

鋼의 熱處理 冷却技術

Cooling Techniques in Heat Treatment for Steels

李 俊 楨

産業科學技術研究所 壓延研究部

1. 머릿말

鋼의 熱處理란 鋼材나 鋼部品에 所要되는 性質을 부여하기 위한 목적으로 加熱과 冷却過程을 여러가지 형태로 組合하는 것이라고 할 수 있는데, 이중 冷却過程은 變態나 析出을 沮止 또는 促進시킴으로써 鋼의 組織을 調整할 수 있는 特徵을 갖는다는 측면에 鋼의 性質을 결정지우는 중요한 단계이다. 따라서 많은 연구자들은 鋼材의 種類 및 目標로하는 性質을 대상으로 각종 열처리 냉각기술에 대한 연구를 수행해 왔으며 이에 따른 金屬學的인 해석을 시도해 왔다. 그러나 이러한 金屬學的인 연구에서는 통상적으로 處理되는 鋼材의 크기, 現狀, 表面狀態 등의 實際作業에서 고려되어야 할 인자들을 一定하다고 가정하고 있으며 冷却方式에 대해서도 冷却速度를 기준으로 할 뿐 冷却劑의 種類, 冷却能의 實務의 인자들은 고려대상이 되지 않고 있다.

반면에 熱處理 作業現場에서 부딪히는 문제점은 동일한 鋼材라도 크기가 달라짐에 따라 同一한 冷却劑에서 다른 性質이 얻어지는 경우, 現狀이 달라짐에 따라 同一한 冷却方式에서 뒤틀림등의 열처리 불량 발생하는 경우, 同一한 部品을 同一한 作業過程으로 열처리했는데도 한달전과 作業結果가 달라지는 경우 등 實務的인 作業管理로 해결해야할 事項들이 대단히 많은 것이 현실이다. 따라서 이러한 實務作業技術을 中心으로 熱處理 冷却技術을 檢討함으로써 定性的으로나 熱處理 技術向上에 지침을 제시하고자 한다.

2. 質量效果

鋼의 熱處理에서 冷却이 중요하다고 하는 것은 冷却方

식에 따라 鋼材의 性質이 현저히 달라지기 때문이다. 冷却方式이 같아도 部品の 크기에 따라 실제로는 부위별로 냉각효과가 달라지게 되는 결과가 발생하게 되는데 이를 質量效果라 하며 質量에 따라 冷却方式이 달라지는 효과를 설명한다. 質量效果가 크다고 함은 質量變化에따른 열처리효과가 크게 차이가 남을 말하며 質量效果가 적다고 함은 部品の 크기에 따라 열처리 효과가 크게 달라지지 않음을 말한다. 一般炭素鋼은 質量效果가 크고 高合金鋼은 質量效果가 적은 예이다.

鋼種에 따라 質量效果가 다른 이유는 鋼材에 따라 冷却後 마르텐사이트 組織을 얻을 수 있는 임계냉각속도가 다르기 때문인데 熱處理 加熱過程 중에 얻어진 오스테나이트 組織이 冷却하는 동안에 페라이트나 퍼어라이트 組織으로 變態되는 現象이 억제될 수 있는 임계냉각속도가 느릴수록 마르텐사이트 組織이 쉽게 얻어진다. 즉 硬度가 높은 마르텐사이트 組織을 얻을 수 있는 임계냉각속도가 낮을수록 이 鋼材는 경화능이 크다고 하며 넓은 냉각속도 범위에서 高硬度의 마르텐사이트 組織을 쉽게 얻을 수 있다. 따라서 硬化能이 큰 鋼材는 質量效果가 적어 部品の 크기에 따른 열처리효과가 그다지 변하지 않는다고 할 수 있다. 그러므로 質量效果를 개선하기 위해서는 鋼材의 硬化能을 증진시키는 합금원소 예를들면 B, Mn, Mo, Cr 등이 보다 많은 양 만큼 첨가된 鋼材를 선택해야 한다.

一般的으로 標準規格에서 추천하는 熱處理方式과 機械的性質은 質量效果를 고려하여 標準사이즈(예를들면 一般鋼材: 徑 25 mm, 工具鋼材: 15 mm, 角 또는 환봉, 길이 20 mm)를 기준으로 한 것이므로 이보다 큰 部品이라면 質量效果를 고려하여 作業표준을 설정해야 한다. 한편 鋼材의 硬化能을 指數化한 것이 硬化能指數 D_1 인데 조미니 시험에 의해 결정되며 이 값이 클수록 硬化能이 큰 것들의

표 1. 合金鋼의 硬化能 指數.

鋼 種	D ₁ , mm	鋼 種	D ₁ , mm	鋼 種	D ₁ , mm
S 30 C	17.5	SCM 445	117.5	SNCM 7	102.5
S 45 C	21.3	SCM 415	67.5	SNCM 439	157.5
S 50 C	22.5	SCM 420	77.5	SNCM 447	170
S 55 C	23.8	SCM 421	87.5	SNCM 220	62.5
SCr 430	57.5	SCM 822	107.5	SNCM 415	61.5
SCr 435	62.5	SNC 236	66.3	SNCM 420	71.3
SCr 440	65	SNC 631	87.5	SNCM 616	465
SCr 445	70	SNC 836	117.5	SMn 433	30
SCr 415	40	SNC 415	32.5	SMn 438	36.5
SCr 420	47.5	SNC 815	78.8	SMn 443	39
SCM 432	82.5	SNCM 431	135	SMn 420	23.8
SCM 430	97.5	SNCM 625	220	SMnC 443	83.8
SCM 435	105	SNCM 630	> 425	SMnC 420	51.3
SCM 440	112.5	SNCM 240	96.3	SACM 645	140

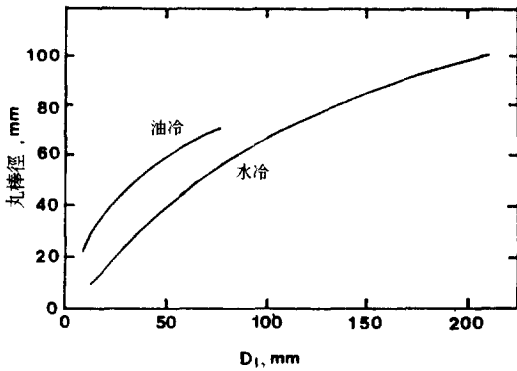


그림 1. 機械的 性質을 保護할 수 있는 丸棒直徑과 硬化能 指數 D₁와의 關係.

미한다. 表 1은 대표적인 鋼種에 대한 硬化能指數를 나타낸 것이다. 또한 그림 1은 이 硬化能指數 D₁에 대하여 통상 핸드북 類에 나와 있는 鋼材에 따른 機械的性質을 확보할 수 있는 환봉의 직경을 수중퀵칭(Water Quenching)과 유중퀵칭(Oil Quenching)의 경우로 각기 구분하여 나타낸 것이다. 즉 직경 60 mm의 部品을 수중퀵칭으로 標準規格의 機械的性質을 確保하려면 D₁=50 mm인 鋼材가 필요하게 됨을 알 수 있다. 따라서 D₁ 50 mm 이상인 合金鋼 중에서 값싼 鋼材를 선택한다면 表 1에서 SCr 430이

표 2. 冷却에 미치는 酸化膜의 影響

퀵칭油의 種類	冷却時間, 초 (885-354°C)	
	酸化性 雰圍氣중 加熱	還元性 雰圍氣중 加熱
特殊 퀵칭油	1	9.8
	2	10.0
	3	10.2
普通 퀵칭油	4	11.2
	5	12.2
	6	14.4
一般 퀵칭油	7	17.8
	8	19.6

적당함을 알 수 있다. 동일 部品을 유중퀵칭으로 처리한다면 D₁는 88 mm가 필요하게 되는데 이러한 鋼材를 表 1에서 선택한다면 SCM 430이 적당하다. 반대로 D₁ 50 mm인 鋼材로 수중퀵칭한다면 직경 60 mm까지 또 유중퀵칭한다면 직경 60 mm까지 표준규격의 기계적 성질을 확보할 수 있다.

3. 形狀效果

冷却效果는 部品의 質量뿐만 아니라 形狀에 의해서도 좌우된다. 部品의 形狀이 球狀인지, 丸棒인지 또는 板狀인지에 따라 冷却量은 대략 球 : 丸棒 : 板 = 4 : 3 : 2의 비로 생각할 수 있는데 이와같이 形狀에 따라 冷却效果가 달라지는 것을 形狀效果라 부른다. 이와같은 形狀效果에 따른 斷面을 기준으로 丸棒에 대한 相當直徑(Equivalent Diameter)으로 나타내면 表 2와 같다.

또한 동일한 部品에서도 部位에 따라 冷却量이 달라지는 효과가 있는데 예를 들면 그림 2에서와 같이 평면부위를 기준으로 할 때 모서리 부분은 약 7배, 가장자리 부분은 약 3배인 반면에 귀퉁이 부분은 약 1/3 정도로 냉각량이 적다. 이렇듯 열처리 부품을 냉각할 때는 形狀效果도 고려해야만 된다.

4. 表面效果

部品의 表面狀態도 冷却效果에 크게 영향을 미친다. 예를 들면 部品의 表面을 아주 매끈하게 한 것보다도 다소 요철이 있는 쪽이 빨리 냉각되는 효과를 갖게 되는데 이

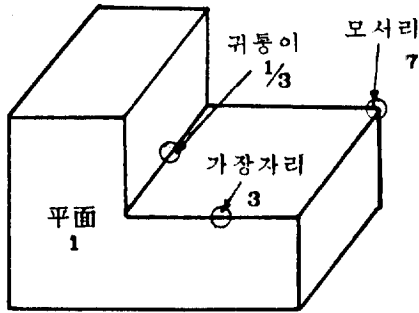


그림 2. 부품의 위치에 따른 冷却效果 比較.

각에 미치는 산화막의 영향을 조사한 실험결과를 나타낸 것이다. 이와같이 약간의 산화막이 존재하는 경우엔 냉각 효과가 커지나 산화막의 두께가 두껍게 되면 오히려 냉각 속도가 느려지게 된다.

5. 冷却劑의 種類 및 特徵

熱處理 특히 퀴칭(Quenching)에 사용되는 冷却劑로 液體冷却劑, 氣體冷却劑, 固體冷却劑 그리고 粉體冷却劑가 있다.

5.1 液體冷却劑


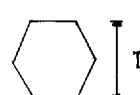
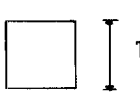
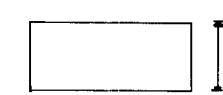
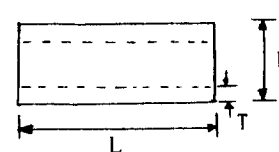
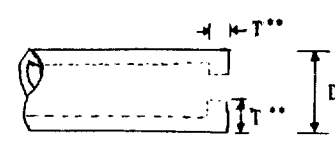
液體冷却劑는 주로 물, 기름, 水溶液液, 監浴 등이 있다.

5.1.1 물

가장 다루기 쉽고 값싼 冷却劑로서 液溫을 조절하며 매우 넓은 범위의 냉각속도를 획득할 수 있는 점에서 편리하다. 반면에 열처리 균열, 뒤틀림, 얼룩 등이 생기기 쉬

는 퀴칭液의 증기막이 아주 평활한 표면에서는 離脫되기 어렵기 때문에 熱이 素材로부터 방출되는 것을 방해하게 되고 열처리 후에 표면에 얼룩이 남게 된다. 또한 광택이 나는 표면보다도 약간 酸化된 표면(酸化膜 두께 0.08 mm 以下)이 빠른 냉각효과를 갖는다. 비슷한 효과로 酸化性 분위기 중에서 加熱하는 것이 還元性 분위기에서 가열하는 것보다 냉각속도가 빠른 효과가 있게 된다. 表 3은 냉

표 3. 부품의 形狀에 따른 相當直徑

棒, 板 (길이 L)			
원형	육각형	사각형	장방형
 ER=T*	 ER=1.1 T	 ER=1.25 T	 ER=1.5 T
길이 L이 T보다 적을 때는 두께가 L인 板으로 취급한다.			
管 (斷面 形狀은 관계 없음)			
兩端 開放型		兩端의 一部 또는 全部가 密閉된 形	
 ER=2 T		 ER=2.5 T (D<2.5 in) ER=3.5 T (D>2.5 in)	

* ER은 相當직경(Equivalent Diameter)

** 큰 쪽의 값을 기준으로 계산함

은 단점이 있어 사용시엔 주의를 요한다.

냉각제로 사용되는 물은 방금받은 신선한 물보다는 받은 지 오래된 물이 균일한 냉각효과를 가져다 준다. 이는 방금받은 물 속에는 많은 기체가 용해되어 있기 때문에 열처리 물품에 많은 기포가 달라붙는 현상이 있어 냉각효과가 좋지 못하다. 따라서 냉각제로 사용되는 물은 일단 끓여서 사용함이 좋다. 또 硬水보다는 軟水가 퀘칭效果 면에서 양호하다. 물은 水温의 영향이 크기 때문에 계절에 관계없이 10~30℃ 범위내에서 일정하게 관리함이 좋다. 또한 퀘칭시 수증기가 발생하여 냉각이 고르게 되지 않기 때문에 교반하면서 냉각해 줌이 좋다. 교반 중에는 기포가 발생되지 않아야 한다. 물은 浸漬冷却 방식보다는 噴水나 噴霧 방식을 채용하는 것이 효과적이다. 이외에도 냉각수 중에 돌가루나 기름이 혼입되면 냉각능력이 저하되므로 오염되지 않도록 주의해야 한다. 食鹽水(10% NaCl)는 물의 약 2배의 냉각능력을 가지며 食鹽水에 황산을 약 3% 첨가하면 퀘칭된 鋼의 表面이 은색으로 되기 때문에 편리한 경우가 있다.

5.1.2 기 림

퀘칭用 冷却劑로서 가장 널리 쓰이는 것으로 물에 비해 냉각능력이 약 1/3 정도이다. 냉각이 완만하기 때문에 열처리 균열이나 뒤틀림 등의 불량발생이 적다는 점에서 편리하다. 液温은 60-80℃가 적당하며 물이나 스케일 등이 혼입되지 않도록 관리해야 한다. 또한 기름은 대기오염, 수질오염 및 화재 등 열처리 공해의 염려가 있다.

5.1.3 水溶性 퀘칭液

폴리머를 주성분으로한 水溶性 冷却劑가 최근 많이 개발되어 있으며 물과의 혼합비율에 따라 광범위에 걸쳐 냉각능력을 확보할 수 있는 점이 편리하다. 3-5% 농도 범위에선 食鹽水, 5-10%에선 물, 10-30%에선 기름이 갖는 냉각속도를 얻을 수 있다. 液温은 60℃이하가 적당하며 70℃ 이상이 되면 폴리머가 물에 녹지 않고 분리되는 현상이 발생하므로 주의를 요한다. 이는 열처리 공해가 없으므로 널리 확산될 것으로 생각된다.

5.1.4 鹽浴

熔融鹽을 이용한 鹽浴冷却은 急冷效果가 있을 뿐만 아니라 鹽浴의 温度에서 장시간 유지시킬 수 있기 때문에 等溫熱處理를 필요로 하는 오스텝퍼링, 마르퀘칭 등의 열처리 방법에 유용하다. 鹽浴도 교반해 주는 것이 좋다.

5.1.5 噴霧

물을 노즐에 의해 분무시키는 방법으로 水量과 분부입

자 크기를 조절하여 물 또는 기름(공기보다는 빠름)의 냉각능력을 얻을 수 있다. 대형부품 예를 들면 대형 롤, 링 등의 퀘칭冷却劑로 적합하다.

5.2 氣體冷却劑

5.2.1 공 기

노말라이징(Normalizing)의 放冷이나 空氣퀘칭에 이용된다. 공기는 선풍기나 노즐에 의해 공급하며 풍속에 의해 냉각속도가 변한다(기름보다는 냉각속도가 느림).

5.2.2 保護가스

질소나 아르곤을 사용하여 냉각하는 경우도 있는데 이들 불활성가스는 光輝熱處理에 활용되고 있다.

5.3 固體冷却劑

鐵이나 銅製의 定盤 또는 물의 내부에 물을 흘리면서 냉각하고 표면에 처리물을 끼우거나 접촉시켜 냉각하는 방법이 사용되고 있는데 두께가 얇은 板狀의 部品 또는 帶鋼을 냉각할 때 편리한 방법이다.

5.4 粉體冷却劑

5.4.1 流動粒子

모래, 알루미늄, 그래파이트(Graphite) 등의 粉體를 流動시키고 그 안에서 冷却하는 방법이다. 이 방법은 보통의 기체냉각보다는 빠르고 보호분위기 중에서의 냉각이므로 光輝熱處理가 가능하다.

5.4.2 浮遊固體粒子

물에 직경 1.5-2.0mm 정도의 알루미늄 부스러기 또는 유리구슬을 넣고 바닥의 多孔質 밀판을 통해 압축공기를 불어 넣어 기포를 발생시키면 물, 공기, 粒子의 혼합물로 된 냉각제가 되는데 이는 초기에는 물과 같이 빠른 냉각속도를 얻지만 다음 순간엔 기름보다 느린 냉각속도를 갖기 때문에 열처리 균열이 적고 열처리 얼룩이 발생하지 않는 장점이 있다고 보고되고 있다.

6. 冷却方法 및 特徵

6.1 連續冷却

가장 일반적으로 사용하는 방법으로 그림 3과 같이 처리물품이 식을때까지 계속 같은 조건으로 냉각하는 경우에 해당한다. 연속냉각에 의해 퀘칭하는 경우엔 열처리 균열, 뒤틀림 등이 발생할 가능성이 높은 점이 지적된다.

6.2 階段冷却

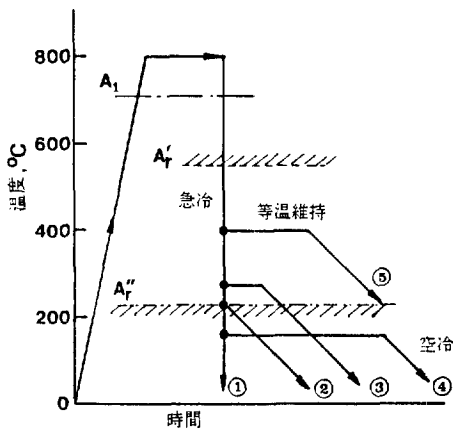
냉각도중에 냉각속도를 의도적으로 바꾸는 방법으로 필요한 온도범위, 예를 들면 임계구역 또는 위험구역에서 각기 필요한 냉각속도로 냉각하는 방법이다(그림 3). 이 방법은 時間퀵칭法이라고도 부르는데 퀵칭液중에 어느 시간만큼 담그다가 다시 꺼내어 공냉 또는 끓는 물에 넣는 방식이다. 이때 퀵칭液 중에 담그는 시간은 물품의 직경이나 두께에 따라 달라지게 되는데 수중퀵칭의 경우는 직경 3mm 당 1초(판두께는 2mm 당 1초)를 기준으로 하고 유중퀵칭의 경우는 직경 3mm 당 3초(판두께는 2mm 당 3초)를 기준으로 한다. 이렇게 하면 임계구역을 빠른 속도로 냉각이 되고 위험구역에서는 서서히 냉각되는 효과를 얻는다. 또 수중퀵칭일 경우는 물품을 물에 담구었을 때 나는 '칙 칙 치이익' 소리가 멈추는 순간에 꺼내면 되고 유중퀵칭일 경우는 물품에 부착된 기름에 불이 붙지 않을 정도로 꺼내면 된다. 이때의 물품의 온도는 대략 150-200℃ 정도가 좋다.

6.3 等温冷却

等温冷却은 等温變態를 유도하기 위해 等温浴을 이용하는 냉각방식으로 대표적인 냉각방법은 오스텝퍼링, 마르템퍼링, 오스퀵칭, 마르퀵칭 등이 있다(그림 3 참조). 이 等温冷却法은 열처리 균열을 방지하기 위한 퀵칭方法으로 최적이다.

6.4 서브제로 冷却

서브제로 처리는 퀵칭鋼 중에 잔류된 오스테나이트를



- ① 連續冷却 ③ 等温冷却(오스텝퍼링)
- ② 階段冷角 ④ 等温冷却(마르템퍼링)
- ⑤ 等温冷却(마르퀵칭)

그림 3. 퀵칭冷却方法의 種類.

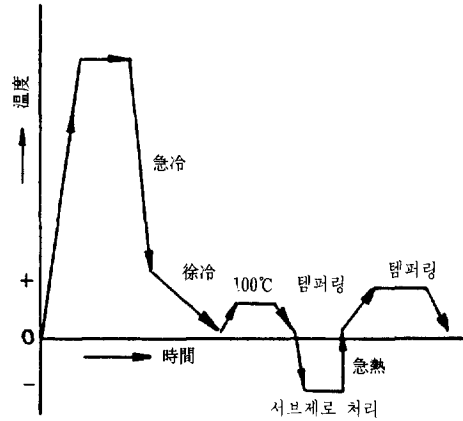


그림 4. 서브제로 處理方法의 一般的 熱處理 作業過程.

마르텐사이트로 변태시키는 처리인데 0℃이하로 냉각시킨다는 측면에서 零下處理, 深冷處理라고도 한다. 일반적으로 고합금강은 상온까지 급냉시켜도 잔류오스테나이트가 10-30% 정도 잔류하게 되는데 이 잔류오스테나이트는 時效變形의 주요 원인이 되기 때문에 제이치, 불 배어링 등 정밀부품의 퀵칭에는 필수적인 처리방식이다. 서브제로 처리에 사용되는 冷却劑는 드라이아이스(-78℃), 액체산소(-183℃), 액체질소(-196℃) 등이 사용된다. 통상의 서브제로 처리를 포함한 퀵칭熱處理 과정을 그림 4에 표시하였다. 서브제로 冷却을 퀵칭 직후에 하면 균열이 발생하는 경우가 있으므로 100℃의 끓는 물에 일단 처리한 후에 서브제로 처리를 함이 좋다. 서브제로 처리시간은 물품의 内部온도가 처리온도에 다다를 때까지 하면 되며 통상 30분-1시간동안 처리한다.

서브제로 처리에서 또 한가지 중요한 것은 서브제로 온도에서부터 상온까지 가열하는 방법인데 공기중에 그대로 방치하면 안되고 물 또는 기름에 투입하여 急熱시키는 방법이 좋다. 이와같은 처리를 서브제로 急熱法(Up-hill Quenching)이라고 하는데 서브제로 처리후에 발생하는 균열현상을 방지하는 효과가 있다. 이때 물이나 기름을 100-200℃로 하여 急熱시킨 후 일정시간 템퍼링 처리를 해 줌이 이상적이다.

7. 熱處理 一般守則

퀵칭冷却에는 부품의 형상에 따라 일반적으로 지켜야 할 사항이 있는데 예를 들면 棒狀의 경우는 부품을 수직

표 4. 特殊形狀部品の 퀴칭冷却法

部品の 形状	퀴칭冷却方法
部位 別 두께가 다른 部品	두꺼운 쪽으로부터 冷却, 얇은 쪽에 粘土 塗布
구멍이 있는 部品	구멍에 粘土, 石綿을 끼움, 구멍 쪽을 먼저 冷却
뾰족한 코너가 있는 部品	코너를 완만하게 함, 모자를 끼움, 粘土 塗布
複雜形狀部品	鹽浴冷却, 스프레이 冷却, 오스텝퍼링, 마르 퀴칭, 프레스퀴칭
大型部品	噴霧冷却, 스프레이 冷却
微小部品	渦流液 供給方式의 冷却, 사이폰제트식

으로 세워 상하운동 또는 회전운동을 시키면 좋고 수평으로 놓을 땐 반드시 회전시킴이 좋다. 板狀의 경우도 세워 놓거나 수직상하운동을 시킴이 좋다. 한편 얇은 판상일 경우에는 프레스퀴칭이나 定盤사이에 끼워 샌드위치 냉각을 시킴이 필수적이다. 실제로 열처리 부품의 형상은

단순한 예는 거의 없고 대부분 복잡한 형상을 갖고 있게 되는데 예를 들면 두께가 일정하지 않거나 구멍이 있거나 파인 곳이 있거나 하게 된다. 이러한 특수형상의 경우에 대처할 수 있는 일반적인 방법을 表 4에 정리하였다.

8. 맺는 말

이상에서 열처리 냉각작업 특히 퀴칭作業을 중심으로 金屬學的인 관점이 아닌 실무적 기술을 중심으로 고려해야 할 여러가지 사항들을 검토하였다. 실제로 퀴칭作業에 있어서 고려해야 될 사항은 부품의 크기, 형상, 표면 들 뿐만 아니라 냉각제의 종류, 관리방법에 따라서 冷却效果가 상당히 달라질 수 있음을 알았다. 또한 여러가지 冷却技術을 적용할 때 지켜야 할 여러가지 사항들도 검토하였다. 이러한 사항들은 실제 열처리 작업현장에서 일반적으로 잘 알려져 일상화되어 있는 것도 많겠지만 아주 간단한 수칙이나 기술을 기키지 않거나 모르는 경우에 발생하는 손실은 막대하다고 생각된다. 앞으로는 이상에 서술한 간단한 기술을 도의시함으로써 발생하는 열처리 불량 없이기를 기대하면서 이 글을 맺는다.