

## O/W Emulsion 潤滑에서의 彈性流体潤滑膜두께의 測定

李奉九\* · 木村好次\*\* · 岡田和三\*\*\* · 橋爪克幸\*\*\*\* · 池昌憲\*\*\*\*\*

\* 원광대학교 工科大学

\*\* , \*\*\* 日本東京大学工学部

\*\*\*\* 日本大豊工業(株)研究部

\*\*\*\*\* 全北大学院

### Measurement of EHL Film Thickness in Oil-in-Water Emulsion Lubrication

By Bong Goo Rhee, College of Engineering, The Univ. of Won Kwang (344-2, Sinyong-dong, Iri-shi, 510 Chunpuk-do, Korea), Yoshitsugu Kimura and Kazumi Okada, Institute of Interdisciplinary Research, Faculty of Engineering, The Univ. of Tokyo (4-6-1 Komaba, Meguro-ku, Tokyo 153, Japan), Katsuyuki Hashizume, Taiho Kogyo (2-47 Hosoya-Cho, Toyoda-Shi 471, Japan) and Chang Heon Chi, The G. S of Chon buk N. Univ.

It is empirically known that, in concentrated conjunctions lubricated with O/W emulsions, only the oil is entrained to form elastohydrodynamic films. In the present work, this phenomenon is studied experimentally and the result is compared with a theory Which employes a starved lubrication concept. The experiment is conducted in a four roller machine with O/W emulsions of varying concentration of oil, i. e. beef tallow, in which the film thickness is determined by detecting the rate of X-ray transmission through the conjunction. Excellent agreement is found between the experimental and the theoretical results.

#### 1. 序 論

구름베어링이나 齒車등에서 나타나는 구름接觸部를, 潤滑油의 存在下에서 運轉하면, 固体面의 局部的인 彈性變形때문에 比較的 두꺼운 流体膜이 形成되어 소위 流体潤滑狀態가 된다. 그런데 潤滑油보다도 粘度가 낮은 W/O (油中水型) Emulsion을 油滑劑로 使用하는 경우에도 固体面間에는 油相만이 引込되어 Emulsion自體의 性質로부터 予想된것보다도 두꺼운 流体膜이 生成된다고 알려져 있다.<sup>1,2)</sup> 또한 O/W (水中油型) Emulsion을 使用한 鋼板의 冷間壓延에 있어서도 같은 現象이 나타남을 接觸電氣抵抗의 測定에

의해 定性的으로 나타낸것도 있다.<sup>3,4)</sup>

이와같은 現象이 發生하는 機構로써 筆者들은 固体의 表面間에 끼어있는 油滴이 그곳에 trap 되어 間隙의 減少에 따라 물만이 排除된 結果 Emulsion의 濃度가 增加된다는 假說을 세워 기름의 連續相이 形成된 點을 壓力境界로하는 一種의 Starved lubrication의 問題로써 이것을 解析하려고 하였다.<sup>4)</sup> 이 假說은 牧野등의 光學的 觀察結果<sup>5)</sup> 와도 意外로 一致하였다. 그러나 筆者들의 解析結果는 定量的으로는 實驗結果와 一致되지 않는데, 여기서 問題가 되는것은 勿論 實驗方法이 아닌가 하고 생각된다.

本報는 이點을 確認하는것을 目的으로, 別報<sup>6)</sup>

에 記述한 X線透過法에 의한, 牛脂의 O/W Emulsion으로 潤滑된 EHL 接觸部の 流体膜의 두께를 測定하고 上記의 解析結果와의 比較를 試行하였다. 또 이 機會에 既報<sup>6)</sup>의 解析에 對하여 誤記의 訂正을 포함한 二, 三의 修正을 하였다.

## 2. 實驗裝置

本 實驗에서는 曾田式 4 門筒試驗機를 利用하였다. roller는 SUJ2 製로써, Hv 760~800으로 燒入·燒戻 한 것으로써, 外roller·內 roller 같이 直徑 40mm이다. 接觸面의 幅은, 外 roller 가 10mm, 內 roller 가 9mm이고, 그의 表面粗度는 研削後 emery 紙에 의하여, Ra 0.04  $\mu$ m 가 되도록 하였다. 試驗機自体는 이미 報告된 바가 있으므로, 여기에서는 X線透過法에 의한 두께測定裝置의 概略만을 圖 1에 表示하였다. 圖와 같이, 今回의 實驗에서는 3個의 同期로서 自轉하는 外roller와 1個의 內roller와의 사이에 形成된 EHL膜中, 上部의 油膜만을 測定의 對象으로 하였다. roller의 回轉速度는, 內外 roller 같이 1500 rpm이고, 荷重은 1.8KN이다. 膜두께의 測定은, 圖 1에 나타낸 바와같이, 2개의 slit와 EHL膜을 透過한 X線量을 檢出하여, servorecorder로 記錄後, 既報<sup>6)</sup>의 calibration은 曲線에 의하여膜두께로 換算하였다. Emulsion은 homogenizer로서 만든 것을 一定溫度를 維持한 攪拌器가 부착된 二重管型容器로부터 每分

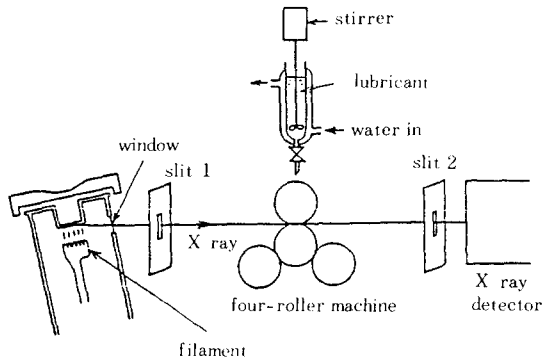


Fig. 1. Schematic diagram of EHL film thickness measurement.

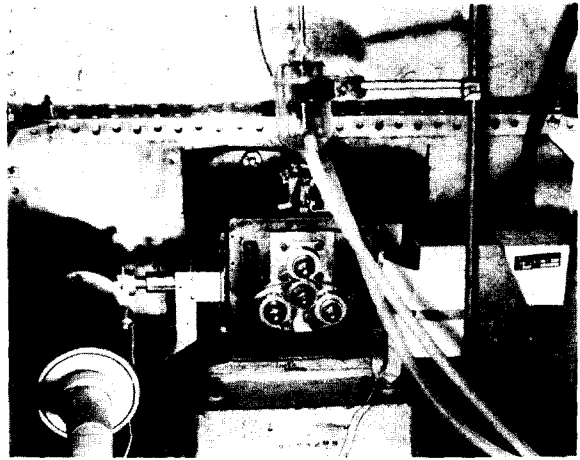


Fig. 2. Photograph of experimental apparatus.

Table 1. Property of lubricants

流動點, °C	30.0
動粘度, $10^{-6} \text{m}^2/\text{s}$ @ 40°C	47.8
@ 100°C	8.49
粘度指數	157
全酸價, mgKOH/g	0.03
鹼化價, mgKOH/g	192
ESI (5 vol % Emulsion) @ 40°C	0.93
@ 60°C	1.00
ESI (40vol % Emulsion) @ 40°C	0.80
@ 60°C	0.70

8  $\text{cm}^3$ 供給하였다. roller의 表面溫度는, trailing-thermocouple에 의하여 測定하였다. 熱電對의 頭徑은 0.6mm로써, 接觸位置는 下部外 roller의, 內 roller와의 接觸部로부터 約20mm 떨어진 곳이다. 圖 2는 이 實驗裝置의 寫眞이다.

## 3. 供試油

供試油로서는, 表 1에 表示한 精製牛脂를 써서, O/W Emulsion을 만들기 위하여, 界面活性劑 5 wt%를 添加하여, neat油와 O/W Emulsion의 狀態로 使用하였다. 精製牛脂의 脂肪酸組成은, palmitin酸 26.7%, stearic酸 21.5%, oleic酸 48.5%, 기타 3.3%로 되어 있다.

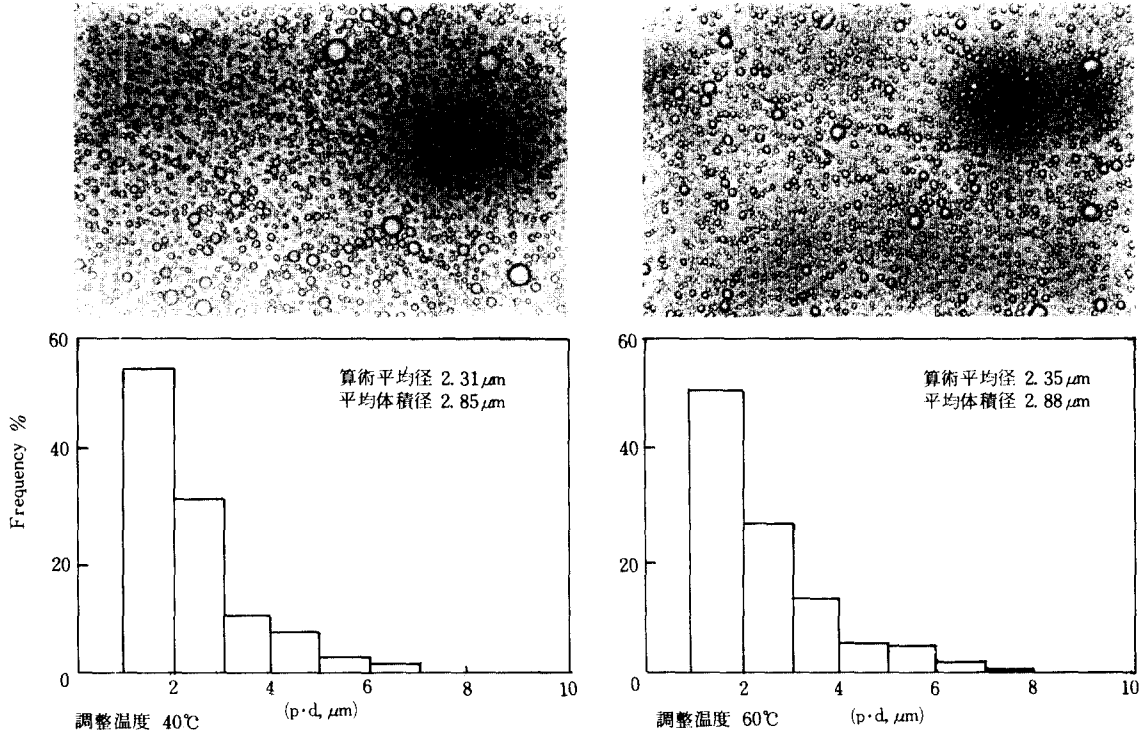


Fig. 3. Photomicrograph of the emulsion and its particle size distribution.

界面活性剤는 POE nonylphenyl ether로써 HLB值 6의 것과 11의 것을 혼합하여 HLB值가 9.1이 된 것을 사용하였다. Emulsion의 調整은, 40°C와 60°C의 蒸留水에 所定量의 供試油를 넣고 homogenizer에 의해 回轉速度 8000 rpm으로 1分間 攪拌하였다. 이와같이 하여 얻어진 Emulsion은, 表 1에 表示한 바와같이 40 vol% Emulsion에 있어서도 ESI가 0.7以上으로 安定性은 대단히 良好하다. 5 vol% Emulsion의 写真 및 粒径分布를 圖 3에 表示하고 있으나, 이 程度의 溫度差異에서는, 分布의 形狀은 거의 變化하지 않으며, 그 平均粒径도 差가 나지 않는다.

#### 4. 理 論

Emulsion을 사용한 경우의 膜 두께는, 下記 假定下에서 “starved condition”의 式을 適用하여 求하였다. 圖 4 (a)에 있어서  $X_a$ 點은, 油의 粒

径  $d$ 와 膜 두께  $h$ 가 같게되는 點이다. 이 點에서 油의 粒子가 roller의 表面에 trap된다고 생각하면, 그 後의 移動에 따라, 二面間의 間隙이 除々히 작아지므로, 水의 相이 排除된다. 이 領域에서의 油의 濃度는, 初期值를  $C_0$ 로 하면,

$$C = C_0 \cdot d/h(X) \quad (1)$$

에 따라서 上昇하여, 圖 4 (b)에 表示한 바와같이  $X = X_s$ 에서 1.0이된다. 이  $X_s$ 를 壓力의 境界로보아, 次式<sup>8)</sup>을 適用한다.

$$h_{cs} = h_{cf} \frac{2}{\pi} \tan^{-1} \left\{ 1.37 \left[ \frac{b^{1/3} (x_s - b)}{(2Rh_{cf})^{2/3}} + \frac{1}{2} \right]^2 \right\} \quad (2)$$

여기서  $h_{cf}$ 는 “fully flooded condition”에서의 中央部의 油膜 두께이며,  $R$ 는 roller의 等価 曲率半径,  $2b$ 는 Hertz 接觸幅이다.

또,  $h_c$ 를 平行部의 油膜 두께로 할 때의 式 (1)에 있어서  $h(x)$ 를, 次式으로 얻어진다.

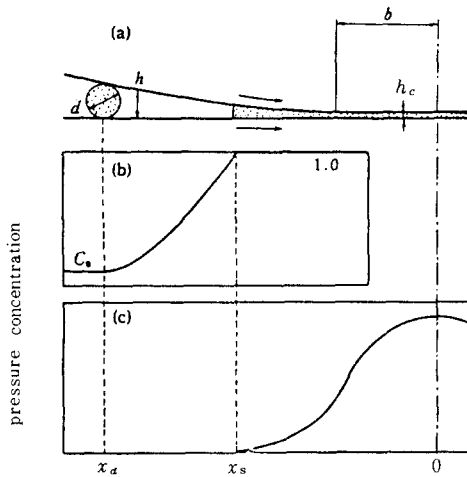


Fig. 4. Model for the inlet region.

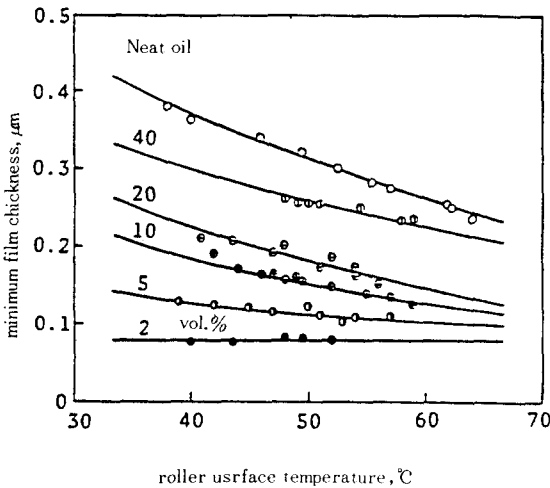


Fig. 5. Changes of film thickness with roller surface temperature.

$$h = h_c + 2 \left( \frac{1 - \nu^2}{E} \right) P_{max} b$$

$$\left\{ \frac{x}{b} \left( \frac{x^2}{b^2} - 1 \right)^{1/2} - \ln \left[ \frac{x}{b} + \left( \frac{x^2}{b^2} - 1 \right)^{1/2} \right] \right\} \quad (3)$$

여기서  $\nu$ 는 poisson비,  $E$ 는 young率,  $P_{max}$ 은 最大 Hertz 壓이다.

計算은, 最初式(3)의  $h_c$ 에 適當한 값을 주고

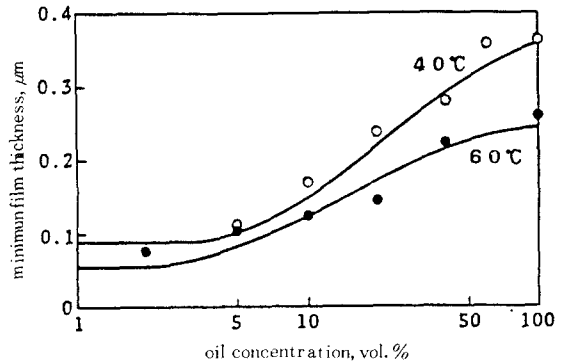


Fig. 6. Film thickness with emulsions of varying oil concentration.

$h(x)$ 를 算出한다. 다음에 式(1)에 의해, 주어진  $C_0$ ,  $d$ 에 대하여  $C=1.0$ 이 되도록  $X_s$ 의 位置를 決定하여, 式(2)에 의해서  $h_{cs}$ 를 求한다. 이렇게하여 求해진  $h_{cs}$ 를 새로운  $h_c$ 로하여 式(3)에 代入하여 反復計算을 行한다.

### 5. 課 果

圖5는, 調整溫度 60°C의 Emulsion을 使用하여, roller의 表面溫度和 膜두께의 關係를 조사한 結果이다. 圖中の 數字는, Emulsion의 體積濃度(%)를 表示한다. 圖로부터 알 수 있는 바와같이, 表面溫度的 上昇에 따라 膜두께의 減少하는 傾向은, 其의 油膜이 發生하지 않는 2% Emulsion을 除外하고, 어느 濃度の Emulsion의 경우에도 neat油와 同하다.

圖6은, Emulsion의 調整溫度 및 roller의 表面溫度가, 모두 40°C의 경우(○)와 60°C(●)의 경우의 Emulsion濃도와 膜두께의 關係를 나타낸 것이다. 實線은 各各의 條件에 있어서 前述한 平均體積徑을 利用해서 前章의 方法으로 計算한 理論曲線이다.

圖에 의하면 모든 溫度에 있어서도 膜두께의 實驗値는 거의 理論曲線에 따르며, Emulsion濃度の 增加에 따라 增大하고 있음을 알 수 있다. 前報<sup>4)</sup>에서는 算術平均徑을 利用하였으나, 그것을 利用하면 曲線은 약간 下降하여 큰 差異는 없으나, 平均體積徑의 경우가 代表徑으로써 適

切하다고 判断된다.

또 式(2)는, 壓力境界가 Hertz 接觸幅의 끝에 一致한 경우에도 一定値의 膜두께가 주어질 수 있어 Emulsion 潤滑의 경우에는 同式이 妥当하다고 생각한다.

#### 参 考 文 献

- 1) H. Hamaguchi, et al. : Wear, 43, 1 (1977) 17.
- 2) G. Dalmaz and M. Godet : Trans. ASME, F 100, 2 (1978) 304.
- 3) 木村好次·岡田和三 : 潤滑, 30, 4 (1985) 274.
- 4) Y. Kimura and K. Okada : Proc. JSLE Intern. Tribology Conf. (1985) 393.
- 5) 牧野武郎外 : 日本潤滑学会創立30周年 記念 全国大会予稿集 (1985) 393.
- 6) 木村好次·岡田和三·村木正芳 : 日本潤滑学会. 31周年 記念大会 予稿集 (1986) 241.
- 7) 曾田範宗·木村好次·関沢昌美 : 日本機械学会論文集, 37, 303, (1971) 2204.
- 8) D. G. Wymer and A. Cameron : Proc. IME, vol. 188, p. 221 (1974).