

魚油混合輕油의 均一液滴 生成領域에 關한 實驗的 研究

장 재 은 · 안 수 길*

동명공고 · 부산수산대학교*

(1992년 5월 4일 접수)

An Experimental Study on the Uniform Droplet Production Regions of Light oil Blended with Fish oil

Jae-Eun JANG and Soo-Kil AHN*

Dongmyeong Technology High School, *National Fisheries University of Pusan

(Received May 4, 1992)

In order to understand and explain the spary combustion, it was necessary to understand the disintegration mechanisms of liquid jet.

To understand the disintegration mechanisms of liquid jet, the disintegration phenomena and uniform droplet production regions of testing liquid jet was investigated by means of longitudinally vibration capillary nozzle, which was injected the testing liquids.

The testing liquids were light oil and light oil blended with 25wt% fish oil (File fish oil, Sardine fish oil, Alaska pollac oil)

The results can be summarized as follows :

1. The uniform droplet phenomena have been changed according to the frequency of capillary tube, the jet velocity and physical properties of testing oils.
2. Within the region of uniform droplet, Reynold number was increased as Weber number increases.
3. The lower limit of wave length in which uniform droplet was produced 0.8d which was lower than Rayleigh wave length.
4. The light oil blended with file fish oil which has lower viscosity and surface tension had the widest uniform droplet production region on the frequency and velocity among testing oils. But light oil blended with sardine fish oil were similar with light oil in the uniform production region.

1. 序 論

70년대의 1, 2차 석유파동에 따라 자동차

용 내연기관의 代替燃料로는 메탄올, 에탄올, 천연가스, 식물유 및 수소등이 연구되어 왔다.

그러나 선박용 내연기관의 경우는 乳化油, COM 및 천연가스와 魚油의 사용이 시도되기도 했다. 그중 魚油는 어선의 母船인 工母船에서 가공처리중 생산되므로 工母船 자체에서 수급 가능할 뿐만 아니라 그 가격 및 발열량(8600 kcal/kg)이 C중유와 비슷하므로 代替燃料로서 매우 유용하다고 생각된다. 선박에 사용되는 디젤기관이나 보일러는 가스 연료를 제외하고는 거의 噴霧燃燒이므로 噴霧의 微粒化, 蒸發, 공기와의 混合 및 着火 등에 의해서 燃燒하게 된다. 이러한 복잡한 噴霧燃燒은 單一液滴들의 집합연소이므로 이를 이해하고 해명하기 위해서는 먼저 噴流에 의한 液滴의 生成機構를 이해할 필요가 있다. Rayleigh¹⁾의 自然分裂理論에 의하면 내경이 d 인 모세관에 v 의 속도로 액체를 분출시킬때 모세관 끝단의 液柱의 직경 d_j 가 모세관의 내경 d 와 같을경우 液柱는 공기의 저항에 의해 미소변위가 성장하여 분열되나, 그 변위의 파장 λ 가 $\lambda = \pi d$, 즉 파수 $ka = 1$ ($ka = \pi d/\lambda$)일때 분열이 시작되어 $\lambda = 4.508d$ 일때 분열이 가장 잘 일어나고, $ka > 1$ 은 일때는 안정상태로 분열이 일어나지 않는다고 한다. 그러나 Takeshi²⁾은 液柱에 강제진동을 주는 경우는 $ka > 1$ 인 경우에도 분열이 일어나며 均一液滴의 생성을 조절할 수 있었다고 한다. 그러나 경유에 魚油를 혼합한 魚油混合輕油의 液滴 생성의 기구를 체계적으로 연구한바는 없다. 따라서 魚油混合輕油의 液滴生成機構와 경유의 液滴生成機構를 비교 검토하여 混合魚油의 微粒化 경향을 조사하고자 경유 및 魚油混合輕油의 均一液滴 생성범위에 대해 비교검토할 필요가 있다.

均一液滴의 생성방법에는 平滑流를 발생시키고 있는 모세관에 縱振動을 가하는 縱振動毛細管jet法 遠心力을 이용한 回轉噴孔法³⁾, 및 모세관에 高壓靜電氣를 印可하는 靜電微粒法⁴⁾등이 있으며 그중 縱振動毛細管jet法은 다른방법에 비

해 구조가 간단하고 均整度가 좋다고 한다. 그러므로 본 연구에서는 可聽周波數로 液柱噴出의 모세관을 縱振動시킬때 형성되는 均一液滴의 生成範圍에 대하여 조사하였다.

2. 實驗裝置 및 實驗方法

Fig. 1은 實驗裝置의 系統圖를 나타낸다.

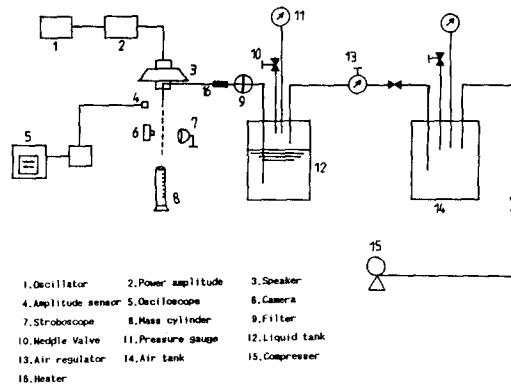


Fig. 1. Schematic of the experimental apparatus.

스피커 중심부에 내경이 $d = 0.0373\text{cm}$ 인 單一噴孔 모세관을 부착하고 발진기 ①에 의해 스피커 ③을 加振시키도록 했다. 실험에 사용된 모세관은 皮下주사침을 先端 길이방향으로 직각되게 기름숫돌로 정밀가공 했다.

加振數와 振幅은 발진기로 조정하고 모세관의 振幅은 진폭센서 ④에 의해 측정 하였으며 실험에 사용한 振幅은 $113\mu\text{m}$ 이다.

液滴의 생성현상은 스트로브-스코프로 관찰하고 그 형상을 ⑥의 카메라로 순간 촬영하였다. 實驗方法은 먼저 가압공기 탱크에서 가압된 공기에 의해 시료탱크내의 시료가 필터 ⑨를 거쳐서 單一噴孔 모세관에 공급하도록 했다.

이때 시료는 히터 ⑫에 의해 온도를 30°C 로 일정히 하였다. 噴出速度는 가압공기에 의해 27.6cm/sec - 62.2cm/sec 로 조절하고 振動

數는 발전기에 의해 160-2100Hz로 조절하였다. 실험에 사용된 試料는 경유에 명태유(Alaska pollac oil), 쥐치유(File fish oil), 정어리유(Sardine fish oil)을 각각 25wt%씩 혼합한 魚油混合輕油 및 순수경유이며 이들의 物性值인 密度의 측정에는 精密比重計를, 粘度의 측정에는 saybolt 粘度計(universal type)를 사용하였으며, 表面張力の 측정에는 Du-Nou의 原理를 이용하여 측정하였다.

3. 結論 및 考察

3.1 魚油의 特性

Fig. 2, 3, 4는 경유, 쥐치유, 명태유 및 정어리유의 온도변화에 따른 密度, 粘度 및 表面張力과의 관계를 나타낸다.

Fig. 2에 의하면 密度는 어느 온도에서나 3종의 魚油 모두가 경유보다 약 $0.1g/cm^3$ 정도 더 큰 값을 나타내며 이는 大型 船用機關의 燃料유로 사용하는 C중유와 비슷한 값이다.

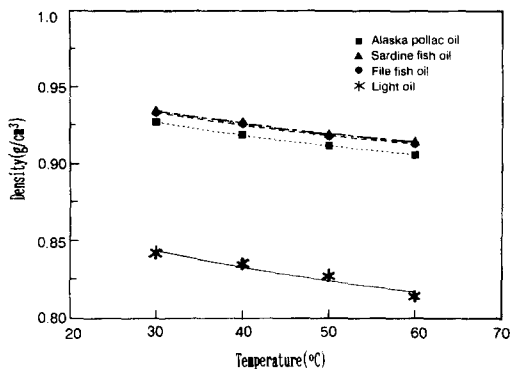


Fig. 2. Density vs. temperature curve of testing oils.

온도 상승에 따른 密度의 減少率도 3종의 魚油 모두 경유와 동일한 경향을 나타낸다. 이는 가열에 따른 體積 膨脹率이 경유와 유사함을 보여주고 있다. Fig. 3은 온도와 粘度와

의 관계를 나타낸 것으로서, 온도상승에 따라 粘度가 선형적으로 감소함을 알 수 있으며, 3종의 魚油는 減少率이 동일하나 그 기울기는 경유에 비해 약간 크게 나타났다.

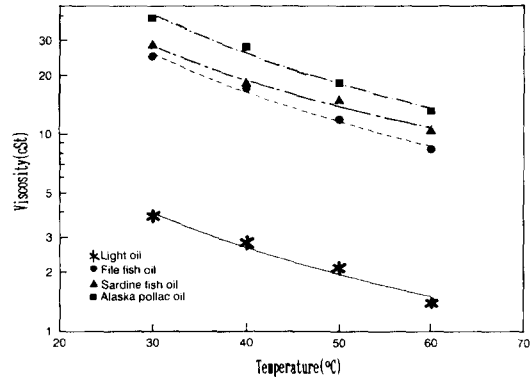


Fig. 3. Viscosity vs. temperature curve of testing oils.

Fig. 4은 온도와 表面張力과의 관계를 나타낸 것으로서 表面張力은 시로 즉 경유와 魚油에 관계없이 온도상승에 따라 유사한 감소 경향을 나타내었다. 그러나 명태유만이 동일온도에서 그 값이 $20 dyne/cm$ 정도 높게 나타나는 것이 특이하다.

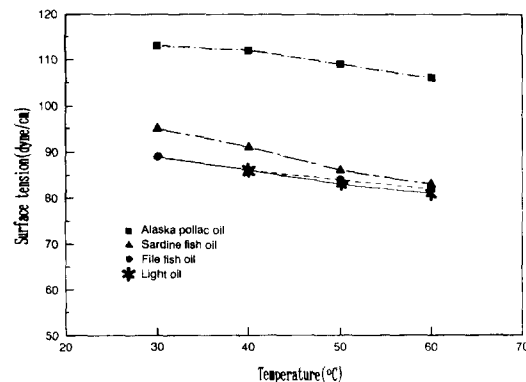


Fig. 4. Surface tension vs. temperature curve of testing oils.

3.2 噴流의 微粒化

액체가 분출하는 모세관에 縱振動을 주는

경우 모세관의 분출되는 液柱의 표면은 變位
가 생기고, 그 液柱의 變位는 余弦波狀으로
증대하여 Rayleigh¹⁾의 自然 分裂理論과는 다
른 현상이 나타난다. Fig. 5은 液柱가 분출하
는 모세관에 강제진동을 시켰을때 일어나는
分裂現象을 촬영한 예이다. Fig. 5의 (a)과
같이 불규칙한 液滴이 생성될시는 液滴으로
分裂되기전 液柱分裂길이 가 길어진다. 이런
현상은 液柱에 공급되는 조건(振動數, 振幅,
噴出速度등)이 均一液滴 生成조건과 부합되
지 못하므로 그 破斷이 불규칙하며 모세관
끝단의 液柱가 긴곳에서 分裂이 일어난다.
그러나 均一液滴이 生成되는 조건에서는
Fig. 5의 (b)와 같이 모세관 끝단의 짧은 液
柱에서 분열이 시작된다. 不均一한 液滴이
생성 될때는 生成 液滴간의 거리가 일정하지
않으나 均一한 液滴이 生成되는 경우는 生成
液滴간의 거리가 일정하여 液滴의 生成개수
와 모세관의 振動數와 동일하여 stroboscope
로 同期 시켜 볼수 있었다.

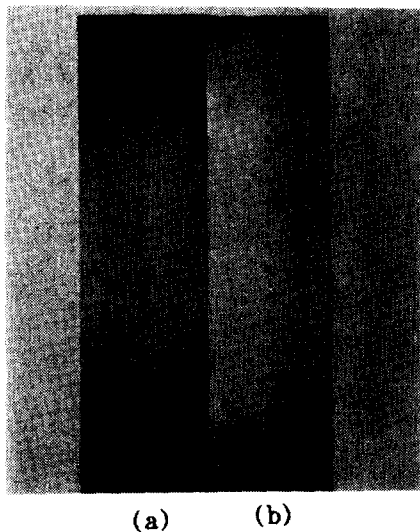


Fig. 5. Example of droplet disintegration phenomena.

Fig. 6은 경유에 25wt% 귀치유를 혼합 했
을때 진폭 113 μm , 振動數를 1000Hz로 일정

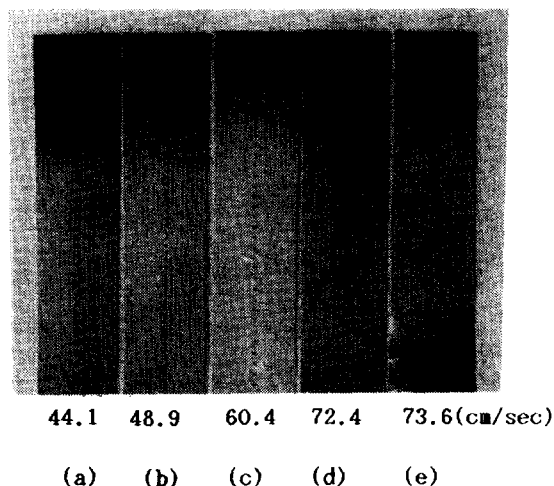


Fig. 6. Effect of liquid velocity on the disintegration phenomena
(25wt% File fish oil, Frequency 1000Hz,
Amplitude 113 μm).

하게 유지하고 噴出速度를 변화 시킬때의 微
粒化現象을 나타낸다. Fig. 에서 噴出速度가
44.1cm/sec로 일정히 유지한 (a)의 경우는
液柱에서 主滴과 餘滴이 생기고, 점차 噴出
速度를 상승시켜 (b)의 상태가되면 분열길이
가 길게되며 均一液滴이 生成되는 下限의 噴
出速度에 도달하게 된다.

噴出速度를 더욱 증가시켜 (e)와 같이 되
면 다시 餘滴과 主滴이 생겨 液滴이 不均一
하게된다. 이와 같이 振幅과 振動數가 일정
한 경우 均一液滴이 生成되는 噴出速度의 下
限(均一液滴의 最小噴出速度)과 噴出速度의
上限(均一液滴의 最大噴出速度)이 존재함을
알수 있었다. Fig. 7은 동시료의 噴出速度가
43.5cm/sec 振幅을 113 μm 으로 일정히 하고
振動數만 변화시킨경우 分裂現象을 나타낸
다. Fig. 에 의하면 200Hz인 低振動數에서는
不均一한 液滴이 생기나 점차 振動數를 증가
시켜 300Hz 이상이면 均一液滴이 生成되어,
1000Hz이면 다시 餘滴에 생겨 액적이 不均一
하게 된다. 따라서 振動數에도 均一液滴이
생성될 수 있는 上限과 下限이 존재 함을 알
수 있었다.

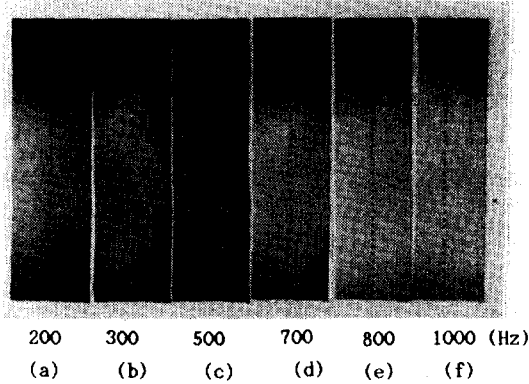


Fig. 7. Effect of frequency on the disintegration phenomena (25wt% File fish oil, Velocity 43.5 cm/sec, Amplitude 113 μm).

3.3 液柱의 分裂波長

Rayleigh¹⁾의 非粘性 유체의 自然分裂理論에 의하면 液柱의 分裂波長은 液柱의 직경 d 가 모세관의 내경 d 와 같을 경우 $\lambda = \pi d$ 일때 分裂이 시작되어 $\lambda = 4.508d$ 일때 分裂이 가장 잘 일어나고, Weber¹⁰⁾은 試料의 粘性을 고려한 경우 液柱의 分裂波長을 연구하였다.

이에반해 모세관에서 분출되는 液柱를 강제진동시켜 均一液滴을 발생 시킨 Schneider-Hendrick⁴⁾의 경우 均一液滴이 생성되는 分裂波長의 범위는 $3.5d < \lambda < 7d$ 이고, 荒木⁵⁾, 町田⁷⁾은 均一液滴 생성영역의 分裂波長 λ 의 하한은 πd 이지만, Takeshi²⁾, 吉田⁶⁾의 실험에서는 $\lambda < \pi d$ 에서도 均一液滴이 발생하는 것을 확인되고 있다. Fig. 8는 본 실험에서 행한 25wt% 魚油混合輕油와 경유의 均一液滴 생성영역에서의 無次元分裂波長 $d\lambda (= \lambda/d)$ 와 噴出速度 v 와의 관계를 나타냈다. Fig. 에서 나타내는 바와같이 均一液滴이 생성되는 波長의 上限은 試料에 따라 차이가 났으나 취치혼합유가 4.9d 정도로 가장 크고, 분류의 噴出速度를 증가시키면 下限은 試料에 관계없이 0.8d에 수렴 되었다. 따라서 본 실험의 경우 均一液滴이 생성되는 下

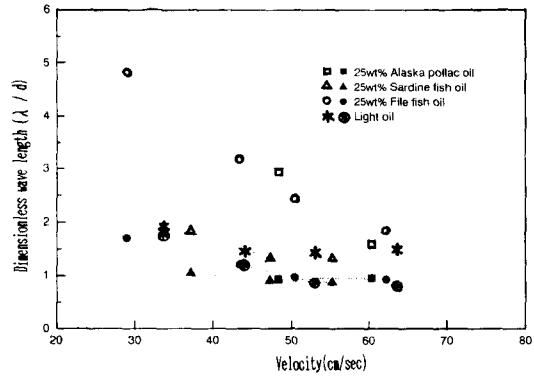


Fig. 8. Dimensionless wave length within uniform droplet region for testing oils.

限의 波長은 Rayleigh의 액주의 分裂波長 보다 적은 $\lambda = 0.8d$ 에서 均一液滴이 발생함을 알 수 있었다.

3.4 物性值에 의한 均一液滴 生成 領域

平滑流에서 모세관을 縱振動시켜 液柱를 微粒化하는데는 密度, 粘度, 表面張力の 영향을 받게 된다. 이러한 영향을 알기위해서 적당한 振動數를 가할때 均一液滴이 생성되는 범위를 試料의 物性值를 포함한 無次元數인 Re 수($\rho v d / \mu$)와 We 수($\rho v^2 d / \sigma$)로 나타내면 Fig. 9와 같다.

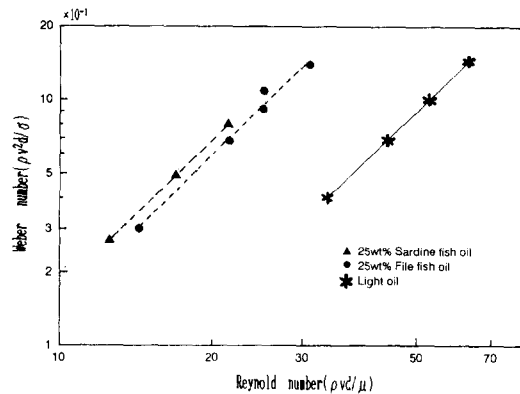


Fig. 9. Comparison of Weber number and Reynold number within uniform droplet region.

이와같이 均一液滴이 생성될 수 있는 범위를 Re 수와 We 수 나타낼수 있으며 Re 수가 크면 We 수도 큰 곳에서 均一液滴이 생성됨을 알수 있었다.

Fig. 9 에서 25wt% 정어리혼합유와 경유의 경우, 25wt%정어리 혼합유의 Re 수 및 We 수의 상한치는 24.99와 1,083이고 하한치는 12,468과 0,269이며 경유의 Re 수 및 We 수의 상한치는 62,902와 1,443이고 하한치는 33,274와 0,403이다. 이와같이 두 試料의 경우, 경유가 정어리혼합유 보다 均一液滴이 생성되는 Re 수 및 We 수가 높은 범위에서 생성되고 그 변화의 폭은 We 수보다 Re 수가 컸다. 이는 정어리혼합유와 경유의 表面張力은 90.4 $dyne/cm$ 및 88.9 $dyne/cm$ 으로 큰차이가 없으나, 粘性의 경우는 8.3 cSt 과 3.8 cSt 로 경유가 정어리혼합유 보다 작다.

이와같이 試料의 粘性이 크면 변형에 대한 저항이 크지기 때문에 좁은 범위에서 均一液滴이 형성된다고 생각된다.

3.5 試料의 均一液滴 生成領域

Fig. 10은 25wt% 명태 혼합유의 均一液滴이 생성되는 영역의 振動數와 噴出速度 및 Rayleigh¹⁰⁾의 均一液滴生成安定限界振動數와 最大不安定振動數와의 관계를 나타낸다. Fig. 10에서 *은 Rayleigh의 균일생성 安定限界振動數을, ○은 最大不安定振動數을 표시한다.

Fig. 10에 나타난 바와같이 본 실험에 의한 均一液滴 생성의 振動數가 Rayleigh에 의한 振動數보다 높아짐을 알수있다. 이는 無加振分裂에 의한 Rayleigh의 경우는 분렬에 필요한 에너지가 粘性, 表面張力, 重力에 의존하나 모세관을 강제 진동시킬 경우는 외부에서 균일한 에너지를 강제적으로 공급하므로 自然分裂時 보다 높은 振動數에서 均一液滴이 생성됨을 알수 있다. 따라서 모세관 강제진

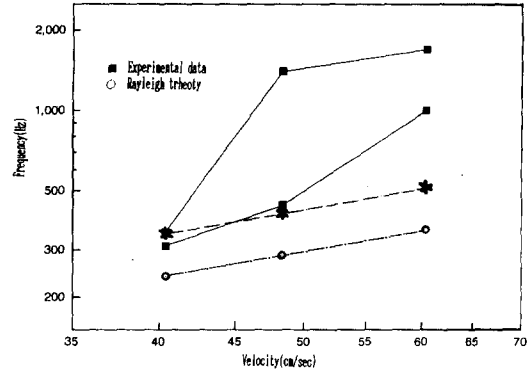


Fig. 10. Raylength frequency and experimental frequency within uniform droplet region (25wt% Alaska pollac oil).

동인 경우 동일 噴出速度에서 均一液滴의 생성범위가 넓고 높은 振動數에서 均一液滴이 생성이 되므로 自然分裂에 의한 液滴 보다 미세한 均一液滴을 생성할 수가 있을 것으로 생각된다. Fig. 11은 경유 및 경유에 25wt% 魚油를 혼합한 魚油混合輕油들의 均一液滴 생성영역을 振動數와 噴出速度와의 관계를 나타냈다. Fig. 11에서 試料에 관계없이 噴出速度가 증가함에 따라 均一液滴 생성의 上限과 下限의 振動數가 증가함을 알수 있다. 또한

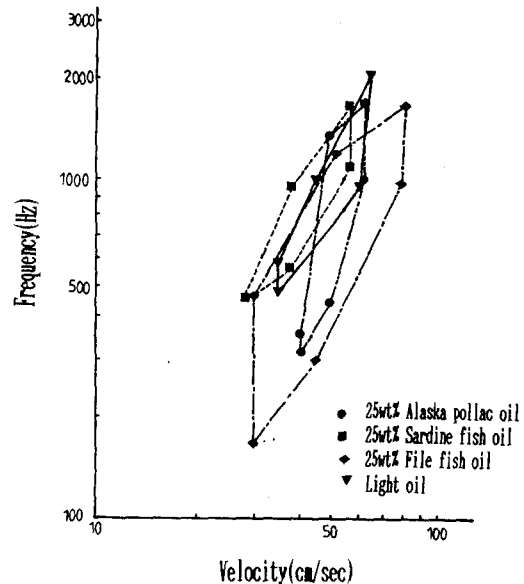


Fig. 11. Uniform droplet region for testing oils.

振動數가 증가함에 따라 均一液滴 생성의 上限과 下限의 噴出速度도 증가함을 알 수 있다. Fig. 11에서 경유와 경유에 魚油를 混合한 魚油混合輕油에 관계없이 거의 비슷하다. 그러나 각시료의 均一液滴 생성영역은 表面張力과 粘性이 작은 쥐치혼합유가 가장 넓은 범위에서 형성되었고, 명태혼합유가 그 중간 범위를 차지하고 있다. 한편 混合魚油중 정어리혼합유가 경유와 均一液滴 형성형태와 범위가 매우 비슷하며 경유는 어느 魚油混合輕油와도 그 형성범위가 겹치고 있으므로 적당한 振動數와 噴出速度에서는 경유와 동일한 均一液滴 형성이 가능함을 일수 있었다.

4. 要 約

경유 및 경유에 25wt%의 魚油를 혼합한 魚油混合輕油의 均一液滴 생성범위에 관한 실험결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 均一液滴 생성현상은 모세관의 振動數, 試料의 噴出速度 및 物性値에 따라 변했다.
2. 均一液滴 생성영역내에서 We 수가 크지면, Re 수도 큰 영역에서 均一液滴이 생성되었다.
3. 均一液滴 생성 영역내에서 均一液滴이 생성되는 分裂波長의 下限은 Rayleigh의 液柱 分裂波長보다 작은 $0.8d$ 였다.
4. 均一液滴 생성영역의 범위는 粘性 및 表面張力이 작은 쥐치혼합유가 가장 넓고, 경유는 정어리혼합유와 비슷했다.

參 考 文 獻

1. Rayleigh F.R.S (1878): On the instability of jets. Proc. of London Math. Soc. 10, 4-13.
2. Takeshi Sakai, Norinasa Hoshino (1980): Production of uniform droplet by longitudinal vibration of audio frequency. Journal of chemical engineering of Japan 13(4), 263-268.
3. N.R.Lindbalad, J.M.Schneider (1965): Uniform of uniform-sized liquid droplets. J. Sci. Instrum., 42, 635-638.
4. J.M.Schneider, C.D.Hendricks (1964): Source of uniform-sized liquid droplets. The review of science instruments. 35(10), 1349-1350.
5. 荒木信辛, 益田明 (1972): 縦振動による 均一微粒化. 1回微粒化 講演論文集 13-16.
6. 吉田照彦, 永井伸樹(1980): 振動均一による粒經液滴群の生成に関する研究. 日本機械學會論文集(B) 46(401), 171-179.
7. 町田安章, 小林秀彦, 松本史限, 高島洋一(1984): ノズル振動法による均一液滴生成條件. 12回微粒化講演論文集, 7-10.
8. 倉林俊雄(1959): 回轉噴孔による液體の微粒化. 日本機械學會論文集(2部) 25(160), 1252-1258.
9. 棚擇泰, 荒木信辛(1971): 靜電氣力の均一微粒化. 日本機械學會論文集(2部) 27(298) 1178-1186.
10. Weber C. (1931): Zum Zerfall eines Flüssigkeitsstrahles. Ztschr. f. angew. Math. und mech. 11(136), 136-154.
1. Rayleigh F.R.S (1878): On the instability