

.....  
**論 文**  
 .....

## 저 열팽창 주철의 진동감쇠능에 미치는 흑연 및 탄화물의 영향

문병문, 홍준표

### Effects of Graphites and Carbides on the Specific Damping Capacity of Low Thermal Expansion Cast Irons

Byung-Moon Moon and Chun-Pyo Hong

#### Abstract

Effects of the amount of flake type graphite, morphology and (V,Mo)carbides on the specific damping capacity of austenitic low thermal expansion cast irons were investigated. Specific damping capacity(SDC) of low thermal expansion cast irons increased with the increased amount of graphite. Specific damping capacity of low thermal expansion cast iron decreased with the increased Young's modulus. In the case of V and Mo addition, SDC decreased with the increased amount of carbides. Specific damping capacity increased about 2% by the movement of magnetic domains which appeared in ferromagnetic materials. (Received September 10, 1996)

#### 1. 서 론

저열팽창주철이 정밀기계 부품이나 기계구조 재료 사용되기 위해서는 기본 특성인 저열팽창성 외에도 충분한 경도와 아울러 부품의 정밀도 유지 및 조기 피로 파괴를 막기 위해 높은 진동감쇠능을 필요로 한다. 따라서 열팽창계수의 손실없이 경도를 올리기 위해서는 기지조직으로의 고용도가 낮은 탄화물형성 원소를 첨가시킴으로써 효과를 올릴수 있지만 이에따라 재료의 진동감쇠능이 영향을 받는다. 따라서 저열팽창주철에서의 합금원소첨가 진동감쇠능에 어떠한 영향을 미치는가 하는 것은 매우 중요한 요소이다. 일반적인 합금의 진동감쇠기구를 살펴보면 강자성형, 복합형, 전위형, 쌍정형, 결정입계 부식형, 응력유기 변태형 등이 있으며, 복합형 진동감쇠기구는 강도가 높은 기지조직에 연한 제2상이 존재하므로써 외부의 응력이 가해질 때 기지조직과 계면과의 점성유동에 의하여 진동 에너지를 흡수하는 것으로 대표적으로 주철이 해당된다고 알려져 있

다[1].

그러나 주철의 진동감쇠능은 위의 복합형 기구 이외에도 흑연주위의 기지조직에 응력이 집중됨으로 인한 기지조직의 소성변형으로 진동에너지를 흡수한다는 이론[2]과 흑연내부의 전위의 이동과 공명에 의해 흑연자체에 의한 응력의 흡수 등이 보고[3]되어 왔다. 또한 강자성형 진동감쇠기구는 일반적으로 강자성형재료에서 발생하며, 외부에서 응력이 가해질 때 자구의 이동으로 인해 외부응력의 손실이 발생하는 것이다[4].

본 연구에서는 강자성형 고Ni 오스테나이트기지의 저열팽창 편상흑연주철에서의 주된 진동감쇠기구를 규명하기 위해서 흑연의 형상 및 크기와 양을 변화시켜 각시편의 진동감쇠능을 측정하였으며, 자구(magnetic domain)의 이동이 본 주철의 진동감쇠능에 미치는 영향을 조사하였다. 또한 이러한 경도상승 문제를 해결하기 위하여 첨가된 강력한 탄화물 형성원소인 V과 Mo에 의한 탄화물의 존재가 재료의 동적 탄성계수와 진동감쇠능에 어떠한 영향을 미치는가를 조사하였다.

## 2. 실험방법 및 내용

각종시험편 제작을 위해 고주파 유도로를 사용하여 순철, 선철, 전해니켈, 합금철 등을 장입한후 용해하였다. 레이드에 출탕시 총장입량의 0.3wt%에 해당하는 Fe-75wt%Si접종재를 접종하였다. 침적식온도계로 적정주입온도에 이를 때까지 진정시킨 후 준비된 공시재용 주형(사형)에 주입을 완료하였다. 동일 조성에서 냉각속도에 따른 진동감쇠능의 변화를 관찰하기 위해서 계단상 공시재용 주형을 Fig. 1과 같이 제작하였다. 진동감쇠능과 동적 탄성계수를 측정하기 위하여 봉상과 판상 두가지 형태의 시편을 제작하였으며 그 형상과 치수는 Fig. 2와 같다.

진동감쇠능의 측정을 위해서 Fig. 3 과 Fig. 4에 보여진 바와 같이 비틀림식과 외팔보식의 두가지 종류의 진동감쇠측정장치를 사용하였다. 또한 자기장내에서의 진동감쇠능을 측정하기 위해서 비틀림식 진동감쇠측정장치에 실린더형상의 전자석을 부착하였다. 이때에 작용된 포화자기장의 세기는 VSM(Vibrating sample magnetometer)을 이용하여 측정하였다. 진동감쇠능의 크기는 비감쇠능과 대수감쇠능 등으로 표시되는데 본 연구에서 사용된 비감쇠능은 다음과 같이 정의 [5]된다.

$$SDC(\%) = \frac{\Delta W}{W} \times 100 = \frac{Y_n^2 - Y_{n+1}^2}{Y_n^2} \times 100 \quad (1)$$

- 여기서, SDC : Specific damping capacity
- W : 진동에너지
- $\Delta W$  : 1주기당 손실된 진동에너지
- $Y_{n+1}, Y_n$  : 2개의 연속된 진폭의 크기

시편의 동적탄성계수를 측정하기 위하여 판상 형태의 시편을 제작하여 Photo. 1에서 보여진 가진기(Vibration exciter)로 가진하여 시료의 공진 주파수(Resonant frequency)를 측정후 동적 탄성계수를 알 수 있었다. 이때의 가진 주파수의 범위는 0~1.506KHz로 하였으며 진폭은 -10db로 하였다. 이때의 동적탄성계수는 다음과 같이 정의된다[6].

$$E = 0.965 \times 10^{-8} (l/a)^3 (M/b) f_0^2 \quad (2)$$

- 여기서, E : 시료의 동적탄성계수(kgf/mm<sup>2</sup>)
- l : 시료의 길이(cm)
- a : 시료의 두께(cm)

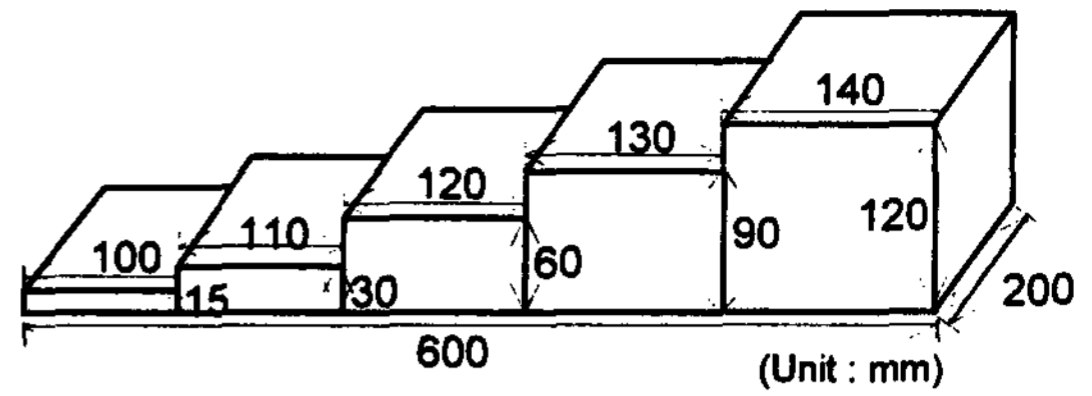


Fig. 1. Shape of step-block type sample.

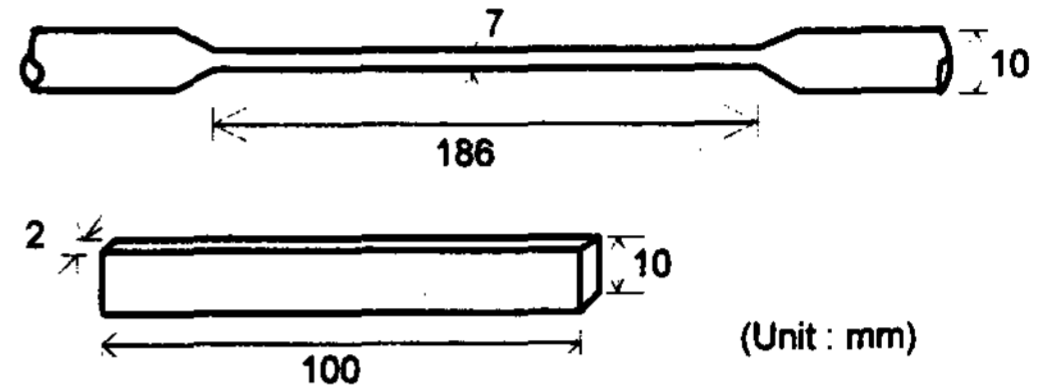


Fig. 2. Specimens for the measurement of damping capacity and Young's modulus.

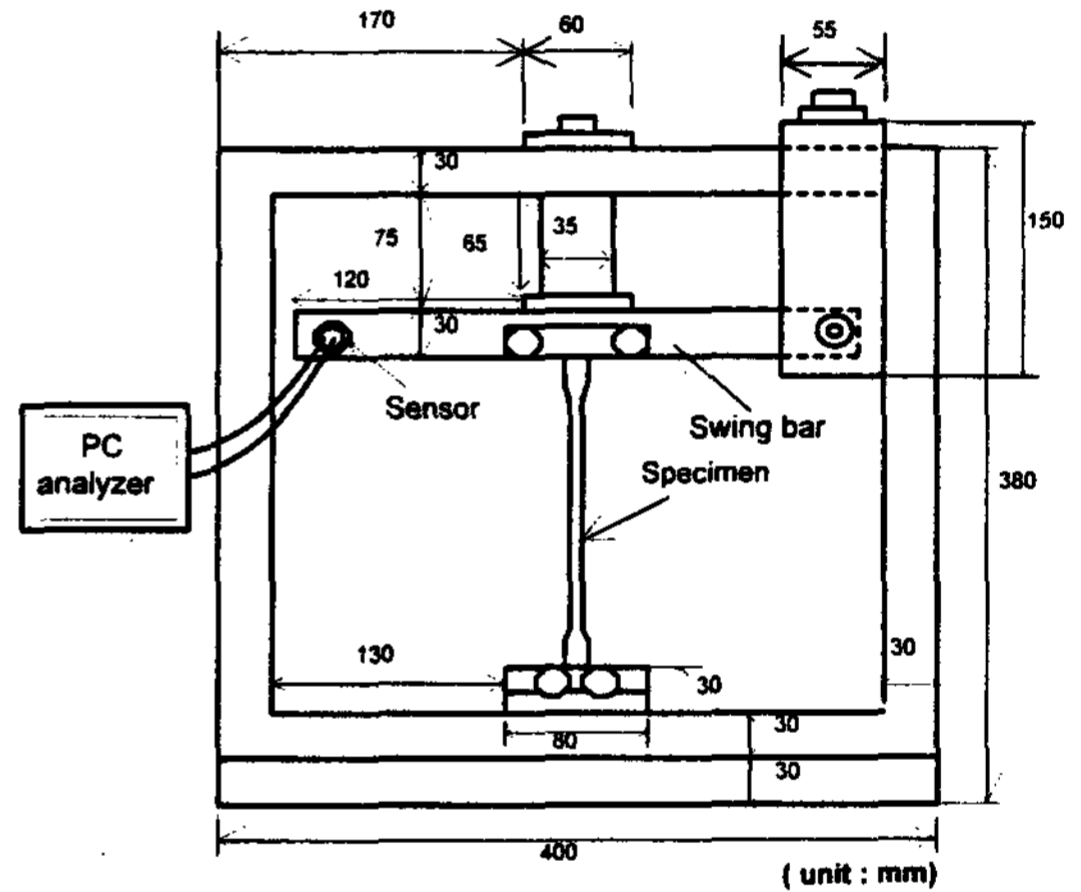


Fig. 3. Torsion type equipment for SDC.

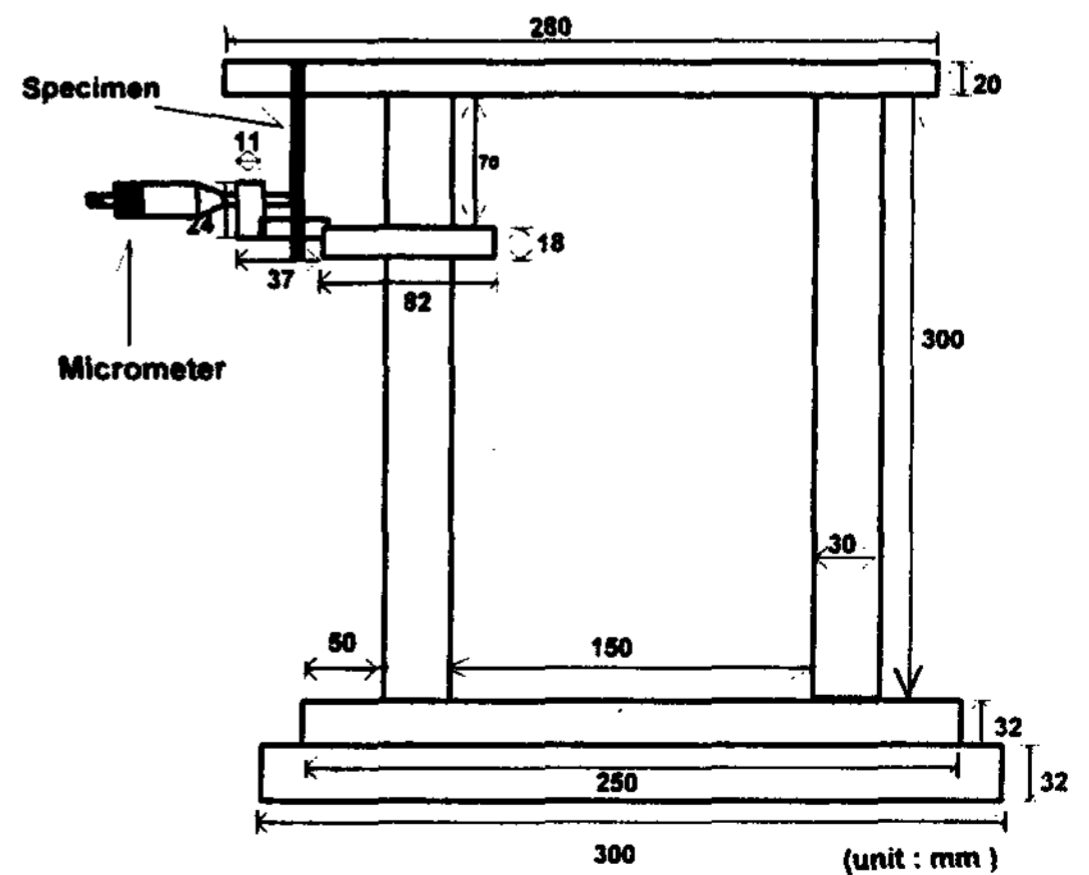


Fig. 4. Cantilever type equipment for SDC.

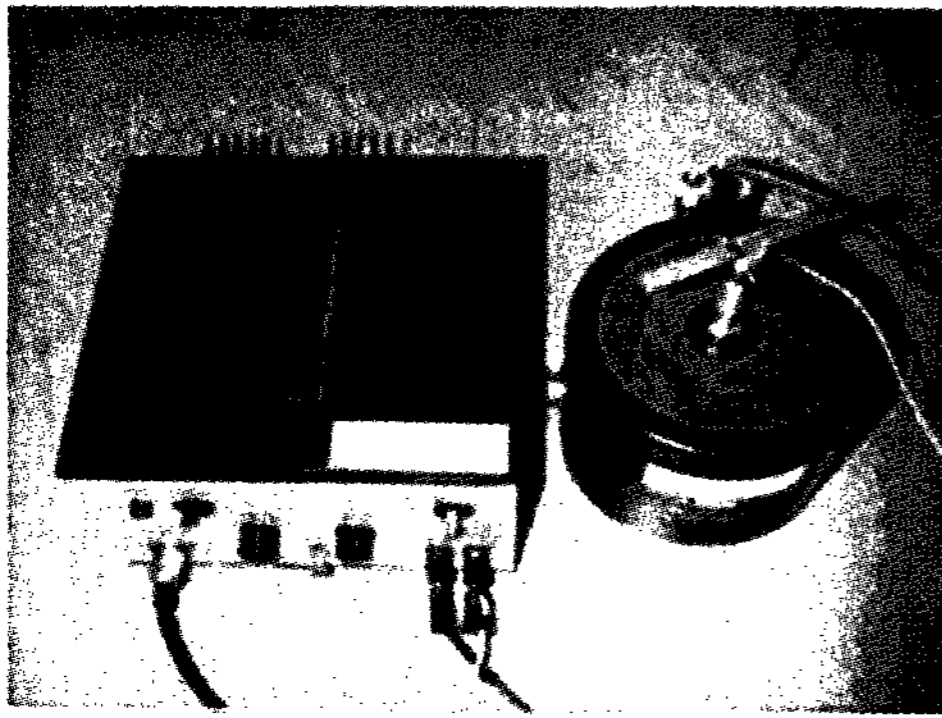


Photo. 1. Vibration exciter for resonant frequency measurement.

b : 시료의 폭(cm)

M : 시료의 질량(g)

$f_0$  : 시료의 공진 주파수(Hz)

화상분석장치(Image analyzer)를 이용하여 흑연의 면적분율(%)과 길이를 측정하였다. 흑연의 면적분율은 200배의 확대화면에서 매 시료당 10 곳을 임의 선정하여 흑연의 면적분율을 측정하였다. 또한 흑연의 평균길이는 화상분석장치로 매 시료당 10곳을 임의 선정하여 최소 및 최대값을 제외하고 산술평균하였다. 탄화물의 양은 선교차 방식(Intercept method)을 사용하여 100배의 사진 위에 겹친 직경 50mm의 선과 교차하는 탄화물의 갯수를 측정하여 결정하였다. 표준편차를 줄이기 위하여 교차점의 개수는 매 시료당 10회 측정하여 최소 및 최대값을 제외하고 산술평균하였으며 단위길이당 교차점의 평균갯수는 다음 식으로 구하였다.

$$NL = n \times M / L \quad (3)$$

여기서, NL : 단위길이당 교차점의 평균갯수

M : 현미경의 배율

n : 교차점의 갯수

L : 원주의 길이

### 3. 실험결과 및 고찰

#### 3.1 저열팽창주철의 진동감쇠능에 미치는 흑연의 영향

Photo. 2는 화학조성이 2.45wt%C, 1.07wt% Si, 33.5wt%Ni, 0.22wt%Mn인 용탕을 계단상주형에 주입하여 시편의 각 두께에서의 조직을 나

타낸 것으로 Photo. 2(a)에서 Photo. 2(d)로 갈수록 시편의 냉각속도가 증가하여 흑연의 형상이 더욱 미세해지는 것을 알 수 있으며, 이에 따라 흑연과 기지조직간의 계면의 양이 크게 증가한 것을 알 수 있다. Fig. 5는 계단상시편에서 채취한 각기다른 냉각속도를 갖는 현미경조직관찰시험편을 화상분석장치를 이용하여 측정된 흑연의 평균길이와 영율, 진동감쇠능의 관계이다. 즉, 동일한 화학조성에서 흑연의 미세화에 따른 진동감쇠능과 동적탄성계수를 나타내었다. 흑연의 크기에 따른 진동감쇠능의 뚜렷한 변화는 관찰되지 않고 있다. 즉, 기지조직과 흑연과의 계면의 양이 크게 증가해도 진동감쇠능의 증가는 관찰되지

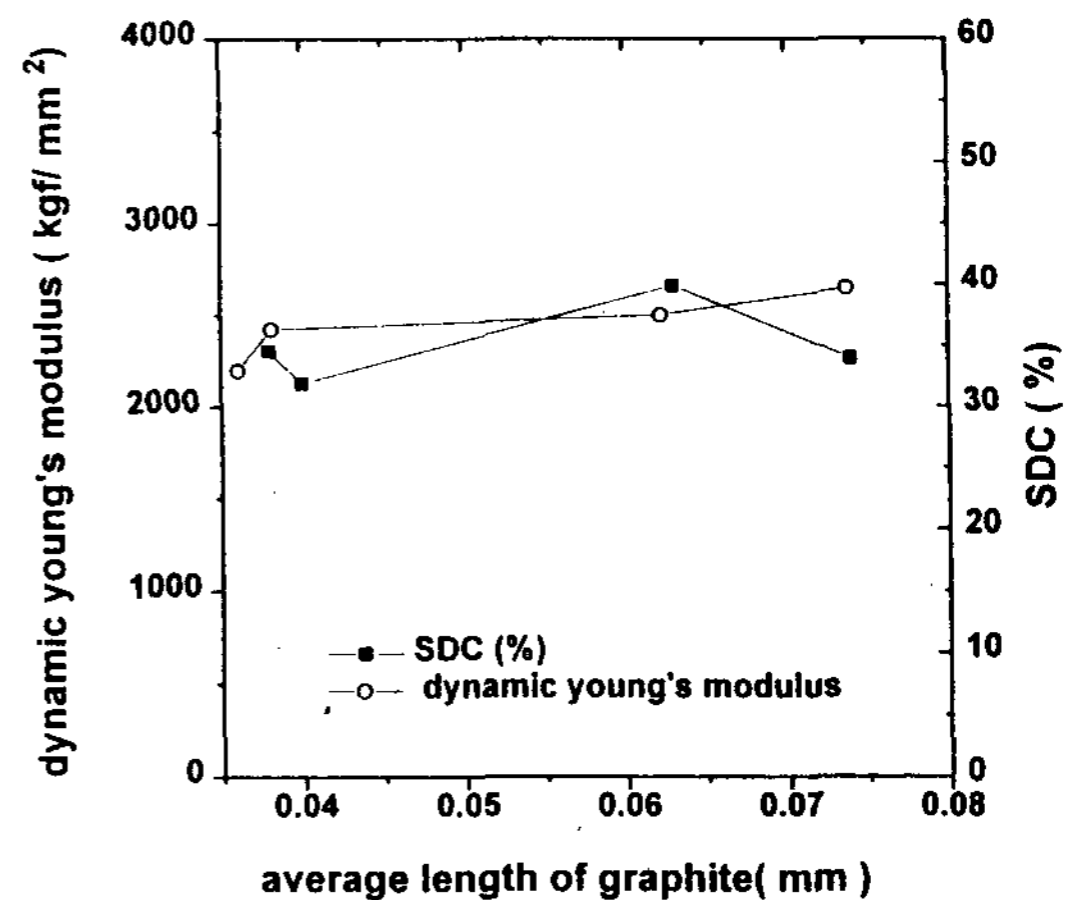


Fig. 5. Effects of the mean length of graphite on SDC and dynamic Young's modulus.

않았다.

Fig. 6은 탄소와 규소의 함량을 변화시켜 이에 따른 흑연의 면적분율과 진동감쇠능의 변화를 관찰한 것으로, 흑연의 면적분율에 비례하여 진동감쇠능이 증가하였으며 동적 탄성계수는 감소하는 것을 알 수 있다. 이는 저열팽창 편상흑연주철에서의 흑연에 의한 진동감쇠능은 일반적인 복합형 진동감쇠기구에서 나타나는 것과 같은 기지조직과 제2상과의 계면에서의 점성 유동에 의한 진동감쇠효과보다는 외부의 응력이 가해질때 흑연 결정내부에서의 전위의 이동과 공명에 의한 흑연자체의 진동감쇠효과에 기인한 것이라고 보고한 연구결과[3]와 동일한 결과를 보여주는 것으로 여겨진다. 또한 흑연조직이 아공정에서 공

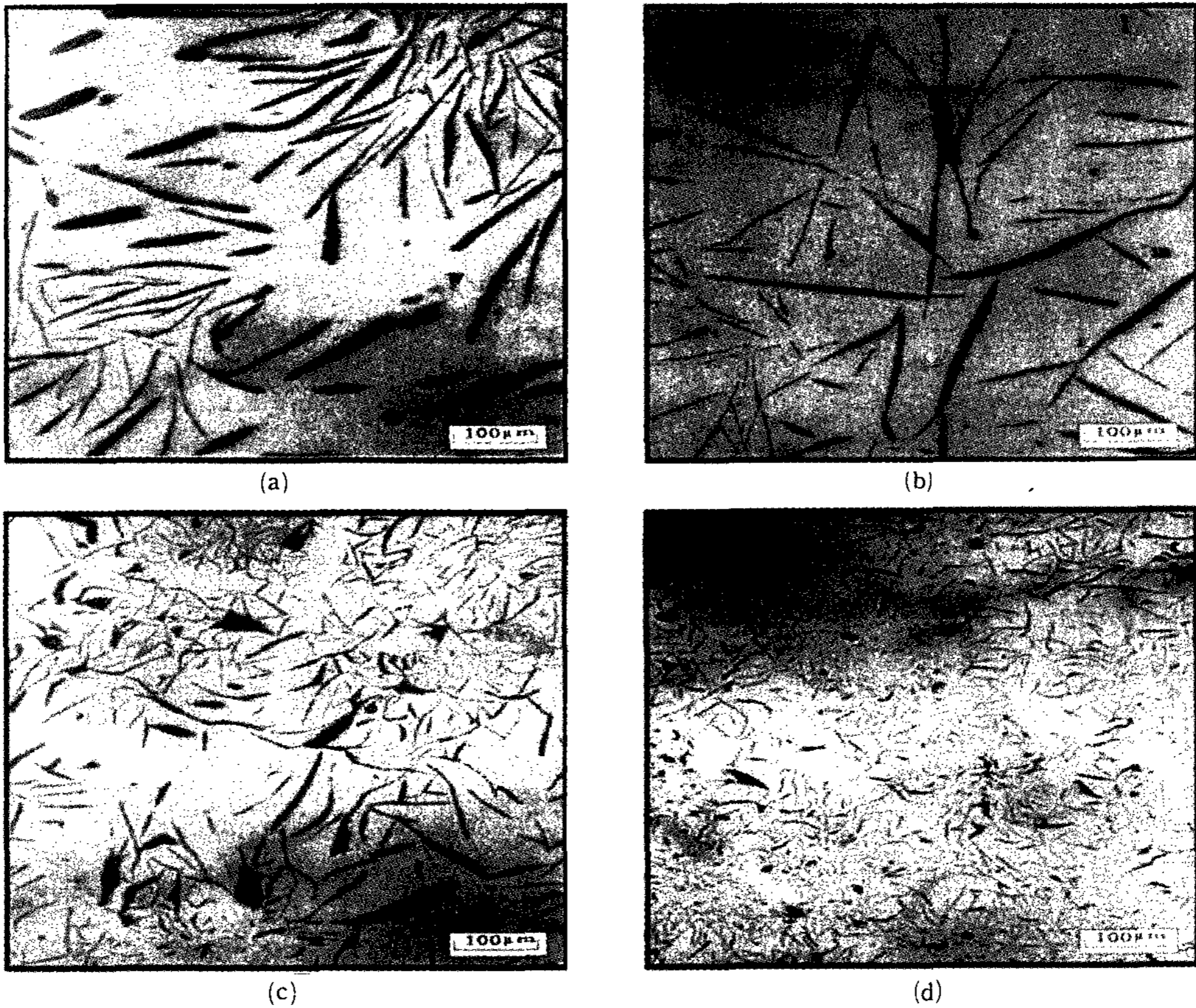


Photo. 2. Variation of graphite size for various casting thickness;  
(a) 90mm, (b) 60mm, (c) 30mm, and (d) 15mm

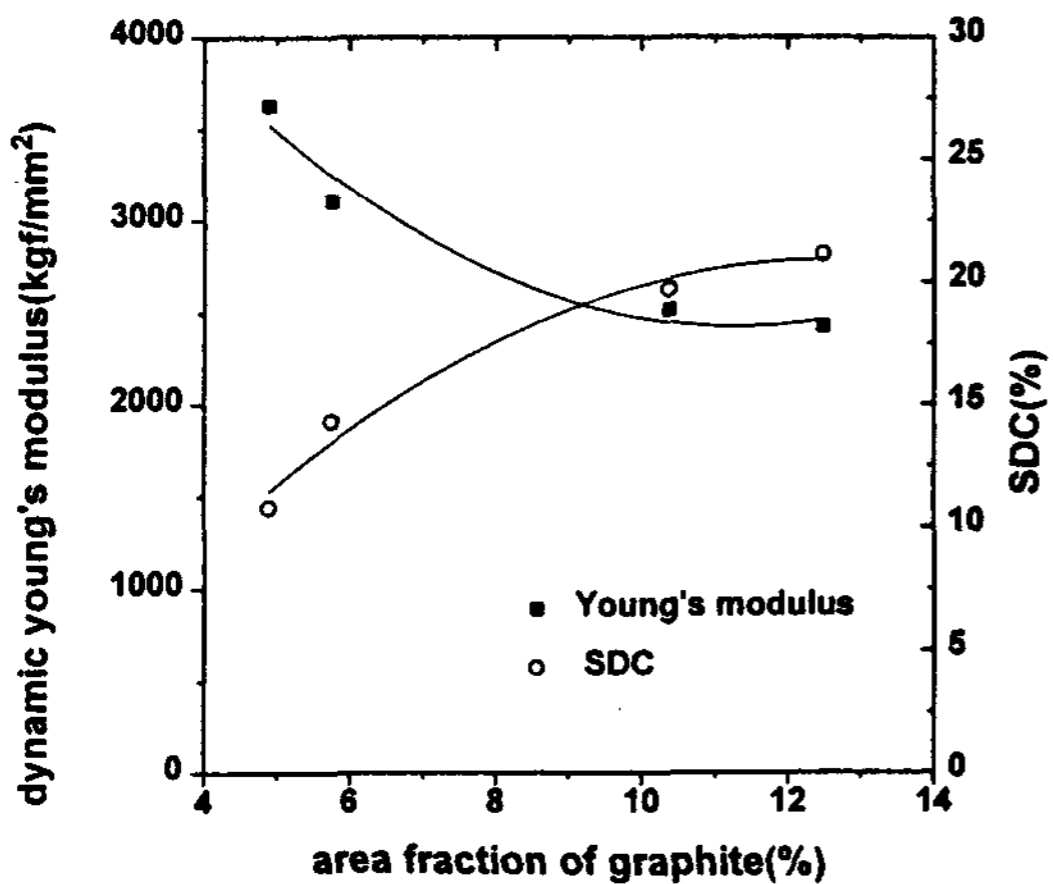


Fig. 6. Variation of SDC and dynamic Young's modulus according to the area fraction of graphite.  
Composition : Fe-33.5Ni-0.22Mn-(1.52~2.78)C-(1.05~1.15)Si

정조성으로 바뀔 때에는 흑연의 형상이 3차원적인 연속성을 나타내는 조직으로 변화하므로 이에 따른 큰 폭의 진동감쇠능 증가를 나타낸다는 보고[3]에서처럼 C와 Si함량의 증가에 따라 큰 폭으로 증가하였다가 과공정으로 되면 둔화되었다.

### 3.2 저열팽창주철의 진동감쇠능과 동적탄성계수에 미치는 (V+Mo)탄화물의 영향

저열팽창 주조합금의 경우 기지조직이 연질의 오스테나이트이므로 경도상승을 위하여 V, Mo를 첨가한다. 첨가된 원소들은 고온에서 탄소와 결합하여 정출되거나 공정탄화물 형태로 정출된다. Photo. 3은 일정한 탄소와 규소량에서 V, Mo첨가에 따른 조직변화를 나타내고 있다. Fig. 7은 이때 V, Mo의 첨가량이 증가됨에 따라 진동감쇠능이 감소하는 것을 나타내고 있다. Fig. 8에서는 계단상시험편에서 냉각속도가 커짐에 따

라 탄화물의 개수가 증가하며 이에 따라 진동감쇠능은 약간 감소하며 영율은 증가하는 것을 나타내고 있는데, Fig. 5에서 보듯이 V, Mo이 첨

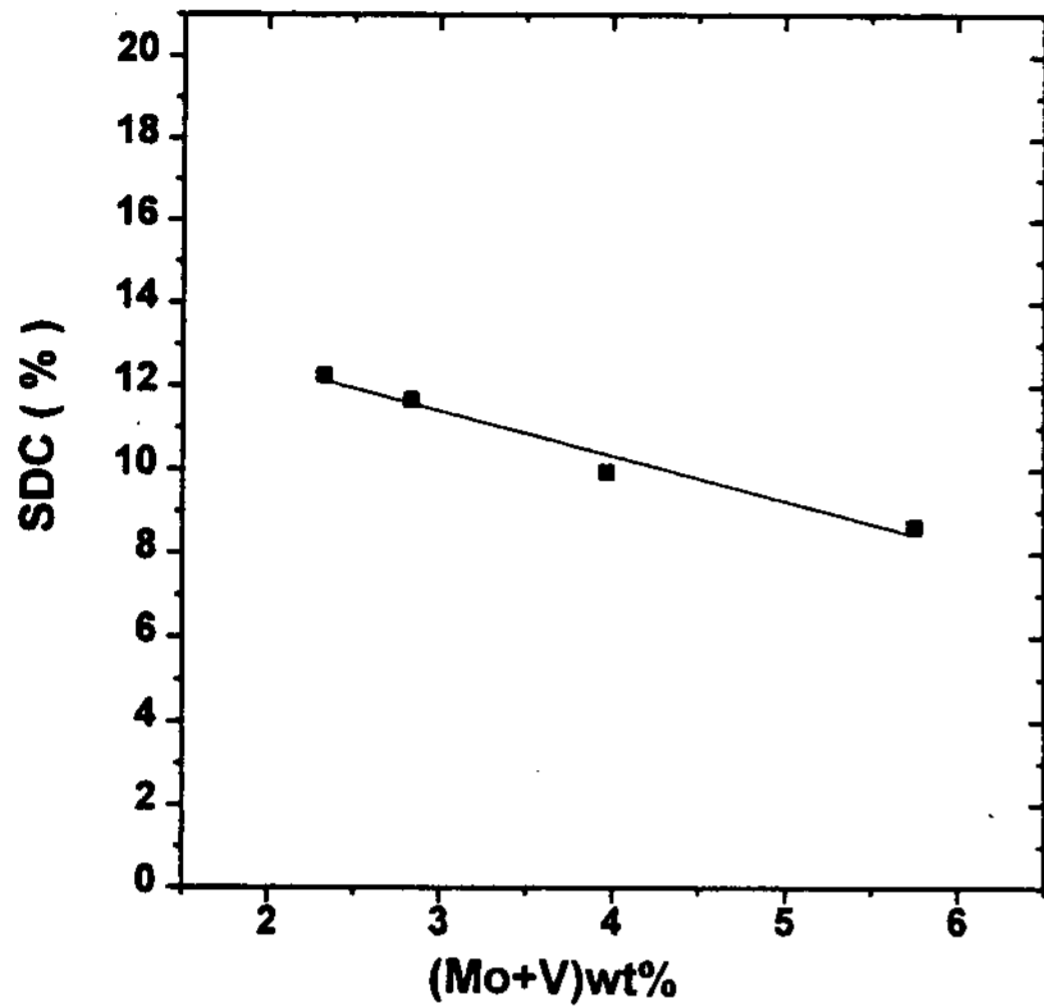


Fig. 7. Effects of V and Mo contents on SDC.  
Composition : Fe-33.5Ni-2.2C-1.15Si-XMo-YV

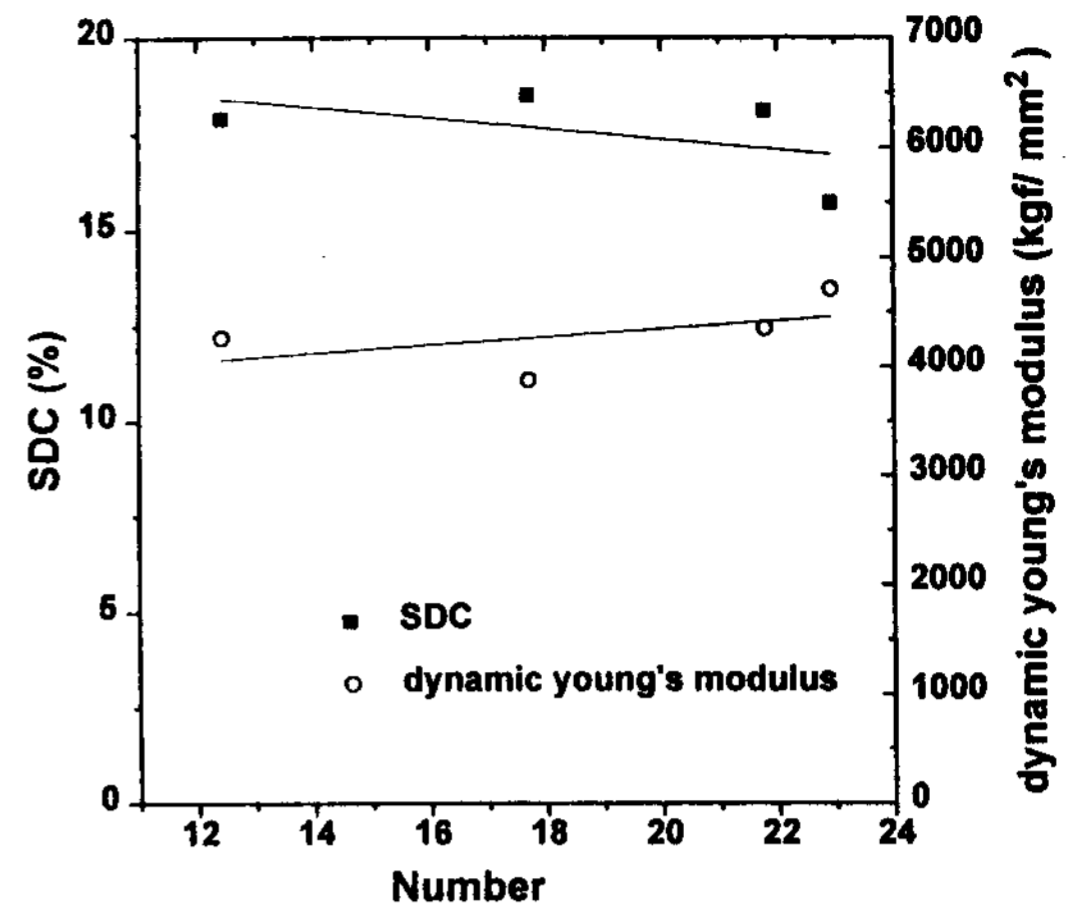


Fig. 8. Effects of the number of intersections between carbides and 50mm-dia circle on the SDC and Young's modulus.  
Composition : Fe-35.0Ni-2.1C-1.34Si-2.1Mo-2.0V-0.2Mn  
Number : The number of intersections between carbides and 50mm-dia circle on  $\times 100$  photo.

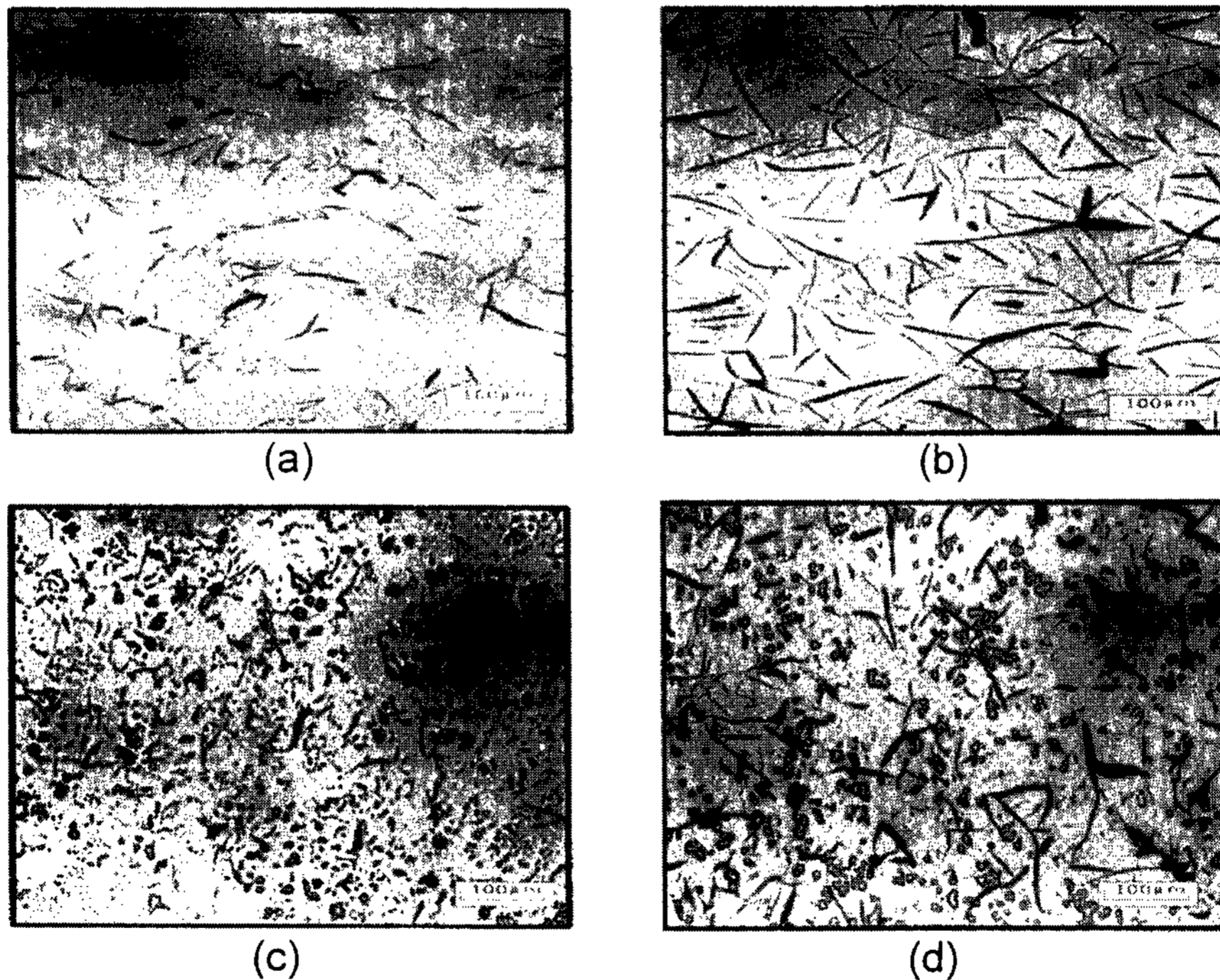


Photo. 3. Variation of graphite and carbide formation for various composition.  
(a) 1.75C-1.05Si-33.5Ni-0.2Mn    (b) 2.78C-1.15Si-33.5Ni-0.2Mn  
(c) 1.89C-1.12Si-33.5Ni-0.2Mn-2.5Mo-3.6V    (d) 2.81C-1.28Si-33.5Ni-0.2Mn-2.5Mo-3.6V

가되지 않은 경우 위에서 언급한 것처럼 흑연의 미세화에 따른 진동감쇠능의 변화는 관찰되어지지 않으나, V, Mo이 첨가된 경우 냉각속도가 증가하여 탄화물이 미세하게 분포할수록 이러한 탄화물에 대한 응력집중이 효과적으로 발생하고 이것이 중요한 진동감쇠의 매개체인 흑연으로의 응력분배를 억제하기 때문으로 고려된다. Fig. 9 및 Fig. 10은 탄화물이 존재하지 않는 경우와 존재하는 경우의 탄소당량과 흑연량에 따른 진동감쇠능의 비교이다. 여기서 알수 있는 바와같이 기지조직에 탄화물이 존재함에 따라 진동감쇠능이 감소한다. 이는 Photo. 3에서 보듯이 강력한 탄화물형성 원소인 V, Mo이 첨가됨에 따라 흑연량이 감소되어 직접적으로 진동감쇠능이 저하되며 이러한 탄화물 입자들이 조직에 비교적 균일하게 분포하므로 외부에서 응력이 가해질때 이러한 탄화물입자에 응력이 집중되므로 흑연에 효과적으로 응력이 분배되지 못하기 때문으로 추정된다. 또한 Mo, V은 치환형 형태로 오스테나이트 상에 고용되어 기지조직의 탄성계수를 증가시켜 흑연의 실질적인 응력분담을 감소시키기 때문으로도 생각된다.

### 3.3 저열팽창주철의 진동감쇠능에 미치는 자구 (Magnetic domain)의 영향

Fig. 11은 합금조성 2.10wt% C, 1.34wt% Si, 35.0wt% Ni, 2.1wt% Mo, 2.0wt% V, 0.2wt% Mn

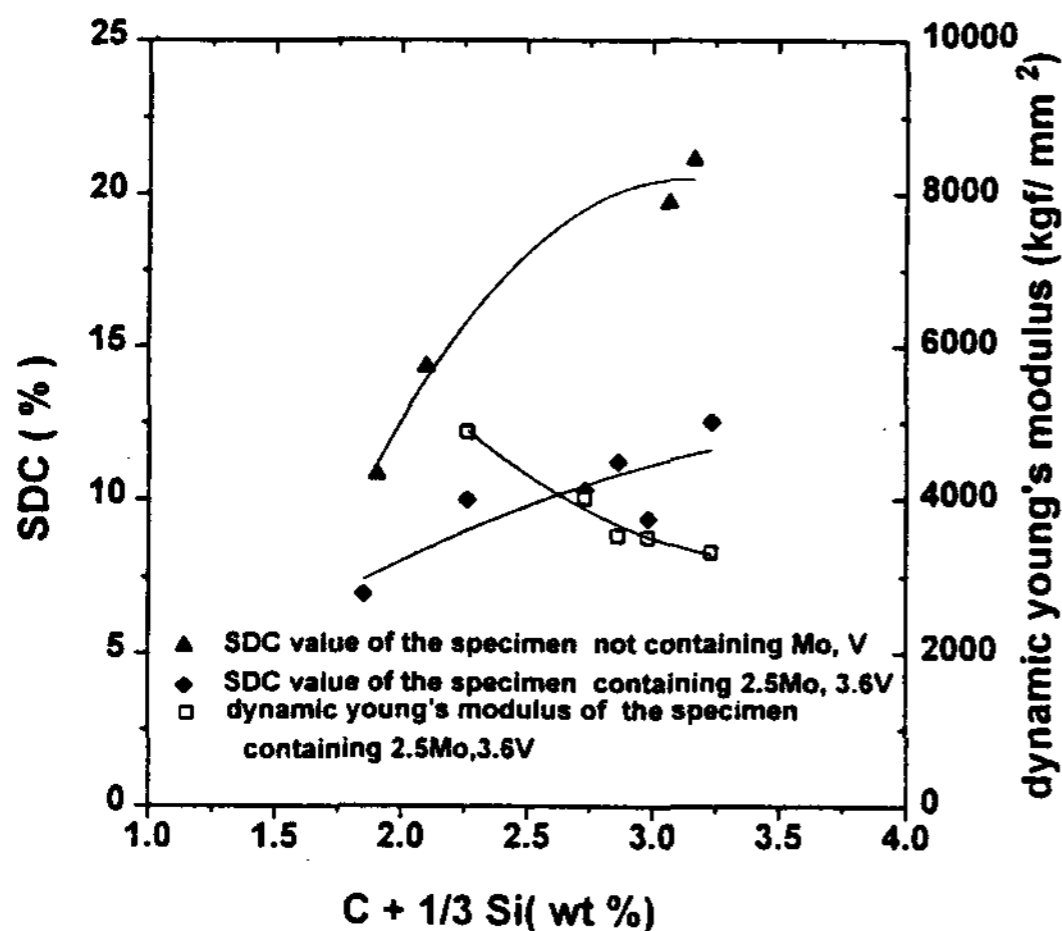


Fig. 9. Effects of carbon equivalent on SDC and dynamic Young's modulus.

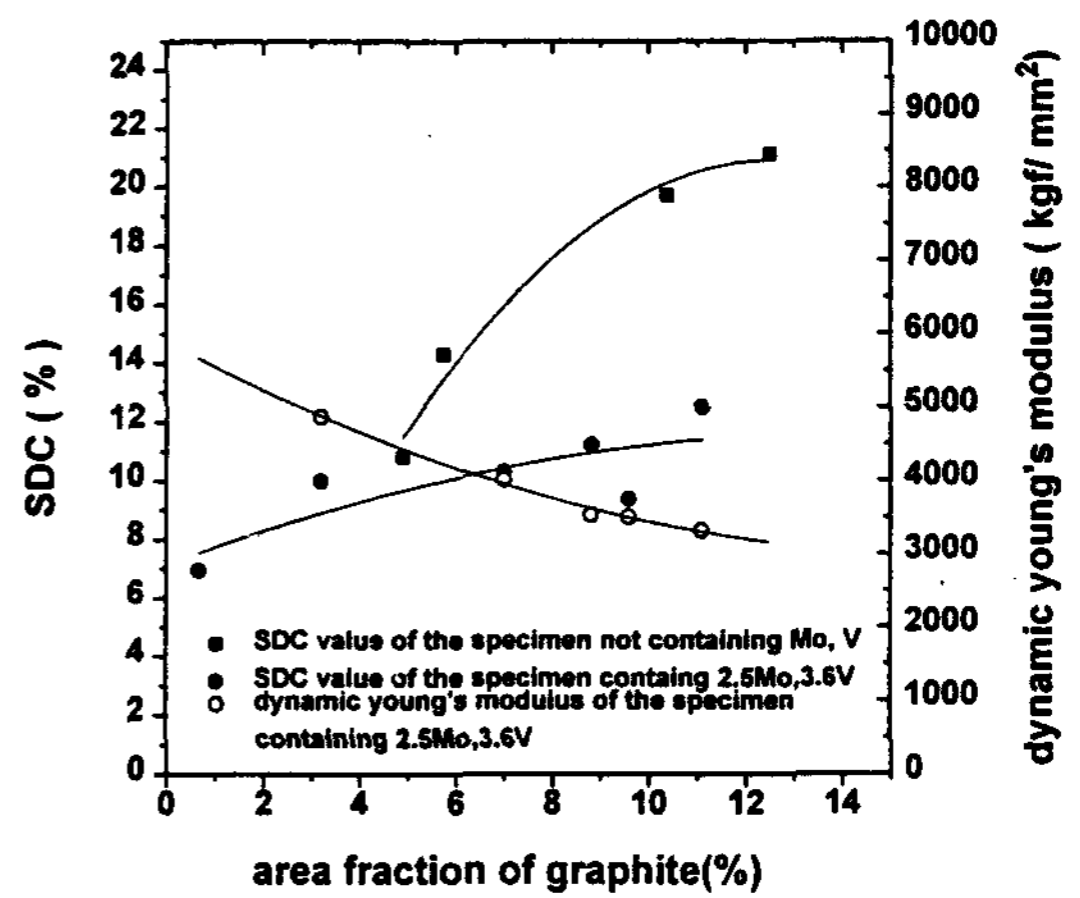


Fig. 10. Effects of amount of graphite on SDC and dynamic Young's modulus.

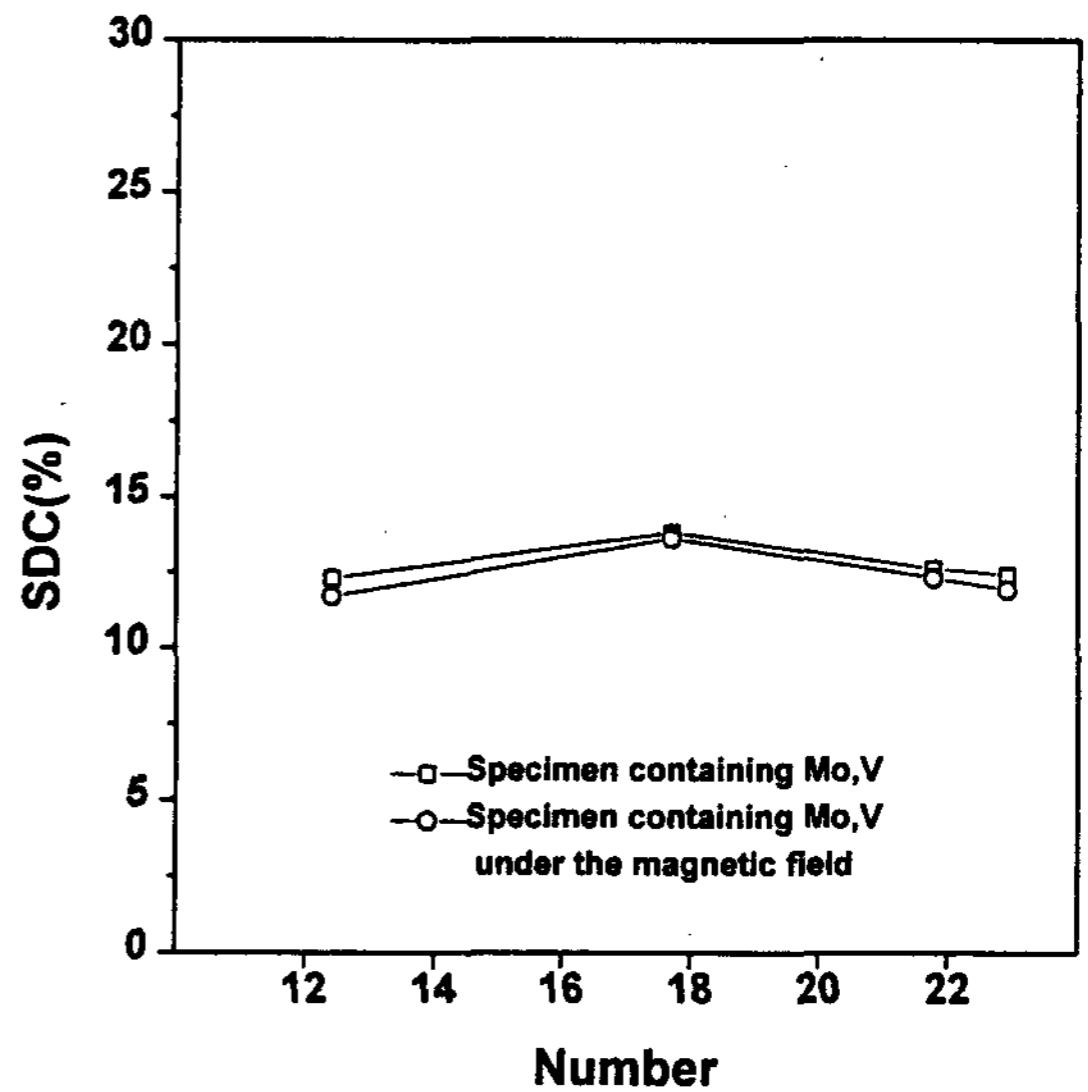


Fig. 11. Effects of magnetic domain on SDC.

의 시편에서 자구의 진동감쇠 효과에 미치는 영향을 측정된 결과이다.

VSM으로 시편의 포화자기장의 세기를 측정 후 재료 내부의 자구가 합체되는 포화자기장 안에서 각 시편에 대한 진동감쇠능을 측정된 값과 자기장이 없는 상태에서 측정된 값을 비교함으로써 자구의 진동감쇠능에 미치는 영향을 알아보았다. 측정된 포화자기장의 세기는 상온에서부터 자기변태점이하인 205°C의 온도범위 내에서 거의 변화없이 약 17KOe이었다. 포화자기장내에서 자구가 완전히 합체된 후의 SDC값과 자기장이

작용되지 않았을 때의 SDC값의 차이는 그다지 크지 않으며 전체 SDC값에서 자구의 이동에 의한 진동감쇠가 차지하는 비율은 약 2% 정도이었다. 또한 냉각속도가 증가하여 탄화물이 미세하게 분포하여도 자구의 이동에는 큰 영향을 미치지 않아 자구에 의한 진동감쇠효과도 그리 큰 변화를 보이지 않는다.

#### 4. 결 론

강자성형 고Ni 오스테나이트기지의 저열팽창 편상흑연주철에서의 주된 진동감쇠기구를 규명하기 위해서 흑연의 형상 및 크기와 양을 변화시켜 각시편의 진동감쇠능을 측정하고 자구의 이동이 본 주철의 진동감쇠능에 미치는 영향을 조사하였다. 또한 저열팽창주철의 경도상승 문제를 해결하기 위하여 첨가된 강력한 탄화물 형성원소인 V과 Mo에 의한 탄화물의 존재가 재료의 동적탄성계수와 진동감쇠능에 어떠한 영향을 미치는가를 조사한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 저열팽창 합금주철의 진동감쇠능은 흑연량에 비례하며, 또한 조직이 아공정에서 과공정으로 바뀔 때 공정조성 부근에서 진동감쇠능이 급격히 증가한다.
- 2) 강력한 탄화물 형성원소인 V, Mo을 첨가함으로써 저열팽창 편상흑연 주철의 진동감쇠능은 감소한다.
- 3) 저열팽창 오스테나이트 편상흑연주철의 진동감쇠효과는 흑연과 기지조직사이의 계면의 소

성유동에 의한 것보다는 주로 편상흑연자체의 진동흡수와 기지조직의 자구의 이동에 의한 진동흡수에 의해 좌우되며, 전체 진동흡수능에 미치는 자구이동의 진동흡수에 대한 영향은 약 2% 정도로 작다. 기지조직에 탄화물이 존재하는 경우에도 진동감쇠능에 미치는 자구의 영향은 탄화물이 존재하지 않는 경우와 거의 같다.

- 4) 저열팽창 편상흑연주철에서 탄성계수가 증가하면 진동감쇠능은 감소한다.
- 5) 동일조성에서 냉각속도에 따라 흑연이 미세화되어도 진동감쇠능은 크게 변화하지 않는다. 그러나 V, Mo이 첨가된 경우에는 냉각속도가 증가하면 탄화물의 증가와 함께 진동감쇠능은 감소하였다.

#### 참 고 문 헌

- [1] 이영국, 최종술 : 방진 합금, 제5회 상변태 심포지움, 대한금속학회, (1994) 35
- [2] E. Plenard : Modern casting, 41 (1962) 144
- [3] 松井啓, 松野亮, 木律文生, 高橋睦, 菅野秀雄 : 日本金屬學會誌, 40, 10 (1976) 1062
- [4] 杉本孝一 : 鐵と鋼, 14 (1974) 127
- [5] H. T. Angus : Cast Iron, Physical and Engineering Properties, Butterworth & Co. Ltd, (1976) 102
- [6] 松井啓, 高橋睦, 寄高政史 : 鑄物, 45, 6 (1973) 508

### 국제주물기술협회 환경상(CIATF Environmental Award) 시상제도

국제주물기술협회(CIATF)는 주조산업에서 환경의 중요성이 가중되고 있음을 인식하고 환경개선의 노력을 배가하기 위하여, 국제적인 환경관리인증(ISO14'001, BS7740, EMAS/EU ordinance 1836/93)을 공식적으로 획득하고 국제주물기술협회(CIATF)의 회원단체(한국주조공학회 해당)가 추천하는 주조업체중 10개의 업체에 대하여 「국제주물기술협회 환경상」을 시상하기로 하였다.

시상은 1998년도 부다페스트에서 개최되는 제63차 세계주조대회에서 있을 예정이다, 상금은 업체당 미화\$1,000로서 추천마감기일은 1998년 6월 30일 까지이다.