

링기어 절삭을 위한 클램프 척의 응력해석

심한섭*, 김해지#

Stress Analysis of a Clamp Chuck for Machining of a Ring Gear

Han-Sub Sim*, Hae-Ji Kim#

(Received 16 March 2011; received in revised form 11 May 2011; accepted 20 June 2011)

ABSTRACT

This study contains to theory and analysis research for the stress and the translation of an expand disk that fix a ring gear for tooth profile machining. The stress of the expand disk is analysed by the finite element method(FEM) to calculate design parameters. From the analysis results, the stress of the expand shows a linear tendency under various fixing force. This results show that the expand disk have a elastic characteristics as a disk spring. The maximum stress was observed on under side in split section of the expand disk. It is verified that the analysis results are useful to calculate design parameters of the expand disk.

Key Words : Expand Disk(확장판), Clamp Chuck(클램프 척), Ring Gear(링기어), Fixing Force(체결력), Stress Analysis(응력해석), Tooth Profile Machining(치형절삭)

1. 서 론

대형차량의 동력전달에 사용되는 중감속기는 하이포이드형 베벨기어로서 링기어와 피니언기어로 구성된다. 피니언기어로부터 전달된 동력은 링기어에 의해 감속되고, 동력의 전달방향은 직각으로 바뀐다. 중감속기는 링기어와 피니언기어의 중심축이 일치하지 않는 하이포이드기어 형태이며, 치형은 헬리컬기어 구조이다.

링기어의 가공은 선삭-치형절삭-열처리-연삭 등의 공정을 거치며, 이 중에서 치형절삭은 전용가공 설비와 공구 및 치구를 이용하여 절삭가공으로 치

형을 완성하는 단계이다. Fig. 1은 치형절삭가공 사진이며, 전용기계, 치형 절삭공구(커터), 링기어 가공물을 고정하기 위한 클램프 척을 보여주고 있다. 치형 절삭공정에서 링기어를 확실하게 고정하지 않으면 강력한 절삭력의 작용에 의하여 공작물의 회전, 움직임 등에 의한 위치변동이 일어날 수 있으므로 정밀한 치형을 얻을 수 없다. 따라서, 링기어의 치형절삭가공 중에 공작물의 움직임이 없이 강인하게 고정되도록 적절한 체결력을 갖춘 클램프 척이 필요하다. 링기어의 고정에는 클램프척의 주요 구성품인 확장판(expand disk)이 링기어의 안쪽면을 강하게 밀착하면서 고정된다. 따라서, 확장판은 치형절삭가공 중에 링기어를 적절한 체결력으로 고정하고, 적절한 체결력과 강도를 유지하여야 되며, 반복적인 사용에 의해 피로강도가 우수해야 되므로 설계단계에서 강도해석은 필수적이다.

* 경남과학기술대학교 자동차공학과

교신저자 : 경남과학기술대학교 자동차공학과

E-mail : khji@gntech.ac.kr



Fig. 1 Tooth profile machining of the ring gear

강도해석에 관해서는 클램프척의 확장판과 유사한 형태로서 디스크 스프링(disk spring)^[1-4]과 자동차 클러치의 다이어프램 스프링(diaphragm spring)^[5,6]에 관한 연구결과들을 찾아볼 수 있다. 또한 유한요소 해석법 등을 이용하여 하중과 변형, 응력 등을 이론과 비교한 결과가 제시되어 있다. 디스크 스프링은 단순한 원판모양으로 축방향으로 탄성을 갖는 스프링이며, 이에 대한 일반적인 특성은 널리 알려져 있다. 또한, 자동차 클러치의 다이어프램 스프링은 원판의 안쪽부분이 중심방향으로 쪼개져 있는 형태이다.

본 논문에서는 링기어 치형절삭에서 링기어의 고정을 위해 사용되는 클램프척에서 체결력의 변화에 따른 확장판의 응력과 변형에 대한 이론과 해석에 관한 것이며, 작용하중에 따른 결과를 통하여 클램프척의 안정성을 평가하고자 한다.

2. 확장판에 의한 체결력과 응력

2.1 체결력

확장판은 Fig. 2와 같이 원뿔모양의 원판(disk)으로 되어 있으며, 클러치의 다이어프램 스프링과는 반대로 원주방향으로 갈라져 있다. Fig. 3은 클램프척의 작동원리를 보여주고 있으며, 확장판은 상하로 2개가 마주보고 포개져 있다. 유압실린더가 수축기(contractor)를 당겨주면 클램프척의 상부확장판(upper-expand disk)과 하부확장판(under-expand disk)이 반대로 축방향으로 압축되는 힘, F_o 가 작용하고,

이에 따라 확장판이 원주방향으로 확장되면서 확장판의 외측면이 링기어의 안쪽면을 강하게 밀착하면서 링기어를 고정시킨다.

링기어를 고정하는 체결력은 식 (1)과 식 (2)와 같이 구할 수 있다. 이때, 링기어를 고정하는 체결력을 결정하는 주요 요소는 수축기에 작용하는 힘 (F_o)과 확장판의 경사각도(θ)이다.

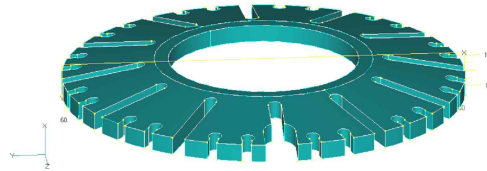


Fig. 2 Structure of the expanding chuck

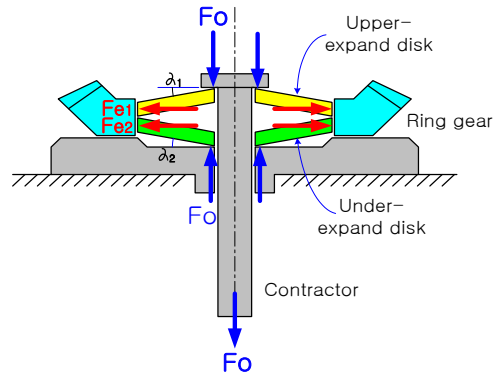


Fig. 3 Forces on the ring gear and the clamp chuck

$$F_{e1} = F_o \tan \theta_1 \quad (1)$$

$$F_{e2} = F_o \tan \theta_2 \quad (2)$$

실제로 클램프척의 제작을 쉽게하기 위하여 동일한 확장판을 상하로 마주보게 배열한 것이므로, 식 (1)과 식 (2)에서 $\theta_1 = \theta_2$ 이므로 $F_{e1} = F_{e2}$ 이다.

2.2 응력의 작용

확장판에 작용하는 응력은 체결력(F_{e1} , F_{e2})에 의한 압축응력이 작용한다. 또한 확장판의 상하로 작용하는 하중에 의하여 확장판이 축방향으로 변형되면서 굽힘모멘트가 발생하고, 이에 따라 확장판의 홈이 있는 부분에서 응력이 발생할 것으로 판

단된다. 이 경우에 체결력에 의한 압축응력보다는 굽힘모멘트에 의한 응력이 재료의 강도에 더 큰 영향을 미칠 것이다. 따라서 수축기가 접촉하는 확장판의 내경부의 단면적이 적으므로 이 부분과 원주방향으로 갈라지는 부분에 응력이 집중될 것으로 판단되므로 이 부분의 굽힘모멘트에 의한 응력 집중을 해석하는 것이 중요하다.

3. 구조 해석

3.1 해석 조건

작용하중에 따른 응력 및 변형을 해석하기 위하여 유한요소 프로그램인 MSC. Visual NASTRAN for Windows를 사용하였다^[7]. 유한요소 해석을 위해서는 재료의 물성치를 정확히 알고 있어야 하며 적절한 경계 조건, 적당한 수의 분할 등이 있어야 한다. Table 1은 유한요소 해석을 위한 SM45C 소재의 물성치를 나타내고 있다.

확장판의 경사각 $\theta_1 = \theta_2 = 12^\circ$ 이며, 작용하는 하중 조건은 치형질삭 전용기에서 실제 조건을 고려한 것이며, 1,000~5,000kgf까지 1,000kgf씩 증가시켜 해석을 수행하였다.

Table 1 Material properties of SM45C

SM45C	
Tensile strength, Yield	50kg/mm ²
Modulus of elasticity	20,900kg/mm ²
Poisson's ratio	0.29

3.2 유한요소 해석

Fig. 4는 확장판의 유한요소 해석을 위한 기본 형상과 하중조건을 나타내고 있다. 하중은 Fig. 3에 나타나 것과 실제 링기어 치형질삭 전용기의 조건을 고려하였으며, 원주방향 질삭력은 거의 영향을 미치지 않으며, 수직방향으로 작용하는 체결력만을 고려하였다.

구속조건은 Fig. 5에 나타나 있으며, 그림에서 보는 바와 같이 하중(F_0)은 확장판의 안쪽 상단부에 원형으로 균일분포하중이 작용하며, 외경부의 측면과 하부는 미끄럼면으로 설정하였다. Fig. 6에서부

터 Fig. 15까지는 작용하중(1,000kgf~5,000kgf)에 따른 응력과 변형량 분포를 그림으로 나타낸 것이다.



Fig. 4 Meshing and direction of force

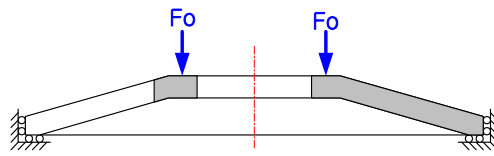


Fig. 5 Restriction conditions on the expand disk

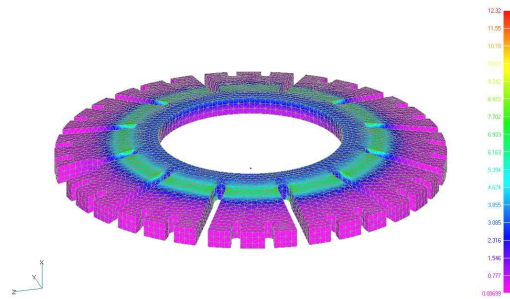


Fig. 6 Von Mises stress($F_0=1,000\text{kgf}$)

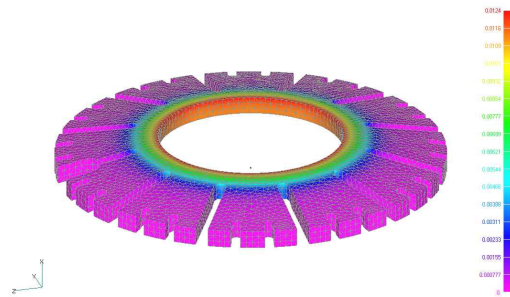


Fig. 7 Total translation($F_0=1,000\text{kgf}$)

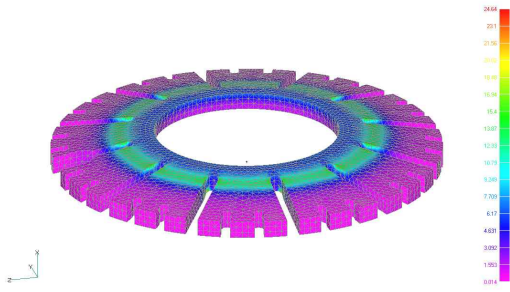


Fig. 8 Von Mises stress(Fo=2,000kgf)

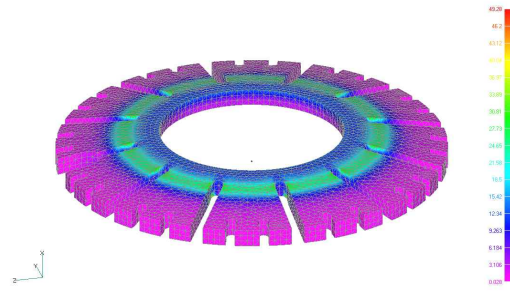


Fig. 12 Von Mises stress(Fo=4,000kgf)

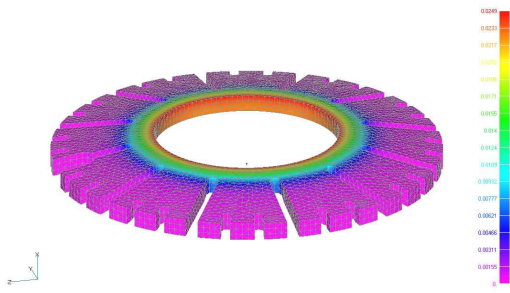


Fig. 9 Total translation(Fo=2,000kgf)

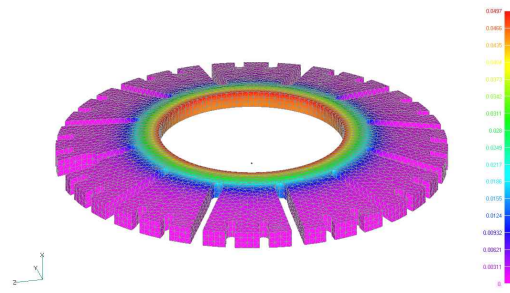


Fig. 13 Total translation(Fo=4,000kgf)

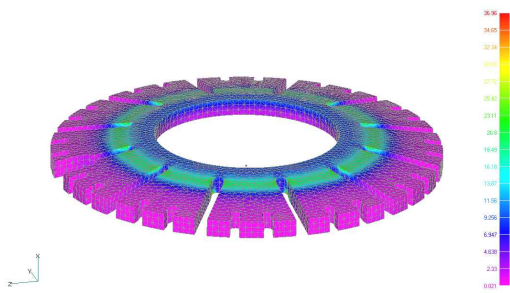


Fig. 10 Von Mises stress(Fo=3,000kgf)

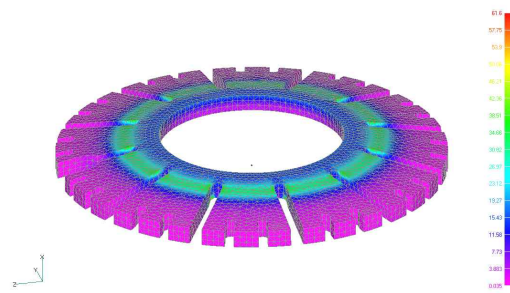


Fig. 14 Von Mises stress(Fo=5,000kgf)

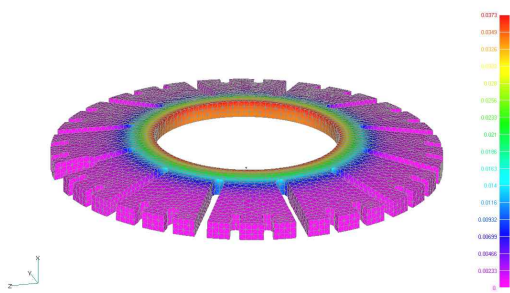


Fig. 11 Total translation(Fo=3,000kgf)

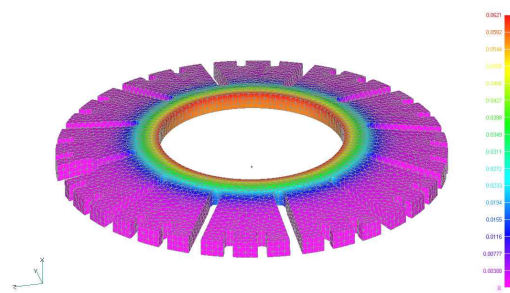


Fig. 15 Total translation(Fo=5,000kgf)

Fig. 16에서는 확장판의 최대응력 발생부분을 나타내고 있다. 최대응력은 확장판의 안쪽으로부터 원주방향으로 갈라지는 부분에서 아래쪽에 집중적으로 나타나고 있는 것을 볼 수 있다. 이때 최대응력은 약 61.6kg/mm^2 로 나타났다. 따라서 장기간 사용시에 이 부분에서 피로에 의한 탄성이 감소하여 최초 위치까지 복원되지 않고 영구변형이 발생할 우려가 있다. 확장판의 설계시에 이 부분의 강도를 충분히 고려하여야 된다.

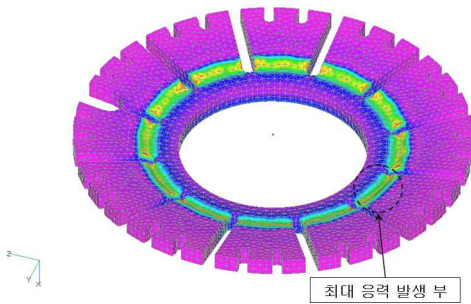


Fig. 16 Max. stress on the expand disk

Fig. 6에서 Fig. 15까지 다양한 하중에 따른 여러 가지 해석결과 중에서 응력에 대한 해석결과를 Fig. 17에 나타내었다. 하중의 증가에 따라 응력은 선형적으로 증가되는 것을 보여주고 있다. 따라서, 작용하중 3,000kgf까지는 탄성한계 이내에 있으므로, 하중을 제거하여도 변형전으로 복원이 가능함을 알 수 있었고, 작용하중 4,000kgf에서는 영구변형의 발생 가능성을 알 수 있었다.

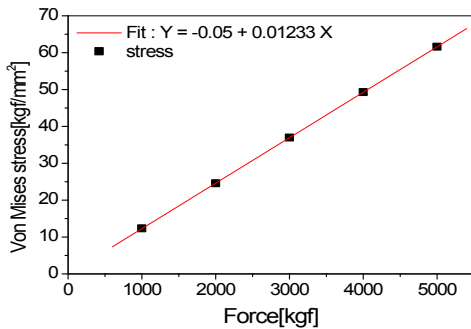


Fig. 17 Max. stress on the expand disk under various force conditions

Fig. 6에서 Fig. 15까지 해석결과들 중에서 변형에 대한 해석결과는 Fig. 18에 나타내었다. 하중의 증가에 따라 축방향 변형은 0.01mm($F_o=1,000\text{kgf}$)에서 0.06mm($F_o=5,000\text{kgf}$)로 선형적으로 증가되는 것을 보여주고 있다.

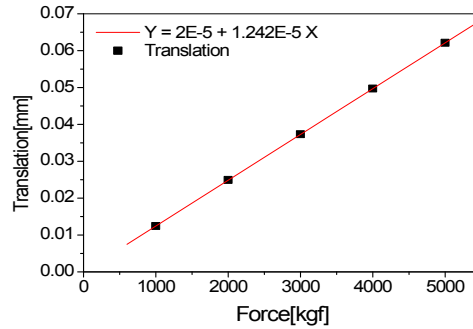


Fig. 18 Translation on the expand disk under various force conditions

5. 결론

이 연구에서는 링기어 치형질삭에서 링기어의 고정을 위해 사용되는 클램프 척에서 체결력의 변화에 따른 확장판의 응력과 변형에 대한 이론과 해석에 대한 연구이며, 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 클램프 척의 확장판의 최대응력은 확장판의 안쪽으로부터 원주방향으로 갈라지는 부분에서 아래쪽에 집중적으로 나타났다.
2. 하중의 증가에 따라 응력은 선형적으로 증가되었다. 그리고 작용하중 3,000kgf까지는 탄성한계 영역의 범위내에서 응력값이 나타났으며, 작용하중 4,000kgf 이상에서는 영구변형의 발생 가능성을 알 수 있었다.
3. 이론계산치와 해석결과 값을 통하여 클램프 척에서 체결력의 변화에 따른 확장판의 건전성을 확인하였으며, 4,000kgf 이상의 작용하중에서는 클램프 척의 강도개선을 위한 설계 변경이 필요하다.

후 기

이 논문은 2010년도 경남과학기술대학교 기성회

연구비 지원에 의하여 연구되었습니다.

참고문헌

1. Brecht, W. A. and Wahl, A. M., "The Radially Tapered Disk Spring", Trans. ASME, Vol. 52, Part 1, 1930.
2. Almen, J. O. and Laszlo, A., "the Uniform Section Disk-Spring", Trans. ASME 58, S. 305-314, 1936.
3. N. Yahata, M. Watanabe and N. Ishii, "Analysis of Coned Disk Spring by Finite-Element Method", JSME, C, Vol. 59, No. 567, pp. 260-265, 1993.
4. N. Kaya, "Optimal design of an Automotive Diaphragm Spring with High Fatigue Resistance", Int. J. Vehicle Design, Vol. 40, No. 1/2/3, pp. 126-143, 2006.
5. P. K. Saini, P. Kumar and P. Tandon, "Design and Analysis of Radially Tapered Disc Springs with Parabolically Varying Thickness", Proceedings IMechE, J. of Mechanical Engineering Science, Vol. 221, pp. 151-158, 2007.
6. C. Y. Lee, Y. S. Chai, J. D. Kwon, W. H. Nam and T. H. Kim, "Finite Element Analysis and Optimal design of Automobile Clutch Diaphragm Spring", KSME paper A, Vol. 24, No. 6, pp. 1616-1623, 2000.
7. MSC. Visual NASTRAN for Windows.