

|||||||  
論 文  
|||||||

# 고장력 내충격 내마모성주철의 제조에 관한 연구

임성우\*, 이찬규\*, 홍종휘\*\*

## Study on the Production of the High Strength, Anti-impact and Wear Resistant Cast Iron

Sung-Woo IM\*, Chan-Gyoo LEE\*, Jong-Hwi HONG\*\*

### ABSTRACT

The effect of chromium, aluminium and copper contents on the structures and mechanical properties of cast iron was investigated.

- 1) Mechanical properties were improved with the formation of ledeburite by chromium addition. The primary carbides dispersed in martensitic matrix contributed to high strength and wear resistance.
- 2) Small addition of aluminium decreased hardness of the cast iron.
- 3) The impact values were decreased by the formation of the double carbides but improved by the heat treatment.
- 4) Small addition of copper up to a certain level increased the hardness. Also impact values were considerably increased.

### 1. 서 론

주철은 구조성이 좋고 내마모성이 양호하며 절삭성이 우수하고 진동흡수능이 크기때문에 공업적으로 널리 이용되고 있는 재료이나, 인성이 없고 강도가 낮은 결점이 있다. 따라서 흑연의 형상 및 기지조직 등을 개선하여 강도 등을 향상시키려는 노력이 계속되어 왔으며, 제 3 원소를 첨가하여 재질을 개선한 고장력주철을 얻으려는 연구가 활발히 진행되고 있다.

즉 분쇄용 강구 등 내마모성과 내충격성을 요하는 재질의 경우, 주철에 일정량의 Cr 을 첨가하여 흑연

의 성장을 막고 기지조직을 강화시켜 내충격성 등을 증가시키려는 연구<sup>1,2)</sup>가 진행되어 왔다. 특히 고 Cr 주철의 경우 공정탄화물에 관한 연구<sup>3)</sup>가 행하여 졌으며, 취약한 결점의 주 원인인 공정탄화물을 열간압연시켜 기지조직내에 분산시키려는 연구<sup>4)</sup>도 진행되고 있다.

또한 흑연화 조장원소이며 흑연조직을 미세화시키는 원소인 Al과 강력한 Pearlite 안정화 원소인 Cu를 각각 또는 Al-Cu 모합금으로서 첨가하여 강도의 증가를 꾀하려는 연구<sup>5~8)</sup>도 진행되어 왔다.

그러나 아직까지 Cr 주철에 Cu와 Al을 동시 첨가하고, 이들의 복합적인 효과에 대하여 연구한 문헌은 거의 없는 실정이다. 따라서 본 연구에서는 Cr, Al, Cu를 첨가하여 주철의 기계적 성질 및 조직의 변화

\*고려대학교 대학원 금속공학전공

\*\*고려대학교 금속공학과 교수

에 미치는 합금원소의 영향 등을 검토코저 시도하였다.

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

2. 실험방법

2.1 용해 및 주조

본 연구에 사용된 원료의 화학조성은 Table 1 과 같으며, 시료의 화학조성은 Table 2 와 같다.

용해는 고주파유도전기로에서 흑연도가니를 사용하여 가단주철 Scrap을 용해시킨후, 용점이 높은 합금원소 순으로 첨가하고 CaC<sub>2</sub> 1%를 첨가하여 탈황시킨 다음 Slax를 사용하여 Slag를 제거하였다. 이 용탕을 주형에 주입하였으며 이때 용해온도는 optical Pyrometer로 측정하여 1400~1450℃로 유지하도

comp. mat.	C	Si	Mn	Cr	Cu	Al	Fe
cast iron scrap	2.5	1.2	0.6	-	-	-	bal.
Fe - Si	-	75-80	-	-	-	-	bal.
Fe - Cr	-	-	-	60	-	-	bal.
Fe - Mn	-	-	70-75	-	-	-	bal.
Al	-	-	-	-	-	99.9	-
Cu	-	-	-	-	99.9	-	-

Table 2 Chemical composition of specimens (wt.%).

comp. No.	C	Si	Mn	Cr	Cu	Al	remarks
1	2.2	2.4	0.85	0.44	0.63	0.57	Si ; 2.5
2	2.24	2.4	0.82	0.91	0.6	0.5	Cu ; 0.5
3	2.18	2.49	0.82	9.82	0.58	0.57	Al ; 0.5
4	2.22	2.43	0.85	12.5	0.63	0.57	
5	2.3	1.12	0.58	0.92	0.47	-	Si ; 1.0
6	2.28	1.0	0.60	2.0	0.51	-	Cu ; 0.5
7	2.35	1.0	0.62	3.8	0.49	-	
8	2.25	1.14	0.59	0.94	0.48	-	Si ; 1.0
9	2.21	1.08	0.61	0.90	0.49	1.2	Cr ; 1.0
10	2.31	0.91	0.53	0.95	0.51	4.1	Cu ; 0.5
11	2.24	0.94	0.61	4.0	0.89	-	Si ; 1.0
12	2.19	1.0	0.58	3.82	1.92	-	Cr ; 4.0
13	2.31	0.92	0.55	4.21	4.10	-	
14	2.20	0.89	0.62	3.77	6.0	-	

록 하였다. 매회 용해시간은 50분이 소요되었다.

시편은 resin coated sand로 만든 shell 주형에 주입하여 충격시편을 만들어 사용하였다.

2.2 열처리

합금원소를 첨가한 시료를 Fig.1 과 같이 950℃에서 30분간 용체화처리한 후, 수냉한 다음 즉시 400℃에서 1시간동안 tempering을 하였다.

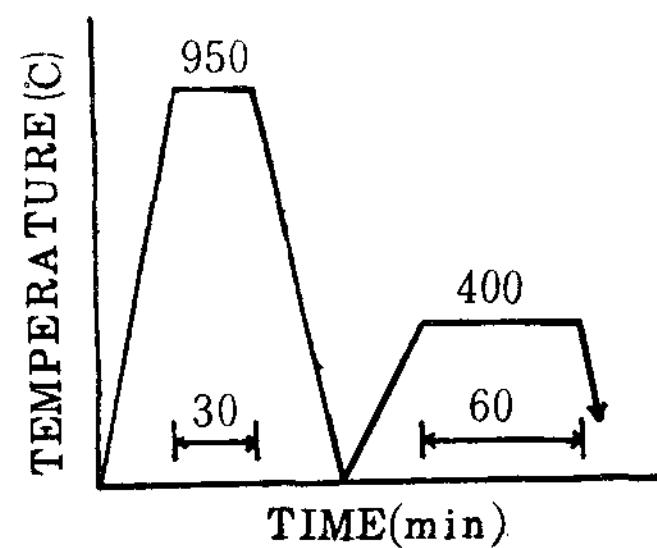


Fig.1 Heat cycle

2.3 기계적 성질 및 조직 관찰

충격시험은 notch 없이 10mm 각형으로 가공한 것을 30 kg·m인 charpy 충격시험기를 사용하였으며, 경도값의 변화는 Rockwell C scale 로 측정하였다.

Impact wear 는 경도와 충격치에 의해 좌우되므로 내충격 내마모성은 경도와 충격치의 곱으로 간접적으로 비교 검토하였다.

첨가된 합금원소에 따른 복합탄화물의 형태를 금속현미경으로 관찰하고, 탄화물의 미세도와 공정 colony 의 크기에 의해서 경도와 충격치의 기계적 성질을 연관시켰으며, 열처리한 후의 기지조직과 탄화물의 거동

에 관해서도 관찰하였다. 이때 부식액은 5% 질산용액과 피크린산용액을 사용하였다.

### 3. 실험결과 및 고찰

#### 3.1 Cr첨가량의 변화에 따른 영향

2.2C-2.5Si-0.8Mn-0.5Cu-0.5Al 계 주철에 Cr 양을 변화시켜 얻은 주방조직과 열처리 조직은 photo 1 과 같다.

Cr(%) state	0.44	0.91	9.82	12.5
as-cast				
heat treated				

Photo 1. Microstructures of 2.2C-2.5Si-0.8Mn-0.5Cu-0.5Al cast iron according to the change of Cr contents (x 400).

주방조직의 경우 Cr 양이 증가됨에 따라 기지조직인 pearite 와 편상흑연이 점차 미세해지기 시작해서 Cr 양이 9.8%에 이르게 되면 흑연이 거의 나타나지 않게 되고, 정출된 ledeburite 양이 현저히 증가됨을 알 수 있다. 열처리 조직의 경우는 기지조직이 martensite 로 변화되었으며 Cr 양이 9.8%인 경우에는 탄화물의 형태가 주방상태와 동일하였다. 이것은 탄화물이 용체화 처리시 austenite 로 용입되지 않았기 때문이다. 또 검은 바탕의 martensite 기지내에 회고 작은 점들이 존재하는 것은 기지조직인 pearlite 에서 용체화 처리시 austenite 기지로 용입되지 않은 미용해 탄화물이라고 사료된다.

Cr첨가량에 따른 경도치의 변화를 Fig.2에 나타내었다. 주방조직의 경우 경도값은 Cr 양이 증가됨에 따라 기지조직이 미세해지고 흑연의 성장이 억제되어 점차 증가되고 있으며, Cr 양이 9.8%에 이르게 되면 정출된 ledeburite 양이 현저히 증가되고 탄화물이 대량 생성되어 급격한 증가를 보인다. 그러나 Cr 양이 12.5%에 이르게 되면 경도의 급격한 저하가

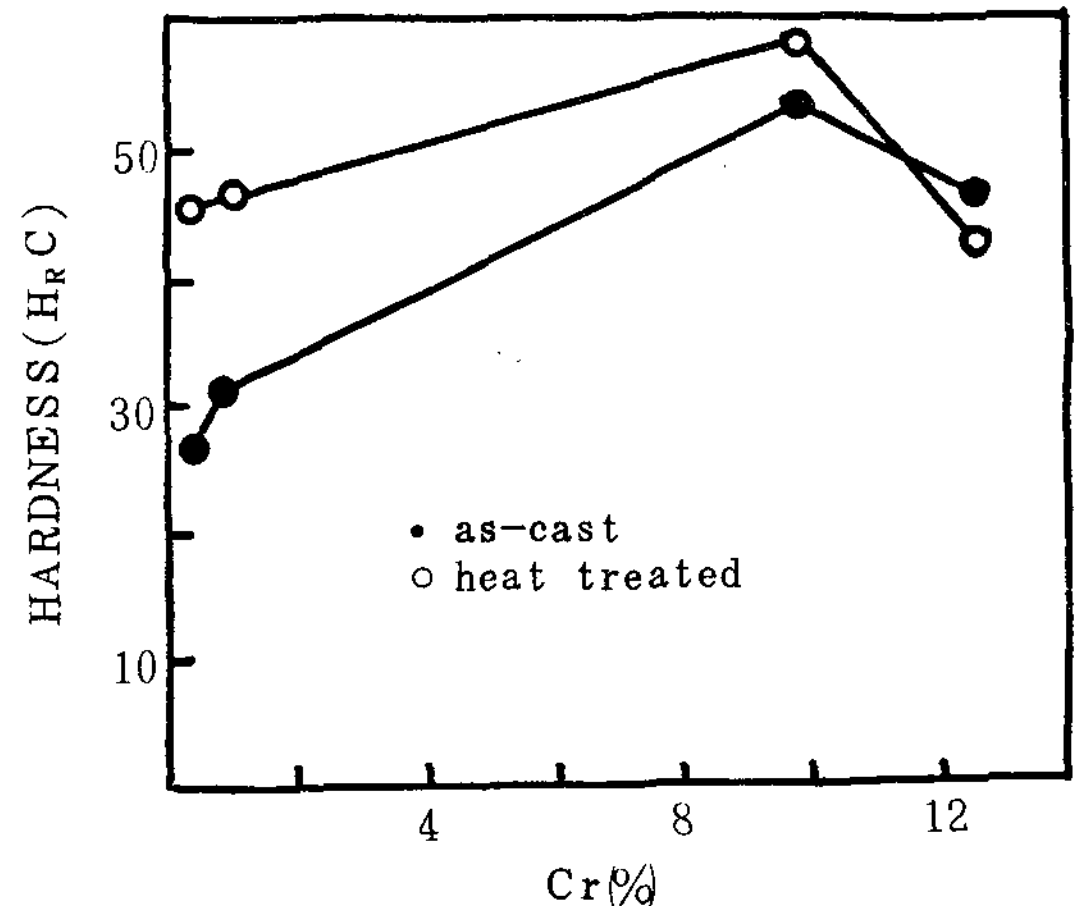


Fig. 2 Relations between hardness and Cr contents (2.2C-2.5Si-0.8Mn-0.5Cu-0.5Al cast iron).

일어난다. 이것은 소량 Cr이 첨가된 경우는 Cr이 탄화물을 형성했기 때문이 아니라 pearlite 기지를 미세화시켜 경도를 상승시켰기 때문이며, 1%이상 Cr이

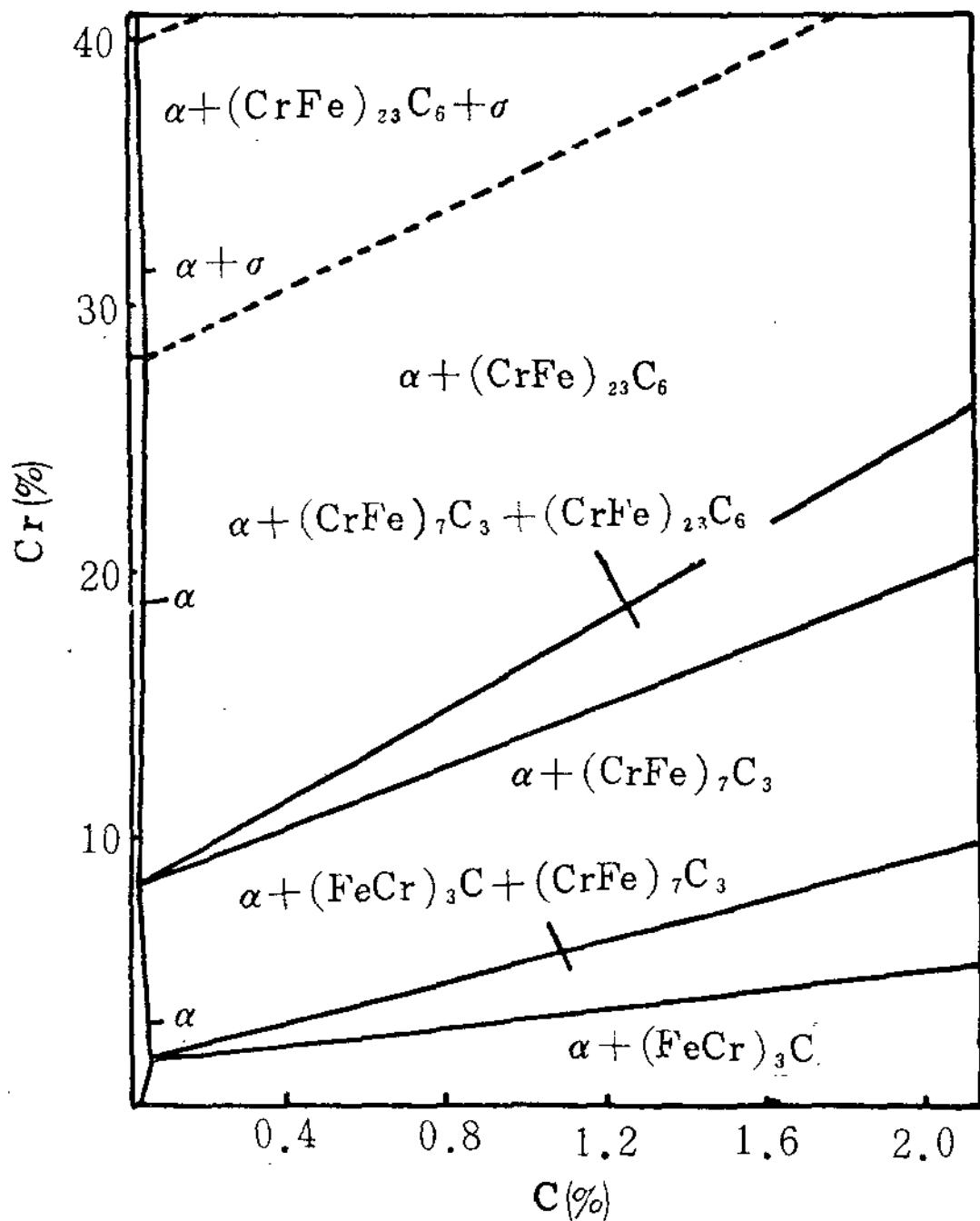


Fig.3 Constitution diagram for the iron-carbon-chromium alloys (E.C.Bain and H.W.Paxton<sup>10</sup>)

첨가되면 거대한 cementite가 대량 생성되어서 경도를 급상승시키고, Cr 양이 10%를 넘어서게 되면 Fig.3에서 보듯이 사방정인 침상 탄화물  $(\text{FeCr})_3\text{C}$ 에서 삼방정인 미세한 등축상정  $(\text{FeCr})_7\text{C}_3$ 로 바뀌면서 경도가 급격히 저하된다는 연구<sup>9-11)</sup>와 일치한다. 열처리 조직의 경우는 기지조직이 martensite로 됨에 따라 경도치가 급격히 상승하였으며, Cr 양이 9.8%인 경우가 가장 우수하였다. 이것은 Cr 양이 10% 이내에서는 기지조직인 martensite내에 미용입 탄화물의 분산효과에 기인한다고 사료된다.

Fig.4에 표시한 바와같이 Cr을 9.8% 첨가했을 때 충격치가 가장 높으며 Cr 양이 12.5%에 이르게 되면 충격치가 급격히 저하한다. 이것은 photo1에 나타난 것처럼 기지조직내에 존재하는 탄화물이 방향성을 띄게 됨으로 몹시 취약해졌다고 생각된다. 열처리를 한 경우는 기지조직이 주방조직보다 硬하게 되었기 때문에 충격치가 다소 떨어진다. 내마모성의 경우는 Fig.5에서 보듯이 Cr 양이 9.8%인 경우가 가장 우수하며, 소량의 Cr첨가시에는 열처리를 한 것이 주방상태보다 양호함을 알 수 있다.

2.2C-1.0Si-0.6Mn-0.5Cu계 주철에 Cr 양을 3.8%까지 변화시켜 얻은 주방조직은 photo2와 같다.

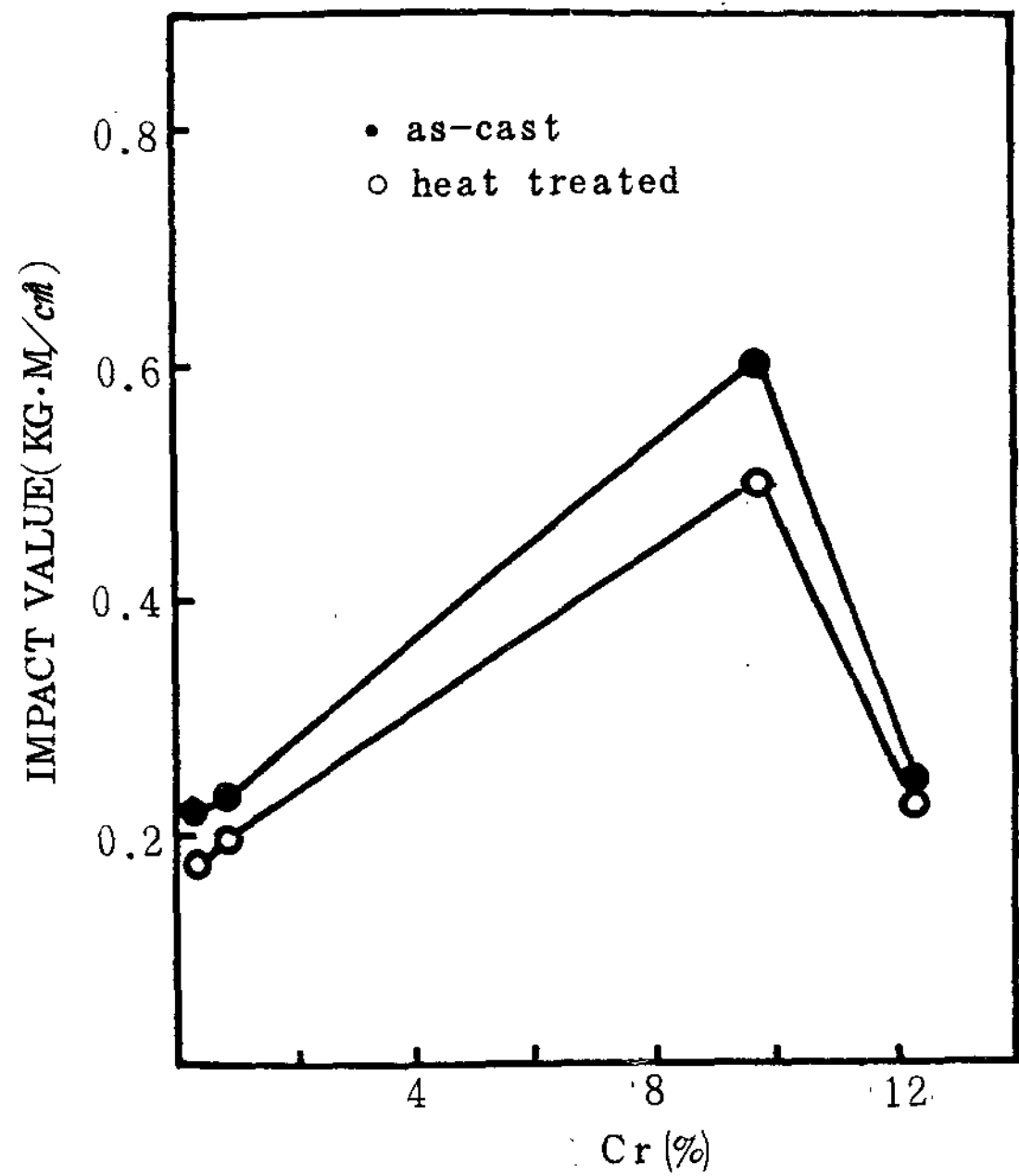


Fig.4 Relations between impact value and Cr contents (2.2C-2.5Si-0.8Mn-0.5Cu-0.5Al cast iron)

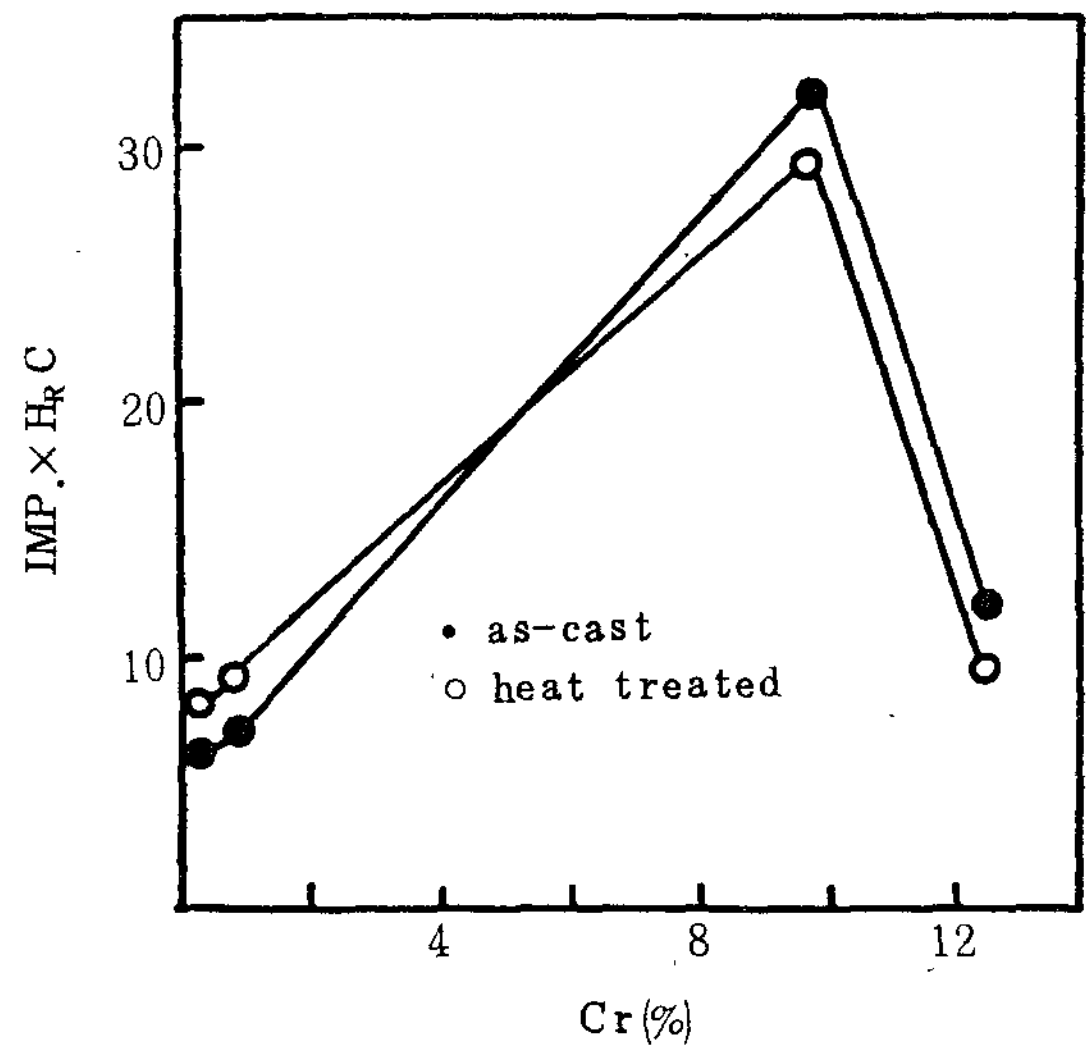


Fig.5 Relations between impact wear and Cr contents (2.2C-2.5Si-0.8Mn-0.5Cu-0.5Al cast iron).

Cr 양이 증가됨에 따라 흑연이 점차 미세해지고 탄화물의 생성이 용이해져 경도값이 증가됨을 Fig.6에 나타내고 있다. 2.2C-2.5Si-0.8Mn-0.5Cu-0.5Al계 주철과 비교했을 때 Cr첨가량이 같은 경우 Al을 첨가하지 않은 2.2C-1.0Si-0.6Mn-0.5Cu계 주

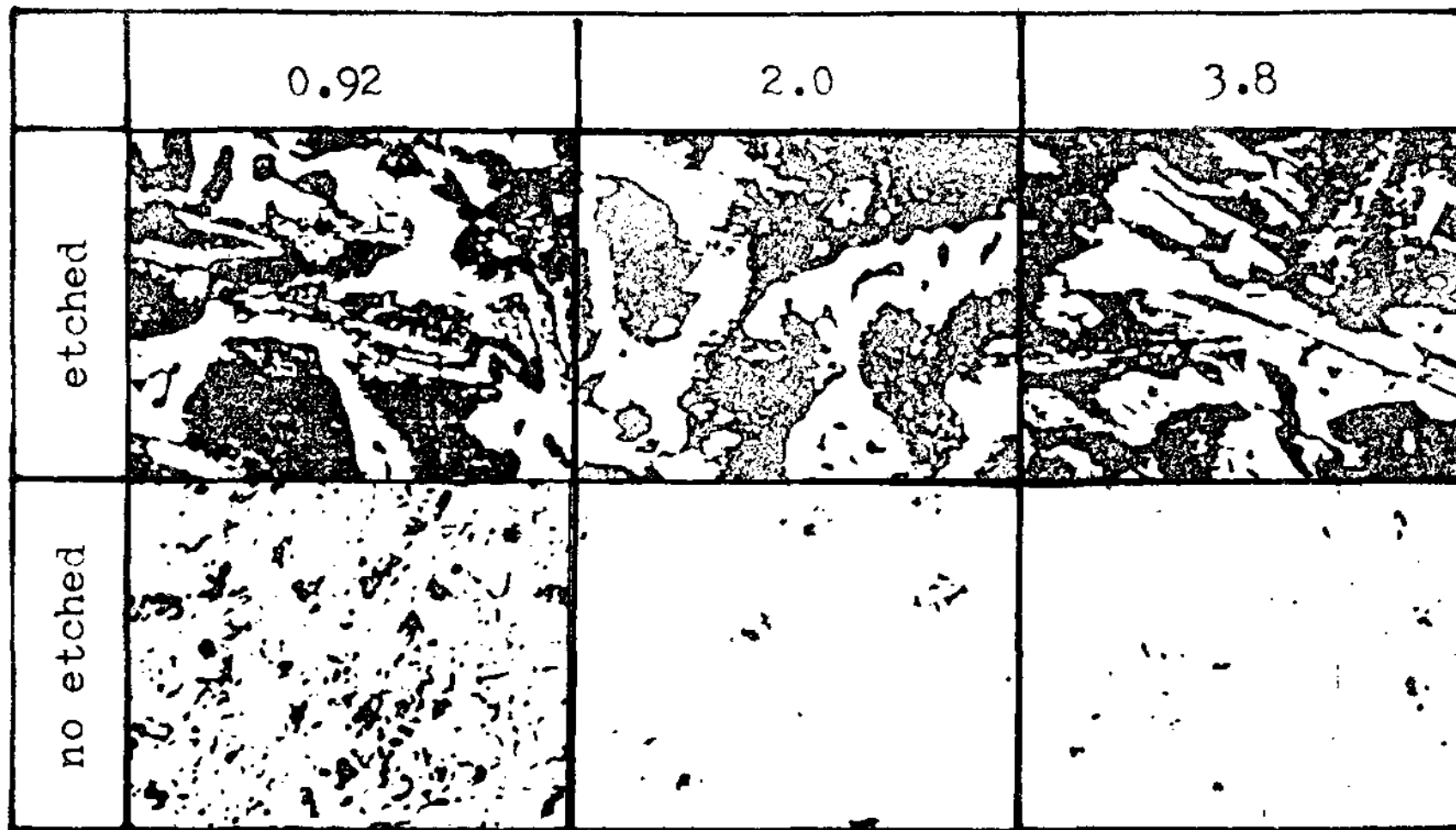


Photo 2.  
As-cast structures of 1.0Si-0.6Mn-0.5Cu cast iron according to the change of Cr contents (etched; x400, no etched; x100)

철의 경도값이 훨씬 우수하였다. 이 결과는 Al이 흑연화 조장원소로서 첨가량이 0~8%에 이르면 경도치가 급격히 저하된다는 보고<sup>12)</sup>와 일치하고 있다.

3.2 Al 첨가량의 변화에 따른 영향

2.2C-1.0Si-0.6Mn-0.5Cu-1.0Cr계 주철에 Al을 첨가시킨 주방조직은 photo 3과 같다.

Al이 증가됨에 따라 정출흑연이 알맞은 크기로 성장해서 기지조직내에 pearlite 양이 증가되고 ledeburite 및 cementite의 감소가 일어났으며, Al의 첨가량이 4.1%에 이르면 pearlite는 미세해지기 시작한다. 이때 흑연조직은 피상에서 피상과 편상 그리고 구상으로 변화한다. 일반적으로 Al은 흑연이 구상화되는 것을 저해<sup>6)</sup>시키나 2.2C-1.0Si-0.6Mn-0.5Cu-1.0Cr계 주철에서는 Al을 4.1% 첨가했을 때 흑연의 구상화가 일어났다.

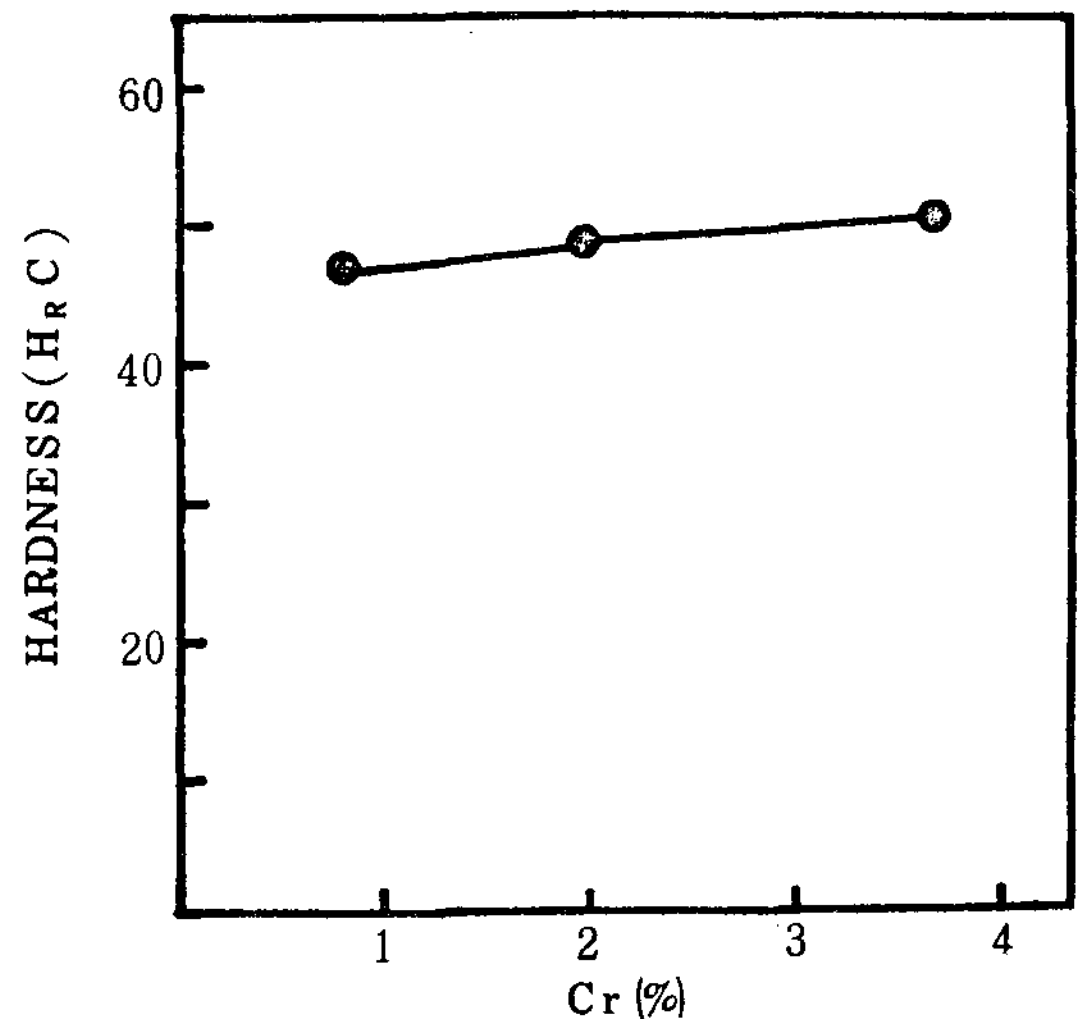


Fig. 6 Relations between hardness and Cr contents (2.2C-1.0Si-0.6Mn-0.5Cu cast iron).

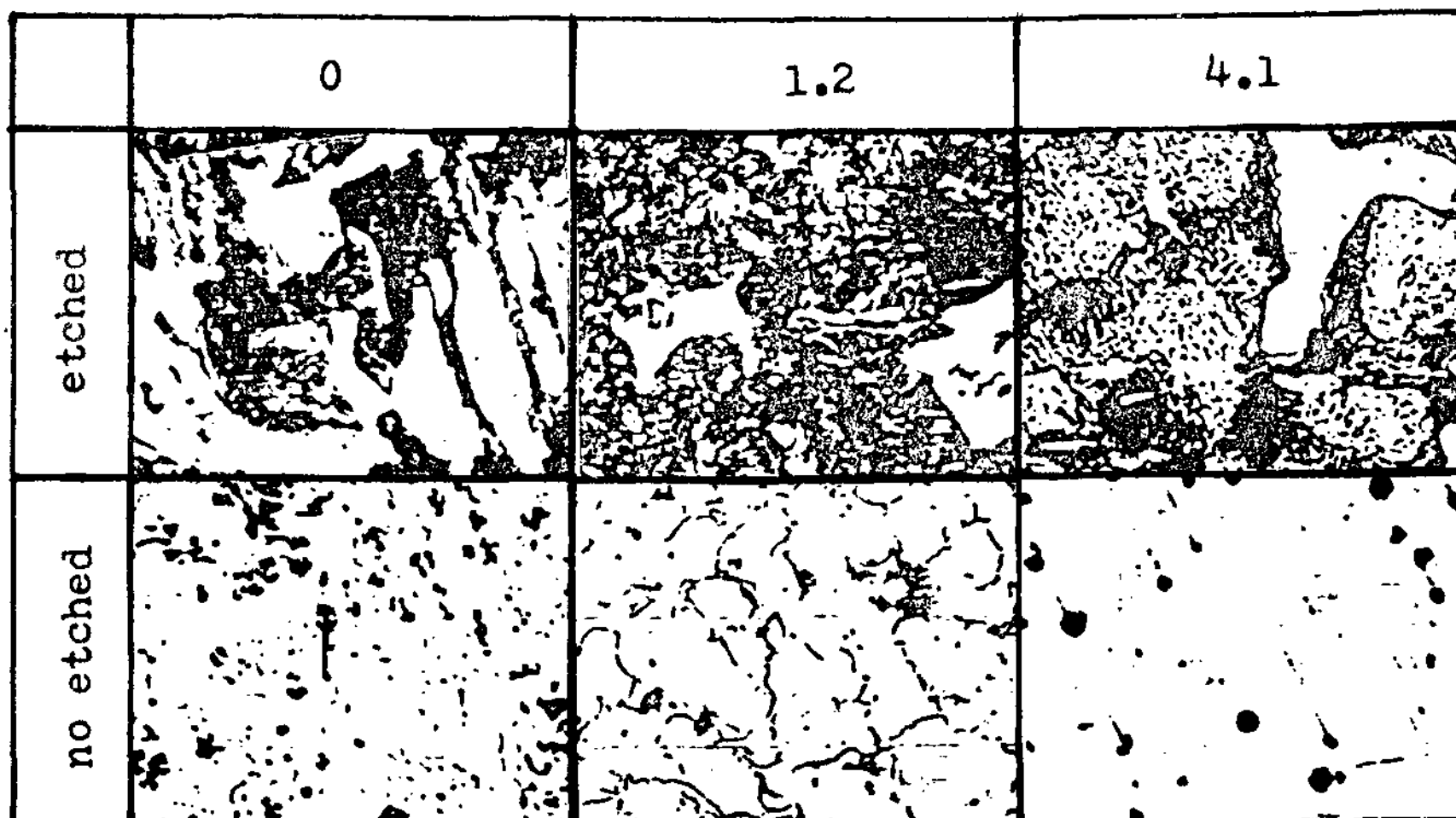


Photo 3.  
As-cast structures of 2.2C-1.0Si-0.6Mn-0.5Cu-1.0Cr cast iron according to the change of Al contents (etched; x400, no etched; x100)

Al 이 첨가됨에 따라 Fig.7에서 보듯이 경도의 감소가 일어났으며 Al 양이 4.1%에 이르면 다시 경도의 증가가 일어났다. 이것은 흑연의 형태가 피상에서 피상과 편상 그리고 구상으로 열처리를 한 것은 변화되었을 뿐만 아니라, 또 Al의 흑연화 작용으로 인해서 기지조직이 ferrite로 됨에 따라 경도가 차츰 저하되다가 Al 첨가량이 증가됨에 따라 복합탄화물 K가 석출<sup>13)</sup> 되어서 경도가 상승되었다고 사료된다. 기지조직의 강화로 인해서 주방조직보다 우수한 정도값을 나타내었다.

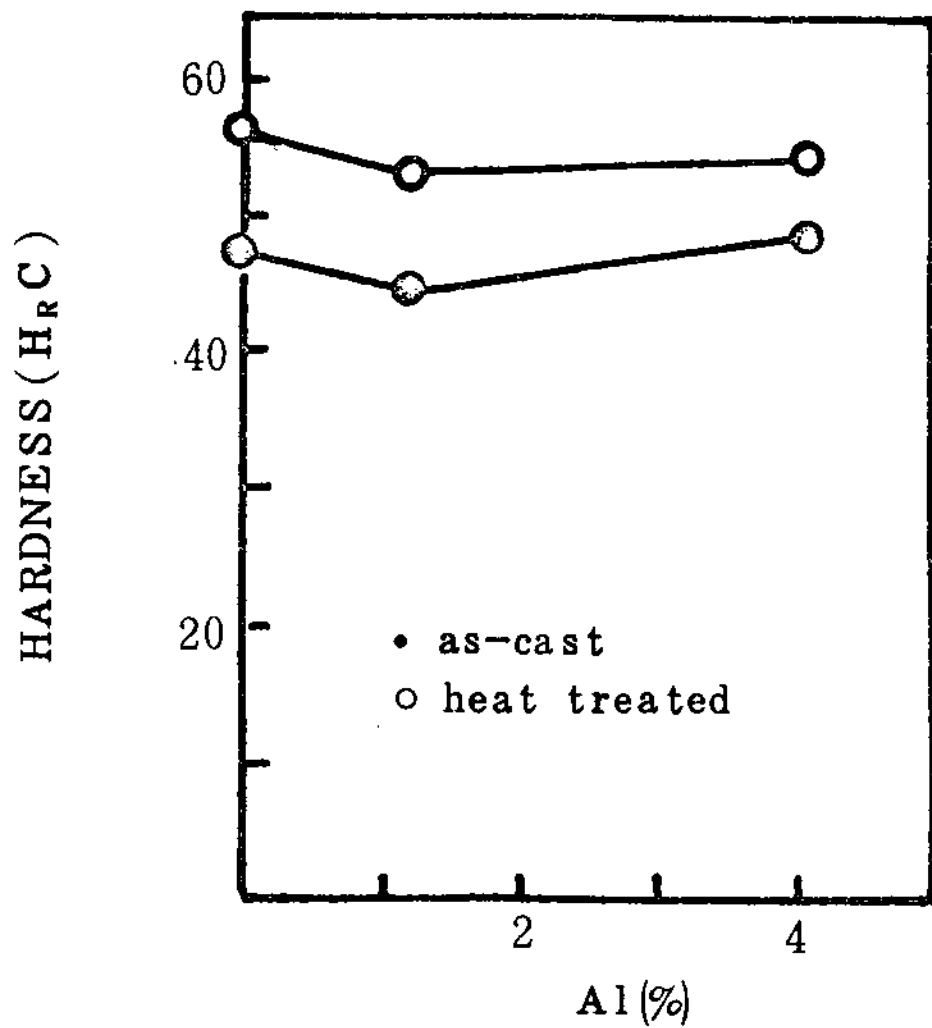


Fig.7 Relations between hardness and Al contents (2.2C-1.0Si-0.6Mn-0.5Cu-1.0Cr cast iron).

Fig.8은 Al 첨가에 따른 충격치의 변화를 나타낸 것이다. 주방조직의 경우 Al 첨가량이 증가됨에 따라 취약한 복합탄화물 K가 석출<sup>13)</sup> 되어서 충격치가 급격히 저하한다. 그러나 열처리를 한 것은 Al이 4.1% 첨가된 것이 구상흑연이 미세해졌기 때문에 충격치가 다소 증가했다.

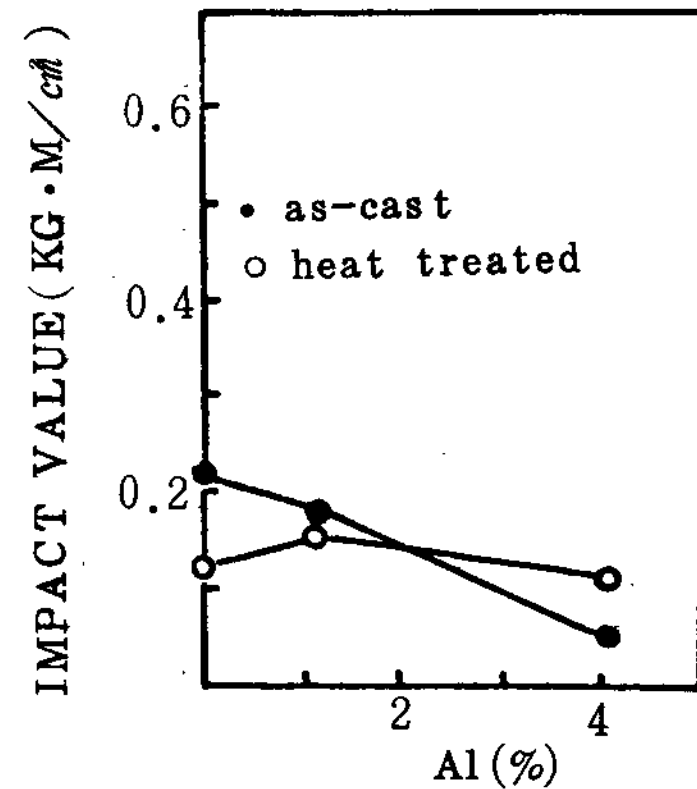


Fig.8 Relations between impact value and Al contents (2.2C-1Si-0.6Mn-0.5Cu-1.0Cr cast iron).

### 3.3 Cu 첨가량의 변화에 따른 영향

2.2C-1.0Si-0.6Mn-4.0Cr 계 주철에 다 Cu 양을 변화시켜 얻은 주방조직과 열처리조직은 photo 4와 같다.

주방조직의 경우 Cu가 강력한 pearlite 안정화 원

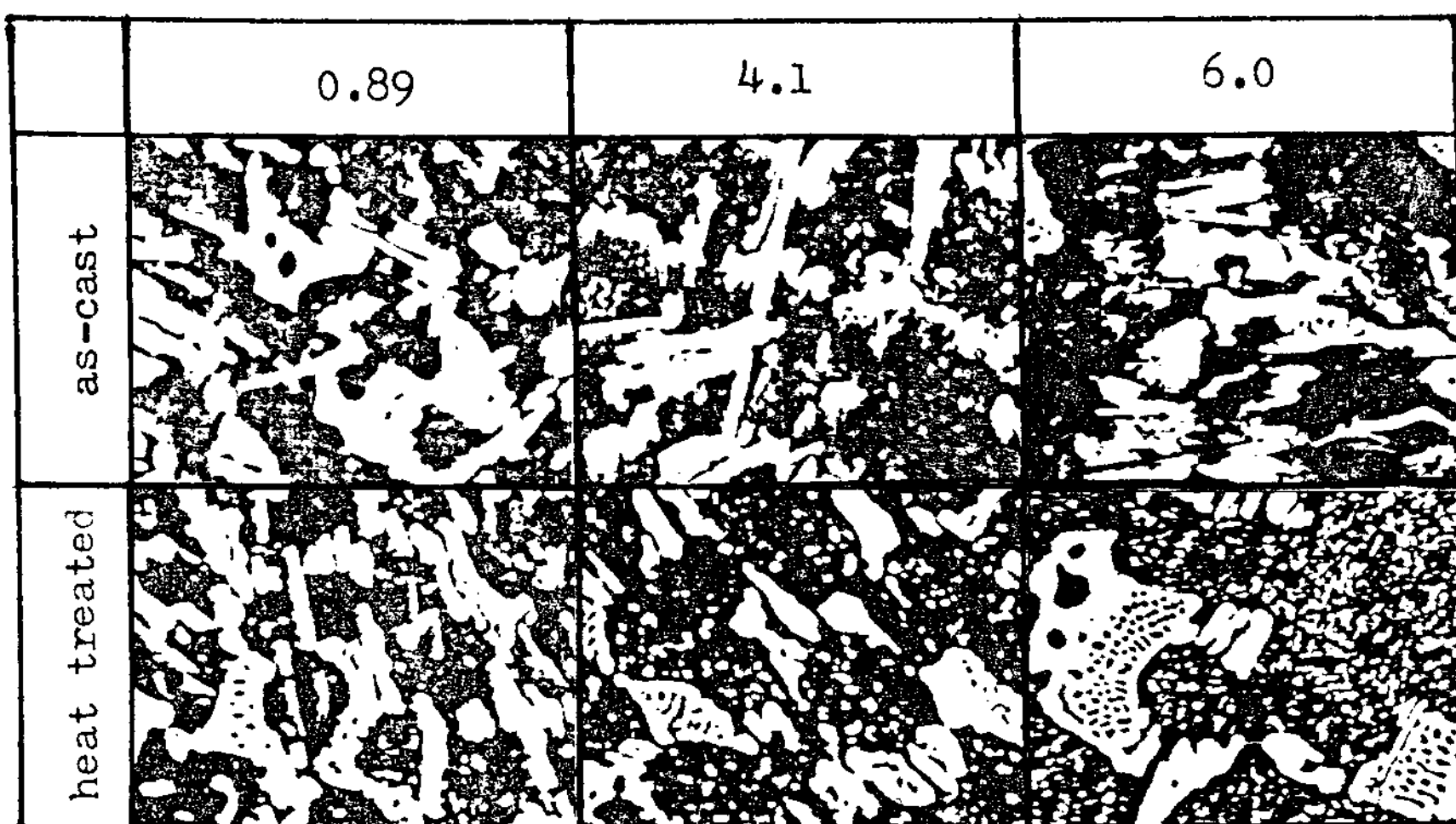


Photo 4. Microstructures of 2.2C-1.0Si-0.6Mn-4.0Cr cast iron according to Cu contents (x400)

소이기 때문에 기지조직내에 pearlite 양이 점차 증가되고 있음을 알 수 있으며, 열처리조직의 경우는

ledeburite가 증가되고 있음을 알 수 있다.

Fig.9에서 보듯이 Cu 첨가량이 증가됨에 따라 주



방상태의 기지조직에서 ferrite 양이 감소되고 pearlite 양이 증가됨에 따라 경도가 증가됨을 알 수

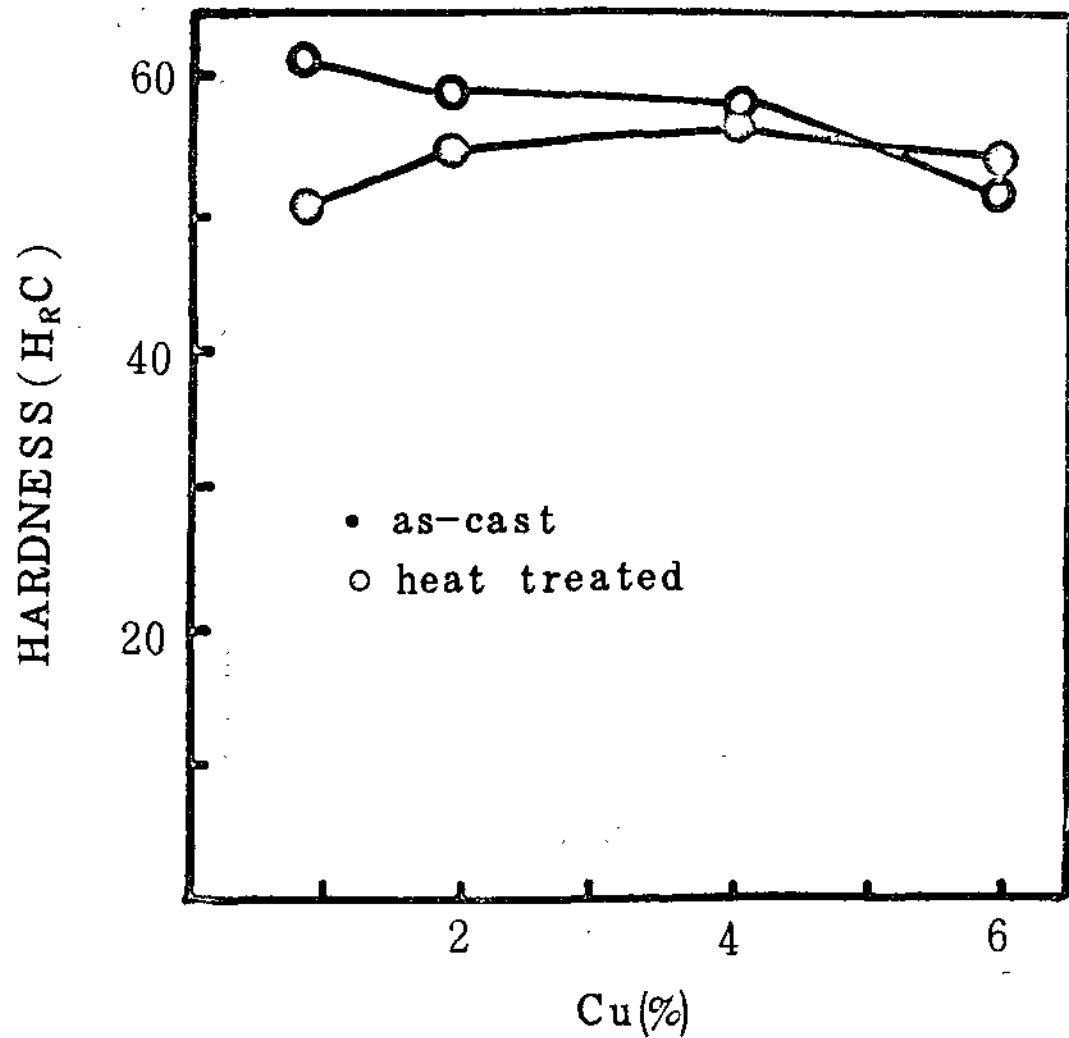


Fig.9 Relations between hardness and Cu contents (2.2C-1.0Si-0.6Mn-4.0Cr cast iron).

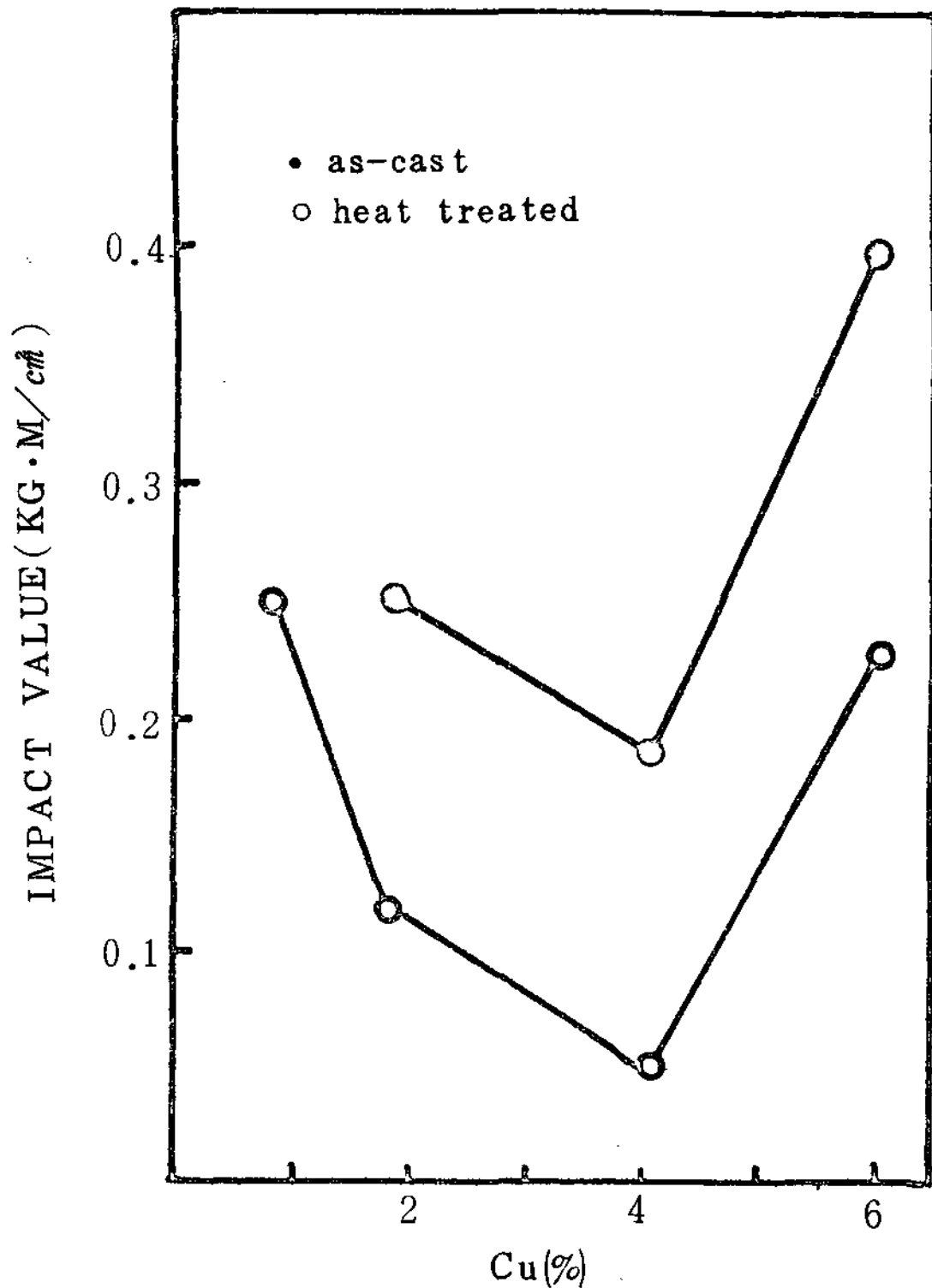


Fig.10 Relations between impact value and Cu contents (2.2C-1.0Si-0.6Mn-4.0Cr cast iron).

있다. 그러나 Cu 양이 4.1%를 넘어서게 되면 더 이상의 경도증가는 일어나지 않는다. 이것은 주철에서 Cu의 용해도가 제한<sup>5,14)</sup> 되기 때문이라고 사료된다.

열처리조직의 경우는 기지조직의 강화로 인해서 경도치가 다소 높았으나 Cu 양이 증가됨에 따라 점차 감소되고 있다.

Fig.10은 Cu첨가량에 따른 충격치의 변화를 나타낸다. 주방조직의 경우는 ferrite 양이 감소되고 pearlite 양이 증가됨에 따라 충격치는 차츰 감소되다가 흑연이 균일해짐에 따라 급격한 상승을 보인다. 열처리를 한 조직의 경우는 기지조직의 강화로 인해서 충격치가 다소 떨어진다.

#### 4. 결론

본 연구를 통해서 얻은 결론은 다음과 같다.

- 1) Cr 첨가는 주철의 기지조직인 pearlite와 흑연을 미세화시킬뿐만 아니라 탄화물을 형성하며, 또 Cr 양이 9.8%일때가 기계적 성질이 가장 우수하였다.
- 2) Cr을 첨가한 시편을 수냉한뒤 tempering하여 martensite기내에 1차탄화물을 분산시킴으로써 고력 내충격 내마모 주철을 얻을 수 있었다.
- 3) Al이 4%이내 첨가되었을때 급격한 경도의 저하가 일어났다.
- 4) Al은 흑연의 형태를 변화시키며, Al이 다량 첨가되면 복합탄화물이 생성되어서 충격값을 저하시키나 열처리를 함으로서 향상시킬 수 있었다.
- 5) Cu첨가시 4%이내까지는 경도를 상승시키나 그이상 첨가되어도 더 이상 증가되지 않았다. 그러나 충격값은 크게 향상되었다.

#### 5. 참고문헌

- 1) 홍중휘 : 과학기술처 연구보고, (1980), R-80-7.
- 2) 이종남 : 대한금속학회지, 14(1976), 67
- 3) Y. Matsubara, K. Ogi and K. Matsuda: Imono, 48(1976), 706.
- 4) Y. Matsubara, Y. Honda, K. Nishi and K. Matsuda: ibid., 53(1981), 369
- 5) 이해창, 김수영 : 대한금속학회지, 18(1980), 218
- 6) 김수영, 박운우 : 대한금속학회지, 17(1979), 378
- 7) 이해창 : 대한금속학회지, 18(1980), 289

- 8) 허보영, 김수영 : 대한금속학회지, 19(1981), 890
- 9) C.O. Burgess and H.K. Briggs: Chromium, M.J. Udy, vol. 2, Chapman and Hall, Ltd., (1956), 242.
- 10) E.C. Bain and H.W. Paxton: Alloying Elements in Steel, Second ed., ASM, (1966), 71.
- 11) N.R. Griffing, W.D. Forgens and G.W. Healy: TMS AIME, 224 (1962), 148.
- 12) S.L. Case and K.R. Van Horn: Aluminum in Iron and Steel, part 2, John Wiley and Sons, Inc., (1953), 410.
- 13) S.L. Case and K.R. Van Horn: ibid., part 2, John Wiley and Sons, Inc., (1953), 265.
- 14) J.L. Gregg and B.N. Daniloff: The Alloy of Iron and Copper, McGraw Hill Book Company, (1934), 454.

### 關 聯 業 界 消 息

#### 韓 國 鑄 鍛 造 工 業 協 同 組 合

#### 주단조품 해외 상설시장 개관

주단조품의 수출증진을 위하여 83.11.14 (현지시간)자로 미국아틀란타에서 주단조품 해외 상설시장을 개관하였다.

1. 전 시 장 명 칭 : KOREAN FOUNDRY EXHIBITION CENTER (KOFEC)
2. 전시장개막일시 : 1983.11.11 (금요일) 11:00 (현지시간)
3. 전 시 장 주 소 : 2161 NEW MARKET PARKWAY, SUITE 222 & 224, MARIETTA, GEORGIA 30067, U.S.A.
4. 현지 KOTRA 무역관 주소 : 222-224, NEW MARKET BUSINESS PARK, 2161 NEW MARKET PARKWAY SUITE, 222 & 224, MARIETTA, GEORCTA 30067, U.S.A.  
TEL: (404) 951-9541~3

#### 韓 國 科 學 技 術 院 鑄 物 技 術 센 터

#### 소 속 변 경

鑄物技術分野 研究機關인 韓國科學技術院 주물기술센터는 83年 7月 1日부터 韓國機械研究所로 이관하였으며 이관 후의 변경된 명칭 및 주소는 아래와 같다.

- 가. 명 칭 : 한국기계연구 주물연구부
- 나. 주 소 : 인천직할시 북구 가좌동 472번지  
TEL : 인천 83-0206, 0207
- 다. 본소주소 : 경남 창원시 상남동 66