論 文

아공정 CV흑연주철의 주물의 직경이 기지조직, 기계적성질 및 초음파전도속도에 미치는 영향

김 효 준*, 이 상 익*

The Effect of Diameter of Casting on the Matrix Structure, Mechanical Properties and Propagation of Ultrasonic Wave in Hypoeutectic CV Graphite Cast Iron

Hyo-Joon Kim*, Sang-Ik Lee*

Abstract

The matrix structure and the morphology of CV graphite are affected by the addition of many kinds of elements, which are contained in the CV graphite cast iron, additives, fading time and cooling rate. The effects of cooling rate on the matrix structure, the shape of CV graphite, mechanical properties and propagation of ultrasonic wave in hypoeutectic CV graphite cast iron were studied. When the diameters of the samples are 50mm, 35mm and 20mm

1. CV graphite number showed average 17.9% increase and CV graphite length showed 10.3% decrease with decreasing diameter of the samples.

2. The amount of graphite and ferrite showed average 11.2, 4.1% decrease and the amount of pearlite showed average 15.7% increase.

3. Hardness and tensile strength showed average 3.5%, 11.3% increase and impact strength showed average 1.5% decrease.

4. Ultrasonic wave velocity showed average 1.1% increase.

1. 서 론

주철재료로 널리 사용되고 있는 CV흑연주철은 편상흑연주철보다 우수한 인장강도, 인성, 연성, 내열성을 가지고 있으며 구상흑연주철보다 우수한 주조성, 열전도율, 감쇄능을 지니고 있다[1~6]. 이러한 CV흑연주철을 제조하기 위해서는 흑연형태가 편상과 구상의 중간형태인 것을 제조해야 하기 때문에 기술상 어려움이 따른다. 따라서 많은 연구자들에 의하여 여러가지 제조방법이 제시되고 있으나[7] 아직 확실한 제조방법은 정립되고 있지 않은 실정이다. CV흑연형태 및 기지조직은 화학성분, 처리제의 종류 및 첨가량, 처리온도 및 냉각속도, fading time, 접종효과 등 복합적인 요인에 따라서 다양하게 변화한다[8~12].

본 연구에서는 구상화 흑연주철을 제조할 때 사용하는 Fe-Si-Mg계 구상화제(TDCR-8)와 fading time을 이용하여 아공정 CV흑연주철을 제조하고 제품 제작시 발생하는 직경변화에 따른 흑연형태와 조직의 변화, 이에 따른 기계적 성질과 초음파전도속도의 상호관계를 정량적으로 연구 검토하였다.

2. 실험방법

본 연구에 사용된 원료 및 시료의 분석결과는 각각 Table 1과 Table 2와 같다. 시편 제조는 50KVA 크릴톨로에서 20번 흑연도가니와 6번 흑연도가니를 사용하여 포스코선철을 용해한 후 슬래그를 제거하고 금형에 주입하여 원료선을 제조

*한양대학교 공과대학 금속공학과(Dept. of Metal. Eng. Hanyang university)

Table 1. Chemical composition of Materials(wt%)

Composition / Materials	C	Si	Mn	P	S	Mg	Ca	Re
Pig Iron	4.1	1.4	0.15	0.05	0.03	–	–	–
Electrolylic-Iron	0.002	0.002	0.05	0.008	0.001	–	–	–
Fe-Si Alloy	25	75	–	–	–	–	–	–
Fe-Si-Mg Alloy(TDCR-8)	–	45-46	–	–	–	8.8-9.0	3.0-3.1	3.0-3.1

Table 2. Chemical composition of Specimens(wt%)

Composition / Specimens	C	Si	Mn	P	S	Mg	Ca	Re
CV. C. I. 1	2.98	2.90	0.14	0.067	0.008	0.010	–	–
CV. C. I. 2	2.96	2.87	0.12	0.072	0.008	0.010	–	–
CV. C. I. 3	3.01	2.84	0.14	0.069	0.007	0.012	–	–

하였다. 이 원료선을 탄소당량 3.8%(C : 3.0%, Si : 2.8%)로 조절하기 위해서 전해철과 Fe-Si(Si : 75wt%)합금을 첨가하여 재용해 하였다. 이 용탕의 온도를 약 1450℃로 유지시킨 다음 CaC_2를 2wt% 표면첨가하여 교반하고, 탈황처리한 후 슬래그를 제거하였다. 구상화제로서 Fe-Si-Mg(8.8-9.0Mg wt%)을 용탕량의 1% 첨가하고 다시 기지조직의 개선을 위해 Fe-Si합금(12메쉬)을 0.3% 후접종하였

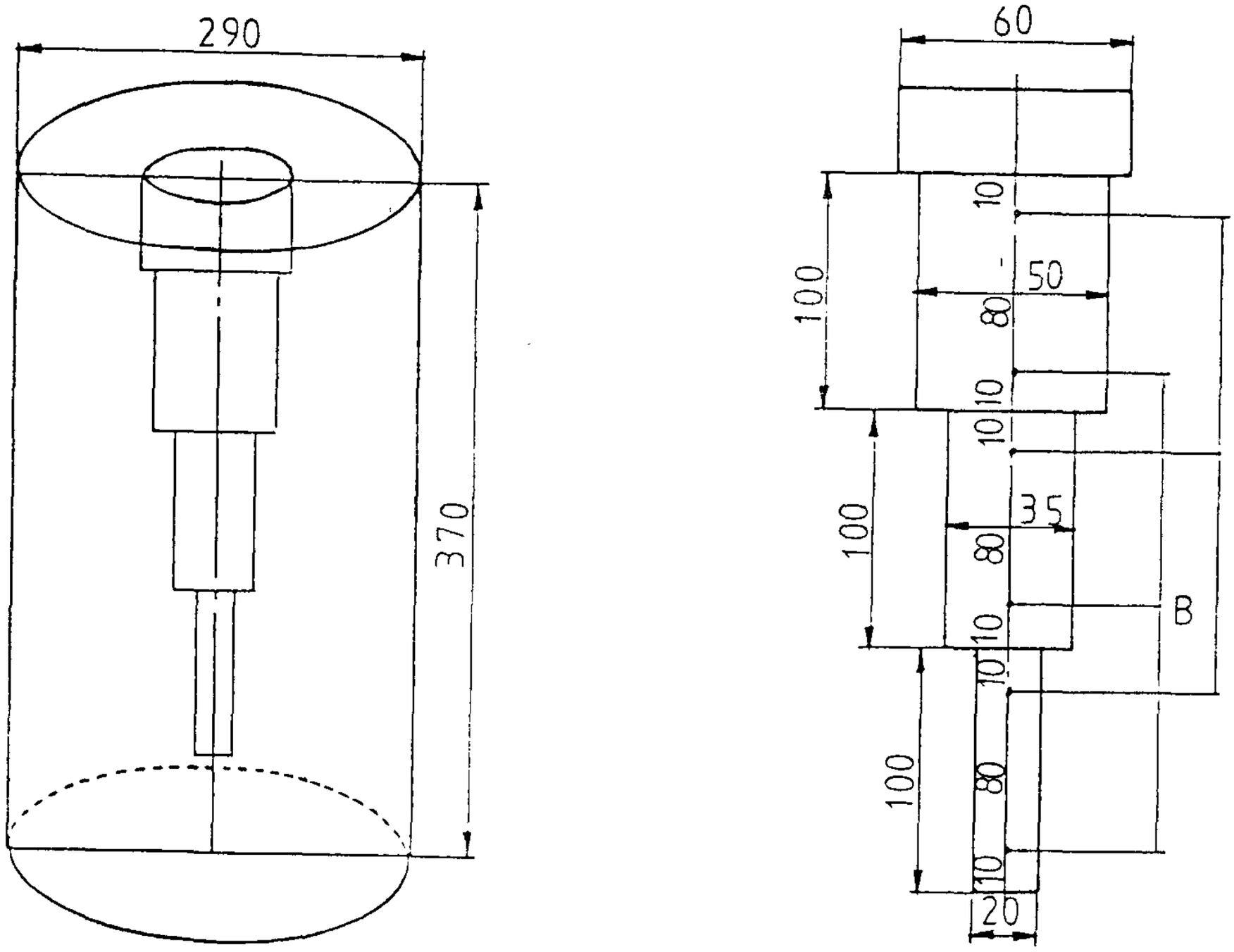

Fig. 1 Schematics of green sand mold and specimen.

다. 그리고 30분간 fading time을 부여한 후 시편 제조를 위한 용탕으로 사용하였다. 시편은 Fig. 1과 같은 생사형에 용탕을 주입하여 상부직경 50mm, 길이 100mm, 중부직경 35mm, 길이 100mm, 하부직경 20mm, 길이 100mm, 상부, 중부, 하부가 연결된 300mm의 환봉형으로 제조하였다. 이 시료를 다시 상부 중부 하부로 절단 가공하여 KS 8호 인장시험편과 KS 4호 충격시험편으로 만들고 상중하 각부 저면으로부터 10, 50, 90mm되는 부분을 절단하여 현미경 관찰용 및 경도시험편으로 사용하였다. 인장시험은 만능재료시험기 (Model ; Instron 1137 Max.ston)을 사용하여 10mm/min의 속도로 측정하였고, 충격시험은 30kg-m 샬피 충격시험기를 사용하였으며 경도시험은 브리넬 경도시험기를 사용하였다. 현미경 조직시험은 Unicom 광학 현미경에서 100배로 확대하여 Luzex 450 영상해석장치를 사용하여 흑연의 수, 면적, 길이 및 펄라이트, 페라이트의 면적을 측정하여 평균값을 구하였다. 또한 주조제품의 성질에 큰 영향을 미치는 기지조직 및 흑연의 형태를 측정하는데 광학 현미경이나 파괴시험법을 이용하여 왔으나 최근 비파괴시험법을 이용하여 간단히 측정하고자 하는 경향이 있다. 본 실험에서도 비파괴시험 방법으로 널리 이용하는 Bronson Krautkrämer사 제품 두께 측정기인 CL 204를 이용하여 주파수 5MHz의 종파(Longitudinal wave)와 접촉매질(Couplant)로 글리세린을 사용하여 초음파 검사를 실시하였고, 이 결과치와 기계적 성질, CV흑연형태, 기지조직의 상호관계를 비교 검토하였다. 열분석 실험은 일본 SAN-EI Instrument사 Visi Graph-OL를 이용하여 측정하였다.

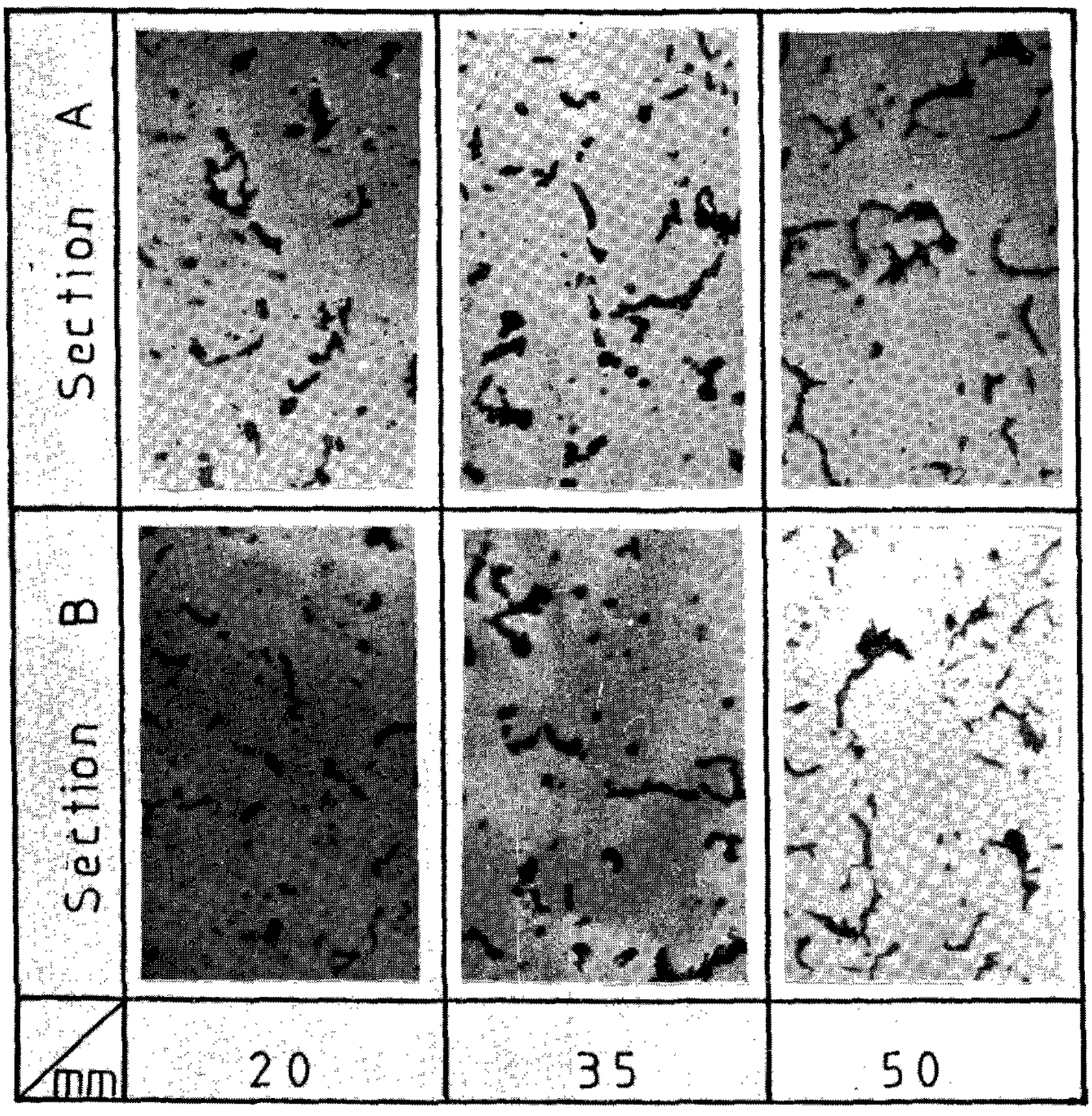

Fig. 2 The change of graphite morphology with different diameters and sections.(x100)

3. 실험결과 및 고찰

3-1. CV흑연형태의 변화

Fig. 2는 아공정조성에서 시편의 직경을 변화 시켰을때 각 단면에 따른 CV흑연변화를 부식하기전 100배로 확대한 광학현미경조직 사진이다. 직경 20mm에서 단면 B와 A의 응고시간은 33, 54초 직경 35mm에서 72, 159초 직경 50mm에서 210, 296초가 소요되었다. 위 사진은 모든 조건이 동일한 상태에서 직경변화 즉 냉각속도의 변화에 따라 CV흑연의 흑연입수, 길이, 폭, 형태 등의 변화를 나타내고 있다. 직경이 증가하면 흑연입수는 감소하고 길이 및 폭이 증가한다. 또한 흑연이 차지하는 면적도 증가하고 있음을 알수 있다.

CV흑연은 그 자신의 핵에서 a축 방향으로 성장하며 아공정에서 대부분의 흑연은 오스테나이트 halo에 의해 둘러싸여 있다. 그러나 흑연입의 끝은 용융금속과 접촉하게 되므로 길이 방향의 성장은 폭방향의 성장 보다 빨리 진행한다. 흑연의 성장은 오스테나이트 보다 빠르고 흑연의 끝은 CV흑연 모양으로 되며 가지를 친 오스테나이트 halo는 비대칭의 CV흑연형태의 흑연을 형성한다[13]. 이러한 CV흑연형태의 변화를 정량적으로 표시하면 다음과 같다.

1) CV흑연입수의 변화

Fig. 3은 직경변화에서 각 단면에 따른 CV흑연입수의 변화를 나타낸 것이다. 직경 20mm에서 단면 B의 CV흑연입수는 단면 A보다 34.3%, 직경 35mm에서는 14%, 직경 50mm에서 10.7% 증가하고, 직경 20mm 단면 A는 직경 35mm 단면 B보다 4.1% 감소하고, 직경 35mm 단면 A는 직경 50mm 단면 B보다 3.2% 증가를 나타낸다. 직경이 증가할수록 흑연입수는 감소하며, 직경이 다른 부분과 연결되는 부분에서 변화율이 적음을 알수 있다. 따라서 시편의 냉각속도는 흑연성장에 중요한 역할을 한다고 사료된다.

2) CV흑연 길이 변화

Fig. 4는 직경변화와 각 단면에서 CV흑연 길이를 수치로 나타낸것이다.

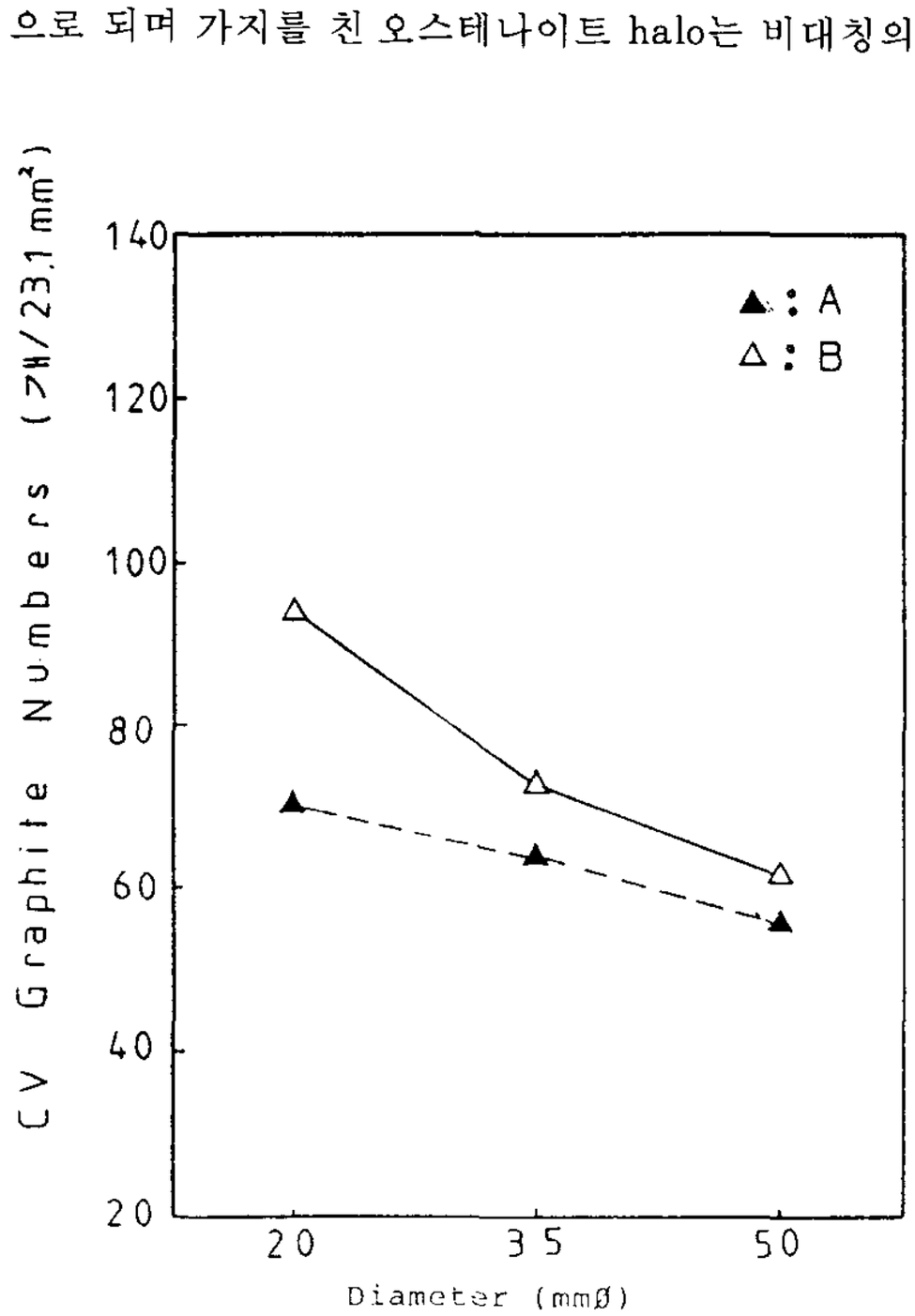

Fig. 3 Variation of cv graphite number with different diameters and positions.

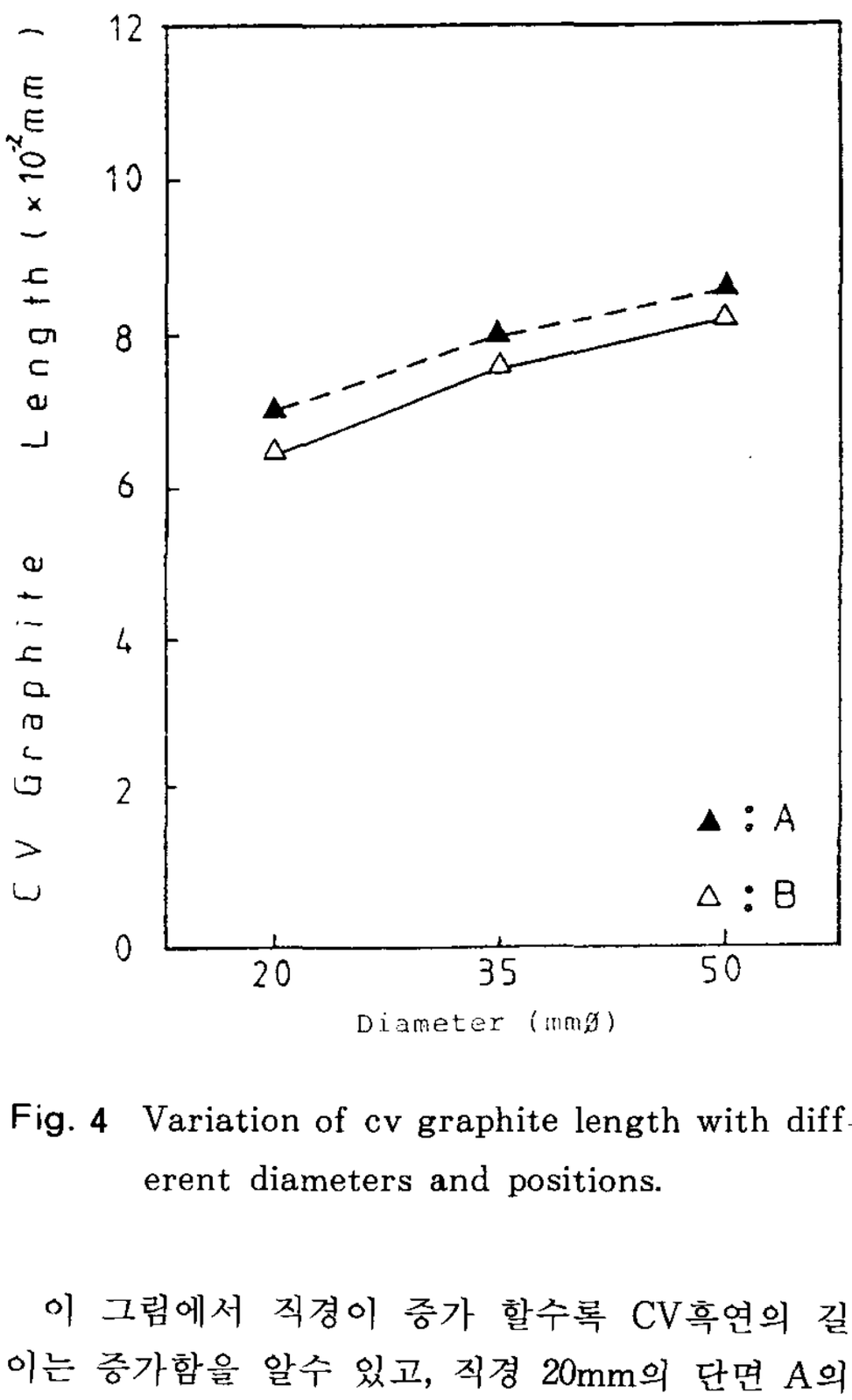

Fig. 4 Variation of cv graphite length with different diameters and positions.

이 그림에서 직경이 증가 할수록 CV흑연의 길이는 증가함을 알수 있고, 직경 20mm의 단면 A의 CV흑연 평균 길이는 단면 B보다 7.7%, 35mm에서 5.3%, 50mm에서 4.9% 증가한다. 직경 20mm 단면

A와 직경 35mm 단면 B에서의 CV흑연길이 변화는 8.6%, 직경 35mm 단면 A와 직경 50mm 단면 B에서는 2.5% 증가를 나타내고 있다. 시편의 직경이 증가 할수록 CV흑연 길이의 증가율은 둔화되고 있으며 어느 범위 이상에서는 직경의 변화가 CV 흑연 길이에 영향을 미치지 못하고 편상 쪽으로 발전하리라고 사료된다.

3-2. 기지조직의 변화

Fig. 5는 시편의 직경을 변화 시켰을때 단면에 따른 기지조직 사진이다.

시편의 직경이 증가할수록, 즉 냉각속도가 느려질수록 흑연, 페라이트량은 증가하고 펄라이트량은 감소하고 있음을 알수 있다. 이러한 현상은 CV 흑연주철의 기지조직이 페라이트화[2] 하는 경향이 있고 목표 조성이 아공정조성(C : 3.0%, Si : 2.8%)으로서 흑연화 원소인 Si량이 높아 흑연화에 의한 기지조직의 페라이트화가[14] 강한데다가 냉각속도가 느려질수록 흑연의 성장으로 펄라이트량은 감소하고 페라이트량이 증가한다고 사료된다.

이것을 정량적으로 나타내면 다음과 같다.

1) 흑연량의 변화

Fig. 6은 직경변화에 따른 각 단면에서의 흑연량을 나타낸 것이다.

직경 20mm 단면 B에서 단면 A의 흑연량 증가는 약 8.8%, 직경 35mm에서 7.7%, 직경 50mm에서 6.9%, 직경 20mm 단면 A와 직경 35mm 단면 B는 5.7%, 직경 35mm 단면 A와 50mm 단면 B에서 3.6% 증가를 나타낸다. 흑연량은 직경증가, 즉 냉각속도가 느려짐에 따라 변화하고 있음을 알수 있다.

2) 펄라이트량의 변화

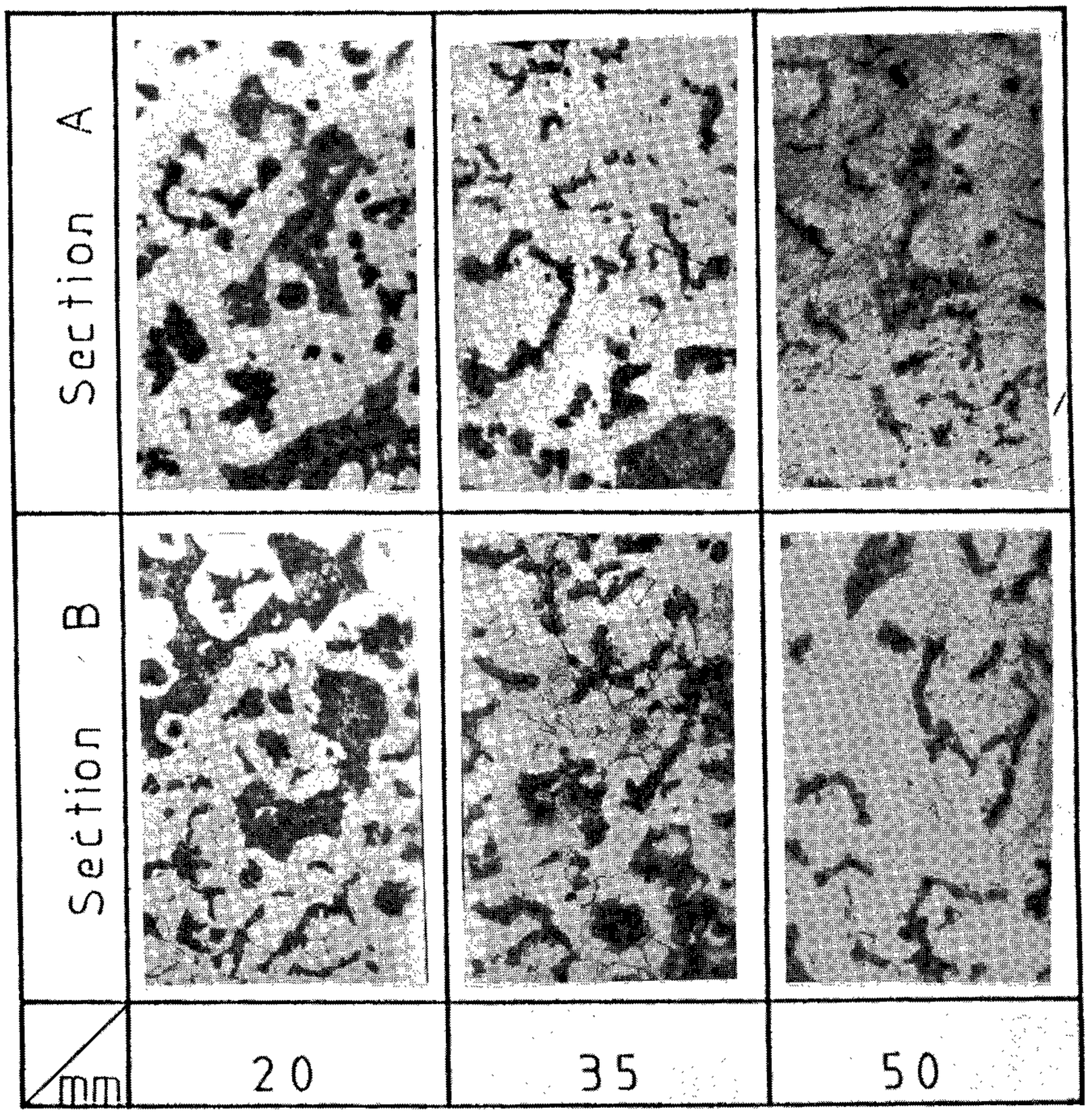

Fig. 5 The change of matrix with different diameters and sections.(x100)

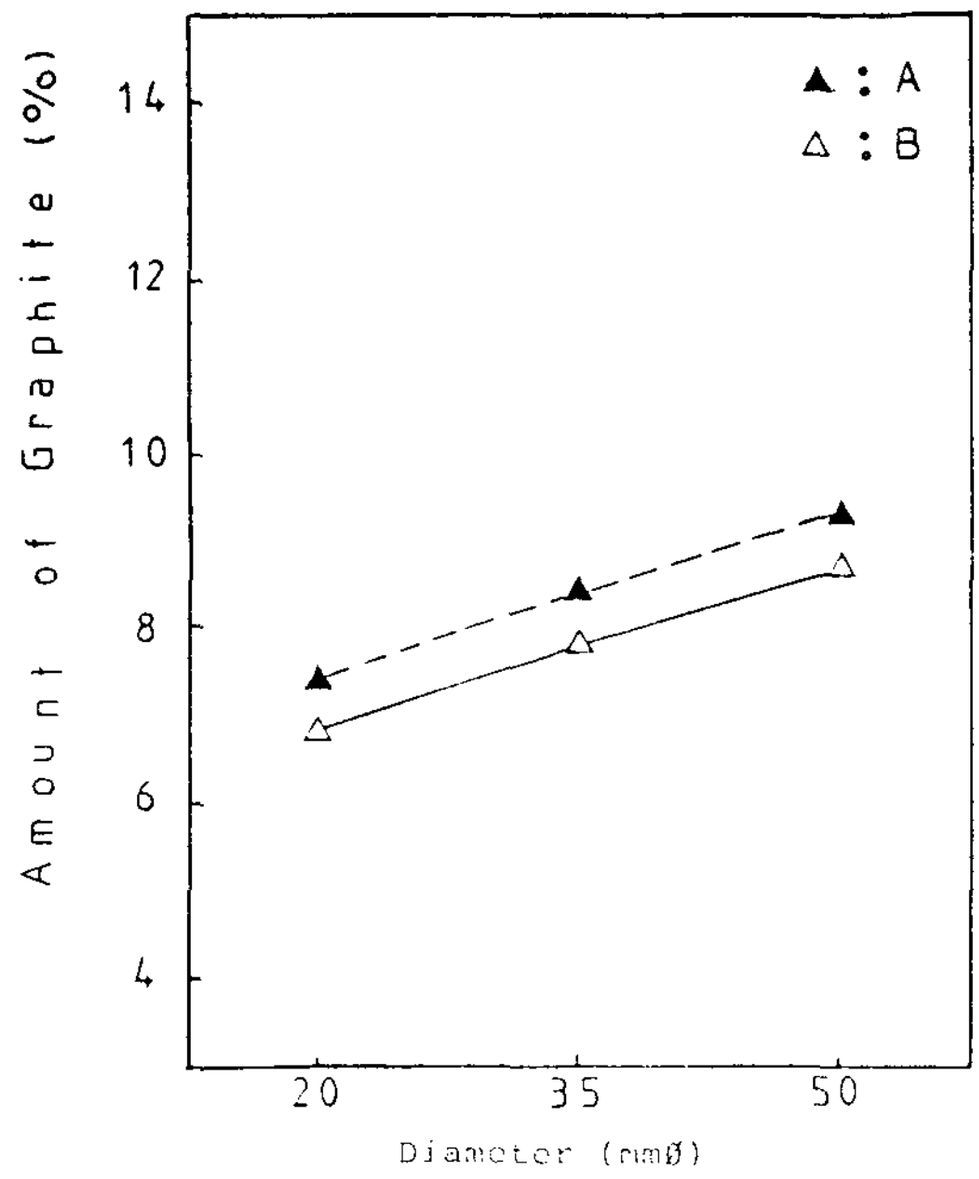

Fig. 6 Variation of graphite matrix with different diameters and positions.

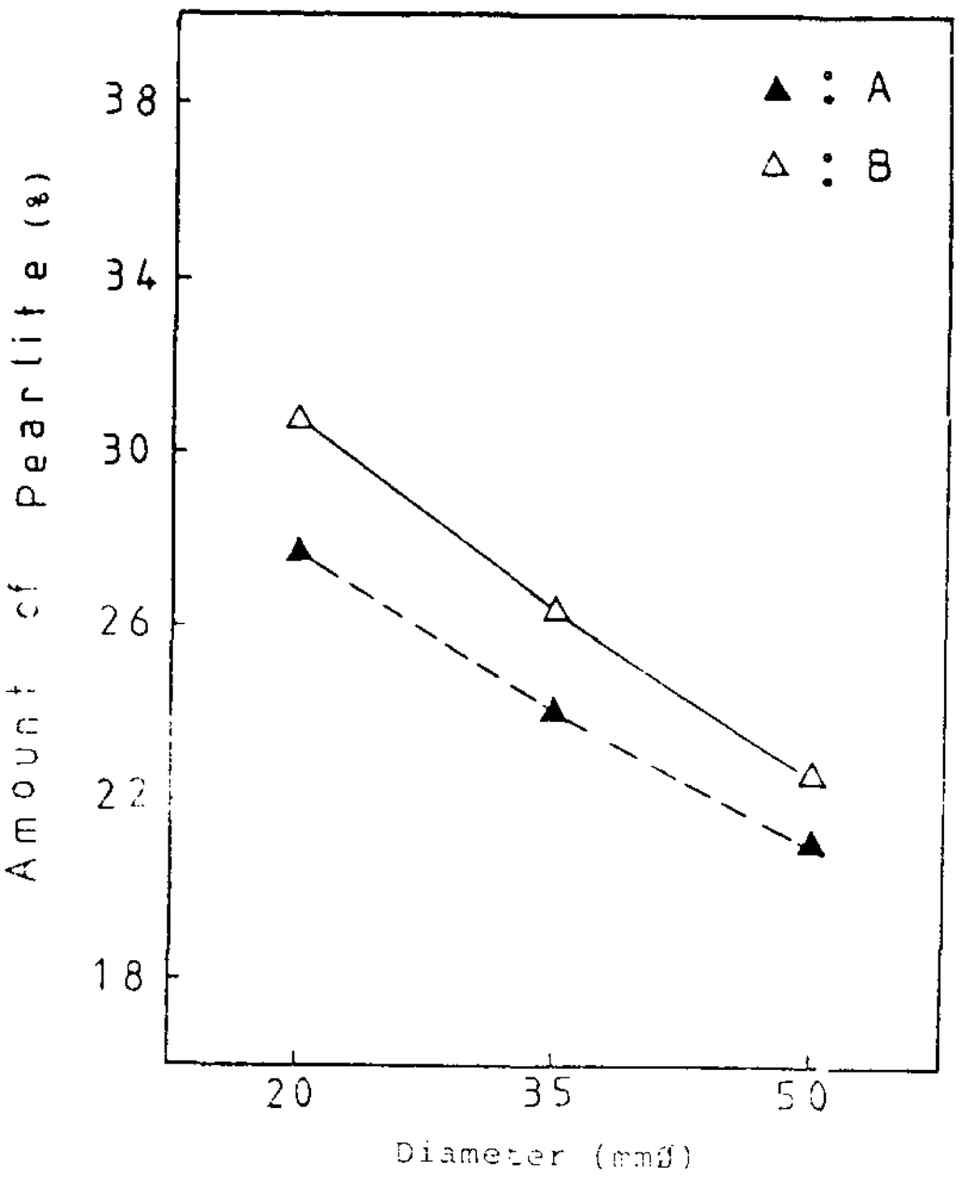

Fig. 7 Variation of pearlite matrix with different diameters and positions.

Fig. 7은 직경변화에 따른 각 단면에서의 펄라이트량을 나타낸 것이다.

직경 20mm 단면 A는 B보다 10.1%, 직경 35mm에서는 9.1%, 직경 50mm에서는 7.5%의 펄라이트 감소를 나타내고, 직경 35mm 단면 B는 직경 20mm 단면 A 보다 4.7%, 직경 50mm 단면 B는 직경 35mm 단면 A보다 5.4% 감소하였다. 냉각속도가 느려질수록 펄라이트량은 감소하며, 이것은 기지조직의 페라이트화에 따라 상대적으로 펄라이트량의 감소가 나타난다고 사료된다.

3) 페라이트량의 변화

Fig. 8은 직경변화에 따른 각 단면에서의 페라이트량을 나타낸 것이다.

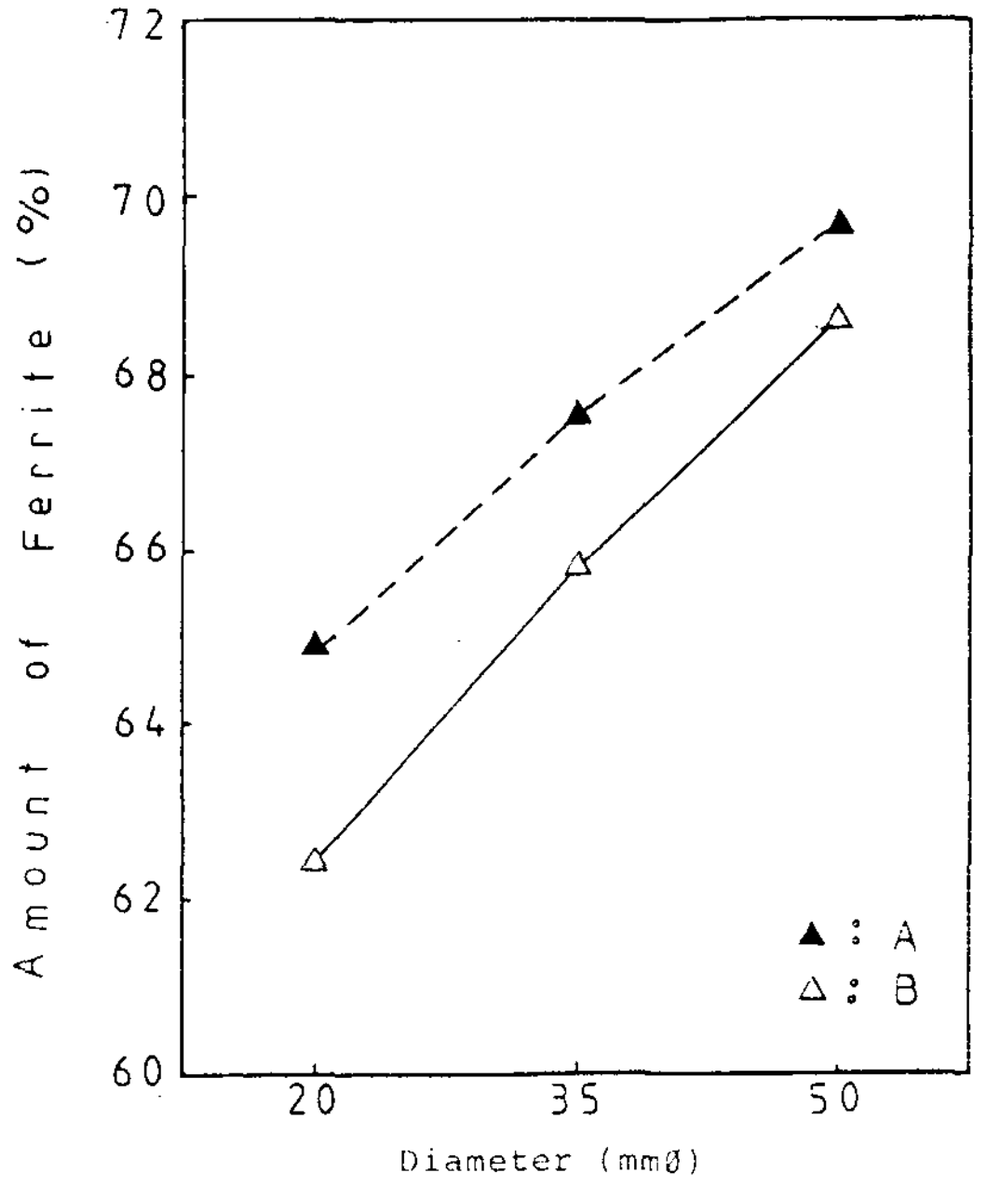

Fig. 8 Variation of ferrite matrix with different diameters and positions.

직경 20mm 단면 B에서 단면 A의 페라이트량의 증가는 4.0%, 직경 35mm에서 2.7%, 직경 50mm에서 1.6%이고, 직경 20mm 단면 A와 직경 35mm 단면 B에서 1.4%, 직경 35mm 단면 A와 직경 50mm 단면 B에서는 1.5% 증가를 보이고 있다. 직경이 증가할수록 페라이트량도 증가하며, 직경 20mm에서 증가율이 보다 큰 값을 나타낸다. 이것은 단면

B의 냉각속도가 빨라 흑연의 성장이 어려웠고, 단면 A는 직경 35mm의 영향을 받아 흑연 성장이 보다 컸기 때문이라고 사료된다.

3-3. 기계적 성질

1) 경 도

Fig. 9의 위 그림은 직경변화와 각 단면에서 경도를 나타낸 것이다.

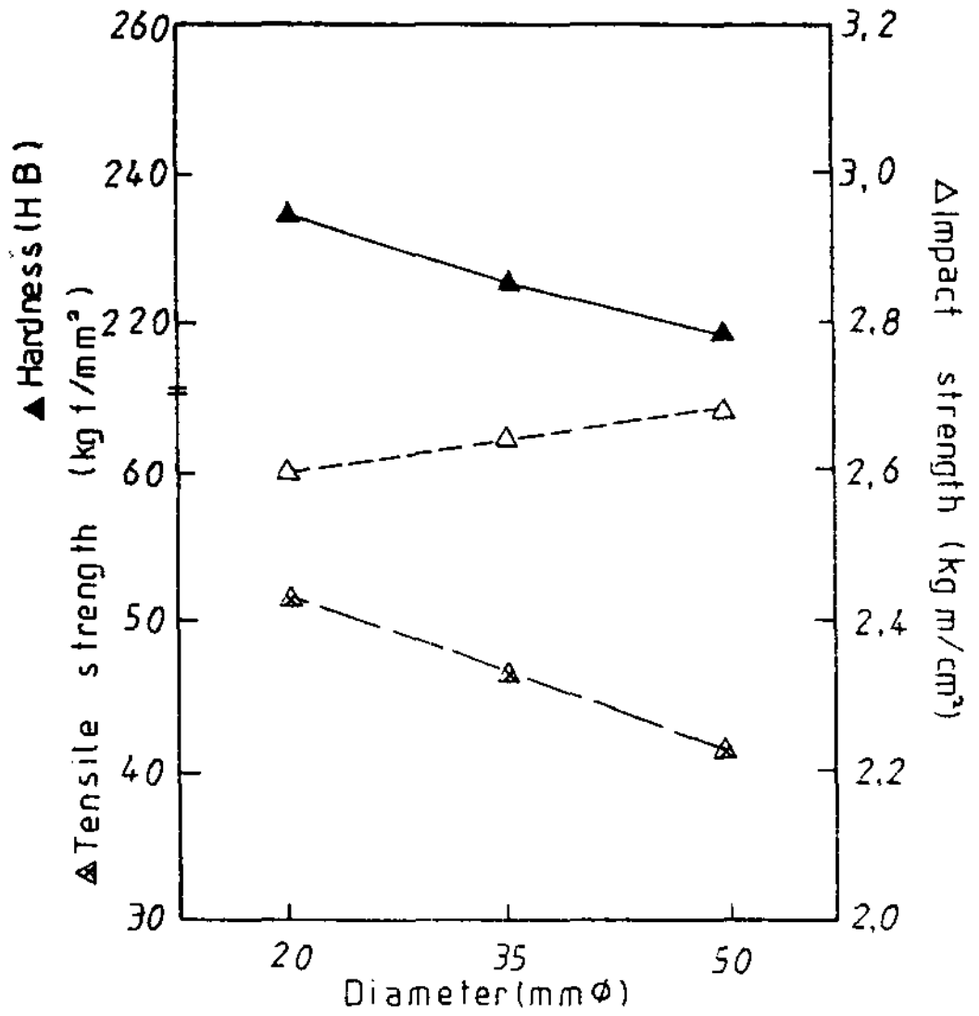

Fig. 9 Variation of hardness, tensile strength, and impact strength with different diameters.

직경 20, 35, 50mm 중심부에서 측정한 경도값은 234.5, 226, 219HB이었다.

이것은 직경이 20mm와 35mm에서 3.6%, 35mm와 50mm에서 3.1%의 경도치 감소를 나타내며, 직경이 증가할수록 경도는 감소함을 알수 있다. 이러한 경도치 감소는 직경이 증가함에 따라 냉각속도가 느려 흑연성장으로 펄라이트량이 감소하고 페라이트량이 증가하며, 펄라이트 기지조직이 페라이트 기지조직 보다 경도가 크기 때문이라고 사료된다[15].

2) 인장강도

Fig. 9의 아래 그림은 직경변화에 따라서 인장강도의 변화를 나타낸 것이다. 직경 20, 35, 50mm 중심부에서 측정한 인장강도는 52, 47, 42kgf/mm²이었다. 이것은 직경 20mm와 35mm에서 9.6%, 35mm와 50mm에서 10.6%의 인장강도 감소를 나타내고 있다. 인장강도는 페라이트 기지조직보다 펄라이트 기지조직에서 더 높은 값을 가지며[16] 직경이 증가할수록 펄라이트량은 감소하여 페라이트화 하기 때문에 인장강도 값이 감소한다고 사료된다.

3) 충격강도

Fig. 9의 가운데 그림은 직경변화에 따라서 충격강도의 변화를 나타낸 것이다. 상온에서 측정한 직경 20mm, 35mm, 50mm 중심부의 충격강도는 2.60, 2.64, 2.68kgfm/cm²이며, 직경 20mm와 35mm에서 1.5%, 직경 35mm와 50mm에서 1.5% 충격강도의 증가를 보이고 있다. 일반적으로 페라이트 기지조직이 펄라이트 기지조직 보다 충격강도가 높은 값을 가지며, 직경이 증가할수록 펄라이트량이 감소하여 페라이트화 하기 때문이다.

3-4. 초음파전도속도

Fig. 10은 직경변화에 따른 초음파전도속도의 값을 나타낸 것이다.

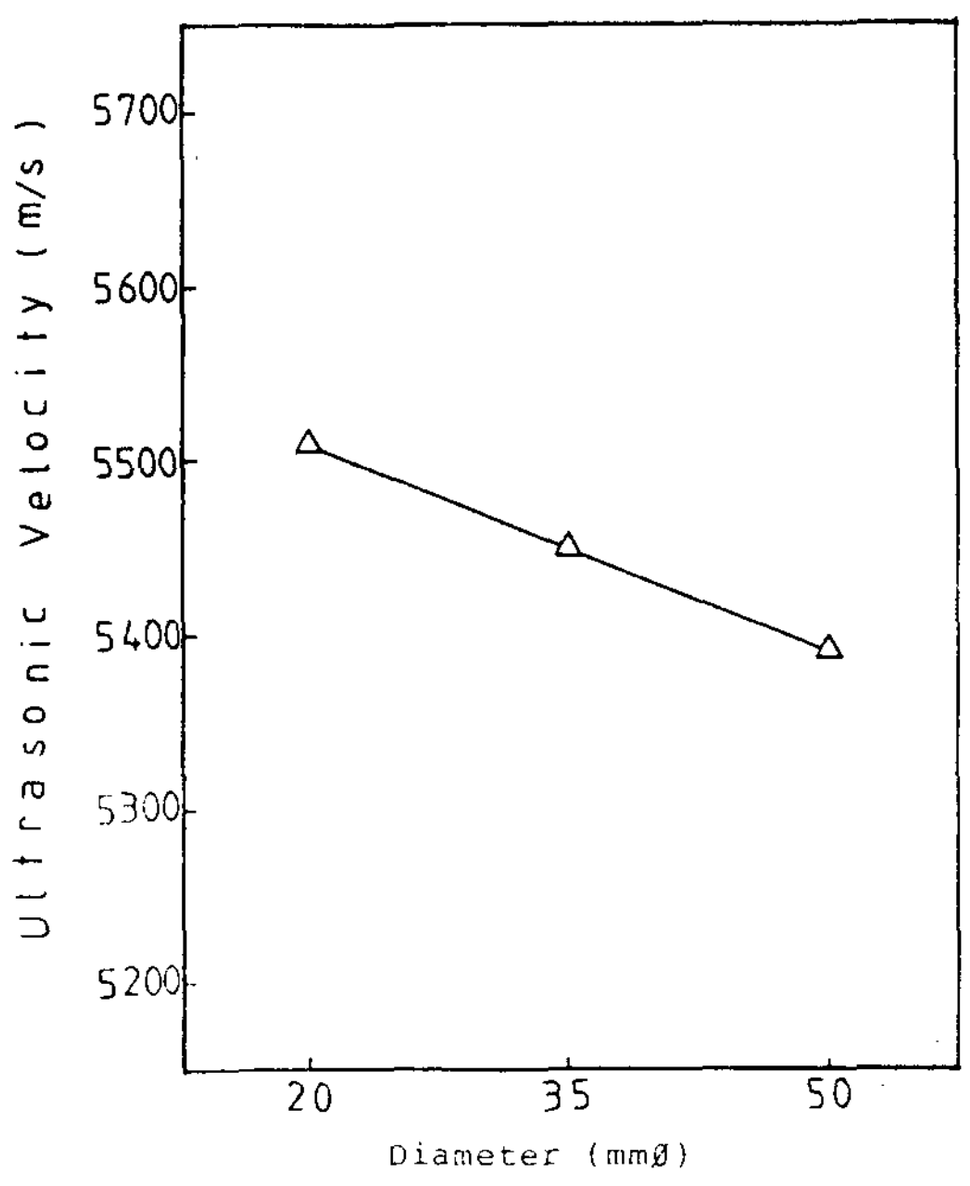

Fig. 10 Relation between ultrasonic wave velocity and diameter.

상온에서 직경 20, 35, 50mm의 초음파전도속도는 5510, 5450, 5390m/s의 값을 나타내며, 직경 20mm에서 35mm의 감소율은 1.1%, 직경 35mm와 50mm에서 1.10% 감소율을 나타내고 있다. 직경이 증가할수록 초음파전도속도는 감소함을 알 수 있으며 감소율도 일정한 것을 알수 있다. 초음파전도속도가 감소하는 이유는 직경변화 즉 냉각속도에 따라 CV흑연의 형태 및 기지조직이 복합적으로 변화하기 때문이라고 사료된다. Fig. 11는 초음파전도속도와 흑연형태와의 관계를 나타내고 있다. CV흑연입수가 증가하면 초음파전도속도는 증가하고, 흑

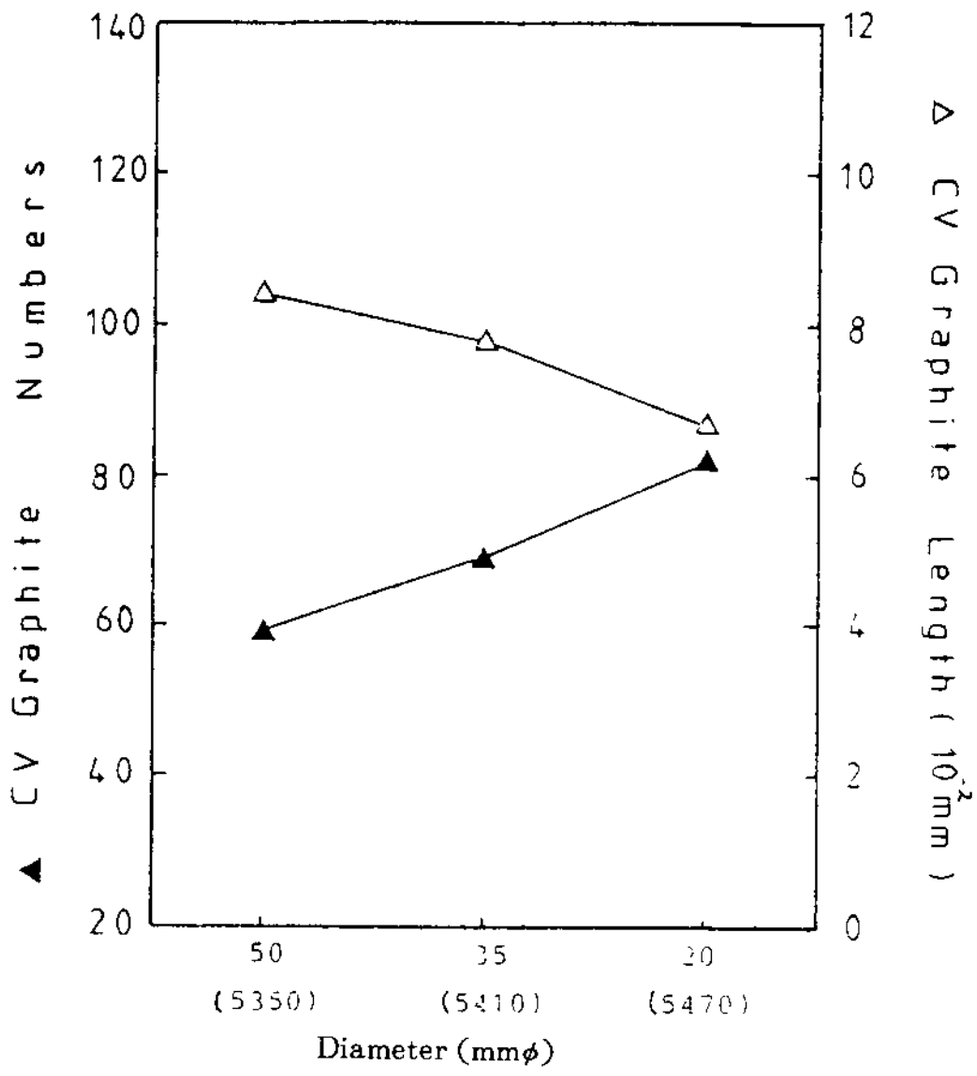

Fig. 11 Relation between graphite number, length and diameter(ultrasonic wave velocity).

연의 길이가 증가하면 감소하고 있음을 알수 있다. 이것은 초음파전도속도 1% 증가할때 CV흑연입수는 17.5% 증가, CV흑연길이는 8.8% 감소를 나타낸다. CV흑연입수가 증가할때 초음파전도속도가 증가하고, CV흑연길이가 증가하면 초음파전도속도가 감소하는 것은 흑연의 입자는 초음파의 전파매질로 작용하는 것이 아니라 산란(혹은 회절)입자로 작용한다고 Qin Ben De는[12] 설명하고 있다. Fig. 12와 Fig. 13은 초음파전도속도와 기지조직과의 관계를 나타내고 있다. CV흑연량과 페라이트량이 감소하면 초음파전도속도는 증가하고 펄라이트량이

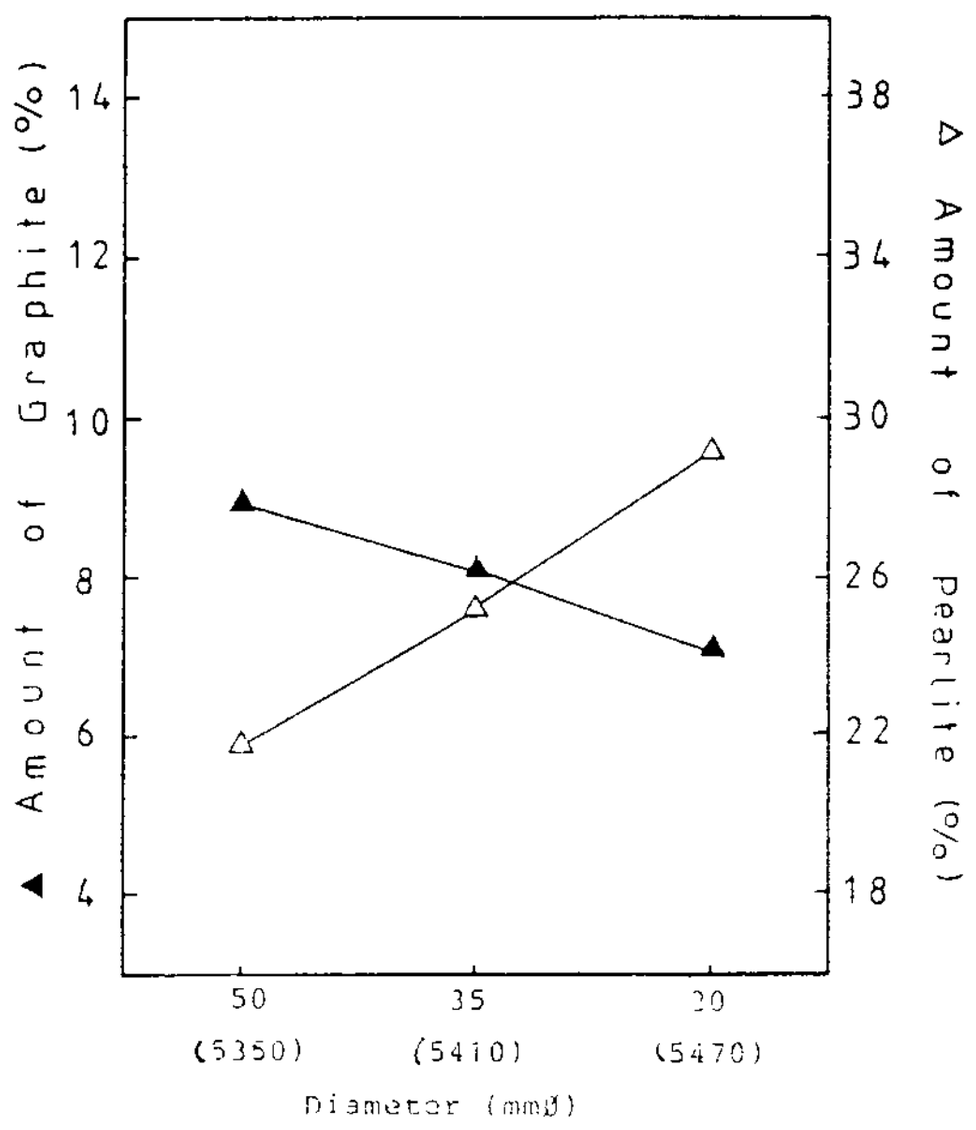

Fig. 12 Relation between graphite, pearlite matrix and diameter(ultrasonic wave velocity)

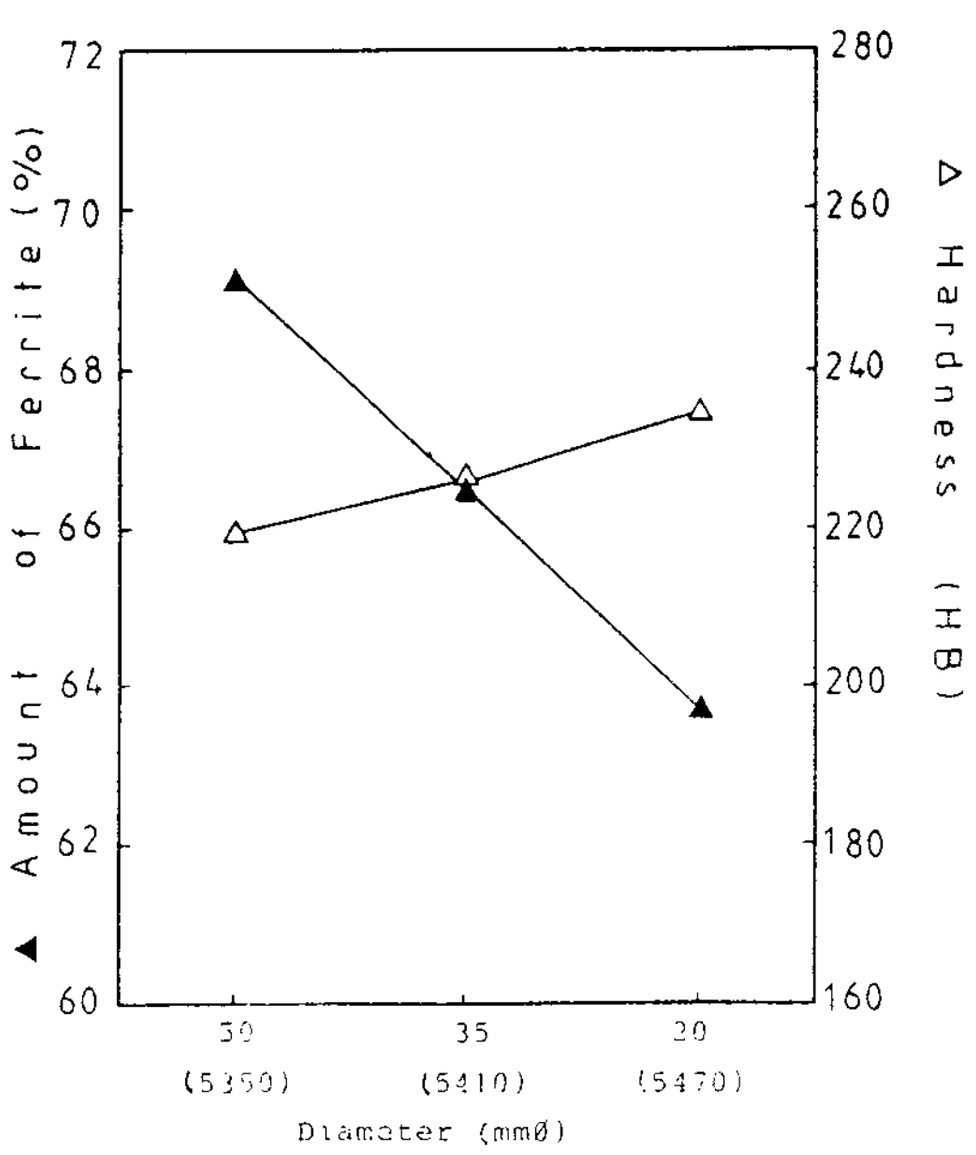

Fig. 13 Relation between ferrite matrix, hardness and diameter(ultrasonic wave velocity).

증가하면 초음파전도속도 또한 증가한다. 이것은 초음파전도속도 1% 증가할때 흑연량은 9.5% 감소하고 페라이트량은 3.6% 감소하며 펄라이트량은

15.1% 증가한다. CV흑연주철의 기지조직에서 펄라이트량이 증가하면 상대적으로 흑연의 량은 감소하며 초음파전도속도는 흑연량에 의해서도 영향을 받기 때문이라고 사료된다. Fig. 13과 Fig. 14는 초음파전도속도와 기계적성질과의 관계를 나타내고 있다. 인장강도와 경도가 증가하면 초음파속도도 증가하고, 충격치가 감소할때 초음파전도속도는 증가하고 있다. 이것은 초음파전도속도가 1% 증가

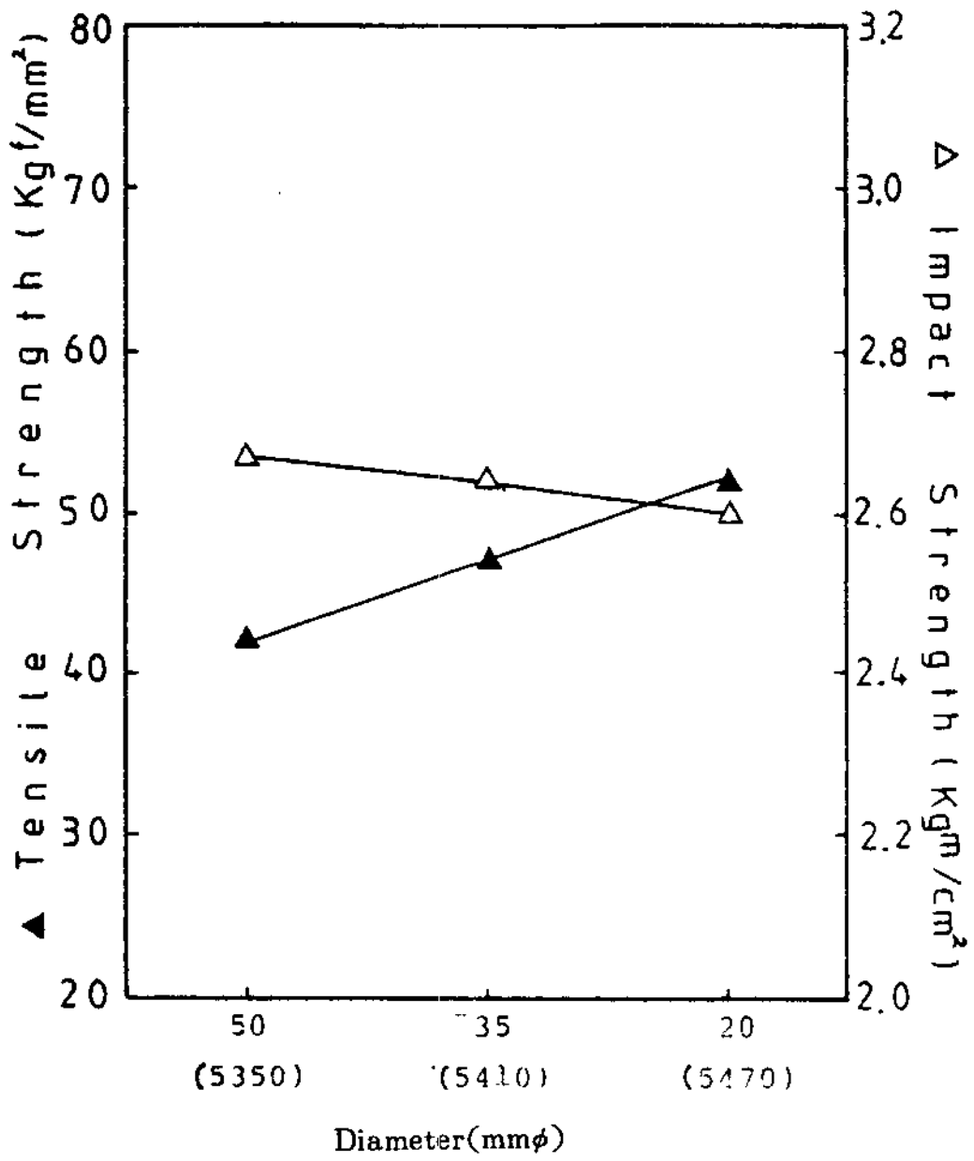

Fig. 14 Relation between tensile, impact strength and diameter(ultrasonic wave velocity).

할때 인장강도는 약 10.7%, 경도는 3.2% 증가하고, 충격치는 1.3% 감소하고 있다. 초음파전도속도와 기계적성질의 관계는 CV흑연형태와 기지조직의 변화에 의해서 상대적으로 변화한다고 사료된다.

4. 결 론

본 실험을 통하여 얻은 결론은 다음과 같다.

시편의 직경이 50mm, 35mm, 20mm로 변화할때 ;

1) CV흑연입수는 평균 17.9% 증가하고, CV흑연길이는 평균 10.3% 감소를 나타낸다.

2) 흑연량과 페라이트량은 평균 11.2%, 4.1% 감소하고, 펄라이트량은 15.7% 증가를 나타낸다.

3) 경도와 인장강도는 평균 3.5%, 11.3% 증가하고, 충격치는 1.5% 감소한다.

4) 초음파전도속도는 평균 1.1% 증가를 나타낸다.

參 考 文 獻

1. E. R. Evans, J. V. Dawson, M. J. Lalich ; AFS Trans 76-145(1976)
2. 康仁燦 ; 大韓金屬會誌 19, 7 p. 588(1981)
3. C. R. Loper, Jr. et al ; AFS Trans Vol. 86. p. 241(1978)
4. M. J. Lalich ; Modern casting, July p. 50(1976)
5. 田中雄一 等 ; 鑄物 Vol. 53. 4(1981)
6. N. P. Lillybeck, M. G. Mckimpson, R. T. Wimber, D. Donis ; AFS Trans. 77-87 p. 129-132 (1977)
7. 堤信久, 今村正人 ; 金屬臨時增刊號 p. 86-91(1982)
8. P. A. Green, A. J. Thomas ; AFS Trans. 79-159 p. 569-572(1979)
9. E. N. Pan, K. Ogi, H. H. Cornell, C. R. Loper, Jr ; AFS Trans. Vol. 90 82-120(1982)
10. A. G. Fuller, P. J. Emerson, G. F. Sergeant ; AFS Trans. 80-09(1980)
11. P. C. Liu, C. R. Loper, Jr., T. Kimura, E. N. Pan ; AFS Trans. 81-23(1981)
12. 林克光, 藤原幹男, 田中雄一 ; 鑄物 56, 12 p. 752 (1984)
13. E. Nechtelberger, H. Phur, J. B. Van Nesselrode, A. Nakayasu ; Official exchange paper, 49th International Foundry Congress, Chicago, Apr. 14-17(1982)
14. 金水泳, 梁勳永 ; 金屬材料 文運堂 p. 295, 298 (1977)
15. 大出 卓, 大平五郎 千田昭夫 ; 鑄物 52, 7 p. 418 (1980)
16. L. Sofroni, I. Riposan, I. Chira ; The metallrgy of cast iron. p. 179(1974)
17. Qin Ben-De ; Proceedings of World Conf. NDT-85, 1577(1985)