

## 論文

## 가스발생기용 F-O-F 충돌형 인젝터 분사특성

권순탁\*, 이창진\*\*, 김승한\*\*\*, 한영민\*\*\*

Atomization Characteristic of F-O-F Triplet Injector  
for Gas Generator

Suntak Kwon\*, Changjin Lee\*\*, Seung-Han Kim\*\*\* and Yeoung-Min Han\*\*\*

## ABSTRACT

An injector for fuel rich gas generator was designed and experimentally investigated. Five variations of F-O-F triplet impinging type injector were tested to evaluate spray characteristics with kerosene/water simulant propellant. Test was focused to find the effect of design variables of impinging angle, and impinging distance, on the atomization performance. A mixing efficiency is used to compare droplet distribution and local O/F ratio of each injector in the range of momentum ratio of 0.2~1.3. Test results shows the max value of mixing efficiency locates about the 0.8 in momentum ratio. And the injector with an impinging angle of 45 degree and impinging distance of 6mm shows the very good performance result suitable for fuel rich gas generator. A combustion test will be also conducted with selected injector to verify the spray pattern and mixing efficiency.

## 초 록

액체로켓 가스발생기를 위한 인젝터를 설계하여 분사특성을 살펴보았다. 인젝터는 F-O-F triplet impinging이고 모의 추진제로 kerosene/물을 사용하였다. 인젝터의 형상설계 변수는 충돌각과 충돌거리이며 이를 이용하여 5가지의 후보 요소 인젝터를 설계하였으며, 모의 추진제를 사용하여 분사 특성을 실험하였다. 분사특성을 측정하기 위한 인자는 혼합효율과 분사각으로 모의 추진제 운동량비 0.2~1.3 범위에서 분사유량과 국부 O/F비를 측정하고 혼합효율을 계산하였다. 가스발생기용 인젝터는 농염한계의 O/F비 때문에 운동량비 0.8 이하에서 최대 혼합효율을 나타내으며 실험변수에 따라 최대혼합효율을 나타내는 혼합비가 다르게 나타나는 특성을 보여 주었다. 실험 결과 중에서 설계 점 O/F비에서 가장 높은 효율과 적절한 분사 각을 갖는 요소 인젝터를 선정하였고 연소 특성을 연구하기 위하여 연소실험을 실시하였다.

**Key Words** : Liquid rocket(액체로켓), Gas generator(가스발생기), Fuel-rich(농염), Injector(인젝터), F-O-F impinging(F-O-F 충돌형), Atomization(분무)

† 2004년 6월 25일 접수 ~ 2004년 11월 22일 심사완료

\* 정회원, 현대자동차 상용디젤엔진설계팀

\*\* 정회원, 건국대학교 기계항공공학부  
연락처, E-mail : cjlee@konkuk.ac.kr  
서울시 광진구 화양동 1번지

\*\*\* 정회원, 한국항공우주연구원 엔진그룹

## I. 서 론

인젝터는 안정되고 효과적인 연소가 발생하도록 추진제를 분무하여 연소실에 공급하는 장치이다. 또한 인젝터는 고온, 고압의 연소실 상류에

추진제를 분포시키는 역할도 수행하므로 다른 장치보다 연소실 성능에 직접적인 영향을 끼친다. 따라서 인젝터의 안정된 분사성능을 유지하기 위하여 동축형(co-axial), 충돌형 (impinging) 등 다양한 요소 인젝터가 설계, 실험되고 있다[1].

한편, 가스발생기는 노즐 확산부가 장착되지 않은 연소실과 매우 유사한 형상을 갖고 있다. Open cycle 액체로켓엔진용 가스발생기는 농후 (fuel-rich) 연소를 통하여 가스온도 1000K 정도를 유지하며 연소실과 터빈을 보호한다. 그리고 가스발생기용 인젝터는 주 연소기에 비하여 유량이 작고 작동 O/F비 범위가 다르기 때문에 균일한 추진제 혼합을 위한 가스발생기용 인젝터의 설계, 실험은 가스발생기 연구에 반드시 필요한 부분이다.

Bazarov[2] 등은 연료희박 혼합기(oxidizer-rich) 터보펌프 시스템을 사용하는 액체로켓 연소기용 인젝터를 설계하였다. 인젝터는 중앙에 가스 산화제가 분사되고, 주위에서 액상 연료가 분출되는 동축 스윙형이었으며 모의추진제로 기체질소(N<sub>2</sub>)와 물을 사용하였다. 이들은 분무 채집장치(mechanical patternator)와 PDPA(phase doppler particle a nalyser) 등을 사용하여 액적의 반경방향 위치에 따른 분무플럭스와 SMD(Sauter Mean Diameter)등을 측정하였고, 스윙인젝터의 동적 안정성 해석도 실시하였다. Won[3]등은 kerosene/물을 이용한 분리 충돌형 (F-O-O-F, O-F-F-O) 분사기의 혼합효율을 측정하였고 이를 이용하여 연소효율을 예측하였다. 실험변수로는 분사조건(충돌형태, 분사구 직경 등)과 운동량비를 사용하였는데 이것은 충돌형 인젝터의 혼합성능을 나타내는 변수로 Reynold 수보다 운동량비가 효과적이기 때문이다. 임병직[4] 등은 PLLIF기법을 이용한 요소인젝터 분사실험을 통하여 연소기용 F-O-F 인젝터와 F-O-O-F의 혼합성능을 비교하였다. 실험결과에 의하면 주 연소실용 인젝터는 F-O-O-F 형식이 보다 안정한 혼합효율을 나타내었고 액적크기는 두 형태가 비슷한 크기를 가졌음을 밝혔다.

요소 인젝터의 분사특성을 나타내는 인자는 액적크기와, 혼합효율 등이고 이 특징은 가스발생기용 인젝터 설계에도 적용되리라 판단하였다. 따라서 본 연구에서는 액체로켓 가스발생기용 충돌형 인젝터를 설계하여 분사특성을 연구하였으며 가스발생기에 가장 적합한 인젝터를 선정하는 것을 목표로 하였다. 분사특성을 위한 시험에는 사용이 간편한 kerosene/물을 모의추진제로 사용하였다.

본 연구에서 사용한 인젝터는 F-O-F 충돌형이고 형상 설계변수는 충돌각과 충돌점으로 하였다. 5개 요소 인젝터를 설계, 실험하였고 이 중 혼합성능이 가장 뛰어나고 적절한 분사각을 유지하는 요소 인젝터를 선정하여 연소실험에 적용하였다.

## II. 본 론

### 2.1 가스발생기용 분사기 설계

Table 1은 최적 설계된 가스발생기의 크기와 성능을 나타내고 있으며, 가스발생기 길이 293mm, 직경 52mm, 노즐 직경 20.1mm의 형상을 갖는다[5]. 주연소실 비추력 성능을 최대화 할 수 있는 가스발생기 성능조건은 연소실 온도가 920K, 가스발생기 유입유량이 0.9kg/sec로 총 추진제 유량의 2.72%이다. 이 중 연료 유량은 0.67kg/sec, 산화제 유량은 0.23kg/sec이며 O/F 비는 0.34이고 연소압력은 1.93MPa이다.

Table 1. Results of gas generator design

Turbine power		160 kW
Combustion chamber	Total pressure	2.21 MPa
	Mass flow rate	32.1 kg/sec
	lsp	323.05 sec
	Thrust	10.4 tonf
Gas generator	O/F	0.34
	Total pressure	1.93 MPa
	Total temperature	920 K
	Mass flow rate	0.90 kg/sec
	Length / Diameter	293 / 52 mm

가스발생기는 연료유량이 산화제에 비하여 많으며 인젝터 면의 크기도 제한된다. 추진제 분사 방식 중 O-F-O 형식은 연료 분사 직경이 산화제보다 매우 크게 되므로 분사성능이 낮아진다. 또한 F-O-O-F(또는 O-F-F-O) 형식은 가스발생기 인젝터 면의 크기 제한으로 적용이 어렵다. 따라서 본 연구에서는 가스발생기 유량, O/F비 범위에 적당하고 설계와 제작이 비교적 용이한 F-O-F 충돌형 인젝터를 선택하였다[6]. 그러나 일반적으로 삼중 충돌형 인젝터는 연료와 산화제 사이의 운동량 교환이 작기 때문에 기화 효율이 떨어지는 단점이 있다.

일반적인 연소기 설계할 때 인젝터에서 발생하는 압력강하(pressure drop: Δp)는 연소실 압력의 20%정도로 설정한다[1]. 그러나 본 연구에서 가스발생기 연소 압력이 낮기 때문에 연료 압

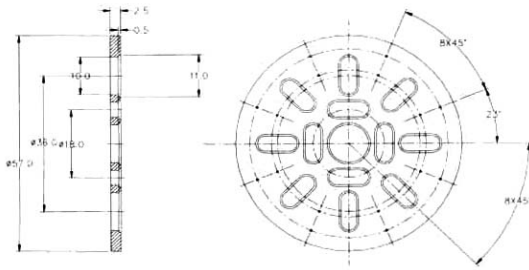


Fig. 1. Arrangement of injector plate

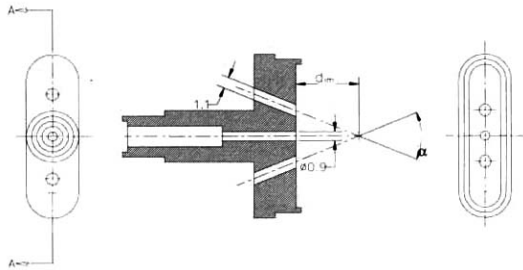


Fig. 2. Configuration of injector element

력강하는 0.7MPa, 산화제는 0.65MPa로 설정하였다. Fig. 1은 인젝터 면에 요소 인젝터가 배열되어있는 모습이다. 인젝터 면의 직경은 52mm이고 1개의 중앙 요소 인젝터와 2열과 3열에 각각 4개, 8개의 주 요소 인젝터를 배치하였다. 이렇게 함으로써 인젝터 전면에 걸쳐 고른 추진제 질량 분포와 O/F비를 유지할 수 있다. 그리고 중앙 요소 인젝터는 유량의 편중을 방지하기 위하여 3(fuel) on 1(oxidizer)의 형태로 설계하였으며 주 요소 인젝터는 2 on 1의 F-O-F 형 요소 인젝터로 설계하였다.

분사구 직경은 인젝터 양면의 압력강하를 이용한 식(1)을 사용하였다[7]. 여기서  $d_{ori}$ 는 분사구 직경이고  $\dot{m}$ ,  $\rho$ 는 각각 연료 또는 산화제의 유량과 밀도이다. 그리고 분사구의  $C_D$ (discharge coefficient)는 일반적인 경향을 따라 연료 0.75, 산화제 0.78로 결정하였다[1]. Fig. 2는 주 요소 인젝터의 형상을 보여준다. 계산에 의한 요소 인젝터 연료 분사구 직경은 1.1mm, 산화제 분사구의 직경은 0.9mm이고, 중앙 요소 인젝터는 연료와 산화제 분사구가 모두 0.9mm이다.

$$d_{ori} = \sqrt{\frac{4\dot{m}}{C_D \cdot \pi \cdot \sqrt{2\rho \cdot D_p}}} \quad (1)$$

요소 인젝터 설계에 사용된 변수는 충돌거리(impinging distance :  $d_{im}$ )와 충돌각(impinging

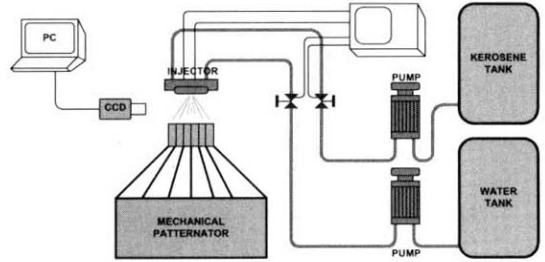


Fig. 3. Schematic of facility for spray test

angle :  $\alpha$ ) 으로 하였다. 참고문헌[7]에 의하면 충돌형 인젝터에서  $L_{fs}$ (free stream jet length) /  $d_{ori}$  (orifice diameter)는 보통 5~7이어야 하며 5 이하이면 분사제트가 역류하여 인젝터 면에 열 손상을 입힐 수 있으며, 10이상이면 제트유동이 서로 불일치(misalignment) 하여 균일한 혼합기 생성에 악영향을 준다. 그리고 대부분 주 연소실용 충돌형 인젝터의 충돌각은 60° 전후이지만[8] 본 연구의 가스발생기는 직경이 상대적으로 작기 때문에 30~60°의 범위로 설계, 제작하여 인젝터에 적합한 충돌각을 실험적으로 살펴보았다. Table 2는 분사시험을 위한 인젝터의 충돌각과 충돌거리 조합을 보여주고 있다.

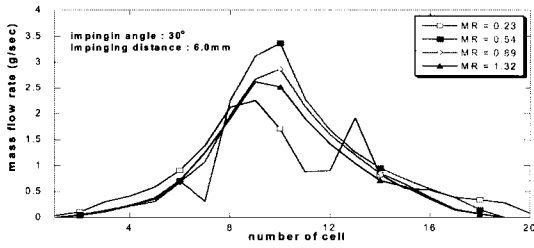
Table 2. Design variables of injector test

	Case1	Case2	Case3	Case4	Case5
$L_{fs}/d_{ori}$	5.8	5.8	5.8	8.3	3.9
Impinging distance (mm)	6.0	6.0	6.0	8.6	4.0
Impinging angle (°)	30	45	60	30	60

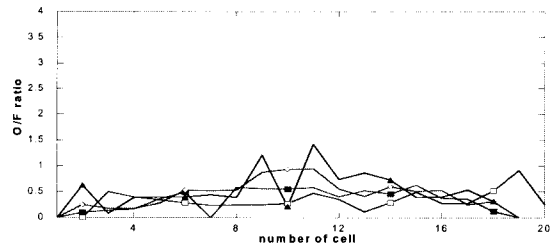
Fig. 3은 요소 인젝터 분사특성 시험을 위한 장치의 개략도이다. 인젝터의 분사시험 장치로 CCD 카메라와 항공우주연구원의 분무 채집장치를 사용하였다. 분무 채집 장치는 총 300(20×15)개의 셀로 구성되어있고 각 셀은 8×8mm의 크기를 가지고 있다. 각 요소 인젝터의 추진제 채집 시간은 60sec이고 인젝터 면에서 분사면까지의 채집거리는 분사면 크기에 따라 16~19cm로 설정하였다.

## 2.2 분사기의 분무 특성

요소 인젝터 분사시험은 실제 추진제(Kerosene/Lox)의 O/F비를 운동량비(momentum ratio:MR)로 환산하였다[8]. 식(2)는 추진제 O/F비와 운동량비의 관계를 나타내고 있으며, Table 3은 시험을 위한 실제추진제 혼합비와 모의추진

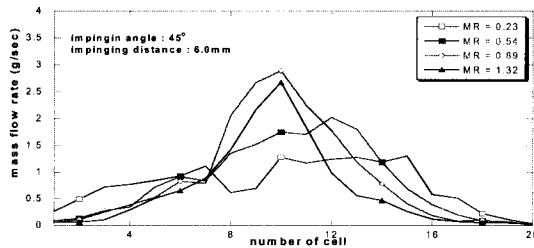


a) mass flow rate of each cell

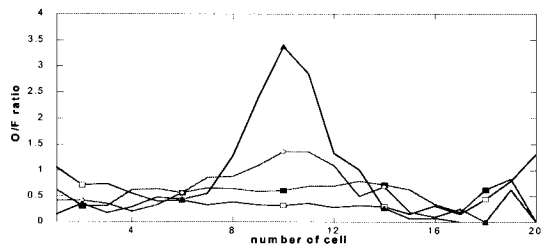


b) O/F ratio of each cell

Fig. 4. Patternation results of injector of case 1 (Impinging distance 6mm, angle 30)

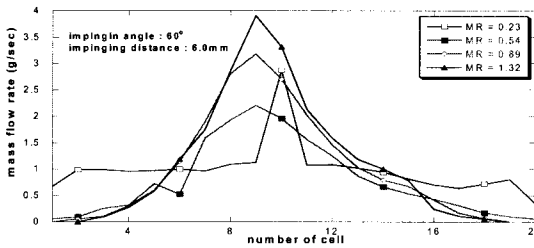


a) mass flow rate of each cell

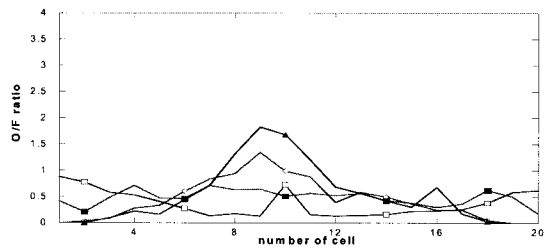


b) O/F ratio of each cell

Fig. 5. Patternation results of injector of case 2 (Impinging distance 6mm, angle 45)

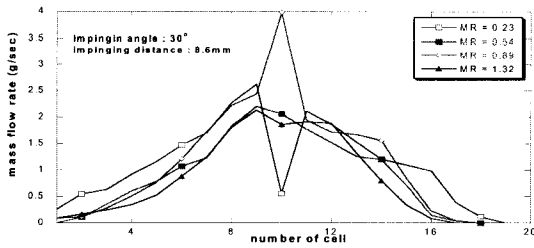


a) mass flow rate of each cell

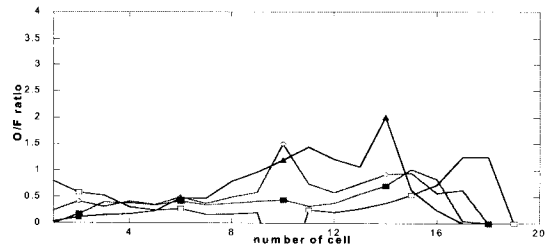


b) O/F ratio of each cell

Fig. 6. Patternation results of injector of case 3 (Impinging distance 6mm, angle 60)

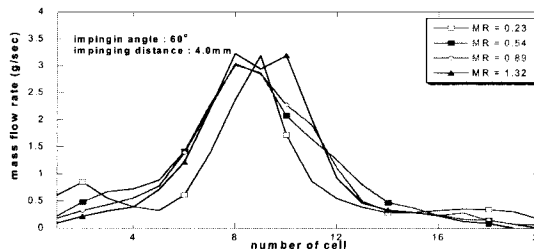


a) mass flow rate of each cell

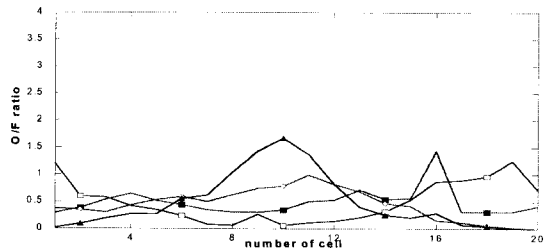


b) O/F ratio of each cell

Fig. 7. Patternation results of injector of case 4 (Impinging distance 8.6mm, angle 30)



a) mass flow rate of each cell



b) O/F ratio of each cell

Fig. 8. Patternation results of injector of case 5 (Impinging distance 4mm, angle 60)

제 시험조건을 나타내고 있다.

$$MR = \frac{N_f \cdot \rho_f \left(\frac{d_f}{d_o}\right)^2}{N_o \cdot \rho_o} \cdot (O/F)^2 \quad (2)$$

where,  $N_f$  : # of fuel orifice  
 $N_o$  : # of oxidizer orifice  
 $d_f$  : diameter of fuel orifice  
 $d_o$  : diameter of oxidizer orifice  
 $\rho_f$  : fuel density  
 $\rho_o$  : oxidizer density

Table 3. Test conditions for water test

실제 추진제	kerosene / LOx			
Case number	1	2	3	4
실제 추진제 O/F	0.34	0.50	0.64	0.78
Momentum Ratio	0.23	0.54	0.89	1.32
모의 추진제	kerosene / water			
모의 추진제 O/F	0.31	0.48	0.61	0.74
모의 추진제 유량 (산화제/연료, g/s)	16/51	22/45	25/42	29/38

요소 인젝터의 분사성능을 평가하기 위하여 혼합효율(mixing efficiency ;  $\eta_{mix}$ )을 측정하였다. 이것은 설계 점(design point) 혼합비를 기준으로 분무 채집 장치의 각 셀에서 채집된 혼합비가 기준값으로부터 벗어난 정도를 나타내는 방법으로 식(3)과 같이 나타낼 수 있다[9].

$$\eta_{mix} = 1 - \frac{\sum_{i=0}^n MF_i \cdot (R - r_i)}{R} - \frac{\sum_{i=0}^{\bar{n}} \overline{MF}_i \cdot (R - \bar{r})}{R - 1} \quad (3)$$

$R$  = 총혼합비/(총혼합비+1)  
 $r$  = 국소혼합비/(국소혼합비+1)

여기서,  $MF_i$ 는 각 셀의 국소질량/채집된 총 질량이며,  $n$ 은 cell의 수( $R > r$ ),  $\bar{n}$ 는 cell의 수( $R < r$ )이다.

Fig. 4-8은 실험에 사용된 5종류 인젝터의 분무 특성과 O/F 분포에 관한 실험결과를 보여주고 있다. 각 실험에서 총 유량을 기준으로 채집 장치의 추진제 수득율은 90~95%이다. 각 그림은 세로방향으로 셀에서 유량과 O/F 분포를 나타낸 것이다. Fig. 4~6은 총돌거리 6.0mm를 유지하면서 총돌각을 30°, 45°, 60°로 변화할 때의 유량과 O/F 분포를 나타낸 그림이다. 그림에서 보듯이 총돌각이 증가할수록 두 연료의 충돌 에너지가 커지기 때문에 유량이 모든 셀에 걸쳐 고르게 분포되는 것을 볼 수 있다.

한편, 분사 각이 고정되고 운동량비가 증가할

수록 셀 중심(cell #10)에서 유량집중이 심화되었다. 이것은 산화제 분사속도를 증가시켜 운동량비를 높였기 때문에 상대적으로 연료의 충돌 속도가 작아져 충돌로 인한 산화제 분산현상이 적게 발생하여 일어나는 현상인 것으로 판단된다. O/F비 분포에서도 같은 이유로 운동량 비 0.8이상에서 분무의 편중이 생겨 중심부근 셀에서 O/F비가 증가하였다. 따라서 가스발생기에 사용되는 충돌형 인젝터에서 운동량 비가 0.8이상인 경우에는 분무의 편중이 발생하여 추진제 혼합이 원활하게 이루어지지 않음을 확인하였다.

Fig. 7은 총돌각 30°, 총돌거리 8.6mm일 때의 유량과 O/F비 분포이다. 총돌각 30°, 총돌거리 6mm인 Fig. 5의 a, b와 비교하여 각 셀의 유량 분포는 크게 차이가 없으나 O/F비 분포는 상대적으로 많은 편차를 보이고 있다. 이것은 총돌거리 6.0mm에 비하여 분사출구에서 충돌점까지 거리가 너무 멀어 충돌점에 이르기 전에 제트가 분산되는 것으로 판단된다. 따라서 이처럼  $L_{fs}/d_{ori}$ 가 7 이상이면 역화로 인한 인젝터 면의 손상은 막을 수 있으나 충돌에너지가 감소하여 혼합이 불균일하게 된다. Fig. 8은 총돌거리를 4mm, 총돌각 60도인 경우 인젝터 분무를 보여주고 있다. 이 경우는 Fig. 6의 분무 특성과 매우 유사한 특성을 보여준다. 그러나 분무가 중앙에 편중되는 경향을 역시 보여주고 있다.

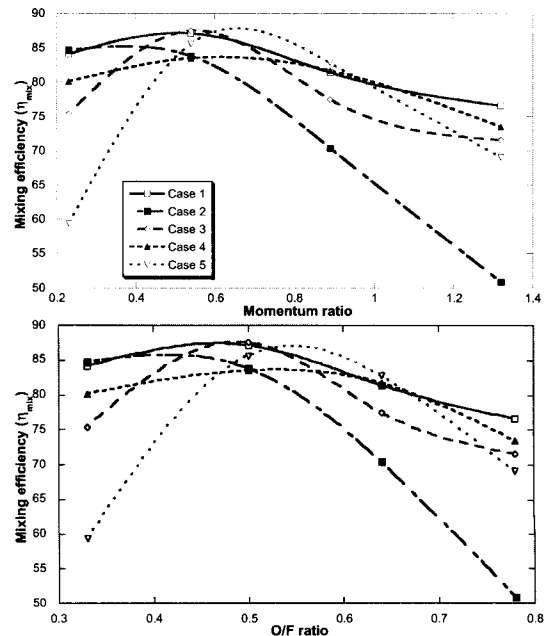


Fig. 9. Mixing efficiency of various injectors

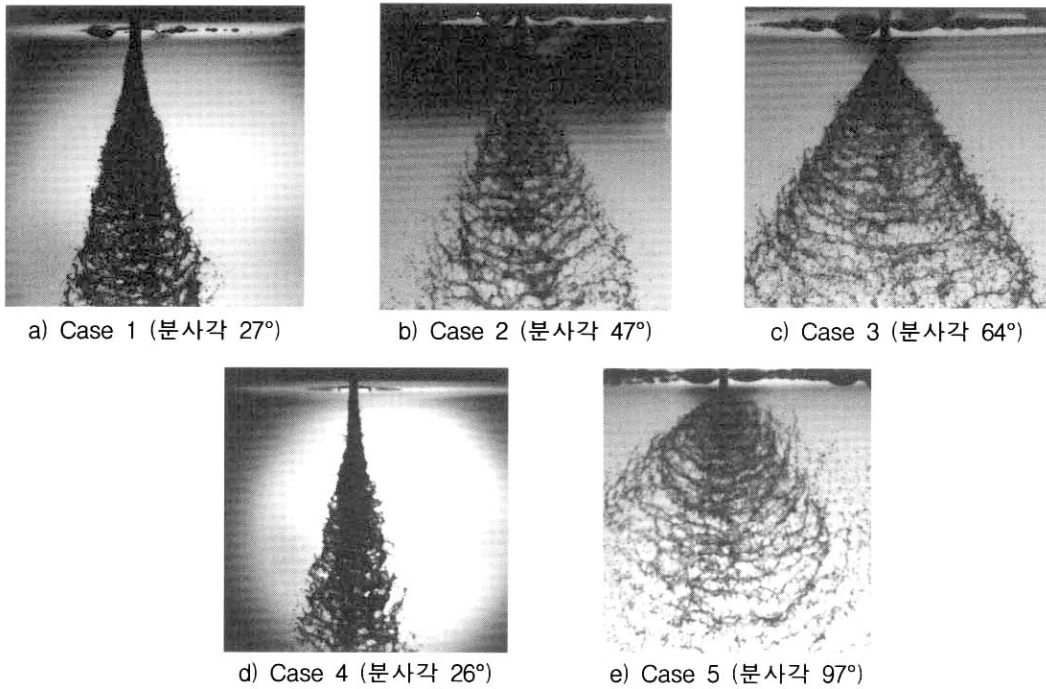


Fig. 10. CCD photos of each element injector with different spray angles

Fig. 9는 각 요소 인젝터의 운동량비와 O/F비에 따른 혼합효율을 나타낸 것이다. 참고문헌[3]에 의하면 혼합효율에 대한 이상적인 운동량비는 1이며 이때 추진제 혼합이 가장 효율적으로 이루어지는 것으로 알려져 있다. 그러나 운동량비에 대한 혼합효율의 실험결과를 살펴보면 운동량비 0.3~0.7 범위에서 혼합효율이 최대 값을 나타낼 수 있다. 가스발생기 인젝터는 연료 양이 산화제에 비하여 매우 크므로 유량 불균형이 발생한다. 따라서 연료와 산화제의 운동량 비를 맞추기 위하여 산화제 분사속도를 증가시키면 분사속도의 불균형이 생겨 산화제 제트가 충분히 분열되지 못하고 셀 중앙으로 집중되는 특징을 보여준다. 이것은 Fig. 4~8에 나타난 것처럼 운동량 증가에 따른 O/F비 분포에서 잘 나타나 있다. 즉, 각 실험의 운동량비가 0.8이상일 때 셀 중앙의 O/F비가 증가하는 것을 볼 수 있다. 각 요소 인젝터에서 혼합 효율이 최대인 점을 살펴보면 1, 3, 4 경우가 MR=0.55에서 혼합효율 87.1%, 87.5%, 83.5%이고 case5가 0.7에서 85.6%이다. 그러나 case 2는 MR=0.3에서 최대 혼합효율 84.7%를 나타내어 설계 점으로 선정된 O/F비에서 가장 안정적인 혼합성능을 나타내었다. 또한 O/F비에 대한 혼합효율을 살펴보면 설계점인 O/F=0.33에서는 case 1, 3, 4, 5번 요소 인젝터의

혼합효율이 84.1%, 75.4%, 80.1%, 59.4%로 case 2의 요소 인젝터에 비하여 낮았다.

Fig. 10은 CCD카메라와 stroboscope를 이용하여 요소 인젝터의 분사장면을 촬영한 것이다. 사진 수직면의 길이는 4.5cm이다. Case 1, 2, 3에서 충돌점 거리를 6mm로 일정하게 유지하고 충돌각을 각각 30°, 45°, 60°로 변화시키면서 제트의 분사형태와 분사 각을 살펴보았다. 충돌각이 증가하면서 분사 각이 각각 27°, 47°, 64°로 증가하였다. Case 4는 case 1의 경우에서 충돌점 거리를 8.6mm로 증가한 것이고, case 5는 case 3에서 충돌점 거리를 4.0mm로 줄인 것이다. Case 4는 충돌각이 작기 때문에 충돌거리를 증가시켰으나 분사 각에는 영향을 주지 못하였다. 이때 분사 각은 26~27°로 거의 일정하게 유지되었다. 그러나 case 5는 충돌각이 크기 때문에 충돌에너지가 증가하여 충돌거리가 분사 각에 큰 영향을 준다. 이 경우 분사 각은 64°에서 97°로 증가하였다. 위와 같이 혼합효율 측정, CCD 사진에 의한 분사특성, 작은 연소실 직경을 고려하여 종합적으로 판단할 때 충돌각 45°, 충돌거리 6mm 인젝터가 가장 우수한 분사특성을 보였으며 가스발생기 연소시험에는 2번 인젝터를 선정하여 연소시험에 사용하였다. Fig. 11은 선정된 요소 인젝터를 배치한 injector plate 정면 사진이다.

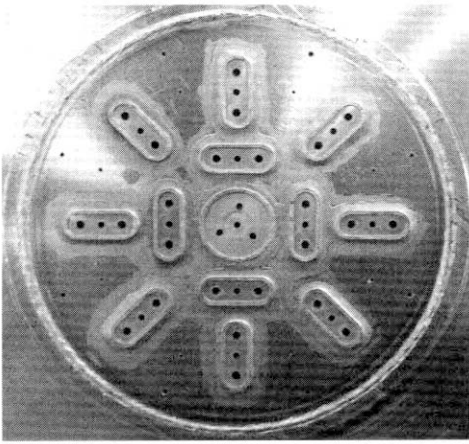


Fig. 11. Front view of Injector plate

### III. 요약 및 결론

액체로켓 가스발생기용 F-O-F triplet 충돌형 인젝터를 설계하고 분사특성을 연구하기 위한 실험을 실시하였다. 모의 추진제로 kerosene/물을 사용하였으며 분무 채집 장치와 CCD 카메라를 이용하였다. 실험변수는 요소 인젝터의 충돌각과 충돌거리이며 각각  $30^{\circ}\sim 60^{\circ}$ , 4.0mm~8.6mm의 범위를 설정하여 실험을 수행하였다.

가스발생기는 농염 연소를 하는 것으로 설계되었으며 운동량비 0.3~0.8 사이에서 혼합효율이 최대가 되었으며 주 연소실에 사용되는 인젝터와 다른 특성을 보였다. 설계기준에 의한  $L_{fs}/D_{ori} = 5\sim 7$  범위 설계가 가스발생기용 인젝터에도 적용될 수 있음을 확인하였다. 연료 분사구 충돌각이  $60^{\circ}$ 일 경우, 혼합효율은 높아지나 그 범위는 설계 점 O/F비를 크게 상회하였고 충돌각  $30^{\circ}$ ,  $45^{\circ}$ 일 때 설계 점 O/F부근에서 최대 혼합효율을 나타내었다. CCD 사진에 의하면 분사각  $45^{\circ}$ 일 때 연소 발생이 예상되는 지점에서 가장 양호한 분사각과 분사상태를 나타내었다. 따라서 충돌각  $45^{\circ}$ , 충돌거리 6mm인 요소 인젝터가 가장 좋은 특성을 보였고 앞으로 진행될 가스발생기 연소시험의 인젝터 형상으로 선정하였다.

## 후 기

본 연구는 과학기술부 2002년 핵심우주개발사업(과제번호: M10138000010-03D0500-00710)에 의한 연구비 지원을 감사드립니다. 그리고 실험에 많은 도움을 주신 항공우주연구원 추진 실험실 관계자 분들께도 깊은 감사를 드립니다.

## 참고문헌

- 1) D. K. Huzel, and D. H. Huang, Modern engineering for design of liquid propellant rocket engine, Progress in Astronautics and Aeronautics, vol. 147, AIAA, pp.53-55, 155-218.
- 2) M. R. Long, V. G. Bazarov, and W. E. Anderson, "Main Chamber Injector for advanced Hydrocarbon Booster Engines", AIAA paper 2003-4599, AIAA/ASME/SAE/ASEE 39th Joint Propulsion Conference and Exhibit, 2003.
- 3) Y. D. Won, Y. H. Cho, S. W. Lee, and W. S. Yoon, "Effect of Momentum Ratio on the Mixing Performance of Unlike Split Triplet Injectors", *Journal of Propulsion and Power*, Vol. 18, No. 4, pp.847~854, 2002.
- 4) 임병직, 정기훈, 윤영민, "액체로켓용 FOOF와 FOF 인젝터의 분무특성 비교", 한국추진학회지, 제7권, 제2호, pp.1~6, 2003.
- 5) 권순탁, 이창진, "액체로켓의 농후 가스발생기 최적설계", 한국항공우주학회지, 제32권 5호, pp91-96, 2004.
- 6) "Liquid Rocket Gas Generator", Space Vehicle Design Criteria, NASA SP 8081, 1974.
- 7) "Liquid Rocket Engine injectors", Space Vehicle Design Criteria, NASA SP 8089, 1974.
- 8) 차영란, "액체로켓엔진의 연소특성 예측을 위한 연구", 공학박사학위논문, 충남대학교, 1998.
- 9) P. Vassallo, and N. Ashgriz, "Effect of Flow Rate on the Spray Characteristics of Impinging Water Jets", *Journal of Propulsion and Power*, Vol. 8, No. 5, pp. 980~986, 1992.