

논문

# 금형주조 구상흑연주철의 미세조직에 미치는 C, Si 과 RE 의 영향

김석원<sup>†\*</sup> · 박진성 · Khalil. A. Khalil

전북대학교 공과대학교 신소재공학부, 신소재개발연구센터, 공학연구원

## Effects of C, Si and RE on Microstructures of DCI using Permanent Mold Casting

Sug-Won Kim<sup>†\*</sup>, Jin-Sung Park, and Khalil. A. Khalil

Division of Advanced Materials Engineering, RCAMD, Engineering Research Institute, Chonbuk National University, 664-14, Deokjin-dong 1-ga, Deokjin-gu, Jeonju-si, Joenbuk 560-756, Korea

### Abstract

This study aims to investigate the microstructures and mechanical properties of DCI manufactured by sand and metal mold casting. To prohibit the formation of the chill, carbon, silicon and rare earth(0~0.2 wt%) were controlled and temperature of metal mold was constantly kept at 160°C. The sizes, counts and nodularity ratios of nodules were analyzed by image analysis device. Wear test using pin-on-disc wear tester was carried out under the conditions of load 47.2N, velocity 0.4 m/s and distance 2000 m. Tensile test using Instron type testing machine was performed with velocity of 0.1 mm/min according to the KS B 0802. The formation of the chill was not observed when percentage of the carbon and silicon were 3.8 and 2.5. Mechanical properties of GCD manufactured by metal mold were better than sand casting.

**Key words :** DCI, Nodule, Wear test, Tensile test, Rare Earth, Metal Mold.

(Received April 3, 2006; Accepted August 15, 2006)

### 1. 서 론

금형주조(Metal mold casting)란 금속제의 주형에 용탕을 중력에 의해 주입하여 제품을 만드는 방법을 말한다. 이 주조법은 유럽에서 사형주조와 다이캐스팅 사이에서 발전된 것으로서 노동력의 경감, 생산성의 향상, 양산화를 위해서 필연적으로 생겨났으며 특히 구 소련이나 독일에 있어서도 성행하고 있다. 주철의 금형주조에 있어서 이미 독일 TGL 규격의 초안에 GJK의 기호로서 제기되고 있을 정도이다[1]. 금형 주조에 의한 주철 제품은 조직이 치밀하여 내압성과 내마모성이 우수한 조직이 얻어지고 가단주철과 주강은 어닐링 시간이 현저히 단축되며 흑연이나 결정립을 미세화하여 강도를 향상시킨다[2]. 일반적으로 구상흑연주철은 편상의 흑연을 구상화하여 응력집중을 받는 부분을 줄임으로써 고강도, 고인성, 피로강도 및 마모 특성이 우수하다. 이러한 특성으로 인하여 고온 및 고하중을 받는 자동차 부품중 엔진부위, 실린더 블록, 흡배기 다기관등에 이용되고 있는 실정이다[3]. 또한 철계 합금은 금형에 의한 금냉으로 인하여 경합금이나 동합금과 비교되지 않을 정도로 조직이 변화한다. 따라서 철계합금의 금형주조를 논할 경우, 금형의 냉각 효과와 조직의 관계가 초점이 된다. 일반적인 금형주조는 1) 불량이 작다 2) 치수정밀도가 높다 3) 작업장 면적이

작다 4) 작업환경이 좋다 5) 설비비가 작아도 된다 6) 금형의 금냉 효과에 있어 기계적 성질이 향상된다 7) 주물표면이 깨끗하다 8) 작업자의 훈련 시간이 짧은 장점을 지닌다[2]. 그러나 대다수 사람들은 금형주조에 적합한 합금이라든가 독자적인 주조 방안에 대한 경험 부족, 혹은 금형 제작비가 높다는 것 때문에 처음에 이 주조방법을 선택하는 경우 대단히 주저하게 된다. 구미지역과 같은 외국에서는 오랜 기간에 걸쳐 풍부한 경험을 가지고 있으나 우리나라는 중력 금형주조에 대한 경험이 너무 부족하다. 또한 금형주조시 문제가 되는 점은 빠른 냉각속도로 철이 형성되어 열처리를 행하여 주어야 된다는 단점이 있다. 일반적으로 주철의 기조직은 냉각속도 보다도 Si의 영향을 더욱 많이 받는다고 보고 되어진다[4]. 따라서 본 연구에서는 응고 속도를 지연하는 C, Si 및 RE의 함유량을 조절하여 철의 형성을 억제함으로써 열처리를 행하지 않는 구상흑연 주철을 개발하여 일반적인 사형주조로 얻어진 것과 기계적 특성을 비교하고자 한다.

### 2. 실험 방법

본 연구에서 제조된 시편은 알루미늄 도가니(5 kg)가 장착된 고주파 유도로에서 용해하였다. 시편은 선철, 고철, 가탄제

<sup>†</sup>E-mail : ksw@chonbuk.ac.kr

Table 1. Chemical composition of the manufactured DCI

시편 종류		C	Si	Mn	Cu	RE			
Metal mold	Before inoculation (DCI)	C100	3.80	1.85	0.21	0.012	0.0		
		C101	3.76	1.87	0.19	0.010	0.1		
		C102	3.86	1.92	0.20	0.007	0.2		
		C200	3.60	1.88	0.20	0.017	0.0		
		C201	3.64	1.87	0.19	0.015	0.1		
		C202	3.59	1.89	0.20	0.009	0.2		
	After inoculation (DCI)	C300	3.80	2.59	0.21	0.008	0.0		
		C301	3.82	2.61	0.20	0.006	0.1		
		C302	3.73	2.63	0.19	0.004	0.2		
		C400	3.52	2.61	0.21	0.005	0.0		
		C401	3.47	2.64	0.20	0.004	0.1		
		C402	3.44	2.67	0.20	0.007	0.2		
		Sand	DCI	G-Tech	3.48	2.56	0.20	0.028	0

(99%), Fe-Si(75%), Fe-Mn(60%)을 이용하여 C, Si 및 RE (54.08%Ce, 23.21%La, 5.93%Pr, 16.75%Nd)의 화학 조성 목표량을 조절하였으며 목표 시편을 Table 1과 같이 제조하였다. 구상흑연주철(GCD)는 레이들에서 Mg에 의하여 구상화 처리하였으며 Fe-Si에 의하여 접종 처리하여 Si함유량에 변화를 주었다. 1350°C 온도에서 Fig. 1과 같은 10 mm와 20 mm 직경을 가지는 금형 몰드에 주입하였다. 이때 시편의 응고 속도는 K type 열전대에 의해 측정 되어졌다. 제조된 시편은 각각 0.3 μm 알루미늄으로 정연마 되었으며 이미지 분석기를 통하여 흑연립의 수, 크기 및 구상화율을 측정하였다. 또한 인장강도 측정은 자동변위 측정 장치가 부착된 25 ton 만능시험기를 이용하여 KS B 0802에 규정된 금속재료 시험 방법에 따라 상온에서 Cross head speed 1 mm/min 속도로 시험을 하였다. 마모후 표면의 형상과 마모 손실량과 같은 마모 특성들을 조사하기 위하여 다음과 같은 마모조건에서(마모하중: 47.2N, 마모 거리: 2000 m, 마모 속도: 0.4 m/s) pin-on-disc 형태의 마모시험을 실시하였다. 상대마모재는 HR<sub>C</sub>: 60의 경도를 가지도록 SKD11을 열처리 하였으며, 원통의 마모 시험편은 직경: 8.9 mm 높이 18 mm로 가공하였다. 상대 마모재와 마모시험편의 접촉면은 Ra=0.3 μm의 거칠기로 연마되고, 시험전에 아세톤으로 세척했다. 마모시험편의 무게손실은 시험 전, 후의 측정된 마모시험편의 무게에 의해 얻어지며 10<sup>-2</sup> g의 무게 scale 이 이용된다. 금형의 온도는 로에서 160°C 일정하게 유지 되어졌다.

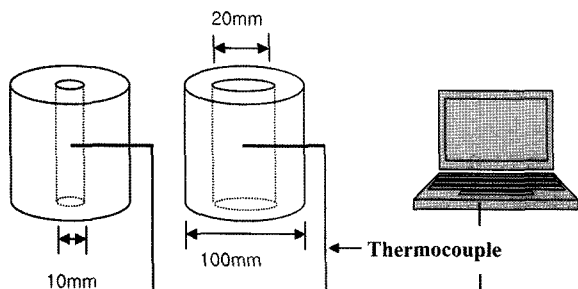


Fig. 1. The schematic illustration of metal mold.

### 3. 실험결과 및 고찰

#### 3.1 미세조직 관찰

Fig. 2는 사형 구상흑연 주철과 새롭게 금형으로 제조된 구상흑연 주철의 미세조직을 비교한 사진이다. 10 mm 부위의 시편에서 사형의 구상흑연 주철(a)은 늦은 응고 속도로 인하여 구상 흑연립이 성장하였으며 구상흑연립 주위로 탄소의 확산 작용으로 인하여 탄소가 고갈된 페라이트가 형성 되었다. 금형으로 제조된 구상흑연 주철을 살펴보았을 때 우선 접종처리 하지 않은 구상흑연 주철은 기지 전반적으로 세멘타이트의 형성이 관찰되지만 탄소량을 증가시켰을 때 (b) 시편이 (c) 시편 보다 세멘타이트의 형성량이 감소 되는 것을 관찰할 수 있다. 이와 반대로 레이들에서 구상화 처리후 금형에 주입시 추가 접종처리 해주었던 (d)와 (e) 시편은 기지에서 세멘 타이트를 관찰 할 수 없었고 단지 빠른 응고 속도로 인하여 기지 전체가 페라이트가 거의 존재하지 않는 펄라이트 형을 나타냄을 볼 수 있었다. 또한 금형으로 제조된 시편이 사형보다도 훨씬 미세한 흑연립을 가지는 것을 볼 수 있다.

Fig. 3은 10 mm 두께를 가지는 C3(3.8-2.6)시편에 회토류 원소 첨가량을 달리하였을 때 미세조직의 변화를 나타낸 사진이다. 일반적으로 회토류 원소는 강력한 세멘타이트 조장원소로써 알려져 있다. 그러나 적정량의 회토류 원소는 용탕중의 S와 결합하여 RES 유화물을 형성하며 이런 RES는 흑연립의 불균일 핵생성 장소로 이용되어 많은 흑연립이 형성하며 이에 따라 세멘타이트가 감소된다는 것이 여러 논문을 통하여 알려져 있다. 본 연구에서도 이런 세멘타이트 감소 작용을 증가하기 위하여 미소량의 회토류 원소를 첨가하여 그 영향을 살펴 보았다. 그러나 실질적으로 미세 조직 사진을 보았을 때 RE 원소의 첨가 전후의 미세 조직의 차이는 크지 않음을 볼 수 있었으며 단지 약간의 흑연립 크기의 성장만을 볼 수 있었다. 이것은 용탕중의 Si 차이에 의한 효과라 생각된다. 적정량의 회토류 원소는 용탕중의 S와 결합하여 불균일 핵생성의 장소로 되며 흑연의 생성을 촉진시켜 철의 생성을 감소하는 경향을 지닌다고 보고 되어지고 있으며 RE/S=1.25~2.5의 비율

에서 철화 경향은 감소한다고 보고되고 있다[5]. 그러나 본 연구에서 RE효과가 나타나지 않는 이유는 기존의 큐폴라 용해가 아닌 유도로 용해로 인하여 용탕 중에 S가 거의 존재하지 않기 때문이라 사료된다.

Fig. 4는 두께 20 mm 부분의 미세조직사진이다. 앞의 10 mm 부분의 조직사진과 마찬가지로 사형의 구상흑연 주철이 금형의 구상흑연 주철보다도 낮은 응고 속도로 인하여 흑연립 크기가 조대해지고 흑연립 주위의 페라이트 영역이 증대된 것을

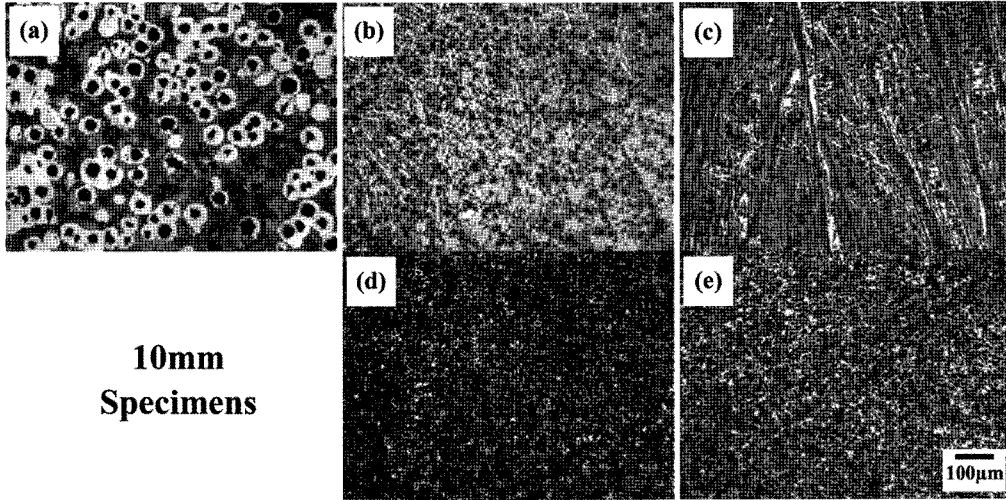


Fig. 2. The microstructures of DCI manufactured by sand and permanent mold (a) sand casting (G-Tech ) (b) C101 - B.I (c) C201 - B.I (d) C301 - A.I (e) C401 - A.I B.I=before inoculation , A.I=after inoculation

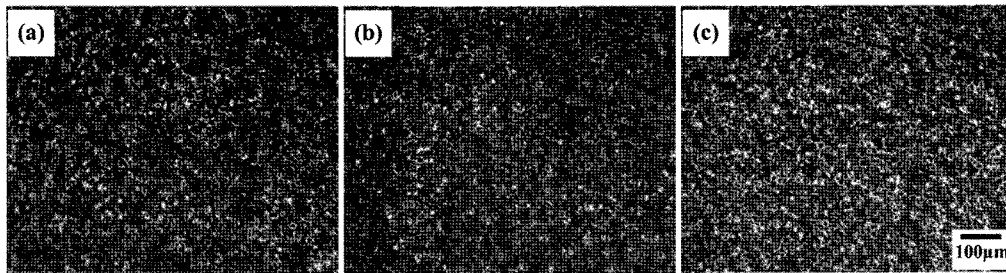


Fig. 3. The microstructures of DCI with various RE contents (10 mm-A.I) (a) C300 (0%) (b) C301 (0.1%) (c) C302 (0.2%)

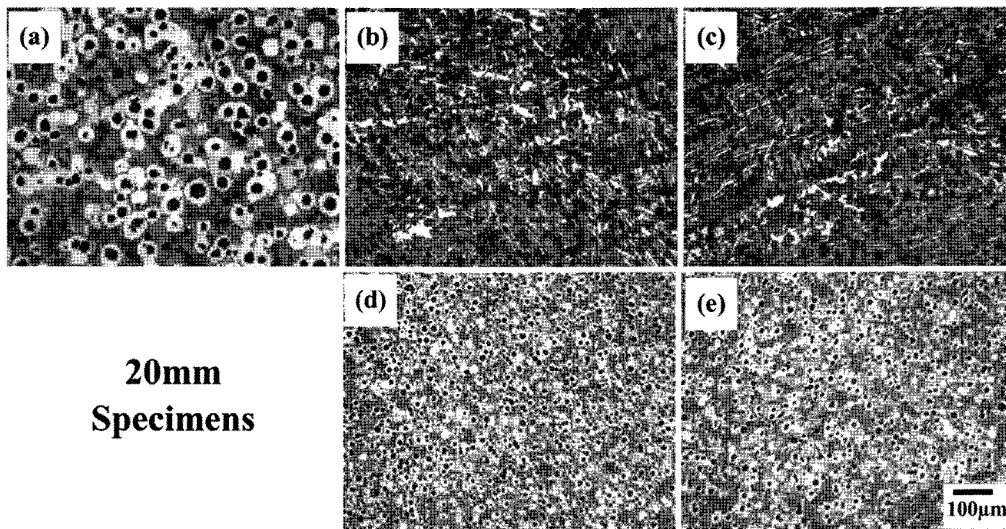


Fig. 4. The microstructures of DCI manufactured by sand and permanent mold (a) sand casting (G-Tech ) (b) C101 - B.I (c) C201 - B.I (d) C301 - A.I (e) C401 - A.I B.I=Before inoculation, A.I=After inoculation

볼 수 있다. 또한 금형 주조 구상흑연 주철에서 집종 전에는 약간의 세멘타이트가 관찰 되었으며 집종 후에는 세멘타이트가 존재하지 않는 조직을 볼 수 있다. 위의 Fig. 2와 비교해 보았을 때 10 mm 부분 보다도 낮은 용고 속도로 인하여 펄라이트 영역이 증대되고 흑연립도 약간 조대해 진 것을 볼 수 있다.

3.2 이미지 분석

Fig. 5는 이미지 분석기를 이용하여 전체 시편의 흑연립수 측정하여 나타낸 그래프이다. 일반적으로 금형이 사형보다도 빠른 용고 속도로 인하여 많은 흑연립을 형성하였다. 또한 집종 처리를 수행한 C3와 C4 시편이 많은 흑연립을 형성하였고 그 중에 RE 원소를 첨가하지 않았던 C300 시편이 가장 많은 흑연립을 형성했다. 이것으로 RE 원소는 용탕중에 S가 존재 하지 않을 시에는 흑연립의 형성에 효과를 나타내지 않음을 알

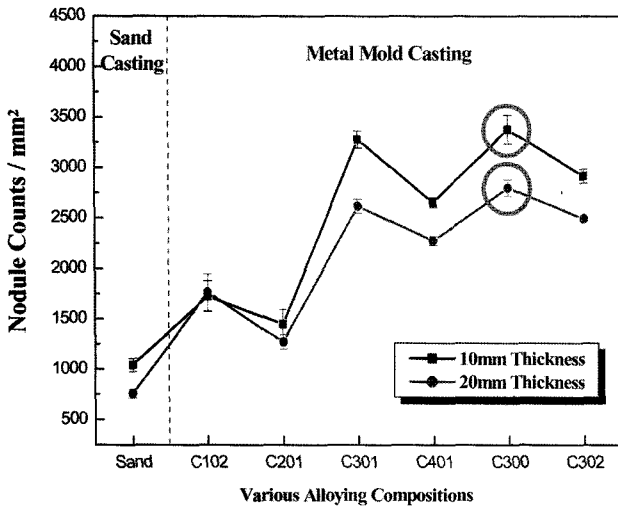


Fig. 5. The change of nodule count according alloying composition and thickness of specimen.

수 있다.

3.3 경도 측정

Fig. 6은 각 시편의 경도 값을 측정된 그래프이다. 세멘타이트가 존재하였던 C1과 C2 시편에서 경도 값이 크게 나타났으며 금형에서 주조한 시편이 사형에서 주조한 시편보다도 높은 펄라이트 존재비로 인하여 경도값이 8~10(HRB)정도 증가되었다. 또한 거의 모든 부분이 펄라이트로 존재하였던 10 mm 부분이 20 mm 부분보다도 높은 경도 값을 나타내었다. 또한 세멘타이트가 존재하지 않았던 시편 중에 미세한 흑연립이 많이 존재 하였던 C300 시편이 가장 높은 경도 값을 나타내었다.

3.4 마모 시험

Fig. 7은 사형과 금형으로 제조된 시편의 마모율을 비교하여

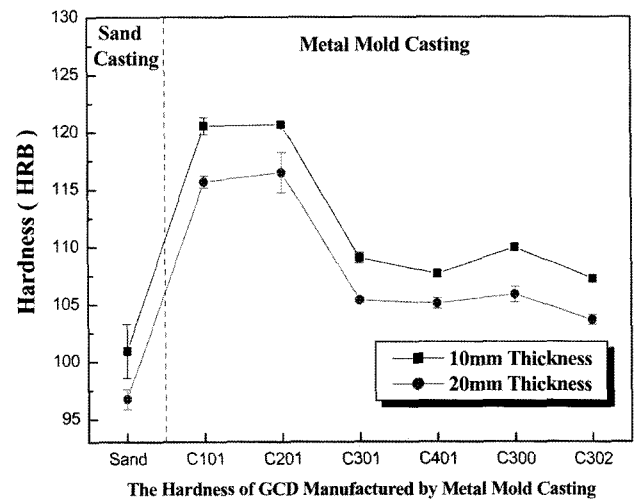


Fig. 6. The change of hardness according alloying composition and thickness of specimen.

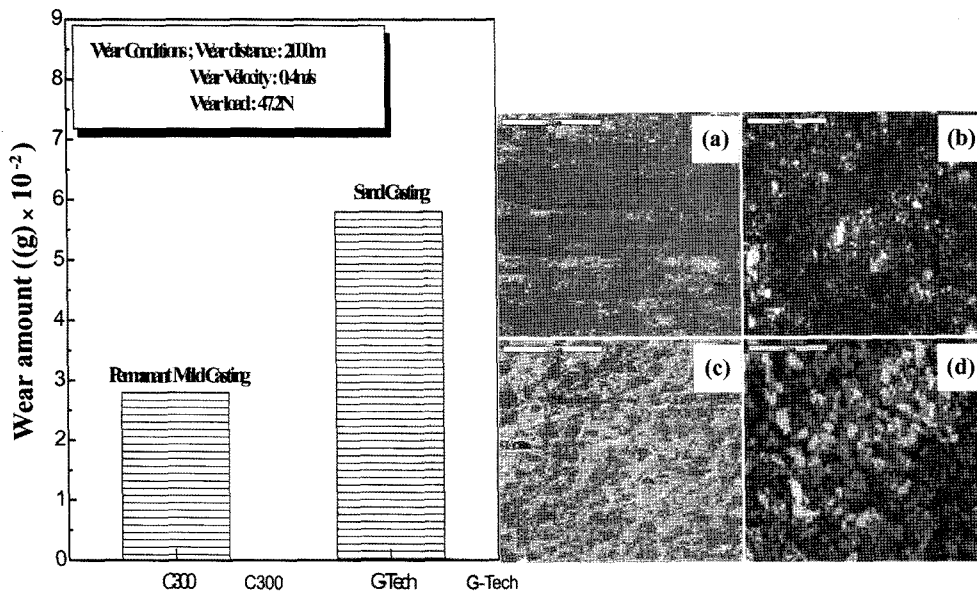


Fig. 7. The wear amount and SEM micrographs of DCI for sand casting and metal mold casting(20mm) (a) C300 - worn surface (b) C300 - debris (c) Sand casting - worn surface (d) Sand casting - debris

나타낸 그래프이다. 마모시험의 조건은 일반적으로 알려진 Ultra Mild Wear, Mild Wear, Severe Wear 중 Mild Wear 마모조건으로 설정하였다[6]. 미세한 흑연립과 펄라이트 분율이 높았던 금형으로 제조된 시편이 2배 정도 높은 내 마모성을 나타내고 있다. 또한 그 이유를 마모면과 마모분을 통하여 관찰하였을 때 마모면이 산화막으로 덮혀 있음을 볼 수 있다. 이런 산화막은 마모시 일종의 보호막으로 작용하여 마모율을 감소시키며 그에 따라 마모분은 10 μm 미만의 마모분이 형성되었다. 또한 사형 주조 시편은 금형과 같은 연삭 마모를 보이기는 있으나 전 표면에 걸쳐 산화막이 제거된 것을 볼 수 있으며 마모분 또한 10 μm 이상의 마모분을 형성하였다.

3.5 인장 시험

Fig. 8은 사형과 금형 시편의 인장시험 후 비교한 그래프이다. 일반적으로 사형으로 제조된 페라이트와 펄라이트의 혼합조직으로 되어 있는 볼스 아이형 구상흑연 주철은 크랭크 축의 기어와 로울러 부분에 사용된다. 이때 인장 강도:항복 강도:연신율의 비가 56:29:6을 지닌다. 이에 반해 금형으로 제조된 시편은 경도값의 향상과 더불어 약간의 인장과 항복강도의 비가 증가되었으나 연신율은 많은 수의 미세한 흑연립의 존재로 19.8%로 크게 증가 되어 사형보다도 우수한 기계적 성질의 시편이 제조됨을 볼 수 있었다.

Fig. 9는 RE 첨가량을 달리한 C3 시편의 인장 그래프와 그때 파면의 사진(a-c)을 나타낸다. 파면은 덩플 형의 연성파괴를 보이고 있다. 또한 약간 미세한 흑연립을 가지는 C300 시

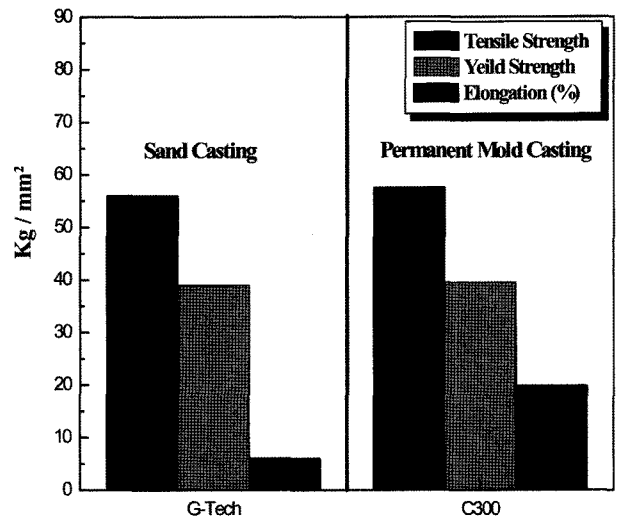


Fig. 8. The results of tensile test for sand casting and metal mold casting(20 mm)

편이 가장 큰 신율을 보였다. 다만 아쉽게도 인장 시험 중 약간의 시험 편에서 빠른 냉각 속도로 인해 시편 안에 기공이 존재 하는 것(d),(e)을 확인 할 수 있었으며 이런 기공의 존재로 기계적 성질이 감소되었다. 앞으로 시편 안에 존재하는 기공을 없애는 용해 및 장입 방법을 개선 해야 될 것으로 보인다.

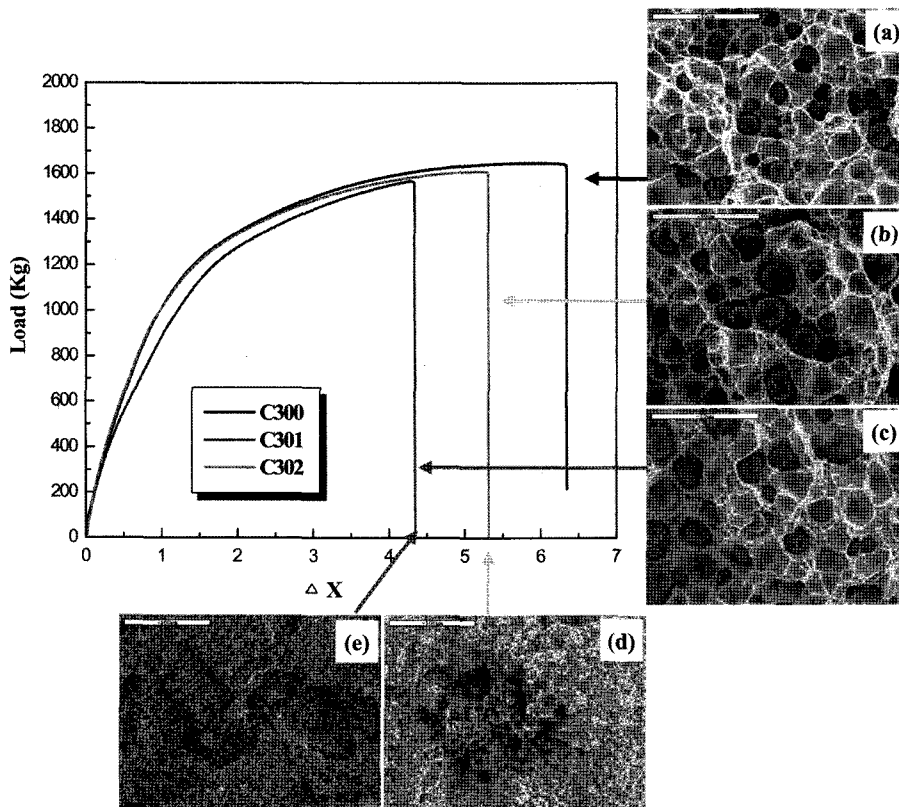


Fig. 9. The fracture surface of specimens after tensile test(20 mm).

#### 4. 결 론

C, Si 과 RE (0~0.2 wt%)의 서로 다른 화학 조성을 갖는 금형주조한 구상흑연주철을 제조하여 화학조성이 미치는 미세조직변화와 기계적특성을 살펴본 결과 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

1. 금형주조 구상흑연 주철에서 세멘타이트의 형성은 Si 첨가에 의해 크게 감소 되어졌으며 특히 C: 3.8, Si: 2.5 조성의 접충 처리한 시편에서는 세멘타이트가 거의 석출되지 않았다.
2. 시편의 두께가 작을수록 빠른 응고속도로 인하여 미세구상흑연이 형성되었으며, 각각 10 mm 시편에서는 3250/mm<sup>2</sup>, 20 mm에서는 2700/mm<sup>2</sup>로써 구상흑연수가 약 1.2배로 증가되었다. 그 결과로 흑연의 미세화가 이루어졌다.
3. 구상흑연주철(DCI)를 금형주조와 사형주조로 서로 다르게 제조하였을 금형주조시편에서 경도 및 내마모성이 각각 우수하였으며, 특히 두께 20 mm, 3.8C-2.59Si 조성 시편에서는 경도, 내마모성이 각각 약 2배로 증가함을 알 수 있다.

#### 감사의 글

본 논문은 전북 지역 특화 기술 개발(2003년) 사업 위탁 연

구비 지원에 의하여 수행되었으며 이에 감사를 드립니다. 또한 전북대학교 신소재개발연구센터에 감사를 드립니다.

#### 참 고 문 헌

- [1] J. N. Lee, "Metal Mold Casting (IV)", Journal of Korean Institute of Metals and Materials, 16(1) (1978) 40-46.
- [2] J. N. Lee, "Metal Mold Casting (IV)", Journal of Korean Institute of Metals and Materials, 16(4) (1978) 320-329.
- [3] S. W. Kim: The Journal of the Korean Foundrymen's Society, 10, "Manufacturing of Ferrite Type DCI in the As-Cast State", (1990) 215-218.
- [4] S. K. Choi, T. W. Nam, Y. W. Park and S. Y. Kim, "The Effects of Silicon on the Matrix Structure of Spheroidal Graphite Cast Iron", Journal of Korean Institute of Metals and Materials, 16(1) (1978) 12-16.
- [5] S.-H. Lee, S. Hiratsuka, H. Horie, T. Kowata, and C. O. Choi, "Effect of Rare Earth/Sulfur Ratio on Graphite Morphology and Chill Depth in Flake Graphite Cast Iron", Journal of Japan Institute of Metals, 74(5) (2002) 285-290.
- [6] A. R. Riahi and A. T. Alpas : Wear, "Wear map for grey cast iron", 255 (2003) 401-409.