

친환경 전분계 연마재를 이용한 플라스틱 도장면의 페인트 박리를 위한 블라스팅 가공에 관한 연구

A Study on Blasting for Paint Exfoliation on Plastic Coated Faces Using the Environment-Friendly Abrasive Materials of Starch Series

이여해¹, 김연술², 이희관², 양균의¹, 문상돈^{3,✉}
Li Hai Li¹, Yeon Sul Kim², Hi Koan Lee², Gyun Eui Yang¹ and Sang Don Mun^{3,✉}

1 전북대학교 기계공학과 (Department Mechanical Engineering, Chonbuk National Univ.)

2 전북대학교 자동차부품-금형 기술혁신센터 (Chonbuk National University Automobile-parts & Mold Technology Innovation Center)

3 전북대학교 기계설계공학부 (Faculty of Mechanical Design Engineering, Chonbuk National Univ.)

✉ Corresponding author: msd@jbnu.ac.kr, Tel: 063-270-4762

Manuscript received: 2009.12.28 / Revised: 2010.3.19 / Accepted: 2010.5.5

The environment-friendly abrasive materials of starch series has a wide range of application value such as deburring of plastic injection products, paint exfoliation and surface treatment of painted products and polishing, etc. In this study, an experiment of paint exfoliation was performed by using the environment-friendly abrasive materials made of cheap starch, and its performance was reviewed. By adjusting the grit size of abrasive materials, nozzle pressure, nozzle feed and number of nozzle repetition, paint could be exfoliated effectively. In this experiment, it was found that the most suitable condition was grit size 0.75~1.0 mm, nozzle pressure 0.4 MPa, nozzle feed 5 mm/min and number of processing repetition 2 times.

Key Words: Blasting (분사가공), Environmentally-Friendly (친환경), Starch Series (전분계), Abrasive Material (연마재)

1. 서론

최근 국내외 많은 산업분야에서 재제조 산업에 대한 인식이 확산되고 있다. 이와 같은 영향의 하나로 휴대폰, 자동차부품, 복사기, 인쇄기, 카메라 등의 품목들이 현재 재제조 되고 있다.¹⁻³ 재제조 산업은 사용 후 제품을 회수하여 분해, 세척, 검사, 부품 교체 및 조정, 재조립 등의 과정을 거쳐 신제품과 거의 동일한 수준으로 재상품화 하는 것으로, 에너지 및 자원 절감 효과가 큰 친환경 산업이다. 재제조 제품의 품질에 많은 영향을 미치는 재제조 과정의 부품 세척단계에서의 핵심은 부품의 손상 없이 페인트 및 오물 등을 효과적으로 제

거하는 것이며, 이 과정은 매우 중요한 공정 중의 하나이다. 부품 세척은 크게 표면에 부착된 기름 제거, 불순물 제거, 도료박리 단계로 나뉜다. 현장에서는 도료의 박리 방법으로 수작업, 화학약품, 용제를 이용하는 방법을 주로 사용하고 있다. 수작업은 작업 능률적인 측면에서 한계가 있다. 그리고 메틸클로라이드, 솔벤트 등 화학약품 및 용제를 사용하는 방법은 인체 및 환경에 유해한 유독성 물질을 생성하고 그 폐기물은 토양 및 수질 오염을 유발한다.⁴

한편 친환경적이면서 기능성을 갖는 연마재의 재료로서의 전분은 곧 고갈 될 석유 화학 자원과 달리, 지구상에 녹색식물이 존재하는 한 탄소동화

작용에 의해 무한히 공급될 수 있는 천연 고분자 재료이다. 이러한 천연 고분자 재료는 우수한 생분해성, 무독성, 공급의 용이성 및 이화학적 변성 특성⁵⁻⁸ 등 친환경적인 원료로서 여러 가지 장점을 보유하고 있다. 그리고 전분으로 연마재를 제작 시 시중에서 판매되고 있는 플라스틱 연마재보다 40% 이상 저렴하게 제작 할 수 있다. 또한 변성전분은 첨가제를 이용하여 유연성과 밀도를 보강할 수 있어,^{9,10} 블라스팅 용도에 적용할 수 있는 전분계 연마재로 제작될 수 있다.

따라서 본 연구에서는 친환경적인 전분계 연마재를 블라스팅 가공에 도입하고 입자 크기, 노즐 분사압력, 노즐 이송속도가 페인트의 박리효과(exfoliation effect)에 미치는 영향을 분석하고자 하였다.

2. 전분계 연마재

전분계 연마재의 제조는 변성전분의 반응조건을 기본으로 전분의 호화 및 노화 특성을 이용하여 결정화하는 방법을 사용하였고, 용도에 적합하도록 입자의 물리적 성질을 보강하였다. 연구에 사용된 전분은 옥수수 전분이다. 그리고 전분 고유 특성에 내열성, 내 약품성, 내 마모성 등을 부여하기 위하여 전분 Chain 간 가교반응을 유도하는 STMP(sodium trimetaphosphate), Adipic acid 및 아미노기가 축합된 Modified melamine resin, Formaldehyde 등의 가교제료를 사용하였다. 그 밖에 반응 촉진제로 Steric acid, Formic acid, Citric acid, Tartaric acid 등을 사용하였고, 첨가제로는 Aro/Alic polyester(BASF & 이래화학), PVA(poly vinyl alcohol, 시약급 및 공업용), PLA(poly lactic acid) 등의 생분해성 수지와 PP(polypropylene)를 사용하였다. 강도 보강을 위한 무기물 첨가제는 탈크, 활성백토, 바륨계 무기물 등을 사용하였다. 그리고 비중을 높이기 위하여 가격도 저렴하고 높은 밀도를 가지는 황산염을 사용하였고, 입자의 유연성을 높이기 위해 수용성 폴리머(SP: soluble polymer)를 사용하여 비중이 1.43 g/ml 인 변성전분을 제조하였다. 각 가교제를 첨가하여 압출한 반응물은 수세, 탈수, 건조, 분쇄를 거친 후 체를 이용하여 입자 크기 별로 나누는 공정을 거쳐 본 실험에 적합한 사이즈로 블라스팅 용 전분계 연마재로 제작되었다. Fig. 1 은 본 실험에서 사용한 연마재의 주요 제조 과정이고, Fig. 2 는 이와 같은 과정으로 제작된 전

분계 연마재의 입자 크기 별 전자현미경(SEM) 사진이다.

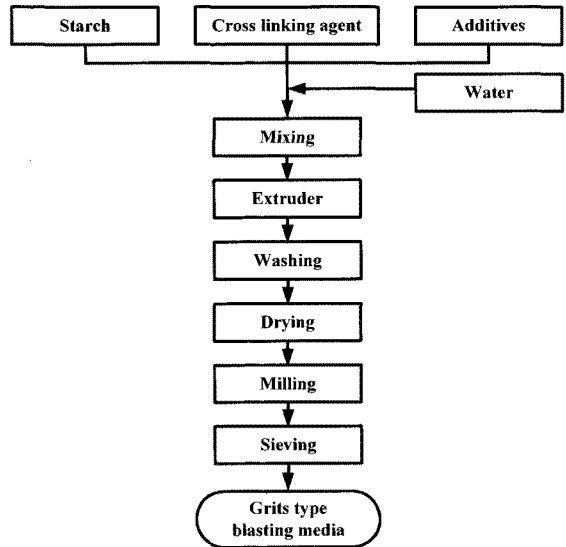


Fig. 1 The preparation process of starch-series media for abrasives



(a) 1.0 ~ 1.5 mm (b) 0.75 ~ 1.0 mm (c) 0.5 ~ 0.75 mm

Fig. 2 Photos of SEM by the grit size

3. 실험장비 및 실험방법

Fig. 3 은 실험에 사용 된 직압식 블라스팅 연마기이며 분사압력 범위는 0.1~0.6 MPa, 노즐 이송속도는 1~10 mm/s 이다. 그리고 Fig. 4 는 블라스팅 연마기의 작동원리이다. 본 연마기의 에어블라스팅 방식은 직압식 시스템을 사용하고 있다. 시스템에서 탱크 내부압력이 일정 기압으로 유지될 때 탱크 크로부터 공급되는 연마재는 고압의 압축공기에 의하여 호스를 거쳐 노즐까지 분출된다.

Fig. 5 는 전분계 연마재의 연마특성을 조사하기 위하여 선정한 피연마 대상으로 도장된 상용 자동차 플라스틱 부품(door skirt)이다. 시편은 플라스틱 부품에서 곡면인 부분은 제외하고 평면인 부분을 100 mm × 100 mm 크기로 절단하여 사용하였다. Table 1 은 사용한 시편의 플라스틱과 도료의 종류

및 기계적 성질을 보여주고 있다.

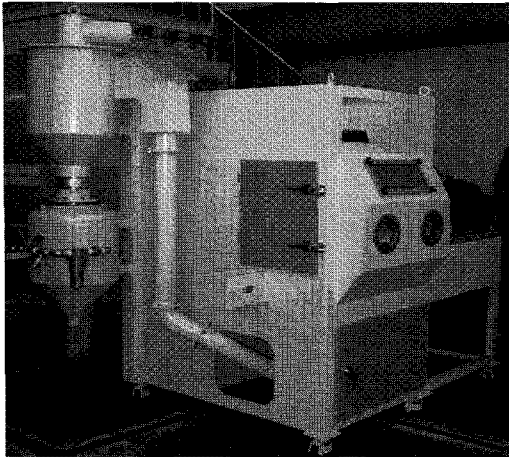


Fig. 3 Blasting machine apparatus

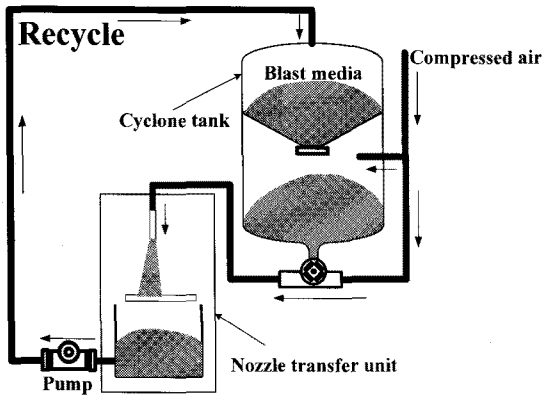


Fig. 4 Operating principle of blasting equipment

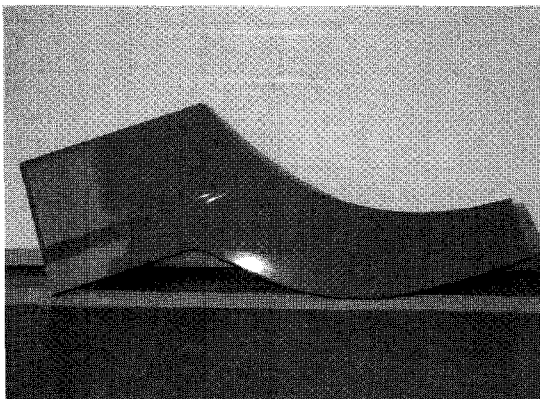


Fig. 5 Coated plastic parts for sample preparation

Table 1 Mechanical properties of specimen

Plastic	Grade	ABS
	Specific gravity (g/cm ³)	1.06
	IZOD impact strength (kgf)	18.2
	Tensile strength (kgf/cm ²)	466.9
	Elongation (%)	19.1
Paint	Grade	Urethane clear UT578 (A)
	Thickness (μm)	40
	Specific gravity (g/cm ³)	1.20

가공은 분사압력과 이송속도에 변화를 주면서 Fig. 6 과 같은 방식으로 노즐을 이송시키면서 실시하였다. 노즐 분사압력과 이송속도는 예비실험을 통하여 선정하였다.¹¹ 0.25 MPa 이하의 압력에서는 여러 번 반복 분사 했음에도 불구하고 페인트가 박리되지 않았기 때문에 노즐 분사압력 조건은 페인트가 박리되는 압력범위인 0.3~0.55 MPa 사이에서 0.05 MPa 씩 증가시키면서 진행하였다. 그리고 노즐 이송속도가 너무 작을 시 낮은 분사압력 하에서도 표면손상이 발생하는 현상과 효율성을 고려하여 이송속도를 5 mm/s, 7.5 mm/s, 10 mm/s 로 선정하였다. 노즐과 시편 사이의 거리는 100 mm 로 하였다. 실험에 사용한 가공조건은 Table 2 와 같다.

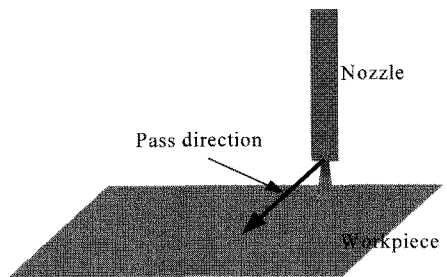


Fig. 6 The blasting process of experiment

Table 2 Blasting conditions

Grit size (mm)	0.5~0.75, 0.75~1.0, 1.0~1.5
Pressure (MPa)	0.30, 0.35, 0.40, 0.45, 0.50, 0.55
Nozzle feed (mm/s)	5.0, 7.5, 10.0
Nozzle height (mm)	100

페인트의 박리효과를 측정하기 위하여 공구현미경(MF-A1010, Mitytoyo, Japan)과 Image analysis computer software(Analysis pro ver. 3.2, Gmbh, Germany)를 이용하였다. 프로그램에서 박리효과는 박리된 면적과 전체면적의 백분비를 사용하였다.

4. 실험결과 및 분석

4.1 노즐 1 회 분사 시 가공특성

친환경 전분계 연마재의 가공성능을 확인하기 위하여, 연마재의 입자 크기, 노즐의 분사압력, 그리고 노즐의 이송속도에 변화를 주면서 페인트의 박리효과를 시험하였다.

Fig. 7~Fig. 9 는 입자 크기의 변화에 따른 제거된 페인트의 박리효과와 분사압력과의 관계를 나타낸 그래프이다. 0.3~0.4 MPa 의 분사압력 조건에서는 3 가지 종류의 입자들 중에서 모두 노즐의 분사압력이 증가할수록 페인트의 제거율이 증가하는 경향을 가지고 있음을 알 수 있다. 그러나 입자 크기와 이송속도에 상관없이 0.45 MPa 이상의 압력(Fig. 7~Fig. 9 에서 * 표시부분)에서는 Fig. 10 과 같이 물결모양의 요철이 나타나면서 표면손상이 발생하였다. 이는 높은 압력으로 연마재를 분사시 연마재의 입자와 시편 표면 사이의 마찰로 인한 열 발생으로 플라스틱 표면이 변형되어 나타난 현상이다.

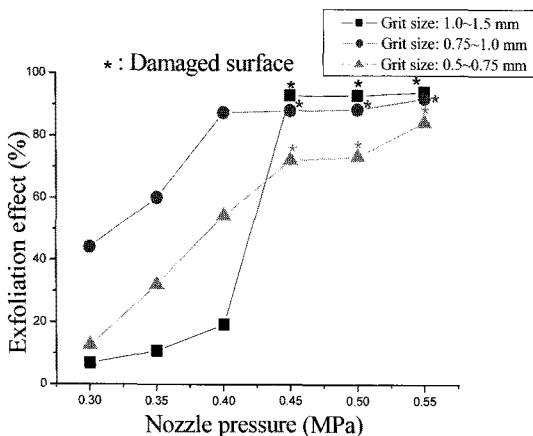


Fig. 7 Exfoliation effect vs. nozzle pressure (nozzle feed: 5 mm/s)

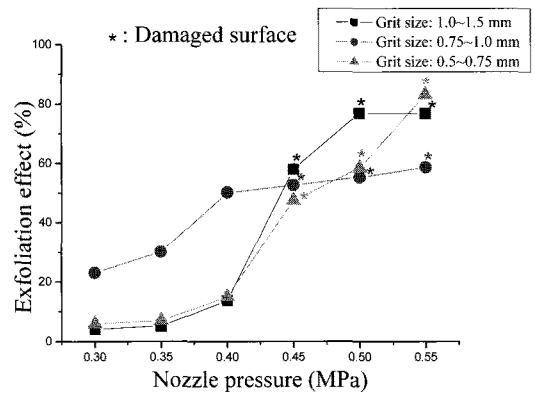


Fig. 8 Exfoliation effect vs. nozzle pressure (nozzle feed: 7.5 mm/s)

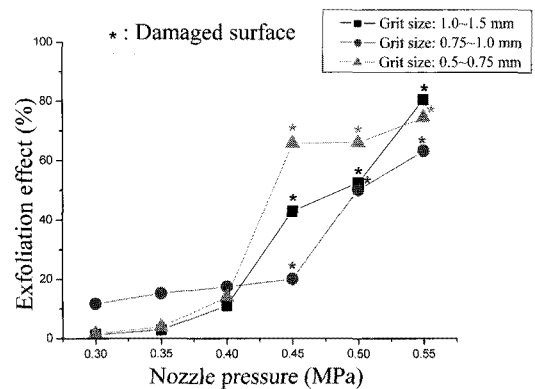


Fig. 9 Exfoliation effect vs. nozzle pressure (nozzle feed: 10 mm/s)



(a) 1.0 ~ 1.5 mm (b) 0.75 ~ 1.0 mm (c) 0.5 ~ 0.75 mm
Fig. 10 Damaged surfaces (nozzle feed: 5 mm/s, nozzle pressure: 0.45 MPa)

압력변화에 따른 표면상태의 파악을 위하여 5 mm/s, 7.5 mm/s, 10 mm/s 의 노즐 이송속도에서 입자 크기 별로 분사압력에 변화를 주면서 실험을 실시하고 표면거칠기(Ra) 값을 측정하였다. Fig. 11 은 입자 크기와 이송속도 변화에 따른 표면거칠기

와 노즐 압력과 관계의 그래프이다. 분사압력(0.3~0.4 MPa)이 증가할수록 표면거칠기 값이 점차 증가하는 경향이 있었으며 0.45 MPa 이상의 압력에서는 표면거칠기 값이 현저히 악화 되었다. 이는 표면에 손상이 발생하여 표면거칠기 값에 영향이 미쳤다고 생각된다.

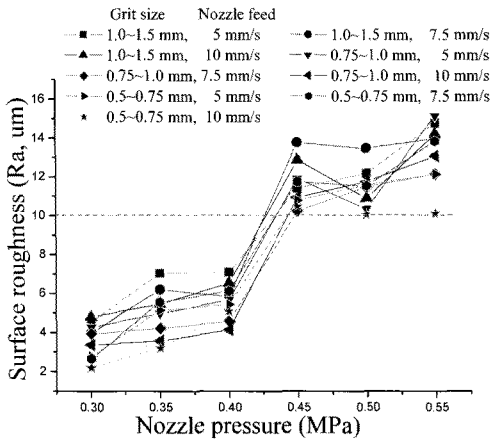


Fig. 11 A standard of judgment for damaged surfaces by surface roughness

그러므로 본 실험에서 표면거칠기를 고려하면 표면에 손상이 발생하지 않는 0.3~0.4 MPa 의 압력 범위가 적절하다고 판단된다. 그리고 연마재의 페인트 제거능력의 측면에서는 표면손상을 발생시키지 않으면서 최상의 박리효과를 0.4 MPa 의 노즐 분사압력 조건에서 얻을 수 있었다.

Fig. 12 는 분사압력이 0.4 MPa 일 때 노즐 이송 속도와 전분계 연마재 입자 크기 변화에 따른 가공면의 페인트 박리상태를 백분율로 나타낸 영상이다. 노즐의 이송속도 변화와 박리되는 페인트 면적과의 관계는 노즐 이송속도가 각각 5, 7.5, 10 mm/s 일 때 노즐 이송속도가 작을수록 페인트는 효과적으로 박리되고 10 mm/s 인 경우에는 상대적으로 미미함을 Fig. 13 에서 확인할 수 있다. 본 실험조건에서는 노즐의 이송속도가 5 mm/s 인 조건이 페인트의 박리효과가 가장 우수하였다. 그리고 크기가 각각 0.5~0.75 mm, 0.75~1.0 mm, 1.0~1.5 mm 인 입자 중에서 0.75~1.0 mm 인 연마재의 박리효과가 가장 우수함을 확인할 수 있다. 입자 크기가 0.5~0.75 mm 인 연마재는 분사 시 분사하는 과정에서 비산되는 현상이 나타났다. 이는 연마재 입자

가 비교적 가벼워 나타난 현상이고 이와 같은 작은 입자의 특성상 페인트의 박리는 상대적으로 입자 크기가 0.75~1.0 mm 인 경우보다 작았다고 생각된다. 그리고 입자 크기가 1.0~1.5 mm 인 경우는 0.75~1.0 mm 인 경우보다 페인트의 박리효과가 우수할 것으로 예상하였으나 그렇지 못하였다. 그 이유는 Fig. 14 의 가공 전후 이미지와 같이 가공되면서 입자가 많이 깨지는 경향이 페인트의 제거량에도 영향을 미쳐 페인트의 박리효과가 가장 낮은 것으로 판단된다.

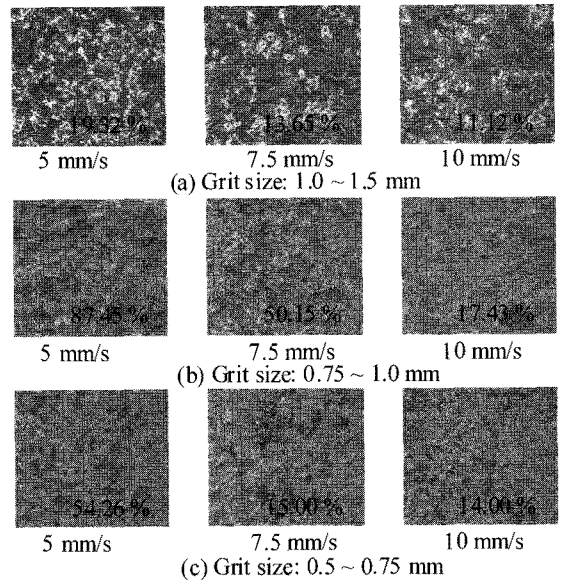


Fig. 12 Surface extent after blasting process (nozzle pressure: 0.4 MPa)

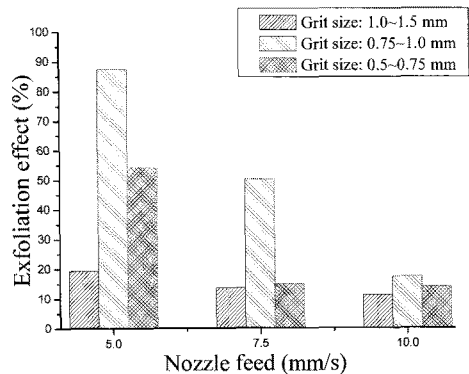


Fig. 13 Exfoliation effect vs. nozzle feed (nozzle pressure: 0.4 MPa)

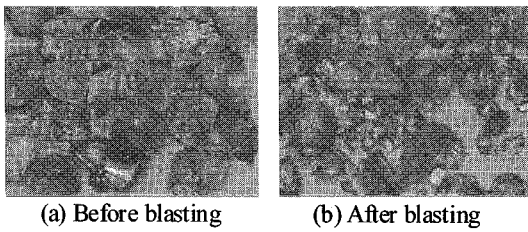


Fig. 14 Photographs for comparison before and after blasting (nozzle pressure: 0.4 MPa, nozzle feed: 5 mm/s, grit size: 1.0~1.5 mm, 1 time)

4.2 노즐 2 회 분사 시 가공특성

노즐 분사 횟수 1 회 블라스팅 가공 시 분사압력, 이송속도의 변화로 일정한 박리효과를 얻을 수 있었지만 시편 표면의 페인트를 완전히 제거하기에는 부족하였다. 따라서 전분계 연마재를 이용하여 시편 표면의 페인트를 완전히 박리하기 위하여 표면손상이 발생하지 않는 압력범위(0.30~0.40 MPa)에서 노즐 분사 횟수를 1 회 더 추가하고 제거율을 측정하였다. Fig. 15~Fig. 17 은 노즐 2 회 가공 시 페인트 제거율을 나타낸 것이다.

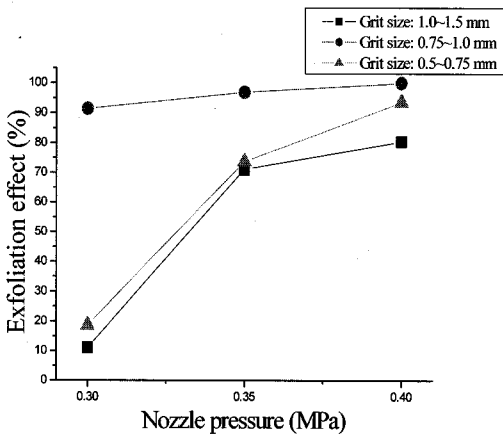


Fig. 15 Exfoliation effect vs. nozzle pressure (nozzle feed: 5.0 mm/s, 2 times)

노즐 분사 횟수 1 회의 증가로 페인트의 제거율은 우수한 효과를 얻을 수 있다. 그러나 이송속도가 증가함과 동시에 Fig. 18 과 같이 페인트의 박리효과는 저하되는 경향을 보였다. 그리고 입자 크기가 0.75~1.0 mm 인 연마재는 다른 두 종류의 연마재에 비해서 비교적 높은 페인트 박리효과를 보였다. 이송속도 5 mm/s, 분사압력 0.4 MPa

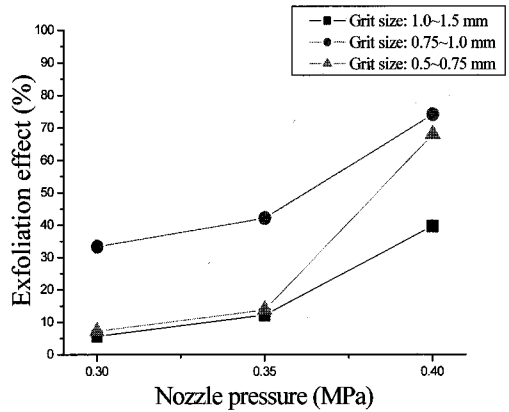


Fig. 16 Exfoliation effect vs. nozzle pressure (nozzle feed: 7.5 mm/s, 2 times)

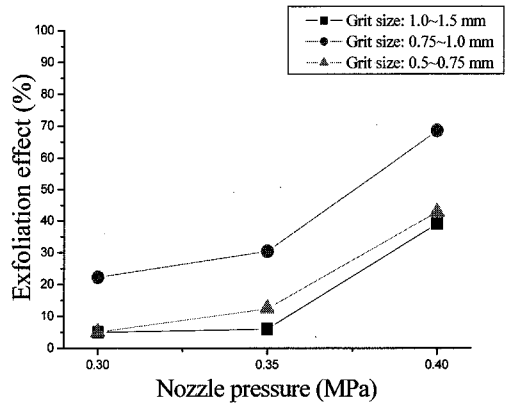


Fig. 17 Exfoliation effect vs. nozzle pressure (nozzle feed: 10 mm/s, 2 times)

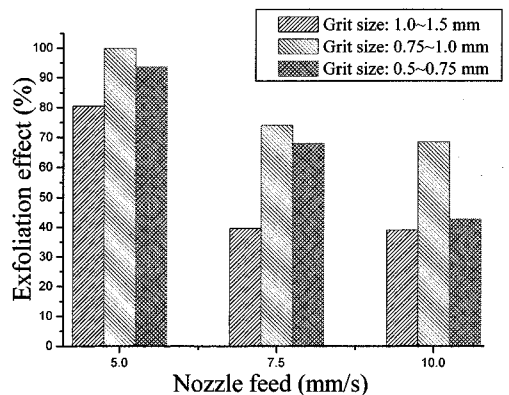


Fig. 18 Exfoliation effect vs. nozzle feed (nozzle pressure: 0.4 MPa, 2 times)

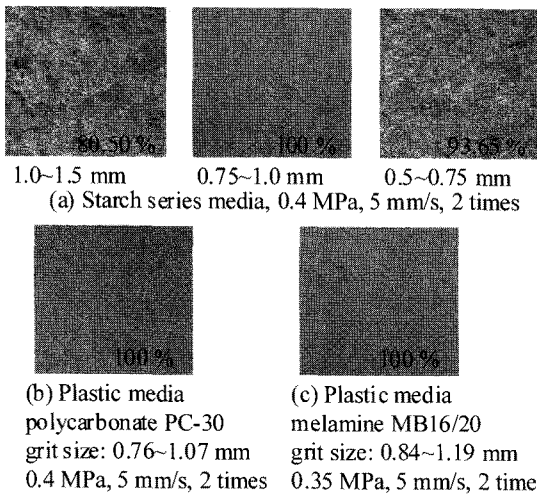


Fig. 19 Surface extent after blasting process and similar performances between starch series media and plastic media

의 조건에서는 시중에서 유통되는 Plastic media 를 사용한 Fig. 19(b) 와 Fig. 19(c) 같이 100 % 의 제거율을 얻었다. 입자 크기가 0.5~0.75 mm, 1.0~1.5 mm 인 2 종류의 연마재는 노즐 분사 횟수의 증가로 페인트 제거율은 증가했지만 0.75~1.0 mm 입자 크기의 연마재와 비교했을 시 제거율이 상대적으로 낮음을 알 수 있다.

5. 결론

본 연구에서는 전분으로 블라스팅 용 연마재를 제조하고 플라스틱 도장품의 페인트를 박리하는데 있어서 전분계 연마재의 가공 조건을 실험을 통하여 검토하였다.

(1) 블라스팅 용도의 전분계 연마재는 플라스틱 도장품의 페인트를 박리하는데 있어 그 성능을 보유하고 있음을 확인하였다.

(2) 연마재의 입자 크기, 노즐 분사압력, 노즐 이송속도 및 노즐 반복횟수의 조절로 페인트를 효과적으로 박리 할 수 있었으며 자동차용 플라스틱 도장품의 페인트 박리를 위한 전분계 연마재의 블라스팅 조건을 얻을 수 있었다. 본 실험조건에서 입자 크기는 0.75~1.0 mm, 분사압력은 0.4 MPa, 이송속도는 5 mm/s, 반복횟수는 2 회로 하는 것이 가장 적절하였다.

(3) 전분계 연마재는 입자 크기 별 다양한 등급의 확보를 통하여 폴리싱 용도는 물론, 플라스

틱 사출물의 디버링, 각종 재제조 산업에 있어서의 페인트 박리, 주물 및 주조의 표면처리 등의 용도로서 다양하게 활용될 수 있어 그 의의 또한 매우 크다고 볼 수 있다. 향후 본 연마재의 개발이 친환경 생분해성 연마재 실용화의 계기로 활용될 것으로 기대된다.

후 기

본 연구는 군산단지혁신클러스터추진단에서 시행한 현장맞춤형 기술개발사업의 지원으로 진행되었으며, 관계자 여러분께 감사 드립니다.

참고문헌

1. Kim, C. S. and Yi, H. C., "Development of the Design Guideline to Increase the Reusing Rate of Cellular Phone Parts," Journal of the KSPE, Vol. 23, No. 8, pp. 108-118, 2006.
2. Mok, H. S., Jeon, C. S., Han, C. H., Song, M. J., Park, B. S., Kwak, H. S. and Park, S. J., "A Study on Remanufacturing Industry for Automobile Parts," Transactions of KSAE, Vol. 16, No. 6, pp. 184-191, 2008.
3. Mok, H. S., Jeon, C. S., Han, C. H., Kwak, H. S. and Park, S. J., "Development Methods of Remanufacturing Industry for Resources Recycle," Transactions of KSAE, Vol. 17, No. 1, pp. 120-129, 2009.
4. Chae, J. C. and Kim, C. K., "Biodegradation of Recalcitrant Chlorinated Aromatic Compounds via Microbial Dechlorination," Korean J. Environ. Biol., Vol. 17, No. 2, pp. 129-138, 1999.
5. Song, E. S. and Woo, N. R. Y., "The Physico-Chemical Characteristics of Modified Starch Made by Chemical Treatment," Korean J. Food Culture, Vol. 22, No. 1, pp. 91-96, 2007.
6. Han, M. Y., Chang, M. J. and Kim, M. H., "Investigation of Physical Property Change in Modified Rice Starch by Ultra Fine Pulverization," J. Korean Soc. Appl. Biol. Chem., Vol. 50, No. 3, pp. 160-166, 2007.
7. Lee, S. K. and Shin, M. S., "Gelatinization and Retrogradation Properties of Modified Starch by Steeping Sweet Potato," Korean J. Food Sci. Technol., Vol. 26. No. 5, pp. 638- 643, 1994.

8. Kum, J. S., Lee, H. Y., Shin, M. G., Yoo, M. R. and Kim, K. H., "Properties of Modified Rice Starch by Physical Modification," Korean J. Food Sci. Technol., Vol. 26, No. 4, pp. 428-435, 1994.
9. Yu, W. R., Lee, Y. M., Kim, E. H. and Lee, D. H., "A Study on the Relationship Between Processing Conditions and the Compressional Properties of Expanded Starch," Journal of the Koren Fiber Society, Vol. 36, No. 7, pp. 545-552, 1999.
10. Shin, M. S., Mun, S. H. and Woo, K. S., "Effects of Cross-linked RS 4 starches on Pasting Profiles of Wheat Starch using RVA," Korean J. Food Sci. Technol., Vol. 33, No. 1, pp. 157-160, 2001.
11. Li, L. H., Kim, Y. S., Lee, H. K., Mun, S. D. and Yang, G. E., "Study on Blasting using the Environmentally-Friendly Abrasive Material of Starch Series," Proc. of KSPE Spring Conference, pp. 743-744, 2009.