

Ferrite형구상흑연주철제조에 관하여

차 재 천*
송 한 기**

1. 서 론

구상흑연주철이란 용탕에 어떤 처리를 하여 흑연이 구상으로 정출된 주철을 말한다. 1948년 영국의 H. Morrogh, W. J. Williams가 처음으로 Ce를 첨가함으로써 또한 동년 미국의 A. P. Gagnebin이 Mg를 첨가함으로써 구상흑연을 얻은 이래 벌써 30년이 지났으며 현재는 Ce, Mg은 물론 그 밖에도 Ca을 사용하여 그 제조는 보통화되고 있다.

구상흑연주철의 큰 특징인 흑연구상으로 말미암아 기계적성질은 편상흑연주철에 비하여 모든 점이 우수하며 강에 필적하는 인장강도, 피로강도를 지닌데다 내마모성이 우수하며 종래 주강, 가단주철, 단조강에서 만들어지던 강도를 필요로 하는 부품이 경제성 및 품질면에서 구상흑연주철로 전환하고 있으며 증가일로에 있다. 예로써 종래 가단주철로 제조되고 있던 각종 박주물인 자동차부품종의 데프캐리아, 스프링브라켓, 도아 힌지, 하브, 클러치페달과 같은 것과 농경 기계의 각종부품, 산업기계부품, 밸브류 등이다. 이것들의 전환이유로는 구상흑연주철품의 내력이 높으며 가단주철에 비해서 손이 덜 가고 코스트가 싸다는 이점외에도 다량생산시 기계 가공성이 주강이나 타 재료에 비하여 월등히 좋기 때문에 양산부품에 적합하므로 자동차 부품에서는 거의 구상흑연주철로 전환되고 있는 실정이다. 근래 구상흑연주철의 제조방법, 품질관리가 각별히 좋아진 것도 그 이유중의 하나이다. 이와같은 구상흑연주철은 모두 인장강도 40, 45 및 50 kg/mm²급의 것이 요구되며 기지내 cementite가 있어

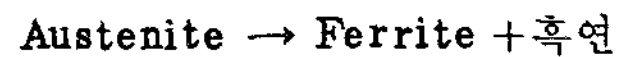
서는 않된다. 현재 구상흑연주철을 제조하고 있는 공장에서는 대개 이런 ferrite형 구상흑연주철을 제조하고 있으나 주문자의 특별한 요구가 있을 때는 인장강도 60, 70 kg/mm²등 pearlite 내지 martensite, austenite조직의 구상흑연주철이 만들어 지기도 한다.

여기에서는 일반적으로 가장 많이 제조, 사용되는 자동차부품용 구상흑연주철인 ferrite형을 아닝열처리를 하지 않고 주방상태에서 바로 제조할 때 현장작업시 문제될 수 있는 몇가지 사항에 대하여 살펴보기로 한다.

2. Ferrite형 구상흑연주철의 제조법

Ferrite형 구상흑연주철은 서론에서도 밝혔듯이 기지내 cementite가 석출치 않으면서도 대부분이 ferrite조직으로 되어 있어야 한다. 기지 ferrite조직을 얻으려면 austenite역으로 처음에 유지하고 그후 변태역으로 서냉하거나 또는 그것에 대해서 변태점이하의 온도로 유지하는 2단계의 아닝처리를 한다. 그러나 또 때에 따라서는 변태점 이하의 온도를 유지하는 것만의 로의 처리로 충분할 때가 있다. 즉 이말은 주방상태에서 직접 ferrite형 구상흑연주철을 얻을수 있다는 것이다. 물론 이때는 용해재료의 면에서 생각하여 고순도의 원료선을 사용하거나 또는 Si 함량을 조정하는 병행작업이 필요하다.

Ferrite조직은 A₁ 변태점이 서냉될 때



또는 $\text{Austenite} \rightarrow \text{Pearlite} \rightarrow \text{Ferrite} + \text{흑연}$ 이라고 하는 변태에 의해서 생긴다. 이때 Mn,

* 신한주철주식회사 생산 2과 과장
** 신한주철주식회사 생산 2과 기사

Cr, Sn, Cu 등의 ferrite 화 저해원소가 적고 Si 함유량이 높을수록 용이하다. 한편 주물의 살두께나 냉각속도에서 보아 그것이 서냉될수록 ferrite 조적이 되기 쉽다. 그러나 두께가 50 mm 이상의 주물에서는 ferrite 화 저해원소의 편석이 일어나서 오히려 ferrite 화 하기 힘들게 된다. 기지속의 ferrite 양은 흑연구상화가 완전하다고 한다면 인장강도 40 kg/mm^2 정도에서도 60% 이상이면 규격치를 만족할 수가 있다.

ferrite 형 구상흑연주철을 열처리에 의하지 않고 주방상태에서 얻었을 경우의 이점에 대하여 생각해 본다면 ① 열처리에 의한 치수 및 형상변화를 막을 수 있다. ② 열처리작업을 위한 시설, 인원, 시간, 제조요경비를 줄일 수 있다. ③ 대량주문생산시 납기를 맞추기가 쉽다는 등 여러가지가 있기 때문에 제조공장에서는 ferrite 형 구상흑연주철 제조에 관한 작업표준, 공정 및 인원관리, 작업조건 등에 대하여 철저히 계획을 세워 놓아야만 한다.

ferrite 형 구상흑연주철의 제조법중 용해법에 대하여는 생략하기로 하고 당사에서 행하고 있는 흑연구상화처리, 접종방법, 주입방법에 대하여 설명하기로 한다.

2-1 흑연구상화처리

흑연구상화의 첨가금속으로서는 보통 Mg 또는 Mg계 합금이 사용되며 기타 Ca계 합금이나 희토류원소합금이 실용화 되고 있다. 또 최근에는 Fe-Si 만의 첨가에 의한 방법도 개발되어 있다. 첨가량은 용탕내 S의 양, 주물살두께에 따라서 달라진다.

(1) 첨가법

구상화제의 첨가방법은 표면첨가법, 치주법, 플러저법, 샌드위치법, 압력첨가법, 요동 ladle 사용법등 공장조건에 따라 다르지만 1회 출탕량이 그리 많지 않은 (500 kg 이하) 공장에서는 쉽게 작업할 수 있는 방법 및 흑연구상화처리 ladle의 구조는 그림 1과 같다. 이 때 출탕방법은 첨가금속과 간접적으로 반응하게끔 출탕을 하며 이 때 첨가금속에는 약 0.5% 정도의 cover 제를 덮어주는 것이 효과적이다. cover 제로는 작은 철 scrap, 못뚝 등이 좋다. ladle의 높이는 예정 출탕량 높이의 1.5 배 이상이 되어야만 용탕과 첨가금속과의 반응시 용탕손실을 막을 수 있다. 출탕온도는 주물의 살두께에 따라 약 간씩 차이가 있지만 대개 1500°C 이상의 온도에

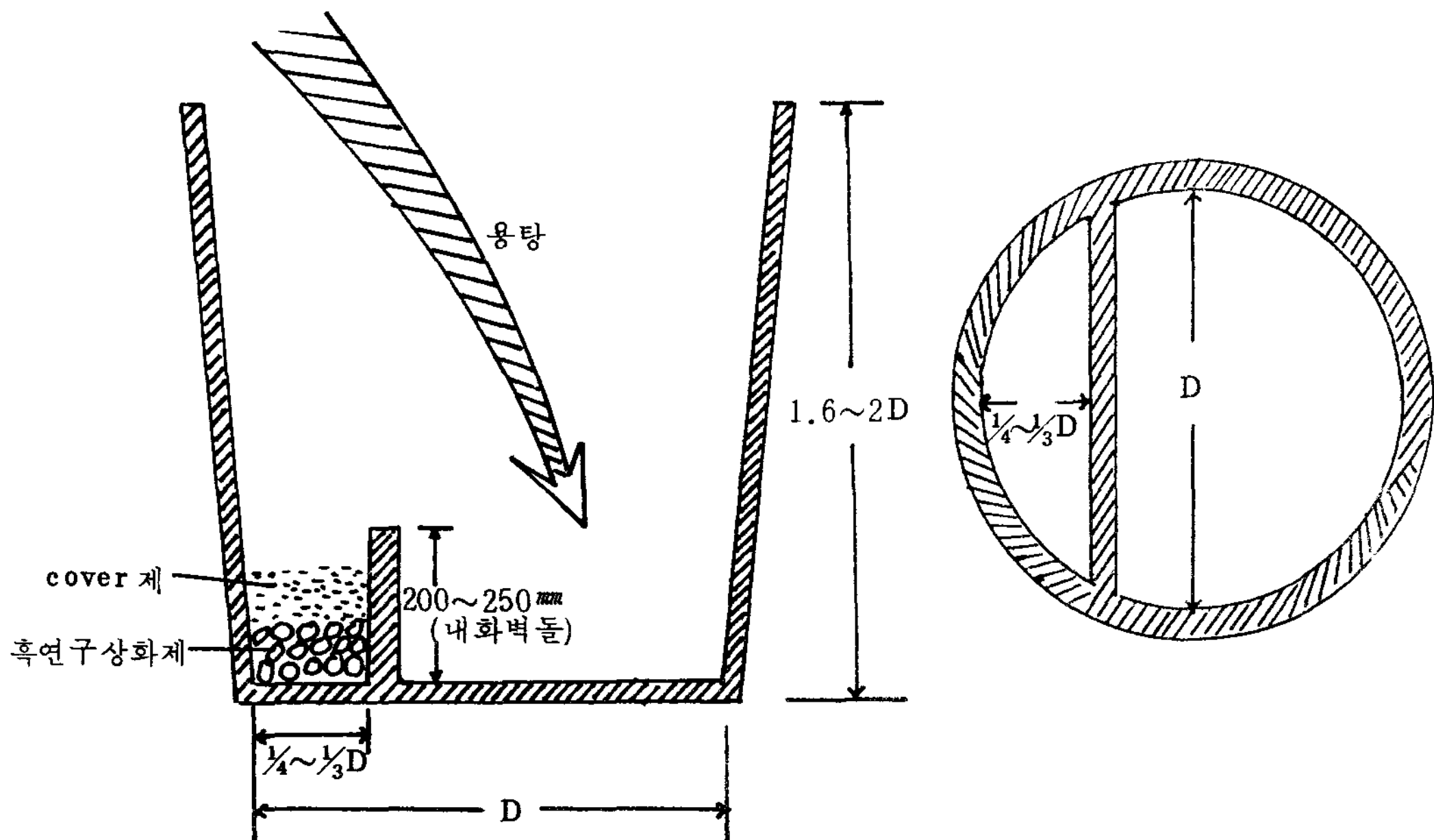


그림 1 구상화 처리 ladle 구조

서 출탕을 해야만 어느정도 주입온도를 맞출 수가 있었다. 그러나 출탕온도를 너무 높여 1600℃ 이상이 되었을 때에는 구상화첨가금속과의 반응이 더욱 격렬하였으며 자세한 이유는 확실치 않으나 흑연구상이 완전히 형성되지 못한 것과 또 곳곳에서는 편상흑연이 그대로 잔존하고 있는 것을 발견할 수가 있었다. 적당한 출탕온도는 1500~1530℃ 정도가 무난하였다. 그러나 1500℃ 이상의 온도로 출탕을 하여도 구상화처리 ladle 이나 주입용 ladle 이 예열이 되어 있지 않으면 급격한 온도강하로 주입온도를 맞출 수가 없다. 출탕하기 전에 버너를 사용하거나 잠목등을 사용하여 온도강하 방지를 위한 충분한 예열작업도 중요한 일종의 하나이다. 당사에는 출탕온도를 1500℃로 정하고 광고온계로 수시 관찰하여 온도관리를 하고 있다.

(2) 접종방법

여기서 말하는 접종은 흑연구상화 처리후의 접종으로써 일반적으로 구상흑연 현상, 입수를 갖추게 하며 cementite 가 정출하고 있을 경우 특히 역 chill 현상이 일어났을 경우 이것을 제거하며 또한 기지의 ferrite 화를 촉진하는 역할을 한다. 당사에서는 75% Fe-Si 을 0.3% 첨가하는데 약 15분이상이 경과하였을 경우에는 그 효력이 약간 감소되는 현상이 있었다. 첨가법으로는 흑연 구상화처리 ladle 에 출탕시 용탕의 흐름속에 첨가시키는 방법을 쓰고 있는데 ladle 속에 구상화제와 함께 첨가시키는 방법도 괜찮다.

(3) 기지개량접종제

Ferrite 형 구상흑연주철의 기지조직을 개선시키기 위하여 당사에서는 Si-Ca-Mg 계 기지개량접종제를 첨가시키고 있다. 이 기지개량접종제를 0.3% 첨가시키므로써 기지내 ferrite 을 약 20% 정도 증가시킬수 있으며 DC 50에서도 약 80% 이상의 ferrite 기지를 얻을 수 있는 이점이 있다. 첨가법은 접종제와 함께 출탕시 용탕의 흐름속에 첨가시키면 된다.

(4) 후기접종

후기접종은 보통 Fe-Si, Ca-Si 등이 주체이며 접종효과를 지속시키거나 흑연화를 촉진시키는 작용을 한다. 일반적으로 구상화처리 ladle 에서 주입용 ladle 에 옮겨 부을때 용탕의 흐름

속에 첨가하는 것이 좋은데 이것은 약 0.02% 정도의 소량이기 때문에 주입직전 행하는 것이다.

(5) 주입방법

구상흑연주철의 주입방법에서 가장 주의해야 할 점은 잔여 slag 및 dross 가 끌려 들어가는 것을 방지하는 방법을 취하는 것이다. 이르기 위하여는 주입시 항상 gate 속을 가득차게 하여야 하는데 이 방법은 굉장한 속력이 필요하기 때문에 탕구체에 스트레이너를 붙여서 제거하거나 주입용 ladle 을 특별하게 만들어야만 한다. 주입시 용탕의 온도는 일반적으로 1350℃ 이상, 특히 박주물에서는 1400℃ 이상이 되어야만 한다. 그 이유는 현장작업시 흔히 발견할수 있는 일로써 주입온도가 낮았을 때는 주물모서리가 둥글게 되는 불량이 생기기 때문이다. 이것은 대형주물보다는 소형주물 즉 박주물에서 많이 볼수 있는데 현장 작업시에는 소형주물부터 주입을 한 후 대형주물을 주입하는 것이 바람직한 일이다.

이성으로써 ferrite 형 구상흑연주철의 제조법에 대하여 간단히 살펴보았는데 실제로 현장에서 제품생산을 해보면 여러가지 문제점이 발생하기 마련이다. 이것은 이론뿐 아니라 충분한 현장경험, 정확한 data 등에 따라서 해결할 수가 있는 문제이다. 다음은 본인이 현장에서 실제 제품생산시 발생되었던 여러 문제점중 가장 중요하다고 생각되었던 점에 대하여 실험한 결과를 소개하겠다.

3. 실험방법 및 결과

3-1 주물두께별 해체시간에 따른 조직변화 및 기계적성질

본 실험에 사용된 시편 및 용탕의 화학성분, 첨가합금은 그림 2, 표 1과 같다. 실험에 사용된 시편의 제원 및 용탕성분 첨가합금량등은 타사와 약간의 차이가 나겠지만 당사에서 보통 생산되는 제품의 두께와 작업조건에 준하여 정하였다. 주물사, 주형의 두께, 조형방법 등을 일정하게 한 후, 시편 14개를 조형후 동일시간에 주입을 하고 주입후 10분 간격으로 10분부터 2시간 20분까지 해체시간을 각각 다르게 시편을 채취하여 두께에 따라 절단을 하였더니 총 84개의 sample

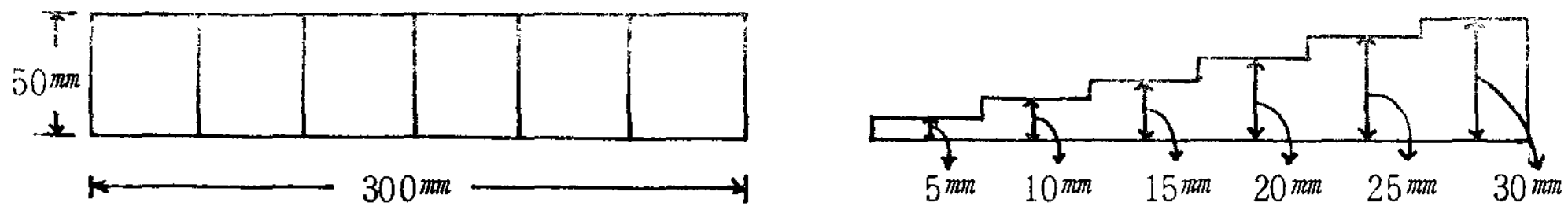


그림 2 실험편 크기

표 1 성분 및 첨가합금

| 종별 | 화 학 성 분 (%) | | | | | | | | | | 구상화제 | 접종제 | 기지개량접종제 |
|--------|-------------|------|------|-------|-------|------|------|------|-------|-------|---------------------|---------|-----------------------|
| | 접종 전 | | | | | 접종 후 | | | | | | | |
| KS 2종 | C | Si | Mn | P | S | C | Si | Mn | P | S | Si Mg Ca | Fe-Si | Si Ca Mg |
| FCD 45 | 3.65 | 2.02 | 0.21 | 0.009 | 0.015 | 3.60 | 2.65 | 0.20 | 0.009 | 0.014 | 45%-9%-3% 1.0%첨가 | 0.25%첨가 | 42%-12%-2% 0.35%첨가 |

※ 이하 실험 sample 은 위 표 1 에 준한다.

을 얻을 수 있었다. 이 sample 을 두께와 해체 시간별로 기지조직과 경도의 변화를 관찰하였다.

해체 직후에는 주물사를 완전히 떨어내어 공냉시키는 방법을 택하였다.

그림 3~그림 8 은 두께별로 분류하여 해체 시간에 따른 기지조직 및 경도변화를 나타낸 그림이다. 여기서 편의상 종축은 경도와 기지내 ferrite 을을 함께 표시하여 경도와 기지내 ferrite 을과의 관계를 알 수 있게 하였다. 표 2 는 그림 3~8 까지 data 를 종합하여 주방상태에서 ferrite 형 구상흑연주철을 얻을 수 있는 적당한

해체시간을 나타낸 것이다. 동일한 조건하에서 채취된 sample 들은 그림과 표에서 보는 바와 같이 경도 170~213, 기지내 ferrite 을 45~92% 까지 다양한 변화를 보여주며 이와같은 결과로 주방상태에서 ferrite 형 구상흑연주철을 얻으려면 주물 살두께에 따라 해체시간을 적당히 하여야만 규격을 만족할 수 있는 제품을 얻을 수 있는 것이다. 그러나 위의 실험결과는 주형의 두께를 적당하게 하였을 경우에만 얻어질 수가 있었다. 그 이유는 본인이 이 실험을 처음 실시하였을 때 적당한 주형두께를 선정치 않고 실험을

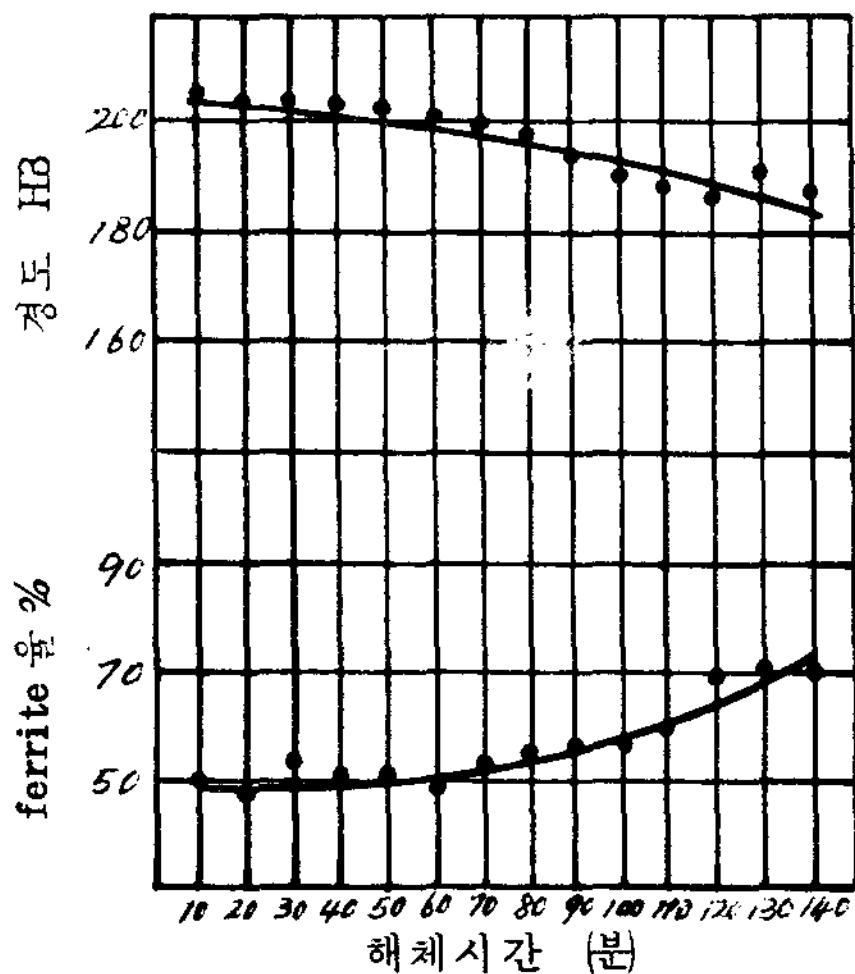


그림 3 주물해체시간에 따른 성질변화 (두께 5mm 경우)

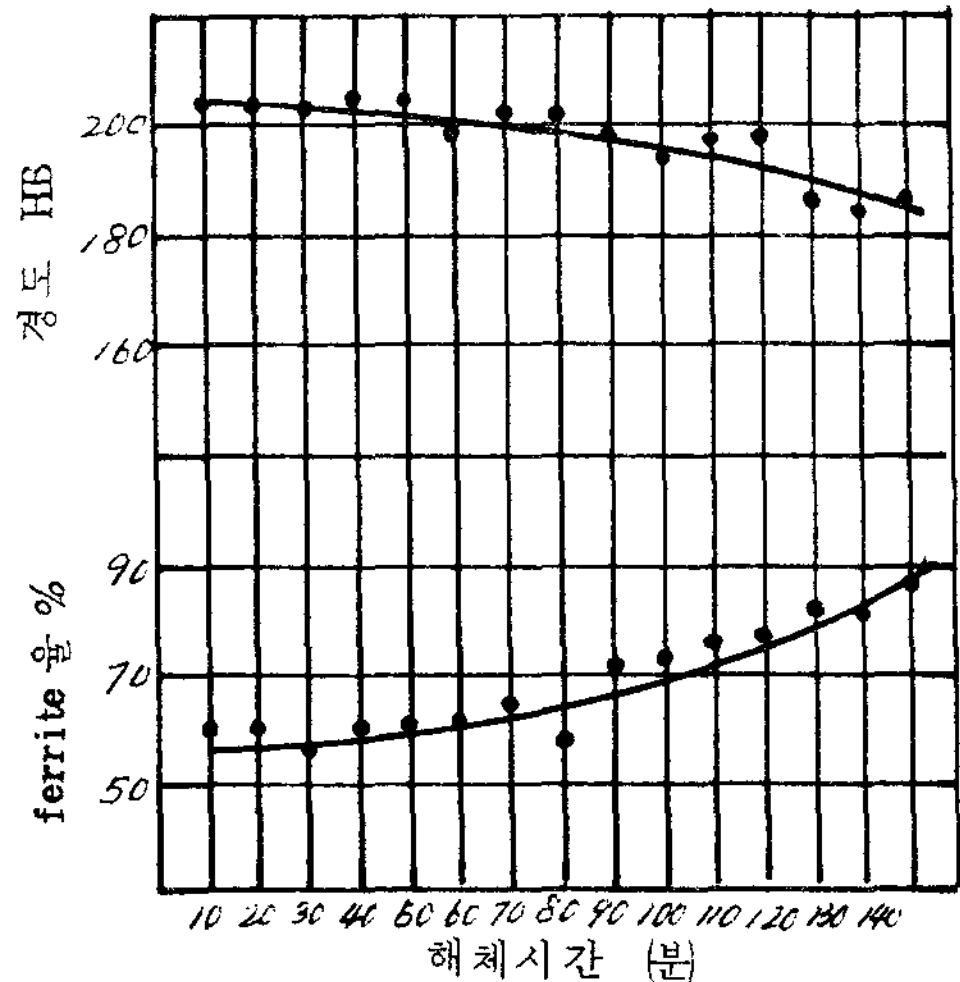


그림 4 주물해체시간에 따른 성질변화 (두께 10mm 경우)

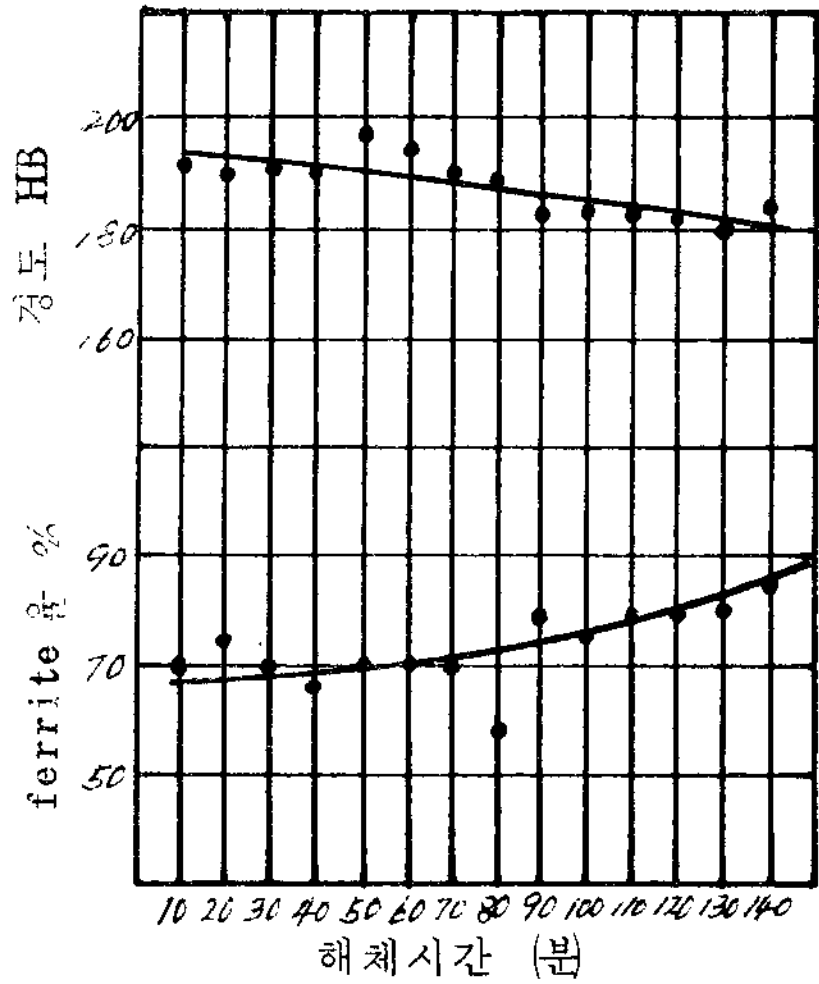


그림 5 주물해체시간에 따른
성질변화 (두께 15mm인 경우)

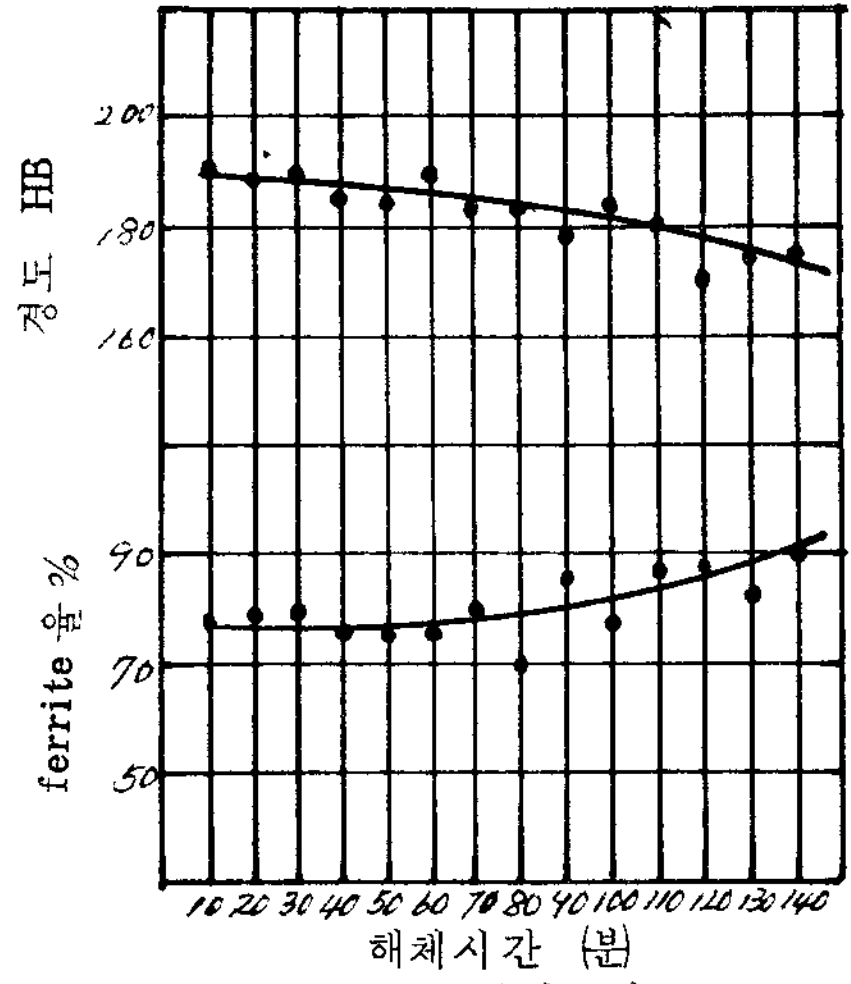


그림 6 주물해체시간에 따른
성질변화 (두께 20mm인 경우)

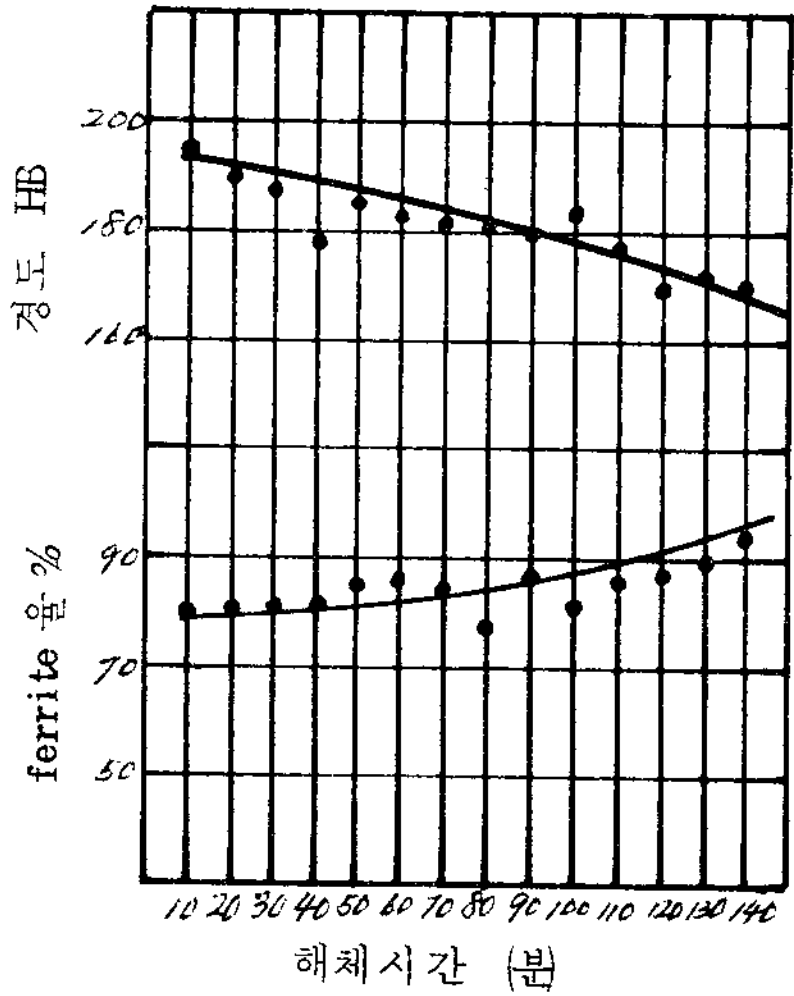


그림 7 주물해체시간에 따른
성질변화 (두께 25mm인 경우)

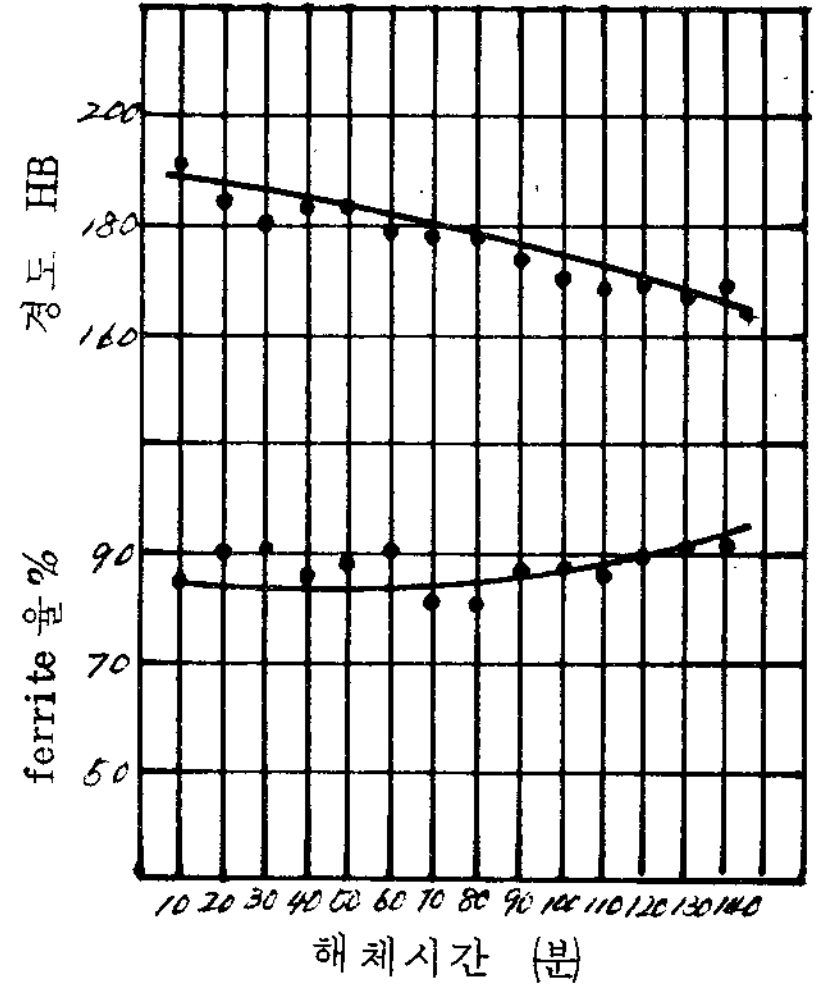


그림 8 주물해체시간에 따른
성질변화 (두께 30mm인 경우)

표 2 주물 살두께에 따른 적당 해체 시간

| 순번 | 주물살두께 | 경도변화 (H _B) | 기지내 ferrite 율 | data에 의한 주방상태에서 ferrite형 구상흑연을 얻기 위한 적당 해체시간 |
|----|-------|------------------------|---------------|--|
| 1 | 5 mm | 187 ~ 207 | 45 ~ 70 % | 2 시간 |
| 2 | 10 mm | 183 ~ 204 | 55 ~ 85 % | 1 시간 30 분 |
| 3 | 15 mm | 179 ~ 197 | 60 ~ 85 % | 50 분 |
| 4 | 20 mm | 174 ~ 187 | 70 ~ 90 % | 30 분 |
| 5 | 25 mm | 170 ~ 193 | 75 ~ 92 % | 30 분 |
| 6 | 30 mm | 170 ~ 193 | 80 ~ 90 % | 20 분 |

행하였더니 아무리 늦게 해체를 하여도 5mm두께의 sample에서는 규격치를 만족하지 못하는 것을 알고 반복실험을 통한 적당한 주형두께를 선정 한 후에야 규격에 만족할 수 있는 sample을 얻을 수 있었다. 이와 같은 현상은 현장에서 제품을 생산하다 보면 흔히 발견할 수 있는 사항으로 주물살두께를 고려치 않고 주형두께를 일정하게 하면 해체시간을 같게 하더라도 박주물 같은 자체냉각이 빠른 주물은 높은 정도와 기지내 ferrite율이 낮아지게 된다. 부적당한 주형두께로 인하여 규격치를 만족하지 못하는 제품을 얻었을 때는 주물살두께에 따라 두께를 조정한다거나 좀더 늦게 해체를 하는 방법을 택해야 한다. 이와같이 주물살두께별로 적당한 주형두께의 선정은 반복작업과 정확한 검사에 의한 data로 이루어져야만 좋은 제품을 얻을 수 있다. 그러나 대량주문에 의한 급박한 납기를 맞춰야 할 때 해체시간을 늦추므로써 다음작업에 지장을 초래하는 경우가 종종 있게 된다. 이와같이 납기문제로 인하여 해체를 빨리 하였을때 충분히 높은 정도와 ferrite율이 낮은 제품을 얻을 것에 대비하여 미리 주입라인을 길게 설치한다거나 간단하게 실시할 수 있는 열처리 시설이 필요하다. 당사는 이런 제품들에 대하여는 따로 열처리로에 의한 열처리 대신 3 ton 용량의 저주파유도로

에서 약 3시간 (850~900℃) 동안 열처리후 로냉을 시키는 방법을 쓰고 있는데 이 열처리에 의해서 약 HB 20~30 정도의 정도를 감소시키는 효과를 보고 있다.

3-2 점종후 Fading Time

본 실험방법중 가장 좋은 방법은 실제현장에서 작업하는 방법으로 fading time을 관찰하는 것이지만 회사에 따라 작업방법에 차이가 있으므로 여기서는 일반적으로 생각할 수 있는 실험방법을 택하였다. 첫번째 실험방법은 구상화처리 ladle에서 주입용 ladle로 옮겨붓지 않는 비교적 큰 주물 생산방법을 택하여 로에서 1500℃로 300kg을 출탕하여 점종시킨 후 5분부터 1분간격으로 sample을 채취하여 후연현상을 관찰한 결과를 표 3과 그림 9에 나타내었다.

두번째 실험방법은 현장에서 흔히 사용하는 방법으로 로에서 1500℃로 300kg을 출탕하여 점종시킨 후 구상화처리 ladle에서 주입용 ladle로 옮겨부어 소형주물을 제조할 때와 동일한 방법을 택하여 5분부터 1분간격으로 sample을 채취한 결과를 표 4와 그림 10에 나타내었다. 첫번째와 두번째 실험의 sample 수가 틀린것은 두번째 실험에서는 용탕량의 감소로 인하여 많은 sample 채취가 어렵기 때문이었다.

표 3 첫번째 실험법에 의한 구화율 및 기계적 성질

| 순번 | 점종후경과시간(분) | 온도 (℃) | 구상화율 (%) | 인장강도 (kg/mm ²) | 경도 (HB) | 신율 (%) |
|----|------------|--------|----------|----------------------------|---------|--------|
| 1 | 5 | 1460 | 95 | 52.6 | 179 | 19.8 |
| 2 | 6 | 1450 | 95 | | | |
| 3 | 7 | 1430 | 95 | | | |
| 4 | 8 | 1420 | 90 | 51.9 | 170 | 21.2 |
| 5 | 9 | 1400 | 90 | | | |
| 6 | 10 | 1380 | 90 | | | |
| 7 | 11 | 1370 | 85 | 48.4 | 163 | 26.6 |
| 8 | 12 | 1360 | 85 | | | |
| 9 | 13 | 1350 | 85 | | | |
| 10 | 14 | 1320 | 80 | 44.8 | 156 | 28.0 |
| 11 | 15 | 1300 | 70 | | | |
| 12 | 16 | 1270 | 55 | | | |

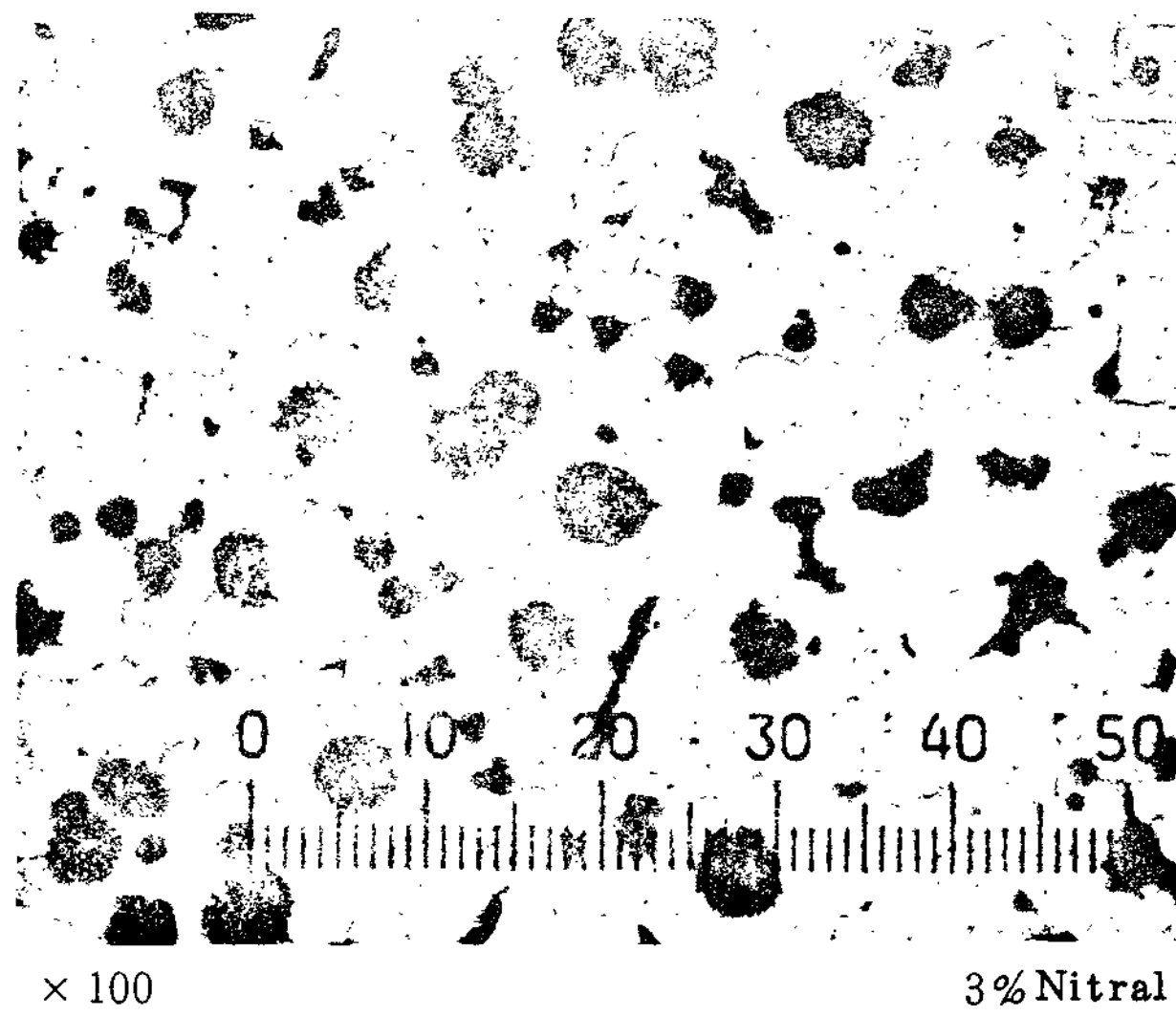


그림 9 표 3의 13분 경과시료의 현미경 사진

표 4 두번째 실험법에 의한 구화율 및 기계적 성질

| 순번 | 접종후경과시간(분) | 온도 (°C) | 구상화율 (%) | 인장강도 (kg/mm^2) | 경도 (HB) | 신율 (%) |
|----|------------|---------|----------|--------------------|---------|--------|
| 1 | 5 | 1450 | 95 | 53.24 | 186 | 18.2 |
| 2 | 6 | 1440 | 95 | | | |
| 3 | 7 | 1410 | 90 | 51.9 | 170 | 19.6 |
| 4 | 8 | 1390 | 90 | | | |
| 5 | 9 | 1360 | 85 | | | |
| 6 | 10 | 1340 | 80 | 44.17 | 156 | 22.4 |
| 7 | 11 | 1310 | 70 | | | |
| 8 | 12 | 1290 | 50 | 34.6 | 143 | 9.8 |

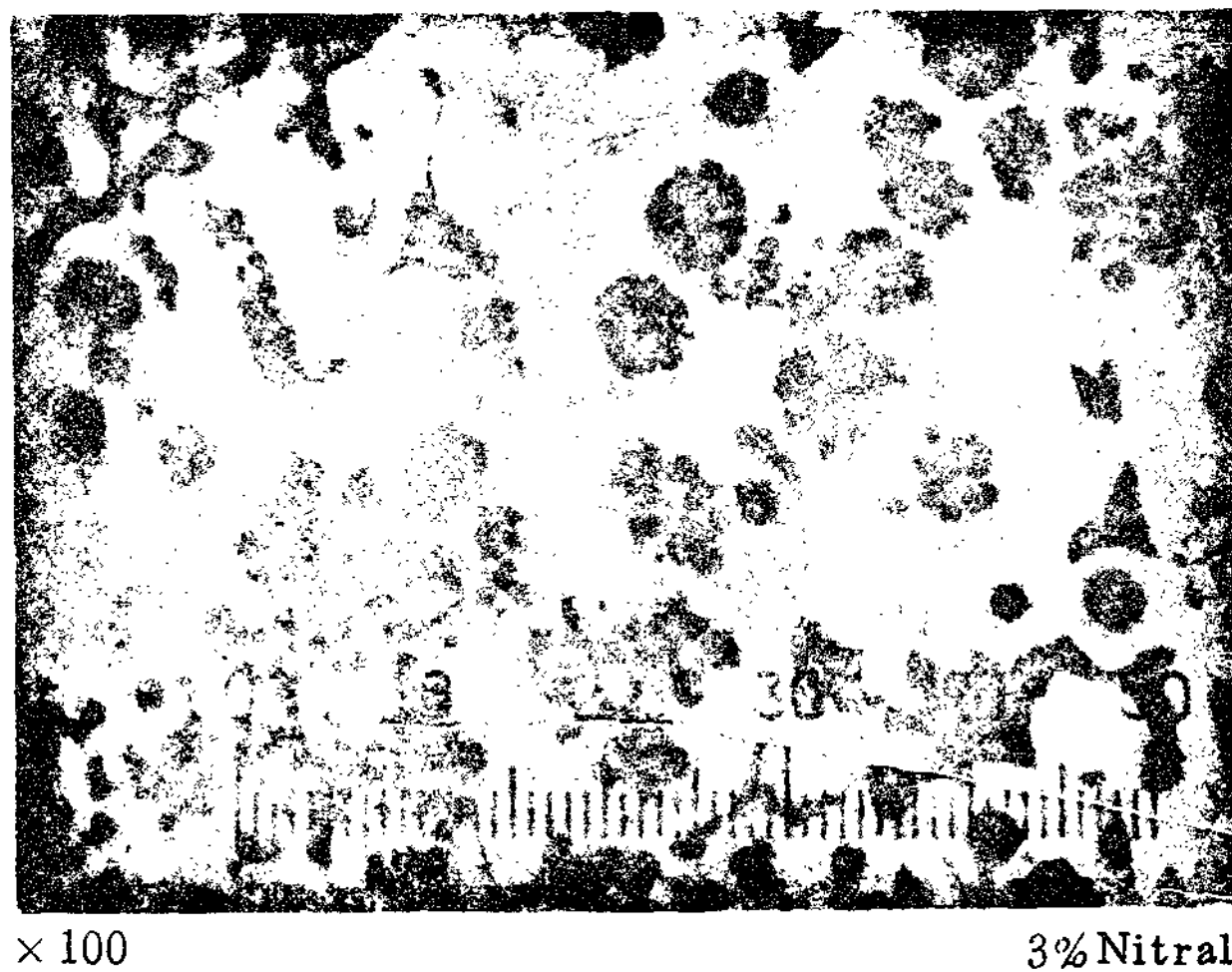


그림 10 표 4의 11분 경과시료의 현미경 사진

주철의 흑연은 편상, 피상 혹은 구상의 형으로 생성된다. 모양에 관계없이 흑연은 결합력이 거의 없으며 주물의 유효 금속단면을 감소시킨다.

구상흑연주철의 구상흑연 성장기구에는 많은 학설이 있는데 그중 대표적인 것이 핵설, 과냉설, 표면 energy 설, 흡착설, 응집설, dislocation 설 등이 있다. 어쨌든 이런 성장기구에 의해 만들어졌으며 타 주철과 달리 독특한 물리적, 화학적 성질을 갖게 할수 있는 구상흑연이 제조법, 접종후 시간경과 등에 따라 파괴되어 종래에는 본래의 형상인 편상흑연모양으로 되돌아가게 되며 파괴된 경우에는 어떠한 방법으로도 복귀시킬수가 없으므로 재용해형식을 취할수 밖에 없다.

표 3에서 보면 13분까지는 용탕의 온도와 흑연구상화율이 모두 만족한 상태이나 14분부터는 흑연구상화율이 서서히 떨어지게 되며 16분에서는 규격치를 훨씬 미달하게 되었다. 그림 9는 13분이 경과된 sample 사진으로 몇몇개의 흑연을 제외하고는 거의 구상을 이루고 있다.

표 4에서 보면 9분까지는 용탕의 온도와 구상화율을 만족하고 있으나 10분 이후 특히 11분부터는 낮은 구상화율을 나타내고 있는데 그림 10에서 볼 수 있듯이 다수의 편상흑연을 찾을 수 있다. 이상의 실험결과로 흑연구상은 시간과 온도에 따라 서서히, 때에 따라서는 급격히 파괴될 수 있다는 것을 알수 있는데 용탕량이 많은 경우는 시간경과에 따른 온도강하가 크지 않기 때문에 서서히 파괴되지만 reladle 작업으로 인한 용탕량감소시에는 온도도 급격히 떨어지며 이와 비례하여 구상화율도 급격히 떨어지는 것을 알수가 있었다. 현재 당사에서는 두번째 실험결과를 토대로 8분 이내에 출탕후 주입까지의 모든작업을 마치고 있는데 시간관리는 접종시 timer를 작동시켜 timer 완료 벨이 울리면 모든 주입작업은 중단을 하고 ladle에 남은 잔탕은 ingot 또는 starting block을 제조하며 량이 많을 경우에는 로에서 재용해를 실시하고 있으나 시간내에 모든 작업이 완료될 수 있도록 출탕량을 조절하고 있다. 이상의 결과로 볼때 대형주물을 제조시에는 용탕처리가 보다 신속히 이루어질수 있어 큰 문제가 되지 않으나 소형주물 제조시에는 작업자가 특별히 신경을 써야지만 최대한으로

불량을 막을 수 있다. 그 이유로는 구상화처리 ladle에서 주입용 ladle로 옮겨 부을때 생기는 용탕의 온도강하, 제품주입후 남은 소량의 잔탕 (fading 현상이 충분히 일어났을 가능성이 있는) 위에 용탕을 따르는 일, 주입용 ladle내에서 용탕을 장시간 대기시켜 놓는일, 잔탕을 서로 붓아 재주입하는 일 등으로 짧은 시간안에 fading 현상이 일어날 가능성이 많기 때문이다. 관리자는 이런일이 생기지 않도록 사전교육 및 철저한 감독이 필요하다. 그 후 최종주입후 남은 잔탕으로 chill test를 실시하여 파면에 의한 불량 판정을 하며 파면검사에 의한 불량 발견시에는 제품을 절단하여 현미경 검사를 하는등 철저한 불량방지 대책이 필요하다. 대책의 하나로 제조현장에 흑연구상화율 측정기나 간이현미경을 설치하는 것도 필요한 일이다.

3-3 C, Si 성분변화에 따른 기지조직, 구상화율, 구상화갯수, 구상화크기, 기계적 성질

본 실험은 C, Si의 고정목표 성분치를 정하여 제반사항을 비교하는 것보다는 C 3.0~4.0% Si 2.0~3.0%까지의 범위내에서 단계적으로 성분을 높여가면 실험을 행하였다. 그 이유로는 현재 C, Si 조합방법에 대하여 실험결과가 일정치 않으며 이 방법은 쉽게 현장에서 작업할 때 조합될 수 있기 때문이다. 이 때 사용한 공시재의 규격은 ISO에서 인정하고 있는 U형 시험편을 사용하였다.

실험결과에 따른 제반사항에 대하여는 표 5에 나타내었다.

(1) 흑연구상화율에 대하여

C, Si % 변화에 따른 흑연구상화율은 표에 나와 있듯이 83~95%까지 나타내고 있어 이것은 모두 규격치를 만족할 수 있는 값이다. 이 실험결과로 보아 흑연구상화율은 C, Si %를 일정한 범위만 맞출수 있으며 작업방법, 조건 등에 많이 기인한다고 할 수 있다.

(2) 기지내 ferrite 율

기지내 ferrite 율은 55~97%까지 많은 차이가 나고 있어 C, Si % 변화, 특히 Si 증가와 비례하여 증가하는 것을 알 수가 있다. 실험결과

표 5 C, Si % 변화에 따른 제반사항 비교

| 순번 | C (%) | Si (%) | 구상화율 (%) | ferrite 율 (%) | 평균입경 (μ) | 입수 / $\frac{mm}{0.07}$ | 인장강도 (kg/mm^2) | 경도 (HB) | 연신율 (%) |
|----|-------|--------|----------|---------------|----------------|------------------------|--------------------|---------|---------|
| 1 | 3.08 | 2.03 | 85 | 55 | 78 | 60 | 44.35 | 156 | 24.8 |
| 2 | 3.15 | 2.32 | 85 | 60 | 72 | 65 | 43.28 | 156 | 26.2 |
| 3 | 3.19 | 2.38 | 83 | 65 | 60 | 70 | 47.60 | 170 | 20.7 |
| 4 | 3.25 | 2.50 | 90 | 82 | 43 | 80 | 50.09 | 163 | 21.5 |
| 5 | 3.37 | 2.59 | 90 | 80 | 48 | 95 | 49.25 | 174 | 21.6 |
| 6 | 3.47 | 2.66 | 95 | 85 | 30 | 200 | 52.62 | 170 | 21.4 |
| 7 | 3.59 | 2.83 | 93 | 88 | 29 | 230 | 52.91 | 183 | 21.1 |
| 8 | 3.63 | 2.89 | 92 | 85 | 24 | 250 | 53.86 | 179 | 20.8 |
| 9 | 3.75 | 2.90 | 92 | 88 | 30 | 220 | 52.48 | 170 | 20.1 |
| 10 | 3.92 | 2.94 | 90 | 97 | 40 | 140 | 52.56 | 179 | 21.0 |

에 따라 Si %가 2.5% 이상은 되어야만 규격을 만족할 수 있는 기조직이 형성된다.

(3) 흑연입경에 대하여

C, Si %가 증가함에 따라 흑연평균입경은 점점 작아지고 있으나 (평균 6.7μ) C 3.75%, Si 2.90% 이후의 성분에서는 약간씩 증가하는 경향이 있었다. 흑연평균입경과 기계적성질을

비교하여 보면 입경이 작을수록 인장강도와 경도는 증가하지만 신율은 감소하였다. 이 결과로 흑연입경은 기계적성질과 밀접한 관계가 있어 높은 강도의 주물을 얻으려면 작은입경의 구상흑연을 정출시키는 것이 좋다. 입경에 따른 기계적성질변화를 그림 11에 나타내었다.

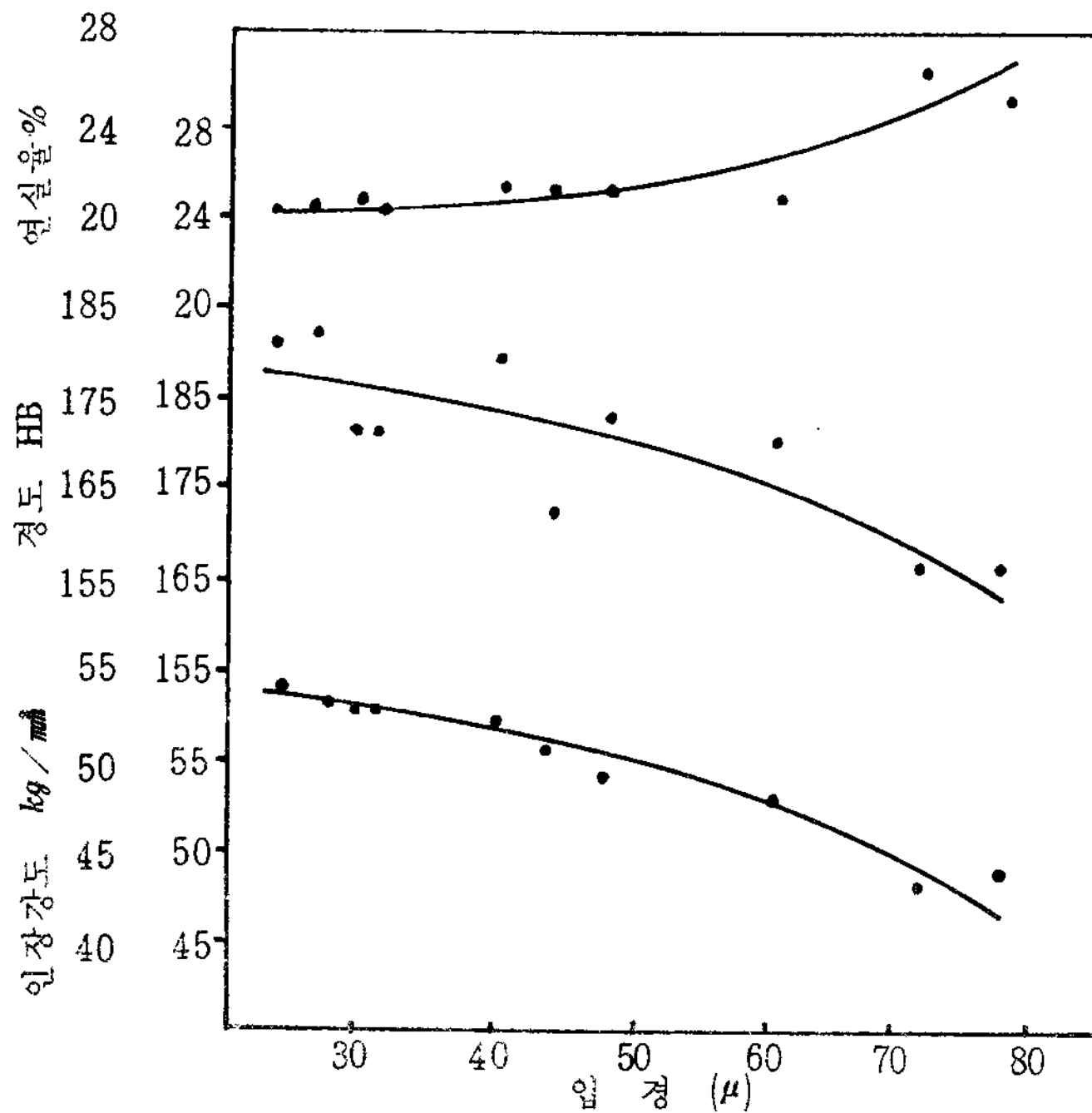


그림 11 입경에 따른 기계적 성질

(4) 흑연입수에 대하여

흑연입수는 C, Si % 증가로 많아지나 C 3.75 %, Si 2.90 % 이상에서는 약간 감소하였다. 기계적성질과 비교하여 볼 때 입수가 많을수록 인장강도와 경도는 증가하나 신율은 감소하였다. (3)항의 흑연입경과 비교하여 볼 때 동일 면적에서 흑연입경과 입수는 반비례하며 흑연입수가 많고 입경이 작을수록 높은 강도의 주물을 생산할 수 있다는 것을 알수가 있다. 흑연 입수에 따른 기계적성질변화를 그림 12에 나타내었다.

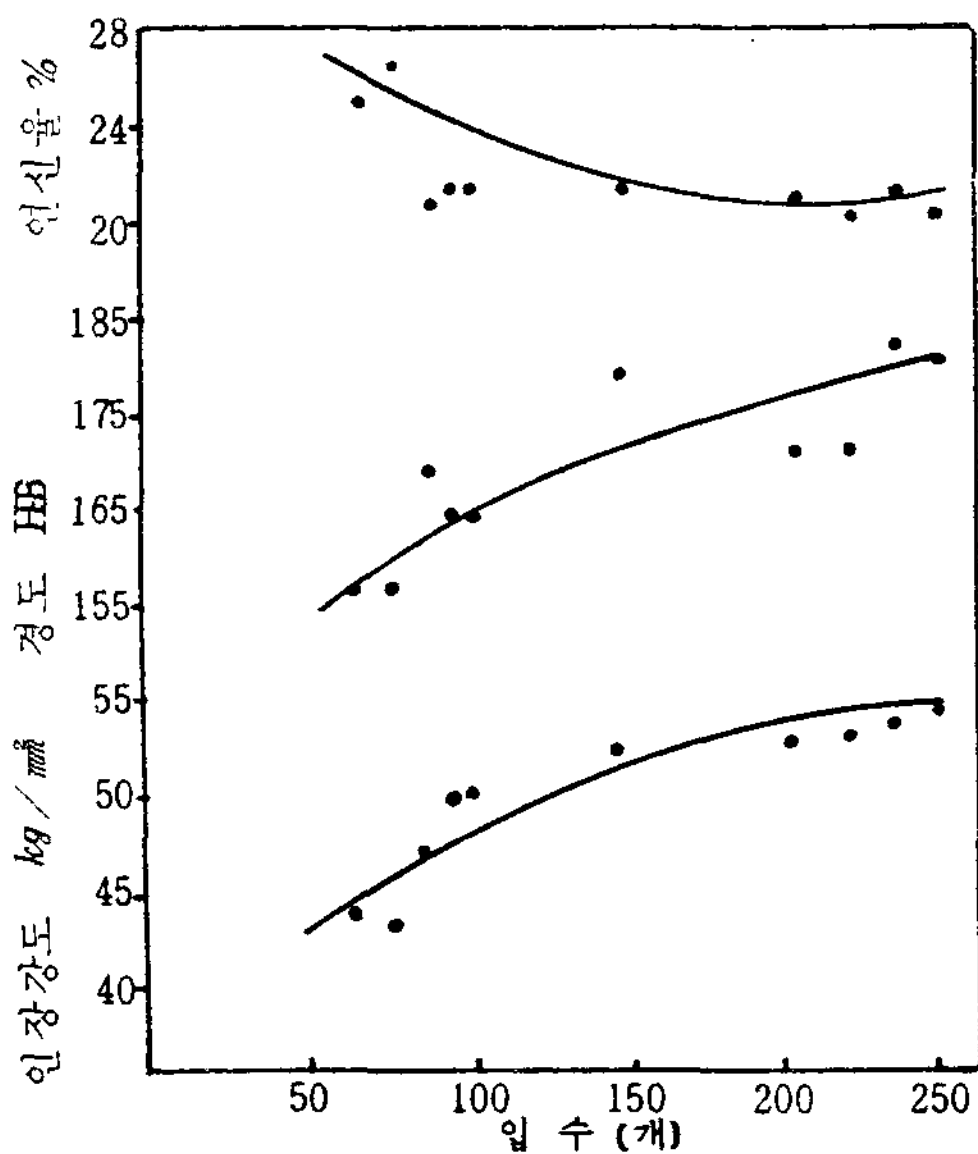


그림 12 입수에 따른 기계적성질

이상의 4 가지 사항을 검토한 결과 주방상태에서 생산할 수 있는 ferrite 형 구상흑연주철에 적합한 성분치는 C 3.3~3.8%, Si 2.4~2.8% 정도이며 이 범위내에서 최소 C, Si %로 최상의 제품을 생산하는 것이 원가절감면에서도 좋은 일이다. 주지할 것은 위의 C, Si %는 목표제품성분이므로 로중성분은 탈탄, 탈 Si, 첨가금속의 성분치를 감안하여 조정해야만 한다.

4. 결 론

위의 3 가지 실험을 통하여 얻어진 결론은

(1) Ferrite 형 구상흑연주철은 C, Si % 증가에 따라 기지내 ferrite 율, 흑연입수가 증가하며 흑연입경은 감소한다. 그러나 C 3.8%, Si 2.9% 이상의 고 C, Si 에서는 약간 반대현상이 생긴다. 동일 면적에서는 흑연입경이 작고 흑연입수가 많을수록 균일한 재질의 높은 강도를 얻을 수 있다. ferrite 형 구상흑연주철의 적정 C %는 3.3~3.8%, Si %는 2.4~2.8%이며 제조공장에 따라 자체 작업조건에 적합한 목표성분치를 정하는 것이 좋다. 이것은 때에 따라서 주문자의 요소가 까다로워 흑연입수 및 입경에 대하여 제한값을 제시할 경우도 있기 때문이다.

(2) 주물은 살두께에 따라 냉각속도가 다르기 때문에 특히 박육주물에서는 주형내에서는 충분히 냉각한 후에 해체를 시켜야만 주방상태에서도 ferrite 형 구상흑연주철을 얻을 수가 있다. 또 같은 주형두께에서도 박육주물은 높은 경도와 기지 ferrite 율이 낮게 나타나는데 해체를 빨리 하였을 때는 더욱 심하게 나타난다. 10mm 이하의 주물은 주입후 약 1시간 30분이상 경과후 해체시키는 것이 바람직하다.

(3) 구상흑연주철의 fading 현상은 접종후 시간이 경과함에 따라, 용탕온도 강하 등 조건변화에 따라 일어나는 현상으로 대형주물 제조공장보다는 소형주물 제조공장에서 일어날 가능성이 많으며 9~10분이 경과하거나 용탕의 온도가 1300°C 이하로 떨어질 때 발생된다. 제조공장별로 정확한 fading time 을 정하여 그 시간안에 주입을 완료할수 있는 작업방법이 필요하다.

이상으로 얻어진 결론에 대하여 힘들었던 사항은 어떤 정확한 통계나 수치가 제대로 나와있지를 알아 기준치를 정하기가 힘들어, 확실한 결과를 얻었는지는 의심스러우나 모든 실험방법을 현장에서 작업하는 방법과 흡사하게 하였으므로 현장작업에는 다소의 도움을 주었으리라 생각된다. 차후에 다시 기회가 생기면 좀 더 많은 자료와 sample 을 가지고 여러가지 문제점에 대하여 정확한 통계를 낼 수 있도록 노력해 보겠으며 각 제조공장마다 많은 노력을 기울여 우리나라 구상흑연주철의 품질과 기술향상이 이루어지길 바란다.