

논문

소실모형주조법에 의한 탄소강주강 제조시의 Carbon Pick-up 현상

박익민† · 박희상 · 이동렬 · 이경환* · 이진형**

Carbon Pick-up Phenomena in Plain Carbon Steel by Evaporative Pattern Casting Process

Ik-Min Park†, Hee-Sang Park, Dong-Ryol Lee, Kyung-Whoan Lee* and Zin-Hyoung Lee**

Abstract

It has been a major concern in the foundry that steel castings manufactured by the evaporative pattern casting process encounter the carbon pick-up problem. A carbon rich layer at the evaporative pattern cast surface is a result of interactions between the gaseous products from foamed polystyrene and the molten metal. The carburized layer with a high hardness makes it difficult to machine the casting. In this study, the influence of the density of EPS pattern and coatings on carbon pick-up phenomena of S25C and S45C commercial carbon cast steel were investigated. As the density of EPS pattern is increased, the carbon concentration of decomposed pattern is increased and the thickness of carburized layer at the surface of steel castings is increased. Also as the density of coatings is increased, the permeability of coatings is decreased and the thickness of carburized layer at the surface of steel castings is increased. S25C steel which has lower original carbon content compared to S45C steel exhibited severe carburization.

(Received February 14, 2003)

Keywords : EPC, Carbon pick-up, EPS density, Coating density, Carbon content

1. 서 론

소실모형주조법(Evaporative Pattern Casting : EPC)은 발포폴리스티렌(Expanded Polystyrene : EPS) 모형을 감압한 건조사주형에 넣어 용탕 주입에 의한 발포 모형의 휘발제거에 의하여 주물을 생산하는 방법으로, 중자를 사용하지 않음에 따른 가공 공정의 감소, 사처리 공정의 감소에 의한 공해문제의 감소 등을 크게 기대할 수 있는 청정주조공법이다[1-7]. 하지만 EPC법에서는 주조시 용탕열로 인한 발포폴리스티렌 모형의 열분해 생성물의 주물내로의 개재와 이로 인한 표면 불량과 가스 혼입 같은 주조 결함들이 발생하는 문제점이 지적되고 있다[8-11]. 특히 EPC법으로 제조되는 주강 주물의 경우 EPS모형에서 92%를 차지하는 탄소가 주강 표면에 침탄하는 carbon pick-up현상에 의해 주

강품의 표면조성 변화 및 절삭성 등의 기계적 성질이 변하는 문제점이 현저하여 EPC법의 주강품에의 적용을 어렵게 하고 있다[12-14]. 본 연구에서는 상용 탄소강주강 주물의 탄소함량, 발포모형의 밀도와 도형제 농도를 변화시키면서, EPC법에 의한 주강주물 제품 생산시 최대 문제점으로 지적되고 있는 carbon pick-up 현상에의 영향을 조사 검토하여 EPC주강주물에서의 carbon pick-up 문제를 최소화할 수 있는 방안에 대한 기초자료를 얻고자 하였다.

2. 실 험

2.1. EPS 모형제작

모형은 일반용 폴리스티렌 Grade 30(금호석유화학)을 사용하여, 0.011, 0.02, 0.03 g/cm³의 세 가지 밀

부산대학교 재료공학부(Dept. of Metallurgical Engineering, Pusan National University)

*한국생산기술연구원(Korea Institute of Industrial Technology)

**한국과학기술원(Dept. of Material Science and Engineering, KAIST)

†E-mail : impark@pusan.ac.kr

도로 발포 성형된 발포 폴리스티렌을 치수에 맞게 전열을 이용한 열선 커터로 정확히 절단하고 접착, 조립하여 제작하였다. 실리카와 알루미나가 7:3의 비율로 혼합된 도형제를 물을 용매로 하여 50, 60, 70, 80 Baume 농도로 변화, 조절하였고 여기에 EPS 모형을 1회 침지하여 균일한 두께로 도형제를 도포한 후 이를 상온에서 10시간 이상 건조시켰다. 탕구 내 용탕의 높이를 일정하게 유지시킬 목적의 주입구와 탕구도 동일 방법으로 도형제를 도포한 후 건조시켰다. 모형 조립에 사용되는 접착제는 모형재와의 용화성과 저항성을 충분히 고려하고 접착제로 인한 모형의 손상과 주조결함을 최소화하기 위해 초산비닐 에멀전을 사용하였다. 조립된 모형을 오븐에 넣고 50°C에서 3시간정도 건조하였다. Fig. 1은 본 실험에 사용된 시편의 형상 및 주조방안과 실험 조건을 도시한 것으로, 탕도에 준비된 6개의 시편을 방사형으로 부착하여 EPS 모형 밀도와 도형제의 농도를 달리하므로써 그에 따른 carbon pick-up현상에의 영향을 검토 하였다.

2.2. EPC법에 의한 주강주물 제작 및 실험 방법

Fig. 2는 본 실험장치를 도식화한 것이다. 1 m×1 m×1.5 m 크기의 플라스크에 입도 분포 가 70~140 mesh 정도의 호주산 7호사를 진동을 가하면서 서서히 충전하였다. 어느 정도 충전되면 모형을 설치하고 7호사를 모형이 변형하지 않는 범위에서 천천히 주입구까지 채운 후 플라스크의 상면에 PVC필름을 이용하여 밀폐시키고 다시 7호사를 주입한 후 진공 펌프를 이용하여 감압시켰다. 이 때 밀폐도를 높이기 위해 모형에

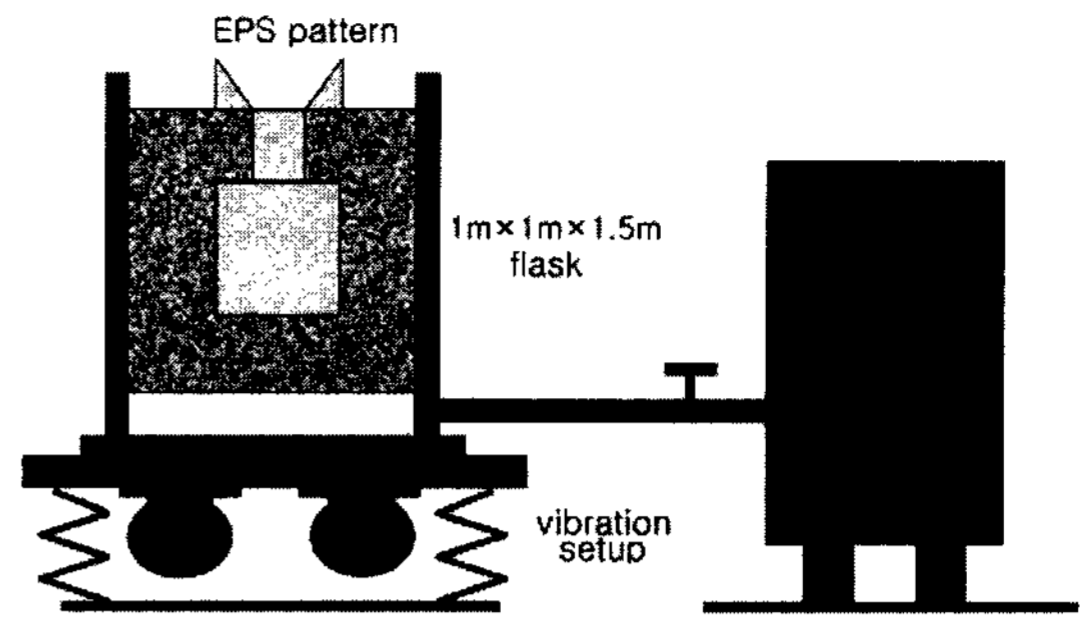


Fig. 2. Schematic diagram of experimental setup.

변형이 가해지지 않는 범위의 가벼운 진동을 일정 높이마다 가하였으며 이후 용탕 주입시 감압도를 체크하기 위해 압력 게이지를 두 곳에 설치하였다. 감압도는 0.015 MPa으로 하였다. 용해는 강고철, 선철, Fe-Si, Fe-Mn등을 이용하여 시편의 조성을 조정하여 고주파 유도로서 용해하여 용탕을 주입구를 넘칠 정도로 신속히 주입하였고 용탕 주입 후 15분 후에 탈사 처리하였다. Table 1에 본 실험으로 제조된 S25C, S45C 탄소강주강 시편의 조성을 나타내었다. EPC법으로 제조한 시편의 미세 조직을 관찰하기 위하여 우선 초음파 세척기를 이용하여 세척한 후 표면부를 관찰한 다음, 시편을 절단하여 연마한 후 알코올을 흘려주면서 1 μm의 diamond paste로 micro-polishing을 행하였다. 그 후 Nital(2 ml 질산 + 98 ml 에탄올)용액으로 에칭하여 OM(광학 현미경)과 FEG-SEM을 이용하여 시험편의 표면부와 내부의 조직을 비교, 관찰하였다. 그리고 시편의 침탄 깊이를 경도값의 변화로 알아보기 위하여

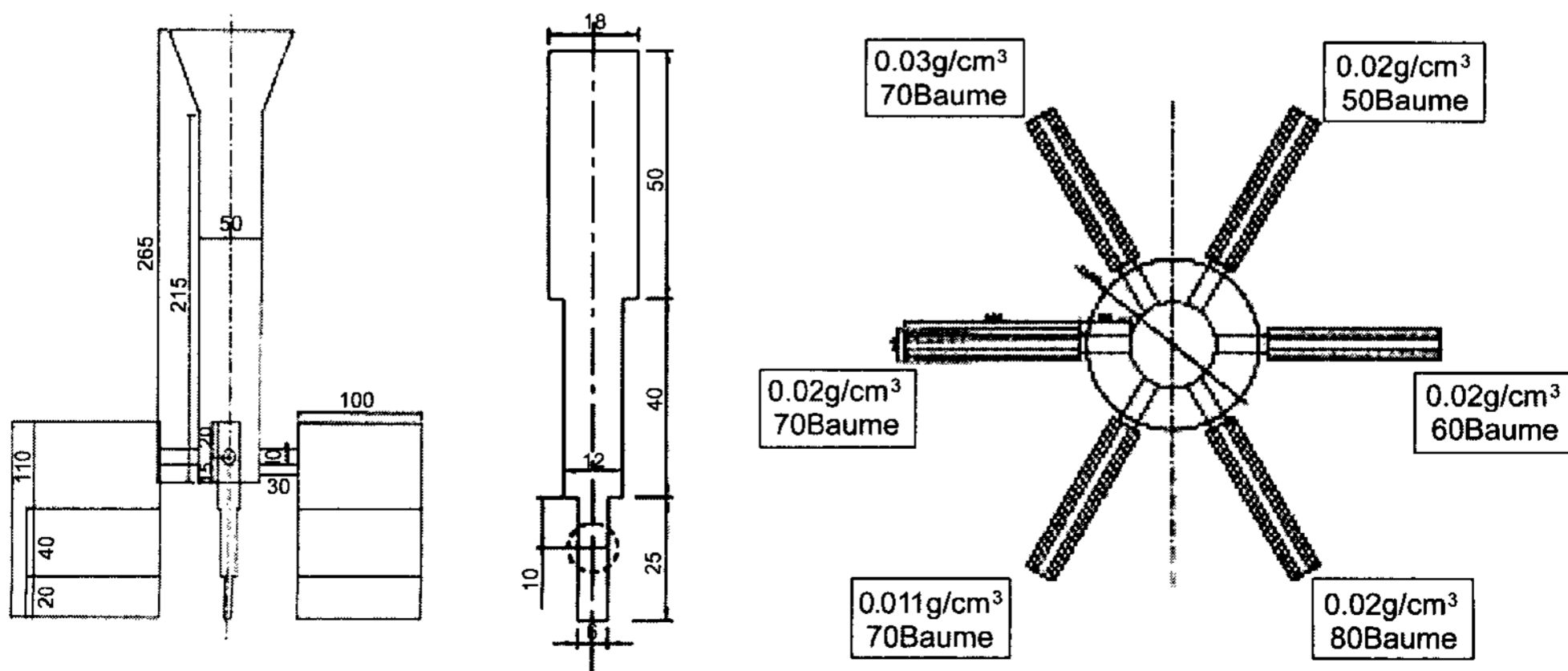


Fig. 1. Pattern shape of EPS and experimental condition.

Table 1. Chemical composition of the specimen

Sample	Element (wt %)									
	C	Si	S	P	Mn	Ni	Cr	Cu	Fe	
S25C	0.25	0.16	0.01	0.01	0.25	0.01	0.21	0.01	Bal.	
S45C	0.43	0.13	-	0.01	0.48	0.01	0.04	0.01	Bal.	

Vickers 경도기를 사용하여 표면부에서 내부로 100 μm 간격으로 1000 μm 까지를 하중시간 10초, 하중 50 kg 의 조건으로 10회 측정하여 최저치와 최고치를 삭제한 후 평균값으로 하였으며, 이 때 압흔 크기의 측정은 400배율하에서 하였다. 그리고 시편 단면의 표면부로부터 내부로의 탄소농도 분포를 알아보기 위하여 SHIMADZU-EPMA-1600을 이용하여 표면에서 내부 1000 μm 깊이까지 가속전압 15 kV, Beam Size 10 μm로 3회 선분석을 행하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1. EPS 모형밀도에 따른 조직 및 경도변화

Fig. 3은 본 실험을 통해서 EPC법으로 제조한 성형품으로서 주탕 후 해체하여 탈사한 후의 모습이다. 시편과 탕도 연결부의 경우 도형제가 제대로 도포되지 못하고 공백이 있는 부분은 소착이 심하게 발생한 것을 알 수 있다. Fig. 4는 주물표면을 관찰한 것으로

EPS 모형의 밀도가 낮을수록 그 비드의 직경은 증가함을 알 수 있다. EPS 모형의 밀도가 가장 낮은 0.011 g/cm³ 인 경우에는 EPS의 입자의 직경이 약 4 mm의 크기로 그대로 주물표면에 나타난 것을 알 수 있다. EPS 모형의 밀도가 증가할수록 비드 직경이 작아지고, 주물표면이 양호하게 나타났다. 탄소강주강 제조시 양호한 주물표면을 얻을 수 있는 EPS 모형 밀도와 후술하게 될 EPS 모형 밀도가 carbon pick-up현상에 미치는 영향을 충분히 고려하여 선택해야 한다. Fig. 5는 도형제의 농도가 일정할 때, EPS 모형의 밀도변화에 따른 미세조직 변화를 관찰한 것이다. 표면층의 조직은 침탄으로 인하여 층상의 조밀하고 미세한 퍼얼라이트로 이루어져 있지만, 내부의 경우에는 흰 망상조직의 페라이트와 퍼얼라이트의 혼합조직이며, 내부 퍼얼라이트는 표면층보다는 조대한 것을 알 수 있다. 일반적으로 침탄은 강의 fcc구조인 오스테나이트가 존재하는 온도에서 저탄소강의 표면에 탄소가 확산, 침투되는 현상이다[12]. EPC법에서의 탄소강의 침탄층은 여러 가지 요인에 따라 변화되는 것으로 예측되지만 우선은 도형제의 농도가 70 Baume로 일정할 때, EPS의 밀도가 0.011, 0.02, 0.03 g/cm³로 변함에 따른 각각의 표면층의 조직을 비교하였다. EPS 모형밀도가 증가함에 따라 페라이트 분율이 작아짐을 알 수 있고 표면의 침탄층의 두께가 두꺼워짐을 알 수 있는데 S25C의 경우 EPS 모형밀도가 0.011 g/cm³의 경우에는 약 200~300 μm, 0.02 g/cm³인 경우에는 450~500 μm,



Fig. 3. Steel castings cast by EPC process in this experiment.

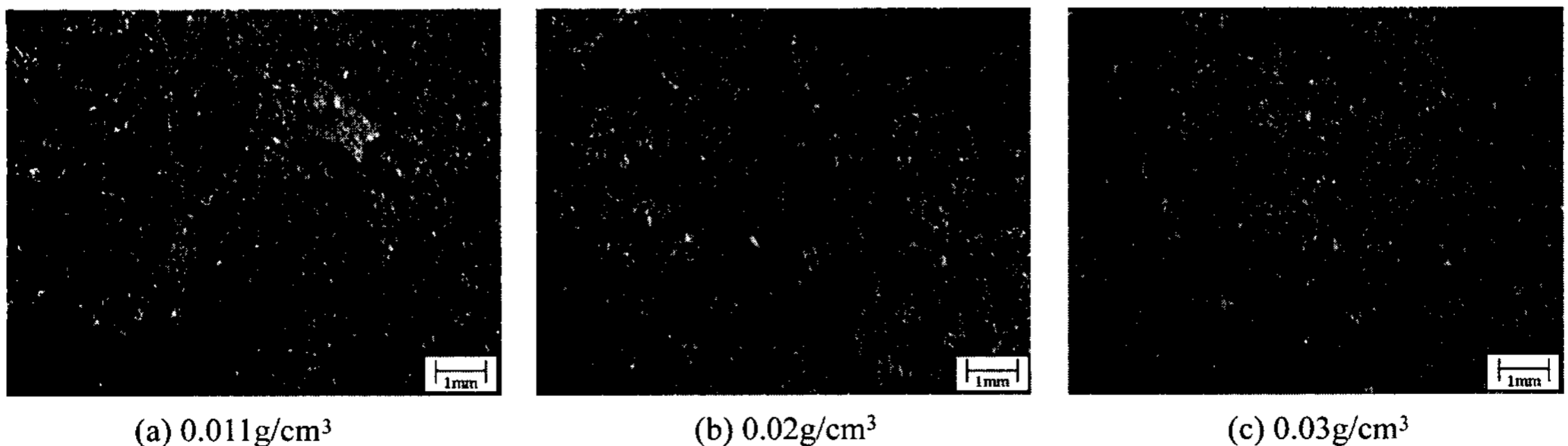


Fig. 4. Surface morphology of steel casting with variation of EPS pattern density.

그리고 0.03 g/cm³인 경우에는 600~700 μm 두께의 침탄층을 관찰할 수 있었고, S45C의 경우 EPS 모형 밀도가 0.011 g/cm³인 경우에는 약 100~200 μm, 0.02 g/cm³인 경우에는 약 200 μm, 0.03g/cm³인 경우에는 약 400 μm 두께의 침탄층을 관찰할 수가 있었다. EPS 모형밀도가 증가함에 따라 도형제 막을 통해 신속히 배출되지 못한 EPS 모형의 탄소계 열분해 생성물의 양이 증가하게 되며, EPS 모형의 열분해 생성물에 의한 침탄작용에 의하여 주강주물 계면의 침탄 깊이도 그에 따라 증가되는 것으로 판단된다. Fig. 6은 EPS

모형의 밀도가 0.011, 0.02, 0.03g/cm³로 변함에 따른 표면으로부터의 경도를 측정 비교하였다. 표면에서 100 μm의 깊이에서 경도는 S25C의 경우 EPS 모형밀도가 0.011 g/cm³ 일때는 Hv 310 정도, 0.02 g/cm³ 일때는 Hv 350 정도, 0.03 g/cm³일때는 Hv 370 정도로 내부 경도 Hv 200 정도보다 1.5배 또는 2배 정도로 높게 나타났다. S45C의 경우 EPS 모형밀도가 0.011 g/cm³일때는 Hv 375 정도, 0.02 g/cm³일때는 Hv 370 정도, 0.03 g/cm³ 일때는 Hv 340 정도로 내부 경도 Hv 280 정도보다 높게 나타났다. Fig. 7은

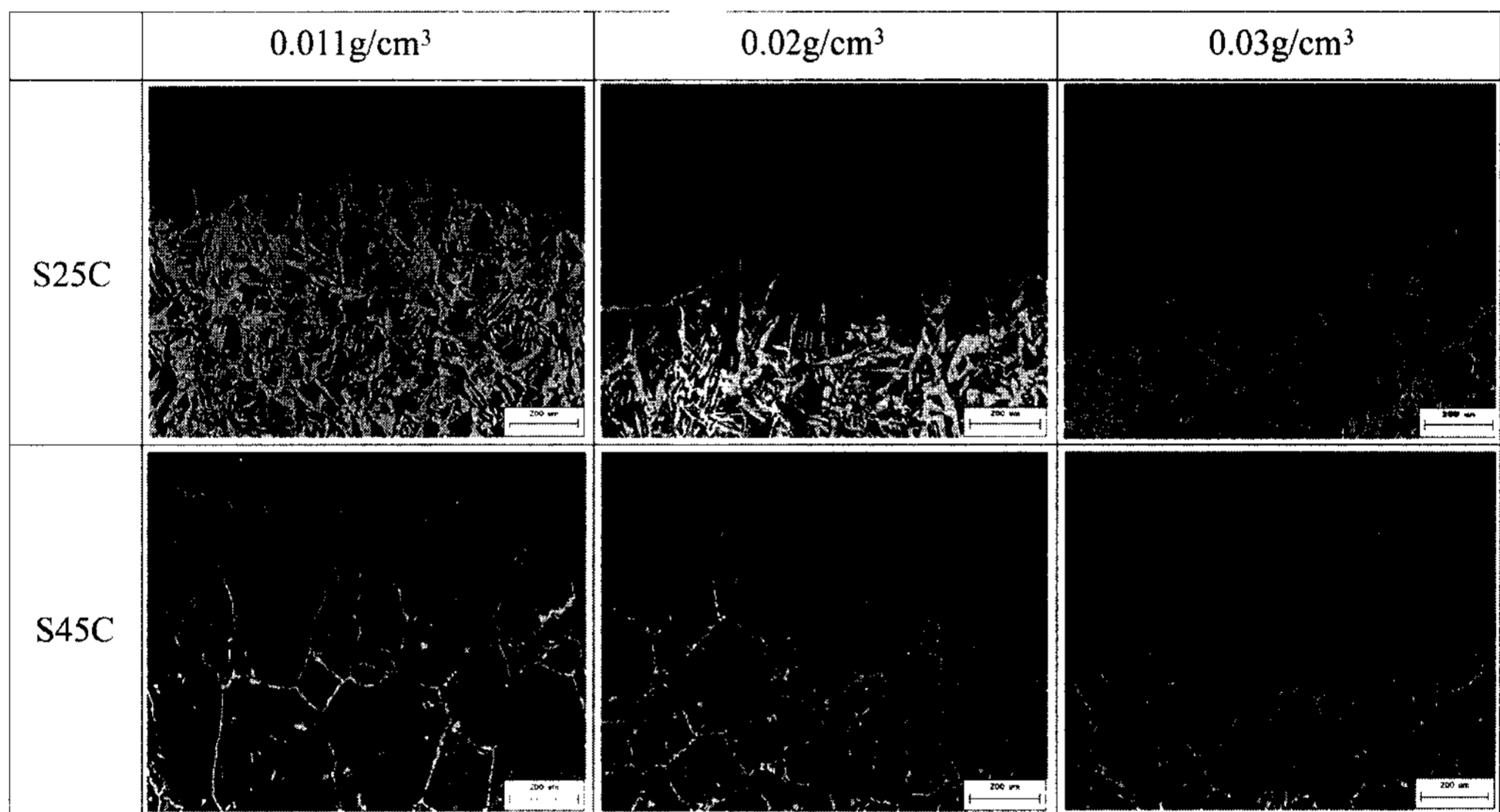


Fig. 5. Micrographs of the carburized layer of S25C and S45C steel with variation of EPS pattern density (coating density : 70 Baume)

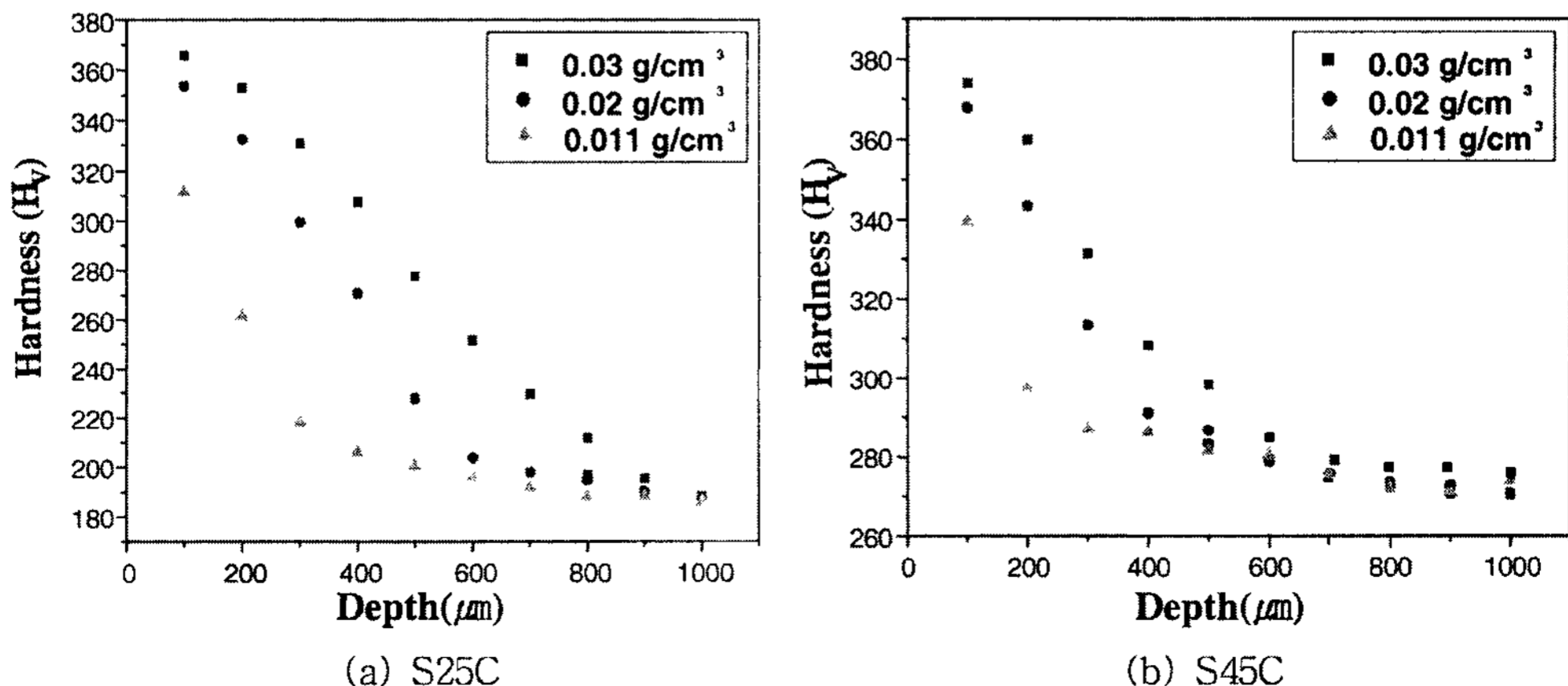


Fig. 6. Comparison of microhardness profiles with variation of EPS pattern density (coating density:70Baume)

EPMA 분석결과 시편 표면으로부터 내부로 탄소농도의 profile을 나타낸 것이다. 경도값과 EPMA 분석결과와 앞서 광학 현미경에서 확인한 침탄 깊이와 거의 일치함을 알 수 있다.

3.2. 도형제 농도에 따른 조직 및 경도변화

Fig. 8은 EPS 모형의 밀도가 0.02 g/cm³로 일정할 때, 도형제의 농도가 50, 60, 80 Baume로 변함에 따라 각각의 표면층의 조직을 비교한 사진이다. 도형제

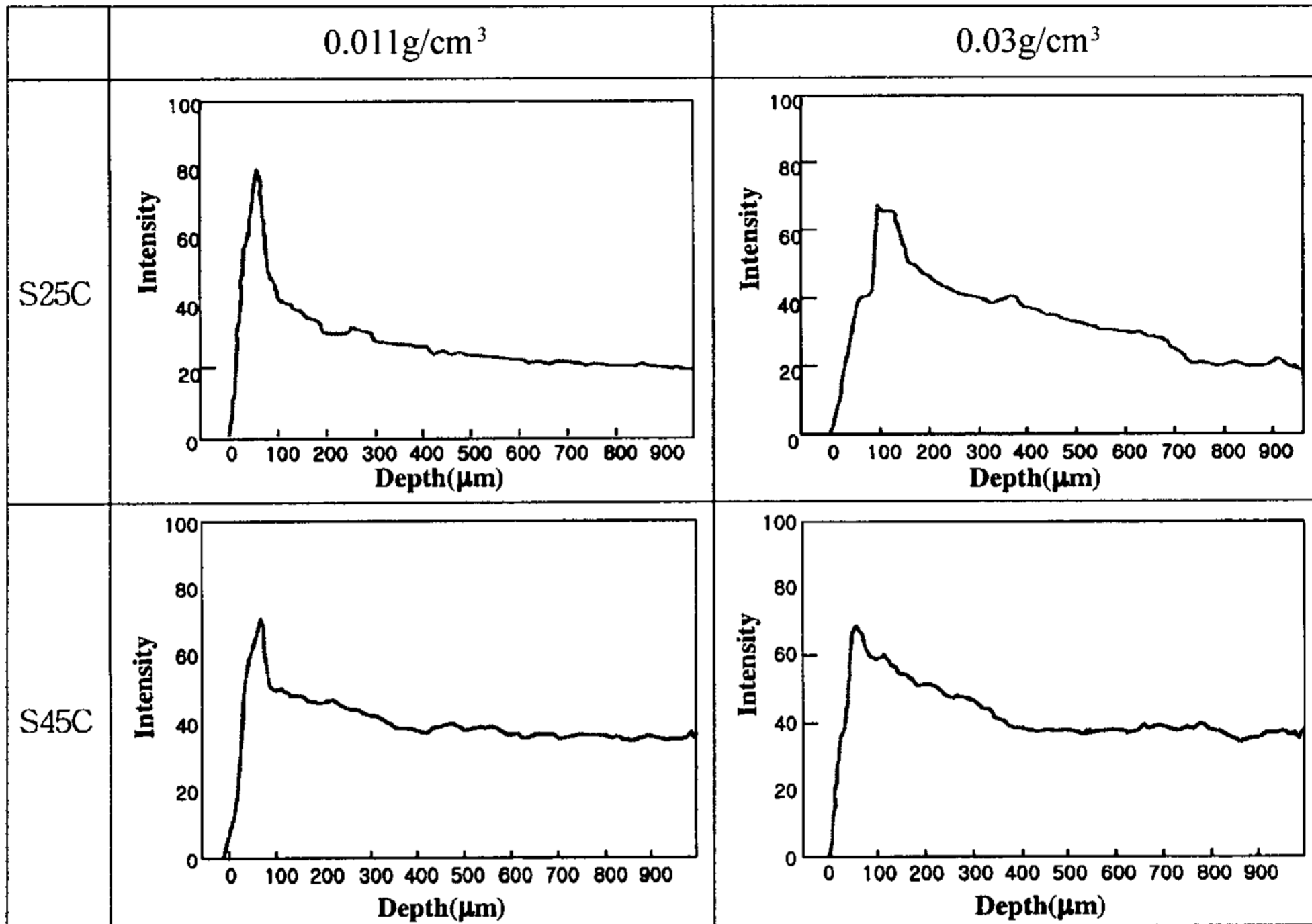


Fig. 7. EPMA line analysis of carburized S25C and S45C steel (coating density : 70 Baume).

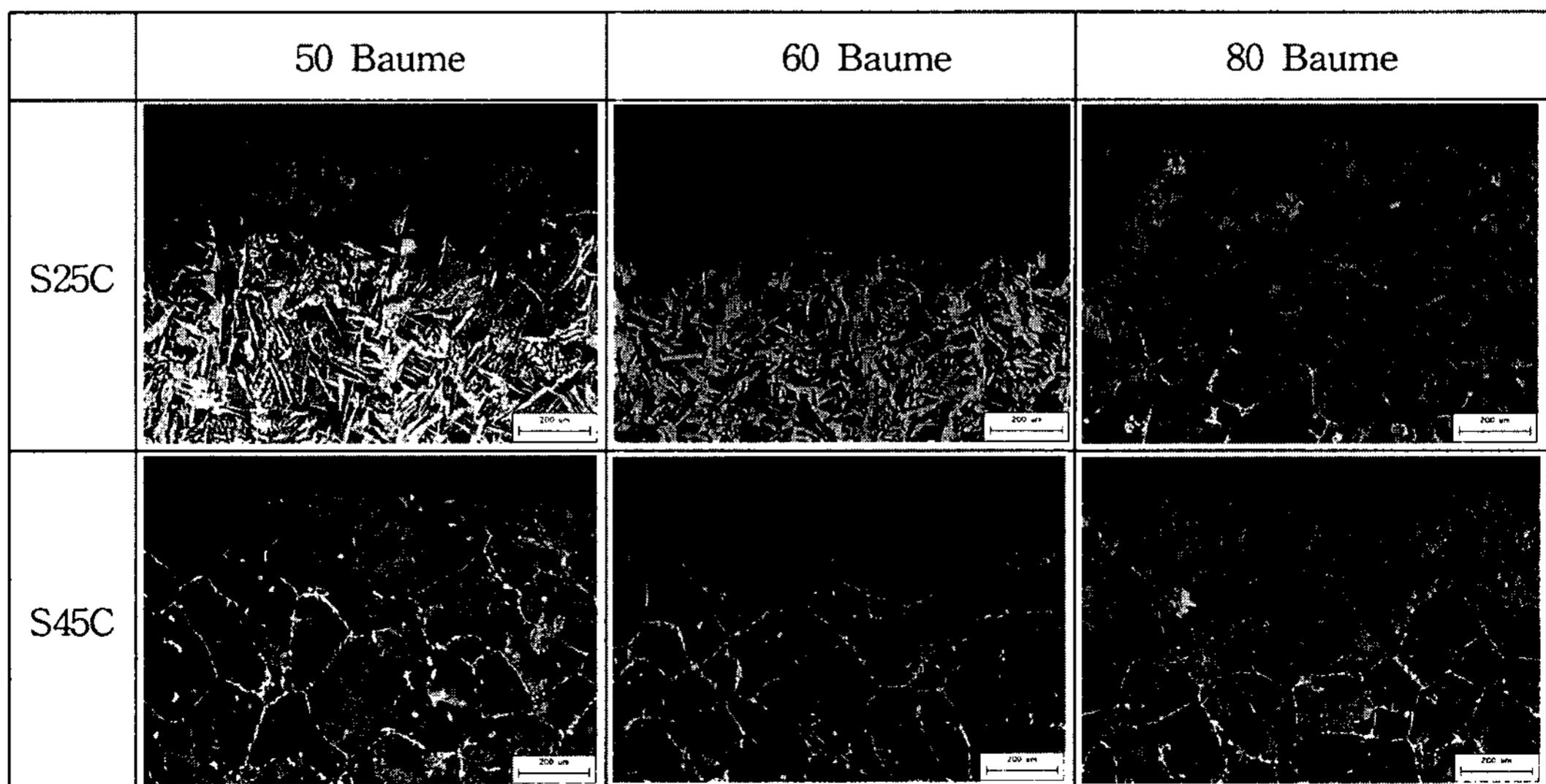


Fig. 8. Micrographs of the carburized layer of S25C and S45C steel with variation of coating density (EPS density : 0.02 g/cm³).

의 농도가 증가함에 따라 EPS밀도를 변화시켰을 때와 마찬가지로 표면층에는 층상의 조밀하고 미세한 퍼얼라이트가, 내부에는 흰 망상조직의 페라이트와 퍼얼라이트의 혼합조직으로 이루어져 있음을 알 수 있다. 도형제의 농도가 높아짐에 따라 페라이트 분율이 작아짐을 알 수 있고 침탄층의 두께가 두꺼워짐을 알 수 있다. S25C의 경우 도형제의 농도가 50 Baume인 경우에는 200~250 μm , 60 Baume인 경우에는 약 400 μm , 80 Baume인 경우에는 약 700~800 μm 두께의 침탄층을 관찰할 수 있었고, S45C의 경우 도형제의 농도가 50 Baume인 경우에는 약 100 μm , 60 Baume인 경우에는 약 200 μm , 80 Baume인 경우에는 약 400 μm 두께의 침탄층을 관찰할 수 있었다. 도형제의 농도가 증가함에 따라 용탕과 주물사의 경계역할을 하는 도형막의 두께가 두꺼워지게 되며, 그에 따라 도형막의 통기도가 나빠지게 된다. 따라서 EPS 모형의 탄소계 열분해 생성물이 도형막을 통해서 원활하게 배출되지 못하므로, 도형제의 농도가 증가함에 따라 침탄층의 깊이가 증가되는 것으로 판단된다. Fig. 9는 도형제의 농도를 변화시켰을 때 침탄층의 경화 패턴과 경화 깊이를 나타낸 것이다. EPS 모형의 밀도가 0.02 g/cm³로 일정할 때, 도형제의 농도가 50, 60, 80 Baume로 증가함에 따라 표면 경도가 높게 나타났으며, 주물내 탄소 함유량이 낮을수록 경화 깊이가 증가되었다. Fig. 10은 EPMA 선분석결과 시편 표면으로부터 내부로 상대적인 탄소량의 Profile을 나타낸 것이다. 경도값과 앞서 광학 현미경에서 확인한 침탄 깊이와 같은 양상을 나타냄을 알 수 있다. 향후 도형제가 미치는 여러 가지

영향에 대해 검토해야 할 것으로 사료된다.

3.3. 탄소강주강 (S25C,S45C)의 탄소 함유량에 따른 carbon pick-up 현상

탄소강주강(S25C, S45C)이 가지는 탄소 함유량에 따라 침탄의 깊이가 달라지는 것을 조직 및 경도변화를 통해 알 수 있었다. Fig. 5에서 S25C가 S45C보다 EPS밀도가 0.011, 0.02, 0.03 g/cm³로 증가할 때 S25C의 침탄 깊이가 S45C의 침탄 깊이보다 깊은 것을 확인할 수 있고 S25C가 S45C보다 흰 망상조직의 페라이트 분율이 크다는 것을 확인할 수 있다. Fig. 6과 7의 경도와 EPMA 선분석에서도 마찬가지로 침탄 깊이가 변화를 확인할 수 있었다. Fig. 8에서 도형제의 농도를 변화시켰을 때 S25C의 침탄 깊이가 S45C의 침탄 깊이보다 깊은 것을 알 수 있었고 S25C가 S45C보다 흰 망상조직의 페라이트 분율이 크다는 것을 마찬가지로 확인할 수 있었다. Fig. 9와 10의 경도와 EPMA선분석에서도 같은 결과를 보여주고 있다. EPS 모형밀도와 도형제의 농도가 일정할 때, S25C의 침탄 깊이가 S45C보다 깊은 이유는 S25C가 S45C보다 탄소 함유량이 적어 용탕과 EPS 모형 열분해 생성물 계면 사이의 높은 탄소농도 구배로 인해 침탄이 깊게 일어난 것으로 사료된다.

4. 결 론

소실모형구조법에 의한 주강주물 제조시 carbon pick-up에 의한 표면 침탄현상에 미치는 발포폴리스틸

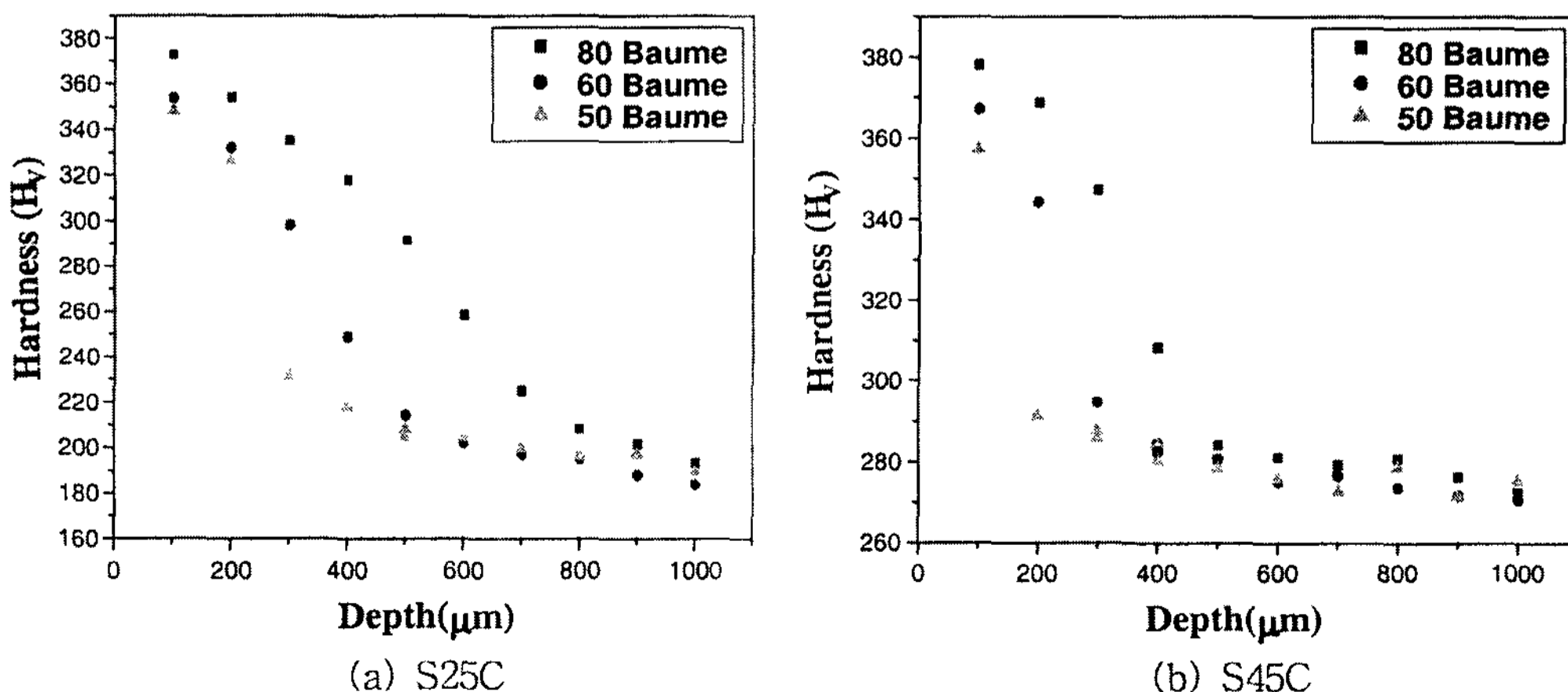


Fig. 9. Comparison of microhardness profiles with variation of coating density (EPS density : 0.02 g/cm³)

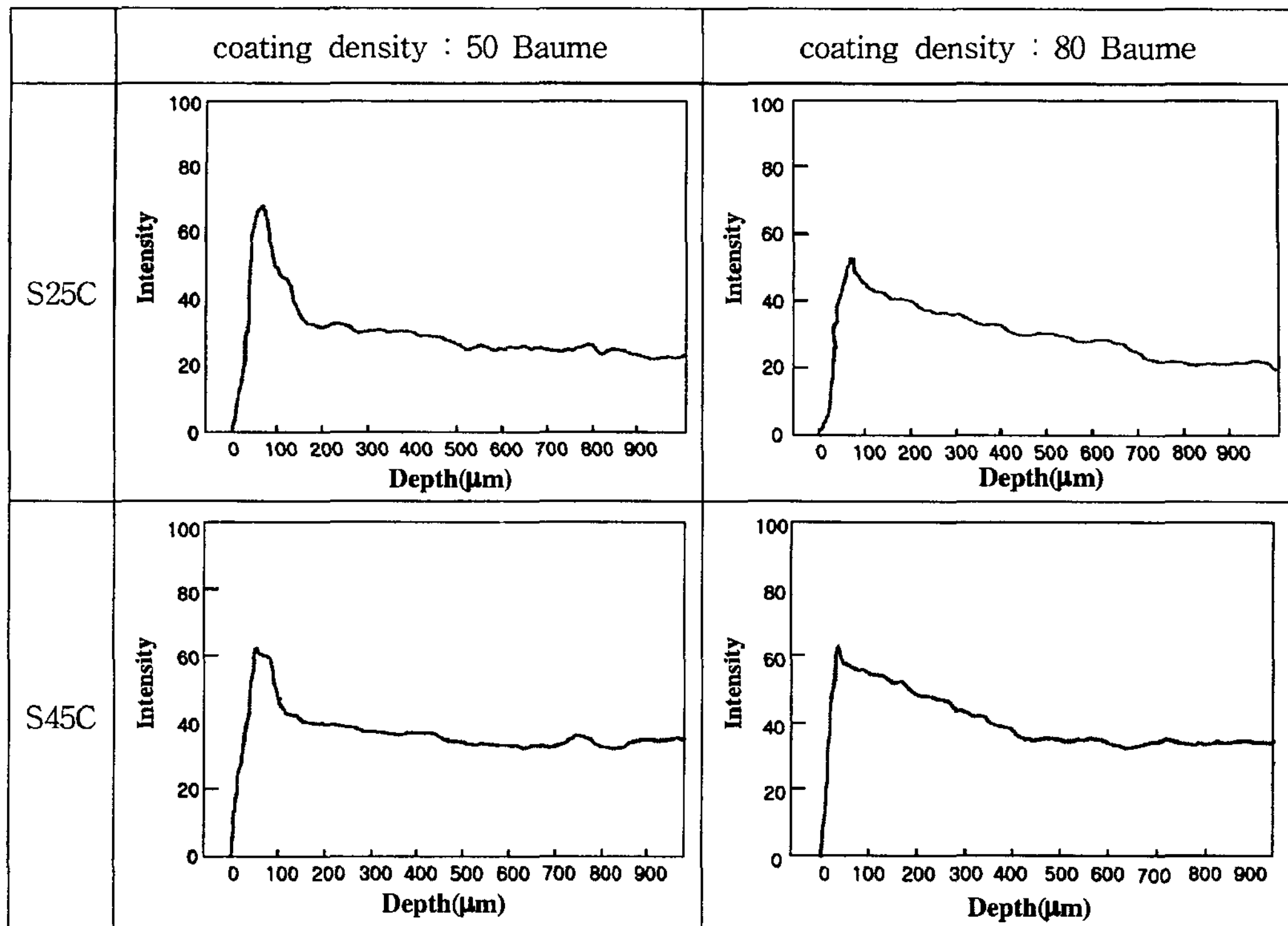


Fig. 10. EPMA line analysis of carburized S25C and S45C steel (EPS pattern density : 0.02 g/cm³).

렌 모형의 밀도, 도형제의 농도, 주물의 탄소 함유량의 제조 공정 인자의 영향을 조사 검토하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 도형제의 농도가 일정할 때, EPS 모형 밀도의 증가(0.011, 0.02, 0.03 g/cm³)에 따라 주강주물의 표면 침탄 깊이가 증가하였다. 이는 EPS 모형밀도가 증가함에 따라 EPS 모형의 탄소계 열분해 생성물의 양이 증가하기 때문이다.

2) EPS 모형밀도가 일정할 때, 도형제의 농도 증가(50, 60, 80 Baume)에 따라 주강주물의 표면 침탄 깊이가 증가하였다. 이는 도형제의 농도가 증가함에 따라 용탕과 주물사의 경계역할을 하는 도형막의 두께가 두꺼워져, 도형막의 통기도가 낮아지기 때문이다.

3) EPS 모형밀도와 도형제의 농도가 같은 동일한 실험조건에서 S25C이 S45C보다 침탄 깊이가 증가하였는데, 이는 S25C의 주강주물내 탄소 함유량이 적기 때문에 용탕과 EPS 모형 열분해 생성물 계면 사이의 탄소농도 구배가 커지기 때문으로 사료된다.

후 기

본 연구는 산업자원부에서 시행한 2001년도 국가청정생산기술사업의 지원에 의해 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

- [1] Keiji Tamura : Imono, "Mass Production by Evaporative Pattern casting Process", 1987, 708-715.
- [2] Masashi Motoyoshi : Imono, "Present Situation of Evaporative Pattern casting Process", 1987, 722-724.
- [3] Yukio Yoyama : Imono, "New Technique of Full Mould Process in Reduced Pressure", 1987, 725-728.
- [4] Yasuo Yamamoto, Satoshi Takimoto, Hidekazu Miyake and Akira Okada : Imono, "Effect of Coating and Deformation of Evaporative Polystyrene Pattern on Full Mould Process of a Vacuum Assist", 1987, 729-733.
- [5] Yasuji Sakaguchi, Mideaki Ota, Yoshihiro Usami and Shigeo Awano : Imono, "Characteristics of Metal Flow of Aluminum Alloy in Evaporative Pattern casting Process", 1987, 760-7635.

- [6] Kunihiro Kanoh : Imono, "The Mass-Production of Automobile Parts of Grey Cast Iron by Lost Form Casting Process", 1990, 168-173.
- [7] Takao Naoi, Hiromi Watanabe, Shuncho Arai, Kazuichiro Minami and Kenji Chijiwa : Imono, "Metal Flow of Cast Iron in Evaporative Pattern Casting Process", 1990, 270-276.
- [8] Yasuji Sakaguchi : Imono, "Casting Defect on Evaporative Pattern Casting", 1992, 38-43.
- [9] Susan P. Thomas : An American Foundrymen's Society Publication, "Expandable Pattern Casting", 1994, vol 1, 67-91.
- [10] Makoto Tsunoi, Hiromi Yokete, Takashi Yamane, Toshio Kai and Hideki Kuwabara : Imono, "Application of a New Evaporative Pattern to Cast Steel Productions", 1987, 765-771.
- [11] Kiyohiko Hosoda, Koji Yamada and Masato Miyake : Imono, "On the Application of EPC to the Steel Castings", 1987, 738-740.
- [12] Ji-Youn Kim, Nam-Don Cho : Journal of the Korean Foundrymen Society, "Effect of Coating Materials on Surface Layer Structures of Austenite Stainless Steel Castings in Evaporative Pattern Process", 1995, 82-84.
- [13] S. Shivkumar. Yao, X. M. Makhlof : Scripta Metallurgica et Materialia, "Polymer-Melt Interactions during Casting Formation in the Lost Foam Process", 1995, 39-46.
- [14] X. Yao, M. S. Thesis : Worcester Polytechnic Institute, Worcester, MA, 1994.