

# 반응 사출 성형(RIM) : 화학 및 최근 개발 동향

이 재 흥 · 이 성 구 · 최 길 영

## 1. 서 론

반응 사출 성형(reaction injection molding, RIM)이란 일반 사출 성형 공정이 단량체로부터 중합된 고분자를 다시 녹여 사출 성형하는 방법으로 최종 제품을 제조하는 과정은 달리 금형 내에서 단량체로부터 고분자로의 중합과 동시에 성형이 이루어지는 고분자 가공 방법을 말한다.<sup>1,2</sup>

RIM의 종류에는 충전제가 없는 일반 RIM과 무기충진제 또는 분쇄된 유리섬유를 포함하고 있는 강화 RIM(reinforced RIM, RRIM) 및 금형에 강화섬유로 만들어진 프리폼(preform)을 먼저 넣고 여기에 단량체 반응액을 사출하여 제조되는 구조 RIM(structural RIM, SRIM) 등이 있다. RRIM은 강도가 큰 충전제를 함유하고 있기 때문에 우수한 강도와 치수안정성 등을 나타낸다. RRIM에서는 반응액의 점도 증가, RIM 장치의 마모, 강화제인 섬유의 배향 또는 충전제 분포의 불균일함에 따른 물성 차이가 생기는 문제점 등이 있기 때문에 초창기에는 개발에 어려움이 많았으나 현재에는 이같은 문제점이 많이 해결되어 자동차 부품 등에 수요가 크게 늘고 있다. SRIM은 보강섬유로 원하는 모양의 프리폼을 만들어 이용하므로 기계적 특성 등이 매우 뛰어나나 프리폼 내부까지 반

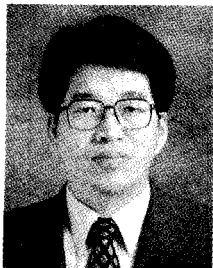
응액을 균일하게 분포시키는 기술이 필요하며 프리폼을 넣을 수 있는 장치가 별도로 부착되어야 한다.<sup>1-7</sup>

RIM은 1960년대 말부터 상업화가 이루어져 현재 급속도로 발전하고 있으며 주요 용도로는 보디 패널, 범퍼 페이스아 및 빔, 휠 카바, 도어 패널, 인스트루먼트 패널, 트럭의 윈드 디플렉터 등 자동차 분야가 가장 많으며 수상 및 눈 스키, 골프 카트의 보디 패널 및 부품, 스노모빌 등의 스포츠용품 분야, 하우징, 박스 등 전기/전자/사무기기 분야에서도 사용되고 있다.<sup>4,7</sup> 본 글에서는 RIM 공정에 대하여 원료, 반응식, 특성과 최근의 기술개발 동향에 대하여 살펴보았다.



이성구

1982 인하대학교 고분자공학과 (학사)  
1984 인하대학교 고분자공학과 (석사)  
1998 전북대학교 섬유공학과 (박사)  
1983~ 한국화학연구소 선임연구원  
현재



이재흥

1980 서울대학교 공업화학(학사)  
1982 한국과학기술원 화학공학과 (석사)  
1986 한국과학기술원 화학공학과 (박사)  
1990 영국 UMIST(Post Doc.)  
1986~ 한국화학연구소 선임연구원,  
현재 책임연구원



최길영

1975 서울대학교 응용화학(학사)  
1977 한국과학기술원 화학(석사)  
1983 한국과학기술원 화학(박사)  
1975~ 제일합성 연구원  
1980  
1983~ 한국화학연구소 선임연구원,  
현재 책임연구원, 화학소재연구단장

### Reaction Injection Molding: Chemistry and Recent Developments

한국화학연구소 화학소재1연구팀(Jae Heung Lee, Sung-Goo Lee, and Kil-Yeong Choi, Korea Research Institute of Chemical Technology, P.O. Box 107, Yusong, Taejon 305-600, Korea)

## 2. RIM 공정도

RIM 공정은 다음과 같은 단계로 이루어진다. 즉 액상의 단량체 또는 프리폴리머 원료를 강력 혼합하여 금형 내에서 반응시킨 후 탈형하여 제품을 제조하는 간단한 공정으로 이루어져 있다.

원료준비→펌핑/계량→혼합→금형충진→  
충합/경화→탈형→(후충합/후경화)→(후가공)→제품

따라서 일반 사출 성형과 비교할 때 RIM이 갖는 장점으로서는 저점도의 단량체를 사출하기 때문에 사출압 및 금형 지지압이 작아도 되므로 설비가 적게 들며 저점도로 인한 물질의 유동성이 커 대형 제품의 생산이 용이하고 용융 과정의 생략으로 인한 에너지 소비가 적다는 점을 들 수 있다.<sup>3,7</sup> 표 1에 일반 사출 성형과 RIM에 대하여 사용되는 온도, 압력, 점도를 비교하였으며 그림 1에 각종 제품의 생산에 필요한 에너지를 비교하였다. 열가소성 수지의 사출 성형과 비교해 볼 때 RIM 공정은 사출 시 재료의 온도 및 점도, 사출압이 매우 낮은 것을 알 수 있다. 에너지 사용량을 살펴보면 그림 1에서 보는 바와 같이 RIM으로 제조한 폴리우레탄이 금속제품이나 사출 성형으로 제조된 다른 고분자 제품보다 생산에너지가 적게 드는 것을 알 수 있다.<sup>7</sup>

RIM의 성형 순환 과정은 수 분 내에 이루어져야 하며 생산성을 높이기 위해 금형 내에서 중합을 완결시키지 않고 탈형 시 모양이 유지될 정도의 모듈러스를 갖는 전환

표 1. Comparison of Reaction Injection Molding(RIM) and Thermoplastic Injection Molding(TIM) Systems

	RIM	TIM
Material temperature, °C	25~100	200~300
Mold temperature, °C	50~120	Ambient or cooled
Injection pressure, MPa	<15	50~150
Initial material viscosity, Pa.s	0.01~1	100~100,000

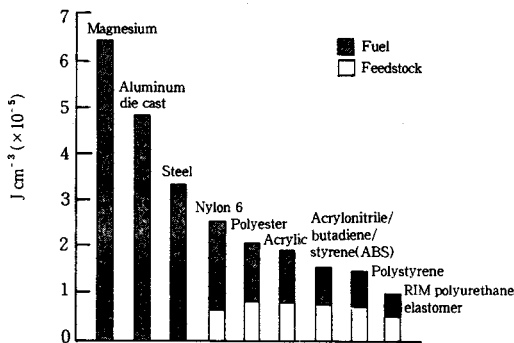


그림 1. Energy requirements to produce and form various materials.

율에서 탈형하여 일반 오븐에서 후중합 또는 후경화를 시키는 과정을 거치는 경우가 많다. RIM 순환 과정 중의 반응 시간에 따른 점도 및 모듈러스 변화를 살펴보면 그림 2에 나타난 바와 같이 낮은 점도를 갖는 단량체 반응액이 혼합된 후 금형에 충전되면서 반응이 시작되어 점도가 증가하기 시작하고 충진이 완료되면 반응이 빠르게 진행되어 점도가 급격히 증가하여 고형화가 이루어진다. 이때부터 재료의 모듈러스가 급격히 증가하기 시작하며 고형화 시에는 가교 구조 또는 상분리나 결정 구조가 형성되는 것이 일반적이다. 모듈러스가 일정값에 도달하면 탈형시켜 후중합시킨 후 다듬는 과정(trimming) 등의 후가공 과정을 거쳐 판매된다.

그림 3에 RIM 장치의 개략도를 나타내었다. RIM 장치는 원료 저장 탱크(보통 2 또는 3개), 원료를 정량적으로 수송하는 펌프, 원료를 혼합하는 혼합 헤드(mixhead) 및 금형 부분으로 크게 나뉘어진다. 이 중에서 혼합 과정이 매우 중요하며 펌프로 정량 수송된 반응액들을 노즐을 통하여 분사시키는 방법으로 혼합하는 충돌 혼합(impingement mixing) 방법이 주로 사용된다. 펌프는 보통 정변위 실린더(positive displacement cylinder) 형인 Lance 펌프가 이용되고 있으며 단량체액들이 각각 펌프에 의하여 혼합 헤드를 돌아 순환되다가 노즐이 열리면 일정 양만큼 분사되어 혼합된 후 런너와 게이트를 통해 금형에 충전된다. 혼합 헤드는 장시간 생산을 위해서 반응물들이 혼합 헤드 벽에 달라붙지 않게 하여 오염을 방지하는 자체 청소(self-cleaning) 기능을 가져야 한다.

RIM에서 중합 공정은 혼합에 의존하는 것과 온도에 의존하는 것이 있다. 전자의 방법은 높지 않은 온도에서도 반응액들이 혼합되면 중합이 일어나기 시작하는 것으로 폴리우레탄이나 폴리우레아 RIM이 여기에 속하며 혼합 방법이 매우 중요하다. 후자의 경우는 반응액들이 혼

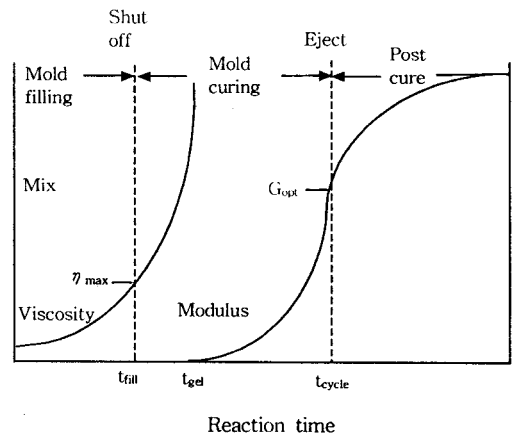


그림 2. Changes in viscosity and modulus during a RIM cycle.

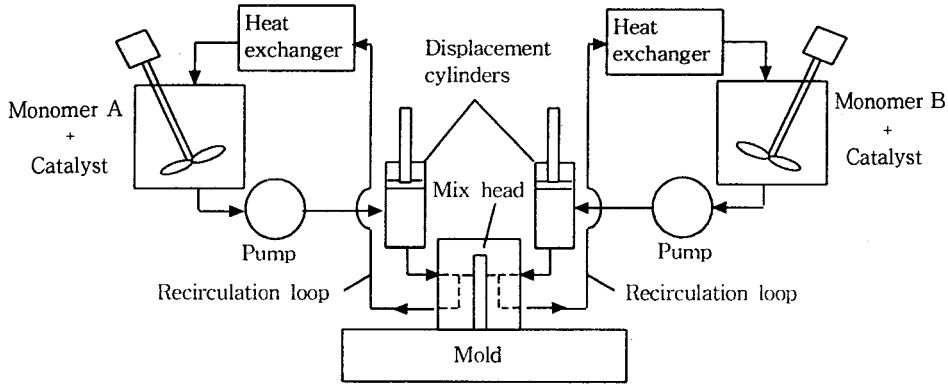


그림 3. Basic components of a RIM machine.

합된 후 일정온도 이상 온도를 올려주어야 중합 반응이 시작되는 것으로 나일론과 에폭시 RIM이 여기에 속한다. 따라서 이들 RIM 공정에서는 RIM 장치를 고온으로 유지해야 하므로 장치가 복잡해진다. 물론 위의 분류 방법은 혼합과 온도의 어느 쪽에 더 영향을 많이 받느냐에 따라 분류한 것이고 실제 RIM 공정에서는 혼합과 온도에 모두 영향을 받는다.

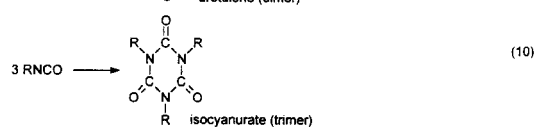
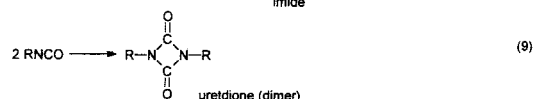
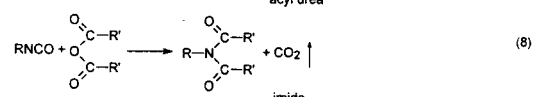
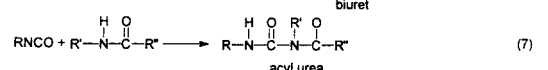
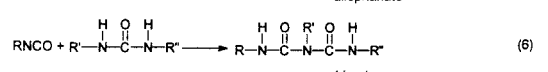
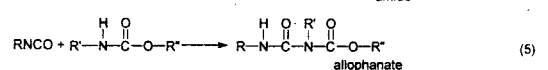
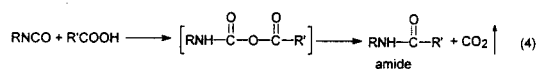
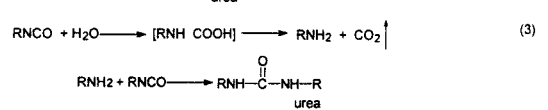
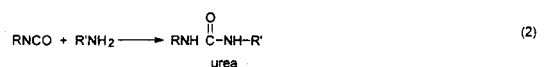
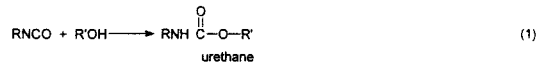
### 3. RIM 재료

RIM 방법으로 성형이 가능한 물질로는 중합반응시 부산물이 생성되지 않고 반응속도가 빠르면서도 이를 적절히 제어할 수 있는 것이어야 한다.

현재 생산되고 있는 RIM 제품의 90% 이상은 폴리우레탄 또는 폴리우레아 관련 제품이고 이외에도 나일론, 에폭시, 불포화 폴리에스테르, poly(dicyclopentadiene) 등도 소량씩 생산 내지 개발되고 있다. 대표적인 RIM 재료의 특성치들을 표 2에 나타내었다. 폴리우레탄은 강도가 낮은 반면에 에폭시, 불포화 폴리에스테르 등은 강도가 높고 신율이 작음을 알 수 있다.

#### 3.1 폴리우레탄(PU) 및 폴리우레아 RIM

PU는 고분자 사슬에  $-N-C(=O)-$ 기를 갖고 있는 고분자로서 이소시아네이트( $-N=C=O$ )와 분자량 600~6,000 g/mole 정도의 폴리올(에테르 또는 에스테르형의 디올)로부터 제조된다. 특히 PU의 주원료인 이소시아네이트 그룹은 식 (1)-(7)과 같이 산성 수소를 갖는 화합물과 쉽게 반응하는 높은 활성을 가지고 있다. 즉 히드록시, 아민, 카르복실산과 반응하여 우레탄, 우레아, 이미드 그룹이 만들어지며 또한 물과도 쉽게 반응하여 1차로 아민과 이산화탄소가 만들어지고 아민이 다시 이소시아네이트와 반응하여 우레아가 형성된다. 즉 이소시아네이트가 물과 반응하면 이산화탄소 가스가 발생하여 발포제 역



활을 하고 우레아가 만들어진다. 이소시아네이트는 또한 식 (5)-(7)과 같이 1차로 반응하여 생긴 우레탄, 우레아, 이미드와도 반응할 수 있다. 이소시아네이트는 이외에도 식 (8)의 무수물과 반응하여 이미드가 합성되며 식 (9)-(10)과 같이 자체의 2중 결합을 이용하여 고리 화합물이 합성되는 등 다양한 반응을 할 수 있기 때문에 반응조절에 어려움이 있으나 이를 적절히 이용할 경우 PU의 특성을 자유로이 변화시킬 수 있는 장점을 갖고 있다.<sup>8,9</sup>

PU는 기본 원료인 폴리올과 디이소시아네이트 이외에

표 2. Approximate Ranges for Properties of RIM Materials(No Reinforcement)

Material	Shore D hardness	Flexural modulus (GPa, 25 °C)	Heat sag (mm, 1h, 135 °C)	Elongation (%)
Low modulus PU	50~55	0.1~0.7	12~20	250~350
High modulus PU	65~70	0.7~1.0	7~13	>100
Polyurea	50~80	0.3~1.5	3~8	100~300
PU-isocyanurate	80~90	1.5~2.0	2	6
Nylon 6	70~84	0.7~2.0	2	30~285
Epoxy	80~90	2.0~3.0	2	<5
Unsaturated polyester		3.0		<5
Dicyclopentadiene		1.8	61 <sup>a</sup>	70

<sup>a</sup> 163 °C.

도 사슬 연결제인 저분자량의 디올, 가교제인 다가 알코올 등을 함께 사용하여 제조되며 이외에도 발포제, 난연제, 충전제 등도 요구 특성에 따라 첨가된다. 사슬 연결제나 가교제가 히드록시 화합물 대신에 아민 화합물들이 사용될 경우에는 우레아 그룹이 만들어지기 때문에(식 2) 폴리(우레탄-우레아) 공중합체를 제조할 수 있다. PU는 원료 조성 및 제조 방법에 따라 연질 발포체로부터 경질 발포체, 탄성체로부터 고강도의 플라스틱에 이르는 다양한 제품의 생산이 가능하며 PU RIM에서는 탄성체와 발포제품이 주로 이용되는데 탄성체는 디이소시아네이트와 사슬 연결제인 저분자량의 디올로부터 생성된 딱딱한 부분과 폴리올로 구성된 부드러운 영역으로 상분리되어 있으며 부드러운 영역이 연속상을 이루고 딱딱한 부분이 물리적 가교역할을 하는 도메인이 되어 탄성체의 특성을 나타낸다.<sup>10</sup> 대부분의 PU RIM에서는 중합에 따라 밀도가 증가하게 되어 수축이 크게 나타나기 때문에 이를 보완하기 위해 중합시 발포를 일으켜 수축을 방지하는 기술이 이용되고 있다. 표 3에 발포제, 탄성체, RRIM 등 대표적인 PU RIM 제품의 물성치를 나타내었다.

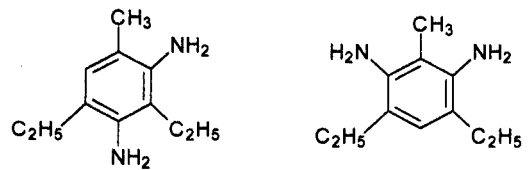
PU RIM은 국내에서도 대우자동차의 RIM 범퍼로 한 동안 많이 알려져 것처럼 범퍼, 플라이휠 등 자동차 분야에 많이 사용되고 있다. 이는 1970년대 중반 미국에서 시작된 시간 당 5마일 속도로 부딪칠 경우 자동차에 충격이 없어야 한다는 규제 때문에 이에 적합한 PU RIM 범퍼가 채택된 이후 RIM 기술이 획기적으로 발전한 데 기인한다.

PU RIM의 관련 분야로 폴리(우레탄-우레아) RIM과 폴리이소시아누레이트(polyisocyanurate) RIM이 있다. PU RIM에 사용되는 사슬 연결제인 저분자량의 디올 대신에 디아민을 사용하면 우레아 그룹이 생성되며 이소시아네이트와 디아민 사이의 반응은 속도가 빠르기 때문에 PU RIM의 단점인 긴 순환 과정 시간(cycle time)을 줄일 수 있다. 특히 사슬 연결제로서 그림 4의 디에틸톨루엔디아민(DETDA)을 상업적으로 사용하기 시작한 이후 순환 과정 시간을 크게 줄이게 되어 폴리

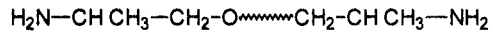
표 3. Typical Properties of PU RIM Systems

Property	Structural foam <sup>a</sup>	Low-modulus elastomer <sup>b</sup>	High-modulus elastomer <sup>b</sup>	High-modulus elastomer 23% 1/16-in milled glass
Density, lb/ft <sup>3</sup>	53	62	62	-
Tensile strength, p.s.i.	5,800	3,200	4,650	6,490
Elongation, %	10	235	105	37
Flexural modulus at 75°F, 10 <sup>6</sup> p.s.i.	240	34	120	380
Coefficient of thermal expansion, 10 <sup>-6</sup> in/in/°F	-		60	25 <sup>c</sup>

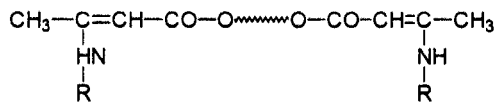
<sup>a</sup> 1/4 in thick, <sup>b</sup> 1/8 in thick, <sup>c</sup> parallel to fibers.



diethyl 2,4-toluenediamines diethyl 2,6-toluenediamines  
그림 4. Chemical structures of diethyltoluenediamines.



amine terminated polyether



aminocrotonate terminated polyether

그림 5. Chemical structures of amino-group terminated polyethers for polyurea RIM.

(우레탄-우레아) RIM이 자동차 분야에 널리 사용되게 되었으며 대표적인 것으로 본체 패널을 RIM으로 제작한 미국 GM사의 Pontiac Fiero가 있다.<sup>11</sup> 폴리(우레탄-우레아) RIM은 우레아 그룹의 수소 결합 능력이 크기 때문에 일반적으로 동일 구조의 PU RIM보다 강도, 내열성 등이 높다.

폴리이소시아누레이트 RIM은 식 (10)에 나타난 이소시아네이트 그룹 사이의 반응에서 생기는 고리 구조의 이소시아누레이트 그룹을 갖는 고분자를 말하며 고리 구조가 열에 매우 안정하기 때문에 내열성이 우수하고 강도가 큰 특징을 갖고 있다(표 2).

폴리(우레탄-우레아) RIM에서 폴리올까지 완전히 디아민으로 치환하면 폴리우레아 RIM이 제조되며 폴리우레아 RIM은 촉매를 사용하지 않아도 반응속도가 빠르고 고온에서 변색이 적으며 강도가 매우 높은 장점을 갖고

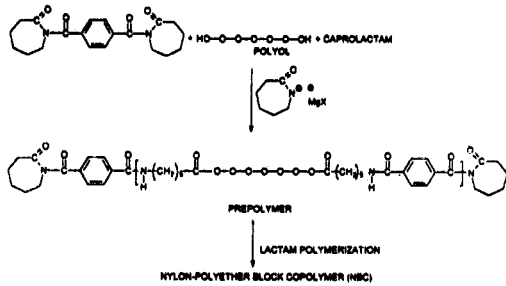


그림 6. Representative reaction of a Nylon block copolymer.

표 4. Effect of Polyol Contents on NBC

	Percent Polyol (%)			
	0	10	20	40
Shore D hardness	84	83	78	62
Tear strength, KN/M	319		228	140
Tensile strength, MPa	74.4	53.7	44.1	36.5
Tensile elongation, %	30	35	285	490
Flexural modulus, MPa	2,689	1,931	1,517	214
Notched Izod impact, J/m	32	85	998	N.B. <sup>a</sup>

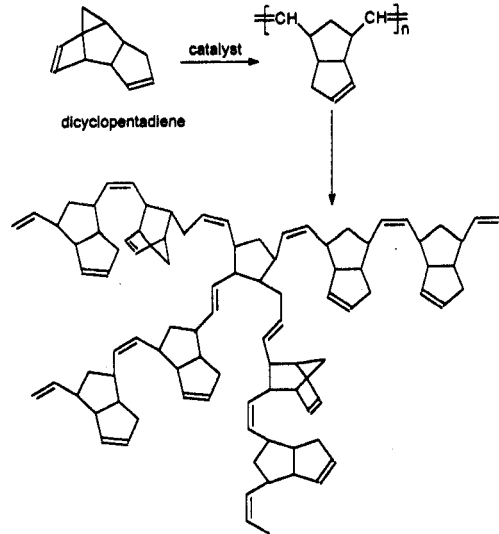
<sup>a</sup> N. B. : Not-Break.

있다. 특히 On-line paint baking이 가능한 자동차 외장재로서 폴리(우레탄-우레아) RIM보다 내열성이 높은 폴리우레아 RIM이 적합하며 대표적인 것으로 말단에 히드록시 그룹을 갖는 폴리를 대신에 그림 5에 나타낸 바와 같이 디아민이나 aminocrotonate를 말단에 갖는 폴리에테르를 사용하고 사슬 연결제로 DETDA를 사용하여 제조된 폴리우레아 RIM이 있다.<sup>11</sup>

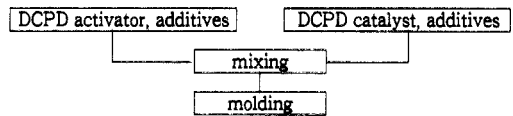
### 3.2 나일론 RIM

나일론 RIM은 폴리에올과 bis-acyllactam으로부터 프리폴리머를 제조한 후 카프로락탐을 첨가하여 카프로락탐의 개환중합에 의하여 제조되는 나일론-폴리에올 블록 공중합체(NBC)의 구조를 갖고 있으며 1980년 대 초 미국 Monsanto사에서 개발하였다.<sup>12,13</sup> 그림 6에 나일론 RIM 제조방법의 한 예를 나타내었다. 사용되는 촉매로는 알칼리금속, 알칼리토금속 등이 있다. NBC RIM의 단점으로는 촉매의 활성을 유지하기 위해 수분을 제거해야 하고 카프로락탐의 용점인 68.5 °C 이상의 온도로 RIM 장치를 유지해야 하는 점과 RIM 공정 중에 나일론의 결정이 형성되기 때문에 우수한 특성이 발휘되도록 결정화를 제어하는 기술이 필요한 점을 들 수 있다.

NBC RIM의 물성은 폴리에올의 종류 및 분자량, 조성비, 촉매 등에 주로 영향을 받는다. 표 4에 폴리에올의 함량에 따른 NBC RIM의 물성변화를 나타내었다. 폴리에올의 함량이 증가하면 인열강도, 인장강도, 굴곡강도는 감소하고 연신율과 충격강도는 증가한다. NBC RIM은 내충격성, 내마모성이 우수하여 자동차의 외장재, 사무기기의 하우징, 기어 등의 소재로 주로 사용된다.



(a)



(b)

그림 7. Chemical structures of DCPD materials (a) and processes (b) for DCPD RIM.

표 5. Properties of DCPD RIM Materials

	Measurement (ASTM)	Non-reinforced	Reinforced with 20% glass fiber	Flame retardant grade
Transparency		opaque	opaque	opaque
Density(g/cm <sup>3</sup> )		1.04	1.16	1.25
Flexural modulus(kg./cm <sup>2</sup> , 23 °C)	D 790	19000	29000	27000
Flexural strength(kg./cm <sup>2</sup> , 23 °C)	D 790	630	770	700
Tensile strength(kg./cm <sup>2</sup> , 23 °C)	D 638	350	350	350
Elongation(%, 23 °C)	D 638	70	25	15
Impact strength(Notched Izod)(kg.cm/cm, 23 °C)	D 256	44	19	14
Heat deflection temp.(°C)	D 648	85	96	90
Thermal expansion coeff.(10 <sup>-5</sup> cm/cm/°C)	D 696	11.6	5.0	7.2
Glass transition temp.(°C)	D 955	95	107	104

### 3.3 Poly(dicyclopentadiene) RIM

Naphtha cracking 중에 생기는 C<sub>5</sub>유분 중 약 10%를 차지하는 cyclopentadiene에서 생기는 dicyclopentadiene(DCPD)을 개환 중합시켜 RIM 재료로 개발하는 연구가 활발히 진행되고 있다.<sup>14,15</sup> 그림 7에 DCPD RIM 재료의 구조식과 중합 방법을, 표 5에 DCPD RIM 제품의 대표적인 물성치를 나타내었다.

DCPD RIM은 PU RIM에 비하여 내크리프성, 강도, 내충격성이 우수하며 중합 시간이 매우 짧은 장점을 갖고 있으나 내약품성이 나쁘고 냄새가 나는 단점을 갖고 있다. DCPD RIM의 용도로는 자동차의 후드, 골프카드, 스쿠터 등이 있다.

### 3.4 기타 RIM 원료

위에 열거한 RIM 원료 이외에도 에폭시 및 불포화 폴리에스테르 RIM에 대해서도 많은 연구 개발이 이루어지고 있다.<sup>16,17</sup> 에폭시의 중합 방법은 비스페놀 A와 에피클로로히드린의 반응 생성물인 DGEBA(diglycidyl ether of bisphenol A)를 경화제인 아민 등의 화합물과 반응시켜 제조되는 것이 일반적이며 제조된 에폭시 RIM은 인장강도와 탄성율이 대단히 우수하나 충격강도가 약하여 탄성체를 이용, 충격강도를 향상시키는 연구가 활발히 진행되고 있다. 스티렌 단량체를 불포화 폴리에스테르 수지와 혼합하여 성형시키는 불포화 폴리에스테르 RIM도 개발되고 있다.

## 4. RIM의 최근 연구 동향

RIM은 학술적인 연구보다는 제품 및 장치 개발이 더 활발하게 진행되고 있는 실정이다. 학술적인 연구로 공정 해석이나 원료 및 공정에 따라 달라지는 재료의 구조 변화와 이에 따른 특성 변화에 대한 연구가 최근에 활발히 이루어지고 있다.<sup>18-20</sup>

### 4.1 공정 해석

RIM 공정에 대한 연구로는 조성, 중합 온도, 촉매에 따른 금형 내에서의 유체흐름, 온도, 전환율, 압력, 점도 등을 컴퓨터 모사(simulation)를 통하여 예측하고 이를 검토하여 이들이 RIM 제품의 구조 및 물성 변화에 미치는 영향을 체계적으로 규명하여 최적 성형 조건을 구하려는 연구가 대부분이며 나일론, 에폭시, 불포화 폴리에스테르 RIM에 대하여 한국과학기술원 김성철 교수팀과 미국 Ohio State 대학의 L. J. Lee 교수팀을 중심으로 활발히 진행되고 있다.<sup>18-21</sup> 그림 8은 에폭시 RIM 공정에서 시간 및 위치에 따른 에폭시 수지의 유리전이온도( $T_g$ ) 변화를 컴퓨터 모사 방법으로 예측한 결과로 반응이 진행됨에 따라  $T_g$ 는 증가하고 특히 금형 중심부의  $T_g$ 가 높은 것을 알 수 있다. 이것은 낮은 열전달계수 때문에 중심부의 온도가 금형에 가까운 곳보다 높아 반응이 더 많이 진행되었기 때문이다. 즉 온도가 낮은 표면 부분에서는 중합이 진행되어 분자량이 증가함에 따라 에폭시 수지의  $T_g$ 가 실제 수지 온도보다 높아지면 고분자 사슬이 굳는 비트리피케이션(vitrification) 효과 때문에 반응이 더 진행되지 못하지만 내부에서는 중합 반응열이 밖으로 전달되지 못하여 온도가 높기 때문에 분자량이 더 커질 때

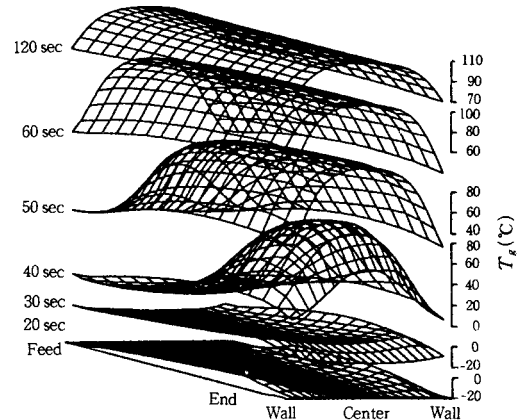


그림 8.  $T_g$  changes of epoxy resins during epoxy RIM.<sup>18</sup>

까지, 즉  $T_g$ 가 더 높아질 때까지 반응이 진행되기 때문이다.<sup>18</sup>

### 4.2 재료 개발

RIM 재료의 새로운 분야로는 상호침투 고분자 구조물(interpenetrating polymer network, IPN)이 있다. IPN은 고분자 블렌드의 한 분야로 가교된 각 조성분들이 서로 그물같이 얽혀있기 때문에 고분자 블렌드에서 일어나는 상분리를 억제할 수 있다. IPN RIM에서는 기존의 RIM 원료들이 갖고 있는 나쁜 특성들을 개선하고 우수한 물성들을 효과적으로 이용할 수 있는 장점이 있기 때문에 새로운 고분자 소재의 개발 분야로서 많은 관심을 끌고 있다. 현재 연구되고 있는 IPN RIM은 폴리우레탄-에폭시, 폴리우레탄-불포화 폴리에스테르, 에폭시-불포화 폴리에스테르 등으로 폴리우레탄-에폭시 IPN RIM의 경우 유리섬유같은 충전제 없이도 PU RIM의 강도를 높일 수 있으며 에폭시 RIM의 단점인 낮은 충격강도를 폴리우레탄이 보완해 주기 때문에 강도와 내충격성이 우수한 것으로 보고되고 있다.<sup>22</sup>

### 4.3 기업 연구 동향

기업이 수행하고 있는 분야에서 가장 활발한 분야는 오존 제거 능력(ozone depletion potential)이 낮은 발포제를 사용한 발포 PU RIM 분야이다.<sup>23-26</sup> 발포제로서 CFC의 사용이 금지됨에 따라 HCFC, 물, 탄화수소 가스(펜탄, 시클로펜탄, 부탄 가스 등), 이산화탄소 등으로 대체하려는 연구가 활발히 진행되어 상용화되고 있다. 최근에는 특히 이산화탄소를 발포제로 사용할 수 있는 RIM이 많이 개발되고 있다. 또한 약 120 mm 정도까지의 장섬유를 반응액과 함께 사출할 수 있는 장섬유 사출법(long fiber injection, LFI)이 최근에 개발되어 RRIM 제품보다 우수한 특성을 갖게 하면서 SRIM이 갖는 장치와 공정상의 단점을 개선하려는 기술이 발표되었다.<sup>27</sup> 이외에도 제품의 외관을 개선함과 동시에 장시간

생산을 계속할 수 있도록 금형에 부착물이 남지 않게 하는 내부 이형제에 대한 연구가 원료 회사를 중심으로 활발히 진행되고 있으며 RIM 제품의 내부와 외부의 소재 또는 색깔을 다르게 할 수 있는 성형 기술도 개발되고 있다.<sup>28,29</sup>

## 5. 결 론

RIM은 생산 에너지가 적게 들고 적은 투자비로 대형 제품 생산이 가능하여 자동차, 스포츠/레저, 전기/전자 산업 등의 분야에서 전망이 밝기 때문에 외국에서는 계속 신제품이 개발되고 있으나 국내에서는 원료 및 제조설비 회사의 협조가 원활하지 못하고 연구소, 학계의 관심이 부족하여 아직 이 분야에 대한 연구개발이 미흡한 실정으로 앞으로 활발한 연구가 이루어져야 할 것이다.

## 참 고 문 헌

1. F. M. Sweeney, "Reaction Injection Molding; Machinery and Processes", Marcel Dekker, New York, 1987.
2. J. E. Kresta, ed., "Reaction Injection Molding; Polymer Chemistry and Engineering", ACS Symp. Ser. 270, American Chemical Society, Washington, D. C., 1985.
3. L. T. Manzione, "Reaction Injection Molding", in "Enc. Polym. Sci. Eng.", 2nd edition, eds. by H. F. Mark, N. M. Bikales, C. G. Overberger, and J. I. Kroschwitz, vol. 14, p. 72, John Wiley & Sons, New York, 1988.
4. D. Commette, "Modern Plastics Encyclopedia '98", D-169, 1997.
5. K. D. Kim, D. H. Kim, K. H. Lee, and S. C. Kim, *Polymer (Korea)*, **8**, 289 (1984).
6. A. N. Hrymak, "Reaction Injection Moulding(RIM) Materials", in "Polymeric Materials Enc.", ed. by J. C. Salamone, vol. 10, p. 7364, CRC Press, Boca Raton, 1996.
7. L. J. Lee, "Reaction Injection Molding", in "Comprehensive Polymer Sci.", eds. by G. Allen, J. C. Bevington, and S. L. Aggarwal, vol. 7, p. 379, Pergamon Press, Oxford, 1989.
8. D. Dieterich, E. Grigat, W. Hahn, H. Hesse, and H. G. Schmelzer, in "Polyurethane Handbook", 2nd edition, ed. by G. Oertel, chap. 2, Carl Hanser Verlag, Munich, 1994.
9. J. H. Saunders and K. C. Frisch, "Polyurethanes; Chemistry and Technology", part 1, chap. 3, John Wiley and Sons, New York, 1962.
10. R. E. Carmargo, C. W. Macosko, M. Tirrel, and S. T. Wellinohoff, *Polymer*, **26**, 1145 (1985).
11. H. G. Schmelzer and R. J. Kumpf, *J. Mater. Sci.*, **A34**(10), 2085 (1997).
12. R. M. Hedrick, J. D. Gabbert, and M. H. Wohl, p. 135 in ref. 2.
13. K. H. Lee and S. C. Kim, *Polym. Eng. Sci.*, **28**, 477 (1988).
14. D. W. Klosiewicz, U. S. Patent 4,400,340 (1983).
15. H. Ng, I. Manas-Zloczower, and M. Shmorhun, *Polym. Eng. Sci.*, **34**, 921 (1994).
16. H. E. De La Mare and T. F. Brownscombe, U. S. Patent 4,397,998 (1983).
17. D. S. Kim and S. C. Kim, *Polym. Eng. Sci.*, **35**, 564 (1995).
18. D. H. Kim and S. C. Kim, *Polym. Eng. Sci.*, **29**, 456 (1989).
19. D. H. Kim and S. C. Kim, *Polym. Comp.*, **8**, 208 (1987).
20. S. S. Lee and S. C. Kim, *Polym. Eng. Sci.*, **31**, 1182 (1991).
21. Y. M. Lee and L. J. Lee, *Polym. Process Eng.*, **6**, 91 (1988).
22. S. C. Kim, et al., "Polymer Engineering II", p. 455, Huijoongdang, Seoul, 1997.
23. L. M. Sherman, *Plastics Technol.*, p. 70, May (1997).
24. *Plastics World*, p. 69, June (1997).
25. *Plastics World*, p. 40, March (1997).
26. I. M. Sherman, *Plastics Technol.*, p. 51, November (1997).
27. *Modern Plastics*, p. 48, November (1997).
28. R. P. Harrison, B. W. Brown, R. C. Rossio, G. M. Aviles, E. M. Dexheimer, and D. Ho, U. S. Patent 5,594,037 (1997).
29. N. Nagasaka, M. Goto, S. Sugiyama, Y. Kawasita, and M. Ishikawa, U. S. Patent 5,628,944 (1997).