

자동차용 고분자재료의 재활용기술

유 태 옥 · 흥 병 권 · 흥 존 희

1. 서 론

최근의 산업화와 도시화는 한정된 자원의 고갈, 자연환경의 자정능력을 초과하는 환경오염물질 및 폐기물의 증가 등 심각한 지구 환경문제를 야기하고 있으며, 이러한 환경문제는 21세기 인류가 시급히 해결해야 할 커다란 과제 중의 하나로 대두되었다. 특히 1980년대 후반부터 유럽지역에서는 폐기물 발생량 증가에 따른 매립, 소각 등 처리비용이 급증하고 환경오염의 피해가 확산됨에 따라, 폐기물을 사후 관리하던 정책에서 생산자의 역할을 강조하는 확대생산자 책임제도(EPR, Extended Producer Responsibility)를 도입하게 되었다.

자동차 산업에서의 환경문제는 기업의 사활이 걸릴 정도의 중요한 이슈가 되고 있다. 현재 유럽지역을 중심으로 자동차 분야에서 진행되고 있는 환경문제는 크게 다음의 4가지로 구분할 수 있다. 석유자원 고갈을 대비한 연비 향상, 지구 온난화 주범인 이산화탄소와 오존층 파괴물질인 질소산화물

등 배출가스의 청정화, 황과 벤젠 등 연료 내 유해물질의 함유량 규제, 자원 고갈을 방지하기 위한 폐차의 리사이클링 등이다.¹⁻³

이러한 환경문제 중 폐차의 리사이클링은 차량의 보유율이 높고 국토가 좁은 유럽 및 일본에서 규제가 시작되었다. EU에서는 2000년 10월 폐차처리 및 수거 시스템을 마련하고 재활용 목표치를 제시하는 폐차처리 지침을 발표시켰다. 또한 2005년경에는 유럽의 신차형식승인 항목에 리사이클성을 추가할 예정이어서 효과적인 대응이 이루어지지 않



홍병권

1989 경북대학교 화학공학과 (학사)
1988~ 기아자동차 기술센터 환경연구팀
2001 선임연구원
2001~ 현대자동차 선행개발센터
현재 비금속재료연구팀 선임연구원



유태옥

1991 경북대학교 고분자공학과 (학사)
1993 경북대학교 고분자공학과 (석사)
1993~ 현대자동차 선행개발센터
현재 비금속재료연구팀 선임연구원



홍존희

1981 한양대학교 화학과 (학사)
1983 한양대학교 화학과 (석사)
1983~ 현대자동차 선행개발센터
현재 비금속재료연구팀 수석연구원

Recycling Technology for Polymeric Materials Used in Automobile

현대자동차 선행개발센터 비금속재료연구팀 (Tae-Wook Yoo, Byeong-Kwon Hong, and John-Hee Hong, Polymeric Material Research Team, Advanced Technology Center, R & D Division for Hyundai Motor Company & Kia Motors Corporation, 772-1, Changduk-dong, Whasung-si, Kyunggi-do 445-706, Korea)

을 경우 심각한 수출시장의 타격이 예상되고 있다.

본고에서는 각국의 폐차 처리현황과 폐부품의 재활용 기술개발에 대한 최근의 기술동향과 적용사례를 중심으로 소개하고자 한다.

2. 폐차처리 현황

서유럽 지역의 자동차 등록대수는 2억1천만대를 넘었으며 주요 국가별 자동차 등록대수와 폐차 발생대수는 **그림 1**과 같다. 폐차의 발생량은 자동차 보유대수와 비례한다. 자동차 보유대수가 증가함에 따라 폐차 발생도 같이 증가하지만 자동차 시장이 안정되어 대체수요에 의한 수요와 공급이 이루어지고 있는 독일, 일본 등에 비해, 최근 10여년간 급격한 시장 확대를 가져온 국내 폐차 발생량은 보유대수에 비해 상대적으로 적은 편이다.⁴

유럽지역에서 폐차로부터 발생하는 폐차 파쇄 잔재물(이하 ASR, automobile shredder residue)의 발생량은 연간 200~300만톤에 이르고 있으며 전량 매립되고 있는 실정이다. ASR의 증가로 매립지가 부족하게 되고 쓰레기 처리 비용의 과다상승, 불법처리에 의한 토양오염, 노상 불법 방치차량의 증가현상 등의 사회문제로 대두되고 있다.

표 1과 같이 일반적으로 차량의 70~75%는 철과 비철금속으로 이루어져 있으며 폐차 리사이클은 주로 이들 금속물질 위주로 이루어져 왔다. 현재 폐차처리 프로세스에 의하면 중고 부품으로 사용 가능한 부품을 해체하여 판매하고, 타이어와 일부

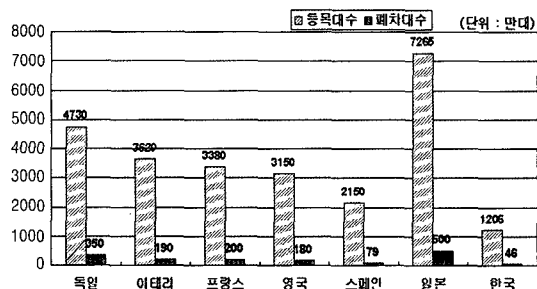


그림 1. 주요 국가별 등록 및 폐차대수 발생 현황.

표 1. 자동차의 재료 사용량 (당사 중형승용차 기준)

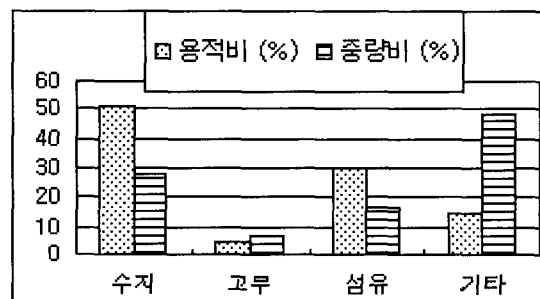
구분	철	비철	플라스틱	고무	유리	액상류	타이어	기타	계
중량 (kg)	835	119	148	11	32	66	46	59	1316
비율 (%)	63.5	9.1	11.2	0.8	2.4	5.0	3.5	4.5	100

폐유를 회수하여 처리업체에게 의뢰한 후 나머지 차체를 압축, 파쇄하여 자력선별에 의해 철, 비철금속을 회수하고 있다. 따라서 현재 폐차의 재활용율은 75 wt% 내외일 것으로 추정하고 있다.⁵

현재 국내의 폐차처리 과정에서 발생하는 ASR은 폐차 중량의 25%를 차지하며 재료별 조성은 **그림 2**와 같다. ASR은 중량으로 27% 정도가 플라스틱이며 이것을 용적으로 보면 약 53%에 해당된다. 따라서 향후 ASR의 감량화, 자원화를 위해서는 플라스틱 부분의 분별회수와 재생이용이 주요 관점임을 알 수 있다.

그러나 연비 향상과 배기가스 저감을 위하여 차량의 경량화 요구가 증가하고 있기 때문에 향후 플라스틱의 사용량은 지속적으로 증가할 것으로 예상된다. 플라스틱 부품의 재활용성을 향상시키기 위해서는 사용하는 수지 종류를 최소화해야 하며 같은 수지라도 grade를 단순화시켜야 한다. PVC와 열경화성 수지의 사용을 최소화하고 부품의 통합화 모듈화를 통하여 부품의 해체를 용이하게 설계하여야 한다.

폐차의 리사이클률을 향상시키기 위해서는 재료 재활용이 가능한 플라스틱 부품을 해체하여 재활용하고 나머지 ASR을 추가로 재활용해야 한다. ASR은 수지, 고무, 섬유 등 가연성 물질의 구성비율이 높기 때문에 에너지로서의 회수가 가능하다. EU 폐차법규에서도 5~10%의 에너지 회수를 허용하고 있다. 그러나 ASR을 어떻게 가연성물질과 불연성물질로 분리할 것인가 하는 문제가 남는다. 또한 ASR에 포함된 중금속 및 PVC와 같은 다이옥신 발생 물질을 어떻게 처리할 것인가 하는 것도 심각한 문제이다. 일본에서는 이를 해결하기 위한 연구



기타 = 유리, 목재, 토사 등

그림 2. 폐차잔재(ASR, automotive shredder residue)의 재료 조성.

가 이미 시작되어 상당한 진행이 이루어진 상태이나, 국내에서는 아직 본격적인 연구가 시작되지 못하고 있다.

3. 폐차 리사이클 법규 동향

3.1 EU 법규

EU에서는 폐자동차의 처리에 대하여 생산자책임 원칙을 적용하여 “유럽 Parliament 및 Council 폐차 법령(2000/53/EC)”을 2000년 9월 18일 제정하였고 2000년 10월 21일부로 발효되었다. 본 법규 주요 내용은 ① 폐차 무상회수 및 회수시스템 구축, ② 리사이클률의 향상, ③ 유해물질 감소 등이다.⁶

표 3에서 보는 바와 같이 자동차 업체는 2007년 1월부터 자사 폐차를 무상으로 회수하여야 한다. 이로 인해 자동차 업체는 총 102억 달러의 비용을 부담해야 한다. 이는 자동차 모델과 사용 년

수에 따라 대당 147~210 달러를 폐차처리 비용으로 부담하게 됨을 의미한다. 본 법령을 근거로 EU회원국들의 법규를 2002년 4월까지 제정 또는 개정하여야 하나 아직 각국 법규가 확정되지 않은 상태이므로 정확한 비용 산출은 곤란한 상태이다.

폐차를 회수하여 2005년 말까지 85%를 재활용(에너지 회수 5% 포함)하여야 하며 2014년 말까지는 95%를 재활용(에너지 회수 10% 포함)하여야 한다. 이를 만족시키기 위해서는 기존의 철/비철금속 위주의 재활용 방법으로부터 탈피하여야 한다. 법규에 따라 차량의 각종 유류를 분별 회수하고 배터리, 에어백, 타이어, 촉매 등을 해체 회수한 후 대물 플라스틱 부품을 해체하여 재활용하여야 한다. 95% 재활용 목표치를 만족키 위해서는 더 많은 플라스틱, 고무, 전선 등을 재료로서 재활용하고 나머지 ASR 중 가연성 물질을 분별하여 에너지로서 회수하여야 한다. 이는 해체비용과 처리비용의 과다 상승을 유발하여 자동차업체의 부담으로 전가될 것으로 예상된다.

한편 유해물질 사용금지와 관련된 법규 동향을 보면, EU와 스웨덴의 경우 폐차 리사이클 법규 내 차량에 포함되는 각종 유해물질에 대한 제재도 함께 규정하고 있다. 이처럼 차량 내 유해물질에 대해 폐차 리사이클 법규 또는 별도의 유해법규로서 규제하고 있는 이유는 차량의 성능과 내구성 유지를 위해 납, 수은, 카드뮴, 6가 크롬 등과 같은 유해물질이 사용되기 때문에 ASR의 매립시 종종 유해물질의 침출로 인해 지하수 및 환경오염을 유발할 가능성이 크기 때문이다.

EU 폐차 리사이클 법규의 경우, 법안 초기에는 납, 수은, 카드뮴, 6가 크롬, PVC 등 각종 유해물질에 대한 전면 사용금지를 목표로 제정하였으나 최종 법규 확정시에는 현 기술수준 및 처리기술의 현실성을 감안하여 단계적인 삭감으로 선회하여 법규를 완화하고 있다. 그러나 스웨덴의 경우, PBB (poly-brominated biphenyl), PBDE (polybrominated diphenyl ethers), DOP (dioctyl phthalate)와 같은 브롬계 난연제와 프탈레이트계 가소제 등 환경호르몬 유발 성분에 대해서도 추가로 제재할 예정이어서 각 자동차메이커 및 관련업체를 중심으로 유해물질 대체재료 개발, 폐기물 처리기술 등에 대한 연구가 진행되고 있다.⁷

3.2 일본 법규

세계에서 두번째로 많은 자동차 보유국인 일본의

표 3. EU 폐자동차 처리 법규 내용

항 목	적 용 일	내 용
적용 범위		· 9인승 이하 승용·승합 차량 및 스페어/교환 부품 · 차량 총중량 3.5톤이하 트럭 및 스페어/교환 부품
폐차 무상회수	2002.7.1이후 판매차 2002.7.1이전 판매차	· 2002년 7월 1일 이후 무상회수 · 2007년 7월 1일 이후 무상회수
폐차 재활용률 (중량%)	~ 2006.1.1. ~ 2015.1.1.	· Reuse·Recovery 85% 이상, · Reuse·Recycle 80% 이상 · Reuse·Recovery 95% 이상, · Reuse·Recycle 85% 이상
신차 재활용가능률	형식승인 법규 개정 3년 후 출시 차량	· Reuse·Recovery 95% 이상, · Reuse·Recycle 85% 이상
유해물질 규제	2003.7.1. ~	· 납, 수은, 카드뮴, 6가 크롬 사용 금지 (13개 항목 예외 인정)
정보 제공	신차종 출시 6개월 이내 매 신차종 선전문구에 반드시 포함	· 재사용부품에 대한 해체, 보관, 재사용 판단방법, 유해물질 정보 등 해체 정보를 제공해야 함 1) Recyclability 및 Recoverability를 고려한 차량 및 그 부품의 설계 2) 폐차처리, 특히 액상류 제거와 해체에 관한 환경 친화적인 폐차 처리 3) 폐차와 그 부품의 Reuse, Recycle, Recover를 위한 최적 방법개발 4) 폐기물 감소 및 Recycle/Recover을 향상을 위해 개발된 공정

*Reuse : 폐차의 부품을 원래의 용도로 재사용(예:중고부품)
Recycling : 부품을 분쇄 및 적절한 처리를 통해 재료로 재활용하는 것(예:재생재료)
Recovery : 재료 재활용 + 에너지 회수

경우, 초기에는 권고성 규제였으나 최근 유럽과 같이 신차에 대한 재활용률 및 최종 매립률, 유해물질 규제 등 정량적인 관리형 규제로 바뀌는 추세에 있다.

대표적 법률로는 재활용을 활성화하기 위해서 통상산업성, 환경청 등 6개 부처가 공동으로 1991년 10월에 제정한 일명 리사이클법이라는 「재생자원 이용촉진」이 있으나 2000년 5월말에 제정된 “순환형 사회경제관련법”에 의해 새로운 전환기를 맞고 있다.

1997년 당시 통산성이 발표한 “폐차 리사이클 이니셔티브”를 받아들여 일본자동차공업협회가 98년 “폐차 리사이클 자주행동계획”을 책정하였다. 그 개요는 표 4에 나타내었다. 그 후 법제화를 목표로 심의가 진행되어 2002년 중에는 “자동차 리사이클법”이 제정되고 2004년부터 시행될 것으로 예상된다. 이 법안은 폐자동차의 불법투기를 예방하고 폐차시 발생하는 부품과 소재의 재활용을 촉진하기 위해 자동차 메이커가 신규차량 구입자로부터 대당 1만~2만엔을 징수해 이를 차량의 폐차 처분시 적절한 처분을 담당하는 딜러와 해체사업자에게 이 금액이 환급되게 하는 시스템이다.

일본에서 리사이클법의 대상이 되고 있는 품목은 2001년 4월부터 실시된 백색가전 4개 품목(냉장고, TV, 세탁기, 에어컨)과 2002년부터 시행되는 컴퓨터, 그리고 2004년에는 자동차가 실시될 예정이다.⁷

3.3 국내 법규

국내 폐자동차 재활용 정책은 직접적인 규제나 의무 부과보다는 설계 및 공정 개선 등의 참여적인 규제를 채택하고 있다. 1992년 12월 8일 “자원의 절약과 재활용 촉진에 관한 법률”이 그리고 1993년 6월에 시행령과 시행규칙이 확정되었으며 동 시

표 4. 일본자동차공업협회 “폐차 리사이클 자주행동계획” 수칙목표

항 목	'00년	'02년 이후	'05년 이후	'15년 이후
신형차의 리사이클가능율		90%		
폐차의 리사이클율		85% 이상		95% 이상
납 사용량 (배터리 제외)	96년 대비 1/2 이하		96년 대비 1/3 이하	
ASR의 매립 처분율		96년 대비 3/5 이하		96년 대비 1/5 이하

행령에 따라 국내 자동차 제조업체는 자동차의 설계시 재활용을 위한 구조 및 재질 개선에 대한 평가를 실시하는 리사이클성 사전평가를 1995년부터 매년 실시해오고 있다.

최근에는 EU 폐차처리 법규가 확정되면서 유럽 지역을 중심으로 확산되고 있는 확대생산자책임제도(EPR)로의 법률 개정이 진행 중에 있다.

특히 환경부 주관으로 국내 폐자동차 재활용산업의 촉진을 꾀하고 직접규제 방안보다는 관련 산업계가 자율적으로 시행될 수 있도록 유도하기 위해 관련업체 및 단체에 자발적 협약 체결을 유도하고 있는 실정이다.⁷

4. 폐차 해체기술

어떠한 폐기물도 재질별로 선별 수거가 확실히 보장된다면 재활용이 용이할 뿐 아니라 재생재료의 경제성도 확보할 수 있는데 일상 생활에서 쉽게 접하고 있는 쓰레기 분리수거가 좋은 예라 할 수 있다. 폐차의 경우도 예외는 아니어서 차량에 포함되고 분자재료를 효과적으로 재활용하기 위해 재질별 분리를 위한 해체기술 개발이 반드시 선행되어야 한다. 폐차의 재활용성을 향상시키기 위해 자동차 업계에서는 최소 시간 내에 부품을 해체하여 수익성을 보장할 수 있도록 자동차 업체 및 해체 업체를 중심으로 폐차의 해체기술 개발에 주력하고 있다. 이러한 기술개발은 액상류 회수기술, 차체로부터의 부품 해체기술 그리고 해체용이성을 고려한 체결구조 등의 설계기술로 나눌 수 있다.^{1,7}

4.1 폐차 해체시스템

실제 폐차는 차종, 모델에 따라 부품의 구조, 재질이 다양하여 1대의 폐차를 처리하는데 많은 시간이 소요된다. 폐차 처리과정에서 재활용성을 향상시키기 위해서는 좀더 많은 부품을 떼어내야 하는데 이 때 소요되는 비용이 전체 재활용 비용의 상당부분을 차지한다.

폐차 처리와 관련된 최근의 기술동향을 살펴보면 처리대수 증가를 위한 해체설비의 양산 라인화들 들 수 있다. 현재 독일, 스웨덴 등 유럽지역을 중심으로 활발히 개발, 운영되고 있으며 이중 네덜란드의 폐차전문회사인 모제라 (De Mosselaar BV)사의 모델은 6단계의 연속과정으로 이루어져 있으며 거의 완전한 해체를 하기 때문에 처리공정에서 폐기

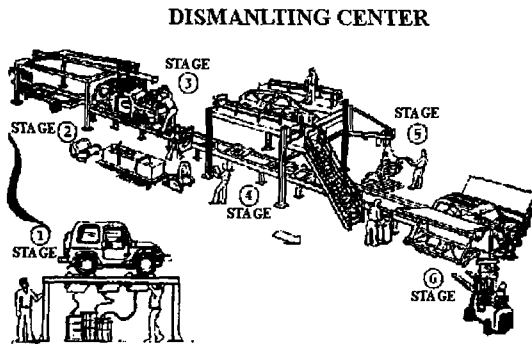


그림 3. De Mosselaar BV의 자동차 해체라인 (네덜란드).

물이 거의 발생하지 않아 폐차 잔재문제를 해결하였다. 해체 과정은 그림 3과 같다.

해체순서는 첫번째로 유체의 제거, 주요 내외장 부품 회수, 자동차를 기울여 하부로부터 차축, 배기장치 등을 회수, 엔진과 트랜스미션의 제거, 나머지를 압착후 철 재활용 시설로 운반하는 과정을 거치며 해체된 모든 부품과 물질은 해체라인에서 컨테이너에 넣어지고 차체는 압축시켜 재활용을 위해 철강회사로 보내진다. 현재 이 라인이 최대 속도로 가동되고 있지는 않지만 많은 경험을 가진 인력이 배치될 경우 월 500~800대 정도를 처리할 수 있는 것으로 알려져 있다. 그러나 설비가격이 고가이고 가동에 필요한 폐차처리대수 확보부족으로 해체시스템의 적용이 곤란한 실정이다.

당사의 경우도, 폐차 해체기술개발을 위하여 독자적으로 해체시스템을 개발하여 폐차의 해체용이 기술개발, 신차 단계에서 리사이클성 평가 등 다양한 용도로 현재 활용중이다. 개발된 해체시스템을 살펴보면 폐차를 컨베이어 위에서 연속적인 폐차처리가 가능하도록 고려하여 대량처리에 의한 폐차의 경제적 가치 확보에 주력하였다(그림 4).

또한 폐차는 처리시 오일제거가 완벽하지 않을 경우 심각한 환경 오염을 유발할 수 있기 때문에 오일류 제거를 위한 전용 설비가 필수적인데 당사에서 개발하여 사용 중인 장비는 강제 제거방식을 활용하여 폐차의 상하에서 모든 오일을 동시에 제거함으로써 각종 오일을 종류별로 제거할 수 있도록 하였다(그림 5). 일반적인 방법으로는 폐유를 제거하기 위해서는 30여분이 소요되나 당사의 설비로는 엔진오일 등 8종의 유류를 15분 이내에 제거 할 수 있고, 회수효율도 95% 이상으로 폐 부품 표면에 묻어 닦아내지 않으면 제거가 불가능한 일



그림 4. 폐차 해체시스템 (현대자동차).

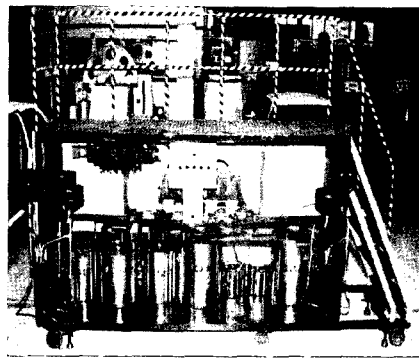


그림 5. 오일회수장치.

부 액상류를 제외한 모든 폐 액상류의 제거가 가능하다. 이러한 설비는 이미 독일 등 유럽지역에서는 폐차처리업계에 의무적으로 설치하도록 되어 있다.

한편 유럽지역 등지에서 규제되고 있는 폐차처리 법규는 연도별 리사이클률을 달성하도록 규정하고 있는데 동 법률의 목표치를 달성하기 위해서는 범퍼, 계기판넬 등 구조가 복잡하고 해체가 어려운 대형 플라스틱부품에 대해 해체를 쉽게 하여 재활용이 가능하도록 하는 해체기술 및 전용 해체설비 개발이 필요하다. 당사에서 개발하여 해체시스템의 일부분으로 사용중인 설비는, 우선 해체대상부품의 구조를 파악하여 해체 위치를 정하고 다관절 제어 로봇을 이용하여 해체할 수 있도록 구성되어 있어 Instrument Panel (이하 In-panel), 범퍼 등의 대형 플라스틱 부품을 떼어내는데 사용하고 있으며, 점차 부품의 개발이 대형화, 모듈화 추세로 진행되고 있어 대물부품 전용해체 설비의 활용도가 점차 증가될 전망이다(그림 6).

4.2 해체정보(IDIS), 재질 Marking

자동차에 적용되는 재료는 철, 비철금속 재료를 제외하더라도 수십 가지의 다양한 재료로 구성되어



그림 6. 대물부품 전용해체장비를 이용한 대물부품의 해체장면.

있어 재질별로 분리하여 재활용이 가능케 하는 보조수단이 필요한데 이것이 바로 부품의 재질 Marking이라 할 수 있다. 전세계 대부분의 자동차메이커에서는 자체 규격을 제정하여 플라스틱 부품을 위주로 시행하고 있으나, 최근 발효된 EU 폐차 처리법규에서 통일된 재질표기 방법을 제정하도록 요구하고 있다. 현재 자동차메이커에서 주로 사용하는 규격은 VDA 260, ISO 11469, SAE J 1344로서 표 5에 재질표기 방법을 나타내었다.

현대·기아자동차에서는 이미 자체 재질표기 규격을 제정하여 1992년 7월 이후 승용 전차중, 1톤 트럭, 승합차 등에 재활용 가능성이 높은 100g 이상 플라스틱 부품을 위주로 재질표기를 실시하고 있으며, 향후 국내외 환경규제에 적극 대응하기 위해 금속, 고무부품 등 거의 모든 부품으로 확대 적용할 예정이다.

자동차메이커는 차량의 종류, 모델에 따라 구성 부품, 재질, 구조가 다르기 때문에 재활용 가치가 있는 부품을 쉽게 해체하기 위해 해체메뉴얼을 제작, 배포하고 있다. 이 메뉴얼에는 폐차로부터 각종 오일류를 제거하는 방법, 에어백과 같은 위험부품에 대한 처리방법, 재활용 가치가 있는 플라스틱 부품을 쉽게 떼어 낼 수 있는 방법, 단일부품의 재질과 중량, 해체공구, 해체시간 등의 정보를 표기하여 실제 폐차장에서 폐차 처리시 도움을 줄 수 있도록 하고 있다(그림 7).

이러한 해체정보를 제공하기 위해 유럽 자동차메이커를 중심으로 전자해체정보시스템(international dismantling information system, 이하 IDIS)을 개발하였고, 현재는 국내 자동차메이커를 포함한 세계 주요 자동차메이커가 포함되었으며 1999년 발행한 CD-Rom은 8개국의 언어로 발행되었다. 이 CD-Rom은 364개의 자동차 모델과 약 20,000개 부품의 해체정보가 실려 있다(그림 8).

표 5. 재질 표기 방법

Materials	Examples
Reservoirs	Windshield washer reservoir tank
Basic polymers	PP basic polymer → PP <
Basic polymer with Filler or reinforcing materials	PP with 30% talc → PP - TD30 < PP with 30% talc & 25% glass fiber → PP - (TD30 + GF25) <
Modifications of Basic polymers	Plasticized PVC → PVC - P < High Density PE → PE - HD < Expanded PUR → PUR - E <
Blends	Blend of PC and PBT → PC + PBT <
Copolyaers	Polyamide 6 & 12 copolymer → PA6 / 12 <
Compound assemblies (a different species adhesion materials, laminated materials)	Rear combination lamp assembly LENS > PMMA < HOUSING > ABS <
Polymers with Flame retardants	Polyamide with Flame retardants → PA - FR (10) <

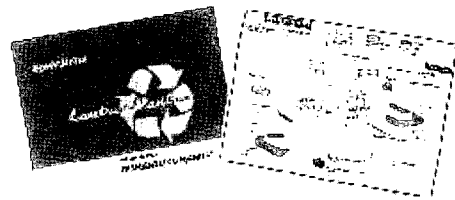


그림 7. 해체메뉴얼.

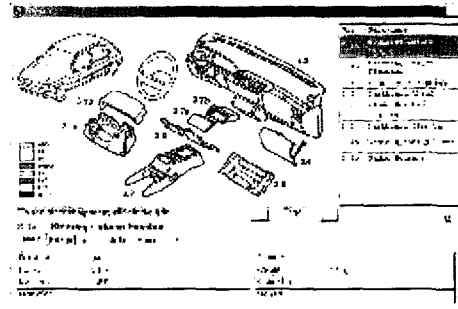


그림 8. 전자해체정보시스템 (IDIS).

5. 부품별 리사이클 기술

5.1 In-Panel

운전석과 조수석의 전방에 위치하는 차실 내 폭 전체의 계기수납 panel을 총칭하여 이하 In-panel 이라고 한다. In-panel은 각종 계기, 스피커, 기타 필요에 따라 별도 piece의 부품을 장착하기 때문에 그 장착 부위 및 panel 전체가 이런 중량에 견디는 성능이 요구된다.

In-panel은 기재, cushion(pad)재, 표피재의 3 부분으로 구성되어 있다. 기재는 차체에 직접 장착되기 때문에 높은 강성과 내충격성이 요구된다. Cushion재는 In-panel에 손으로 만졌을 때 부드러움이, 표피재는 외관과 좋은 품질이 각각 요구된다.

In-panel 구조에는 **그림 9**에 표시한 것과 같이 크게 3가지로 구분된다. 표면전체에 표피재를 붙인 full pad type, 일부 기재가 노출 되도록 하는 half pad type, 기재만으로 사용하는 padless type 등이 있으며 중형이상의 승용차에서는 상품성 향상을 위해 일반적으로 표피재(PVC sheet)+완충재(PUR foam)+기재(ABS) 등 3종의 재질을 적층하여 만들어진다.

대부분 3가지 재료가 적층되어 In-panel을 재활용하기 위한 기술로는 분쇄후 저급용 혼합플라스틱으로 사용하거나 열원으로 환원하는 방법이 있으며 좀 더 부가가치를 높이기 위해서는 재질별로 분리한 후 재료로 재활용하는 방법이 있다. 혼합플라스틱으로 활용하는 기술의 경우, 대부분 3가지 재료가 상용성이 없어 다양한 용도로 활용하기에는 한계가 있으며 열원으로 활용하는 방법은 표피재로 사용되는 PVC로 인해 대기오염, 수질오염 등의 2차 환경오염이 발생하는 관계로 재활용에 한계가 있는 것이 사실이다.

현재의 In-panel 재료 구성으로는 3가지 재료를 분별하여 재질별로 재활용하는 기술이 효과적인 것으로 알려져 있다. 당사의 경우도 **그림 10**과 같이 roll press, shredder, air separation 등의 방법을 이용하여 경제적이며 효율적인 방법으로 이물질 함량이 0.1% 이하의 순도를 갖도록 분리 방법을 개발하였다. 세 가지 재질의 분쇄물이 섞이게 되면

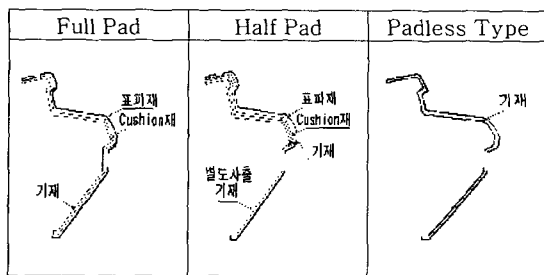


그림 9. In-panel의 단면 구조.

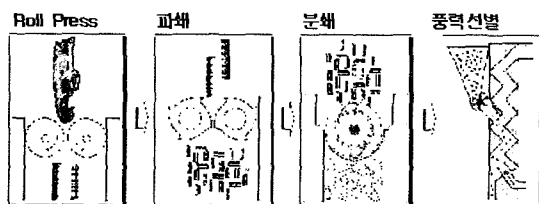


그림 10. In-panel 재활용 기술.



그림 11. 재활용 재료를 이용한 부품 적용 예.

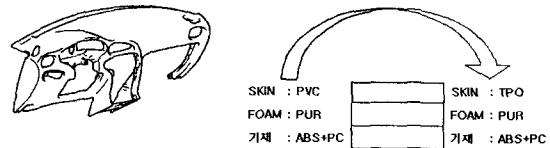


그림 12. In-panel의 재질 개선 예.

재질분리가 어려우나 비중차이가 큰 두 가지 재질의 혼합물이 두 그룹으로 분리된다면 재질선별이 대단히 용이해진다. Roll press를 거친 In-panel은 PUR foam이 부서지면서 PVC와 PUR foam의 재질 구성과 PC/ABS와 PUR foam의 재질 구성으로 분리된다. 이들 재질군을 별도로 분·파쇄를 거쳐 zigzag type 풍력선별을 거침으로써 순도 99.9%의 선별효율을 얻을 수 있었다. 선별된 PC/ABS는 라디에이터 그릴 제조시 사용할 수 있고, 선별된 PVC는 콘솔리드 표피재용 재료로서 재사용이 가능하였다(**그림 11**).

최근에는 제품개발단계에서 친환경성을 고려하여 표피, foam, 기재층을 PP와 같은 동일한 재료로 적용하여 재질 선별 없이 바로 재활용 가능토록 고려하고 있는 추세이다. 그러나 기재로 PP를 사용하기에는 강성, 내충격성 등이 부족하여 현재의 기술로는 어려움이 있다. 따라서 자동차메이커에서는 동일계 재질로 개발하기에 앞서 에너지 회수 용이성을 확보하기 위해서 표피재로 사용되는 PVC를 TPO sheet로 개발하여 적용하고 있는 추세이다. 당사에서는 이미 투스카니, 카니발 등에 **그림 12**와 같이 In-panel 표피에 TPO sheet를 적용하고 있다.

5.2 Door Trim

Door 내부에 장착되는 door trim은 In-panel과의 연속감을 갖도록 하기 위하여 In-panel과 같은 구조를 가지며, 일반적으로 기재, cushion재, 표피재로 구성되어 있다. 기재는 강성과 형상 유지력이 있어야 하며, cushion재에는 부드러움이, 표피재에는 우수한 외관과 촉감이 필요하다.

Door trim의 공법은 여러 가지가 있지만 기본적

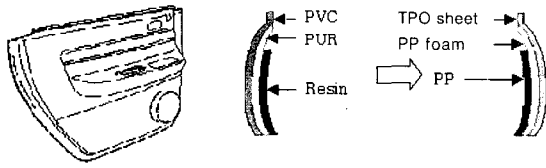


그림 13. Door Trim의 재질 개선 예.

으로는 평판형, 분할형, 일체성형형으로 나눌 수 있다. 평판형은 경자동차·소형차에, 일체성형형은 중급차·고급차에 적용되고 있다. 분할형은 디자인 상으로도 자유도가 높고 장식품의 추가가 많은 고급차에 이용되는 경우가 많다.

상기에서 언급한 바와 같이 Door Trim은 표피(PVC), Pad, 기재 3종의 재질로 구성되어 있기 때문에 In-panel과 마찬가지로 재활용이 어렵다. 일반적인 재활용 기술은 In-panel과 동일한 기술이 적용되고 있으며 재활용 기술보다는 재질개선을 통한 재활용성 향상을 추진하고 있다. 당사의 경우도 그림 13과 같이 표피재료를 TPO sheet로 대체하였을 뿐만 아니라 기재와 foam층도 TPO재료와 동일계열인 PP재를 사용하여 PVC 대체 및 제품 자체의 재활용성을 완벽하게 개선한 부품을 적용 중에 있다.

5.3 Head Lining

Head lining은 차량의 천장을 마감하여 상품성을 향상시키고 차체 루프로부터 전달되는 빗물 소리 등 각종 소음을 흡수하는 부품으로서 일반적으로 표피재, 쿠션재, 기재를 적층한 3층 구조를 가지고 있다. 따라서 In-panel과 마찬가지로 재활용이 곤란한 부품으로 현재 소각이나 매립하고 있어 향후 재활용성을 향상시키기 위해서는 동종재료로 구성된 부품을 개발하는 것이 세계적인 추세이다. 따라서 당사에서도 지금까지 head lining 기재용 소재로 주로 사용하던 재활용이 곤란한 resin felt와 골판지를 대체하기 위해 재활용이 우수한 열가소성 수지로 대체를 추진 중에 있다(그림 14).

기존의 부직포/PE foam/resin felt의 재질구성은 재질분리가 불가능하여 재활용이 어려웠다. 제품의 특성상 재질을 분리한다는 것이 비효율적이기 때문에 동일계열 및 상용성이 있는 재질구성으로 분리할 필요 없이 재활용하는 것이 필요하다. Skin을 TPO 또는 PP 부직포로, 기재층을 glass fiber가 보강된 PP 재료로 재질 변경함으로써 재질을 분리할 필요 없이 제품 자체를 파쇄하여 재활용할 수 있는 구조가 됨으로써 재활용률 향상에 크게 도움이 되었다.

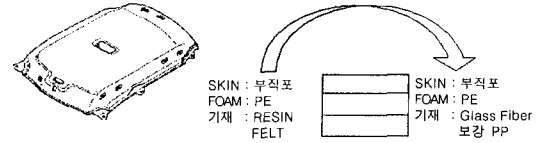


그림 14. 천장트림의 재질 개선 예.

5.4 카페트

카페트는 자동차용 내장부품 중 흡음성능 및 쾌적성이 요구되는 부품으로 파일, 기포층, 코팅층으로 구성된 적층부품이며 재료별로 보면 폴리아미드계와 폴리에틸렌테레프탈레이트계로 구분된다. 두 type 모두 상용성이 없는 재료로 구성되어 있어 재활용이 곤란하고 특히 분쇄시 섬유로 인한 영킴 현상으로 특수한 분쇄공정이 필요하기 때문에 대부분 제조공정에서 발생하는 폐기물과 폐차에서 발생하는 카페트는 어떠한 처리과정도 거치지 않고 전량 소각하거나 매립하고 있는 실정이다. 현재까지 개발된 재활용 기술로는 컴파운딩을 이용한 재료 재활용방법과 폴리아미드계 카페트 파일만을 선별한 뒤 고온고압에서 단량체를 회수하는 방법이 있으며, 컴파운딩을 이용한 기술의 경우, 압출시트상으로 캘린더링하여 시트로 제조하는 기술과 신재, 보강재 등을 첨가하여 컴파운딩한 후 사출용 재료

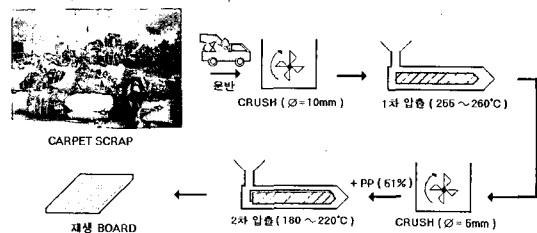


그림 15. 폐카펫 재활용 기술.

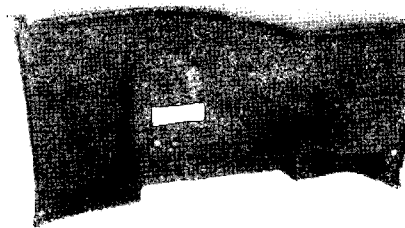


그림 16. 폐카펫 재생재료 적용 예.

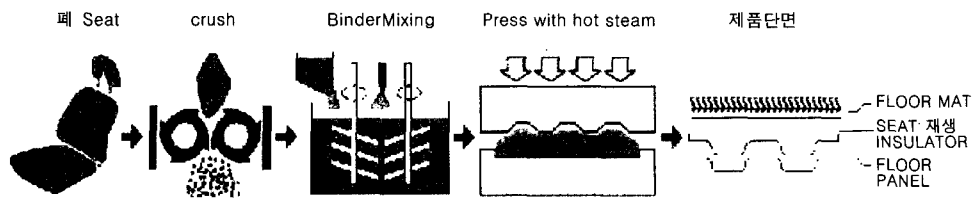


그림 17. 폐시트 재활용 기술.

로 재활용하는 방법이 있다.

당사에서 개발한 압출시트 제작기술은 그림 15와 같이 폐 카펫을 10 mm 크기로 분쇄한 후 첨가제를 혼합하여 1차 압출을 통해 용융화한 후 5 mm 크기로 재 분쇄한 다음 목표 물성을 맞출 수 있는 신재와 첨가제, 분산제 등을 혼합한 후 2차 반응압출을 통해 재생 sheet를 생산하여 luggage trim용으로 적용하고 있다(그림 16).

5.5 시트

자동차용 시트는 시트커버와 연결 우레탄 foam, 그리고 형상을 유지하며 기능성을 부여하는 프레임으로 구성되어 있는 부품이다. 특히 시트 foam은 열경화성 수지로 재활용이 곤란하여 전량 폐기되어 왔으나 최근 분쇄 후 바인더를 이용한 chip mold형의 재활용 기술이 소개되면서 기존의 스티로폼의 대용재로서 점차 사용이 확대되고 있으며 일부 자동차용 흡음재로 적용되고 있다.

당사에서 개발한 폐시트의 재활용 기술은 그림 17과 같다. 기존 우레탄 폼의 재활용 방법인 chip mold foam을 일부 개선하여, 표피재도 함께 재활용하는 진보된 chip mold foam을 개발, floor mat insulation으로 사용하고 있다(그림 18). 기존의 chip mold foam 제조방법과 유사한 방법이나 시트용 cloth와 우레탄 폼을 함께 분쇄 및 바인딩, 성형을 할 수 있게 되었다는 것이 기존기술과 다른 점이다. 다만 일반적인 우레탄 폼의 재활용품과는 달리 고밀도의 제품에 적용하는 것이 효율적이다.

5.6 범퍼

범퍼는 차량의 충돌시 차체에 전달되는 충격에너지 흡수하는 기능을 가지며 차량에 적용되는 플라스틱 부품 중 가장 부피가 큰 부품으로서 오래전부터 각 자동차메이커에서 재활용 기술개발을 진행하고 있다.

통상 특수한 처리 없이 세척 등의 일반적인 처리 공정 후 분쇄하여 다른 용도로 재활용하고 있으나 재료가격이 비교적 고가인 관계로 범퍼용 재료로

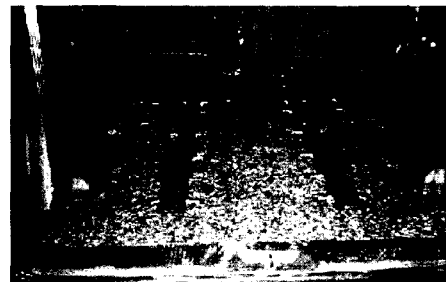


그림 18. 폐시트 재생재료 적용 예 (Floor 흡차음재).



그림 19. 고압수 이용 도막제거 메카니즘 (Water Jet에 의한 도막 파괴 및 분리).

재 사용하는 고부가가치 기술개발에 집중되어 있다. 범퍼 재활용기술의 핵심은 범퍼 표면에 부착된 열경화성 수지인 도막을 얼마나 완벽하게 제거하고 경제적으로 처리할 수 있는가에 달려 있다. 현재 개발된 도막제거 기술로는 일본 도요타 자동차의 가수분해법,⁸ 닛산자동차의 유기염법, EIN사의 진동압축법 등이 있고 국내의 경우 현대자동차의 고압 분사법 등이 개발되어 있으나 세계적으로 실용화된 기술은 없으며 단지 고압분사법만이 실용화 단계에 접근해 있다.

당사에서 개발한 도막제거기술은 기존의 도막제거 방법과는 전혀 다른 순수한 물을 이용한 100% 도막제거 기술로 고압의 물을 도장된 범퍼의 표면에 분사하여 도막을 제거하는 방법이다. 도막제거 메카니즘을 그림 19에 나타내었다. 제품을 분쇄하지 않고 형상을 유지한 채 표면의 도료만을 제거하기 때문에 도장불량 범퍼의 경우 이 방법을 사용하여 도막 제거 즉시 재도장하여도 외관 및 기능상에 전혀 문제가 없을 뿐만 아니라 순수한 물만을 사용



로봇을 이용한 도막제거 모습



도막이 제거된 모습 (가장자리부 : 도료)

그림 20. 고압수 이용 도막제거 장면.

하기 때문에 2차 환경오염을 전혀 발생시키지 않는 환경친화적인 신기술이다(그림 20).

5.7 후미등

후미등(rear combination lamp)은 차량 후미에 장착되어 차량의 안전거리 유지, 주행 방향 등을 알려주는 안전부품으로써 크게 lens, housing 및 전구로 구성되어 있으며 비교적 대물부품이면서 해체가 용이한 부품이기도 하다. 통상적으로 후미등 lens는 PMMA(polymethyl methacrylate)를, housing은 PP 또는 ABS(acrylonitrile butadiene-styrene copolymer)를 사용하며 이들 부품은 외장부품이면서 전장부품인 관계로 lens와 housing 사이에 수밀성이 필요하여 접착제로 접착되어 있다. 따라서 재생시 서로 다른 재료로 구성되어 있어 재료 재활용이 곤란하고 특히 접착제로 인해 분쇄가 곤란하여 전량 폐기 처리되고 있다. 현재 개발된 재활용 기술로는 용제에 의한 선택적 용해법, 상용화제를 이용한 컴파운딩 방법 등이 개발되어 있다.

당사에서는 잘 섞이지 않는 hot melt까지도 함께 재활용할 수 있는 기술을 개발하여 재료를 다시 lamp housing에 사용하는 기술을 개발하였다(그림 21).

5.8 기타 내장 Trim

플라스틱 사출성형품으로 제조하여 사용되는 내

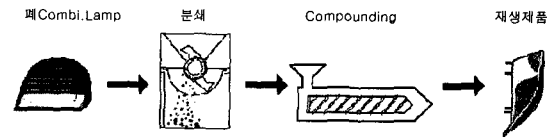


그림 21. Rear Combination Lamp의 재활용 기술 예.

장부품에는 In-panel 주변부품, meter hood, glove box, console box, steering column cover, front/center/rear pillar trim, cowl side trim, door scuff trim 등이 있다. 대부분 ABS나 PP를 사용하고 있으며 외관을 중시하는 부품으로서 내열/내광성과 내충격성, 표면 내스크래치성 등이 요구된다.

부품별로 요구특성에 따라 사용하는 재질을 변경하여 사용하기 때문에 사용하는 수지의 종류는 대부분 ABS와 PP 두 종류이나 grade는 다양하여 재료 재활용이 용이하지 않다. 따라서 자동차메이커에서는 재질을 PP로 단순화하고, grade를 통합하기 위하여 새로운 재료를 개발하고 있다. 특히 Toyota사는 내·외장 플라스틱부품에 사용되는 16개 이상의 재질 및 grade를 통합화하기 위해 원재료업체와 공동으로 PP를 기본으로 하는 TSOP(Toyota Super Olefin Polymer)를 개발하였다. 당사는 이 재료를 이용하여 최종적으로 1가지 재료(TSOP-7)로 통합한다는 계획을 가지고 있으며, 현재 내장용과 외장용 재료로 통합하기 위해 2가지 형의 TSOP를 개발하고 있다. 다른 자동차 메이커에서도 재료 재활용성과 코스트 차원에서 PP 재료의 장점이 부각되면서 내장재료 통합화가 급격히 이루어지면서 PP의 사용량이 증가하고 있는 추세이다.

PP재료의 통합화는 부품의 요구물성과 가격 등을 고려할 때 주로 다음의 3가지 grade로 개발되고 있다. ① console과 pillar trim 등 비교적 요구물성이 낮은 내외장 트림용 PP와 ② 내충격성, 강성, 페인트성 등이 요구되는 bumper용 PP, ③ 강성, 내충격성, 내열성, 치수안정성 등 높은 물성이 요구되는 In-panel용으로 구분할 수 있다. 당사의 경우에도 내외장 트림용 PP의 통합화 재료는 이미 개발하여 양산 적용중이다. Toyota사가 추진하고 있는 단일 grade는 여러 부품의 요구물성을 만족하는 수지의 개발도 어렵겠지만 수지의 가격 상승이 예측되어 개발의 어려움이 예상된다.

5.9 고무 부품

우선 “가류”라는 메카니즘으로 인해 “탄성”을 가

진 고무재료는 자동차에서 주로 기능성으로 적용되고 있으며 대당 약 15~20 kg 정도 사용되고 있으며 분자내 가황구조에 의해 발현되는 탄성으로 인해 분쇄가 곤란함은 물론 가교에 의한 열가소성의 성질을 상실하여 재료 재활용이 어려워 거의 소각에 의존하고 있는 실정이다. 특히 자동차용으로 적용되는 부품들은 주로 금속재료 등과 복합되어 사용되는 관계로 철금속의 분별기술이 추가로 요구되는 부분이기도 하다. 최근의 기술개발 동향을 살펴보면 열가소성 재료로의 대체기술과 탈류/분쇄에 의한 재생재료의 개발로 나눌 수 있다.

열가소성 재료로의 대체의 경우를 보면 glass run channel과 같은 부품을 열가소성 탄성체인 thermo-plastic elastomer(이하 TPE)로의 대체가 주류를 이루고 있다. 재활용 기술의 경우, Toyota 자동차에서는 고온, 전단력을 이용한 탈황 기술을 개발하여 폐 weather strip EPDM 고무를 다른 고무부품 제조시 사용하는 재활용기술을 개발하였다.⁸ 당사에서는 폐 weather strip 고무를 미세분말화한 후 표면을 활성화시켜 다른 고무부품 제조시 사용하는 기술을 현재 개발 중에 있다.

6. 결 론

지금 전세계는 지구환경보호라는 이슈를 내걸고 지구온난화, 대기 및 수질오염, 부존자원 절약이라는 범지구적인 목표를 달성하기 위해 다양한 활동들이 전개되고 있다. 최근 국내에서도 환경부가 “자원의 절약과 재활용촉진에 관한 법률”을 개정하면서 기존의 사후규제측면에서 사전오염예방차원의 생산자확대책임제도(EPR)를 도입하였으며 특히 구 미지역 선진국의 경우, 자국의 경제를 보호하고 새로운 시장을 창출하기 위해 환경을 이용한 각종 규제를 자국으로 수입되는 모든 제품에 적용을 추진함으로써 본격적인 무역장벽으로 작용할 것으로 예상된다. 더욱이 국가의 주력산업이자 주요 수출제품인 자동차에도 각종 환경규제가 추가 혹은 강력한 수준으로 상향조정되고 있는 실정이다. 따라서 기업에게 “환경”이라는 말은 선택과제가 아니라

필수과제로 인식되어야 하며 환경측면을 단지 회사의 비용 상승으로만 간주하는 단기적인 안목을 가진다면 21세기 시장경제에서 생존하기 힘들 것으로 예측된다. 이미 앞에서도 언급했듯이 유럽의 경우, 이미 2000년부터 폐차 처리법규가 시행중이며 2005년 전후로 자동차의 환경성이 수입차량형식승인 조건으로 채택될 가능성이 높아 적극적인 대처방안 수립이 없다면 수출에도 큰 타격을 입을 것이 확실하다.

따라서 폐차 리사이클에 대해 체계적이고 지속적으로 발전시키기 위한 정부, 자동차메이커, 재료메이커, 부품메이커 및 폐기물처리업자 등이 서로 협력하는 범국가적인 유대가 절대적으로 요구된다. 또한 자동차메이커 및 관련업계에서는 차량의 폐기에서 부품의 분별회수에 이르기까지 폐차에서 발생하는 각종 재료의 유효자원화를 위한 재활용 처리 기술을 개발하고 자동차의 친환경 설계, 리사이클 용이재료 개발, 유해물질의 삭감/처리기술 및 차량 환경성 평가기법 등의 각종 환경기술을 확보하기 위한 지속적인 노력이 필요하다고 생각되며 향후 자동차산업에서의 폐차 리사이클은 안정성, 편의성 성능 등과 함께 차량의 중요한 특성으로서 인식될 것으로 예상된다.

참 고 문 헌

1. 임양수, “현대자동차의 리사이클 현황”, 현대환경 레포트, 12월호, 1999.
2. BMW, *BMW Environmental Report*, 1997/98~2001.
3. 自工會, “자동차의 리사이클 대책”, 「*JAMA Report*」, p. 53 (1999).
4. 한국자동차공업협회, 「자동차통계월보」, 6월호, 2000.
5. 한국폐차협회 통계자료, 2001.
6. EU, “DIRECTIVE 2000/53/EC OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL” (2000).
7. 홍준희, “국내외 폐자동차 리사이클링 법규와 대응”, *2000 Korea-Japan Recycling Symposium on plastics*, p.105. 2000,
8. Toyota, *Toyota News*, Japan, 1996~1998.