

디젤분무의 새로운 벽면충돌모델

박 권 하*

New Wall Impaction Model for Diesel Spray

K. Park

A new wall impaction model for diesel spray is described in this paper. The gas phase is modelled in terms of the Eulerian continuum conservation equations of mass, momentum, energy and fuel vapour fraction. The liquid phase is modelled following the discrete droplet model approach. The droplet parcel contains many thousands of drops assumed to have the same size, temperature and velocity components. The droplet parcel equations of trajectory, momentum, mass and energy are written in Lagrangian form. The new drop-wall interaction model is proposed, which is based on experimental investigations on individual drops, and it is applied for the general non-orthogonal grid. The model is then assessed through comparison with experiments over a wide range of test conditions of sprays. The results are in good agreement with experimental data.

Key Words: 디젤분무(Diesel Spray), 충돌모델(Impaction Model),
전산유체역학(CFD)

기호설명

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
 μ_{ef} : effective viscosity

1. 서 론

연료의 경제성이 우수한 디젤기관은 최근 들어 유럽을 중심으로 소형승용차에 적용이 늘고 있다. 즉 디젤기관이 소형고속화되고 있다. 이러한 엔진에서는 분사된 연료가 피스톤 벽면에 부딪쳐서 쌓이게 됨으로 연료 및 증발연료가 벽면부근에만 분포하게 되며 주위공기와 잘 섞이지 못하고 연소기간후에도 미연가스로 배출되게 된다. 최근 이러한 현상을 방지하기 위한 적극

*정회원, 한국기계연구원 동력시스템연구부

적인 방법으로 분사연료의 벽면충돌을 이용하는 연소실시스템이 제시되고 있으며, 벽면충돌모델을 적용하여 최적형상을 찾는 연구가 증가하고 있다.

Naber 와 Reitz[1]는 Stick모델을 개선한 Reflect모델과 Jet모델을 제시하였다. Stick모델에서는 액적이 벽면에 충돌하면 그 충돌점에 부착하여 증발하게 된다. Reflect모델에서는 벽면에 충돌된 액적이 에너지의 손실 없이 충돌전의 크기와 속력을 가지고 튀어 오르게 되며, Jet모델에서는 접근한 액적이 튀어오르지 않고 충돌면과 평행한 방향으로 튀어 나가게 되는데 역시 충돌에 의한 에너지 손실 없이 충돌전과 동일한 크기와 속력을 갖는다. 그들에 의하면 Jet모델이 가장 잘 맞는 것으로 보고되었다. Naber et al[2]은 피스톤보울내에 마련된 충돌부에 분사되는 경우에 대하여 Jet모델을 적용하였다. 충돌후 액적들이 너무 멀리퍼져나감을 알았고, 따라서 Jet모델을 개선하여 새로운 모델을 제시하였다. 그러나 아직도 벽면충돌직후 액적들의 분포가 실험치에 비하여 훨씬 멀리 퍼지고 있다.

다른 모델들(Shih 와 Assanis[3], Reitz 와 Rutland[4], Wakisaka 등[5])도 Jet모델을 변형개선하고 있는데, 역시 충돌후에도 운동에너지가 보존되는 것으로 가정하고 있으며 대부분의 경우 실험결과에 비하여 충돌액적들이 너무 멀리 퍼져나감을 보여주고 있다. 이는 충돌에 의한 에너지저감을 고려하지 않았기 때문으로 판단된다.

Watkins 와 Wang[6]은 웨버넘버에 기본을 두고있는 충돌모델을 제시하였다. 이 모델에서는 충돌후 액적의 속력을 계산하기 위하여 실험에 근거한 에너지 손실계수를 도입하고 있다. 웨버넘버가 높은 경우에는 충돌면과 수직방향으로 접근하는 액적의 운동에너지가 전부 소실되는 것으로 가정하였으며, 즉 Stick모델과 동일한 특성을 갖는다. 결과적으로 고속의 충돌에서는 액적의 퍼짐이 둔화되고 실험치와 비교할 때 현저히 적게 퍼지는 문제점을 보여주었다. 따라서 그들[7]은 O'Rourke 와 Bracco[8]에 의하여 제시된 액적간의 충돌모델을 개선하여, 충돌후 액적의 진행방향이 액적밀도가 높은 곳에서 낮은

곳으로 향하도록 하였다. 결과적으로 충돌후 액적들이 충돌면위로 퍼지는 것을 충분히 개선하였다. 하지만 충돌면과 평행한 방향으로의 퍼짐은 오히려 저하되는 결과를 가져왔다.

이 논문에서는 Watkins 와 Wang[6]모델에서와 같이 개별액적의 실험치에 기본을 둔 새로운 벽면충돌모델을 제시하며, 그 결과들을 여러가지 조건의 실험치와 비교한다.

2. 수학적모델

기상의 유동에 대하여는 연속방정식, 운동량 방정식, 에너지방정식 및 연료증발방정식이 Eulerian형으로 주어지며, 고압축성유동에 대한 $k-\epsilon$ 모델이 적용된다. 액상의 유동에 대하여는 움직이는 격자, 운동량, 질량 및 에너지방정식은 Lagrangian형으로 쓰여지며, 각 액적군은 크기, 온도, 속도 등 특성이 동일한 수천개의 액적으로 이루어졌다고 가정한다. 액상에 대한 기상의 영향은 액상의 방정식에서 전단응력의 향으로 고려되며, 기상에 대한 액상유동의 영향은 기상의 방정식에서 생성항의 형태로 고려된다. 속도/압력쌍의 해석은 PISO 알고리즘을 사용하였다.

일반좌표계(ξ^i)로 변형된 기상의 전달방정식은 다음과 같이 일반텐서표시법과 함께 표현된다.

$$\frac{\partial}{\partial t}(\theta \rho U^i \phi) - \frac{\theta \Gamma \phi q_{ii}}{\sqrt{g}} \frac{\partial \phi}{\partial t} = \theta S_\phi + S_\phi^s \quad (1)$$

격자면의 수직유동항 U^i 는 다음과 같다.

$$U^i = P_{ij} u^j \quad (2)$$

여기에서 u^j 는 속도벡터 \vec{V} 의 직교좌표성분이며, P_{ij} 는 면적벡터의 직교좌표성분으로 다음과 같이 주어진다.

$$P_{ii} = \sqrt{g} \frac{\partial \xi^i}{\partial x^i} \quad (3)$$

그리고 Jacobian Determinant $\sqrt{g} = |J|$ 은

$$\sqrt{g} = \det(J_{ij}) \quad (4)$$

과 같으며, 이는 관련점의 체적요소와 관계되며, 만일 $\Delta \xi^i = 1$ 이면, \sqrt{g} 은 셀의 체적이 된

다.

기하학적관계량인 q_{ij} 은 다음과 같이 정의된다.

$$q_{ij} = \overline{A^i} \cdot \overline{A^j} \quad (5)$$

여기에서 $\overline{A^i}$ 은 콘트롤볼륨의 한 표면에 수직인 면적벡터이다.

생성항은 다음과 같이 주어진다.

$u^k (k=1, 2, 3)$ 에 대한 운동량 생성항은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \sqrt{g} S_{u^i} = & -P_{ik} \frac{\partial P}{\partial \xi^j} + \frac{\partial}{\partial \xi^i} (P_{ik} \mu_{eff} \frac{P_{ik}}{\sqrt{g}} \frac{\partial u^i}{\partial \xi^j}) \\ & - \frac{2}{3} P_{ik} \frac{\partial}{\partial \xi^j} (\rho k + \mu \frac{1}{\sqrt{g}} \frac{\partial U^m}{\partial \xi^m}) \end{aligned} \quad (6)$$

에너지 생성항은

$$\sqrt{g} S_e = -P \frac{\partial U^m}{\partial \xi^m} \quad (7)$$

운동에너지 생성항은

$$\sqrt{g} S_k = \sqrt{g} G_i - \sqrt{g} \rho \epsilon \quad (8)$$

운동에너지소실을 생성항은

$$\sqrt{g} S_e = \sqrt{g} \frac{\epsilon}{k} [C_{1G} - C_2 \rho \epsilon] + C_3 \rho \epsilon \frac{\partial U^m}{\partial \xi^m} \quad (9)$$

그리고

$$G = G_i - \frac{2}{3\sqrt{g}} \frac{\partial U^m}{\partial \xi^m} (\rho k + \mu_{eff} \frac{1}{\sqrt{g}} \frac{\partial U^m}{\partial \xi^m}) \quad (10)$$

$$G_i = \frac{\mu_{eff}}{\sqrt{g}^2} [2 (P_{ik} \frac{\partial u^i}{\partial \xi^j})^2 + (P_{mk} \frac{\partial u^i}{\partial \xi^m} + P_{mj} \frac{\partial u^k}{\partial \xi^m})^2] \quad (11)$$

로 이루어진다.

일반좌표계로 변형된 방정식은 유한체적법에 의하여 해석된다. 시간의 함수인 과도항은 Euler implicit방법을 사용하였고, 대류항과 발산항에 대하여는 Hybrid upwind/central difference scheme을 사용하였다.

3. 벽면충돌모델

새로운 벽면충돌모델은 개별액적의 실험결과 (Araki 와 Moriyama[9], Jayaraine 과 Mason[10], Wachters 와 Westerling[11])에 기본을 두고 있다. 이들 실험은 충돌후 액적이 충돌면의 수직방향과 수평방향으로 나뉘어 거동됨을 보여주고 있으며, 역시 충돌전 액적의 웨버

넘버에 의존함을 보여준다.

Wachters 와 Westerling[11]은 Fig. 1과 같이 액적의 벽면충돌에 의한 변형특성을 설명하고 있다. 액적은 충돌전 거의 구형을 하고 있다. 충돌직후 크게 변형되는데 등근지붕주위로 연속적인 유막을 형성하면서 퍼져 나간다. 끝까지

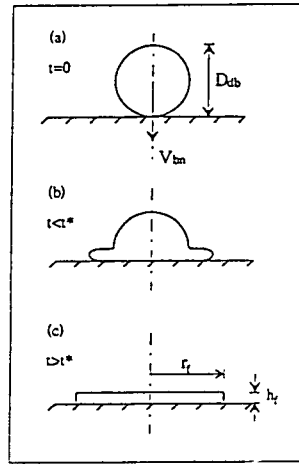


Fig. 1 Deformation of impacting drop

퍼져나간 액적은 웨버넘버가 작은 경우 다시 하나의 액적으로 뭉쳐서 튀어올라가며, 웨버넘버가 큰 경우 여러개의 작은 액적들로 부서지며 부분적으로 뭉쳐서 튀어올라가거나 벽면에 유막을 계속형성함을 보여준다.

웨버넘버는 다음과 같이 정의되며,

$$We_b = \frac{\rho_a v_a^2 D_a}{\sigma} \quad (12)$$

여기에서 ρ_a 는 액적의 밀도, v_a 는 액적의 속도, D_a 는 액적의 직경 그리고 σ 는 표면장력이다.

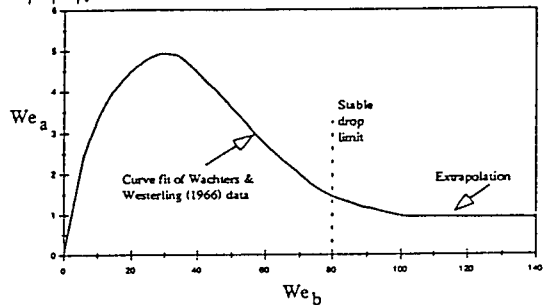


Fig. 2 Relationship between We numbers

Rebound모델인 웨버넘버가 적은 $We < 80$ 인 경우에는 Wang 과 Watkins[7]의 모델과 매우 유사하지만, 충돌에 의한 에너지소실량을 Wachters 와 Westerling[11]에 의해 제시된 Fig. 2와 같은 실험결과를 이용하고 있다.

충돌하는 액적의 웨버넘버 (We_b)를 계산하고 그래프로부터 충돌후 액적의 웨버넘버 (We_a)를 얻는다. 충돌전후에 액적의 크기가 변화하지 않기 때문에, $We_a/We_b = (v_{an}/v_{bn})^2$ 이 되며, 충돌후 액적의 수직방향성분은 다음과 같이 주어진다.

$$v_{an} = -\sqrt{\frac{We_a}{We_b}} v_{bn} \quad (13)$$

Wachters 와 Westerling[11]에 따르면 충돌면에 수평방향성분은 충돌에 영향을 받지 않는다. 따라서,

$$v_{at} = v_{bt} \quad (14)$$

그리고 액적의 크기는 충돌전과 동일하다.

$$D_{da} = D_{db} \quad (15)$$

Break-up모델인 웨버넘버가 큰 영역 $We > 80$ 인 경우에는 현재까지 제시된 어떤 모델과도 다르며, Wachters 와 Westerling에 의해 제시된 충돌중의 액적변형특성에 근거하여 형성하였다. Fig. 1(a)은 $t=0$ 에서 수직속도 v_{bn} 으로 표면에 충돌하는 액적을 보여준다. Fig. 1(b)에서 보여주는 것처럼 액적의 등근지붕이 사라지기까지 액적의 속도는 일정하게 유지된다. Stow and Hadfield[12]의 실험에서도 위에 기술된 현상과 동일한 결과를 보여준다. 그러므로 $t = t^* = D_{db}/v_{bn}$ 에서 액적의 등근지붕이 사라지게 되며, Fig. 1(c)처럼 충돌면에 반경 r_f , 두께 h_f 의 유막이 형성된다. Wachters 와 Westerling에 의한 결과들은 r_f 에 대한 방정식을 얻기 위하여 다음과 같이 분석된다.

$$r_f = 0.835(3.096 \frac{t}{t^*} - (\frac{t}{t^*})^2) D_{db} \quad (16)$$

질량보존의 관계에서 유막의 두께 h_f 는 다음과 같다.

$$h_f = \frac{D_{db}^2}{6r_f^2} \quad (17)$$

액적의 등근지붕이 사라지는 순간, $t = t^*$, $r_f^* = 1.75D_{db}$, $h_f^* = 0.0544D_{db}$ 이다. r_f 의 최대값은 $t = 1.548t^*$ 에서 $r_{fmax} = 2D_{db}$ 이며, 상대적으로 $h_{fmin} = 0.0417D_{db}$ 이다.

h_f 는 부서진 액적의 크기를 결정하게된다. 하지만 액적의 크기가 $D_{db} = 20 \sim 30 \mu m$ 이기 때문에 예를 들어 h_f^* 는 $1.1 \sim 1.6 \mu m$ 정도로 실험적으로 증명하기에는 너무작다. 한편 Yarin 과 Weiss[13]에 의하여 보여주는 것처럼, 젖은 면에 충돌된 액적은 파동움직임을 갖으면서 퍼져나간다. 그 파동의 진동크기는 위에서 유추한 h_f 값보다 훨씬 크다.

따라서 여기에서는 충돌후 부서진 액적의 크기를 결정하기 위하여, Naber 와 Farrell[14]에 의하여 주어진 값을 이용한다. 그들은 120까지의 웨버넘버 범위에서, 충돌후 부서진 액적의 개수를 We_b 의 일차함수로 주고 있다.

$$N = 0.187We_b - 14.0 \quad (18)$$

Bai 와 Gosman[15]은 역시 Stow 와 Stainer[16]의 실험에 근거를 둔 We_c , We_b 의 일차함수로 주어진 N 값을 사용하였다.

$$N = 5.0(\frac{We_b}{We_c} - 1) \quad (19)$$

이 식은 그들의 실험에서 제시한 임계웨버넘버 $We_c = 300$ 인 경우 $N = 0.016We_b - 5.0$ 이 된다.

현재까지의 벽면충돌액적에 관한 실험들은 제한된 조건에서 이루어지고 있다. 위의 두식 역시 명백한 차이를 가지며, 식(18)에 의한 액적크기는 식(19)에 의해 주어진 값의 약 반이 된다. 본 연구에서는 액적의 크기를 분석한 Mundo 등[17]에 의한 결과값과도 잘 맞는 식(18)을 채택하였다.

충돌후 부서진 액적의 거동을 계산하기 위하여 식(16)을 이용하여 다음과 같이 전개한다. 충돌면을 따라 반경방향으로 퍼져나가는 유

막의 선단속도 v_f 는 다음과 같다.

$$v_f = \frac{dr_f}{dt} = 0.835 \left(\frac{3.096}{t^*} - \frac{2t}{t^{*2}} \right) D_{db} \quad (20)$$

여기서 $t^* = D_{db}/v_{bm}$ 임으로

$$v_f = 0.835 \left(3.096 v_{bm} - 2 v_{bm}^2 \frac{t}{D_{db}} \right) \quad (21)$$

여기에서 액적이 부서지는 시기는, 액적이 움츠러들기 시작할 것으로 예상되는 $t = t^* \sim 1.548 t^*$ 으로, $t = \chi t^*$ 로 주어지며 계수값은 $1.0 < \chi < 1.548$ 이다. 따라서 액적이 부서질 때의 속도는 다음과 같다.

$$v_f = 0.835(3.096 - 2\chi)v_{bm} \quad (22)$$

결과적으로 부서진 액적은 충돌점인 유막의 중심에서 0 과 유막선단에서 v_f 사이의 추가속도를 갖는다. 그러나 깨어진 모든 액적들을 고려하기에는 컴퓨터 용량의 문제로 계산이 어렵기 때문에 여기에서는 같은 크기를 가지며 반대방향의 추가속도를 갖는 2개의 액적만을 고려했다. (0,1)사이에서 발생하는 무작위 값의 함수로 충돌후 액적의 평행속도성분이 다음과 같이 주어진다.

$$v_{ax} = v_{bx} \pm R_{xx} v_f \quad (23)$$

이 새로운 액적의 방향은 역시 (0, 2π)사이의 무작위 값으로 주어진다.

충돌후 부서진 액적의 수직방향성분은 Wachters and Westerling의 실험치에 따라 주어진 Fig. 2의 곡선에 의하여 얻어진다. 한편 액적의 개수는 위에서 언급한 바와 같이 $D_{da} = D_{db}/N^{0.333}$ 에 의하여 주어지기 때문에 수직방향의 속도성분은 다음에서 계산된다.

$$v_{an} = -R_{xx} \left(\frac{\sigma W e_a}{\rho D_{da}} \right)^{0.5} \quad (24)$$

여기에서 R_{xx} 는 (0,1)사이에서 발생하는 무작위 값이며, 이상의 방정식들을 종합하면, 충돌모델은 다음과 같이 요약된다.

$We < 80$ 인 경우:

$$v_{an} = -\alpha v_{bm} \quad (25)$$

$$v_{ax} = v_{bx} \quad (26)$$

$$D_{da} = D_{db} \quad (27)$$

$We > 80$ 인 경우:

$$v_{an} = -R_{xx} \left(\frac{\sigma W e_a}{\rho D_{da}} \right)^{0.5} \quad (28)$$

$$v_{ax} = v_{bx} \pm R_{xx} v_f \quad (29)$$

$$D_{da} = \frac{D_{db}}{N^{1/3}} \quad (30)$$

4. 충돌모델의 적용

새로운 모델을 시험하기 위하여, Table 1에

Table 1 Test Cases

Test cases	1	2	3	4	5	6	7	8	9/10/11
Wall dist (mm)	24	24	24	24	24	24	24	25	634
Trap pres (MPa)	1.0	1.5	1.5	2.5	2.9	1.5	1.5	2.9	32
Trap temp (K)	room	room	room	700	773	room	room	773	760
Inj pres (MPa)	14.0	14.0	13.8	16.4	19.6	13.8	13.8	19.6	83/91/116
Nozzle dia (mm)	0.3	0.3	0.3	0.2	0.25	0.3	0.3	0.25	0.406
Inj. durat (ms)	1.2	1.2	1.4	1.8	2.4	1.4	1.4	2.4	1.0-2.75
Inj. angle (°)	0	0	0	0	0	15	30	15	0

보여주는 것처럼 여러 조건의 분무거리, 분무조건 및 주위공기조건에 적용한다.

이 조건들은 세 가지 범주로 나뉘어 지는데, 벽면에 수직충돌(Case 1-5), 벽면과 비스듬하게 충돌하는 각충돌(Case 6-8) 그리고 분사기에 매우 가까이 위치한 면에 고속충돌하는 경우(Case 9-11)로 구분된다. 모든 경우에 대하여, Watkins 와 Wang에 의하여 제시된 변형된 액적사이의 충돌모델을 추가 혹은 추가하지 않은, 새모델을 적용한 계산결과들(New/New+Col)은 실험치 및 다른 모델의 결과치와 비교된다.

수직충돌의 경우에 대하여는 Fig. 3에 보여준 35X35격자를 이용하며, 각충돌의 경우는 40X10X20의 격자를 사용한다(Fig. 4). Fig. 5는 Case 9-11에 적용되는 격자를 보여준다. 격자의 배열은 액적이 집중되는 분무주변과 충돌표면에 밀도가 높게 하였다. 또한 액적의 흐름을 따르

는 격자를 설정함으로써 계산의 정도를 높이고 있다.

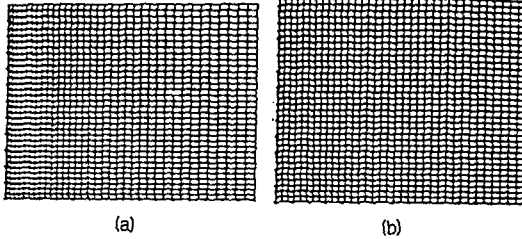
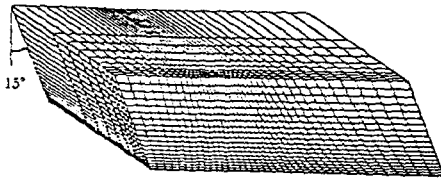
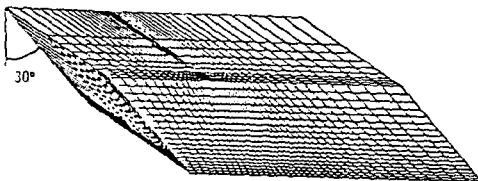


Fig. 3 Grids for normal impaction cases
(a) Wall distance: 24mm(Cases 1-4)
(b) Wall distance: 25mm(Case 5)



(a)



(b)

Fig. 4 Grids for angled impaction cases
(a) Cases 6, 8
(b) Case 7

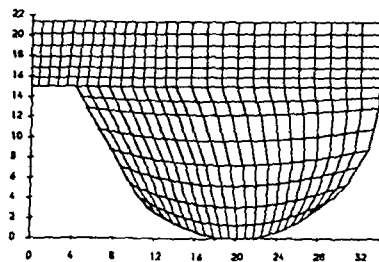


Fig. 5 Grid for Cases 9-11

5. 결과 및 고찰

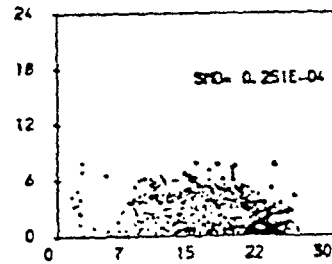
Fig. 6은 Case 1에 대한 액적분포의 계산결과를 보여준다. 여기에는 3가지 충돌모델이 적

용되었는데, 'New' 모델, Watkins 와 Wang[6]에 의한 'Old' 그리고 새로운 Park's model과 Wang과 Watkins[7]에서 제시된 액적간 충돌모델을 조합한 'New+Col' 모델이다.

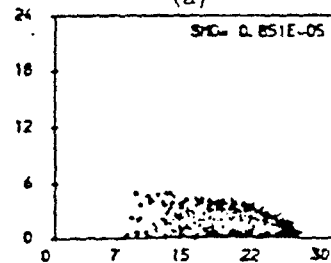
앞에 언급한 두모델을 비교하면, Park's model에서는 액적들의 퍼짐이 Old모델에 비하여 훨씬 잘 진행됨을 보여준다. 특히 wall head vortex부분에 많은 액적들이 분포함을 알 수 있다.

New+Col모델은 New모델과 비교할 때, 장단점을 갖는다. 충돌후 액적들이 충분히 높이 퍼져 올라가지만 실험에서 볼 수 없는 분무본체로부터 멀리 떨어져 분포하는 액적들이 많다.

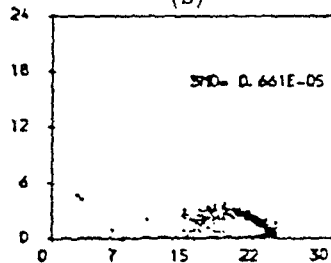
Fig. 7은 충돌분무반경과 높이의 시간에 따



(a)



(b)



(c)

Fig. 6 Spray development, Case 1
(a) New+Col model
(b) New model
(c) Old model

큰 진행거리를 보여준다. New모델에 의한 결과는 실험값보다 약간 적지만 Old모델에 의한 결과보다 월등함을 알 수 있다. 특히 높이방향의 경우 Old모델의 경우 실험치의 반정도에 머무르지만 New모델의 경우 실험치와 거의 유사함을 보여준다. 한편 새로운 모델에 Wang에 의하여 개선된 액적사이의 충돌모델을 추가한 경우 높이 방향의 값이 실험치보다 높게 예측되었다.

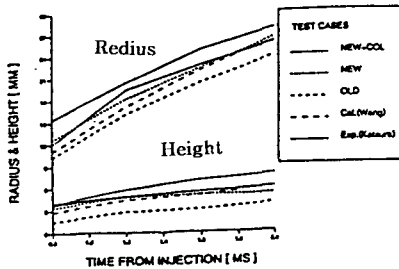


Fig. 7 Comparison of wall radius and height, Case 1

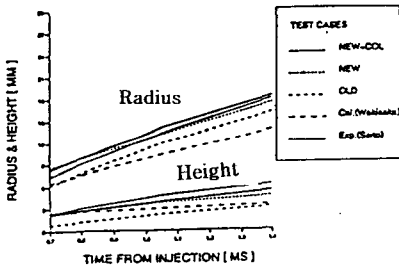


Fig. 8 Comparison of wall radius and height, Case 3

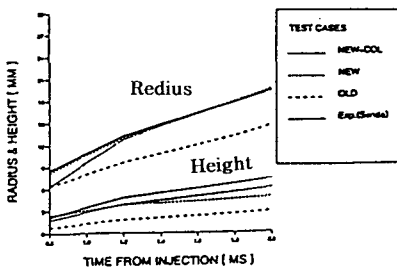


Fig. 9 Comparison of wall radius and height, Case 4

Fig. 8은 Case 3에 대한 충돌분무의 퍼짐 정도를 보여준다. New모델의 경우가 다른 경우와 비교할 때 훨씬 좋은 것을 알 수 있다. 반경방향과 높이방향에서 모두 실험치와 거의 유사함을 보여준다. 하지만 Wakisaka에 의한 결과는 실험치보다 적게 예측되고 있고 특히 반경방향에서는 Old모델보다 낮은 값을 보여준다.

Case 4와 5는 증발분무에 대한 모델의 적합성을 살펴보기 위하여, 분위기 온도가 각각 700K, 773K인 경우를 선택한다. Fig. 9는 Case 4에 대한 충돌분무의 퍼짐 정도를 보여준다. New 모델이 Old모델에 비하여 매우 우수함을 보여주지만 높이 방향에서는 실험치에 훨씬 못 미침을 알 수 있다.

Case 6과 7은 각각 15°, 30°의 경사면에 충돌되는 것을 제외하면 Case 3과 동일한 조건이다. Fig. 10에서 보여주는 것처럼 New모델이 아직 다른 모델에 비하여 우수하지만 수직충돌인 Case 3보다는 서로간의 차이가 적은 것을 알 수 있다. 이는 각을 가지고 충돌하면서 수직충돌속도의 감소로 v_r 의 효과가 줄어들었기 때문으로 생각된다. Fig. 11은 증발분무인 Case 8인 경우의 액적분포를 보여주는데, 사진과 매우 유사함을 알 수 있다.

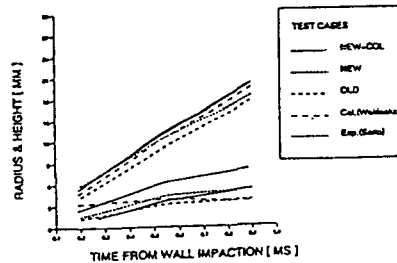
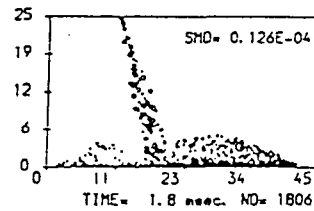
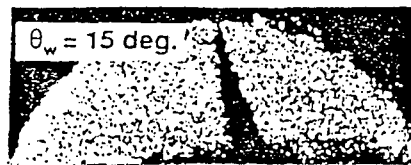


Fig. 10 Comparison of wall radius and height, Case 7



(a)



(b)

Fig. 11 Comparison of wall spray, Case 8
(a) New model
(b) Photograph(Senda et al[1])

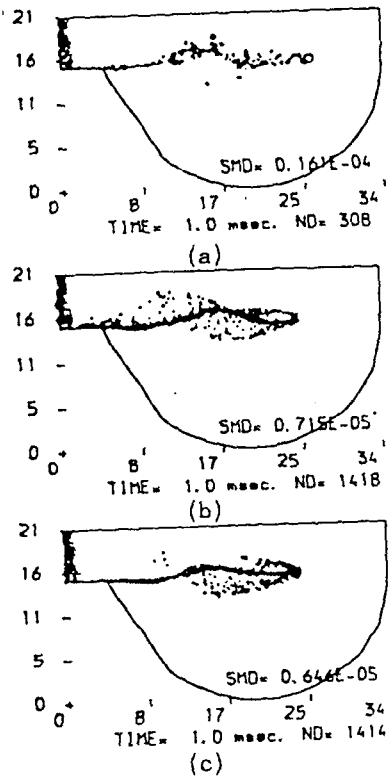


Fig. 12 Spray at time=1.0ms, Case 9
 (a) New+Col model
 (b) New model
 (c) Old model

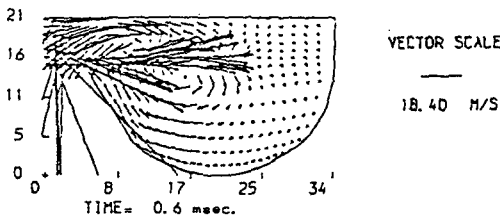


Fig. 13 Gas velocity distribution, Case 9

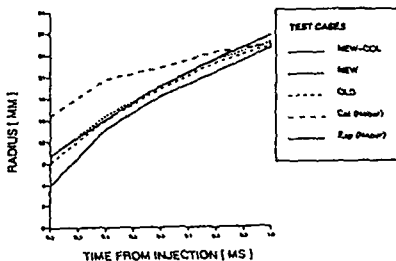


Fig. 14 Comparison of spray penetration, Case 9

마지막 3가지 경우인 Case 9-11은 분무기가 충돌면에 매우 가까이 위치하고 있으며 고속분사되는 경우이다. 충돌면이 매우 작기때문에 충돌한 액적들이 짧은 시간내에 충돌면을 떠나게 되고 따라서 Fig. 12에서 보여주는 것처럼 충돌 모델들간의 차이가 거의 없음을 알 수 있다. 개선된 액적간의 충돌모델은 충돌면을 떠난 후에도 계속 작용하기 때문에 액적들이 크게 모여들거나 더욱 작아져서 증발되어 버린다. 모든 모델의 경우 구불거리는 거동을 하면서 진행하게 되는데 이는 역시 Fig. 13의 속도장에서도 보여주고 있다.

Fig. 14는 액적들의 퍼짐정도를 실험치와 함께 비교하고 있다. 앞에 설명된 것처럼 모든 모델에서 유사한 결과를 나타낸다. Jet모델을 수정하여 제시한 Naber 등[2]모델에 의한 결과도 비교하고 있는데 현재의 모델에 비하여 월등히 좋지 못함을 보여준다.

6. 결론

상기의 고찰을 종합하여 보면 충돌모델의 특성은 다음과 같다.

○Old모델은 모든 경우에 있어서 액적들이 충분히 퍼져 나가지 못한다.

○액적의 충돌에 의한 운동에너지소실을 고려하지 않은 Reflect모델, Jet모델 및 개선된 여러 형태의 Jet모델에 의한 예측 결과와 비교할 때 새로운 충돌모델이 월등함을 보여준다.

○대부분의 분무조건에서 새로운 모델(New model)을 적용하여 계산한 결과가 다른 모델에 의한 결과보다 우수하며, 실험결과와도 유사하게 분포함을 보여준다.

○새로운 모델에 개선된 액적간 충돌모델을 추가할 경우(New+Col) 반경방향의 퍼짐은 개선됨을 알 수 있으나 높이방향의 결과는 일반적으로 실험치 보다 높게 예상되고 있다.

○새로운 모델과 새로운 모델에 액적간 충돌 모델은 추가한 경우를 비교하면, 전자는 일반적으로 높이 방향에서 실험값 보다 약간 낮게 예측되었고, 후자는 약간 높게 예측되었다. 상기 두모델을 적절히 변형한 향상된 모델의 개발이 앞으로의 과제로 생각된다.

참고문헌

- [1] Naber, J.D. and Reitz, R.D., "Modelling engine spray/wall impingement", SAE 880107 (1988).
- [2] Naber, J.D., Enright, B. and Farrell, D., "Fuel impingement in a direct injection diesel engine", SAE Paper 881316 (1988).
- [3] Shih, L.K. and Assanis, D.N., "Implementation of a fuel spray wall interaction model in KIVA-II", SAE Paper 911787 (1991).
- [4] Reitz, R.D. and Rutland, C.J., "3-D modelling of diesel engine intake flow, combustion and emissions", SAE Paper 911789 (1991).
- [5] Wakisaka, T., Yoshida, S.K., Isshiki, Y. and Shimamoto, Y., "A study on spray models for numerically analysing fuel spray behaviour", Proc. 11th Symp. on Internal Combustion Engines, JSME/JSAE (1993), p. 241.
- [6] Watkins, A.P. and Wang, D.M., "A new model for diesel spray impaction on walls and comparison with experiment", Proc. COMODIA 90 Int. Symp. on Diagnostics and Modelling of Combustion in I.C. Engines, Kyoto (1990), p. 243.
- [7] Wang, D.M. and Watkins, A.P., "Numerical modelling of diesel wall spray phenomena", Int. J. of Heat and Fluid Flow, Vol.14 (1993), p. 301.
- [8] O'Rourke, P.J. and Bracco, F.V., "Modelling of drop interactions in thick sprays and a comparison with experiment", Stratified Charge Automotive Engine Conf. IMechE (1980).
- [9] Araki, K. and Moriyama, A., "Deformation behaviour of a liquid droplet impinging on a hot metal surface", In Int. Cont. on Liquid Atomization and Spraying Systems ICLASS-82 (1982).
- [10] Jayaratne, O.W. and Mason, B.T., "The coalescence and bouncing of water drop at air/water interface", Proc. R. Soc. Lond-A 280 (1964), p. 545.
- [11] Wachters, L.H.J. and Westerling, N.A.J., "The heat transfer from a hot wall to impinging water drops in the spheroidal state", Chemical Engineering Science, 21 (1966), p. 1047.
- [12] Stow, C.D. and Hadfield, M.G., "An experimental investigation of fluid flow resulting from the impact of a water drop with an unyielding dry surface", Proc. R. Soc. Lond. A, 373 (1981), p. 419.
- [13] Yarin, A.L. and Weiss, D.A., "Impact of drops on solid surfaces: self-similar capillary waves, and splashing as a new type of kinematic discontinuity", J. Fluid Mech., Vol. 283 (1995), p. 141.
- [14] Naber, J.D. and Farrell, P., "Hydrodynamics of droplet impingement on a heated surface", SAE Paper 930919 (1993).
- [15] Bai, C. and Gosman, A.D., "Development of methodology for spray impingement situation", SAE 950283 (1995).
- [16] Stow, C.D. and Stainer, R.D., "The physical products of splashing water drops", J. Meteorological Soc. of Japan, 55 (1977), p. 518.
- [17] Mundo, C., Sommerfeld, M. and Tropea, C., "Droplet-wall collisions: Experimental studies of the deformation and breakup process", Int. J. Multiphase Flow, Vol. 21, No. 2 (1995), p. 151.