

◆ 특집 ◆ 직선·회전모터 구동 이송·회전체 연구 VI

주축 전면부 칩 제거를 위한 압축공기 구멍 설계에 관한 연구

A Study on the Design of Compression Air Hole in Front of Spindle for Chip Removal

강동위¹, 이춘만^{1,✉}
Dong Wi Kang¹ and Choon Man Lee^{1,✉}

¹ 창원대학교 기계설계공학과 (Department of Mechanical Design & Manufacturing Engineering, Changwon National Univ.)
✉ Corresponding author: cmlee@changwon.ac.kr, Tel: +82-55-213-3622

Manuscript received: 2013.1.2 / Accepted: 2013.1.10

While Built-in Spindle is working in machining center, the tool is changed by ATC(Automatic Tool Changer) automatically. However, impurities could be stacked in front of spindle because of chips formation while machining, and positional error between spindle and tool could be generated. Compressed air holes are necessary for removal of the impurities. But, the diameter and number of compressed air hole are different for each built-in spindle in market. In this paper, flow analysis is carried out to find out the efficient figuration of the compressed air hole by using velocity and pressure distributions.

Key Words: Built-in Spindle (모터내장형 주축), Impurity (불순물), Flow Analysis (유동해석)

1. 서론

최근 가공품의 품질과 생산성의 향상을 위해 신뢰성을 가진 공작기계의 요구가 증가 함에 따라 공작기계 내의 가공과 직결되는 부품들의 다양한 기술 개발 연구가 활발히 진행되고 있다. 특히 가공과 직결되며 공작기계의 성능을 결정하게 되는 주축에 관한 연구가 주를 이루고 있다.¹⁻⁴

일반적인 가공기에서 모터내장형 주축(Built-in spindle)의 공구를 자동으로 교체하기 위해선 ATC(Automatic Tool Changer)가 사용된다. ATC의 제작시에는 주축의 홀더(Holder) 부분과 ATC의 공구가 서로 간섭이 없이 최소 오차를 가지도록 제작하게 된다. 하지만 장시간 사용하다 보면 오차가 미세하게 증가하게 된다. 이 과정에서 주축의 공구가 장착되는 부분에 공구나 주축에서 떨어지는 미세

조각들이 발생할 수 있다. 뿐만 아니라 소재가 가공되면서 발생하는 칩(Chip)들 또한 발생하게 된다. 이런 미세 조각과 칩들은 주축이 공구를 정확하게 고정하지 못하게 하여 공구 교체 시 주축에서 공구가 분리될 수 있다. 또한 이물질들이 주축 내부로 유입되면서 주축의 고장을 유발할 수도 있다. 따라서 주축을 설계하는 과정에서 공구와 주축이 결합하는 부분에 압축 공기가 나오게 하여 공구가 교체될 때 마다 공기의 힘으로 이물질들을 제거 하게 한다. 위와 같은 이유로 주축을 설계할 때 공기구멍의 직경을 조절하거나 공기구멍의 개수를 조절 하여 설계할 수 있다. 효율적이지 못한 설계는 바로 생산성과 직결되는 문제를 발생시키므로 이것은 주축 설계 과정에서 중요한 부분을 차지 한다.

본 연구에서는 현재 시판되어 있는 각기 다른 형태와 공기구멍의 직경을 가진 주축을 참고하여

4 가지 경우로 나누어 각 경우에 대한 3 차원 유동 해석을 시행하였다. 유동 해석에 의해 속도 분포와 압력 분포를 구하여 각 경우의 조건들이 압축 공기의 흐름에 미치는 영향에 대한 분석과 연구를 수행 하였다.

2. 실험장치

Fig. 1 에서는 주축의 전체적인 형상을 보여준다. 모터 내장형 주축의 모터에 의해 베어링의 지지를 받으며 실제로 회전하는 부분이기도 하다. 공구를 교체하기 위해 주축의 회전이 멈추게 되면 ATC 에 의해 공구가 분리 된다. 이때 주축 전면부의 공기구멍에서 압축공기를 분사 시켜 이전 공구에서 발생되었던 칩과 같은 이물질들을 제거 하는 원리이다. Fig. 2 는 주축 측면의 형상을 나타낸다. 분사되는 압축공기의 방향을 보여주며 외부 공기구멍과 내부 공기구멍으로 이루어짐을 알 수 있다. 실제로 시중에 사용되고 있는 주축의 공기구멍의 직경과 형태는 제조사 마다 상이하다. 본 연구에서는 주축의 공기구멍 형상과 직경을 변화 시켜 분석하고자 한다.

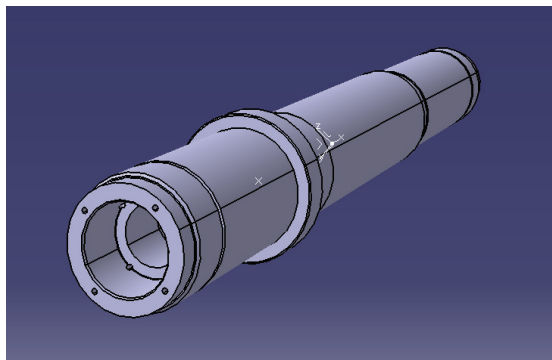


Fig. 1 Overall shape of a spindle

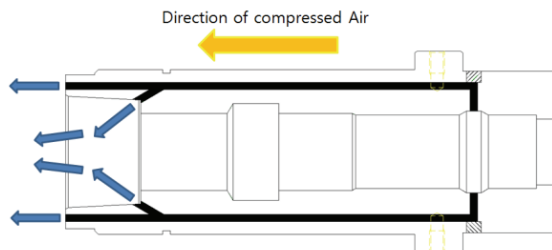


Fig. 2 Flow direction of compressed air in the spindle

3. 모델링 및 유동해석

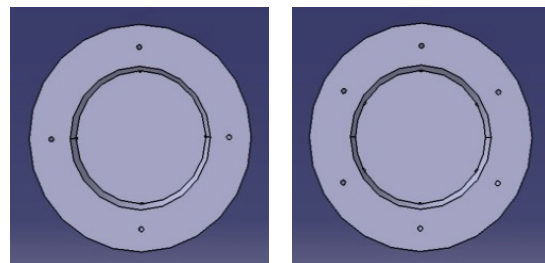
3.1 모델링

Table 1 에서는 시중에 유통되고 있는 주축의 공기구멍의 형태를 참고하여 모델링 조건 (Modeling condition)을 4 가지로 분류한 것을 나타낸다. 경우 별로 직경 및 형태를 변화 시켜 분류 하였다.

대표적인 3-D Modeling tool 인 CATIA v5 r18 을 이용하여 앞에서 분류한 4 가지의 주축을 모델링 (Modeling) 하였다. 모델링 시 유동해석에 영향을 미치지 않는 외부의 형상은 간단하게 처리하였거나 생략하였다.⁵ 각 경우 별로 제작된 모델(Model)의 형상은 Fig. 3 와 같다.

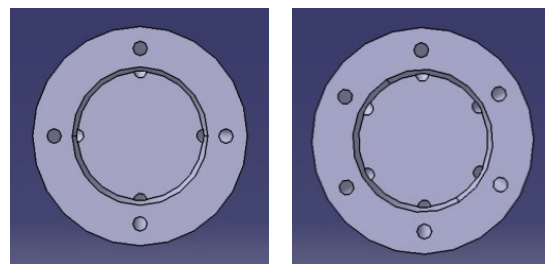
Table 1 Modeling conditions

Analysis case	Diameter of air hole (mm)	The number of outer and inner air hole
Case 1	1	4
Case 2	1	6
Case 3	3	4
Case 4	3	6



(a) Case 1

(b) Case 2



(c) Case 3

(d) Case 4

Fig. 3 Front view of the spindle for 4 cases of analysis model

3.2 격자(Mesh)형성

격자는 ANSYS v13 WORKBENCH 를 이용하여 형성하였다. 격자 형성 전에 주축의 외부 면과 같이 유동해석 결과 값에 영향을 미치지 않는 부분을 제거 하여 압축공기가 통하는 통로와 주축의 압축공기가 분출되는 부분만을 남겨 놓았다. 수정된 주축의 최종형상은 Fig. 4 와 같다. 압축공기가 분출되는 부분은 대기압 조건이며 일반 공기의 조건과 같다. 이러한 조건을 만족시키기 위해 Fig. 5 와 같이 주축 전체크기의 약 500 배인 높이 400 mm, 폭 400 mm, 길이 700 mm 의 직육면체를 만들어 내부에 대기압조건을 부여한 전체 격자를 생성하였다.⁵ 그리고 유체와 주축의 접하는 부분 및 벽면 부에는 Prism mesh 를 생성하여 실제 유동운동과 최대한 가깝게 해석되도록 하였다.⁶ 각 경우 별로 생성한 격자에 대한 정보는 Table 2 와 같다.⁷

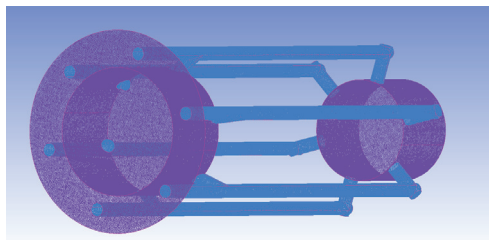


Fig. 4 Computational mesh for the spindle part

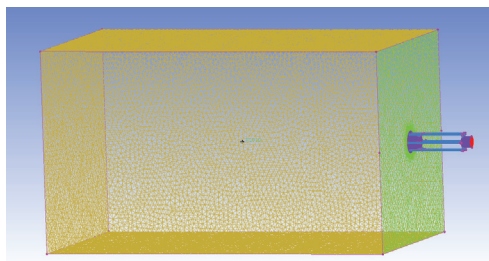


Fig. 5 Entire computational mesh

Table 2 Information of computational mesh

Analysis case	The number of nodes	The number of elements
Case 1	974,111	3,271,935
Case 2	1,069,818	3,517,182
Case 3	1,343,381	4,139,844
Case 4	1,424,338	4,217,068

3.3 경계조건

Fig. 6 와 같이 주축의 경계조건은 4 개의 경우 모두 공기가 흐르는 관의 직경과 형상만 다를 뿐 입력과 출구 단의 크기는 같으므로, 주축 후면 공기 입력단에는 압력조건을 사용하여 5 Bar 의 압력을 가했으며, 주축 전면 공기 출구단 또한 압력조건을 사용하여 대기압 조건을 부여하였다. 작동 유체로는 실온 상의 일반적인 공기를 선택하였으며 중력을 고려하였다. 난류 모델로는 Standard k-ε 을 사용하였으며 에너지 방정식은 고려하지 않았다.^{8,10}

4. 해석결과

4.1 속도분포

Fig. 7 은 주축 에서 흘러나오는 유체의 속도 분포를 측면부의 단면으로 나타낸 결과이다.^{9,11,12} (a) 는 Case 1 의 주축, (b)는 Case 2 의 주축, (c)는 Case 3 의 주축 마지막으로 (d)는 Case 4 의 속도 분포이다. 형상이 같고 관의 직경이 다른 (a)와 (c), (b)와 (d)를 비교할 경우 관의 직경이 3 mm 인 주축의 공기 분출 속도가 더 높고 그로 인해 도달하는 범위가 더 넓음을 알 수 있다. 이는 관의 단면적이 작아지면서 관에서 흐르는 공기의 유량이 감소하여 나타난 결과로 보인다.

Fig. 8 은 주축 전면부의 이물질 제거 정도를 파악하기 위해 전면부의 속도 분포를 보이고 있다. 위와 같이 형상은 같지만 관의 직경이 서로 다른 (a)와 (c), (b)와 (d)를 비교할 경우 관의 수가 많은 주축이 이물질 제거에 영향을 미치는 압축공기의 분포가 넓음을 알 수 있으며 측면 부의 결과와 같이 속도 또한 더 높음을 알 수 있다.

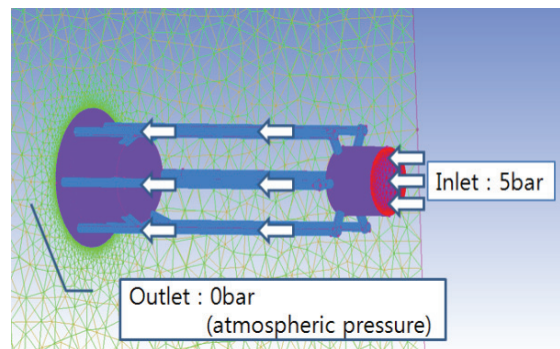


Fig. 6 Boundary conditions of the spindle

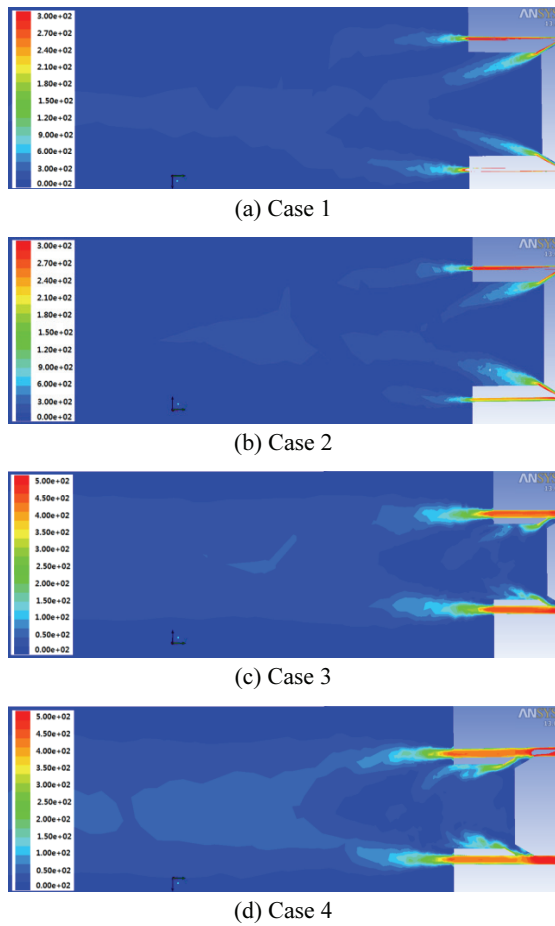


Fig. 7 Velocity distribution of the compressed air on the side view of the spindle

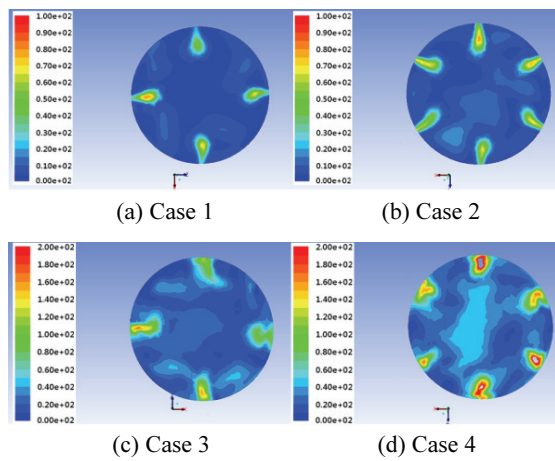


Fig. 8 Velocity distribution of the compressed air on the front view of the spindle

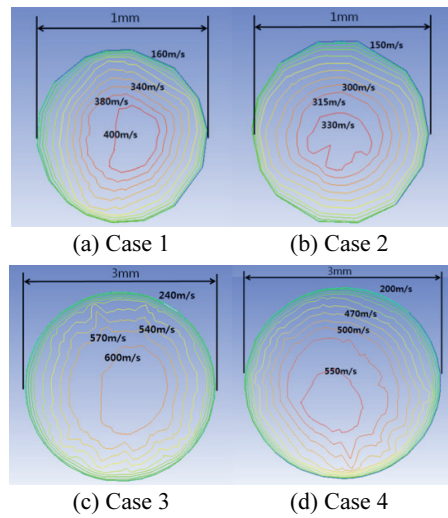


Fig. 9 Velocity contour of the compressed air on the front view of the air hole

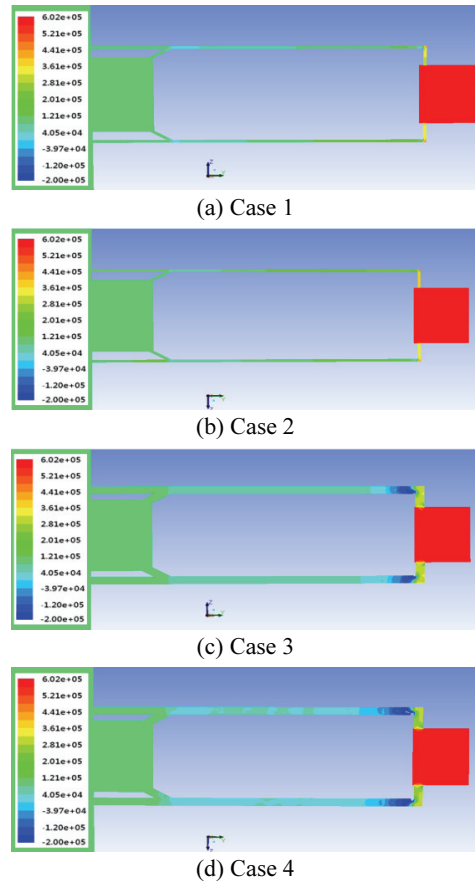


Fig. 10 Absolute pressure distribution of the compressed air on the side view of the spindle

4 가지 경우에 대해 관 하나에서 나오는 속도를 파악하기 위해 공기가 배출 되기 직전의 속도 분포를 Fig. 9 에 나타내었다. 상대적으로 4 개의 관을 가진 주축보다 6 개의 관을 가진 주축의 속도가 낮음을 알 수 있었다. 이것은 주축 후면부에서 일정한 유량과 압력으로 압축공기가 입력되는 것에 비해 출력에서 관의 개수가 차이가 나기 때문에 나온 결과로 보인다.

4.2 압력분포

Fig. 10 과 같이 4 개의 경우 모두 압축공기 입력 근처의 관이 90° 방향으로 바뀌는 부분에서 입력 압력(5 bar)의 절반까지 감소 하는 경향을 보였으며 압축공기가 분출되는 주축의 전면부 쪽으로 갈수록 대기압과 같아 지는 분포를 보였다. 직경이 커질수록 코너부위를 선회한 압축공기의 압력이 급격히 강해졌다가 복귀함을 알 수 있었다.

5. 결론

주축의 압축공기 구멍의 직경과 형상에 따른 유동특성을 분석하기 위해서 4 가지 경우로 분류한 뒤 유동해석을 수행하였다. 압축공기에 대한 유동을 속력분포, 압력분포를 통해 분석하였으며 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) 주축의 압축공기 구멍의 직경이 커질수록 주축 근처의 압축공기가 도달하는 범위가 넓어졌으며 관내의 유속이 증가 함을 알 수 있었다. 이는 관의 직경이 커짐에 따라 압축공기의 유량이 많아 졌기 때문으로 생각된다.

2) 4 개의 관으로 구성된 주축보다 6 개의 관으로 구성된 주축의 압축공기가 외부로 분출 되었을 때 이물질 제거에 영향을 미치는 공기의 범위가 넓어 짐을 알 수 있었다. 6 개의 관으로 구성된 주축이 이물질 제거에 더 효율적일 것으로 기대된다.

3) 주축의 압축공기 구멍의 개수가 증가 할수록 관내에서 이동하는 공기의 유속이 감소함을 알 수 있었다. 하지만 감소량이 미약하여 주축의 이물질 제거에는 크게 영향을 미치지 않을 것으로 기대된다.

4) 같은 직경의 압축공기 구멍의 경우 개수가 4 개에서 6 개로 증가할 때 공기의 유속감소율은 직경 3 mm 보다 1 mm 의 경우가 더 적었다. 그래

서 직경이 커질수록 구멍의 개수에 대한 의존도가 감소함을 알 수 있었다.

후 기

본 연구는 지식경제부 지방기술혁신사업 (RTI 04-01-03) 지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

- Hwang, Y. G. and Lee, C. M., "A basic study on the analysis model for static and dynamic stiffness evaluation of a high spindle system," Proc. of KSPE Spring Conference, pp. 91-92, 2008.
- Hwang, Y. G. and Lee, C. M., "A review on the preload technology of the rolling bearing for the spindle of machine tools," Int. J. Precis. Eng. Manuf., Vol. 11, No. 3, pp. 491-498, 2010.
- Shin, J. H. and Lee, C. M., "A study on spindle shape design using design of experiments," J. Korean Soc. Precis. Eng., Vol. 26, No. 4, pp. 120-127, 2009.
- Kim, D. H. and Lee, C. M., "The Static and Dynamic Analysis of a 45,000rpm Spindle for a Machine Tool and Evaluation of Its Stiffness," J. Korean Soc. Precis. Eng., Vol. 28, No. 4, pp. 422-426, 2011.
- ANSYS Inc., "ICEM CFD 12.0 User Manual," 2009.
- Hong, C. H., Cho, H. S., Park, J. W., and Kim, J. W., "A Study on the Inner Flow Analysis for Cryogenic Globe Valve in LNG Ships," Proc. of KSME Spring Conference, pp. 330-336, 2008.
- Kim, D. H., Kim, H. B., Cho, C. D., and Jeong, D. K., "CFD flow analysis of 150mm shower heads depending on plasma pitch," Proc. of KSME Fall Conference, pp. 585-589, 2008.
- Cho, A. T. and Kim, K. Y., "Analysis of Flow through High Pressure Bypass Valve in Power Plant," Proc. of KSME Spring Conference, pp. 407-411, 2007.
- Kim, B. H. and Jung, D. S., "Flow Analysis for the Sludge Pneumatic Dehydrator with Cyclone Type," Journal of the Korean Society for Manufacturing Process Engineers, Vol. 8, No. 4, pp. 1-6, 2009.

10. ANSYS Inc., "Fluent 12.0 User's Guide," 2009.
11. Park, J. W., Hong, C. H., Kim, H. C., and Lim, K. W., "Flow Analysis of Electronic Reed Valves in Twin Engine Exhaust System," Proc. of KSME Spring Conference, pp. 306-311, 2009.
12. Lee, H. S., Yoo, S. Y., and Lee, S. S., "Design Improvement and Flow Analysis for Helical Type Multi-stage Valve," Korea Fluid Machinery Association, pp. 497-502, 2007.