

OSKA형 연소실에서 충돌면크기변화가 디젤분무거동에 미치는 영향

The Effect of Impinging Land Size on Diesel Spray Behavior in OSKA Type Combustion Chamber

임 덕 경*, 박 권 하*
Duckkyung Lim, Kweonha Park

ABSTRACT

OSKA engine was developed to remove the dense core of injection sprays. The engine uses impinging spray on a small pip, which spray after impinging is broken into smaller drops and disperses into free space in chamber. In this paper the pip size is analyzed to give more dispersion of spray and fuel vapor. The gas phase is modelled by the Eulerian continuum conservation equations of mass, momentum, energy and fuel vapour fraction. The liquid phase is modelled following the discrete droplet model approach in Lagrangian form, and the droplet wall interaction is modelled as a function of the velocity normal to impaction lands. The droplet distributions, vapor fractions and gas flows are analyzed for various injection pressure cases. Numerical results indicate that the land diameter of 5.6mm has the best performance of spray dynamics and vaporization in the test sizes.

주요기술용어 : Impaction spray(충돌분무), OSKA engine(오스카엔진), Combustion chamber (연소실)

Nomenclature

U^i : normal flux component

u^i : cartesian components of a velocity vector

\sqrt{g} : Jacobian determinant

P_{ij} : cartesian components of the area vector

q_{ij} : geometric relations

θ : void fraction

Sh : sherwood number

D : diffusivity

D_d : droplet diameter

T_m : mean temperature

1. 서 론

* 회원, 한국해양대학교 기계공학부

균질의 예혼합기를 흡입, 압축한 다음 외

부불꽃을 이용하여 점화, 연소시키는 가솔린기관과는 달리 디젤기관에서는 고온, 고압의 압축공기중에 분사된 연료가 자기착화함으로써 연소가 시작된다. 즉, 디젤기관에서는 불균질 혼합기 조건하에서 연소가 진행된다. 전체적으로는 희박연소이지만 분사된 연료가 주위공기와 충분히 혼합되지 않은 상태에서 연소가 시작되고, 분무의 중심부에는 연소중에도 공기가 도달하지 못하여 매연의 발생과 함께 연비가 증가하게 된다. 이의 개선을 위하여 스윙(swirl)형, 예분사(pre-injection)형, 고압 분사노즐에 관한 연구¹⁻³⁾ 그리고 reentrant type, semi-prechamber, 후기 교란 연소실 등과 같이 연소실 형상을 변경하여 공기의 유동특성을 개선하고자 하는 연구⁴⁻⁶⁾가 수행되고 있다.

한편 분사된 연료를 연소실내 충돌면에 충돌시켜 분무액적을 작게 하고, 충돌된 액적이 연소실 내부표면에 쌓이지 않고 고루 퍼지게 함으로써, 균질 혼합기를 이용한 가솔린기관에서와 같은 효과를 얻고자 하는 연구들이 수행되고 있다. Park 등⁷⁻¹⁰⁾은 그들의 계속되는 논문에서 충돌을 이용한 연소실을 제시하였으며, 또 계산을 통하여 이를 분석하고 있다. 그 결과로서 충돌면이 없는 연소실의 경우 분사된 연료의 상당부분이 연소실 내부표면에 퇴적되어 있음을 보여주고 있다. 이렇게 되면 타지 못해 남은 미연소 가스에 의해서 공해문제가 야기되는데 이런 현상을 막기 위해서 Kato등에 의하여 제시된 OSKA 시스템¹¹⁻¹³⁾은 단공노즐(single hole nozzle)을 사용하며, 피스톤 보울(bowl)의 중앙에 설치된 충돌면에 연료분무를 충돌시켜 액적을 아주 작게 만들어 벽면으로부터 멀리 떨어진 연소실내부의 공기와 잘 혼합되게 하고 있다. 그들의 연구결과는 연비의 개선과 함께 매연과 질소산화물을 동시에 저감시키는 것으로 나타나 있다. 본 논문은 OSKA형 연소실에서 충

돌면 크기가 분무특성 변화에 미치는 영향을 분석함으로써 적정 크기를 제시하고자 한다.

2. 수학적 모델

기상의 유동에 대하여는 연속방정식, 운동량방정식, 에너지방정식 및 연료 증발 방정식이 Eulerian형으로 주어지며, 고압축성 유동에 대한 $k-\epsilon$ 모델이 적용된다. 액상의 유동에 대하여는 움직이는 격자, 운동량, 질량 및 에너지방정식은 Lagrangian형으로 쓰여지며, 각 액적군은 크기, 온도, 속도 등 모든 성질이 동일한 수천 개의 액적으로 이루어진다. 액상에 대한 기상의 영향은 액상의 방정식에서 전단응력의 향으로 고려되며, 기상에 대한 액상유동의 영향은 기상의 방정식에서 생성항의 형태로 고려된다. 속도/압력쌍의 해석은 PISO 알고리즘을 사용하여 해석된다. 일반좌표계(ξ^i)로 변형된 기상의 전달방정식은 다음과 같이 일반 텐서 표시법과 함께 표현된다.

$$\frac{\partial}{\partial t}(\theta\rho\Phi) + \frac{1}{\sqrt{g}} \frac{\partial}{\partial \xi^i}(\theta\rho U^i\Phi) - \frac{\theta\Gamma_{\phi}a_{ij}}{\sqrt{g}} \frac{\partial \Phi}{\partial \xi^j} = \theta S_{\phi} + S_{\phi}^d \quad (1)$$

여기에서 U^i 는 수직유동항, u^j 는 속도 벡터 \vec{V} 의 직교좌표성분이며, P_{ij} 는 면적 벡터의 직교 좌표 성분이다. 액적의 질량 전달 방정식(droplet mass transfer)은 El Watkil 등¹⁴⁾에 의하여 실험과 이론에 의하여 제시된 식(2)를 사용한다.

$$\frac{dm_d}{dt} = -\pi D_d D \frac{P_t}{R_f T_m} \ln \frac{P_t - P_{v,\alpha}}{P_t - P_{v,s}} Sh \quad (2)$$

여기서 P_i 는 전체압력, D 는 확산(diffusivity), R_f 는 증발연료의 기체상수, T_m 은 평균액적표 온도, $P_{v,\alpha}, P_{v,s}$ 는 각각 자유공간 및 액적표면에의 증발연료압력(partial pressure of the fuel vapour far from or at the surface of droplet) 그리고 Sh 는 셔우드수를 나타낸다.

액적간의 충돌 및 분열현상은 각각 O'Rourke와 Bracco,¹⁵⁾ Reitz와 Kiwaker¹⁶⁾에 의하여 제시된 모델을 사용한다.

분무액적의 벽면충돌모델은 개별액적의 실험결과(Araki 와 Moriyama,¹⁷⁾ Jayaratne 과 Mason,¹⁸⁾ Wachters 와 Westerling¹⁹⁾에 기본을 두고 있다. 이들 실험은 충돌 후 액적이 충돌면의 수직방향과 수평방향으로 나뉘어 거동됨을 보여주고 있으며, 역시 충돌 전 액적의 웨버넘버에 의존함을 보여준다. 이들 실험에 기본을 두고 안정영역과 불안정영역으로 분리하여 모델링하였으며 이는 박 등²⁰⁻²³⁾에 의하여 많은 실험결과와 비교 검증되었다. 그 모델을 요약하면 다음과 같다.

$We < 80$ 인 경우;

$$v_{an} = -\alpha v_{bn} \quad (3)$$

$$v_{at} = v_{bt} \quad (4)$$

$$D_{da} = D_{db} \quad (5)$$

$We > 80$ 인 경우;

$$v_{an} = -R_{xx} \left(\frac{\sigma We_a}{\rho D_{da}} \right)^{0.5} \quad (6)$$

$$v_{at} = v_{bt} \pm R_{xx} v_f \quad (7)$$

$$D_{da} = \frac{D_{db}}{N^{\frac{1}{3}}} \quad (8)$$

3. 계산 조건

OSKA형 엔진의 연소실내 충돌면을 대상으로 충돌면의 크기를 분석한다. 이 연소실의 형상은 Fig. 1과 같이 단공노즐이 실린더 헤드에 장착되어있으며 충돌면이 연소실의 중간부분에 위치하고있다. 충돌면의 크기는 직경4.2mm에서 11.6mm까지 4가지의 경우에 대해서 수치해석하였다. 그리고 수치해석을 위해 Fig. 2와 같이 기본 25×22의 그리드를 사용하였으며, 이 그리드는 연소실에서 충돌면의 아래, 위 2부분으로 나누어져 있다. Table 1은 분석 조건을 보여준다.

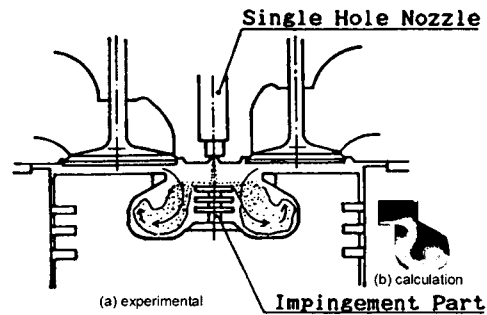


Fig. 1 Structure of OSKA-D system and calculation approach

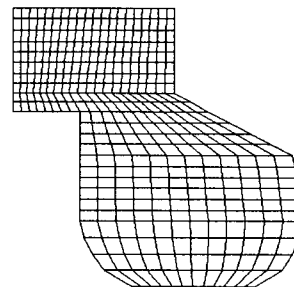


Fig. 2 Grids to test OSKA-D system

Table 1 Test condition

Test cases	Values
Wall distance [mm]	9.5
Trap pressure [Mpa]	1.8
Trap temperature [K]	773
Inj. pressure [Mpa]	19.6(opening)
Nozzle diameter [mm]	0.3
wall diameter[mm]	4.2, 5.6, 8.4, 11.6

4. 결과 및 고찰

4.1 분무형상

Fig. 1 은 충돌면 직경이 11.6mm인 경우의 엔진 분포에 대한 OSKA엔진의 실험결과와 계산결과를 비교하고 있는데, 계산에 의한 연료분포의 형상이 실험치와 거의 일치함을 알 수 있다.

분사되는 연료는 모두 충돌면에 충돌된 후 연소실의 하부로 흐르는 것을 나타내고 있다. 즉 충돌면에 충돌된 액적들은 충돌면 밖으로 진행되면서, 동시에 아래로 휘어지면서 퍼져 나간다. 이렇게 휘어지면서 내려가던 분무는 아래쪽에서 위쪽으로 작용하는 유동의 영향에 의해 끝부분에서 위쪽으로 밀려 올라감을 보이고 있다. 시간이 지남에 따라 분무된 액적들은 충돌면의 선단부에서 정체되는 것처럼 보인다. 그래서 다수의 실험에서 언급하고 있는 바와 같이 분무의 선단은 버섯모양인 것을 전반적인 형상을 통하여 알 수 있다. Fig 3, 4, 5, 6 은 충돌면 직경이 각각 11.6, 8.4, 5.6, 4.2mm일 때 분사 후 1.0ms에서 4.0ms까지의 분무 성장 과정을 보여준다. 처음에 분사된 큰 액적들은 충돌면에 부딪치면서 깨져서 미립화되고 선단쪽으로 퍼지는 것을 볼 수 있다.

충돌면의 지름이 8.4 mm로 줄어들었을 때는 분무형상이 원래의 충돌면의 경우와

비슷하지만 충돌면 밖으로 퍼져가는 주 유동의 진행은 약간 작아진 반면 밑으로 하강하는 액적들의 유동이 더 빨라진 것을 볼 수 있다. 이 액적들은 연소실 밑면을 따라 유동하게 되는데 앞의 경우보다 멀리 이동됨을 알 수 있다. 충돌면의 크기가 점점 작아져서 5.6mm, 4.2mm 가 되면 이러한 현상이 더욱 뚜렷하게 됨을 알 수 있는데, 4.2mm 인 Fig. 6의 경우 충돌면 밖으로의 분무거리가 많이 줄어들었음을 보여준다.

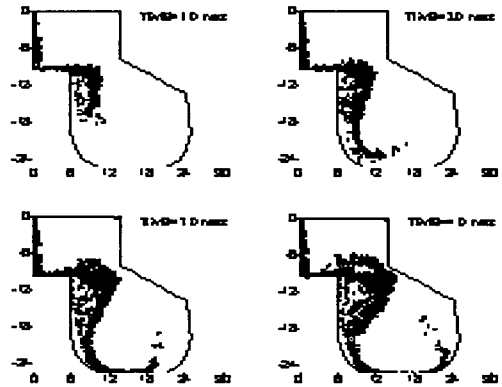


Fig. 3 Spray development for the land size 11.6mm

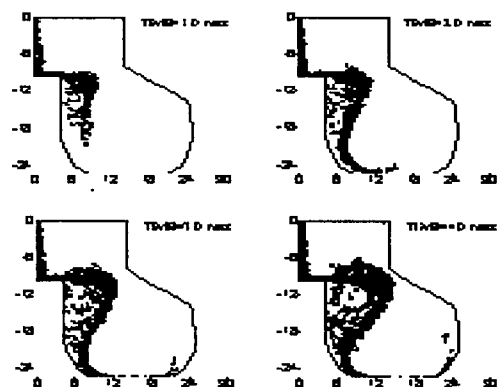


Fig. 4 Spray development for the land size 8.4mm

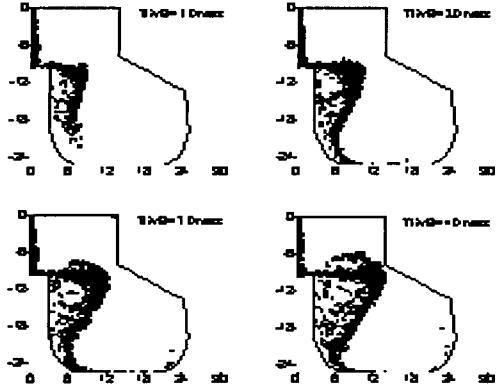


Fig. 5 Spray development for the land size 5.6 mm

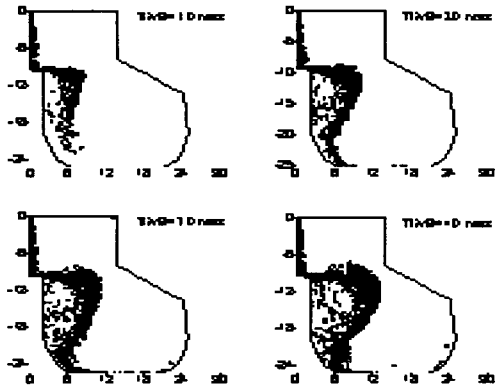


Fig. 6 Spray development for the land size 4.2 mm

또 총돌면 직경이 5.6mm 인 경우에는 수평적으로 분무의 퍼짐이 그 한계를 보이는 것을 알 수 있다. 이러한 현상은 연소실 내의 두가지 공기 유동에 의한 상호작용으로 생각되는데 이것은 스퀴시 유동에 의한 연소실내의 와 유동이며 다른 주요 유동은 분무의 벽면 충돌에 의하여 발생한 벽면 제트 유동(Wall jet flow)이다.

4.2 유동특성

Fig. 7, 8, 9, 10은 총돌면 직경이 각각 11.6, 8.4, 5.6, 4.2mm일 때 분사후 1.0ms에서 4.0ms까지의 유동의 속도벡터의 특성을 보여주고 있다. 총돌면을 경계로 상하방향의 넓은 영역에 걸친 와유동이 발생됨을 보이고 있다.

총돌면 높이에서의 총돌면 외곽운동은 아래로 향하고 있지만 연소실 하부에서 총돌면 측면을 따라 올라오는 유동에 의하여 아래로 향하던 유동이 곧바로 윗방향으로 전환되고 있다. 그 결과 유동이 밖으로 힘차게 뺨어 나가지 못하고 상하방향으로 퍼지면서 큰 와유동을 동반하고 있다. 이 와유동의 중심은 시간이 지날수록 연소실 바닥의 바깥벽쪽으로 가려고 한다. 즉 총돌면의 벽쪽으로 유동이 시작되다가 바깥쪽으로 유동이 진행됨을 알 수 있다.

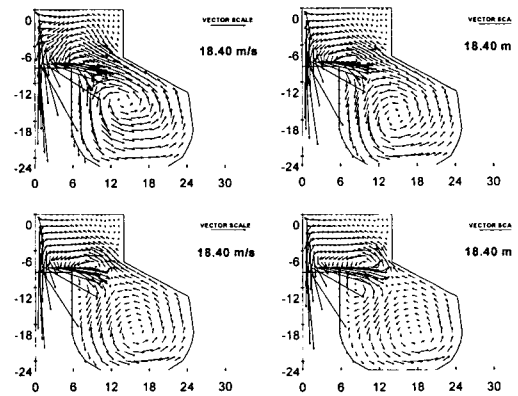


Fig. 7 Flow fields for the land size 11.6 mm

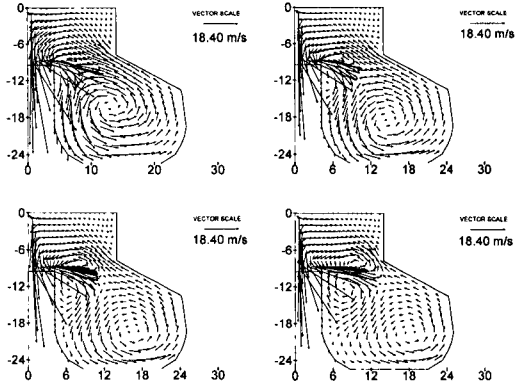


Fig. 8 Flow fields for the land size 8.4 mm

충돌면의 상부에서는 분무연료에 의해 발생된 제트유동이 충돌면 밖까지 영향을 미친다. 그리고 이 유동은 시간이 지남에 따라 수평방향으로 진행하려고 한다. 충돌면의 직경이 작아짐에 따라 분무에 의한 제트기류의 영향으로 그 유동형상이 수평방향으로 진행되지 못하여 밑으로 처지는 결과를 가져온다. 앞의 유동특성과 마찬가지로 충돌면 지름 5.6mm 일 때는 4.2mm 일 경우와 비교해볼 때 수평적으로 퍼짐의 한계를 보인다고 할 수 있다.

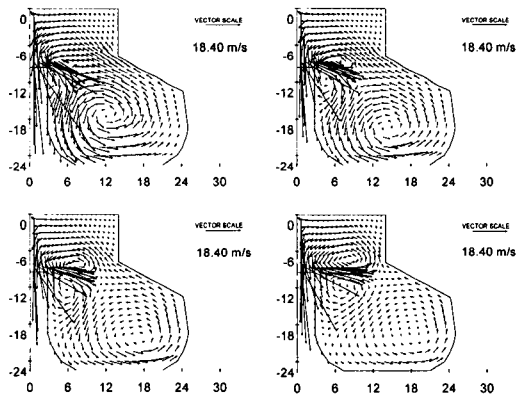


Fig. 9 Flow fields for the land size 5.6 mm

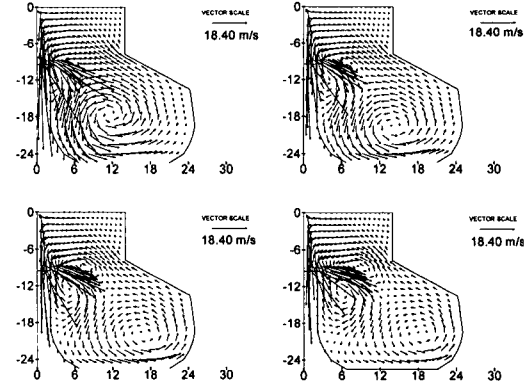


Fig. 10 Flow fields for the land size 4.2 mm

결과적으로 이 유동과 충돌면의 크기에 의해서 연소실의 상하의 유동이 결정되고 충돌면의 직경이 작아질수록 와유동의 중심이 벽쪽으로 가고있음을 알 수 있다.

이 유동이 너무 크거나 작으면 내부 스월의 유동에 영향을 미치게 되어 적당한 것이 좋다는 것을 알 수 있다.

4.3 충돌 증발 연료 분포

Fig.11, 12, 13, 14는 충돌면 직경이 각각 11.6, 8.4, 5.6, 4.2mm일 때 분사후 1.0ms에서 4.0ms까지의 증발연료의 분포이다. 이것은 연소의 가장 중요한 요소중의 하나이며 분무특성과 마찬가지로 대체적으로 충돌면의 직경이 작은 경우, 반경방향으로의 퍼짐이 둔화되면서 상하방향으로 발달되고 있는 것을 알 수 있다. 그 영역의 표면에 대해서 15개의 영역으로 나누어 서로를 비교하였다. 그리고 증발 연료 분포의 면적을 비교하여 보았다. Fig. 15에서 볼 수 있듯이 d=8.4mm, 4.2mm일 경우는 비교적 증발 연료 분포의 면적이 비슷하고

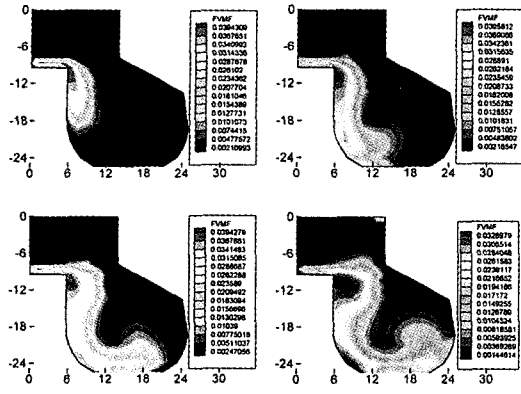


Fig.11 Distribution of the vaporized fuel for the land size 11.6 mm

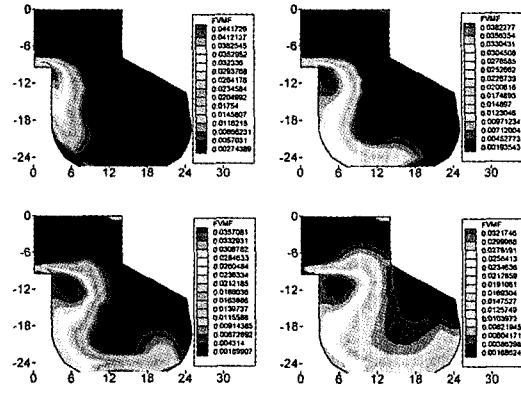


Fig. 13 Distribution of the vaporized fuel for the land size 5.6 mm

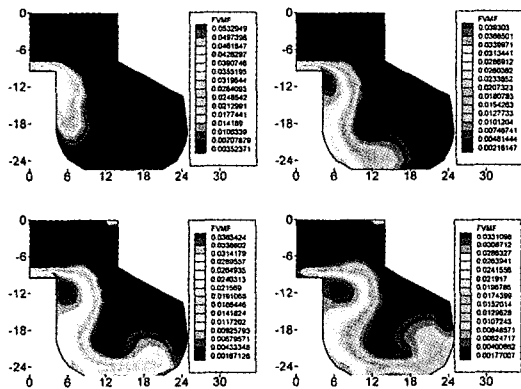


Fig. 12 Distribution of the vaporized fuel for the land size 8.4 mm

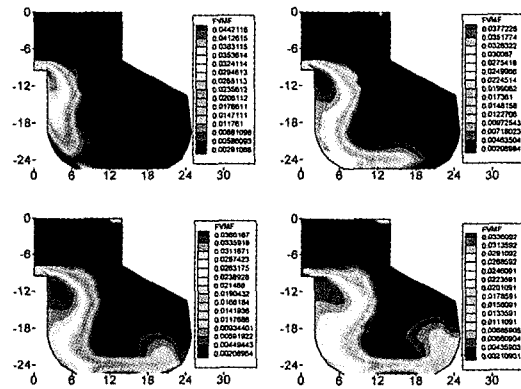


Fig. 14 Distribution of the vaporized fuel for the land size 4.2 mm

d=5.6mm, 11.6mm인 경우는 상대적으로 그 양이 많아짐을 볼 수 있다. 그리고 충돌면 지름이 4.2mm인 경우는 연소실의 중앙부에 비교적 그 양이 적으며 벽면에 증발 연료 분포가 모여 있는걸 알 수 있다. 증발 연료의 분포가 넓다는 것은 공기와 잘 섞일 것이며 화염면의 확대에 의하여 연소 특성을

향상시킴으로 유해배기가스를 줄이는 효과를 기대할 수 있을 것으로 판단된다. 따라서 대상 엔진의 분무조건, 연소실 크기와 형상 등에 따라 충돌면의 크기를 적절히 선택함이 요구된다. 본 계산의 결과에 의하면 충돌면 직경이 5.6mm인 경우가 가장 넓은 분포를 보여주고 있다.

참 고 문 헌

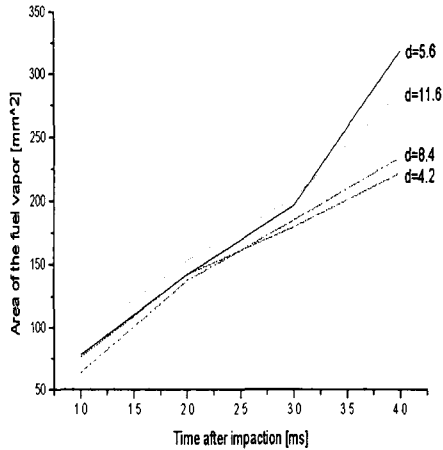


Fig. 15 Comparison of Areas of fuel vapor contour

5. 결 론

이상의 분석으로 OSKA형 연소실에서 충돌면 크기 변화가 분무특성에 미치는 영향은 다음과 같다.

유동의 특성에서 볼 때 충돌면 지름이 5.6mm일 때까지는 제트유동의 영향으로 상하방향에 넓은 와류영역을 보이고 있지만 충돌면 지름이 4.2mm가 되었을 때는 그 움직임이 둔화되어가고 있다. 액적분포와 증발분포 역시 유사한 모양을 하고 있고, 증발분포는 직경이 5.6mm일 때 최대값을 보이고 있다. 결론적으로 OSKA형 연소실의 충돌면 크기는 5.6mm정도가 적당한 것으로 판단된다.

후 기

이 논문은 2001년도 두뇌한국21사업에 의하여 지원되었음.

- 1) W. L. Everse, "Characterization of the Transient Spray from High Pressure Swirl Injector" SAE 940188, 1994.
- 2) K. Egger, "Mechanik der Hochdruckein - Spritzung von Pumpedusen - Systemen" MTZ49(1998)2, pp.53-57, 1988.
- 3) D. S. Pederson, , "Characterization of the Transient Spray from a High Pressure Injector" , Thesis for the Degree of MS, Michigan Technological University, 1992.
- 4) F. Brabdl, I. Reverencic, W. Cartellieri, and J. C. Dent, "Turbulent Air Flow in the Combustion Bowl of a D. I. Diesel Engine and its Effect on Engine Performance" , SAE 790040, 1979.
- 5) T. Saito and Y. Dasiho, "Effect of Combustion Geometry on Diesel Combustion" , SAE 861186, 1986.
- 6) J. Guo, T. Chikashisa, T. Mureyame, and M. Miyano, "Low NOx Methanol Diesel Engine with DME Torch Ignition Method" , 일본기계학회 논문집(B) 60권 577호, No.94-0279, pp.3179-3184, 1994.
- 7) K. Park, D. M. Wang and A. P. Watkins, "A Contribution to the Design of a Novel Direct - Injection Diesel Engine Combustion System - Analysis of Pip Size" , Appl. Mach. Modelling, pp.114-124, 1993.
- 8) K. Park, D. M. Wang and A. P. Watkins, "Optimizing D. I. Diesel Combustion Chamber System Using New Wall Impaction Model", 한국자동차공학회 춘계학술대회, pp.99-104, 1995.
- 9) A. P. Watkins and K. Park, "Assessment

- and Application of a New Spray Wall Impaction Model", Computers in Reciprocating Engines and Gas Turbines, I.Mech.E, pp.1-10, 1996.
- 10) 조래희, 김덕줄, 박권하, 이장희, 정용일, "IDI 디젤 분무의 글로우 플러그 충돌 효과에 관한 연구", 대한 기계학회 춘계학술대회, 1996.
 - 11) S. Kato and S. Onishi, "New Type of Diesel Engine by Impingement of Fuel Jet (OSKA - D)", SAE 901618, 1990.
 - 12) S. Kato and S. Onishi, "Performance of Glow Plug Assisted Direct Injection Methanol Engine by Impingement of Fuel Jet (OSKA- F)", SAE 911769, 1991.
 - 13) S. Kato, S. Onishi, H. Tanabe and G.T. Sato, "Development of Low NOx Emission Diesel by Impingement of Fuel Jet", SAE 921645, 1992.
 - 14) M.M.E Watkil, O.A. Uyehara and P.S. Myers, "Atomization of Multi Fuel Sprays", ICLASS-82, No. 9.3, pp.237-244, 1982.
 - 15) P.J. O'Rourke and F.V. Brocco "Modelling of Drop Inter Actions in Thick Sprays and a Comparison with Experiment", In Stratified Charge Automotive Engine Conf., I.Mech.E, 1980.
 - 16) R.D. Reitz and R. Kiwakar, "Effect of Drop Break-up on Fuel Sprays", SAE860469, 1986.
 - 17) K. Araki and A. Moriyama, "Deformation Behaviour of a Liquid Droplet Impinging on a Hot Metal surface", In Int. Cont. on Liquid Atomization and Spraying Systems ICLASS-82 1982.
 - 18) O.W. Jayaratne and B.T. Mason, "The Coal Escence and Bouncing of Water Drop at Air/water Interface", Proc. R. Soc. Lond-A 280 p.545, 1964.
 - 19) L.H.J. Wachters and N.A.J. Westerling, "The Heat Transfer from a Hot Wall to Impinging Water Drops in the Spheroidal State", Chemical Engineering Science, 21 p.1047, 1966.
 - 20) K. Park and A.P. Watkins, "The Effect of Non-orthogonal Grids on Spray and Air Flow Predictions", KSME Journal, Vol. 10, No. 4, pp.458-470, 1996.
 - 21) K. Park and A.P. Watkins, "Comparison of Wall Spray Impaction Models with Experimental Data on Drop Velocities and Sizes", International Journal of Heat and Fluid Flow, Vol.17 No. 4, pp.424-438, 1996.
 - 22) K. Park and A.P. Watkins, "An Investigation of Combustion Chamber Shapes for Small Automotive Direct Injection Diesel Engines Employing Spray Impaction", Journal of Auto mobile Engineering, I.Mech.E, Vol.210, No. D3, pp.261-272, 1996.
 - 23) K. Park and A.P. Watkins, "Assessment and Application of a New Spray Wall Impaction Model", Transaction of Computers in Reciprocating Engines and Gas Turbines, I.Mech.E, pp.1-10, 1996.