

# 디젤 엔진의 성능과 속도

(주) 헤 인  
차 장 안 민 흥

## 엔진수명의 측정

언제든지 디젤 엔진에 대해 논의할 때, 알맞는 엔진 속도 범위에 대한 질문이 제기된다. 어떤 사람들은 오직 저속 회전수의 엔진만이 적당하다고 생각하는 반면에 또다른 사람들은 고속 회전수의 엔진이 전반적으로 최상의 성능을 발휘한다고 말한다.

각각의 사람들이 다양한 범위의 엔진 적용(engine application)을 염두에 두고 말하는 경향이 있기 때문에 사실상 위의 두 견해는 모두 맞다고 말할 수 있다. 오늘날 제작되고 있는 엔진의 속도 범위는 매우 다양하다.

디젤 엔진의 속도 범위는 저속인 경우 약 150rpm에서 최소 3,200rpm까지 다양하며, 가솔린 엔진의 경우에는 약 1,500rpm에서 최소 10,000rpm까지 다양한 범위에서 작동된다. 오래된 개념으로의 엔진수명은 총 사용시간으로 나타내고, 측정되었는데, 이 개념에서는 더 낮은 속도의 엔진이 긴 수명을 가졌었다. 그러나 보다 현대적인 개념의 엔진수명은 마력 - 시간(horsepower-hours)으로 나타내고, 측정되어 지는데, 이 개념에서는 올바르게 디자인되고 제작된 더 높은 rpm의 엔진을 더 낮은 rpm의 엔진과 비교했을 때 더 높은 rpm의 엔진이 더 효율적임을 알게 된다.

일반적으로 저속 엔진은 고속 엔진에 비해 크기(출력에 대한 엔진의 체적)가 크며, 마력당 엔진의 무게가 더 무거우며, 초기 비용이

많이 소요되는 반면에 운전 조건에 따라 고속 엔진보다 수명이 길고, 정비하기가 수월하며 고속 엔진에 비해 하중계수(load factor)가 더 높다. 또 고속 엔진은 저속 엔진에 비해 하중계수가 더 낮으며 총 사용시간이 더 짧고 정비에 더 많은 주의를 기울여야 하는 반면에 엔진의 체적을 작게 할 수 있고, 마력당 엔진의 무게를 가볍게 할 수 있으며, 초기 비용이 적게 소요된다. 뿐만 아니라 부하 변동에 따른 출력의 감응도가 양호하며 시동 및 조작이 간편하다.

그러나 일반적으로 알맞는 엔진속도는 엔진의 적용, 하중계수 및 요구되는 곳의 사양에 따라 다르다. 이러한 고속 및 저속 엔진의 장·단점에도 불구하고 오늘날에는 1,000rpm에서 약 3,000rpm 속도 범위 사이의 디젤 엔진이 가장 많이 생산되고 있다.

## 엔진의 출력을 증가시키려면

오늘날 대부분의 엔진 제작자들은 점점 더 높은 속도의 엔진을 제작하고 있다.

왜 엔진 속도를 증가시키는가?

다음은 미국 C사에서 제작된 엔진을 예로 들어 설명하기로 한다.

아래의 두 엔진에서 나중에 생산된 B모델이 A모델에 비해 배기량이 약 40% 감소된 상태에서 출력이 12% 더 높으며, 연료 소모량은 10% 더 적다. 또한 무게도 1/3정도 가

구 분 \ 모 델	A	B
출 력 (HP)	88	100
회 전 수 (rpm)	700	2,200
배 기 량 (in <sup>3</sup> )	1,090	425
연료소모량 (lb/bhp-h)	0.50	0.45
무 게 (lbs)	5,175	1,588
가 격 (us \$)	11,400	3,007

벼우며, 가격도 더 싸다. 왜 오늘날 가격도 낮으면서 더 적은 체적(배기량)과 더 낮은 연료 소모량으로서 더 큰 출력을 얻을 수 있는가?

이러한 질문에 대한 해답을 얻기 위해 우리는 몇가지 사항에 대해 살펴보아야 한다. 먼저 출력(output power)에 영향을 주는 요소에 대해 알아보기로 한다.

우리가 알고 있듯이

$$HP = \frac{T \times R}{5,252} \text{이다.} \left( T = \frac{33,000 \times HP}{2 \times rpm} = \frac{5,252 \times HP}{rpm} \right)$$

여기에서 T: 토크(lb·ft) R: 엔진회전수(rpm)

그러므로 같은 엔진회전수 상태에서 토크를 증가시키거나 같은 토크 상태에서 엔진 회전수를 증가시키면 출력이 증가함을 알 수 있다. 모든 엔진 제작자들은 토크를 증가시키는 문제에 몰입하게 된다.

아마도 토크를 증가시키는 가장 쉬운 방법은 피스톤 보어(bore) 직경을 증가시키거나 피스톤 행정(stroke) 또는 더 많은 실린더를 설치함으로써 간단히 피스톤의 배기량을 증가시키는 것이다.

그러나 이러한 방법은 엔진이 더 커지게 되며, 이로 인하여 더 많은 연료를 사용하게 됨으로써 사용자의 요구에 역행하게 된다.

토크를 증가시키는 또 다른 방법은 BMEP(제동평균 유효압력: Brake Mean

Effective Pressure)를 증가시키는 것이다.

$$\text{토크(lb·ft)} = \frac{\text{배기량} \times \text{BMEP}}{150.8}$$

다음과 같은 엔진을 예로 들어 설명한다.

638 in <sup>3</sup> 2,200 rpm	
BMEP	HP
· 131	· 233
· 144	· 257
· 158	· 280

위의 예와 같이 BMEP가 131이고, 출력이 233HP인 엔진이 있다. 이러한 엔진에서 BMEP를 144로 10% 증가시키려면 엔진의 출력은 257HP로 약 10% 증가하게 된다.

또 다시 BMEP를 158로 10% 증가시키면, 출력도 비례하여 증가하게 된다. 물론 이렇게 되기 위해서는 출력에 대한 개념과 과급 및 후냉(turbocharging & aftercooling)에 대한 이해가 필요하게 된다.

필요한 더 높은 출력을 발생시키는 요소인 더 높은 엔진속도에 대해 살펴보기로 한다. 엔진속도가 증가함으로써 더 높은 열적 부하(heat load)를 수반하게 된다. 이러한 열적 부하의 증가는 시간당 폭발회수의 증가와 마찰의 증가로 인하여 발생하는 것이다.

이러한 열의 영향을 감소시키기 위한 몇 가지 단계가 있다.

1) 피스톤 링의 숫자를 감소시키므로 피스톤 링이 실린더 벽에 접촉되는 총면적을 감소시킨다.

— 1930년대의 디젤 엔진 제작자들은 6-링 피스톤을 사용하였고, 1940년대 초기에는 5-링 피스톤을 사용하였으며, 1940년대 후반기

에는 4-링 피스톤을 사용하였다. 그리고 1960년대에는 3-링 피스톤이 사용되었으며, 1967년 경에는 2-링 피스톤을 사용하는 엔진도 나타나게 되었다. 현재에는 3-링 피스톤이 가장 널리 사용되고 있다.

— 피스톤 링의 마찰이 엔진의 내부적인 출력소모 중 가장 큰 요소이므로 피스톤 링중 1개의 제거는 엔진 출력 증가 및 연료의 경제성에 대한 충분한 고려의 대상이 된다.

2-링 디자인은 피스톤 링과 실린더 벽 사이에서 전체적인 접촉 면적을 감소시켜, 마모를 최소화하고, 마찰열을 감소시키며, 최대의 수명을 제공하게 된다.

2) 피스톤 링과 실린더 벽 사이의 윤활오일 공급을 증가시켜, 이 부분에서 충분한 윤활과 냉각이 이루어지게 된다.

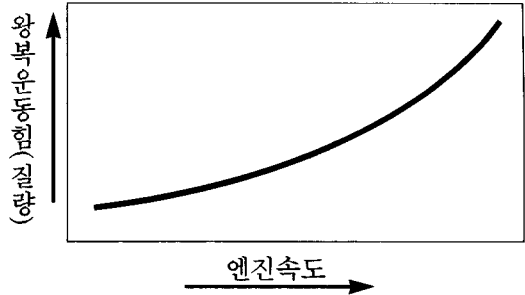
3) 냉각수의 양과 압력을 증가시켜 냉각수가 열을 많이 접하는 연소실의 헤드, 밸브, 인젝터 등에 직접 공급되게 함으로써 충분한 냉각이 이루어지게 하고, 실린더 블록에도 선반 모양의 턱진 부분을 만들어 충분한 냉각수가 흘러 실린더 라이너에서 가장 열을 많이 받는 부분(상부 피스톤 링이 닿는 부분)에서 충분한 냉각이 이루어지도록 한다.

4) 완전한 흡, 배기 작용을 통해 깨끗하고 차가운 공기의 흡입 및 충분한 배기개스의 배출이 이루어지도록 한다.

참고로 흡입공기의 온도가 1° 상승함으로써 배기개스의 온도는 3° 상승하게 된다.

### 고속엔진은 엔진의 무게를 줄이고 엔진속도를 상승

아래 그래프와 같이 엔진 속도가 상승함으로써 왕복운동을 하는 모든 부품의 속도가 상승하며, 왕복운동에 의한 힘(질량힘)도 역시 증가한다.



같은 엔진 속도 상태에서 이러한 힘을 감소시키기 위해서는

1) 왕복운동을 하는 구성품의 무게를 감소시키거나

2) 행정을 감소시키면 된다.

왕복운동을 하는 구성품의 무게를 감소시키기 위해 가벼우면서도 튼튼하게 구성품을 제작하기 위한 여러가지 과정을 거치게 된다.

그 중의 하나가 피스톤에 있어서 무거운 주철 피스톤 대신 가벼운 알루미늄 합금 피스톤을 사용하게 되었다.

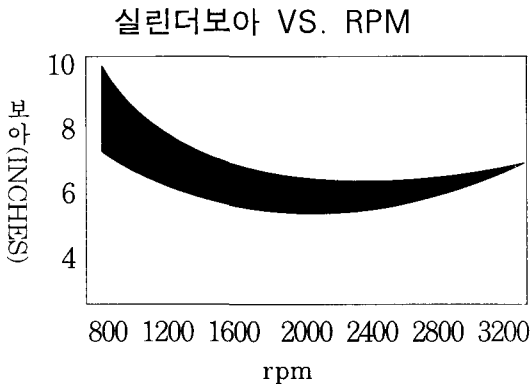
엔진 베어링에 있어서도 납·구리 합금의 베어링 대신 알루미늄 합금 베어링으로 대체되었다. 실제로 엔진 구성품에는 여러가지 합금을 사용함으로써 무게를 감소시키면서 강도는 증가시키게 되었다.

현대와 같은 우주시대에 있어서 발달된 금속에 관한 지식이 비교적 수년전만 해도 잘 알려지지 않은 물질의 사용을 가능케 하였으며, 아울러 새로운 금속의 접합 및 가공 공정 기술 등이 난해한 디자인을 처리하도록 했으며, 고가 비용의 소요 또는 불가능한 작업등을 더 이상 불가능으로 방치하지 않았다.

변형계이지(strain gauge)의 사용, 방사선 동위원소에 의한 마모입자의 연구, 고속화된 사진술, 피로 및 하중시험 등에 의한 금속의 과학적인 배치 등이 작은 금속으로도 더 많은

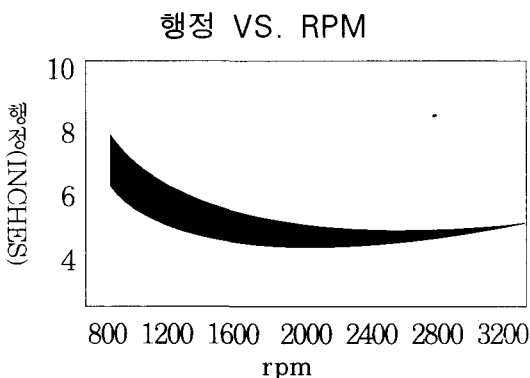
하중을 전달할 수 있게 했다.

작은 보어(bore)의 엔진이 왕복운동 구성품의 무게를 감소시키므로 고속 엔진이 기계적인 제한을 초과하지 않고 작은 엔진으로 제작될 수 있다.



앞장의 그림이 이러한 관계를 나타낸 것인데, 보어 직경이 증가함에 따라 엔진속도가 급격하게 감소함을 알 수 있다.

보어 직경을 비교적 적게 변경시킴으로써 엔진속도를 비교적 많이 증가시킬 수 있으므로 이러한 고속 엔진에서 배기량에 대한 동력을 증대시킬 수 있다.



기계적인 부하(mechanical load)를 감소시키는 또 다른 방법은 행정(stroke)을 감소시키는 것이다.

위의 그림에서 이러한 사실을 알 수 있는

데, 이것도 역시 배기량을 감소시키게 된다. 이렇게 함으로써 엔진속도를 증가시킬 수 있어서 동일 BMEP 상태에서 동력이 증가될 수 있다.

엔진의 속도가 증가함에 따라 행정이 반드시 감소한다. 이것은 무게를 감소시키고, 피스톤 속도를 감소시키는 이중효과를 나타낸다. 즉 왕복운동을 하는 구성품의 무게에 영향을 미치게 된다. 결국 중고속 디젤 엔진은 어떠한 적용(application)에도 적합하게 설계 및 제작될 수 있다. 수명은 좀 짧지만, 고회력 엔진의 총 출력과 수명은 길지만, 저출력 엔진의 총 출력은 비슷한 것이다.

### 엔진 선정시에는 경제성을 고려

사용자들은 총 소요비용은 최소이며, 전체 생산성은 최대인 엔진을 최고 가치의 엔진으로 평가하며, 그러한 엔진의 개발을 항상 염원하게 된다.

여기에서 생산성이란 여러 방법으로 정의되지만, 엔진에 있어서의 생산성이란 기본적으로 주어진 적응상태에서 낼 수 있는 출력으로 정의될 수 있다. 엔진에서의 총소요 비용은 다음과 같은 것에 의해 결정된다.

- 1) 초기비용(구입가격)
- 2) 연료 및 오일 소모비
- 3) 수리비 및 운휴로 인한 비용
- 4) 부품 및 소모품비
- 5) 가동시간

고속 엔진이 점점 더 전체 성능면에서 더욱 완벽하게 경쟁력을 갖추에 따라 많은 제작자들은 고속에서 작동하는 엔진을 더 많이 제작하게 될 것이다.

주어진 조건에 적합한 엔진을 결정하기 위해 전체 비용 및 생산성에 관련된 모든 요소들을 주의깊게 고려하는 것이 요구된다.