

압축 착화기관의 엔진 성능 시험방법 Test Method for Engine Performance in Compression Ignition Engine

권순익*
Soon-Ik Kwon*

〈Abstract〉

Specific fuel consumption or specific power output characteristics of an internal combustion engine are likely, in conventional applications, the most important operating criteria. In this work, the test method for the engine performance was introduced in a compression ignition(diesel) engine.

Key Words : *Engine Performance, Diesel Engine Dynamometer, Combustion Curve*

1. 서론

일상생활에서 항상 우리 곁에 있는 자동차의 경우를 살펴보면 자동차를 구매하기 위해 자동차의 외관, 내부, 편의시설, 배기량, 안전성 등 전 분야에서 우리는 자동차의 모든 부분을 살펴 피게 된다. 또한 동급의 엔진에서도 어느 회사 차량을 구매할까 라는 항목도 그 중 하나이다. 동급 엔진이라도 회사마다 그 출력과 연비 등이 다르게 표시되어 있는데 이러한 출력과 연비 등 성능을 어떻게 측정하느냐에 대한 관심을 가지는 사람은 별로 없는 것 같다. 그러나 자동차 제작사나 설계자에 있어서 엔진의 성능을 평가하고 비교하는 것은 기본적인 요건으로 아주 중요한 것이다⁽¹⁾⁻⁽⁴⁾.

본 해설은 이 부분 즉 자동차용 엔진 그 중에서도 디젤엔진의 성능을 평가하는 방법에 대해 간략히 소개하고자 한다.

2. 엔진의 작동

우선 엔진의 작동과정을 살펴보면, 4 스트로크 사이클 엔진(보통 4 사이클이라 함)에서 4 스트로크는 한 사이클을 마치는데 꼭 필요하며, 흡입, 압축, 동력 그리고 배기행정으로 나누어진다(Fig.1 and 2). 흡입행정은 피스톤이 상사점에서 하사점까지 내려가는 동안 공기가 흡입 밸브를 통해 연소실 내로 들어오는 과정이며, 압축행정은 흡기와 배기 밸브가 닫혀 있는 상태에서 피스톤이 상사점을 향해 움직이고 과정을 말한다. 피스톤이 공기를 압축하게 되면 공기의 압력과 온도가 상승하여 엔진의 종류에 따라 차이는 있으나 압력은 대략 3~4MPa, 온도는 거의 800K까지 상승하게 된다. 이 상태에서 분사노즐에서 연료가 연소실내에 분사되면 분사된 연료는 미립화되어 공기와 혼합 한 후 증발하게 된다. 증발된 연료 공기 혼합기는 고

* 정회원 두원공과대학 기계과 부교수 · 工博
日本廣島大學 卒業
456-890 경기도 안성시 죽산면 장원리 678
E-mail : sikwon@doowon.ac.kr

* Associate Prof. Dept. of Mechanical Engineering.
Doowon Technical College
678 Changwon-Ri, Chuksan-Myon, Ansong-Si,
Gyeonggi-Do 456-890, Korea

온의 공기로부터 열을 흡수하여 발열 반응에 의해 상사점부근에서 착화하여 급격한 압력상승과 더불어 연소하게 된다. 연소기간 동안 압력상승과 가스의 팽창에 의해 피스톤은 하강하면서 동력을 발생시킨다. 이 과정을 동력행정 혹은 팽창행정이라 한다. 피스톤이 상사점에서 하사점까지 완전히 움직인 후 배기밸브가 열리고 피스톤이 하사점에서 다시 상사점으로 움직이면서 연소가스는 실린더 밖으로 배출된다.

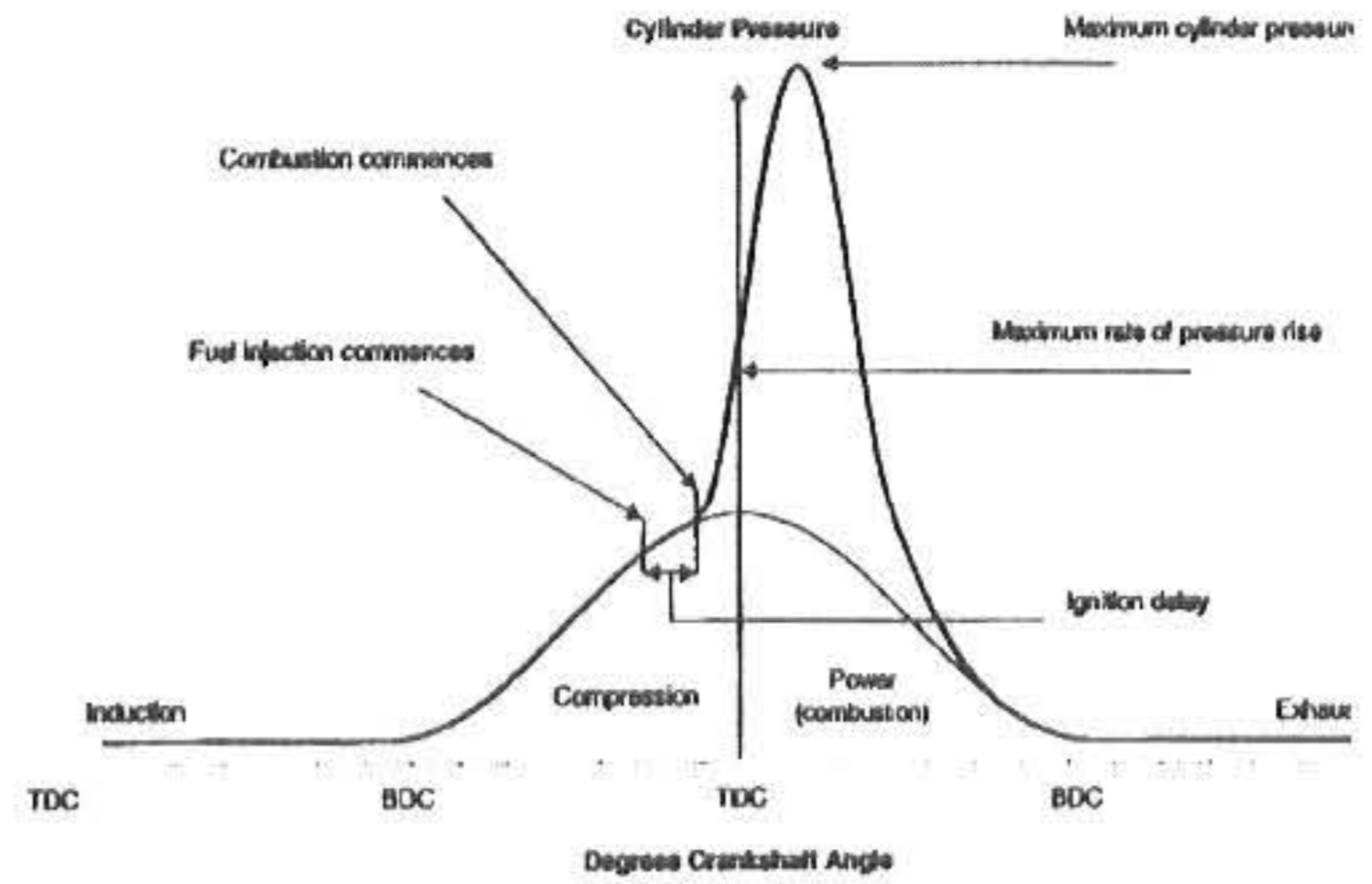


Fig.1 In Cylinder Pressure vs Crankshaft Angle

3. 엔진성능 실험 및 제어

엔진 성능실험을 위해 설치되어야 할 기본적인 센서 및 장치를 Fig.3에 나타낸다. 실험동안 실린더 내 압력과 피스톤의 위치는 항상 기록하여야 하며, 이때의 실린더 압력과 크랭크 각도 및 실린더 체적의 관계를 Fig.1과 Fig.2에 나타낸다.

엔진 작동상태의 제어는 다음사항에 의해 결정된다.

- 1)연료분사 펌프 랙의 위치
- 2)동력계에서 발생하는 부하의 양

상기의 각 제어는 개별적으로 조정되나 어느 일정 회전수하에서 함께 연관되어 그 결과로 나타난다. 따라서 엔진의 운전 속도는 미리 결정이 된 상태에서 실험을 진행하여야 한다.

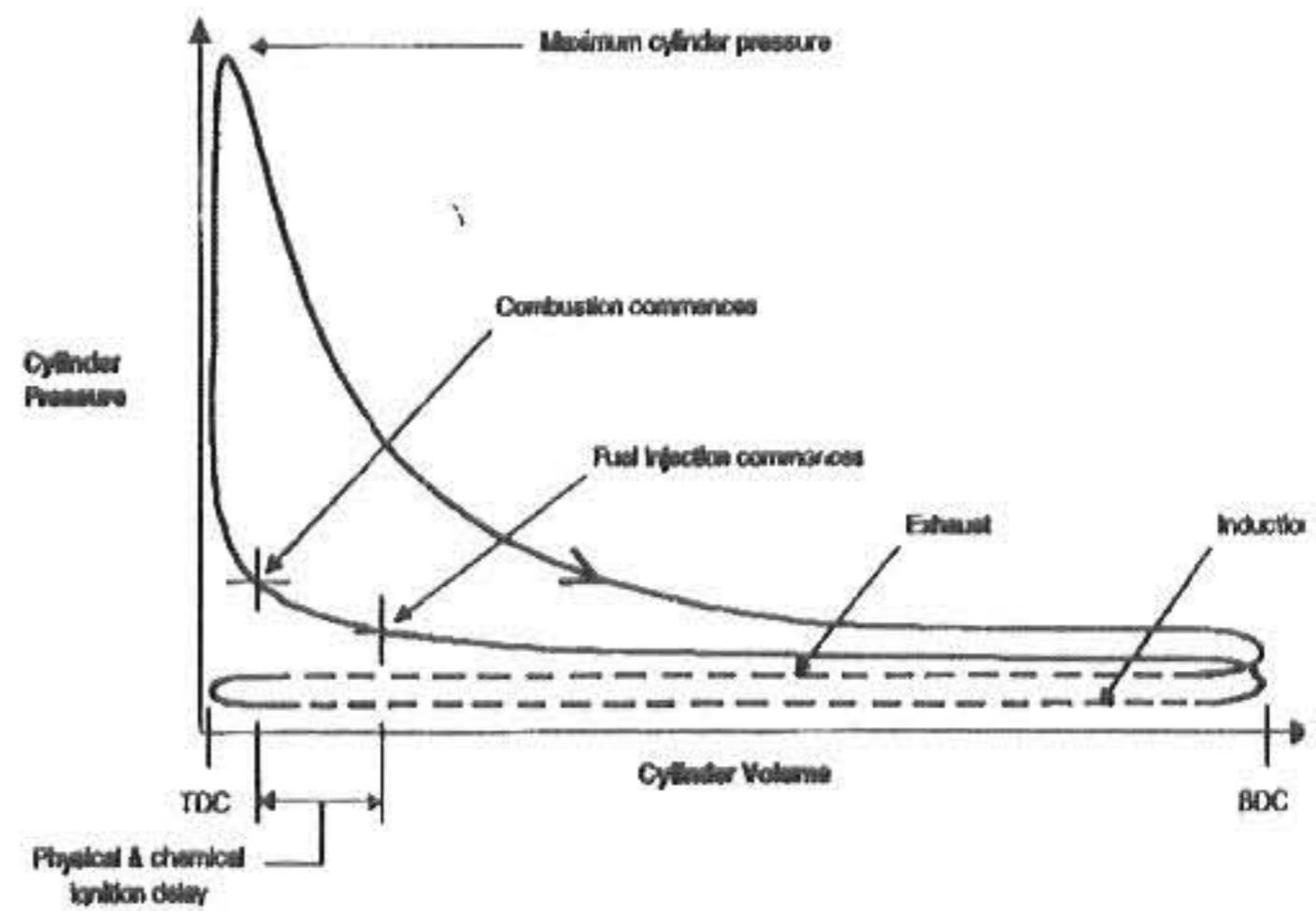


Fig.2 In Cylinder Pressure vs Volume

4. 엔진성능 계산

4.1 실제 출력(Break Power, BP)

실제출력은 크랭크 축에서 측정되는 동력을 의미하며, 측정인자는 다음과 같다.

- 동력계의 축에서 발생하는 부하(F)
- 디지털 지시계로부터 알 수 있는 크랭크축의 회전속도(N)

회전축의 반경(R)은 동력계 설계 치수로부터 알 수 있다.

$$Break\ Power = 2 \cdot \pi \cdot N \cdot F \cdot R$$

4.2 지시 출력(Indicate Power, IP)

실린더 내의 압력과 체적선도는 각 부하에

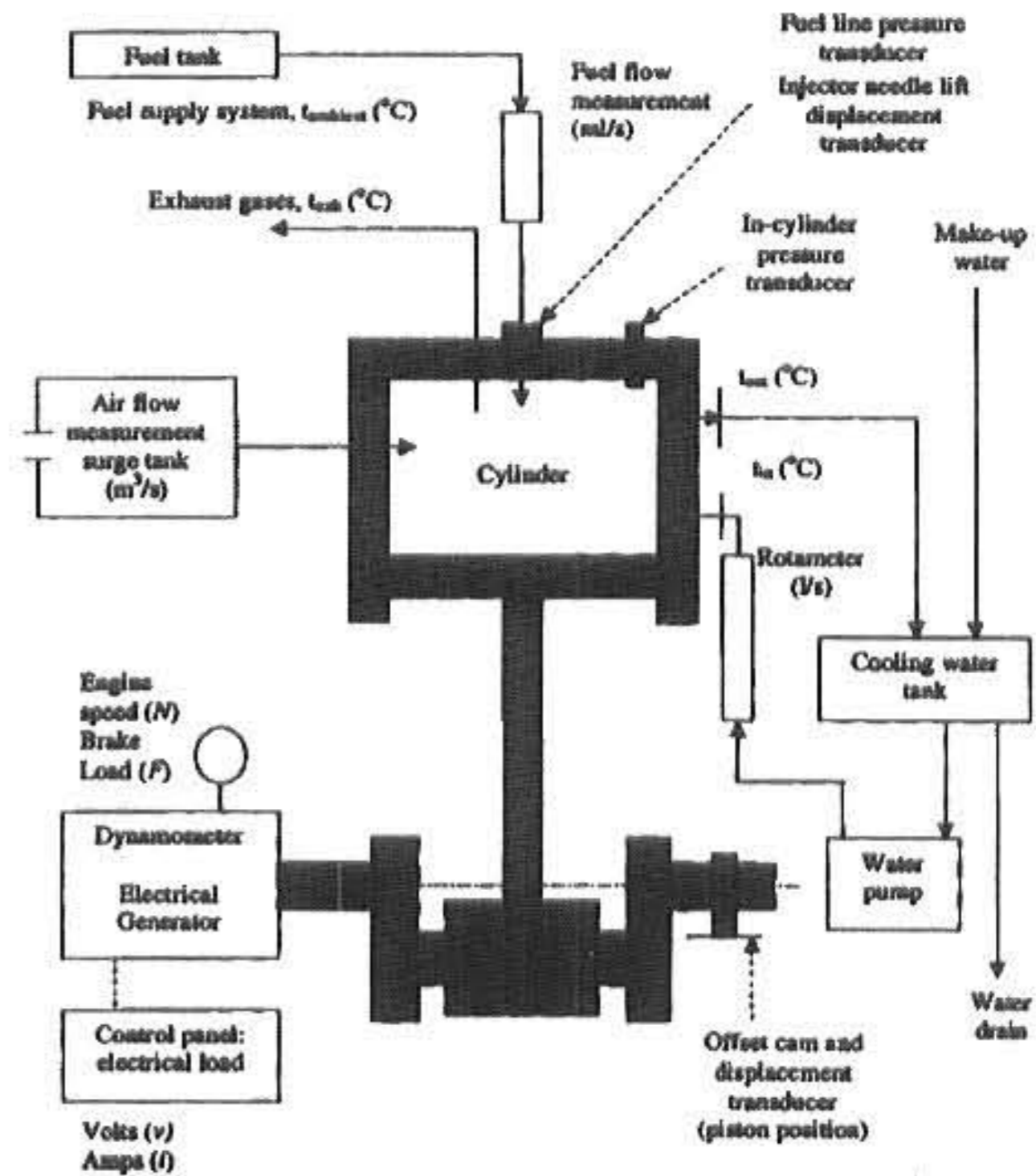


Fig.3 Schematic Representation of the Diesel Engine Apparatus

대해 나타내어야 하며 연소과정의 한 사이클을 표시한 지시 출력은 Fig.2에 나타낸 것처럼 실린더 내의 압력과 체적에 의해 결정된다. 이것은 Fig.2의 실선으로 둘러 쌓인 면적에서 점선 영역을 뺀 면적으로 나타낸다. 그러나 실험적으로 지시출력은 Fig.2의 실선으로 나타낸 부분으로 나타낼 수 있다. 이 면적은 연소가스에 의해 피스톤이 상사점에서 하사점으로 이동하면서 만들어지는 일에서 압축기간 동안 피스톤에 의해 행해진 일을 뺀 것이다. 흡입이나 배기과정 중에 한 일량은 매우 작기 때문에 시험에서는 무시할 수 있다.

$$\text{Indicated Power} = f \cdot \int P \cdot dV = \frac{N}{2} \int P \cdot dV$$

여기서 f 는 연소사이클의 횟수

4.3 연료소비율(Specific fuel consumption, *SFC*): kg/kWh

연료소비율은 한 일에 대해 소모된 연료량이며 시간당으로 나타낸다. *SFC*는 사이클 효율에 반비례한다. 측정인자는

- 연료소모량 (FC)
- 연료가 소모된 시간(t)

이며, 연료소비율은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$SFC = \frac{FC}{t} \cdot \frac{1}{BP}$$

4.4 체적효율(Volumetric efficiency, *VOL-EFF*)

체적효율은 실린더 내에 들어갈 수 있는 전체 공기량에 대해 흡입과정동안 실제로 실린더 내에 들어간 공기의 양으로 나타낸다.

측정인자는

- 흡입 공기량 (*VOL-AIR*).

이 값은 흡기관 앞쪽에 흡기 맥동을 방지하기 위해 설치된 서지탱크와 흡입밸브 사이에 설치된 오리피스를 이용하여 공기의 온도와 압력에서 측정된다.

$$VOL - AIR = a \cdot A \cdot \sqrt{2gH}$$

$$VOL - EFF = \frac{VOL - AIR}{SWEPT VOLUME RATE}$$

총 공기량(*SWEPT VOLUME RATE*)은 엔진 속도와 실린더 체적으로부터 구할 수 있다.

4.5 기계효율(Mechanical efficiency, *MECH-EFF*)

기계효율은 지시출력에 대한 실제출력으로 나타낸다.

$$MECH - EFF = \frac{BP}{IP}$$

4.6 실제 열효율(Break thermal efficiency, *BTE*)

$$BTE = \frac{BP}{m_f Q_f}$$

여기서 m_f 는 연료의 양이며, Q_f 는 연료의 발열량이다.

4.7 Willans line 방법

이것은 엔진에서 발생하는 기계손실을 평가하는데 응용되는 방법으로 디젤엔진처럼 흡입공기가 교축되지 않는 상태에서 사용된다. 일정 엔진회전수에서 실제출력(*BP*)을 연료소비율에 대해 나타낼 때 최고출력의 75%까지는 직선상으로 표시된다. 이 직선을 Fig.4에 나타낸 것처럼 연료소모가 0이 되는 위치까지 연장하면 실제출력 축과 만나게 되는데 이 점을 일정 엔진회전수에서의 엔진의 기계손실 측정점으로 취급할 수 있다.

5. 시험순서

- 1) 동력계의 calibration을 실시한다.
- 2) 실린더 내의 압력측정용 센서(piezo electric type)와 각종 온도 및 압력 센서를 설치한다.
- 3) 안정된 운전을 위해 엔진을 최고 출력의 75%로 약 15분간 운전하여 warming-up 시킨다.
- 4) 각 부하에서 관련 유량과 온도를 측정하여 출력을 계산함과 동시에 크랭크 각도에 대한 실린더 내의 압력을 오실로스코프를 이용하여

확인 및 기록한다.

5) 또한 연소곡선을 얻기 위해 오실로스코프 상에서 실린더 압력, 인젝터에서 분사되는 연료의 움직임(니들 리프트)과 연료라인의 압력 및 크랭크 각도 등을 확인 및 기록한다.

6) 시험 후 엔진을 끄기 전에 동력계의 부하를 제거하여 배기 온도가 250℃ 이하로 될 때까지 냉각시킨 후 시동을 끈다.

6. 데이터 분석

1) 실린더내의 연소압력 곡선으로부터 엔진 작동의 사이클 변화를 확인한다.

2) 각 부하상태에서 지시출력과 기계효율을 계산하고 연료소모량과 공기와 연료비를 산출한다.

3) Willians 방법을 이용하여 기계손실을 구한다.

4) 연료소모량의 에너지 분배를 통해, 측정할 수 없는 열 손실량을 구하고 실제 열효율을 계산한다.

5) 크랭크 각도 발생기에서 나오는 신호를 이용하여 실린더 체적 변화를 시간에 대해 나타낸다.

7. 의견상 주어지는 각종 데이터

시험 전에 기본적으로 주어지는 각종 데이터는 다음과 같다.

1) 엔진데이터

Single cylinder, 4-stroke, direct injection diesel engine

최고출력: 9kW
 최고속도: 2000 rev/min
 엔진직경: 87.3mm
 엔진스트로크: 110.0 mm
 압축비(V_R): 16.5

2) 유체관련 데이터

정압비열 Water: 4.187 (kJ/kgK)
 Air: 1.005
 Fuel: 1.64
 Exhaust gases: 1.129

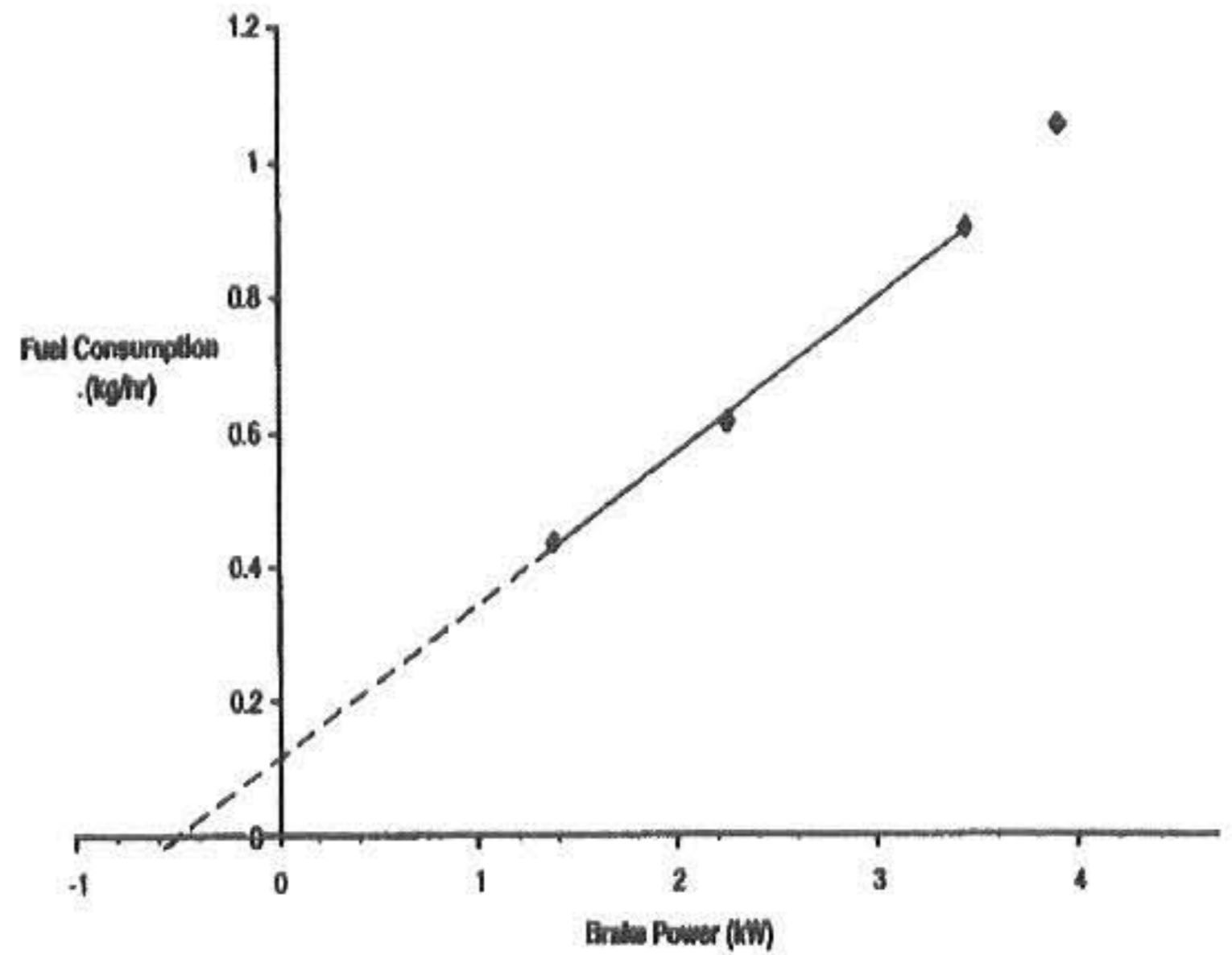


Fig.4 The Willians line

3) 연료데이터

비중: 0.876
 이론공연비: 15
 화학식: $C_{12}H_{26}$ (dodecane)
 저위발열량: 3.8133×10^4 kJ/kg

4) 동력계 및 엔진 보조장치 관련 데이터

동력계 회전축 반경 (R): 220mm
 흡입서지탱크: orifice diameter(D): 24mm
 flow coefficient(α): 0.6
 경사마노미터 : mmAq
 연료 유량계: 25, 50, 100 ml

8. 결론

실제 엔진의 출력을 구하기 위해서는 동력계가 필수적으로 있어야 하며 시험 상에서 나온 각종 데이터를 6항의 데이터 분석 순서에 의거하여 4항의 엔진 성능을 계산함으로써 출력을 구할 수 있다. 그러나 실제 자동차 제작사에서 발표되는 자료들은 완벽한 운전조건 하에서 시험되어진 결과이며, 또한 여러 시험엔진 중에서도 성능이 상위레벨에 있는 것을 기준으로 하여 test 한 자료인 만큼 사용자 입장에서 볼 때 약간의 차이는 있을 수 있다고 본다. 또한 똑같이 만들어져 나온 엔진이라 하더라도 엔진 상호간의 편차는 엄연히 존재하는 만큼 사용자가 느끼는 연비나 출력 등의 차이는 항상 존재한다고 볼 수 있다.

엔진의 출력 측정 방법에 대해 비전문가를 목표로 쉽게 서술하였으나 부분적으로 전문적인 부분이 가미되어 조금은 난해한 부분도 없지 않을 것으로 사료되나, 이 분야에 대해 약간의 도움이 될 것을 기대해 본다.

참고문헌

- (1) Taylor, C. F., The Internal Combustion Engine in Theory and Practice, 2nd ed., Cambridge, Massachusetts, The M.I.T. Press, (1985)
- (2) Heywood, J. B., Internal Combustion Engine Fundamentals, McGraw-Hill Press, (1988)
- (3) 廣安博之, わかる内燃機關, 日新出版, (1985)
- (4) 이성렬, 내연기관, 보성각, (1995)

(2002년 9월 6일 접수, 2002년 11월 18일 채택)