기술자료

자동차용 Al 주조부품의 적용동향

전은갑 · 박진영 · 박익민†

부산대학교 금속공학과

Application Trend of Aluminum castings in Automotive Component

Eun-Kab Jeon, Jin-Young Park, and Ik-Min Park†

Department of Metallurgical Engineering, Pusan National University, Busan 609-735, Korea

1. 서 언

최근 자동차 부품기술은 연비, 안정성, 편의성 및 내구성 향상과 배기가스 저감에 목표를 두고 발전하고 있으며, 특히 자동차부품의 경량화는 연비향상과 편의성 향상을 위하여 중점적으로 추진되고 있다. 자동차부품의 경량화기술은 가솔린 및 디젤 엔진의 해외 배기가스 규제를 충족시키기 위한 연비향상 측면과 미래형 자동차인 하이브리드, 전기자동차와 연료전지 자동차의 성능향상을 위해 핵심적인 기초기반기술로서 기술개발의 중요성이 매우 높다. 자동차 경량화소재분야는 자동차부품의 설계 및 해석 기술, 기존 소재를 대체하기 위한 신경량 소재개발과 부품성형장치개발, 성형기술 개발 및 성형부품의 신뢰성 평가분야 등이 있지만, 그중에 자동차 부품의 경량화 기술은 전통적으로 자동차 부품소재로 사용되는 철계부품소재에 대하여 박육화와 알루미늄, 마그네슘 등의 비철경량금속과 플라스틱 재질을 비롯한 고분자재료분야 등의 부품소재 대체 적용 기술이 핵심 기술분야이다[1].

특히 알루미늄은 비중이 강철의 약 1/3배, 열전도성, 주조성, 가공성이 양호하고 내식성이 우수하며, 용융점이 낮고 90%이상 재활용이 가능하여, 자동차분야를 비롯하여 전기기기 및 기타산업분야에 다양하게 적용되고 있다. 최근 자동차에서는 알루미늄 합금을 이용하여 샤시부품, 파워트레인 부품, 차체 및 의장에 대해 전반적으로 사용되고 있다. 이같이 차량에 적용되고 있는 알루미늄은 대부분 주조제품으로서 특히 실린더 블록의 경우 단일부품 중 가장 경량화 효과가 높아 미국, 일본, 유럽에서 활발하게 연구개발이 진행되고 있다. 따라서 본 보고서에서는 미국, 서유럽 및 일본의 자동차부품에서 알루미늄 주조제품이 적용되는 현황 및 제품에 대하여 소개하고자 한다.

2. 미국에서 알루미늄 주조품에 대한 규모[2]

미국시장에서 자동차 부품에 알루미늄을 적용하는 동향은 계속 증가되고 있다. 이는 CAFE(The corporate average fuel economy)와 자동차 제작사에서, 연비향상과 무게절감을 위하여 자동차 부품사에게 엔진 및 동력전달계열, 차체 등 차량의 모든 시스템에 대하여 기존의 철계 부품으로 이루어진 Stamping 제품과 용접제품, 주조제품에 대하여 알루미늄 제품으로 개발할 것을 요구하고 있다. 특히 미국 자동차 산업계와 빅3인 GM, Ford, DaimlerChrysler에서는 3 L-Car(연료 3 L로 100 Km주행) 급 중형차 개발을 위하여, 미국정부와 미국주조협회를 통하여 경량금속을 이용한 주조품의 설계와 생산 최적화에 노력하고 있다. 이러한 목표를 달성하기 위해서는 차량에서 샤시의 무게, 차체 및 내장재의 무게를, 차량의 안정성과 승차감 및 성능 그리고 가격에 영향이 없도록 하는 조건에서 최대 50%이상 감량해야 한다. 따라서 알루미늄 주조품은 기존의 철계 부품을 대체하기 위한 가장 좋은 소재로 주목받고 있으며 이에 대한 사용량이 점차 증가되고 있는 추세이다.

Stratecasts, Inc,사(Ft. Myers, Florida)의 조사에 따르면, 승용차 및 소형트럭에서 알루미늄 주조품으로 적용한 양은 2001년에 107만톤에서 2011년에는 166만톤으로 매년 4.4%씩 증가하는 것으로 예상되고 있다. Table 1에 승용차 및 소형트럭에 적용되는 알루미늄 주조품의 적용 부품 및 구성비율을 나타내었다.

이것은 자동차에서 알루미늄 주조품의 사용량이 2001년에 차량당 84 kg에서 2011년에는 차량당 123 kg으로 적용되는 것으로 환산된다. 알루미늄 주조품은 대부분이 다이캐스팅제품이며

Table 1. Forecast of Automobiles and Light Trucks Using Cast Aluminum.

Component	2002	206
Engine Block	40%	60%
Cylinder Head	90%	96%
Intake Manifold	40%	28%
Transmission Case	95%	94%
Wheels	63%	75%
Pistons	95%	94%
Brake, Suspension	15%	25%

†E-mail : ikmin@pusan.ac.kr

Table 2. Forecast of Cast Aluminum Use By Component in 2008.

Component	% Using Cast Aluminum By 2008
Rocker Arm Cover	25
Rocker Arm	30
Master Cylinder	60
Disc Brake Calipers	8
Disc Brake Rotors	8
Water Pump and Oil Pump Housings	50
Steering Knuckle	10
Suspension Control Arms	10
Differential Carrier Cover	10
Accelerator Pedal	10
Wheel Brake Cylinder Body	30

(현재는 다이캐스팅제품의 비중이 67% 정도), 나머지부품은 중력주조(Permanent mold), 소실주형(Lost form)과 사형주조(Sand casting)로 생산된다. Table 2에서 2008년도에 승용차 및 소형트럭에 적용되는 알루미늄 주조품의 예상치를 나타내었다.

3. 서유럽지역의 알루미늄 제품 및 주조품의 시장[3]

서유럽의 자동차산업에서 알루미늄의 평균 사용량은 지난 10년과 대비하여 2배나 증가하였다. Fig. 1에 유럽시장에서 1990년부터 2015년까지 자동차 부품에 적용되는 알루미늄 평균 적용양을 나타내었다. 차량에서 알루미늄이 자동차 부품에 적용되는 양은 차량당 2000년에는 엔진부품에 59 kg, 차체부분에 11 kg, 샤시부품에 6 kg으로 사용되었으며, 외장부품에 5 kg 및 기타 21 kg하여 평균 102 kg이 적용되었으나, 최근 개발되는 신규차종의 경우에는 알루미늄을 자동차 부품에 적용하려는 양이 더욱 늘어나서 승용차의 경우 2배 이상 사용량이 증가할 것으로 예상된다. Fig. 2에서는 현재 서유럽에 생산되고 있는 일부 차량의 알루미늄이 적용되는 양과 비율을 나타내었다. 최근 중소형차에서 알루미늄의 사용은 50 kg에서 200 kg 정도 적용되었으나, 특히 Audi사의 A2와 고급모델인 A8의 경우는 각각 300 kg과 500 kg을 사용하는 등 알루미늄 부품의 적용은 증가하고 있다.

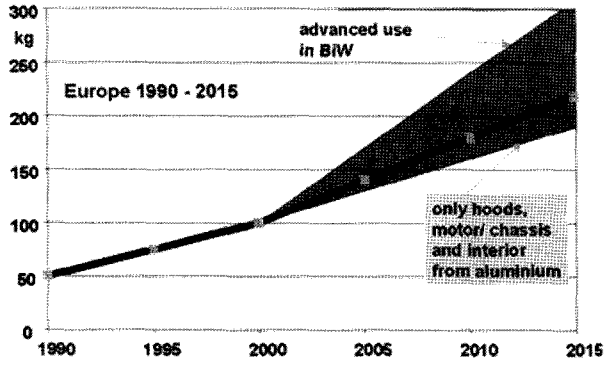

Fig. 1. Average use of aluminum per car in Western Europe.

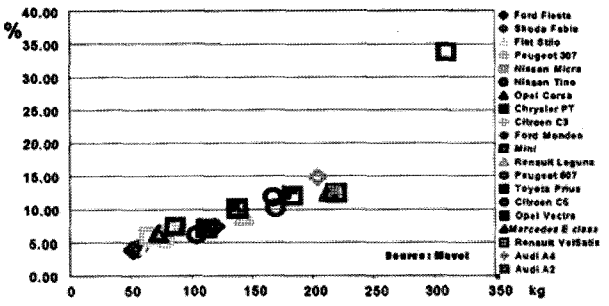

Fig. 2. Relative and absolute shares of Aluminum is some European cars.

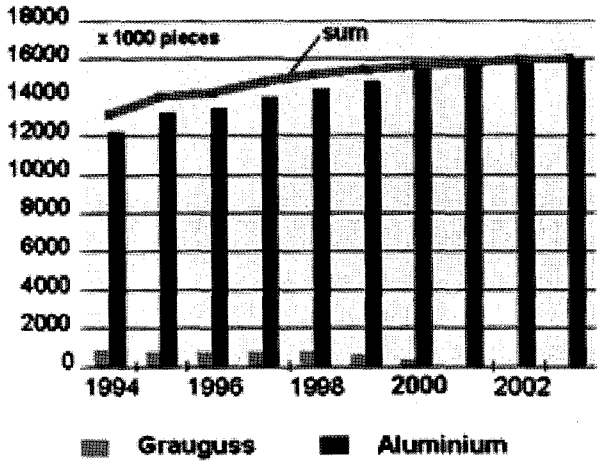

Fig. 3. Production of cylinder heads in Europe.

자동차에서 가장 높은 부피를 가지고 있는 알루미늄 부품은 실린더 블록과 실린더 커버, 샤시부품이다. 아직까지 주철계 엔진블럭 주조품이 꾸준히 적용되고 있지만, 디젤엔진에서도 알루미늄주조품을 이용한 자동차부품의 시장점유도가 점차적으로 증가되고 있는 추세이며, 이는 알루미늄 합금의 발전(Al-Si-Cu-Mg-Fe계)과 새로운 주조기술의 발전으로 재료 특성이 많이 개선되어 자동차 제작사의 요구사항을 만족하기 때문이다. 특히 자동차 제작사는 엔진과 샤시부품에 알루미늄 부품을 적용하여 차량의 경량화를 많이 요구하고 있으며, 자동차 부품사에게 이러한 경향으로 이끌어가도록 요구하고 있다. 따라서 고급 승용차의 경우 알루미늄 부품의 적용을 통해 주목할 만한 성과를 얻었다.

알루미늄 주조는 다양한 자동차 부품의 적용성으로 알루미늄 스페이스 프레임 차체(알루미늄 압출재 프레임 + 경량외판), 샤시부품(서스펜션암, 너클, 캐리어, 휠, 크로스멤버, 각종 브라켓), 파워트레인 부품(실린더헤드, 실린더블록)에 혁신적으로 적용되고 있다. 여러 가지 부품이 결합되어 있는 복잡한 부품의 경우 알루미늄 주조방법으로 최적의 기계적 성질과 향상된 기능을 나타내었다. Fig. 4에 이에 대한 예를 나타낸 것으로, AUDI사의 A8의 B필러에 기존에는 판재 및 압출재, 다이캐스팅 부품으로 구성되어 있는 제품을, 알루미늄 다이캐스팅을 통하여 단 1개의 제품으로 주조하여 무게 경량화 및 제품의 조립공수를 줄여서, 제품의 단가를 감소시켰다.

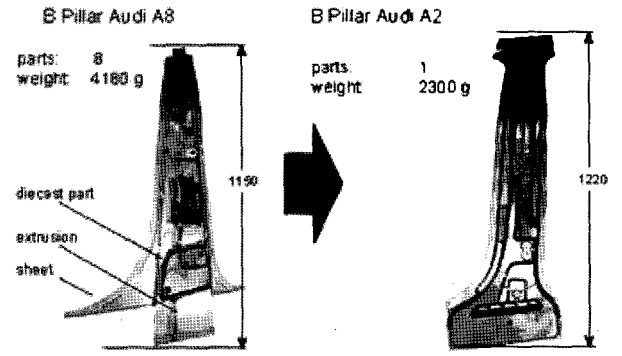

Fig. 4. Development of Al die-castings for multifunctional integration [AUDI].

4. 일본의 알루미늄 주조품의 현황[4]

일본국내의 승용차 생산은 매년 2.9%씩 증가하여 2004년기준 8,720,835대가 생산되었으나, 트럭생산은 0.9%감소한 1,730,691대가 생산되었으며. 버스도 1.0% 떨어진 60,422대이다. 하지만 결과적으로는 2004년에는 자동차 전체 생산량은 2.2% 증가된 10,511,518대가 생산되었다.

알루미늄 제품은 2004년 총 433만톤이 생산되었으며, 이중 자동차산업에 적용된 비중은 33%인 145만톤이 생산되었다. 주목할 점은 일본에서 자동차 부품시장에서 알루미늄은 기존의 철계인 엔진부품, 샤시, 서스펜션 부품 등에 적용되어, 1986년 차량당 55 kg에 적용되던 것에 대비하여 100 kg을 넘어서고 있다. 최근 자동차 분야의 알루미늄의 적용은 최근 주물과 다이캐스팅 제품의 적용이 많으며, 알루미늄 판재와 압출제품의 비중도 점점 커지고 있다. Fig. 5에 자동차 부품에 적용되는 알루미늄제품의 양과 비율을 나타내었다. 알루미늄 주조품의 경우 다이캐스팅 제품을 포함하여 2004년에는 80%정도 차지하고 있다.

5. 적용부품의 사례[2]

알루미늄 합금에 의한 자동차 부품은 대부분 주조공정으로 제조되는데 사용목적, 제품 형상, 소요수량, 품질 수준, 경제성 등에 따라, 중력주조 및 다이캐스팅 등 다양한 주조법과 최적

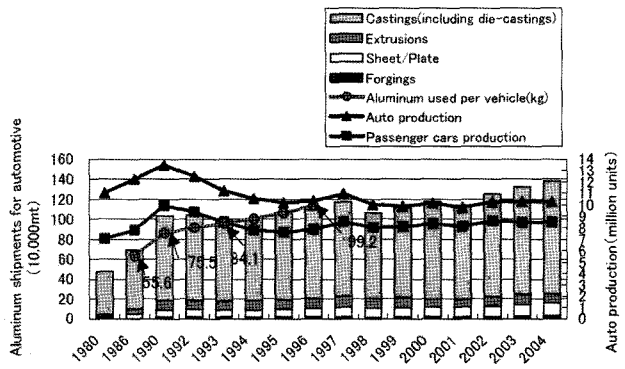

Fig. 5. Auto production and Automotive Aluminum Shipments.

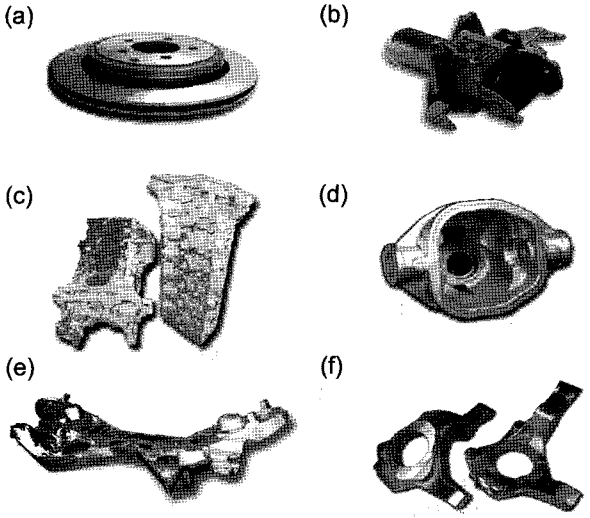

Fig. 6. Automotive Aluminum Castings.
(a) Brake rotor (b) Steering column (c) Inline 6cylinder block and head (d) Differential Carrier (e) Crossmember (f) Steering knuckle.

의 합금을 선택하게 된다. 최근 알루미늄합금이 적용되는 자동차 부품의 적용분야는 샤시 및 파워트레인 부품, 차제와 의장제품으로 그 영역을 확대하고 있는 실정이다. 여기에서는 이러한 자동차 제품중 주조법을 통하여 제작된 부품에 대하여 자세히 소개하고자 한다.

Fig. 6(a)는 브레이크 로터(Brake rotor)로서 Eck사에서 제작되어 Crysler에 적용되었다. 기지금속은 A356합금에 SiC 20%를 함유한 복합재료로서 기존의 브레이크 로터에 대비하여 50%의 무게 절감효과를 가졌으며, 기계적 성질 및 브레이크의 가장 큰 특성인 마모율과 내구성은 기존의 주철제품과 동일하였다.

Fig. 6(b)는 스티어링 칼럼(Steering Column)으로 Intermet사에 의해 제작된 것으로 Mitshbishi 자동차에 적용되었다. 기존의 철계제품을 용접하여 사용하던 것으로 알루미늄 다이캐스팅을 통해 가격 및 무게절감효과를 얻었다.

Fig. 6(c)는 직렬6기동 엔진의 실린더블럭과 헤드로서 GM에서 제작하였다. 기존의 주철제품을 소실주형법(Lost foam)으로 제작한 것으로 무게감소로 인하여 연비향상을 가져왔다. Lost foam의 주조법을 통하여 오일과 냉각수 통로 등의 기계가공부를 줄일 수 있는 다양한 설계를 추진하여, 제작공수 및 기계가공 공수를 줄일 수 있었다.

Fig. 6(d)는 차동기어하우징으로 Hayes Lemmerz사가 제작하여 DaimlerChrysler의 Jeep에 적용되었다. 중력주조로 제작되었으며 A356 합금을 이용하여 40%의 무게절감효과를 얻었다.

Fig. 6(e)는 서스펜션의 크로스멤버(Crossmember)로서 Hayes Lemmerz사가 제작하여 Pontiac과 Buick에 적용되었다. A356 합금을 이용하여 중력주조로 생산하였으며, 기존에는 스탬핑한 강에 용접을 하여 제작하던 제품을 주조를 통하여 조립공수를 줄이고, 승차감 및 운전성을 향상시키고 소음도 절감할 수 있었다.

Fig. 6(f)은 스티어링 너클로서 Intermet사가 제작하였다. 기존의 철강제품을 직접개발한 방식인 PCPC(Pressure counter pressure casting)법을 통하여 기존의 제품에 대하여 40%의 무게 절감효과를 얻었다.

6. 결 언

알루미늄 자동차 부품의 적용분야는 점점 확대되고 있으며, 이에 따른 알루미늄 주조품이 차지하는 비율도 높아지고 있다. 유럽 및 미국, 일본에서는 현재 차량당 100 kg 이상의 알루미늄합금이 적용되고 있으며, 다이캐스팅을 포함한 알루미늄 주조품의 경우 60% 이상 차지하고 있다. 앞으로도 다양한 주조방법이 개발되고 적용되면 알루미늄 주조품의 자동차부품에 차지하는 비중이 더욱 높을 것으로 전망된다.

감사의 글

This work was financially supported by the National Research Laboratory (Development of Functional Metal Matrix Materials Composite materials) project from Ministry of Science and Technology of Korea.

참고문헌

[1] Ministry of Science & Technology, Korea Institute of Science and Technology Information : The trend of metal material development for light weight vehicle 49(2005.10)
[2] Alfred T.Spada : In Search of Light-Weight Components: Automotive's cast Aluminum Conversion (2002)
[3] J. Hirsch : Automotive Trends In Aluminum, The European perspective (2000)
[4] Japan Aluminum Association : Outline of the Japanese Aluminum Industry (2004)