



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2018년05월29일
 (11) 등록번호 10-1861729
 (24) 등록일자 2018년05월21일

- | | |
|---|--|
| (51) 국제특허분류(Int. Cl.)
B02C 17/18 (2006.01) G01H 11/08 (2006.01)
(52) CPC특허분류
B02C 17/1805 (2013.01)
G01H 11/08 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2018-0029047
(22) 출원일자 2018년03월13일
심사청구일자 2018년03월13일
(30) 우선권주장
1020170102132 2017년08월11일 대한민국(KR)
(56) 선행기술조사문헌
KR101575891 B1
KR101620507 B1 | (73) 특허권자
한국지질자원연구원
대전광역시 유성구 과학로 124 (가정동, 한국지질자원연구원)
(72) 발명자
김정윤
대전광역시 서구 청사서로 41 (월평동, 백합아파트) 101-1504
유광석
대전광역시 유성구 어은로 57 (어은동, 한빛아파트) 121동 405호
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
특허법인 대아 |
|---|--|

전체 청구항 수 : 총 7 항

심사관 : 정호근

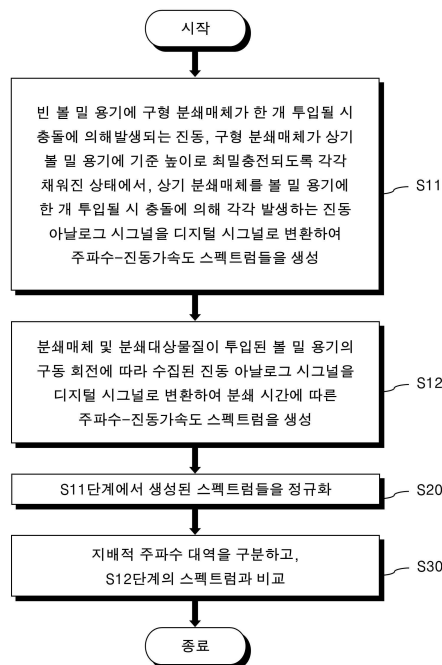
(54) 발명의 명칭 불 밀 장치의 진동 스펙트럼 분석방법

(57) 요약

본 발명의 일 실시예는 빈 원통형 불 밀 용기에 구형 분쇄매체가 한 개 낙하하며 투입될 시 충돌에 의해 발생하는 진동을 수집하고, 구형 분쇄매체가 원통형 불 밀 용기 최하단으로부터 1.4D 내지 1.6D에 해당하는 높이, 2.2D 내지 2.4D에 해당하는 높이, $(0.707n + 0.293)D$ 초과 $(0.707n + 1)D$ 미만에 해당하는 높이로 최밀충전되도록 각

(뒷면에 계속)

대표도 - 도1



각 채워진 상태에서, 상기 분쇄매체가 한 개 낙하하며 상기 볼 밀 용기에 투입될 시 충돌에 의해 각각 발생하는 진동을 수집한 다음, 상기 수집된 진동 아날로그 시그널을 디지털 시그널로 변환하여 주파수-진동가속도 스펙트럼들을 생성하는 단계(단계 1a); 상기 분쇄매체 및 분쇄대상물질이 투입된 볼 밀 용기의 구동 회전에 따라 수집된 진동 아날로그 시그널을 디지털 시그널로 변환하여 분쇄 시간에 따른 주파수-진동가속도 스펙트럼을 생성하는 단계(단계 1b); 상기 단계 1a에서 생성된 스펙트럼들을 정규화하는 단계(단계 2); 상기 정규화된 단계 1a의 스펙트럼들에서 지배적 주파수 대역을 구분하고, 상기 단계 1b의 스펙트럼과 비교하는 단계(단계 3);을 포함하는, 볼 밀 장치의 진동 스펙트럼 분석방법을 제공한다.

(72) 발명자

이훈

대전광역시 유성구 대학로 31 (봉명동) 2222

김관호

대전광역시 유성구 상대로 16 (상대동) 503동 401호

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 1415153931

부처명 산업통상자원부

연구관리전문기관 한국에너지기술평가원

연구사업명 자원개발기술개발

연구과제명 10m3급 비연속식 볼밀 분쇄 모니터링 및 상태 감시를 위한 음향/진동 센싱 기술 개발

기여율 1/1

주관기관 한국지질자원연구원

연구기간 2017.10.01 ~ 2018.09.30

명세서

청구범위

청구항 1

빈 원통형 볼 밀 용기에 구형 분쇄매체가 한 개 낙하하며 투입될 시 충돌에 의해 발생하는 진동을 수집하고, 구형 분쇄매체가 원통형 볼 밀 용기 최하단으로부터 1.4D 내지 1.6D에 해당하는 높이, 2.2D 내지 2.4D에 해당하는 높이, $(0.707n + 0.293)D$ 초과 $(0.707n + 1)D$ 미만에 해당하는 높이로 최밀충전되도록 각각 채워진 상태에서, 상기 분쇄매체가 한 개 낙하하며 상기 볼 밀 용기에 투입될 시 충돌에 의해 각각 발생하는 진동을 수집한 다음, 상기 수집된 진동 아날로그 시그널을 디지털 시그널로 변환하여 주파수-진동가속도 스펙트럼들을 생성하는 단계(단계 1a);

상기 분쇄매체 및 분쇄대상물질이 투입된 볼 밀 용기의 구동 회전에 따라 수집된 진동 아날로그 시그널을 디지털 시그널로 변환하여 분쇄 시간에 따른 주파수-진동가속도 스펙트럼을 생성하는 단계(단계 1b);

상기 단계 1a에서 생성된 스펙트럼들을 정규화하는 단계(단계 2);

상기 정규화된 단계 1a의 스펙트럼들에서 지배적 주파수 대역을 구분하고, 상기 단계 1b의 스펙트럼과 비교하는 단계(단계 3);을 포함하는, 볼 밀 장치의 진동 스펙트럼 분석방법.

(상기 단계 1a의 n 은 3 내지 (r_c/D) 사이의 정수이고, 상기 r_c 는 상기 용기의 반경이고, 상기 D 는 상기 분쇄매체의 직경이고, $4D < r_c$ 이다)

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 단계 1a 및 1b의 진동 아날로그 시그널 수집은,

상기 볼 밀 용기를 지지하는 축의 양단 베어링, 상기 볼 밀 용기와 볼 밀 용기에 회전력을 부여하는 모터 사이에 배치된 베어링 및 상기 모터와 가속기 사이에 배치된 인버터에 각각 구비되는 진동 센서를 통해 수집되는 것을 특징으로 하는 볼 밀 장치의 진동 스펙트럼 분석방법.

청구항 3

제2항에 있어서,

상기 진동 센서는,

압전소자를 이용한 가속도형 센서인 것을 특징으로 하는 볼 밀 장치의 진동 스펙트럼 분석방법.

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 단계 1a 및 1b의 주파수-진동가속도 스펙트럼 생성은,

안티-앨리어싱과 고속 푸리에 변환을 통해 수행되는 것을 특징으로 하는 볼 밀 장치의 진동 스펙트럼 분석방법.

청구항 5

제1항에 있어서,

상기 단계 2의 정규화는,

일 주파수 $\pm x$ Hz 구간의 진동가속도 평균값을 상기 일 주파수 지점의 진동가속도 값으로 사용하는 것을 특징으로 하는 볼 밀 장치의 진동 스펙트럼 분석방법(상기 x는 1 내지 100 중 하나의 정수이다).

청구항 6

제1항에 있어서,

상기 단계 3의 지배적 주파수 대역 구분은,

상기 생성된 스펙트럼의 진동가속도 중 최대 피크와, 그보다 작은 피크값들을 진동가속도 크기 순으로 구분하는 것을 특징으로 하는 볼 밀 장치의 진동 스펙트럼 분석방법.

청구항 7

제1항의 단계 1a, 1b, 2 및 3을 포함하는, 볼 밀 장치의 분쇄대상물질 상태 분석방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 볼 밀 장치의 진동 스펙트럼 분석방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0003] 일반적으로 분쇄 공정은 선광 공정 중 물질의 입도를 감소시키는 단계이다. 분쇄 공정에서 발생하는 분쇄대상물질의 파괴는 대소 입경 입자의 확률적 파괴 현상이며, 이것을 정확히 이해하려면 입도 사이에서의 물질 수지에 기초한 속도론과 확률론적 고찰이 필요하다.

[0005] 분쇄대상물질의 파괴와 분쇄 자체는 입자의 물성, 외력의 작용 조건 및 분위기에 따라 영향을 받지만, 기본적으로는 외력의 작용에 따라 고체가 변형되고 고체 내의 미소 크랙이 활성화하여 파괴가 진행된다.

[0007] 미분쇄 단계에서 사용되는 볼 밀(ball mill)은 분쇄매체인 볼 매개체가 채워진 볼 밀 용기가 회전하여 용기 내 볼 매개체의 충격에너지를 이용하여 시료의 분쇄를 유도하게 된다.

[0009] 그러나, 볼 밀 용기 내부의 분쇄대상물질 상태 및 분쇄산물의 특성을 예측하기는 어려우며, 최적의 분쇄 효율을 나타낼 수 있는 분석방법과 수단이 필요한 실정이다.

[0011] 관련 선행기술로, 한국 등록특허공보 제10-1620507호에 개시된 "볼 밀 시스템의 진동 모니터링 장치 및 방법"이 있다.

선행기술문헌

특허문헌

[0013] (특허문헌 0001) 한국 등록특허공보 제10-1620507호

발명의 내용

해결하려는 과제

[0014] 본 발명은 전술한 종래기술의 문제점을 해결하기 위한 것으로, 본 발명의 목적은 볼 밀 분쇄장치의 분쇄 공정 중 발생할 수 있는 유형들의 진동 스펙트럼들을 생성하고, 이를 분쇄물질 및 분쇄매체가 포함된 볼 밀 장치의 진동 스펙트럼과 비교 분석함으로써, 볼 밀 장치 내부의 분쇄 상태 및 분쇄 산물의 특성을 예측하고자 하는 방

법을 제공하는 데 있다.

과제의 해결 수단

- [0016] 상기와 같은 목적을 달성하기 위해, 본 발명의 일 양태는 빈 원통형 볼 밀 용기에 구형 분쇄매체가 한 개 낙하하며 투입될 시 충돌에 의해 발생하는 진동을 수집하고, 구형 분쇄매체가 원통형 볼 밀 용기 최하단으로부터 1.4D 내지 1.6D에 해당하는 높이, 2.2D 내지 2.4D에 해당하는 높이, $(0.707n + 0.293)D$ 초과 $(0.707n + 1)D$ 미만에 해당하는 높이로 최밀충진되도록 각각 채워진 상태에서, 상기 분쇄매체가 한 개 낙하하며 상기 볼 밀 용기에 투입될 시 충돌에 의해 각각 발생하는 진동을 수집한 다음, 상기 수집된 진동 아날로그 시그널을 디지털 시그널로 변환하여 주파수-진동가속도 스펙트럼들을 생성하는 단계(단계 1a); 상기 분쇄매체 및 분쇄대상물질이 투입된 볼 밀 용기의 구동 회전에 따라 수집된 진동 아날로그 시그널을 디지털 시그널로 변환하여 분쇄 시간에 따른 주파수-진동가속도 스펙트럼을 생성하는 단계(단계 1b); 상기 단계 1a에서 생성된 스펙트럼들을 정규화하는 단계(단계 2); 상기 정규화된 단계 1a의 스펙트럼들에서 지배적 주파수 대역을 구분하고, 상기 단계 1b의 스펙트럼과 비교하는 단계(단계 3);을 포함하는, 볼 밀 장치의 진동 스펙트럼 분석방법을 제공한다.
- [0017] (상기 단계 1a의 n 은 3 내지 (r_c/D) 사이의 정수이고, 상기 r_c 는 상기 용기의 반경이고, 상기 D 는 상기 분쇄매체의 직경이고, $4D < r_c$ 이다)
- [0019] 또한, 상기와 같은 목적을 달성하기 위해, 본 발명의 또 다른 일 양태는 상기의 단계 1a, 1b, 2 및 3을 포함하는, 볼 밀 장치의 분쇄대상물질 상태 분석방법을 제공한다.

발명의 효과

- [0021] 본 발명의 일 양태에 따르면, 분쇄대상물질과 분쇄매체 간의 충돌 시 발생하는 진동유형의 우위를 파악할 수 있고, 이에 따라 분쇄진행 형태를 예측할 수 있으며, 이를 기반으로 최적의 분쇄 효율을 나타내도록 볼 밀 장치를 구동할 수 있는 이점이 있다.
- [0022] 본 발명의 효과는 상기한 효과로 한정되는 것은 아니며, 본 발명의 상세한 설명 또는 특허청구범위에 기재된 발명의 구성으로부터 추론 가능한 모든 효과를 포함하는 것으로 이해되어야 한다.

도면의 간단한 설명

- [0024] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 의한 볼 밀 장치의 진동 스펙트럼 분석방법의 일례를 나타낸 개략도이다.
- 도 2는 본 발명의 실시예 1에서 볼-용기 벽 간 충돌에 따른 주파수-진동가속도 스펙트럼을 나타낸 그래프이다.
- 도 3은 본 발명의 실시예 1에서 볼-볼(1층) 간 충돌에 따른 주파수-진동가속도 스펙트럼을 나타낸 그래프이다.
- 도 4는 본 발명의 실시예 1에서 볼-볼(2층) 간 충돌에 따른 주파수-진동가속도 스펙트럼을 나타낸 그래프이다.
- 도 5는 본 발명의 실시예 1에서 볼-볼(n 층) 간 충돌에 따른 주파수-진동가속도 스펙트럼을 나타낸 그래프이다.
- 도 6은 본 발명의 실시예 1에서 분쇄매체 및 분쇄대상물질을 투입한 볼 밀 용기의 구동에 따른 시간대 별 주파수-진동가속도 스펙트럼을 나타낸 그래프이다.
- 도 7은 본 발명의 실시예 1에서 볼-볼(1층) 간 충돌에 따른 주파수-진동가속도 스펙트럼의 정규화를 나타낸 그래프이다.
- 도 8은 본 발명의 실시예 1에서 주파수-진동가속도 스펙트럼의 비정상신호 제거를 나타낸 그래프이다.
- 도 9는 본 발명의 실시예 1에서 볼-용기 벽 간 충돌에 따른 주파수-진동가속도 스펙트럼의 지배적 주파수 대역 구분을 나타낸 그래프이다.
- 도 10은 본 발명의 실시예 1에서 분쇄매체 및 분쇄대상물질을 투입한 볼 밀 용기의 구동에 따른 시간대 별 주파수-진동가속도 스펙트럼의 정규화 후 분석을 나타낸 그래프이다.
- 도 11은 본 발명의 실시예 1에서 분쇄매체 및 분쇄대상물질을 투입한 볼 밀 용기의 구동에 따른 시간대 별 주파수-진동가속도 스펙트럼의 분석을 나타낸 그래프이다.
- 도 12는 본 발명의 실시예 1에서 특정 주파수 대역에서의 시간에 따른 진동가속도 합산한 결과를 나타낸 그래프

이다.

도 13은 본 발명의 실시예 1에서 다양한 특정 주파수 대역에서의 시간에 따른 진동가속도 합산한 결과를 나타낸 그래프이다.

도 14는 본 발명의 실시예 1에서 다양한 특정 주파수 대역에서의 시간에 따른 진동가속도 합산한 결과를 일부 확대하여 나타낸 그래프이다.

도 15는 본 발명의 일 실시예에 의한 볼 밀 장치의 진동 스펙트럼 분석방법에서 충돌 전 분쇄매체가 볼 밀 용기 내 채워진 상태를 각각 나타낸 개략도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0025] 이하, 첨부된 도면을 참조하면서 본 발명에 따른 바람직한 실시예를 상세히 설명하기로 한다.
- [0026] 본 발명의 이점 및 특징, 그리고 그것을 달성하는 방법은 첨부된 도면과 함께 상세하게 후술되어 있는 실시예들을 참조하면 명확해질 것이다.
- [0027] 그러나, 본 발명은 이하에 개시되는 실시예들에 의해 한정되는 것이 아니라 서로 다른 다양한 형태로 구현될 수 있고, 단지 본 실시예들은 본 발명의 개시가 완전하도록 하며, 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 발명의 범주를 완전하게 알려주기 위해 제공되는 것이다. 또한, 본 발명은 청구항의 범주에 의해 정의될 뿐이다.
- [0028] 나아가, 본 발명을 설명함에 있어 관련된 공지 기술 등이 본 발명의 요지를 흐리게 할 수 있다고 판단되는 경우 그에 관한 자세한 설명은 생략하기로 한다.
- [0030] 본 발명의 일 양태는
- [0031] 빈 원통형 볼 밀 용기에 구형 분쇄매체가 한 개 낙하하며 투입될 시 충돌에 의해 발생하는 진동을 수집하고, 구형 분쇄매체가 원통형 볼 밀 용기 최하단으로부터 1.4D 내지 1.6D에 해당하는 높이, 2.2D 내지 2.4D에 해당하는 높이, $(0.707n + 0.293)D$ 초과 $(0.707n + 1)D$ 미만에 해당하는 높이로 최밀충전되도록 각각 채워진 상태에서, 상기 분쇄매체가 한 개 낙하하며 상기 볼 밀 용기에 투입될 시 충돌에 의해 각각 발생하는 진동을 수집한 다음, 상기 수집된 진동 아날로그 시그널을 디지털 시그널로 변환하여 주파수-진동가속도 스펙트럼들을 생성하는 단계(단계 1a)(S11);
- [0032] 상기 분쇄매체 및 분쇄대상물질이 투입된 볼 밀 용기의 구동 회전에 따라 수집된 진동 아날로그 시그널을 디지털 시그널로 변환하여 분쇄 시간에 따른 주파수-진동가속도 스펙트럼을 생성하는 단계(단계 1b)(S12);
- [0033] 상기 단계 1a에서 생성된 스펙트럼들을 정규화하는 단계(단계 2)(S20);
- [0034] 상기 정규화된 단계 1a의 스펙트럼들에서 지배적 주파수 대역을 구분하고, 상기 단계 1b의 스펙트럼과 비교하는 단계(단계 3)(S30);을 포함하는, 볼 밀 장치의 진동 스펙트럼 분석방법을 제공한다.
- [0035] (상기 단계 1a의 n은 3 내지 (r_c/D) 사이의 정수이고, 상기 r_c 는 상기 용기의 반경이고, 상기 D는 상기 분쇄매체의 직경이고, $4D < r_c$ 이다)
- [0037] 이하, 본 발명의 일 양태에 따른 볼 밀 장치의 진동 스펙트럼 분석방법에 대하여 각 단계별로 설명한다.
- [0039] 본 발명의 일 양태에 따른 볼 밀 장치의 진동 스펙트럼 분석방법에 있어서, 상기 단계 1a(S11)는 빈 원통형 볼 밀 용기에 구형 분쇄매체가 한 개 낙하하며 투입될 시 충돌에 의해 발생하는 진동을 수집하고, 구형 분쇄매체가 원통형 볼 밀 용기 최하단으로부터 1.4D 내지 1.6D에 해당하는 높이, 2.2D 내지 2.4D에 해당하는 높이, $(0.707n + 0.293)D$ 초과 $(0.707n + 1)D$ 미만에 해당하는 높이로 최밀충전되도록 각각 채워진 상태에서, 상기 분쇄매체가 한 개 낙하하며 상기 볼 밀 용기에 투입될 시 충돌에 의해 각각 발생하는 진동을 수집한 다음, 상기 수집된 진동 아날로그 시그널을 디지털 시그널로 변환하여 주파수-진동가속도 스펙트럼들을 생성한다.
- [0040] 상기 단계 1a는 비어있는 볼 밀 용기에 한 개의 분쇄매체를 투입할 시 발생하는 진동을 측정하여, 분쇄매체와 볼 밀 용기의 벽 간 충돌에 의한 진동 데이터를 수집할 수 있도록 하고, 후속 단계를 통해 분쇄대상물질과 분쇄매체가 모두 장입된 볼 밀 장치의 구동 시 발생하는 진동과 비교하여 상태를 분석하는 하나의 자료로 활용될 수 있도록 한다.

- [0041] 상기 단계 1a는 상기 분쇄매체가 1층 적층된 볼 밀 용기에 동일 분쇄매체를 한 개 투입할 시 발생하는 진동을 측정하여, 분쇄매체와 1층 적층된 분쇄매체 간 충돌에 의한 진동 데이터를 수집할 수 있도록 하고, 후속 단계를 통해 분쇄대상물질과 분쇄매체가 모두 장입된 볼 밀 장치의 구동 시 발생하는 진동과 비교하여 상태를 분석하는 하나의 자료로 활용될 수 있도록 한다. 상기 1층 적층은 상기 볼 밀 용기가 원통 형태인 것을 고려하여, 상기 용기 최하단으로부터 상기 분쇄매체 직경의 1.4 내지 1.6배 높이만큼 분쇄매체가 최밀충전되도록 쌓인 상태를 기준으로 할 수 있다.
- [0042] 상기 단계 1a는 상기 분쇄매체가 2층 적층된 볼 밀 용기에 동일 분쇄매체를 한 개 투입할 시 발생하는 진동을 측정하여, 분쇄매체와 2층 적층된 분쇄매체 간 충돌에 의한 진동 데이터를 수집할 수 있도록 하고, 후속 단계를 통해 분쇄대상물질과 분쇄매체가 모두 장입된 볼 밀 장치의 구동 시 발생하는 진동과 비교하여 상태를 분석하는 하나의 자료로 활용될 수 있도록 한다. 상기 2층 적층은 상기 볼 밀 용기가 원통 형태인 것을 고려하여, 상기 용기 최하단으로부터 상기 분쇄매체 직경의 2.2 내지 2.4배 높이만큼 분쇄매체가 최밀충전되도록 쌓인 상태를 기준으로 할 수 있다.
- [0043] 상기 단계 1a는 상기 분쇄매체가 n층 적층된 볼 밀 용기에 동일 분쇄매체를 한 개 투입할 시 발생하는 진동을 측정하여, 분쇄매체와 n층 적층된 분쇄매체 간 충돌에 의한 진동 데이터를 수집할 수 있도록 하고, 후속 단계를 통해 분쇄대상물질과 분쇄매체가 모두 장입된 볼 밀 장치의 구동 시 발생하는 진동과 비교하여 상태를 분석하는 하나의 자료로 활용될 수 있도록 한다. 상기 n층 적층은 상기 볼 밀 용기가 비록 원통 형태이지만, 구형 분쇄매체들이 면심입방격자 구조로 적층되는 것을 기준으로 할 수 있고, 상기 용기 최하단으로부터 $(0.707n + 0.293)D$ 초과 $(0.707n + 1)D$ 미만에 해당하는 높이만큼 분쇄매체가 최밀충전되도록 쌓인 상태를 기준으로 할 수 있다. 상기 n은 3 내지 (r_c/D) 사이의 정수이고, 상기 r_c 는 상기 용기의 반경이고, 상기 D는 상기 분쇄매체의 직경이고, $4D < r_c$ 일 수 있다. 더욱 바람직하게는 $10D < r_c$ 일 수 있다.
- [0044] 상기 단계 1a의 최밀충전은 상기 용기의 최하단으로부터 기준 높이 간의 공간에 상기 분쇄매체가 가능한 가득 채워지도록 수행하는 것이 좋다.
- [0045] 상기 단계 1a는 상기 비어있는 볼 밀 용기, 상기 분쇄매체가 상기 볼 밀 용기에 각각의 기준 높이로 채워진 볼 밀 용기에 동일한 분쇄매체를 투입 할 시, 투입 높이는 상기 볼 밀 용기 최하단으로부터 상기 용기 직경의 1/3 내지 2/3 높이인 것이 바람직하다. 상기의 높이 범위에서 투입하여 진동데이터를 수집함으로써, 후속 단계를 통해 볼 밀 장치 및 분쇄대상물질의 상태를 분석하는 데 있어 신뢰도를 높일 수 있다.
- [0046] 상기 단계 1a에서 발생하는 진동 아날로그 시그널을 디지털 시그널로 변환하고, 주파수-진동가속도 스펙트럼을 생성하는 것은 하기와 같은 장치를 통해 수행될 수 있다.
- [0047] 구체적으로, 볼 밀 용기의 회전에 따른 진동 아날로그 시그널을 수집하는 복수 개의 진동센서; 상기 수집된 아날로그 시그널을 디지털 시그널로 변환하는 변환부; 상기 변환된 시그널을 토대로 주파수 스펙트럼을 생성하는 스펙트럼 생성부;를 포함하는 볼 밀 장치의 진동스펙트럼 생성 장치를 통해 상기의 주파수-진동가속도 스펙트럼 생성이 수행될 수 있다.
- [0048] 상기 단계 1a의 진동 아날로그 시그널 수집은 더욱 구체적으로 상기 볼 밀 용기를 지지하는 축의 양단 베어링에 구비되는 진동 센서, 상기 볼 밀 용기와 볼 밀 용기에 회전력을 부여하는 모터 사이에 배치된 베어링에 구비된 진동 센서 및 상기 모터와 가속기 사이에 배치된 인버터에 각각 구비되는 진동 센서를 통해 수집될 수 있다. 상기 진동 센서는 압전소자를 이용한 가속도형 센서인 것이 바람직하다.
- [0049] 상기 단계 1a의 주파수-진동가속도 스펙트럼 생성은 노이즈 제거와 주요 스펙트럼을 얻기 위한 목적으로 수집된 진동 시그널의 안티-앨리어싱 필터링을 수행할 수 있다. 안티-앨리어싱 필터는 로우-패스 필터, 하이-패스 필터, 밴드-패스 필터 및 밴드-스탑 필터일 수 있고, 로우-패스 필터인 것이 바람직하다. 상기 안티 앨리어싱 필터링을 거쳐 얻어진 진동 시그널은 시간대(time domain)의 진동 가속도 값을 주파수대(frequency domain)로 변환시키기 위해, 고속 푸리에 변환(fast fourier transform)이 수행될 수 있다.
- [0051] 본 발명의 일 양태에 따른 볼 밀 장치의 진동 스펙트럼 분석방법에 있어서, 상기 단계 1b(S12)는 상기 분쇄매체 및 분쇄대상물질이 투입된 볼 밀 용기의 구동 회전에 따라 수집된 진동 아날로그 시그널을 디지털 시그널로 변환하여 분쇄 시간에 따른 주파수-진동가속도 스펙트럼을 생성한다.
- [0052] 상기 단계 1b의 볼 밀 용기의 구동에 따라 발생하는 진동 아날로그 시그널을 디지털 시그널로 변환하고, 주파수-진동가속도 스펙트럼을 생성하는 것은 상기 단계 1a에서 사용될 수 있는 볼 밀 장치의 진동스펙트럼 생성 장치

를 통해 수행될 수 있다.

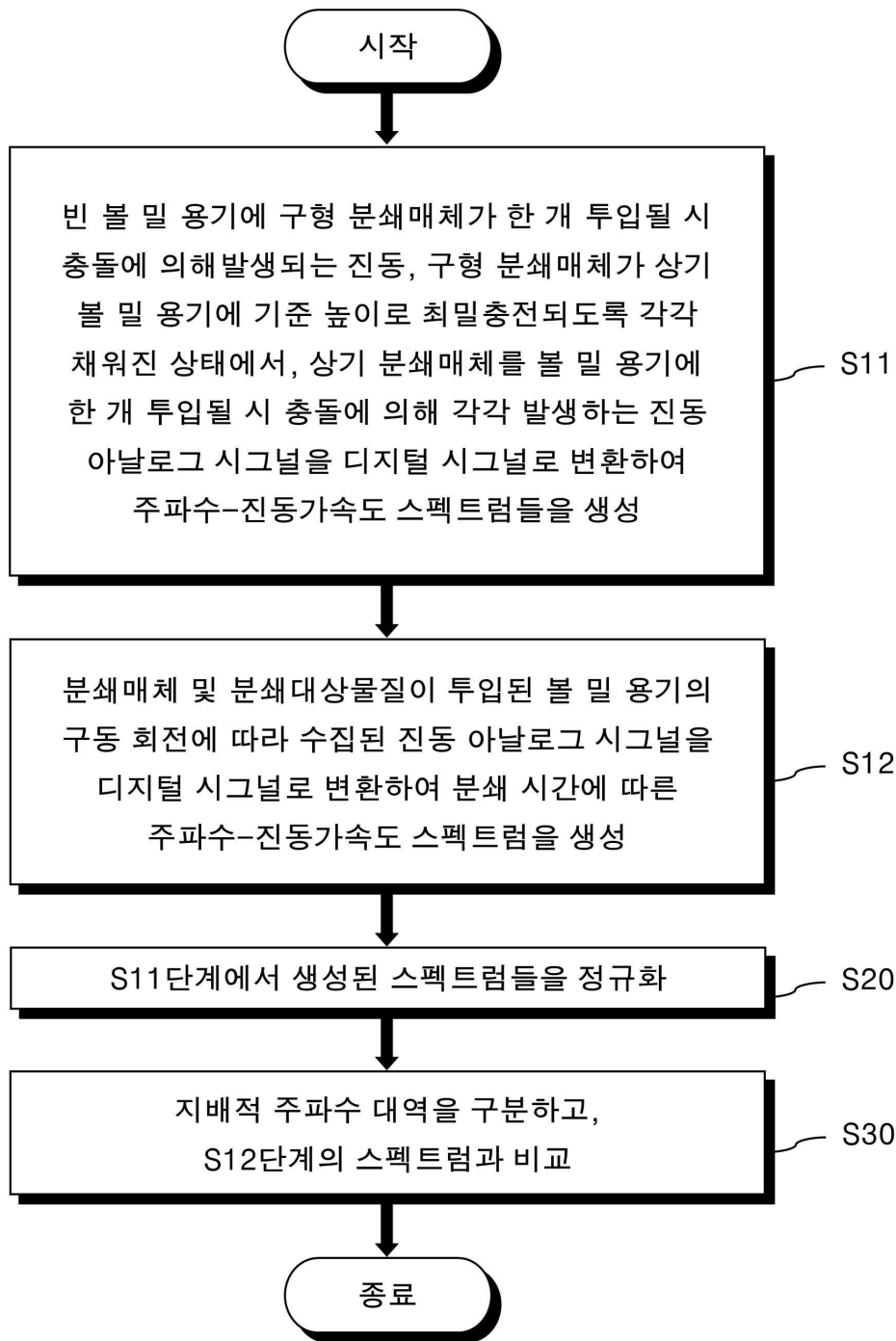
- [0053] 상기 단계 1b의 주파수-진동가속도 스펙트럼 생성은 상기 단계 1a에서 행한 바와 동일한 방법으로 수행될 수 있다.
- [0055] 본 발명의 일 양태에 따른 볼 밀 장치의 진동 스펙트럼 분석방법에 있어서, 상기 단계 2(S20)는 상기 단계 1a에서 생성된 스펙트럼들을 정규화한다.
- [0056] 상기 단계 2의 정규화는 진동가속도의 변동성을 낮추기 위해 수행된다.
- [0057] 상기 단계 2의 정규화는 상기 단계 1a에서 생성된 스펙트럼에서, 일 주파수 $\pm x$ Hz 구간의 진동가속도 평균값을 상기 일 주파수 지점의 진동가속도 값으로 사용할 수 있다. 상기 x는 1 내지 100 중 하나의 정수이다. 예를 들어, 3000 Hz 지점이고 x는 50인 경우, 2950-3050 Hz 구간의 평균값을 상기 지점의 값으로 사용할 수 있다.
- [0058] 상기 단계 2의 정규화는 또한 비정상(abnormal) 스펙트럼을 제거할 수 있다.
- [0059] 상기 단계 2는 상기 단계 1b에서 생성된 스펙트럼 또한, 상기와 같은 방법으로 정규화할 수 있다.
- [0061] 본 발명의 일 양태에 따른 볼 밀 장치의 진동 스펙트럼 분석방법에 있어서, 상기 단계 3(S30)은 상기 정규화된 단계 1a의 스펙트럼들에서 지배적 주파수 대역을 구분하고, 상기 단계 1b의 스펙트럼과 비교한다.
- [0062] 상기 단계 3의 지배적 주파수 대역 구분은 상기 생성된 스펙트럼의 진동가속도 중 최대 피크와, 그보다 작은 피크값들을 진동가속도 크기 순으로 구분한다. 예를 들어, 상기 단계 1a에서 분쇄매체를 볼 밀 용기에 각각의 기준 높이만큼 최밀충진되도록 한 다음, 상기 볼 밀 용기에 분쇄매체를 한 개 투입할 시 형성되는 주파수-진동가속도 스펙트럼을 정규화하고, 각각 정규화된 스펙트럼들의 최대 피크치를 상기 단계 1b의 스펙트럼 또는 정규화된 스펙트럼과 비교하여, 볼 밀 장치의 분쇄시간 별 분쇄매체-벽 진동, 분쇄매체-분쇄매체(1층) 진동, 분쇄매체-분쇄매체(2층) 진동, 분쇄매체-분쇄매체(n층) 진동들의 우위를 파악할 수 있다. 또한, 전반적인 진동가속도 크기가 감소할 경우 분쇄의 효율이 저하되는 것을 의미하며, 이를 사전에 감지할 수 있는 이점이 있다. 이에 따라 최적의 분쇄 시간을 도출할 수 있다.
- [0063] 또한, 상기 단계 1b에서 생성된 스펙트럼들의 특정 주파수 구간에서 분쇄시간 대비 진동가속도 총합을 도시하고, 이를 분쇄산물의 상태 분석에 활용할 수 있다.
- [0065] 이하, 실시예 및 실험예에 의하여 본 발명을 더욱 상세하게 설명하고자 한다. 단, 하기 실시예 및 실험예는 본 발명을 예시하기 위한 것일 뿐 본 발명의 범위가 이들만으로 한정되는 것은 아니다.
- [0067] 하기 실시예들에서, 볼 밀 용기에서 발생하는 진동을 주파수-진동가속도 스펙트럼으로 변환 생성하기 위해 다음과 같은 방법을 수행하였다.
- [0068] 볼 밀 용기를 지지하는 축의 양단 베어링에 구비되는 진동 센서; 상기 볼 밀 용기와 볼 밀 용기에 회전력을 부여하는 모터 사이에 배치된 베어링에 구비된 진동 센서; 및 상기 모터와 가속기 사이에 배치된 인버터에 각각 구비되는 진동 센서; 상기 진동 센서에서 수집된 아날로그 시그널을 디지털 시그널로 변환하는 변환부; 상기 변환된 시그널을 토대로 주파수 스펙트럼을 생성하는 스펙트럼 생성부;를 포함하는 진동 스펙트럼 생성 시스템을 구비하였다.
- [0069] 상기 진동 센서에 의해 수집된 진동 시그널을 로우-패스 필터를 통해 안티-앨리어싱 필터링하고, 이를 고속 푸리에 변환(FFT)하여 주파수-진동가속도 스펙트럼을 생성하였다.
- [0071] <실시예 1>
- [0072] 단계 1a : 볼 밀 장치가 정지된 상태에서 볼 밀 용기 내부를 완전히 비우고, 용기 지름 정도의 높이에서 1개의 볼을 떨어뜨려 볼과 용기 벽 간의 충돌에 따른 진동 스펙트럼을 생성하였다(도 2).
- [0073] 볼 밀 장치가 정지된 상태에서 볼 밀 용기 내부를 완전히 비우고 용기 하부에 특정 위치까지 1층(1 layer)의 볼이 위치하도록, 볼 밀 용기 최하단으로부터 볼 직경의 1.5배에 해당하는 높이까지 최밀충진되도록 볼을 투입한 후, 볼 밀 용기 지름 정도의 높이에서 1개의 볼을 1층 적층된 볼 위로 떨어뜨려 볼과 볼(1층) 간의 충돌에 따른 진동 스펙트럼을 생성하였다(도 3).
- [0074] 볼 밀 장치가 정지된 상태에서 볼 밀 용기 내부를 완전히 비우고 용기 하부에 특정 위치까지 2층의 볼이 적층되도록, 볼 밀 용기 최하단으로부터 볼 직경의 2.3배에 해당하는 높이까지 최밀충진되도록 볼을 투입한 후, 볼 밀 용기 지름 정도의 높이에서 1개의 볼을 1층 적층된 볼 위로 떨어뜨려 볼과 볼(1층) 간의 충돌에 따른 진동 스펙

트럼을 생성하였다(도 4).

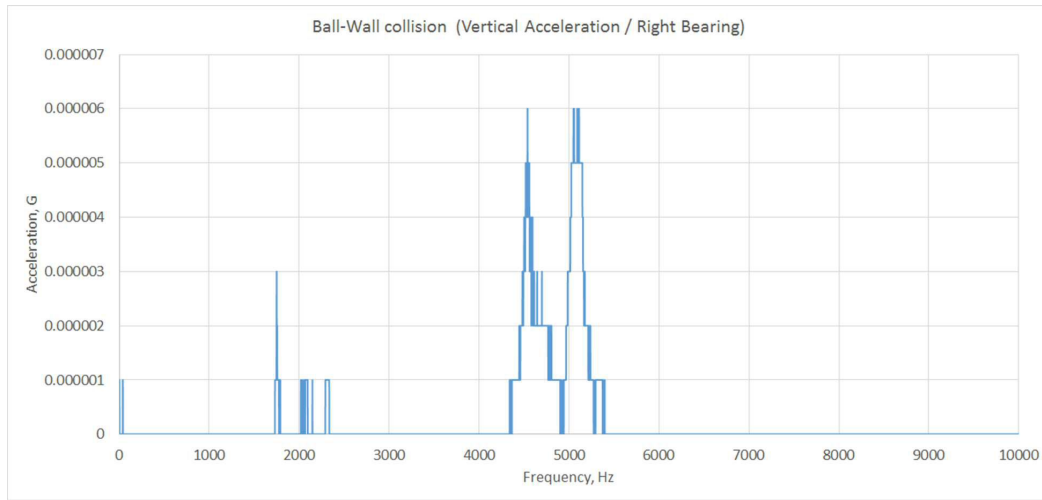
- [0075] 볼 밀 장치가 정지된 상태에서 볼 밀 용기 내부를 완전히 비우고 용기 하부에 용기 전체 부피의 40 % 가 채워지도록, 용기 최하단으로부터 최밀충진되도록 볼을 투입한 후, 볼 밀 용기 지름 정도의 높이에서 1개의 볼을 하부 볼 층 위로 떨어트려 볼과 볼(n층) 간의 충돌에 따른 진동 스펙트럼을 생성하였다(도 5).
- [0077] 단계 1b : 볼 밀 장치가 정지된 상태에서 볼 밀 용기에 볼과 석회석(분쇄대상물질)을 투입하고, 66 RPM의 속도로 볼 밀 장치를 구동하면서 발생하는 진동 스펙트럼을 생성하였다(도 6).
- [0079] 단계 2 : 단계 1a 및 1b에서 생성된 진동 스펙트럼들의 진동가속도 변동성을 줄이기 위해, 측정된 값 중 이상신호(abnormal) 구간을 도 8과 같이 제거하고, ± 50 Hz 구간의 평균값을 해당 지점의 진동가속도 값으로 변환하였다(도 7). 그 다음, 측정된 진동가속도 값 중 최대값을 찾은 후 모든 진동가속도 값을 최대값(100%) 기준으로 백분율 환산하였다.
- [0081] 단계 3 : 상기 단계 2 수행된 진동 스펙트럼에서 지배적 주파수 대역 구간을 찾고, 이를 상기 단계 1b의 진동 스펙트럼 분석에 활용하였다(도 9).
- [0082] 도 10을 참조하면, 분쇄 초반(1 분)에는 볼-볼(2층)의 진동이 우세하며, 그 다음으로는 볼-볼(1층) 상태의 진동이 우세하고, 볼-벽 간의 충돌 진동은 많지 않은 것을 확인하였다. 분쇄가 진행되면서 볼-볼(2층) 충돌이 우세한 상태에서 16 분까지는 볼-볼(1층) 충돌이 증가하였으며, 이후 다시 감소하고 대신 볼-벽 충돌이 일부 증가하였다.
- [0083] 16 분까지는 분쇄가 비교적 효율적으로 이루어지나, 그 이후로는 전반적인 진동 크기가 감소하면서 분쇄 효율이 급격히 저하되는 현상이 나타났다. 전체적으로 볼-볼(n층)의 충돌에 따른 진동 스펙트럼은 두드러지게 나타나지 않으나, 볼-볼(2층) 충돌에 따른 진동 스펙트럼과 일부 겹쳐서 나타나는 것으로 분석된다.
- [0085] 한편, 상기 단계 1b의 진동 스펙트럼을 토대로, 특정 주파수 대역에서의 시간에 따른 진동가속도 그래프를 산출하였다(도 12 내지 도 14).
- [0086] 도 12 내지 14를 참조하면, 10 분이 경과하였을 때 4 kHz 내지 6 kHz 구간의 진동가속도 총합이 증가한 것을 알 수 있다. 이는 이 시간에 이전 시간보다 분쇄가 더 효율적으로 이루어지는 것으로 분석 가능하다. 또한, 40 분 이후에는 분쇄가 효율적으로 이루어지지 않으나, 2 kHz 내지 4 kHz 구간의 진동가속도가 감소하는 것으로 보아, 여전히 분쇄가 진행되고 있는 것으로 해석 가능하다.
- [0088] 지금까지 본 발명의 일 양태에 따른 볼 밀 장치의 진동 스펙트럼 분석방법에 관한 구체적인 실시예에 관하여 설명하였으나, 본 발명의 범위에서 벗어나지 않는 한도 내에서는 여러 가지 실시 변형이 가능함은 자명하다.
- [0089] 그러므로 본 발명의 범위에는 설명된 실시예에 국한되어 정해져서는 안 되며, 후술하는 특허청구범위뿐만 아니라 이 특허청구범위와 균등한 것들에 의해 정해져야 한다.
- [0090] 즉, 진술된 실시예는 모든 면에서 예시적인 것이며, 한정적인 것이 아닌 것으로 이해되어야 하며, 본 발명의 범위는 상세한 설명보다는 후술될 특허청구범위에 의하여 나타내어지며, 그 특허청구범위의 의미 및 범위 그리고 그 등가 개념으로부터 도출되는 모든 변경 또는 변형된 형태가 본 발명의 범위에 포함되는 것으로 해석되어야 한다.

도면

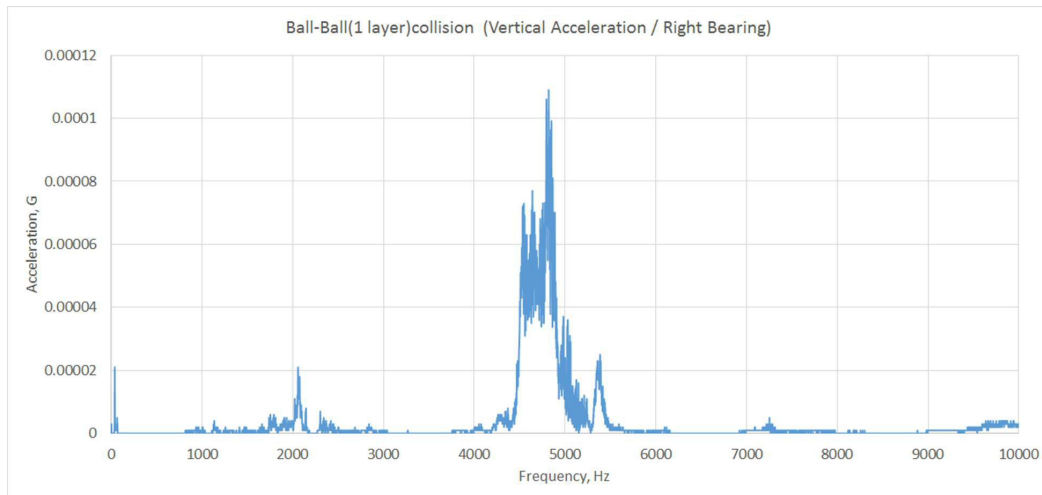
도면1



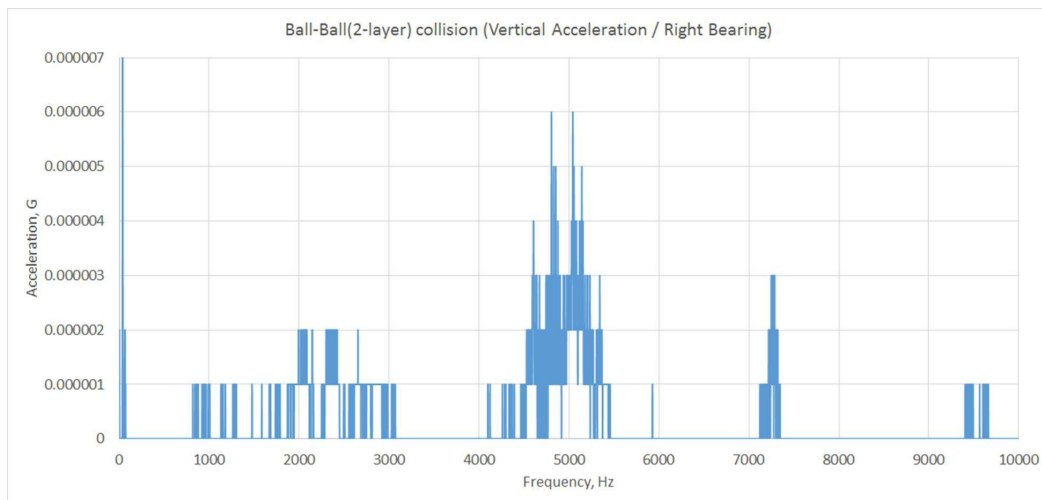
도면2



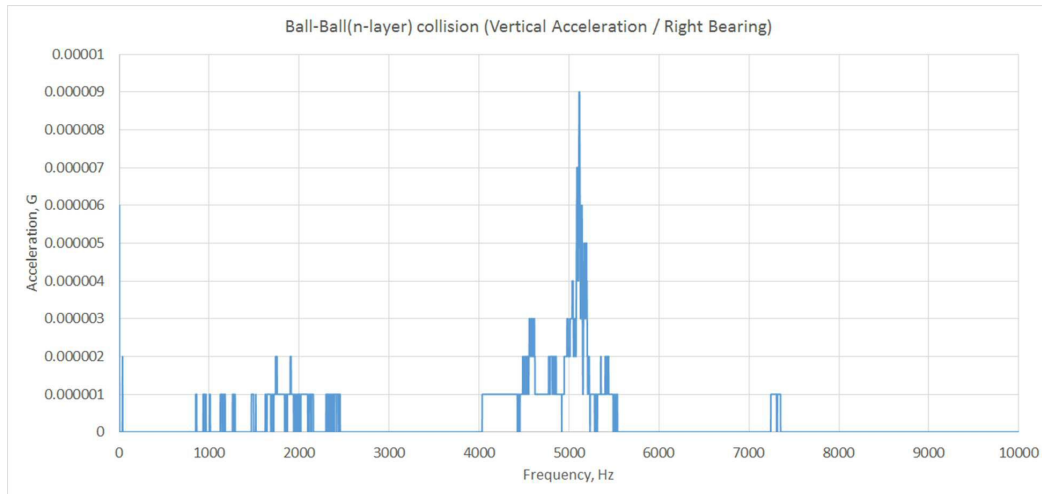
도면3



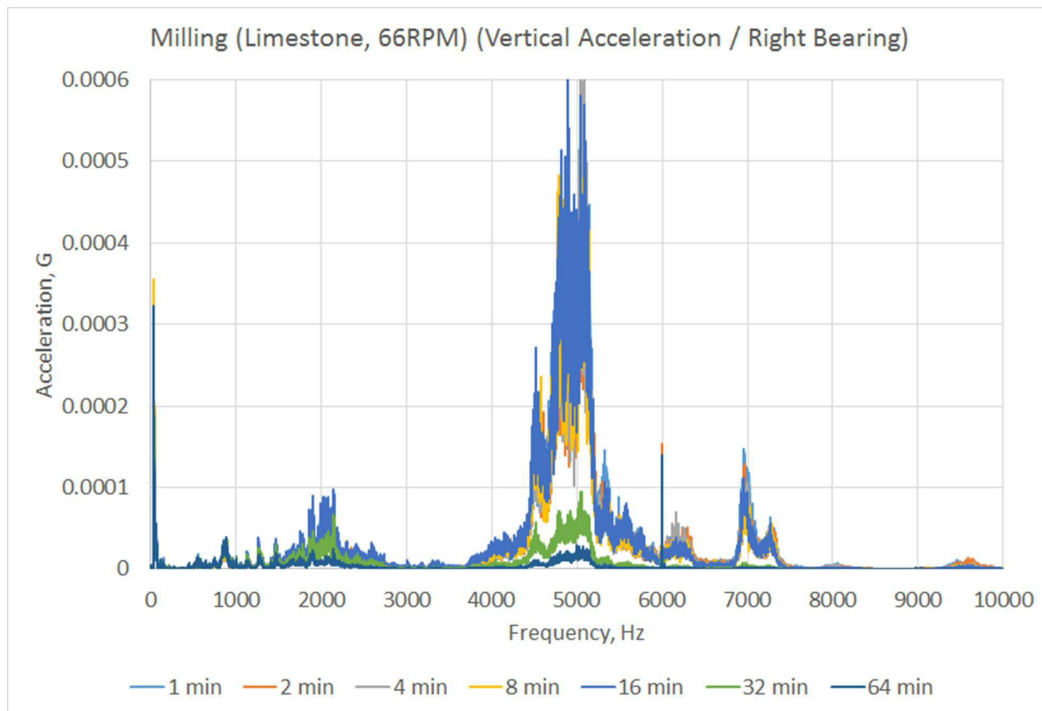
도면4



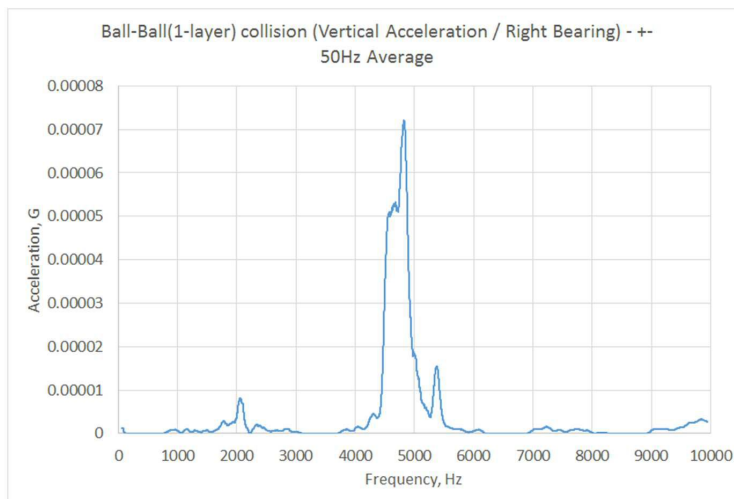
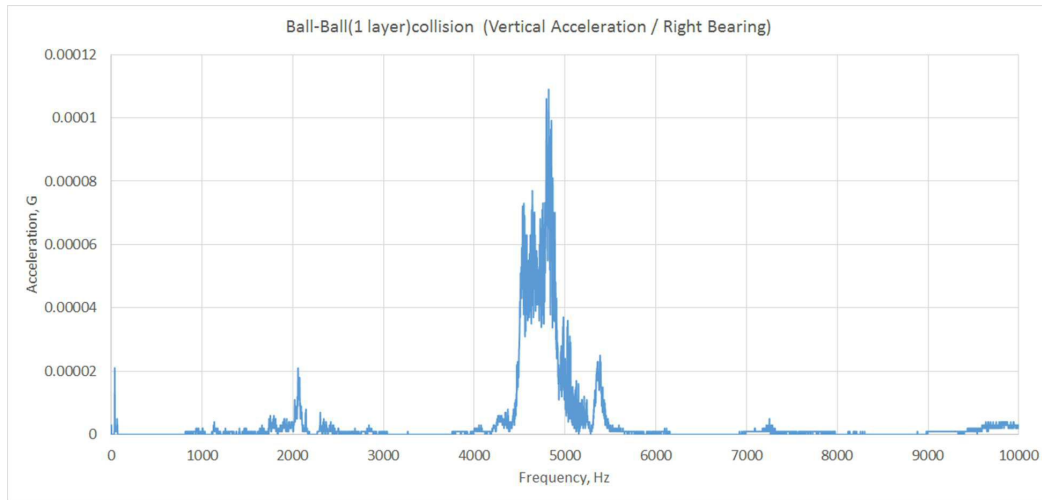
도면5



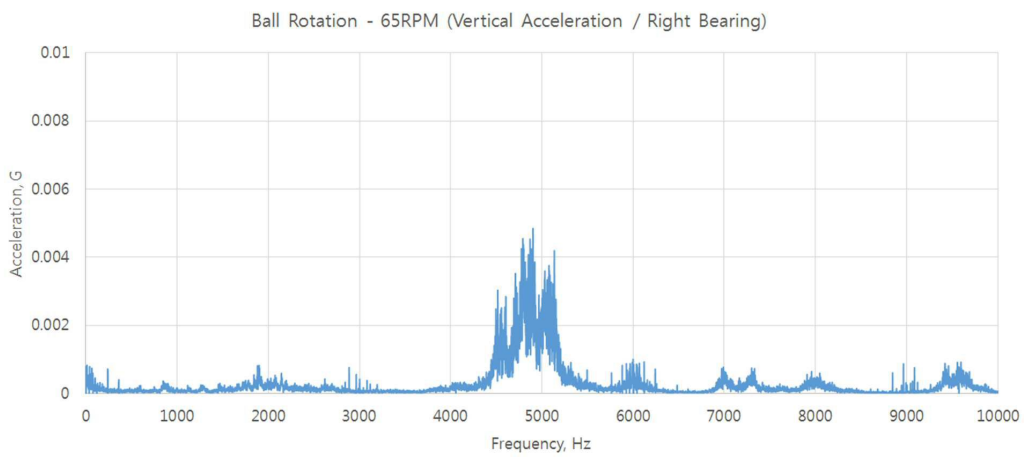
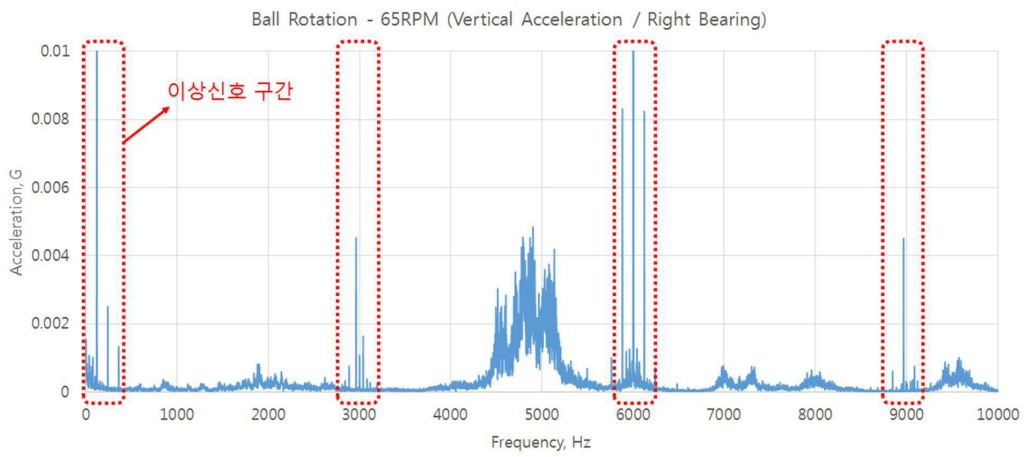
도면6



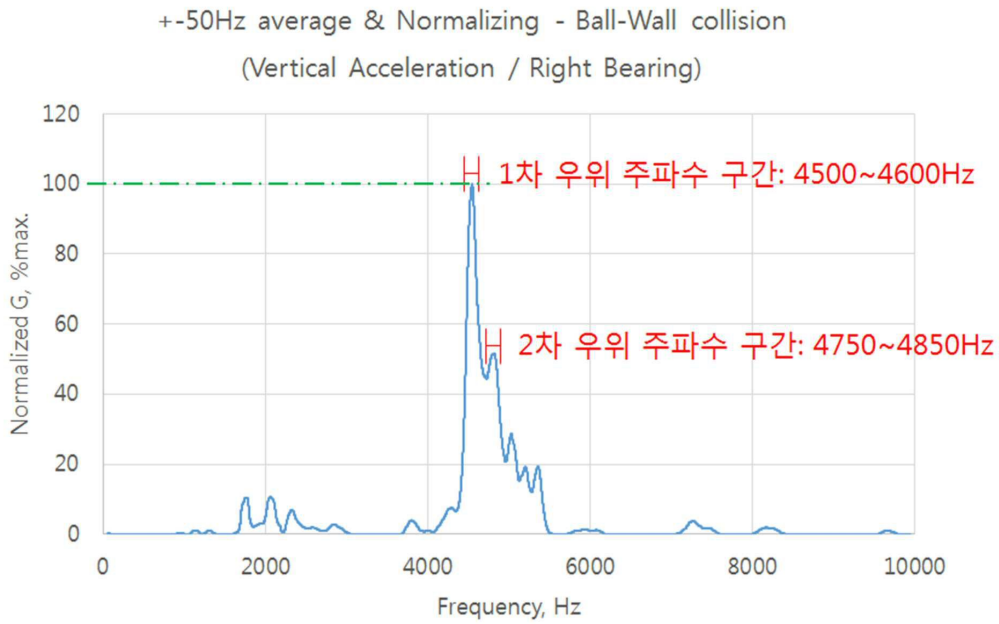
도면7



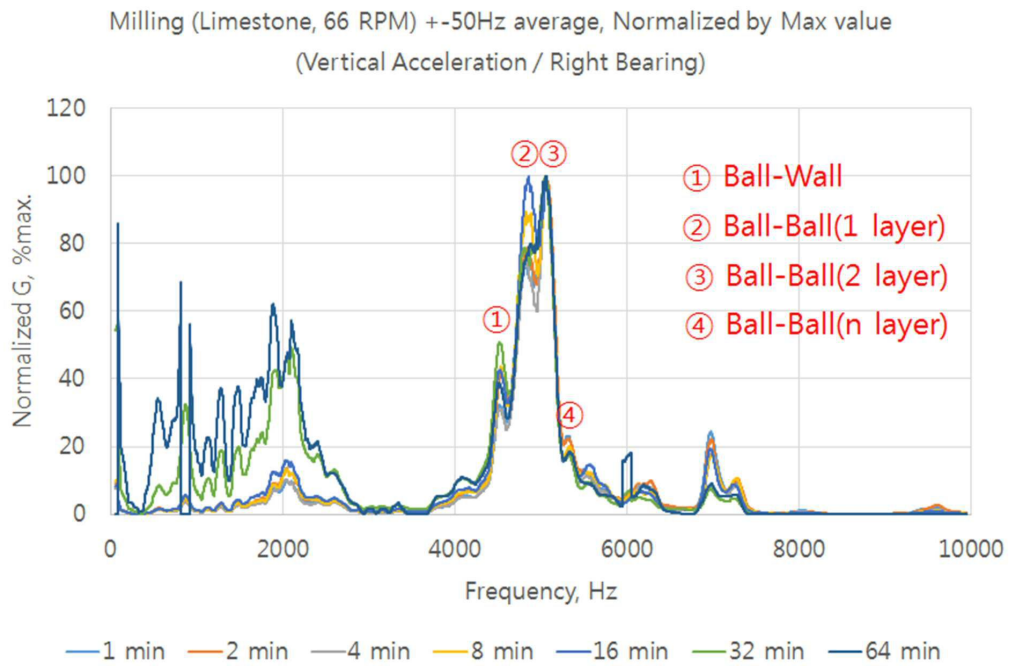
도면8



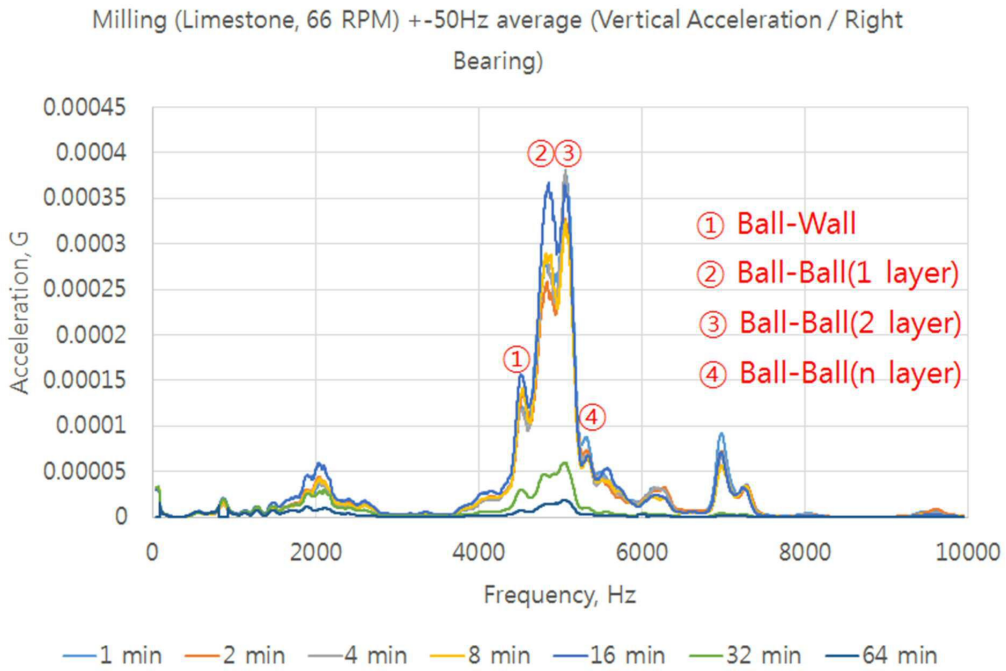
도면9



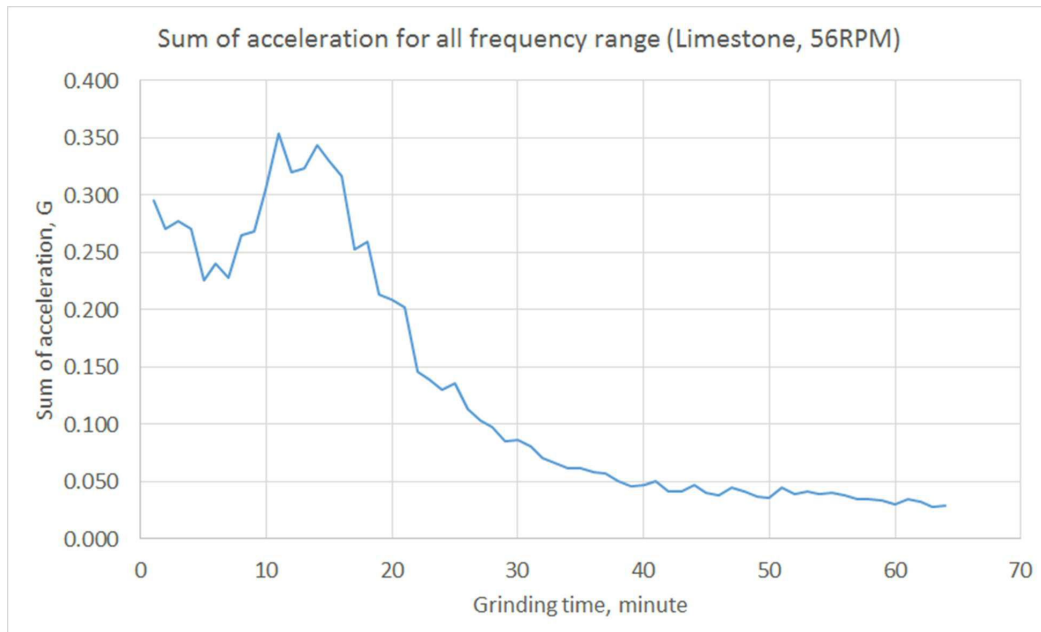
도면10



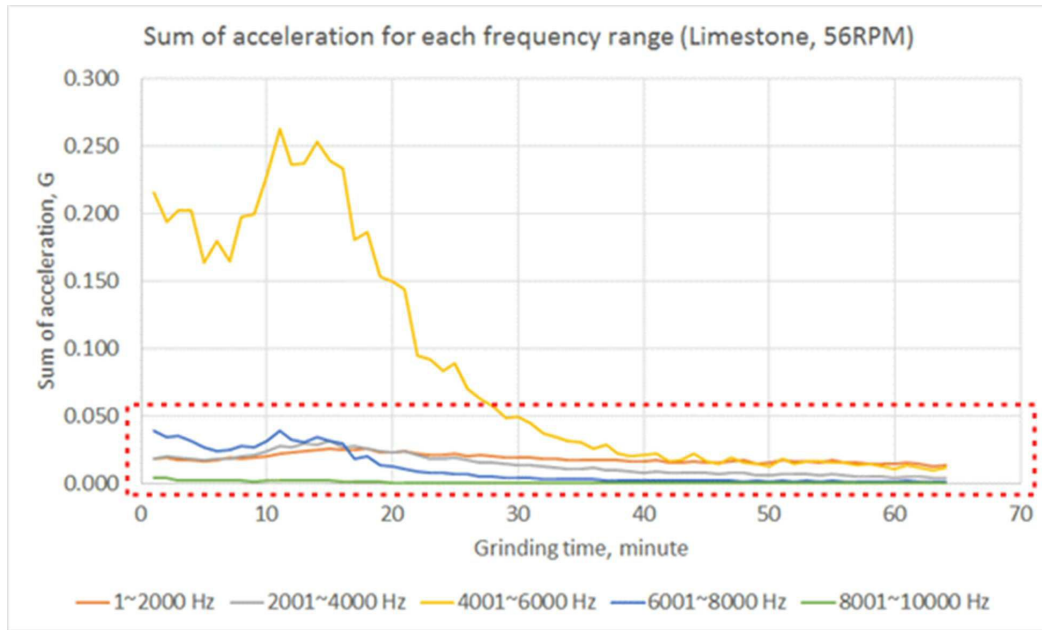
도면11



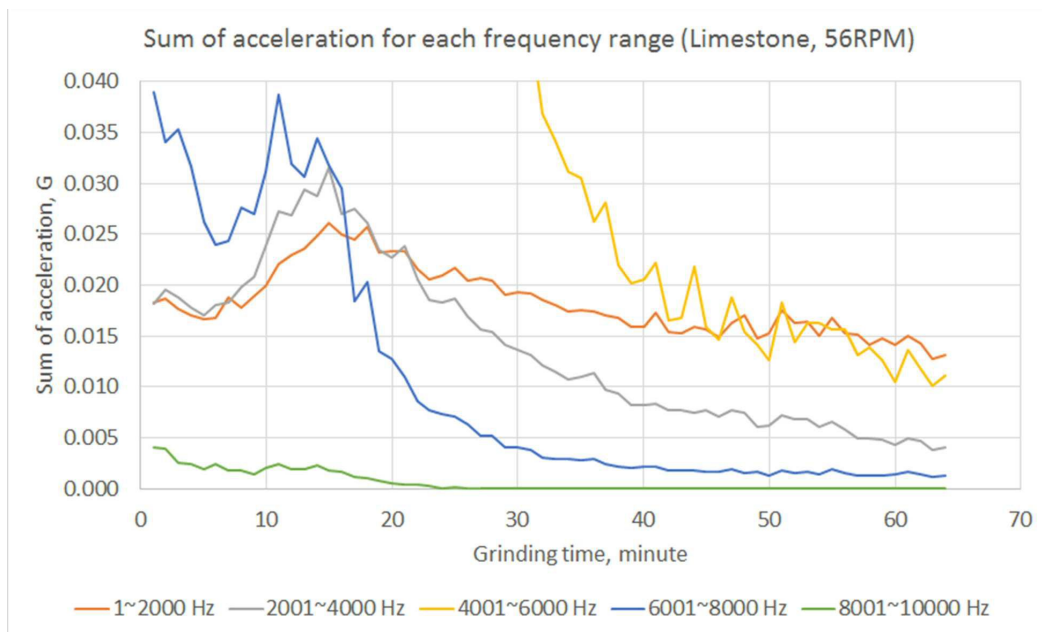
도면12



도면13



도면14



도면15

