

알루미늄 분말야금부품의 기술동향

이재욱 · 양상선 · 김용진

한국기계연구원 부설 재료연구소 분말재료연구부

Technology Trend of Powder-Metallurgical Aluminum Parts

Jaewook Lee*, Sangsun Yang and Yong-Jin Kim

Department of Powder Materials Research, Korea Institute of Materials Science

요약: 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. 이에 이 글에서는 국내 관련 연구자들의 이해를 돕고자 알루미늄 분말야금부품의 국내의 기술개발 동향, 특허 동향, 원재료 동향 등을 분석하여 소개한다.

주요어: 알루미늄분말, 알루미늄-실리콘 합금, 자동차부품, 경량소재

1. 머리말

이 글에서는 알루미늄 분말야금부품 관련 기술의 국내의 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, 이 후 국내외 특허를 분석해 파악된 기술개발 동향을 소개하며, 마지막으로 원재료의 수급현황 및 기술 동향을 소개한다.

2. 기술개발 동향

2.1. 세계 기술개발 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 우

려가 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 있다¹⁾.

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), 샤시(Chassis) 등에 활용되었다²⁾. 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 문제

*Corresponding Author : [Tel : +82-55-280-3580; E-mail : jaewook@kims.re.kr]

점을 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 1993년이다³⁾. 이후 디젤 엔진 피스톤(Toyota), 실린더 라이너(Honda), 구동축(GM 트럭), 브레이크 부품(GM, Chrysler) 등이 알루미늄 분말야금 소재로 제작되었다⁴⁾. 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(Al-Si) 합금분말소재, 복합화를 통해 내마모성을 극대화한 알루미늄-탄화실리콘(Al-SiC) 복합분말소재가 있다⁵⁾. 두 소재 모두 1990년대부터 본격적으로 연구되기 시작하였고 분말야금공정을 통해서만 제조될 수 있다는 특징을 갖는다.

과공정 Al-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 개발하였다⁶⁾. 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 있다⁷⁾.

Al-SiC 복합분말소재는 금속기지 복합재료(Metal Matrix Composite, MMC)의 대표적인 성공사례로 손꼽힌다. 사실, Al-SiC와 같이 금속기지에 세라믹입자가 분산된 형태의 복합재료는 분말공정 뿐 아니라 주조공정을 통해 쉽게 제조될 수 있다. 실제로 미국

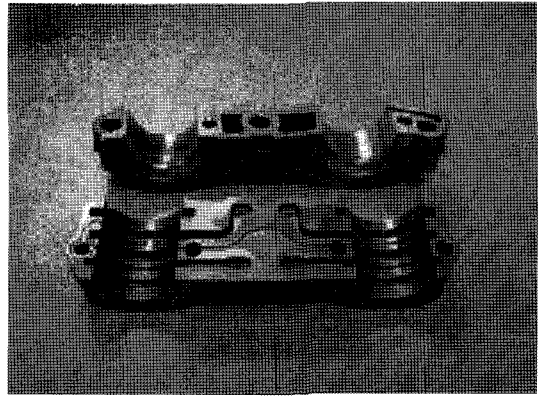


Fig. 1. 미국 MPP社가 개발한 Al 분말소재 Cam Cap (위) 과 일본 Toyota社의 Al 주조재 Cam Cap (아래)¹⁰⁾.

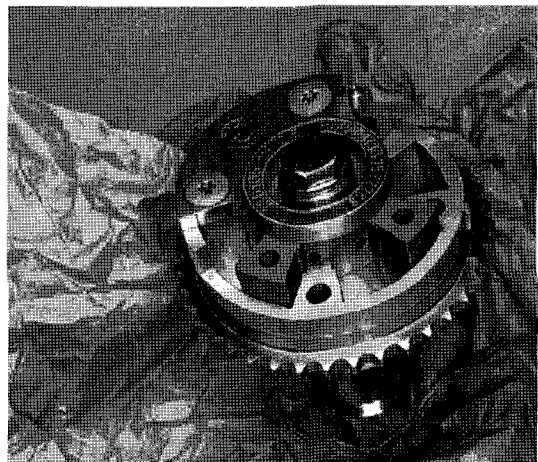


Fig. 2. 과공정 Al-Si 합금분말소재의 Chain Sprocket이 내장된 BMW社의 Camphaser System⁷⁾.

의 Lotus社와 Chrysler社는 Alcan社가 제조한 Al-SiC 주조재의 브레이크 디스크를 채택하고 있다⁸⁾. 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 적용

되고 있다⁹⁾.

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 제조하였다⁹⁾. 여기서 주목할 점은 과공정 Al-Si 합금분말을 복합화하고자 하는 시도는 아직 초기단계이며 그 방법도 기존 복합화와 같이 단순히 합금분말과 세라믹입자를 혼합하는 방식이라는 점이다.

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 나타났다¹⁰⁾. 하지만 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.

2.2. 국내 기술개발 동향

국내 자동차업체에서 알루미늄 분말소재 부품을 생

산용 자동차에 탑재한 사례는 아직 보고되고 있지 않다¹⁾. 따라서 알루미늄분말 제조나 부품화에 대한 연구개발도 선진국에 비해 크게 뒤떨어져 있는데 국내 특허동향을 살펴보면 한국기계연구원(KIMM)과 현대자동차에서 연구가 진행 중임을 확인할 수 있다. 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. 특허 동향

본 분석은 2007년 3월 한 달 동안 (주)유플스(<http://search.wips.co.kr/>)의 특허검색 프로그램을 이용하여 미국(US), 일본(JP), 유럽(EP), 한국(KR) 특허를 대상으로 이루어졌다. 특허분석에서 가장 중요한 검색 키워드는 표 2와 같았고 두 차례에 걸쳐 조사한 결과 각각 1116, 1345 건의 특허가 출력되었는데 일일이 제목과 요약문을 확인하여 이 중 총 186건의 관련특허를 최종적으로 선정하였다. 본 분석의 대상은 알루미늄 합금분말 특히, 알루미늄-실리콘 (Al-Si) 합금분말과 그 부품 특히, 자동차용 부품이다.

3.1. 출원 연도 및 국가별 동향

네 개 국가특허(US, JP, EP, KR)에서 조사된 알루미늄-실리콘 합금분말 제조 및 부품화 기술에 대한

Table 1. 국내 알루미늄 분말부품 관련 기술개발 동향

구분	지원사업	개발단계	과제명	개발주체
산자부	21세기프론티어 연구개발사업 ^{a)}	연구개발	경량고강도 분말제품 정밀제조기술 개발 (차세대소재성형기술개발사업)	KIMM, 아주대
기업연구	자체예산 ^{b)}	연구개발	자동차부품용 고규소 알루미늄합금분말 제조	현대자동차

자료 : a) 김용진 외, 대한민국특허 등록번호 570,551, Apr. 2006, b) 정태호, 대한민국특허 공개번호 10-2007-0014314, Feb. 2007, 하석, 대한민국특허 공개번호 10-2006-0013733, 박현달, 대한민국특허 공개번호 1999-021227, Mar. 1999.

Table 2. 특허검색에 이용된 키워드 목록

		키워드	
	한글		영문
1차	금속, 알루미늄, 합금, 분말, 강도	metal, aluminum, alloy, powder, strength	
2차	금속, 알루미늄, 실리콘, 분말	metal, aluminum, silicon, powder	

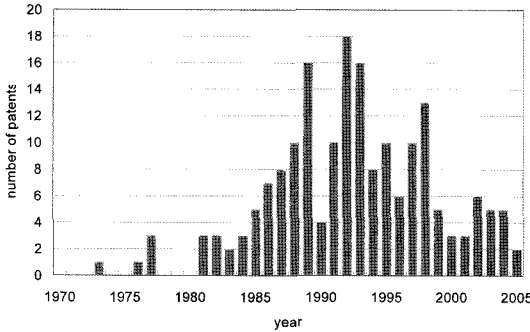


Fig. 3. 연도별 특허출원 분포.

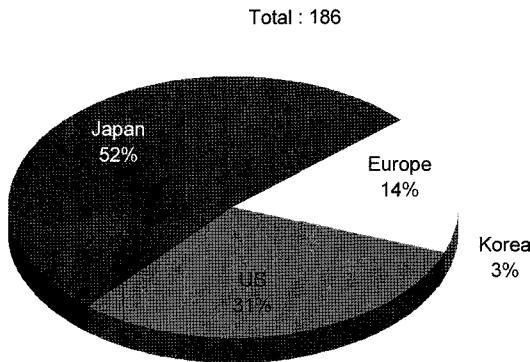


Fig. 4. 등록국가별 특허건수 분포.

관련특허의 연도별 출원 분포는 그림 3과 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^{6,11)}. 1991년 이후 이 합금의 미세한 조성변화에 대한 여러 편의 특허가 출원되었고 이를 이용한 부품화에 관한 특허도 출원되었다.

등록국가별 특허건수 분포는 그림 4와 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 4의 결과는, 일본이 관련 산업 즉, 자동차 완제품, 자동차 부품, 분말부품과 관련된 산업이 가장 발달하였

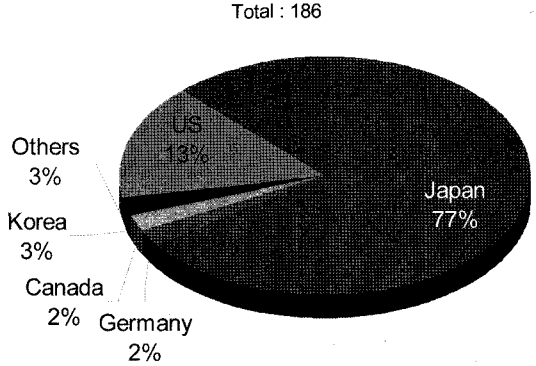


Fig. 5. 출원인 국적별 특허건수 분포.

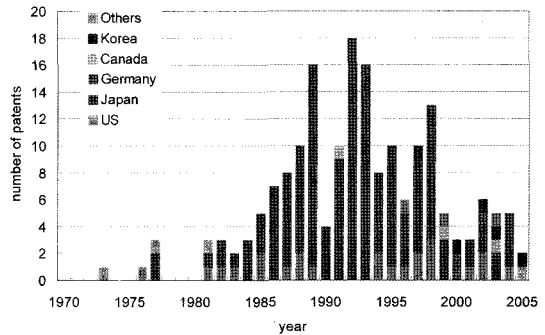


Fig. 6. 연도별, 출원인 국적별 특허건수 분포.

고 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 편이데 이것은 아래의 국가별 출원건수에서 확인할 수 있다.

각 국의 기술개발 역량을 보여주는 출원인 국적별 특허건수 분포는 그림 5와 같다. 등록국가별 건수(그림 4)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 관련한 기술개발 의지나 역량이 크게 부족한 것을 확인할 수 있다. 출원인 국적별 특허건수를 연도별로 확인해보면(그림 6) 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 자동차생산 대기업을 보유하고 있고, 독일은 세계적인 자동차생산 대기업 뿐 아니라 세계 알루미늄분말 생산량 1위 업체인 Ecka Granule을 보유하고 있으며, 캐나다는 알루미늄 원자재 수출량이 세계 1위이기 때문에 해석된다. 아무튼 이러한 분포는 2000년대 들어 자동차 경량화에 대한 관심이 세계적으로 증가하고 있음을 보여주는 좋은 예라고 생각된다.

3.2. 출원인 분석

출원인별 즉, 특허출원 기업별 특허건수는 그림 7과 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 현재 거의 세계에서 유일하게 과공정 Al-Si 합금분말을 이용하여 자동차용 부품을 생산, 판매하고 있는 것으로 알려져 있다. 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.

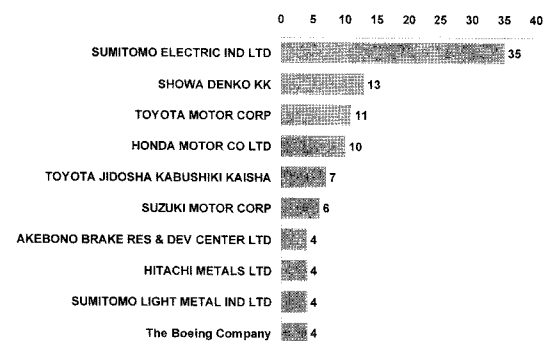


Fig. 7. 출원인(특허권자)별 특허건수 분포.

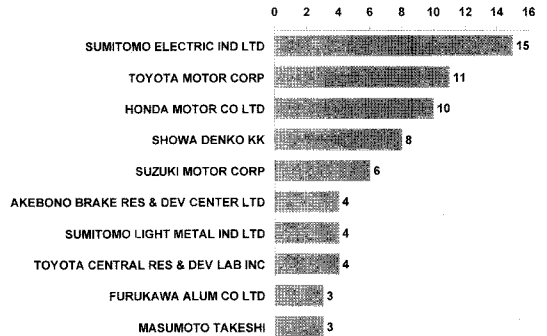


Fig. 8. 일본특허 내 출원인별 특허건수 분포.

가장 많은 특허를 출원하고 있는 일본의 동향을 좀 더 자세히 살펴보기 위해 일본특허 내 출원인별 특허건수를 살펴보면 그림 8과 같다. 1위 업체는 변함없이 Sumitomo Electric社이지만 2위와 3위는 전체분포보다 한 계단씩 올라선 Toyota社와 Honda社이다. 즉, 등록국가가 중복되지 않은 고유기술의 개수는 이들 업체가 4위를 차지한 Showa Denko KK社보다 많다고 할 수 있다. 5위는 역시 자동차, 오토바이 생산업체인 Suzuki社로, 전체적으로 일본 자동차생산업체의 알루미늄 분말부품 개발의지가 상당함을 알 수 있다.

3.3. 기술 분류

조사된 알루미늄 분말제조 및 부품제조에 관한 특허는 그림 9와 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

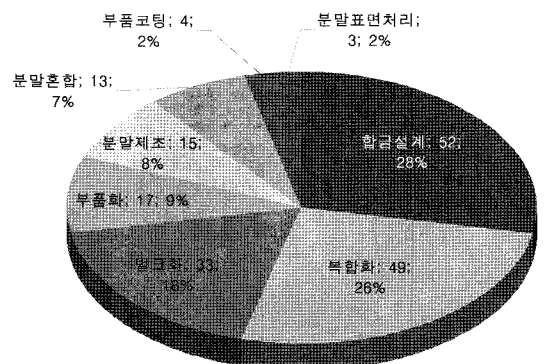


Fig. 9. 기술별 특허건수 분포.

및 부품의 생산공정을 다루는 공정특허(벌크화, 부품화, 분말제조)가 35%를 차지했다. 나머지는 분말혼합, 부품코팅, 분말표면처리 등 전처리나 후처리에 관한 특허였다.

상위 5개 기술분야의 주요 세부기술은 표 3과 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.

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 금속기지복합재료(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 복합재료를 만들던 주조방식이 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.

그림 10은 연도별 각 기술분야의 특허출원 건수를

Table 3. 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	
	Hypereutectic Si-Fe-Mn	Showa Denko KK
	Hypereutectic Si-Fe-Mn-Ni	
	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
	커넥팅 로드, 기어, 로터	Sumitomo Electric, Honda Motor
분말제조	Atomizing	Sumitomo Electric, SCM, 현대자동차
	Rapid Solidification	Honda Motor, Sumitomo Electric
	Cryomill	Boeing

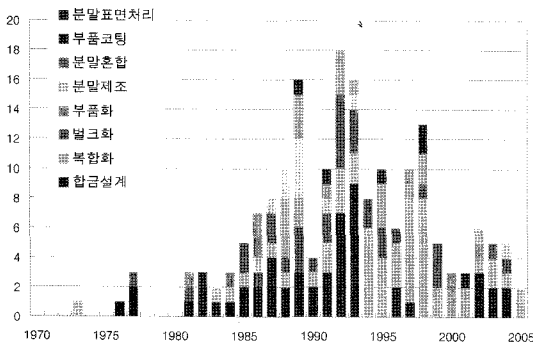


Fig. 10. 연도별 기술분야별 특허 출원건수 분포.

보여주고 있는데, 1990년대 초까지는 합금실체에 관한 특허가 주를 이루다가 그 이후에는 복합화에 대한 특허 즉, 합금의 조성은 유지한 채 세라믹 입자와의 복합화를 통해 강도나 내마모성을 향상시키려는 기술개발이 대부분임을 알 수 있다. 벌크화나 부품화에 대한 특허는 1980년대부터 꾸준히 발표되고 있다.

4. 원재료 동향

4.1. 원재료의 국내외 수급현황

전 세계 알루미늄 분말의 1/3 이상을 미국이 소비하고 있는데 이는 알루미늄 분말이 현재까지 자동차나 전자제품의 부품용보다는 항공산업이나 폭발물 관련산업에서 집중적으로 이용되고 있기 때문이다. 미국 내 알루미늄 분말소재의 소비량은 그림 11과 같이 1990년 3천톤 규모에서 2000년 이후 4, 5천톤 규모로 서서히 증가하고 있으며 주요 응용분야는 폭

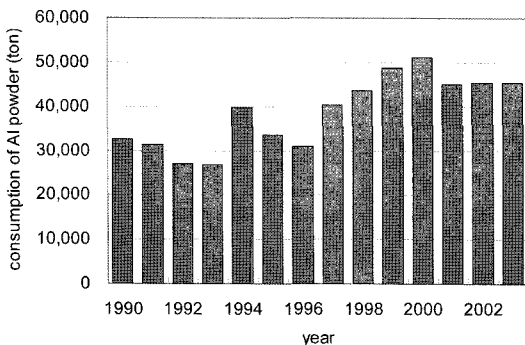


Fig. 11. 연도별 미국의 Al 분말 소비량¹⁴⁾.

발물, 고체연료, 철계 합금원료, 화학촉매 등이다. 1991년 이들 분야가 차지하는 비율은 79%로서¹²⁾, 우주왕복선이 한번 이륙하는데 소모되는 알루미늄 분말의 양만 무려 160 ton에 이른다고 한다. 반면, 자동차부품이 알루미늄 분말소재의 소비량에서 차지하는 비율은 아직 미미하다. 미국 자동차산업에서 알루미늄 분말소재 부품의 생산량은 2006년 2천만발에 불과한 것으로 나타났는데¹⁰⁾ 이는 전체 자동차부품에서 10% 이하를 차지하는 알루미늄 부품 중에서도 1%가 되지 않는 액수이다. 하지만, 자동차산업에서 알루미늄을 이용한 경량화가 시작된 것이 1990년 초로 아직 증가추세에 있으며 모든 기계부품 산업에서 초기에는 주조, 단조, 압연재가 쓰이다가 후기에 분말소재가 사용되게 됨을 고려하면 앞으로 그 소비량이 급격히 증가할 것으로 예상된다.

유럽 시장의 경우 시장 동향에 대한 데이터는 1990년대 초반 이후 보고되지 않았다. 1993년 당시 유럽의 가스분무 알루미늄분말 시장은 20,500 ton 규모로 1991년의 24,500 ton에 비해 오히려 감소하였고 그 응용분야는 아래 표 4와 같다. 한편, Johnson 등에 의하면 2000년 일본의 알루미늄 분말시장은 2,000 ton 규모로 추정되고 있으며¹³⁾ 상당량이 자동차 부품에 활용되고 있는 것으로 추정된다. 미국 MPIF에 의해 집계, 예측된 세계 지역별 알루미늄 분말 및 Flake의 소비량은 표 5와 같다¹⁴⁾.

Table 4. 1991년 유럽시장에서의 알루미늄 분말 응용현황

응용 분야	소비량 (ton)	비율(%)
화학 산업	8,888	36
철계 합금 첨가재	5,143	21
발열반응 응용	2,425	10
타지역 판매	2,035	8
폭발물	912	4
기타	5,172	21
합계	24,500	100

Table 5. 세계 지역별 알루미늄 분말 및 Flake 소비량

	2001	2005(예측)	2010(예측)
북미	45,000(ton)	46,000	50,000
유럽	25,000	28,000	32,000
일본, 아시아 등	30,000	36,000	43,000
합계	100,000	110,000	125,000

Table 6. Ecka Granules 社의 Aumix 231 분말의 물리적 특성과 합금조성

Physical characteristics		Chemical compositions	
Apparent density	1.05 - 1.20 g/cm ³	Aluminium	Rest
Tap density	1.20 - 1.50 g/cm ³	Silicon	14 - 16%
		Copper	2.4 - 2.8%
Sieve fraction < 45 m	25 - 40%	Magnesium	0.50 - 0.80%
Lubricant: 1.5 % Amidwax			

한편, 국내에서는 창성이 알루미늄 분말을 제조, 판매하고 있으나 아직 활발히 응용되고 있지는 않으며 현대자동차 등 소비업체는 주로 원료분말 대신 분말 부품 완제품을 일본 등에서 수입하여 사용하고 있다.

4.2. 원재료 관련 국내의 기술개발 현황

현재 상용화된 알루미늄 분말은 주로 가스분무법 (Gas Atomization)으로 제조되고 있으며 특별한 경우 볼 밀링법(Ball Milling)으로 제조되고 있다. 세계 최대 알루미늄 분말 제조업체는 독일의 Ecka Granules로서 세계 알루미늄 판매량의 절반 이상을 차지하고 있는 것으로 추정된다. 이 업체는 순수 알루미늄 뿐 아니라 Alumix 시리즈로 알려진 알루미늄 합금분말을 대량 판매하고 있으며 기타 분말야금과 관련된 바인더, 첨가제 뿐 아니라 마그네슘, 구리, 아연 분말도 판매하고 있다. 주목할 점은, 예전에는 주로 Alumix13, Alumix123 등 알루미늄-구리 합금분말을 주로 판매하였으나 최근 Alumix231이라는 상품명으로 아래 표와 같이 실리콘이 14-16% 함유된 과공정 알루미늄-실리콘 합금분말을 판매하기 시작하였다는 점이다 (표 6). 이 업체는 Alumix231을 판매하면서 표 7과 같이 이를 이용한 소결방법도 제시하고 있는데 소결에 의한 치밀화가 어려운 것으로 알려진 과공정 알루미늄-실리콘 합금분말임을 고려하면 매우 이례적인 것이다. 아울러 이 업체에서 제시하고 있는 소결체의 물성(표 8)을 살펴보면 경도의 경우 HRB 100 이상의 값을 나타내지만 인장강도의 경우 300 MPa 이하

Table 7. Ecka Granules 社의 Aumix 231 분말의 제시된 소결 조건

Recommended compacting and sintering conditions		
Compacting	Compacting Pressure	620 MPa (Green density: 2,56 g/cm ³)
	Dewaxing	380 - 410°C
Sintering	Sintering temperature	550 - 560°C
	Sintering time	60 min
	Atmosphere	N ₂ Dew Point < -45°C

의 값을 나타내어 450 MPa 이상인 압출재와 비교하면 충분한 치밀화가 이루어졌는지 의심을 갖게 한다. 따라서 현재까지 과공정 알루미늄-실리콘 합금분말의 소결이 완전히 해결된 것으로는 생각되지 않지만 이 Alumix 231 분말은 세계 최초로 대량생산과 판매가 이루어진 과공정 알루미늄-실리콘 합금분말이라는 점에서 주목할 만하다.

5. 맺음말

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

Table 8. Ecka Granules 社의 Aumix 231 분말 소결체의 물성

Typical material properties of ECKA ALUMIX 231 sintered parts						
Green density	Sintered density	Dimensional change	Post heat treatment	Tensile strength (MPa)	Hardness (HRB)	Elongation (%)
2,56 g/cm ³	2,67 g/cm ³	-2.0%	T _{1a}	200	100	1
			T _{6s}	260	130	0,5

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.

참고문헌

1. W. S. Lee: An Application Trend of Nonferrous Metal for Light Weight Vehicle, A Report on Technical Trends, KISTI (2003) (*Korean*).
2. J. D. Lim: An abstract of Workshop on the Application Technology of Powder Products, (2002) (*Korean*).
3. P. Delarbre and M. Krehl: An abstract of Int. Conf. on P/M Aluminum and Light Alloys for Automotive Applications, Detroit (2000).
4. Aluminum Industry Roadmap for the Automotive Market: The Aluminum Association, Inc., (1999).
5. R. Bhagat: ASM Handbook, 7 (1998) 840.
6. Y. Takeda: U. S. Patent No. 5,366,691, Nov 1994 (Patent Pending No. 863,285, Oct 1991).
7. T. Schubert: Metal Powder Report, (2005) 32, P. Angelika: *ibid*, (2006) 13.
8. J. Kaczmar: J. Mater. Process. Tech., **106** (2000) 58.
9. K. Kondoh: U. S. Patent No. 6,042,631, (2000).
10. S. Huo: 2006 an abstract of PM World Congress, (2006) 714.
11. Y. Takeda: Jap. Patent Pending No. 3-286,084, (1991).
12. H. Neubing: Metal Powder Report, (1994) 14.
13. P. Johnson: Int. J. Powder Metallurgy, **33** (1997) 17.
14. J. Capus: Metal Powders - A Global Survey of Production, Applications and Markets to 2010 (2005) 98.