해(크롬 도금의 경우와 반대) 주는데 이 때 아연 자신은 산화아연, 탄산아연, 염기성 아연의 흰가루(백색부식물)가 되어 소모된다.

### 2) 가공성

모오스 경도 2.5로서 순철의 4.5에 비교하여 약간 무르지만 상온에서는 취약하고 도금후의 굴곡 가공에는 다소 문제가 있다. 단,  $100\sim 115^{\circ}C$ 에서 전연성이 증대하여 대단히 가공성이 좋게 되나  $200^{\circ}C$  이상에서 다시 취약하게 되는 성질이 있다.

### 3) 도전성

전기저항은  $5.9 \times 10^{-6} \text{ cm}$ 로서 철의  $9.8 \times 10^{-6} \text{ cm}$ 에 비하여 낮으나 아연이 부식되면 저항이 높아지므로 크로메이트 피막을 실시하여 내식성을 좋게 할 필요가 있다.  
(크로메이트 피막은 도전성이 있음)

### 4) 취성

고장력강에 아연도금을 실시할 경우 도금 시 발생하는 수소에 의한 취성이 발생할 수 있으며, HRC 40 이상의 고경도 강에 도금하는 경우 아연도금에서 특히 심하다. 같은 아연도금에서도 산성 욕이 알칼리성 욕(특히 시안용)보다 취성이 적다. 이러한 문제를 해결하기 위해서는 아연도금 후 4시간 이내에 대략  $200^{\circ}C$  온도에서 수 시간 가열하여 수소를 방출시키는 방법을 채택하여야 한다.

### 5) 작업성

아연도금은 관리가 용이한 것의 하나로서 용도에 따른 도금욕의 종류가 많고 금속에 직접도금이 가능하며 박리도 산으로 간단하게 할 수 있다. 욕(Bath)의 작업조건 범위가 넓고 도금속도가 빠르며 크로메이트 처리가 간단하여 대단히 유효하다.



## 10. 강종의 제조 및 용도 특성

### 10-1 강종의 분류체계

강 종			주문가능 규격		용도
			UIS	기타	
일반강	보통선재	연강선재	SWRM6~22	SAE(AISI) 1005~1022	보통철선, 아연도철선, 흑선, 일반못, 특수못 철조망 등
		일반용접봉	SWRY11		피복아크 용접봉
고급강	특수선재	경강선재	SWRH27~82B	SAE(AISI)1027 ~1082	경강선, WIRE ROPE, PC강선 바늘, W/S, BEAD WIRE 등
		특수용접용 선재	YGW2, YSW41	POSWELD2A3B POSWELD41	CO2 가스 용접봉 서브머지드 용접봉
	특수강선재	기계구조용 탄소강	S10C~S55C	SAE(AISI) 1010~1050	볼트, 너트, 단조품 등
		기계구조용 합금강	SCM, SMn SCr, SNCM	SAE(AISI) 15XX, 51XX 86XX, 43XX	고장력 BOLT/NUT, SHAFT 등
		냉간압조용 탄소강 선재	SWRCH6A~22A	SAE(AISI) 1006~1050	BOLT, NUT, RIVET SCREW, SHAFT 등
		피아노선재	SWRS62A~92B		정밀스프링, PC강선 MUSIC WIRE 등
		타이어코드용 선재		AISI1069, 1080 POJCORD70, 80	STEEL TIRE CODE
		베어링강	SUJ2	SAE52100 DIN100Cr6	BALL, ROLLER, 베어링
		괘삭강	SUM11~43	SAE11XX, 12XX	정밀, 절삭가공, 기계부품 등
		스프링강	SUP7~12	SAE9254 DIN50CrV4	자동차 현가용

### 10-2 강종의 제조 및 용도 특성

#### 10-2-1 기계구조용 탄소강

- ① C 함량이 0.10~0.58%로 구분되어 있으며 이에 따른 강도 차이가 있어 최종 용도별 적정 GRADE가 선정 사용되어진다.
- ② 전 GRADE가 Si(규소)이 첨가되어 있으며 용강 중의 산소를 제거하는 탈산작용을 일으키어 용강을 진정(KILLING) 시킴으로써 연속주조가 가능하게 된 Si-Killed강이다.
- ③ 강종특성 : 기계 구조용 부품으로 약 50kg/mm<sup>2</sup> 이상의 인장강도를 필요로 하는데 사용되며 일반적으로 열처리가 실시되며 기계구조용 탄소강 외에 합금강도 많이 이용된다.  
예) S28C, S30C, S33C, S35C, S38C, S40C, S43C, S45C, S48C, S50C, S53C, S55C, S58C

## 10-2-2 기계 구조용 합금강

- ① 대부분의 최종제품은 Q.T 열처리 후 인장강도 7T급 이상의 고장력재로 사용되고 있으며 강도, 인성, 열처리 TYPE 별로 적정 특성이 보유될 수 있도록 Cr, Mo, Ni, Mn 등이 선별, 함유되어진다.
- ② 근래에는 고가의 합금원소가 다량 첨가된 합금강을 대체하여 일반 탄소강이나 고 Mn강에 열처리성(소입성)이 우수한 B(붕소)가 미량 첨가된 강종이 많이 사용되고 있는 추세이다.  
예) SAE10B21, SAE15B24, AISI 51B20 POSA5120BH

### (1) 강의 제성질에 미치는 첨가 원소의 영향

- ① C : 강의 기계적 성질에 가장 큰 영향을 주는 원소로서 C 함량이 증가하면 경도, 강도는 증가하나 연신율, 감면률은 감소되고 용접성이 저하됨.
- ② Si : 지철(페라이트)중에 고용되어 경도 및 인장강도를 높이거나 충격치는 감소됨.  
탈산제로서 가장 많이 사용되며 강의 전자 특성에 영향을 끼침.
- ③ Mn : 대부분 용강 중에 용해되나 일부는 S와 결합하여 MnS로 존재하여 연신율은 감소시키지 않고 강도를 증가시키며 소입성 향상에 가장 효과적임.
- ④ P : Fe와 일부 화합하여 경도, 인장강도는 다소 증가시키나 연신율을 감소시키며, 상온에서 충격치를 저하시켜 상온취성의 원인이 됨.
- ⑤ S : Mn과 결합하여 MnS가 되며 나머지는 FeS와 결합하여 입계에 망상으로 분포되어 인장력, 연신율, 충격치를 감소시키며 가공시 파괴의 원인인 고온취성을 일으킴.
- ⑥ Cu : 인장강도를 향상시키며 부식에 대한 저항을 향상시킴.
- ⑦ Ni : 소입성을 개선시키며 특히 기지조직의 인성을 증대시킴.
- ⑧ Cr : 소입성 개선효과가 크며 Tempering 취성을 감소시킴.
- ⑨ Mo : 소입성을 향상시키고 내열성을 강화시키는 원소임.
- ⑩ B : 미량첨가(0.001~0.003%)하여 소입성을 대폭 증대시키는 원소이며 과잉첨가시 FeB를 발생시켜 적열취성을 일으킴.
- ⑪ Al : 강 탈산제(Al . killed)로 사용되며 결정립을 미세화시킴(충격치개선)
- ⑫ Nb.Ti : 결정립 미세화와 이들 원소의 탄. 질화물 석출에 의해 소량의 첨가로도 강도를 크게 상승시킬 수 있기 때문에 고장력강 생산시 주로 첨가함.

## 10-2-3 냉간압조용 탄소강

- ① 강종특성 : 탄소함유량 0.5% 이하의 탄소강 선재로서 P,S 등의 불순물을 엄격 관리하며 냉간압조성에 영향을 미치는 Si 또는 Al을 특별 관리하는 강종으로 대별된다.
- ② SWRCH 6A~22A  
(S : steel, W :wire, R : rod, C : cold, H : heading): Al이 첨가되어 용강을 진정시켜 주조하는 Al-killed 강이다. Si이 미첨가되고 Al 단독 탈산에 의해 강도가 상승하지 않아 가공성이 양호한 특성이 있으며 특별히 Al은 강의 고온조직(Austenite)을 세립(미세-FINE GRAIN)화 시킴으로서 표면경화 열처리성 (침탄열처리 등)을 양호하게 한다.

### ③ SWRCH 10K~50K

-Si-killed 강으로서 조직이 조대(Coarse Grain)하여 소입 열처리성이 뛰어나며 특별히 두꺼운 소재의 중심부 열처리는 조직이 조대 할수록 양호하므로 동소재를 사용하여야 한다.

'- 단, 표면경화 열처리를 실시하는 용도에 대해서는 일반적인 소입 열처리성 보다 표면경화 열처리성이 중요하다고 판단시에 조직입자의 크기를 세립화하는 원소인 Al을 미량 첨가하여 생산되며 이때의 주문규격을 끝자리에 Fine의 약자인 F자를 붙여준다. (예 : SWRCH 45KF)

'- 동강재는 기계구조용 탄소강과 구분하여 심한 압조가공을 실시하는 용도로 사용됨을 감안하여 비금속 개재물, 유해원소, 편석, 표면결함을 제어하는 특별한 관리를 실시하게 된다.

## 10-3 CHQ 제강공정에서 선재 제조공정

POSCO(제강. 압연) → 열간압연코일, 소재입고(동부, HB스틸, 한영선재, 세아, 대호P&C 등) → 공정(구상화소둔, 산세, 신선) → 제품검사 → 포장 → 출하 → 수요가 제조공정(신선, BOLT류 등)

### 10-3-1 소재 제조 공정

#### (1) 철강제조공정(POSCO)

철강을 제조하는 과정은 제선작업과 제강작업으로 나뉘어진다.

- ① 제선작업 : 고로에 철광석과 원료탄을 건류하여 만든 코크스, 기타 부원료를 장입한 후 열화학 반응에 의하여 선철(용선)이 나오기까지의 과정, 철광석을 용해 환원시켜 철분을 얻는 것. 제조된 용선은 레들 또는 토메도 래들에 받아 제강공장으로 운반된다.
- ② 용선예비처리 : 강중 인(P)과 유황(S) 성분은 강의 품질과 제강작업에 악영향을 주기 때문에 고로에서 나온 용선은 탈류, 탈인류 등의 용선예비처리를 거친 다음 전로에 장입하게 된다.
- ③ 제강작업 : 용선예비처리를 마친 용선은 스크랩과 함께 전로에 장입하고 Lance(산소취입관)를 통하여 고압, 고순도의 산소를 불어 넣어 정련(취련)하여 C, Si, S, P 등의 불순원소를 산화제거하여 순도가 높은 용강을 제조하게 된다.
- ④ 노외정련(2차정련) : 노외정련은 제강공정의 마지막 단계로 최종제품 내부품질(성분, 재질, 청정도 등) 요구조건에 따라 다양한 기술들이 단독 또는 복합적으로 사용된다. 강중에 존재하는 각종 가스성분, 비금속 개재물의 제어를 위하여 RH(-OB) 진공탈가스, PI(Powder Injection), LF(Ladle Furnace) 등의 노외정련 설비를 이용한다.
- ⑤ 연속주조 : 연속주조법은 용강을 수냉주형(Mold)중에 주입하고 아래로부터 연속적으로 인발하면서 2차 냉각대에서 강제냉각, 응고를 진행시켜 용강에서 직접 소정의 주편(슬라브, 블룸, 벌렛)을 제조하는 방법이다.
- ⑥ Billet(강편) 정정 : 연속 주조로 제조된 Billet는 제강 이후 각 공정마다 여러 가지 다양한 요인에 의한 표면결함과 내부결함을 수반할 수 있다. 후공정인 선재공정에 양호한

표면품질의 소재를 공급하기 위해 표면 품질검사와 결함제거 작업을 행한다. 이 때 shot blast한 후 Gringing Maching으로 연마 제거한다. 또한 초음파 탐사를 실시하고 치수 형상 등의 검사를 거쳐 선재압연 공정으로 소재를 공급한다.

- ⑦ 선재가열로 : 표면검사 및 정정을 거친 Billet는 가열로에 장입되어 압연 작업중 재료의 원활한 변형이 가능한 950~1250℃ 정도의 온도로 가열하여 강종 및 용도에 따른 재질확보를 위하여 가열온도 및 재료 시간 등을 제어하게 된다.

- R.H 처리 -

전로(탈산) 후 RH-OB 설비에서 탈gas처리(O,H,N) - 처리 생략시 청정도는 나빠질 가능성이 높음.

- ⑧ 압연 : 선재압연은 공형을 갖는 2개의 Roll 사이에 소재를 치입시켜 단계별로 단면을 축소시키며 수요가가 원하는 치수의 제품을 제조하는 동시에 건전한 압연 조직을 확보하는 방법으로 후속의 냉각공정과 함께 상호보완적인 작업조건에 의하여 용도에 맞는 재질 특성을 확보하는 작업이다.

Posco 1 선재에서는 120mm 중 2,3 선재에서는 160mm 중의 강편을 소재로 하며 27~29 stand에 걸친 압연으로 직경 5.5mm~42mm의 다양한 치수의 선재를 생산하고 있다.

- ⑨ 냉각 : 압연된 선재는 압연직후 수냉대에서 수냉되어 바로 권취되어 공냉한다.  
합금강, 저탄소강의 경우는 서냉 실시로 연화조직을 확보함으로써 수요가의 가공전, 연화소둔을 생략할 수 있다.

- ⑩ 정정 : 압연 후 냉각이 끝난 선재는 선후단부를 절사하고 시편을 채취하여 치수, 표면결함, 현미경조직, 기계적 성질 등을 검사하여 품질불합격 여부를 판정하고 수요가 요구에 따른 포장과 표시(Tag 부착)를 하여 출하된다.

### 10-3-2 CHQ 선재 제조 공정

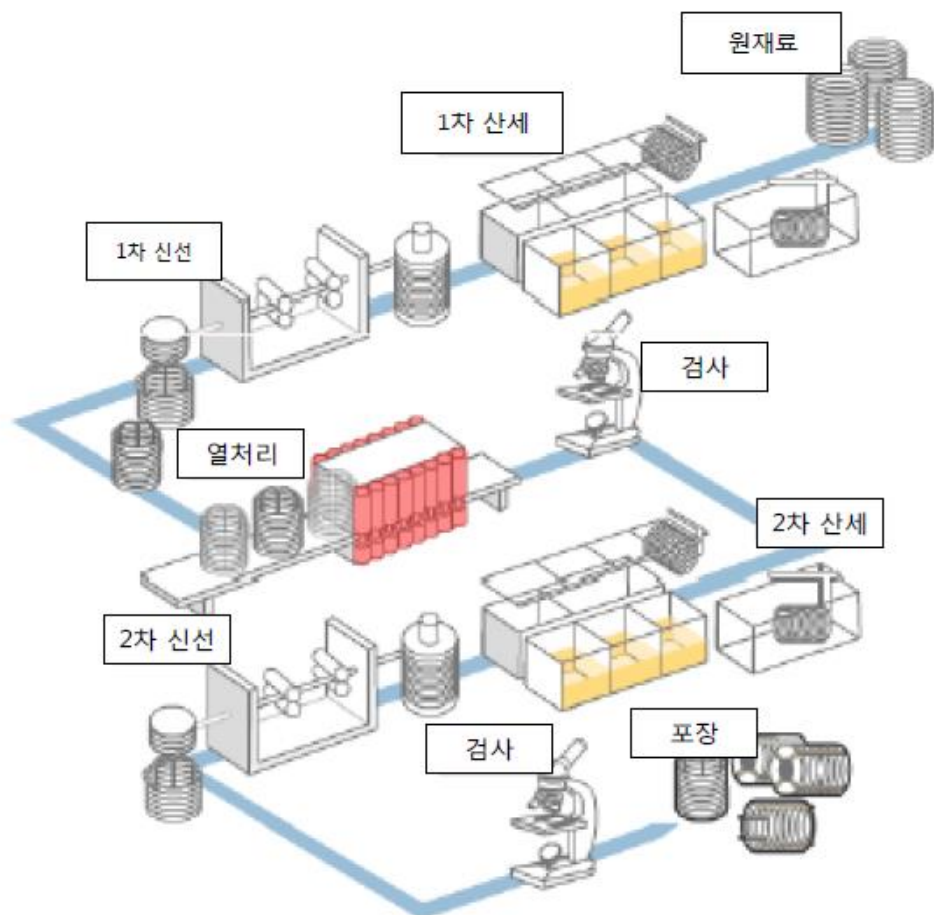
#### (1) 표준공정기호

CHQ : Cold Heading Quality  
 CD Bar : Cold Drawing Bar  
 Charge No : 원재료 Maker의 제강 관리번호  
 Heat No : 수주 번호 중 Wire Rod 관리번호  
 W/R : Wire Rod  
 PC : Pickling & Coating (산세)  
 WD : Wrie Drawing (일반)  
 SKP : SKIN Pass  
 HB : Hardness Brinell  
 HRB : Hardness Rockwell B Scale  
 HRC : Hardness Rockwell C Scale  
 DMF : Decarburized Microscope Ferrite Deaph

DMT : Decarburized Microscope Total Deaph  
A.G.S : Austenitic Grain Size  
F.G.S : Ferritic Grain Size  
W/ROD : As hot rolled(w/Rod)  
RA : Regular Annealing (중간열처리)  
SA : Spheroidized Annedling (구상화열처리)  
LA : Low Annealing (저온열처리)  
D : Drowing (신선)  
HD : Hard Drawn  
LA ROD : Low Annealing W/ROD  
RA ROD : Regular Annealed W/ROD  
P : Pickled (HCl 산세)  
SAIP : Spheroidized Annealed In Porcess  
SAF : Spheroidized Annealed At Finished size

(2) 표준 제조공정

원재료 - 산세 - 신선 - 열처리 - 검사 - 산세 - 신선 - 검사 - 포장





PC ROD : W/ROD → PC	(소재 → 산세)
PC HD : W/ROD → PC → D	(소재 → 산세 → 신선)
SA ROD : W/ROD → SA	(소재 → 열처리 (SA))
RAF : W/ROD → PC → D → RA → PC	(소재 → 산세 → 신선 → 열처리 (RA) → 산세)
SAF : W/ROD → PC → D → SA → PC	(소재 → 산세 → 신선 → 열처리 (SA) → 산세)
(R) AIP : W/ROD → A → PC → D	(소재 → 열처리(RA) → 산세 → 신선)
(S) AIP : W/ROD → SA → PC → D	(소재 → 열처리(SA) → 산세 → 신 선)
RAIP : W/ROD → PC → D → RA → PC → D	(소재 → 산세 → 신선 → 열처리(RA) → 산세 → 신선)
SAIP : W/ROD → PC → D → SA → PC → D	(소재 → 산세 → 신선 → 열처리(SA) → 산세 → 신선)
PASAF : W/ROD → LA → PC → D → SA → PC	(소재 → 열처리(LA) → 산세 → 신선 → 열처리(SA) → 산세)
PASAIP : W/ROD → LA → PC → D → SA → PC → D	(소재 → 열처리(LA) → 산세 → 신선 → 열처리(SA) → 산세 → 신 선)
PSASAIP : W/ROD → SA → PC → D → SA → PC → D	(소재 → 열처리(SA) → 산세 → 신선 → 열처리(SA) → 산세 → 신선)



**PC: CA피막**

**LA: 저온열처리**



**PC: CA피막**

**D: 1차신선**





**SA: 구상화열처리**



**PC: BRL피막**



**SKP: 최종선선**



**PK: 포장**

### 1) 열처리 (구상화 소둔, SA) :

고속절삭을 위해 피삭성이 요구되는 경우 구상화, 어닐링으로 Pearlite의 층상조직을 파괴하여 탄화물을 구상화시켜 Ferrite 기지에 분산시키는 방법으로 연화의 정도는 탄화물의 분포와 현상에 따라 다르며, 수가 적고 조대할수록 부드럽다. 완전 소둔의 Pearlite 경도와 비교시 구상화 조직이 약간 부드럽지만 피삭성에는 월등히 우수하다.

#### - 구상화 방법

④ A1점 직하 온도에서 장시간 유지 : 담금질 또는 냉간 가공된 강의 구상화.

⑥ A1점 직상, 직하의 온도에서 가열 냉각 되풀이 : 아공석 강에 적당

A1점 이상의 온도로 가열하면 부분적으로 고용이 진행하며 따라서 층상탄화물이 분단되며 냉각시 고용된 부분은 다시 잔류 탄화물의 표면에 석출하고 구상화 촉진된다.

아공석 강에서 가열온도가 너무 높으며 탄화물의 석출핵이 소실하고 구상화가 곤란하게 된다. 냉각속도는 느릴수록 좋다.

- ㉔ A1점 직상 또는 A1과 Acm 사이 온도에서 가열 후 서냉 또는 A1점 직하 유지  
 : 구상화도 비교적 빠르지만 저탄소강에서는 Pealite가 생기기 쉽다.  
 - A1점을 통과할 때의 냉각속도를 더욱 느리게 하든가 직하의 온도로 장시간 유지가 필요하며 과공석 강에서는 풀림온도가 Acm에 가까울수록 미소한 탄화물이 고용하여 큰 탄화물 둘레에 재석출하므로 조대한 탄화물을 형성하기 쉽다.

- ㉕ 탄화물 고용의 최적온도로 가열-냉각후 ㉔, ㉕ 방법으로 재가열  
 : 미세하고 분산도가 좋은 구상화 조직을 얻는데 적당하나 구상화 속도가 늦다.

## 2) shot blast :

열처리를 한 선재에 발생된 산화 Scale 층을 제거하여 산세성을 좋게 하기 위해 shot ball을 원심력으로 고속 투사시켜 Scale을 제거하는 공정.

## 3) 산세라인(Pickling line) :

구상화 Annealing로에서 냉각을 거치면서 발생한 철과 화학적 화합물 즉, Scale 표면에 발생되어 제품의 미관을 손상시키는 등 후공정 가공이 불량해지는 것을 방지하기 위하여 염산을 사용하여 Wire Rod 표면의 Scale을 제거하는 공정 (화학적 스케일 제거 공정)  
 - 산세의 시간 단축을 위해 5분 정도 쇼트처리를 실시한다.

## <특수강 C.H.Q 산세공정>

$KMnO_4 + NaOH \rightarrow H_2O \rightarrow HCL \#1 \sim \#4 \rightarrow$  고압수세  
 $\rightarrow H_2O \rightarrow$  Bonderite  $\rightarrow$  중화 ( $H_2O$ )  $\rightarrow$  Bondelube (피막완료)

## 4) 신선공정

(1) 선을 원하는 경과 강도로 마무리하기 위해 다이스를 이용하여 신선한다.  
 신선의 난이도는 재료의 가공 경화성의 차이와 관련이 있다. 신선 속도의 증가는 가공온도의 상승을 그만큼 높은 윤활성이 요구된다.

구 분	건식 신선
적용선경	Wire rod - 2.0~34mm
사용기계	단두 신선기(중,태 선용), 연속 신선기(세선용)
사용 다이스	초경다이스 또는 민조 다이아몬드 다이스
윤활방식	선에 피막을 생성, 금속비누 등 윤활제 사용
신선속도	50~100m/min

# 감면률 : 중간신선(1차신선) : 20~40%  $\rightarrow$  최종신선 (5~10%)

## (2) 제품검사

제품 외관 표면 흠/결함 Size 측정, 산세상태 / 권취상태 Lot 별 sampling 물성 시험분석 (Hardness, T.S), 조직검사(탈탄, 구상화)/ 결과처리 최종판정.

## (3) 계근 결속 포장

열처리, 산세공정, 신선공정이 끝난 CHQ 선재는 제품검사 및 포장공정을 거쳐 고객에게 출하된다.

(4) 제품검사 :

산세공정에 처리 완료된 제품에 대한 시편채취 (강종, Size, 제품번호기록 Tag 부착)는  
제품당 1개를 선단부 및 후단부 400mm 채취

(시험검사 : 자분탐상, 물성치, 조직)

CHQ 선재검사 : 표면결함, 권취불량, 중간단선, Size 검사

등급/정정대상표기 제품등급 : A(정품), C(목외), F(SCRAP)

(5) 인계 전 검사 :

외관표면 흠/결함 : Size, Tag 부착상태/ 권취상태, 강종/ Size 검사(물성치/외관/성분 등)

(6) 인수적치 보관

(7) 출하전 검사 :

외관 표면 흠/결함, Tag 부착상태 / 권취상태, 강종/Size

(8) 출하

**10-4 소재 공정에서 발생하는 결함**

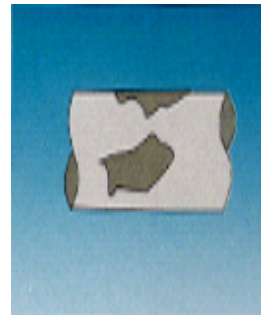
**1) 딱지 흠**

(1) 형상

외관형상



개략도



(2) 주요특징

- ① 제품 표면에 딱지 형태로 붙어 있으며 크기와 형상은 매우 다양하다.
- ② 결함 부위를 현미경으로 관찰할 경우 결함 주위에 개재물이 모여 있으며 탈탄 현상이 있을 수도 있음.

(3) 발생원인 및 대책

① 발생원인

- 주조 작업시 slag 등 이물질이 혼입되면서 표면에 부착되어 응고될 때
- 가열로 작업중 소재가열 시간 및 온도부적정시
- Bloom 및 Billet 표면 흠 제거 미흡시

② 대책

- 주조 작업중 slag 등 이물질 제거 및 공정별 작업기준 준수
- Bloom, Billet 표면결함 검사 강화

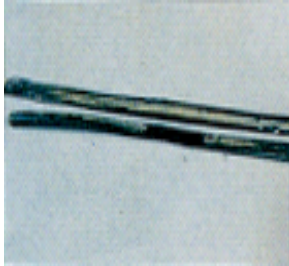
(4) 2차 가공에 미치는 영향

신선 작업중 Dies 마모 촉진 및 심한 경우 단선유발 최종제품의 표면 상태가 좋지 않아 2차 가공시 표면불량 및 도금불량 발생가능.

**2) 연화 흠**

(1) 형상

외관형상



개략도



(2) 주요특징

제품표면 및 내부에 mold powder 또는 내화물 등의 이물질 일부가 혼입되어 압착되는 것으로 결함부위를 굽어보며 흰색 또는 검정색 분말상태가 노출됨.

① 발생원인

- 제강작업중 Ladle, Tundish 등의 내화물 용손으로 인해 일부 탈락부분의 강중에 유입되는 경우
- 연주작업시 mold 탕변의 비정상적인 떨림(Hunting)으로 mold powder가 유입되는 경우
- 가열로 내에서 내화물이 탈락되어 연화일부가 소재에 압착되는 경우

② 대책

- 용강이 접촉되는 공정별로 내화물 용존 방비 및 주조작업 중 내화물 부상 분리
- 주조 작업시 Hunting 방지로 mold powder 유입방지
- 소재 표면 검사 강화

(3) 2차 가공에 미치는 영향

내부에 있는 흠인 경우 신선 가공시 단선을 유발하며 표면에 있는 경우는 Dies 손상을 초래하나 대부분 내부에 존재하는 경우가 많음.

**3) 수축공**

(1) 형상

외관형상



개략도



(2) 주요특징

- wire rod 단면 중심부에 hole이 존재하며 현미경 검사시 일부 편석현상도 관찰됨.
- 동결함의 발생부위는 주로 coil선, 후단부이며 일정길이(ring) 제거 후에는 완전 제거됨.

(3) 발생원인 및 대책

① 발생원인

- 조괴 또는 연주작업 중 소재의 응고과정에서 수축현상이 과다하게 발생될 때
- 압연작업중 압하량을 과다하게 받는 경우 표층부와 중심부와의 압연정도 차이에 의해 Fish Tail이 지나치게 길게 나타날 때

② 대책

- Bloom, Billet선 후단부 검사 및 절사강화
- wire rod선, 후단부 검사 및 절사강화

(4) 2차 가공에 미치는 영향

신선 가공시 단선발생, 열간 및 냉간압조 가공시 터짐 불량 발생

**10-5 압연 공정에서 발생하는 결함**

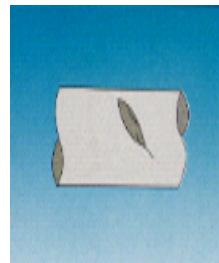
**1) Roll Mark**

(1) 형상

외관형상



개략도



(2) 주요특징

wire rod 길이 방향으로 일정한 간격(pitch)을 갖으며 일정한 형상 및 크기로 나타나는 요철 형태의 결함임.

(3) 발생원인 및 대책

① 발생원인

- Roll 또는 부속 설비 자체의 손상에 의해 발생하는 경우
- Roll 또는 부속설비에 Scale 등 이물질이 부착되는 경우
- 저온 압면에서 발생할 수 있는 Roll 피로 흠에 의해 기인되는 경우

② 대책

- 압연 Roll 및 Pitch Roll의 수냉처리 및 상태점검 강화
- 각종 Roll에 이물침입 방지 및 Roll 관리강화



(4) 2차 가공에 미치는 영향

- 신선후 최종제품 표면조도 등 외관 품질불량 발생
- 정밀부품으로 사용되는 경우 2차 가공시 터짐 등 불량 초래

**2) 굽힘흠**

(1) 형상

외관형상



개략도



(2) 주요특징

- 이랑처럼 파인형태의 결함으로 길이방향으로 연속하여 발생됨.
- Crack과 비교하여 길이가 작고 일정한 넓이가 있으며 육안으로 관찰 가능함.

(3) 발생원인 및 대책

① 발생원인

- 압연작업 중 각종 돌출부와 접촉되어 발생하는 경우
- 운송도중 취급부주의로 마찰되면서 발생하는 경우

② 대책

- 압연보조설비(Guide)등 유도장치 손실 및 이물질제거 등 점검 강화
- 운송 및 취급시 보호장구 설치

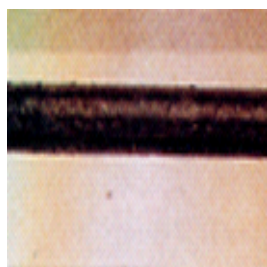
(4) 2차 가공에 미치는 영향

- 신선시 넓이가 작아지면서 Crack 형태로 발전하며 단선 발생 가능함.
- 도금재인 경우 도금불량 및 냉간압조 가공시 터짐 발생

**3) 스케일(Scale)**

(1) 형상

외관형상



개략도



(2) 주요특징

제품표면에 박리성이 나쁜 scale이 거칠게 부착되어 있는 상태



### (3) 발생원인 및 대책

#### ① 발생원인

소재표면에 발생한 산화철리 압연재 표면에 떨어져 압착되는 경우

#### ② 대책

- 소재검사강화
- 소재 가열시간 적정관리로 1차 Scale 생성을 억제
- 박리서이 양호한 Scale 생성을 위한 Pass Schedule 관리
- 각종 유도장치류에 Scale 잔류 억제
- Descaler를 활용한 1차 Scale 적극제거

### (4) 2차 가공에 미치는 영향

- 산세공정 채택시 처리시간 과다소요
- Dies 마모율 증대 및 심할 경우 Dies 파손 또는 단선 발생
- 제품선(wire) 표면 상태 불량

## 4) 귀나옴

### (1) 형상

외관형상



개략도



### (2) 주요특징

- 압연 방향에 연속적으로 돌출되어 나타나 있으며 대칭으로 양쪽에 나타나는 것이 보통이나 한쪽 방향에만 나타나는 경우도 있음.
- copl선, 후단부에 많이 발생

### (3) 발생원인 및 대책

#### ① 발생원인

- Roll 간격조정 부적절
- Caliber 설계의 부적절
- 입구 Guide가 한쪽으로 기울어진 경우
- 압연재에 Pipe 또는 편석이 있을 경우
- 소재 온도가 낮아지는 경우

#### ② 대책

입구 Guide와 Caliber의 정확성 유지 적절한 압하 조정

### (4) 2차 가공에 미치는 영향

신선시 Dies 마모가 심해지면서 단선 또는 Scratch 유발

## 5) 겹친 흠

### (1) 형상

외관형상



개략도



### (2) 주요특징

- 제품표면에 다소 각도를 가지고 있음
- 일반적으로 길이방향으로 길게 나타나며 일정한 형태를 유지

### (3) 발생원인 및 대책

#### ① 발생원인

- Roll Gap 부적정으로 귀나옴 된 재료가 다음 Stand에서 압연되는 경우



- Roll 과의 접촉부족 부위가 겹쳐지면서 압연되는 경우



- Guide 불량으로 한쪽 귀나옴 재가 다음 Stand에서 압연되는 경우



#### ② 대책

- 적절한 Roll 간격유지 및 입하량 유지
- 입구 Guide 및 Caliber 정확성 유지
- 입구 Guide의 정기적인 점검 및 수리

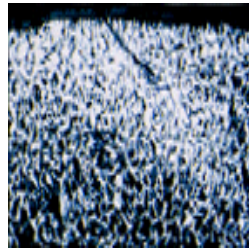
### (4) 2차 가공에 미치는 영향

- 냉간 압조 가공중 육안관찰 가능한 터짐 발생
- 신선중 단선 발생 및 도금불량 유발

## 6) 터진 흠

### (1) 형상

외관형상



개략도



### (2) 주요특징

- 수개이상 일정한 길이로 불연속적으로 나타나며 대부분 가공전에는 발견하기가 곤란함.
- 불량부 단면부위를 현미경으로 관찰시 Crack 주위에 비금속 개재물이 균집되어 있음

### (3) 발생원인 및 대책

#### ① 발생원인

- 소재에 (Bloom, Billet) 존재하는 Crack, Scale 등 미제거시
- 압연 Stand에서 각종유도 장치에 긁혀 생긴 Scratch가 잔존하는 경우

#### ② 대책

- 소재결함 제거 등 손질강화
- 압연 설비 점검 강화로 긁힘 등 미세결함 발생 방○지
- 고온상태에서 Bloom, Billet 냉각시 작업기준 준수

### (4) 2차 가공에 미치는 영향

- 선선중 단선 발생 및 냉간압연중 육안관찰이 가능한 불량발생
- 미세한 결함인 경우 표면불량 및 도금시 도금불량 발생

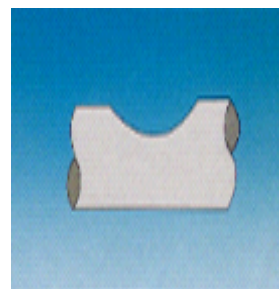
## 10-6 마무리 공정에서 발생하는 결함

### 1) 마찰 흠

#### (1) 형상



외관형상



개략도

### (2) 주요특징

선재표면이 국부적으로 마모 또는 깎여서 단면이 진원이 되지 못하고 파인 형상을 보임.

### (3) 발생원인 및 대책

#### ① 발생원인

- 선재 압연후 Conveyor 등 각종 유도장치에 마찰되는 경우
- 제품 운반시 취급불량 및 금속간 마찰이 발생하는 경우

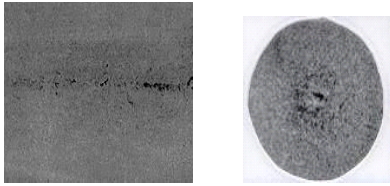
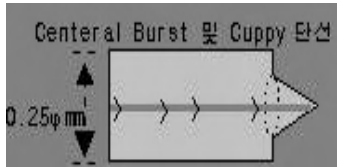
② 대책

- 선재압연 유도장치 점검 강화
- 운반 및 취급설비 등에 보호장구 부착


(4) 2차 가공에 미치는 영향

Dies 마모율 증대 및 심할 경우 Dies 파손 또는 단선 발생

**10-7 편석(Segregation)**

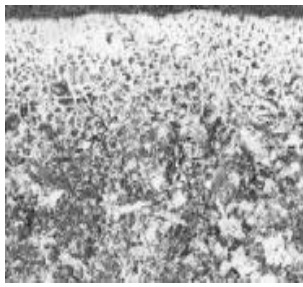
편석의 정의	wire rod의 내부에 특정성분(C,P..)의 함량이 다른부위 보다 특히 높은 구역을 말하며 주로 wire rod 중심부에 압연 방향을 따라 연속적인 Bound를 형성하며 나타남.	 <p>편석도:1.3 (중심부 농도/소강성분 농도)</p>
발생 원인	용강 표면에서 중심부를 향해 순차적으로 응고가 진행(Chill-Dendrite-Columar)되는 과정 중, 고상과 액상의 계면에서 용질배출에 의해 Dendrite 사이에 Micro 편석된 농후용질(S,P,C,Mn)이 응고말기에 주편 중심부로 물리게 되어 나타남.	
제품에 미치는 영향	성분편차에 의한 열처리 후의 제품 내, 외부 재질불균형, 신선 가공시 내, 외부 연신율 차이에 의한 Central Burst 및 Cuppy 단선 유발	
개선 방안	<p>주조온도(<math>\Delta T</math>) : 응고온도 <math>\leftrightarrow</math> 주조온도의 차이 최소화 <math>\Rightarrow</math> 등축정 발달</p> <p>주조속도 : 주속저감으로 용강pool 깊이 최소화 <math>\Rightarrow</math> 주상정 억제</p> <p>주편 단면크기 : 응고완료전 중심부 과열도 제거가능 <math>\Rightarrow</math> 등축정을 증가</p> <p>전자교반(EMS) : 전자력에 의한 잔류용강 강제교반 <math>\Rightarrow</math> 농축용질 집적방지</p> <p>경압하(S.R.) : Roll 간격축소, 응고수축량 보상 <math>\Rightarrow</math> 미응고 용강 유동억제</p> <p>강편 확산균열 : 가열로 고온, 장시간 가열시 농후편석의 Matrix 내 재용해</p>	

**10-8 비금속 개재물**

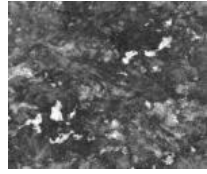
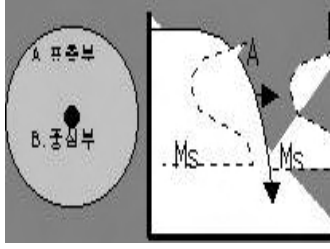

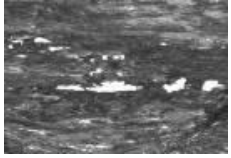
비금속 개재물의 정의	제강공정에서 강중에 용해된 Sulfide, Oxide, Silicate, Nitride, Alumina 및 그 화합물이 wire rod 내부에 미세하게 분포되어 있는 내부 결함의 일종	
-------------	--	---

발생원인	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 전로, Laddle, Tumdish Slag 및 탈산 생성물의 혼입</li> <li>- 내화물의 용손 및 용강의 대기노출에 의한 공기 산화물 혼입</li> <li>- Mold의 Scum 및 Mold Powder 혼입</li> </ul>
제품에 미치는 영향	Matrix와 개재물의 기계적 물리적 성질 차이로 경계 부분에 응력이 집중되어 Crack이 발생, 성장함으로써 Tire Cord 소재의 극세선 신선시 단선발생 또는 Ball 베어링 표면이 고기비늘처럼 일어나는 Flaking 발생.
조사방법	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 청정도 시험 : 시험편의 연마면을 현미경으로 관찰하여 피검면에 보이는 비금속 개재물의 수량을 측정(면적점유비율)</li> <li>- Total O<sub>2</sub> : 시험편을 용해할 때 발생하는 Gas를 포집하여 함 유량 측정</li> </ul>
개선방안	<p>1) Turndish 이전</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 취련말기 탄소량 및 온도제어로 출강시점의 용존산소 저감 <ul style="list-style-type: none"> <li>☞ Al-Cluster 감소</li> </ul> </li> <li>- Ar Gas에 의한 Bubbling 및 진공탈 Gas <ul style="list-style-type: none"> <li>☞ Ladle 내 개재물 부상분리</li> </ul> </li> </ul> <p>2) Turndish 이후</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 용강 주입류 Sealing 철저 <ul style="list-style-type: none"> <li>☞ 공기산화 방지</li> </ul> </li> </ul>

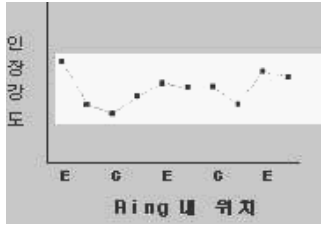
#### 10-9 표면탈탄(Surface Decarburization)

표면 탈탄 정의	<p>소재 표층부의 탄소가 대기중의 산소와 결합, 탈출하여 흰색의 Ferrite 조직으로 변화된 상태로서 발생정도에 따라 전탈탄, 부분탈탄, Ferrite 탈탄으로 구분됨.</p>	
발생 원인	<p>Bloom 또는 Billet가 가열로 내에서 장시간 높은 온도에서 가열될 때 표층부의 Carbon이 가열로 내의 산소와 반응하여 CO 또는 CO<sub>2</sub>로 산화됨으로써 발생되며 C의 확산속도가 산화속도보다 빠를 때 탈탄이 발생되고 느릴 때는 Scale이 생성됨.</p>	
제품에 미치는 영향	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 완제품의 표면경도 저하로 인한 내마모성 및 피로특성치 감소</li> <li>- 열처리후 재질 불균일 및 내외부 연신율 차이에 의한 신선시 단선발생</li> </ul>	
조사 방법	<p>시험편 연마면에 대해 표층부에서 중심부 쪽으로 일정간격 단위로 미소경도 시험을 실시하여 경도곡선을 그림으로써 임계 깊이를 도출</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 전탈탄 : Matrix조직과 경도가 동일수준인 임계부위까지의 깊이</li> <li>- 부분탈탄 : 전탈탄 깊이의 70% 수준</li> <li>- Ferrite탈탄 : 탈탄이 100% 완료되어 Ferrite 조직만 존재하는 깊이</li> </ul>	
개선 방안	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 적정 가열온도 및 가열시간 준수</li> <li>- 가열로 내 분위기 조성 : 공기비율 대비 연료의 비율을 높임으로써 로분위기의 Carbon을 과포화시켜 소재내 탄소의 산화방응 억제</li> </ul>	

## 10-10 경조직(Martensite)

경조직 정의	Austenite 상태의 탄소강을 Ms점(220℃)이하로 급속 냉각시 무확산 변태한 조직으로 탄소를 과잉고용하고 있으며, BCC로 변하는 격자변태의 중간 상태에서 정지한 정방격자(BCT)로써 경도가 높음.	
발생 원인	중심 편석에 의해 중심부의 성분농도가 표층부 대비 농후하며 이에 따라 연속냉각 곡선의 Nose부가 오른쪽으로 이동함으로써 동일한 냉각속도에서 표층부는 Pearlite 조직으로 변태하는 반면 중심부는 Martensite 조직이 발생됨	
제품에 미치는 영향	- 취성 제거를 위한 추가 열처리 비용 필요 - 열처리 조직중 가장 단단하고 깨지기 쉬운 '특징'으로 인해 신선시 단선발생 및 스프링 성형시 절손 발생	 
조사방법	- 현미경 조직관찰 및 단면부 경도 Test	
개선 방안	- 중심편석 저감조업(주조온도 및 속도, 주편단면 확대, EMS, 경압하 등) - Step Cooling 적용 등 선재냉각조건 최적화 → 표층과 중심의 냉각차등화 ① 중심이외 부위의 강도 확보를 위한 초기급냉 ② 중심 변태지연부의 조정 서냉	

## 10-11 인장강도 편차(TS Deviation)

인장강도 편차 정의	성분, 냉각조건 등에 의해 동일규격, 동일 Size의 W/Rod Coil간 또는 동일 Coil 내의 시험편 채취 부위별로 인장강도 실적값이 차이가 발생하는 정도(최소지향 지표)	
발생 원인	- coil간 편차 : charge간 화학성분 차이 → 냉각시 변태조직 분율차이 발생 - coil내 편차 : 냉각 conveyor 상에서 coil center 부와 Edge 부의 겹침밀도 차이 → 부위별 냉각속도 상이에 의한 내부조직 차이	
제품에 미치는 영향	- 인장강도 불균일에 의한 고속 신선중 단선발생 (경강, T/cord 등 급냉재) - 용접봉재 TS 불균일시 자동용접기 송급 Roller에 의한 용접 wire Feeding 불량 → 용접Arc의 불안정으로 용접성 불량유발	
조사방법	- coil 별, 채취위치별, 인장시험 결과 통계분석	
개선 방안	1) 성분 범위 엄격관리 : TS에 큰 영향을 미치는 C, Mn 등 화학 성분의 실적범위를 Tight하게 관리함으로써 coil 간의 TS 편차를 최소화 2) 선재압연 및 냉각조건 개선 - 제어압연 및 제어냉각 적용:저온압연, 냉각대 Heating cover, Mist Cooling - Stelmor 작업성 개선:Conical Screw Roller,냉각 Conveyor T-cap 형상 개선	



## 11. 고장력 볼트 축력 시험

### 11-1 현장예비시험

#### 1) 목적

당일 사용할 예정인 시공로트 중에서 축력계로 시험할 수 있는 볼트를 선정하여 토크의 검정 조임 토크를 설정하는 것에 있다. 그 값은 검사성적서 상의 값에 대해서 5% 이내의 값이 되어야 한다.

### 11-2 마찰접합용 고장력 육각볼트

1) 조임기는 매일 현장에서 취급하도록 출력토크의 변동이 고려되기 때문에 현장 예비시험으로서 매일 체결작업 전에 조임기의 출력조정을 실시한다. 이 작업을 일반적으로 교정이라고 한다.

조임기의 조정요령은 축력계에 시험볼트를 부착, 조임기를 이용하여 조인 후 그때 볼트축력을 축력계에서 측정한다.

그리고 토크렌치로 조여 볼트가 회전하기 시작할 때의 토크를 측정해 둔다. 이것은 5개 이상의 시험볼트에서 반복하여 조임볼트의 평균축력이 표의 범위 내에서 조정되어야 하는 것이 표준이다.

표. 조임볼트의 축력규정치(일본도로교시방서-1996)

볼트의 등급	호칭	설계축력(t)	표준축력(t)	5개 이상의 볼트평균축력(t)	
				하한치	상한치
F8T	M20	13.3	14.6	13.9	15.3
	M22	16.5	18.2	17.3	19.1
	M24	19.2	21.1	20	22.2
F10T	M20	16.5	18.2	17.3	19.1
	M22	20.5	22.6	21.5	23.7
	M24	23.8	26.2	24.9	27.5

2) 조임기의 조정은 토크계수의 편차와 조임기의 출력토크의 변동으로 볼트축력이 편차가 발생하는 것을 피하지 못한다. 따라서 현장에서 처음 조임기를 사용하였을 때에는 10~20 정도의 시험용 볼트를 연속적으로 조여서 조정을 하고 2일째 이후에는 시험용 볼트 수를 5개 정도로 적게 하여 실시한다.

3) 시공시의 편차이외에 조정과 시공시의 온도 차이에 의한 토크계수치의 변화, 조정시에 사용한 실부재와 축력계와의 강성차이, 조임 작업의 자세 등에 따라서 시공시에 얻은 평균 축력은 조정할 때와 다르다.

따라서 조임기의 조정은 될 수 있는 한 엄격하게 실시할 필요가 있다.

조임볼트 축력은 토크계수치의 편차, CREEP, 릴렉세이션, 미끄럼계수의 평균에 영향이 있기 때문에 설계볼트 축력의 10% 증가를 표준으로 규정하고 있다. 하지만 조임기의 조정에는 어느 정도의 폭을 유지시켜 조임 시공후의 조인트 안정성이 손상을 입지 않도록 하기 위해

5개 이상의 시험볼트의 축력의 평균치가 표에 표시한 축력범위(조임축력의 5% 이내)에 들어가도록 조임기의 조정을 실시하고 이때의 토크를 조임 토크로 설정한다.

### 11-3 마찰접합용 고장력 육각볼트 현장축력 시험사진



< 그림. 순서1 >



< 그림. 순서2 >



< 그림. 순서3 >

- 1) 축력계(LOAD CELL, INDIDATE)를 Setting 하고 샘플로 채취한 볼트를 장입시킨다.
- 2) 토크렌치를 이용하여 본 조임의 60%까지 조임을 실시하고 마킹한다.
- 3) 토크렌치로 정해진 축력까지 조임을 실시한다. (5개실시)  
이 때의 축력계와 토크렌치의 값으로부터 계수치를 산출한다.

$$T = k \times d \times N$$

T : 조임토크(kgf.m)

k : 토크계수치

d : 호칭경

N : 볼트의 축력(ton)

예) 축력계의 값이 221kN이고 토크렌치의 값이 64kgf.m일 경우의  
토크계수치는  $[(64 \times 9.81) \div (221 \times 22)] = 0.129$  이다.  
또한, 64kgf.m의 토크값으로 현장조임에 적용하고 토크검측시에는  
57.6~70.4 kgf.m의 토크범위 내에 들면 합격으로 한다.

#### 11-4 토크계수치

##### (1) 정의

고장력볼트의 토크계수치란 너트를 회전시켜 조일 때 볼트와 너트의 나사 사이 및  
너트와 와셔의 좌면사이에 발생하는 2가지의 마찰력의 합성된 크기를 나타내는 계수를  
토크계수치라 한다.

##### (2) 토크계수치의 필요성

고장력볼트의 조임방법의 경우 토크법은 너트의 조임토크를 제어하는 것으로서 조임축력을  
관리하지만 그 관계식은 다음 식으로 표시된다.

$$k = T / d \times N \times 1000$$

k : 토크계수치

T : 토크(너트를 체결하기 위한 모멘트, kg.m)

d : 볼트 나사 외경의 기준치수 (mm)

N : 볼트 축력 (Ton)

이 식으로부터 명확히 알 수 있듯이 토크계수치는 고장력볼트의 조임축력을 정확히  
도입하기 위해 극히 중요한 것이고 그 평균치와 변동계수는 규격으로 정해져 있다.

##### (3) 측정방법

- 1) 측정기구로서 볼트축력계, 토크렌치가 필요하다.
  - 2) 볼트축력계에 볼트를 setting 한다.
  - 3) 토크렌치를 이용하여 너트를 조인다.
  - 4) 표준볼트 축력 (설계 볼트 축력의 10%)에 도달할 때까지의 토크를 읽어낸다.
  - 5)  $k = T/d \times N \times 1000$  의 식으로 부터 볼트축력과 토크를 대입하여 k를 산출한다.
- 토크계수치의 측정은 이상과 같이 축력계와 토크렌치를 이용하여 사람의 힘으로 구하는  
방법과 전용토크시험기를 이용하여 축력과 토크를 측정하는 방법이 있다.

#### 11-5 현장 수입검사가 가능한 길이

현장 수입검사는 현장에 납입된 볼트 중에서 임의로 채취하여 실시하는 것으로 되어 있다.  
그러나 현장에서 사용하는 축력계는 현장에 납입된 모든 볼트를 검사할 수 없다.  
축력계의 구조상 검사할 수 있는 규격이 한정되어 있다.  
검사에 사용하는 볼트는 M16\*65~70, M20\*75~80, M22\*80~85, M24\*85~90 이 적정한  
길이가 되어 있다.

축력계의 PLATE나 BUSHING을 깎아서 이 치수보다 짧은 것을 검사하거나, LINER을 끼워서 긴 것을 검사할 경우 지시 값의 오차가 크게 될 경우가 있으므로 충분히 배려하여야 한다.  
 현장 예비 시험을 할 수 있는 규격이 정해져 있는 이유는 축력계의 구조상의 문제도 있지만 더 큰 이유는 나사산에 있어서 국부적인 응력집중방지와 축력의 편차를 제어하기 위함이다.  
 KSB-1010의 규정의 인장시험 항목의 규정에서 6산을 남기고 시험을 하게 되어 있다.  
 이 6산은 볼트에 너트, 와셔를 체결하고 잔여산이 2~3산일 경우의 여유 나사부 길이와 일치한다.

M22×80, 85의 경우를 예를 들면

$46(\text{나사부길이}) - [22(\text{너트높이}) - 6(\text{와셔높이}) - 5(\text{잔여나사산수})] = 13(\text{약}6\text{산})$ 이 된다.

6산으로 규정되어 있는 이유는 여유나사산이 너무 짧을 경우 응력 집중현상을 방지하고 또한 축력의 편차를 제어하기 위함이다.

## 11-6 T/S 볼트의 축력 시험

### 1) 검사요령

현장 수입검사(Calibration 또는 축력시험이라고도 부른다)는 축력계를 사용하여 행한다.  
 현장에 반입된 T/S형 고장력볼트 중에서 축력계에 부착할 동일 사이즈를 5세트 샘플 채취하고 체결축력 시험을 한다.

수입검사는 현장에 반입된 후 체결전에 1회 시행한다.

(시험에 사용하는 볼트 사이즈는 축력계의 구조상 M16×65~70, M20×75~80, M22×80~85, M24×85~90이 적절한 길이이다)

또 동시에 현장에 반입된 T/S형 고장력볼트는 현장보관이 양호한 상태로 기간이 짧은 경우에는 볼트 메이커가 발행하고 있는 시검표나 밀시트라 부르는 사내검사 성적표가 있으므로 이를 입수하여 규격을 만족하고 있는 지를 확인한다.

현장 보관이 길어지는 경우 보관 상태의 양부에 따라 다시 체결축력 시험을 해야 할 필요가 있게 된다. 또 전체 사이즈 중에서 축력계에 부착될 사이즈가 없는 경우 (M16만을 사용하는 경우 자주 발생한다)에는 주문시에 시험용으로 동일한 사이즈를 수배하여 두고 현장보관 기간을 될 수 있는 대로 단기간이 되도록 반입을 계획하며 사내검사 성적표의 확인에 의한 방법을 활용한다.





## 2) 체결순서

샘플로 채취한 T/S형 고장력볼트는 축력계에 부착하고 1차조임→마킹→본체결의 순서에 따라 너트를 돌려 체결한다. 이때 축력계는 H형강 등에 견고하게 고정시킨다.

## 3) 너트 및 와셔의 부착

너트 및 와셔의 부착은 각각의 방향이 정해져 있으므로 너트는 등급마크가 바깥쪽이 되도록 하고 와셔는 안지름 부착면의 바깥쪽(너트쪽)이 되도록 한다.

## 4) 1차조임

1차조임은 프리세트형, 토크렌치를 사용하여 토크렌치를 M16에서 약 1,000kgf.cm, M20과 M22는 약 1,500kgf.cm, M24는 약 2,000kgf.cm로 설정하고 체결한다. 토크렌치가 없는 경우에는 자루의 길이가 30~50cm인 아이스패너(eye spanner)를 사용하여 한 손으로 완전히 조인다. 이 때 평균적으로 축력이 5ton 정도가 되도록 조인다.

## 5) 마킹

1차조임 했을 때 볼트, 너트, 와셔 및 축력계의 좌판에 걸쳐 마킹을 한다. 이는 본체결시 정상적으로 너트가 돌아갔는가 혹은 볼트 회전과 같은 정상이 아닌 체결이 발생하였는가를 체결 후 육안으로 확인하는데 매우 필요한 것이다.

## 6) 본체결

본체결은 T/S형 전동렌치를 사용하여 핀 고리를 내측 소켓으로 꽂고 외측 소켓으로 너트를 돌려 볼트와 와셔가 회전하지 않는 것을 확인하면서 파단 못치부가 절단될 때 까지 체결한다. 체결후 축력계의 볼트축력을 읽는다.

이 때 토크치의 측정이나 너트 회전량의 측정은 필요 없다. 같은 방법으로 5세트의 볼트축력을 측정한다. 측정결과를 기록하여 제출할 수 있도록 정리해 둔다.

또 축력계에 체결하였을 때 너트의 회전량과 강재를 체결했을 때 너트의 회전량은 상이하며 전자(축력계에 체결)가 다소 회전량이 크다.



## 7) 판정

정상적으로 체결된 5세트의 T/S형 고장력볼트의 축력 평균치를 계산한다. 시험시의 기온에 따라 볼트축력의 정평균치가 아래표의 범위 내에 들어오면 합격으로 한다. 상온시(10℃부터 30℃)의 체결축력의 범위는 아래 표1에 의하고 상온 이외의 온도범위(0℃부터 60℃까지의 사이에서 상온 이외의 온도범위)에서 체결한 축력의 범위는 아래 표 2에 의해 판정한다.

판정은 시험을 행한 5세트의 평균치에 대하여 검토하는 것이고 개개의 볼트축력에 대하여 요구되는 것은 아니다.

시험 결과가 불합격인 경우 다시 한번 같은 로트에서 배수인 10세트의 볼트를 샘플 채취하고 전과 동일한 요령으로 체결 축력 시험을 한다. 이 10세트의 볼트축력 평균치가 아래표의 범위 내에 들면 합격으로 한다. 또 이 재시험의 판정을 처음에 행한 5세트의 시험결과와는 무관하게 처리한다.

표1. 상온시의 체결축력 범위

볼트 호칭지름	체결축력의 평균(k.N)
M16	110~133
M20	172~207
M22	212~256
M24	247~298

표2. 상온 이외에서의 체결축력 범위

볼트의 호칭지름	체결축력의 평균(k.N)
M16	106~139
M20	165~217
M22	205~268
M24	238~312

## 8) 체결시의 주의사항

- ① 볼트가 회전한다든가 와셔가 회전하는 경우 와셔나 볼트의 자리면과 축력계 사이에 샌드페퍼나 녹이 난 와셔를 끼우든가 축력계의 좌판부, 와셔배면 또는 볼트 자리면에 백묵을 칠하여 이러한 현상을 방지한다.
- ② 축력계 좌판이 변형했든가 볼트머리부에 접한 부싱에 크랙이 생겼거나 소켓이 마모하였으면 새것으로 교환한다.
- ③ 불합격 발생시
  - ㄱ. 축력초과시 : 좌면을 샌드페이퍼로 연마
  - ㄴ. 축력미달시 : W/D 40 및 엔진오일 묻은 장갑사용, 에어컨 바람으로 물기제거

## 12. 현미경 조직관찰 방법

### 12-1 조직관찰 방법

재료의 특성이 그 조직상태에 강하게 관계되어 있기 때문에 조직을 관찰하는 것은 가장 기본적인 조사항목의 하나로 되어 있다. 최근에는 여러 가지의 관찰방법이 개발되어 원자레벨까지도 관찰할 수 있지만 예로부터 사용되어온 광학현미경에 의한 관찰도 아직 중요한 정보를 얻는 수단으로 계속 사용되고 있다. 이 방법이 경우에 따라서는 재료의 전체의 상을 파악하고 거시적 정보를 얻는데에 가장 적합한 관찰수단으로 되는 경우도 있다. 여기서는 광학현미경을 사용하여 금속조직을 관찰하기 위하여 필요한 시료의 준비, 관찰수단, 사진으로서 기록을 남기기 위하여 유의점 등에 대하여 주로 기술한다.



## 1) 현미경 조직 관찰 시료의 제작

### (1) 시료의 채취

먼저 관찰할 시료의 종류, 제조과정, 관찰의 목적을 알 필요가 있다. 이에 따라 관찰의 위치, 배율, 관찰의 수단 등을 고려하여 시료를 채취한다. 그 다음 시료를 준비하게 되면 그 때 다음과 같은 사항을 수행한다.

- ① 비금속 개재물, 균열, 용접부 등의 재료표면 관찰은 시료표면을 직접 에칭하여 수행할 수 있다
- ② 재료 내부의 관찰 또는 표면에서도 미세조직의 관찰 등에는 필요한 부분을 절취하여 시료로 사용할 필요가 있다.
- ③ 그 때 관찰 대상 부분을 포함하여 그 부분이 시료표면에 오도록 절취한다.
- ④ 가공된 시료에서는 가공방향에, 주조재에서는 응고방향에 유의하고 보통은 이들과 평행 또는 수직이 되도록 한다.
- ⑤ 시료면적은 1~2cm<sup>2</sup> 정도가 적당하고, 특별한 이유가 없는 한 너무 크거나 너무 작은 시료를 피한다.
- ⑥ 절취시에 가공응력이나 열의 영향을 받지 않도록 절취수단, 크기에 유의한다.  
알루미늄의 경우 연화온도가 낮은 경우도 있으므로 특히 주의가 요망된다.  
강가공을 하여 시편을 절취하는 경우는 가공응력이 수mm의 깊이에 까지 영향을 주기 때문에 피하는 것이 좋다.

### (2) 시료의 연마

채취한 시료의 표면상태를 직접 관찰하는 경우를 제외하고 조직관찰을 위하여 연마할 필요가 있다

연마에는 조연마, 세연마, 마무리연마, 전해연마가 있으며 이들 순으로 연마를 하는 것이 보통이다. 이 때, 시편의 크기가 작은 것, 대단히 연한 재료든가 취성이 있는 재료, 다공성 등으로서 시료 형상이 붕괴되기 쉬운 것은 mounting할 필요가 있다.

#### ① 마운팅

시료가 금속이나 유리의 경우, 플라스틱과 같은 유기물의 경우 등은 mounting 재료가 이들 시료조직에 영향을 주지 않아야 된다. 시료와 마운팅 소재의 경도가 비슷하고 mounting을 위하여 가열 또는 발열되는 경우에는 조직이 변할 수 있으므로 유의해야 되고 큰 팽창이나 수축이 되는 경우에는 시편이 변형될 수 있으므로 유의해야 된다. 따라서 mounting이 필요한 경우 발열, 팽창, 수축, 시료와의 상대적 경도 등을 고려하여 mounting 재료를 선정해야 된다.

#### ② 조연마

시료의 연마는 조연마로부터 시작된다. 목적은 시료표면을 평평하게 하는 것이다.  
줄, 그라인드, 벨트그라인드 등을 사용하지만 발열과 변형에 주의를 요한다. 물 등으로서 시편이 발열되지 않도록 하고 아울러 변형되지 않도록 과도한 응력을 주지 않도록 한다.

#### ③ 중연마

연마지를 이용하여 연마하는 단계로서 조대한 입자의 연마지로부터 미세한 입자의 연마지 순으로 연마를 진행한다. 연마방법은 평평한 유리위에 연마지를 놓고 시편을 한 방향으로 연마한다. 한 방향의 연마가 끝나면 연마방향과 90° 방향으로 시편을 돌려서 앞의 연마과정에서 생긴 흠을 제거하도록 한다. 연마시에는 시편과 연마지가 수평이 되도록 하여 연마하여야 된다.

만일 연마기(Polisher)를 이용하여 연마하는 경우에는 시편의 연마면이 수평이 되도록 힘을 균일하게 가하여야 된다. 가능한 미세한 연마지를 사용하여 연마하는 것이 좋다. 시간을 단축하기 위하여 조대한 입자인 연마지를 사용하는 것이 보통이나 이상적으로는 최종입도의 연마지만을 사용하는 것이 좋다. 조대한 입도의 연마지를 사용하는 경우 조직 중에 단단하고 취성이 있는 상이 파괴될 위험성이 크다. 미세한 입도를 사용하면 연마분이 부착하여 제거되지 않아 광택면을 얻을 수 없는 경우도 있으나 이 때에는 파라핀이나 기계유를 도포하거나 수중에서 습식연마하면 효과 있는 경우도 있다. 또한 여러 입도의 연마지를 사용할 경우 입도를 바꿀 때마다 전에 사용된 입자가 시편 표면에 남아 있지 않도록 흐르는 물에 시료표면을 세척하던가 초음파 세척기를 이용하여 세척할 필요가 있다. 중연마는 양호한 조직관찰을 위하여 대단히 중요하다. 이 단계에서 깊은 흠이 남아 있다면 마무리 연마에서 제거할 수 없기 때문이다.

#### ④ 마무리 연마

보통은 buff 연마를 최종연마로서 행한다. 연마기를 이용하여 부드러운 연마천 상에  $Al_2O_3$ ,  $MgO$ ,  $Cr_2O_3$ ,  $Fe_2O_3$ , 다이아몬드 등의 미세한 분말을 물에 혼합시켜 연마제로 하고 물을 흘리면서 buff 연마를 한다.

최초에는 이들 입자를 치약처럼 만들어 사용되는 경우가 있고 이 경우에는 기름을 이용하는 경우가 많다. 알루미늄과 그 합금과 같이 연질재료의 최종연마는 연마재를 사용 않고 순수한 물만으로 하는 것이 좋다. 연마 속도는 낮을수록 좋고 연질재일 수록 낮은 속도가 좋다. 고속으로 하면 성분상의 탈락이나 끝부분이 둥글게 되기 쉽다.

시료에 가하는 힘도 지나치게 크면 좋지 않다. 가하는 압력이 크면 연질 부분이 깊게 패이게 되어 현미경 관찰시 초점이 잘 맞지 않게 된다. 또 편석양상의 계면이 패이기 쉽다.

연마 방향은 한 방향으로만 하면 좋지 않다. 평평한 연마면을 얻기 위하여 정기적으로 연마 방향을 바꿀 필요가 있다. 좋은 연마면은 광학현미경으로 관찰하여 Scratch가 보이지 않아야 된다. 그러나 buff에 의한 찰과상이 존재시에는 전해연마에 의하여 경면을 얻을 수 있다.

## 2) 올바른 조직사진 얻는 법

### (1) 시험편의 상태

에칭 후 너무 장시간을 두지 말고 가능하면 에칭 직후에 촬영하는 것이 좋다. 에칭은 눈으로 관찰할 경우보다 더 얇은 것이 좋고 고배율일수록 그런 경향이 있다. 진하게 부식한 것은 위상차가 나쁜 사진이 된다.

### (2) 조직 배율이 확인

Sheet 필름의 경우 밀착인화하기 때문에 필름면 배율=현미경의 배율로 된다. 여기에 대해 35mm roll 필름의 경우는 현미경의 기종, 렌즈의 조직에 따라 필름면 배율은 몇 가지로 될 수 있다. 다용되고 있는 것은 0.4, 0.7, 1.2이다. 그러므로 인화할 때는 확대 배율 결정에 유의가 필요하다.

배율은 마이크로 스케일(금속제로 전눈금 1mm, 최소눈금 0.01mm)을 시편과 함께 사진 촬영하여 찍혀진 눈금길이를 이용하여 측정한다.

### (3) 필름의 선택

노엣지 시료, 위상차에는 오르소 또는 판크로를 쓴다. Ca 및 Cu 합금에서는 오르소는 사용치 않는다. 강, 일반합금에서는 푸로세스판크로, 네오판 또는 미니카피가 좋다.  
또 조직사진을 촬영 후 즉시 확인하고자 할 때는 폴라로이드필름을 사용하면 좋다.  
특수한 경우를 제외하고는 칼라필름은 사용하지 않는다.

### (4) 휠타

광량 조정용에는 중회색 휠타를 쓰고 콘트라스트(위상차) 조정용으로는 대물렌즈의 색수차 보정을 녹색, 청색, 황색의 3종이 쓰여지나 녹색이 가장 많다.

### (5) 노출광원의 결정

대물렌즈의 개구수, 현미경의 종합배율, 광원의 밝기와 사진의 감도, 집광기의 조절정도, 조명방법과 휠타의 종류 촬영장치의 형식 및 주름상자 길이의 변화, 필름의 감도와 형상조건, 시료의 조직상태 등의 조건에 의해서 결정되며 과부족이 없는 적정 노출이 필요하다.  
전용의 노출계를 결합시키는 구조의 현미경도 있다.  
통상은 1~15초로 이루어지는 것이 많으나 고배율에서는 30초 이상이 되는 것도 있다.  
진동이 있으면 사진이 선명하지 않게 된다.

### (6) 사진의 제작

촬영되어진 "negative(음화지)" 사진에는 시군기호, 배율, 데이터, 촬영월일 등의 기록을 잊어버리기 전에 기입하여 놓다.  
혼합 조직을 찍는 경우 마이크로비커스 경도시험을 행하여 그 압흔으로 조직간의 경도의 차이를 표현하는 수가 있다. 완성된 사진에는 배율( $\times 100$ ) 또는 스케일( $00\mu\text{m}$ ) 및 에칭법을 기록한다.

### (7) 현미경 검사에 유의점

현미경으로 관찰되는 부분은 한정된 하나의 적은 부분에 지나지 않으므로 이 검경 결과를 가지고 전체를 논할 때는 잘못을 저지를 수도 있다. 금속조직은 현미경으로는 균질하다고 볼 수 없기 때문이다. 되도록이면 광범위한 micro적 관찰이 먼저 이루어지고 그 후에는 포인트를 정하고 거기에 따라서 micro로 관찰이 이루어지도록 하는 것이 필요하다.

## 13 고장력볼트에 대한 질의

### 13-1 TORSHEAR BOLT는 고장력육각볼트에 비해 어떠한 장단점 이 있는가?

#### (1) TORSHEAR BOLT의 장점

- 1) 볼트의 핀테일파단에 의해 안정한 조임토크를 얻어 조임축력이 도입되도록 되어있다.
- 2) 전용체결기를 사용하기 때문에 조임토크의 조정이 필요없고 조임기와 작업자에 따른 토크의 편차가 없다.
- 3) 조임후 검사에서 핀테일의 파단과 마킹을 육안으로 확인할 수 있기 때문에 토크 검사가 불필요하다.
- 4) TORSHEAR BOLT의 조임기는 고장력육각볼트에 비해 가볍다.
- 5) 볼트 머리쪽의 와셔가 불필요하다.

## (2) TORSHEAR BOLT의 문제점

- 1) TORSHEAR BOLT의 조임축력은 재료의 기계적성질과 가공정도 및 토크계수치에 따라 변하기 때문에 조임기에 따른 체결 오차를 받지 않는 대신에 제품자체에 보다 높은 성능과 정도가 요구된다.
- 2) 조임토크의 조절을 할수 없다. 따라서 온도가 현저하게 변함에 따라 토크계수치가 크게 변화한 경우에 대응이 불가능하다. 이 때문에 사용시의 온도폭과 예비 시험시의 조임축력의 폭이 규정되어있다.
- 3) 모서리부의 조임등 전용체결기를 장입할수 있도록 설계상의 배려가 필요하다.
- 4) 조임후 파단한 핀테일의 회수가 필요하다.
- 5) 교체작업이 필요한 경우 머리가 둥글기 때문에 공회전하여 교체작업이 어렵다.
- 6) 핀테일 파단후의 Edge부에 도장시 BARE가 발생할 가능성이 높다.

## 13-2 고장력육각볼트 및 TORSHEAR BOLT의 장단점은 무엇인가?

표23 고장력육각볼트와 T/S 볼트의 장단점

	고장력육각볼트	TORSHEAR BOLT
장점	<ul style="list-style-type: none"> <li>* 조임기가 사용할수 없는 경우에도 토크렌치로 조임이 가능하다.</li> <li>* 조임방법의 선택이가능하다. (토크법,너트회전법등)</li> <li>* 대구경볼트의 대응이 가능하다.</li> <li>* 아연도금 및 방청처리한 고장력 볼트에 사용할수 있다.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* 조임완료후의 검사가 단순하며 육안으로 가능하다.</li> <li>* 조임기와 작업자의 차이에 따른 조임축력의 차이가 없다.</li> <li>* 토크를 제어할 필요가 없다.</li> </ul>
단점	<ul style="list-style-type: none"> <li>* 이음부 마찰계수를 0.4이상 확보할 필요가 있다.</li> <li>* 체결한 당일에 검사를 실시할 필요가 있다.</li> <li>* 조임공법에 다른 각각의 조임기가 필요하다.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* 이음부 마찰계수를 0.4이상 확보할 필요가 있다.</li> <li>* 파단후 핀테일의 회수가 필요하 다.</li> <li>* 아연도금한 고장력볼트에는 사용할 수 없다.</li> <li>* 전용의 체결기구가 필요하다.</li> </ul>

## 13-3 볼트와 나사의 차이는 무엇인가?

볼트(BOLT) : 일반적으로 너트와 조합해서 이용하는 나사를 가진 물품의 총칭

스크류(SCREW) : 너트와 같이 사용되지 않고 모재에 TAP을 내거나 하여 직접 체결되어지는 나사를 가진 물품의 총칭.

## 13-4 고장력볼트 머리의 각인으로 F10T, S10T, B10T의 영문기 호와 수치의 의미는 무엇인가?

F10T, S10T, B10T는 고장력볼트의 품종, 기계적성질에 따른 등급을 나타내는 표시기호이다. 각 표시기호의 의미는 다음과 같다.

F10T(마찰접합용 고장력볼트)

F : FRICTION OF GRIP JOINT(마찰접합)에서 FRICTION의 첫문자 " F " 이고

10 : 볼트의 인장강도 하한값을 표시하며, 10은 100kgf/mm<sup>2</sup> = "10"tonf/cm<sup>2</sup> 이다.

T : TENSION의 첫문자 "T"이다.

S10T(TORSHEAR형 고장력볼트)

S : STRUCTURE JOINT에서 STRUCTURE의 첫문자 " S " 이고

10 : 볼트의 인장강도 하한값을 표시하며, 10은  $100\text{kgf/mm}^2 = "10"\text{tonf/cm}^2$  이다.

T : TENSION의 첫문자 "T"이다.

B10T(지압접합용타입식 고장력볼트)

B : BEARING의 첫문자"B"

### 13-5 KS B-1010의 F11T에 ( )를 한 의미는 무엇인가?

될 수 있는한 사용하지 않는 것이 바람직하다는 의미이다.

JISB-1186의 해설서에 따르면 볼트의 기계적성질에 따른 등급중 F11T에 괄호를 붙임으로 한다.

F11T는 F10T에 비해 사용실적이 적고 자연파괴의 문제가 완전히 해결되지 않고 있는 것이 명확히 되어 왔기 때문에 될 수 있는한 사용하지 않는 것이 바람직하다고 생각했기 때문이다.

또한 일본건축학회에서는 F11T를 사용하지 않는 것으로 하고 강구조설계기준에서 F11T의 기준을 삭제했다.

### 13-6 고장력볼트에서 토크계수치의 의미와 필요성 그리고 측정방식은 무엇인가?

(1) 토크계수치란

고장력볼트의 토크계수치란 너트를 회전시켜 조일 때 볼트와 너트의 나사 사이 및 너트와 와셔의 좌면사이에 발생하는 2가지의 마찰력의 합성된 크기를 나타내는 계수를 토크계수치라 한다.

(2) 토크계수치는 필요성

고장력볼트의 조임방법의 경우 토크법은 너트의 조임토크를 제어하는 것으로서 조임축력을 관리하지만 그 관계식은 다음 식으로 표시된다.

$$k = T / d \times N$$

여기서 k: 토크계수치

T: 토크(너트를 체결하기 위한 모멘트, kg.m)

d: 볼트 나사 외경의 기준치수 (mm)

N: 볼트 축력 (Ton)

이 식으로부터 명확히 알수 있듯이 토크계수치는 고장력볼트의 조임축력을 정확히 도입하기 위해 극히 중요한 것이고 그 평균치와 변동계수는 규격으로 정해져 있다.

(3) 측정방법은

1) 측정기구로서 볼트축력계, 토크렌치가 필요하다.

2) 볼트를 축력계에 볼트를 SETTING한다.

3) 토크렌치를 이용하여 너트를 조인다.

4) 표준볼트 축력(설계볼트 축력의 10%)에 도달할 때 까지의 토크를 읽어낸다.

5)  $k = T / d \times N$  의 식으로부터 볼트 축력과 토크를 대입하여 k를 산출한다.

토크계수치의 측정은 이상과 축력계와 토크렌치를 이용하여 사람의 힘으로 구하는 방법과 전용토크시험기를 이용하여 축력과 토크를 측정하는 방법이 있다.

### 13-7 볼트의 보증기간은 언제까지 인가?

볼트의 보증기간으로서의 문제는 주로 토크계수치의 변화유무에 따른다. 여기서 토크계수치의 변화는 보관상태가 볼트제조회사의 창고와 같은 정도의 상태인 경우 너트에 실시한 윤활제 성분이 경시변화를 받는지 유무에 따라 결정된다. 일반적으로 약 반년정도 내에 사용하는 것이 바람직하다고 말하고 있지만 업체에 따라서 약간의 차이는 예상되지만 정도는 문제가 문제가 없는 것으로 되어있다.

### 13-8 재질의 규정이 없는 이유는?

소정의 성질을 발휘하는 거에 적합한 재료의 선택을 자유로이 하고 보다 뛰어난 제품의 개발을 기대했기 때문이다.

볼트, 너트, 와셔의 재료와 그 가공방법에 대해서는 특별히 규정을 하고 있지 않다.

이것은 요구성능을 발휘하는 것은 적합한 재료, 가공방법의 선택을 자유롭게하고 보다 뛰어난 제품의 개발을 기대한것이고, 최근에는 볼트용 재료로서 저탄소계 재료에 망간, 크롬, 보론을 첨가해서 소입성을 향상시킨 저탄소 보론계가 많이 사용되고 있다.

### 13-9 TORSHEAR(T/S)형 고장력볼트에서 머리가 둥근 이유와 와셔가 1매인 이유는?

TORSHEAR(T/S)형 고장력볼트는 머리부가 둥글고 체결되는 와셔를 너트측에 1매만 사용을 한다. 머리부분을 둥글게 해서 둥근 머리의 좌면경을 고장력육각볼트의 좌면경보다 크게해서 수압 면적을 크게하고 머리부에 와셔를 사용하지 않아도 Relaxation등의 성능이 고장력육각볼트와 동등하고 볼트 축력의 확보를 충분히 할수 있다.

TORSHEAR(T/S)형 고장력볼트의 체결은 핀테일의 파단토크에 의해 볼트의 축력을 도입하는 소위 토크법에 의한 것이다. 따라서 볼트의 축력을 안정시키기 위해서는 토크계수치를 안정시킬 필요가 있고 이 때문에 와셔를 너트측에 1매를 사용한다.

### 13-10 TORSHEAR(T/S)형 고장력볼트에서 M12, M30이 없는 이유는?

T/S BOLT의 M12는 12각 핀테일과 내부소켓의 조합, 조임토크, 볼트의 도입축력의 안정을 고려하면 가공하기가 어렵고, M30의 경우는 조임토크가 너무 커져서 현재의 전동 렌치의 능력으로서는 조여질수 없고 대형 렌치의 개발이 필요로 하다.

건축, 토목의 설계시공기준은 M16에서 M24까지의 규정만 있기도 강구조물을 제작하는데 특히 문제가 없다는 것으로 M12와 M30에 대해서는 규정하고 있지 않다.

또한 수요가 없는 것과 기술적인 문제등에 의해 볼트 제조업체도 M12와 M30의 T/S BOLT는 제조하지 않고 체결렌치도 제조되고 있지않다. (1996년 개정판에는 M27, M30이 포함되어 있음)

### 13-11 너트의 경도 HRB95와 HRC16의 차이점은 무엇인가?

KSB1010의 규정에서 너트의 경도는 F10에서 최소치가 HRB 95, 최대치가 HRC35로 되어있다. 여기서 최소치와 최대치에서 경도의 스케일이 다른 것은 측정에 있어서 HRB와 HRC의 한계를 고려해서 넣고 있기 때문이다.

즉 HRB 95를 C 스케일로 환산을 하면 HRC16이 되지만 이것은 C 스케일의 하한을 밑돌고 있기 때문에 B 스케일로 규정을 하는 것이다. 역으로 HRC35를 B 스케일로 환산을 하면 HRB 108이 되지만 이것은 B 스케일의 상한(HRB 100)을 초과하는 것이기 때문에 C 스케일로 규정하고 있는 것이다.



### 13-12 토크계수치 A, B의 사용구분은 무엇인가?

토크계수치 A, B의 사용구분은 너트에 실시하는 윤활처리의 유무에 의해 행해지는 것이 일반적이다. 즉 A는 윤활처리를 실시한 것이고, B는 윤활처리를 실시하지 않은 것이다. 토크계수치 A(0.110 ~ 0.150)와 B(0.150 ~ 0.190)를 비교할 경우 A 종이 훨씬 낮은 토크에서 소요축력을 얻을 수 있음을 알 수 있다.

특히 볼트의 호칭경이 커지면 A, B 차이에 의한 체결토크의 차이는 커지기 때문에 체결기등의 능력을 고려한 경우 A쪽이 훨씬더 유리하게 된다.

### 13-13 토크계수치의 판정시기는 언제인가?

공급자가 수요자에서 납품하는 단계에서 수요자의 입회검사가 행해진 경우 원칙적으로 입회검사일을 합격 판정일로 한다.

다만, 입회검사가 행해지지 않는 경우는 사내검사일을 합격 판정일로 한다.

### 13-14 고장력볼트의 사용온도 범위는 ?

고장력육각볼트에서는 사용온도범위를 정하고 있지 않지만 T/S 형고장력볼트에서는 사용온도범위를 0°C ~ 60°C로 명확히 규정하고 있다.

세트의 토크계수치는 온도에 의해 변화할 가능성이 있지만 고장력육각볼트에서는 시공현장에서 체결기를 조정하는 것으로 적당한 체결력을 얻을 수 있기 때문에 사용온도 범위를 정하지 않고 시공할 수 있는 온도범위에 있으면 사용해도 지장이 없다.

그러나 T/S 형고장력볼트에서는 시공현장에서 체결하는 토크를 조정할 수 없고 그 때문에 토크계수치가 온도에 의해 변화하면 체결축력이 변동하므로 그것을 고려해서 온도범위를 정하는 것이다. 단지, T/S 형고장력볼트도 이 사용온도 범위외에 사용할 필요가 있을 경우에는 확인시험등으로 소정의 축력이 안정되게 얻어 질 수 있는지 확인한 뒤 사용하는 경우에는 지장이 없다.

### 13-15 적정 볼트 길이 및 허용되는 최소여장은 어느정도인가?

볼트의 여장은 조임두께로 다음표의 [조임두께에 더한 길이]를 더한 것을 표준으로하고 5mm단위로 사용한다. 이 경우 여장은 5mm 정도(약2산)가 된다.

표준의 산출방법에서 볼트길이가 5mm단위로 되지 않은 경우는 1사2입, 2사3입 등으로 실시되기 때문에 여장이 짧은 경우에서 5mm로 된다. 허용되는 최소여장은 5mm정도로 때문에 1사2입으로 해서 3산정도가 되는 볼트길이를 선정하는 것이 좋다고 판단된다.

표24 조임두께에 더한 길이

	T/S BOLT	H/T BOLT
M20	30	35
M22	35	40
M24	40	45

뿐만 아니라 건축관계의 경우 사단법인 일본건축학회가 발행하고 있는 건축공사표준 사양서에서 볼트의 길이가 5mm 단위로 되지 않은 경우는 2사3입으로 규정하고 있다.

또한 1 SIZE(5mm 긴볼트)긴 볼트를 사용할 수 있도록 조임 후의 외관검사에서 여장은 1산에서 6산까지를 합격으로 하고 있다.

여기서 여장은 볼트의 풀림 방지의 목적이 아니고 체결후 외관검사시 볼트의 혼입을 쉽게 찾아낼 수 있고 또한 볼트의 전장공차, 너트의 높이공차, 와셔의 높이공차, 부재의 높이공차 전체를 더하면 이 여장이 된다.

### 13-16 비가 올 때 시공은 실시해도 좋은가?

비가 올 때는 체결작업을 행하지 않는 것을 원칙으로 한다.

다만 부득이하게 비가 올 때에 체결을 행한 경우는 체결시험을 실시하고 토크계수치의 변화 상태를 충분히 확인하는 것이 필요하다.

### 13-17 현장수입검사가 가능한 길이?

현장수입검사는 현장에 납입된 볼트 중에서 임의로 채취하여 실시하는 것으로 되어있다. 그러나 현장에서 사용하는 축력계는 현장에 납입된 모든 볼트를 검사할 수 없다.

축력계의 구조상 검사할 수 있는 규격이 한정되어 있다. 검사에 사용하는 볼트는 M16 x 65, M16 x 70, M20 x 75,80, M22 x 80,85, M24 x 85,90이 적절한 길이로 되어있다.

축력계의 PLATE나 BUSHING을 깎아서 이 치수보다 짧은 것을 검사하거나 LINER을 끼워 긴 것을 검사할 경우 지시 값의 오차가 크게 될 경우가 있으므로 충분히 배려하여야 한다.

현장예비시험 할 수 있는 규격이 정해져있는 이유는 축력계의 구조상의 문제도 있지만 더 큰 이유는 나사산에 있어서 국부적인 응력집중방지와 축력의 편차를 제어하기 위함이다. KSB-1010의 규정의 인장시험항목의 규정에서 6산을 남기고 시험을 하게 되어있다.

이 6산은 볼트에 너트, 와셔를 체결하고 잔여산이 2~3산일 경우의 여유나사부 길이와 일치한다. M22x80, 85의 경우를 예를 들면

$$46(\text{나사부길이}) - [22(\text{너트높이}) - 6(\text{와셔높이}) - 5(\text{잔여나사산수})] = 13(\text{약6산}) \text{이 된다.}$$

6산으로 규정되어있는 이유는 여유나사산이 너무 짧을 경우 응력집중현상을 방지하고 또한 축력의 편차를 제어하기 위함이다.

### 13-18 볼트 투입후 본체결까지의 허용일수는?

고장력볼트의 본 체결은 부재에 투입한 당일에 하는 것이 원칙이다 일수가 경과한 경우 현장의 환경과 그 동안의 비내리는 일수 등 토크계수치를 변화시키는 조건이 각각 다르기 때문에 일반적인 허용일수를 결정할 수 없다.

비, 눈, 서리등에 의한 수분의 영향이 없고, 녹 발생이 없는 경우에 있더라도 안정한 체결축력을 확인하고 관리자의 이해를 얻어서 작업을 행하는 것이 필요하다.

### 13-19 볼트 체결후 수일이 지난 후 토크검측을 실시하면 토크가 변하는 이유?

1) 토크계수치의 변화

실험결과에 의하면 토크계수치는 온도가 내려감에 따라 높은 값을 나타내며 그 변화는 거의 직선적이라는 보고가 있다. 그 변화 정도는 1℃의 온도변화에 따라 0.3 ~ 0.7%정도로,

동절기와 하절기의 강재온도가  $-20^{\circ}\text{C} \sim 60^{\circ}\text{C}$ 까지 변화한다는 점을 고려하면 토크계수치는 상당히 큰 폭으로 변화한다는 것을 알 수 있다. [예를 들어 오전중에 토크계수치 시험을 실시하여, 오후 직사광선을 받은 조건에서 오전과 동일한 조건으로] 볼트를 체결할 경우 온도상승으로 인한 토크계수의 감소로 볼트에 과도한 체결이 이루어질 위험성이 존재하며 실제 체결작업에 있어서도 오전에 체결한 제품을 오후에 토크검측을 실시하면 토크가 미달되는 현상이 발생한다.

토크계수치의 변화에 대해서는 아직 정량적으로 명백하지 못한 점이 많으며, 토크범위를 채용하여 볼트를 체결할 경우 시공현장에서의 충분한 주의를 요한다.

## 2) 축력의 RELAXATION

축력의 감소율은 볼트에 따라 차이가 있으나 외국 및 국내의 연구자료를 보면 1분에서 3주까지 추가로 발생하는 감소율은 4% 정도이고, 12년이 지난후에도 약 6%정도 감소한다고 보고하고 있다. 또한 일일 기온변화에 따라 축력의 변화가 주기적으로 나타나 온도변화에 따른 영향이 많은 것으로 확인된다.

이러한 이유로 인하여 고장력볼트의 설계축력과 유사한 것으로 실제 볼트의 표준축력 계산시 릴렉сей션을 고려하여 설계축력의 약 10% 정도 축력을 증가시키도록 시방서에 규정되어 있다.

### 13-20 고장력 육각볼트(F10T)의 경우 용융도금을 하지 않는 이유?

고장력육각볼트(F10T)를 용융도금 하게 되는 경우 다음 2가지 조건이 먼저 해결되어야 한다.

1) 토오크 계수치 (토오크 관리)에 대한 요건에서 자유로워야 한다.

즉 용융도금의 경우 토오크 관리가 어렵고 적용하는 경우가 제한적이므로 DATA 설정도 불가능 하다.

2) 볼트에 체결되는 와샤의 경도값이 기준값을 벗어난다.

와샤의 경우 경도가 HRC 35 ~ 45로 되어 있으나 용융도금을 하는 경우 HRC30 정도 까지 경도가 떨어진다. 따라서 위의 2가지 사항에 대한 면제 조건이어야 용융도금의 적용이 가능할 것이다.

### 13-21 TORSHEAR(T/S)형 고장력 볼트(S10T)의 경우 용융도금을 하지 않는 이유?

그럼 TORSHEAR(T/S)형 고장력볼트(S10T)를 용융도금하는 경우에는?

위의 고장력 육각볼트의 이유와 관계없이 용융도금을 실시하므로 핀테일이 소켓내에 삽입이 불가하여 적용이 불가능하다. 핀테일이 소켓내에 삽입이 불가하여 적용이 불가능하다.

### 13-22 TORSHEAR(T/S)형 고장력 볼트(S10T)의 경우 다크로도금 제품의 체결후 도장은?

다크로 도금된 제품을 전동렌지로 체결시 일부 도금층의 충격에 의한 박리와 핀테일이 탈락하고 나타나는 모재부에 시간이 경과하면 발청이 발생한다. 따라서 체결후 도장을 하는 것이 바람직하다.

### 13-23 ASTM A325 & A325M의 Rotation Capacity Test 방법은?

ASTM A325M에서 요구하는 Rotation Capacity Test에 대한 시험 방법임.

ASTM A325M의 10.2에 언급된 TEST를 실시하였습니다.  
SIZE는 M16 x 50L입니다.



1. 먼저 제품을 토오크TEST기에 1차체결을 실시하였습니다.  
1차체결시 Tension은 Proof Load의 10%가 기준입니다.



2. 1차체결의 Tension 입니다.  
M16, A325M TP1의 Proof Load가 94.2KN이므로 10%이면 9.42KN임.  
(사진에서는 10KN으로 1차체결)



3. 1차 체결후 Rotation을 위하여 NUT와 자리면에 회전량을 알 수 있도록 마킹을 실시함.



4. 아래 TABLE 6.에 요구되는 너트의 회전량을 확인하고 NUT를 조인다.



5. TABLE 6.에서 요구하는 회전량 만큼 회전시켜 조인다.  
M16 x 50L의 경우 3.125D에 해당하므로 300 (7/8) degrees (Turn)을 회전시켜 조인다.



6. 최종적으로 조인 상태이다.



7. 이때의 TENSION값을 읽는다.  
(사진에서는 119.8kN임)



7. 이때의 Torque 값을 읽는다.  
[사진에서는 39Kg-m (382N-m)임]



8. 시험후 BOLT&NUT에 있어서 조립성 등에  
영향이 없어야 한다.

**TABLE 6 Rotational Capacity Test for Zinc-Coated Bolts**

Nominal Bolt Length, mm	Nut Rotation, degrees (turn), min
2D and shorter	180 ( $\frac{1}{2}$ )
Over 2D to 3D incl	240 ( $\frac{2}{3}$ )
Over 3D to 4D incl	300 ( $\frac{7}{8}$ )
Over 4D to 8D incl	360 (1)
Over 8D	420 ( $1\frac{1}{8}$ )