

.....
論 文

금형주조한 오스텨퍼 회주철의 기계적성질 및 파괴인성

이영상*, 이하성**, 강동명**

Mechanical Properties & Fracture Toughness of Austempered Gray Cast Iron(AGI) by Permanent Mould Casting

Young-Sang Yi*, Ha-Sung Lee** and Dong-Myeong Kang**

Abstract

The mechanical properties and fracture toughness of permanent mold cast austempered gray cast iron(AGI) were compared to those of sand cast AGI. The iron was melted to eutectic composition in order to get better castability especially in permanent mold casting. Specimens prepared for tensile, impact and fracture toughness test were austenitized at 900°C and austempered at 270°C and 370°C for 1 hour.

The strength, impact and fracture toughness of permanent mold cast AGI were found to be superior to those of sand cast AGI. The maximum value of 836 MPA in tensile strength, was obtained at the austempering temperature of 270°C. But ductility of AGI was not improved by permanent mold casting.

(Received 25 May, 1995)

1. 서 론

동의 대체재료로서 기대를 모으고 있는 오스텨퍼 구상흑연주철(ADI)[1-4]에 대한 활발한 근년의 연구[5-9]를 배경으로 최근에는 편상흑연주철을 오스텨퍼링 하여 얻는 오스텨퍼 회주철(Austempered gray cast iron, AGI)에 관한 연구도 시작되고 있다. AGI 연구자는 회주철을 오스텨퍼링하면, 거의 연속적인 성질을 갖는 흑연편이 연성의 개선을 상당한 정도로 막는다고 할지라도, 베이나이트 변태에 따른 기지조직의 변화에 의하여 기계적성질의 개선이 어느 정도는 반드시 생길 것이라는 데에 주안점을 두고 있었다[10].

한편, 주철을 금형주조하여 얻고자 하는 연구는 상당히 오래 전부터 이루어져 오고 있는데, 금형주조주철의 조직은 페라이트 기지와 공정상

흑연으로 되어 있으며, 미세흑연이 분포되어 있어서 습태마모에 강 하고 주물의 표면부는 강판과 다름없이 치밀성을 보이며 가공성이 매우 좋은 등의 독특한 장점들이 널리 알려져 있다[11-12].

본 연구에서는 오스텨퍼링에 의한 기지조직의 강화와 금형주조에 의한 조직의 미세화에 따른 인성의 향상을 기대하고 금형주조한 오스텨퍼회주철(AGI)의 기계적성질과 파괴인성시험을 하였다.

2. 실험방법

2.1 시편의 제작

본 실험에서 사용한 시료는 50kg 용량의 중주파 유도로에서 선철과 연강고철을 장입하여 용해한 후, 소량의 규소철로 첨종하고 약 1,350°C에

*생산기술연구원(Korea Academy of Industrial Technology)

**유한전문대학 금형설계과(Yu Han Technical College, Dept. of Tool & Mould Design)

Table 1. Chemical Composition of Cast Iron

Element	C	Si	Mn	P	S
Specimen					
Plain iron	3.35	2.46	0.42	0.10	0.02

서 준비된 각종의 주형에 주조하였다. 인장시험용 공시재는 직경 16mm의 원형봉으로 주조하고, 파괴인성 및 충격시험용 시편은 두께 30mm의 Y블록(Fig. 1)을 주조하여 얻었다. 위의 각각을 사형(CO2형)과 주철제의 2종의 주형을 써서 주조하였다. 주조된 공시재의 조성은 Table 1과 같다. Fig. 1과 같이 원형봉상의 공시재로부터 인장시편을, Y자형 공시재로부터는 시편으로 사용할 수 있는 유효부를 채취하여 충격시편을 가공하고, ASTM E-399 규정에 따라서 파괴인성시험을 위한 CT시편을 Fig. 2와 같이 폭(W) 50mm로 하여 가공하였다. 시험편 열처리시에

탈탄을 막기 위하여 질소 가스 분위기를 이용하였으며[13] 전기 머플로에서 900°C에서 1.5시간 가열하여 오스테나이트화 한 후 270°C 및 370°C의 염욕에 퀘칭하여 Fig. 3과 같이 오스템퍼링 하였다.

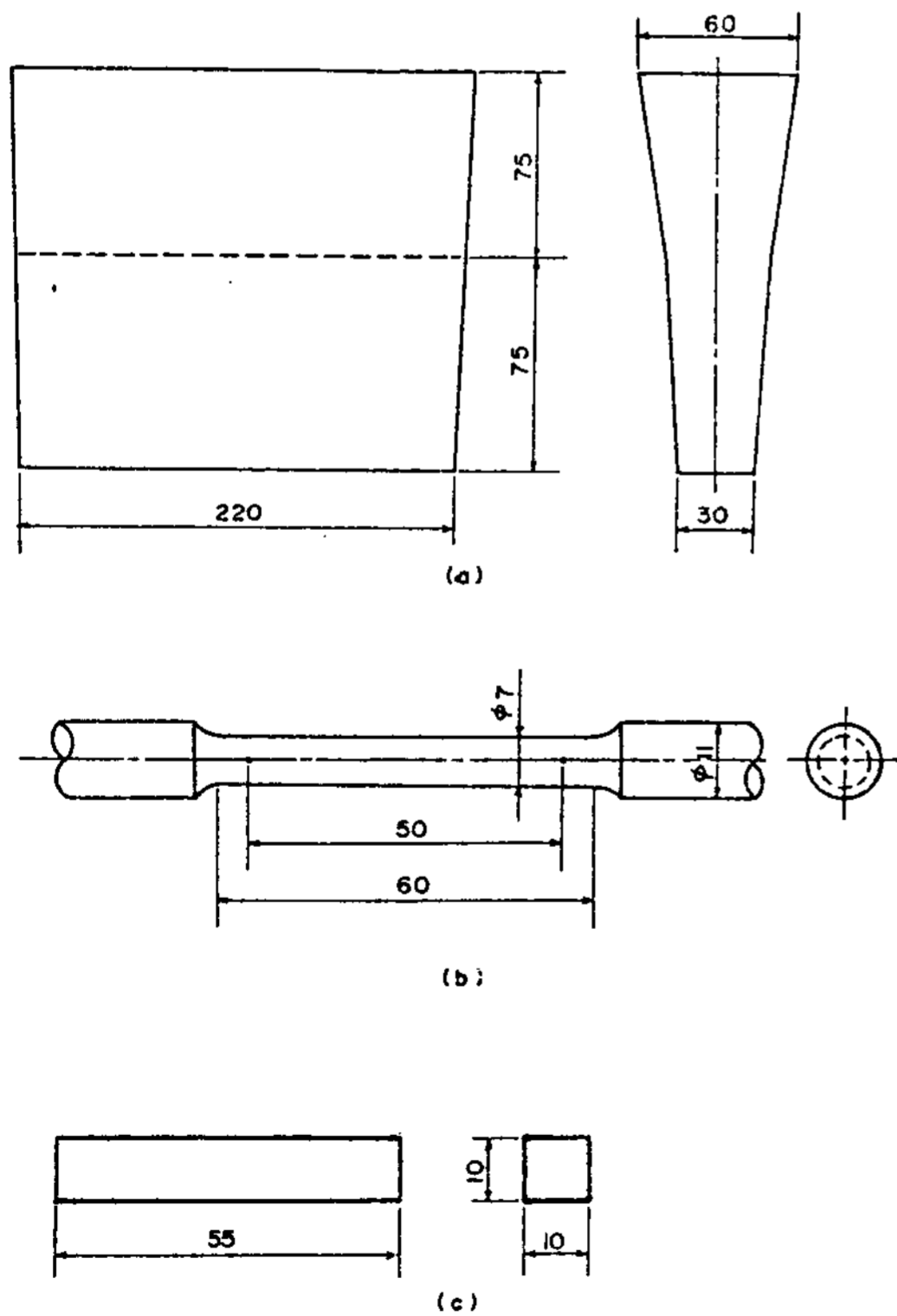


Fig. 1 Dimension of (a) Y-Block, (b) Tensile Test Specimen and (c) Charpy Impact Specimen. (unit : mm)

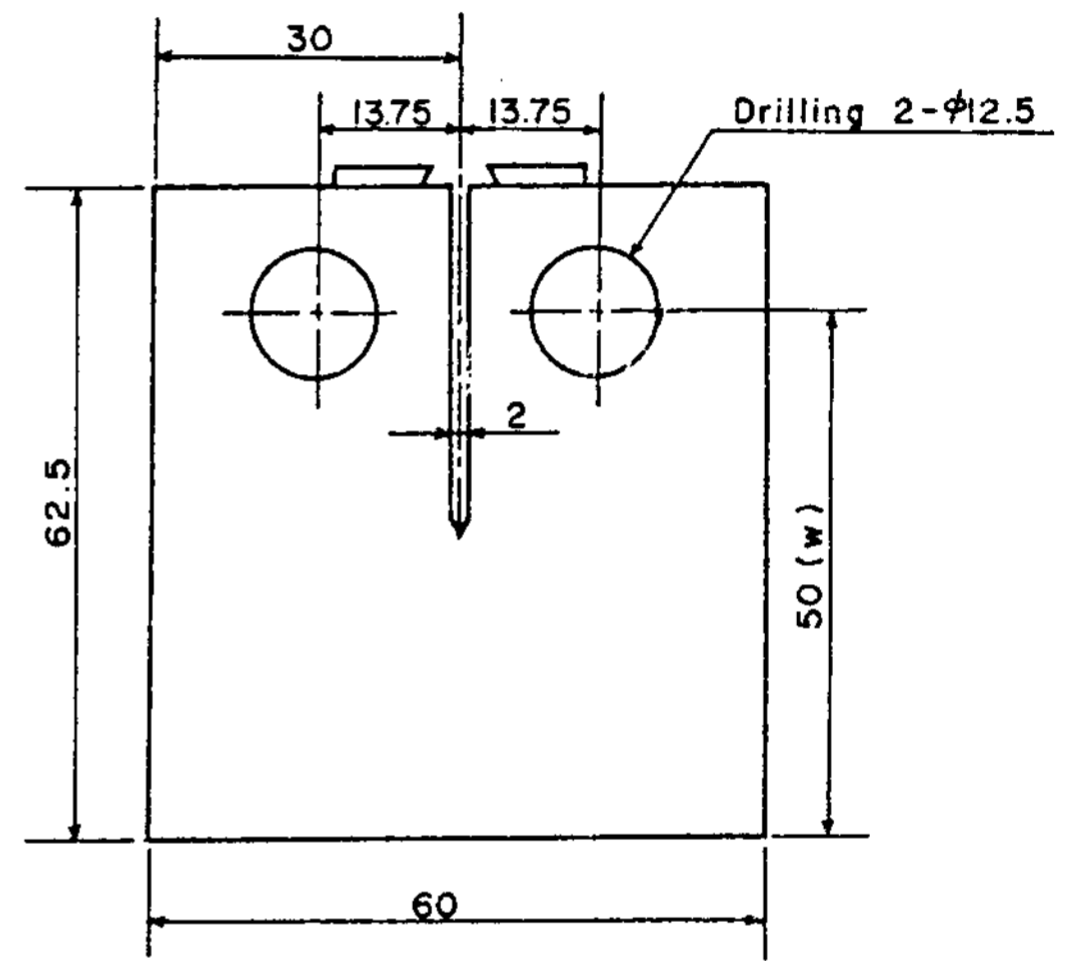


Fig. 2. Dimension of CT Specimen.

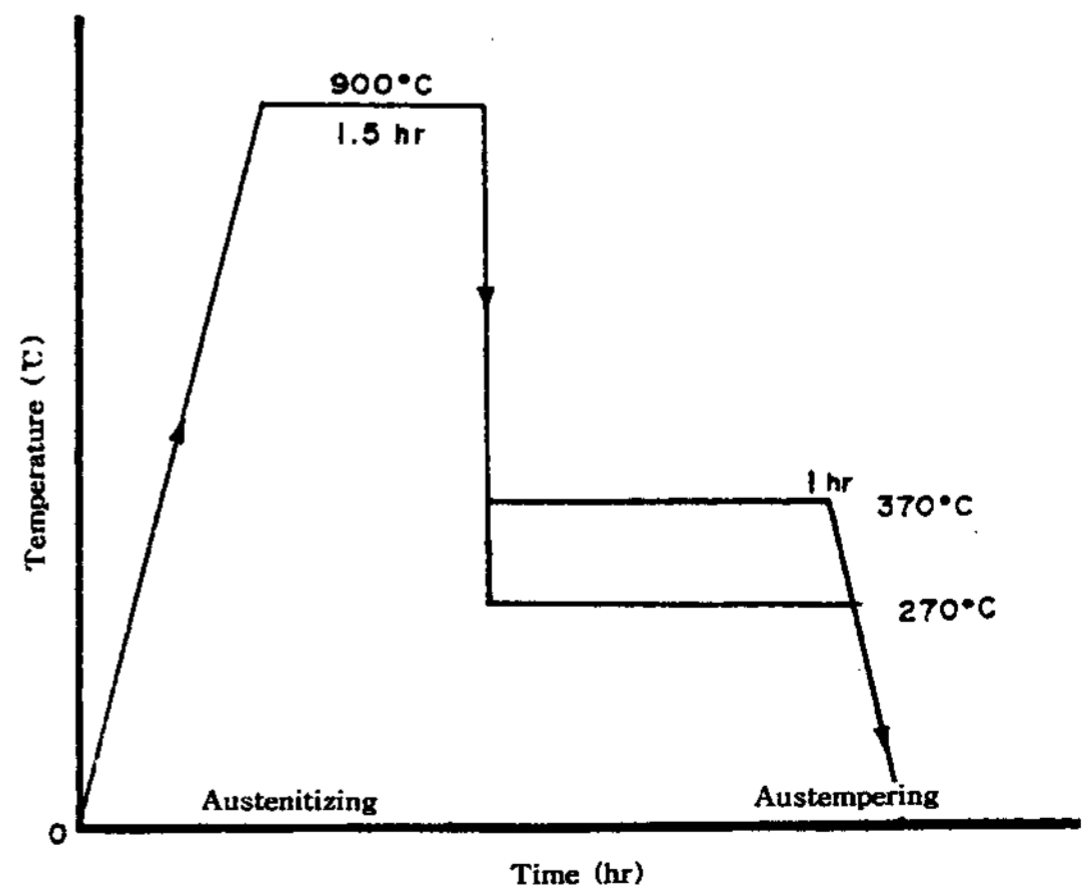


Fig. 3. Heat Treatment Cycles for Austempered Gray Cast Iron.

2.2 기계적성질 시험 및 조직검사

인장시험은 만능 재료시험기(Toyo Baldwin Co., Cap., 10ton)를 사용하였으며 크로스 헤드의 속도는 2mm/min.으로 하였다. 경도시험은 CT 시험편을 브린넬 경도 시험기(Otto Wolpert-Werke사, Dia Testor 3a, Max. 3,000kg)로 측정하였다. 조직검사는 인장시험을 한 시편의 물림부로부터 시편을 채취하여 주사전자현미경으로 관찰하였다. 각 시료의 잔류 오스테나이트량의 측정은 X선 회절시험기로 기지의 미세조직 분율을 측정하였다.

2.3 파괴인성시험 및 충격시험

평면변형 파괴인성(K_{IC}) 시험은 용량 15ton의 피로시험기(Simadzu Co.)를 사용하여 시험편에 피로균열 없이 단순인장을 파괴시까지 하였고, 하중과 균열개구 변위 선도에서 K_Q값을 구한 후 K_{IC} 값이 되기 위한 타당성을 검토하였다 [14]. 이러한 K_{IC} 값을 얻기 위한 절차는 ASTM E-399규정에 따라 계산하였다. 충격시험은 샤르피 형 충격시험기(Satec System Inc., S1-1D3)를 사용하여 상온에서 무노치 상태로 시험하였다 [15].

3. 실험결과 및 고찰

3.1 기지조직의 베이나이트 변태

금형주조 및 사형주조한 시료에 대한 열처리 조건별 주사 전자현미경 조직을 Photo. 1에 나타내었다. 흑연조직은, 사형주조한 것이 A형을, 금형주조한 것은 대부분의 D형과 약간의 E형을 보인다. 사형과 금형 모두에서 오스텨퍼링한 시료는 베이나이트 조직을 보이고 있다. 낮은 오스

텨퍼링 온도에서는 조직이 미세화하고 치밀하게 분포됨을 볼 수 있다. 즉, 오스텨퍼링 온도가 270°C일 때의 조직은 베이나이트내에 미세한 세멘타이트가 분산된 침상조직이며, 침상 베이나이트와 잔류 오스테나이트가 혼합된 조직이다. 반면에 370°C의 오스텨퍼링 온도에서 얻어진 시료의 조직은 베이나이트 래스(lath)가 조대하고 래스 간격도 넓은 깃털상 조직이다.

X-ray 회절시험으로부터 얻은 결과는 Table 2에 나타내었으며, Fig. 4에는 잔류 오스테나이트량을 오스텨퍼링 온도와의 관계로 나타내었는데, 금형주조와 사형주조가 마찬가지로 370°C일 때가 많다. 이는 오스텨퍼링 온도가 높아지면 오스텨퍼링시에 오스테나이트 중으로의 탄소의 확산속도가 높아져서 고용 탄소량이 증가하여 안정한 잔류 오스테나이트가 많아지기 때문이라고 생각된다.

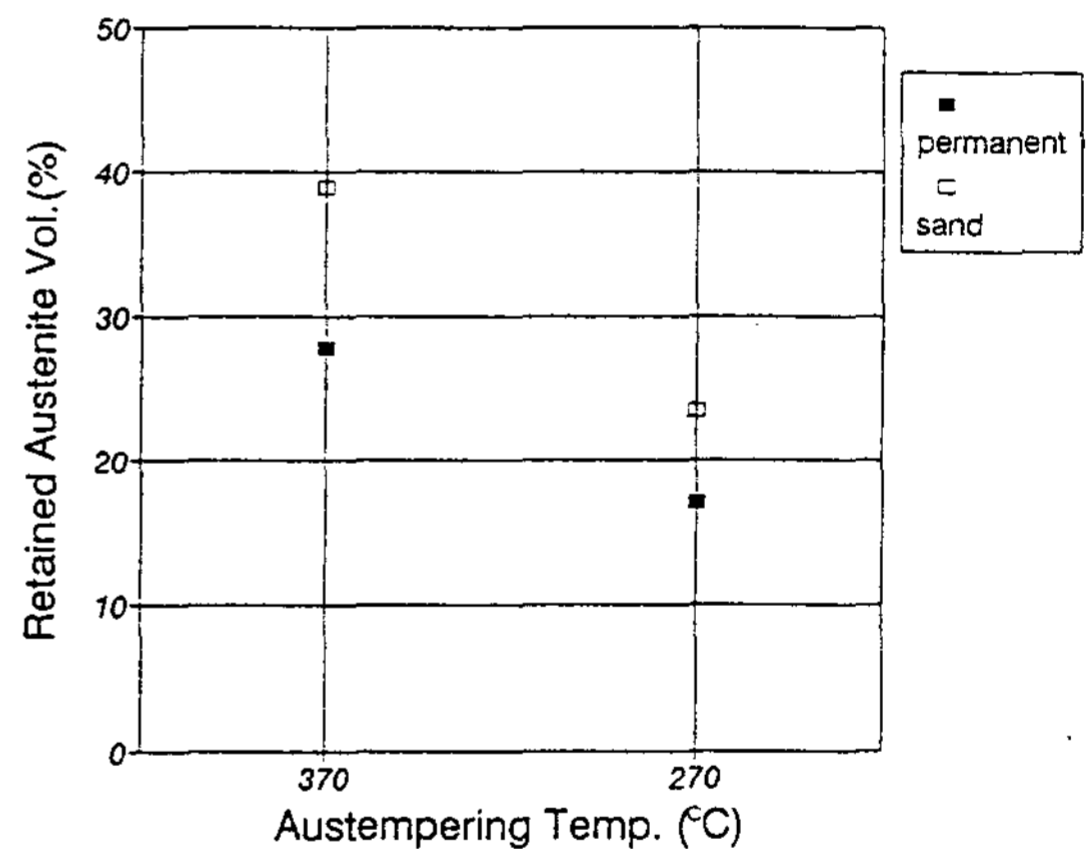


Fig. 4. Retained Austenite Vol. vs. Austempering Temp.

Table 2. Results of X-ray Diffractometry of AGI

Austemper- ing Temp. and Time	Permanent Mold AGI			Sand Cast AGI		
	Lattice Parameter, $a\gamma(\text{Å})$	Retained Austenite Volume, $V\gamma$ (%)	Carbon Content in Retained Austenite, $C\gamma(\%)$	Lattice Parameter, $a\gamma(\text{Å})$	Retained Austenite Volume, $V\gamma$ (%)	Carbon Content in Retained Austenite, $C\gamma(\%)$
270°C (1Hr)	3.6222	17.0	1.49	3.6180	23.4	1.36
370°C (1Hr)	3.6304	27.8	1.74	3.6249	38.9	1.57

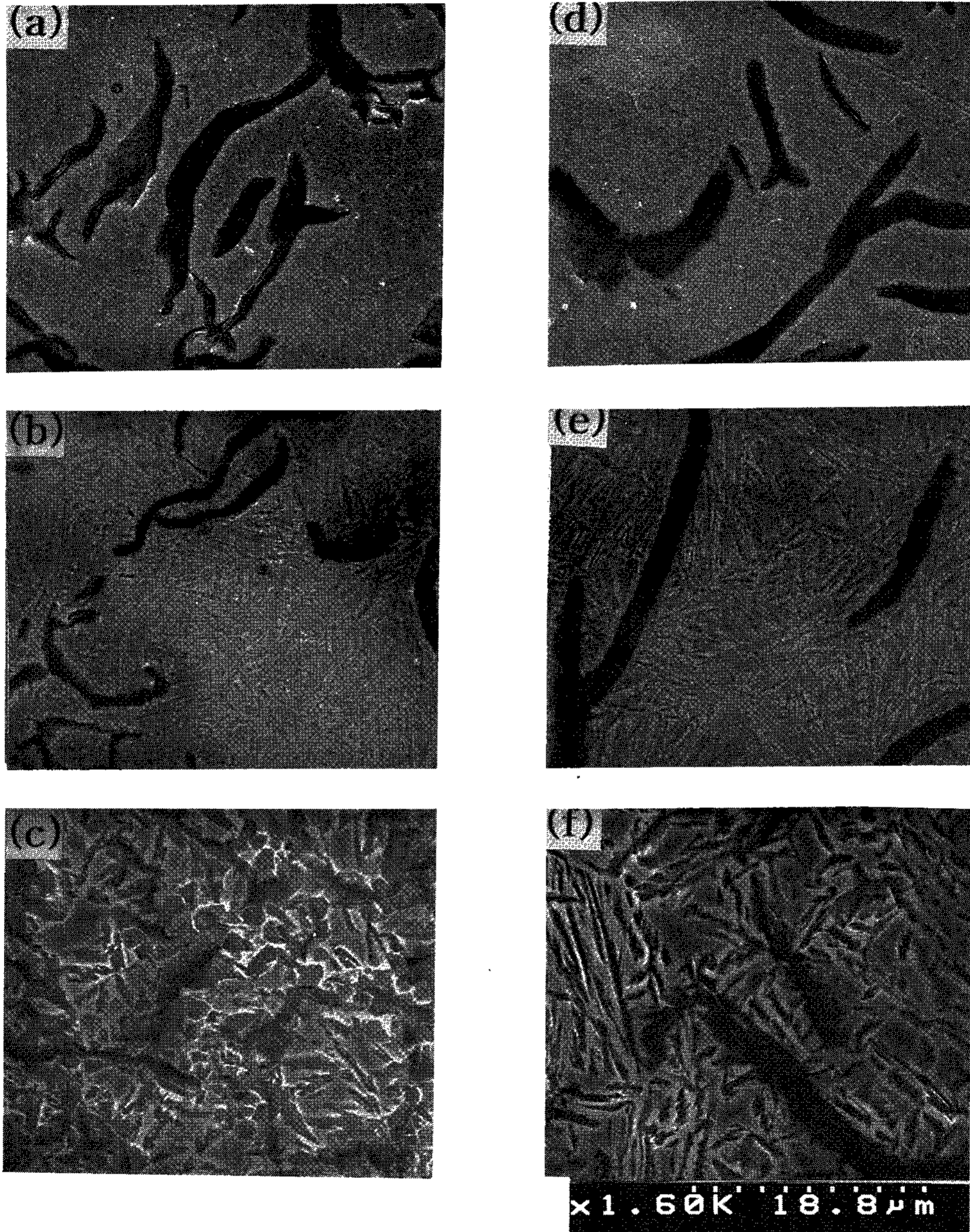


Photo 1. Scanning Electron Micrographs of normalized cast iron and AGI
 Permanent Mold : (a) normalized (b) 270°C (c) 370°C
 Sand Cast : (d) normalized (e) 270°C (f) 370°C

3.2 기계적성질

인장시험으로부터 얻은 시료의 기계적성질을 Table 3에 나타내었다. 금형주조한 시료가 사형주조 시료보다 인장강도가 크게 나타났다. 노말라이징한 시료의 인장강도는 금형주조의 경우 367MPa 이며 사형주조의 경우 263MPa로서 금형주조한 시료의 인장강도가 39% 증가하였으며, 오스템퍼링한 시료들은 인장강도가 훨씬 높게 나타났는데 270°C 오스템퍼링의 경우 금형주조시 836MPa, 사형주조의 경우 446MPa로서 금형주조에 의한 강도의 증가는 87%이고, 370°C 오스템퍼링의 경우는 금형주조 598MPa, 사형주조의 경우 367MPa로서 금형주조에 의한 강도의 증가는 63%이었으나 연신율은 차이가 거의 없이 1% 미만이었다. 이상의 결과를 보면 270°C에서 오스템퍼링한 하부 베이나이트 시료는 인장강도가 높게 나타나고, 370°C에서 오스템퍼링한 상부 베이나이트 시료는 인장강도가 떨어짐을 알 수 있다. 이상의 인장시험 결과를 Fig. 5에 나타내었다. 경도시험의 결과는 Fig. 6에 나타내었는데 금형주조, 노말라이징한 시료의 경우 HB 140, 오스템퍼링 온도가 270°C에서 HB 310, 370°C에서는 HB 264로 나타났으며, 사형주조의 경우 노말라이징한 시료가 HB 105, 오스템퍼링 온도가 270°C에서 HB 235, 370°C에서는 HB 205로 나타났다. 이상의 결과에서 사형주조에 대한 금형주조의 경도치의 증가는 노말라이징의 경우 33%, 오스템퍼링 온도 270°C의 경우는 32%이고, 오스템퍼링 온도 370°C에서는 28% 증가하였다.

경도시험 역시 270°C에서 오스템퍼링한 하부 베이나이트 시료는 경도가 높게 나타나고, 370°C에서 오스템퍼링한 상부 베이나이트 시료는 경도가 떨어짐을 알 수 있다.

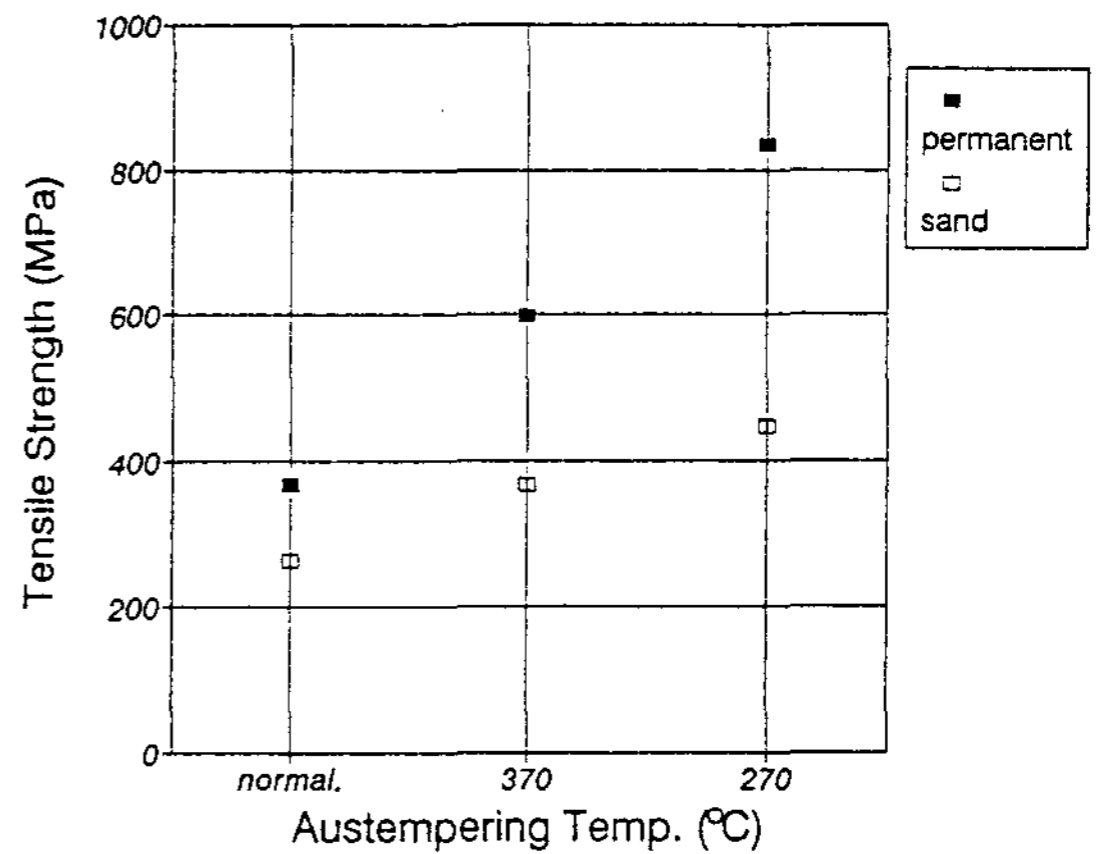


Fig. 5. Tensile Strength vs. Austempering Temp.

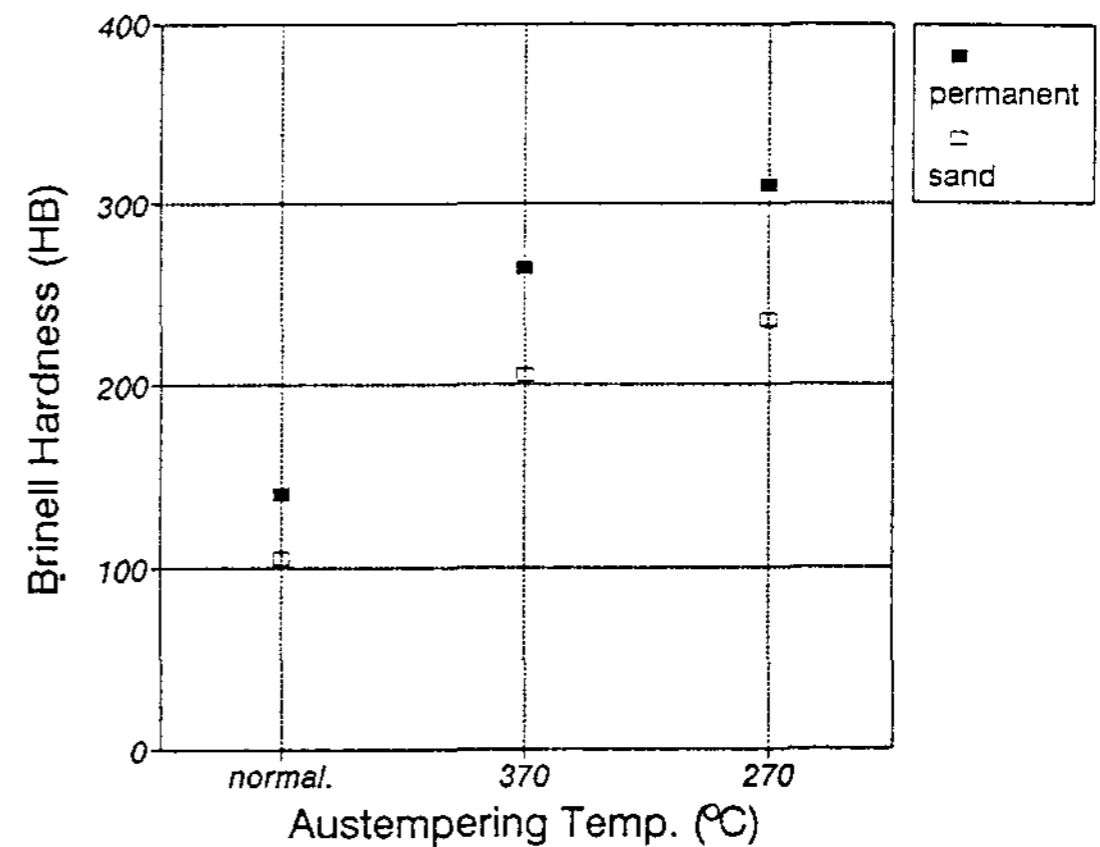


Fig. 6. Brinell Hardness vs. Austempering Temp.

이상의 기계적성질을 고찰해보면 금형주조의 경우 하부베이나이트는 세멘타이트가 미세분산된 침상조직으로 인하여 상대적으로 강도와 경도의 상승을 일으키나, 단위 체적당 갯수, 즉 밀도가 높은 미세흑연의 노치 효과에 의하여 연신율

Table 3. Mechanical Properties for Permanent Mold and Sand Cast Austempered Gray Cast Iron.

Austempering Temp. and Time	Permanent Mold AGI			Sand Cast AGI		
	Yield Strength, σ_y , MPa	Tensile Strength, σ_u , MPa	BHN	Yield Strength, σ_y , MPa	Tensile Strength, σ_u , MPa	BHN
Normal.	349	367	140	243	263	105
270°C (1Hr)	824	836	310	433	446	235
370°C (1Hr)	586	598	264	354	367	205

은 낮은 것으로 사료되며, 오스템퍼링 온도가 370°C일 때의 상부 베이나이트 조직은 베이나이트 래스 간 간격이 넓어짐에 따라 강도와 경도가 하부 베이나이트보다 떨어짐을 보였고 연신율이 낮은 것은 상부 베이나이트에서와 같은 이유인 것으로 사료된다.

3.3 파괴인성 및 충격시험

파괴인성의 시험결과를 보면 파괴인성치(Kic)가 금형주조하여 노말라이징한 시료의 경우 20.9 MPam, 270°C에서 오스템퍼링한 시료가 31.2 MPam, 370°C의 것은 24.3 MPam로 나타났고, 사형주조하여 노말라이징한 시료의 경우 16.5 MPam, 270°C에서 오스템퍼링한 시료가 19.5 MPam, 370°C의 것은 18.5 MPam로 나타났다. 파괴인성 시험의 사형주조에 대한 금형주조의 정도치의 증가는 노말라이징의 경우 26%, 오스템퍼링 온도가 270°C의 경우는 60%, 오스템퍼링 온도가 370°C의 경우는 47%가 증가하였다.

이 시험 역시 인장시험의 결과와 마찬가지로 270°C에서 오스템퍼링한 하부 베이나이트의 시료가 파괴인성치가 높고, 370°C의 상부 베이나이트의 시료가 파괴인성치가 떨어짐을 보였는데 파괴인성의 시험결과는 Fig. 7에 나타내었다.

충격시험의 결과는 Fig. 8에 나타내었는데 파괴인성시험과 마찬가지로 충격치 역시 금형주조의 경우가 사형주조보다 크게 나타나고, 오스템퍼링 온도가 370°C 때의 충격치가 270°C 때보다 떨어짐을 보였다.

파괴인성 시험과 충격시험의 결과를 고찰하여 보면 ADI와는 상이하계[16] 오스템퍼 회주철(AGI)에서는 하부베이나이트 시료가 보다 높은 값을 보이는데, 이것은 잔류 오스테나이트량이 파괴인성치에 큰 영향을 미치지 못하는 것을 의미하고, 이의 원인은 금형주조에서는 미세흑연, 사형주조에서는 편상흑연의 노치효과에 의하여 오스테나이트相에 의한 연성의 증가가 완전히 지워져버리는데 있다고 사료된다.

4. 결 론

본 연구는 금형주조 및 사형주조한 공정조성의 주철을 오스템퍼링하여 잔류 오스테나이트상을

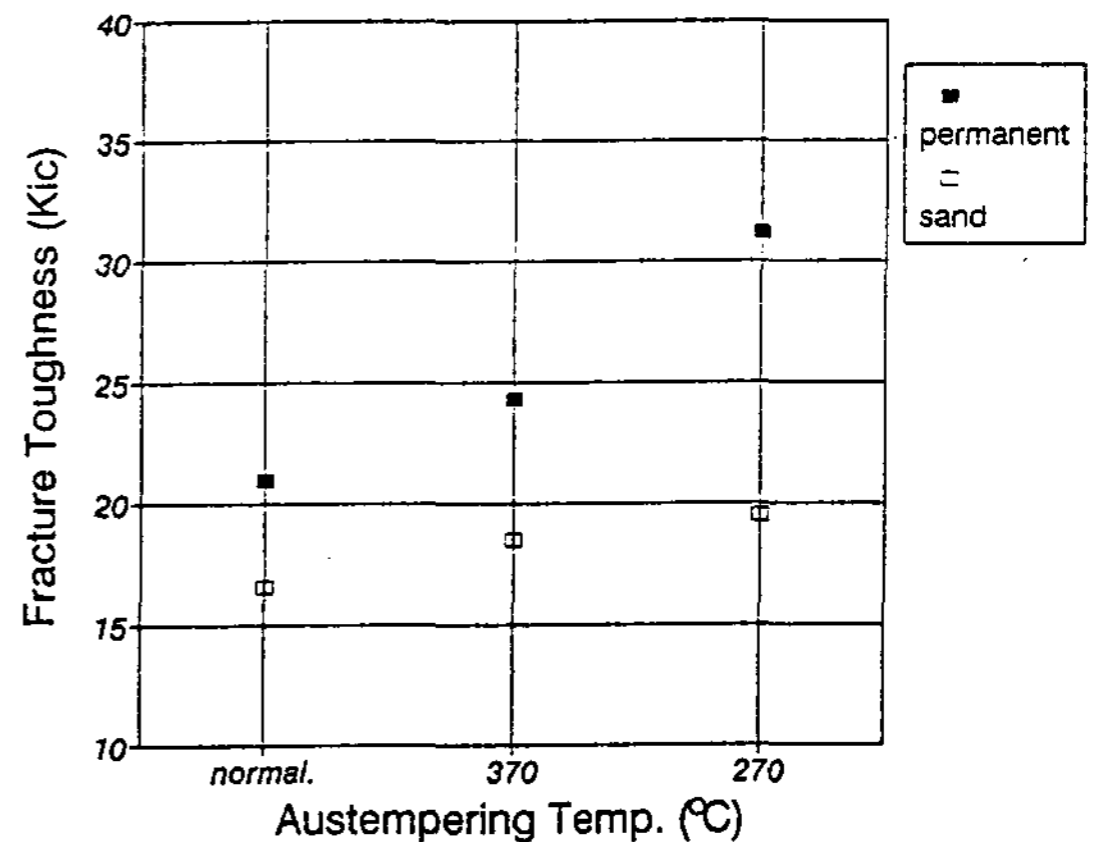


Fig. 7. Fracture Toughness vs. Austempering Temp.

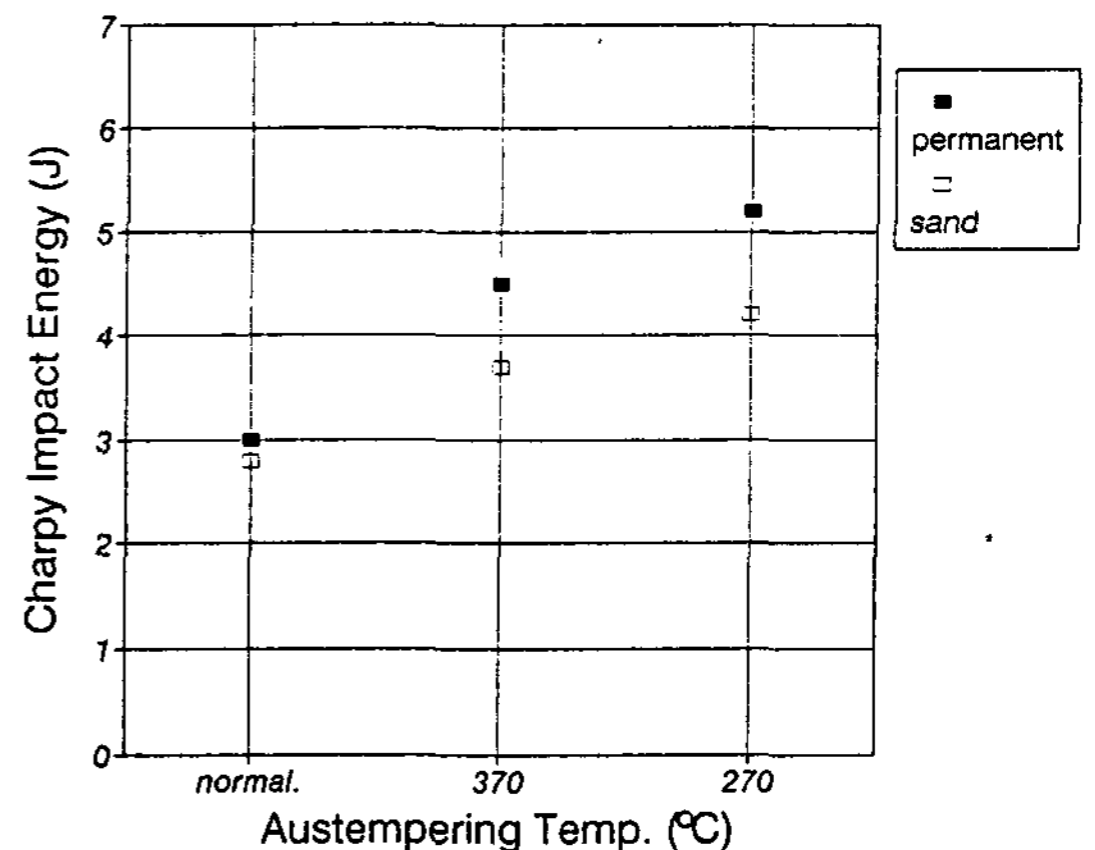


Fig. 8. Charpy Impact Energy vs. Austempering Temp.

함유하는 오스템퍼 회주철(AGI)을 제조하고 기계적특성과 파괴인성치를 서로 비교 검토하였는데 그 결과는 다음과 같다.

1) 흑연조직은 사형주조한 것이 A형을, 금형주조한 것은 대부분이 D형과 약간의 E형을 보이며, 오스템퍼링 온도 270°C에서 형성된 조직은 침상조직의 하부 베이나이트이며, 370°C에서는 깃털상 조직의 상부 베이나이트로 나타났다.

2) 금형주조한 AGI가 사형주조한 AGI보다 강도, 경도 및 파괴인성이 크게 나타나며, 오스템퍼링에 의하여 기계적 성질을 향상시킬 수 있는데, 인장강도, 경도, 파괴인성 및 충격치는 오스템퍼링 온도가 270°C인 경우가 370°C인 경우

보다 크게 나타나나 연신율은 모두 1% 미만으로 370°C의 오스템퍼링에서도 개선되지 아니 하였다.

3) 잔류 오스테나이트량은 오스템퍼링 온도 370°C인 때가 270°C인 때보다 높으나, 잔류 오스테나이트량의 증가가 파괴인성 및 충격치의 개선에 기여하지 못 하였는데 이것은 흑연의 노치 효과에 의하여 오스테나이트相에 의한 연성의 증가가 완전히 지워져버리는데 있다고 사료된다.

참 고 문 헌

- [1] R.A. Harding and G.N.J. Gilbert: The British Foundryman, 12 (1986) 489.
- [2] J. Nath and Y. Telang: Proc. of 2nd Intl. Conf. on ADI, Univ. of Michigan, (1986) 117.
- [3] G. Wikinson and C. Grupke: Proc. of 2nd Intl. Conf. on ADI, Univ. of Michigan, (1986) 349.
- [4] A. Holtz, R. Bapat and H. Critchfield : Proc. of 2nd Intl. Conf. on ADI, Univ. of Michigan, (1986) 359.
- [5] H. Muhlberger: Proc. of 2nd Intl. Conf. on ADI, Univ. of Michigan, (1986) 55.
- [6] B. Kovacs: Proc. of 2nd Intl. Conf. on ADI, Univ. of Michigan, (1986) 291.
- [7] K. Vennemann, K. Hornung and G. Fischer: Proc. of 2nd Intl. Conf. of ADI, Univ. of Michigan, (1986) 373.
- [8] J. Lincoln: Proc. of 2nd Intl. Conf. on ADI, Univ. of Michigan, (1986) 381.
- [9] 강인찬, 백승호: 대한금속학회지, Vol. 26 (1988) 951.
- [10] M. D. VanMald, K. B. Rundman: On the Structure and Properties of Austempered Gray Cast Iron, AFS Trans. 86-47.
- [11] 日本鑄物協會編: 鑄鐵의 金形鑄造, (1976) 72
- [12] 素形材センター: 日本의 新素形材, (1991) 3
- [13] H. Mayer and B. barbezat: Proc. of 2nd Intl. Conf. on ADI, Univ. of Michigan, (1986) 99.
- [14] ASTM E-399: Standard Test Method for Plane-Strain Fracture Toughness of Metallic Materials, (1988)
- [15] 함경춘: 단일하중을 받는 재료의 파괴역학적 거동에 관한 연구, 박사학위논문, 인하대학교, (1985)
- [16] 이영상, 강인찬: 주조, 11, 4 (1991) 331.