

平行空氣流에 의한 液膜流 表面波의 分裂機構에 關한 實驗的研究

An Experimental Study on Mechanism for the Disintegration of Liquid Film Surface Waves by a Parallel Air Flow

李 奎 榮* 梁 玉 龍**
G. Y. Lee, O. Y. Yang

ABSTRACT

This paper deals with an experimental study on the initial condition of liquid film surface waves disintegration and investigation on the behavior of liquid film surface waves formed by the high speed air flow on the solid plane surface.

The authors conducted the qualitative and quantitative study to investigate the liquid film flow phenomena, the liquid film disintegration mechanism, and droplet formation process with breaking the liquid film surface wave. The newly devised transparent rectangular test section which has semi-two-dimensional flow at the center of the bottom was introduced to perform the experimental study, and it can generate the uniform thickness liquid film at the bottom. The strobo streak camera was used to obtain the instantaneously transformed photographs.

The electronic measuring device was also used to measure the liquid film thickness variation in order to perform the easy and effective analysis of complex flow phenomena in the air-water cocurrent flow.

기 호 설 명

- h : 액막두께 (μm)
- L : 노즐로부터 거리 (mm)
- Q_L : 액막류의 단위시간, 단위폭당 질량 유량 (Kg/hr-m)
- $P_{(f)}$: Power spectral density (mm^2)
- $P_{(f)max}$: 최대 Power spectral density (mm^2)
- R_{ea} : 공기 레이놀즈 수
- R_{eL} : 액막류 레이놀즈 수
- S^2 : 분산 (mm^2)
- t : 시간 (sec)
- V_a : 공기유속 (m/s)

1. 서 론

고체평면상의 액막류에 고속공기류를 유동시키면 액막류표면에는 파가 발생되며, 생성된 파의 진폭이 증가하여 액막은 액적으로 분열한다. 이와 같은 현상은 일반적으로 액막류가 흘러내리는 증발기, 원자로로심, 냉각기의 수냉벽, 2 유체미립화 노즐, 가솔린엔진의 흡기관벽 등 여러가지 장치에서 일어나는 현상이다.

이들 시스템의 성능은 주로 이들 액막의 거동에 크게 영향을 받는다. 지금까지 이 분야 연구자들은 액막분열의 특성 및 응용을 이해

* 인하공업전문대학 기계과
** 인하대학교 공과대학 기계공학과

하기 위한 많은 노력이 기울여왔다. 그러나 위에 언급된 유동현상을 포함한 이들 다양한 특성 및 분열은 주로 액막의 입자형성과 그것이 열전달과 물질전달에 어떻게 영향을 미치는가 하는데 주안점을 두고 수행한 연구가 대부분이었고 이들 액막분열을 2유체 미립화장치에 필요한 기초연구로서 수행한 연구는 거의 없다. 2상류유동 및 2유체미립화 장치개발에 있어 액막류의 분열에 대한 기구 및 분열개시점에 대한 데이터를 얻는 것은 이들 및 관련 분야 연구에 매우 중요한 문제이다.

고속공기류에 의한 액막류의 분열에 관한 연구는 많은 연구자들에 의하여 수행되어져 왔다. 액막류가 분열하여 액적으로 되는데 있어 공기와 물의 상호접촉면에 파의 형성과 불안정성이 큰 역할을 한다고 J. L. York¹⁾ 등에 의하여 보고되었고 또 불안정성 이론에 대한 수학적 해석을 수행 액막분열기구를 설명하는 무차원식을 유도하였다.

J. J. Van Rossum²⁾은 5.9×5.9 inch 풍동의 액막류에 대한 레이놀즈 수와 웨버수를 포함하는 상관관계에 의하여 미립화에 대한 임계조건을 해석하였다. 충돌 공기류에 의한 액막류의 미립화는 R. P. Fraser와 그의 동료³⁾들에 의하여 연구되었으며, 그들은 액막이 공기류의 즉각적인 충돌로 분열되기 보다는 굴절된다는 것을 지적하였다. 또 액막표면의 파는 충돌지점으로부터 시작되며, 그 액막은 불안정한 액사(ligament) 형성을 통하여 액적으로 분열한다는 것을 밝혔다. Woodmansee와 Hanratty⁴⁾ 등은 12×1 inch 풍동에서 2상류에 대한 미립화기구와 임계조건에 대하여 연구하였다. Nagai와 Inamura⁵⁾는 고체벽면상 액막류에 고속공기류에 의한 액막의 분열을 이론과 실험으로 수행하였으며, 액막의 분열기구와 분열조건을 구하였다. R. P. Fraser와 Inamura를 제외한 대부분의 연구자들은 액체미립화장치를 염두에 두지 않은 일반적인 2상류유동에 관한 연구가 대부분이었다.

본 연구에 있어서 저자는 액체미립화장치 개발에 필요한 액막류의 분열기구를 실험적으

로 구멍 2류체미립화 장치 및 액막 미립화기구에 관한 기초자료를 얻고자 한다. 이와같은 목적을 달성하기 위하여 장방형단면 중앙에 액막을 형성, 준 2차원풍동을 이용, 스트로보 스트릭 카메라(Strobo Streak Camera)에 의한 순간연속사진, 전기저항에 의한 액막두께변동 측정 및 데이터 에퀴지션(Data Aquisition)에 의한 파워워 스펙트럼(Power Spectrum)을 통한 해석을 행하였다.

2. 실험장치 및 실험방법

2.1 실험장치

균일한 두께의 액막류를 형성하는 준 2차원 투명 아크릴 4각 단면 테스트 섹션(Test Section)을 제작하였으며, 액막류는 그 테스트 섹션 바닥 중앙 고체벽면 위를 흐르게 하였다. 스트로보 스트릭 카메라는 그 상면과 측면에 장치하여 촬영하였다. Fig.1에 본 실험장치 개요도를 표시하였다. 그림에서 공기는 주어진 공기유속으로 설정되어 써어지 탱크(Surge Tank)(5)를 통하여 테스트 섹션(15)로 유입된다. 이때 공기는 테스트 섹션에 도입되기 직전 정류기(Hony Comb)를 통과하게 된다. 액막 형성용 물은 원심펌프(10)에 의하여 가압되어 불순물 제거용 필터(24)와 로터 미터(Roter Meter)(9)를 통과한후 정류용 필터(7)를 지나 테스트 섹션에 도입된다. 이 도입된 물은 노즐(Nozzle)을 통과 일정두께의 액막을 형성한다. 액막두께 형성용 물은 회수탱크(16)으로 회수되어 재순환한다. 액막형성용 물의 유량은 로터 미터(9)로 측정되며 유량의 조절범위는 1013 Kg/hr - m 3643 Kg/hr - m로 레이놀즈 수로는 280-1050 이었다. 각 지점에서 실험 데이터를 얻기 위하여 카메라(22), 스트로보스코프(23), 오실로 스코프(13), 액막두께 측정장치(12) 등이 사용되었다. 액체미립화 연구에서는 가시화가 중요하기 때문에 사진촬영을 위하여 테스트 섹션은 5mm두께의 투명 아크릴로 제작하였다. 물은 2mm두께 노즐을 통하여 테스트 섹션 단면크기(높이×폭, 28mm×

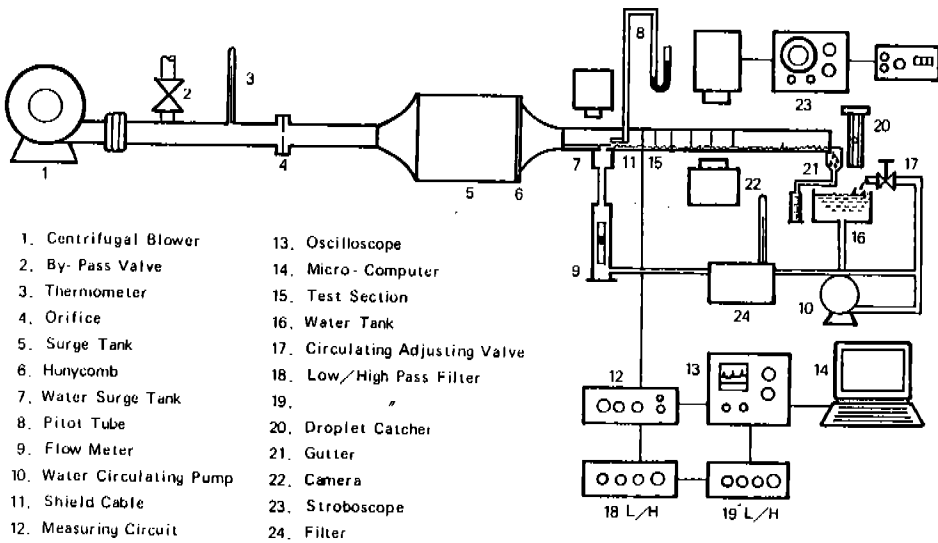


Fig. 1 Schematic Diagram of Experimental Apparatus

120mm) 중앙에 형성된 홈(깊이×폭, 2mm×35mm)으로 분출된다. 노즐과 홈의 폭은 준 2차원 흐름상태로 하기 위하여 또 측벽에 분열된 액적의 부착으로 인한 미립화 현상의 촬영이나 관측의 어려움을 제거하기 위하여 테스트 썩손 쪽에 비교하여 상대적으로 좁게 하였다. Fig. 2에 테스트 썩손의 상세도를 보여 주고 있다.

2.2 액막두께 측정장치와 측정 프로브

순간액막두께를 보다 정확하고 편리하게 측정하기 위하여 액막에 두개의 수직한 평행도선(Wire)을 2mm간격으로 설치하고 그 사이의 물의 전기저항을 전압으로 변환하여 측정하였다. Fig. 2에 프로브(probe)를 부착한 테스트 썩손의 계략도를 보여주고 있다. 첫번째 프로브는 노즐출구로부터 20mm 위치에, 그뒤 3개의 프로브는 1번 프로브로부터 각각 하류방향으로 10mm 간격으로 설치되어 있고 그 나머지 3개의 프로브는 20mm 간격으로 설치되어 있다. 이 측정용 프로브의 도선은 유동에 장애를 거의 미치지 않을 만큼 충분히 얇은 0.07mm Ni-Cr 선을 사용하여 공기 및 액막 유동에 유동장애를 가능한 범위에서 최소화하도록 하였다. Fig. 3은 액막류두께 측정장치의

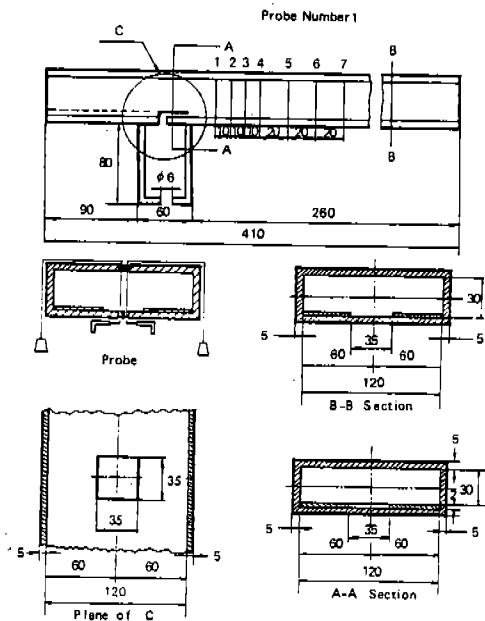


Fig. 2 Details of Test Section

전자회로도이다. 액막을 통과한 극히 미세한 전류는 프로브의 극성화를 피하기 위하여 시그널 제너레이터(Signal Generator)의 ±0.8 Volt 70KHz 정현파 출력을 사용하였다. 이 입력된 신호는 액막을 통과하는 과정에서, 액막두께에 비례하는 70KHz 고주파 성분이 증폭된 신호로 변환된다. 또 이 신호는 증폭기(O. P. Amp, μ-741)에서 증폭된후 부의값은

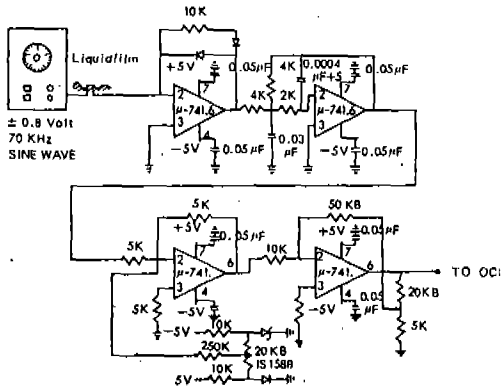


Fig. 3 Circuit of Liquid Film Thickness Measurement

차단하고, 적분기에서 70 KHz 고주파 교류성분을 제거하고 재증폭된후 버퍼(Buffer) I. C 를 거친뒤 오프셋 룰(Off-Set Rule)에서 오프셋을 제거하여 A/D 변환기 및 오실로스코프로 입력된다. 이때 O. P. Amp의 전원은 A/D 변환기 허용전압 -0.3 ~ 5 Volt를 초과 않도록 +5 V를 가하여 출력도 이 범위를 넘지 않도록 하였다.

3. 실험결과와 고찰

3.1 액막류 표면파의 형상

액막류의 유동현상은 테스트 색손 윗 쪽에서 스트로보 스트릭 카메라로 촬영하였다. 스트로보광은 테스트 색손 아래쪽으로부터 윗쪽으로 0.05sec 간격으로 조사하였다. Fig. 4는 노즐출구로부터 100mm 하류에서 액막류의 연속적인 순간사진이다. 이 경우, 액막유량은 $Q_L = 1527 \text{ Kg/hr-m}$ 로 공기유속을 $V_a = 15 \text{ m/s}$ 로부터 $V_a = 55 \text{ m/s}$ 까지 변화시켰다. Fig. 4를 관찰하면 공기유속 $V_a = 15 \text{ m/s}$ 와 $V_a = 20 \text{ m/s}$ 인 경우 노즐출구로부터 일정거리에서 2차원파(Two-dimension)파가 출현하여 시간경과에 따라 하류로 전파한다. 이들 파는 하류로 전파되어 가며 점차 잔잔한 리플파(Ripple wave)를 만들며 3차원(Three-Dimension)파형으로 변화한다. 공기속도가 증가

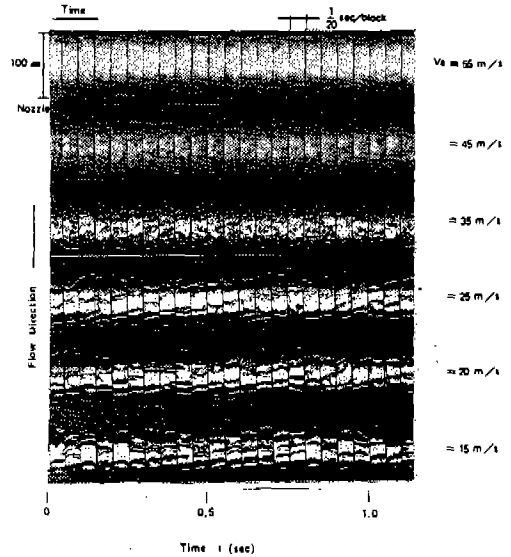


Fig. 4 Variations of Surface Wave of Liquid Film Flow with Air Flow Velocity ($Q_L = 1527 \text{ Kg/hm}$, $L = 50 \text{ mm}$) (Plane View)

하여 $V_a = 35 \text{ m/s}$ 로 되면 노즐출구 바로 근처부터 롤파(Roll Wave)²⁾가 나타난다. 그리고 속도가 더욱 증가한 $V_a = 45 \text{ m/s}$ 와 $V_a = 55 \text{ m/s}$ 에서도 같은 경향이다. Fig. 5는 액막류 표면파의 길이방향 단면사진을 테스트 색손 측면에서 스트로보 스트릭 카메라로 촬영한 것이다. 스트로보 광은 2mm폭의 슬릿(Slit) 광으로 0.025초 간격으로 테스트 색손 중앙 위치에서 위로부터 아래로 조사하였다. 이 경우 액막유량은 $Q_L = 1527 \text{ Kg/hr-m}$ 이고 공기유동속도는 $V_a = 15 \text{ m/s}$ 로부터 $V_a = 55 \text{ m/s}$ 로 변화시켰다. 이들 길이방향 단면사진을 Fig. 4의 표면파의 평면사진과 비교하면 서로 잘 일치하는 것을 보여준다.

공기유속을 $V_a = 35 \text{ m/s}$ 이상으로 하면 액막류는 분열하기 시작하며 공기유속 증가에 따라 분열영역내로 들어가며 액막이 분열된다.

테스트 색손 상면으로부터 촬영한 사진, Fig. 4와 측면의 길이방향 단면사진, Fig. 5를 비교하여 보면, 2-D 파에서는 분열이 발생하지 않으나, 3-D 파에서는 활발히 일어나고 있으며 이와같은 경향은 다른 연구자들의 연구에

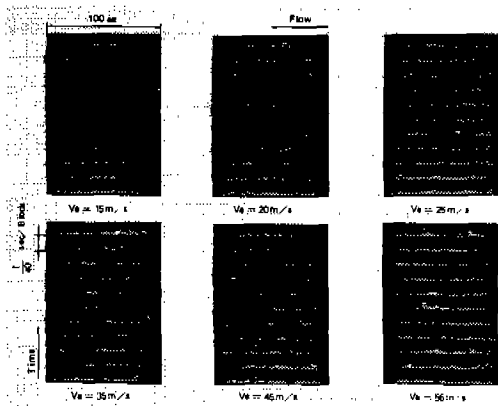


Fig. 5 Variations of Surface Wave of Liquid Film Flow with Air Flow Velocity ($Q_L = 1527 \text{ Kg/hm}$)(Side View of Longitudinal Cross section)

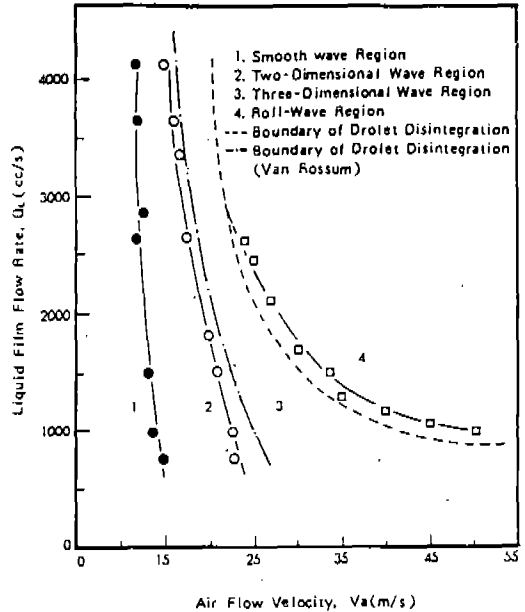


Fig. 6 Classification of Surface Wave Region of Liquid film Flow

(1961) 등이 정의한 물과 가 나타나는 영역 등으로 분류된다.

서도 같은 경향을 보여주고 있다. 액막류의 분열과 유동현상은 테스트 썩손 윗면으로부터 사진과 측면으로부터 사진을 관찰하여 분석하였다. 또 스트로보 스코프 광을 조사하면서 직접 나안 관찰도 동시에 수행하였다. 이들 현상과 분열현상을 정성적으로 분류하여 정리하면 하기와 같이 네가지 영역으로 분리된다.

평활유영역 : 공기유속이 매우 낮아 액막류가 평활한 흐름을 유지하는 영역을 말한다.

2-D파영역 : 평활유 영역에서 공기유속이 증가하여 테스트 썩손 모든 길이방향 단면형상이 거의 같은 형상을 유지하는 영역을 말한다.

3-D파영역 : 2차원 영역에서 더욱 공기유속이 증가하면 2차원파는 교란되어 길이방향 단면파형이 모든 단면에서 다른 불규칙한 파가 되는 영역을 말한다.

롤파 영역 : 3차원 파영역 공기유속에서 더욱 공기유속이 증가한 경우 큰 진폭의 긴 파장의 파에 높은 주파수의 진폭이 작은파가 중첩된 파로서 Cornish(1910)와 Hanratty

이들 분류방법을 기본으로 각 공기유속과 액막유량에 따라 각각의 영역을 분류하여 정리하면 Fig. 6과 같다. 그림에서 점선은 분열이 시작되는 영역을 표시하며, 1점쇄선은 Van Rossum²⁾의 유사한 결과를 보여준다.

분열개시의 조건은 측면사진과 액적이 테스트 썩손(28mm×120mm) 윗면에 부착하는 것을 관찰하여 얻은 결과이다. 관찰위치는 노즐 출구로부터 L=100mm 떨어진 위치에서 관찰하였다. Van Rossum의 연구결과와 차이는 상이한 관찰방법, 실험장치 및 테스트 썩손 크기 등에서 오는 것이라고 생각된다.

3.2 액막류 표면파의 전파속도

공기유속과 액막류 표면파의 상관관계는 Fig. 7에 정리하여 표현하였다. 액막류의 유량변화는 1527Kg/hr-m에서 3643Kg/hr-m까지 변화시켰다. 그림에서 실선은 액막두께 측정 전자장치로부터 측정된 데이터를 정리한 것이고 그외의 심볼은 액막 유량변화에 따라 길이

방향단면 연속순간 사진으로부터 얻은 데이터로 나타낸 것이다. 그림에서 보여주는 바와같이, 파의 전파속도는 공기유속 증가에 따라 거의 직선적으로 증가하고 있으나 액막 유량증가에 따른 영향은 극히 적은것을 알 수 있다.

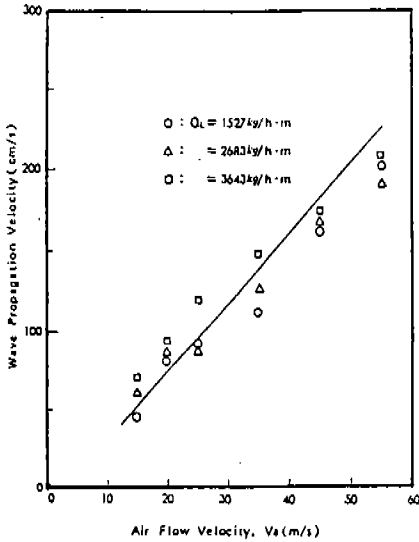


Fig. 7 Variations of Wave Velocity with Air Flow Velocity ($l = 80 \text{ mm}$)

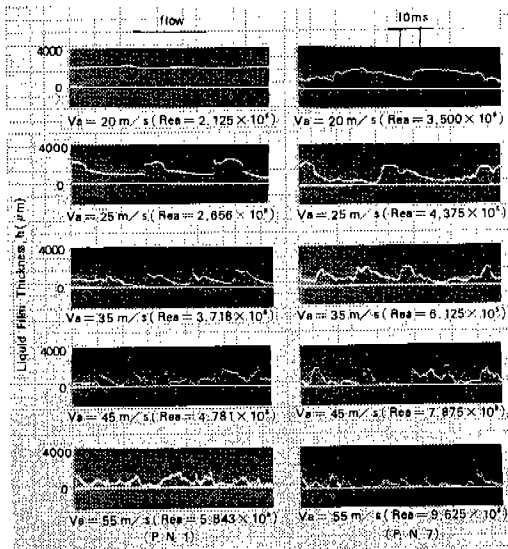


Fig. 8 Variations of Liquid Film Thickness with Air Flow Velocity ($Q_L = 1527 \text{ Kg/hm}$, $Re_L = 424$)

3.3 액막류두께의 시간경과에 따른 변화

액막류 유동현상 및 분열과 액막두께변화와 사이의 상관관계를 조사하기 위하여, 액막두께 측정 전자장치와 연결된 오실로스코프로 부터 얻은 액막두께변동신호 사진을 공기유속 변화 및 액막류 유량변화에 따라 Fig. 8과 Fig. 9에 정리하였다.

Fig. 8 에는 p. n. 1과 p. n. 7로부터 액막 유량 $Q_L = 1527 \text{ Kg/hr} \cdot \text{m}$, $Re_L = 424$ 인 경우 공기유속을 $V_a = 15 \text{ m/s}$ 로부터 $V_a = 55 \text{ m/s}$ 로 변화한 경우 얻어진 액막두께변동 사진이다 Fig. 8에서 보여주는 바와같이 측정위치가 최상류인 p. n. 1에서 액막두께 변동과형은 저공기유속인 $V_a = 20 \text{ m/s}$ 인 경우 평활한 모양을 보여준다. 여기에 공기유속을 약간 증가시킨 $V_a = 25 \text{ m/s}$ 에서는 규칙적인 2-D파가 나타나고 있다. 더욱 공기유속이 증가한 $V_a = 35 \text{ m/s}$ 인 경우 액막두께 변동과형은 3-D 파형으로 상대적으로 높은 주파수의 불규칙한 파형을 보여주고 있다. 공기유속이 더욱 증가한 $V_a = 45 \text{ m/s}$, $V_a = 55 \text{ m/s}$ 에서는 저주파에 주파수가 높은 고주파성분이 포함된 파를 보여

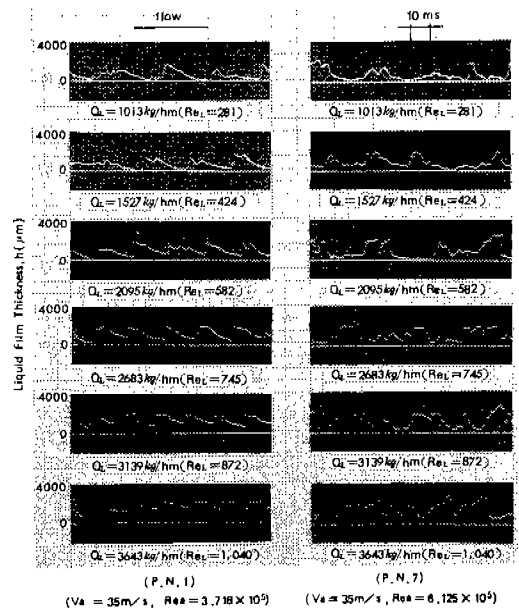


Fig. 9 Variations of Liquid Film Thickness with Liquid Film Flow Rate

주며 직접 촬영사진과 대비 잘 일치한다. p. n. 7인 좀더 하류위치에서는 공기유속이 매우 낮은 $V_a = 20\text{m/s}$ 인 경우라도 Fig. 8에서 보여주는 바와같이 비교적 규칙적인 저주파형상을 보여주고 있다. 이것은 액막이 하류로 진행함에 따라 공기로부터 액막으로 모우멘텀 전달의 증가로 하류로 갈수록 점차 파가 발생되고 발달되는 것이라고 생각되어진다. p. n. 1, 즉 상류와는 다르게 저주파 3-D 파가 공기유속이 $V_a = 25\text{m/s}$ 와 35m/s 에서 이미 나타나고 있으며 이들 3-D 파는 공기유속이 $V_a = 45\text{m/s} \sim 55\text{m/s}$ 로 증가함에 따라 더욱 주파수가 증가하며 상류에서와 같이 롤 파로 변화한다. Fig. 9는 p. n. 1 과 p. n. 7 에서 공기속도를 $V_a = 35\text{m/s}$ 로 일정하게 놓고 액막유량변동에 따라 액막두께 시간변동을 보여주고 있다. 그림에서 보여주는 바와같이 액막두께변동파형은 상류부근인 p. n. 1 에서 상당한 규칙적인 파형변동을 보여주고 있다. 이와 같은 현상은 하류로 갈수록 액막유량증가에 따라 액막두께 변동파형은 불규칙하며 주파수가

다소 증가하는 경향이 있다.

3. 4 액막두께변동파형의 저주파, 고주파 성분

액막두께변동파형은 최대주파수는 대략 1.5 kHz로 저주파성분과 고주파성분의 액적발생기구와 상관관계를 관찰하기 위하여 하이 패스 필터(High Pass Filter)를 이용 저주파성분을 차단하여 원래의 파형과 비교 검토하였다. 하이 패스 필터 차단주파수는 1KHz로 하였으며 오실로스코프 2 채널(Channel)에서 윗쪽 채널은 고주파성분 아래쪽은 본래의 파형을 같은 시간대로 하기 위하여 찹핑(Chopping) 상태로 놓고 촬영하였다.

Fig. 10과 Fig. 11은 p. n. 1 과 p. n. 7 에서 액막유량 $Q_L = 1527\text{Kg/hr-m}$, 2683Kg/hr-m 로 일정하게 유지하면서 공기유속을 $V_a = 25 \sim 65\text{m/s}$ 로 변화시키면서 측정된 2종류파형 사진의 대비를 보여주고 있다. 이 그림들로부터 알 수 있는 바와같이 저주파 고진폭 정상부의 고주파성분의 파는 저공기유속인 2

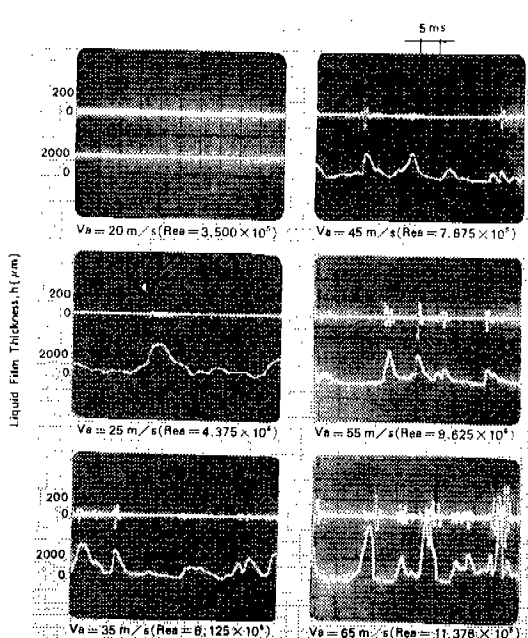
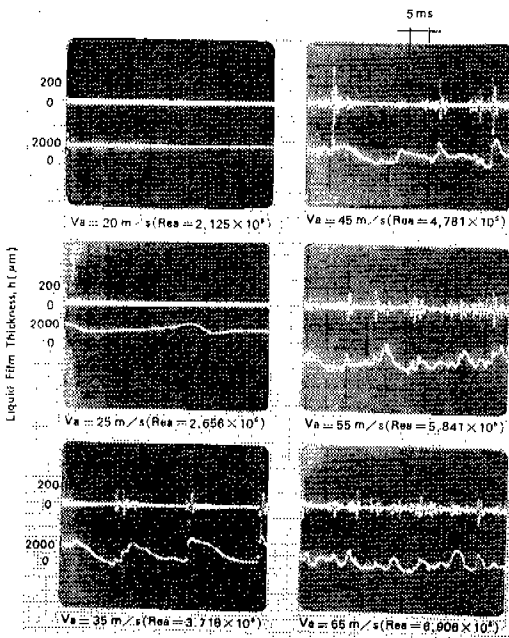


Fig. 10 The relations Between Low Frequency Waves and Topped Ripple Waves (p. n. 1, $Q_L = 2683\text{ Kg/hm}$, $Re_L = 745$)

Fig. 11 The relations Between Low Frequency Waves and Topped Ripple Waves (p. n. 7, $Q_L = 1527\text{ Kg/hm}$, $Re_L = 424$)

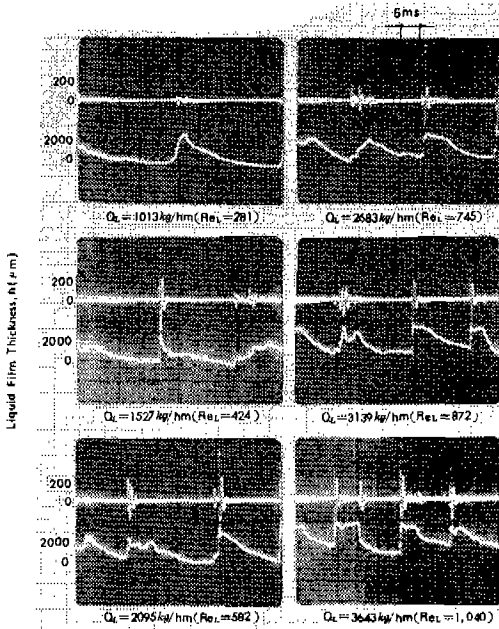


Fig. 12 The relations Between Low Frequency Waves and Topped Ripple Waves (p. n. 1, $V_a = 35 \text{ m/s}$, $Re_a = 9.625 \times 10^5$)

-D 과 경우 정상부에서는 관찰되지 않는다. 그러나 이 2-D파가 액적을 발생 하는크게 관련된 3-D파와 물 파로 되는 영역이 되면 저 주파의 정상부나 파의 급격한 구배가 발생하는 부근에 고주파성분의 파는 흡사 Free Vibration이 감쇄되는 것과 유사한 현상을 발생한다. 이것은 표면파의 정상부에 공기류의 난류로 인한 순간 압력변동이나, 공기류의 전단력으로 파의 정상부가 분리 이탈되어 액적이 발생된후 표면장력 등으로 인한 복귀되는 정상부의 진동이 감쇄되는 것이라고 생각된다. 이와같은 감쇄진동에 의한 과도응답 현상(Underdamped Vibration)은 상류위치인 p. n. 1에서 $V_a = 35 \text{ m/s}$ 인 경우나, 하류인 p. n. 7의 $V_a = 55 \text{ m/s}$ 인 경우에서도 잘 나타나고 있다.

3.5 액막두께 변동파형의 분산

실험적연구에 있어서 변동성분(Fluctuation 량)의 분산 또는 2 차모우멘트는 종종 변동성

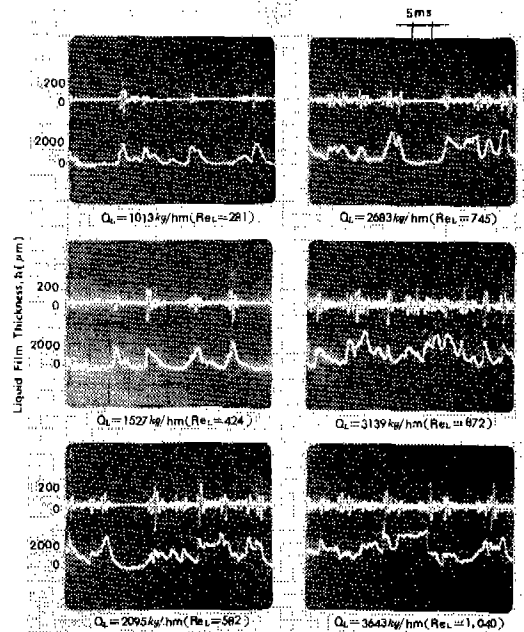


Fig. 13 The relations Between low Frequency Waves and Topped Ripple Waves (p. n. 7, $V_a = 55 \text{ m/s}$, $Re_a = 9.625 \times 10^5$)

분의 통계적크기를 조사하기 위하여 사용된다. 일정 액막유량하에 p. n. 7의 위치에서 액막 두께변동과의 2 차모우멘트와 공기유속과의 관계를 Fig. 14에 보여주고 있다. 이 결과를 Fig. 6에서 얻어진 결과와 비교하면 분산(Variance)는 액막분열이 발생하는 조건 근방에서 최대값을 갖는다는 것을 보여주고 있다. 이 결과로부터 액막의 분열은 액막두께 변동성분이 최대로 되는 근처에서 발생하기 시작한다는 것을 알 수 있다.

3.6 액막두께 변동성분의 Power Spectral Density (P. S. D.)

액막두께 변동성분의 P. S. D.는 액막류 두께변동의 랜덤 데이터(Random data)에 대한 P. S. D.는 그의 자승평균치의 Spectral Density에 의해서 데이터 전체의 주파수 성분을 나타낸다. 랜덤 데이터의 자승평균치는 액막류 두께변동의 에너지를 나타내는 것이므로 P. S. D. fuction 은 매우 좁은 유동장의 주파

수 f 와 $f + \Delta f$ 사이의 에너지변동을 나타내는 것이다.^{7),8)} 본 연구에 있어서 P. S. D.는 액막두께측정장치로부터 신호를 A/D 컨버터를 통하여 컴퓨터로 입력하여 Cooley-Tukey^{7,8)} 방법에 의하여 계산하였다.

이와 같이 구한 P. S. D.는 Fig. 15에 3차원 그래프로 표시하였다. 그림에서 보여주는 바와같이 최대분포 P. S. D.는 공기유속이 증가하면 주파수가 높은 쪽으로 이동하고 있는 것을 보여준다. 이것은 공기유속이 증가하면 액막유동파의 주파수는 증가하며 이로 인하여, 액막이 높은 주파수의 진동 에너지를 갖게 되어 액막의 분열이 촉진되는 것으로 생각된다.

4. 결 론

본 연구에 있어서 고체표면상 액막류의 분열과 미립화 현상을 구명하기 위하여 준 2차

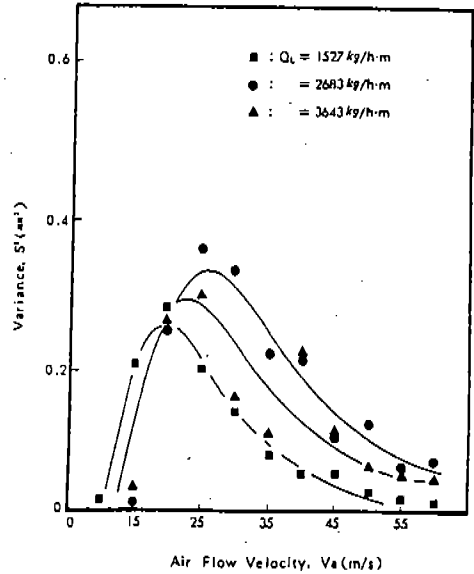


Fig. 14 Variance of Liquid Film Thickness with Air Flow Velocity (p. n. 7)

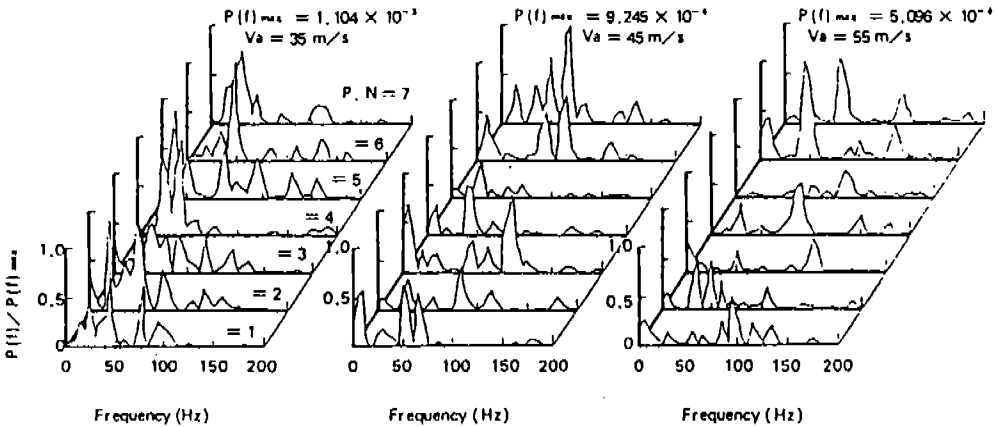


Fig. 15 Power Spectral Density of liquid Film Surface Wave ($Q_L = 2683 \text{ Kg/hm}$, $Re_L = 745$)

원 투명 아크릴 덕트를 제작 이용하였으며, 액막두께변동과 액적분열 및 액적발생기구의 상관관계를 구명하기 위하여 액막류두께 측정장치 및 측정프로브(Probe)를 개발하여 연구한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 액막류두께변화는 공기유속변화에는 큰 영향을 받으나 액막유량에는 큰 영향을 받지 않는다.
- 2) 저 공기유속에 있어서 액막류 표면파의

모양은 낮은 주파수의 규칙적인 모양을 보여 주고 있다. 그러나 공기유속이 증가함에 따라 극히 불규칙하고 높은 주파수의 파를 형성한다. 이것을 액막유량과 공기유속에 따라 분류하면 액막류표면파는 평활류역, 2-D파역, 3-D파역 및 물파역으로 분류되었다.

3) 하이 패스 필터로 저주파를 차단한 고주파성분의 작은파형은 저주파 정상부 및 파의 구배가 급격한 곳에서 최대진폭을 갖는

Underdamped Vibration 현상을 보여주고 있다. 이것은 액막의 분열이나 액적의 발생은 파의 정상부(진폭의 크기에 관계없이)에서 난류 속도변동으로 불안정한 힘이나 공기의 전단력, 파의 산마루에서 유선의 압축 등 압력진동으로 인하여 분열이 발생된다고 생각된다. 즉 모든 파의 정상부(Crest)에서 Kelvin-Helmholtz 기구에 의하여 액적이 발생하는 것으로 보여진다.

참 고 문 헌

1. J.L. Yoke, H.E. Stubbs, and M.R. Tek, Ann Arbor, Mich., "The Mechanics of Disintegration of liquid Sheets," Transactions of the ASME, pp.1279-1287, October, 1953.
2. J.J. Van Rossum, "Experimental Investigation of Horizontal Liquid Films," Chemical Engineering Science Vol.11, pp.35-52, 1959.
3. R.P. Fraser, N. Dombrowski and J.H. Routley, "The Atomization of a Liquid Sheet by an Impinging Air Stream," Chemical Engineering Science, Vol.18, pp.339-353, 1963.
4. Donald E. Woodmansee and Thomas J. Hanratty, "Mechanism for the Removal of Droplets from a Liquid Surface by a Parallel Air Flow," Ch. E.S., Vol.24, pp.299-307, 1969.
5. Nobuki Nagai and Takao Inamura, "Disintegration of Liquid Flowing over the Solid Wall by High Speed Air," JSME, Vol.49, No.439, pp.609-619, 1983.
6. G.F. Hewitt, "Measurement of Two Phase Flow Parameters," Academic Press, London, pp.111-114, 1978.
7. Julius S. Bendat and Allan. G. Piersol, "Random Data Analysis and Measurement Procedures," WILEY INTERSCIENCE, 1971.
8. Robert K. Otnes and Loren Enochson, "Applied Time Series Analysis," Vol.1, John Wiley and Sons, 1978.