

디젤연소실에서 새로운 충돌분무 형성에 대한 수치적 고찰

류성목* · 차건종** · 김덕줄** · 박권하***
(1998년 5월 18일 접수)

Numerical Analysis of the Formation of New Impinging Spray in the Diesel Combustion System

Sung-Mok Ryoo, Keun-Jong Cha, Duck-Jool Kim and Kweonha Park

Key Words: Impinging Spray(충돌분무), Impaction Part(충돌부), Spray Characteristics(분무특성) Spray Spreads(분무퍼짐), Penetration Ratio(관통길이 비)

Abstract

The objective of this study is to establish geometric guidelines for design of impaction parts prepared for removing undesirable effects of fuel deposition on a wall in small direct-injection diesel engines. In order to get the guidelines a new wall geometry is introduced and assessed, which has a flat top and a slant edge. The size of the flat top and the angle of the slant edge are varied and tested in same chamber condition, then their effects on spray dispersions and drop sizes are discussed. The results show that the case of 3.0mm flat top and 60° edge angle gives the best spray characteristics for a small combustion chamber in the test conditions chosen in this paper.

기호설명

b_U : 충돌면을 기준으로 분무의 상부측까지의 거리
 b_L : 충돌면을 기준으로 분무의 하부측까지의 거리
 D : 액적직경
 \sqrt{g} : 야코비안 디터미넌트
 H_U : 노즐팁에서 충돌면까지의 거리
 H_L : 충돌면에서 분무실 바닥까지의 거리
 N : 액적의 수
 P_{inj} : 분사압력
 q_{ij} : 좌표계변환에 관계하는 계수
 R_B : 보어 반경
 R_P : 분무의 반경방향 관통길이
 R_{rx} : 랜덤변수

S_ϕ : 생성항
 t : 분사개시후 시간
 U^i : 법선방향의 유동 성분
 v : 액적속도
 We : 액적의 웨버 수

그리스문자

α : 에너지 계수
 β : 충돌면을 기준으로 기울어진 경사면의 각도
 ρ : 밀도
 σ : 표면장력
 θ : 공간비
 Γ_ϕ : 확산계수
 ϕ : 일반적인 물리량

* 부산대학교 대학원

** 회원, 부산대학교 기계기술연구소

*** 회원, 한국해양대학교

상첨자 및 하첨자

a : 충돌후

b : 충돌전

d : 액적
 f : 연료
 n : 수직
 t : 집선

1. 서 론

디젤기관은 우수한 에너지 효율성으로 인해 현재에는 소형승용차에의 적용이 증가하고 있는 추세이다. 그러나 소형디젤기관에서는 고속이 요구됨에 따라 연소실내에 연료분사가 고속화되어 지고 연소실이 소형화되고 있다. 따라서 고속분사된 연료가 연소실벽면에 충돌함에 따라 연료의 벽면퇴적 및 연료증발의 지연, 액적의 미립화의 불량, 주위공기와의 불충분한 혼합등의 현상을 야기한다. 이러한 현상으로 미연가스의 증가와 함께 연소효율의 저하를 유발시킴으로서 발생하는 유해배출물의 문제는 여전히 해결해야할 오래된 과제이다. 최근 디젤 엔진의 유해 배출물 저감과 에너지 경제성의 차원에서 새로운 디젤 연소실이 제안되었다^(1,2). 이것은 연료 분사노즐 바로 아래에 임의의 충돌부를 두어, 분사된 연료가 충돌됨으로서 분무의 2차 분열을 유도하는 충돌 분사계에 근거하고 있다. Kato 등^(1,2)은 큰 스퀴시를 얻기위해 리엔트레이트형 연소실을 사용한 OSKA-D엔진과 실린더헤드에 원형충돌판을 설치한 OSKA-DH엔진의 실험결과를 발표하였다. Park & Watkins^(3,4)는 5개의 분공으로부터 분사된 연료를 연소실 중앙과 벽면에 미리 준비된 5개의 돌출부에 충돌시켜 액적들의 공간 분포를 증대시키고, 주위공기와의 혼합이 촉진되는 연소실 형상을 제안하였다. Tanabe 등⁽⁵⁾은 일정한 높이와 크기의 원판을 이용하여 분사압력과 노즐니들형상의 효과에 따른 분무관통길이와 폭을 측정하였다. 김 등⁽⁶⁾은 분위기압력이 일정한 상태에서 분사압력과 충돌원판의 직경 및 위치에 따른 실험 및 계산을 토대로 적절한 충돌부 위치 및 직경을 제시하였으며, Ogura와 Lin⁽⁷⁾은 충돌부가 있는 실린더헤드로서 충돌분무실험을 하였으며, 이들은 충돌부의 형상을 여러 가지로 변화시켜 여러형상의 충돌부에 대한 실험을 하였다. 또한 최근에 박⁽⁸⁾은 여러 가지형상의 충돌면을 분석하고 w-형 연소실을 분석하여 분무충돌시 발생하는 연소실내에서의 문제

에 대해 효과적인 대책을 제시하였다.

이상의 선행 연구에서 사용된 충돌부의 형상은 대부분 수평면을 유지하였고 연구의 결과는 한결 같이 충돌 분무가 종래의 자유 분무에 비해 미립화 특성 및 분무의 공간 분포가 우수함을 보여주었다. 그러나 소형 디젤 기관의 경우, 여전히 분무의 반경방향 관통력에 의한 연료의 실린더 벽면퇴적이 존재하였고, 특히 충돌 분무의 진행방향에 대하여 하부측에서는 연료와 공기와의 혼합은 상부측에 비해 좋지 못하였다.

이에 반해 상부측에서는 분무액적의 반사효과에 의해 상당한 분무두께를 가지게 되어 연소실의 간극체적공간내에서 실린더헤드면에 액적이 부착되는 현상이 발생할 가능성이 높았다⁽⁹⁾. 이러한 문제를 해결하고 충돌 분무에 적합한 연소실 설계를 위한 정보를 얻기 위해서는 먼저 수치해석적으로 충돌 분무의 유동특성을 예측할 필요가 있다.

본 연구에서는 PISO⁽¹⁰⁾를 엔진내부유동에 맞도록 확장시킨 EPISO(Engine PISO)알고리즘⁽¹¹⁾을 기초로 한 알고리즘으로서 분무와 가스운동과의 상호관계를 고려한 분무 EPISO알고리즘⁽¹²⁾을 사용하였다. 또한 분무 EPISO알고리즘은 주어진 실험조건과 동일한 조건에서 수치적 선행연구^(3,4,6,13)를 통해 실험 및 계산결과와의 일치를 검증한 바 있다.

따라서 본 연구에서는 이미 검증된 분무 EPISO알고리즘을 사용하여 충돌부의 기구학적 조건을 고려함으로써 분무의 유동특성을 수치해석적으로 예측하고, 요구된 충돌분무의 유동을 유도할 수 있는 충돌부의 최적 형상을 제시하고자 한다.

2. 수학적 모델

Watkins & Park⁽¹³⁾에 의해 제시된 새로운 벽면충돌모델을 포함한 수학적 모델을 사용하였으며 다음과 같이 간략화된다.

기상의 유동에 대하여는 연속방정식, 운동량방정식, 그리고 에너지방정식 및 연료증발방정식이 오일러안형으로 주어지며, 난류수송모델은 Reynolds⁽¹⁴⁾에 의해 제시된 압력효과를 고려한 $k-\epsilon$ 모델을 사용하였다. 액상의 유동에 대하여는 움직이는 격자, 운동량, 그리고 질량 및 에너

지방정식은 라그랑지안형으로 쓰여지며, 액상의 연료는 노즐로부터 나올 때 비립화되어 액적으로 존재한다고 가정한다. 액적은 동등의 직경의 구이며, 액적과 주위와의 복사열전달은 무시한다. 또한 각 액적군은 크기, 온도, 속도등 특성이 동일한 수천개의 액적으로 이루어졌다고 가정한다.

액상에 대한 기상의 영향은 액상의 방정식에서 전단응력의 항으로 고려되며, 기상에 대한 액상 유동의 영향은 기상의 방정식에서 생성항의 형태로 고려된다. 또한 액적의 크기를 결정하기 위한 수학적모델은 액적의 증발효과에 대해서 El Wakil 등⁽¹⁵⁾에 의하여 제시된 실험과 이론식을, 벽면충돌시 액적의 분열효과를 고려하기위해서 선행연구^(16,17)에서 제시된 결과값을 기준으로 적용하였다. 속도/압력쌍의 해석은 PISO알고리즘을 사용하였다.

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

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

새로운 벽면충돌모델은 개별액적의 실험결과(Araki와 Moriyama, Jayaratne과 Mason, Wachters와 Westerling)^(18~20)에 기본을 두고 개발되었으며, 충돌후 액적의 거동을 계산하기 위하여 액적의 속도성분을 충돌면의 수직방향과 수평방향으로 나누어 계산하였고, 충돌전 액적은 웨버넘버의 함수로 표현하였다.

벽면에 충돌되는 액적은 안정($We < 80$)과 불안정($We > 80$)의 2가지 영역으로 구분되어진다. 안정영역에서는 액적들은 충돌후 얇은 액막으로 퍼지면서 다시 하나의 액적으로 뭉쳐서 튀어 올라가며, 불안정영역에서는 여러개의 작은 액적들로 분열되어 튀어 올라가게 된다. 액적이 충돌후 분열되지 않는 임계상태는 $We = 80$ 인 것으로 Watchers 등에서 실험적으로 구해진 바 있다.

충돌모델을 요약하면 다음과 같은 방정식으로 표현된다.

$$We < 80 \text{인 경우} \quad v_{an} = -\alpha v_{bn} \quad (2)$$

Table 1 Calculation conditions.

Test cases	1	2	3	4	5	6	7
Wall dist.(mm)	6.0						
Nozzle dia.(mm)	0.6						
Trap pres.(MPa)	3.0						
Trap temp.(K)	300						
Inclined angle, β (°)	0	20	30	45	60	45	60
Dia.of impinging land(mm)	9.0	3.0				2.0	
Land shape	Flat	Flat & Inclined					
Inj. pres., P_{inj} (MPa)	10.8, 12.8, 14.7, 16.7, 19						

$$v_{at} = v_{bt} \quad (3)$$

$$D_{da} = D_{db} \quad (4)$$

$We > 80$ 인 경우

$$v_{an} = -R_{xx} \left(\frac{\sigma We_a}{\rho D_{da}} \right)^{0.5} \quad (5)$$

$$v_{at} = v_{bt} \pm R_{xx} v_f \quad (6)$$

$$D_{da} = \frac{D_{db}}{N^{\frac{1}{3}}} \quad (7)$$

3. 계산조건

본 연구에서 충돌부 형상은 정적용기내의 중앙에 충돌부를 둔 연소실을 모사하였으며, 김 등에서 제시된 충돌부 직경, 충돌부 위치 및 실험조건을 토대로 충돌면에 일부 수평한 충돌부를 두고 이후에는 경사면을 형성시키고 또한 충돌부의 직경을 변화시켰을때의 분무특성을 해석하기위한 계산조건들이 Table 1에 나타난다.

4. 수치해석의 결과 및 고찰

4.1 경사면 변화에 따른 충돌분무 특성

Fig.1은 계산에 사용된 격자들을 나타낸다. 23×37

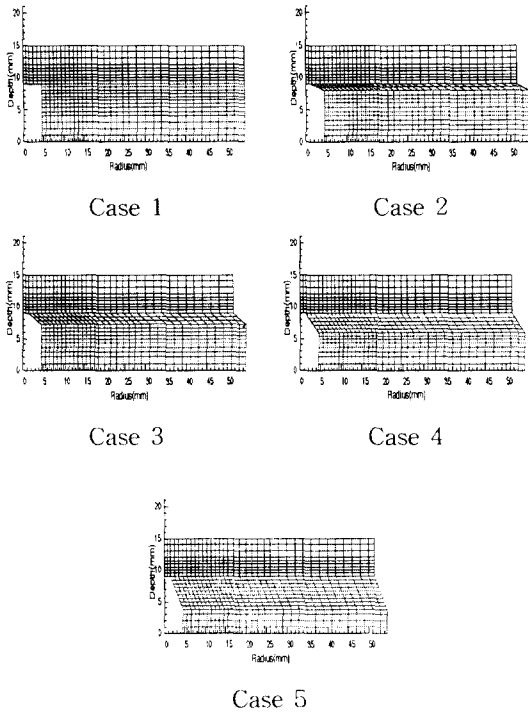


Fig. 1 Numerical grids of the different shapes of the impinging lands.
(Diameter of impinging land : 3.0mm)

의 격자수를 가지며 이때의 물리적 계산높이와 넓이는 15mm와 54.5mm에 해당된다. 계산의 정도를 높이기 위해 충돌분무가 분포하는 중심영역에는 격자간격을 0.5~0.6mm 정도로 하였으며 격자가 경계형상을 따르지 않고 분무유동을 따라 생성되었다.

분사노즐은 좌상단에 위치하며 피스톤의 움직임은 고려되지 않았다. Fig.2는 분사압력 16.7MPa에서 분사개시후 3ms일때, 충돌부의 기하학적 형상변화에 따른 연료입자의 퍼짐분포를 보여준다. 수직충돌면에 충돌한 액적의 거동들은 Case 2와 3에서는 Case 1과 같이 충돌판 중심에서 반경방향으로 분무가 진행되지만, Case 4와 5에서는 경사면에서의 축하방향으로 진행되는 액적운동량의 증가로 분무폭은 충돌부 상하부측으로 널리 퍼진다. 또한 Case 5의 경우에 분무는 다른조건과 비교해 볼때 반경방향으로 더 멀리 진행하지 못하고 충돌부 하측으로의 분무폭이 점점 성장하고 있음을 알 수 있다. Fig.3은 Fig.2의 동일한 조건에서 Case 4와 5에 대해 가스의 벡터유동 분포를 나타낸다. 가스의 유동분포를 보면, Case 4부터

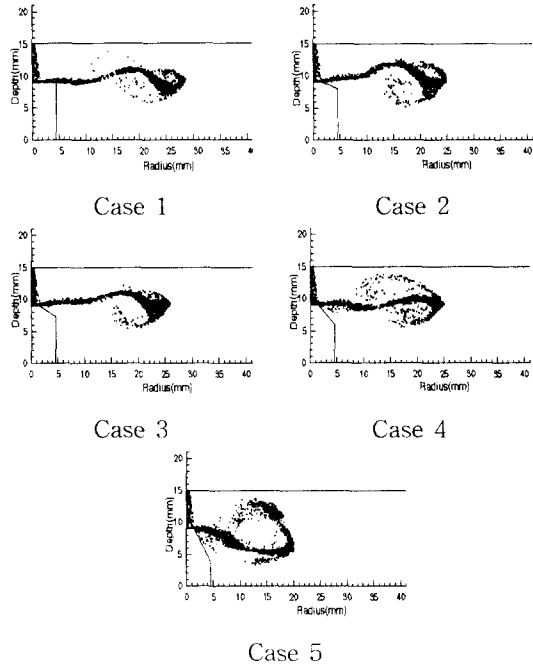


Fig. 2 Spray spreads for impinging land shapes.
($P_{inj.} = 16.7MPa$, $t = 3ms$)

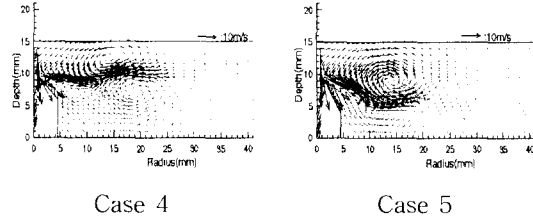


Fig. 3 Gas motions for Case 4 and Case 5.
($P_{inj.} = 16.7MPa$, $t = 3ms$)

충돌면을 기준으로 상하부 유동분포가 증가하는 경향을 나타내며, Case 5의 경우는 앞의 조건들에 비해 경사면 근처에서 큰 유동장이 강하게 형성되어 하부로 더 넓은 분포를 가진다. Fig. 4는 앞의 동일한 조건에서의 Case 4와 5에 대한 계산 셀내에 존재하는 공기에 대한 증발연료의 질량비에 대한 것으로서 연료입자의 증발분을 나타낸다. 연료입자의 증발분은 앞의 가스유동분포와 같이 Case 4와 5를 비교해 볼때, Case 5에서는 분무의 증발이 충돌면의 가까이에 상하부측으로 널리 이루어 지고 있으며, 충돌부 하부측 공기와의 혼합이 다른 조건에 비해 가장 양호하다는 것

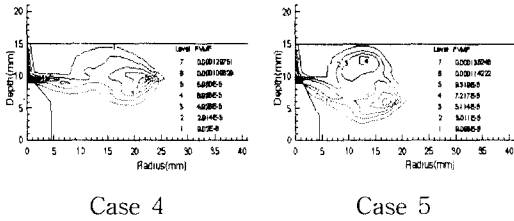


Fig. 4 Fuel vapour contours for Case 4 and Case 5. ($P_{inj} = 16.7\text{MPa}$, $t = 3\text{ms}$)

을 알 수 있다.

Fig. 5는 경사면변화에 의한 분무특성을 분석하기 위한 변수를 다음과 같이 정의하였다. 여기서 노즐팁과 충돌판까지의 거리(이하 충돌거리: 6mm), 충돌판의 직경(9mm)은 김 등의 실험에 의해 제시된 조건과 동일하게 하였으며, R_p 는 충돌판 중심에서 반경방향으로의 분무의 관통길이, R_B 는 보어 반경을 나타낸다. 역시 b_U 는 충돌면에서 분무의 상부측폭 길이, b_L 은 분무의 하부측폭 길이, β 는 충돌면을 기준으로 기울어진 경사면의 각도로 정의된다. Fig. 6은 분사압력이 19MPa 일 때 Case 2, 3, 4, 5인 경우에서 분무의 관통길이를 시간에 따라 정량적으로 나타낸 그림이다. 여기서 Y축은 보어반경에 대한 충돌분무의 관통길이 비를 나타낸다. 주어진 분사압력하에서 최대 관통길이는 Case 1일때는 보어반경의 60%정도였고, 마찬가지로 경사각의 변화에서는 경사각이 클수록 분무의 관통길이는 감소하는 경향을 보이고 있다. Case 5일때는 보어반경의 45%에도 미치지 못한다. 이는 액적들이 충돌판에 분사될때 경사각이 크면 클수록 경사면을 타고 흐르는 분무의 유동속도가 충돌판 하방향으로 증가됨에 따라 액적들의 충돌판 반경방향으로의 운동에너지가 상대적으로 감소하기 때문으로 보인다. Fig. 7과 8은 경사각 변화에 따른 충돌분무의 무차원분무폭을 나타낸 것이다. Fig. 7의 Y축은 노즐팁과 충돌판표면 사이의 간격(H_U)에 대한 상부측 분무폭 (b_U)의 비를 나타낸다. 상부분무폭은 경사각도가 45° 일때부터, 즉 Case 4부터 다른 조건들에 비해 크게 증가함을 보여준다.

이는 충돌부 경사각이 증가함으로써 반경방향 유동을 주도하는 운동량이 감소되어 충돌액적들의 반경방향으로의 진행이 둔화되면서 상하로 넓게 분포됨을 의미한다. Fig. 8에서는 충돌면에서

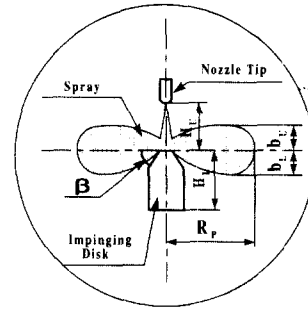


Fig. 5 Definition of variables.

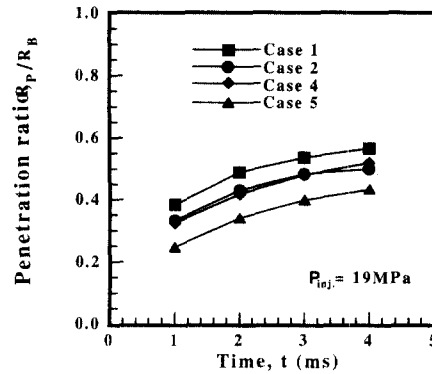


Fig. 6 Penetration ratio of impinging spray.

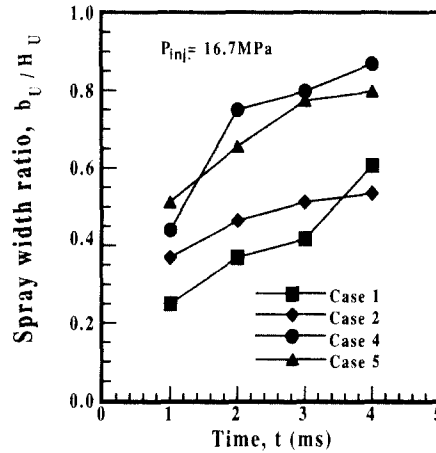


Fig. 7 Spray width ratio with distance from nozzle tip to land surface.

분무실바닥까지의 거리 (H_L)에 대한 하부측 분무폭 (b_L)의 비를 시간의 경과에 따라 나타낸 것이다. Case 1과 2의 경우는 서로 비슷한 경향을 보이

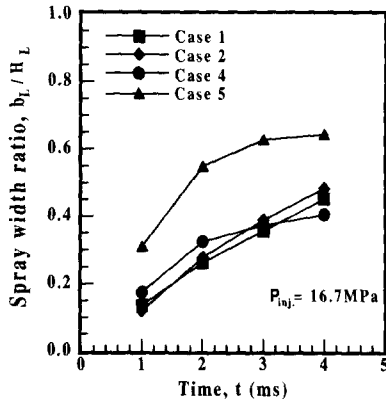


Fig. 8 Spray width ratio with distance from land surface to bowl bottom.

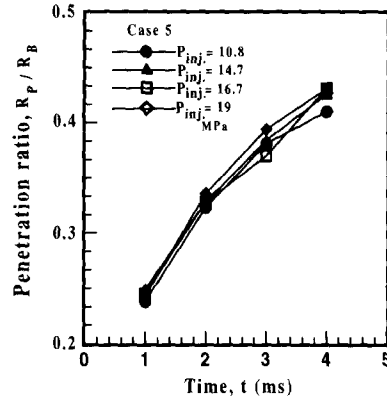


Fig. 9 Comparison of penetration ratio for injection pressures.

면서 시간에 따라 선형적으로 증가하고 있다.

Case 4와 5의 경우는, 충돌초기에는 분무 폭의 성장이 빠른 속도로 이루어지지만, 2ms 이후에 성장 폭의 성장이 둔화됨을 알 수 있다. Case 5에서는 다른 조건들에 비해서 충돌면 하방향으로 분무 폭의 성장이 현저히 큼을 보여준다. 이는 앞서 Fig. 6과 7의 분무특성 비교에서와 같이 Case 5일 때 분무가 경사각의 영향을 두드러지게 받는다는 것을 알 수 있으며, 경사면변화에 따른 분무의 공간분포는 이 조건에서 가장 양호하다는 것을 알 수 있다. 따라서 충돌부의 기하학적 형상의 변화에서 Case 5의 경우가 가장 양호한 분포를 나타냈으므로 이 조건에서 시간이 경과함에 따라 각각의 분사압력에 대한 충돌분무의 특성을 알아보기 위해 Fig. 9와 10은 각 분사압력별 분무의 무차원 관통길이 및 분무폭을 나타낸다.

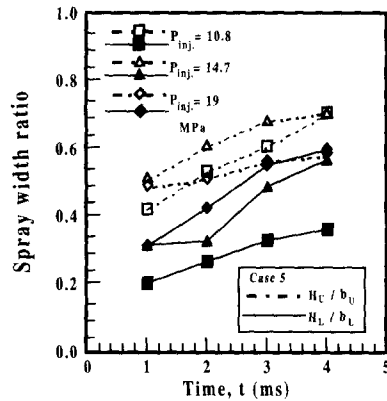
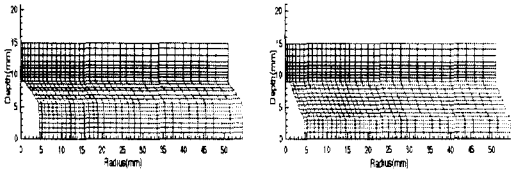


Fig. 10 Comparison of spray width ratio for injection pressures.

Fig. 9에서는 분사압력이 높을수록 분무의 관통길이는 길어지지만 시간이 경과할수록 다소 둔화되어지며, 보어의 반경에 대한 최대 관통길이는 보어반경의 43%정도에 지나지 않는다. 전체적인 분무 폭의 성장경향은 Fig. 10에서와 같이 시간의 경과에 따라 분사압력이 높을수록 축상방으로의 성장이 크게 둔화되고, 오히려 축하방으로의 성장이 증가한다. 이는 분사압력이 증가할수록 분무의 주분류영역의 속도벡터가 증가하게 되고 따라서 주위 가스의 운동량이 상대적으로 강해지기 때문이다. 또한 분무의 관점에서는 분사압력이 높을수록 초기에 작은 액적들이 많이 분포하게 되며, 액적들이 충돌부에 충돌후 더 작은 액적들

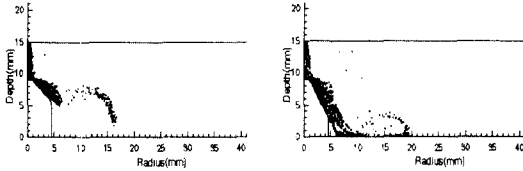
로 생성되면서 액적 자체의 질량운동량이 감소하게 되어 액적들의 반경방향의 유동을 주도하는 운동량이 주위 공기의 기체역학적인 유동에 큰 지배를 받기 때문이다. 즉 액적의 반경방향 운동량이 상대적으로 감소하여 충돌면 근처에서는 액적들이 경사면을 지나는 가스유동장을 추종하게 되는 경향이 나타나고 분사압력이 높아질수록 가스 유동이 충돌면 하측방향으로 더욱 진행하게 된다. 또한, 충돌면 하측방향의 아래로 다시 아래에서 위로의 순환영역을 가진 큰 와가 형성되며, 분사압력이 높을수록 와의 위치는 충돌부 더 아래에서 형성되므로 아래로의 순환영역이 더욱 넓어진다. 이로서 분무는 반경방향으로의 관통길이 가 감소함과 동시에 상부측으로의 분무 폭의 성



Case 6

Case 7

Fig. 11 Numerical grids of the different shapes of the impinging lands.
(Diameter of impinging land : 2.0mm)



Case 6

Case 7

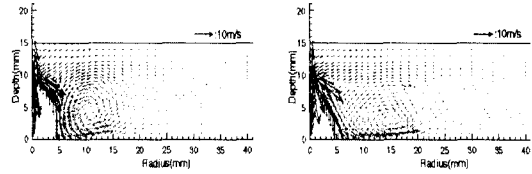
Fig. 12 Spray spreads for impinging land shapes. ($P_{inj.} = 16.7\text{MPa}$, $t = 3\text{ms}$)

장도 둔화되어 충돌면 하부측으로의 분무 폭이 상대적으로 성장하게 된다. 이러한 결과를 토대로 경사면을 적절히 형성해서 분무방향을 바람직한 방향으로 유도함으로써 분무실벽면과 헤드면에서의 벽면퇴적현상을 억제할 수 있으며, 축하방으로의 먼 영역에서의 공기와의 혼합을 활성화 시킴으로써 연료의 증발성을 좋게 할 수 있을 것으로 사료된다.

4.2 충돌부 크기 변화에 따른 충돌분무 특성

Fig. 11은 Case 6과 7일때 계산에 사용된 격자들을 보여준다. 24×37 개의 격자수를 가지며 계산의 정도를 높이기 위해서 충돌분무가 분포하는 중심영역에는 격자간격을 $0.5 \sim 0.6\text{mm}$ 정도로 하였다. Fig. 12, 13, 그리고 Fig. 14는 앞서 계산된 결과와의(Case 4, 5) 비교를 위한 동일한 분사압력(16.7MPa)과 시간(3ms)에서 충돌부 크기변화에 따른 연료입자의 퍼짐분포 및 증발분, 그리고 분무실내 주위가스의 벡터유동을 보여준다.

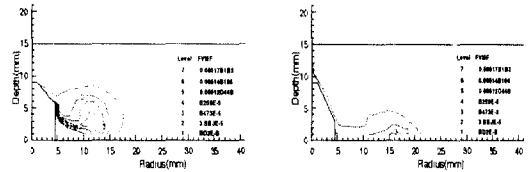
충돌부 크기가 3.0mm (Case 1, 2, 3, 4, 5)에서 2.0mm (Case 6, 7)로 줄였을때 충돌분무는 충돌경사면을 따라 축하방으로 더욱 진행하게 된다. 이는 충돌면 근처에서의 충돌분무는 경사면을 지나



Case 6

Case 7

Fig. 13 Gas motions for impinging land shapes. ($P_{inj.} = 16.7\text{MPa}$, $t = 3\text{ms}$)



Case 6

Case 7

Fig. 14 Fuel vapour contours for impinging land shapes. ($P_{inj.} = 16.7\text{MPa}$, $t = 3\text{ms}$)

는 공기유동을 더욱 따르기 때문이다.

즉, 충돌부 크기가 충돌위치에서 자유분무 폭 이내 일때, 충돌부 외곽영역에서의 자유분무는 충돌면으로부터 축하방향으로의 운동에너지를 가지게 되어 경사면을 지나는 공기유동장이 형성되며, 경사각이 증가할수록 경사면을 따르는 유동은 더욱 심화되기 때문이다.

Case 6인 경우는 경사각의 영향으로 분무가 경사면을 타고 흘러내리다가 충돌하부측 주위공기의 영향으로 축상방으로 강한 유동장을 형성하지만 Case 7인 경우는 분무의 액적이 분무실 바닥까지 흘러내려 바닥면과의 충돌분무를 형성하면서 바닥면을 따라 퍼지는 것을 알 수 있다. 이러한 현상으로 분무가 바닥면에 퇴적되어 연소효율의 저하 및 배기배출물의 증가를 야기시킬 수 있다. Fig. 15는 충돌부크기와 경사면변화에서의 바람직한 분무방향과 양호한 분무의 공간분포를 유도해낼 수 있는 적절한 충돌분무조건인 Case 5와 6에 대해서, 분사압력이 19MPa 일때, 연료입자의 퍼짐을 시간의 경과에 따라 비교하여 나타낸 것이다. 분무의 관통경향은 Case 6의 경우, 충돌판 중심에서 반경방향으로의 진행은 거의 없고, 충돌부의 기하학적인 영향으로 관통길이가 Case 5 일때보다 작아지는 것을 알 수 있다.

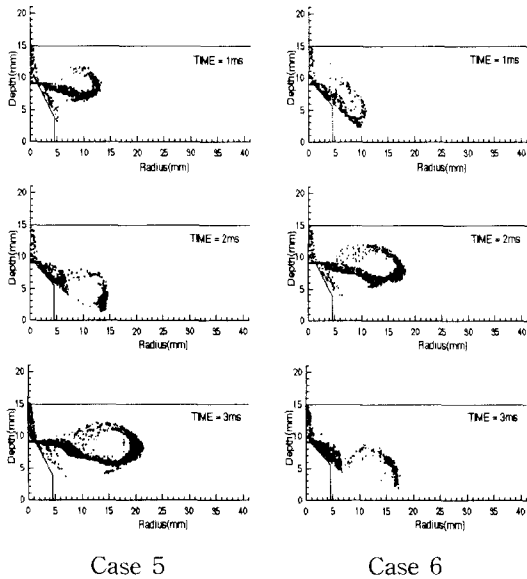


Fig. 15 Comparison of impinging spray at 3ms after injection start for Case 5 and Case 6. ($P_{inj.} = 19\text{MPa}$)

Case 5는 시간의 변화에 따라 분무형상이 충돌판 상부측으로 휘말리는 것을 볼 수 있으며, 분무의 관통길이의 성장은 점차 둔화되고 있다. 이에 반해 Case 6은 충돌후 경사면을 타고 내리는 액적의 운동량이 증가함으로서 분무 폭은 충돌판 상부측으로는 나타나지 않고 하부측에서만 형성되고 있음을 보여준다. 분사개시후 3ms에서는 분무실바닥과 하부측에서 아래에서 위로의 강한 유동장이 형성되면서 하부측으로의 분무는 더 이상 나타나지 않고 있다. 동일한 조건에서 Case 5와 Case 6에 대해 분무의 미립화특성을 비교해보기 위해 Fig. 16은 위의 두가지 경우(Case5, 6)에 대해서 분사압력과 시간의 변화에 따른 전 영역에서의 평균분무입경(SMD)을 나타낸 그래프이다. 본 결과에서 알 수 있듯이 전반적으로 SMD 값이 작은 값을 가지는데 이는 짧은 충돌거리에서 빠른 속도로 액적들이 충돌부에 충돌하여 2차적으로 액적의 분열효과를 촉진시키기 때문이며, 또한 주위공기와 매우 큰 상대속도로 인해 일부분의 액적증발이 급속히 이루어지기 때문으로 사료된다.

SMD는 분사압력의 영향으로 분사압력이 증가할수록 작아지며 시간의 경과에 따라 분사초기에

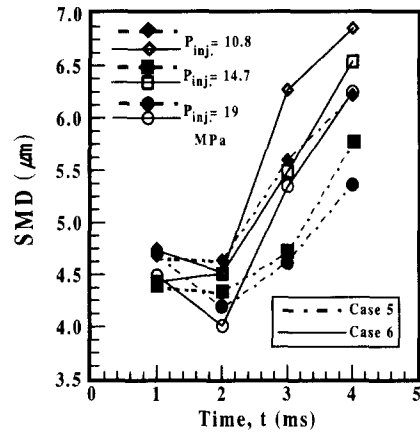


Fig. 16 Comparison of overall SMD for Case 5 and Case 6.

는 충돌분무에 의해 SMD가 적어지다가 2ms 이후에는 급격히 증가하는 것을 볼 수 있다. 이는 계속되는 분사에 의해서 충돌판의 면에 형성된 액막위에 충돌하는 액적작용에 의한 것으로서 액막과의 합체로 인해 충돌에너지가 작아져 액적간의 표면장력에 의한 액적 합체가 발생하면서 큰 액적을 유발시키기 때문이다. Case 5와 6인 경우를 비교해 보면 분사압력 및 시간경과에 따른 SMD의 전체적인 성장경향은 서로 비슷하나 SMD의 크기를 보면 Case5일때가 Case 6에서보다 평균분무입경이 적은 것을 알 수 있으며, 또한 분사압력이 높은 상태에서 분사개시후 4ms일 때는, Case 5에서는 SMD가 약 $5.39\mu\text{m}$ 정도이나 Case 6일때는 $6.25\mu\text{m}$ 정도로 나타난다. 이것으로서 액적의 미립화조건을 검토해 볼 때, 연료가 분사계로부터 분사되어 충돌부에 충돌하는 충돌분무에서 충돌부 면적이 큰 Case 5인 경우가 Case 6일 때보다 미립화특성이 더 양호하다는 것을 알 수 있으며 이 조건에서 충돌부 크기가 감소할수록 상대적으로 충돌되는 면적이 적어짐에 따라 액적들의 미립화특성은 더욱 좋지 못할 것으로 기대된다. 이는 충돌부에 수직충돌시 반경방향으로의 운동량이 Case 5인 경우보다 훨씬 적어 경사면으로의 분무진행속도가 상대적으로 증가하기 때문이다. 하지만 경사가 끝나는 부분에 2차 충돌을 이끌어낼 수 있는 2차 충돌판이 설치될 수 있다면 액적의 미립화정도가 훨씬 나아질 것으로 생각된다.

5. 결 론

소형디젤 연소실내에 충돌부의 형상 및 크기를 변화시키고 충돌분무의 특성을 수치해석적으로 분석하였을때의 본 연구의 결과들은 다음과 같이 요약된다.

수평한 충돌면에 일부 경사면을 가지는 충돌부형상에서 경사각이 클수록 분무의 관통길이는 감소하는 반면 분무의 상하부폭은 충돌면을 기준으로 경사면 근처에 주위 가스의 유동장이 생성되면서 고루 퍼지고 연료의 증발도 넓은 부분에서 이루어진다.

충돌부의 크기에 대한 영향에서는 충돌부 크기가 감소할 때 충돌분무는 축하방으로 경사면을 타고 진행하였고, 연료입자의 미립화 측면에서 경사각이 클수록, 충돌부위의 면적이 넓을수록 미립화 특성이 양호해짐을 알 수 있었다.

따라서 본 연구에서는 경사각이 60° 이고 충돌부 크기가 3.0mm일때가 연소실내 적절한 관통길이 및 가장 바람직한 공간분포를 가지며, 양호한 미립화특성을 유도해 낼 수 있는 충돌부의 기구학적 조건을 만족한다.

향후에는 충돌부의 높이를 변화시켰을 때 충돌부의 형상 및 직경을 변화시키고 이때의 충돌분무의 특성을 수치적으로 분석하기 위한 연구가 수행되어야 할 것이다.

참고문헌

- (1) Kato, S. and Onishi, S., 1990, "New Type of Diesel Engine by Impingement of Fuel Jet (OSKA-D)", SAE 901618.
- (2) Kato, S., Tanabe, H. and Onishi, S., 1994, "combustion Observation of DI and OSKA-DH Diesel Engines by Engine Video System", Internal Symposium.COMODIA 94, pp.255~260.
- (3) Park, K. and Wang, D.M. and Watkins, A.P., 1993, "A contribution to the design of a novel direct injection diesel engine combustion system analysis of pip size", Appl. Math. Modeling, vol 17, pp.114~124.
- (4) Park, K. and Watkins, A.P., 1996, "An investigation of combustion chamber shapes for small automobile direct ignition diesel engines employing spray impaction", IMechE Journal of Automobile Engineering, vol 210, pp.261~272.
- (5) Tanabe, H., Takahashi, M., Sato, G.T., Kato, S., and Onishi, S., 1994, "Experimental Study on Unsteady Fuel Spray Impinging onto a Projection on a Wall", COMODIA 94, pp. 379~384.
- (6) 김덕줄, 차건중, 서경일, 1996, "충돌원판의 설치조건에 따른 디젤분무의 거동특성", 액체미립화학회 학술강연회 논문집.
- (7) Ogura, M. and Lin, B., 1994, "A New Mult-Impingement Wall Head Diffusion Combustion System(NICS-MH) of a D.I Diesel Engine", SAE940196.
- (8) 박권하, 1997, "분무충돌을 이용한 w-형 직접분사식 디젤연소실에 대한 계산적 고찰", 한국액체미립화학회지, 제2권, 제2호, pp. 8-15.
- (9) 차건중, 1997, "DI 엔진의 衝突噴射系에 의한 噴霧 舉動에 關한 研究", 부산대학교 박사학위논문.
- (10) Issa, R. I., 1986, "Solution of the Implicitly Discretised Fluid Flow Equations by Operator splitting", J. Comp. Phys., 61(1) : 40-65.
- (11) Watkins, A. P., 1989, "Three-dimensional Modeling of Gas Flow and Sprays in Diesel Engines", In N.C. Makatos, editor, Computer Simulation of Fluid Flow, Heat and Mass Transfer and Combustion in Reciprocating Engines, pp.193-237, Hemisphere.
- (12) Wang, D.M., 1992, "Modeling Spray Wall Im-paction and Combustion Processes of Diesel Engines", Ph.D.thesis, University of Manchester, Faculty of Technology.
- (13) Watkins, A.P. and Park, K., 1996, "Assesment and Application of a New Spray Wall Impaction Model", Computers Reciprocating Engines and Gas Turbines, IMech.E, pp. 1~10.
- (14) Reynolds, W.C., 1980, "Modeling of Fluid Motions in Engines-An Introductory

- Overview", In J.N. Mattavi, and C.A. Amann, editor, Combustion modelling in reciprocating engines, Plenum Press, New York, pp.41-68.
- (15) El Wakil, M.M., Ueyehara, O.A. and Myers, P.S., 1954, "A theoretical investigation of the heating up period of injected fuel droplet vaporizing in air", NASA TN-3179.
- (16) Gong, Y.Y., You, L. H. and Liang, X. M., 1992, "An investigation on droplet size distribution and evaporation of diesel fuel sprays at high injection pressure by using laser diagnostic technique", SAE Paper 920090
- (17) Arcoumanis, C. and Chang, J. C., 1994, "Flow and heat transfer characteristics of impinging transient diesel sprays", SAE 940678
- (18) Araki, K. and Moriyama, A., 1982, "Deformation behaviour of a liquid droplet impinging on a hot metal surface", In Int. Cont. on Liquid Atomization and Spraying Systems, ICLASS-82.
- (19) Jayaratne, O.W. and Mason, B.T., 1964, "The coalescence and bouncing of water drop at air/water interface", Proc. R. Soc. Lond-A 280, pp.545.
- (20) Wachters, L.H.J. and Westerling, N.A.J., 1966, "The heat transfer from a hot wall to impinging water drops in the spheroidal state", Chemical Engineering Science, 21, 1047