

폴리머를 이용한 하수관로에서의 퇴적물 제거 기법

전찬열 · 오을권 · 황세준[†]

중부대학교 정보공학부 정보기계공학전공
(2002. 8. 6 접수 / 2002. 10. 12 채택)

Removal Method for a Deposit at Sewerage with Polymer Additives

Chan-Yeal Jeon · Yool-kwon Oh · Se-joon Hwang[†]

Department of Information Mechanical Engineering, Joongbu University

(Received August 6, 2002 / Accepted October 12, 2002)

Abstract : This experimental study is aimed to increasing the velocity in the sewerage and also development of easy removal method for a corrosion and sand in the flow pipe. And the result by the increasing the out flow per unit time, diameter of sewerage pipe is becoming small size, cut down the construction fee and the same time reducing the tubulent flow pattern in the flow pipe. As a result of detected experimental velocity signal from the probe in the test wall surface, reducing the pump power and increasing the out flow per unit time. Apparent water velocity decreases as the value of void ratio increases depends on the varies center of pipe.

Key Words : sewerage, corrosion and sand, tubulent flow

1. 서 론

하수도의 정비는 생활 환경의 개선과 공공 수역의 수질 보전은 물론 지역 안전을 확보하는데 목적이 있다. 생활이나 산업 활동에서 발생하는 오·폐수의 신속한 배출은 생활 주변에서 발생하는 악취와 파리, 모기 등의 병원균 발생을 억제시키며 각종 전염병의 발생 요인을 제거하고 있다¹⁻⁵⁾. 최근 지구의 온난화에 따른 이상기온으로 예측하지 못한 재해를 입고 있고 집중호우로부터 국민의 안전을 도모하기 위하여 국가적인 차원에서 대책수립을 서두르고 있는 실정이며 사전에 하수도 시설의 정비를 통하여 이러한 재해를 예방하려는 노력을 기울이고 있다^{6,7)}.

오·폐수의 발생원으로부터 배수설비, 하수관거, 처리장에 이르는 하수도 시스템의 철저한 정비는 선진국 진입의 요건이 되고있다. 그 중에서도 하수관거의 완벽한 정비와 철저한 유지 관리가 무엇보다 중요한 요소이지만 아직 우리나라에서는 이에 관하여 심도 있는 연구가 진행되지 않고 있는 것이

현실이다. 우리나라의 급격한 공업화 및 산업화로 도시의 인구 집중현상이 이루어지고 있으며, 이는 환경 및 보건적인 측면에서 매우 심각한 문제를 유발시키고 있다. 특히 수십년전에 설치된 상당수의 상·하수관은 국민 보건위생 및 수해 발생의 큰 요인이 되고있다. 전국적으로 지하에 설치된 상·하수도 배관은 몇 만 킬로미터 이상이며 이중 절반 이상이 토사, 음식물 찌꺼기, 오물 등으로 퇴적되어 이로 인한 수질오염의 원인을 제공하는 한편 관의 파손으로 오·폐수가 지하로 유출되고있는 실정이다. 이는 국민 위생상 큰 문제를 유발시키는 동시에 지하수의 오염원이 되고 있다. 또한 각 지역의 하수도 관이 막힘으로 인하여 폭우가 쏟아지게 되면 배수가 제대로 되지 않아 교통 장애는 물론 침수를 유발하게되어 국가적으로 재산 손실이 막대한 실정이다^{8,9)}.

이러한 문제점을 해결하기 위한 방법으로는 고압수를 이용하는 방법, 브러쉬를 이용하는 방법, 전파를 이용하는 방법, 용해력이 강한 화공약품을 사용하여 세관 하는 방법, 배관 내부에 초음파를 발사하여 진동과 함께 세척하는 방법, 규사를 고속으로 분사시켜 관의 내부에 발생한 스케일을 제거하는

[†]To whom correspondence should be addressed.
sejoon@kopo.or.kr

방법 및 관의 크기에 따라 가용성이 있는 볼 또는 브러시를 삽입시켜 세척하는 방법 등이 있다⁷⁾. 이와 같은 방법들은 관의 파괴와 환경오염등의 우려가 있고 대형 차량과 장시간의 작업으로 인한 교통의 방해는 물론 세척작업 중 관을 폐쇄 시키므로써 시민들에게 불편을 초래하고 있다. 또한, 관의 크기에 따른 제약 및 관의 내부손상으로 누수 발생의 원인이 되고 비용이 매우 많이 소요되는 등 많은 부작용을 발생시키고 있으며 관로의 내구 연한감소에 따른 보수 및 교체 비용의 증가를 초래하고 있다.

한편 정부는 기 매설된 하수관 68,000km의 정비 비용으로 약 7조 3천억원이 소요될 것으로 추정하고, 우선 2002년 하수관거 정비사업의 예산을 약 8,080억원으로 배정하였으며, 향후 이러한 경비는 하수관의 노후로 인하여 매년 증가할 것으로 예상된다. 또한 하수처리장 확충보다 관거사업에 우선 투자계획을 세워 2002년을 “하수관거 특별정비 원년”으로 설정하여 우리나라의 하수처리 효율을 획기적으로 개선하기 위한 7대 중점과제를 추진하고, 하수도 국제 세미나를 통하여 선진기술 및 관리기법의 도입과 이를 반영하도록 추진하고 있다⁸⁾. 그러므로 하수도 정책은 이제까지 하수처리장의 건설 위주에서 생활 하수를 가정에서부터 하수처리장까지 이송하는 하수관거 정비 위주로 전환될 것으로 예상된다. 따라서 기존의 하수관내 이 물질의 퇴적물을 효율적으로 처리함은 물론 방지하는 것이 매우 사항이다.

본 연구에서는 고분자 물질인 A611P와 A601P 및 PAAM의 미소량을 지속적으로 투입하여 하수관로의 유속을 증대시킬수 있으며 관로의 부식 및 토사 침식을 방지하는 동시에 제거할 수 있는 기법을 개발하고자 한다. 또한 미소량의 고분자물질을 투입함으로써 오염원의 발생을 줄일수 있으며 단위 시간당 유출량을 증대시켜 하수관 시스템을 소형화 할 수있고 공사비용을 절감하며 관내 유체의 난류현상을 감소시키므로써 관의 수명을 연장시키는 기법을 개발하고자 한다. 이는 하수관거 정비 및 유지 관리에 투입하는 막대한 예산을 절감할 수 있을 것으로 기대된다.

2. 이론적 배경

매끈한 관에 액체 상태의 뉴턴유체가 난류 상태로 유동할 때 계면활성제(surfactants), 섬유 부유물

(fiber suspension), 고분자첨가제(polymer additives) 등을 첨가시켜 줌으로서 유체의 난류 유동장에서 난류 억제로 인한 마찰저항을 감소시키는 것을 난류 마찰저항 감소현상이라고 한다^{10,15)}. 이에 관한 연구는 최초로 Blatch에 의해 발견된 이후 Toms는 뉴턴유체인 모노클로로벤젠(monochlorobenzene)속에 고분자 물질인 폴리메틸 메타크릴산(polymethyl methacrylate)을 소량 용해하여 원관내에서 유동시킬 때 난류 마찰저항 감소효과를 크게 얻을 수 있다는 사실을 발표하였다^{11,12)}. 물에 수십 ppm의 수용성 고분자를 첨가할 경우 저항이 수십 %는 보통이지만, 어떤 경우는 고속 유체의 저항이 90%까지 저하는 실험 결과를 발표한 예도 있다^{13,14)}.

이와 같은 수치로 볼 때 소방차의 방수능력(pump ability) 향상, 선박 및 잠수함 항해속도 상승, 원유수송, 각종 유체수송에 있어서 펌프력의 향상 및 태풍에 의한 폭우시 하수관의 범람 및 하천과 강 범람을 예방할 수 있는데 사용될 수 있을 것으로 기대되고 있다. 특히 대량의 액상 유체를 원거리 수송하는데는 난류 마찰로 인하여 높은 동력의 펌프와 직경이 큰 관이 요구될 뿐만 아니라 시스템의 설치와 유지하는데도 엄청난 비용과 에너지 소모가 요구된다.

본 연구에서 사용된 고분자 물질인 PAAM은 미국의 SP2사(Scientific Polymer Products Inc.) 제품으로 분자량 수는 500만 ~ 600만개이며 이양화학에서 구입한 A601P와 A611P는 1400만~1600만개의 분자량으로 구성되어있다.

Fig.1은 유출시간이 100초이상으로 운동에너지 보정이 필요없는 Ubbelohde 형식의 점도계를 이용하여 A611P 수용액에서 전단률에 대한 겔보기점도

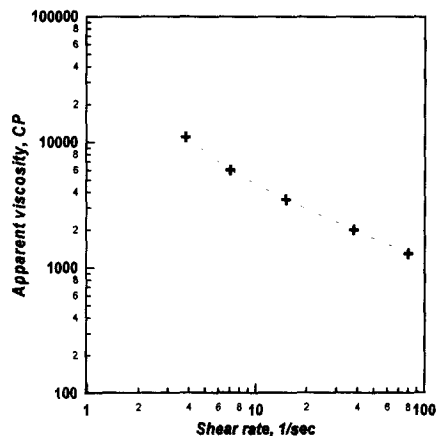


Fig. 1. Reduced viscosity vs. shear rate for A611P

를 측정하는 것이다. 이 결과에서 알수있듯이 수용성 고분자 수용액은 전단율이 증가함에 따라 겔보기점도가 감소하는 것으로 shear-thinning 유체임을 확인할 수 있다.

유동장에 적합한 고분자물질을 첨가하여 유동시킴으로써 단위 시간당 유량의 증가효과로 관의 직경을 축소시킬 수 있으므로 수송 시스템을 소형화하는데 기여할 수 있을 뿐만 아니라 시스템 설치에 관한 공사비용도 줄일 수 있다고 판단된다. 그러나 이와 같은 현상의 메커니즘은 아직 구명되어 있지 않은 상태이나 지금까지 알려진 마찰저항 감소이론으로는 난류생성 억제이론,¹⁴⁾ 난류 신장 저항이론, 분자 신장-인장 유동이론,^{16,17)} 분자 신장-점성저항 확대이론,^{18,19)} 탄성이론 등이 있으나 정확한 근거로 구명된 학설은 아직도 정립되어 있지 않다.

3. 실험방법

실험장치는 수평 유동장에서 저항감소에 대한 연구를 위하여 시험부내를 액상(물)만 유동시켰을 경우와 기-액(물과 공기) 2상류가 동시에 유동할 수 있도록 설계 및 제작하였다. 실험장치는 공기 압축기, 압력 조절기, 기-액 혼합부, 공기 및 물속도 측정부, 원심펌프, 기-액 분리탱크, 순환수 저장탱크, 시험부로 구성되어 Fig.2에 도시하였다.

액상만 유동시키는 경우의 순환회로는 순환수 저장탱크 내의 순환수의 경우 공기부의 유동회로는 차단시키고 3마력 용량의 부식 방지용 내산 스테인레스 원심펌프에 의해 순간 유량계를 통하여 시험부로 유입시켰다. 기-액 2상류를 유동시킬 경우의 순환회로는 5마력 용량의 공기압축기에서 분사된 공기의 경우 압력조절기에 의해 일정한 압력으로 조절된 후 순간유량계를 통하여 기-액 혼합부를 거

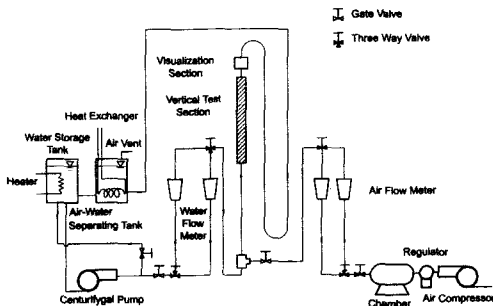


Fig. 2. Schematic diagram of the flow facility.

쳐 시험부로 유입시켰으며, 탱크내 순환수는 원심펌프에 의해 순간유량계를 통과하고 기-액 혼합부로 유입시켰다. 기-액 혼합부에서 형성된 2상류는 시험부를 거쳐 기-액 분리 탱크에서 기상은 대기 상태로 분리된 후 순환수는 저장 탱크에 저장 시킴으로써 일련의 2상 유동 순환 회로를 구성 실험하였다.

공기와 순환수의 유량은 시험부 입구에서 소정의 유동양식이 형성되도록 관로에 설치한 1인치 게이트밸브로 각 상의 유량을 조절하였다. 이때 실험장치중 배관에는 주위의 진동을 방지할 수 있도록 방진고무를 사용하였으며, 유체의 온도를 일정하게 유지하기 위하여 액상인 경우 순환수 저장탱크내에 열교환기를 설치하여 온도를 조절하였으며, 공기는 공기 분사기와 유량계 사이의 배관에 발열량이 500W인 테이프 가열기를 설치하여 일정한 온도로 예열시켜 시험부로 유입시켰다.

원심펌프와 공기 압축기에서 각 상의 최대 겔보기속도를 계산하여 그 범위에서의 순간유량을 선정하였으며, 유량계의 보정은 단위 시간당 관내에 흐르는 체적유량으로 산출하였다. 또한 열선 풍속계로 속도분포와 난류강도를 계측할 때 프로우브에서의 오염으로 전압 신호 저하가 발생하므로 이를 방지하기 위하여 5 μ m까지 거를 수 있는 여과기를 각각의 유량계 앞에 설치하였으며, 실험에 사용한 작동 유체는 공기와 순수 수용액 및 고분자 수용액으로서 액체의 경우 300 l 용량의 순환수 저장탱크에 저장하였다.

본 연구에서는 실험장치의 작동 유체에 고분자물질을 첨가하여 농도를 변화시킨 경우와 첨가하지 않았을 경우 다음과 같은 자료를 계측하여 분석하였다.

- (1) 스트레인 게이지 형태의 차압 측정기를 이용하여 압력 강하를 계측하고 마찰저항 감소율 산출 분석
- (2) 열선 풍속기를 활용하여 유체의 유동 속도 및 난류 강도 계측 및 분석
- (3) 전기 전도 프로우브로부터 시간 평균 보이드울 분포를 계측하고, 유동 양식 및 국부 보이드울 분포 특성 분석

4. 결과 및 고찰

- (1) 마찰저항 감소율

Fig. 3은 고분자 수용액의 유동조건을 순수 수용

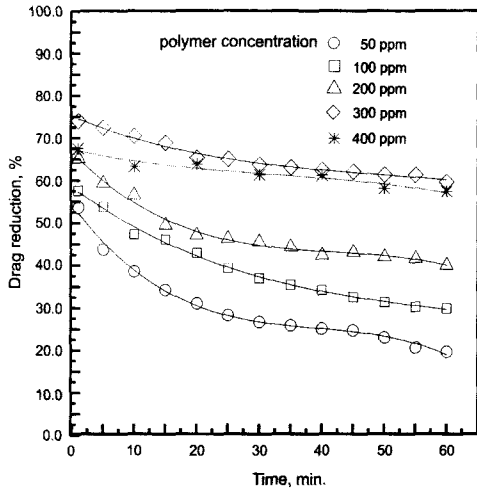


Fig. 3. Percent of drag reduction versus polymer concentration at $Re=3.8 \times 10^4$

액의 레이놀즈수와 동일하게 하고 순수 수용액에 A611P의 농도를 50ppm, 100ppm, 200ppm, 300ppm, 400ppm으로 첨가한후 각각에 대하여 유동을 수행 하였으며, 실험 시작 후 1분이 지난 후 압력강하를 계측하고, 5분 간격으로 60분 동안 실험 시간에 대한 마찰저항 감소율을 측정하였다. 이들 결과를 종합적으로 살펴보면 실험시간 경과에 따른 마찰저항 감소율은 초기시간에 다소 급격히 감소되나 실험을 시작하여 30분이 경과한 후에는 30분 이전에 비하여 미소한 감소현상을 볼 수 있다. 이는 밀폐계를 순환하는 고분자 수용액이 실험장치의 펌프 및 유로의 형상 등에 의하여 기계적 퇴화가 실험 초기에는 다소 급속히 발생하지만 약 30분이 경과한 후에는 기계적 퇴화의 정도가 미소하게 나타남을 알 수 있다. 이러한 기계적 퇴화가 진행됨에도 불구하고 농도가 300ppm일 때 실험 시작 후 30분이 경과한 후에도 최대 약 60%이상의 마찰저항 감소율을 유지하고 있음을 알 수 있다. 한편 농도를 증가시킬수록 마찰저항 감소율은 더욱 증가할 뿐만 아니라 기계적 퇴화도 적어짐도 볼 수 있다. 고분자 수용액의 농도를 수십 ppm으로 유동시켰을 때 마찰저항 감소율이 90%이상의 효과가 있음을 구명한 연구도 있지만, 밀폐계 내로 고분자 수용액을 유동시킨 후 시간이 30분 정도 지났을 경우 농도 $Re=3.8 \times 10^4$ 일 때의 경우에서 26 ~ 64%이므로 비록 시간이 30분이 경과하여도 마찰저항 감소효과는 비교적 지속적으로 유지되고 있음을 알 수 있다.

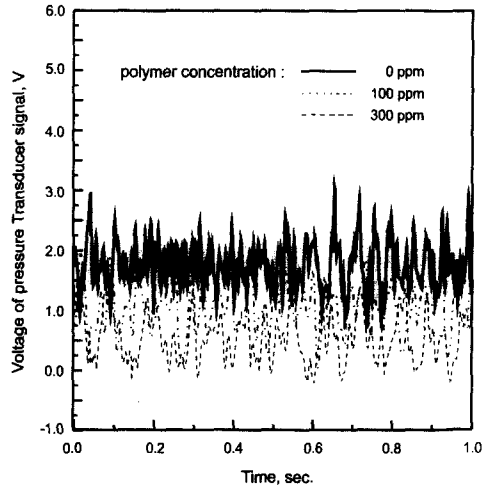


Fig. 4. Comparison of pressure drop signals with and without polymer additives at $Re=3.0 \times 10^4$.

이와 같은 결과로 볼 때 각종 유체수송에 있어서 펌프력의 향상 및 태풍에 의한 폭우시 하수관의 범람, 하천과 강 범람을 예방할 수 있는데 사용될 수 있을 것으로 기대되고 있다. 또한 유동장에 적합한 고분자 물질을 첨가하여 유동시키면 단위 시간당 유량의 증가효과로 유체 유동관의 직경을 축소시킬 수 있으므로 수송 시스템을 소형화하는데 기여할 수 있을 뿐만 아니라 시스템 설치에 관한 제반 비용도 줄일 수 있다고 판단된다.

Fig. 4는 $Re=3.0 \times 10^4$ 일 때 A601P 고분자 수용액의 농도를 변화시켜, 차압 측정기에서 출력되는 압력강하 신호를 비교한 그림으로 기계적 퇴화를 고려하여 실험시작 후 30분이 경과되었을 때 측정된 신호들이다. 고분자 수용액의 농도가 0ppm은 순수 수용액을 의미하는 것으로, 순수 수용액에 비하여 고분자 수용액의 농도는 100ppm인 경우 압력강하 값이 현저하게 감소되며, 농도가 높을수록 압력 파동성분이 감소됨을 알 수 있다. 이와 같이 압력강하 및 압력 파동성분이 감소되는 것을 볼 때 순수 수용액에 비해 고분자 수용액이 펌프의 동력을 현격히 감소시킬 수 있음을 알 수가 있다.

(2) 유동 속도와 난류 강도

Fig. 5는 순수 수용액의 레이놀즈수가 3.3×10^4 로 유동할 때와 순수 수용액에 농도가 50ppm의 PAAM수용액 및 A611P수용액을 유동시켰을 경우의 각각에 대하여 관의 벽면으로부터 1mm 떨어진 위치에서 열선 풍속계의 프로우브로부터 검출된 속

도신호를 비교 도시하였다. 관의 벽 근처에서 측정 한 속도는 순수 수용액만 유동시킬 때보다 PAAM 수용액, A611P수용액의 경우 점차 증가하게 되지만 반대로 속도 파동성분은 순수 수용액, PAAM 수용액, A611P수용액 순으로 감소하게되어 마찰저항 감소효과는 유동장 관의 벽 근처에서 최대가 됨을 알 수 있다. 이와 같이 고분자 물질에 의한 마찰저항 감소현상은 관의 벽 근처에서 집중적으로 발생하므로 고분자의 변형에 의하여 에너지를 흡수하게되어 흐름을 안정화 시키므로써 난류를 완화시키는 결과가 됨을 알 수 있다. 이와 같은 실험결과를 통하여 난류 유동 저항이 급격하게 저하되는 것으로 판단되므로 관의 벽 근처에서의 유체의 유동 마찰을 저하시켜 펌프의 동력을 감소시키는 것은 물론 단위 시간당 유량을 최대로 수송할 수 있음을 예측할 수 있다.

Fig. 6은 걸보기 물의 속도(J_{SL})를 2.5m/s, 걸보기 공기속도(J_{SA})를 0.25m/s로 유지하고 고분자 물질의 농도를 50ppm, 100ppm, 200ppm, 300ppm으로 변화시키며 유동시간을 경과했을 때 입자영상유속장치

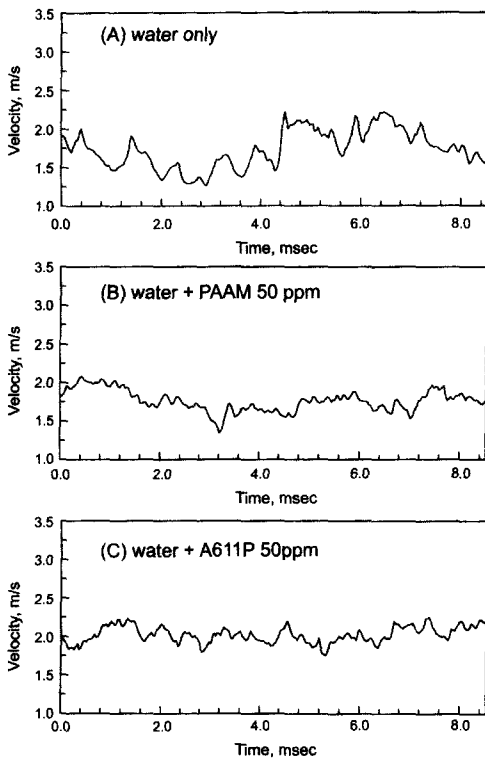


Fig. 5. Comparison of velocity signals at $Re=3.3 \times 10^4$ near the wall of pipe

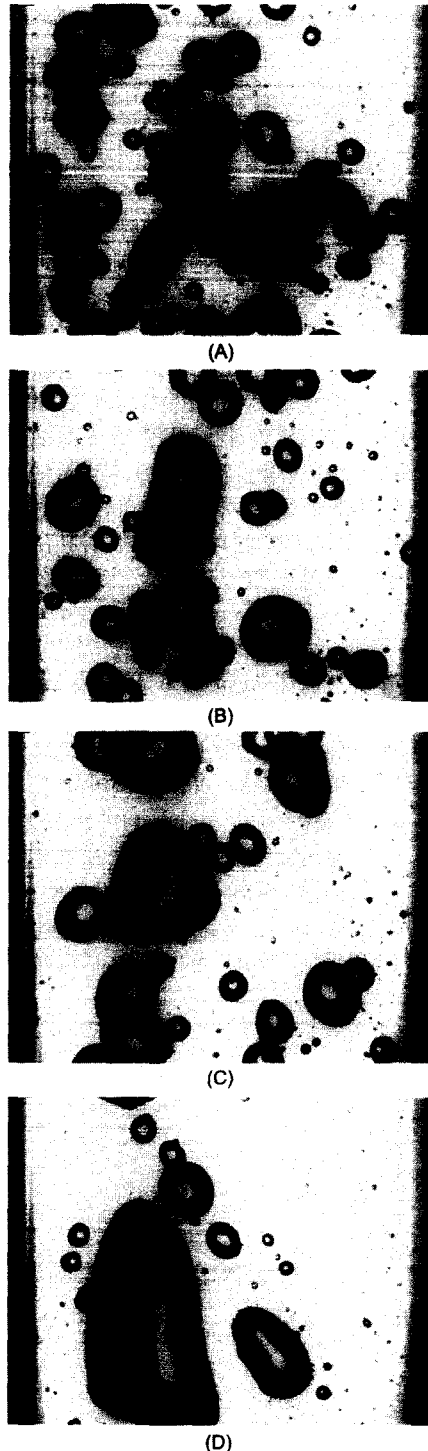


Fig. 6. Comparison of bubble behavior at $J_{SL}=2.5$ m/s, $J_{SA}=0.25$ m/s (A)50ppm (B) 100ppm (C) 200ppm (D) 300ppm

인 PIV(Particle Image Velocimetry) 시스템으로 촬영한 것이다.

이 실험결과에서 고분자 수용액의 농도를 증가시킬수록 관의 벽 근처에 있던 기포들이 관의 중심 부분에 인접한 기포와 합체하므로 기포의 크기가 성장하면서 관의 벽과 중심 부근 사이에서 상향 유동함을 나타내고 있다. 특히 A601P의 농도가 300ppm 일 때는 기포의 모양이 작은 테일러 형태의 기포로 성장하여 마치 슬러그류의 유동 형태처럼 유동 양식이 천이 됨을 알 수 있다. 이와 같이 기포의 형태는 고분자 수용액의 농도변화에 따라 변화됨을 볼 수 있으며 기포의 모양과 유동위치의 변화는 저항 감소현상과 밀접한 관계가 있는 것으로 판단된다. 그러므로 고분자 수용액의 농도에 따라서 유동장의 기포의 모양과 유동 위치가 변화하는 것은 고분자 수용액의 유동속도가 변화하므로써 저항감소 현상과 직접적인 관계가 있는 것으로 판단된다.

(3) 국부 보이드율분포

Fig. 7은 순수 수용액만 유동했을 경우 즉, 고분자 수용액의 농도가 0ppm 이고 J_{SA} 를 0.25m/s로 유지하며, J_{SL} 를 변화시켜 국부 보이드율의 측정된 결과를 반경비에 따라 나타낸 것이다. 여기서 반경비 (r/R)가 1인 경우는 관의 벽면을 의미하며, 반경비 (r/R)가 0인 경우는 관의 중심을 의미한다. J_{SL} 이 적을수록 국부 보이드율의 값은 관의 벽면에 근접할수록 감소하게되며 관의 중심으로 갈수록 국부 보이드율 값이 증가하는 것을 알수있다. 그러나 J_{SL} 이 증가하게되면 국부 보이드율은 관의 중심에서 최소

치를 보이며, 관의 벽쪽으로 갈수록 점점 증가하게 된다. 이는 걸보기 공기속도의 상대속도 차와 밀도 차이에 의해 관의 중심에서 관의 벽쪽으로 기포가 밀려 유동함을 예상 할 수 있으나 아직 구명되지 않고 있다.

국부 보이드율의 최고 값은 $J_{SL}=2.0m/s$ 일 때 $r/R=0.25$ 이고 $J_{SL}=2.25 m/s$ 는 $r/R=0.57$ 이며 $J_{SL}=2.5m/s$ 일 때는 $r/R=0.92$ 인 지점에서 나타나는 것을 알수있다. 따라서 걸보기 물속도를 증가시키면 기포는 관의 벽면으로 이동하여 유동함을 알수 있다. 또한 $J_{SA}=0.25m/s$, $J_{SL}=2.0m/s$ 일 때 국부 보이드율은 포물선 형태와 같이 분포하고, $J_{SL}=2.25m/s$ 일 때는 관 중심에서 관의 벽근처까지 완만한 형태로 분포한다. 그러나 $J_{SL}=2.5m/s$ 일 때는 $J_{SL}=2.0m/s$ 일 때와 반대로 관의 중심에서 관의 벽쪽으로 갈수록 국부 보이드율의 분포가 증가하여 역 포물선 형태로 분포됨을 나타내고 있다. 이와 같은 현상은 걸보기 공기속도가 저속인 경우 기포의 유동속도가 액체속도에 의하여 변화된다고 판단되나, 그 원인은 아직 정확히 밝혀지지 않고 있는 실정이다. 그 동안 이와같은 원인을 규명하기 위하여 연구를 진행하여 왔으며 현재로서는 벽면 근처에서의 액상이 지니는 속도 구배가 원인이 된다고 예측하고 있다.

5. 결론

본 연구에서는 작동 유체에 고분자 물질을 첨가하여 농도를 변화시킨 경우와 첨가하지 않았때의 유동실험을 통하여 압력 강하를 계측하고 마찰저항 감소율을 산출 분석하였으며 유체의 유동 속도 및 난류 강도를 측정하였다. 또한, 전기 전도 프로우브로부터 시간 평균 보이드율 분포를 계측하고 유동 양식 및 국부 보이드율 의 분포 특성을 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

첫째, 실험시간이 경과함에 따라 마찰저항 감소율은 처음에는 급격히 감소하지만 시간이 증가할수록 미소한 감소현상이 나타남을 알 수 있다. 또한, 농도를 증가시킬수록 마찰저항 감소율은 더욱 증가하게되며 기계적 퇴화도 적어짐을 알 수 있다. 이러한 결과를 토대로 유동장에 적합한 고분자 물질을 첨가하면 단위 시간당 유량을 증가할 수가 있어 관의 직경을 축소시킬 수 있으며 수송 시스템을 소형화 하는데 기여할 수 있을것으로 판단된다.

둘째, 시험부의 벽면에서 프로우브로부터 검출된

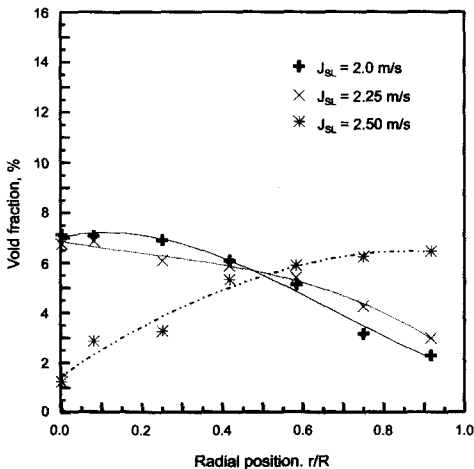


Fig. 7. Local void fraction profiles at $J_{SA}=0.25m/s$ without polymer additives

속도신호를 측정된 결과 마찰저항 감소효과는 유동장 관의 벽근처에서 집중적으로 발생됨을 알 수 있으며, 관의 벽근처에서의 유체의 유동 마찰을 저하시키므로써 펌프의 동력을 감소시키고 단위 시간당 유량을 증가시킬수 있음을 예측할 수 있다.

셋째, 걸보기 물의 속도(J_{sl})가 적을수록 국부 보이드울의 깊은 관의 중심으로 이동할수록 증가하게 되며 이와반대로 J_{sl} 이 증가하게되면 국부 보이드울은 관의 중심에서 최소치를 보이게된다.

참고문헌

- 1) 송호면, "국내 하수관거의 문제점 및 개선 방향," 건설기술정보, 건설기술연구원, pp. 4-8, 1991.
- 2) 오태식, "하수관을 이용한 생물처리," 대한상하수도학회, Vol. 8, No. 3, pp. 64-69, 1994.
- 3) 유동훈, 원유송, "관마찰계수 공식의 비교," 대한토목학회논문집, 대한토목학회, Vol. 17, No. II-3, pp. 185-195, 1997.
- 4) 유동훈, 원유송, "상용관 마찰계수," 대한토목학회논문집, Vol. 15, NO. 6, pp. 1593-1606, 1995.
- 5) 이종각, 방기웅, 이준호, "합류식하수관의 오염물질 유출특성에 관한 연구," 대한환경공학회 논문집, Vol. 18, No. 10, pp. 1147-1160, 1996.
- 6) 조선형, 고영송, 남상호, "하수관내 침전물 황화수소가스 발생에 관한 연구," 대한상하수도학회, Vol. 10, NO. 3, pp. 83-91, 1996.
- 7) 조정식, "충격과 배관세척 장치의 적용효과 분석," 건설기술정보, 건설기술연구원, pp. 23-27, 2001.
- 8) "하수관거 효율향상을 위한 국제세미나," 환경관리공단, Grand Ballroom, COEX, Korea, 2002.
- 9) "한강수계 하수관거 정비 시범사업 타당성 조사," 환경관리공단, 환경부, 2002.
- 10) Burger, E. D., Chom, L. G., and Perkins, T. K., "Studies of drag reduction conducted over al broad range of pipeline condition when flowing prudhoe bay crude oil," J. Rheol., Vol. 24, pp. 603-626, 1980.
- 11) Cha, K. O. and Kim, J. G., "A Study on the Drag Reduction with Polymer Additives." SAREK, Vol. 8, No. 2, pp. 198-207, 1996.
- 12) Choi, U. S. Cho, Y. I. and Kasza, K. E., "Screeing and Degradation Tests of Linear-Polymer Additives for District Heating Applications." Report of Argon Notional Laboratory, ANL-87-49, 1987.
- 13) De Gennes, P. G., "Introduction to Polymer Dynamics." Cambridge University Press, pp. 34-54, 1990.
- 14) Durst, F. Schmit, K. and Brunn, P. O., "The Critical Shear Stress and Degradation of Polymer Additives in Turbulent Pipe Flow.," 4th Int. Conference on Drag reduction, Davos, Switzerland, 1989.
- 15) Golda, J., "Hydraulic Transport of Coal in Pipes with Drag Reduction Additives.," Chem. Eng. Comm. Vol. 43, pp. 53-67, 1986.
- 16) Holder, G., A. and Hauser, J., "Influence of Flow Velocity on Sulfide Production within Filed Sewers," J. of Environmental Engineering, 113, 2, 1996.
- 17) Kalashnikov, V. N., "Shear-rate Dependent Viscosity of Dilute Polymer Solutions.," The Society of Rheology, Vol. 38, No. 5, pp. 1385-1403, 1994.
- 18) Sellin, R. H. J. Hoyt, J. W. and Scrivener, O. "The Effect of Drag Reduction Additives on fluid flows and Their Industrial Applications. Part 1:Basic Aspects.," J. Hydraulic Res. Vol. 20. No. 29, pp. 235-292, 1982.
- 19) Stephen, J. Treado, "Teat Procedure for plumbing Systems," National Institute of Standards and Technology, 1997.