

## 氣-液 二相流動시 抗力에 關한 研究

## The Study on the Drag Reduction for Gas/Liquid Two Phase Flow

車京玉<sup>\*</sup> · 吳栗權<sup>\*\*</sup> · 金在根<sup>\*\*\*</sup>

K. O. Cha · Y. K. Oh · J. G. Kim

## ABSTRACT

It is well known that drag reduction in single phase liquid flow is affected by polymer material, molecular weight, polymer concentration, pipe diameter, and flow velocity. Drag reduction in two phase flow can be applied to the transport of crude oil, phase change system such as chemical reactor, pool and boiling flow, and to prevent cavitation which occurs in pump impellers. But the research of drag reduction in two phase flow is not sufficient. The purpose of the present work is to evaluate the drag reduction by measuring pressure drop, void fraction whether polymer is added in the horizontal two phase system or not. Experiment has been conducted in a test section with 24 mm of the inner diameter and 1,500 mm of the length. The used polymer materials are two kinds of polyacrylamide[PAAM] and co-polymer[A611P]. The polymer concentration was varied with 50, 100 and 200 ppm under the same experimental conditions. Experimental results were shown that the drag is higher reduced by co-polymer rather than polyacrylamide.

주요기술용어 : Polymer Solution(고분자 수용액), Void Friction(보이드율), Pressure Drop(압력강하), Drag Reduction(마찰저항 감소).

## 1. 서 론

유동장내 압력강하를 감소시키는 데는 작동유체에 미세고체입자, 섬유입자, 합성고분자, 합성무기고분자, 계면활성제, 생물학적 첨가제 등을 혼합하여 비뉴턴유체(non-newton fluid)로 유동시키는 방법이 여러 연구자들에 의하여 연구 되어오고 있다. 이중 소량의 수용성 고분자물질을 유체내에 용해시켜 작동유체의 물성치변화를 거의 일으키지

않고 압력강하를 감소시키는 방법이 가장 효과적이라고 알려졌다. 그러나 Toms<sup>(1)</sup>의 연구이후 고분자 및 레올러지 학자의 주목을 끌지 못하다가 1970년부터 실용적 의의에 관심을 갖는 유체역학자들이 고분자물질을 유동장에 첨가하여 압력강하의 감소에 따른 마찰저항 감소현상과 고분자물질 첨가물과 같은 점탄성유체의 특성에 관한 연구가 이루어져 오고 있다.

Toms는 고분자 수용액과 유기 용매제에

\* 정희원, 명지대학교 기계공학과 교수

\*\* 조선대학교 정밀기계공학과, 조교수

\*\*\* 정희원, 명지대학교 대학원 기계공학과

국한되었지만, 이 현상은 실용적 측면에서는 뉴톤유체뿐만 아니라 비뉴톤유체의 유동장에서도 적용할 수 있다. 뉴톤유체인 물에 수십 ppm의 수용성 고분자를 첨가하면 저항이 수십 %는 보통이며, 어떤 경우는 90%까지 고속유체의 저항이 현저하게 저하하는 예조차도 있다. 이와같은 수치로 볼 때 소방차의 방수능력(pumpability)의 향상<sup>(2)</sup>, 선박 및 잠수함의 항해속도의 상승<sup>(3)</sup>, 원유수송<sup>(4)</sup>, 각종 유체수송에 있어서 펌프력의 향상<sup>(5)</sup> 및 의학분야에서도 동맥경화와 같은 병의 치료시 혈관에 해롭지 않은 고분자물질을 혈액순환계에 첨가함으로써 혈액순환을 원활히 할 수 있는 것처럼 그 응용 및 적용에 있어서 크게 기대되고 있다. 현재 러시아에서는 수송 길이가 256km에 달하는 벨로보(Belovo)와 노보시비스크(Novosibirsk)를 연결하는 Coal Water Mixture(CWM)수송을 위한 파이프관 설치<sup>(6)</sup>가 완료되어 고분자물질을 첨가함으로써 큰 펌프력의 향상을 가져올 수 있으며, 알래스카 원유 수송관(Alaska crude oil pipe-line)에서도 소량의 고분자물질을 원유에 첨가하여 원유의 수송능력을 향상<sup>(7)</sup>시켰다. 최근 우리나라에서도 서울 근교의 신도시인 분당과 목동에 열병합발전소를 건설하여 전기 발전에 사용하고 남은 폐열을 이용하여 인근 주거지역에 난방시스템을 가동하고 있는 데, 이 때 난방수 수송에 사용되는 연간 비용이 분당열병합발전소인 경우 수억원에 이르고 있다. 또한 1997년 3월 준공 예정인 대전 3, 4공단에 한국형 열병합발전소가 공사중에 있으며, 2000년대에는 각 지역에 다수의 열병합발전소를 건설할 예정이다.<sup>(8)</sup> 현재 경인 일부지역에서는 원유수송 네트워크를 이용하여 원유수송을 하고 있으나 점차적으로 이런 시스템은 전국적으로 확대 설비되리라 예상된다. 또한 가정 및 공장 단지에서 유출되는 오·폐수는 각 지역 오·폐수 종말처리장으로 유출시키고 있지만, 이와 같은 각종 오·폐수의 증가에 따른 새로운 오·폐수 처리관로를 계속 증설공사중에 있다. 이와 같이 난방시스템, 원유수송네트워크, 오·폐수 처

리 관로 등 많은 산업 기기에서 유체수송시 펌핑동력(pumping power)에 막대한 비용이 소요된다. 이처럼 수송 관로에서 압력강하를 보다 효과적으로 감소시킬 수 있는 방법이 규명 된다면 에너지절약 관점에서 매우 중요한 방법이 될 뿐만 아니라 적용분야는 더욱 넓어질 것으로 예측 할 수 있다.

한편 비뉴톤유체의 난류 유동장에서 난류형성과 고분자물질의 동력학에 대한 이론이 아직도 미흡하지만 위와 같은 현상에 대한 메커니즘 규명에 대해서 많은 연구자들의 관심의 대상이 되고 있으며, 지금까지 알려진 마찰저항 감소이론으로는 난류생성 억제이론<sup>(9)</sup>, 난류신장 저항이론<sup>(10)</sup>, 분자 신장-인장 유동이론<sup>(11)</sup>, 분자 신장-점성저층 확대이론<sup>(12)</sup>, 탄성이론<sup>(13)</sup> 등이 있으나 정확한 근거하에 규명된 학설은 아직도 확립되어 있지 않으며, 현재까지 대다수의 연구는 고분자물질의 기계적 퇴화를 배제하기 위하여 개방계(open system) 단상유동장에서 마찰저항 감소현상을 실험을 통하여 추론한 것에 불과하다. 그러나 2상유동장이 밀폐계(close system)로 구성된 산업기기가 많은데도 불구하고 이에 대하여 적용시키기 위한 연구는 극소수이다.

본 연구는 밀폐계 실험장치의 수평원관 내를 기-액 2상유동시 먼저 뉴톤유체인 물을 유동시킬 경우와 기존에 주로 사용한 PAAM (Polyacrylamide)과 새로운 합성고분자물질인 A611P(Co-polymer) 두 종류의 고분자물질을 물에 농도를 변화시키며 각각 첨가된 비뉴톤유체인 고분자 수용액을 유동시킬 때 감소되는 압력강하를 실험적으로 규명 하므로써 에너지절약 및 시스템의 소형화에 기여하고자 한다.

## 2. 실험

### 2.1 실험장치

그림 1은 본 실험에서 사용한 실험장치를 도시한 것으로서 순환회로는 수평관 시험부

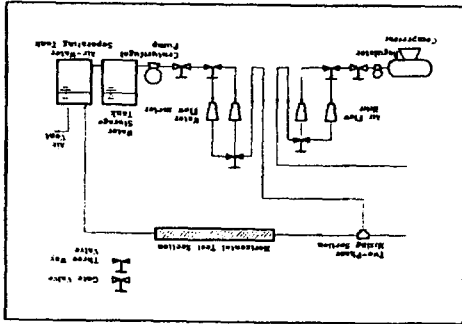


Fig.1 Schematic diagram of the two phase flow

내를 기-액 2상류가 유동할 수 있도록 설계, 제작하였다. 실험장치는 공기압축기, 압력조절기, 기-액 혼합부, 공기 및 물속도 계측부, 원심펌프, 기-액 분리탱크, 순환수 저장탱크, 시험부로 구성되어 있으며, 액상의 순환회로는 순환수 저장탱크내의 순환수가 3마력 용량의 부식방지용 내산스테인레스 원심펌프에 의해 순간유량계를 통하여 시험부로 유입되며, 기상은 5마력 용량의 공기압축기에서 분사된 공기가 압력조절기에 의해 일정한 압력으로 조절된 후 순간 유량계를 통하여 기-액 혼합부를 거쳐 시험부로 유입된다. 기-액 혼합부에서 형성된 2상류는 시험부를 거쳐 기-액 분리탱크에서 기상은 대기 상태로 분리된 후 순환수가 저장탱크에 저장되므로 일련의 2상유동 순환회로를 완료시킨다.

공기와 순환수의 유량은 시험부 입구에서 소정의 유동양식이 형성되도록 판로에 설치한 1인치 게이트 밸브로 각상의 유량을 조절하였다. 이 때 실험장치중 배관은 주위의 진동을 방지할 수 있도록 방진고무를 사용하였으며, 유체의 온도를 일정하게 유지하기 위하여 액상인 경우에는 순환수 저장탱크에 열교환기를 설치하여 온도를 조절하였으며, 공기는 공기분사기와 유량계 사이의 배관에 발열량이 500W인 테이프 가열기를 설치하여 일정한 온도로 예열시켜 시험부로 유입시킨

다. 원심펌프와 공기압축기에서 각 상의 최대 걸보기속도를 계산하여 그 범위에 맞는 순간유량계를 선정하였으며, 유량계의 보정은 단위시간당의 관내에 흐르는 체적유량으로 검증하였다. 실험에 사용한 작동유체는 공기와 순수수용액 및 고분자수용액으로서 액체의 경우 300ℓ용량의 순환수 저장탱크에 저장하였다.

시험부는 가시화가 가능한 내경 24mm, 두께 3mm, 길이 1,500mm인 투명한 아크릴관을 사용하였으며, 완전 발달되는 거리를 고려하여 기-액 혼합부로부터 4,800mm(L/D=200) 떨어진 위치에 설치하였고, 시험부 입·출구 1,500mm사이 차압계측구멍을 직경 3mm로 뚫어서 스트레인지지 형식의 차압용 압력변환기를 장착하였다. 극부 보이드율 분포 측정 및 유동양식 판별을 위한 전기전도 프로우브는 전반부로부터 5,550mm(L/D=231)인 위치에 3mm로 1개 뚫었 장착하였다. 이 때 전기전도 프로우브를 자유로이 이송할 수 있도록 미세거리장치를 연결시켰다. 이때 보이드율 계측기에 analog회로의 주파수 응답 특성은 15kHz에서 3dB강하한 값으로 본 실험에서 기포 주파수를 측정해 본 결과 2kHz범위 내에 있으므로 본 실험에 사용한 보이드율 측정기의 주파수 응답 특성은 보이드율을 검출하는데 충분하다. 또한 압력변환기는 온도 변화에 따르는 오차는 0℃~50℃범위 내에서 0.1%이내이다.

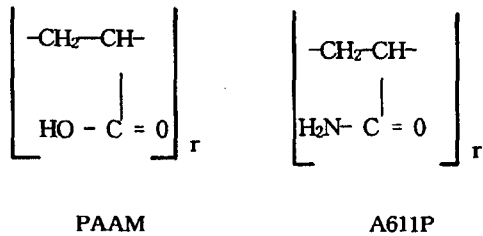
## 2.2 실험방법

본 실험은 먼저 기포류의 유동양식판별을 전기전도 프로우브로 일정한 걸보기속도 하에서 관의 중심과 관의 중심 상부 2지점에서 전기전도 프로우브의 출력신호를 검출하여 유동양식을 판별하였다. 전기전도 프로우브로부터 판별된 유동조건에서 시험부에 가시화 장치를 장착하고 사진촬영을 하여 기포류의 유동양식을 최종 판별하였다. 이렇게 판별된 기포류유동시 순수 수용액과 고분자 물질 2종류의 농도를 변화시키며 시간에 따

큰 압력강하 및 국부 보이드율을 계속하였다. 이 때 고분자물질의 용해방법은 1ℓ의 순수 수용액을 비이커에 넣고 폴리아크릴아마이드(PAAM) 또는 코폴리머(A611P)를 첨가한 다음 교반기로 5분 동안 500rpm 으로 교반시킨 후 다시 100rpm 으로 10분 동안 교반시켰다. 이렇게 충분히 교반된 고농도 수용액이 Stock-Solution이며, 이것을 299ℓ의 순수 수용액에 넣어 100rpm 으로 1시간 정도 더 교반시켰다. 이 때 고분자물질이 15, 30, 60g 일 때 교반된 50ppm, 100ppm, 200ppm 의 농도인 고분자 수용액은 순수 수용액 전체에 균일한 농도를 유지하도록 하루 동안 방치해 둔 후에 실험을 수행하였다.

2.3 고분자물질의 물성치

본 실험에서 사용한 고분자물질은 미국의 SP<sup>2</sup>사(Scientific Polymer Products Inc.)로부터 구입한 것으로서 PAAM의 분자량수는 500만~600만개이고, 합성고분자물질인 A61 1P의 경우 분자량의 수는 1,400만~1,600만개로 구성되어 있으며, 분자의 조성식은 아래와 같다



여기서 r 은 반복 계수이다.

본 실험에 사용한 고분자 수용액은 그동안 다수의 레올러지 학자들에 의해 실험적으로 규명한 결과 Shear-thinning 유체임을 제시한다.<sup>(13)-(14)</sup> 또한 You<sup>(15)</sup>는 Ubbelohde형식의 점도계와 Brookfield점도계를 이용하여 본 연구에서 사용한 동일한 고분자물질인 PAAM과 A611P 수용액인 경우에 전단율에 따른 겔보기점도를 계측한 것을 검토한 것으로

전단율의 증가에 따라 겔보기점도가 감소됨을 볼 수 있다. 그러나 이 때 전단율이 100일 경우는 증류유동에 해당되는 것으로 난류유동일 경우에 해당되는 전단율에 해당되는 겔보기점도는 거의 순수수용액과 차이가 없을 것으로 예측된다. 최근에 Kalashnikov<sup>(16)</sup>는 모세관점도계와 Zimm-Crothers 가 고안한 회전점도계를 변형하고 수용성인 PEO 계열 고분자물질의 종류, 농도, 온도 등을 실험 변수로 하여 고분자 수용액의 전단율에 따른 겔보기점도를 계측하여 제시한 것으로 그 결과를 살펴보면 그림2와 같다.

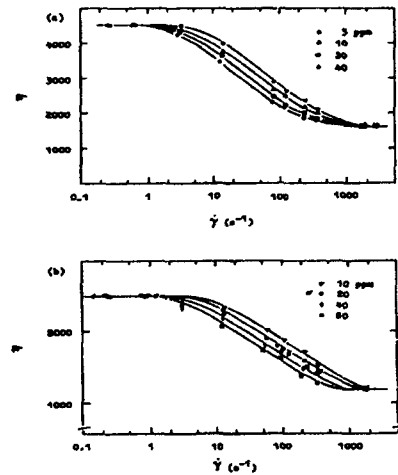


Fig.2 Reduced viscosity vs shear rate for solution of small concentration of different polymer (a) Alcox 222 ppm (b) Polyox WSR-301 400 ppm (Experimental data of Kalashnikov)

그림 2의 (a)는 러시아 Meisei Chemical사에서 제조한 Al-cox고분자물질로서 평균 분자량수가 1,400만개이다. 이는 본 실험에 사용한 A611P의 분자량 수와 유사하다. 전단율의 범위는 0- 3,000 일때로서 전단율이 증가할 수록 겔보기점도는 순수수용액에 가까운 수치를 보이고 있음을 볼 때 Shear-thinning 유체임을 알 수 있다. 그림2의 (b)는 분자량수가 620만개인 Polyox WSR-301 고분자물질로서 그림2의 (a)와 동일한

경향을 보이고 있다. 이상과 같이 수용성 고분자물질의 물성치를 살펴본 결과, 본 실험에 사용하는 수용성 고분자물질은 Shear-thinning 유체로서 난류 영역에서 순수 수용액과 고분자 수용액에 대한 레이놀즈수의 차이는 거의 없을 것으로 예측할 수 있다.

### 3. 실험결과 및 고찰

#### 3.1 유동양식 판별

겉보기 물속도( $J_{SL}$ ) 2.0m/s, 겉보기 공기속도( $J_{SA}$ ) 0.25 m/s 일 때 전기전도 프로우브로 기포류의 유동양식을 판별한 결과를 그림 3과 같이 도시하였다. 횡축은 신호를 계측하는 시간을 의미하며, 종축은 전기전도 프로우브의 출력전압을 의미하는 것으로서, 5V는 전기전도 프로우브의 센서 부분에 기상이 통과할때 출력되는 신호이며 0V는 액상이 통과 할때 출력 되는 신호이다.

그림3의 (A)는 시험부 무차원 반경비,  $r/R=0.84$ 인 지점에서 프로우브로부터 검출된 신호로서 0V와 최대 출력전압 5V사이에서 고주파의 파동 경향을 나타내는데 이는 전도

성인 액상과 그속에 비전도성인 작은 기포들이 산재하여 프로우브를 통과 하고 있음을 알 수가 있다. (B)는  $r/R=0.67$ 일 때로서 액상이 지배적으로 유동하며 간헐적으로 기상이 지나감을 볼 수 있다. (C)는  $r/R=0$ 일 때로서 즉, 관의 중심에서는 액상으로만 유동하며, 이는 기상의 밀도차에 의해 관상부에서 미소 크기의 기포가 유동함을 볼 수 있는 것으로 수평관의 전형적인 기포류임을 판별할 수 있었다.

#### 3.2 기포의 거동

그림4는  $J_{SL}=2.0m/s$ ,  $J_{SA}=0.25m/s$  일때 순수 수용액과 PAAM 수용액, A611P 수용액의 농도변화에 따른 국부 보이드율 분포를 비교 도시한 것이다. 그림으로서 무차원 반경비( $r/R$ )가 " 0 "은 시험부 중심을 의미하며, " 1.0 "은 시험부의 상부 즉, 관의 벽을 의미한다. 수평관내 기포류 유동시 관의 하부에서는 밀도가 큰 액상만 유동하므로 기포는 존재하지 않는다. 따라서 국부 보이드율의 계측은 관의 중심에서 관의 상부로 프로우브를 이송하며 계측하였다. 시험부 반경비에 대한 국부 보이드율 분포를 살펴보면 관의

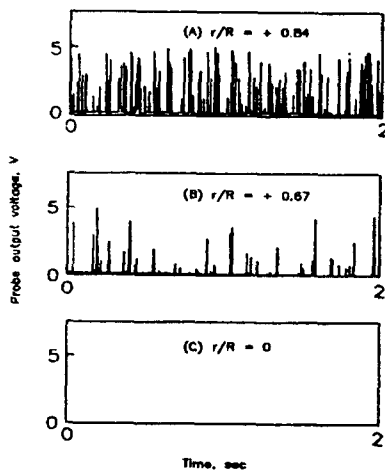


Fig.3 Bubbly flow at  $J_{SL}=2.0m/s$ ,  $J_{SA}=0.25 m/s$

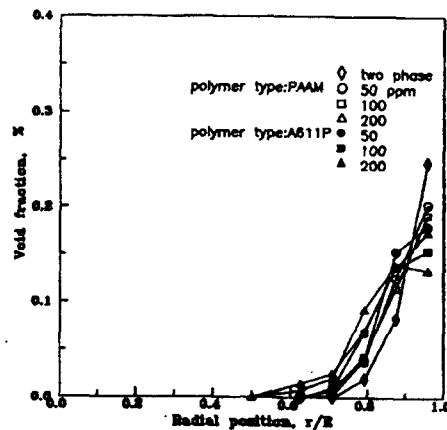


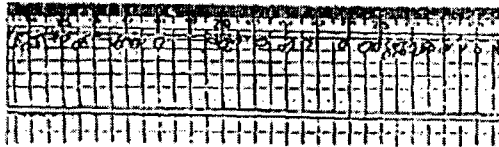
Fig.4 Comparison of void fraction profiles with and without polymer additives  $J_{SL}=2.0m/s$ ,  $J_{SA}=0.25m/s$

벽에 인접한 지점 즉,  $r/R=0.96$ 인 위치에서 순수 수용액, PAAM 수용액, A611P 수용액 순으로 농도를 증가시킬수록 국부 보이드율은 적음을 볼 수 있으나, 관 벽에서 관의 중심쪽으로 위치를 이동할수록 고분자 수용액의 농도증가에 따라 국부 보이드율이 증가하는 경향을 볼 수 있다. 반면 A611P수용액의 경우 농도변화에 의한 이는 고분자 수용액의

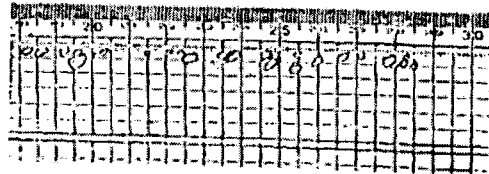
농도증가에 따라 액상의 속도 증가로 인하여 인접한 기포가 합체되어 기포의 크기가 성장하며, 시험부의 관 벽쪽에서 중심쪽으로 다소 이동되어 유동함을 알 수 있다. 결국 고분자 수용액은 기포의 크기를 변화시키므로 유동장의 유동특성에 영향이 있음을 알 수 있다.

그림5는  $J_{SL}=2.0m/s$ ,  $J_{SA}=0.25m/s$ 일때 순수

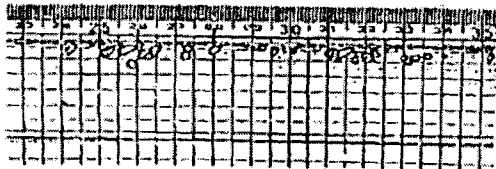
only two phase bubbly flow  
 $J_{SL}=2.2m/s$ ,  $J_{SA}=0.25m/s$



two phase + PAAM  
concen. 100 ppm



two phase + PAAM  
concen. 50 ppm



two phase + PAAM  
concen. 200 ppm

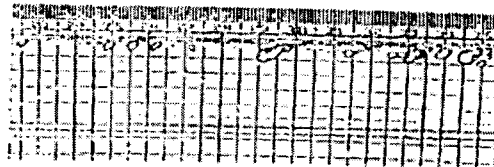
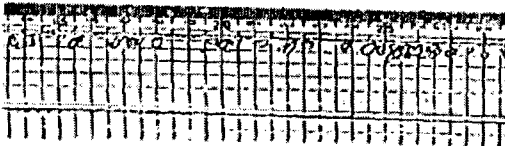
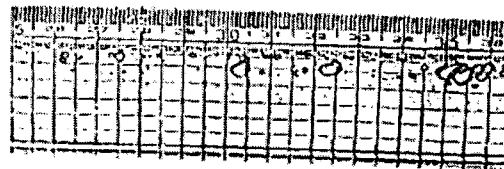


Fig.5 Comparison of bubble behaviors with and without PAAM additives

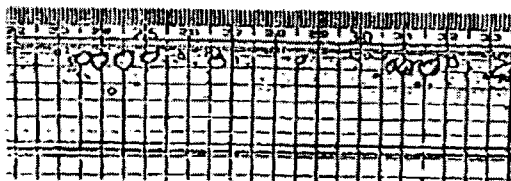
only two phase bubbly flow  
 $J_{SL}=2.2m/s$ ,  $J_{SA}=0.25m/s$



two phase + A611P  
concen. 100 ppm



two phase + A611P  
concen. 50 ppm



two phase + A611P  
concen. 200 ppm

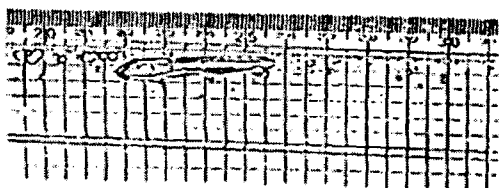


Fig.6 Comparison of bubble behaviors with and without A611P additives

수용액과 PAAM 수용액, A611P 수용액의 농도변화에 따른 기포의 거동을 사진 촬영한 것을 비교 도시한 것으로 이들 그림을 종합적으로 살펴보면 고분자물질을 첨가하지 않은 순수 수용액과 큰차이는 없으나, A611P 고분자물질을 첨가하여 유동하는 경우를 알 수 있다. A611P 수용액의 농도증가에 따라 기포의 크기는 명확히 구별될 정도로 성장하여 유동하며, PAAM 수용액보다는 기포의 크기가 매우 크게 성장하여 유동함을 알 수 있다. 순수 수용액의 유동양식은 기포류 유동이지만 A611P 수용액을 유동시 기포의 크기가 성장하여 농도가 200 ppm일 때 수평관내 플러그류의 유동처럼 기포의 크기와 길이가 크게 성장하므로서 유동양식이 기포류에서 천이가 됨을 알 수 있다. 이는 고분자 수용액이 기포 주위에서 유선의 변형을 초래하여 2상류의 유동특성을 변화시킴을 알 수 있다.

3.3 압력강하 및 마찰저항 감소

그림 7은 2상류의 유동시 겉보기속도 변화, 고분자물질의 종류 및 농도변화에 따른 압력강하를 비교 도시한 그림으로서 순수 수용액의 유동보다 고분자물질 수용액인 경우 압력강하가 감소하고 있다.

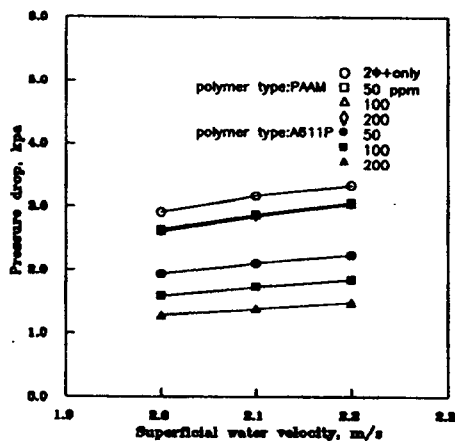


Fig.7 Comparison of pressure drop for polymer additives at  $J_{SA}=0.25$  m/s

이 때 순수 수용액보다는 PAAM수용액의 경우 압력강하가 감소로 나타나지만 농도 변화에 따른 영향은 매우 미소함을 나타내는 압력강하가 현격히 감소함을 알 수 있다. 본 실험에서 사용한 고분자물질중 PAAM의 분자량은 500만~600만개이나 A611P의 분자량이 1,400만~1,500만개로서 압력강하는 고분자물질의 분자량이 클수록 감소됨을 알 수 있다. 이 때 압력강하는 고분자물질이 실험 시간의 어느 정도 경과에 따른 기계적 퇴화가 발생하므로 이를 고려하여 작동유체가 실험장치를 유동한지 30분이 경과한 후에 측정 한 자료이다.

그림8~9는 시간경과에 따른 마찰저항 감소를 도시한 그림으로서 마찰저항 감소(D.R. ; Drag Reduction)는 아래 식에 의해 계산되었다.

$$D.R. (%) = \frac{\Delta P_{NP} - \Delta P_{AP}}{\Delta P_{NP}} \times 100 \quad (1)$$

여기서,  $\Delta P_{NP}$ 와  $\Delta P_{AP}$ 는 고분자를 첨가하지 않았을 때와 첨가하였을 때의 차압을 나타낸다.

이들 그림을 종합적으로 검토하여 보면, PAAM수용액의 경우 시간경과에 따라 마찰저항 감소율은 미소한 변화를 나타내지만 농도 변화에 따라서 초기 시간에는 농도가 높을수록 마찰저항 감소율이 다소 크나 시간이 약 30분 지난 후의 농도변화에 따른 차이가 거의 없다. 그 이유는 고분자수용액이 일정시간 동안에 기계적 퇴화가 진행되었으나 기계적 퇴화의 한계점에 이른것으로 사료된다. 그러나 A611P 수용액의 경우는 마찰저항 감소율이 농도증가에 따라 크게 증가하며, 처음부터 30분전까지는 고분자물질의 기계적 퇴화로 인하여 다소 급격한 감소를 보이나 30분 이후에는 비교적 퇴화의 정도가 30분 이전보다 안정적임을 볼 수 있다. 또한 농도 증가에 따라 마찰저항 감소율이 크게 증가함을 나타내며, 밀폐계에서 A611P 수용액이 200ppm 일 때 최대 61~46%의 마찰저항 감

소효과가 있음을 알 수 있다. 따라서 냉난방 순환회로, 화학공정, 냉각탑, 열교환기뿐만 아니라 원유의 장거리 수송 등 여러분야에서 유동상태에 따라서 발생 하거나 발생 가능성이 있는 2상류 유동장에 A611P와 같은 고분자물질을 첨가하면 실험결과와 같이 큰 마찰저항 감소효과를 얻을 수 있다고 예측된다. 따라서 이로 인한 엄청난 시스템의 유지비용 절감할 수 있다. 특히 국내의 최근 시설 설비를 하고 있는 장거리 원유수송 네트워크,

지역 냉·난방 네트워크 시스템 내의 유체에 고분자물질을 첨가함으로써 마찰저항 감소효과를 극대화시킬 수 있다고 예측된다. 또한 산업기기 중 2상유동 시스템은 대다수가 밀폐계로 구성되어 있으며, 이런 유동장에 A611P와 같은 고분자물질을 첨가하여 수송시켰을 때 막대한 펌프의 동력이 절감될 뿐만 아니라 적용을 달리하면 고분자 수용액의 경우에는 단위 시간당 배출 유량이 증가되기 때문에 유동장의 직경을 줄일 수도 있다. 따라서 2상유동 시스템을 소형화시킬 수 있을 것으로 예측된다.

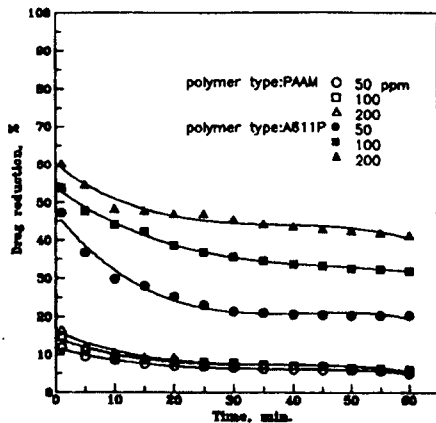


Fig.8 Present drag reduction versus time for polymer additives at  $J_{SL}=2.0m/s$   $J_{SA}=0.25m/s$

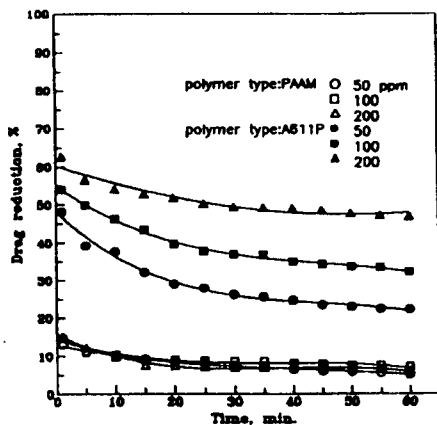


Fig.9 Present drag reduction versus time for polymer additives at  $J_{SL}=2.2m/s$ ,  $J_{SA}=0.25m/s$

#### 4. 결 론

본 연구는 밀폐계 수평관에서 기-액 2상류를 유동시킬 때 고분자물질을 첨가한 경우와 첨가하지 않은 경우에 압력강하 및 국부 보이드율을 측정하여 마찰저항 감소효과를 연구한 결과, 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 개방계에서 마찰저항의 감소제로 주로 사용한 PAAM 수용액은 밀폐계로 유동시켰을 때 유동 초기에 급격한 기계적 퇴화로 마찰저항 감소율은 농도변화에 큰 영향없이 약 7~8%에 불과하므로 밀폐계에서 마찰저항 감소제로 사용하기는 다소 부적합함이 규명되었으며, 합성 고분자물질인 A611P의 경우는 실험시작 후 30분대에도 농도에 따라 약 26~50%의 마찰저항 감소효과가 있음을 볼 때 밀폐계에서는 A611P가 마찰 감소제로서 효과적이다.
2. 국부 보이드율 분포는 고분자 수용액의 농도증가에 따라 액상의 속도 증가로 인하여 인접한 기포가 합체되어 기포의 크기가 증가되고 관의 중심쪽으로 분포하여 유동함을 알았다.
3. 밀폐계에서 A611P 수용액의 경우는 순수 수용액에 비해 단위 시간당의 배출 유량이 증가하기 때문에 유동시스템의 소형화에 크게 기여할 수 있을 뿐 아니라, 시스템의 기초 설비 비용을 절약 할 수 있음을 알았다.



## 후 기

이 논문은 1995년도 조선대학교 학술 연구비의 지원으로 수행된 내용의 일부이며 관계자 여러분께 감사함을 드립니다.

## 참 고 문 헌

1. Toms, B. A, "Some Observations on the Flow of Linear Polymer Solutions through Straight Tube at Large Reynolds Numbers.", Proc. 1st Int. Congress on Rheology, Vol.2, , 1948, pp.135-141
2. Sellin, R. H. J. Hoyt, J. W. and Scri-venner, O. "The Effect of Drag Reduction Additives on fluid flows and Their Industrial Applications. Part 1: Basic Aspects.", J. Hydraulic Res. 1982, pp.20-29
3. Astarita, G., "Possible Interpretations of the Mechanism of Drag Reduction in Viscoelastic Liquids.", Ind. Eng. Chem. Fundam., Vol.4, 1965, p.354
4. Gadd, G. E., "Turbulence Damping and Drag Reduction Produced by Certain Additives in Water.", Nature, Vol.206, 1965, p.463
5. Gadd, G. E., "Differences in Normal Stress in Aqueous Solutions of Turbulent Drag Reducing Additives.", Nature, Vol.212, 1966, p.1348
6. Ercolani, D., "Production Plant and Systems for Snamprogetti's Coal Water Slurries. Recent Experience and Current Projects in Italy and USST," Paper A3, 10th International Conference on the Hydraulic Transport of Solids in Pipes, Hydrotransport 10, Innsbruck, Austria 1986
7. Choi, U. S. Cho, Y. I. and Kasza, K. E., "Screening and Degradation Tests of Linear-polymer Additives for District Heating Applications." ANL-87-49, 1987
8. Astarita, G., "Possible Interpretations of the Mechanism of Drag Reduction in Viscoelastic Liquids.", Int. Eng. Chem. Fundam., Vol.4, 1965, pp.354
9. Gadd, G. E., "Turbulence Damping and Drag Reduction Produced by Certain Additives in Water.", Nature, Vol.206, 1965, p. 463
10. Gadd, G. E., "Differences in Normal Stress in Aqueous Solutions of Turbulent Drag Reduction Additives.", Nature, Vol. 212, 1966, p.1348.
11. Johnson, B. and Barchi, R. H., "Effect of Drag Reducing Additives on Boundary Layer Turbulence.", J. Hydronautics, Vol.2, 1968, p.108
12. de Gennes, P. G., "Introduction to Polymer Dynamics." Cambridge University Press, 1990, pp.34-54.
13. Chauveteau, G., "Rodlike Polymer Solution Flow Through Fine Pore : Influence of Pore Size on Rheological Behavior.", J. Rheol. Vol.26, 1982, pp.111-142
14. Van Oene, H. and Cragg, L. H., "Shear Dependence of the Reduced Viscosity - Concentration Slope Constant.", J. Polym. Sci. Vol.57, 1962, pp. 207-225
15. You, B. S., "A Study on Ionic Polymer Drag Reduction in RDA.", In-ha Univ. Department of Rheologis 1993
16. Kalashnikov, V. N., "Shear-rate Dependent Viscosity of Dilute Polymer Solutions.", The Society of Rheology, Vol. 38, No.5, 1994, pp.1,385-1403
17. Mizunuma, H and Kato H., "Influence of Polymer Additives on Transitional Plane Poiseuille Flow .", J. JAME Vol.31. 1988, pp. 209-217.