

亂流流動場에서 Shear - thinning 流體에 의한 摩擦抵抗 減少에 關한 研究

차경옥* · 김재근** · 오을권***

A Study on the Drag Reduction by Shear - thinning Fluid in Turbulent Flow Fields

K. O. Cha · J. G. Kim · Y. K. Oh

Key words : Drag Reduction(마찰저항감소), Degradation(퇴화), Pressure Drop(압력강하), Friction Factor(마찰계수), Mean Velocity(평균속도)

Abstract

Drag reduction in polymer solutions is the phenomenon where by extremely dilute solutions of high molecular weight polymers exhibit frictional resistance to flow much lower than the pure solvent. This effect, largely unexplained as yet, has attracted the attention of polymer scientists and fluid flow specialists. Although applications are beginning to appear, the principle interest to data has been in attempting to relate the effect to the fluid mechanics of turbulent flow. Drag reduction in two phase flow can be applied to the transport of crude oil, phase change system such as chemical reactor, and pool and boiling flow. But the research on drag reduction in two phase flow is not intensively investigated. Therefore, experimental investigations have been carried out to analyze the drag reduction produced by polymer addition in the single phase and two phase flow system. The objectives of the proposed investigation are primarily in identifying and developing high performance polymer additives for fluid transportations with the benefits of turbulent drag. Also we want to is to evaluate the drag reduction in horizontal flow by measuring pressure drop and mean velocity. Experimental results show higher drag reduction using co - polymer(A611P) then using polyacrylamide (PAAM) and faster degradation using PAAM than using A611P under the same superficial velocity.

* 명지대학교 기계공학과 (원고접수일 : 96년 8월 5일)

** 명지대학교 대학원 기계공학과

*** 조선대학교 정밀기계공학과

1. 서 론

매끈한 관에서 액체상태인 뉴턴유체가 난류상태로 유동할때 계면활성제, 섬유 부유물, 고분자첨가제 등을 첨가시켜 줌으로서 난류 유동장에서 난류역제로 인한 마찰저항을 감소시키는 것을 난류 마찰저항 감소현상이라고 한다. 이에 관한 연구는 최초로 1906년 Blatch에 의해 발견된 이후 Toms¹⁾는 물과 같은 뉴턴유체인 모노클로로벤젠(monochlorobenzene)속에 고분자물질인 폴리메틸 메타크릴산(polymethyl methacrylate)을 소량으로 용해하여 원관내를 유동시킬 경우 난류 마찰저항 감소효과를 크게 얻을 수 있다는 사실을 발표하였으며, 이런 현상을 'Toms phenomenon'이라고 하였다. 유동장내에서 발생하는 마찰저항을 감소시키기 위해 작동유체에 다양한 마찰저항 감소제를 혼합하고, 또한 비뉴턴유체(Non - newton fluid)로 유동시키는 방법은 많은 학자들에 의해 연구되고 있는 실정이다. 이 중 소량의 수용성 고분자물질을 유체내에 용해시켜 작동유체의 물성치 변화를 거의 일으키지 않고 마찰저항을 감소시키는 방법이 가장 효과적이라고 알려졌다.²⁾ 최근 우리 나라에서도 서울 근교의 신도시인 분당 및 목동에 열병합 발전소에서 전기 발전에 사용하고 남은 폐열을 이용하여 인근 주거지역에 난방 시스템을 가동하고 있다. 이때 난방수 수송에 사용되는 연간 비용이 분당 열병합 발전소인 경우 수억 원에 이르고 있다. 현재 정부에서는 1997년 3월 준공 예정인 대전3, 4공단 한국형 열병합 발전소를 건설 중에 있고, 2000년대에는 각 지역에 다수의 열병합 발전소를 건설할 예정이다.³⁾ 또한 경인 일부 지역에서는 원유수송 네트워크를 이용하여 원유수송을 하고 있으나 점차적으로 이런 시스템은 전국적으로 확대될 예정이다. 가정 및 공장 단지에서 유출되는 오·폐수는 각 지역의 오·폐수 종말처리장으로 유출하고 있는데 이와 같은 각종 오·폐수의 증가에 따라 새로운 오·폐수 처리 관로를 계속 증설 공사 중에 있다. 이처럼 난방 시스템, 원유수송 네트워크, 오·폐수 처리 관로 등 많은 산업 기기에서 유체를 수송시 펌핑동력에 막대한 비용이 소비되고 있는 실정이다. 그러므로 수송 관로에

서 발생하는 마찰저항을 보다 효과적으로 감소시킬 수 있는 방법이 규명된다면 에너지 절약이라는 관점에서 매우 중요한 방법이 될 뿐 아니라 적용 분야는 더욱 넓어질 것으로 예측할 수 있다.

한편 2상유동계에서 난류 마찰저항 감소에 관한 연구는 단상류에 비해 매우 빈약한 실정이지만 냉난방 순환회로, 화학공정, 냉각탑, 열교환기뿐만 아니라 원유의 장거리 수송 등 여러 분야에서 유동상태에 따라서 발생하거나 발생 가능성이 있는 2상류 유동장에 고분자물질을 첨가했을때 난류 마찰저항 감소현상을 크게 기대할 수 있다. 그러나 그 동안 대다수의 연구자들은 단상유동 및 2상 유동장에서 고분자물질의 자체 특성을 규명하기 위해서 고분자 수용액을 개방계 내로 유동시켰을때 마찰저항 감소현상을 고찰^{4)~6)}하는데 국한하였지 산업 기기에 적용시킬 수 있는 밀폐계에서 마찰저항 감소현상을 규명하기 위한 연구는 극소수이며 특히 2상 유동장에 관해서는 거의 없는 실정이다.

본 연구는 밀폐계 실험 장치의 수평 원관내를 뉴턴유체인 물 또는 물과 공기를 유동시킬 경우와 물에 PAAM(Polyacrylamide)과 A611P(Co - polymer) 두 종류의 고분자물질을 각각 첨가한 비뉴턴유체인 고분자 수용액을 유동시켰을때 발생하는 난류 마찰저항 감소현상을 실험적으로 규명하고자 한다.

2. 이 론

2.1 비뉴턴 유체

일정한 온도에서 뉴턴의 점성법칙에 의해 이방성 응력(전단응력)을 예상할 수 없는 유체를 비뉴턴유체이라고 하며, 대부분 균질한 유체는 뉴턴유체(가스, 열, 순수액체, 유기물 분자와 비유기물 분자로 구성된 전해물)이고 식(1)을 따른다. 그렇지만 복잡한 구조 및 조합이 많은 유체들 즉, 식(1)에 따르지 않으며 석탄 슬러지, 토마토 주스, 하수 찌꺼기, 진흙 등 복잡한 집합체인 유상액(emulsion)과 같은 것을 비뉴턴유체라 한다.

$$\tau_{ij} = \mu D_{ij} \quad (1)$$

여기서 μ 는 순수 유체의 점성계수이고, D_{ij} 는 변형 텐서의 극소량이다.

비뉴턴유체의 점성은 전단응력과 전단 변형률인 전단율($\dot{\gamma}$)의 비는 일정하지 않으나 전단응력과 전단율의 크기에 의존하는 것을 대신하고 있다. 유체의 점성으로 정의된 비(ratios)를 겔보기 점성(apparent viscosity)라고 한다. 이때 고분자 수용액 및 섬유 부유물은 비뉴턴유체의 점성특성에서 탄성을 나타낸다. 이러한 유체의 유동에서 탄성의 영향이 주어진 위치에서의 유체 요소와 요소를 따르는 경로 등을 경험화하는 조건에서 비정상유동의 상황을 표현한다.

2.2 Power Law(or Ostwald - de Waele) Model

이 모델은 유체의 전단응력 또는 겔보기 점도 및 전단응력률과 상호관계를 나타낸 것으로서 비뉴턴유체의 점성에 대해서 가장 광범위하게 사용되고 있는 모델이다. 전단응력은 전단응력률의 n 승에 비례한다는 것으로 다음과 같다.

$$\tau = m \dot{\gamma}^n \tag{2}$$

여기서, n 은 유동 지수이고, m 은 농도의 파라메타이다.

이 모델에서 겔보기 점성(η)은 아래 식과 같다.

$$\eta = m \dot{\gamma}^{n-1} \tag{3}$$

이때 식 (2)와 (3)에서 겔보기 점도를 전단응력률로 나타내면 다음 식과 같다.

$$\eta = m^{1/n} \tau^{n-1/n} \tag{4}$$

어떤 유체의 점성거동을 결정하기 위해서는 n 과 m 을 알아야 하며, 만약 $n=1$ 이라면, 뉴턴유체로서 $m=\mu$ 가 된다. 또한 $n < 1$ 이라면, 점도는 전단 변형률 또는 전단응력이 증가함에 따라 감소한다. 이와 같은 유체를 Shear - thinning(pseudoplastic)유체라고 한다. 그러나 $n > 1$ 이라면, 점도는 전단응력의 증가와 더불어 증가하는데 이런 유체가 Shear - thickening(dilatant)유체이다. 위의 유체들은 주어진 온도와 압력에서 그 물질에 대한 임의의 한 점에서 전단응력이 그 점의 순간 변형률에만

의존하는 유체들이다. 이러한 유체들은 시간에 무관한 비뉴턴 점성유체 또는 순수 점성 비뉴턴유체이다. 이때 수용성 고분자 수용액은 그 동안 다수의 레올러지 학자들에 의해 실험적으로 규명한 결과 Shear - thinning 유체임을 제시하였으며 고분자 수용액은 Shear - thinning 유체로서 난류 영역에서 순수 수용액과 고분자 수용액의 레이놀즈수의 차이는 거의 없음을 규명하였다.^{7)~9)}

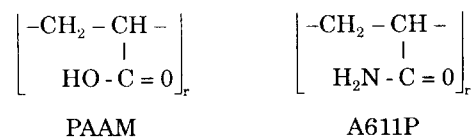
3. 실험

3.1 시험부

Fig. 1은 시험부로서 가시화가 가능한 내경 24 mm, 두께 3mm, 길이 1,500mm인 투명한 아크릴관을 사용하였다. 수평관 시험부(A-1)는 완전히 발달되는 거리를 고려하여 유동 전반부로부터 4,800mm(L/D=200)떨어진 곳에 장착하였고, 시험부 입·출구 1,500mm사이에 차압 측정 구멍을 직경 3mm로 뚫어서 스트레인게이지 형식의 차압용 압력변환기를 설치하였다. 또한 유동하는 유체의 평균속도 측정을 위하여 차압 측정시 사용한 시험부 입구의 구멍이 유동장의 평균속도에 영향을 미칠 것을 고려하여 시험부(A-2)를 교체하고 열선 풍속계의 프로우브를 장착하는데 구멍을 전반부로부터 5,550mm(L/D 231)인 위치에 3mm로 1개 뚫었다. 이때 열선 풍속계의 프로우브는 시험부 반경방향에서 자유로이 이송할 수 있도록 미세거리 조절 장치와 연결시켰다.

3.2 고분자물질의 물성치

본 실험에서 사용한 고분자물질은 미국의 SP²사(Scientific Polymer Products Inc.)로부터 구입한 것으로서 PAAM의 분자량 수는 500만~600만개이며, 합성 고분자인 A611P의 경우 분자량의 수는 1,400만~1,600만개로 구성되어 있으며, 분자의 조성식은 아래와 같다.



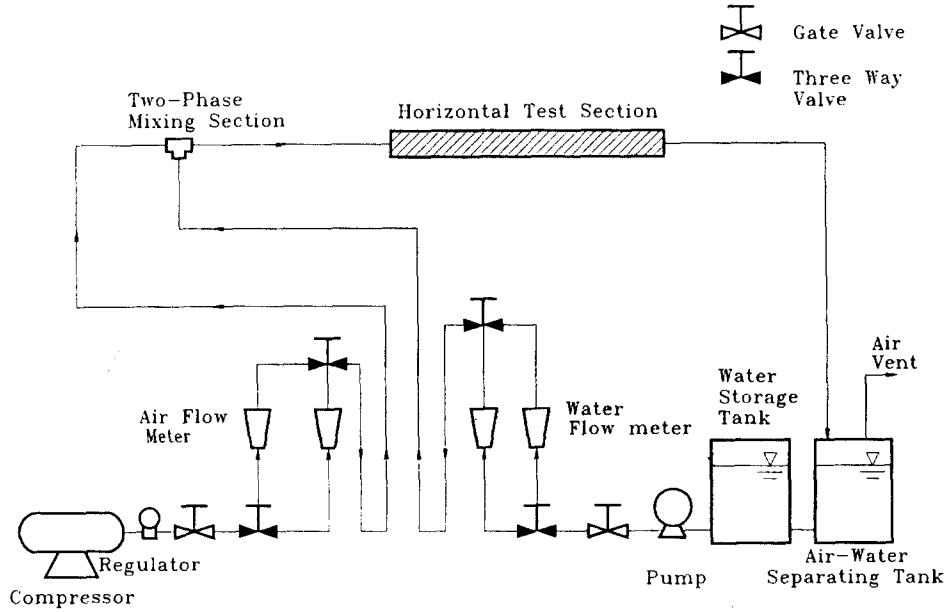


Fig. 1 Test Section

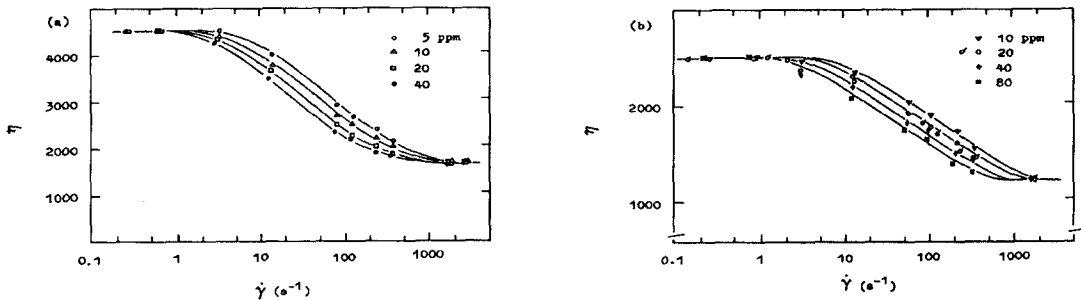


Fig. 2 Reduced viscosity vs shear rate for solutions of small concentration of different polymer (a) Alcox, $c^*=222\text{ppm}$, (b) polyox WSR - 301, $c^*=400\text{ppm}$ (Experimental data of Kalashnikov¹⁰⁾)

여기서 r 은 반복 계수이다.

최근에 Kalashnikov¹⁰⁾는 모세관점도계와 Zimm - Crothers가 고안한 회전점도계를 변형하고 수용성인 PEO계열 고분자물질의 종류, 농도, 온도 등을 실험 변수로 하여 고분자 수용액의 전단율에 따른 겔보기 점도를 측정하여 제시한 것으로 그 결과를 살펴보면 Fig. 2와 같다. Fig. 2(a)는 러시아 Meisei Chemical사에서 제조한 Alcox고분자물질로서 평균분자량 수가 1,400만개이다. 이는 본 실험에 사용한 A611P의 분자량 수와 유사하다. 또한 전단율의 범위가 0~3,000일때 전단율이 증가할

수록 겔보기 점도는 순수 수용액에 가까운 수치를 보이고 있으므로 Shear - thinning유체임을 알 수 있다. Fig. 2(b)는 분자량 수가 620만개인 Polyox WSR - 301 고분자물질로서 Fig. 2의 (a)와 동일한 경향을 보이고 있다. Kato¹¹⁾ 등은 레이놀즈수가 2,000일때 순수 수용액과 PAAM수용액의 속도 상관 상수를 "1"로 정의하고 레이놀즈수의 변화에 따라 관찰한 결과 Fig. 3과 같이 층류유동에서 난류유동인 천이과정에서 속도 상관수가 같게 됨을 실험을 통하여 규명 하였다. 이때 사용한 고분자물질은 PAAM수용액의 농도가 200ppm 일때이다.

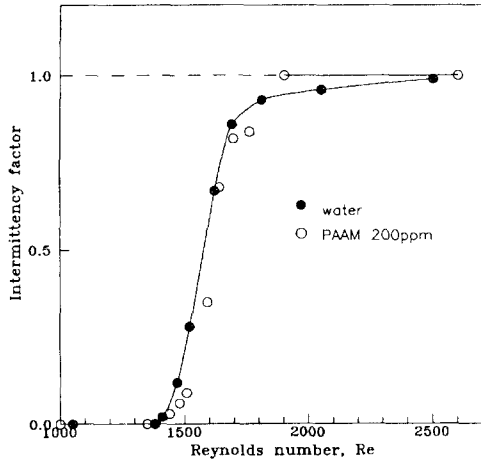


Fig. 3 Relation between the intermittency factor and the Reynolds number when the polymer additives is a PAAM with a concentration of 200ppm(Experimental data of Kato⁽¹⁾)

이상과 같이 수용성 고분자물질의 물성치를 살펴본 결과 본실험에 사용하는 수용성 고분자물질은 Shear - thinning 유체로서 난류 영역에서 순수 수용액과 고분자 수용액의 레이놀즈수의 차이는 거의 없을 것으로 예측할 수 있다.

4. 실험결과 및 고찰

4.1 난류 마찰저항 감소와 기계적퇴화

본실험에서 순수 수용액과 고분자 수용액을 유동시켰을때 고분자물질의 종류 및 농도, 유체의 레이놀즈수, 실험시간을 변수로 하여 마찰저항 감소를 산출하였으며, 시간에 따른 고분자 수용액의 기계적 퇴화 정도를 비교, 분석하였다. 실험에서 고분자 수용액의 경우 유동조건을 순수 수용액과 동일하게 하기 위해서 수용액이 실험장치를 유동한지 1분이 지난후부터 압력강하를 계측하였으며, 마찰저항 감소율(D.R)은 아래 식(5)에 의해 계산하였다.

$$D.R(\%) = \frac{\Delta P_{NP} - \Delta P_{AP}}{\Delta P_{AP}} \times 100 \quad (5)$$

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

Fig.4~5는 순수 수용액의 레이놀즈수가 3.3×10^4 로 유동시켰을때와 동일한 조건에서 200 ppm의 PAAM과 A611P 수용액을 유동시켰을때 시간에 따른 차압용 압력변환기에서 계측한 압력

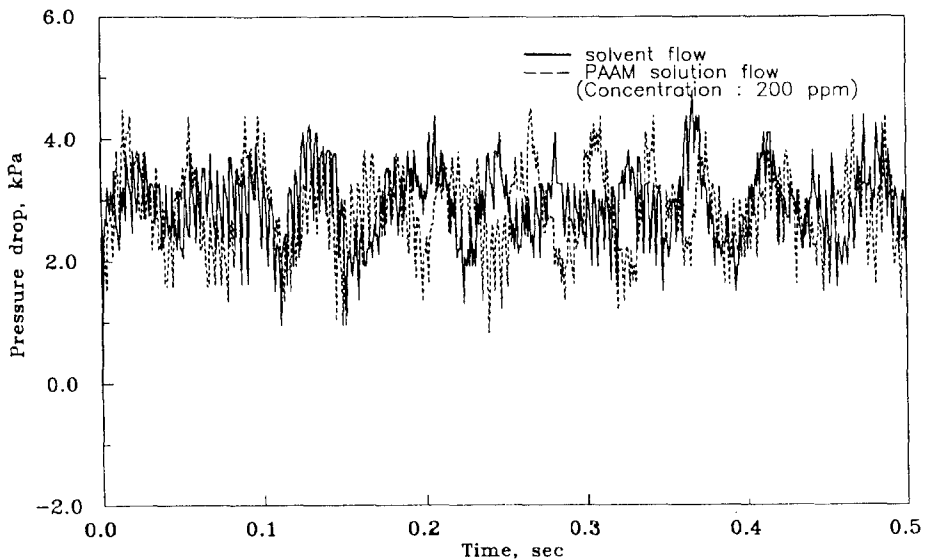


Fig. 4 Comparisons of pressure drop wave with and without polymer additives at $Re = 3.3 \times 10^4$

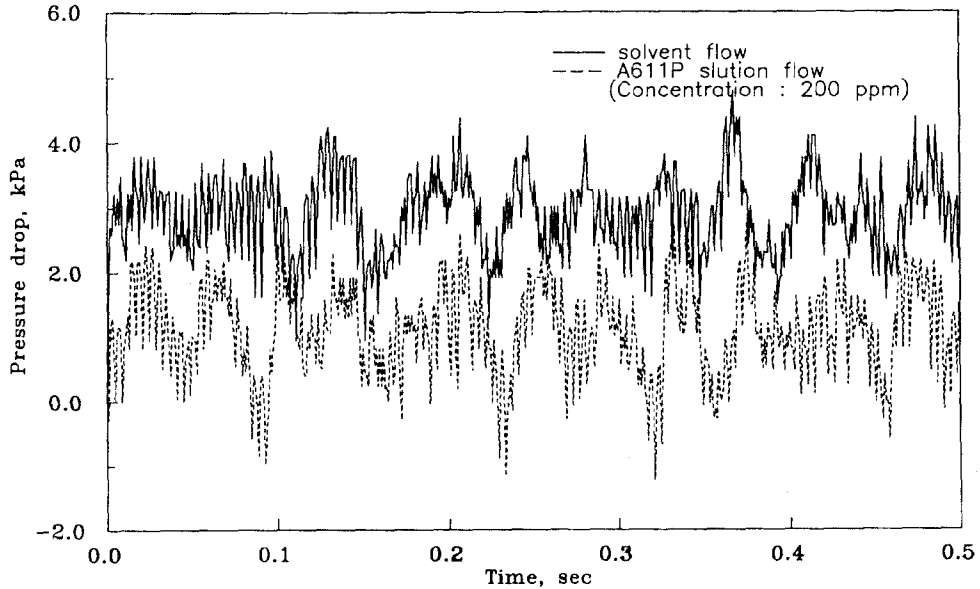


Fig. 5 Comparisons of pressure drop wave with and without polymer additives at $Re=3.3 \times 10^4$

강하 신호를 비교 도시한 그림들로서 PAAM 수용액을 유동시켰을때 계측한 신호와 순수 수용액을 유동시켰을때의 계측한 신호의 차이는 거의 없으나, A611P수용액을 유동시켰을 경우는 순수 수용액에 비해 압력강하가 현격히 감소함을 알 수가 있다. 따라서 PAAM 보다는 A611P고분자물질이 유동장내의 마찰저항을 감소시키는데 있어 효과적임을 알 수가 있다. 이때 고분자 수용액이 실험장치를 각각 유동한지 30분이 되었을때 계측한 자료를 비교하였다.

Fig. 6은 순수 수용액의 레이놀즈수가 3.3×10^4 으로 유동시켰을때 실험초기에는 PAAM 수용액인 경우 마찰저항 감소율은 농도가 50ppm일때 9.8%, 100ppm일때 13.1%, 200ppm일때 15.9%이며, 반면 A611P 수용액인 경우 농도가 50ppm일때 48.8%, 100ppm일때 56.1%, 200ppm일때 61.6%의 저항 감소효과를 나타내고 있다. 또한 실험시작 후 30분이 경과했을때 PAAM 수용액인 경우 마찰저항 감소율은 농도변화에 큰 영향 없이 약 4~6.5%이지만 A611P 수용액의 경우 농도가 50ppm일때 19.8%, 100ppm일때 30.7%, 200ppm일때 40.3%의 마찰저항의 감소효과가 있다.

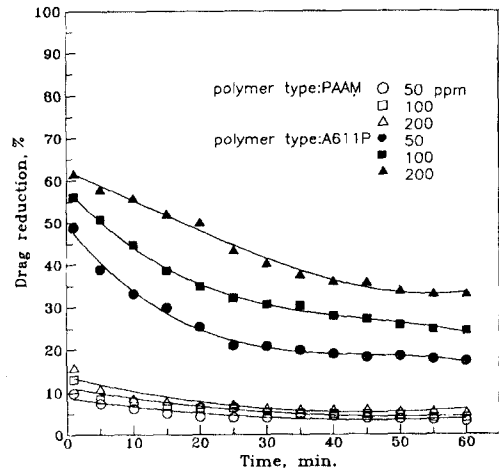


Fig. 6 Present drag reduction versus time for polymer additives at $Re=3.3 \times 10^4$

이상과 같은 결과에 의하면 실험시간에 따른 고분자 수용액의 기계적퇴회(mechanical degradation)로 인하여 마찰저항 감소효과를 나타내며, 특히 개방계에서 효과적인 마찰저항 감소제로 사용된 PAAM의 경우 밀폐계에서 실험 시작 1분이전에 기계적퇴화로 인하여 마찰저항 감소효과가 급격히 감소되었음을 알 수가 있다. 또한 본실험에

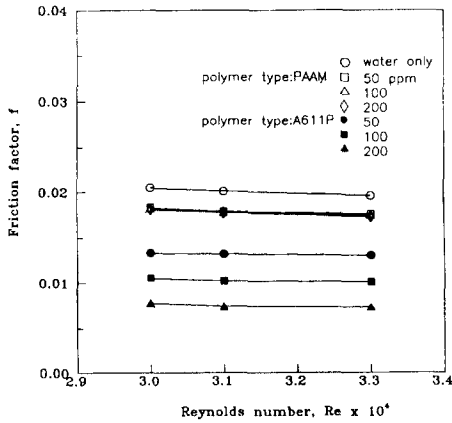


Fig. 7 Comparison of friction factor with and without polymer additives

사용한 PAAM의 분자량 수는 500만~600만개이며 합성고분자 물질인 A611P의 경우 분자량의 수는 1400만~1600만개 이므로 분자량이 큰 고분자 물질이 기계적 퇴화에 강함을 알 수가 있다. 따라서 개방계에서 기존에 많은 연구가들에 의해 우수한 마찰 감소제로 규명된 PAAM은 밀폐계에서는 마찰저항 감소효과가 매우 미소함을 나타내며 밀폐계에서 난류 마찰저항 감소제로 적합하지 않음을 규명 하였다. 그러나 합성고분자 물질인 A611P 경우는 밀폐계에서도 마찰저항 감소효과가 크기 때문에 밀폐계에 적합한 저항 감소제임을 알 수 있다. 현재로서 많은 연구 및 학자에 의해서 개발된 고분자 물질의 종류는 무수히 많으며, 그 중 우수한 마찰저항 감소제로 사용될 수가 있어서 저항 감소효과를 극대화 할 수 있다.

Fig. 7은 순수 수용액에 해당되는 레이놀즈수의 변화와 PAAM과 A611P 수용액의 농도변화에 따른 마찰계수를 비교 도시한 그림이다. 마찰계수 산출은 고분자물질의 기계적 퇴화를 고려해 주므로서 고분자 수용액의 유동이 실험장치를 통해 30분이 경과한 후에 측정한 압력강하, 평균속도, 시험부 형상 치수 등을 이용하여 식(6) 및 식(7)에 의해 산출하였다.

$$\tau_w = \Delta PD / 4L \quad (6)$$

여기서 D 는 시험부 직경, L 은 압력강하 측정 거

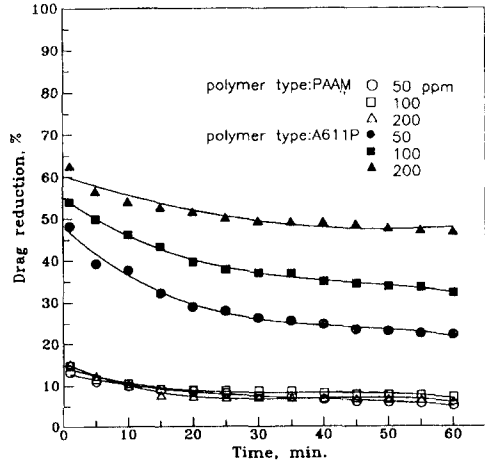


Fig. 8 Comparison of drag reduction for polymer additives at JSL=2.2m/s JSA=0.25m/s

리이다.

$$f = \frac{4\tau_w}{1/2 \rho u^2} \quad (7)$$

여기서 ρ 는 유체의 밀도, u 는 평균속도이다.

그림으로부터 레이놀즈수의 증가에 따라 마찰계수는 감소하며, 레이놀즈수가 일정할때 순수 수용액만 유동시켰을 경우보다 고분자 물질을 첨가하여 유동할 경우 마찰계수는 현저하게 감소됨을 알 수 있다. 이때 A611P 수용액의 경우 농도증가에 따라 마찰계수가 크게 감소를 나타내며, PAAM 수용액의 경우는 농도를 증가시켜도 마찰계수의 감소가 매우 미소함을 알 수 있다.

Fig. 8은 2상 기포류의 유동속도 즉, 걸보기 물속도가 2.2m/s, 걸보기 공기속도 0.25m/s로 유동할때와 순수 수용액에 고분자 수용액의 농도변화에 따른 마찰저항 감소율을 비교한 것으로 실험시작 후 30분이 되었을때 PAAM 수용액의 경우 마찰저항 감소율은 농도변화에 큰 영향 없이 7~8%인 반면, A611P 수용액의 경우 농도가 50ppm일때 26.2%, 100ppm일때 37.1%, 200ppm일때 49.4%의 감소효과가 있음을 알 수 있다. 이상의 수치는 난류 마찰저항 감소를 위한 감소제인 PAAM에 비해 A611P경우가 마찰저항 감소효과가 월등히 크기 때문에 A611P 고분자물질이 밀폐계 2상 유동

장에서 마찰저항 감소제로 우수하다고 할 수 있다. 따라서 냉난방 순환회로, 화학공정, 냉각탑, 열교환기뿐만 아니라 원유의 장거리 수송 등 여러 분야에서 유동상태에 따라서 발생하거나 발생 가능성이 있는 2상류 유동장에 A611P와 같은 고분자물질을 첨가하면 실험결과와 같이 큰 마찰저항 감소효과를 얻을 수 있다고 예측된다. 따라서 이로 인한 엄청난 시스템의 유지비를 절감 할 수 있다. 특히 국내의 최근 시설 설비를 하고 있는 장거리 원유수송 네트워크, 지역 냉·난방 네트워크 시스템내의 유체에 고분자물질을 첨가함으로써 마찰저항 감소효과를 극대화시킬 수 있다고 예측된다. 또한 산업 기기중 2상유동 시스템은 대다수가 밀폐계로 구성되어 있으며, 이런 유동장에 A611P와 같은 고분자물질을 첨가하여 수송시켰을때 막대한 펌프의 동력을 절감할 뿐만 아니라 적용을 달리하면 고분자 수용액의 경우 단위 시간당 배출 유량이 증가되므로 유동장의 직경을 줄일 수 있다. 따라서 2상유동 시스템을 소형화시킬 수 있을 것으로 예측된다.

4.2 평균속도와 난류강도

Fig. 9는 순수 수용액의 유동이 레이놀즈수가 3.0×10^4 일때와 순수 수용액을 유동할때 소요되는 동일한 펌프의 동력으로 순수 수용액에 50

ppm의 PAAM과 A611P를 첨가한 고분자 수용액을 유동시켰을때 시험부 반경방향에 따른 평균속도 분포를 비교 도시한 그림으로 고분자물질 첨가에 상관없이 시험부 단면의 평균속도 분포는 타원형 형태로 분포하므로서 전형적인 난류유동임을 알 수 있으며, 순수 수용액만 유동할때보다 고분자물질을 첨가하여 유동시켰을 경우 시험부의 유동 단면 전체에서 평균속도가 증가됨을 볼 수 있는데, 이때 PAAM 수용액보다는 A611P 수용액을 유동시켰을때 더욱더 평균속도는 증가함을 알 수가 있다. 이와 같이 고분자물질 첨가에 따른 평균속도의 증가는 유동장내 압력강하의 감소 에너지가 속도 증가 에너지로 변화됨을 예측 할 수 있다.

Fig. 10은 순수 수용액의 레이놀즈수가 3.0×10^4 으로 유동시켰을때와 농도 50ppm의 PAAM 수용액과 A611P 수용액을 각각 유동시켰을때 시험부 반경방향에 따른 난류강도를 계속하여 도시한 것으로 난류강도는 관의 중심에서 고분자물질의 첨가와 상관없이 큰 차이가 없으나, 시험부의 벽근처에서는 순수 수용액보다 고분자 수용액을 유동시켰을때 현저하게 감소됨을 알 수 있다. 이와 같은 현상으로 마찰저항 감소효과는 유동장 관의 벽근처에서 지배적으로 발생되고 있음을 알 수 있다.

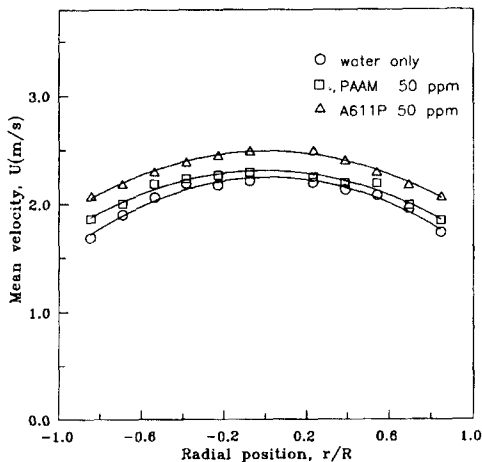


Fig. 9 Effect of polymer additives on mean velocity at $ReS=3.0 \times 10^4$

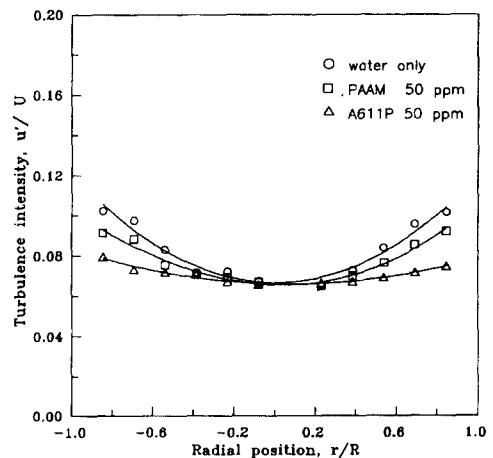


Fig. 10 Comparison of turbulence intensity profiles with and without polymer additives at $ReS=3.0 \times 10^4$

5. 결 론

본 연구는 많은 산업 기기 중 밀폐 시스템에 적용하기 위한 실험장치를 밀폐 시스템으로 구성하고, 수평 원관내에 고분자물질을 첨가하지 않은 순수 수용액인 경우와 기존에 주로 마찰 감소제로 사용한 PAAM과 새로운 합성 고분자물질인 A611P 두 종류의 고분자물질에 농도를 변화시키며 고분자 수용액이 유동할때 발생하는 난류 마찰저항 감소현상을 실험적으로 고찰하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 개방계에서 마찰저항의 감소제로 주로 사용한 PAAM은 밀폐계에 유동시켰을때 유동 초기에 급격한 기계적퇴화로 마찰저항 감소율은 농도변화에 큰 영향 없이 약 4~5%에 불과하기때문에 밀폐계에서 마찰저항 감소제로 사용하기는 부적합함을 규명하였으며, 합성 고분자물질인 A611P의 경우는 실험시작 후 30 분대에도 농도에 따라 18~50.3%의 마찰저항 감소효과가 있기에 밀폐계에서 A611P가 마찰 감소제로서 적합함을 규명하였다.

2. 밀폐계에서 새로운 합성고분자 물질인 A611P의 경우는 실험시작 후 30분대에도 농도에 따라 18~50.3%의 마찰저항 감소효과가 있기 때문에 A611P 수용액의 경우 순수 수용액에 비해 단위 시간당 배출 유량이 증가되기 때문에 유동 시스템의 소형화로 하는데 크게 기여할 수 있을 뿐 아니라 시스템의 기초 설비 비용을 절약 할 수 있음을 규명하였다.

3. 순수 수용액만 유동할 때 보다 고분자 수용액을 유동시킬 경우 시험부 유동 단면 전체에서 평균속도를 증가됨을 알 수 있으며, PAAM 수용액보다는 A611P 수용액이 유동할때 더욱더 평균속도가 증가함을 알 수 있다. 이와 같이 고분자물질 첨가에 따른 평균속도의 증가는 유동장내 압력강하의 감소 에너지가 속도 증가 에너지로 변화됨을 예측할 수 있다.

4. 난류강도는 관의 중앙부 부근에서는 순수 수용액이 유동하는 경우와 고분자 수용액이 유동하는 경우 거의 차이가 없으나 관의 벽 부근에서는 순수 수용액만 유동하는 경우보다 고분자 수용액

을 유동시켰을때 감소하므로 마찰저항의 감소는 관의 벽 부근에서 지배적으로 발생됨을 규명하였다. 이는 기존에 예측 보고된 완화설을 뒷 받침 할 수 있는 실험적 근거임을 규명하였다.

참고문헌

- 1) Toms, B. A, 1948, "Some Observations on the Flow of Linear Polymer Solutions through Straight Tube at Large Reynolds Numbers.", Proc. 1st Int. Congress on Rheology, Vol. 2, pp. 135 - 141
- 2) Virk, P. S. Mickley, H. S. and Smith, K. A, 1970, "The Ultimate Asymptote and Mean Flow Structure in Toms' Phenomenon.", Transactions of the ASME, Vol92, No. 2. pp. 488 - 493
- 3) 김상훈, 1996, "한국형 열병합발전시설 '97년 완공 순조", 에너지관리공단, Vol. 236, pp. 74 - 81.
- 4) Armstrong, R. and Jhon, M. S., 1983, "Turbulence in the Conformation of Polymer Molecules.", J. Chem. Phys. Vol. 79. pp. 3143 - 3147
- 5) Armstrong, R. and Jhon, M. S., 1984, "Self-consistent Theoretical Approach to Polymer Induced Turbulent Drag Reduction.", Chem. Eng. Comm. Vol. 30, pp. 99 - 111.
- 6) de Gennes, P. G., 1990, "Introduction to Polymer Dynamics.", Cambridge University Press, pp.34 - 54.
- 7) Chauveteau, G., 1982, "Rodlike Polymer Solution Flow Through Fine Pore : Influence of Pore Size on Rheological Behavior.", J. Rheol. Vol. 26, pp. 111 - 142
- 8) Van Oene, H. and Cragg, L. H., 1962, "Shear Dependence of the Reduced Viscosity - Concentration Slope Constant.", J. Polym. Sci. Vol.57, pp. 207 - 225
- 9) Sharmen, L. J. Sones, R. H. and Cragg, L. H., 1953 "Effects of Rate of Shear on Inherent and Intrinsic Viscosities of Polystyrene Fraction.", J. Appl. Phys. Vol. 24, pp. 703 - 711
- 10) Kalashnikov, V. N., 1994, "Shear - rate Dependent Viscosity of Dilute Polymer Solutions.", The Society of Rheology, Vol. 38, No. 5, pp. 1, 385 - 1403

- 11) Mizunuma, H and Kato H., 1988, "Influence of Polymer Additives on Transitional Plane Poiseuille Flow." ,J. JAME Vol. 31. No. 2, pp. 209 - 217.