

PM형 유정압베어링을 이용한 초대형 로터리테이블의 성능 설계 Performance Design of a Large Size Rotary Table Using the PM type Hydrostatic Bearing

*박천홍^{1,#}, 황주호¹, 이찬홍¹, 조용주²

*C. H. Park^{1,#}(pch657@kimm.re.kr), J. Hwang¹, C. H. Lee¹ and Y. J. Cho²

¹한국기계연구원 초정밀시스템연구실, ²한국정밀기계(주)

Key words : Large size rotary table, PM type hydrostatic bearing, Load characteristics design

1. 서론

최근들어 선박엔진, 풍력발전, 항공부품, 원자력 부품 등 대형 부품의 수요가 증가함에 따라 대형 가공기의 개발 수요가 증가하고 있으며 이에 따른 대형 접촉 베어링의 수급 불균형 및 정밀도 특성 확보의 한계로 대형 유정압베어링을 적용한 가공기 개발 수요가 급격히 증가하고 있다.

대형 가공기에 유정압베어링을 적용하는 경우, 상대적으로 넓은 베어링 설치 공간에 의해 높은 부하용량을 기대할 수 있는 반면에, 부품 대형화에 의한 가공정밀도의 한계로 베어링 간극의 미소화에 제한이 있으며 절삭부하도 상대적으로 높아지게 되어 고강성화 설계가 용이하지 않게 된다. 이에 따라, 원리적으로 보다 높은 강성을 기대할 수 있는 자기보상형이나 정유량형 유정압베어링이 활발히 개발되어 적용되고 있는 상황이다.

저자 등은 이러한 고강성화 메카니즘 가운데에서도 원리적으로 가장 높은 강성을 기대할 수 있도록 고안된 PM(Progressive Mengen)형 유정압베어링(Hyprostatik Schonfeld GmbH)을 적용하여 초대형 플로워타입 보링머신에 사용될 5 m 직경의 초대형 로터리 테이블을 개발하고자 하였으며 본 논문에서는 그를 위한 PM형 유정압베어링의 원리, 성능 해석방법 및 로터리 테이블의 성능 설계 결과를 정리하였다.

2. PM형 유정압베어링의 개요 및 성능해석

Fig. 1에 아직 명확히 공개되지는 않았으나 추정 가능한 PM형 유정압베어링의 원리를 나타내었다. 내부에 설치된 링형상의 원판형 모세관의 간극은 베어링 포켓의 압력에 따라 변화하는 조절막(membrane)의 변형에 의해 변화한다. 따라서 베어

링 포켓 압력이 증가하게 되면 원판형 모세관 간극은 증가하며 이에 따라 Fig. 2(b)와 같이 베어링에 유입되는 유량은 증가하게 되어 압력증가에 따른 베어링의 변위를 감소시키므로, 상대적으로 압력 증가에 따라 유입유량이 감소하는 Fig. 2(a)의 일반적인 모세관형 유정압베어링에 비해 강성이 증가하게 된다..

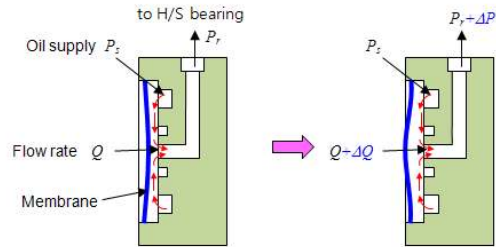
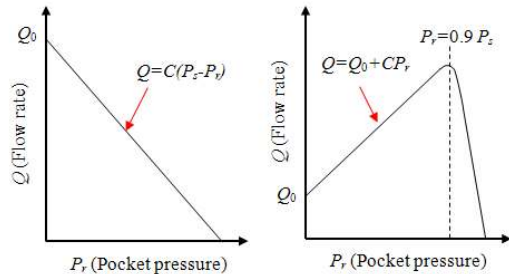


Fig. 1 Estimated principle of a PM type hydrostatic bearing



(a) Capillary type (b) PM type
Fig. 2 Comparison of oil flow characteristics of PM type compensator with capillary compensator

이 때 PM형 유정압베어링에 있어 각 포켓에 유입되는 유량 Q는 Fig. 2(b)에서와 같이 포켓압력 Pr에 비례하게 되므로 베어링 성능해석에 있어 유

량에 대한 경계조건을 Eq. (1)과 같이 설정하면 일반적인 유정압베어링과 동일한 수치해법을 적용하여 성능을 해석할 수 있다

$$Q_i = -Q_0 \left\{ 1 + (K_r - 1) \frac{P_r}{P_s} \right\}, \quad K_r = Q_r / Q_0 \quad (1)$$

3. 초대형 로터리테이블의 성능설계

Fig 3에 PM형 유정압베어링을 적용한 직경 5m의 초대형 로터리 테이블의 베어링 구조를 나타내었다.

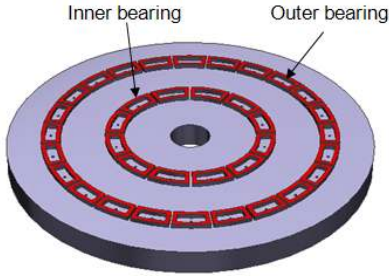


Fig. 3 Designed structure of rotary table using the segment type hydrostatic bearings

유정압베어링은 조립의 용이성을 고려하여 세그먼트형으로 설계하였으며 자중에 따른 국부적 처짐을 방지하기 위해 내측, 외측의 2열 구조로 설계하였다. 테이블이 작용되는 최대 외부 하중은 공작물 하중 200 t 및 절삭력 5 t 등 총 205 t이며 테이블 자중은 90t 으로 계산되었으므로 요구되는 최대 부하용량은 295t 이다. 설계 마진을 고려하여 최대 부하가 외측베어링에 모두 작용함을 가정하여 외측 베어링을 설계하였으며 초기유량 $Q_0=130 \text{ cm}^3/\text{s}$, 유량계수 $K_r=2.8$ 의 PM형 보상요소를 적용하였다.

Fig. 4에 베어링간극에 따른 외측 유정압베어링의 부하용량, 포켓압력 및 강성의 해석 결과를 나타내었다. 먼저 자중 90 t이 작용할 때의 베어링 간극은 Fig 4(a)로부터 $94 \mu\text{m}$ 가 되며 이 때의 포켓압력은 Fig. 4(b)로부터 4.4 kg/cm^2 , 강성은 Fig. 4(c)로부터 $3.68 \text{ t}/\mu\text{m}$ 가 된다. 최대하중인 295 t 이 작용하는 경우 베어링간극은 $71.5 \mu\text{m}$ 로 감소하고 포켓압력은 14.5 kg/cm^2 로 증가하며 강성은 $23.9 \text{ t}/\mu\text{m}$ 로 증가한다. 한편, PM형 유정압베어링에 있어서 포켓압력이 공급압력의 0.9를 넘으면 Fig. 2(b)에서와 같이 유량특성이 급감하여 강성이 급감하게 되는 사용제한 구역이 된다. Fig. 4(b)로부터 외측 베어링의

경우 베어링간극이 $65 \mu\text{m}$ 가 되면 이와 같이 사용제한 영역에 들어가게 되나 최대하중 295 t에서의 베어링간극은 $71.5 \mu\text{m}$ 이므로 최대하중까지 충분히 사용가능하도록 성능이 설계되어 졌음을 확인할 수 있다.

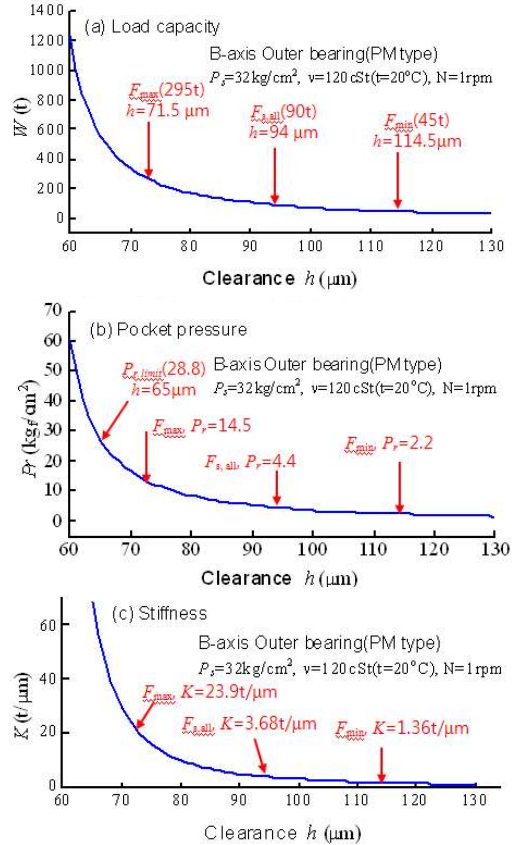


Fig. 4 Load characteristics of a designed hydrostatic rotary table

4. 결론

본 연구에서는 PM형 보상요소를 이용한 초대형 유정압베어링 테이블의 설계 결과를 나타내었으며 베어링간극 변화에 따른 부하용량, 포켓압력, 강성 특성의 고찰로부터 설계된 로터리테이블은 최대 부하를 충분히 지지하면서 약 $24 \text{ t}/\mu\text{m}$ 까지의 강성을 갖도록 설계되었음을 확인할 수 있었다.

후기

본 연구는 지식경제부 신성장동력장비 경쟁력강화사업의 지원으로 수행되었습니다.