

|||||||  
論 文  
|||||||

# 오스템퍼링 처리한 구상흑연주철(ADI)의 내마모성에 미치는 합금원소의 영향에 관한 연구

이상학 · 김홍범 · 김종철 · 천병욱 · 김창규\* · 최창옥

## Effect of Alloying Elements on the Wear Resistance of Austempered Ductile Iron

Sang-Hak Lee, Hong-Beom Kim, Jong-Chul Kim, Byung-Wook Chun, Chang-Gyu Kim\* and Chang-Ock, Choi

### Abstract

A series of investigations for Austempered Ductile Iron (ADI) castings were carried out by using the specimens with various chemical compositions and heat treatment conditions. The rolling wear characteristics of alloyed austempered ductile irons under an unlubricated dry rolling condition was evaluated by the Amsler type test with 9.09% sliding ratio. Generally, the wear amount was increased with the austempering temperature and decreased when the hardness of the matrix was higher. The alloying elements also influenced the austempering reaction, the microstructure and the mechanical properties. In this study, the mechanical properties (i.e.) ultimate tensile strength (UTS), hardness, elongation) and the wear resistance are analysed to show the relationship between the alloying elements and the austempering temperatures. Mo, Cu and Ni are alloyed individually or in combination. It has been found that when Cu and Ni alloyed individually to a casting, the wear amount is increased than others with elements alloyed in combination. The amount of rolling wear loss was decreased when Mo was alloyed in cast iron, individually or in combination. (Received June 1, 1998)

### 1. 서 론

구상흑연주철은 정출한 흑연의 형태가 구상이므로 노치 효과가 현저히 감소되어 응력집중이 완화[1]됨으로써 강도가 높을 뿐만 아니라 인성도 우수한 재료로서 구조성, 기계가공성, 내마모성등이 우수하여 광범위하게 사용되고 있다. 그러나 보다 가혹한 조건에서 사용하기 위해서는 구상흑연주철로서의 우수한 특성을 갖고 또한 재료의 품질을 향상시킬 수 있는 강인화 방법이 필요하다. 강인화 방법으로는 합금원소의 첨가에 의한 방법[2-4]과 열처리에 의한 방법[5-12]등이 있다. 특히 열처리에 의한 기지조직의 강인화 방법은 열처리 시에 치수변화가 적어 균열의 위험성이 없고 내마모성, 강도 및 인성을 동시에 증가시킬 수 있는 오스템퍼링 처리방법에 의한 연구가 많이 발표되고 있다. 강의 베이나이트 변태는 페라이트와 탄화물로

구성된 혼합상을 가지게 되나 주철의 경우는 많은 량의 Si에 의해 탄화물의 석출이 방해되어 오스테나이트 조직이 잔류하게 된다. 따라서 오스템퍼링 처리한 구상흑연주철(Austempered Ductile Iron)은 안정한 잔류 오스테나이트와 페라이트로 구성된 오스페라이트[13, 14] 기지조직으로 된다. 이와 같은 독특한 기지조직으로 인해 ADI는 우수한 강도와 내마모성을 갖게 되며, 잔류 오스테나이트가 비교적 많이 존재하여 인성도 증가하게 된다. ADI의 기지조직과 기계적 성질은 첨가된 합금원소의 종류와 양, 오스템퍼링 온도와 시간, 오스테나이트화의 온도와 시간등에 따라 변화한다. 본 연구에서는 현재 ADI제조에 주로 사용하고 있는 조성의 합금원소인 Mo, Cu 및 Ni[15]를 단독, 또는 복합첨가한 구상흑연주철을 제조하여 오스테나이트화 온도와 시간을 일정하게 하고 오스템퍼링 온도를 변화하며 오스템퍼링 처리 후, 건식 로링 마모시험에

동아대학교 공과대학 금속공학과(Dept. of Metal. Eng., Dong-A Univ.)  
\*부경대학교 공과대학 금속공학과(Dept. of Metal. Eng., Pukyung Univ.)

의하여 마모량에 미치는 합금원소의 영향에 대하여 조사하였다[16-21].

## 2. 실험방법

본 실험에서 사용한 시험편은 용량 15 kg의 실험실용 고주파유도용해로를 사용하여 주물용 선철(Sorel Metal), 강고철과 회수철을 첨가 용해한 후 Fe-75%Si 및 가탄제를 첨가하고, Fe-Mo(30%), 전기동(99.9%) 및 Ni(99.9%)를 단독 또는 복합 첨가하여 목표 조성으로 용해한 후 출탕하여 Fe-Si-5%Mg합금으로 ladle법에 의하여 구상화처리하고 Fe-75%Si계 접종제로서 후접종한 후 KSD 4302 A호의 Y-block형 규산소오다-슬래게 자경성 주형에 주입하여 24시간이상 방치한 후 주형에서 분리하였다. 주조한 시험편의 화학 조성은 Table 1에 나타내었으며, 합금원소의 목표조성은 지금까지 연구발표된 ADI문헌에 의하여 합금성분을 선정하였다. 주조한 Y-block의 유효부를 절단하여 마모시험편과 인장시험편으로 가공하였다.

가공한 시험편의 오스테나이트화는 900°C에서 1시간 동안 처리하였으며, 오스템퍼링처리는 240°C, 280°C, 320°C, 360°C 및 400°C 온도로 하여 1시간동안 유지한 후 공냉하였다. 기계적 성질시험은 인장강도와 연신율 및 브리넬 경도를 측정하였다. 주조상태 및 오스템퍼링 처리한 시험편의 조직사진은 인장시험편에서 채취하여 광학현미경으로 관찰하였으며, 마모시험한 후의 마모면은 주사전자현미경으로 관찰하였다. 또한 X-ray 회절기에 의한 잔류 오스테나이트 양을 측정하였다. 마모시험은 Fig. 1에 나타낸 바와 같이 Amsler형 마모시험기를 사용하여 상부에는 본 실험에서 제작한 시험편, 하부에는 S45C강을 열처리하여 경

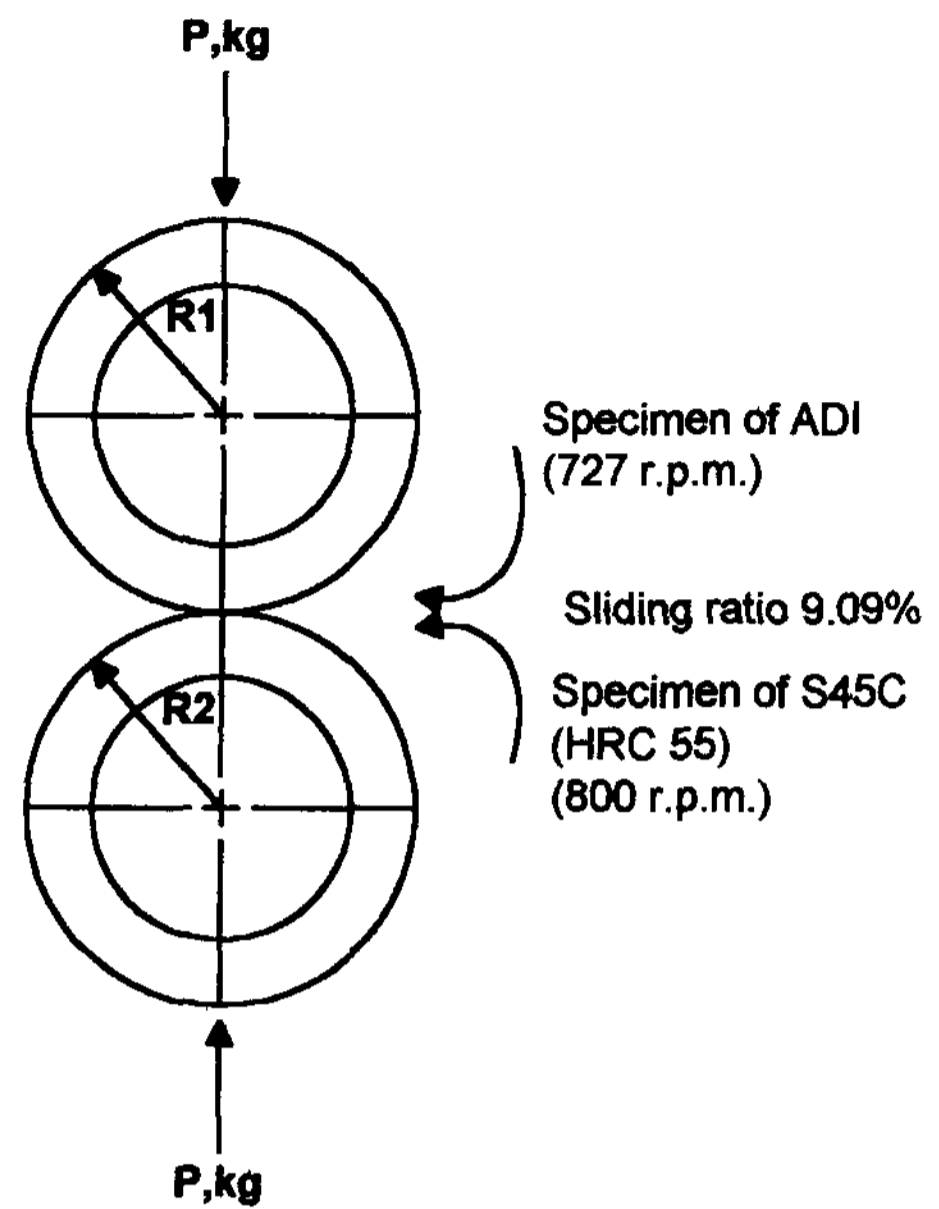


Fig. 1. Schematic representation of amsler type wear test

도값이 HRC 55로 되게 하여 사용하였다. 상부시험편의 회전속도 차이는 9.09%의 슬립율로 하였다. 최대 압축 응력은 42, 54 및 65 kg·f/mm<sup>2</sup>으로 하여, 회전수는 10,000회전에서 90,000회전까지 변화시켜 최대 압축 응력과 회전수 변화에 의한 건식 로링 마모시험으로 시험편의 마모량을 측정하였다.

## 3. 실험 결과 및 고찰

### 3.1 오스템퍼링처리에 의한 조직변화

구상흑연주철의 주조상태와 240, 320 및 400°C의 온도에서 오스템퍼링 처리한 시험편의 현미경 조직을 Photo 1에 나타내었다. 주조상태의 경우, Cu, Ni를 단

Table 1. Chemical composition of specimens

Comp. / specimen	C	Si	Mn	P	S	Mo	Cu	Ni	Mg	C.E.
Mo	3.71	2.46	0.20	0.03	0.01	0.43	-	-	0.04	4.54
Cu	3.37	2.47	0.20	0.02	0.01	-	0.53	-	0.04	4.2
Ni	3.58	2.23	0.25	0.02	0.01	-	-	0.92	0.05	4.32
Mo-Cu	3.42	2.57	0.25	0.02	0.02	0.25	0.53	-	0.04	4.28
Mo-Ni	3.60	2.15	0.50	0.03	0.06	0.52	-	1.03	0.05	4.33
Cu-Ni	3.62	2.11	0.40	0.04	0.02	-	0.51	0.92	0.04	4.34
Mo-Cu-Ni	3.48	2.18	0.46	0.03	0.05	0.45	0.64	1.10	0.08	4.21

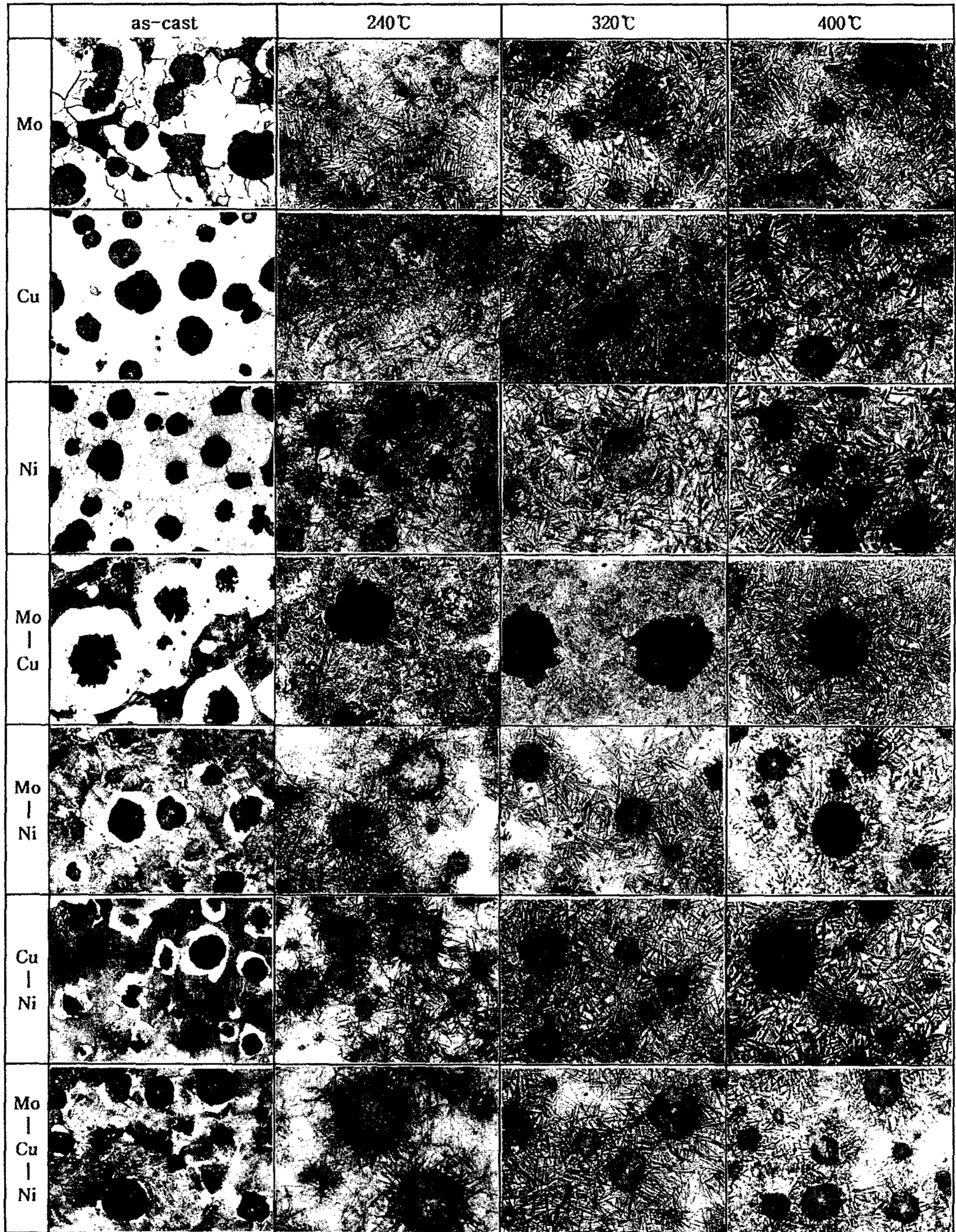


Photo 1. Microstructure of austempered ductile iron (×400).

독 첨가한 경우는 페라이트 기지와 Mo-Cu, Mo-Ni, Cu-Ni, Mo-Cu-Ni와 같이 복합첨가한 경우는 퍼얼라

이트 기지를 나타내었다. Cu는 칠화경향이 극히 적고 흑연화를 촉진하며[22], 퍼얼라이트 조장원소로 알려

져 있으나, 본 실험에서는 Mn의 함유량이 적고 사형 내에서 24시간 이상 방치하여 냉각 속도가 늦어 페라이트 조직으로 나타낸 것으로 사료되었다. Ni도 흑연화를 촉진하여 철화를 감소함과 동시에 퍼얼라이트를 미세, 치밀하게 하기 때문에 Ni의 량이 증가할수록 퍼얼라이트화율이 높아지는 경향이 있으며, Mo는 기지조직을 오스페라이트화하는데 큰 효과가 있지만 탄화물형성경향이 강하며 탄화물은 강도와 인성에 나쁜 영향을 미치는 것으로 보고되고 있다. 열처리 후의 조직은 페라이트와 잔류 오스테나이트로 구성된 오스페라이트 ausferrite조직이 나타나며 전체적으로 오스템퍼링 온도가 낮을수록 층간 간격이 좁고 치밀한 침상으로 나타내며 고온으로 갈수록 조대한 우모상의 조직을 나타내었다. 이는 낮은 온도에서는 페라이트의 핵생성속도는 빠르나, 탄소의 확산속도가 느려 성장속도가 고온에 비해 느리기 때문이라고 추정되었다[23, 24]. 즉, 오스템퍼링 온도가 높으면 페라이트에서 오스테나이트로 탄소의 확산속도가 증가되어 페라이트의 성장을 촉진시키기 때문에 조대한 페라이트가 생성되고, 페라이트가 성장함에 따라 페라이트 사이의 오스테나이트내로 탄소가 확산되어 고탄소 오스테나이트로 되며 고탄소 오스테나이트는 매우 안정하여 오스템퍼링 처리후 잔류 오스테나이트로 남게 되어 ADI의 인성을 증가시킨다. 그러나 온도가 낮은 경우에는 탄소의 확산이 느리므로 계면에서 페라이트내에 탄화물의 석출로 인해 계면에 가까운 오스테나이트내의 과잉 탄소가 제거되어 탄소농도가 다시 높아지기 전에 계면이 약간 전진하게 되는 과정이 반복되어 침상의 페라이트가 빠르게 성장하며 오스테나이트의 탄소농도가 고온의 경우보다 적고 불안정한 상태를 유지하며 페라이트 사이의 간격도 좁은 관계로 잔류 오스테나이트량이 감소하였다. 잔류 오스테나이트 량의 측정결과를 Fig. 2에 나타내었다. 또, 구상 흑연주철은 1단계 반응이 끝난 후 상당히 오랜 시간이 경과 후 베이나이트가 형성되는 2단계 반응이 일어나며, 2단계 반응은 오스테나이트가 페라이트와 탄화물로 분해되어 연성과 인성이 현저히 감소하는 등 ADI에 좋지 않은 영향을 미치므로 중간조직인 오스페라이트조직이 바람직하다. 1단계 반응이 끝난 후부터 2단계 반응이 시작될 때까지의 시간간격인 공폭(Heat Treatment Processing Window)은 합금조성과 합금원소의 편석형태, 오스템퍼링 온도등 많은 요소에 의해 변화한다[22].

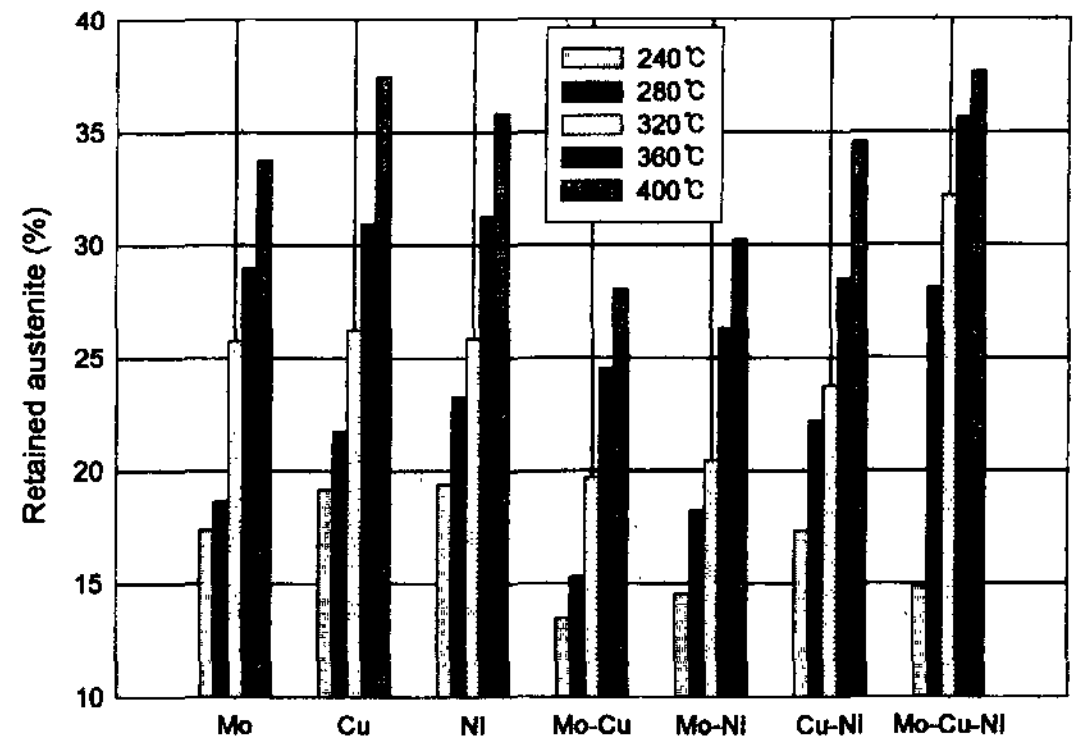


Fig. 2. Relation between retained austenite and alloyed elements of austempered ductile iron.

고온에서 오스템퍼링한 경우 Cu와 Ni를 단독첨가보다 복합첨가하면, 보다 빠르게 오스페라이트로 변태가 진행됨을 나타내었다. 이는 시험편의 전조직에 의한 영향때문이라 사료되었다. 퍼얼라이트기지의 경우 시멘타이트의 분해와 탄소의 확산에 의해 오스테나이트가 생성되고, 또한 시멘타이트의 층간격이 좁아 탄소의 확산거리가 짧기 때문에 페라이트기지의 경우보다 오스페라이트 변태가 빨리 일어나게 된다. 한편 페라이트기지의 경우에는 탄소의 저장고인 흑연으로부터 탄소가 확산됨에 따라 오스테나이트가 생성되고, 탄소의 확산거리가 길어 오스테나이트화가 늦고 오스페라이트의 변태속도도 느리게 된다.

3.2 합금원소에 의한 기계적 성질의 변화

Fig. 3에서 Fig. 5까지는 오스템퍼링온도와 합금원소에 의한 오스템퍼드 구상흑연주철의 기계적 성질의 변

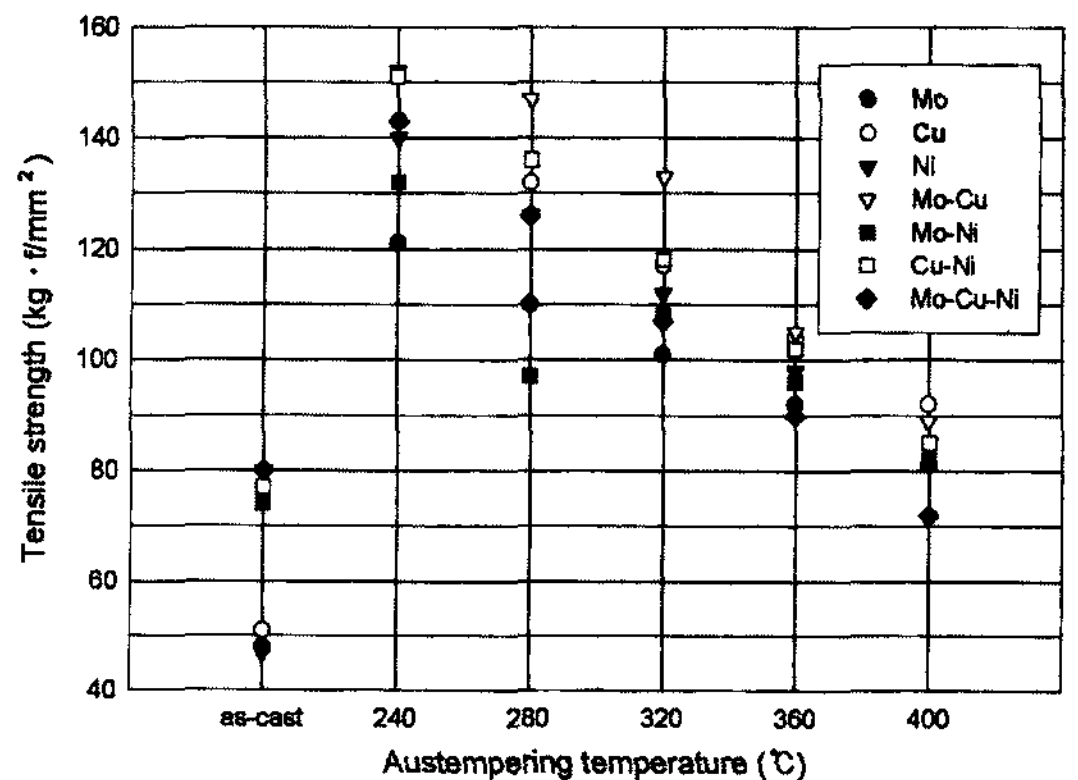


Fig. 3. Effect of austempering temperatures on tensile strength of austempered ductile iron.

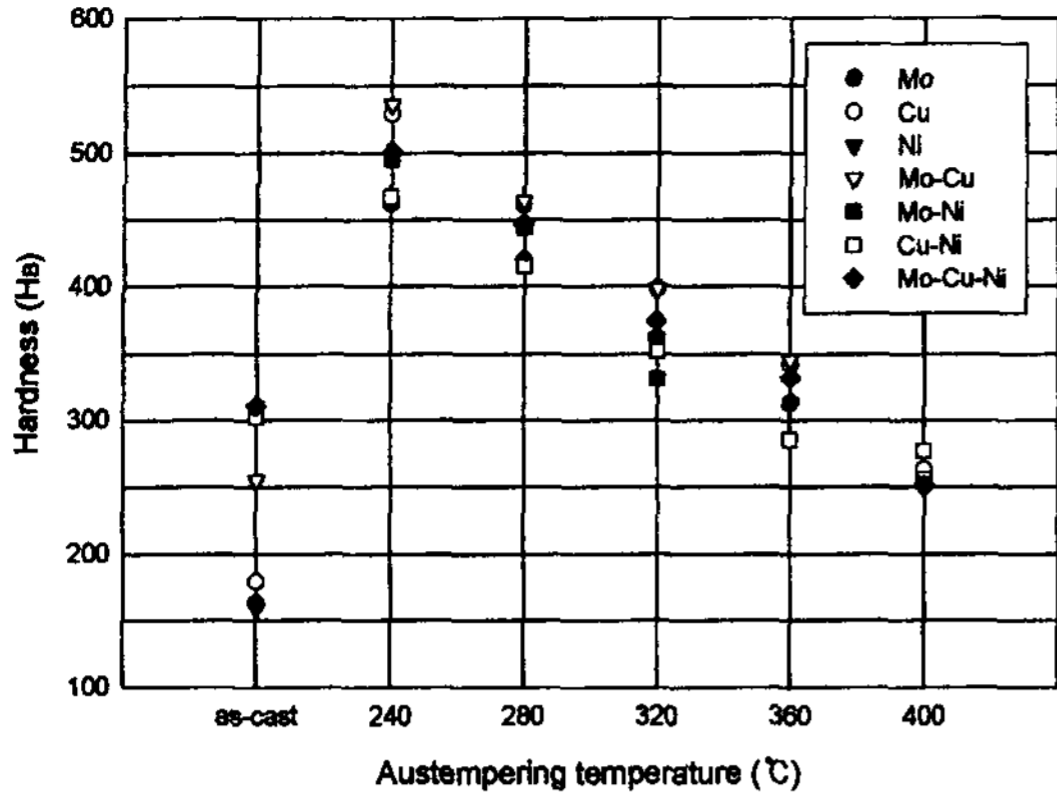


Fig. 4. Effect of austempering temperatures on hardness of austempered ductile iron.

화를 나타내었다. 오스테퍼링 온도가 저온에서 고온으로 상승할수록 인장강도는 감소함을 나타내었다. 이는 고온에 비해 저온에서는 페라이트의 핵생성속도가 성장속도보다 빨라서 미세한 침상을 이루게 되고, 고온이 되면 페라이트의 성장속도가 핵생성속도보다 빨라서 조대한 우모상의 페라이트를 형성하기 때문이라 사료되었다. 합금원소를 단독첨가보다 복합첨가하면, 보다 높은 인장강도를 나타내었고 3원계의 합금원소를 복합 첨가시에는 약간 낮은 값을 나타내었으며 Mo-Cu를 복합첨가한 경우는 최대값을 나타내었으며, Mo-Ni는 약간 낮은 인장강도값을 나타내었는데 이는 Ni에 의한 As점의 강하로 인해 결정립의 조대화를 유발하여 조대한 오스테라이트가 생성한 것으로 사료되었다. 경도값은 인장강도와 함께 오스테퍼링 온도가 상승할수록 감소하는 경향을 나타내었다. 따라서, 오스테퍼링 처리한 시험편의 기계적 성질은 합금원소의 첨

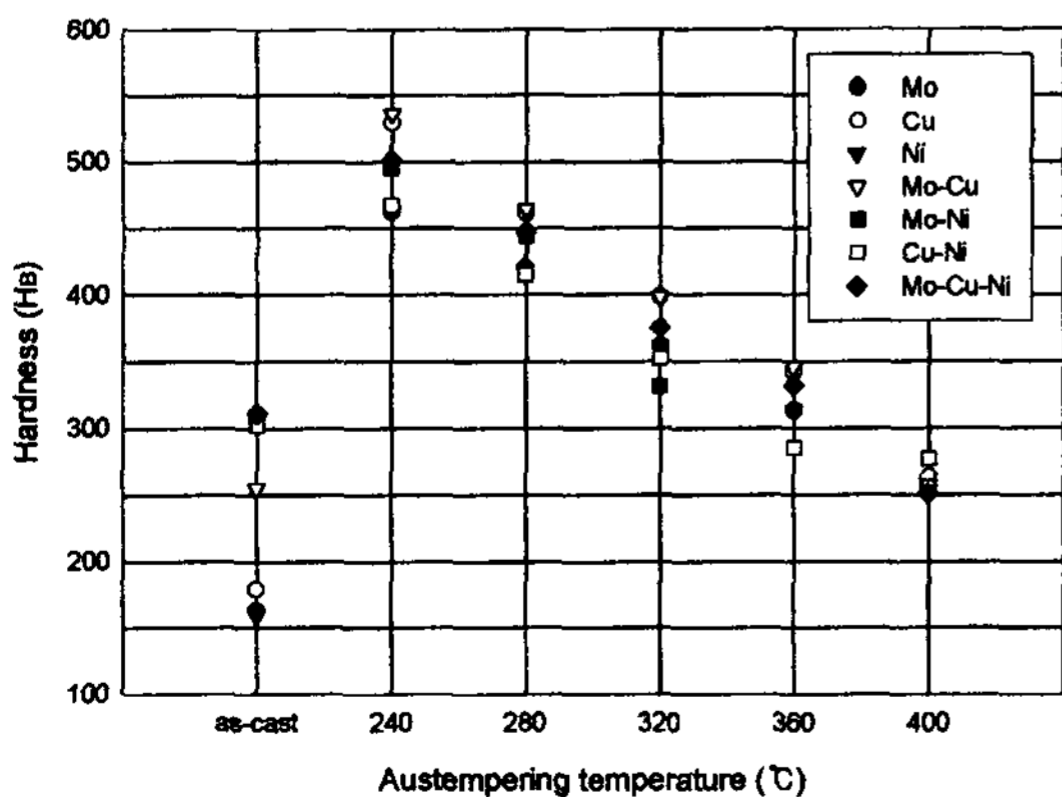


Fig. 5. Effect of austempering temperatures on elongation of austempered ductile iron.

가에 의한 기지조직의 변화와 열처리 온도 및 시간의 변화에 의해 좌우되는 것으로 기지조직 내에 잔류오스테나이트량이 많으면 강도와 경도는 감소하는 영향을 나타내었다. 오스테퍼링 온도가 고온으로 될수록 연신율은 증가하는 것으로 오스테퍼링 온도가 높으면 연성의 잔류오스테나이트량이 증가하여 연신율이 증가하였다. 오스테퍼링 온도가 낮으면 조직이 미세, 치밀하여 잔류 오스테나이트량이 매우 적었으나 온도가 상승함에 따라 침상의 페라이트가 둔화되어 우모상으로 나타나므로 잔류 오스테나이트량은 증가하였다. 합금원소를 복합첨가하면 잔류오스테나이트량이 많음에도 불구하고 인장강도 및 경도가 높은 이유는 복합첨가시에는 Mo등에 의해 강인한 오스테라이트변태를 유효하게 얻을 수 있음과 동시에 Ni, Cu등 합금원소에 의한 편석의 제거, 탄화물형성억제, 결정립 미세화 및 합금화 원소에 의한 고용강화를 도모할 수 있어[30] 인장강도, 경도 및 연신율이 모두 증가하는 것으로 사료되었다. Mo를 단독첨가하면 오스테라이트변태의 강인화에 그 영향이 커서 인장강도 및 경도가 높은 값을 나타내었지만 Ni, Cu처럼 편석한 재료를 제거시키는 것이 아니라 도리어 편석하기 쉽고, 탄화물 형성 조장 원소이므로 연신율이 가장 낮았다. 따라서, Ni 및 Cu 합금원소의 단독첨가는 오스테퍼링에 의한 강인화에 크게 영향을 미치지 못하며, Mo 단독 첨가는 오스테퍼링에 의한 강인화에는 영향이 크지만 공정흑연 셀에 편석한 Si[30] 및 셀 경계부의 조대한 퍼얼라이트 부근에 편석한 Mn등을 분산하여 편석을 제거시키지 못할 뿐 아니라 강한 탄화물 형성원소이므로 연신율이 나빠지는 것으로 사료되었다. 특히, Si, Mn등은 탄소보다 확산속도가 200배나 느리므로 열처리에 의한 편석의 제거는 거의 불가능한 것으로서 합금화에 따라서 주조시에 편석을 제거하는 것이 중요한 것으로 판단되었다. 따라서, Mo-Ni, Mo-Cu, Mo-Cu-Ni와 같이 합금원소를 복합첨가하면, 오스테퍼링에 의한 강인화와 편석의 제거, 탄화물형성억제, 합금화에 따른 고용강화등을 기대할 수 있어 인장강도, 연신율 및 경도에 좋은 결과를 얻을 수 있었다. 특히 고인성을 요하는 재료에서는 Ni를 복합첨가하는 것이 효과가 있는 것으로 사료되었다. 잔류오스테나이트는 고온에서 안정한 조직이지만 저온으로 갈수록 불안정하게 존재하여 강도, 경도등은 감소하며, 인성과 연성은 다소 증가하게 되는 것으로 사료되었다[25, 26].

### 3.3 마모에 미치는 합금원소의 영향

오스테퍼링 처리한 구상흑연주철의 건식 로링 마모 시험에 있어서 합금원소에 의한 최대 압축 응력과 마모량의 관계에 대하여 측정 결과를 Fig. 6 및 Fig. 7에 나타내었다. Fig. 6은 50,000 회전한 경우, 회전수 및 최대압축응력이 증가할수록 마모량이 증가하며, 재질적으로는 인장강도와 경도가 증가할수록 마모량은 감소하는 경향을 나타내었다. 즉, 오스테퍼링 온도가 상승할수록 마모량은 증가하였다. Mo, Cu 및 Ni의 단독 첨가는 마모량이 많고 Mo-Cu, Mo-Ni 및 Mo-Cu-Ni와 같이 복합 첨가하면 마모량은 감소하였다. 더욱이 Ni을 단독 첨가하면 연성과 인성이 증가되어 마모량이 현저히 많았다. 또한, 회전수와 하중이 증가함에 따라 마모량이 증가함을 알 수 있었다. 대체로 초기마모는 정상마모로서 마모량이 적으며 회전수가 증가할수록 마모량이 증가하나 마모가 진행함에 따라 감소하는 경향이 있었다. 이는 흑연의 고체윤활제 작용 및 상대 마모분의 열에 의한 소착과 함께 산화마모현상이 발생하여 마모량이 감소하는 것으로 사료되었다. 즉, 마모의 초기구간에서는 기계적 파괴마모에 의한 급격한 마모 형태를 나타냈으나 정상마모구간에서는 상대재의 마모분과 주철에서의 흑연이 고체윤활제 작용으로 인해 미끌림 마모 형태가 일어남을 알 수 있었다.

Photo 1과 Photo 2는 마모시험 후의 시험편의 마모

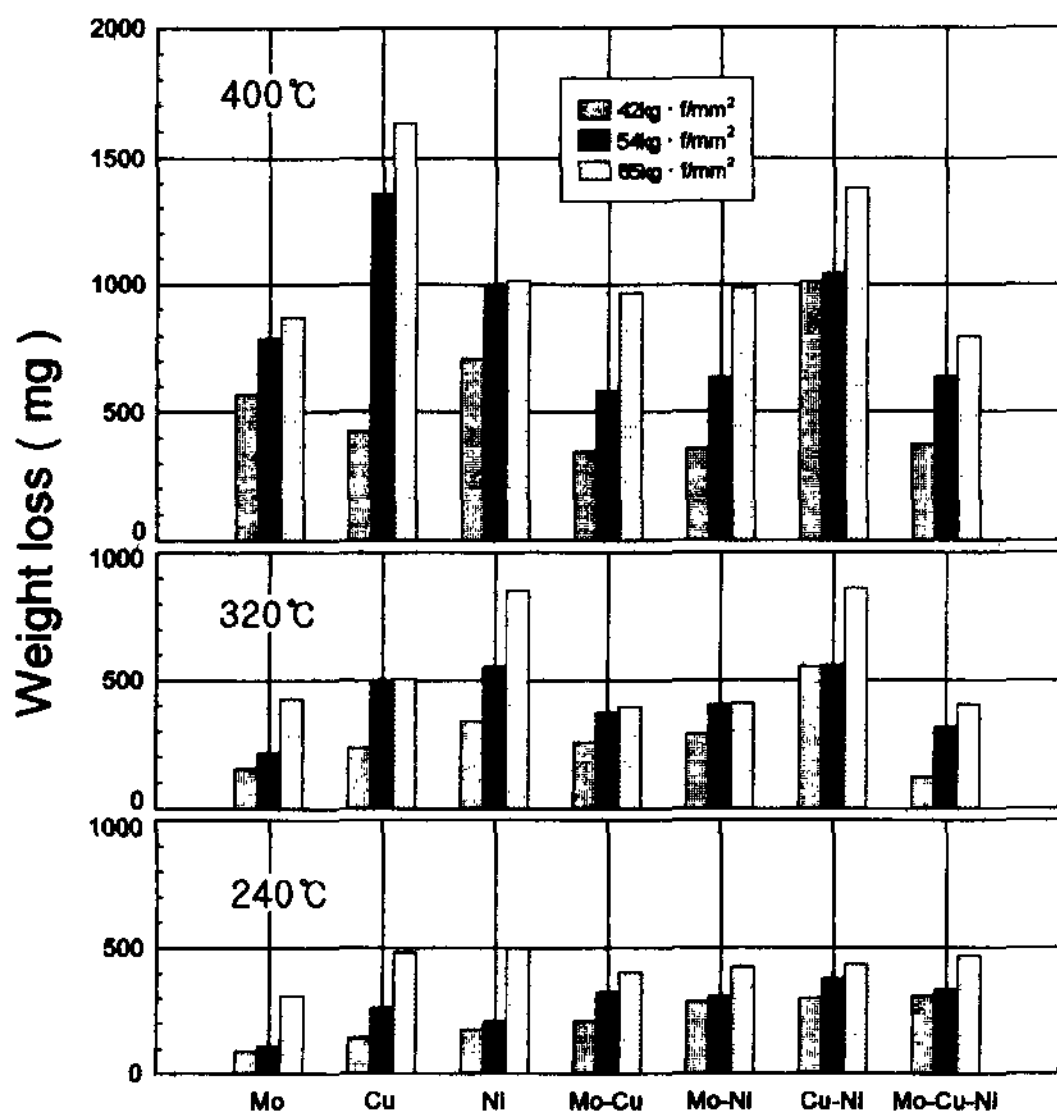


Fig. 6. Relation between alloyed elements and weight loss for austempered ductile iron (austempered for 1 hr.,  $5 \times 10^4$  rev.).

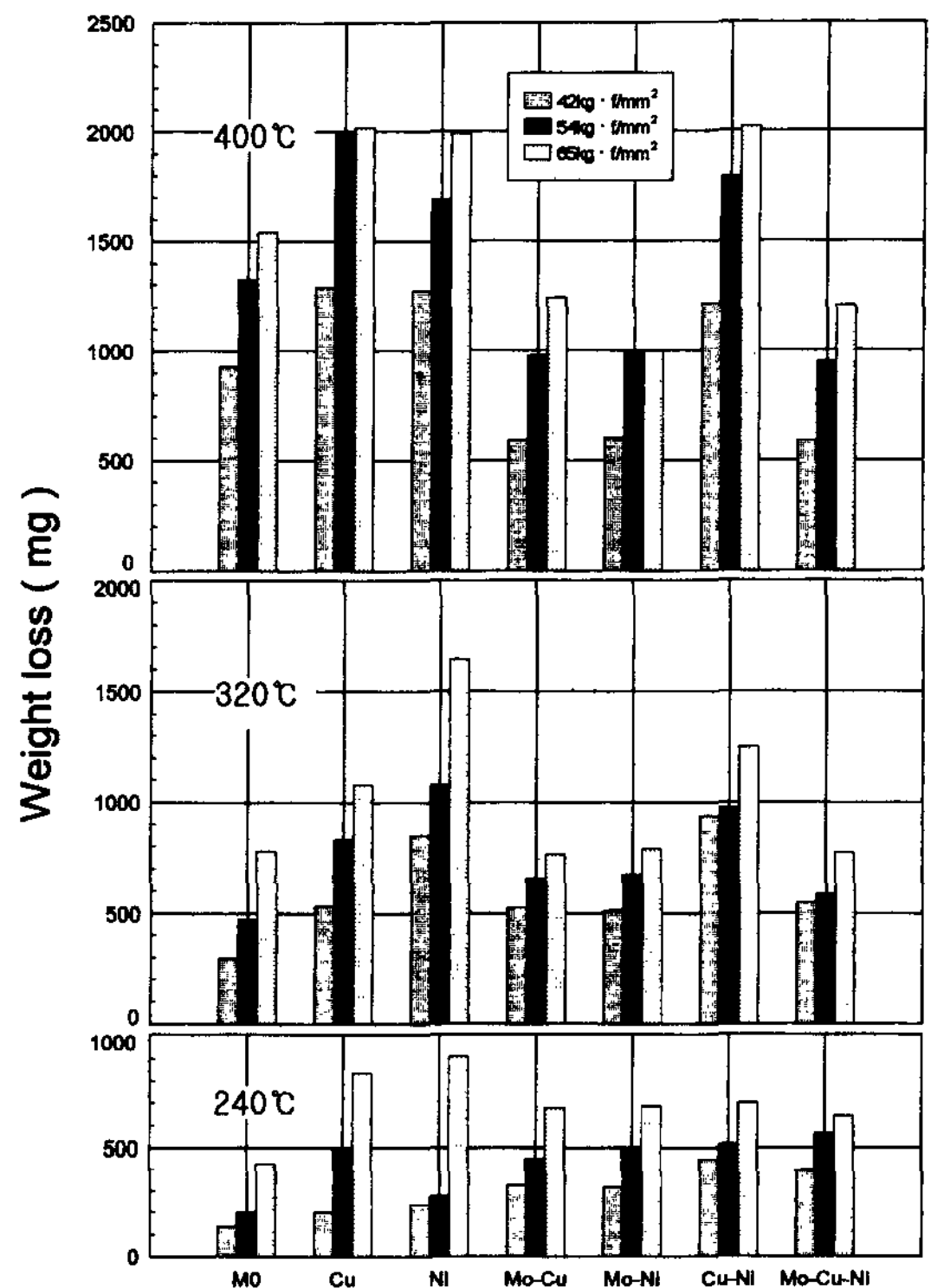


Fig. 7. Relation between alloyed elements and weight loss for austempered ductile iron (austempered for 1 hr.,  $9 \times 10^4$  rev.).

면을 나타내었다. 구상흑연주철에 있어 주조상태의 시험편은 마모가 진행됨에 따라서 급격한 마모현상을 볼 수 있었으나, 오스테퍼링 처리한 시험편은 기계적 마모가 아닌 상호마모분의 응착과 흑연이 고체윤활제의 작용을하여 미끌림마모가 진행되어 마모량이 현저히 저하한 것을 알 수 있었다[29]. 또한 주조상태에서는 마모가 진행됨에 따라 흑연이 빠져나간 자리에서 pitting현상이 발생하여 미소크랙으로 전파되어 기계적 파괴마모가 진행됨을 알 수 있었다. 한편, 합금원소별로는 마모량이 많은 단독첨가와 Cu-Ni 복합첨가의 경우 마모면이 거칠며 Mo-Cu 및 Mo-Ni는 비교적 마모면이 미려함을 알 수 있었다.

### 3.4 건식 로링마모에 미치는 경도의 영향

금속 재료의 마모에 미치는 경도의 영향은 여러 가지 인자들에 의하여 좌우되며 경도가 높다고 하여 반드시 마모량이 감소된다는 것이 아니라는 견해도 있으나, 일반적으로 경한 재료일수록 마모량은 감소한다. 따라서 경도는 금속재료에 있어서 그 재료의 대략

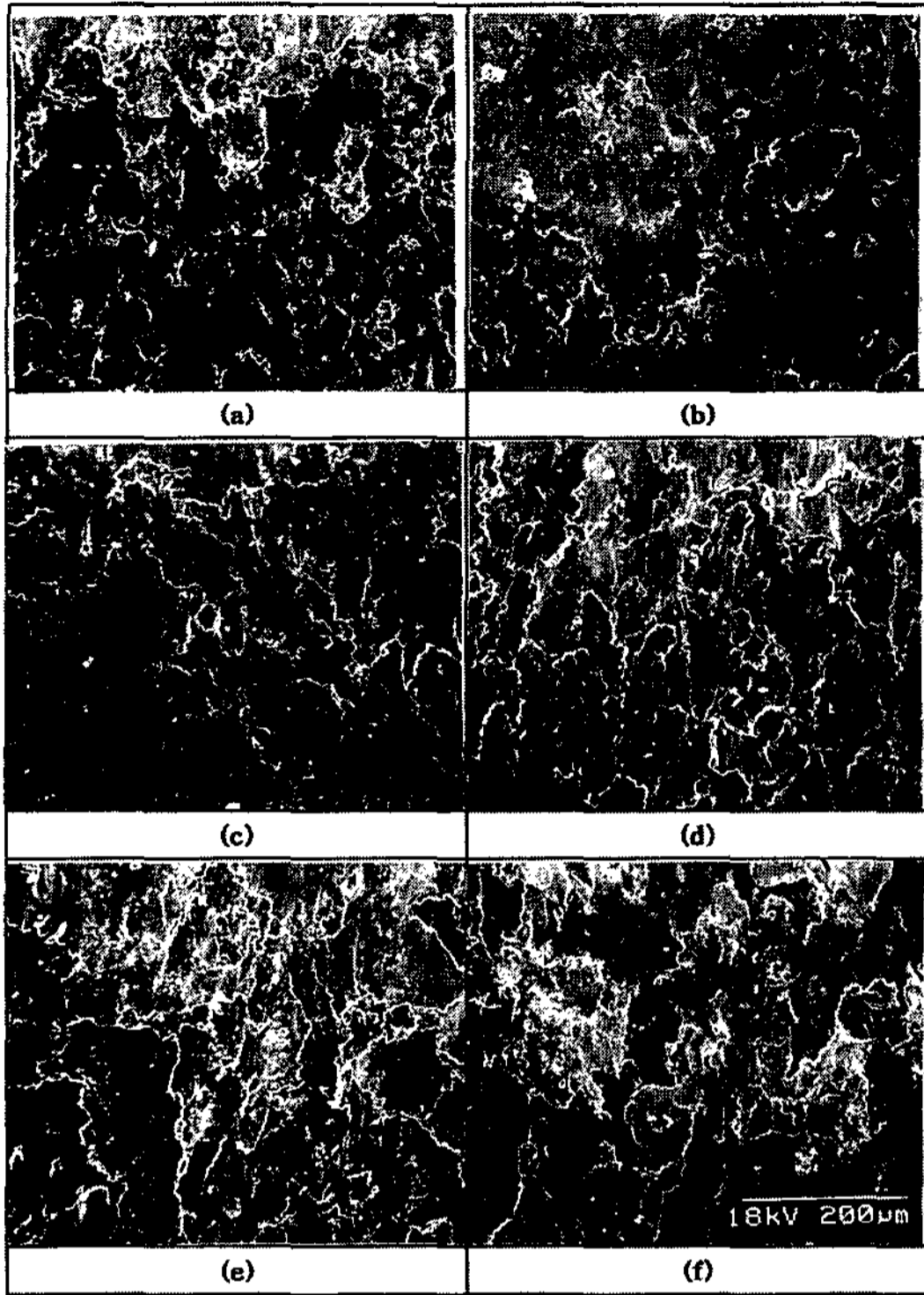


Photo 2. SEM for wear surface of the austempered ductile iron alloyed Mo-Cu-Ni at  $9 \times 10^4$  revolution ( $\sigma_{max} = 54 \text{ kg} \cdot \text{f}/\text{mm}^2$ , austenitizing for 1 hr. at  $900^\circ\text{C}$ ). (a) as-cast (b)  $240^\circ\text{C}$ , austempered for 1 hr (c)  $280^\circ\text{C}$ , austempered for 1 hr (d)  $320^\circ\text{C}$ , austempered for 1 hr (e)  $360^\circ\text{C}$ , austempered for 1 hr and (f)  $400^\circ\text{C}$ , austempered for 1 hr.

적인 성질을 판정하는데 가장 보편적이라 할 수 있다. Fig. 8과 Fig. 9는 오스템퍼드 구상흑연주철의 경도와 마모량의 관계에 대하여 실험한 결과를 나타내었다. 하중과 회전수가 증가함에 따라서 다소 마모량의 차이는 있으나 경도가 높은 재료일수록 마모량은 현저히 감소함을 나타내었다. 구상흑연주철에 있어서는 기조직에 따라 마모의 양상은 크게 변화한다. 즉, 합금원소의 첨가에 의해 기조직이 변화하면 마모량에도 영향을 주게된다. 주조상태의 시험편에 있어서는 하중과 회전수가 증가하면 마모의 정도는 현저하게 증가하였으며, 이는 기조직내에 페라이트가 다량으로 함유되어 있어 마모량의 증가가 현저함을 알 수 있었으며, 오스템퍼드 구상흑연주철에 있어서는 잔류 오스테나이트를 다량 함유 할수록 마모량은 증가하였다. 또한 오스템퍼링 온도가 높으면 다량의 잔류 오스테나이트가 함유되어 있어 마모량은 증가되지만 낮은

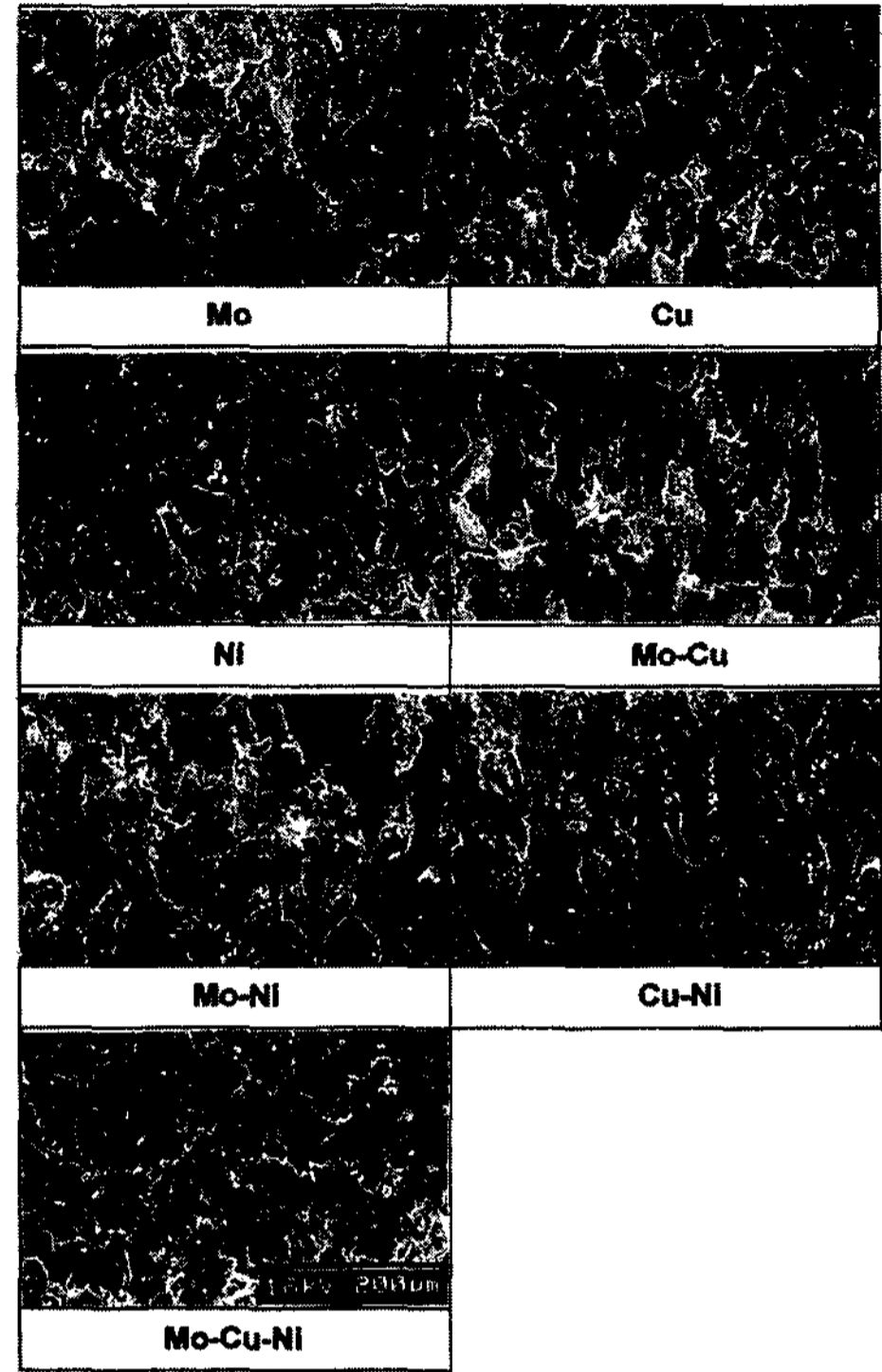


Photo 3. SEM for wear surface of austempered ductile irons (austenitizing for 1 hr. at  $90^\circ\text{C}$ , austempered for 1 hr. at  $320^\circ\text{C}$ ,  $\sigma_{max} = 64 \text{ kg} \cdot \text{f}/\text{mm}^2$ ,  $9 \times 10^4$  rev.).

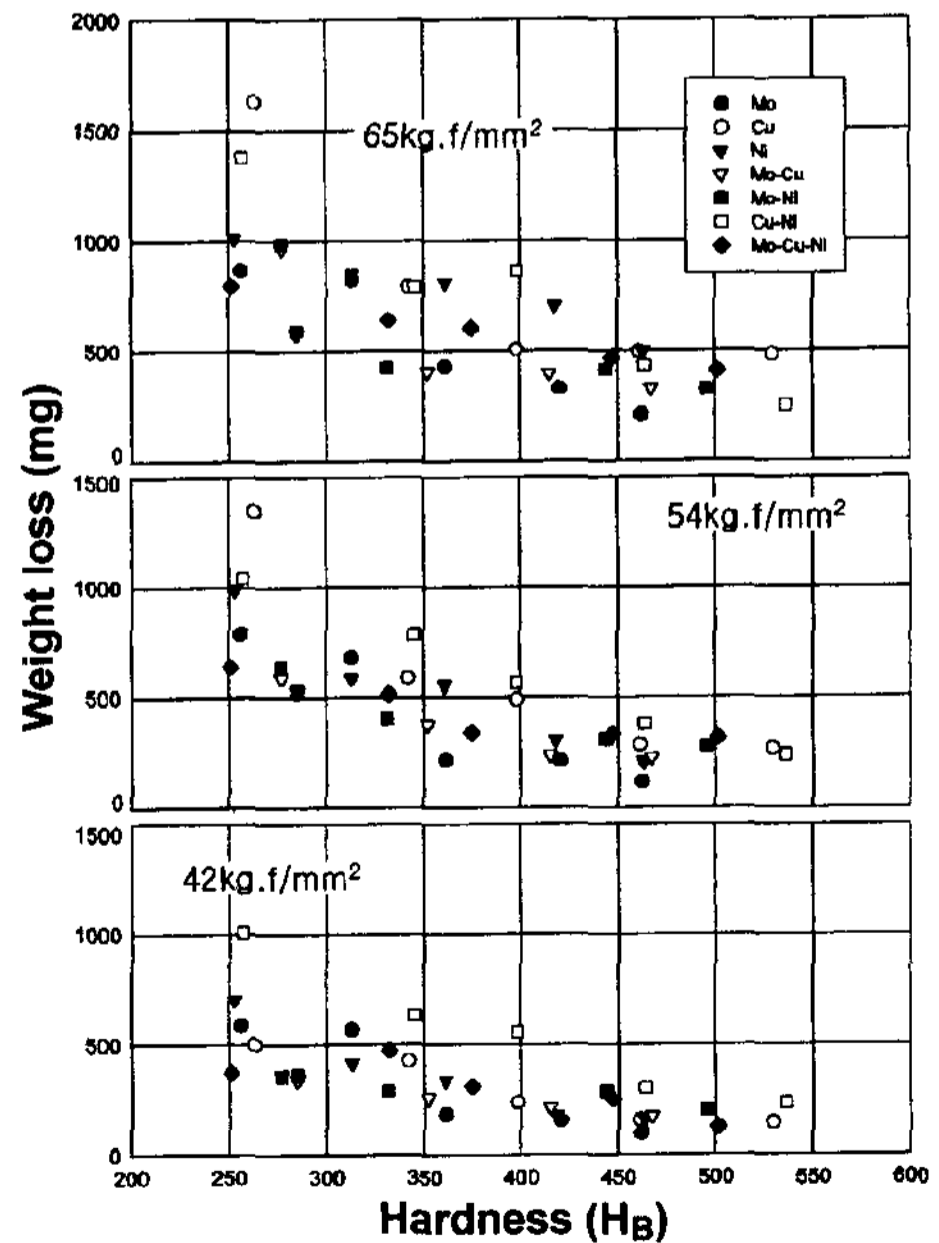


Fig. 8. Relationship between weight loss and hardness of austempered ductile iron (austempered for 1 hr.,  $5 \times 10^4$  rev.).

온도에서 처리하면 아주 미세한 기지조직을 이루고 있어 마모량은 현저하게 감소됨을 알 수 있었다. 한편, 기지조직에 페라이트 및 잔류오스테아니트가 다량 함유되면 마모가 진행됨에 따라서 극심한 기계적 파괴 마모와 응착마모가 극도에 달해서 심한 마모가 일어나지만, 아주 미세하게 형성된 오스페라이트, 마르텐사이트 및 시멘타이트로 형성되어 있는 경우에는 약간의 기계적 파괴마모만 있을 뿐 매우 단단한 기지조직이기 때문에 응착마모는 형성되지 않았다. 다만 마모가 진행됨에 따라 주철의 흑연이 고체 윤활제 작용을 하기 때문에 이에 따라 다소 마모량의 차이가 생기는 것[28]으로 사료되었다.

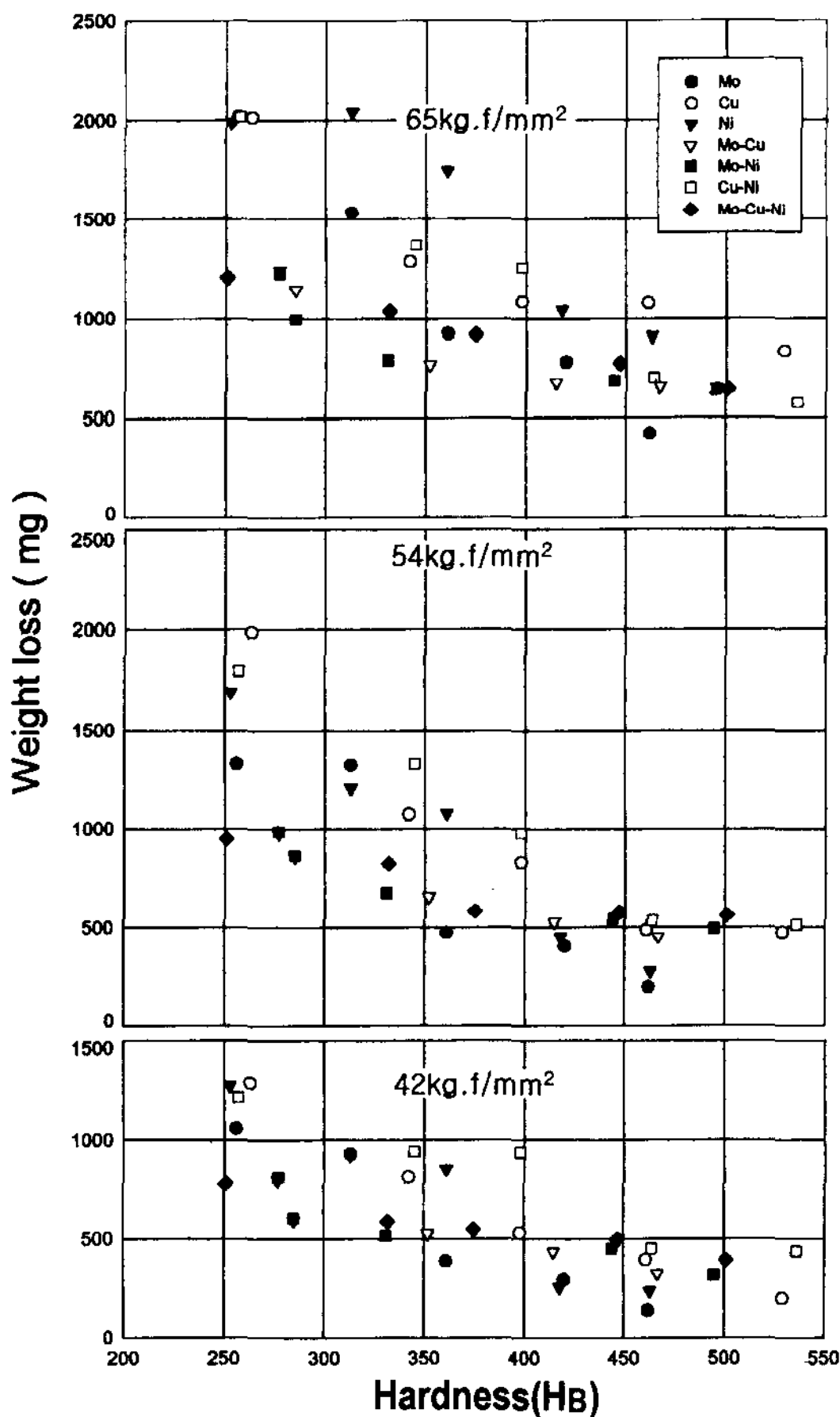


Fig. 9. Relationship between weight loss and hardness of austempered ductile iron (austempered for 1 hr.,  $9 \times 10^4$  rev.).

#### 4. 결 론

구상흑연주철에 Mo, Cu 및 Ni합금원소를 단독 또는 복합첨가하여 오스템퍼링처리 후 기계적 성질과 마모에 미치는 합금원소의 영향을 조사한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 오스템퍼링 온도가 낮아질수록 미세한 침상의 오스페라이트로 변태하고 오스템퍼링 온도가 높아지면 오스페라이트의 선단이 둔화하여 우모상의 조직으로 나타내었다.

2) 합금원소를 단독 또는 복합첨가한 경우 모두 오스템퍼링 온도가 증가할수록 인장강도 및 경도는 감소하고, 연신율은 증가경향을 나타내었다.

3) Mo-Cu 또는 Mo-Ni 복합 첨가하면 다소 높은 기계적 성질을 나타내었으나, Mo의 단독 첨가는 강력한 탄화물의 생성으로 인하여 인장강도는 높으나 연신율은 낮은 값을 나타내었다.

4) Mo-Cu 및 Mo-Ni 복합첨가한 경우 Mo이 강한 소입능과 오스페라이트화에 가장 유효하기 때문에 잔류오스테나이트량이 비교적 적고 경도가 높아 마모량이 가장 적었다.

5) 주조상태에서는 흑연주위의 연한 페라이트로 인해 마모량이 많으며, 오스템퍼링 처리하면 합금원소 단독첨가 또는 Cu-Ni 복합첨가의 경우에는 마모량이 많고 마모 표면이 거칠지만 미세한 오스페라이트 조직과 잔류오스테나이트량이 적은 경한 재료일수록 마모량은 감소하고 마모면이 미려하였다.

#### 후 기

본 연구는 1996년도 교육부 첨단공학(신소재 분야) 학술연구 조성비에 의하여 수행되었으며 이에 감사드립니다.

#### 참 고 문 헌

- [1] T. Kobayashi : J. of JIM, 18 (1979) 7, 512.
- [2] J. E. Rehder : AFS Trans., 27 (1949) 549.
- [3] T. N. Rouns and K. B. Rundman : AFS Trans., 43 (1985) 25.
- [4] G. J. Cox : Foundry Trade J. 28 (1974) Nov, 741.
- [5] J. F. Janowak and R. B. Gundlach : J. of Heating Treating, 4 (1985) 1, 25.



[6] J. F. Janowak and R. B. Gundlach : AFS Trans., 88 (1983) 377.  
 [7] D. J. Moor, T. N. Rouns and K. B. Rundman : AFS Trans., 93 (1985) 705.  
 [8] H. L. Morgan : The British Foundryman, Feb./Mar. 1987, 98.  
 [9] D. J. Moor, T. N. Rouns and K. B. Rundman : AFS Trans., 92 (1984) 815.  
 [10] R. C. Voigt and C. R. Loper : J. of Heat Treating, 3 (1984) 4, 26.  
 [11] K. H. Miska : Modern Casting, 76 (1986) 35.  
 [12] F. S. Rossi and B. K. Gupta : Metal Progress, Apr., 1981, (5) 25.  
 [13] Bela V. Kovacs Sr. : Modern Casting, 80 (1990) 3, 38.  
 [14] K. B. Rundman : 3rd International Conference on ADI, (1991) 3.  
 [15] T. Shiokawa : IMONO, 60 (1988) 3, 179.  
 [16] J. Hisakado : Wear, 40, 41 (1976) 17.  
 [17] J. J. Bikerman : Wear, 39, 1 (1976) 36.  
 [18] V. C. Scott and H. Willion : Wear 43, 185 (1977) 40.  
 [19] G. L. Sheldon : J. of Eng. Mater. and Tech., 133, Apr., (1958) 117.  
 [20] J. Porry and T. S. Eyre : Wear, 112 (1977) 81.  
 [21] N. P. Suh : Wear, 113 (1978) 11.  
 [22] R. C. Voigt : Cast Metals, 2 (1989) 2, 82.  
 [23] R. Gundlach and J. Janowak : 2nd International Conference on ADI, (1986) 23.  
 [24] H. B. Kim, D. J. Ju and C. O. Choi : JUJO, J. of KFS, 16 (1996) 6, 57.  
 [25] M. Takita and Y. Ueda : Cast Metals, 1 (1988) 3, 147.  
 [26] H. Jansen : Meehanite ADI Report No, E 1987.  
 [27] Y. B. Kim, C. G. Kim and C. O. Choi : JUJO, J. of KFS, 10 (1990) 3, 63.  
 [28] J. P. Hinth and D. A. Rigney : Wear, 111 (1976) 13.  
 [29] E. P. Fordyce and C. Allen : Wear, 135 (1990) 265.  
 [30] Bela K Kovacs : 3rd International Conference on ADI, (1991) 241.

## 일본주조공학회 제134차 전국강연대회 개최 안내

일본주조공학회 주관으로 도오쿄오에서 개최예정인 제134차 전국강연대회를 아래와 같이 알려드리오니 자세한 사항 및 개별적으로 참가를 원하는 회원은 '99. 3. 20(월)까지 한국주조공학회 사무국(02-796-1346/7)으로 문의, 신청바랍니다.

-아 래-

- (1) 대회기간 : 1999. 5. 28(금)~5. 31(월), 3박 4일간
- (2) 개최장소 : 동경공업대학
- (3) 참가자격 : 한국주조공학회 정회원, 특별회원
- (4) 행사내용 : 기술강습회, 특별세미나, 전시회, 연구발표강연회, 간친회, 공장견학회
- (5) 등록비용 : 13,300엔(등록비, 공장견학비)  
\* 선택사항(간친회 7,000엔, 기술강습회 13,500엔)