

인덱스 테이블의 기술 추세와 설계에 관한 고찰



김재실

창원대학교
메카트로닉스공학부
kimcs@changwon.ac.kr



최지환

창원대학교
기계공학과 대학원
jh1244@changwon.ac.kr



김재웅

(주) 대광평

nk0855@hanmail.net

1. 서론

최근 공작기계 분야는 한 대의 기계로 여러 공정의 부품을 기계 한 대에서 완성하려는 소위 복합기계가 다양하게 개발되어지고 있다. 범용기계는 X, Y, Z 3축을 중심으로 가공되도록 되어 있으나 3축으로 면절삭, 나사, 구멍가공 등 기초적인 가공 공정 처리 밖에 할 수 없다. 이러한 이유로 공작기계 개발 방향은 다기능화 복합화로 가게 되었고 1대의 기계로 복수공정을 처리 하므로 여러대의 기계가 필요하지 않아 공간절약과 생산성 향상이 주요한 메리트가 되고 있다. 또한 한때는 4축, 5축 내지는 7축까지 축을 늘려 나가면서 공작기계를 개발해 나간 적도 있으나 다축기계의 경우 그 구성자체가 매우 복잡하고, 커지고, 공간이 협소해 지며, 또한 제어가 복잡하여 운전하기 매우 어려워 값비싼 공작기계를 구입해 놓고 그 기능의 절반 정도밖에

에 활용하지 못하는 경우가 대단히 많았다. 다른 한편으로는 각 공작기계가 가지고 있는 고유 기능 외 한 두 가지 합한복합가공기의 출시도 유행처럼 쏟아져 나오고 있으나 몇 기종 외에는 아직까지 크게 보편화 되지 않고 연구단계에 있는 것으로 알려지고 있다. 예를 들어 선반에 밀링기능을 추가하거나, 선반에 연삭기능을 추가 또는 선반에 레이저 가공기를 추가하는 경우도 있다. 그러나 이러한 고급 기능이 추가되면 범용성이 떨어져 가공물의 종류가 제한되어 오히려 불편한 점이 발생해 고가의 장비로서 충분히 그 역할을 못하는 경우도 있다. 따라서 여기에서는 정밀한 기어가공, 스플라인 가공, 스파이럴 스크류, 임펠러, 캠 등 매우 고부가가치 부품을 개발하기 위한 밀링 또는 머시닝 센터 등에 1가지의 기능만 추가하여 손쉽게 가공할 수 있는 초정밀 인덱스 테이블에 대한 현재까지의 국내외 개발현황과 인덱스 테이블의 설계 시 고려하여야 할 조립/간

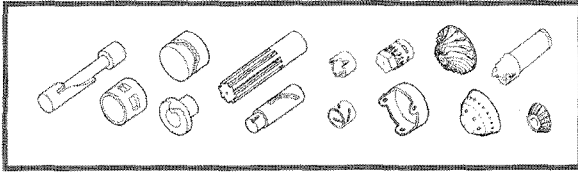


그림 1. 여러 가지 가공 예

섬 분석 및 커빅커플링의 안정성 분석에 대한 내용을 기술하고자 한다.

2. 인덱스 테이블의 국내·외 기술 현황

2.1 일본의 기술현황

일본의 경우 고정도 CNC 인덱스 테이블을 개발하여 상품화 했으며, 인덱스 테이블의 구동형식은 웜기어 방식과 커빅 커플링 방식을 상품화 하고 있다.

니켄에서 상품화한 웜기어 방식은 분할정도(indexing accuracy)가 20초이며, 공작기계와의 동기화 축을 포함한 3축 경사형 인덱스 테이블을 개발하였다. 오쿠보 기계는 3개의 커빅 커플링을 사용하여 분할정도 ± 5 초인 고정도의 인덱스 테이블을 개발하여 상품화에 성공하였으며 일부 업체에서는 캠형식을 이용한 인덱스 테이블도 연구하고 있다.

2.2 유럽의 기술현황

프랑스의 SMP사는 웜기어 방식을 채용한 분할정도 12초인 고정도 인덱스 테이블을 개발하고 있으며 개발된 제품을 와이어 컷, 다이 싱킹머신 및 블레이드 가공기에 적용하여 상품화하고 있다. EUROMA는 고정도 커빅 커플링을 이용하여 정밀도가 우수한 HIRTH GEAR 커플링을 사용한 ± 5 초(120등분) 인덱스 테이블을 개발하였다. 독일의 Servopress는 내마모성 정밀도가 우수한 볼커플링을 이용하여 분할정도 5초의 고정도 인덱스 테이블을 개발하였다. 영국의 Cybernetic은 3차원 가공을 위한 고정도 인덱스 테이블을 개발하여 연삭기, 레이저 가공기, 측정시스

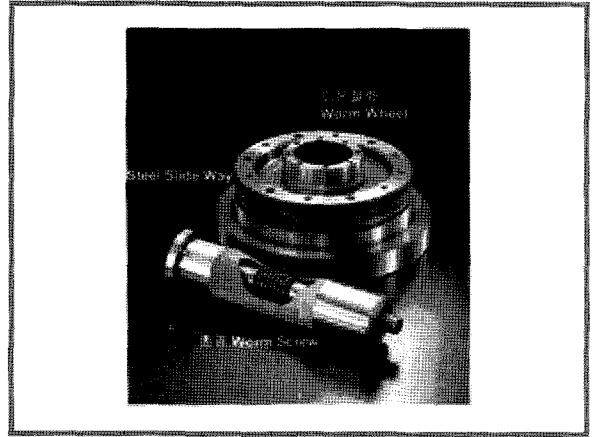


그림 2. 웜기어방식 인덱스 테이블

템 및 신속 가공시스템에 적용하여 헬리콥터 블레이드 및 자유곡면 가공을 실현하고 있다.

2.3 국내의 기술현황

국내 인덱스 테이블의 기술수준은 대부분 웜기어 또는 베벨기어 등을 조합하여 만든 것이 95%이고 나머지 5%정도가 서보모터와 센서를 이용한 피드백 장치를 이용한 것이다. 이러한 장치의 문제점은 인덱스 분할 정밀도가 5 ~ 30초 정도로 매우 크므로 정밀한 가공이 불가능하다. 또한 국내의 CNC 인덱스 테이블의 핵심 부품인 웜기어의 설계, 제조기술 부족으로 분할 정도가 20초 미만인 고정도의 인덱스 테이블을 상품화 하지 못하고 있으며 대부분을 국외에서 수입하여 사용하고 있는 실정이다. 이러한 현상은 공작기계용 인덱스 테이블이외의 전용기에 사용되는 경우도 전량 국외에서 수입하여 사용하고 있어 제품의 상당부분을 외국에 넘겨주고 있는 실정이다. 또한 일부 업체에서 고정도 CNC 인덱스 테이블을 개발하기 위해서 연구소와 공동연구를 수행했으나 인덱스 테이블의 핵심부품인 웜기어의 제조기술 부족과 기업의 연구자금 부족으로 인해서 상품화에 실패한 사례가 있다. 최근 국내 중소기업이 일본의 전문가와 개발협력을 통해서 노 백래시 & 노 리프트구조의 인덱스 테이블의 개발에 성공하였다.

3. 초정밀 인덱스 테이블의 설계 고찰

초정밀 인덱스가 가능하도록 하기 위해서는 종전의 워 기어형태로는 백래시 때문에 아무리 서보모터의 제어를 통해서라도 30초정도의 분할 오차밖에 달성하지 못한다. 따라서 이러한 문제점을 해결하기 위해서는 워기어가 아닌 배럴캠 곡선에 테이퍼 롤러의 테이퍼 부위가 공차 없이

밀착되어야 하며 그러기 위해서는 얇은 금속을 심을 테이퍼 롤러 세팅부에 넣어 높이조절이 가능하도록 해야 한다. 만약 처음 조절 후 일정한 시점이 지난 후 마모로 인하여 백래시가 발생하면 다시 얇은 심프렛을 넣어 조정한다. 또한 테이블은 회전만 하고 상하 Lifting을 하지 않도록 함으로써 가공물이 움직이거나 위치 변경시 흔들림이 생기지 않아야 한다. 이러한 장치는 캠과 요크의 상하 움직임

Table 1 인덱스 테이블 개발 현황

회전형 분할 테이블의 종류		국내 개발 현황			국외 개발 현황			서울대
구분	구성방식사례	대우 중공업		신강 엔지니어링	일본 NIKKEN	프랑스 SMP	독일 Fisher Brodback	
		수평형 머시닝 센터 B축 테이블	NC선반 PUMA 10터렛형 ATC	저가형 분할 테이블	회전형 분할 테이블	회전형 분할 테이블	초정밀 분할 테이블	
설치 형태	벌치식			○	○	○	○	○
	공작기계내장식 (built-in-type)	○	○					
최종분할 정밀도 결정기구	커빅 커플링식 (curvic coupling)	○	○	○			○	
	서보 위치 제어	○			○	○		○
분할운동 창출기구	유공압 실린더 + 랙 및 피니언 기어			유압		공압		
	AC모터 + 제네바 휠 기구							
	유압모터 + 피니언 기어 + 캠 벨브		○					
	서보모터 워 기어 (worm gear)	○			○	○		○
	직접구동 (direct gear)							
최소분할 지령치	1°, 5°, 30°, 45°, 90°		30°	90°			60°	
	0.001	○			○	○		○
	0.001미만							
분할 정밀도	±40초 이내							
	±20초 이내	○	○	○	○	○		○
	±2초 이내						○	
클램핑 기구	유압직선형 실린더	○	○	○				
	공압 직선형 실린더				○		○	
	유압 원주형 실린더					○		○

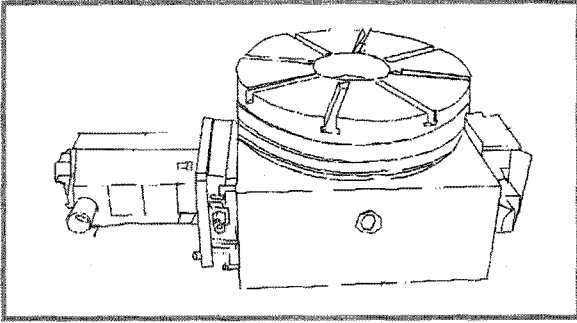


그림 3. 인덱스 테이블 개략도

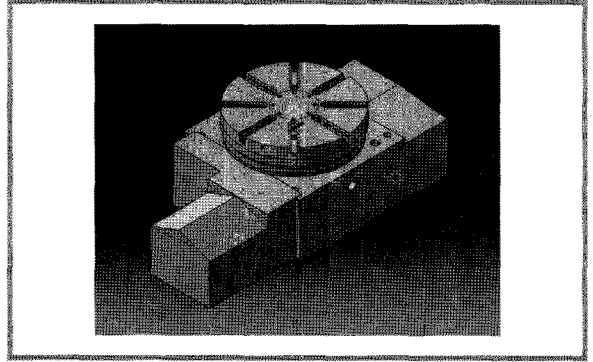


그림 5. 인덱스 테이블 3차원 모델

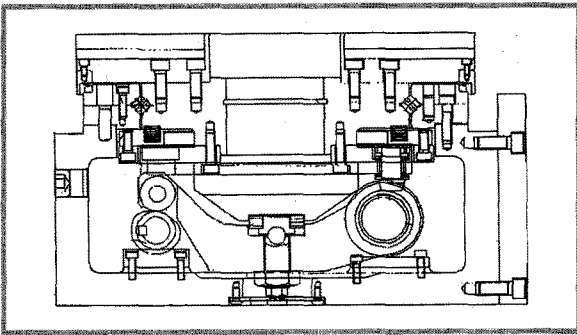


그림 4. 인덱스 테이블의 내부 단면도

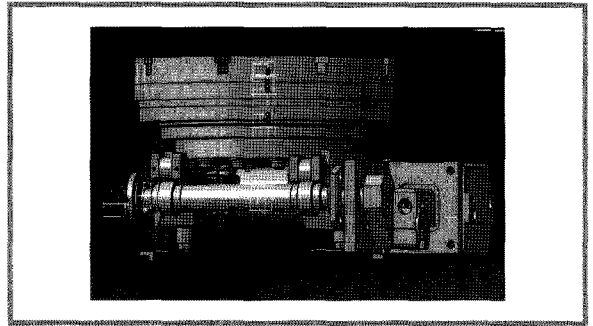


그림 6. 인덱스 테이블의 내부

에 의한 스프링의 팽창 축소되는 힘에 의해 커빅 커플링이 이완 합치 동작이 이루어지도록 함으로써 가능하며 여기서 커빅 커플링의 치면정도와 캠의 상하 사정의 정밀 운동이 매우 중요하고 커빅 커플링의 치합이 견고하게 물린 상태로 고정되어야 한다. 따라서 초정밀 인덱스 테이블을 설계 시에는 이러한 조건들을 고려해야 한다.

초정밀 인덱스 테이블은 베럴캠과 테이퍼 롤러와의 정밀 곡선과 접촉정도를 정밀가공 및 극미세 심플랫으로 간극을 조정하여 백래시 문제를 해결하였고 테이블 회전정도 시험을 실시해야하고 스프링 장력과 어드밴스 캠의 곡선과 동기제어를 통해서 리프트에 대한 문제를 해결하여 동작 테스트를 실시해야 한다. 또한 커빅 커플링의 정확한 물림을 확인하기 위하여 커빅 커플링의 분할정도 치합 정확도 시험을 통해서 커빅 치형의 정밀도 유지를 확인해야 한다.

초정밀 인덱스 테이블의 설계시 실제 제품을 제작하기

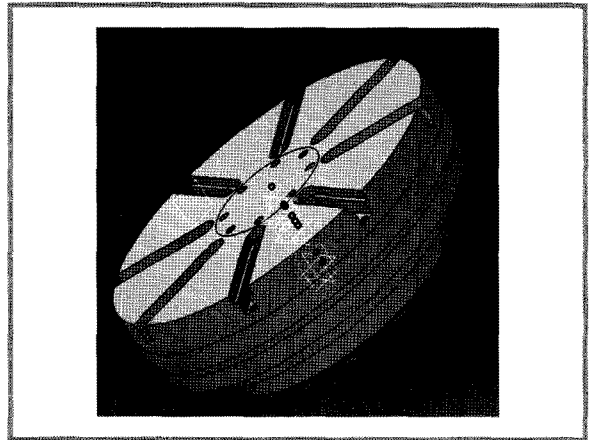


그림 7. Table 및 커빅 커플링

전 그림 5와 같이 CATIA를 통해 3D모델링을 구축하여 각 부품간의 간섭 및 조립 가능성을 확인 후 원활한 구동성을 확보하여야 한다.

커빅 커플링은 NC공작기계의 분할 위치결정기구의 중요한 부품이다 또한 Concave Teeth(오목치)와 Convex Teeth(볼록치)의 전치면 접촉을 통해서 고강성, 고정밀도, 고하중의 전달이 이루어진다. 실제 사용되는 인덱스 테이블의 커빅 커플링의 구조 안정성 확보를 위하여 CATIA를 통해서 커빅 커플링의 상·하부가 맞물린 상태를 모델링하였고 치면을 직선 형태가 아닌 곡면으로 구성하였으며 이는 치면이 직선인 경우보다 곡선을 경우 접촉면적이 늘어나서 토크력을 전달하는데 유리한 구조이기 때문이다.

그림 8과 같이 커빅커플링의 CATIA 3차원 모델을 상용 해석 툴인 ANSYS로 불러 들여 그림 10과 같이 커빅커플링에 대한 구조 해석을 실시한다. 이 구조해석 결과의 정확성은 반드시 확보되어야한다. 따라서 그림 11과 같이 스

트레인 측정 장치를 개발하고 해석결과와 측정결과를 비교함으로써 이를 달성하고자 한다. 그림 12는 커빅커플링 스트레인 측정 및 데이터 획득 시스템을 나타내고 있다.

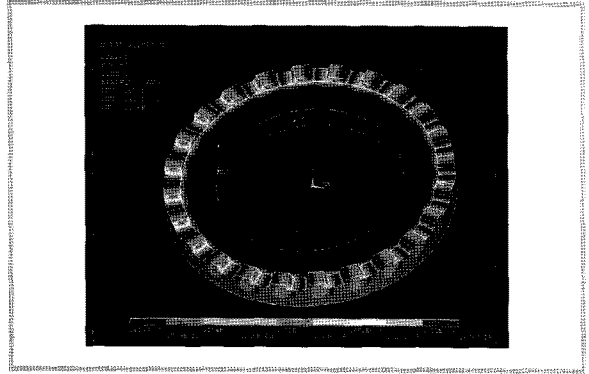


그림 10. 구조해석 결과

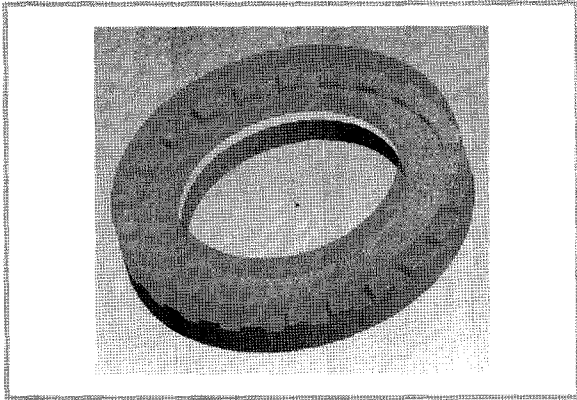


그림 8. 커빅 커플링 모델링

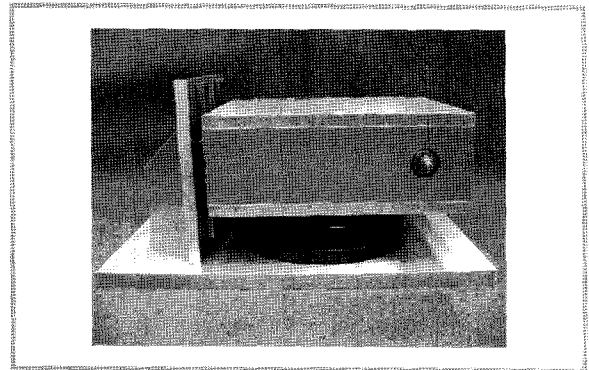


그림 11. 스트레인 측정장치



그림 9. 실제 커빅 커플링



그림 12. 스트레인 측정 및 데이터 획득장치

Table 2 스트레인 측정결과

torque	10(Nm)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
micro strain	9,82	11,93	10,00	14,47	16,18	13,10	16,70	10,87	17,25	11,65

그림 10에서와 같이 구조해석 결과 이의 중간부분에서는 13.8×10^{-6} strain이 발생하였다. 그리고 커빅의 구조해석 결과와 같은 이 중간 부분에 스트레인 게이지를 각각 하나씩 두 개를 부착하여 측정된 데이터를 평균한 결과 13.2×10^{-6} strain이었다. 따라서 커빅의 모델링 및 해석에 대한 정확성을 확보하였다.

시험과 해석을 토대로 (주)대광평에서 개발된 실제 인덱스 테이블에 사용되는 360개의 커빅을 해석하였다. 1도 분할 커빅에 대해 해석모델 구성방법은 편의를 위해 커빅을 전체 모델로 구성하지 않고 일부분만 구성한 후 경계조건을 Symmetric으로 구성하였으며 그 결과는 전체모델의 해석결과와 동일하다. 해석결과 최대 응력은 이뿌리부분에서 발생하였고 그 값은 41.49MPa로써 재료의 항복강도인 250MPa보다 작으므로 구조 안정성을 확보하였다.

4. 결 론

최근 인덱스 테이블의 개발 추세는 초정밀 분할정도에 초점이 맞추어져있으며 종전의 워기어 방식은 백래시로 인해서 베렘캠 등을 이용하여 개발되어지고 있다. 이러한 초정밀 인덱스 테이블의 개발을 위해서는 3차원 모델링을 통한 각 부품간의 간섭을 확인하고 인덱스 테이블의 분할 위치결정기구의 중요부품인 커빅 커플링에 대한 구조안정성을 확보하여야 한다.

그러므로 CATIA를 이용한 3차원 모델링을 구축하여 각 부품을 미리 조립함으로써 부품간의 간섭을 체크하였고 ANSYS를 이용한 커빅 커플링의 구조해석을 실시하고 스트레인 측정과 비교함으로써 그 결과의 대한 정확성을 확보한 후 이를 통해서 실제 인덱스 테이블에 사용되는 커빅 커플링에 대한 구조 안정성을 확보하여 이를 설계에 반영한다.

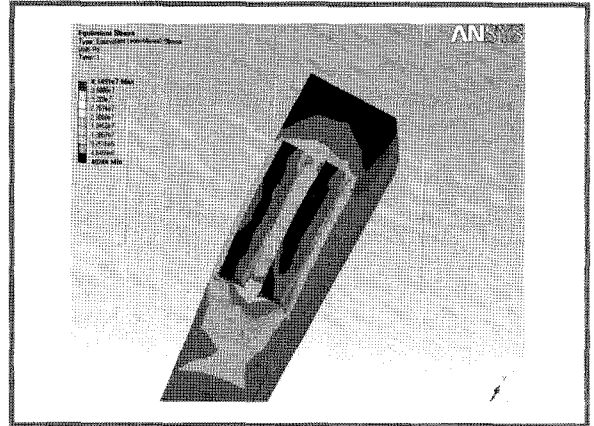


그림 13. 응력해석결과

참 고 문 헌

- (1) Saeed Moaveni, "Finite Element Analysis Theory and Application with ANSYS" Prentice Hall, pp. 583-603
- (2) J.K.Lee, Y.J. Hwang and H.J.Kim "CATIA V5 Foundation and application", Sciencebook, pp. 348-390
- (3) 이문재, 정재원, 이춘만, 이태호, 2009, "틸팅 로타리 인덱스 테이블 구조해석에 관한 연구", 한국정밀공학회 춘계학술대회, pp. 217-218
- (4) (주) 성림 부성 기술연구소, 2000, "고정도 CNC인덱스 테이블 개발", 과학기술부
- (5) (주) 대광평 개발부, 2009, "No-Lift And No-Backlash 의 정밀 인덱스 테이블 개발", 지식경제부