

연락공 형상에 따른 와류실식 디젤기관의 유동 특성 수치해석

권태윤^{*1)} · 최경호²⁾

계명대학교 대학원 자동차공학과¹⁾ · 계명대학교 기계자동차공학부²⁾

Numerical Analysis of Flow Characteristics in Swirl Chamber Type Diesel Engine

Taeyun Kwon^{*1)} · Gyeongho Choi²⁾

¹⁾Graduate School of Automotive Engineering, Keimyung University, Daegu 704-701, Korea

²⁾Department of Mechanical & Automotive Engineering, Keimyung University, Daegu 704-701, Korea

(Received 7 September 2004 / Accepted 6 April 2005)

Abstract : In this study, in-cylinder flow of the swirl chamber type diesel engine numerically simulated by VECTIS code. The flow fields during the intake and compression process were also investigated in detail. Numerical results revealed that the generation and distortion of the swirling, tumbling vortices and those influences on turbulence kinetic energy by shape of the jet passage, angle and area. It was also found that flow characteristics were affected by inflow velocity that depends on change of the jet passage shape. Swirl ratio was increased according to decrease of jet passage area, and was affected by piston motion according to increase of jet passage angle. Tumbling vortices had the similar in various cases, but tumble ratio was increased with the inflow velocity. The generation of turbulence kinetic energy was considerably influenced by complex effects of swirling and tumbling vortices.

Key words : CFD(Computational fluid dynamics, 전산유체역학), Moving grid(이동격자), Swirl ratio(스월비), Tumble ratio(텀블비), Cross tumble ratio(교차텀블비), Turbulence kinetic energy(난류운동에너지)

Nomenclature

- VR : volume ratio(swirl chamber/main chamber)
- CR : compression ratio
- Θ : jet passage angle, deg.
- A : jet passage area, mm²
- S_d^m : mass contribution
- S_d^U : momentum contribution
- S_d^H : energy contribution
- R_s : swirl ratio
- ω_s : angular velocity, rad/s

1. 서론

디젤엔진은 승용차로부터 시작하여 대형 상용차에 이르기까지 폭 넓게 사용되고 있다. 디젤엔진은 내구성이나 신뢰성이 우수하고, 열효율이 높아 연료소비량과 CO₂ 배출이 적어 지구온난화 문제를 완화시킬 수 있다. 디젤엔진의 문제점은 확산연소의 특징인 공기이용율의 저하로 매연이 많이 발생하는 것이다. 매연 발생에 대해서는 와류실식 디젤기관이 다른 디젤기관에 비해 유리하다. 특히 와류실식 디젤기관은 피스톤 압축행정 중 와류실 내에 강한 와류를 일으켜 이곳에 연료를 분사해 혼합기 형성을 좋게 하여 고속회전에 있어서도 양호한 연소를

*To whom correspondence should be addressed.
the1st@kmu.ac.kr

언도록 한 것이기 때문에 고속운전에 용이하고 소형고출력화가 가능하여 소형 고속 디젤기관용으로 다수 채용되고 있다.¹⁾

이러한 와류실식 디젤기관에 대하여, 최근 강화된 환경규제와 연비개선과 같은 사회적 요구에 대응하기 위해 유해배출물 저감 및 연료소비율 개선을 위한 다양한 연구가 진행되어지고 있다. 와류실식 디젤기관에서 유해배출물 저감과 연료소비율 개선을 동시에 실현하기 위해서는 혼합기 형성기간의 단축과 완전연소의 촉진이 중요하며, 이를 위한 최적의 연소실 형상 설계가 선결과제이다. 와류실식 연소실의 형상 설계의 경우 개략적인 설계의 이론식과 반실험식이 소개되고 있으나, 그 오차가 크며 오늘날의 설계기법은 주로 축적된 경험에 의한 시행착오법으로 최적화하는 것이다.²⁾ 최근 컴퓨터 하드웨어의 급속한 발달과 효과적인 수치 모델링이 개발되어 수치해석을 수행하여 정확한 정보를 신속히 획득할 수 있게 되어 CFD를 이용한 전산해석이 기존의 엔진실험 및 1차원 해석을 보완하는 관심대상이 되고 있다.

본 연구에서는 와류실식 디젤기관의 주요 설계인자인 연락공의 면적 및 연락공의 경사각이 기관의 난류 유동에 미치는 영향을 파악한다는 관점에서 연락공의 면적 및 경사각을 변화시켜 기관의 흡입, 압축 과정에 대해 상용 수치해석 프로그램인 VECTIS를 이용한 수치해석을 통하여 배기가스 규제에 대응하기 위한 최적 연소실 형상을 설계하는데 기초자료로 제공하고자 한다.

2. 수치해석

2.1 지배방정식

기관 실린더 내 난류 유동을 지배하는 방정식은, 비정상 압축성 유동을 Navier-Stokes 방정식 형태로 표현할 수 있다는 가정 하에 질량 보존식, 운동량 보존식, 에너지 보존식 등으로 구성된다. 이들을 텐서(tensor) 형태로 표시하면 다음과 같다.

질량 보존식:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_i} (\rho U_i) = S_d^m \quad (1)$$

운동량 보존식:

$$\begin{aligned} & \frac{\partial (\rho U_j)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_i} (\rho U_i U_j) \\ &= \frac{\partial}{\partial x_i} [(\mu_L + \mu_t) (\frac{\partial U_i}{\partial x_j} + \frac{\partial U_j}{\partial x_i} \\ & - \frac{2}{3} \frac{\partial U_k}{\partial x_k} \delta_{ij})] - \frac{\partial (p + \rho k)}{\partial x_i} + F_i + S_d^U \end{aligned} \quad (2)$$

여기서, μ_L 는 동점성계수, μ_t 는 난류 점성계수를 나타내고, F_i 는 $F_i = -\rho g_i$ 로 주어지며, k 는 난류 운동에너지 나타낸다.

에너지 보존식:

$$\begin{aligned} & \frac{\partial \rho H}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_i} (\rho U_i H) \\ &= \frac{\partial}{\partial x_i} [(\frac{\mu_L}{Pr} + \frac{\mu_t}{\sigma_H}) \frac{\partial H}{\partial x_i}] \\ &+ \frac{\partial p}{\partial t} + S_d^H + q_W + \omega_{ext} H_{ext} + q_{rad} \end{aligned} \quad (3)$$

여기서, H 는 열적 엔탈피와 운동에너지, 열방출을 포함한 절대 엔탈피이고 q_W 와 q_{rad} 는 벽을 통과하는 열유량과 확산으로부터의 에너지 추가이다. Pr 와 σ_H 는 프란틀 수 및 난류 슈미트 수이며 ω_{ext} 는 CFD 영역 밖으로부터 추가되는 기체 종의 질량을 나타낸다.

$k-e$ 난류모델의 난류운동에너지 k 와 난류운동에너지 소산율 e 에 대한 천이방정식은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} & \frac{\partial \rho k}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_i} (\rho U_i k) \\ &= \frac{\partial}{\partial x_i} [(\mu_L + \frac{\mu_t}{\sigma_{k-t}}) \frac{\partial k}{\partial x_j}] + G - \rho e \end{aligned} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} & \frac{\partial \rho e}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_i} (\rho U_i e) \\ &= \frac{\partial}{\partial x_i} [(\mu_L + \frac{\mu_t}{\sigma_{e-t}}) \frac{\partial e}{\partial x_j}] \\ &+ \frac{e}{k} (c_1 G - c_2 \rho e + c_3 \rho k \frac{\partial U_i}{\partial x_i}) \end{aligned} \quad (5)$$

여기서, 난류에너지 생성을 G 는 다음과 같다.

$$G = -\rho u_i u_j \frac{\partial U_i}{\partial x_j} \quad (6)$$

Table 1에 엔진 계산에서 사용하는 표준 값들을 나타내었다.

Table 1 k - e 난류 모델 상수의 표준값

ρ_k	ρ_e	ρ_H	ρ_{Y-t}	c_μ	c_1	c_2	c_3
1.0	1.22	0.9	0.9	0.09	1.44	1.92	0.373

2.2 유동해석 모델

수치해석에 사용되어진 엔진은 트랙터용 와류실식 디젤기관으로 리카르도식 와류실을 가진다. 엔진의 주요 제원 및 운전조건을 Table 2에 나타내었다. 해석 대상엔진의 와류실 및 연락공의 형상은 Fig. 1과 같으며, 와류실식 디젤엔진의 주요 설계인자인 연락공의 면적 및 연락공의 경사각이 기관의 난류 유동 및 난류 연소에 미치는 영향을 파악한다는 관점에서 연락공의 단면적 및 경사각을 변화시켜 Table 3과 같은 해석모델을 선정하였다. 연락공의 경사각 35°, 단면적 64.9mm²인 경우를 기준(Case 1)으로 하여 Case 2, Case 3은 연락공의 단면적을 변경하였고, Case 4와 Case 5는 연락공의 경사각을 변경시켰다.

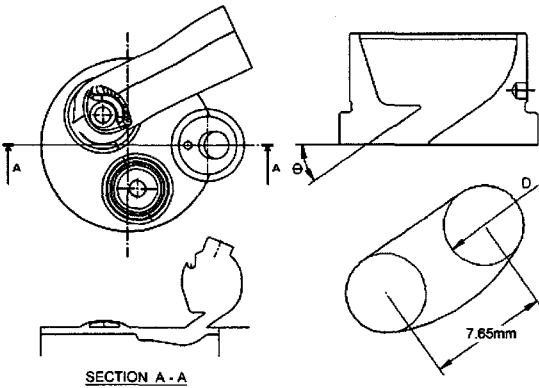


Fig. 1 Swirl chamber and jet passage shape

2.3 격자 생성

VECTIS에서는 CAD모델 및 범용 FE Preprocessor의 모델과 호환이 가능한 STL 파일로부터 직접 격

Table 2 Engine specification

Combustion System	Swirl Pre-combustion (I.D.I.)
Bore(mm)	87
Stroke(mm)	102.4
Con. Rod Length(mm)	133
I/O/IVC(CA)	-8/216 deg. ATDC
Compression Ratio	21
Engine Speed(rpm)	1700

Table 3 Details of various conditions

	VR	CR	Θ (deg.)	A (mm ²)	D (mm)
Case 1	54.3	21.0	35	64.90	5.1
Case 2	54.1	21.1	35	49.51	4.1
Case 3	54.6	20.8	35	81.96	6.1
Case 4	54.4	20.9	30	64.90	5.1
Case 5	54.7	20.8	40	64.90	5.1

자를 생성하였다. 계산 격자는 Surface를 정확히 정의하기 위해 경계부분에서 세밀하게 나누고 Block refinement를 해석의 정확도를 결정하는 연락공 및 와류실 지역에 적용하여 부분적으로 세밀한 격자를 생성하였다. 또한 밸브 및 피스톤 운동을 추가함으로써 밸브, 피스톤 상부의 이동격자면이 존재한다. 피스톤의 위치는 커넥팅로드 길이 및 피스톤 Stroke로부터 계산되어지며, 밸브는 Fig. 2에 나타난 밸브 리프트 커브와 같이 움직이고 최대 밸브 리프트는 8.32mm이다.

엔진에 대한 격자를 Fig. 3에 나타내었다. 해석을 압축상사점까지 수행하므로 배기포트 및 밸브를 생

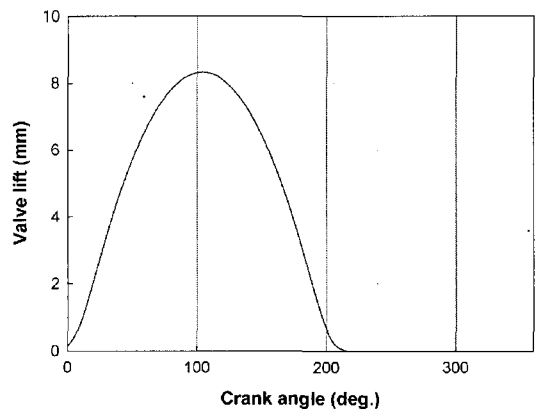


Fig. 2 Valve lift curve of model engine

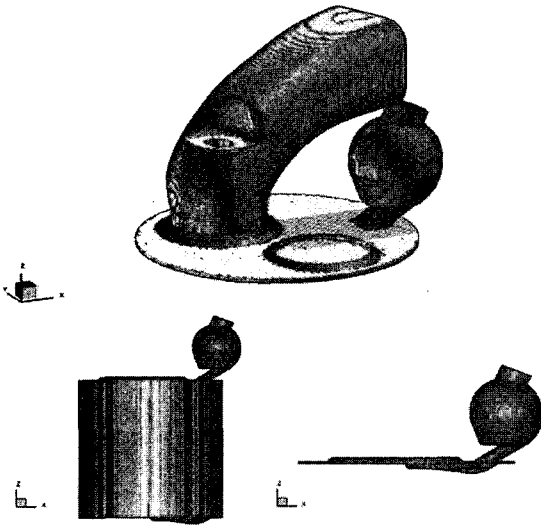


Fig. 3 Computational mesh for simulation

략하였고, 흡기밸브가 닫힌 이후에는 흡기포트와 흡기밸브도 생략하여 격자를 생성하였다. 격자 개수는 흡기초기상사점의 위치에서 약 291,000개, 피스톤이 하사점에 위치할 때는 약 515,000개, 흡기포트 및 밸브를 생략한 압축 상사점에서는 약 134,000개이다.

2.4 유동 계산 조건

본 연구에서는 엔진연소실내의 흡입, 압축과정의 비정상상태유동을 이동격자를 이용하여 계산하였다. 엔진의 운전조건은 엔진의 최대토크가 나타나는 1700rpm이고 유동 계산에서 흡기포트로 들어오는 압력과 모든 표면온도는 정상 상태로 가정하

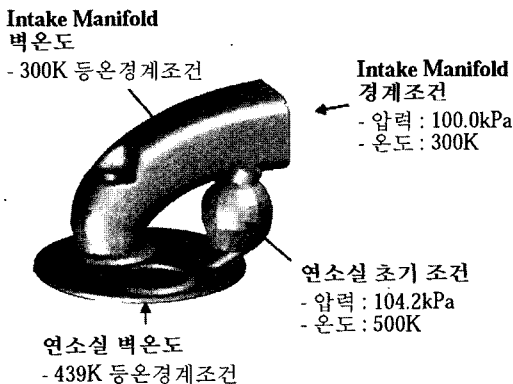


Fig. 4 Initial and boundary conditions for simulation

였으며, 초기조건과 경계조건은 Fig. 4와 같다.

2.5 스윙비 및 텀블비

스윙비는 normalized 된 수로 실린더 내의 회전하는 유체의 운동을 나타내기 위해 사용된다. 스윙비는 실제 실린더 내부 유동이 강체(solid body)회전유동을 한다고 가정할 때의 회전 각속도 ω_s 를 크랭크축의 회전속도로 나눈 값으로 다음과 같다.^{3,4)}

$$R_s = \frac{\omega_s}{\frac{2\pi N}{60}} \quad (7)$$

여기서 회전 각속도 ω_s 는 z축에 대한 각모멘텀과 관성모멘트의 비로 나타내며, 실린더 내 접선속도 성분과 질량중심을 이용하여 계산한다.

$$\omega_s = \frac{\sum(H_z)}{\sum(I_z)} \quad (8)$$

$$H_z = \sum \rho V u_t r \quad (9)$$

$$I_z = \sum \rho V r^2 \quad (10)$$

여기에서 ρ 는 유체의 밀도, V 는 각 셀의 체적, u_t 는 유동의 접선속도성분이며 r 은 실린더 내 질량중심으로부터 각 계산격자 중심까지의 상대거리이다. 따라서 스윙비는 다음과 같이 정의 된다.^{5,6)}

$$R_s = \frac{\sum \rho V u_t r}{\frac{2\pi N}{60} \sum \rho V r^2} \quad (11)$$

텀블비 및 교차텀블비는 식 (8)에서 각각 y축 및 x축에 대한 각모멘텀과 관성모멘트의 비로 정의 한다.

3. 수치해석결과

3.1 주연소실 유동특성에 대한 고찰

Fig. 5는 크랭크 각에 따른 주연소실에서의 스윙비, Fig. 6과 Fig. 7은 주연소실에서의 텀블비 및 교차텀블비를 나타낸다. 스윙비 및 텀블비는 식 (7) ~ (11)로 구해진다. 주연소실의 스윙비는 난류운동에너지와 같이 밸브리프트 최대 지점인 CA 100° 부근에서 최대를 나타내고 이후 흡입과정에서 유입유량

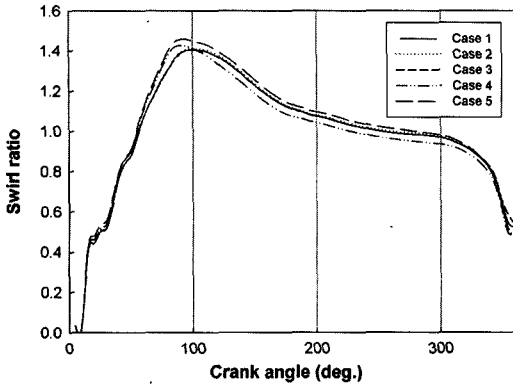


Fig. 5 Variations of swirl ratio in main chamber with crank angle in various cases

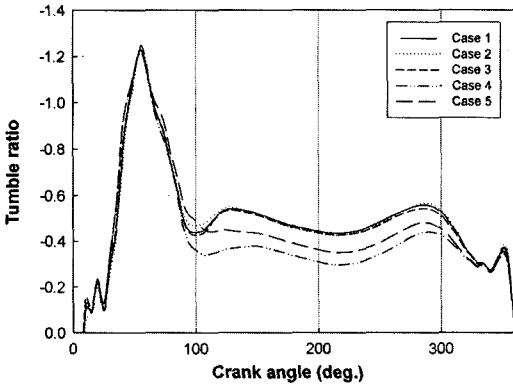


Fig. 6 Variations of tumble ratio in main chamber with crank angle in various cases

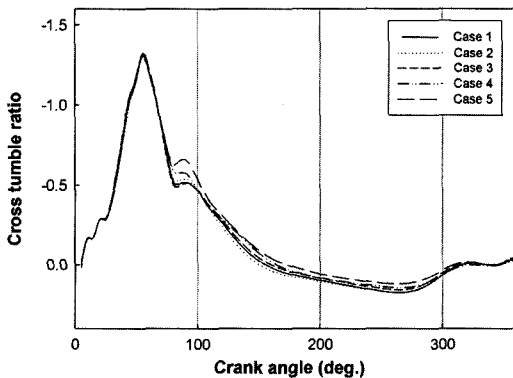


Fig. 7 Variations of cross tumble ratio in main chamber with crank angle in various cases

의 감소로 완만하게 감소되며, 와류실 유입이 커지면서 급격히 감소한다. 여기서 연락공의 경사각이 30°로 가장 작은 Case 4와 40°로 가장 큰 Case 5의 경

우 최대값이 일찍 나타나고 이후에는 Case 4가 가장 작고, Case 5가 가장 크게 나타나며, 와류실로의 유입이 완료된 이후의 유동은 모든 경우 비슷하게 나타난다.

Fig. 6과 7의 텀블 및 교차텀블비의 경우는 흡입 과정 초기에 빠른 유입속도로 급격히 상승하고, 밸브가 충분히 열려 유입유량이 많아진 CA 60° 이후 급격히 감소한다. 이후 과정에서는 피스톤의 가속도가 감소하는 지점에서 Spin-up 현상이 발생하는 것을 볼 수 있다. Spin-up 현상은 유체가 각운동량을 유지하려는 반면에 연소실 내 유동의 관성모멘트는 감소하기 때문에 발생한다.⁷⁾ 압축과정 말기에 와류실로의 유입으로 텀블비의 증가를 보이다가 와류실 유입이 완료된 이후 텀블 유동은 사라진다. 텀블비는 최대지점에서 감소이후 과정에서 연락공 경사각 30°인 Case 4에서 가장 작고 경사각이 40°인 Case 5, 나머지 경우 순으로 크게 나타난다. 주연소실의 텀블유동은 연락공의 면적에 따른 영향보다는 연락공의 경사각의 영향을 받음을 알 수 있다. 교차텀블비는 일차 Spin-up 현상 이후 계속 감소하여 방향이 바뀌기도 하지만 압축과정에서는 역시 0에 가까운 값을 갖는다.

3.2 와류실 유동특성에 대한 고찰

3.2.1 스웰비와 텀블비의 비교

Fig. 8은 와류실에서의 y축에 대한 스웰비를 크랭크 각에 따라 나타낸 것이다. 와류실에서는 주요 회전유동이 y축을 중심으로 이루어지므로 y축에 대한 회전유동을 스웰유동, z축에 대한 회전유동을 텀블유동으로, 그리고 x축에 대한 회전 유동을 교차텀블유동으로 정의하도록 한다.

와류실의 스웰비는 밸브가 닫히는 시점인 CA 210°이후에 급격하게 증가하다가 공기의 와류실 유입이 완료되는 CA 350°에서 최대가 되고, 그 이후부터 유입공기에 의한 속도의 추가가 없어지면서 감소한다. 스웰비는 최대지점인 CA 350°에서 Case 1을 기준으로 연락공 면적이 약 25% 증가한 Case 3에서 약 18% 감소를 보이고, 연락공 면적이 약 25% 감소한 Case 2의 경우 약 25% 증가한다.

연락공의 경사각에 따른 와류실 내의 스웰비는

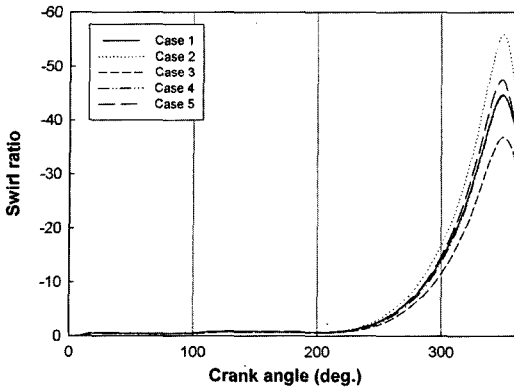


Fig. 8 Variations of swirl ratio in swirl chamber with crank angle in various cases

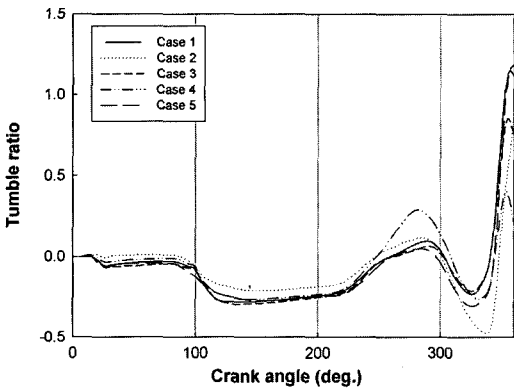


Fig. 9 Variations of tumble ratio in swirl chamber with crank angle in various cases

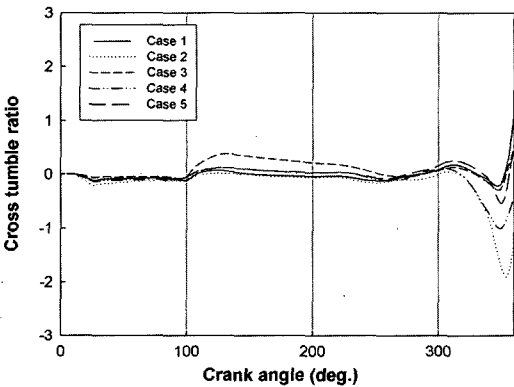


Fig. 10 Variations of cross tumble ratio of swirl chamber with crank angle in various cases

CA 350°에서 경사각이 40°일 때(Case 5) 가장 크고 연락공 경사각 35°(Case 1)와 30°(Case 4)에서는 비

슷하다. 그러나 압축과정이 완료된 CA 360°에서는 연락공 경사각 40°에서 스월비가 급격히 낮아져 가장 작고, 큰 차이는 나타나지 않지만 35°일 때, 30°일 때의 순서로 커진다. 이는 연락공 경사각 40°에서 큰 경사각으로 인해 공기유입 방향이 상승하는 피스톤의 운동방향과 비슷해 큰 저항 없이 유입이 되기 때문에 압축과정 중에 스월비가 크게 나타나지만, 반대로 피스톤의 가속도가 0이 될 때의 영향을 가장 많이 받기 때문에 CA 360°에서 스월비의 감소도 가장 크게 나타나는 것이다. 또한 연락공의 경사각이 30°일 때는 피스톤 운동의 영향을 적게 받은 뿐 아니라 경사각이 작아지면서 연락공의 길이가 길어져, 공기가 연락공을 통과하는 동안 벽에서의 손실이 상대적으로 크게 나타나 스월비의 상승이 크지 않고, 압축완료 시점에서 감소도 작게 나타나는 것으로 보여진다.

Fig. 9와 Fig. 10은 텀블비와 교차텀블비를 크랭크 각에 따라 나타낸 것이다. 텀블비 및 교차텀블비는 전체적으로 스월비에 비해 크기가 2% 내외이며 그 방향도 일정하지가 않다. 텀블비 및 교차텀블비는 압축과정 말기 모든 경우에서 상승하는데, 그 상승 폭은 Case 2가 가장 크고, 압축상사점에서 그 절대 값은 Case 1과 Case 5가 가장 크며 Case 2, Case 3, Case 4의 순이다. 교차텀블비는 Case 1, 3, 5와 Case 2, Case 4의 방향이 반대로 나타나지만 그 크기를 비교하면 Case 2가 가장 크고 Case 1이 다음이며 나머지의 경우에는 그 크기가 비슷하다. 이러한 텀블 유동의 상승은 압축말기에 와류실의 난류운동에너지의 증가에 큰 역할을 하는데, 이에 대한 설명은 다음 난류운동에너지에 대한 고찰의 항에서 설명하도록 한다.

3.2.2 난류운동에너지에 대한 고찰

압축과정 말기의 와류실 내 난류운동에너지는 연료, 공기의 혼합과 화염 전파에 영향을 주는 중요한 인자이다. 따라서 공기 유입과정 중에 생성된 스월, 텀블 등의 유동특성이 압축말기 난류운동에너지 생성에 미치는 영향을 파악하는 것은 매우 중요하다.

Fig. 11은 실린더 체적 평균된 난류운동에너지를 크랭크 각에 따라 나타낸 그래프이고, Fig. 12는 압축과정 말기의 각 조건에서 난류운동에너지의 분포

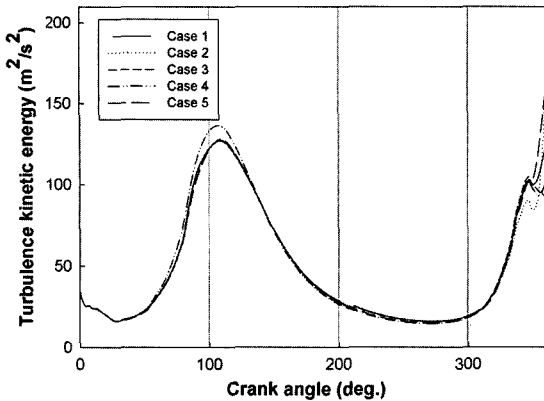


Fig. 11 Variations of turbulence kinetic energy with crank angle in various cases

를 나타낸 그림이다.

난류운동에너지는 밸브리프트가 최대가 되는 CA 100° 부근 까지 증가하다가 감소하고 압축이 진행되는 동안 다시 상승한다. CA 100° 부근에서 Case 4는 다른 경우에 비해 약 5% 크게 나타나는데 이는 연락공의 경사각이 작은 Case 4는 밸브리프트가 커지면서 실린더 벽면으로 진행되는 유동이 연락공으로 일부 유입되면서 난류가 형성되기 때문으로 생각되어진다.

난류운동에너지는 CA 350°에서 와류실내 유입이 완료되면서 연락공 부근의 난류가 약해져 일시 감소하지만, 압축상사점에서 공기유입이 완전히 완료되어 와류유동이 와류실 전체로 퍼지면서 급격히 상승하는 것을 볼 수 있다. 연락공 단면적에 따라서 연락공 단면적이 가장 작은 Case 2는 CA 350° 부근에서 난류운동에너지의 상승이 적은 대신에 공기의 유입이 끝난 후 가장 급격한 상승을 보이며 각 조건들 가운데 최대값을 보인다. 연락공의 단면적이 가장 큰 Case 3은 Case 1과 비슷하게 증가하다가 공기의 유입이 완료된 이후 감소하지만 압축이 완료될 때까지 난류운동에너지가 회복되지 못한다. Case 2는 빠른 속도로 공기가 유입되면서 공기유입이 완료될 때까지 와류실의 선회유동이 붕괴되지 않다가 공기유입 완료 후에 선회유동이 와류실 전체로 급격히 퍼지면서 난류운동에너지의 급격한 상승이 나타나고, Case 3에서는 느린 유입속도로 인해 와류실 전체에 고른 속도분포를 보이기 때문에 공기 유입이 완료된 이후 와류실 선회류의 붕괴가 크게 나타나지 않아 압축완료지점에서 난류운동에너지의 상승이 나타나지 않는 것으로 생각되어진다.

압축과정 말기의 연락공 경사각에 따른 난류운동

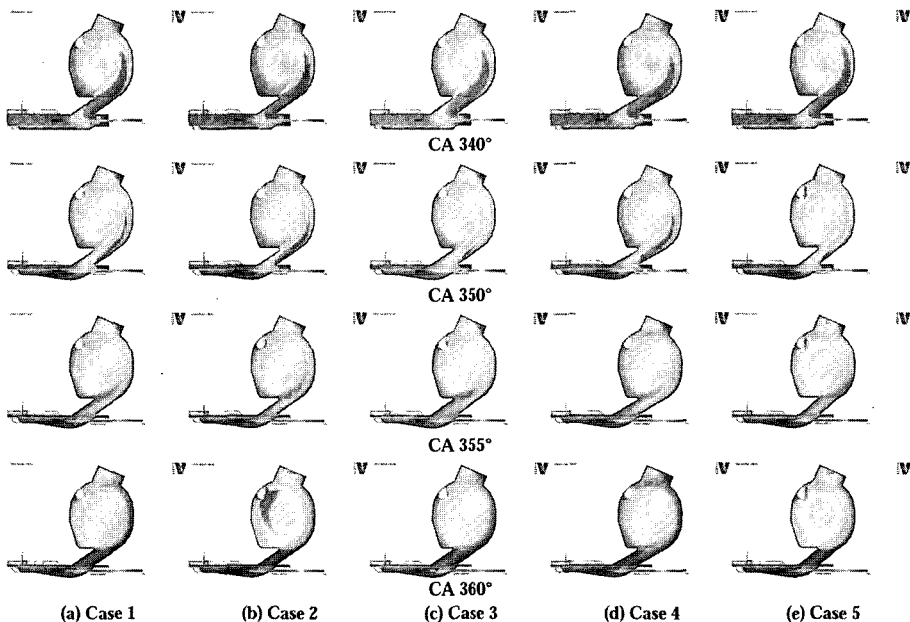


Fig. 12 Comparison of contour plots for turbulence kinetic energy of the last period compression stroke

에너지는 와류실내의 스월 유동과 텀블 유동의 세기에 의해 결정 된다. 결과적으로 연락공 경사각 40°(Case 5)일 때 난류운동에너지의 상승이 가장 빨리 나타나고 경사각이 35°(Case 1)일 때, 30°(Case 4)일 때의 순으로 점차 늦게 난류운동에너지의 상승이 나타난다. 연락공 경사각 40°일 때는 피스톤 가속도 감소에 따른 유동의 붕괴가 일찍 일어나 텀블 및 교차텀블비의 변화가 심하여 난류운동에너지의 상승이 일찍 일어나 압축과정 말기의 난류운동에너지가 크다. 연락공의 경사각이 30°일 때의 스월비는 경사각 35°일 경우와 비슷하지만 텀블비가 가장 작아 난류운동에너지의 상승이 가장 작다.

4. 결론

본 연구에서는 상용 CFD 코드를 이용하여 와류실식 디젤기관의 연락공 면적 및 경사각이 기관의 난류 유동에 미치는 영향을 파악한다는 관점에서 기관의 흡입, 압축 과정에 대한 수치해석을 수행하였으며, 이로부터 얻은 결론은 다음과 같다.

- 1) 와류실 내의 비정상 비압축성 난류유동의 수치 해석을 통하여 계산한 결과 복잡한 유동의 특성을 다양한 관점에서 관찰할 수 있었다.
- 2) 주연소실에서 연락공의 단면적 변화 보다 연락공 경사각 변화가 스월비 및 텀블비 등에 영향을 미친다.
- 3) 와류실의 스월비는 연락공의 단면적이 작아짐에 따라 유입속도가 증가하여 선형적으로 증가한다. 연락공 경사각에 따른 스월비는 압축과정 중에는 경사각 40°에서 가장 크고, 압축이 완료된 CA 360°에서는 경사각이 가장 작은 30°의 경우에서 가장 크다. 이는 피스톤의 운동 방향과 가장 비슷한 경사각 40°에서 압축과정 중에 운동에너지의 손실이 가장 작아 큰 선회속도를 가지지만, 압축 완료 시점에서 피스톤 가속도의 감소로 인한 유동 파괴의 영향으로 스월비의 감소도 가장 크기 때문이다.
- 4) 와류실 내 텀블비는 스월비에 비해 크기가 2%내로 작고 방향도 일정하지 않아 그 절대값으로 비교하기 어렵지만, 모든 경우에서 유동의 구조는 비슷하고 공기의 유입속도가 클수록 변화폭도

커진다.

- 5) 와류실 내의 평균 난류운동에너지 생성은 스월, 텀블비 및 교차텀블비 등의 복합적인 영향을 받으며, 결과적으로 연락공 형상 변화에 따른 공기의 유입속도에 따라 그 크기가 좌우된다.

후 기

본 연구는 산업자원부 부품·소재기술개발사업의 지원에 의한 것이며, 도움을 주신 대동공업 기술연구소 관계자분들께 감사드립니다.

References

- 1) B. C. Choi, "The State of the Art of Automotive Diesel Engine Technologies," Transactions of KSPSE, Vol.6, No.1, pp.12-19, 2002.
- 2) J. H. Ra and S. K. Ahn, "The Effect of Combustion Chamber Shape on the Performance of Swirl Chamber in Diesel Engine (I)," Transactions of KSPSE, Vol.2, No.2, pp.27-34, 1998.
- 3) J. B. Heywood, Internal Combustion Engine Fundamentals, pp.342-353, McGraw-Hill, 1988.
- 4) M. R. Kim and N. H. Cho, "Analysis Port Flow Rig Result by CFD of In-cylinder Flow," Spring Conference Proceeding, Vol.I, KSAE, pp.111-117, 1999.
- 5) VECTIS Release 3.7 Theory Manual
- 6) VECTIS Release 3.7 User Guide
- 7) S. Y. Lee and Y. D. Choi, "Numerical Simulation of Swirling Turbulent Flows in the Cylinder of a Diesel Engine," Transactions of KSAE, Vol.7, No.1, pp.38-49, 1999.
- 8) I. J. Ahn, J. T. Park, N. K. Hur and R. Reitz, "A Numerical Simulation of Transient Intake Flow in HSDI Diesel Engine," Spring Conference Proceeding, Vol.I, KSAE, pp.375-380, 2004.
- 9) S. J. Lee, J. T. Lee and S. Y. Lee, "A Study on the Influence of Turbulence Characteristics on Burning Speed in Swirl Flow Field," Transactions of KSME, Vol.20, No.1, pp.244-254, 1996.
- 10) J. Lee, "A Study on Performance and Emission

Influenced by Combustion Chamber and Fuel Injection System in HD Diesel Engine,”

Department of Mechanical Aerospace Engineering, Seoul National University, 2002.