

실험 및 이론에 의한 커빅 커플링의 구조해석 모델링에 관한 연구

A study of Structure Analysis modeling of Curvic Coupling by Experiment and Theory

*김재실¹, #정훈형², 이동혁², 김평호³, 최현오⁴

*C. S. Kim(kimcs@changwon.ac.kr)¹, #H. H. Jeong(jove390@naver.com)², D. H. Lee², P. H. Kim³, H. O. Choi⁴

¹ 창원대학교, ²창원대학교 기계공학과 대학원, ³창원대학교 기계공학과, ⁴한국기계연구원

Key words : Curvic Coupling, Index Table, Strain analysis

1. 서론

최근 공작기계 분야에서는 공작기계의 고속 정밀화와 복합기계에 대한 개발이 활발히 이루어지고 있다. 공작기계의 고속 정밀화의 한 일환으로서 백레쉬가 없도록 장치된 초정밀 정지(No Lift) 형 방식의 회전테이블에 걸리는 회전토크를 최대한 극소화시켜 안정적인 분할 회전 동작을 수행할 수 있도록 한 인덱스 테이블의 개발이 이루어지고 있다. 인덱스 테이블이란 머시닝 센터에서 B축을 형성하여 가공물을 미세회전 시키면서 전면가공이 가능하도록 해주는 장치로서 부품의 가공, 조립, 이송, 포장, 프레스 작업을 비롯하여 용접, 리벳, 권선, 시험기 등 일괄된 연속 작업을 효과적으로 수행할 수 있도록 회전 테이블이 정확한 분할 각도로 간헐 회전하도록 되어있다. 인덱스 테이블의 핵심부위는 테이블의 반복 회전 분할정도를 좌우하는 커빅 커플링이 있다. 커빅의 경우 항공기 터빈의 연결 장치, 공작기계의 선반, 밀링, 머시닝센터의 가장 핵심이 되는 부분으로써 자동화 분야에서 매우 중요한 구성요소이다. 지금까지 국내에서는 분할정도 12°, 복원정도 7°의 커빅만이 생산되었다. 하지만 정밀 공작기계용으로 거의 사용되지 않았으며, 항공기 터빈용으로는 적용한 전례가 없었다. 일본에서 생산된 커빅의 경우 분할정도 5°, 복원정도 3°로 국내의 커빅에 한참 앞서가는 수준이다. 커빅은 부가가치가 높은 정밀 기계 부품으로 지속적인 공작기계 및 항공기, 자동화 분야에 걸쳐 시장이 형성되어, 국산화 개발이 매우 시급하다. 이에 국내에서는 분할정도 5° 복원정도 1°의 고정도 커빅의 개발이 진행되고 있으며 이를 응용한 분할 정도 오차 ±5° 이내가 가능하며 백레쉬가 없도록 장치한 초정밀형(No Lift) 인덱스 테이블의 개발이 진행되고 있다.

본 연구에서는 인덱스 테이블의 핵심부품인 커빅에 대하여 유한요소 모델링을 구성한 후 정적 구조 안정성 해석을 수행하였으며 해석의 정확성을 확인하기 위해 커빅의 스트레인 측정 실험장치를 고안하였다. 해석과 실제 측정값을 비교함으로써 시뮬레이션의 정확성을 확보하고 이를 바탕으로 실제 360° 분할 커빅의 구조 안정성 해석을 수행한다. 또한 커빅 커플링이 적용된 인덱스 테이블의 동적 안정성 분석을 통해 커빅의 동적 안정성을 확보한다.

2. 커빅의 유한요소 모델링 및 정적 구조 안정성 분석

커빅 커플링 모델을 구성하기 위해 CATIA를 사용하여 커빅의 전체적인 형상을 구성하는데, 특히 커빅의 이부분을 구성하는데 특별한 치형 곡선을 사용하여 치면이 직선 형태가 아니라 곡면으로 구성되어 상부 커빅이 볼록 치형이면 하부 커빅은 오목 치형으로 형성된다. 그 이유는 치면이 직선인 경우보다 곡선일 경우 접촉 면적이 늘어나서 토크력을 전달하는데 유리한 구조로 되어 있다. 이렇게 구성된 형상을 Fig. 1과 같이 ANSYS와 연동하여 유한요소모델을 구축하는 방법으로 각각의 이부분에 Mapped mesh를 사용하였다.

인덱스 테이블의 핵심부품인 2 piece 1도 분할 커빅의 정적 구조 안정성 분석에 앞서 모델링 및 해석의 정확성을 알아보기 위해 기존에 사용되고 있던 다소 간단한 형상의 3 piece 1도 분할 커빅을 모델링하고 스트레인 해석을 실시하였다.

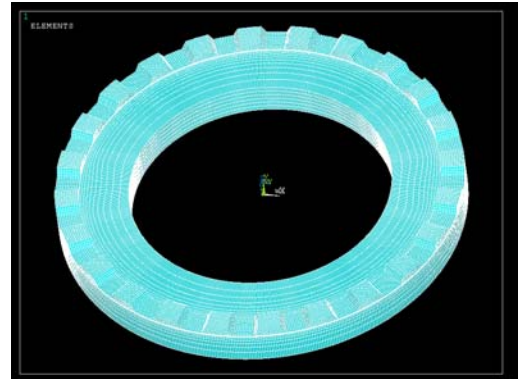


Fig. 1 Finite element model

Fig. 1은 ANSYS 프로그램을 이용하여 2 piece 커빅 커플링의 유한요소모델링을 하였으며 바닥부분을 완전구속으로 설정하고 이가 맞물리는 면의 한쪽 방향으로 면압을 가하여 해석을 실행 하였다. Fig. 2는 스트레인 해석 결과 이뿌리 부분에서 최대 응력이 발생하는 것을 확인할 수 있으며, 그 결과가 이뿌리 부분에 최대 60.8×10^6 의 Strain이 발생함을 알 수 있었다. 그러나 본 연구는 실험 및 이론에 의한 결과의 비교를 통해 구조해석 모델링 방법의 검증을 하기 위한 것이므로 실험에서 Strain을 측정할 부위인 이의 중간 바깥부분 해석 결과에 중점을 가진다. 그 결과 발생한 strain은 12.8×10^6 이다.

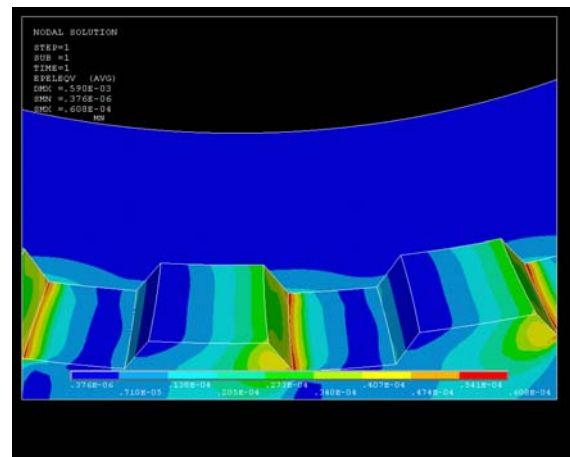


Fig. 2 Strain Analysis of 3 piece curvic

Fig. 4와 같이 Strain 측정을 위한 실험 장치를 직접 구성한 후 Tee Rosette Type 스트레인 게이지를 커빅의 이 부분에 각각 하나씩 부착하여 측정된 데이터 값을 평균하였다. 스트레인 게이지의 수가 많을수록 오차를 줄일 수 있을 것이며, 이와 같은 작업을 10여 차례 반복하여 평균한 값을 구함으로써 13.2×10^6 의 Strain 값을 구하였다. 이는 실험오차를 고려할 때 ANSYS 프로그램의 Strain 값인 13.8×10^6 과 거의 일치함을 알 수 있다. 이를 통해 커빅의 모델링 및 해석의 정확성을 확보하였다고 판단된다.

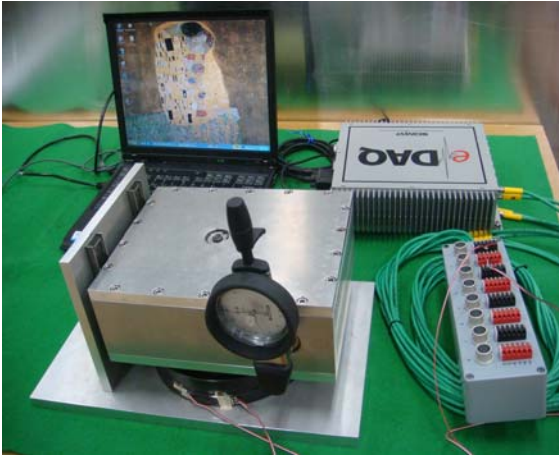


Fig. 3 Strain Measurement Equipment of 3 piece curvic

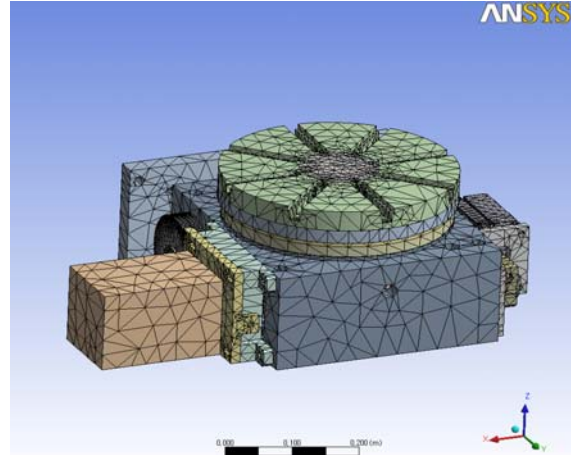


Fig.5 Mode Analysis of Index Table

Table 1 Strain Measurement of 3 piece curvic by Experiment

Torque	10 N·m									
No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Strain (E-6)	9.82	11.93	10.00	14.47	16.18	13.10	16.70	10.87	17.25	11.62

앞서 수행한 3 piece 커빅의 스트레인 해석과 시험결과를 통해 이와 같은 구조해석 모델링방법이 정확성을 확보하였다고 판단하여 이 방식을 이용하여 2 Piece 1도 분할 커빅을 해석하였다.

Fig. 4에서 보는바와 같이 해석 방법은 같으나 1도 분할 커빅에 대해 해석모델 구성 방법의 편의를 위해 커빅을 전체 모델로 구성하지 않고 일부분만 구성한 후 경계조건을 Symmetric으로 구성하였으나 그 결과는 전체 모델의 해석 결과와 동일하다. 결과는 이뿌리 부분에서 최대응력 41.49MPa이 발생하였다. 이는 재료의 항복응력인 250MPa 보다 훨씬 작은 값으로 정적안정성이 확보되었다고 할 수 있다.

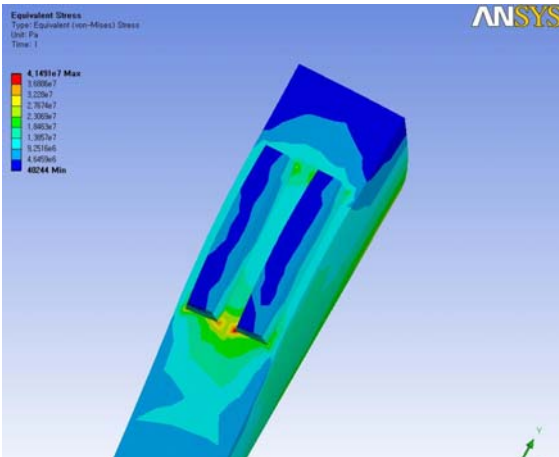


Fig. 4 Strain Analysis of 2 piece curvic

3. 동적 안정성 분석

커빅 커플링을 사용한 인덱스 테이블에 대해서 동적 안정성 분석을 위해 ANSYS Workbench 프로그램을 이용하여 Fig. 5와 같이 유한요소모델을 구축하고 모드해석을 실시하였다. 해석결과 1차 공진영역(1차 모드)은 360Hz 부근으로서 모터 및 구동부의 가진 요소와 공진 영역이 일치하지 않으므로 공진에 의한 동적 안정성은 확보되었다.

4. 결론

인덱스 테이블의 정적 구조 안정성 해석을 위해 커빅의 유한 요소 모델링 방법을 구축 하였으며, 해석 방법의 타당성을 검토하기 위해 실험 장치를 개발하여 커빅의 스트레인 측정 실험을 실시하였다. 그 결과 해석과 실험에서 스트레인 값이 거의 일치함을 확인할 수 있었다. 이 사실을 통해 해석방법의 타당성이 검증되었고 이와 같은 방법으로 360° 분할 2 piece 커빅의 응력해석 방법을 구축하였으며 그 결과 항복응력보다 훨씬 작은 응력이 발생하였으므로 정적안정성이 확보되었다. 또한 인덱스 테이블의 동적 안정성 확보를 위해 모드해석을 실시하여 공진에 의한 커빅 커플링의 동적 안정성을 확보하였다.

후기

본 연구는 산업자원부[RTI04-01-03] 사업지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

1. 신성우, 이춘만, 정원지, 김재실, 이원창, "복합가공기의 구조 안정성에 관한 해석적 연구," 한국 정밀공학회 춘계학술대회 논문집, 455-456, 2006.
2. 이원창, 조명규, 이동혁, 김재실, 안승일, 최현오, "외접형 기어 펌프의 정-동적해석," 한국 정밀공학회 추계학술대회논문집, 261-262, 2006.
3. 홍장표, "기계설계 이론과 실제," 북스힐, 417-455, 2004
4. Singiresu. S. Rao, "Mechanical Vibrations," Addison wesley, 461-492, Third edition.
5. O. C. Zienkiewicz, R.L. Taylor, "The Finite Element Method," McGRAW HILL, 89-98, Fourth edition.