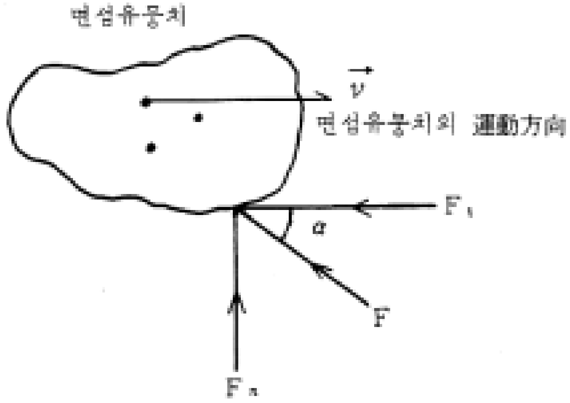
# 정면 조작의 평가

정면은 원면내에 섞여있는 잡물을 제거하는 일이라는 것은 모두가 알고 있다. 일반적으로 면방적에서는 개면과 정면은 연속적으로 또 반복적으로 이루어지며 정면효율은 개면 효율과 비례하여 정면효율은 완성품의 품질과 작업공정의 효율에도 영향을 주고 있다.

정면작업의 특징은 면섬유라 하는 고체의 표면에서 잡물이라는 고체입자를 분리시키는 데에 있다. 일반적으로 한 고체의 표면에 다른 고체입자가 부착되는 이유를 살펴보면 첫째로 정전기대전에 의한 부착과 유체의 의한 점성유착 및 두 개체표면의 조도에 의한 엉킴 등과 같이 두 고체의 표면특성에 연유한다고 믿어진다.

면섬유에 잡물이 부착되는 것도 이와 같은 이유가 단독으로 존재한다든지 또는 복합되어서 이루어 진 것이 틀림없다. 이 중에서 점성유착에 의해서 잡물이 섬유에 부착된 것은 섬유와 잡물사이에 개재되어 있는 유체를 제거함으로서 섬유와 잡물을 분리할 수 있고 또 정전기대전에 의한 부착은 제전을 할 수 있는 조작을 함으로서 가능하다.

면섬유와 잡물의 표면특성에 의해서 부착되어 있는 경우는 섬유뭉치에 외력을 주어서 섬유와 잡물의 질량차를 이용하여 분리한다. 외력을 섬유뭉치에 주는 방법은 면섬유 뭉치에 충격을 줌으로서 이루어질 수 있고 충격에 의해서 한번 분리된 섬유와 잡물은 다시 기류를 이용해서 분리한다. 면섬유 뭉치에 충격을 주는 방법은 비이터(beater)에 의한 타격과 그리드바(grid bar)에 의한 충돌 등으로 이룰 수 있다. <그림 1>은 면섬유 뭉치에 외력을 주었을 때의 힘의 관계를 나타내는 모형도이다.




<그림 1>

이 그림에서 외력 F 는 섬유뭉치가 이동하는 방향과는 각 α되게 작용함을 알 수 있다. F 를 $\vec{v}$ 방향과 또 이와 직각인 힘 $F_t$, $F_n$ 로 분리하면 $F_t = F\cos\alpha$, $F_n = F\sin\alpha$로서 $F_t$ 는 면섬유를 감속하는데 쓰이고 $F_n$ 은 면 섬유뭉치를 $\vec{v}$ 와 직각방향으로 타격하는데 쓰인다. α는 타면각(beating angle)이라고 하며 $F_n$ 와 $F_t$ 의 조합상태에 따라서 타면기의 타격효과가 결정된다.

외력을 섬유뭉치에 주는 방법으로서 기류를 이용할 때는 면 섬유뭉치가 받는 부력과 회전공기에 의한 원심력 등을 들 수 있다. 이들 힘이 섬유뭉치에 작용하는 원리를 검사해보면 다음과 같다.

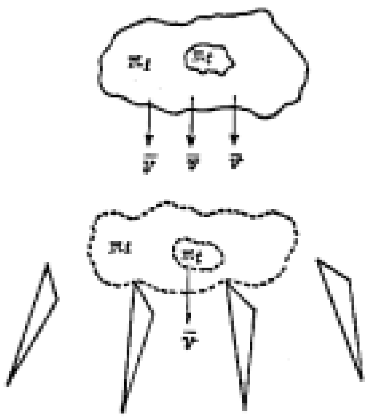
i) 기기적 충격을 섬유뭉치에 주어서 섬유와 잡물을 분리하는 경우

<그림 2>는 면 섬유뭉치가 공기운송되는 도중에 그릿바아에 충돌하는 것을 모형화한 것이다.

지금 면 섬유뭉치속의 섬유만의 겉보기 질량을 $m_l$, 잡물만의 겉보기 질량을 $m_t$ 라고 하고 이들이 각기의 표면특성에 의해서 부착되어 있고 이때의 부착력이 N, 표면특성을 나타내는 무차원의 수를 μ라면

$P > \mu N$ --------------------------------------------------------(1)

을 만족할 때 섬유와 잡물이 분리된다. 여기에서 P 는 섬유와 잡물을 분리시키는 힘을 나타내며 다음과 같이 정의된다.



<그림 2>

<그림 2>에서 면섬유뭉치가 그릿바아(grid bar)에 부딪치는 시간을 t 라면 이 시간동안은 섬유뭉치는 계속해서 힘을 받을 것이다.

이 현상은 식(2)와 같이 표시할 수 있다.

$$m_l \vec{v} = \int_0^t \vec{X}_l \, dt \qquad m_t \vec{v} = \int_0^t \vec{X}_t \, dt \cdots\cdots\cdots (2)$$

식(2)에서 $\vec{X}_{l,}$ $\vec{X}_t$ 는 섬유뭉치가 그릿바아에 충돌할 때 섬유만이 받는 힘과 잡물만이 받는 힘을 각기 나타낸다.

지금 섬유뭉치는 그릿바아에 충돌하기까지는 외력이 없으므로 $\vec{X}_t = 0$ 이지만 이 값은 점차 커져서 $\vec{X}_{t \bullet max}$ 가 되었다가 충돌이 끝나면 다시 $\vec{X}_t = 0$ 으로 된다. 그러므로 이때 충돌현상을 Δt 시간 내에 크기 $1/2\vec{X}_{t \bullet max}$ 의 힘이 섬유뭉치에 주어진다고 생각해서 식(2)를 고쳐 쓰면

$$\int_0^t \vec{X}_l\, dt = \frac{1}{2}\vec{X}_{l\cdot max}\, \Delta t = m_l\, \vec{v}$$

$$\int_0^t \vec{X}_t\, dt = \frac{1}{2}\vec{X}_{t\cdot max}\, \Delta t = mt\, \vec{v} \qquad \cdots\cdots\cdots\cdots (3)$$

이것들로서 $\vec{X}_{t\bullet max}$ $\vec{X}_{l\bullet max}$를 구하면

$$\vec{X}_{t\cdot max} = 2m_l \frac{\vec{v}}{\Delta t}, \quad \vec{X} t\cdot max = 2mt \frac{\vec{v}}{\Delta t} \quad \cdots\cdots\cdots (4)$$

그런데 섬유와 잡물이 분리되는데 쓰이는 힘은 $\vec{X}_{t\bullet max}$ $\vec{X}_{l\bullet max}$ 의 차와 같다고 할 수 있으므로

$$P = \vec{X}_{t\cdot max} - \vec{X}_{l\cdot max} = \frac{2\vec{v}}{\Delta t}(m_t - m_l) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (5)$$

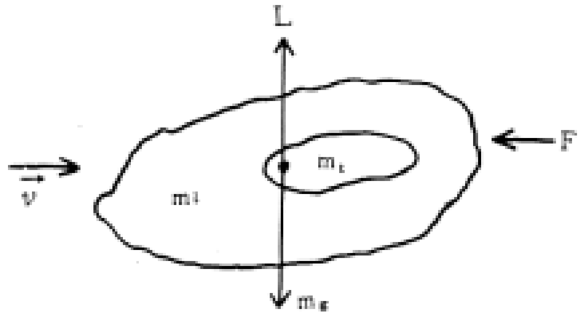
와 같이 P 값을 정의할 수 있다. (5)식을 보면 $m_t$ 와 $m_l$ 의 차가 적으면 적을수록 P 값은 적어지지만 식(1)의 N 값은 일정하므로 결국 섬유와 잡물의 차가 적은 것은 기계적 충격에 의해서 제거하기가 힘들다는 것을 알 수 있고 질량차이가 큰 것은 쉽게 제거됨을 알 수 있다.

ⅱ) 면 섬유뭉치를 공기운송하는 도중에 섬유와 잡물이 받는 부력차를 이용해서 섬유와 잡물을 분리하는 경우

식(5)에 의하면 섬유와 잡물이 받는 외력의 차가 나타나면 양자가 분리된다는 것을 알았다. 이 경우에 식(5)의 P 값을 외력이 아닌 부력으로 정의하면 식(1)이 그대로 이용이 된다.

<그림 3>은 면 섬유뭉치가 공기운송 되는 모형을 보인 것이다.

<그림 3>에서 L 은 섬유뭉치가 받는 부력이고 F 는 공기의 저항이다. 이와 같은 운동모형에서는 L=mg 이면 섬유뭉치는 수평운동을 하고 L>mg 이면 상승운동을 하며 L<mg 이면 낙하운동을 한다.




<그림 3>

면섬유뭉치 내에서 잡물은 각기 독립해서 존재해 있고 다만 이들은 서로 부착만 되어 있다고 판정하고 이 때문에 섬유와 잡물은 섬유뭉치의 운동방향과 직각된 면에 독립해서 투영될 수 있다고 가정을 한다.

일반적으로 어느 물체가 평형기류 내에 있을 때 이것이 받는 부력은 $L=c\rho AV^2/2$ 로 나타낼 수 있으므로 <그림 3>과 같은 경우에도 섬유와 잡물이 받는 부력을 각기 $L_l$ $L_t$ 라고 할 때

$$L_l = C_l \rho A_l \vec{v}_2 / 2 \qquad L^t = C_t A_t \rho \vec{v}^2 / 6 \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot (6)$$

여기에서 $C_l$ $C_t$ 는 각기 섬유와 잡물의 부력계수이고 $A_l$ , $A_t$ 는 각기섬유와 잡물의 투영면적이며 ρ는 공기의 밀도이다. 그런데 이 경우에 섬유는 상승운동을 하고 잡물은 하강운동을 하면 부력차에 의해서 분리된 섬유는 정섬이 되는 것이므로 정섬의 조건은

$$\begin{matrix} L_l - m_l g \rangle 0 \\ L_t - m_t g \langle 0 \end{matrix} \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot (7)$$

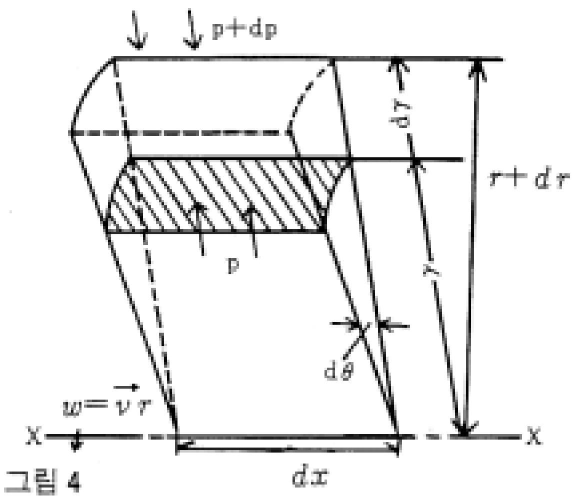
이때 부력차에 의해서 섬유와 잡물을 분리하는 힘 P 는

$$P = Lt - Ll = \frac{\rho \vec{v}^2}{2}((C_t A_t - C_l A_l) \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot (8)$$

그리하여 부력에 의해서 정섬을 하는 경우는 먼저 식(7), (8)을 만족하는 $L_l$ $L_t$ 값과 P 값이 식(1)을 만족하면 정섬 조작이 된다.

iii) 섬유뭉치가 이동되는 도중에 받는 원심력차를 이용하는 경우

<그림 4>는 섬유뭉치가 받는 원심력을 설명하는 모형도이다.




<그림 4>

<그림 4>에서 보인 바와 같이 x-x 축을 중심으로 해서 각속도 ω로 회전하는 공기를 생각한다. 이 경우에 공기의 밀도를 $\rho_a$ 압력을 P 라고 하면 미소부분의 부피 V=γdθ · dγ 에 작용하는 원심력과 압력에 의한 힘과의 관계를 보면

$$(\gamma + d\gamma)d\theta dx(P + dP) = \gamma d\theta dxP + \gamma d\theta dxd\gamma\rho_a\gamma\omega^2 / g_c \cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot (9)$$

(9)식에서 $g_c$ 는 좌변과 우변 제 1 항의 단위와 좌변 제 2 항의 단위를 맞추기 위한 환산계수이다. 위식을 전개하고 $d\gamma/\gamma = 0$ 되게 하면

$$\rho_a\omega^2\gamma d\gamma = dP \cdot g_c \cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot (10)$$

와 같이 근사화 시킬 수 있다. 그런데 <그림 4>에서 미소체적을 밀도가 $\rho_s$ 인 고체로 대체했을 때 이 고체에 작용하는 원심력을 구하면

$$F_c = \gamma d\theta d\gamma d\alpha\rho_s\gamma\omega^2 / g_c - \gamma d\theta d\alpha dP \cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot (11)$$

(9)식에 의해서

$$dP = \rho_a \omega^2 \gamma d\gamma / g_c$$

임을 알고 있으므로 식(11)을 고쳐쓰면

$$F_c g_c = V(\rho_s - \rho_a)\gamma\omega^2 \cdots\cdots\cdots (12)$$

이와 같은 이유에 의해서 섬유뭉치내의 섬유만의 겉보기 밀도를 $\rho_{l,}$ 겉보기 부피를 $V_l$ 또 잡물만의 겉보기 밀도를 $\rho_{t,}$ 겉보기 부피를 $V_t$ 라면 섬유와 잡물이 받는 원심력은 각기

$$\begin{aligned} F_{cl} &= V_l(\rho_l - \rho_a)\gamma\omega^2 \\ F_{ct} &= V_t(\rho_t - \rho_a)\gamma\omega^2 \end{aligned} \cdots\cdots\cdots (13)$$

그리하여 원심력에 의하여 섬유와 잡물을 떼어 놓을 수 있는 힘 P 는

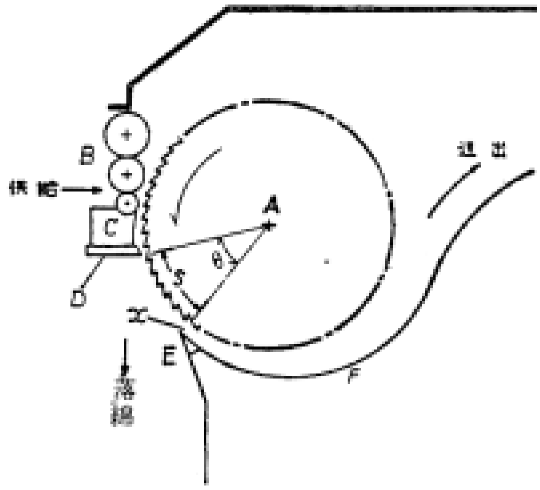
$$P = F_{ct} - F_{cl} \cdots\cdots\cdots (14)$$

iv) 정면의 단위조작과 부면효율

앞에서는 정면조작의 원리를 섬유뭉치에 작용하는 힘을 기준으로 해서 각기 독립적으로 풀이했다. 그러나 단위의 정면조작은 위와 같은 원리가 독립적으로 이루어지는 것이 아니고 이들이 복합되고 반복되어서 이루어진다는 이들이 반복되고 복합되어서 이루어지는 일반 예를 들어서 정섬의 효율을 풀이하기로 한다. <그림 5>는 정면조작을 하는 단위기기의 예이다. A 는 비이터이며 표면에 테이커 인 형의 가아넷와이어가 씌어져 있고 B.C.D 는 공급부이며 B 는 피이드 롤러(feed roller), C 는 피이드 블록(feed block), D 는 립(lip)이나 비이터의 지름은 $15\frac{1}{2}$ in, 회전수는 1600rpm 이다. 립 D 의 끝과 비이터 표면의 톱날 끝간의 게이지는 1/100in 로 조절하고 E 는 세퍼레이션에지(seperation edge)이다.

이와 같은 단위기기의 예는 소면기의 테이커인 부분이나 피커의 비이터

부분 또는 OE 정방기의 코밍 롤러부분을 들 수 있다 섬유뭉치는 D~F 사이를 이동하는 도중에 타격과 충돌 및 원심력과 부력을 받음으로서 정섬이 된다. 이때 린트와 잡물이 분리되는 힘은 D~E 간의 거리 및 비이터 표면의 톱니끝과 E 사이의 간격 등에 의해서 달라진다. D~E 간의 거리 s 를 프리스페이스 (free space) 라고 하고 비이터 표면의 톱니끝과 세퍼레이션 에즈 E 사이의 틈 x 를 게이지라고 한다. 정섬효과는 s 와 x 에 의해서 변화하는 것은 당연하다.




<그림 5>

일반적으로 정섬효과를 나타낼 수 있는 기본량은 공급되는 솜 뭉치 속에 섞여있는 잡물의 양, 송출되는 때에 들어있는 잡물의 양, 낙면내에 섞여있는 린트의 양 및 잡물의 양을 사용한다.

지금 이들의 기본량을 다음과 같이 나타낸다.

$T_f$ : 공급된 섬유뭉치속에 섞여있는 잡물의 양(총공급 양에 대한 잡물의 백분율)

$T_d$ : 송출된 섬유뭉치에 들어있는 잡물의 양

$T_r$ : 낙면속에 있는 잡물의 양 $T_r = T_f - T_d$

$L_f$ : 공급된 섬유뭉치 속의 린트만의 백분율

$L_d$ : 송출된 섬유뭉치 속의 린트만의 백분율

$L_r$ : 공급된 린트 량에 대한 낙면내의 린트의 비율 $L_r = \dfrac{L_f - L_d}{L_f}$

<표 1>

a) Texas 면의 예

| Expt No. | $s$ (in.) | $x$ (in.) | $L_r$ (%) | $T_f$ (%) | $T_d$ (%) | $T_r$ (%) | $T_r/T_f$ | $\text{Log}_{10}(T_r/T_d)$ | $\text{Log}_{10}L_r$ | $z$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 5·19 | 0·031 | 20·0 | 5·87 | 0·56 | 5·31 | 0·905 | 0·98 | 1·30 | 0·033 |
| 2 | 5·31 | 0·125 | 8·08 | 5·87 | 0·73 | 5·14 | 0·875 | 0·85 | 0·91 | 0·064 |
| 3 | 3·69 | 0·125 | 3·14 | 5·87 | 1·16 | 4·71 | 0·803 | 0·61 | 0·50 | 0·145 |
| 4 | 3·83 | 0·250 | 1·42 | 5·87 | 1·62 | 4·25 | 0·707 | 0·42 | 0·15 | 0·218 |
| 5 | 3·44 | 0·031 | 6·69 | 5·87 | 0·86 | 5·01 | 0·853 | 0·77 | 0·82 | 0·090 |
| 6 | 4·31 | 0·031 | 13·90 | 5·87 | 0·59 | 5·28 | 0·900 | 0·95 | 1·14 | 0·049 |
| 7 | 4·50 | 0·125 | 7·16 | 5·87 | 0·72 | 5·15 | 0·877 | 0·85 | 0·85 | 0·089 |
| 8 | 4·63 | 0·188 | 5·22 | 5·87 | 0·94 | 4·93 | 0·840 | 0·72 | 0·72 | 0·112 |
| 9 | 5·38 | 0·188 | 6·45 | 5·87 | 0·76 | 5·11 | 0·870 | 0·83 | 0·81 | 0·084 |
| 10 | 4·31 | 0·500 | 0·26 | 5·49 | 2·61 | 2·88 | 0·525 | 0·04 | $\bar{1}$·42 | 0·295 |
| 11 | 5·00 | 0·938 | 0·053 | 5·49 | 3·63 | 1·86 | 0·339 | $\bar{1}$·71 | $\bar{2}$·72 | 0·385 |
| 12 | 6·50 | 1·000 | 0·865 | 5·49 | 2·07 | 3·42 | 0·623 | 0·22 | $\bar{1}$·94 | 0·259 |

b) Punjab American 면의 예

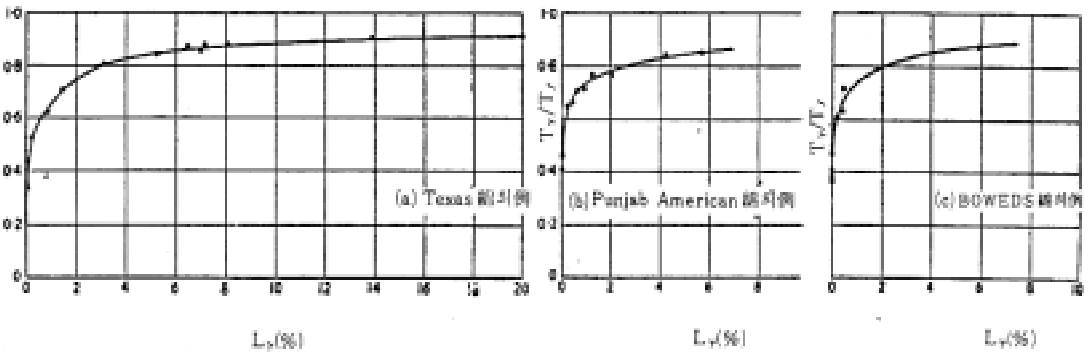
| Expt No. | $s$ (in.) | $x$ (in.) | $L_r$ (%) | $T_f$ (%) | $T_d$ (%) | $T_r$ (%) | $T_r/T_f$ | $\text{Log}_{10}(T_r/T_d)$ | $\text{Log}_{10}L_r$ | $z$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 13 | 3·69 | 0·125 | 1·22 | 2·19 | 0·51 | 1·68 | 0·767 | 0·52 | 0·09 | 0·145 |
| 14 | 5·39 | 0·125 | 5·70 | 2·19 | 0·335 | 1·855 | 0·847 | 0·74 | 0·76 | 0·063 |
| 15 | 6·19 | 0·250 | 4·23 | 2·19 | 0·35 | 1·84 | 0·840 | 0·72 | 0·63 | 0·082 |
| 16 | 6·44 | 0·500 | 2·06 | 2·19 | 0·51 | 1·68 | 0·767 | 0·52 | 0·31 | 0·139 |
| 17 | 6·50 | 1·000 | 0·606 | 2·19 | 0·64 | 1·55 | 0·707 | 0·38 | $\bar{1}$·78 | 0·259 |
| 18 | 7·00 | 1·000 | 0·930 | 2·19 | 0·62 | 1·57 | 0·716 | 0·40 | $\bar{1}$·97 | 0·231 |
| 19 | 4·06 | 0·375 | 0·447 | 2·78 | 0·93 | 1·85 | 0·665 | 0·30 | $\bar{1}$·65 | 0·263 |
| 20 | 4·31 | 0·500 | 0·263 | 2·78 | 0·975 | 1·805 | 0·650 | 0·27 | $\bar{1}$·42 | 0·295 |
| 21 | 4·75 | 0·750 | 0·0582 | 2·78 | 1·495 | 1·285 | 0·463 | $\bar{1}$·93 | $\bar{2}$·76 | 0·346 |
| 22 | 5·13 | 1·000 | 0·0136 | 2·78 | 1·65 | 1·13 | 0·407 | $\bar{1}$·84 | $\bar{2}$·13 | 0·389 |

c) Boweds 면의 예

| Expt No. | $s$ (in.) | $x$ (in.) | $L_r$ (%) | $T_f$ (%) | $T_d$ (%) | $T_r$ (%) | $T_r/T_f$ | $\text{Log}_{10}(T_r/T_d)$ | $\text{Log}_{10}L_r$ | $z$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 23 | 3·69 | 0·125 | 1·86 | 1·59 | 0·33 | 1·26 | 0·793 | 0·58 | 0·27 | 0·146 |
| 24 | 3·88 | 0·250 | 0·46 | 1·59 | 0·45 | 1·14 | 0·717 | 0·40 | $\bar{1}$·66 | 0·212 |
| 25 | 4·38 | 0·031 | 5·91 | 1·59 | 0·195 | 1·395 | 0·877 | 0·85 | 0·77 | 0·047 |
| 26 | 6·50 | 1·000 | 0·431 | 1·62 | 0·595 | 1·025 | 0·633 | 0·24 | $\bar{1}$·64 | 0·260 |
| 27 | 5·13 | 1·000 | 0·00815 | 1·62 | 1·00 | 0·62 | 0·383 | $\bar{1}$·79 | $\bar{3}$·91 | 0·390 |
| 28 | 5·13 | 1·000 | 0·0114 | 1·57 | 1·00 | 0·57 | 0·363 | $\bar{1}$·76 | $\bar{2}$·06 | 0·390 |
| 29 | 4·75 | 0·750 | 0·0281 | 1·57 | 0·935 | 0·635 | 0·401 | $\bar{1}$·83 | $\bar{2}$·45 | 0·346 |
| 30 | 4·56 | 0·625 | 0·0525 | 1·57 | 0·835 | 0·735 | 0·465 | $\bar{1}$·94 | $\bar{2}$·72 | 0·318 |
| 31 | 4·31 | 0·500 | 0·112 | 1·57 | 0·67 | 0·90 | 0·574 | 0·13 | $\bar{1}$·05 | 0·294 |
| 32 | 4·06 | 0·375 | 0·221 | 1·57 | 0·61 | 0·96 | 0·611 | 0·20 | $\bar{1}$·34 | 0·264 |

<표 1>은 <그림 5>의 기기에서 s 값과 x 값을 바꾸어 가면서 세가지 원면을 가지고 실험한 결과를 나타냈다. 이 표에서 보인 z 값은 $z=(x+x_1)/(s+s_1)$으로 계산한 값이며 $s_1$, $x_1$ 은 기기의 특성에 의해서 정해지는 상수이다. <그림 6>은 <표 1>을 도시화한 것이다.

<표 1>과 <그림 6>을 보면 이들 세가지 원면의 예에서는 s 값과 x 값에 관계없이 s=5in 이내에서는 $T_r/\ T_f$ 값이 모두 같은 경향을 갖고 있음을 알 수 있다. 또한 s=5in 보다 크면 정면효율이 저하함도 알 수 있다.




<그림 6>

또 <표 1>을 가지고 $\log(T_r\ /\ T_d\ )$값을 $\log L_r$에 의해서 도시화화면 <그림 7>과 같은 직선관계를 알 수 있다.

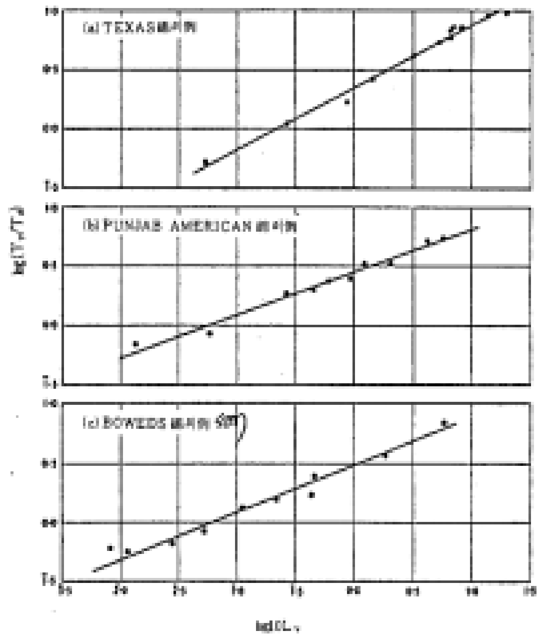
<그림 7>의 관계는 <그림 5>에 표시한 낙면내에 섞여 있는 린트량이 틀리는 경우에 각 경우의 정면효과를 비교할 수 있게 한다. <그림 7>의 관계를

$$T\gamma / Td = KL_{\gamma}^{n} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (15)$$

와 같이 직선방적식으로 나타낼 수 있고 k 값과 n 값은 원면의 종류에 따라서 정해지는 상수로서 이 예에서는 <표 2>와 같다.

<표 2>

| 원면의 종류 | K | N |
|---|---|---|
| 텍사스면 | 2.22 | 0.522 |
| 푼잡아메리칸면 | 2.82 | 0.367 |
| 보우즈 면 | 3.13 | 0.400 |




<그림 7>

식(15)를 정면 제 1 법칙이라고 한다. 이는 실용적면에서 다음의 뜻을 가지고 있다.

첫째로 s 값이나 x 값을 생각치 않고서도 원면에서 k 값이나 n 값만 정해지면 린트손실을 일정하게 할 수 있는 정면효율을 예측할 수 있게 하고, 둘째로 원면의 종류가 정해져서 k 값과 n 값만 알면 s 값과 x 값을 바꾸었기 때문에 린트손실이 달라졌을 때의 정면효율을 서로 비교할 수 있다.

린트의 손실량이 달라졌을 때 손실효율을 상호비교 하는 것은 원면의 종류가 정해져서 k 값과 n 값이 알려졌을 때 다음과 같이 하면 된다.

먼저 표준기구($x_1$, $s_1$)의 조건 하에서 $\log(T_r / T_d)$~$\log L_r$의 관계를 실험적으

로 정해 놓는다. 이어서 기구조건을 (x, s)로 바꾼 후의 $\log(T_r / T_d)$~$\log L_r$를 구하고 두 효과의 차를 구해서 이 값의 100 배를 계산하고 이것을 클리이닝 디퍼렌셜(Cleaning Differential)이라고 정의한다. 클리이닝 디퍼렌셜값은 $(x_1, s_1)$ 조건하에서의 직선이 (x, s)조건 하에서의 직선보다 밑에 있을 때를 (+)로 한다.

일반적으로 위의 두 직선은 서로 나란하게 되는 것이 상례이며 이는 클리이닝 디퍼렌셜이 린트손실과는 무관하다는 것을 뜻한다. (s, x)에 따른 린트손실은 다음과 같다.

<표 1>의 결과를 검토해 보면 S 값을 일정하게 유지하더라도 x 값이 증가하면 $L_r$와 $T_r / T_d$값은 오히려 증가함을 알 수 있다. 그렇기 때문에 s 값과 x 값이 동시에 증가하는 거동은 $L_r$와 $T_r / T_d$값을 일정하게 할 수 있는 상한이 있음을 예측하게 한다.

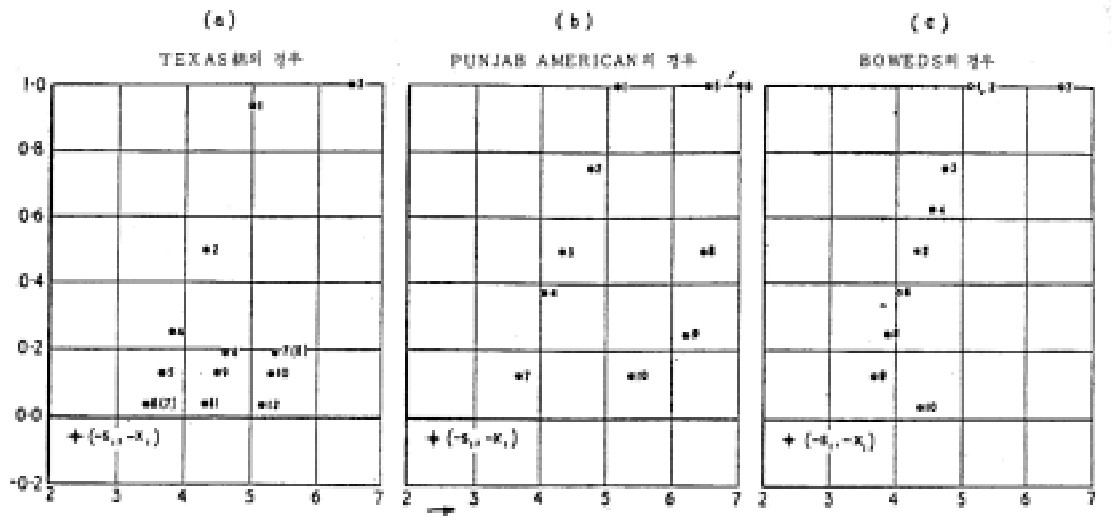
지금 <그림 5>와 같은 기구의 예에서 $z=(x+x_1)/(s+s_1)$임을 생각할 때 위와 같은 설명은 식(16)으로 나타낼 수 있다.

$$
\begin{aligned}
&F(x,s) = z \\
&L_\gamma = f_1(z) \qquad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (16) \\
&T_\gamma / T_d = f_2(z)
\end{aligned}
$$

위의 식에서 함수 f1, f2 와 상수 $x_1$, $s_1$ 은 다음과 같은 도식적인 방법으로 구할 수 있다.

$s' = (s + s_1)$, $x' = (x + s_1)$ 을 두 직교축을 취하고 $z = x'/s'$ 를 정의한다. 그런데 세퍼레이션에즈 E 의 위치를 $s'$에 대한 $x'$의 그래프상의 점으로 나타내면 각 점에서의 z 값은 $s'$-$x'$ 축의 극점 $(x_1, s_1)$과 그 점을 연결하는 직선(이 직선을 반경벡터라고 하자)의 기울기가 될 것이다. 지금 Z 값이 증가함에 따라서 $L_r$와 $T_r / T_d$ 값이 서서히 증가 또는 감소하면 이때의 반경벡터는 극점$(s_1, x_1)$을

중심으로 해서 회전하게 되고 동시에 각 점을 지나게 될 것이다. 그렇기 때문에 $s_1$ 과 $x_1$ 을 결정하려면 직각좌표 상에 <표 1>의 (s, x)값을 대입하면 된다. 그리하여 <표 1>에서 원면의 종류가 정해져 있을 때 (s, x)값에 대응하는 $L_r$ 값을 찾아서 값이 작은 것부터 순서대로 1,2,3‥의 번호를 정한다. 이런 후에 번호순서에 따라서 (s, x)를 대입하고 반경벡터가 앞에서 정해진 순서에 따라서 각 점을 지나갈 수 있게 회전하도록 하면 이때의 극이 $(-s_1, -x_1)$점으로 된다. <그림 8>은 이 결과를 보인 것이다. (s, x)값에 대응하는 $T_r$ / $T_d$ 값의 크기의 순서도 $L_r$ 값의 경우와 같지만 $L_r$ 값이 근접된 경우에는 순서가 같지않다. 이런 것은 <그림 8>의 (a)에서 크기의 순서를 괄호내에 적어놓았다.




<그림 8>

<그림 8>의 (a)의 경우는 Texas 면의 예인데 7, 8, 9 점에 대한 $L_r$값과 $T_r$ / $T_d$ 값은 상호차이가 극히 적다. 그리하여 이들 점은 s 값과 x 값의 변화에 대해서 $L_r$ 값이나 $T_r$ / $T_d$ 값이 일정하게 되는 점이라고 할 수 있다. 그리하여 $(s_1, x_1)$점을 정할 때는 점 6 과 10 사이에 있는 것들만 가지고 이들 점을 순서대

로 지나는 반경벡터가 극점을 중심으로 회전하도록 하면 극을 구할 수 있다. <그림 8>의 (a)에서 $(-s_1, -x_1)$점은 위와같이 해서 정해진 점이고 ($s_1$=+2.4in, $x_1$=0.06in)이므로 $s_1$=–2.4in, $x_1$=0.06 가 된다. 그리하여 z=(x+0.06)/(s-2.4)가 된다.

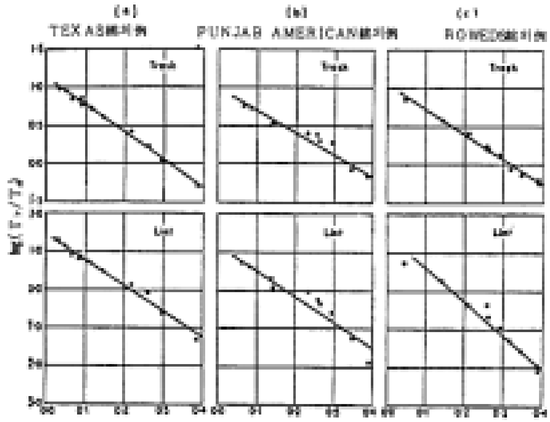
<그림 8>의 (b)와 (c)는 $L_r$값와 $T_r$ / $T_d$ 값이 (a)의 경우처럼 각 점들간에 집약된 것들이 없다. 그렇지만 극(+2.4, -0.06)을 기점으로 하고 $L_r$값과 $T_r$ / $T_d$ 값의 크기순서에 따라서 정해진 번호순서에 따라서 정해진 점을 종점으로 하는 벡터는 극점을 중심으로 해서 회전하는 것을 알 수 있다.

이상과 같이 정해진 z 값을 가지고

$$L_\gamma = f_1(z)$$
$$T_\gamma / T_d = f_1(z)$$

를 다음과 같이 결정할 수가 있다.

<표 1>의 데이터를 가지고 z=(x+0.06)/(s-2.4)에 대해서 log $L_r$와 log($T_r$ / $T_d$ )를 도시화한 것이 <그림 9>이다.




<그림 9>

<그림 9>의 관계를 수식화 하면

$$L_\gamma = C_1 e^{z1}, \quad T_\gamma / T_d = C_2 e^{\lambda 2z} \cdots\cdots\cdots\cdots (17)$$

<그림 9>의 (a)의 경우는 직선의 기울기로부터 $C_1$=28.8, $\lambda_1$=-15.6, $C_2$=13.0, $\lambda_2$=-8.17 이므로

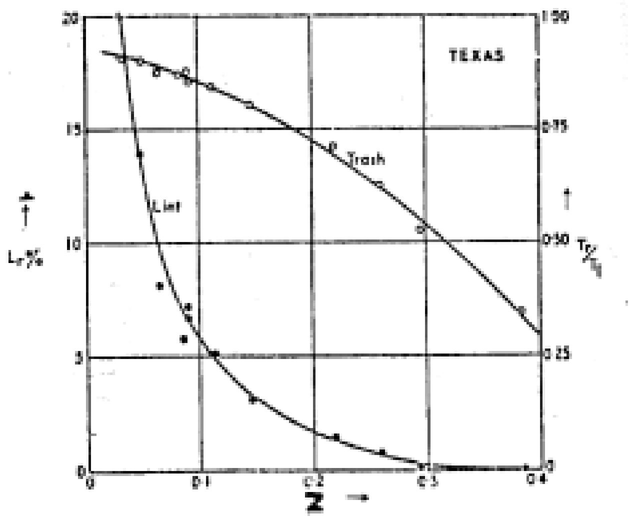
$$L_\lambda = 28.8e^{-15.6z} \quad T_\gamma / T_d = 13.0e^{-8.7z}$$

이상과 같이해서 구한 다음의 식

$$\begin{aligned} L_\gamma &= f_1(z) \\ T_\gamma / T_d &= f_2(z) \qquad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (18) \\ z &= (x + x_1)/(s + s_1) \end{aligned}$$

을 정면 제 2 법칙이라고 한다.

이 법칙은 원면의 종류가 정해져 있을 때 s, x 값에 따르는 린트손실 및 정면효율을 알 수 있게 하는 것이다. <그림 10>은 <표 1>의 Texas 면의 경우를 나타낸 것이다.




<그림 10>

V) 자유공간 및 게이지 내에서의 린트와 잡물의 운동

<그림 5>의 D~F 사이를 섬유뭉치가 공기에 실려서 이동될 때 이들의 이동

궤적은 다음과 같이 해서 알 수 있다. 이때 섬유뭉치는 이동될 때 변형을 하지 않은 것으로 판정한다.

먼저 세퍼레이션 에즈 E 의 좌표를 극좌표로 나타낸다. 비이터 A 의 중심점을 좌표의 원점으로 하고 D 의 끝과 A 의 중심점을 반경의 기준위치로 잡는다. 비이터의 반경을 $\gamma_0$ 하고 A 점부터 세퍼레이션 에즈 E 까지의 거리를 $\gamma$ 라고 하면 세퍼레이션 에지 E 의 좌표는 $(\gamma, \theta)$가 되고 x 및 s 는

$$
\begin{aligned}
x &= \gamma - \gamma_0 \\
s &= \gamma_0\theta \qquad \cdots\cdots\cdots\cdots (19) \\
z &= (\gamma - \gamma_0 + x_1)/\gamma_0\theta + s_1)
\end{aligned}
$$

정면 제 2 법칙으로부터 z 가 상수가 되도록 s 를 이동시키면 $L_r$ 과 $T_r$ / $T_d$ 도 상수가 됨을 알 수 있다. 이 경우의 z 에 관한 방정식을 z=c 라 놓으면

$$(\gamma - \gamma_0 + x_1)/(\gamma_0\theta + s_1) = c \cdots\cdots\cdots\cdots (20)$$

이 식은 $\gamma$, $\theta$가 변수이므로 고쳐 쓰면

$$\gamma = (\gamma_0 c)\theta + (\gamma_0 + cs_1 - x_1) \cdots\cdots\cdots\cdots (21)$$

이 식은 Archemedian spiral 을 나타낸다. 그러므로 <그림 5>에서 스트리머 플레이트(streamer plate)F 의 모양은 Archemedian spiral 이 되도록 되어야 한다. 일반적으로 c 값은 Archemedian spiral 의 기울기와 같은 값을 갖도록 해야 한다. 이 때문에 c 값은 z=L 의 곡선과 비이터의 표면이 교차하는 점에서 두 곡선에 그은 공통접선이 $\gamma$축과 이루는 각과 같아야 한다.

린트의 잡물이 D 의 끝에서 이탈되고 동시에 비이터의 표면에서도 이탈되면 이들은 프리페이스(free space) S 내에서 궤적을 그릴 것이다. 이때 잡물과 린트가 그리는 궤적 즉 입자궤적이 서로 교차되지 않는다면 E 의 위치가 정해져 있을 때 비이터와 E 의 틈사이에 궤적이 그려질 것은 틀림이 없다. 이 궤적을 임계궤적(critical track)이라고 한다.

지금 E 의 위치가 z=c 인 곡선에 따라서 이동하면 임계궤적내에는 린트와 잡물이 동일한 양으로 함유되어야 한다. 그리하여 이 궤적은 적어도 처음 얼마간의 길이는 z=c 의 Archemedian spiral 을 따르든지 또는 그렇지 않으면 그 때의 궤적내에는 언제나 린트와 잡물이 동량 함유되도록 변화를 해야 한다.

일반적으로 임계궤적은 z=c 의 곡선에 따르면 해석하기가 쉽다. 그리하여 이들 입자궤적 내에서의 린트와 잡물의 분포는 세퍼레이션 에지 E 와는 무관하게 된다. 이는 임계궤적이 z=c 의 궤적상에 있든지 또는 E 와 비이터 표면 사이에 들어가도록 굽어지기도 한다는 것을 뜻한다. 여하튼 위와 같은 세퍼레이션 에지 E 의 위치에 따라서 기류의 분리점(separation point)이 있다는 것을 뜻한다. 특히 임계궤적이 z=c 의 곡선상에 있다는 것은 분리점과 E 의 위치가 동일점이라는 것을 뜻한다. 이러한 때에는 세퍼레이션 에지의 위치를 z=c 의 궤적에 따라서 이동시킬 수 있기 때문에 분리점도 z=c 의 임계궤적에 따라서 이동된다. 지금 E 의 직각좌표를 (s, x)라고 하고, 기류의 분리점의 좌표를 (S, X)라 하면

$$\begin{aligned} X &= x - a \\ S &= s - b \end{aligned} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (22)$$

a 와 b 는 다음과 같이 구할 수 있다.

z 의 정의에 의해서

$(X+a+x_1)/(S+b+s_1) = C$

E 의 좌표를 정할 때 사용했던 것과 같은 좌표를 분리점에 대해서도 적용하면

$(x+a+x_1)/(s+b+s_1) = c$

이식은 분리점이 이동하는 임계궤적입자방정식이다. 이미 알고 있듯이 이 식은 기울기가 c 인 Archemedian spiral 이다. C 값을 바꾸면 어느 특정한 입자궤적을 임계궤적으로 바꿀 수 있다. 그리하여 모든 입자궤적은 모양이 같고

궤적의 첫 부분을 지난 후에는 그 궤적은 E 의 근처에서 비이터쪽으로 굽어져야 한다. C 의 값이 어떻든 입자궤적$(x+a+x_1)/(s+b+s_1)=c$ 는 $(-b-s_1, -a-x_1)$점을 지나야 하며 이점은 입자궤적의 시점이어야 한다. 이것을 $(s_0, x_0)$로 나타내면 그림 8 에서 $(-s_1, x_1)$이 (-2.4, +0.06)으로 정해져 있으므로

$$s_0 = -s_1 - b = 2.4 - b$$
$$x_0 = -x_1 - a = -0.06 - a$$

<그림 5>의 롤러 B 에 분필을 솜과 함께 물리고 beater 를 회전시키면 분필가루나 톱니 끝에서부터 뿌리쪽으로 0.06in 길이까지 물리는 것이 확인되었다. 그리하여 린트와 잡물은 비이터의 톱니끝쪽으로 0.06in 길이까지 물렸다가 D 의 근처에서 비이터 표면에서 이탈됨을 알 수 있다. 그렇기 때문에 입자궤적의 시점은 $s_0=0$, $x_0=-0.06$ 임을 알 수 있고 a=0, b=2.4 이다. 그리하여 입자궤적은 $(x+0.06)/s=c$ · · · · · · · · · · (23)

이상에서는 E 의 위치가 바뀌더라도 입자궤적에 있는 린트나 잡물의 분포는 일정하고, 다만의 E 의 위치는 임계입자궤적을 결정짓기만 한다고 판정했다. 그러므로 <그림 5>에서 보여준 낙면내에 린트가 최소량 섞여 들여간다는 일은 프리 스페이스를 운동하고 있는 린트와 잡물의 양을 z 의 함수로 나타낼 수 있다.

지금 l(z)를 단위증가량에 대한 린트의 분율이라고 하고 t(z)를 그때의 잡물의 분율이라고 하자. 어느 순간에 있어서 비이터의 축을 지나는 반경선상에 있는 린트와 잡물의 양을 생각하면

$$\frac{L_d}{L_f} = \int_{-\infty}^{z} l(z)dz, \qquad \frac{L_\gamma}{L_f} = \int_{z}^{\infty} l(z)dz$$

$$\frac{T_d}{T_f} = \int_{-\infty}^{z} t(z)dz, \qquad \frac{T_\gamma}{T_f}\int_{z}^{\infty} t(z)dz \qquad \cdots\cdots\cdots\cdots (24)$$

위의 식에서 적분범위(0, ~-∞)는 비이터 표면의 톱니끝에서 비이터의 중심

쪽으로 있는 z 값을 가르키고 이 범위에서는 린트와 잡물의 분포를 우리가 사용한 극수로 나타낼 수 있다. 이 극수는 비이터 표면의 톱니부분에서 린트와 잡물의 분포가 연속성을 갖는다고 판정함이 편리하며 이와 같이 하기위해서는 z→-∞로 접근할수록 이 극수의 값은 0 이 되게 하면 된다.

그리하여 $T_r, T_f, T_d$ 의 관계로부터

$$\frac{T_d}{T_f} = \frac{1}{1 + T_\gamma / T_d}$$

또 정면제 2 법칙으로부터 $T_r/T_d = f_2(z)$이므로

$$\frac{T_d}{T_f} = \frac{1}{1 + f_2(z)} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (25)$$

식(24)에 의해서

$$\int_{-\infty}^{z} t(z)dz = \frac{1}{1 + f_2(z)} \quad \cdots\cdots\cdots (26)$$

위식의 양측을 미분하면 t(z)가 구해지므로

$$t(z) = \frac{-f_2^1(z)}{[1 + f_2(z)]^2} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (27)$$

또 $L_f, L_d, L_r$ 정의와 식(24) 및 정면제 2 법칙에 의해서

$$1 - \frac{L_d}{L_f} = L_\gamma,\ 1 - \int_{-\infty}^{z} 1(z)dz = f_1(z)$$

그러므로 $l(z) = -f_1{}'(z)$ $\cdots\cdots\cdots (28)$

그런데 이미 $f_1$과 $f_2$는 식(17)로 결정된바 있으므로

$$\begin{aligned} t(z) &= -C_2\lambda_2 e^{\lambda_2 z} / [1 + C_2 e^{\lambda_2 z}]^2 \\ l(z) &= -C_1\lambda_1 e^{\lambda_1 z} \end{aligned} \quad \cdots\cdots\cdots (29)$$

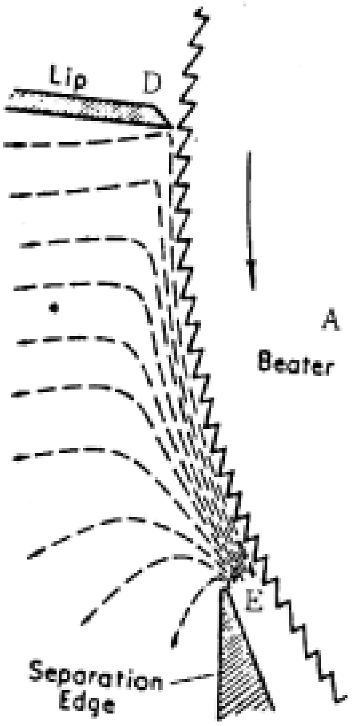
입자가 비이터표면과 립(lip) D 사이에서 이탈되면 기류의 힘과 전력을 받는 것은 필연적인 사실이다. 이때 입자는 기류에 의해서 받는 부력의 정도에 따라서 궤적이 달라진다. 입자가 작을 경우에는 기류에 대해서 상대적으로 일정한 배열을 입자가 하게 된다. 또 만일 기류의 상대속도가 적을 경우에는

입자가 기류 때문에 받는 힘은 $gm\vec{v}$가 된다. g는 부력이고 m는 입자의 질량이다. $\vec{v}$는 상대기류속도 벡터이다.

지금 $\dot{\gamma}_a$, $\gamma\dot{\theta}_a$를 기류의 $(\gamma, \theta)$방향 속도성분이라면 입자의 운동방정식은

$$\begin{aligned} &\gamma' - \gamma\dot{\theta}^2 = g(\dot{\gamma}_a - \dot{\gamma}) + g\sin\theta \\ &\frac{1}{\gamma}\ \frac{d}{dt}(\gamma^2\theta) = g(\gamma\dot{\theta}_a - \gamma\theta) + g\cos\theta \end{aligned} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (30)$$

위 식에서 중량 g값을 무시하면 근사해를 구할 수 있다. <그림 11>은 이상에서 설명된 기류의 분포를 그린 모형도이다.




<그림 11>