

〈논 문〉

수평 2상유동에서 마찰저항감소에 관한 연구

차 경 옥* · 김 재 근**

(1995년 9월 13일 접수)

A Study on the Drag Reduction in a Horizontal Two Phase Flow

K. O. Cha and J. G. Kim

Key Words: Polymer Solution(고분자수용액), Two Phase Flow(2상유동), Drag Reduction(마찰저항감소), Liquid Mean Velocity(액체평균속도), Turbulent Intensity(난류강도)

Abstract

The phenomena of drag reduction using small quantities of a linear macromolecules has attracted the attention of experimental investigations. It is well known that drag reduction in single phase liquid flow is affected by polymer materials, molecular weight, polymer concentration, pipe diameter and flow velocity. But the research on drag reduction in two phase flow has not intensively investigated. Drag reduction can be applied to phase change system such as chemical reactor, pool and boiling flow, and to flow with cavitation which occurs pump impellers. The purpose of the present work is to evaluate the drag reduction by measuring pressure drop, mean liquid velocity, and turbulent intensity and determine the effects of polymer additives on drag reduction in horizontal two phase flow. Experimental results show higher drag reduction using co-polymer comparing with using polyacrylamid. Mean liquid velocities increase as adding more polymer, and turbulent intensities decrease as the distance for the wall is inversed.

1. 서 론

순수 수용액의 유동시 미소량의 고분자물질을 첨가하여 난류유동을 시킬 경우 압력강하는 순수 수용액의 유동시 압력강하 보다 감소하는데 이 비율을 마찰저항 감소(drag reduction)라고 한다. 마찰저항 감소는 관벽으로부터 전단응력이 어느 임계치 이상일 때만 나타나는 현상이기에 이 임계치 이상에서 마찰저항 감소는 고분자물질의 분자량, 농도, 레이놀즈수의 증가에 따라 크지만 Virk⁽¹⁾의 최대

저항 감소 점근선에 의해서는 제한을 받는다. 난류 유동장내의 고분자물질이 강한 전단력을 받기 때문에 분자량의 감소와 함께 고분자의 마찰저항 감소 효과가 줄어드는데, 이러한 고분자의 기계적 퇴화 현상은 모든 고분자 용매계로부터 발생된다. 한편 2상유동계에서의 마찰저항 감소에 관한 연구는 단상류에 비해 매우 빈약한 실정이나 고분자물질 첨가에 따르는 마찰저항 감소현상은 냉난방 순환회로, 화학공정, 냉각탑, 열교환기 등 여러 산업기기에 적용할 수 있다고 본다. 특히 원유를 송유관에 유동시켜 각 지방으로 운송할 경우와 신도시의 열병합 발전소는 폐열을 이용하여 지역난방에 이용하고 있는데 이때 작동유체의 순환장치에 적용할 때 순환 펌핑력을 감소할 것으로 예측되고 있다. 2상

*회원, 명지대학교 기계공학과

**회원, 명지대학교 대학원 기계공학과

유동계에서 마찰저항 감소에 관한 연구를 살펴보면 Oliver 등⁽²⁾은 비뉴턴 액체와 기체 혼합물의 마찰저항 감소에 관한 대표적 연구를 살펴보면 Oliver 등⁽²⁾은 비뉴턴 액체와 기체 혼합물의 실험적 압력강하 상관식을 얻어서 Lockhart-Martinelli 상관식⁽³⁾과 비교 검토하여 수정상관식을 제시하였다. 그의 연구 결과는 뉴턴 유체가 슬러그 영역에서 순환 유동양식을 창출하는 반면에 비뉴턴 유체는 기체 슬러그 주위로부터 유선의 변형을 창출하였다고 했다. 또한 비뉴턴 유체는 점탄성 성질이 있기에 난동 확장을 감소시킬 수 있기에 뉴턴 유체에 적합한 Lockhart-Martinelli 상관식과 불일치를 이루지만 액체 홀드업(hold-up) 값은 뉴턴 유체보다 비뉴턴 유체에서 더 높게 나타남을 제시하였다. 또한 Greskovich 등⁽⁴⁾은 물과 공기 등의 2상유동계에서 점탄성 고분자물질 palyox를 50 ppm 첨가한 결과 압력강하가 50%까지 감소하는 효과를 얻었다. Rosehart 등⁽⁵⁾은 수평관에서 공기-물 유동계에서 고분자물질을 첨가시켜서 연구한 결과 동일한 겉보기 액체 속도에서는 단상류인 경우보다 축방향 압력구배가 크다는 사실을 밝혔다. Sylverster 등⁽⁶⁾은 수평관에서 공기-물이 환상 분무 유동을 하는 경우 고분자물질을 100 ppm 첨가시킴으로써 겉보기 공기속도가 일정할 경우 겉보기 물속도의 증가에 따라 마찰저항 감소가 크게 나타남을 밝혔다. 이와 같이 2상유동시 마찰저항 감소 현상에 관한 연구의 관련 자료를 검토해 본 결과 2상유동시 대다수가 마찰저항 감소현상에 대한 고찰에 국한되었지 난류강도가 마찰저항 감소 현상에 미치는 영향을 규명하기 위한 연구는 찾아볼 수 없었다. 그러므로 본 연구의 목적은 수평관에서 기포류 유동시 두 종류의 고분자물질을 각각 첨가했을 때와 첨가하지 않았을 경우에 압력강하를 측정하여 고분자물질에 의한 마찰저항 감소율 및 난류 유동장의 반경방향의 액상 평균 속도와 난류강도를 측정하여 이들이 마찰저항 감소에 미치는 영향을 실험적으로 규명하는 데 목적을 두었다.

2. 이론적 배경

2.1 유동양식

2상유동계를 지배하는 파라미터들 중 보이드율 분포에 따라 형성되는 유동양식들은 계의 압력강하, 열전달, 각 상의 속도에 결정적인 영향을 줄

뿐 아니라 유동양식의 천이는 운동량, 에너지, 질량 이송의 변화를 초래하고 있다.

유동양식에서 분리유동은 기상과 액상이 하나의 연속적인 계면에 의하여 분리되는 유동으로 이에 속하는 유동양식은 성층류, 파상류, 환상류이다. 반면에 혼합유동은 기포류, 프러그류, 슬러그류와 같이 유동방향으로 상분포가 균일하지 못하며 각 상간의 운동량 교환이 활발하여 상분포의 변화가 심한 유동이다. 분산유동은 분산기포류, 액적과 같이 판단면을 통하여 매우 작은 직경의 기포나 액적들이 비교적 균일하게 유동하는 형태이다. 수평관에서 유동조건에 따라서 형성되는 유동양식은 기포류, 프러그류, 슬러그류, 성층류, 환상류 등이며 수직관에서는 기포류, 슬러그류, 처연류, 환상류 등으로 형성된다.

한편 이와같은 유동양식에 관한 초기의 연구들은 가시적 관찰을 이용하여 유동양식을 판별하였기 때문에 객관성이 결여되었으나 최근에는 열선 풍속계, 복사감쇄기, X-선 등의 측정기구와 광학 프로우브, 전도 프로우브 등이 다양하게 개발이 되어 이들을 이용한 연구들이 활발히 수행되고 있다. Zuber 등⁽⁷⁾은 X-선 측정기구를 개발하여 수직 기-액 유동계에서 형성된 기포류, 슬러그류, 환상류에 대한 통계적 분석을 수행하였다. Griffith 등⁽⁸⁾은 단일 전도 프로우브를 사용하여 기포류, 슬러그류, 환상류에 관한 연구를 하였으며 Matsui 등⁽⁹⁾은 압력 파동 성분을 통계적으로 처리하여 유동양식을 판별하였다.

2.2 2상류 압력강하

2상유동계에서 관 길이 방향으로 발생하는 압력강하는 식 (1)과 같이 마찰손실, 가속손실, 정압손실로 구성되지만 일반적인 관로서는 마찰손실이 압력손실의 주된 요인이 된다. 2성분 2상류가 수평관에서 유동을 하는 경우는 Lockhart-Martinelli-Nelson⁽¹⁰⁾이 제시한 상관식이 보편적으로 사용되고 있으나 2상 마찰계수의 질량속도에 따라서 오차 범위의 증감이 있기 때문에 여러 상관식들은 다양한 유동조건으로 개발되어 왔다.⁽¹¹⁾

$$\left(\frac{\Delta P}{\Delta L}\right)_{tot} = \left(\frac{\Delta P}{\Delta L}\right)_f + \left(\frac{\Delta P}{\Delta L}\right)_a + \left(\frac{\Delta P}{\Delta L}\right)_s \quad (1)$$

본 실험에서 압력강하는 시험부의 입·출구부에 스트레인 게이지 형식의 차압용 압력변환기를 설치

하여 식 (2)과 같이 계속하였다.

$$\Delta P = - \int_1^2 \left(\frac{\Delta P}{\Delta L} \right)_{tot} \Delta L \quad (2)$$

2.3 마찰저항 감소이론

난류현상과 고분자 자체가 아직도 완전히 해석되지 못한 상태이므로 난류에서의 마찰저항 감소 현상에 관한 이론적인 해석은 매우 난해하다. 마찰저항 감소 현상의 기구에 대한 몇가지 이론이 알려지고 있지만 종합적으로 정리하면 크게 완화결과 전단설로 나누어 설명할 수 있다. 전단설이라는 것은 고속류에 있어서 경계층의 바깥쪽 흐름으로부터 경계층 또는 점성저층으로 주입하는 에너지를 고분자가 절단함에 의해 흡수한다는 견해이다. 또한 고분자의 완화적인 변형에 의해서 난류 에너지를 흡수한다는 견해가 완화설인데, 이는 쇠상 고분자 용액의 점탄성에 대한 분자적 이론에 기인한 것으로 다음과 같다. 난류에 있어서는 분자의 운동량 확산이 전단 응력의 본체이며, 이 기구에 의해서 유체의 운동 에너지가 마찰열로 소산(dissipation)이 이루어지지만, 유속 및 경계층내의 속도구배가 크게 되면 유체의 작은 덩어리가 돌출하여 큰 운동량 수송, 즉 큰 전단 저항이 발생하는 난류로의 이행이

이루어진다. 그런데 경계층내에 만약 쇠상 고분자의 랜덤 코일(random coil)이 존재한다면 이것이 용이하게 변형하여 경계층내로 주입되는 에너지를 흡수하여 준다. 결국 랜덤 코일이 일종의 부가적인 에너지를 빨아들이는 입의 역할을 수행하게 된다. 점성저층으로부터 유체의 작은 덩어리가 돌출해 가는 대신에 고분자의 변형에 의해 에너지를 흡수하는 것이다. 결과적으로 흐름은 안정화되고, 랜덤 코일의 완화적인 변형에 의한 에너지 손실은 난류 혼합에 의한 것보다 훨씬 작기 때문에 보다 좋은 효율을 얻게 된다. 그러므로 난류 유동저항은 대폭적으로 저하되고, 고분자의 변형에 의한 에너지 흡수 또는 전단속도가 가장 큰 위치, 즉 벽면에서 난류억제가 실시된다. 그러므로 고분자는 벽면에서 최고로 난류의 성장을 억제한다는 것이다.

3. 실험

3.1 실험장치

Fig. 1은 본 실험에서 사용한 2상유동계 실험장치로 수평관 시험부내를 기-액 2상류가 유동하도록 설계, 제작되었다. 본 실험장치는 공기 압축기, 공기 분사기, 기-액 혼합부, 공기 및 물속도 계측부,

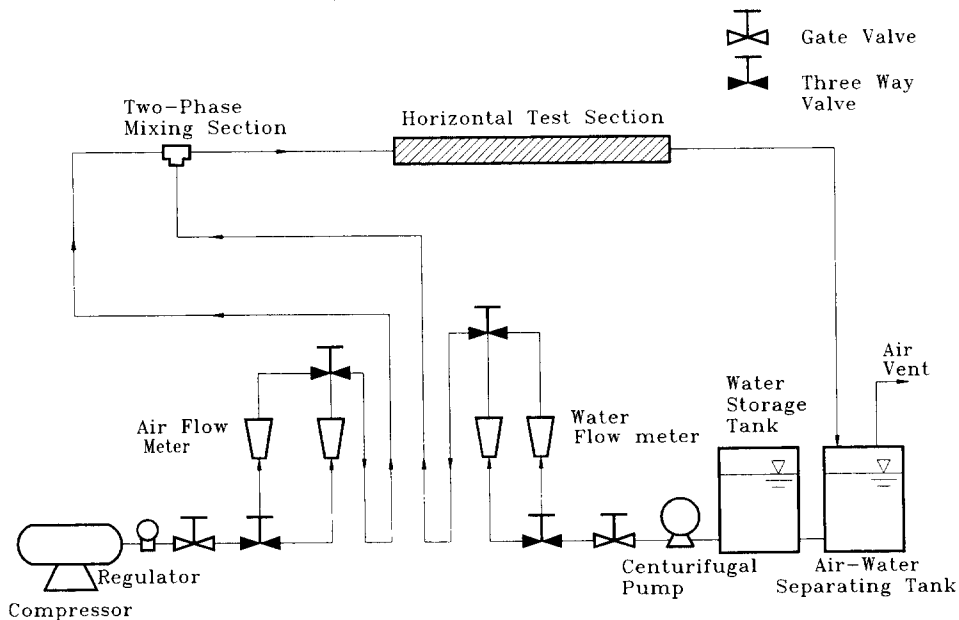


Fig. 1 Schematic diagram of the two phase flow facility

원심펌프, 기-액 분리탱크, 순환수 저장탱크, 시험부로 구성되어 있다. 공기 압축기에서 분사된 공기는 압력조절기에 의해 일정한 압력으로 조절된 후 순간 유량계를 통하여 기-액 혼합부를 거쳐 시험부로 유입된다. 또한 탱크내 순환수는 부식 방지용 내산 스테인리스 원심펌프에 의해 순간 유량계를 통하여 기-액 혼합부를 거쳐 시험부로 유입하며 시험부를 통과한 2상류는 기-액 분리탱크에서 분리된 후 순환수는 순환수 저장탱크에 저장된다. 공기와 순환수 유량은 시험부의 입구부에 소정의 유동양식이 형성되도록 관로에 장치한 게이트밸브로 각 상의 유량을 조절하였다. 각 상의 겉보기 속도 계측용 순간 유량계는 원심펌프와 공기 압축기에서 각 상의 최대 겉보기 속도를 계산하여 그 범위에 맞는 유량계를 선정하였다. 유량계의 보정은 단위시간당 관내에 흐르는 체적유량을 받아 검증하였다. 본 실험에서 사용한 작동유체는 순수 수용액과 고분자 수용액으로서 300 l 용량의 순환수 저장탱크에 저장하였다.

3.2 시험부

Fig. 2는 시험부를 도시한 그림으로서 가시화가 가능한 내경 24 mm, 두께 3 mm 인 투명한 아크릴관을 사용하였다. 수평관 시험부(A-1)는 완전발달되는 거리를 고려하여 2상류 혼합부로부터 4,800 mm (L/D=200) 떨어진 곳에 장착하였고, 시험부 입·출구 1,500 mm 사이에 차압계측 구멍을 직경 3 mm 로 뚫어서 스트레인 게이지 형식의 차압용 압력변환기를 설치하였다. 또한 유동하는 유체의 평균속도와 난류강도 측정을 위하여 차압측정시 사용한 시험부 입구의 구멍이 유동장의 속도와 난류강도에 영향을 미칠 것을 고려하여 시험부(A-2)를

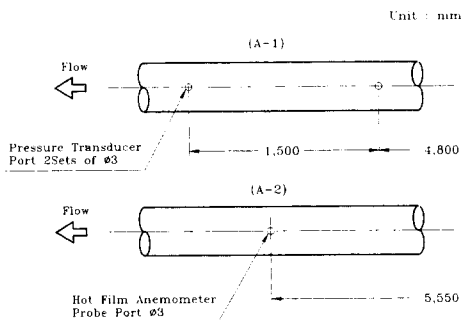


Fig. 2 Test section

교체하고 열선 프로우브의 계측 구멍을 전반부로부터 5,550 mm (L/D=231)인 위치에 3 mm 로 한 개 뚫었다. 유동양식 판별을 위한 전기 전도 프로우브는 열선 프로우브의 계측 구멍을 이용하여 교대로 장착하였다. 이때 열선 풍속계 프로우브와 전기전도 프로우브를 자유로이 이송할 수 있도록 미세 거리장치를 연결시켰다.

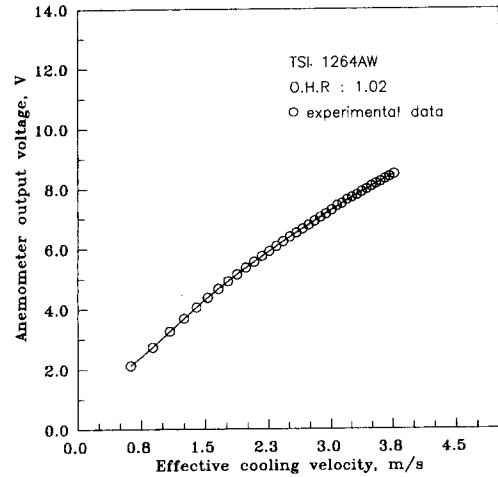


Fig. 3 Calibration result of hot-film

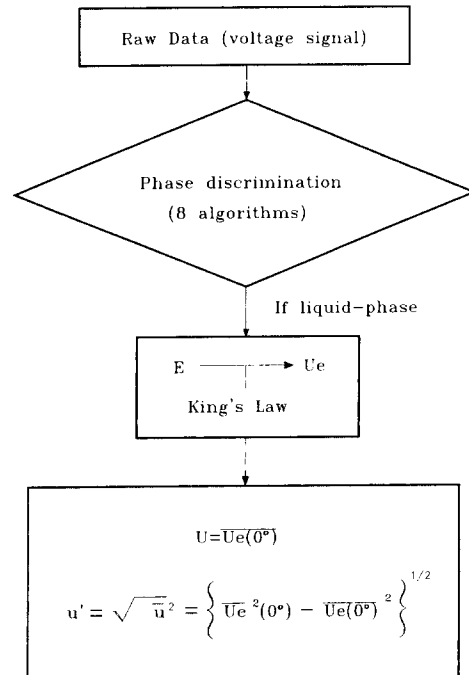


Fig. 4 Algorithm of the data analysis

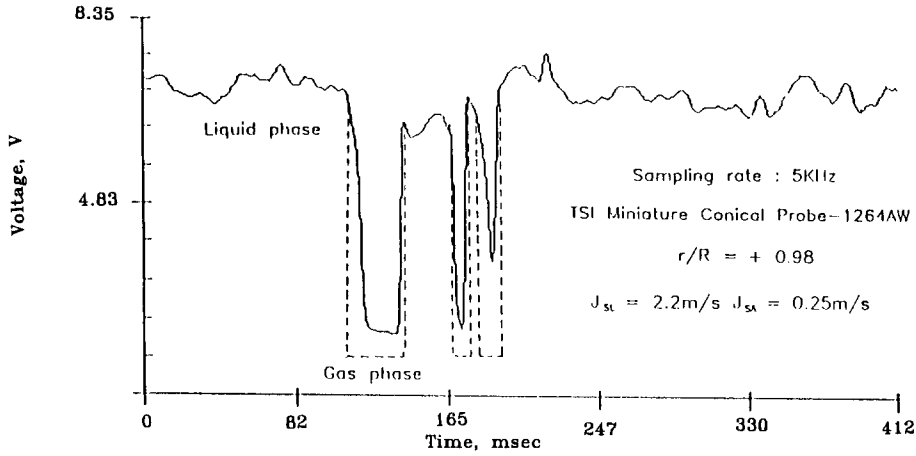


Fig. 5 Typical raw data and result obtained by the phase discrimination

3.3 실험방법

본 실험은 먼저 기포류의 유동양식 판별을 전기 전도 프로우브로 일정한 걸보기 속도하에서 관 중심과 관 중심 상부 2지점에서 전기 전도 프로우브의 출력신호를 계측하여 유동양식을 판별하였다. 전기전도 프로우브로부터 판별된 유동조건에서 시험부에 가시화 장치를 장착하고 사진촬영을 하여 기포류의 유동양식을 최종 판별하였다. 이렇게 판별된 기포류 유동시 순수 수용액과 고분자물질 두 종류의 농도를 변화시키며 시간에 따른 압력강하, 점도, 평균속도, 난류강도를 계측하였으며, 사진촬영을 병행하였다. 열선 풍속계의 원추형 프로우브를 관 상부로부터 2 mm 씩 하부로 이동하며 시험부 반경 방향에 따른 평균속도와 난류강도를 계측하여 액상평균속도와 난류강도를 산출하였다. 실험에 앞서 열선 풍속계 보정은 Fig. 3에 도시한 것과 같이 DISA Information에서 J. Pichon⁽¹²⁾이 제시한 방법으로 수행하였다. 액상평균속도와 난류강도는 Liu⁽¹³⁾가 제시한 방법으로 상분리를 하였으며 Fig. 4~5와 같다. 이때 열선 풍속계의 보정 오차는 ±5% 이다. 고분자물질의 용해방법은 1 l의 순수 수용액을 비이커에 넣고 폴리아크릴 아미이드 (PAAM) 또는 코폴리머 (A611P)를 첨가한 다음 교반기로 5분 동안 500 rpm 으로 교반시킨 후 다시 100 rpm 으로 10분 동안 교반시켰다. 이렇게 충분히 교반된 고농도 수용액이 Stock Solution이며, 이것을 299의 순수 수용액에 넣어 100 rpm 으로 1 시간 정도 더 교반시켰다. 이때 고분자물질이 15 gr, 30 gr, 60gr 일 때 교반된 50 ppm, 100 ppm,

200 ppm의 농도인 고분자 수용액은 순수 수용액 전체에 균일한 농도를 유지하도록 하루 동안 방치해 둔 후에 실험을 수행하였다.

4. 결과 및 고찰

4.2 유동양식 판별

전기전도 프로우브로 걸보기 물속도 (J_{sl})가 2.0 m/s, 걸보기 공기속도 (J_{sa}) 0.25 m/s 일 때 기포류

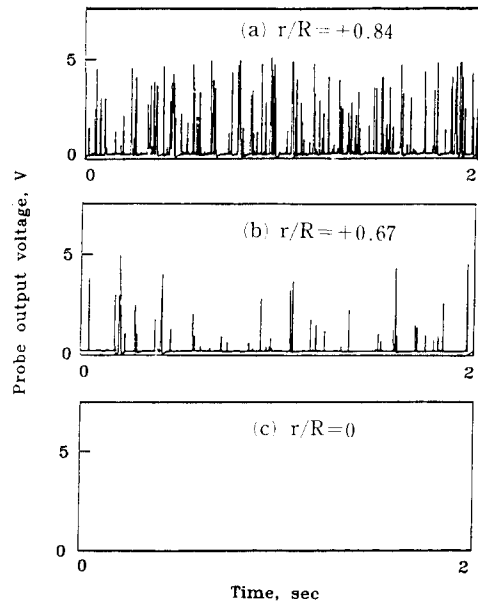


Fig. 6 Probe signal for bubbly flow at $J_{sl}=2.0$ m/s, $J_{sa}=0.25$ m/s

의 유동양식을 판별한 결과를 Fig. 6과 같이 도시하였다. 횡축은 신호를 계측하는 시간을 의미하며, 종축은 전기 전도 프로우브의 출력전압을 의미하는 것으로서, 5V는 전기 전도 프로우브의 센서 부분에 기상이 통과할 때 출력되는 신호이며 0V는 액상이 통과할 때 출력되는 신호이다. Fig. 5(A)는 시험부 반경비, $r/R=0.84$ 인 지점에서 프로우브로부터 검출된 신호로서 0V와 최대 출력전압 5V 사이에서 고주파의 파동경향을 나타내는데 이는 전도성인 액상과 액상속에 비전도성인 작은 기포들이 산재하여 프로우브를 통과함을 볼 수 있다. Fig. 5(B)는 $r/R=0.67$ 일 때로서 지배적인 액상의 유동속에 간헐적으로 기상이 지나감을 볼 수 있다. Fig. 5(C)는 $r/R=0$ 일 때로서 즉, 관 중심에서는 액상만 유동함을 볼 수 있다. 이는 기상의 밀도차에 의해 관상부에서 미소 크기의 기포가 유동함을 볼 수 있는 것으로 수평관의 전형적인 기포류임을

판별하였다. Fig. 7은 $J_{SL}=2.1\text{ m/s}$, $J_{SA}=0.25\text{ m/s}$ 일때 사진촬영한 것으로서 수평관에서 전형적인 기포류가 유동함을 알 수 있다. 이때 카메라 촬영 속도는 1/400초이다.

Fig. 8~9는 순수 수용액과 PAAM 수용액, A611P수용액의 농도를 각각 50 ppm, 100 ppm, 200 ppm 으로 되게 첨가하여 유동시간 30분 후 사진 촬영을 도시한 그림으로서 고분자물질의 농도를 증가할수록 기포의 합체현상으로 기포가 성장되어 유동양식이 천이됨을 알 수 있었다. 이는 비뉴턴 유체인 고분자 수용액이 기포 주위로부터 유선의 변형을 창출하므로 기포의 합체 현상을 초래한다고 사료된다.

4.2 압력강하 및 마찰저항감소

Fig. 10은 $J_{SA}=0.25\text{ m/s}$ 일 때 고분자물질을 첨가하지 않았을 경우와 고분자물질을 첨가하였을 경우

Only two phase
 $J_{SL}=2.0\text{ m/s}$, $J_{SA}=0.25\text{ m/s}$
 shutter speed: 1/4000

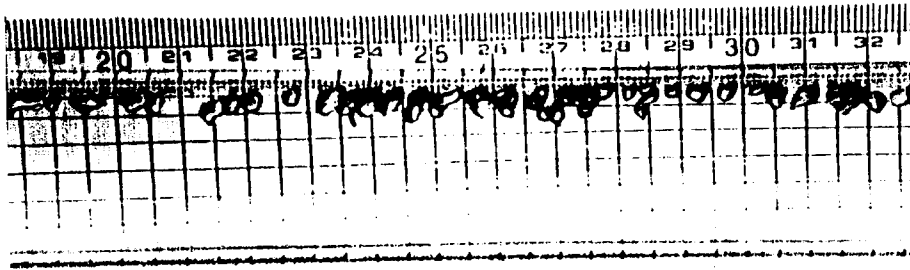


Fig. 7 Photographs of bubbly flow at $J_{SL}=2.0\text{ m/s}$, $J_{SA}=0.25\text{ m/s}$

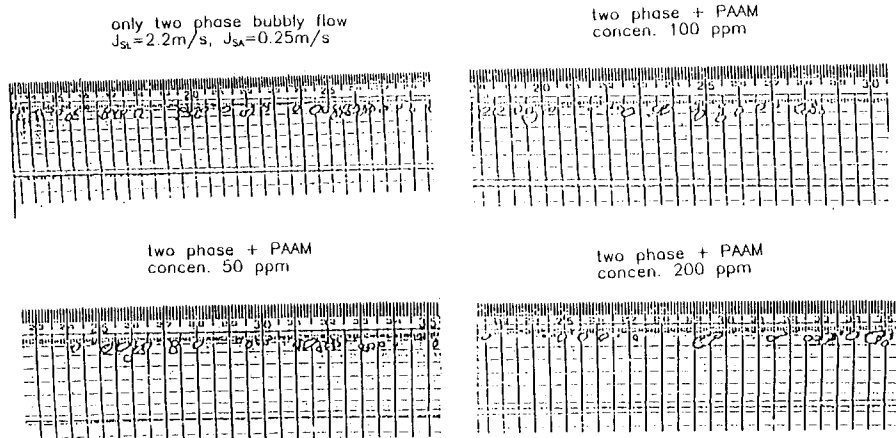


Fig. 8 Comparison of bubbly shape for PAAM additives at $J_{SL}=2.0\text{ m/s}$, $J_{SA}=0.25\text{ m/s}$

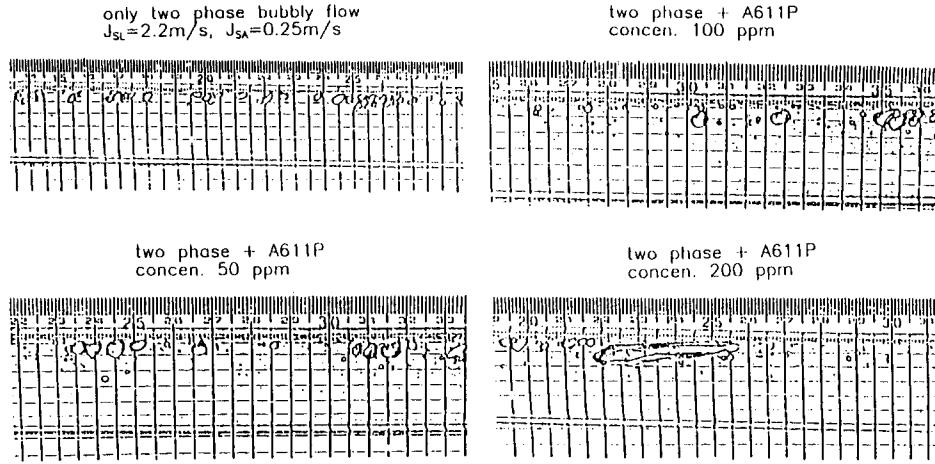


Fig. 9 Comparison of bubbly shape for A611P additives at $J_{SL}=2.0\text{m/s}$, $J_{SA}=0.25\text{m/s}$

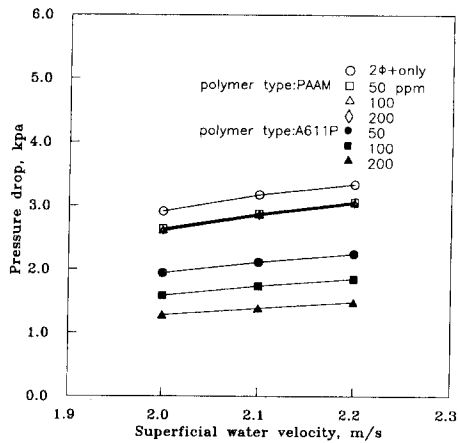


Fig. 10 Comparisons of pressure drop for polymer additives at $J_{SA}=0.25\text{m/s}$

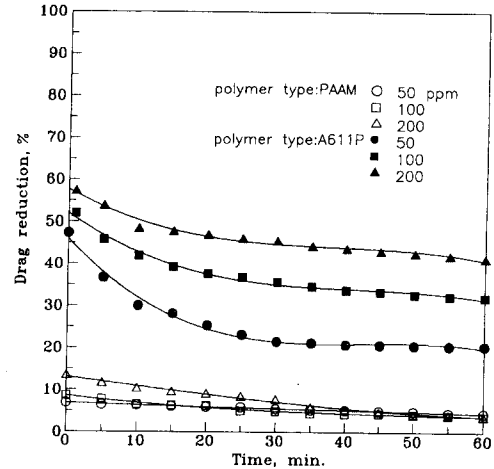


Fig. 11 Comparison of drag reduction for polymer additives at $J_{SL}=2.1\text{m/s}$, $J_{SA}=0.25\text{m/s}$

J_{SL} 과 고분자물질의 종류 및 고분자 수용액 농도변화에 따른 압력강하를 도시한 그림으로서 J_{SL} 증가에 따라 압력강하가 증가함을 볼 수 있으며, J_{SL} 이 일정할 때 순수 수용액만 유동하는 경우보다 고분자물질을 첨가하여 유동할 경우의 압력강하가 현저히 감소됨을 볼 수 있다. 또한 A611P 수용액의 경우 농도 증가에 의한 압력강하가 크게 감소함을 볼 수 있으나, PAAM 수용액인 경우는 농도를 증가시켜도 압력강하 감소는 매우 미소함으로 볼 수 있었다. PAAM 수용액도 매우 효과적인 마찰제료 사료되나 밀폐계에서 기계적퇴화의 진행 정도가 A611P 수용액에 비하여 민감하여 실험시작 후 압

력강하 감소는 매우 미소함으로 예측된다. 이때 압력강하는 고분자물질이 실험 시간의 경과에 따라 기계적퇴화가 발생하므로 이를 고려하여 작동유체가 실험장치를 유동한 지 30분이 되었을 때 측정한 자료이다. Fig. 11은 $J_{SL}=2.1\text{m/s}$, $J_{SA}=0.25\text{m/s}$ 로 유동할 때 시간경과에 따른 마찰저항 감소를 도시한 그림으로서 마찰저항 감소율(D.R)은 아래 식(3)에 의해 계산하였다.

$$D.R(\%) = \frac{\Delta P_{NP} - \Delta P_{AP}}{\Delta P_{AP}} \times 100 \quad (3)$$

여기서, ΔP_{NP} 와 ΔP_{AP} 는 고분자를 첨가하지 않았을 때와 첨가하였을 때의 차압을 나타낸다.

PAAM 수용액의 경우 시간경과에 따라 마찰저항 감소율은 미소한 변화가 있음을 볼 수 있으며, 초기 시간에는 농도가 높을수록 마찰저항 감소율은 다소 크게 나타나지만 약 30분 후 농도변화에 따라 거의 차이가 없음을 볼 수 있는데 이는 PAAM 수용액이 일정 시간동안 기계적 퇴화가 진행되었으나 기계적 퇴화의 한계점에 이른 것으로 사료된다. 그러나 A611P 수용액의 경우는 마찰저항 감소율이 농도증가에 따라 크게 증가하며, 처음부터 30분 전까지는 고분자물질의 기계적 퇴화로 인하여 다소 급격한 감소를 보이나 30분 이후에는 비교적 안정적인 감소를 볼 수 있다. 또한 농도 증가에 따라 마찰저항 감소율은 크게 증가하며 200 ppm일 때 최대 57~46%임을 볼 때 밀폐계 시스템에서 매우 효과적인 마찰제로 사료된다.

4.3 액상평균속도와 난류강도

본 실험에서는 액상평균속도와 난류강도 계측은 고분자물질의 기계적 퇴화를 고려하여 실험 시작 후 30분이 경과한 후에 시험부 반경방향으로 관 하부에서 2mm씩 프로우브를 이송하여 관상부까지 계측하였다. Fig. 12~13은 $J_{SL}=2.2$ m/s, $J_{SA}=0.25$ m/s일 때 즉, 기포류 조건에서 순수 수용액에 50 ppm의 PAAM와 A611P를 각각 첨가하여 유동할 때 열선 풍속계로부터 2상류 속도신호를 검출하여 상 분리한 후 시험부 반경방향에 따른 액상의 평균속도분포와 난류강도를 도시한 그림들이다. 액상평균속도는 고분자물질의 첨가 여부에 관계없이 관 중앙부로부터 최대가 되고 관벽으로 갈수록 감소되는 타원형 형태의 난류속도 분포를 나타내고 있으며, 시험부 단면 전체에서 순수 수용액, PAAM수용액, A611P 수용액 순으로 속도가 증가함을 볼 수 있다. 또한 관 하단부보다 관 상단부에서 액상 평균속도가 증가함을 볼 수 있는데 이는 기상이 액상에 비해 밀도가 작기 때문에 부력에 의해 관 상부에서 유동하므로 이로 인한 영향으로 판단된다. 난류강도를 도시한 그림을 살펴보면 관 중앙 근처에서는 고분자물질에 관계없이 그 크기가 거의 일정하나 관벽 근처로 갈수록 순수 수용액, PAAM 수용액, A611P 수용액 순으로 그 크기가 감소함을 볼 때 관벽 부근에서 난류현상이 억제됨을 볼 수 있다. 이는 고분자물질 첨가시 관 벽 근처의 난류유동을 억제하여 마찰저항 감소현상이 관벽 근처에서 발생한다고 본다면, 기존에 보고된 완화

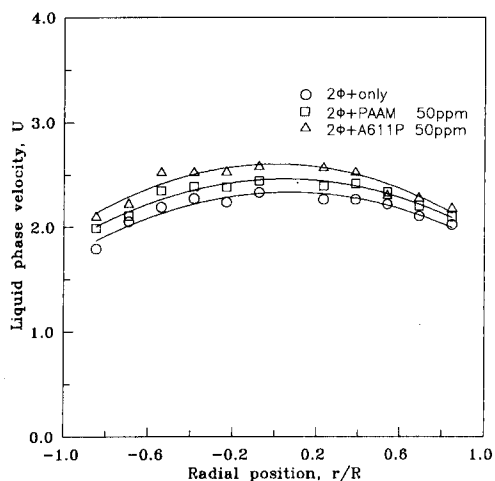


Fig. 12 Effect of the polymer additives on liquid phase velocity in two phase flow at $J_{SL}=2.2$ m/s, $J_{SA}=0.25$ m/s

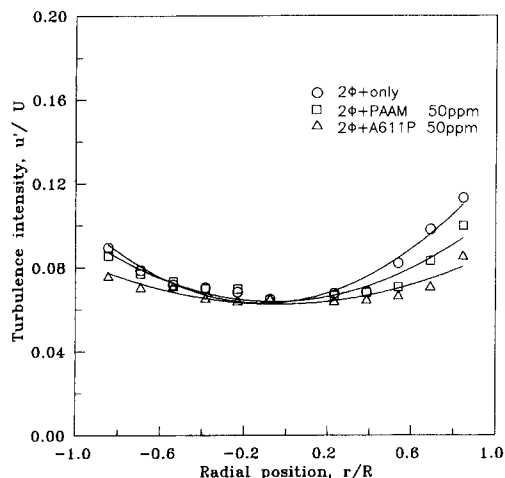


Fig. 13 Comparison of turbulence intensity profiles two phase flow $J_{SL}=2.2$ m/s, $J_{SA}=0.25$ m/s

설을 뒷받침할 수 있음을 확인된다. 또한 관 하부보다 관 상부에서 난류강도가 큼을 볼 수 있는데 이는 관 상부에서 유동하는 기상과 액상의 파동성분에 의한 영향으로 고려된다. 본 실험에서 액상평균속도와 난류강도 계측은 실험 시작 후 30분에서 40분 사이에 계측이 완료되었는데 이때의 마찰저항 감소율의 경우 A611P 수용액은 2.1~6.10%, PAAM 수용액은 2.2~7.9% 기계적 퇴화가 발생하므로 액상평균속도와 난류강도신호는 이상의 오차가 내적되어 있다고 볼 수 있다.

5. 결 론

본 연구는 수평관에서 기-액 2상류가 유동할 때 고분자물질 첨가한 경우와 첨가하지 않은 경우에 압력강하, 액상평균속도와 난류강도를 측정하여 마찰저항 감소현상을 고찰하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

① 고분자의 농도가 높을수록, 겔보기 속도가 증가할수록 압력강하는 감소하며, 마찰저항 감소율이 증가하는데 PAAM 수용액보다 A611P 수용액이 마찰저항 감소효과가 크므로 밀폐계에서 마찰저항 감소제로서는 A611P 수용액이 효과적임을 알 수 있다.

② 액상평균속도는 순수 수용액, PAAM 수용액, A611P 수용액 순으로 증가하며 관 하부보다 관 상부에서 기상의 영향으로 크게 나타난다.

③ 난류강도는 고분자물질에 관계 없이 관 중심 부근에서는 거의 동일한 값을 나타내나 관벽 부근에서는 순수 수용액, PAAM 수용액, A611P 수용액 순으로 감소함을 볼 때 관벽 부근에서 난류현상이 억제됨을 알 수 있다. 이 결과는 단상유동시 마찰저항 감소 이론에서 고분자물질의 완화적인 변형에 의해서 난류 에너지를 흡수한다는 완화설을 뒷받침할 수 있는 자료라고 사료된다. 또한 관 상부에서의 난류강도가 관 하부에서보다 크게 나타나고 있는데 이는 관 상부로 유동하는 기상의 영향에 기인한다고 판단된다.

참고 문헌

- (1) Virk, P. S. and Mickley, H. S., 1970, "The Ultimate Asymptote and Mean Flow Structure in Toms' Phenomenon," *Transactions of the ASME, of Applied Mechanics*, Vol. 37, pp. 488~493
- (2) Oliver, D. R. and Young, H., 1968, "Two-Phase Non-Newtonian Flow Part 1: Pressure Drop and Hold-up", *Trans. Instn. Chem. Engrs*, Vol. 46, pp. 449~464
- (3) Lockhart, R. W. and Martinelli, R. C., 1949, "Proposed Correlation of Data for Isothermal Two-Phase, Two-Component Flow in Pipes", *Chem. Eng. Prog.* Vol. 45, No. 1, pp. 39~48
- (4) Greskovich and Shrier, 1971, "Drag Reduction in Two-Phase Flow", *Eng. Chem. Fundam.*, Vol. 10, No. 4, pp. 646~648
- (5) Rosehart, R. G. and Scott, D. S., 1972, "Gas-Liquid Slug Flow with Drag Reducing Polymer Solutions", *AICHE. Journal*, Vol. 18, No. 4, pp. 744~750
- (6) Sylvester, N. D. and Brill, J. P., 1976, "Drag Reduction in Two-Phase Annular-Mist Flow of Air and Water," *AICHE. Journal*, Vol. 22, No. 3, p. 615
- (7) Zuber, N., and Jones, O. C. Jr., 1975, "The Interrelation between Void Fraction Fluctuations and Flow patterns in Two-Phase Flow," *Int. J. Multiphase Flow*, Vol. 2, pp.273~306
- (8) Griffith, P., 1964, "Two Phase Flow Regime Detecting," *ASME Paper 64-2A/HT-43*
- (9) Matsui, G., and Aizawa, T., 1987, "Statistical Properties of Pressure Drop Fluctuations and Flow Patterns in Horizontal Gas-Liquid Two-Phase Flow," *JSME*, Vol. 53, No. 485, pp. 144~148
- (10) Martinelli, R. C., Nelson, D. B. and Schemm, N. Y., 1948, "Prediction of Pressure Drop during Forced Circulation Boiling of Water," *Tran. of ASME*, Vol. 70, pp. 695~702
- (11) Staub, F. W., 1969, "Two Phase Fluid Modeling-The Critical Heat Flux," *Nuci. Sci. Eng.*, Vol. 35, pp. 190~199
- (12) Pichon, J., 1970, "Comparison of Some Methods of Calibrating Hot-Film Probes in Water", *DISA Information*, No. 10, October, pp. 16~21
- (13) Liu, T. J., 1989, "Experimental Investigation of Tubulence Structure in Two-Phase Bubbly Flow", Ph. D. Thesis of Northwestern University