

:::::::::::
해외기술자료
:::::::::::

섬유강화도형을 이용한 소실모형사전제거 주조법¹⁾

藤田英明 · 西山博輝 · 川端勝弘 · 志村勝司²⁾

Full Mold Process with Pre-removed Pattern by Fiber Reinforced Coating

Hideaki Fujita, Hiroki Nishiyama, Katsuhiro Kawabata and Katsushi Shimura

번역 : 조규섭³⁾

1. 서 론

종래 풀몰드법(FM법)은 발포 폴리스티렌(EPS) 등으로 성형된 모형을 주물사 중에 매설하고, 모형을 그대로 설치한 상태에서 용탕을 주탕하고, 용탕의 열에 의해 모형이 분해 및 치환되어 원하는 형상의 주물을 얻는 주조방법이다. 그러나, 이 방법은 주입용탕의 열에 의해 유기물 모형을 직접 소실시키기 때문에, 탄소강 주강품등에 있어서는 EPS모형을 구성하는 탄소·수소 등이 용강에 침입하여 탄소 성분에 의한 경도변화나 기타 가스성분에 의한 가스블로우 결함을 완성된 제품에 일으킨다. 또한, 구상흑연주철 제품 등에 있어서는 잔사 및 표면결함 등이 발생하기 쉽다.

FM법의 최대 장점은 조형작업에서 형발이 없다는 편리함에 있지만, 주조품의 품질면에 서는 주입시점에 주형 내 모형이 없는 것이 가장 이상적이다. 즉, 조형작업은 FM법으로 하고, 주입 직전에 그 모형을 간단한 방법으로 제거한다면, 상기와 같은 FM법의 여러 가지 품질 측면의 문제점이 해결되므로, 적용범위가 넓어지고 생산기술 측면에서 의미있는 새로운 조형법이 될 것이다.

모형 제거의 한 방법으로, 주형 내에 있는 EPS모형을 주탕전에 연소·소실시키는 방법에 착안하였으며, 용탕을 주형 내로 인도하기 위해 설치된 탕도를 통하여 EPS모형 연소에 필요한 산소를 모형 안으로 공급

하고, 모형을 완전히 연소시켜 제거하는 방법을 시도하였다. 그러나, 일반적인 도형재를 EPS모형에 도형하고 모형을 연소시키면 도형층이 파괴되므로 만족스러운 주형공간을 얻는 것은 불가능하다. 그래서, 도형재에 내열성이 있는 섬유를 첨가하는 단섬유강화[1]를 실시하였다. 그 결과, 도형층은 모형 연소에 필요한 가열과 그 후의 냉각 과정에서도 충분한 잔류강도를 유지하였고 만족할 만한 주형공간이 얻어졌다.

여기서, 소실모형사전제거주조법(이하 F 프로세스라 칭한다)이란, 가열·냉각을 받고서도 파괴되지 않는 섬유강화도형재를 사용하고, 주입 전단계에서 모형을 연소·제거하여 주형 내부를 공통으로 한 후 용탕을 주입하는 주조방법이다.

2. 실험방법 및 결과

2.1 도형에서의 섬유강화 효과

2.2.1 판상시험편에 의한 도형강도의 비교

500 mm × 1800 mm × 80 mm의 EPS 모형의 한 면을 제외한 나머지 면을 도형하고, 도형된 부분만을 주형 내에 조형하였다. 미도형된 면을 밑면으로 한 상태에서 모형을 대기중에 연소시켜서 도형층의 파괴 상황을 관찰하였다. 그 결과를 Fig. 1에 나타내었다.

가장 안쪽부분에는 섬유를 첨가하지 않은 도형, 중앙부에는 유리섬유를 첨가한 도형, 바깥부분은 알루미

1) 日本鑄造工學會誌 Vol. 75 No. 3 pp. 219~224에 게재된 자료임.

2) 日本鑄造(株) Nippon Chuzo K.K

3) 한국생산기술연구원 신소재본부(Korea Institute of Industrial Technology)



Fig. 1. 판상시험편에 의한 도형강도

나·실리카섬유가 첨가된 도형이다. 섬유를 첨가하지 않은 도형층은 연소초기에 파괴되었고, 주변 가장자리만 남았다. 유리섬유 첨가 도형은 섬유에 의한 가교효과에 의해 부분적으로 주형면에 부착되어 있었지만, 대부분의 도형층은 연소 도중에 도형층끼리 붙은 상태에서 붕괴되었다. 그러나 알루미나·실리카섬유 첨가도형은 대부분 주형면에 부착되어 있었다.

이상으로부터 섬유강화된 도형은 도형층 자신의 강도가 향상되었고, 특히 알루미나·실리카 섬유첨가의 경우에는 모형부분이 연소·소실되어도 도형층이 주형벽에 부착되어 주형벽면을 유지하였고, 도형층의 탈락이나 박리현상은 없었다.

2.1.2 시험편에 의한 도형잔류강도의 측정

6종류의 섬유에 대해서 모형연소 후의 섬유길이와 도형잔류강도와의 관계를 비교하기 위하여 Fig. 2와 같은 방법으로 최대굽힘하중을 측정하였다.

두께 20 mm의 SS40재질 강판에 둔자형의 지그를 만들고, 둔부분에 EPS모형 블록을 넣었다. 그 위에 전

조 두께로 약 2 mm가 되도록 도형을 하였으며, 8시간 동안 건조하였다. 건조후 시편 측면에서 가스버너로 도형부분과 EPS모형 블록을 동시에 60초 동안 가열하였다. 그 때 도형부분의 온도는 약 1173 K이었다. 시험편을 상온까지 약 1시간 정도 냉각후 강도를 측정하였다. 압입단자 형상은 도형층 폭보다 큰 폭 25 mm, 길이 30 mm, 두께 4 mm의 판상 지그로 선단부에 반경 2 mm 곡률을 가진 원 형상으로 하였다. 도형면에는 요철이 존재하고 단면적이 일정하지 않기 때문에 압자를 도형면에 누를 때의 최대굽힘하중을 측정하였다. 각 조건에서 10회 측정하였고, 그 평균값을 섬유강화 도형의 최대굽힘하중으로 하였다.

Table 1은 사용한 강화섬유의 물성값이다. 이들 섬유를 도형재에 대해 진체적으로 1 vol.% 첨가하고, 교반기에서 물과 혼합 및 교반하여 각각의 섬유강화 도형재를 얻었다. 그리고 기본구성 도형재로는 시판되고 있는 알루미나계 수용성 도형재를 사용하였다.

Fig. 3에 각종의 섬유에서 섬유길이와 최대굽힘하중과의 관계를 나타내었다. 섬유를 첨가하지 않았을 때에는 가열·냉각후 0.34N이 얻어졌지만, SiC섬유 첨가한 경우에는 약 8배인 2.7N의 강도가 얻어졌다. 강도

Table 1. 시험에 사용된 섬유물성값

섬유의 종류	지름 (μm)	밀도 (g/cm^3)	인장강도 (N/mm^2)	내열도 (K)
SiC	14	2.3	2700	3000
알루미나·실리카	20	2.9	2000	약 2300
카본	7	1.9	3500	4000
실리카	7	2.2	2000	1500
내알칼리·글라스	10	2.7	2500	1000
E글라스	10	2.7	2000	1000

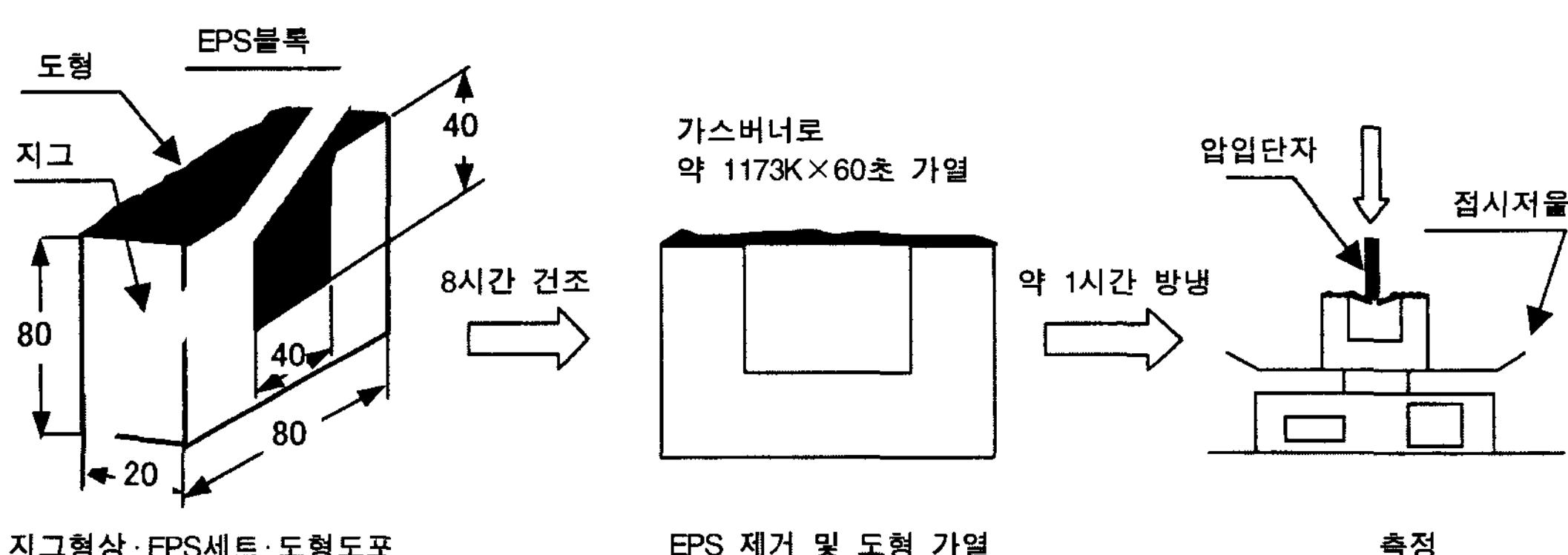


Fig. 2. 도형의 최대굽힘하중 측정법

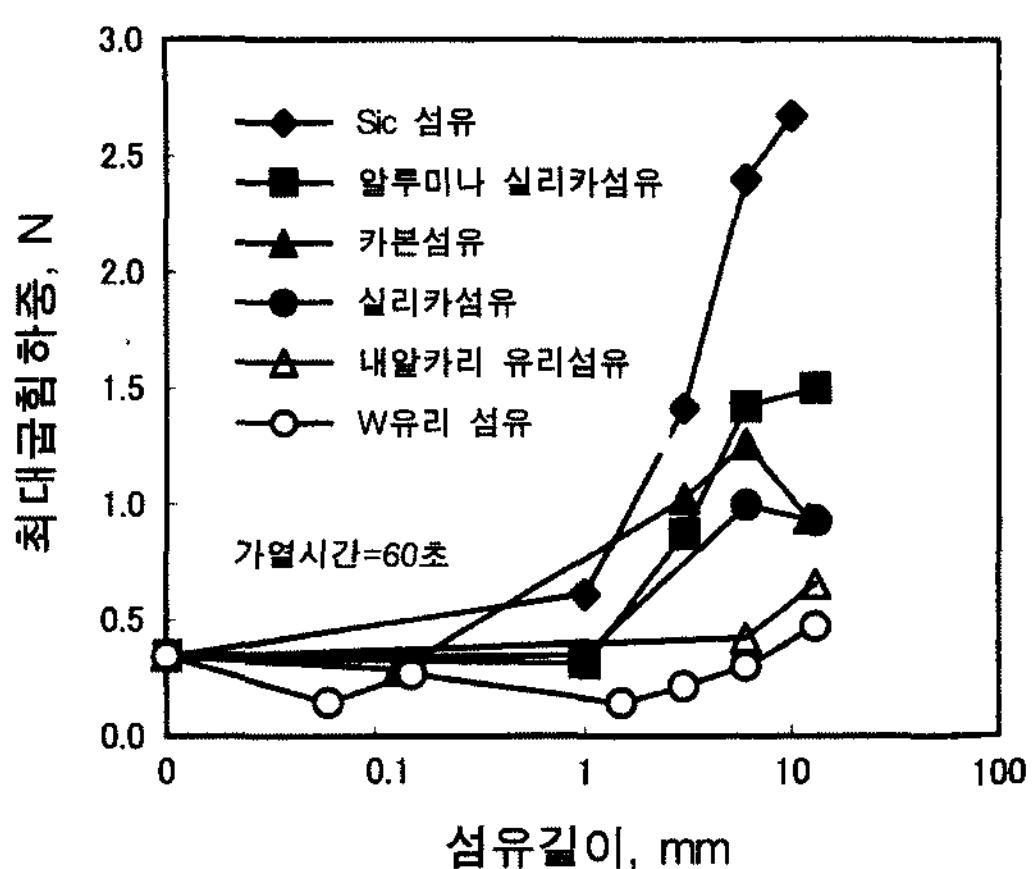


Fig. 3. 각 섬유의 길이와 최대굽힘하중

는 섬유길이 약 1~3 mm 정도에서 증가하기 시작하여 6~10 mm 정도에서 크게 증가하는 것이 많았다. 그러나, 그 이상의 길이에서 강도 증가는 작았다. 섬유길이 6 mm에서 강도를 비교하면, E글라스 < 내알카리·유리 < 실리카 < 카본 < 알루미나·실리카 < SiC순이었다. 이것은 기본적으로 Table 1에 나타낸 각 섬유의 내열도의 순서와 동일한 것이었다.

섬유첨가 강화효과는 시멘트의 단섬유 강화이론[2]에 의하면 섬유의 강도, 섬유와 기자와의 부착력에 의해 결정된다. 이들 관계에서, 단섬유첨가의 효과를 충분히 발휘하기 위한 최소섬유길이인 한계섬유길이를 가열받은 후의 도형층에 적용하여 추정하여 보면 약 30~

50 mm 정도이다. 그러므로 실제 섬유강화에 사용되고 있는 6~13 mm 길이의 섬유는 그 보강효과를 충분히 발휘할 길이에 도달되지 않은 것이다. 그러나, 도형역 할로서는 6~13 mm 정도에서도 충분한 강도가 얻어지기 때문에 그 길이의 것을 사용하였다.

F프로세스에 사용하는 섬유강화도형은 300 kg 정도의 주물까지는 내알카리·유리섬유에 의한 강화로 충분하며, 대형주물의 경우에는 보다 내열도가 높은 SiC 섬유에 의한 강화도형이 적합하다고 생각된다. 또한, 일반적인 FM법에서 도형층의 희석방지 목적으로 섬유 강화를 하는 경우에는 내알카리·유리섬유로도 충분하다.

2.2 소실모형사전제거주조법(F프로세스)

2.2.1 F프로세스의 특징

Fig. 4에 FM법과 F프로세스의 차이점을 나타내었다. 종래의 FM법에서는 모형표면에 도형재를 도포하고, 건조 후 모형을 주물사 중에 매설하고, 그 상태로 용탕을 주입한다. 때문에 모형의 구성물인 탄소 및 기타 가스성분이 주입 중의 용탕에 흡수된다. 그러므로 탄소강주강품 등에 있어서는 제품 일부가 가탄되고, 고탄소 영역을 만들어 경도편차를 발생시킨다. 또한, 모형의 가스성분은 블로우 홀을 형성한다. 구상흑연주철 제품 등에 있어서는 잔사가 발생하고 표면불량을 일으키기 쉽다. 이러한 현상들은 용탕에 의해 EPS모형을 치환하는 공정에 원인이 있는 것이다.

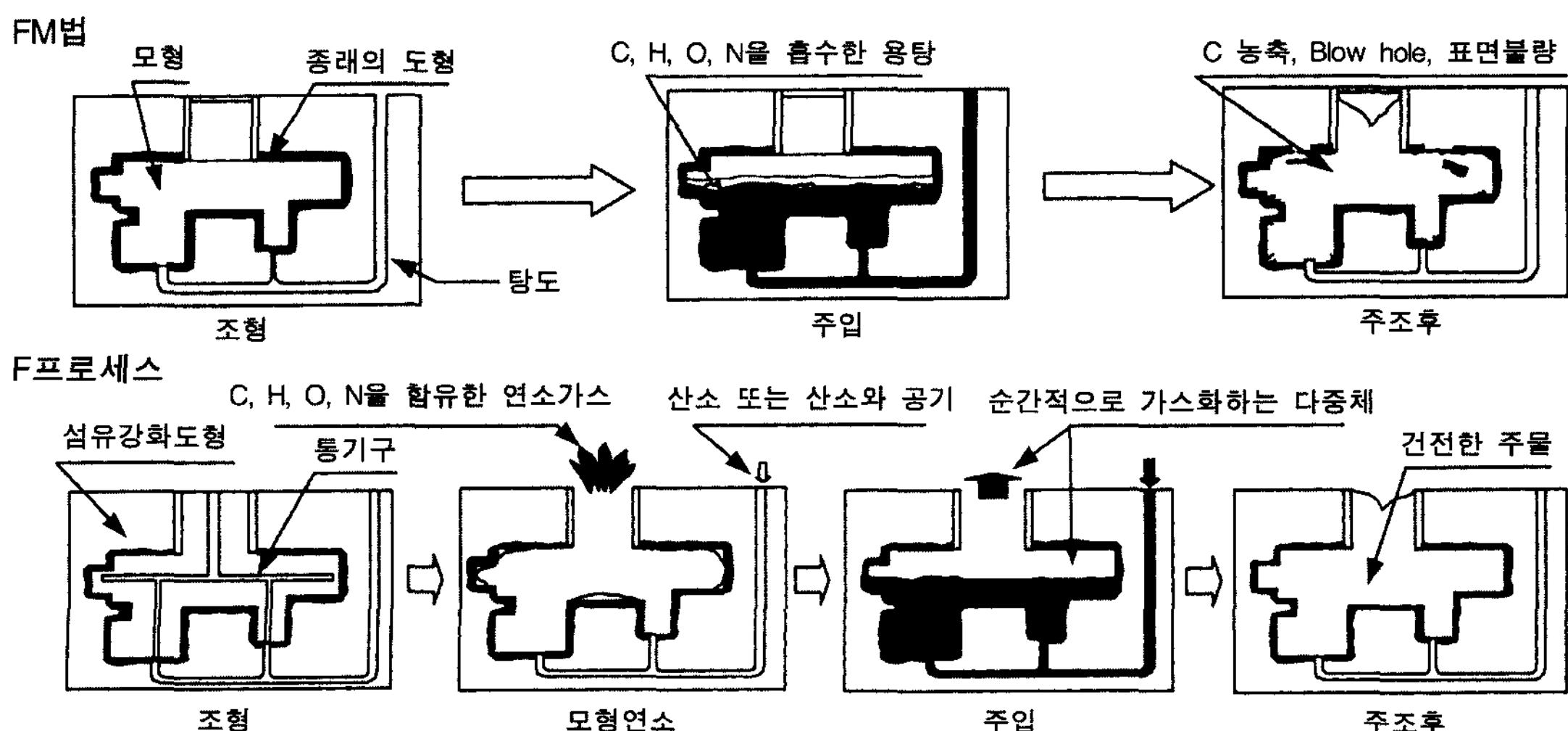


Fig. 4. 풀몰드법과 F 프로세스의 비교

F프로세스에서는 EPS모형의 연소에 필요한 순산소 및 공기를 유입하기 위한 통기구를 모형 내부에 설치한다. 그리고 섬유강화도형을 도포하고 건조하며, 그 후 FM법과 동일하게 조형한다. 조형후 탕도를 통해 순산소만 또는 산소와 공기의 혼합기체, 또는 개별로 공급하고, 이들 기체의 출구측보다는 모형 자체에서 착화 및 연소시켜 모형을 소실시킨다. 모형연소시 및 그 후 냉각 과정에서 섬유강화도형은 도형층 자신의 강도가 높기 때문에 파괴되거나 탈락되지는 않는다. 이 후 모형이 제거된 단계에서 섬유강화도형으로 도형된 주형공김에 용탕을 주입한다.

Fig. 5는 300 mm × 300 mm × 150 mm EPS모형에 섬유강화도형을 도형 및 건조시킨 후, 가스버너로 모형 부분을 연소시킨 도형층의 모습을 나타낸 것이다. 둥근 구멍 내부의 모형부분이 소실되어 빈 공간이 존재하며, 도형층이 자기 자신의 강도로 제 형상을 유지하고 있는 것을 알 수 있다. 이 도형층은 가열·냉각을 수회 반복해도 파괴되지 않았다.

실제로 F프로세스를 하면, 주형 중의 모형을 완전히 연소·소실시키는 것은 곤란하고 타르상의 다중체나 잔사 등이 주형 내부에 많이 잔류한다. 대부분 경우에는 타르상의 다중체가 주형 바닥면에 약 8 mm 두께로 퇴적된다. 개발초기에는 이 타르상 다중체에 의한 가탄이 발생할 가능성이 있다고 생각되었다. 그러나, 다수의 시험 주조후 시편을 분석한 결과에서는 타르상 다중체에 의한 가탄은 확인되지 않았다.

타르상 다중체에 의한 가탄이 발생하지 않은 이유로서는 용탕이 주입되면 용탕열에 의해 타르상의 다중체가 빠르게 액화 또는 가스화되어 단시간에 주형밖으로 방출되기 때문이다. 또는 용탕열과 주형공동부의 산소

나 공기에 의해 가연물인 타르다중체는 빠르게 연소·가스화하여 용탕과 접촉하지 않고 주형밖으로 방출되기 때문으로 생각된다. 어느 경우에 있어서도 타르상 다중체가 단시간에 계외로 방출되기 때문에 가탄 및 가스블로우 등의 결함이 완성된 제품에는 발생하지 않은 것으로 추정된다.

실제로 대형시험편 주조시 주입 도중에 직접 관찰한 경우에 주형공동의 모서리부에 잔류하는 타르상 다중체는 주입개시 후 2~3초만에 없어진다. 시험편 주입시간은 60초이고 이 시간에 비하여 1/20~1/30의 짧은 시간에 소실되어 없어진다. 이는 용탕 충전속도와 비교하면 매우 빠른 시간에 타르상 다중체가 소실 및 가스화된다는 것을 의미한다. 이처럼 용탕과 타르상 다중체와의 접촉 시간이 매우 짧기 때문에 타르상 다중체 성분이 용탕에 흡수되지 않았으며, 또한 가탄 등이 발생하지 않은 것으로 판단된다.

2.2.2 소형시험편에서의 시험

소형시험편의 형상은 100 mm × 100 mm × 700 mm 각주에 330 mm × 330 mm × 40 mm 판을 날개모양으로 100 mm 간격으로 4매를 부착하였다. 시험편의 EPS모형 중앙부에 φ 25 mm 통기구를 만들고, 내알카리·유리섬유를 1vol.% 첨가한 섬유강화도형을 2회 도포하였다. 그 후 8시간 동안 건조한 다음 주형 내에 조형하였다. 탕도를 통해 φ 25 mm 통기구에 산소와 공기 혼합가스를 취입하고 모형에 착화시켜 모형을 연소시켰다.

소형시험편에서 모형 연소후의 주형 내 모습을 Fig. 6에 나타내었다. 소형시험편 시험에서는 잔사나 타르상 다중체가 모서리부에 잔류하는 것과 모형이 주형 내부에서 연소되는 것을 확인하였다.

FM법과 F프로세스의 차이점을 비교하기 위해 동일한 형상의 모형 2개를 각각 조형하고 탄소량 0.22% 탄소강주강품을 주조했다. 주조후 Fig. 7에서처럼 탄소 분석 시편을 채취하여 탄소량을 측정하였다. 그 결과를 Table 2에 나타내었다.

FM법에서는 시험편 중앙부 A, B, C, D 및 끝단부 No.1, 2, 3, 4에서 시험편의 상부로 올라감에 따라서 가탄량이 증가하고 있다. 특히, 끝단부 No. 1에서는 0.42%로 주탕시의 탄소량 0.22%에 대하여 0.20% 가탄되었다. 즉, FM법에서 주조한 시험편에서는 상부쪽 부분에 가탄량이 많고, 또한 끝단 부분에 가탄량이 많은 것을 알 수 있다. 이것을 실제 제품에서 고려하면,

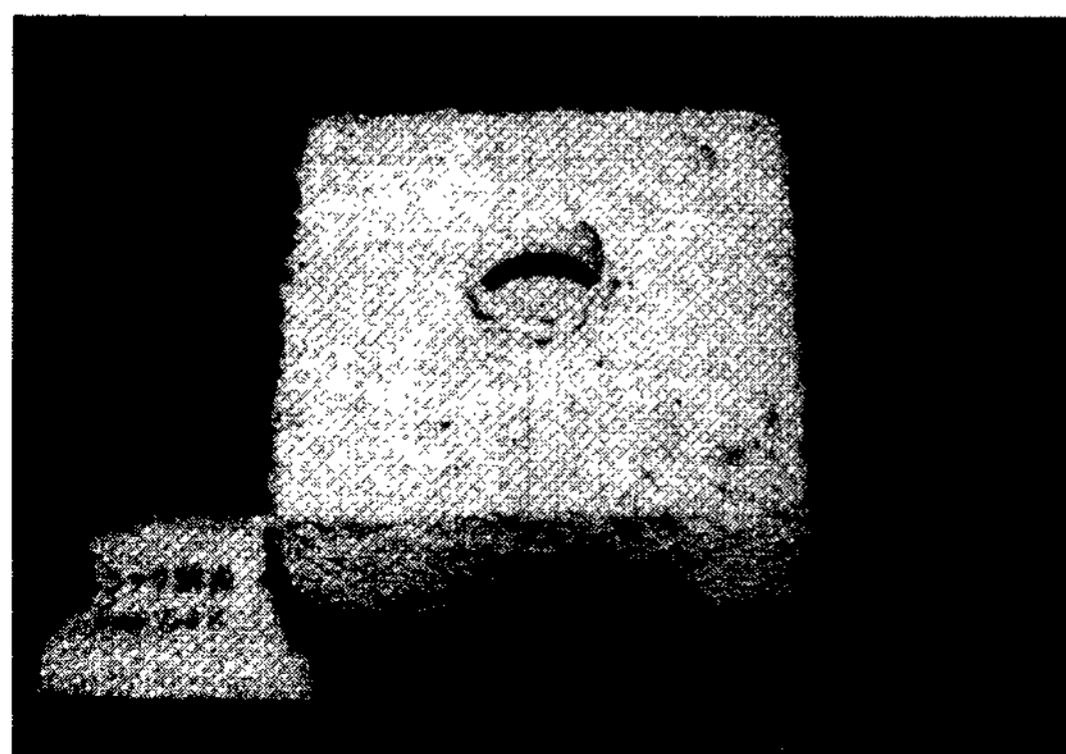


Fig. 5. 모형제거후 도형층의 모습

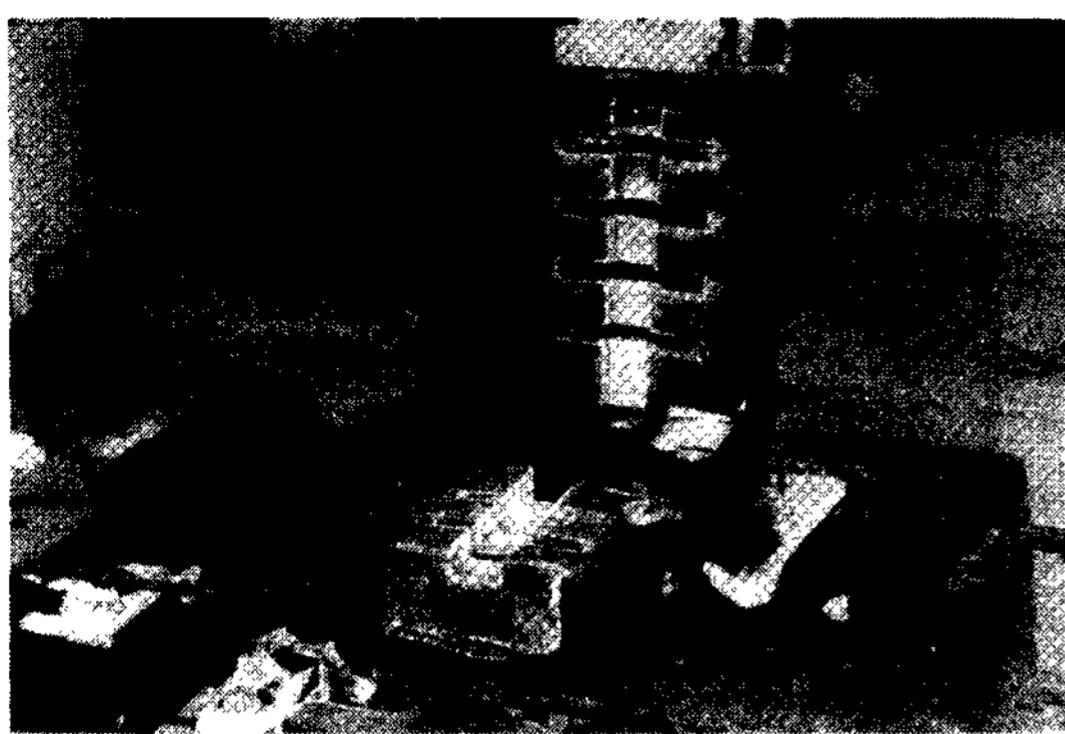


Fig. 6. 소형시험편에서 모형연소후의 주형모습.

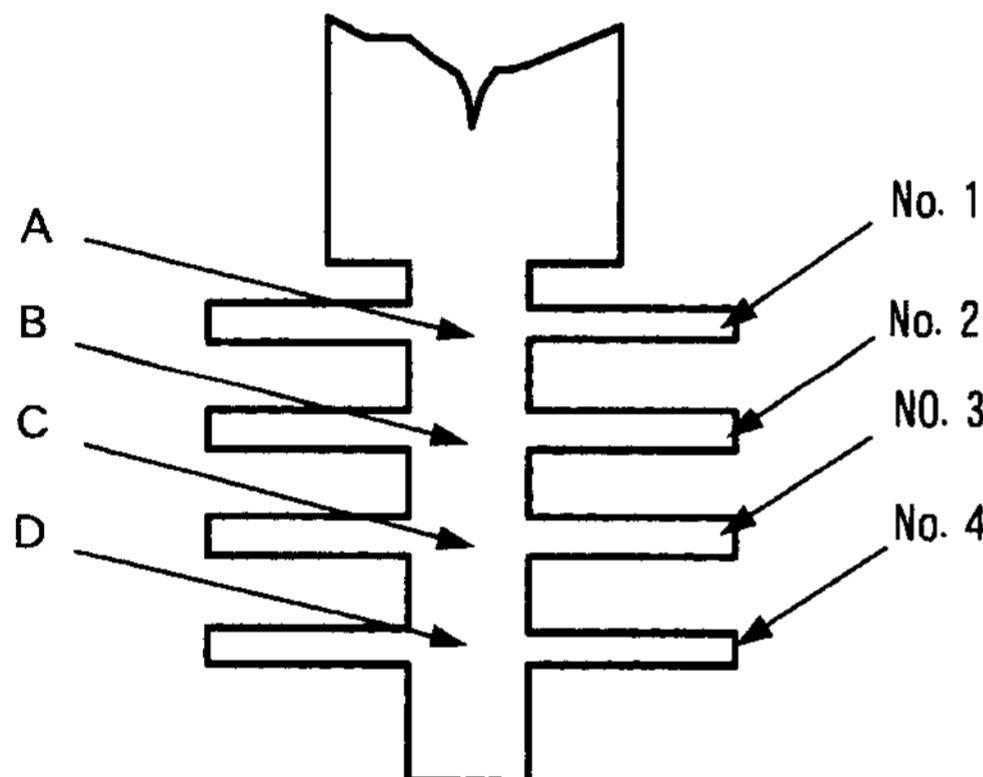


Fig. 7. 소형시험편의 탄소량 분석위치

탄소량이 0.3%이하로 규정된 탄소강주강품 SC410을 주조할 때, 용탕 탄소량을 0.25%로 하면 제품의 일부는 탄소량 0.25%이지만 일부는 가탄되어 0.45%로 높아지고, 부분적으로 규정범위를 초과한다. 이처럼 하나의 제품에 있어서도 가탄량이 다른 부분이 존재하는 것이 FM법에 의한 탄소강주강품등의 제조를 곤란하게 하는 원인이다.

한편, F프로세스의 경우에는 FM법에서처럼 상하 위치 또는 중앙부, 끝단부에 의한 가탄량의 명확한 차이는 없었다. 주탕시의 탄소량에서 가탄량은 0.00~0.01%로 분석오차의 범위내에 있었다.

이상에서 F프로세스는 FM법에 있는 EPS모형의 탄소성분에 의한 가탄 문제점을 해결할 수 있었다.

2.2.3 대형시험편에서의 시험

대형시험편의 형상, 주조방안, 통기구 위치, 제품중량, 주입중량, 재질·도형량 및 탄소분석용 시험편의 채취 위치를 Fig. 8에 나타내었다. 이 모형에 SiC섬유를

Table 2. FM 법과 F 프로세스와의 가탄량 비교

주조법	위치	분석 값 (mass%)	가탄량 (mass%)
FM법	A	0.25	0.03
	B	0.24	0.02
	C	0.24	0.02
	D	0.22	0.00
F 프로세스	No. 1	0.42	0.20
	No. 2	0.32	0.10
	No. 3	0.28	0.06
	No. 4	0.25	0.03
F 프로세스	A	0.23	0.01
	B	0.22	0.00
	C	0.22	0.00
	D	0.22	0.00
F 프로세스	No. 1	0.23	0.01
	No. 2	0.23	0.01
	No. 3	0.22	0.00
	No. 4	0.23	0.01

1 vol.% 첨가한 섬유강화도형을 3회 도포하고 8시간 건조후 조형하였다. 그 후 탕도에 순산소, 동시에 상형 층에 설치된 통기구로 통하는 세라믹관에 공기를 취입하였다. 순산소와 공기 혼합기체의 출구인 압탕부를 가스버너로 착화시키는 것에 의해 모형을 연소·소실시켰다.

Fig. 9는 대형시험편에 있어서 모형연소 후, 상형 주형을 제거한 상태의 주형내부를 관찰하기 위한 것이다. 흰 부분은 도형층이 직접 관찰되는 부분이고, 검은 부분은 도형층 상부에 잔사 및 타르상 다중체가 있는 것이다. 이러한 잔사 및 타르상 다중체는 연소중에 산소가 충분히 공급되지 않아, 주형 공동의 凹부에서 많이 관찰되었다.

주입도중 압탕에서 타르상 다중체 및 도형층을 관찰한 결과, 타르상 다중체는 용탕의 충전속도보다 충분히 빠르게 소실되어 제거되었다. 또한 도형층의 파괴도 일어나지 않았다. 주입후 냉각·형해체·쇼트블라스트 처리를 행하고, 20개 위치에서 탄소분석용 시험편을 채취하여 가탄량을 조사하였다.

Fig. 10에 F프로세스와 FM법에 의한 가탄량의 차이를 막대그래프로 나타내었다. FM법에서 가탄량은 0.03~0.25%의 넓은 범위로 분포하고 있으나, F프로세스에서 최대 가탄량은 0.02%이었다. 가탄량이 저하된 부분은 표면탈탄층의 영향인 것으로 판단된다. 이처럼 F프

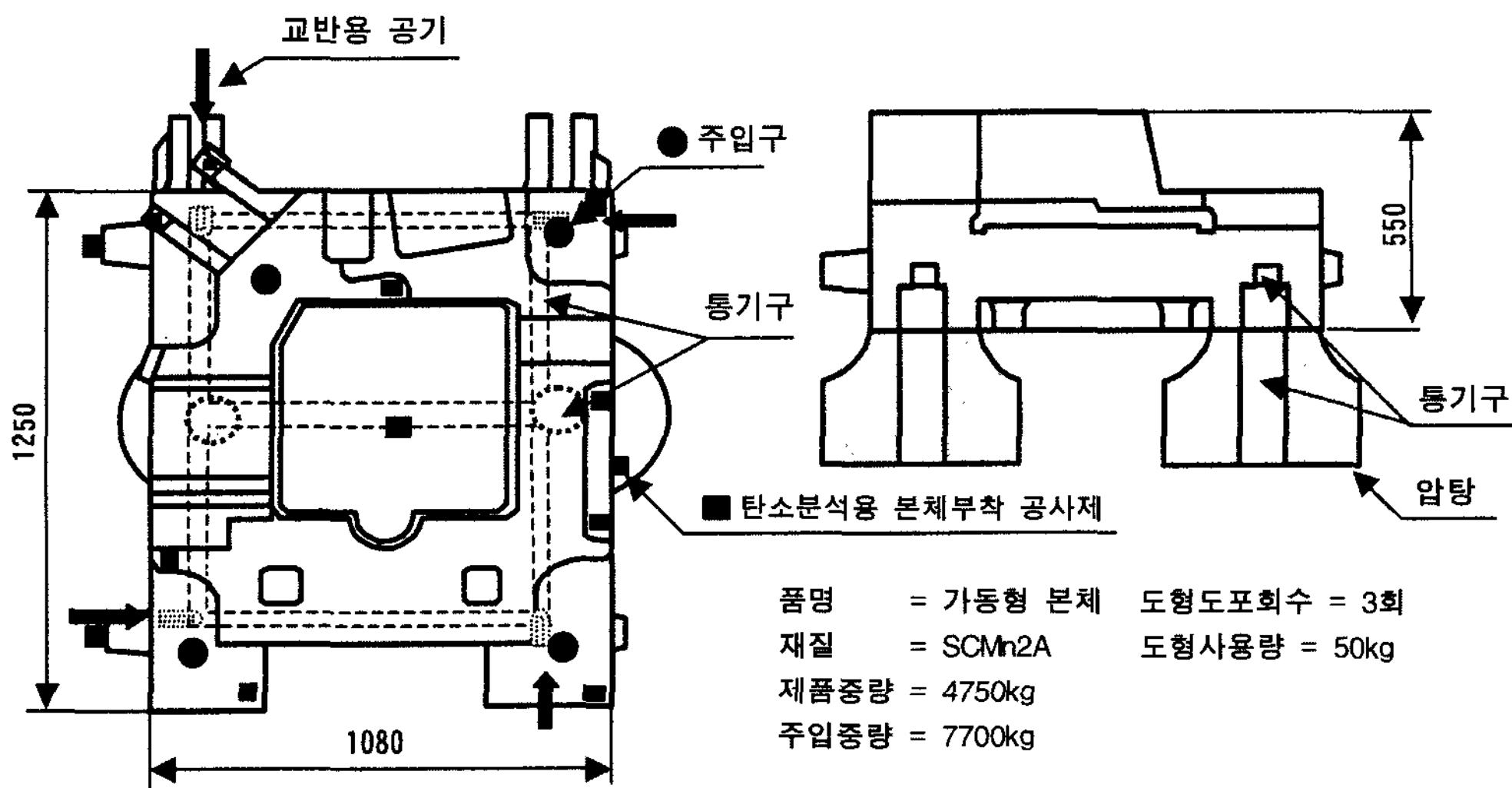


Fig. 8. 대형 시험편.

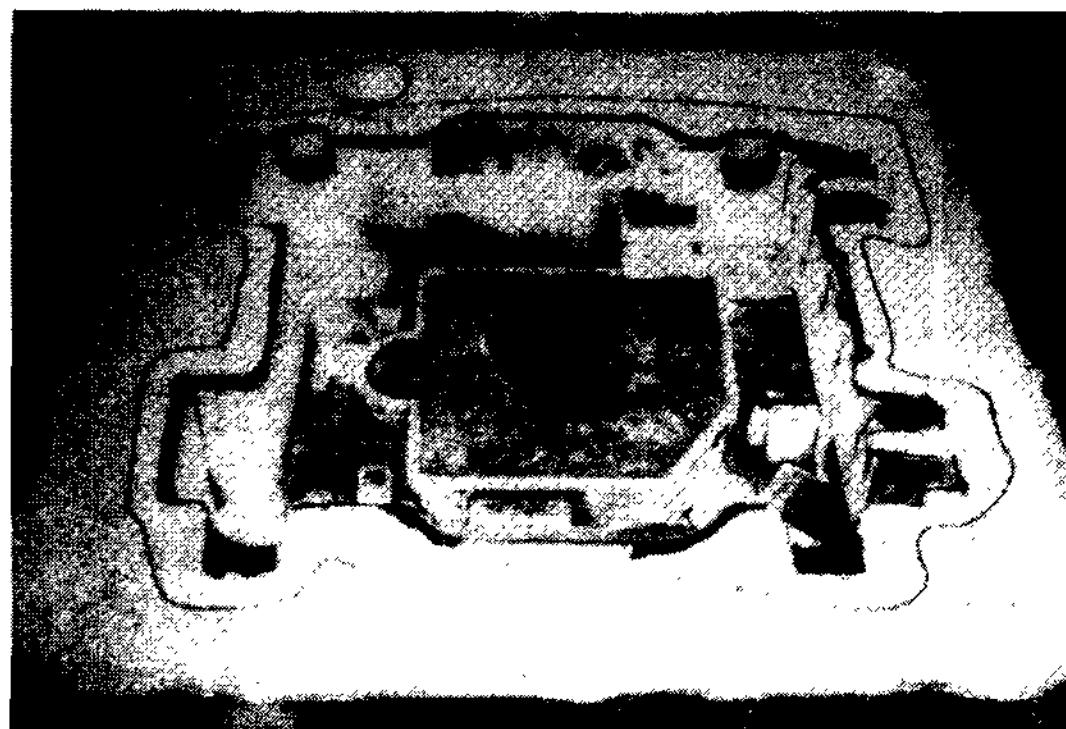


Fig. 9. 대형 시험편에서 모형 연소후의 주형내 모습.

로세스에서는 용탕조성과 거의 동일한 조성을 가진 제품이 얻어지는 것이 확인되었다.

Fig. 11에 F프로세스로 주조된 대형시험편의 모습을 나타내었다. 타르상 다중체에 의한 주물 표면결함이나 블로우 홀 등은 관찰되지 않았다. 또한 크기공차는 196개 위치에서 JISB 403정밀급 공차±9로 측정한 값에서 -4~+5 범위의 정규분포를 하는 것으로 나타났다.

2.2.4 주철에서 주물표면의 변화

Fig. 12, 13에 시험편 크기 300 mm × 300 mm × 200 mm 블록을 FM법 및 F프로세스에 의해 주조한 상형측의 주물표면 상태를 나타내었다. 모형재료는 EPS, 주입재질은 구상흑연주철로 하였다. Fig. 12의 FM 법에서는 잔사에 의해 주물표면 불량이 나타났지만, Fig. 13의 F프로세스에서는 나타나지 않고 우수한 표

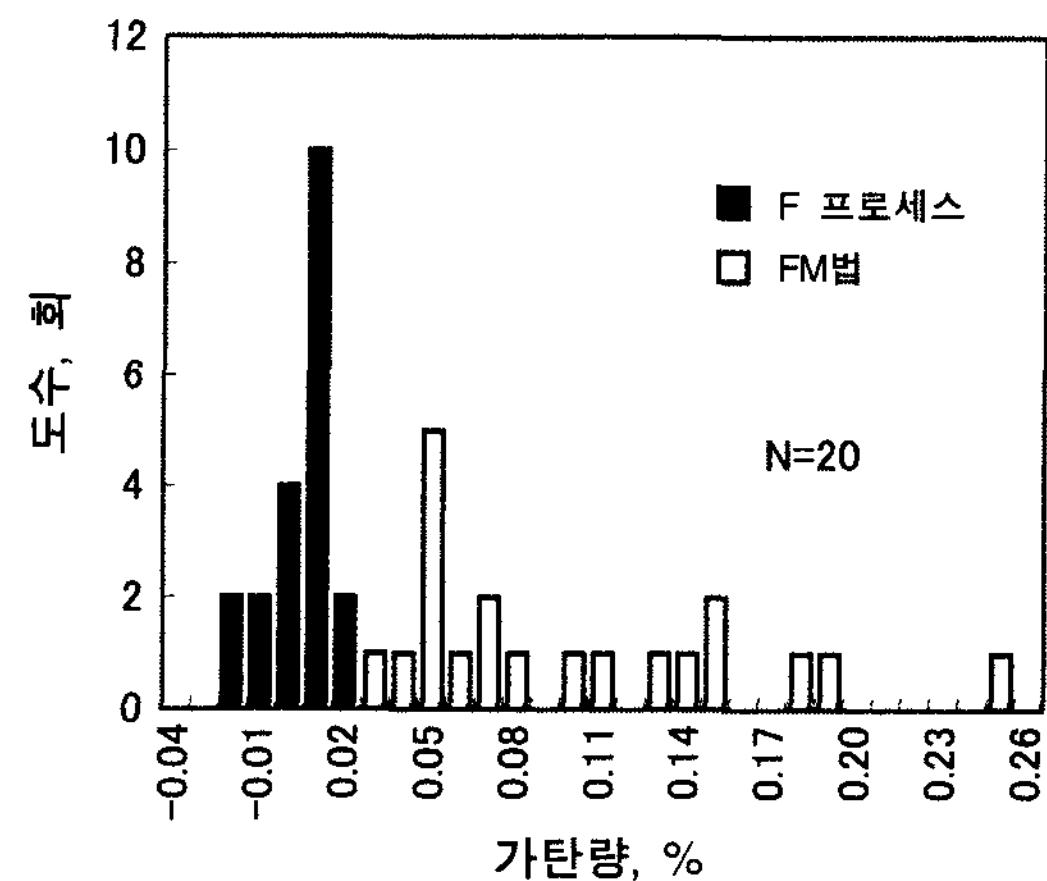


Fig. 10. F프로세스와 풀몰드법에서의 가탄량의 차이.

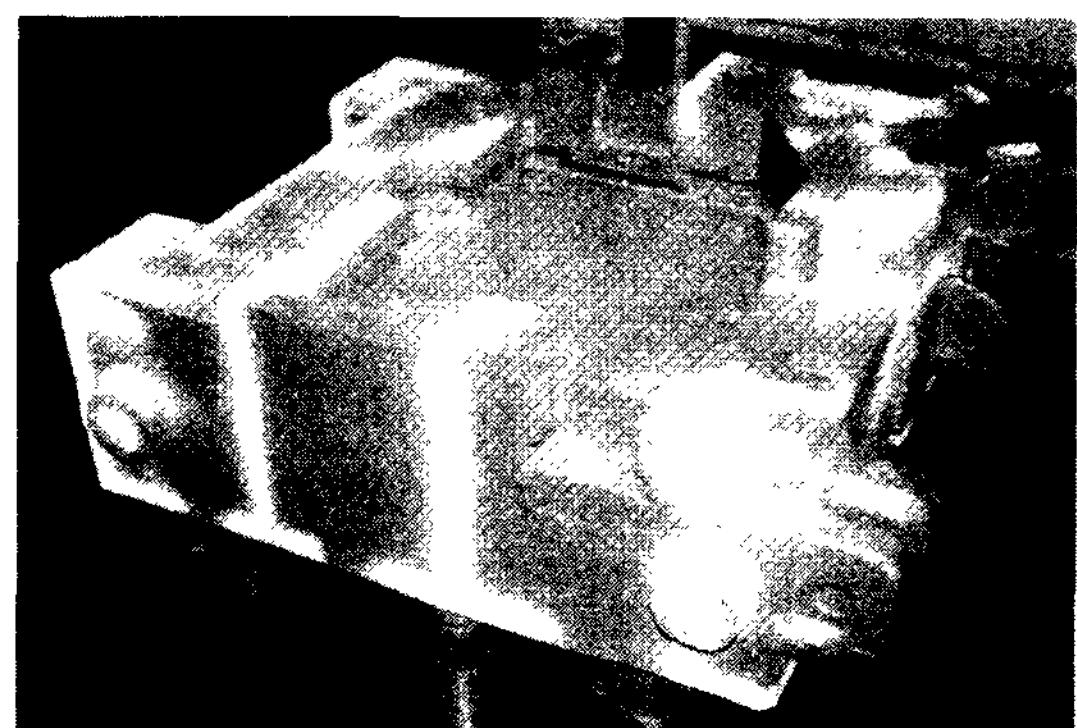


Fig. 11. 대형시험편 주조품 모습.

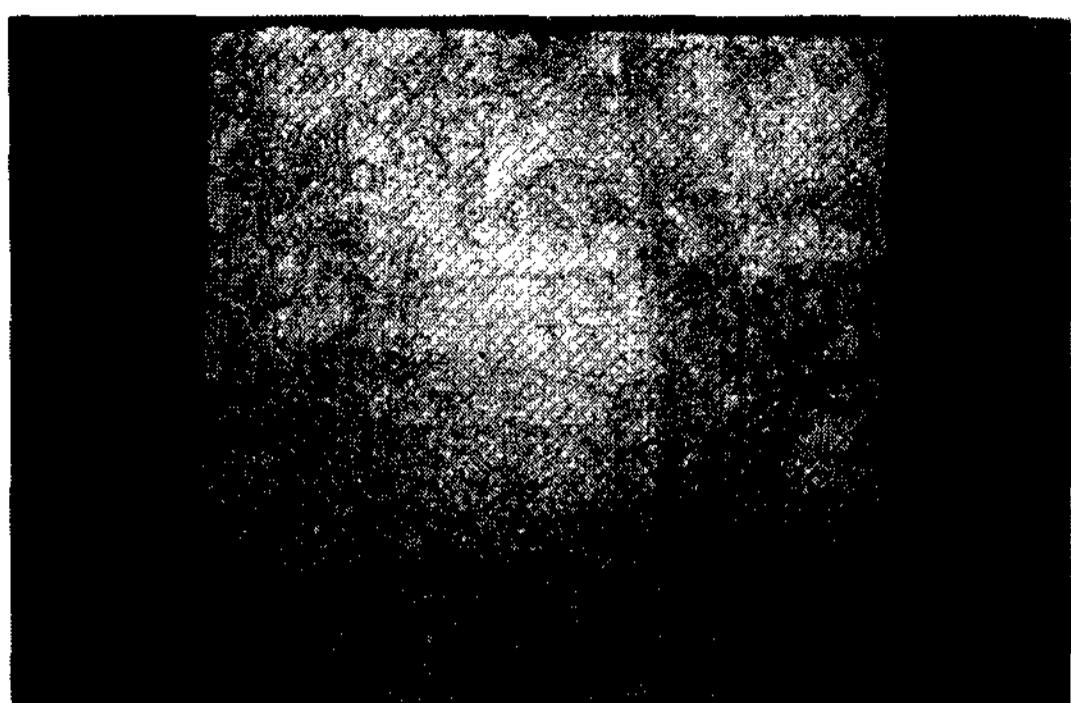


Fig. 12. 풀몰드법에 의한 주물표면.

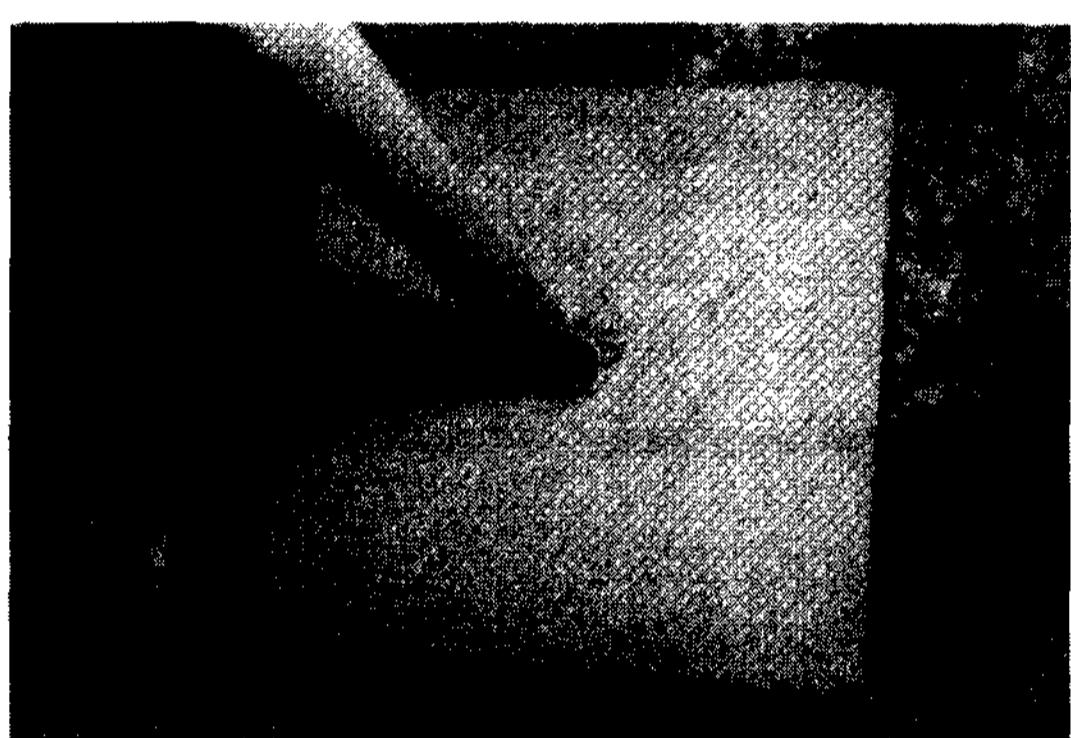


Fig. 13. F프로세스에 의한 주물표면.

면이 얻어졌다.

3. 모형연소시의 주의점

F프로세스를 할 때 통기구 출구에서 분출하는 가스를 폭발시키지 않도록 하는 것이 안전상 가장 중요하다. 이 현상을 방지하기 위해서는 주형 내 모형의 착화는 순산소 또는 산소와 공기의 혼합가스를 모형 내

로 유입되고 있는 통기구 출구측에서부터 시작되어야 한다. 그리고 착화부의 주변에 가스버너 등의 화기류를 설치하고 주형 내에서 분출하는 가스를 안정적이고 계속적으로 연소시키는 것이 중요하다.

그 반대로, 착화를 입구측에서부터 행하면 고온의 연소가스가 모형 내를 흐름에 따라 주변의 모형을 분해하고, 결과적으로 통기구의 출구측에서 산소 부족상태의 미연소가스가 다량으로 분출한다. 이 미연소가스에 대기중의 산소가 공급되면 곧 폭발농도에 도달한다. 그러면 화염에 의해 미연소가스가 입구측에서 불안정 착화가 일어나면 폭발이 발생한다.

4. 결 론

(1) 도형을 섬유강화하는 것에 의해 도형층의 강도가 크게 향상되었고, FM법에 있어서 발생하는 도형 희석 결함을 방지할 수 있었다.

(2) 모형의 도형재에 섬유강화를 하고, 주입 전단계에서 주형내에 있는 모형을 연소하는 프로세스, 즉 소실모형사전제거 주조법의 실시가 가능하였다.

(3) 소실모형사전제거 주조법에 의해 EPS모형에서 유발되는 부분적인 가탄이나 블로우 훌등의 결함이 없는 전전한 탄소강주강품의 주조가 가능하였다.

(4) 구상흑연주철에 있어서는 잔사에 의한 주물 표면의 불량 문제를 해결하였다.

참 고 문 헌

- [1] 秋濱繁幸 ; 繊維強化コソクリート(鹿島出版會), (1992) 31.
- [2] 宮入夫, 福田傳, 後藤卒土民, 松井醇一, 前川善一郎, 武田軒雄, 谷本敏夫, 森田幹郎, 石川降司, 棚橋良次, 植村政彥, 小柳卓治, 劍持潔, 金原勲 ; おもしろい複合材料のはなし(日刊工業新聞社), (1997) 81.