

자동차용 고분자의 재활용 기술동향

최 형 기 · 이 용 무

1. 서 론

산업의 발달과 국민 생활수준의 향상으로 자동차 보유 대수가 매년 증가하고 있고, 자동차 제조기술은 상당한 수준에 이르러 내구연한은 길어졌으나 신차의 선호도 때문에 자동차의 life cycle이 점차 짧아지면서 폐차의 절대량이 급증하고 있다. 또한 자동차의 연비향상과 배기가스의 저감을 목적으로 자동차의 경량화가 추진되면서 경량소재인 플라스틱 부품의 사용이 증가하고 있고, 자동차 부품용 플라스틱 소재는 기능적인 면과 아울러 미적인 감각도 추구되어야 하므로 코팅, 적층, 복합화 등 점차 재생하기 어려운 재료의 채용이 증가하는 추세이다.

특히, 국내 자동차메이커들은 엔진, 차체 등의 중량을 크게 줄여서 현재 승용차기준 990kg인 차량중량을 21세기 초까지 700kg 수준으로 줄인다는 목표 아래 차량경량화를 위한 연구개발에 박차를 가하고 있다. 이를 위해서는 현재 8% 수준에 머물러 있는 플라스틱소재의 채용비율을 차종에 따라서는 18% 이상으로 늘려나갈 방침이어서 자동차용 수지부품의 재활용기술개발에 적극적인 연구개발비의 투자가 요망된다.

통상산업부 등 정부의 유관부서에서도 자동차용부품의 재활용기술을 중기거점기술개발사업과제로 도출하는 등 자동차산업의 혁신전략과 아울러 재활용기술개발에도 적극 지원에 나설 계획이다. 또한 통상산업부에서는 국내 폐차업체나 재활용업체가 영세하기 때문에 재활용률을 높이는데 문제가 있다고 판단하고 폐차재활용협회 등을 설립하여 실질적인 재활용이 가능하도록 유도해 나갈 계획이다.

앞으로 자동차, 가전제품 등 우리나라의 수출 주도형 제품은 세계적으로 재생재료의 사용, 재생에 용이한 설계 및 사후 폐기시 회수, 재생 시스템을 갖춰야만 수출이 가

능하다. 매립, 단순소각에 의한 기존 처리방법은 이용 가능한 국토의 잠식, 2차환경오염 유발 등 부작용을 야기하므로 지구환경개선과 동 제품의 수출촉진 등을 위해 자동차용 페플라스틱의 재활용 기술개발이 절실한 시점이다.

국내 자동차 등록 대수는 '94년 8월 700만대를 넘어선 이후 11개월만인 '95년 7월말 현재 800만대를 웃돌고 있다. 자동차 생산도 세계 5위국에 랭크되어 있고, 또한 경량화에 주로 이용되고 있는 고분자 재료도 세계 4위국을 점하고 있으나 세계적인 자동차생산국, 석유화학 국가에 걸맞지 않게 재활용기술, 특히 고분자 재료의 재



최형기
 1977 한양대학교 공업화학과(공학사)
 1983 한양대학교 공업화학과(공학석사)
 1986 한양대학교 공업화학과(공학박사)
 1992~ 국립공업기술원 공업연구관
 현재



이용무
 1975 단국대학교 화학공학과(공학사)
 1984 단국대학교 화학공학과(공학석사)
 1989 단국대학교 공업화학과(공학박사)
 1982~ 국립공업기술원 공업연구사
 현재

Recent Trend of Recycling Technology on the Polymers for Automobile Parts

국립공업기술원 종합물성과(Hyeong Ki Choi, Yong Moo Lee, Material Physics Division, National Industrial Technology Institute, 2 Joongang-Dong, kwacheon city, kyunggi-Do, Korea)

활용기술은 세계 60위로 평가될만큼 낙후되어 있는 실정이다.

본고에서는 국내의 자동차산업 및 재료현황, 재활용 현황을 점검하고 경제성 있는 폐플라스틱재료의 재활용 방법에 관한 국내의 최근동향에 관해 기술하고자 한다.

2. 국내의 자동차산업 현황

2.1 국내현황

지난 1985년 우리나라의 자동차 등록 대수가 최초로 100만대를 넘어선 이후 1988년에 다시 100만대가 증가하는데 3년이 걸렸으며 1990년 다시 백만대를 넘어서기까지 2년이 걸리지 않았고 다시 100만대가 증가하는데 1년이 채 걸리지 않아 1992년 6월말 기준 우리나라의 자동차 등록대수는 472만 1천 9백대로 국민 9.2명당 1대, 2.3가구당 1대의 차량을 보유하게 되었다.

그러나, 최근 자동차의 등록 대수가 기하급수적으로 증가하여 1994년 8월 700만대를 넘어섰고 그후 11개월만인 1995년 7월말 현재 800만대를 돌파하여 1가구당 0.7대의 자동차를 보유하게 되었다.

한편 자동차 생산은 그림 1에 나타난 바와같이 안정적인 내수시장의 확대에 힘입어 1994년말 현재 연 약 300만대 규모의 생산능력을 갖추고 235만대를 생산하여 세계 5위권 진입이 예상되는 가운데 자동차의 고부가가치화를 위한 신기술개발과 독자모델개발, 저공해 엔진개발, 경량소재개발, 전자회부품개발 등 환경규제에 대비한 기술개발과 해외 조립공장확대 등 통상마찰 해소를 위한 노력을 경주하고 있다. 또한 삼성자동차에서도 1997년 4~5

표 1. 국내자동차 산업의 수급동향과 폐차대수

구분		1991년	1992년	1993년	1994년
공급	생산	1,497	1,729	2,050	2,353
	수입	2	2	2	4
수요	내수	1,104	1,268	1,435	1,587
	수출	390	456	638	752
폐차대수		218	253	308	353

※자료 : 한국자동차공업협회

만대 수준으로 자동차 생산을 시작하여 2002년 50만대의 생산능력을 보유한다는 계획을 발표한바 있어 국내 자동차 생산능력은 2000년에 500만대를 넘어설 전망이다.

표 1의 1994년 국내 자동차 산업의 수급동향을 보면 총생산 2,353천대, 내수 1,587천대, 수출 752천대, 수입 4천대로 내수와 수출규모가 상당한 규모로 성장하고 있으며 엔고의 영향, 수출선 다변화 등으로 수출 비중이 점차 증가하고 있다.

한편 국내 폐차 대수는 '87년 10만대를 넘어선지 7년만인 '94년 35만대를 웃돌아 약 3.5배로 늘어났다. 자동차업계는 2001년 폐차 물량이 81만대를 넘어설 것으로 추정하고 있다.

2.2 국외현황

세계의 자동차 보유 대수는 그림 2와같이 총 5억 4천만대로서 미국이 34%를 차지하고 있고 일본이 10.4%로서 그 뒤를 잇고 있다. 우리나라는 약 1.4% 정도를 점하고 있다.

표 2의 자동차 수급 현황에서도 '80년 이래 지난 15년간 일본에 뒤지던 미국이 15년만에 세계1위 자리로 복귀하여 '94년 일본보다 약 150만대가 많은 1,227만대를 생산했다. 일본의 연간 폐차 대수는 표 3과 같이 '91년 530만대를 넘고 있고, 독일도 그림 3과 같이 '95년 250만대를 넘어서 금세기말 300만대까지 이를 전망이다.

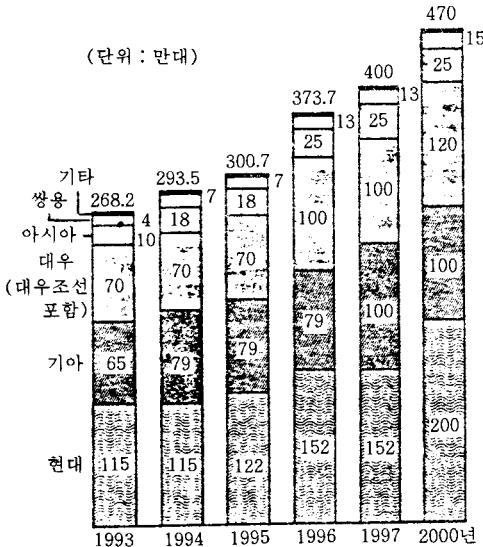


그림 1. 국내자동차 생산능력추이.

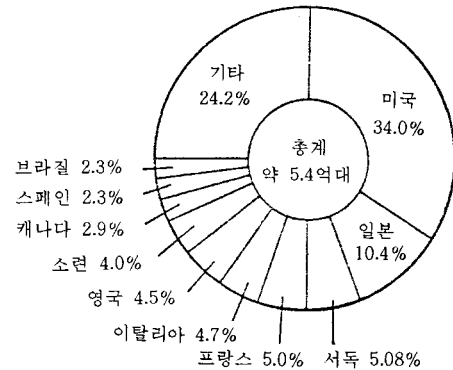


그림 2. 국가별 자동차 보유현황.

표 2. 세계 자동차 수급현황

(단위: 만대)

구분	'93	'94	(%)	'95	(%)
자동차합계	4,751	5,031	5.9	5,314	5.6
북미	1,418	1,572	10.9	1,659	5.5
미국	1,087	1,227	12.9	1,279	4.2
서유럽	1,263	1,352	7.0	1,401	3.6
일본	1,123	1,080	-3.8	1,105	2.3
기타	947	1,027	8.4	1,149	11.9
승용차합계	3,408	3,536	3.8	3,718	5.1
북미	816	867	6.2	932	7.5
미국	598	657	9.9	710	8.1
서유럽	1,135	1,214	7.0	1,258	3.6
일본	850	790	-7.1	810	2.5
기타	607	665	9.6	734	10.4

※ Source : DRI Report '94. 11월호 LMC Forecast '94. 4th Quarter

- 주) 1. 상기 수치는 DRI/LMC자료를 근거로 한 KAMA 전망치
 2. 북미는 멕시코 포함.

표 3. 일본의 폐자동차 발생현황

년	자동차 보유대수 (1,000)	새 자동차 대수* (1,000)	폐자동차 대수 (1,000)	Shredder더스트 발생량** (1,000t)
1980	37,874	5,016	3,397	346.7
81	39,632	5,127	3,369	48.2
82	41,346	5,262	3,548	575.7
83	42,939	5,382	3,788	633.3
84	44,530	5,437	3,846	656.7
85	46,163	5,557	3,924	678.2
86	47,978	5,708	3,894	675.0
87	49,907	6,109	4,090	732.0
88	52,455	6,721	4,178	847.0
89	55,097	7,256	4,614	990.0
1990	57,702	7,777	5,173	1,100.0
91	59,918	7,525	5,309	1,150.0

* Source : *JAMA(Japan Automobile Manufactures Association)

** ARIS(The Association for Recycling of IRON and steel in Japan)

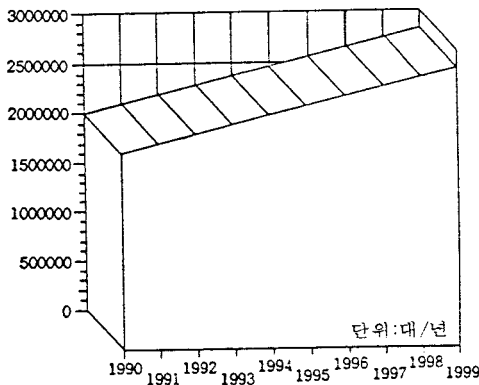


그림 3. 독일의 연간 폐자동차수추이.

3. 자동차용 고분자의 사용현황

3.1 자동차의 경량화

자동차에 쓰이는 소재는 강철, 주철, 소결재료, 동, 아연, 알루미늄 등의 금속재료부터 고무, 유리, 플라스틱 등의 비철금속 재료까지 다양하게 사용되고 있다. 지난 80년대 자동차의 고성능화, 고출력화시대에서 90년대에는 환경과 안전 그리고 연비향상이 엄격히 요구될 것으로 보여 경량화, 리사이클 등을 감안한 소재개발이 활발히 이루어지고 있다.

자동차의 플라스틱 사용은 1980년대에 대폭적으로 증가하였으며 차량의 경량화, 안정화, 디자인의 다양화 및 생산성 향상 등의 요구로 인해 알루미늄 등의 경비철금속과 함께 앞으로도 상당히 증가할 것이다. 특히 신소재를 중심으로 한 재료기술의 발달로 많은 금속재료가 플라스틱으로 대체되고 있으며, 높은 신뢰성이 요구되는 외장, 기능부품에의 플라스틱화를 위한 엔지니어링 플라스틱이 주목받고 있다.

자동차소재 추이는 그림 4에서 차량 경량화를 위한 알루미늄과 플라스틱의 비중이 증가하고 있는 상황으로 중량구성은 금속이 약 63%, 플라스틱이 약 13%까지 채용될 전망이다. 독일의 Mercedes Benz사는 표 4에서와 같이 '96년 18% 정도의 플라스틱과 고무재료를 사용할 예정이다.

독일의 IKP(Institute for Plastics Testing)의 분석 결과 매니폴드용 재료로서 유리섬유강화 나일론66(Zytel)은 에너지소비량, 제조 시의 대기 중의 배출물 질량 및 중량 면에서 알루미늄보다도 우수하다고 밝혔다. 이 결과를 그림 5에 나타내었다. A에서 Zytel과 알루미늄의 에너지소비량은 제조 시에는 큰 차가 없으나 주행 후에는 Zytel은 알루미늄의 약 40%로 되어서 라이프사이클 전체의 에너지소비량은 약 절반 수준이다. B에서

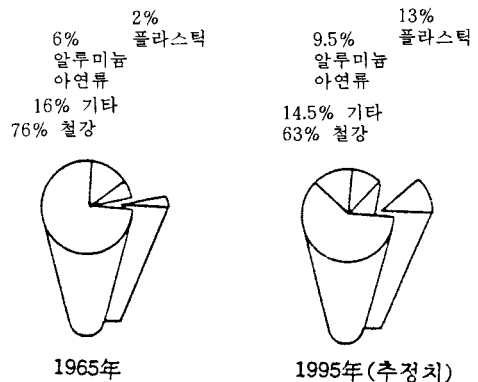


그림 4. 승용차의 재질구성비(중량비).

폐기처분 시의 용적비교에서도 Zytel이 우수하고 C에서 방출 CO₂량의 비교에서도 Zytel은 알루미늄의 43%에 지나지 않는다. 물론 이 결과는 D에 나타난 중량비에 의한 data라고 예측되지만, 환경문제 또는 재활용문제는 비단 폐기될 때의 문제가 아니고 제조에서부터 폐기까지

의 전과정을 평가해야만 하기 때문에 차량 경량화를 위해서는 알루미늄보다는 플라스틱의 채용이 선호될 전망이다. 다만 엔진부위 등 플라스틱의 채용이 곤란한 부품에는 알루미늄 또는 경량성 금속합금, 세라믹 등이 채용되는 추세이다.

표 4. 독일차의 재질구성비(Mercedes-Benz)

재 료	'86년 모델	'96년 모델
철강	67	62
플라스틱/고무	12	18
알루미늄	4	6
유리/세라믹스	2.5	3
기타 비철금속	2.5	3
기 타	12	8

국내에서도 최근에 알루미늄엔진, 알루미늄매니폴드, 알루미늄차체 등을 개발 완료했고, 실제로 알루미늄 채용도 상당히 증가하고 있다는 보도가 있었으나 앞으로 경량화 및 공해방지 차원에서 플라스틱의 채용확대를 좀더 심도있게 검토해 볼 필요가 있다.

참고로 자동차의 연비에는 그림 6과 같이 차량중량이 37%를 점유하고 있어 엔진의 성능 못지않게 중요한 요

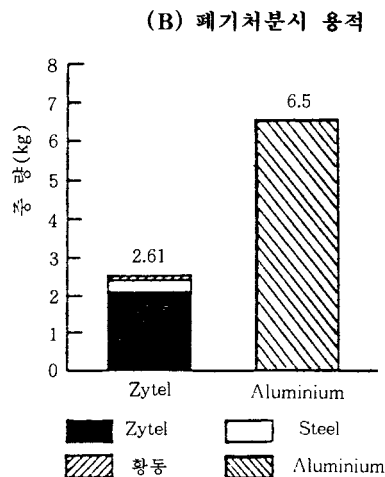
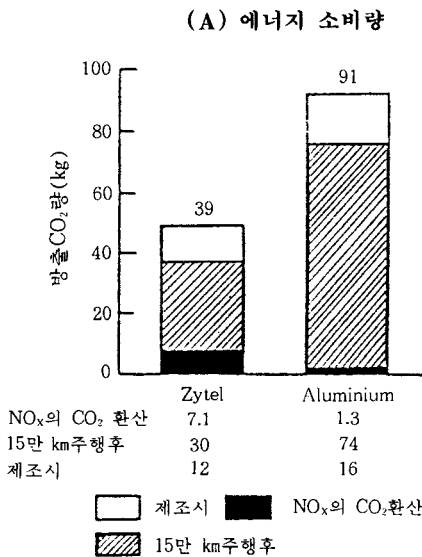
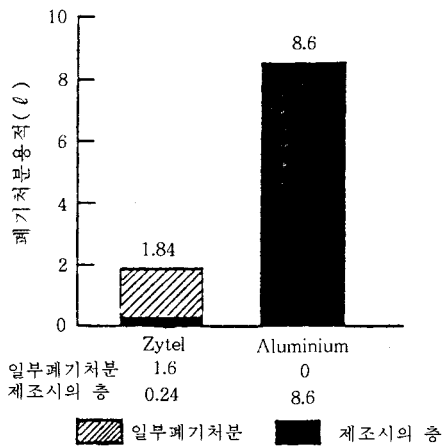
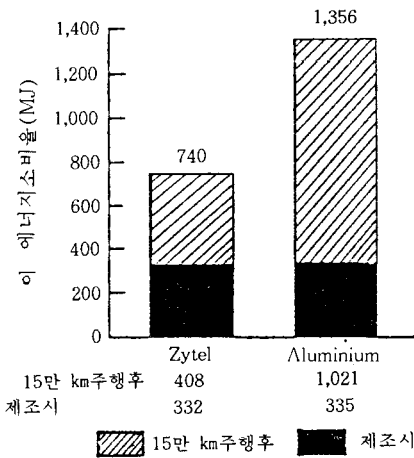


그림. 5. 나일론 66과 알루미늄의 경량화 비교(메니폴드).

인이 되고 있다.

3.2 고분자 채용현황

90년대에 들어 신장하고 있는 자동차 부품의 플라스틱화는 외장과 내장부품에서 구조나 기능부품으로 확대 채용되면서 고성능수지, 복합재료 등의 개발이 증가하고 있다. 이중 PP 및 ABS의 사용이 증가추세에 있으며 경량화 및 리사이클을 감안한 부품소재의 단일화 등이 진행되고 있다.

부품별로 보면 범퍼의 경우 EMPP, Xenoy, Rim Urethane 등이 사용되고 있는데 수출을 위주로 하는 대우의 경우 대부분 Rim urethane 범퍼를 사용하고 있으며 기아는 PP범퍼, 현대는 차종에 따라서 Xenoy와 PP 범퍼를 채택하고 있다.²

인관벨의 경우 주로 ABS, Noryl, steel 등이 사용되고 있는데 현대자동차는 대부분 ABS, 대우는 steel 및

펄프 등을 사용하고 있으며 기아는 ABS, Noryl 등을 사용하고 있다.

국내 차종별 폴리올레핀 채용현황을 표 5에, 일본의 플라스틱 사용현황을 그림 7에 나타내었다.

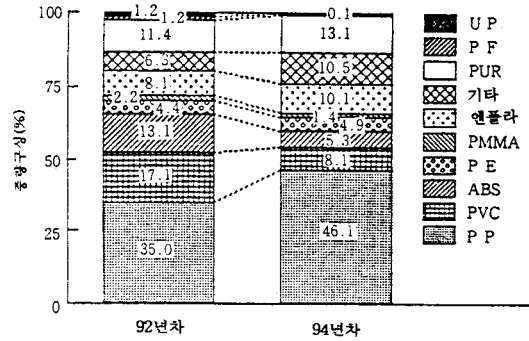


그림. 7. 일본의 플라스틱 사용비율 추이.

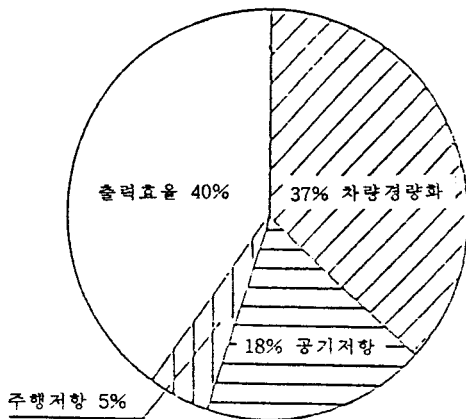


그림. 6. 자동차 연비에 미치는 factor.

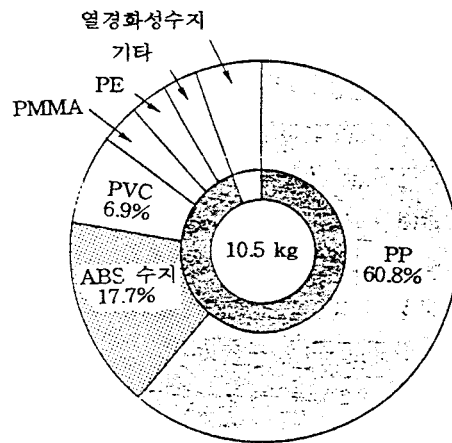


그림. 8. 일본의 이륜차의 재료비율(혼다 Dio).

표 5. 국내 플라스틱 채용현황

구 분		Bumper	Inpanel	내장재	외장재	엔진부품
현대 자동차	스쿠프	Xenoy(700)	ABS	PP(240)	PP(215)	HDPE/PP(95)
	엑셀 I	PP(732)	ABS	PP(2,650)	PP(1,875)	PP(605)
	엘란트라	Xenoy(3,500)	ABS	PP(1,175)	PP(900)	HDPE(245)/PP(120)
	뉴그랜저	PP(429)	ABS	PP(270)	PP(90)	PP(70)
소나타 I	Xenoy	ABS	PP(1,480)	PP(1,195)	PP(295)	
기아 자동차	프라이드	EMPP(828)	Noryl/ABS	PP(1,215)	HIDE(100)/PP(12)	PP(220)
	캐피탈	EMPP(161)	ABS	PP(160)	PP(35)	PP(25)
	콩코드	EMPP(165)	ABS	PP(135)	PP(17)	PP(30)
	포텐샤	Rim Urethane	ABS	PP(50)	PP(90)	PP(65)
	세피아	PP(수출120/ 내수600)	Noryl	PP(1,780)	PP(130)	-
대우	스포티지	PP(50)	ABS	PP(55)	PP(15)	PP(20)
	아벨라	PP(36)	PP(18)	PP(315)	-	PP(45)
대우	에스페로	Rim Urethane	Steel	PP(525)	PP(100)	PP(190)
	르망	Rim Urethane	Pulp	PP(810)	PP(270)	PP(370)
	로얄프린스	Rim Urethane	Steel	PP(105)	PP(200)	PP(25)

일본의 경우 국내와 그 경향은 비슷하여 경량화의 정도, 생산성, 리사이클성 등을 고려하여 PP의 채용이 대폭 확대되고 있으나, ABS와 PVC는 감소추세이다. ABS와 PVC의 채용감소는 리사이클 때문인 것으로 알려져 있으며 점차 TPO로 대체되고 있다. 다만 TPO로 대체할 경우 연질감, 광택성 등이 PVC보다 열세여서 이의 보완이 필요하다.

PE의 채용도 약간 증가하는 경향으로 최근 4WD차량이 증가하고 소비자가 트렁크 용량이 큰 차를 선호하기 때문에 형상을 자유자재로 성형할 수 있는 PE연료탱크 채용이 증가하고 있기 때문이다. 실제로 유럽은 PE연료탱크 보급률이 60%, 북미는 50%인 것으로 알려져 있다.

2륜차의 경우도 그 경향은 동일하여 일본 혼다Dio의 경우 플라스틱 채용비율 16% 중에서 **그림 8**과 같이 PP 60.8%, ABS 17.7%를 사용하고 있다. PP는 착색하여 사용하는데 주로 front fender, rear fender, floor step, under cover, side cover 등에 사용하고 있고, ABS는 도장을 하여 사용하며 front cover, handle cover, body cover 등에 사용되고 있다.

선진국은 '95년 평균 차량중량비 13%까지로 플라스틱을 사용할 것으로 추정되며, 국내에서도 특히 경량차량은 플라스틱의 채용비율을 거의 20%까지 높일 계획인 것으로 알려져 있다. 현재 국내 플라스틱 채용현황은 7% 수준이지만 **표 6**과 같이 국내 플라스틱 생산 수준은 세계 4위로서, 향후 각 석유화학회사들의 자동차용 신규소재 개발로 인하여 급격히 채용량이 증가할 것으로 예측된다.

플라스틱은 비중이 작기 때문에 용적비로는 더욱 많아져서 최근에는 소재 용적 전체의 1/4정도를 차지하는 것으로 보고 있다. 따라서 앞으로 자동차용 폐플라스틱의 재활용기술개발이 활발히 추진되어야만 환경문제에도 크게 기여할 수 있을 것이다.

4. 자동차용 플라스틱의 재활용 동향^{3~7}

4.1 폐차처리 흐름도

국내 폐자동차의 처리공정은 **그림 9**와 같다. 현재 폐

표 6. 세계의 플라스틱 생산량('92)

국 가	생 산 량	구 성 비 (%)
세 계	99,897	100
한 국	4,818	5
미 국	30,106	30
일 본	12,580	13
독 일	9,165	9
프 랑 스	4,746	5
이탈리아	4,515	5
대 만	3,450	3

*한국 : '94년 5,882천톤, '95년 6,417천톤(추정)

차 처리되는 자동차는 그 중량의 75%가 리사이클되고 있고 복잡한 재료로 구성되어 있는 대형 내구소비재라는 점을 감안하면 비교적 양호한 리사이클률이라고 할 수 있다. 그러나 재료 별로보면 리사이클되고 있는 것은 대부분 금속재료이고 나머지는 슈레더더스트로서 매립되고 있는 실정이다.

폐차처리 흐름도는 일본, 독일이 비슷하여 해체 슈레더 처리를 통하여 차량중량의 75wt.%에 해당하는 금속계 부품 및 재료가 재이용 또는 리사이클되고 있다.⁸ 이것의 대부분을 차지하고 있는 철 스크랩은 전기로 메이커에서 구매하여 건축자재로 재생하고 있다. 리사이클된 철은 품질때문에 자동차에는 거의 사용할 수 없다. 플라스틱부품은 슈레더더스트로 매립되고 있고 전혀 리사이클되지 않는 상황이다. 앞으로 부피가 큰 범퍼, 인스투르먼트판넬, 시트 등은 물질재생법을 우선 적용하여 재활용할 것으로 예측되며, 작은 부품들은 슈레더더스트에서 혼합플라스틱 상태로 분류하여 열분해재생법 등이 고려되고 있다.

국내 슈레더더스트 발생비율은 25~30%, 미국은 29% 정도이나 일본은 10~25%로서 매립 더스트의 양이 적은 것으로 나타났다.

폐차에서 발생되고 있는 슈레더더스트의 조성은 **그림 10**과 같으며, 이것을 용적으로 보면 플라스틱의 비율이 약 53%에 해당된다. 따라서 향후 더스트의 감량화, 자원화를 위해서는 플라스틱 대부분의 분별회수와 재생이용이 주요 관점임을 알 수 있다.

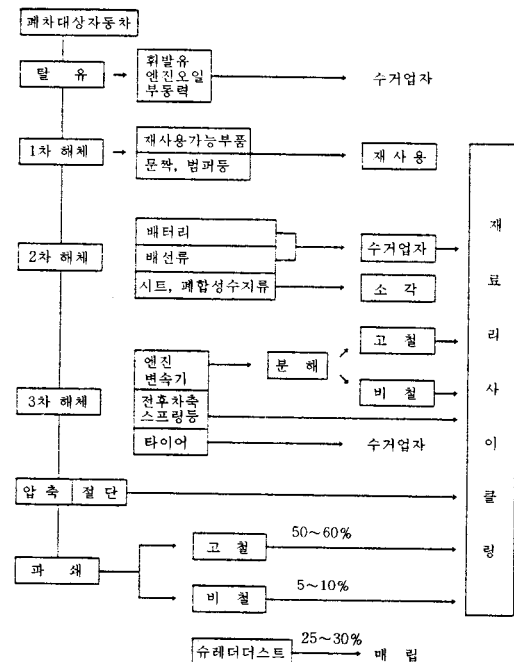


그림 9. 국내 폐차처리 공정도(승용차 기준).

그림 11과같이 슈레더후 ASR(automobile shredder residue)을 처리하는데 있어 바로 매립하는 방법과 열분해 후 잔재를 매립하는 방법의 경제성을 비교하면 그림 12에 나타난 바와같이 경제적으로는 매립의 방법이 효과적이라고 할 수 있다. 다만 2차적 환경오염, 매립지문제 등이 야기되기 때문에 당장의 경제성을 논하기 이전에 열분해 후 매립하는 방법이 우선적으로 고려되어야 하겠다.

4.2 국내업계 동향

몬트리올의정서 등 국제환경협약이 속속 체결되고 이에따라 환경과학기술의 연구개발에 일대 변혁을 요구하면서 UR에 이은 GR 파고가 국가 간 최대 이슈로 등장하고 있다. 우리나라도 '92년 12월 8일 국회에서 "자원

의 절약과 재활용 촉진에 관한 법률"이 확정되었고 이에 따라 '93년 6월에 시행령과 시행규칙이 확정 발표됨으로 국내에서도 자동차의 리사이클이 본격적으로 실시될 것으로 예상된다.

동시행령에 의하면 자동차는 1종 지정제품으로서 제품제조 시부터 재활용을 고려하도록 되어있고 지정사업자의 범위는 연간 1만대 이상을 제조하는 전체 사업자로 규정하고 있다.

국내에서는 '91년 10월의 일본에^{9, 10} 이어서 리사이클 법이 비교적 빨리 성립, 공포되었으나 폐차장 등 관련산업의 기반이 취약하여 아직 구체화되지는 않고 있다. 현재 한국자동차공업협회(KAMA) 주관으로 자동차 6개사가 "자동차 재활용 위원회"를 구성하여 업체 상호 간에 유기적인 협조체제를 구축하고 법규제정에 공동의견수립 및 부품에 대한 재질 marking 공동안 제정 등을 시행하고 있다. 시행지침에 의거하여 각 사에서는 95년도 발매 예정차량에 대한 사전평가를 실시하고 그 결과를 KAMA에 제출한 바 있으며 KAMA에서는 외부전문가들로 심의위원회를 구성하여 각사의 사전평가 결과를 심의한 바 있다.

KAMA에서 현대, 기아, 대우, 아시아, 쌍용, 현대정공 등 6개사가 '92년 7월 재활용위원회와 재활용실무위원회를 구성하여 운영해 온 이후 국내 자동차메이커들은 20여종의 플라스틱재료의 종류를 절반이하로 단순화하고 있고, 알로이 등 이종재료의 채용을 줄여나가고 있으며 가능한한 열경화성수지 사용을 억제하는 노력을 꾸준히 전개하고 있다. 그러나 재료의 단순화와 성능향상은 어떤 면에서는 상반되는 위치에 있어 향후 업계의 대응이 주목된다. 표 7에 국내법규 상 재활용지침을 수록하였다.

국내 자동차 각사는 리사이클위원회를 조직하여 각 부품별 리사이클 대책수립, 향후 개발방향 설정 등 각국 법규의 규제강화에 대비하고 있다. 각사는 모든 승용차와

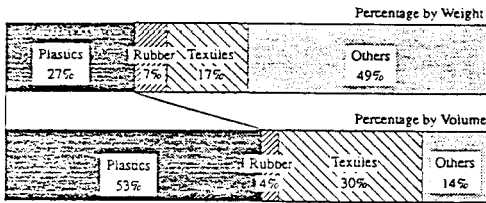


그림 10. 슈레더더스트의 처리 공정도.

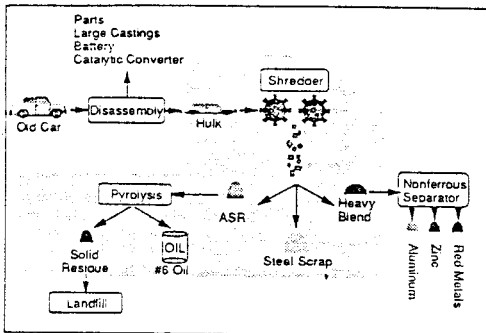
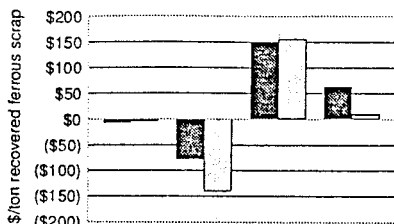


그림 11. 슈레더더스트의 처리공정도



	Landfill	All Other	Revenue	NET PROFIT
Shredder/Landfill Route	■ (\$ 7.41)	(\$ 78.71)	(\$ 148.04)	(\$ 61.92)
Shredder/Pyrolysis/Landfill Route	□ (\$ 3.77)	(\$ 141.37)	(\$ 155.43)	(\$ 10.29)

그림 12. ARS처리루트별 경제성 비교.

표 7. 국내 자원재활용 법규상 시행지침

항 목	주 요 내 용
구조 개선	1. 재활용이 가능한 부품에 대하여 조립이 용이한 구조로 개선할 것
	2. 처리하는 경우에 해체가 용이한 구조로 개선할 것
	3. 비금속 부품의 경우 재질별 분리, 회수가 가능한 구조로 개선할 것
재질 개선	1. 합성수지 부품의 재질종류를 단순화 할 것
	2. 합성수지 부품의 재질명 또는 재질표시를 할 것
	3. 처리시 환경위해가 큰 부품은 대체물질을 사용할 것
안전성배려	구조, 재질개선시 안전성, 내구성 등에 대한 기능을 고려할 것
	1. 설계시 구조 및 재질개선 사항에 대해 평가할 것
재활용평가	2. 평가사항의 내용을 기록, 관리하며 매년 1월말 까지 평가내용을 한국자동차공업협회장에게 제출할 것
	3. 한국자동차공업협회장은 제출된 평가내용의 적정여부를 심의한 후 결과를 환경부, 통상산업부에 제출할 것

표 8. 자동차의 재활용 가능성('93)

재 료 명	철 (비철포함)	플라스틱	고 무	유 리	기 타	계
총중량(kg)	712	98	62	25	66	963
재활용가능중량(kg)	689	10	15	0	*	718
재활용가능율(%)	96.8	10.2	24.2	0	*	74.6

표 9. 국내 자동차의 재활용 목표율

구 분	1996	2000
철	약100%	약100%
비 철 금 속	85	90
합 성 수 지	20	50
타 이 어	40	50
기타 Elastomer	20	30
유 리	30	50

1톤 트럭, 승합차의 100g 이상 플라스틱부품에 재질 marking을 실시하고 있고, 중형차를 비롯한 신차종에서는 설계 단계에서부터 리사이클을 고려하고 있다. '95년 3월부터 현대가 발매한 준중형승용차에서는 범퍼를 비롯한 35개 부품의 재질개선 및 구조개선을 실시하여 재질별 분리가 용이하게 하거나 해체가 용이한 구조를 반영한 바 있다. 또한 100g 이상의 플라스틱부품에는 재질별 marking을 하였고 흡차음 재료에 폐 시트폼을 사용하는 등 재생재료의 사용부품을 확대하였다.

이와같은 노력의 결과 국내 자동차용 소재의 재활용률도 점차 높아지고 있다. 현재 국내 자동차 재활용률이 금속을 중심으로 무게기준 75%수준까지 와 있는 것으로 파악되고 있으나 이는 독일의 벤츠나 BMW 등이 85%수준의 재활용률을 보이고 있는데 비해서 아직 격차를 보이고 있다.

이같은 격차의 가장 큰 원인은 자동차 재료 중 금속류를 제외한 플라스틱, 고무류 등의 소재에 대한 재활용률이 낮기 때문이다. 보통 차량무게의 75%를 차지하는 금속류는 재활용이 쉽고 경제성도 있으므로 재활용률이 높은 편이다.

업계는 국내에서도 금속분야의 재활용률이 '93년 기준으로 96.8%에 이르는 것으로 보고 있고 '96년에는 100% 재활용이 가능할 것으로 내다보고 있다. 표 8에서 국내에서는 '93년 기준으로 플라스틱류 10%, 고무류가 24% 정도만 재활용이 가능한 것으로 조사됐으나 실제 재활용률은 파악하기 힘들 정도로 미미한 실정이다. 자동차용 플라스틱 재활용은 거의 없고, 페타이어의 재활용률만이 40%이나 타이어도 군부대 진지구축용 등에 대한 재사용이 대부분이고 실제 재활용률은 저조한 실정이다. '94년 현재 페타이어의 발생량은 1500만개를 넘어서고 있고 2000년에는 3000만개를 훨씬 웃돌 것으로 추산되고 있다. 페타이어의 군부대 납입도 '95년 후반부터는 불가능하게 되어 대한타이어공업협회에서는 연간 300만개

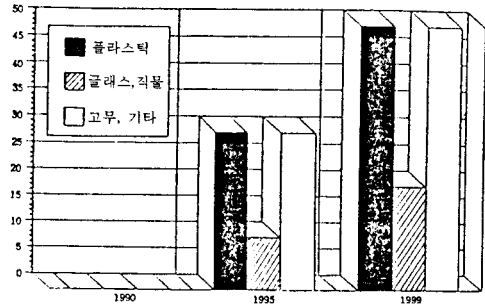


그림 13. 독일의 자동차 재활용 목표율.

이상을 처리할 수 있는 소각로 2기를 건설 중에 있고, 고무아스팔트, 시멘트소성로 등에의 이용도 적극 추진할 예정이나 관련법규 등의 미비로 실현되지 못하고 있다.

국내 자동차용재료의 재활용 목표율은 표 9와같이 폐합성수지는 '96년 20%, 2000년 50%이고, 페타이어는 '96년 40%에서 2000년 역시 50%까지 재활용률을 높일 계획이나 현 상황에서는 폐플라스틱의 재활용률은 재활용기술의 낙후와 재활용업체의 영세성에 비추어 볼때 그 목표치가 너무 높은 것이 아닌가 생각된다.

4.3 국외업계 동향¹¹

가장 활발히 리사이클링이 이루어지고 있는 독일의 법률은 자동차부품을 자동차부품에 리사이클한다는 원칙을 세워 놓고 플라스틱부품에 대해서는 그림 13과 같이 '95년까지 총 중량의 30%, 2000년까지는 50%의 재생재를 사용하고 철강에 대해서는 '96년까지 100% 재생재를 사용할것 등의 목표치를 설정했다. 이러한 목표치를 달성할 수 없어도 벌금은 부과되지 않지만, 메이커는 자사의 리사이클률을 주정부에 제출토록 되어 있다. 결국 리사이클률이 각사의 기술력을 나타내게 되어 기업 이미지에 큰 영향을 미치게 된다.

VW는 리사이클이 쉬운 플라스틱 부품과 제조방법, 그리고 강도가 필요한 구조부품에 리사이클이 가능한 복합플라스틱재료의 응용기술을 개발하여 신형 Golf차량에 도입했다. Golf의 특징은 여러개의 주변부품을 조립라인 밖에서 조립하여 차체에 투입하는 모듈방식이다

BMW는 Landshut공장 내에 해체 파일롯공장을 설립해서 직접 자사의 폐차를 해체하면서 해체기술을 개발하고 있다. 폐차로부터 회수한 엔진, start motor, transmission, 전장부품 등은 엄격한 검사와 테스트를 거쳐 교환부품 형태로 보증이 되어 각 대리점, 지정공장 등에 납

품되고 있다. BMW의 해체공정은 6 station으로 행해지며 door, hood류, 내장(seat, 계기판 등), 트렁크 룸, 차체외장, 엔진룸과 under flow등의 순서로 해체되고 있다. 해체된 부품은 재료마다 분리하여 원료업체로 보내어 자동차부품으로 재사용된다.

BMW는 당초 독자의 해체공장을 건설하여 판매한 차량 전부를 회수하여 독자적인 순환경로로 처리하고자 하였으나 최근 이 기본방침을 수정하여 해체업자를 선정하고 그 업자에게 BMW의 리사이클링기술을 넘겨주어 해체를 시키도록 하고 있다. BMW는 '94년 4월 프랑스 Renault, 이태리 Fiat 등과 서로 자국 내에서 상대방의 폐차를 회수하여 처리하기로 합의하였다. 이들은 폐차처리 뿐만 아니라 각사에서 보유중인 폐차리사이클기술을 상호 교환하기로 하였다. 한편 독일내 일본차 수입업자들은 MARI Project를 수립하고 수입차의 폐차회수 및 리사이클링 대책을 검토하고 있다. 유럽의 폐자동차 리사이클링 현황을 표 10에 나타내었다.

도요다자동차(주)는 신차해체실험에 의해 얻어진 데이터를 기본으로 부품중량, 해체시간 등을 고려하여 25개 수치부품을 리사이클 기술개발 우선부품으로 선정했다. 부품메이커 30사와 공동으로 우선 공정폐기물을 대상으로 리사이클기술을 개발하고 그 기술을 더욱 고도화시켜 폐차에 적용할 방침이다. 이 25부품이 전체 수치부품 중량의 약 80%를 차지하고 있다. 폐차로부터 부품회수 시 회수시스템의 신규 구성, 회수비용의 과다소요 등 현실적으로 실행이 어렵기 때문에 공정폐기물을 대상으로 리사이클 기술을 개발하는 도요다의 기술정책은 상당히 현실적이라고 할 수 있다.

닛산자동차(주)는 '92년 2월부터 가나가와 지역에서 딜러로부터 교환폐품을 회수하기 시작하여 월 1,500~2,000개를 모으고 있다. 닛산은 모아진 폐재를 air duct, foot rest, rear bumper부품 등에 리사이클하고 있다.

마쯔다(주)도 자국 내 관동지역에서 폐법퍼의 회수를 실시하고 있고 독일 전지역에서 자사 폐법퍼를 회수하여 자국 내에서 seat tray등에 재사용하고 있다.

미국에서는 국토가 넓기 때문에 소각처리보다는 매립비용이 싼 관계로 폐차의 리사이클링에 대해서는 그다지 심각하지는 않다. 미국은 폐차에 관한 법규제는 아직 없으나 폐차처리의 산업구조가 잘 구성되어 있다. 미국에서는 각 주마다 플라스틱의 처리지침이 다르긴 하나 고형폐기물 감소를 위한 자원보존 및 회수법의 개정이 요구되고 있고 최근 차량리사이클에 관한 법안들이 많이 상정되고 있다.

GM, Ford, Chrysler 등은 Vehicle Recycling Partnership이라는 콘소시엄을 구성하여 자동차 리사이클센터를 설치하고 차량폐기물에 대한 연구를 하고 있으며, 설계단계에서 리사이클링기술을 반영하고 있다.

5. 자동차용 고분자의 리사이클링기술

페플라스틱의 리사이클링방법은 표 11과 같이 4가지로 대별하고 있으나, 본고에서는 물질 재활용방법과 열분해·화학분해 재활용 방법으로 대별하여 기술하고자 한다. 참고로 자동차용 페플라스틱의 리사이클링공정 개념도를 그림 14에 나타내었다.

5.1 열분해 화학분해 재활용법^{12, 13}

페플라스틱으로부터 가스, 오일, char 등을 얻는 열분해공정은 자원회수율이 70~95%로서 비교적 높고 공정의 효율성 제고와 촉매기술이 확보되면 대기오염 등 이차오염의 가능성이 적은 장점이 있다. 또한 페플라스틱의 열분해공정은 석유화학공정과 유사하여 석유제품 또는 플라스틱 제조회사들이 확립하기 좋은 기술이다.

오늘날의 산업이 있도록 하는데 그 공로가 남다른 유화기술 즉 석유화학공업의 혜택을 받은 사람 누군가가 눈부시게 발달된 그 기술을 이용하여 석유화학의 산물인 페플라스틱을 재자원화해야 할 사명감을 느껴야만 한다.

그러나 열분해·화학분해 재활용방법은 폐기물 감량도가 90%에 이르는 장점이 있는 반면에 장치산업이 되고, 원료수지가 균일해야 하며, 현재 석유제품의 값이 낮은 수준이므로 경제성을 제고하기가 어렵지 않나 생각된다. 구미의 케미칼리사이클링현황을 표 12에, 일본의 유화리사이클링현황을 표 13에 수록하였다.

구미에서는 PET, PU 등 카르보닐기가 있는 수지는 화학분해의 방법으로, 폴리올레핀은 열분해, 유화, 가스화리사이클 방법을 사용하고 있다. 그러나, 현재 상업화되어 있는 기술은 대부분 PET의 재활용에 관한 내용이 주를 이루고 있다.

표 10. 유럽의 폐자동차 리사이클링 현황

업체명	연구개발현황
PRAVDA	독일 자동차업체 6사에 의한 공동프로젝트, 독일내 6개소에서 대규모 폐차 해체실험을 실시할 예정
BMW	1990년 7월에 란츠푸트공장내에 해체 파일럿플랜트를 건설하여 해체실험을 실시하고 있다. 영국에서도 자동차부품리사이클링 센터설립을 계획중
V W	1989년 4월에 대형 해체업자와 공동으로 레마에 해체 파일럿플랜트건설, 또한 리사이클링 사업성의 평가 프로젝트도 발족
오 펠	1991년 11월에 폐차처리 전문회사 등의 협력을 얻어, 류셀하임 공장내에 폐차처리용 파일럿플랜트를 건설
벤 츠	오스트리아의 철강회사 페스트알피네사와 공동으로 고온용해 파일럿플랜트설립, 주요부품 해체 후 폐차를 그대로 용해하고, 수지류는 에너지원의 일부로 이용, 구리 혼입에 의한 철의 품질저하 방지가 과제
푸 조	프랑스에 해체 파일럿플랜트 건설, 터스트는 시멘트공장에 공급
루 노	독일, 프랑스업자로부터 부품 배송편을 이용하여 법프, 배터리 등을 회수

표 11. 페플라스틱의 재활용 방법

방 법	개 요	문 제 점	실 현 성
Material Recycle	- 단순재생 : 단일수지 그대로 동일상품 제조 - 복합재생 : 혼합수지로 재생 Pellet 제조, 재생 원료화	- 단 일회만 재생가능 - 물성저하로 저급품생산 - 재생품의 용도가 국한	- 일부실시 완료 - 금후확대
Chemical Recycle	- 열분해, 가수분해, 가압코올분해 등으로 모노머화	- 설비비 과다 - 가능한 수지가 한정 - 경제성	- 보급은 곤란
Fuel Recycle	- 열분해로 연료유, 나프타생산	- 저급연료 생산, 정유공장연료유보다 저가품 - 가솔린의 경우 옥탄가 조절등 난점 - 경제성	- 경제성있는 시점에 보급
Energy Recycle	- 소각으로 에너지회수	- 2차 공해유발 - 과도한 공기량 필요 - 발열량 과다 - 새로운 전용 소각로 - 제작비용	- 가까운 장래 가능

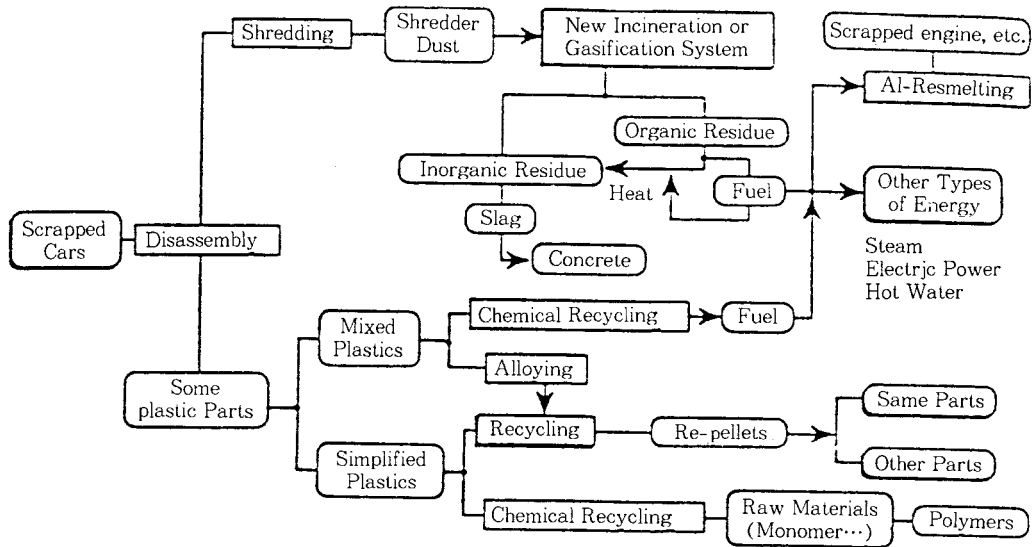


그림 14. 페플라스틱의 재활용 공정 개념도

일본의 유화법 중 가장 상업적으로 보급이 빠른 기술은 공업기술원 산하 일본 북해도 공업개발시험소가 미국 모빌오일의 ZSM-5 촉매를 사용하여 개발한 후지리사이클법으로 PE 1kg분해 시 오일 800g, 가스 150g, 카본 50g을 얻을수 있고, 오일조성은 가솔린 50%, 등유 25%, 경유25%를 얻을수 있다. 이 기술은 현재 국내에서도 보급되어 가동 중에 있다. 그러나 이방법은 폴리올레핀의 리사이클에만 국한될뿐 탄화수소 이외의 원소가 함유된 페플라스틱에는 적용이 안되고 있다. 이 개발기술의 특허소유권은 일본토산성 1/2, 후지리사이클의 모회사인 후지테크 1/4, 촉매개발회사인 미국 Mobiloil 1/4로 분배되어 있다.

유사한 기술로서 USS유화공법은 Ni, Al계 금속 촉매

를 사용하는 기술로 생성유는 후지리사이클과 유사하지만 재생 오일의 품질은 다소 낮다. 후지리사이클법의 공정도를 그림 15, USS법의 공정도를 그림 16에 나타내었다.

또 한가지 방법은 건류소각에 의한 에너지 회수기술로서 이미 국내에서도 몇가지 공법이 개발된 사례가 있으나, 페타이어를 중심으로 이루어지고 있다. 그림 17은 폐합성수지 종류 별 발열량을 나타낸 것으로 탄화수소만으로 되어 있는 폴리올레펜계 수지가 매우 발열량이 큼을 알수 있다.

그림 18은 독일 Hoechst사가 혼합 페플라스틱을 먼저 가스화하고 합성가스로 변환시켜서 알코올을 얻는 방법에 관한 재활용 기술로서 현재 경제성이 검토되고 있다.

표 12. 구미의 Chemical Recycling 현황

Process	관 련 회 사	국 명	대상 폐기물	단 계
Hydrolysis (기수분해)	GM	미국	polyurethane	실험단계
Glycolysis	Goodyear Mobay Aalen(Institute)	미국 미국 독일	PET Polyurethane 자동차 sheet	상업화 실험 실험
Methanolysis	DuPont Eastman Hoechst-Celanese	미국 미국 미국	PET PET PET	실증 plant " 상업화
Transesterification	Occidental Dynastic Ind.	미국 캐나다	PET PET	상업화 실증 plant
열분해 (pyrolysis)	Battelle 태양에너지연구소 동경공업대학	미국 미국 일본	Thermoplastics " Polyolefins	실증 plant " 실험
Refinery(정제)	Amoco Chevron Mobil Recycling	미국 미국 미국 일본	열가소성 수지 " " Polyolefins	실증 plant " " 상업화
Hydrogenation	UK-벨세링	독일	열가소성 수지	실증 plant
계면전통개소화	Mid-Ohio Technol.	미국	PET	실증 plant
선단적 열분해	Wayne Technol.	미국	MSW (Plastics 포함)	실증 plant
용융분리	SMC Automobile Rensseler Brooklyn	미국 미국 미국	열경화성 수지 열가소성 수지 열경화성 수지	실증 plant 실증 plant 실험

표 13. 일본의 유화 Recycling 현황

No.	기술보유기업명, 장 소	기술개발경위	생 산 규 모 (건 설 비)	페플라스틱의 종류	기 술 의 특 징		
					촉 매	수 율 (%)	생성유의 품질(연료)
1	후지리사이클	모빌석유 복해도공시와 공동개발	5000ton/년 11억엔(상생공장) 통천공장	PE, PP, PS(PVC, PET, N분 수지 제외)	합성 Zeolite (ZSM-5)	80~90	Gasoline (ON 90 이상)
2	(주)21세기개발	자사개발	10,000ton/년 이상 (석천진금택공장)	각종폐유, 고분자계폐유, 코폴리머(CI계 제외)	무촉매	80	A종유, 경유
3	(주)USS	자사개발	250kg/hr(실험장치)	PE, PP, PS, PET(CI계 제외)	금속촉매	80~90	C ₉ 유분추체의 연료유
4	마쯔다	자사개발	2kg/hr(실험장치)	PE, PP, PVC, PU ABS(자동차 슈페터더스트)	금속촉매, 내CI성	60	Gasoline등유, Styrene 등
5	도시바	자사개발	소시협스케일	PE, PP, PVC, PU, ABS	무촉매	올레핀계 80	Gasoline, 등유
6	에크알	구유미리서치 바커공동개발	70ton/월	PE, PP, PS등(CI계 제외)	무촉매	80	A종유상당의 건류연료유
7	(주)도전촉로공업	자사개발	2ton/월	PE, PP, PS(CI계 제외)	무촉매(Zeolite)	페타이어와 혼합하기 때문에 저하	불명
8	삼화가공(주)	경도대학과 공동개발중	실험장치	-	Y형 Zeolite		경질유45% 고ON
9	소산공업소	자사기술	0.5ton/일	CI계 이외의 수지	무촉매	불명	
10	(주)복조	자사개발	50kg/hr (3천5백만엔) 500kg/hr (3억5천만엔)	PE, PP, PS(CI계 제외)	Alumina	80	전력 AC 200V, 60Hz
11	일본이화학연구소(송 강연수공장)	자사개발	테오실험용장치	열가소성수지 상세불명	금속촉매, 특수첨가제, 상세불명	상세불명	열분해유 상세불명
12	(유)상간총업	상동	4.8ton/일	상동	상동	상동	등유상당품
13	산음크리에이트	자사기술	0.9ton/일	발포PS	금속촉매	상동	A종유상당
14	칸에즈	자사개발	25, 50kg/hr	PP, PE, PS	Na-A형 및 X형합성Zeolite	80~90	공업용 Gasoline, 등유유분

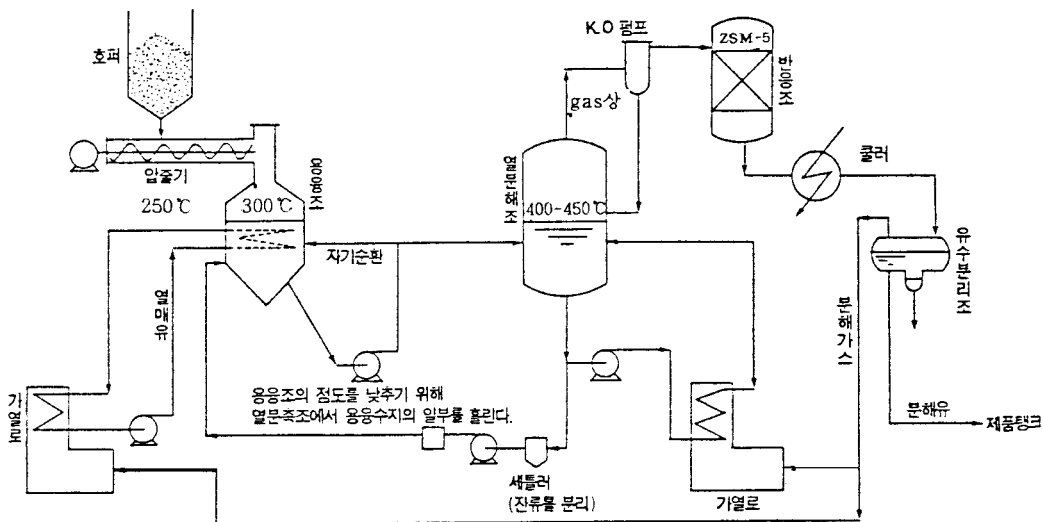


그림. 15. 일본 후지리사이클 유회법의 공정도.

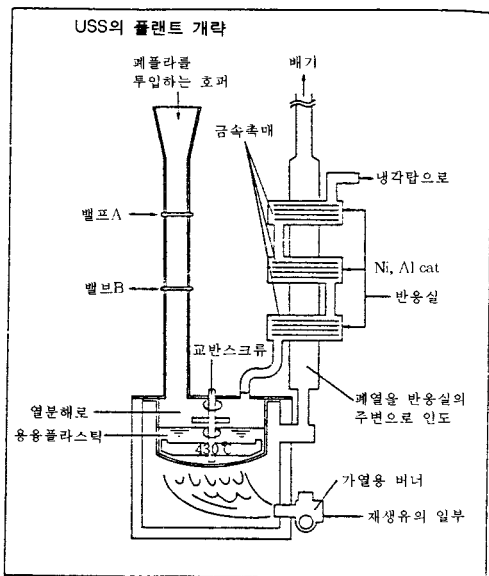


그림. 16. 일본 USS유회법의 공정도.

그림 19는 독일 Aalen공과대학에서 개발한 RIM성형 PUR을 글리콜리시스하여 폴리에올을 회수하는 공정이다. 이공법은 유리섬유의 손상이 적고 탱크내의 분산이 좋기 때문에 F1, F2의 여과시스템에 의해서 분산성이 좋은 길이 250 μm 이하의 것은 통과시키고, 응집된 직경 30~50 μm 이하의 것은 포집할 수 있도록 설계되었다.

이외에도 BASF사에서 개발한 글리콜리시스법은 실용화되어 오스트리아의 Getzner사 등에서 PU를 분해하여

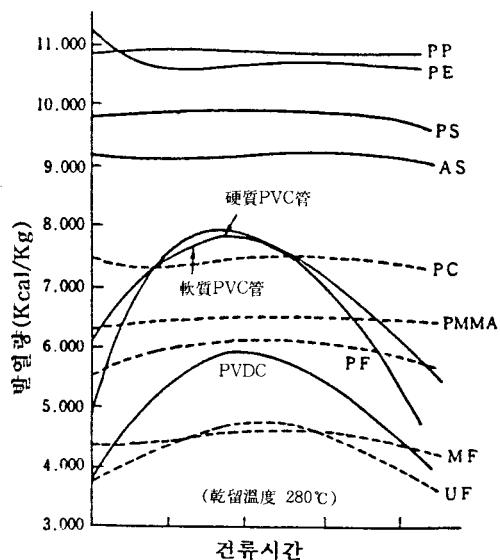


그림. 17. 건류소각시 플라스틱 종류별 발열량.

폴리올을 얻는데 이용하고 있다. 얻어진 폴리올은 버진재에 10% 혼합해서 사용되고 있다.

ASR로부터 탄화수소를 얻은 열분해공정이 캐나다의 National Research Council에서 개발되었다. 이 공정은 급속가열, 단시간반응(700~850°C, 체류시간 0.3~1.5sec)을 특징으로 하고 있다. 그림 20의 파일롯공정에서 N₂캐칭으로 고형분을, 열음물 및 드라이아이스/아세톤으로 액상분을, 필터로 에어졸을 포집해서다. 이방법은

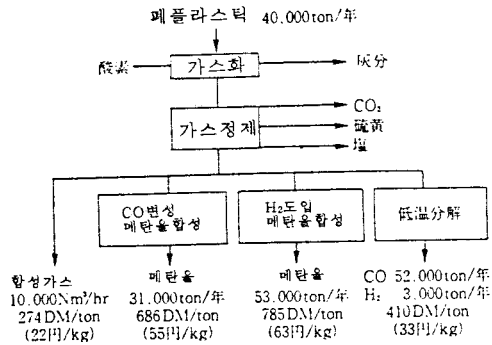


그림 18. 독일 Hoechst의 혼합 페플라스틱 가스화 공정.

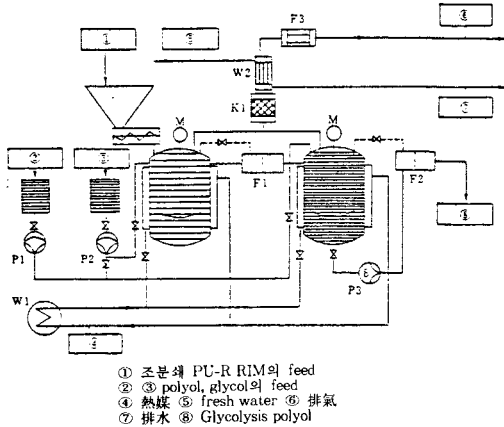


그림 19. PUR RIM으로부터 폴리올 회수장치.

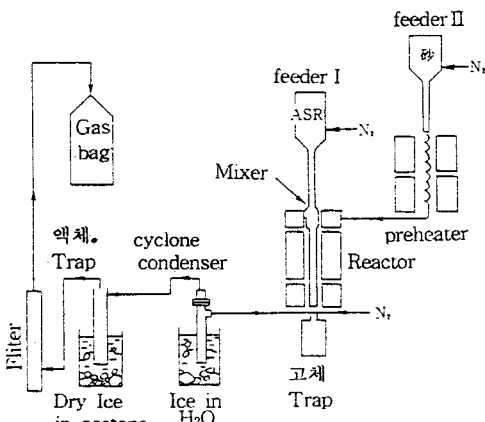


그림 20. ASR의 열분해 과일플랜트.

최종적으로는 표 14와 같은 화학조성을 얻도록 설계되어 있다.

이밖에도 슈레더더스트등의 혼합페플라스틱을 열분해할 수 있는 공정이 많이 개발되어 있다. 특히 영국 BP사가 개발하여 DSM사 등 유럽 5개 유력 석유화학회사가

표 14. ASR 열분해가스 조성

가 스	조성 (vol%)
H ₂	소 량
CH ₄	19
CO	25
CO ₂	19
C ₂ H ₄	24
C ₂ H ₆	N.D.
C ₃ H ₆	7
C ₃ H ₈	0.5
C ₄ H ₈	1.0
C ₄ H ₁₀	2.2
C ₅	0.5
벤젠	1.1
합 계	99.3

주) N.D.=not determined

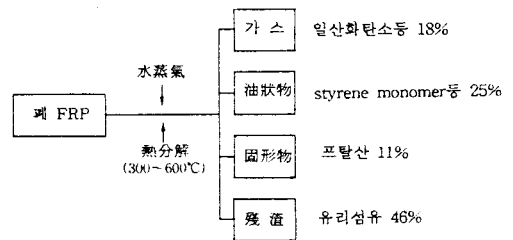


그림 21. 수증기분해법의 개략도.

콘소시업을 구성하여 이용하고 있는 기술은 PVC에도 적용되며, 독일 BASF사가 개발한 수증기분해공정도 PVC에 적용된다.

FRP에 대해서는 일본시코쿠공업시험소가 개발한 수증기열분해방식이 있다. 그림 21에서 로내에 수증기를 흡입하면서 300~600°C에서 열분해하면 스티렌모노머와 프탈산이 얻어지고 잔사로서 유리섬유가 46% 정도 남는다. 이 프탈산은 다시 불포화폴리에스테르수지에 이용하고 있다. 이 열분해방법은 FRP리사이클기술의 핵심기술로 발전할 가능성이 있다.

유화법, 열분해법, 화학분해법 등을 이용하는 재활용방법은 폐기물 감량화 면에서는 유리하다 하겠으나 현단계에서는 큰 경제적인 메리트는 없어 실용화까지는 장시간 소요될 전망이다. 다만 물질재생 재활용법에 의해서 사용가능한 재생품을 만들 수 있는 페플라스틱은 열분해·유화 재활용법보다는 전자를 선호해야 하겠다. 1,2회 재생품으로서 재활용한 후 열분해공정 또는 화학적 재활용공정을 이용해야만 자원 재창출효과를 극대화 할수 있기 때문이다.

5.2 물질재생 재활용법

페플라스틱을 재생하여 본래의 부품 또는 타부품으로 제조하여 사용하는 재활용법은 가장 보편화된 재활용방법으로서 물질재생법(material recycling)이라고 일컫는

표 15. 미국의 Material Recycling 현황

회 사 명	주 소 지	페 프 라 원 료	능 력 (MM lb/년)	가 공 방 법
ARW Polywood	Lilma, OH	혼합품	15	압출성형
American Natl. Can	Chicago, IL	HDPE	2	압출성형
Carlisle Plastics	Boston, MA	HDPE, L-LDPE	20	압출성형
Clorox Co.	Oakland, CA	HDPE	4	블로우 성형
Continental Plastic Container	Norwalk, CT	HDPE, PET	20	블로우 성형
Coon Mfg.	Spickard, MO	HDPE	3	회전성형, 압출성형
DuraTech Industries	Lake Odessa, MI	HDPE	5	회전성형, 압출성형
Eaglebrook Products	Chicago, IL	HDPE	7	압출성형
Envirowood	Mt, Prospect, IL	혼합품	7	압출성형
Genesis Plastics	Charleroe, PA	HDPE, PET	7	압출성형
Graham Pkg.	York, PA	HDPE	40	블로우 성형
Hancor Inc.	Findlay, OH	HDPE	50	압출성형
Havilland Drain Tile	Havilland, OH	HDPE	11	압출성형
I.E.M. Plastics	Reidsville, NC	HDPE	12	블로우 성형
Johnson Controls	Manchester, MI	HDPE, PET	24	블로우 성형
Mobil Chemical	Jacksonville, IL	HDPE, L-LDPE	12	압출성형
Owens-Brockway	Toledo, OH	HDPE	30	블로우 성형
Petoskey Plastics	Retoskey, MI	L-LDPE	5	압출성형
Plasco Group	Azusa, CA	HDPE	3.5	압출성형
Plastipak	Dundee, MI	HDPE PET	25	블로우 성형
Poly-Anna plastic Products	Milwaukee, WI	HDPE	5.5	사출성형
Reuter Mfg.	Hopkins, MN	혼합품	1	사출성형
Rubbermaid Commercial Prods.	Winchester, VA	HDPE, L-LDPE	4	사출성형
Stuart Walker	La Palma, CA	HDPE	1.5	블로우 성형
Tucker Housewares, Div. of Mobil	Leominster, MA	HDPE	4.5	블로우 성형
United Resource Recycling	Jonesboro, AR	혼합품	6	캐스트 성형
Ultra Pac	Rogers, MN	PET	10	압출성형
Webster Industries	Peabody, MA	LDPE	35	압출성형
Zarn Inc.	Reidsville, NC	HDPE	12	블로우 성형

다. 이 방법은 가장 손쉬운 재활용방법이기는 하지만 재
 생재료의 물성저하문제가 야기되기 때문에 상용화제를
 사용하여 알로이화하거나 복합화하는 등 다양한 방법이
 개발되고 있다. 참고로 미국에서 개발된 플라스틱의 물질
 재활용 공정을 표 15에 수록하였다. 수지의 종류는 PET
 와 혼합 페플라스틱을 이용하는 경우가 있으나 대부분
 PE의 재생공정뿐이다. 가공방법도 압출성형과 블로우성
 형을 주로 채용하고 있다.

자동차의 수지부품별 중량과 해체의 용이성관계를 그
 림 22에 나타내었다. 여기에서 재활용의 우선대상이 될
 수 있는 재료는 중량이 크고 해체가 용이한 범퍼, 연료탱크,
 에어스포일러 등이지만, 이외에도 해체는 다소 어렵
 지만 중량이 큰 시트, 인스트루먼트판넬 등이 재활용업체
 에서 경제성 있는 재활용공정을 개발하기 쉬운 부품이라
 생각된다.

여기에서는 자동차 부품 별 재활용공정의 설명을 지양
 하고 소재 별로 설명하기로 한다. 자동차수지 중 자동차
 에 가장 많이 사용되면서도 재활용 기술개발이 어려운 재
 료로서 열가소성수지인 도장PP, 도장ABS, 열경화성수
 지인 SMC, 발포재료인 PUF에 대하여 간략히 기술하겠

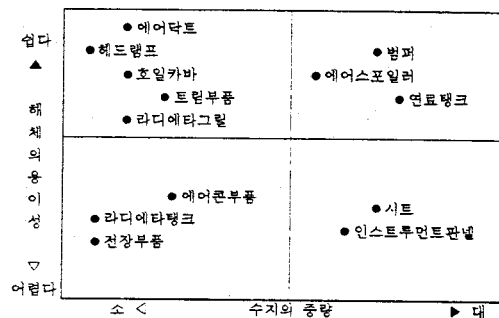


그림 22. 수지부품의 중량과 해체의 용이성.

5.2.1 도장 PP재료¹⁴

다. 범퍼의 중량은 소형차는 4~5kg, 보통차는 6kg 정
 도로서 단일소재의 수지부품으로서 가장 큰 부품이다.
 리사이클의 채산성을 고려하는 경우 단일재료를 고효율로
 회수하는게 중요하고 그 중량이 커야한다는 관점에서 범
 퍼는 대단히 리사이클에 적합한 부품이다. 특히 회수시 상
 태가 양호한 범퍼는 보수용범퍼로서도 재사용할 수 있다.

PP는 장시간 사용에 의한 경시열화도 거의 없고, 회수

표 16. 플라스틱 범퍼재료별 특징

Material	Urethane	Modified PP	Engineering plastics*
Firrnubg method	R-RIM*, RIM	Injection Molding	Injection molding
Advantages	<ul style="list-style-type: none"> • Low pressure molding • Low collision damage due to their softness and flexibility 	<ul style="list-style-type: none"> • Low density • High productivity • Low price 	<ul style="list-style-type: none"> • High modulus of elasticity • High heat resistivity
Disadvantages	<ul style="list-style-type: none"> • Low productivity • Occurence of undulation 	<ul style="list-style-type: none"> • Easily damaged in collisions 	<ul style="list-style-type: none"> • Low dimension stability • Low productivity
Problems to be solved	<ul style="list-style-type: none"> • Increase of productivity • Decrease of burrs 	<ul style="list-style-type: none"> • Enlargement of product size • Lowering of molding pressure 	<ul style="list-style-type: none"> • Increase of productivity • Lowering of molding pressure

* Engineering plastics : PC/ABS, or PA/PPO) are being employed(PC= polycarbonate, PA= polyamide)
 R-RIM : Reinforced Reaction Injection Molding

해서 재사용하는 데도 별 문제는 없다. 도장품이든, 무도장품이든 어느 쪽도 이러한 관점에서는 같다. 그러나 분쇄후 재성형하는 재활용법에서는 도장PP범퍼는 큰 문제점으로 대두되고 있다.

PP도장범퍼는 그림 23에서 알 수 있듯이 최근 가장 많이 채용되고 있는 범퍼로서 표 16에서와 같이 가장 량이고, 가공성이 좋으며 가격이 저렴하다는 장점이 있다. 그러나 도장이 되어 있어 그대로 재활용하면 물성저하가 현저하기 때문에 도막을 제거하는 기술개발이 활발히 진행되고 있다. PP범퍼는 폐차에서 분해하기가 가장 손쉬운 재료이며, 그 중량과 부피가 크기 때문에 환경공해문제도 크게 대두되어 가장 먼저 재활용해야 할 대상의 부품이 되고 있다.

PP범퍼에는 그림 24와 같이 30~40 μ m 두께의 열경화성 아크릴-멜라민, 또는 알키드-멜라민 등의 도막이 입혀져 있으며, 프라이머로서도 염소화폴리올레핀계, 우레탄엘라스토머계, 아미노폴리에스테르계 등 다양하게 이용되고 있다. PP재료 자체도 그림 25에서와 같이 무기충전제와 고무성분 등으로 복합화 되어 있어 재활용이 간단하지만은 않다.

범퍼는 해체 및 재질 별 분리가 비교적 용이하므로 세계 각국의 자동차 메이커에서 리사이클 기술개발에 주력하고 있는 부품으로서 충돌 시 안정성 확보 이외에 차량의 외관품질을 크게 좌우하므로 최근에는 값싼 차량에까지 범퍼커버에 도장을 하여 사용하고 있다.

그림 26에 PP도장범퍼의 활용 프로세스를 수록하였다. 현재 도장범퍼의 리사이클은 별다른 처리없이 10mm 정도로 조분쇄하여 용도별로 개질하여 사용하는 것이 보통으로서 일본 등지에서는 물류용 파렛트, trunk-liner, 내장트럼 등으로 재생하는 기술이 소개되고 있다. 그러나 범퍼재료의 부가가치를 높이기 위한 기술개발 방향은 역시 범퍼용 재료로 재이용하는 것으로 자동차 각 메이커에서도 범퍼 리사이클 연구에 몰두하고 있는 실정이다.

현재 국내에서는 거의 도막을 제거하지 않고 그대로 분쇄하여 화분재료용으로 사용하거나 일본에 수출할 움직

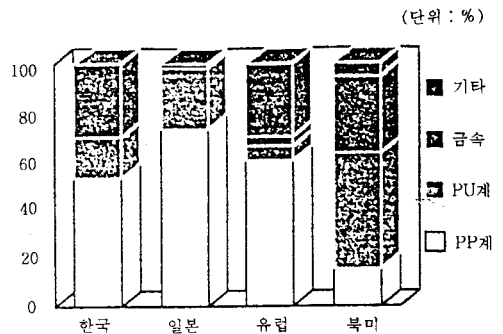


그림. 23. 국가별 범퍼재료 채용현황.

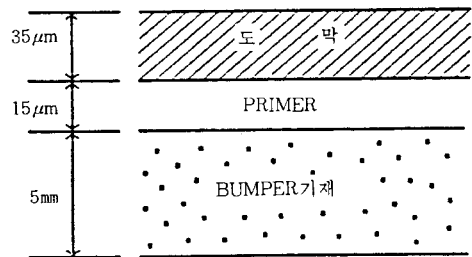


그림. 24. PP도장 범퍼의 구조.

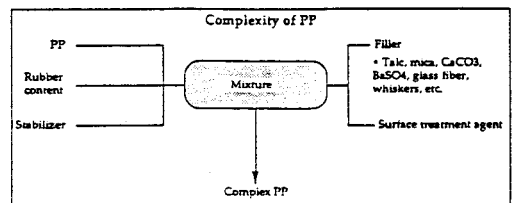


그림. 25. 범퍼용 PP재료의 복합화.

임이 있으나 부가가치는 거의 없다.

범퍼 리사이클의 핵심기술은 범퍼 표면에 부착된 열경화성수지인 도막을 어느정도 완벽하게 그리고 경제적으로 제거하느냐에 달려 있다. 범퍼 소재에 부착된 도장을

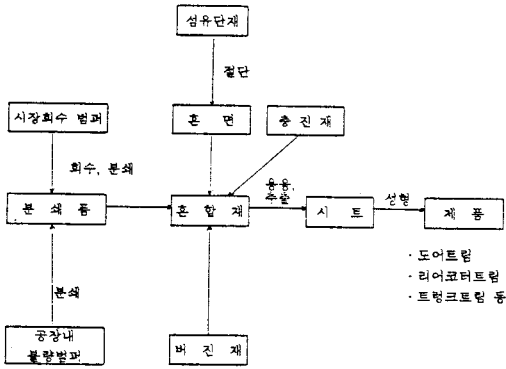


그림. 26. PP도장범퍼의 리사이클링용 프로세스(stamping성형).

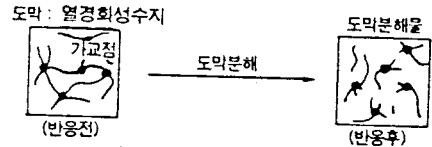
별도 처리없이 재료로서 리사이클링할 경우 수지내에 잔류하는 도막편의 영향으로 내충격성 및 신률을 급격히 저하시키는 원인이 될 뿐만 아니라 다른 부품으로 성형시 부품표면에 도막이 노출되어 상품성이 저하되는 결과로 나타난다.

도막의 제거기술로는 화학적인 방법과 물리적인 방법으로 구분된다. 화학적인 방법으로는 알칼리분해법이 사용되어 왔으나 공해 문제로 최근 Toyoda자동차가 개발한 가수분해법과 아울러 Nissan자동차에 의해 개발된 유기염분해법이 실용화되고 있다.

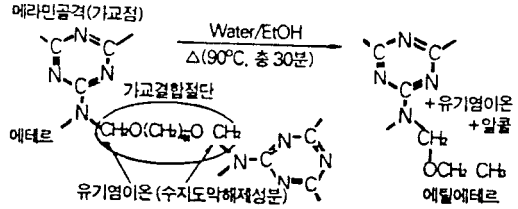
유기염분해법은 독성과 환경오염이 없는 유기염을 에탄올-물 혼합용액에 용해시켜 도막분해제로 사용하는 방법으로 도막제거효과가 우수하면서도 수성이므로 PP기재를 변질시키지 않는 것을 특징으로 한다. 도막분해반응은 그림 27과 같이 유기염 및 알코올의 작용으로 멜라민수지쪽의 에테르체인 즉, 가교점을 절단하는 에테르 교환반응이 주메카니즘이다. 특히 사용 후의 도막분해제액을 원심분리 또는 흡착처리하여 재사용할 수 있어 화학적방법이면서도 환경친화적인 방법으로 인식되고 있다.

물리적인 도막제거법도 수블라스트법, 스크린메쉬법, 진동압축법 등 여러 가지 방법이 사용되고 있으나 가장 도막제거율이 높고, PP수지의 손상이 적은 방법으로서 최근 진동압축법이 개발되어 실용화되고 있다. 콘프레스, 핀밀 등을 사용하는 동방법은 일본의 EIN사가 개발한 방법으로 국내 현대자동차에서도 이 기술의 개발에 참여한 것으로 알려져 있다. 표 17에 도막제거방법의 장단점을, 표 18에 도막박리 분해공정 비교를 각각 수록하였다.

도막제거 후의 수지물성은 물리적인 방법보다는 화학적 방법이 양호하지만 처리 비용이 많이 드는 단점이 있다. 물리적 방법은 처리 시간이 오래 걸리고 도막제거 효율이 낮은 반면 환경오염이 적고 비용이 낮다는 장점이 있다. 그림 28에는 도막 또는 프라이머의 제거 전후의 물성표를 나타내었다. 탑코트와 언더코트 모두를 제거한 경우는 버진재의 80% 정도의 물성을 나타내지만 전혀



(1) 수지도막분해기구의 모형도



(2) 도막수지분해반응식(에테르 교환반응)

그림. 27. 수지도막 분해기구 및 반응식.

제거하지 않은 경우는 굴곡탄성률이외에는 상당한 물성 저하가 야기됨을 알 수 있다.

자동차메이커들은 자동차부품이 복합화되어 있어 재활용이 어렵다는 것을 인식하고 복합소재를 단일소재로 교체할 움직임이다. 범퍼재료로는 그림 29와같이 재생PP를 가운데 층으로 하여 PP 3층구조로 설계하고 있으며, 인스트루먼트판넬은 그림 30과 같이 PVC/ABS표피층을 TPO로, PU발포층을 PP발포로 교체하여 전체를 PP계로 제조하는 컨셉션을 제안하고 있다.¹⁵ 참고로 Daimler-Benz사의 In-panel분리시스템을 그림 31에, BMW사의 동시시스템을 그림 32에 나타내었다.

또한, Toyoda에서는 천정내장재도 그림 33과 같이 resin felt(또는 paper board)기재를 PP 시트로, PE foam cushion재를 PP foam으로, 폴리에스터(또는 PVC)표피층을 emossed PP 시트로 교체하여 복합화된 부품이지만 전체를 PP로 단일화시켜 실용화하였다. 이 천정재료의 특징은 각층의 적층 시 접착제를 전혀 사용하지 않는 것이며 리사이클이 용이하다는 것이다.

5.2.2 도장 ABS재료¹⁶

2륜차에 주로 사용되고 있는 ABS수지는 자동차의 PP범퍼와 같이 상도, 하도의 도장처리가 되어 있다. 2륜차의 외장카바류의 매터리얼리사이클링의 경우 도장 ABS는 아직 유효한 기술이 확립되어 있지 않다. 또한 내후성의 유지와 외관상품성 향상의 관점에서 2액정화형 아크릴-우레탄도료나 아크릴-에폭시도료가 도장되어 있다. 이 도장 ABS수지는 ABS와 도막의 밀착력이 대단히 높기 때문에 분해시 도막의 박리가 어렵고 열경화성인 도막은 용융여과시 스크린메쉬를 통과한 도막편이 이 물질로 되어서 성형품에 잔존하므로 충격강도가 매우 낮아지게 된다. 따라서 Honda에서는 다음과 같은 기술을 개발하여 2륜차 외장카바로 사용하는 기술을 개발하였다.

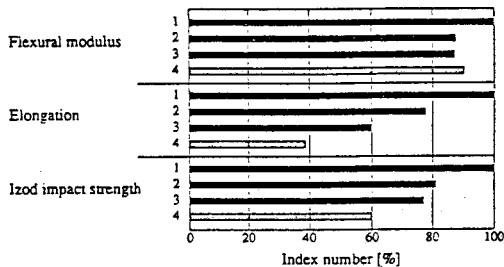
기계적인 도막제거기술로서 와류충돌형 미분쇄기로 분

표 17. 도막기술제거별 특징

Method	Mechanism	Characteristics
Sandblast method	Abrasion	<ul style="list-style-type: none"> Paint on concealed parts can not be removed. Long treatment time
Screen-mesh method (Pelletizer method)	Screening of molten material	<ul style="list-style-type: none"> High speed Small particles of the paint can not be removed.
Organic solvent-swelling method	Swelling and penetration into interface	<ul style="list-style-type: none"> Long treatment time Inclusion of organic solvent into PP Treatment of halogenated Compound (Bad effect on environment)
Strong alkali boiling method	Chemical decompositing	<ul style="list-style-type: none"> Long treatment time Requirement of neutralizing treatment
Strong acid boiling method		
Organic salt/alcohol/water method	Chemical decomposition	<ul style="list-style-type: none"> Effective Agents are somewhat expensive.

표 18. 도막박리·분해공정 비교

처리방법	제거기구	적용도		설비투자	처리공수	품질	이차오염	채산처리량 (ton/월)
		우레탄	멜라민					
가수분해법	화학분해	△	○	△	△	○	△	50~70
고온알칼리용액법	화학분해·주물·응력	○	○	△	△	○	△	50~70
액체사이클론법	비중분리	○	○	△	△	○	△	50~70
압축진동법	진동·압축 원심분리	○	○	△	△	○	○	-
Roll-압연법	압축원심응력 전단·주물 응력 발열작용	○	○	○	△	○	○	3~5



- 1 : Virgin PP-based bumper material
- 2 : Recycled material after removal of primer and paint
- 3 : Recycled material after removal of paint with remaining primer
- 4 : Recycled material without removal of both primer and paint

그림 28. 도막 또는 primer 제거 전후의 물성비교.

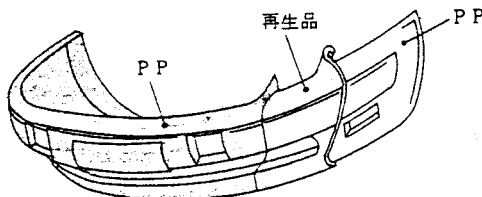
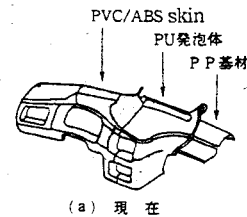
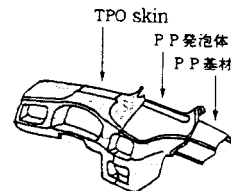


그림 29. 장래의 자동차범퍼 재료.

쇄하면 얻어진 입자의 입경에 차이가 생긴다는데 착안한 것이다. 분쇄기 내부에 무수히 발생하는 와류에 의해 처리물끼리 충돌하여 분쇄되기 때문에 처리물의 경도나 취성에 따라 얻어지는 입경의 차가 생긴다. 도장 ABS수지 중 딱딱한 도막은 작은 입자로 되고 비교적 유연한 ABS



(a) 現在



(b) 將來

그림 30. 장래의 인스트루먼트판넬 재료.

수지는 이보다 큰 입경분포를 나타낸다.

분쇄입자는 그림 34와 같이 도막이 붙어있는 대경입자, 미세화된 도막입자가 분급제거된다. 또한 repellet 시에도 메쉬여과로 잔존도막을 제거할 수 있어 도막제거율은 97%에 달한다. 이와같이 하여 얻어진 리사이클재의 특성을 그림 35에 나타내었다.

충격강도는 목표요건을 만족하지만, 외관품질이 요구레벨에 도달하지 못하고 있다. 그러나 리사이클 ABS수지

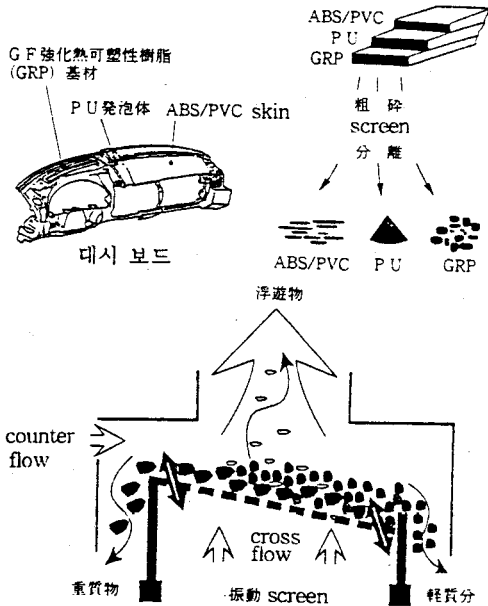


그림 31. Daimler-Benz사의 인판넬 분리시스템.

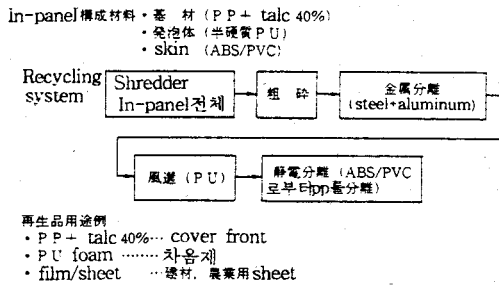


그림 32. BMW사의 인판넬 분리시스템.

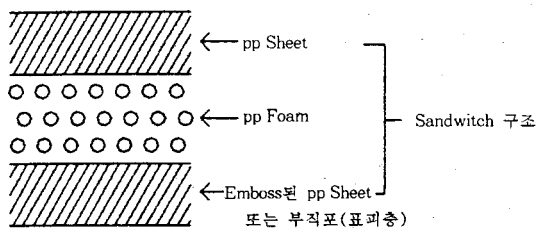


그림 33. 장래의 head lining재료.

를 버린ABS수지에 혼합해서 재생이용하는 방법에서는 그림 36과 같이 리사이클재의 혼합비율이 30%이하에서는 2분차의 외장카바로서의 재이용도 가능할 정도의 외관과 충격강도를 나타내고 있다. Honda에서는 스포일러 등의 재료로 이 혼합재를 실용화하고 있다.

5.2.3 FRP재료^{17, 18}

과거에는 자동차용 수지계재료로서 SMC가 다량 사용

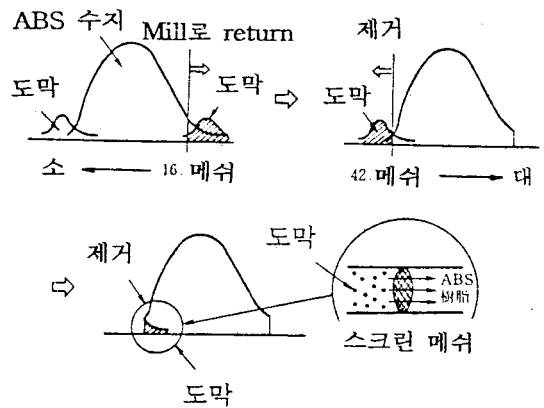


그림 34. ABS와 도막의 분급과정.

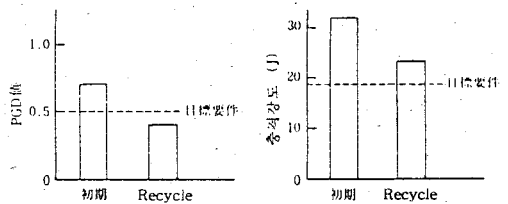


그림 35. 리사이클 ABS수지의 외관과 충격강도

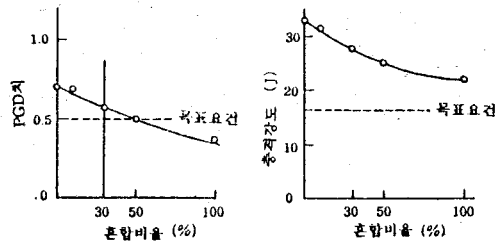


그림 36. 리사이클 ABS수지 혼합비율의 외관 및 충격강도에의 영향.

되어 왔으나 최근 재활용문제가 대두되면서 점차 그 수요는 감소 경향이다.

국내 FRP의 생산현황을 표 19에 나타내었다. 이 표에서 자동차부품용으로는 '94년 2,024,460M/T을 생산하여 총 FRP생산액중 금액대비 약 11%를 점하고 있다.

미국에서는 플라스틱공업협회(SPI)산하 SMCAA가 타용도의 FRP보다 자동차용 FRP재료를 중심으로 리사이클사업을 수행하고 있다. 분쇄공장인 Phenix Fiber Glass사에서 회수된 유리섬유는 주로 BMC에 이용되고 있고 분체는 경량필터로서 SMC 등의 성형에 이용되고 있다. 미국에서는 가수분해, 글리콜리시스 등의 케미칼리사이클링과 에너지리사이클링이 수행되지만 아직 성과는 발표되지 않고 있고 석유계원료가 고가로될 경우에만 실용화될 것으로 보고있다.

유럽에서는 프랑스 Valcor사가 자동차용 FRP부재에 대해서 "수지 유리섬유의 원료로부터 부품, 어셈블리, 그

리고 리사이클까지”를 표방하면서 심도있게 재활용사업에 임하고 있고 또다른 유럽회사인 독일의 Ercom사의 FRP리사이클사업보다도 철저하다고 알려져 있다. 독일에서는 지금까지 매터리얼리사이클을 중시해 왔지만, 향후 에너지리사이클도 조건부로 승인해주고 있다.

일본에서는 폐FRP의 본체를 SMC등에 필터로 재사용하고 있지만 사용량에 한계가 있어 타용도를 찾는데 몰두하고 있다. 현재 건설자재 등으로 이용하는 사업동향이 보고되고 있다.

매터리얼리사이클외에도 케미칼리사이클링, 에너지리사이클링 등도 개발되고 있다. 미쓰비시중공업에서는 FRP의 무공해연소처리장치를 개발하여 잔사인 유리섬유에도 카본이 부착되지 않는 것을 특징으로 발표한바 있다. 이 방법은 부분산화가스화처리법이라는 프로세스로서 반응조건에 따라서는 메탄올도 생산할 수 있다.

이상에서와 같이 자동차용 SMC의 재활용 공정으로는 크게 분쇄법, 섬유회수법 및 열분해법이 이용되고 있다. 열분해법 이외에도 알코올리시스 등의 화학적 분해방법이 사용되는 경우도 있다. 자동차용SMC의 재활용공정을 **그림 37**에 나타내었다.

SMC는 코스트가 낮은 수지로서 외장부품으로 오래전부터 사용되어왔으며, 유럽차에서는 범퍼로 사용되었다. 분쇄법은 입재기 또는 햄머밀로 미분쇄한 SMC를 충전제로 사용하는 방법을 가르키는데, 평균 입경 30.1 μ m의 미분을 15% 사용한 SMC에서는 강도, 굴곡탄성률이나 표면 평활성 모두 원재료와 큰 차이가 없다. 열분해법은 무산소하에서 500-1000 $^{\circ}$ C로 가열하여 유기물을 분해하고 생성된 고형부생성물을 SMC 등의 충전제로 사용하는 방법이다.

경제성면에서는 열분해법이 선호되고 있는 경향이지만 큰 경제성은 없는 것으로 추측된다. 그러나 여기에서 거론하는 SMC의 재활용공정은 동시에 수행되는 공정이므로 별도로 경제성을 거론하는 것은 무리일 수 있다. 또한, 당시의 가격산출기준도 달라지기 때문이다. SMC 리사이클방법 별 경제성을 **그림 39**에 나타내었다. SMC 재생 분말을 혼합한 재활용재의 물성은 **표 20**에서와같이 버진재와 거의 유사한 것으로 조사되었다.

5.2.4 PU foam재료¹⁹

PU foam은 탄성과 내구성, 성형성 등에서 타재료에 비하여 우수한 성능을 보유하고 있으며 seat에서 요구하는 각종 성능을 만족시킴으로서 지금까지 **그림 39**에서와 같이 seat용 pad로서 확고한 위치를 점유하고 있는 재료이다. 통상 자동차 구성재료중 PU foam이 차지하는 중량은 약 20kg으로서 이중 seat용 pad재가 14kg 정도 차지한다.

Seat foam의 경우 열경화성 수지로서 일반적으로 리사이클이 용이한 가소성 플라스틱과는 다른 리사이클 기

표 19. FRP의 생산·출하액('94)

(단위 : 백만원)

품 목 명	사업 채수	생산액	수량(M/T)	금 액
바닥, 벽, 천정덮개	25	19,483	64,125	19,483
육조 및 세면대	42	26,533	-	26,037
탱크류	115	59,306	-	58,569
파이프, 관	65	72,832	-	72,602
기타 건축용품	65	177,236	-	209,134
전기기기 전열용 제품	12	17,035	6,738	17,011
기계류 구성 및 부품	20	19,918	-	19,784
전기전자기기 구성품	66	62,516	-	62,460
자동차구성품 및 부품	48	86,482	2,024,460	85,844
가구부착구, 코우치	6	1,098	0	1,097
기타 산업용 성형제품	55	37,547	-	35,023
상자, 케이스 등	88	151,762	-	147,574
뚜껑, 마개, 캡 등	28	21,951	-	21,912
안전모자	23	14,974	-	14,818
기타제품	60	46,491	-	45,783
계		815,471		837,131

※ 자료 : 통계청.

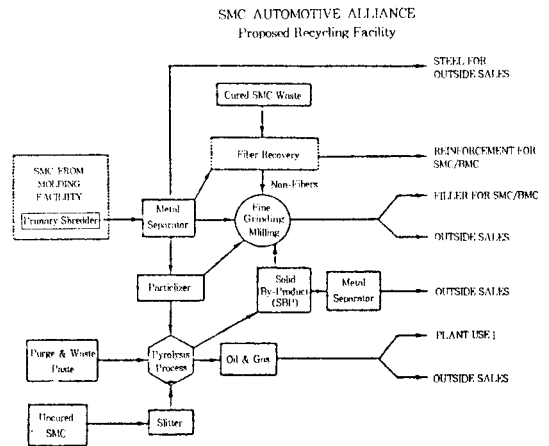
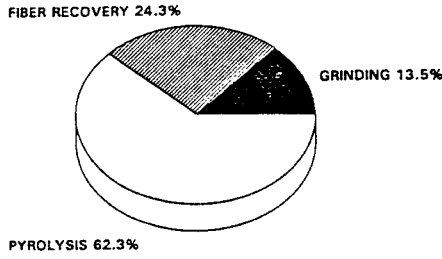


그림 37. SMC의 재활용 공정도.

술이 필요하기 때문에 과거에는 전량 폐기되어 왔다.

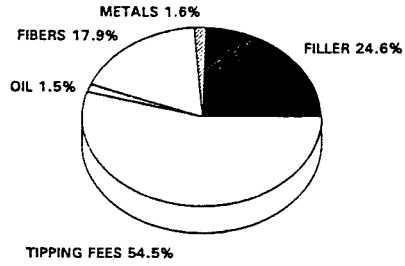
PU foam의 리사이클 기술개발은 원료메이커를 중심으로 활발히 진행되고 있으며 **표 21**과 같이 기계적인 방법과 화학적인 방법 두 가지 기술로 대별할 수 있다. 이에 대해 우선 기계적인 처리 방법을 살펴보면, PU의 가소화 온도 이상에서 유동성을 갖는 성질을 이용하여 분쇄된 입자에 바인더를 혼합한 후 가열·가압하는 공정이 개발되어 왔으며 이 재생재료는 국내회사에서 일부 차종에도 floor panel의 흡차음재, head rest, arm rest 등 많은 부품에 적용되고 있다. 기계적인 재생법으로 재생한 재료의 용도를 **표 22**에 나타내었다.

또한 PU 원료인 폴리올 및 이소시아네이트에 PU 미분쇄품을 첨가 후 반응 성형하여 RIM 우레탄 성형품을 얻는 기술도 소개되고 있다.



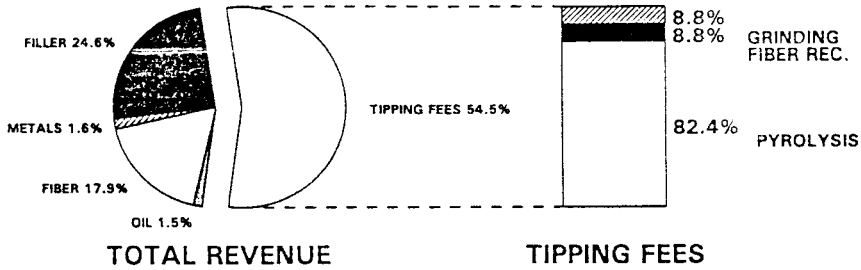
Total Revenue By Process

(A)



Total Revenue For All Processes Combined

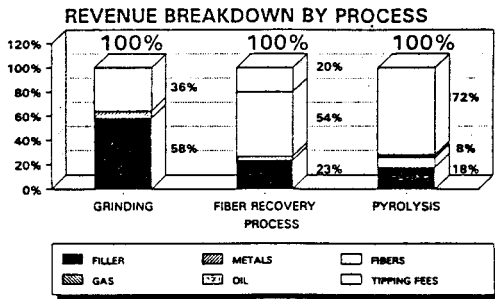
(B)



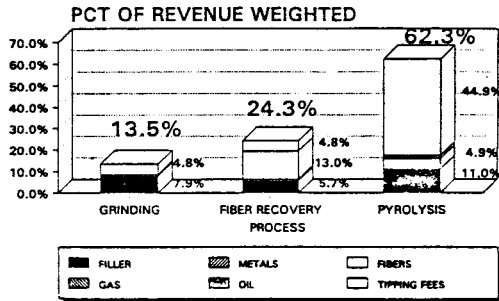
TOTAL REVENUE

TIPPING FEES

(C)



(D)



(E)

그림. 38. SMC의 재활용방법별 경제성 비교.

Nissan 자동차에서는 그림 40과 같이 폐seat에서 분리한 PU foam을 1mm이하로 미분쇄한 후 성형온도 190~210℃, 성형압력 9.8MPa 이상에서 가열가압 성형하여 자동차용 단열·흡차음재, 예를 들면 floor mat 표면, dash insulator, head liner의 적용을 검토 중인 것으로 알려져 있다.

6. 맺 음 말

폐자원을 이용해서 재생공산품을 만든다거나 에너지화하는 공정에는 그들의 품질 또는 효율을 높일수 있는 고

도의 기술이 필요하게 된다. 재활용 사업은 강요에 의해서 이루어지는 것이 아니라 고급기술의 보급으로 경제성 있는 재활용 제품, 즉 재생 공산품을 제조할 수 있는 여건만 조성된다면 재활용 업체도 기하급수적으로 증가할 것이고, 소비자도 재활용 제품을 사용하는데 주저하지 않을 것이다.

다행히 폐자동차는 폐차처리장에 집하하게 되어 있으므로 자동차용 폐플라스틱의 재활용은 산재되어 있는 다른 플라스틱재료보다 훨씬 재활용이 수월하다. 문제는 우수한 재생공산품, 효율높은 플랜트를 건설할 수 있는냐 하는 기술력에 달려있다. 재활용기술은 과학기술차원에서

표 20. 재생 SMC의 물성비교

Grade of SMC			General type			Class A		
Original or recycled			Original	Recycled		Original	Recycled	
Blending rate of SMC powder [Wt%]			0	10	20	0	10	20
Resin [wt part]			100	100	100	100	100	100
Fabricating composition	CaCO ₃ [wt part]		125	78	36	180	123	76
	Crushed powder [Wt part]		0	32	60	0	38	70
	Glass fiber [Wt%]		30	30	30	30	28	28
(Properties of SMC)								
Contraction rate [%]			0.06	0.07	0.8	0.00	0.00	0.00
Density			1.73	1.64	1.59	1.85	1.77	1.68
Surface smoothness (average deviation) [μ m]			-	-	-	3.6	3.8	5.6
Water absorption rate [%]			-	-	-	0.44	0.39	0.30
Tensile strength [kg/mm ²]			7.8	7.7	7.9	8.5	8.2	6.8
Tensile modulus [kg/mm ²]			1,176	1,153	1,115	1,100	1,065	1,020
Flexural strength [kg/mm ²]			20.0	21.3	18.6	19.0	17.8	16.7
Flexural modulus [kg/mm ²]			1,233	1,180	1,135	1,150	1,090	1,035
Deflection rate [%]			2.6	2.9	2.7	3.1	3.2	3.3
Izod impact value [kg-cm/cm ²]			82.0	87.4	86.0	76.5	81.5	78.5

표 21. 폐폴리우레탄의 재생방법

Recycling method	Part to be recycled	Reclaimed product	Present stage
	Seat cushion	Seat cushion composed of foam chips	In practice for cost reduction
Crush and use as is	RIM bumper	Paving filler for sports grounds, cushion paving material, filler for RIM bumper.	Practiced without problems
Utilization of thermal dissociation	Seat cushion RIM bumper	(Hot pressing method) Mud guard, underlay of carpet, anti-vibration material, others.	Trial stage
		(Extrusion molding) Sest, tube, pipe.	Study stage

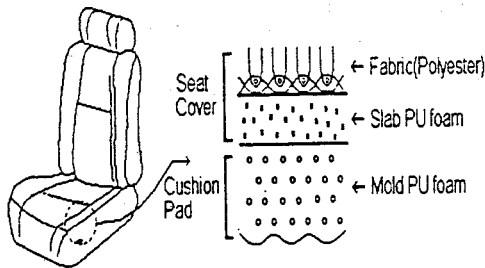


그림 39. 자동차용 seat의 재료 구성도

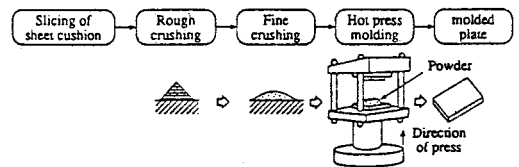


그림 40. 일본 닛산의 flexible RUF재생 공정도

나 생활환경차원에서 다루어서는 곤란한 점이 있다. 당장 실용화 할 수 있는 기술로서 경제성도 얻을 수 있는 산업 현장의 공업기술이어야 하기 때문이다.

변변한 자원하나 없는 우리나라 현실에서 유효 폐자원을 이용해서 자원재창출효과를 극대화할 수 있는 길은 재활용 목표치나 그만큼 높여놓고 따라오도록 채찍질해서는 도달할 수 없다. 오히려 일정한 기술력에 도달할 때까지 수익성을 보장해주는 정책이 필요한 때가 아닌가 생각된다.

국내수지메이커들도 재생재의 범람으로 자사 신수지의 판매량이 떨어질까봐 우려하지 말고 버진수지는 보다 고급제품에 이용할 수 있는 기술력을 발휘해야 한다. 수지의 물성향상기술과 기능화기술은 재활용중소기업보다는 수지메이커가 많이 보유하고 있으므로 이들 기술도 과감히 전수해 줄 수 있어야 한다.

그러나 무엇보다도 중요한 일은 우리 과학자, 산업기술 인력이 재활용업체를 도와서 폐자원재활용이라는 국가적 난제 해결에 동참해야 한다는 사명감이라 하겠다.

참 고 문 헌

1. H.Kachi, *Plastics Age*, 40(4), 97(1994)
2. S.Y.Kim, *Finechemical(Korea)*, June, 41(1994)
3. M.Shibuya, E.Akutsu, and H.Imamura, *Plastics Age*, 41(7), 87(1995)
4. K.Asakawa, *Plastics Age*, 40(7), 101(1994)
5. B.J.Jody, E.J.Daniels, and N.F.Brockmeier, *Chemitech*, Nov. 41(1994)
6. R.E.Sweet, *UMTRI Research Review*, 26(1), 1(1994)
7. T.Inoue, *Int.Work.Envir.Comp.Mat.Recy.Tech.(Japan)*, 157(1993)
8. *Japanese R&D Trend Analysis, Report I*, May, 21(1993)
9. Y.Tadayoshi, *공업재료*, 40(1), 113(1992)
10. *ibid*, 40(2), 101(1992)
11. A.Miyake, *Plastics Age*, 41(7), 69(1995)
12. M.Tadauchi, Y.Maezawa, and T.Hayata, *Toshiba Rview*, 49(5), 343(1994)
13. *JPN 昭 63-178195(1988)*
14. M.Ura, *도장공학*, 29(2), 78(1994)
15. *Plastverarbeiter*, Feb, 21(1994)
16. S.Oba, *Plastics Age*, 41(7), 93(1995)
17. W.D.Graham, R.B.Julte, and D.L.Ship, *48th Annu. Conf., SPI, Feb, Sess. 15-H*, 1(1993)
18. G.N.Hartt and D.P. Carey, *SAE 920802*, 1(1992)
19. I.Ikai, T.Yokoi, I. Sakata, and M.Iwakiri, *자동차기술*, 48(2), 16(1994)