

Wire Saw Machine의 장력 감시제어 시스템 개발

Wire Tension Monitoring & Control System Development of Wire Saw Machine

*#김성렬¹, 김철민¹, 김형재¹, 박범영¹, 김학만²

*#S. R. Kim(sungrkim@kitech.re.kreml.com)¹, C. M. Kim¹, H. J. Kim¹, B. Y. Park¹, H. M. Kim²

¹ 한국생산기술연구원 융합부품소재센터, ² 옥산기계

Key words : Wire Tension, Wire Saw Machine, Monitoring

1. 서론

세계 최대의 반도체 산업국가로 발전하고 있는 우리나라에서 반도체의 웨이퍼링(Wafering) 기술은 고품위의 순수하고 결점이 없는 웨이퍼 생산을 위해 매우 중요하며, 특히 잉곳(Ingot) 성장 공정에서 만들어진 잉곳을 다수의 박판으로 절단하는 슬라이싱(Slicing) 공정은 웨이퍼의 수율 향상에 직접적 영향을 미치는 부분으로 최근에는 대량생산을 위해 Multi-wire saw가 널리 이용되고 있다. 잉곳 슬라이싱 공정은 Fig. 1에서처럼 와이어를 일정 피치로 연속 배치하고, 이에 슬러리를 공급하면서 입자가 부착된 상태로 와이어를 반복적으로 또는 연속적으로 잉곳의 종방향 축에 대해 이동시키면서 절단한다. 이때 120 ~ 140 μ m 직경을 가지는 원형 와이어를 사용하여 원형의 잉곳을 절단함으로써, 절단 초기에 원형의 잉곳 표면에서 와이어의 위치 설정이 어렵고, 와이어를 향하여 하강하는 잉곳의 피드속도(Feedrate)를 절단 시작과 끝 지점에서 높게 하고 잉곳의 직경이 큰 중간 부분에서 낮게 하여 와이어의 선속도를 일정하게 유지해야 한다. 따라서, 잉곳 절단시 와이어의 장력 및 속도 변화로 인한 슬라이싱 공정 후 래핑, 에칭 및 폴리싱 공정을 거친 후에도, 웨이퍼 표면의 요철(凹凸)인 나노토포그래피의 값을 높게 하는 문제점을 야기시키고, 웨이퍼의 수율을 저하시키는 원인이 된다[1,2].

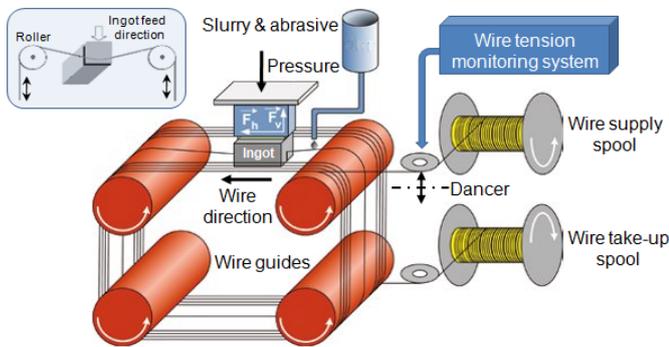


Fig. 1 Principle of slicing process in wire saw machine

2. 장력 감시제어 시스템

2.1 장력 감시제어 시스템 구조

와이어 장력 감시제어를 위해 Fig. 2와 같이 시스템을 구성하였다. 시스템은 크게 스피들부, 댄서(Dancer)부, 제어부로 나누어진다.

스핀들부는 모터에 Torque 센서를 부착하여 스피들의 토크 및 회전수를 측정하고, 댄서부에서는 와이어에 걸리는 힘을 측정하기 위한 Force 센서와 댄서를 일정한 각도 제어를 통해 와이어의 장력을 조절할 수 있는 장력 제어용 모터로 구성된다. 그리고 제어부에서는 스피들의 토크 정보 및 댄서부에서 들어오는 하중 신호를 받아 이를 연산하여 와이어에 일정한 장력이 걸릴 수 있도록 댄서 각도 제어를 위한 모터에 지령을 내리는 역할을 수행한다. Table 1은 와이어 감시제어 시스템 구성에 사용된 Force 및 Torque 센서와 댄서각도 제어용 서보모터 및 모터제어를 위한 모션제어기와 전체 시스템을 제어하기 위한 제어장치에 대한 사양이다.

Fig. 2의 실험장치 구성도에서 에어 스피들을 사용한 이유는

에어 공급량에 따라 토크 변동이 일반적인 서보모터의 토크 변화량보다 크고, 정밀 토크 제어가 어렵기 때문에 실제 잉곳 가공시의 Wire Saw Tension에 걸리는 힘의 변동과 유사한 환경을 만들기 위해 사용하였다.

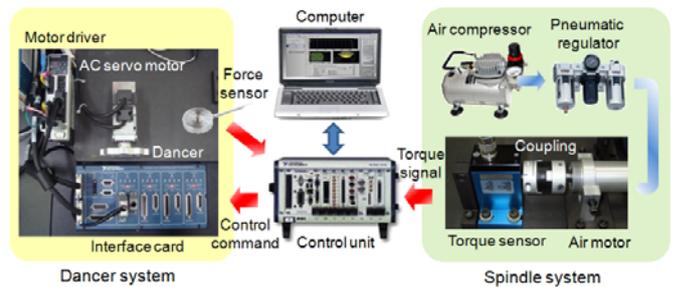


Fig. 2 Monitoring system configuration for wire tension control with force and torque sensors

Table 1 Specification of wire tension monitoring system

System component	Specification
Control unit	A/D, D/A, Motion, DIO etc. (NI PXI-1050)
Motion controller	4 Axes, 16 bit, 20 MHz encoder (NI-7354)
AC servo motor & driver	10 A (MADD1205), 50 W (MSMD5AZS1S)
Force sensor	< 100 kN, > 40 kHz (Kistler)
Torque sensor	50 N·m, ± 5 mV/V (Kistler)

2.2 Wire Tension 제어 알고리즘

본 연구에서 사용된 제어 알고리즘은 주축 스피들의 토크와 댄서에 걸리는 힘을 측정하여 와이어에 걸리는 장력값을 추정하고, 이를 미리 설정된 제어 지령값(최적가공상태의 장력값)과 비교하여 두 값의 차이가 발생할 때 이 차이값을 보상하기 위해 댄서의 각도를 변화시켜 와이어의 장력을 일정하게 유지시키도록 한다. 이를 위해 임의로 설정된 장력 제어 지령값을 5V로 설정하였고, 이 값에 대한 추종오차는 $\pm 0.5V$ 를 유지하도록 프로그래밍 하였다. 실제 Wire saw machine에 적용할 때는 장력제어 지령값과 추종오차만 입력하면 되도록 하였다.

Fig. 3은 개발한 와이어 장력 감시제어 프로그램으로 NI사의 랩뷰(LabView)로 작성되었고, GUI(Graphic User Interface)에는 장력제어 지령값, 추종오차, 댄서의 각속도 및 Force와 Torque 센서로부터의 신호를 처리하기 위한 샘플링 주파수 등 기본적인 정보를 입력하는 창과 스피들 토크, 댄서에 걸리는 하중, 댄서에 부착된 서보모터의 엔코드 신호 및 Force와 Torque 센서, 댄서각도로부터 환산된 와이어 장력값 등이 그래프와 숫자로 표시한다. 또한 각 데이터는 텍스트 기반의 파일로 저장할 수 있다.

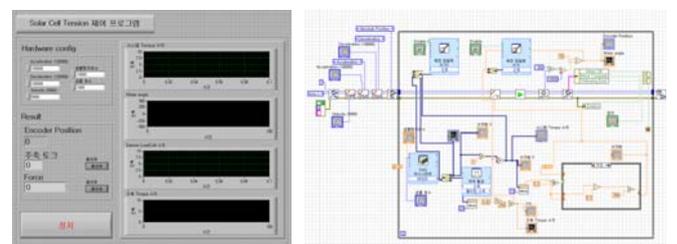


Fig. 3 Wire tension monitoring & control program with LabView

3. 감시제어 시스템 성능평가

3.1 하중변화에 따른 댄서각도 제어

Force 센서에 의한 댄서 제어 특성 실험을 수행하기 위해 스핀들에 대한 토크의 영향은 배제하고, Force 센서에서 받는 하중신호만을 사용하여 댄서각도 변화를 측정하였다. Table 2는 하중에 따른 댄서각도이고, Fig. 4는 하중과 댄서각도가 서로 선형성을 가지고 변함을 보여주고 있다. Fig. 5는 Force 센서에 임의의 하중이 가해졌을 때, 가해진 힘의 크기 변화에 대해 댄서각도는 반대 방향으로 움직임을 보여주고 있다. 이것은 하중이 클수록 와이어에 걸리는 장력이 커짐을 유추할 수 있고, 댄서는 와이어의 장력이 작아지는 방향으로 작동함을 알 수 있다.

Table 2 Dancer angle variation according to force

Force (N)	15	20	25	30	35
Dancer angle (°)	8	12	21	26	30

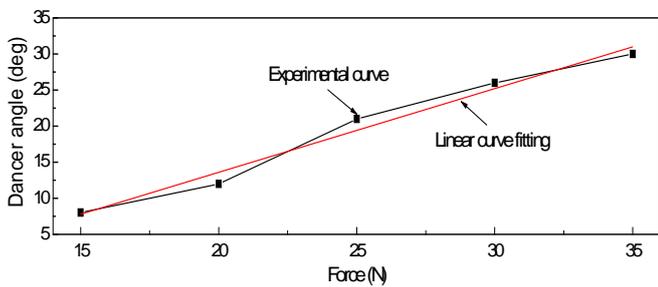


Fig. 4 Comparison of experimental curve and linear curve fitting for dancer angles

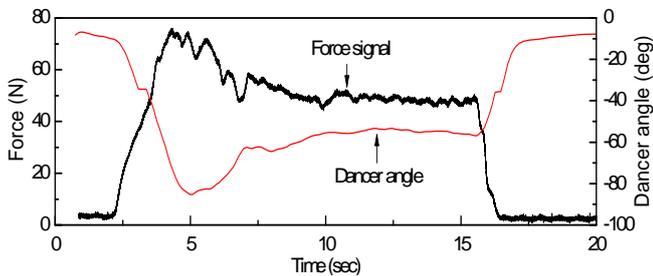


Fig. 5 Comparison of force signal and dancer angle variation

3.2 토크변화에 따른 댄서각도 제어

하중변화에 따른 댄서각도 제어실험과 같이, 이번에는 Force 센서에 의한 댄서각도 영향은 배제하고, 단지 Torque 센서에 의한 댄서 제어 특성 실험을 수행하였다. Fig. 6은 Fig. 2의 와이어 장력제어 시스템에서 임의로 스핀들에 강제적으로 토크를 준 결과로서, 하중변화에 대한 결과와 마찬가지로 스핀들에 임의의 토크가 가해질 경우 토크 변화에 대한 댄서각도 변화가 서로 반대방향으로 작동함을 알 수 있다. 이 결과로부터 스핀들에 걸리는 토크가 클수록 댄서각도는 작아지고, 작아질수록 커지는 경향을 볼 수 있으며, 댄서각도 제어에 의해 와이어 장력이 조절될 수 있음을 알 수 있다.

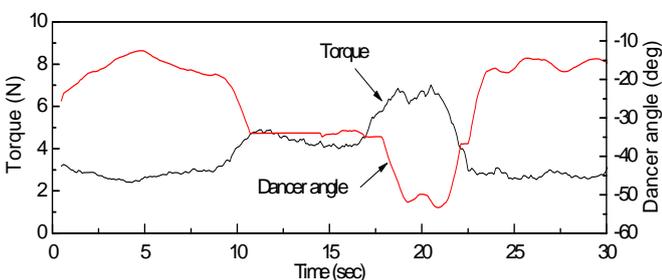


Fig. 6 Relationship between dancer angle and torque

3.3 하중 및 토크변화에 따른 댄서각도 제어

Force와 Torque 센서에 의한 와이어 장력 제어를 수행하기 위해 하중 및 토크에 대한 개별적 실험을 통해 성능을 확인한 댄서각도 제어에서, 하중과 토크가 동시에 복합적으로 작용할 때의 댄서 제어 특성 실험을 수행하였으며, Fig. 7은 그 결과를 보여주고 있다. 임의로 하중과 토크 변화를 동시에 주었을 때, 실시간으로 와이어 장력을 유지할 수 있도록 댄서가 각도를 제어하고 있음을 알 수 있다.

하중 및 토크에 대한 개별적 실험을 통해, Force 센서와 Torque 센서에 대한 댄서각도 제어가 가능함을 알 수 있었고, 이를 통해 와이어 장력이 제어됨을 알 수 있었다. 또한 Fig. 7에서처럼, 하중과 토크가 동시에 변할 때 Force 및 Torque 센서로부터의 입력된 값과 와이어 장력제어 지령값과의 비교 연산을 통해 댄서의 각도를 제어하기 위한 출력값이 댄서의 서보모터 지령값으로 입력되고, 이 지령값에 따라 댄서의 서보 모터가 반응하여 와이어의 장력을 일정하게 유지하려는 방향으로 작동한다. 본 연구에서는 와이어 장력제어 지령값을 5(V)로 했을 때, 실제 추종값은 5±0.5(V) 사이를 유지함을 확인할 수 있다.

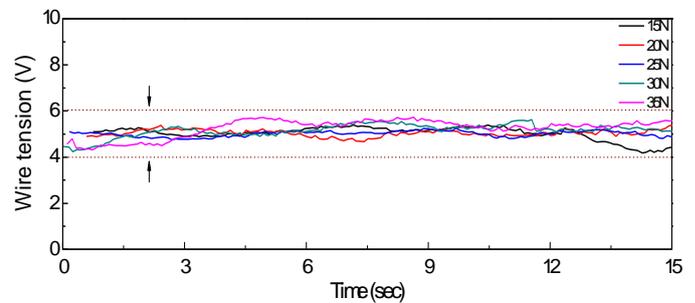


Fig. 7 Wire tension variation by dancer angle control according to force and torque

4. 결론

태양 전지용 잉곳을 180~200 μ m 두께로 균일하게 정밀 절단을 위해 일정하게 와이어의 장력을 유지시키는 Wire Saw Machine의 장력 감시 시스템 개발을 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) Force 센서에 가해지는 하중과 댄서각도가 서로 선형성을 추종하도록 제어알고리즘을 개발하였고, 실험을 통하여 제어 성능이 우수함을 확인하였다.
- 2) 스핀들의 토크변화에 따른 댄서각도 변화 실험에서 토크가 커질 때 댄서각도는 작아지고, 반대로 작아질 때 댄서각도는 커지는 특성으로부터 댄서각도가 일정한 장력을 유지하기 위해 제어됨을 알 수 있었다.
- 3) 와이어에 가해지는 하중과 스핀들의 토크가 동시에 변할 때, 제어 지령값(5V)에 대해 추종값이 5±0.5(V) 사이를 유지함을 알 수 있었고, 이를 통해 외부하중 변화에 대해 와이어의 장력을 일정하게 유지하기 위한 댄서의 각도제어성능이 우수함을 알 수 있었다.

후기

본 연구는 지식경제부 지역산업기술개발사업의 지원으로 수행되었음.

참고문헌

1. Sugawara, J., Hara, H. and Mizoguchi, A., "Development of fixed-abrasive-grain wire saw with less cutting loss," SEI Technical review, 58, 7-11, 2004.
2. Saito, K., Furuta, F., Umezawa, H. and Takeuchi, K., "Multi-wire slicing of large grain ingot material," Proceedings of SRF, Berlin, Germany, 467-472, 2009.