透気回転乾燥装置の研究*

農林省東海近畿農業試験場茶業部 久保田 濃・鈴木栄司・成富勝弘・滝谷 洋

Studies on the Through-Flow Rotary Dryer

By Atsushi KUBOTA, Eiji SUZUKI, Katsuhiro NARUTOMI,
and Hiroshi TAKIYA

1 ま え が き

緑茶の乾燥法には透気乾燥法がとり入れられ、乾燥機は急速な進歩をなしつつある。しかし紅茶の乾燥、特に荒乾燥は、水分の多い揉ねん葉を短時間に均一に乾燥する必要がある、いまだこの要求にこたえる乾燥装置はなく、紅茶の品質を低下させる一因ともなっている。

回転乾燥装置は大量の材料処理と運転の安全性がある点から、工業製品の乾燥に広く使用されている。しかしこの乾燥装置の欠点は、熱容量係数が小さいことである。そこで、回転乾燥装置の利点を生かして、しかも熱容量係数を増大させるために透気乾燥と組み合わせたものが透気回転乾燥装置である。著者らは、透気回転乾燥装置が紅茶の荒乾燥に適当であろうと考えた。

この型の乾燥装置としては外国では Roto Louvre

Dryer が、木材のチップ、パルプくず、食品、石炭、セメント等の乾燥にかなり広く使用されているが、わが国ではほとんど使用されていない。また設計資料も乏しい。

われわれは、実用機設計の基礎資料を得るため、小型試験機を試作し、回転数、風量などが在筒量に及ぼす影響などをしらべた。また各種の運転条件により、茶葉を乾燥した場合の熱容量係数 U_a ($\text{kcal/m}^3 \cdot \text{hr} \cdot ^\circ\text{C}$) を求めた。

2 実 験 装 置

実験に用いた装置の概略は図1に示すごとく、電熱器、ターボファン、乾燥機本体およびマンノメーターからできている。

図 1 実 験 装 置

乾燥機本体は図2に示すごとく、二重円筒で、長さ0.6 m、外径0.3 m、内部は茶葉出口の径を大きくした

Louvre 構造で、内径は投入端0.2 m、排出端0.26 mである。また排出口の直径は0.12 mである。

* 茶業技術研究 No. 23 53~59 (1960) より転載

図 2 連続式回転円筒型透気乾燥機 (S 1/4, mm)

内筒と外筒の間は20に区分され、熱風は固定部分のすり合わせ板により常に茶層の下部4区分にのみ送られる構造となっている。そしてここから茶層を通気し、茶葉排出端から排気する。

3 在筒量に関する試験

3.1 実験方法

簡単にするため、いちおう乾燥機中の材料水分変化という要因を除いて試験した。

材料は紅茶、緑茶とも荒茶(含水率4~5%)を用い、常温で、回転数、風量、投入量をかえてこれらが在筒量に及ぼす影響をしらべた。

実験は所定の条件で開始し、開始後5分から茶葉排出量を測定し排出量が定常状態となったところで運転をとめ、機内の茶の重量を計りその条件における在筒量とした。

3.2 実験結果および考察

実験結果の概要を表1に示す。

表 1

紅 茶 は さ み 摘					緑 茶 手 摘 精 揉 葉				
風 量 G/S kg/m ² .hr	投入量 F/S kg/m ² .hr	回 転 数 R rpm	在 筒 量 H kg	在 筒 量 H/V kg/m ³	風 量 G/S kg/m ² .hr	投入量 F/S kg/m ² .hr	回 転 数 R rpm	在 筒 量 H kg	在 筒 量 H/V kg/m ³
2620	222	2	1.1	65	5110	382	3	1.44	85
2620	222	3	0.8	47	5110	382	4	1.29	76
2480	222	4	0.74	44	5110	382	6	1.02	60
2480	222	6	0.6	35	5110	382	8	0.91	53
					4340	382	3	1.66	98
					4340	382	4	1.44	85
					4340	382	6	1.18	70
					4400	382	8	1.05	62
2620	298	2	1.17	69	5110	297	4	1.17	69
2620	298	3	1.02	60	5110	465	4	1.51	89
2620	298	4	0.92	45	5110	550	4	1.61	95
2480	298	6	0.72	43	4340	297	4	1.28	75
					4340	465	4	1.54	90
					4340	550	4	1.66	98
2480	382	2	1.55	91	2570	465	6	1.30	77
2480	382	3	1.24	73	3660	465	6	1.27	75
2340	382	4	1.07	63	4340	465	6	1.21	71
2340	382	6	0.84	49.5	5460	465	6	1.18	69
					2750	465	6	1.30	78
3750	222	2	1.0	59	3660	465	6	1.30	77
3860	222	3	0.9	53	4400	465	6	1.23	73
3680	222	4	0.79	46.5	5460	465	6	1.16	69
3680	222	6	0.6	36					

注：V 乾燥機内容積 m³, S 乾燥機断面積 m²

表1から回転数, 投入量をパラメーターとし, H/V を縦軸, G/S を横軸にとり両対数方眼紙にプロットすれば, 図3, 4のごとくなる。ただし S は乾燥機断面積 (m^2)を示す。

図3 紅茶

図4 緑茶

紅茶は投入量 $382 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{hr}$ の場合, 風量の増加とともに在筒量が減少する。しかし投入量 298 および $222 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{hr}$ は, その差がほとんどあらわれていない。また緑茶は投入量 $465 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{hr}$ についてのみの試験結果であるが, 風量の増加とともに在筒量は減少する。

茶層に対する空気の流れは, 茶層の移動方向に直角な通気流であるから, 原則的には風量が在筒量に影響することは考えられないが, 茶の排出口と空气の排出口が共通であるので在筒量が多くなると, 排気口附近の茶が空気に飛ばされるようになる。これがドラムの短いことと相まって風量が多くなるに従い在筒量が減少する要因となるものと思う。しかし実用機ではドラムの長さが長くなるので, この程度の排出端の影響はあらわれなくなるものと思う。

回転数と在筒量の関係は対数方眼紙にプロットすると, 図5, 6のごとくほぼ直線となり次式で表わされる。

紅茶

$$F 222 \quad H/V = 88 R^{-0.51} \quad (1)$$

$$F 298 \quad H/V = 94 R^{-0.46} \quad (2)$$

$$F 382 \quad H/V = 132 R^{-0.54} \quad (3)$$

緑茶

$$F 382 \quad H/V = 155 R^{-0.48}$$

図5 紅茶

	F/S	G/S
○	382	5100
×	382	4340

図6 緑茶

すなわち在筒量 H/V はほぼ $R^{-0.5}$ に比例する。次に縦軸に $H/V \cdot R^{0.5}$ 横軸に F/S をとり対数方眼紙に点てつすると, 図7, 8となり, これらの点を代表する直線を決めると次式のごとくなる。

$$\text{紅茶} \quad H/V = 2.7(F/S)^{0.6} \cdot R^{-0.5} \quad (4)$$

$$\text{緑茶} \quad H/V = 11(F/S)^{0.5} \cdot R^{-0.5} \quad (5)$$

在筒時間 τ (hr) と H/V と F/S の関係は

$$H/V = \tau \cdot F/S \quad (6)$$

で表わされる。これらの実験は含水率の少い荒茶の乾燥を伴わない場合であり, 紅茶など水分の多いものが乾燥する場合は, 機内を収縮しながら通過するから, 多少この結果とは異なることが予想されるが, この乾燥機をスケールアップする場合, これらの式を併用して, 乾燥に必要な時間, 機内に茶葉を滞留させるための運転条件など大略予想できるものと思う。

$$H/V = 2.7(F/S)^{0.5} \cdot R^{-0.5}$$

図 7 紅 茶

$$H/V = 11(F/S)^{0.5} \cdot R^{-0.5}$$

図 8 緑 茶

4 熱容量係数に関する試験

4.1 実験方法

C.C.C 紅茶揉ねん機で揉ねんしたブローケン型揉ねん葉を用い、入口空気温度 120°C で乾燥し、運転条件が U_a に及ぼす影響を調べた。

実験は回転数、風量、温度等を所定の値に合わせて運転を開始し、各部の温度が定常になってから30秒ごとにあらかじめひょう量してある紅茶揉ねん葉を投入し、出口乾湿球温度および排出量が定常状態になった後 10~15 分間 3 分おきに各部の測定を行ない、この測定値の平均から U_a (熱容量係数 kcal/m³・hr・°C) を計算した。

4.2 測定項目、測定法および測定値の計算

(1) 空気流量

空気流量の測定には標準オリフィスを用い、オリフィス前後の差圧およびゲージ圧は、U字管で測定し次式で計算した。

$$W = 0.0125 m \cdot C \cdot D^2 \sqrt{(\rho' - \rho) \Delta h} \quad (7)$$

W: 空気流量 kg/hr

D: 管径 mm

m: 開孔比 $(d_0/D)^2$ mm

C: 流出係数 (この場合 0.663) mm

ρ : 測定空気密度 kg/m³

ρ' : 封液 (蒸留水) 密度 kg/m³

Δh : マノメーター差圧 m

(2) 空気温度および湿度

ドラム入口、出口の乾球温度、出口の湿球温度、外気温の測定はいずれも水銀温度計を用いた。

(3) 茶葉温度

投入前、排出直後のものいずれも保温したかんに詰め水銀温度計で測定した。

(4) 茶葉含水率

投入直前と出口より落下する茶葉から、試料約 10 g をとり、95°C の定温乾燥器中で乾燥しこれから含水率を

計算した。

(5) 熱容量係数

連続式の熱風受熱型乾燥機にあっては伝熱量は

$$q = UaV (\Delta t)_{lm} \quad \text{kcal/hr} \quad (8)$$

で表わされる。

q : 伝熱量 kcal

Ua : 熱容量係数 kcal/m³·hr·°CV : 乾燥機内容積 m³(Δt)_{lm} : 入口, 出口の空気, 茶葉の対数平均温度差 °C

したがって Ua は次の式で計算できる。

$$Ua = \frac{q}{V(\Delta t)_{lm}} \quad (9)$$

ここで伝熱量 q は次式で計算される。

$$q = F \{ C_T (t_{M2} - t_{M1}) + (0.44 t_2 - t_{M1} + 597) \}$$

$$(W_1 - W_2) + W_2 (t_{M2} - t_{M1}) \} \quad (10)$$

F : 投入量 kg/hr

C_T : 茶の比熱 kcal/kg·°Ct_{M1} : 入口茶葉温度 °Ct_{M2} : 出口茶葉温度 °Ct₂ : 出口空気温度 °CW₁, W₂ : 入口, 出口の茶葉水分 % (乾量基準)

また

$$(\Delta t)_{lm} = \frac{(t_1 - t_{M1}) - (t_2 - t_{M2})}{2.3 \log \frac{(t_1 - t_{M1})}{(t_2 - t_{M2})}} \quad ^\circ\text{C} \quad (11)$$

4.3 実験結果

実験結果の概要を表2に示す。

表 2

乾燥円筒内径 (0.19 m), 同長さ (0.60 m), 傾斜: 水平, 回転数: 2 rpm

材料: 在来種はさみ摘, 紅茶揉ねん葉 (C.C.C. 揉ねん機)

No.	項目		空気流量			空気温度			茶葉温度		茶葉水分		乾燥加熱平均用熱量温度差		Ua	摘 要
	F/S	G/S	入口	出口	出口湿球	入口	出口	出口	入口	出口	入口	出口	qm	(Δt) _{lm}		
	kg(乾物)/m ² ·hr	kg/m ² ·hr	°C	°C	°C	°C	°C	°C	%	%	kcal/hr	°C	kcal/m ³ ·hr·°C			
1~1	93	5190	121	48.5	38.0	25.5	37.0		219	123	1548	39.7	2530			二番茶ふるい下
2~1	68	6400	120	60.5	38.2	25.6	42.0		213	58	1799	46.7	2094			"
3~1	94	6400	120	55.0	38.0	24.9	41.0		215	83	2150	42.4	2756			"
4~1	125	6250	120	51.0	38.0	27.1	40.0		204	107	2100	38.3	2983			"
5~1	143	6400	120	48.0	38.0	25.4	36.0		225	153	2040	36.4	3050			"
6~1	66	7310	121	68.0	39.0	27.0	52.0		224	73	1725	43.5	2156			"
7~1	98	7100	120	58.5	38.0	29.5	41.0		209	76	2209	44.5	2697			"
8~1	126	7400	120	58.0	38.0	29.7	40.0		202	94	2325	44.9	2815			"
9~1	156	7240	120	55.0	39.0	29.4	40.0		202	113	2773	42.1	3526			"
1~2	97	5190	119	50.0	38.0	25.5	40.5		206	110	1600	36.6	2377			二番茶ふるい上
2~2	70	6400	120	67.0	38.0	25.1	52.0		202	83	1482	43.3	1860			"
3~2	87	6400	121	63.0	38.0	25.5	50.0		215	98	1800	40.3	2420			"
4~2	125	6400	120	56.0	38.0	26.6	46.0		204	128	1695	37.7	2442			"
5~2	152	6400	118	49.0	38.4	24.9	40.0		207	140	1815	36.6	2697			"
6~2	69	7310	120	75.0	39.5	25.9	52.0		208	80	1550	50.5	1668			"
7~2	103	7100	120	68.0	38.5	28.3	52.0		205	101	1839	45.3	2205			"
8~2	132	7420	122	59.0	38.5	28.7	51.0		189	113	1810	45.7	2150			"
9~2	154	7420	117	61.0	37.0	27.7	47.0		206	131	2425	40.7	2774			"
10~1	105	2850	119	44.0	39.0	27.9	35.0		182	114	1219	34.9	1899			三番茶ふるい下
11~1	101	3500	123	46.0	40.0	27.6	36.0		195	111	1440	37.5	2087			"
13~1	105	4280	121	55.0	40.0	28.2	40.0		184	83	1830	42.3	2352			"
14~1	96	5190	121	52.0	40.0	30.8	40.0		210	82	2050	38.3	2908			"
15~1	123	5190	120	61.0	42.4	29.6	41.0		142	46	2010	46.6	2345			"
10~2	106	2730	120	45.0	39.0	27.3	38.0		178	123	1034	33.8	1662			三番茶ふるい上
11~2	108	3500	121	45.0	39.5	29.0	34.5		174	106	1260	37.9	1808			"
13~2	107	4380	121	54.5	40.4	28.0	38.0		177	77	1840	44.1	2269			"
14~2	96	5190	120	59.0	40.7	31.2	43.3		210	98	1860	42.5	2379			"
15~2	122	5940	121	66.0	42.3	28.8	45.0		145	55	1890	48.3	2126			"

- △ ふるい下 $Ua=15.9 (G/S)^{0.6}$
 ◎ ふるい上 $Ua=14.2 (G/S)^{0.6}$

図 9

Ua は 1,500~3,000 kcal/m³·hr·°C の間にあり、回転乾燥機のほぼ10倍の値を示している。

投入量一定の場合について、 G/S と Ua の関係を両対数図表に点てつすると図9のごとくなる。

G/S が 5,300 kg/m²·hr 程度までは Ua は直線的に増加するが、それ以上は増加しない。 G/S 5,300 kg/m²·hr 以下の点は次式であらわされる。

$$\text{ふるい下 } Ua=15.9 (G/S)^{0.6} \quad (12)$$

$$\text{ふるい上 } Ua=14.2 (G/S)^{0.6} \quad (13)$$

つぎに風量の影響が一定の場合につき F/S と Ua の関係を両対数図表にプロットすると図10のごとくなる。

Ua は F/S の増加とともにほぼ直線的に増加する。これらの点を一つの直線としてまとめると、

$$\text{ふるい下 } Ua=266 (F/S)^{0.5} \quad (14)$$

$$\text{ふるい上 } Ua=213 (F/S)^{0.5} \quad (15)$$

となる。

つぎに風量 (G/S) 5,300 kg/m²·hr 以下の点について縦軸に $Ua (F/S)^{-0.5}$ 、横軸に G/S をとり、風量の異なる点をプロットすると図11のごとくなり、

$$\text{ふるい下 } Ua=0.69 (F/S)^{0.5} \cdot (G/S)^{0.7} \quad (16)$$

$$\text{ふるい上 } Ua=0.61 (F/S)^{0.5} \cdot (G/S)^{0.7} \quad (17)$$

なる実験式で表わされる。

試験機に類似の乾燥機的设计に、上式から求めた Ua を使うことができる。

一定容積の乾燥機にあっては伝熱量の多いも

図 10

- △ ふるい下 $Ua=0.69 (F/S)^{0.5} (G/S)^{0.7}$
 ◎ ふるい上 $Ua=0.61 (F/S)^{0.5} (G/S)^{0.7}$

図 11

のが能力がよいといえる。

この試験結果が示すように、回転型の透気乾燥機は紅茶発酵葉に対しても非常に効率よく運転できる。

品質的な面については試験が行なわれていないが、かきまぜて分散しながら乾燥するのであるから、静止層に対する透気乾燥の場合のようなむらは考えられず、適当な空気条件が得られれば理想的な紅茶荒乾燥ができるものと思う。ただ残念ながら仕上乾燥までこの方法で行なうと、白ずれして、色沢をそこなうので、網送り型またはたな式と併用しなければならない。

したがって、透気回転型と網送り型の両型式を手ぎわよくまとめた複合機の研究開発が望まれる。

5 摘 要

1. 紅茶の荒乾燥機として、透気回転乾燥機が適当と考え、小型試験機により実用機設計の基礎資料を求めた。

2. 乾燥した茶葉を乾燥機中に流し、投入量、風量、回転数と在筒量の関係を求めた。

これらの関係は次式で示される。

$$\text{紅茶 } H/V = 2.7 (F/S)^{0.6} \cdot R^{-0.5}$$

$$\text{緑茶 } H/V = 11 (F/S)^{0.5} \cdot R^{-0.5}$$

3. 透気回転型の乾燥機においては、熱容量係数 U_a は回転乾燥機の10倍に達する。

4. 投入量、風量と U_a の関係は次の実験式で示される。

$$\text{ふるい下 } U_a = 0.69 (F/S)^{0.5} \cdot (G/S)^{0.7}$$

$$\text{ふるい上 } U_a = 0.61 (F/S)^{0.5} \cdot (G/S)^{0.7}$$

6 参 考 文 献

- 1) 大竹伝雄：化学装置便覧（化学技術社），p. 34（1954）。
- 2) 化学工学協会編：化学工学便覧（丸善），p. 567（1958）。
- 3) 久保田濃，成富勝弘，中野不二雄：茶技研 No. 12, 64（1955）。
- 4) 久保田濃，中野不二雄，鈴木栄司，成富勝弘，滝谷洋：東近農試研報（茶），No. 7, 204（1960）。

Summary

1. Through-flow rotary dryer was seemed to be applicable to pre-drying of black tea. Data for designing a plant were obtained with a small scale dryer.

2. The effects of rotation (R) and feed rate (F/S) on the holdup were expressed by the following equations.

$$\text{black tea } H/V = 2.7 (F/S)^{0.6} R^{-0.5}$$

$$\text{green tea } H/V = 11 (F/S)^{0.5} R^{-0.5}$$

3. The volumetric heat-transfer coefficient (U_a) of through-flow rotary dryer was as much about 10-folds as that of rotary dryer.

4. The effects of feed rate and air rate on the volumetric heat-transfer coefficient (U_a) were expressed by the following equations.

$$\text{over size tea } U_a = 0.61 (F/S)^{0.5} (G/S)^{0.7}$$

$$\text{under size tea } U_a = 0.67 (F/S)^{0.5} (G/S)^{0.7}$$

(Sept. 3, 1960)