

.....  
 論 · 文  
 .....

## 오스템퍼드 구상흑연주철의 마멸 특성에 미치는 잔류 오스테나이트의 영향에 관한 연구

김홍범, 주도재, 최창욱

### Effect of the Retained Austenite Content on the Wear Resistance of Austempered Ductile Iron

Hong-Beom Kim, Do-Jae Joo, and Chang-Ock Choi

#### Abstract

Austempered ductile irons(ADI) are characterized by their relatively high retained austenite content which has a significant effect on mechanical properties and performance, such as ductility, toughness, wear resistance and machinability.

Austenitising treatment at 900°C for 1~2hours, and austempering treatment within the temperature range 240~400°C on ductile cast iron alloyed with Cu and Mo were carried out, and the effects of retained austenite content on the mechanical properties and wear resistance were investigated.

In consequence, the amount of retained austenite was found to be 13.5% at the austempering temperature of 240°C, and was increased 28% at 400°C. Tensile strength and hardness of austempered ductile iron were decreased as the retained austenite content increased, but elongation was increased. The retained austenite content at the austenitising time of 2hours was more than at 1hour. The amounts of rolling wear loss were increased as the retained austenite content increased, and the wear surface was become to be rough.

(Received July 15, 1996)

#### 1. 서 론

주철은 강에 비해 용융점이 낮고 유동성이 좋으며 수축율이 적어 정확한 치수의 주물을 얻을 뿐만 아니라 특히, 기계 가공성이 우수하고 경제적이므로 주강품이나 단조품의 대체 재료로 널리 이용되고 있다[1-4]. 그러나 보다 강인한 주철 재료의 요구가 증가됨에 따라 구상흑연주철의 강인화[5-7]에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.

이는 구상흑연주철에 Ni, Mo, Cu[8] 등의 합금 원소를 첨가하여 항온 변태 곡선을 우측으로 이동시킴으로써 용이하게 변태 조직을 얻는 방법

[9]과, 또 다른 방법은 구상흑연주철을 균일하게 오스템퍼링한 후 Ms직상으로 급냉하여 항온 변태시켜 기지 조직을 상부 또는 하부 베이나이트로 하여 강인화하는 열처리에 의한 것이다. 이와 같이 열처리에 의하여 제조한 오스템퍼드 구상흑연주철[10]은 높은 강도와 연신율, 우수한 내마멸성과 내충격성 및 내식성 등 합금강에 필적할 만한 기계적 성질을 가지며 또한 열처리 후 형상이나 치수의 변화가 거의 없어 자동차 부품이나 기계 구조용 부품 등의 소재로서 그 사용이 증가할 전망이다[11]. 이들 중 특히 내마멸성은 실린더 헤드, 실린더 라이너 또는 브레이크 디스크등에 응용되는 중요한 성질로서 일반적으로 구상흑

연주철의 기지조직 및 흑연의 형상에 의해 차이가 나타나는데 합금 원소를 첨가한 강인화나 열처리에 의한 조직 변화의 강인화에 의하여 내멸성을 향상시킬수 있는 것으로 보고되고 있다[12, 13]. 이러한 기계적 성질은 오스템퍼링 후의 기지 조직, 즉 잔류 오스테나이트량과 매우 밀접한 관계를 가지고 있는 것으로 발표[14,15]되고 있으나 잔류 오스테나이트의 정량적인 분석치와의 연관성에 대한 연구는 다소 미흡한 것으로 조사되었다. 따라서 본 연구에서는 합금 원소로 Mo, Cu를 소량 첨가한, 구상흑연주철을 주조하여 오스템퍼링 열처리를 실시한 후 전식 로링 마멸 시험을 통하여 마멸 특성에 미치는 잔류 오스테나이트 조직의 영향을 조사하였다.

## 2. 실험방법

### 2.1 시험편 제작

본 실험에 사용한 구상흑연주철은 용량 15kg의 고주파 유도 용해로(부리전기공업 주식회사제)에서 선철(Sorel Metal), 강고철과, 회수철을 용해한 후 Fe-Mo(30%), 전기동(99.9%), Fe-Si, Fe-Mn 및 가탄제를 장입하여 목표 성분의 조성으로 용해한 후 출탕하여 Fe-Si-5%Mg 합금으로 샌드위치법에 의하여 구상화 처리하고 Fe-Si계 접종제로 후접종하여 Y-Block형(KSD 4302 A호) 시험편을 CO<sub>2</sub>주형에 주입 제조하였다. 주조한 시험편의 화학 조성은 Table 1에 나타내었다.

주조한 Y 블록형 시험편의 하부를 절단하여 인장 및 마멸 시험편으로 가공한 다음 900°C의 염욕에서 1시간과 2시간동안 오스테나이트화 한 후 240°C, 280°C, 320°C, 360°C 및 400°C의 염욕에서 각각 1시간 동안 오스템퍼링 처리를 하였다.

### 2.2 실험방법

현미경 조직은 인장 시험편에서 시료를 채취하여 관찰하였다. 또한 기지 조직내의 베이나이트

와 잔류 오스테나이트의 체적 분율의 측정은 X-선 회절기에 의해 측정하여 α-Fe와 γ-Fe의 양을 밀러법으로 계산하여 구하였다. 기계적 성질은 만능 재료 시험기에 의해 인장 강도와 연신율을 측정하였고 또한 브리넬 경도를 측정하였다. 마멸 시험은 Amsler type 전식 로링 시험기를 사용하여, 상하 시험편의 조합[9]은 상부 시험편은 본 실험에서 제작한 시험편이며 하부 시험편은 상대 마멸시험편으로 S45C강을 열처리하여 H<sub>R</sub>C 55로 만들었다. 상하 시험편의 회전 속도 차이는 각각 727rpm과 800rpm으로 9.09%의 슬립율로 하였다. 상하부 시험편의 미끄럼 마찰속도는 0.75 m/sec며 마찰시에 윤활제는 사용치 않았다. 접촉 하중은 42kg, 54kg 및 65kg으로 하여 압축 하중에 따른 마멸량의 변화를 조사하였으며 회전수는 초기 10<sup>4</sup>회전에서 매 2×10<sup>4</sup>회전씩 증가시켜 각 조건에 따라 회전이 끝난 후 마찰면에 부착된 마멸분이나 부식 생성물을 제거하여 중량 감소량을 측정하였다.

접촉 하중 P와 접촉면내의 최대압축응력 σ<sub>max</sub>과의 사이에는 다음 식(1)과 같은 관계식이 성립된다[19].

$$\sigma_{max} = 0.418 \sqrt{\frac{P \cdot E}{b} \left( \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} \right)} \quad (1)$$

- 여기서 σ<sub>max</sub> : Maximum compressive stress : kgf/mm<sup>2</sup>  
 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 lower side test specimen : 15mm  
 b : Width of test specimen : 8mm

## 3. 실험결과 및 고찰

### 3.1 오스템퍼링에 의한 조직 변화

Photo. 1 (a)에 나타낸 바와 같이 주조한 시

Table 1. Chemical composition of ductile cast iron specimens.(wt.%)

C	Si	Mn	P	S	Cu	Mo	Mg	CE
3.55	2.58	0.25	0.02	0.01	0.53	0.25	0.04	4.42



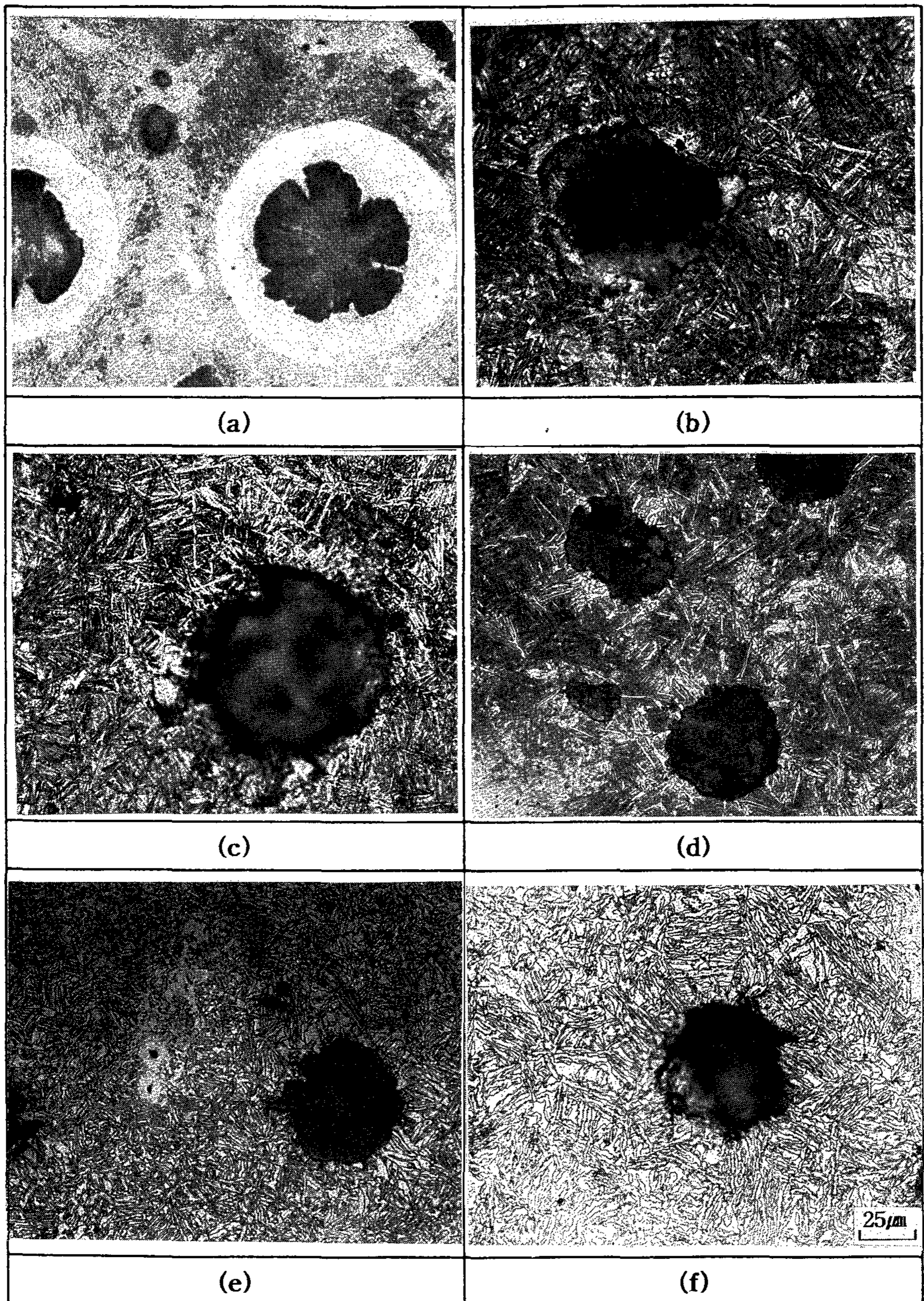


Photo. 1. Microstructures of austempered ductile iron, austenitising treatment at 900°C for 1hr.  
(a) as-cast (b) 240°C, austempered for 1hr. (c) 280°C, austempered for 1hr.  
(d) 320°C, austempered for 1hr. (e) 360°C, austempered for 1hr. (f) 400°C, austempered for 1hr.

Table 2. Structure analysis of ductile cast iron.

Pearlite (%)	Ferrite (%)	Nodularity (%)	Average diameter of graphite nodule( $\mu\text{m}$ )	Number of graphite nodule( $\#/\text{mm}^3$ )
65.37	20.45	85	35.9	120

험편의 주방상태의 조직 분석 결과를 Table 2에 표시하였다.

주조한 구상흑연주철의 구상화율은 85%이고 흑연 입자는 균일하게 분포되어 있으며 흑연 주위에 페라이트와 퍼얼라이트가 존재하는 전형적인 bull's eye 조직으로서 퍼얼라이트량이 페라이트량보다 훨씬 많기때문에 균일한 오스테나이트화가 되기 위한 시간은 대체로 짧은 편이다. 이는 흑연으로부터 많은 양의 탄소를 받아 균일한 오스테나이트로 되는 페라이트량이 많은 경우에 비해 퍼얼라이트 내의 시멘타이트 층에서 탄소의 석출이 일어나 균일한 오스테나이트로 되는 것이 빠르기 때문인 것으로 사료되었다.

구상흑연주철의 경우 오스템퍼링 처리에 있어서 오스테나이트화를 위한 온도와 시간은 재료 성분에 따라 다르지만 일반적으로 850~900°C가 적당하다고 알려져 있다[16]. 다만 낮은 오스테나이트화 온도는 탄소량이 균일화될 때까지 장시간을 요하고 높은 오스테나이트화 온도는 기지 내의 탄소량을 증가[17]시켜 오스템퍼링 반응을 지연[18]시키고 오스테나이트 결정립의 조대화로 기계적 성질이 저하하는 것으로 알려져 있으며 본 연구에서는 오스템퍼링 후 잔류 오스테나이트량을 보다 정밀한 측정을 위해 900°C로 가열하여 오스테나이트화 유지시간을 각각 1시간과 2시간으로 하였다.

주조한 구상흑연주철을 900°C에서 1시간 동안 오스테나이트화한 후 오스템퍼링 처리한 온도별 조직을 Photo. 1에 나타내었다. 오스템퍼링 온도 240°C의 경우 마르텐사이트의 침상 조직과 소량의 잔류 오스테나이트가 혼합된 조직을 나타내었으며 280°C에서는 전형적인 하부 베이나이트와 잔류 오스테나이트로 형성하였으며 320°C에서는 침상의 하부 베이나이트와 상부 베이나이트 및 잔류 오스테나이트의 조직으로 되었다. 또한 360°C에서는 소량의 하부 베이나이트와 상부 베이나이트 및 잔류 오스테나이트의 혼합조직이었고 400°C에서는 조대한 상부 베이나이트와 잔

류 오스테나이트의 혼합 조직으로 관찰되었다.

항온 변태 열처리에서 오스테나이트에서 베이나이트의 변태는 2단계 반응으로, 첫 번째 단계는 오스테나이트가 베이나이트와 고탄소의 오스테나이트로 분해되는 과정이고 두번째 단계는 고탄소의 오스테나이트가 페라이트와 탄화물로 분해되는 과정이다. 따라서 오스템퍼링 온도가 360°C나 400°C와 같이 높아지면 다량의 탄소가 베이나이트 페라이트와 페라이트 사이의 오스테나이트로 확산함으로서 오스테나이트는 고탄소의 오스테나이트로 변하여 안정화되며, 특히 오스테나이트화 시간을 2시간으로 하면 결정립의 조대화를 유발하게 되며 조대한 오스테나이트의 결정립은 핵생성 위치를 작게하고 베이나이트판을 길게 생성시킬 조건을 부여하므로 다소 조대한 베이나이트를 생성시키므로 잔류 오스테나이트 량도 증가하는 것으로 사료되었다.

오스템퍼링 온도 240°C나 280°C와 같이 저온일수록 냉각 속도가 빨라 베이나이트 페라이트의 핵생성 속도는 느리나 핵생성 숫자가 많기 때문에 베이나이트 페라이트의 모양은 날카롭고 치밀하게 되고 잔류 오스테나이트는 소량으로 잔류하게 된다. 반면, 오스템퍼링 온도가 상승하면 베이나이트 페라이트 판이 짧아져 등축 모양으로 되며 베이나이트와 오스테나이트의 간격은 점점 증가하게 되어 조대한 베이나이트 lath가 생성함을 알 수 있었다. 이는 고온으로 갈수록 탄소의 확산 속도가 커지므로 탄소가 베이나이트 lath간의 오스테나이트로 빠르게 확산되므로 안정한 고탄소의 오스테나이트를 형성할 때까지 성장하기 때문에 끝이 둥근 베이나이트로 형성되며 동시에 잔류 오스테나이트량이 증가하는 것으로 사료되었다.

### 3.2 잔류 오스테나이트량에 의한 기계적 성질의 변화

잔류 오스테나이트량의 측정은 Cu  $k\alpha$  target을 사용한 X선 회절기로 측정하여  $\alpha$ -Fe와  $\gamma$ -



Fe의 양을 밀러법으로 식 (2)에 의해 계산하였다.

$$V_\gamma = I_\gamma R_\alpha / I_\gamma R_\alpha + I_\alpha R_\gamma \quad (2)$$

여기서  $V_\gamma$  : 잔류 오스테나이트의 체적

$I_\gamma$  : 잔류 오스테나이트의 성분 강도

$I_\alpha$  :  $\alpha$ -Fe의 성분 강도

$R_\alpha, R_\gamma$  : 상수

X-ray 시험 결과를 밀러법에 의해 계산한 잔류 오스테나이트량을 Fig. 1에 나타내었다. 잔류 오스테나이트량은 오스테나이트화 시간을 2시간으로 하였을 때 다소 많았으며 오스템퍼링 온도가 높아질수록 증가하여 오스템퍼링 온도 240℃ 일 때 13.5%이나 400℃로 상승하면 28%로 증가하였다.

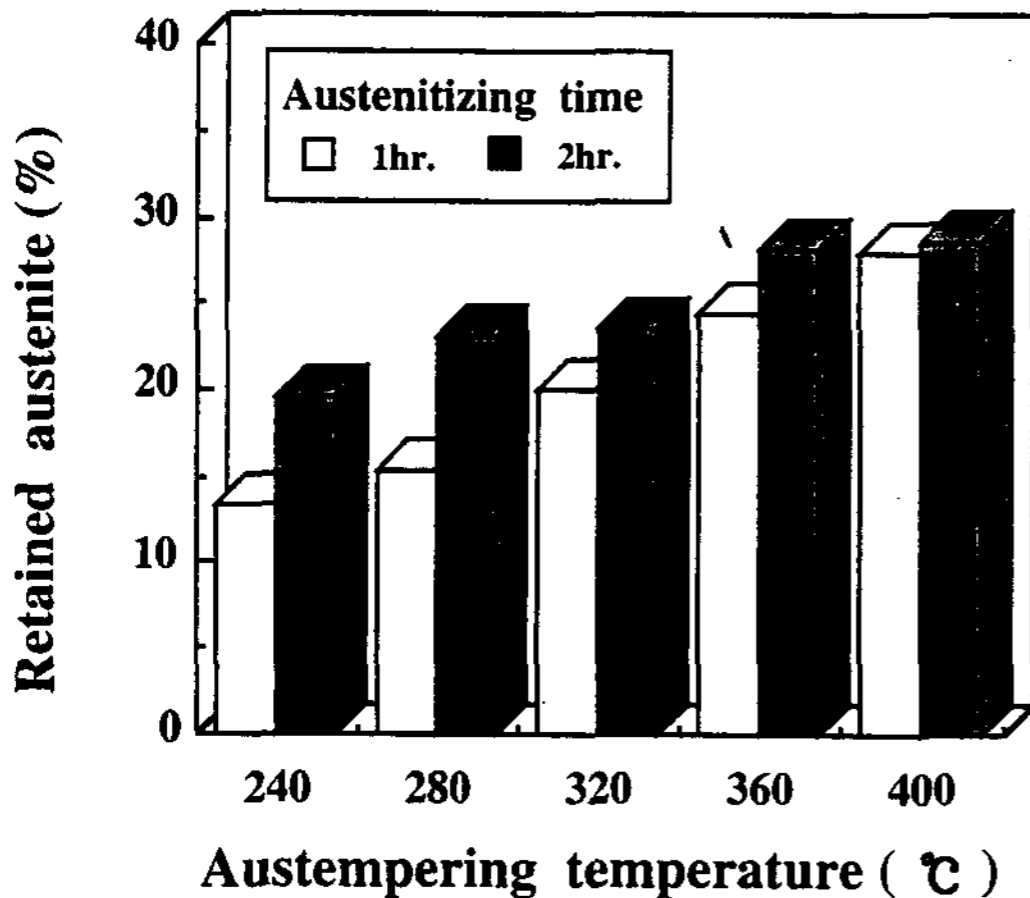


Fig. 1. Relationship between amount of retained austenite and austempering temperatures for austempered ductile iron.

한편 잔류 오스테나이트량과 인장강도와의 관계를 Fig. 2에 나타내었다. 구상흑연주철의 주방 상태의 인장 강도는 60kgf/mm<sup>2</sup>이었으나 이를 오스템퍼링 처리하면 240℃에서 140kgf/mm<sup>2</sup>으로 증가하였으나 오스템퍼링 온도가 상승하면 인장 강도는 감소하였다. 또한 오스테나이트화 시간이 길어지면 인장 강도는 감소하였다. 이는 오스테나이트화 시간이 길어지면 많은 량의 탄소가 오스테나이트 내로 용해하여 오스템퍼링 후 안정한 연성의 잔류 오스테나이트량이 증가하기 때문인 것으로 추정되었다. 따라서 오스템퍼링 온도가 상승하여 잔류 오스테나이트량이 증가하면 인

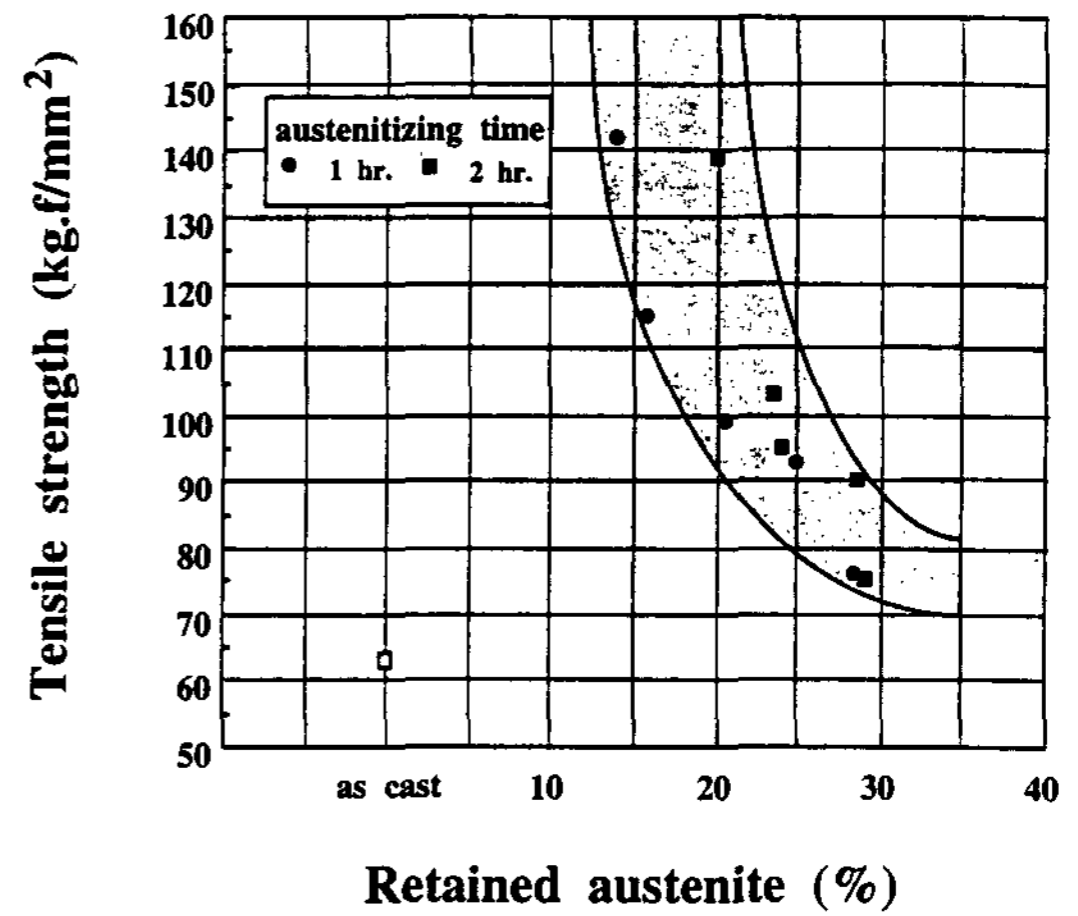


Fig. 2. Relationship between amount of retained austenite and tensile strength for austempered ductile iron.

장 강도는 감소하는 것으로 이는 오스템퍼링 온도가 상승하면 탄소가 안정한 오스테나이트 내로 많이 확산함으로써 베이나이트의 성장을 방해하여 상부 베이나이트가 둔화된 우모상으로 나타나 연성의 잔류 오스테나이트량이 증가하기 때문인 것으로 사료되었다.

잔류 오스테나이트량과 연신율의 관계를 Fig. 3에 나타내었다. 주방 상태에서는 연신율이 4% 정도였으나 240℃에서 오스템퍼링 하면 2%로 감소하였다. 따라서 오스템퍼링 온도가 상승하면 연신율은 증가하여 400℃에서는 6~7%로 나타내었다. 그러므로 잔류 오스테나이트량이 증가하면 연신율도 증가하였다. Fig. 4는 잔류 오스테나이트량과 브리넬 경도와의 관계를 나타내었다. 주방 상태에서는 H<sub>B</sub> 450정도로 증가하였으나 오스템퍼링 온도가 상승하여 잔류 오스테나이트량이 증가하면 경도는 감소하는 경향을 나타내었다.

### 3.3 최대 압축 응력과 마멸량과의 관계

마멸 시험은 상하 시험편의 미끄럼 속도 0.78m/sec, 슬립율 9.09%, 최대 압축 하중을 42kg, 54kg 및 65kg으로 가하면서 마멸량을 조사하였다.

Fig. 5 및 Fig. 6은 회전수와 마멸량의 관계를 주방 상태와 잔류 오스테나이트량 15.3% 일 때 최대 압축 응력 42kgf/mm<sup>2</sup>, 54kgf/mm<sup>2</sup> 및 65kgf/mm<sup>2</sup>에 의한 상대 마멸 시험편과 비교하

여 나타내었다. 주방 상태 시험편에서는 상대 마멸 시험편인 S45C 탄소강 보다 마멸량이 많았으나 구상흑연주철을 오스템퍼링 처리를 하면 강인화로 인하여 마멸량은 감소하였다. 즉, 잔류 오스테나이트량이 감소하면 오스템퍼드 구상흑연주철의 마멸량은 감소하고 상대 마멸 시험편의 마멸량은 증가함을 알수 있었다. 또한 최대 압축 응력이 증가할수록 시험편의 마멸량은 증가하였으며 또한 회전수가 증가하면 마멸량도 크게 증가하였다.

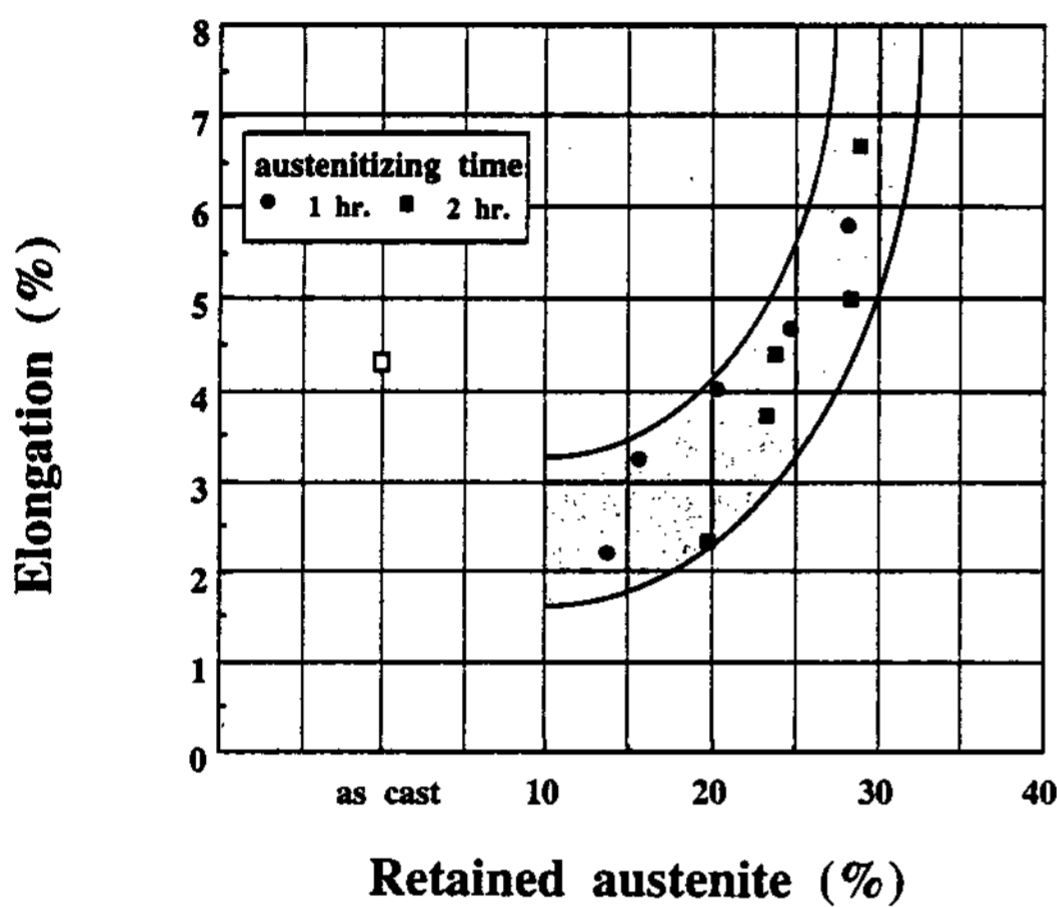


Fig. 3. Relationship between amount of retained austenite and elongation for austempered ductile iron.

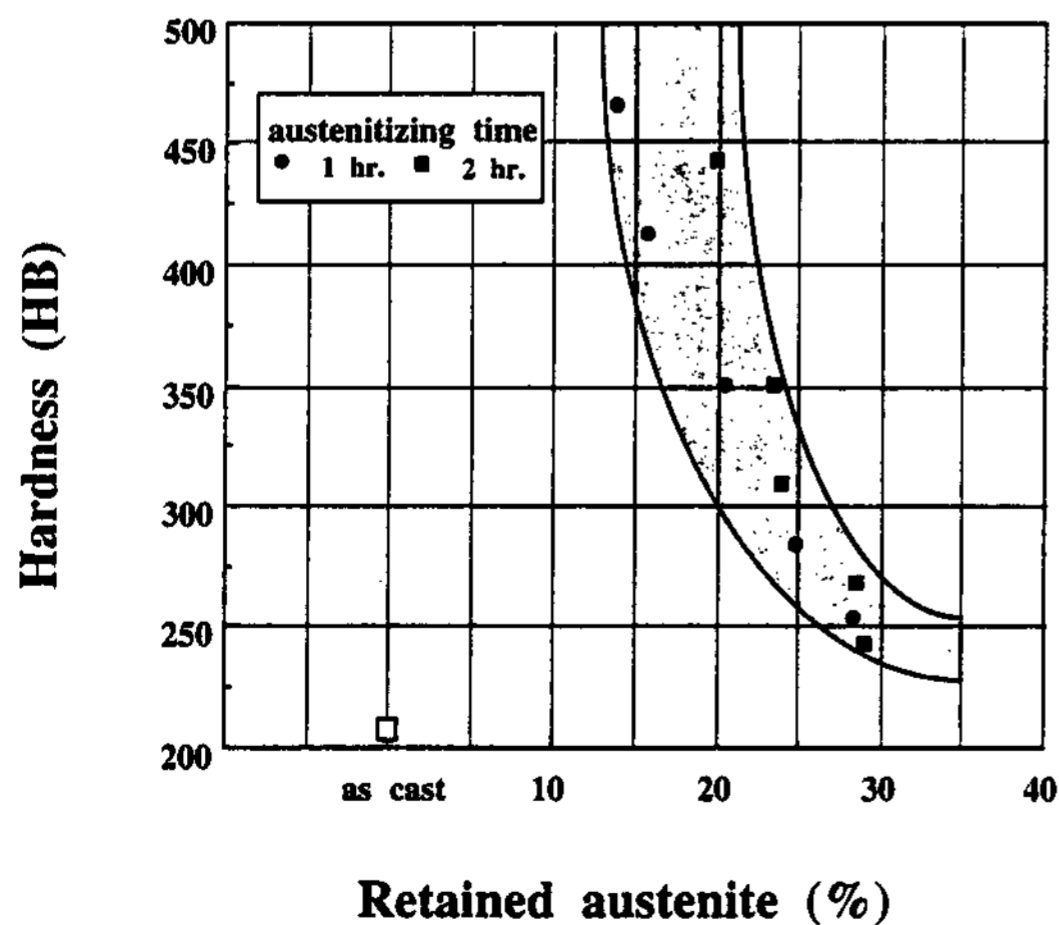


Fig. 4. Relationship between amount of retained austenite and hardness for austempered ductile iron.

최대 압축 응력을 54kgf/mm<sup>2</sup>일 때 마멸량과 회전수의 관계를 Fig. 7에 나타내었다. 회전수가 증가하면 마멸량이 증가하였다. 이는 초기에는 미끄럼 마멸에 의한 응착 마멸과 마멸에 미치는 인자가 복합적으로 작용하여 정상 마멸 현상이 나타나지 않기 때문에 마멸량이 작지만 회전수가 증가함에 따라 마멸면에 작용하는 반복 피로 응력에 의해 발생하는 균열에 의한 pitting 마멸 현상으로 인해 마멸량이 급증하는 것으로 보고되고 있다.[20]

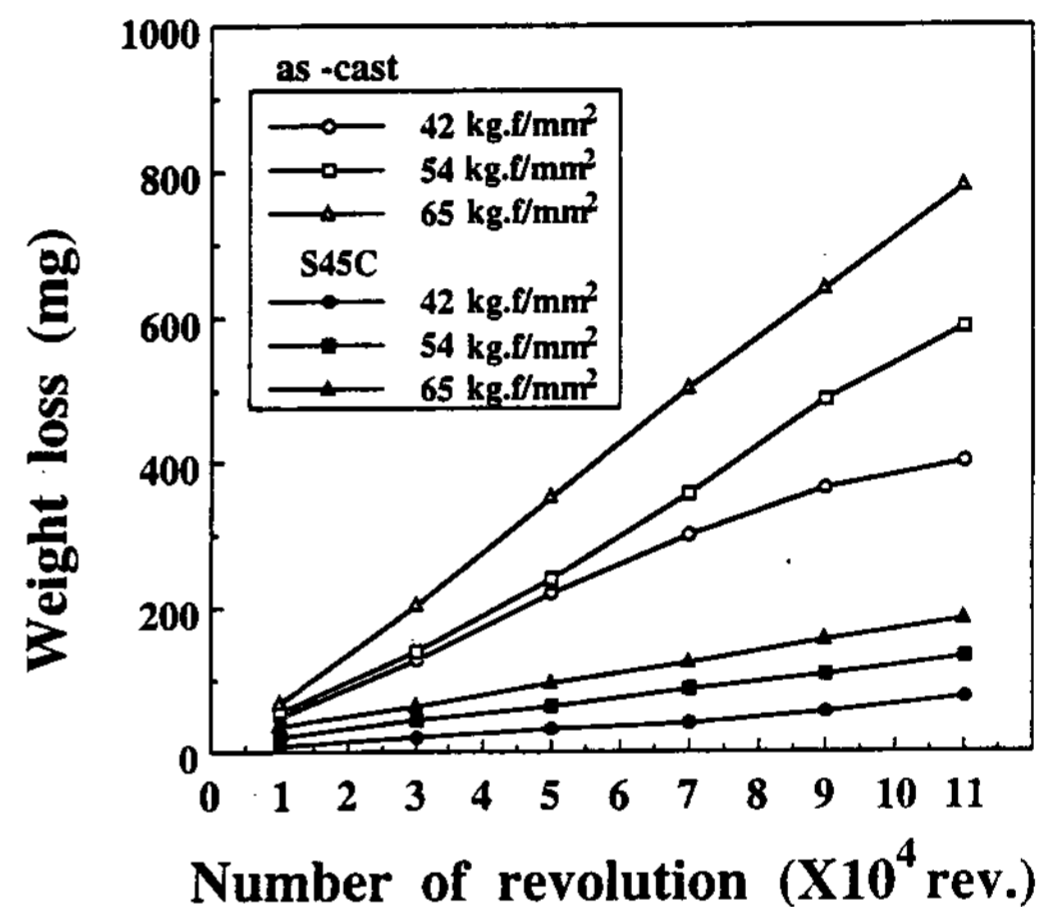


Fig. 5. Relationship between weight loss and the number of revolution for ductile cast iron. (sliding ratio : 9.09%)

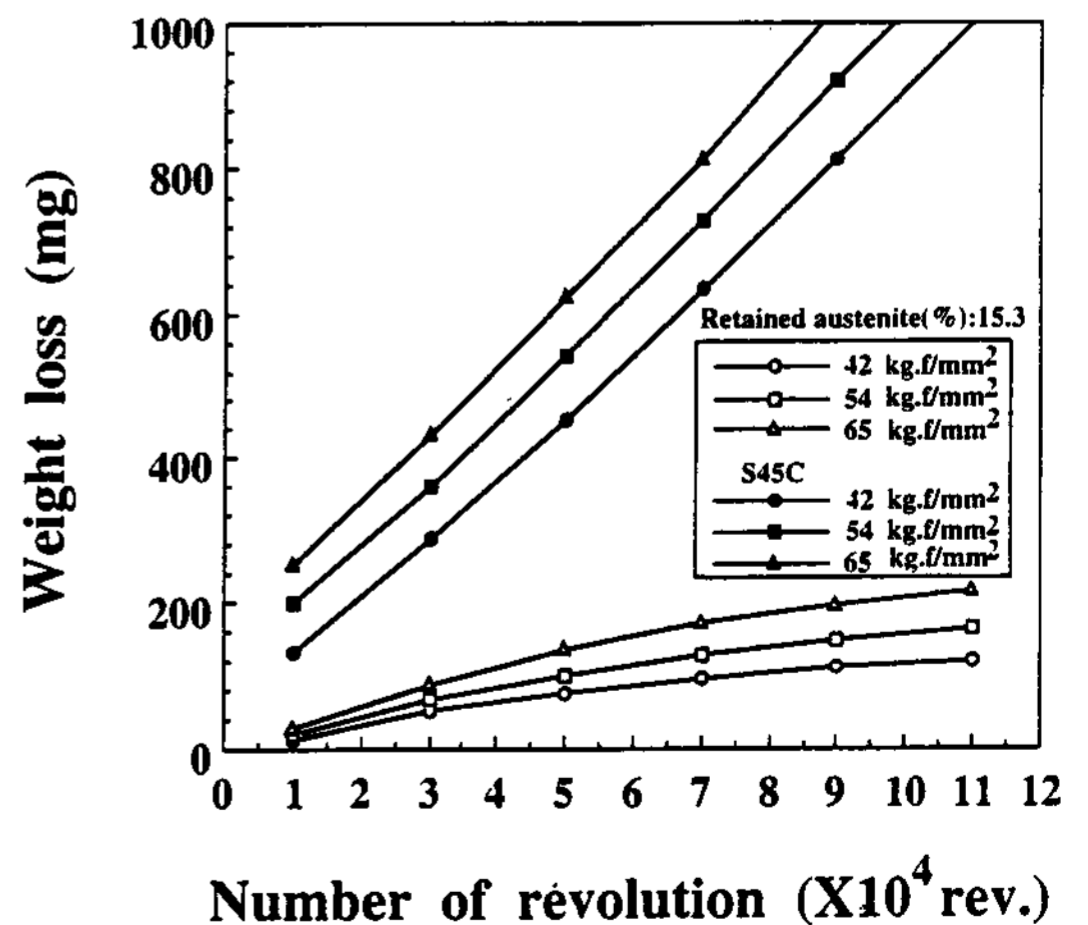


Fig. 6. Relationship between weight loss and the number of revolution for austempered ductile iron. (sliding ratio : 9.09%)

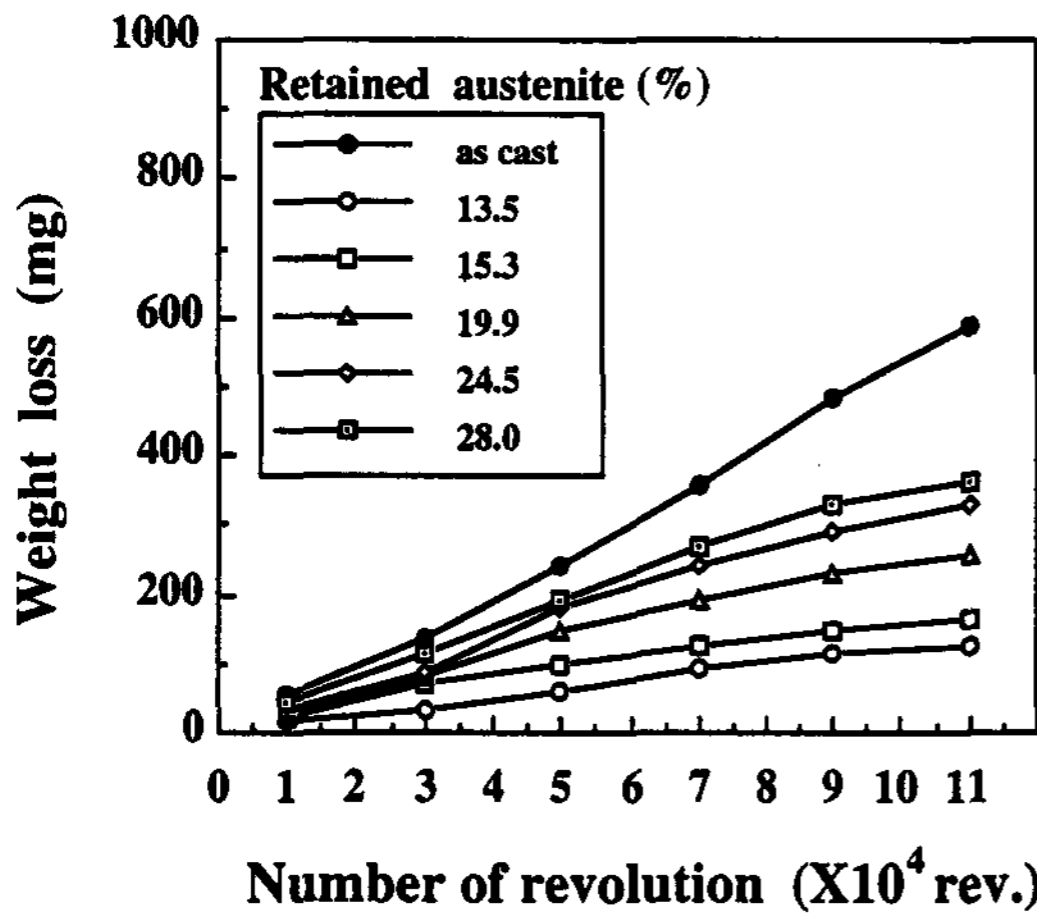


Fig. 7. Relationship between weight loss and the number of revolution for austempered ductile iron.(maximum compressive stress : 54kg.f/mm<sup>2</sup>, sliding ratio : 9.09%)

잔류 오스테나이트량에 따라 마멸량과 회전수의 관계를 비교하면 주방 상태에서는 압축 응력 및 회전수에 따라 마멸량이 급증하고 있으나 오스템퍼링 처리를 하면 마멸율은 감소하여 특히 잔류 오스테나이트량이 감소할수록 마멸량은 현저히 감소하는 것으로 나타내었다. 또한 최대 압축 하중이 증가하면 초기 미끌림 마멸 및 복합 마멸 현상의 단계가 짧아지고 거의 모든 구간에 로링 마멸의 정상 마멸 현상이 나타나서 마멸량이 크게 증가하였다. 따라서 최대 압축 응력이 증가할수록 마멸량이 증가하는 경향을 나타내었으며 전식 로링 마멸 시험 조건이 고하중일 경우 파괴 현상이 발생하여 마멸면에 가해지는 반복 피로 응력에 의해 마멸 진행은 전단 또는 피로 파괴 현상이 발생하여 마멸량을 크게하는 것으로 발표되었다.[20]

3.4 마멸량에 미치는 잔류 오스테나이트의 영향

Fig. 8은 잔류 오스테나이트량과 마멸량과의 관계를 나타내었다. 잔류 오스테나이트량이 증가하면 마멸량도 증가하였다. 주철에 있어서 지지 조직의 형태에 따라 마멸의 양상은 매우 크게 변화하여[21] 오스템퍼드 구상흑연주철의 경우 잔류 오스테나이트량이 증가하면 마멸량도 증가하는 것으로 오스템퍼링 온도 240℃일 때는 미세한 마르텐사이트 및 하부 베이나이트 조직으로

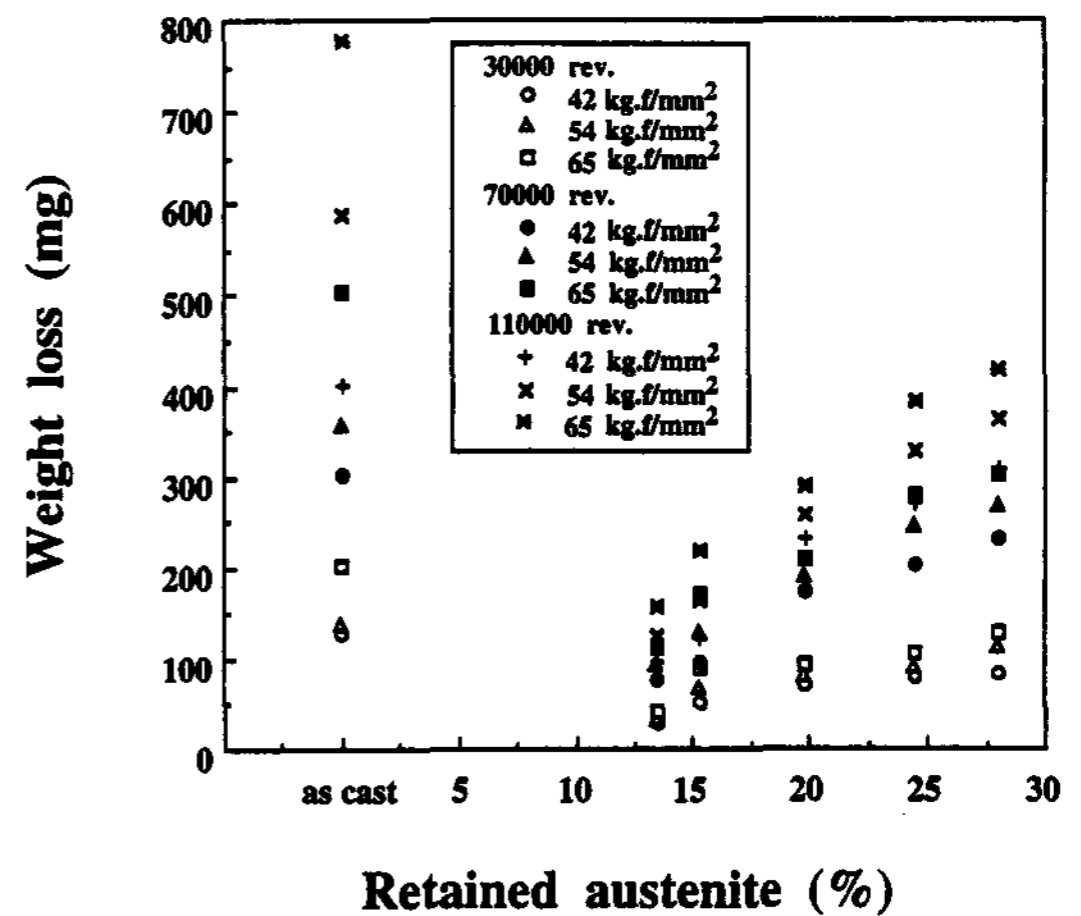


Fig. 8. Relationship between weight loss and the retained austenite for austempered ductile iron.

잔류 오스테나이트량이 매우 작은 완전 변태가 일어나서 경도가 증가하여 약간의 기계적 파괴 마멸만 있을 뿐 응착 마멸은 형성되지 않았다. 그러나 온도가 상승함에 따라 침상의 베이나이트 페라이트가 둔화되어 우모상으로 나타나므로 잔류 오스테나이트량의 증가에 의하여 경도가 감소하고 마멸량이 증가하는 것으로 사료되었다. 다만 마멸이 진행됨에 따라 조직 중 흑연이 고체 윤활제로서 작용을 하기 때문에 흑연이 윤활제로서 그 기능을 갖게 되어 다소 마멸량에 차이가 생기는 것으로 추정되었다.

Fig. 9는 오스템퍼드 구상흑연주철의 경도와 마멸량의 관계를 나타내었다. 일반적으로 경도가

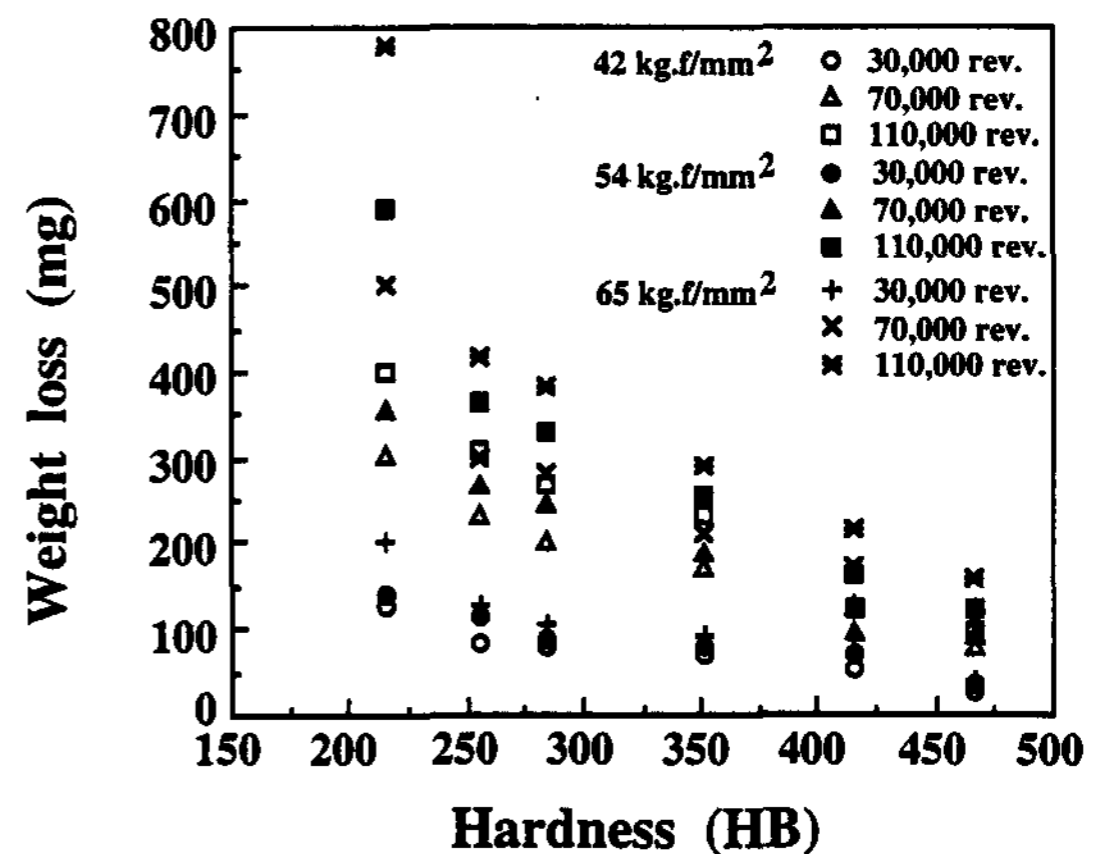


Fig. 9. Relationship between weight loss and the hardness(HB) for austempered ductile iron.



마멸에 미치는 영향은 여러가지 인자들에 의해서 좌우되며 윤활의 유무에 관계없이 마멸량은 경도의 상승과 더불어 감소하지만 건식 로링 마멸에서는 이러한 이론에 완전히 일치하지 않는다고 보고되고 있다[22,23]. 그러나 오스템퍼드 구상흑연주철에 있어서는 경도가 증가할수록 마멸량이 감소하고 마멸의 폭도 현저히 작아짐을 알 수 있었다.

Photo. 2는 주방 상태 및 오스템퍼드 구상흑연주철의 마멸 표면의 SEM 조직으로서 최대 압축응력이 65Kgf/mm<sup>2</sup>으로 50,000회전하였을 때 마멸 표면을 나타내었다. a)는 주방 상태의 마멸 표면으로서 상대 시험편에 비해 마멸량이 많음과 동시에 표면이 많이 거칠어짐을 알 수 있었고, b), c)와 같이 잔류 오스테나이트량이 적을수록 표면의 거침 정도가 작고 d), e), f)와 같이 잔류

오스테나이트량이 많을수록 표면이 거칠어지는 양상을 보이고 있는데 이는 잔류 오스테나이트량의 증가와 더불어 상대적으로 경도가 감소하여 마멸량이 증가하기 때문으로 사료되었다. 또한 Photo. 3은 마멸 표면으로서 a)는 주방 상태로서 마멸이 진행됨에 따라 압축과 슬립을에 의해 생긴 전단력의 반복으로 균열이 발생하고 이에 따라 구상흑연이 연한 페라이트에서 이탈하는 pitting 현상을 나타내고 있는 데 이 현상으로 인해 마멸량이 급증하였으나 흑연의 일부는 윤활제 역할을 하는 것으로 사료되었다. b)는 240°C에서 오스템퍼링한 것으로 잔류 오스테나이트량이 작은 강인한 변태 조직으로 인해 마멸량이 적어 표면 거침이 적게 나타내었다. 또한 c)는 400°C에서 오스템퍼링한 것으로 잔류 오스테나이트량이 증가함에 따라 마멸분이 응착 마멸 및 반복 피로

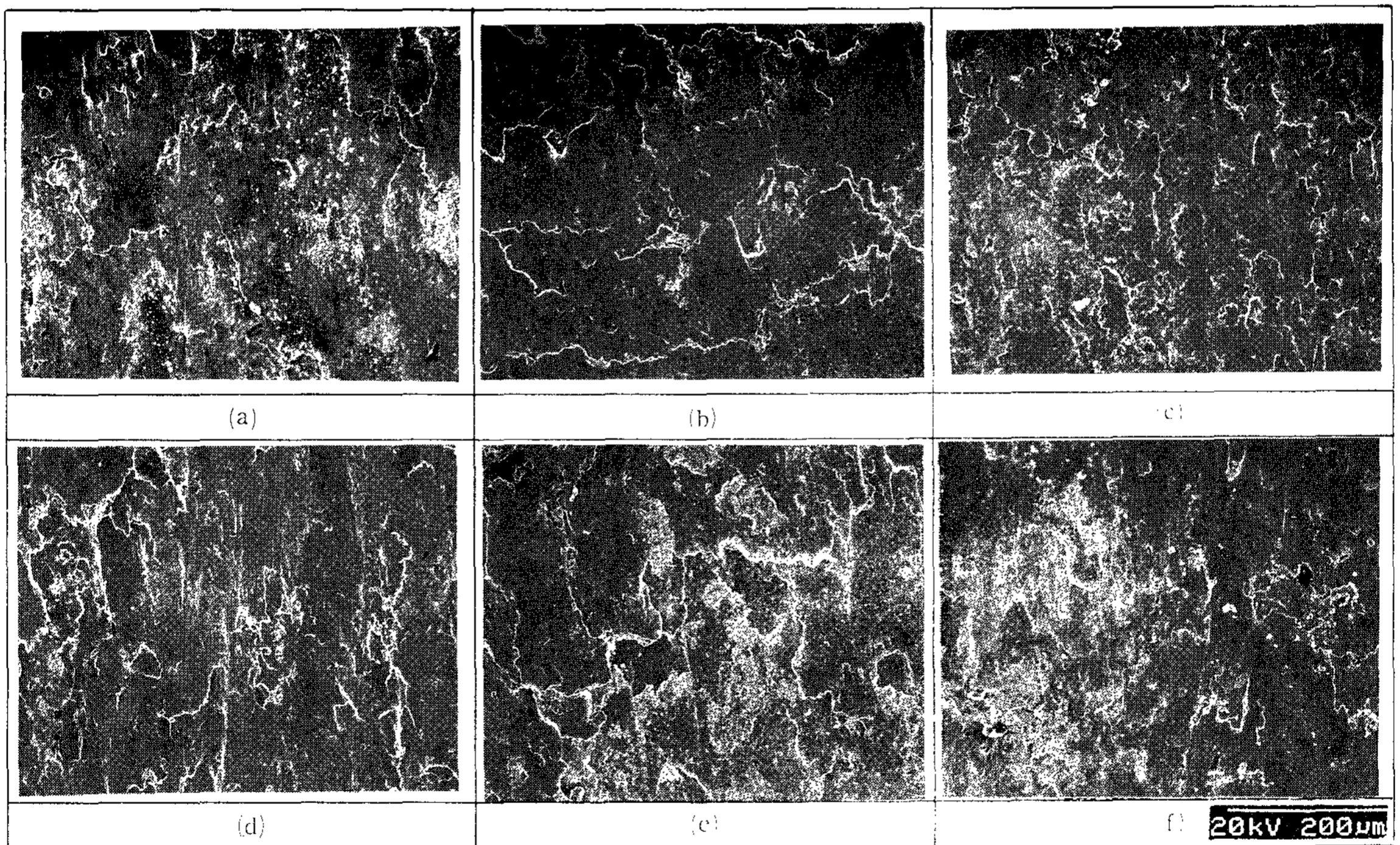


Photo. 2. SEM of wear surface for the austempered ductile iron at  $5 \times 10^4$  revolution. ( $\sigma_{max} = 65 \text{kgf/mm}^2$ , austenitizing for 1hr. at 900°C)

- (a) as-cast
- (b) 240°C, austempered for 1hr.(amount of retained austenite : 13.5%)
- (c) 280°C, austempered for 1hr.(amount of retained austenite : 15.3%)
- (d) 320°C, austempered for 1hr.(amount of retained austenite : 19.9%)
- (e) 360°C, austempered for 1hr.(amount of retained austenite : 24.5%)
- (f) 400°C, austempered for 1hr.(amount of retained austenite : 28.0%)



응력에 의해 표면 균열로 진행됨을 알 수 있었다. pit의 원인이 되는 균열은 접촉면이 경할수록 발생이 어려우며 재료의 수명이 연장되는 것

으로 사료되었다.

#### 4. 결 론

합금 성분으로서 Mo 및 Cu를 소량 함유한 구상흑연주철을 900℃에서 1시간과 2시간 동안 오스테나이트화한 후 오스탬퍼링 처리를 240~400℃ 온도 범위에서 실시하여 마멸 특성에 미치는 잔류 오스테나이트 조직의 영향을 조사한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 오스테나이트화 시간이 길면 잔류 오스테나이트 량이 증가하여 240℃에서 오스탬퍼링한 경우, 오스테나이트화 시간이 1시간일 때는 13.5% 이나 2시간이면 19.5% 정도로 증가하였다.
- 2) 잔류 오스테나이트량은 오스탬퍼링 온도가 상승할수록 증가하여 오스테나이트화 시간이 1시간 인 경우, 오스탬퍼링 온도 240℃에서는 13.5% 정도이며 400℃일 때는 28%로 증가하였다.
- 3) 잔류 오스테나이트량이 증가하면 인장 강도와 경도는 감소하였고 연신율은 증가하였다.
- 4) 주방상태에서는 마멸량이 많고 표면이 거칠지만 오스탬퍼링처리를 하면 마멸량은 감소하고 표면의 거침정도도 작았다.
- 5) 잔류 오스테나이트량이 증가할수록 마멸량은 증가하며 마찰면의 거침정도는 커졌다.

#### 후 기

본 연구는 동아대학교 1995년도 연구기초자료비 지원으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

#### 참 고 문 헌

- [ 1 ] Richard B. Gudrich and joy F. Janowak : Metal Process, 5 (1985) 92
- [ 2 ] 김창규, 최창욱 : 주조, 11 (1991) 228
- [ 3 ] 鹽川忠 : 鑄鍛造 と 熱處理, 388 (1980) 3, 73
- [ 4 ] 上田淑完, 瀧田光晴 生田浩之 : 鑄物, 57 (1985) 11, 728
- [ 5 ] 백상호, 김홍범, 김창규, 최창욱 : 주조, 14 (1994) 52
- [ 6 ] Yuich Tanake, Katsuya Ikawa : IMONO,

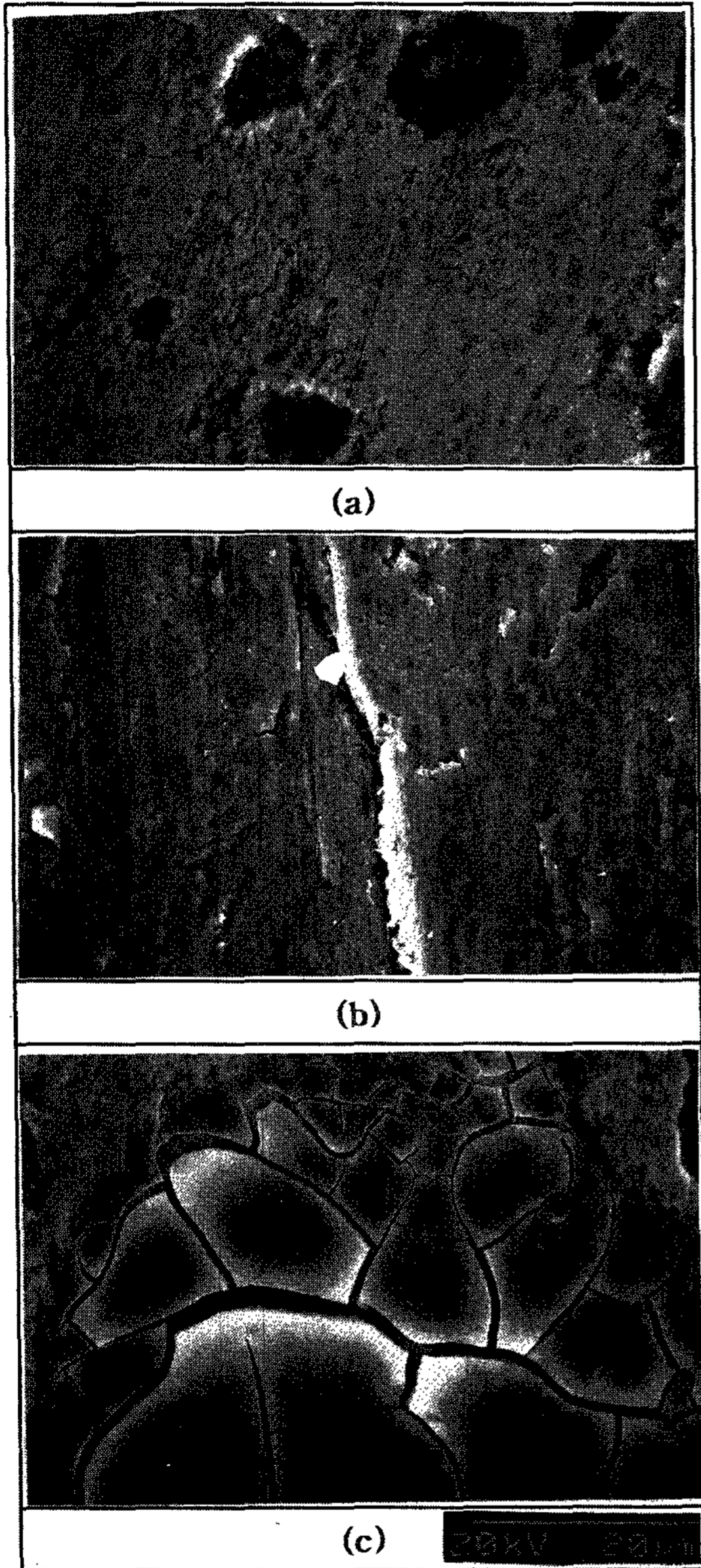


Photo. 3. SEM of wear surface for the austempered ductile iron at  $9 \times 10$  revolution.  
 ( $\sigma_{max} = 65 \text{kg.f/mm}^2$ )  
 (a) as-cast  
 (b) austempering temp. : 240℃  
 (c) austempering temp. : 400℃

48 (1976) 219

[ 7 ] 백승호, 강인찬 : 대한금속학회지, 27(1989) 5, 32

[ 8 ] 鹽川忠 : 鑄物, 60 (1988) 3, 179

[ 9 ] 신호철, 이종훈, 김홍범, 김창규, 최창욱 : 주조, 14 (1994) 548

[10] 上田, 和出 : 鑄物, 50 (1978) 5, 305

[11] M. Tada, T. kurikuma, S. Mizuno : 3rd International Conference on Austempered Ductile Iron, Univ. Michigan, (1991) 300

[12] R. A. Herding and G. N. J. Gilbert : The British Foundryman, 12 (1986) 12, 823

[13] P. A. Blackmore and R. A. Harding : American Society for metal 3, (1984) 4, 310

[14] 川本信, 李漢瑛, 岡林邦父 : 鑄物, 60 (1988) 6 365

[15] 김창규, 이성열, 최창욱 : 주조, 12 (1992) 442

[16] T. N. Pouns and K. B Randman, AFS Trans, 91, 99. 815-840 (1984)

[17] P. A. Blackmore and R. A. Harding Heat Treating 3 (1984) 4, 310-325

[18] 김덕을, 천병욱, 김창규, 최창욱 : 주조, 13 (1993) 50

[19] 日本鑄物協會發行 : 鑄物分科委員會報告書, (1984) 63

[20] J. P. Hinth and D. A. Rigney : Wear 39 (1976) 13

[21] 日本鑄物協會發行 : 鑄物分科委員會報告書, (1984) 5

[22] B. D. Cullity : Elements of X-ray diffraction, third printing, (1976) 107-136

[23] M. Johansson : 45th International Foundry Congress, Budapest, (1978) 22