

## 고온, 고점도 기어펌프의 유량특성 해석

### Performance Characteristic Analysis of Gear Pump with High Temperature and High Viscosity

\*이은철<sup>1</sup>, 이양창<sup>2</sup>, #이준성<sup>1</sup>, 김형택<sup>1</sup>, 최윤종<sup>2</sup>, 이지훈<sup>2</sup>

\*E. C. Lee<sup>1</sup>, Y. C. Lee<sup>2</sup>, #J. S. Lee(jslee1@kgu.ac.kr)<sup>1</sup>, H. T. Kim<sup>1</sup>, Y. J. Choi<sup>3</sup>, J. H. Lee<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 경기대학교 기계공학과, <sup>2</sup> 대림대학, <sup>3</sup> (주)한성애프텍

Key words : Gear Pump, Capacity Range, Outlet Pressure, Viscosity, Required Power

#### 1. 서론

정량 기어펌프에서 핵심품질은 정량성과 맥동을 등과 연중 무휴가동 장치로서 관련 부품들의 신뢰성이 매우 중요하다.<sup>1</sup> 특히 기어펌프들의 정량성과 맥동율의 설계 데이터 충분치 않고, 최근 첨단 부품과 신소재 관련하여 Film, LCD Film, 반도체, 미세섬유(극세 섬유), 광섬유 등의 생산 공정에 사용되는 기어펌프들은 보다 높은 품질수준의 정량성과 맥동율을 요하고 있으며, 또한 생산 환경 조건이 고온, 고압, 고점도이다. 이로써 고온, 고압, 고점도의 기어펌프의 신뢰성 있는 설계 시스템을 구축하여 보다 신뢰성 높은 기어펌프 개발이 필요하다.<sup>2</sup>

현재, 국내에서는 아직까지 기어펌프에 대한 연구나 개발, 생산하고 있는 업체가 거의 없는 형편이다. 단지 일본, 독일 등의 국외 제품들은 오랜 기술개발과 막대한 R&D 투자로 끊임없이 연구 개발을 하고 있는 실정이다. 특히, 폴리머(polymer)를 고온(약 300°C)에서 중합반응시켜 이송하는 기어펌프는 대부분 해외(일본, 독일 등)에서 100% 수입하고 있다. 결국, 사용자의 설계사양을 현재까지의 수입업체 모델에 맞추어지고 있는 실정이다. 따라서 본 연구에서는 이 기어펌프의 제작기술 확보에 목표를 두고 낮은 RPM에서 고온, 고압, 고점도 상태에서 운전 시 일정한 토출량과 펌프의 안정성을 유지하여 장시간 운전이 가능하도록 한 구조를 개발하고자 하였다.

#### 2. 기어펌프 및 재료 실험

고온, 고압, 고점도 기어펌프의 형태는 고정형으로 유체는 고점도, 흡입구에 대기압 또는 진공압이 작용하고 출구 쪽은 고압이 작용하는 곳에 사용하기 적합한 펌프이다. 초기 용도는 주로 진공방사에 적용되었다. 요즘은 진공방사(나일론, 폴리스터), 중합(나일론, 폴리에스터), 사출성형(폴리프로필렌, 폴리스틸렌) 등에 사용되어 진다. 펌프의 표준재질은 합금공구강과 스테인레스강을 사용하고 있다. Fig. 1에 본 연구에서 개발하고자 하는 기어펌프의 조립도를 나타내었다.

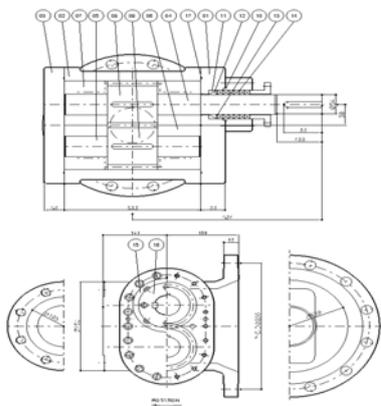


Fig. 1 An assembly drawing of gear pump

기어펌프는 일반적인 재료를 사용하지 않고 특수공구강을 열처리하여 사용하고 있다. 따라서 관련재료의 기계적 성질의 자료의 확보가 어려운 상태이다. 따라서 관련 재료의 비례시험편 정밀 가공 및 침탄 열처리를 하여 제작함으로써 보다 실제적인 데이터 얻고자 했다. 특히, 기어펌프 사용되는 강재는 기어펌프

의 수명을 결정짓는 중요한 역할을 하고 있다.

시험편은 KSB0801 4호 시험편의 비례시험편으로 표면 내마모성을 향상시키기 위해 시험편을 질화법으로 열처리하였다. Fig. 2에 질화처리된 시험편의 조직사진을 나타내었다.

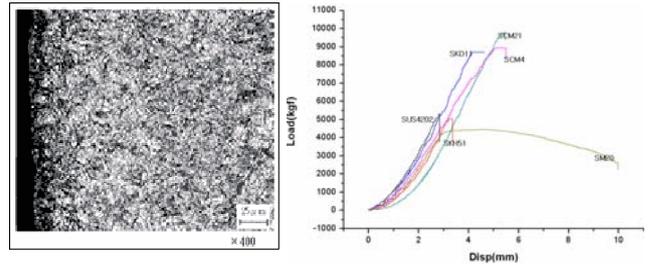


Fig. 2 Metal structure with nitrifying Fig. 3 Tensile test results of materials

#### 2. 기어사양 및 유동해석

해석에 사용된 기어의 사양은 ① 모듈: 8, ② 잇수: 14, ③ 압력각: 25°, ④ 축간거리: 118mm, ⑤ 기어외경: Ø132, ⑥ 재질(Material): SCM4이며 기어의 인벌류트 곡선은 해석의 신뢰도를 높이기 위해 Fig. 4와 같이 기어의 기본 정보 및 전위계수를 입력하여 정확한 인벌류트 곡선의 데이터 산출하여 이를 Script 파일로 저장하여 유한요소 해석을 위해 기어 접촉면을 정의하고 Fig. 5와 같이 3차원 솔리드모델링을 하였다.



Fig. 4 Creation of involute curve

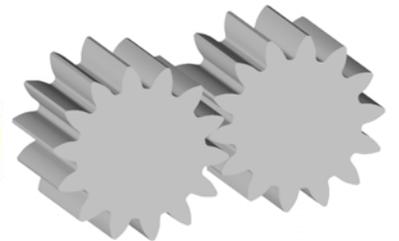


Fig. 5 Solid model of gear

펌프 케이싱내의 유체(Polymer) 유동에 의한 기어의 압력분포 및 시간에 따른 유체 유동 속도와 벡터를 해석하였다. 해석모델과 경계조건은 Fig. 6에 나타내었으며 해석결과는 Fig. 7, 8과 같다. 기어의 압력 분포가 출구 쪽 중앙 부분부터 기어회전 반대방향으로 나타남을 알 수 있었다. 그리고 기어에 작용하는 압력값을 이용하여 펌프 구조해석에 적용하였다.



Fig. 6 Model of flow rate analysis

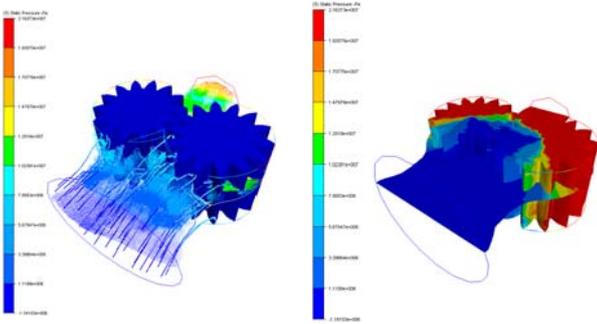


Fig. 7 Path line of fluid at inlet Fig. 8 Static pressure distributions (t=6.8s) (t=0.2s)

### 3. 펌프의 구조해석

펌프의 구조 해석은 펌프의 유동 해석에서 얻어진 기어의 압력값을 기어의 잇면에 적용시키고 유체의 온도가 300°C이므로 펌프 케이싱의 내부 온도를 조건에 맞는 온도를 주었다. 이와 같은 상태에서 펌프를 조립한 상태로 드라이빙기어의 축에 회전력을 적용시킨다. 이와 같은 해석방법에 의해 기어축의 변위와 베어링 단면의 마찰면 등에 작용하는 최대 응력, 변위 값을 얻어 기어펌프의 구조적 문제를 예측하고 제작에 적용하였다. 특히 출구 쪽 기어 잇면에 작용하는 최대압력(약 200kgf/cm<sup>2</sup>)이 작용하였을 때 드라이빙기어의 회전력(모터 50HP)이 동시에 작용하였을 때 기어의 축 변위로 인해 기어의 이끝 단면과 베어링 외곽단면과의 마찰현상과 축 외경과 베어링 내면과의 마찰현상이 실제 실험과 같은 현상으로 나타났다. Fig. 9는 해석에 사용된 경계조건을 나타낸 것이다. 실제 사용에 있어서는 출구압력이 50kgf/cm<sup>2</sup> ~ 100kgf/cm<sup>2</sup>까지의 사용 범위인데 펌프 압력의 부하로 인해 최대200kgf/cm<sup>2</sup>의 압력에서 드라이빙 기어축의 최대 토크 882Nm의 힘에서 기어축의 변위와 기어 잇면 강도의 안전설계가 절대적으로 필요한 실정이므로 구조해석을 수행하여 예측해보았다. Fig. 10은 회전토크에 의한 기어 잇면의 등가응력분포를 나타낸 것으로 최대값이 232 MPa(허용치 472MPa)로 계산되어 구조적으로 문제를 발생하지 않으리라 예측되었다.

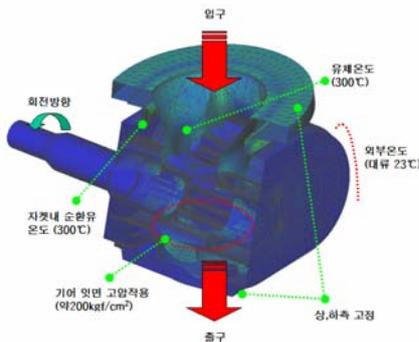


Fig. 9 Boundary conditions for analysis

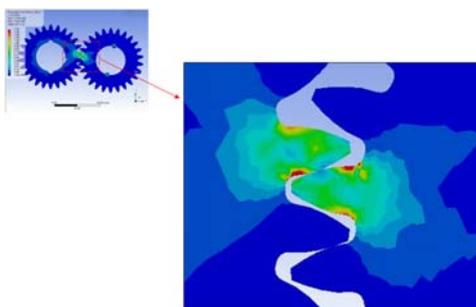


Fig. 10 Distribution of equivalent stress of gear

### 4. 드라이빙 축의 피로해석

기어펌프의 드라이빙 축은 회전하면서 연속적으로 굽힘하중과 비틀림하중을 받게 된다. 특히 고압, 고점도의 기어펌프는 회전축에 작용하는 토크 값이 대단히 크므로 축의 피로예측이 필요하다. 따라서 유한요소법을 이용한 구조해석을 수행한 후, 피로해석 코드를 개발하여 별도의 피로해석을 수행하였다. 해석 조건은 기어펌프의 기어가 끼워져 있는 부분과 기어의 양쪽으로 베어링이 지지하는 형태를 구속조건으로 하고 축의 단면에 굽힘 모멘트, 10kN과 회전 토크, ±882Nm를 작용시켰다. 피로해석 결과의 평가는 응력비  $R = \sigma_{min} / \sigma_{max} = R > 1$ 이면 재료가 탄성을 잃어버리는 비선형 거동을 보이는 단계로 넘어가며, 결국 파단에 까지 이르게 되는 판단 기준으로서 여기에 안전계수로 나누어 실제 설계에 적용하게 된다.

Fig. 11은 1차 모델의 경우에 있어서 등가응력의 분포를 나타낸 것으로 주어진 굽힘응력이 비틀림에 의해 최대 전단응력과 교차하는 곳에서 R=1.1의 값이 나타났다. 이는 굽힘에 의해 최대 압축응력을 받는 축의 직경 반대쪽에서 주위가 늘어나면서 결국 파괴에 이르게 됨을 알 수 있었다. 이 경우, R=0.994에서 등가응력이 970MPa로서 허용응력 760MPa를 넘어서는 값이 나타나 기어펌프의 회전축으로는 사용이 불가능하게 된다. 반면에 2차모델의 경우, Fig. 12와 같이 R=0.5에서 등가응력 460MPa로 허용응력의 60% 정도이므로 설계 데이터 적용이 가능함을 알 수 있었다.

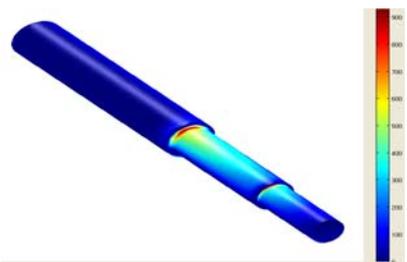


Fig. 11 Distribution of equivalent stress in case I (970MPa)



Fig. 12 Distribution of equivalent stress in case II (460MPa)

### 5. 결론

기어계수 값 산출 기법과 기어의 인벌류트 곡선 산출을 Script 화하여 CAD Software에서 정확한 기어설계가 가능하게 하였으며 유동해석을 수행하여 정압분포 및 적합한 유로형상을 제시하였다. 또한 고온, 고압에 의한 구조변형해석을 수행하여 최적화된 설계의 기반데이터를 제시하였다.

### 참고문헌

1. K.S. Cheon et al., "Optimal Design of a Gear Pump for Yarning," Proceedings of Annual Meeting of KSME, pp. 457-463, 2001.
2. W.C. Lee et al., "Static and Dynamic Analysis of Gear Pumps Circumscriptive," Proceedings of Annual Meeting of KSPE, pp. 261-262, 2006.