

## PAC 제조 공정에서 사용되는 분체 및 액상 원료 공급시스템 개발

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

### Development of Powder and Liquid Materials Supply System used for PAC Production Process

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

#### 서론

정수처리용 무기고분자 응집제인 폴리염화알루미늄(PAC; Poly Aluminum Chloride) 제조 공정에서는 수산화알루미늄, 염산, 망초(황산나트륨), 소다회(탄산나트륨) 등의 각종 분체 및 액상 원료들을 계량하여 정량적으로 공급하고 반응기에서 일정시간 동안 가열한 후 냉각 및 혼합공정을 거쳐 제품을 생산하고 있는데, 각종 원료들을 이용한 PAC 제조시 공급되는 원료들의 공급량비에 따라 제품의 품질이 변하게 되므로 각종 원료들의 계량/정량공급 정확도를 유지하는 것이 매우 중요한 요인이 된다.

그러나, PAC를 생산하는 국내 중소기업들의 경우 일반적으로 영세하여 각종 원료들을 작업자들이 직접 수작업으로 공급하고 있는 실정이며, 이러한 방법으로 각종 원료들을 공급하다보니 각종 원료들의 계량/정량공급 정확도가 떨어져 제품의 품질이 저하되고 생산성이 감소하며 작업자들이 육체적 노동과 분진, 염산 수용액에서 증발되는 산성 유해가스 등에 노출되고 있는 상황이다.

따라서, 본 연구에서는 중소기업 생산현장 직무기피요인해소사업의 일환으로 PAC 제조 공정에서 사용되는 각종 분체 및 액상의 원료들을 정확히 계량후 정량적으로 공급하여 혼합함으로써 제품의 품질과 생산성을 향상시킴과 동시에 생산현장 작업자의 직무기피요인을 제거할 수 있는 공급시스템 개발을 진행하였다.

#### 공정구성

본 연구에 의한 개발장비를 설치하기 전 기존 공정에서는 Fig. 1에 나타난 바와같이 각종 원료들을 반응기에 공급하기 위하여 지게차를 이용하여 톤백에 적당량을 담은후 저울을 이용하여 무게를 측정하고 부족하거나 많을 경우 작업자들이 수작업으로 원료를 더 넣거나 덜어내는 방법으로 작업한 후 원료를 수작업으로 공급하고 있으며, 첨가제로 사용되는 분말원료의 경우에도 정확히 필요한 양 만큼의 무게를 계량하여 공급하기 보다는 플라스틱 통을 이용하여 적당량의 원료를 담아 공급하고 있는 실정이다.

따라서, 본 연구에서는 분체 및 액상의 각종 원료들을 정확히 계량하여 정량공급함으로써 제품의 품질을 향상시킬 수 있는 공급시스템에 대한 개발을 진행하였는데, 공급시스템은 주원료인 수산화알루미늄을 혼합조에 가능한 짧은 시간에 다량 공급하기 위한 컨베이어 이송장치, 염산과 냉각수를 공급하기 위한 액상원료 공급장치, 염산과 수산화알루미늄의 혼합물을 공기를 이용하여 이송하기 위한 기류수송장치, 첨가원료인 망초와 소다회를 공급하기 위한 스크류 공급장치 등으로 구성하였으며 중앙집중식 제어관벨을 설



Fig. 1 개발장비 설치전 공정에서의 원료 공급 모습

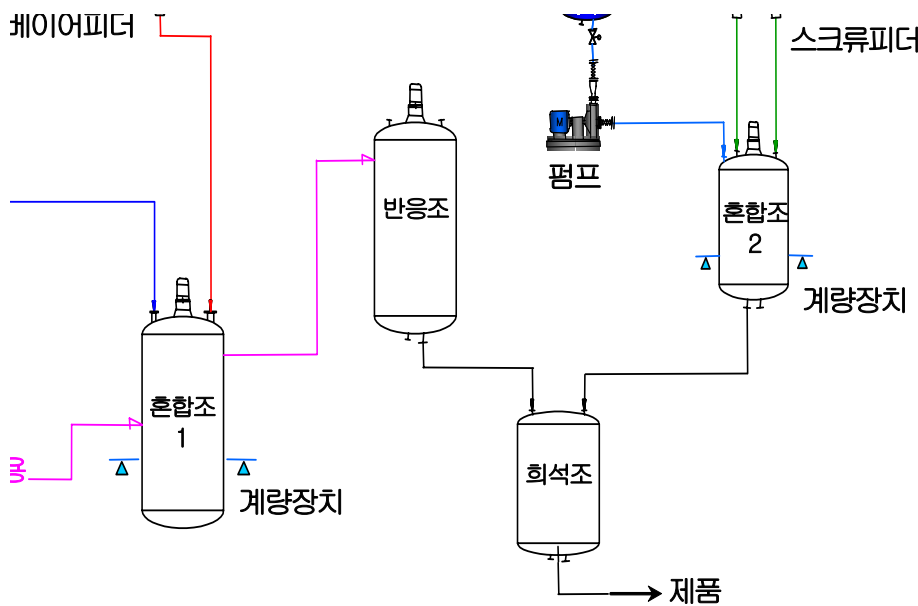


Fig. 2 개발된 각종 원료 공급시스템 공정 구성도

이용한 기류수송 방식을 적용하였다. Fig. 2는 이러한 개발장비 전체시스템에 대한 공정 구성도를 나타낸 것이다.

**실험방법 및 결과**

본 연구는 PAC 제품의 품질을 향상시키고 동시에 열악한 작업환경을 개선할 수 있는 각종 원료들의 공급시스템 개발이 목적이므로, 이를 위하여 PAC 제조 공정에 최적화하여 설계/제작된 원료별 공급시스템을 대상으로 계량 및 정량공급 정확도를 측정하였는데, 먼저 주원료인 수산화알루미늄을 공급하는 컨베이어 이송장치의 경우 3톤의 원료를 25분 이내에 공급해야 하므로 액상원료인 염산 6톤이 혼합조 1에 공급된 후 로드셀로부터 그 신호를 받아서 작동하도록 시퀀스를 설정하였으며, 공급되는 수산화알루미늄 원료가 혼합조 1의 내부로 컨베이어 이송장치에 의해 공급되어 떨어지면서 로드셀의 무게 측정값이 흔들릴 수 있으므로 정확한 계량이 가능하도록 30초 공급후 5초간 컨베이어 이송장치가 정지하는 시퀀스를 적용하여 실험을 진행하였다.

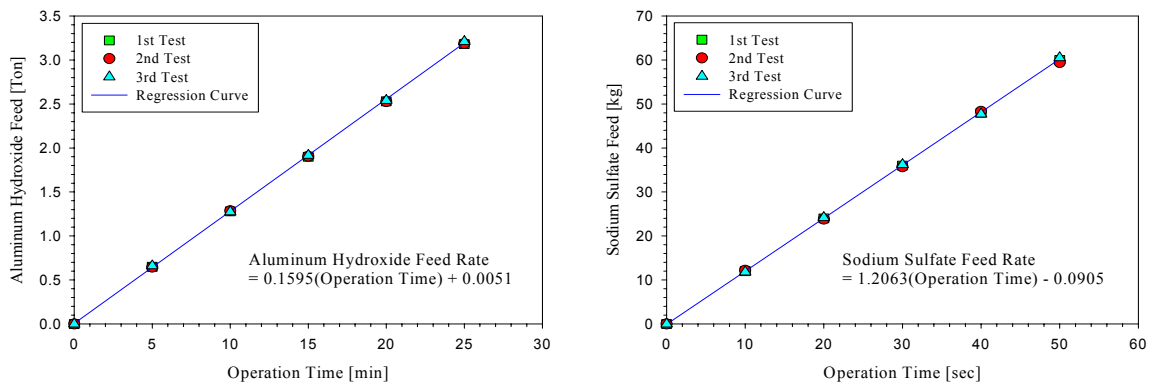
그리고, 첨가원료인 망초와 소다회 공급용 스크류 공급장치의 경우에도 컨베이어 이송

치하여 전체시스템은 시퀀스 제어에 의해 작동하도록 구성하였다.

그리고, 2개의 혼합조에는 각각 계량장치(로드셀)를 설치하여 공급되는 원료들의 무게를 정확히 측정하여 혼합비를 맞출 수 있도록 하였으며, 컨베이어 이송장치의 경우에는 염산과 수산화알루미늄의 자발적 반응을 방지하기 위하여 단시간에 다량(3톤)의 원료가 공급되어야 하고 수산화알루미늄이 수분 흡수시 고착될 수 있으므로 일반 스크류피더 방식이 아닌 컨베이어 피더 방식을 적용하였다. 또한, 혼합조 1보다 높은 위치에 있는 반응조까지 혼합액을 단시간에 이송하기 위해 공기압축기를

장치와 유사하게 냉각수가 먼저 1.6톤 혼합조 2에 공급된 후 로드셀로부터 무게측정 신호를 받아서 망초가 54 kg 공급되고 소다회가 44 kg 공급되는 순서로 시퀀스를 구성하여 실험하였다. 또한, 혼합조 1에서 반응조까지의 혼합용액 이송은 반응조가 혼합조 1보다 높은 곳에 위치하여 중력에 의한 자유낙하식 공급이 어려우며 펌프를 이용할 경우 일부 용해되지 않은 입자상 수산화알루미늄에 의해 펌프의 비정상적인 작동이 발생할 수 있으므로 공기압축기로부터 공급되는  $7 \text{ kg/cm}^2$ 의 압축공기를 이용하여 혼합조 1을 가압하면서 기류수송 방식으로 10분 이내에 9톤의 혼합용액이 이송될 수 있도록 구성하여 실험을 진행하였다.

이렇게 개발된 각종 원료들의 공급시스템에 대한 성능 시험 결과는 Fig. 3에 나타낸 바와 같은데 분말원료인 수산화알루미늄을 공급하는 컨베이어 이송장치의 경우 정량공급 정확도 시험을 총 3회 실시한 결과, 목표하였던 25분보다 짧은 시간인 19분만에 공급량 3톤이  $\pm 2\%$  이내의 오차범위에서 정확히 공급되었으며, 정량공급의 재현성 시험에서도  $\pm 2\%$  이내의 오차범위를 가지는 것으로 확인되었다. 그리고, 첨가원료인 망초의 경우에도 Fig. 3의 (b)에 나타내었듯이 동일한 조건에서 정량공급 정확도 및 재현성에 대한 실험을 3회 실시한 결과  $\pm 2\%$  이내의 오차범위에서 45초만에 54 kg의 공급성능을 가지는 것으로 확인되었다. 이외에도 액상원료인 염산과 냉각수의 정량공급 시험에서도 Fig. 3에 나타낸 분체원료 공급장치와 거의 유사한 결과를 얻을 수 있었다.



(a) 컨베이어 이송장치(수산화알루미늄)      (b) 스크류 공급장치(망초; 황산나트륨)

Fig. 3 분말원료 및 첨가원료 공급장치 정량공급 성능 시험 결과

또한, 기존 공정에서는 현장 작업자들이 직접 수작업으로 분체원료들을 공급하다보니 다량의 분진에 노출되어 호흡기 질환 등이 발생하는 문제점이 있었다. 따라서, 개발된 분체원료 공급시스템 설치 전후에 대해 분진농도를 측정하였는데, 그 결과 Table 1에서 알 수 있듯이 개발된 공급시스템 설치 전에는 작업자들에 의한 수작업 공급에 따라 혼합조 주변에서의 분진농도가  $428 \mu\text{g/m}^3$  이었으나, 설치 후에는  $223 \mu\text{g/m}^3$ 으로 크게 감소하는 것으로 확인되었다. 그리고, 기존 공정의 경우 혼합조 1에 원료를 투입하는 부분이 개방되어 있다 보니 혼합조 1의 내부에 채워진 염화수소(HCl) 가스가 외부로 배출되면서 강한 악취를 발생시키는 문제점이 있었으며 이에 따라 혼합조 1 주변에서의 HCl 가스농도가 10.75 ppm 정도 이었으나, 개발된 공급시스템을 설치하면서 혼합조 1의 원료 투입구 부분을 최대한 밀폐시킴으로써 개발장비 설치 후 혼합조 1 주변에서의 HCl 가스농도가 0.75 ppm으로 90% 이상 감소하는 것으로 확인되었다.

Table 1. 개발된 공급시스템 설치 전후의 분진농도 측정 결과

측정 회수	1회	2회	평균
개발장비 설치 전	423 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	432 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	428 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
개발장비 설치 후	224 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	221 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	223 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Table 2. 개발된 공급시스템 설치 전후의 혼합조 1의 HCl 농도 측정 결과

측정 위치	혼합조 1 내부	투입구 주변 (개발장비 설치 전)	투입구 주변 (개발장비 설치 후)
HCl 농도	667.6 ppm	10.75 ppm	0.75 ppm

## 결론

본 연구에서는 각종 원료들의 정량공급을 통하여 정확한 혼합비를 맞추으로써 PAC 제품의 품질을 향상시키고 동시에 현장 작업자들의 열악한 작업환경을 개선할 수 있는 분체 및 액상원료 공급시스템 개발을 진행하였는데, 가장 핵심이 되는 개발장비인 수산화알루미늄 공급용 컨베이어 이송장치와 망초 공급용 스크류 공급장치에 대한 정량공급 정확도 및 재현성 성능시험 결과 공급오차가 설정값 대비  $\pm 2\%$  이내의 범위에서 원료공급이 가능하여 우수한 성능을 가지는 것으로 확인되었다. 특히 컨베이어 이송장치의 경우에는 공급되는 염산과 수산화알루미늄의 자발적 반응을 방지하기 위하여 25분 이내에 3톤이 공급되어야 하는데, 시험결과 혼합조에 설치된 계량장치의 안정적인 측정을 위하여 30초 공급후 5초간 컨베이어 이송장치가 정지하는 시퀀스를 적용하였음에도 불구하고 19분만에 수산화알루미늄 3톤이 공급됨을 확인할 수 있었다.

그리고, 작업환경 개선효과 측면에서는 개발된 공급시스템 설치 전에는 작업자들의 수작업 진행에 따라 혼합조 주변에서의 평균 분진농도가  $428 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었으나, 설치 후에는 평균  $223 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 측정되어 약 50% 정도의 비산분진 감소효과가 있는 것으로 평가되었으며, 유해성 가스인 HCl 가스의 유출도 90% 이상 감소하는 것으로 확인되었다.

따라서, 본 연구에 의해 개발된 공급시스템 설치에 따라 PAC 제조 과정에서 제품의 품질에 큰 영향을 미치는 각종 원료들의 정량공급 정확도를 크게 향상시킴으로써 품질이 향상될 뿐만아니라, 작업자가 직접 수작업으로 진행할 때 발생하는 단순반복에 의한 육체적 노동, 다량의 분진 흡입, 유해한 HCl 가스 노출 등과 같은 직무기피요인을 제거함으로써 작업환경 개선을 통한 생산성 증대에도 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

## 참고문헌

1. Pneumatic Conveying of Bulk Materials, McGraw-Hill (1981)
2. 분체 및 액상의 각종 원료를 계량, 정량공급 및 혼합하는 장비 개발에 관한 연구, 완료보고서, 중소기업청 (2005)
3. 정석우, 정우현, 윤용승, “압출성형기의 각종 원료 계량, 정량공급 및 혼합 자동화 공정 개발”, 화학공학의 이론과 응용, 11(1), p.152~155 (2005)

## 감사

본 연구는 중소기업청에서 지원하는 “중소기업 직무기피요인해소사업 보급확산과제”의 일환으로 진행되었습니다. 지원에 감사드립니다.