

高壓下에서의 流體粘性의 測定

(Measurements of Fluid Viscosity under High Pressures)

文 卓 珍*

本文은 筆者가 1978年 3月~6月에 西獨의 Hannover市에 있는 Institut für Erdölforschung의 E. Kuss教授와 함께 流體, 특히 潤滑油의 粘性을 高壓下에서 測定하는 實驗을 한 內容을 주로 紹介하기 위한 것이다. 또한 1978年 11月 10日, 釜山에서 韓國油類試驗檢査所 主催로 열린 潤滑 세미나에서 이를 發表한 바 있다.

序 論

流體의 粘度와 壓力特性은 潤滑分野의 研究에 중요한 역할을 한다. 壓力이 증가하면 流體의 粘度가 증가하는 것이 보통이다. 流體 潤滑 조건에서는 壓力에 의한 粘度 변화는 무시할 수 있으나 彈性 流體潤滑범위, 즉 高分子 物質로 이루어진 合成 潤滑油등에서는 壓力係數가 형성되는 油膜두께에 관계하게 된다. 기어의 潤滑이나 壓延潤滑과 같은 塑性加工에서의 潤滑에서는 潤滑油가 받는 壓力은 대단히 크며 壓力上昇에 의한 粘度증가는 動力損失을 초래하는 한편 耐荷重能力을 증가시킨다는 것도 사실이다. 따라서 高壓下에서의 潤滑油의 粘度변화를 研究한다는 것은 作動油나 工作油에서 뿐만 아니라 一般潤滑油의 경우에서도 대단히 중요한 것이다.

粘性의 理論的 考察

液體의 간단한 모형을 써서 粘度와 溫度的 관계를 설명한 것에는 Andrade¹와 Eyring²의 식이 있다. Andrade의 식은

$$\eta = Be^{E_{vis}/RT}$$

이며 여기서 B는 比例常數, Evis는 流動의 活性化에너지를 각각 나타낸다. 이 식은 Arrhenius

의 반응속도와 온도와의 관계식과 비슷함을 알 수 있다.

한편 Eyring은 反應速度論에 입각한 이론을 제창하였다. 즉 分子가 한 평형위치에서 다음의 평형위치로 옮겨 가는데는 일정한 活性化에너지가 필요하고, 만일 외부에서 힘이 작용하지 않는 상태에서 分子가 옮겨 지는 확률은 앞 뒤 어느 방향이든 모두 같으므로 液體전체로 보아서는 움직이지 않는다고 하였다. 일정한 방향으로 外力 즉 應力이 가해지면 液體는 外力이 작용하는 방향으로 유동하게 된다. 이 유동을 속도와 정으로 본다면 물체구성 分子의 일부가 비어있는 소위 공동(hole)의 이동으로 생각할 수 있다. 인접된 分子가 이 공동을 채우게 되면 공동은 역방향으로 이동하게 되며 分子는 유동방향으로 이동하는 것이 되므로 液體전체로 보아서는 유동이 생긴다는 이론이다. 여기서 유도되는 식은

$$\eta = \left(\frac{hN}{V} e^{-\Delta S^*/R} \right) e^{\Delta H^*/RT}$$

이며 여기서 ΔS^* 는 活性化 엔트로피이고 ΔH^* 는 活性化 에너지이다. 이 식을 앞의 Andrade의 식과 비교해 보면 B는 엔트로피의 항인 $(hN/V)e^{-\Delta S^*/R}$ 에 해당하며 Evis는 ΔH^* 에 해당함을 알 수 있다. 엔트로피의 항만을 생각해 보면 유동이 일어날 때보다 무질서한 상태인 때가 공동이 있는 확률이 크다. 따라서 처음 상태보다 活性化상태 쪽이 엔트로피가 크며 그 만큼 粘度가 작아져서 유동하기 쉬워진다는 것이다.

일정한 온도에서 液體에 가해지는 壓力이 커지면 공동 形成때문에 전부파가 증가한다고 생각할 수 있다. ΔV 를 몰당의 공동의 부피라고 하면 壓力 P에서는

$$E_{act} = E_{vis} + P\Delta V$$

* 高麗大學校 材料工學科 (Tak Jin Moon, Dept. of Materials Science, Korea University, Seoul, Korea)

가 된다. 여기서 E_{act} 은 活性化상태의 에너지이며 ΔV 는 分子容 V 의 분율로 생각할 수 있기 때문에 $\Delta V = V/n'$ 라고 놓으면

$$E_{act} = E_{vis} + \frac{PV}{n'} = \frac{\Delta E_{vap}}{n} + \frac{PV}{n'}$$

가 된다. $\Delta F^* = \Delta H^* - T\Delta S^*$ 이므로 앞 식에 의해 다음 식이 얻어진다.

$$\eta = \frac{N}{V} (2\pi mkT)^{1/2} v_f^{1/3} e^{(\Delta E_{vap}/n + PV/n')/RT}$$

여기서 k 는 Boltzmann 상수이고 v_f 는 자유부피이다. η 의 측정값, 音速의 실측값에서 계산한 v_f 로 부터 n 과 n' 를 구할 수 있다. 따라서 정상 液體의 粘性에 미치는 壓力의 영향을 알 수 있게 되는 것이다.

粘度와 壓力관계의 실험식

液體에 壓力이 가해지면 온도가 낮아지는 경우와 마찬가지로 液體의 粘度는 커진다. 分子의 會合이 크게 되어 分子간의 凝集力이 더욱 복잡해진다. 이러한 凝集상태는 分子의 모양이나 구조의 차이에 의해 分子 상호간의 會合이 복잡해지기 때문에 일어난다. 非會合性 液體의 粘度에 미치는 壓力의 영향은

$$\left(\frac{\partial \eta}{\partial p}\right)_T = \alpha_p \quad \text{혹은} \quad \eta_p = \eta_0 e^{\alpha_p p}$$

로 주어진다. 여기서 η_0 는 大氣壓下の 液體의 粘度이고 α_p 는 液體의 종류에 따라 결정되는 상수이다. Kuss^{3,4}는 炭化水素系의 일반 潤滑유와 methylene 다리등으로 연결되는 2~4개의 phenyl 基를 포함하는 ether 系의 합성 潤滑유에 관해서 α_p 의 값을 측정할 실험을 한 바 있다. 그는 특히 분자구조와 α_p 와의 관계를 설명하였고 潤滑유의 고리길이가 커지면 分子의 내부이동성이 커져 絕對粘度는 커지나 α_p 는 변하지 않음을 알았다. 또한 潤滑유 分子에서 側基(side group)가 커지면 α_p 의 값도 커지며 이는 앞서 설명한 Eyring의 공동이론과도 일치한 결과를 나타낸다고 하였다.

이 밖에도 粘度와 壓力관계를 나타낸 실험식⁵이 많으며 다음 것들이 있다.

(1) Dixon and Webb(1962)

$$-\ln \eta = c_1 + \frac{c_2 V}{V - V_3}$$

여기서 V 는 비부피로 壓力에 관계된다.

(2) Roelands, Vlugter and Waterman(1962)

$$\log \eta = aT^b + c$$

위의 粘度와 溫度관계식을 유도한 다음, 粘度와 壓力관계식을 유도하였다. 즉

$$\log\left(\frac{\eta}{\eta_0}\right) = \left(\frac{p}{50}\right)^Y (C \log \eta_0 + D)$$

여기서 p 는 가해진 壓力(MN/m²)이다.

(3) Appeldoorn(1963)

$$\log\left(\frac{\eta}{\eta_0}\right) = a \log\left(\frac{T}{T_0}\right) + bP + cP \log\left(\frac{T}{T_0}\right)$$

이 식은 粘度-溫度-壓力의 관계식이며 Roelands 등의 실험식, 즉

$$\log \eta_0 = AT^B$$

를 위 식에 대입하면

$$\log \eta = AT^B + CP^r (AT^B + D)$$

이들 식을 살펴 볼 때 粘度의 증가는 潤滑유의 조성, 즉 paraffin, naphthene, aromatics의 含有量에 관계됨을 알 수 있다. 일반적으로 蠟油와 같은 潤滑유는 高壓이 되면 固相의 wax相이 형성되어 고체화된다. 高壓접촉에서는 이러한 固相이 형성될 시간이 없고, 粘度計에 의한 粘度값이 異常으로 높아져 現存하는 分析資料에서 外插法등으로 資料를 해석하기는 어렵다. 그러나 水力學系에서는 固體化되는 경향은 중대하기 때문에 주어진 潤滑유에 대해 固體化되는 조건을 찾아 본 논문도 있다. 固體가 潤滑유중에 생성되면 潤滑유를 뉴톤 流體로 취급할 수는 없다. 高荷重접촉에서는 固體化는 시간이 오래 걸리나 水力學系에서는 짧은 시간에 형성된다. 따라서 固相이 나타나기 시작하는 壓力이란 그렇게 중요한 것은 아니며, 潤滑유의 작업성능의 지표나 척도로 사용하려고 한다면 정확한 해석이 필요하며 심지어는 짐작만으로 해 치우는 경우도 종종 있다.

대부분의 潤滑유는 특정한 粘度에서 固體化하려는 경향이 있으나 이 특정한 粘度는 壓力과 溫度에 크게 관계되는 것은 아니다.

潤滑油의 壓縮率

壓力과 밀접한 관계가 있는 것은 壓縮率이며 일정한 온도에서의 壓縮率, β 는 다음과 같이 정의된다.

$$\beta = -\frac{1}{V} \left(\frac{\partial V}{\partial P} \right)_T$$

즉 주어진 壓力에서의 부피감소율, 혹은 압축전 후의 부피의 비, V/V_0 를 말한다. 그러나 壓力 $-V/V_0(\%)$ 의 관계는 직선적이 아니므로 측정된 壓力이 明示되지 않으면 壓縮率은 무의미하게 된다.

최근에 와서 油壓機構가 발전함에 따라 油壓作動機構로써 약 700kg/cm^2 정도의 것이 일반적이 되었고, 더우기 로켓트나 超音速航空機(SST)에서는 온도를 200°C 이상의 高溫에서 작동함을 요구하고 있다. 그러므로 設計者는 油壓機構에 있어서의 윤활유의 성질을 충분히 알고 있지 않으면 壓力하에서의 장치의 유효한 작동을 기대할 수 없는 것이다. 壓縮率 외에도 윤활유의 밀도에 관한 실험식⁵도 가끔 볼 수 있다.

$$\rho = \rho_1 - 0.623(t - 15.6)$$

$$\eta = \frac{\nu\rho}{1000}$$

여기서 ρ 는 밀도(kg/cm^3), ρ_1 은 15.6°C 에서의 밀도, t 는 섭씨온도, ν 는 動粘度를 각각 나타낸다.

粘度의 測定

粘度를 측정하는데 보통 쓰이는 종류는 毛細管型이며 이밖에 측정목적에 의해 同心(共軸)圓筒型, 圓錐—平板型, 落球型등의 粘度計가 있다. 그러나 高壓하에서 粘度를 측정하려면 이들 粘度計를 쓰되 많은 補完 내지 修正을 해서 써야 한다. 여러 학자들이 그들 나름대로 고안한 高壓用 粘度計가 알려져 있으나^{6,7,8} 여기서는 앞서 소개한 Kuss 교수의 업적을 주로 설명하고자 한다.

1. 同心圓筒回轉型 粘度計^{9,10}

이 粘度計는 偶力과 相對角速度와의 관계를 이용한 것으로서 주로 高分子물질과 같은 비뉴

톤물질에 적용된다. 전단응력 F 는 전단속도 D 에 직접 비례하지 않으므로 이 경우, 측정되는 偶力 T 는 角速度 Ω 에 직접 비례하지 않는다. 만일 $D = A F^n$ 라고 하면

$$r \frac{d\omega}{dr} = A \left[\frac{T}{2\pi r^2 h} \right]^n$$

따라서

$$\Omega = \frac{A}{2n} \left[\frac{T}{2\pi n} \right]^n \left(\frac{1}{R_1^{2n}} - \frac{1}{R_2^{2n}} \right)$$

가 된다.

만일 流體가 Bingham 流動과 같이 塑性 유동일 때는 위 식에서 偶力 T 의 한계를 정해 주어야 한다. 즉

$$T < 2\pi R_1^2 h f$$

$$2\pi R_1^2 h f < T < 2\pi R_2^2 h f$$

$$T > 2\pi R_2^2 h f$$

F 와 D 를 알지 못할 때는 응력의 산술평균값 F_m 을 계산하여야 한다.

$$F_m = \frac{1}{2} (F_1 + F_2) = T \frac{R_1^2 + R_2^2}{4\pi h R_1^2 R_2^2}$$

각 실험점에 대해서 $y = \Omega / F_m$ 라고 하면

$$D = \frac{\Omega}{\varepsilon} - \frac{F_m^3 \varepsilon}{6 + 2\varepsilon^2} \frac{d^2 y}{dF_m^2} + \frac{F_m^4 \varepsilon^3}{9 + 12\varepsilon^2 + 3\varepsilon^4} \frac{d^3 y}{dF_m^3} + \dots$$

여기서 ε 는

$$\varepsilon = \frac{R_2^2 - R_1^2}{R_2^2 + R_1^2}$$

또는 응력의 기하평균값 F_g 를 계산해야 할 때는

$$F_g = (F_1 F_2)^{1/2} = \frac{T}{2\pi h R_1 R_2}$$

$\Omega - \ln T$ 의 관계직선을 그려보면

$$D = \frac{\Omega}{k} - \frac{k}{6} \frac{d^2 \Omega}{d(\ln T)^2} + \frac{7k^3}{360} \frac{d^4 \Omega}{d(\ln T)^4} + \dots$$

여기서 h 는

$$k = \ln(R_2/R_1)$$

이러한 원리를 이용해서 고안한 粘度計가 Fig. 1~2에서 보는 바와 같은 Searle型이다. 이 粘度計의 특징은 回轉圓筒體가 전체 공간에 대해 F 와 D 가 일정한 값이 되도록 圓錐와 表面을 갖는다는 것이다.

Kuss 는 이 粘度計로 여러가지 윤활유의 여러 高壓범위에서의 粘度를 측정하였고 한 예로 그는 粗油에 약간의 styrene-butadiene 共重合體가 함유된 윤활유의 유동곡선을 이 粘度計를 사용하여 구하였으며 壓力이 증가함에 따라 뉴톤의 유동성에서 벗어나는 경향이 작아짐을 알았고 이 결과는 HD-落球型 粘度計를 사용해서 얻은 결과와 일치함을 보였다.

2. 落球型 粘度計^{3, 11}

이 粘度計는 恒溫탕속의 유리원통에 시료 윤활유를 넣고 이 속에 鋼球(때로는 유리球)를 落下시켜 일정한 거리를 落下하는데 요하는 시간을 측정하는 방법을 이용한 것이며 Stokes의 법칙에 그 기초를 두고 있다.

$$\eta = \frac{2}{9} g \frac{\rho_B - \rho}{u} r^2$$

여기서 ρ_B 와 ρ 는 각각 球와 윤활유의 밀도이며 u 는 球의 落下속도, r 는 球의 반지름이다. 이 식을 운동에너지에 대해 보정하면 다음 식이 된다.

$$\eta = \frac{2}{9} g \frac{\rho_B - \rho}{u} r^2 \left(1 + \frac{3}{16} N_{Re} \right)$$

여기서 N_{Re} 는 Reynold 수이다.

Kuss 교수가 고안한 粘度計는 Fig. 3과 같으며 高壓 autoclave 내에 있는 유리관(G)에 시료를 넣는다. 유리관에는 아주 정밀하게 표면을 연마한 유리 피스톤(K)이 있어 주위의 鑛油(시료가 아닌 鑛油도 좋음)로부터 유리관내에 壓力을 전달하는 역할을 한다. Höppler의 원리에 따라 전체의 autoclave를 수직방향에서 10°의 기울기로 기울게 한다. 측정을 손쉽게 반복할 수 있도록 보통은 球의 위치를 제자리에 놓기 위해 전체의 壓力장치를 180°돌려 놓지만 이것은 恒溫장치, 壓力배관, 전기도체등의 자리를 옮겨야 하는 거치장스러운 일이 뒤따르게 된다. 여기서는 이 방법을 쓰지 않고 보다 간편한 방법으로 코일을 磁性이 없는 특수 鋼鐵관에 따라 油壓의 으로 상하운동을 할 수 있도록 한 것이다, 즉 軟鋼으로 된 중심핵(N)에 의해 球의 위치를 원하는 데로 옮겨 놓을 수 있도록 한 것이다. 球의 전달시간은 거리가 100mm 되는 두개의 기록 코일(R)로 알 수 있게 했다. 즉 球가 윗 코일에 들어오면 高周波橋回路가 차단되고 여섯자리까지 나오는 電子시계의 스위치가 자동적으로 열렸다 닫혔다하게 된다. 모든 결과는 프린트되어 나오도록 하였다. 壓力발생장치는 Fig. 3의 오

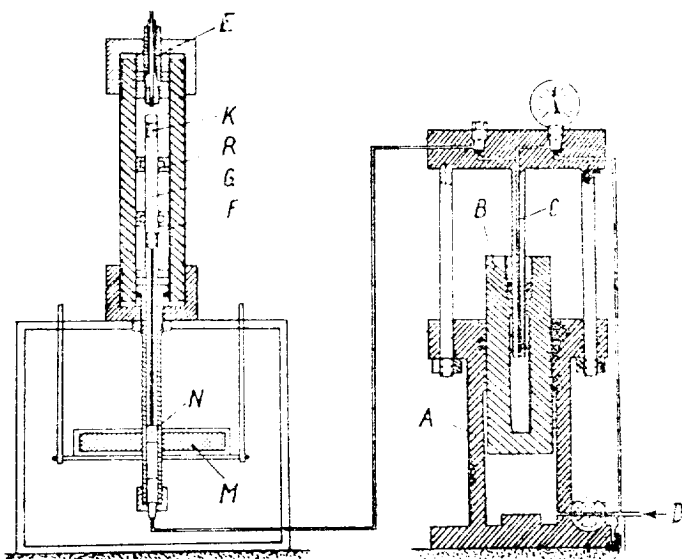


Figure 3. The principle of the high pressure falling-ball viscometer.

른쪽 장치로서 2,000kp/cm² 까지 壓力을 올릴 수 있다. 이 장치는 高壓쪽에서 450ml의 평평부피(stroke-부피라고도 함)를 갖는다. 低壓(入力부분 즉 B)과 高壓(시료에 전달되는 부분 즉 C) 피스톤의 표면의 넓이 비는 1:20으로 하였기 때문에 入力쪽의 壓力이 100kp/cm²이면 시료에 걸리는 壓力은 이의 20배가 되도록 한 것이다. 이 粘度計의 외형은 Photo. 2와 같다.

Kuss는 고리길이와 分岐된 末端基가 각각 다른 cyclohexylmalonic acid diester 系의 합성 윤활유에 대한 粘度와 壓力관계를 이 粘度計를 사용하여 究明한 바 있으며 특히 液晶(liquid crystal)의 高壓下에서의 粘度가 구조변화와 밀접한 관계가 있음을 보여준 실험은 펍 흥미로운 것이다.



Photo. 2. The outfit of the falling-ball viscometer

3. 毛細管型 粘度計^{3, 12, 13}

이 粘度計는 일정한 온도에서 壓力차가 있는 모세관속에 流體가 유동하는 원리를 이용한 것이다. 壓力에 의해 전단응력이 생기고 전단속도는 모세관측에서는 영이 되고 관벽에서는 최대가 된다. 일정량의 流體가 유동할 때의 시간을 측정하면 되며 Poiseuille의 식으로 粘度를 계산하게 된다.

$$\eta = \frac{\pi \Delta p r^4 t}{8 l V}$$

여기서 r 은 모세관의 반지름, l 은 모세관의 길이(혹은 流體가 유동하는 일정한 거리), V 는 유동량을 각각 나타낸다. 물론 유동시의 여러가지 물리적 현상의 변화에 의해 보정이 필요하며 내부마찰에 의한 온도상승, 入口부분의 流體의 不均一한 속도분포, 壓力의 일부가 시료의 운동에너지로 소모되는 것등을 보정해 주어야 한다. 특히 에너지에 관한 補正은 모세관이 긴 경우, 위치에너지에의 변화가 완전치 않다는 가정하에 補正을 시도한 Hagenbach나 Covette의 식이 있다.

$$\eta = \frac{\pi \Delta p r^4 t}{8 V (l + k_1 r)} - \frac{V \rho k_2^2}{8 \pi t (l + k_2 r)}$$

여기서 k_1 과 k_2 는 측정장치의 종류에 따라 결정되는 상수들이며 20°C에서의 물의 粘度를 1.002cp로 기준해서 정한다. $k_1 r$ (또는 $k_2 r$) $\ll l$ 이라고 하면

$$\eta = \frac{\pi \rho g h r^4 t}{8 V l} - \frac{V \rho k_2}{8 \pi t l}$$

여기서 ρ 는 流體의 밀도, h 는 평균액면의 높이가 된다.

Kuss 교수가 고안한 高壓용 모세관형 粘度計는 Fig. 4와 같다. 이 粘度計는 메탄이나 수소가

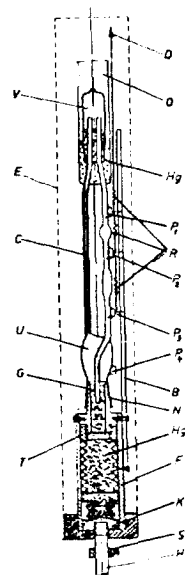


Figure 4. The inlet of the high pressure capillary viscometer.

스와 같은 가스의 低粘度도 측정할 수 있다는 것이 특징이다. autoclave 내는 유리모세관이 있고 백금접촉(P) 사이는 부피를 알 수 있도록 돌출부(limb)가 있다. 조인트는 앳칭해서 入口를 수은(Hg)으로 채운 teflon 폴무(r)와 연결시켰다. 모든 측정은 백금접촉에서 전기적으로 기록되도록 되어 있다(R). 시료를 모세관에 채우는 조작은 장치를 조립하기 전에 행하여야 하나 일단 이것이 끝나고 측정을 반복할 때는 외부壓力을 이용하여 자동적으로 모세관에 시료가 주입되도록 되어 있다. 이 粘度計의 외형은 Photo. 3과 같다.

이 粘度計를 써서 silicone 系の 합성 윤활유에 대한 粘度와 壓力關係를 규명한 바 있고, 기타 물질에 관한 高壓하에서의 粘度를 측정하는 바 있으나 氣體와 液體溶液의 粘度와 壓力關係를 연구한 것은 특히 흥미로운 것이며, 地下에서 石油

를 발굴할 때 氣體를 주입하여 石油의 粘度를 低下시켜 引揚작업을 쉽게 하는 문제와 직결되는 것이다.

其他特性的 測定

高壓하에서의 윤활유의 粘度를 위와 같은 방법으로 측정하는 이외에도 최근에는 超音波장치를 고안하여 高壓하에서의 윤활유중의 音速을 측정하여 粘度를 찾아 내는 실험⁴도 하고 있으며, 粘度이외의 物性, 즉 밀도, 녹는 점, 流動點등을 高壓하에서 측정하는 실험도 하고 있다. Photo. 4는 超音波장치의 외형을 보인 것이며 Photo. 5는 高壓하에서 밀도를 측정하는 장치를 보인 것이다. 또 Photo. 6은 流體의 流動點이나 녹는 점을 高壓하에서 측정¹⁵하는 장치이며 이의 구체적인 그림은 Fig. 5와 같다. 이 장치는 高壓발생장치인 1次펌프(1)와 高壓전달장치는 2次펌프(2)에 의해 시료(7)에 高壓을 가할 수 있도록 되어 있다. 시료용기는 鋼鐵로 되어 있으나 빛이 투과할 수 있도록(8,9) 관형으로 만들었고 윗 쪽과 아랫 쪽은 CsCl의 單結晶의 판을 올려놓도록 되어 있다. 빛의 투과율, 혹은 시료에 의한 빛의 흡수율은 광전관으로 측정할 수도 있고 또는 육안으로도 볼 수 있도록 하였다. 시료용기전체는 glass-cole로 가열하여 일정온도를

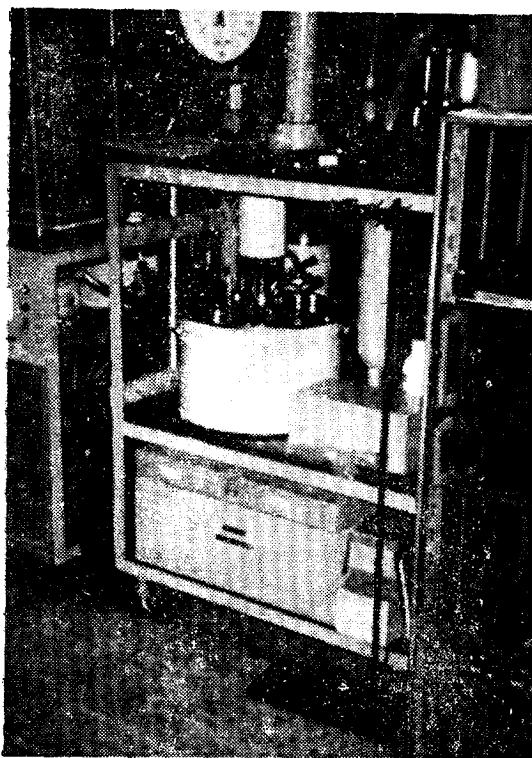


Photo. 3. The outfit of the capillary viscometer.

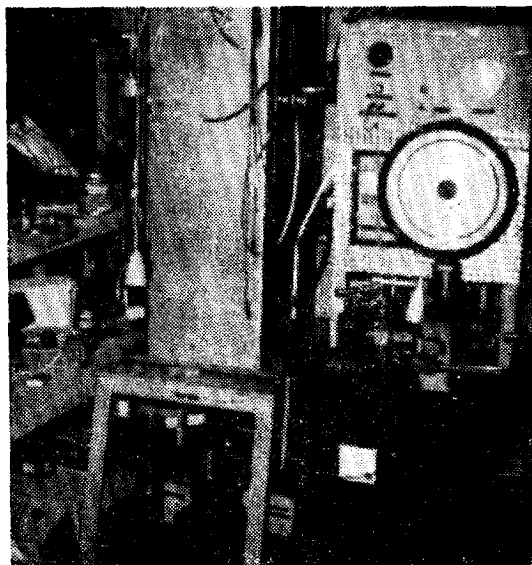


Photo. 4. Apparatus for ultrasonic measurements.

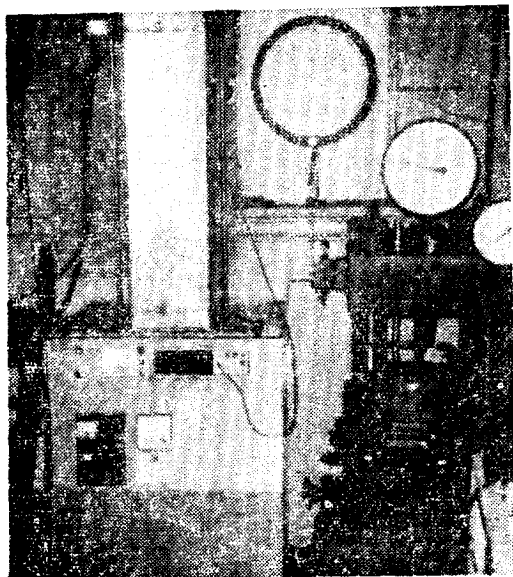


Photo. 5. Apparatus for density measurements.

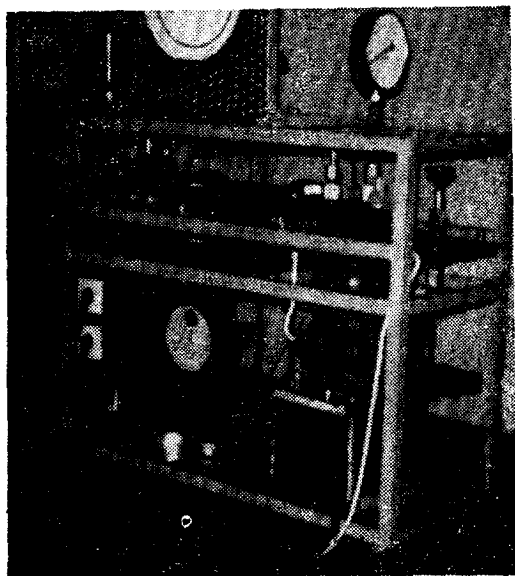


Photo. 6. The outfit of the apparatus for melting point and pour point measurements.

유지, 조절할 수 있다. 高壓에 의해 시료 운할 유가 固化되는 모양을 살피는 것이다. azobenzene 系 化合物에 관한 것뿐만 아니라 최근에는 fatty acid methyl ester 의 녹는 점 및 流動點에 관한 실험을 시도하고 있으며 이 결과를 가지고 이들 化合物의 粘度와 壓力曲線과 어떤 관계가 있나를 살펴 보고 있다.

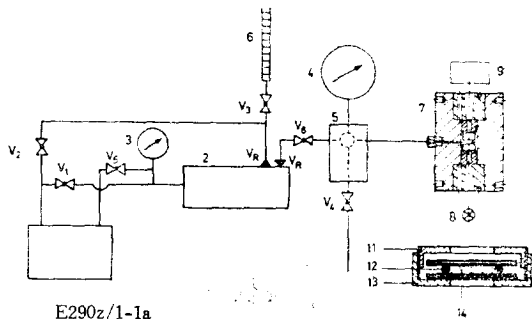


Figure 5. High pressure apparatus for the measurements of melting point and pour point (optically).

실로 Kuss 교수는 20여년간 高壓物理實驗의 선구자로 일해 왔으며 手動型 高壓發生장치로 부터 自動精密型 高壓發生장치에 이르기까지 많은 장치가 고안되었고 현재도 이 분야의 연구에 정진하고 있음을 明記해 두겠다.

引用文獻

1. E. N. da C. Andrade, *Phil. Mag.*, **17**, 497, 694(1934).
2. S. Glasstone, K. J. Laidler and H. Eyring, "The Theory of Rate Process," McGraw-Hill(1941).
3. E. Kuss, The Pressure-Depence of Viscosity and Its Relation to Lubrication, Wissenschaftliche Konferenz Deutscher Naturforscher und Arzte Biopolymere und Biomechanik von Bindegewebssystemen, Springer-Verlag Berlin 1974.
4. E. Kuss, Viskositäts-Druckverhalten von flüssigen Methyl-, Phenylmethyl-und Cyclohexylmethyl-Siloxanen, *Erdöl und Kohle-Erdgas-Petrochemie*, **27**, 416-422 (1974).
5. T. C. Davenport, The Rheology of Lubricants, Applied Science, London, 1973.
6. G. P. Fresco, E. E. Klaus and E. J. Tewksbury, ASME/ASLE Lubr. Conf., Atlantic City, N. J., Paper No. 68-Lub-8, Oct. 1968.
7. J. D. Novak and W. O. Winer, *Trans.*

- ASME, **90**, 580(1968).
8. W. Philippoff, *ASLE trans.*, **1**, 82(1958).
 9. E. Kuss, Über das Verhalten von nicht-newtonschen Flüssigkeiten bei hohem Druck, *Schmieretechnik und Tribologie*, **25**, 10 (1978).
 10. F. Hötte, Zur Frage des Einflusses der Schmiermittelviskosität in EHD-Kontakt, Doktor-Ing. genehmigte Diss., der Tech. Univ. Hannover, 1976.
 11. E. Kuss, The design of a high-pressure viscometer for temperatures up to 300°C, *High Temp-High Press.*, **9**, 415-421(1977).
 12. E. Kuss, Die Bedeutung der Viskositäts-Druckabhängigkeit in der klassischen und der elastohydrodynamischen Theorie der Schmierung, *Mineralöltechnik*, Nr. 7-8, 1973.
 13. E. Kuss und H. Golly, Das Viskositäts-Druckverhalten von Gas-Flüssigkeitslösungen, *Berichte der Bunsen-Gesellschaft für Physik. Chemie*, **76**, 131(1972).
 14. E. Kuss, PVT-Daten und Zustandsgleichungen, *Erdöl und Kohle-Erdgas-Petrochemie*, **28**, 247(1975), **27**, 781(1974).
 15. E. Kuss und Von M. Feyz, Die Druckabhängigkeit der Schmelz- und Klärtemperatur von 4,4'-disubstituierten Azo- und Azoxybenzolen und einiger Schiffischer Basen, *Berichte der Bunsen-Gesellschaft für Physik. Chemie*, **78**, 834(1974).

會員動靜

孫晉彥(東亞大學校副教授): 지난 2월 24일 東亞大學校에서 理學博士學位 취득

東亞大學校 工科學移轉 住所 (2월 26일 이후)

〒600 釜山市 西區 下端洞 840

東亞大學校 工科學 工業化學科

김혜택: 선경합섬(주) 수원 아세테이트 생산부장 겸 선경관리실장

장용균: 선경합섬(주) 연구개발부장

이태운: 선경합섬(주) 수원, P생산부제사과장

손상철: 선경합섬(주) 울산, 생산부중합과장

최진현: 선경합섬(주) 기술관리부과장

윤태원: 선경합섬(주) 경영기획실

황기호: 선경합섬(주) 연구개발부

최준식: 선경합섬(주) 수원공장장

김준용: 선경합섬(주) 수원, P생산부 중합과장

정정부: 선경합섬(주) 울산, 생산부장

김현철: 선경합섬(주) 수원, 아세테이트 생산부 생산과장

최중찬: 선경합섬(주) 수원, P생산부 제사2과장

권영택: 선경합섬(주) 연구개발부 조사과장

배재용: 선경합섬(주) 특수사업부장

이동열: 선경합섬(주) 경영기획실 과장

이형수: 선경합섬(주) 연구개발부 개발1과장

신선휘: 선경합섬(주) 울산, 생산부 품질관리과장

조구현: 선경합섬(주) 수원, P생산부

박정옥: 선경합섬(주) 연구개발부

이유건: 선경화학(주) 수원, 이사공장장