

2차 가진 제어 변조분사 특성 및 액체제트의 분무특성

강영수*† · 이인철* · 구자예**

Spray Characteristics of a Modulated Liquid Jet through 2nd Pulsed Control

Youngsu Kang*† · Inchul Lee* · Jaye Koo**

ABSTRACT

Spray characteristics for the modulation with a pulsed spray in low-frequency region were investigated by performing with additional internal pulsed injection. The 1st perturbative flow was generated by rotating-type pulsed device and the 2nd pulse source generated by the magnetic valve was used to modulate the 1st flow. A pattern of the modulated spray was observed through FFT result and visualization. In case of modulated spray with the 2nd pulse control, the width of up and down motion of the modulated spray is smaller than that of the spray without the 2nd pulse. Also, the depth of penetration of the down stream is higher than that of spray without the 2nd pulse.

초 록

본 연구에서는 저주파영역의 가진분무에 대하여 추가적인 내부가진을 수행함으로써 변조분사되는 분무특성에 대한 연구를 수행하였다. 회전식 가진장치를 사용하여 1차 가진을 생성한 후 2차 가진원인 마그네틱 밸브를 사용하여 변조하였다. 변조분무의 FFT결과와 분무패턴의 가시화를 통하여 관찰한 결과, 2차 가진 제어에 있는 변조분사의 경우 1차 가진만 있는 분사보다 분무의 상하 운동 진폭이 작으며 분무 하단류의 침투깊이가 증가하는 경향성이 발견되었다.

Key Words: Modulated Injection(변조분사), Penetration(침투깊이), Pressure Perturbation(압력섭동)

1. 서 론

초기 연소불안정성의 원인이 될 수 있는 저주파 불안정성은 추진제 공급 시스템 또는 그사이의 국소적인 공진 현상이나 연소실 내 파동과의

커플에 의해 발생하고 있다. 저주파 불안정의 경우 일반적으로 엔진 자체를 파괴한다거나 하는 등의 큰 손상을 가져오지는 못하지만 추력의 크기와 벡터 방향의 진동, 발사체나 위성 구조물에 손상을 주는 진동을 야기 시키며, 저주파 불안정의 주원인이 되는 라인 내 압력섭동은 비이상적인 분사패턴을 생성하게 되고 더 발전하여 고주파 불안정으로 발전 할 수 있는 연소화염을 생

* 한국항공대학교 항공우주 및 기계공학과, 대학원

** 한국항공대학교 항공우주 및 기계공학부

† 강영수, E-mail: kkangsu81@gmail.com

성하게 된다[1]. 하지만, 실질적으로 저주파대역의 압력섭동 주파수가 추진시스템의 라인과 커플링되어 변조되는 분무특성에 대해서는 기초연구가 적극적으로 실현되지 않고 있다. 따라서 횡단류에 연속으로 분사되는 액체 제트의 기초적인 특성과 주기적 압력 변동을 갖는 액체 제트의 비이상적 분무를 제어하여 그에 따른 변조분무의 분무패턴의 특성 연구를 목적으로 하고자 한다. 위와 같은 목적의 관내 압력 불안정에 관한 변조분사특성은 가스터빈에서 System Instability라고 하는 연소시스템 불안정성의 Feed System Instability의 효율적 제어 및 불안정한 분무패턴에 기인하는 열 방출률에 대한 기초연구로써 음향학적 고주파 불안정성의 안정화에도 영향이 있을 것이라고 예상된다.

2. 실험 장치 및 방법

2.1 실험 장치

Figure 1은 단일 연료 인젝션의 제어 시스템을 나타내고 있는 개략도이다. 1차적 비 이상유동은 8개의 홀로 이루어져 있는 회전식 압력섭동 장치를 통하여 0.1 bar의 균일한 압력으로 생성하였으며, 길이 54 cm의 STS관(Φ4.57 mm)내로 인가시켰다. 2차적 가진장치는 최대 120 Hz까지 구동범위가 가능한 Paker(社)의 펄스 마그네틱 솔레노이드 밸브를 사용하여 저주파대역의 1차 비이상유동의 압력섭동을 변조하는 역할을 수행하였다[2]. 각부의 섭동 주파수를 측정하기 위하여 PCB(社)의 동압계와 시그널 컨디션을 사용하여 1,2차적 압력섭동과 인젝션전단의 섭동압력을 측정하여 압력에 대한 신호를 mV로 변화하였다. 주파수의 신호를 수집하고 출력하는 제어 시스템은 NI(社)의 상용 제어 시스템이 사용되어 동압계의 신호를 수집하고 솔레노이드 밸브를 제어하였으며, 밀도 높은 FFT신호를 검출하기 위하여 50000 S/s의 샘플링으로 수행하였다. 분사 노즐의 직경은 1 mm, 노즐길이는 15 mm, 유입각은 R=1 mm로 하여 노즐내부의 vana contract와 hydraulic flip현상을 최소화 하였다[3].

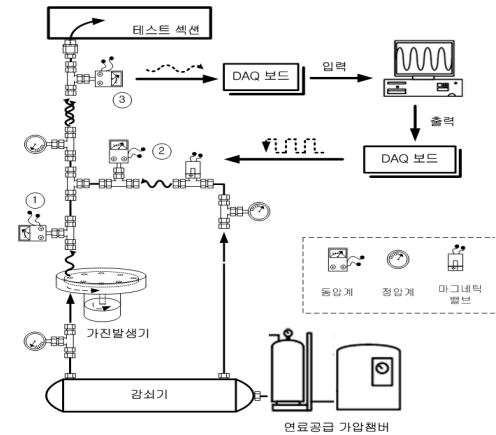
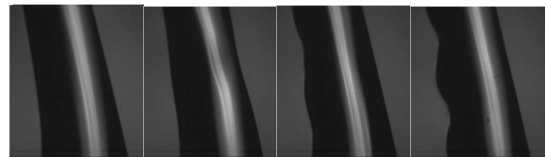


Fig. 1 Schematic of modulated injection system

실험에 사용되어진 회전식 가진장치는 0~350 Hz까지 작동 주파수 영역이 가능한 설비이며, Fig. 2는 노즐 후단 액주 1 cm영역에서 0~300 Hz의 주파수에 따라 압력섭동의 유동 특성을 가시화 하고 있다.



(a) 0Hz (b) 100Hz (c) 200Hz (d) 300Hz
Fig. 2 Flow characteristics of pressure perturbation with the rotating-type pulsed device

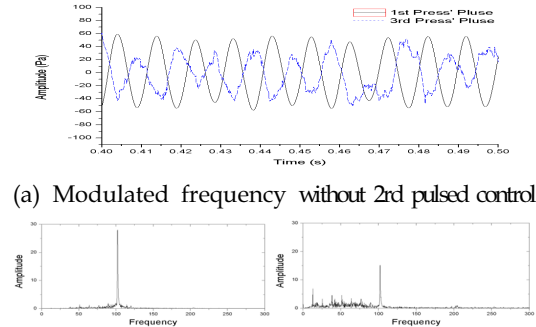
2.2 실험 방법

액주 정밀 가시화를 통하여 검증된 100 Hz대역의 저주파 섭동 유동을 1차적으로 인젝션한 후, 펄스 마그네틱 밸브를 통하여 발생하는 가진 유동을 주 유동라인에 인가시켜 100 Hz의 1차 유동에 대한 변조 분무의 패턴을 가시화 하고 FFT과정을 통하여 분무의 변조특성을 확인하였다. 여기서, 변조에 사용된 2차 가진의 주파수 영역은 1차 가진에 대하여 1, 1/2, 1/4 Hz과장으로 역 위상으로 인가하였고 두 유동이 중첩하는 교차 관에 대해서는 20°의 사이각을 갖는 Y 엘보관을 사용하여 관내 재순환 영역구간을 최소화하여 실험하였다.

3. 실험 결과 및 분석

3.1 1차 유동의 압력섭동 결과

2차 가진의 마그네틱 솔레노이드 밸브의 제어가 들어가지 않은 상태에서 100 Hz가진에서 변화하는 압력 섭동의 결과와 FFT결과가 Fig. 3에 나타나 있다. 압력펄스의 신호의 진폭이 줄어들기는 하였지만 1차 가진의 신호가 정상적으로 분사되고 있다는 것을 확인할 수가 있다.



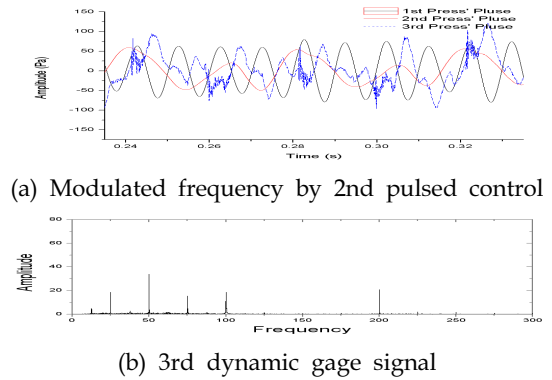
(a) Modulated frequency without 2nd pulsed control
(b) 1st dynamic gage signal (c) 3rd dynamic gage signal
Fig. 3 Frequency and FFT graph without 2nd pulsed control

3.2 2차 유동을 통한 변조 주파수 결과

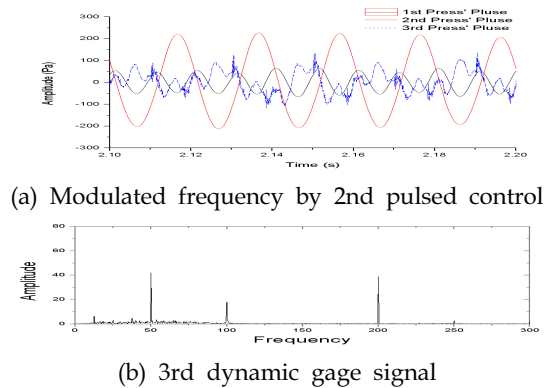
펄스 마그네틱 솔레노이드 밸브를 사용하여 25 Hz의 가진을 주었을 때 세 번째 압력 펄스 신호를 보면 섭동의 진폭이 증가하였다가 감소하고 100 Hz이외의 또다른 주파수 형태의 확인되는 것을 확인 할 수가 있었으며, FFT를 나타내고 있는 Fig. 4(b)를 통하여 확인해보면 25 Hz의 진폭은 감소하는 반면 50 Hz와 75 Hz, 200 Hz의 다른 주파수로 변조되는 특성을 확인 할 수가 있다.

50 Hz의 2차가진 신호가 인가된 결과 그래프가 Fig. 5에 나타나 있으며, 50 Hz의 가진폭은 줄어드는 반면 새로운 200 Hz의 주파수의 진폭이 증가한 것을 확인 할 수가 있다.

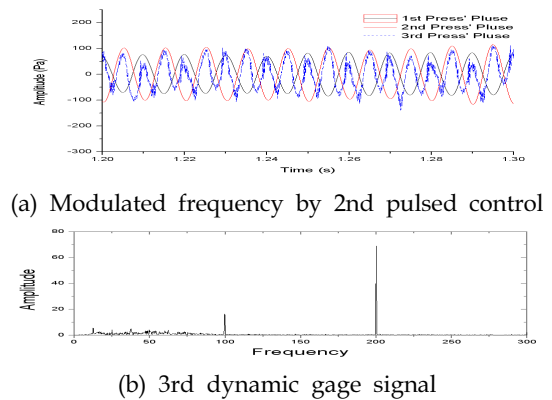
100 Hz의 2차가진 신호가 인가된 결과 그래프를 Fig. 6에서 확인해 보면 2차 가진 주파수의 진폭은 낮아지는 반면에 200 Hz의 변조 주파수는 다른 25 Hz와 50 Hz 2차 가진에서 나타난 변조 특성과는 차이가 커지는 것을 확인할 수가 있다.



(a) Modulated frequency by 2nd pulsed control
(b) 3rd dynamic gage signal
Fig. 4 Frequency and FFT graph with 25Hz pulsed control



(a) Modulated frequency by 2nd pulsed control
(b) 3rd dynamic gage signal
Fig. 5 Frequency and FFT graph with 50Hz pulsed control



(a) Modulated frequency by 2nd pulsed control
(b) 3rd dynamic gage signal
Fig. 6 Frequency and FFT graph with 100Hz pulsed control

3.2 변조분사의 유동가시화

Figure 7은 변조분사 패턴의 분무가시화를 나타낸 사진으로써 1136 fps로 촬영하여 상, 하단

류의 패턴을 중첩하여 표현하였다.

Fig. 8은 변조분무의 침투깊이와 일반 가진분무의 침투깊이를 나타낸 그래프이며, 상, 하단의 점선의 표기는 가진과 변조가 이루어지지 않은 분무의 침투깊이를 나타내고 있다. 가진 조건이 포함되지 않은 분무의 경우보다 가진이 생성된 분무의 경우 전체적으로 침투깊이가 높게 나오는 것을 확인 할 수가 있으며, 1차 가진 100 Hz의 압력섭동유동의 침투깊이를 기준으로 2차 가진에 의해 변조되어진 분무 패턴을 비교하였을 때 분무 상단 유동에서 전체적으로 낮은 경향성을 보이며, 하단 유동의 경우 25 Hz는 조금 낮고 나머지의 경우는 높은 침투깊이를 나타내고 있다.

1차 가진만의 침투깊이와 25 Hz에 의해 변조된 침투깊이에서 상류와 하류 침투깊이의 분무 폭이 50 Hz와 100 Hz 변조분무 폭보다 다소 큰 경향성을 나타내고 있다. 25 Hz의 변조분사의 경우 액적이 작아지는 경향성을 보이거나 25~200 Hz대역 안에서 많은 섭동 주파수가 발생하기 때문에 침투깊이가 낮게 나오는 것으로 여겨진다. 따라서, 추후 추가적인 검증 시험을 통하여 변조분무에 대한 정확한 검토가 필요하겠다.

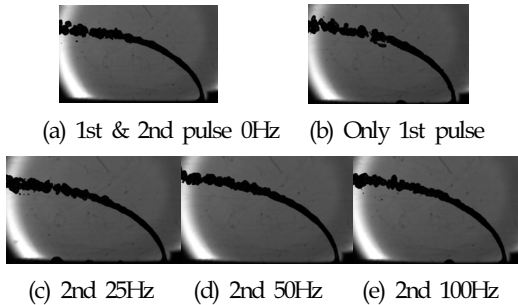


Fig. 7 Spray pattern of modulated injection

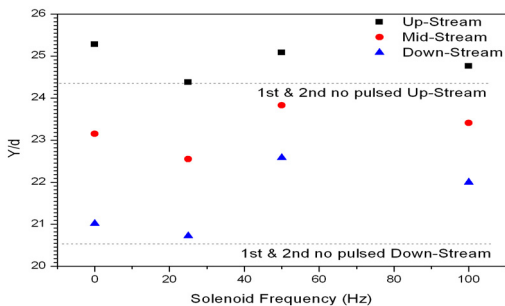


Fig. 8 Depth of penetration of modulated injection

4. 결 론

1차적 섭동유동에 대하여 마그네틱 밸브를 통한 2차 가진 제어 변조분사를 수행하였고 고속 카메라를 사용하여 변조분사의 분무를 가시화하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 펄스 마그네틱 밸브를 사용하여 25 Hz로 가진 제어 시 25~200 Hz사이의 넓은 주파수영역에서 변조가 발생하는 것을 확인 할 수가 있었다.
2. 100 Hz의 1차 가진에 대하여 100 Hz과장의 역위상 제어 시 정배수로 변조가 되며, 200 Hz의 펄스로 변조 분사되는 특성이 나타났 다.
3. 2차 가진 제어를 통하여 변조분사하게 되면 가진 분무보다 분무의 상하 운동이 작아지는 경향성과 하단유동의 침투깊이가 높아지는 것이 관찰되었다.

후 기

본 논문은 2007년도 정부(교육인적자원부)의 재원으로 한국학술진흥재단 지역대학우수과학자 지원사업의 지원을 받아 수행된 연구과제임. (KRF-2007-D00084)

참 고 문 헌

1. 오정석, 윤영빈, "가스터빈에서의 연소불안정 현상," 한국추진공학회지, 제12권, 제4호, 2008, pp.63-77
2. Anuradha M. Annaswamy and Ahmed F. Ghoniem, "Active control of combustion instability: theory and practice," Department of Mechanical Engineering MIT
3. Tamaki. N, Shimizu. M, Nishida. K, and Hiroyasu. H, "Effects of Cavitation and Internal Flow on Atomization of a Liquid Jet," Atomization and Sprays, Vol.8, 1998, pp.179-197