

# 오스텨퍼링 처리한 회주철의 마멸특성에 미치는 잔류 오스테나이트 조직의 영향에 관한 연구

신호철\*, 이종훈\*\*, 김홍범\*, 김창규\*\*\*, 최창옥\*

## Effect of Retained Austenite on the Wear Resistance of Austempered Grey Iron

Ho-Chul Shin\*, Jong-Hoon Lee\*\*, Hong-Beam Kim\*  
Chang-Gyu Kim\*\*\* and Chang-Ock Choi\*

### Abstract

Grey iron containing a small amount of Cu and Mo to improve the effect of heat treatment and microstructures were poured in to the mold and them austenized at 900°C. After austenitizing the specimens of castings were austempered 210°C, 250°C, 300°C and 350°C. The effects of matrix structures, mechanical properties and wear characteristics were investigated by austempering temperatures.

Tensile strength and hardness of austempered grey iron are increased and the amount of retained austenite is decreased as austempering temperature is lower even though the amount of retained austenite in it only 4%.

The amount of rolling wear loss are increased as rolling revolution is increased and wear loss of austempered grey iron under dry rolling condition is characterized by three models; initial wear, stationary wear and abnormal wear. It has been found that the amount of wear loss was increased with increasing maximum compressive stress and rolling revolution.(Received November 12, 1994)

### 1. 서 론

회주철은 다른 주철재에 비하여 구조성이 양호하여 주물품을 제작하기 쉽고 절삭성이 우수하고 마무리 면이 깨끗하며 내식성이 좋고 내마모성 고감쇠능등 많은 특성을 갖고 있어 공업적으로 유용한 성질을 구비하고 있다.[1]

이와같은 특성을 갖고 있는 회주철은 기계의 주요 구성부품에 사용되고 있어 기계공업의 기초 소재로써 중요한 위치를 차지하고 있다. 특히 자

동차의 많은 부품중에서 회주철로 만들어지고 있는 것이 상당한 부분을 차지하고 있으며 이들중 중요한 부품인 내연기관의 cylinder block, cylinder head 및 cylinder liner 등이 회주철로 되어 있으며 또한 제동장치에 필수적인 brake disc도 회주철로 되어있다. 그러나 이러한 부품들의 여러가지 성질중에는 내마모성이 우수하고 운전성능이 좋고 또한 scuffing 현상이 적은 재질이 요구되고 있으나 회주철은 강도가 낮고 인성이 거의 없는 결점으로 인하여 고강도 및 고인성을 요

\*동아대학교 금속공학과(Dept. Metallurgical Eng., Dong-A University)

\*\*부산지방공업기술원 (Regional Industrial Technology Institute of Pusan)

\*\*\*부산공업대학교 금속공학과(Dept. of Metallurgical Eng., Pusan National University of Technology)

구하는 구조재나 부품 등에는 사용하지 못하고 있는 실정이다.[1]

본 연구에서는 공업용 재료로 많이 사용되고 있는 회주철에 대하여 합금 성분으로 Cu 및 Mo 를 소량 첨가하여 주조후 오스템퍼링 처리를 실시하여 오스템퍼링 온도에 따른 기계적성질과 잔류 오스테나이트량을 측정하고 건식 마멸시험을 실시하여 마멸특성에 미치는 잔류 오스테나이트의 영향을 조사하였다.

## II. 실험방법

### 1. 시편제작

본 실험에 사용한 시료는 용량 25kg의 고주파 유도용해로(부리전기)에서 주물용 선철(Sorel metal), 강고철과 회수철을 장입하여 용해한 후 전기동(99.9%)과 Fe-Mo(30%)를 각각 첨가하고 목표 조성의 성분을 위하여 Fe-Si, Fe-Mn 및 가탄제를 첨가 사용하였다. 용해후 출탕을 하면서 접종을 실시하여 인장시편(φ30mm×L300mm)과 마멸시편(φ40mm×L300mm)용 규 산소오다게 자경성 주형에 주입하였다.

주조한 시료의 화학성분 분석결과는 Table 1 과 같으며 이를 인장시편(KS B0810 8호)과 Amsler Type마멸시편으로 가공을 하였다. 가공한 인장시편과 마멸시편을 900°C의 염욕에서 1시간 동안 오스테나이트화 한후 350°C 300°C 250°C 및 210°C의 염욕에서 1시간 동안 항온변태시켜 공냉하였다.

### 2. 실험방법

오스템퍼링 처리한 시편의 조직은 인장시편에서 채취하여 광학현미경으로 관찰하였으며 지지조직내의 베이나이트와 잔류 오스테나이트의 체적 분율은 X선 회절시험기로 측정하고 또한 인장강도와 경도시험을 하였다.

마멸시편은 Amsler type 건식로링마모시험기(일본 Shimadzu, Type 2)을 사용하여 Fig. 1과

같이 두개의 시편을 회전축의 상하에 고정시킨후 이들 시편이 회전함에 따른 마멸량을 최대압축하중과 회전수의 변화에 의하여 측정하였다. 또한 이들 시편의 조합은 상부시편은 주조한 시편으로 만들었으며 하부의 상대마멸시편은 S45C강을 열

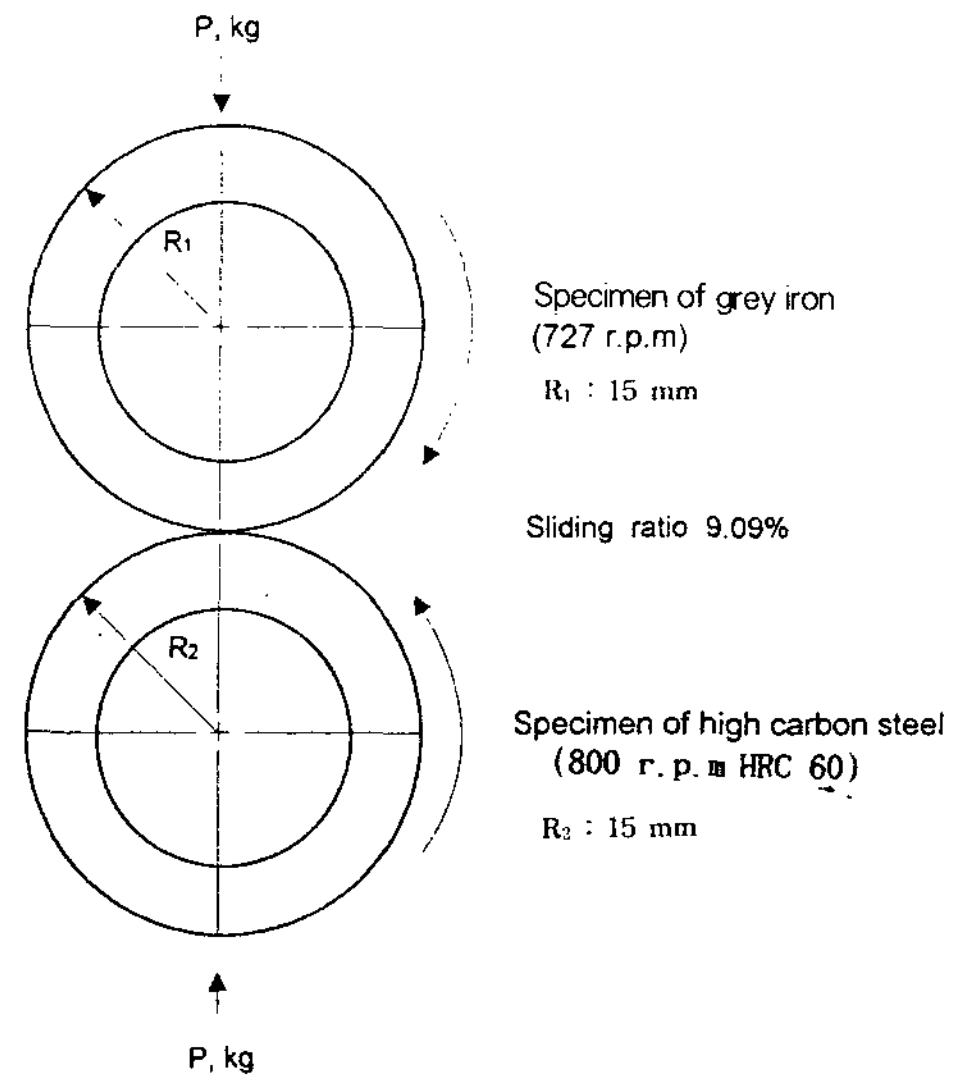


Fig. 1. Schematic representation of Amsler type wear test.

처리하여 경도값이 HRC 60 정도가 되게 하였다. 마멸시험시 상하 시편의 회전속도차이는 727rpm과 800rpm으로 9.09%의 슬립율로 하였으며 상하부 시편의 외주면이 순수 미끄럼마찰이 되게 하였으며 미끄럼 속도 0.78m/sec로 마찰시에 윤활제는 사용하지 않았다.[2] 또한 접촉하중은 30kg, 50kg, 및 70kg의 압축하중을 주어 압축하중에 따른 마멸량의 변화를 검토하였다. 접촉하중 P와 접촉면내의 최대압축응력  $\sigma_{max}$ 과의 사이에는 식(1)과 같은 관계에 있다.[1~3]

$$\sigma_{max} = 4.18 \sqrt{\frac{P \cdot E}{b} \left( \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} \right)} \quad (1)$$

여기서

$\sigma_{max}$  : Maximum compressive stress kgf/mm<sup>2</sup>

Table 1. Chemical composition of specimen(wt.%)

T.C	Si	Mn	P	S	Mo	Cu	C.E
3.26	1.7	0.83	0.04	0.06	0.28	0.79	3.78

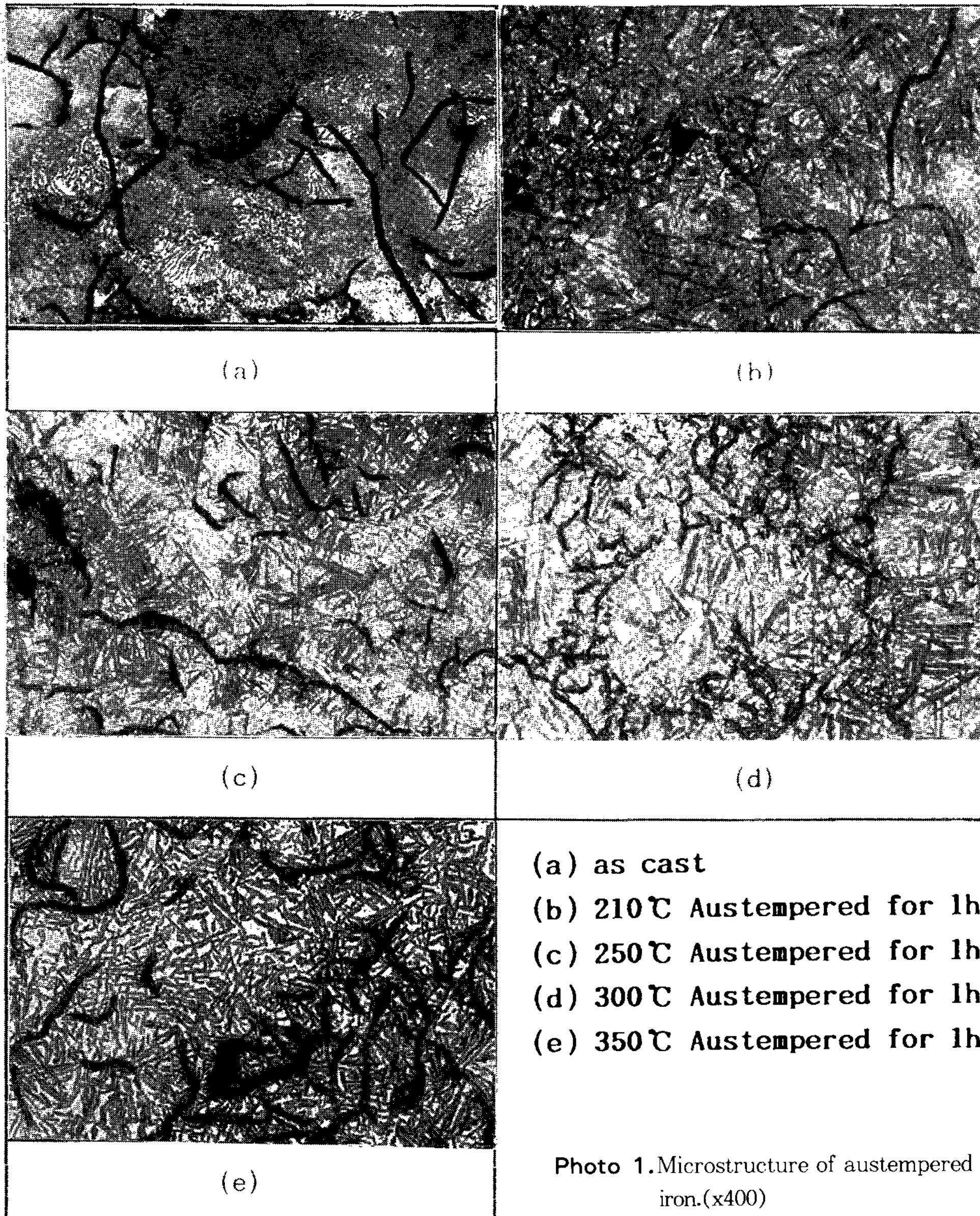
P : Load : Kg  
E : Modulus of elasticity of test specimen : 20,000kgf/mm<sup>2</sup>  
r<sub>1</sub> : Radius of upper side test specimen : 15mm  
r<sub>2</sub> : Radius of low side test specimen : 15mm  
b : Width of test specimen : 8mm

마멸시험은 마멸시험기의 상태를 관찰하면서 회전수를 최초 1×10<sup>4</sup>회전에서 매 2×10<sup>4</sup>회전씩

증가 시키면서 실시 하였으며 마멸량의 측정은 각 조건에 따라 회전이 끝난 후 마찰면에 부착된 마멸분과 부식 생성물을 제거하기 위하여 초음파 세정후 건조시켜 중량 감소량을 측정하였다.

### III. 실험 결과 및 고찰

1. 오스템퍼링 온도에 의한 조직변화  
주조한 시편의 주방상태와 오스템퍼링 처리 후



(a) as cast  
(b) 210 ℃ Austempered for 1hr.  
(c) 250 ℃ Austempered for 1hr.  
(d) 300 ℃ Austempered for 1hr.  
(e) 350 ℃ Austempered for 1hr.

Photo 1. Microstructure of austempered grey iron.(x400)



의 현미경조직을 Photo. 1에 나타내었다. 주방상태에서는 흑연 주위에 페라이트와 퍼얼라이트가 형성되었으며 Cu와 Mo가 각각 0.79%, 0.28% 함유되어 있어 퍼얼라이트가 미세하게 존재하였다. 오스템퍼링 온도 210°C에서는 마르텐사이트의 침상조직과 잔류 오스테나이트의 혼합조직을 나타내며 250°C의 경우 미세한 침상의 하부 베이나이트를 나타내었다. 또한 300°C에서는 상부 베이나이트와 하부베이나이트가 혼재되어 있으며 350°C의 경우에는 조대한 상부베이나이트와 고탄소의 잔류 오스테나이트로서 탄화물과 페라이트가 산재한 우모상 조직을 나타내었다.

2. 오스템퍼핑온도에 의한 기계적 성질변화

주방상태 및 오스템퍼링한 시편의 기계적 성질 시험결과를 Fig. 2와 Fig. 3에 나타내었다. 오스템퍼링처리에 의하여 기계적 성질이 향상되어 210°C의 낮은 오스템퍼링 온도에서 가장 높은 인장강도와 경도를 나타내며 오스템퍼링 온도가 250°C, 300°C 및 350°C의 고온으로 갈수록 인장강도와 경도는 감소하였다. 오스템퍼링 온도가 낮을수록 인장강도와 경도가 증가하는 것은 강도와 경도가 높은 하부 베이나이트와 잔류 오스테나이트량이 적은 기지조직으로 되고, 고온으로 갈수록 미세한 침상의 하부 베이나이트가 조대한

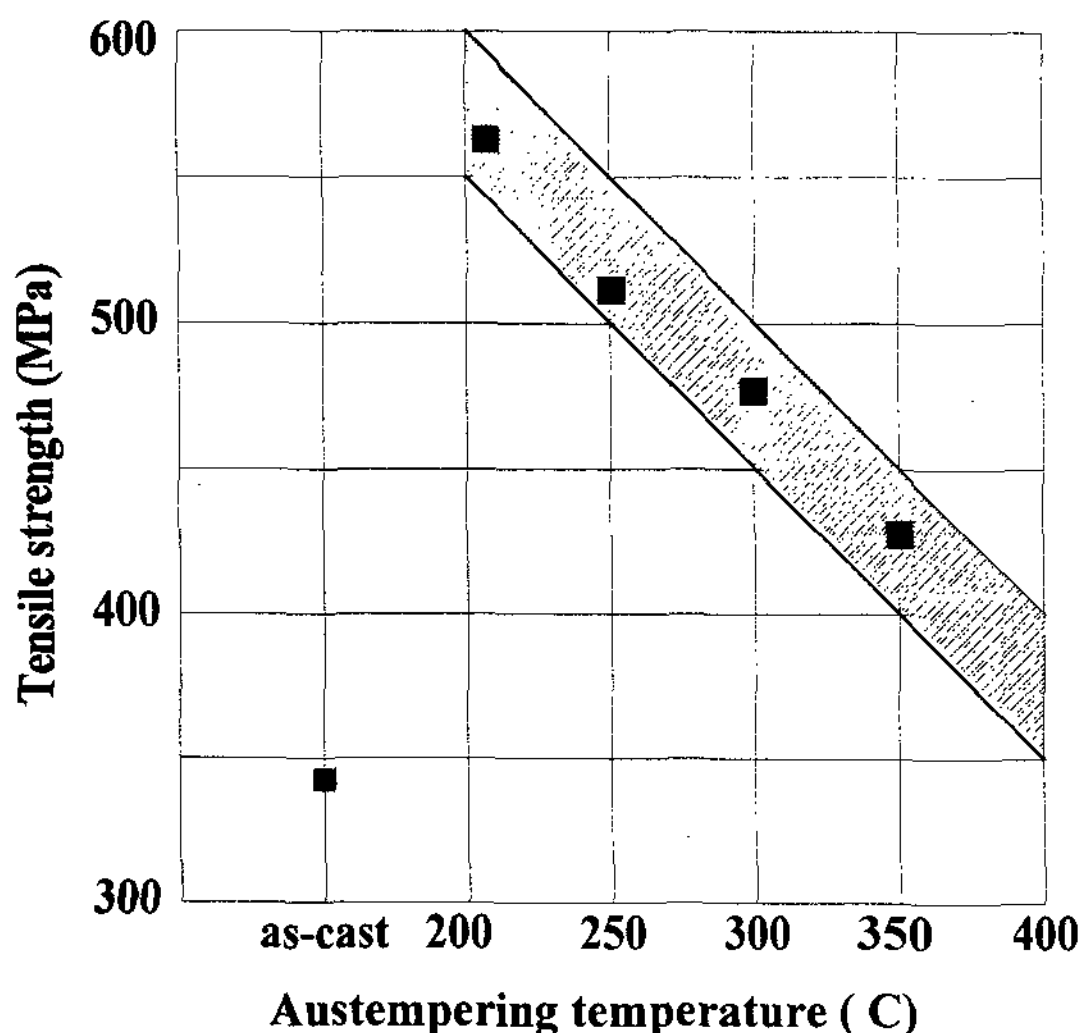


Fig. 2. Effect of austempering temperatures on tensile strength of austempered grey iron.

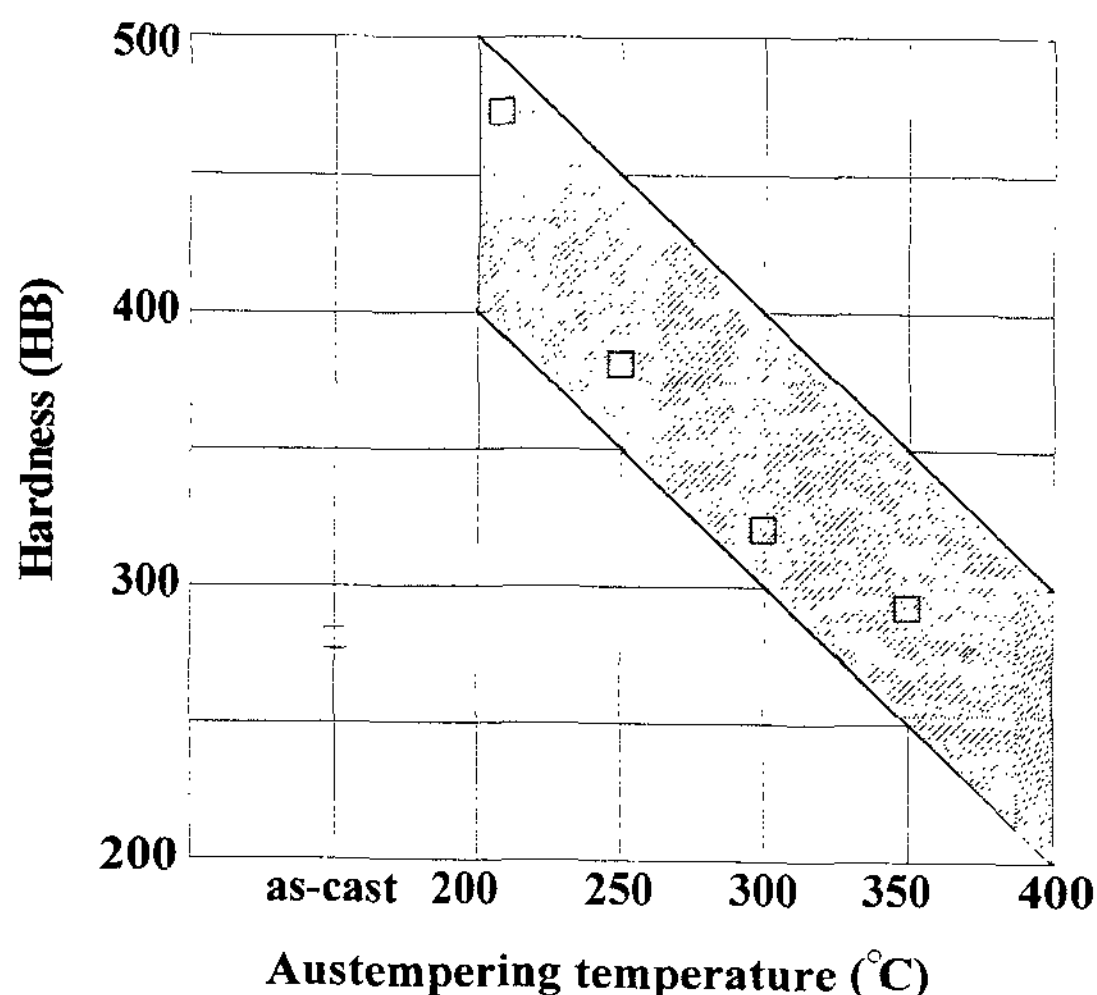


Fig. 3. Effect of austempering temperatures on hardness of austempered grey iron.

침상 또는 판상의 베이나이트로 성장하여 잔류 오스테나이트량이 증가하고 오스테나이트 혹은 베이나이트 입계에서 탄화물의 석출 때문이라 사료되었다.[6] 따라서 회주철을 오스템퍼링 처리에 의하여 기지조직을 변화시키므로써 구상흑연 주철이 갖는 수준의 기계적 성질을 얻을 수 있는 것으로 판단되었다.

3. 오스템퍼핑온도에 의한 잔류 오스테나이트량 측정

오스템퍼링 온도에 따른 X-ray시험 결과를 Fig. 4에 나타내었다. 잔류 오스테나이트량의 측정에는 Cu k<sub>α1</sub> target을 사용한 x선 회절기로 30kv 40mA에서 2°/min의 속도로 측정하여 α-Fe와 γ-Fe의 양을 식(2)의 밀러법[4]에 의하여 계산 하였다.

$$V_r = \frac{I_r R_\alpha}{I_r R_\alpha + I_\alpha R_\gamma} \quad (2)$$

- 여기서 V<sub>r</sub> : 잔류오스테나이트의 체적
- I<sub>r</sub> : 잔류오스테나이트의 성분 강도
- I<sub>α</sub> : α-Fe의 성분강도
- R<sub>α</sub> R<sub>γ</sub> : 상수

밀러법에 의하여 계산한 잔류 오스테나이트량을 Fig. 5에 나타내었다. 따라서 210°C에서는 잔

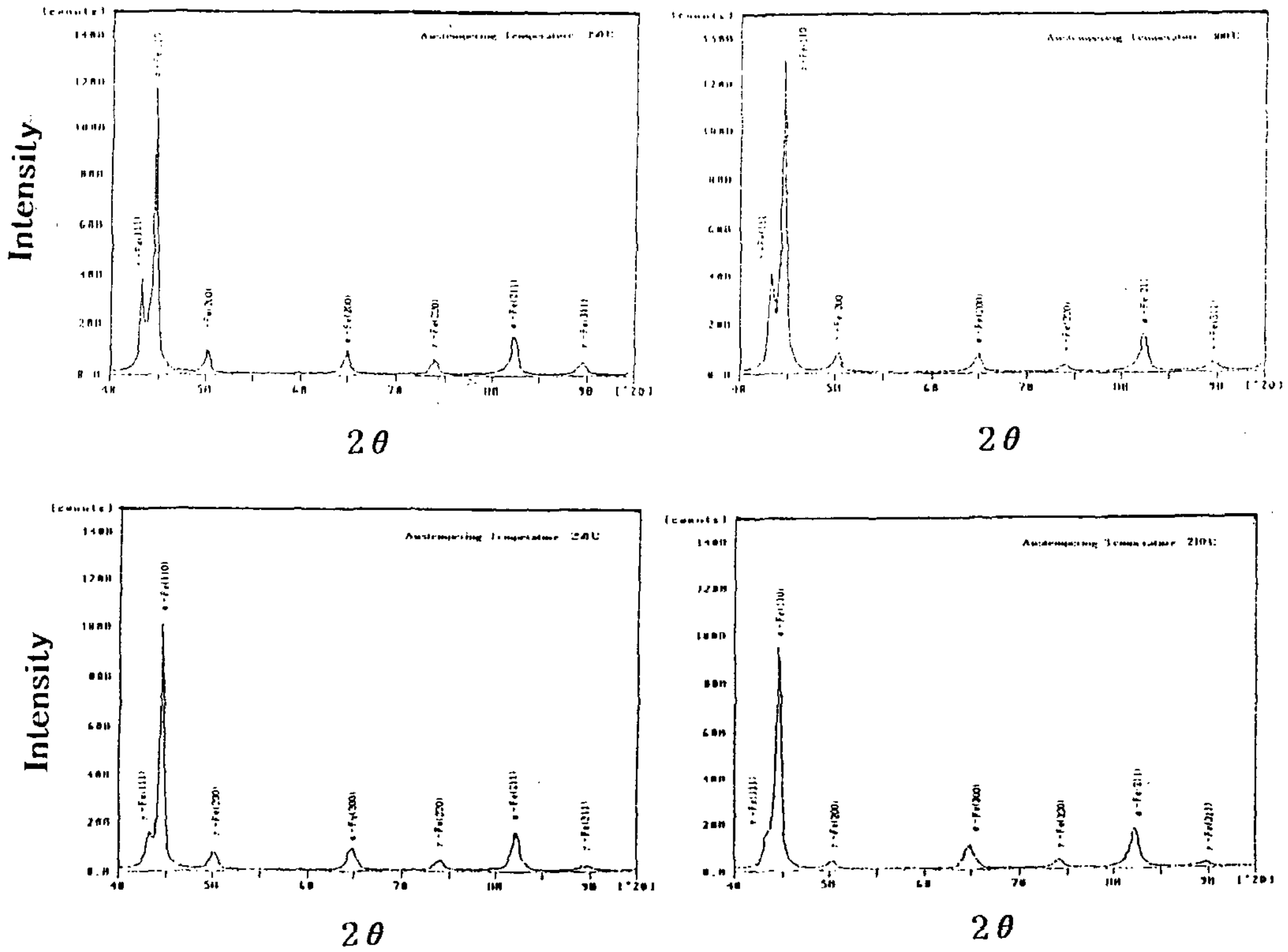


Fig. 4. Diffraction pattern of x-ray for austempered grey iron.

류오스테나이트량이 5% 미만으로 템퍼드 마르텐사이트와 비슷한 량[3]을 나타내고 있으며 오스테퍼링 온도가 상승함에 따라 잔류 오스테나이트량이 5%에서 35% 정도까지 증가하였다. 오스테퍼링 온도가 낮을수록 잔류 오스테나이트량이 감소하는 것은 핵생성은 많지만 베이나이틱

페라이트 성장속도가 느리고 탄소의 농축이 어려워 안정한 잔류 오스테나이트 형성이 어려운 것

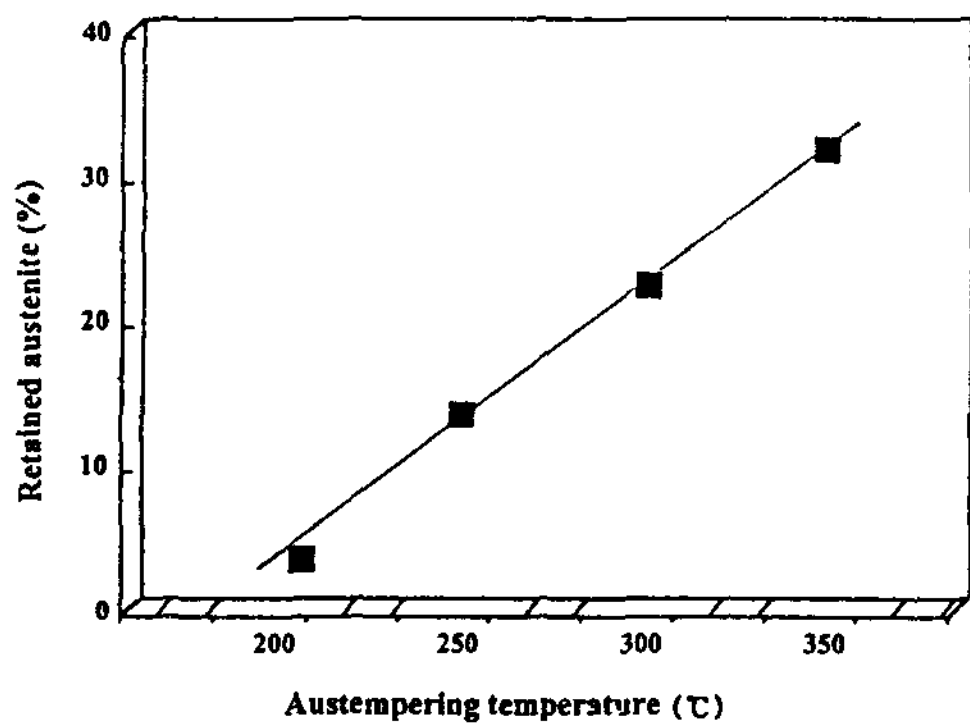


Fig. 5. Amount of retained austenite on austempering temperatures of grey iron.

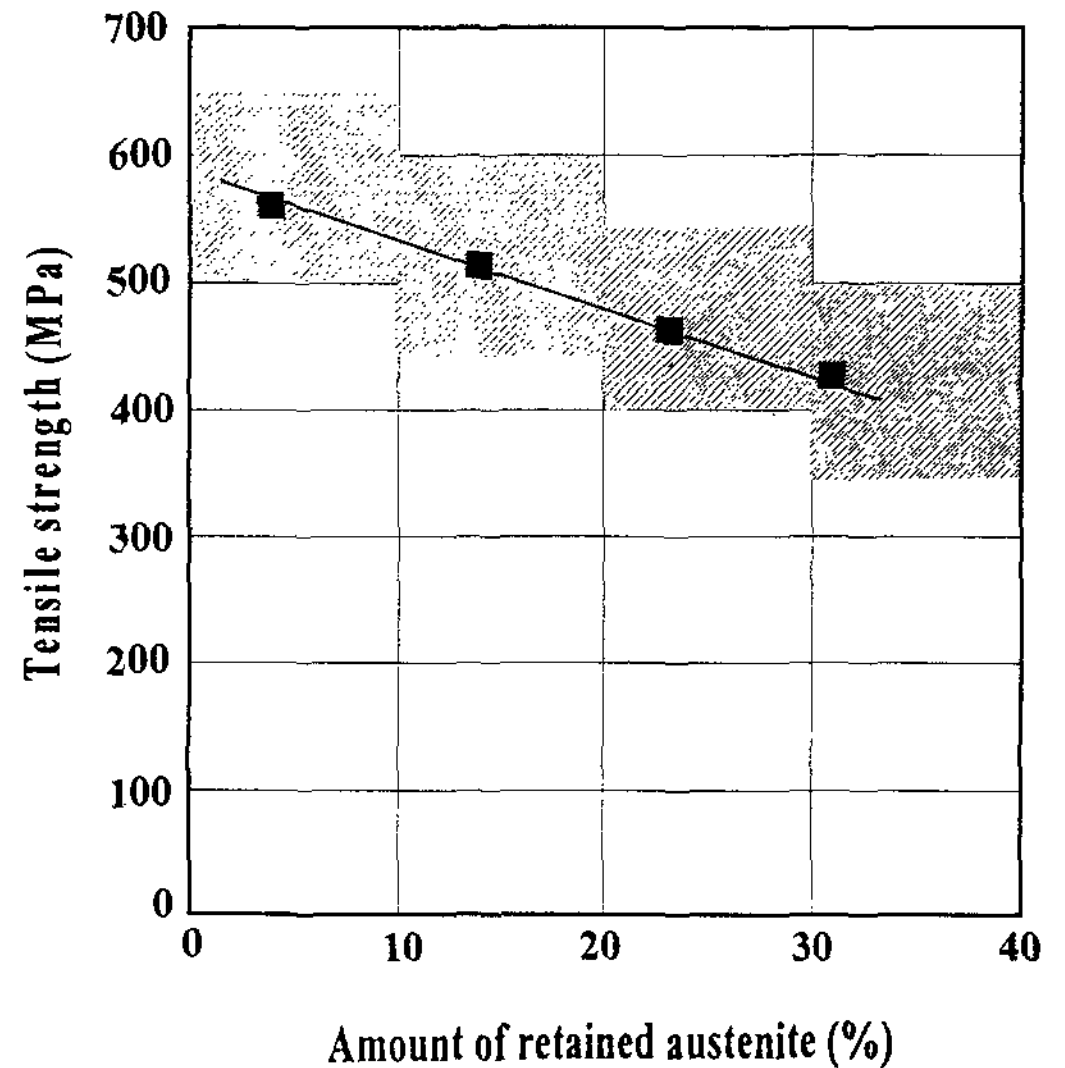


Fig. 6. Relation of amount of retained austenite and tensile strength of austempered grey iron.

으로 사료되었다.[5] 또한 잔류 오스테나이트량과 인장강도 및 경도의 관계를 Fig. 6 및 Fig. 7에 나타내었다. 잔류오스테나이트량이 증가하면 인장강도와 경도는 감소하였다. 그러므로 잔류 오스테나이트량과 기계적 성질은 일정한 비례 관계를 갖는 것으로 판단되었다.

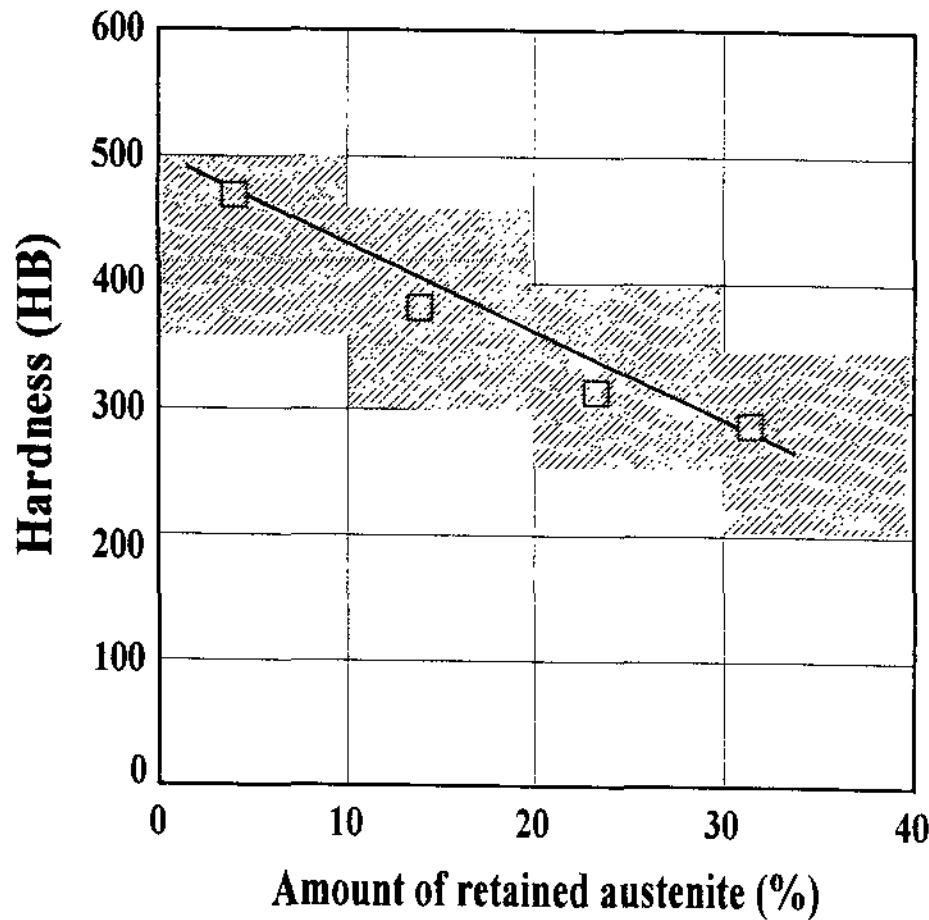


Fig. 7. Relation of amount of retained austenite and hardness of austempered grey iron.

4. 최대 압축하중과 마멸량의 관계

마멸시험은 상하시편의 미끌림 속도 0.78m/sec, 슬립을 9.09% 압축하중 30kg, 50kg 및 70kg으로 가하면서 마멸량을 조사하였다. 압축하중 P와 접촉면내의 최대응력  $\sigma_{max}$ 사이에는 식 (1)과 같은 관계식[3]이 성립하였다.

상대마멸시편의 회전수와 마멸시편의 총마멸량과의 관계를 최대압축응력  $\sigma_{max}$  42kgf/mm<sup>2</sup>, 54kgf/mm<sup>2</sup>으로 실험한 결과를 Fig. 8에서 Fig. 12까지 나타내었다. Fig. 8에서 주방상태 마멸시편은 상대마멸시편인 S45C강보다 마멸량이 많음을 알 수가 있었다. 그러나 Fig. 9에서 Fig. 12까지는 오스테퍼링 처리한 마멸시편의 마멸시험 결과로서 오스테퍼링 온도가 낮을수록 마멸량은 점점 감소함을 알 수 있었다. 한편 상대마멸시편의 마모량은 오스테퍼링 처리한 마멸시편보다 증가하여 오스테퍼링처리 마멸시편의 마멸량이 감소할수록 증가현상을 나타내었다. 또한 회전수와 최대압축하중과 마멸량의 관계에서 회전수와 최대압축하중이 증가할수록 마멸량은 급증하였다.

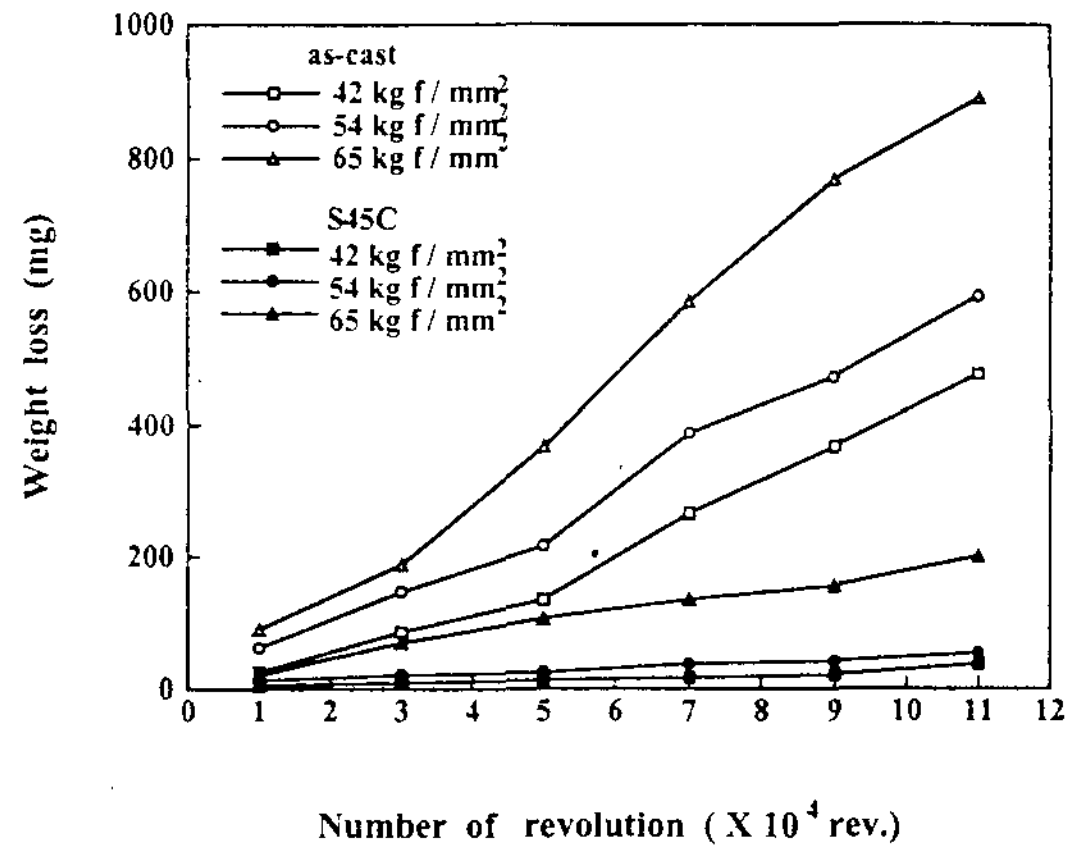


Fig. 8. Relation between weight loss and the number of revolution for various specimens of grey iron.(sliding ratio 9.09%)

따라서 마멸량의 변화는 회전수에 의하여 초기마멸이 존재하며 다음은 미끌림 마멸에 의한 응착마멸과 마멸에 미치는 인자가 복합적으로 작용하므로 마멸량이 낮은 일정한 정상마멸 현상이 있는 중간단계가 있으며 그후 회전수가 증가함에 따라 마멸면에 작용하는 반복피로응력에 의해 발생하는 균열에 의한 pitting 마멸현상으로 인하여 마멸량이 급증하는 이상마멸 현상이 발생하였다. 그러나 최대압축 하중을 65kgf/mm<sup>2</sup>의 고하중으로 가하면 미끌림마멸 및 복합마멸의 정상마멸 현상의 단계가 짧아지고 거의 모든 구간에서 로링 마멸의 이상마멸 현상이 일어나므로 마멸량

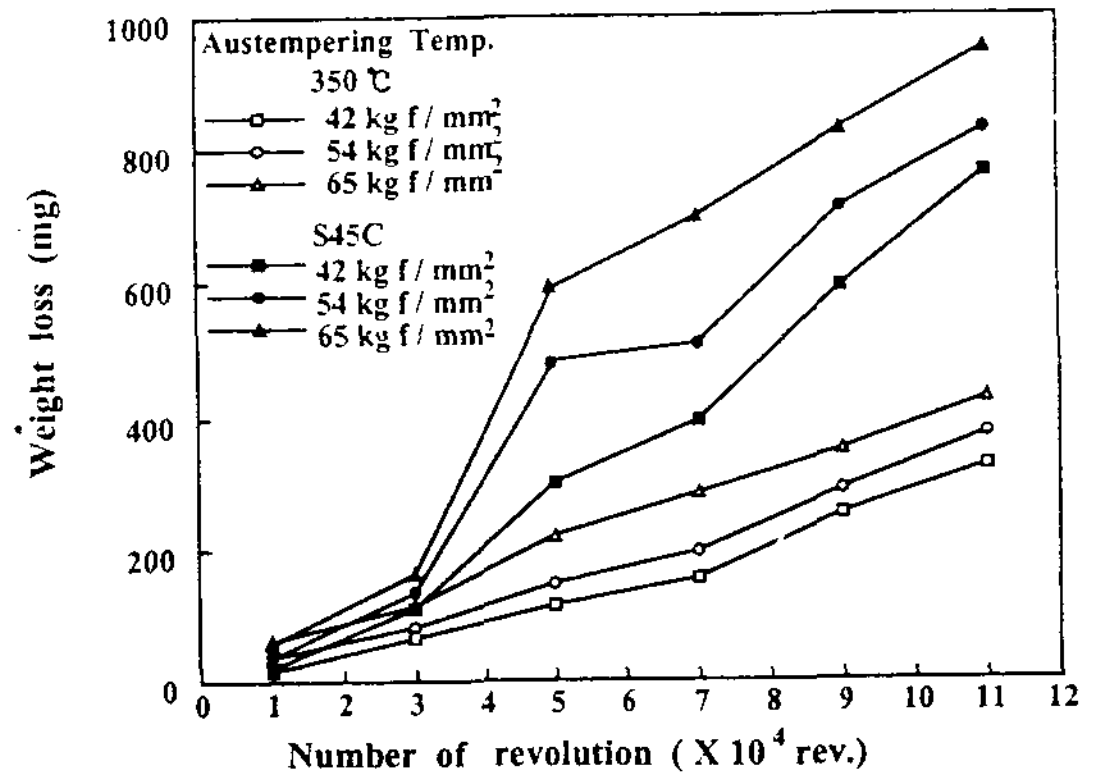


Fig. 9. Relation between weight loss and the number of revolution for various specimens of austempered grey iron.(sliding ratio 9.09%)

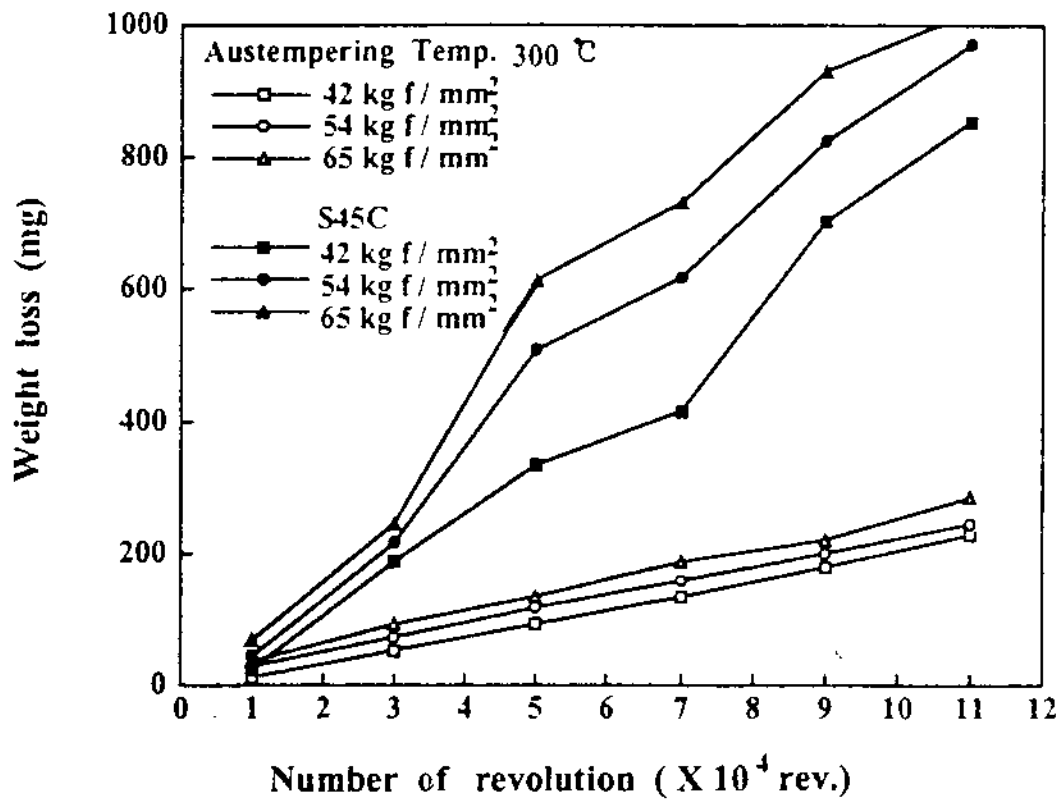


Fig. 10. Relation between loss and the number of revolution for various specimens of austempered grey iron.(sliding ratio 9.09%)

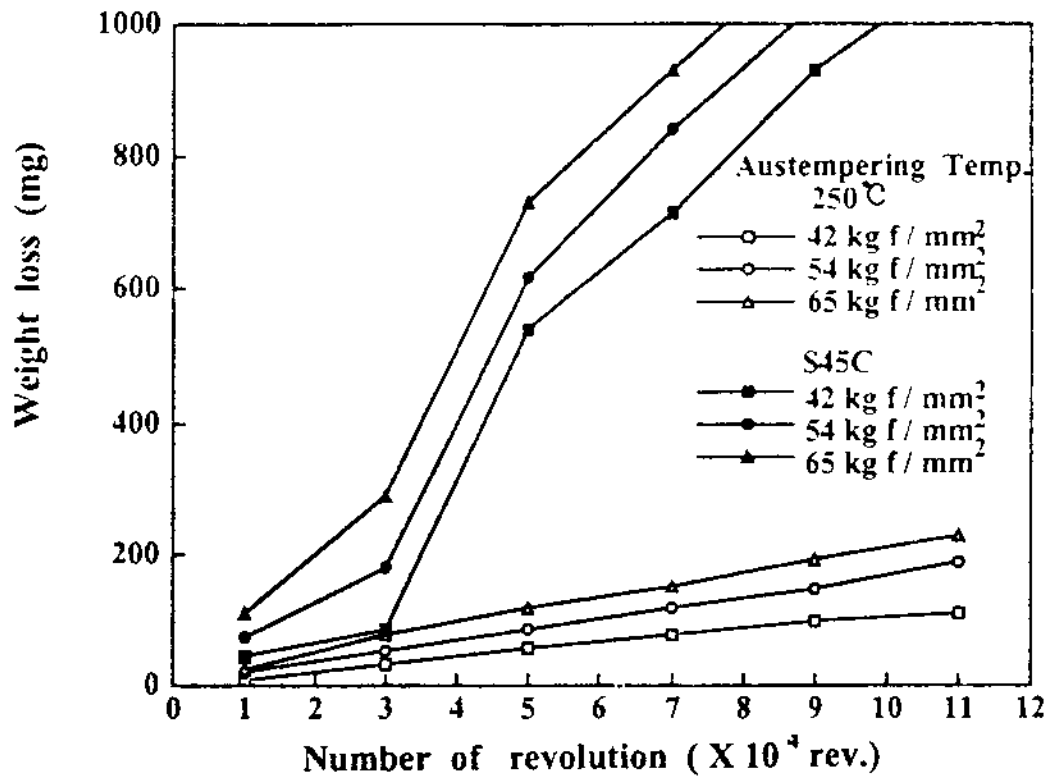


Fig. 11. Relation between weight loss and the number of revolution for various specimens of austempered grey iron.(sliding ratio 9.09%)

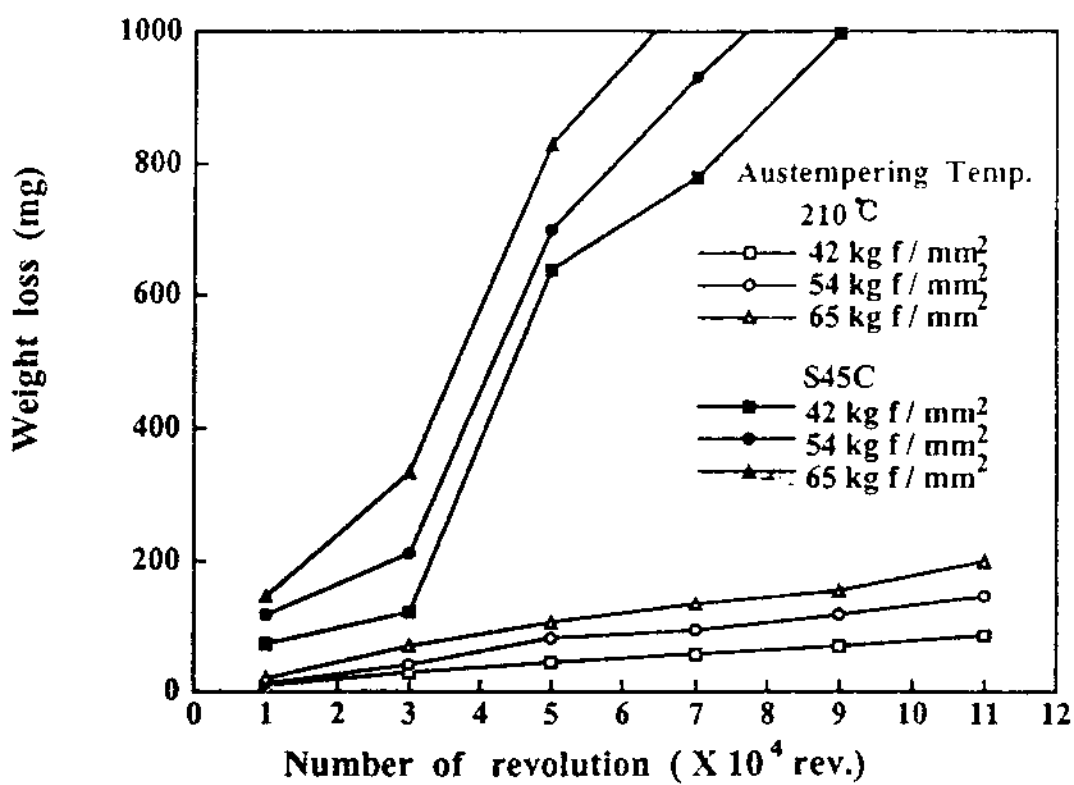


Fig. 12. Relation between weight loss and the number of revolution for various specimens of austempered grey iron.(sliding ratio 9.09%)

을 크게 나타내었다.

Photo. 2는 오스템퍼링 온도별 최대압축응력 52kgf/mm<sup>2</sup>와 5 × 10<sup>4</sup> 회전수로 마멸시험한 시편의 주사전자현미경 사진이다. a)은 주방상태로써 마멸면에 심한 pitting현상이 발생하여 마멸면이 많이 떨어져 나갔음을 볼 수가 있었다. 그러나 오스템퍼링 온도가 낮으면 마멸면에 발생하는 균열정도를 작게 나타내었다.

### 5. 마멸량에 미치는 경도의 영향

Fig. 13은 시편의 경도와 회전수에 따른 마멸량을 나타내었다. 일반적으로 경도가 마멸에 미치는 영향은 여러가지 인자들에 의해서 좌우되므로 경도가 높다고 해서 반드시 마멸량이 저하된다는 것이 아니라는 견해도 있지만 일반적으로 윤활의 유무에 관계없이 마멸량이 경도의 상승과 함께 감소하지만 건식로링마멸에서는 이러한 이론에 완전히 일치하지 않는다고 보고되고 있다. [4~7]

본 실험에서는 경도가 낮으면 마멸량이 많고 또한 마멸시험조건에 따라 마멸량의 폭도 넓으나 경도가 높으면 마멸량은 현저히 감소함을 알 수 있었으며 마멸시험조건에 의한 마멸량의 폭도 현저하게 적음을 알 수 있었다.

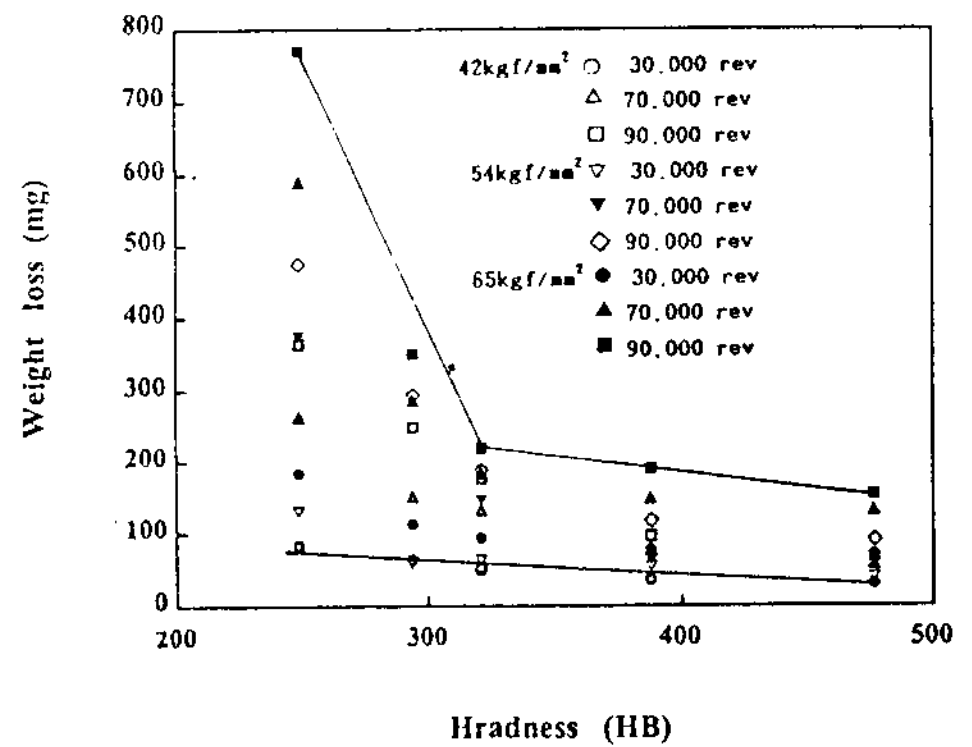
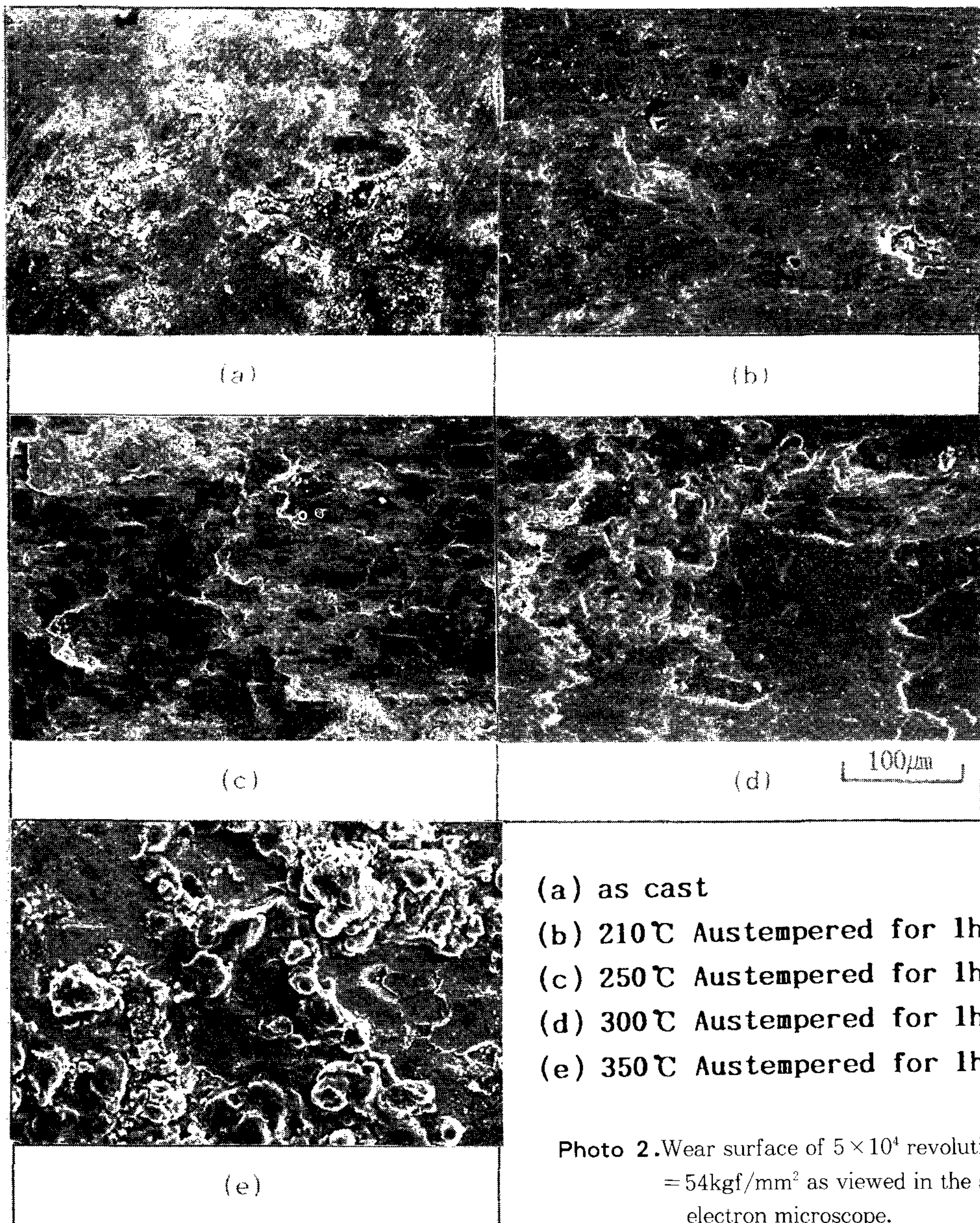


Fig. 13. Relation between weight loss and hardness (HB) for various specimens of austempered grey iron.

### 6. 잔류 오스테나이트량과 마멸량의 관계

오스템퍼링한 회주철의 잔류 오스테나이트량과 마멸량의 관계를 Fig.14에 나타내었다. 잔류





(a) as cast  
 (b) 210°C Austempered for 1hr.  
 (c) 250°C Austempered for 1hr.  
 (d) 300°C Austempered for 1hr.  
 (e) 350°C Austempered for 1hr.

Photo 2. Wear surface of  $5 \times 10^4$  revolution  $\sigma_{max} = 54\text{kgf/mm}^2$  as viewed in the scanning electron microscope.

오스테나이트량이 많을수록 마멸량은 증가하며 마멸시험 조건에 의하여 마멸량의 폭도 크게 나타내었다. 이는 기지조직이 상부베나이트인 경우에는 다량의 잔류 오스테나이트가 함유되어 있으므로 마멸량은 증가되지만 하부베나이트 조직의 경우에는 기지조직 내에 잔류 오스테나이트가 거의 없는 완전 변태가 일어나서 아주 미세한 기지조직을 형성하고 있어 마멸량은 현저하게 저하

되는 것으로 사료되었다. 그러나 마르텐사이트의 침상 조직을 갖는 경우에는 약간의 기계적 파괴 마멸만 있을 뿐 매우 단단한 기지조직이기 때문에 응착마멸은 형성되지 않고 더욱이 마멸이 진행됨에 따라 회주철의 흑연이 고체 윤활제로서 작용을 하기 때문에 마멸량은 감소하였다.[8,9]

최대압축응력  $\sigma_{max} 42\text{kgf/mm}^2, 54\text{kgf/mm}^2$  및  $65\text{kgf/mm}^2$ 으로  $11 \times 10^4$ 회전으로 마멸 시험한



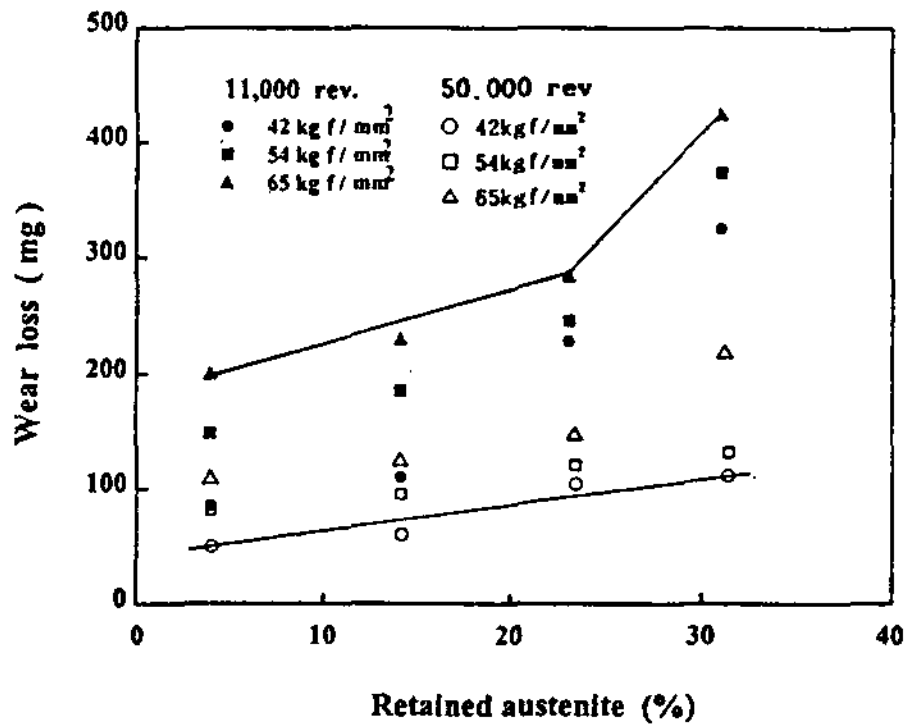


Fig. 14. Relation between amount of retained austenite and wear loss of austempered grey iron.

시편의 마멸비를 Fig. 15에 나타내었다. 주방상태인 회주철의 마멸비 1.0을 기준으로하여 각 잔류 오스테나이트량에 따른 시편의 마멸비를 나타내었다.[10] 잔류오스테나이트량이 15%미만인 경우에는 주방상태에 비하여 약 30%이하의 마멸비를 나타내었으나 잔류 오스테나이트량이 20% 이상에서는 50%로 마멸비가 다소 증가하였다. 한편 잔류 오스테나이트량이 15% 미만일 경우에는 최대압축하중이 증가할수록 마멸비는 증가하나 잔류 오스테나이트량이 20%이상일 경우에는 최대압축하중이 증가할수록 감소현상을 나타내었다.

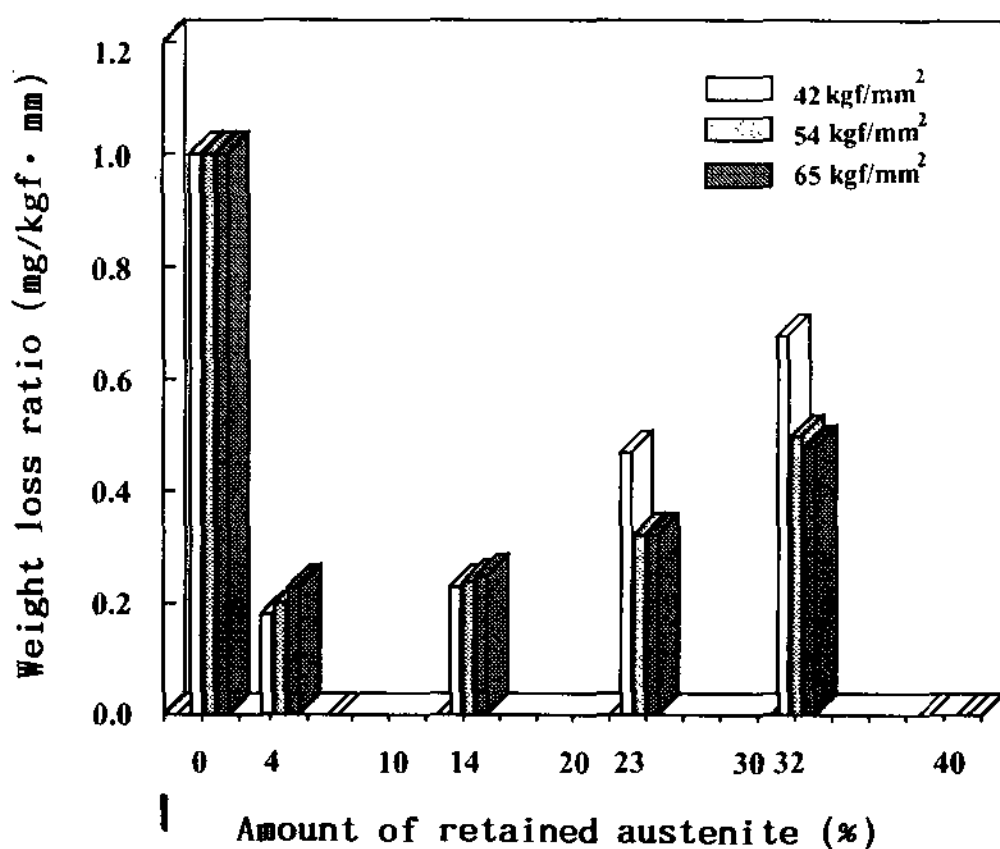


Fig. 15. Relation between weight loss ratio and amount of retained austenite of austempered grey iron at maximum compressive stress at  $11 \times 10^4$  revolution.

## V. 결론

오스템퍼링 처리한 회주철의 기계적 성질과 마멸특성에 미치는 잔류 오스테나이트량의 영향에 대하여 조사한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 회주철의 기계적성질을 오스템퍼링 처리에 의하여 향상 시킬수 있으며 오스템퍼링 온도가 낮을수록 기계적성질은 증가하여 오스템퍼링 온도 350°C에서 인장강도 439Mpa 및 경도 HB293을 얻을 수 있었다.

2. 잔류 오스테나이트량은 오스템퍼링 온도가 상승하면 증가하여 오스템퍼링 온도 210°C에서는 4%이나 350°C에서는 31%로 증가하며 잔류 오스테나이트량이 증가하면 인장강도와 경도는 감소하였다.

3. 건식로링 마멸시험에 있어서 최대압축응력과 회전수가 증가할수록 마멸량은 증가하며 마멸 현상은 초기마멸, 정상마멸 및 이상마멸로 구분되었다.

4. 인장강도와 경도가 증가하고 또한 잔류 오스테나이트량이 적으면 마멸시험조건에 관계없이 마멸량의 폭도 감소하였다.

5. 오스템퍼링 처리를하면 주방상태와 비교하여 50%이하로 마멸비는 감소하며 오스템퍼링 온도가 낮을수록 마멸비는 감소하였다.

## 후 기

본 논문은 1993년도 동아대학교 학술연구조성비(공모과제)에 의하여 연구되었으며 이에 감사드립니다.

## 참 고 문 헌

- [1] 김창규, 이성열, 최창욱 : 주조 12(1992) 442
- [2] 김윤복, 김창규, 최창욱 : 주조 10(1990) 237
- [3] 김윤복, 김창규, 최창욱 : 주조 10(1990) 239
- [4] B. D. Cullity : Elements of x-ray diffraction, third printing. (1967) 107-136
- [5] 김덕률, 천병욱, 김창규, 최창욱 : 주조 13 (1990)6

- [ 6 ] M. Johansson : "Properties and Applications of Austempered Austentic Bainite and Ductile Cast Iron" 45th International Foundry Congress, Budapest, (1978) 22.
- [ 7 ] 일본주물협회발행 : 주물분과 위원회 보고서, 5(1984)
- [ 8 ] Richard B. Gundlach and Jay F. Jonowak : Metal progress, 5(1985) 92
- [ 9 ] R. A. Haroing and G. N. J. gilbert : The British Foundryman, 18(1986) 8
- [10] A. D. Lamb : The British Foundryman, 69 (1976) 279