技術現況分析

# 자동차 차체 경량화를 위한 Al합금 판재의 관련기술

강 석 봉

(KIMM 재료기술연구부)

'72. 2 서울대학교 공과대학 금속공학과(학사)
'74. 7－'79. 2 동국제강, 삼미종합특수강, 한국중공업 근무
'79. 3－'81. 2 한국과학기술원 재료공학과(석사)
'82. 9－'86. 8 한국과학기술원 재료공학과(박사)
'80.12－현재 한국기계연구원 책임연구원

김 형 욱

(KIMM 재료기술연구부)

'87－'91 한양대학교 재료과(학사)
'91－'93 한양대학교 대학원 재료과(석사)
'93－현재 한국기계연구원 연구원


## 1. 서 론

자동차의 연료소비는 자동차 중량에 비례하여 증가하므로 연비향상과 배기가스의 감소를 위해서 자동차의 경량화는 필수 불가결하다. 또한 자동차의 배기가스 규제, 안전기준의 강화, 소음대책, 소비자의 고급화 지향등이 자동차 경량화의 원인이 되었다. 최근 지구 규모의 환경문제를 배경으로한 미국의 연비규제 강화법안(CAFE)으로 세계 각국의 자동차 회사를 중심으로 연비향상 대책으로 경량화에 대처하는 분위기가 형성되고 있으며, 이 법안에 의하면 2001년까지는 현재 연비의 40%개선을 요구하고 있다. 이는 자동차 중량면에서 평균중량이 1300Kg에서 약 780Kg정도로 감소되어야 함을 의미한다. 이런 배경하에서 자동차 경량화의 한 방법으로 자동차 재료를 기존의 강에서 알루미늄으로 대치하기 위한 연구가 주목되고 있다. 특히, 차체용 알루미늄 합금박판은 자동차 부재중에서 가장 기대가 큰 분야이며, 미국등에서 1870년대 이후 적극적인 연구개발로 인하여 Hood, Fender, Door, Trunk lid등에 알루미늄 합금제 차체판넬 장착 차종들이 실용화되었다. 강판을 알루미늄으로 대치하면 최대한 50%이상의 중량경감을 가져오지만 알루미늄의 가격지수는 강의 4배가 된다. 이는 단지 재료비 측면이며 자동차의 전 수명에 걸친 비용 또한 중요한 항목이라고 생각된다. 본고에서는 자동차 경량화의 배경 및 추세와 비용적인 면에서 알루미늄화의 잇점을 자동차 전 수명 영역에 걸쳐 다른 경량화 재료와 비교·검토하였으며, 알루미늄 차

체를 현실화 하는데 요구되는 기술적 사항들을 중심으로 논하고자 하였다.

## 2. 경량화 배경

자동차에 대한 사용자의 요구사항은 각국의 경제적 상황, 문화적 배경, 생활습관, 연관교통수단 관련성등에 따라 다소간 차이가 있다. 그러나 최근의 일반적인 요구사항들은 수요자들의 선택사양들이 다양화해졌으며, 고급화 지양적인 추세이다. 예를들면 고출력 엔진, 사치스러운 내부장식, 저소음의 자동차를 수요자들이 선호하게 되었다. 또한 통신체계 및 오디오 체계가 증가하였으며, 다른 한편으로 여성과 노인 사용자의 증가 추세로 운전이 용이하도록 하는 시스템이 광범위하게 채택되어져 이들을 수용하기 위한 장치들이 기존의 자동차에 장착되어졌다. 그림 1에는 자동차 선정시 수요자의 요구사항들을 제시하였다.[1]

자동차의 기능에 대한 요구사항들은 점차적으로 엄격해져서 자원절약, 에너지 절약, 환경공해 대책, 운전 안전성과 같은 사회적 요구 및 지구 규모의 환경요구에도 관심이 고조되고 있다. 표 1에 열거한 사항들은 중요한 것들로서 해결해야만 한다[2]. 특히 에너지 절약을 위한 차체 경량화에 의한 연료소비량 저감 및 지구 온난화현상을 방지하기 위한 $CO_2$ 배기가스 감소등의 대응책은 아주 시급한 사항들이다.

자동차 선택시 수요자의 요구기능 다양화 및 고급화 지향 추세에 따른 자동차 중량증감 요인과 에너지 절약 및 공해 대책 등 사회적 요구에 따른 자동차 중량감소 요인을 결부시켜 자동차 중량 변화를 살펴보기 위해, 그림 2에는 차체 투영 단위면적당 차체 중량변화 추이를 나타내었다[3]. 그림 2에서 보면 수요자 요구를 충족하기 위한 추가 장착 장치들의 수가 증가함에도 불구하고 차체중량은 감소하여서, 과거 20년간 약 20%의 중량감소를 가져왔음을 알 수 있다. 그러나 최근 중량감소 정도는 둔화되었으며, 안정성의 기능 다양화에 따른 고급화 추세로, 기존 기술로서는 더 이상 중량감소는 달성하기 힘들 것으로 보이며, 이를 극복하기 위해서는 자동차에 사용되는 재

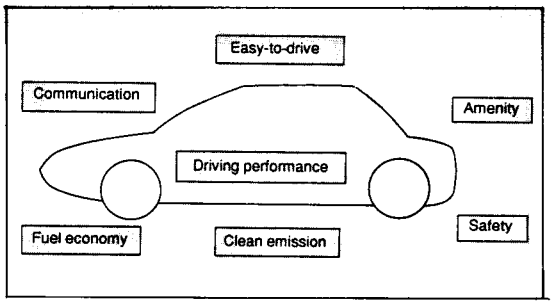



Figure 1. Customers needs.

Table 1. Social and global environment requirements for automobile.

| |
|---|
| NATURAL RESOURCE SAVING |
| Extension of life-time of automobile |
| Improvement of durability |
| Improvement of corrosion resistance |
| Change of fuel source |
| ENERGY SAVING |
| Countermeasure of lowering fuel consumption |
| Weight lightening |
| COUNTERMEASURE AGAINST ENVIRONMENT AND POLLUTION |
| Reduction of $CO_2$ exhaust gas |
| Reduction of HC, CO, NOx exhaust gas |
| DRIVING SAFETY |
| Active safety |
| Passive safety |

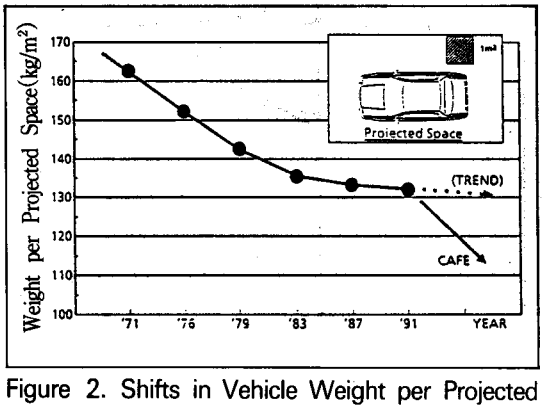
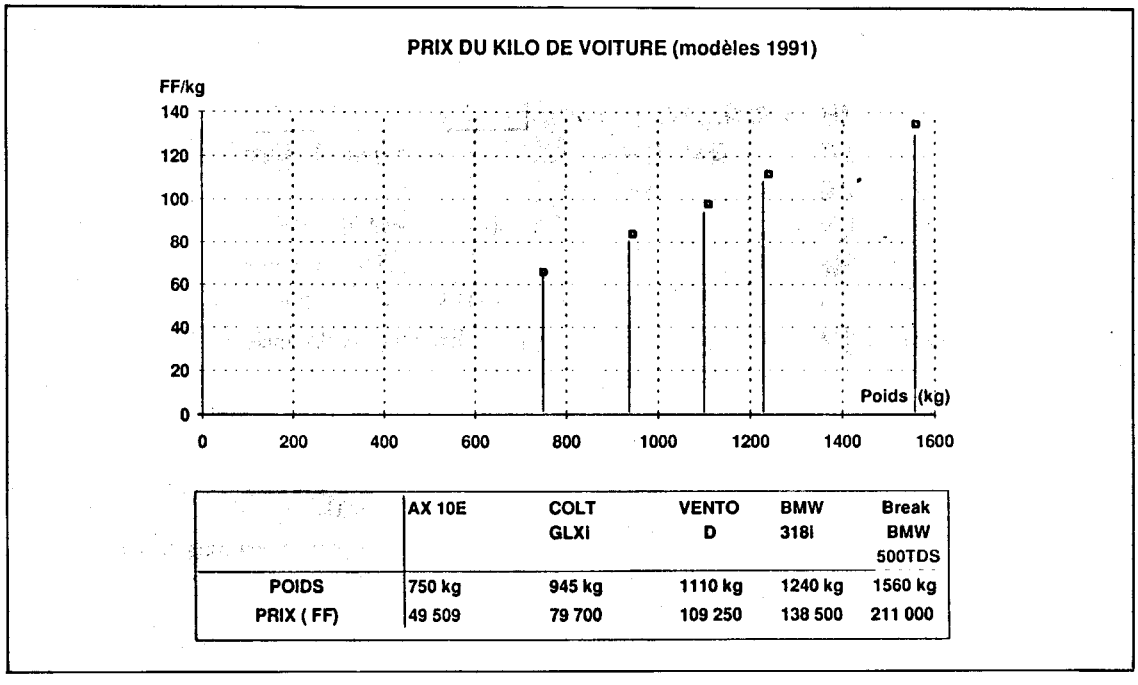



Figure 2. Shifts in Vehicle Weight per Projected Space.

료의 대체기술에 중점을 두어야 할 것으로 생각된다.

자동차 중량은 자동차 가격과 직접적인 상관관계가 있음을 쉽게 짐작할 수 있는데, 그림 3에는 유럽에서 생산되는 몇몇 자동차의 중량에 따른 단위중량당 자동차 가격을 나타내었다[4]. 여기서 보면 자동차 가격은 중량의 제곱에 비례하여 증가함을 알 수 있다.




| | AX 10E | COLT GLXi | VENTO D | BMW 318i | Break BMW 500TDS |
|---|---|---|---|---|---|
| POIDS | 750 kg | 945 kg | 1110 kg | 1240 kg | 1560 kg |
| PRIX ( FF) | 49 509 | 79 700 | 109 250 | 138 500 | 211 000 |

Figure 3. Price dependence on the weight of automobiles produced in Europe.

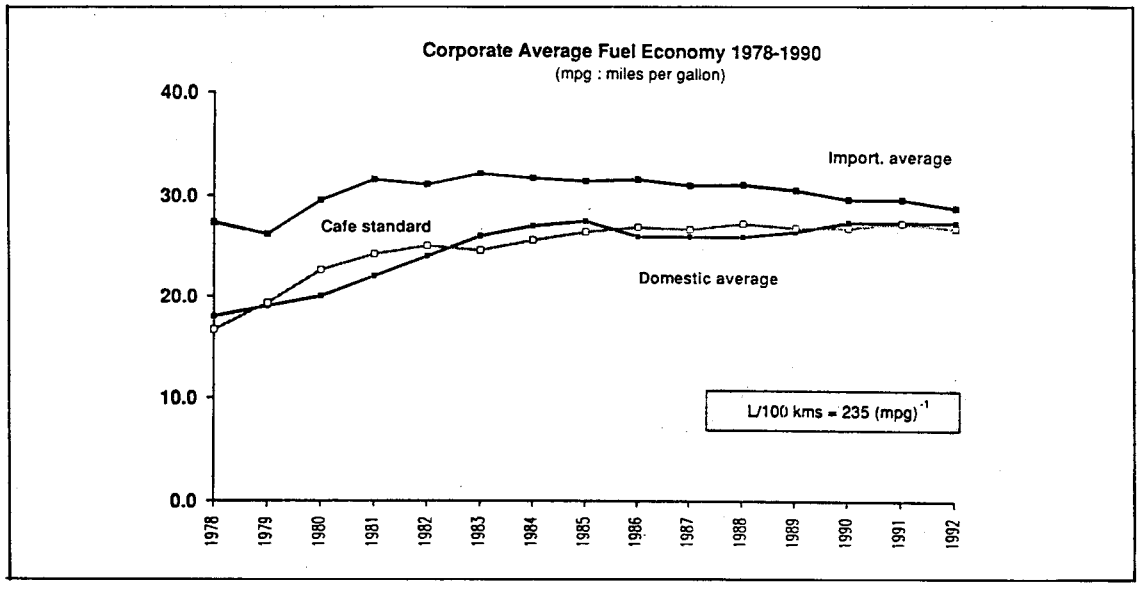



Figure 4. Fuel efficiency import and domestic vehicles in France with reference to CAFE standard during last 15 years.

한편 미국의 CAFE(Coporate average fuel economy : 기업별 평균 연비 규제－1975년 12월 발효) 연비규제 강화법안으로 세계 각국의 자동차 제조회사가 연비 향상 대책으로 차의 경량화에 신중하게 대처하는 분위기가 형성되고 있다. 그림 4에서 년도별 CAFE기준과 프랑스차와 수입차의 연비를 나타내었다[4]. 표 2에는 1989년도에 유럽의 자동차 회사가 CAFE규정으로 미국에 지불한 비용을 나타내었다[4].

Table 2. Amount of penalty paid by the European car makers to the USA according to CAFE regurations in 1989.

NORMES"CAFE"

AMENDES PAYEES AUX USA EN 1989($)

| MARQUE | $ |
|---|---|
| JAGUAR | 5,582,000 |
| MERCEDES | 20,415,000 |
| BMW | 14,923,000 |
| PORSCHE | 1,875,000 |
| VOLVO | 1,036,000 |

연료 소비량을 감소시키기 위해서는 연소효율을 향상시키고, 구동 마찰력을 감소시킴으로서 얻을 수 있지만, 자동차의 중량을 감소시키는 것이 효과적이고도 중요한 사항이다. 자동차 중량을 감소시키기 위해서는 차체 크기를 줄이고, 차체 구조를 변화시키고, 기존 차체용 재료를 보다 가벼운 재료로 대체하는 것이 유용한 방법이다. 그림 5에는 연비 향상을 위한 이들 방법들을 요약하여 나타내었다 .

## 3. 경량화 비용

기존 차체용 재료를 보다 가벼운 다른 재료로 대체시 고려해야 할 사항들을 표 3에 나타내었다. 중요한 고려사항으로는 1) 재료비 2) 품질 및 안정성 3) 공급안정성 4) 기능적 특성 5) 성형,

Table 3. Standard of selection of sheet materials for autobody.

| |
|---|
| Cost |
| Quality and its stability |
| Stable supply |
| Functional Characteristics |
| Lightening effect |
| Strength characteristics |
| Corrosion resistance |
| Manufacturability in mass production |
| Formability |
| Weldability, Jointability |
| No change of Conventional production system |
| Disposal and recycling |

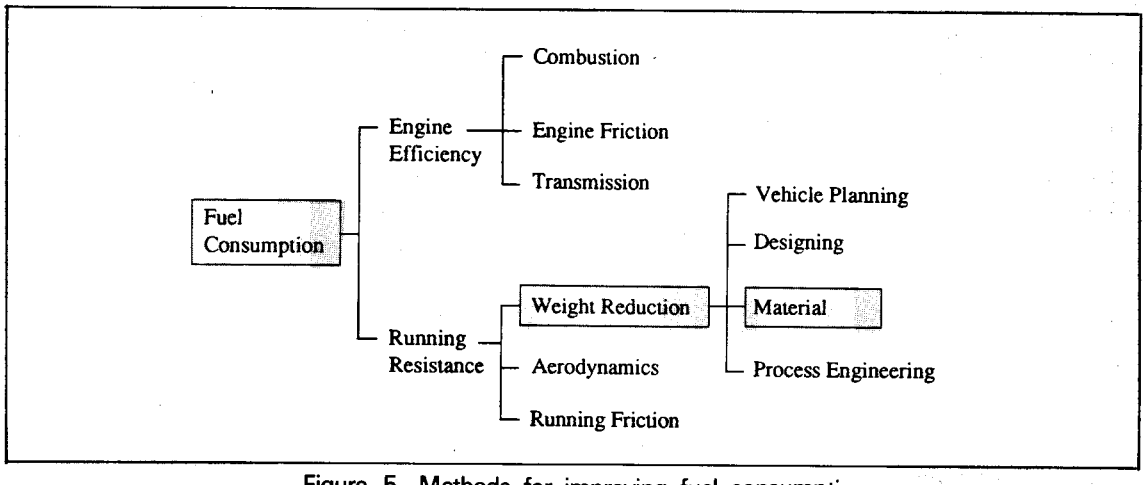



Figure 5. Methods for improving fuel consumption.

용접, 접합등 양산 공정간 제조특성 6) 폐기 및 재활용성 등을 들 수 있다. 세계규모의 자동차 산업에서 경쟁력을 갖기 위해 자동차의 제조비용을 이해하는 것은 자동차 제조업체 뿐만 아니라 재료 및 부품공급 업체들에게 점차적으로 중요하게 되었다. 자동차 차체구조와 외부 판넬(body-in-white)은 자동차 가격과 중량를 결정하는데 상당한 영향을 미친다. 제조비만을 고려하는 것은 충분하지 못하므로 여기서는 4door의 중형 승용차에 대하여 제조비용(제작, 조립 및 간접비용), 가동비용(소모 연료비용, 수리비용) 및 후처리 비용(재활용, 폐기비용) 등을 포함한 자동차 전 수명에 걸친 비용을 분석하였다. 여기서 다룬 재료는 스탬핑한 연강 판넬, 스탬핑한 알루미늄 판넬, 압출·주조·스탬핑한 알루미늄 스페이스 후레임(스템핑 알루미늄, reinforced reaction-injection-molded[RRIM] polyurea/glass flake), 수지이송성형 복합재료 일체형(resin-transfer-molded composite monocoque)들이다[5]. 외부 판넬은 hood, roof, deck lid, fender, front & rear door, quarter panel등을 포함한다. 비용산출은 "technical cost modeling"[6] 방법을 사용하였다. 비용 산출을 위해 사례 연구의 일반적 사항들을 표 4에 나타내었다[5].

연강 일체형(steel unibody)은 현재 사용되는 자동차를 대표하는 것으로, 이미 알려진 기술, 설계 및 제조방법으로 제작되는 반면에 나머지 3종류는 여러 개발 단계에 있어서 그렇게 잘 알려져 있지 않다. 그 결과 여기서 다룬 가정들은 불확실하다.

연강 일체형은 상대적으로 많은 스탬핑 공정을 거쳐 점용접으로 제작한다. 알루미늄 일체형은 연강 일체형과 유사하게 제작되는데, 주된 차이는 연강 대신 알루미늄을 사용하는 것이다. 이 유형의 유일한 예는 Acura NSX로써, 년간 10,000대 미만의 생산량을 갖는 고성능 스포츠카이다. 그러나 현재

Table 4. General parameters used for the four cases studied.

| Parameter | Steel Unibody | Aluminum Unibody | Aluminum Spaceframe | Composite Monocoque |
|---|---|---|---|---|
| Structure Design | | | | |
| Pieces | 250 | 250 | 110 | 7 |
| Weight | 225kg | 135kg | 135kg | 169kg |
| Steel Content | 100% | 60% | 60% | 75% |
| Fabrication | Stamping | Stamping | Extrusion, casting, stamping | RTM |
| Assembly | Spot weld | Spot weld | MIG* weld, adhesive bond | Adhesive bond |
| Panel Design | | | | |
| Pieces | 11 | 11 | 11 | 11 |
| Weight | 79kg | 39kg | 53kg | 83kg |
| Steel Content | 100% | 50% | 53% | 83% |
| Fabrication | Stamping | Stamping | Injection mold/ RRIM outers, stamp inners | Compression molding |
| Subassembly | Spot weld | Spot weld | Adhesive bond | Adhesive bond |
| Examples | Ford Taurus, Chevrolet Lumina, Honda Accord | Acura NSX, Ford Synthesis 2010 | Audi-Alcoa project Ford-Reynolds Contour | Consulier, Lotus Elan |

*MIG－metal-inert gas.

개발계획이 진행되고 있는 것으로는 포드의 Taurus을 기초로 한 Synthesis 2000프로젝트[7]이다. 알루미늄 스페이스 후레임은 일체형에 비해 보다 적은 수의 압출품, 주조품 및 스탬핑 부품으로 구성되어 있으며, 결합은 용융용접과 접착제 접합의 결합방법인 용접-접착법(weld bonding)을 채택하고 있다. 이 유형의 유일한 예는 Alcoa-Audi합작[8]에 의해 독일의 Soest공장에서 금년부터 생산되는 Audi80A이다. 복합재료 일체형은 적은 수의 몰딩부품으로 구성되며 접착제로 서로 결합된다. 소량의 생산량을 갖는 복합재료 일체형의 예로서는 Consulier 스포츠카이다. 개발이 진행되는 예로서는 포드사의 Taurus[9]와 GM사의 탄소섬유를 사용한 Ultralight[10]이다.

일반적인 생산, 경제, 수명 사이클의 가정은 표 5에 보인 바와 같다. 부품에 대한 "Technical cost model"의 출력은 가변비용 요소(재료비용, 노동비용 및 에너지 비용)과 고정비용 요소(장비, 치구 및 건물비용, 유지비용, 경상 인건비용, 자본비용)를 포함한다.

위에서 언급한 4종류의 총 제작비용을 그림 6에 나타내었다[5]. 복합재료 일체형은 적은 생산량에서, 알루미늄 스페이스 후레임은 중간 정도 생산량에서, 연강 일체형은 많은 생산량에서 각각 가장 저렴한 비용을 나타내었다. 알루미늄 일체형은

Table 5. Input assumption.

| Parameter | Assumption |
|---|---|
| General Specifications | |
| Annual Production Volume | 200,000 per year |
| Length of Production Run | 4 years |
| Discount Rate | 10.0% per year |
| Exogenous Cost Factors | |
| Building Recovery Life | 20 years |
| Working Capital Period | 3 months |
| Capital Recovery Rate | 10% per year |
| Building Price | $800/m$^2$ |
| Life-Cycle Specifications | |
| Average Vehicle Life | 12.6 years |
| Average Annual Use | 16,690 km |
| Fuel Price | $0.33/l |
| Secondary : Primary Mass Save* | 20.0% of primary |
| Secondary Material Value | $1.00/kg |
| CAFE(Corporate Average Fuel Economy)Penalty | $21.25 per vehicle per km/l |
| Landfill Fee | $25/tonne |

*Secondary : Primary Mass Save is the ratio of secondary mass in engine, power train, brakes, and other components that can be subtracted from the vehicle as a result of primary mass savings. Therfore, a lighter car requires lighter secondary systems. The savings are twofold : a higher fuel economy for steel alternatives and a material cost savings for the automaker. At a minimum, a lighter power train will cost less since less material must be purchased to manufacture it. Possible additional savings in processing costs are assumed to be zero.

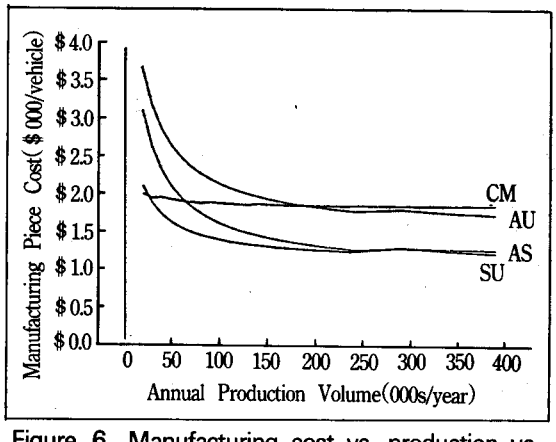



Figure 6. Manufacturing cost vs. production volume for body-in-white structure, panels, and assembly. CM-composite monocoque. Au-aluminum unibody. AS-aluminum spaceframe. SU-steel unibody.

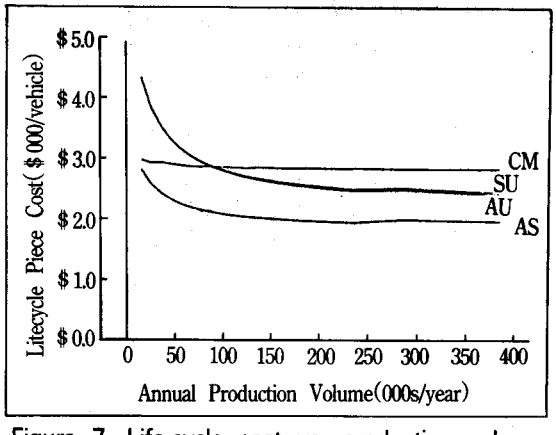



Figure 7. Life-cycle cost vs. production volume for the body-in-white structure, panels, and assembly. CM-composite monocoque. Au-aluminum unibody. AS-aluminum spaceframe. SU-steel unibody.

원재료 가격이 높기 때문에 제조비용이 상대적으로 높다.

그림 7은 수명 사이클 비용을 나타내었는데, 이는 그림 6에서 보인 제조비용에 가동비용 및 후처리 비용을 합산한 결과이다. 가동비용에 주된 것은 연료 소비량으로서 이는 알루미늄 스페이스 후레임의 이점에 의해 최소화시킬 수 있다.

또한 연강 일체형과 알루미늄 일체형간의 비용 차이를 없앨 수 있다. 복합재료 일체형도 연강 일체형에 비해 개선할 수 있으나, 그렇게 크지는 않다.

그림 8에는 년간 200,000대 생산을 기준으로 할 경우 4종류의 차종에 대한 총 수명 사이클의 비용을 항목별 구분하여 제시하였다. 총 수명 사이클 비용은 수명 사이클 비용 ("0" 선 이상)에서 재활용 비용("0" 선 이하)을 차감하면 얻어진다.

연강 일체형의 경우 총 수명 사이클 비용은 절반이 제조비용이고 나머지 절반이 가동비용이다. 연강의 재활용 가치는 제조비용과 가동비용에 비하면 아주 작다. 알루미늄 사용시 재활용 비용은 연강 보다는 크지만, 그래도 상대적으로 적다. 복합재료 일체형은 수명 사이클 비용이 높은데, 이는 부분적으로 많은 생산량을 가정하였기 때문이다.

## 4. 경량재료 사용 경향

차량 경량화의 경향을 살펴보기 위해 표 6에는 일본에서의 지난 20년간 중형 승용차에서 사용되는 재료의 중량 구성비를 나타내었다[11]. 철강의 사용량은 1973년도에 81.1%이었으나, 1992년도에 11%가 감소하여 72.3%가 되었다. 향후 수년내 경량화를 위한 알루미늄과 플라스틱 재료는 철강 사용량을 70%이하로 감소시킬 것이다. 자동차 경량화가 어떻게 진행될 것인가를 결정하기 위해 앞에서 사용한 차체 투영 단위면적당 차체 중량 지표 대신에 차체의 비중(vehicle-specific gravity)이라는 새로운 개념으로 대체할 수 있다.

차체의 비중은 서로 다른 여러 재료로 구성된 차체를 단일 재료로 구성되었다고 가정시에 얻

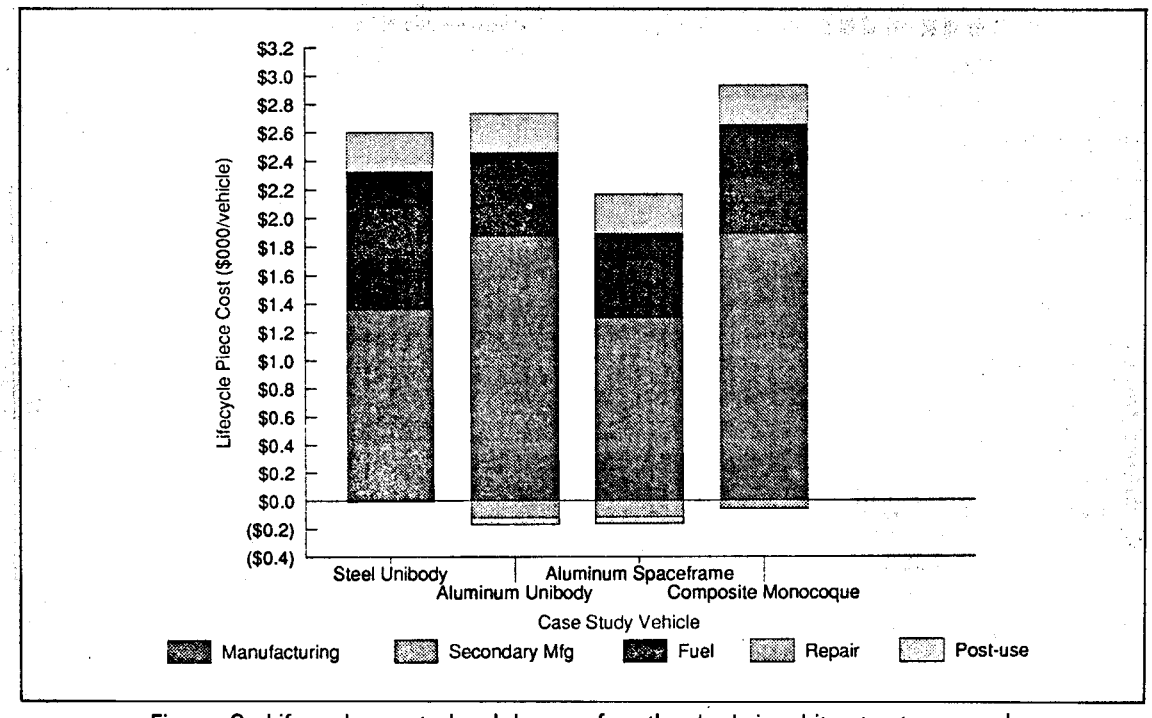



Figure 8. Life-cycle cost breakdowns for the body-in-white structure, panels, and assembly.

Table 6. Trend in the materials composition of midsize and compact Japanese passenger cars(wt.%)

| | 1973 | 1977 | 1980 | 1983 | 1986 | 1989 | 1992 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Pig Iron | 3.2 | 3.2 | 2.8 | 1.7 | 1.7 | 2.1 | |
| General Steel Stock | | | | | | | |
| Rod | 1.2 | 1.0 | 1.0 | 0.9 | 0.9 | 0.8 | 0.8 |
| Hot-Rolled Sheet | 6.9 | 7.1 | 6.9 | 7.6 | 7.1 | 6.3 | 8.5 |
| Hot-Rolled Light Plate | 7.5 | 7.2 | 5.9 | 5.7 | 4.7 | 4.8 | 3.6 |
| Hot-Rolled Heavy Plate | 0.2 | 0.5 | 0.8 | 0.6 | 0.4 | 0.4 | 0.3 |
| Cold-Rolled Sheet | 38.9 | 37.9 | 33.8 | 29.4 | 26.0 | 22.5 | 15.0 |
| High-Tensile-Strength Sheet | – | 0.5 | 1.4 | 4.1 | 7.3 | 6.4 | 3.9 |
| Zinc-Plated Sheet | 1.6 | 3.8 | 5.7 | 5.5 | 5.4 | 10.0 | 14.8 |
| Other Surface-Treated Sheet | 1.6 | 0.6 | 1.5 | 2.3 | 2.8 | 2.9 | 5.4 |
| Tube | 2.3 | 2.2 | 2.3 | 2.3 | 2.7 | 2.4 | 2.0 |
| Other General | 1.8 | 0.8 | 1.2 | 1.1 | 0.4 | 0.4 | 0.6 |
| Total | 60.4 | 61.6 | 60.5 | 59.5 | 57.7 | 56.9 | 54.9 |
| Special Steel Stock | | | | | | | |
| Carbon | 7.9 | 6.8 | 6.1 | 6.0 | 6.1 | 6.0 | 5.8 |
| Alloy | 5.6 | 4.6 | 3.8 | 3.6 | 3.4 | 3.5 | 3.7 |
| Free Cutting | – | 0.7 | 1.0 | 1.0 | 1.4 | 1.9 | 2.1 |
| Stainless and Heat Resistant | 0.4 | 0.9 | 0.9 | 0.9 | 1.0 | 1.0 | 1.4 |
| Spring | 2.2 | 2.0 | 1.5 | 1.5 | 1.5 | 1.4 | 1.3 |
| Bearing | – | 0.9 | 0.9 | 0.9 | 0.9 | 0.7 | 0.6 |
| Other Bearing | 1.4 | 0.2 | 0.5 | 0.4 | 0.7 | 0.6 | 0.4 |
| Total | 17.5 | 16.1 | 14.7 | 14.3 | 15.0 | 15.1 | 15.3 |
| Nonferrous Metals | | | | | | | |
| Electric Copper | 1.0 | 0.9 | 0.8 | 0.9 | 1.0 | 1.3 | 1.0 |
| Lead Ingot | 0.6 | 0.6 | 0.8 | 0.6 | 0.6 | 0.6 | 0.5 |
| Zinc Ingot | 0.5 | 0.5 | 0.3 | 0.4 | 0.4 | 0.4 | 0.3 |
| Aluminum Ingot | 2.8 | 2.6 | 3.3 | 3.5 | 3.9 | 4.9 | 6.0 |
| Ohter Nonferrous | 0.1 | 0.1 | 0.4 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 |
| Total | 5.0 | 4.7 | 5.6 | 5.6 | 6.1 | 7.4 | 8.0 |
| Resins | | | | | | | |
| Phenol | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.2 | 0.1 | 0.1 | 0.1 |
| Polyurethane | 0.5 | 0.5 | 0.8 | 0.9 | 1.2 | 1.0 | 1.1 |
| Polyvinyl Chloride | 0.9 | 1.1 | 1.4 | 1.7 | 1.7 | 1.6 | 1.1 |
| Polyethylene | 0.2 | 0.2 | 0.3 | 0.4 | 0.5 | 0.4 | 0.3 |
| Polyethylene | 0.5 | 0.5 | 0.9 | 1.2 | 2.0 | 2.4 | 2.5 |
| Acrylonitrile-Butadiene-Styrene | 0.4 | 0.7 | 0.5 | 0.5 | 0.7 | 0.8 | 0.7 |
| Other Synthetic Resins | 0.3 | 0.4 | 0.7 | 0.6 | 0.4 | 0.3 | 0.4 |
| Total general Resin | 2.9 | 3.5 | 4.7 | 5.5 | 6.6 | 6.6 | 6.2 |
| Total of High-Performance Resin | – | – | – | 0.2 | 0.7 | 0.9 | 1.1 |
| Total | 2.9 | 3.5 | 4.7 | 5.7 | 7.3 | 7.5 | 7.3 |
| Other Materials | | | | | | | |
| Paint | 2.1 | 1.6 | 1.8 | 1.7 | 1.7 | 1.4 | 1.5 |
| Rubber | 4.8 | 4.3 | 3.7 | 3.5 | 3.0 | 2.7 | 3.1 |
| Glass | 2.8 | 2.7 | 3.1 | 3.2 | 3.3 | 3.0 | 2.8 |
| Fiber | – | 0.7 | 1.2 | 1.3 | 1.4 | 1.2 | 1.2 |
| Wood | – | – | 0.2 | 0.3 | 0.5 | 0.4 | 0.4 |
| Others | 1.3 | 1.6 | 1.7 | 2.7 | 2.3 | 2.7 | 3.4 |
| Total | 13.9 | 14.4 | 16.4 | 18.4 | 19.5 | 18.9 | 19.7 |

어지는 값으로 아래의 수식으로 표시할 수 있다.

$$\rho_v = 1/\{\sum_{i=1}^{n}(\rho_i/\rho_i)\}$$

$\rho_i$ : 차체내 i 구성 재료의 질량분률
$\rho_i$ : 차체내 i 구성 재료의 비중

그림 9에 보인 바와 같이 1973년도에서 $\rho_v$가 약 4.7이였으나, 그 후 2번에 걸친 오일 쇼크로 차체 경량화는 꾸준히 진행되어 1980년도에는 $\rho_v$가 4.3이었다. $\rho_v$의 감소 추세는 1986년도까지 가속화되어 약 3.9까지 되었는데, 이는 1973년도에 비해 약 17% 낮아졌다. 1992년도 까지는 감소 추세가 둔화되어 약 3.8로 감소되었는데, 이러한 감소는 알루미늄 재료가 없이는 달성하기가 곤란하다.

그림 10[12, 13]은 1992년도 중형 승용차, 혼다 NSX, 도요타 AXV-IV(차체 경량화를 위한 1991년도 concept car), 닛산 Sun Favor(1992년도 1인승 태양열차)를 구성하는 재료들을 보여주고 있다. 여기서 보면 1992년도 중형 승용차와 NSX는 철강재가 주이고, AXV-IV concept car는 대부분의 재료가 알루미늄(39%) 이다. Sun Favor는 50%의 탄소섬유강화 및 아라미드 섬유강화 플라스틱으로 구성되어 있다. AXV-IV와 Sun Favor는 1992년도 중형 승용차보다 훨씬 가볍지만, 기술, 제조비용, 재활용 기술 등 아직 해결해야 할 사항들이 많은 차종으로 자동차 경량화를 위한 미래의 방향 설정에 도움을 준다.

따라서 알루미늄은 향후 자동차 경량화에 가장 적합한 재료임을 알 수 있는데, 일본의 중형 승용차에서 사용되는 알루미늄 합금의 사용량 변화 추세를 그림 11에 나타내었는데, 여기서 보면 1992년도에는 6%의 알루미늄이 중형 승용차에 사용되었음을 알 수 있다.

그림 12에는 2000년도에 자동차 1대당 예상 사용 알루미늄 합금의 수요량에 대하여 4종류의 추정 자료를 제시하였다[14]. 추정 수요량은 최근 경향을 단순히 연장하여 얻은 추세선 곡선에 의하여 1대당 250파운드의 최소량에서부터 유명한 경제학자인 Stewart Spector[13]의 보고서에서 추정한 1대당 600파운드의 최고량까지 광범위하다. 사용량 증가의 대부분은 1995년 이후에 이루어질 것으로 추정

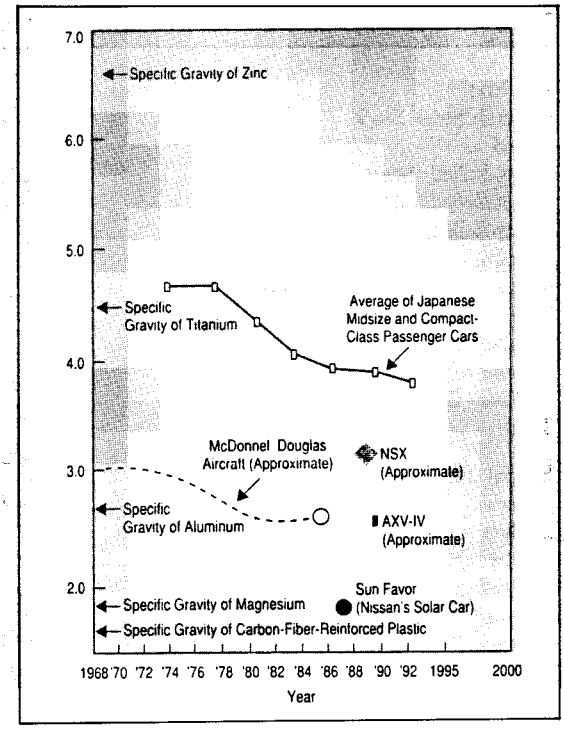



Figure 9. Changes in specific gravity of domestic passenger cars over time and in relation to other vehicles and materials.

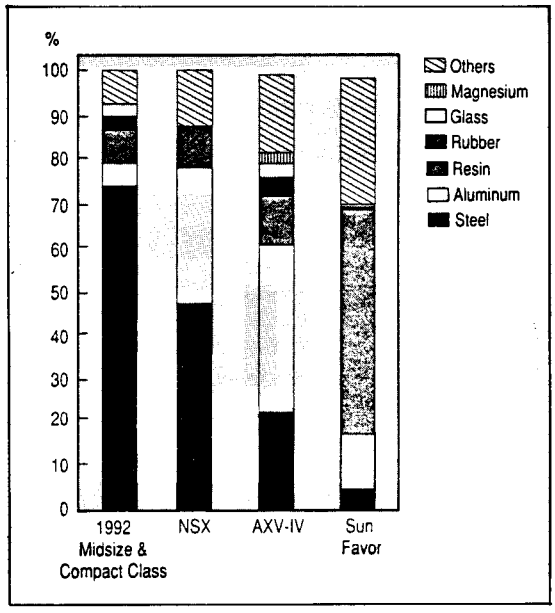



Figure 10. The composition of selected steel-, aluminum-, and plastics-intensive vehicles.

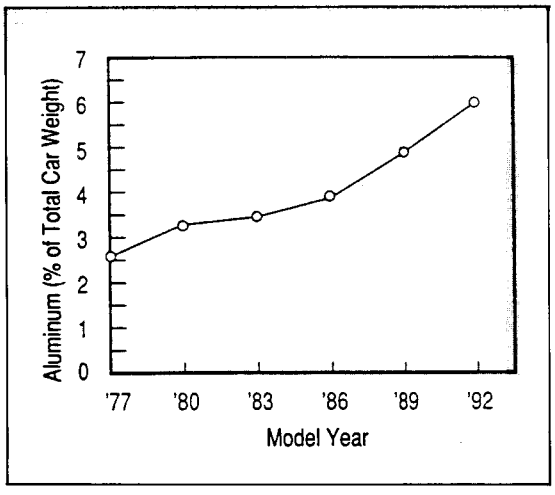



Figure 11. The growth of aluminum usage in Japanese compact and midsize automobiles.

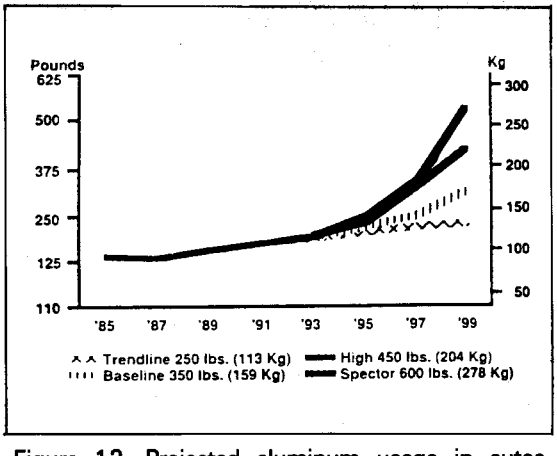



Figure 12. Projected aluminum usage in autos per car.

되었다.

그림 13은 2000년도에 알루미늄 합금의 주조품과 단조품의 상대적인 사용량을 그림 10에서 보인 4종류의 추정자료에 근거하여 도시하였다[14]. 여기서 보면 가장 큰 절대적 증가는 주조품이지만 가장 큰 상대적 증가는 단조품이다. 이는 저렴한 주조품의 사용은 포화상태에 도달하였고, 구조용 부재적용을 위해서는 보다 많은 개발과 시험이 요구된다.

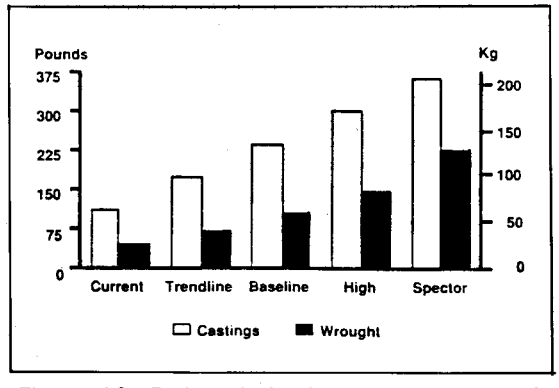



Figure 13. Projected aluminum usage per car in year 2000.

## 5. 알루미늄 합금 판재 제조 기술

자동차의 경량화 대책으로 알루미늄 합금판의 사용 확대를 도모하기 위해서는 그림 14에 보인 바와 같이 자동차 업체의 설계부문(구조기술) 및 성형 가공부문(공법기술)과 재료업체의 재료기술 부문이 공동으로 개발을 진행해 갈 필요가 있다. 이 경우 해결해야 할 과제를 정리하면 표 7과 같다. 재료개발에 있어서는 외판의 경우 박육화, 내덴트성, 강도특성의 면에서 저온에서 도장소부 고경화성이 얻어지는 6000계 합금의 개발등이 요청되어진다. 재료특성의 개량만에 의한 성형성 향상에는 한계가 있기 때문에 성형 가공기술의 개발에 의한 성형성 향상 대책이 중요하게 될

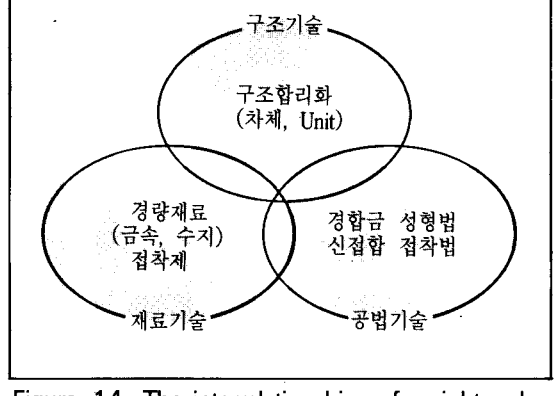



Figure 14. The interrelationships of weight reduction technologies for automobiles.

Table 7. Future projects for lightweighting of automobiles.

| 항 목 | 과 제 |
|---|---|
| 재료개발 | *고연성 재료의 개발 (5000계)<br>*저온 고 BH성재의 개발 (6000계) |
| 성형가공기술의 개발 (성형성, 형상성) | *알루미늄에 적합한 금형 설계<br>*윤활제의 연구<br>*최적 성형 조건의 연구 |
| 표면처리 기술의 개발 | *강판과 알루미늄 합금판의 동시 화성처리 기술<br>*알루미늄 합금판의 내사청성 향상대책 |
| 접합 기술 | *저항 점용접의 연속 타점성 향상<br>*기계적 접합 기술<br>*강판과 알루미늄 합금판의 접합 (전식 대책 포함) |
| 기타 | *양산 대응 기술 (수송, 키즈 방지)<br>*보수 기술 |

것으로 생각된다. 또한 알루미늄 합금판의 사용 비율이 증가하게 되면, 기존 강판의 프레스 성형 라인이나 화성처리, 도장라인의 사용이 전제로 되기 때문에 이러한 면에서의 양산 대응 기술도 중요하게 된다.

자동차 차체용 알루미늄 합금으로 지금까지 여러 합금이 개발되었는데, 이들 합금을 대별하여 Mg을 주성분으로 하는 Al-Mg계의 비열처리형 합금(5182, X5085)과 Cu, Mg, Si등을 주성분으로 한 Al-Cu계 및 Al-Mg-Si계의 열처리형 합금(A-U2G, 2002, 2036, X2037, 6009, 6010, 6151)으로 분류되는데, 2036-T4[16], 2117-T4, 5182-O[16], 5009-T4[17], 6010-T4[17]등이 사용 실적이 가장 많다고 보고 되고있다.

이러한 합금의 개발과정을 그림 15에 개략적으로 나타내었는데, 차체 박판용 합금으로 본격적으로 개발된 것은 Reynold사에 의한 2036-T4와 5182-O이다. 2036-T4는 5182-O보다 강도는 높지만 성형성은 낮다. 5182-O는 프레스 성형시에 Al-Mg계 합금 소둔판에 특유한 스트래쳐 스트레인 마크(stretcher strain mark, S. S. 마크)가 생기기 때문에, 이것이 발생하지 않고 또한 강도도 높은 2036-T4를 외부 판넬에, 5182-O는 내부 판넬에 채용되었다. 그후 5182합금의 제조법 개량에 의해 S. S. 마크의 발생을 방지한 5182-O는 내부 판넬에 채용되었다.

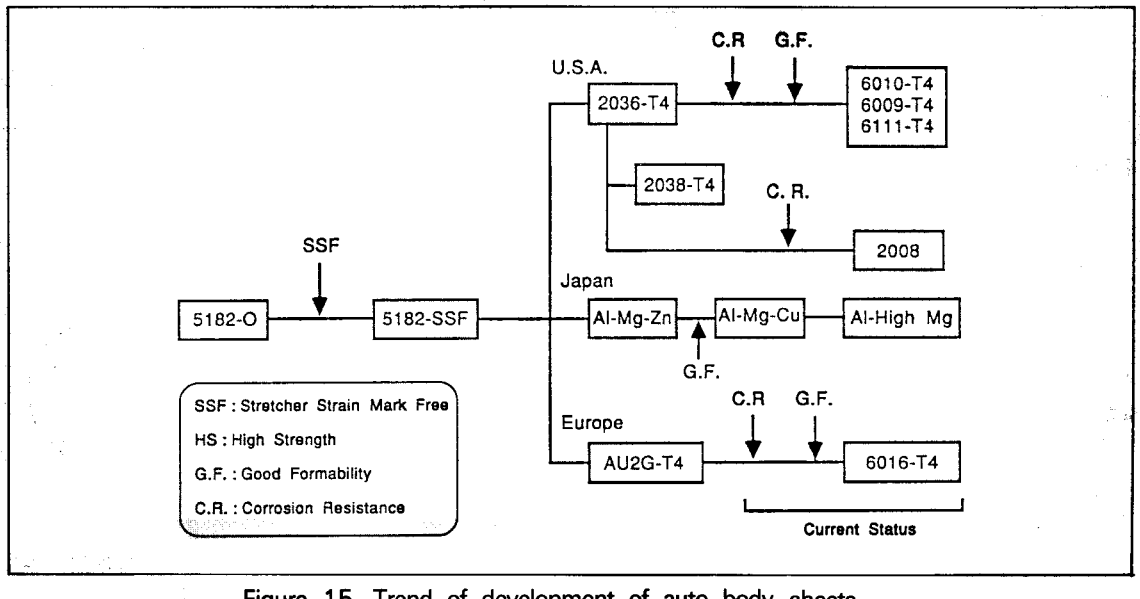



Figure 15. Trend of development of auto body sheets.

그후 5182합금의 제조법 개량에 의해 S. S. 마크의 발생을 방지한 5182-SSF가 개발되어[18], 외부 판넬에 사용한 실적이 있다. 2036합금이나 5182합금은 프레스 성형후 도장 소부처리에 의해 강도가 약간 저하하는 문제가 있다. 이 때문에 도장 소부처리시 가열을 적극적으로 이용하여 시효경화시켜 강도의 향상을 도모하는 합금이 개발되었다. Al-Cu계 합금에는 Pechiney사에 의한 2002[19] 합금이나 Reynold사에 의한 2038합금[20]이 그 대표적 예로써, 그 어느쪽도 Al-Cu-Mg계 합금에 Si이 첨가되어 있다. 이에 반해 Alcoa사에서는 도장 소부처리에 의해 강도가 현저히 향상되는 Al-Mg-Si계 합금 6009 및 6010을 개발하였다[17]. 이들 합금은 2036합금이나 5182합금보다 강도나 성형성이 우수한데, 외부 판넬에는 2036합금 대신 6010합금을 내부 판넬에는 6009합금을 추천하고 있다. 이들 고강도 합금 사용에 의해 차체 판넬의 판두께 감소가 가능할 뿐만 아니라 외부 및 내부 판넬 모두 동일한 Al-Mg-Si계 합금이므로 스크랩 가격이 높고, 알루미늄 합금 채용에 의한 경제성을 높이는 것이 가능하게 되었다. Alcan 사에서는 6009, 6010계 합금의 제특성에 미치는 첨가원소(Cu, Mg, Fe, Si)의 영향을 검토하여 6111합금을 개발하였다[21]. 이 합금은 6010 합금에 가까운 강도와 우수한 성형성, 특히 굽힘성을 갖고 있다. Alusuisse사에서도 Al-Mg-Si계 차체 박판용 합금 AC120을 개발하였다[22]. 이 합금에 의해 시험 제작된 스포츠카의 차체 중량은 전 강제 차체의 경우, 303kg인데 비해 161kg으로서 47%의 중량 경감이 가능하다고 보고되었다[23]. 또한 Alcoa사에서는 최근 CW51로 칭하는 신합금을 개발하였는데[24] 이 합금은 6009 합금보다도 연신율이 높고 성형성이 우수하다.

최근 자동차 제조업체에서는 내식성의 면에서 2000계의 사용은 생각하지 않는다. 따라서 알루미늄 압연업체의 차체용 판재 개발은 5000계와 6000계에 국한하여 이루어지고 있다. 5000계에 대해서는 성분계의 선택과 제조조건의 최적 조합에 의해 성형성(연성)의 향상과 SSF(stretcher strain free)에 개발의 주안점을 두고 있다. 6000계에 대해서도 성분계와 제조조건의 조합에 의해 성형성과 도장소부 경화성의 향상을 도모하기 위해 연구가 진행되고 있다. 그림 16과 그림 17에는 5000계 및 6000계 합금의 제조공정간 야금학적 특성을 각각 나타내었다.

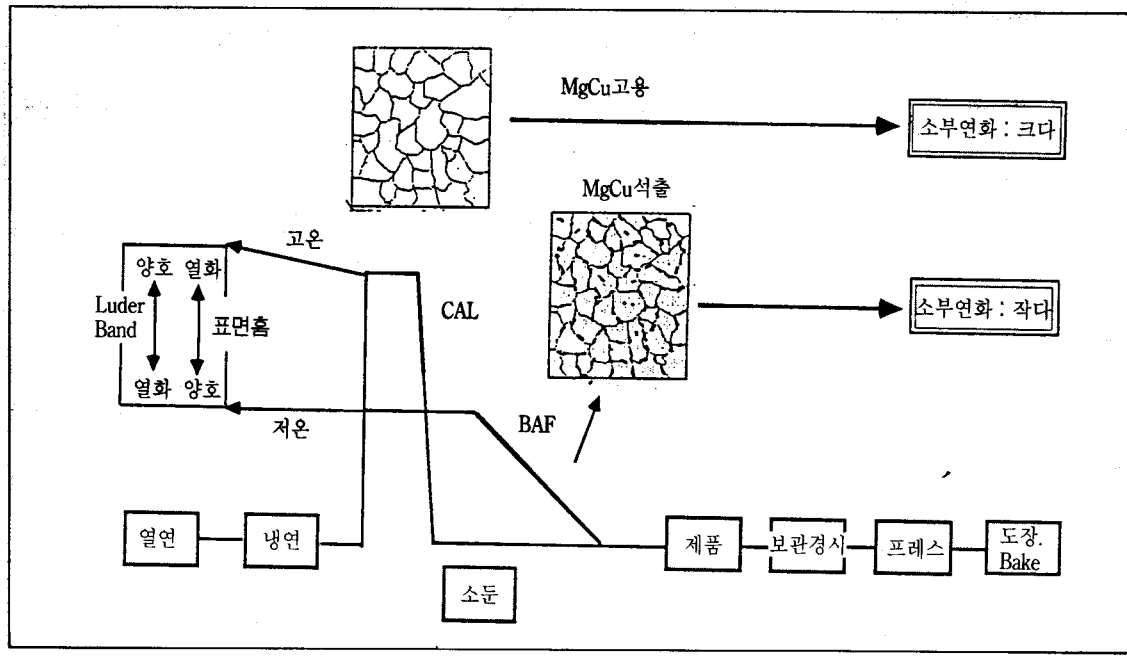



Figure 16. Manufacturing process of 5000 series aluminum alloy sheets.

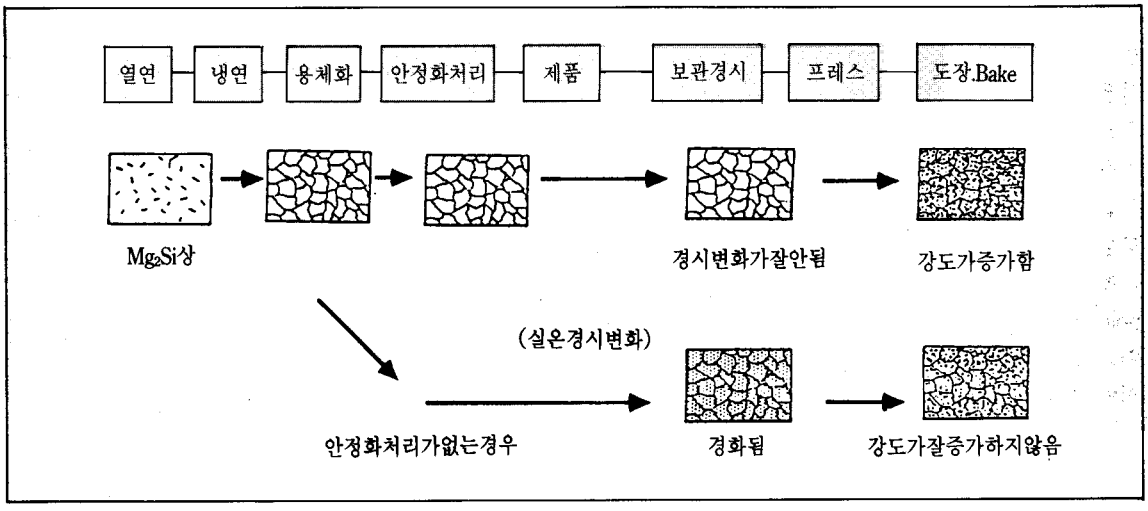



Figure 17. Manufacturing process of 6000 series aluminum alloy sheets.

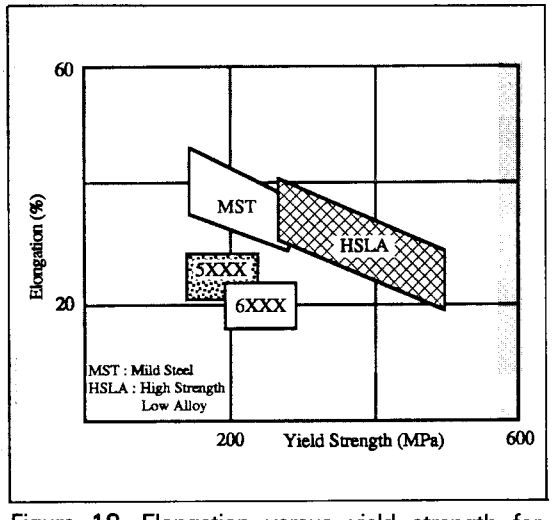



Figure 18. Elongation versus yield strength for body sheet metal.

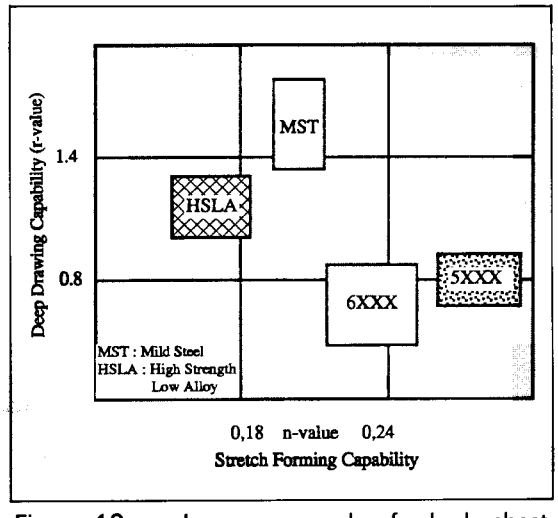



Figure 19. r-value versus n-value for body sheet metal.

5000계 및 6000계 알루미늄 합금의 성형성을 연강과 HSLA강과 비교한 것을 그림 18과 그림 19에 각각 나타내었다[25]. 5000계 알루미늄 합금의 총연신율은 차체 경량화에 있어 알루미늄 합금과 경쟁 소재인 HSLA강의 총연신율과 비슷한 값을 보였다. 알루미늄 합금은 강에 비해 장출성형(stretch forming)에는 이점을 가지고 있으나, r값이 낮아서 deep drawing 성형성은 낮다.

자동차의 내외 판재로 사용되는 경우는 비중 차이에 의한 효과가 커서 강판보다 약 50% 이상의 경량화가 가능하여 그림 20에서와 같이 hood, fender, trunk lid, door, roof 등 중량 점유율이 큰 판넬에 주로 적용되고 있고, 점차 그 적용 범위가 확대될 전망이다[26].

현재 차체부품의 알루미늄화 상황을 표 8에 나타내었다. 대부분의 주요 각국에서 알루미늄 차체 부품이 채용되고 있고, 채용 차종은 고급차 중심으로 알루미늄화 부위는 hood이지만 일부 fender, trunk lid, door, wheel 주변 부품도 있다. 사용 합금판도 5000계(Al-Mg)와 6000계(Al-Mg-Si)가 대

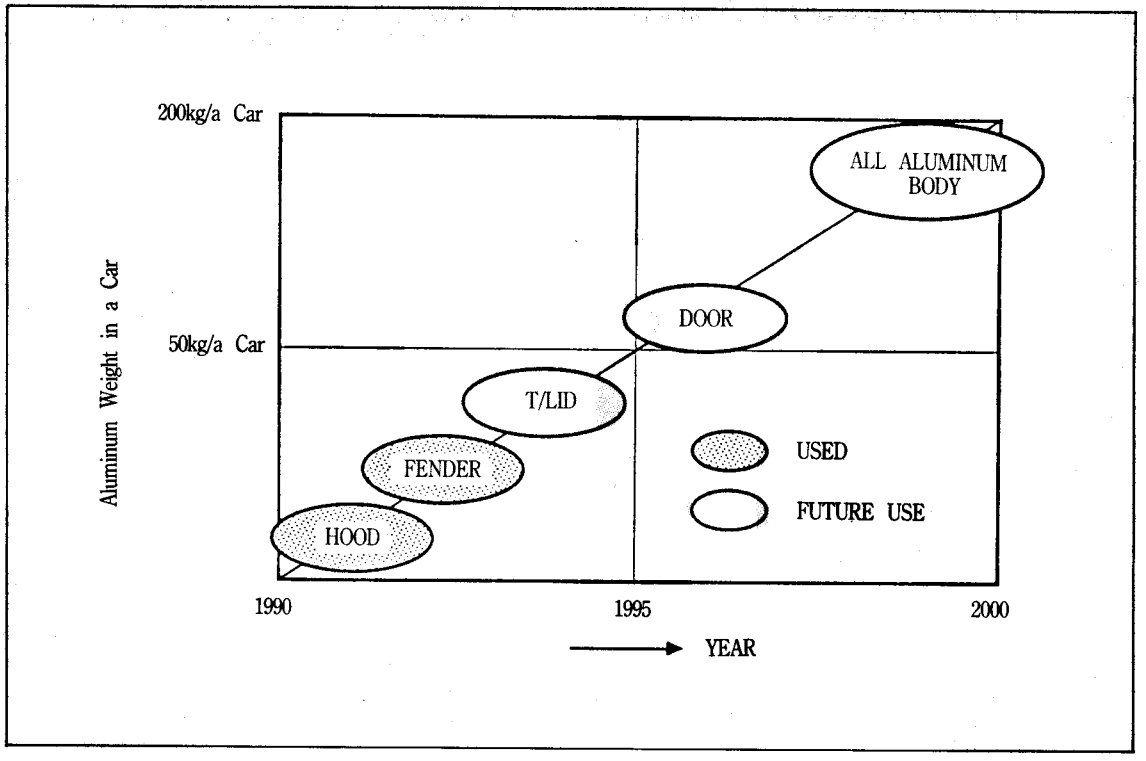



Figure 20. Priority of aluminum application to body panel.

Table 8. Trend of aluminum usage for automobile parts.
('89 chicago moter show)

| 국명 | 제조 회사 | 차 종 | 부 품 | 사용 재료 |
|---|---|---|---|---|
| 서독 | Porsche | 928 | Hood, Fender, Door | AC120(6016), Al-Mg-Mn계 |
| | Benz | 420SEC | Hood, T/Lid | Al-Mg-Mn계 |
| 이태리 | Ferrari | 테스터로사 | Hood, Rear Fender | AC120, 5000계 |
| | 람보기니 | 카운다크 | 외판 | 5000계, 6000계 |
| 영국 | AC Cobra | Cobra | 프론트 외판 | 5000계 |
| | Land Rover | 렌드로버 | 전후-Fender | 5000계 |
| 스웨덴 | Volvo | 760 GLE | Hood, Sun roof | 5000계, 6000계 |
| | | 740 GTE | Hood | 5000계, 6000계 |
| | | 440 | 뒷문 | 5000계, 6000계 |
| 미국 | GM | Cadillac | Hood, Roof, T/Lid | AC120, 5000계 |
| | Ford | 링컨 | Hood | 2000계 |
| 일본 | Mazda | 사반나 RX7 | Hood | 5000계(6000계) |
| | Nissan | Fair lady Z | Hood | 5000계 |
| | | Sky Line | Hood, Front Fender | 5000계 |
| | Hooda | NSX | 외판 전부 | 5000계, 6000계 |

부분을 차지하고 일부 2000계(Al-Cu)도 사용된다.

## 6. 성형기술

성형공정은 매우 복잡한 공정이며, 수많은 변수와 관련되어 있다. 성형공정중 주된 변수는 판재의 특성, 성형변수의 선정, 표면조건의 제어(공구와 판재의 표면형상과 윤활재등)등이며, 이런 변수들이 상호작용한다. 알루미늄 합금의 사용이 제한되는 이유는 그 성형성이 나쁘기 때문이다. 이런 성형성은 위에 언급한 모든 변수에 영향을 받는다. 차체 각 부분은 각각 특별한 성형성을 요구한다. 성형성은 deep drawing, pure stretching, bending등 주로 이 3가지의 기본적인 성형조작으로 이루어 진다. 실제 성형과정에서는 이들 성형요소가 동시에 존재하게 되지만 각 성형부위에 따라 그 정도가 다르다. 각 성형요소들은 각각의 성질에 적합한 미세조직과 재료성질을 요구하지만 이들이 꼭 일치하지는 않기 때문에 미세조직의 선정시 일반적으로 절충이 요구된다. 그러나 알루미늄의 미세조직이 성형성에 미치는 영향에 대해서는 잘 알려져 있지 않다. 또한 성형성은 재료의 성질이라기 보다는 변형과정에 부과되는 소성유동의 조건에 크게 영향을 받는다. 재료의 미세조직에 좌우되는 강도와 대조적으로 성형성은 평균미세조직 뿐만 아니라 부대변수에 영향을 받는다. 따라서, 판재조직의 불균일성 즉, 판재표면, 결정입계, 큰 금속간화합물 입자, 특정크기 또는 방향을 갖는 결정립들의 함량등이 성형성에 결정적인 영향을 미친다.

자동차 차체판넬 성형시 차체 성형 다이의 형상에 따라 판재의 성형 성공여부가 결정된다. 알루미늄 합금이 강재보다 이방성 지수값이 낮기 때문에 deep drawing성이 떨어지게 되어, 일반 강판용 다이에서 성형시 wrinkle이나 fracture가 발생하기 쉽다. 또한 Young's modulus가 강의 약 1/3정도(~70000MPa)이므로 spring back현상이 커서 형상동결성이 나쁘다[27]. 이는 강판용 차체 다이로 알루미늄 차체를 성형하기는 어려우며, 새로운 다이의 설계가 필요하다는 것을 의미한다.

성형변수에 따른 성형성의 변화에 대한 연구는 많지 않다. strain hardening과 strain rate hardening (n값 및 m값)의 견지에서, 실온은 대부분의 알루미늄 합금의 성형온도로 적합하지 않다. 가공경화율을 얻기위해서는 너무 높고 양의 m값을 얻기위해서는 너무 낮다. strain rate 강화가 necking저항으로 가공경화로 변화하기 때문에 온간 또는 열간 판재성형이 알루미늄 합금의 성형성을 증가시킨다[18]. 비열처리형 Al-Mg합금에서 적절한 성형온도는 250℃~350℃사이이다. 그러므로 이 합금계의 강화는 가공경화에 의한 것이므로 적절한 성형성을 얻기 위해 온간 성형온도가 최소 온도로 유지되어야 한다.

성형성에 영향을 주는 요소중 판넬의 표면형상도 큰 비중을 차지한다. 적절한 배향된 판넬표면이 성형거동을 상당히 개선시킨다[29]. 그러나 이런 판재표면의 형상은 자동차 판넬로서 요구되는 다른 여러조건들을 고려해야 한다. 즉, 윤활재 제거처리를 피하기 위한 최소의 윤활제 사용, 도장성등을 고려해야 한다. 가공 roll표면의 적당한 예비처리를 하는 여러 방법들이 고안되었다. 즉, Isomill, Laser texturing, Electro Discharging Texturing(EDT), Shot peening등이 있다(그림 21). 그러나 이러한 표면처리가 성형성, 도장성 및 윤활성등에 가장 좋은 방법이라는 것은 아직 명백치 않으나, 이러한 개발노력이 최적의 성형조건을 찾아 내는 데 많은 도움이 될 것이다. 알루미늄 판재로 자동차의 각 부위를 성형할 경우 많은 문제점들이 발생한다. 앞서 말한 deep drawing성과 형상동결성이 낮음으로서 생기는 fracture, wrinkle과 큰 spring back현상은 다이나 각 부위의 재설계로써 방지 가능하다[27]. 또한 알루미늄 합금판넬의 경우 180° bending이 불가능하다. 이는 roped hem이나 새로운 재료를 개발하여 해결해야 한다. 알루미늄은 연한 재료이기 때문에 scratch가 생기기 쉽고 떨어져 나온 잔여물이 다이와 판재 사이에 결함(pimple)을 발생시키거나 다이를 마모시키기 쉽다. 이는 다이재료의 개선이나 laser texture와 같은 표면조건의 변화를 통해 개선될 수 있다. 판재표면이 이 물질에 의해 더렵혀졌을 시에는 성형된 표면에 결함(pimple)이 생긴다. 이를 방지하기 위해서 성형 이전에 판재자체가

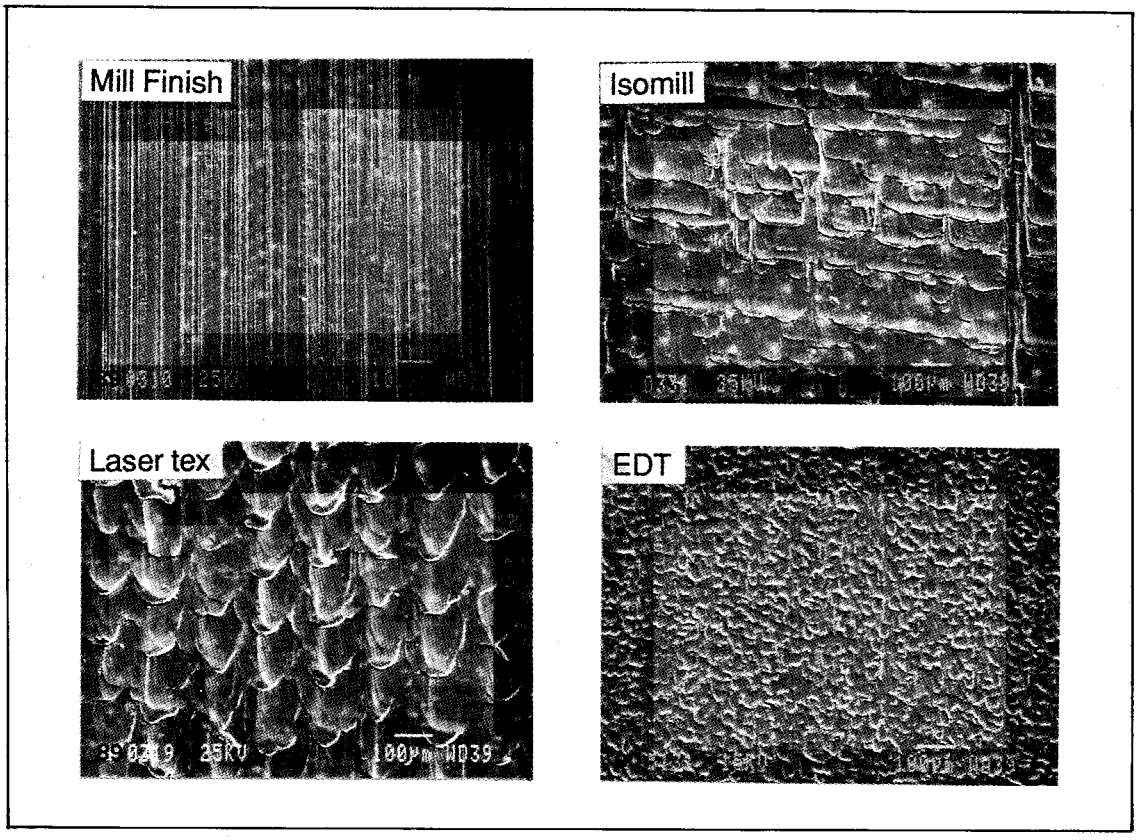



Figure 21. Various surface morphorlogy of aluminum alloy sheet by rolling roll surface preparation.

Table 9. Problems during forming of aluminum parts.

| Properties | problems | cause | countermeasure |
|---|---|---|---|
| deep drawing capability | fracture, wrinkles | smallr(small local elongation) | new die design(draw beads, draw depth, draw angle, die shoulder radius |
| shape fixability | large spring back | low young's modulus (~70000MPa) | new die design new parts design |
| Bendability | impossible to achieve bending of 180° | poor bendability | new die design(Roped hem) new materials |
| Die galling | likely to have scratches arise, pimple | soft material | improvement of die material surface treatment (laser taxture) |
| Cleanliness of surface | pimple | various contamination on the sheet | thorougly clean surface |

깨끗하도록 주의가 요해진다. 이런 문제점들을 간략히 표 9에 요약하였다.

## 7. 접합기술

차체의 다양한 제조공정중 접합기술은 매우 중요하다. 사용되는 접합기술의 생산성과 품질은 판재합금에 따라 달라진다. 그러므로 접합거동에 미치는 재료의 조성과 판재 표면형상의 영향을 상세히 고려해야 한다. Hem-flanging과 점용접은 외부와 내부자체 접합에 가장 보편적인 방법이다. 작은 반경(판재두께의 1.5배)으로의 Hem-flanging은 몇가지 적당한 알루미늄 차체합금에 대해 가능하다. 경험적으로 알루미늄 차체판넬의 Hem-flanging시 파괴는 앞의 경우보다 더 작은 반경의 bending으로 인한 것이다. 저항 점용접 또한 알루미늄 합금판의 주된 접합방법이지만 강에 사용되는 표준조건과 비교하여 용접변수(즉, 용접전류, 용접시간, 용접압력 등)의 수정 뿐만 아니라 용접기구의 변화도 필요하다. 최적의 용접변수를 선정했을 경우에도 특히 Mg함량이 높은 알루미늄합금판재의 경우에 용접성을 향상시키기 위해 판재표면에 대한 특별한 주의가 필요하다[30]. 현재 알루미늄의 점용접에 대하여 주로 두가지 면이 고려되고 있다. 이는 알루미늄이 전극에 융착함으로 인한 전극의 수명단축과 용접수의 증가로 인한 경도의 결여이다. 이런 문제점들은 알루미늄 업계에 의해 심각히 고려되어져야 하고 해결책을 용접기구의 사용자와 공급자 공동으로 찾아야 한다. 최근에는 접착제 접합과 기계적 접합(Clinching)에 관심이 집중되고 있다. 최근 접착제접합이 자동차 차체판넬 접합용으로 개발되었다[30]. 접착제접합은 접합시스템 뿐만 아니라 판재표면의 산화층과 표면오염 정도에 크게 영향을 받는다. 접착되는 표면은 특정 접합에 요구되는 수준이상으로 세척하여야 한다. 최근의 개발노력은 최적의 표면 전처리 조건의 결정 뿐만 아니라 적절한 접합체계의 확립에 집중되고 있다. 다음의 표 10과 그림 22는 각 용도별 접착제의 종류와 접합부위의 예를 나타내고 있다. 기계적 접합법중의 하나인 Clinching은 보이지 않는 부분에 주로 사용된다. 정적하중에서 Clinching연결부의 강도는 점용접

Table 10. Types of adhesive bonds for automobile application.

| 접착제 타 입 | 접착제의 주 성 분 | 적용부위, 부품예 | 적용재료 |
|---|---|---|---|
| 구조용 접착제 | 에폭시계 | spot용접한 flange부 | 강판 + 강판 |
| | | hemming부위 | 강판 + 강판 |
| | 에폭시계(2액형) | hood, roof 등 | SMC + SMC |
| | 우레탄계(2액형) | rear spolier | SMC + 전착강판 |
| 준구조용 접착제 | PVC + 고무계 | hood, roof, trunk lid | 강판 + 강판 |
| | 우레탄계 | 창문과 차체 | 유리 + 도장강판 |
| | PVC 계 우레탄계 | 헤드라이트 램프 | 유리 + 도금 |
| 비구조용 접착제 | 클로로필렌계 | weather strip | 고무 + 도장강판 |
| | | 클러치부분 | ABS수지 + 우레탄 |
| | 아크릴계 | 수지부품 | ABS수지 + SUS |
| | | 직모부품 | 우레탄천 + ABS수지 |
| | 우레탄계 | 트렁크드림 | PVC + 도장강판 |
| | | side protect 몰 | PVC + 도장강판 |
| | 스틸렌고무계 | seat | 직물 + 안감 |
| | | seat쿠션 | 직물 + 우레탄 |

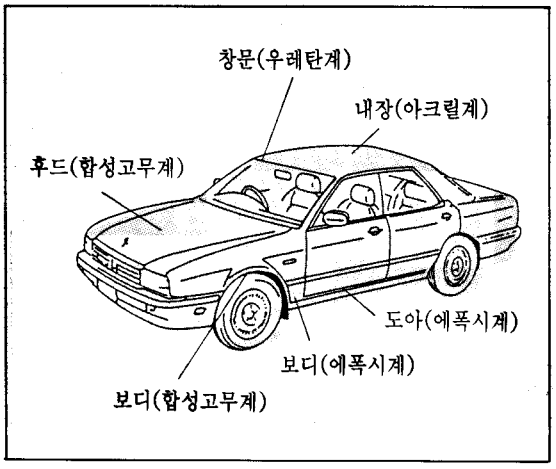



Figure 22. Examples of adhesive bonding part in automobile.

강도의 50~80%정도이다. 또한 접착제 접합과 Clinching접합의 조합이 Rivet접합 정도의 강도를 갖는다. 그러나 자동차 제조에서 Clinching기술을 응용하는 잇점은 낮은 투자비용, 오랜 공구수명, 접합시간이 짧은 것에서 기인하는 경제적 측면이다.

## 8. 표면처리기술

표면처리의 목적은 완제품 차체의 고급스런 표면형상 뿐만 아니라 차체의 내식성 부여이다. 내식성은 재료의 고유성질이라기 보다는 외형적 손상 또는 특정요소의 기능을 저하시킴이 없이, 어느 범위의 부식매질에 견딜 수 있는 능력이다. 자동차의 경우에 부식작용이 매우 현저하고 각양각색이다. 그러므로, 도장된 차체의 내식성을 나타내는 한가지 시험방법으로 통일하는 것은 불가능하지만 몇가지 특정 시험법이 재료 선정의 기준이 되기 위해 정의 되어져야 한다. 알루미늄 합금의 내식성은 안정된 산화층의 자발적인 형성에 기인한다. 외부조건을 제외하면 알루미늄의 내식성은 합금조성과 제조 절차에 의해 결정되는 미세조직에 따라 다르다. 실제적으로 자동차는 조립과 후처리를 거친 후, 각 요소에 대한 부식거동을 고려해야 한다. 도장된 차체에 대한 내식성은 판재와 도료간의 밀착성에 비례한다. 이것은 도장층하에서 filiform corrosion의 형성을 효과적으로 방지하는 conversion coating에 의해 보장된다. 일반적으로 차체는 알루미늄과 강이 혼합되어 있으므로 이 경우 가장 효과적인 conversion coating은 판재에 치밀한 결정질 conversion층을 형성하는 인산염계이다. 알루미늄만의 표면처리 방법으로는 크롬산 크로메이트처리가 가장 효과적이지만 강판 및 알루미늄판을 동시에 처리하여야 하기 때문에 기존의 강판용 인산아연 처리액에 F를 첨가하여 알루미늄을 에칭시켜 인산아연 피막의 형성을 쉽게 한다. 차체의 표면처리 과정을 그림 23에 나타내었다. 금속의 종류에 따라 인산아연 피막의 생성상태는 다르며, 피막중량, 부착상태에 차이가 생긴다. 그림 24에 그 예를 나타내었다. 또한 피막의 부착성과 그 생성밀도는 전처리의 영향이 크며, 이는 압연 및 성형과정등에 의한 표면조도, 판재표면에 부착된 압연유, 윤활제 같은 잔여물에 따라 달라진다. 그러므로 표면 전처리 과정이 매우 중요하며 탈지-알칼리에칭-desmut처리-표면조정등의 과정을 거치게 된다. 표면 전처리 과정의 간소화를 위해서는 유기, 무기 윤활제의 사용을 최소로 제한하는 한편, 압연된 표면형상의 적당한 선택과 조절이 최종 도장표면의 품질을 우수하게 하는데 필요하다.

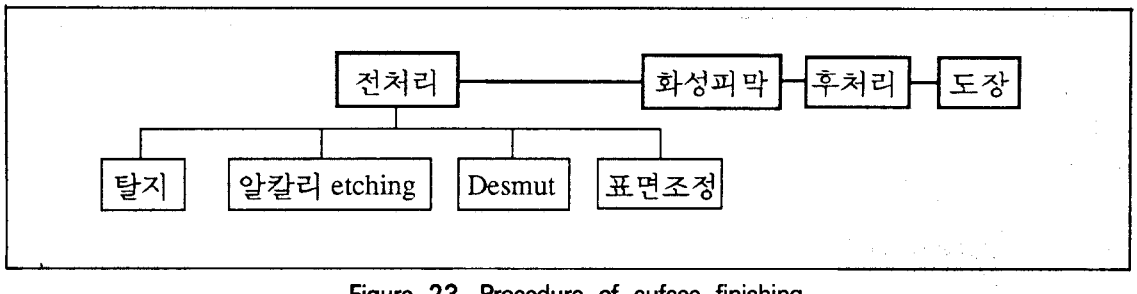



Figure 23. Procedure of suface finishing.

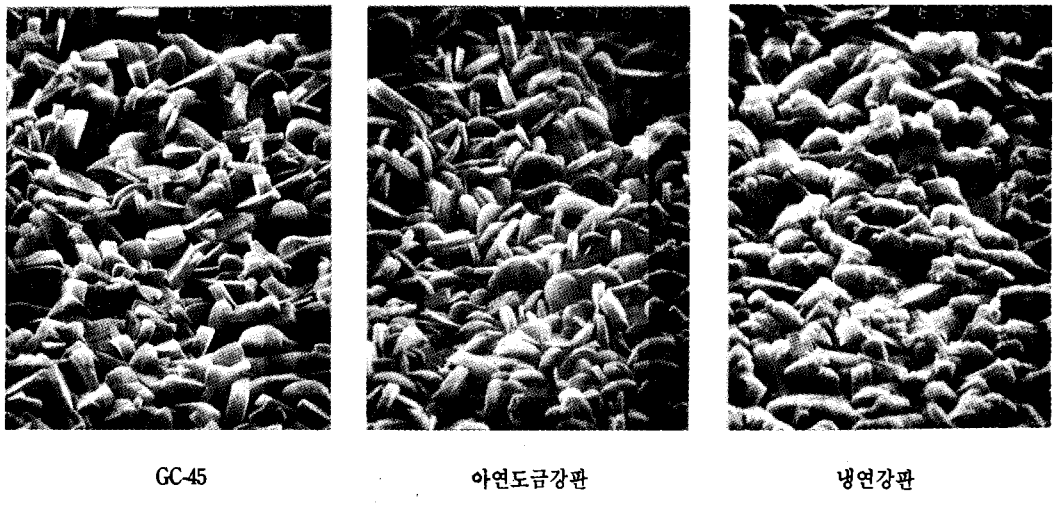



Figure 24. Surface morphology of zinc phosphate conversion coating on various metal.

## 9. 결 론

알루미늄 hang-on-part의 사용으로 10~15%정도, 전 차체의 알루미늄화로는 50%정도 무게감소가 가능하지만 가격지수는 4배가 된다. 그러나 자동차의 전 수명에 걸친 비용면에서는 결코 크지만은 않다. 자동차 생산에서 재료비, 품질 및 안정성, 공급 안정성, 기능적 특성, 양산공정간 제조특성, 폐기 및 재활용성등을 고려하여 보았을 때, 차체 경량화에 가장 적당한 재료는 알루미늄 합금이며, 자동차 경량화가 시급한 실정인 현재에 있어서 알루미늄 합금을 이용한 자동차 차체의 양산화에 기여할 수 있는 연구와 생산노력이 꼭 필요하며 이루어져야 할 과제이다. 그러므로 합금 종류별의 단순화 및 통일화(예를들면 5000계와 6000계의 2종류 한정 등), 리사이클 시스템의 확립, 알루미늄 합금판의 성형성 향상대책, 최적의 접합방법연구, 표면처리 기술연구, 차의 양산 대응에의 협력등, 금후 산·학·연 공동으로 전향적으로 다루어야 할 과제를 충실하게 해결해 나가야 할 필요가 있다고 생각한다.

## 참 고 문 헌

1. Hiroo Kinoshita, "Progress of Aluminum Application in Automobile", RASELM '91 Eds. by K. Hirano, H. Oikawa and K. Ikeda, 1991, pp. 1145
2. Hisashi hayashi, "Formability of Aluminum Alloy Sheets for Autobodies", LiMAT-'93 Eds. by Nack J. Kim, 1993, pp. 351
3. Shin Ujihara, Shuya kamahori and Shunsaku Horie, "Minimizing the weight of Autobody and Aluminum Sheets", RASELM '91 Des by K. Hirano, H. Oikawa and K. Ikeda, 1991, pp. 1163
4. Private communication with Mr. Francois pruvost of Pechiney Rhemalu
5. Jeff R. Dieffenbach and Anthony E. Mascarin, "Body-in-white Material System : A Life-cycle Cost Comparison", JOM, vol. 6, 1993, pp.16
6. Jeff R. Dieffenbach, "Technical Cost Modeling as a Cost Simulation Tool for Material and Process Selection", International Forum on Pro-