

열처리교실

H鋼 (硬化성이 保證된 構造用鋼材)

김문일

연세대학교 금속공학과

1. 서 론

기계부품을 열처리할 때는 먼저 1) 어느 부위를, 2) 어느 정도의 경도로, 3) 어느 정도의 깊이 (유효깊이, 전체깊이)로 열처리 할 것인가를 결정해야 한다.

따라서 경화효과의 안정성을 얻으려면 경화능이 보증된 강재 즉, H 강을 사용하고 이들 강재의 경화띠(H band)를 활용하도록 노력해야 한다.

특수강은 일반 탄소강에 특수금속원소를 첨가하여 특수한 성질을 낼 수 있게 설계된 강을 말하며, 이 특수강을 조질(QT)하여 구조용으로 사용하는 것이 합금강이다.

조질(QT)이란 퀴칭후 400°C 이상의 온도에서 템퍼링 처리함을 말하며 강인성을 부여하는데 목적이 있다.

QT 처리로 강재에 어느정도 강인성을 부여할 수 있는가 하는 것은 합금강에서는 대단히 중요한 성질이다. 물론 특수강 중 공구강, 특수용도강에서도 퀴칭처리를 하고 있으나 경화능이 특히 문제되는 것은 구조용합금강이다. 따라서 합금강에 대해 보증된 경화능규정이 있으며, 이를 특히 H 강(H steel)이라 하며 H는 Hardemability(경화능)의 첫 글자이다.

2. 경화능의 보장

지금까지의 강재는 QT 처리를 하고는 있었으나 화학 성분만을 주로 생각하고 경화능에 대한 보증은 없었다. 당연히 화학성분이 정해지면 경화능은 일단 정해지거나 어느 어디까지나 간접적인 것이다.

여러가지 조사에서 경화능을 좌우하는 것이 화학성분

만은 아니고, 결정립의 크기에 따라서도 달라진다. 따라서 이들 인자를 정확히 정해주지 않으면 일정한 퀴칭 결과를 얻을 수 없다. 그러므로 직접적인 사고방법으로 변화하게 되고 경화능이 결정된 강재의 요구로 제강 되게 되었다.

종래의 합금강과 H 강의 차이를 살펴보면 전자는 화학성분에, 후자는 소정의 경화능을 보장하는데 주안점을 두고 만든 것이다. 그러므로 H 강은 화학성분의 성분범위를 다소 넓힘으로써 제강에 자유를 주었으나 경화능만은 보장하라는 것이다. 이것은 예를 들어 SS41강의 경우 인장강도를 보장하는 것과 같다.

앞으로의 합금강은 경화능을 위주로 생각해야 할 것이다. 현재 일본에서는 자동차회사의 중요부품은 모두 H 강을 사용 하는 것으로 알려져 있으나 우리나라의 경우는 그렇지 못하다.

열처리공장에서는 부품이 컨베이어를 타고 자동적으로 처리되기 때문에 퀴칭결과는 항상 균일하여야 한다.

3. 경화능(Hardenability)

퀴칭처리의 평가에는 높은 경도와 경화깊이(유효경화깊이, 총경화깊이)에 의해 이루어진다.

퀴칭시의 강재의 경도는 C%만에 의해 좌우된다. 특수원소(합금원소)가 함유되면 퀴칭경도가 높아진다고 생각하는 사람이 있으나 이것은 잘못된 생각이다. 이와같은 사실은 다음 식으로도 알 수 있다.

$$QH_{\max} = 30 + 50 \times C\% \quad (\text{경험식})$$

QH_{\max} 는 퀴칭으로 얻을 수 있는 최고경도값(HRC)이다.

그렇다면 특수원소는 어떤 역할을 하는가? 이들 원소는 경화깊이를 결정한다. 물론 경화깊이에는 우선 C%에 의해 좌우된다. 그리고 특수원소에 의해 더욱 좌우된다. 이 경화깊이에 관계되는 성질이 경화능(성)인 것이다. 합금강이 존재하는 이유는 켈칭경도 때문이 아니라 경화깊이(경화능)때문이다.

좀더 구체적으로 말하면 합금강은 큰 제품을 열처리하여 좋은 성질의 것을 만들기 위한 것이다. 이들 관계를 다음 표에 식으로 표시 하였다.

그러면 특수원소로서 사용되는 것은 어떤 원소가 있을까? 표에 표시한 바와 같이 경화능에 가장 유효한 것은 B(보론)이고 그 다음으로는 Mn, Mo, Cr의 순으로 되어있다.

표 1. 경화능 요소

| |
|---|
| $\text{켈칭경도} = f(\text{C}\%)$ $\text{켈칭경화깊이} = f(\text{C}\%, \text{합금원소}, \text{결정입도})$ $\text{합금원소} = \text{B}, \text{Mn}, \text{Mo}, \text{Cr}$ |
|---|

Ni는 과거 특수원소의 왕자자리를 차지하고 있었으나 지금은 뒷자리로 물러났다. 따라서 Ni 강(예 SNCM 강) 등은 특별한 이유가 없는한 쓰이지 않는다. 왜냐하면 Ni의 경화능에 미치는 효과가 적기 때문이다.

또 한가지 중요한 것은 Mn, Mo, Cr 등의 경화능에 대한 영향이 대수화(代數和)로 작용하는 것이 아니라 상승적(相乘積)으로 작용한다는 것이다. 그러므로 한가지 특수원소를 다량 사용하는 것보다 여러종류의 특수원소를 적게 넣는 것이 보다 효과적이라 하겠다.

그림 1은 경화깊이에 관한 효과가 부품크기에 따라 어떻게 변하는가를 나타낸 그림이다. 그림에서 (a)는 탄소강(S45C), (b)는 합금강(Cr-V 강) 으로서 1/2"~5" 지름의 환봉(6가지)을 수냉(켈칭)하여 표면으로부터 중심부까지 측정된 경도변화이다. 탄소강에서는 지름 1/2" (약 13mm)라 하더라도 표면과 중심부의 경도차는 HRC로 8정도이다. 이것의 지름이 1"(약 25mm)가 되면 중심부의 경도는 HRC로 25로 떨어진다. 이것은 부품이 크면 중심부의 경화효과가 떨어짐을 말한다. 그러나 2", 3", 4", 5"로 굵어지면 표면경도는 급격히 떨어지고 중

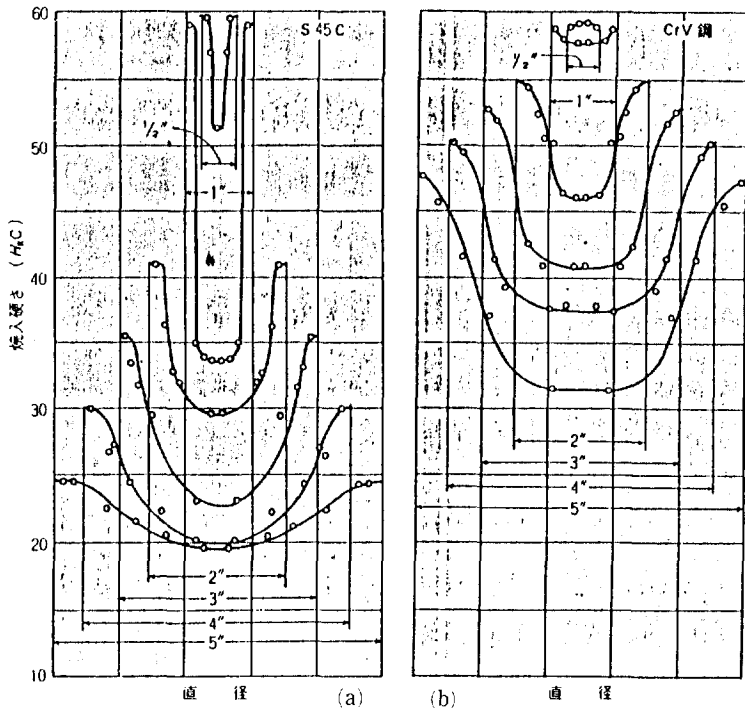


그림 1. 굵기가 변하면 경화효과도 다르다.

심부의 경도와 큰 차가 나지 않는다. 이와같이 강재가 굽어지면 열처리 효과가 나빠진다. 이것을 열처리의 질량효과(mass effect)라 한다. 그림 (b)는 Cr 과 V 가 함유된 합금강으로서 S45C 에 비하면 전체적으로 경도의 하락이 적고 경화능이 좋은 것을 알 수 있다. 이것으로 경화능은 질량효과를 해결하는 수단이라고도 할 수 있다. 따라서 질량효과를 고려하여 강재의 선택에서는 작은 부품은 탄소강으로 큰 부품은 합금강으로 선택, 제작 되어야 한다.

4. 보론강의 신비

강재는 C%가 높을수록 경하게 된다는 사실은 세멘타이트가 많아지기 때문이라는 사실만으로는 설명하기가 어렵다. 특수원소의 효과는 첨가해보니까 경화능이 좋다는 임상학적 사실에서 나온것으로 어떤 이유에서 인지는 충분히 알지 못한다. 옛날의 특수강 개발과정은 암중모색(暗中摸索)이었다. 이것은 지금도 같다고 할 수 있다.

현재는 경화능에 대한 보론(B)의 효과가 발견 되었으며 이의 함량도 0.003%B 이하라고 한다. 불순물로서의 P.S가 0.030%이하니까 이값의 1/10이다. 따라서 보론강이 유행하고 있다.

다음에 값싸고 비교적 효과적인 원소가 Mn이다. 일반강에는 0.7%정도이나 이것을 1.3%함유시키면 경화능이 향상된다. (SMn, SMnC 강) 그러나 이것을 이 이상 함유시키면 충격에 약해진다. 따라서 C, B, Mn이 들어있는 강재를 CBM 강재라 하며 1973년경부터 미국에서는 대대적으로 사용하는 것으로 안다. 그러나 이 강재는 아직 규격화 되지 못하고 있으며 이는 B의 분석기술이 정확하지 못하기 때문인 것으로 알려져 있다.

5. 결정립이 크면 경화깊이가 깊다

결정입도는 두가지 규격으로 정하고 있다. 하나는 오스테나이트 결정입도, 또 하나는 페라이트 결정입도로써 이는 결정입도의 크기를 나타내는 척도이다.

오스테나이트 결정입도의 표현에는 단면적 1mm²내에 오스테나이트 결정립이 몇개 들어 있는가를 나타내는 것으로 이를 번호로 표시하고 있다. 여기서 ASTM 입도번호 N는 다음 식으로 주어진다.

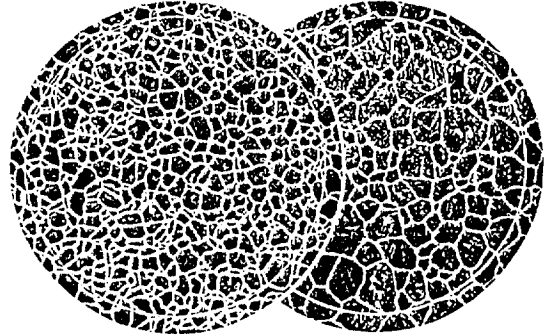


그림 2. 강의 오스테나이트 표준 결정입도(번호 7과 5번)

$$n = 2^{(N-1)}$$

여기서 n은 현미경으로 100배 확대한 조직 사진에서 1mm²면적내에 들어가는 결정립의 수이다.

결정입도 측정에는 보통 침탄하여 처리하는 것이 일반적이다. 이는 침탄함으로써, 오스테나이트 주위에 세멘타이트의 망이 나타나기 때문에 입자를 확인하기가 쉽기 때문이다. 이렇게 하여 현미경의 시야내에서 수를 세는 것이지만 간편을 기하기위해 표준도(그림 2)와 비교하여 번호를 결정한다.

공구강의 경우는 입도가 미세하므로 이 방법으로는 되지 않는다. 즉, 절단법을 이용한다.

페라이트 결정입도의 시험은 0.2%C 이하의 저탄소강의 입도조사를 위해 행한다. 현미경에서 100배의 시야에서 25mm 평방내의 결정립이 1이면 입도번호 1로 정하며 이는 오스테나이트 결정입도의 경우와 같다(이는 deep drawing 때 이용)

경화깊이에 관계되는 결정입도란 정확히는 오스테나이트 결정입도이다. 결정입도가 큰 것이 경화가 깊어진다. 이 이유를 살펴보면 변태는 결정립의 경계에서 시작된다. 즉, 입계가 변태핵을 만들기 쉬운 위치이기 때문이다. 결정립이 미세하여 입계의 수가 많다고 하는 것은 변태를 일으킬 수 있는 핵이 많아지므로 오스테나이트는 페라이트로 변태하기가 쉽다. 역으로 결정립이 크면 페라이트 변태가 일어나기 힘들다.

변태란 오스테나이트로부터 페라이트로 되는 것이나 냉각이 빠르면 변태는 늦게 일어나고 오스테나이트는 마르텐사이트로 된다. 이것이 급냉경화이다. 같은 냉각속도라도 결정립이 작으면 변태는 일어나기 쉬우므로 포

면은 빨리 냉각되어 경화되나 내부는 냉각도에 의해 퍼 라이트로 되어 경화깊이는 깊어질 수가 없게 된다. 그러나 결정립이 크다고 해서 무작정 좋은 것은 아니다. 그것은 기계적성질의 열화를 가져오기 때문이다. 따라서 이상의 점을 종합할 때, 입도번호 7~8번이 적당한 크기라고 하겠다.

6. H 강과 강제제조 기술

이상에서 설명한 인자들에 의해 경화능이 결정되어 있으면 대단히 편리하다. 화학성분으로서는 어느정도 깊은 경화가 일어날 지 모르나 H 곡선(Hardenability curve)이 있으면 명백히 알 수 있다. 예로써 SCr430의 경우 H 곡선의 보장이 없으므로 실제로 조치처리 해보지 않고서는 알 수 없다. 그러나 SCr430H의 경우라면

이 강재의 H 밴드가 규정되어 있으므로 대단히 편리하다. H 강의 H 밴드는 간단히 만들어진 것은 아니다. 같은 강종이라 하더라도 평상시의 작업에서는 여러 장입에서 샘플링하며, 이것은 약 70 charge 에서 시편이 취해진다.

스틸메이커가 한 강종을 규정된 H 밴드내에 담으려면 각각 필요한 원소%를 계산하게 되며 이때 어떤 원소를 택할 것인가에 대해서는 각 메이커에 따라 다르다.

지금까지의 규격은 화학성분만 규격범위에 들면 되게 되었으므로 경화능에 대한 속박은 없었다. 그러나 역으로 H 강은 경화능을 규정한 대신 화학성분을 운화시키고 있다. 즉 자사의 기술과 경제성을 고려하여 Cr 이 좋으면 Cr 을 Mn 이 좋으면 Mn 을 증가 시킨다.

다음 표들은 일본공업규격에서 제정한 H 강의 경화능 곡선들이다.

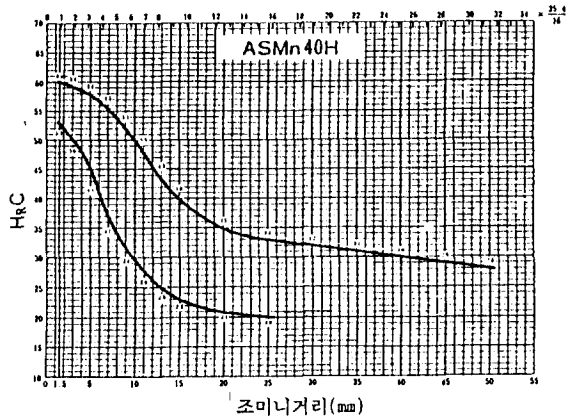
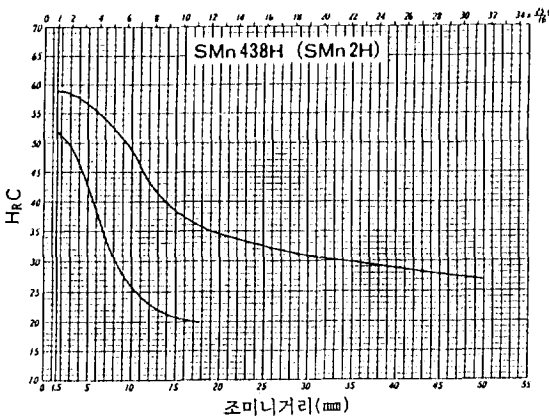
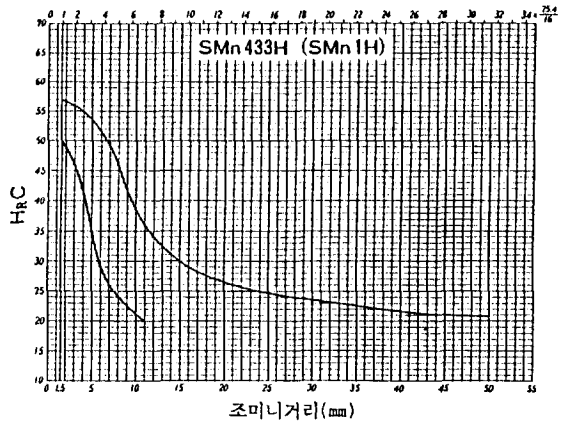
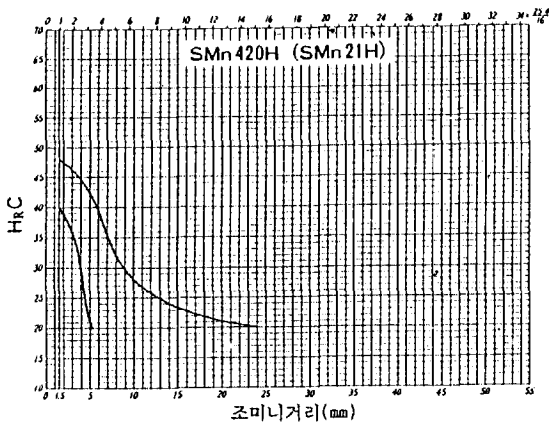


그림 3.

이들 H 강종 AS 강은 일본 自動車工業會協定規格에 의한 강종들이다.

7. H 곡선의 활용

지금 SCM435H 강을 사용하여 2"지름의 환봉을 유냉으로 처리한다고 하자. 이 강재의 H 곡선은 알려져 있

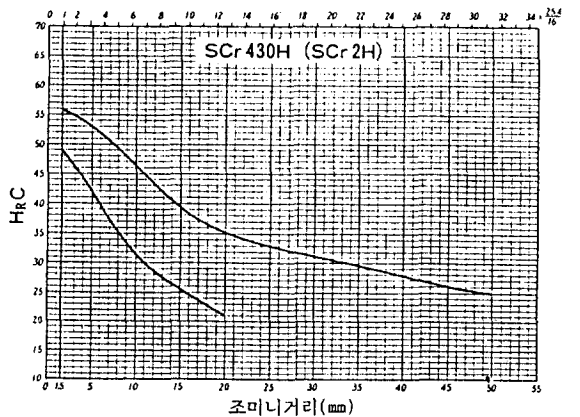
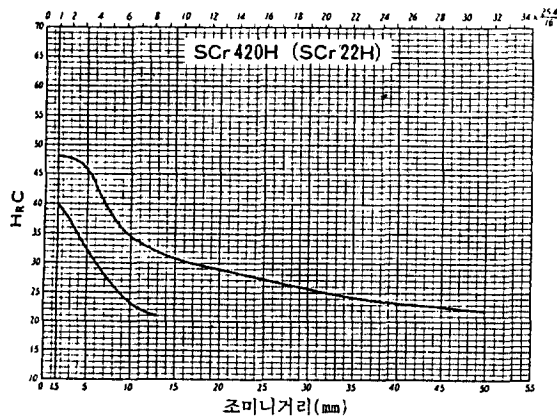
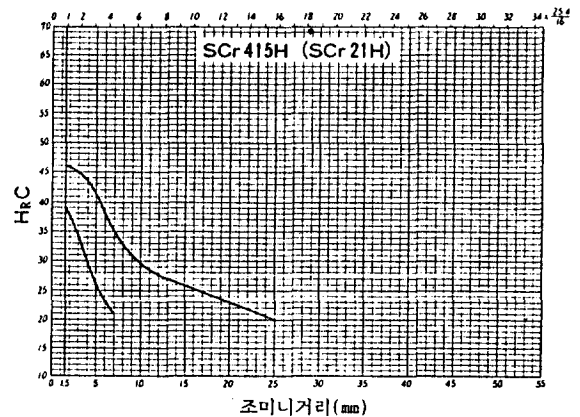
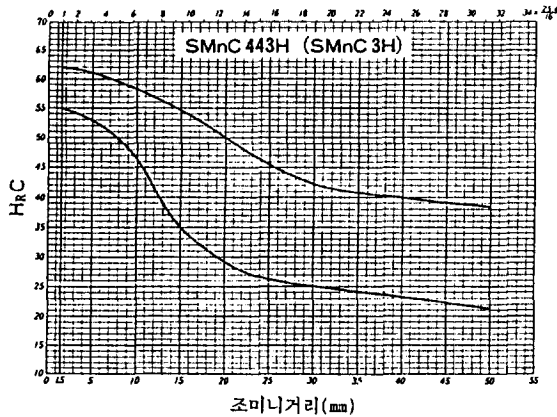
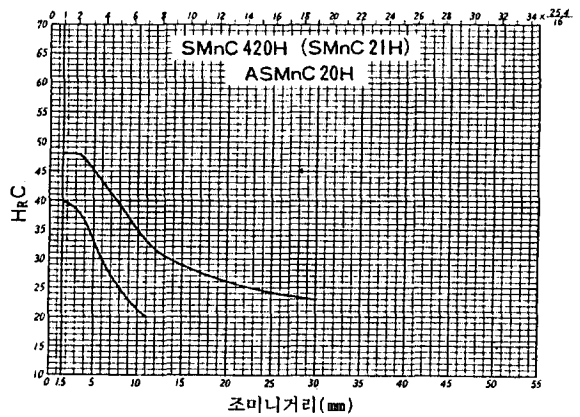
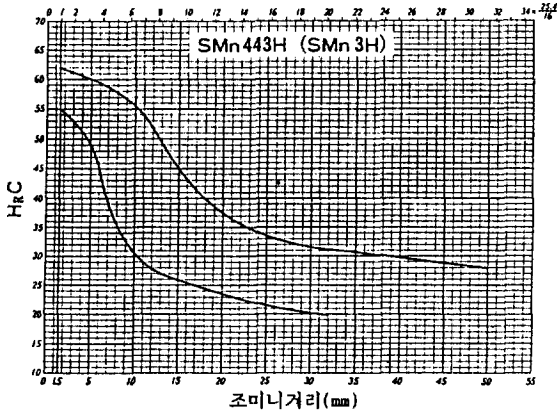


그림 3. (계속)

으므로 표면경도, 3/4 반지름의 위치의 경도 1/2 반지름(중심부)의 경도는 쉽게 알 수 있다. 이를 위해서는 그림 3을 이용한다. 수냉의 경우와 유냉의 경우가 있으며 이들 모두 세로축은 환봉의 지름을 표시하였고 가로

축은 조미니거리로서 수냉단부터의 거리가 1/16"단위로 표시 되어 있다. 지금 유냉시라면 2"지름의 위치를 읽으면 표면의 경도는 조미니거리의 4.5/16"에 해당된다. 또 3/4" 반지름에서는 8/16"로 1/2" 반지름에서는 10/

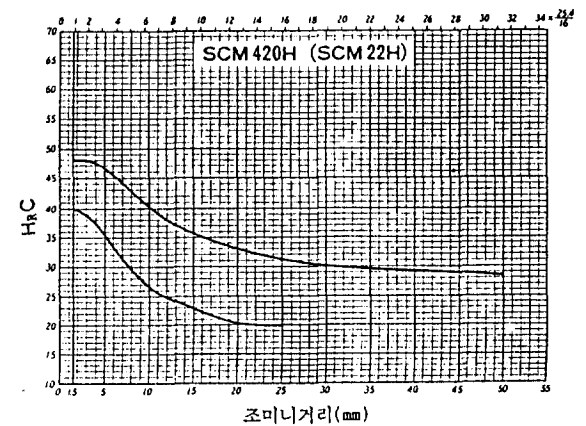
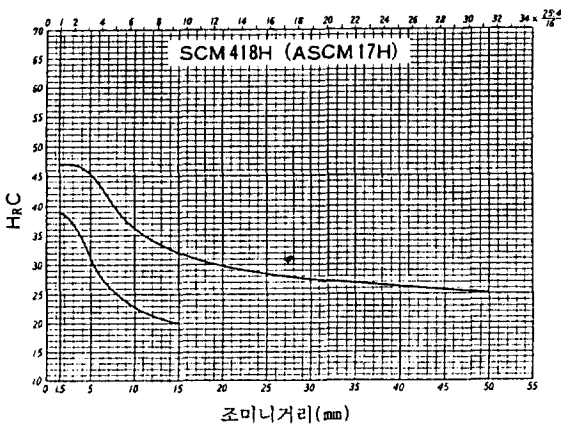
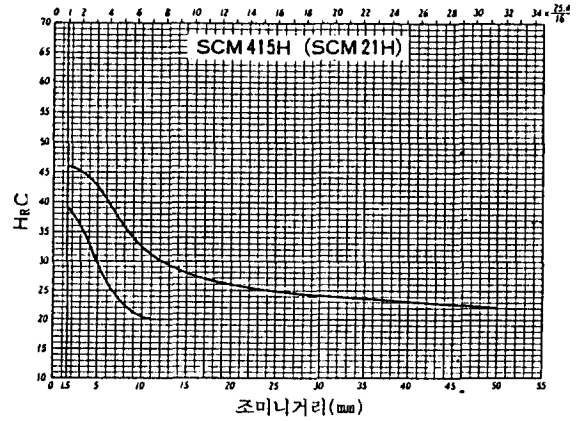
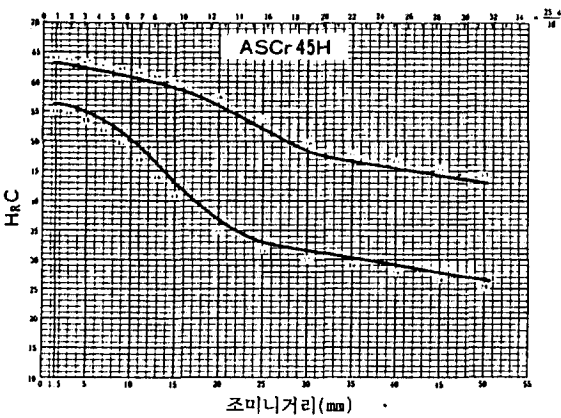
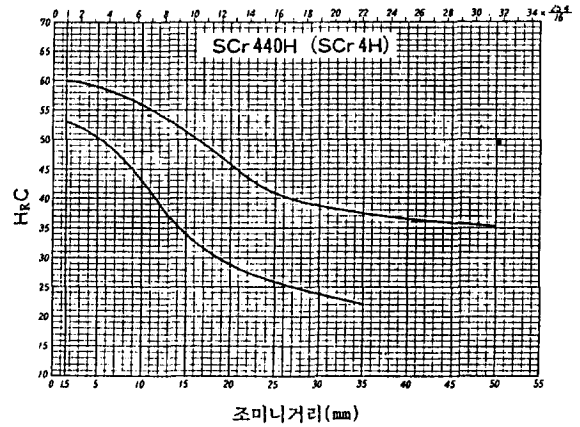
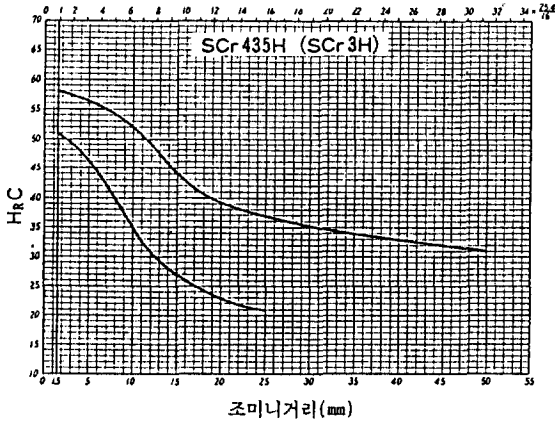


그림 3. (계속)

16", 중심에서는 12/16"에 해당 됨을 알 수 있다. 따라서 앞에서 표시한 H 곡선(SCM435H)를 이용하면 표면 경도는 H_RC : 56~47, 3/4"인 위치는 H_RC : 53~40, 1/2"에서는 H_RC : 50~36, 중심부에서는 H_RC : 48~33임

을 알 수 있다.

이상을 표 2로 나타냈다.

또한 이를 역으로 사용하는 방법이 있다. 지금 설계된 부품이 2"지름이라고 하자. 그리고 1/2 반지름이 H_R

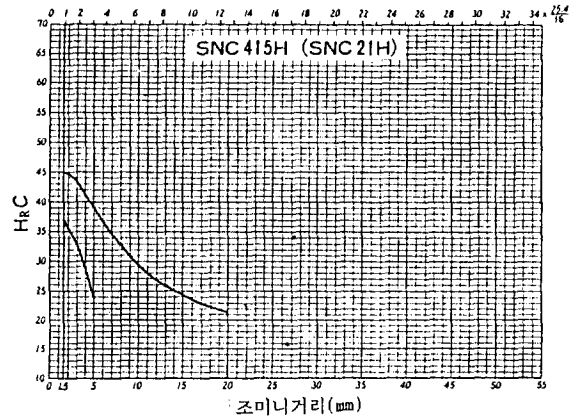
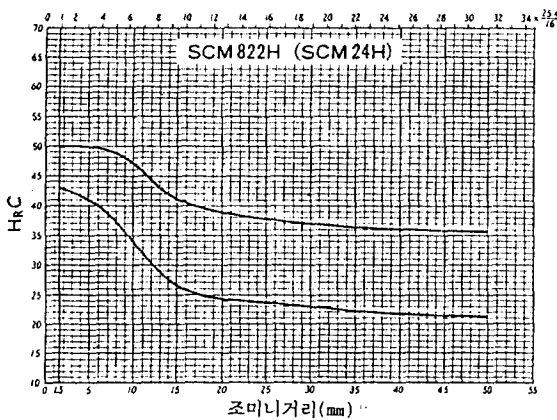
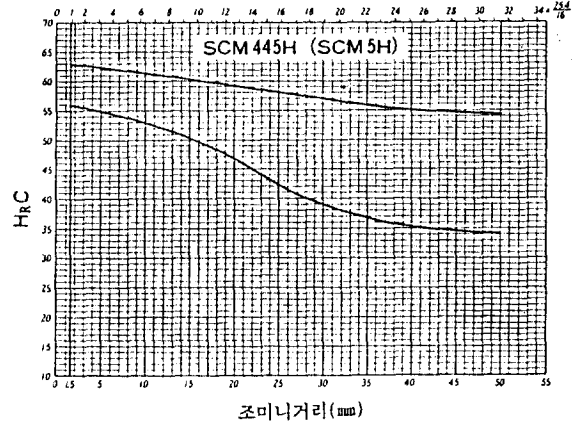
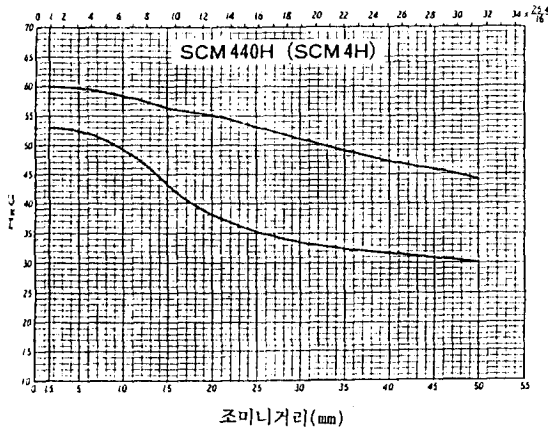
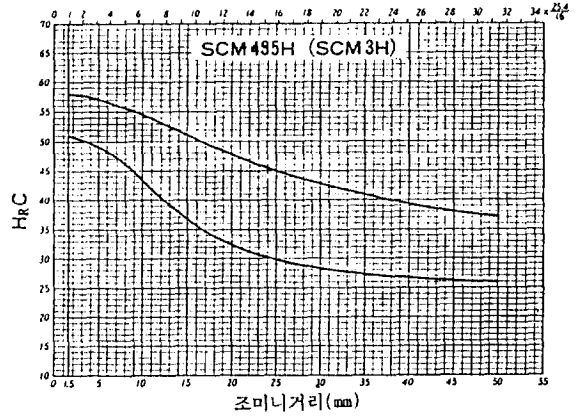
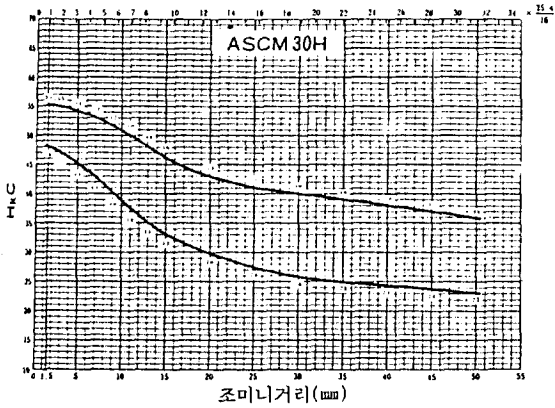


그림 3. (계속)

표 2. SCM435H, 2"φ의 유중급냉 경도

| | 표면 | 3/4"곳 | 1/2"곳 | 중심 |
|----------------------------------|-----|-------|-------|----|
| 조미니거리(1/16"단위) | 4.5 | 8 | 10 | 12 |
| 켄칭경도 H _R C(H 밴드의 하한값) | 47 | 40 | 36 | 33 |

C로 50이고, 이때 켈칭은 유냉이라면 어떤 재질을 선택할 것인가를 결정하는데도 이 그림을 사용할 수 있다. 이는 조미니거리가 10/16"인 위치에서 H_RC50이 되는 강재를 찾으면 된다. 물론 이때 H_RC50은 하한치로 해서 보면 SCM445H 강재가 합격됨을 쉽게 알 수 있다.

그림 3은 환봉의 경우를 표시한 것이나 판재의 경우는 표 3과 같이 조미니거리를 보정하면 그림 3을 그대로 사용할 수 가 있다.

그렇다면 H 곡선이 정해지지 않은 강재는 어떻게 하

표 3. 판재때의 조미니거리의 보정

| |
|------------------------------------|
| 판재의 경우 |
| 수중급냉 ... 환봉의 조미니거리×1.82-1(단위1/16") |
| 유중급냉 ... 환봉의 조미니거리×2(단위1/16") |

는가? 이는 화학성분으로 부터 계산하여 참고하는 것이 유익하다.

8. 결 론

지금까지의 재료선택법을 살펴보면 대개의 경우 우선 소요성질(예, 인장강도)을 설정하고 이 강도에 알맞은 재질을 철강핸드북으로부터 찾아 결정하였다. 이것은 강재의 질량효과를 망각한 처사이다. 또한 치수효과도

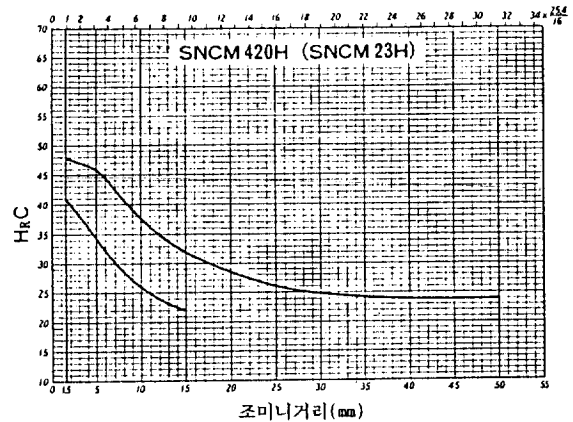
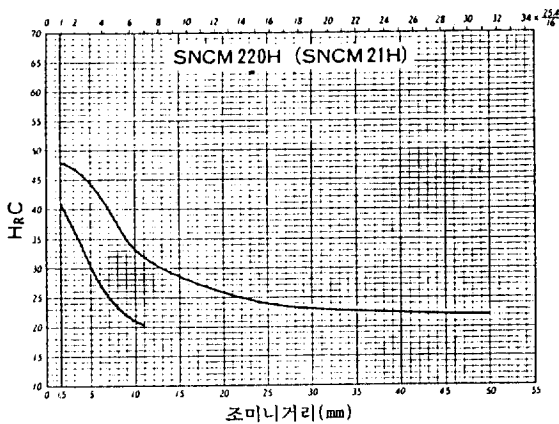
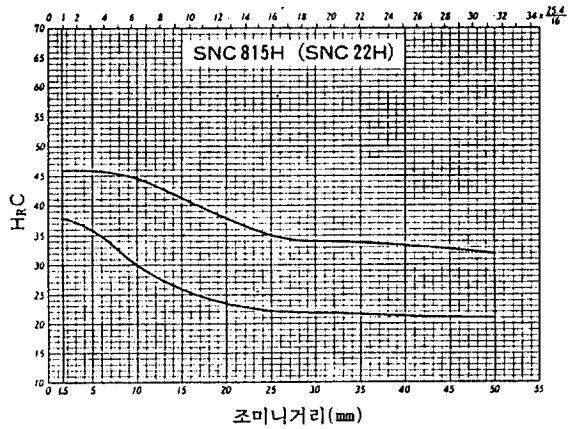
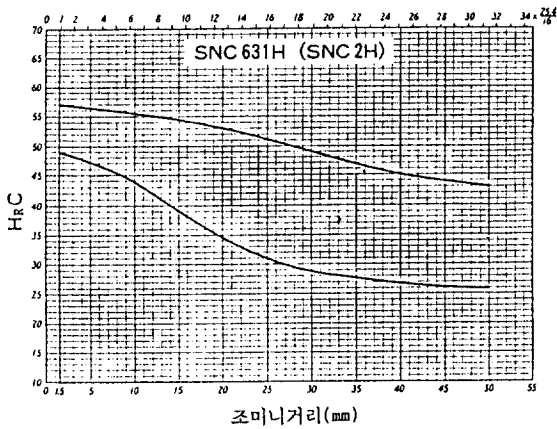


그림 3. (계속)

무시한 방법이라 하겠다.

부품의 크기와 형상을 무시하므로 자주 열처리에서 실패를 하게 되는 것이다.

부품 설계자는 핸드북에 기재된 성질은 어떤 크기의 것에 대해서도 적용되는 것으로 알고 있으나 실은 그렇

치 않다. 이들의 수치는 25mm 지름의 시험편에 한정되어 있음을 잊어서는 안된다. 따라서 재질선택에 앞서 부품의 크기를 반드시 고려하고 또한 경화깊이는 어느 정도로 할 것인가를 생각 해야한다. 이리하여 H 강 중에서 선택함이 순리에 맞는 방법이라 하겠다.