

■■■■■■■■■■
論 文
 ■■■■■■■■■■

스티로나프타린 모형재료의 응고특성

박흥일[†]

The Solidification Characteristics of Styronaphthalene Pattern Materials

Heung-Il Park[†]

Abstract

This experimental study was carried out to investigate the solidification characteristics of polystyrene added styronaphthalene pattern materials using various castability test methods. The styronaphthalene showed an excellent filling capacity and shaping behavior having about 0.2 mm meniscus radius. The shell thickness of styronaphthalene showing smooth wall at the solid/liquid interface increased with the increasing of polystyrene addition. The solidification microstructure of styronaphthalene showed a typical thin ribbon reinforced composite structure, which has fibrous amorphous skeleton of polystyrene and crystalline naphthalene. From the results of this study, it was found that the polystyrene added styronaphthalene showed a precision shaping behavior as disposable pattern material under the atmospheric condition. (Received December 14, 2002)

Key words : Styronaphthalene, Naphthalene, Pattern materials, Solidification

1. 서 론

나프타린(naphthalene, $C_{10}H_8$)은 융점이 낮기 때문에 사출에 의하지 않고 단순한 주입으로 모형을 만들 수 있다. 그러나 나프타린은 수축이 심하고 취약하며, 공기 중에서 승화하여 취급 및 장기간 보존이 곤란하기 때문에 주조용 모형 재료로 사용되지 못하였다. 이와 같은 모형용 나프타린의 결점을 보완하기 위하여 나프타린에 폴리스티렌(polystyrene, $-CH_2-CH(C_6H_5)_n-$)을 첨가한 스티로나프타린이 열용융 모형재료(thermally fusible pattern material)로 사용되고 있다[1]. 스티로나프타린을 사용하면 기존의 정밀주조용 왁스모형[2] 제조시 필요한 고가의 금형, 왁스 사출기, 탈왁스용 고압 가마(auto clamp) 등이 필요 없으며, 기존의 주조공장에서 별도의 모형 제조장치를 구비하지 않아도 석고형 등을 이용하여 정밀한 중대형의 다양한 스티로나프타린 모형을 용이하게 제조할 수 있다고 한다. 그러나 스티로나프타린의 모형 제조와 관련된 자료는 아주 미흡하다. 따라서 본 연구에서는 스티로나프타린의 응고

특성을 검토하여 모형재료로서의 활용 가능성을 가늠할 수 있는 기초자료를 얻고자 하였다. 이를 위하여 나프타린에 폴리스티렌 함량을 변화시킨 액상 스티로나프타린의 성형특성과 응고특성을 검토하였으며, 스티로나프타린의 복합조직도 관찰하였다.

2. 실험 방법

본 실험에 사용된 재료는 상용적으로 시판되고 있는 백색 결정의 나프타린 (naphthalene, $C_{10}H_8$, 융점 $80.28^\circ C$, 비점 $210.0^\circ C$, Duksan pure chemicals Co.)과 백색 입자의 폴리스티렌(polystyrene, $-CH_2-CH(C_6H_5)_n-$, melt index 7.5, Aldrich chemical Co.)이다. 스테인리스 비커에 열처리용 실리콘 오일을 넣고 가열하면서 별도로 준비한 작은 스테인리스 비커에 미리 평량하여 준비한 폴리스티렌과 나프타린을 순차적으로 넣고 간접가열 중탕방식으로 용해하였다. 나프타린은 인화점이 낮고 용융 액화되면 증기가 심하게 발생하여 강한 타르냄새를 풍기므로 먼저 폴리스티렌을 녹인 후 유리봉

*부경대학교 재료공학부(Division of Materials Science and Eng., Pukyong National University)

[†]E-mail : castpark@pknu.ac.kr

으로 저어주면서 나프타린을 첨가하고 용융 스티로나프타린을 준비하였다. 이 때 나프타린이 첨가된 폴리스티렌의 가열온도는 폴리스티렌이 연화되어 높은 점성을 나타내는 90°C 부근이었다. 폴리스티렌의 첨가량은 나프타린에 대한 중량 비율로 0.5%에서 5.0%까지로 하였다. 수축성 시험용 몰드, 응고계면 형태 관찰용 원통상 금형, 충전성 시험용 금형 및 간이 주형에 주입된 스티로나프타린의 응고특성을 관찰하였다. 이 때 사용된 모든 금형의 예열온도는 30°C로 일정하게 하였다. 그리고 SEM 및 XRD 분석으로 나프타린에 첨가된 폴리스티렌의 강화조직을 조사하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1. 수축거동(shrinkage behavior)

Fig. 1(A)은 수축시험용 금형의 형상과 치수[3]를 나타낸다. Fig. 1(B)는 수축시험용 금형에 주입된 금속의 수축형태를 모식적으로 나타낸 것이며, Fig. 1(C)는 1.0 wt.%의 폴리스티렌이 첨가된 원추형의 스티로나프타린 수축시험편의 응고단면형상을 나타낸다. 수축시험편의 단면에서 전형적인 파이프상의 내부수축(internal shrinkage)과 외부수축(external shrinkage)을 볼 수 있다. 이러한 수축형태는 폴리스티렌이 함유되지 않은 순수 나프타린의 응고에서도 관찰되었다. 여기서 스티로나프타린의 수축거동은 전체 수축량에 대한 외부 수축

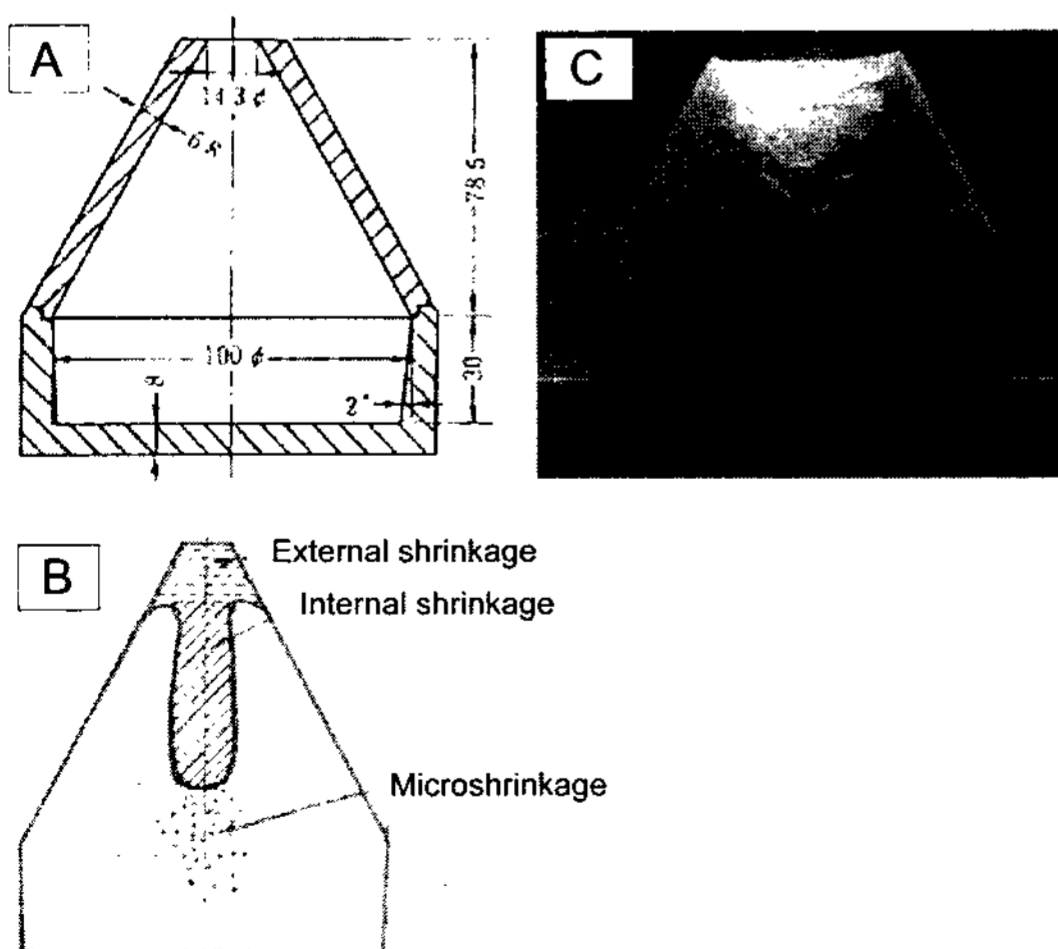


Fig. 1. (A) Dimensions of the shrinkage test metal mold, (B) schematic drawing of typical shrinkage morphologies of metals and (C) cross-sectional solidification macrostructure of 1.0 wt.% polystyrene added styronaphthalene.

량의 비율이 높은 것이 특징이다.

3.2. 충전성(filling capacity)

액상의 모형재료가 외부의 압력에 의하지 않고 스스로 흘러 들어가 미세한 부분의 형상을 재현할 수 있는지의 충전성은 정밀 모형재료가 가져야 할 중요한 구비조건의 하나이다. 충전성 시험용 금형[4]은 직경 40 mm, 길이 145 mm의 환봉을 수직으로 맞대고 이 환봉이 만든 예리한 틈새로 액상이 충전되는 정도, 즉 충전선단의 직경(meniscus radius)을 측정하도록 되어있다. Fig. 2(A) 및 (B)는 각각 충전시험용 금형에 주입된 1.0 wt.%의 폴리스티렌이 첨가된 스티로나프타린의 충전시험편의 모양과 충전선단부의 단면을 나타낸다. Fig. 2(C)의 방법으로 계산된 충전선단의 직경(d)은 약 0.20 mm이었다. 본 실험에서 폴리스티렌이 5.0 wt.%까지 첨가될 경우 충전성을 나타내는 충전선단의 직경은 거의 0.2 mm 정도로 아주 뛰어난 충전성을 보였다. 이는 스티로나프타린이 아주 좁은 틈새까지 흘러 들어가는 정교한 모형 성형성이 있음을 나타낸다.

Fig. 3은 주형의 거칠기가 스티로나프타린의 응고표면 형상에 미치는 영향을 보여준다. Fig. 3(A)와 (B)는 각각 평균 입자크기가 250 μm 정도인 #60의 사포(sand paper) 및 평균 입자크기가 20 μm 정도인 #800의 사포를 50 mm×30 mm 크기로 금형의 표면에 부착하고 1.0 wt.% 폴리스티렌을 첨가한 스티로나프타린을 주입한 시편의 표면상태를 보여준다. 본 실험에서 #60, #100, #220, #800 및 #1000의 사포를 금형의

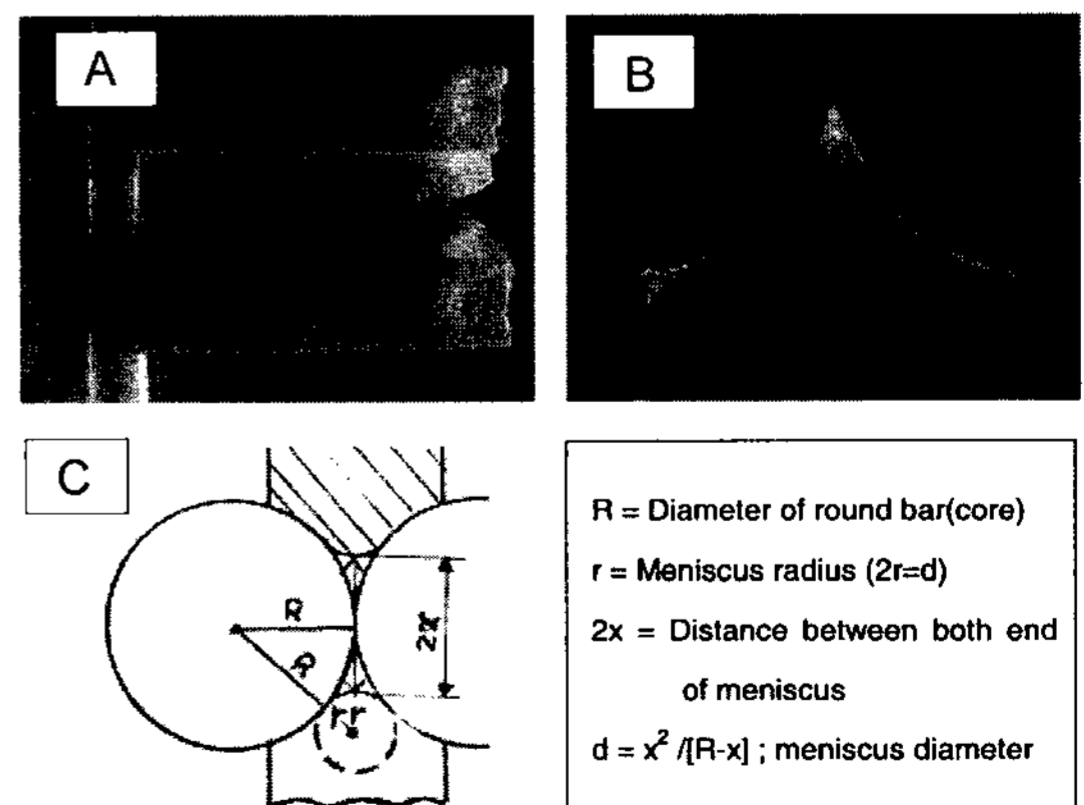


Fig. 2. (A) Shape and dimensions of filling capacity test specimen for 1.0 wt.% polystyrene added styronaphthalene, (B) a filling morphology of meniscus and (C) calculation method of meniscus radius.

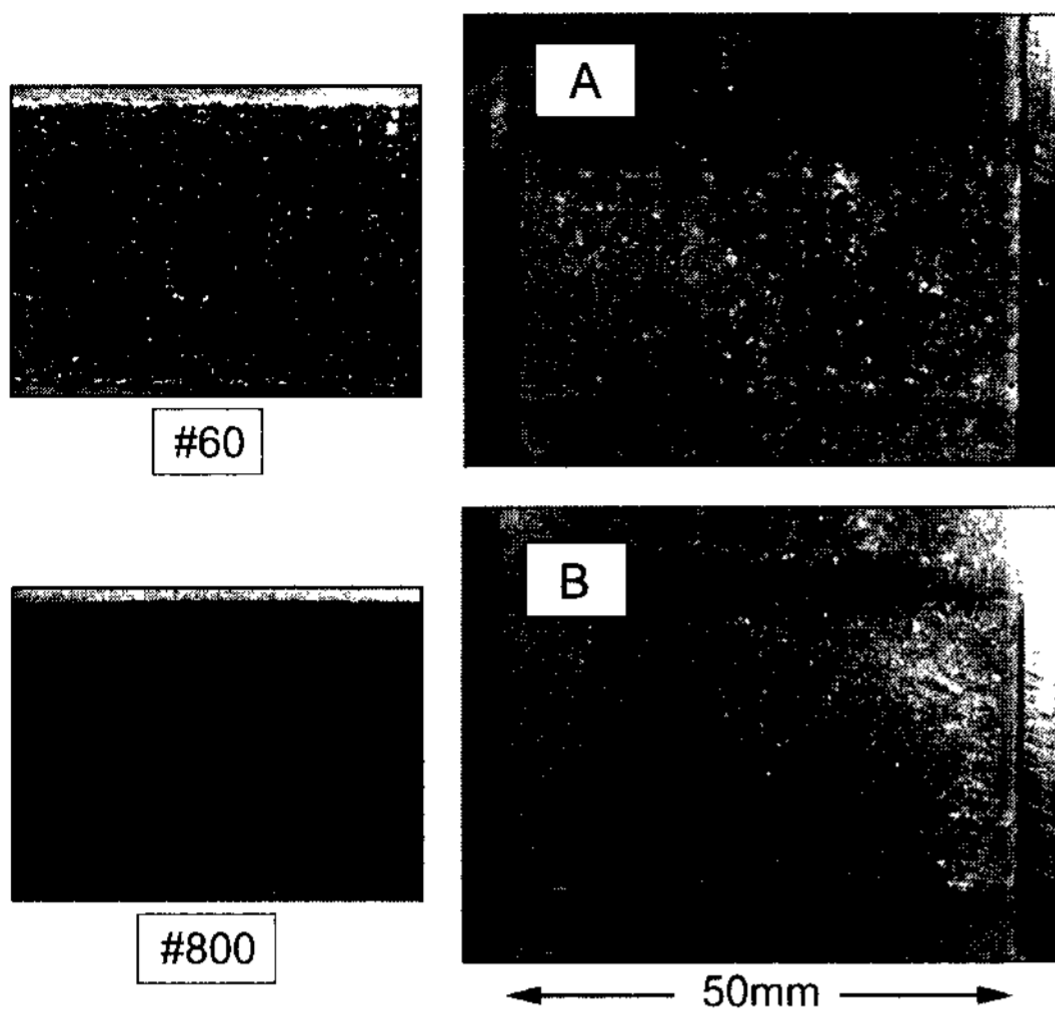


Fig. 3. Surface appearance of 1.0 wt.% polystyrene added styronaphthalene poured into (A) #60 sand paper mold and (B) #800 sand paper mold.

표면에 부착하고 스티로나프타린을 주입한 결과 입자가 조대한 #60-#220 사포의 경우 응고된 나프타린 모형을 분리하면 Fig. 3(A)와 같이 시편의 표면이 뜯겨져 나갈 정도로 스티로나프타린이 사포의 결정립속으로 심하게 침입하였으나, 입자가 미세한 #800, #1000 사포의 경우에는 Fig. 3(B)와 같이 아주 미려한 표면 상태를 보였다. 이와 같은 스티로나프타린의 충전성질은 석고주형과 같이 미세입자로 만들어진 주형을 사용하면 표면이 미려한 중대형의 스티로나프타린 정밀모형을 성형할 수 있음을 나타낸다.

3.3. 고액계면의 응고형태와 응고속도

Fig. 4는 원통상 금형에 스티로나프타린을 주입하고 일정한 응고시간을 유지한 후 미응고 잔류액상을 쏟아내는 방법(decantation method)으로 원통상 스티로나프타린 시편의 대표적인 응고단면을 나타낸 사진이다. 사용된 금형의 치수는 내경 40 mm×외경 80 mm×길이 100 mm의 원통상 금형이며, 이 금형의 바닥은 동판과 접촉하도록 하였다. 이 때 폴리스티렌의 첨가량은 각각 0.5, 1.0, 2.0, 3.0, 4.0 및 5.0 wt.%로 변화시켰고, 응고시간은 각각 3분, 6분, 9분 및 12분으로 유지하였다. 이들 원통상 응고단면의 고액계면을 육안으로 관찰하여 그 응고형태를 요약한 것이 Fig. 5이다. 여기서 폴리스티렌의 첨가량이 0.5%일 경우 응고시간 3분 이

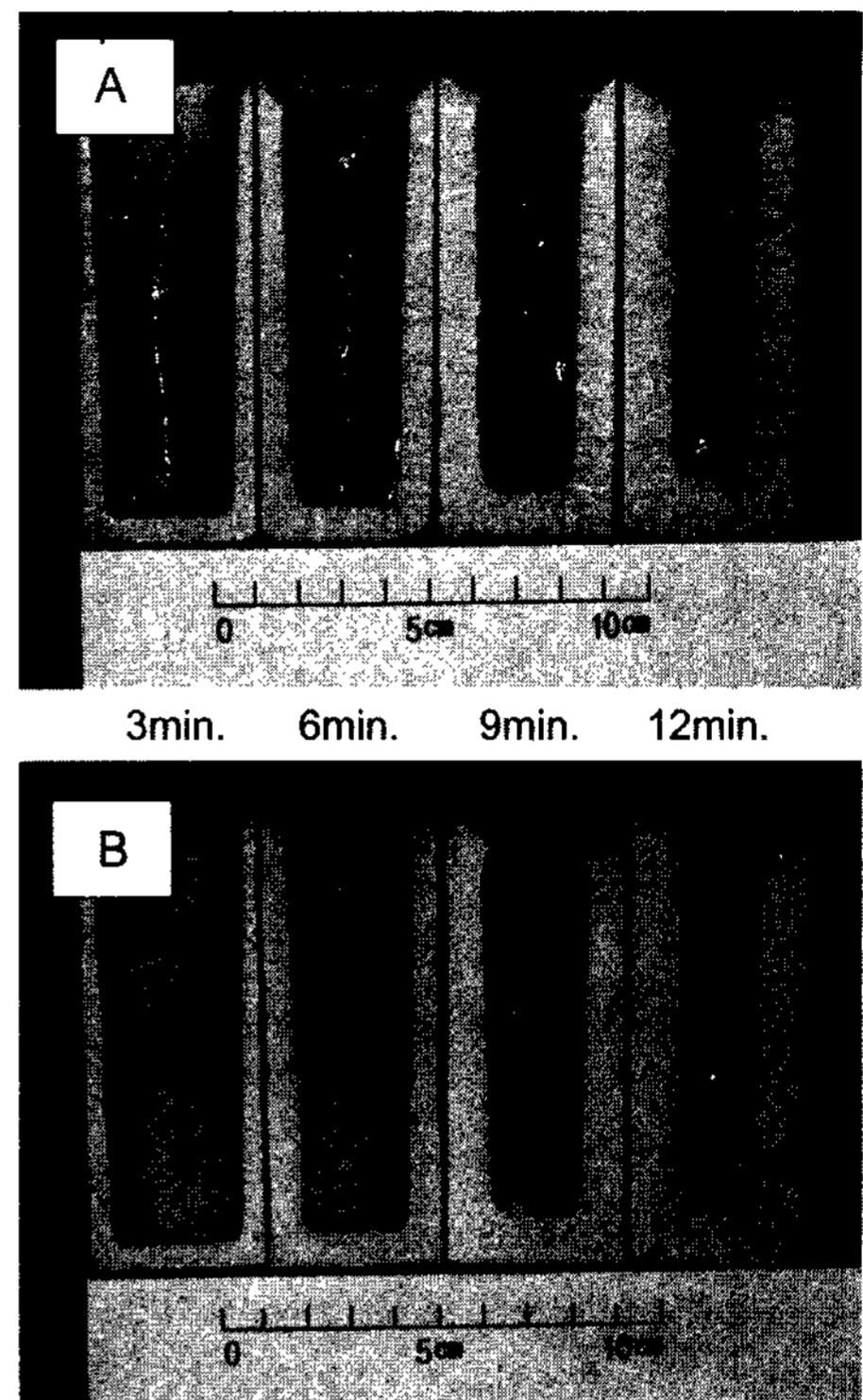


Fig. 4. The effects of polystyrene addition and solidification time on the solid/liquid interface morphologies and the thickness of solid shell by decantation method. (A) 0.5 wt.% polystyrene added styronaphthalene and (B) 4.0 wt.% polystyrene added styronaphthalene.

Time (min)	Polystyrene added (wt.%)					
	0.5	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0
3	S	S	S	S	S	S
6	R	S	S	S	S	S
9	R	R	R	S	S	R
12	R	R	R	R	R	R

S : Smooth interface R : Rough interface

Fig. 5. Summary of solid/liquid interface morphologies of styronaphthalene with polystyrene additions and solidification time.

상 되면 약간 거친 고액계면 (rough wall) 형상이 관찰되었다. 그러나 폴리스티렌의 첨가량이 각각 1.0,

2.0, 3.0, 4.0%로 증가할수록 거친 고액계면에서 평활한 고액계면(smooth wall)으로 천이하는 응고시간은 각각 3분, 6분, 9분으로 연장되었다. 평활한 고액계면으로 응고하는 시간이 길어질수록 응고수축을 보상하는 스티로나프타린의 보급성(feeding capacity)이 확보될 수 있음을 나타낸다. 그러나 폴리스티렌의 첨가량이 5.0%로 증가하면 평활한 고액계면(smooth interface)을 나타내는 응고시간은 오히려 6분으로 감소하는 경향을 보였다.

한편 응고시간이 일정할 경우 폴리스티렌의 첨가량 0.5%-5.0% 범위에서 응고두께에 미치는 폴리스티렌 첨가량의 영향은 미약하였으며, 응고시간 3분일 경우 응고두께는 3.9-4.6 mm, 응고시간 6분에서 6.6-7.8 mm, 응고시간 9분에서 8.6-9.6 mm, 응고시간 12분에서 응고두께는 10.7-11.1 mm 이었다.

3.4. 미세조직

Fig. 6(A)는 폴리스티렌이 5.0 wt.% 첨가된 스티로나프타린 시편을 대기중에 15일 동안 장기간 방치하고 그 표면에서 채취한 시료의 XRD 분석결과(Cu $k\alpha$, 40 kV, 70 mA)이다. 특정 회절각에 대한 나프타린의 결정 피크가 없는 전형적인 비정질의 halo pattern을 보였다. Fig. 6(B)는 비정질로 분석된 동일한 시료의 주사전자현미경(SEM) 사진이다. 또한 동일한 복합조직 시료를 인장시키면 Fig. 6(C)에서와 같이 판상의 섬유 복합체가 점성유동하는 파단거동을 보였다.

이상의 실험결과로부터 스티로나프타린은 아주 얇은 판상의 비정질 섬유로 구성된 폴리스티렌이 결정질 나프타린을 강화하고 있는 복합조직으로 응고함을 알 수 있다. 그리고 스티로나프타린을 구성하고 있는 판상 섬유의 폴리스티렌은 초소성거동을 나타내고 있으며, 이는 폴리스티렌이 스티로나프타린 모형의 취성을 억제하는 효과적인 강화제로 사용될 수 있음을 뒷받침한다.

4. 결 론

나프타린에 폴리스티렌을 첨가한 스티로나프타린의 응고특성을 검토하여 정밀 모형재료로서의 활용 가능성을 가늠하기 위한 실험적 기초연구의 결과는 다음과 같다.

1. 본 실험에서 폴리스티렌이 5.0 wt.% 까지 첨가될 경우 스티로나프타린의 충전선단의 직경은 0.2 mm 정

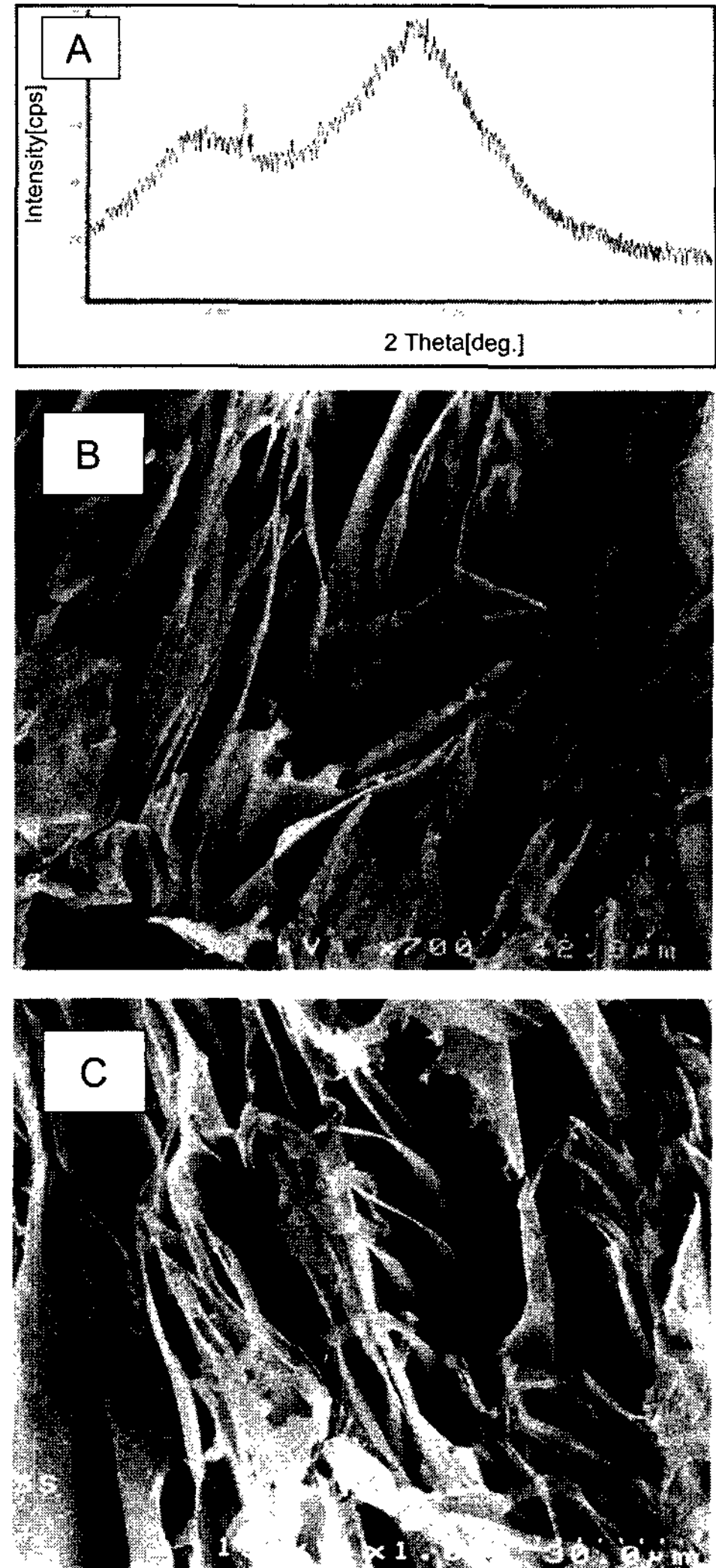


Fig. 6. (A) XRD result, (B) SEM micrograph of 5.0 wt.% polystyrene added styronaphthalene which was exposed in air for 15 days and (C) its tensile fracture morphology.

도 이었으며, 이는 스티로나프타린이 아주 좁은 틈새까지 흘러 들어가는 정교한 모형 성형성이 있음을 나타낸다. 한편 폴리스티렌의 첨가량이 증가할수록 평활한 고액계면을 유지하는 응고두께는 증가하였다.

2. 스티로나프타린의 응고조직은 아주 얇은 판상의 비정질 섬유로 구성된 폴리스티렌이 결정질 나프타린을 강화하고 있는 복합조직을 나타내었으며, 판상 섬유의 폴리스티렌은 전형적인 점성유동 거동을 나타내었다. 이는 폴리스티렌이 스티로나프타린 모형의 취성

을 억제하는 효과적인 강화제로 사용될 수 있음을 뒷받침한다.

3. 본 연구에서는 스티로나프타린 성형체의 기계적 성질은 검토하지 않았다. 그러나 스티로나프타린의 모형이 요구하는 최소한의 강도를 갖는 두께만큼 응고시키고 잔류액상을 쏟아내는 중공형 모형제작법을 응용하면 스티로나프타린 모형의 제조시간 단축과 함께 모형재료의 절감에 크게 기여하리라 본다.

후 기

본 실험을 도와준 대학원생 양성우(현재 K-MAC 근

무)와 동명정공의 박수준 사장에게 감사드립니다.

참 고 문 헌

- [1] K. Ugata and Y. Morita : "Investment casting method", Patent, No.3996991 (1976).
- [2] Metal Handbook, "Casting", 10th edition, Vol.15 (1998), 253-269.
- [3] 北岡山治外 : 輕金屬, "Aluminum-Silicon alloys" vol.38, No.7 (1988), 426-446.
- [4] VDS, Aluminium Gusslegierungen, Giesserei-Verlag GMBH (1988), 73.