

퀵칭용 냉매의 냉각 곡선과 냉각 시스템 설계

Typical Cooling Rate Curves for various Liquid Quenchants and Quenching System Design

경북대학교 공과대학

정인상

In-Sang Chung

Dept. of Metallurgical Eng., Kyungppok National University, 702-701

강재의 퀵칭처리에서 승온속도 및 방법, 최고 가열 온도 및 유지시간도 중요하지만 냉각직전의 부품이나 소재의 온도와 변태구간에서의 냉각속도는 무엇보다 중요한 것은 말할 필요도 없다. 퀵칭 시 소재나 부품의 냉각속도는 사용하는 냉매의 종류(공기, 기름, 물 또는 유기냉매)에 크게 좌우되며, 동시에 냉매의 온도와 교반도 중요한 변수가 된다. 가장 적합한 냉매의 선택은 주로 강재의 경화능, 퀵칭되는 강재(부품)의 단면 형태와 치수, 그리고 원하는 미세조직을 얻는데 적당한 냉각속도에 좌우된다. 본 자료는 여러 액체 냉매의 전형적인 냉각곡선을 제시하여 현장 작업자에게 참고로 될 자료를 제시하고, 아울러 냉각 시스템의 설계에 참고가 될 자료를 소개한다.

수냉의 경우

냉매로서 물을 선택하려면 우선 빠른 냉각속도에서도 강재(부품)에 심한 뒤틀림이나 균열이 발생되지 않는 경우에만 사용될 수 있다. 따라서 퀵칭될 부품이 아주 단순하거나 경화능이 낮으면서 부품이 대칭인 경우에 일반적으로 사용될 수 있다. 또 오스테나이트 스테인리스강이나 고온에서 용체화처리된 소재(강재 또는 비철재)에도 적용될 수 있다. 그림 1은 물 온도에 따른 물의 냉각곡선을 나타내고 있다.¹⁾

유냉의 경우

정상속도용 오일은 느린 냉각속도에서도 규정된 기계적 성질을 얻을 수 있는, 경화능이 큰 강재에만 사용될 수 있다. 그 예로서는 합금 원소가 많이 포함된 합금강이나 공구강이 이에 해당된다. 중간 속도용 오일은 경

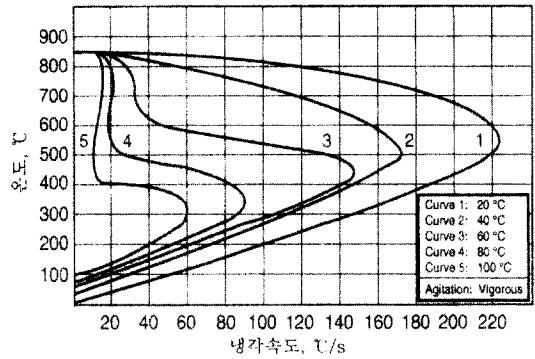


그림 1. 강하게 교반을 할 때, 물 온도(처리 전)에 따른 냉각속도의 변화.

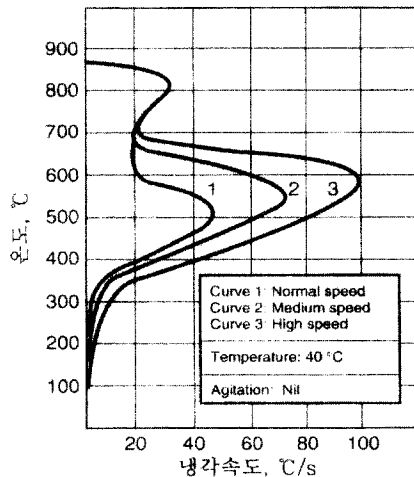


그림 2. 교반하지 않을 때, 오일 스피드(처리 전 오일 온도 40°C)에 따른 오일의 냉각속도.

화능이 중간정도 되거나 그 보다 더 큰 강재의 켄칭에 사용된다. 이에 반해 빠른 속도용 기름은 경화능이 아주 낮은 강재나 침탄 또는 침탄질화된 부품, 또는 단면적이 크면서, 중간 정도의 경화능을 가진 강재나 부품을 최대의 기계적 성질을 얻기 위해 아주 빠른 냉각속도가 필요할 때 이용한다. 그림 2는 오일의 온도가 40°C일 때, 세 종류 오일의 냉각곡선이다.

유기 냉매 사용의 경우

수용성 고분자 냉매가 수냉과 유냉의 중간 정도의 냉각속도를 가지기 때문에, 최근 이 냉매가 널리 사용되고 있다. 실제로 고분자의 농도와 수용액의 온도 및 욱조의 교반 정도를 다르게 함으로써 냉각속도를 자유 자재로 바꿀 수 있으므로 아주 편리하다. 폴리글리콜 (Poly(alkylene) glycol, PAG)은 가장 널리 사용되고

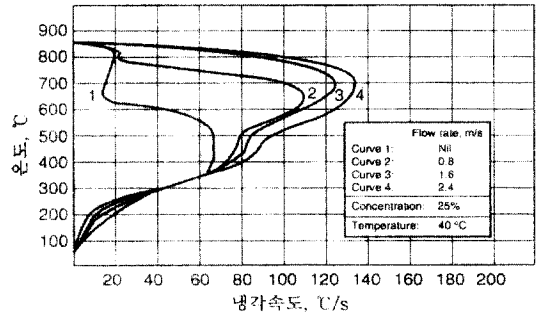


그림 5. 교반 정도에 따른, PAG 용액의(처리 전 온도 400C, 25% PAG) 냉각속도의 변화.

있는 수용성 고분자 냉매이다.

그림 3은 PAG의 농도, 그림 4는 25% PAG 수용액에서 수용액의 온도, 그림 5는 25% PAG 수용액에서 교반의 정도가 냉각곡선에 미치는 영향을 각각 보여 주고 있다.

켄칭 시스템의 설계

켄칭 시스템의 설계가 종종 열처리공정에 차지하는 중요성이 간과되는 경우가 많다. 실제로는 아주 중요하므로, 이에 관한 이해가 필요하다. 켄칭 시스템을 새로 만들거나 현재 있는 시스템을 보완하는 경우에 고려해야 할 주요 인자를 알아보면 다음과 같다.

- * 취급하는 부품이나 강재의 종류
- * 욱조의 크기와 설비 능력
- * 욱조를 만들 소재
- * 켄칭액에 들어가는 강재(부품)의 이송 형태
- * 교반
- * 가열과 냉각 시스템
- * 냉매의 필터
- * 냉매의 저장

이들 인자의 구체적 내용은 다음과 같다.

취급하는 부품이나 강재의 종류

취급 부주의에 따라 열처리 과정에서 치수나 형태가 변할 수 있다. 즉, 강재는 보통 오스테나이트화 온도에서는 상온 강도의 1/10 정도밖에 되지 않으므로, 주의하지 않으면 가열로 안에서 자기 무게에 의해 휘거나 뒤틀리게 되는 경우가 있기 때문에 주의를 해야 한다.

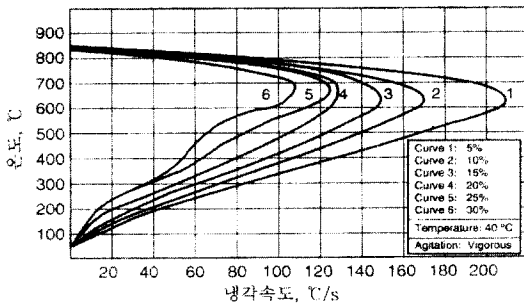


그림 3. 강하게 교반을 할 때, PAG 농도(처리 전 온도 400C)에 따른 냉각속도의 변화.

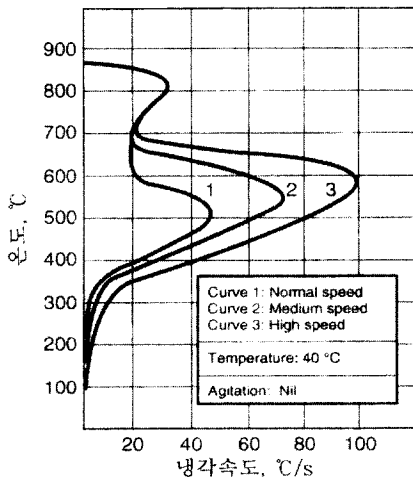


그림 4. 강하게 교반을 할 때, PAG 수용액 온도(PAG 농도 25%)에 따른 냉각속도의 변화.

지그나 세트 장치, 트레이, 가열로의 하부를 잘 살펴서 적절한 지지대나 장치를 하고, 주의하여 점검해야만 된다. 뒤틀리기 쉬운 부품의 경우에는 특히 켄칭하는 동

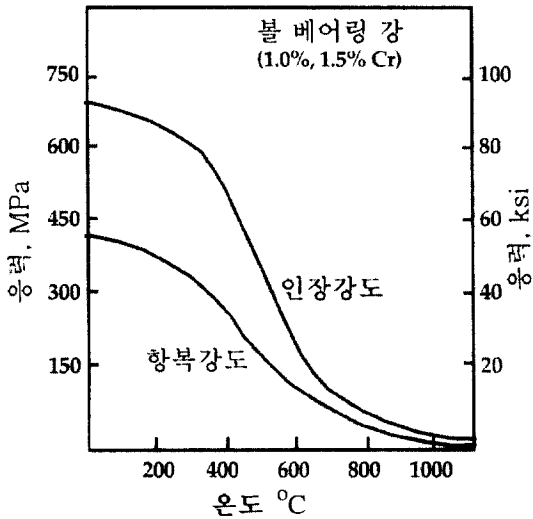


그림 6. 고탄소 크롬-베어링강의 강도에 미치는 온도의 영향.

그림 7. 켄칭시 뒤틀림을 최소화시키기 위한 특수 바퀴 달린 선반(rack).

그림 8. 연속식 켄칭로에 설치되는 부품 이송 장치 개략도.

안 주의를 기울여야만 된다. 이를 방지하기 위한 특수한 선반을 준비할 필요가 있을 수도 있으며, 부품이 욕조의 바닥에 떨어지는 일이 없도록 한다.

켄칭액에 집어넣는 강재(부품)의 이송도 부품 이송 유도용 받침대를 만들어 넣거나 해서 치수 변화나 뒤틀림이 생기지 않도록 특히 주의를 기울여 설계해야 한다. 한마디로 말하자면 강재나 부품이 욕조에 들어갈 때는 유체역학적으로 완벽하게, 그 저항이 최소가 되도록 설계되어야만 된다.

또 두 말할 필요도 없이 바스켓이나 트레이에 부품을 얼마나 또 어떻게 쌓느냐 하는 것도 큰 변수다. 냉매의 흐름이 원활하지 못하면 제대로 켄칭이 잘 될 리가 만무하므로, 너무 욕심 부려 한꺼번에 많이 장입하게 되면 오히려 손해가 된다는 점을 명심하여, 부품의 배열 방법과 수를 최적 상태로 조절할 필요가 있다.

욕조의 크기

욕조의 크기는 당연히 작업량에 따라 결정된다. 배치 형태의 공정에서는 냉매가 한 장입(charge) 부품을 완전히 덮을 수 있을 만큼 커야만 한다. 또 동시에 각종 교반 장치도 원활하게 작동할 수 있는 크기여야 한다. 폐쇄된 시스템에서 고온 켄칭유 욕조의 경우에는 기름의 열 팽창에 의한 부피까지도 고려하여 하며, 냉매 양을 조절할 수 있게 하거나 냉매가 넘쳐흘러도 문제가 없도록 시스템을 설계하여야 한다.

욕조의 설비 능력

욕조는 켄칭 작업을 계속하는 경우, 액의 온도가 과열되는 일이 없을 만큼 충분한 기름을 담을 수 있어야만 된다. 냉각되지 않는 욕조라고 하면, 필요한 냉매의 양은 다음 식으로 계산해 볼 수 있다. $\Delta H = m_p C_p \Delta T_m = m_Q C_Q \Delta T_Q$, 여기서 ΔH 는 부품이 냉각에 의해 빼앗기는 열량, 즉 냉각시 빼앗아야 할 열량이고, m_p , C_p 및 ΔT_m 는 각각 부품의 질량, 부품의 비열과 켄칭공정 전과 후에 부품의 온도 차이, 즉 켄칭 직전 부품의 온도와 냉각유 온도와의 차이이다. 그리고 m_Q , C_Q , 및 ΔT_Q 는 각각 켄칭액의 질량, 비열 및 켄칭에 의해 냉매(켄칭액)의 온도 상승 값, 즉 켄칭액 온도의 증가치이다.

켄칭 공정에 간여하는 물질의 전형적인 비열 값은 강재가 0.17 cal/gm/°C, 알루미늄이 0.23 cal/gm/°C, 켄칭유가 0.50 cal/gm/°C, 고분자 수용액 냉매가 0.95 cal/

gm/°C이다. 강재의 경우, 단번의 켈칭공정에서는 기름 온도의 상승을 감안하더라도 전체 장입량 1 kg 당 대략 10l의 기름이 필요하다. 이때 부품의 량 뿐만 아니라 부품과 함께 욕조에 들어가는 가열된 치구가 있다면 그 중량도 고려되어야 한다. 그러나 연속 켈칭공정에서는 기름 온도의 과열을 방지하기 위한 냉각설비가 반드시 필요할 것이다.

욕조를 만들 소재

욕조 제조용 소재로서는 일반적으로 철강재가 사용된다. 욕조 자체는 연강 소재로, 펌프나 교반장치 소재는 주물이 사용될 수 있다. 그러나 동이나 동합금은 냉매인 광물유를 산화시키는 성질이 있으므로, 특히 고온용 켈칭 시스템에 사용해서는 곤란하다고 한다. 또한 아연, 납, 마그네슘 같은 비철합금은 알칼리성인 고분자 수용액 냉매의 성질을 나쁘게 하므로 가능한 사용해서는 안 된다. 즉 아연 도금된 욕조는 고분자 수용액 냉매를 사용하는 경우에 사용해서는 안 될 것이다. 만일 특별히 냉매에 의한 욕조의 부식 방지를 원한다면 에폭시(epoxy) 수지로 코팅하여 사용하는 것이 바람직하다.

켈칭액에 들어가는 강재(부품)의 이송 형태

연속로를 이용하는 경우에는 부품이나 강재를 켈칭 욕조로 이송하는 시스템이 중요하게 된다. 연속 스프레이식 냉매 커튼은 냉매가 담긴 높이 보다 위에 설치하여, 부품이 노에서 냉매 속에 들어가자까지의 냉각 역할을 담당하도록 해야 한다. 또 기화된 켈칭액이 연속로 내부로 유입되는 것을 방지하기 위한 장치도 필요한데, 이 장치는 분위기 조절 연속로나 냉매로 물을 이용하는 수냉 켈칭의 경우라면 특히 중요하다. 부품이 얇은 단면적을 가진 경우에는 부품이 이송장치와 부딪치면서 부품에 뒤틀림이 발생할 수 있으므로 특히 이송 장치 설계가 중요하게 되며, 이 때는 체인방식이나 이송 통로 바닥을 앵글 형태로 만들면 해결 될 수 있다.

교반

냉매의 교반은 켈칭 속도에 아주 큰 영향을 미친다. 냉매의 온도 상승에 따라 부품의 표면 근방에 생성된 기포는 부품의 냉각을 방해하게 되는데, 교반을 통하여 기포를 재빨리 없애 주무로써 냉각속도를 최대한 증대시킬 수가 있다. 그러므로 부품 특성을 최적 상태로 얻

그림 9. 켈칭 후 기어 이빨에 나타나는 응력을 계산할 메시(mesh)와 그 결과.

그림 10. 켈칭 냉매의 냉각용으로 잘 이용되고 있는 shell type 열교환기.

기 위해서나, 부품 근처 냉매의 원활한 순환을 통해서 욕조 내 냉매의 온도를 균일하게 유지하기 위해서도 효과적인 교반은 반드시 필요하다.

교반의 방식으로는 냉매에 힘으로 진동을 주거나 프를 이용해서 냉매를 순환시키거나 아니면 프로펠러를 욕조 내에 설치하여 모터로서 돌리는 방법이 있을 수 있다. 펌프 순환이나 프로펠러식 교반은 부품 주위의 냉매가 아래에서 위로 흐르도록 배치하는 것이 바람직하다.

프로펠러식 교반은 설계나 설치 및 유지가 쉬운 반면에, 탱크 내의 활용 공간을 줄이는 단점도 있다. 이럴 때는 펌프 식 순환 교반을 채택하는 것이 좋을 것이다. 압축기(컴프레서)를 이용해서 공기를 불어넣는 방식의 교반은 사용해서는 안 된다. 그 이유는 켈칭을 불균일하게 할뿐만 아니라 기름의 산화를 가속시켜, 냉매 사용 기간을 단축시키고, 물을 오염시키며, 화재의 위험도 있다. 특히 수냉의 경우에는 거품(기포)을 만들기 때문에 절대 사용해서는 안 된다.

최근 선진국에서는 유체역학을 이용한 시뮬레이션 프로그램(computational fluid dynamics, CFD)을 이용하여 욕조 내의 냉매 흐름을 가상적으로 평가하고, 수정하는 발전된 기술을 도입하고 있다. 또 이를 통해 부품이 열처리 후에 얼마나 뒤틀림이 생길지도 이 시뮬레이션을 통해 평가하고 있다.

가열과 냉각 시스템

어떤 퀀칭 냉매도 온도 조절 장치를 이용하여 최적의 작업 온도 범위로 유지하여야만 된다. 냉매의 가열은 전기 저항식 가열이나 가스나 기름을 이용한 방열판(radiator) 방식, 또는 가열로의 폐가스를 이용하는 등 여러 방식이 채용될 수 있다. 전기저항식 가열이라면 최대 파워가 10 W/in²는 되어야만 한다. 그러나 이보다 더 큰 파워가 되면 국부적인 가열이 일어나 교반으로 냉매를 순환시키지 않으면 냉매의 특성을 저하시키게 된다는 점을 유의해야 한다.

가스나 기름을 이용한 방열판(radiator) 방식에서도 버너 쪽에 가까운 방열판 근처가 먼저 과열되는 경향이 있으므로 그렇게 되지 않도록 세심한 주의가 필요하다. 즉 어떤 경우라도 냉매가 부분적으로 과열되면 특성이 떨어지므로 히터 주위의 냉매가 잘 순환되어 부분적인 냉매의 과열이 일어나지 않도록 해야 한다.

냉매의 냉각 역시 여러 방식으로 할 수 있다. 예를 들면, 냉각수 파이프라인을 욕조 내에 설치한다든지, 냉각 재킷으로 욕조 전체를 감싼다든지, 외부에 냉각수를 이용한 열 교환기를 설치한다든지 하는 것이다. 또 강제 송풍식, 냉각탑식, 냉동식 등 여러 종류가 있을 수 있을 것이다. 그러나 냉각수 파이프 라인방식이나 냉각 재킷 방식은 작은 규모의 설비에만 적용할 수 있는 한계가 있고, 냉각수에 의한 냉매의 오염도 항상 위험 요소로 남아 있다. 대용량 욕조에는 외부 설치형인 강제 송풍식과 냉각탑식 열 교환기가 효과적이므로 널리 이용되고 있다. 그러나 송풍식에서 냉매와 공기가 직접 접촉이 되는 경우라면 냉매가 산화되고, 냉매 손실이

발생하며 냉매의 수명이 단축되므로 사용해서는 안 된다. 냉동식 시스템은 아주 효율적이기는 하지만 설치에 경비가 많이 드는 게 단점이다.

냉각 시스템의 효율을 최대로 유지하기 위해서는 냉매 순환 방향이 가열된 냉매가 욕조의 윗 부분에서 흘러 열 교환기를 통한 후 욕조 바닥 부분으로 들어오도록 해야 할 것이다. 냉각기 소재는 동, 알루미늄, 또는 그 합금은 사용하지 않는 것이 좋고, 그 용량은 퀀칭 작업 중에 충분히 냉매의 열을 식힐 수 있을 만큼 되어야 할 것이다.

냉매 필터링

퀀칭 작업이 계속되면 냉매는 부품에 붙어 있던 산화 피막(scale), 그을음(shoot)이나 일반 이물질, 그리고 불량품 등에 의해 오염되고, 결과적으로 냉매의 특성이 떨어져서 최종 제품의 외관이나 기계적 특성이 만족할 만한 수준의 규격에 미달되는 제품이 생산될 수밖에 없다. 이것은 냉매를 필터로서 거르거나 원심분리로서 걸러서 냉매 특성을 적합한 조건으로 유지해야만 된다. 필터링은 연속 작업으로, 또는 단속적으로 작동시킬 수가 있다.

참고문헌

1. Heat Treater's Guide : Practies and Procedures for Irons and Steels, 2nd Ed., ASM International, Materials Park, Ohio, 1995, P78.
2. Houghton Quenching : Houghton International Inc., Valley, Forge, Pa.