

論 文

# 고 Si-P 첨가가 박육구상흑연주철의 미세 조직과 기계적 성질에 미치는 영향

박용진\*, 최양진\*, 박인선\*\*, 김영환\*, 이효상\*

## Effects of high Si-P Addition on Microstructure and Mechanical Properties of Thin Ductile Cast Iron

Yong-Jin Park\*, Yang-Jin Choi\*, In-Sun Park\*\*, Young-Hwan Kim\* and Hyo-Sang Lee\*

### Abstract

Effects of high Si-P addition on microstructure and mechanical properties of thin ductile cast iron have been investigated. The amount of silicon addition have fixed on 4.0wt% and the amounts of phosphorus addition and thickness of specimen have been varied from 0.05 to 0.8wt% and  $\phi$ 13mm,  $\phi$ 10mm and  $\phi$ 6mm, respectively.

As the casting thickness decreased, the average diameter of spheroidal graphite was decreased and the hardness of the cast iron increased.

By adding P, the average diameter of spheroidal graphite was increased and the count of the spheroidal graphite was decreased continuously. And the tensile strength and the elongation was decreased, and the hardness was increased. With the P added more than 0.2wt%, the abraded amount was decreased significantly.

The addition of P improved the wear resistance and the hardness of thin ductile cast iron.

### 1. 서 론

구상흑연주철의 사용 범위는 제조 및 강인화방법의 다양화와 주조기술의 발달에 따라 점차 증가하는 추세이며, 특히 박육 구상흑연주철의 경우에는 자동차부품 등 그 쓰임이 날로 중요해지고 있다. 현재 박육 구상흑연주철은 공업재료로서 우수한 기계가공성, 내마모성 및 내충격성을 가지고, 경제적인 면에서도 생산비용이 절감되기 때문에 널리 사용되고 있다[1,2].

이러한 박육 구상흑연주철이 더욱 인정받는 재료가 되기 위해서는 첨가 원소의 다양화로 그 재질을 개선해 나가야 하겠다.

따라서 본 연구에서는 高규소(high-silicon) 상태에서 인(phosphorus)의 함량을 변화시키며 열처리를 하지 않은 주방상태에서 기계적성질의 개선 및 흑연 구상화에 대한 영향과 조직변화를 관찰하였다.

첨가 합금원소 중 Si는 함량이 높을 경우 고온에서 안정하지 못한 탄화철( $Fe_3C$ )을 분해하고 냉각속도를 늦추는 작용을 한다.

인은 용체의 유동성을 높이고 내마모성을 증가시키며 인의 함량의 높을수록 ledeburite의 응고는 낮은 온도에서 시작하여 결정이 조대화되는 것과 관계있다고 알려져 있다[3].

이와 같은 규소와 인의 성질을 이용하여 본 연

\*홍익대학교 금속재료공학과(72-1, Sangsoo-Dong Mapo-Ku, Seoul 121-791, Korea)

\*\*시립인천전문대학 부교수

구에서는 주물 두께  $\phi 6\text{mm}$ ,  $\phi 10\text{mm}$ ,  $\phi 13\text{mm}$ 의 박육 시험편을 제조하여 주방상태에서의 기조직 및 기계적 성질을 조사하였다.

## 2. 실험방법

### 2.1 용해 및 시험편 제작

본 실험에서는 후란주형을 사용하였고, 자기유도로에 회주철(Return Scrap)과 선철(Pig-Iron)을 장입하여 용해하고 Fe-75%Si로 접종하고 소형 레들에 옮겨 Fe-45%Si-8%Mg로 구상화 처리하였다. 이것에 Fe-26%P를 첨가해 P의 함량을 0.05~0.8wt%까지 변화시켰으며, 이용탕을 1350~1400°C에서 후란주형에 주입하였다.

본 실험에 사용된 재료들의 화학적 조성은 Table 1과 같고, Table 2에는 주조된 시험편의 화학성분 분석치를 나타내었다. 인장강도와 경도 시험을 위해 두께  $\phi 6\text{mm}$ ,  $\phi 10\text{mm}$ ,  $\phi 13\text{mm}$ 의 시험편을 제작하였다.

### 2.2 현미경 조직관찰

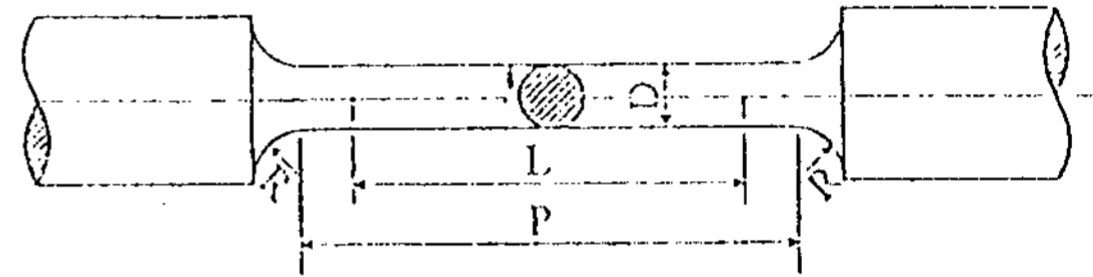
현미경 조직은 시험편을 수직으로 절단하여 연마한 후 3% Nital용액으로 부식하여 시험편의 지름을 따라 관찰하였으며, 구상흑연의 크기변

화, 구상흑연의 수량변화를 측정하였고, 스테다이트(steadite)의 생성을 확인하였다.

### 2.3 기계적 성질시험

인장강도 및 연신율은 인장시험편(Fig. 1)을 제작한 후, 5000kg 만능재료시험기(Instron사, Model No. 1137)를 사용하여 측정하였다.

경도는 인장시험편을 얇게 자른 후 micro-vickers 경도시험기(Akashi사 MVK-E Model No. 20223)로 200gt의 하중으로 20sec. 조건에서 행하였으며, 시험편의 지름을 따라 20회 이상 측정하여 최대값과 최소값을 소거한 나머지로 평균을 취하였다.



Specimen Type	D	L	P	R
$\phi 13(A)$	8	28	40	10
$\phi 10(B)$	6.5	23	30	10
$\phi 6(C)$	5	18	20	10

Fig. 1. The shape & dimension of the specimen for tensile test.

Table 1. Chemical compositions of raw materials(wt%).

comp. / mat.	C	Si	Mn	S	Mg	P	Fe
Iron Scrap	3.20	1.40	0.50	0.022	-	0.18	Bal.
Pig Iron	4.10	1.41	0.30	0.015	-	0.07	Bal.
Fe-Si	-	75.00	-	-	-	-	Bal.
Fe-Si-Mg	-	45.00	-	-	8.00	-	Bal.
Fe-B	-	-	-	-	-	26.00	Bal.

Table 2. Chemical compositions of specimens(wt%).

comp. / No.	C	Si	Mn	S	Mg	P
1	3.44	4.24	0.21	0.029	0.032	0.06
2	3.59	4.03	0.24	0.020	0.041	0.12
3	3.63	3.95	0.27	0.021	0.038	0.21
4	3.34	4.02	0.20	0.018	0.038	0.29
5	3.67	4.10	0.22	0.020	0.040	0.38
6	3.70	3.97	0.24	0.024	0.043	0.60
7	3.62	4.08	0.23	0.023	0.041	0.83

마모시험은 신속 마모시험기(Ogoshi, Model OAT-U형)을 사용하여 행하였으며, 시험편을 고정시료로 부착시켰고 상대재료는 회전 disc로서 S45C 재료를 880℃에서 수중 펄칭한 후 570℃로 템퍼링하여 소르바이트 조직으로 하였다. 고정시료 및 회전시료는 표면조도는 Rmax1μm 범위 이하로 표면을 연마하였고, 이물질 제거하기 위하여 아세톤으로 탈지, 세정한 후 시험기에 부착시켰다. 마모조건은 전식상태에서 실험을 행하였으며, 마모량 W[4]는 다음과 같다.

$$W=B[r^2\sin^{-1}(b/2r)-(b/2)\sqrt{(r^2-(b^2/4))}]$$

여기서, B : thickness of revolving disc  
 r : radius of revolving disc  
 b : wear width

### 3. 시험결과 및 고찰

#### 3.1 흑연조직 및 기지조직

주물 두께가 φ13mm, φ10mm, 및 φ6mm인 구

상흑연주철에 시험편을 3% Nital용액으로 부식시켜 200배의 배율로 흑연조직과 기지조직을 관찰하였다. 이 결과를 Photo 1, Photo 2, Photo 3에 나타내었다.

일반적으로 P의 함유량이 증가함에 따라 구상흑연의 크기는 증가하였고, 구상흑연의 수는 감소하였으며, 주물의 두께가 감소할수록 흑연의 크기는 감소하였다.

Fig. 2에 주물두께와 P의 함유량 변화에 따른 구상흑연의 크기변화를 나타내었고, Fig. 3에 주물두께와 P의 함유량 변화에 따른 구상흑연의 수량변화를 나타내었다.

P의 함유량이 증가할수록 구상화 흑연의 크기가 증가하고 있는데 이 이유는 용탕이 냉각되면서 용체중에 구상흑연이 직접 정출되고 이것이 곧 오스테아이트 셸(Austenite Shell)에 의해 둘러 쌓이게 되고, 공정응고가 진행됨에 따라 공정 셸은 성장하면서 불순물이 석출될 것이다. 이 석출된 불순물들이 입계부위에 농축되어 이 부분의 응점을 저하시키고 이것으로 인해 액상의 통로가

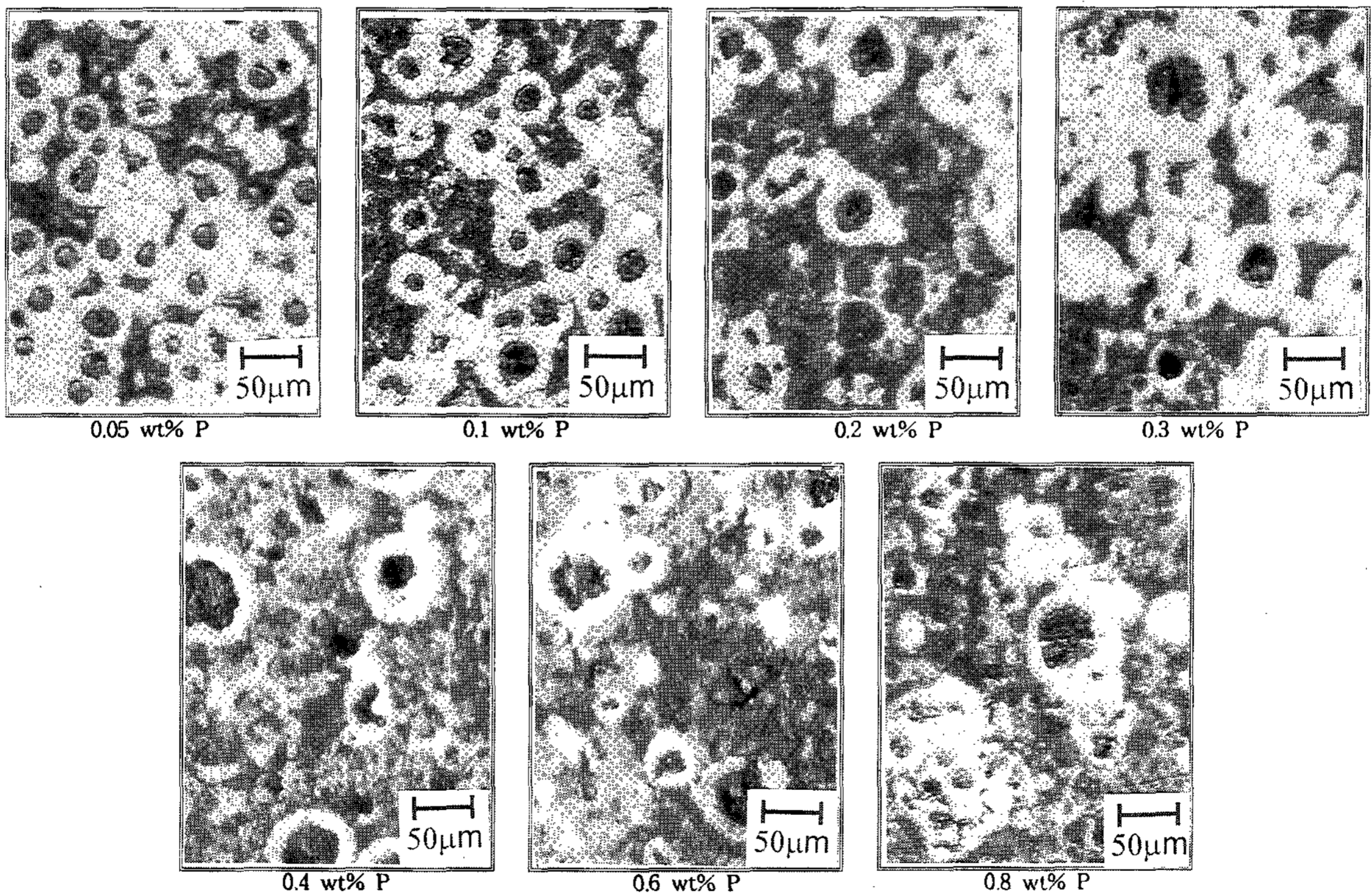


Photo 1. Optical microstructures of φ13mm ductile cast iron with various P contents.

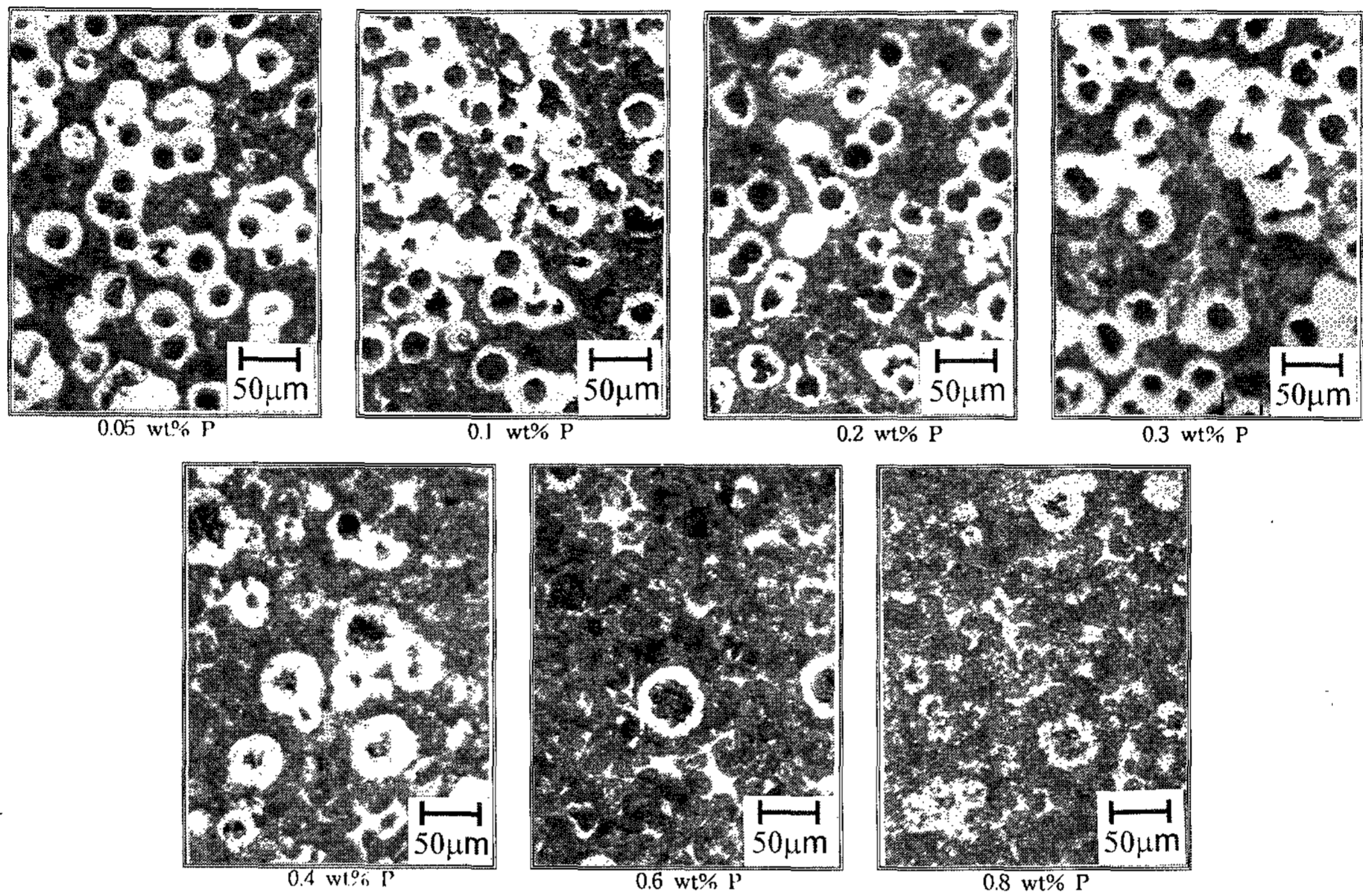


Photo 2. Optical microstructures of  $\phi$ 10mm ductile cast iron with various P contents.

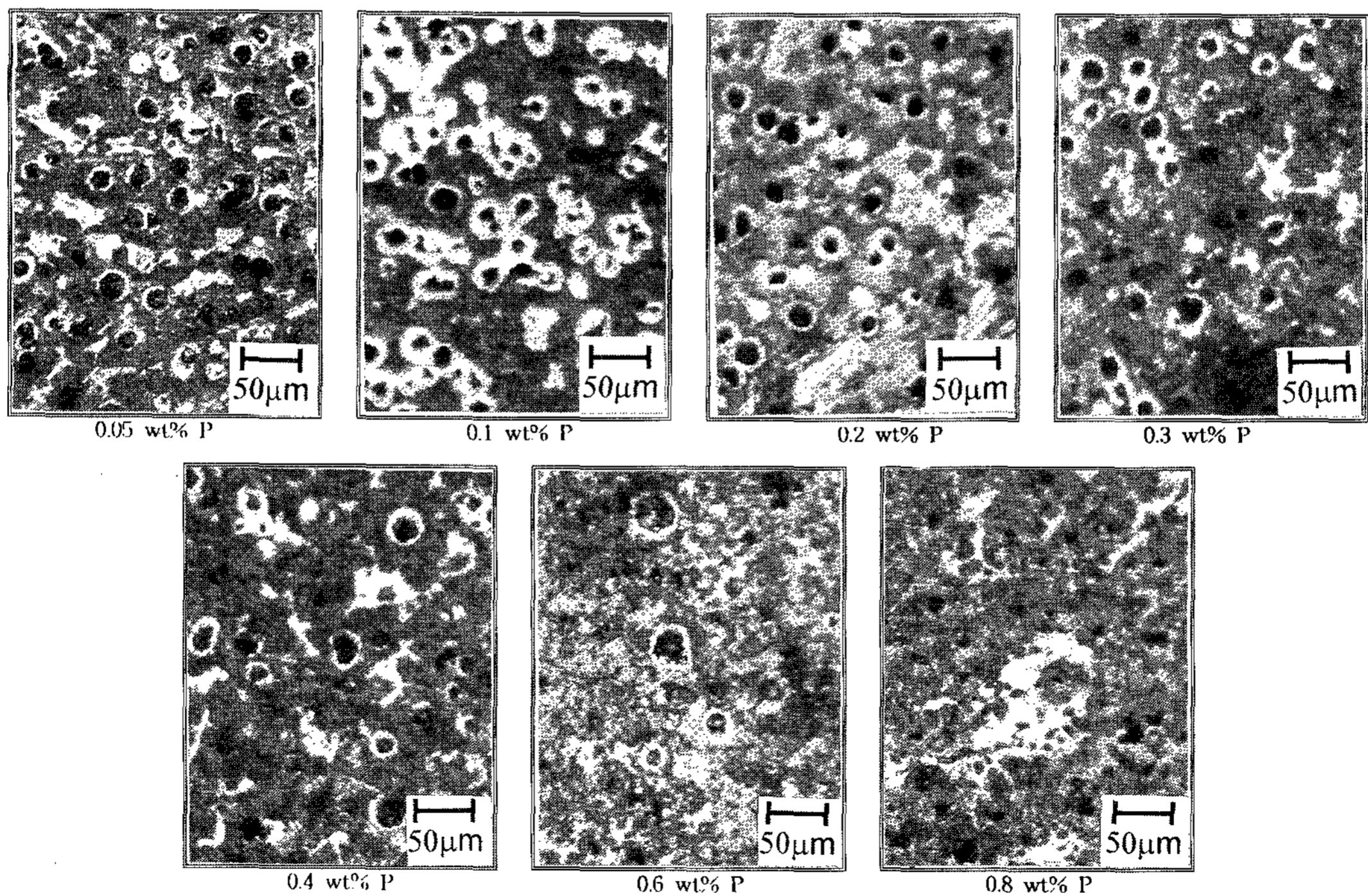


Photo 3. Optical microstructures of  $\phi$ 6mm ductile cast iron with various P contents.

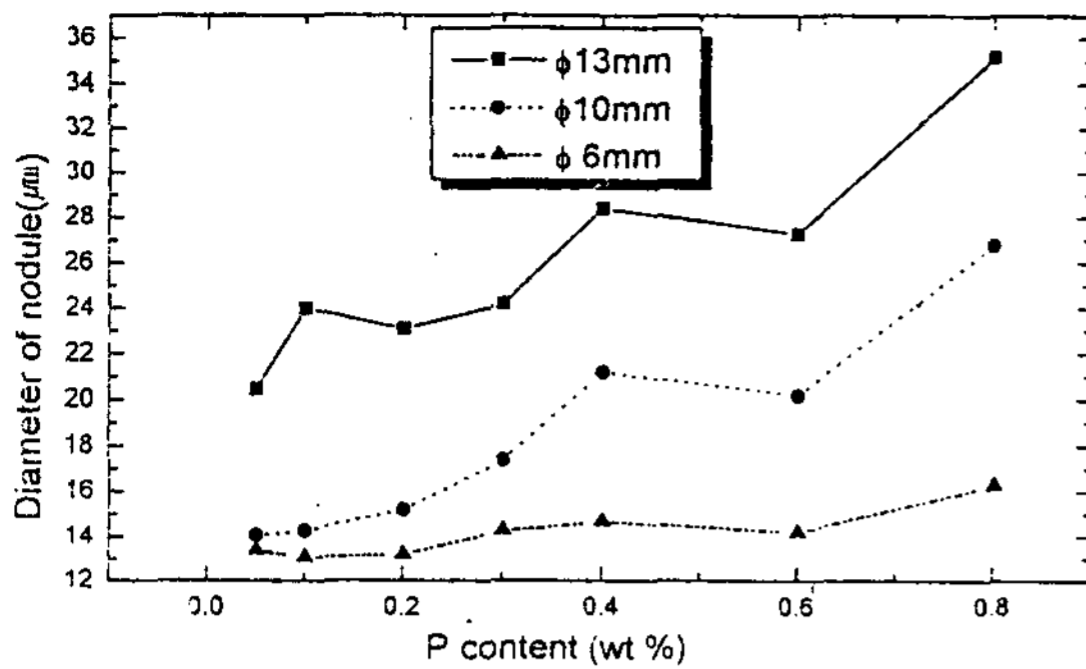


Fig. 2. Variations of nodule diameter with different phosphorus contents in ductile cast iron.

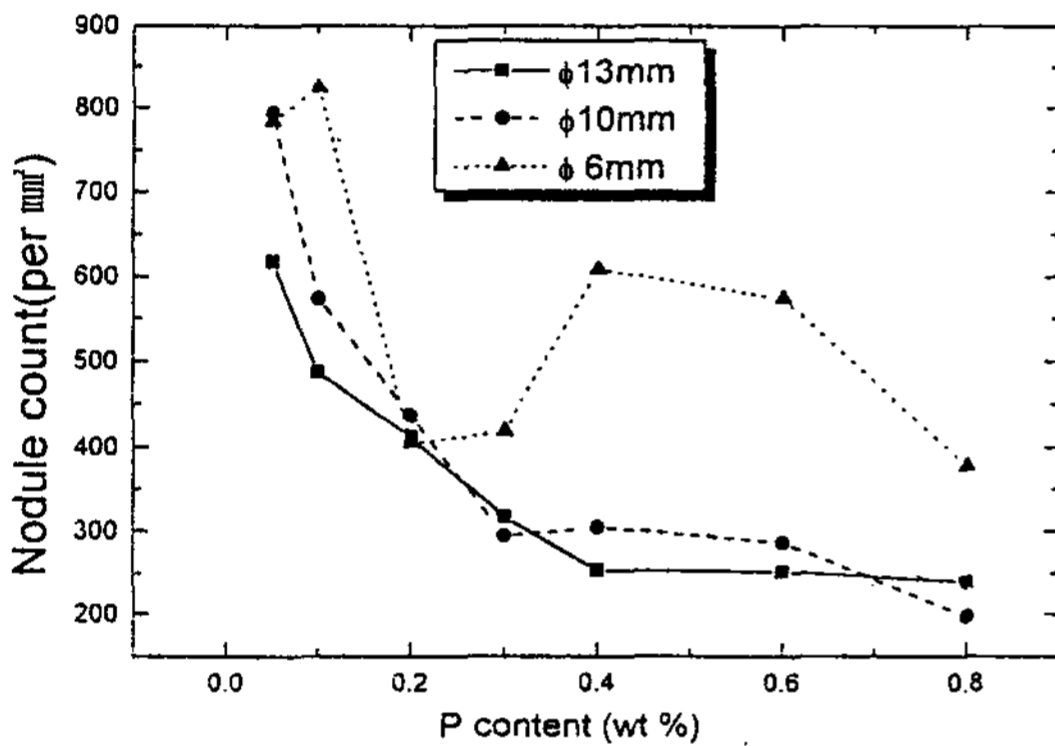


Fig. 3. Variations of nodule count different phosphorus contents in ductile cast iron.

만들어져 탄소의 확산 경로로 작용하게 된다고 생각된다[3-6].

이와 같은 이유로, P의 함유량이 증가함에 따라 탄소의 확산이 충분히 일어나 흑연의 성장을 돕는 것이다.

또, P의 함유량이 증가함에 따라 3원 공정조직인 스테다이트(Fe-Fe<sub>3</sub>C-Fe<sub>3</sub>P)가 생성됨을 펄라이트와 펄라이트 사이의 점조직으로 확인한 결과를 배율 1000배로 P의 함유량 0.1wt%와 0.8wt%로 비교하여 Photo 4, Photo 5, Photo 6에 나타내었다.

### 3.2 경도

Fig. 4는 주물두께와 P의 함유량 변화에 따른 micro-vickers 경도의 변화를 나타낸 결과이다. 보통의 경우 주철의 경도를 측정할 때 micro-vickers는 측정범위가 너무 작기 때문에 사용하지 않는다. 본 논문에서는 이를 보완하기 위해

하나의 시료에 20곳 이상을 측정 평균치를 내어 사용하였다.

P의 함유량이 0.05wt%일 때 φ13mm, φ10mm, φ6mm에서 각각 Hv 212, Hv 273, Hv 357의 값으로 최소값을 나타냈으며 P의 함유량이 0.8wt%에서는 Hv 263, Hv 343, Hv 503으로 최대값을 나타내었다. P의 함유량이 증가함에 따라 경도값이 증가하고 있음을 볼 수 있는데 이것은 페라이트보다는 7~8배, 펄라이트보다는 2~3배 높은 경도값을 갖는 스테다이트의 생성 때문일 것이다.

또한, 주물두께가 얇아질수록 경도값이 증가하고 있는데 이는 흑연의 크기와는 무관하며 냉각 속도에 의한 탄화물 조직의 영향인 것으로 추정된다.

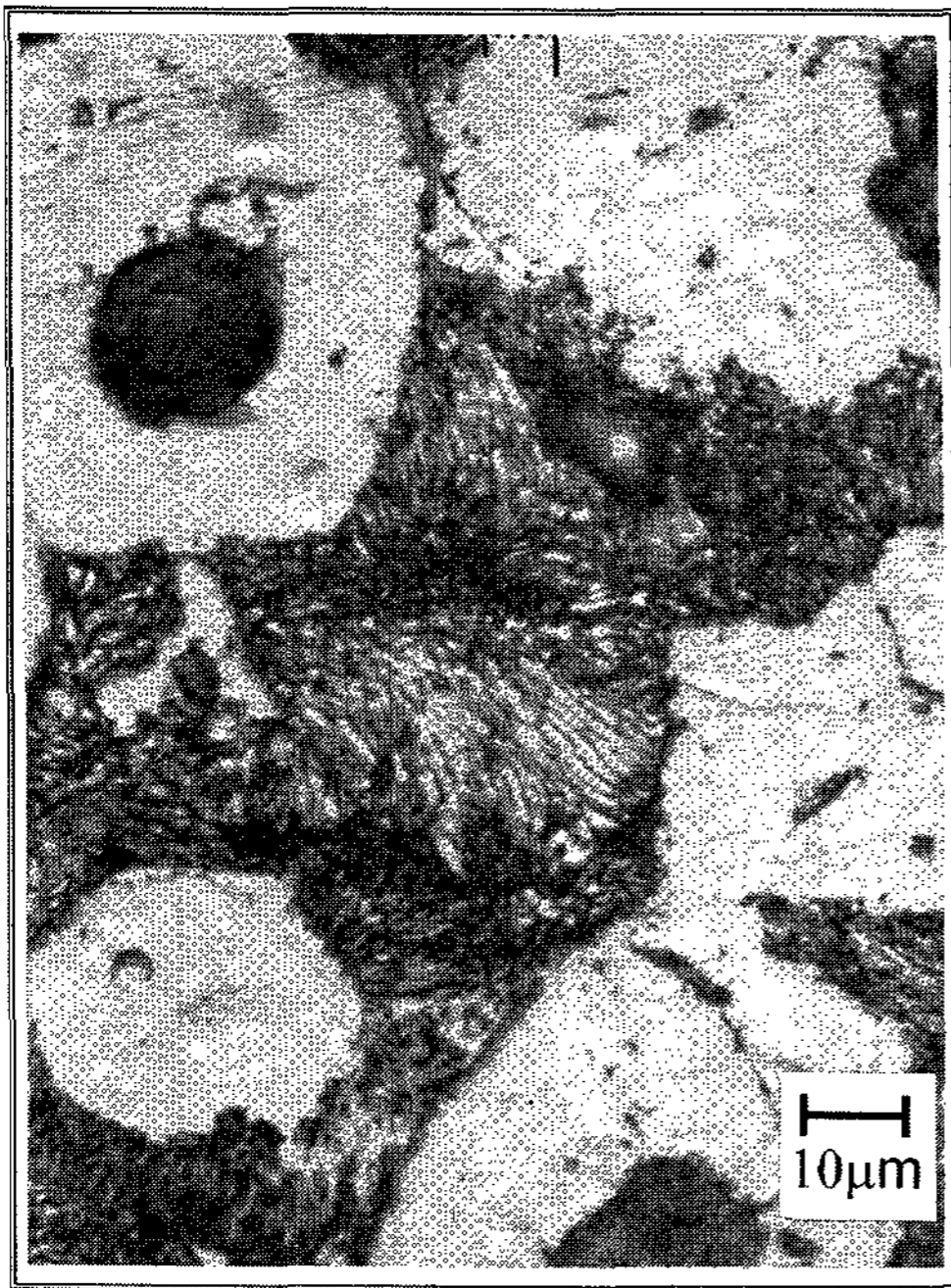
### 3.3 인장강도

Fig. 5는 주물두께와 P의 함유량 변화에 따른 인장강도의 변화를 나타낸 결과로서 φ6mm, φ10mm, φ13mm 모두 P의 함유량이 증가할수록 인장강도 값이 감소하는 경향을 나타냈다. 이것은 P의 증가와 더불어 공정인화물량이 증가하여 공정인화물 내부에 미소 수축기공량이 증가하고, 공정세포경계에 망상으로 편석된 박막성의 공정인화물에서 인장파단이 개시됨에 기인한 것으로 여겨진다[7].

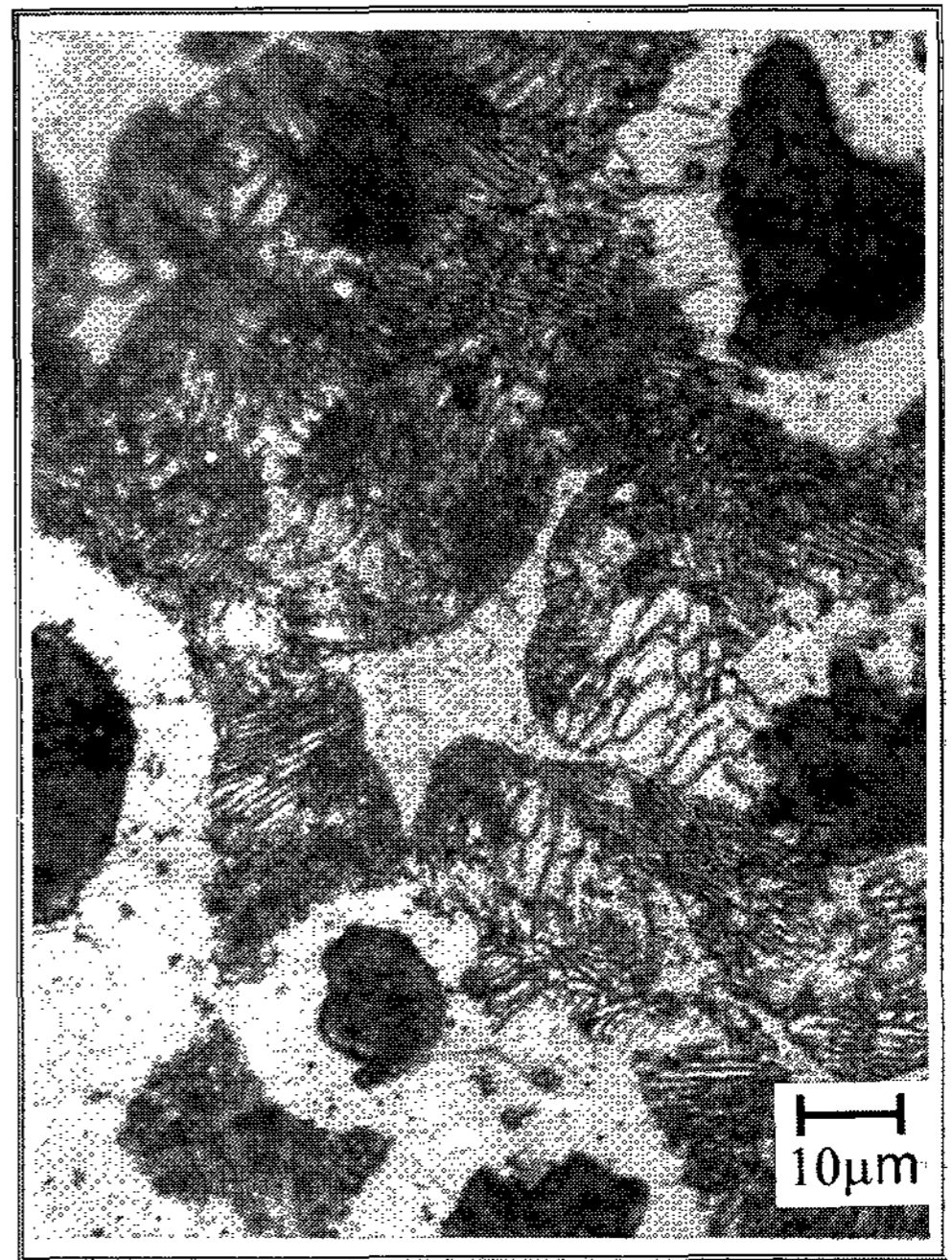
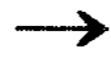
### 3.4 연신율

Fig. 6은 주물두께와 P의 함유량 변화에 따른 연신율의 변화를 나타낸 결과이다. P이 거의 첨가되지 않았을 때는 φ13mm에서 3.43%, φ10mm에서 3.27%, φ6mm에서 2.76% 정도의 연신율을 나타내던 것이 P의 첨가량이 0.2wt%였을 때는 연신율이 1% 이하의 값에서 떨어졌다. 이것은 P의 함유량이 증가할수록 페라이트량이 감소하는 것과 관계있으며, 스테다이트의 생성에 의한 취성 때문이다. 또 주물 두께가 감소할수록 연신율도 감소하고 있음을 볼 수 있다.

일반적으로 연신율은 기지조직에 따라 변화하는데 페라이트 기지에서는 25%에 달하는 것도 있는 반면, 펄라이트 기지에서는 1~6%의 연신율을 나타낸다고 보고하고 있다[8].



0.05 wt% P



0.8 wt% P

Photo 4. Optical microstructures of steadite.( $\phi$ 13mm).



0.05 wt% P



0.8 wt% P

Photo 5. Optical microstructures of steadite.( $\phi$ 10mm).

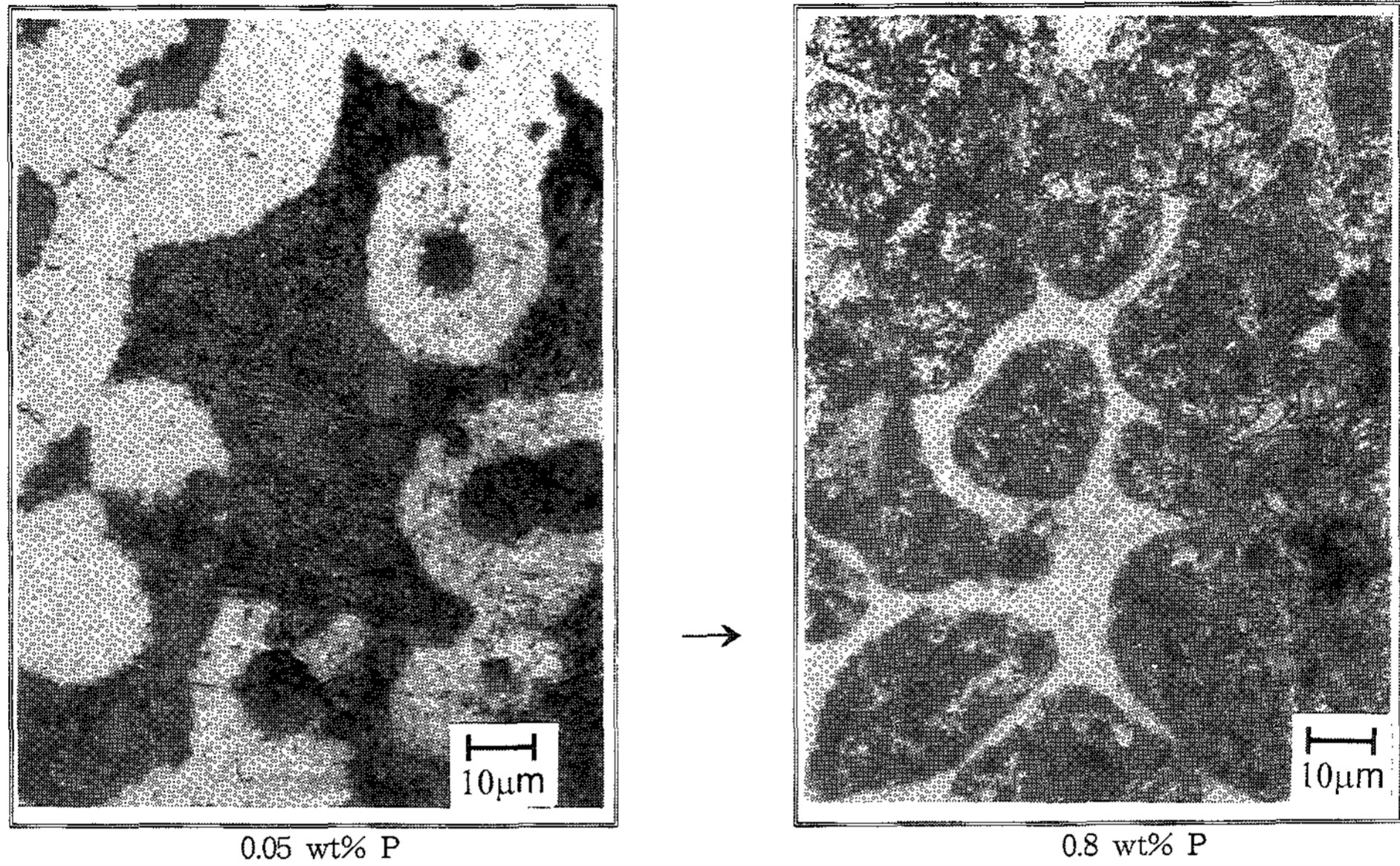


Photo 6. Optical microstructures of steadite.( $\phi 6\text{mm}$ ).

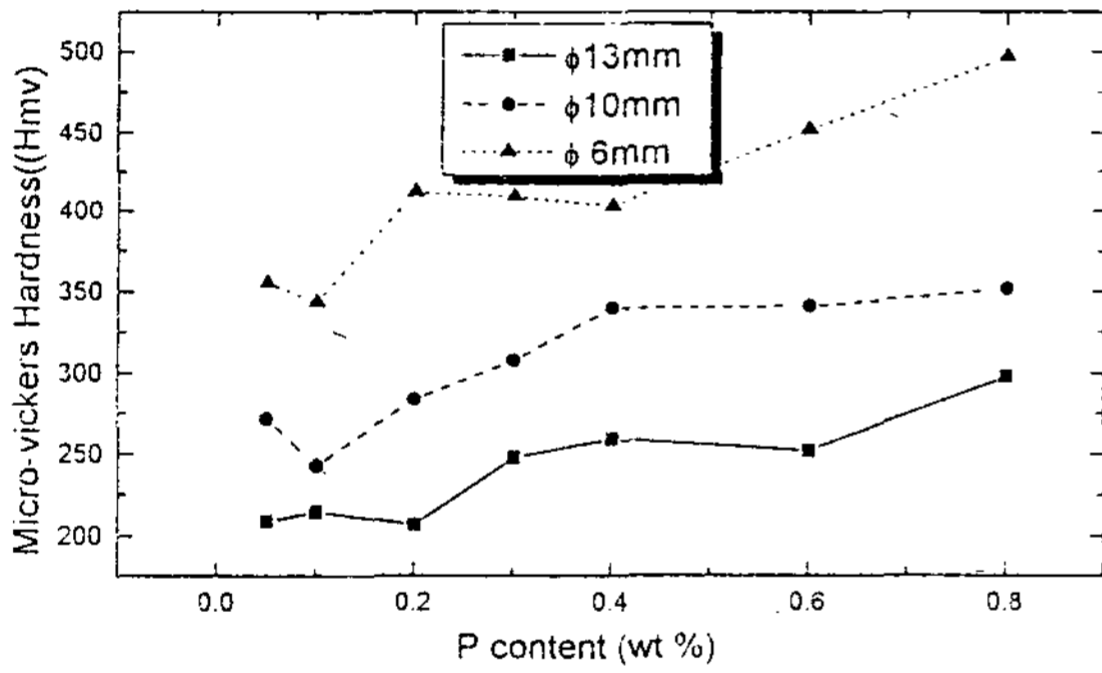


Fig. 4. Variations of hardness with different phosphorus contents in ductile cast iron.

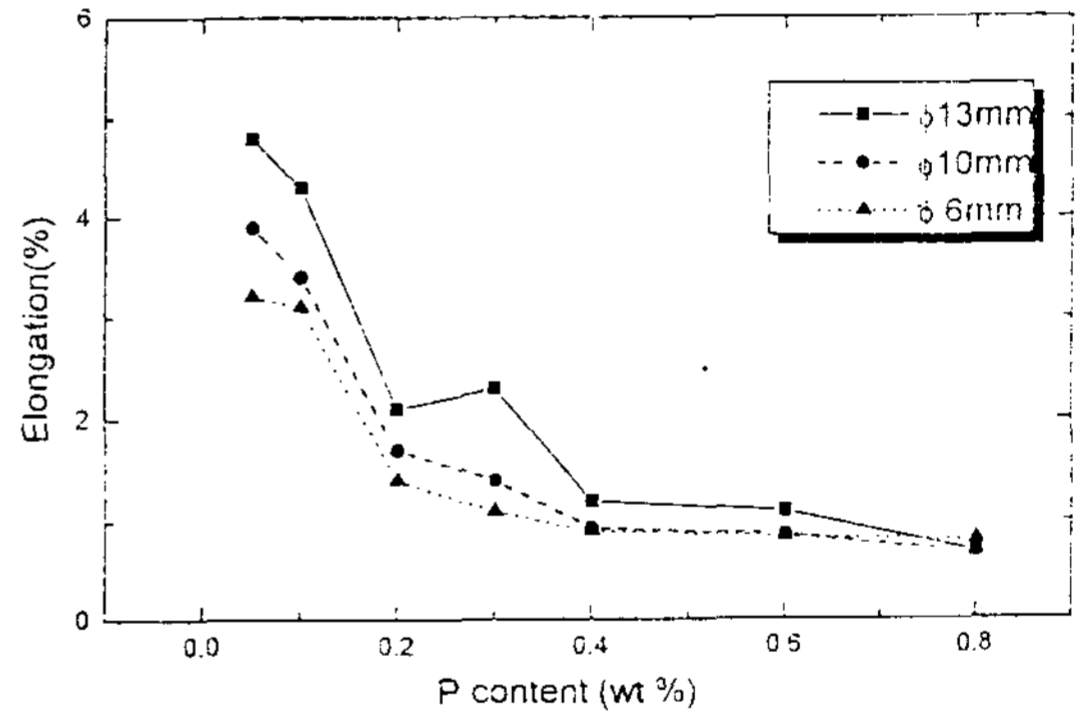


Fig. 6. Variations of elongation with different phosphorus contents in ductile cast iron.

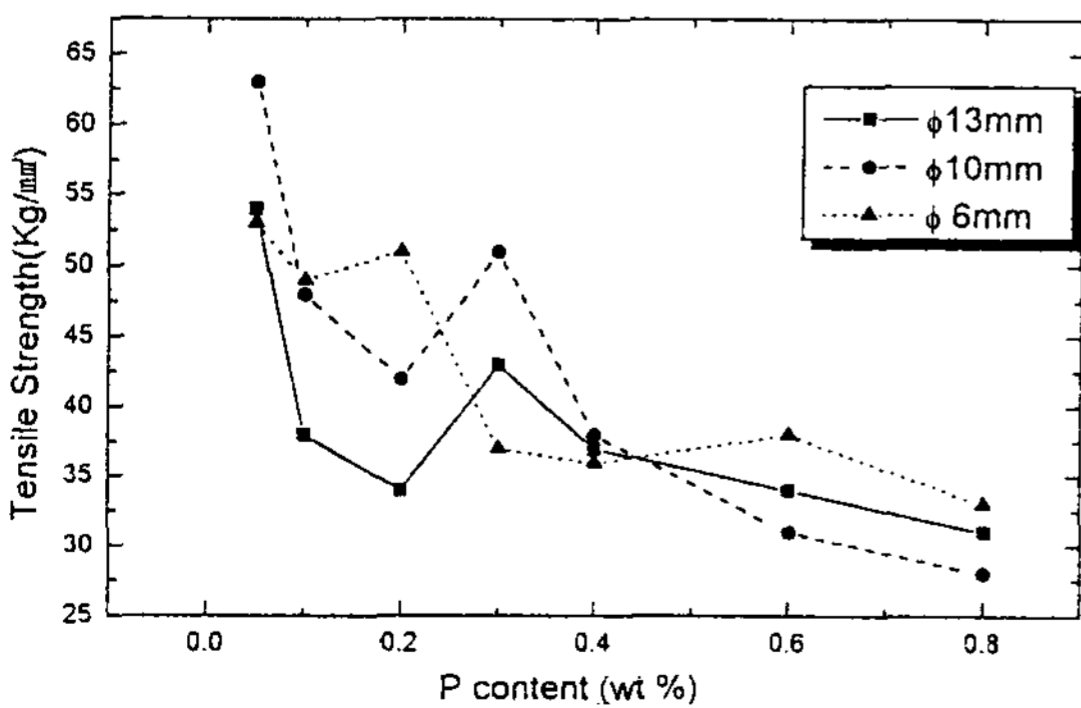


Fig. 5. Variations of tensile strength with different phosphorus contents in ductile cast iron.

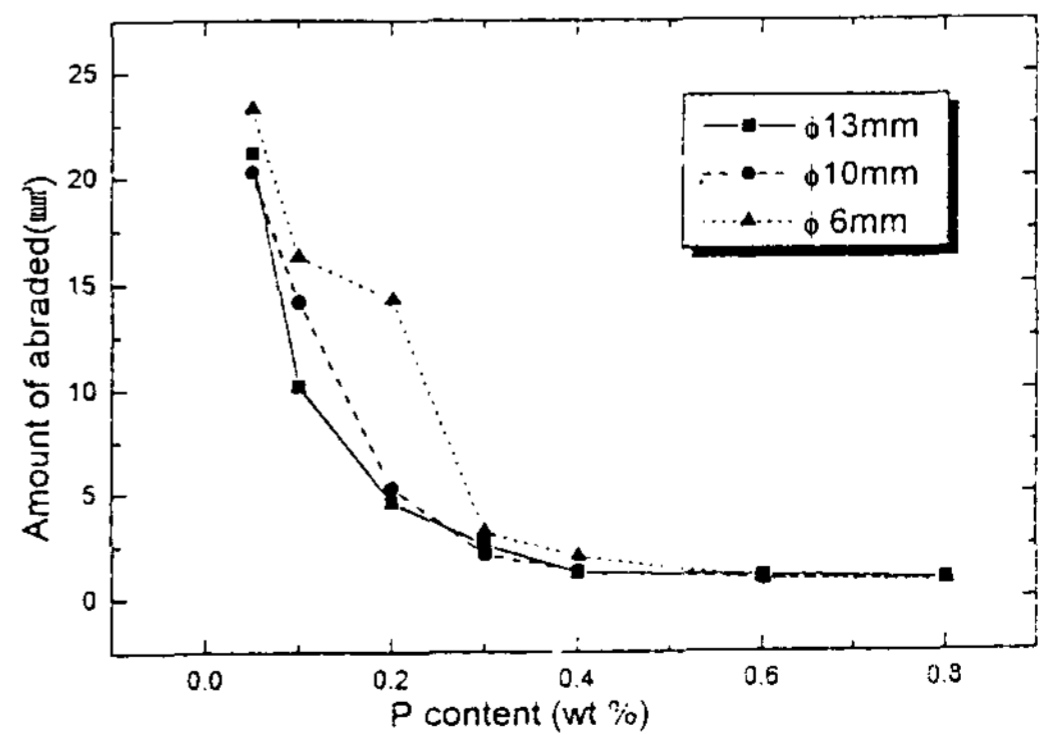


Fig. 7. Variations of abration amount with different phosphorus contents in ductile cast iron.

### 3.5 내마모성

Fig. 7은 주물두께와 P의 함유량 변화에 따른 마모특성을 하중 2.1kg, 마찰거리 66.6m, 마찰속도 0.054m/sec의 조건으로 마모량을 측정한 결과이다.

$\phi 6\text{mm}$ ,  $\phi 10\text{mm}$ ,  $\phi 13\text{mm}$  모두에서 P의 함유량이 증가할수록 마모량이 현저히 감소하였다. 이것은 P의 함유량이 증가할수록 내마모 특성이 우수한 스테다이트의 생성증가 때문일 것으로 사료된다.

## 4. 결 론

주물 두께가  $\phi 6\text{mm}$ ,  $\phi 10\text{mm}$ ,  $\phi 13\text{mm}$ 인 박육 구상흑연주철에 P의 함유량을 0.05~0.8wt%로 변화시키면서 P의 함유량이 미세조직과 기계적 성질에 미치는 영향을 조사한 결과는 다음과 같다.

1) 주물 두께가 감소할수록 구상흑연의 크기는 감소하였고, P의 함유량이 증가할수록 구상흑연의 크기는 증가하였고 수는 감소하였다.

2) 기지조직은 P의 함유량이 증가할수록 페라이트량이 감소하였고, 스테다이트의 양이 증가하였다.

3) P의 함유량이 증가하면  $\phi 6\text{mm}$ ,  $\phi 10\text{mm}$ ,  $\phi 13\text{mm}$  모두에서 인장강도값은 감소하였고, 경도값은 증가하였다. 이것은 경도가 높고 brittle한 스테다이트의 생성 때문이다.

4) 연신율은 P의 함유량이 증가할수록 감소하

였고, 주물의 두께가 감소할수록 감소하였다.

5) P의 함유량이 증가할수록 내마모성이 우수한 스테다이트의 생성으로 마모량이 감소하였다.

## 후 기

이 논문은 1995년도 홍익대학교 교내 연구비의 지원에 의하여 이루어졌으며 지원에 감사드립니다.

## 참 고 문 헌

- [ 1 ] 김영원, 김석원, 이방식 : 대한금속학회지, 26 (1988) 846
- [ 2 ] 조성수, 조남돈 : 한국주조학회지, 7 (1987) 5
- [ 3 ] 김하영 : 한국주조학회지, Vol. 8, No. 3 (1988) 296
- [ 4 ] 송병우, 박용진 : 한국주조학회지, 13 (1993) 176, 184
- [ 5 ] S. E. Wetterfall, H. Fredrickson and Hillet : Source Book on Ductile Iron, ASM, (1977) 162
- [ 6 ] E. Seluck : The Metallurgy of Cast Iron, St. Saphorin Switzerland, (1975) 409
- [ 7 ] 박홍일, 김우열, 배차현, 김명호 : 주조 13. 4 (1993) 333-341
- [ 8 ] 김수영, 이상익, 김석윤 : 대한금속학회지, 10 (1972) 239