

論 文

공정 CV흑연주철의 주물의 직경이 기조직, 기계적 성질 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 Eutectic 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 eutectic CV graphite cast iron were studied. When the diameters of the samples are 50mm, 35mm and 20mm

- 1. CV graphite number showed average 13.8% increase and CV graphite length showed 12.3% decrease with decreasing diameter of the samples.
2. The amount of graphite and ferrite showed average 10.6, 4.3% decrease and the amount of pearlite showed average 23.4% increase.
3. Hardness and tensile strength showed average 3.2%, 9.5% increase and impact strength showed average 1.3% decrease.
4. Ultrasonic wave velocity showed average 1.1% increase.

1. 서 론

CV흑연주철의 유용성이 1955년 Estes, Schneidewind에 의해 제시된 후1) 제성질의 우수성이 인정되어 여러 분야에서 널리 쓰이고 있다. 특히 열전도율은 구상흑연주철보다 우수한 것으로 인정되어 내연기관 부품, 잉고트 케이스등에 적합한 재료로 인정되고 있다2~4). 이러한 CV흑연주철의 제조 방법은 연구자들에 따라 다양한 방법이 제시되고 있지만5), CV흑연주철의 제성질은 시편의 화학성분의 변화, 처리제의 종류 및 첨가량, 처리온도, 냉각속도, fading time, 접종효과 등 복합적인 요인에 따라서 흑연의 형태 및 조직의 다양한 변화를 나타낸다6~11). 본 연구에서는 구상화처리제로서 Fe-Si

-Mg계(TDCR-8)를 이용하여 공정 CV흑연주철을 제조하고, 모든 조건이 동일하나 시편의 직경이 변화하여 냉각속도를 달리 할 때 CV흑연형태와 기조직 변화에 따른 기계적 성질 및 초음파전도속도와와의 관계를 정량적으로 연구 검토하였다.

2. 실험방법

본 연구에 사용된 원료 및 시료의 분석결과는 각각 Table 1과 Table 2와 같다. 시편 제조는 50KVA 크립틀로에서 20번 흑연도가니와 6번 흑연도가니를 사용하여 포스코에서 제조한 선철을 용해한 후 슬래그를 제거하고 금형에 주입하여 원료선을 제조하였다. 이 원료선을 탄소당량 4.3%(C: 3.4%, Si: 2.8%)로 조절하기 위해서 전해철과 Fe-

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

Table 1. Chemical composition of Materials(wt%)

Materials	C	Si	Mn	P	S	Mg	Ca	Re
Pig Iron	4.1	1.4	0.15	0.05	0.03	—	—	—
Electrolytic-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%)

Specimens	C	Si	Mn	P	S	Mg	Ca	Re
CV. C. I. 1	3.35	2.92	0.13	0.070	0.008	0.014	—	—
CV. C. I. 2	3.40	2.87	0.14	0.068	0.008	0.013	—	—
CV. C. I. 3	3.38	2.90	0.13	0.072	0.008	0.010	—	—

Si(Si : 75wt%)합금을 첨가하여 재용해 하였다. 이 용탕의 온도를 약 1450°C로 유지시킨 다음 CaC₂를 2wt% 표면첨가하여 교반하고, 탈황처리한 후 슬

래그를 제거하였다. 구상화제로서 Fe-Si-Mg(8.8-9.0Mg wt%)합금을 용탕량의 1% 첨가하고, 다시 기지조직의 개선을 위해 Fe-Si합금(12mesh)을

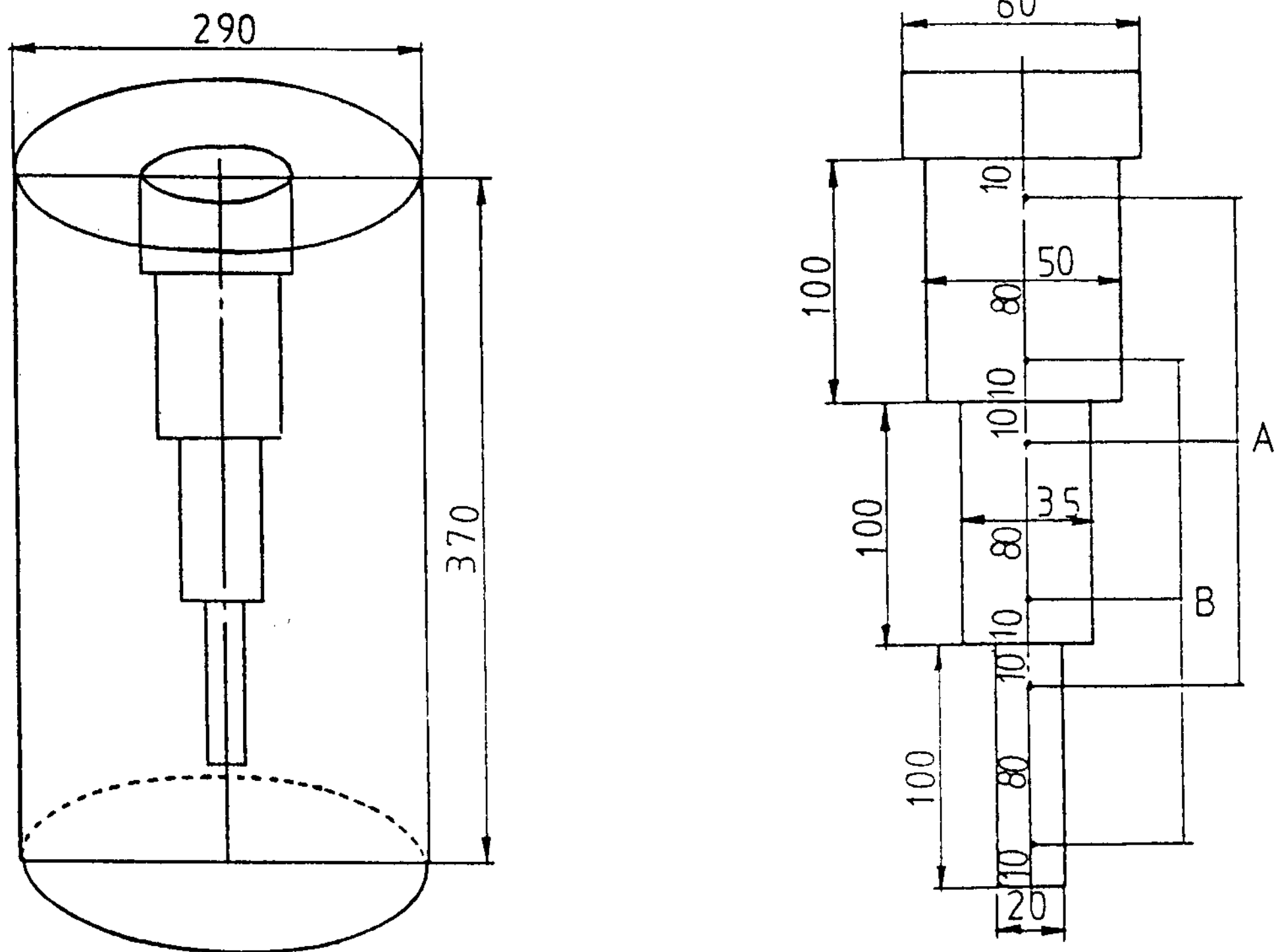


Fig. 1 Schematics of green sand mold and specimen.

0.3% 후접종하였다. 그리고 30분간 Fading time을 부여한 후 시편제조를 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, 90mm 되는 부분을 절단하여 현미경 관찰용 및 경도시험편으로 사용하였다. 인장시험은 만능재료시험기 (Model ; Instron 1137 Max.ston)를 사용하여 10mm/min의 속도로 측정하였고, 충격시험은 30kg-m 살피 충격시험기를 사용하였으며, 경도시험은 브리넬 경도시험기를 사용하였다. 현미경 조직시험

은 Unicom 광학현미경에서 100배로 확대하여 Luzex 450 영상해석장치를 사용하여 흑연의 수, 면적, 길이 및 펄라이트, 페라이트의 면적을 측정하여 평균값을 구하였다. 또한 주조제품의 성질에 큰 영향을 미치는 기조직 및 흑연의 형태를 측정하는데 광학 현미경이나 파괴시험법을 이용하여 왔으나 최근 비파괴시험법을 이용하여 간단히 측정하고자하는 경향이 있다. 본 실험에서도 비파괴시험 방법으로 널리 이용하는 Bronson Krautkrämer사 제품, 두께측정기인 CL204를 이용하여 주파수 5MHz의 종파(Longitudinal wave)와 접촉매질(Couplant)은 글리세린을 사용하여 초음파 검사를 실시하였고, 이 결과치와 기계적 성질, CV흑연형태, 기조직의 상호관계를 비교 검토하였다. 열분석실험은 일본 SAN-EI Instrument사 Visi Graph-OL를

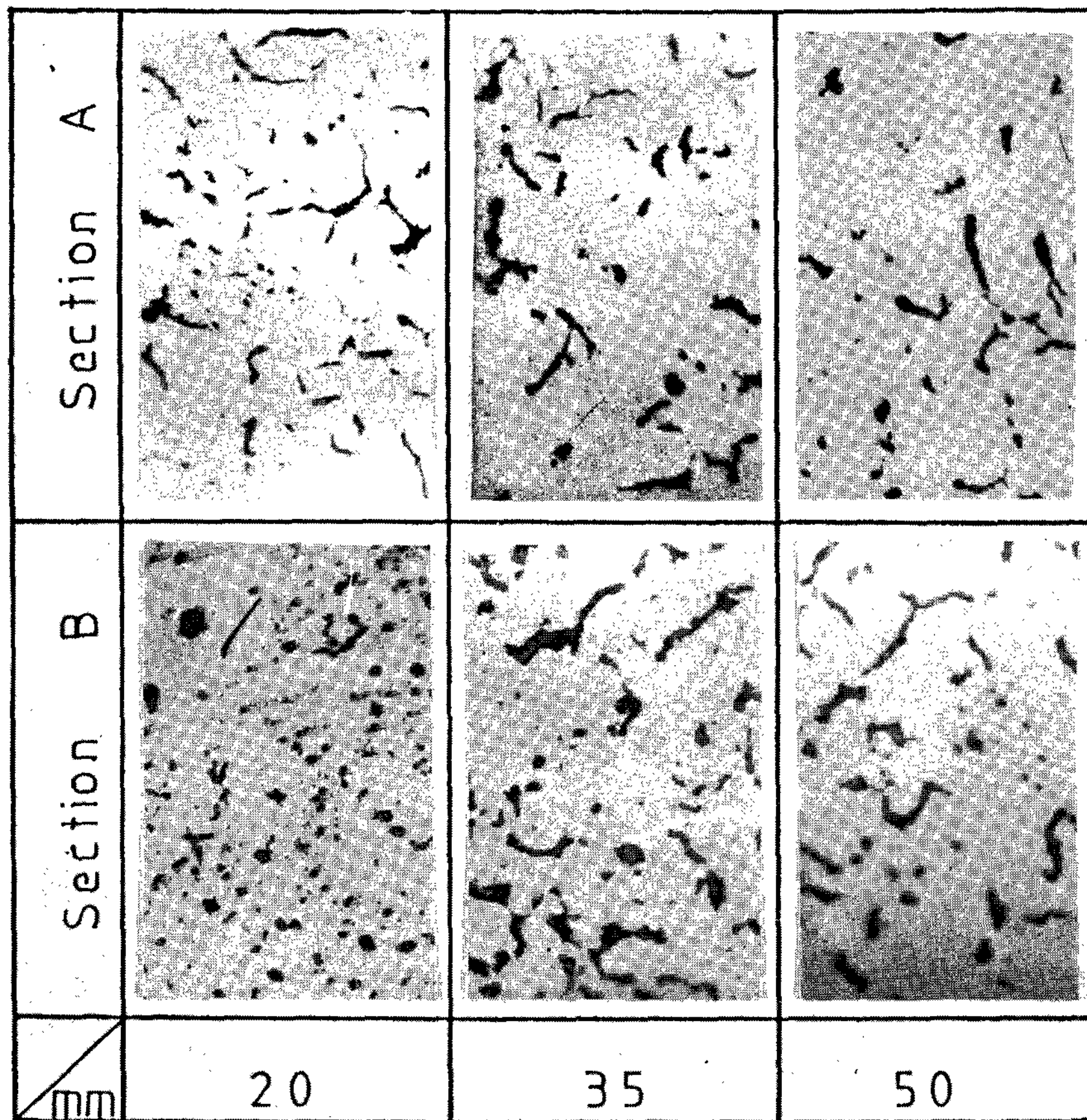


Fig. 2 The change of graphite morphology with different diameters and sections.(x100)

이용하여 측정하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3-1. CV흑연형태의 변화

Fig. 2는 시편의 각 단면에서 부식하기 전 광학현미경에서 CV흑연조직 사진을 100배로 확대한 것이다. Fig. 1과 같이 직경 20mm에서 단면 B와 A의 응고시간은 36초, 60초, 직경 35mm에서 80초, 166초, 50mm에서 216초, 310초가 소요되었다. 위 그림은 모든 조건이 동일한 상태에서 직경변화 즉 냉각속도의 변화에 따라 CV흑연의 길이 및 흑연입수, 폭, 형태등의 변화를 나타내고 있다. 직경이 증가하면 흑연입수는 감소하고, 길이 및 폭이 증가한다. 또한 흑연이 차지하는 면적도 증가하고 있음을 알 수 있다. 이러한 CV흑연형태의 변화를 정량적으로 표시하면 다음과 같다.

1) CV흑연입수의 변화

Fig. 3은 직경변화에서 각 단면에 따른 CV흑연입수의 변화를 나타낸 것이다. 직경 20mm에서 단면 B의 흑연입수는 단면 A보다 26.4%, 직경 35mm에서는 9.8%, 직경 50mm에서는 11.1% 증가하고,

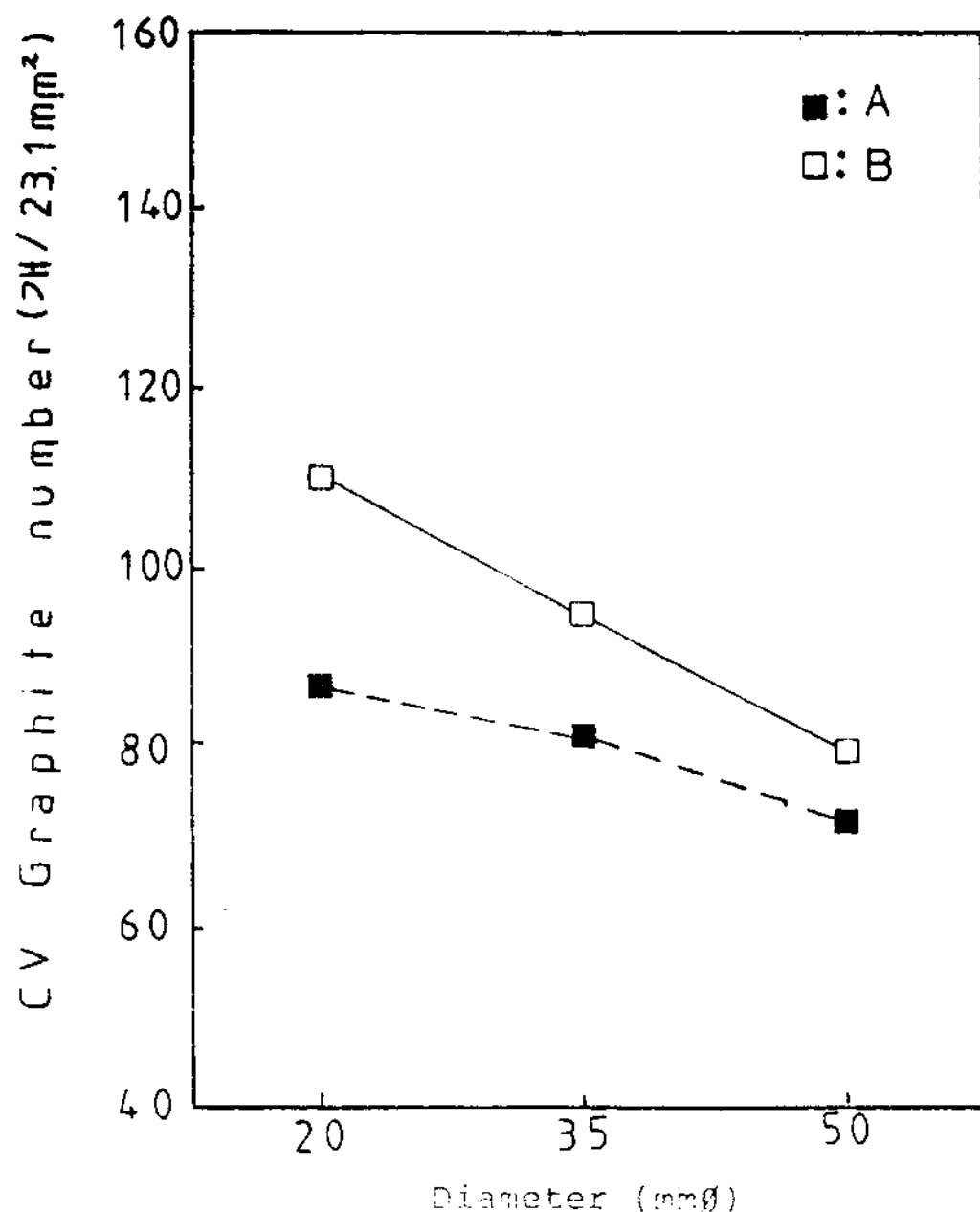


Fig. 3 Variation of CV graphite number with different diameters and positions.

직경 20mm 단면 A는 직경 35mm 단면 B보다 3.3% 감소하고, 직경 35mm 단면 A는 직경 50mm 단면 B보다 2.5% 증가를 나타내고 있다. 직경이 증가 할수록 흑연입수는 감소하며, 직경이 다른 부분과 연결되는 부분중 직경 20mm 단면 A와 35mm 단면 B에서 감소를 보이는 것은 냉각속도의 큰 차이로 직경 20mm쪽으로 열방출이 커서 35mm쪽의 흑연핵생성이 보다 많았기 때문이라고 사료된다.

2) CV흑연 길이의 변화

Fig. 4는 직경변화와 각 단면에서 CV흑연길이를 수치로 나타낸 것이다. 이 그림에서 직경이 증가

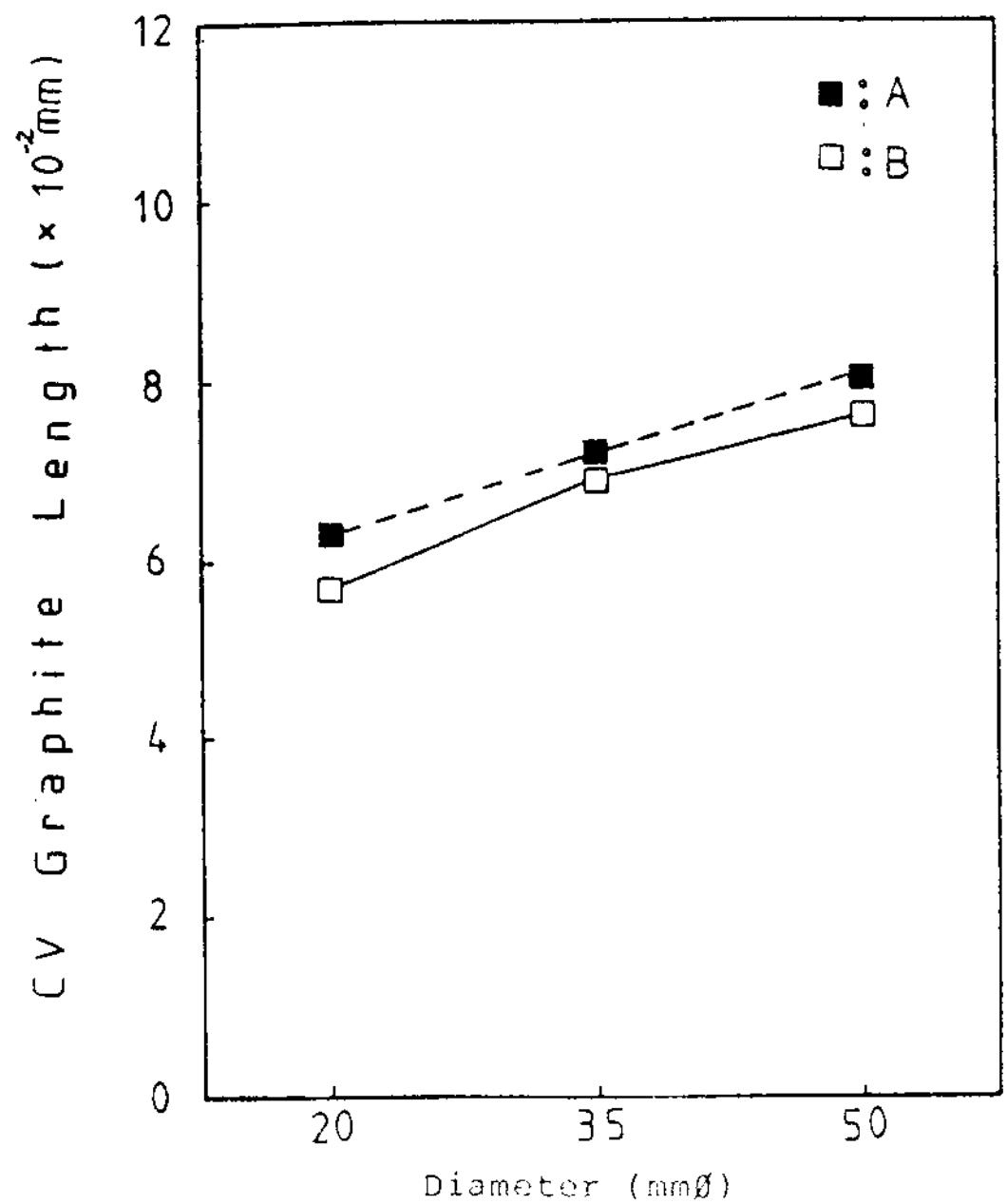


Fig. 4 Variation of CV graphite length with different diameters and positions.

할수록 CV흑연의 길이는 증가하며, 직경 20mm의 단면 A의 CV흑연 평균길이는 단면 B보다 10.5%, 35mm에서 4.3%, 50mm에서 5.3% 증가한다. 직경 35mm 단면 B는 직경 20mm 단면 A보다 CV흑연 길이 변화는 9.5%, 직경 50mm 단면 B는 직경 35mm 단면 A보다 5.6% 증가를 나타내고 있다. 직경 35mm 보다 50mm에서 증가율이 더 큰 값을 나타내는 것은 냉각속도가 보다 느려 CV흑연 상태에서 편상 쪽으로 발전해가기 때문이라고 사료된다.

3-2. 기지조직의 변화

Fig. 5는 시편의 직경을 변화시켰을 때 각 단면에 따른 기지조직을 나타낸 것이다. 주방상태에서 기지조직은 흑연, 펄라이트, 페라이트로 되어있고 냉각속도가 느릴수록 펄라이트량은 감소하고 흑연과 페라이트량은 증가한다. 이들의 값을 정량적으로 표시하면 다음과 같다.

1) 흑연량의 변화

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

직경 20mm 단면 B에서 A의 흑연량 증가는 약 8%, 직경 35mm에서 9.2%, 직경 50mm에서 7.3% 증가하며, 직경 20mm 단면 A에서 직경 35mm 단면 B는 4.3%, 직경 35mm 단면 A에서 직경 50mm 단면 B는 2.8% 증가를 나타낸다.

흑연의 성장은 펄라이트의 감소로 이루어진다.

직경이 증가하여 냉각속도가 느려지면 흑연량이 증가하지만 어느 한계를 벗어나면 CV형태는 편상에 수렴하기 때문에 증가율은 둔화된다고 생각된다.

2) 펄라이트량의 변화

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

직경이 증가할수록 펄라이트량은 감소하며, 직경 20mm 단면 A는 B보다 14.7%, 직경 35mm에서는 11.1%, 직경 50mm에서는 13.1% 펄라이트량 감소를 나타내고 직경 35mm 단면 B는 직경 20mm 단면 A보다 5.5%, 직경 50mm 단면 B는 직경 35mm 단면 A보다 9.2% 펄라이트량 감소를 나타낸다. 이러한 현상은 직경이 증가할수록 용융금속의 응고과정에서 오스테나이트중의 탄소가 CV흑연성장을 돕고 있기 때문에 상대적으로 페라이트량이 증가

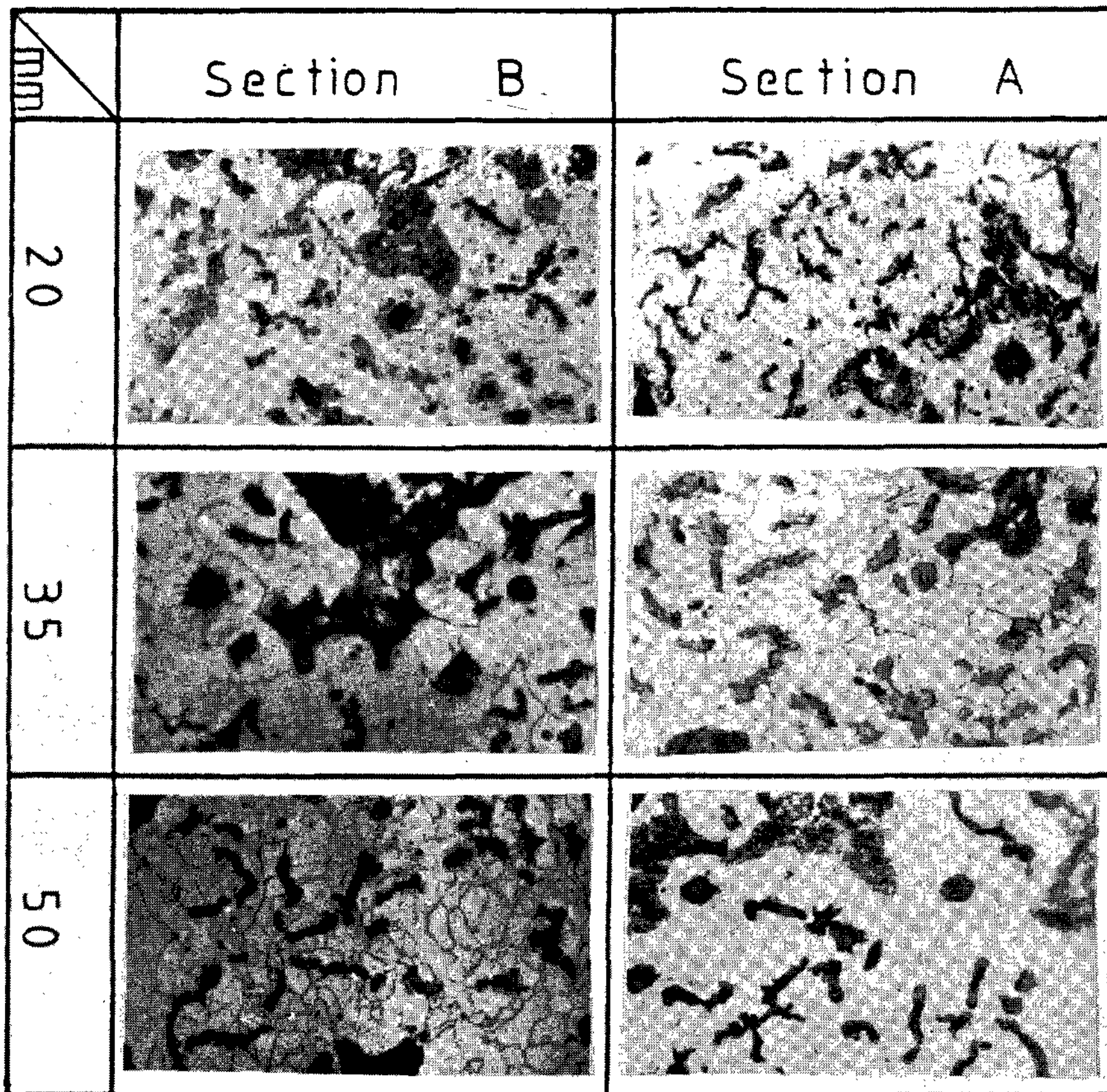


Fig. 5 The change of matrix with different diameters and sections.(x100)

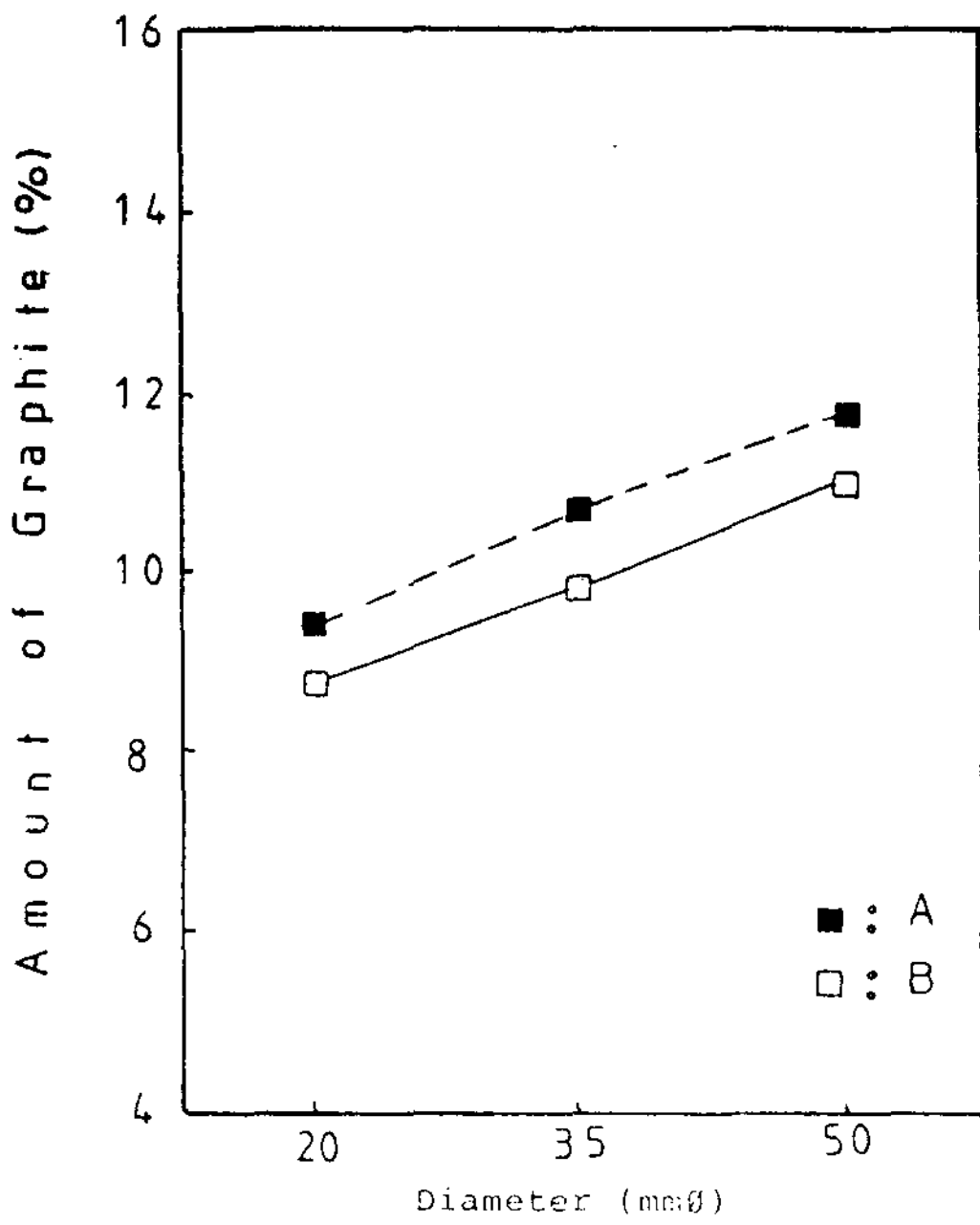


Fig. 6 Variation of graphite matrix with different diameters and positions.

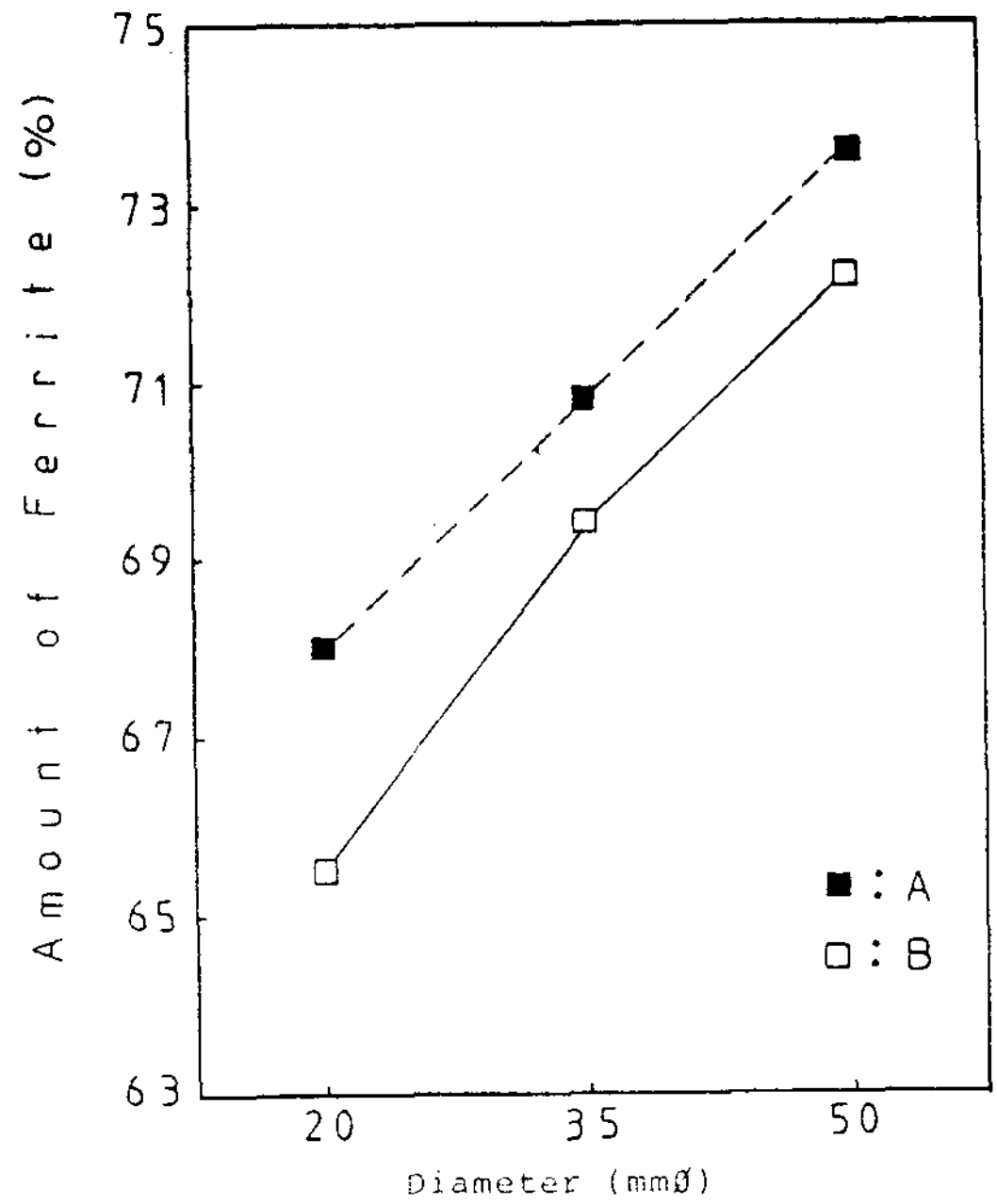


Fig. 8 Variation of ferrite matrix with different diameters and positions.

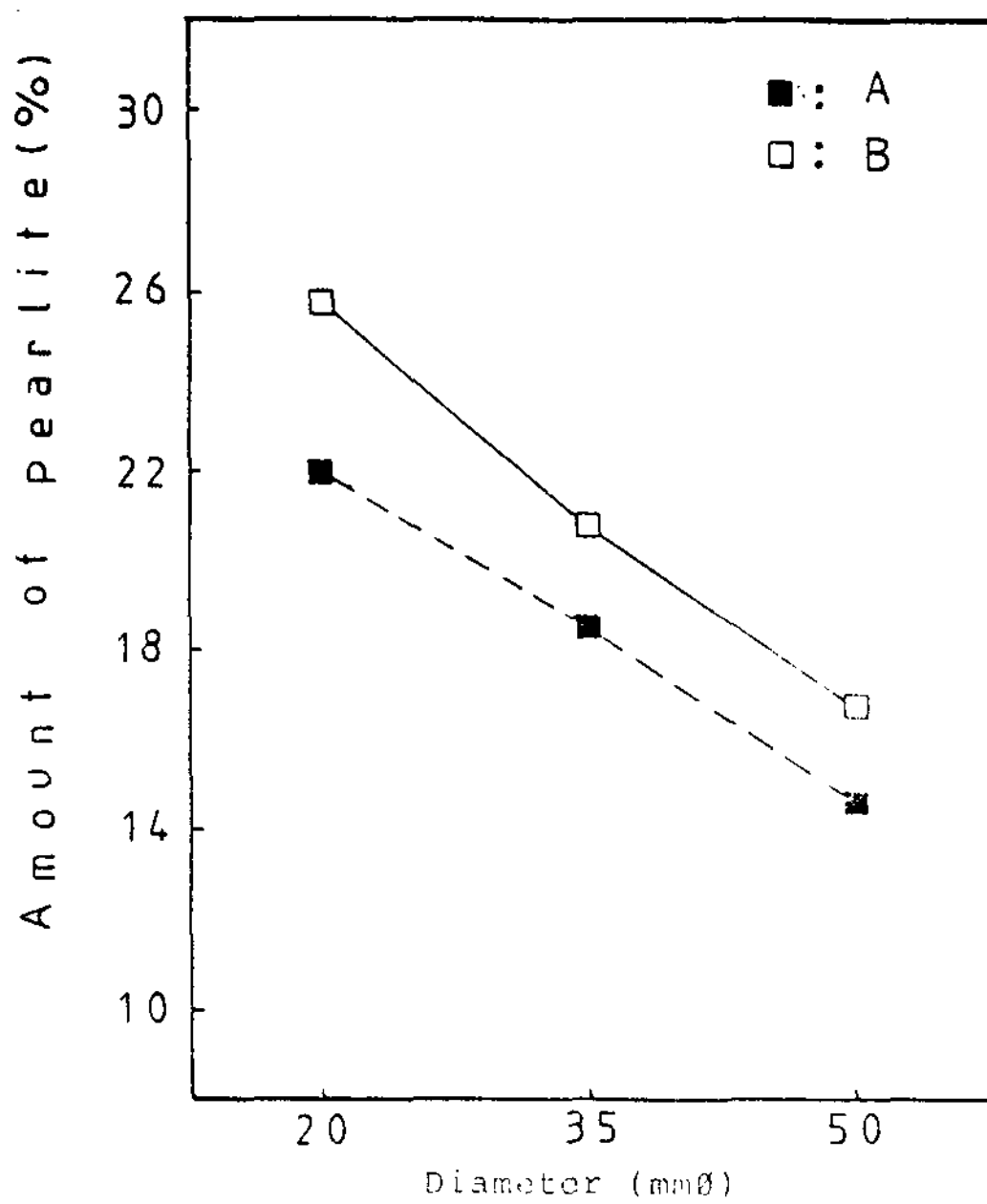


Fig. 7 Variation of pearlite matrix with different diameters and positions.

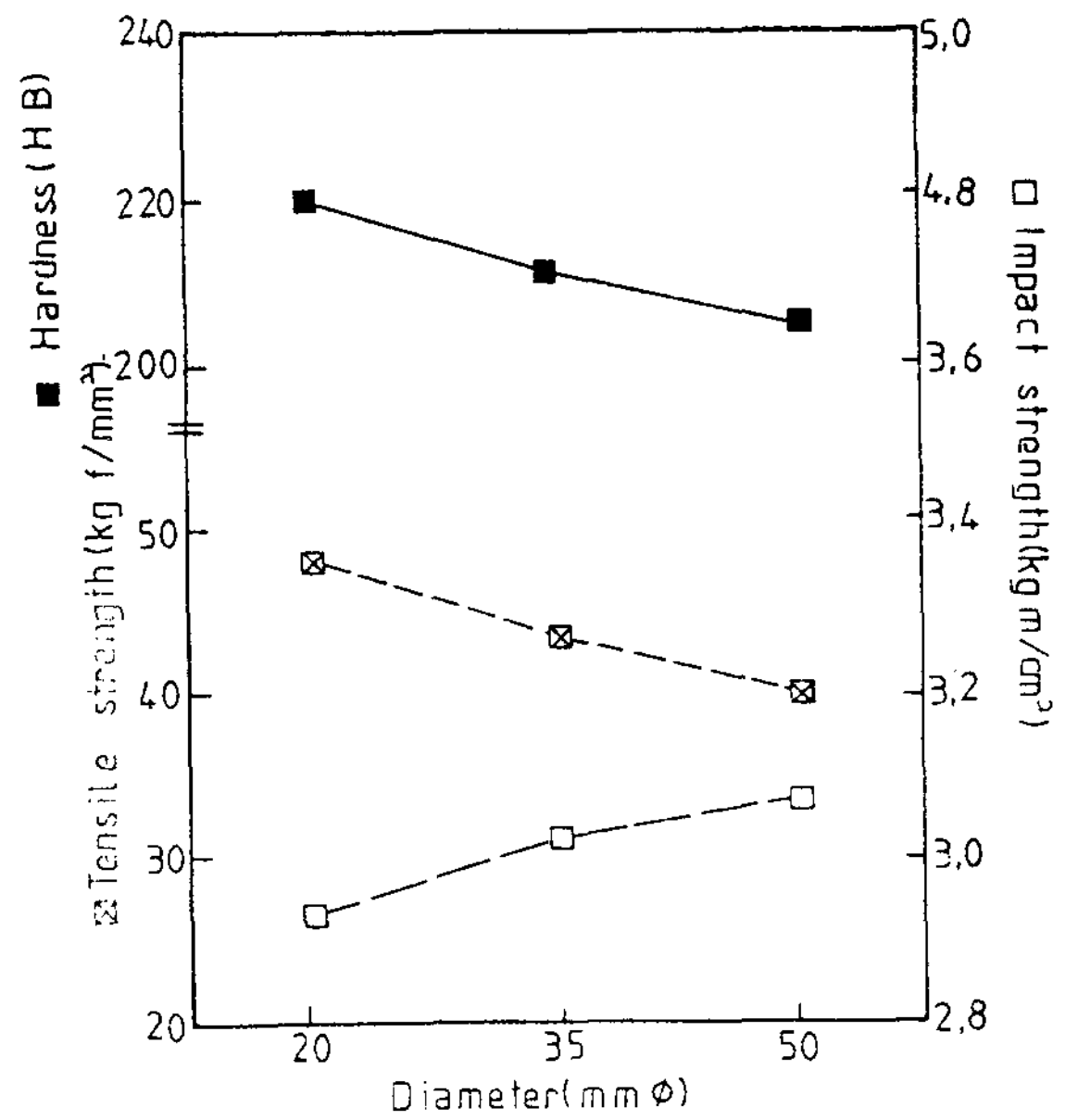


Fig. 9 Variation of hardness, tensile strength, and impact strength with different diameters.

된다고 사료된다.

3) 페라이트량의 변화

Fig. 8는 직경변화에 따른 각 단면에서 페라이트량을 나타낸 것이다.

직경 20mm 단면 B에서 단면 A의 페라이트량의 증가는 3.8%, 35mm 단면 B에서 A는 2%, 직경 50mm 단면 B에서 A는 1.9%이다. 직경 20mm 단면 A에서 직경 35mm 단면 B는 2.0%, 직경 35mm 단면 A에서 직경 50mm 단면 B는 2.0% 증가를 보이고 있다. 직경이 증가 할수록 페라이트의 증가량은 둔화되고 있음을 알수 있고 이것은 공정온도의 저하로 CV흑연입의 성장을 억제하기 때문이라고 사료된다.

3-3. 기계적 성질

1) 경도

Fig. 9의 위 그림은 직경변화에 따른 경도변화값을 나타낸 것이다.

직경 20, 35, 50mm 중심부에서 측정된 경도값은 219, 211.5, 205.5(HB)이었다. 이것은 직경이 20mm와 35mm에서 3.4%, 35mm와 50mm에서 2.8%의 경도치 감소를 나타내며, 직경이 증가할수록 경도는 감소함을 알수 있다.

이러한 경도치 감소는 직경이 증가함에 따라 냉각속도에 의한 펄라이트의 감소와 상대적으로 흑연 및 페라이트 증가의 복합적인 요인에 기인한다고 사료된다.

2) 인장강도

Fig. 9의 가운데 그림은 직경변화에 따라서 인장강도의 변화를 나타낸 것이다. 직경 20, 35, 50mm 중심부에서 측정된 인장강도는 48, 44, 40kgf/mm²이었다. 이것은 직경 20mm와 35mm에서 8.3%, 35mm와 50mm에서 9.0%의 인장강도 감소를 나타내고 있다. 직경 20mm에서 높은 인장강도를 나타내는 것은 복합적인 요인에 기인 되지만, 냉각속도가 매우 빨라 CV흑연으로 성장하지 못하고 미세한 구상흑연 핵 생성수 증가와 기지조직의 펄라이트 강화에 의한 효과라고 생각된다.

3) 충격강도

Fig. 9의 아래 그림은 직경변화에 따라서 충격강도의 변화를 나타낸 것이다. 상온에서 측정된 직경 20mm, 35mm, 50mm 중심부의 충격강도는 2.96, 3.00, 3.04kgfm/cm²이며, 직경 20mm와 35mm에서 1.3%, 직경 35mm와 50mm에서 1.3% 증가를 보이

고 있다. 직경이 증가할수록 충격강도는 미소한 증가를 보이고 있으며, 충격강도는 기지의 펄라이트와 페라이트비에 보다 큰 영향을 받는다고 생각된다. 냉각속도가 빠른 직경 20mm와 35mm의 비교에서의 증가율이 보다 큰 값을 나타내는 것은 직경이 작은 부분의 미세한 구상흑연의 증가로 기인된다고 사료된다.

3-4. 초음파전파속도

Fig. 10은 직경변화에 따른 초음파전도속도의 값을 나타낸 그림이다. 상온에서 직경 20, 35, 50mm

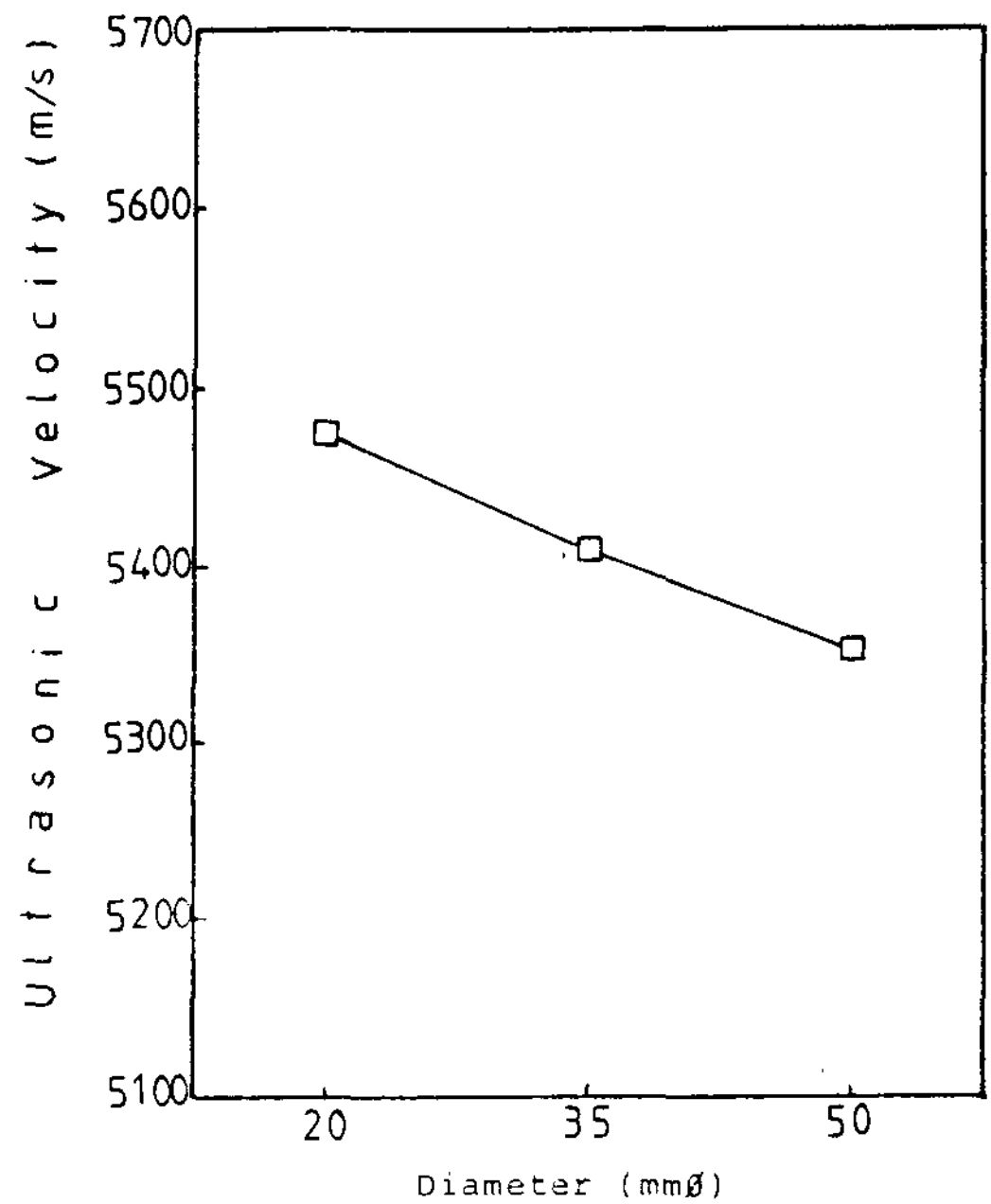


Fig. 10 Relation between ultrasonic wave velocity and diameter.

의 초음파전도속도는 5470, 5410, 5350m/s의 값을 나타내며, 직경 20mm에서 35mm의 감소율은 1.1%, 직경 35mm와 50mm에서 1.10% 감소율을 나타내고 있다. 직경이 증가 할수록 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 초음파전

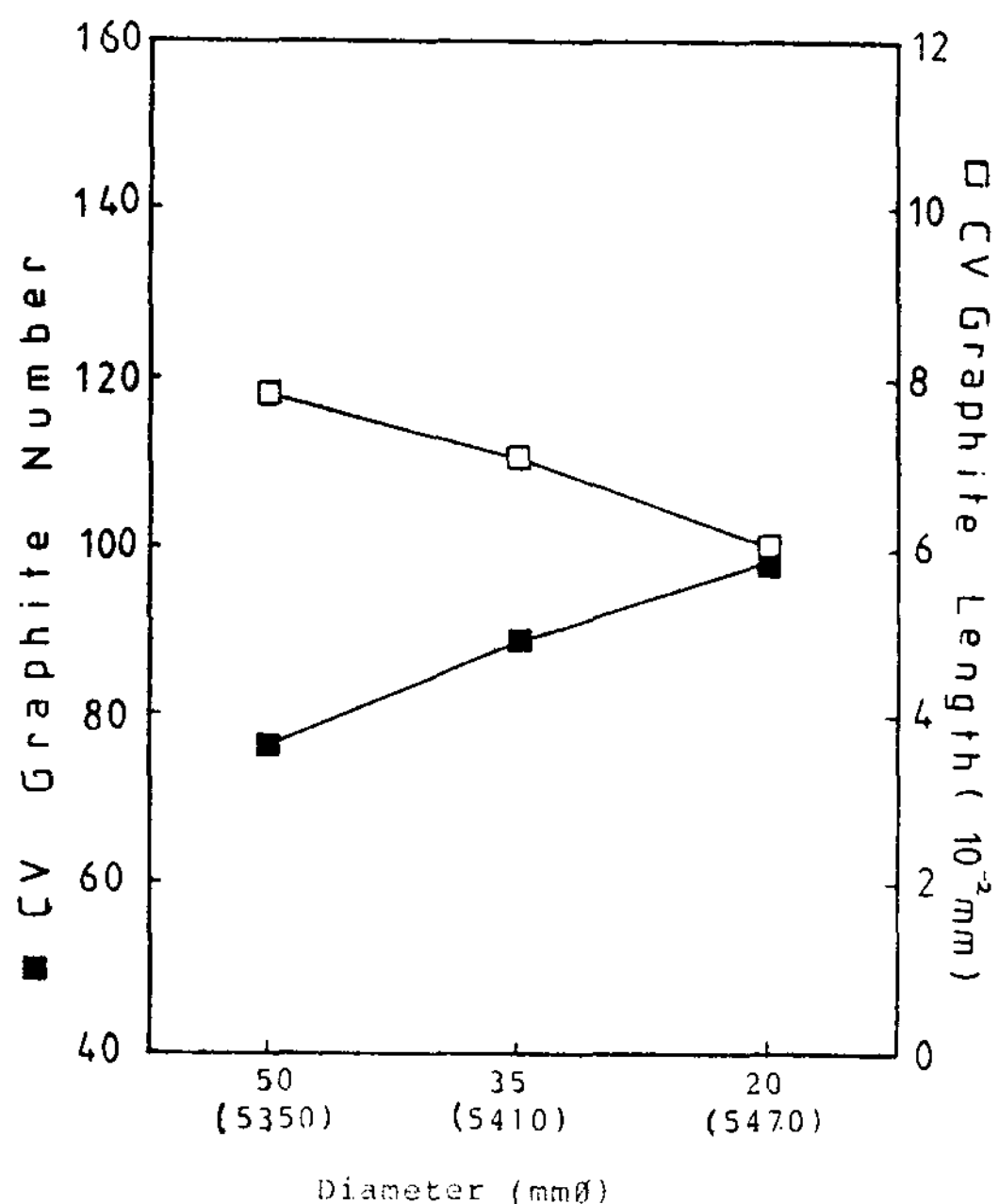


Fig. 11 Relation between graphite number, length and diameter(ultrasonic wave velocity).

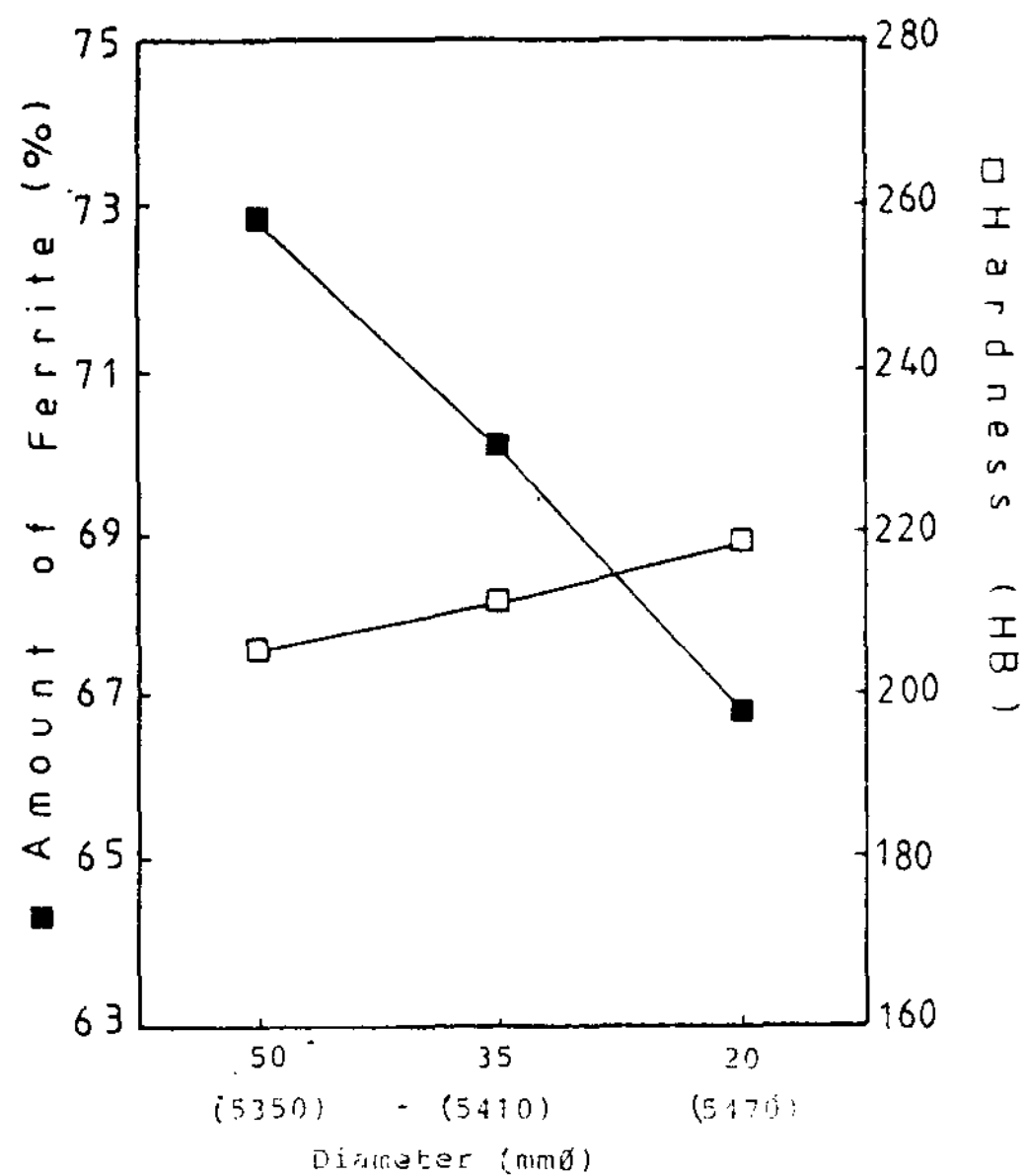


Fig. 13 Relation between ferrite matrix, hardness and diameter(ultrasonic wave velocity).

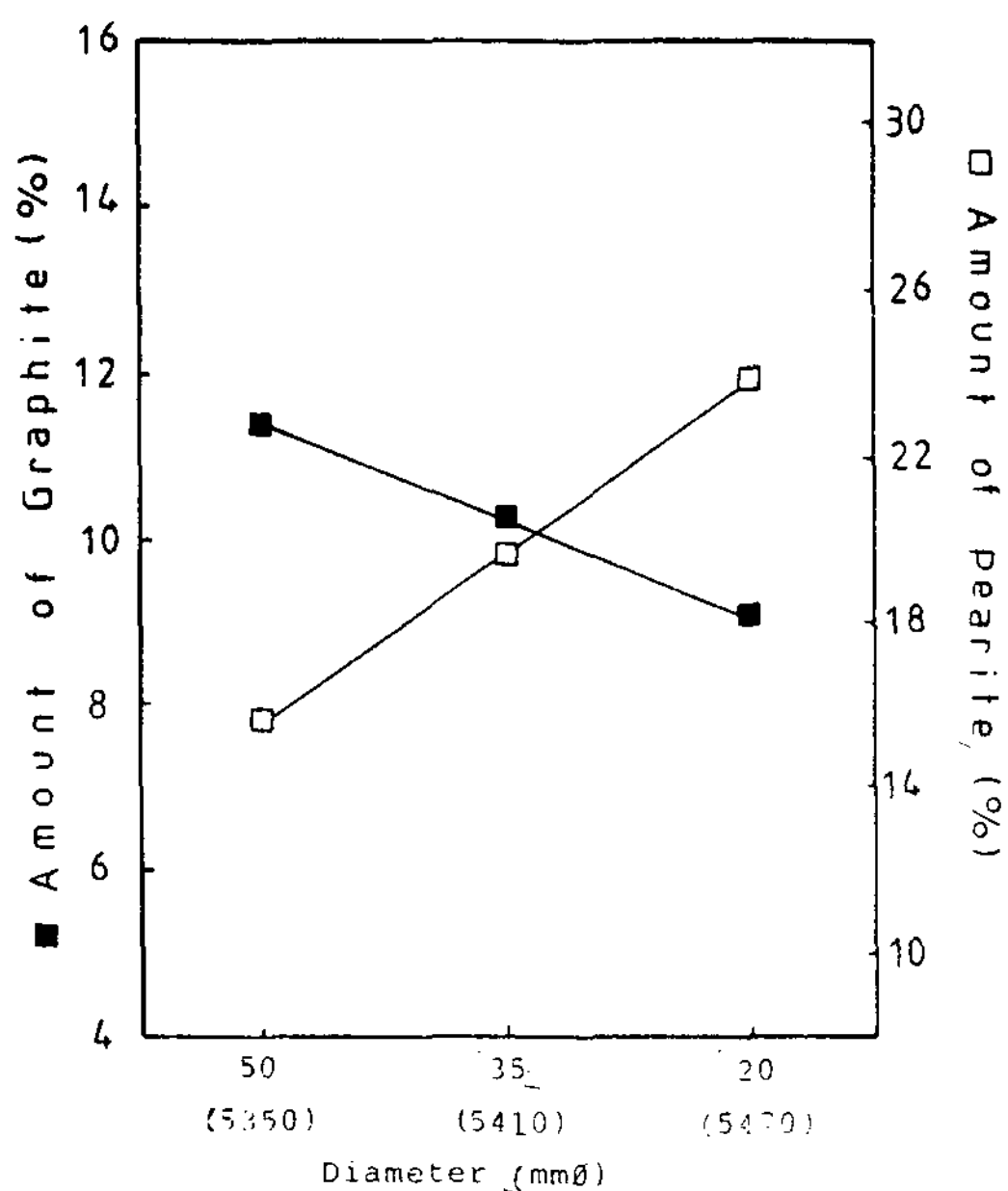


Fig. 12 Relation between graphite, pearlite matrix and diameter(ultrasonic wave velocity).

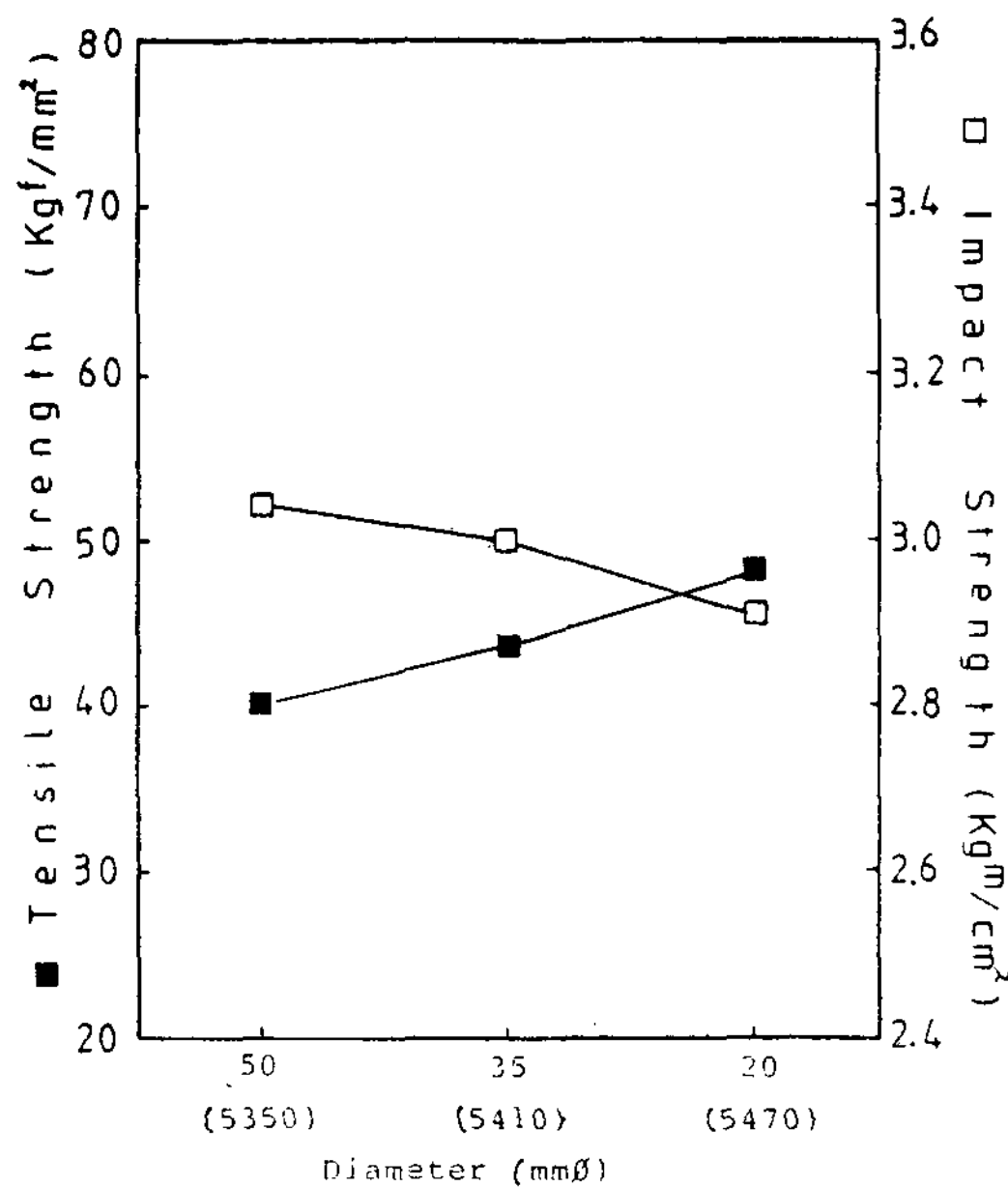


Fig. 14 Relation between tensile, impact strength and diameter(ultrasonic wave velocity).

도속도는 증가하고, 흑연의 길이가 증가하면 감소하고 있음을 알수 있다.

이것은 초음파전도속도 1% 증가할때 CV흑연입수는 12.9% 증가, CV흑연길이는 10.3% 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-De는¹⁷⁾ 설명하고 있다. Fig. 12와 Fig. 13은 초음파전도속도와 기지조직과의 관계를 나타내고 있다. CV흑연량과 펄라이트량이 감소하면 초음파전도속도는 증가하고 펄라이트량이 증가하면 초음파전도속도 또한 증가한다. 이것은 초음파전도속도 1% 증가할때 흑연량은 9.4% 감소하고 펄라이트량은 3.7% 감소하며 펄라이트량은 23.5% 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 초음파전도속도도 증가하고, 충격치가 감소할때 초음파전도속도는 증가하고 있다. 이것은 초음파전도속도가 1% 증가할때 인장강도는 약 8.9%, 경도는 2.8% 증가하고, 충격치는 1.9% 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 13.8% 증가하고, CV흑연

길이는 평균 12.3% 감소를 나타낸다.

2) 흑연량과 펄라이트량은 평균 10.6%, 4.3% 감소하고, 펄라이트량은 23.4% 증가를 나타낸다.

3) 경도와 인장강도는 평균 3.20%, 9.5% 증가하고, 충격치는 1.3% 감소한다.

4) 초음파전도속도는 평균 1.1% 증가를 나타낸다.

参 考 文 献

1. J. Estes, R. Schneidewind ; AFS Trans. Vol. 63 p. 541-542(1955)
2. 康仁燦 ; 大韓金屬會誌 19, 7 p. 588(1981)
3. 大出 卓, 大平五郎, 千田昭夫 ; 鑄物 52, 7 p. 418 (1980)
4. P. A. Green, A. J. Thomas ; AFS Trans. 79-159(1979)
5. E. Nechtelberger, H. Pühr, J. B. Van Nesselrode, A. Nakayasu ; Official exchange paper, 49th International Foundry Congress, Chicago, Apr. 14-17(1982)
6. 池永明, 上田哲文, 岡林那夫 ; 鑄物 53, 10 p. 541 (1981)
7. 林克光, 藤原幹男, 田中雄一 ; 鑄物 56, 12 p. 752 (1984)
8. E. N. Pan, K. Ogi, C. R. Loper ; AFS Trans. 82-120 p. 509-527(1982)
9. P. C. Liu, C. R. Loper, Jr. et al ; AFS Trans. 80-160(1980)
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. Qin Ben-De ; Proceedings of World Conf. NDT-85, 1577(1985)