噴霧器から噴射される霧粒の大きさ*

(昭和28年10月6日受理)

会 員 植松 時雄 狩 野 武**

吉 永 克 巳 米 重 俊 昭

—→ 摘 要 ←—

研 究 目 的

一頭噴霧器の噴射条件が霧粒の大きさにおよぼす影響を調べた。即ち水の吸込み高さ、噴射空気量および空気圧力を変えて霧粒の顕微鏡写真を撮り、画面にあらわれた粒の直径とその頻度からそれぞれの場合の平均直径を求めて実験式を導いた。また動力が経済的で、しかも噴霧の気流によって蒸発しつくすような小さい霧粒を数多く噴射するためには先に発表した最良噴射条件が好適であることを確めた。

研 究 結 果

霧粒の平均直径は噴射空気圧力、および噴射空気と水の相対速度が大きい程小さくなる。しかし空気水量比が 7×10^3 以上ではその効果が少ない。また霧粒の総数は水の吸込み高さを 35 cm にして噴射したとき最も多い。ただし、平均直径および相当個数は霧粒の蒸発現象を論ずる目的のために、画面にあらわれた粒の表面積の総和および体積の総和が平均直径 d_{om} の粒 n 個のそれらに等しいとして

$$d_{om} = \Sigma d_{oi}^3 n_i / \Sigma d_{oi}^2 n_i, \quad n = \Sigma \pi d_{oi}^2 n_i / \pi d_{om}^2 \quad \text{から計算した。}$$

水の吸込み高さ $h = 15 \sim 75$ cm, 空気水量比 $Q_{an}/Q_l = (3.3 \sim 10.7) \times 10^3$, および噴射空気圧力 $p'_e = 14 \sim 38$ cmHg の噴射状態のとき平均直径は次の実験式で与えられる。

$$d_{om} = 14.1 + 0.000293 h^2 + 41.0 (1000 Q_l / Q_{an})^{1.5} + 646 (1/p'_e)^{1.5} \mu$$

噴霧の気流によって蒸発しつくすような小さい霧粒を数多く、しかも動力が経済的であるように噴射するための条件は $p'_e = 26$ cmHg, $h = 35$ cm, $Q_{an} = 1630$ cm³/s, $Q_l = 0.236$ cm³/s で、このとき噴口内の平均噴射空気速度 $u_{am} = 236$ m/s, 噴射水速度 $u_l = 0.31$ m/s, 霧粒の平均直径 $d_{om} = 20.9 \mu$ である。

 ϕ : 室内の湿度 (%)

1. 記 号

d_o, d'_o, d_{om} : 霧粒の最小, 最大および平均直径 (μ)

d_{oi} : それぞれの霧粒の直径 (μ)

h : 水の吸込み高さ (cm)

n : 写真にあらわれた総ての霧粒を平均直径の粒に換算したときの個数, これを相当個数と呼ぶことにする

n_i : 直径 d_{oi} の粒の個数

p'_e : 噴射空気圧力 (cmHg)

Q_{an}, Q_l : 標準状態に換算した噴射空気量および噴射水量 (cm³/s), 両者の比を空気水量比と呼ぶことにする

u_{am} : 噴口内における平均噴射空気速度 (m/s)

u_l : 噴射水速度 (m/s)

θ : 室内の温度 (°C)

2. 実 験 方 法

既報の実験装置を用い、スピンドル油を薄く塗ったスライドガラス板を流れの中心線上噴口から 40 cm の処で短時間露出して、油の層の中に霧粒を捕捉した。これを倍率 $\times 80$ の透視顕微鏡に入れて 35 mm 写真に撮った。

顕微鏡の接眼鏡に 10 mm を 100 等分したスケールガラスを挿入して写真にその目盛りを入れて尺度の規準にした。画面上でこの一目盛りは、対物マイクロメータを用いて検定したところ 16.7μ に相当していた。

次にこの写真フィルムを幻灯器で 20 倍に投影して、画面にあらわれた粒の直径をデバイドを用いて測った。

3. 霧粒の平均直径の計算法

画面にあらわれた霧粒をその大きさによって第 1 表の

* Size Range and Uniformity of Drops Spreading from an Atomizer, and the Factors Influencing Them. 昭和28年3月21日, 第1回学生研究論文発表会において一部講演

** T. Uematu, Member. 大阪大学工学部, T. Kano, 大阪大学工学部
K. Yoshinaga, 大阪大学工学部学主, T. Yoneshige, 大阪大学, 工学部学生

ように分類した。

(第 1 表)

<i>i</i>	画面上の直径 (目盛り)		実 際 の 直 径 (μ)		個数 (<i>n_i</i>)
	範 囲	平均	範 囲	平均	
1	0~0.5	0.25	0~8.4	4.2	<i>n</i> ₁
2	0.6~1.0	0.75	8.5~16.7	12.5	<i>n</i> ₂
3	1.1~1.5	1.25	16.8~25.1	20.9	<i>n</i> ₃
4	1.6~2.0	1.75	25.2~33.4	29.2	<i>n</i> ₄
5	2.1~2.5	2.25	33.5~41.8	37.6	<i>n</i> ₅
6	2.6~3.0	2.75	41.9~50.1	45.9	<i>n</i> ₆
7	3.1~3.5	3.25	50.2~58.5	54.3	<i>n</i> ₇
8	3.6~4.0	3.75	58.6~66.8	62.6	<i>n</i> ₈

これから平均直径 d_{om} と相当個数 n を次のようにして求めた。即ち画面にあらわれた粒の表面積の総和および体積の総和が平均直径 d_{om} の粒 n 個のそれらに等しいとおくと

$$\sum \pi d_{oi}^2 n_i = \pi d_{om}^2 n, \quad \sum \pi n d_{oi}^3 n_i / 6 = \pi d_{om}^3 n / 6, \\ i=1, 2, 3, \dots$$

であるから

$$d_{om} = \frac{\sum d_{oi}^3 n_i}{\sum d_{oi}^2 n_i}, \quad n = \frac{\sum \pi d_{oi}^2 n_i}{\pi d_{om}^2}$$

となる。

4. 実 験 結 果

(1) 噴射空気量と霧粒の大きさの関係

第1図は水の吸込み高さを 35 cm, 噴射空気圧力を26 cmHg に保って空気量を変えた場合の霧粒である。

水量が多い状態ではこれを十分に霧化しきれないためと、粒が互に衝突するために大きな粒になって、外見的にも蒸発しきらずに落下する。小さい粒を数多く噴射するためには空気量の多い状態で噴射しなければならないことがわかる。

(2) 水の吸込み高さと霧粒の平均直径の関係

第2図は噴射空気圧力を 26 cmHg にして、水の吸込み高さを変えた場合の霧粒である。このときの噴射空気量、噴射水量、空気水量比、粒の大きさの頻度、粒の総

(第 1 図)

噴射空気量を変えた場合の霧粒

($p_c = 26 \text{ cm Hg}$, $h = 35 \text{ cm}$, $\theta = 9.5^\circ \text{C}$, $\phi = 72.3\%$ の場合)

数 Σn_i と吸込み高さ 35 cm の場合の総数 Σn_{435} との比 $\Sigma n_i / \Sigma n_{435}$, 平均直径および相当個数の値は第 2 表のとおりである。

横軸に吸込み高さをとって, 縦軸に平均直径, 総数の比および空気水量比をとり測定値をえがくと第 3 図のようになる。

吸込み高さが小さい程霧粒が大きくなる。これは水量が増加して空気量が減少するために十分霧化できな

めと, 噴射された粒が互に衝突するためである。従って, 吸込み高さが 35 cm 以下では水量が多いにもかかわらず粒の総数が少なくなっている。

また 35 cm 以上では水量が少なくなって外見적으로는噴霧の濃度が薄くなるが, これは総数が少なくなるためであることがわかる。

相当個数と粒の総数との比は吸込み高さの大きさにかかわらずほとんど一定で約 47% である。

(第 2 図) 水の吸込み高さを変えた場合の霧粒

($p'_c = 26 \text{ cm Hg}$, $\theta = 9.5^\circ \text{C}$, $\phi = 72.3\%$ の場合)

(第 2 表) ($p'_c = 26 \text{ cm Hg}$)

$h \text{ (cm)}$		15	25	35	45	55	65	75
$Q_{an} \text{ (cm}^3/\text{s)}$		1 595	1 595	1 610	1 615	1 625	1 640	1 645
$Q_l \text{ (cm}^3/\text{s)}$		0.476	0.417	0.370	0.313	0.250	0.204	0.154
$(Q_{an} / Q_l) \times 10^{-3}$		3.35	3.83	4.25	4.16	6.50	8.04	10.70
$n_i / \Sigma n_i$ (%)	0~8.4 μ	25.9	25.7	27.2	32.0	26.8	36.2	28.8
	8.5~16.7	41.0	38.0	41.3	37.7	40.1	36.5	41.9
	16.8~25.1	22.0	23.7	21.5	20.6	23.0	19.1	21.8
	25.2~33.4	5.9	8.1	5.9	5.9	7.4	5.8	6.6
	33.5~41.8	4.3	3.3	3.1	3.0	2.5	2.3	0.9
	41.9~50.1	0.6	0.9	1.0	0.8	0.2	0.2	0.0
	50.2~58.5	0.2	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	58.6~66.8	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
$\Sigma n_i \text{ (個)}$		1 026	1 004	1 275	1 316	970	622	334
$\Sigma n_i / \Sigma n_{435}$		0.80	0.79	1.00	1.03	0.77	0.57	0.26
$d_{om} \text{ (}\mu\text{)}$		25.6	26.2	24.8	25.4	23.2	22.2	21.2
$n \text{ (個)}$		479	488	540	580	489	277	177
$n / \Sigma n_i \text{ (%)}$		44.6	48.2	40.9	45.5	50.5	44.6	52.9

(第 3 図)

水の吸込み高さと霧粒の平均直径、総数の比および
空気水量比との関係

($p'_c = 26 \text{ cmHg}$, $\theta = 9.5^\circ\text{C}$, $\phi = 72.3\%$ の場合)

(第 4 図)

空気水量比と霧粒の平均直径との関係

($p'_c = 26 \text{ cmHg}$, $\theta = 9.5^\circ\text{C}$, $\phi = 72.3\%$ の場合)

(第 5 図)

噴射空気圧力を変えた場合の霧粒

($h = 35 \text{ cm}$, $\theta = 9.5^\circ\text{C}$, $\phi = 72.3\%$ の場合)

これらのことから、比較的小さい粒を数多く噴射するためには吸込み高さを 35 cm にすることが好ましい。

(3) 空気水量比と霧粒の平均直径の関係

横軸に空気水量比をとって、縦軸に平均直径をとり第 2 表に示した値をえがくと第 4 図のようになる。

空気水量比が大きい程平均直径は小さくなるが、7×

10³以上ではその効果が少ない。

(4) 噴射空気圧力と霧粒の平均直径の関係

第 5 図は水の吸込み高さを 35 cm にして噴射空気圧力を変えた場合の霧粒である。このときの噴射空気量、噴射水量、空気水量比、粒の大きさの頻度、粒の総数 Σn_i と噴射空気圧力 26 cmHg の場合の総数 Σn_{i26} との比

第 3 表 (h=35 cm)

P_c' cm Hg		14	17	20	23	26	29	32	35	38
Q_{an} cm ³ /s		1 205	1 308	1 435	1 541	1 630	1 734	1 821	1 863	1 907
Q_l cm ³ /s		0.115	0.177	0.159	0.210	0.236	0.275	0.322	0.345	0.377
$(Q_{an}/Q_l) \times 10^{-3}$		10.48	11.16	9.02	7.33	6.90	6.30	5.68	5.40	5.06
$n_i/\Sigma n_i$ %	0~8.4 μ	30.3	24.2	42.1	18.3	31.4	40.0	38.6	45.2	45.6
	8.5~16.7	30.4	56.2	33.8	43.1	34.8	33.7	41.5	34.9	34.3
	16.8~25.1	25.9	7.3	18.1	28.3	25.4	20.8	15.4	15.6	16.6
	25.2~33.4	5.5	5.0	3.7	6.5	5.4	3.7	3.7	3.4	2.9
	33.5~41.8	6.0	4.4	1.7	3.5	2.4	1.5	0.8	0.9	0.6
	41.9~50.1	1.9	2.9	0.6	0.3	0.6	0.3	0.0	0.0	0.0
Σn_i 個		316	342	696	597	829	1 142	1 158	1 393	1 497
$\Sigma n_i/\Sigma n_{i26}$		0.38	0.41	0.84	0.72	1.00	1.37	1.39	1.68	1.80
d_{om} μ		27.8	24.0	22.5	23.7	20.9	20.8	20.1	20.0	19.5
n 個		138	159	383	327	560	521	521	595	659
$n/\Sigma n_i$ %		43.8	46.4	55.0	54.4	67.4	45.6	45.0	42.7	44.0

(第 6 図)

噴射空気圧力と霧粒の平均直径、総数の比および空気水量比との関係

(h=35cm, $\theta=9.5^\circ\text{C}$, $\phi=72.3\%$ の場合)

(第 7 図)

噴射空気圧力を変えたときの霧粒の大きさの頻度曲線

(h=35cm, $\theta=9.5^\circ\text{C}$, $\phi=72.3\%$ の場合)

$\Sigma n_i / \Sigma n_{i26}$, 平均直径および相当個数は第3表のとおりである。

横軸に噴射空気圧力をとって、縦軸に平均直径、総数の比および空気水量比をとり測定値をえがくと第6図のようになる。点線は理論式から計算した最小および最大の直径である。噴霧にはほぼこの範囲の大小いろいろの大きさの粒が混っていて、実験値から計算した平均直径はこの間にある。

相当個数と粒の総数との比は噴射空気圧力に関係なくほとんど一定で約47%であるが、噴射される粒の総数は噴射空気圧力にほぼ比例して増加する。

横軸に霧粒の大きさをとって、縦軸にそれぞれの大きさの粒の頻度を示すと第7図のようになって、噴射空気圧力が高い程小さい粒の割合が多いことがわかる。

(5) 噴射速度と霧粒の平均直径の関係

横軸に平均噴射空気速度と噴射水速度の差をとり、縦軸に平均直径をとって第3表に示した測定値をえがくと第8図のようになる。噴射空気と噴射水の相対速度が大きい程、平均直径は小さくなるがわかる。

(第8図)

平均噴射速度と霧粒の平均直径との関係
($h=35\text{cm}$, $\theta=9.5^\circ\text{C}$, $\phi=72.3\%$ の場合)

(6) 実験式

以上の実験結果からわかるように、霧粒の平均直径は水の吸込み高さが増すと抛物線的に小さくなり、また空気水量比および噴射空気圧力の逆数のほぼ1.5乗に比例するとみなされるので

$$d_{om} = a + bh^2 + c(1000 Q_l / Q_{am})^{1.5} + e(1/p'_e)^{1.5} \mu$$

の形で表わされると仮定する。測定値からこれらの定数を決定すると次の実験式が得られる。

$$d_{om} = 14.1 + 0.000293h^2 + 41.0(1000 Q_l / Q_{am})^{1.5} + 646(1/p'_e)^{1.5} \mu \quad (1)$$

ただし、 $h=15\sim 75\text{cm}$, $Q_{am}/Q_l=(3.3\sim 10.7)\times 10^3$, $p'_e=14\sim 38\text{cmHg}$ である。第2表および第3表に示した噴射条件に対して(1)式から計算した平均直径の値を第3図および第6図に実線で示してある。

(7) 最良の噴射条件

室内の空気をすみやかに増湿するためには、噴霧の気流によって蒸発しつくすような小さい霧粒を数多く噴射することが必要である。しかし動力の経済のためには噴射空気圧力が低い程好ましい。従って以上の実験結果から最良の噴射条件は

$$p'_e = 26\text{cmHg}, h = 35\text{cm}, Q_{am} = 1630\text{cm}^3/\text{s}, \\ Q_l = 0.236\text{cm}^3/\text{s} \text{ で、このとき } u_{am} = 236\text{m/s}, \\ u_l = 0.31\text{m/s}, d_{om} = 20.9\mu \text{ である。}$$

註

- (1) 朝日機工株式会社製
- (2) 筆者等の実験結果によると、平均噴射空気速度 $150\sim 250\text{m/s}$ のとき、気流によって蒸発しつくすような霧粒の直径は $0\sim 28\mu$ である。
- (3), (4), (5) 植松時雄, 狩野武, 繊維機械学会誌, 6巻, 4号, 31頁(昭28-4)
- (6) 空気水量比が霧粒の大きさにおよぼす影響については、坂山四郎, 棚沢泰, 機械学会論文集, 5巻, 18号, 68頁(昭14-2)を参照されたい。