

마이크로 와이어 프레스 성형 후 발생하는 스프링백의 해석적 연구

홍석관¹ · 강정진¹ · 전병희² · 고귀현³ · 양승진³ · 표창률³

¹한국생산기술연구원 정밀금형팀, ²인덕대학 기계설계전공, ³㈜새한마이크로텍
기술연구소

1. 서론

MEMS 프로브 카드(Probe Card)는 반도체 웨이퍼 상의 패드에 직접적으로 접촉하여 전기 신호를 주고 받는 역할을 하는 프로브(probe), 다층 구조의 세라믹 기판인 스페이스 트랜스포머(space transformer), 테스터기 채널 카드의 포고 핀까지 전기 신호의 경로를 공급하는 인터페이스 PCB(interface PCB), 스페이스 트랜스포머와 인터페이스 PCB 기판 사이에서 전기 신호의 전달을 담당하는 bridge suspension으로 구성되어 있다.

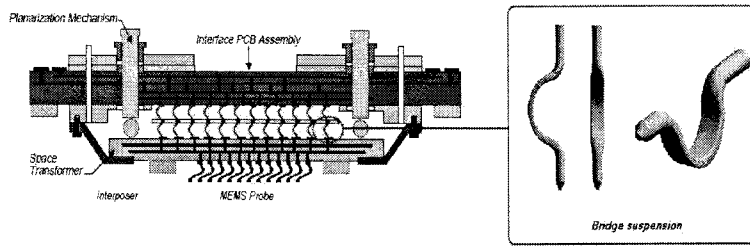


Fig. 1 MEMS 프로브 카드의 구조

이중에서 Bridge suspension은 스페이스 트랜스포머와 인터페이스 PCB 사이에서 전기 신호를 전달하는 역할 외에도 프로브 핀과 wafer의 접촉(contact)시에 수직 방향으로 받는 힘을 흡수함으로써 기계적 충격을 최소화하고 MEMS 프로브 카드 내부의 평탄도를 유지시키는 역할을 담당한다. 따라서 bridge suspension은 주로 전기 전도도가 우수하고, 탄성력을 지닌 소재를 사용하여 제조된다. 현재 사용되고 있는 와이어의 직경은 약 $\varnothing 50\sim 100\mu\text{m}$ 이며, 길이는 약 4~6mm 정도로 변형시 일정한 방향성과 탄성력 유지를 위해 정밀하게 제작되어야 한다. 따라서, 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 성형성을 파악하고 그 결과를 토대로 성형 공정 및 시스템을 설계하는 것이 필수적이라 할 수 있다. 본 논문에서는 FEM 해석을 통한 마이크로 와이어의 성형 공정 모델링 및 성형 공정 해석에 대한 해석기법을 마련함으로써 가공 시스템의 설계 및 제작에 반영하고자 한다.

2. Bridge suspension의 공정 해석을 위한 해석 모델 정의

2.1 마이크로 와이어의 단조시험

Bridge suspension의 공정 시뮬레이션을 수행하기 이전에 해석모델의 검증이 필요하다. 이를 위해서 fig. 2와 같이 마이크로 와이어의 압입시험을 수행하였다. 압입시험에

는 지름 80 μ m의 마이크로 와이어를 사용하였으며, 길이가 2mm정도 압입되도록 금형을 제작하였다. 또한, 하중 대 압입율의 상관관계를 분석하기 위하여 압입하중은 10kgf부터 5kgf 단위로 50kgf까지 단계별로 가압하였으며, 이에 따른 마이크로 와이어의 변형 두께를 측정하여 fig. 3에 도시하였다.

실험 결과를 살펴보면 최저 압입 하중인 10kgf에서는 압입률이 약 12%정도 발생하였으며, 최고 압입 하중이 50kgf일때는 압입률이 약 60% 발생하였다. 또한, 본 bridge suspension의 bending부 두께인 40 μ m 단조 성형을 위해서는 압입률이 50% 이므로 하중은 약 35 kgf가 필요하다는 것을 본 실험을 통해 알 수 있었다.

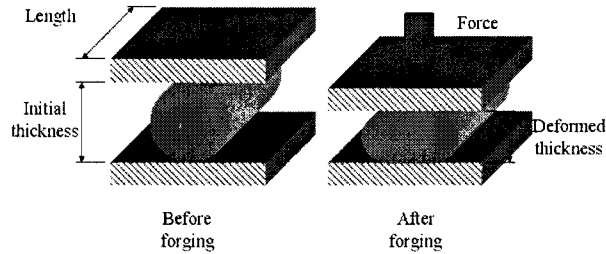


Fig. 2 마이크로 와이어의 단조 실험 개념도

2.2 공정 해석의 검증 모델 정의

마이크로 와이어의 단조 실험 결과와 비교하기 위해서 실험조건과 같이 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션은 상용 유한요소 해석프로그램인 MSC.MARC를 사용하였으며, 물성치는 table 1에 제시한 바와 같이 본 마이크로 와이어의 기계적 물성치를 해석에 적용하였다. fig. 3는 해석결과를 나타낸 것으로 마찰계수에 따른 해석결과와 실험결과를 비교한 그래프이다. 해석결과를 살펴보면 마찰계수가 0.3 일때 실험결과와 유사한 하중 대 변위 그래프를 얻었다. 해석결과는 시험결과의 오차 범위를 만족하여 성형 공정 조건으로 선택하였다.

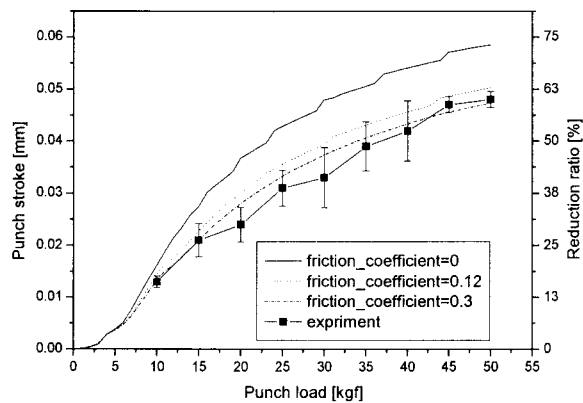


Fig. 3 해석과 실험 데이터 비교

Table 1. 해석모델에 적용된 물성치 데이터

Property Item	Paliney 7	Unit
Modulus of Elasticity	117	GPa
Ultimate Tensile Strength	0.823	GPa
Yield Tensile Strength	0.618	GPa

3. Bridge suspension의 성형 공정 분석

bridge suspension은 크게 head 부, bending부와 probe tip부로 나눌 수 있다. 여기서 probe tip부는 성형가공으로 볼 수 없기 때문에 본 공정해석에서는 배제하기로 한다. 따라서 주요 성형 공정시 고려되어야 하는 부분은 head 부와 bending 부이다. 본 연구에서는 bending부의 성형공정만을 논의하였다. Bending부는 굽힘공정과 단조공정을 통해 성형되어야 한다.

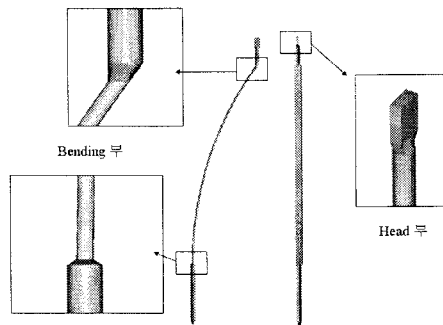


Fig. 4 Bridge suspension의 주요 성형부

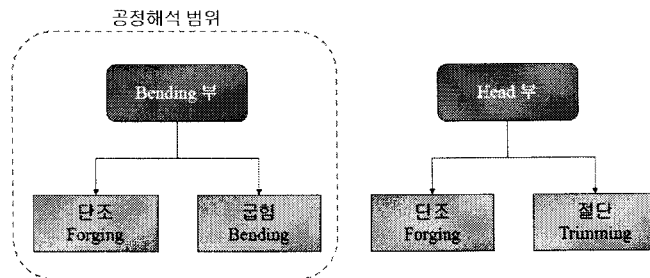


Fig. 5 Bridge suspension의 공정 분석도

3.1 Bending부 굽힘-단조공정 해석

본 해석을 위해서 fig. 6에 나타낸 것처럼 틀형상과 마이크로 와이어를 모델링하였다. 해석모델은 효율성을 높이기 위해서 1/2 대칭 모델을 적용하였다. 해석은 상기에서 검증된 해석 모델 및 조건을 사용하여 수행하였다. 해석 결과를 살펴보면 fig. 7-(a)에 보이는 바와 같이 초기에 상부 틀이 하강하여 마이크로 와이어와 접촉하여 굽힘 공정이 시작된다. 상부 틀이 소재의 두께만큼을 남기고 완전히 하강을 하면 굽힘 공정이 완료되며, 이어서 단조공정이 시작되고, 소재의 압입율이 50%가 될 때까지 성형이 계

속된다. 최종적으로 fig. 7-(c)에 보이는 바와 같이 단조공정이 완료되는 시점에서 마이크로 와이어의 내부 응력이 1400 Mpa로 항복응력인 600 Mpa보다 2배이상 높게 발생하였다. 결과적으로 fig. 8과 같이 넥킹부에서 발생한 미세한 탄성복원으로 인해 가공 정밀도를 만족하지 못하였다. 따라서 스프링백량을 더 줄이는 방안이 제시되어야 한다.

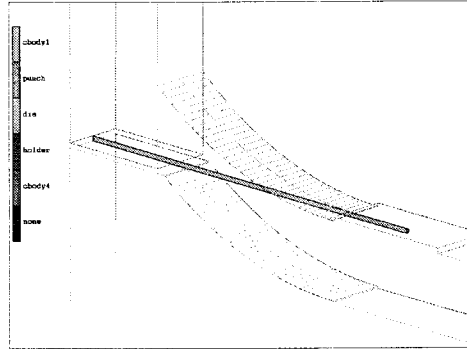
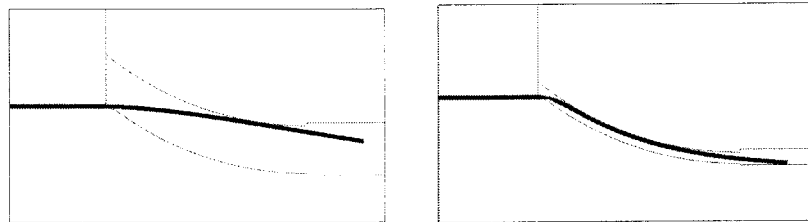
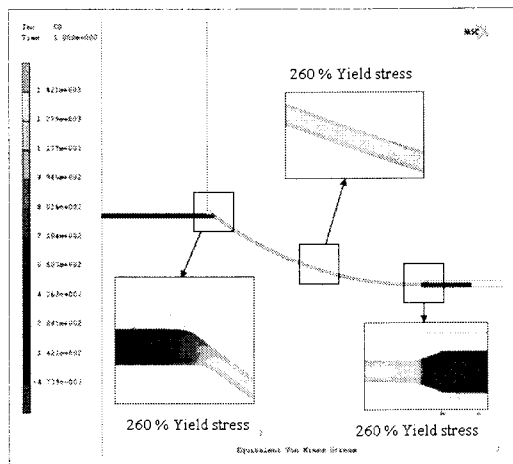


Fig. 6 단조공정과 굽힘공정을 동시에 수행하기 위한 틀 형상



(a) stroke 10% (bending) (b) stroke 80% (bending)



(c) equivalent stress distribution at stroke 100% (forging)

Fig. 7 마이크로 와이어의 동시 굽힘 공정 해석결과



Fig. 8 단조공정과 굽힘공정을 동시에 수행한 후 스프링백량

3.2 Springback량 저감을 위한 굽힘각 보정

스프링백 보정에 앞서 마이크로 와이어의 형상을 면밀히 분석하여 스프링백이 발생하는 메커니즘을 이해해야 한다. fig. 9는 본 마이크로 와이어의 형상특성에서 스프링백이 발생할 수 있는 구역을 나타낸 그림이다. 본 bending부 공정에서는 크게 넥킹부와 밴딩부에서 굽힘변형이 발생한다. 따라서 마이크로 와이어의 스프링백 후 형상은 상기의 2구역에서 발생한 스프링백량이 복합적으로 영향을 미친 결과이다. 그러므로 본 연구에서는 fig. 10과 같이 스프링백의 정확한 평가를 위해서 2구역의 각도를 정의하였다.

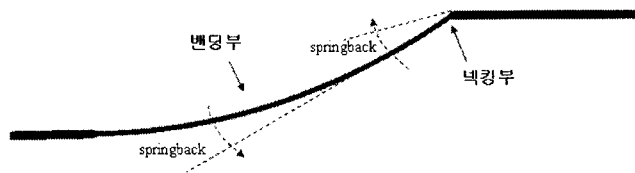


Fig. 9 마이크로 와이어의 스프링백 발생의 메커니즘

상기에서 정의된 측정 기준으로 실제 실험을 통해 얻은 시편을 측정하였다. 굽힘각 1(θ_1)은 5° , 굽힘각 2(θ_2)은 144° 로 측정되었다. 넥킹부의 스프링백은 거의 없는 것을 확인할 수 있다. 이와 같은 실험결과를 바탕으로 스프링백 해석 정도를 높이기 위해 요소수를 변화시키면서 실험결과와 비교하였다. 해석 결과를 정량적으로 평가해보면 fig. 11에서 보이는 바와 같이 굽힘각1에서나 굽힘각2에서 simulation 1(요소 수 2000개)보다 simulation 2(요소 수 3000개)일 때가 실험결과와 더 유사한 경향을 보였다. 이는 유한요소수가 스프링백 해석에 민감한 인자가 됨을 알 수 있는 결과이다. 따라서 본 해석의 경우 스프링백 예측 정밀도를 높이기 위한 요소 수는 3000개 이상임을 알 수 있다. 결과적으로 본 스프링백 해석에서 굽힘각의 예측에 대한 정밀도는 굽힘각1에서는 80%, 굽힘각2에서는 99.7%로 평가되었다.

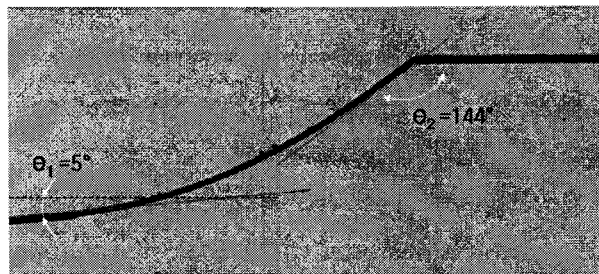


Fig. 10 동시 굽힘 공정 후 스프링백량 측정 (실험 결과)

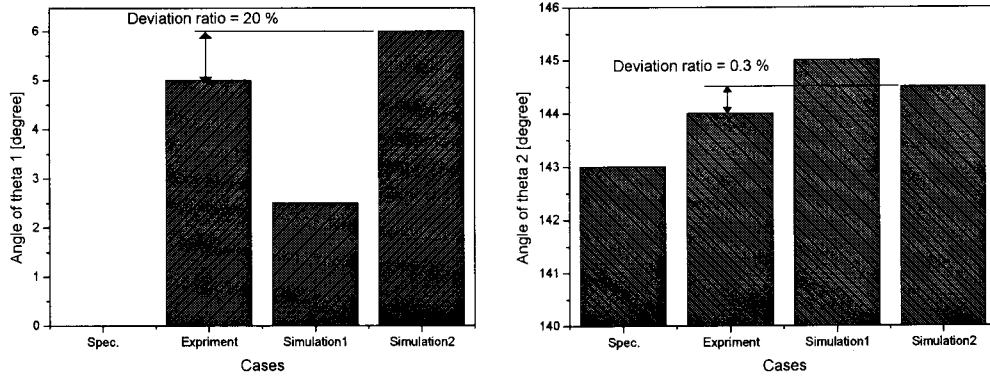


Fig. 11 굽힘각(θ_1 , θ_2)에서 실험과 해석 결과 비교

fig. 12는 bridge suspension의 금형 profile을 나타낸 것이다. 여기서 target으로 표시된 profile은 초기 금형의 치수로서 본 금형으로부터 발생한 스프링백량을 보정하기 위해 modify-1과 modify-2의 profile을 제안하고 자 한다. 스프링백이 발생한 bridge suspension의 형상을 보면 fig. 10과 같이 tip 끝이 아래 방향으로 향하면서 굽어져 있다. 따라서 이를 보정하기 위해 역으로 tip 끝이 위를 향하도록 굽혀서 성형하고 이로부터 발생한 스프링백이 target의 profile과 일치하게 하는 것이 목표이다.

설계 수정의 기준은 다음과 같은 방법으로 설정하였다.

- ① 스프링백량에 덜 민감한 굽힘각2(넥킹부)의 각도는 설계 spec.을 유지한다.
- ② 굽힘각1의 각도는 해석으로부터 얻은 스프링백 후의 각도와 대칭으로 잡는다.
- ③ 굽힘부의 길이가 설계 spec.과 같도록 굽힘부 R값을 정한다.

상기와 같은 기준으로 보정굽힘각1이 3°일 때와 6°일 때의 금형 profile을 작도하여 수정하였고, 시뮬레이션을 통해 스프링백량을 평가하였다.

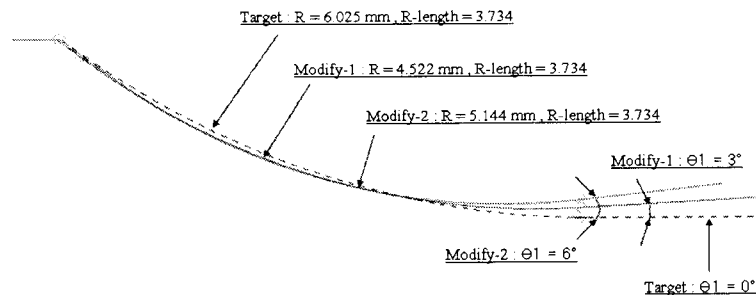
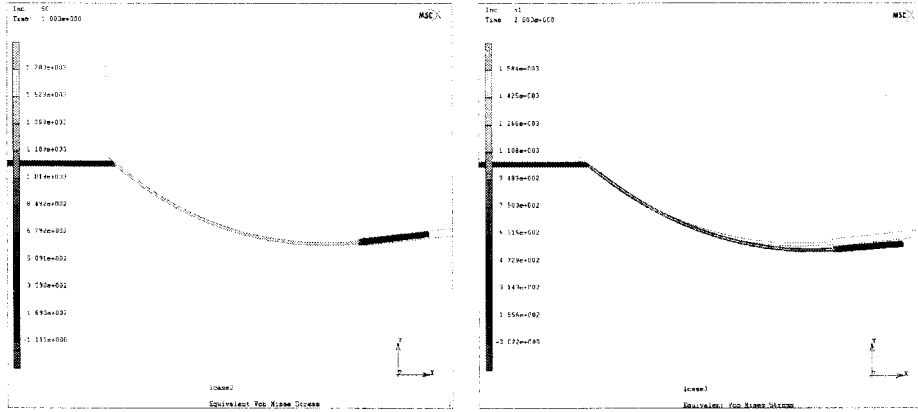


Fig. 12 스프링백 억제를 위한 금형의 profile 변경 제안



(a) stroke 100% (b) after springback
 Fig. 13 수정된 금형 프로파일의 시뮬레이션 결과 (modify-02)

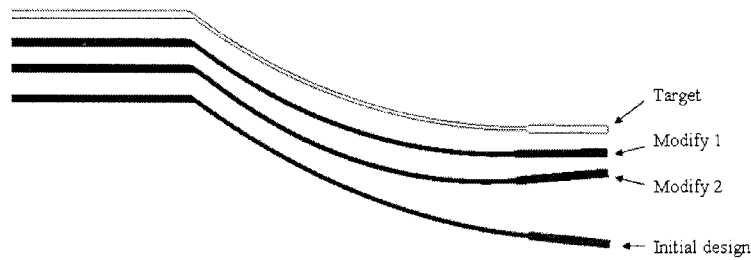


Fig. 14 수정된 금형 프로파일의 스프링백 시뮬레이션 결과

해석결과를 살펴보면 fig. 14에 나타난 바와 같이 대체적으로 수정모델이 초기모델에 비해서 스프링백량이 억제된 것을 확인할 수 있다. 또한 보정굽힘각1이 6° 일때보다 3°일때가 스프링백 보정이 더 잘된 것으로 평가할 수 있다.

하지만, 설계상의 허용오차 범위 내에는 만족하지 못했다. 따라서 보정굽힘각1의 각도가 미세하게 조정되어야 함을 알 수 있다. 따라서 보정굽힘각1이 0, 3, 6°일 때의 결과를 바탕으로 curve fitting을 해보면 정확하게 스프링백이 보정될 수 있는 보정 굽힘각을 추정할 수 있을 것이다.

4. 결론 및 향후 연구

MEMS 프로브 카드의 핵심 구성 요소인 bridge suspension을 개발하기 위해 FEM을 이용하여 마이크로 와이어 성형 공정을 분석하였다. 이를 위해 bridge suspension 원소재인 마이크로 와이어의 압입시험을 통해 성형공정 모델링을 검증하였고, 성형 공정 모델링에 기반을 둔 마이크로 와이어 성형 공정 해석을 수행하여 스프링백량을 예측하였다. 마지막으로 스프링백을 보정할 수 있는 금형설계안을 제안하였다. 따라서 본 연구를 통해 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 마이크로 와이어의 압입시험을 통해 해석 모델을 검증하였으며, 하중 대 변위의 응답특성에 대한 해석모델의 정확도는 91.8%, 변위 대 하중은 87.3%를 얻었다.
- (2) Bridge suspension의 bending부를 성형하기위한 굽힘-단조 공정 해석을 수행한

결과 스프링백 예측능은 굽힘각1에서 80%, 굽힘각2에서는 99.7의 정확도를 얻었다.

- (3) 소량의 스프링백을 보정하기 위해 굽힘각1을 기준으로 금형 profile을 수정하였고, 그 결과 3° 로 보정굽힘각1을 수정하면 스프링백량이 억제될 수 있음이 해석을 통해 예측되었다.
- (4) 향후 제시된 금형보정안을 바탕으로 금형을 제작하여 굽힘-단조 성형실험을 수행할 예정이다.

5. 후기

본 연구는 산업자원부 지원의 부품소재기술개발사업(과제번호: 07-FP-2-0003)의 일환으로 수행되었으며, 이에 관련 부처 및 관계자 여러분께 감사드립니다.

6. 참고문헌

- (1) 강정진, 홍석관, 전병희, 고귀현, 양승진, 표창률, "마이크로 스프링 제작을 위한 마이크로 와이어 프레스가공 해석연구", 한국정밀공학회 춘계학술대회, 719-720, 2007.