

이밀전의 점성특성에 관한 實驗的 研究

池 昌 憲

원광대학교 공과대학 기계공학과

An Experimental Study on the Characteristics of the Emulsion Viscosity

Chi, Chang-Heon

Department of Mechanical Engineering Won Kwang University

Abstract—The emulsion lubrication is expected to get the effects of cooling and lubrication in metal cutting. The purpose of this research was to investigate the lubrication characteristics of the emulsion in a region of the elastohydrodynamic lubrication by experiments using o/w type emulsion lubrication. With the line contact frictional experiment apparatus which is the model of a rolling mechanism, friction coefficient, and oil film thickness were measured. By analyzing these experimental data with the variables of emulsion concentration, load, and rolling velocity, the following results are obtained. Emulsion viscosity η for the concentration and pressure can be calculated by the following equation $\eta = \eta_0 \cdot e^{\alpha\phi} \cdot e^{\beta p}$.

Where $\beta = (-3.7242 + \phi)/\phi$, $5\% \leq \phi \leq 15\%$

1. 서 론

기계가공에서 塑性변형열 및 절삭열, 냉간압연에서의 발생열 등 높은 열이 발생하는 공정에서는 潤滑油로서 이밀전(Emulsion)을 사용하고 있다.

이러한 이밀전은 서로 용해되지 않은 두 종류의 액체(일반적으로 물과 기름) 중에서 어느 하나가 다른 액체속에 직경 0.1~100 μm 정도의 미세한 液滴으로서 거의 균일하게 분산된 상태이며, 기름이 液滴으로 되어 비연속상의 分散質을 이루고 물이 연속상으로서 分散媒로 되어 있을 때 이것을 o/w형 이밀전이라 하고, 이와 반대로 물이 분산질인 경우를 w/o형 이밀전이라 하며 最近에는 單相이 아닌 w/o/w형 이밀전에 관한 연구보고 [1]도 있다.

이밀전의 潤滑特性을 正確히 규명하는 데는 潤滑油膜內的 이밀전 입자의 거동, 이밀전의 粘性, 그리고 摩擦係數와 潤滑膜의 형성상태에 대하여 관찰되어야 한다.

이밀전 입자의 거동에 대해서는 여러 가지로 검토[2, 3]가 되어 왔으나 아직 가시화의 곤란 때문에 명백히 밝혀지지 않고 있다. 다만 그 기초적 연구로서 선접촉

彈性流體潤滑(Elasto Hydrodynamic Lubrication)에 있어서 이밀전 입자의 거동에 대하여 보고[4, 5]된 바 있고 Hamaguchi[6]와 Dalmaz[7] 등은 강판의 냉간압연에 있어서는 潤滑劑로서 농도가 數 퍼센트의 o/w형 이밀전이 사용되고 있으나 潤滑時 선접촉 입구부에는 分散相 기름만이 끌려들어 간다고 하는 특이한 현상을 발견한 바 있다. 이러한 현상에 대하여 木村[8, 9] 등은 EHL의 경우에 접촉전기저항의 측정에 의하여 定性的으로 표시한 바 있고, 最近에 中原[10]의 文獻 中에서 “轉相”이라는 용어로서 불려지고 있다.

한편 이밀전 粘性에 관해서 Einstein[11]이 分散媒의 粘性에 대한 썬스펜션 粘性의 比에 관한 식을 발표한 이래 Taylor[12]는 액체입자내의 循環流를 고려한 補正式을 내놓았으며, Richardson[13]과 Sherman[14]은 이밀전의 定常流 粘性이 분산입자의 크기에 影響받는 것을 주목하여 이밀전의 Newton 粘性과 분산입자의 직경과의 관계를 정리한 實驗式을 발표하였다.

그러나 이밀전의 潤滑特性을 규명하기 위해서는 理論的, 해석과 동시에 實驗的 연구가 이루어져야 하며, 본 연구에서는 彈流體潤滑領域內的 이밀전 潤滑特性을 실

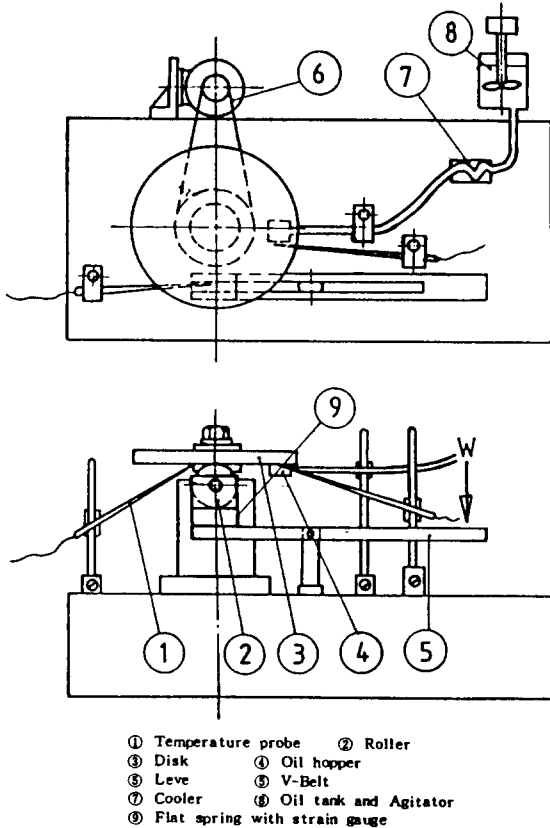


Fig. 1. Schematic diagram of experimental apparatus

험적으로 규명하고자 한다.

2. 실험장치 및 방법

본 실험에 사용한 실험장치는 壓延潤滑을 모델화한 로울러 디스크형 시험기를 제작하였으며, Fig. 1은 실험장치의 概略圖이고, Fig. 2는 실험장치의 외관사진이다.

실험장치의 주요부분으로서 시험부, 측정부, 급유부, 동력전달장치로 되어 있다. 동력전달은 100 V~400 W의 直流可變速 모-터와 V-벨트(A형)을 이용하여 디스크에 회전력을 전달하고 10~4000 rpm으로 변속시켰다.

시험부는 디스크와 로울러로 구성되어 있으며 디스크와 로울러의 재질은 S45C, 표면경도는 R_c 60, 표면조도는 R_a = 0.7 μm이다. 디스크의 직경은 200 mm, 두께 15 mm이며 로울러의 직경은 50 mm, 폭 20 mm이다.

로울러는 하중 레버위의 판 spring에 의하여 지지되고 있으며, 摩擽力 측정을 위하여 판 spring에 strain gauge (kyowa electric Instrument Co. Ltd. R=500Ω ± 0.1)를 부착시켜 얻은 strain값을 6 channel Amplifier(model



Fig. 2. Photographs of experimental apparatus

: CDV-110A, D.C Amplifier, kyowa Electric Instrument Co., Ltd.)에서 증폭시킨 후 3-pen Recorder(Model 30 66, Yokogawa Electric Warks Ltd.)와 Multimeter(Model 8600A, John Fluke MFG. Co., Inc. Everett. WA. U.S.A.)에 연결하여 측정하였다.

시험부에 작용하는 하중은 지렛대의 원리를 이용하였고, 하중레버에 1~9 kg의 하중을 加하여 시험부에 2~18 kg의 하중이 작용하도록 하였으며, 디스크와 로울러의 摩擽面 사이에서 형성되는 油膜의 형성상태에 따른 潤滑狀態를 확인하기 위하여 접촉전기 저항회로를 로울러와 디스크 사이에 설치하였다.

디스크와 로울러 사이에 형성되는 潤滑油膜의 두께측정은 電氣容量法을 이용하였으며 로울러와 디스크 사이의 Capacity를 LCR Meter(Model 4262A, Hewlett, Packard Company, U.S.A.)로 측정하고 Calibration式에 의하여 그 두께를 계산하였다.

이물질의 공급은 실험장치 상부에 설치된 Tank 内の 교반기에 의해 교반된 이물질이 냉각기를 통과하는 동안 일정온도를 유지하도록 한 뒤 위치 수두를 이용하여 디스크와 로울러의 접촉부와 90° 각도에서 디스크 밑면에 설치된 oil hopper에 의해 上向供給되도록 하였다. 이때 공급되는 이물질의 量은 약 500 cc/min로 모든 실험에서 같은 조건으로 공급하였다.

실험은 디스크와 로울러 接觸面에 작용하는 하중과, 디스크의 원주속도, 디스크와 로울러 사이에 공급되는 이물질의 농도를 변화시키며 실험을 行하였다. 이 때 실험실의 실내온도는 20°C를 유지하도록 하였다.

디스크의 실험 원주속도는 5 m/min에서 950 m/min까지 변화를 시켰으며 일정하중을 유지시킨 뒤 로울러와 디스크 사이의 摩擽力 측정, 로울러와 디스크 사이의 油膜形成 狀態를 확인하기 위한 접촉전기 저항측정, 로울러와 디스크 사이의 油膜두께 측정을 위한 전기용량(capacity) 측정을 하였다. 이들 각 측정값은 일정하중을

Table 1. Property of lubricant

비 중 API	33.3	인화점 COC : °C	210
점도(40°C)CST	30.64	발화점 COC : °C	243
점도지수 D2270	107	유동점 °C	-15

Table 2. Property of o/w Emulsion

농도(wt%)	5%	10%	15%	20%
점도(cst)(25°C)	1.319	1.386	1.458	1.653
Particle Dia.(mm)	0.0047	0.005	0.0055	0.0064
E S I	0.88	0.86	0.84	0.80

결과 10분간 운전 후 측정하였으며, Random data 100개의 평균치를 실험결과 값으로 이용하였다.

3. 실험유

본 실험에 사용한 潤滑油는 paraffin系 鑛油로서 그 性狀을 Table 1에 나타냈다.

이밀전은 o/w형으로 精製水를 分散媒로 하였으며 농도(기름의 함유량)는 1~20%까지 변화시켰다. 界面活性劑는 HLB값 14의 것을 사용하였으며 5 wt%를 첨가하였고 이밀전의 생성은 교반기를 이용하여 4000 rpm에서 30分間 교반하였다.

이와 같이 하여 얻어진 이밀전은 Table 2에 표시한 바와 같이 安定性이 0.8 이상으로 양호하며 20% 이밀전의 사진 및 粒徑分佈를 Fig. 3에 나타냈다.

4. 실험결과 분석

본 연구에서 사용한 이밀전의 대기압 상태에서 농도 변화에 따른 粘性을 모세관 粘度計(Model : 678W, Cannon Instrument Co., U.S.A)를 사용하여 측정한 결과를 Fig. 4에 나타냈다.

이 그래프에 따라서 粘性의 농도에 관한 함수관계를 계산한 결과 Einstein[13]이 제안하였던 농도 ϕ 의 다항식보다는 $\eta = \eta_0 \cdot e^{\alpha(\phi)}$ 로 표시함이 적절하였으며 o/w형 이밀전에서 가장 많이 사용되는 농도 5%에서 15%의 범위에서는 $\beta(\phi) = -3.7242 + \phi$ 가 된다.

따라서 이밀전의 粘性이 압력에 따라 변하는 것에 대하여 순수한 潤滑油의 粘度-壓力係數에서와 같은 원리를 적용하여 다음과 같은 일반 공식화 하고자 한다.

$$\eta = \eta_0 \cdot e^{\alpha(\phi)\rho} \cdot e^{\beta(\phi)}$$

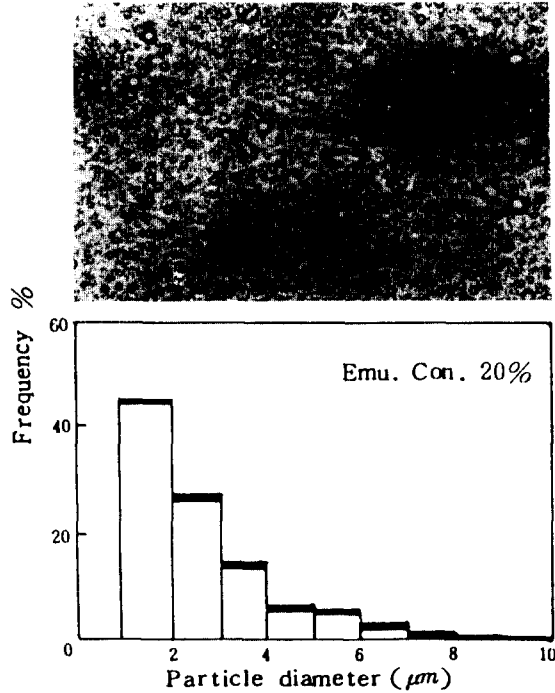


Fig. 3. Photosmicrograph of the emulsion and its particle size distribution

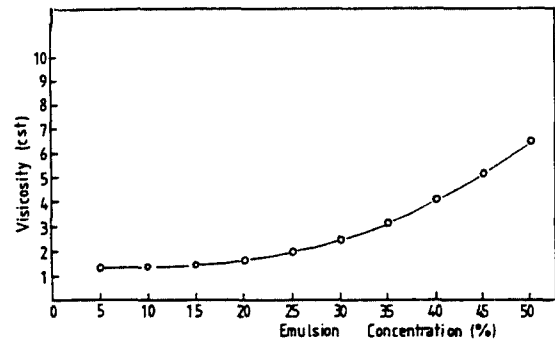


Fig. 4. Relation between emulsion concentration and viscosity

여기서 $\alpha(\phi)$ 는 이밀전 농도에 따른 粘度-壓力係數이며 $\beta(\phi)$ 는 粘度-농도係數로서 粘性의 농도에 대한 함수관계를 나타낸다.

이밀전의 농도변화에 따른 점도-壓力계수 $\alpha(\phi)$ 를 계산하기 위하여 Fig. 5와 같이 strain gauge를 부착시켜 마찰력 측정을 한 결과를 Fig. 6에 나타냈으며, Fig. 7은 전기용량법을 이용한 유막두께의 측정 결과이다. Fig. 6에 나타난 바와 같이 평균면압 600 g/mm²에서 구름속도 변화에 의한 마찰계수의 변화를 분석하면 이밀전의 각

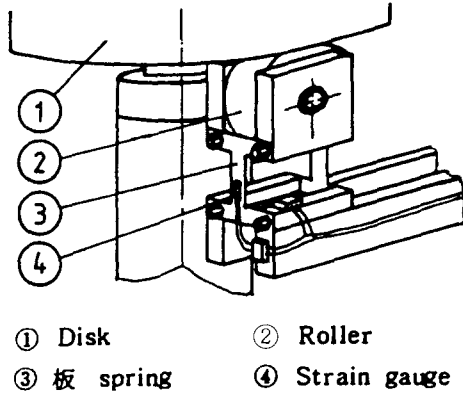


Fig. 5. Schematic Diagram of Experimental apparatus

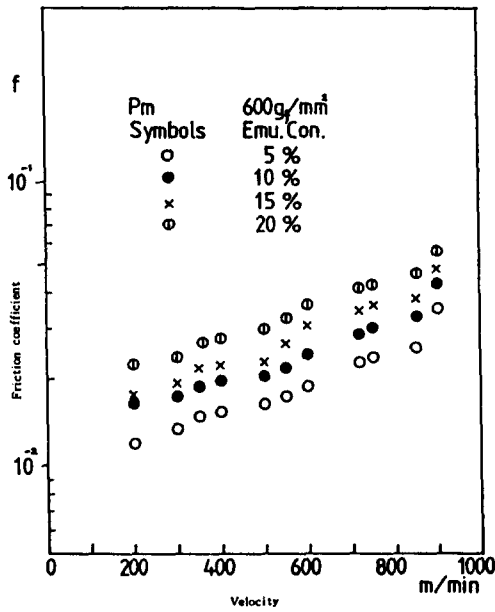


Fig. 6. Relation between Velocity and Friction coefficient

농도에서 속도변화에 의한 마찰계수의 증가 기울기는 이렇전 농도변화에 관계없이 거의 일정한 기울기를 나타내며 5% 이렇전의 경우 가장 낮은 마찰계수 값을 나타내고 있다.

구름속도의 변화에 의한 油膜두께를 이렇전 농도를 Parameter로 Fig. 7에 圖示했다. 平均面壓 600 g/mm²에서 속도증가에 따라 油膜의 두께가 증가하는 양상을 보이며 이렇전 농도 5%에서 가장 얇은 油膜두께를 나타내고 있다.

또한 농도가 증가함에 따라 油膜두께의 증가폭이 커

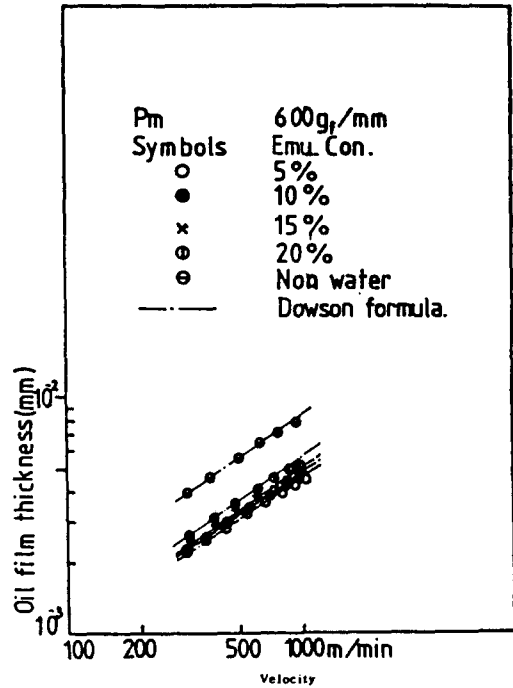


Fig. 7. Relation between oil film thickness and velocity

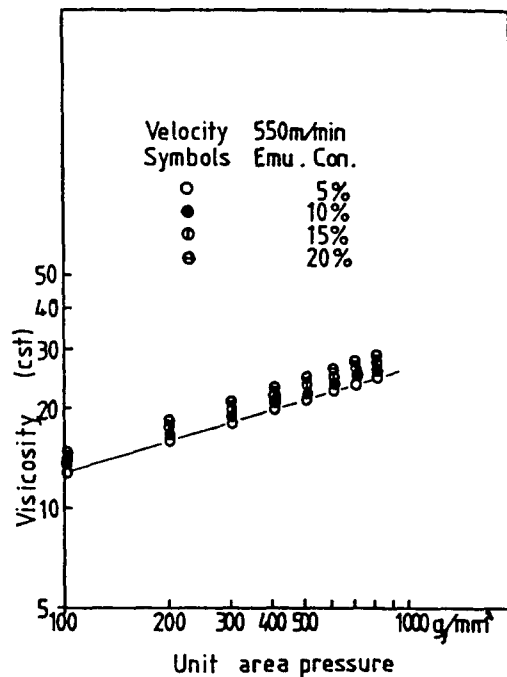


Fig. 8. Relation between unit area pressure and viscosity

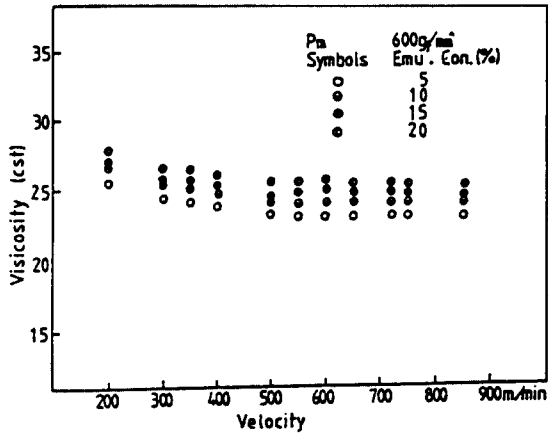


Fig. 9. Relation between velocity and viscosity

지고 있으며 속도 약 600 m/min 이상의 속도에서는(5% 농도에서는 570 m/min) 실험치 油膜두께의 값이 이론 값에 비하여 적게 나타남을 알 수 있다. 그러나 油膜의 두께가 두꺼워지는 것은 안정된 潤滑狀態라고 판단할 수 있으나 油膜이 두꺼워짐에 따라 전단력이 커지므로 摩擦係數의 증대를 초래하는 결과로서 운전 부하가 커지게 된다.

이와 같은 실험을 통하여 이물질의 농도에 따른 粘度-壓力係數 $\alpha(\phi)$ 는 摩擦係數 $f = \frac{\eta_0 \cdot U}{h_0 \cdot p}$ 의 관계식에서 실험으로 측정된 f, U, h_0, \bar{p} 를 이용하여 求한 후에 규명하였다.

따라서 Fig. 8은 平均面壓의 변화에 따른 粘性的의 변화를 이물질 농도를 Parameter로 나타냈다. 그래프에 나타난 바와 같이 이물질 농도변화에 관계없이 平均面壓의 증가에 의한 粘性的의 증가 기울기가 세로축(粘性)을 Y로 하고 가로축(平均面壓)을 X로 하였을 때 $Y = 3.132479 X^{0.30571}$ 의 기울기를 나타내며 粘度-壓力係數 α 를 계산해 본 결과 이물질 농도에 관계없이 $9.6353 \times 10^{-9} \text{ cm}^2/\text{dyne}$ 값으로 나타났다.

그리하여 이물질 농도의 변화에 의해서는 粘度-壓力係數 α 의 값이 변하지 않음을 확인함으로써 α 는 농도 ϕ 의 함수가 아닌 壓力 P의 함수임을 확인하였다.

그러므로 壓力 P를 받는 이물질의 粘性 η 는 다음의 제안식으로 계산된다.

$$\eta = \eta_0 e^{\alpha\phi} \cdot e^{\beta\phi}$$

여기서 $\beta = (-3.7242 + \phi)/\phi, 5\% \leq \phi \leq 15\%$ 이다.

Fig. 9는 속도변화에 의한 粘性的의 변화를 나타냈다. 그래프에 나타난 바와 같이 속도 약 550 m/min 이상의 속도에서는 거의 일정한 粘성을 나타내고 있다.

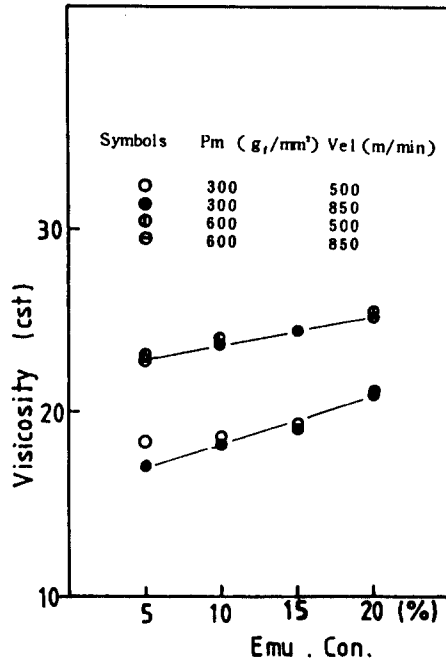


Fig. 10. Relation between emulsion concentration and viscosity

이 결과는 이물질에서 속도에 의한 粘性的의 변화가 거의 없다는 것을 보여주며, 본 연구에서 제안한 壓力 P를 받고 있는 이물질의 粘性 η 의 계산식에서도 속도에 의한 粘性的의 변화는 무시하였다. 이 현상은 Fig. 10에서도 보여주고 있으며 압력에 의한 粘性的의 변화가 크게 나타남을 알 수 있다.

5. 결 론

이상과 같이 strain gauge를 이용한 摩擦力 측정, 電氣容量法에 의한 油膜두께 측정을 이물질 농도 1~20%까지 변화시켜 가며 실험분석한 결과 이물질의 농도 및 압력변화에 의한 점성 η 는 다음 식으로 계산된다.

$$\eta = \eta_0 e^{\alpha\phi} \cdot e^{\beta\phi}$$

와 같이 계산될 수 있음을 밝혔으며, 이 때의 점도-농도계수는 다음과 같다.

$$\beta = (-3.7242 + \phi)/\phi, 5\% \leq \phi \leq 15\%$$

참 고 문 헌

1. Sachio Matsumoto, Yoshiko Kita and Daizo Yonezawa, Journal of Colloid and Interface Science, Vol.

- 57, No.2, November(1976). 353-361.
2. W.R. Roberts, Trans. ASME(1966), 103.
3. G. Dalmaz, Proc. 7th Leeds-Lyon Symp. on Tribology, Paper IX(i) (1980), 231.
4. 中原細光 外 2人, 日本潤滑學會 29回 通繪學術大會 豫原稿集 A16(昭和 60年), 61-64.
5. 中原細光 外 2人, 日本潤滑學會 北陸學術大會 豫稿集 C1(昭和 59年), 121-124.
6. H. Hamaguchi et al., Wear, 43, 1(1977), 17.
7. G. Dalmaz and M. Godet, Trans. ASME, F100, 2 (1978), 304.
8. 木村好次・岡田和三, 潤滑, 30, 4(1985), 274.
9. Y. Kimura and K. Okada, Proc. JSLE Intern. Tribology Conf. (1985), 937.
10. 中原細光 外 2人, 日本潤滑學會 全國大會(秋田) 研究發表會 豫稿集 D15(昭和 60年), 393-396.
11. A. Einstein, Ann. Phys., 19(1906), 289, 34(1911), 591.
12. G.I. Taylor, Proc. Roy. Soc. (London), A138(1932), 41.
13. E.G. Richardson, Jour. Colloid Sci, 5(1950), 404, 8 (1953), 367.
14. P. Sherman, Proc. 3rd Inter. Congr. Surface Activity, 2(1960), 596.