

技術資料

알루미늄 합금鑄物

李浩仁

Al Alloy Castings

H. I. Lee

알루미늄합금재료는 최근 자동차의 경량화 추세에 따라 자동차산업에서 없어서는 안될 불가결의 재료가 되었다. 현재 알루미늄합금재료의 자동차에 이용은 40kg 전후에서 1990년까지는 80kg까지 증가될 전망이다. 여기에 알루미늄을 첨가하면 100kg 이상으로 전망된다. 재료경량화는 연비향상에 직접 효과가 있다는 것은 말할 필요도 없으며 또한 연소비의 절감은 배기가스 발생을 감소시켜 환경정화에 기여하고, 경량화에 의한 차체관성의 경감에 따라 운전의 고효율·고성능 등 질적향상의 상승효과가 상당히 크다고 인정하고 있다.

본 보고서는 자동차경량화와 관련해서 알루미늄합금재료의 역할, 알루미늄합금재료의 응용현황 및 알루미늄합금재료의 개발동향 등 3개부분으로 나누어 조사하였으며 해외의 현황과 개발동향을 중점적으로 조사 검토하여 소개하고자 한다.

1. 자동차경량화에 알루미늄재료의 역할

자동차기술의 발전역사는 차체스타일·에너지절약·배기가스정화·안전쾌적성·폭음대책·방청대책 및 대체연료 등의 관점에서 발전을 계속하여 왔으며, 특히 70년대 오일쇼크와 더불어 연료비향상을 목적으로 하는 기술개발은 괄목할 만한 성과를 보였다. 연료비향상을 목적으로 하는 연구는 (i) 엔진구동계의 효율향상, (ii) 주행 저항의 저감 및 (iii) 재료경량화 등의 관점에서 수행되어 왔으며 이 중에서도 재료경량화에 의한 연료비향상의 문제는 오일과동후 크게 중요성이 인식되어 오늘에 이르고 있다. 그 결과 재료경량화 연구는 연료

비향상에 가장 큰 역할을 최근 담당하였고, 재료경량화로 인한 연료비향상의 기여도는 50% 이상을 점하였다고 평가하고 있다.

과거 자동차 재료구성의 변화를 1968년부터 1984년까지 일본차(도요타 마크II)의 예를 보면 강판·강재는 변화가 거의 없었으나 주철은 13.8%에서 9.8%로 줄었고 알루미늄재료는 3.0%에서 4.4%로 점증하였다. 이 경향은 구미자동차에서도 비슷한 양상을 보이고 있다. 그림 1은 연도별 일본의 자동차용 알루미늄합금재료 사용량과 생산대수를 보여주고 있다. 일본은 1965년부터 1980년까지 15년동안 자동차생산이 급신장을 가져와서 1980년도에 1000만대를 넘었으며, 그후 생산증가의 추세는 급격히 둔화되어 1,100만대 수준을 유지하고 있다. 한편 알루미늄합금재료의 사용량은 1984년도 약 66만여톤이 자동차부문에서 소비되었으며, 이중 51%인 34만여톤이 알루미늄합금다이캐스팅제품이었고, 36%인 24만여톤이 알루미늄합금주조제품으로 사용되어 총 자동차용 알루미늄합금재료의 87%가 주물제품으로 나타났다. 나머지 13%정도가 판·압출재였다.

더욱 앞으로 자동차용 재료변천예측을 보면 1990년도에는 알루미늄합금재료의 대당 사용비율은 현재의 배가 넘는 9~10%정도까지 증가를 바텔연구소,미환경보호청(EPA) 및 Arthur Anderson Co.에서 예측하고 있다(그림 2). 이와 같은 예상의 근거도 주물제품에서 대부분 증가를 예측하고 있어 앞으로 알루미늄주조기술의 고도화가 중요한 요건이 될 것은 분명하다. 즉, 미국의 EPA에서 예측은 알루미늄합금 재료사용비율이 한대당 12%까지 증가될 것으로 전망하고 있으며, 포드사에서는 5%정도로 현수준에 머물 것으로 예측하고 있어 알루미늄합금재료 사용량의 신장여부는 이 재료의 주조기술발전 여하에 따라 크게 의존될 것

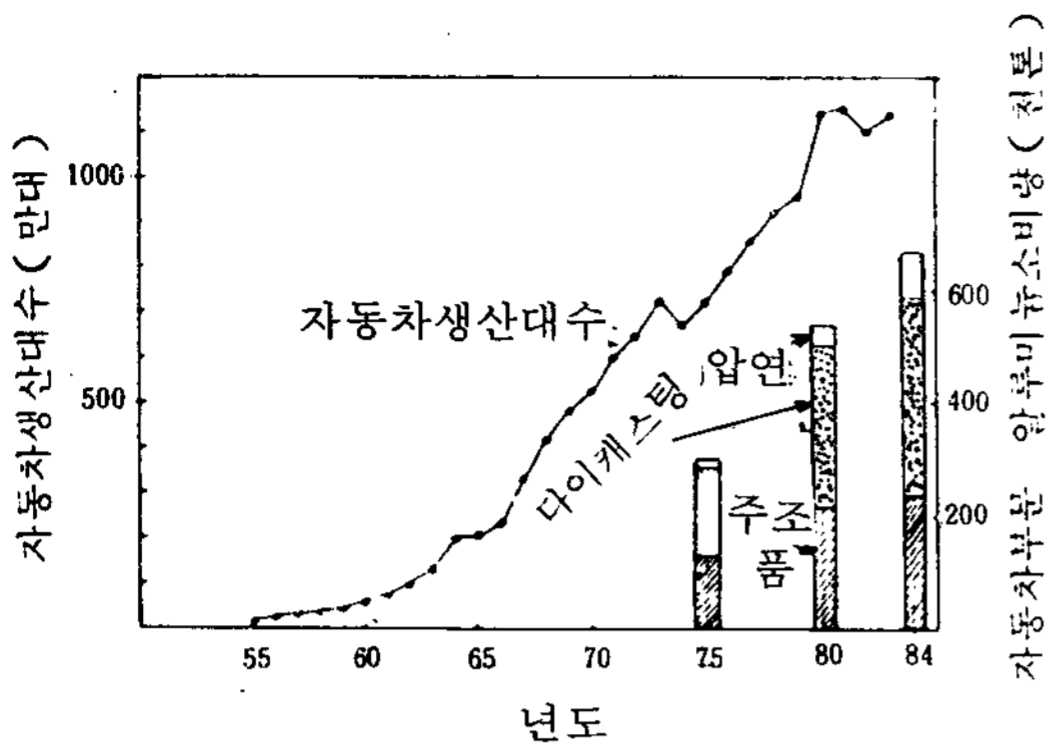


그림 1. 년도별 일본의 자동차생산대수 및 알루미늄 소비량

으로 판단된다. 더욱 경합재료인 플라스틱·복합재료의 사용증가도 크게 예측되고 있어 이들과 경합하면서 증가하여야 하는 여건에 있다고 하겠다.

그림 3은 구미차와 일본차의 알루미늄합금재료의 대당 사용량과 비율을 비교하고 있다. 미국승용차 경우, 70년대에는 차중량이 평균 1,700 kg 정도에서 1980년도에 1400 kg 이하로 경량화되어 갔고 일본승용차 경우 1,200 kg 중량에서 1,100 kg 정도로 경량화 되어 갔다. 또한 알루미늄 대당 사용비율은 4% 정도로 비슷하여 졌으며 알루미늄 대당 사용량은 미국이 50 kg 정도이고 일본이 40 kg 정도로서 미국이 알루미늄 대당 절대사용량이 높은편을 보이고 있다. 1990년도에는 알루미늄 대당 사용량이 130 kg으로 EPA는 예측하고 있으며 AAC는 90 kg 정도로 예측하고 있어 자동차 부품을 위해 알루미늄합금재료로 대체시키려는 노력은 계속 경주될 것으로 예상된다.

알루미늄주조기술은 70년대 초에 오일과동으로 크게 성장기를 맞아 새로운 주조기술의 발전을 가져왔으며 80년대에 들어와서 그 결실을 맺고 있다. 즉 알

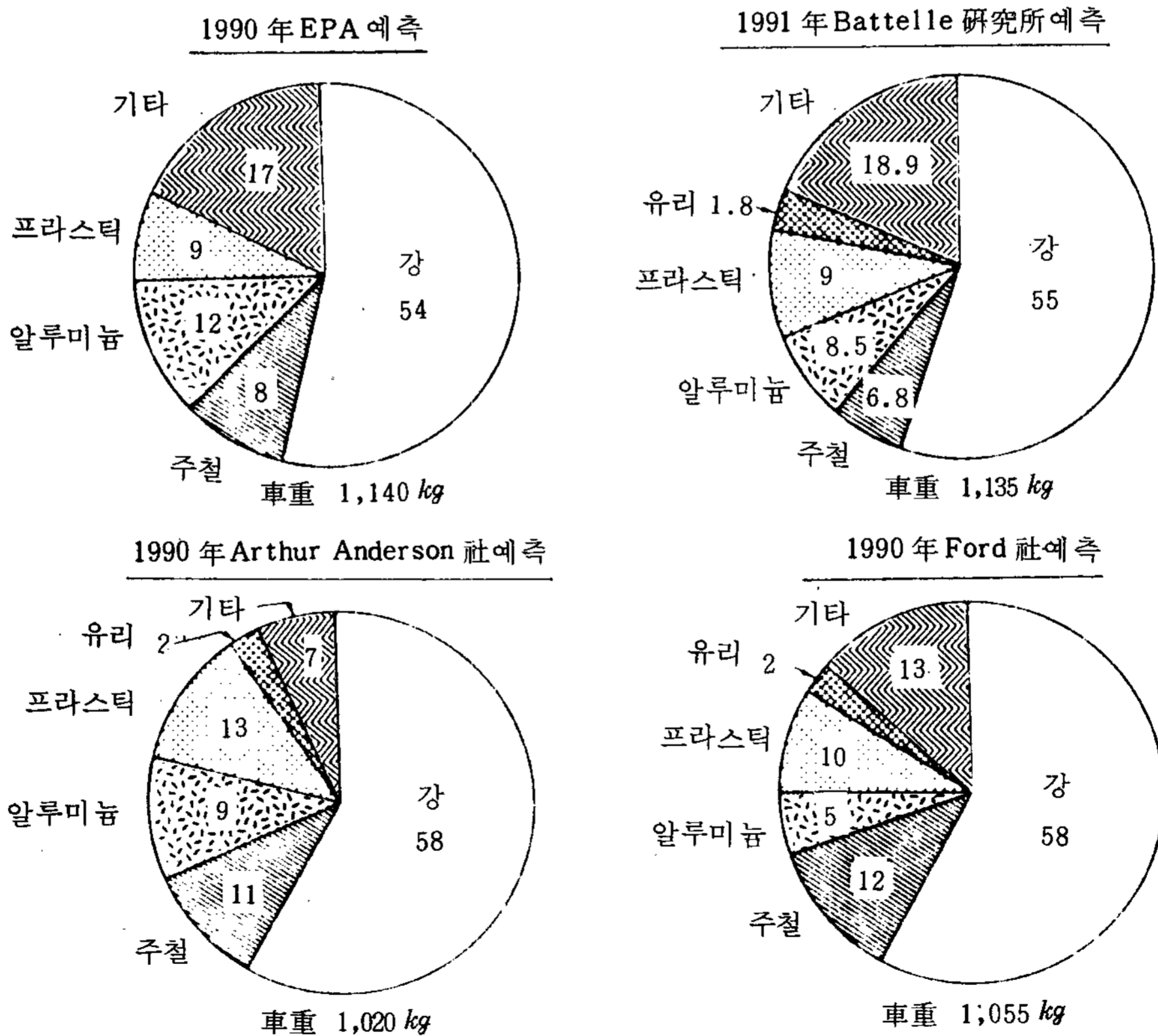


그림 2. 자동차재료의 구성예측

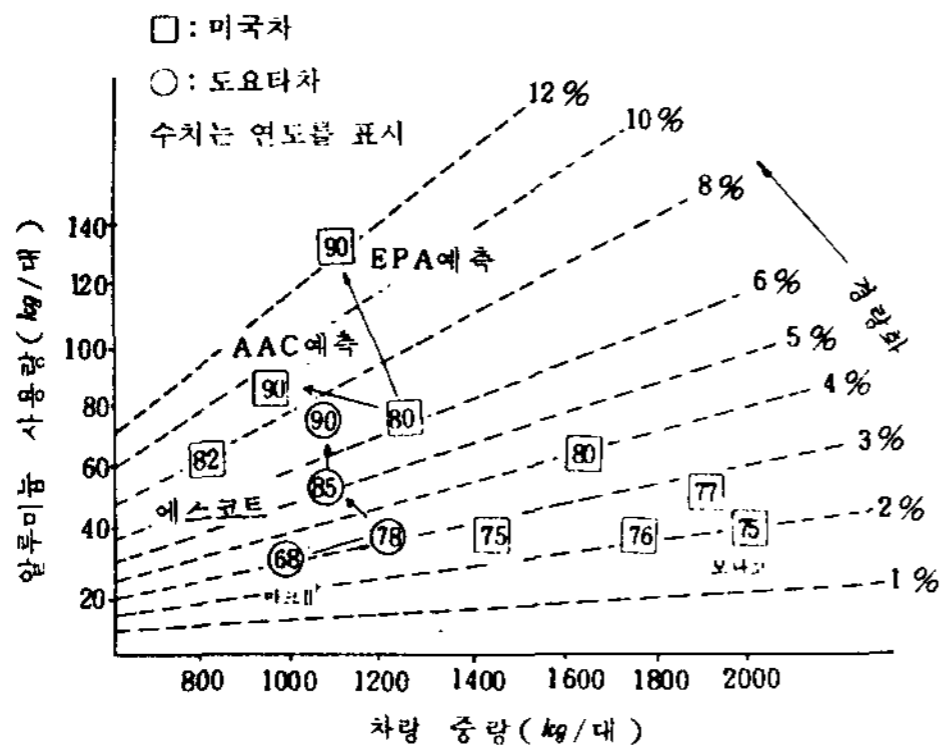


그림 3. 알루미늄사용량의 장래예측

알루미늄합금재료의 제조법 및 가공법의 개발과 개량이 급속히 추진되어 무공성 다이캐스팅법, 아큐라드법, 용탕단조법, Hot Top 주조법, 각종 용접법 및 표면처리 기술 등 주조가공기술의 괄목할 만한 성장을 보였으며, 엔진모노블록을 만들 수 있는 내열내마모성이 우수한 새로운 주조합금재료개발에 성과를 보이기 시작하였다. 또한 분말야금기술 및 복합재료(Metal Matrix Composites) 등의 개발과 이용이 현실화 되어 가고 있어 엔진기능부품에서 뿐 아니라 고강도를 요하는 구동부품에 이르기까지 알루미늄합금의 대치가 이루어지고 있다. 그림 4는 도요타 중앙연구소에서 발표한 주조기술의 변천과정을 보여주고 있다. 일본은 60년대 초에 자가승용차의 붐과 더불어 부품양산기술을 확립시키는 시기를 맞았으며, 70년부터는 안전·폭음·배기가스의 법적규제에 대응하는 기술대처 시기를 거쳐 80년대는 성능을 위한 경량화·고효율 고성능 기술개발에 심혈을 기울이는 시기를 구가하게 되었다.

우리나라도 최근 자동차의 국내수요의 급신장과 수출의 폭발적인 신장으로 자동차관련업체들의 시설확장과 더불어 기술개발에 역점을 두고 있다. 즉 엔진성능 향상과 배기가스저감을 목적으로 하는 고성능 자동차 개발과 연료비 향상을 목적으로 하는 부품경량화 개발에 초점이 집중되고 있다. 1984년도의 KIET의 자동차 수요 장기 예측을 근거로 하여 KAIST에서 자동차 부품의 알루미늄합금재료의 장기수요예측을 하였을 때 1985년도 13,000 톤 수요에서 1994년에는 9배가 되는 120,000 톤의 알루미늄수요가 자동차 부분에서만 이루어질 것으로 전망되었다. 이 중 90% 정도가 알

루미늄합금주물제품으로 판단할때 100,000 톤 이상의 수요가 자동차용 알루미늄으로 소비될 것으로 예상된다. 앞으로 자동차공업에 지대한 영향을 미칠 알루미늄합금주물산업의 기술고도화와 시설근대화를 위한 노력이 강조된다.

2. 자동차부품에 알루미늄재료 응용

알루미늄합금의 가장 큰 특징은 무엇보다도 다른 금속에 비해서 무게가 가볍다는 점이다. 또한 용융점이 낮은 편이며 지금(地金)의 회수재생이 간단하고 열용량이 비교적 크고 주조성이 우수하기 때문에 사형·금형·다이캐스팅 등 여러 주조법을 다양하게 응용하여 제품생산이 가능하다. 실제로 알루미늄합금은 비중이 2.7로서 주철의 1/3이고 기계적 성질은 주철과 거의 동등하게 할 수 있고 열전도율은 3~4배이다. 반면 내마모성이 나쁘고 열팽창계수도 주철보다 크다는 약점을 가진다. 다음은 알루미늄합금을 자동차부품으로 사용시 장단점을 보이고 있다.

(i) 경량화 : 엔진을 10kg 경량화시키면 차전체에서 40kg의 경량화효과가 있다고 알려져 있다. 이는 경량화에 의한 연료비 절약뿐 아니라 유지보수비의 절약이 기대된다.

(ii) 열전도성 : 엔진의 성능향상과 열효율향상 때문에 압축비의 증가가 기대된다. 압축비 향상을 위해서는 열전도성이 주철제 엔진보다 좋은 알루미늄합금과 같은 재료를 사용하는 이외에는 없다.

(iii) 재료비 : 알루미늄이 경량화와 열전도성에서 큰 장점을 가지지만 아직까지 자동차부품으로 다량 사용치 못한 가장 큰 이유는 높은 원자재 값이었다. 그러나 양산이 가능한 알루미늄 다이캐스팅법의 발전으로 제조코스트의 절감을 가져왔고 이 점은 높은 알루미늄 원자재 코스트의 결점을 보완하면서 오늘에 이르고 있다.

(iv) 열처리 : 일반 다이캐스팅제품은 열처리가 필요 없는 케이스류·커버류 등 강도를 요하지 않는 복잡형상부품에 주로 응용되어 왔다. 그러나 무공성 다이캐스팅·아큐라드·진공다이캐스팅·용탕단조 등과 같은 새로운 생산가공기기의 발달과 함께 기능성을 요하는

鑄造技術의 변천

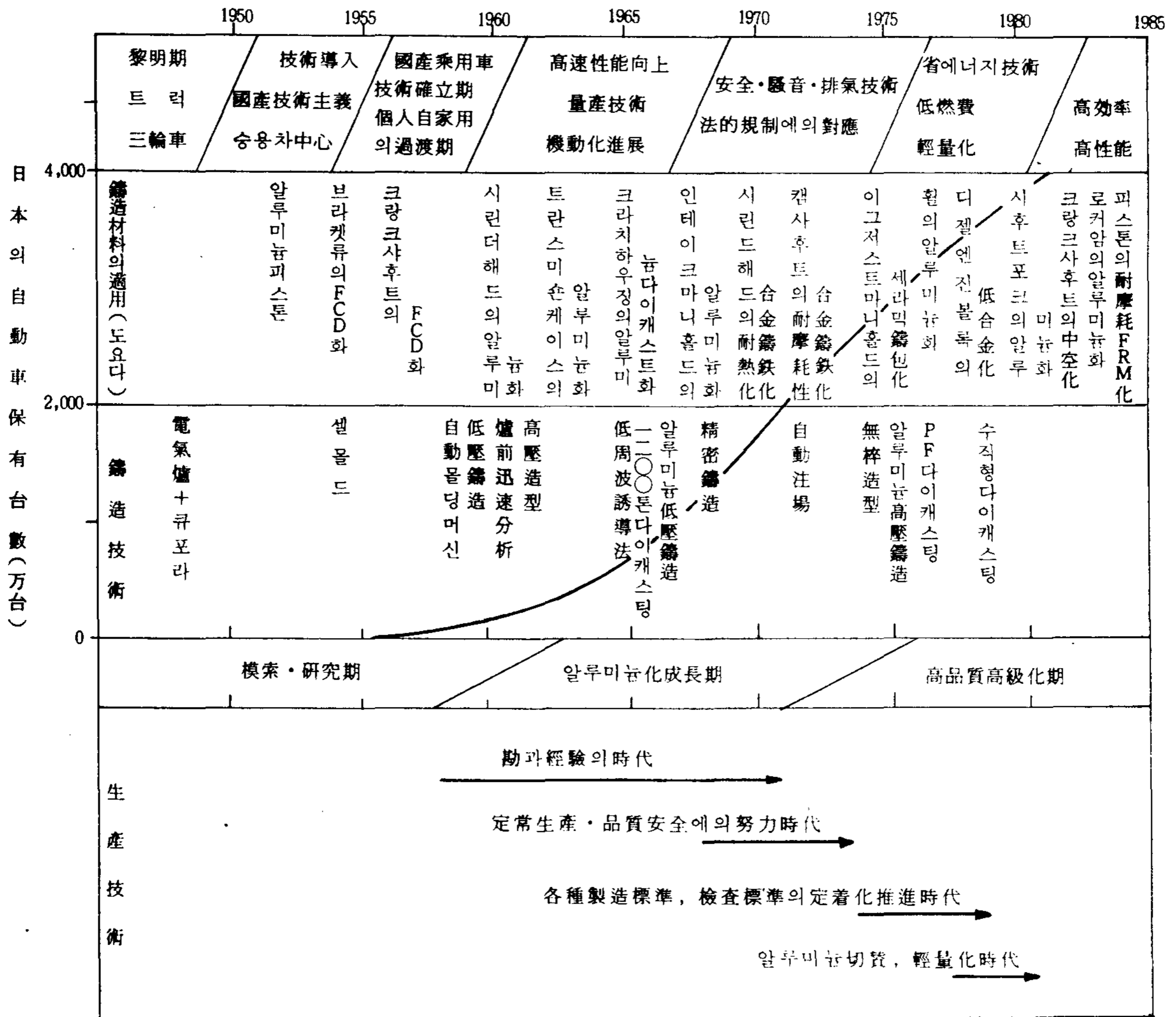


그림 4. 자동차용 알루미늄주물의 발전과정 (일본)

제품에까지 확대 발전하고 있다.

(v) 기계적 성질 : 주철에 비해서 다소 열세이다. 경도가 낮고 명확한 항복점이 없고 강성(剛性)이 낮기 때문에 사용시 응력한(應力限)을 낮게 설정하게 되지만 설계상에서 보안을 하여 높은 강도를 가지는 부품생산이 가능하다.

(vi) 내마모성 : 경질금속의 도금·코팅 등의 표면처리 방법, 또는 고규소알루미늄합금의 에칭기술 및 알핀(Alfin)법으로 해결을 모색하고 있다.

현재 자동차산업에서 알루미늄의 주조방법으로 사형

·금형·저압주조방법 및 다이캐스팅법이 주종을 이루고 있다. 이들 방법은 그 제법의 특징에 따라 기능·형상·크기 및 생산량 등을 고려하여 안정한 품질을 최저의 코스트로 제조하는 방법이 채택되고 있다. 사형주물은 주형비가 싸고 형상변경이 용이한 점이 있어 널리 이용되고 있으나 작업환경과 품질면에서 나쁘다. 금형주물은 치밀하고 내부건전성을 요하는 제품을 중심으로 이용되고 있으나 대형 다이캐스팅기의 발전 때문에 위협을 느끼고 있다. 미국에서는 4,000 톤급, 일본에서도 4,000 톤급의 다이캐스팅 주조기로 대형화되어

저서 적은 부품에서 뿐 아니라 큰 제품에까지 확대되어 자동차용 알루미늄합금주조의 주류를 점하고 있다. 저압주조법은 복잡형상이나 얇은 두께의 제품생산에 적합하지만 생산성이 낮은 결점이 있다. 그외 아큐라드·용탕단조·무공성다이캐스팅법 등은 일부 엔진구동 부분의 기능부품에 적용시켜 실용화에 성공을 거두고 있다.

표 1은 자동차용 부품으로 사용되는 알루미늄합금 재료를 보여주고 있다. 알루미늄주조 부품으로 사용되는 합금은 AC2A, AC2B, AC4B, AC4C, AC4CH, AC8A, AC8B, AC8C 등이 주요합금이다. 특히 AC2B와 AC4C 합금이 주종을 이루고 있다. 다이캐스팅 합금은 일본의 경우 6 종류의 합금이 규정되고 있으나 ADC12가 전체의 70%를 점하고 있으며 ADC10 합금이 20% 정도로서 이 두합금이 다이캐스팅합금의 90% 이상을 점하고 있다. 이 ADC10과 12는 Al-Cu-Si 계 합금으로서 일본과 유럽규격에서는 Mg을 0.3%까지 허용하고 있으며 미국에서는 0.1% 이하로 제한하고 있다. 또 일본규격에서는 Zn을 1.0% 이하로 엄격히 제한하고 있으며 다른 것들은 다소 높은 경향을 보이고 있다. 일본이나 유럽규격에서 Mg의 허용치가 완화된 것은 탈마그네시움시의 염소공해를 방지하고 자원활용에 있어서 효과가 있기 때문이라 생각되어진다. 다이캐스트용 알루미늄합금에서 Mg의 효과를 보기 위해서 Mg의 양을 변화(0.1~0.3%) 시키면서 기계적 성질 등을 측정하였을 때 Mg 함량이 증가함에 따라 열간균열이 발생하는 경향이 있었던 반면 내력(耐力)은 개선된 것으로 나타났으며 인공시효의 효과도 현저하여 20% 정도의 강도향상을 기할 수 있었다. 이에 미국 등에서도 마그네시움함유량을 완화시키는 경향이 나타났다. 또한 일본규격의 Zn에 대해서도 실험이 행해졌으며 ADC12 합금에서 Mg이 0.1%와 0.3%일때 Zn 함량을 변화시킨 결과 이들의 상호작용에 의한 악영향은 없고 내력과 경도는 Mg가 많을수록 높아지고 있다. 이런 결과로 보아 Zn 함유량도 완화시키는 것이 가능하다.

한편 알루미늄합금재료의 성분을 개량하여 내마모성과 내열성의 향상을 도모하고 있다. 내마모성 향상을 위한 과공정 Al-Si 합금의 미세화 연구가 좋은 예가 된다. 초정 실리콘의 미세화에 관해서 인(P) 첨

표 1. 자동차부품과 알루미늄합금명

部 品 名	合 金 名
<u>엔진本體</u>	
Engine Block	2B(T ₆), 4B(T ₆)10, 12
Engine Head	2B(T ₆), 4B(T ₆)
Mounting Bracket	
<u>엔진主運動部</u>	
Crankshaft Bearing	Al-Sn, Al-Pb
Piston	BA, 8B, 8C, 8
Conrod Bearing	Al-Pb, Al-Sn
Fly Wheel Cover	10, 12
<u>엔진·Bald Train</u>	
Push Rod	2017(T ₄)
Valve Rocker Arm	12
Rocker Shaft Support	10, 12, 2B
Head Cover Cylinder	10, 12
<u>엔진潤滑冷却系</u>	
Cooling Fan	4B, 10, 12
Intake Manifold	2B(F), 4B(F), 4C(T ₅), 3A
<u>動力傳達裝置關係</u>	
Mission Case	2B(T ₆), 4B(F), 10, 12
Extension·Housing	2B(T ₆), 4B(F), 10, 11, 12
Diff·Gear·Housing	2B(T ₆), 4B
Brake Master Cylinder	2B(F), 2A(T ₆), 8B(F)
Brake Master Piston	2B(F), 4B(F), 10, 12
Wheel Cylinder	2B(F), 4B(F), 8C(F)
Wheel·Cylinder·Piston	2B(T ₆)
<u>Steering 關係</u>	
Steering·Gear·Box	2A(F, T ₆), 7B(T ₄), 10, 12

合金名: 2B, 4B는 AC2B, AC4B임
10, 11, 12는 ADC10, ADC11, ADC12임.

가효과가 인정되고 0.0055% 이상의 인이 필요하다. 첨가방법으로서 인단체(磷單體)보다는 인함유 염류나 합금의 효과가 확인되고 있다. 또한 나트륨과 인 함유 염류로 개량처리를 할 경우 초정실리콘의 미세화 뿐 아니라 공정실리콘도 동시에 미세화된다고 보고되고 있다. 나트륨에 의해서 실리콘의 형상은 환상(丸狀)으로 되는데 이것은 일반적으로 실리콘은 {111}면만이 성장하는데 대해서 {111}과 {100}면으로 성장되기 때문으로 인식되고 있다. 공정실리콘을 미세화

시킴을 위해서 나트륨 대신 스트론튬이나 안티몬의 개량처리방법도 많은 관심을 끌고 있다. 피스톤과 같은 내열성을 필요로 하는 알루미늄합금개발연구도 활발하였다. 내열성을 가지는 알루미늄합금으로 니켈을 함유한 Lo-Ex, Y 합금이 통상으로 사용되고 있으나 일본에서는 니켈을 함유하지 않는 우수한 P-alloy를 소개하고 있다. 이 합금은 니켈을 첨가하지 않고 망강을 첨가시켜 피스톤재료로서 특성을 가지도록 한 것이며 이 합금이 1973년에 카로라 차종에 처음 채용된 후 현재 카리나, 코로나 및 마크II 등에 채용되면서 현재는 월간 100 만개의 피스톤이 이 재료로 제조되고 있다. 최근 내열성 향상에 관해서 (Fe+V)첨가효과에 따른 연구가 관심을 끌고 있다. (Fe+V) 첨가효과는 내열성향상에 크게 기여하여 피스톤재료에 응용시켜 그 효과가 인정되고 있다.

다이캐스팅 합금재료도 활발히 연구가 진행되어 표면처리 혹은 열처리 가능한 다이캐스팅 합금이 소개되어지고 있으며 새로운 시장개척을 다이캐스팅에서 이루어지고 있다. 표2는 표면처리 및 열처리가능한 다이캐스팅 합금재료를 보여주고 있다.

표면처리 가능한 다이캐스팅 합금으로서 실용화되고 있는 주된 합금은 Al-Mn계 합금이다. Mn은 금형에의 용착을 방지하여 주며 양극산화처리에 의해서 베지색을 발색케 하는 효과가 있다. Al-Mn계 합금은 도장을 목적으로 한 합금이기 때문에 종래의 다이캐스팅합금과 비교하여 강도가 낮고 그러므로 구조재료로서의 사용에는 곤란하다. 그러나 연신율이 크기 때문에 굴곡가공 등은 용이하다. 표면처리 방법으로는 종래의 일반적으로 보급된 양극산화처리에 의한 자연발색 및 염색, 이차전해 착색이 가능하다. Al-Mn계 합금은 표면처리성·내식성·내열성이 우수하기 때문에

자동차부품에 뿐 아니라 장식품이나 낚시 레저도구에도 많이 사용되어지고 있다.

열처리용 다이캐스팅합금으로서는 T5 처리용의 Al-Si-Cu-Mg계, Al-Mg-Si-Zn-Mn계가 있고, T4, T5, T6 처리용으로서 Al-Mg-Zn계가 있으며 T6 처리용으로서 Al-Si-Mg계가 실용화되고 있다. 이 가운데 DX-1은 ADC12의 개량형으로서 주조성이 매우 양호하다. T5처리에 의해서 Mg₂Si의 석출경화 현상이 나타나서 높은 인장강도·항복강도·연신을 얻을 수 있다. ADB는 표면처리도 가능한 합금으로서 중간 정도의 강도를 지닌 합금으로 개발되었다. MMD는 매우 높은 경도를 얻을 수 있는 특징을 지녔으며 비교적 내식성이 양호하고 표면처리가 가능하다. 또 주조성이 좋아 복잡한 형상의 제품주조가 가능하다. DX-30은 무공성 다이캐스팅용으로 개발된 고인성합금(高靱性合金)으로서 T6처리를 하므로써 그 성질을 발휘할 수 있다.

이상과 같이 새로운 알루미늄합금소재의 출현과 이 소재를 자동차부품에 응용시켜 보고자 하는 노력이 꾸준히 경주되어져 왔다. 그 결과 자동차 경량화에 많은 성과를 거두고 있다. 실제로 자동차부품의 알루미늄화에 가장 큰 성과를 나타낸 차종은 Volvo사의 LPC 2000과 GM사의 Corvette(1984년형)가 있다. Volvo사의 LPC2000은 알루미늄합금재료를 148 kg(차중량의 23%)까지 사용하여 차중량을 645 kg까지 경량화시켰으며, GM사의 Corvette 차종에 알루미늄합금재료를 169 kg 사용하여 과거 차중량 1,527 kg 으로부터 113 kg의 경량화를 성공시켰다. 표 3은 Corvette차에 사용한 알루미늄부품리스트를 보여주고 있다. Corvette차는 알루미늄합금재료의 사용을 극대화 시키기 위해서 샤시·파워트레인부품에도 적극적으로 알루미늄

표 2. 표면처리 및 열처리 가능한 다이캐스팅 합금

종 류	합금명	Si	Mn	Mg	Zn	Fe	Cu	Cr	W	Co	Ti	Al
표면처리 가능한 합금	DX - 20	≤ 0.1	2.2	-	-	0.6	-	-	-	-	0.07	Bal
	DX - 21	≤ 0.1	2.2	1.0	0.4	0.6	-	-	-	-	0.07	Bal
	DX - 23	≤ 0.1	2.2	-	-	0.6	-	-	0.5	-	0.07	Bal
	DM - 2	-	1.0~4.0	-	-	0.8~2.0	-	-	-	-	0.05	Bal
	캐 스톤	-	0.2~3.4	-	0.1~5.0	<0.3	-	0.1~1.3	-	0~0.8	~0.3	Bal
열처리 가능한 합금	DX - 1	9.5~11.5	0.4~1.0	0.4~0.8	-	0.3~0.6	1.5~3.5	-	-	-	0.05	Bal
	ADB	0.4	0.7	1.7	1.3	0.8	< 0.2	-	-	-	~0.15 <0.2	Bal
	MMD	-	-	6~11	4~8	不明	-	-	-	-	-	Bal
	DX - 30	9.0	0.4	0.4	< 0.3	0.8	< 0.2	-	-	-	<0.05	Bal

늄합금재료의 적용을 시도하였고 특히 서스펜션 부품 의 알루미늄화를 위해서 내식성·인성을 고려한 6061

표 3. 1984년형 Corvette 차의 알루미늄 부품 리스트

제품사용중량	알루미늄 부품명 및 사양	제품사용중량	알루미늄 부품명 및 사양
Wheels: (83 lbs)	standard: front 15 x 7.0 rear 15 x 7.5 optional:* front 16 x 8½ LH, RH rear 16 x 9½ LH, RH spare: wheel, tray, hanger, latch, bracket	Engine: (48 lbs)	pistons, inlet manifold, throttle body injector, water pump body, distributor, generator housing starter motor, oil filter adaptor air pump housing, drive belt ten- sioner, generator bracket, air injection pump bracket, accelerator pedal, heat tube, air cleaner fasteners, fuel pump plate, valve rocker cover washers, radiator hose support
Front Susten- sion: (27 lbs)	steering knuckle LH, RH. upper control arm LH, RH. lower control arm LH, RH. spring seat stabilizer insulator spring protectors shock absorber brackets LH, RH. shims	Miscell- aneous: (50 lbs)	fuel tank door and bezel, catalytic converter shield, exhaust pipe heat shield, muffler and tail pipe hanger bracket, fuel vapor cannister bracket, radiator assembly and brackets, a/c evaporator inlet tube assembly, a/c com- pressor base assembly, a/c accumulator, a/c compressor bracket, heater outlet pipe assembly, rear hatch window hardware, instrument panel braces, supports, reinforce- ments and brackets, rocker panel molding reinforcement, wind-shield upper reveal, molding roof panel hardware, hood release cable bracket, front air baffle retainer, fog, park and turn lamp bracket, turn signal lamp bracket rear, tail lamp plate head lamp opening doors front fender brackets other
Rear Susten- sion: (23 lbs)	knucle RH, LH. wheel spindle control rods (6) tie rod socket spring anchor plate stabilizer bracket spacers		
Drive Train: (82 lbs)	rear wheel drive shafts, prop shaft, rear axle carrier housing, rear axle cover asse assembly, driveline support, transmission housings torque converter cover		
Brakes: (19 lbs)	caliper, front, rear master cylinder, splash shields, front, rear pedal bracket, rear caliper mounting plates		
Bumper System: (41 lbs)	Front: fascia retainer, upper, lower fascia reinforcements, over- ride shield, skid bar plate, shims Rear : Frame extension and impact bar assembly fascia retainers		
Steering: (4 lbs)	steering gear housing, power steering bracket, power steering reservoir bracket, steering column support brakcet, power steer- ing pump bracket		

-T6 단조부품도 시도하였다. 미국은 알루미늄전신재부품도 과감히 사용하고 있다는 것이 일본과 다른 점이라 하겠다. 미국차에서는 약 80 kg/대의 알루미늄이 사용되고 있으며 그중 약 70%인 55 kg/대가 주조품이고 나머지 30%정도가 전신재였다. 그 반면 일본은 표 4에서 보는 바와 같이 90% 이상이 알루미늄합금 주조품인 것이 큰 차이가 있다. 일본은 엔진·동력전달장치, 브레이크 및 스테어링부품 등에 알루미늄이 크게 이용되고 있으나 차체관계부품에는 크게 이용되지 않는 것이 특징이라 하겠다. 미국에서는 디퍼렌셜 기어하우징, 브레이크드럼과 마스터시린더, 엔진블록과 헤드, 인렛 매니폴드, 트랜스미션하우징, 휠, 피스톤 오일쿨러·펌프·하우징 등은 대부분 주조부품이지만 범퍼·라디에타·후론트그릴, 사이드프레임, 보디구조물, 팬, 마운드 등이 전신재로 적극 이용되고 있다.

참고로 자동차부품으로 이용하는데 있어서 알루미늄합금주조품과 경쟁관계에 있는 알루미늄합금단조품의 응용상황을 살펴보기로 한다. A2014 단조재는 열간·냉간단조성이 양호하고 기계적 성질이 우수하며 내열성도 좋기때문에 콘넥팅로드, 로커암, 휠허브 등에 사용된다. A2017 단조재는 엔진부품의 푸시로드로 사용되고 A4032 단조재는 열팽창계수가 적고 내마모 내열성이 좋아 피스톤재료로 이용된다. 또한 A6061 단조재는 휠, 각종 브라켓트류, 서스펜션암, 스테어링너클 등에 사용되며 A7075 단조재는 트럭의 프론트액슬에 적용되고 있다. 물론 상기 단조부품들은 일부 차종에 따라 알루미늄합금주조품으로 대체하여 원가절감을 시도한 것도 있다. 앞으로 알루미늄합금주조품으로 대체할 수 있는 새로운 주조합금개발 또는 새로운 주조공정연구가 필요하다.

3. 경량화 연구의 주요동향

자동차를 알루미늄합금재료로 대체시켜 경량화 효과에 큰 비중을 차지하는 제품은 엔진모노블록, 알루미늄라디에타, 알루미늄휠 및 동력전달장치 등이며 앞으로 널리 보급될 전망이다. 특히 알루미늄라디에타는 3~4년 사이에 크게 성장하였으며 유럽에서는 80% 정도가 알루미늄 라디에타를 사용하고 있으며 가까운 장래에 100%가 될것으로 전망한다. 미국은 자동차회사에 따라 약간 차이를 보인다. Ford사는 1988년까지 동/황동 라디에타공장을 폐쇄하고 그후는 100%알루미늄화를 고려하고 있다. 그러나 Chrysler 사는 종래의 라디에타를 계속 채용할 방침으로 이의 확장을

고려하고 있다. GM사는 알루미늄과 동/황동 라디에타의 양쪽을 모두 병행하려는 방침이다. 알루미늄휠도 최근 표준장비부품으로서 미국에서는 수년전의 4%에서 11.5%까지 급속히 신장되고 있다. 이 경향은 유럽이나 일본에서도 비슷하다. 우리나라도 승용차용 알루미늄휠의 사용이 증가추세에 있다. 해외에서는 고강도를 요하는 트럭용 알루미늄휠에 대한 소재개발과 제조공정연구가 진행 중이다. 알루미늄시린더블록은 1960년경부터 사용되기 시작하였다. 그러나 이 시린더블록은 주철제의 시린더라이너를 삽입조립시켜 알루미늄의 약점인 내마모성을 보강시켜 경량화시키는 방법이 주로 채택되었다. 이는 제조코스트가 높아 고급승용차를 제외하고는 널리 보급되지 못하였다. 그후 1970년경부터 라이너도 알루미늄합금제로 사용할 수 있는 소재개발이 시작되어 최근 큰 성과를 보이고 있다.

Reynolds Metals Co.는 Reynolds 390이라 불리워지는 과공정 알루미늄-실리콘합금개발을 자동차회사와 12년동안 연구수행하여 내열마모성이 우수한 소재개발의 성공을 거두었고 그 제조공정이 확립되었으며 엔진 성능시험결과 소음이 적고 엔진의 성능향상에 크게 기여하였다고 보고하고 있다. 이는 알루미늄제 피스톤과 열팽창계수가 비슷한 알루미늄엔진모노블록(시린더라이너와 일체인 블록)을 사용함으로써 피스톤과 라이너 사이의 팽창설계여유를 최소로 줄여 압축비를 높여 줄 수 있었다는데 큰 요인이 있었다. 또한 주철제라이너의 삽입이 없는 알루미늄 엔진모노블록은 제조공정을 크게 단축시켜 생산성과 원가절감에 큰 효과를 얻어 기존의 엔진블록과의 가격경쟁이 가능하다고 평가되고 있다. 또한 알루미늄합금은 주철보다 열전도율이 매우 높아 엔진모노블록의 냉각시스템을 단순화시키고 또한 라이너를 삽입시키지 않기 때문에 엔진블록설계를 콤팩트하게 하여 소형화 및 경량화에 큰 역할을 담당한다. 이와 같이 알루미늄 엔진모노블록은 소형화, 경량화 및 성능향상에 장점은 가지고 있으나 이의 실제 개발과정에서 필요한 노우하우적 기술데이터가 많다. 예로서 실리콘입자들을 주조과정에서 미세화시키고 균일분포시키는 기술상문제, 고온마모에 적합토록 하는 에칭기술, 제조공정상에서 응고열해석 및 형상두께에 따른 금형의 냉각시스템등 소재자체뿐 아니라 블록의 보어부와 피스톤사이의 고온마모특성에 대한 기술데이터의 분석연구는 매우중요하다.

다음은 엔진모노블록의 개발과정에서 필요되는 고온 내마모성재료의 개발문제와 자동차용 알루미늄합금주물에서 중요한 위치를 차지하는 다이캐스팅가공기술의 발

表 4. 日本乘用車에 있어서 알루미늄使用現況

部 品 名	平均重量 (kg)	加工法
1. 엔진關係		
○ Piston	1.2	鑄 造
○ Intake Manifold	3.2	"
○ Injector Mixer	0.6	다이캐스팅
○ Water Pump Body	0.6	"
○ Distributor	0.4	"
○ Generator Housing	0.5	"
○ Starter Motor	0.5	"
○ Oil Filter Adapter	0.6	"
○ Generator Bracket	1.1	"
○ Heat Tube	0.7	押 出
○ Valve Rocker Cover	1.5	다이캐스팅
○ Cylinder Head	11.1	鑄 造
○ Rocker Arm	0.7	다이캐스팅
○ Cylinder Head Cover	1.5	"
○ Dynamic Chain Cover	0.9	"
○ Oil Pump	1.0	"
○ Fuel Pump Body	0.2	"
○ Carburetor	1.0	"
○ Valve	0.2	"
○ Lead Valve	0.15	"
○ Alternator Body	0.6	"
○ Thermostat Cover	0.12	"
○ Distributor Body	0.2	"
○ Air Valve Case	0.1	"
○ Intercooler	2.8	押 出
○ Intake Manifold Collector	5.47	鑄造 + 다이캐스팅
○ Throttle Body	0.4	鑄造, 다이캐스팅
○ Valve Lift Guide	1.52	다이캐스팅
○ Air Flow Meter	1.12	"
計	39.98	
2. 드라이브 트레이닝關係		
○ Transmission Housing	} 6.96	다이캐스팅
○ Clutch Housing		"
○ Rear Cover		"
○ Torque Converter		"
○ Torque Converter	5.2	"
○ Governor Body	5.	"

部 品 名	平均重量 (kg)	加工法
○ Shift Fork	0.34	다이캐스팅
○ T/M Front Cover	0.495	"
○ T/M Rear Extension	5.5	"
計	19.94	
3. Front Suspension 關係		
○ Steering Gear Housing	0.33	다이캐스팅
計	0.33	
4. Brake 關係		
○ Master Cylinder	0.47	鑄 造
○ Brake·Master·Cylinder·Piston	0.66	"
○ Rear Brake·Piston	0.28	"
計	0.81	
5. 其 他		
○ Steering Gear Housing	0.73	다이캐스팅
○ Aircon·Evaporator·Tube·Assembly	1.0	押 出
○ Base Assembly	} 7	鑄 造 (다이캐스팅)
○ Aircon Compressor		
○ Aircon Compressor Bracket		
	(3.488)	
○ Aircon Accumulator	0.4	押 出
○ Heater Outlet Pipe Assembly	0.85	"
○ Lamp Bracket	?	壓 延
○ Wiper Motor Casing	0.147	다이캐스팅
○ Wiper Ring用 Hose	0.02	"
○ Wiper Arm Hose	0.041	"
○ Clutch 部品	0.383	鑄 造
○ Fan Coupling	0.559	다이캐스팅
○ Window Regulator	0.46	"
○ Wheel	33.1	鑄 造
計	44.69	
合 計	105.75 (72.65)	

()內는 Wheel을 除外

전을 간단히 소개하여 보고저 한다.

1) 알루미늄 엔진모노블록의 소재개발

근년에 들어서 종래에는 다이캐스팅용 합금으로 거의 사용되지 않던 과공정 알루미늄-실리콘합금이 엔진블록의 제조에 이용되기 시작하였다. 이 합금을 이용한 엔진블록은 1970년 GM사에서 아큐라드법으로 제조함으로써 그후 프로세스의 개선을 거쳐 1977년에 저압주조법으로 제조된 실린더블록이 Bentz, Porche 등 일부 고급차에 사용되어지고 있다. 과공정 알루미늄-실리콘합금은 주조온도가 높고 금형수명이 짧으며 소성 및 절삭가공이 곤란한 단점이 있으나 새로운 합금소재개발과 가공기술에 의해서 극복하고 있다. 특히 과공정 알루미늄-실리콘합금의 용탕에 인(Cu-P)을 첨가하므로써 초정실리콘을 미세화시키는 것이 가능하게 되어 이 합금을 이용한 알루미늄부품들이 발달하게 되었다.

과공정 알루미늄-실리콘합금으로는 390, A390 및 B390 alloy 등이 있으며 이중 390과 B390합금은 다이캐스팅에 적합하며 A390은 사형이나 금형주조에 맞도록 합금설계되었다. 이 합금들의 장점은 열팽창계수가 낮다는 점이며 경도가 높기 때문에 내마모성이 우수한 특성을 갖고 있다. 그러나 실리콘의 조대화를 방지하기 위해서 여러종류의 첨가제를 첨가해야 하므로 그 결과 충격치가 낮고 절삭성이 양호하지 못한 단점이 있다. 이의 개선을 위한 개량처리나 합금설계가 필요하다. 실린더블록으로 사용될때는 3~6 micro-inch 정도로 알루미늄기지를 에칭시켜 경한 실리콘입자를 실린더내면에 에칭처리하므로써 내마모성을 더욱 향상시켜 사용하게 된다. 이때 피스톤은 철프레이팅시켜 마모특성을 적합하도록 하는 Tribological Approach의 연구가 병행되어야 한다.

최근에는 위의 390 계열의 과공정 Al-Si-Cu 합금이 외에 공정 Al-Si-Ni-Cu계 합금(3HA)이 개발되어 내마모성이 중요시되는 실린더블록이나 실린더헤드재료로 사용될 전망이다. 이 합금은 금속조직을 Fully-entectic으로 해 주므로써 390-T5, 390-T6나 종래의 알루미늄주물용 합금보다 마모저항이 우수한 것으로 평가하고 있다. 또한 390합금계와 마찬가지로 좋은 주조성과 열간균열에 대한 저항성을 지녔으면서도 주조온도가 720~750℃ 정도로 낮기때문에 금형수명이 길고 용탕내의 가스침입이 줄어들며 기계적성질 및 부식저항도 우수한 편으로 소개하고 있다. 공정실리콘의 분산을 양호하게 해주기 위해서 스트론튬의 첨가가

390합금계보다 많다.

2) 새로운 다이캐스팅 주조기술

알루미늄합금다이캐스팅산업은 주로 자동차산업의 발전과 함께 역사를 같이 한다. 경량화의 중요성이 부각되면서 고품질이고 안정된 자동차부품을 다이캐스팅 방법으로 생산하고자 하는 노력이 꾸준히 진척되어 왔으나 아직도 개선해야 할 점은 많다. 그 몇가지를 살펴보면 다음과 같다. (i)다이캐스팅법은 용탕삽입분사시 제품에 가스혼입의 결함이 있어 열처리가 어려워 고강도 다이캐스팅제품의 생산이 곤란하다. (ii)내압성은 공압으로 10kg/cm²이 못되고 유압으로 100kg/cm² 이하이며 내열성도 200℃가 한도이다. (iii)다이캐스팅합금은 신율이 1%정도이고 인성이 나빠서 사용도가 한정되어 있다. 이의 개선을 위해서 다각적인 방향에서 소재 및 주조기개발을 모색하여 왔다. 전향에서 소개되었던 열처리 가능한 고강도 다이캐스팅 합금소재의 개발로 고품질의 다이캐스팅 기능부품의 개발이 가능하여 졌고, 다이캐스팅주조기의 개선이나 새로운 주조방법의 개발이 꾸준히 진척되어 왔다.

예로서 다이캐스팅시 용탕충진완료직후에 급정지되는 프란샤의 운동에너지에 의해 주조압력의 1.5~2배의 충격압이 발생한다. 이로 인하여 기계본체와 금형수명에 영향을 미치고 주조결함을 발생시키는 원인이 되기도 한다. 이 충격압을 방지하기 위해서 증압상승기간, 증압타임레그 및 증압력의 제어가 임의로 조절할 수 있는 증압실린더의 제어방식이 새로이 나타나고 있다. 독일에서 개발된 급속증압작동과 증압제어가 가능한 멀티제트시스템 증압기구가 있다. 일본에서는 증압이 용탕에 작용하게 되는 타임레그를 없게하여 충격이 없는 Select Roll 시스템, 고속사출 충격압이 적은 유니가스시스템등이 개발되어 졌다. 새로운 주조방법으로는 가스혼입방지를 위해서 무공성다이캐스팅, 진공다이캐스팅, 아큐라드, 저속충진다이캐스팅 등이 있으며 조직미세화를 위한 용탕단조법, 레오캐스팅법이 있다. 보통 다이캐스팅제품은 가스혼입량이 10cc/100gr 이상인 반면 전신재는 1cc/100gr 이하이다. 무공성 다이캐스팅이나 진공다이캐스팅법에서는 이를 1~5cc/100gr 까지 낮출 수 있어 비중이 0.5이상 증가하며 열처리가 가능하여 기계적강도의 향상이 있고 내압성과 용접성의 향상도 기대하게 되었다. 용탕 단조법은 가압력이 500~1500kg/cm² 정도로서 이 제품은 특히 피로강도와 충격치가 단조품보다 우월하다고 보고되고 있어 기능부품에 사용이 기대된다.

종합하여 볼때 알루미늄합금소재의 개발동향은 과공정 알루미늄-실리콘합금에 관한 개발연구가 성공되어 내마모성향상에 큰 기여를 하고 있으며, 새로운 주조법의 출현은 고강도 알루미늄합금의 제조가 가능하여지고 있다. 특히 용탕단조법은 70년대의 개발연구단계를 지나 최근에 들어와서 자동차부품에 응용이 성공되어 확장일로에 있다. 용탕단조시킨 트럭용 알루미늄휠에 대한 개발이 관심을 끌고있다. 용탕단조법에 관한 자세한 국내외 기술현황은 추후 다른 지면을 통하여 보고기로 한다.

자동차부품의 알루미늄화는 최근 3~4년 사이에 큰 발전을 가져왔다. 특히 알루미늄휠과 라디에타에서 괄목할 만한 성과를 보였고 알루미늄 시린더블록과 동력전달장치부품에서 착실히 성장을 하고 있다. 그러나 재료 그 자체만을 경량화시키므로써 자동차부품의 경량화를 성공시킬 수 있다고 말할 수 없다. 재료 자체의 특성향상이외에 부품의 내구신뢰성, 안전성, 제조코스트 등 부품의 기능과 성능 및 설계보완과 제조원가등이 고려되어 발전되어야 최종적인 경량화성과를 기여할 수 있다고 하겠다. 이를 위해서는 새로운 소재개발과 가공기술개발뿐아니라 경량화 설계에서도 연구가 병행되어야 할 것이다.

4 . 맺는말

다음특집호게재예정주요기사

自動車用鑄物材料	이 영 훈
黑 IS 可鍛鑄鐵	허 보 영
金型鑄造	권 해 옥
오스팀 퍼트球狀黑鉛鑄鐵	姜 春 植
銅 및 銅合金鑄物	경 신 호
亞鉛合金鑄物	김 창 규
工場紹介	