

흡기3밸브 실린더 헤드의 흡입 정상유동 특성에 관한 연구

정재우*, 이기형**, 김우태***
(1999년 11월 23일 접수)

A Study on the Steady Intake Flow Characteristics of the Intake 3-Valve Cylinder Head

Chung, jae-woo, Lee, ki-hyung and Kim, woo-tae

Key Words: Intake Flow Coefficient(흡입유량계수), Steady-State Flow Test(정상유동실험), Intake 3-Valve(흡기 3밸브), Visualization(가시화)

Abstract

Flow patterns and steady flow characteristics of an intake 3valve cylinder head are not obviously declared. Thus, in the study, the characteristics and limitation of intake flow coefficient which applied to multi intake valve engine are introduced. The flow coefficient and tumble characteristics are investigated by means of the steady flow test and flow visualization method. As the results, it is found that the intake flow rate is dominated by effective valve open area. In addition, this paper shows that the mass flow rate of intake 3valve engine is greater than that of intake 2valve engine and tumble flow of intake 3valve engine is superior to that of intake 2valve engine.

기호설명

- | | |
|--|--|
| <p>D_b : 실린더 직경(m)</p> <p>T : 토크($N \cdot m$)</p> <p>Q_a : 흡입 공기 체적 유량(m^3)</p> <p>G_a : 흡입 공기 질량 유량(kg/s)</p> <p>$G_{th(valve)}$: 이론 흡입 공기 질량 유량 (kg/s)</p> <p>n : 흡기 밸브 개수</p> <p>A_b : 실린더 단면적(m^2)</p> <p>A : 밸브의 유효 열림 면적(mm^2)</p> <p>F_i : 밸브의 기하학적 열림 면적(mm^2)</p> <p>L : 밸브 리프트(mm)</p> | <p>N : 회전날개의 회전수(rpm)</p> <p>D : 밸브 지름(mm)</p> |
|--|--|

1. 서론

최근 자동차용 엔진의 개발에 있어서 각종 규제들에 대응하기 위하여 저연비, 저배기 및 고출력에 대한 요구를 양립할 수 있는 연구들이 활발히 진행되고 있으며, 이와 더불어 새로운 제품의 개발 기간은 경쟁력 상위 확보를 위하여 급속히 단축되고 있는 추세이다. 고출력, 고효율 엔진의 연소실 형상으로 현재는 흡기 2밸브 엔진이 주축을 이루고 있으나, 보다 나은 출력 성능과 연비 저감을 위하여 흡기 3밸브 엔진에 관한 관심이 고조되고 있다. 이러한 흡기 3밸브 엔진은 흡기 밸브 관성 질량의 저감과 흡기 밸브 개구면적의 확대로 인한 흡입 유량의 증가면에서 매우 유리하다고 알려져 있다.⁽¹⁾ 이러한 새로운 엔진의 연소실 설계시, 흡입 유동 특성을 파악하기 위한 실험 방법 중 하나로 제작이 간

* 한양대학교 대학원
** 회원, 한양대학교 기계공학과
E-mail : hylee@hanyang.ac.kr
TEL : (0345)400-5251 FAX : (0345)406-5550
*** 현대자동차

편한 모사 실린더 헤드를 이용한 정상유동 실험이 수행되고 있다. 실험 결과인 흡기 성능에 대한 비교척도로써 정상유동 실험결과인 흡입 유량계수를 사용하고 있으며, 종래에는 주로 흡기 밸브 하나인 실린더 헤드에 대한 적용이 많았으므로, 여러 가지 유량계수의 정의 중에서 임의로 선택하여 사용되어 왔다.⁽²⁾ 그러나 흡기 다밸브 엔진을 개발하는 경우의 유량계수는 정의에 따라서 서로 다른 경향을 나타내는 결과가 빈번히 발생하고 있으므로 유량 계수의 특성에 대하여 좀 더 엄밀히 평가할 필요성이 대두되고 있다. 따라서 본 연구에서는 3차원 캐드 프로그램을 이용하여 흡기 다밸브(2, 3밸브) 모사 실린더 헤드를 제작하여 정상유동 실험을 수행하였으며, 이를 통하여 흡기 다밸브 엔진에 대한 흡입 유량 계수 적용의 한계성을 고찰하였다. 또한 실험 결과의 해석으로부터 흡기 3밸브 엔진의 흡기포트 형상이 흡입 유량특성 및 텀블 유동 특성에 미치는 영향을 고찰하였고, 이 결과를 이용하여 흡기 3밸브 엔진의 개발 시 연소실 형상에 관한 설계 지표를 확립하였다.

2. 실험장치 및 실험 방법

2.1 실험용 실린더 헤드

본 실험에 사용한 엔진들의 주요 제원을 Table 1에 나타내었다. 이와 같은 엔진들을 이용하여 유량 계수의 적용 범위 및 한계를 파악하였으며, 흡기 3밸브 엔진에서의 밸브 직경이 흡입 유량 및 텀블비에 미치는 영향을 조사하였다. 모든 실험용 흡기 3밸브 실린더 헤드의 경우 범용 CAD 프로그램인 CATIA를 사용하여

설계하였으며, 연소실 직경은 국내에서 경쟁이 치열한 1800cc 엔진을 기준으로 선정하여 82.5mm의 보어로 제작하였다. 다음의 Fig.1에 제작된 흡기 3밸브 엔진의 연소실 형상의 한 예를 나타내었다

2.2 흡입 유량 및 텀블비 측정 실험장치

본 실험에서 사용한 정상 유동 실험 장치의 개략도를 Fig. 2에 나타내었다.

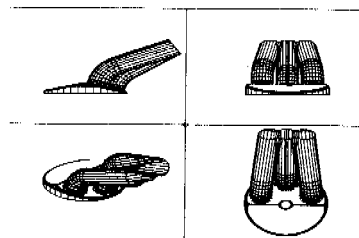
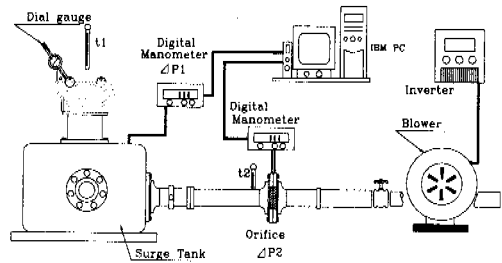
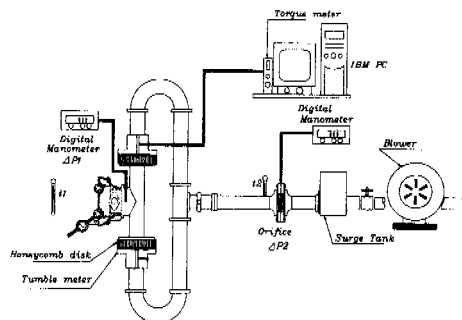


Fig. 1 The configuration of intake 3-valve cylinder head



(a) Test rig for mass-flow rate



(b) Test rig for tumble ratio

Table 1 The Specifications of cylinder head

Engine	Bore(mm) ×	Valve
	Stroke(mm)	Dia(mm)/Num.
A	82.5 × -	22/3
B	82.5 × -	24/3
C	82.5 × -	26/3
D	81 × 87	31.5/2
E	86 × 86	34/2
F	76.5 × 81.5	30.3/2
G	72 × 64	35.5/1

Fig. 2 Schematic diagram of steady-flow test rig

그림 중의 (a)는 유량 측정 장치를 나타내며, (b)는 텀블 측정 장치를 나타낸다. 정상유동 실험시, 흡송차압 (ΔP_1)은 항상 일정 차압(약 300mm H₂O) 이상으로 설정하였으며, 오리피스 유량계로부터 유량을 측정하였다. 실험시 텀블의 측정은 각 운동량 측정장치를 사용하였으며, 다음의 식 (1)에 본 연구에 사용된 무차원 텀블비(TR, tumble ratio)의 계산식을 나타내었다.

$$TR = \frac{\pi D_b N / 60}{Q_d / A_b}, \quad N = \frac{4T}{G_a D_b^2 / 2} \times \frac{1}{2\pi} \quad (1)$$

2.3 흡입 유량계수(C_v)와 정적 유량계수(μ_i)

실린더 헤드의 설계 또는 평가를 위한 정상유동 실험에서 엔진의 배기량에 무관하게 흡입 능력을 평가할 수 있는 지표로서, 다음의 식 (2)와 같은 정의를 가진 흡입 유량계수(C_v)를 널리 이용하고 있다.

$$C_v = \frac{G_a}{G_{th(valve)} \times n} \quad (2)$$

식 (2) 중의 손실이 없는 이론 유량은 밸브 또는 시트 내경(inner seat diameter)을 지름으로 하는 단면적을 통과하는 유량을 의미한다.⁽²⁾

또 다른 유량계수인 정적 유량계수(μ_i)의 정의식은 다음의 식 (3)과 같다.

$$\mu_i = \frac{A}{F_i} \quad (3)$$

위 식 중의 A 즉, 흡기 밸브의 유효 열림 면적은 손실이 없을 시의 실제 흡입 공기량을 기준으로 계산된 유동통로의 면적을 말한다.

2.4 정상 흡입 유동 가시화 실험장치

본 연구에서는 텀블 유동의 정성적 평가를 위하여 Fig. 3과 같은 가시화 실험 장치를 구성하였다. 수냉식 Ar-ion 레이저(5W)를 광원으로 사용하였으며, 원통형 렌즈를 이용하여 시트 빔(sheet beam)을 형성한 후 촬영위치에 조사하였다. 촬영은 CCD카메라를 사용하였으며, 노출시간은 1/60초였다. 산란입자는 마이크로 벌룬(비중 3.085, 지름 80 μ m)을 사용하였다.

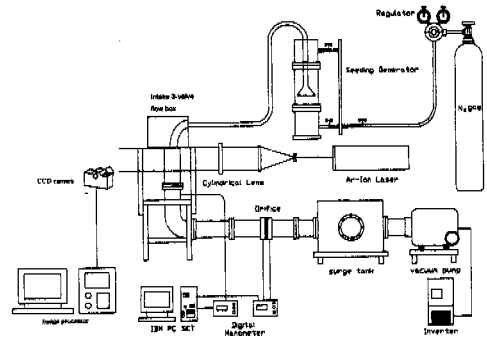


Fig. 3 Schematic diagram of visualization system in steady state flow rig

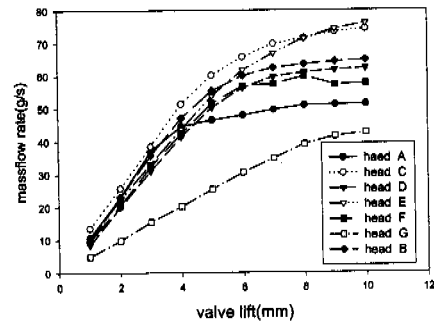


Fig. 4 Mass flow rate characteristics of test cylinder heads with valve lift

3. 실험 결과 및 고찰

3.1 흡입 유량계수 적용의 문제점 및 흡기 3밸브 엔진의 흡입 유량 특성

다음의 Fig. 4는 Table 1에 제시된 실험용 실린더 헤드의 정상 흡입 유량을 밸브 리프트에 대하여 표시한 결과이다. 모든 실린더 헤드는 밸브 리프트 증가에 따라 흡입 유량이 증가되는 경향을 보이고 있으나, 어느 한계 리프트 이상에서 둔화되는 결과를 나타내고 있다. 이러한 결과는 고밸브 리프트에서의 밸브 시트 주위의 박리 증대와 유로 형상 변화에 의한 축류계수의 저하에 기인한 것으로 생각된다.⁽³⁾ 이러한 유량의 증가 둔화 현상의 순서는, 밸브 지름의 크기 순위(G>E>D>F>C>A)와 비교적 유사한 경향을 나타내고 있음을 알 수 있다.

또한 본 실험 결과로부터 실린더헤드 A의 경우는 흡기 3밸브임에도 불구하고 동일 밸브 리프트에서의 동급인 1500cc용 2밸브 엔진(head F)에 비하여 적은 유량을 가지는 반면, 같은 보어의 흡기 3밸브 엔진(head C)의 경우는 밸브의 크기를 확대함으로써 2000cc용 엔진(head E)보다도 많은 유량을 확보함을 알 수 있다. 이러한 결과로부터 흡기 3밸브의 경우 동일 실린더 직경에 있어서 흡기 밸브 지름의 증가(head A<B<C)는 유량의 증가를 초래하는 사실을 알 수 있다.

다음의 Fig. 5는 무차원 밸브 리프트(밸브리프트/밸브 지름)에 대한 유량 특성을 나타내었으며, Fig. 6에 무차원 밸브 리프트에 대한 유량계수 C_v 의 선도를 나타낸 결과이다.

무차원 밸브 리프트에 대한 비교는 밸브 크기에 대한 영향이 없이 상대 비교가 용이할 것으로 생각되지만,

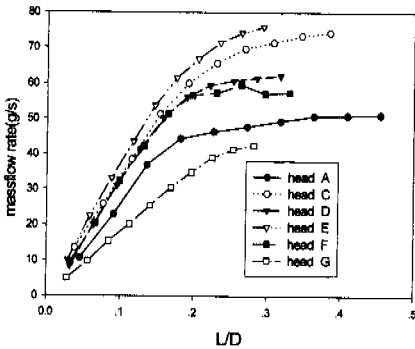


Fig. 5 Mass flow rate of test heads with non-dimensional valve lift

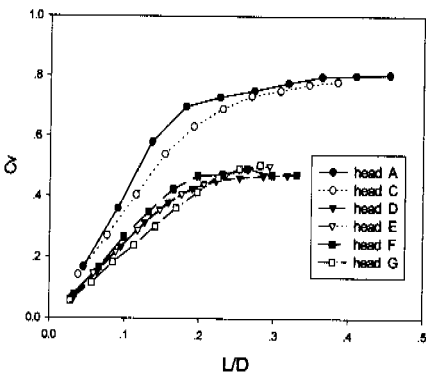


Fig. 6 C_v characteristics of test heads with non-dimensional valve lift

흡입 유량의 대소와는 관계없이 흡기 3밸브 엔진이 과다한 유량계수 값을 나타내는 결과를 보여주고 있다. 이러한 현상의 원인은 C_v 의 계산에 있어서 흡기 밸브의 수나 지름이 달라지는 경우 실제의 유동 통로인 밸브의 열림 면적의 증가율과 밸브 면적의 증가율간에 차이가 생기는 것에 기인한 것으로 생각된다. 정적유량계수 μ_i 를 비교한 Fig 7의 경우는 밸브의 개수 등에 크게 영향을 받지 않는 것을 볼 수 있다. 즉 그 정의 상 유동 통로를 밸브 개구면적으로 간주하므로 밸브 개수의 변화에 관계없이 본래의 밸브 효율성 평가의 역할은 수행하고 있다고 판단된다.

또한 동일한 밸브리프트(L)에서의 흡기 3밸브 엔진의 무차원 밸브 리프트(L/D)는 밸브 크기의 저감으로 인하여 흡기 2밸브 엔진에 비하여 큰 값을 가진다. 이는 Fig. 6에서 보여지듯이 무차원 고밸브 리프트로 갈수록 정적유량계수가 낮아지는 점을 감안할 때, 흡기 3밸브의 경우 최고 밸브 리프트를 작게 하여 고 밸브 리프트에서의 유량계수의 저감을 방지하는 것이 흡입 유량의 확보 면에서 효율적일 것으로 생각되며, 이는 캠 구동 손실동력의 저감 및 고속화에도 영향을 미칠 수 있을 것으로 생각된다.

다음은 실험에 사용된 실린더 헤드의 기하학적 밸브 열림 면적(F_i)을 무차원 밸브 리프트(L/D)에 대하여도 시한 결과를 Fig. 8에 나타내었다. 이 결과를 흡입 유량의 측정 결과인 Fig. 5와 비교할 때, 전반적으로 동일한 양상을 가짐을 알 수 있다. 따라서 엔진의 흡입 유량 특성은 무차원 밸브 리프트에 따른 기하학적 밸브 열림 면적에 좌우된다는 사실을 알 수 있다.

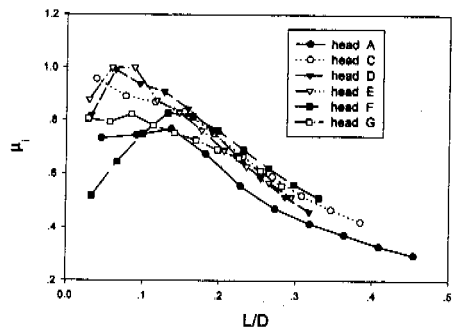


Fig. 7 μ_i characteristics of test heads with non-dimensional valve lift

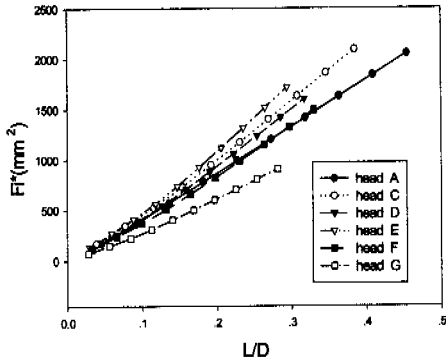
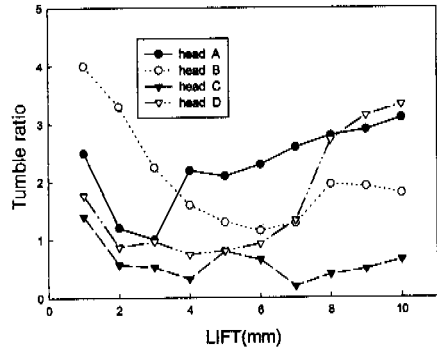


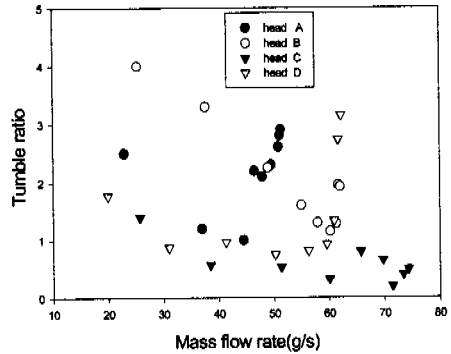
Fig. 8 Fi^* of test heads with non-dimensional valve lift(L/D)

3.2 흡기 3밸브 엔진의 텀블 유동 특성 및 가시화 결과

Fig. 9는 보어가 82.5mm인 경우의 흡기 2밸브 엔진과 흡기 3밸브 엔진의 텀블 특성을 비교한 그림이다. 특히 Fig. 9의 (b)는 정상 유동 실험시의 텀블비와 유량을 동시에 나타낸 그림이다. 또한 대체로 저밸브 리프트와 중밸브 리프트에서는 흡기 3밸브의 텀블비가 흡기 2밸브 엔진의 텀블비보다 더 크게 나타났고, 고밸브 리프트 영역에서는 반대로 흡기 2밸브 엔진의 텀블비가 더 크게 나타났다. 흡기 2밸브 엔진의 경우 밸브 리프트의 증가에 따라 텀블비가 현저하게 향상되는 특징을 나타내고 있는 반면, 흡기 3밸브 엔진의 경우 밸브 리프트에 따른 변화가 적으며, 밸브의 직경에 따라서는 작은 리프트 영역에서부터 강한 텀블 유동이 형성되고 있음을 알 수 있다. 또한 Fig. 9의 (b)를 통하여는 유량과 텀블의 양립성에 관하여 볼 수 있으며, Fig. 9의 (a)로부터는 실험결과 head B가 가장 좋은 양립성을 가지는 것을 알 수 있다. 이상과 같은 텀블 특성을 정성적으로 분석하기 위하여 가시화 실험을 수행하였다. 가시화 단면은 연소실 중심 단면과 흡기 밸브 중심단면에 대하여 두 밸브 리프트(5mm와 10mm)인 경우의 유동장을 관측하였으며, 가시화 결과를 Fig. 10에 나타내었다. 흡기 2밸브와 흡기 3밸브 모두 연소실 내에 형성되



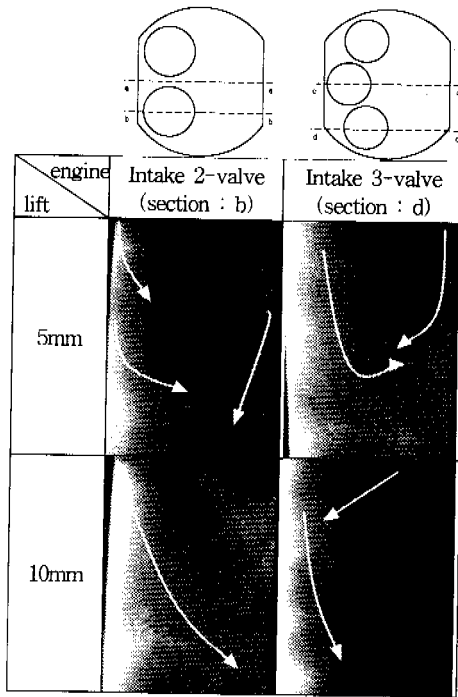
(a) Valve lift vs. tumble ratio



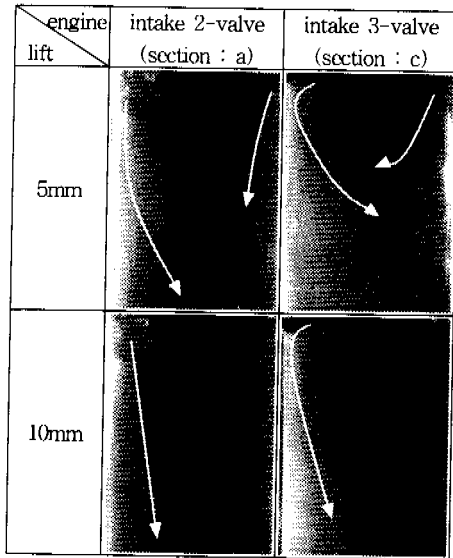
(b) Mass flow rate vs. tumble ratio

Fig. 9 Comparison of tumble ratio between intake 2valve and intake 3valve cylinder head

는 텀블 유동의 크기가 밸브 리프트가 증가함에 따라 확대되고 있는 모습이 잘 나타나고 있으며, 흡기 3밸브 연소실 내의 텀블 유동이 흡기 2밸브 연소실의 경우보다 강화되고 있음을 확인 할 수가 있다. 또한 밸브 중심 단면의 가시화 결과 흡기 3밸브의 경우 밸브리프트 5mm와 10mm 모두에서 회전유동의 중심이 비교적 실린더 상부 쪽에 존재하고 있는 것을 볼 수 있다, 이러한 실험 결과는 각 운동량 측정결과를 가시적으로 뒷받침 할 수 있었으며, 4밸브 엔진내의 유동장과의 차이도 비교 분석할 수 있었다.



(a) Section of valve center



(b) Section of cylinder center

Fig.10 Visualization result of flow field in cylinder

4. 결론

위와 같은 정상유동 실험 및 가시화 결과를 통하여

얻은 결론은 다음과 같다.

(1) 흡기 밸브 개수가 다른 모든 엔진에 대한 Cv 및 μ_i 를 이용한 흡입유량의 평가 비교는 불가능하다는 것을 확인하였다.

(2) 무차원 밸브리프트에 대한 유량 확보순위는 무차원 밸브리프트에 대한 밸브 열림 면적의 순위와 동일하였다.

(3) 흡기 3밸브의 경우 최고 밸브리프트는 흡기 2밸브 엔진에 비하여 작게 하는 것이 효율적일 것으로 기대된다.

(4) 흡기 3밸브에서 흡기포트의 유입각이 증가할수록, 밸브의 크기가 커질수록 고밸브리프트에서 유량의 증가 현상이 나타났다.

(5) 전반적으로 흡기 3밸브가 2밸브 엔진의 토크비보다는 우세한 경향을 보이며, 흡기 3밸브 엔진의 경우는 낮은 밸브 리프트 영역에서부터 강한 토크블 유동이 형성됨을 보이고 있다

후 기

본 논문은 에너지 기술 학술 진흥 사업 연구비에 의해 수행된 연구 결과의 일부로서 관계기관에 감사드립니다.

참고문헌

- (1) Aoi, Kazuo, Nomura, Kazuhiko, and Matsuzaka, Hiroshi, 1986, "Optimization of Multi - Valve Four Cycle Engine Design-The Benefit of Five Valve Technology," SAE Paper No.860032.
- (2) Heywood, John B., 1976, "Internal Combustion Engine Fundamentals," McGRAW-HILL INTERNATIONAL EDITIONS, pp. 220~229.
- (3) Partington, G.D., 1980, "ANALYSIS OF STEADY FLOW TESTS ON INLET AND EXHAUST PORTS," Impulse Swirl Meter Manual, RICARDO Consulting Engineer Ltd.
- (4) 福谷 格, 1993, "機關吸氣系の設計指針: 限界容積效率(限界給氣比)曲線の豫測," 日本内燃機關學會紙, 日本内燃機關學會, 32卷 4号.