

이밀션유허특성에 관한 실험적 연구

이종순* · 이봉구** · 정재련*** · 지창헌****

* 전북대학교 공과대학

** 원광대학교 공과대학

*** 전북대학교 공과대학

**** 전북대학원

An Experimental study on the Characteristics of the Emulsion Lubrication

* ** *** ****
Chong Soon Lee, Bong Goo Rhee, Jae Ryen Cheong, Chang Heon Chi.

* College of Engineering, Chonbug National University

** College of Engineering, Univ. of Won Kwang

*** College of Engineering, Chonbug National University

**** Graduate School of Chonbug National University

요 약

냉각성, 난연성(難燃性), 그리고 경계성의 면에서 우수한 유허특성을 갖고 있는 이밀션유허를 사용하여 로울러와 프레이트간의 선접촉 및 광간섭계(光干涉系)의 실험장치를 통하여 탄성유허유허 영역에서의 유허기구 및 분산입자의 거동기구를 명확히 하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 스퀴즈 유막내의 유허은 유허간극이 비교적 넓은 경우와 좁은 경우로 대별하여 전자의 경우에는, 입자분포 및 속도분포의 영향이 크게 나타나며, 후자의 경우는 이밀션입자가 간극내에 정지하여 유막두께의 감소와 더불어 변형되어 간다.

(2) 스퀴즈(squeeze) 유막내의 O/W, W/O 각 이밀션의 유허은 간극이 클 경우, 입경(粒徑)에 의한 속도차가 역으로 나타나고, 작은 경우에는 산류액적의 분포가 서로 다르며 그밖에 O/W 형은 W/O 형에 비하여 분산입자가 쉽게 변형하는 것을 알 수 있다.

(3) EHL 영역입구부에서는 입자의 유허속도가 극히 적은 정제영역이 존재하며, 그 부근에서의 입자의 거동은 입경(粒徑)에 따라서 다르다.

(4) 2색광에 의한 광간섭선의 관찰에 의하여 탄성유허유허 영역내를 통과하는 이밀션유허를 확인함과 동시에 EHL 영역입구부에서의 분연거동이 관찰되었다.

ABSTRACT

Using emulsion lubricant whose cooling effect and incombustibility are good and which is economical, I investigated lubricative mechanism and the behavior of scattered particles in

the elastic fluid lubrication region with the line contact between rollers and plates and the light interference system.

The results of the study are as follows :

① The flow in the squeeze oil film is considered as comparatively wide clearance and narrow one, and in the former case the effect of the distribution of particles and the velocity on the flow.

In the latter case, emulsion particles stay in the clearance and the oil film changes with the decrease of the oil film thickness.

② In the wide clearance the velocity difference of the flow O/W or W/O emulsion is inverse proportional to the particle size.

In the narrow clearance the distribution of the remained drops is different from one another and the scattered particles change more easily in O/W type than in W/O type.

③ At the beginning of the EHL the stagnation region with slow flowing velocity exists and the behavior at the region is different depending on the particle size.

④ By observing the dischromatic light interference line, emulsion oil passing through EHL region and the crack behavior at the beginning of EHL were found.

1. 서 론

기계적인 방법에 의해서 혼합된 분산기구에 관하여 약 1세기전 J. Plateau가 그 내용을 파악한 이래 계면활성제의 연구개발이 꾸준히 계속되어 현대에 이르러 공업계 전반에 걸쳐서 널리 응용되어 지고 있다. 식품공업에서의 우유나 마요네스가 O/W상의 이멀션이고, 섬유공업에서 방적유, 방사유, 농업분야의 경우 농약이 대표적인 이멀션이며, 도료(塗料)에서도 이멀션케인트의 보급이 일반화되고 있다. 연료공업에 있어서는, 성(省)에너지의 관점에서 이멀션연료의 연구가 세계적으로 활발히 이루어지고 있으나 아직은 시행착오의 단계에 있는 상태이다. 철강재의 냉간압연의 기술혁신은 꾸준히 계속되어 현재에는 강판의 두께를 컴퓨터제어하는 상태에 까지 이르렀으나 압연콘트롤의 정확성이 요구됨에 따라 윤활문제가 더욱 크게 대두되었다. 압연윤활의 경우 압연강판과 압연로울러 사이에서 발생하는 마찰열과 소성변형열로 인한 로울러의 온도상승을 억제하고 윤활효과를 향상시키기 위하여 이멀션윤활이 활용되기 시작하였다.

현재 압연에 사용되어지는 이멀션은 여러가지 첨가제가 혼합되어진 상태이며 그 제조방법은 기업의 노우하우로 되어있다. 그러나 실제의 가

공면의 윤활은 이멀션의 거동에 관한 가시화(可視化)가 곤란하여 그 내용을 확실히 해명할 수 없는 상태이며 가까운 시일내에 해명되어져야 할 중요한 과제로 판단 되어진다.

우리나라의 철강업계에서도 석유의 사용량을 줄여 성에너지화 할 수 있는 방안을 모색하기 위하여 다방면으로 연구되고 있는 현시점에서 압연공정의 압연속도를 향상시킬 수 있는 방안을 모색하는 것이 효과적인 성에너지책이라고 할 수 있다.

따라서 냉간압연에 있어서 이멀션의 거동을 명확히 하는 것은 철강산업발전에 큰 기여가 될 것이다.

물에 기름을 수 마이크론(μm)에서 수십마이크론 정도의 미세한 액적으로써 분산시킨 O/W 상의 이멀션은 냉각효과가 높기 때문에 소성가공, 특히 철강냉각압연시의 윤활재로서 널리 사용되고 있다. 그러나 탄성유체 윤활영역에서의 이멀션의 유동거동, 특히 기름입자의 거동은 아직 그 내용이 명확히 파악되지 않은 상태이며 그 특성에 관한 기초적인 연구가 아직 활발하지 못한 상태이다.

본 연구에서는 선접촉 탄성유체 윤활형의 실험장치를 이용하여 탄성유체 윤활영역의 입구부와 내부의 양면으로 부터 기름입자의 거동을 실험적으로 관찰하며 두장의 유리판을 상대 운

동시켜 그 내부의 이물질 유동의 거동을 관찰함과 동시에 그 거동을 입경(粒径)으로 정리하고, 광간섭법을 이용하여 로울러와 유리판 사이의 탄성유체 윤활막의 두께를 측정함과 동시에 빛의 간섭 굴곡을 이용하여 물과 기름의 굴절율의 차 및 액체와 액체면에서의 빛의 산란을 이용하여 탄성유체 윤활유막 내를 통과하는 기름의 입자를 확인하였다.

2. 실험장치 및 실험방법

탄성유체 윤활의 유막내에서 O/W 이물질 윤활을 관찰함에 있어, 분산상(分散相)인 기름립자의 유동을 파악하기 위하여 축 방향에 대한 미끄럼율(率)이 존재하지 않는 순수한 라인(line) 접촉의 탄성변형을 간단히 모델화하여 접촉부 및 입구부분의 관찰이 필요하다.

또한 탄성유체윤활에 있어서 광간섭법에 의한 실험을 동일한 조건에서 수행할 필요가 있다. 이상과 같은 내용을 확실히 하기 위하여 로울러·프레이트선접촉 실험장치와 광간섭 실험장치를 각각 설계하였다.

2.- 1. 로울러·프레이트선접촉 실험장치

유리판 및 유리판의 구동부, 로울러 및 지지아암(arm), 급유계, 관찰장치로 구성한다. Fig. 1은 본 실험장치의 사진이며 Fig. 2와 3은 그 개략도를 표시한다. 출력 6W, 100V의 직류모우터 ①에 25:1의 감속기를 부착시켜서 모우터의 회전을 안정시키고, 풀리(pulley)와 와이어(wire)를 통하여 프레이트 ②를 구동한다. 이 프레이트는 관찰용 유리판 ③을 케이스에 조립했으며 유리표면은 C_r을 증착(蒸着)시켜 투과율이 70%가 되도록 하였다. 유리판의 속도는 유리판을 구동시키는 모우터축에 기어를 부착하여 전자식 피입 ⑦로 검출하였다. 급유계는 연속급유의 경우 급유탱크 ⑧에 이물질은 넣어 스테어러(stirrer) ⑨로 교반하여, ⑩의 온도조절기에 의하여 25°C ± 2°C로 안정화시켰다. 이물질입자의 거동을 고속카메라 ⑪로 촬영하여 관찰하였다.

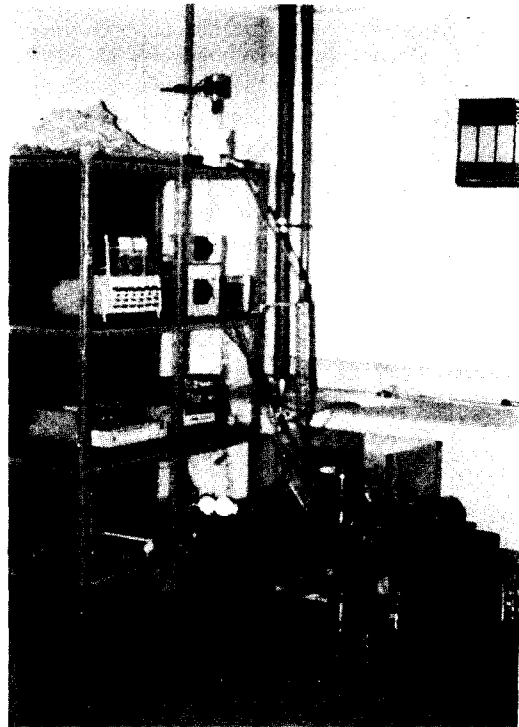
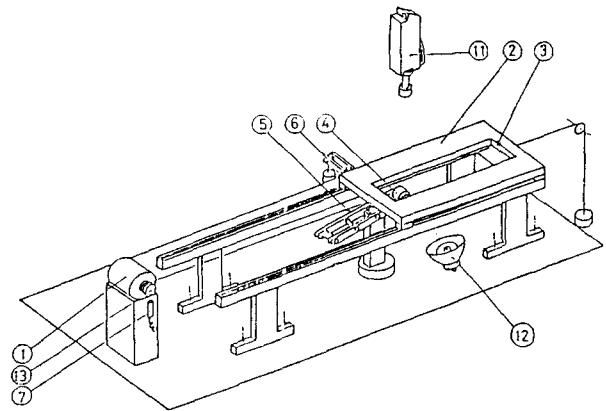


Fig. 1. Photograph of Experimental Apparatus.



- | | |
|--------------|---------------------|
| ① Motor | ⑪ High speed camera |
| ② Plate | ⑫ Strobo |
| ③ Glass | ⑬ Pulley |
| ④ Roll | |
| ⑤ Arm | |
| ⑥ Load lever | |
| ⑦ Counter | |

Fig. 2. Schematic Diagram of Experimental Apparatus

Table 1. Formation of Emulsion.

O/W Emulsion	
Base	Water
Dispersion	Liquid Paraffin
Surfactant	Span 20, Tween 20
Quantity of Surfactant	2.5%
Temperature	約 50℃

Table 2. Component of Water & Paraffin.

	Liquid paraffin	Water
Specific gravity	0.855 g/cm ³	0.998g/cm ³
Viscosity	52.5 cst	1.00 cst
Surface tension	31.0 dyne/cm	72.8 dyne/cm
Interfacial tension	46.0 dyne/cm	-

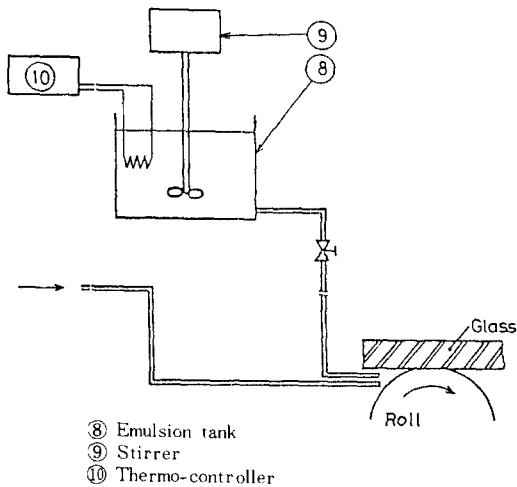


Fig. 3. Schematic Diagram of Oil-supply System.

실험에 사용한 O/W 상 이멀션은 분산질(分散質)로서 파라핀, 분산매(分散媒)로서는 정제수를 사용하였으며 계면활성제로서는 주로 압연용 이멀션으로 널리 쓰이고 있는 스팬(span) 20과 트우언(Tween) 20을 사용하였다. 입자의 거동관찰을 쉽게 하기 위하여 이멀션의 분산질을

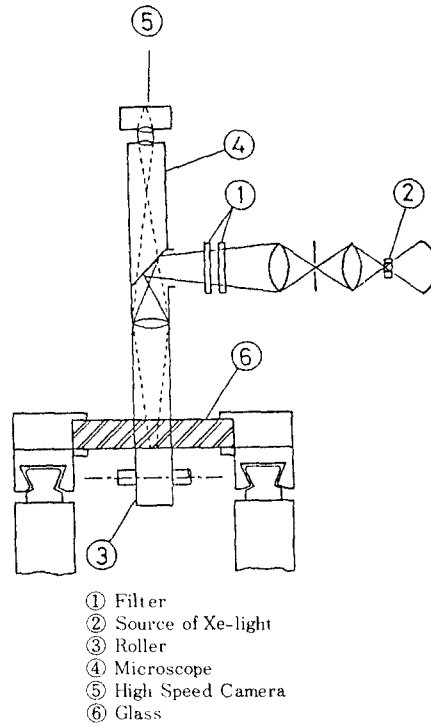


Fig. 4. Schematic Diagram of Light Interference Apparatus.

유용성 착색제(油溶性着色劑)으로 착색하였다. 실험에 사용한 이멀션의 조성(組成) 및 유동파라핀의 물성치를 각각 Table 1, 2에 표시하였다.

2 - 2. 광간섭 실험장치

장치본체와 시험유는 전항의 로울러·플레이트 실험에 사용했던 것을 동일조건으로 사용하였으며, Fig. 4에 광간섭실험장치의 개략도를 표시하였다. 2파장광(2波長光)에 의한 광간섭 현을 이용하면 유막의 두께를 잡을 수 있다는 내용의 연구가 많이 있으나 본 실험에서는 더욱 분해능(分解能)을 높이는 목적으로 사용하였다.

파장 $\lambda = 560\text{mm}$ (綠色), 620mm (赤色) 부근의 2파장대만을 통과하는 필터 ①을 통하여 광원 ②로부터 광이 로울러 ③의 표면과 플레이트의 유리 ⑥의 밑면에 반사되어 간섭현을 발생한다.

이 형상을 광학현미경④(×60)를 통하여 고속도카메라⑤로 촬영하였다.

또한 로울러는 $R_a < 0.1 \mu m$ 정도로 연마하였으며 유리관은 입사광쪽에 MgF_2 의 반사방지막, 반사쪽에 C_r 증착막을 코우팅한 광학유리를 사용하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3-1. 탄성유체유행의 이물질입자 유동의 거동

Photo. 1에 표시되고 있는 바와같이 탄성유행의 입구부근에 함유된 기름입자는 로울러가 회전하면, EHL 영역으로부터 멀리 떨어져있는 입자는 EHL 영역상부에서 일어나는 큰 회전상태의 유속의 순환흐름으로 나타난다. 또한 흐름의 내부에 있는 입자는 비교적 유속이 적어 정체점 같은 영역이 존재하여 그 부분에 있는 입자들은 로울러가 회전을 계속하는 중에도 일정 시간동안 정지상태로 남아 있음을 알 수 있다. EHL 내부에서의 거동은 극히 적은 속도로 중심부에 접근하여 로울러의 플레이트 사이에 끼어들어 편평형(扁平形)의 상태로 변화하면서 표면이 보이지 않는 상태로 된다. 정체영역부근의

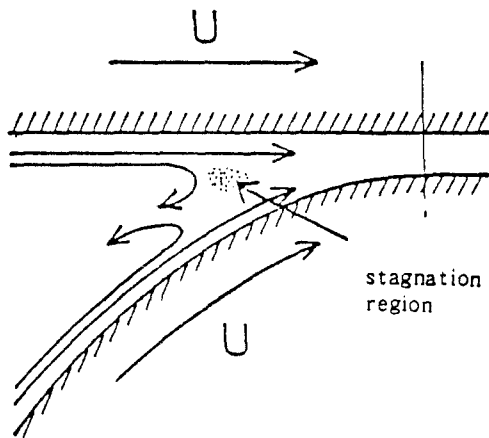


Fig. 5. Stream line diagram in Inlet of EHL region.

입자를 EHL부 방향으로 이동시키는 메카니즘에 관하여는(Fig. 5, 6을 참고하면서) 다음과 같은 고찰을 할 수 있다. 첫째 커다란 입경으로 보여진 경우 표면 부착성이 좋은 로울러의 표면에 부착되어 EHL 막의 근접부근까지 운반되어 플레이트와 로울러간에 접촉하여 그대로 편평하게 변형해가면서 끼어 들어가는 상태, 둘째는 로울러면에 접촉하지 않은 입자의 EHL부에서의 이동해가는 것이 관찰되며 정체부의 내부에는 입자를 EHL 방향으로 이동해가는 흐름이 존재하여 EHL 입구의 간격이 좁은 곳에서는 정체점외부 흐름의 압력이 크므로 이에 평형을 이루며 입자가 EHL부로 이동한다. 그림 6에 표시하는 설명도는 이물질입자의 입경에 대하여 같은 정도의 좁은 틈새내에 존재하는 기름입자를 표시하는 것이며 기름의 입자를 물의 계면과 로울러 플레이트의 변면사이에는 교축과 확대의 왜기부에 나타나는 부압(負壓)때문에 기름입자를 EHL부의 방향으로 밀어 넣으려는 힘이 발생하여 입자가 플레이트 로울러에 접촉하여 변형해가면서 간극사이를 이동해가는 것으로 고찰된다.

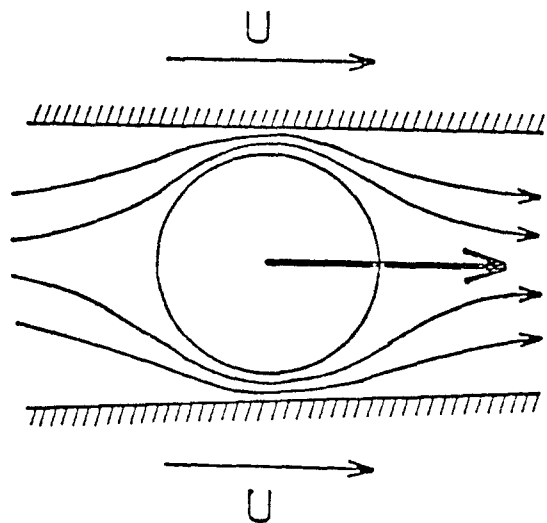
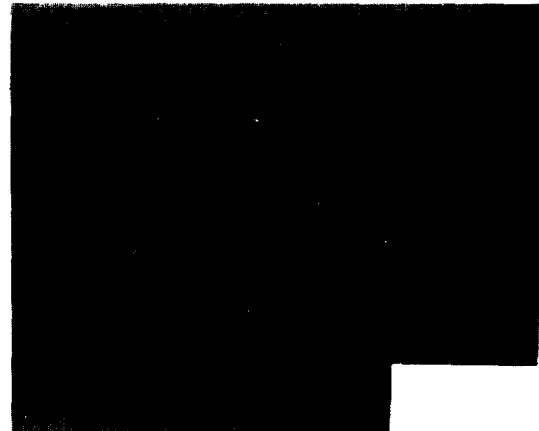
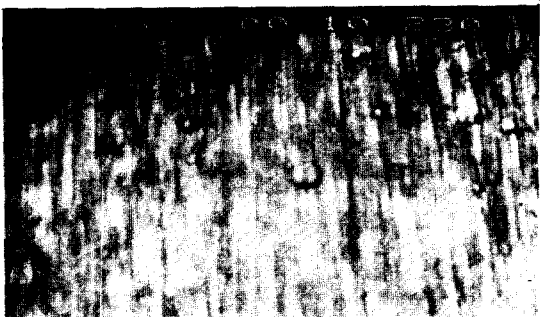
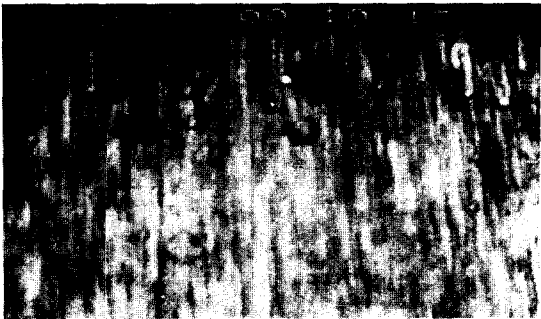
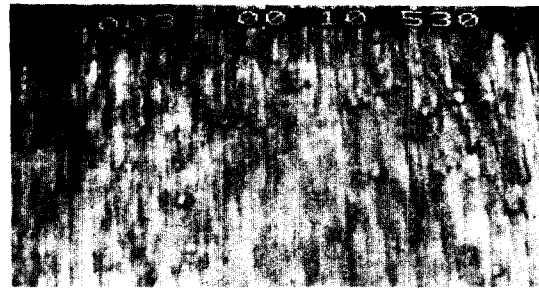
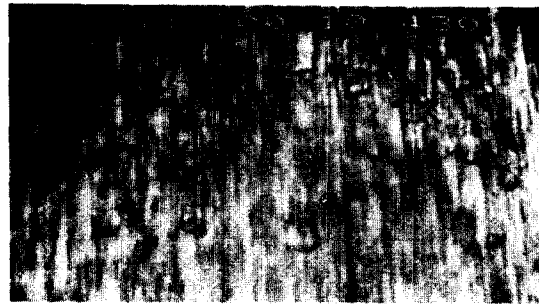
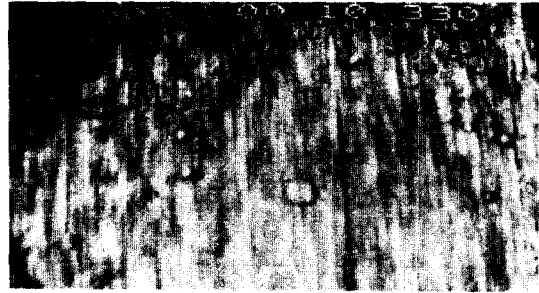


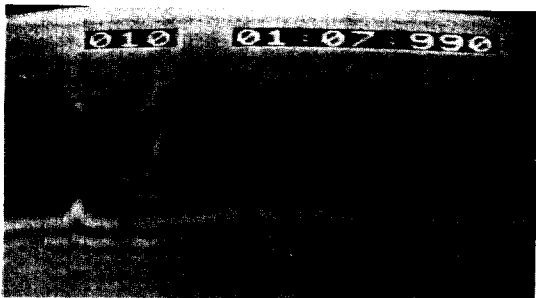
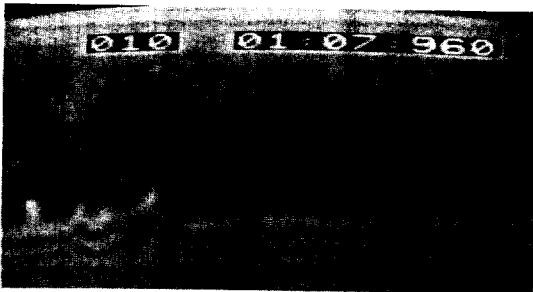
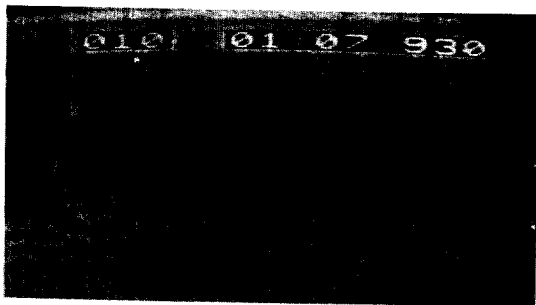
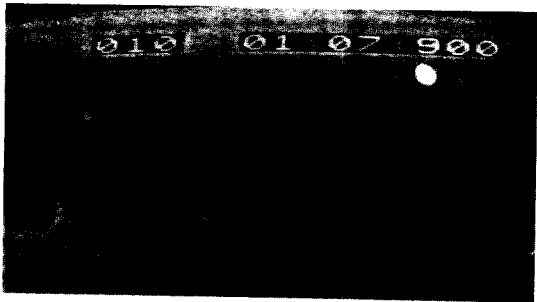
Fig. 6. Stream line diagram in Inlet. (Stream line of Around of Particle)

이상과 같은 내용으로서 EHL 입구부의 유동 거구는 다음과 같이 설명할 수 있다. 즉 공급되어진 이물질 입자는 급유조건과 벽면부근의 흐름, 관성력등의 영향으로 순환흐름으로부터 이탈하며, EHL 부로 향하여 로울러와 프레이트에 끼어들면서 흐름이 진행된다. 또한 EHL 부상류에 있어서는 간극에 대하여 비교적 큰 입경의 이물질은 쉽게 정체영역을 통과하여 EHL 영역으로 이동되는 것으로 추측할 수 있다. 이상과 같이 EHL 입구부에서 입자의 거동을 결성하는 임계적(臨界的)인 입경이 존재할 것으로 단정할 수 있으며 이 임계입경은 정체점에서의 유막두께를 결정하는데 중요한 영향을 미칠 것으로 생각된다.

3 - 2. 광(光) 간섭법에 의한 실험결과 및 고찰

탄성유체윤활(EHL)의 입구부를 관찰할때와 동일한 이물질 급유를 하였을때 EHL 영역에서 관찰된 커다란 유상(油相)의 사진을 Photo. 4에 표시하였다. 사진 중앙의 흑색부분이 EHL 영역이며 로울러 및 프레이트는 하방에서 상방향으





로 운동하며, 통과유도 동일방향으로 운동하고 있다.

또한 EHL 중앙에 있는 삼각형의 부분이 유상(油相)이다. EHL 영역의 유상의 존재는 액체와 액체계면이 빛의 산란과 간섭선의 불연속에 의하여 확인되는데 Photo. 2에서는 EHL 영역 입구부근의 계면을 경계로 하여 유상중의 간섭선이 EHL 영역의 방향으로 약간 처진 상태이며 굴절율의 관계로부터 유상임이 밝혀졌다.

또한 Photo. 3에서는 서로 다른 계면이 커다란 통과유를 나타내 보이는데 질체의 통과입자에서는 Photo. 3에 나타난 바와같은 상태가 실제적으로 주류를 이루는 것으로 생각된다.

Photo. 3은 입자가 EHL 영역내에 들어온 ㉑ ~ ㉒에서는 유상의 내외에서의 간섭선이 서로 다르게 나타나는 것을 볼 수 있다. Photo. ㉑, ㉒에서 하나의 기름입자가 ㉑, ㉒로 이어지면서 또다른 기름입자가 생성되어 통과하는 것을 볼 수 있다. 그러나 ㉑의 간섭선의 후퇴하는 방향을 고려하면 통과하는 과정에서 분열된 것으로 생각되며 EHL 영역에 진입하는 동안 로울러와 프레이트간에서 찢겨져서 분열된 것으로 판단된다. 결국 2개로 분열되어 뒷쪽에 남겨진 부분이 암의 입자를 추종해 가면서 진입하는 상태가 Photo. 3에 나타나고 있다.

또한 이와같은 분열은 EHL 영역 입구부의 입자거동 관찰에서는 나타나지 않았으나 기름입자의 계면이 사라진 후에 이와같은 거동이 일어나는 것으로 고찰된다.

4. 결 론

일반적으로 냉각성, 난연성, 경계성의 면에서 우수한 윤활특성을 갖고 있는 이멀션윤활제를 사용하여 로울러와 프레이트간의 선접촉 및 광간섭계의 실험장치를 통하여 탄성유체윤활 영역에서의 윤활기구 및 분산입자의 거동 기구를 명확히 하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 스퀴즈(squeeze) 유막내의 유동은 윤활간극이 비교적 넓은 경우와 좁은 경우로 대별하여 전자의 경우에는 입자분포 및 속도분포의 영향

이 크게 나타나며, 후자의 경우는 이멀션입자가 간극내에 정지하여 유막두께의 감소와 더불어 변형되어 간다.

(2) 스킨 유막내의 O/W, W/O 형의 각 이멀션의 유동은 간극이 클 경우, 입경에 의한 속도차가 역으로 나타나고, 작은 경우에는 잔류액적(液滴)의 분포가 서로 다르며 그밖에 O/W 형은 W/O 형에 비하여 분산입자가 쉽게 변형하는 것을 알 수 있다.

(3) EHL 영역입구부에서는 입자의 유동속도가 극히 적은 정체영역이 존재하며, 그 부근에서의 입자의 거동은 입경에 따라서 다르다.

(4) 2색광에 의한 공간섭선의 관찰에 의하여 탄성유체운환 영역내를 통과하는 이멀션유를 확인함과 동시에 EHL 영역입구부에서의 분열거동이 관찰되었다.

참 고 문 헌

- 1) A. Eistein, Ann. Phys., 19(1906), 289, 34 (1911), 591.
- 2) G. I. Taylor, Proc. Roy. Soc. (London), A 138(1982), 41.
- 3) W. A. Albers, Jour. Colloid Sci, 15(1960), 789.
- 4) E. G. Richardson, Jour. Colloid Sci, 5 (1950), 404, 8 (1953), 367.
- 5) P. Sherman, Proc. 3rd Inter. Congr. Surface Activity, 2(1960) 596, Proc. 4th Inter. Congr. Rheology, 3 (1965), 605.
- 6) 佐海, 齊藤, 塑性と加工, Vol. 19, No. 214 (1978-11), 972.
- 7) 五弓, 小豆島, 塑性と加工, Vol. 15, No. 160(1974-5), 400.
8. 加藤, 齊藤, 昭和50年度 塑性加工春季講演前刷集, 37.
- 9) J. M. Thorp, Proc. Inter. Mech. Engrs. Vol. 175, No. 11(1961), 593.
- 10) Roberts, W. R. Trans. ASME J. Lub. Tech., Vol. 88(1966), 103.
- 11) 中島, 柴田, 上堀, 昭和 54年 塑性加工春季講演前刷集, 379.
- 12) H. A. Snow, Sheet Metal Industries, Vol. 31 (1954), 601.
- 13) Kanela, Trans. ASME. J. Lub. Tech. Vol. 1023(1950).
- 14) Kimura, Y. and Okada, K., J. JSLE Vol. 30, (1985).