

평행부 내에서 회전 운동을 하는 스피들의 운동 구속에 대한 연구

임종현*, 심재준, 한동섭, 이성욱(동아대 대학원 기계공학과),
한근조(동아대학교 기계공학과), 김태형(경남정보대 기계계열)

A Study on the Motion Constraint of Rotating Spindle in the Parallel Part at Locking Plate

J. H. Lim*, J. J. Shim, D. S. Han, S. W. Lee(Dept. of Mech. Eng., DAU Graduate School),
G. J. Han(Dept. of Mech. Eng., DAU), T. H. Kim(Dept. of Mech. Eng., K.I.T.)

ABSTRACT

Actuator being used in the ship supplies engine with air. When actuator is out of order, engine is not operated. This out of order is due to fracture of piston or rotating of spindle in the case of plastic deformation of parallel part in locking plate. For this reason, locking plate must be guaranteed enough strength. Therefor in this paper, the effects of changes with the clearance of between spindle and parallel part, the contact height of parallel part and spindle, the side circle diameter of parallel part and the width of locking plate in the designated torque are investigated. The result of this investigation shows the relation between locking plate and spindle.

Key Words : Locking plate(잠금 평판), Spindle(스핀들), Parallel part(평행부), Elastic-Plastic analysis(탄소성 해석)

기호 설명

C : Clearance of between spindle and parallel part
H : Contact height of parallel part and spindle
D : Side circle diameter of parallel part
W : Width of locking plate
T : Designated torque ($5 \times 10^6 \text{N} \cdot \text{mm}$)

1. 서론

선박 기동용 액추에이터는 선박 엔진의 기동에 필요한 혼합기를 생성하기 위한 공기를 엔진에 공급하는 장치이다. 기동용 액추에이터는 피스톤과 스피들(spindle), 잠금 평판(locking plate)등으로 구성되어 있는데 피스톤과 맞물려 작동하는 스피들을 잠금 평판이 구속하여 피스톤의 작동을 제어하여 액추에이터가 엔진에 공기를 공급하는 구조로 되어 있다.

공압을 받아 액추에이터를 작동시키는 피스톤이

파괴되어 액추에이터가 작동하지 않게 되거나 잠금 평판의 소성 변형으로 액추에이터가 잘못 작동되는 경우가 있다. 후자의 오작동 원인은 잠금 평판 부분에서 스피들의 회전을 잠금 평판이 구속 할 때 스피들의 모서리 부분이 잠금 평판의 평행부(parallel part)와 최초로 접촉하게 되는데 이때 평행부의 접촉 부분에 응력 집중이 발생하게 된다. 이 응력 집중으로 인해 잠금 평판의 평행부가 소성 변형하게 되면 스피들의 구속력을 상실하게 되어 스피들이 회전하게 되면 액추에이터가 오작동 하게 된다.

이런 문제점들로 인하여 피스톤이 파괴되지 않거나 잠금 평판이 소성 변형되지 않는 설계가 요구되며 액추에이터가 정상적으로 작동될 때 잠금 평판이 소성 변형했을 경우라도 스피들을 구속 할 수 있는 강도가 보장되어야 한다.

따라서 본 논문에서는 잠금 평판의 소성 변형으로 인한 액추에이터의 오작동 원인을 잠금 평판의 구속력에 영향을 미치는 잠금 평판과 스피들의 클리

어런스(C), 잠금 평판과 스피들이 접촉하는 접촉 높이(H), 평행부 양 측면 원공의 크기(D) 및 잠금 평판의 폭(W) 변화에 따른 영향을 설정 토크에 대해 스피들의 회전각을 통해 분석하였다.

2. 유한요소 해석

2.1 해석 모델 및 방법

본 논문에서 적용한 모델은 Fig. 1에 나타내었다. 해석에 사용한 요소는 각 절점에서 3자유도(U_x , U_y , U_z)를 갖는 8절점 육면체요소를 사용하였으며 기계적 성질은 Table 1과 같다. 또한 유한요소 해석법에서의 재료 비선형(Material Nonlinearities) 방법과 접촉 해석(Contact analysis) 방법을 사용한 탄소성 해석(Elastic-Plastic analysis)을 하였다.

Table 1 Mechanical properties of each part

Division	Spindle	Locking plate
Material	SM45C	SS400
Elastic modulus	210 GPa	210 GPa
Poisson's ratio	0.3	0.3
Yield strength	490 MPa	235 MPa
Tensile strength	686 MPa	450 MPa

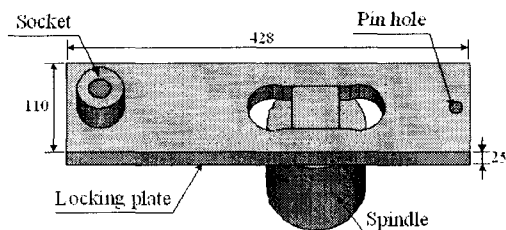


Fig. 1(a) Geometrical model of locking plate and spindle

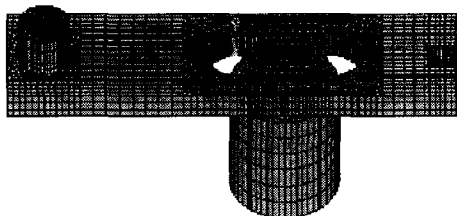


Fig. 1(b) Finite element model of locking plate and spindle

2.2 하중 및 경계조건

해석에서의 경계조건과 하중 조건은 Fig. 1에서

의 소켓 부와 핀 홀부의 내부 절점들을 각각 3자유도(U_x , U_y , U_z)로 완전 구속을 하고 스피들 하부 원통면에 강제 변위를 주어 스피들을 회전시켜 소켓과 핀 홀의 내부 절점에서 발생한 반력을 산출하여 잠금 평판에 작용한 반력 토크를 계산하였다.

2.3 해석 파라미터

Fig. 2(a)에 스피들과 잠금 평판의 평행부와 양 측면 원공 부분을 정면도와 평면도로 나타내었다. 평판 부와 스피들 사이의 클리어런스, 평행부와 스피들의 접촉 높이 그리고 평행부 측면의 원공 직경 및 잠금 평판의 폭(W)을 해석 파라미터로 설정하였다. Fig. 2(b)는 평행부 내에서의 스피들의 운동을 회전각($\theta = \theta_1 - \theta_2$)으로 나타낸 것이다. 각 파라미터에 따른 영향을 설정 토크(T)에 대하여 스피들의 회전각(θ)에 따른 영향을 분석하였다.

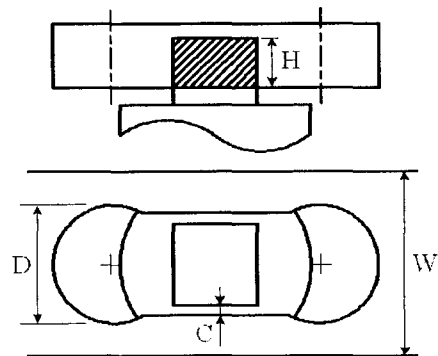


Fig. 2(a) Parameters of analysis

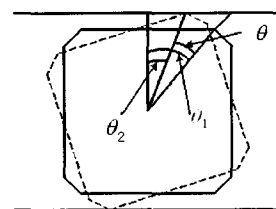


Fig. 2(b) Motion of spindle

2.3.1 클리어런스(C)

Fig. 2(b)에서 보는 것과 같이 평행부와 스피들의 클리어런스가 변함에 따라서 스피들의 회전각도 변하게 된다. 이에 따라 평행 부와의 접촉 각도도 변하게 됨으로 잠금 평판의 평행부의 발생 토크에 영향을 줄 것이라고 판단된다. 평행부와 스피들의 접촉 높이는 25mm, 평행부 측면 원공의 직경은 55mm, 평판의 폭은 110mm로 고정된 후 클리어런스의 크기를 0.1mm~0.4까지 0.1mm단위로 변형시켜 잠금 평판에 작용되는 반력 토크에 대한 영향을 분석하였다.

2.3.2 평행부와 스피ndl의 접촉 높이(H)

평행부와 스피ndl의 접촉 높이가 변함으로써 잠금 평판의 평행부에 발생하는 토크에 영향을 줄 것이라고 판단된다. 클리어런스 0.1mm, 원공의 직경 55mm, 평판의 폭은 110mm로 고정 후 접촉 높이를 25mm~10mm까지 5mm단위로 변화시켜 잠금 평판에 작용되는 반력 토크의 영향을 분석하였다.

2.3.3 평행부 측면 원공 직경(D)

평행부 양 측면의 원공의 직경이 평행부의 구속력에 영향을 미침으로 잠금 평판의 평행부에 발생하는 토크에 영향을 줄 것이라고 판단된다. 클리어런스 0.1mm, 평행부와 스피ndl의 접촉 높이 25mm, 평판의 폭은 110mm로 고정후 51mm~57mm까지 2mm 단위로 원공의 직경을 변화시켜 잠금 평판에 작용되는 반력 토크의 영향을 분석하였다.

2.3.4 잠금 평판의 폭(W)

잠금 평판의 폭 변화가 평행부에 발생하는 반력 토크에 영향을 줄 것이라고 판단된다. 클리어런스 0.1mm, 스피ndl의 접촉 높이 25mm, 원공의 직경 55mm로 고정후 110mm~140mm까지 10mm단위로 잠금 평판의 폭 변화에 따른 반력 토크에 대한 영향을 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 클리어런스에 따른 영향

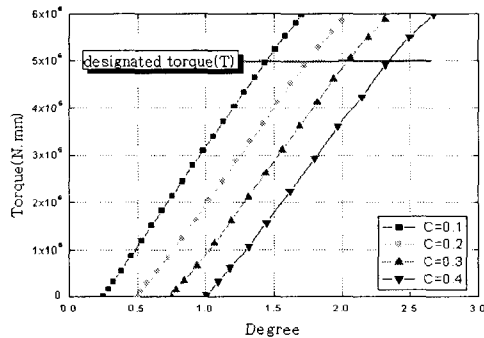


Fig. 3 Reaction torque generated by spindle according to the clearance of between spindle and parallel part

Fig. 3는 클리어런스 변화에 따른 잠금 평판에 발생한 토크를 나타내었다. 클리어런스가 커지게 되면 스피ndl의 회전각이 커지게 되는데 따라서 스피ndl의 모서리 부분 접촉면이 평행부면에 접촉하는 위치가 변하게 되어 잠금 평판에 작용되는 토크가 달라지게 된다. 소켓과 핀 홀부의 스피ndl까지 거리가 상대적

으로 핀 홀부에 가깝기 때문에 클리어런스가 커지게 되면 접촉면의 위치가 핀 홀부에서 점점 멀어져서 평행부의 스피ndl 구속력이 감소되고 잠금 평판에 작용되는 토크도 감소된다. 또한 각 클리어런스에서 회전각이 증가함에 있어서 발생하는 반력 토크도 선형적으로 증가되는 것을 볼 수 있다.

3.2 접촉 높이에 따른 영향

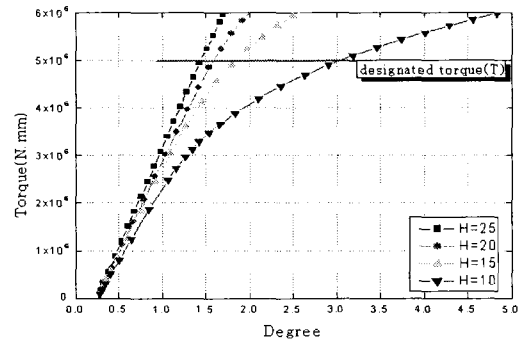


Fig. 4 Reaction torque generated by spindle according to the contact height of parallel part and spindle

Fig. 4는 접촉 높이의 변화에 따른 잠금 평판에 발생한 토크를 나타내었다. 접촉 높이가 작아질수록 설정 토크(T)가 발생하기까지 스피ndl의 회전각이 매우 커지는 것을 볼 수 있다. 접촉 높이가 20mm일 때는 잠금 평판과 스피ndl이 같은 높이로 접촉되었을 때 보다 15%, 15mm일 때는 34%, 접촉 높이가 10mm일 때는 140%로 스피ndl의 회전량이 급격히 증가하였다. 접촉 높이가 작아질수록 스피ndl의 회전량이 증가한다는 것은 접촉 높이가 클 때보다 접촉 높이가 작을 때 평행부의 더 큰 변형을 수반한다는 것이다.

3.3 원공 직경 변화에 따른 영향

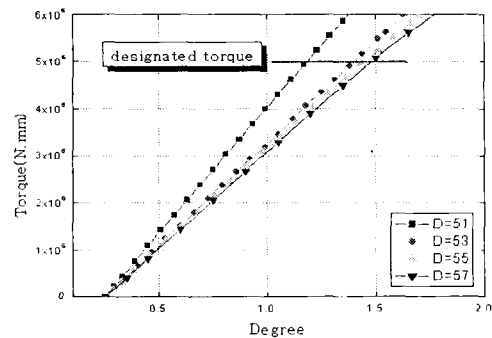


Fig. 5 Reaction torque generated by spindle according to the side circle diameter

Fig 5는 평행부의 원공 직경의 변화에 따른 잠금 평판에 발생한 토크를 나타내었다. 설정토크 하에서 원공의 직경이 51mm~53mm는 스피ndl의 회전량이 20% 증가 후 53mm이상 일 때는 직경 변화에 따른 스피ndl의 회전량 증가가 작게 나타났다. 평행부의 크기를 51mm로 설정하였는데 원공의 직경이 평행부의 크기보다 커지게 되면 스피ndl의 회전량이 크게 증가되는 현상을 보여주고 있다. 이는 원공의 직경이 평행부의 크기보다 커지게 되면 평행부에 발생하는 변위가 크게 증가한다는 것을 의미한다.

3.4 잠금 평판의 폭 변화에 따른 영향

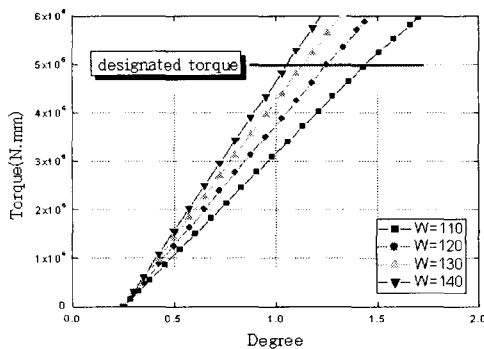


Fig. 6 Reaction torque generated by spindle according to width of the locking plate

Fig. 6은 평판의 폭 변화에 따른 잠금 평판에 발생한 토크를 나타내었다. 잠금 평판의 폭이 110mm~140mm까지 변화하면서 설정 토크에 대해 스피ndl의 회전각이 7%, 19%, 37%로, 평판의 폭이 작아질수록 회전각의 증가폭이 커지는 것을 볼 수 있다. 이는 평판의 폭이 작을수록 평행부의 변형이 커진다는 것을 의미한다.

4. 결론

본 논문에서는 재료 비선형 해석과 접촉 해석을 통한 잠금 평판과 스피ndl의 클리어런스와 접촉 높이, 평행부 측면의 원공의 직경 및 잠금 평판의 폭 변화에 따른 스피ndl의 회전에 대한 잠금 평판에 발생한 반력 토크를 분석한 결과 다음과 같은 설계를 해야 한다는 결론을 얻었다.

(1) 설정 토크 하에서 잠금 평판의 평행부와 스피ndl 사이의 클리어런스가 커짐에 따라 스피ndl의 회전각은 커진다. 설정 토크에 대한 클리어런스의 증가가 스피ndl의 회전에 의한 평행부의 변형에는 크게 영향을 미치지 않지만 클리어런스가 커짐에 따라

스핀들의 회전각도 커짐으로 스피ndl이 회전할 가능성이 커지므로 클리어런스를 작게 설계해야 한다.

(2) 설정 토크 하에서 평행부와 스피ndl의 접촉높이가 작아질수록 평행부에 발생하는 응력은 크게 증가하고 스피ndl의 회전량도 15%, 34%, 140%로 증가한다. 따라서 평행부의 소성 변형도 접촉 높이가 작을수록 크게 발생하므로 평행부와 스피ndl의 접촉 높이를 크게 설계해야 한다.

(3) 설정 토크 하에서 평행부 측면의 원공의 직경이 커짐에 따라 원공의 직경이 평행부 보다 커졌을 때 회전량이 20%로 급격히 증가 후 이상의 직경의 증가후 회전량의 증가가 적다. 이것은 평행부의 크기보다 원공의 직경의 크기가 커지면 평행부의 변형도 크게 증가한다는 것이다. 따라서 평행부 원공의 직경을 평행부의 크기 이하로 설계해야 한다.

(4) 설정 토크 하에서 잠금 평판의 폭이 작아질수록 스피ndl의 회전량의 증가폭이 7%, 19%, 37%로 커짐으로 평판의 변형도 따라서 커지게 된다. 그러므로 평판의 폭을 크게 설계해야 한다.

참고문헌

1. Jacek J. Skrzypek, "PLASTICITY and CREEP : Theory, Example, and Problems," CRC Press, Inc., 1993
2. 전병희, 김동원, "대변형 탄소성 접촉문제에 관한 연구," 대한기계학회논문집, 제17권, 제7호, pp.1658-1667, 1993
3. 강성용, 임장근, "접촉 요소에 의한 기계 부품의 유한 요소 해석," 대한기계학회논문집 A권, 제22권, 제10호, pp.1894-1901, 1998
4. 양영하, 오세욱, 송삼홍, 송지호, "고체 역학의 기초와 응용," 동명사, 1995
5. S. p. Timoshenko, J. N. Goodier, "Theory of Elasticity," McGraw-hill Book Company, 1987