

< 논문 >

초음파 에너지로 제조한 유화연료의 관로 흐름 특성에 관한 연구

고경한[†] · 이승진* · 이병오* · 류정인**
(2005년 7월 21일 접수, 2005년 10월 10일 심사완료)

A Study on the Flow Characteristics of Emulsified Fuel by the Ultrasonic Energy in Tube

Kyoungan Koh, Seungjin Lee, Byongo Lee and Jeongin Ryu

Key Words: Emulsified Fuel(유화연료), Ultrasonic Energy-Adding System(초음파부가시스템)

Abstract

This study was undertaken to investigate the flow characteristics of emulsified fuel with the ultrasonic energy-adding system by using the chaotic method. Effects of water contents within emulsified fuel, flow rate and tube length with 5mm in diameter from an emulsified chamber has been discussed on the strange attractor and power spectral density function. Five probe sensors were set up from 0.5 to 2.5m by length in 0.5m increments in the tube. In particular, the chaotic features of this system have been practically characterized in terms of chaotic statistics such as the power spectral density function and phase space portraits by resorting to the somewhat noble deterministic chaos theory. In the tube, the dominant frequency increased with increasing water contents and flow rate, but decreased a little with an increase in the length from the emulsified chamber.

기호설명

PSD : 파워스펙트럼밀도
Fd : 주진동수

1. 서 론

화석연료사용으로 인한 이산화탄소(CO₂)의 증가로 발생하는 지구 온난화는 세계의 기후 변화에 대한 관점에서 아주 심각한 관심사가 되고 있다.

1992년 Rio선언 이후 범 지구사회에서 대기오염을 줄이기 위하여 세계 각국에서는 배기규제를 더욱 엄하게 규정하고 있다.

출력성능의 향상과 유해 배기가스의 저감은 서로 상반된 특성을 가지고 있다. 유해 배기가스의 저감은 출력성능을 감소시키고, 또한 출력성능의 향상은 유해 배기가스를 증가시키므로 두 가지 특성을 동시에 향상시키기 위한 최적화가 계속 연구되고 있다.⁽¹⁾

이에 병행하는 연구로서 물을 액체연료와 혼합하여 유화연료로 사용하는 방법은 열효율을 거의 저하시키지 않고도 질소 산화물 및 입자상 유해 배기 물질을 동시에 저감시킬 수 있는 기술로서, 연소실내에 라디칼 형성을 충분하게 하여 수성가스 반응을 통한 완전 연소화를 시켜 유해 배기가스의 배출을 저감시키며, 화염온도를 낮추고, 물의 급격한 증발에 의한 유적의 미소폭발 현상을

[†] 책임저자, 회원, ANT21
E-mail : ggokim@hanmail.net
TEL : (042)823-0925 FAX : (042)823-0926

* 충남대학교 대학원 기계공학과

** 회원, 충남대학교 기계공학과

이용하여 연소효율을 극대화시켜 엔진효율을 향상시킬 뿐만 아니라 분무 관통력의 증가에 따른 주의공기 혼입량 증대 등의 큰 장점이 있다.⁽²⁾ 그러나 유화연료를 장기간 보관시 유화연료의 상분리 현상으로 인해 연료의 안정성 문제가 발생하는데, 유화연료의 기계적 혼합시설과 현재 주유소와 같은 연료저장 공급시설의 구비가 어렵다.

기존의 유화연료에 대한 연구는 경유와 물을 혼합시킬 때 두액간의 계면장력을 저하시키는 역할을 하는 계면활성제(surfactant)를 첨가하는데 공해물질(유황성분 등)이나 독성물질(염소성분이나 브롬성분 등)의 배출 문제 때문에 양이온 계면활성제나 음이온 계면활성제보다는 비이온계 계면활성제의 사용이 바람직하다.

유화 연료에 관한 개발, 연구는 저공해성 에너지의 관점에서 활발히 진행되고 있다. 유화 연료를 내연기관에 이용하려고 하는 경우, 연료 공급 계통에 유화 연료의 유동 특성, 연료 분무의 특성(분무 입경 분포, 도달 거리, 분무각 등), 고온 벽면에 증발 특성 등 소위 혼합기 형성 과정을, 더욱이 연소 과정의 특성을 명확히 하여, 기관 성능에 미치는 영향을 확실히 할 필요가 있다. 따라서 특성을 명확히 함으로서 큰 영향을 가진 유화 연료의 물성을 밝히는 것이 중요하다. 그 중에서도 점도는 중요한 물성의 한가지이지만, 유화 연료는 비뉴턴 유체이므로, 그 유동 특성이 복잡하다. 유동 특성의 추정 방법에 관한 정보는 특히 유화 연료에 관해서는 부족하다.⁽³⁾

또한 실험을 통해서 얻는 결과들의 해석 기술들이 비디로나 사진기술과 관련되는 짧은 시간 동안 노출되는 이미지처리에 기초하여 연구를 하거나, 레이저에 의한 기술 또는 전도도 측정(the conductivity measurements)에 의한 연구를 하고 있다. 많은 경우에는 푸리에 변환(fourier transform)으로 즉, FFT(fast fourier transform)방법으로 신호처리(signal processing)를 하고 있는 경우도 있다.⁽⁴⁾ 그래서 본 논문에서는 초음파부가에 의한 유화연료 제조 후 관로내로 통과시켜 그 흐름의 거동에 대한 기초자료들을 실험적으로 구하여 확보하고자 하였으며, 이 거동을 Chaos 해석방법⁽⁵⁻⁷⁾을 사용하여 해석하고자 하였다. 또한, 관로 내에서 얻은 시간의 변화에 따른 전압변동 시계열 자료들로부터 다차원적인 위상공간투영(phase-portraits)을 구성하여 계의 특성에 맞는 최적의 지연시간(time-lag)

을 결정하여 자료에 의해 표현되는 이상끌개(strange attractor)를 찾아내고 거동의 특성을 분석하였다.

2. 이론적 고찰

일반적으로 카오스계를 실험적으로 연구하는 첫 번째 단계는 계의 특성을 내포하고 있는 한 가지 변수의 값을 시간의 흐름에 따라 상세하게 기록하는 일이다. 시간에 따른 특정변수의 변화인 시계열(time series)을 간단하게 조사하면 분명하게 주기적이거나 준 주기적 또는 불규칙적인 운동양상이 나타난다.

프랙탈 및 카오스기법으로 복잡한 계를 분석하고 예측하기 위한 기초 자료가 되는 시계열 데이터를 얻기 위해서는 시계열 데이터 획득장치가 필요하다. 시계열 데이터 획득장치는 카오스 계의 특성을 잘 내포하는 변수를 감지할 수 있는 센서, 아날로그 신호를 디지털 신호로 바꿀 수 있는 변환기, 데이터 처리용 컴퓨터, 모니터, 프린터 등으로 구성되며 이 밖에도 1차적인 전기신호를 증폭시키는 증폭기, 물리적 신호를 전기신호로 바꾸는 컨디셔너, 자체노이즈를 줄이는 노이즈 제거기 및 low-pass filter, 실시간으로 모니터링하고 데이터 분석에 사용되는 데이터 처리 소프트웨어가 필요할 경우가 있다.

실제로 카오스계에서 데이터 획득장치를 이용하여 어떤 시간간격 t 마다 단일 변수 X 값을 얻었다면 이 시계열은 $X(0), X(t), X(2t), \dots$ 등으로 표시될 수 있다. 예를 들어 t 시간마다(샘플링 rate)변수 X 를 샘플링하여 N 개의 데이터를 획득했다면 이 시계열을 다음과 같은 원소나열로 나타낼 수 있다.

$$\{X(1), X(2), X(3), \dots, X(N)\} \quad (1)$$

이때의 샘플링 주파수는 $1/t$ [Hz] 이고 전체 샘플링 시간은 Nt [sec] 가 된다.

이렇게 획득한 시계열 데이터를 분석하는 방법은 단일변수 $X(t)$ 자체만의 혼란스러움 정도를 식별하는 확률추계학적(stochastic) 해석방법과 단일 변수 $X(t)$ 를 다차원 기하학적으로 끌개(attractor)를 상공간(phase space)상에 재구성하여 카오스를 추출하고 카오스 구조와 기능을 해석하려는 진보적인 결정론적 카오스 해석 방법이 있다.

에너지 소비를 수반하는 동력학 시스템(dynamic system)의 상태공간에 나타나는 안정한 해(solution)에 대한 충칭으로 끌개라는 용어를 사용하는데, 주위의

케도를 잡아끄는 성질에서 이와 같이 부르게 되었다. 분산계에서 카오스를 발견하고 분석하는 가장 중요하고 기초적인 방법의 하나는 끌개의 재구성이다. 시계열 자료로부터 카오스계의 시간의 흐름에 따른 운동양상이 보이는 기하학적인 특질을 추출해 내어 다차원적으로 재구성하는 과정이 바로 그것이다. 이 방법을 통하여 연구자들은 계를 지배하는 방정식을 풀지 않고서도 정성적인 특질을 연구할 수 있었다.

카오스계에서 획득한 특정변수의 시계열 자료로부터 끌개를 재구성하는 과정은 다음과 같다. 이 방법의 기초적인 아이디어는 시계열 자료 $X(t)$ 를 $X(t+\tau)$ 와 $X(t+2\tau)$ 에 대응시켜 그림으로써 다차원의 끌개를 재구성하는 일이다. 카오스계에서 일정 시간간격 Δt 마다 X 값을 측정하여 얻은 시계열 데이터는 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$\{ X(t_k) ; t_k = k\Delta t, k = 1,2,3,4,\dots N \} \quad (2)$$

전체운동의 배후에 어떤 결정적인 법칙(결정론적 카오스)이 있다면 어떤 시간에서의 X 값은 과거의 X 값들에 의존할 것이다. 얼마나 많은 X 값들에 의존할 것인지는 원래 계가 갖고 있는 변수의 개수, 즉 기이한 끌개가 들어 있는 공간의 차원값과 관계가 있다. X 값이 m 개의 과거 X 값들에 의존한다고 하면, X 시계열로부터 다음과 같이 m 차원의 벡터열을 만들 수 있다.

$$\{ X(t_k), X(t_k + \tau), X(t_k + 2\tau), \dots, (t_k + (m-1)\tau) \} \quad (3)$$

여기서, $Y=X(t)$, $Z=X(t+\tau)$ 이고, $P(Y)$ 와 $P(Y,Z)$ 는 각각 확률밀도와 결합확률밀도를 나타낸다.

끌개를 구성함에 있어서 상호정보함수를 도입하여 τ 의 변화에 따른 끌개의 상호정보가 처음으로 최소점에 이르렀을 때의 τ 값이 가장 적절한 시간지연이라 알려져 있다. 이때의 τ 값은 시계열의 낮은 주파수 부근의 스펙트럼에서 주 주파수(dominant frequency)의 역수와 상응하게 되며, 이 τ 값에서의 끌개가 가장 안정된 기하학적 형태를 나타낸다고 할 수 있다. 다시 말하면, τ 가 너무 작은 경우에는 상관성(correlation)은 좋으나 계의 특성이 기하학적인 형태로 잘 나타나지 않고, 반대로 너무 큰 경우에는 끌개를 구성하는 여러 궤도들이 복잡하게 엉켜있어서 각각의 궤도를 추적할 수 없는 상태이므로 상호정보 I 가 최초로 최소점에 이르는 τ 에서의 끌개가 카오스계의 운동양상이 기하학적으로 잘 나타나 있고 각각의 궤도들이 순조롭게

연결되어질 것이다.

카오스계에서의 끌개는 대부분이 이상끌개라는 기이한 형태로 나타나는데, 이것의 내부구조는 대단히 복잡하게 되어있다.

이러한 기이한 끌개를 특성화하기 위하여 정량적 파라미터가 필요하게 되는데, 끌개의 불안정성·무질서함의 정도 그리고 차원해석을 통하여 정량적 파라미터를 도출할 수 있게 된다.

카오스계에서 획득한 시계열에는 ‘정적인 성질’과 ‘동적인 성질’이 있다. ‘정적인 성질’이란 진동의 진폭이 있는 시간의 범위내에서 어떠한 분포를 가진다는 점이다. 다시 말하면 “이런 값을 갖는 것이 어느 정도의 횟수 또는 확률일까?”라는 정보에서 이 경우는 그들이 어떤 시간이 경과하여 생겨나는가는 문제 삼지 않는다. 이것에 비하여 시계열의 진폭과 주기가 차례로 시간이 경과함에 따라서 어떤 경향으로 나타나는지의 시간적 연결이 ‘동적인 성질’이 되는 것이다.

시계열의 정적인 특성으로부터 시계열이 갖는 확률적인 성질을 어느 정도 추정할 수 있지만 동적인 특성으로 더 구체적인 시계열의 성질을 논의 할 수 있게 되었다. 가장 널리 이용되고 있는 시계열의 동적인 성질은 ‘파워 스펙트럼 밀도(power spectrum density)’로 표현하는 방법이다. 이 말을 간단히 요약하여 스펙트럼이라고 말한다.

시계열의 내부는 주기적 요소와 무작위적 요소로 구성된다. 즉, 간단한 파형(sine or cosine wave)들이 복합적으로 구성되어 잡음(noise)처럼 시계열을 형성한다. 파워 스펙트럼은 복잡하게 보이는 잡음을 각각의 주기별로 분해하여 시간적 변화의 모양을 표현하여 시계열의 동적 구조를 나타낸다. 즉, 시간의 함수인 시계열을 각각의 주기별로 주기의 함수인 밀도로 변환시키는 작용을 한다.

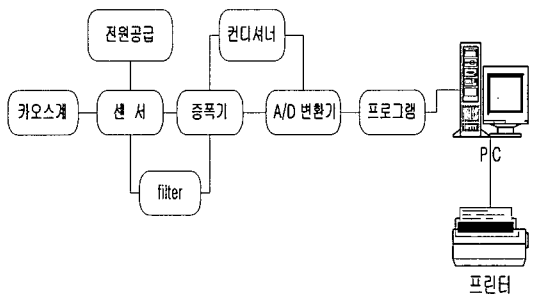


Fig. 1 Schematic diagram of Data Acquisition System

정상상태응답자료인 시계열 $X(t)$ 로부터 자기상관함수 (auto-correlation function)은 다음과 같이 정의된다.

$$R_{xx}(\tau) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T x(t)(t+\tau)dt \quad (4)$$

한편, 파워스펙트럼밀도는 시계열 자료의 직접 푸리에 변환이나 시간함수의 푸리에 변환으로 구할 수 있으며 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$G_{xx}(f) = \int_{-\infty}^{\infty} R_{xx}(\tau) e^{-2\pi f\tau} d(\tau) \\ = 4 \int_0^{\infty} R_{xx}(\tau) \cos 2\pi f\tau d(\tau) \quad (5)$$

$G_{xx}(f)$ 는 파워 스펙트럼 밀도, f 는 주파수, τ 는 시간 지연(time delay)이다. 이 수식에서 코사인 함수는 주파수 f 로 시간과 더불어 진동하기 때문에 자기상관함수가 시간에 관하여 완만하게 감소하는 경우에는 적분은 $+$ $-$ 가 서로 상쇄하여 아주 작은 값이 된다. 단, 주파수 f 가 작으면 이 상쇄가 완전하지 않기 때문에 $G_{xx}(f)$ 는 그다지 작아지지 않는다. 그 결과로서 다음과 같이 말할 수 있다. 노이즈의 상관이 지속되지 않고 랜덤하게 변동하고 있는 진동에 관하여 자기상관함수는 $\tau=0$ 부근을 제외하고는 제로가 되기 때문에 적분한 결과는 주파수 f 에 관계하지 않는다. 즉, 스펙트럼의 주파수의 존성과 자기상관은 밀접하게 관계하고 있다.

3. 실험 장치 및 방법

유화연료제조 장치에 공급하는 경유와 물의 공급은 정량펌프를 이용하여 일정한 질량비율로 chamber내로 유입하도록 하고, 경유와 물의 질량비에서 경유대비 물의 양을 5%에서 30%까지 5%의 간격으로 하였다.

유화연료를 제조하는 방법에는 두 가지가 있는데, 현재 상용되는 방법으로서, 경유와 물을 동시에 기계적인 방법으로 교반시켜 유화연료를 만드는 방법과 초음파에너지를 사용하여 유화연료를 만드는 방법이 있다.

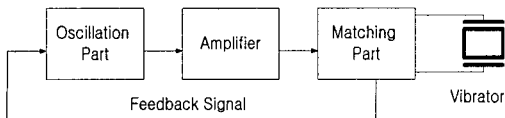


Fig. 2 Block diagram of Ultrasonic Oscillator

Fig. 2는 초음파 발진장치 개략도이다.

실험에서는 유화제를 사용하지 않은 상태에서 효과가 뛰어나는 초음파 에너지를 부가하여 유화연료를 제조하였다.

초음파 발진장치는 초음파 진동자에 전기신호를 가하여 기계적 진동신호로서 초음파 출력을 내기 위한 장치이며, 고주파를 발진하여 증폭부에 가해주는 발진부(oscillation part), 발진된 주파수로 진동자를 구동시킬 수 있는 전력으로 증폭해 주는 증폭부(amplifier), 증폭된 구형파를 사인파로 바꾸어 임피던스를 정합하여 진동자에 가해주는 정합부(matching part)로 구성되어 있다.

본 실험에서 구형파의 주파수는 혼의 재질과 주파수 발진장치의 최적 조건에서 얻은 28kHz이다.

교류전원으로 초음파 발진장치를 작동시키면 볼트체결형 랑게빈 진동자(bolted langevin transducer : BLT)가 진동하면서 경유와 물의 혼합액에 초음파 에너지를 부가하여 유화연료를 제조한다. Fig. 3은 초음파 에너지 부가장치의 개략도로서 연료의 무화를 최대도 하여 연료에 공동현상이 극대화 될 수 있는 구조로서 볼트체결형 진동자와 혼 등으로 구성되어 있다. 임의의 운전조건에서 양호한 유화연료의 제조를 위해서는 발진부에서 나온 기계적 진동에너지를 극대화 시켜주는 초음파 혼이 중요한데, 혼은 진폭 확대율이 가장 큰 계단(step)형 혼을 사용하였다. 이 혼은 단면적의 비가 증가할수록 진폭도는 증가하지만 응력 분포가 커지는 단점이 있으므로, 제작상의 이유와 내구성을 고려하여 단면적비를 4:1로 하여 제작하였다. 혼의 재질은 AI 7017-T651이다.

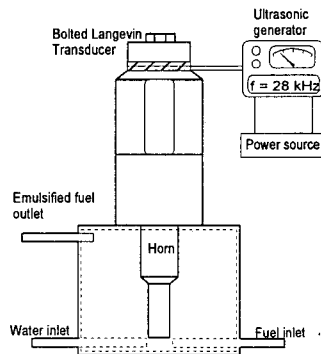


Fig. 3 Schematic diagram of ultrasonic fuel feeding system

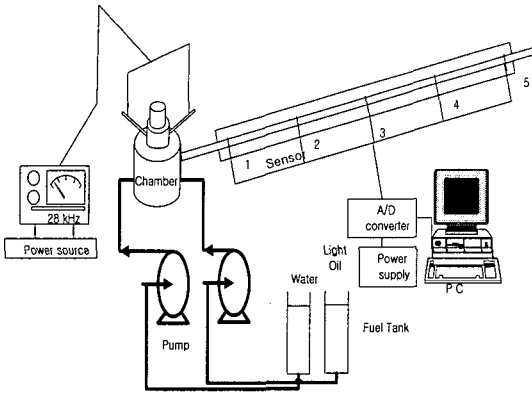


Fig. 4 Schematic diagram of experimental apparatus

Fig. 4는 유화연료 관로 유동의 특성을 파악하기 위한 실험 장치이다.

제조된 유화연료를 직경 5mm인 튜브(tube)내로 20ml/min, 30ml/min 그리고 50ml/min의 유량으로 흐르게 하여 이때의 유동 특성을 측정한다. 여기서 사용하는 측정기로는 2개의 tip을 지닌 전기저항탐침(electric resistivity probe)으로 튜브의 중앙에 위치하도록 하였고, 측정기의 위치는 챔버로부터 50cm간격으로 2.5m까지 탐침(probe) 5개를 설치하였다.

탐침에 주입한 전류는 전원 공급장치로 DC 7 Volt였다. 탐침으로 나오는 신호는 A/D converting system을 사용하였다. 아날로그신호를 디지털신호로 전환한 후 이들의 자료를 데이터 획득장치(data acquisition system)를 사용하여 computer에 입력시켰다. 또한 filtering 과정을 거쳐 off-line으로 시계열(time series) 자료를 해석하였다. 탐침에서 나오는 신호의 측정속도는 400Hz, 측정시간은 2.5sec로 sample size를 1000 point로 하였다.

초음파에 의해서 제조된 유화연료를 바로 관로로 통하게 하여 관로에서 유화연료의 유동특성들을 여러 가지 실험변수에 따른 시계열 자료를 획득하여 이를 카오스 해석을 이용하여 정성적으로 밝힘으로 실제 산업현장이나 내연기관 등에서 사용 될 수 있는 기초 자료로 활용하고자 하였다.

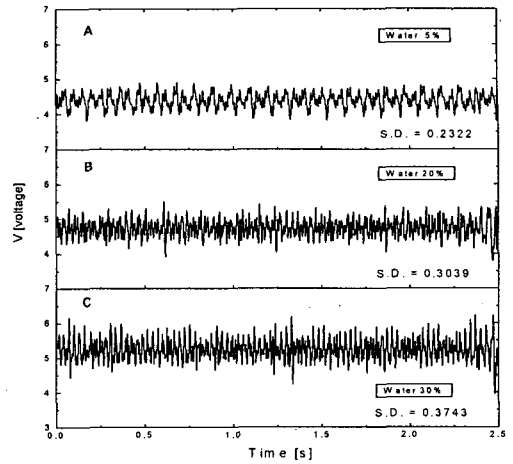


Fig. 5 Typical voltage fluctuation signals in the tube ($Q_L=30\text{ml/min}$, $L=0.5\text{m}$)

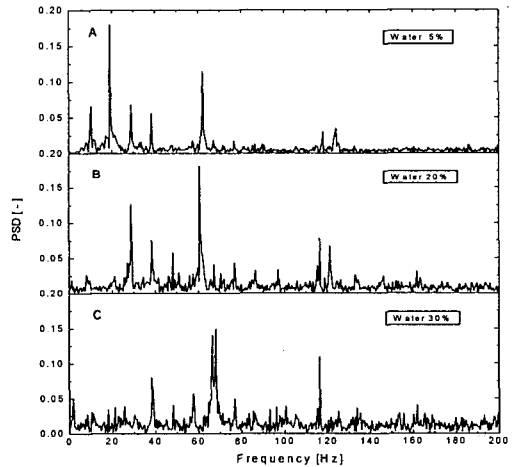


Fig. 6 Typical power spectral density function of voltage fluctuation($Q_L=30\text{ml/min}$, $L=0.5\text{m}$)

4. 실험 결과 및 고찰

4.1 유화 연료의 함수량 변화에 따른 유동 특성

Fig. 5는 물함량이 5%(A), 20%(B) 그리고 30%(C)인 경우의 시계열을 나타낸 것으로 유량은 30ml/min로 흐르며, 측정 거리는 chamber로부터 50cm의 거리에서 자료를 획득한 것으로 함수량이 증가함에 따라서 진폭, 주파수가 커지고 평

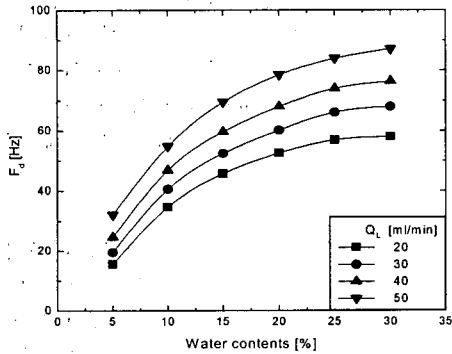


Fig. 7 Effects of water component rate on fluctuating frequency in the tube ($L=0.5m$)

관값이 4.3V(W5%), 4.6V(W20%), 5.1V(W30%)로 함수율에 따라 커지는 양상을 보이고 있다.

Fig. 6은 함수량 변화에 따른 관로내 흐름의 시계열 자료에 대한 정보를 좀더 세밀하게 파악하기 위해서 스펙트럼 해석을 나타낸 것이다. 이들 그림에서 파워스펙트럼밀도(power spectrum density: PSD)는 식 (5)로부터 구한 것이다. 함수량의 증가에 따라서 PSD의 전체 거동은 띠모양을 형성하면서 카오스화가 되고 있음을 볼 수가 있다. 이는 함수량이 많아짐에 따라 액적의 수와 크기들이 불균일해짐으로 나타나는 현상이라고 할 수 있다.

Fig. 7은 Fig. 6의 PSD로부터 구한 주 진동수(F_d)와 함수량에 대한 영향을 나타내었다. 함수량의 증가에 따라서 주 진동수(F_d)는 커짐을 보이고 있다. 유량 50ml/min일 때 함수량 5% 대비 함수량 30%인 경우 1.8배의 증가를 보이고 있다. 이는 측정 영역 안에서 액적 크기가 증가하기 때문으로 사료된다.

유동 관로 내를 좀 더 효과적으로 해석하기 위한 방법의 하나로 계의 특성을 나타내는 정보를 끌개로 재구성 할 수 있다.

Fig. 8은 물의 함량 변화에 따른 자료들이 내포하고 있는 동적인 거동의 기하학적 형태를 살펴보기 위하여 상호 정보 함수로부터 적절한 시간 지연 τ 를 선정해서 위상공간에 재구성하여 나타낸 끌개를 보이고 있다. 그림에서 보이는 바와 같이 관로내에서 수집된 전압변동의 시계열이 갖는 끌개는 일정한 한계의 크기와 모양을 나타내는 결정론적 카오스적인 거동을 보임을 알 수 있다.

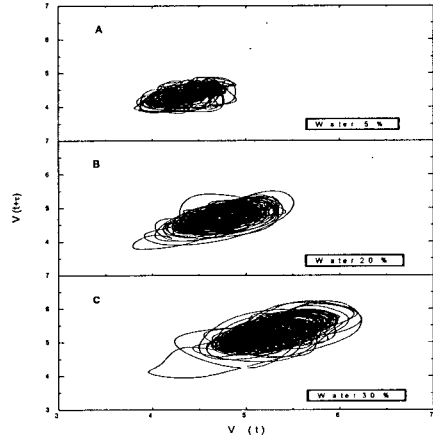


Fig. 8 Typical phase space portraits in the tube ($Q_f=30ml/min, L=0.5m$)

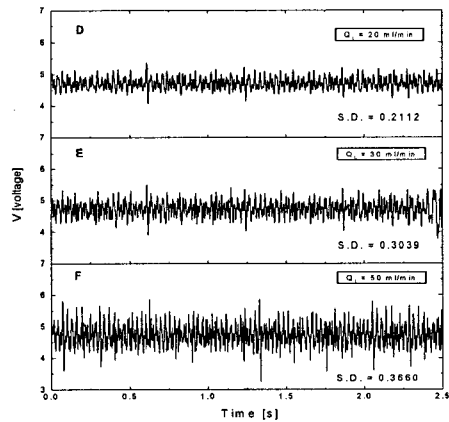


Fig. 9 Typical voltage fluctuation signals in the tube ($W=20\%, L=0.5m$)

여기서 함수량의 증가에 따른 끌개의 발산의 정도가 증가했음을 볼 수 있는데, 이는 관로내의 흐름에서 물의 액적 크기들이 커짐에 따라 나타나는 현상이라 할 수 있다.

4.2 유화연료의 유량의 변화에 따른 유동 특성

Fig. 9는 유화연료의 유량변화에 따른 시계열을 나타낸 것으로 물의 함량은 20%, 거리는 50cm, 유량이 20ml/min(D), 30ml/min(E), 그리고 50ml/min(F)에 따라 자료를 획득한 것으로 그림에서 보듯이 유량이 증가함에 따라 진폭이 커지는 양상을 볼 수가 있다.

이는 관로 내부의 물 액적들의 움직임과 무질서도가 커지게 됨으로서 전압의 변화양상이 격렬해짐이라 할 수 있다.

이에 유량의 변화에 따른 관로내 흐름의 시계열 자료에 대한 정보를 좀 더 세밀하게 파악하기 위해서 Fig. 10에서 보듯이 주 진동수에 대한 PSD를 나타냈다.

관로내의 유량이 증가함에 따라서 PSD의 진폭이 커짐을 알 수가 있는데, 이는 관로내의 흐름이 점점 더 복잡해지고 카오스화가 되어가고 있음을 나타내주고 있다.

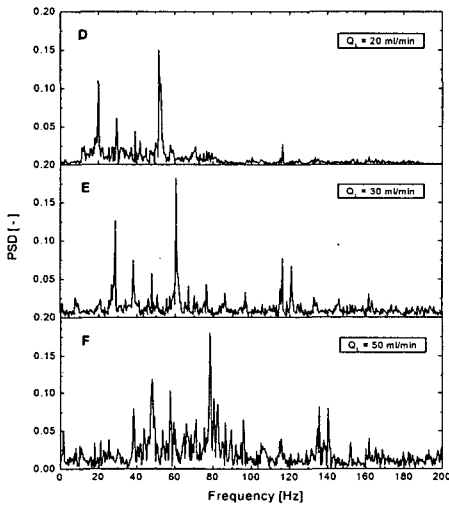


Fig. 10 Typical power spectral density function of voltage fluctuation ($W=20\%$, $L=0.5m$)

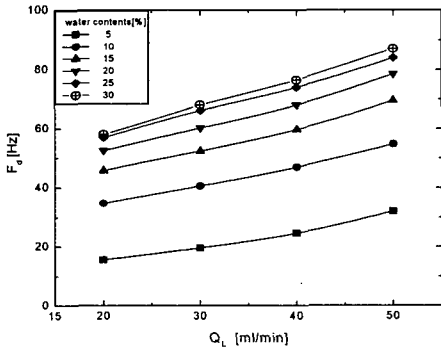


Fig. 11 Effects of flow rate on fluctuating frequency in the tube ($L=0.5m$)

Fig. 11은 Fig. 10의 PSD로부터 구한 주 진동수 (F_d)와 유화연료의 유량에 대한 영향을 나타내었다. 그림에서 보듯이 유량이 증가함에 따라서 주 진동수가 커짐을 알 수가 있다. 함수량 30%인 경우 유량 20ml/min 대비 50ml/min 일 때 50% 증가의 주 진동수 값을 나타내고 있다. 이는 물 액적들이 같은 시간에 많은 동적인 거동을 하면서 지나감으로 판단된다.

Fig. 12는 유량의 변화에 따른 관로 내부에서 시계열이 갖고 있는 동적인 거동의 기하학적 형태를 살펴보기 위해 적절한 τ 를 선정해서 위상공간에 재구성하여 나타낸 끌개이다. 그림에서 보듯이 유량이 많을수록 끌개의 정보가 수렴되는 결정론적 계(deterministic system)였다가 점점 정보가 발산하는데 이는 관로내에서 에멀전의 운동양상이 더욱더 불규칙해지고 격렬해지면서 카오스화를 나타내 주고 있다.

4.3 유화연료의 관로내 흐름에서 거리변화에 따른 유동 특성

Fig. 13은 유화연료 제조후 관로내에서 거리변화에 따른 시계열을 나타낸 것으로, 물의 함량이 20%, 유량이 30ml/min 경우 chamber로부터 0.5m(G), 1.5m(H) 그리고 2.5m(I)의 거리변화에 따라 획득

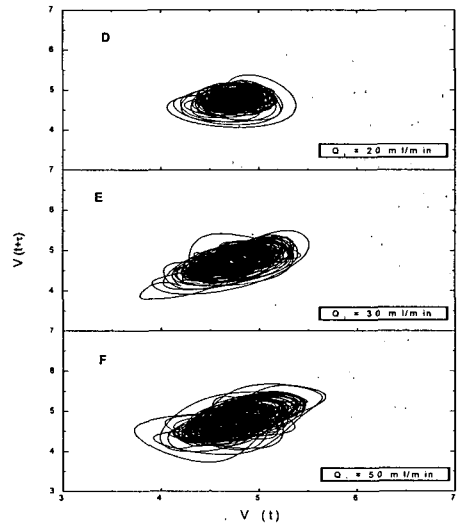


Fig. 12 Typical phase space portraits in the tube ($W=20\%$, $L=0.5m$)

한 값이다. 평균값은 각각 4.67V, 4.72V, 4.78V를 약간씩 증가하는 경향을 보이고 있다. 이는 거리가 증가함에 따라서 전압 진폭의 크기가 감소하는 경향임을 알 수가 있다.

Fig. 13의 시계열 자료를 가지고 이 계에서의 더 자세한 정보를 파악하기 위해 스펙트럼 해석을 Fig. 14에 나타내었다.

이 그림에서 거리 변화에 따른 PSD를 보면 카오스화 양상이 줄어들고 있음을 알 수가 있다. 이는 유화연료가 시간의 흐름에 따라서 관로를 통과하면서 약간의 합일(coalescence) 현상이 일어난다고 사료된다.

Fig. 15는 거리변화에 따른 주 진동수의 영향에 대해서 나타낸 것이다. 그림에서 보듯이 거리가 증가함에 따라서 주 진동수는 작아지거나 비슷함을 보이고 있다. 함수량 30%일 때 0.5m 대비 2.5m는 1.2%의 감소를 보였다. 이는 초음파에 의해서 제조된 유화연료가 시간이 변하면서 관로 내로 흐를 때 유화연료로서 안정화가 형성되어 흐르고 있다고 사료된다.

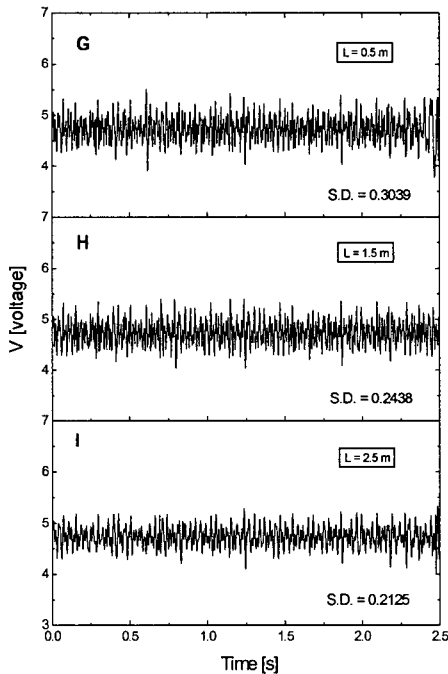


Fig. 13 Typical voltage fluctuation signals in the tube ($W=20\%$, $Q_L=30\text{ml/min}$)

Fig. 16은 거리변화에 따른 관로내에서 시계열이 갖고 있는 동적인 거동의 기하학적인 형태를 살펴보기 위해 적절한 τ 를 선정해서 위상공간에 재구성하여 나타낸 끌개이다. 그림에서 보듯이 거리가 멀어짐에 따라서 끌개의 크기와 분산 정도가 감소했음을 알 수가 있는데, 이는 정보가 수렴하는 결정론적 계임을 보이고 있다.

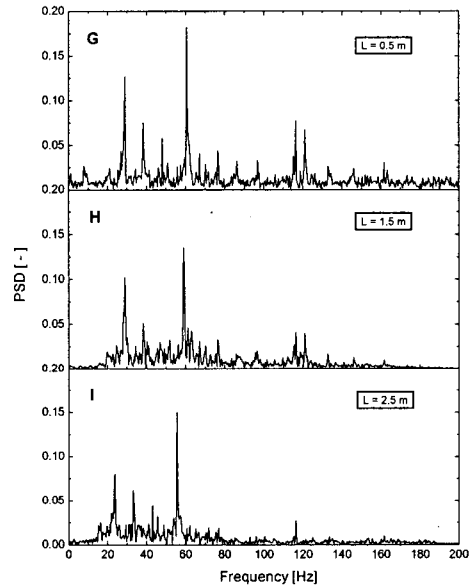


Fig. 14 Typical power spectral density function of voltage fluctuation ($W=20\%$, $Q_L=30\text{ml/min}$)

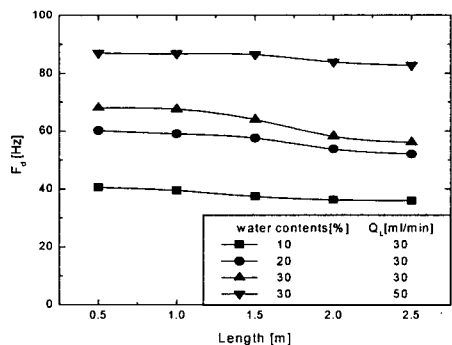


Fig. 15 Effects of distance on fluctuating frequency in the tube ($W=20\%$, $Q_L=30\text{ml/min}$)

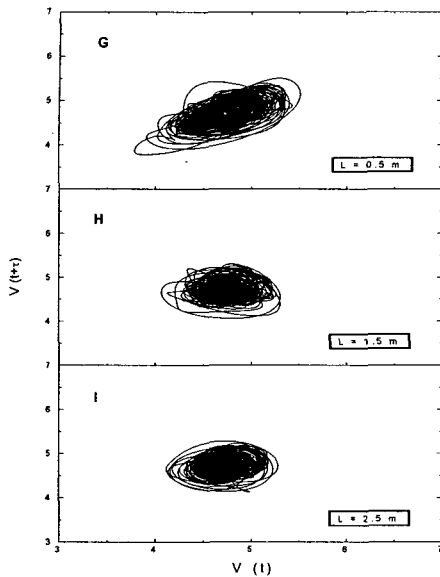


Fig. 16 Typical phase space portraits in the tube ($W=20\%$, $Q_L=30\text{ml/min}$)

5. 결론

본 연구는 유화연료로서 유화제를 사용하지 않고 초음파에 의해 제조된 유화연료를 관로내에서 흐르게 하여, 이의 유동특성을 카오스 방법으로 해석하므로 전압변동 자료의 끝개와 파워스펙트럼밀도(PSD)로 유화연료의 관로내 흐름의 유동특성을 정성적으로 파악할 수 있었다.

(1) 관로내에서 유화연료는 함수량에 따라서 진동수가 증가하였다. 함수량 30%일 때는 함수량 5%대비 1.8배의 진동수 증가를 보였다. 또한 유량에 따라서도 5ml/min인 경우 2ml/min대비 50%의 진동수 증가를 보였다.

(2) 거리의 증가에 따라서는 수량 30%일 때 0.5m 대비 2.5m는 1.2%의 주진동수가 약간 감소

하는 경향이 나타났다.

(3) 유화연료의 유동특성을 결정하는 인자로서 주로 미치는 영향은 함수량, 유량 그리고 거리의 순서에 따라서 지배적으로 변하는데, 함수량과 유량에 따라서는 비례하고, 거리에 따라서는 반비례하는 경향을 나타내고 있다.

(4) 초음파에 의해 제조된 유화연료가 측정영역 내의 관로를 통해 흐를 때 연료로서 안정되게 형성됨을 알 수가 있다.

따라서, 실제 기관에서는 관로 적용시 함수량, 유량, 거리에 따른 결과를 이용하면 유화연료의 특성에 맞는 관로를 설계할 수 있을 것으로 사료된다.

참고문헌

- (1) Eungseo Kim, 1991, "Study on Combustion Characteristics of High Pressure-Direct Injection in Diesel," *Agency for Defence Development 1st Report in 1991*.
- (2) Research Society of Emulsion fuel, 1998, "Study on Emission decreased by Emulsion Fuel," *Japan Marine Machinery Society*, No. 304
- (3) Kaziya Suhy, 1990, "Study on W/O Type Emulsion Fuel(Flow Characteristics)," *JSME(B)*, No 56-531, pp. 3542~3547.
- (4) Godelle, J., etc., 1997, "Use of the Theory of Nonlinear Dynamical Systems to Study the Growth of Perturbations in an Excited Water Jet," *Proceedings of ICLASS-97*, pp. 117~124.
- (5) Aihara Gazyuki, 1996, "Easily Read Chaos," *Handdeud Publishing Co.*
- (6) Yamadaguchi Masaya, 1996, "Chaos & Fractal," *Radio Science Publishing Co.*
- (7) James Gleick, 1995, "Chaos : Making a New Science," *Dongmoon Publishing Co.*