

技術資料

자동차산업의 Al주물 이용현황

조원석

The Present and Future Applications of Aluminum Castings in Auto Industries

W. S. Cho

1. 서 언

지난 '80년대에는 자동차 메이커는 "Fun to Drive"라는 기치아래 주로 전자화, 지능화, 운전 성능의 향상 및 안전성 향상을 위한 기술개발에 주력해 왔다. 그러나 '90년대이후로 부터는 환경 문제를 비롯한 자동차의 사회적 책임에 대한 시민의 인식이 매우 높아져서 "사회, 자연과의 조화와 공존"이라는 개념이 자동차회사들의 주된 기술개발 관심사로 대두되고 있다. 구체적으로는 低연비 시스템을 갖추고 낮은 배기가스를 방출하는 "환경우호적 자동차"를 개발, 시도하게끔 되었고, 또 이는 어느정도 기술적으로는 가능하다고 판명되어져 왔다. 이러한 환경우호차량의 개발에 대한 가장 큰 장애요인은 비용의 증가와 소비자 요구가 아직은 그다지 크지 않다는 점이다.

차량의 경량화는 연료경제성을 향상시키는 가장 유력한 수단이라고 많은 기술자들이 이야기해 왔다. 하지만 자동차에 대한 최근의 성능향상, 안전, 쾌적성 등 다양한 요구에 따라, 중량은 점차 증가하는 추세이다. 이 때문에 부품을 합리적으로 설계하는 것 이외에 경량재를 사용해서 차량을 구성하는 각종 부품의 중량을 저감할 필요가 한층더 강조되고 있다. 경량재로는 수지, 알루미늄, 마그네슘, 티타늄 등을 열거할 수 있지만, 이들 경량재중에서도 현재 가장 많이 사용되고 있는 것이 수지와 알루미늄이다. 알루미늄의 자동차 1대당 사용비율은 그림 1에 표시하는 바와 같이 2.0 l 급의 자동차에 있어서 약 7% 정도이다.(비교적 Al을 많이 사용하는 회사의 예임)

이것을 엔진의 경우에서 보면 최대 31%까지 큰 비율을 차지하고 있는 예(그림 2)도 일본의 本田자동차에서 찾아볼 수 있다. 물론 소형차상 분류로 보면 대부분이 아직까지는 주물로 구성되어 있다. 本稿에서는 현재 자동차 업계에서 이용중인 알루미늄 주물개발 현황에 대해 소개하고자 한다.

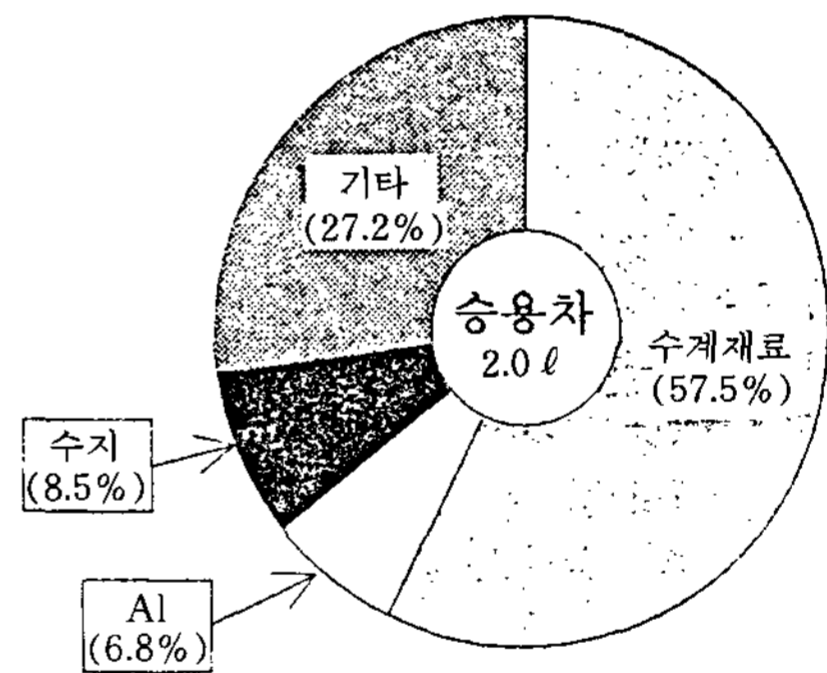


그림 1. 자동차의 재료구성비율[1]

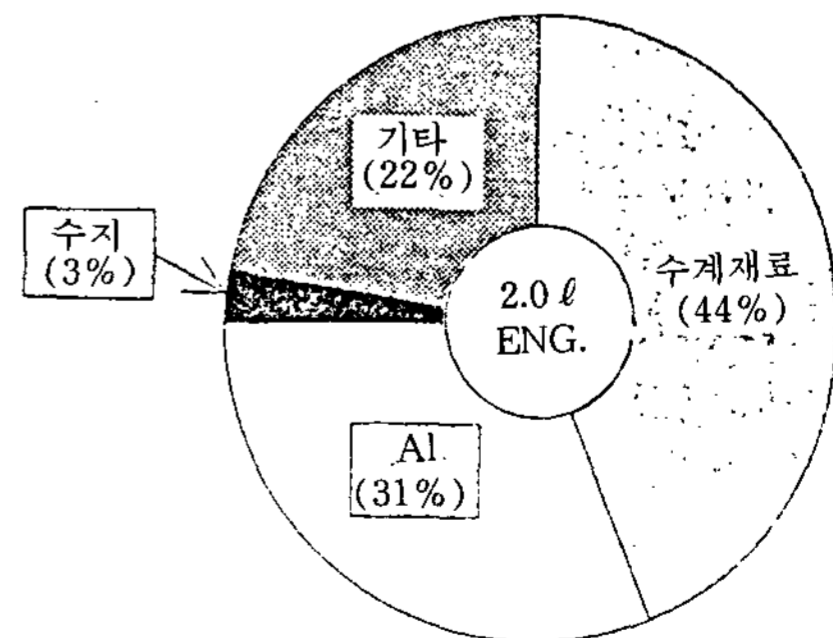


그림 2. 엔진의 재료구성비율[1]

기아자동차(주)(1995년도 춘계학술발표 및 기술강연대회에서 강연한 내용임)

2. 엔진에 있어서 알루미늄 주물

엔진을 구성하는 알루미늄 주물(계획중인 것도 포함해서)로서는 각종 카바, 케이스류, 브라켓트, 흡기 매니폴드, 실린더 블럭, 실린더 헤드, 로커암, 왕복운동 부품 등 여러가지를 열거할 수 있으나 여기서는 본체부품인 실린더 블럭, 헤드 및 왕복운동 부품인 피스톤의 경우에 초점을 맞추어 소개하고자 한다.

2.1 실린더 블럭

자동차엔진용 실린더 블럭은 엔진의 고성능화, 경량화에 따라 주철제로 부터 알루미늄 주물로 급속히 이행하고 있다. 일본의 本田자동차는 80년대 후반부터 모든 승용차 엔진의 실린더 블럭을 Al화하고 있고, 우리나라도 선행개발은 완료된 상태에서 여러 전략적 적용가능성을 타진 중으로 조만간 그 모습을 선보일 것으로 예상된다.

실린더 블럭의 구조는 그림 3에 나타내는 바와같이 크게 Open-Deck과 Closed-Deck형으로 대별된다. Open-Deck은 Water Jacket의 통로가 실린더 블럭의 상면에 라이너 주위에 위치하고 있어서, 중자를 사용하지 않고도 금형으로 형성할 수 있기때문에 제조상 유리하다. 그러나 강성면에서는 열세를 면치 못한다. 반면 Closed-Deck형은 강성은 높으나, 주조시 중자를 이용할 필요가 있다. 따라서 Open-Deck형을 채택할 경우 고압주조법인 다이캐스트법으로 제조 가능하나, 고강성인 Closed-Deck형의 경우는 저압주조

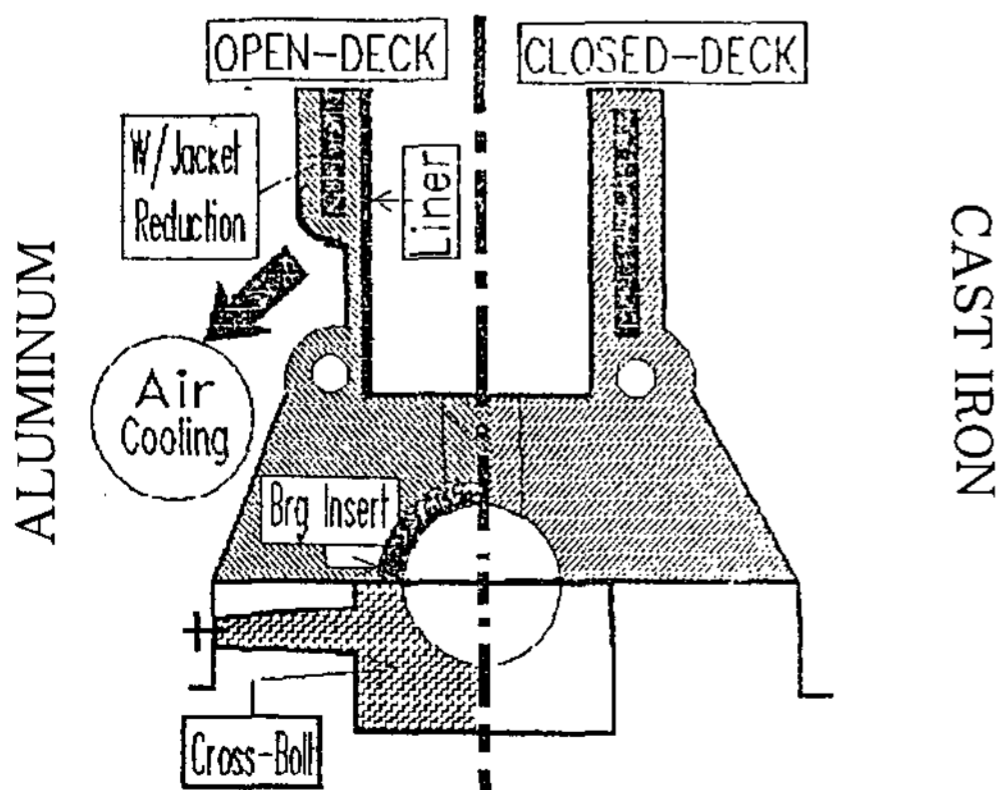


그림 3. 실린더 블럭의 구조

를 기본으로해서 생산성 향상을 꾀하는 방안을 각사가 개발하고 있다.(Honda(NDC법)[2], Toyota(TDP법)[3])

한편, GM의 새턴 엔진에서는 “로스트폼” 주조에 의한 실린더 블럭이 개발 실용화되고 있다. [4] 이 제법은 발포 폴리스틸렌에 제품모델을 성형한 후, Al용탕에 폴리스틸렌을 연소 소실시켜 알루미늄과 치환시킨다고 하는 제법이다. 이 제법의 특징은 금형을 필요치 않기때문에 복잡한 형상을 성형할 수 있다는 것과 그때문에 부품의 통합화가 가능하다는 효과를 기대할 수 있다.

또다른 블럭 구조의 분류로는 라이너의 유무에 따라, 일체형과 별체형으로 각각 나누어 생각해 볼 수 있다. 종래는 Al블럭에 주철 라이너를 따라 압입한 별체형이 주종이었지만, 최근은 과공정규소합금(A390)을 사용하는 것과, 라이너부를 섬유강화한 복합재료 타입(MMC)의 두가지 일체형이 개발되고 있다. 복합재료형은 상술한 Closed-Deck구조의 블럭을 진화시켜, 고강성으로 경량화, 고출력화를 가능케 한다고 주장된다. [5] 92년 9월 本田에서 양산한 이 공정은 A390제 블럭중에 피스톤을 섭동하는 라이너부를 알루미늄과 탄소섬유로 강화한 것이다. 주로 알루미늄과 탄소섬유(직경 3 μ m, 길이 100 μ m)가 내마모성을, 탄소섬유(PAN계, 직경 7 μ m, 길이 100 μ m)가 윤활성을 높이고 있다고 한다. 종래 주철제 라이너를 압입한 Al블럭에 비해 약 20%, 주철제 블럭에 비해 약 50% 경량화했다고 발표하고 있다.

이와같이 실린더 블럭의 Al화는 여러 접근방법에 의해 급속하게 전개되고 있다. 향후도 이 경향은 지속될 것이고 품질의 향상과, 생산성 향상이라는 목표도 신기술 개발과 더불어 달성되어야 할 것이다.

2.2 실린더 헤드

실린더 헤드는 엔진의 성능을 결정하는 연소실을 구성함과 더불어 흡기, 배기를 제어하는 밸브계를 지탱해 주고 있는 역할을 담당하는 주요부품이다. 알루미늄제 실린더 헤드는 종래 GDC(중력주조법)으로 제조되어 왔지만, 헤드에는 DOHC화 등에 의해 복잡형상이 요구되고, 더우기 정도와 경량화도 더욱 요구되고 있는 실정이

다. 이를 위해서 LPDC(저압주조법)가 제조법으로 각광받고 있다. 또, 재료는 주조성이 좋고, 고강도가 요구되어 AC2B재를 T6처리해서 사용하는 것이 일반적이다. 모든 엔진을 4Valve화한 本田의 경우, 헤드 제조 공정으로서 종래의 LPDC에 고정도인 금형온도 제어를 조합시킨 새로운 LPDC를 개발해 채용하고 있다. 이 제법의 개발에 따라 급속지향성 응고에 의한 사이클 주기의 단축과 고품질화를 동시에 실현하고, 대물 부품인 실린더 헤드를 고효율로 생산하게끔 되고 있다.

또다른 신기술로서는 밸브시트가 부착되지 않은 헤드가 도요다 자동차에 의해 개발된 것을 들 수 있다. Al주조제 헤드의 밸브 착좌부를 Laser Cladding법에 의해 합금화와 조직의 미세화를 실현하고, 종래의 압입하고 있던 시트를 없앤 것이다. 그 결과 밸브경을 넓혀, 높은 흡입효율이 얻어져서 고출력화를 달성할 수 있었다.

2.3 피스톤

엔진의 고출력화에 따라 피스톤의 열부하도 증대하는 경향이 있어서 이것에 대응하기 위해 고합금화가 추진되고 있다.(규소량의 증대, AC8A → A351) 또한 신주조기술로는, 배기가스저감(Crevice Volume의 감소)과 링홈 내마모 대책의 일환으로서, 디젤엔진을 중심으로 하여 MMC(금속기지 복합재료)공법이 개발 보급되고 있다.[6] 피스톤 전체를 MMC화한 것은 아니고, 알루미늄 합금제 피스톤의 링홈 마모방지 금속(통칭 내마환)의 부분을 알루미늄, 실리카(Al_2O_3 , SiO_2) 단섬유로 강화한 것이다.(그림 4참조) 내마환은 디젤엔진의 피스톤에 장착되는 톱링이 소착되는 것을 방지하는 것이 주 목적인 부품이다. 종래는 Ni-Resist라고 하는 Ni계 주철제를 사용한 것을, 알루미늄, 실리카 단섬유 강화 Al합금의 MMC로 대체한 것이다. 단섬유의 함유량은 2가지로 공표되고 있다. 하나는 저알루미늄 조성으로 51wt%알루미늄, 49wt%실리카로 평균경이 2-8 μm 이고, 또 하나는 고알루미늄 조성으로 95wt%알루미늄, 5wt%실리카로 평균 정경 3 μm 이다. 고부하 엔진에서는 고알루미늄 조성을 이용하고 있다. 또 마즈다 자동차는 알루미늄, 실리카 단섬유 대신에 니켈 발포금속을 이용한

MMC를 내마환부에 활용한 MMC화 Al합금제 피스톤을 개발하고 있다. 이 공정을 국제 적용하기 위해서는 값싼 Ceramic Preform의 개발이 선행되어야 할 것이다.

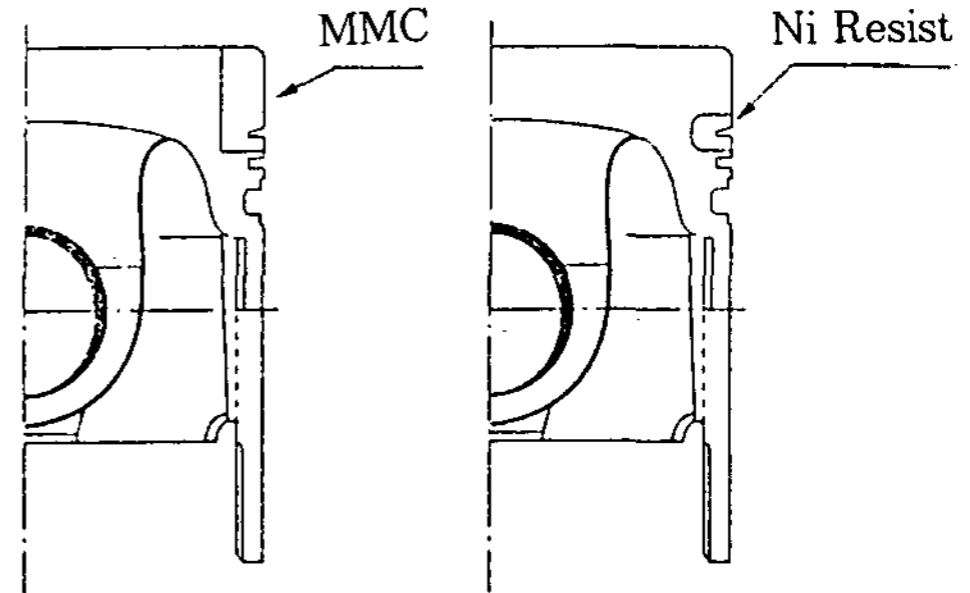


그림 4. 내마환부를 MMC화한 피스톤의 모식도

3. 샤시 계통의 알루미늄 주물

샤시는 자동차의 승차감과 주행성, 안전성을 결정하는 중요한 기구로, 서스펜션계, 액슬계, 조향장치계, 브레이크계로 나누어 생각할 수 있다. 샤시계통도 여러요구에 의해 구조도 복잡해지고, 부품수도 증가하기 때문에 차량 중량과 코스트를 상승시키고 있다. 따라서 적극적 경량재료의 채용과 코스트다운 대책이 요구되고 있다.

3.1 용탕단조에 의한 Arm개발[7]

용탕단조법으로 제작된 알루미늄합금제 Upper Arm을 마즈다는 '91년부터 Rx-7에 적용하기 시작하였다.(그림 5) 그동안 마즈다는 '85년경부터 Arm종류에 Al합금 열간단조품을 개발 적용한 실적이 있었지만, 이것을 다시 용탕 단조품으로 대체하기 시작했다. 부품의 코스트 비율은 Al합금의 열간단조품을 100으로 하면, Al용탕단조품은 50, 강제는 30이라고 판단된다. 저코스트 이유로는 사용빌레트의 가격차이와 용탕단조시 압탕등의 부분을 채용해 하는 등의 양호한 리사이클성을 들수있다. 재료로는 Al-Si-Mg계인 AC4C-T4를 사용하고 있다. 한편, 이전성을 들 수 있다. 재료로는 Al-Si-Mg계인 AC4C-T4를 사용하고 있다. 한편 이전의 열간단조의 경우는 6061 개량품이 이용되었다. AC4C-T4제품은 종전의 열간단조품에 비하면, 샤프 충격을 필두로, 인장강도와 내력, 피로강도, 신율 등이 약 10-20

% 열세이다. 그러나, 이 기계적 성질의 저하를 설계면에서 상쇄하는 기술이 확립되어 실용화 가능하게 되었다.

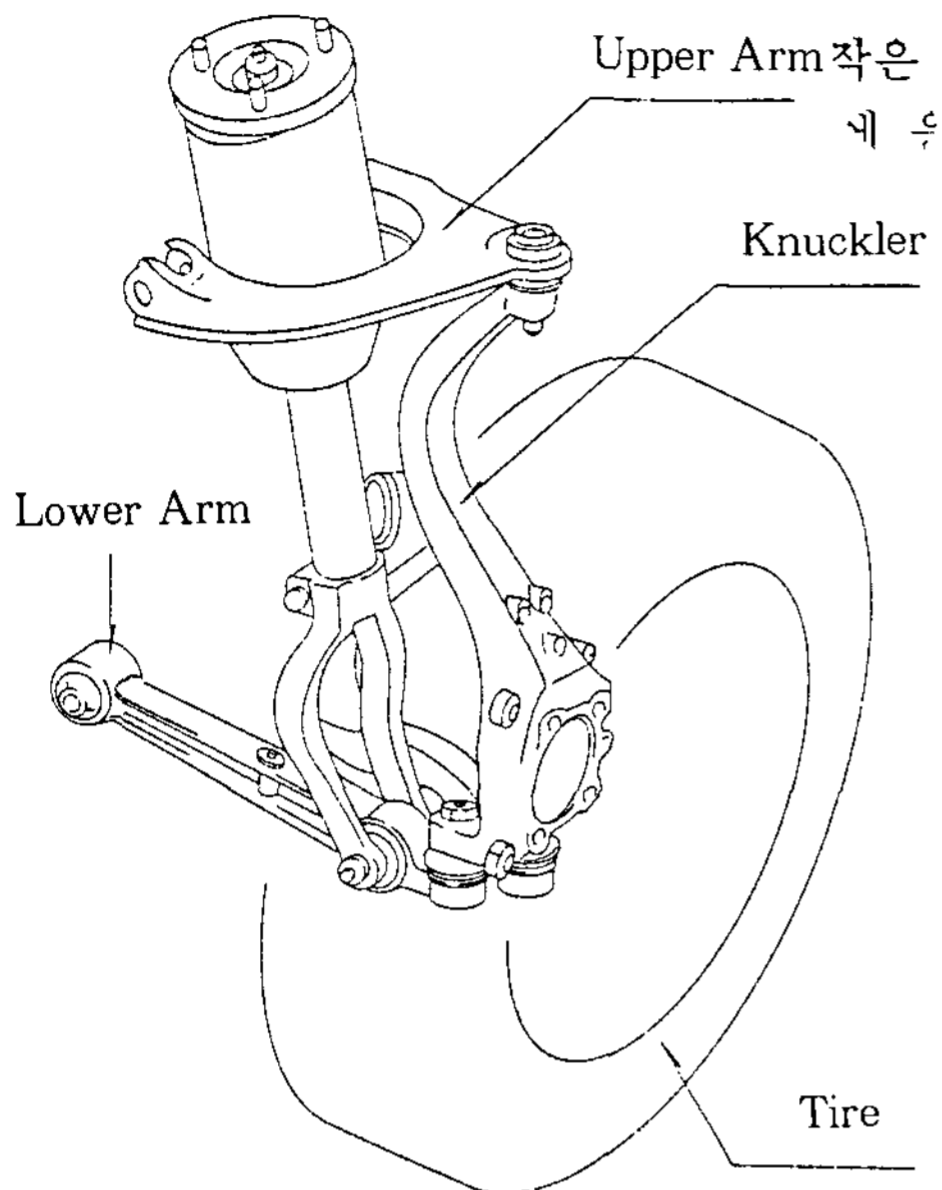


그림 5. Upper Arm과 Lower Arm의 구성도

3.2 Axle Housing

日産자동차는 최근 발표된 신차량의 액슬 하우스에 Al합금제 용탕단조품을 적용하였다고 보고했다. 종래의 구상흑연주철인 FCD400제 AC4C-T4의 용탕단조품으로 대체된 결과 약 50% 경량화가 달성되었다고 알려졌다. Al주조합금은 주철에 비해, 比탄성계수가 약 2배 높기때문에 약 50%의 경량화가 도모된 셈이다. 그 결과 샤시계의 “Under-Chassis하”하중이 적게되어, 승차감과 조정응답성, 고속주행과 선회시의 주행안정성이 향상되었다.

각종 주조법중에서 Al합금주물의 용탕이 가압되면서 응고하는 용탕단조법을 채용한 이유는 종래의 중력주조법과 저압주조법으로 제작한 Al합금주물에 비해, 열처리후의 인장강도와 신율이 가장 높고, Al합금의 단조품에 꽤 근접하기때문이다. 이를 바탕으로 日産은 더욱 Chassis계의 경량화를 본격적으로 진행할 계획이다.

3.3 브레이크계

브레이크계도 경량과 및 성능향상의 요구에 따

라 여러부품이 기존의 주철제로부터 Al합금주물로 대체되고 있다. 먼저 마스터 실린더는 종전에는 FC200등의 보통 주철이 사용되어 왔지만 최근 경량화 요구로 AC4C등의 Al합금제로 점차 이행되고 있는 추세이고, 캘리퍼 역시 용탕단조로 제조된 AC4C제 합금주물로 생산하고자 하는 연구가 국내에서도 활발하게 진행되고 있다.

이 시스템에서 보다 중요하게 우리가 주목해야 될 신기술 제품은 Al기지 복합재료를 이용해서 주조한 디스크 또는 드럼 브레이크일 것이다. 디스크 브레이크계가 차지하는 비중은 차량 중량의 약 4%정도에 지나지 않지만, 차량의 회전질량 및 스프링하질량에 미치는 영향은 꽤 괄목할 만하다 하겠다. 경량재료를 활용하여 브레이크를 제조하기 위해서는 다음 3가지 사항을 고려해야만 한다.

- 제동시 운동에너지가 열에너지로 전환하는데 따르는 열적 안정성(특히 Al기지재료는 주철물 보다 용점이 현저히 낮음)
- 제동시 디스크(로터)와 패드 사이에 발생하는 회전력에 대응
- 또한, 운전자에게 안정감을 주고 떨림, 소음, 마모 등에 대응해야 함.

위와 같은 요구를 만족키 위해, 다음 표 1과 같이 2종류의 Al MMC가 현재 제안되고 있다.

현재 국내 메이커를 포함하여 세계의 우수 자동차 메이커들은 이미 기술적으로는 Al MMC가 브레이크로터에 적용 가능하다는 결론을 도출했

표 1. 브레이크 로터(디스크)용 Al MMC

특 성	현용재료 (GG-15HC)	Al-30% SiC	Al-20% SiC
밀 도 $\rho(g/cm^3)$	7.15	2.8	2.76
열전도도 $\lambda(w/mk)$	50	160	173
비열전도도 $c(Nm/kgK)$	535	830	846
영 율 $E(N/mm^2)10^2$	70	120	96
강 도 $\sigma(N/mm^2)$	150	313	350
최대작동 온도T(°C)	800	440	440

지만, 향후 순조로운 양산을 위해서는 다음과 같은 과제의 해결이 필수적이다.

- Al MMC (Al-SiC or Al-Al₂O₃)
- 신소재 특성에 결부되는 디스크(로터)의 최적 설계(특히 열전도와 열적 적응력 고려 필요)
- 베어링 등 상대품의 적절한 설계변경

참 고 문 헌

[1] K. Fukizawa, H. Shiina : 日本 自動車技術, 1992(Vol.46) No. 5, Pp. 66

[2] 安藤芳夫外 : 日本 自動車技術, 1987(Vol. 41) No. 5, Pp. 642

[3] 宋原永吉外 : 鑄物, 1991(Vol. 63) No. 6, Pp. 6

[4] D. J. Reilly et al. : SAE Paper 910676

[5] T. Hyashi et al. : SAE Paper 890557

[6] 菅沼徹哉外 : 鑄鋼, 1989(Vol. 9), Pp. 1790

[7] 日經 Materials and Tech : 自動車材料, 1983, Pp. 127

[8] Bernd et al : SAE Paper 940335