

자동차용 알루미늄 분말부품의 기술동향

이재욱, 양상선, 김용진 | 재료연구소

1. 서 론

알루미늄 분말야금부품은 철계 분말부품에 비해 가볍고 알루미늄 주조부품에 비해 우수한 기계적 물성을 갖는다. 단, 상대적으로 비싼 가격이 이 부품의 응용을 제약하는 장벽이었으나 최근의 환경과 에너지 문제에 대한 세계적인 관심은 이를 극복할 수 있는 계기를 제공하고 있다. 선진국은 이미 일본을 중심으로 1990년대부터 알루미늄 분말부품에 대한 기술개발을 진행하였고 현재는 다양한 상용 부품을 판매하고 있으며 조만간 그 판매량이 크게 증가할 것으로 예상된다. 이 글에서는 알루미늄 분말야금부품 관련 기술의 국내외 동향을 모두 소개하지만 현재까지 국내 기술개발 수준이 상대적으로 취약해 주로 국외 동향을 소개한다. 우선, 각종 발표자료를 통해 알려진 국내외 산업체의 기술개발 동향과 상용화 사례를 소개하고 상용화의 가장 큰 걸림돌인 알루미늄 분말의 난소결성을 소개한 후 국내의 특허분석 결과를 보고한다. 본 글은 필자가 최근에 한국분말야금학회지에 투고했던 내용을 조금 수정한 것임을 밝혀둔다^[1].

2. 기술개발 및 상용화 동향

자동차로 대표되는 기계부품 산업에서 무거운 철강소재 대신 알루미늄 등의 경량금속을 사용하고자 하는 시도는 1990년대부터 본격적으로 이루어졌다. 그 전에도 에너지 소비량을 낮출 수 있다는 관점에서 경량금속에 대한 선호가 있기는 했으나 1990년대 들어 세계적으로 환경오염과 에너지고갈에 대한 우려가 심각하게 대두되면서 경량금속에 대한 관심이 높아지게 되었다. 자동차부품 중 알루미늄이 차지하는 비율(질량비)은 1990년대부터 급격히 증가하여 2000년대 초반 미국, 독일의 경우 7%, 일본의 경우 30%에 이르렀으며 국내 자동차의 경우 5% 정도를 나타내고 있다^[2].

다양한 자동차용 알루미늄 부품 중 분말야금(Powder Metallurgy) 부품이 차지하는 영역은 마찰(Friction) 또는 마모(Wear)와 관련된 부분이다. 알루미늄이 자동차에 적용되기 시작한 초기에는 제조공정이 단순해서 원재료 가격이 높지 않은 압연재와 주조재 등이 주로 차체(Body), 새시(Chassis) 등에 활용되었다^[3]. 하지만 정작 자동차에서 중량을 많이 차지하는 부분은 엔진, 트랜스미션, 브레이크 등과 같이 고속의 병진, 회전운동을 반복하는 구동부품들이다. 이들은 여타 부품들과 달리 높은 강도와 내마모성을 요구하고 형상이 복잡한 특징이 있는데, 압연재와

주조재는 철강에 비해 강도와 내마모성이 떨어지고 복잡한 형상으로 만들기 위해서는 다수의 가공(Machining)을 거쳐야 하므로 가격이 상승하는 문제점을 안고 있다. 따라서 원재료 가격은 높지만 다수의 가공 없이 복잡한 형상을 만들 수 있고 넓은 조성의 합금화와 복합화를 통해 높은 강도와 우수한 내마모성을 가질 수 있는 분말야금 소재가 철강을 대체할 소재로 거론되게 되었다.

실제로 알루미늄 분말야금 부품이 처음으로 자동차에 적용된 것은, 미국의 Metal Powder Product(MPP) 社가 제조한 Camshaft Bearing Cap이 GM의 Northstar 엔진에 탑재된 1993년이다^[4]. 이후 디젤엔진 피스톤 (Toyota), 실린더 라이너 (Honda), 구동축 (GM 트럭), 브레이크 부품 (GM, Chrysler) 등이 알루미늄 분말야금 소재로 제작되었다^[5]. 그림 1은 2006년 MPP 社가 제조한, 길이 17cm의 알루미늄 분말소재 Cam Cap과 Toyota 社의 알루미늄 주조재 Cam Cap을 비교하여 보여준다. 앞서 언급했듯이 이러한 부품들은 높은 강도와 우수한 내마모성을 필요로 하는데 알루미늄 분말소재들은 합금화와 복합화를 통해 이를 해결하고 있다. 대표적인 예를 들면, 합금화를 통해 강도와 내마모성을 극대화한 과공정 알루미늄-실리콘(AI-Si) 합금분말소재, 복합화를 통해 내마모성을 극대화한 알루미늄-탄화실리콘(AI-SiC) 복합분말소재가 있다^[7]. 두 소재 모두 1990년대부터 본격적으로 연구되기 시작하였고 분말야금공정을 통해서만 제조될 수 있다는 특징을 갖는다.

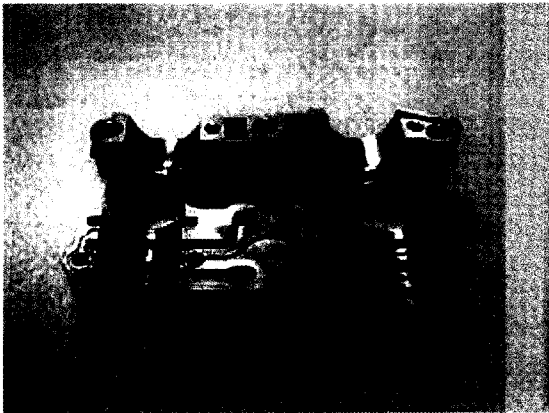


그림 1. 미국 MPP 社가 개발한 AI 분말소재 Cam Cap (위)과 일본 Toyota 社의 AI 주조재 Cam Cap (아래)^[6].

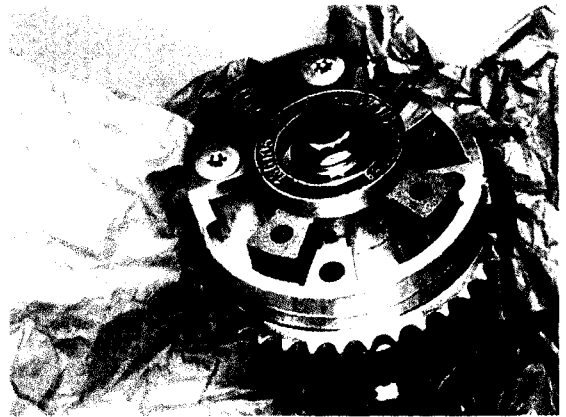


그림 2. 과공정 AI-Si 합금분말소재의 Chain Sprocket이 내장된 BMW 社의 Camphaser System^[6].

과공정 AI-Si 합금은 주조공정으로 제조될 경우 고용한계(Solubility Limit)를 넘어 석출된 실리콘 입자들이 느린 냉각속도로 인해 조대해져 강도를 낮추고 파괴를 일으키는 문제점을 갖는다. 1990년대 초 일본의 Sumitomo Electric 社는 이를 극복하기 위해 냉각속도가 빠른 가스분무공정(Gas Atomizing)으로 이 합금의 분말을 제조하여 이로부터 부품을 제작하는 기술을 개발하였다^[8]. 이 기술은 이후 각종 합금원소의 첨가와 소결, 압출 공정의 개선을 통해 상용화되었으며 최근 일본의 GKN 社와 독일의 ZF Getriebe 社는 이 소재로 오일펌프 기어를 공동 개발하였고 독일의 SHW 社는 이 소재의 Chain Sprocket을 개발하여 BMW 社에 엔진부품(그림 2)으로 납품하고 있다^[9].

AI-SiC 복합분말소재는 금속기지 복합재료(Metal Matrix Composite, MMC)의 대표적인 성공사례로 손꼽힌

다. 사실, Al-SiC와 같이 금속기지에 세라믹입자가 분산된 형태의 복합재료는 분말공정 뿐 아니라 주조공정을 통해 쉽게 제조될 수 있다. 실제로 미국의 Lotus 社와 Chrysler 社は Alcan 社가 제조한 Al-SiC 주조재의 브레이크 디스크를 채택하고 있다^[10]. 하지만 앞서 설명했듯이 주조재는 치수보정을 위해 가공공정을 거쳐야 하는데, 복합재료는 상대적으로 무른 금속기지와 단단한 세라믹입자가 혼합되어 있어 절단이 쉽지 않고 내마모성이 우수해 연마도 어려운 문제점을 갖는다. 따라서 치수보정이 필요 없는 분말야금공정은 복합재료부품을 제조하기에 매우 적합한 공정이며 아울러 주조공정에 비해 미세조직 제어도 용이한 장점(세라믹입자의 균일한 분포, 세라믹입자의 조대화 방지, 금속기지-세라믹입자의 반응 방지 등)을 가진다. 현재까지 분말야금으로 제조된 Al-SiC 복합분말소재는 자동차보다 주로 항공기에 적용되고 있다^[7].

2000년대 들어 알루미늄 분말소재의 기술개발 방향은, 위의 합금화와 복합화를 통합하는 방식이다. 즉, 과공정 Al-Si 합금분말과 SiC, TiC, AlN 등의 세라믹입자를 복합화하여 강도와 내마모성을 극대화시키려는 노력이 기울여지고 있다. 이러한 시도는 주로 일본에서 진행되고 있는데 한 예로, 2000년 Sumitomo Electric 社は 과공정 Al-Si 합금분말의 일부표면을 AlN 층으로 질화시켜 높은 내마모성의 부품을 제조하였다^[11].

현재까지 알루미늄 분말소재가 자동차부품에서 차지하는 비중은 철강소재나 알루미늄 주조재에 비해 현저히 떨어진다. 2006년 북미 자동차산업 생산액을 기준으로 알루미늄과 아연 주조재의 생산액은 70억불에 이르지만 알루미늄 분말소재의 생산액은 2천만불에 불과한 것으로 나타났다^[6]. 하지만, 자동차산업에서 알루미늄을 이용한 경량화가 시작된 것이 1990년 초로 아직 증가추세에 있으며 모든 기계부품 산업에서 초기에는 주조, 단조, 압연재가 쓰이다가 후기에 분말소재가 사용되게 된 것을 고려하면 앞으로 그 소비량이 꾸준히 증가할 것으로 예상된다. 또, 앞서 언급한 과공정 Al-Si 합금분말소재 및 Al-SiC 복합분말소재의 예에서 알 수 있듯이 그동안의 지속적인 기술개발로 인해 알루미늄 분말소재의 성능이 꾸준히 향상되었으며 가격도 철강소재의 200% 수준에서 130% 수준으로 낮아져 향후 다양한 부품에서 철강소재 및 알루미늄 주조재를 대체할 수 있을 것으로 기대되고 있다.

국내 자동차업체에서 알루미늄 분말소재 부품을 생산용 자동차에 탑재한 사례는 아직 보고되고 있지 않다^[2]. 따라서 알루미늄분말 제조나 부품화에 대한 연구개발도 선진국에 비해 크게 뒤떨어져 있는데 국내 특허동향을 살펴보면 한국기계연구원(KIMM)과 현대자동차에서 연구가 진행 중임을 확인할 수 있다^[12, 13]. 두 경우 모두 앞서 언급한 과공정 Al-Si 합금분말의 제조에 관한 연구로서 가스분무공정을 이용한 분말의 제조와 합금조성의 개선, 세라믹입자와의 분말혼합 등을 다루고 있다. 특히, 국내 자동차업체의 특허가 다수 확인되는 것은 향후 국내 자동차에도 알루미늄 분말소재 부품이 적용될 가능성을 보여준다.

3. 알루미늄 분말의 난소결성

알루미늄은 녹는점(660℃)이 낮아 대부분 주조공정으로 제품화되고 일부 특별한 목적을 위해서만 분말공정으로 제조된다. 분말공정으로 제조되는 대표적인 합금계는 Al-Cu와 Al-Si계이다. 특히, 최근 활발히 연구되고 있는 과공정(Hypereutectic) Al-Si 합금은 공정조성(12.6wt%) 이상의 Si를 첨가하여 냉각 중 높은 정도의 초정(Primary) Si 결정이 석출되도록 설계한 합금이다^[7, 14]. 이 때 초정 Si 결정이 수십 μm 이상으로 성장하면 재료의 경도는 높아지지만 Si 결정의 숫자가 줄어들어 석출강화 효과가 낮아지고 파괴가 쉽게 일어나는 문제점을 일으킨다. 따라서 과공정 Al-Si 합금은 냉각속도가 빨라 초정 Si 결정의 크기가 10 μm 내외로 유지될 수 있는 가스 아토마이징

등의 분말공정으로 주로 제조되고 제조된 분말은 압출이나 소결을 통해 부품으로 제작된다^[7].

일반 열처리 로(Furnace)를 사용하는 통상적인 소결공정은 높은 압력을 요구하는 Hot Press, Hot Isostatic Press, Spark Plasma Sintering, 분말압출 등에 비해 공정비용이 낮고 3차원 형상 제작을 위한 후가공이 필요하지 않은 장점을 지닌다. 하지만, 알루미늄 분말부품은 대부분 일반 소결 대신 분말압출 공정으로 제조되는데, 이것은 알루미늄 분말의 경우 소결공정에서 입계확산(Grain Boundary Diffusion)이나 액상형성을 통한 치밀화(Densification)가 어렵기 때문이다. 이렇게 저조한 치밀화는 분말표면에 형성되는 알루미늄(Al_2O_3) 산화층 때문인 것으로 알려져 있는데, 이 산화층은 매우 안정하여 철 분말의 산화층과는 달리 통상적인 환원 분위기에서 제거되지 않는다. 따라서 알루미늄 분말의 치밀화는 분말표면에서의 원자 확산(고상소결) 대신 분말표면을 깨고 배출된 소량의 액상(액상소결)에 의존하게 된다. 하지만 분말 산화층과 액상 사이의 젖음성(Wettability)이 좋지 않고 산화층이나 액상의 성질이 합금원소의 종류, 소결온도, 소결분위기 등에 따라 크게 달라지는 경향이 있어 액상에 의한 치밀화 역시 실험적으로 쉽게 얻어지지 않는다. 비교적 최근인 1990년대부터 알루미늄 분말의 치밀화 거동과 문제점을 분석한 다수의 연구결과가 보고되었으나 아직 다양한 조성의 합금에 대해 일반적으로 적용할 수 있는 해결책은 보고되지 않았다^[15-17].

이처럼 알루미늄 분말의 치밀화를 방해하는 것은 분말표면의 알루미늄 산화층과 산화층-액상 사이의 좋지 못한 젖음성으로 요약된다. 알루미늄 산화층은 분말내부에서 형성된 액상이 입계로 나가는 것을 막고, 분말 산화층과 액상 사이의 저조한 젖음성 즉, 높은 젖음각은 입계로 나온 액상이 기공 채널을 통해 시편 전체로 퍼지는 것을 방해한다. 이 중 전자는 합금 내 Mg의 첨가를 통해 해결할 수 있는 것으로 알려졌다. Lumley 등^[16]은 Mg이 알루미늄 산화층과 반응하여 $MgAl_2O_4$ spinel 상을 형성하면서 산화층을 깨뜨려 분말 내부의 액상이 입계로 나올 수 있다고 보고하였고, 이 해석은 이후 알루미늄 합금조성에 Mg이 빠지지 않는 근거가 되었다.

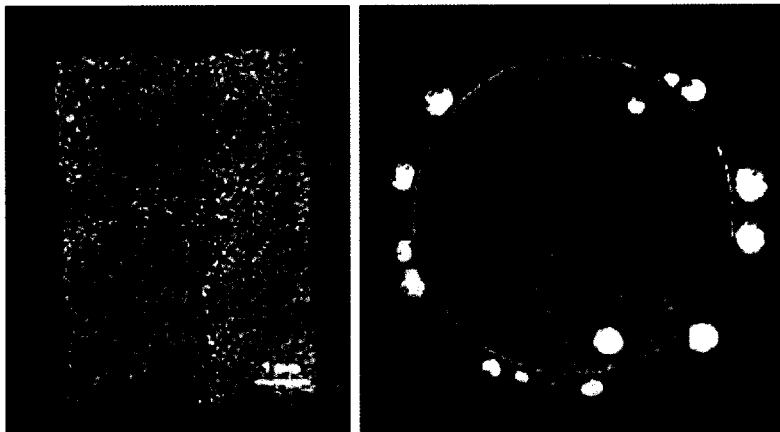


그림 3. 알루미늄 분말 소결체의 표면부 다공질화 현상(왼쪽)과 액상 유출 현상(오른쪽). 왼쪽 그림에서 시편 표면 부근의 어두운 부분이 치밀화가 덜 진행돼 기공이 많은 영역^[18].

후자인 알루미늄 산화층과 알루미늄 액상 사이의 좋지 못한 젖음성 문제는 해결되지 않았는데, 이 젖음성 문제는 실제 소결체에서 두 가지 현상을 일으킨다. 그림 3과 같이, 첫째는 소결체 표면부가 치밀화되지 않고 다공질로

남는 것이고 들쭉는 알루미늄 액상이 시편 외부로 빠져나오는 현상이다. 표면부가 치밀화되지 않는 것은 소결 초기 증상으로 모인 액상이 표면부로 다시 퍼지지 못했기 때문인데, 액상이 시편 중심부로 모이는 것(Liquid Coagulation)은 액상-기상 계면의 면적을 낮추기 위해 모든 액상 소결체에서 발견되는 현상이다^[19]. 문제는 다른 재료에서는 시편 중심부로 모였던 액상이 시간이 흐름에 따라 다시 시편 전체로 퍼지는데 알루미늄 분말의 경우는 그렇지 않다는 것이다. 액상이 시편 표면 부근으로 나오지 못하는 것은 분말 산화층과 액상 사이의 젖음각이 너무 크기 때문으로 추정해 볼 수 있다. 즉, 액상-산화층의 계면을 만들기도는 액상-기상, 산화층-기상의 계면을 유지하는 것이 열역학적으로 선호되는 것이다. 이러한 경향은 액상량이 많을 경우 액상이 시편 전체로 퍼지는 것이 아니라 아예 시편 밖으로 빠져버리는 현상(Liquid Exudation)을 일으키기도 한다(그림 3).

알루미늄 분말과 액상 사이의 젖음각을 줄이기 위해서는 소결분위기의 수분을 낮추고 질소 가스를 사용해야 한다고 알려져 있다^[20]. 우선, 소결분위기의 수분을 낮추는 것은 Mg으로 인해 산화층이 깨어진 부분에서 노출된 알루미늄 표면이 다시 산화되는 것을 막기 위함이고, 질소 가스를 사용하는 것은 노출된 알루미늄 표면을 액상과의 젖음각이 작은 AlN로 질화시키기 위함이다. Schaffer 등^[20]은 적절 수분의 양을 이슬점 -60°C 정도로 제시하였다. 두 방법 모두 분말 표면의 산화층을 환원시키는 것은 아니고 산화층이 이미 깨어지거나 사라진 표면을 처리하는 방법이다. 이 밖에 Mg 분말이나 덩어리를 소결로에서 시편 옆에 두어 산소압을 낮추는 방법도 제시되었는데, 이에 대한 정량적인 평가는 이루어지지 못했다^[20].

4. 특허 동향

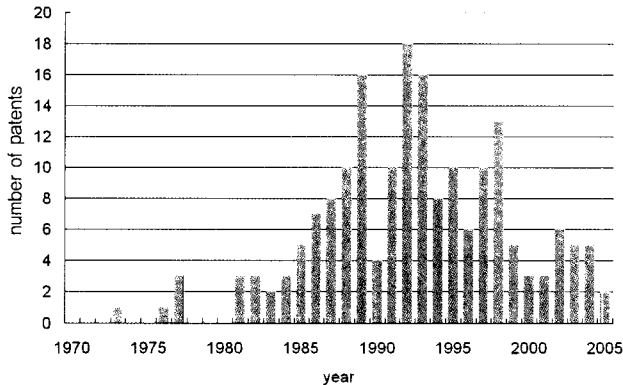


그림 4. 연도별 특허출원 분포

본 분석은 미국(US), 일본(JP), 유럽(EP), 한국(KR) 특허를 대상으로 알루미늄 합금분말 특허, 알루미늄-실리콘(Al-Si) 합금분말과 이를 이용한 자동차용 부품 개발 동향을 조사한 것이다. 네 개 국가특허(US, JP, EP, KR)에서 조사된 알루미늄-실리콘 합금분말 제조 및 부품화 기술에 대한 관련특허의 연도별 출원 분포는 그림 4와 같다. 1980년경부터 출원되기 시작하여 2000년 이후에도 꾸준히 출원되고 있지만 주로 1990년대 초반에 집중되어 있는 것을 알 수 있다. 이것은 Al-Si 합금분말 연구의 기폭제가 된 Y. Takeda(일본 Sumitomo Electric 社)의 발명

즉, 가스분무공정(Gas Atomizing)에 의한 과공정(Hypereutectic) Al-Si 합금분말의 제조에 관한 특허가 일본과 미국에서 1991년에 출원되었기 때문이다^{18, 21)}. 1991년 이후 이 합금의 미세한 조성변화에 대한 여러 편의 특허가 출원되었고 이를 이용한 부품화에 관한 특허도 출원되었다.

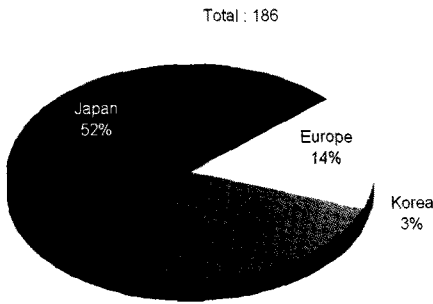


그림 5. 등록국가별 특허건수 분포

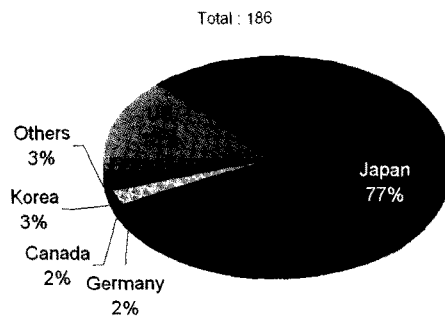


그림 6. 출원인 국적별 특허건수 분포

등록국가별 특허건수 분포는 그림 5와 같은데 일본 특허가 절반이 넘고 한국 특허는 3%에 불과한 6건인 것을 알 수 있다. 특허등록국가는 출원인의 국적과 달리 향후 특허권을 주장하기 위한 지역을 의미하므로 대상 국가에서 특허와 관련된 산업이 발달하여 있을수록 그 수가 커지게 된다. 따라서 그림 5의 결과는, 일본이 관련 산업 즉, 자동차 완제품, 자동차 부품, 분말부품과 관련된 산업이 가장 발달하였고 미국은 그 다음인 것을 의미한다고 해석될 수 있다. 반면, 국내 자동차 관련 산업은 아직 본 기술의 응용이 활발하지 못한 것을 알 수 있는데 이것은 우선 국내 자동차에서 알루미늄 등 경량부품의 이용비율이 일본이나 미국에 비해 낮고 경량부품을 이용하더라도 전량 수입에 의존하여 특허권을 주장하는 것이 의미가 없기 때문이다. 이와 같이 국내 자동차업체에서는 아직 자동차 경량화에 대한 인식이 낮고 기술개발의지가 부족한 편인데 이것은 아래의 국가별 출원건수에서 확인할 수 있다.

각국의 기술개발 역량을 보여주는 출원인 국적별 특허건수 분포는 그림 6과 같다. 등록국가별 건수(그림 5)에 비해 일본의 비중이 더욱 높아져 77%에 이르고 미국은 13%에 불과한 것을 볼 수 있다. 한국은 역시 3%인 5건에 불과해 위에서 언급했듯이 자동차용 알루미늄 분말부품에 관한 기술개발 의지나 역량이 크게 부족한 것을 확인할 수 있다. 출원인 국적별 특허건수를 연도별로 확인해보면(그림 7) 한 가지 재미있는 점이 있는데 2000년 이후 한국을 비롯해 독일과 캐나다 등의 출원이 이어지고 있다는 것이다. 이는 거의 일본이 독점해오던 자동차용 알루미늄 분말부품 시장에 이들 국가들이 관심을 갖고 참여하게 되었다는 것인데 한국은 현대, 기아자동차라는 자동차 생산 대기업을 보유하고 있고, 독일은 세계적인 자동차생산 대기업 뿐 아니라 세계 알루미늄분말 생산량 1위 업체인 Ecka Granule을 보유하고 있으며, 캐나다는 알루미늄 원자재 수출량이 세계 1위이기 때문으로 해석된다. 아무튼 이러한 분포는 2000년대 들어 자동차 경량화에 대한 관심이 세계적으로 증가하고 있음을 보여주는 좋은 예라고 생각된다.

출원인별 즉, 특허출원 기업별 특허건수는 그림 8과 같은데 상위 10개 기업 가운데 Boeing社를 제외한 9개 기업이 일본기업이고 Sumitomo Electric社가 35건의 특허를 출원하여 독보적인 기술력을 보여주고 있다. Sumitomo Electric社는 앞서 언급한 과공정 Al-Si 합금분말 조성 및 공정에 대한 원천특허를 보유하고 있고 현

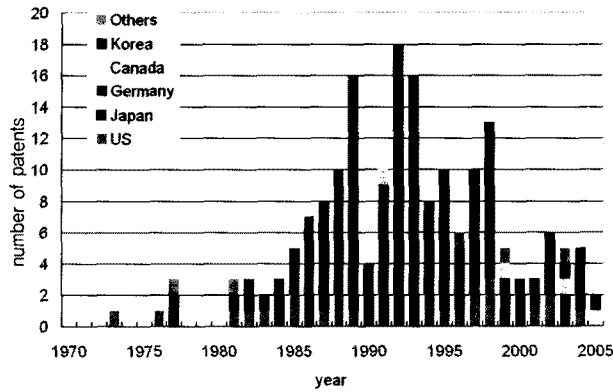


그림 7. 연도별, 출원인 국적별 특허건수 분포

재 거의 세계에서 유일하게 과공정 Al-Si 합금분말을 이용하여 자동차용 부품을 생산, 판매하고 있는 것으로 알려져 있다. 그림 9는 Sumitomo Electric 社에서 현재 판매 중인 자동차 에어컨 압축기용 알루미늄 분말 로터와 베인, 오일펌프 압축기용 알루미늄 로터를 보여준다. 2위인 Showa Denko KK 社는 Sumitomo Electric 社와 비슷한 1990년 초부터 알루미늄 분말부품에 대한 특허를 지속적으로 출원하고 있어 국내에는 잘 알려지지 않았으나 일본 내에서 상당한 기술력과 생산력을 보유하고 있을 것으로 짐작된다. 3위와 4위 업체는 자동차생산 대기업인 Toyota 社와 Honda 社로서 이것은 일본 자동차업체들이 이미 오래 전부터 자동차 경량화와 알루미늄 분말부품에 관심을 가졌음을 보여준다.

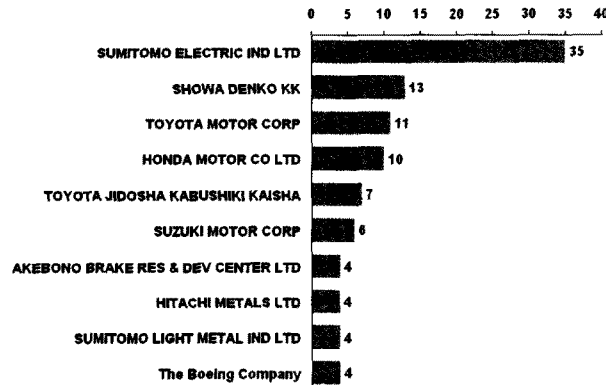


그림 8. 출원인(특허권자)별 특허건수 분포

조사된 알루미늄 분말 및 부품제조에 관한 특허는 그림 10과 같이 대략 8개 기술분야로 분류될 수 있었다. 부품의 화학적 분석을 통해 명확하게 특허권을 주장할 수 있는 합금조성 특허(합금설계 및 복합화)가 절반이 넘는 54%를 차지했고 다음으로 분말 및 부품의 생산공정을 다루는 공정특허(벌크화, 부품화, 분말제조)가 35%를 차지했다. 나머지는 분말혼합, 부품코팅, 분말표면처리 등 전처리나 후처리에 관한 특허였다. 상위 5개 기술분야의

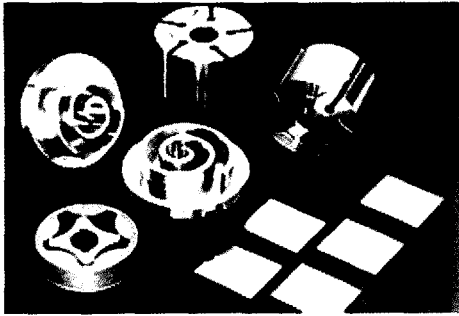


그림 9. Sumitomo Electric社에서 판매 중인 자동차용 Al-Si 분말부품

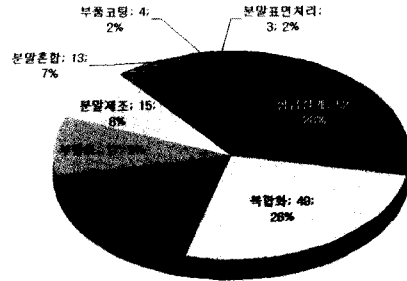


그림 10. 기술별 특허건수 분포

주요 세부기술은 표 1과 같은데, 대부분의 특허가 한가지의 기술이 아닌 여러 개의 기술을 포함하고 있어(예를 들면, 어떤 조성의 분말을 어떤 방법으로 제조하여 다시 벌크화, 부품화 한다는 방식) 다른 특허가 구분되는 주요 기술을 중심으로 분류, 분석하였다.

표 1. 특허 기술분야별 세부기술

기술분야	세부기술	특허 출원인
합금설계 (Al Base)	Si, Cu, Mg	Sumitomo Electric, Showa Denko KK
	Hypereutectic Si(Cu, Fe, Mg 포함)	Sumitomo Electric
	Hypereutectic Si-P	Sumitomo Electric
	Hypereutectic Si-Fe-Mn	Showa Denko KK
	Hypereutectic Si-Fe-Mn-Ni	Showa Denko KK
	Hypereutectic Si-Fe-W	Furukawa Alum
	Hypereutectic Si-Mo-Zr	Toyo Alum
복합화	Hypereutectic Si-Fe-B	Toyota Motor
	SiC(주조혼합)	Boeing, Hitachi Metals
	AlN(분말혼합, 기계적혼합)	Sumitomo Electric
	TiC(분말제조)	Toyota Motor
벌크화	B ₄ C(주조혼합)	Alyn
	주조(세라믹 복합화)	Boeing, Toyota Motor, Honda Motor
	압출	Sumitomo Electric
	성형소결	Sumitomo Electric, Showa Denko KK, Honda Motor
	Hot Press	Furukawa Alum, General Electric
부품화	Spray Forming	Kobe Steel
	엔진 피스톤, 실린더 블록, 실린더 라이너	Sumito Light Metal, Isuzu Motors, VAW Aluminum AG
	브레이크 디스크, 브레이크 라이너	Sumitomo Light Metal, Fuji
분말제조	커넥팅 로드, 기어, 로터	Sumitomo Electric, Honda Motor
	Atomizing	Sumitomo Electric, SCM, 현대자동차
	Rapid Solidification	Honda Motor, Sumitomo Electric
	Cryomill	Boeing

합금설계 분야에서는 강도나 내마모성, 고온강도를 높이기 위해 Cu, Fe, Mg, Mn 등을 첨가하던 것이 최근에는 Ni, W, Mo, B 등 다양해지는 경향이 있었고, 복합화 분야에서는 초기 Al 용탕에 세라믹입자를 넣어 금속기지복합 재료(Metal Matrix Composite, MMC)를 만들던 것이 최근에는 Al 분말과 세라믹(SiC, AlN, TiC) 입자를 기계적 합금화(Mechanical Alloying) 방법에 의해 혼합하는 방식으로 변화하는 양상을 보였다. 벌크화 분야에서는 복합 재료를 만들던 제조방식이 분말공정이 도입된 후 압출, 단조, Hot Press 등으로 대체되다가 최근에는 가장 저렴한 성형소결 공정이나 최신의 Spray Forming 공정으로 바뀌어 가는 형태를 보였다. 분말제조공정에서는 초기부터 알려진 Atomizing 방법이 꾸준히 개발되고 있었고 간혹 Honda Motor 社를 중심으로 한 Rapid Solidification이나 Boeing 社를 중심으로한 Cryomill 방식이 발표되었다. 이 밖에 부품화 분야에서는 엔진 부품, 브레이크 부품, 기타 등 크게 세 가지 부품이 개발되고 있었는데, 엔진과 브레이크 부품은 주조공정으로 제작된 것이고 분말부품으로 실제 상업화가 이루어진 것은 Honda Motor 社와 Sumitomo Electric 社가 발표한 Rotor, Gear 등의 기타 부품으로 알려져 있다.

5. 결 론

선진국 특히, 일본은 이미 1990년대부터 자동차 경량화를 위해 알루미늄 합금분말 부품의 응용기술을 활발히 개발해왔고 2000년대 들어 상업화를 진행하고 있다. 반면, 국내 자동차 관련 업체나 연구소, 대학 등은 이 분야의 기술개발을 거의 진행해오지 않아 조만간 국내 자동차업체는 자동차 경량화를 위해 상당량의 부품을 수입에 의존함으로써 일본에 대한 기술의존도를 더욱 높일 것으로 예상된다. 늦은 감이 없지 않지만 자동차 경량화 추세가 향후 전개될 전기자동차 등 미래자동차 추세와 연결되어 있는 점을 감안하면 장기적인 관점에서 더 이상의 기술격차 발생을 막기 위해서라도 알루미늄 분말부품 등 자동차용 경량부품에 대한 연구개발이 훨씬 적극적으로 전개되어야 할 것으로 판단된다.

* 참고 문헌

- [1] 이재욱, 양상선, 김용진, 한국분말야금학회지, 14(6) (2007) 1-9
- [2] 이원식, 자동차 경량화를 위한 비철금속 응용 동향, KISTI 기술동향분석보고서 (2003)
- [3] 임종대 (현대자동차 연구개발본부), 분말제품 응용기술 워크샵 발표자료 (2002)
- [4] P. Delarbre and M. Krehl, Int. Conf. on P/M Aluminum and Light Alloys for Automotive Applications (Detroit) 발표자료 (2000)
- [5] Aluminum Industry Roadmap for the Automotive Market, The Aluminum Association, Inc. (1999)
- [6] S. Huo et al, 2006 PM World Congress 초록집 (2006) 714-715
- [7] R. Bhagat, ASM Handbook Vol. 7 (1998) 840-858
- [8] Y. Takeda et al, U. S. Patent No. 5,366,691, Nov. 1994 (출원번호 863,285, Oct. 1991).
- [9] T. Schubert et al, Metal Powder Report, Mar. (2005) 32-37, P. Angelika, ibid, Feb. (2006) 13-15
- [10] J. Kaczmar et al, J. Mater. Process. Tech. 106 (2000) 58-67

- [11] K. Kondoh et al, U. S. Patent No. 6,042,631, Mar. 2000
- [12] 김용진 외, 대한민국특허 등록번호 570,551, Apr. 2006
- [13] 정태호, 대한민국특허 공개번호 10-2007-0014314, Feb. 2007, 하석, 대한민국특허 공개번호 10-2006-0013733, 박현달, 대한민국특허 공개번호 1999-021227, Mar. 1999
- [14] J. U. Ejiolor, R. G. Reddy, JOM 49 [11] (1997) 31
- [15] G. B. Schaffer, T. B. Sercombe, R. N. Lumley, Mater. Chem. Phys. 67 (2001) 85
- [16] R. N. Lumley, T. B. Sercombe, G. B. Schaffer, Metall. Mater. Trans. A 30 (1999) 457
- [17] T. B. Sercombe, G. B. Schaffer, Acta Mater. 52 (2004) 3019
- [18] G. B. Schaffer, B. J. Hall, Metall. Mater. Trans. A 33 (2002) 3279
- [19] O. J. Kwon, D. N. Yoon, Sintering Processes, Edited by G.C.Kuczynski, Plenum Press, New York (1980) 203
- [20] T. B. Schaffer, B. J. Hall, S. J. Bonner, S. H. Huo, T. B. Sercombe, Acta Mater. 54 (2006) 131
- [21] Y. Takeda et al, Jap. Patent 출원번호 3-286,084, Oct. 1991



이재욱

· 재료연구소 엔지니어링세라믹연구그룹 선임연구원
· 관심분야 : 알루미늄 분말재료, 전선모사
· E-mail : jaewook@kims.re.kr



양상선

· 재료연구소 분말기술연구그룹 선임연구원
· 관심분야 : 나노입자 합성 및 응용기술
· E-mail : nanoyang@kims.re.kr



김용진

· 재료연구소 분말기술연구그룹 책임연구원
· 관심분야 : 알루미늄 분말재료, 나노금속분말 제조 및 응용기술
· E-mail : yjkim@kims.re.kr