



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2020-0048897
(43) 공개일자 2020년05월08일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

B02C 19/16 (2006.01) B02C 19/00 (2006.01)

B02C 23/02 (2006.01) B02C 23/16 (2006.01)

(52) CPC특허분류

B02C 19/16 (2013.01)

B02C 19/005 (2013.01)

(21) 출원번호 10-2018-0131524

(22) 출원일자 2018년10월31일

심사청구일자 2018년10월31일

(71) 출원인

한국세라믹기술원

경상남도 진주시 소호로 101 (충무공동, 부속건물
세라믹소재종합지원센터)

(72) 발명자

추용식

경기도 광명시 디지털로 64, 110동 405호 (철산동, 철산한신아파트)

서성관

서울특별시 동작구 노량진로28길 32-4, 201호 (본동)

김유

경상남도 함안군 칠원읍 갈티길 18-3, 103동 1303호 (함안칠원대동아파트)

(74) 대리인

고길수

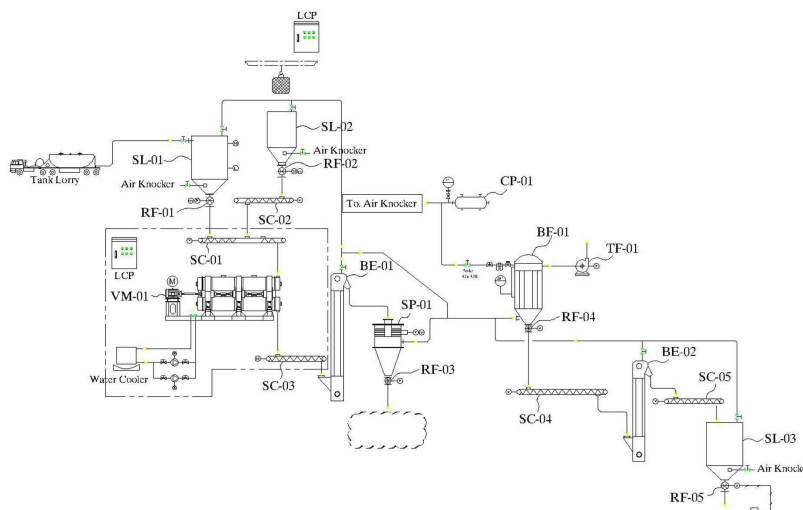
전체 청구항 수 : 총 4 항

(54) 발명의 명칭 활성분체 제조용 파일롯 플랜트의 운전 조건 설정 방법

(57) 요약

본 발명은, 분쇄 대상물을 공급하는 사일로 또는 호퍼와, 상기 사일로 또는 호퍼로부터 공급된 분쇄 대상물을 진동밀로 투입하는 스크류 컨베이어와, 투입된 분쇄 대상물을 분쇄하는 진동밀과, 분쇄된 분쇄물 중 원하는 입자 크기의 분체를 분급해내는 분급기와, 분급기에서 분리된 분체를 여과하고 집진하기 위한 여과 집진기와, 분체를 수송하고 상기 분급기 및 상기 여과 집진기의 구동력이 되는 공기의 흐름을 제공하는 송풍기 팬을 포함하는 활성분체 제조용 파일롯 플랜트에서, 상기 진동밀의 분쇄 매디아 충전율을 65~75%로 설정하고, 상기 분급기의 회전수를 15~25Hz로 설정하며, 상기 송풍기 팬의 댐퍼(Damper) 개폐율을 30~40%로 설정하는 것을 특징으로 하는 활성분체 제조용 파일롯 플랜트의 운전 조건 설정 방법에 관한 것이다. 본 발명에 의하면, 활성분체의 제조에 사용되는 파일롯 플랜트의 최적 운전 조건을 설정할 수 있고, 이를 바탕으로 활성분체의 생산량을 높일 수가 있다.

대표도 - 도1



(52) CPC특허분류

B02C 23/02 (2013.01)

B02C 23/16 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 15RDRP-B103390-04

부처명 국토교통부

연구관리전문기관 국토교통과학기술진흥원

연구사업명 국토교통기술 지역특성화 사업

연구과제명 산업부산 애쉬의 활성분체 제조기술 및 활성분체와 세라믹 섬유를 복합 사용한 모르타르 · 콘크리트 개발

기 여 율 1/1

주관기관 한국세라믹기술원

연구기간 2015.09.18 ~ 2019.02.28

명세서

청구범위

청구항 1

분쇄 대상물을 공급하는 사일로 또는 호퍼;
 상기 사일로 또는 호퍼로부터 공급된 분쇄 대상물을 진동밀로 투입하는 스크류 컨베이어;
 투입된 분쇄 대상물을 분쇄하는 진동밀;
 분쇄된 분쇄물 중 원하는 입자 크기의 분체를 분급해내는 분급기;
 분급기에서 분리된 분체를 여과하고 집진하기 위한 여과 집진기; 및
 분체를 수송하고 상기 분급기 및 상기 여과 집진기의 구동력이 되는 공기의 흐름을 제공하는 송풍기 팬을 포함하는 활성분체 제조용 파일럿 플랜트에서,
 상기 진동밀의 분쇄 매디아 충전율을 65~75%로 설정하고,
 상기 분급기의 회전수를 15~25Hz로 설정하며,
 상기 송풍기 팬의 댐퍼(Damper) 개폐율을 30~40%로 설정하는 것을 특징으로 하는 활성분체 제조용 파일럿 플랜트의 운전 조건 설정 방법.

청구항 2

제1항에 있어서, 상기 분쇄 매디아는 스틸 볼을 포함하는 것을 특징으로 하는 활성분체 제조용 파일럿 플랜트의 운전 조건 설정 방법.

청구항 3

제1항에 있어서, 상기 진동밀에 투입되는 원료의 양은 사일로 하부의 로터리 피더 회전수에 따라 결정되고,
 상기 로터리 피더의 회전수는 20~30Hz로 설정하는 것을 특징으로 하는 활성분체 제조용 파일럿 플랜트의 운전 조건 설정 방법.

청구항 4

제1항에 있어서, 상기 진동밀에 투입되는 원료의 양은 0.9~1.3 톤 범위인 것을 특징으로 하는 활성분체 제조용 파일럿 플랜트의 운전 조건 설정 방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 파일럿 플랜트의 운전 조건 설정 방법에 관한 것으로, 더욱 상세하게는 활성분체의 제조에 사용되는 파일럿 플랜트의 최적 운전 조건을 설정하는 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0003] 일반적인 분말의 분쇄 또는 혼합의 경우에 빠른 분쇄 또는 혼합 속도와 미세한 분말의 제조가 용이하도록 하는 형태로 진동밀(Continuous Vibratory Mill)을 사용할 수 있다. 이러한 진동 밀(mill)은 진동 챔버를 고속으로

진동시키는 것에 의해 분쇄 또는 혼합이 이루어지도록 하는 것으로서 상기 진동 챔버의 형상에는 여러 가지가 있으나 볼밀 등과 같이 수평인 중심축을 갖는 원통형이 가장 일반적이며, 진동의 형태도 여러 가지가 있으나 보통은 축 중심에 편심 되는 원운동을 통한 진동이 일반적이다.

[0004] 밀링시에 분말의 특성 또는 혼합 용제의 특성에 따라 밀링 과정 중에 분말이 진동 챔버의 내부 벽면에 달라붙는 현상이 발생하고, 이에 따라 진동 챔버 내부 벽면에 달라붙은 재료는 더 이상 밀링이 일어날 수 없게 되어 제조된 분말의 순도가 떨어지며 수율 또한 낮아지는 문제점이 있다.

[0005] 이를 고려하여 본 발명에서는 활성분체 제조용 파일롯 플랜트(Pilot Plant)의 최적 운전 조건을 제시하고자 한다.

선행기술문헌

특허문헌

[0007] (특허문헌 0001) 등록실용신안공보 제20-0319171호

발명의 내용

해결하려는 과제

[0008] 본 발명이 해결하고자 하는 과제는 활성분체의 제조에 사용되는 파일롯 플랜트의 최적 운전 조건을 설정하여 활성분체의 생산량을 높일 수 있는 방법을 제공함에 있다.

과제의 해결 수단

[0010] 본 발명은, 분쇄 대상물을 공급하는 사일로 또는 호퍼와, 상기 사일로 또는 호퍼로부터 공급된 분쇄 대상물을 진동밀로 투입하는 스크류 컨베이어와, 투입된 분쇄 대상물을 분쇄하는 진동밀과, 분쇄된 분쇄물 중 원하는 입자 크기의 분체를 분급해내는 분급기와, 분급기에서 분리된 분체를 여과하고 집진하기 위한 여과 집진기와, 분체를 수송하고 상기 분급기 및 상기 여과 집진기의 구동력이 되는 공기의 흐름을 제공하는 송풍기 팬을 포함하는 활성분체 제조용 파일롯 플랜트에서, 상기 진동밀의 분쇄 매디아 충전율을 65~75%로 설정하고, 상기 분급기의 회전수를 15~25Hz로 설정하며, 상기 송풍기 팬의 댐퍼(Damper) 개폐율을 30~40%로 설정하는 것을 특징으로 하는 활성분체 제조용 파일롯 플랜트의 운전 조건 설정 방법을 제공한다.

[0011] 상기 분쇄 매디아는 스틸 볼을 포함할 수 있다.

[0012] 상기 진동밀에 투입되는 원료의 양은 사일로 하부의 로터리 피더 회전수에 따라 결정되고, 상기 로터리 피더의 회전수는 20~30Hz로 설정하는 것이 바람직하다.

[0013] 상기 진동밀에 투입되는 원료의 양은 0.9~1.3 톤 범위인 것이 바람직하다.

발명의 효과

[0015] 본 발명에 의하면, 활성분체의 제조에 사용되는 파일롯 플랜트의 최적 운전 조건을 설정할 수 있고, 이를 바탕으로 활성분체의 생산량을 높일 수가 있다.

도면의 간단한 설명

[0017] 도 1은 활성분체 제조용 파일롯 플랜트를 개략적으로 도시한 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0018] 이하, 첨부된 도면을 참조하여 본 발명에 따른 바람직한 실시예를 상세하게 설명한다. 그러나, 이하의 실시예는 이 기술분야에서 통상적인 지식을 가진 자에게 본 발명이 충분히 이해되도록 제공되는 것으로서 여러 가지 다른 형태로 변형될 수 있으며, 본 발명의 범위가 다음에 기술되는 실시예에 한정되는 것은 아니다.
- [0019] 발명의 상세한 설명 또는 청구범위에서 어느 하나의 구성요소가 다른 구성요소를 "포함"한다고 할 때, 이는 특별히 반대되는 기재가 없는 한 당해 구성요소만으로 이루어지는 것으로 한정되어 해석되지 아니하며, 다른 구성요소를 더 포함할 수 있는 것으로 이해되어야 한다.
- [0020] 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 활성분체 제조용 파일럿 플랜트의 운전 조건 설정 방법은, 분쇄 대상물을 공급하는 사일로 또는 호퍼와, 상기 사일로 또는 호퍼로부터 공급된 분쇄 대상물을 진동밀로 투입하는 스크류 컨베이어와, 투입된 분쇄 대상물을 분쇄하는 진동밀과, 분쇄된 분쇄물 중 원하는 입자 크기의 분체를 분급해내는 분급기와, 분급기에서 분리된 분체를 여과하고 집진하기 위한 여과 집진기와, 분체를 수송하고 상기 분급기 및 상기 여과 집진기의 구동력이 되는 공기의 흐름을 제공하는 송풍기 팬을 포함하는 활성분체 제조용 파일럿 플랜트에서, 상기 진동밀의 분쇄 매디아 충전율을 65~75%로 설정하고, 상기 분급기의 회전수를 15~25Hz로 설정하며, 상기 송풍기 팬의 댐퍼(Damper) 개폐율을 30~40%로 설정하는 것을 특징으로 한다.
- [0021] 상기 분쇄 매디아는 스틸 볼을 포함할 수 있다.
- [0022] 상기 진동밀에 투입되는 원료의 양은 사일로 하부의 로터리 피더 회전수에 따라 결정되고, 상기 로터리 피더의 회전수는 20~30Hz로 설정하는 것이 바람직하다.
- [0023] 상기 진동밀에 투입되는 원료의 양은 0.9~1.3 톤 범위인 것이 바람직하다.
- [0024] 이하에서, 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 활성분체 제조용 파일럿 플랜트의 운전 조건 설정 방법을 더욱 구체적으로 설명한다.
- [0025] 도 1은 활성분체 제조용 파일럿 플랜트를 개략적으로 도시한 도면이다.
- [0026] 도 1을 참조하면, 활성분체 제조용 파일럿 플랜트는 분쇄 대상물을 공급하는 사일로(SL-01) 또는 호퍼(SL-02)와, 상기 사일로(SL-01) 또는 호퍼(SL-02)로부터 공급된 분쇄 대상물을 진동밀(VM-01)로 투입하는 스크류 컨베이어(SC-01, SC-02)와, 투입된 분쇄 대상물을 분쇄하는 진동밀(VM-01)과, 분쇄된 분쇄물 중 원하는 입자 크기의 분체를 분급해내는 분급기(Separator)(SP-01)와, 분급기(SP-01)에서 분리된 분체를 여과하고 집진하기 위한 여과 집진기(BF-01)와, 분체를 수송하고 분급기(SP-01) 및 여과 집진기(BF-01)의 구동력이 되는 공기의 흐름을 제공하는 송풍기 팬(TF-01)을 포함한다.
- [0027] 사일로(SL-01) 또는 호퍼(SL-02)로부터 공급된 분쇄 대상물은 스크류 컨베이어(SC-01, SC-02)를 통해 진동밀(VM-01)로 투입된다.
- [0028] 상기 진동밀(VM-01)은 투입된 분쇄 대상물을 분쇄한다. 상기 진동밀(VM-01)에 투입되는 원료의 양은 사일로 하부의 로터리 피더(RF-01, RF-02) 회전수에 따라 결정되고, 상기 로터리 피더(RF-01, RF-02)의 회전수는 20~30Hz로 설정하는 것이 바람직하다. 상기 진동밀(VM-01)에 투입되는 원료의 양은 0.9~1.3 톤 범위인 것이 바람직하다. 상기 진동밀(VM-01)의 분쇄 매디아 충전율을 65~75%로 설정한다. 상기 분쇄 매디아는 스틸 볼을 포함할 수 있다.
- [0029] 진동밀(VM-01)에서 분쇄된 분쇄물은 스크류 컨베이어(SC-03)와 버킷 엘리베이터(Bucket Elevator)(BE-01)를 통해 분급기(SP-01)로 공급된다. 상기 분급기(SP-01)는 분쇄된 분쇄물 중 원하는 입자 크기의 분체를 분급한다. 상기 분급기(SP-01)의 회전수를 15~25Hz로 설정한다.
- [0030] 여과 집진기(BF-01)는 분급기(SP-01)에서 분리된 분체를 여과하고 집진한다. 여과 집진기(BF-01)에서 포집된 분체는 스크류 컨베이어(SC-04, SC-05)와 버킷 엘리베이터(Bucket Elevator)(BE-02)를 통해 제품 사일로(Product Silo)(SL-03)에 공급될 수 있다.
- [0031] 송풍기 팬(TF-01)은 분체를 수송하고 분급기(SP-01) 및 여과 집진기(BF-01)의 구동력이 되는 공기의 흐름을 제공한다. 상기 송풍기 팬(TF-01)의 댐퍼(Damper) 개폐율을 30~40%로 설정하는 것이 바람직하다.
- [0032] 이하에서, 본 발명에 따른 실험예를 구체적으로 제시하며, 다음에 제시하는 실험예에 본 발명이 한정되는 것은 아니다.
- [0033] <실험예>

[0034] 각 설비들의 전기 연결, 슈트 및 덕트 시공을 완료한 후, 각 설비들의 제작·설치 담당자 입회하에 무부하 시험을 진행하였다. 본 시험의 목적은 분쇄 시스템을 구성하는 각 설비들의 정상적인 작동 여부 및 스크류 회전방향 등을 확인하는 것이다. 스크류 컨베이어 및 버킷 엘리베이터의 경우, 모터가 역방향으로 회전하게 된다면 원료 이송이 불가능하기 때문에 회전 방향을 필히 확인해야 한다. 표 1은 각 설비들에 설치되어 있는 모터의 명칭과 무부하 시험 결과를 나타낸 것이다. 무부하 시험 결과를 살펴보면, 모든 장비들이 정방향 회전 및 정상 작동하는 것으로 나타났다.

표 1

구분	모터 명칭	용량(kW)	전압(V)	방향확인	과부하 테스트	비고
1	RF-01	0.75	380	정방향	정상작동	-
2	RF-02	0.75	380	정방향	정상작동	-
3	SC-01	1.5	380	정방향	정상작동	-
4	SC-02	1.5	380	정방향	정상작동	-
5	VM-01	75	380	정방향	정상작동	-
6	SC-03	1.5	380	정방향	정상작동	-
7	BE-01	1.5	380	정방향	정상작동	-
8	RF-03	0.75	380	정방향	정상작동	-
9	SP-01	15	380	정방향	정상작동	-
10	TF-01	11	380	정방향	정상작동	-
11	RF-04	0.75	380	정방향	정상작동	-
12	SC-05	2.2	380	정방향	정상작동	-
13	BE-02	1.5	380	정방향	정상작동	-
14	RF-04	0.75	380	정방향	정상작동	-

[0036] RF: Rotary Feeder, SC: Screw Conveyor, VM: Continuous Vibratory Mill, BE: Bucket Elevator, SP: Separator, TF: Turbo Fan

[0037] 무부하 시험이 종료된 후, 플라이 애쉬를 이용한 분쇄 시스템 시운전을 실시하였다. 활성분체 제조용 파일럿 플랜트(Pilot Plant)에서 제품의 분말도를 결정하는 요인은 원료 투입량, 분쇄 미디어 충전율, 분급기 회전수 및 송풍기 팬의 댐퍼(Damper) 개폐율을 들 수 있다. 만약 제품의 분말도를 높이기 위해서는 진동밀 충전율 또는 분급기 회전수를 높이거나, 송풍기 팬의 댐퍼를 더 닫아야 한다. 하지만, 시제품 생산시 제품 생산량 및 품질을 복합적으로 고려해야 하므로, 이들 인자들을 유기적으로 제어해야만 한다.

[0038] 진동밀 충전율 제어를 위해 1/2인치 크기의 스틸 볼(SUJ2)을 진동밀에 장입하였다. Lab. scale 실험에서 도출한 최적 충전율(≒70%)과 유사한 충전율로 제어하기 위해 분쇄 미디어의 필요 중량을 산출(스틸 볼 공극 0.6 기준) 하였으며 그 결과를 표 2에 나타내었다.

표 2

Media 규격	Tube 규격	Tube 부피(ℓ)	충진율 70%	공극0.6 기준 중량(kg)	AD 4.4785 기준 중량(kg)	장입위치
SUJ2*1/2"	IDΦ660 *2500L	854.73	598.31	2,818.04	2,679.54	상/하통전단
SUJ2*1/2"	IDΦ660 *1710L	584.87	409.41	1,928.32	1,833.54	상/하통후단
Total				4,746.36	4,513.07	

[0040] 충전율을 70%로 제어하기 위한 기준 중량 계산 결과를 살펴보면, 상·하 튜브의 전단 및 후단에는 각각 2,679kg 및 1,833kg의 스틸 볼이 필요한 것으로 나타났다. 하지만, 스틸 볼의 포장 단위는 500kg이기 때문에, 상·하 튜브의 전단 및 후단에 각각 2,500kg 및 2,000kg의 스틸 볼을 장입하였다. 상기 장입량을 기준으로 충전율을 재계산하였으며, 그 결과를 표 3에 나타내었다. 충전율 계산 결과를 살펴보면 전단 및 후단에 각각 2.5톤, 2톤의 분쇄 미디어를 장입하였을 때 충전율은 각각 65.31% 및 76.36%이며, 전체 설비기준 70.8%로 나타났다.

표 3

Madia 규격	Tube 규격	Tube 부피(ℓ)	불충진 부피(ℓ)	충진율 (%)	AD 4.4785 기준 충 진량(kg)	장입위치
SUJ2*1/2 “ *2500Kg	IDΦ660 *2500L	854.73	558.22	65.31	2,500	상/하통 전단
SUJ2*1/2 “ *2000Kg	IDΦ660 *1710L	584.87	446.58	76.36	2,000	상/하통 후단
Total					4,500	

[0042] 다음으로 원료 투입량을 검토하기 위해 진동밀 전단의 스크류 컨베이어에서 토출되는 원료의 양을 분석·평가하였다. 원료의 투입량은 원료 사일로 하부의 로터리 피더 회전수에 따라 결정된다. 로터리 피더의 회전수는 0~60Hz로 설정 가능하지만, 일반적으로 15Hz 이하로 사용할 경우 감속기에 과부하가 걸릴 위험이 높다. 따라서, 투입량과 제품 품질을 검토하고 원료 특성에 맞는 투입량을 선정해야 한다.

[0043] 진동밀과 스크류 컨베이어는 플렉시블 튜브(Flexible tube)로 연결되어 있으며, 이 연결부위를 해체하여 원료 투입량을 검토할 수 있으며, 표 4에 투입량 검토 결과 일례를 나타내었다.

표 4

로터리 피더 감속기 비율	로터리 피더 회전수(Hz)	슬라이드 게이트 개폐율	30초간 토출된 양 (kg)	시간당 원료 투입량 (kg)
1/30	30	100% OPEN	20.4	2,448
	20		14.8	1,776
	10		7.3	876
		50% OPEN	3.2	384
			5.8	696
			3.6	432
		82% OPEN	6.7	804
			6.1	732
	5.8		696	
	5.3		636	
1/60	30	100% OPEN	14.2	1,704
	20		7.7	924
			10.2	1,224
			8.9	1,068
			9.3	1,116
			15	5.4

[0045] 로터리 피더 감속기 비율이 1/30이고, 회전수가 30Hz 및 20Hz일 경우 시간당 원료 투입량은 1.7톤~2.4톤 수준이었으며, 10Hz일 경우 원료 투입량은 800kg 수준이었다. 아울러 원료 투입량을 더욱 줄이기 위해 원료 사일로 하부에 부착되어 있는 슬라이드 게이트(Slide gate) 개폐율을 제어하였다. 로터리 피더 회전수가 10Hz이고 슬라이드 게이트가 약 80% 정도 열려 있을 때 원료 투입량은 평균 700kg 수준이었다. 하지만 슬라이드 게이트가 50% 닫혔을 때 원료 투입량 측정 결과는 뚜렷한 경향성이 나타나지 않았다. 즉, 슬라이드 게이트가 많이 닫히면 사일로 콘 부위에 원료의 브릿지(Bridge) 현상이 쉽게 발생하게 되며, 이는 원료의 일정한 공급이 어려운 조건이라 판단된다.

[0046] 일반적으로 로터리 피더의 회전수는 15Hz 이하로 가동하지 않는데, 이는 너무 낮은 회전수로 로터리 피더를 가동하게 되면 감속기에 과부하가 걸려 로터리 피더의 내구성 및 안정성이 급격히 떨어지기 때문이다. 따라서, 기존에 사용했던 1/30 로터리 피더 감속기는 본 분쇄 설비에 적합하지 않다고 판단되었으며, 1/60 로터리 피더 감속기로 교체하였다. 로터리 피더 감속기 비율이 1/60이고, 회전수가 30Hz 및 15Hz 일 때 시간당 원료 투입량은 각각 1,704kg 및 648kg으로 나타났다. 아울러 회전수가 20Hz일 경우 원료 투입량은 약 1톤으로써, 진동밀 제작사(㈜웅비기계)에서 보장한 원료 투입량을 만족하는 수준이었다.

[0047] 원료 투입량을 시간당 약 1.1톤으로 고정(로터리 피더 회전수 20Hz, 슬라이드 게이트 100% OPEN)하고, 분급기

회전수 및 송풍기 팬의 댐퍼 개폐율을 제어한 후 제품의 특성(분말도 등)을 분석하였다. 분말도 측정용 시료 채취는 도 1에서와 같이 진동밀 후단의 버킷 엘리베이터(BE-01) 하부와 여과 집진기(BF-01) 후단의 스크류 컨베이어(SC-04) 점검창에서 실시하였다. 버킷 엘리베이터(BE-01)에서 채취한 샘플의 분말도는 분급기 및 여과 집진기 공정을 거치지 않았기 때문에 연속식 진동밀 자체의 분쇄능을 판단할 수 있다. 아울러 스크류 컨베이어(SC-04)에서 채취한 샘플의 분말도로 전체 분쇄 공정을 거친 최종 제품의 특성을 평가할 수 있다. 다음 표 5는 분급기 회전수, 댐퍼 개폐율에 따른 버킷 엘리베이터(BE-01) 및 스크류 컨베이어(SC-04)의 분말도 측정 결과를 나타낸 것이다.

표 5

RF-01 감속 비율	SL-01 SG 개폐율	RF-01 회전수(Hz)	분급기 회전수(Hz)	댐퍼 개폐율(%)	분말도 (cm^2/g)	
					BE-01	SC-04
1/30	80% OPEN	10	20	50	8,420	-
					7,023	-
					6,875	-
					5,889	-
					-	5,779
			20	35	-	7,023
1/60	100% OPEN	20	15	35	-	6,145
			20	35	-	7,362
					-	6,781
					-	6,894
					-	6,124
					-	6,228
					-	6,371

연속식 진동밀에서 분쇄된 플라이 애쉬의 분말도는 $5,900 \sim 8,000 \text{cm}^2/\text{g}$ 수준으로, 분말도 결과의 편차가 상당히 큰 것을 알 수 있다. 아울러 분말도가 $8,420 \text{cm}^2/\text{g}$ 인 시료는 진동밀에서 초기에 도출된 것이며, 분말도 $5,889 \text{cm}^2/\text{g}$ 인 시료는 진동밀 가동 4시간 경과 후 채취한 시료이다. 즉, 분쇄 시간이 경과함에 따라 분쇄 메디아 및 진동밀 내벽 등에 플라이 애쉬가 코팅되어 분말도가 감소한 것으로 판단된다. 따라서, 진동밀을 이용한 활성 분체 제조 시 제품 출하를 위해서는 약 3~4시간 정도의 충분한 품질 안정화 시간이 필요하다고 사료된다. 아울러 충전율이 70%로 제어된 연속식 진동밀은 목표 분말도인 $6,000 \pm 500 \text{cm}^2/\text{g}$ 를 만족하는 것으로 판단된다.

다음으로 활성분체 제조를 위한 최적 운전 조건을 도출하기 위해 분급기 회전수 및 송풍기 팬의 댐퍼 개폐율을 제어하여 분말도 특성 평가를 실시하였다. 원료 투입량 약 1.1톤 조건에서 분급기 회전수를 20Hz, 송풍기 팬의 댐퍼를 50% 열었을 때 제품 분말도는 $5,779 \text{cm}^2/\text{g}$ 수준으로 나타났다. 이는 진동밀 후단에서의 분말도와 유사한 결과로써, 분급 공정의 수정이 필요할 것으로 판단되었다. 분말도 $5,000 \text{cm}^2/\text{g}$ 이상의 고분말도 분체의 경우, 송풍기 팬 댐퍼를 약 35% 수준으로 열어야 한다. 이는 송풍기 팬의 흡입력이 너무 클 경우, 분급기에서 입자가 받는 원심력보다 흡입력이 크게 작용하여 분급이 제대로 이루어지지 않고 입경이 큰 입자들까지 여과 집진기로 이송되기 때문이다. 따라서, 분급기 회전수를 20Hz로 고정하고 송풍기 팬의 댐퍼 개폐율을 약 35% 수준으로 열어 준 뒤 분말도를 측정하였다. 분말도 측정결과 $7,023 \text{cm}^2/\text{g}$ 으로 나타났으며, 실험실에서의 최적 활성 분체 제조를 위한 분말도보다 다소 높은 것으로 판단되었다.

다음으로 제품의 분말도를 $6,000 \text{cm}^2/\text{g}$ 수준으로 제어하기 위해 송풍기 팬의 댐퍼를 35% 수준으로 고정한 뒤 분급기 회전수를 제어하여 분말도를 측정하였다. 분급기 회전수에 따른 분말도 측정결과 20Hz일 경우 $7,000 \sim 7,300 \text{cm}^2/\text{g}$ 이며, 15Hz일 경우 약 $6,100 \sim 6,300 \text{cm}^2/\text{g}$ 수준으로 나타났다. 분말도 $6,100 \sim 6,300 \text{cm}^2/\text{g}$ 수준은 Lab. scale 실험결과와 유사한 것으로 판단되었다. 상기의 실험 결과들로부터 활성 분체 제조를 위한 최적 운전조건을 도출하였으며, 표 6에 나타내었다.

표 6

원료 투입량(ton)	분쇄매디아 충전율(%)	분급기 회전수(Hz)	송풍기 팬 댐퍼 개폐율
≈1.1	≈70	20	35% OPEN

[0052]

[0053]

활성분체 제조를 위한 최적 운전조건을 바탕으로 제품 생산량을 평가하였다. 제품 생산량은 진동밀 후단의 플렉시블 튜브(Flexible tube)에서 일정 시간 동안 토출되는 분쇄 플라이 애쉬 양과 분급기에서 회수되는 플라이 애쉬 양의 차이로 산출하였다. 우선 분급기에서 회수되는 플라이 애쉬의 양은 시간당 180kg 수준인 것으로 나타났다. 또한, 플렉시블 튜브에서 30초 동안 토출되는 분쇄 플라이 애쉬의 양은 10.2kg, 8.9kg 및 9.3kg으로 나타났다. 이를 시간당 토출되는 분쇄 플라이 애쉬 양으로 계산하면 각각 1.2ton, 1.1ton 및 1.1ton 이었으며, 제품 생산량은 약 0.9~1.0ton 수준인 것으로 나타났다. 즉, 활성분체 제조용 파일럿 플랜트(Pilot Plant)는 시간당 약 1톤의 플라이 애쉬를 분말도 6,100cm²/g 수준으로 활성화시킬 수 있는 것으로 판단된다.

[0054]

이상, 본 발명의 바람직한 실시예를 들어 상세하게 설명하였으나, 본 발명은 상기 실시예에 한정되는 것은 아니며, 당 분야에서 통상의 지식을 가진 자에 의하여 여러 가지 변형이 가능하다.

부호의 설명

[0056]

SL-01: 원료 사일로(Raw Silo)
 SL-01: 호퍼(Hopper)
 SL-03: 제품 사일로(Product Silo)
 VM-01: 진동밀(Continuous Vibratory Mill)
 SC-01, SC-02, SC-03, SC-04, SC-05: 스크류 콘베이어
 SP-01: 분급기(Separator)
 BR-01: 여과 집진기
 TF-01: 송풍기 팬
 RF-01, RF-02, RF-03, RF-04: 로터리 피더(Rotary Feeder)
 BE-01, BE-02: 버킷 엘리베이터(Bucket Elevator)
 CP-01: 컴프레서(Compressor)

