

## 분기관에서 비뉴턴 유체의 유동특성에 관한 연구

李 行 男\* · 河 鈺 男\*\* · 全 雲 鶴\*\*\*  
(96년 9월 13일 접수)

### A study on the flow characteristics of Non-Newtonian fluid flows in dividing tubes

Haeng-Nam Lee\* · OK-Nam Ha\*\* · Un-Hack Chun\*\*\*

**Key Words** : Visualization(가시화), Viscoelastic fluid(점탄성 유체), Dividing angle(분기 각도), Separation zone(박리 구역), Energy loss coefficient(에너지 손실 계수)

#### Abstract

Flow patterns of fluid flow in dividing tube were visualized, and the energy losses due to dividing were measured in laminar dividing flow of the viscoelastic fluid and its solution in tube junctions with dividing angles of 90°, 60°, 45° and 15°. Two separation zones were observed. swelling of the streamline to the main tube or to the lateral tube was observed. The sizes of the separation zones depend on the Reynolds number, the dividing angle and the dividing flow rate. The energy loss coefficients decrease with increasing Reynolds number, but their decreasing rate decreases with increasing Reynolds number as the sizes of the separation zone increase. The effect of dividing angle on the energy loss coefficients and separation is greater for the main tube than for the lateral tube.

#### 1. 서론

공업용 세관 및 의학용 혈관의 분기부 유동은 매우 흥미있는 연구분야임에 틀림없으나 종래의 대부분 연구들이 공기, 물과 같은 뉴턴 유체 등으로 실험이 되어졌고, 최근에는 이상유체와 뉴턴 유체의 응용에 대한 제한 때문에 화학, 제조, 식품,

생물, 의학 분야에서 이용되고 있는 실제 유체에 관한 연구가 점점 늘어나고 있다. 또한 고분자 화학공업의 눈부신 발달로 말미암아 여러종류의 새로운 고분자 물질이 만들어 지고 있으며 이들 고분자 물질의 회석 용액은 뉴턴의 점성 법칙에 따르지 않는 것이 대부분이다. 점탄성유체는 비 뉴턴 유체로서 유도가 급격히 변화하는 곳에서는 특히

\*조선대학교 선박해양공학과

\*\*조선대학교 기계공학과

\*\*\*국민대학교 기계공학과

현상을 나타내고, 특히 층류영역에서 이러한 현상은 더욱 심하게 나타나고 있으며<sup>1)</sup>, 오늘날 성인병 중 하나인 혈관 질환의 일부 원인이 혈관 분기부 유동으로 알려지고 있다. 혈액은 물리적 특성(점성, 탄성 및 항복응력 등)으로 미뤄 볼 때 비 뉴턴 유체라고 할 수 있으므로 의학 분야에서도 세관내 분기 유동특성은 관심있는 연구 대상 중의 하나이며, 산업용으로도 분기 세관이 많이 사용되고 있으므로 분기 세관내 비 뉴턴 유체의 정상, 비정상 층류 유동은 매우 중요한 연구의 대상이다.

그러나 분기부 유동에 관한 연구는 대부분 난류 유동에 관한 산업적 응용을 바탕으로 연구되었고<sup>2)-4)</sup>, 층류영역에 있어서 연구는 Suu, T.<sup>5)</sup>의 유동양상의 가시화와 yamakuchi 등<sup>6),7)</sup>의 속도분포, 벽면 압력분포 및 벽면 전단응력의 측정에 관한 것이 대부분이고, 더구나 에너지 손실을 측정하는 연구는 이뤄져 있지 않고 있으며 Jamison, K.D와 Villemonte, J.T<sup>8)</sup>에 의해서 분기관의 손실이 보고되었을 뿐이다. 특히 비뉴턴 유체를 이용한 분기관에 관한 연구는 거의 없고, 고분자 수용액의 저 레이놀즈 수에 대한 유동의 가시화 실험과 수치해석이 Nishimura<sup>9)</sup>에 의해서 이루어 졌을 뿐이다.

Nishimura는 레이놀즈 수가 1정도인 2차원 분기관로의 분기관 입구의 상류 주관 벽면에 발생하는 순환류에 관해 연구하였고, 압력 측정공을 이용한 압력을 측정할 경우에 hole pressure 현상, 즉 점탄성 유체는 측정공 입구 근방의 유동의 변화로부터 압력 측정 오차가 생긴다는 보고를 하였다.

분기부 근처에서 유체 유동의 변화가 심하기 때문에 이러한 유동양상의 특성에 관해서는 산업적으로는 물론 유체역학적으로도 매우 중요한 연구의 대상 중 하나임에 틀림없으나, 층류의 범위에서의 비뉴턴 유체의 분기부 유동의 유동 양상 및 에너지 손실 등에 관한 연구는 레이놀즈 수가 거의 10이하에서 조사되었으며 광범위한 층류에서 실험이 거의 없는 실정이라서 본 연구는 비 뉴턴 유체인 점탄성 유체의 보다 넓은 범위의 층류 영역에서 분기 유동 특성을 연구 하는 데 목적으로 하고 있다.

점탄성 유체인 폴리머를 사용하여 2차원 정상층

유에서의 분기부의 유동의 상태를 가시화 관찰함과 동시에 압력손실을 측정하고, 레이놀즈 수, 분기각도, 유량의 분배비 등이 손실계수에 미치는 영향을 조사하고 유동양상과 에너지 손실의 관계를 실험을 통하여 이들의 분기부 유동 특성을 알아보고자 한다.

## 2. 실험

### 2.1 실험장치

실험장치는 직경 800mm×높이 350mm의 저장 탱크, 펌프(model TM-030PM 국산 : Q=20 l/min), 제어실(Calming Camber), 직경 460mm×높이 510mm의 Overflow Tank 2조, 분기세관으로 구성되어 있으며 Fig. 1(a)에 나타나 있다. 인체의 혈관은 대동맥일 때 직경 9mm~13mm정도 이고<sup>10)</sup>, 가시화를 고려하여 유로폭은 대동맥 중간 정도의 10mm로 정하였다. 사용된 분기세관의 분기각도가 90°의 T형 및 비대칭 60°, 45° 및 15°의 Y형이다. 분기관은 투명 아크릴제 矩形를 사용했으며, 유로폭 10mm에 높이 10mm인 종횡비가 1 이고 세관의 길이는 분기부에서 각각 300mm이다. 분기세관의 압력을 측정하기 위해 분기관 상부에 정압공을 일정 간격(20mm)으로 30개의 측정공을 뚫었으며, 바늘(내경 0.8mm, 길이 3mm)을 내경 0.85mm인 측정공에 넣고 에폭시로 실험관 바깥쪽에 붙였다. 구멍을 뚫을 때 생긴 잔재를 유동에 미치는 영향을 줄이기 위하여 제거했다. 제어실에서 출구관까지의 실험단면은 매우 작은 레이놀즈수의 유동에서, 외 부조건에 매우 민감하고 불안정한 유동이 생기기 때문에 수평으로 일직선이 되게 고정시켰고, 주 실험장치의 치수는 Fig. 1(b)에 나타내었다.

### 2.2 실험방법과 실험유체

실험하는 동안의 온도는 20℃이고, 온도의 변화는 ±1℃이하로 유지했으며, 유량은 주어진 시간동안 흐르는 유체의 양을 측정하여 계산한다. 실험 조건과 변수 조건들의 범위를 Table 1에 나타내었다.

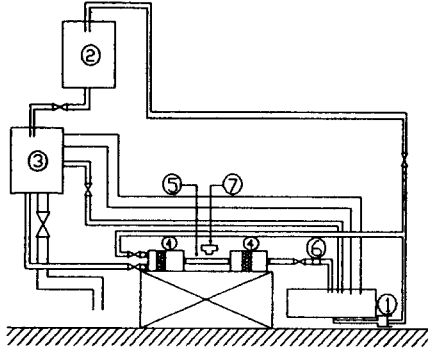
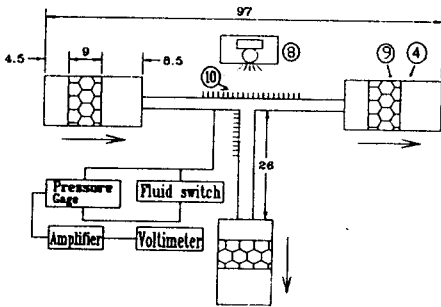


Fig. 1 (a) Schematic diagram of experimental apparatus



- ① Pump ② Tank ③ Overflow ④ Reservoir
- ⑤ Test section ⑥ Electromagnetic flowmeter
- ⑦ 35mm camera ⑧ Light ⑨ Honeycomb
- ⑩ Pressure tap

Fig. 1 (b) Enlarged view of the main test section

Table 1 Experimental conditions of flow visualization tests

Test fluid	Concentration	Range of Re. No
Viscoelastic non-Newtonian fluids.	500ppm	Re = 10~300

Test conditions, isothermal flow condition(20℃) and uniform inlet,

Note: The Reynolds number was calculated based on the upstream Hydraulic diameter, Dh

점탄성 유체는 Polyacrylamide (AP 30) 0.05%

수용액을 사용했고, 유체의 점성은 Brookfield digital viscometer (LVTDV-I, Serial No. : A12646, USA)로 측정하고, 유체의 법선응력(normal stress 수직응력)은 평행 평판형 Rheogoniometer (Carrimed, England)로 측정하였다. 실험대보다 800mm위에 있는 저장 탱크의 실험 유체의 수면을 일정하게 유지하여 레이놀즈수 계산의 불확실성을 없앴다. 점탄성 유체 물성용액은 지름 900mm×400mm의 저장탱크로 직접 들어가고, 기계적 손실을 막기 위해 프라스틱 봉으로 잘 저어준다. 유체의 점도가 각각의 실험이 이루어지는 동안에 변하지 않게 하기 위해 저장 탱크의 수위를 일정하게 유지하도록 장치하였다. 또한 저장 탱크의 단면적은 실험 오차를 최소화 하기 위해 크게 만들었다.

유동 상태는 잉크 주입류맥법을 사용하여 가시화했고, 실험 유체에 흑색 아크릴 물감을 사용하여 염료로 사용하였다. 이 때 생기는 비중차이를 염료에 알코올을 첨가하여 보정하였으며<sup>11)</sup>, 비중계를 사용하여 실험 유체와의 비중을 맞추었다. 압력은 압력 측정공을 통해 내경 5mm의 비닐관을 압력 트랜듀서에 연결하여 Multichannel digital pressure indicator(Druck, DPI 420, England)로 측정했다. 압력 측정공을 통해 측정한 압력은 측정오차가 생기기 때문에 유체의 실험치는 Higashitani-Pritchard<sup>12)</sup>의 식에 의해 보정하였다.

유량의 측정은 전자 천칭 및 Universal clamp-on portable flowmeter(Controlotron, Model : 990P, USA)를 이용했고, Fig. 2 정의 된 것과 같이 분기관 유로의 본관 상류를 1, 본관하류를 2, 지관하류를 3으로 지정하였다. 유량비는 전유량  $Q_1$ 으로 지관유량  $Q_3$ 를 나눈값  $Q_3/Q_1$ 로 정의 하였다. 유량은 분기관 입구와 출구에 설치된 밸브에 의해 조절하고,  $Q_3/Q_1$ 의 비를 각각 0, 0.25, 0.50, 0.75, 1.0으로하여 실험했다. 본관 상류의 직관부에서 예비실험을 하고 관마찰 계수  $\lambda$ 와 레이놀즈 수  $Re_1$ 과의 관계를 조사한 결과 2차원 유로에 있어서  $\lambda=24/Re_1$ 에 일치함을 알 수 있었다.

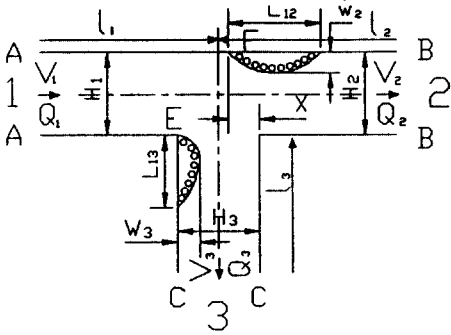


Fig. 2 (a) Dividing tube and separation

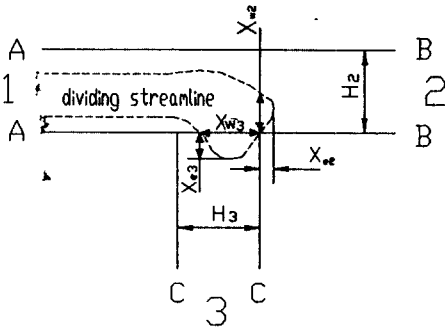


Fig. 2 (b) Dividing tube and streamline

각 유로에 대해 Reynolds 수와 K. Weissenberg<sup>13)</sup> 수는 다음식에 의해 정의 한다.

$$Re_i = \rho H_i \frac{V_i}{\eta}, \quad W_{ei} = 2 \frac{\lambda}{\mu} \dot{\gamma}_i (s-n) \quad (1)$$

$$\eta = \mu \left\{ \frac{2(2n+1)}{n} \frac{V_i}{H_i} \right\}^{(n-1)} \quad (2)$$

$\dot{\gamma}$ 는 충분히 발달한 유동에 있어서 변형 속도도 다음과 같이 나타낼 수 있다<sup>13)</sup>.

$$\dot{\gamma} = \frac{(2n+1)}{3n} \frac{6V_i}{H_i} \quad (3)$$

여기서,  $H_i$ 는 유로폭,  $V_i$ 는 유로의 평균유속,  $\eta$ 는 겔보기 점도,  $\rho$ 는 유체의 밀도이며,  $\mu, \lambda, n, s$  등은 Denn model의 Rheology 정수들이다<sup>14)</sup>.

실험유체중 유체의 Rheology 정수는  $n=0.58 \sim$

$0.62, s=0.89, \mu=0.075 \sim 0.087 Pa \cdot s^n, \lambda=0.12 Pa \cdot s^n$  이었다.

분기관의 입구 노즐에서 분사된 염료의 운동으로 관찰하고 염료의 운동은 초당 5장의 사진을 찍을 수 있는 Driving motor를 부착한 Nikon FM-2 카메라를 사용하였고, 셔터의 속도는 0.008초이며, ASA 400 Tri-X 필름을 사용하였다.

### 3. 실험결과 및 고찰

#### 3.1 분기부 근처의 유동양상

분기부의 박리의 크기를 나타내기 위해 Fig. 2와 같이 박리점부터 재부착점까지의 길이  $L_{12}$ 와  $L_{13}$ , 폭  $W_2, W_3$  및 본관측의 박리의 이탈 위치  $X_s$ 를 정의하였고<sup>5)</sup>, 이러한 분기 유동에 있어서 지관 상류측 모서리(E)와 분기부 본관 상벽부(F)에 박리가 생기며, 박리가 생기지 않을 때에는 본관하류와 지관상류에 확대유동이 생긴다. Fig. 3은 T형에서 유량분배비  $Q_3/Q_1$ 가 0.75에서 레이놀즈를 변화시킬 때 유동양상의 가시화의 일 예를 나타낸 사진이다. 가시화의 사진의 흰색 부분이 레이놀즈 수가 증가함에 따라서 박리의 크기가 증가하고, 지관의 모서리 부근(Fig. 2(a)의 E)과 분기부 근처의 본관의 상벽측(Fig. 2 (a)의 F)에 박리현상이 나타나며, 분기

유선의 하류 측에 팽창이 일어난다. Fig. 4는 T형에서 레이놀즈 수가 250에서 분배비가 0.25, 0.50, 0.75 으로 변화할 때의 유동 양상을 나타낸다. 지관 측의 박리는 지관의 유량 증가와 함께 증가하고, 분배비가 0.25인 경우는 지관측벽에 유선이 팽창하고, 0.75인 경우는 본관 측벽에 유선이 팽창하며, 분배비가 0.50인 경우는 팽창현상은 보이지 않았다. 즉, 유량이 적은 측벽 쪽의 분기 유선이 팽창되고, 역류현상도 나타난다.

박리의 크기를 평가하기 위해서 와류의 길이  $L_{12}, L_{13}$ 과 와류의 폭  $W_{12}, W_{13}$  및 본관 측의 박리와 박리의 위치  $X_s$ 를 Fig. 2 (a)와 같이 정의 하였다.

Fig. 5(a), (b)는  $Re_1$ 가 70일 때 T 및 Y형에서 무차원 박리의 길이  $L_{13}/H_3$  및  $W_3/H_3$ 의 분배비의

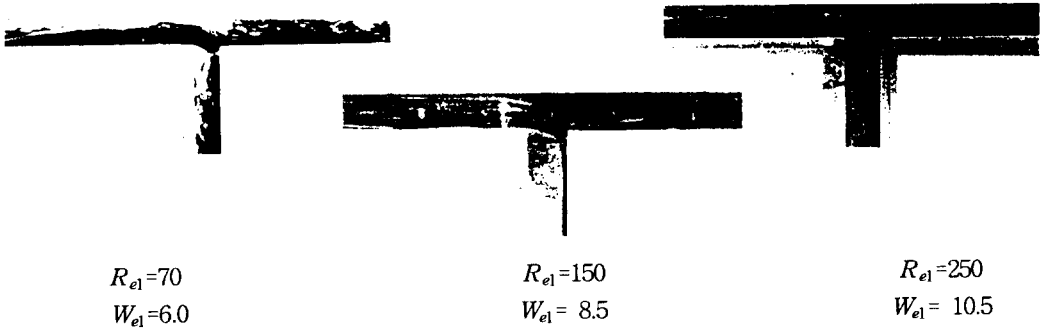


Fig.3 Flow pattern to the Reynolds number ( $Q_3/Q_1 = 0.75$ )

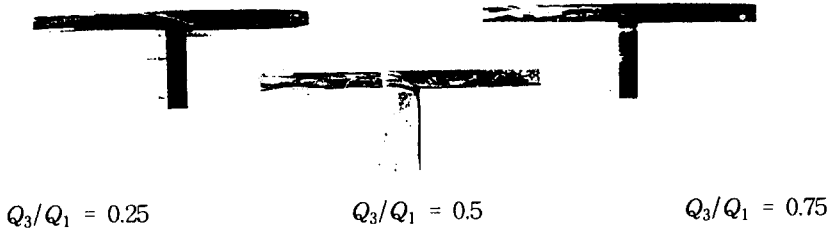


Fig.4 Flow pattern to the flowrate division ratio (T type,  $Re_1 = 250$ ,  $W_{e1}=10.5$ )

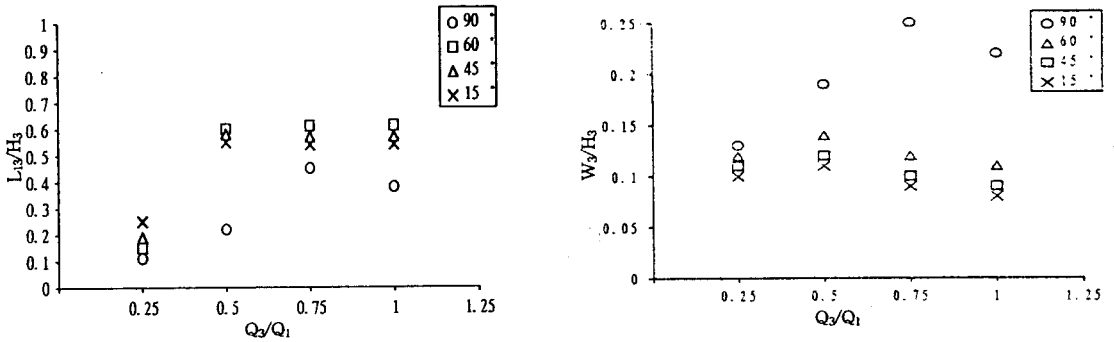


Fig. 5(a), (b) Separation in dividing tube to the flowrate division ratio( $Re_1=70$ )

관계를 나타낸 것이다. T형의 경우, 박리길이의 박리폭의 최대치는 0.75부근에서 생겼으며, Y형의 경우 무차원 박리폭만 유량 분배비 0.5에서 최대치를 나타내고 있다. 유량 분배비가 커질수록 T형과 Y형의 무차원 박리길이의 차이가 크게 나타나며, 이 원인은 분기 유선의 유량이 적은 측벽으로 유입되기 때문이라 여겨지며, Y형의 분기각의 변화에

따른 무차원 길이의 크기는 큰차이를 나타내지 않고 있다.

Fig. 6에는 Y형의 분기관에 대한 분기각도가 박리에 미치는 영향을 유량 분배비 0.25일 때의 일례를 나타냈고, 지관의 이탈박리는 분기 각도가 커지면 약간 증가하게 되고, 이것은 T형의 경우와 같이 분기 유선이 측벽으로 부터 유입때문이라 생각된다.

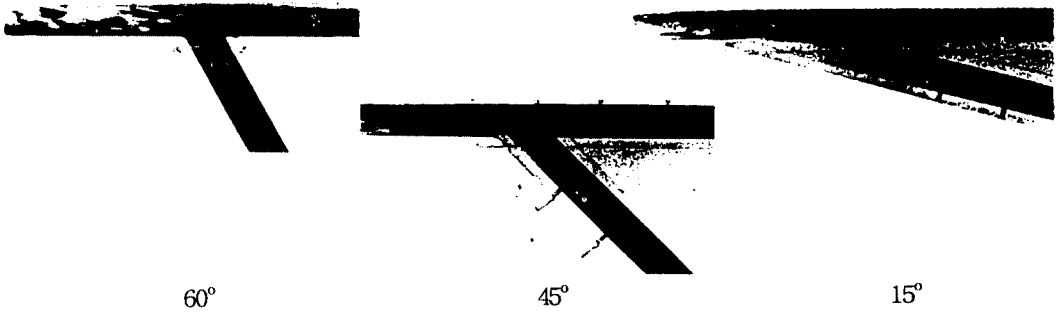


Fig. 6 Flow pattern to the division angle (Y type,  $Re_1=250$ ,  $Q_3/Q_1=0.25$ )

이러한 분기 유선의 유입을 평가하기 위하여 Fig. 1 (b)에 나타낸 바와 같이 그 크기를 정의 하였고, 무차원 박리길이 및 폭은 각각  $X_{e2}/H_2$ ,  $X_{e3}/H_3$  및  $X_{e2}/H_2$ 으로 나타냈고, 이들 무차원 값과  $Re_1$ 와의 관계를 Fig. 7과 Fig. 8에 유량 분배 비  $Q_3/Q_1=0.75$ 일 때의 일례를 각각 나타냈다. 두 그림에서  $Re_1$ 가 증가하고, 유입의 크기가 증가할수록 무차원 박리길이는 증가하는 반면, 무차원 박리 폭은 감소한다. 또한 분기유선은 분기각도에 미치는 영향은 그다지 크지 않음을 알 수 있다.

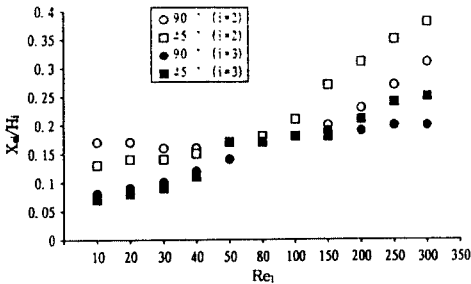


Fig. 7 Entrance length vs  $Re_1$  ( $Q_3/Q_1=0.75$ )

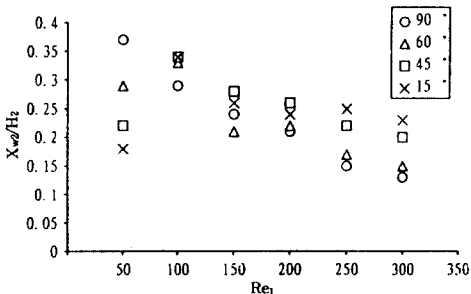


Fig. 8 Entrance wide vs  $Re_1$  ( $Q_3/Q_1=0.75$ )

Fig. 9와 Fig. 10은 지관 및 본관이 각각 폐쇄되어 있는 경우  $90^\circ$ 와  $60^\circ$ 의 ( $W_{e1}=10.5$ ,  $Re_1=150$ ) 일 예이다. 본관 하류가 폐쇄되어 있는 경우는 유동의 일부가 본관 하류 측으로 들어가게 되어 지관에 유입된다. 즉, 본관 하류측의 팽창이 보여진다. 지관이 폐쇄되어 있을 때는 본관과 마찬가지로 지관 측의 팽창이 보여지고, 본관 폐쇄의 경우가 팽창 및 순환류가 더 많이 나타난다. 또한 분기각이 팽창에 미치는 영향은 미소하다. Fig. 11과 Fig. 12는 T형 유로와 Y형( $45^\circ$ ) 유로에 있어서 벽면 압력분포를 각각 나타낸다.

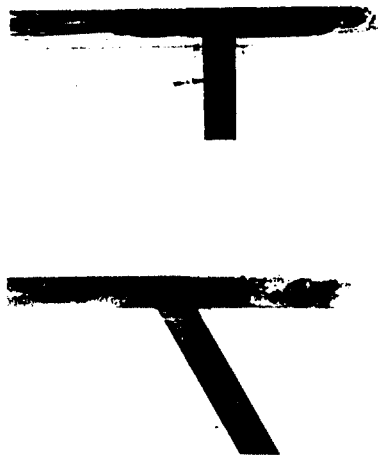


Fig. 9 Flow pattern (closing the main tube)

그림에서 지관 중심 위치는 X축( $L_3/H_3$ )의 값이 12인 곳 부터이고, 분기후 압력은 회복이 보여지고, 어느정도 하류가 되면 분기의 영향이 없어져 유동은 발달한 유동이 된다. 지관 측의 본관측 보

다 압력회복은 더 적지만 같은 양상을 나타남을 알 수 있다. T(90°), Y(45°)형 유로 모두 비슷한 압력 분포를 나타내며, 따라서 지관의 각도에는 큰 영향이 없음을 알 수 있다.

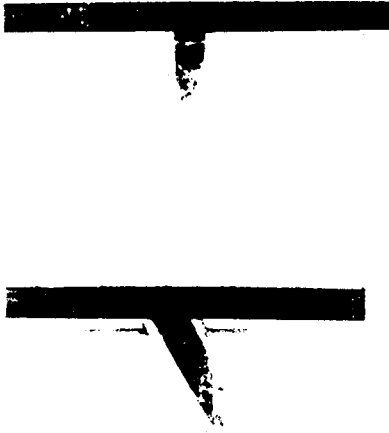


Fig. 10 Flow pattern (closing the lateral tube)

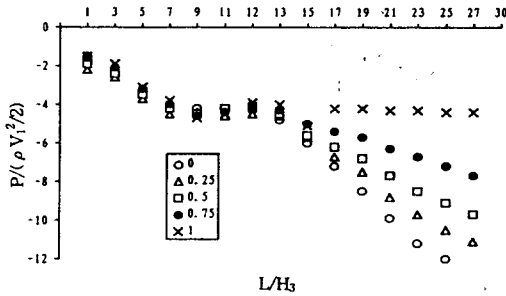


Fig. 11 Pressure distribution in T type (Fig. 1 A-B section)

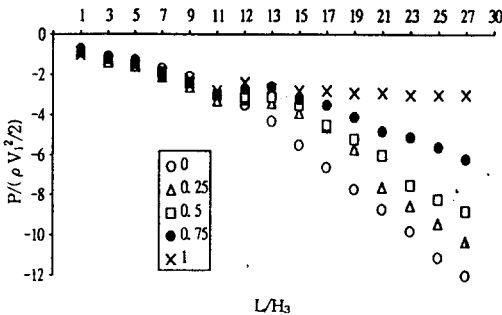


Fig. 12 Pressure distribution in Y type (Fig. 1 A-B section)

### 3.2 에너지 손실

에너지 손실계수는 종래 원관의 난류에 대한 분기유동에서 행하였던 분기손실 계수를 평가한다. 즉, Fig. 2에서 1-2와 1-3사이의 손실 Head를 각각  $h_{12}$ ,  $h_{13}$ 이라 하면 본관의 손실계수  $\zeta_{12}$ 와 지관의 손실계수  $\zeta_{13}$ 은 다음 식으로 나타낸다<sup>15)</sup>.

$$\begin{cases} \zeta_{12} = h_{12}/(V_1^2/2g) \\ \zeta_{13} = h_{13}/(V_1^2/2g) \end{cases} \quad (4)$$

$$h_{1j} = \left( \frac{P_1 - P_j}{\rho g} \right) + \alpha \left( \frac{V_1^2 - V_j^2}{2g} \right) - \lambda_1 \frac{l_1}{H_1} \frac{V_1^2}{2g} - \lambda_j \frac{l_j}{H_j} \frac{V_j^2}{2g} \quad (5)$$

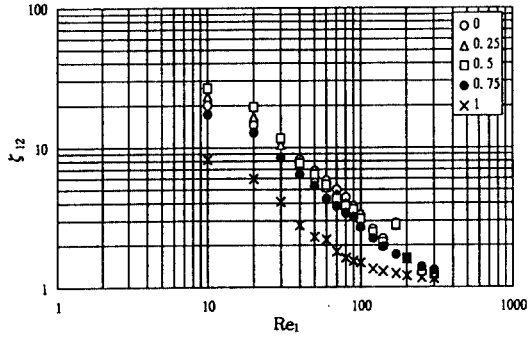
Denn model에서<sup>14)</sup>

$$\alpha = \frac{6(2n+1)^2}{(4n+3)(3n+2)} \quad (6)$$

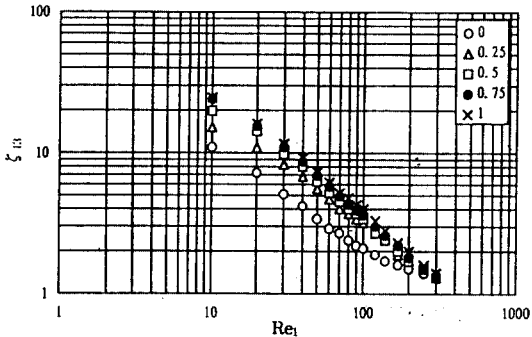
여기서,  $\lambda_j$ 는 관마찰계수이고, 2차원 유로의 경우에 층류에서  $\lambda_j = 24/R_e$ ,  $P_j$ 는 압력,  $V_j$ 는 평균 유속,  $l_j$  및  $H_j$ 는 Fig. 2에 표시한 유로의 길이 및 폭이과  $\rho$ 는 유체의 밀도를 나타낸다.  $j=2, 3$   $n$ 는 Denn Model에 의해서 Rheology 정수이고,  $\alpha$ 는 운동에너지 보정계수로 본 실험에서는 3.09~3.22의 범위이다. (참고 : 뉴턴유체의  $\alpha$ 값은 1).

Fig. 13(a), (b)은 본관에 대한 T형과 Y(45°)형에 대한 본관의 분기손실 계수와 레이놀즈 수와의 관계를 나타내고 있다. 손실계수  $\zeta_{12}$ 의 값은 처음 레이놀즈 수의 증가와 함께 직선적으로 감소하며, 레이놀즈수가 200이상이 되면 그 감소추세는 적어지며 손실계수는 1.15에 근접하게 나타난다. 이것은 본관측의 박리의 크기를 가시화에서 나타낸 것과 같이 유량 분배비에 많은 영향을 받고, 레이놀즈 수가 적은 영역에서는 유량이 많을수록 높은 레이놀즈 수까지 박리가 생기지 않기 때문에 손실계수  $\zeta_{12}$ 의 값은 레이놀즈 수가 적고(150이하), 유량 분배비가 적을수록 크고, 레이놀즈 수가 100이상 증가하면 유량 분배비에 의한 차가 점점 적어지며, 더욱 증가하면 유량 분배비의 영향은 매우 적어진다. 이것은 박리가 생기지 않을 때에는 분기부에서

확대류적으로 본관 하류로 유동이 유입하고, 그 때문에 유량이 많은 쪽 즉, 분배비가 적은 쪽이 손실 계수  $\zeta_{12}$  값은 커지게 된다. 레이놀즈 수가 증가하고 박리가 생기는 것은 축소확대류적인 본관 하류에 유동 유입 때문에  $\zeta_{12}$ 의 값은 레이놀즈 수의 증가와 함께 감소율은 적어지게 된다.



(a) T(90°) type



(b) Y(45°) type

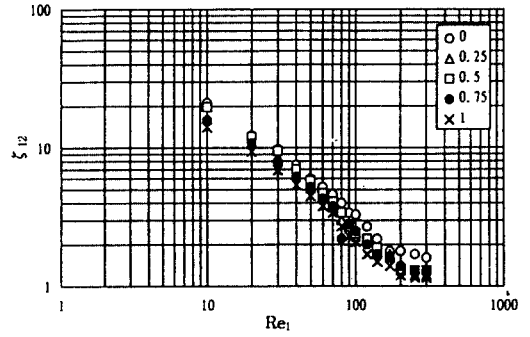
Fig. 13 (a),(b) Loss coefficient of the main tube vs. Reynolds No.

그래서 분배비가 큰(유량이 적은)쪽이 박리는 큰 곳에서부터 유량 분배비의 영향은 적게 된다.

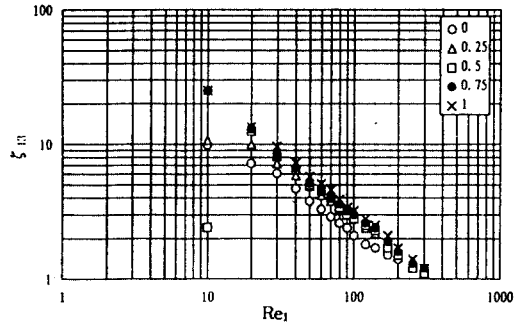
또한 실험에서 본관하류가 막혀있을 경우 분기 유동 및 같은 형상에서 T형에서 손실계수 값이 Y형보다 크게 나타났고, 지관이 막혀있을 경우는 손실계수의 값은 분기각도에 영향을 약간 받는 것으로 나타났다.

Fig. 14(a), (b)는 지관에 대한 T형과 Y형(45°)에

대한 본관의 분기손실 계수와 레이놀즈 수와의 관계를 나타내고 있다. 지관의 손실계수  $\zeta_{13}$ 은 본관과 마찬가지로 레이놀즈 수가 증가하면 감소함을 나타내고 있다.



(a) T type(90°)



(b) Y type(45°)

Fig. 14 (a),(b) Loss coefficient of the lateral tube vs. Reynolds No.

$\zeta_{13}$ 는 T형 및 Y형 모두 레이놀즈 수 증가와 함께 감소하고, 레이놀즈 수가 200이상 부터 감소 경향이 적어지고, 일정치(1~1.3)에 근접하는 경향을 나타낸다.

이것은 가지화에서 나타낸 바와 같이 박리가 없는 경우 지관에의 유동은 곡선적이면서 확대됨을 나타내고, 에너지 손실은 레이놀즈 수의 증가와 함께 감소하지만, 박리가 생기고 유동이 축소확대류로 되면 이탈박리는 레이놀즈 수의 증가와 함께 커지기 때문에 손실의 감소율은 적어지게 된다고 생



작된다.

T형에 대해서, 레이놀즈 수가 적어지는 영역에서는 분배비는 큰쪽이고 즉, 지관을 유동한 유량이 많을수록  $\zeta_{13}$ 의 값은 커지며, 레이놀즈 수 증가와 함께 유량 분배비에 의한 차가 점점 감소하고 일정치에 근접하는 경향을 나타내고, Y형에서는 레이놀즈 수 10~150에서는 T형과 같은 양상이지만, 더욱 레이놀즈 수가 증가하면 유량 분배비가 적어지는 쪽이 그 양은 적지만  $\zeta_{13}$  값의 감소 폭이 적어지게 된다.

이것은 Fig. 5에 나타낸바와 같이 T형에서는 박리의 크기는 유량 분배비에 의해 영향을 많이 받지만, Y형에서는 박리의 크기는 유량 분배비의 영향을 더 적게 받기 때문으로 생각된다.

Fig. 15(a), (b)는 레이놀즈 수와 분기각도에 대한 영향을 유량 분배비(0.75)에 대해서 나타낸 일 예이다. 레이놀즈 수의 증가와 함께 박리의 크기가 커지는 경향이 이므로, 분기각이 적을수록 감소폭은 약간 크다.

본관 쪽이 지관보다 분기각도의 영향이 약간 더 크게 나타난다.

즉, 본관 쪽이 지관 쪽보다 분기각도의 영향이 크다고 할 수 있으나 그 차이는 현저하게 크지는 않다.

또한 T형이 Y형보다 증가 폭은 크지만 전체적인 박리의 증가량은 유량 분배비에 대한 영향보다는 그다지 크지 않다.

#### 4. 결 론

점탄성 유체의 2차원 분기유로의 층류(레이놀즈 수 10~300)에서의 유동 양상의 가시화와 에너지 손실을 측정된 실험 결과는 다음과 같다.

- 1) 분기관에 생기는 박리의 크기는 본관 상류의 레이놀즈 수의 증가와 함께 증가한다.
- 2) 분기관의 손실계수는 레이놀즈 수의 증가와 함께 감소하며, 레이놀즈 수가 200이상 증가하면 손실계수는 일정치(1.0~1.3)에 근접한다.
- 3) 유량분배비가 박리와 손실계수에 미치는 영향은 분기각도가 클수록 그 영향이 더 크다.
- 4) 분기각도가 박리와 손실계수에 미치는 영향은 본관 쪽이 지관보다 더 크다.

#### 후 기

이 논문은 1995년도 조선대학교 학술연구비의 지원을 받아 연구되었음.

#### 참고문헌

- 1) Tanner, R. I., Engineering Rheology, Oxford, 5, 1995
- 2) Ito 外 2名, 日本機械學會論文集, 44-387 B, 3909, 1978

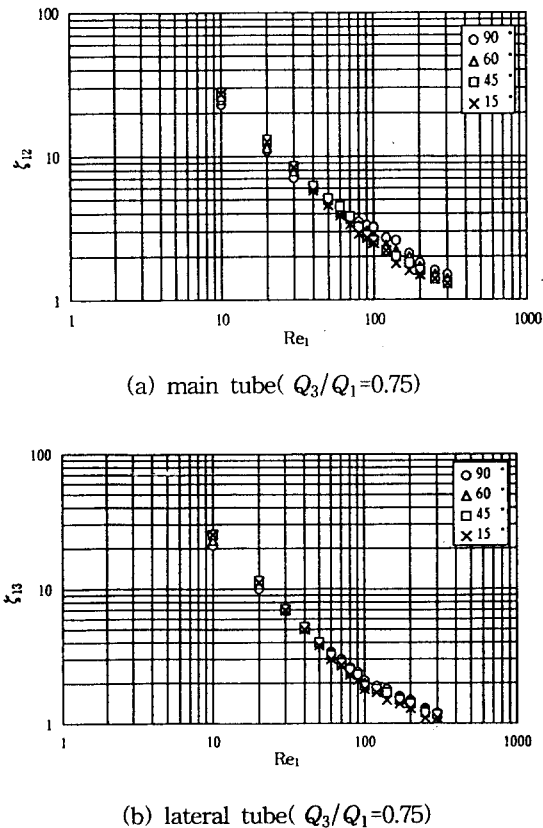


Fig. 15 (a),(b) Loss coefficient ratio vs. distribution of the flowrate

- 3) Ito 外 2名, 日本機械學會論文集, 47-413 B, 214, 1984
- 4) Ito 外 2名, 日本機械學會論文集, 50-450 B, 342, 1984
- 5) Suu. T., Trans. SHASE, 18, 85, 1982
- 6) Karino, T., Biorheology, 16-35, 231, 1979
- 7) Yamakuchi 外 2名., 日本機械學會論文, 57-539, B, 2203, 1991
- 8) Jamison, K.D. and Villemonte, J.R., Hydrul. Div., Pro. ASCE, HY7, 1045, 1971
- 9) Nishimura 外 2名, 纖維機誌, 37, 37-2, 1984
- 10) 이상돈, 성호경, 生理學, 醫學文化社, p.163, 1991
- 11) 全雲鶴, 李行男, "An Experimental Study on the Reattachment of Non-Newtonian Fluid Flows in a Sudden Expansion Pipe", 韓國自動車工學會誌, 제15권 제 1호, 1993
- 12) Higashitani, K. and Pritchard, W.G., Trans. Soc. Rheology, 16-4, 687, 1972
- 13) Weissenberg, K. A continuum theory of rheological phenomena, Nature 159, pp.310-311, 1947
- 14) Denn, M. M., Chem. Eng. Sci. Vol.22, 869, 1967
- 15) Ito 外, 1名, 直角分岐・合流管のエネルギー損失の完全特性, 東北大學速研報告, 34-335, pp.163-203, 1974