

# 실리콘 잉곳의 수율향상을 위한 생산설비 주요 진동원의 영향 분석

## Vibration Measurement of Ingot Grower for Reducing Production Yield Caused by Main Excitation of the Equipment

허영철†·정종안\*·이근우\*\*

Young-Cheol Huh, Jong-Ahn Jeong and Gun-Woo Lee

### 1. 서 론

태양전지 모듈 원가의 60% 이상을 차지하는 실리콘 기판의 주 재료는 복잡한 열처리 공정을 거쳐 원통형으로 성장시킨 실리콘 잉곳을 얇게 절단한 웨이퍼의 형태로 공급된다. 잉곳의 성장 공정을 간략하게 살펴보면 다음과 같다. 챔버 내부의 석영 도가니(Quartz Crucible)안에 폴리 실리콘을 잘게 부쇄 채운 후 높은 온도로 가열시켜 녹인다. 이때 균일한 온도를 유지시키기 위해 도가니를 회전시킨다. 폴리 실리콘이 완전히 녹은 상태에서 상부로부터 사각봉 형태의 종자(Seed)를 내려 보내 액체 상태의 폴리 실리콘 표면에 접촉시킨다. 종자의 표면장력에 의해 적은 양의 용융체가 종자의 주변에 응고되면 이를 천천히 회전시키면서 위로 끌어 올린다. 목적하는 길이와 직경에 도달되도록 회전 및 상승속도를 제어하면서 실리콘 잉곳을 성장시킨다. 성장 공정 중 챔버 내부는 진공 상태를 유지하게 되며 불순물 등의 오염을 방지하기 위해 불활성 기체인 아르곤 가스가 주입된다.

성장이 끝난 잉곳은 길이 방향으로 직경이 일정하고 겉 표면의 응고상태가 균일해야 상품성이 좋으나 성장 공정 중에 발생하는 진동이나 액체상태의 폴리 실리콘 계면의 불안정성 등으로 인해 생산한 잉곳의 수율이 저하되어 생산성을 감소시키는 결과를 초래하기도 한다.

(주) 세미머티리얼즈는 단결정 실리콘 잉곳을 생산하는 전문기업으로서 생산 공장은 중국의 Sozhou에 위치한다. 현지의 생산 관리인으로부터 잉곳 수율 저하의 주요 원인 중 하나인 진동에 의한 영향 파악 및 방지 대책을 수립해 달라는 지원 의뢰를 받고 지난 4월 3박 4일의 일정으로 현지 생산 공장에서 진동 측정을 수행하였다. 측정 결과로부터 생산 공정 중에 주요 진동원으로 판단되는 기기류 들의 상대적인 영향도를 분석하고 현지 생산 공장에서 감으로 느

끼는 진동의 정도를 정량적으로 보여주는데 주안점을 두었다. 측정 환경의 시간적·공간적 제약으로 인해 진동 수준과 잉곳 수율과의 직접적인 상관관계를 규명하는 단계까지 분석하지는 못했으나 해당 기업이 향후 설비증설 계획에 의한 보완 대책 마련에 참고 자료로 활용될 것으로 기대한다.

### 2. 본 론

#### 2.1 주요 진동원 및 그 특성

각각의 잉곳 성장설비에 존재하는 주요 진동원으로서 냉각 시스템, seed motor, crucible motor 그리고 진공펌프를 고려하였다. 냉각 시스템은 챔버 내부의 온도를 일정하게 유지시키기 위해 파이프를 통해 각각의 잉곳 성장설비에 냉각용수를 공급하며 백색잡음의 주파수 특성을 갖는다. Seed motor는 종자(seed)를 회전시키며 응고된 실리콘을 끌어 올리는 역할을 하며 챔버의 상부에 설치되어 고정 rpm으로 회전한다. Crucible motor는 액체상태의 실리콘 melting 표면과 성장 중인 고체상태의 잉곳 하단이 단절되지 않도록 도가니를 회전시키며 밀어올리는 역할을 하며 챔버의 하단에 설치되어 특정 회전수로 가 진한다. 진공펌프는 챔버 내 진공상태를 유지시키고 아르곤 기체를 공급해 주며 고정 rpm으로 회전한다. 측정 시 고려한 주요 진동원의 주파수 특성은 표 1과 같다.

#### 2.2 Measurement set up

그림 1에 보인 바와 같이 잉곳 생산설비의 주요 위치에 진동 가속도계를 부착하였으며 그 위치는 도가니, 챔버의 상단을 포함한 8곳을 선정하였다. 생산 공정 중에는 챔버의 진공을 유지해야 하므로 챔버 내부에 가속도계를 설치할 수 없었기 때문에 생산이 끝난 설비를 대상으로 측정을 수행하였으며 냉각시스템 역시 밸브가 닫힌 상태에서 일정한 압력

† 정회원, 한국기계연구원 시스템엔지니어링연구본부  
E-mail : ychuh@kimm.re.kr  
Tel : (042) 868-7468, Fax : (042) 868-7418

\* 정회원, 한국기계연구원 시스템엔지니어링연구본부

\*\* 비회원, (주)세미머티리얼즈 기술연구소

의 냉각수가 대기하는 조건이 설정되었다. 이 외의 가동조건은 실제 공정 시의 운용조건과 동일하게 설정하였다.

각 진동원의 상대적인 영향을 파악하기 위한 초기 조건으로써 모든 기기의 작동을 멈춘 상태에서 background 진동을 측정하였다. 다음으로 각각의 기기를 단독으로 작동시키면서 측정 가속도의 변화 수준을 살펴 보았다.

### 2.3 분석 결과

주요 측정 위치인 챔버의 상단과 도가니 횡방향의 고유진동수를 분석하여 표 2에 보였다<sup>1)</sup>. 측정 가속도의 정량적인 평가를 위해 RMS value로써 진동수준을 분석하였고, 주파수 분석을 통해 각각의 진동원에 의한 상대적 수준 차이의 원인이 무엇인지를 평가하였다. 이와 같은 분석을 통해 주요 측정 위치인 챔버의 상단과 도가니의 진동에 상대적으로 지배적인 영향을 주는 기기가 어떤 것인지 살펴 보았다.

## 3. 결 론

태양전지 원재료인 실리콘 잉곳의 생산 공장을 방문하여 수율저하의 주요 원인 중 하나인 진동에 의한 영향을 분석하고 대책을 제시하였다. 진동의 측정 및 분석은 생산 현장에서 오감으로 느끼는 현상을 정량적으로 분석하여 그 결과를 제시하고 각각의 진동원에 의한 진동수준을 비교하여 상대적으로 지배적인 영향을 주는 진동원을 파악하는데 주안점을 두었다.

분석 결과 지배적인 진동원의 영향을 감소시키기 위해서는 구조보강에 의한 설비의 재설계 보다는 절연장치의 설치를 통한 차단 방법이 효율적임을 제시하였다.

측정 환경의 시간적·공간적 제약으로 인해 진동 수준과 잉곳 수율과의 직접적인 상관관계를 규명하는 단계까지 심도 있는 분석을 수행하지는 못했으나 해당 기업이 설비증설 계획에 따른 향후 보완 대책 마련에 참고 자료로 활용될 것으로 기대한다.

## 후 기

본 과제는 한국기계연구원의 “기업 기술지원 사업”의 일환으로 수행하였으며 관련 지원에 감사드립니다.

---

1) 분석 결과로써의 도표와 수치는 (주)세미머티리얼즈의 기업 비밀에 해당되는 바 본 논문의 본문에 구체적으로 밝히지 못하는 사정을 양해 바랍니다.