

기체/액체를 사용하는 Swirl 인젝터의 간섭효과에 관한 연구

A study on the effect of intervention formed by swirl injector using gas/liquid

정래혁*, 차영란, 김유 (충남대학교)

박정배(국방과학연구소), 박우동 ((주) 풍산)

1. 서론

로켓 엔진이나 가스터빈에 사용되는 인젝터는 산화제와 연료를 연소실내에 분사하기 위한 부품으로서 인젝터의 분무특성은 연소실내에서의 추진제의 혼합효율과 증발효율, 연소실 벽면과 인젝터 면으로의 열부하 등에 많은 영향을 준다. Swirl 인젝터는 미립화성능이 좋고 안정된 연소가 이루어지기 때문에 RA10A 로켓엔진으로부터 시작하여 가스터빈, 자동차엔진, 보일러등에 이르기까지 넓은 범위내에서 응용되고 있다.

액체/기체를 사용하는 2-유체 Swirl 인젝터의 분무특성을 파악하기 위하여 연구의 첫 번째 단계로 연료대용으로 물을 사용하여 Uni element에 대한 유량계수, 분산각 및 질량분포에 대한 실험을 진행하였다.

본 연구는 두 번째 단계로 물과 공기의 공급압력, 인젝터 중심사이의 거리가 Two elements의 질량 분포에 대한 간섭효과를 관찰하였다.

2. 실험장치 및 방법

Fig. 1은 Two element의 간섭효과를 관찰하기 위한 실험장치 개략도로서 주요하게 액체와 기체를 인젝터까지 공급하는 가압, 공급장치와 인젝터에서 분사된 액적의 공간 질량 분포를 측정할 수 있는 Patternater로 구성되었다.

스텐레스 탱크에 있는 물은 고압질소가스에 의해 가압된후 Regulator와 on/off valve를 거쳐 인젝터에 공급되며 공급압력은 인젝터의

Mainfold에서 압력센서로 측정하였다. 압축공기도 역시 Regulator와 on/off valve를 거쳐 인젝터까지 공급된다. 기체의 공급압력은 탱크에 부착된 Refulater부분의 정체압력과 중간관로(1/4인치)부분에서 압력센서를 이용하여 정압을 측정하였다.

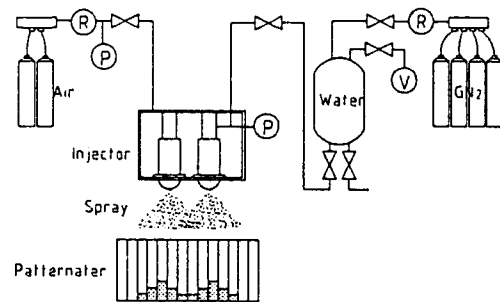


Fig. 1 Schematic diagram of experiment apparatus

Fig. 2은 본 실험에 사용된 Two element 인젝터로서 Swirler, Swirl chamber, Orifice 및 Air passage로 구성되었다. 공급된 물은 깊이 0.5mm, 폭 0.5mm이고 경사가 30도인 4개의 Swirler를 통하여 접선방향으로 Swirl chamber에 들어가 일정한 속도의 와류를 형성한다. 물 공급압력이 일정한 정도에 도달하면 Swirl chamber 중심축부분에 원주형의 공기 코어가 형성된다. 와류유동은 접선방향과 축방향속도를 가지고 직경 1mm인 오리피스로부터 외부에 분출된다. 그리고 분출된 유체는 접선방향에 의한 원심력에 의하여 반경방향으로 퍼지면서 속이 비어있는 원추형의 액적 공간분포를 형성한다. 고압공기는 일정한 경사를 갖고 있는 Air passage를 통하여 액체

의 유동방향과 동일한 반시계방향으로 회전운
동하면서 액막에 충돌하여 더욱 미세한 액적
을 형성하게 한다. Two element swirl 인젝
터의 분무형태는 Fig. 2에 나타내었으며
Photo 1 은 실제분무형상을 가시화한것이다.

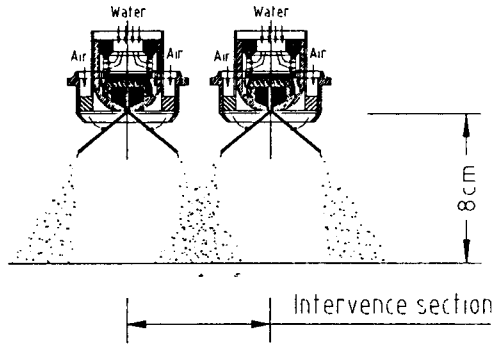


Fig. 2 Two element swirl injector

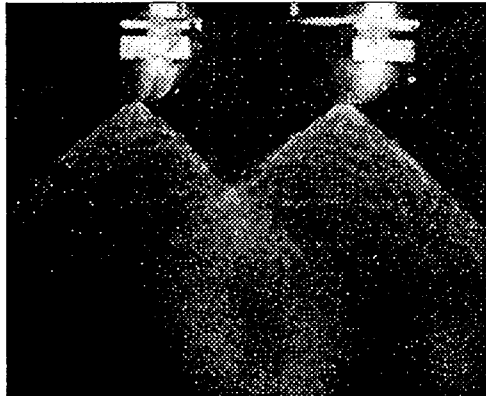


Photo 1 Two elements spray pattern

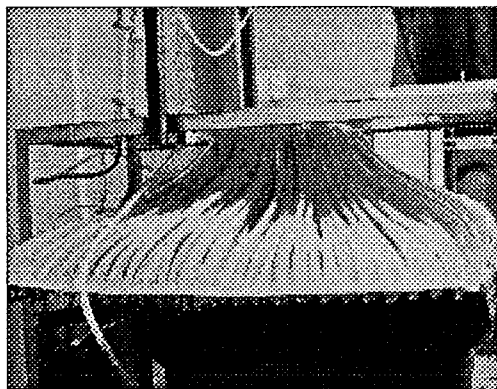


Photo 2 Patternator

Two elements에 대한 질량분포 간섭효과에
대한 관찰은 Uni element에 대한 실험을 진행
한 기초상에서 하였다. 간섭을 받는 구간은
두 인젝터 중심사이의 영역이지만 질량분포가
대칭적이기 때문에 절반 영역에 대해서만 간
섭효과를 관찰하였다. 간섭효과란 인접한 두
인젝터가 동시에 물을 분사할 때 간섭영역에
서 일정한 속도를 갖는 두 액적군이 충돌하여
형성한 공간 질량분포가 같은 조건하에서 각
각의 인젝터에서 분사된 액적의 질량분포를
합한것과 비교하여 어떠한 질량분포를 형성하
는가 하는 것이다. 간섭효과에 영향을 주는
요소는 물과 공기의 공급압력 및 두 인젝터
중심사이의 거리이기 때문에 본 실험에서는
이런것들을 파라미터로 하여 실험을 진행하였
다. 물의 공급압력은 3, 6, 10, 15, 20, 25, 30
 kgf/cm^2 으로 하였고 공기의 공급압력은 10,
35, 45 kgf/cm^2 으로 하였으며 인젝터 중심사
이의 거리는 3, 4, 6, 8cm로 하였다.

인젝터로부터 분사된 액적들의 공간 질량
분포측정을 위한 Patternater는 Photo 2 와 같
다. Patternater는 1cm간격의 25×25격자를 알
루미늄판으로 만들었으며 격자간 누수되지않
도록 Hot-malt를 이용하였다. 분사된 액적은
격자판으로부터 그에 연결된 외경 10mm의
비닐관을 통해 내경 24mm의 유리시험관에
채집된다. 유동이 정상상태에 도달하였을 때
부터 질량분포측정을 시작하였다.

인젝터로부터 분무된 액막이 하방 2cm거리
에서 분열이 일어나고 Two elements의 최소
거리 3.78cm에서 일어나는 간섭효과를 관찰할
수 있는 거리로서 Patternater는 인젝터로부터
8cm 떨어져서 포집하게 하였다.

물과 공기의 공급압력이 부동함에 따라 같
은 시간내에 채집되는 질량이 다르기 때문에
비교의 합리성을 위하여 매번 조건에서 각각
의 시험관에 채집된 물은 총질량으로 무차원
화하였다. 즉

$$\text{Normalized height (\%)} = \frac{h_i}{\sum h_i} \times 100\%$$

3. 실험결과 및 고찰

3.1 Uni element의 질량분포

Two elements에 대한 질량분포를 관찰하기 전에 우선 선행한 Uni element의 결과를 간단히 보기로 하자.

Fig. 3은 Uni element가 공기를 공급하지 않는 상태에서 물 공급압력에 따른 질량분포를 나타내고 있다. 작은 압력에서 하류영역의 액적은 중력의 작용을 받아 넓은 영역에 포집되어 뚜렷한 최대점이 나타나지 않는다. 압력이 증가할수록 질량분포는 중심에 포집되지 않는 환형형태를 나타내며 최대점이 점점 높아지면서 일정한 값으로 수렴하는 것을 볼 수 있다. 압력 6 kgf/cm^2 이상에서는 중심으로부터 6cm떨어진 거리에서 최대치를 나타내고 있다.

공기를 공급할 때 전형적인 질량분포곡선을 $P_w=15 \text{ kgf/cm}^2$ 일 때 P_a 의 변화에 따른 Fig. 4로 나타내었다. 공기를 공급함에 따라 질량분포의 최대점은 6cm로부터 7cm로 이동하였으며 P_a 의 증가에 따라 최대점이 낮아짐을 알 수 있다.

결과적으로, Uni element에서 공기 공급시, 질량분포곡선은 최대점이 중앙에서 멀어지면서 공기공급이 없을 때보다 균일하게 분포하려는 성질이 있으며 P_a 의 증가에 따라 이런 현상은 더욱 뚜렷해진다.

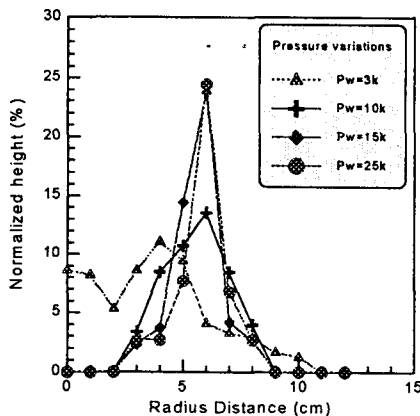


Fig. 3 Mass distribution on the uni-element (no air)

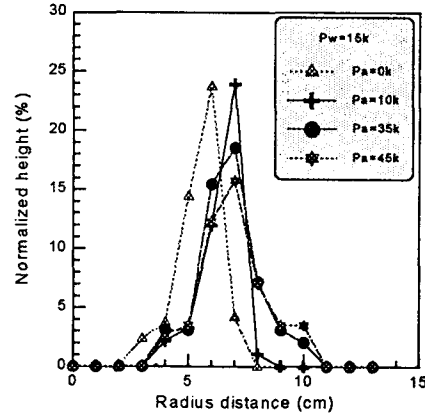


Fig. 4 Effect of the air pressure on the uni-element

3.2 공기를 공급하지 않는 상태에서의 Two elements의 질량분포

Fig. 5(a)은 공기를 공급하지 않는 상태에서 인젝터 사이의 최소거리 3cm일때의 질량분포를 나타낸 그래프로서 일정한 압력 이상부터는 두 개의 최대점이 나타남을 알 수 있다. 중앙으로부터 3.5cm거리에서 첫 번째 최대점이 나타났는데 이는 간섭영역에서 두 Stream의 상호영향으로 나타난 것이지만 7.5cm거리에서 나타난 두 번째 최대점은 간섭을 받지 않는 분무의 외측에서 나타난 것이다. 간섭영역에서 일정한 속도를 갖는 두 Stream이 경사지게 충돌하면 원 운동방향에서의 운동량이 감소하면서 중력방향으로 유동하려는 성질이 있다. 이런 현상은 액체의 공급압력이 작으면 작을수록 서로 충돌하여 나가는 운동량이 적기 때문에 더욱 선명하게 나타난다. 그림에서 볼 수 있는 것처럼 3 kgf/cm^2 에서는 중앙에 포집되는 양이 많지만 10 kgf/cm^2 이상에서는 분포가 거의 비슷하고 간섭영역에서는 외측보다 골고루 분포하려는 성질이 있으며 최대치도 작음을 볼 수 있다.

Fig. 5의 (b)부터 (e)까지는 공기를 공급하지 않는 상태에서 Two elements의 최소거리 3cm에서의 질량분포와 Uni element의 질량분포를 선형화하여 비교한 그래프이다. 여기에서도 간섭효과로 하여 질량분포가 중앙으로 이동하였음을 볼 수 있다. 물 공급압력이 증가할수록 중앙에 포집되는 양이 적어지는데

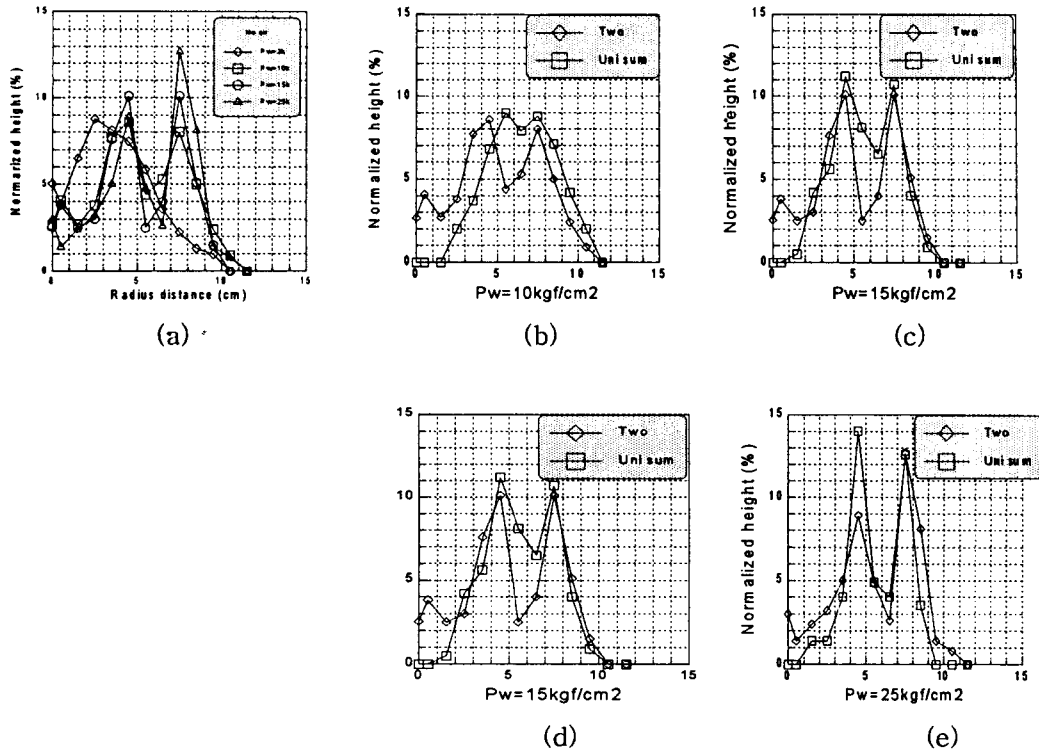


Fig. 5 Uni-element summation versus Two-element (no air)

이는 압력의 증가에 따라 액적의 운동속도가 커지기 때문이라고 사료되며 따라서 간섭영향도 조금씩 감소하기 때문이라고 사료된다.

Fig. 6의 (a),(b)는 기체를 사용하지 않을 때 인젝터 중심사이 거리가 질량분포에 미치는 영향을 관찰한 그래프이다. 인젝터 사이의 반경방향거리를 1cm씩 이동함에 따라 간섭영역에서의 최대점은 중앙으로 1cm씩 가까이 이동하고 외측의 최대점은 중앙에서부터 1cm씩 멀어짐을 알 수 있다. 또 물의 공급압력의 증가에 따라 간섭영역에서의 최대점은 약간씩 증가함을 관찰할 수 있다.

Fig. 7은 Two element의 질량분포가 물,공기의 공급압력과 인젝터센터사이의 거리이동에 따른 질량분포를 나타낸 그래프이다. 물 공급압의 증가에 따라 간섭영역에서의 최대점은 높아지며 공기의 공급압력이 클 때 중앙에 포집되는 양이 적었으며 인젝터사이의 거리를 증가함에 따라 간섭영역에서의 최대점은 중앙으로 가까이함을 볼 수 있다.

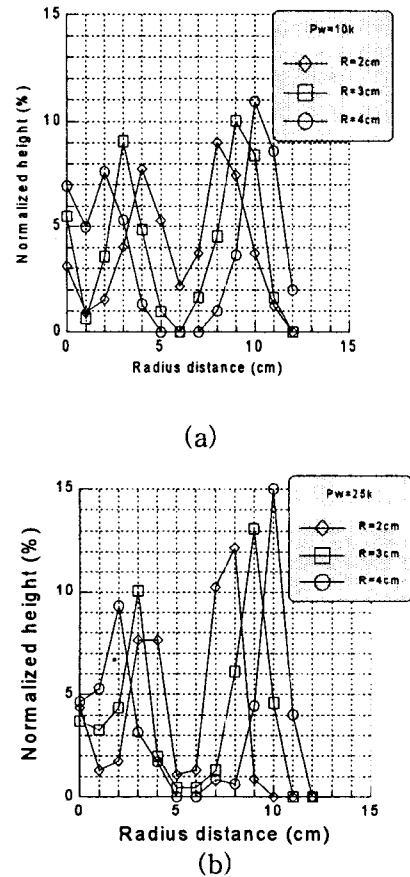


Fig. 6 Mass distribution variations as the distance between injectors

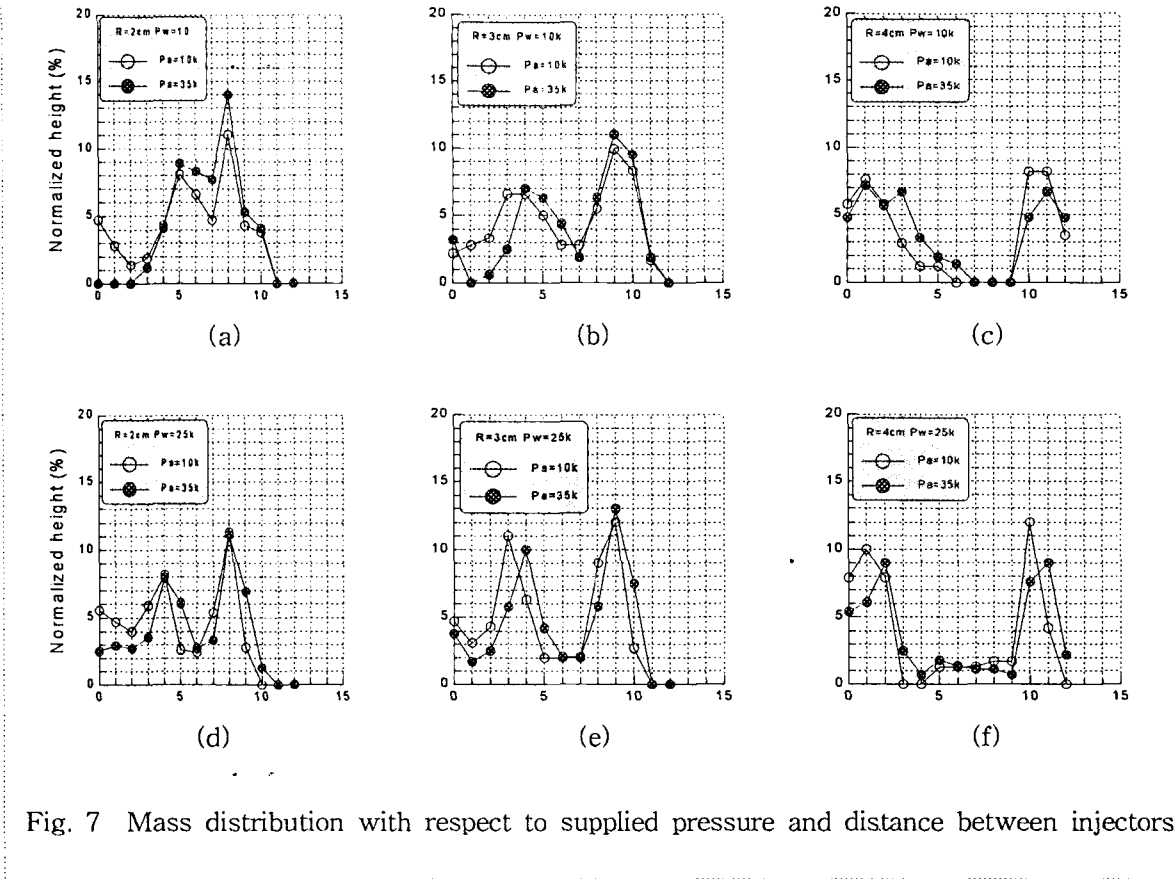


Fig. 7 Mass distribution with respect to supplied pressure and distance between injectors

4. 결론

기체/액체를 사용하는 Two elements의 Swirl 인젝터에 관하여 본 연구의 범위와 실험오차내에서 다음과 같은 결론을 얻을수 있다.

(1) 기체를 공급하지 않을 때 물 공급압력의 증가에 따라 중앙에 포집되는 양이 적어지며 간섭영역에서는 외측보다 골고루 분포하려는 경향이 있다.

(2) 기체를 사용하지 않을 때 인젝터 사이의 반경방향거리를 1cm씩 이동함에 따라 간섭영역에서의 최대점은 중앙으로 1cm씩 가까이 이동하며 물 공급압력의 증가에 따라 최대점이 약간씩 증가한다.

(3) 기체를 공급할 때 공기의 공급압이 클수록 질량분포곡선은 조금씩 외측으로 이동하였으며 인젝터사이의 거리를 증가함에 따라 간섭영역에서 최대점은 중앙으로 가까이함을 볼수 있다.

후기

본 연구는 국방과학연구소와 (주) 풍산의 지원과 공동연구로 진행되었으며, 이에 심심한 사의를 표시합니다.

참고 문헌