

PE 응용

황 규 면 · 권 승 범

1. 서 론

폴리에틸렌은 물성, 성형가공에 뛰어나므로 광범위한 분야에서 사용되고 있는데, 더욱 사용하기 쉬운것, 더욱 성능을 가진것, 새로운 용도에 대응할 수 있는 특수한 성능을 갖는 것 등의 요망이 있다. 이러한 요망에 대응한 방법으로서 제조기술의 개량, 공중합에 의한 개량, 그래프트화, 가교와 같은 화학적 개량, 이중 Polymer나 충전재 등의 Blend에 의한 개량 등을 통한 특수한 성능을 부여한다.

여기에서는 산업적으로 유용하고 세계적으로 응용 상품화 되거나 개발중인 주요 기술 들을 소개하고자 한다. 여기에 서술한 기술분야는 편의상 분류한 것으로 보는 시각에 따라 다르게 분류될 수 있다.

2. 기능성 PE

2.1 접착성 PE(Adhesive PE)

일반적인 Polyolefin 수지는 가격이 저렴하고 기계적, 화학적 물성이 우수하고 가공이 용이하여 널리 사용되고 있으나, 이러한 Polyolefin 수지는 비극성이므로 극성 Polymer(Nylon, Polyester, EVOH, Epoxy 등) 나 알루미늄, 철, 나무, 종이, 유리 등과 같은 극성기재와의 친화력이 없고 접착력, 착색성 등이 떨어져 그 사용이 제한되어 왔다.

이러한 Polyolefin의 약점을 보완하기 위하여 Polyolefin의 Main Chain에 극성을 띠는 Chemical을 Grafting시켜 각종 극성기재와의 친화력을 높임으로써 접착력을 부여하고 착색성 등을 개선하여 폴리올레핀 수지와 극성기재와의 접착층으로 사용하고 있다.

이러한 방법으로는 Solution Grafting으로 Seed를 제조하는 방법과 Twin Screw Compounder에서 Reactive Extrusion방법으로 Grafting시켜 Seed를 제조한 다음 용도에

맞는 Base Resin과 적당량의 Seed를 Single Screw Compounder에서 Melt Blending하여 제조한다.

일반적으로 Mechanical Grafting은 Solution Grafting에 비해 투자비가 싸고 소량생산이 가능하며 생산비용이 적게 들지만, Grafting 효율이 낮고 접착력, 순도 등과 같은 물성이 떨어지는 것으로 알려져 있다. 그러나, 최근에 국내에서 개발에 성공한 접착성 Polyethylene은 외국의 제품들 (Mitsubishi 社의 Modic, DSM의 Plexar, DOC의 Fusabond, Mitsui Petrochemical의 Admer)와 비교하여 접착력이 월등히 우수하면서 순도가 뒤지지 않아 품질 및 가격 경쟁력이 우수한 것으로 평가되고 있다.

이러한 제품의 용도로는 최근 상업화 되고 있는 폴리머 복합 Pipe, 건축외장재인 알루미늄 복합 Panel 제조에 PE와 Aluminum과의 접착층으로 사용되고 있으며, Steel Pipe Coating용으로도 사용되고 있다.



황규면

1982 서울대학교 화학과(B.S.)
1984 KAIST화학과(M.S.)
1984 (주)유공
1993 KAIST화학과 졸업(Ph.D)
현재 (주)유공 인천고분자연구소
선임연구원



권승범

1988 고려대학교 화학공학과
(공학사)
1990 고려대학교 화학공학과
(공학석사)
현재 (주)유공 인천고분자연구소
기술지원연구실
주임연구원

Application of Polyethylene

(주)유공, 인천고분자연구소(Kyu-Myun Hwang and Seung-Beom Kwon, Incheon Polymer Research Center, Yukong Ltd., 604-8 Yonghyon-Dong, Nam-Gu, Incheon, 402-020, Korea)

향후 건자재 시장, 다층 Film 및 Blow 시장의 용도개발에 따라 사용량이 크게 증대될 것으로 예상되고 있다.

2.2 차단성 PE(Barrier PE)

차단성 수지란 폴리에틸렌과 Nylon을 혼합함으로써 유기용제에 대한 내투과성을 기존의 PE에 비하여 크게 향상시킨 일종의 기능성 고분자 화합물이다.

일반 HDPE 수지는 낮은 가격, 우수한 내충격성, 수분에 대한 내투과성 등의 장점 때문에 친수성 용제의 포장재로 사용되나 각종 농약, Paint, Thinner 등과 같은 친유성 용제의 충전시에는 시간이 경과함에 따라 용기 내벽을 통해 유기용제를 방출하게 됨으로써 차단성능을 나타내지 못하게 된다. 따라서 유기용제를 담은 용기로서 미국, 유럽 등의 선진국을 제외한 대부분의 나라에서는 주로 철제 용기나 유리병을 계속 사용하고 있는 실정이다. 부식성이나, 깨짐성 등의 단점을 갖고 있는 철제용기나 유리용기를 내투과성이 우수하고 경량인 동시에 용기 Design을 자유롭게 변형시킬 수 있는 플라스틱 재료로 대체하기 위해 용기제작을 위한 특수한 가공기술이 필요하다.

현재 국내에서 개발된 기술은 유기용제에 대한 차단성능을 부여하는 변형 Nylon을 적합한 HDPE 수지에 혼합, 압출하여 차단성 용기를 성형하는 것으로서, 중공 성형기를 통해서 성형되는 차단성 용기의 내벽에는 얇고 넓은 수십 개의 차단막이 존재하게 되는데, 이층은 투과되는 유기용제에 대한 차단벽 역할을 함으로써 용기 내벽을 통해 방출되는 것을 억제하게 된다.

이러한 특성의 차단성 용기를 기존의 중공성형기의 일부를 개조하여 얻을 수 있기 때문에 최근 개발된 기술은 초기 투자비가 많이 드는 표면처리 용기 제조기술, 공압출 중공 성형기술보다 설비투자면에서 유리하고 용기의 재환용이 가능하며, 용기 제조 비용도 월등히 싸고 생산성면에서도 우위에 있다.

세계적으로는 미국의 Dupont사의 "Sclar RB"가 있으며, 국내 개발제품은 내차단성 및 용기 변형 등에서 동등 이상 기술을 보유하고 있다. 또한, 식품 포장용기 분야에서는 기존의 Multi-layer 포장 Film에서 원료의 절약과 재생추진에서 유리한 차단성 film으로의 대체를 위한 개발이 활발하게 이루어지고 있다.

한편, Nylon보다 Oxygen 차단성능이 월등히 우수한 EVOH의 사용도 증가하는 추세에 있다. EVOH를 사용한 차단성수지는 친수성 성분을 함유하고 있지만 소수성 Ethylene 성분을 적당량 공중합 시켰으므로 흡습성이 적으며, 양호한 차단성능을 유지한다. 기계적 물성은 Nylon을 사용했을시와 동등한 물성을 나타내지만 성형상의 극복하여야 할 과제가 남아 있다.

2.3 Polymer Alloy

Polymer Alloy는 특수목적에 위한 기능성 부여, 물성향상을 위한 고성능화 및 성형가공성, 경제성 향상을 목적으로

한다.

일반적인 Polymer Blend 제조방법은 기계적혼합, 용액 상태의 혼합, Latex Blending, 고분자를 다른 단량체에 분산시키거나 용해시킨 후 단량체를 중합시키는 4가지 방법이 있다.

Blend의 상용화 정도는 제품의 특성에 증대한 영향을 미치므로 중요하다. Block copolymer, Graft copolymer Co-solvent 등의 Compatibilizer 사용이나 Reactive Polymer Processing, Segregation 방지 등에 의한 상용성 향상 방법이 이용되고 있다.

현재 상업적으로 유통되고 있는 PE계 Alloy는 Opacifier로의 사용을 위한 PS와의 Blend, Impact 향상을 위한 Rubber와 Styrene계와의 Blend, 가공성과 내후성을 목적으로 PC와의 Blend, 윤활성을 목적으로 PPS에 HDPE를 Blending 한 제품등이 있으며 이러한 Alloy기술은 특수한 목적을 위해 계속 개발 중에 있다.

3. 복합 PE(PE Composite)

충전재는 플라스틱에 배합하여 제품물성이나 가공성의 개선을 한다든지, 중량재로서 가격인하 등에 사용되고 있다.

충전재를 사용함으로써 얻어지는 효과로는 보강·열변형온도의 향상, 차폐효과, 도전효과, 활성효과, 흡착효과, 流下 방지 효과, 내후성 개선, 인쇄, 접착성의 개량, 중량재 등이 있으며 이중 PE에 많이 이용되는 몇 가지 예만 들기로 한다.

3.1 PE Composite

대표적인 Polyolefin Composite로는 Filler Reinforced Polypropylene 이며, PE Composite 또는 Dupont of Canada Inc. 에서 상품화된 「Zemid」등이 있다.

사용하는 무기 Filler로는 Calcium Carbonate, Talc 등 그 종류가 다양하며 10~80%를 함유시킨다. 무기 Filler는 수지 고유물성 뿐 아니라 Filler종류, 입자 Size, 상용성 정도에 의해 기계적물성 영향이 크다. 그러나 PP에 비한 PE의 낮은 내열온도로 인하여 사용에 제한이 있다. 내충격성, 저온충격강도 등의 장점을 살려 Outdoor용으로 활용이 증대될 잠재성장성을 가지고 있다.

3.2 전도성 Polyolefin

다양한 Level의 전도성을 가질 수 있는 Polymer 재료는 대전방지용, Heating용 및 Conductive용도로 사용되며 각종 전기·전자 제품의 Housing 재료, Cable Sheathing, Conveyor Belt, Packaging 및 Handling에 주로 응용되며 최근 전자파 Shielding Material로 사용이 증가되고 있는 실정이다.

전도성 Polymer는 Engineering Plastic, PVC, ABS,

PS 및 Polyolefin 등 다양한 재료로써 사용 가능하며 각종 고무에도 널리 활용되고 있다.

Plastic 또는 Rubber에 전도성 Filler 및 전도성 고분자를 첨가하여 Conducting(EMI Shielding 용도 등), Heating, Antistatic 기능을 갖는 재료를 개발하여 전기·전자용 구조재 및 기능재료로서 활용한다.

4. 가교 PE (Crosslinked PE)

선상 폴리머의 내열성은 분자간을 가교하여 그물결 거대 분자화함으로써 개선된다.

가교법은 첫째, 고에너지 방사선을 필름, 피복전선, 성형품 등에 조사하는 방법으로 내열성 절연재료, 로켓이나 미사일의 부품, 발포 배율이 큰 PE Foam을 얻을 수 있다.

둘째, 방사선 보다는 값싼 PE를 가교하는 방법으로는 PE의 용융온도 부근에서 분해하는 유기과산화물(Peroxide)을 배합하고 단 시간의 열처리에 의해서 Polymer분자를 가교하는 방법인데 이는 다음에 소개하는 Silane 가교에 비하여 생산설비 비용은 저렴하나 가공방법에 제약이 있다.

셋째, PE에 Peroxide와 Silane을 첨가하여 PE Main Chain에 Silane을 Graft시킨후 수분과 Condensation 촉매로 가교 시키는 Silane 가교법이 있다.

이러한 Silane 가교법은 모든 Material을 동시에 Dry Blending하여 Extrusion 시키는 Monosil Process와 Grafting Step과 Curing Step의 2 Step으로 가교시키는 Stop-lus Process가 있으며 2 Step Method의 Melt Blending을 이용하면 원료의 장기보관 및 균일생산이 가능한 반면, 생산 비용이 증가하는 단점이 있다.

5. 발포성 PE(Expandable PE)

PE의 발포제품은 압출공정을 이용한 고발포 공정과 사출공정을 이용한 저발포 공정으로 크게 나눌 수 있다.

포장재 완충재, 신발류, 카펫트, 스포츠용품 및 메트릭서 등에 사용되는 고발포 PE성형은 발포기체에 의해 생산된 Cell의 형성을 위해 수지의 Melt Strength가 유지되어야 하며 Branch가 존재하는 LDPE의 경우 발포성형이 유리하다.

LLDPE의 경우 Melt Strength 강화를 위해 약간 Cross-linking을 시켜 단열재, 부력재, 흡음재, 충격완화재로 사용이 가능하다.

최근에는 미리 발포성능을 가지는 Bead를 생성해 2차 가공하여 치수가 요구되는 정밀 제품 등에 사용되고 있다.

일반적인 두께가 두꺼운 사출성형품의 경우 냉각시 일어

나는 수축현상에 의해 Sink Mark가 심하게 발생하여 제품의 외관 및 물성에 영향을 미치게 된다.

이러한 현상을 없애기 위하여 미량의 발포제를 이용하여 Sink Mark 방지를 목적으로 저발포 성형을 하며 목재의 대용 및, Pallet, 수송상자 등에 이용하여 주로 HDPE를 사용한다.

한편 PE 발포에 사용되는 발포제로는 PBA(Physical B/A)와 CBA(Chemical B/A)로 나뉘며 PBA로 많이 사용되는 CFC는 각종 규제로 인하여 사용이 규제되고 있으며, Pentane 등의 Hydrocarbon Gas는 Air Pollution 및 Green house Problem으로 인한 문제로 향후는 N₂, Air 등이 많이 사용될 것이며 이러한 무독성 Gas를 생성하는 CBA(특히 ADCA) 사용이 널리 이용될 것으로 전망된다.

6. 환 경

6.1 분해성 Polymer

일반 산업 폐기물에 의해 환경오염문제가 국내외적으로 심각하게 받아들여지고 있으며, 특히 일반 고체 폐기물 부피의 많은 부분을 차지하며 완전히 분해되는데 수 백년이 걸리는 플라스틱 폐기물에 의한 환경오염문제는 더욱 심각하다. 플라스틱 폐기물에 의한 환경문제를 해결하기 위하여 플라스틱 폐기물에 대한 국민 홍보를 통한 국민의식 고취와 정부차원의 플라스틱 폐기물에 대한 법적규제를 실시하고 이에 대처하기 위하여 플라스틱 폐기물 처리방법 개발이 활발히 진행되고 있다. 플라스틱 폐기물 처리 방법으로는 크게 매립, 재활용, 분해성 플라스틱 사용으로 나눌 수 있다. 플라스틱 재생, 열분해, 소각으로 분류되는 재활용 방법에 있어서도 분리수거, 재생품의 물성 저하로 인한 용도 개발, 촉매 및 공정 개발, 유독가스 제거 등의 문제점을 안고 있다. 분해성 플라스틱 개발도 각 Technology마다 높은 제조원가, 완전분해 여부등의 문제점을 지니고 있는 실정이지만 꾸준한 연구 개발로 이런 문제점은 보완할 수 있으리라 예상된다.

6.1.1 생분해성 플라스틱

생분해성 물질이 미생물에 의해 일종의 소화작용이 일어나는 것을 말하며 이런 현상이 일어나는 플라스틱을 생분해성 플라스틱이라하며 그 종류로는 미생물이 자신의 에너지를 저장할 때 생산하는 고분자를 이용하는 고분자, 셀룰로오스, 리그닌, 키틴, 등의 천연고분자를 활용하는 천연고분자이용 고분자, 생화학적(발효기술)으로 카프로락톤, 글리콜릭산, 락틱산 등과 같은 물질을 만들고 이것을 원료(모노머)로 고분자를 합성하는 Biochemical 고분자가 있다. 생분해성 고분자는 지방족 폴리에스터의 분자구조로 되어 있으며 미생물에 의해 완전히 분해되고 생체적합성이 뛰어나지만 제조원가가 기존의 범용수지에 비해 상당히 높

표 1. 해외 분해성 플라스틱의 수요와 전망

(단위 : Ton/Month)

국가	1987	1988	1992	2000	연성장률	비고
미국	23	--	340 386	910	75%	· '87년 플라스틱 폐기물 1% · '92년 플라스틱 폐기물 15%
유럽	--	4,600	21,000	--	46%	· 서독이 성장률이 가장 큼 · 현재 Carrier Bag 수요 가장 큼 · 향후 Container의 수요 급성장 예상

표 2. 폐합성수지 발생량 및 처리현황(환경처 자료 89년)

(단위 : Ton/day)

발생량	재생소	각매립	기타보관
682	258	249	22
			53

은 편으로 강력한 법적규제나 석유화학 기초 원료비가 큰 폭으로 인상되기 전에는 범용화하기 힘들다.

6.1.2 생물분해성(전분충진)

기존의 PE, PP, PS와 같은 범용플라스틱에 전분과 같은 미생물에 의해 생분해되는 물질과 광분해제나 산화가속제를 배합한 플라스틱으로 전분이 분해되면 분리가 일어나고 첨가한 광분해제나 산화가속제가 Base Resin의 완전분해를 도와주는 플라스틱으로서 전분을 배합함으로써 낙구충격강도와 같은 물성의 저하와 광택이 나빠지고 완전분해에 대한 의문점이 제시되고 있다.

6.1.3 광분해성 플라스틱

태양광선의 자외선에너지를 이용하여 고분자의 분자고리를 끊어 분자량의 저하를 일으키는 것을 광분해라고 하며 자외선에 민감한 카르보닐기를 분자내에 도입하는 공중합체와 광분해제를 배합하는 형태가 있다. 광분해성 플라스틱은 태양광에 노출이 되지 않는 곳에서는 분해가 일어나지 않고 미생물에 의한 궁극적인 분해가 일어나는지의 의문이 있다.

6.2 Recycle

분해성 Plastic과 더불어 널리 연구 실용화되고 있는 기술중 하나가 Recycle이다. Polymer의 분해가 완전분해여부 및 상당한 시간지속성이 요구되는 반면, Recycle은 단시간 내에 또한 자원의 재활용 측면에서 상당히 효과적인 방법이다. 현재 응용화된 재생기술로는 Polyolefin Film 및 Scrap을 분쇄, Compounding하여 큰 강도가 요구되지 않는 합성수지 복재·배수관용으로 생산하거나 폐 Plastic으

로부터 휘발유, 경유, 등유 등을 재생할 수 있는 폐 Plastic 유회처리 방법이 있다.

이러한 Plastic Recycle 처리기술의 가장 큰 문제점은 폐 Plastic의 재질분류로서, 재질단일화를 통한 분리정제비용 및 재활용률을 높이기 위해 환경처는「포장폐기물의 발생억제를 위한 상품의 포장방법 및 포장재의 재질기준 등에 대한 규정안」및 재질에 따른 코드화제도 도입, Recycle 공정단순화와 활용도를 높일 계획이다.

재생기술과 더불어 사용되어지고 있는 처리방법으로는 소각방법이 널리 활용되고 있다.

7. 기 타

7.1 항균성 PE

자동차 에어컨, 세탁기 세탁조 및 물 탱크 등의 장기 사용시 곰팡이 및 세균에 의한 악취 발생문제를 해결하기 위하여 기존 PE, PP등의 수지에 항균제를 첨가하여 Fungi, Bacteria 등에 대한 항균력을 부여한다.

항균제란 미생물 의한 오염 및 노화를 방지하는 물질로서 작용기의 종류에 따라 Phenolics, Halogen Compounds, Quaternary Amonium Compounds, Metal Containing Compounds, Anilides, Amines, Alkanolamines, Nitro Compounds, Organosulfur and Organosulfur-Nitrogen Compounds 및 기타항균제로 분류된다.

항균제는 대상균주에 원하는 정도의 항균력을 지녀야 하고, 물리, 화학적으로 System과 Compatible하여야 하며 일정기간 동안 제조 되었을때 유효성이 적어야 하고 환경오염을 유발시키지 말아야 한다.

현재 국내에서 사용되어 지는 항균제로는 유기항균제와 바이오세라믹 및 일본에서 수입되어지는 은염계 화합물의 3가지가 있다. 이들은 항균력, 지속성 및 열안정성 등이 각기 다르므로 사용되어 따른 항균제 선택이 요구되어 진다.

7.2 TPE

자동차에 사용되고 있는 고무제품들은 환경보호를 위한 Recycle 문제와 생산성 문제 등으로 생산성이 우수하고 비중도 낮으며 Scrap 사용 및 Recycle이 가능한 Thermoplastic Elastomer(TPE)로 대체가 이루어지고 있다.

TPE는 열가소성 수지에 고무소재(EPDM)을 작은 입자 형태로 균일하게 분산시킴으로써 열가소성 수지와 같은 가공성을 가지며, 고무와 같은 탄성을 보유하는 소재로서, Blending/Compounding 기술 및 동적가류반응(Dynamic Vulcanization)기술이 그 핵심을 이룬다. 이 제품은 내열노화성, 내후성, 소음방지특성 등의 물성이 우수하고, 적절한 강도와 신도를 조절할 수 있으며, 수지와 같이 가공이

용이하고 고무와 같은 탄성이 있어 무한한 사용 잠재력을 가지고 있다.

자동차용 고무제품, 전기, 전자 각종 부품 등의 소재로서 사용되며, 계속적인 용도 개발이 이루어지고 있다.

7.3 Ionomer

고압중합으로 얻어진 에틸렌-아크릴산 또는 메타아크릴산의 Copolymer에 금속이온으로 분자쇄 사이를 가교한 것으로서 분자간의 가교에 관여하는 음이온 성분은 공중합에 의해서 폴리에틸렌 분자중에 도입된 카르복실기이며 양이온 성분은 Na, K, Mg, Zn 금속이다.

이와같이 유기 및 무기 성분이 공유결합과 이온 결합으로 결합되고 있는 Polymer를 Ionomer라 부르고 있다.

현재 기대되는 최대의 용도는 포장재료이며 Film이 바늘처럼 예리한 첨단과 접촉하여 깨어지지 않기 때문에 특히 기계부품의 Skin Package에 최적이다. 또한 완전히 투명하고 강인한 병으로서 의약품, 식료품, 기타의 용기로서 유망하다.

7.4 EVA

EVA 수지는 에틸렌과 초산비닐(VA)의 공중합체이지만 그 성질은 VA 함량과 분자량에 따라서 대폭적으로 다르다. 통상 VA 함량이 7~60정도의 것이 EVA 수지로 불리고 7% 이하의 것을 폴리에틸렌의 개질품이라고 간주되고 있다.

EVA수지의 특징은 연질 PVA와 같은 유연성 고무탄성을 가지고 있으며, 성형가공성이 뛰어나고 내후성이 우수하며 스트레스 크래킹에도 잘 견디며 위생적이며 무독성이다.

VA함량이 비교적 적은 EVA수지는 PE와 같은 방법으로 가공되고 가스켓, 튜브, 각종 용기, 필름, 라미네이트 제품, 발포제품 등에 이용되고 있다.

특히 인플레이션에 의한 중포장, 폴리에틸렌이나 PP와의 다층필름은 특이한 성능을 갖는 포장재료로서 수요가 증대하고 있다.

7.5 기타 Copolymer

특수 기능 부여를 목적으로 한 Copolymer는 위에서 언급한 이외에 EnBA, EtBA, EEA, EMA 등의 Ethylene Ester Copolymer 계와 EAA, EMAA, EBAAA, EEA-MAH, EVAGMA, EGMAMAH, EBAMAH, EVAMAH 등의 Acid Copolymer계 등이 이용되고 있다.

참 고 문 헌

1. S. S. Schwartz, *Plastics Materials and Processes*, Van Nostrand Reinhold (1986).
2. *Modern Plastics '90 Encyclopedia*, McGraw-Hill (1990).
3. *Modern Plastics '92 Encyclopedia*, McGraw-Hill (1992).
4. *The Future for Plastics Alloys-III*, R. M. Kossoff & Assoc. (1987).
5. *Polyolefins VII—Internation Conference—*, Soc. of Plastic Eng. Inc. (1991).
6. *SP'91 : Packaging Industrial & Technical Films—Applications, Markets, Recycling—*, Soc. of Plastic Eng. Inc. (1991).
7. J. M. Charrier, *Polymer Materials and Processing—Plastics, Elastomers and Composites—*, Hanser Publishers (1991).
8. H. V. Boenig, *Polyolefins*, Elsevier (1906).
9. 瀧山榮一朗, *ポリエステル樹脂ハンドブック*, 日刊工業新聞社 (1988).
10. Ser van der Ven, *Polypropylene and Other Polyolefins*, Elsevier Science (1990).
11. 井手文雄, *高分子表面改質*, 近代編集社 (1987).
12. Peter P. Klemchuck, *Polymer Stabilization and Degradation*, American Chemical Society (1985).
13. Norman S. Allen, *Degradation and Stabilization of Polyolefins*, Applied Science (1983).
14. David E. Bergbrettes, *Functional Polymers*, Plenum Press (1989).
15. C. D. Han, *Polymer Blends & Composites in Multiphase Systems*, American Chemical Society (1984).
16. L. A. Utracki, *Two Phase Polymer Systems* (1990).
17. S. R. Hartsorn, *Structural Adhesives*, Plenum Press (1986).
18. A. J. Kinloch, *Adhesion and Adhesives*, Chapman and Hall (1987).
19. Souheng Wu, *Polymer Interface & Adhesion*, Marcel Dekker (1982).
20. S. A. Barenberg, *Degradable Materials—Perspectives, Issues and Opportunities—*, CRC Press, Inc. (1990).
21. William J. Koros, *Barrier Polymers and Structures*, American Chemical Society (1990).
22. J. Edward Glass, *Agricultural and Synthetic Polymers—Biodegradability and Utilization—*, American Chemical Society (1991).
23. C. D. Han, *Rheology in Polymer Processing*, Academic Press (1976).
24. J. M. Dealy, *Melt Rheology & its Role in Plastics Processing*, Van Nostrand Reinhold (1990).
25. Radian Corp., *Plastic Processing*, Noyes Data Co. (1986).
26. N. P. Chemisinoff, *Polymer Mixing & Extrusion Technology*, Marcel Dekker (1987).
27. R. J. Ehrig, *Plastics Recycling*, Carl Hanser Verlag (1991).
28. Walker and Rader, *Handbook of Thermoplastic Elastomers*, Van Nostrand Reinhold (1988).