

# 계단식 캡 구조의 반지 내경 확장 장치 개선 프로젝트

## Improvement Projects of a Ring Stretcher Including Stepped Cap Structure

김광현 김선아 박지수 주현기 최성현  
서울시립대학교 기계정보공학과

### Introduction

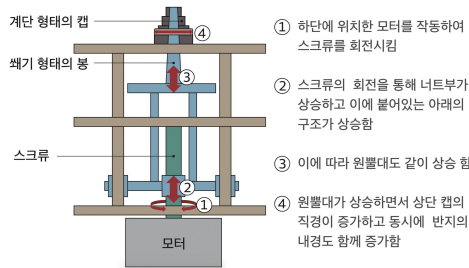
본 개발은 반지의 내경을 확대시키는 장치로 반지가 작아서 사용하지 못하는 반지를 원하는 호수로 확장시키는 것을 목표로 한다. 제품의 특성상 반지를 가지고 있는 개별 소유자들을 대상으로 하지 않고, 반지를 파는 귀금속 가게와 반지를 만드는 공방의 직원들을 대상으로 하고 있다. 본 제품의 가장 큰 장점은 전동 모터를 사용하여 기존의 수작업을 자동화한다. 작동 방법은 장착된 버튼 3개를 이용하여 원하는 반지 사이즈를 선택할 수 있고, 이를 통해 원하는 반지 호수로 사이즈를 늘릴 수 있다.

### Problems

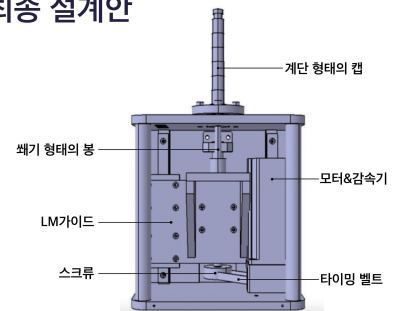
- 모터와 감속기의 오버 스펙
- 가공품 공차로 인한 캡의 상하진동
- 모터제어 알고리즘 오류로 인한 위치제어 불안정

### Modeling

#### 설계 개념도 및 작동순서



#### 최종 설계안



### Analysis

#### 문제1. 모터와 감속기의 오버스펙

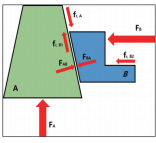
- 내경 확장 힘

$$f_{t,max} = \frac{0.7d_1^2 + 1.3d_2^2}{d_e^2 - d_i^2} P$$

나름을 받는 원뿔대나 원뿔대 단면적 계산

반지 사이즈	필요한 압력(Mpa)	필요한 힘(N)
10호	11.67	1759.12
11호	11.45	1762.61
12호	11.24	1765.97
13호	11.04	1769.21
14호	10.85	1772.33
15호	10.66	1775.34
30호	8.47	1810.34

- 테이퍼 상승 힘



$$F_{x,B} = F_{x,A}$$

$$\sum F_x = 0, \quad \sum F_y = 0, \quad \sum F_z = 0$$

$$\sum M_x = 0, \quad \sum M_y = 0, \quad \sum M_z = 0$$

$$F_{y,A} = \mu F_{x,A}, \quad F_{z,A} = \mu F_{x,A} \cos \theta - F_{y,A}$$

$$F_{y,B} = \mu F_{x,B}, \quad F_{z,B} = \mu F_{x,B} \cos \theta - F_{y,B}$$

$$F_x = (\cos \theta + \mu \sin \theta) F_{y,A}$$

$$F_y = \frac{F_x}{\cos \theta + \mu \sin \theta}$$

$$F_z = \frac{F_x}{\cos \theta + \mu \sin \theta} \cos \theta - \mu F_x$$

반지에 1810.34N을 가하기 위해 2244.63N의 상승힘 필요

- 테이퍼 상승 토크

$$T_{\text{total}} = (J + J_p) \alpha_{\text{max}}$$

$$T_{\text{vconst}} = \frac{F_{\text{vconst}} \times Ph}{2 \times \pi \times \eta}$$

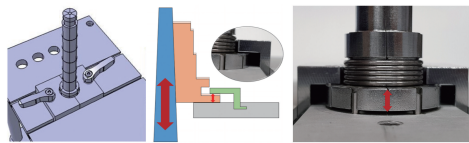
$$T_{\text{vaccel}} = T_{\text{vconst}} + T_{\text{accel}}$$

- $T_{\text{accel}}$  : 가속에 필요한 토크 ( $kg \cdot mm^2/s^2$ )
- $T_{\text{vconst}}$  : 마찰 토크 ( $kg \cdot mm^2/s^2$ )
- $T_{\text{vaccel}}$  : 상승에 필요한 토크 ( $kg \cdot mm^2/s^2$ )
- $J$  : 나사 축 관성모멘트 ( $kg \cdot mm^2$ )
- $J_p$  : 모터 관성모멘트 ( $kg \cdot mm^2$ )
- $F_{\text{vconst}}$  : 상승 등속에 필요한 힘 (mN)
- $Ph$  : 리드 곱 (mm)
- $\eta$  : 볼 나사 효율

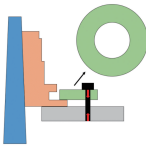
2244.63N의 상승힘을 발생시키기 위해 4458.36Nmm의 토크 필요

#### 문제2. 캡의 상하 진동

- 테이퍼 진동시 캡 진동 발생



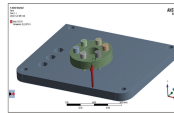
- 부품추가



- 도넛 모양의 커버를 볼트를 이용해 상판에 고정
- 볼트를 조여 캡의 상하운동 방지
- 가공 오차에 무관하게 캡의 고정 가능
- 고정 볼트를 풀고 커버를 제거하여 캡 교체

- 구조개선

- 2575N의 상승힘이 주어져 할 안전계수와 최적조건



안전계수	2~2.5선적	커버 두께와 볼트 수는 영향 미하이므로 편리성 우선시
1	16.84	12.70
2	16.92	13.0
3	17.00	13.0
4	16.80	13.0
5	16.96	13.0

### Conclusion

#### <기존 모델>

실험 횟수	직경(mm)	호수	실험 횟수	직경(mm)	호수
1	16.84	12.6	6	16.92	12.8
2	16.92	12.8	7	17.00	13.0
3	17.00	13.0	8	16.96	12.9
4	16.80	12.5	9	16.8	12.5
5	16.96	12.9	10	16.84	12.6

평균 호수 : 12.760호  
표준 편차 : 0.1955호

#### <개선 모델>

실험 횟수	직경(mm)	호수	실험 횟수	직경(mm)	호수
1	17.00	13.0	6	17.00	13.0
2	17.00	13.0	7	16.96	12.9
3	16.96	12.9	8	17.00	13.0
4	17.00	13.0	9	16.96	12.9
5	17.00	13.0	10	17.00	13.0

평균 호수 : 12.970호  
표준 편차 : 0.0567호

정확도 21% 향상

정밀도(표준편차) 3.44배 향상

### Improvement

- 최대토크 1000Nmm의 스테핑모터와 1:5 감속비를 갖는 감속기로 교체
- 4개의 볼트와 10mm의 두께를 갖는 상판 설계
- 슬라이드 방식에서 볼트 조임 방식으로 커버 변경
- 스텝수와 상·하단 포토센서를 동시에 이용한 위치제어

### Reference

- [1] 소울부사용, 소울달남, 2011, "표준기계설계도표편람", 대광서림, 5판, 대광서림 편집부, pp. 8-1.
- [2] ANSYS 16.1, 2015, "ANSYS help 16.1", Manual.