한국기계가공학회지, 제17권, 제4호, pp.137～142(2018.08) ISSN 1598-6721(Print)
Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 17, No. 4, pp.137~142(2018.08) ISSN 2288-0771(Online)

https://doi.org/10.14775/ksmpe.2018.17.4.137

재생 합성수지 원료생산을 위한 중금속 이물질 제거 공정기술 개발

김정호*, 차천석**, 김재열***, 김지훈***,#

*조선이공대학교 자동차과, **동강대학교 소방안전과, ***조선대학교 기계시스템미래자동차공학부

Development of a Process Technique for Heavy Metal Removal in the Production of Recycled Synthetic Resin Materials

Jung-Ho Kim*, Cheon-Seok Cha**, Jae-Yeol Kim***, Ji-Hoon Kim***,#

*Department of Automobile, Chosun College of Science & Technology, **Department of Fire Safety Management, Donggang University, ***Department of Mechanical System & Automotive Engineering, Chosun University

(Received 7 July 2018; received in revised form 21 July 2018; accepted 27 July 2018)

ABSTRACT

Recycled synthetic resin materials produced from waste vinyl and waste plastic contain many foreign substances. Plastic products made from this recycled resin materials containing foreign substances are of poor quality, with reduced the strength and rigidity. Foreign substances include heavy metals, cement, foil, dyed paper and dust. In this study, the scratch-Dies process; which remove foreign sbustances, with precision and automation, through a three-stage mesh filter, is designed. The process is evaluated with finite element analysis according to vibration loading and make. After installing the manufactured equipment, recycled resin was producde, and its heavy metal content was evaluated. Recycled synthetic resin materials were also used plastic products and evaluate their strength. In addition, the change in production was assessed.

Key Words : Synthetic Resin(합성수지) Recycling(재생), Foreign Substance(이물질), Heavy Metal(중금속), Scratch-Dies(스크레치다이스)

1. 서 론

합성수지(Plastic)로 만든 비닐 및 플라스틱은 종류가 다양하고 각각의 특성을 통해 일상생활은 물론 여러 산업분야에서도 중요한 역할을 담당하고 있으나 매년 폐비닐 및 폐플라스틱 발생량이 증가하고 있다[1~2]. 그러나 이에 대한 수거 및 적절한 처리 등 재생방법의 개발이 미비하여 환경적으로 심각한 문제를 야기 하고 있다[3]. 또한 선진국들이 중심이 된 수출품들에 일정비율의 재생품을 의무적으로 사용하는 규정이 예정되고 있어 관련 업계의 미치는 영향이 매우 클 것으로 예상된다.

이러한 재생 플라스틱 생산 현황은 폐비닐 및 폐플라스틱에 묻은 시멘트, 염색된 종이류, 흙먼지, 모래 등 이물질을 스크래치다이스 장비에 용융상태

Corresponding Author : kjh@chosun.ac.kr
Tel: +82-62-230-7840, Fax: +82-62-230-7171

Copyright © The Korean Society of Manufacturing Process Engineers. This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution-Noncommercial 3.0 License (CC BY-NC 3.0 http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

로 만들어 이물질을 재거 후 재생 합성수지원료(펠렛)를 생산한다. 스크래치다이스 장비는 이물질을 걸러주는 메쉬(Mesh)망이 잦은 교체로 인력이 상시 대기해야 하고, 교체시간 동안 장비가동이 중단되어 생산력 감소가 발생하고, 생산중단 동안 경화된 재생 합성수지를 재용융화 하는데 추가 에너지가 소비되게 된다. 또한 현존하는 스크래치다이스 장비에서 이물질 제거는 2단계로 이루어져 있어 미세 메쉬망을 사용하더라도 충분한 이물질 제거가 이루어지지 않은 저급의 재생수지가 생산되고 있다.

또한, 시멘트, 염색된 종이류, 흙 등 이물질은 중금속(납, 카드뮴, 수은 등)을 다량 함유하고 있어 이물질이 제대로 제거되지 않은 재생 합성수지로 만들어진 제품을 통해 중금속을 섭취할 위험성이 생기고 또한 재생 합성수지에 포함된 이물질에 의해 강도·강성 저하로 제품 품질이 감소된다[4~6]. 실제로 기존에 사용되는 재생 합성수지원료에서 납과 카드뮴등 중금속이 식품의약품안전처에서 제시하는 기준치(100㎎/㎏)보다 4.7배 이상 검출이 되었고, 재생 합성수지 제품 일부에서 기준치의 2배 이상이 검출되었다.

Fig. 1 Working environment before development

폐비닐 및 폐합성수지를 재생원료로 생산하는 기업은 대부분 소기업으로 기술개발에 대한 인력, 비용, 시간투자가 힘들어 앞에서 언급한 사회적 이슈가 대두되고 있지만 관련 기술연구가 거의 진행되고 있지 않아 관련연구 발표 및 특허가 거의 전무하다[7~8].

본 연구에서는 폐비닐 및 폐플라스틱을 용융시켜 중금속을 포함한 이물질을 3단계에 걸쳐 제거하고, 많은 재생 합성수지원료를 생산할 수 있는 스크류푸셔를 적용하여 이물질이 거의 없고 대량자동화로 생산하고 할 수 있는 스크레치다이스 장치를 개발 및 제작하였다. 그리고 개발 전·후 생산된 재생 합성수지원료의 중금속 함유량, 재생 합성수지원료로 만든 플라스틱 제품의 충격실험 그리고 재생 합성수지원료 생산량을 비교·평가하였다.

2. 3공정 이물질 제거공정 및 장치

스크레치다이스는 폐비닐 및 폐플라스틱을 190~200℃으로 용융시킨 후 여러 필터장치를 통해 폐합성수지에 묻은 흙먼지, 모래 그리고 시멘트 등 이물질을 제거하여 재생펠렛원료(재생 합성수지원료)로 만들어주는 장치이다.

대부분의 스크레치다이스는 Fig. 1와 같이 필터망을 통해 흙먼지, 모래 그리고 시멘트등과 같은 이물질을 걸려 재생 합성수지원료를 생산하는데 필터 망에 이물질을 제거하기 위해서는 장치를 멈추고 교체작업이 이루어져 작업인원이 상시대기가 필요하고 교체시간동안 용융상태 재생 합성수지원료가 고체화되어 다시 용융상태로 만드는데 많은 에너지가 소모된다.

따라서 본 연구에서는 이물질제거장치 공정을 3단계 공정으로 구분된 별도의 스크레치다이스를 개발하였다.

2.1 3단계 이물질 제거 공정

이물질 제거에 사용되는 메쉬망 필터는 1차 공정에서는 0.38㎜(40메쉬) 서스(Sus)망, 2차 공정에서 0.14㎜(100메쉬) 서스망 그리고 3차 공정에서는 0.083㎜(180메쉬) 서스망을 설치하여 사용하도록 하였다.

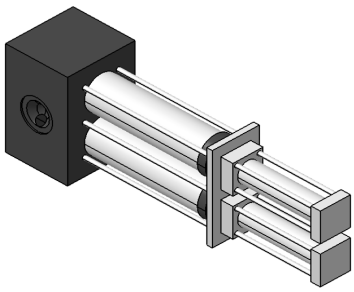


Fig. 2 First Step Device of Foreign Material Removal

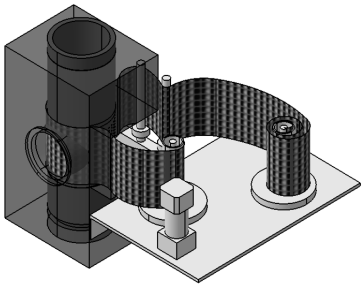


Fig. 3 Second Step Device of Foreign Material Removal

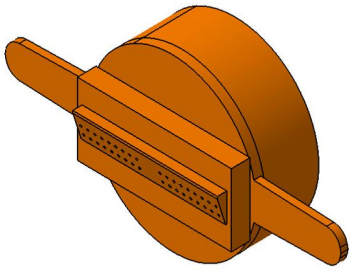


Fig. 4 Third Step Device of Foreign Material Removal

1차 이물질 제거공정은 Fig. 2와 같이 폐플라스틱 및 폐플라스틱을 용융시켜 순차적으로 주입하는 두 개의 유압실린더(Ø16 x 300㎜)에 메쉬망 필터를 입구부분에 장착하고, 한쪽에서 메쉬망 필터 교환 시 다른 한쪽에서는 1차 이물질 제거가 연속적으로 이루어지도록 하였다. 필터부분에 압력센서를 설치하여 이물질에 의해 메쉬망 필터에 일정이상의 압력이 증가할 때 교체가 이루어지도록 하였다.

2차 이물질 제거공정은 1차 이물질이 제거된 융융 수지가 Fig. 3와 같은 케이스 입구의 메쉬망을 통해 이물질이 걸러지게 하였다. 또한 별도의 모터 장치와 PLC를 부착하여 일정시간에 따란 메쉬망이 자동 교체되도록 자동화 하였다.

3차 이물질 제거공정은 Fig. 4와 같이 1, 2차에서 미처 걸러지지 못한 이물질을 마지막으로 제거하며 재생 합성수지원료가 인발 되도록 하였다.

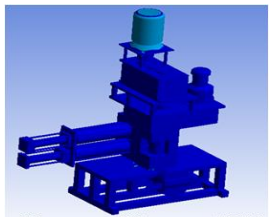
2.2 유한요소해석

이와 같은 공정에 따른 3공정 스크레치다이스를 ANSYS를 이용한 유한요소 진동해석을 진행하여 제품의 변형량, 응력, 전단응력을 평가를 하였다.

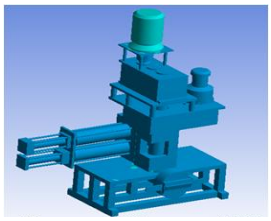
스크레치다이스의 소재는 스크류, 실린더(SACM1), 체인지샤프트, 망회전기어, 쁘레카(SM45C), 고정 Plate(SS41), 메시 체인져 블록, 스크린체인져 블록(FCD60), 여과망(STKM13A)이며 구속조건은 하단부를 완전 고정하고, 진동하중은 스크레치다이스에 설치된 2개의 모터진동보다 2배 이상으로 가혹한 하중값을 적용하여 해석하였다.

메쉬종류는 테트라 메쉬(Tetra Mesh)로 노드(Node)와 요소(Element)는 각 141,474개와 78,377개, 구속조건은 하단부는 전부고정하고 진동하중은 압축기모터에서 1730rpm, 체인지필터(2차 이물질 제거장치)에서 120rpm, 스크류 회전모터에서 1160rpm에 2배 이상을 적용하여 Fig. 5와 같이 변형량, 응력 그리고 전단응력을 얻었다.

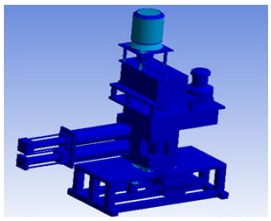
최대변형량은 약 2.129×10^{-5},으로 변형이 거의 없음을 알 수 있다. 최대응력과 전단응력은 각각 4.752MP와 1.9886MPa으로 측정되었다. 이는 허용강도가 제일 낮은 SM45C의 강도보다 충분히 낮으므로 개발 장비의 안전성을 확인할 수 있었다.



(a)Strain



(b)Stress



(c)Shear stress

Fig. 5 Vibrational analysis using ANSYS

2.3 3공정 스크레치다이스

스크레치다이스는 Fig. 6과 같이 제작하였다. 또한 재생 합성수지원료를 대량 생산하기 위해 스크류 푸셔를 스크레치다이스 중앙부분에 위치시켜 별도의 모터를 연결하여 유입되는 원료의 양에 따라 스크류 푸셔의 속도를 제어하도록 제작하였다.

Fig. 6 Scratch-dies

Table 1 Comparative evaluation at recycled synthetic resin

Test item	Unit	Result			
		Before	After		
Pb	mg/kg	226	74	68	76
Cd		3	0	0	0
Hg		0	0	0	0
Cr		0	0	0	0

Table 2 Comparative evaluation at recycled plastic products

Test item	Unit	Result			
		Before	After		
Pb	mg/kg	-	0	0	0
Cd		-	0	0	0
Hg		-	0	0	0
Cr		-	0	0	0

3. 실험결과 및 고찰

3.1 재생 합성수지원료 중금속 비교평가

스크레치다이스 제작 전·후의 생산한 재생 합성수지원료와 이를 이용한 재생 플라스틱 제품을 대상으로 중금속함유율(Pb, Cd, Hg, Cr)을 공인성적기관인 한국화학융합시험연구에 의뢰하여 측정하였으며 Table 1, 2에 나타내었다.

기존 재생수지와 비교하면 납은 개발전 원료에서 226이 검출되었으나 개발시스템 적용 후 74, 68, 76이 검출되었다. 카드늄, 수은, 크롬은 거의 검출이 되지 않아 중금속을 포함한 이물질이 효과적으로 제거됨을 알 수 있다. 또한, 식양청기준치 준 용기 기준은 100㎎/㎏이하 이므로 생활 플라스틱 용품으로 사용에 문제가 없었고 재생플라스틱 제품에서는 원료에 남아 있던 납이 모두 제거되었음을 알 수 있었다. 이는 재생원료에 남아 있던 납 성분이 제품 제조과정의 고온에서 제거된 것으로 보인다.

3.2 재생 플라스틱 제품 평가

개발 후 재생 합성수지를 사용한 플라스틱 제품을 생산 후 강도등 사용성 평가를 위하여 한국건설생활환경시험연구소에서 KS규격(KS T 1081 : 2014, 플라스틱제 회수용 운반용기)에 따라 압축하중, 모서리 낙하 강도 그리고 충격강도를 Fig. 7과 같이 평가하였고 그 결과를 Table 3에 나타내었다[9].

Fig. 7 Impact test based on KS

Table 3 Test result based on KS

Test item	Fruit chest	
Size(Length x Wise)	526×364㎜	527× 363㎜
Compression load	No breakage and bending	No breakage and bending
Edge drop strength	No damage and deformation	No damage and deformation
Impact strength	No damage and deformation	No damage and deformation

Table 4 Variation evaluation of output

	Pre output	Post output	Output gap	Percentage
Day 1	11,990	15,095	3,105	126%
Day 2	12,015	14,960	2,945	125%
Day 3	11,835	15,010	3,175	127%
Average	11,947	15,022	3,075	126%

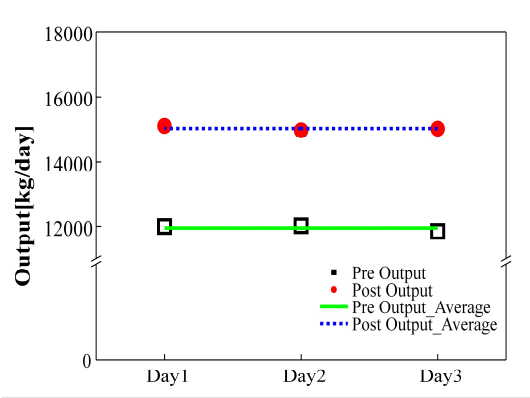


Fig. 8 Daily production measurement value

검사 결과 중금속이 거의 검출되지 않은 재생 합성수지원료를 사용하여 만들어진 플라스틱제품에서 KS규격에 따른 파손 및 변형이 전혀 나타나지 않아 실제 양산 제품으로 적용이 가능함을 알 수 있었다.

3.3 재생 합성수지원료 생산력 평가

스크레치다이스 장비 개발 전·후의 재생 합성수지원료의 생성량을 1일당 kg으로 3일 동안 측정하여 Table 4 및 Fig. 8에 나타냈다. 재생 합성수지원료 생산성이 제품개발 후 적용에 따라 생산량 증가는 평균 26% 증가되어 본 연구에서 개발한 메쉬필터의 성능과 자동화 라인의 스크류 푸셔의 적용이 효과적이라는 것을 알 수 있다.

4. 결 론

납, 카드뮴, 수은 등 중금속이 함유된 이물질을 3단계 메쉬 필터에서 효과적으로 제거되는 스크레치다이스를 개발하고 제작된 장비를 통해 재생 합성수지원료를 생산 후 중금속함유율 평가, 재생 합성수지원료로 생산한 플라스틱 제품의 강도평가와 생산량 증감액을 평가하였다.

1. 중금속측정에서 기존 원료에서는 식약청 기준치 100㎎/kg를 넘어선 납이 226㎎/kg이 검출된 반면 개발 장비를 통한 원료에서는 납은 평균 72.7㎎/kg이 측정되어 기준치를 만족하였고, 다른 중금

속은 검출 되지 않아 개발된 스크레치다이스에서 이물질제거 효과를 확인하였다.
2. 개발 시스템에서 생산된 재생원료를 사용하여 만들어진 플라스틱 제품의 강도평가에서 KS기준을 만족하였다.
3. 개발 시스템을 통한 재생원료의 양 평가에서 기존 시스템 대비 26% 증가치를 보여 대량생산 자동화기술이 잘 적용됨을 알 수 있었다.

후 기

"이 논문은 2015년도 조선대학교 학술연구비의 지원을 받아 연구되었음."

REFERENCES

1. Han, S. R., "A Study on the Deformation Optimization of a Plastic Bezel Assembled on the Steering Wheel of an Automobiles," Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 16, No. 5, pp. 105-112, 2017.
2. Lee, B. K. and Kim, J. H., "Manufacturing of Micromolds for Plastic Molding Technologies via Synchrotron LIGA Process," Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 14, No. 4, pp. 1-7, 2015.
3. Lee, I. G. and Kim, J. H., "Thermo-Chemical Treatment Characteristics of Recycling Oil Obtained from Pyrolysis of Refused Plastics," The 2006 International Symposium on the Recycling of Polymers, pp. 39-54, 2006.
4. Lee, K. T., Gyoung, Y. S. and Park, T. K., "Studies on the Analysis of DOA in PVC Wrap Film and its Migration into Foodstuffs," Korean J. Food SCI. TECHNOL., Vol. 22, No. 2, pp. 145-149, 1990.
5. Kim, K. S., "The Research on Upcycling of Recovered Pulp and Mixed Plastic from Soiled Diaper," Journal of the Korean Institute of Resources Recycling, Vol.24, No.5, pp. 22-32, 2015.
6. Chung, S. H., Na, J. G., Kim, S. G., Woo, H. M. and Kim, Y. T., "Feedstock Recycling Technologies using Waste Vinyls," Journal of the Korean Institute of Resources Recycling, Vol.22, No.4, pp. 46-54. 2013.
7. Kang, C. M., "A Study on Environmental Standards Establishment for Discarding Synthesized Polymer Renewable Material," Graduate School of Industry, Seoul National University of Science & Technology, pp. 1-105, 2010.
8. Lee, K. T., Lee, J. P., Choi, W. S., Woo, M. J. and Lee J. R., "Material Tests for the Evaluation of Safety Aspects for Recycled Plastic 'Tarai' as a Food Container," J. of KORRA, Vol. 12, No. 2, pp. 41-51, 2004.
9. KS, KS T 1081:2014