

기체/액체를 사용하는 Swirl 인젝터의 간섭효과에 관한 연구

정래혁 · 김 유 · 차영란 · 박정배 · 박우동 (충남대)

A Study on the Interaction Effect Between Spray Fan Formed by Gas/Liquid Swirl Injector

Rae-Hyuck Joung · Yoo Kim · Young-Ran Cha · Joung-Bae Park · Uoo-Dong Park
(Chungnam National Univ.)

ABSTRACT

Experimental study was carried out to investigate the interaction effect between spray fan formed by gas/liquid swirl injector. Test variables were supply pressure and injector distance. Water and air were the simulant for the experiment.

For water supply only; Collected water mass was concentrated at the lower part of the two spray fan, but this effect was reduced with increasing supply pressure. Both air and water supply; Collected water mass was again concentrated at the lower part of the impingement point, but this effect was reduced when air/water supply pressure ratio was increased.

초 록

본 연구는 기체/액체를 사용하는 Swirl injector에 의해서 형성된 Spray fan 사이의 간섭효과를 평가하기 위한 실험연구로서, 공급압력과 인젝터사이의 거리를 변수로하여 실험을 수행하였다. 사용되는 기체는 공기, 액체는 물을 사용하였으며, 분사된 물의 질량분포를 채집하여 Spray fan의 간섭효과를 평가하였다. 본 연구 범위에서 실험결과는 다음과 같다.

액체만 공급하여 형성된 두 개의 Spray fan이 충돌할 경우, 충돌점 하부에 질량이 집중적으로 포집되었고, 공급압력이 증가함에 따라 이러한 간섭현상은 감소하였다. 공기와 물이 동시에 공급될 경우에도 충돌점 하부에 질량이 집중되는 현상을 나타냈으나, 공기압력대 물압력비가 증가함에 따라 이러한 간섭현상은 감소하였다.

1. 서 론

로켓 엔진이나 가스터빈에 사용되는 인젝터는 산화제와 연료를 연소실내에 분사하기 위한으로서

인젝터의 분무특성은 연소실내에서의 추진제 혼합 효율과 증발효율, 연소실 벽면과 인젝터 면으로의 열부하 등에 많은 영향을 준다. Swirl 인젝터는 미립화성능이 좋고 안정된 연소가 이루어지기 때

문에 로켓엔진, 가스터빈, 자동차엔진, 보일러등에 이르기까지 넓은 범위내에서 응용되고 있다.

액체/기체를 사용하는 2-유체 Swirl 인젝터의 분무특성을 파악하기 위하여 연구의 첫 번째 단계로 추진제 대신 물을 사용하여 Uni-element 인젝터에 대한 유량계수, 분산각 및 질량분포에 대한 실험을 수행하였다.¹⁾

본 연구는 참고문헌¹⁾에 이어 두 번째 단계로서 물과 공기의 공급압력, 인젝터 중심사이의 거리가 Two elements의 질량 분포에 미치는 간섭효과를 관찰하였다.

2. 실험장치 및 방법

Fig. 1은 Two elements의 간섭효과를 관찰하기 위한 실험장치 개략도로서 액체와 기체를 인젝터까지 공급하는 가압, 공급장치와 인젝터에서 분사된 액적의 질량분포를 측정할 수 있는 Patternater로 구성되었다. 액체로는 물을 사용하였고 기체로는 고압공기를 사용하였다.

스텐레스 탱크에 있는 물은 고압질소가스에 의해 가압된후 Regulator와 on/off valve를 거쳐 인젝터에 공급되며 공급압력은 인젝터의 Main-fold에서 압력센서로 측정하였다. 압축공기도 역시 Regulator와 on/off valve를 거쳐 인젝터까지 공급된다. 기체의 공급압력은 탱크에 부착된 Regulator부분의 정체압력과 중간관로(1/4인치)부분에서 압력센서를 이용하여 정압을 측정하였다.

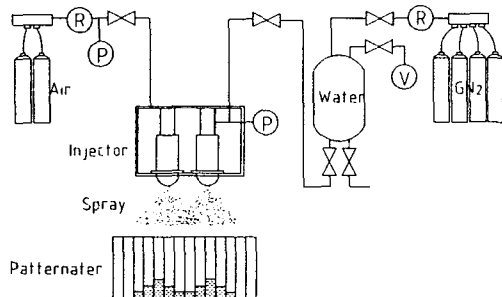


Fig. 1 Schematic diagram of experiment apparatus

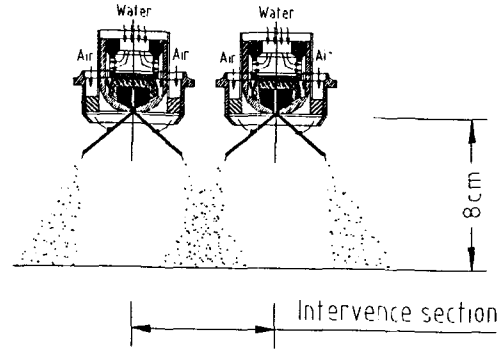


Fig. 2 Two elements swirl injector

Fig. 2은 본 실험에 사용된 Two elements 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 수준에 도달하면 Swirl chamber 중심축부분에 원추형의 공기 코어가 형성된다.²⁾ 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 액체의 유동방향과 동일한 반시계방향으로 회전운동하면서 액막에 충돌하여 더욱 미세한 액적을 형성하게 한다. Two elements swirl 인젝터의 분무형태는 Fig. 2에 나타내었으며 Photo 1은 실제분무형상을 가시화한 것이다.

Two elements에 대한 질량분포 간섭효과 이전에 Uni-element에 대한 실험을 수행하였다. 간섭을 받는 구간은 두 인젝터 중심사이의 영역이지만(Fig. 2) 질량분포가 대칭적이기 때문에 절반 영역에 대해서만 간섭효과를 관찰하였다. 간섭효과 관련 인접한 두 인젝터가 동시에 분사할 때 간섭영역에서 일정한 속도를 갖는 두 액적군이 충돌하여 형성한 질량분포가 같은 조건하에서 각각의 인젝터에서 분사된 액적의 질량분포를 합한것과 비교하여 어떠한 질량분포를 형성하는가 하는 것이

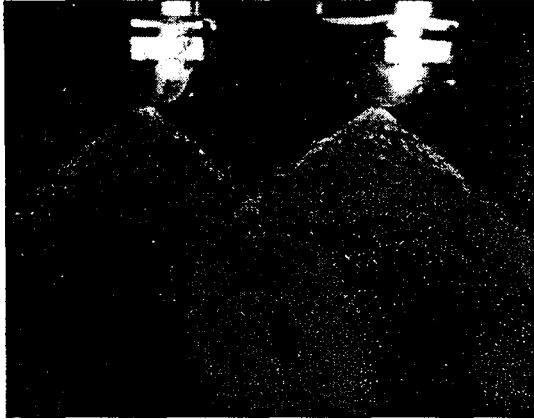


Photo 1. Two elements spray pattern

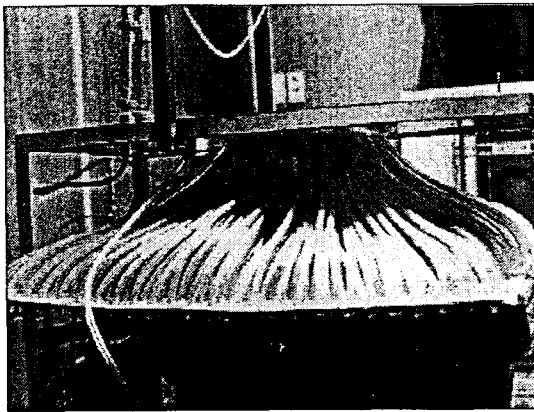


Photo 2. Patternator

다. 만일 두 인젝터가 서로 간섭을 주지 않는다면 형성되는 공간질량분포는 각각을 합친 것과 같아야 한다. 간섭효과에 영향을 주는 요소는 물과 공기의 공급압력 및 두 인젝터 중심사이의 거리임으로 본 실험에서는 이들을 변수로 하여 실험을 진행하였다. 물의 공급압력은 3, 6, 10, 15, 20, 25, 30 kgf/cm^2 , 공기의 공급압력은 10, 35, 45 kgf/cm^2 이며 인젝터 중심사이의 거리는 3, 4, 6, 8cm이다.

인젝터로부터 분사된 액적들의 공간 질량 분포 측정을 위한 Patternator는 Photo 2와 같다. Patternator는 1cm간격의 25×25격자를 알루미늄판으로 만들었으며 격자간 누수되지 않도록 Hot-malt를 사용하였다. 분사된 액적은 격자판으로부

터 연결된 외경 10mm의 비닐관을 통해 내경 24mm의 유리시험관에 채집되며 유동이 정상상태에 도달하였을 때부터 질량분포측정을 시작하였다.

경험에 의하면, 인젝터로부터 분무된 액막은 출구로부터 약 2cm거리에서 분열이 일어나고 Two-element의 최소거리 3.78cm에서 일어나는 간섭효과를 관찰할수 있는 거리로서 Patternator와 인젝터사이의 거리는 8cm로 하였다.

물과 공기의 공급압력이 일정하지 않기때문에 시간내에 채집되는 질량에 차이가 있어 비교의 합리성을 위하여 매번 조건에서 각각의 시험관에 채집된 물은 총질량으로 다음과 같이 무차원화하였다. 즉

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

3. 실험결과 및 고찰

3.1 Uni-element의 질량분포

Two elements 질량분포의 이해를 돕기 위해 선행한 Uni-element의 결과를 간략히 봐야한다.

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 볼수 있다. 압력 6 kgf/cm^2 이상에서는 중심으로부터 6cm떨어진 거리에서 최대치를 나타내고 있다.

공기를 공급할 때 전형적인 질량분포곡선을 Fig. 4로 나타내었다. 그림에서 $P_w = 15 kgf/cm^2$ 이며 공기를 공급함에 따라 질량분포의 최대점은 6cm로부터 7cm로 이동하였으며 공기압의 증가에 따라 최대점이 낮아짐을 알 수 있다.

결과적으로, Uni-element에서 공기 공급시, 질량분포곡선은 최대점이 중앙에서 멀어지면서 공기 공급이 없을 때보다 균일하게 분포하려는 성질이

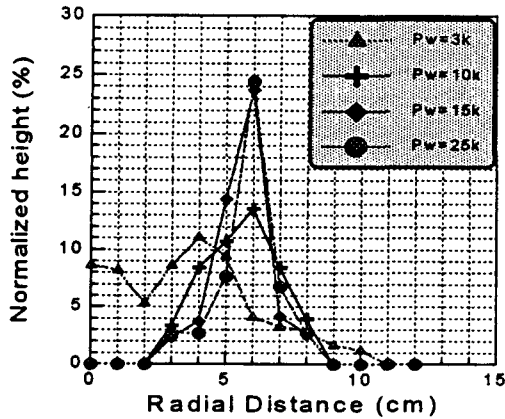


Fig. 3 Mass distribution of the Uni-element (no air)

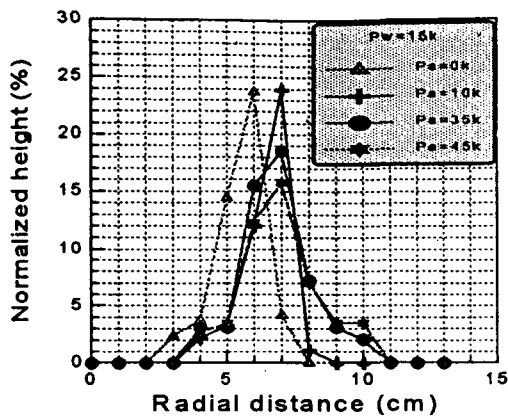


Fig. 4 Effect of the air pressure on the mass distribution

있으며 공기압의 증가에 따라 이런 현상은 더욱 뚜렷해진다.

3.2 공기를 공급하지 않은 상태에서의 Two elements의 질량분포

Fig. 5(a)은 공기를 공급하지 않은 상태에서 인젝터 사이의 최소거리 3cm일때의 질량분포를 나타낸것이며 (b)~(d)는 Two elements의 질량분포와 같은 조건하에서의 Uni-element의 질량분포를 선형화하여 비교한 것으로서 일정한 압력이상부터는 두 개의 최대점이 나타남을 알수 있다. 중앙으로부터 4.5cm거리에 있는 첫 번째 최대점은

간섭영역에서 나타난 것이고 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 더욱 선명하게 나타난다. 그림에서 볼수 있는 것처럼 간섭영역에서 3 kgf/cm^2 에서는 두 액적군의 충돌로 하여 중앙에 포집되는 양이 많지만 10 kgf/cm^2 이상에서는 공급압력이 커서 서로 충돌하여도 원래의 운동방향에 따라 운동하려는 성질이 있기 때문에 질량분포는 Uni-element의 질량분포를 선형화한 것과 거의 비슷하였다. 단 일정한 간섭영역으로 하여 두 최대점 사이의 질량분포는 작아졌으며 중앙에서 약 3~5% 포집되는 현상이 있었다.

Fig. 6의 (a), (b)는 기체를 공급하지 않을 때 인젝터 중심사이 거리가 질량분포에 미치는 영향을 관찰한 것이다. $R=2, 3, 4\text{cm}$ 일 때 간섭영역과 외측의 최대점은 각각 반경거리 4cm와 8cm, 3cm와 9cm, 2cm와 10cm에서 나타났다. 오리피스로부터 분출된 액적은 하류로 유동하면서 공기와의 마찰 때문에 운동량이 감소한다. 인젝터사이의 거리를 증가할수록 액적의 충돌점은 인젝터 출구로부터 멀어져서 충돌시의 운동량은 작아지기 때문에 $R=4\text{cm}$ 에서 중앙부근에 포집되는 양이 가장 많게 되나 물 공급압력을 증가함에 따라 이 양은 약간 감소함을 보인다. 그리고 중앙에는 약 4~7%의 포집현상을 보이나 $R=2\text{cm}$, $P_w=10\text{kgf/cm}^2$ 인 경우를 제외하고 두 최대점사이의 $R=4\sim 8\text{cm}$ 구간에서는 액적분포가 거의 없었다.

Fig. 7의 (a)~(f)는 Two-element의 질량분포가 물,공기의 공급압력과 인젝터 중심사이의 거리 이동에 따른 질량분포를 나타낸 것이다. 공기를 공급할 때 기체는 액적의 운동을 교란하려는 성질이 있기 때문에 공기와 물 공급압력의 상대적크기에 따라 액적의 질량분포가 받는 간섭정도도 다소 다르다. Fig. 7의 (a)와 Fig. 6의 $R=2\text{cm}$ 인 결과를 비교하면 간섭영역에서의 최대점이 중앙에서 1cm 더 멀어지면서 두 최대점사이의 액적분포가 더 집중되지만 공기의 공급압력 35 kgf/cm^2 은 물공급압

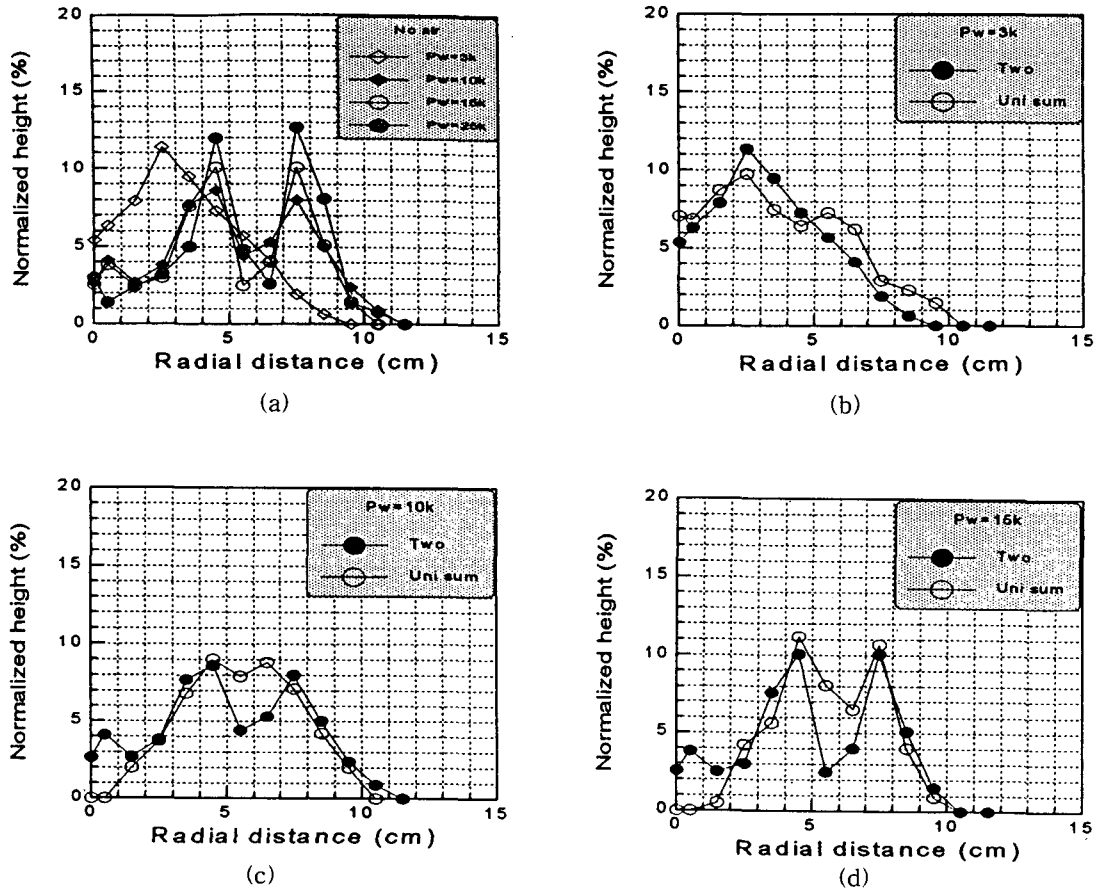


Fig. 5 Mass distribution of uni-element summation versus Two-element (no air)

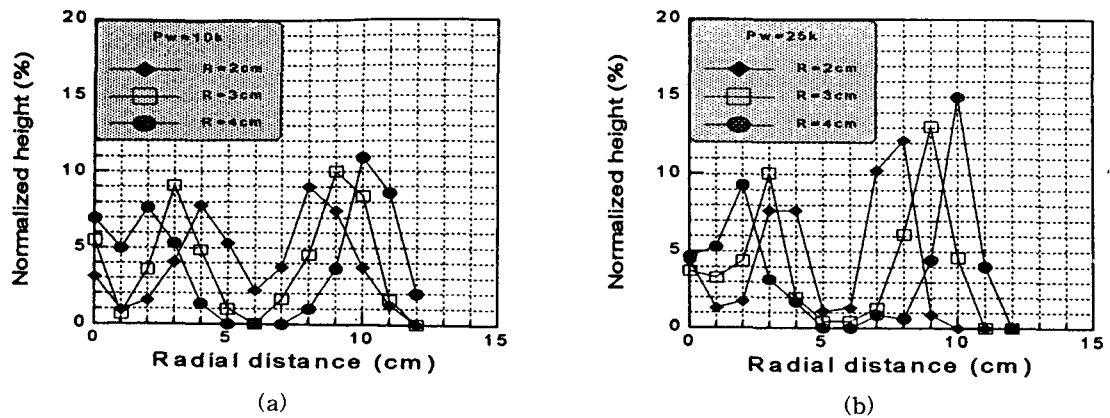


Fig. 6 Mass distribution variations as the distance between injectors

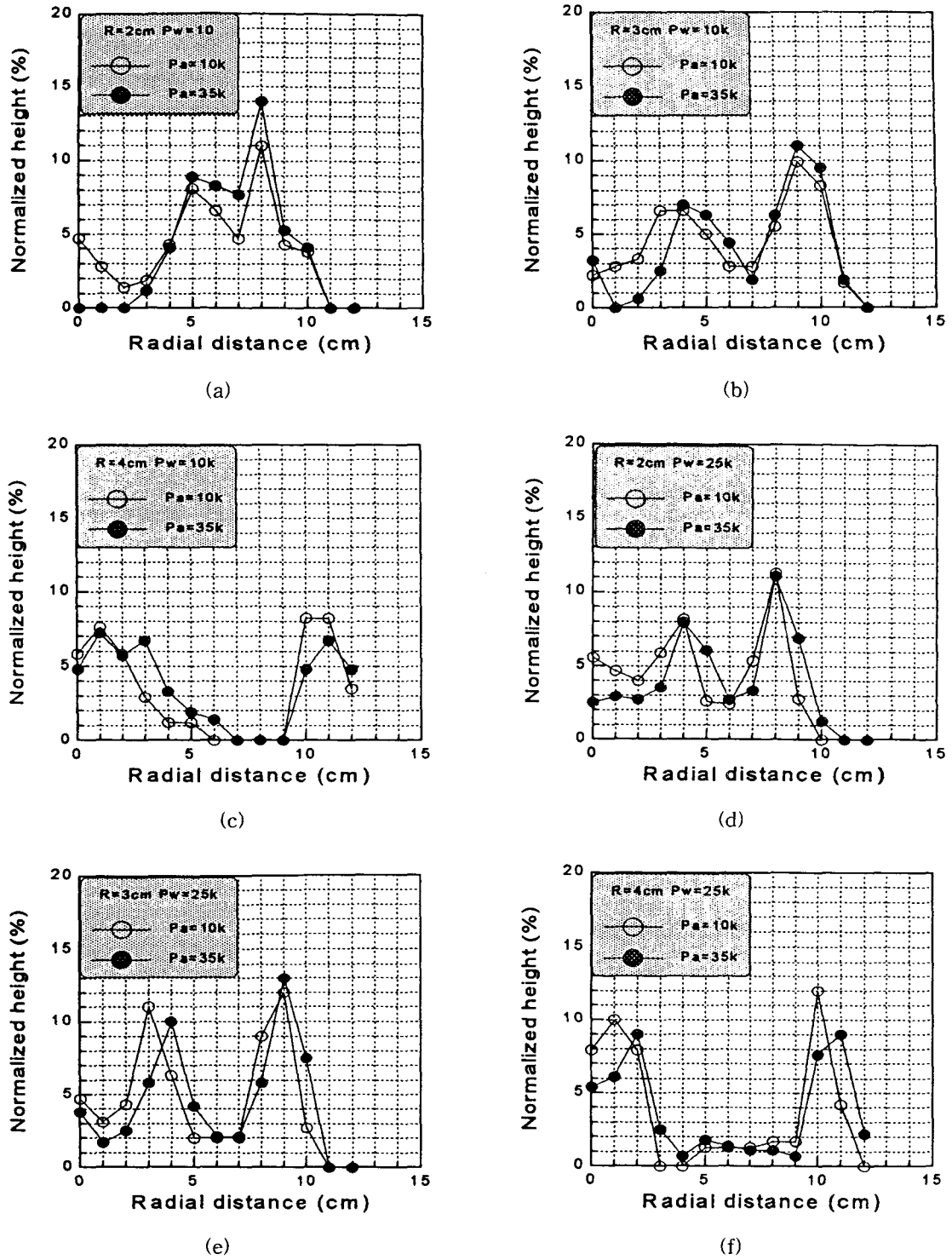


Fig. 7 Mass distribution with respect to supplied pressure and distance between injector

력 10 kgf/cm^2 에 비해 너무 크기 때문에 $R=0\sim 3\text{cm}$ 구간에는 액적분포가 없었다. 그러나 물공급 압력을 25 kgf/cm^2 로 하였을 때 간섭영역에서의 최대점은 공기를 공급하지 않을 때인 원 최대점 위치인 4cm 에서 나타났지만 질량분포는 약간 외측으로 이동하였으며 중앙부근에도 약간의 분포가 있었다. 이런 비슷한 현상은 $R=3\text{cm}$ 에서도 관찰할 수 있었다. $R=4\text{cm}$ 에서는 중앙부근에 집중적으로 분포되고 최대점사이에는 질량분포가 거의 없는 텅빈 분포를 나타내고 있다.

4. 결 론

기체/액체를 사용하는 Two-element의 Swirl 인젝터에 관하여 물, 공기의 공급압력과 인젝터사이의 거리의 상대적인 조정에 의하여 서로 다른 질량분포를 얻었으며 본 연구의 범위와 실험오차 내에서 다음과 같은 결론을 얻을 수 있다.

- (1) 공기를 공급하지 않을 때 물 공급압력의 증가에 따라 중앙에 집중되었던 질량분포는 외측으로 이동하였다.
- (2) 공기를 공급하지 않을 때 인젝터사이의 반경 방향거리를 1cm 씩 이동함에 따라 간섭영역에서의 최대점은 중앙으로 1cm 씩 가까워졌고 외측의 최대점은 중앙에서 1cm 씩 멀어졌고 일정한 물공급압력 이상에서는 인젝터사이의 거리에 무관하게 거의 0인 질량분포를 보이는 구간이 있었다.

- (3) 공기를 공급할 때 물공급압이 작을수록 공기의 공급압이 클수록 중앙부근에서의 질량분포는 작았으며 전체 질량분포는 외측으로 이동하였고 두 최대점사이에는 작은 질량분포를 갖는 구간이 넓어졌다.

후 기

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

참 고 문 헌

1. 정래혁 외 4인, "2-유체를 사용하는 Swirl 인젝터의 분무특성에 관한 연구", 항공우주공학회 춘계학술대회, April 26, 1977 (발표예정)
2. 이상용, "액체미립화", 민음사.
3. 오재건, "二流體微粒化의 機構와 特性", 석사학위논문, 1987년 2월.
4. L. Bayver, Z. Orzechowski, "LIQUID ATOMIZATION"
5. 五味廣美, P.J.Foster, "氣液同軸型噴射機による微粒化", 第10回液體の微粒化に關する講演會 論文集, August 26, 1982.
6. Atsushi KUROSAWA, "回轉形噴霧ノズルの特性の改良", 第12回液體の微粒化に關する講演會 論文集, August 23, 1984.