

3.6%C 회주철의 진동감쇠능 및 기계적 성질에 미치는 Sb 및 Ti 첨가의 영향

김정철 · 한동운 · 백승한 · 최종술*

(주)우진 측정기술연구소

*연세대학교 금속공학과

Effects of Alloying Elements(Sb, Ti) on Damping Capacity and Mechanical Properties in 3.6%C Gray Cast Iron

J. C. Kim, D. W. Han, S. H. Baik and C. S. Choi*

Research Institute of Measuring Technology, Woojin Inc., Korea

*Department of Metallurgical Engineering, Yonsei University, Korea

Abstract Flake graphite cast irons with the high damping capacity have been used for the control of vibration and noise occurring in the members of various mechanical structures under vibrating conditions. However, the damping capacity which is morphological characteristics of graphite is one of the important factors in reducing the vibration and noise, but hardly any work has deal with this problem. Therefore, the authors have examined the damping capacity of various cast irons with alloying elements and studied the influences of the matrix structures, mechanical properties and morphological characteristics of graphite. The main results obtained are as follows: Effects of Sb on the damping capacities and mechanical properties have been investigated in 3.6%C-0.2%Ni gray cast iron. At 0.02%Sb, specific damping capacity showed the maximum value, and decreased with further increase in Sb content. Mechanical properties showed opposite trend with the damping capacity. And then, effects of Ti on the damping capacities and mechanical properties have been investigated in 3.6%C-0.2%Ni-0.02%Sb gray cast iron. Specific damping capacity increased with increase in Ti content. Graphite length also showed same behavior. Tensile strength increased with Ti content due to refinement of pearlite. In the case of 0.14%Ti addition in 3.6%C-0.2%Ni-0.02%Sb cast iron, specific damping capacity and tensile strength was 36% and 25 kgf/mm² which are higher than 32% and 15 kgf/mm² at 3.6%C-0.2%Ni cast iron respectively.

(Received August 23, 2001)

Key words: specific damping capacity(SDC), graphite length, Sb, Ti, mechanical property, cast iron, pearlite, ferrite

1. 서 론

최근, 소음과 진동에 대한 사회적, 기술적 규제가 엄격해 지고 있기 때문에 고감쇠능을 갖는 재료에 대한 관심이 높아지고 있으며 또한 방진합금에 관한 연구도 활발히 진행되고 있다[1][6]. 일반적으로 방진합금이라 불리는 것은 내부마찰이 매우 커서 외부로부터 가해진 진동에너지의 대부분을 열로 변화시키는 합금을 말하는 것으로, 흔히 제진합금, 흡진합금 또는 고감쇠능합금 등으로 불려지고 있다. 이와 같이 진동 에너지를 열로 변환시키는 능력을 진동감쇠능이라고 하며, 그 단위로는 비감쇠능(specific damping capacity), 대수감쇠(logarithmic decrement), 내부마찰(internal friction) 등으로

표현하고 있다.

현재까지 여러 가지 방진합금이 개발되어 졌지만 여러 가지 단점을 가지고 있기 때문에 제한적인 경우를 제외 하고는 범용재료로 사용되지 못하고 있는 현실이다 [7][10]. 그러나, 이러한 방진재료중에서 주철, 특히 회주철은 강과 달리 기지에 흑연이 정출되어 있기 때문에 진동감쇠능이 우수하며, 또한 가격이 저렴하기 때문에 많은 분야에 사용되어 지고 있다. 그러나 회주철은 우수한 진동감쇠능을 갖고 있는 반면에 인장강도가 약하여 그 사용에 많은 제약이 따르고 있다[11][14]. 따라서 이와같은 단점을 극복하기 위하여 인장강도와 진동감쇠능을 동시에 향상시키는 연구가 절실한 현실이다.

따라서, 본 연구에서는 이미 전보에 발표하였던 연구

결과들[15][17]을 기초로 해서 진동감쇠능이 가장 우수하였던 3.6%C-2.5%Si-0.5%Mn-0.03%P-0.05%S-0.23%Ni를 기본조성으로 정하고, 인장강도를 25 kgf/mm² 이상으로 향상시키고자, Sb, Ti 등의 합금원소 첨가에 따른 진동감쇠능 및 기계적 성질의 변화를 조사하였다. 또한, 이에 대한 원인분석을 위하여 기조직 및 흑연형상의 영향에 관한 연구를 병행하였다.

2. 실험방법

2.1. 실험순서

본 연구에서의 실험순서는 다음과 같다. 우선 3.6%C-2.3%Si-0.5%Mn-0.03%P-0.05%S-0.23%Ni의 기본조성에 Sb를 0~0.12%로 변화시키며 진동감쇠능 및 기계적 성질의 변화를 조사하였다. 또한, 최적의 Sb 조성을 0.02%로 결정한 후, 여기에 Ti를 0~0.14% 첨가하여 같은 시험을 행하였다.

이상의 실험을 통하여 본 연구목표에 부합하는 진동감쇠능과 기계적 성질이 모두 우수한 합금계를 개발하였다.

2.2. 용해 및 주조

본 연구에 사용된 회주철의 화학조성을 Table 1에 표시하였다. 3.6% C 회주철에 0.23%Ni를 첨가하였고, Sb는 0~0.12%Sb, Ti를 0~0.14%로 변화시키며 첨가하였다.

용해는 고주파 유도용해로를 사용하였으며, 3.6% C 회주철을 용해후 Ni, Sb 및 Ti를 첨가하였다. 잉곳트의 형상은 직경 30 mm, 길이 300 mm의 환봉으로 주조하

였다. 1500°C에서 용해하여 1400°C에서 주입한 후 공냉하였다.

2.3. 실험내용

진동감쇠능은 Fig. 1의 Föpple-Pertz 비틀림 시험장치[18]를 이용하여 비감쇠능(Specific Damping Capacity, SDC)을 계산하였다. 인장시험편은 JIS No.8 C-type으로 가공하였고, SEM 시험편은 4% Nital로 에칭하였다. 흑연편의 길이와 면적률은 SEM으로 관찰한 이미지를 화상분석기를 이용하여 측정하였다.

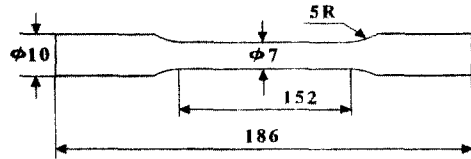
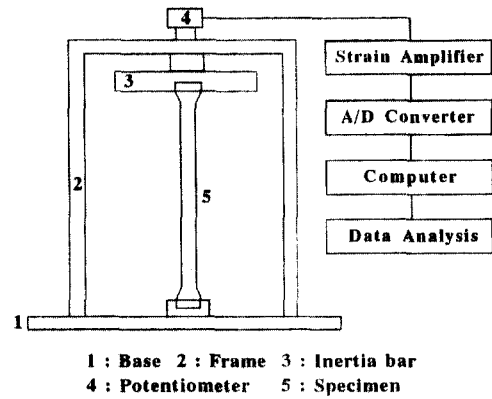
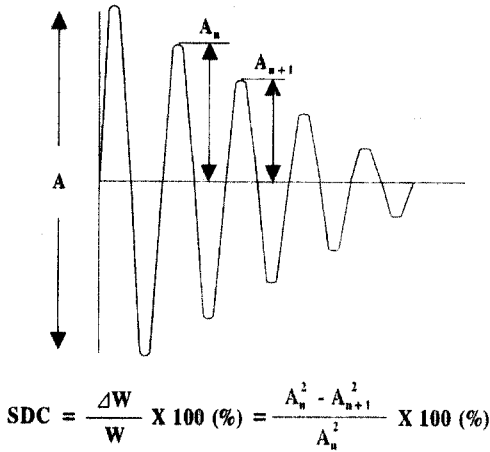


Fig. 1. Schematic diagram of damping measuring apparatus and dimension of its specimen.

Table 1. Chemical composition of the specimens used.

Alloy No.	Chemical Composition (wt%)								
	C	Si	Mn	P	S	Ni	Sb	Ti	Fe
Sb00	3.63	2.24	0.72	0.03	0.08	0.25	-	-	bal.
Sb02	3.63	2.29	0.71	0.03	0.07	0.22	0.018	-	bal.
Sb04	3.65	2.24	0.72	0.04	0.07	0.22	0.038	-	bal.
Sb06	3.62	2.29	0.77	0.03	0.08	0.23	0.055	-	bal.
Sb08	3.60	2.23	0.77	0.03	0.08	0.23	0.079	-	bal.
Sb12	3.60	2.26	0.76	0.03	0.07	0.26	0.115	-	bal.
Sb02Ti03	3.64	2.24	0.73	0.03	0.08	0.27	0.020	0.03	bal.
Sb02Ti05	3.64	2.28	0.79	0.03	0.08	0.23	0.016	0.05	bal.
Sb02Ti09	3.63	2.20	0.75	0.04	0.09	0.20	0.015	0.09	bal.
Sb02Ti12	3.63	2.25	0.76	0.03	0.07	0.21	0.020	0.12	bal.
Sb02Ti14	3.60	2.24	0.75	0.04	0.07	0.25	0.014	0.14	bal.



W : vibration energy

ΔW : vibration energy that is dissipated per cycle

A_n, A_{n+1} : Amplitude of vibration curve

Fig. 2. Calculation of specific damping capacity from free vibrational curve.

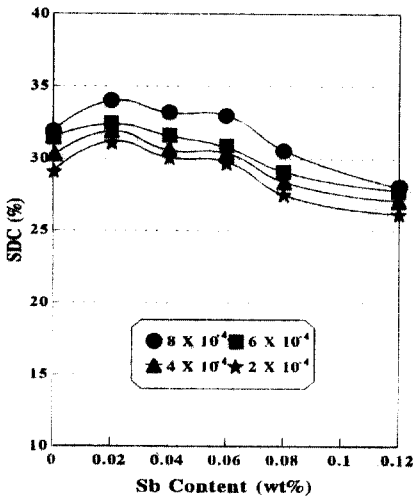


Fig. 3. Variation of damping capacity with Sb content in 3.6%C cast iron.

2.4. 진동감쇠능(SDC) 측정방법[19]

재료의 진동감쇠능은 Fig. 2에 보이는 바와 같이 한 사이클당 손실되는 에너지를 백분율로 나타내는 비감쇠능(SDC)을 이용하여 나타내었다.

진동의 진폭이 감소해 가는 것을 시간의 함수로 나타낸 것으로, Fig. 2의 식과 같이 SDC가 계산된다. 이

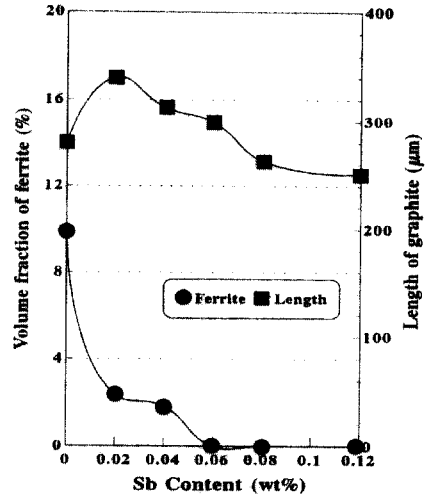


Fig. 4. Variation of graphite length and volume fraction of ferrite with Sb content in 3.6%C cast iron.

관계식을 보면, SDC는 한 사이클당 손실되는 에너지를 백분율로 나타낸 것으로, 변형 에너지가 진폭에 비례한다는 가정에 근거를 두고 있다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1. 합금설계

본 연구에서는 이전의 연구결과들을 토대로 하여서 3.6%C-2.5%Si-0.5%Mn-0.03%P-0.05%S-0.23%Ni을 기본조성으로 정하고, 인장강도를 25 kgf/mm² 이상(전보에서 얻은 결과는 20kgf/mm²)으로 향상시키고자, Sb, Ti 등의 합금원소를 첨가하였다. Sb는 펄라이트 생성을 촉진하여 기지조직을 강화함으로써 강도의 향상을 꾀하였으며[20], Ti은 흑연의 크기를 미세화하기 때문에 인장강도 증가, 칠 방지, 내마모성 향상 등의 특성이 있어 적정량을 첨가하였다[21].

3.2. Sb 첨가의 영향

Fig. 3은 Sb 첨가량에 따른 진동감쇠능의 변화를 보여주고 있다. 진동감쇠능은 0.02%Sb 조성에서 2% 상승하여 최대값을 보인 후, 그 이상의 조성에서는 서서히 감소하였다.

Fig. 4는 Sb 첨가량에 따른 흑연편의 길이 및 페라이트의 상대분율을 측정된 결과를 나타내었다. 0.02%Sb에서 흑연편의 길이가 320 μm로 무첨가시보다 약 40 μm

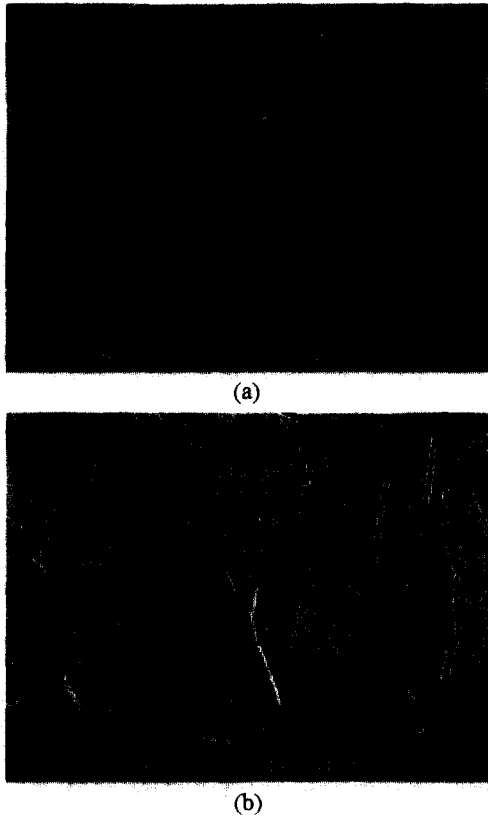


Fig. 5. Variation of microstructures with Sb content in 3.6%C cast iron. (a) 0%Sb (b) 0.06%Sb

정도 길어져 가장 길었고, 그 이상의 Sb 첨가량에서는 흑연편의 길이는 점점 짧아졌고, Fig. 5에 나타난 바와 같이 페라이트의 상대분율도 크게 감소하여 0.06%Sb에서는 페라이트가 완전히 소멸하였다. 이는 0.02%Sb 이상에서는 Sb가 펄라이트 생성을 촉진하여 흑연편이 짧아진 것으로 생각된다.

즉 전보에 발표하였던 내용[15][17]과 마찬가지로, 본 연구에 사용된 회주철의 진동감쇠능이 흑연편의 길이와 매우 밀접한 관계에 있음을 증명한다.

Fig. 6은 Sb 첨가량에 따른 인장강도와 경도의 변화를 보여주는데, 진동감쇠능의 경우와 정반대의 경향을 보였다. Fig. 4, 5에서 보인 바와 같이 Sb 함량이 증가함에 따라 펄라이트 생성 및 흑연편 길이가 짧아져 기계적 성질이 개선된 것으로 생각된다.

3.3. Sb, Ti 동시 첨가의 영향

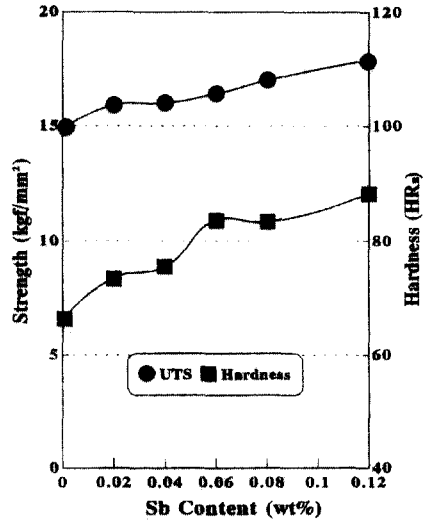


Fig. 6. Variation of mechanical properties with Sb content in 3.6%C cast iron.

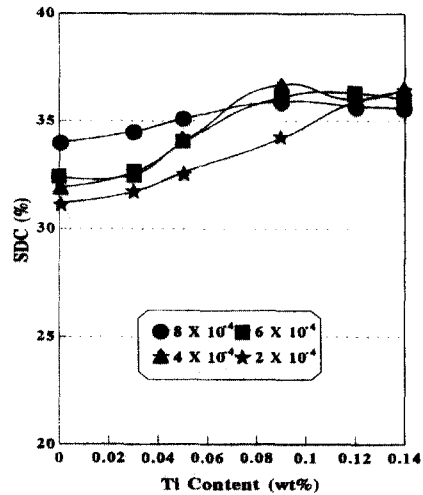


Fig. 7. Variation of damping capacity with Ti content in 3.6%C-0.02%Sb cast iron.

Fig. 7은 0.02%Sb를 첨가한 주철에 Ti를 동시 첨가한 3.6%C 주철의 Ti 첨가량에 따른 진동감쇠능의 변화를 보여주고 있는데, Ti 함량이 증가할수록 진동감쇠능은 다소 증가하는 경향을 보였다. 이는 Fig. 8에서 보듯이 Ti 첨가에 의한 흑연편 길이의 변화는 별로 없으나, 페라이트 감소 및 펄라이트 미세화로 인하여 기지가 강화되어, 2상 즉 흑연편과 펄라이트 기지의 점성 유동 및 소성유동에 의해 진동감쇠가 되는 복합형 방진

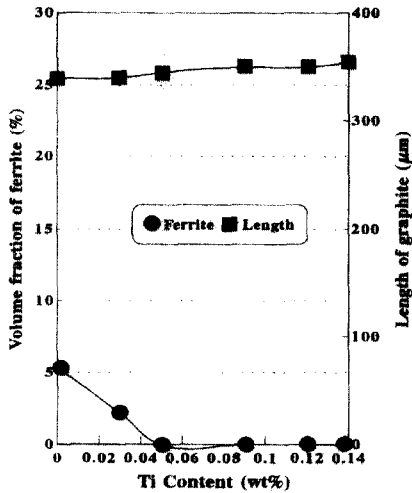


Fig. 8. Variation of graphite length and volume fraction of ferrite with Ti content in 3.6%C-0.02%Sb cast iron.

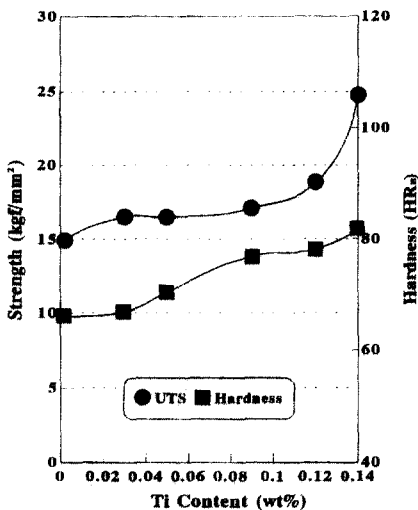


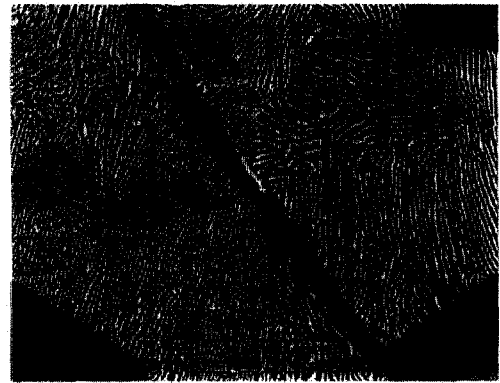
Fig. 9. Variation of mechanical properties with Ti content in 3.6%C-0.02%Sb cast iron.

합금[22]으로서 설명될 수 있다.

한편 Ti 함량에 따른 3.6%C-0.2%Ni-0.02%Sb 주철의 기계적 성질의 변화를 Fig. 9에 나타내었는데, Ti 함량이 증가할수록 인장강도와 경도 모두 증가하였다. 0.14%Ti에서는 25 kgf/mm²으로 무첨가시의 15 kgf/mm²보다 약 67%정도 인장강도가 증가하였다. 이는 Fig. 10에 나타난 것과 같이 페라이트량의 감소 및 펄라이트 미세화에 기인하여 기계적 성질이 개선된 것으



(a)



(b)

Fig. 10. Variation of substrate morphology with Ti content in 3.6%C-0.02%Sb cast iron. (a) 0%Ti (b) 0.09%Ti

로 생각된다.

4. 결 론

3.6%C 주철을 이용하여 Sb 및 Ti 첨가량의 변화에 따른 진동감쇠능 및 기계적 성질의 변화를 조사한 결과, 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. Sb를 단독 첨가한 경우, 진동감쇠능은 0.02%Sb에서 최고값을 보이다가 그 이상의 함량에서는 서서히 감소하였다. 반면에, 기계적 성질은 반대의 양상을 보였다.

2. 0.02%Sb에 Ti를 동시 첨가한 경우, Ti 함량이 증가함에 따라 진동감쇠능은 약간 증가하였으나, 기계적 성질은 본 연구의 목적에 일치할 정도로 크게 향상되었다.

3. 3.6%C-0.2%Ni-0.02%Sb-0.14%Ti 방진주철이 본 연구목표에 부응하는 조성으로 결정되었다. 진동감쇠능

(SDC)은 36%, 인장강도는 25 kgf/mm²을 나타내었다.

참고문헌

1. R. D. Adams : Journal of Sound and Vibration, 23(1972), 199.
2. 杉本孝一 : 鐵と鋼, 14(1974), 127.
3. S. H. Baik, J. C. Kim, K. K. Jee, M. C. Shin and C. S. Choi : Journal de Physique IV, Vol.5 (1995), C8-391.
4. 백승한, 김정철, 지광구, 최종술 : 한국열처리공학회지, 8(1995), 113.
5. 백승한, 김정철, 지광구, 신명철, 최종술 : 한국열처리공학회지, 8(1995), 197.
6. 백승한, 김정철, 지광구, 신명철, 최종술 : 한국열처리공학회지, 9(1996), 53.
7. E. Plenard : Modern Casting, 41(1963), 144.
8. I. G. Ritchie and Z. L. Pan : Metall. Trans., A22(1991), 607.
9. W. Patterson, H. Supmann and F. W. Haptvogel : Gisserei, 17(1965), 151.
10. B. V. Kovac : AFS Trans., 85(1977), 113.
11. 栗熊勉 : 鑄造工學, 68(1996), 1069
12. 松井啓, 松野亮, 木津文生, 高橋峻, 菅野秀雄 : 日本金屬學會誌, 40(1976), 1062.
13. R. D. Adams and M. A. O. Fox : Journal of Mechanical Engineering Science, 15(1973), 81.
14. R. D. Adams and M. A. O. Fox : Journal of the Iron and Steel Institute, 211(1973), 37.
15. 김정철, 손용철, 한동운, 백승한 : 한국열처리공학회지, 10(1997), 47.
16. 한동운, 김정철, 손용철, 백승한 : 한국열처리공학회지, 12(1999), 108.
17. 김정철, 백승한, 최종술 : 한국열처리공학회지, 13(2000), 231.
18. A. W. Cocharde : Trans. AIME, 226(1956), 1295.
19. L. M. Schetky and J. Perkins : Machine Design, April 6(1978), 202.
20. 박홍일, 김명호 : 한국주조공학회지, 8(1988), 174.
21. 박이운 : 한국주조공학회지, 7(1987), 231.
22. K. Nuttall : J. Inst. Metals, 99(1971), 266.