

|||||
現場技術
 |||||

구상흑연주철 제조시 산성유도로에서의
 원탕유지시간에 따른 조직 및 물리적 성질의 변화

이 상 응, *박 이 윤

The Variation of Microstructure and Mechanical Properties Depending on the Holding Time of Melting in Acid-induction Furnace on Ductile Cast Iron.

S.W.Lee, L.Y.Park

1. 서론

구상 흑연 주철은 경도와 강도가 비교적 높고 다른 주철에 비하여 연신율이 좋으며 또한 내마모성이 양호한 관계로 구상 흑연 주철이 자동차 및 산업 기계용 부품 소재로서 매우 광범위하게 사용되어져 가고 있다. 최근 자동차 공업의 발달로 인하여 자동차용 부품 소재가 거의 국내 대체 산업으로 개발되어 감에 따라 구상 흑연 주철을 제조하는 공장수가 날로 증가되어 가는 실정이나 아직 수요량에 비하여 공급량이 부족한 실정이다. 구상 흑연 주철은 다른 주철에 비하여 제조과정이 다소 어렵고 용해에서 부터 주입 냉각 및 탈형 과정까지 모든 공정이 잘 이루어질때 조직 및 기계적 성질이 우수한 양질의 제품을 얻을 수 있다. 따라서 본 실험은 구상 흑연 주철의 제조 과정중의 하나인 용해 완료후 용탕의 유지 시간이 구상 흑연 주철에 미치는 영향을 현장 조업적 관점에서 알아 보았다.

2. 실험 방법

2-1. 용해 및 구상화 처리

선철(20%) 고철(35%) 회수선(45%) 및 가탄제를 원료로 하여 2호, 3호 고주파 및 6호 중주파에서 용해 완료한 용탕을 10호 보온로로 이동시켜 출탕 온도인 1500℃까지 승온시킨 다음 구상화제도로서 TDCR - 4 를 사용하여 샌드위치법(Sandwich法)으로 구상화 처리시켰으며 접종제로서는 도요바론(75% Si)으로 접종시켰다. 사용된 로(爐)의 제원 및 화학 성분은 표1 및 표2에 나타낸다.

2-2. 측정 항목

조업중 용탕의 화학 성분 변화, 철 시험, 파면 시험, 내부 결함 시험, 드로스(dross)시험, 구상화 입자수, 입자 크기, 기지 조직의 변화 및 기계적 성질 시험을 실시하였다. 용탕의 화학 성분은 스펙트로미터(Spectrometer)에서 분석하였으며 철시험은 20mm

표 1. 사용 전기로의 제원

	Frq (Hz)	Full Power (kw)	Lining 재료	batch 당 용해시간
2호 고주파	700	1000	Silica	60 분
3호 고주파	700	2000	Silica	60 분
6호 중주파	200	3000	Silica	90 분
10호 보온로	60	500	Silica	

표 2. 화학성분

(%)

		C	Si	Mn	P	S	Cu	Mg
목표 성분		3.8	1.4	< 0.3	< 0.05	< 0.02		
원 탕		3.9	1.35	0.1	0.022	0.015	0.07	
유지시간 (시간)	1	3.859	1.355	0.1	0.022	0.015	0.07	
	2	3.828	1.361	0.1	0.024	0.016	0.07	
	3	3.745	1.401	0.1	0.022	0.014	0.07	
Mg 처리		3.71	2.63	0.1		0.094	0.42	0.052

두께의 구리판 위에서 실시하였고, 파면 시험, 내부 결함 시험 및 드로스 시험은 CO₂ 주형에 1400℃ ~ 1420℃에서 주입하여 상온까지 완전히 냉각시킨 다음 시험하였으며, 현미경 조직 검사는 제품중의 동일 부분을 채취하여 관찰하였다. 기계적 성질 시험의 경우 Cu를 0.4% 첨가하여 경도 및 인장 시험을 실시하였다. 인장 시험편은 제품의 실정에 맞는 인장 시험편을 제작하여 시험하였으며 본 시험에 사용된 모식도는 그림 1, 2 및 3에 나타난다.

시험의 경우 Cu를 0.4% 첨가하여 경도 및 인장 시험을 실시하였다. 인장 시험편은 제품의 실정에 맞는 인장 시험편을 제작하여 시험하였으며 본 시험에 사용된 모식도는 그림 1, 2 및 3에 나타난다.

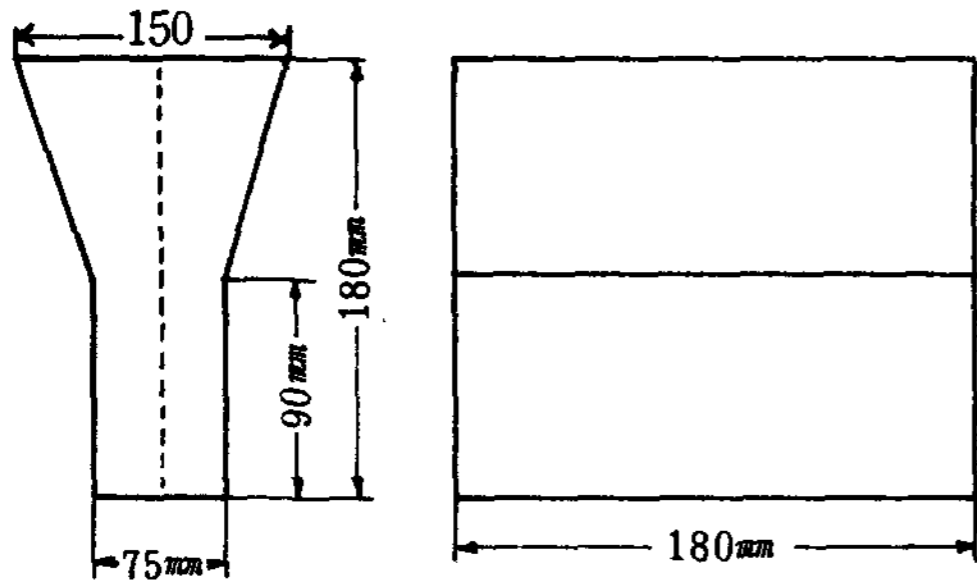


그림 1. 내부결함 시험편 모식도

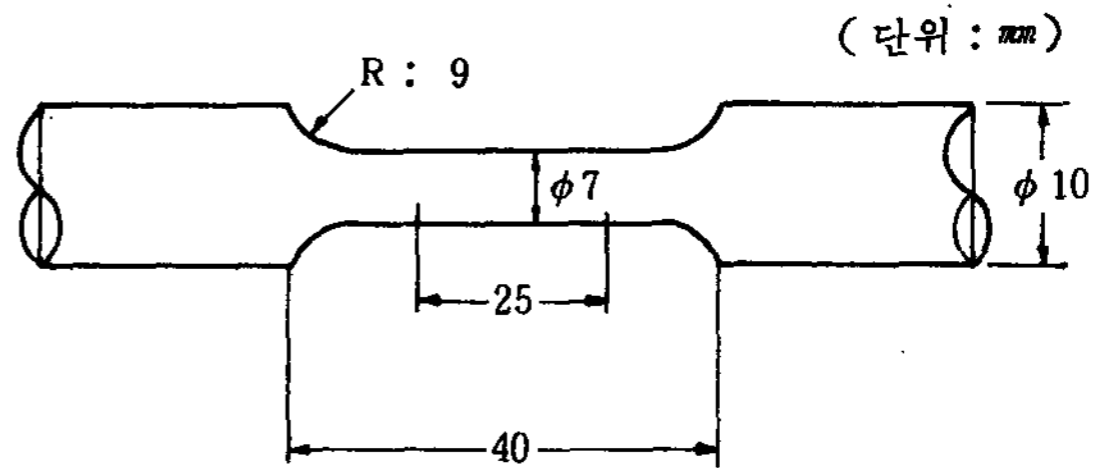


그림 3. 인장 시험편의 모식도

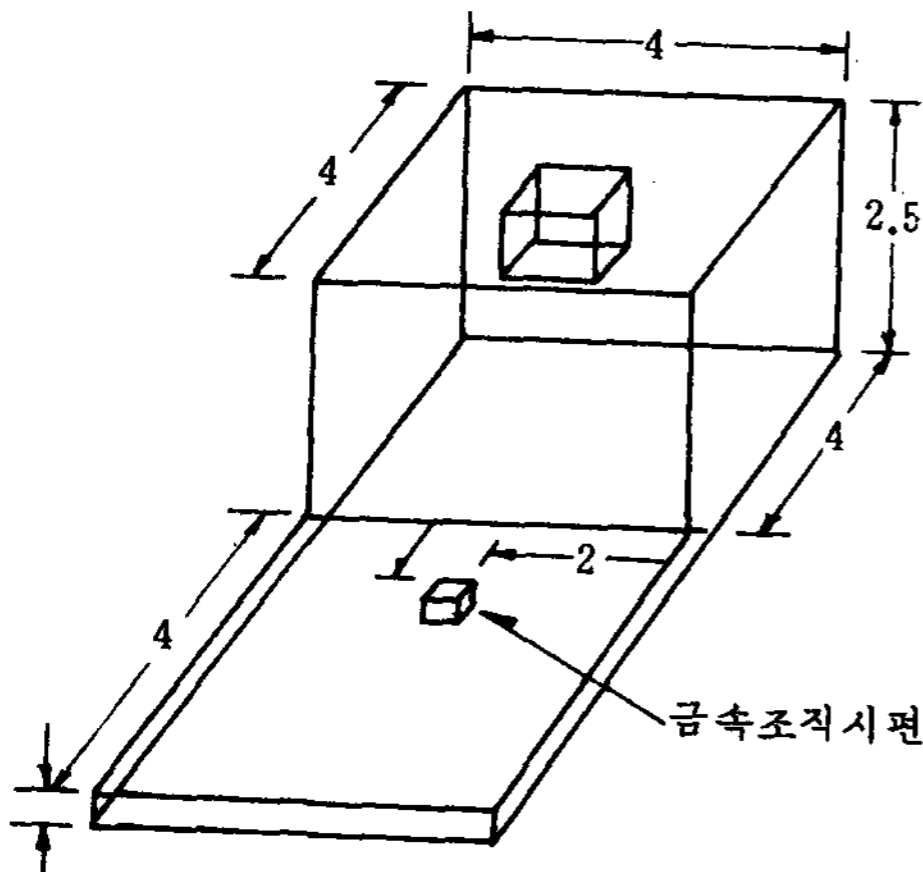
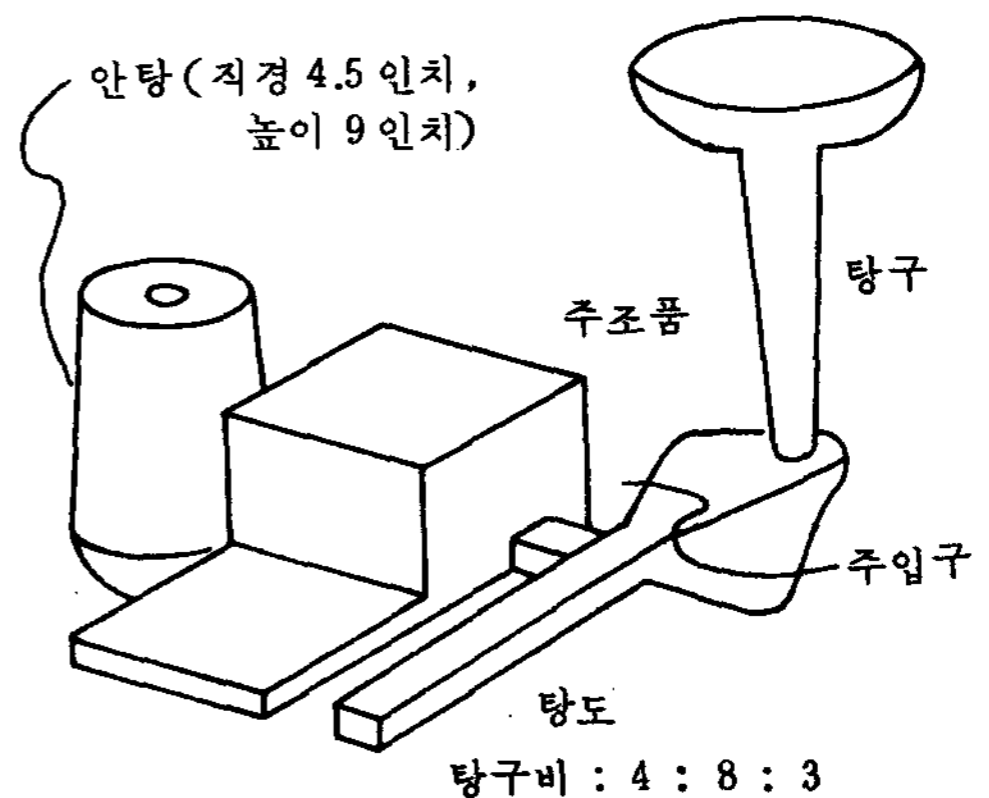


그림 2. 드로스시편 모식도



3. 실험 결과 및 검토

3-1. 화학 성분의 변화

10# 보온로에서 용탕의 유지시간에 따른 화학 성분의 변화를 표2에 나타내었다. 표2에 나타난 바와 같이 용탕의 고온 유지시간이 길어질수록 C함량은 감소하는 반면에 Si함량은 약간씩 증가하는 양상을 나타내고 있으나 그다지 큰 변화는 나타내지 않았으며 그 밖의 합금 원소인 Mn, P, S량은 용탕의 유지시간에 관계없이 거의 변하지 않았다. 이것은 용탕의 유지시간이 길어질수록 C의 탈탄 현상 및 용탕 중의 C과 로벽의 SiO₂가 반응하여 C의 산화 반응에 의하여 C은 감소하는 반면에 Si함량은 다소 증가된 것이라고 생각되어 진다.

3-2. 칠 시험

표 3 및 그림4는 용해완료후 1500℃에서 용탕 유지시간에 따른 칠 시험 결과를 나타낸 것으로 시간이 경과함에 따라 칠의 깊이가 증가하는 경향을 나타내고 있다. 용해 완료후 30분 유지한 후 칠 시험한 결과 칠이 매우 급속한 속도로 형성 되었으나 30분 이후 2시간까지는 다소 빠른 속도로 형성되었다. 그러나 2시간 이후는 시간이 경과할수록 매우 느리게 형성되어 감을 알 수 있다. 이것은 용해완료 후 고온에서 장시간 유지할수록 용탕내의 탄화물 형성속도가 초기에 매우 빠르나 임계시간 이상이 되면 느려지기 때문 이라고 생각된다.

표 3. 칠깊이 (단위 : mm)

시간 깊이	30 분	1 시간	2 시간	3 시간	소결
칠 깊 이	7	10.5	12.8	13.7	15.7

3-3. 파면 시험

그림 5는 용탕의 유지 시간에 따라 Mg처리 후의 파면 상태의 변화 과정을 나타내고 있다. 일반적으로 파면의 상태는 밝은 회색이나 어두운 회색을 띠게 되는데 밝은 파면은 퍼얼라이트이고 어두운 파면은 페라이트이다. 그림에서 보는 바와 같이 용탕의 유지 시간이 길어질수록 파면의 상태가 밝은 회색을 띠어 감을 볼 수 있으며 또한 파면의 입자가 다소 크게 보여짐을 알 수가 있다.

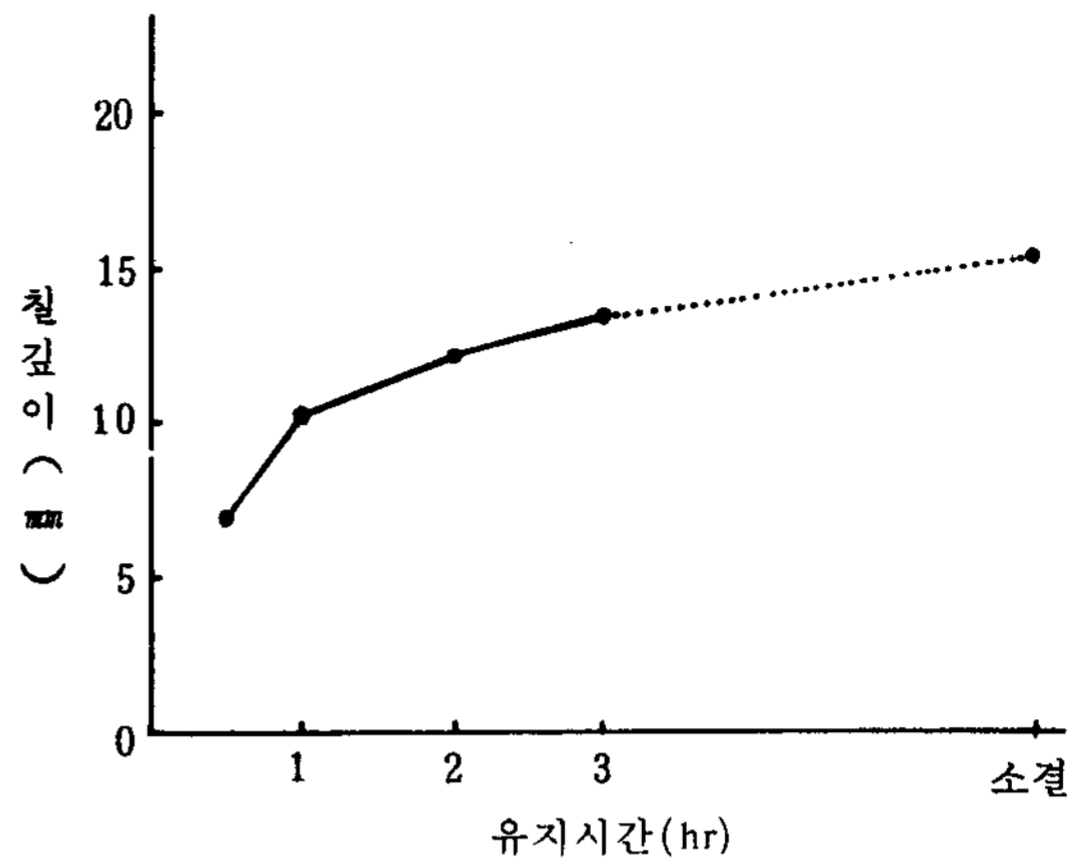


그림 4. 유지시간에 따른 칠 깊이 변화량

3-4. 내부 결함 시험

그림 6은 용탕의 유지 시간에 따른 내부 결함의 상태를 나타낸 것으로서 a)는 유지 시간이 2시간, 잔류Mg량이 0.046%이고, b)는 유지 시간이 4시간, 잔류 Mg량이 다소 높은 0.056%이었다. 일반적으로 용탕의 유지 시간이 길어질수록, 잔류Mg량이 높을수록 편홀, 수축 및 그밖의 여러 결함을 일으킬 수 있는 경향이 커진다고 보고되어져 오고 있다. 그림에서 보는 바와 같이 2시간 유지했을 때까지는 내부 결함의 상태는 나타나지 않았으나 유지 시간이 길어 질수록 또한 잔류Mg량이 높을수록 내부 수축 결함이 나타나고 있다. 이것은 용탕의 유지 시간 및 높은 잔류Mg량으로 인하여 구상화 입자수, 입자 크기의 변화 및 기지 조직이 퍼얼라이트화하여 가기 때문이라고 생각된다.

3-5. 드로스 시험

그림 7은 용탕을 2시간 유지시켰을 때의 상태를 나타낸다. a) b)는 부식시키지 않은 상태이고, c)는 부식시켰을 때의 상태를 나타내며, a)는 시편의 바깥부분이고, b)는 중심부이며, c)는 부식시켰을 때의 시편의 중심부의 현미경 조직 상태를 나타낸다. 그림에서 보면 시편의 바깥 부분에는 미세한 탄소의 부유(Carbon Flotation)상태가 나타났으며, 중심부로 갈수록 탄소의 부유상태는 없어지고 마그네슘과 실리콘의 산화에 의한 마그네슘 실리케이트(magnesium silicate)로 형성된 개재물을 볼 수 있으며 또한 c)는 부식했을 때의 중심부의 조직으로서 페라이트 기지 조직내에 마그네슘 실리케이트의 개재물




	<p>(a) 1 시간</p>
	<p>(b) 2 시간</p>
	<p>(c) 3 시간</p>

그림 5. 유지시간에 따른 파면상태의 변화
(6)

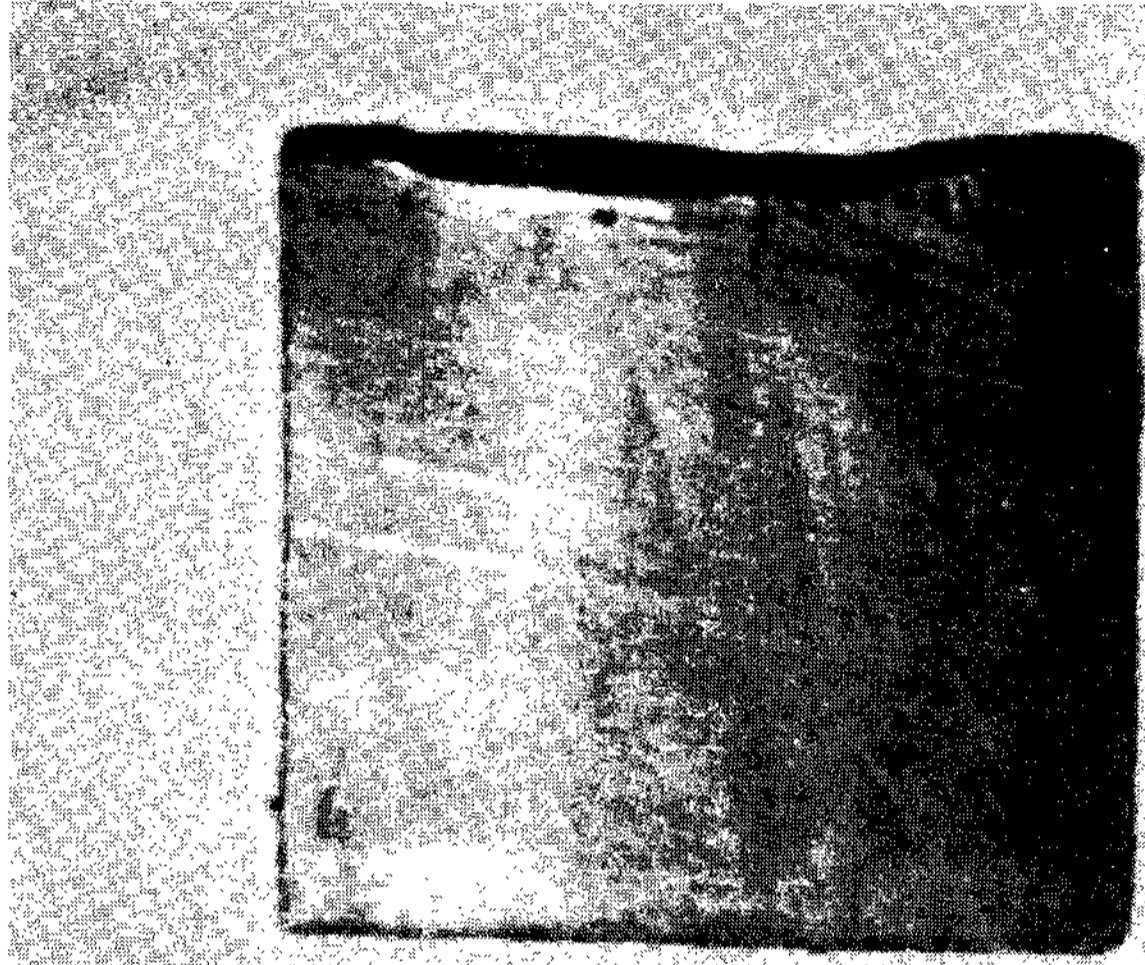
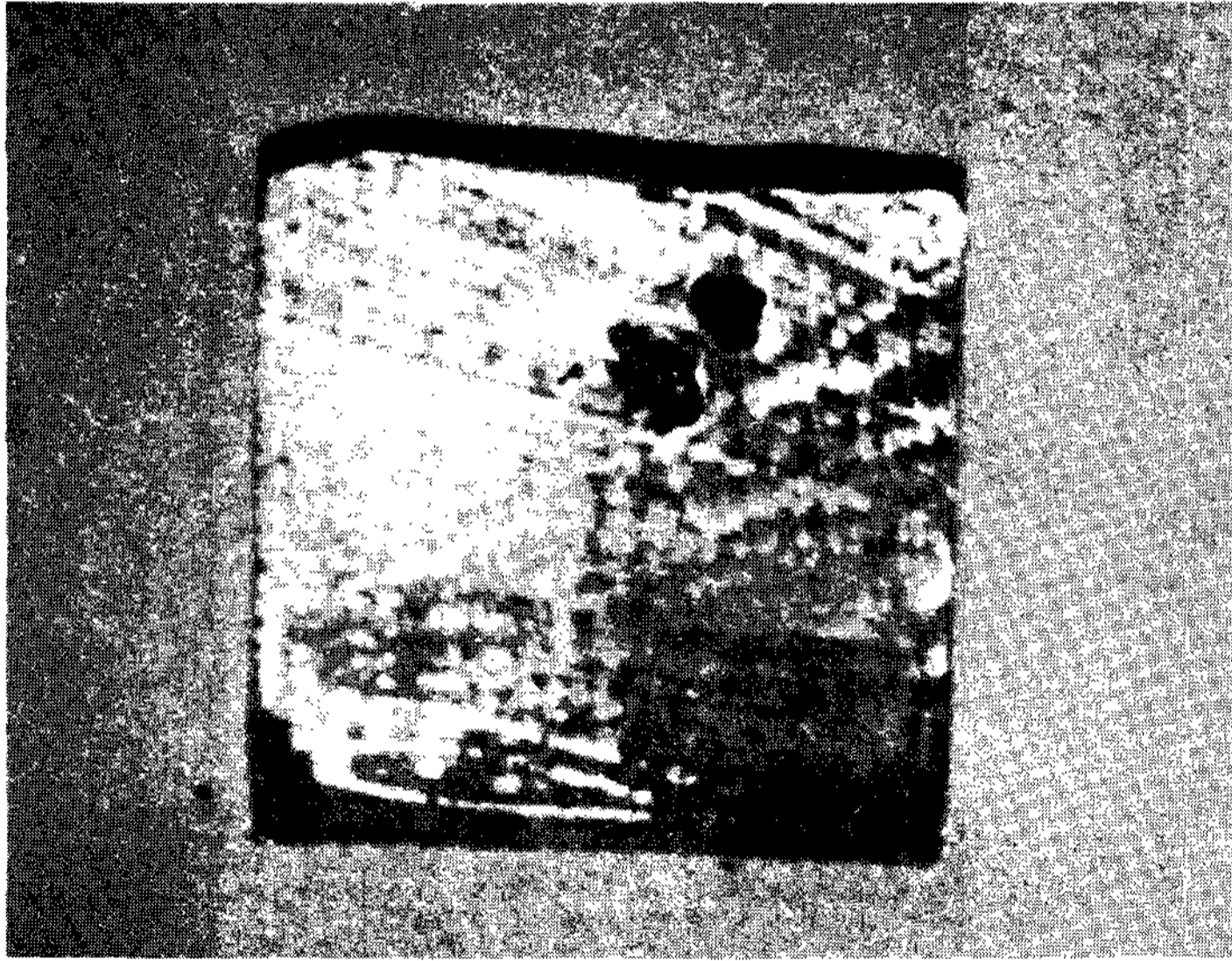
	<p>유지시간 : 2 시간 (a) 주입온도 : 1407 °C 잔류 Mg : 0.046</p>
	<p>유지시간 : 4 시간 (b) 주입온도 : 1419 °C 잔류Mg : 0.056</p>

그림 6. 유지시간에 따른 내부결합

이 흑연과 함께 엉켜져 있음을 볼 수 있다. 이것은 탄소 당량, 높은 잔류Mg량 및 냉각 속도의 영향이라고 생각된다.

3-6. 구상화 측정

그림 8은 용탕의 유지 시간에 따른 구상 흑연 입자수 및 크기를 나타낸 것이다.

3-6-1. 구상화 입자수

그림 8에서 보는 바와 같이 용탕의 유지 시간이 길어질수록 구상 흑연 입자수가 감소 되어 감을 알

수 있다. 이는 용탕의 유지 시간이 길어 질수록 용탕 내에 존재하는 Si가 고온에서 O와 반응하여 흑연 정출에 필요한 SiO₂가 형성 되지만 용탕중의 C와 반응하므로 용탕내의 O가 결핍되고 흑연 핵생성에 필요한 SiO₂가 감소하게 되며 또한 C의 고온의 용탕에 장시간 접촉하게 되므로 C의 확산으로 인하여 흑연 핵으로 작용할 수 있는 미세탄소가 소멸되어 감으로서 용탕이 고온에서 유지 시간이 길어 질수록 구상 흑연 입자수가 감소되어 질 것이라고 생각 되어 진다.

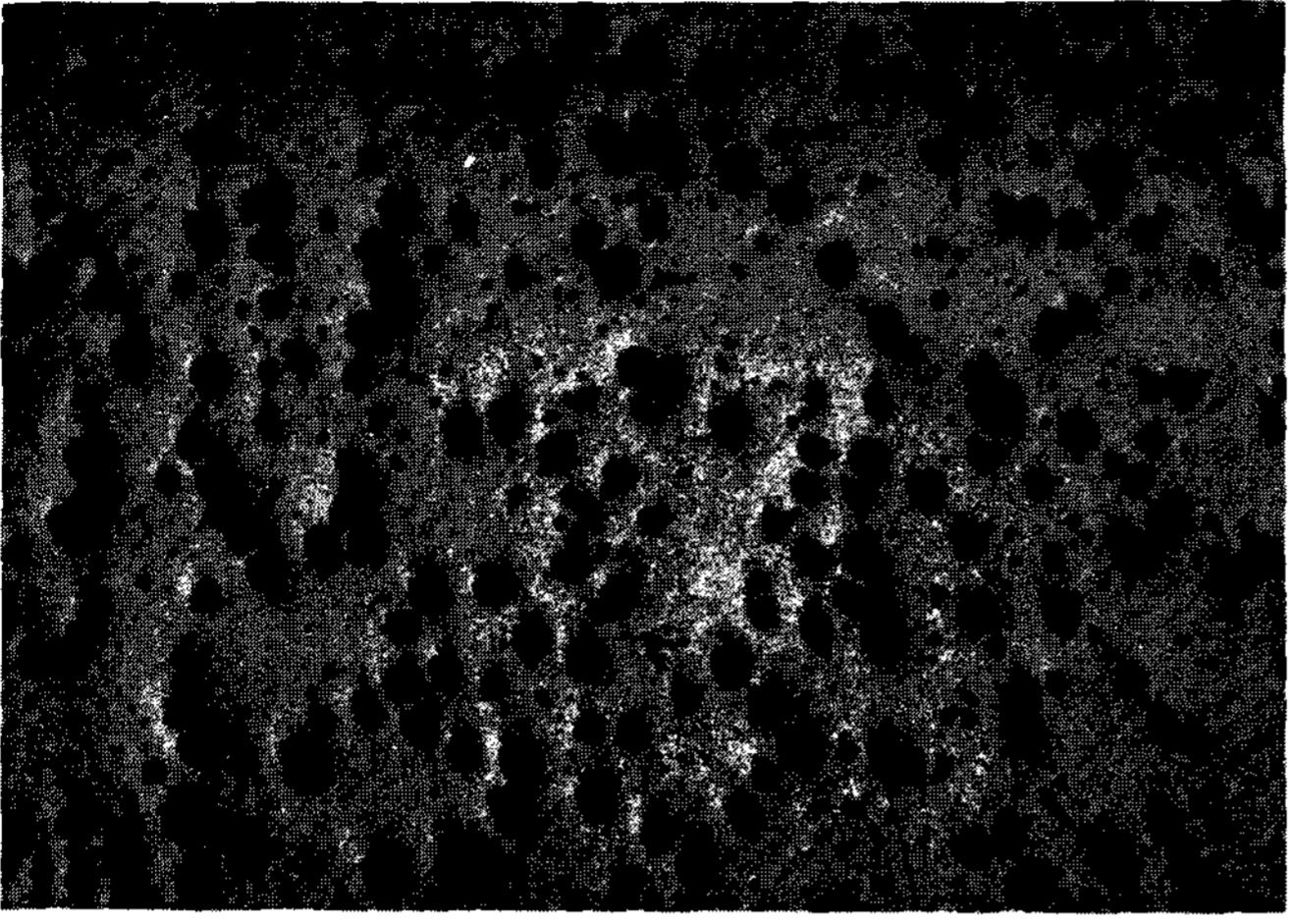
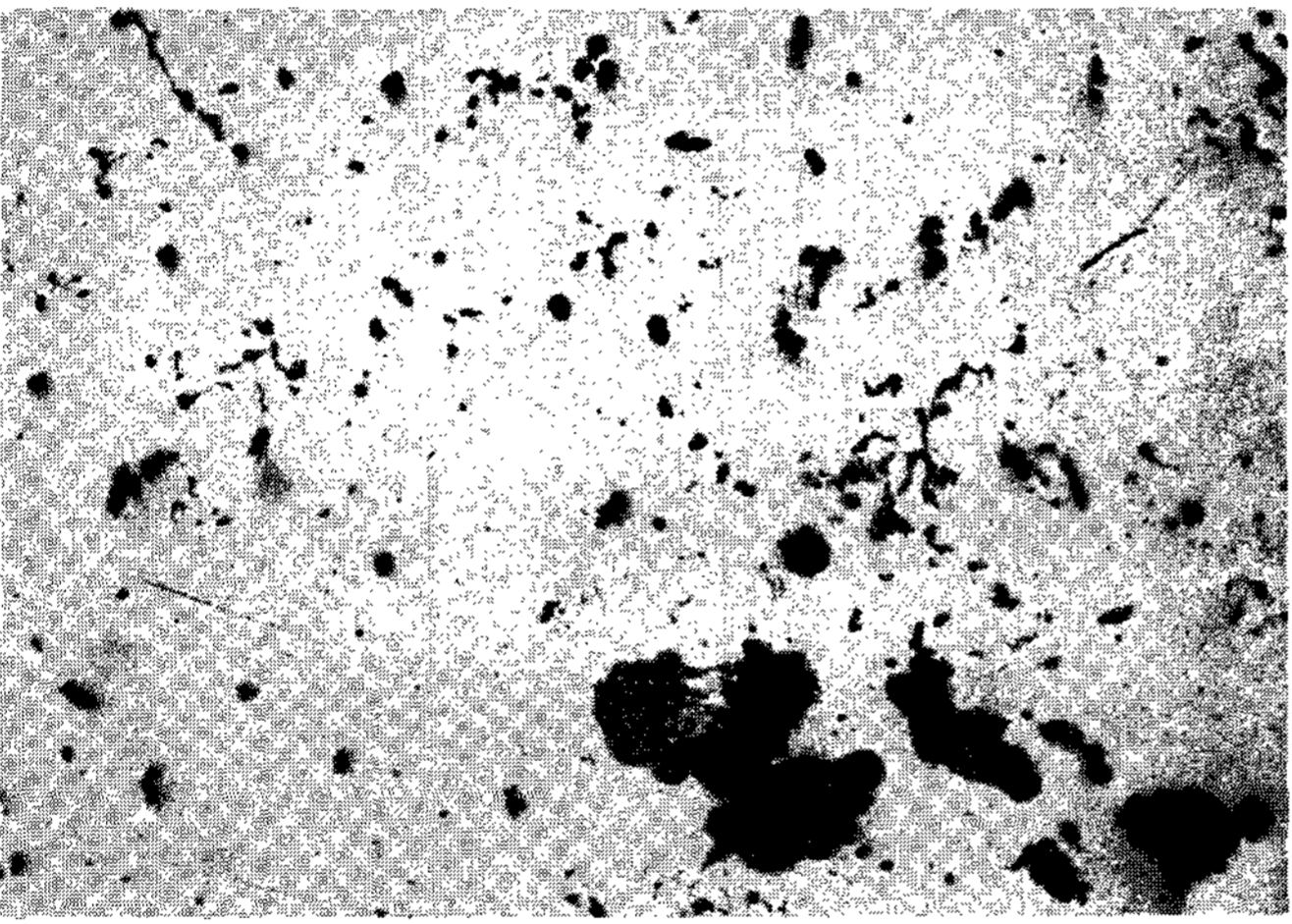
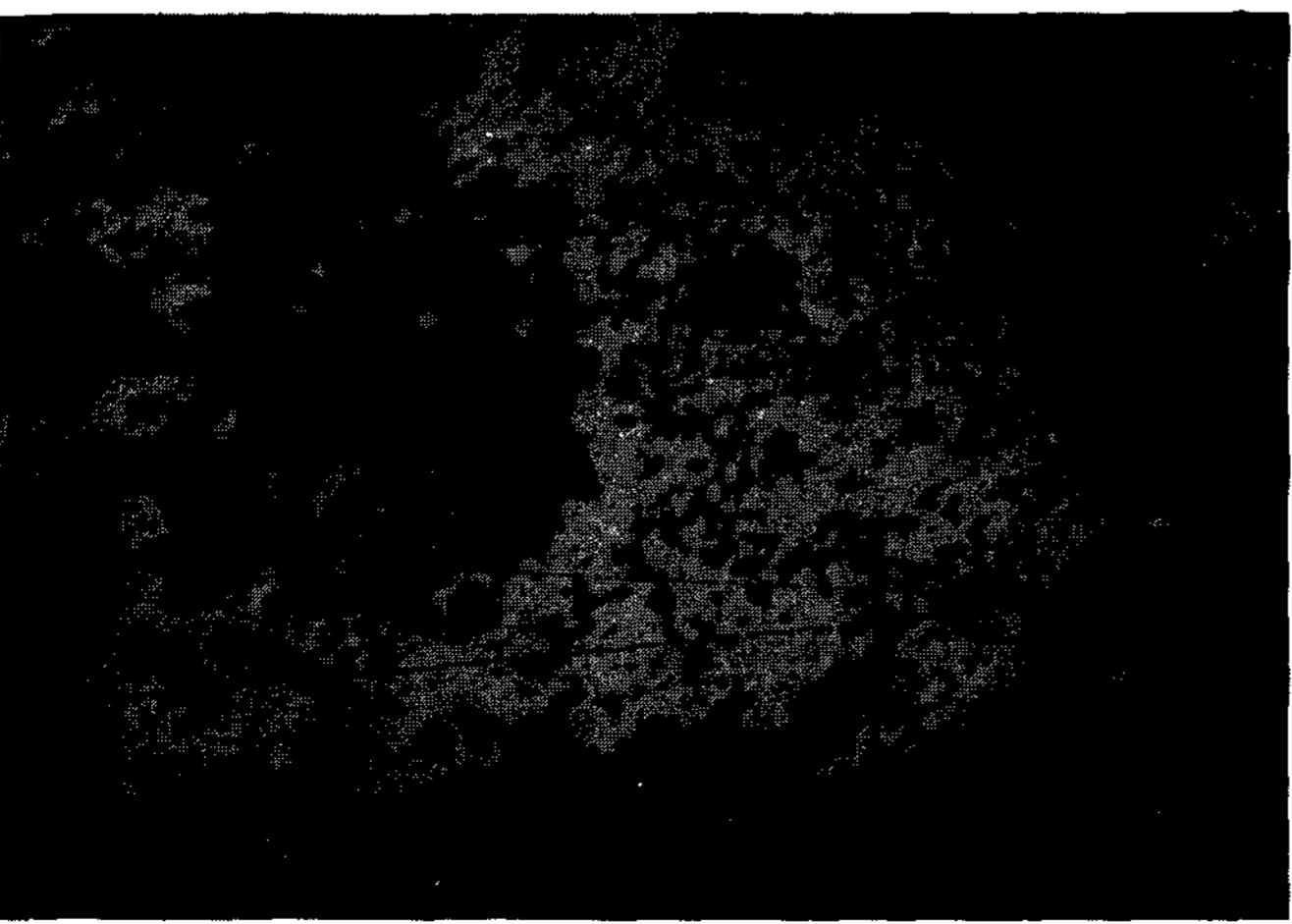
	<p>(a) 외 부 unetched 유지시간 : 2 시간</p>
	<p>(b) 중 심 부 unetched 유지시간 : 2 시간</p>
	<p>(c) 중 심 부 etched 유지시간 2 시간×50</p>

그림 7. 2시간 유지했을때 조직 (드로스 변화)

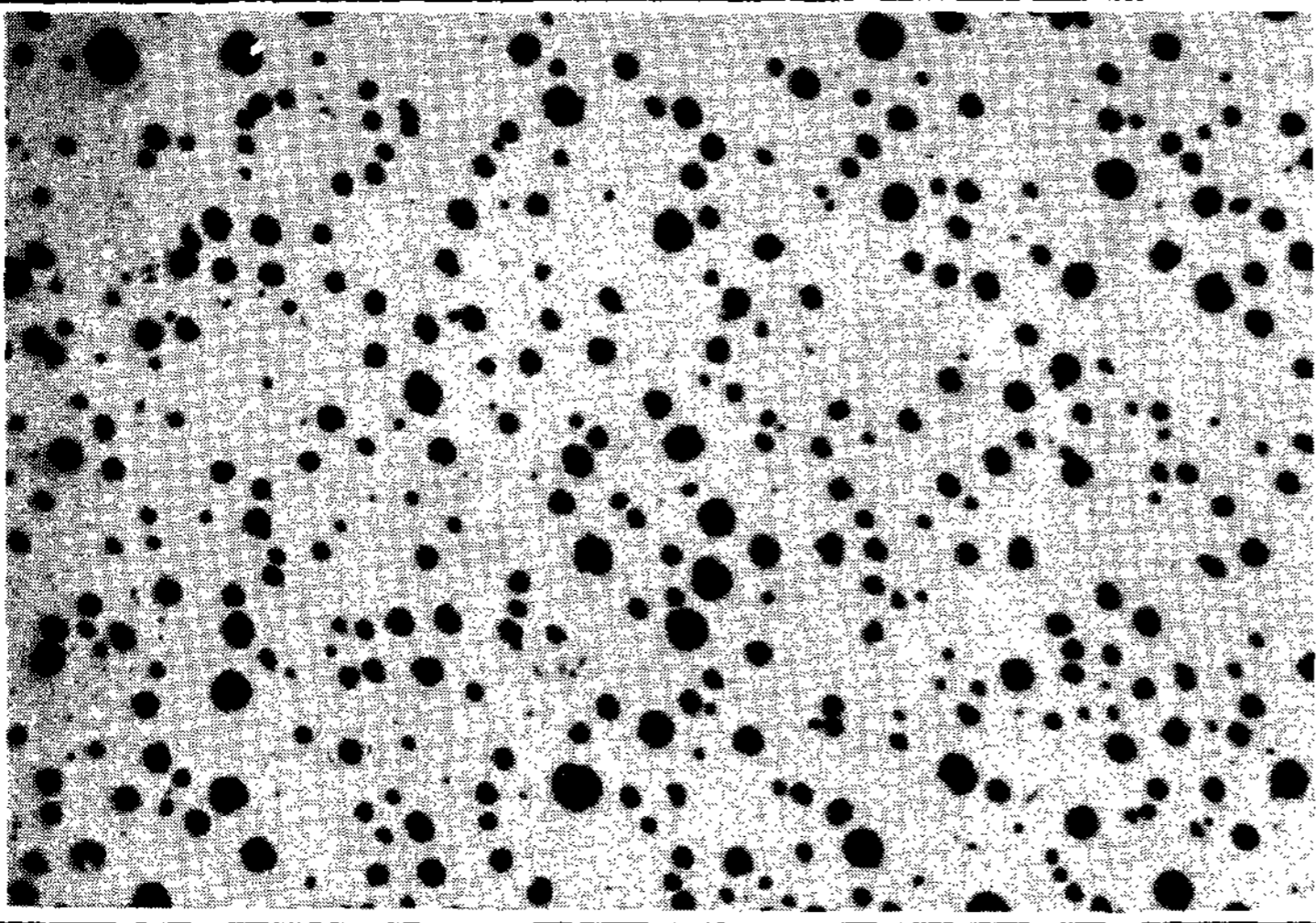
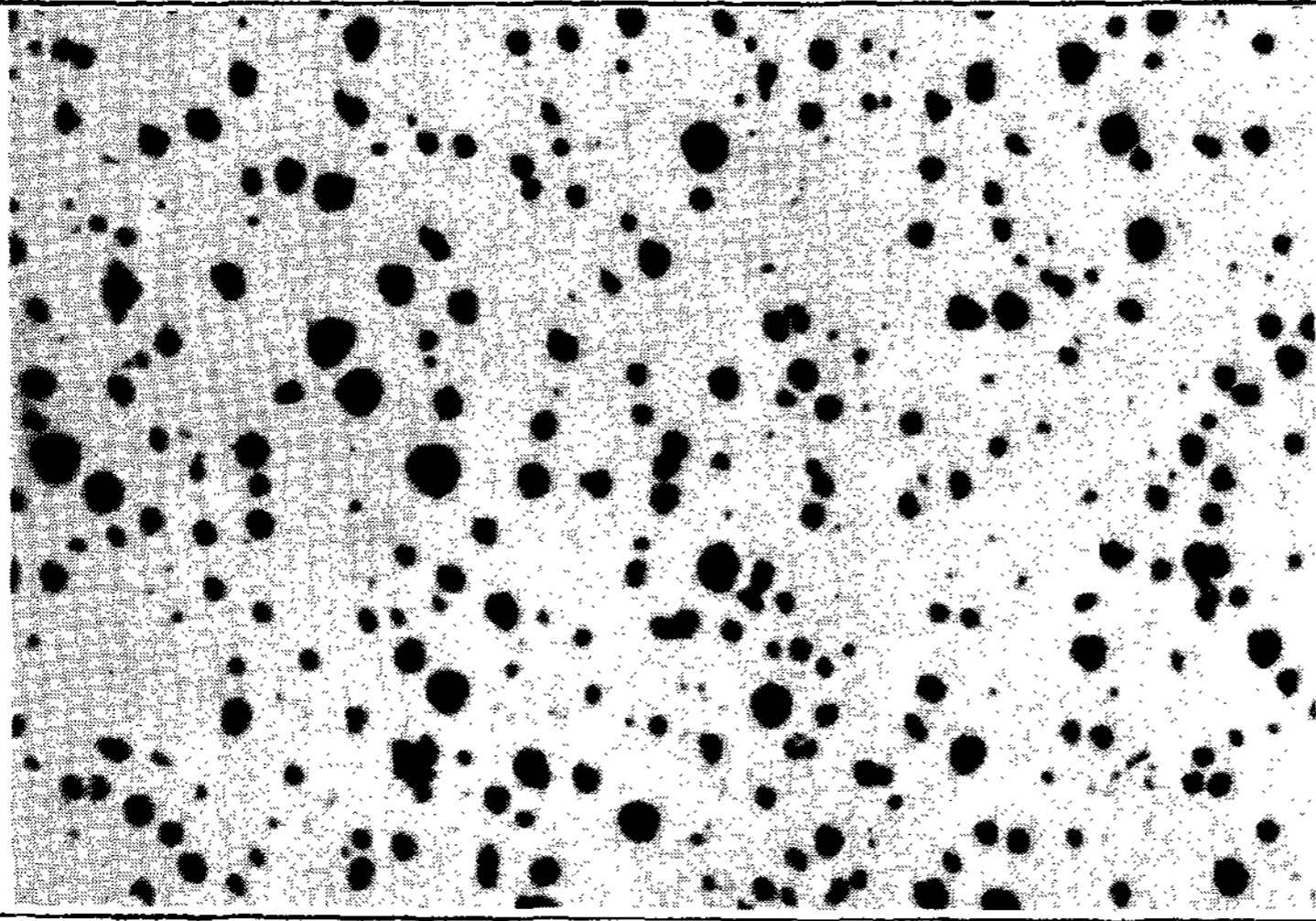
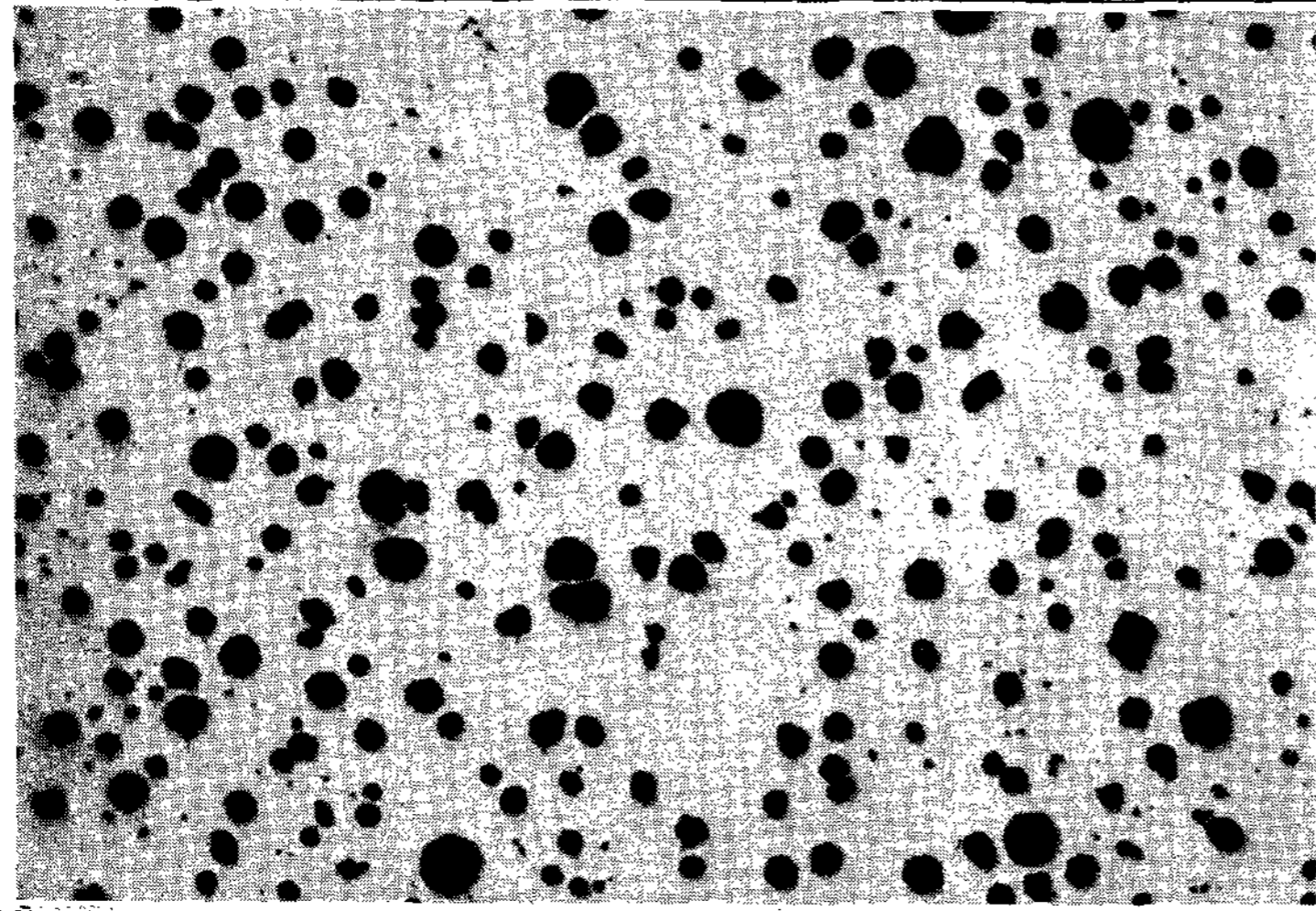
	<p>유지시간 : 1 시간 (a) 입자수 : 384 / mm³ 입자크기 : 약 20μ 구상화율 : 90% 이상</p>
	<p>유지시간 : 2 시간 (b) 입자수 : 324 / mm³ 입자크기 : 약 25μ 구상화율 : 90% 이상</p>
	<p>유지시간 : 4 시간 (c) 입자수 : 301 / mm³ 입자크기 : 약 30μ 구상화율 : 90% 이상 ×100</p>

그림 8. 유지시간에 따른 구상화 입자수 및 크기의 변화

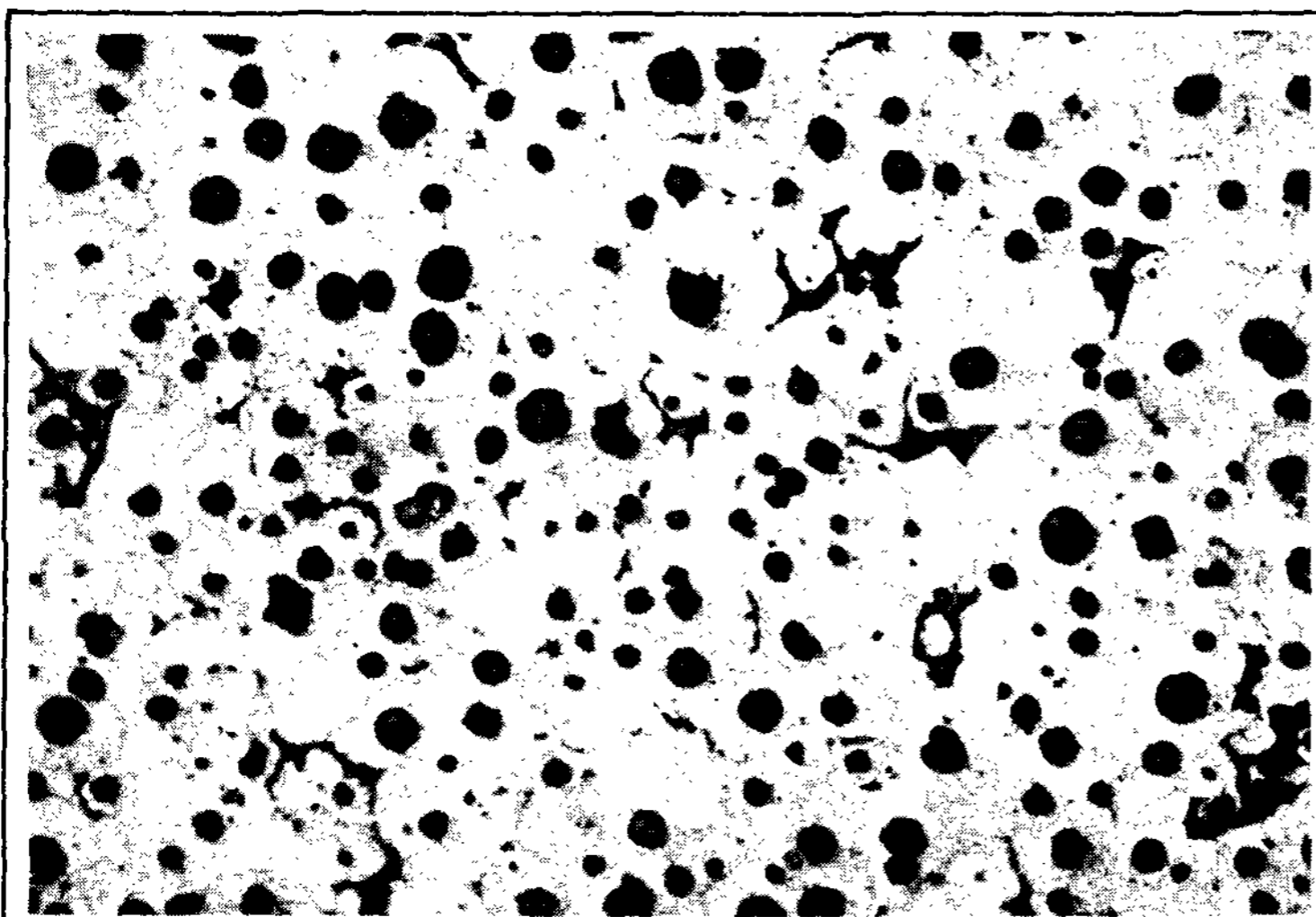
3-6-2. 구상화 입자 크기

Mg처리에 의하여 형성된 구상 흑연주위에 응고 과정에서 고Si농도의 고상오스테나이트가 둘러 싸여 지게 되는데 응고시 Si의 영향으로 탄소의 활동도를 증가시킴으로서 구상화 입자수가 커져가며 또한 고온 용탕에 장시간 접촉함으로써 흑연 핵으로 기여하지 못한 미세탄소가 결정 입계를 통하여 확산하여 감으로서 구상화 입자가 조대화 되어져 간다고 생각되어 진다.

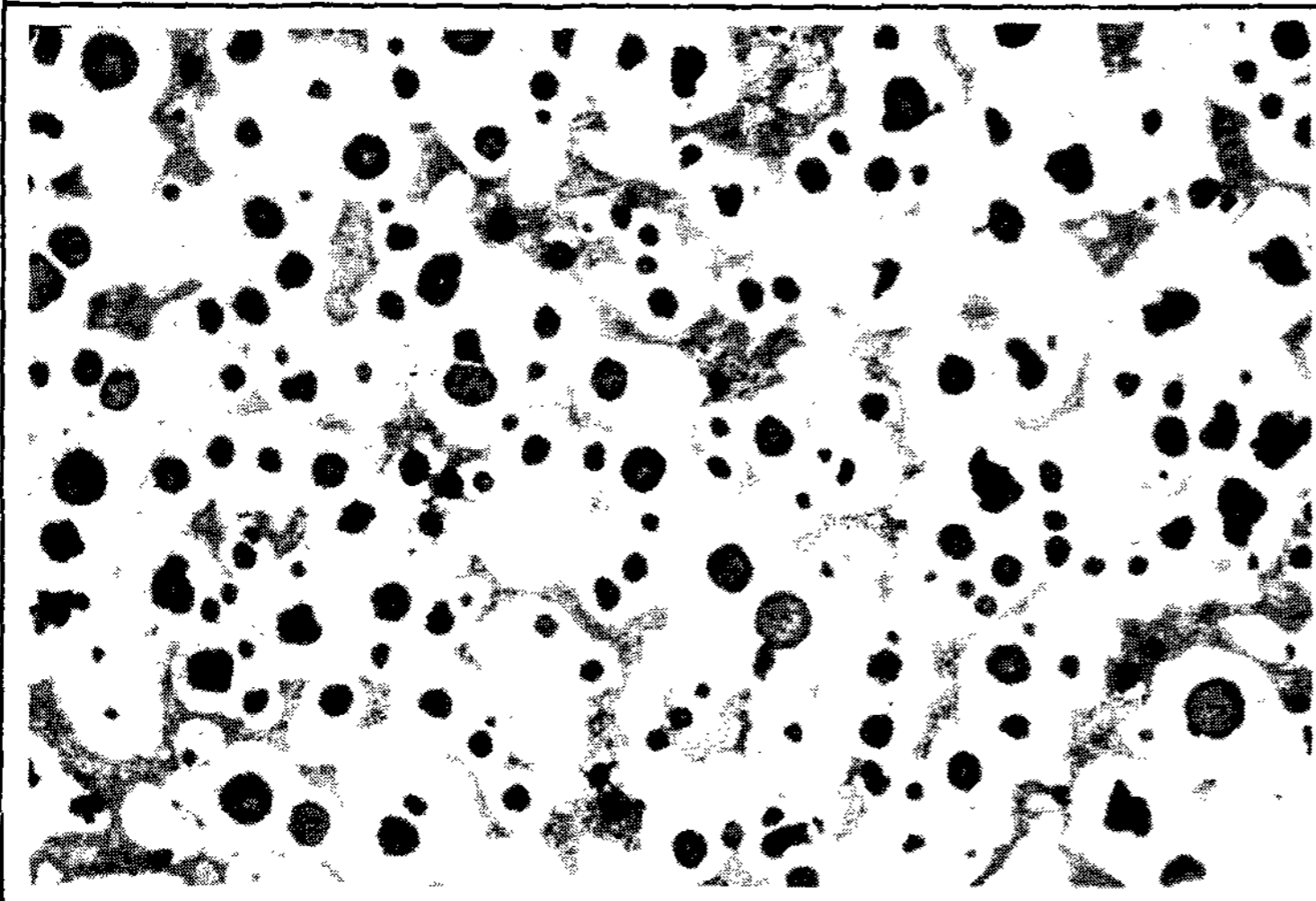
3-7. 기지 조직의 변화

그림 9는 용탕의 유지 시간에 따라 기지 조직이 변화하여 가는 상태를 나타낸 것이다. 그림 9에서 용탕의 유지 시간이 길어질수록 기지 조직내의 퍼얼라이트량이 증가되어 감을 알 수 있다. 2시간 이

전의 경우 시간이 경과함에 따라 퍼얼라이트량은 상당히 증가되고 있으나 2시간 이후의 경우 퍼얼라이트량이 조금씩 증가하여 가고 있다. 그러나 장시간 유지하였을 경우 구상화입자수가 감소되어 감에 따라 기지 조직이 거의 퍼얼라이트화 되어 감을 알 수 있다. 일반적으로 구상 흑연 주철의 퍼얼라이트는 공정셀 사이에 형성되어 지고, 퍼얼라이트량은 구상화 입자수가 감소함에 따라 증가하며 또한 구상화 입자수가 작을수록 철을 형성하려는 경향이 크다고 보고되어 지고 있다. 따라서 앞에서 살펴 보았듯이 용탕이 고온에서 장시간 유지될수록 철 깊이는 증가하여 가고 구상 흑연 입자수가 감소되어 가기 때문에 조직의 퍼얼라이트량이 증가되어 진다고 생각된다.



(a) 유지시간 : 30분
F:P=95:5



(b) 유지시간 : 1 시간
F:P=80:20

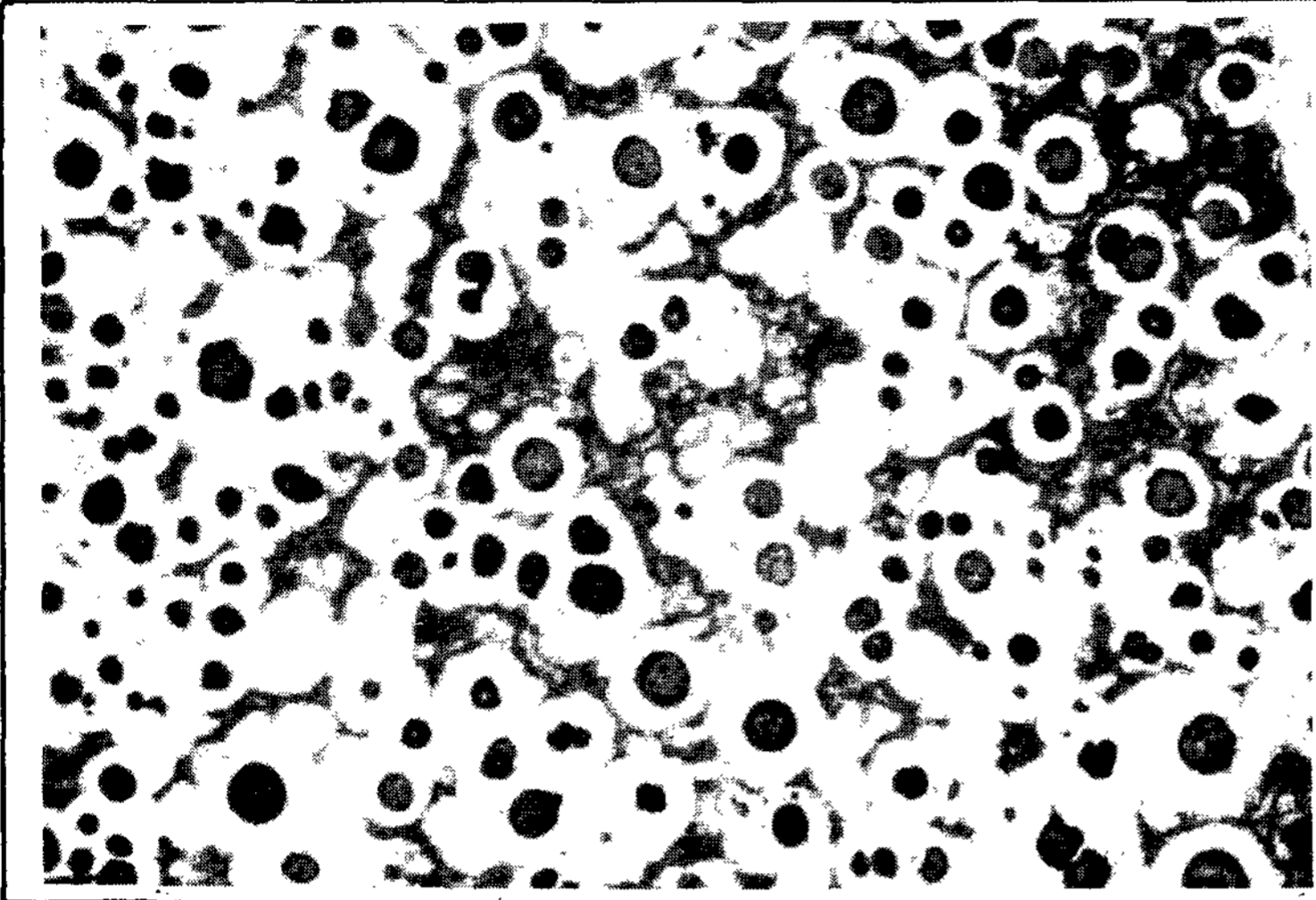
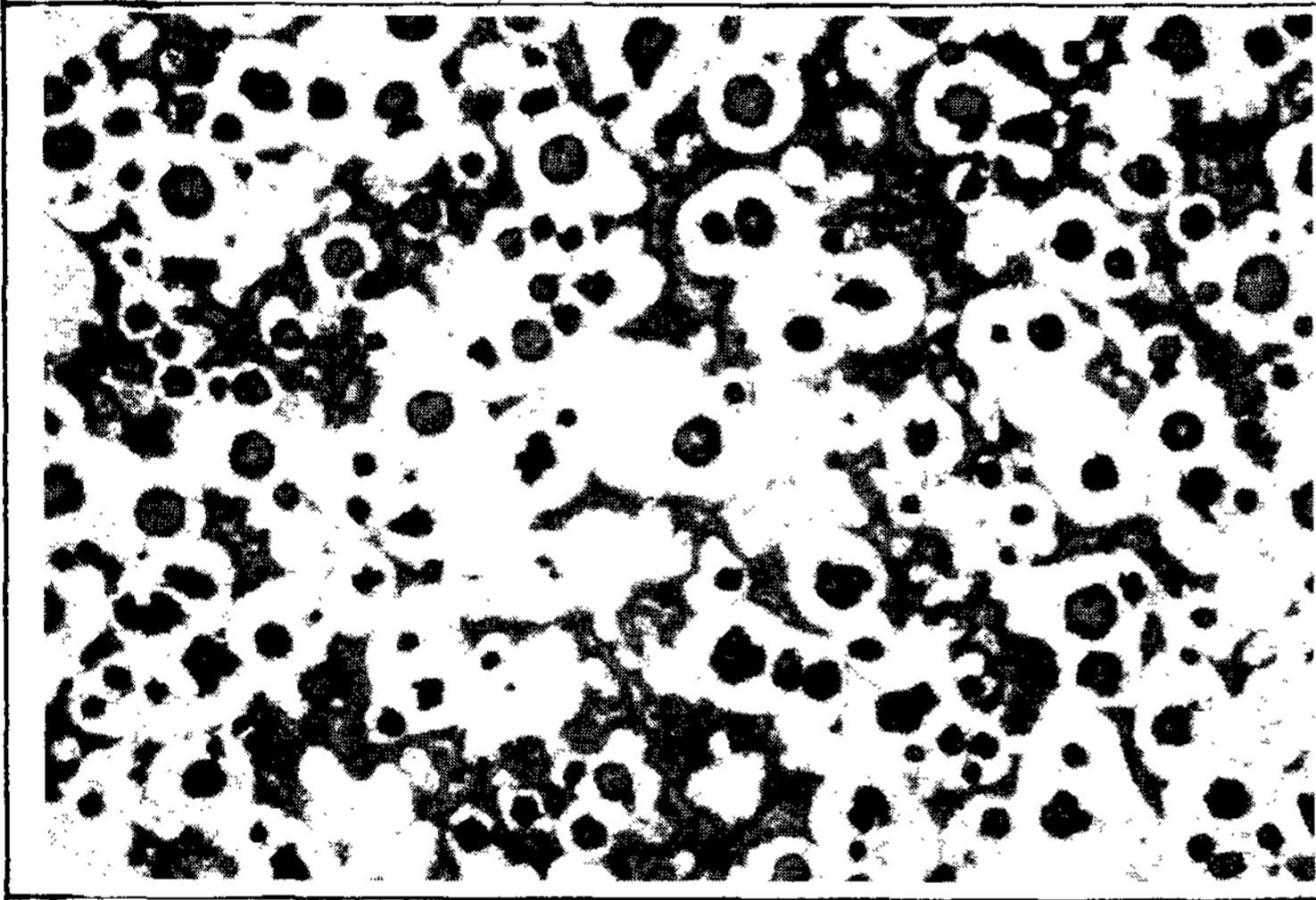
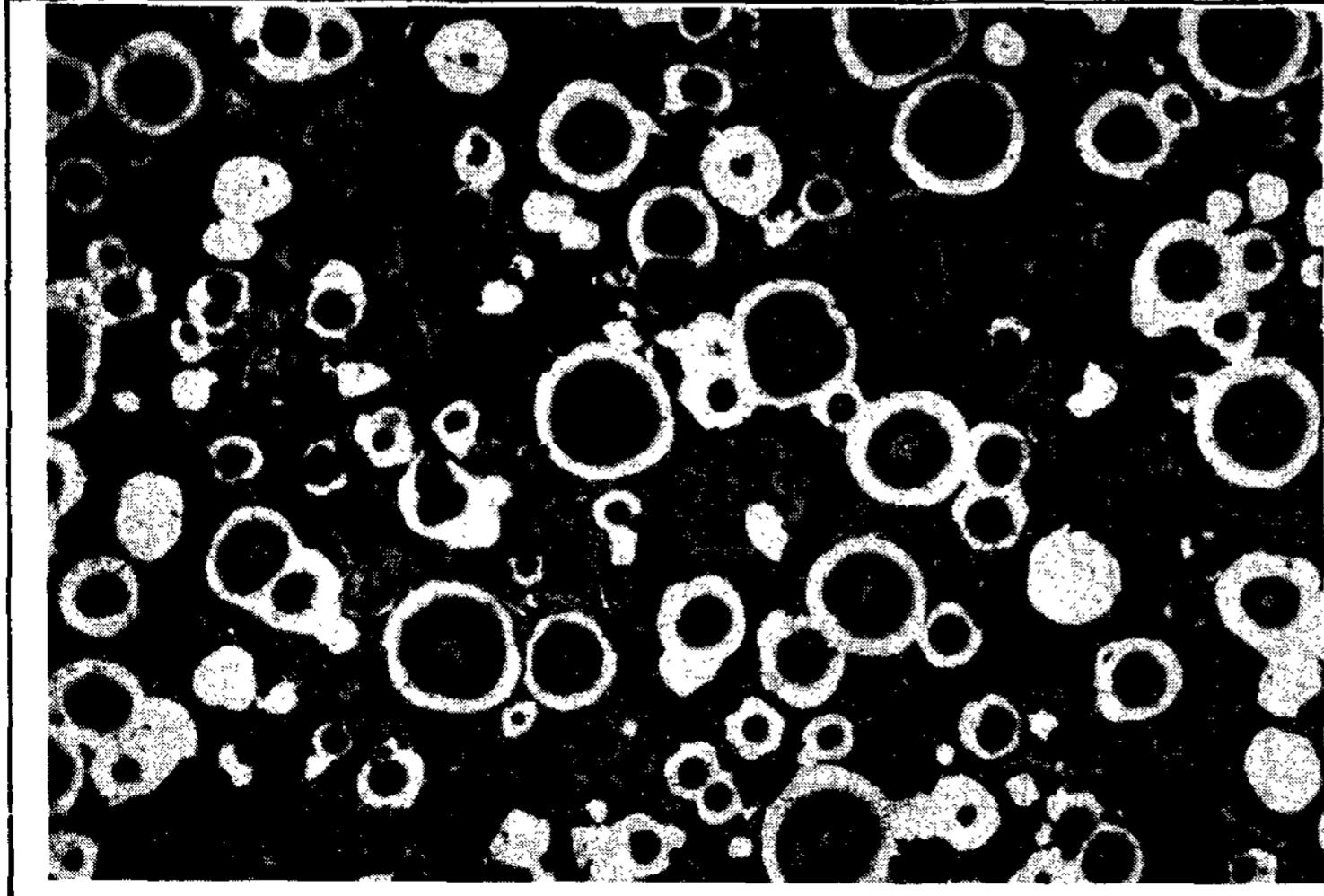
	<p>(c) 유지시간 : 2 시간 F:P=70:30</p>
	<p>(d) 유지시간 : 4 시간 F:P=60:40</p>
	<p>(e) 유지시간 : 10 시간이상 F:P=15:85</p>

그림 9. 유지시간에 따른 기지조직의 변화

3-8. 기계적 성질 변화

그림 10은 Cu를 0.4% 첨가 하였을 때의 시간에 따른 기계적 성질의 변화를 나타낸 것이다. 그림 10에서와 같이 용탕의 유지 시간이 길어질수록 경도 및 인장 강도는 낮아져 가며 3시간이 지나면서 경도 및 인장 강도는 급격히 낮아지기 시작하고, 저온 용해하여 장시간 유지된 용탕 (∴ 일반적으로 측근 후 저온에서 용해하는 경우와 같음)의 경우 이러한 현상이 뚜렷 하게 나타나고 있다. 또한 소결한 용탕 50%에 새로운 용탕 50%를 혼합 하였을 경우 비록 용탕의 유지 시간이 없었을지라도 2시간 유지한 용탕이 가지는 물성치 정도를 나타내고 있다. 한편 연신율의 경우를 보면 용해 완료후 1시간 까지는 연신율이 거의 같은수준을 나타내지만 유지시간이 길어질수록 경도가 낮아짐에 따라 증가하는 현상을 보이나 소결한 용탕의 경우 경도가 낮을 지라도 7% 정도의 수준을 나타내고 있다. 그러나 소결한 용

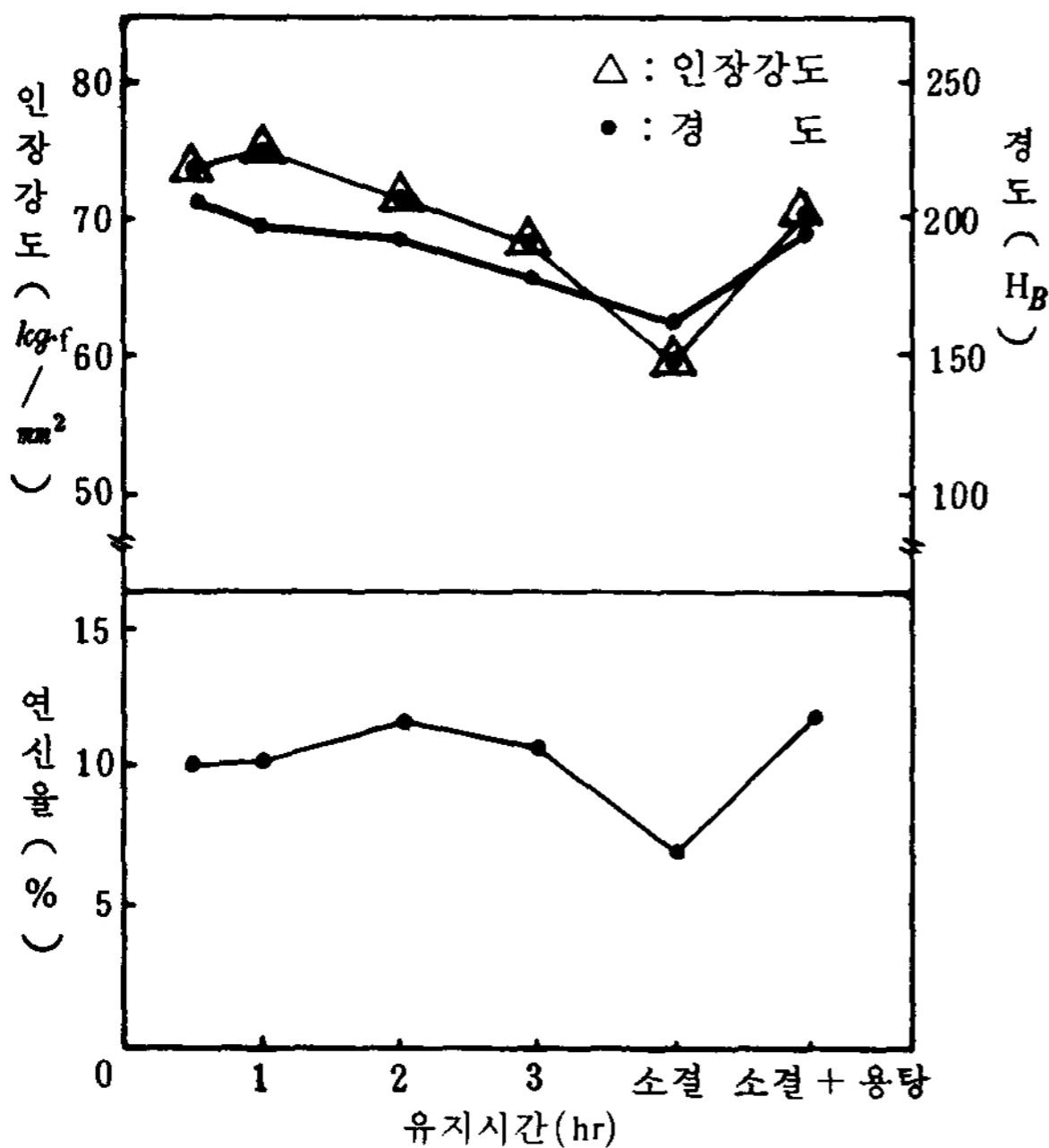


그림 10. 유지시간에 따른 기계적 성질 변화

탕에 새로이 용해한 용탕을 혼합하였을 경우 12% 수준으로 나타났다. 이러한 현상은 앞에서 언급하였듯이 구상화 입자수, 입자크기 및 기지조직과 관계 되어질 것이라고 생각되어 진다.

4. 결론

구상 흑연 주철 제조시 보온로에서 용탕의 유지 시간에 따른 실험에서 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 화학 성분의 경우 용탕의 유지 시간이 길어질수록 C은 감소 하였으나 Si함량은 다소 증가하였으며 그밖의 합금 원소는 변하지 않았다.
2. 칠 시험 결과 용해 완료후 2시간 이내에 빠른 속도로 형성 되었으나 2시간 이후 칠 형성 속도는 매우 느림을 알 수 있었다.
3. 파면 시험의 경우 용탕 유지 시간이 길어질수록 파면의 상태가 밝은 회색을 띠어 감을 볼 수 있으며 또한 파면의 입자가 다소 크게 보여짐을 알 수 있었다.
4. 내부 결함 시험의 경우 용탕의 유지 시간이 길어질수록, 잔류Mg량이 높을수록 수축의 경향이 나타났다.
5. 드로스 시험의 경우 바깥부분에 탄소 부유 현상이 나타나며 중심부로 갈수록 산화에 의한 개재물이 나타났으며, 산화 개재물은 흑연과 함께 엉켜져 있음을 알 수 있었다.
6. 용탕을 장시간 유지할수록 흑연입자수는 감소 하였으며 입자 크기는 커져 감을 알 수 있었다.
7. 기지 조직의 경우 퍼얼라이트량은 용해 완료후 2시간 이전에 상당히 증가 하였으나 2시간 이후 증가량은 적어짐을 알 수 있었다.
8. 기계적 성질 시험 결과 시간이 경과함에 따라 경도는 낮아지는 반면에 연신율은 증가 하였으나 장시간 유지 하였을 경우 경도와 연신율이 함께 낮아졌으며 장시간 유지한 용탕에 새로운 용탕을 혼합 하였을 경우 2시간 유지한 용탕과 같은 수준의 물성치를 나타내었다.