

압출성형기의 각종 원료 계량, 정량공급 및 혼합 자동화 공정 개발

정석우\*, 정우현, 윤용승  
 고등기술연구원 플랜트엔지니어링센터  
 (swchung@iae.re.kr\*)

Development of an Ex-truder Automation Process for Weighing, Constant Feeding and Mixing of Various Materials

Seok Woo Chung\*, Woo Hyun Jung, Yongseung Yun  
 Plant Engineering Center, Institute for Advanced Engineering  
 (swchung@iae.re.kr\*)

서론

일반적으로 압출성형 공정에 있어서 분체 및 액상의 각종 원료를 이용한 제품 제조시 공급되는 원료의 공급량비에 따라 특성이 다른 제품이 생산되므로 분체 및 액상원료의 혼합을 위한 정량공급 정확도를 향상시키는 것은 매우 중요하다. 그러나, 대부분의 국내 압출성형 업체들은 규모가 작고 영세하여 분체 및 액상의 각종 원료를 수작업으로 직접 계량하여 공급하는 있는 실정이므로 이와같은 공정에서 작업자들의 단순반복에 따른 육체적 노동, 작업자의 안전사고 위험, 비효율적 공정으로 인한 열악한 작업환경 및 작업성 저하 등이 발생하게 된다. 따라서, 본 연구에서는 중소기업 생산현장 직무기피요인해소사업의 일환으로 압출성형 공정에서 플라스틱 제품에 사용되는 분체 및 액상의 각종 원료를 저장호퍼로부터 정량적으로 계량후 공압수송 방식에 의해 혼합기로 자동 공급함으로써, 생산현장 작업자의 직무기피요인을 해결하고 계량, 혼합 정확도를 향상시킬 수 있는 무인 자동화 시스템을 개발하였다.

공정구성

본 연구에서는 PS, 재생재, rubber, 핵제, 마스터배치 등의 5가지 주 원료와 분말 형태의 발포제, 액상의 점착제, 스크랩 분쇄에 의한 분쇄재 등의 각종 원료를 정량적으로 계량하고 혼합한 후 압출성형기에 공급하기 위한 자동화 설비를 개발하였는데, 공정구성도는 [그림 1]과 같다. 주요 공정으로는 펠렛 형태의 주원료를 저장하기 위한 1차 저장호퍼와 주기적으로 기류수송되는 주원료를 계량하기 전에 저

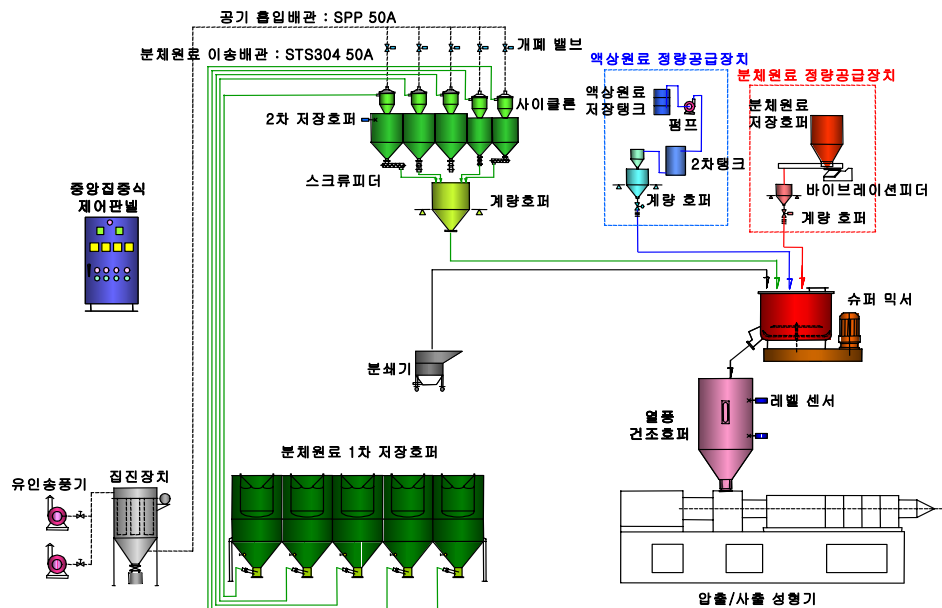


Figure 1. Schematic Diagram of Developed Processes.

장하는 2차 저장호퍼, 사용되는 각종 주원료별 공급무게를 측정하는 계량호퍼, 2차 저장호퍼에서 계량호퍼로 원료를 공급하는 스크류피더, 점착제로 사용되는 액상원료를 정량공급하기 위한 액상원료 정량공급장치, 발포제로 사용되는 분말원료를 공급하기 위한 vibration feeding 방식의 분체원료 정량공급장치, 분쇄재를 기류수송 방식으로 공급하기 위한 분쇄재 공급장치, 공급되는 각종 분체 및 액상원료를 혼합하기 위한 슈퍼믹서, 혼합된 원료를 압출/사출 성형기에 공급하기 전에 제품의 품질에 영향을 미치는 수분을 제거하기 위한 열풍건조호퍼, 저소음 저압흡입 방식에 의해 분체원료를 이송하기 위한 유인송풍기 및 집진장치, 이러한 모든 장비를 연계하여 자동화 제어하기 위한 중앙집중식 제어판넬 등으로 구성하였다.

**유동해석 및 운전결과**

압출/사출 성형 공정에서 사용되는 분체원료에 포함된 수분의 함량이 많을 경우 불량품 발생의 원인이 되는 등 수분이 제품생산에 미치는 영향이 큰 점을 고려하여 기존의 장비에 비해 건조효율이 개선된 열풍건조호퍼 설계를 진행하였는데, 외측에 자켓과 격막을 설치하여 가열공기가 2차 순환하도록 구성함으로써 외부로의 열손실을 최소화하도록 설계하였다. [그림 2]와 [그림 3]은 개선 전후의 분체원료 건조장치에 대한 유동해석 결과를 나타낸 것이다. 먼저, [그림 2]는 개선 전후의 호퍼건조기 및 열풍 건조호퍼 내부 유동흐름을 나타낸 것으로, (a)의 개선전 호퍼건조기의 내부 유동흐름을 보면 가열공기가 입구에서 내부로 들어오면서 선회를 하며 건조할 원료로 유입되는 것을 확인할 수 있다. 하지만, 가열공기가 유입되는 입구의 위쪽영역과 건조할 원료가 충전된 내부에서는 선회하는 흐름에 따라 흐름이 거의 없는 dead zone이 생기고 이러한 흐름은 건조효율을 저하시키는 원인이 된다. 반면에, (b)의 개선후 열풍 건조호퍼 내부 흐름을 보면 하

부에서부터 나온 가열공기가 균일하게 건조할 원료층 내부를 통과하면서 출구로 빠져나가는 것을 알 수 있다. 그리고, 개선후 열풍건조호퍼 하단의 건조할 시료층 내부에서 가열공기가 재순환되는 영역이 생김에 따라 건조효율이 증가되는 것을 알 수 있다.

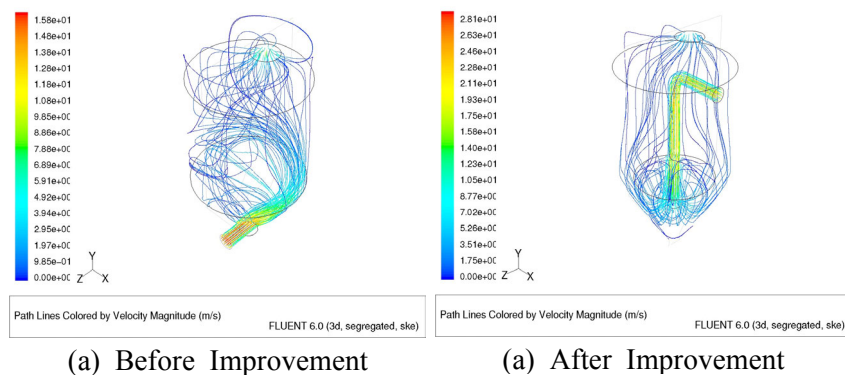


Figure 2. Computational Analysis result of Flow Characteristics.

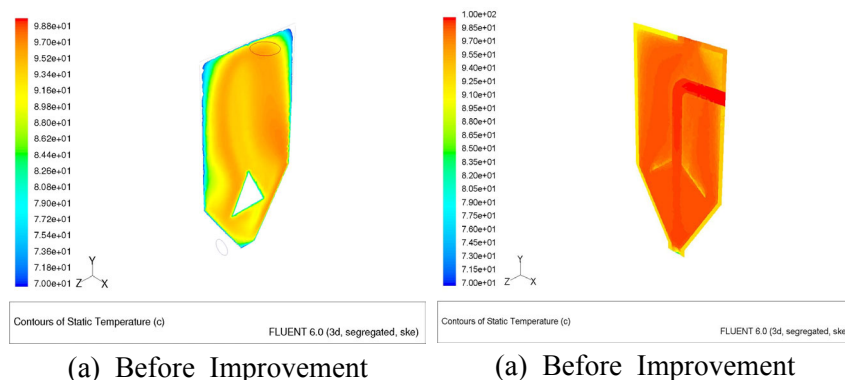


Figure 3. Computational Analysis result of Temp. Distribution.

[그림 3]은 개선 전후의 건조장치 내부에서의 온도분포를 나타낸 것으로, 결과를 살펴보면 (a)의 개선전 호퍼건조기에서는 입구에서 연결된 부근과 흐름이 적은 위쪽 부근의 온도차이가 심하며, 호퍼건조기 내부에서도 온도분포가 일정하지 않은 것을 알 수 있다.

이는 유동의 흐름에 따라 국부적인 열이 발생되기 때문이며 이러한 요인은 건조효율이 떨어지게 되는 원인이라 할 수 있다. 그러나, (b)의 개선후 열풍건조호퍼는 내부가 균일하게 고온으로 가열됨을 알 수 있다. 또한, 해석결과에 의하면 개선전의 호퍼건조기 내부에서 가장 낮은 온도는 27.9℃ 이었지만, 개선후에는 가장 낮은 곳의 온도가 75.3℃로 상승하였는데 이런 차이는 개선후 열풍 건조호퍼 내부에서의 유동흐름이 균일해진 점에 때문으로 판단되며, 출구에서의 평균온도도 개선전 83.1℃에서 개선후 96.7℃로 크게 증가하였음을 알 수 있다.

압출 및 사출 공정에서는 원료 및 분쇄재의 혼합, 공급 과정에서 상당수의 분진이 발생하게 되고 이러한 발생 분진은 비록 방진마스크를 착용하였다 할지라도 호흡기 질환 등을 일으켜 작업자의 건강에 나쁜 영향을 미치게 된다. 따라서, 본 연구를 통하여 개발된 분체원료의 자동화 이송, 계량, 공급 장비의 설치 전후에 대하여 공장 내부에서의 분진농도를 측정함으로써 본 연구를 통한 작업환경 개선효과를 측정하였다.

아직까지 국내에서는 압출성형 공장 내부의 분진농도에 관한 규제가 없는 관계로 본 연구에서는 대기환경 기준에 따른 실내 공기질 권고 수치인 24시간 평균치 150  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 을 기준으로 설정하여, 본 연구에 의한 개발장비 설치 전후에 대한 분진농도를 3회씩 측정하였는데, 그 결과는 <표 1>과 같다. <표 1>의 결과에 의하면 개발장비 설치전에는 분체원료와 분쇄재의 혼합, 공급 작업이 진행되지 않을 경우 분진농도가 평균 162  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 인 반면에, 수작업에 의한 분체원료와 분쇄재의 혼합, 공급 작업이 진행될 경우 비산 분진에 의하여 작업자 주변의 분진농도는 평균 307  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 크게 증가되는 것으로 측정되었다. 그러나, 분체원료 및 분쇄재를 자동으로 혼합하고, 이송하는 개발장비 설치 이후에는 분체원료와 분쇄재의 혼합, 공급 작업이 진행될 경우에도 작업자 주변의 분진농도가 평균 160  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 분체원료와 분쇄재의 혼합, 공급 작업이 진행되지 않을 경우의 측정값과 거의 유사한 것으로 확인되었다. 따라서, 본 개발 장비의 설치 이후 약 50%의 공장내 비산분진 감소효과가 있는 것으로 측정되었다.

Table 1. Comparison of Particulate Concentration in the Extruding Process

	1회	2회	3회	평균	비 고
개발장비 설치전	152 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	176 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	158 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	162 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	원료/분쇄재 혼합, 공급작업을 진행하지 않을 경우
개발장비 설치전	303 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	302 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	317 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	307 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	원료/분쇄재 혼합, 공급작업을 진행할 경우
개발장비 설치후	144 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	185 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	151 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	160 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	원료/분쇄재 혼합, 공급작업을 진행할 경우

또한, 생산되는 제품에 가장 큰 영향을 미치는 원료의 정량공급 특성을 평가하기 위하여 개발된 분체 및 액상원료 정량공급장치에 대하여 정량공급 시험을 진행하였다. 정량공급 시험은 각 장치별로 3회씩 실시하여 공급되는 원료의 양을 계량하고 재현성을 측정하였는데, 액상원료 정량공급장치의 경우 batch 방식으로 공급되는 액상원료의 양은 헤르츠(hertz)를 증가시키에 따라 거의 linear하게 증가하였으며, 3회 측정시 오차범위는  $\pm 2\%$  이내임을 확인할 수 있었다. 그리고, 분체원료 정량공급장치는 vibration feeding 방식을 이용하여 원료가 공급되도록 설계되었는데, 공급되는 분체원료의 양을 측정한 결과 액상원료 정량공급장치와 마찬가지로 진동 RPM을 증가시키에 따라 계량호퍼에서 측정되는 분체원료의 무게가 거의 일정하게 증가하였으며 3회 측정시 재현성도 우수하여 오차범위가 설정값의  $\pm 2\%$  이내인 것으로 측정되었다.

## 결론

압출 및 사출성형 공정에서 사용되는 분체 및 액상원료, 분쇄재 등의 각종 원료를 자동으로 계량, 정량공급, 혼합하는 공정에 대한 연구를 진행하였는데, 핵심공정이 되는 분체 및 액상원료 자동화 정량공급장치에 대해 정량공급 성능을 측정한 결과 공급오차가 설정값에서  $\pm 2\%$  이내인 것으로 측정되었으며, 분체원료의 수분제거를 위한 개선된 열풍 건조호퍼 설계/제작후 수분함량을 측정한 결과 건조효율이 기존의 호퍼건조기에 비하여 약 20% 이상 개선되는 것으로 확인되었다. 또한, 작업환경 개선효과 측면에서는 개선전 작업시 평균 분진농도가  $307\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었으나 개선후 평균  $160\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 측정되어 개발장비의 설치 이후 약 50% 정도의 공장내 비산분진 감소효과가 있는 것으로 평가되었다. 따라서, 이와같은 자동화 정량공급시스템을 압출성형 공정 또는 이와 유사한 사출성형 공정에 적용할 경우, 작업자가 직접 수작업으로 진행할 때 발생하는 단순반복에 의한 작업자의 육체적 피로, 유해물질 흡입 등과 같은 직무기피요인을 제거할 수 있을 뿐만 아니라, 제품의 품질에 큰 영향을 미치는 원료의 계량 정확도 향상시킴으로써 불량품 발생을 감소시키며, 공정 자동화를 통한 제품 제조단가 절감에 따라 생산성 증대에도 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

## 참고문헌

1. 분립체의 저조(貯槽)와 공급장치, 대신기술 (1995)
2. 정우현, 정석우, 김나량, 주지선, “호퍼건조기의 형상에 따른 유동특성 해석”, 2004년  
Korea FLUENT UGM (2004)

## 감사

본 연구는 중소기업청에서 지원하는 “중소기업 생산현장 직무기피요인 해소사업”의 일환으로 진행되었습니다. 지원에 감사드립니다.