

論 文

소실모형이 탄소강 및 회주철 주물의
표면층 조직에 미치는 영향

김지윤*, 조남돈**

Effect of Evaporative Pattern on the Surface Layer
Structures of Carbon Steel and Gray Iron Castings.

Ji-Youn Kim*, Nam-Don Cho**

Abstract

Steel and iron castings made with expandable polystyrene (referred to hereafter as EPS) patterns are often affected by distinctive defects associated with incomplete decomposition of the EPS as the molds are filled with metal.

The effects of practical factors on carbon pick-up were investigated on the specimens, by taking successive layers of swarf and analysis, whereas the lustrous carbon is determined by using combustion analysis.

The quality of the castings, with particular reference to carbon pick-up in low carbon steel and lustrous carbon on gray iron, is further influenced to a significant extent by such practical factors as reduced pressure, the pouring temperature, the density of EPS pattern, the additive in coating and in pattern and the casting thickness.

The rate at which carbon pick-up and lustrous carbon deposits are formed can be reduced by reducing the density of the pattern and also reducing pressure, especially by adding Na₂CO₃ in coating and in pattern to promote CO₂ evolution.

The upper parts of castings obtained using EPS patterns are slightly higher in carbon pick-up and in lustrous carbon than other parts.

1. 서론

소실모형 주조법은 중자를 사용하지 않는 조형법으로 주조공정에 있어서 공수절감 및 합리화를 크게 기대할 수 있고, 치수정확도의 향상 등 품질면에서도 이점이 있어 최근에 주목을 받고 있는 주조법이다.⁽¹⁻⁴⁾

이 주조법은 기본적으로는 주물과 동일한 형태의 발포 폴리스티렌(expanded polystyrene : 이하 "EPS"라 한다)으로 제작한 모형을 비점결성 주물사중에 매몰한 상태로 주입하여 용탕의 열에

의하여 EPS 모형이 연소 및 기화하는 성질을 이용하여 주물을 제조하는 방법⁽⁵⁻⁶⁾이다. 그동안 기술적인 측면과 경제적인 장점이 많은 문헌⁽⁷⁻²²⁾에 보고 되고 있다.

그러나 소실모형 주조법으로 제조된 탄소강 및 회주철 주물은 주형에 용탕이 채워질때 발포 폴리스티렌의 불완전한 분해와 관계가 있는 결함발생에 강한 작용을 한다.

즉 주입과 응고하는 동안에 주형공격부 내의 분해생성물은 주물내에 특이한 결함을 일으킨다. 즉 기계가공의 곤란을 야기하는 강내의 침탄층의 결

* 한국가스안전공사(Korea Gas Safety Corporation)

** 국민대학교 공과대학 금속재료공학과(Dept. of Metal. Mat. Eng. Kookmin University)

합과 주물의 표면상태를 악화시키는 회주철의 광휘성 탄소결합이 소실모형 주조법에서 가장 심각한 문제이다. (23-29)

본 연구에서는 비점결사 주형에 EPS모형을 매몰한후 탄소강(SC37, 42 및 49) 및 회주철 (GC10, 20 및 30)을 주입할때 감압도, 주입온도 및 EPS모형의 밀도를 변화시켜 주물의 표면층조직에 미치는 현상을 조사하였고 동시에 도형체와 모형내에 Na₂CO₃의 첨가에 의한 침탄과 광휘성 탄소 억제 효과의 타당성을 검토하였다.

2. 실험방법

모형의 제작은 시중에 판매되고 있는 판상 foamed polystyrene(겉보기 밀도 : 15 및 20kg /m³)을 정육면체(100×100×100mm = 모형 A, 200×200×200mm = 모형 B)와 원주형(모형 A와 동일한 체적 : 직경 = 높이 = 108.4mm)으로 정확히 전열을 이용한 hot wire cutter로 절단 가공하여 제작하였다. 일부 모형은 예비 발포된 EPS beads와 필요량의 Na₂CO₃를 알콜에 용해한것과 혼

합한후 성형한 EPS block으로 제작하였다.

탕구는 회주철인 경우는 모형과 동일한 재료로서 높이를 모형 A는 100mm, 모형 B는 150mm로 하였고 직경은 35mm로 만들어 모형 중앙 상부에 부착시켰고 탄소강인 경우는 낮은 감압시 붕괴되는 경우가 발생하여 내경 35mm인 알루미나 내화물관을 탕구로 이용하였다.

이 모형의 표면은 용기내에서 질콘분(270-325mesh)과 Na₂CO₃(질콘 중량의 0, 0.2 및 5 wt%)으로 도형층이 붕괴되는 것을 방지하기 위하여 약 0.5wt%의 접착제를 메칠 알콜과 함께 혼합한 후 준비된 모형을 이 용액속에 침지시킨 다음 꺼내어 건조기 내에서 50-60℃ 온도 범위로 약 5시간 동안 건조시켰다.

건조 후 도형층의 두께는 각각 1.0 및 1.5mm로 하였는데 이때 모형의 일부에 해당두께의 접착테이프를 붙인것과 동일한 두께까지 피복되게 하여 확인하였다.

본 연구를 위하여 제작된 장치를 Fig. 1에 나타내었다 주형상자는 두께 3mm인 강판으로 바닥만 밀폐된 원통형(내경및 높이 : 500mm)으로 제작하였다.

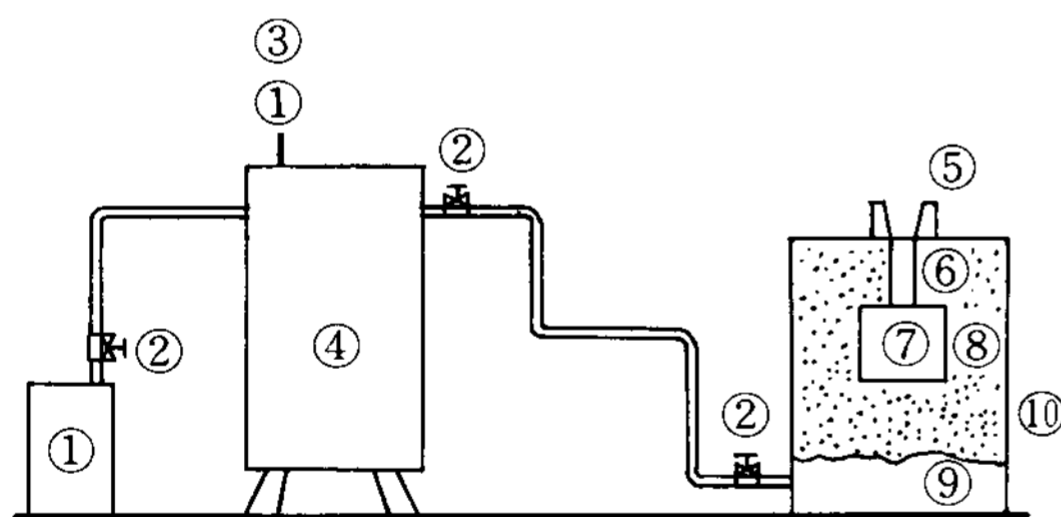
주형상자 중간부분을 수평으로 구멍을 뚫은 강판으로 가저(假底)를 만들고 그 위에 #270 스테인레스망을 붙이고 밑에 주형상자의 측면 하부에 20mm의 구멍을 통하여 진공상자와 연결시키고 이 진공상자는 진공펌프(rotary vacuum pump)의 흡입구와 연결되게 하였다.

진공상자위에 감압계측기(Bourdon's tube pressure gauge)를 부착하여 감압정도를 확인할 수 있게 하였다.

주형상자에 규사와 모형을 넣고 가벼운 진동을 주면서 규사를 다지면서 석영관(내경 1mm)으로 둘러쌓인 PR 열전대의 접점이 모형의 중심위치와 상부모형의 측면 주형 계면에 정확히 오도록 조정한 후 고정시켰다.

자동온도측정기(model No. LP-12)를 사용하여 응고하는 동안 주물의 층만및 열적거동을 조사하였다. 용해는 고주파 유도로에 의하여 전해철, 선철, 규소철, 강철 및 가탄재 등을 장입하여 Table 1과 같은 탄소강(SC 37, 42 및 49), 회주철(GC 10, 20 및 30)의 용탕을 얻었다.

주형의 상면은 플라스틱 필름(두께 : 50 μm)으로 완전히 덮어 밀폐시키고 석면판으로 주입컵부분을 제외하고 모두 덮고 진공펌프를 이용하여 감



- ① Oil Sealed Rotary Vacuum Pump
- ② Control Valve
- ③ Vacuum gauge
- ④ Vacuum Tank
- ⑤ Pouring Basin
- ⑥ Sprue
- ⑦ EPS Pattern
- ⑧ Unbonded Sand
- ⑨ Stainless Steel Screen(100 mesh)
- ⑩ Mold Box

Fig. 1. Schematic diagram of the experimental set-up used.

Table 1. Chemical composition of molten metals used. (wt.%)

Elements		C	Si	Mn	P	S	Fe
ALLOY							
Carbon steel	steelA	0.18	0.21	0.48	0.021	0.029	bal.
	steelB	0.27	0.32	0.67	0.023	0.033	bal.
	steelC	0.36	0.39	0.72	0.026	0.031	bal.
Gray iron	ironA	3.61	1.96	0.56	0.22	0.08	bal.
	ironB	3.45	1.87	0.75	0.17	0.09	bal.
	ironC	3.27	1.75	0.81	0.09	0.12	bal.

압시켰는데 주입직전의 진공상자의 감압도는 -27, -40, -53 kPa로 감압시키고 탕구내 용탕의 높이를 일정하게 유지시키기 위하여 주입컵(CO₂형으로 제작했음)에 spout를 설치하여 넘칠 정도로 연속으로 신속하게 주입하였다.

응고후 주물의 종단면을 절단한 후 상부면 및 측면표면으로부터 내부로 향한 조직의 변화를 관찰하기 위하여 좌우측에서 두개의 시편을 절취하여 평균값으로 조사하였다. 즉 침탄량은 탄소강의 표면층을 1mm씩 연속적으로 절삭하여 각 위치에 대하여 탄소함량을 단위면적당의 시멘타이트 및 페라이트의 면적을 측정하여 상분석에 의하여 탄소함량을 구하였다. 한편 이 값을 성분 분석을 한 것과 비교한바 탄소 함량이 거의 일치되는 것을 확인하였다. 특히 회주철의 광휘성 탄소의 양은 시편을 연마하는 동안 탄소와 회주철 사이의 경도의 차이때문에 금속현미경으로 표면 단면층에 부착 탄소의 두께를 정량적으로 정확히 측정하기 어려워 응고후 도형막을 박리시키고 주물의 표면에 부착되어 있는 탄소와 함께 연소분석에 의하여 탄소량을 측정하였다. Fig. 2에 실험과정을 나타내었다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 EPS의 열분해 거동

EPS 모형은 용탕과 접촉되면 소실된다. EPS 모형은 styrene(C₆H₅-CH=CH₂: 탄소가 92%, 수소가 8%로 되어있는 방향족 탄화수소) monomer에 propane(C₃H₈), butane(C₅H₁₂) 등의 발

포제를 합침시켜 예비팽창된 beads에 수증기를 통과시켜 가열하여 성형한 것이다.

소실모형 주조법에서 모형은 용탕을 주입할 때 용탕열에 의하여 분해되어 소실되기 때문에 용탕과 유사한 열을 사용하여 가스발생량을 조사하였다.

Fig. 3은 직경 12mm, 길이 60mm의 원주형 EPS(밀도: 15kg/m³)모형과 Na₂CO₃ 약 0.05wt%를 모형내에 함유시킨 동일한 크기의 EPS 모형을 SiC를 발열체로 한 전기관상로(corundum tube: 500 × 18mm I.D.)를 이용하여 1000, 1100, 1200, 1300, 1400 및 1500℃에서 유지시킨 후 관내 고온부에 신속히 밀어 넣어 여기서 발생한 EPS 분해방출 생성물을 채취하여 이중 용탕에 강한 작용을 하는 주요조성(CO, CO₂, CH₄, carbon black)을 gas chromatography (Shimadzu GC-9A)등으로 측정하여 나타낸 결과이다.

TCD(thermo conductivity detector) 방식으로 3000mm × 3mmφ인 column에 #60-80mesh의 silica gel을 충전하고 carrier gas인 He(유량: 100ml/min.)로 송입하였다. Carbon black의 양은 Tenax 흡입관을 이용하여 여과시켜 별도로 측정하였다.

EPS는 탄소량이 많기 때문에 carbon black의 양은 온도의 증가에 따라 거의 직선적으로 증가하고 CO와 CO₂의 양은 약간 감소하는 것으로 나타

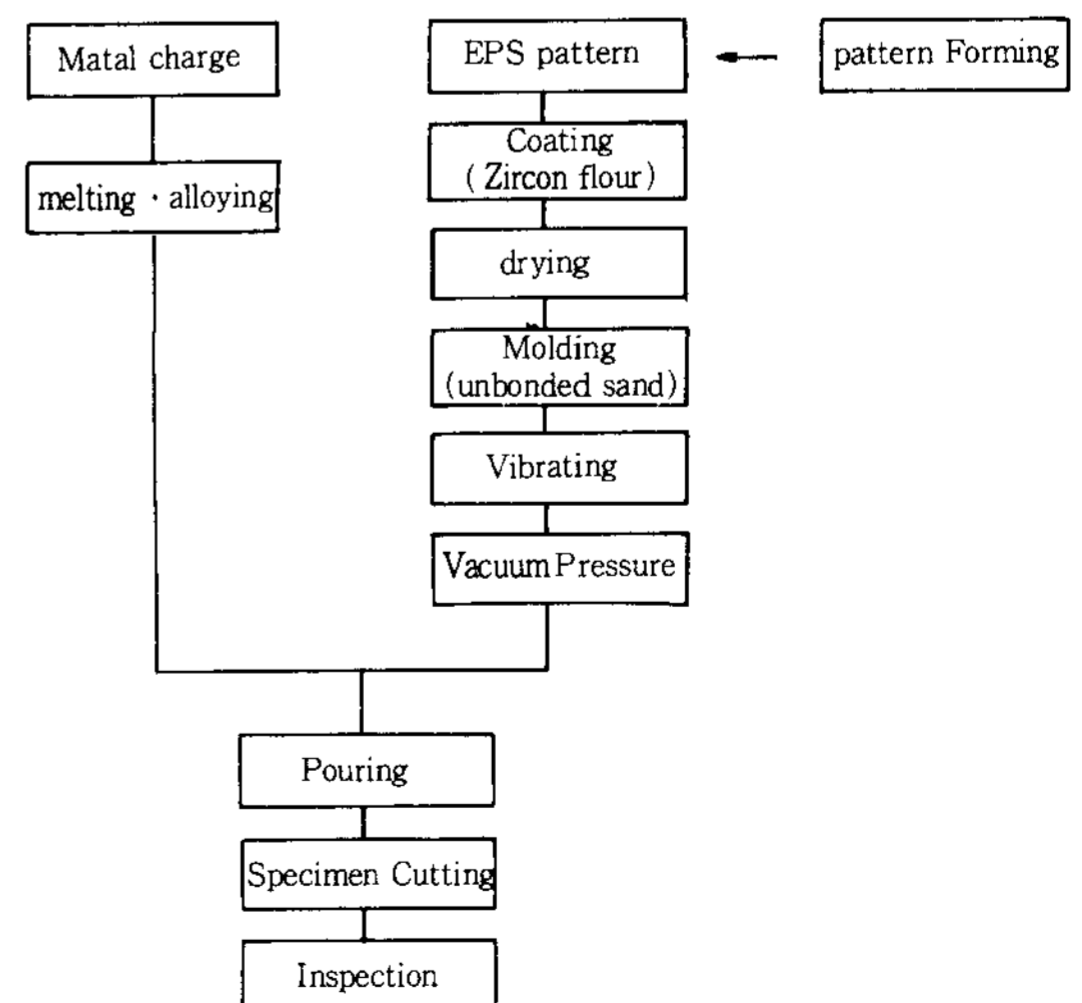


Fig. 2. Flow chart of experimental procedure.

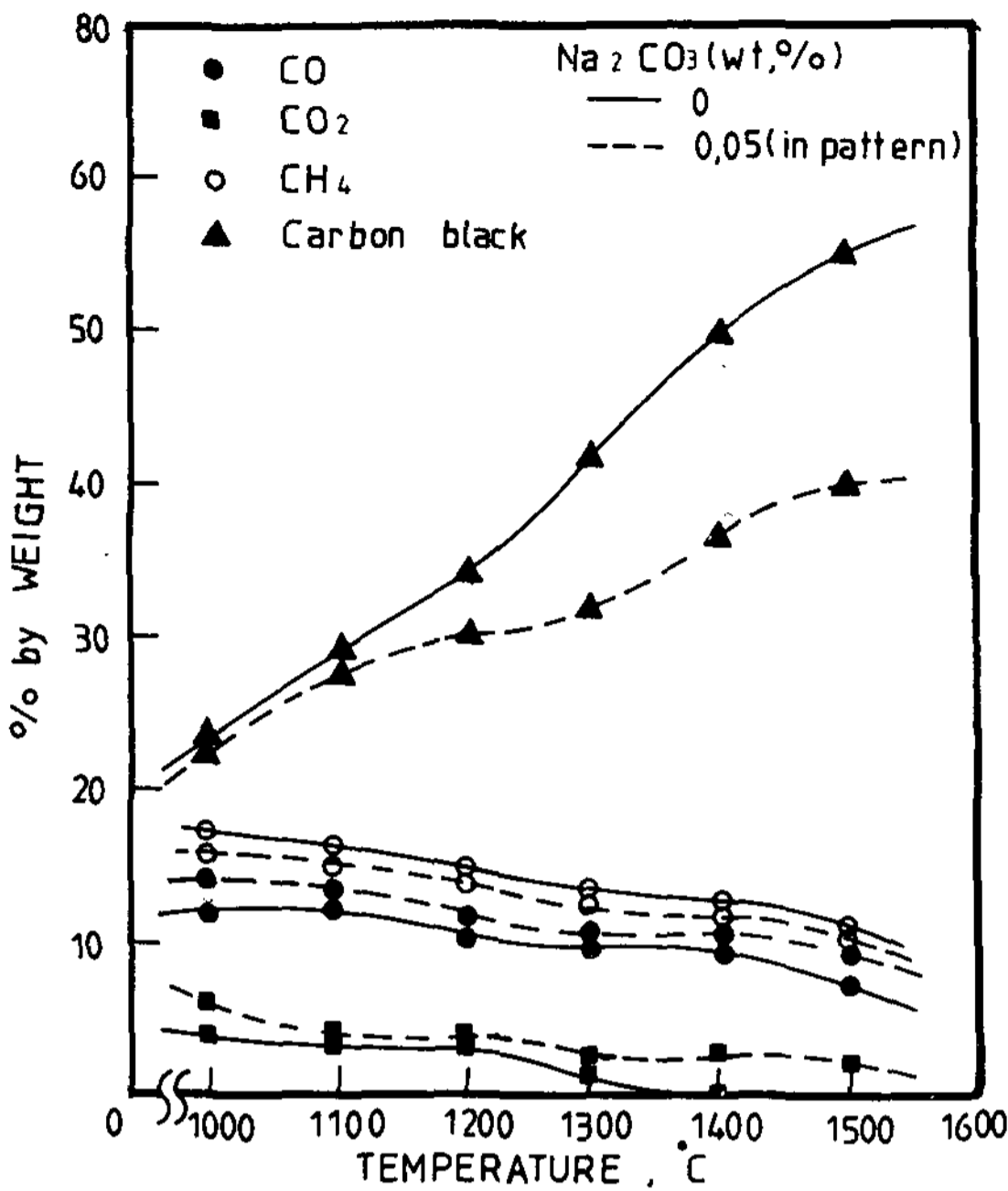
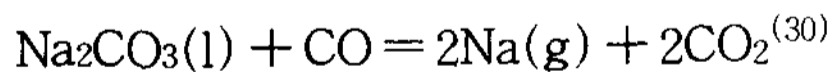


Fig. 3. Composition of pyrolysis products from EPS evaporation in function of high temperature.

났다. 특히 모형에 Na₂CO₃를 첨가한 경우는 carbon black량이 보다 적게 나타났으나 CO₂의 양은 반대로 보다 약간 증가하였다.

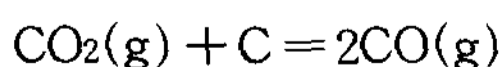
이때 발생된 carbon black은 침탄이나 탄소부착 등 구조결함의 발생에 큰 관계가 있는 것으로 생각된다.

한편 용융된 Na₂CO₃가 환원성 분위기 하에서 CO가스와 반응하여 아래와 같이 분해되는 것으로 생각된다.



여기서 발생한 CO₂가 석출탄소를 억제시키는 효과가 있는것으로 예측되었다.

EPS의 분해시 발생된 가스로부터 침탄과 광휘성 탄소에 작용하는 carbon black 생성의 가장 중요한 반응식은 다음과 같다.



왼쪽으로 진행할때 생성된 탄소는 용융상태에

서 이미 강과 반응이 시작된다. 저탄소강인경우 Fe로 들어오게 된다. 평형상태에서 CO₂/CO의 비는 어떤 일정한 탄소 potential을 갖거나 γ-Fe 내의 어떤 일정한 수준의 탄소를 유지시킨다. 임의의 온도에서 기체 조성과 γ-Fe의 용액내 탄소 사이의 관계는 위의 반응식에 대하여 평형상수 K에 의하여 나타낼수 있다.³¹⁾

$$K = \frac{P_{\text{CO}_2}}{a_c P_{\text{CO}}} \dots \textcircled{1}$$

단 P_{CO}와 P_{CO2}는 각각 CO와 CO₂의 분압이고 a_c는 탄소의 활동도이다.

탄소의 활동도가 탄소의 활동계수 (f_c)에 의하여 γ-Fe 내의 탄소 중량 백분율과 관계가 있다.

$$a_c = f_c \text{wt.}\%C \dots \textcircled{2}$$

K는 온도의 함수이고 다음과 같다.

$$\log K = \frac{-8918}{T} + 9.1148$$

단, T는 절대온도이다.

주어진 표면 γ-Fe 탄소 함량을 유지하는데 필요한 CO와 CO₂분압은 ①과 ②식을 조합하면 식과 같다.

$$\text{wt.}\%C = \frac{1}{K f_c} P_{\text{CO}_2} / P_{\text{CO}} \textcircled{3}$$

만약 분위기 중의 CO함량이 탄소 함량을 유지하는데 필요한 분압을 초과한다면 반응이 왼쪽으로 진행하고 침탄은 새로운 평형에 도달할때까지 일어날것이다. 그 반면에 만약 CO₂분압이 CO₂함량보다 아주 높으면 그 반응은 오른쪽으로 진행하여 탈탄이 일어나게 된다.

왜냐하면 표면에 인접한 γ-Fe내의 많은 초기 탄소가 내부로 확산되어 깊게 침탄이 진행된다. 회주철인경우 탄소함량이 이미 포화되어 있기때문에 침탄이 거의 진행되지 않고 표면에 광휘성 탄소가 침적된다.

특히 가스중 CH₄와 같은 탄화수소들도 부분적으로 분해생성물을 생성하게된다. 즉 C_nH_{2n+2} = nC + (n+1)H₂ 가 일어나 C를 발생시키기도 한다. 일부는 이동하여 주형층에 응축되는 것으로 판단되었다.

3.2 탄소강 표면층의 침탄

일반적으로 침탄은 강의 FCC 구조인 austenite가 존재하는 온도에서 저탄소강의 표면에 탄소가 첨가되는 현상이다.

탄소강의 침탄된 층의 탄소량은 주물의 여러가지 요인에 따라 변화되는 것으로 예측하여 과열도, EPS 모형의 밀도, 감압, 도형제 및 모형내에 Na₂CO₃의 첨가 등을 변화시켜 상부표면으로부터 깊이 2mm내의 침탄량(레들내의 용강의 탄소량(%))과 표면층 내의 탄소량(%)의 차이를 조사하였다. 깊이 2mm로부터 4mm까지의 표면층에서는 모형 B의 경우에는 0.021%의 침탄량이 있었으나 모형 A인 경우에는 침탄량의 차이가 거의 없었다. 그리고 Na₂CO₃를 첨가하지 않은 도형층의 두께를 1.5mm로 한 경우와 1mm로 한 경우 침탄량의 차이도 거의 없어 도형층의 두께를 모두 1mm로 하였다.

즉 Fig. 4는 25, 50 및 75℃의 과열도에 따라 모형 A의 밀도를 변화시켜 감압도 -27KPa에서 steel A, steel B 및 steel C의 표면층 침탄량(%)을 나타낸 것이다.

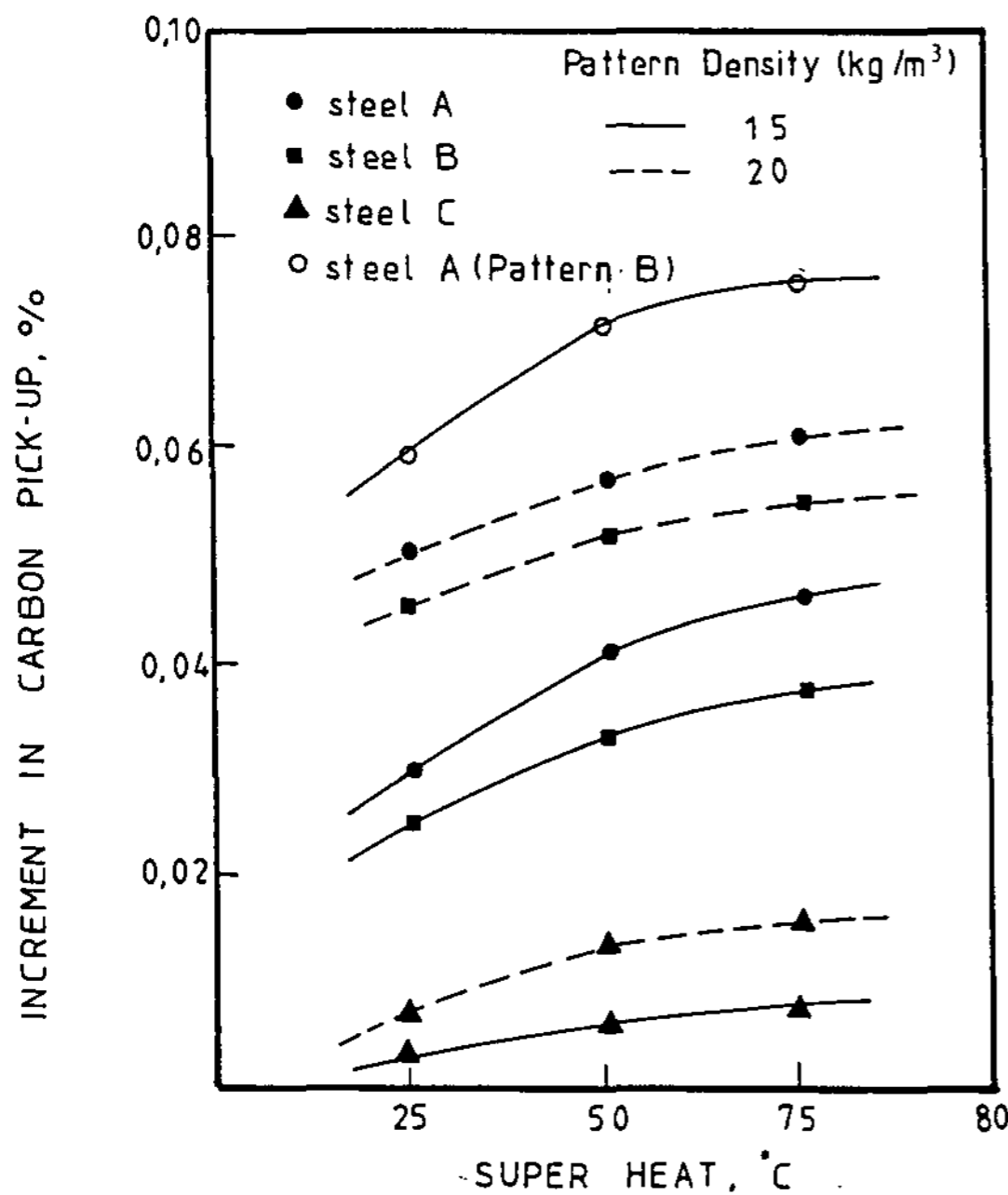


Fig. 4. Relationships between increment in carbon pick-up and super heat above liquidus for three carbon steel castings with different pattern density.

Steel A에서 알 수 있듯이 과열도가 50℃까지는 증가되고 이 이후부터는 증가량이 둔화되는 경향을 나타내고 있다. 또한 steel B는 침탄량이 steel A보다는 비교적 낮고 steel C에서는 제일 적게 나타났다. 이것은 고온이 될수록 발생가스 중 CO, CH₄ 및 carbon black이 증가되어 탄소의 용해도 증가가 그 원인인 것으로 생각되나 75℃의 과열도에서는 EPS의 분해 생성물에 의한 침탄작용이 탄소강의 표면이 액상으로 유지되는 기간이 50℃인 경우보다 현격히 길지 않으므로 용융상태에서 탄소의 확산이 어떤 한계를 갖고 있기 때문에 크게 작용하지 않는 것으로 생각된다. 보편적으로 표면침탄은 강내에 다른 원소의 함유량에 따라 탄소의 용해도가 영향을 받는다. 특히 이결과로부터 C의 함량은 탄소의 용해도를 감소시킨다는 것이 재확인되었다.

중탄소강인 steel C에서 침탄량이 저온에서는 약간 차이가 있었으나 고온에서는 차이가 적은 것으로도 알 수 있었다. 이것은 도형층내의 EPS모형 분해의 탄소질 생성물과 탄소강 내부의 탄소함량사이의 탄소의 농도구배가 비교적 작기때문에 침탄이 적게된 것으로 생각된다. 밀도 15(Kg/m³)인 모형A인 경우 Steel A의 침탄량(%)과 과열도(℃)와의 관계는 다음 식으로 나타낼수 있다.

$$\Delta C = 0.01086 + 8.74 \times 10^{-4} \Delta T - 5.28 \times 10^{-6} \Delta T^2$$

단, ΔC : 침탄량(%)
 ΔT : 과열도(℃)

이와 같은 관계식은 소실모형 주조법에서 강주물의 표면층내의 침탄량(%)을 예측하는데 이용할 수 있을 것으로 사려된다.

EPS의 밀도에 따른 침탄량(%)의 변화를 보면 밀도의 증가와 더불어 침탄량이 증가하는 현상을 나타내나 중탄소강인 steel C인 경우는 밀도의 증가에도 불구하고 침탄량은 거의 유사하였다. 특히 큰 모형인 모형 B의 경우 침탄량이 보다 크게 나타났다.

주물의 크기가 증가하면 보다 긴 응고시간때문에 용탕과 모형의 열분해 생성물 사이의 반응에 더 유효하기 때문에 더 많은 침탄이 있게되는 것으로 판단되었다.

밀도 15 Kg/m³인 모형 A와 원주형 steel A의 경우 과열도 25℃로 주입 할때 감압의 변화와함

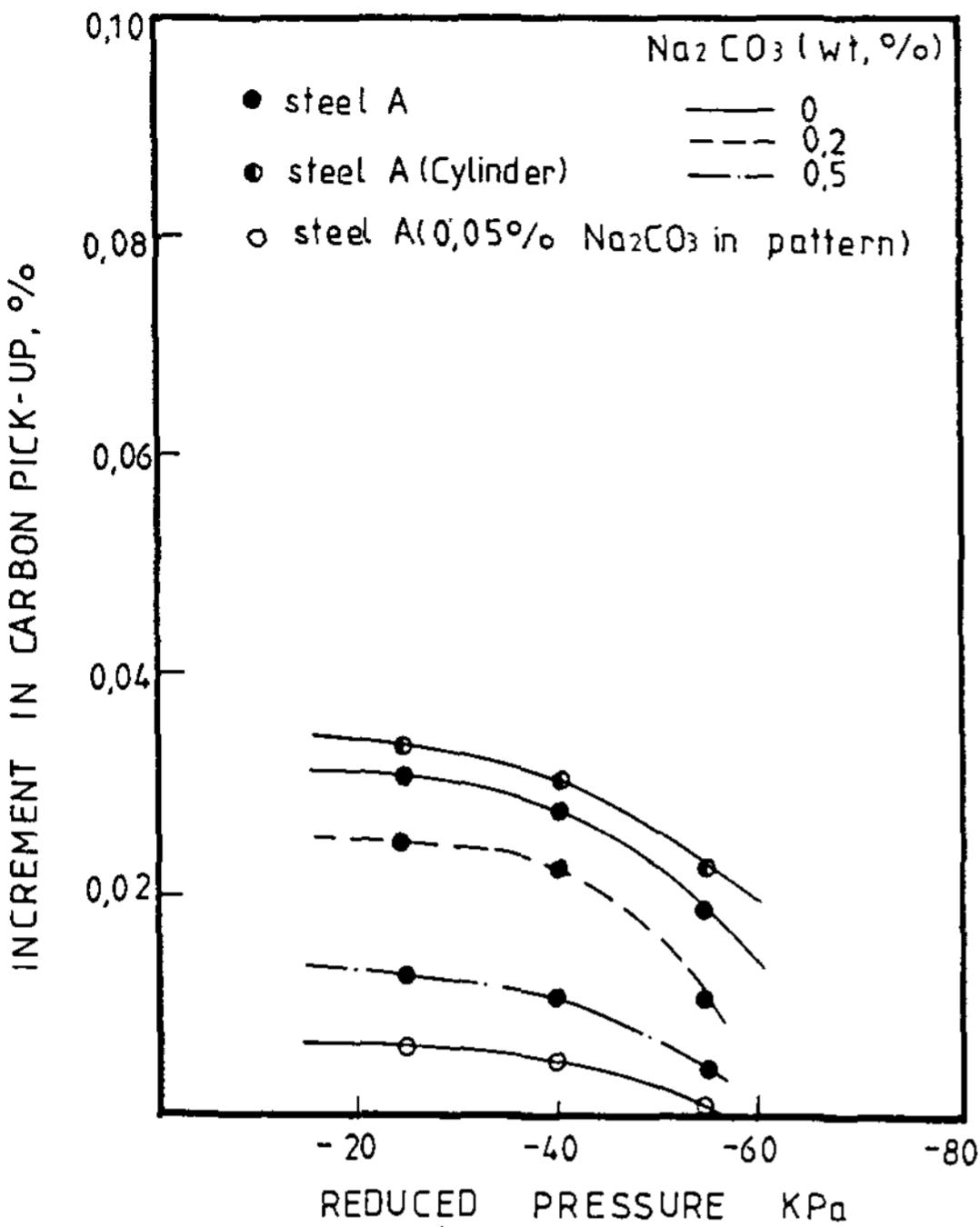


Fig. 5. Relationships between increment in carbon pick-up and reduced pressure for carbon steel (A) casting with various Na₂CO₃ content in coating.

계 도형제(두께 : 1mm) 및 모형내에 Na₂CO₃의 첨가에 따른 침탄량(%)의 변화를 Fig. 5에 나타내었다.

침탄량(%)은 감압과 Na₂CO₃의 첨가량에 따라 감소하였으며 Na₂CO₃를 첨가하지 않은 경우 첨가한 경우보다 -27kPa로 부터 -40kPa까지는 비교적 침탄량의 차이가 작았으나, -53kPa인 경우 침탄량의 차이가 크게 나타났다. 이는 높은 감압시 침탄가스를 신속히 제거하기 때문인 것으로 생각된다. 또한 Na₂CO₃를 모형에 첨가한 경우 가열시 도형제중의 Na₂CO₃와 거의 동시에 분해되어 CO₂를 방출하여 더욱 침탄 작용을 억제시킨 것으로 제일 작게 나타났다. Photo 1은 모형 A의 시편에 대하여 (a)는 도형제에 Na₂CO₃를 첨가하지 않은 경우와 (b)는 도형제 내에 Na₂CO₃를 0.5 wt%를 첨가한 경우이고 (c)는 도형제 및 모형내에 Na₂CO₃를 첨가한 경우의 침탄 조직사진이다. 퍼얼라이트보다 페라이트량이 많아지는 것으로 보아 (c)의 경우가 가장 침탄량이 작게 나타난다는 것을 알수 있었다. 한편 동일한 시험조

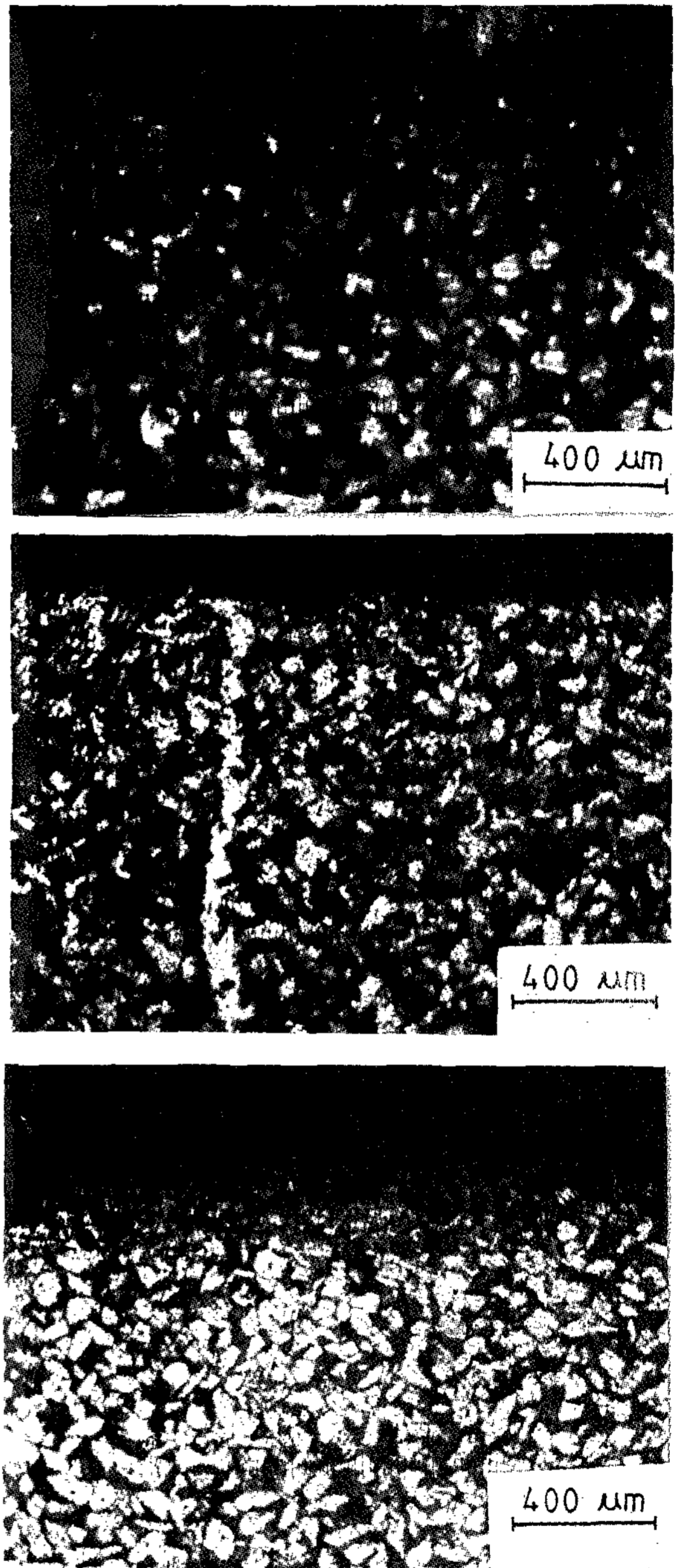
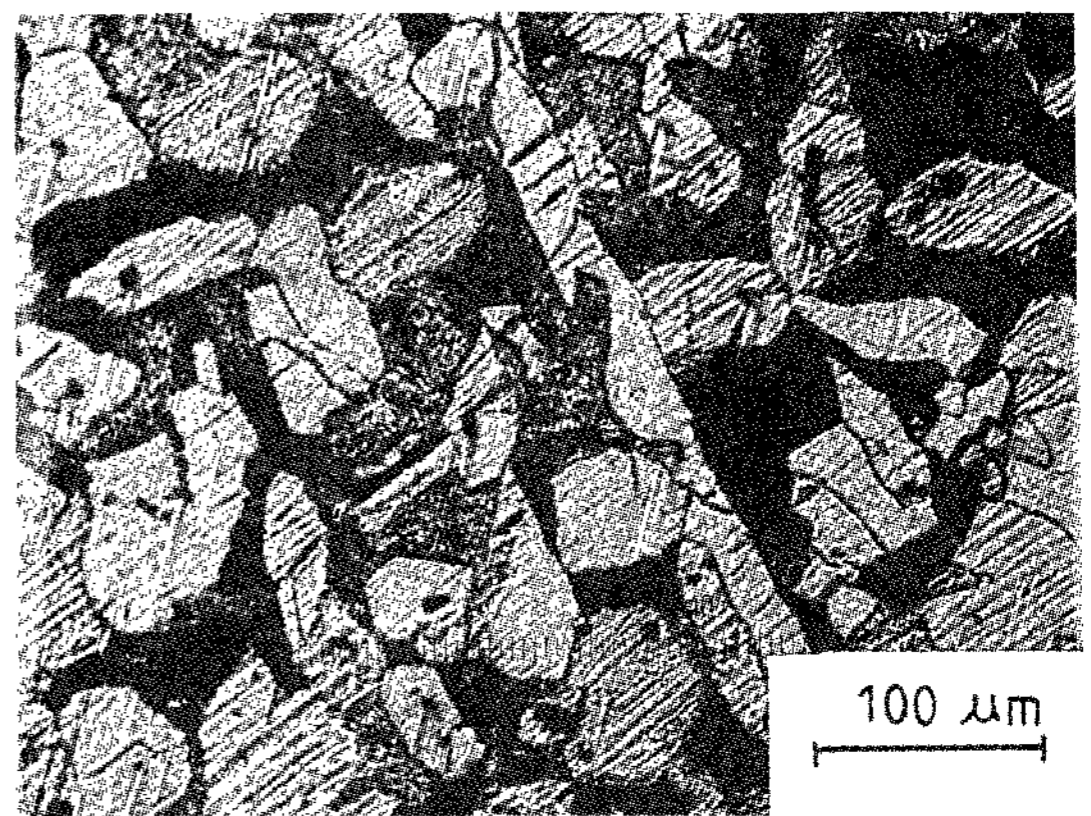
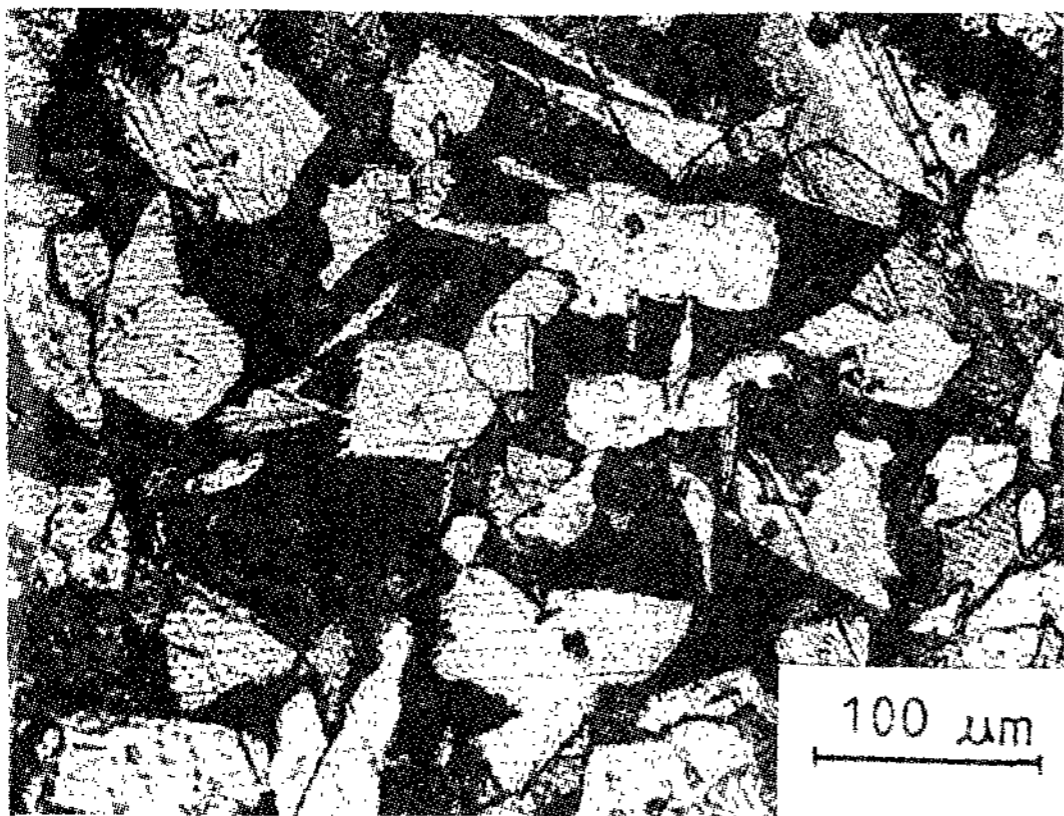
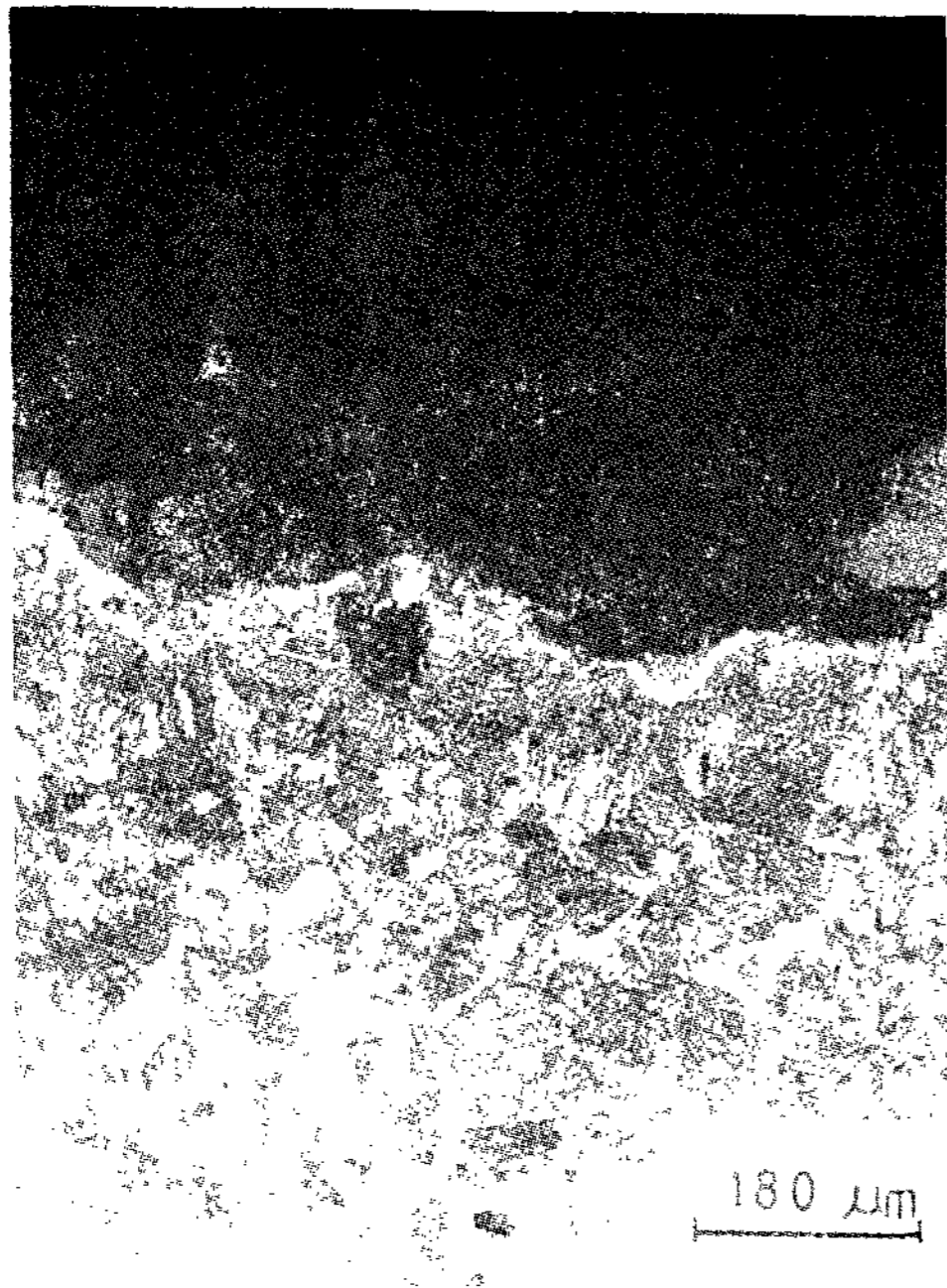


Photo 1. Micrographs of the carburized layer of steel A by addition of Na₂CO₃
 (a) no addition
 (b) Na₂CO₃ in coating
 (c) Na₂CO₃ in coating and in pattern

건하에서 모형 A와 동일한 체적의 원주형인 경우 침탄량이 약간 증가 되었는데 이것은 주물의 표면적이 작은것이 그원인으로 생각된다.



(a)

(b)

Photo 2. Optical microstructure of the surface layer of the carburized steel A.

(a) top side (b) lateral side

(lower photos : x200 for upper photos)

특히 상부층이 저변부나 측면부보다 약간 더 많았는데 그 이유는 carbon black이 용탕과의 비중 차이로 용탕의 위쪽에 뜨기 때문인 것으로 생각된다. 이러한 사실은 Photo 2로부터 모형 A의 steel A의 주물의 상면층 (a) 및 측면층 (b)의 침탄 상황을 비교한 결과로서도 확인되었다. 사진 (c) 와 (d)는 각각 (a)와 (b)의 표면층으로부터

1mm 떨어진 위치의 조직 사진이다.

또한 감압이 크게 되면 주형이 완전히 채워지기 전에 용탕의 표면 응고층이 주형벽에 신속히 채워져 탄소의 고체금속에 대한 확산계수가 액체금속에 대한 확산계수보다 상당히 작기때문³²⁾에 응고층은 모형뒤에 용탕이 들어오게 되어 모형재료로부터 침탄은 억제되는 것으로 생각된다. 이 표면

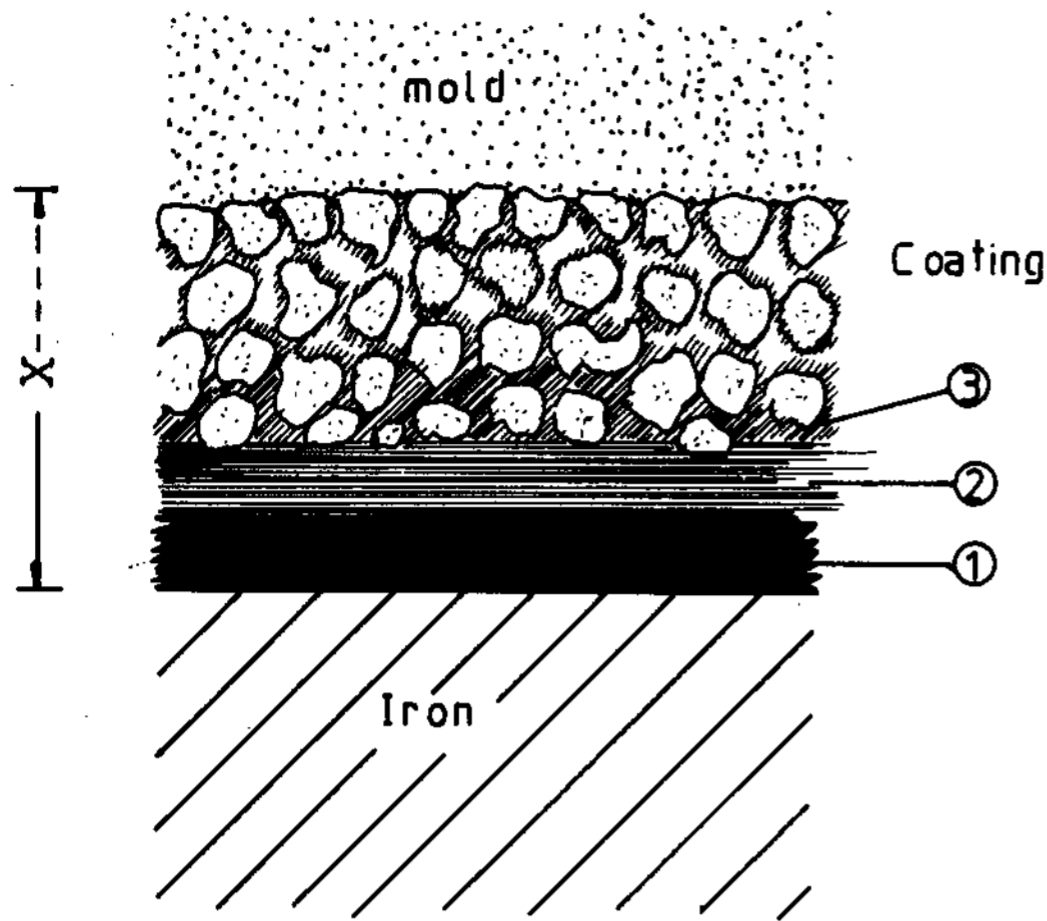


Fig. 6. Schematic diagram showing the structure of lustrous carbon. (x: distance of lustrous carbon deposited.)

응고층이 용탕이 들어오자마자 생성되고 그 후는 용해되지 않는 것을 벽면의 온도측정에 의하여 확인할 수 있었다. 즉 일단 고체표면응고층이 주형 벽에 형성되면 이 층을 통한 침탄은 극히 작고 따라서 탄소가 매우 얇은 표면층에 제한되는 것으로 생각된다. 더우기 상주식으로 주입하기 때문에 용탕이 모형을 용해시키면서 강하하는 상태로 되어 용탕과 EPS모형 사이의 가스층이 극도로 좁아지고 이 가스층과 접촉하면서 주입되기 때문에 침탄이 발생하는데 감압이 증가함에 따라 이 가스층도 얇아져 침탄이 작게 되는 것으로 추측된다.

3.3 회주철 표면층의 광휘성 탄소

회주철에서는 용탕이 이미 탄소로 거의 포화되어 있기 때문에 금속내로 확산이 방해를 받게 되어 표면에 carbon black의 집적(광휘성 탄소)이 일어나는 것이다. Fig. 6에 나타낸 바와 같이 주물과 도형층 사이에 축적된 carbon black은 3가지 층으로 되어 있는데 주물표면에 강하게 부착되어 있는 탄소층 ①과 도형제 계면 사이의 끝음같은 탄소층 ②와 도형제에 부착된 탄소층 ③으로 나타났다. 이와같은 현상은 Gallois 등의 연구³³⁾에서도 유사한 현상을 보고하였다. 특히 도형층의 두께가 1.5mm인 경우는 1mm인 경우보다 주물표면과 도형제 계면사이의 탄소층 ②에 carbon black이 약간 많이 집적되었다. 이것은 도형층에 부

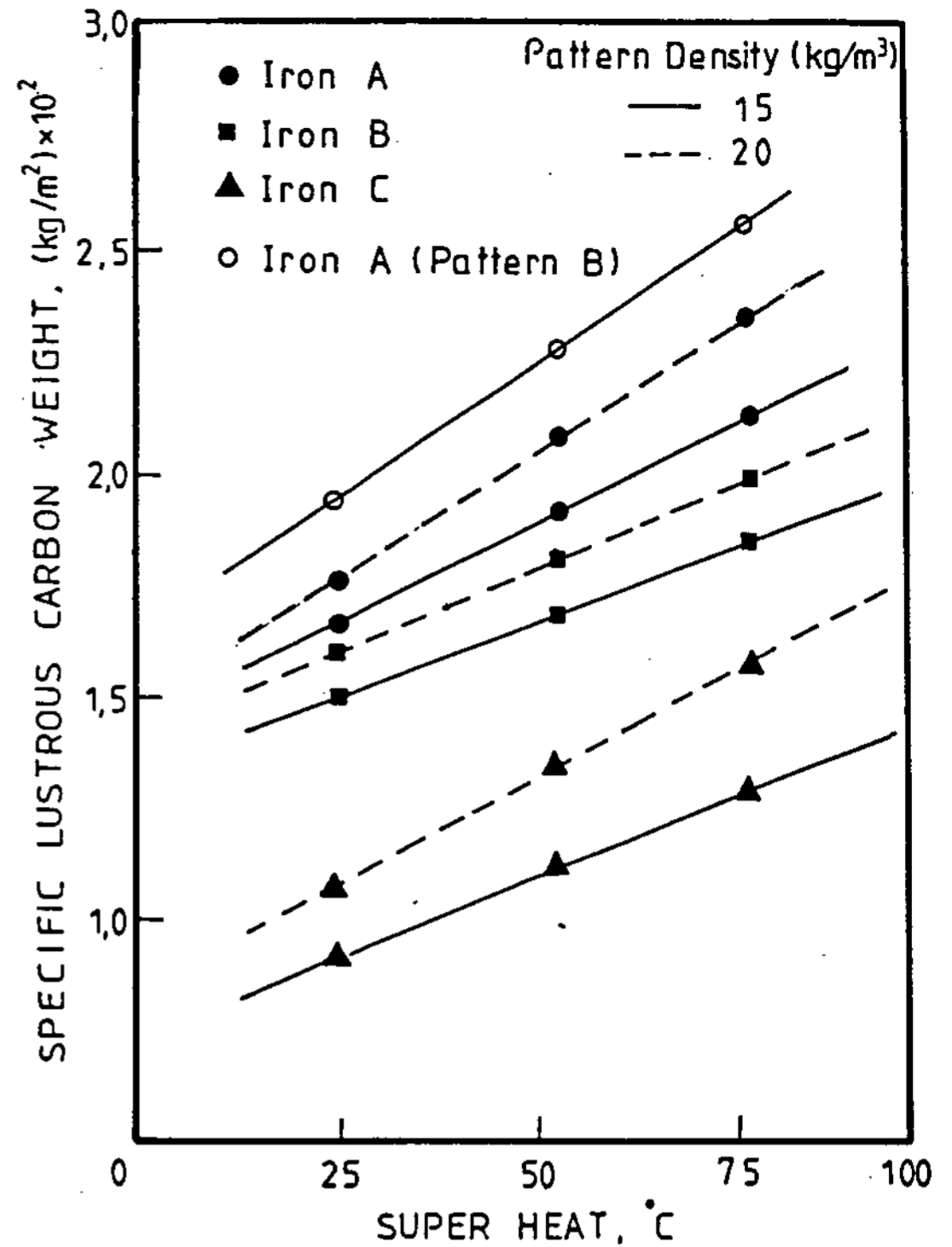


Fig. 7. Relationships between specific lustrous carbon weight and super heat above liquidus for three gray iron casting with different pattern density.

착된 탄소 ③이 적게 나타나는 것으로 보아 도형층의 통기도가 비교적 작기 때문인 것으로 생각된다.

Fig. 7은 감압도 -27KPa로 하고 과열도 및 모형의 밀도를 변화시켜 나타낸 것이다. Iron A에서 보면 과열도가 증가하면 광휘성 탄소량이 거의 직선적으로 증가되었다. 따라서 과열도와 광휘성 탄소량사이의 관계는 일차방정식으로 간단하게 표현할수있다. 즉 주입온도 및 모형밀도가 증가하면 할수록 많은 가스 및 carbon black이 발생되는데 그 원인이 있다고 생각된다. 용탕중 C의 함량이 Iron A와 Iron B보다 비교적 낮은 Iron C의 경우는 응고후 주물의 표면층내의 C의 함량이 약간 높아진 것으로 보아 분해가스중 일부 탄소가 용탕으로 흡수되어 광휘성 탄소량의 생성이 감소된 것으로 사려된다.

Fig. 8은 과열도 25°C로 주입할때 감압에 따른 표면 부착 탄소량의 거동을 Na₂CO₃를 도형제 및

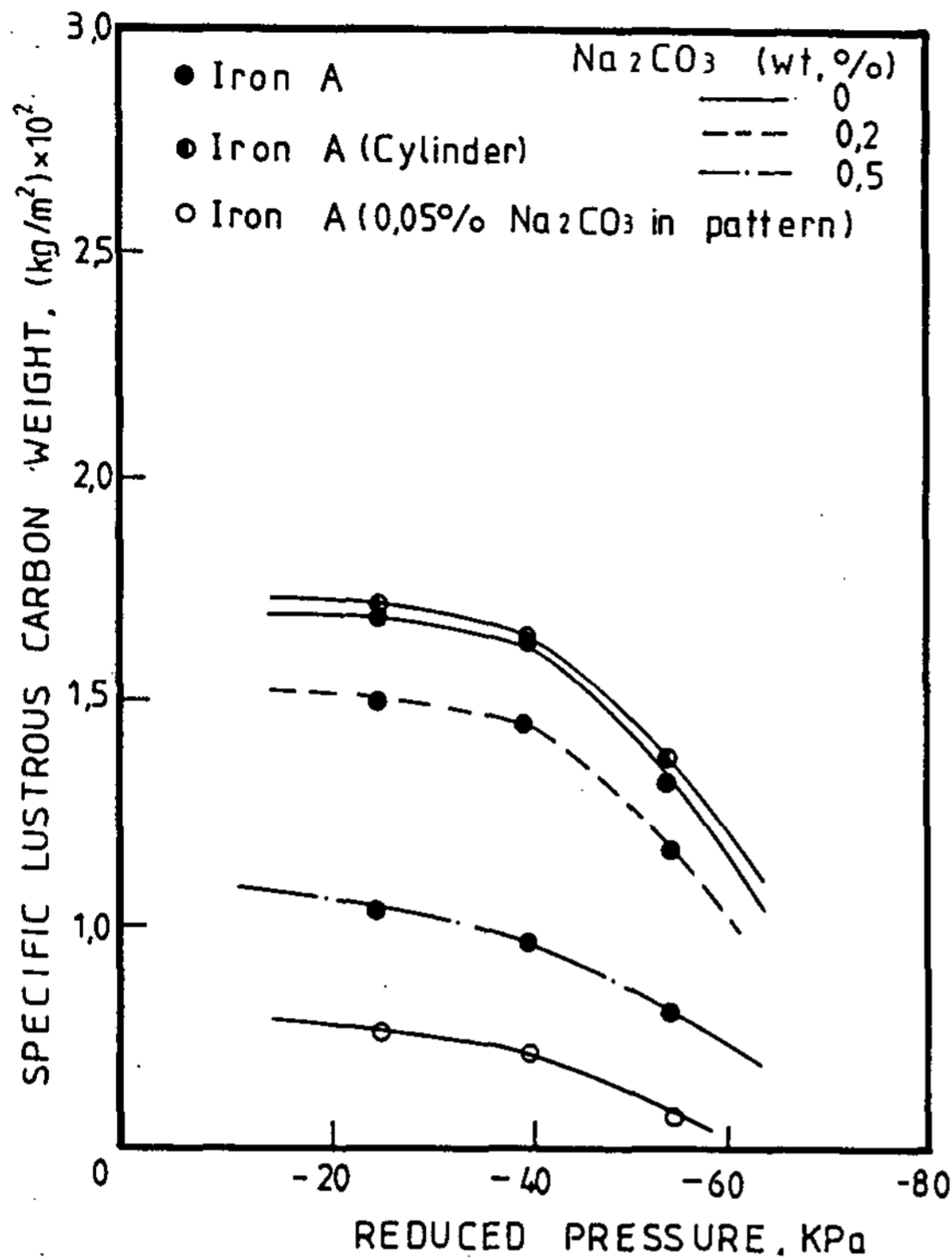


Fig. 8. Relationships between specific lustrous carbon weight and reduced pressure for gray iron (A) casting with various Na₂CO₃ content.

모형에 첨가하여 변화시키며 조사한 결과이다. 그리고 모형 A와 동일한 체적을 갖는 원주형의 경우는 광휘성 탄소량이 약간 크게 나타났는데 이것은 둘레가 원형이어서 Fig. 7의 모형 B와 같이 EPS의 분해 생성물과 접촉하고 있는 용탕의 표면적이 작기때문인 것으로 추측된다.

본 실험에서는 감압이 지나치게 높은 경우 (-60 KPa) 모형의 분해속도를 초과하는 강한 감압에서 용탕이 인장응력을 받게되어 용탕은 주형벽에 밀접하게 붙게 되어 미분해 상태의 EPS모형을 포위하게 되어 부착탄소에 의한 결함이 대량으로 발생하게 되는 것을 확인하고 -53KPa 이하에서 감압 실험을 하였다.

일반적으로 감압하에서는 용탕과 모형사이의 간격내의 가스압은 주형상자에 설치한 감압 계측기의 변화 정도로 보아 감압도와 역비례 관계가 확인되었다. 즉 감압도의 증가는 간격 내의 압력이 낮게되어 CO 가스분압과 기상내의 carbon

black의 농도가 낮게 되어 EPS의 분해생성물의 영향을 적게 받게된다는 것을 carbon black의 일부가 도형층을 통과하여 도형층과 주형사 계면에 약간 분포된 것으로 판단 되었다. 이러한 사실은 Photo 3에서 보면 감압의 증가함에 따라 상부표면 상태가 양호 하였고 조대 흑연의 감소 효과도 나타나는것으로 확인되었다. 조대 흑연의 발생은 감압이 낮은 경우에는 (a)에 나타난 바와 같이 carbon black 이 일부 주철로 침투하게 되는데 그 이유는 용탕의 이동시 EPS의 분해 탄소의 혼입이 일어나서 용탕으로 확산되어 흑연화 핵으로 작용하여 흑연의 형태가 조대화 되는것으로 판단된다. (b),(c)와 같이 감압이 높을 수록 이러한 현상이 억제 되었다.

모든 주물의 상부 표면에 광휘성 탄소층이 더 두껍게 생겼다. 이것은 탄소강의 경우와 같이 용탕 front에서 생성된 carbon black은 중력 작용하에서 용탕의 상부표면으로 뜨는 경향이 있기 때문인 것으로 생각된다. 또 carbon black의 피막을 제거하면 여러가지 깊이의 홈이 보이는데 이것은 EPS 모형의 가열시 EPS의 액상이 국부적으로 존재하여 이 액상의 분해로 생긴 탄소는 주물 상부에 모여 carbon black이 담겨 있던 움푹한 표면(carbon defect)을 형성한 것으로 추측된다.

특히 정육면체의 corner부분은 비교적 두께가 작아 응고속도가 빨라 표면의 파상결함이 거의 나타나지 않았다.

특히 EPS 모형의 분해탄소는 용탕으로 확산하여 기존 흑연핵에 작용하여 주물조직내에서 흑연의 형상변화와 조대화를 이룬 것으로 판단된다. 특히 높은 감압 (c)에서는 흑연의 조대화에 현상이 거의 없었다.

Photo 4는 탄소강에서와 같이 Na₂CO₃의 첨가가 광휘성 탄소에 의한 주물의 표면 결함이 감소하는것을 확인 할수있었다. 탄소강에서 기술한 바와 같이 Na₂CO₃의 분해시 그 역할을 하는 것으로 생각된다. 특히(c)와 같이 Na₂CO₃를 도형제와 모형에 첨가한 경우는 가장 표면 상태가 양호하였다.

그러나 본연구에서 중요한 발견은 Na₂CO₃ 첨가가 탄소강의 침탄과 회주철의 광휘성 탄소의 발생을 억제하는데 중요한 역할을 하는것으로 도형제와 모형에 Na₂CO₃의 함유량의 조절을 이용하여 건전한 주물을 제조할수 있다는것이다. 그러나 Na₂CO₃ 첨가가 모든 철계주물제조에 유일한 방



(a)



(c)



(b)

Photo 3. Optical microstructures of the carbon defects on the top side of iron A.

(a) reduced pressure : -27 KPa

(b) reduced pressure : -40 KPa

(c) reduced pressure : -53 KPa

범일수는 없다. 이러한 실질적인 소실 모형 구조에 대한 표면층 문제를 해결하기 위해서는 Na_2CO_3 외에 다른 첨가제에 관한 꾸준한 연구가 필요하다고 생각된다.

4. 결론

본 실험을 통하여 얻은 결론은 다음과 같다.

(1) 1000°C 이상에서 EPS 모형의 열분해시 carbon black량이 거의 직선적으로 증가하였으나 모형내에 Na_2CO_3 첨가로 약간 둔화되는 것을 확인하였다.

(2) 탄소강의 경우 주입온도가 증가함에 따라 초기에는 침탄량이 급격히 증가하다가 과열도 75°C 이상에서는 그 증가량이 둔화되



(a)



(c)



(b)

Photo 4. Microphotographs of the carbon defects on the surface of Iron A by addition of Na_2CO_3

- (a) no addition
- (b) Na_2CO_3 in coating
- (c) Na_2CO_3 in coating and in pattern.

었다. 반면에 회주철인 경우는 광휘성 탄소량이 거의 직선적으로 증가 하였다.

- (3) 용탕 주입시 EPS모형의 밀도나 모형의 크기의 증가에 따라 탄소강의 표면 침탄량이나 회주철의 광휘성 탄소량 및 조대 흑연도 증가 하였다. 반면에 주입시 감압도를 높일수록 반대로 감소되었다.
- (4) 도형재내에 Na_2CO_3 의 첨가가 표면 침탄량이나 광휘성 탄소량을 모두 감소 시켰다. 동시에 EPS모형내의 Na_2CO_3 첨가로 더욱 감소 되는것을 확인하였다. 즉 Na_2CO_3 의 열분해시 용탕표면에 CO_2 의 방출이 carbon black량을 감소시키는것이 그 원인의

로 생각된다. 동일한 체적의 모형 형태인 정육면체나 원주형 사이의 차이는 큰 영향을 받지 않았다.

참 고 문 헌

1. C. A. Goria, G. Caironi and M. Selli : Metallurgical Science and Technology, (June. 1983) 14-31
 2. Keiji Tamura : Imono, 59(1987) 708-715
 3. Masashi Motoyoshi : Imono, 59(1987) 722-724
 4. Yukio Toyama : Imono, 59(1987) 725-728
 5. H. F. Shroyer : U. S. Patent No. 2, 830, 343(Apr. 15, 1958)
 6. 일본 주물 협회편 : 주물편람(1986) 44-45
 7. R. D. Butler : The British Foundryman, (June. 1964) 265-273
 8. H. B. Dieter and A. J. Paoli : Modern Casting, Vol. 51 No. 6 (Jan. 1967) 147-160
 9. K. Srinagesah and K. S. Narayanan : The British Foundryman ; (Mar. 1971) 91-94
 10. R. H. Immel : AFS Trans.(1979) 545-550
 11. S. Shivkumar and B. Gallois : AFS Trans.(1987) 791-800
 12. K. Tsunoda and T. Suzuki : Imono, 36 (1964) 174-175
 13. J. S. Hansen : Evaporate Pattern Casting, Volume 1, (1985) 107-115
 14. Yasuo Yamamoto, Satoshi Takimoto, Hidekazu Miyake and Akira Okada, : Imono, 59(1987) 729-733
 15. Yasuji Sakaguchi, Mideaki Ota, Yoshihiro Usami and Shigeo Awano : Imono, 59 (1987) 760-763
 16. Yasuji Sakaguchi : Imono, 59(1987) 699-707
 17. Hidekazu Miyake, Yasuo Yamamoto, Hiroyuki Terumoto, Satoshi Takimoto and Akira Okada : Imono, 61(1989) 798-802
 18. Kunihiro Kanoh : Imono, 62(1990) 168-173
 19. Takao Naoi, Hiromi Watanabe, Shunchiro Arai, Kazuichiro Minami and Kenji Chijiwa : Imono, 60(1990) 270-276
 20. 조성수, 조남돈 : 한국주조공학회지, 8(특집 2호)(1988) 357-360
 21. 조남돈, 김용남 : 한국주조공학회지, 2(1987) 122-132
 22. 조남돈 : 56th World Foundry Congress Paper, Dusseldorf (1989)7. 1-7. 10
 23. R. D. Butler and R. J. Pope : The British Foundryman, (Apr. 1964), 178-191
 24. H. S. Lee : AFS Trans. (1976) 559-570
 25. Kiyohiko Hosoda, Koji Yamada and Masato Miyake : Imono, 59(1987) 738-740
 26. Hidekazu Miyake, Yasuo Yamamoto, Takahiro Sato and Akira Okada : Imono, 59(1987) 754-759
 27. Koichi Mukasa and Shunji Kawai : Imono, 59(1987) 741-742
 28. Hidekazu Miyake, Yasuo Yamamoto, Satoshi Takimoto and Akira Okada : Imono, 60(1988) 512-517
 29. Yasuji Sakaguchi : Imono, 64(1992) 38-43
 30. 조남돈, 윤종규 : 대한금속학회지, 21권 10호 (1983) 43-55
 31. George Krauss : Principles of Heat Treatment of Steel, ASM(1980) 252-253
 32. R. W. Cahn : Physical Metallurgy, North-Holland(1977) 392-393
 33. B. Gallois, M. Behi and J. M. Panchal : AFS Trans. (1987)579-590
- * 이 연구는 1990년도 한국과학재단 연구비 지원에 의한 결과임
* 과제 번호 : 901-0604-007-2