

틸팅 인덱스 테이블의 열해석에 관한 기초연구

A Study on Thermal Analysis Of Tilting Index Table

*김재현¹, 이문제¹, #이춘만¹

*J. H. Kim¹, M. J. Lee¹, #C. M. Lee (cmlee@changwon.ac.kr)¹

¹ 창원대학교 기계설계공학과

Key words : Tilting Index Table, Thermal Analysis, Thermal Distribution

1. 서론

머시닝 센터는 공작기계 중에서 부가가치가 높은 절삭 전용자비로서 선반과는 달리 공구가 회전을 하면서 금속을 제거하는 기능을 가지고 있으며 삼차원 비대칭 가공을 만들어 낼 수 있기 때문에 정밀기계산업에서 사용도가 가장 많은 장비이고, 미세한 홈이나 고정밀 자유 곡면을 만들어 낼 수도 있으므로 IT부품이나 첨단 부품가공에 많이 사용되고 있다.

이러한 머시닝 센터의 구성 핵심 유닛 중에는 모터내장형 주축, 초고속 이송계와 구조물, 틸팅인덱스 테이블로 구성되어 있다.

틸팅인덱스테이블은 2차원, 3차원 CNC공작기계에 설치하여 회전축과 경사축을 부가시킴으로써 가공의 효율을 향상시키고, 비대칭형상이나 복잡한 3차원 형상을 가공할 수 있는 정밀기계장치로서 CNC머시닝센터의 기능 및 성능향상을 위한 핵심UNIT이다. 기존에 3차원 형상이나 터어빈 블레이드와 같은 제품을 가공하기 위해서는 4축 또는 5축 공작기계가 필요하며, 이러한 공작기계를 사용할 경우 고가의 비용이 요구되기 때문에 제품 생산비용이 높아져 경쟁력이 없으므로, 고정도 틸팅 인덱스 테이블을 부착함으로써 저가로 고정도의제품 가공을 실현할 수 있는 잇점이 있다. 이러한 고정도, 고기능 틸팅 인덱스테이블의 개발은 일반 공작기계에서 채택하고 있는 고정도 워엄기어, 하모닉 드라이브와 같은 감속기에 의해 고토크를 얻는 방식으로 진행되고 있으나 최근에는 DD(Direct Drive)모터 즉 부하직결형 모터방식을 적용한 틸팅인덱스 테이블이 실용화되고 있다.

이러한 틸팅인덱스테이블의 성능을 좌우하는 정확한 정도 향상을 위해서는 공작물의 가공정도에 큰 영향을 미치는 열 변형을 감소시키기 위해 틸팅인덱스테이블의 열특성을 정확히 예측하는 것이 중요하고 또한 구조 설계에서의 구조, 열변형의 원인 분석과 열에 의한 냉각방법이 중요하다.

따라서 틸팅인덱스테이블에서 고정도, 고기능, 고토크 틸팅인덱스테이블을 개발 및 적용을 위해서는 틸팅인덱스테이블에서 발생하는 발열을 파악하고 그에 따른 전체 시스템의 열영향을 분석하여 틸팅인덱스 테이블의 열해석을 수행하였다.

본 연구에서는 A축과 C축의 2축이 추가된 틸팅인덱스 테이블에 각각 100rpm, 250rpm의 최고 회전능력을 갖는 DD모터를 고려하여 틸팅인덱스테이블의 발열에 의한 온도 변화 및 열변형을 이론적으로 해석하였다.

2. 틸팅인덱스 테이블의 구조

틸팅인덱스테이블의 구조는 크게 A축부와 C축 인덱스 바디를 지지하는 스톱테일부, 플레이트부의 네 파트로 볼 수 있다.

Fig. 1는 DD모터를 적용한 틸팅인덱스 테이블의 구성도를 나타낸다. CATIA V5 R17을 사용하여 3차원 모델링을 하였으며, A축의 DD모터는 100rpm의 최고회전능력을 가지며 C축의 DD모터는 250rpm의 최고회전능력을 가진다. DD모터는 A축, C축에 장착되어있으며 각 모터는 제조사의 도면을 참조하여 로터와 스테이터부로 모델링하였다.

Table 1은 틸팅인덱스테이블의 열해석을 위한 재료들의 물성치를 나타낸다.

유한요소해석시에 각 파트부에 해당하는 물성치를 부여하였다.

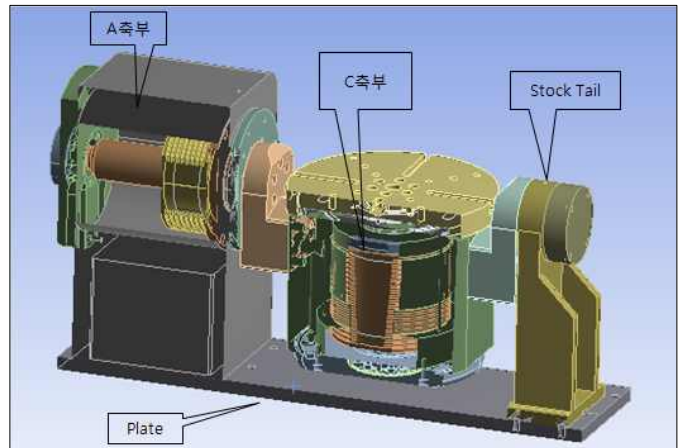


Fig. 1 Model of Tilting Index Table

Table 1 Data of Tilting Index Table's Materials

	SB41P	SM45C	GC25	AL
Thermal Conductivity (W/m ² °C)	60.5	51.9	64.1	210

3. 틸팅인덱스 테이블의 열해석

유한요소해석을 위한 모델링은 Fig. 2에 나타내었다. 유한요소 모델링은 ANSYS 12.0을 이용하였다. Mesh Method는 Hex Dominant를 사용하였으며, 전체요소수는 100,616개이며 절점수는 294,046개이다. 해석에 사용된 DD모터는 크게 로터와 스테이터부로 모델링하였으며 냉각부, 부품과 부품의 조립 부분을 생략하거나 간략화하였다.

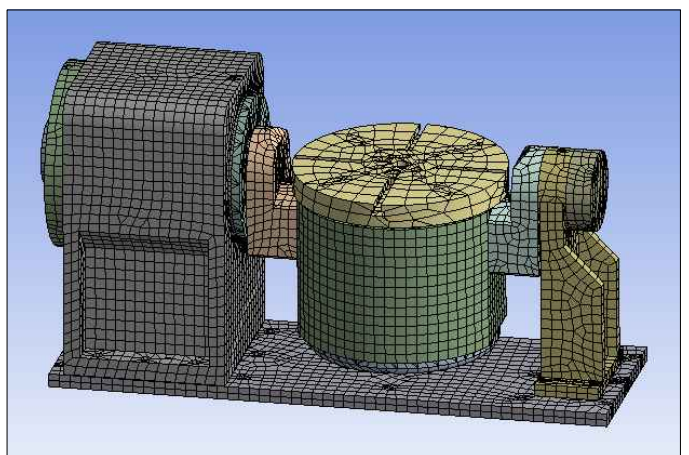


Fig. 2 Finite element modeling of Tilting Index Table

해석을 위한 가정으로 열해석에 필요한 모든 물성치는 온도 변화에 관계없이 항상 일정한 값을 갖고 있다고 간주하였으며, 복사열에 의한 영향은 무시하였다.

또한 재질의 연결부위에서의 열접촉저항은 고려하지 않았으므로 열은 전 표면에서 고르게 전달된다고 간주하였다.

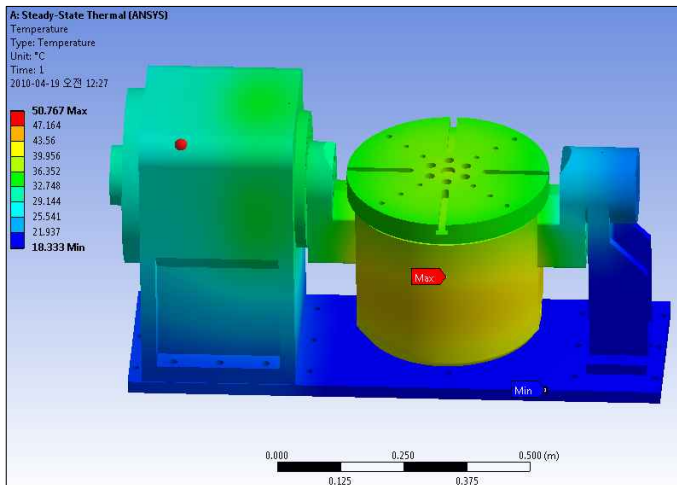
DD모터를 적용한 틸팅인덱스테이블의 열원은 크게 A축의 DD모터와 C축의 DD모터이다. DD모터의 회전자와 고정자 사이는 공기의 열전달 특성에 의해서 열유동이 일어나며, 반경 방향 공기 간극과 접하는 고정자와 회전자의 단면에 열유동 경계조건을 부여하였다. 초기조건으로 18℃의 온도를 부여하였고, 공기에 노출되어 있는 틸팅인덱스테이블의 외부면에는 격한 공기 유동이 없으므로 열전달형식은 자연대류인 것으로 고려하였다. DD모터의 발열은 제작사에서 제공하는 발열 데이터를 참고하여 적용하였다.

Table 2는 A축 DD모터와 C축 DD모터의 로터, 스테이터부의 최고 회전능력에 대한 발열량을 나타낸다.

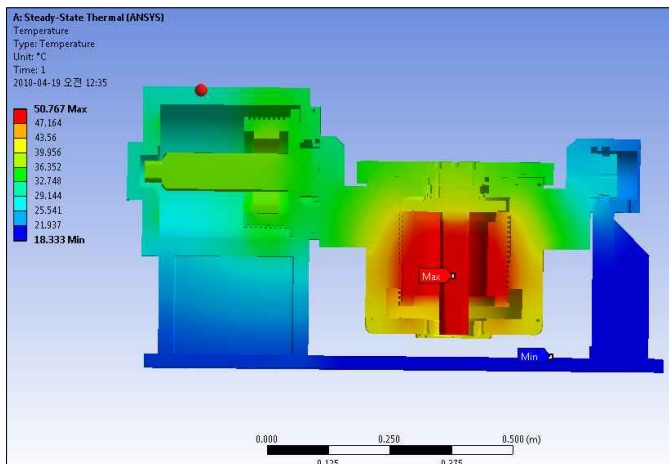
Item	Rotor	Stator
A-axis DD Motor	1460W	730W
C-axis DD Motor	3246W	1623W

유한요소해석 결과 A축 100rpm, C축 250rpm의 DD모터가 적용된 틸팅인덱스테이블의 열해석은 C축의 로터부에서 50.76℃로 가장 큰 온도 분포가 나타났으며 플레이트의 바닥면에서 18.333℃의 가장 작은 온도 분포가 나타났다.

아래 Fig. 3은 유한요소해석 결과 틸팅인덱스테이블의 온도분포를 나타낸다.



(a)



(b)

Fig. 3 The result of Thermal Analysis whole view(a) and section view(b) for Tilting Index Table

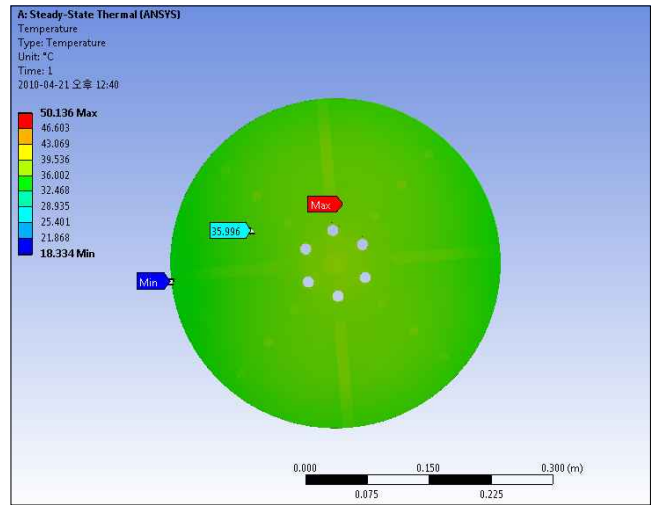


Fig.4 Thermal Distribution of Table

Fig. 4는 A축과 C축 모터의 최대회전 능력시에 테이블에 전도되는 열의 분포를 나타낸다.

틸팅인덱스테이블의 열해석에 따른 변위를 알아보기 위해 열-구조 연성해석을 실시하여 변위가 어떻게 나타나는지 알아보았다. 경계조건으로는 틸팅인덱스테이블의 바닥면을 고정시켰으며 하중조건으로 중력조건을 부여하였다.

열-구조 연성해석의 결과시 열해석에 따른 변위는 비교적 스톱테일부의 상단 지지부에서 가장 높게 나왔으며 플레이트에서 우측 부분에서 변위가 나타나지 않았다.

4. 결론

본 논문에서는 DD모터가 적용하여 틸팅 인덱스 테이블의 열해석에 대하여 ANSYS Workbench를 이용하여 유한요소모델을 구축하였고 A축 100rpm, C축 250rpm의 최대 회전 능력을 가지는 DD모터를 열원으로 고려하여 열-구조연성해석을 통하여 모터의 발열에 따른 틸팅인덱스테이블의 전체구조물에 열영향을 살펴보았다. DD모터를 적용한 틸팅인덱스테이블의 열해석은 모터의 발열에 의한 테이블 표면 뿐만 아니라, 전체 구조물에 영향을 받음을 확인하였고 틸팅인덱스테이블의 설계시에도 열에 대한 영향을 충분히 검토해야한다고 판단된다.

후기

본 연구는 지식경제부 지역전략기획 기술개발사업 지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

1. M. J. Lee, J. W. Jung, C. M. Lee, 2009, "A Study on Structural Analysis of Tilting Rotary Index Table," KSPE Spring Conference
2. H. Z. Choi, I. Y. Chung, E. G. Kang, S. W. Lee, "A study on thermal and driving characteristics of linear motor for high speed machining tools", KSPE Autumn conference, pp. 414~419
3. D. B. Choi, H. D. Kwon, S. T. Kim, C. Y. Kim, 2008, " An Analysis on the Thermal Characteristics of a High Speed Motor Spindle with Oil-Air Lubrication according to the Cooling Oil Flow and Viscosity, KSMTE Autumn Conference, pp.251~256
4. D. B. Choi, S. T. Kim, S. H. Jung, J. H. Kim, Y. K. Kim, 2005, "Thermal characteristics of the high frequency motor spindle according to the bearing preload and cooling conditions", Tran. of KSMTE Vol. 14 No. 6, pp.31~36
5. S. I. Kim, K. T. Kim, "Thermal Characteristics Analysis of a High-Speed Motor-Separated Spindle System Using Oil-Jet Lubrication Method", Tran of KSMTE Vol. 13 No. 1, pp. 69~75