

< 논문 >

# 흡기시스템을 통해 실린더로 유도되는 공기의 3차원 Bulk Motion Index 개발 (I)

- 3차원 유동해석결과를 중심으로 -

윤정의<sup>†</sup> · 남현식<sup>\*</sup> · 김명환<sup>\*</sup> · 민선기<sup>\*\*</sup> · 박병완<sup>\*\*</sup> · 김기성<sup>\*\*\*</sup>  
(2006년 5월 9일 접수, 2006년 9월 18일 심사완료)

## Development of the 3-D Bulk Motion Index for In-Cylinder Flow Induced by Induction System (I)

- Based on the 3-D CFD Simulation Results -

Jeong-Eui Yun, Hyeon-Sik Nam, Myung-Hwan Kim,  
Sun-Ki Min, Pyeong-Wan Park and Ki-Seong Kim

**Key Words:** Angular Bulk Motion(전체 회전유동), Angular Bulk Flow Coefficient(회전유동계수), Angular Torque(회전토크), Angular Velocity(회전속도), Intake System(흡입시스템), Swirl Flow(스윙유동), Tumble Flow(텀블유동)

### Abstract

In order to figure out the physical meaning of 3-D angular flow index for in-cylinder bulk motion, CFD analysis for the swirl and tumble steady flow test rig were made using commercial package STAR-CD. Computer simulations and rig tests on some kinds of induced flow conditions were carried out. Finally, based on the comparison between the simulated results and measured results, the physical meaning of 3-D angular flow index  $|\overline{N_B}|$ ,  $\beta$  composed of swirl and tumble coefficients measured by steady flow test rig was described.

#### 기호설명

$N_B$  : 회전유동계수  
 $N_S, N_T, N_C$  : 스윙, 텀블, 크로스 텀블계수  
 $N_{Tmax}$  : 최대 텀블계수  
 $\vec{r}$  : 실린더 보어 중심기준으로 한 계산셀의 중심좌표  
 $\vec{v}$  : 계산셀의 중심 속도벡터  
 $V_c$  : 특성속도( $= \sqrt{(2\Delta p)/\rho}$ )

$v_{cell}$  : 계산 셀 체적  
 $\alpha, \beta$  : 경사각  
 $\rho_{cell}$  : 계산셀 밀도  
 $\tau_S, \tau_{Tx}, \tau_{Ty}$  : X, Y, Z 방향의 흡입공기 회전 토크  
 $\omega_x, \omega_y, \omega_z$  : X, Y, Z 방향의 흡입공기 회전속도  
 $\omega_B$  : 실린더 내 전체 흡입공기의 회전속도

### 1. 서 론

<sup>†</sup> 책임저자, 정회원, 강원대학교 메카트로닉스공학부  
E-mail : jeyun@kangwon.ac.kr  
TEL : (033)570-6368 FAX : (300)574-6360

<sup>\*</sup> 회원, 강원대학교 대학원 정밀기계과

<sup>\*\*</sup> GM대우오토엔테크놀로지 기술연구소

<sup>\*\*\*</sup> 회원, 전남대학교 기계자동차공학부

내연기관에 있어서 연소를 지배하는 가장 중요한 요소 중의 하나는 실린더 내 공기의 유동이 다. 이러한 실린더 내 공기 유동의 특성은 거시적 관점에서 스윙(Swirl), 텀블(Tumble) 및 스퀴시(Squish) 유동으로 구분하며, 엔진 설계자는 최적

의 연소를 얻기 위해 흡입 포트 시스템, 밸브, 피스톤 크라운 및 연소실 형상 등을 적절히 설계하여 이들 유동 값들을 조절한다. 엔진에서 공기흡입시스템을 설계할 때 최우선적으로 고려하는 것은 엔진 출력과 관련된 체적효율의 극대화과 연소 효율측면의 유동특성 최적화이다. 특히 유동특성의 최적화를 위해 스윙계수, 텀블계수 등 다양한 형태의 유동특성 지수를 도입하여 흡입시스템의 설계변경에 따른 이들 지수 값들을 계측함으로써 최적의 연소특성을 달성하고자 하는 노력은 오랫동안 시도 되어져 왔으며, 지금까지 상당한 성공을 거두어 왔다.<sup>(1-3)</sup>

일반적으로 가솔린기관에서 특히 중요하게 취급하는 유동특성은 스윙과 텀블 유동이다. 지금까지 개발된 대부분의 엔진은 실린더 헤드 내 흡입포트의 위치적인 특성으로 인해 2밸브엔진인 경우는 스윙 유동이, 4밸브 엔진은 텀블 유동이 실린더 내 유동을 지배하는 형식으로 채택되어져 왔다.

90년대 이후 가변흡기시스템에서 유도 되어지는 실린더 내 유동처럼 복잡한 형태의 실린더 내 전체회전유동(Rotational Bulk Motion)과 관련한 대표 유동지수의 개발에 대한 필요성이 여러 연구결과에서 제시되었으며, 이러한 필요성에 기초한 몇 가지 새로운 형태의 유동지수가 발표되었다.<sup>(4,5)</sup> 그러나 지금까지 발표된 유동지수는 단순히 스윙 및 텀블유동을 측정하여 합하는 형태의 식으로 이러한 형태의 유동지수는 가변흡기시스템과 같이 흡기시스템의 가변 전략에 따라 텀블 유동의 회전축이 바뀌는 시스템에는 적용하기가 불가능하였다.

본 연구는 정상유동시험장치(Steady Flow Test Rig)를 사용하여 측정할 수 있는 스윙 및 x, y방향의 텀블 토크값( $\tau_s, \tau_{Tx}, \tau_{Ty}$ )으로부터 흡기시스템에 유도되는 흡입공기의 회전유동특성을 표현할 수 있는 일반화된 3차원 유동지수<sup>(6)</sup>를 제시한 이전 실험연구의 타당성 검증 측면에서 수행하였다.

이를 위해 먼저 스윙 및 텀블시험을 수행하는 정상유동시험 상황을 상용 전산유체 해석프로그램인 STAR-CD를 활용하여 3-D 계산을 수행하였

으며, 해석결과로부터 우리가 정상유동장치의 끝에 설치된 토크메타로부터 계측한 스윙 및 텀블 강도가 실제적으로 우리가 알고자하는 흡기포트에서 유도되어 실린더를 들어오는 공기의 실린더 내 전체 회전 유동(In-Cylinder Angular Bulk Motion)을 어떻게 표현하고 있는지 조사하였다. 그리고 정상유동장치에서 측정된 스윙 및 텀블 값으로부터 계산하는 3차원 유동지수가 실제적으로 실린더 내 전체 회전유동을 표현하는 지수로서 타당한지 계산결과와 실험결과를 비교 분석하였다.

## 2. 전산해석 모델링 및 유동해석

아래의 Table 1은 본 연구에서 채택한 엔진 및 흡입시스템의 제원으로, 테스트 헤드는 팬트루프 형태의 연소실과 4밸브 DOHC 좌우 대칭형의 형상을 가지고 있다.

Fig. 1은 정상유동시험장치에서 흡기포트를 통해 실린더로 들어오는 공기의 스윙 및 텀블 강도를 측정하는 장면의 사진이다. 먼저 스윙 유동의 측정은 테이블 아래에 설치된 흡기 블로어(Suction Blower)에서 공기를 일정압력( $\Delta P = 6kPa$ )으로 흡입하면서, 그때 흡입되는 공기량( $m$ )과 함께 실린더 하단에 설치된 토크메터를 사용하여 흡입공기의 스윙 유동에 의한 회전 토크( $\tau$ )를 계측하여 이로부터 식 (1)에 의해 흡입공기의 각속도( $\omega$ )를 계산하게 된다 ( $B$ : 실린더 직경). 그리고 본 연구에서는 다양한 형태의 흡입공기를 실린더로 유도하고자 그림의 밸브리프트조절기를 제작하여 설치하였으며, 밸브리프트조절기 사용하여 좌우 밸브 리프트를 각각 10mm 및 10mm와 0mm 조건에서 시험결과 값을 얻었다.

Table 1 Specifications of simulation engine

Engine Type	4-stroke DOHC
Intake Port	Dual Symmetric
Bore[mm]	77
Stroke[mm]	89.2
Valve Lift [mm]	10

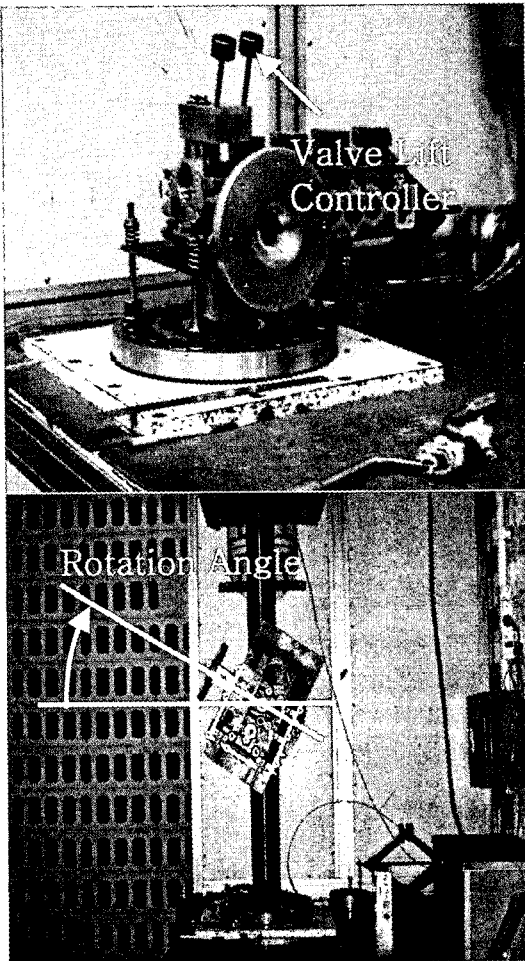


Fig. 1 Photograph of steady flow test rig for measuring swirl (upper figure) and tumble flow (bottom figure)

$$\omega = \frac{8\tau}{B^2 m} \quad (1)$$

텀블유동은 엔진의 실린더 축을 중심으로 단순히 회전하는 스월 유동과는 근본적으로 다른 형태의 유동으로, 흡입공기가 피스톤의 윗면과 충돌하면서 생성되기 때문에 실린더 끝부분이 개방된 기존의 스월 유동 장치를 사용하여 측정하는 것은 불가능하다. 이러한 까닭으로 텀블유동 측정에서는 텀블-스월 변환장치(Tumble Adaptor)를 사용하여 실린더로 유도되는 텀블유동을 스월 형태의 유동으로 바꾼 다음, 변환장치의 긴 튜브

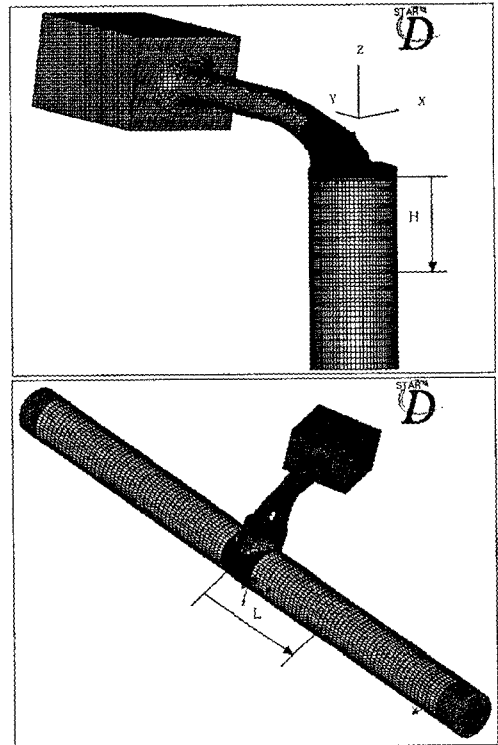


Fig. 2 Flow analysis model of steady flow test rig for measuring swirl (upper figure) and tumble flow (bottom figure)

의 양 끝단에 설치된 토크메타로부터 흡입공기의 회전토크( $\tau$ )를 측정하는 방법을 사용하고 있다. 그리고 본 연구에서는 흡입공기의 텀블 회전축이 흡기시스템의 설계구조에 따라 달라질 수 있으므로 실린더로 유도되는 공기의 최대 텀블 값을 찾고자 헤드의 부착 각(Rotation Angle)을 바꾸어 가면서 시험을 수행하여 결과 값을 얻었다.

Fig. 2는 Fig. 1에서 보여준 스월 및 텀블 유동 장치의 유동해석을 위한 전체적인 유동해석 격자 모델의 외부형상을 보여주고 있다. 해석은 정상 유동시험과 동일한 형태의 스월 및 텀블 시험 장치와 시험헤드의 형상을 바탕으로 CAD작업을 거쳐 유동격자 생성 및 전산해석을 수행하였다. 격자생성은 전문 격자 생성 프로그램인 Pro-Am과 함께 부분적으로는 수작업(Manual Meshing)을 하였다. 그리고 장치의 토크메타에 상응하는 부분은 Porous로 모델 처리하였다. 해석 시 해의 안정

을 위해 흡입 측에 압력박스(Pressure Box) 형태의 통(Reservoir)을 부착하였다. 해석은 시험결과를 바탕으로 일정유량이 공급되는 조건에서, 온도는 24℃로 일정한 값으로 하였다. 그리고 난류 모델로는  $k-\epsilon$  High Reynold 모델을 채택하였으며, 작동유체는 공기를 사용하였다.

### 3. 스윙 및 텀블유동 해석결과 및 고찰

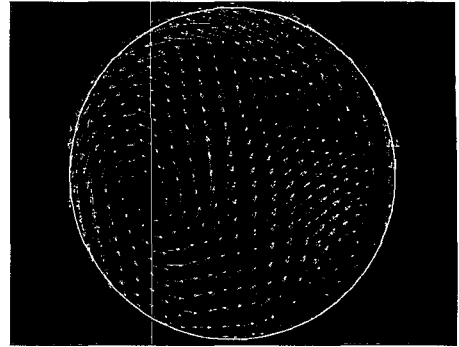
Fig. 3, Fig. 4는 스윙유동 테스트에서 헤드의 좌우 밸브 중 우측밸브는 닫아 놓은 채 좌측밸브만 10mm 열어서 유동을 흘린 경우의 실린더 내 각 단면에서 그려놓은 속도벡터 그림이다. 그림으로부터 좌측 흡기밸브를 통해 실린더로 유입되는 공기는 강한 스윙 유동 성질을 가지고 있으며, 텀블 유동성분 또한 가지고 있는 복잡한 형태의 유동임을 알 수 있다. 그리고 실린더 내 전체 유동은 기울어진 축을 중심으로 회전하고 있음을 보여주고 있다.

Fig. 5는 Fig. 3의 각 단면에서 스윙 및 텀블유동의 각속도 ( $\omega_z, \omega_x$ )를 계산한 결과이다. 실린더 헤드 면으로부터 하류로 내려오면서 각 단면의 회전유동을 강제회전유동으로 가정하여 식 (2)로부터 각속도를 계산하였다.

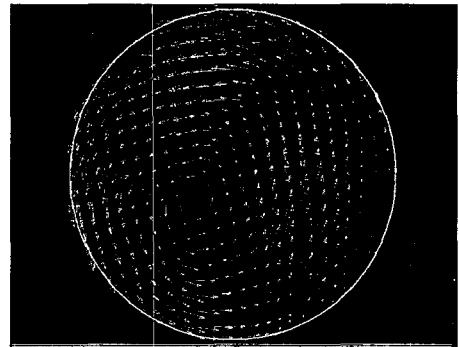
$$\vec{\omega} = \frac{\int \rho_{cell} (\vec{r} \times \vec{U}) dv_{cell}}{\int \rho_{cell} (\vec{r} \cdot \vec{r}) dv_{cell}} \quad (2)$$

Fig. 5로부터 스윙유동 테스트 시 실린더 내 스윙 및 텀블유동 성분은 하류로 내려 갈수록 그 성분이 강화되는 현상을 보이고 있다. 이는 Fig. 3, 4에서 알 수 있듯이 흡입공기가 실린더내로 공급되는 밸브 입구 측에서는 상호 충돌 등에 의해 복잡한 유동 형태를 이루지만 차츰 하류로 내려가면서 전체 회전 유동이 그 형태를 갖추게 되기 때문이라 판단된다.

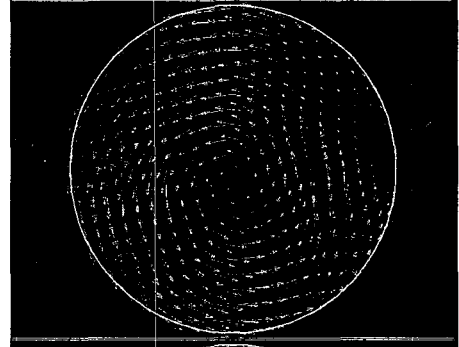
H=22



H=50



H=78



H=106

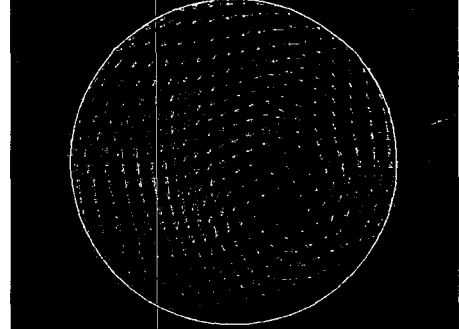
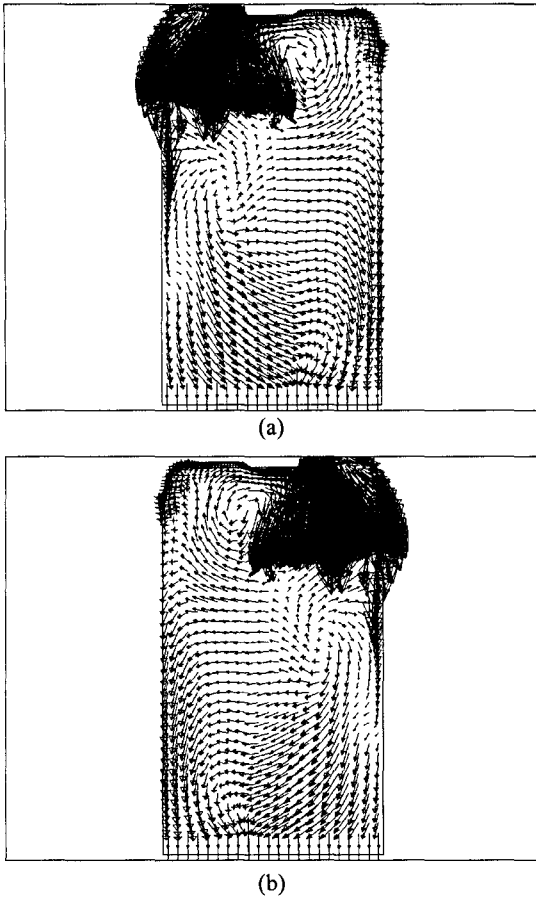
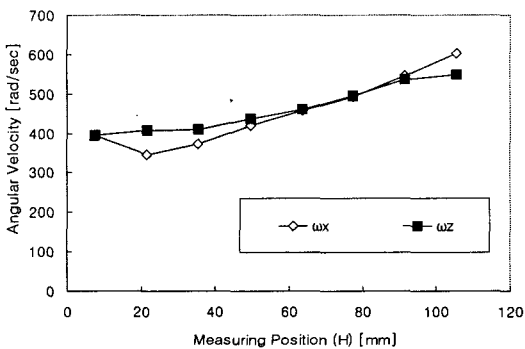


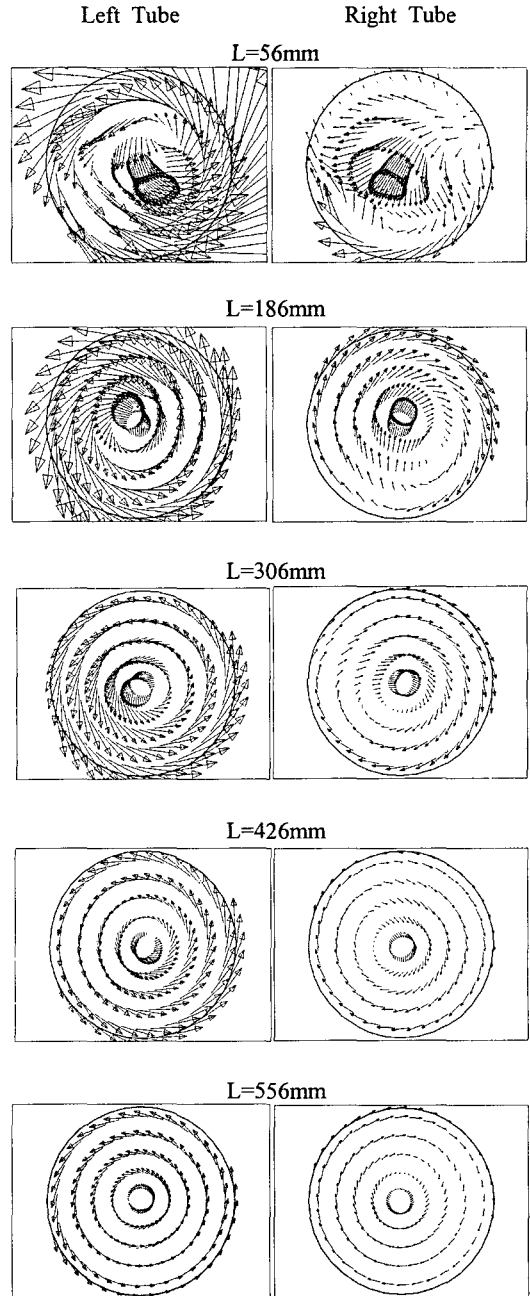
Fig. 3 Velocity vector plot of each section on X-Y plan. Simulation cond.: right and left valve lift =0/10[mm], mass flow rate = 82 [g/sec] ( $\Delta P=6kPa$ )



**Fig. 4** Velocity vector plot of each section on (a) Y-Z and (b) X-Z plan. Simulation cond. : right and left valve lift =0/10[mm], rotation angle ( $\theta$ ) =0°, mass flow rate=82[g/sec] ( $\Delta P=6kPa$ )



**Fig. 5** Variation of angular velocity along cylinder length(H). Simulation cond.: right and left valve lift =0/10[mm], rotation angle ( $\theta$ )=0°, mass flow rate=82[g/sec] ( $\Delta P=6kPa$ )



**Fig. 6** Vector plot of angular velocity along adaptor tube(L). Left means left tube and right means right tube of tumble flow test rig. Simulation cond.: right and left valve lift =0/10[mm], rotation angle ( $\theta$ )=0°, mass flow rate=82[g/sec] ( $\Delta P=6kPa$ )

Fig. 6은 앞의 스월유동에서처럼 헤드의 좌우 밸브 중 우측밸브는 닫아 놓은 채 좌측밸브만 10mm 열어서 유동을 흘린 경우의 텀블유동시험 상황을 해석한 결과로, Fig. 2와 같은 텀블유동 시험장치의 좌우에 위치한 텀블-스월변환 유도관의 각각의 위치 L에 있는 단면에서 계산한 속도 벡터를 보여주고 있다. 그림에서 알 수 있듯이 좌측밸브만 10mm 열어서 유동을 흘린 경우에 대한 계산 결과이므로 회전 모우멘텀을 간직한 공기가 우측보다는 좌측으로 더 많이 공급되므로 인해 좌측 튜브의 각 단면에서 계산한 회전속도는 우측의 각 단면에서 계산한 회전속도보다 큰 값을 가지게 된다는 것을 알 수 있다. 그리고 이러한 회전 모우멘텀(Angular Momentum)에 의한 각속도는 텀블-스월변환 유도관의 하류로 내려가면서 마찰저항에 의해 급격하게 감소하는 경향을 보인다.

Fig. 7은 Fig. 6의 각 단면의 각속도를 식 (1)에 의해 계산한 결과 그림이다. 그림에서 알 수 있듯이 흡기포트를 통해 실린더로 공급된 공기는 텀블-스월변환기의 좌우 유도관으로 나누어져 흘러 들어가게 된다. 그러므로 흡기포트를 통해 유도되는 공기의 텀블유동에 의한 각속도는 양쪽으로 나가는 공기의 각속도 값을 절대치로 하여 더한 값으로 정의할 수 있다. 그리고 이러한 흡입 공기의 회전 모우멘텀(Angular Momentum)은 유도관의 하류로 흘러내려가면서 점차 모우멘텀을

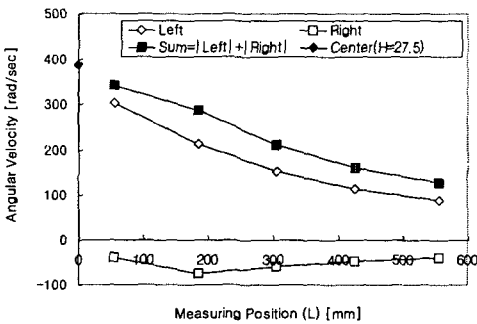


Fig. 7 Variation of angular velocity along adaptor tube length(L). Left means left tube and right means right tube of tumble flow test rig. Simulation cond.: right and left valve lift=0/10[mm], rotation angle ( $\theta$ )=0°, mass flow rate=82[g/sec]( $\Delta P=6kPa$ )

없으면서 회전성분이 약화되어져 간다는 것을 보여주고 있다.(그림에서 각속도의 부호는 단지 회전 방향을 의미함.) 특히 그림에서 Center로 표기된 헤드 면으로부터 H=27.5mm 내려온 단면(Fig.2의 텀블 테스트 형상 참조, 텀블-스월변환 유도관에 부착된 실린더의 높이 값=27.5mm, 이 위치는 실린더에서 텀블-스월변환 유도관의 양쪽으로 유동이 나누어지기 직전의 위치임)에서 계산한 텀블 값이 실제 실린더 내의 텀블 값이라고 가정한다면 토크메터가 붙어 있는 위치(L=556mm)에서 측정된 텀블 값은 실린더 내의 실제 값보다 약 1/3 정도의 작은 값을 예측한다는 것을 그래프로부터 알 수 있다.

#### 4. 흡기시스템을 통해 실린더로 유도되는 흡입공기의 3-D 회전유동지수

임의의 시험조건에서 정상유동시험장치를 통해 실린더로 유도되어지는 공기의 전체 회전 유동(Angular Bulk Motion)의 각속도( $\omega_B$ )는 일정한 형태를 가질 것이며, 이러한 유동의 각속도는 X, Y, Z방향의 각속도 함수로 표현될 수 있다(Fig. 7 참조).

$$\vec{\omega}_B = \omega_x \vec{i} + \omega_y \vec{j} + \omega_z \vec{k} \tag{3}$$

식 (3)에서 각속도를 실린더의 직경(B) 및 정상 유동시험에서 정의되는 특성속도 ( $V_0$ ) 값을 사용하여 무차원화 한 후 새롭게 정리하면 실린더로 유

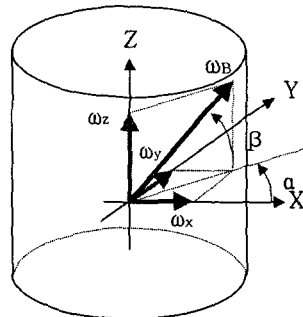


Fig. 8 Relationship among angular velocities

도 되어지는 전체 회전 유동(Angular Bulk Motion)에 대한 일반화된 3차원 유동지수인 회전 유동계수( $\overline{N}_B$  : Angular Bulk Flow Coefficient)로 사용할 수 있는 식 (4)를 얻을 수 있다.<sup>(5)</sup>

$$\overline{N}_B = \frac{\overline{\omega}_B B}{V_o} = \frac{\omega_x B}{V_o} \hat{i} + \frac{\omega_y B}{V_o} \hat{j} + \frac{\omega_z B}{V_o} \hat{k}$$

$$= N_T \hat{i} + N_C \hat{j} + N_S \hat{k} \quad (4)$$

$$= |\overline{N}_B| (\cos\alpha \cos\beta \hat{i} + \sin\alpha \cos\beta \hat{j} + \sin\beta \hat{k})$$

$$|\overline{N}_B| = \sqrt{N_T^2 + N_C^2 + N_S^2} \quad (5)$$

여기서  $N_T$ ,  $N_C$ ,  $N_S$ 는 Fig. 8의 X, Y축을 중심으로 회전하는 텀블 값과 Z축을 중심으로 회전하는 스월 값으로 아래의 식 (6), (7), (8)로 표현할 수 있다. 그리고  $\alpha$  및  $\beta$ 는 전체 회전 유동(Angular Bulk Motion)의 각속도 ( $\omega_B$ ) 방향을 결정해주는 값으로 각각  $N_T$ ,  $N_C$ ,  $N_S$  값을 사용하여 식 (9), (10)과 같이 정의 할 수 있는 각도이다.

$$N_T = \frac{\omega_x B}{V_o} = \frac{8\tau_{Tx}}{V_o B m} \quad (6)$$

$$N_C = \frac{\omega_y B}{V_o} = \frac{8\tau_{Ty}}{V_o B m} \quad (7)$$

$$N_S = \frac{\omega_z B}{V_o} = \frac{8\tau_S}{V_o B m} \quad (8)$$

$$\alpha = \tan^{-1}\left(\frac{N_C}{N_T}\right) = \tan^{-1}\left(\frac{\tau_{Ty}}{\tau_{Tx}}\right) \quad (9)$$

$$\beta = \tan^{-1}\left(\frac{N_S}{\sqrt{N_T^2 + N_C^2}}\right)$$

$$= \tan^{-1}\left(\frac{\tau_S}{\sqrt{\tau_{Tx}^2 + \tau_{Ty}^2}}\right) \quad (10)$$

아래의 Table 2는 위의 식 (1)을 사용하여 밸브 리프트 변화에 따라 주어진 각 모델에서 계산한 각속도 값이다. 그리고 이렇게 계산한 값을 기준으로 실린더 내 전체 회전 유동(Angular Bulk Motion)의 크기를 나타내는 회전유동계수( $|\overline{N}_B|$ ) 및 그때 기울어진 각  $\beta$  값을 식 (5) 및 (10)을 사용하여 계산하면 Table 3의 값을 얻을 수 있다.

계산 결과를 살펴보면  $|\overline{N}_B|$ 의 경우 시험결과를 기준으로 계산한 값에 비해 작은 값을 나타내

지만  $\beta$ 의 경우는 유사한 결과 값을 보여준다. 이러한 결과 값이 의미하는 것은 스월 및 텀블 유동계산 시 전체적으로 각속도의 값이 시험결과 값에 비해 작은 값을 가진다는 것을 의미한다. 이러한 가장 큰 이유는 측정값 또한 직접적으로 각속도를 측정된 것이 아니라 또한 임펄스 토크 값으로부터 실린더 내 유동이 강제 회전한다는 가정 하에서 유도한 식 (6), (7), (8)을 사용하여 계산하는 것에 일차적인 오차가 있으며, 다음으로 계산과정에 있어서 실제 유동현상을 충분히 반영할 정도로 격자구성을 하지 못한 것과 계산과정에서의 오차 때문으로 판단된다. 스월과 텀블의 비를 나타내는  $\beta$ 값 경우는 실험결과와 유사한 경향을 보여주고 있다.

이제는 3차원 유동지수로 제시한  $|\overline{N}_B|$  및  $\beta$  값으로부터 실린더 내로 유도되는 3차원유동의 전체 회전 유동(Angular Bulk Motion)을 추정하는 것이 타당한가에 대한 검토를 위해 계산된 실린더 공기의 유동속도 벡터를 살펴보고자한다. Fig. 9는 Fig. 3의 결과를 공간상에 배치하여 놓은 그림이다. 그림을 살펴보면 오른쪽 밸브를 막아 놓은 채 왼쪽 밸브만을 10mm 열어 놓은 상태에서 공기를 불어 조건이므로 실린더 안으로 유도되는 공기는 다른 조건에 비해 스월 성분이 많이 포함하게 된다.(텀블에 대한 스월의 비를 의미하

Table 2 Angular velocity[rad/sec] at impulse swirl meter position

Left / Right Valve Lift		10/0	10/10
Swirl Model		549	42
Tumble Model	$\theta=0^\circ$	116	232
	$\theta=90^\circ$	38	0

Table 3 Comparison between measurement and calculation results for  $|\overline{N}_B|$ ,  $\beta$

Left / Right Valve Lift		10/0	10/10
$ \overline{N}_B $ [-]	Measurement	0.7	0.2
	Computation	0.4	0.2
$\beta$ [deg.]	Measurement	77	0
	Computation	77	10

는  $\beta$ 각이  $77^\circ$  임). 그리고 우리가 제시한 3차원 회전유동의 기울어짐 각  $\beta$ 는  $77^\circ$ 이므로 회전유동의 중심점이 기울어져 있을 것임을 예시하고 있다. 실제로 계산 결과(Fig. 3, Fig. 9참조)에서도 이러한 회전유동의 중심점이 기울어져 있음을 알 수 있다.

Fig. 10은 이러한 회전 중심점의 변화를 속도 벡터를 중심으로 계산하여 그래프로 그려본 것으로 회전중심이 우리가 계산한  $77^\circ$ 와 유사한  $67^\circ$  만큼 기울어져 있는 결과를 보여주고 있다. 이러한 결과는 우리가 제시한 3차원 유동지수가 실린더 내 유동의 회전특성을 표현해 주는 지수로서 사용되어 질 수 있다는 것을 보여주는 결과이다.

### 5. 결론

본 연구는 정상유동시험장치를 사용하여 측정

할 수 있는 스웰 및 텀블 토크 값으로부터 흡기 시스템에 유도되는 흡입공기의 회전유동특성을 표현할 수 있는 일반화된 3차원 유동지수의 타당성 검증 측면에서 수행되었다. 이를 위해 스웰 및 텀블시험을 수행하는 정상유동시험 상황을 상용 전산유체 해석프로그램을 활용하여 해석하였으며, 해석결과로부터 아래와 같은 결론을 얻었다.

(1) 스웰유동 테스트 시 실린더 내 스웰 및 텀블유동 성분은 하류로 내려 갈수록 그 성분이 강화되는 현상을 보인다.

(2) 텀블유동 테스트 시 흡입공기의 텀블유동 성분값은 텀블-스웰변환 유도관의 하류로 흘러내려가면서 점차 모우멘텀을 잃으면서 회전성분이 약화되어져 간다. 그러므로 정상유동장치에서 텀블-스웰변환 유도관의 끝 부분에 위치한 토크메터로 측정된 텀블 토크 값은 실제 실린더에 존재하는 텀블유동에 의한 토크 값보다 작은 값을 나타낸다.

(3) 정상유동장치에서 측정된 스웰 및 텀블 값으로부터 계산하는 3차원유동지수 또한 실린더 내의 유동이 가지는 회전강도를 표현하는 절대적인 값이 아니라 상대적인 값이다.

(4) 향후 이러한 3차원 유동지수 값과 실린더 내 유동에 의한 연소와의 상관관계를 찾고자 할 때는 상대적인 값을 절대적인 값으로 바꾸어주는 적절한 계수의 도입이 요구된다.

### 후 기

이 논문은 2004년도 학술진흥재단의 지원에 의하여 연구되었음.(KRF-2004-042-D00034)

### 참고문헌

(1) Jeong, J. W., Lee, G. H. and Kim, W. T., 2002, "A Study on the Steady Intake Flow Characteristics of the Intake 3-Valve Cylinder Head," *Trans. of the KSME(B)*, Vol. 24, No. 6, pp. 137~145.  
 (2) Johansson, B. and Soderberg, F., 1996, "The

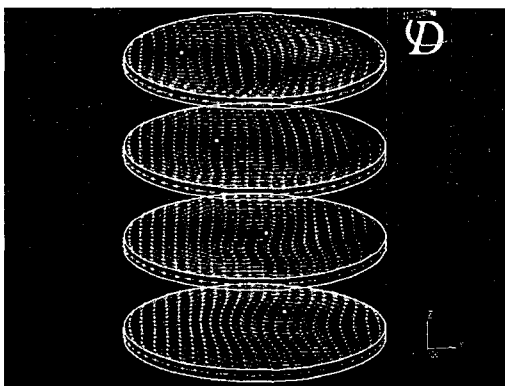


Fig. 9 In-cylinder velocity vector plot (Left / Right Valve Lift=10/0)

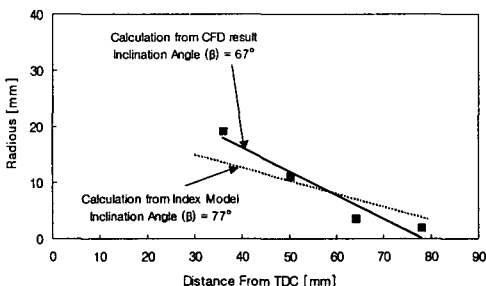


Fig. 10 Inclination angle  $\beta$  calculated by CFD results and index model



- Effect of Valve Strategy on In-Cylinder Flow and Combustion," SAE960582, pp. 33~48.
- (3) Baker, T. G. and Nightingale, C. J. E., 1996, "Port Throttling and Port De-activation Applied to a 4-Valve SI Engine," SAE960587, pp. 87~99.
- (4) Yun, J. E., 2002, "New Evaluation Index for Bulk Motion of In-Cylinder Flow Through Intake Port System in Cylinder Head," *ImechE, Part D : Journal of Automobile Engineering*, Vol. 216, No. 6, pp. 513~521.
- (5) Yun, J. E., 1999, "A Study on Combined Effects Between Swirl and Tumble Flow of Intake Port System in Cylinder Head," *KSAE*, Vol. 7, No. 8, pp. 76~82.
- (6) Yun, J. E., 2005, "Development of the 3-D Bulk Motion Index for In-Cylinder Flow Induced by Induction System (I) - Based on the Steady Flow Rig Test Results," *KSME Kangwon Conference*, pp. 31~37.