

## 저점도 엔진오일이 마찰특성에 미치는 영향에 관한 해석적 연구

김 청 균<sup>†</sup>

홍익대학교 트라이볼로지 연구센터

### Analysis on the Friction Characteristics of Low Viscosity Engine Oils

Chung Kyun Kim<sup>†</sup>

Tribology Research Center, Hongik University

**Abstract** – In this paper, the friction characteristic of engine bearings has been analyzed in terms of a friction loss power, a minimum film thickness and an oil film pressure. This analysis has been focused on the fuel economy improvement with a low viscosity engine oil such as SAE 0W-40, which is used for a friction loss reduction and increased for a Diesel fuel economy. The friction loss power, the minimum oil film thickness and oil film pressure distribution for plain bearings of a Diesel engine are analyzed using an AVL's EXCITE program with a conventional engine oils of SAE 5W-40 and 10W-40, and a low viscosity engine oil of SAE 0W-40. The computed results indicate that a viscosity of engine oils is closely related to the friction loss power and the decreased minimum film thickness in which is a key parameter of a load carrying capacity of an oil film pressure distribution. When the low viscosity engine oil is supplied to engine bearings, it does not affect to the formation of a minimum oil film thickness. But the friction loss power has been significantly affected by low viscosity engine oil at a low operating temperature of 0. Based on the FEM computed results, the low viscosity engine oil at a low temperature range will be an important factor for an improvement of the fuel economy improvement.

**Key words** – engine bearing, low viscosity engine oil, friction loss power, minimum oil film thickness.

#### 1. 서 론

연소실(combustion chamber)에 공급된 연료를 연소하는 과정에서 발생한 열에너지(heat energy)를 기계적 에너지(mechanical energy)로 전환하여 사람이나 물건을 원하는 장소로 이동하는 운송기계로 선박, 자동차, 비행기 등이 개발되었다. 가장 많이 생산되는 자동차는 동력을 스스로 생산하는 엔진(engine)과 하중을 지지하고 엔진에 의해 생산된 동력을 전달하고 제어하기 위한 샤프트와 전기전자제어장치의 세 가지로 구성된다[1].

기계는 항상 하중을 담당하면서 상대접촉 마찰운동을

을 하기 때문에 하중을 분산·완화시키고, 동시에 마찰손실을 감소시키기 위해 윤활유를 공급하여 마찰에너지 발생을 줄여주고, 특히 운동부품의 내구성을 향상하여 시스템의 수명을 연장하기 위한 노력을 기울인다. 운반 기계의 대명사라 할 수 있는 자동차에서 마찰손실을 줄이면서 수명을 연장하고, 배출가스 감소에 기여하면서 출력을 향상시켜주는 윤활유의 기능은 항상 중요하게 다룬다. 자동차 엔진에서 연비를 향상하려는 대부분의 기술개발은 차량의 경량화, 연료의 연소효율 향상 등에 집중되어 왔으나, 최근에는 엔진오일의 저점도화에 의한 연비향상에 큰 관심을 갖고 있다[2].

자동차에 관련된 설계나 성능을 규제하기 위해서는 당위성을 확보해야 하고, 그에 적합한 기술개발이 달성되어야 한다. 자동차는 사람들에게 많은 편의성을 제공

<sup>†</sup>주저자 · 책임저자 : chungkyunkim@empal.com

하기도 하지만, 과도한 에너지 소비와 불의의 사고, 특히 배출가스에 의한 지구의 온난화 등과 같은 문제점을 해결해야 하는 어려움이 있다. 최근에는 석유 에너지 자원의 고갈과 이에 따른 에너지 절감의 중요성을 심각하게 인지하면서 마찰손실 에너지를 줄이기 위한 노력이 이산화탄소(CO<sub>2</sub>) 저감과 연비향상을 동시에 달성하기 위한 수단으로 하나로 엔진오일의 저점도화가 추진되고 있다.

자동차의 연비를 향상하기 위해서는 특히 배기가스나 냉각에너지에 의한 손실을 줄여서 유효에너지를 증가시키는 것이 가장 유용하기 때문에 이에 대한 연구를 많이 추진하였지만 아직도 큰 진전이 없다. 자동차의 유효에너지를 향상시키기 위해 필요한 또 다른 핵심기술로 트라이볼로지 기술을 빼놓을 수가 없다. 즉, 자동차에서 동력을 생산하고, 전달·변환하는 모든 장치에서 발생하는 마찰손실, 마멸발생 등은 적절한 윤활유의 공급에 의해 크게 완화된다는 사실을 잘 알고 있다. 그러나 트라이볼로지 기술은 자동차의 전체 마찰손실 에너지에서 차지하는 비중이 5~7% 정도라는 사실 때문에 간과되고는 있으나 자동차의 연비향상이나 진동·소음에너지를 줄이기 위한 노력을 기울였기 때문에 이제는 자동차 마찰 운동부에서 발생하는 문제를 트라이볼로지 기술로 극복하지 않고서는 고품질 자동차를 제작할 수 없다는 사실을 알게 되었다.

국내의 경우 2006년에 도입 예정인 연비규제에서 연비는 향상시키고, 진동과 소음 발생량을 줄이면서 내구성 향상은 트라이볼로지 기술에 의해 해결될 수 있다. 즉, 자동차의 손실에너지 및 배출가스 오염 발생량을 줄일 수 있는 저점도 엔진오일(low viscosity engine oil)을 사용함으로써 가능하다. 따라서 저점도 엔진오일의 사용은 하중지지 용량에서 큰 영향을 받게 되는 엔진베어링의 마찰특성이 관심사항이므로 본 연구에서 해석·고찰하고자 한다. 분명히 저점도 윤활유에 의한 연비향상은 마찰손실 저감이라는 긍정적인 기여를 하지만, 마찰운동부의 유막 강성도를 충분히 유지하지 못하면 오히려 마찰손실 증가와 엔진베어링의 미끄럼 마찰손상에 의한 수명단축이라는 문제점을 제기하기 때문에 항상 최적의 윤활관리와 트라이볼로지 설계기술을 확보해야 한다.

따라서 본 연구에서는 엔진오일의 저점도화에 따른 엔진베어링의 유막거동에 관련된 마찰특성 윤활역학(lubrication mechanics) 문제를 AVL에서 개발한 EXCITE 프로그램[3]을 사용하여 해석하고자 한다.

## 2. 연비향상과 윤활기술

자동차는 강력한 엔진과 부드러운 동력전달을 위한 변속장치, 안전한 속도조절과 정지를 위한 제동장치, 진행방향 설정을 위한 조향장치, 마찰 구동력을 확보하기 위한 타이어 등이 상호 보완적 시스템으로 구성된다. 자동차에서 원활한 작동과 효율성을 시스템적으로 담보할 수 있도록 트라이볼로지 윤활기술의 적용은 자동차의 연비를 향상하고, 유해 배기가스를 저감하는 핵심기술로 중요하게 다루고 있다.

동력을 생산하는 엔진은 연소실에 공급된 혼합기가 연소하는 과정에 발생하는 순간 팽창압력을 사용하기 때문에 피스톤과 실린더의 강도는 당연히 중요하지만, 보다 더 중요한 것은 피스톤과 실린더 사이에 간극이나 엔진베어링 등에 형성되는 윤활유막의 강성도이다. 따라서 자동차의 엔진에서 윤활유막에 대한 강성도 거동특성 해석은 엔진오일의 저점도화가 연비에 연계되어 추진되면서 엔진의 유체유막에 관련된 유막거동을 엄밀하게 해석한다는 것은 중요한 윤활설계가 된다. 결국, 최근의 자동차는 연비향상 및 배출가스 저감을 위한 새로운 윤활기술로 오일의 점도를 SAE 5W~10W에서 SAE 0W로 낮추면 마찰저감과 유동성 향상에는 큰 효과를 기대할 수 있지만, 엔진베어링이나 실린더의 유막강성도 거동측면에서 불리한 측면이 많을 것이라는 예상이다. 결국, 엔진베어링의 불안정한 유막특성은 유막파손과 마찰면의 손상, 마멸로 이어져 마찰운동부의 고장발생과 수명단축, 마찰손실 증가라는 새로운 문제점을 경험하게 될 것이다.

따라서 향후에 개발될 자동차 엔진은 마찰력 저감을 위한 10W-30(40)보다는 0W-30(40)과 같은 저점도 윤활유를 사용하여 마찰력을 줄이고, 이에 따른 연비향상 및 배출가스 저감을 기대하는 기술개발을 진행할 것이다. 본 연구에서도 유동성이 우수하고, 휘발성이 낮은 저점도 엔진오일의 적용으로 엔진의 윤활성과 마찰손실 감소를 위한 엔진베어링의 윤활특성을 해석하고자 한다.

## 3. 엔진오일과 연비향상

엔진에서 마찰손실 저감에 의한 연비향상을 위해 선정된 SAE 0W-40과 같은 저점도 엔진오일은 베어링이나 피스톤-실린더와 같은 마찰부의 유막 강성도를 떨어뜨려 기존의 SAE 5W-40과는 다른 거동특성을 보여

줄 것으로 예상된다.

엔진에서 교반손실이나 마찰손실을 줄이는 하나의 대안으로 낮은 점도의 엔진오일을 사용함으로써 엔진의 마찰접촉 운동부에서 발생하는 손실에너지를 최소로 줄이면서 연비를 향상하는 윤활기술을 고찰하고자 한다. 단급점도유의 경우, SAE 5W에서 40까지 점도 등급을 변화시키게 되면 다이نام로 시험(dynamo engine test)에서 연비는 4% 이상 변화한다. 이것은 엔진오일의 저점도화가 연비개선에 긍정적인 영향을 미친다는 반증으로 저점도 오일에 의한 연비효과에 대한 연구를 활발하게 진행하고 있다[4,5]. 저점도 윤활유의 사용은 특히 밸브 트레인, 피스톤-실린더, 베어링과 같은 트라이볼로지 부품에서 유막강도 저하에 의한 하중지지 용량저하 및 마멸증대가 문제점으로 등장하게 된다.

저점도 엔진오일을 사용하게 되면 윤활부위에서 유막두께(oil film thickness)는 얇아지고 급속접촉에 의한 마멸이 급속하게 진행될 수 있으며, 특히 마찰접촉 운동면이 넓은 엔진베어링에서는 미끄럼 마찰열에 의한 오일온도의 상승을 예상할 수 있기 때문에 오일의 점도는 크게 떨어지고, 유막강도 저하에 따른 하중지지 용량도 불가피하게 떨어진다. 최근 연비를 중시하는 마찰손실 저감기술은 특히 엔진베어링에 공급되는 오일의 저점도화로 귀결되지만 지나친 저점도 오일의 사용은 엔진베어링에서 스커핑, 시저와 같은 열적손상 발생률이 급격하게 증가할 우려가 높으므로 베어링과 같은 엔진의 마찰운동 부품에 대한 저점도 윤활설계를 조기에 보완해야 한다.

엔진에서 저마찰 거동특성을 안정적으로 확보하기 위한 저점도 엔진오일의 사용은 저온조건에서 운전하는 경우에 더 많은 마찰저감 효과를 기대할 수 있다. 기계마찰 접촉운동을 하는 피스톤-실린더 어셈블리, 밸브 트레인, 엔진베어링 등에서 발생하는 마찰손실은 차량의 전체 마찰손실에서 차지하는 비중이 5~7% 정도로 작지만, 이들 부품에서 마찰손실의 이상적 증가는 유막 안정성을 파괴하면서 마찰표면을 손상하고 동시에 마멸의 진행으로 마찰 운동부품은 소음과 진동을 유발하고, 하중지지를 어렵게 하여 부품손상에 의한 엔진출력 저하 및 엔진의 수명단축으로 이어지다가 결국에는 엔진 고장으로 발전한다. 따라서 엔진 구동부의 지나친 마찰손실은 에너지 낭비는 물론 엔진의 성능과 수명에 직접적으로 영향을 미치므로 오일의 저점도화는 중요하게 다루어야 한다.

## 4. 엔진베어링의 유막거동해석

### 4.1. 점도와 온도

엔진 베어링의 윤활해석에 사용된 점도-온도식은 오일의 종류, 사용조건 등에 따라 여러 가지 모델을 제시할 수 있으나, 본 연구에서는 점도가 온도만의 함수로 주어지는 Vogel 모델[6]을 사용하여 엔진베어링의 유막거동 특성을 해석하고자 한다. 즉,

$$\eta(T) = A \exp\left(\frac{B}{T+C}\right)$$

### 4.2. 해석모델 및 해석조건

본 연구에서 사용된 엔진베어링은 직렬 4기통 디젤 엔진에 장착된 것으로 엔진의 행정은 92.8 mm, 보어의 크기는 80 mm이다. 또한, 크랭크축의 변위가 가장 크게 발생하여 윤활조건이 취약한 3번 엔진베어링을 해석대상으로 삼았고, 베어링의 직경은 60 mm, 폭은 19 mm, 유막간극은 25  $\mu\text{m}$ 로 주어진다. 본 연구에서 사용한 엔진베어링의 유한요소모델은 Fig. 1에서 보여 준다.

1,000~4,000 rpm의 속도로 작동하는 디젤엔진에서 폭발압력을 포함한 엔진의 사이클당 압력분포를 Fig. 2에서 제시하고 있다. 본 연구는 4가지의 엔진속도에 따른 압력패턴을 엔진베어링에 걸리는 외부압력 데이터로 사용하였다.

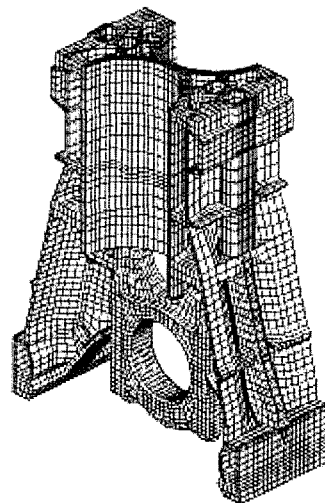


Fig. 1. Finite element model of an engine with engine bearings.

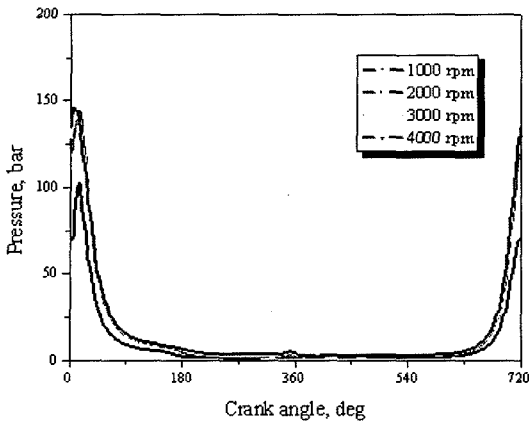


Fig. 2. Cylinder pressure with a crank angle for various engine speeds.

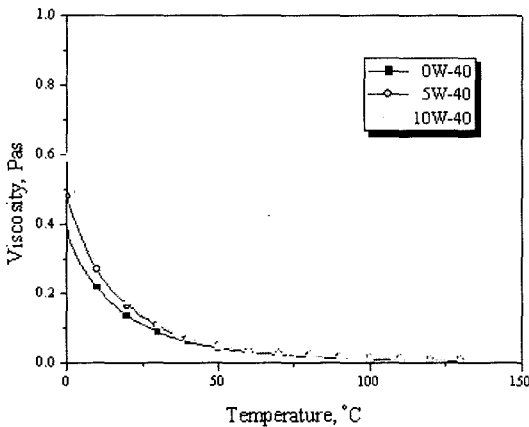


Fig. 3. Viscosity with a temperature for various engine oils.

Fig. 3은 디젤엔진에서 널리 사용하는 SAE 5W-40, 10W-40 엔진오일과 저점도 엔진오일이라 할 수 있는 SAE 0W-40의 점도특성을 온도에 따라 변하는 오일특성을 제시하고 있다.

4-3. 해석방법

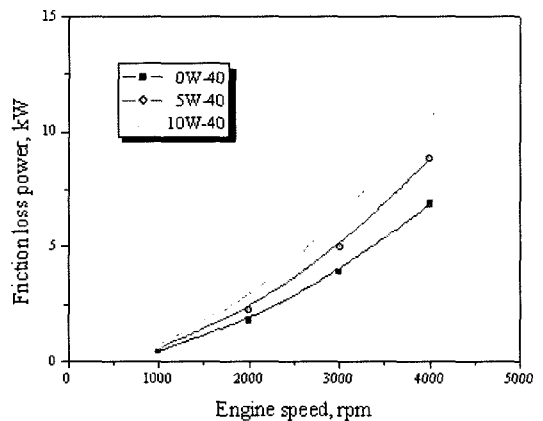
엔진오일의 점도변화가 엔진베어링의 유막거동 특성에 미치는 영향을 해석하기 위해 레이놀즈 방정식과 운동방정식을 연계하여 엔진베어링에서 발생되는 마찰손실, 유막두께, 압력분포를 EXCITE 프로그램으로 해석하였다.

엔진베어링의 유막거동 마찰특성을 수치적으로 해석하기 위해 오일의 유동에 따른 운동방정식으로부터 계산한 하중을 활용하여 엔진베어링의 유한요소 해석도

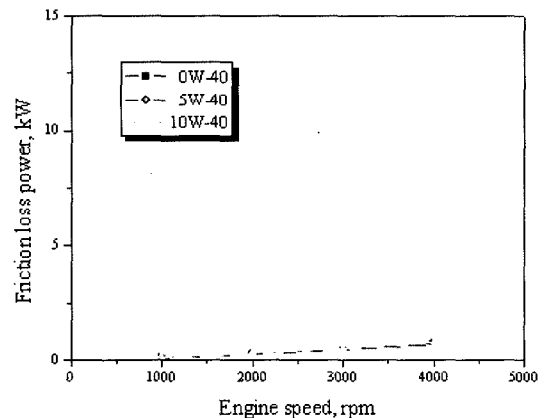
텔에 대한 탄성변형 거동량을 구한다. 유한요소해석에 의해 구해진 탄성변형 거동량을 사용하여 엔진베어링에 발생하는 압력분포를 계산한다. 이 결과로부터 베어링에 발생한 압력분포를 적분한 하중값과 운동방정식으로부터 계산한 하중값을 서로 비교하고, 이들 계산값이 허용오차 범위내에 수렴하게 되면 엔진베어링의 탄성변형 거동량과 압력분포는 계산된다. 이때 사용된 레이놀즈 방정식은 2차 후방 차분법으로 이상화하여 가우스-자이텔(Gauss-Seidel) 방법을 사용하였고, 운동방정식은 뉴턴-랩슨(Newton-Raphson) 방법으로 계산하여 베어링 유막의 거동특성을 각각 고찰하였다[7].

5. 해석결과 및 고찰

Fig. 4는 새로운 저점도 엔진오일 SAE 0W-40과 기



(a) Temperature of engine oil : 0°C



(b) Temperature of engine oil : 90°C

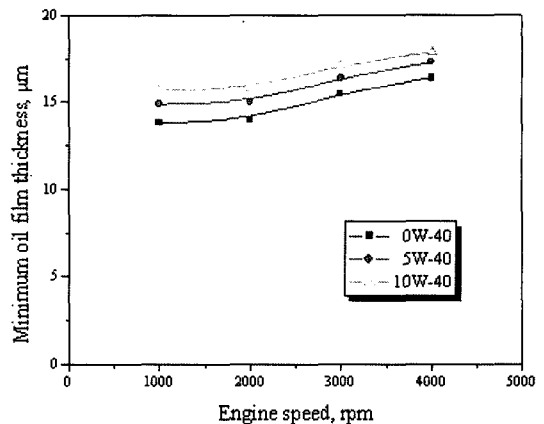
Fig. 4. Variation of friction loss power due to engine speeds.

존의 엔진오일 5W-40과 10W-40을 사용하여 디젤엔진의 저온특성, 0와 고온특성, 90의 두 가지 경우 엔진 베어링에 걸리는 마찰손실 에너지를 FEM으로 해석하였다. 엔진오일의 저온특성을 대표적으로 나타낸 0에서 구동하는 베어링은 엔진속도가 증가함에 따라 마찰손실이 급증하는 현상을 나타내는데, 0W-40의 저점도 엔진오일을 사용한 경우는 5W-40이나 10W-40에 비하여 마찰손실이 크게 줄어드는 현상을 Fig. 4(a)에서 관찰할 수 있다. 그러나 정상적으로 작동하는 엔진의 고온특성을 나타낸 90°C의 경우는 엔진속도 증가에 따른 마찰손실의 차이가 별로 없고, 특히 점도변화에 따른 마찰손실 차이는 거의 없다. 이러한 현상은 엔진의 작동온도가 90°C 정도가 되면 저점도에 의한 마찰저감 효과를 기대할 수 없다는 사실을 Fig. 4(b)는 잘 설명하고 있다. Fig. 4에서 제시한 해석결과에서 저온작동을 하는 경우, 엔진속도가 낮게 운전될 때는 오일의 점도변화에 따른 마찰손실의 차이가 작지만 엔진속도가 올라가면서 마찰손실 에너지의 차이가 크게 증가한다는 사실을 알 수 있다. 이렇게 마찰손실의 차이가 크게 증가하는 것은 비교적 유막이 잘 형성된 엔진베어링은 유체유회 상태에서 작동하므로 속도가 상승함에 따라 유체 전단력에 의한 마찰력이 증가하기 때문이다.

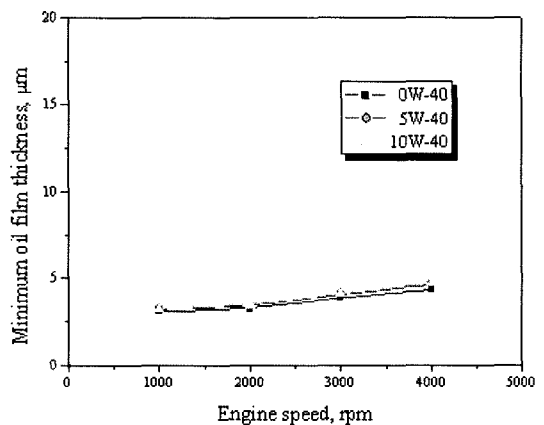
엔진오일의 작동온도가 0°C일 때 디젤엔진에서 주로 사용하는 속도와 오일은 2000 rpm에서 10W-40이다. 이러한 작동조건을 0W-40의 저점도 엔진오일과 비교하여 마찰손실 에너지를 고찰하면, 0W-40의 저점도 엔진오일의 마찰손실 에너지는 34.5% 정도 감소하는 것을 알 수 있고, 정상작동을 하는 90°C일 때는 2000 rpm에서 5.3% 정도로 감소율이 크게 둔화된다.

따라서 기존의 5W-40이나 10W-40과 같은 고점도 엔진오일의 마찰손실을 0W-40의 저점도 엔진오일과 상대적으로 비교하였을 때, 엔진속도가 증가할수록 마찰손실 에너지 차이는 점점 더 증가한다는 사실을 알 수 있다. 이러한 해석결과는 엔진오일의 저점도화가 자동차 연비와 밀접한 관계에 있는 마찰손실 에너지의 감소에 큰 효과가 있다는 것을 의미한다.

Fig. 5는 0의 저온과 90°C의 고온에서 작동하는 디젤엔진에 점도가 다른 3종의 엔진오일을 공급하여 속도의 변동에 따른 엔진베어링의 최소유막두께에 대한 결과를 제시하고 있다. Fig. 5(a)의 해석결과에 의하면, 오일의 온도가 0°C일 때 엔진베어링의 유막은 15 μm 정도로 베어링의 유막강도를 충분히 유지하며, 엔진의



(a) Temperature of engine oil : 0°C



(b) Temperature of engine oil : 90°C

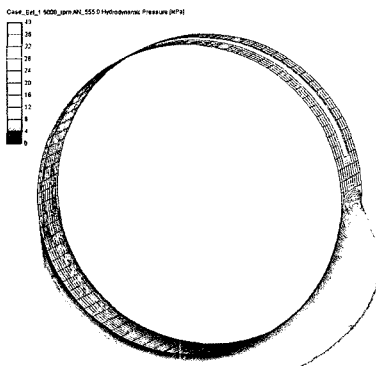
Fig. 5. Variation of minimum oil film thickness as functions of engine speeds.

속도가 증가할수록 유막의 두께가 완만하게 증가하는 경향을 보여주고 있다. 엔진속도가 1000 rpm일 때 저점도 엔진오일에서 유막의 두께가 가장 얇게 나타나고 있으며, 0W-40의 저점도 엔진오일이 10W-40 엔진오일의 유막두께보다 12% 정도나 감소하는 것을 알 수 있다. 반면에 엔진오일의 온도가 90°C일 때 최소유막두께를 해석한 Fig. 5(b)에 의하면, 엔진베어링의 유막은 0°C일 때와 유사하게 베어링의 속도가 증가할수록 최소유막두께는 점점 증가하는 경향을 나타내지만, 작동온도 상승에 따른 점도저하가 더 큰 영향을 미쳐 최소유막두께는 크게 얇아지는 결과를 제시한다. 결국 베어링의 작동온도가 높으면 엔진오일의 점도의 전단저항력 특성이 줄어들어 오일에 의한 동력손실이나 최소유막두께 등에 별다른 영향을 주지 못하지만, 저온에서 작동하는 베어링의 작동조건에 대한 영향은 크다는

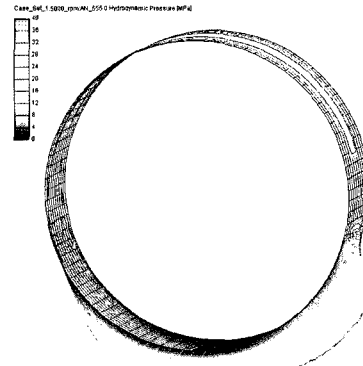
사실을 관찰할 수 있다.

Fig. 5의 결과에 의하면 엔진속도가 증가할수록 최소유막두께는 약간 증가하는 경향을 나타내고, 동일한 엔진속도에 대하여 저점도 엔진오일을 사용함에 따라 최소유막두께의 감소비율은 거의 비슷하게 나타나고 있다. 그러나 자동차의 연비향상을 위해 엔진오일의 저점도화는 불가피하게 진행될 것이고, 오일의 저점도화에 따른 유동마찰손실의 감소와 엔진베어링의 작동온도 상승으로 이어진다. 결국 오일의 점도저하로 최소유막두께는 감소하면서 엔진베어링의 마멸은 증가하고, 스커핑이나 시저현상과 같은 열손상이 증가될 우려가 높으므로 엔진오일의 저점도화에 따른 점도지수 향상제, 내마멸 첨가제, 열화 방지제 등과 같은 첨가제의 기능성을 확대하고, 동시에 최적설계, 소재개발, 가공성 향상 등을 추진하는 보완책이 필요하다.

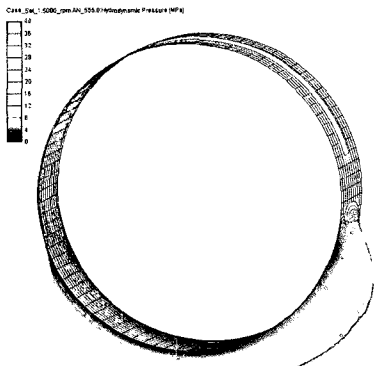
Fig. 6은 저점도 엔진오일 SAE 0W-40을 사용하였을 때 엔진베어링에서 발생한 유막의 압력분포를 3차원적으로 보여준 것이다. 이 때에 엔진베어링의 작동조건은 최소유막두께를 나타내는 베어링의 속도는 1000 rpm이고, 유막의 최대압력이 발생하는 크랭크 각도에서 계산된 압력분포를 엔진오일 0°C, 30°C, 90°C, 130°C의 4가지 작동온도에 대하여 보여주고 있다. 즉, 엔진오일의 작동온도가 낮은 0°C~30°C 정도는 유막의 최고압력 분포가 뚜렷하게 나타나지만, 90°C~130°C 정도로 정상 작동조건에 진입하게 되면 유막에 의한 하중지지 용량이 크게 떨어지는 압력분포 형태를 잘 보여주고 있다. 이것은 저점도 엔진오일 사용에 따른 저온 마찰손실 감소라는 긍정적 효과와 유막 강성도 저하 및 하중지지 용량 저하에 따른 베어링 수명단축과 고장발생이라는 부정적 효과를 연계하여 극복해야 한



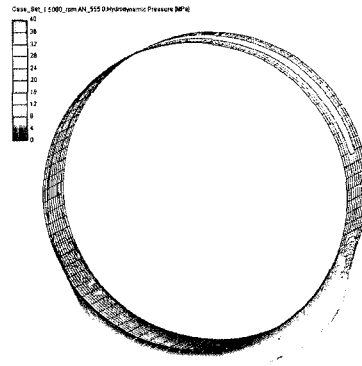
(a) Temperature of engine oil : 0°C



(c) Temperature of engine oil : 90°C



(b) Temperature of engine oil : 30°C



(d) Temperature of engine oil : 130°C

Fig. 6. Oil film pressure distribution with an engine speed of 1000 rpm.

다는 것을 지적하는 해석결과이다.

## 6. 결 론

엔진베어링의 유막에 의해 피스톤의 팽창하중을 지지하고, 마찰손실에 의해 엔진의 연비에 영향을 미치는 베어링의 마찰손실을 줄이기 위해 저점도 엔진오일을 사용할 필요성이 제기되고 있다. 윤활유에 의한 마찰손실 및 유막특성을 유한요소법으로 저온과 고온, 그리고 작동속도에 대하여 해석하여 다음과 같은 결과를 얻었다. 즉,

베어링의 작동조건이 저온·고속에서 운전할 경우 엔진오일의 저점도화에 따른 마찰손실은 34.5%(2000 rpm의 경우)나 크게 감소하나, 고온·고속일 경우는 5.3%(2000 rpm의 경우)로 큰 영향을 미치지 못하는 것으로 나타났다.

또한, 저온에서 작동하는 엔진베어링의 최소유막두께는 엔진오일의 저점도화에 따라 약간은 감소하지만 마찰손실과는 다르게 그 영향은 크지 않았고, 엔진오일의 온도가 상승함에 따라 저점도 엔진오일에 의한 최소유막두께에 대한 영향은 극히 작았다.

결과적으로 엔진베어링에 저점도의 엔진오일을 사용할 경우 최소유막두께에 미치는 영향은 작지만, 마찰력에 의한 에너지 손실에 미치는 영향은 대단히 높아 연비향상에 도움이 된다는 사실이다. 따라서 엔진오일의 저점도화는 자동차 연비에 직접적 영향을 미치는 마찰력에 의한 에너지 손실을 줄여주기 때문에 연비향

상에 기여할 수 있지만, 베어링의 하중지지 측면에서는 베어링의 설계와 가공, 특히 첨가제 측면에서 보완해야 엔진오일의 저점도화에 따른 효과를 극대화할 수 있다.

## 후 기

이 논문은 2005학년도 홍익대학교 교내연구비에 의하여 지원되었음.

## 참고 문헌

1. 김청균, "자동차 전기전자제어공학," 북두출판사, 2005.
2. 김청균, "자동차 연비향상을 위한 저점도 엔진오일 및 윤활설계기술 동향," 제40회 춘계학술대회, June 2005.
3. EXCITE User's manual, Version 6.1, AVL, 2004.
4. Tanaka, H., Nagashima, T., Sato, T. and Kawauchi, S., "The Effect of 0W-20 Low Viscosity Engine Oil on Fuel Economy," SAE 1999-01-3468, 1999.
5. Bennett, J. and Chudasama, D., "The Use of Low Viscosity Oils to Improve Fuel Economy in Light Duty Diesel Engines," SAE 2000-01-2054, 2000.
6. C.K. Kim, "Introduction to Engineering Tribology," BD publishing Co., 2004.
7. Oliver Knaus, Bernhard Loibnegger, Hubert M. Herbst and Gudrun Kreuzwirth, "Einfluss von Struktur-dynamik und elasto-hydrodynamischer Lagerung auf die Pleuelgestaltung," MTZ, Jahrgang 63, pp. 546-554, 2002.