

# 粘彈性流體의 法線應力 測定에 關한 研究

金 春 植

## A Study on the Measurement of the Normal Stress of the Viscoelastic Fluids

Kim Chunsik

### 目 次

第1章 序 論	第3章 靜壓孔의 示壓에 미치는 影響
1·1 本研究의 目的	3·1 實驗方法 및 原理
1·2 從來의 研究	3·2 實驗裝置
第2章 法線應力의 測定	3·3 實驗結果 및 考察
2·1 使用溶液	第4章 考察 및 結論
2·2 測定原理	4·1 考察
2·3 實驗裝置	4·2 結論
2·4 實驗方法 및 原理	參考文獻

### Abstract

A Study on the Measurement of the Static Pressure of the Viscoelastic Fluids.

Viscoelastic fluids have many properties that can not be observed in Newtonian fluids. Among these properties, the non-Newtonian viscosity, the normal stress effect and the measurement of the static pressure particularly important from an engineering view point.

In measuring the static pressure on a fluid-immersed surface, it is convenient to puncture on the surface a small hole leading to a larger cavity. With viscoelastic fluids exhibiting normal stress effect, however, it has been shown experimentally that a systematic error exists in measuring the static pressure by means of the small hole.

In this paper, in order to ascertain the relation between the normal stress and these errors, a normal stress is measured using a new device, which is designed to measure by means of the thrust of cylindrical jet formed at the exit of the horizontal capillary tubes. From this point of view, this paper deals with these errors based on kinematic considerations. The experiments to measure these errors are performed by a parallel plate channel with the steady two-dimensional shear flow of viscoelastic fluids.

(2)

Results of the experiment are summarized as follows:

- (1) In the measurement of the normal stress by the new device, results are in good agreement in case of a little dense polymer solutions, except in case of dilute polymer solutions of ppm order.
- (2) The errors in measuring the static pressure increase with density of polymer solutions and shear rates.

### 使用記號

$a$ : 定數	$T_{ji}$ : 應力 Tensor
$b$ : 活絡의 幅(=50mm)	$T_M$ : 反力
$c$ : 定數	$T_{rr}, T_{xx}$ : 法線應力
$D$ : 管直徑	$(u, v, w)$ : $x, y, z$ 方向의 速度成分
$f$ : 表面張力에 依한 힘	$v$ : 管内流速
$g$ : 重力加速度	$V$ : 平均流速
$h$ : 물의 흐름의 두께	$\alpha$ : 기울기
$h_1$ : Vinyl Film의 두께	$\beta$ : 기울기
$h_2$ : 粘彈性流體의 두께	$\gamma$ : 剪斷速度
$H$ : Channel의 두께(=1.0mm)	$\Gamma$ : 擬塑性剪斷速度
$k$ : 기울기	$\eta$ : 粘度
$K$ : 定數	$\nu$ : 動粘度
$l, L$ : 距離	$\rho$ : 密度
$m$ : 擬塑性粘度	$\sigma$ : 表面張力
$m_o$ : 係數	$\tau_{rz}, \tau_{xy}$ : 剪斷應力
$\Delta M$ : Scale의 눈금差	$\left. \begin{matrix} \tau_{xx}, \tau_{yy}, \tau_{zz} \\ \tau_{rr}, \tau_{zz}, \tau_{\theta\theta} \end{matrix} \right\}$ : 偏差法線應力
$n$ : 靠指數	$\tau_w$ : 壁面剪斷應力(= $(\tau_{rz})_w = (\tau_{rz})_{r=R}$ )
$P$ : 等方性壓力	(添字記號)
$\bar{p}$ : 法線應力의 平均值	$T$ : 全量
$\Delta P$ : 靜壓孔에 依한 示壓誤差	$V$ : 粘彈性流體
$\Delta P/\Delta L$ : 壓力勾配	$W$ : 水
$q$ : 기울기	$w$ : 流路壁
$Q$ : 體積流量	
$R$ : 管半徑	
$R_c^*$ : 一般 Reynold數	
$T$ : 運動量	

## 第1章 序 論

### 1·1 本研究的 目的

在來, 流體力學에서 取扱되던 流體는, 空氣, 水等과 같을 때謂 Newton流體가 大部分이었으나, 最近, 科學技術의 進歩에 因하여 非Newton流體의 研究은 日로 高分子溶液의 흐름을 取扱하는 事가 多아지고, 此의 研究은 高分子溶液의 흐름을 粘性的 性質 以外에 彈性的 性質을 有한 流體의 非Newton流體에 對한 研究 結果의 比較적 特異한 現象을 나타내며 있다. 本法線應力測定은 Weissenberg 効果, 壁面緩和, Barus 効果(또는 Merrington 効果) 및 不安定現象 等의 稀薄高分子溶液의 亂流狀態에 對한 研究 結果의 管摩擦損失이 同一 流速으로 溶液을 流할 때와 同一 管摩擦損失보다도 著著히 減少하는 Toms 效果 等이며, 特히 Toms 效果는 大體의 流體 研究者의 注意를 吸引하고 있다.

그러나 이러한 異常現象의 研究은 極히 困難하며, 此 溶液의 物質定數 測定이 困難한 故로 化學的, 物理的, 機械的 測定에 依하여, 實驗的이나 理論的으로 보아 統一된 見解가 得히지 못하여 疑念 狀態에 있다. 稀薄高分子溶液의 粘彈性的 特性中에서 一般의 非Newton流體의 粘性的 測定方法, 粘度測定法은 濃厚溶液과 稀薄溶液을 莫論하고 比較的 簡單한 測定方法에 大體 適用되어 나타나고 있으나, 反하여 法線應力差의 測定은 法線應力의 測定에 對한 科學的 技術의 進歩에 依한 進步를 나타내지 못하여 實驗的으로 求할 必要한 程度의 假定이 必要하며 若干의 問題點이 남아 있다고 感覺된다.

이후의 流體의 靜壓測定은 流體의 實驗에 있어서 가장 基礎的인 것이며, 從來의 Newton流體의 境遇는 主로 靜壓孔을 用하여 測定되어 왔다. 靜壓孔에 依한 靜壓測定은 極 簡單한 方法으로 Newton流體에 對해서는 靜壓孔에 依한 示壓과 眞의 靜壓과의 誤差가 極小함이 實驗的으로 確認되어 있으므로, 從來, 靜壓孔에 依한 靜壓을 測定하는 境遇가 많았다. 그러나 粘彈性流體의 境遇는 靜壓孔에 依한 測定誤差가 Newton流體의 境遇와 같이 無視할 수 있을 程度인가는 아직 不明하며 此의 實驗的으로 必히 確認되지 않으면 안될 問題가 生覺된다. 最近에는 粘彈性流體에 對해서, 靜壓孔에 依한 示壓誤差는 無視할 수 없을 程度로 크다는 報告가 發表되었다. 이 粘彈性流體에 있어서, 靜壓孔을 用해서 測定된 靜壓值가 眞의 靜壓值보다도 작은 값으로 나타내며 있다고 發表되었다.

本研究에서는 從來 測定이 大體히 困難하였던 法線應力을, 細管으로부터 流出되는 Jet가 細管에 對하는 反力을 利用해서 測定할 수 있는 實驗方法 및 實驗裝置를 開發해서, 그것에 依한 此의 溶液의 法線應力을 求할 때 同時히, 簡單한 Channel을 使用하여 靜壓孔의 影響을 考察함으로써 粘彈性流體가 靜壓孔의 示壓에 미치는 影響을 糾明코져 하는 바이다.

### 1·2 從來의 研究

Kaye 等은 各種 Rheogoniometer나 流動複屈折法으로 法線應力差를 測定하여, 그것들을 比較 檢査한 다음으로써 粘彈性流體에 對해서는 壁孔에 依한 靜壓의 測定值가 眞의 靜壓보다 낮은 값을 나타내며를 發表하였다. 그들에 依하면 壁孔에 依한 測定의 示壓誤差  $4P$  dyne/cm<sup>2</sup>는 다음 식으로 주어진다.

$$4P = 3.07\tau_w + 414, \quad 500 > \tau_w > 200 (\text{dyne/cm}^2)$$

但  $\tau_w$ 는 壁面剪斷應力임.

(4)

韓國海洋大學 大學院 論文集 第1輯

또 Prichard는 壁孔의 形狀이나 깊이 및 速度의 相違가 示壓誤差에 미치는 影響을 次元解析의 으로 考察하고, 한편으로는 實驗的으로 丹錐~平板型 Rheogoniometer로써 그의 影響을 考察한 結果 壁孔의 幾何學的 形狀의 相違는 큰 影響을 주지 않는다고 結論지었다.

Tanner와 Pipkin은 開水路에서 直徑 1/32in.로 부터 1/4in.의 壁孔 및 1/8in.의 throat에 對하여 實驗한 結果 示壓誤差는 壁孔의 크기나 壁孔과 throat의 相違에 따른 影響을 거의 받지 않으며, 그값은 負(-)이고, 絶對值는 第一法線應力差의 約 25%라고 報告하였다. 그 위에 그들은 흐름이 壁孔의 中心軸에 對해서 對稱이라 假定해서, 流體의 Model로서 2次元流體를 擇해서 理論解析을 하여, 實驗值와 거의 一致하는 結果를 얻었다.

Higashitani等은 上記의 解析方法을 擴張해서 一般的으로  $\tau_{xx}-\tau_{yy} \propto \tau_{yx}^2$ ,  $\tau_{yy}-\tau_{zz} \propto \tau_{yz}^2$ 으로 되는 流體에 對해, 壁孔에 依한 示壓誤差  $\Delta P$ 는 다음式으로 주어짐을 報告하였다.

$$\Delta P = -\frac{1}{3} \left( \frac{\tau_{xx}-\tau_{yy}}{\alpha} - \frac{\tau_{yy}-\tau_{zz}}{\beta} \right)$$

여기에서  $\tau_{xx}-\tau_{yy}$ ,  $\tau_{yy}-\tau_{zz}$ ,  $\tau_{yz}$ 는 各各 第1, 第2 法線應力差 및 剪斷應力임.

## 第2章 法線應力の 測定

### 2.1 使用溶液

本實驗에서 使用된 流體는 Cellosize Hydroxyethyl Cellulose (HEC WP-4400)와 Polyethylene Oxide(PEO-18N) 및 Polyacrylamide(Separan NP-10)의 各 水溶液이다. 水溶液의 比重은 거의 물과 같으며, 溶解方法에 있어서 HEC의 境遇, 溶器에 채운 水道水에 HEC의 粉末을 徐徐히 混入해서 充分히 攪拌하면서 溶解시킨다. HEC의 溶液은 數回의 實驗에 使用 可能하며 相違한 溶解方法에 對해서도 거의 差異가 없으나 長時間 放置하여 두면 水中의 Bacteria等에 依한 腐敗로 因하여 粘度가 低下된다. 이 溶液에 依한 實驗은 溶解後 24時間이 經過한 다음부터 2週間 使用할 수 있었다.

PEO의 境遇는, 100ppm의 安定劑를 넣은 水道水에 PEO粉末을 撒布하여 24時間 程度後에 徐徐히 攪拌한다. PEO溶液은 強한 剪斷應力을 받으면 高分子鎖가 切斷되어 永久的으로 劣化되므로 PEO溶液製造時는 아주 徐徐히 攪拌해야 된다. 또한 PEO容器 等으로 부터 나타나는 鐵Ion에 依해 그의 特性이 變化하므로 製造된 溶液은 4日 以內에 實驗을 完了하도록 하였다.

Separan의 境遇는 물에 對한 溶解性이 大端히 좋아서 溶液 製速가 容易하다. Separan은 過激히 攪拌하거나 大端히 큰 剪斷應力을 加하면 Polymer結合이 切斷되어 粘度가 低下하는 境遇가 있으나 普通의 實驗에서는 粘度의 劣化가 發生하지 않는다. 또한 거의 非腐蝕性이므로 取扱이 容易한 溶液이다.

따라서 本實驗에서는 主로 Separan溶液을 使用하였다. 그러나 法線應力의 測定實驗에 있어서 는 他 溶液의 狀態를 參考로 하기 위하여 HEC 및 PEC 溶液으로도 實驗을 行하였다.

### 2.2 測定原理

그림(2-1)과 같이 Reservoir에 取付된 細管(半徑R)으로부터 粘彈性流體가 Jet로 噴出되는 境遇

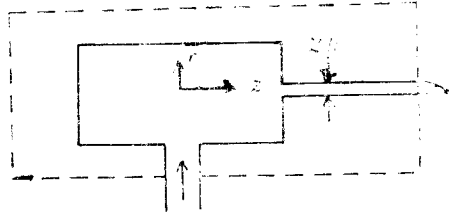


그림 (2-1)

를 考慮한다. 丹筒座標系( $r, \theta, z$ )를 그림(2-1)과 같이 定하고 點線과 같은 檢査面을 取해서  $z$ 方向의 運動量의 平衡을 考慮한다. 그때의 流出Jet는 管出口에서 完全히 發達된 速度分布의 形態로 된다고 假定한다. 여기서  $R$ 는 管半徑,  $v$ 는 管内流速,  $T_{zz}$ 는  $z$ 方向의 法線應力,  $f$ 는 表面張力에 依한 힘이다.

單位時間에 檢査面으로부터의 運動量 :

$$\int_0^R (\rho v 2\pi r \cdot dr) v$$

檢査面上(管出口)에서 流體가 받는 힘;

$$\int_0^R T_{zz} 2\pi r \cdot dr + f$$

細管이 받는 힘;  $-T_M$

以上을 運動量의 法則에 適用시키면

$$-T_M = \int_0^R (\rho v 2\pi r \cdot dr) \cdot v + \int_0^R T_{zz} 2\pi r \cdot dr + f \dots\dots\dots(2-1)$$

따라서,

$$\int_0^R T_{zz} 2\pi r \cdot dr = T - T_M - f \dots\dots\dots(2-1')$$

但,  $T = 2\pi\rho \int_0^R v^2 r \cdot dr \dots\dots\dots(2-2)$

또한 式(2-1)'의 積分變數  $r$ 를  $r = \frac{\tau_{rz}}{\tau_w} R$ 의 關係로부터 剪斷應力  $\tau_{rz}$  ( $\tau_w$ 는 壁面剪斷應力)로 變換해서 兩邊을  $\tau_w$ 로써 微分하던 다음式을 얻는다. 但, 添字  $W$ 는 壁面に 있어서의 값을 表示한다.

$$\frac{2\pi R^2}{\tau_w^2} \int_0^{\tau_w} T_{zz} \cdot \tau_{rz} \cdot d\tau_{rz} = T - T_M - f$$

$$\therefore (T_{zz})_w = \frac{1}{2\pi R^2} \left[ 2(T - T_M - f) + \tau_w \frac{d(T - T_M - f)}{d\tau_w} \right] \dots\dots(2-3)$$

單純剪斷流에 對하여 羅乘則

$$\tau_{rz} = m \left. \frac{dv}{dr} \right| \left. \frac{dv}{dr} \right|^{n-1} \dots\dots\dots(2-4)$$



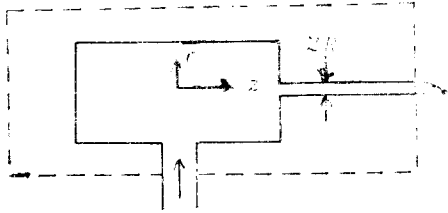


그림 (2-1)

를 考慮한다. 丹筒座標系( $r, \theta, z$ )를 그림(2-1)과 같이 定하고 點線과 같은 檢査面을 取해서  $z$ 方向의 運動量의 平衡을 考慮한다. 그때의 流出Jet는 管出口에서 完全히 發達된 速度分布의 形態로 된다고 假定한다. 여기서  $R$ 는 管半徑,  $v$ 는 管内流速,  $T_{zz}$ 는  $z$ 方向의 法線應力,  $f$ 는 表面張力에 依한 힘이다.

單位時間에 檢査面으로부터의 運動量:

$$\int_0^R (\rho v 2\pi r \cdot dr) v$$

檢査面上(管出口)에서 流體가 받는 힘:

$$\int_0^R T_{zz} 2\pi r \cdot dr + f$$

細管이 받는 힘:  $-T_M$

以上을 運動量의 法則에 適用시키면

$$-T_M = - \int_0^R (\rho v 2\pi r \cdot dr) \cdot v + \int_0^R T_{zz} 2\pi r \cdot dr + f \dots (2-1)$$

따라서,

$$\int_0^R T_{zz} 2\pi r \cdot dr = T - T_M - f \dots (2-1')$$

$$\text{但, } T = 2\pi \rho \int_0^R v^2 r \cdot dr \dots (2-2)$$

또한 式(2-1)'의 積分變數  $r$ 를  $r = \frac{\tau_{rz}}{\tau_w} R$ 의 關係로부터 剪斷應力  $\tau_{rz}$  ( $\tau_w$ 는 壁面剪斷應力)로 變換해서 兩邊을  $\tau_w$ 로서 微分하면 다음式을 얻는다.

但, 添字  $W$ 는 壁面に 있어서의 값을 表示한다.

$$\frac{2\pi R^2}{\tau_w^2} \int_0^{\tau_w} T_{zz} \cdot \tau_{rz} \cdot d\tau_{rz} = T - T_M - f$$

$$\therefore (T_{zz})_w = \frac{1}{2\pi R^2} \left[ 2(T - T_M - f) + \tau_w \frac{d(T - T_M - f)}{d\tau_w} \right] \dots (2-3)$$

單純剪斷流에 對하여 羅乘則

$$\tau_{rz} = m \frac{dv}{dr} \left| \frac{dv}{dr} \right|^{n-1} \dots (2-4)$$

를 適用하면

$$\tau_w = m \left( \frac{3n+1}{4n} \Gamma \right)^n, \quad \Gamma = \frac{8V}{D} \dots (2-5)$$

가 된다.

또한 式(2-2)와 式(2-5)로부터  $T$ 는

$$T = \rho \pi \frac{3n+1}{2n+1} V^2 \frac{D^2}{4} \dots (2-6)$$

로 된다. 但  $D$ 는 管直徑,  $V$ 는 平均流速임. 式(2-5)를 式(2-3)에 代入하면  $(T_{zz})_w$ 는 式(2-7)로 表示된다.

(6)

$$(T_{zz})_w = \frac{1}{2\pi R^2} \left[ 2(T - T_M - f) + \frac{1}{n}(T - T_M - f) \frac{d \log(T - T_M - f)}{d \log r} \right] \dots (2-7)$$

을 얻는다. 따라서 流量을 測定하면 式(2-6)으로 부터  $T$ 를 求할 수 있고 또한 反力  $T_M$ 을 測定하면 式(2-7)에 依해서  $(T_{zz})_w$ 가 計算된다. 이것을 第1法線應力差  $(\tau_{zz} - \tau_{rr})_w$ 와 聯關시키기 위해서는 다음과 같이  $r$ 方向의 運動方程式을 考慮할 必要가 있다. 즉 法線應力  $T_{zz}$ 를 等方成分과 偏差成分으로 分離하면

$$(T_{zz})_w = (-p + \tau_{zz})_w \dots (2-8)$$

이 된다. 管出口에서 完全히 發達된 速度成分의 形態라고 假定하고 있으므로 管出口에 있어서  $r$ 方向의 運動方程式은 式(2-9)와 같이 된다.

$$0 = -\frac{\partial p}{\partial r} + \frac{\partial \tau_{rr}}{\partial r} + \frac{\tau_{rr} - \tau_{\theta\theta}}{r} \dots (2-9)$$

이것을  $0 \sim R$ 까지 積分하면

$$P_{(R)} = P_{(0)} + (\tau_{rr})_w + \int_0^R \frac{\tau_{rr} - \tau_{\theta\theta}}{r} \cdot dr \dots (2-10)$$

이 된다. 한편 管中心에서 大氣壓과 같다고 假定하면

$$P_{(0)} = 0 \dots (2-11)$$

또한 Weissenberg의 假定을 適用하면

$$\tau_{rr} - \tau_{\theta\theta} = 0 \dots (2-12)$$

가 된다. 따라서 式(2-10)은

$$P_{(R)} = P_w = (\tau_{rr})_w \dots (2-13)$$

로 된다. 따라서 式(2-8)과 式(2-13)으로 부터,

$$(T_{zz})_w = (\tau_{zz} - \tau_{rr})_w \dots (2-14)$$

가 되어  $(R_{zz})_w$ 는 第1法線應力差와 같게 된다.

### 2.3 實驗裝置

裝置全體의 略圖를 그림(2-2)에, Jet噴出裝置를 그림(2-3) 및 (2-4)에 表示하였으며, 그림(2-5) 및 (2-6)은 그들의 사진을 나타내고 있다. 裝置의 原理는 Piano線의 비틀림角을 測定하여 Jet의 反力을 求할 수 있도록 한것이다. 즉, 上下 2.96m 사이에 팽팽히 담겨진 Piano線(徑1.2mm인 Stainless)製品의 途中에 Jet噴出裝置가, 그의 上下에 取付된 Chuck에 依해서, Piano線上에 設置되어 있다. 噴出裝置로 부터는 內徑 3.3mm의 4個의 黃銅管이 半徑方向에 設置되어 그의 先端에는 Stainless製의 噴出管이 그에 直角으로 取付되어 있다. 또한 黃銅管은 徑이 다른 噴出管으로 交換할 수 있게 하였으며, 그림(2-4)에 5種類의 噴出管의 管徑 및 管長을 表示하였다. 溶液은 供給Tank에 貯藏된 後 Reservoir에 移送되어 그곳에서 壓力이 調整된 다음, 밑으로부터 Vinyl管을 통해서 噴出裝置에 供給된다. 噴出裝置에 供給된 溶液이 4方向으로 向해 있는 4個의 噴出管으로 부터 Jet가 되어 噴出되면, 그의 反力에 相當하게 Piano線이 비틀린다. 그 비틀림角은 Piano線上에 取付된 小鏡에 비치는 Scale의 눈금을 望遠鏡으로 읽음으로써 알 수가 있다. 또한 流量은 Jet의 下方에 位置한 容器에 依해서 重量法으로 測定된다.

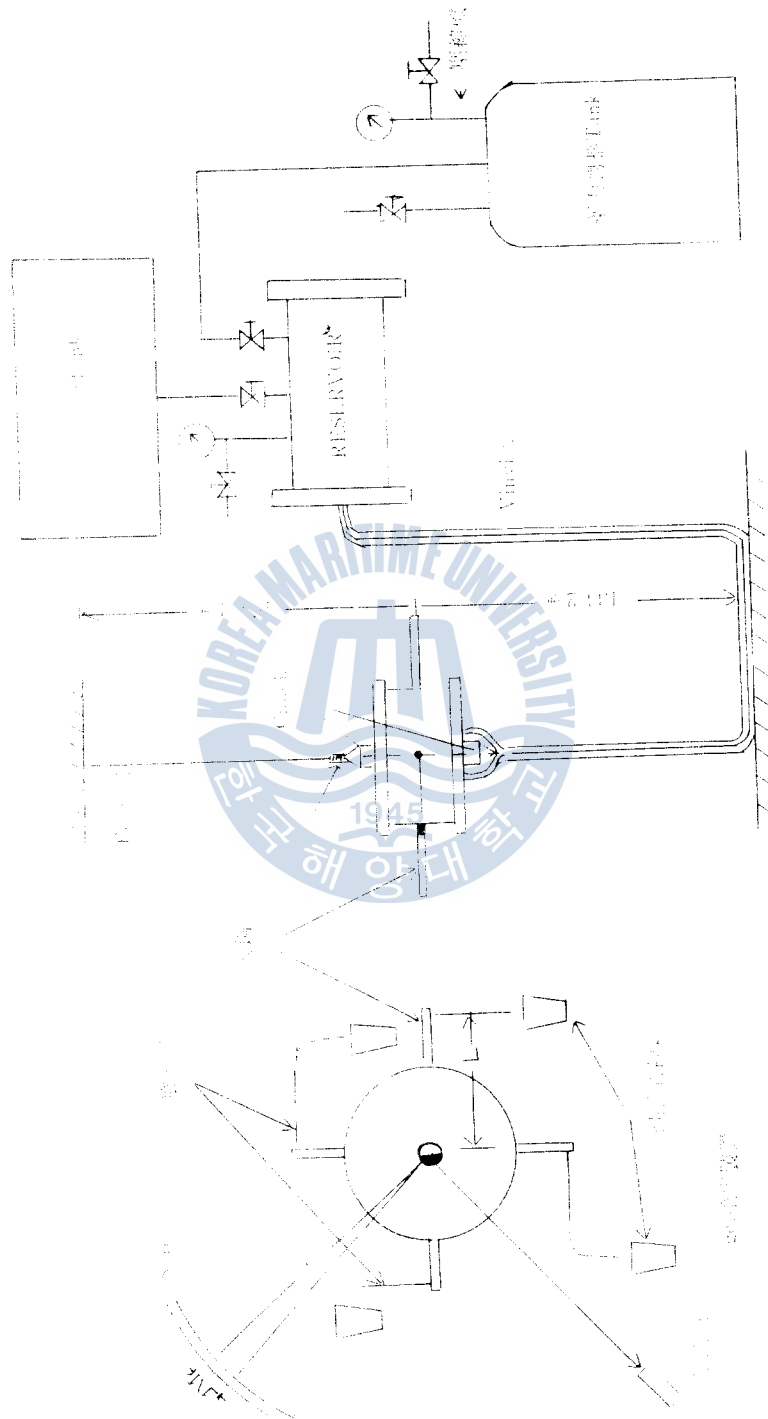
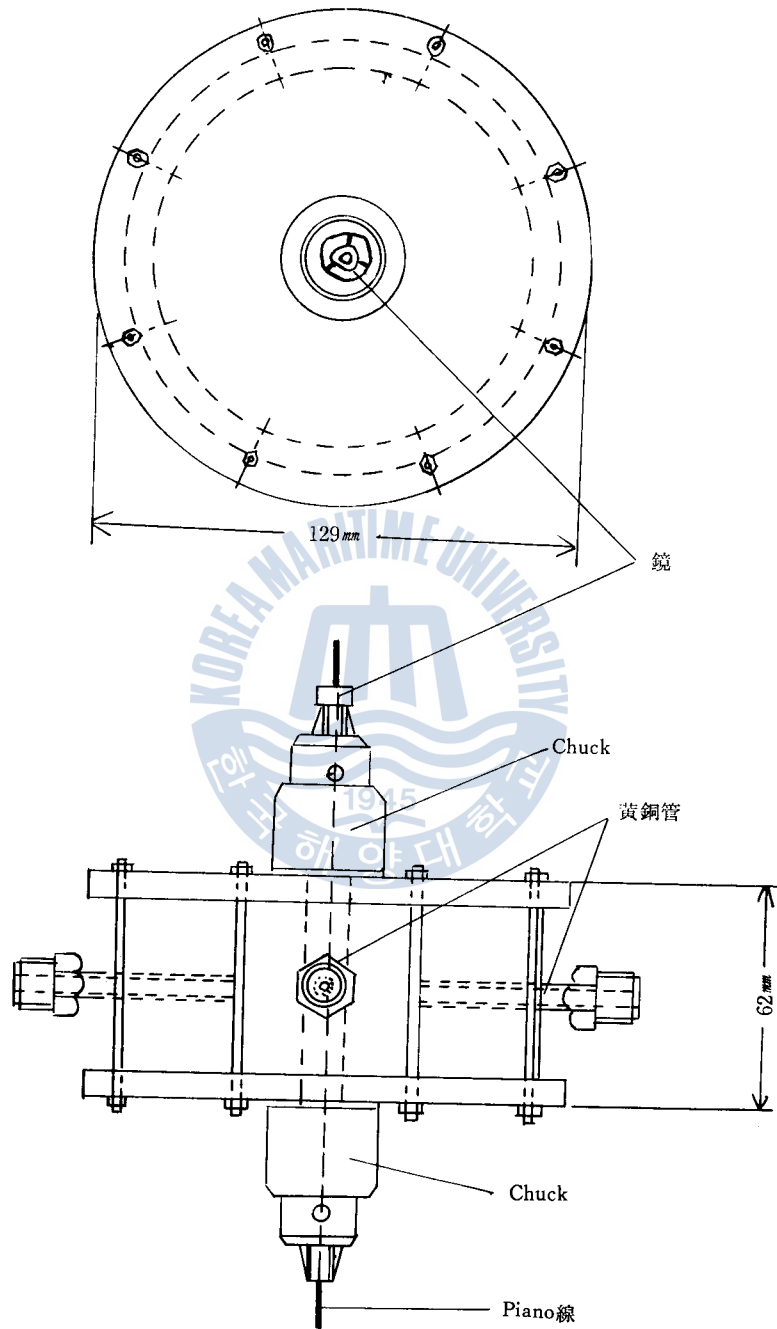


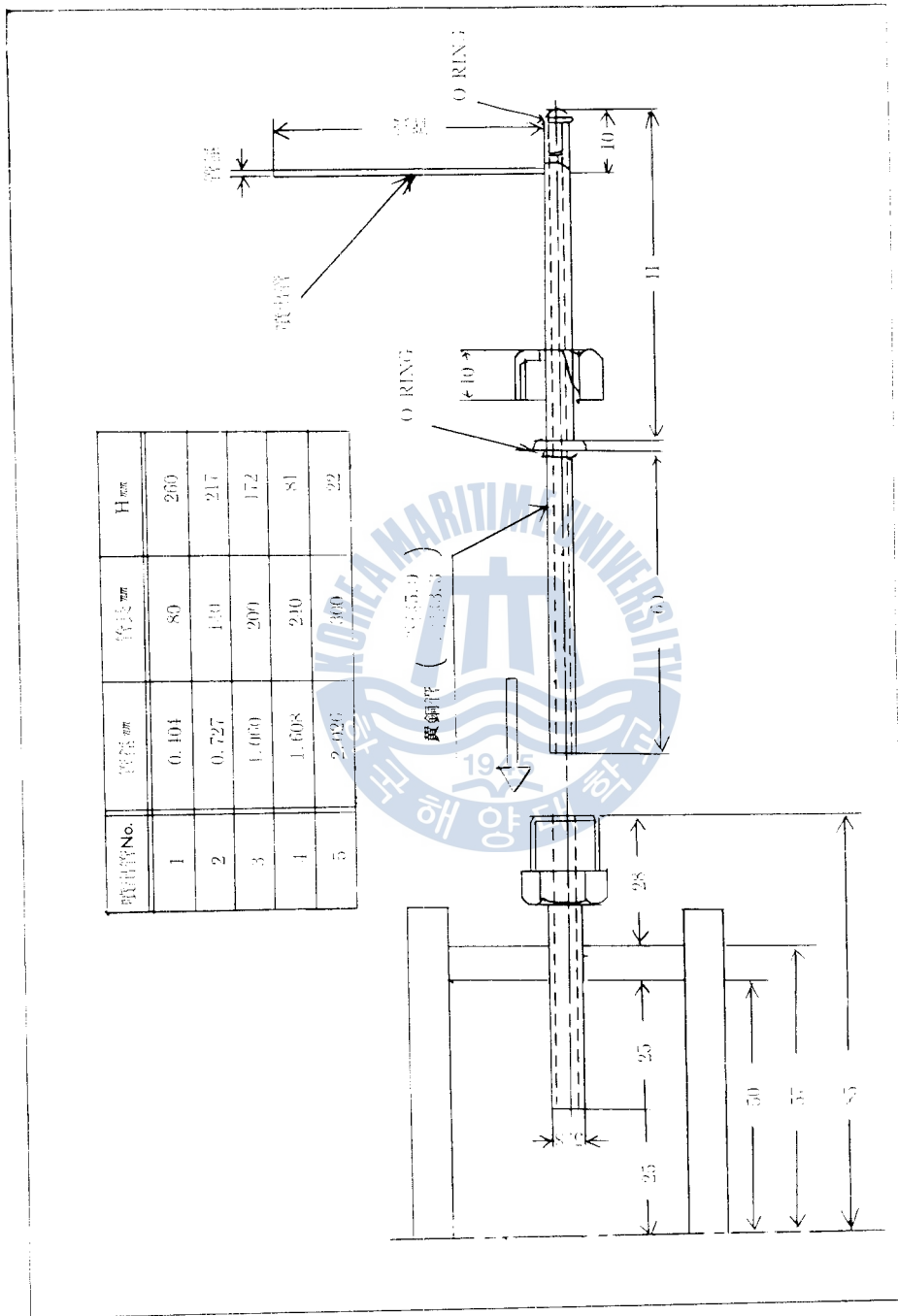
그림 2-2 實驗裝置略圖



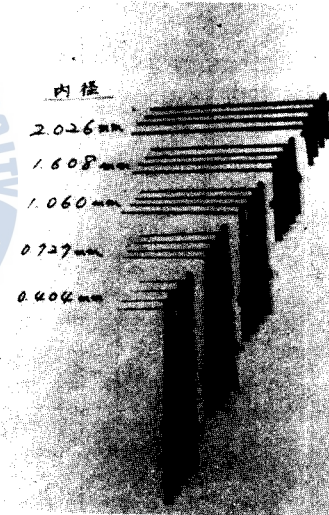
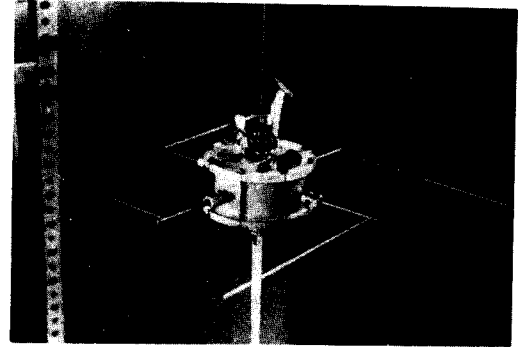
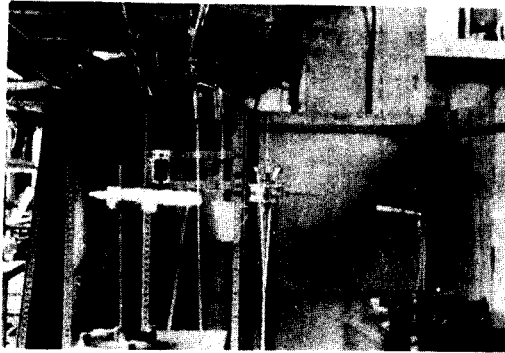
(8)



그림(2-3) JET噴出裝置



그림(2-4) 噴出管詳細圖



그림(2-5) 法線應力測定の 全裝置

그림(2-6) Jet噴出裝置

### 2.4 實驗方法 및 結果

Piano線의 비틀림角度  $\theta = \Delta M/l$ 와 Jet反力에 의한 Torque  $T_M \cdot l$ 은  $\theta$ 가 微小한 範圍內에서 比例한다고 看做할 수 있으므로

$$\Delta M/l = K \cdot L \cdot T_M \dots\dots\dots(2-15)$$

가 成立한다. 但  $\Delta M$ 은 Scale 눈금의 差이며  $l$ 은 小鏡으로부터 Scale까지의 距離,  $L$ 는 Piano線으로부터 噴出管까지의 距離이고,  $K$ 는 比例定數인데 Piano線의 剛性率에 依하여 決定된다.

一方, 물의 境遇에는  $(T_{zz})_w=0$  이고 器指數  $n$ 은 1인 故로 式(2-1)로부터  $T_M$ 은

$$T_M = T - f \dots\dots\dots (2-16)$$

이므로, 式(2-6)으로 부터

$$T = \rho\pi \frac{4}{3} V^2 \frac{D^2}{4} = \frac{16\rho}{3\pi} \cdot \frac{Q^2}{D^2} \dots\dots\dots (2-17)$$

이 된다. 式(2-15), (2-16) 및 (2-17)로부터

$$\Delta M = K \cdot l \cdot L \cdot T_M = K \cdot l \cdot L \left( \frac{16\rho}{3\pi} \cdot \frac{Q^2}{D^2} - f \right) = m_o Q^2 - \frac{3\pi D^2}{16\rho} \cdot m_o f \dots\dots (2-18)$$

$$\text{但, } m_o = K \cdot l \cdot L \frac{16\rho}{3\pi D^2}$$

로 된다. 물의 境遇  $\Delta M$ 와  $Q^2$ 間에는 線形關係가 成立된다. 따라서 물의 實驗値로부터  $\Delta M-Q^2$ 의 Graph를 그리면 그의 기울기는 式(2-18)의  $m_o$ 값이 된다. 그림(2-7)~그림(2-11)은 물의 境遇에 있어서 5種類의 各 噴出管에 對해 求한  $\Delta M$ 와  $Q^2$ 의 實驗値를 表示하고 있는데, 式(2-18)의 關係와 一致함을 나타내고 있다.  $m_o$ 의 값은 本實驗에서와 같이 溶液의 比重이 물과 거의 같은 때는 溶液種類와는 無關한 裝置定數이다.  $m_o$ 의 값을 알면 그림(2-7)~그림(2-11)의 切片  $\frac{3\pi D^2}{16\rho} m_o f$ 를 읽음으로써 表面張力에 依한 힘  $f$ 를 알 수 있다.

그림(2-12)는 그와같이 求한  $f$ 를 縱軸에, 管徑  $D$ 를 橫軸에 取하여 말은 Graph이다. 기울기는 거의 1 이고  $f \propto D$ 임을 알 수 있으며, 切片으로부터 比例定數를 求하면

$$f = 0.683\pi D\sigma \dots\dots\dots (2-19)$$

가 된다. 但  $\sigma$ 는 表面張力으로서 本實驗에서 使用한 水道水에 있어서는  $\sigma=72.5$ dyne/cm(Jolly의 表面張力計로 測定)이다. 從來 表面張力의 補正에는 이러가지로 論議가 있었으며,  $f = \frac{\pi D}{2} \sigma$  또는  $\pi D\sigma$ 라고 하여 왔으나 本實驗에 依하면 이들 中間値로 測定되었다.

한편, 粘彈性流體의 反力  $T_M$ 은 式(2-18)로부터

$$T_M = \frac{\Delta M}{K \cdot l \cdot L} = \frac{16\rho}{3\pi D^2} \cdot \frac{\Delta M}{m_o} \dots\dots\dots (2-20)$$

이 되므로  $m_o$ 를 알면  $T_M$ 이 求하여지며, 式(2-7)로부터  $(T_{zz})_w$ 가 求하여진다.

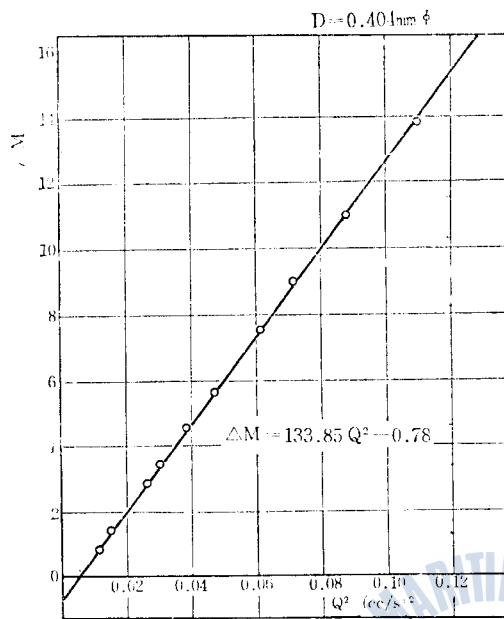
그림(2-13)~그림(2-22)는 法線應力  $(T_{zz})_w$ 對 剪斷速度( $T_w$  및  $r_w$ )를 兩對數Graph에 表示한 것이다. 그림(2-10)~그림(2-22)에 關해서 考察하여 보면, 各 濃度에 對해서 어느 것이나 測定點은 噴出管의 管徑에 無關하게 一直線상에 있는 것으로 看做되어서 直線을 그었다. 이 直線 Graph로부터

$$(T_{zz})_w \propto r_w^k, \quad (k > 0) \dots\dots\dots (2-21)$$

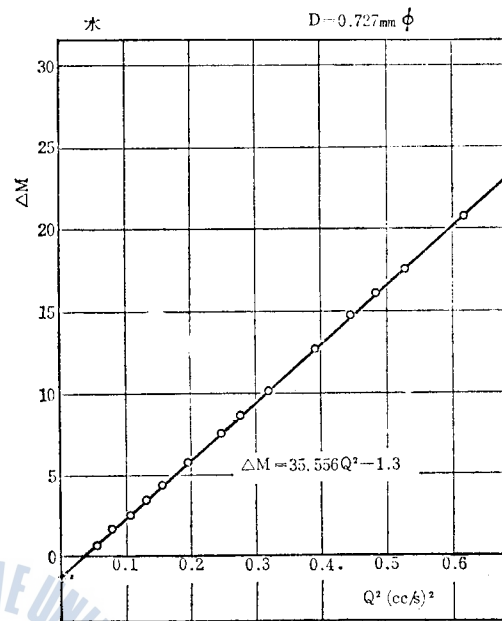
이 되는 것을 알 수 있다. 各 直線으로부터 그의 기울기  $k$ 의 값을 表(2-1)과 같이 얻을 수 있다.

溶液 및 濃度	$k: [(T_{zz})_w \propto r_w^k]$
Separan 0.05%	0.909
Separan 0.1%	0.906
Separan 0.5%	0.911

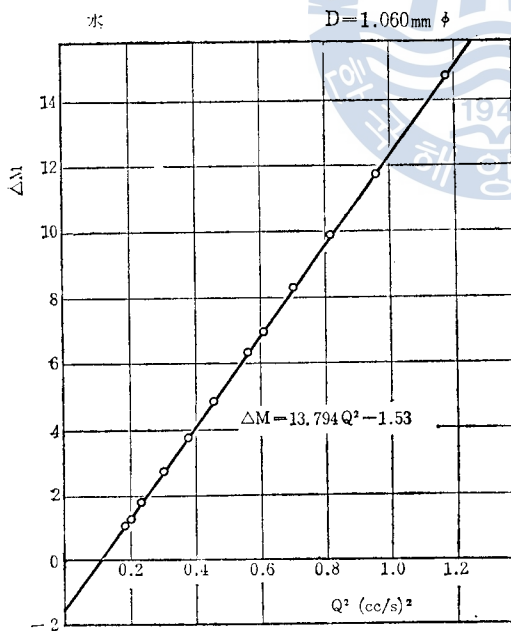
表(2-1)



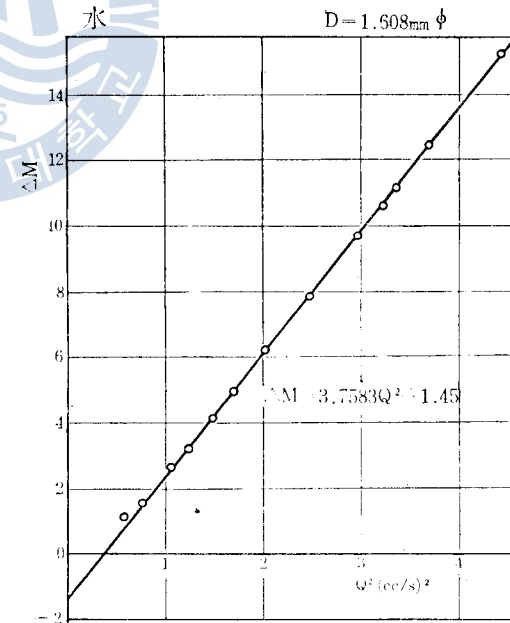
그림(2-7)



그림(2-8)



그림(2-9)



그림(2-10)



도형 11

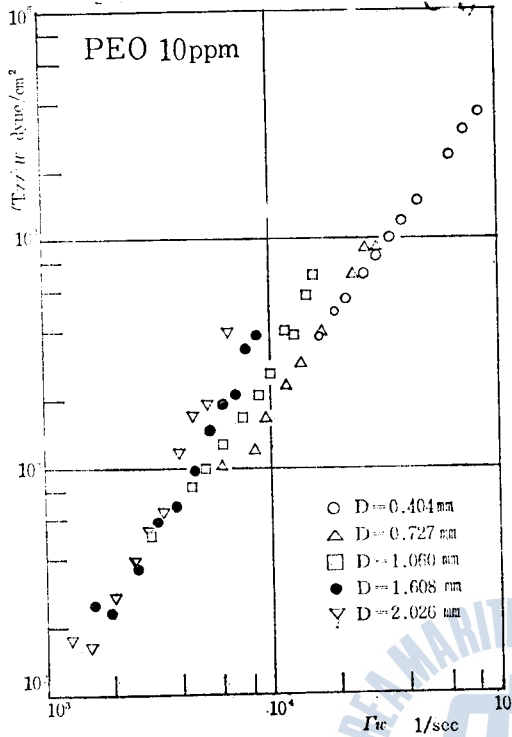
도형 12



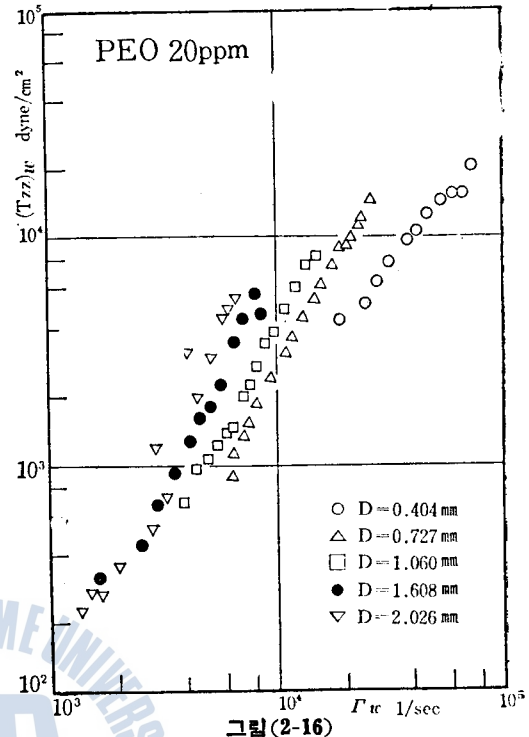
도형 13

도형 14

(14)



그림(2-15)



그림(2-16)

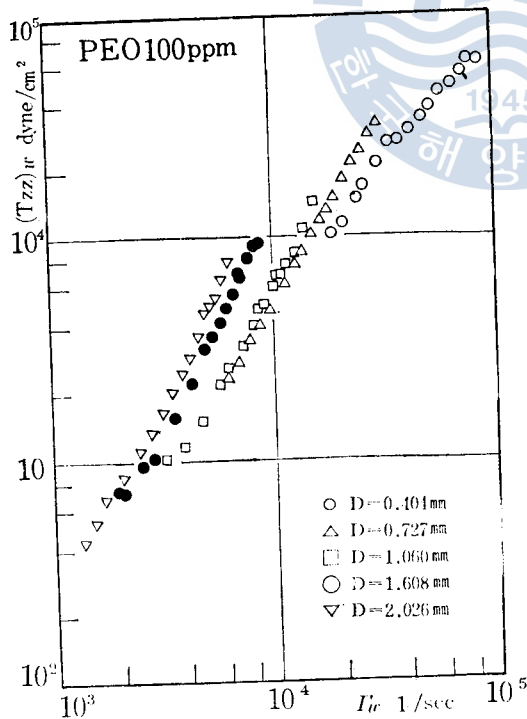
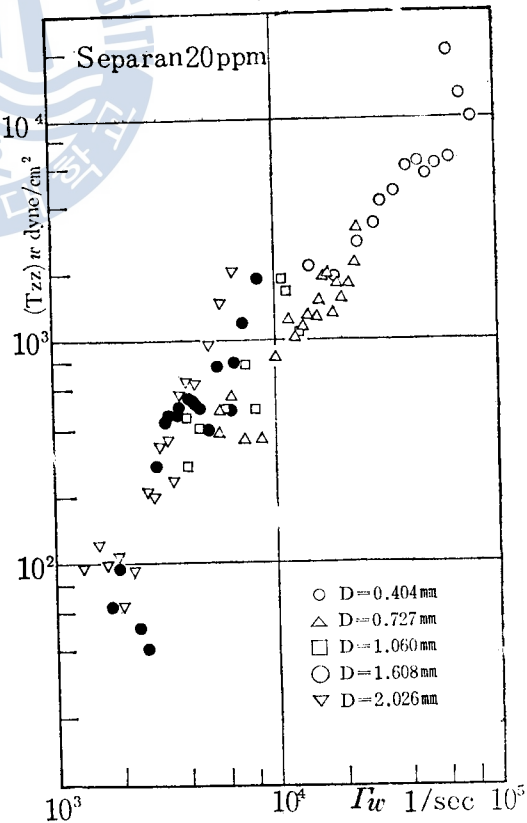
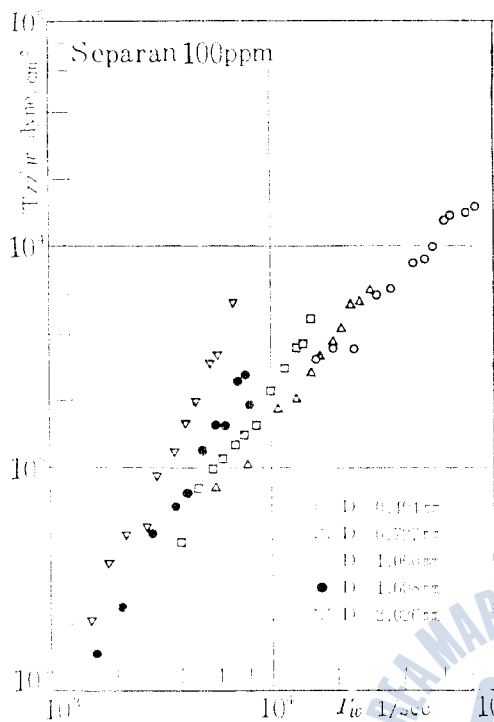


그림 15 PEO 100 ppm

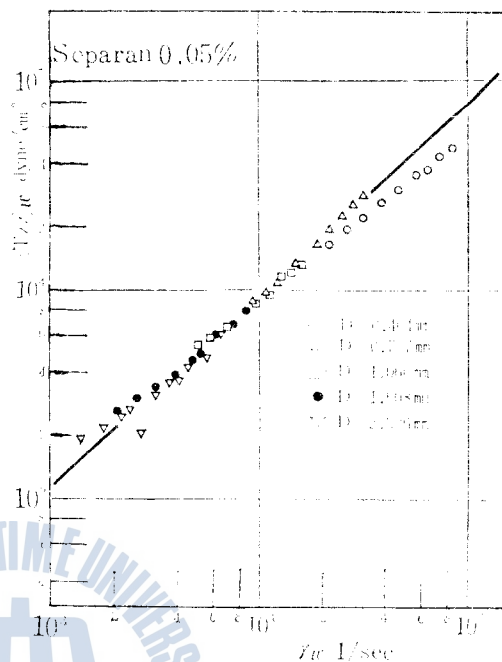
그림(2-17)



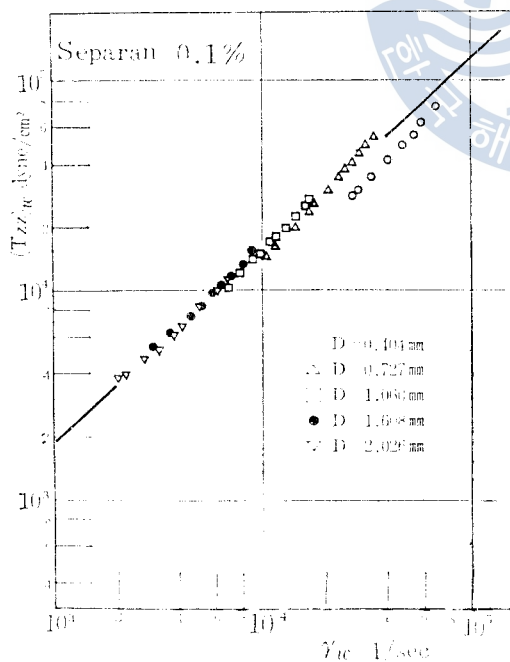
그림(2-18)



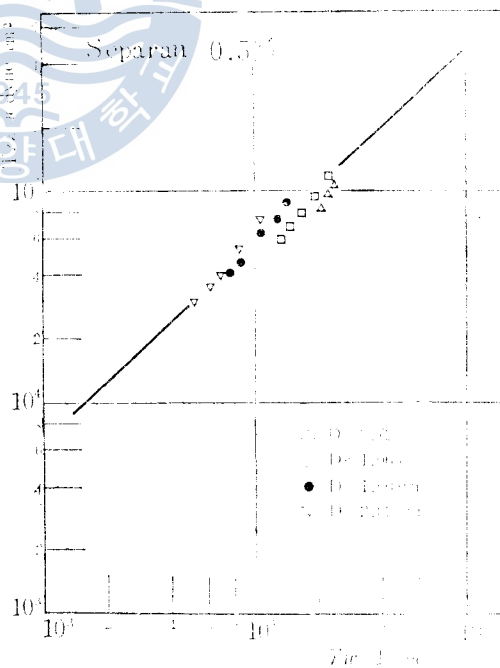
그림(2-19)



그림(2-20)



그림(2-21)



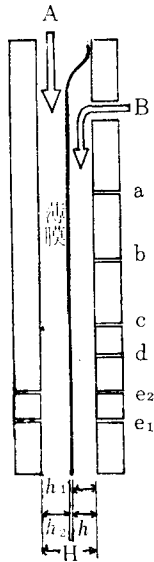
그림(2-22)



### 第3章 靜壓孔의 示壓에 미치는 影響

#### 3·1 實驗方法 및 原理

粘彈性流體가 靜壓孔에 미치는 影響을 考察하기 위해서는 靜壓孔에 依하지 않고 眞의 靜壓을 測定할 수 있는 方法이 가장 바람직하나 그와 같은 方法은 極히 困難하므로 本實驗에서는 平行平板型의 簡單한 Channel을 使用하여서 實驗을 行하였다. 이 Channel은 中間에 薄膜을 붙여서 2種의 液이 2個의 領域으로 同時에 흐르게 되어 있다. 따라서 한쪽 領域에는 舉動이 確實한 물이 흐르게 하고 다른쪽에는 粘彈性流體가 흐르게 하여 그의 舉動을 觀察하였다.



그림(3-1)

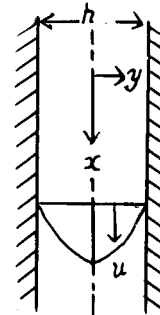
對稱位置의 粘彈性流體의 眞의 靜壓을 나타내고 있다. 上記한 本實驗의 概要를 물과 粘彈性流體의 順으로 詳細히 論하기로 한다.

물의 흐름은 그림(3-2)와 같이 平行平板間의 흐름이라고 看做한다. 즉 한쪽은 Channel의 側面이고, 다른 쪽은 薄膜으로서 壁面에 相當한다. 이 Channel에 있어서, 高分子溶液과 水道水의 入口로부터 壁孔  $e_2, e_2'$ 의 入口까지는 流路 두께의 100배 以上이고,  $e$ 의 上流側의 水力 勾配線이 直線的이며, 流路 두께에 對한 流路幅은 溶液側에서 約60배 이고 물側에서는 200배 程度나 되므로 이 흐름은 “2次元 Poiseuille의 흐름”이라고 할 수 있다.

그림(3-2)와 같이, 直角座標系( $x, y, z$ )를 取해서 各各의 速度成分

그림(3-1)은 Channel의 略圖이다. A 方向으로부터는 平行平板型 粘度計에 있어서와 같이 粘彈性流體가 壓送되어, 薄膜에 依해 分離된 Channel內의 한쪽의 領域으로 흐르게 된다. 反面에 다른쪽의 領域에는 B 方向으로부터 水道水가 壓送되어서 흐르게 된다. Newton流體에 있어서의 壓力은 靜壓孔을 通하여 測定하여도 正確한 靜壓을 나타내므로, 水道水가 通하는 領域에 對한 흐름의 狀態는 靜壓孔을 通해서 Manometer에 依하여 正確히 把握할 수가 있다. 水道水側의 靜壓孔  $a, b, c, d$ 는 各各 水銀Manometer에 接續되어서  $a-b, b-c, c-d$ 間의 各各의 差壓이 測定되므로  $a-d$ 間의 壓力 勾配分布를 알 수가 있다.  $e_1$ 과  $e_1'$ 는  $0.5mm$ 徑,  $e_2$ 와  $e_2'$ 는  $1.0mm$ 徑의 靜壓孔으로서 各各 半導體小型壓力變換器에 接續되어서, 增幅器와 電壓計에 依하여  $e$ 와  $e'$ 의 差壓이 測定된다. 여기에서 徑이 다른 두 種類의 靜壓孔을 設置한 것은 靜壓孔의 徑의 크기에 對한 影響을 觀察코자 함이다.

本實驗의 原理는 水道水側의 壓力 勾配와 流量으로 물이 흐르는 狀態를 調査함으로써 粘彈性流體의 狀態를 알 수 있도록 하는 것이다. 즉  $e_1$ 과  $e_1'$  및  $e_2$ 와  $e_2'$ 의 各各의 眞의 靜壓은 같아야 할 것이다. 故로  $e_1$ 과  $e_1'$  및  $e_2$ 와  $e_2'$ 에 對한 靜壓의 測定值가 相違하다면, 그 各各의 差壓은 粘彈性流體側의 靜壓孔( $e_1', e_2'$ )에 依한 影響에 起因된 結果라고 할 수 있다. 즉 水道水側의 靜壓孔( $e_1, e_2$ )에 依한 測定值는 그와



그림(3-2)

2. 船體阻力係數

船舶在靜水中航行時，船體所受到的阻力係數，可分為船體摩擦阻力係數及船體壓差阻力係數。

船體摩擦阻力係數  $C_{f1}$  係指船體表面所受到的摩擦阻力與動壓之比。

船體壓差阻力係數  $C_{f2}$  係指船體表面所受到的壓差阻力與動壓之比。

船體總阻力係數  $C_{fT}$  係指船體表面所受到的總阻力與動壓之比。

船體總阻力係數  $C_{fT}$  可表示為：

船體總阻力係數  $C_{fT}$  係指船體表面所受到的總阻力與動壓之比。

船體總阻力係數  $C_{fT}$  係指船體表面所受到的總阻力與動壓之比。

船體總阻力係數  $C_{fT}$  係指船體表面所受到的總阻力與動壓之比。

船體總阻力係數  $C_{fT}$  係指船體表面所受到的總阻力與動壓之比。

船體總阻力係數  $C_{fT}$  係指船體表面所受到的總阻力與動壓之比。

船體總阻力係數  $C_{fT}$  係指船體表面所受到的總阻力與動壓之比。

船體總阻力係數  $C_{fT}$  係指船體表面所受到的總阻力與動壓之比。

船體總阻力係數  $C_{fT}$  係指船體表面所受到的總阻力與動壓之比。



圖 19-1-1

船體總阻力係數  $C_{fT}$  係指船體表面所受到的總阻力與動壓之比。

船體總阻力係數  $C_{fT}$  係指船體表面所受到的總阻力與動壓之比。

船體總阻力係數  $C_{fT}$  係指船體表面所受到的總阻力與動壓之比。

船體總阻力係數  $C_{fT}$  係指船體表面所受到的總阻力與動壓之比。

船體總阻力係數  $C_{fT}$  係指船體表面所受到的總阻力與動壓之比。

船體總阻力係數  $C_{fT}$  係指船體表面所受到的總阻力與動壓之比。

船體總阻力係數  $C_{fT}$  係指船體表面所受到的總阻力與動壓之比。

船體總阻力係數  $C_{fT}$  係指船體表面所受到的總阻力與動壓之比。

船體總阻力係數  $C_{fT}$  係指船體表面所受到的總阻力與動壓之比。

船體總阻力係數  $C_{fT}$  係指船體表面所受到的總阻力與動壓之比。

$$\rho \frac{Dv_i}{Dt} = \rho \cdot K_i + \frac{\partial T_{ji}}{\partial x_j} \dots\dots\dots(3-11)$$

를  $i=1$ , 즉  $x$ 方向에 對하여 考慮하면

$$0 = -\frac{\partial p}{\partial x} + \rho g + \frac{\partial T_{yx}}{\partial y} \dots\dots\dots(3-12)$$

但  $P$ 는 等方性壓力이다. 따라서 式(3-8)과 式(3-12)로부터

$$0 = -\frac{\partial p}{\partial x} + \rho g + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} \dots\dots\dots(3-13)$$

를 얻는다. 또한 上式을 積分하면

$$\tau_{xy} = \left( \frac{\partial p}{\partial x} - \rho g \right) y \dots\dots\dots(3-14)$$

$$\therefore \tau_w = (\tau_{xy})_{y=h_2/2} = \left( \frac{\partial p}{\partial x} - \rho g \right) \frac{h_2}{2} = \frac{h_2}{2} \cdot \frac{dP}{dL} \dots\dots\dots(3-14')$$

로 된다. 여기서 流量을  $Q_V$ 라 하면, 單位幅當의 流量  $Q_V/b$ 는,

$$\frac{Q_V}{b} = 2 \int_0^{h_2/2} u(y) dy \dots\dots\dots(3-15)$$

가 된다. 式(3-15)를, 境界條件  $y=h_2/2$ 에서  $u=0$ 임을 適用하여 部分積分해서, 式(3-14)를 代入하여 變數를  $y$ 로부터  $\tau_{xy}$ 로 變換하면

$$\frac{Q_V}{b} = -\frac{h_2^2}{2\tau_w^2} \int_0^{\tau_w} \tau_{xy} \left[ \frac{du(y)}{dy} \right]_{\tau_{xy}} \cdot d\tau_{xy} \dots\dots\dots(3-16)$$

를 얻으며,  $Q_V = b \cdot h_2 \cdot V$  ( $V$ 는 平均流速)의 關係를 代入해서 式(3-16)의 兩邊을  $\tau_w$ 로 微分하면

$$\frac{2\tau_w}{h_2} \cdot \frac{dV}{d\tau_w} + 4 \frac{V}{h_2} = - \left[ \frac{du(y)}{dy} \right]_{\tau_w} \dots\dots\dots(3-17)$$

로 된다. 여기서 冪乘則이 成立한다고 假定하면

$$\tau_{xy} = m \frac{du}{dy} \left| \frac{du}{dy} \right|^{n-1} \dots\dots\dots(3-18)$$

$$\therefore \tau_w = m \tau_w^n \dots\dots\dots(3-18')$$

가 된다. 式(3-18')에 있어서,  $m$ 는 擬塑性粘度이며  $n$ 는 冪指數이다.

또한 壁面に 있어서의 擬塑性剪斷速度  $\Gamma_w$ 는 式(3-5)를  $y$ 로 微分해서,  $y=h_2/2$ 를 代入하면

$$\Gamma_w = \frac{6V}{h_2} \dots\dots\dots(3-19)$$

가 되므로, 式(3-18')의 關係를 式(3-17)에 代入하면, 壁面に 있어서의 眞의 剪斷速度  $\tau_w$ 는

$$\tau_w = \frac{2n+1}{3n} \cdot \frac{6V}{h_2} = \frac{2n+1}{3n} \Gamma_w \dots\dots\dots(3-20)$$

이 된다. 또한 2次元 흐름에 있어서의 一般 Reynold數는

$$R_e^* = \frac{6 \cdot \rho \cdot V}{\tau_w} \dots\dots\dots(3-21)$$

이므로, 式(3-14')로부터  $R_e^*$ 가 求하여진다.

本實驗에서 採用한 流路는 以上과 같이 물과 粘彈性流體가 隣接하여 同時에 흐르기 때문에, 兩者間에는 다음과 같은 關係가 成立한다.

$$h+h_1+h_2=H \dots\dots\dots(3-22)$$

$$Q_n+Q_T=Q_T \dots\dots\dots(3-23)$$

但,  $h_1$ 은 薄膜의 두께로서 本實驗에서는 1/100mm 이다.  $Q_T$ 는 全流量으로서 重量流量法에 依해서 測定된다.

以上과 같이 하아 式(3-14')로 부터  $\tau_w$ , 式(3-19)로 부터  $\Gamma_w$ 를 알 수 있으며, 式(3-18')에서 알 수 있듯이,  $\log \tau_w$ 對  $\log \Gamma_w$ 의 Graph를 그리면 그 勾配로부터 變指數  $n$ 을 求할 수 있고, 또한 式(3-20)으로 부터  $\gamma_w$ 를 알 수 있다.

以上에 依해서 水道水 및 粘彈性流體의 흐름의 狀態가 把握될 수 있으므로, 다음으로 靜壓孔의 影響에 依한 示壓의 誤差의 測定에 關하여 檢討하기로 한다.

流路內의 薄膜은 두께 1/100mm의 極히 얇은 Vinyl Film으로서, 그의 剛性에 依한 影響은 無視할 수 있다고 看做된다. 水道水側 및 粘彈性流體側의 Channel側面의 對稱한 位置에 設置된 靜壓孔, 즉  $e_1$ 과  $e_1'$  및  $e_2$ 와  $e_2'$ 에 있어서, 側面에 垂直한 方向의 應力에 對해서 考慮한다.

Cauchy의 運動方程式

$$\rho \frac{Dv_i}{Dt} = \rho \cdot K_i + \frac{\partial T_{ji}}{\partial x_j} \dots\dots\dots(3-24)$$

에 關해서 이젠  $i=2$ , 즉  $y$ 方向에 對해서 生覺한다. 流體의 흐름은  $x$ 方向의 發達된 2次元 定常流라고 看做할 수 있으므로,

$$v=w=0, \quad \frac{\partial}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial t} = 0 \dots\dots\dots(3-25)$$

가 되며, 또한  $y$ 方向에 外力이 作用하지 않는다면  $K_2=0$ 이 된다. 따라서 式(3-24)는

$$\frac{\partial T_{yv}}{\partial y} = 0 \dots\dots\dots(3-26)$$

$$\therefore [T_{yy}]_x = \text{Const.} \dots\dots\dots(3-27)$$

式(3-27)은, 2次元 定常流에 있어서 어떤 固定位置  $x$ 를 取하면 그 곳에 있어서의  $y$ 方向의 應力은 一定值가 됨을 나타내고 있다. 換言하면 膜을 中間에 끼우고 向해 있는 壁面의 靜壓孔  $e_1$ 과  $e_1'$  및  $e_2$ 와  $e_2'$ 에, 實際로는 各各 同一한 크기의 應力이 加해지고 있다. 따라서  $x$ 軸에 關해서 對稱한 位置에 設置된 靜壓孔  $e_1$ 과  $e_1'$  그리고  $e_2$ 와  $e_2'$ 에 있어서의 眞의 靜壓은 各各 同一值가 된다. 이러한 靜壓孔들로부터 應答이 빠른 半導體小型壓力變換器로써 그 곳에 있어서의 各各의 壓力을 測定한다. 壁孔의 狀態는 兩方의 流路에 水道水を 通했을 때  $e$ 側과  $e'$ 側에서 測定한 壓力에 差가 全然 나다나지 않았던 結果로 봐서 正確한 測定을 行할 수 있는 狀態에 있음을 알 수 있다.

따라서 만약에 물側과 粘彈性流體側에서 測定한 靜壓值에 差異가 있다면, 그것은 粘彈性流體에 있어서의 靜壓孔의 影響에 依한 結果라고 할 수 있다.

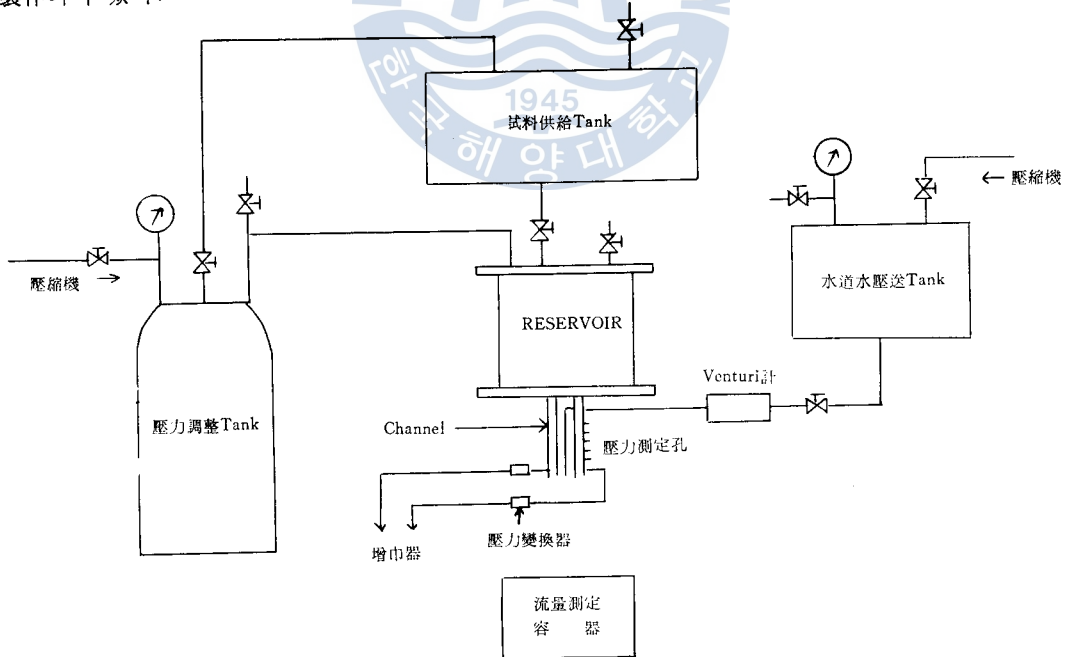
### 3.2 實驗裝置

實驗裝置 全體의 略圖를 그림(3-4)에, Channel의 說明圖를 그림(3-5)에, 그리고 寫眞을 그림(3-6) 및 그림(3-7)에 圖示하였다.

이裝置는 壓力調整 Tank, Reservoir, Channel, Venturi計, 全流量測定容器, 傾斜水銀差壓式 Manometer, 水道水壓送 Tank, 試料供給 Tank로 構成되어 있다. Reservoir는 圓筒型으로서 그의

下面에 Channel이 取付되어 있다. 裝置의 主要部는 Channel部로서 이곳으로 水道水와 粘彈性流體가 供給된다. 먼저 水道水는 一但 水道水壓送 Tank에 貯藏되어 所定の 壓力으로 加壓된 後에 Venturi計를 통해서 Channel內의 一側으로 흐른다. 이때 Venturi計에 依해서 水道水의 流量  $Q_w$ 가 測定된다. 한편 粘彈性流體는 充分히 溶解된 後에 試料供給 Tank에 貯藏되었다가 Reservoir로 供給된 後, 그곳에서 適當히 加壓되어서 그의 下部에 取付되어 있는 Channel의 他側으로 흐르게 된다. Channel內部에는, 薄膜이 붙어 있어서 水道水와 溶液이 分離되어 흐르도록 되어 있다. 그래서 Channel을 흘러나오는 水道水와 溶液은 그 밑에 位置한 流量 測定用의 容器와 重量計에 依해서 全流量  $Q_T$ 가 測定된다. 壓力調整 Tank는 比較的 큰 것을 使用해서 實驗中의 壓力降下를 防止했다.

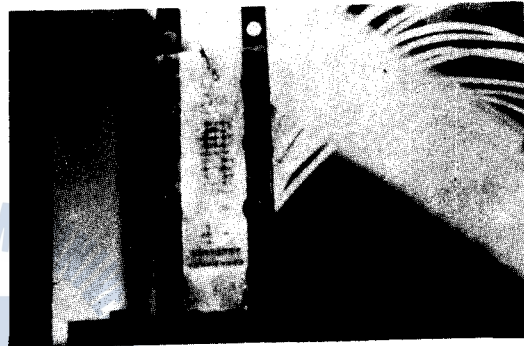
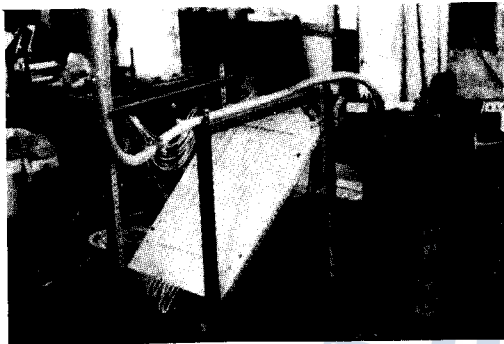
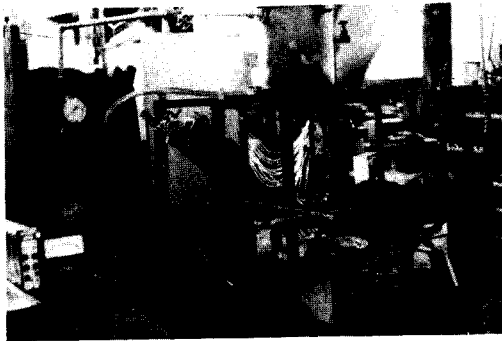
Channel은 平行平板으로서 流動狀態가 觀察되도록 本體는 2枚의 透明한 Acrylite板을 使用하고 있다. 本體인 2枚의 長方形인 Acrylite板의 兩·側端에는 두께 1mm인 黃銅板을 사이에 끼우고 Bolt와 Nut로 固定해서 製作한 것이다. 따라서 流路의 斷面形狀은 長方形으로서 두께( $H$ )는 1mm, 幅( $b$ )는 50mm이다. 또한, Channel內部에는 그의 上端이 固定된 薄膜(두께 1/100mm인 Vynil Film)이 있어서 Channel內에서 水道水와 溶液이 이 膜의 兩側에 各各 區分되어서 同時에 흐르도록 되어 있다. Channel側面에는 數個의 靜壓孔이 鑿려 있다. 즉 水道水側에는 中心線上에 4個의 靜壓孔(直徑 0.5mm)이 鑿려 있으며 各各 水銀 Manometer에 接續되어 있는데, 이것에 依해서 流動方向의 壓力勾配를 알 수가 있다. 또한 그 下方에는 直徑 1.0mm 및 0.5mm의 靜壓孔( $e_1, e_2$ )이 있으며, 溶液側에도 그들과 對稱한 位置에 그와 同一徑의 靜壓孔( $e_1', e_2'$ )이 鑿려 있는데, 半導體小型壓力變換器에 各各 接續되어서 增幅器를 通하여 靜壓이 測定되도록 製作되어 있다.



그림(3-4) 實驗裝置略圖



그림 3-5 船體構造圖



그림(3-6) 裝置全景

그림(3-7) Channel

### 3.3 實驗結果 및 考察

그림(3-8)부터 그림(3-14)까지가 Channel의 實驗結果를 Graph에 表示한 것이다. 그림(3-8)은 水道水의 流動狀態를 4個의 靜壓孔  $a, b, c, d$ 에서 測定한 것으로서 壓力勾配는 直線임을 알 수 있다. 여기에서 直線이 4個로 區分되어 있는 것은 剪斷速度를 Parameter로 하여 4個의 境遇에 對해서 나타내고 있기 때문이다. 또한 이것은 Separan 0.5%의 境遇로서 0.1%, 0.05%의 境遇에도 同一하기 때문에 省略했다. 이 Graph에 있어서 壓力勾配  $(-\frac{dP}{dx} + \rho g)$ 가 直線으로 나타나고 있음은 位置  $x$ 에 關係없이 壓力勾配가 一定值로 되는 것을 보여 주고 있는 것이다. 따라서 式(3-6)으로 부터 水道水의 흐름의 두께  $h$ 가 求해진다.

즉, 式(3-6)인

$$\frac{Q_w}{b} = \left(-\frac{dP}{dx} + \rho g\right) \cdot \frac{h^3}{12\eta} \text{로 부터,}$$

$$h = \sqrt{\frac{12\eta Q_w}{b} \cdot \frac{1}{\left(-\frac{dP}{dx} + \rho g\right)}} \dots\dots\dots (3-28)$$

가 된다. 式(3-28)에 依하면  $h$ 가 位置  $x$ 에 關係없이 一定值가 된다는 것을 알 수 있다.

즉, 흐름이 平行平板흐름이라고 假定하였던 事實을 滿足시키고 있음을 알 수 있다.

그림(3-9)~그림(3-11)은, 溶液의 濃度別로,  $\Gamma_w \sim \tau_w$ 를 兩對數 Graph에 圖示한 것이다. 따라

서, 式(3-18)의 冪乘則 및 式(3-20)으로 부터

$$\Gamma_n = m \dot{\gamma}_w^n = m \left( \frac{2n+1}{3n} \right)^n \cdot \Gamma_w^n \dots \dots \dots (3-29)$$

이므로, 式(3-29)로부터 直線의 기울기는 冪指數  $n$ 를 表示하는 것으로 된다.

各 濃度에 對한  $n$ 의 값은 다음의 表 (3-1)과 같다.

溶液 및 濃度		冪指數 $n$
Separan	0.05%	0.922
Separan	0.1 %	0.919
Separan	0.5 %	0.608

表(3-1)

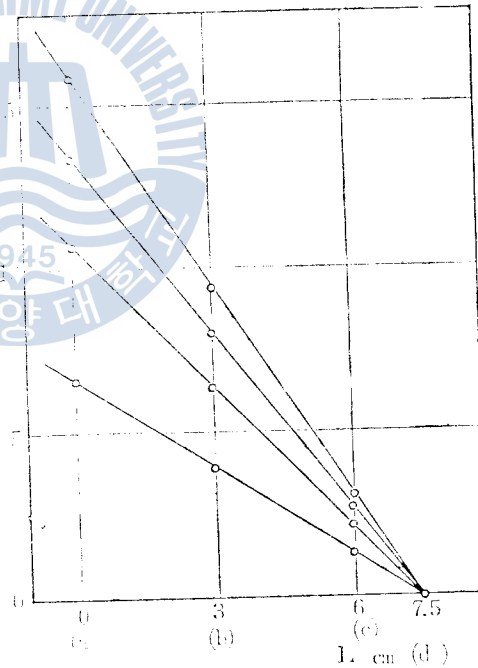
그림(3-12)~그림(3-14)는 橫軸에 眞의 壁面剪斷速度  $\dot{\gamma}_w$ (1/s), 縱軸에 靜壓孔의 影響의 依한 差壓 즉  $-\Delta P$ (dyne/cm<sup>2</sup>)을 溶液의 濃度別로 兩對數 Graph에 圖示한 것이다. 但  $\Delta P$ 는 다음과 같다.

$$\Delta P = (\text{粘彈性流體側에서 測定된 靜壓值}) - (\text{眞의 靜壓值})$$

眞의 靜壓值 = 水側에서 測定된 靜壓值

즉,  $-\Delta P$ 는 本實驗의 目的인 靜壓孔의 依한 影響의 量이 된다. 上記한 Graph으로부터의 讀 수 있는 事項은 다음과 같다.

- (1) 높은 濃度의 溶液쪽이  $-\Delta P$ 가 크다.
- (2)  $-\Delta P$ 는 剪斷速度가 增加를 增加한다.
- (3) 測定點이 一直線上에 있다고 看做하면 다음 式이 成立한다.  
 $-\Delta P \propto \dot{\gamma}_w^q, \quad (q > 0) \dots \dots \dots (3-30)$
- (4)  $-\Delta P$ 는 直徑 0.5mm인 靜壓孔 側의 1.0mm인 靜壓孔側보다도 약 2배 많은 값을 나타낸다.



그림(3 8) 水力勾配線



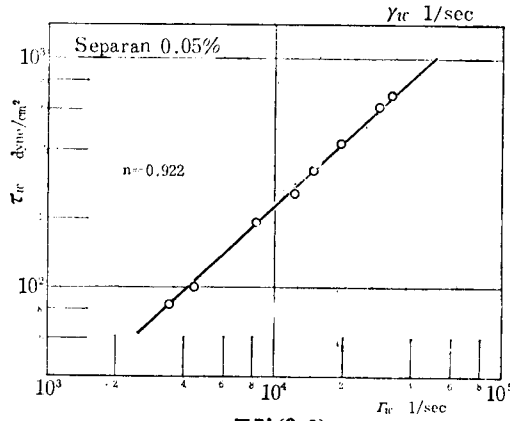


그림 (3-9)

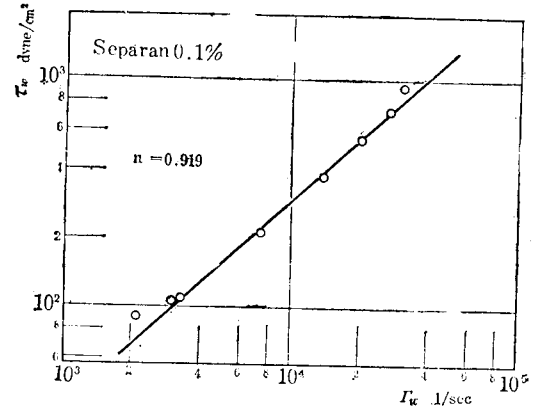


그림 (3-10)

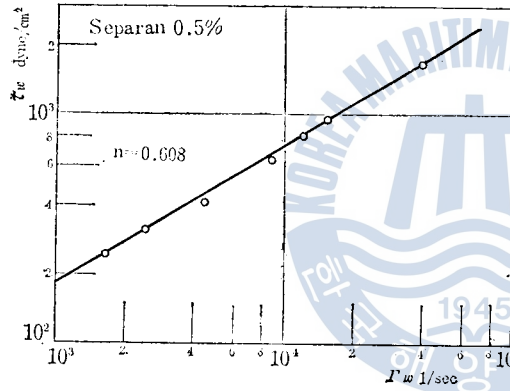


그림 (3-11)

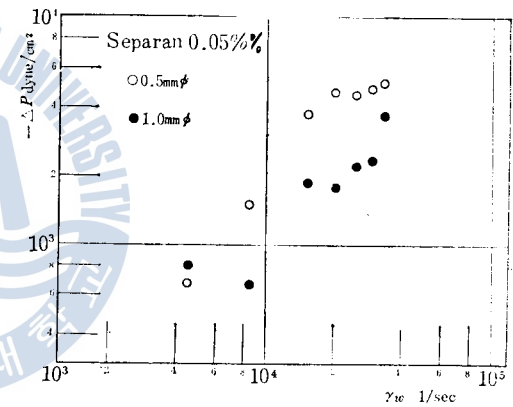


그림 (3-12)

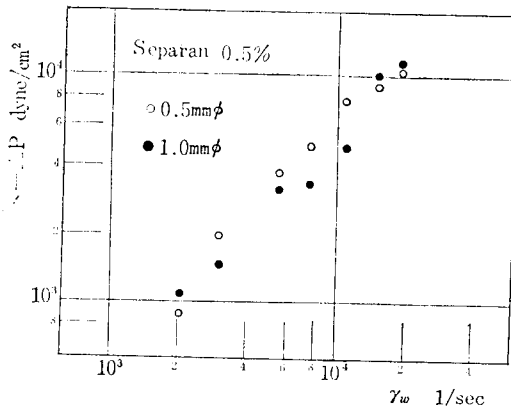


그림 (3-13)

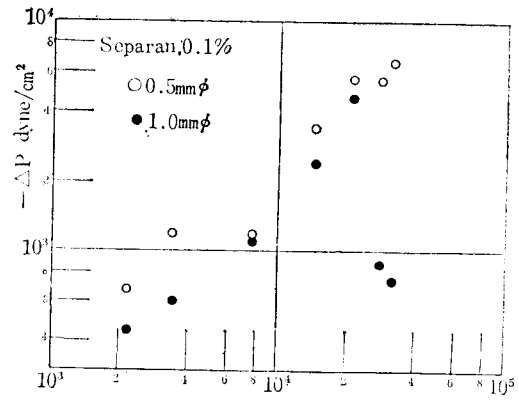


그림 (3-14)

第五節 郵票與掛號

一、郵票

(1) 郵票也分爲「紀念」與「普通」兩種  
 在郵票方面，日本郵票在「郵票法」(21)及「Stamp」(關於郵票)法(22)中，均有詳細之規定。其內容如下：(1)郵票之種類：(2)郵票之發行：(3)郵票之使用：(4)郵票之收買：(5)郵票之保存：(6)郵票之銷毀：(7)郵票之偽造：(8)郵票之冒用：(9)郵票之其他事項。其內容如下：(1)郵票之種類：(2)郵票之發行：(3)郵票之使用：(4)郵票之收買：(5)郵票之保存：(6)郵票之銷毀：(7)郵票之偽造：(8)郵票之冒用：(9)郵票之其他事項。

(2) 郵票之種類  
 郵票之種類，依其用途之不同，可分爲「普通郵票」與「紀念郵票」兩種。普通郵票之種類，依其面額之不同，可分爲「壹圓」、「貳圓」、「參圓」、「肆圓」、「伍圓」、「陸圓」、「柒圓」、「捌圓」、「玖圓」、「拾圓」等十種。紀念郵票之種類，依其紀念之對象之不同，可分爲「國慶紀念」、「皇紀紀念」、「皇太子誕生紀念」、「皇太子加冕紀念」、「皇太子結婚紀念」、「皇太子即位紀念」、「皇太子退位紀念」、「皇太子崩御紀念」、「皇太子復辟紀念」、「皇太子復辟紀念」等十種。

(3) 郵票之發行  
 郵票之發行，依其種類之不同，可分爲「普通郵票」與「紀念郵票」兩種。普通郵票之發行，由郵政當局決定其種類、面額、數量、發行日期等事項。紀念郵票之發行，由郵政當局決定其種類、面額、數量、發行日期等事項。

(4) 郵票之使用  
 郵票之使用，依其種類之不同，可分爲「普通郵票」與「紀念郵票」兩種。普通郵票之使用，由郵政當局決定其種類、面額、數量、發行日期等事項。紀念郵票之使用，由郵政當局決定其種類、面額、數量、發行日期等事項。

種類	面額	數量	發行日期
普通郵票	壹圓	1000000	1945.1.1
普通郵票	貳圓	500000	1945.1.1
普通郵票	參圓	300000	1945.1.1
普通郵票	肆圓	200000	1945.1.1
普通郵票	伍圓	150000	1945.1.1
普通郵票	陸圓	100000	1945.1.1
普通郵票	柒圓	80000	1945.1.1
普通郵票	捌圓	60000	1945.1.1
普通郵票	玖圓	40000	1945.1.1
普通郵票	拾圓	20000	1945.1.1

表 1-1



表(4-1)에서 보는 바와 같이 比例定數  $c$ 의 값은 매우 비슷한 값으로 나타났다. Graph의 測定點은 多少 흩어져 있기 때문에,  $c$ 의 값도 多少 變할 수 있다고 考慮해서 Separan에 對해서는 다음과 같이 決定해도 좋을 것이다. 즉,

$$-\Delta P = 0.15(\tau_{xx} - \tau_{rr})_w \dots\dots\dots(4-2)$$

式(4-2)는 Separan의 3種類의 濃度(0.05%, 0.1%, 0.5%)의 溶液에 對해서 成立하는 式이지만 여러 溶液에 對해서 實驗을 行하면, 式(4-2)와 같은 比例關係가 各 溶液에 關해서도 成立될 수 있다고 본다.

여기서 從來의 研究結果인 K. Higashitani의 理論解析의 結果와 比較檢討 하여 본다.

Higashitani에 依한 理論의 大要는 다음과 같다. 靜壓孔에 있어서의 흐름이 球面上으로 흘러 들어가는 흐름이라고 假定해서, 運動方程式을 풀어서 다음의 式을 誘導하였다.

$$\Delta P = -\frac{1}{3} \left( \frac{\tau_{xx} - \tau_{yy}}{\alpha} - \frac{\tau_{yy} - \tau_{zz}}{\beta} \right)_w \dots\dots\dots(4-3)$$

여기서  $\Delta P$ 는 靜壓孔에 依한 影響의 差壓量으로서,  $\alpha$ 와  $\beta$ 는 다음 式을 滿足한다.

$$\begin{aligned} \tau_{xx} - \tau_{yy} &\propto \tau_{yz}^n \\ \tau_{yy} - \tau_{zz} &\propto \tau_{yz}^k \end{aligned}$$

여기서 座標系( $x, y, z$ )는 本實驗의 細管에 依한 法線應力の 測定에서 表示한 圓筒座標系( $r, \theta, z$ )와는,  $x \rightarrow z, y \rightarrow r, z \rightarrow \theta$ 의 方向에 各各 對應한다. 즉,  $\tau_{yz} = \tau_{rz}, \tau_{xx} = \tau_{zz}, \tau_{yy} = \tau_{rr}, \tau_{zz} = \tau_{\theta\theta}$ 이다.

第2法線應力差( $\tau_{yy} - \tau_{zz}$ )는, 第1法線應力差( $\tau_{xx} - \tau_{yy}$ )와 比較하면 微小하므로(約10%程度) 그것을 無視하면 式(4-3)은 다음과 같이 된다.

$$\Delta P = -\frac{1}{3\alpha}(\tau_{xx} - \tau_{yy})_w \dots\dots\dots(4-4)$$

즉, 本實驗結果로부터 誘導한 式(4-1)의 比例定數  $c$ 가 式(4-4)의  $\frac{1}{3\alpha}$ 에 相當한다.

또한,  $\alpha$ 는 다음과 같이 해서 求할 수 있다.

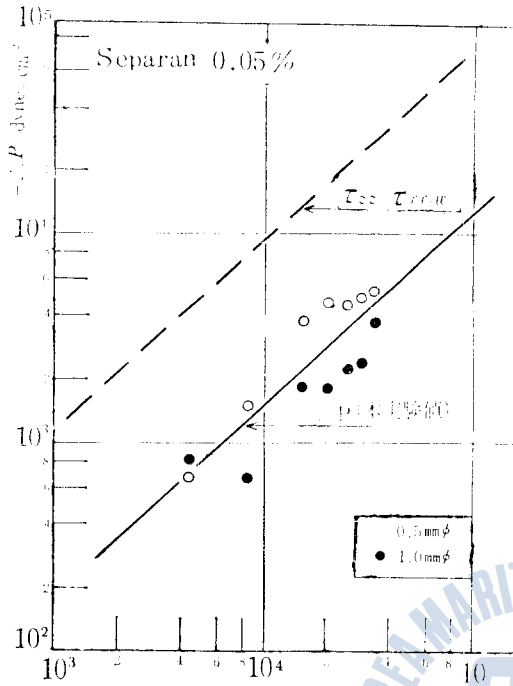
$$\begin{aligned} (\tau_{xx} - \tau_{yy})_w &\propto \gamma_w^k \\ \tau_w [= (\tau_{yz})_w] &= m \gamma_w^n \quad (n: \text{冪指數}) \\ (\tau_{xx} - \tau_{yy})_w &\propto \tau_w k^n \dots\dots\dots(4-5) \end{aligned}$$

$$\alpha = \frac{k}{n} \dots\dots\dots(4-6)$$

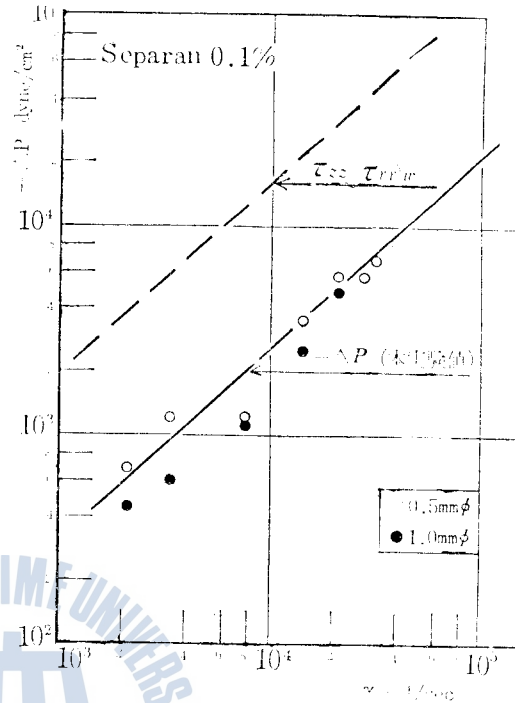
$k$ 는 表(2-1)에, 冪指數  $n$ 는 表(3-1)에 各各 表示되어 있으므로 式(4-6)로부터  $\alpha$ 를 求할 수 있다. 그래서 그 값을 式(4-4)에 代入해서 求한  $\Delta P$ 를 點線으로서, 그림(4-1)~그림(4-3)에 同時에 表示하였다.

濃 度	$k$	$n$	$\alpha = \left(\frac{k}{n}\right)$	$\frac{1}{3\alpha}$
0.05%	0.909	0.922	0.986	0.338
0.1%	0.906	0.919	0.986	0.338
0.5%	0.919	0.608	1.498	0.222

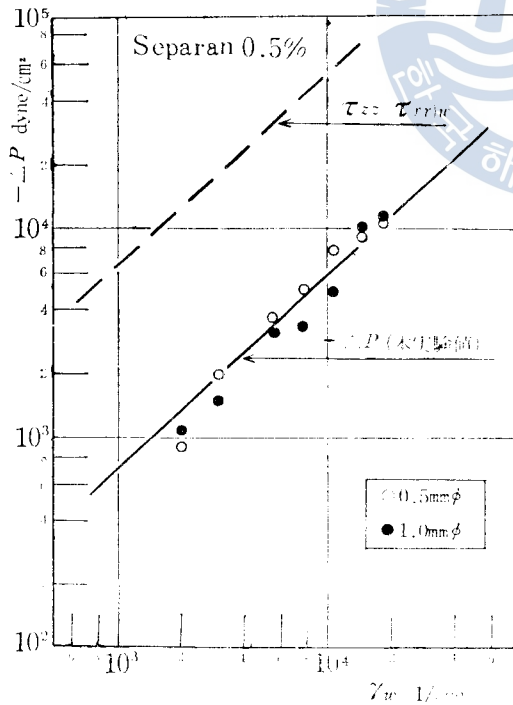
表(4-2)



그림(4-1)



그림(4-2)



그림(4-3)

즉, Higashitani의 式에 依한 結果는, 各 濃度에 對해서 어느 것에서나  $-\Delta P$ 의 값은 本實驗에서 求한 差壓  $-\Delta P$ 보다도 크게 되어 있다.

最後로, 靜壓孔의 徑의 大小가 미치는 影響을 考慮하면, 本實驗의 結果에 依하면 大徑側(1.0mmφ)의  $-\Delta P$ 가 小徑側(0.5mmφ)보다 크게 나타났으나 確實한 結果는 알 수 없다.

以上과 같이 粘彈性流體가 靜壓孔에 미치는 影響의 原因으로서 重要한 性質을 갖는 彈性力에 着眼해서 考慮하여 왔으나, 粘彈性流體가 지닌 特異한 性質 등에 依한 影響도 考慮한 必要가 있을 것이다.

#### 4.2 結 論

(1) 粘彈性流體의 法線應力測定用의 새 測器를 考案 開發하여 그 裝置에 依해서 여러 種類의 高分子溶液의 法線應力을 測定하였다. 그 結果, 比較的 높은 濃度の 溶液에 對해서

는 法線應力이 別 問題없이 測定되었으나, ppm order인 大端히 稀薄한 溶液의 境遇에는 管徑의 差異에 따라서 實驗値가 相違하게 되는 異常現象이 나타났다. 이러한 現象의 原因은 現 段階로서는 明確하게 糾明하기 困難하나, 今後 檢討하고자 한다.

(2) 粘彈性流體의 靜壓을 壁面의 靜壓孔에 依해서 測定할 때 나타나는 示壓誤差를 實驗的으로 檢討했다. 즉, 靜壓孔이 示壓에 미치는 影響을 檢出하는 裝置를 製作해서, Separan의 0.05%, 0.1% 및 0.5%의 各 水溶液을 使用하여 實驗을 行한 結果, 靜壓孔에 依한 示壓은 眞의 靜壓보다 水頭 10cm 以上이나 낮다는 事實을 알 수 있었다. 또한 第2章의 法線應力測定裝置에 依하여 測定한 法線應力差와 聯關시켜 實驗値를 整理해서, 粘彈性流體의 靜壓孔에 依한 示壓誤差  $-ΔP$ 와 第1法線應力差  $(\tau_{zz} - \tau_{\gamma\gamma})_w$ 間에는,

$$-ΔP = 0.15(\tau_{zz} - \tau_{\gamma\gamma})_w$$

인 關係가 成立함을 結論지어서, 從來의 理論과 比較檢討 하였다.

### 參 考 文 獻

1. D.R. Oliver, Canadian J. Chemical Engineering, April(1966), 100 "The Expansion and Contraction Behavior of Laminar Liquid Jets"
2. J.C. Slattery and W.R. Schowalter, J. Applied Polymer Science, Vol.8(1964), 1941 "Effect of Surface Tension in the Measurement of the Average Normal Stress at the Exit of a Capillary Tube through an Analysis of the Capillary Jet"
3. A.Kaye, A.S. Lodge and D.G. Vale, Phologica Acta, 7(1968), 368 "Determination of Normal Stress Differences in Steady Shear Flow"
4. W.G. Pritchard, Rheologica Acta, 9(1970), 200 "The measurement of normal stresses by means of liquid-filled holes in a surface"
5. J.M. Broadbent, A. Kaye, A.S. Lodge and D.J. Vale, Nature, Vol.217, Jan.(1968), 55 "Possible systematic Errors in the Measurement of Normal Stress Differences in Polymer Solutions in Steady Shear Flow"
6. R.I. Tanner and A.C. Pipkin, Trans. of the Society of Rheology, 13(1969), 471 "Intrinsic Errors in Pressure-Hole Measurement"
7. K. Higashitani and W.G. Pritchard Unpublished. "A kinematic calculation of intrinsic errors in pressure measurements made with holes"
8. 長谷川, 學位論文, 東京工業大學, 1971. "稀薄高分子溶液の管内流れにおける異常現象に関する研究"
9. 富田, 長谷川, 金, 日本機械學會講演論文集 720-17(1972), 127. "粘彈性流體の壓力測定用壁孔の示壓に及ぼす影響"(第1報)
10. 富田, 長谷川, 金, 日本機械學會講演論文集 730-6(1973), 171. "高分子溶液の管内流れにけるの軸方向法線應力の測定"
11. 富田, 長谷川, 金, 日本機械學會講演論文集 734-5(1973), 58. "粘彈性流體の壓力測定用壁孔の示壓に及ぼす影響"(第2報)
12. Lawrence E. Nielson, "Mechanical Properties of Polymers", (1962) Reinhold Publishing Corp., New-York.
13. W.L. Wilkinson, "Non-Newtonian Fluids", (1960) Pergamon Press.
14. B.D. Coleman, H. Markovitz, W. Noll, "Viscometric Flows of Non-Newtonian Fluids", (1966) Springer-Verlag New-York Inc.
15. Stanley Middleman, "The Flow of High Polymers", (1968) Interscience Publishers
16. 富田幸雄, "流體力學序論"(1971), 養賢堂
17. 円生慶四郎, "流體物理學"(1971), 朝倉書店