

## 켄칭냉각이 변형에 미치는 영향

정 병 호

부경대학교 신소재공학부

### Influence of Cooling by Quenching on the Distortion

B. H. Jung

Div. of Materials Science & Engineering, Pukyong National University, Pusan 608-739, Korea

#### 1. 서 언

최근 열처리 부품에 대한 요구가 높아짐에 따라 자동차, 기계, 설비관계 등에는 열처리부품의 정밀도, 특히 열처리 변형의 저하에 중점을 두는 경우가 증가하고 있다. 열처리 변형의 발생에는 이전의 공정, 켄칭(Quenching)가열 과정 및 냉각 과정 등의 여러 가지 요인이 관계되어 있다. 또 냉각 과정은 열처리 오일(Heat treating oil)의 종류와 냉각성능 및 이에 따른 켄칭경화능이 관계되어 있다. 본 기술자료에서는 열처리 오일의 종류와 특징, 냉각성능의 변화, 켄칭경화를 위한 열처리 오일의 선정방법, 유면압제어켄칭(油面壓制御燒入) 및 열처리 변형의 저하 예를 소개한다.

#### 2. 열처리 오일의 종류와 특징

##### 2.1 열처리 오일의 종류

열처리 오일의 종류는 많지만 JIS K 2242[1]에는 용도에 따라 1, 2, 3종, 그리고 이의 각각은 1호, 2호로 분류하고 있다(표 1).

표 1. 종류

종류	용도
1 종	1 호 켄칭경화하기 쉬운 재료의 켄칭용
	2 호 켄칭경화하기 어려운 재료의 켄칭용
2 종	1 호 120°C 내외의 열욕 켄칭용
	2 호 160°C 내외의 열욕 켄칭용
3 종	1 호 오일 온도 150°C 내외의 템퍼링용
	2 호 오일 온도 200°C 내외의 템퍼링용

냉각곡선(JIS K 2242)

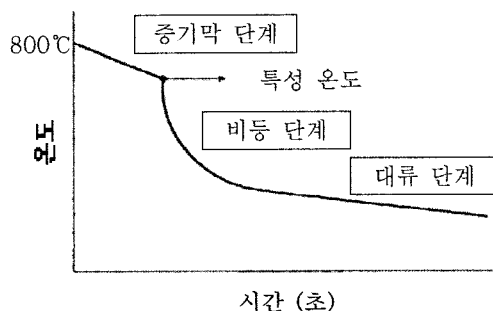


그림 1. JIS K 2242 법으로 측정된 냉각곡선의 증기막 단계, 비등 단계, 대류 단계의 설명도.

##### 2.2 열처리 오일의 냉각성능

열처리 오일의 냉각성능은 JIS K 2242에 규정된 냉각곡선측정방법(銀棒式)에 의해 측정하여 열처리 오일의 연구에 이용하고 있다. 이 방법은 810 ± 5°C에 가열 유지시킨 은(Ag) 시편(φ10 × 30 mm)을 용기에 채워진 열처리 오일(250 ml)에 침적시켰을 때, 은 시편의 표면온도와 시간의 변화를 측정하는 방법이다. 가열된 은 시편을 열처리 오일에 넣으면 은 시편은 시간 경과에 따라 증기막(蒸氣膜) 단계, 비등(沸騰) 단계, 대류(對流) 단계의 3가지 과정을 거쳐 냉각된다[2](그림 1). 증기막 단계는 액체에 의한 냉각 과정의 첫 번째 단계로, 고온 금속면에 접촉하여 발생한 증기가 처리물의 전면을 감싸고 이 증기막을 통해서만 냉각이 되는 단계이다. 따라서 이 단계는 균일하게 열처리가 가능하도록 짧은 것이 좋다. 비등 단계는 증기막의 붕괴 후 액체가 처리물에

표 2. 열처리 오일의 품질 및 성능

종류	특성		냉각 성능				안정도	
			오일 온도 80°C		오일 온도 120°C			
			특성 온도 (°C)	800°C에서 400°C까지의 냉각시간(초)	특성 온도 (°C)	800°C에서 400°C까지의 냉각시간(초)	특성 온도 (°C)	800°C에서 400°C까지의 냉각시간(초)
열처리 오일	1종	1호	480 이상	5.0 이상			1.5 이하	1.5 이하
		2호	580 이상	4.0 이하				2.0 이하
	2종	1호			500 이상	5.0 이하		1.5 이하
		2호					600 이상	
	3종	1호					1.4 이하	1.5 이하 2호
		2호						

접촉하여 빈번한 비등을 일으키므로 냉각이 가장 빠른 단계이다. 이 과정에서 증기막이 붕괴하는 온도를 특성온도라고 부르며, 특성온도가 높을수록 냉각이 빠르고 비점이 낮을수록 냉각이 빠르다. 특성온도는 JIS K 2242의 열처리 오일의 품질 및 성능에 이 온도를 규정하고 있다(표 2). 마지막의 대류 단계는 그 액체의 비점 이하로 되면 액체는 자신의 온도 상승에 의한 유동에 의해서만 열을 빼앗는 과정이 되기 때문에 냉각속도가 상대적으로 느린 단계가 된다.

JIS 1종의 열처리 오일은 켈칭경화에 중점을 두고 있고, 2종 열처리 오일에 비해 냉각곡선에서의 냉각 성능이 우수하며 특히 하부(400°C 이하) 냉각에 우수하다. JIS 2종의 열처리 오일은 1종에 비해 증기막 단계가 짧고 하부 냉각이 늦어 열처리 변형의 저하에 효과가 있다. JIS K 2242의 열처리 오일 1종 및 2종에 해당하는 열처리 오일의 냉각곡선을 그림 2에 나타낸다. 또 이러한 열처리 오일은 통상적으로 사용하는 온도나 점도의 높고 낮음의 호칭에 의해 구별하는 경우가 있다. 일반적으로 오일 온도 50~80°C에서 사용하는 오일을 콜드오일(Cold type oil), 80~120°C에서 사용하는 오일 형태를 쉐미 핫 오일(Semi-hot type oil), 120°C 이상에서 사용하는 오일 형태를 핫 오일(Hot type oil)로 부른다[3].

JIS J 2242 열처리 오일 1종, 2종에 사용하는 콜드오일, 쉐미 핫 오일 및 핫 오일에 사용하는 기본 오일에는 많은 종류가 있다. 열처리 오일에 이용되는 대표적인 기본 오일의 냉각곡선을 그림 3에 나타낸다. 열처리 오일에 사용되는 기본 오일 중, 1종은 비교적 점도가 낮은 기본 오일이 사용되지만 2종의

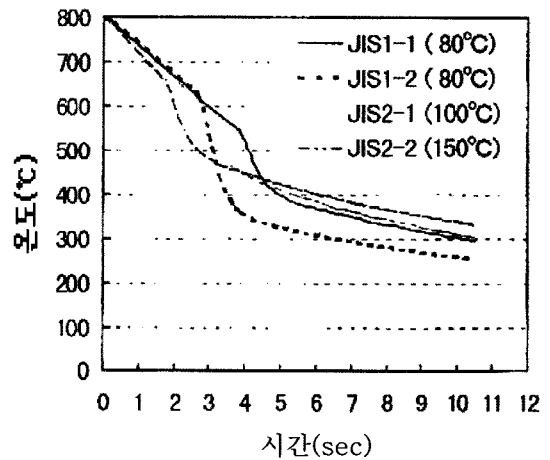


그림 2. 열처리 오일 1종 및 2종에 해당하는 냉각곡선.

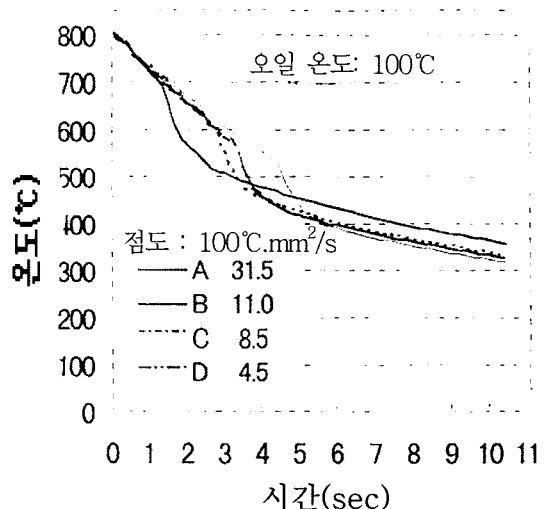


그림 3. 열처리 오일에 이용되는 대표적인 기본 오일의 냉각곡선.

열속냉각용은 점도가 높은 오일이 사용된다.

### 3. 냉각성능의 변화

열처리 오일의 냉각성능을 변화시키기 위해서는 일반적으로 다음과 같은 방법이 있다.

#### 3.1 열처리 오일의 점도

콜드 오일, 세미 핫오일, 핫 오일에 사용되는 기본 오일은 각각 점도가 다르며 냉각성능도 다르다. 즉, 그림 3과 같이 점도를 변화시켜 냉각성능을 변화시킬 수 있다.

#### 3.2 첨가제

열처리 오일에 사용되는 기본 오일은 자체의 냉각성능이 낮기 때문에 냉각성능을 향상시키는 첨가제를 첨가하면 적절한 냉각성능을 얻을 수 있다[4].

콜드오일에 사용하는 기본 오일 자체의 냉각곡선은 증기막 단계가 길고 특성온도가 낮다. 이러한 기본 오일에 증기막 단계 향상 첨가제를 첨가하면 증기막 단계가 짧게 되고 특성온도는 높게 된다. 또 대류 단계 향상 첨가제를 사용하면 대류 단계의 냉각을 빠르게 할 수 있다. 한편, 핫 오일의 기본 오일 자체는 증기막 단계가 짧고 특성온도가 높아 대류 단계의 냉각이 약간 늦어진다. 이러한 성능은 열처리 변형의 저하에 효과가 있지만 비등 단계에서 대류 단계에 걸쳐 냉각이 약간 늦어져 냉각성능이 낮게 되기 때문에 처리물의 종류에 따라 퀵냉경도가 충분히 얻어지지 않는 경우가 있다. 따라서 퀵냉경도를 충분히 만족시키고 또 변형의 저하에 효과가 있는 핫 오일이 필요하다. 이를 위해서는 핫 오일의 기본 오일에 열안정성이 우수한 대류 단계 향상 첨가제를 첨가하여 비등 단계로부터 대류 단계에 걸쳐 냉각을 향상시키면 냉각성능을 여러 가지로 변화시킬 수 있다(그림 4, 그림 5).

#### 3.3 교반

동일한 열처리 오일의 냉각곡선을 정지 및 교반상태로 측정할 경우, 정지상태에 비해 교반상태의 냉각곡선은 전체적으로 단시간 측으로 이동한다. 즉, 교반을 실시하면 냉각성능이 향상된다(그림 6).

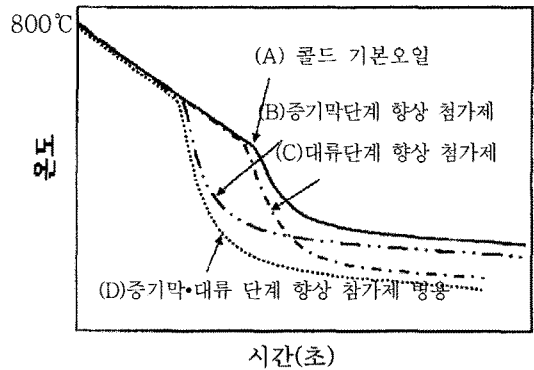


그림 4. 콜드 기본 오일에서 첨가제 효과.

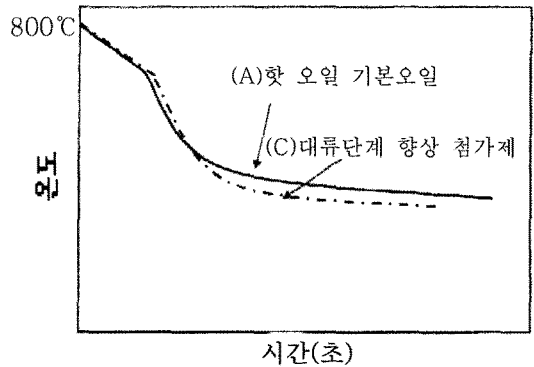


그림 5. 핫 기본 오일에서 첨가제의 효과.

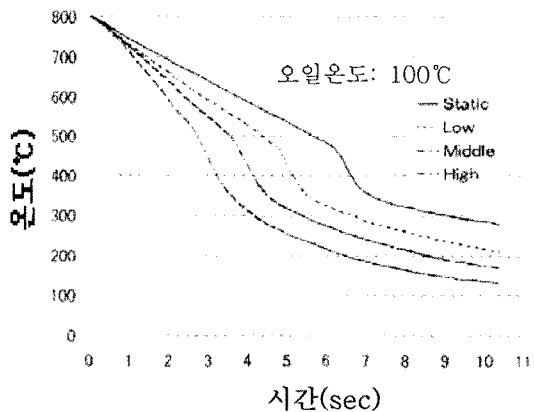


그림 6. 냉각곡선에서 교반의 영향.

#### 3.4 오일 온도의 변화

동일한 열처리 오일의 오일 온도를 변화시켜 냉각곡선을 측정할 경우, 오일 온도가 높아짐에 따라 하부(400°C 이하) 냉각의 냉각성능은 저하된다. 즉, 냉각성능을 억제하기 위해서는 오일 온도를 높힐 필요

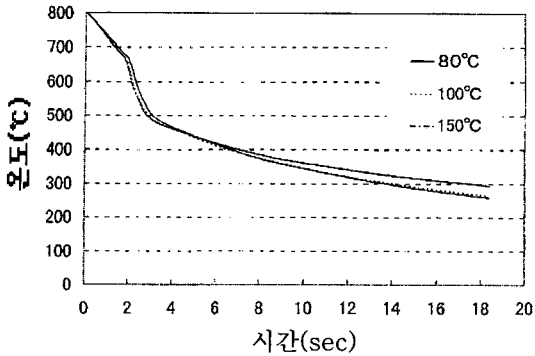


그림 7. 냉각곡선에서 오일 온도의 영향.

가 있다. 핫 오일의 냉각곡선에 대한 오일 온도의 영향을 그림 7에 나타낸다.

3.5. 유면압제어(油面壓制御)

감압(減壓) 하에서는 오일의 비점이 강하하며, 냉각곡선에서 증기막 단계는 길어진다. 또 비등 단계로부터 대류 단계까지의 냉각은 저온 측으로 이동한다. 진공 퀘칭오일의 콜드(Cold) 오일과 핫(Hot) 오일의 감압하에서의 냉각곡선을 그림 8에 나타낸다[5, 6].

핫 오일은 콜드 오일에 비해 증기막단계가 짧고 비등 단계도 고온 측으로 이동한다. 핫 오일에 감압 정도를 조절하면 콜드 오일과 비슷한 냉각곡선을 얻을 수 있다.

4. 퀘칭경화를 위한 열처리 오일의 선정 방법[7]

퀘칭칭한 강의 경화거동은 강의 크기, 퀘칭성 및 냉각제의 냉각성능에 의해 좌우된다. 각각의 강은 급냉을 필요로 하는 냉각구간이 있어 강을 퀘칭경화시키기 위해서는 각각의 강에 대한 연속냉각변태선도(CCT 곡선)[8, 9]에서 퀘칭시의 냉각과정 도중 생기는 페라이트(Ferrite), 퍼얼라이트(Pearlite), 베이나이트(Bainite) 변태가 일어나지 않도록 할 필요가 있다. 이러한 변태를 방지하기 위해서는 이 변태가 일어나기 쉬운 온도구간을 급냉할 필요가 있다. 열처리 오일의 냉각곡선에서 증기막 단계, 비등 단계, 대류 단계의 3가지 냉각과정 중 비등 단계가 가장 급냉되는 구간이다. 그러므로 각각의 강에서 급냉을 필요로 하는 온

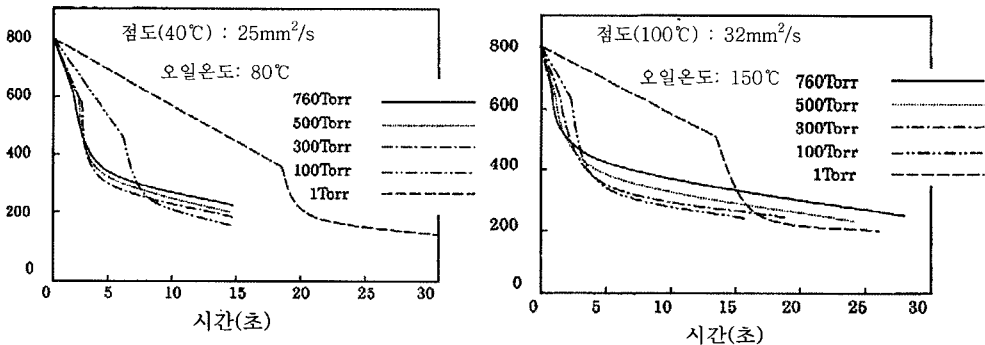


그림 8. 진공 열처리 오일에서 감압하의 냉각곡선.

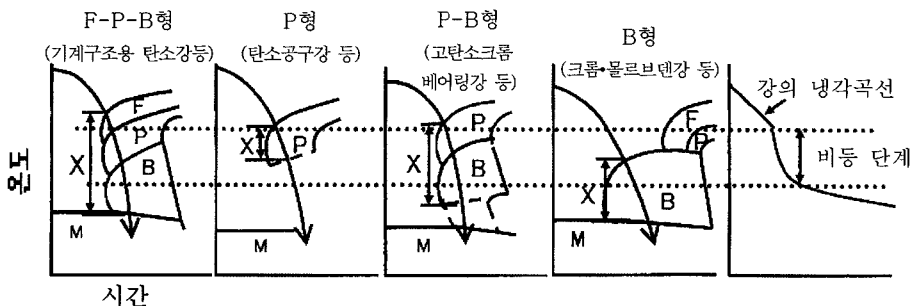


그림 9. 대표적 형태의 CCT 곡선에서 급냉을 필요로 하는 온도구간 X와 강의 냉각곡선에서 비등 단계와의 관계를 나타낸 설명도.

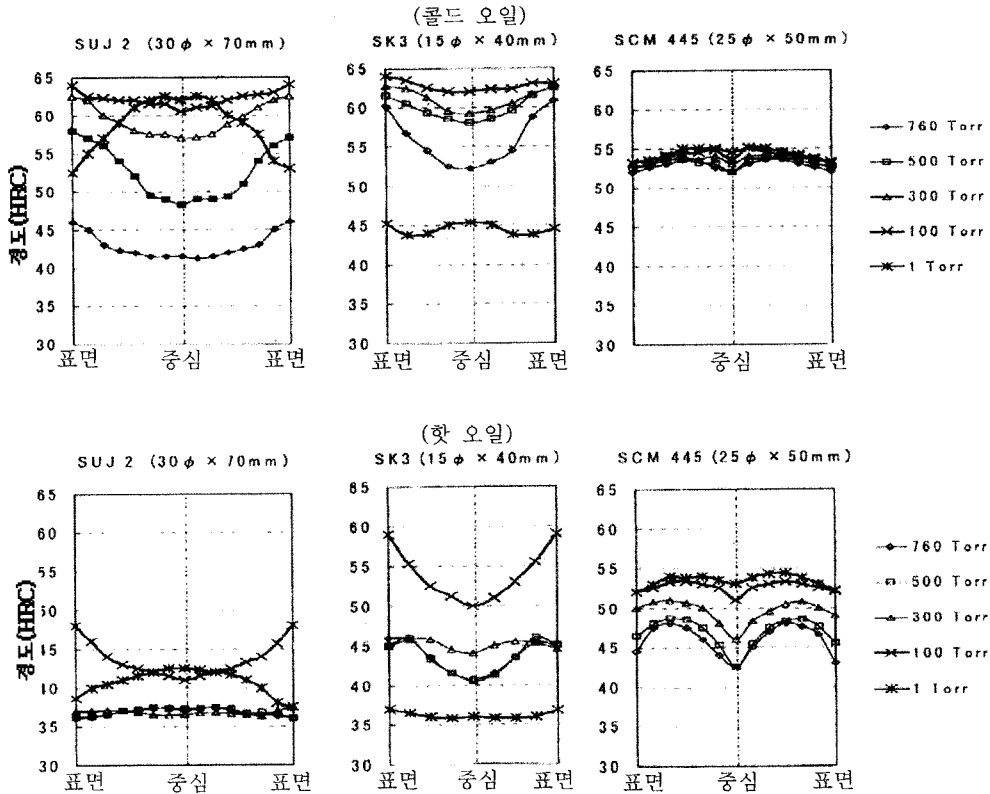


그림 10. 유면압제어 켄칭에서 켄칭경도.

도구간에 비등 단계가 일치하는 열처리를 선택하면 페 라이트, 퍼얼라이트, 베이나이트 변태가 일어나지 않고 켄칭경화를 크게 할 수 있다. 이와 같이 생각하면 각각의 강재에 적합한 최적의 열처리 오일을 선정할 수 있고 또 보다 경화능(硬化能)을 높힐 수 있기 때문에 경화능을 조정하면 켄칭변형을 저하시키는데 응용할 수 있다. 대표적 형태의 CCT 곡선에서 급냉을 필요로 하는 온도구간 X와, 강의 냉각곡선에서 비등 단계와의 관계를 나타낸 설명도를 그림 9에 나타낸다.

### 5. 유면압제어 켄칭

콜드 오일 및 핫 오일에 켄칭 시 유면압(油面壓)을 변화시켜 각종 강재를 켄칭시킨 경우의 경화거동을 그림 10에 나타낸다.

상온의 압력(760 Torr)에서 100 Torr 까지 유면압을 낮추면 켄칭된 강재의 표면 및 중심부의 경도는 상승한다. 그러나 증기막 단계가 매우 긴 1

Torr에서는 표면보다 중심부의 경도가 높아지는 역경화(逆硬化) 현상[10]이 생기는 강제도 있다. 이러한 거동은 유면압을 제어하면 증기막 단계가 연장되고 또 비등 단계의 위치가 변화되기 때문이다. 즉, 비등 단계의 위치를 강의 급냉을 필요로 하는 온도구간으로 이동시키면 켄칭경화를 크게 할 수 있다. 이것은 켄칭변형을 저하시키는데 활용될 수 있다. 변형을 저하시키는 목적으로 사용되는 세미 핫 오일 및 핫 오일은 냉각성능을 낮추기 때문에 켄칭경도가 충분히 얻어지지 않는 경우가 있다. 이러한 경우에는 이 방법을 이용하는 것도 하나의 대책이 될 수 있다.

### 6. 열처리 변형의 감소

#### 6.1 열처리 오일의 점도, 오일 온도 및 교반의 변화에 의한 켄칭변형의 예

그림 11에 나타낸 베어링(SUJ 2)을 켄칭한 경우, 점도가 높은 켄칭 오일일수록 변형량(진원도)이 적어

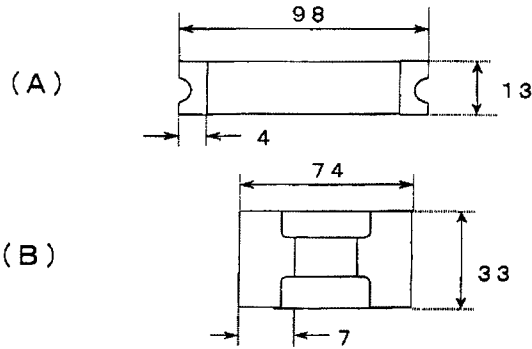


그림 11. 켈칭변형 시험에 사용한 베어링.

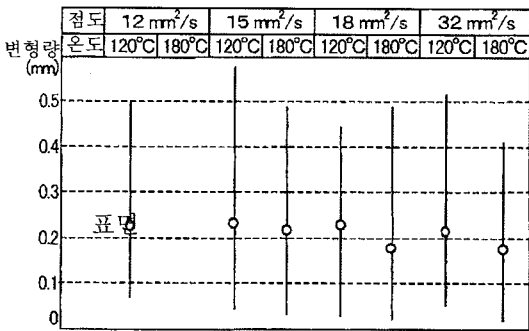


그림 12. 열처리 오일의 점도 및 오일 온도 변화에 의한 베어링(A)의 변형량 변화.

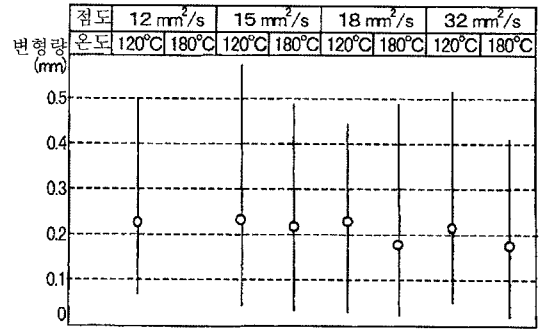


그림 13. 열처리 오일의 점도 및 오일 온도 변화에 의한 베어링(B)의 변형량 변화.

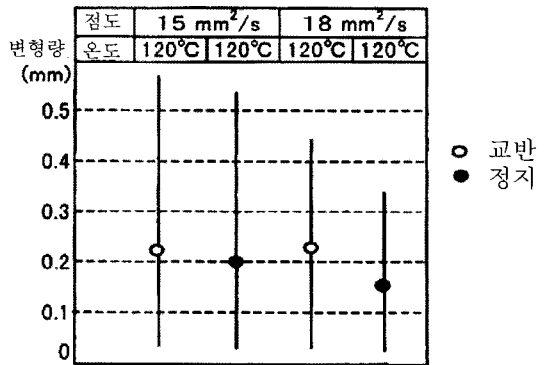


그림 14. 교반상태 및 정지상태에서 베어링(A)의 변형량 비교.

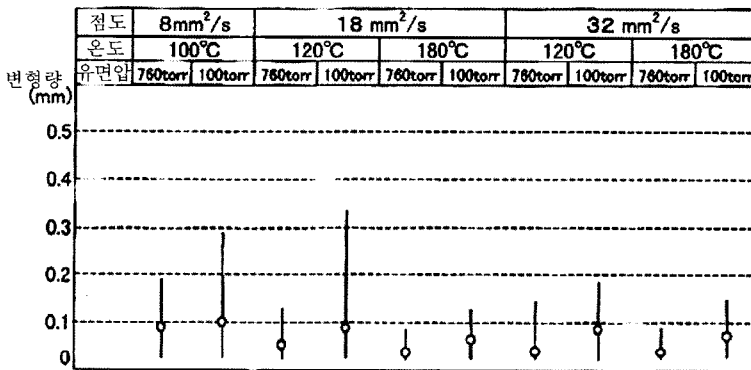


그림 15. 상온에서의 압력과 감압하에서 켈칭한 경우 베어링(B)의 변형량 비교.

지는 경향을 나타내며, 또 동일한 켈칭 오일에서 오일 온도를 상승시켜도 변형량이 적어지는 경향을 보여주고 있다(그림 12, 그림 13). 정지상태와 교반상태에서는 정지상태 쪽이 변형량이 적게 되는 경향이 있다(그림 14). 즉, 냉각이 낮은 조건에서의 켈칭보다 변형량이 저하되는 경향이 있다.

### 6.2. 유면압제어 켈칭에 의한 켈칭변형 예

그림 11에 나타난 베어링(SUJ 2)을 감압(100 Torr) 하에서 켈칭한 경우, B의 베어링에서는 변형저하 효과가 인정되지 않고 오히려 변형량의 증가가 인정되고 있다.(그림 15) 그러나 A 베어링에서는 변형저하 효과가 인정되고 있다.(그림 16)

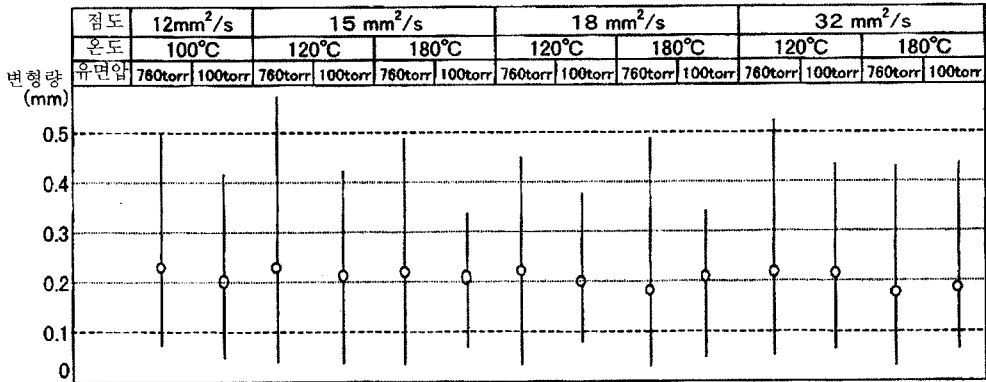


그림 16. 상온에서의 압력과 감압하에서 켄칭한 경우 베어링(A)의 변형량 비교.

유면압제어 켄칭에서는 처리 재료의 크기나 형상에 의해 변형저하 효과가 인정되는 경우와 그렇지 않은 경우가 있다. 이것은 처리 되는 재료의 크기나 형상이 열변형과 반대변형 중 어느 쪽이 변형에 대하여 보다 큰 영향을 받는가에 의해 이 효과의 평가가 다르게 된다. 즉, 변형저하 효과가 인정되는 유면압제어 켄칭의 경우는 켄칭 직후로부터 어떤 일정 온도까지 처리 재료 전체가 증기막 단계의 연장에 의하여 균일한 냉각속도로 냉각되기 때문으로 생각된다.

### 7. 결 언

열처리 오일에는 콜드 오일, 쉘리 핫 오일, 핫 오일이 있으며, 예전부터 켄칭변형을 저하시키기 위해 콜드 오일보다 쉘리 핫 오일 및 핫 오일을 사용하여 그 효과를 확인하였다. 그 외 켄칭 시의 오일 온도 상승이나 교반의 억제도 변형저하 효과가 있다. 유면압제어 켄칭에서는 처리 재료의 크기나 형상에 맞게 감압 정도를 변화시켜 처리 재료에 적절한 냉각성을 부여하면 변형저하 효과가 인정된다.

### 사 사

\*이 글은 日本 “熱處理” 제 43권 4호, pp. 269~274에 게재된 내용을 번역 정리한 것임.

### 참고문헌

1. 日本規格協會 : JIS 핸드북熱處理 (1994) 823.
2. 田村今男 : 學位論文 (1958) 76.
3. 朝田 繁 : 트라이보로지스트 (1996) 64 7.
4. 福原和人 : 金屬, 臨時増刊号, (1989) 1 28.
5. 福原和人 : 潤滑通信, (1990) 27.
6. 朝田 繁 : 熱處理テクニックの基礎と新しい熱處理技術 (1989) 11.
7. 田村今男, 清水信善, 福田省夫, 岡田敏雄, 福原和人 : 熱處理, 22, 2, (1982) 85.
8. 日本金屬學會 : 金屬便覽 (1982) 769.
9. 大和久重雄 : S 曲線 (1967) 265.
10. 清水信善, 田村今男 : 熱處理, 16, 5, (1976) 289.