

<論 文>

回轉圓板上의 液膜舉動에 관한 研究(I)

—液膜測定에 대하여—

南 政 洛* · 李 忠 遠**

(1986年 2月 24日 接受)

A Study on Behaviors of Liquid Film on a Disk(I)

—Measuring of Liquid Film—

Jeong Lak Nam and Choong Won Lee

Key Words: Atomization(미립화), Liquid Film(액막), Rotating Disk(회전 원판), Rotary Burner(로터리 버너), Spray(분무)

Abstract

The atomization by a rotating disk is widely used as a tool for spray drying, cooling and combustion. Controlling the drop size is one of the most important techniques for the design of equipment for maintaining good product quality.

It is known that three different types of disintegration may take place around and beyond the edge of a rotating disk.

These were remarkably affected by the thickness on the rotating disk.

Here, the relations between the liquid film thickness on the rotating disk and disintegration phenomena have been studied by measuring the liquid film thickness using the electric resistance method, and also shown are the behaviors of liquid film on the disk and disintegration phenomena occurring beyond the brim of the disk using stroboscope and camera.

1. 緒 論

고속으로 回轉하는 回轉體에 液體를 導入시켜 遠心力에 의해 微粒化하는 方法을 利用한 回轉圓板(rotating disk), 回轉컵(rotating cup) 및 回轉噴孔등의 回轉式

噴霧器는 噴霧乾燥, 燃燒裝置, 蒸發器, 纖維製造 및 化學反應의 促進등 工業上 매우 重要하게 利用되고 있다^(1,2,3). 遠心力에 의한 液體微粒化는 高速回轉하는 圓板이나 컵에 導入된 液體가 回轉體面上에 液膜을 形成하고, 이 液膜은 遠心力에 의해 半徑方向으로 흘러 圓板 및 컵선단에서 自由空間으로 飛散하여 液滴을 形成하게 된다. 이때 回轉體에 導入된 液體의 流量, 粘性, 表面張力 및 圓板 또는 컵의 回轉速度 등에 따라 回轉體面上에 形成되는 液膜의 두께가 變化하며, 이

* 慶北大學校 大學院 機械工學科

** 正會員, 慶北大學校 工科大學 機械工學科

液膜두께의變動에 따라 回轉體를 떠난 液體의 分裂, 즉 分裂機構 및 噴霧特性이 決定된다고 볼 수 있다.

이 分野에 對한 研究로는 生成液滴의 平均粒徑^(1,4) 粒子의 飛行軌跡⁽⁵⁾ 分裂機構^(6,7) 및 回轉體의 形狀에 따른 液滴의 生成機構등에^(1,4,8) 對한 것이 遂行되고 있다. 그러나 위에 列學한 研究의 대부분이 噴霧液滴의 舉動에 관한 것으로 回轉體面上에 形成되는 液膜의 舉動에 관한 研究는 거의 없는 實情이다. 따라서 本研究는 回轉體 表面上에 形成되는 液膜의 두께를 測定하는 技術을 開發하고, 回轉數와 流量變化에 따른 回轉圓板上的 液膜舉動 및 液膜두께의 變動과 分裂機構와의 關係를 究명함을 그 目的으로 한다.

2. 實驗方法

本 實驗裝置의 概要圖는 Fig. 1에 나타낸다. 實驗裝置는 液體供給裝置, 回轉圓板, 液膜두께 測定裝置, 圓板上的 液膜舉動 및 圓板先端으로 부터의 分裂現象을 觀察하기 위한 순간촬영裝置로 나눌 수 있다.

實驗에 使用한 液體는 상수도물이며, 壓력容器에서 加壓되어 流量調節밸브 및 流量測定用 마노미터를 거쳐 直徑 5.5mm의 노즐을 통하여 回轉圓板의 中心에 噴出된다. 圓板은 直流通動機에 依하여 구동되며, 이때의 回轉數는 光센서와 周波數計數器에 依하여 測定하였다.

Fig. 2는 回轉圓板의 詳細圖를 나타낸 것이다. 圓板의 材質는 黃銅이며, 直徑은 100mm이다. 液膜두께測

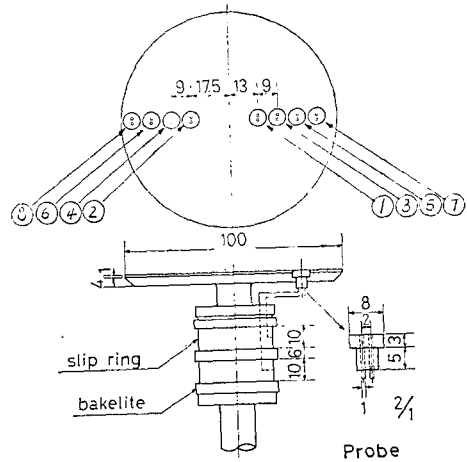


Fig. 2 Details of rotating disk

定用프로우브는 絶緣을 위하여 베이크라이트로 製作된 프로우브 호울더에 直徑 1mm의 구멍 2개를 2mm 간격으로 뚫고, 直徑 1mm의 스테인리스鋼線(SUS 304)을 억지끼워 맞춘 후 接着劑로 固着시켰다(Fig. 2 참조).

이때의 프로우브는 圓板의 中心에서 부터 半徑方向으로 13mm 떨어진 位置에 프로우브 1, 다음은 4.5mm 간격으로 그림에서 보는 바와 같이 交叉로 프로우브 2에서 8까지 모두 8개를 設置하였다.

本 研究에서 고안된 液膜두께의 測定方法은 圓板에 形成되는 液膜두께의 變動을 프로우브電極 사이의 電氣抵抗의 變化로써 測定하는 것이다.

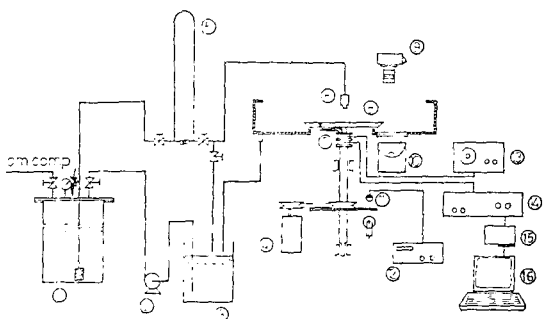
兩電極間의 抵抗은 液膜두께의 變化에 따라 變하므로, 兩電極에 일정한 電壓을 印加하면 液膜두께의 變動에 따라 出力도 變化하게 된다. 이 出力을 測定하면 프로우브위를 흐르는 液膜두께를 알 수 있게 된다.

이 方法은 生成液滴의 影響을 받지 않고, 電極을 接觸하면 흐름의 影響도 줄일 수 있을 뿐만 아니라 微細한 液膜두께의 測定이 可能하다. 또한 液膜의 時間的變動을 알 수 있으며 液體와 自由空間과의 境界面에서의 表面波의 形象도 正確히 파악할 수 있다.

圓板面에 設置한 各 프로우브의 液膜두께에 대한 電壓特性의 檢定方法으로 波型發生器로부터 振幅이 ±6V 周波數가 100KHz인 사인파型의 交流電壓을 스텝프링과 브러시를 통하여 프로우브의 일단에 印加한다.

이때 交流電壓을 使用하는 것은 液體의 電氣分解를 防止하기 위함이다.

프로우브面과 베이크라이트板사이에 정지狀態의 平行液膜을 形成시키고 이 베이크라이트板을 圓板面과 平



- ① Pressure tank ② Circulating pump ③ Water tank ④ DC motor ⑤ Manometer ⑥ Feed nozzle ⑦ Slip ring, brush ⑧ Rotating disk ⑨ Camera ⑩ Stroboscope ⑪ Photo TR ⑫ Counter ⑬ Function generator ⑭ DC amplifier ⑮ A/D converter ⑯ Personal computer

Fig. 1 Schematic diagram of experimental apparatus

行을 維持시키면서 垂直方向으로 移動시킨다.

베이크라이트의 變位는 프로우브面上的 液膜두께의 變化에 해당하므로 이를 다이얼게이지 (0.001mm)로 測定하고, 이때 프로우브로부터의 出力을 디지털 電壓計로 測定하여 각 프로우브의 液膜두께에 대한 出力電壓과의 關係를 나타내는 特性曲線을 求하였다.

Fig. 3은 각 프로우브마다 數回反復하여 求한 特性曲線中 代表的으로 프로우브 7에 대한 液膜두께와 出力電壓과의 關係를 表示한다.

回轉數, 流量 및 프로우브位置의 變化에 대한 液膜두께의 變動은 프로우브電極 사이의 電氣抵抗을 變化시키므로 이는 一定한 印加電壓에 대하여 時間變動成分의 電氣信號가 된다. 이것을 直流增幅器로 增幅시키고 印加 交流信號를 제거한 후 A/D 變換器를 거쳐 마이크로 컴퓨터에 入力시킨다. 本 實驗에서 사용한 直流增幅器는 설계 제작되었으며 增幅器의 特性을 FFT 분석기를 통하여 스펙트럼 分析을 한 결과 3KHz까지 일정한 증폭도를 나타내었다. 이때 入力된 電氣信號는 測定하고자 하는 프로우브의 特性曲線式에 依하여 液膜두께로 換算하고 이를 算術平均하여 平均液膜두께를 算出하였다.

3. 實驗結果

3.1 液膜의 舉動과 分裂現象

Fig. 4는 流量 $Q=40\text{cc/s}$ 인 경우, 圓板의 回轉數變化에 따른 圓板上的 液膜舉動을 스트로보오스코프와 카메라를 使用하여 순간촬영한 사진들이다. 回轉數가 낮은 경우에는 波高가 比較의 높은 液膜流가 形成되고 回轉數가 增加할수록 그 波高가 점차 낮아짐을 볼 수 있다. 이것은 回轉數가 增加하면 圓柱速度가 增加하여

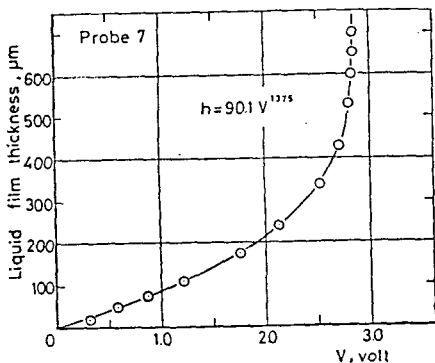


Fig. 3 Characteristics of probe 7

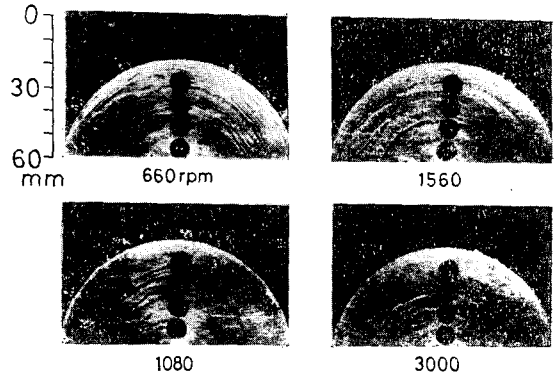


Fig. 4 Behavior of Liquid film on the disk with various rotating speed

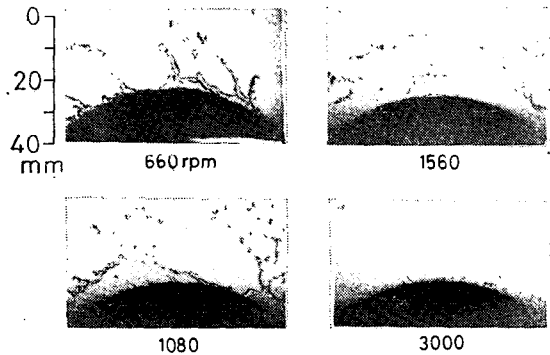


Fig. 5 Phenomena of disintegration of liquid with rotating speed

단위시간당 圓板을 떠나는 流量이 增加하므로, 液膜두께가 얇아지기 때문이다.

또한 圓板先端 가까이에는 液膜流의 表面에 微細한 波를 많이 觀察할 수 있으나 이것은 周圍空氣와의 相對速度가 半徑方向으로 갈수록 增加하기 때문에 亂流成分이 生成된 것이라 生覺된다.

Fig. 5는 위와같은 조건일 때 圓板先단을 떠나는 液體의 分裂現象을 瞬間撮影한 것이다. 回轉數가 낮은 경우에는 比較의 두꺼운 液膜 및 굵은 液柱의 形態로 圓板을 떠나 粒徑이 큰 液滴으로 分裂하며, 回轉數가 增加함에 따라 液膜의 두께가 얇아져 가는것도 觀察할 수 있다.

더욱 回轉數가 增加하면 液膜의 長이가 減少하며, 그 分裂形狀이 마치 섬유상 分裂과 類似한 形態로 分裂되는 模樣을 볼 수 있다. 이것은 回轉數가 매우 높을 때에도 圓板先단을 떠나는 얇은 液膜이 遠心力의 增加로 인하여 周圍空氣와의 相對速度의 增加로 液膜이

激心히 찢어지기 때문이다.

3.2 液膜流의 形象

Fig. 6은 프로우브 6에서 回轉數가 2040 rpm 일때 流量變化에 대한 液膜두께의 時間에 따른 變動을 檢出한 波形이다.

流量이 增加할수록 液膜의 두께가 增加함을 알 수 있으며 또한 生成波形的 振幅은 流量이 增加와 함께 커짐을 알 수 있다. 液膜表面의 교란과 關係가 있는 것 중 重要要因으로써는 周圍空氣와의 相對速度와 液體와 圓板面과의 剪斷力를 들 수 있다. 前者는 初期生成 교란을 增幅시키려는 作用을 하며 後者는 減少시키려는 作用을 한다고 生覺할 수 있다. 따라서 流量이 增加할수록 前者의 影響이 後者보다 커지기 때문이라 生覺된다.

Fig. 7은 回轉數 2040rpm, 流量 30cc/s인 경우 프로우브에 따른 液膜두께의 變動을 檢出した 波形을 表示한다. 즉 中心에서 半徑方向으로의 液膜두께의 變動을 表示한 것이다.

平均液膜의 두께는 中心에서 멀어질수록 減少하였으며, 그 波高는 일단 增加하였다가 減少함을 나타내고 있다.

또한 先端쪽으로 갈수록 波長이 약간 짧아지는 것을 알 수 있다. 이것은 圓板中心에서 先端쪽으로 갈수록 圓周速度가 增加하므로, 이로 因한 亂流成分이 점차 發達되는데 起因하는 것으로 生覺된다.

한편 波高가 減少하는 것은 液膜두께가 先端으로 갈수록 얇아지므로 이로 因해 圓板과 液體사이의 剪斷力의 영향이 液膜表面에 作用하기 때문이다.

Fig. 8은 프로우브 8에서 流量 $Q=10\text{cc/s}$ 일때 回

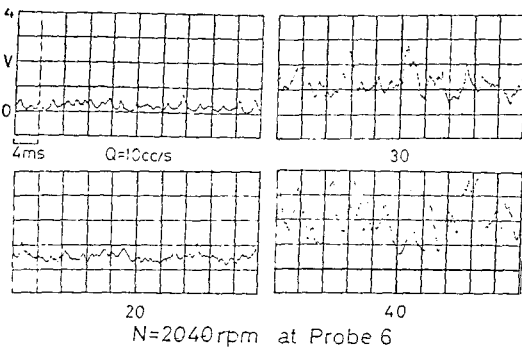


Fig. 6 Variation of liquid film thickness with flow rate at probe 6

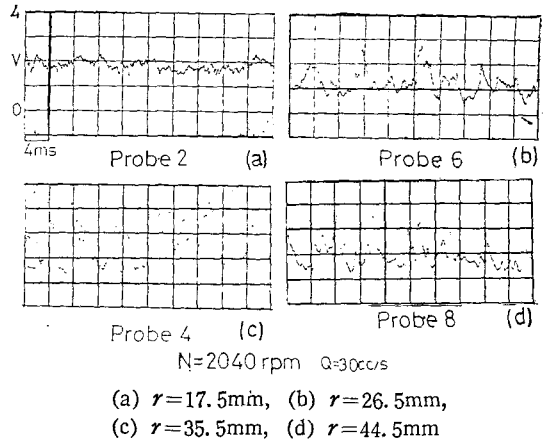


Fig. 7 Variation of liquid film thickness at various radial positions

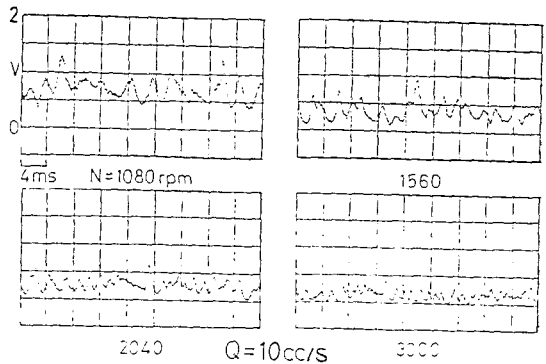


Fig. 8 Variation of liquid film thickness with various disk speed at probe 8

轉數 變化에 대한 液膜두께의 變動을 電壓變化信號로써 液膜두께 測定用 프로우브로부터 檢出した 波形이다.

回轉數가 增加함에 따라 전체적인 液膜두께가 減少하고 液膜流上에 發生하는 表面波의 周波數는 점차 增加하는 경향을 나타내고 있다.

Fig. 9는 Fig. 8과 같은 條件일때 프로우브로부터의 電壓變換信號를 스펙트럼分析器를 利用하여 파워스펙트럼을 分析한 것으로 回轉數가 增加함에 따라 液膜流上에 發生하는 表面波의 卓越周波數가 점차 增加함을 보여주고 있다. 즉 回轉數가 增加할수록 表面波가 高周波數로 옮겨감을 알 수 있다.

3.3 回轉數 및 流量과 液膜두께와의 關係

Fig. 10는 流量 $Q=40\text{cc/s}$ 인 경우 半徑方向의 平均 液膜두께를 回轉數에 대하여 나타낸 것이다. 平均液膜

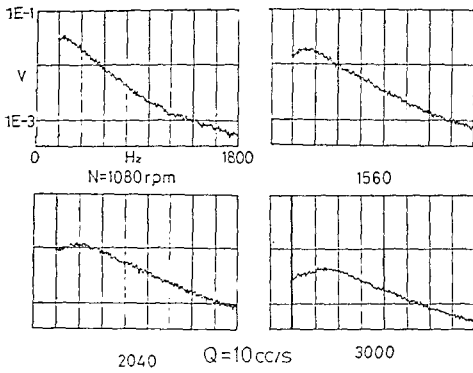


Fig. 9 Frequency variation of liquid film flow with disk speed at probe 8

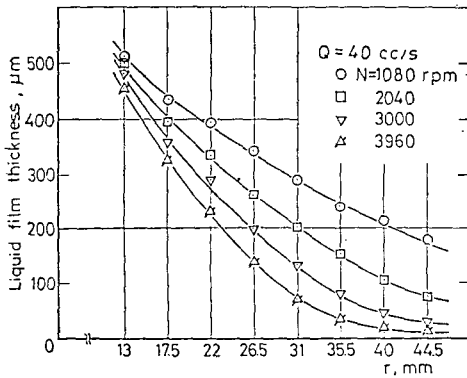


Fig. 10 Relation between disk speed and liquid film thickness at $Q=40\text{cc/s}$

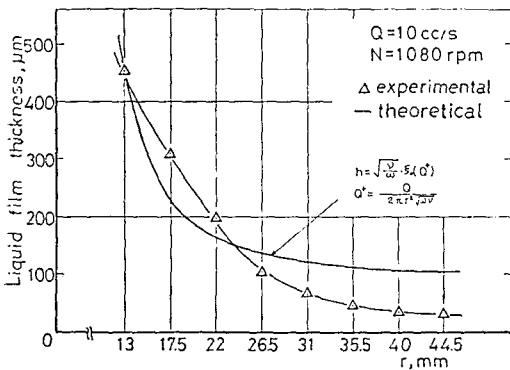


Fig. 11 Comparison between theoretical and experimental results liquid film thickness

두께는 회전수가 증가할수록 감소하며, 회전수가 일정한 경우 중심축에서 반경 방향으로 갈수록 감소하고 있음을 알 수 있다. 또 원판 중심에 가까울수록 회전수의 영향이 감소하는 경향을 나타낸다. 이것은 원판 중심 쪽으로 갈수록 평균액막두께에 미치는 원심력의 영향이 감소하는 반면 노즐로부터 분출되는流速의 영향에 의존하기 때문이다.

Fig. 11은流量 $Q=10\text{cc/s}$, 회전수 $N=1080\text{rpm}$ 일 때 반경 방향의 평균액막두께에 대하여測定한實驗結果와高玉⁽⁹⁾의理論解析에 의한結果를比較한 것이다 전체적인 경향은 비슷하나實驗値와理論値에 있어서는 다소 차이를 나타내고 있다.

이 차이는 회전원판上的液膜흐름을理論解析하기 위하여 원판上的液膜흐름은層流이고 원판은無限直徑을 가지며 따라서 원판先端의影響은 무시하였기 때문이다. 또 원판에의液體導入方法 및導入노즐의寸수를 고려하지 않은 것도 이러한 차이의原因이 된다고生覺할 수 있다. 그러나液膜의舉動에 관한寫眞觀察에서液膜의 흐름은層流가 아니라亂流라는 것을 알 수 있었으며 원판의直徑도有限하므로 원판先端의影響을無視할 수 없기 때문이다.

3.4 分裂機構와液膜두께와의關係

원판의 회전수 및供給流量을 여러가지로變化시키면서 원판先端으로부터의分裂現象을스트로브스코우프로觀察한結果, 원심력에 의한液體微粒化機構는 Fig. 12와 같이滴狀分裂,纖維狀分裂 및膜狀分裂의 세가지의基本的인分裂形態로分類된다는 것을 알 수 있었다.

회전수가 일정한 경우流量이 아주 적을 때는 원판先端 주위에液滴이形成되고 이液滴이 그대로 떨어져 나가는滴狀分裂의形態가 된다.流量이增加하여

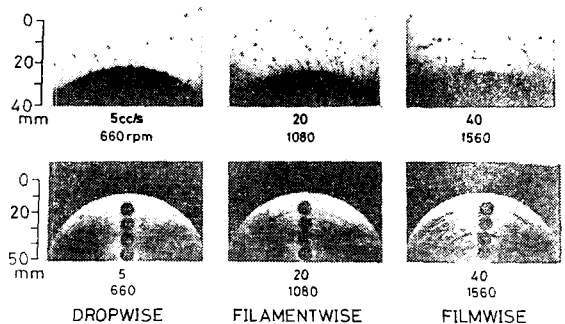


Fig. 12 Break-up mechanism

어떤값 Q_1 에 이르면 液滴의 形成으로부터 液柱를 形成하게 되며 그 끝에서 液滴으로 떨어져 나가는 纖維分裂로 친이한다. 더욱 流量이 增加하여 어떤값 Q_3 에 이르면 圓板先端에 形成된 液柱들은 인접한 液柱와 서로 합체하여 液膜을 形成한후 그 끝부분으로부터 液柱 및 液滴으로 分裂하는 膜狀分裂로 친이한다. 여기서 Q_1 , Q_3 는 滴狀, 纖維狀 및 膜狀分裂의 各 영역을 區分하는 臨界流量을 나타낸다.

Fig. 13는 이러한 세가지의 基本的인 分裂形態를 境界짓는 臨界流量을 測定하여 Tanasawa⁽⁶⁾등과 Matsumoto⁽⁷⁾등의 實驗式과 比較한 것이다. 滴狀分裂에서 纖維狀分裂로 친이할 때의 臨界流量 Q_1 은 잘 일치하고 있다. 또 纖維狀分裂에서 膜狀分裂로 친이할 때의 臨界流量 Q_3 는 서로 비슷한 경향을 보이거나 겹쳐치에 있어서 다소 차이를 나타내고 있다.

이 차이는 圓板의 形狀과 供給液體의 導入方法 및 導入노즐치수의 차이에 起因하는 것으로 判斷된다.

Fig. 14는 圓板上的 液膜두께의 變動과 分裂機構와의 關係를 나타내는 선도이다.

圓板先端으로부터의 分裂形態는 圓板先端에서의 液膜두께 變動과 가장 밀접한 關係가 있다고 生覺되므로 圓板先端에 가장 가까운 프로우브 8의 위치에서 Fig. 14에 表示된 各 臨界流量에 해당되는 液膜두께를 回轉數에 대하여 나타내었다. 곡선 h_1 아래쪽의 液膜두께에 대해서는 圓板先端으로부터의 分裂形態가 滴狀分裂에 해당하며 곡선 h_1 과 h_3 사이의 液膜두께에 대해서는 纖維狀分裂에 해당한다. 또 곡선 h_3 이상의 液膜두께에 대해서는 圓板先端으로부터의 分裂形態가 膜狀分裂에 해당한다. 따라서 프로우브 8의 位置에서 液膜두께의 變動으로써 圓板先端으로부터의 分裂形態를 추정할 수 있다.

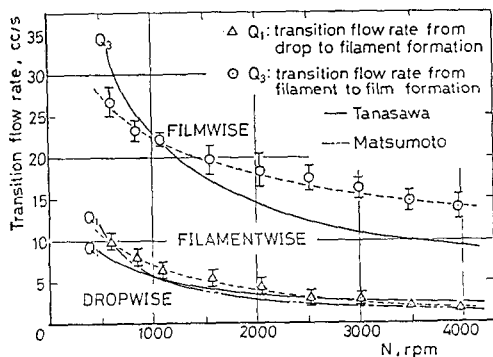


Fig. 13 Relation between transition flow rate and disk speed

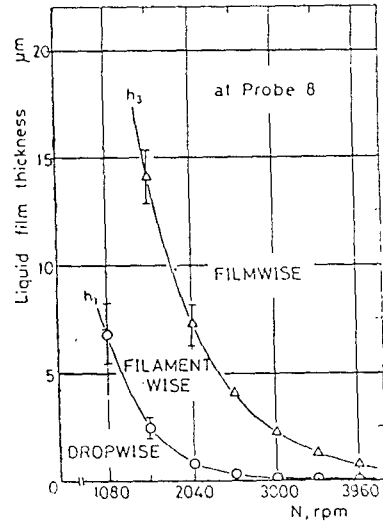


Fig. 14 Relation between liquid film thickness and break-up mechanism

4. 結 論

遠心力에 의한 液體微粒化에 관하여 回轉圓板 表面에 形成되는 液膜두께의 變動과 分裂機構와의 關係를 규명할 目的으로 自작한 回轉圓板과 液膜두께의 變動을 測定하고 圓板上的 液膜舉動과 圓板先端으로부터의 分裂機構를 육안 및 사진촬영으로 觀察하여 다음과 같은 結論을 얻었다.

本 實驗에서 개발된 電氣抵抗法으로 回轉圓板 表面에 形成되는 液膜의 두께 變動 및 生成波의 舉動을 正確하게 測定할 수 있었다.

液膜流上에 發生하는 表面波의 周波數는 圓板의 回轉數가 增加함에 따라 점차 增加하는 경향이 있다.

平均液膜두께는 圓板中心 가까이에서는 遠心力에 의한 영향보다 노즐로부터의 분출속도에 의존하며, 圓板先端 가까이에서는 遠心力에 의존한다.

圓板上的 液膜두께 變動과 分裂機構와의 關係를 파악할 수 있었다.

後 記

本 研究는 한국과학재단의 1983년도 後半期 研究費 지원에 의해 이루어 졌으며, 동재단의 관계제위께 감사드립니다.

參 考 文 獻

- (1) Marshall, W.R., Gluckert, F.A. and Friedman, S.J., Centrifugal Disk Atomization, *Chemical Engineering Progress*, Vol. 48, pp.181~191, 1952
- (2) Hinze, J. and Milborn, H., Atomization of Liquids by means of a Rotating Cup, *Journal of Applied Mechanics*, Vol. 17, pp.145~163, 1950
- (3) Matsumoto, S., Saito, K. and Takashima, Y., The Thickness of a Viscous Liquid Film on a Rotating Disk, *Journal of Chemical Engineering of Japan*, Vol. 6, pp.503~507, 1973
- (4) Marshall, W.R. and Alder, C.R., Performance of Spinning Disk Atomizers, *Chemical Engineering Progress*, Vol. 47, pp.515~522, 601~608, 1951
- (5) Oyama, Y., Eguti, M. and Endow, K., On the Trajectory of Water Droplets, *Kagaku Kogaku*, Vol. 17, pp.296~301, 1953
- (6) Tanasawa, Y., Miyasaka, Y. and Umehara, M., On the Filamentation of Liquid by means of Rotating Discs, *JSME*, Vol. 25, pp.879~904, 1959
- (7) Matsumoto, S., Saito, K. and Takashima, Y., Phenomenal Transition of Liquid Atomization from Disk, *Journal of Chemical Engineering of Japan*, Vol. 7, pp.13~19, 1974
- (8) Tanasawa, Y., Miyasaka, Y. and Umehara, M., Effect of Shape of Rotating Disks and Cups on Liquid Atomization, *ICLAS*, pp.165~172, 1978
- (9) 高玉績, 回轉圓板上の粘い液體の流れ, *機械の研究* Vol. 12, pp.34~38, 1960
- (10) Oyama, Y., Eguti, M. and Endow, K., Studies on the Atomization of Water Droplets, *Kagaku Kogaku*, Vol. 17, pp.268~275, 1953
- (11) Oyama, Y. and Endow, K., On the Centrifugal Disk Atomization, *Kagaku Kogaku*, Vol. 17, pp.256~260, 1953
- (12) Matsumoto, S., Saito, K. and Takashima, Y., Thickness of Liquid Film on the Rotating Disk, *Bulletin of the Tokyo Institute of Technology*, Vol. 116, pp.85~89, 1973