

## 안료용 알루미늄 플레이크 분말 제조

홍성현 · 김병기

한국기계연구원 재료연구부

### Fabrication of Al Flake Powder for Pigment

Seong-Hyeon Hong and Byoung-Kee Kim

Materials Technology Dept., Korea Institute of Machinery and Materials, 66 Sangnam-dong,  
Changwon, Kyungnam 641-831, Korea

(Received 7 November 2003 ; Accepted form 1 December 2003)

**Abstract** The study for producing the flake powders by milling of aluminum foil and gas atomized powders was carried out. The effects of lifter bars on the ball motions and milling of aluminum foils were also investigated. The aluminum foils were laminated each other, elongated, fragmented into small foils and finally formed into the flake powders during the dry ball-milling. The spherical atomized-powders were milled to coarse flake powders with high aspect ratio and then changed to fine flake powders with lower aspect ratio. Even though long times were required for making flake powders by milling of foils, the water covering areas of them were higher than those of powders milled using gas-atomized powders, suggesting aluminum foils were more plastically deformed by micro-forging. On the other hand, as the number of lifter bars increased, the necessary rotation speeds of milling jar for cascading mode and cataracting mode decreased drastically. It was possible to achieve same quality of milled flake powder by using the lifter bars under the lower milling speeds. The painting test showed that the appearance of painted surface was good and optimum content range of aluminum paste in car paint to maximize the degree of gloss was 3–5%.

**Keywords :** Aluminum flake, Ball milling, Lifer bar, Aluminum foil, Pigment, Paint

## 1. 서 론

알루미늄 플레이크 분말은 내식성이 우수하며 특유한 은빛 색상을 가지므로 지문채취용, 경량 콘크리트 제조용 발포제, 차량용 및 각종 산업용 페인트용, 잉크의 원료용, 플라스틱 가전제품의 코팅용 및 폭발제용 등으로 광범위하게 응용되고 있다<sup>1,6)</sup>. 알루미늄 플레이크 분말의 요구 특성은 용도에 따라 적절한 분말크기 및 비표면적을 가져야 하는데, 현재 약 20~45  $\mu\text{m}$ 의 평균크기와 3~6  $\text{m}^2/\text{g}$ 의 비표면적으로 제조되는 플레이크 분말이 주로 많이 사용되고 있다<sup>7,8)</sup>.

도로용으로 사용되는 알루미늄 분말은 leafing 형과 non-leafing 형으로 구분된다<sup>2)</sup>. leafing형 분말은 알루미늄 판상분말에 stearic acid(고급 포화지방산)가 코팅된 것으로 페인팅시 용매와의 표면장력이 커서

표면으로 알루미늄 판상분말들이 떠올라서 일렬로 정렬되는 분말이며 다리 난간, 탱크로리, 라디에이터 등의 페인트의 원료 등으로 사용된다. 이러한 leafing형 분말은 주로 건식 볼밀링법으로 제조되고 있다<sup>7,8)</sup>. 한편, non-leafing의 알루미늄 분말은 판상 분말에 oleic acid(장사슬 불포화 지방산)가 코팅된 것으로 용매와의 표면장력이 작아서 페인팅시 내부까지 균일하게 분산되는 형이며 차량용 페인트, 선박하저 페인팅용의 원료로 사용되고 있다. 이러한 non-leafing형 분말은 주로 습식 볼밀링법으로 제조되고 있으며 볼밀링 기술이 가장 중요하다. 본 연구에서는 알루미늄 호일 스크랩의 재활용을 위하여 알루미늄 호일을 원료로 사용하여 볼밀링법으로 플레이크 분말을 제조하는 것에 관하여 주로 연구하였다. 밀링시간에 따른 알루미늄 호일 스크랩의 볼밀링 거동 및 알루미늄 분

말의 특성을 조사하였고 가스 분사된 분말의 불밀링 거동과도 비교하였다. 또한, 밀링시 용기내에 lifter bar의 유무에 따른 불의 운동 및 알루미늄 플레이크 제조시 미치는 lifter bar의 영향을 연구하였고 밀링된 알루미늄 플레이크 분말을 이용하여 제조된 페인트의 특성도 연구하였다.

## 2. 실험 방법

본 실험에 사용한 알루미늄 호일 스크랩은 대한은박지(주)에서 박판 제조시 발생한 것으로 순도 99.3% 이상이며 두께는 약  $6.5 \mu\text{m}$ 이었다. 호일 스크랩을 폭  $10 \text{ mm} \times$  길이  $170 \text{ mm}$ 의 크기로 1차 절단 후 다시 길이  $10 \text{ mm}$  이하로 절단하여 불밀링의 원료로 사용하였다. 불밀링 조건은 각 연구 part의 실험이 다른 시기에 연구를 진행하였으므로 각 part별로 다소 차이가 있다.

즉, 3.1 “알루미늄 박판의 분쇄거동” part에서는 스테인레스(SUS 304)제 용기(길이  $80 \text{ mm}$ , 내경  $70 \text{ mm}$ ) 속에 직경  $16 \text{ mm}$ 의 스테인레스제 볼  $900 \text{ g}$ , 원료 호일  $15 \text{ g}$ , 밀링도중에 분말 입자의 과도한 응집을 억제하기 위하여 스테아릭산(stearic Acid)을 분쇄물인 알루미늄 무게의 3%인  $4.5 \text{ g}$ 를 첨가하였다. 용기 내를 진공처리한 후 공정가스( $\text{Ar} + 10 \text{ vol.} \% \text{ O}_2$ )를 주입하여 밀 용기를 밀폐하였고 수평식 회전 방식을 채택하여  $120 \text{ rpm}$ 의 회전속도로 최대 45시간까지 밀링을 하였다. 산소를 함유한 공정 가스를 사용한 이유는 표면적이 높은 밀링된 분말이 대기 중에 노출시 발화하지 않도록, 분말 표면에 약간의 산화막을 형성시켜 발화 위험성을 감소시키기 위함이다. 3.2 “Al 호일과 가스분사된 분말의 습식 밀링 거동 비교”에서는 상기 스테인레스 용기내에 알루미늄 호일, 또는 평균입도  $29 \mu\text{m}$ ,  $14 \mu\text{m}$ 를 갖는 가스 분사된 구형 분말들  $10 \text{ g}$ , 직경  $16 \text{ mm}$ 의 스테인레스제 볼  $725 \text{ g}$ , 미네랄스피리츠  $10 \text{ g}$ (분말무게의 100%), 올레인산(호일무게의 3 wt%)을 장입하여 용기 회전속도  $120 \text{ rpm}$ 으로 최대 60시간동안 밀링을 하였다. 3.3 “밀링시 회전속도 및 lifter bar에 따른 밀링연구”에서는 내경  $157 \text{ mm}$ 인 내용적  $3657 \text{ m}^3$ 의 밀링자내에 lifter bar(rib)을 설치수를 달리한 밀링용기를 제작하였고 직경  $16 \text{ mm}$ 의 SUS ball을 용기의 절반(겉보기로 절반입)을 충전하여 여러 가지 밀링 용기의 회전

속도에 따라서 불의 움직임을 관찰하였다. 또한, 위의 스테인레스 용기에 불(직경  $16 \text{ mm}$ 의 스테인레스): 알루미늄 호일의 무게비를 70:1, 장입 알루미늄 호일의 무게와 같은 무게의 미네랄스피리츠, 호일무게의 3 wt%에 해당하는 올레인산을 장입하여 용기의 회전속도를 달리하면서 밀링을 하였다.

소정의 시간 밀링한 후 소량( $1 \text{ g}$ )의 분말을 채취하여 입도분석기(COULTER LS130)와 수면확산 측정기를 이용하여 분말의 입도와 수면확산면적(water covering area)을 측정하였으며, 광학 현미경과 주사전자현미경을 이용하여 분말의 형태를 관찰하였다. 수면확산면적은 KS규격 M-5604-1996에 의거하여 측정하였다<sup>9)</sup>. 즉, 아세톤으로 3회 세척되어 건조된 분말  $0.03 \text{ g}$ 에 이소부틸알콜  $1.5 \text{ ml}$ 을 가하여 알루미늄 분말 표면에 이소부틸알콜을 코팅시킨 후 내부 크기가  $200 \times 500 \times 20 \text{ mm}$ 의 알루미늄으로 된 사각 상자 속에 물을 가득 채운 후 위의 분말을 떨어뜨리고 휘저어 물위에 알루미늄 분말이 균일하게 부상하도록 한 뒤  $\text{g}$ 당 알루미늄이 덮인 면적을 측정하였다. 수면확산면적은 분말 비표면적의 약 1/2에 해당하는 값이다. 한편, 플레이크 분말의 두께  $t$ 와 장단축비(aspect ratio)  $A$ 는 각각  $t=1/[A \text{ 밀도 } 2.7 \text{ g/cm}^3 \times \text{수면확산면적}]$ ,  $A=\text{평균분말크기}/t$ 에 의하여 구하였다.

습식밀링에 의하여 얻은 올레인산이 코팅된 알루미늄 페이스트, 신나(노루표 KSM 5319, 3종) 및 신동 라카(색상: 투명, 품명: 초화면 라카/섬유소 도료, 용도: 철재 및 금속의 상도용)를 혼합하여 측정 평가용 페인트를 얻었다. 이 때 페인트중 알루미늄 페이스트의 첨가량을 변화시켰으며 신나: 라카의 무게비를 1:3으로 일정하게 하였다. 제조된 페인트를 유리판 또는 하도 페인팅된 차량용 강판위에 위에 떨어뜨린 후 바아코더(#44, 스테인레스)를 이용하여 적당한 힘을 주어 코팅을 한 후 건조시켜 페인팅후의 광택도를 휴대용 광택도 측정기(Horiba IG-320 Gloss checker)를 이용하여 측정하였고 페인팅 상태를 육안으로 관찰하였다.

## 3. 실험 결과

### 3.1. 알루미늄 박판의 분쇄거동

$6.5 \mu\text{m}$  두께의 알루미늄 호일을 건식 불밀링하면서 도중에 시료를 채취하여 관찰한 결과, 호일들이

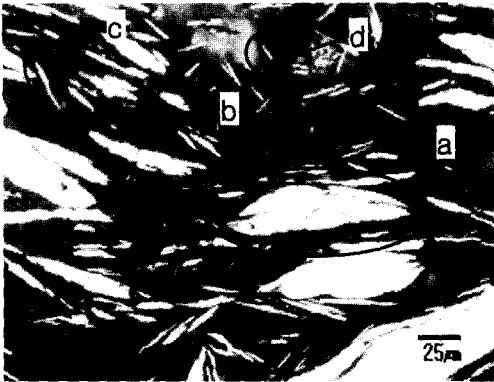


Fig. 1. Microstructure of aluminum flake powder milled for 10 h. (a) laminated Al foil formed by micro-forging, (b) smaller laminated Al foil, (c) coarse flake powder and (d) fine flake powder.

서로 겹쳐진 상태로 존재하면서 반복적인 볼의 낙하에 의한 충격으로 미소 단조(micro-forging)를 받은 흔적이 관찰되었으며 5시간 후에는 소성변형이 되어 겹쳐진 호일들이 길게 연신된 상태로 대부분 변화하였으며 이보다 더욱 충격을 받은 호일들은 연신이 되면서 국부적 파괴가 일어나서 보다 작은 크기의 호일로 변화했다. 약 10시간 동안 밀링 후에는 호일들의 일부가 분말로 변화했고 분쇄화가 되었고 긴 판상의 조대한 분말도 얻어졌다. 그림 1은 10시간 동안 분쇄된 분말을 수지에 마운팅하여 얻어진 미세조직 사진으로, 알루미늄 호일이 분쇄되는 중간 단계의 밀링시간이므로 여러 가지 모양의 분말들이 존재함을 알 수 있으며 호일이 분쇄 거동을 유추할 수 있다. 그림 1의 (a)는 여러 개의 알루미늄 호일들이 겹쳐져서 미소단조를 받아서 여러 층상의 호일 응집체를 나타내며, 이러한 호일이 밀링이 더 진행되면 그림 1의 (b)와 같이 전단응력을 받아서 층수가 더 작고 길이가 작은 층상으로 변한다. 이러한 분말이 더욱 밀링되면 그림 1의 (c)와 같은 조대한 플레이크로 변하며 그 후에 더 밀링되면 그림 1의 (d)와 같은 작은 플레이크 분말로 될 것으로 사료된다.

그림 2는 각각 밀링 시간에 따른 평균 입도 및 수면확산면적의 변화를 나타내었다. 밀링시간이 10시간에서 25시간까지 증가함에 따라 평균 입도는 97 µm에서 14 µm까지 연속적으로 감소하며, 수면확산 면적은 밀링 시간에 따라 평균 입도의 감소 및 판상화에 의하여 연속적으로 증가하는 경향을 보여

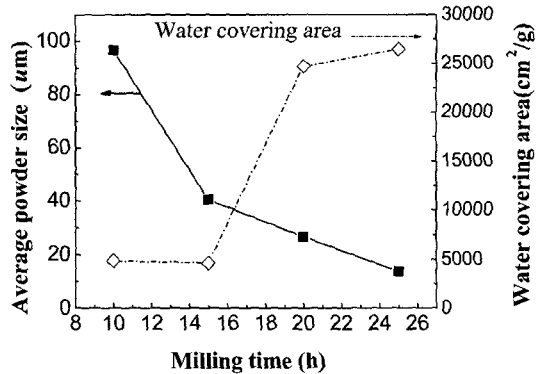


Fig. 2. The variations of average powder size and water covering area of Al flake powder with milling time under dry condition.

주고 있다. 특히, 15시간 이후에 급격한 수면확산면적의 증가는 분쇄된 입자의 판상화 및 분말의 미세화에 기인한다. 연성 분말을 불밀링시 입도가 밀링시간에 따라 감소하는 경우도 있는데 본 실험에서는 공정 안정제로 첨가된 스테아린산의 첨가에 의하여 분쇄된 분말의 응집이 억제되어 측정된 분말의 평균 입도가 감소하였음을 의미한다<sup>8)</sup>.

그림 3은 비표면적 측정시 흡착용 질소 압력의 증가에 따른 분말표면에 흡착되는 질소기체의 양을 나타낸 것으로, 밀링 시간의 증가에 따라 분말의 비표면적의 증가로 흡착되는 기체량의 증가를 보여준다. 20~25시간 동안 밀링된 분말의 경우에 그래프에서 기울기의 값이 10~15시간 동안 밀링된 경우보다 큰 것은 분말 표면의 요철이 예리하여 질소 압력의 증가에 따라 질소의 흡착이 용이한 분말 표면을 갖고 있음을 의미한다.

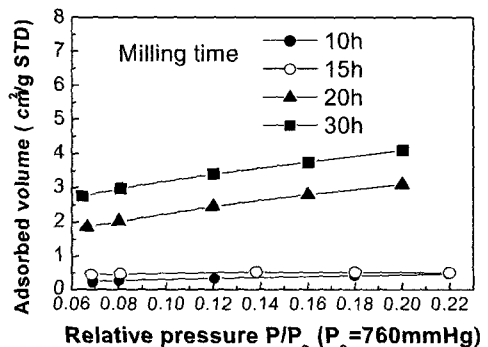


Fig. 3. The variation of adsorbed amount of N<sub>2</sub> gas on milled powders with pressure of N<sub>2</sub>.

**3.2. Al 호일 스크랩과 가스분사된 분말의 습식 밀링 거동 비교**

평균 입경이 각각 14 μm와 29 μm인 가스 분사된 구형분말들과 알루미늄 호일 박판을 습식 밀링하였

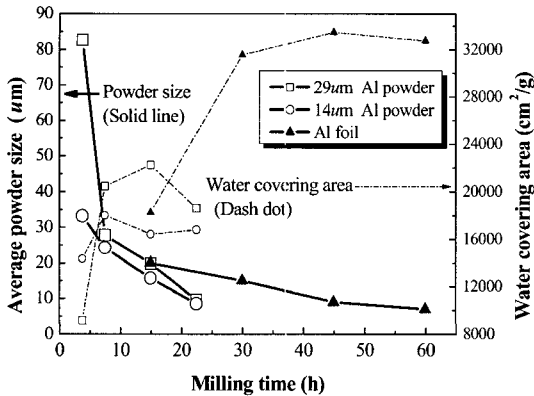


Fig. 4. The variations of average powder size and water covering area of Al powder with milling time and raw materials (29 μm Al powder, 14 μm Al powder, Al foil).

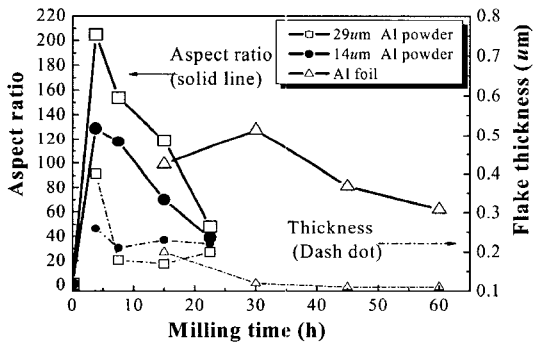


Fig. 5. The variations of aspect ratio and flake thickness of Al powder with milling time and raw materials (29 μm Al powder, 14 μm Al powder, Al foil).

을 때 밀링시간에 따른 분말의 평균입도, 수면확산면적, 밀링된 플레이크 분말의 장축비 및 두께를 각각 그림 4와 5에 나타내었다. 한편, 그림 6은 가스 분사된 분말 및 호일의 밀링시간에 따른 분말의 크기와 모양을 나타낸 주사전자현미경 사진이다.

가스 분사된 분말은 초기 형상이 구형의 분말이지만 밀링 됨에 따라 플레이크 형상으로 변화하였고 수면확산면적이 증가함을 알 수 있다. 초기 가스 분사 분말의 평균입도가 작을수록 단시간(3.8시간) 밀링후 수면확산면적이 증가함을 알 수 있다. 밀링시간이 증가하면(22.5시간) 초기 분말의 크기에 관계없이 비슷한 수면확산면적을 나타내었다. 밀링시간의 증가에 따라 분말이 연신되므로 장축비가 최고치까지 증가한 후 다시 밀링 되면 보다 작은 분말로 변화하므로 평균입도 및 분말의 장축비도 감소하는 경향을 보여 주었다. 초기 평균 입경이 29 μm인 가스 분사된 분말을 3.8시간 밀링하면 플레이크 분말의 장단축비가 205까지 급격히 증가하여 22.5시간 밀링 후 38까지 감소한다. 3.8시간 동안 밀링하였을때 평균 입경이 29 μm인 가스 분사된 분말은 평균 입경의 14 μm인 분말보다 큰 장단축비가 분말로 변화하였으며, 계속적으로 동일 시간동안 밀링후에도 장단축비가 다소 큼을 알 수 있다. 이는 볼에 의한 충격을 받을 때 볼 사이에 끼어 있는 분말의 접촉 면적이 큰 분말이 크므로 상대적으로 보다 용이하게 연신되기 때문인 것으로 사료된다. 또한, 어느 정도 밀링시간이 지나면 플레이크 분말의 두께가 약 0.2 μm으로 더 이상 감소할 수 없는 임계치를 유지한다.

한편, 6.5 μm 두께의 호일 스크랩을 밀링한 경우, 약 15시간 이상 되어야만 충분한 분말화가 가능하며

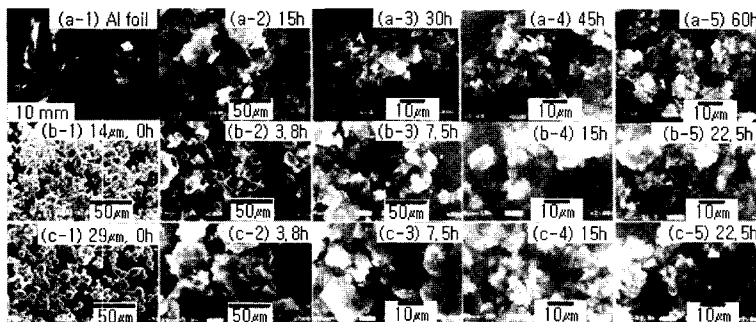


Fig. 6. Microstructures of Al flake powders milled for different times by using different raw materials: (a) Al foil, (b) 14 μm Al powder and (c) 29 μm Al powder.

밀링시간이 약 30시간일 때 분말의 장축비가 최고이며 그 후로는 분말이 미세화되므로 평균입도와 장축비는 감소하였다. 알루미늄 호일을 밀링한 경우에 같은 평균입도에서 수면확산면적이 높음을 알 수 있다. 이는 밀링에 사용된 알루미늄 호일의 초기 두께가 약 6.5  $\mu\text{m}$ 으로 매우 얇아서 분쇄가 용이하고 소성 변형성이 우수함을 의미한다. 그림 6에 제시된 바와 같이 밀링된 분말은 뚜렷한 플레이크 형상을 보여주었다. 플레이크 분말이 같은 비슷한 평균입도를 갖는다면 수면확산면적이 클수록 적은 양으로 많은 면적을 도포할 수 있으므로 같은 면적을 페인팅 하는데 분말이 소요되는 분말이 적어도 됨을 의미한다. 호일 스크랩을 사용하면 기존의 가스 분사된 분말보다 원료가격이 1/10으로 매우 저렴하며 적은 양으로 많은 면적을 도포할 수 있음을 의미하며 이는 경쟁력이 있는 알루미늄 페이스트 제조가 가능함을 시사한다.

**3.3. 밀링시 회전속도 및 lifter bar에 따른 볼의 운동 및 알루미늄 호일의 밀링 거동**

그림 7은 밀링자의 내부에 lifter bar의 설치 수가 0, 4, 8개일 때, 회전속도 rpm(임계 rpm에 대한 %)가 40 rpm(37%), 60 rpm(56%), 80 rpm(75%), 95 rpm(89%), 100 rpm(93%)으로 변함에 따른 볼의 움직임을 촬영한 사진이다. Lifter bar가 없는 경우에 임계 rpm의 75%인 80 rpm까지도 볼의 sliding 운동이 많이 일어났다. 육안 관찰 결과, 임계 rpm의 93%인 100 rpm에서는 cascading 운동이 일어났다. 일반적으

로 lifter bar가 없는 경우에 볼이 원심력과 중력의 평형에 의하여 적절히 낙하하는 밀링자의 회전속도는 임계 rpm는  $423/D^{0.5}$  (D는 밀링자의 내경으로 cm 단위임)로 계산되며 볼의 운동 역학은 G.G. Lee등에 의하여 체계적으로 연구되어 있다<sup>10)</sup>. Lifter bar가 없는 밀링자의 경우, 계산된 임계 rpm은 107 rpm이며 lifter bar가 있는 경우도 편의상 이 수치는 기준으로 삼아 임계 rpm에 대한 상대치로 제시하였다.

Lifter bar가 4개 설치된 경우에 20 rpm(임계 rpm의 19%)에서 sliding 운동, 40 rpm(37%)에서 cascading 운동, 60 rpm(56%)에서 cascading 운동, 80 rpm(75%)에서 cataracting 운동, 95 rpm(89%)에서는 centrifuging형 운동을 보여 주었다. Lifter bar가 8개 설치된 경우에 20 rpm(19%)에서 sliding 운동, 40 rpm(37%)에서 cascading 운동, 60 rpm(56%)에서 cataracting 운동, 80 rpm(75%)이상에서는 centrifuging형 운동을 나타내었다. 일반적으로 볼이 밀링자의 1사분면의 상사점까지 도달후 낙하하면 볼이 슬라이딩 운동이나 원심력에 의하여 밀링자의 내벽을 따라 원심 운동하는 경우보다 분말에 낙하에 의한 충격이 제일 클게 가해지므로 cascading 운동이나 cataracting 운동이 일어나는 rpm과의 사이 영역에서 작업하는 것이 효율적이다. 즉, lifter bar의 수가 0, 4, 8일때 각각 임계 rpm의 93%, 40%~56% 및 37%~56% 정도의 밀링자 회전속도에서 작업하는 것이 효율적이다.

위의 결과들을 참고하여 상기 밀링자들에 호일 및 미네랄스피리츠를 장입한 경우에 분쇄거동을 조사하였다. 그림 8에 제시된 바와 같이 밀링시간이 증가할

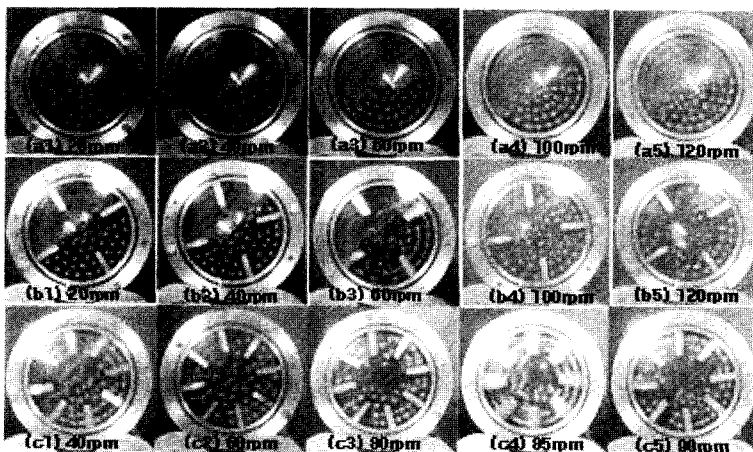


Fig. 7. The variations of ball motions with number of lifter bars and rotation speeds of milling jars.

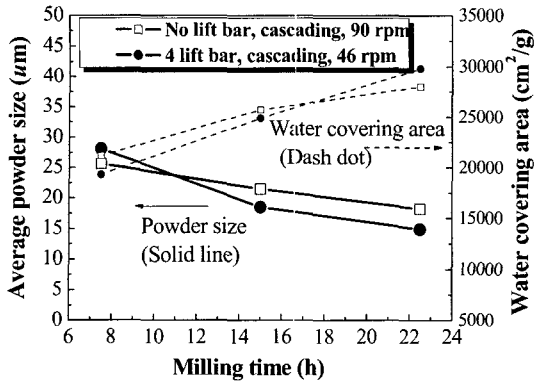


Fig. 8. Average powder sizes and water covering areas of Al powders milled under the cascading mode by using different jars.

수록 분말의 평균입도는 감소하고 수면 확산면적은 증가하였다. Lifter bar가 설치된 밀링자를 사용하여 46 rpm에서 볼밀링하여 얻은 분말의 특성(평균입도, 수면확산면적)은 lifter bar가 없는 밀링자에서 90 rpm으로 회전하면서 볼밀링하여 얻은 분말의 특성과 유사함을 알 수 있다. 그림 9는 밀링된 플레이크 분말들의 조직 사진을 나타낸 것을 두 분말의 형상과 크기가 유사함을 알 수 있다. Lifter bar가 설치된 경우에 더 적은 밀링용기의 회전속도(rpm)에서도 분쇄가 잘 되어서 lifter bar가 없는 경우보다 밀링시 에너지 및 밀링용기에 달린 모터의 용량이 적어도 되며 밀링시 에너지 절약에 유리함을 알 수 있다. Lifter bar가 4개 장착된 경우에 임계 rpm의 43%인 46 rpm에서도 호일 분쇄가 잘 일어나 플레이크 분말로 쉽게 변함을 알 수 있다. 즉, lifter bar의 장착으로 적은 rpm에서 효율적으로 밀링이 발생함을 알 수 있다.

3.5. 페인트중 알루미늄 페이스트의 양에 따른 페인팅 특성평가

평균입도 18.3 µm 및 수면확산면적 27,987 cm²/g 인 알루미늄분말이 함유된 알루미늄 페이스트를 사용하여 제조된 페인트를 유리판 및 하도/중도 코팅된 차량용 강판(광택도: 16)위에 페인팅을 한 후 광택도를 측정 한 결과를 그림 10에 나타내었다.

유리판위에 페인팅할 때 알루미늄 페이스트가 약 2%이하 첨가된 경우에는 유리판을 알루미늄 분말이 완전히 도포하기 어렵고 알루미늄 페이스트 첨가량

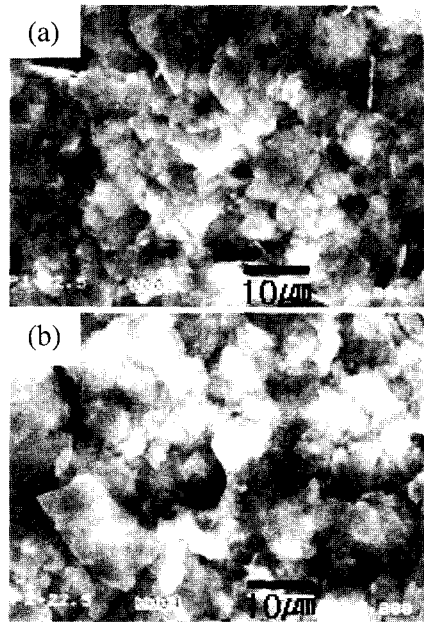


Fig. 9. Microstructures of Al flake powders milled for 22.5 hours under the cascading mode by using different jars: (a) No-lifter bar, 90 rpm and (b) 4-lifter bars, 46 rpm.

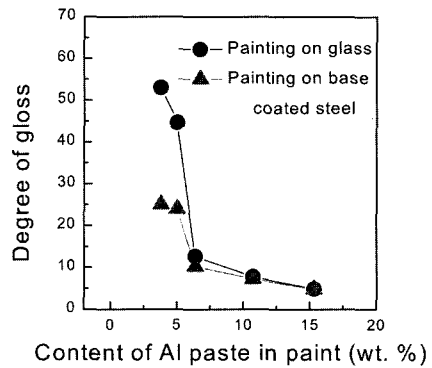


Fig. 10. The variations of degree of gloss painted on glass and base-coated steel with content of Al paste in paint.

이 6%이상이 되면 광택도가 크게 저하되었다. 약 3 내지 5%의 범위에서 적절한 도포 효과와 광택도를 나타내었다. 하도/중도 페인팅된 차량용 강판의 광택도는 16으로 나타났고 알루미늄 페이스트의 첨가량이 약 3 내지 5% 범위에서 광택도가 최대로 된 후에 알루미늄 페이스트 첨가량이 증가하며 광택도가 크게 저하하였다. 따라서 차량용 페인트의 경우에 적절한 알루미늄 페이스트의 함량은 약 3 내지 5%인 것으로 판단된다.

#### 4. 결 론

1. 알루미늄 호일의 전식 볼밀링시, 작은 호일들이 적층되고 미소단조로 호일의 연신이 발생하다가 분리되어 작은 호일이 형성된다. 반복적인 미소단조에 의하여 조대한 플레이크 분말을 형성된 후 계속된 미소단조에 의하여 미세한 플레이크 분말이 형성되었다.

2. 가스 분사된 분말 및 알루미늄 호일의 습식 볼밀링시, 밀링 뒀에 따라 장축비가 최고인 플레이크 분말로 변화한 후 보다 작은 분말로 변화하였으며 초기 평균 입경이 29 μm 및 14 μm인 가스 분사된 분말을 같은 시간 밀링하였을때 29 μm인 분말을 밀링할 경우가 플레이크 분말의 장축비가 다소 컸다. 또한, 가스 분사된 분말을 사용한 경우보다 알루미늄 호일을 사용한 경우가 보다 더 큰 수면확산면적을 갖는 플레이크 분말이 제조될 수 있었다.

3. 볼 밀링시 lifter bar는 볼의 sliding 운동을 억제시키고 볼을 쳐서 상승운동을 촉진하는 역할을 하며 lifter bar의 숫자가 증가할수록 cascading, cataracting centrifuging형 운동을 보여 주는 밀링자의 회전속도는 감소하였다. Lifter bar가 설치된 경우에는 적은 밀링용기의 회전속도(rpm)에서도 알루미늄 호일의 분쇄가 잘 일어나 lifter bar가 설치안 된 밀링용기를

높은 회전속도(rpm)에서 밀링하여 얻어진 분말과 유사한 특성의 플레이크 분말을 제조할 수 있었다.

4. 하도/중도 처리된 차량용 강판에 페인팅한 결과, 페인트중 알루미늄 페이스트의 첨가량이 증가할수록 광택도가 증가하여 약 3 내지 5% 범위에서 광택도가 최대로 된 후 감소하였다.

#### 참고 문헌

1. J. D. James and B. Wilshire : Aluminium Industry, **11** (1992) 32.
2. Barry Van Hoose : Metals Handbook, 9th Edition, Erhard Klar(Ed.), ASM, Metal Park, OH, **7** (1984) 593.
3. J. D. Jame : Powder Metallurgy **34** (1991) 39.
4. Mae I. Fauth : Metals Handbook, 9th Edition, Erhard Klar(Ed.), ASM, Metal Park, OH, **7** (1984) 597.
5. Tonysmith : Polym. Paints Color J. **174** (1984) 678.
6. D. King : Polymers Paints Colour Journal, **183** (1993) 1.
7. 이동원, 김병기, 이길근, 하국현 : 한국분말야금학회지, **3** (1996) 159.
8. G. G. Lee, D. W. Lee, G. H. Ha and B. K. Kim : J. of the Jpn. Soc. of Powder and Powder Metall. **43** (1996) 1253.
9. KS M-5604-1996
10. G. G. Lee, H. Hashimoto and R. Watanabe : Materials Transactions, JIM, **36** (1995) 102.