

冷麺用押出し機の機械特性†

遠山 良*・工藤達之**・種谷真一**

Mechanical Characteristics of the Korean Noodle "Reimen" Extruder
(Study on Manufacturing of the Korean Noodle "Reimen" and its Quality Part I)

Ryo TOYAMA*, Tatuyuki KUDO** and Shin'ichi TANEYA**

* Iwate Industrial Research Institute, 3-35-2 Iiokasinden, Morioka-shi Iwate 020

** Faculty of Agriculture, Iwate University, 18-8 Ueda 3-chome, Morioka-shi Iwate 020

Mechanical characteristics of the korean noodle "Reimen" extruder which utilized frictional heat were investigated. The residence time ranged from 38 to 284 s. Puffing ratio gradually decreased as the increases of apparent viscosity of dough. Ordinarily, its maximum value was three times as much as the diameter of the hole of die. Volumetric flow rate, Q was represented by the equation $Q = KN$, where N was the rotational speed of the screw. Theoretical extruding energy, E_t was given by the equation of $E_t = 1.810 N^2 \eta_{ap}$. Power number, N_p , was in the form of the product of Froude number, Fr , and Reynolds number, Re , namely, $N_p = 2.3 \times 10^3 (Fr)^{-0.46} (Re)^{-0.45}$. Heat by friction due to extruding comprised about 70% of all the practical heat. (Received Mar. 1, 1996)

でんぷんを主原料とし、それを糊化させ麺類にする製品には“はるさめ”や“冷麺”がある。“はるさめ”の初期の製法は懸垂法といわれる方法であった。これはでんぷんの一部を糊化し、これにさらにでんぷんを加えてよく混練する。この混練物<トンピョーという>を底部に直径 9×10^{-3} m 位の穴を多数あけた容器に入れて、攪拌しながらその下部の穴から流下し、その途中麺線の直径は細く糸状になり、下の沸騰水に落下させ、瞬間的にでんぷんを糊化する方法である¹⁾。また“冷麺”は底面に多数穴のある円筒容器に冷麺用生地を入れ容器上部からピストンにより加圧し、その圧力は油圧系を用い 40~60 kPa で、麺線にし“はるさめ”同様、沸騰水にてでんぷんを糊化させる方法であった。

しかし、現在では両者とも押出し法に変わり、一軸スクリュにより生地をダイから押出して麺線を調製している。“はるさめ”は直径 5 cm、長さ約 80 cm のバレル先端に、直径 0.9×10^{-3} m の穴を数個有するダイを取り付

け、バレルに内蔵するスクリュにて押出す方法でつくられている²⁾。この場合の加熱はバレル先端近傍のバレルに巻いてあるバンドヒータにて行い、80~120°C の温度である。“冷麺”は、加熱方式が全く異なり、最初スクリュヘッドをバーナで加熱し、その熱容量と、その後バレル中のスクリュの回転押し圧力によって生地が輸送される間の生地の混練による摩擦熱を利用し、バレルの圧縮部で約 98°C の温度に加熱されて、多数の穴のあるダイから麺線になる方法である。このような省エネルギー冷麺用一軸押し機について、その機械および熱特性の研究は麺のような食品ではいまだにされていない。

本研究では一軸押し機を用いて冷麺の製造試験を行い、その機械特性と熱収支の特性を解析した。

実験方法

1. 生地の配合

生地の配合は Table 1 の通りである。でんぷんはバ

† 冷麺の製造とその品質に関する研究 (第1報)

* 岩手県工業技術センター (〒020 盛岡市飯岡新田三地割矢盛 35-2)

** 岩手大学農学部 (〒020 盛岡市上田三丁目 18-8)

イショでんぶん（南十勝農工連澱粉工場製）およびコーンスターチ（日本コーンスターチ（株））である。小麦粉は薄力粉（オリピック1号，府金製粉製）である。かん粉は商品名飛龍（オリエンタル酵母工業製），アルコールは製剤（E&F 70 M，グリコ栄養食品製）を用いた。なお，でんぶんと小麦粉との配合割合は40：60と60：40の2種類で，でんぶんにはバレイショでんぶんおよびコーンスターチを使用した。

この配合原料を横型スーパー・ニーダ（さぬき麵株式会社製）で20分間，室温で混練し生地を形成した。この場合の一回の仕込み量は10 kgである。一配合試料10 kgを5分割し，すなわち，2 kgを連続的に押し機ホッパに投入，この一配合試料中でスクリュ回転数を8段階（200，300，400，500，600，700，800，900 rpm）に変え行った。

2. 試作フローチャート

試作フローチャートをFig. 1に示した。混練によってできた生地は直ちにエクストルーダ（北日本機設サービス製）で，主に混練摩擦熱により約98℃まで加熱されダイから押し出して麺線にした。その後，麺は金網ベルトコンベアで輸送（3～5 m・min⁻¹）され，その輸送中に冷風で，室温まで冷却した。そして，所定の長さ（25×10⁻² m）に切断した後，ハイバリヤーフィルム袋（麺重量20

g）で装填し，オートクレーブで殺菌加熱（80℃，40分間）し，冷却して製品とした。

3. 押し機の構造

押し機の構造はFig. 2に示した。スクリュを駆動するモータ④は日立11 kw4 P（200 W）で，プーリにより減速される。混練された生地はホッパ①から供給され，一軸スクリュのフィーダ②で生地をスクリュに送り込む。ここでの生地の温度は約30℃であった。生地はスクリュ⑦により搬送され，スクリュヘッド⑩とバレルとの約2×10⁻³ mの間隙を通過し，ダイ③より麺線となる。ダイは直径143×10⁻³ m，厚さ8×10⁻³ mの円盤で，同心円上の直径109×10⁻³ m（外側）の位置に54個，直径103×10⁻³ m（中側）に50個，直径93×10⁻³ m（内側）に46個，それぞれの直径上でほぼ等間隔に直径1.1×10⁻³ mの穴がある。

押し機に関係した測定項目は，スクリュ先端の圧縮部での圧力センサによる圧力，および温度センサによる温度，駆動モータの電流，電圧，反射型回転計（Ono Sokki製HT-441）によるスクリュ回転数，ならびにダイからの麺の流量である。流量はスクリュ回転数200～500 rpmのときは30 s毎に，回転数600～900 rpmのときは10 s毎にダイから出てくる麺線を切断し，その重量から求めた。

Table 1 The composition of doughs

| | Starch (kg) | Wheat flour (kg) | Kanpun* (kg) | Salt (kg) | Ethanol (l) | Water added (kg) | Moisture containing all powders of 10 kg (kg) |
|-------------------|-------------|------------------|--------------|-----------|-------------|------------------|---|
| Potato starch 40% | 4.0 | 6.0 | 0.036 | 0.2 | 0.5 | 5 | 1.45 |
| Potato starch 60% | 6.0 | 4.0 | 0.036 | 0.2 | 0.5 | 5 | 1.32 |
| Corn starch 40% | 4.0 | 6.0 | 0.036 | 0.2 | 0.5 | 5 | 1.33 |
| Corn starch 60% | 6.0 | 4.0 | 0.036 | 0.2 | 0.5 | 5 | 1.35 |

* Mixture of sodium carbonate and potassium carbonate

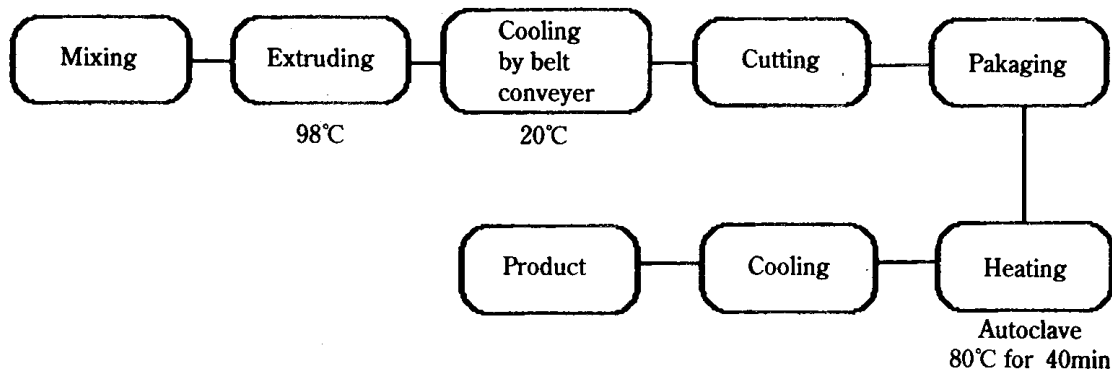


Fig. 1 Flow chart of manufacturing of the Korean noodle "Reimen"

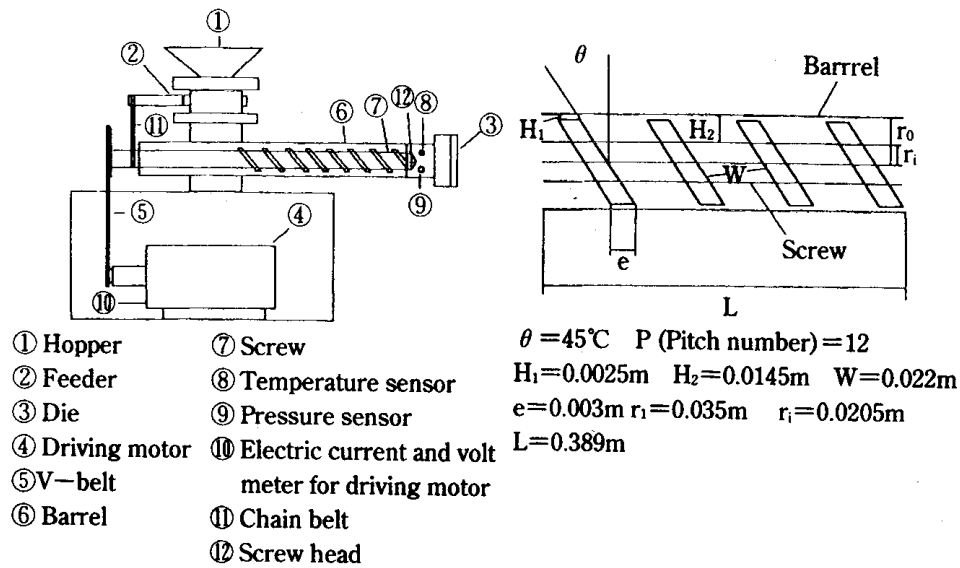


Fig. 2 Diagram of the Korean noodle "Reimen" extruder

4. 膨化率

麵の膨化率 e_0 はダイ穴の直径 d_1 に対する麵直径 d_2 の比とし、次式により求めた。

$$e_0 = \frac{d_2}{d_1} \times 100 \quad (1)$$

なお、麵の直径は、回転数毎に押出された直後の麵を厚さ計 (山電(株)製 model hc-3305) で、それぞれ 10~15 回測定し、平均値を求めた。

5. 滞留時間

Table 1 におけるバレイショでんぶん 40% 配合生地の中に食紅 (赤色 106 号丸紅商会) を生地に対して 0.001% 混入し、赤色生地を得た。通常の生地 2.0 kg を供給ホップスクリュウに入れ、そのスクリュウ中央部に赤色生地 20 g を挿入し、スクリュウ回転数毎に押し出機にて混練されてダイから流出する赤色麵線をサンプリングした。サンプリングはスクリュウ回転数 200~500 rpm では 10 s 毎、600~900 rpm では 5 s 毎に行い、無色になるまでサンプリングした。麵の色度は色彩色差計 (ミノルタ(株)CR-200) を用い a 値 (赤緑度) を求めた。

麵の色度 (a 値) は赤色生地を投入してから t_0 時間後ダイから赤色麵が観察され、最初は色が薄くだんだん濃くなり、最大値に達し、その後また薄くなり消滅した。すなわち、滞留時間 t と微小時間 dt を加えた $t+dt$ との間における赤色の度合を示す分布関数を $E(t)$ で表すと平均滞留時間 t_m は

$$t_m = \int_0^{\infty} tE(t)dt \quad (2)$$

となる。

また、バレルとスクリュウ間隙およびスクリュウピッチ内の全容積を V (m^3)、生地の容積流量を Q ($m^3 \cdot s^{-1}$) とし、次式より見掛け滞留時間 t_v (s) を求められた。

$$t_v = \frac{V}{Q} \quad (3)$$

さらに、一般にニュートン流体における滞留時間 t_n は次式で求められた³⁾。

$$t_n = \frac{4}{3} t_0 \quad (4)$$

6. 解析法

(1) 見かけの粘性率

スクリュウ軸径上のずり応力 f (Pa) は、次式で表される。

$$f = \frac{\Delta p(r_o^2 - r_i^2)}{2 r_i L} \quad (5)$$

ただし、 r_o はバレル内径 (m)、 r_i はスクリュウ軸径 (m)、 Δp は圧縮圧 (Pa)、 L はバレルの長さ (m) である。

ずり速度 $\dot{\gamma}$ (s^{-1}) は

$$\dot{\gamma} = \frac{r_i \omega}{r_o - r_i} = \frac{r_i 2 \pi N}{r_o - r_i} \quad (6)$$

である。ただし、 ω はスクリュウの角速度 ($rad \cdot s^{-1}$)、 N は回転数 (s^{-1}) である。したがって、見掛けの粘性率 η_{ap} (Pa · s) は

$$\eta_{ap} = \frac{f}{\dot{\gamma}} = \frac{\Delta p (r_o + r_i)(r_o - r_i)^2}{4 \pi r_i^2 L N} \quad (7)$$

となる。

(2) 理論流量

一般に容積流量 Q ($m^3 \cdot s^{-1}$) に関し、つぎの理論式が提案されている^{3)~5)}。

$$Q = G_1 N F_1 - \frac{G_2}{\eta_{ap}} F_2 \frac{\Delta p}{L} \quad (8)$$

(8)式の右辺の第1項は、スクリュによる推進流 (Q_1)、第2項は、スクリュ溝に沿って逆方向に流れる背圧流 (Q_2) による流量である。(8)式に(7)式を代入するとスクリュの回転数に関して、つぎの一次式になる。

$$Q = (G_1 F_1 - \frac{4 \pi r_i^2}{(r_o + r_i)(r_o - r_i)^2} G_2 F_2) N \quad (9)$$

$$G_1 F_1 - \frac{4 \pi r_i^2}{(r_o + r_i)(r_o - r_i)^2} G_2 F_2 = K \quad (m^3) \text{ とすると}$$

$$Q = KN \quad (10)$$

となる。

ここで、 F_1 (-)、 F_2 (-) はそれぞれ回転力、圧力による補正係数である。また G_1 (m^3)、 G_2 (m^3) は形状由来の定数で次式で与えられる。

$$G_1 = \frac{\pi^2}{2} D^2 H_2 \left(1 - \frac{ep}{\pi D \sin \theta}\right) \sin \theta \cos \theta \quad (11)$$

$$G_2 = \frac{\pi}{12} D H_2^3 \left(1 - \frac{ep}{\pi D \sin \theta}\right) \sin^2 \theta \quad (12)$$

ここで、 D はスクリュ直径 (m)、 e はピッチの幅 (m)、 p はピッチ数である。その他の記号については Fig. 2 参照のこと。

(3) 押しエネルギー

押しエネルギーの理論式は次式で与えられる。

$$E_1 = G_3 N^2 \eta_{ap}$$

$$\left[\frac{W}{H_2} (\cos^2 \theta + 4 \sin^2 \theta) + \frac{e}{H_2 - H_1} \right] + G_4 N \Delta p \quad (13)$$

ここで、 E_1 は押しエネルギー ($J s^{-1} = W$)、記号は Fig. 2 を参照のこと。

ここで、 G_3 (m^3)、 G_4 (m^3) は形状に関する定数で、次式で与えられる。

$$G_3 = \frac{p(\pi D)^2 L}{\sin \theta} \quad (14)$$

$$G_4 = \frac{p \pi D W H_2}{2} \cos \theta \quad (15)$$

(4) 実熱量

実際の熱量 q (W) は次式で与えられる。

$$q = \rho Q \left[\int_{t_1}^{t_2} C_p dt + \int_{p_2}^{p_1} \frac{dp}{\rho} + \Delta H \right] \quad (16)$$

ここで、 ρ は生地密度 ($kg \cdot m^{-3}$)、 Q は流量 ($m^3 \cdot s^{-1}$)、 C_p は定圧比熱 J ($kg^{-1} \cdot K^{-1}$)、 ΔH ($J kg^{-1}$) はでんぷんの糊化のための反応熱である。

実験結果と考察

各生地とも準塑性流動を示し、一つの流動曲線で表すことができた。膨化率は最高値でダイ穴の約3倍であった。流量は、スクリュ回転数に比例し簡潔な一次式で表された。滞留時間の実測値は低スクリュ回転数で大きく、高スクリュ回転数で小さくなった。背圧流量はスクリュの回転数に関係なく、推進流量の16.4%を示した。押しエネルギーはスクリュの回転数の自乗と粘性率に比例することが認められた。摩擦熱量は実測熱量の約70%を示した。また、動力数はフルード数とレイノルズ数の積で表された。以下各項目に従ってこれらを詳述する。

1. 見掛けの粘性率

ずり応力とずり速度との関係は Fig. 3 に示した。コーンスターチ40%では低ずり速度で、多少高いずり応力を示し、またコーンスターチ60%ではスクリュ回転数500~900 rpmで麺線にならなかった。ずり速度とずり応力の関係は配合によって大きく変わらないため一つの降伏値をもつ準塑性体の流動として、つぎのように表すことができた。

$$f = k (\dot{\gamma})^n + f_0 \quad (17)$$

ここで、 k : コンシステンシー係数 ($Pa \cdot s^n$)、 f_0 : 降伏値 (Pa)、 n : 流動指数 (-)、である。この場合 $k = 1.45 Pa \cdot s^n$ 、 $f_0 = 15 kPa$ 、 $n = 0.4$ である。

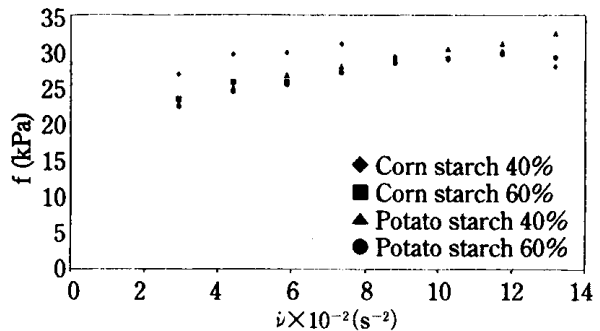


Fig. 3 Relationships between shear stress f and shear rate $\dot{\gamma}$

見かけの粘性率とずり速度との関係は Fig. 4 に示した。各生地の見かけの粘性率はずり速度の増加に応じて減少した。この関係はつぎの実験式で表された。

$$\eta_{ap} = 1.05 \times 10^2 \exp(-6 \times 10^{-4} \dot{\gamma}) \quad (18)$$

2. 膨化率

Fig. 5 に見掛けの粘性率と膨化率との関係を示した。見掛けの粘性率が增加するにつれて、膨化率はやや減少

する傾向がみられた。バレイショでんぷん配合麺はコーンスターチ配合麺より高かった。また、両配合ともでんぷん(60%)のものが膨化率が高く最高値でダイ穴径の約3倍の値まで膨化した。

3. 流量解析

この冷麺用押し機では(8)式における G_1 , G_2 はそれ

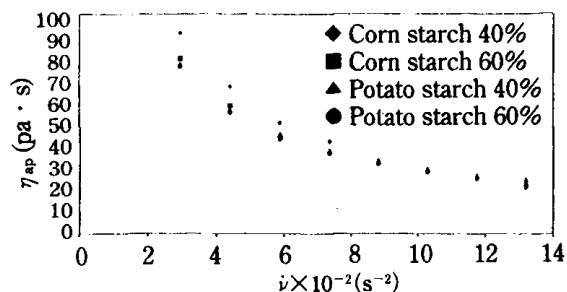


Fig. 4 Relationships between apparent viscosity η_{ap} and shear rate $\dot{\gamma}$

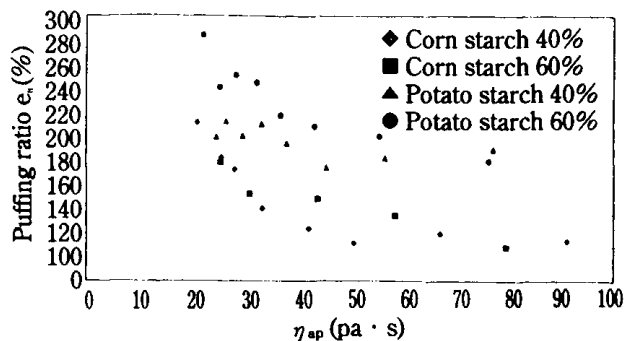


Fig. 5 Relationships between puffing ration e_n and apparent viscosity η_{ap} of doughs

Table 2 Comparison of measurement value and calculated value of flow rate

| Corn starch 40% ($F_1=0.0096$ $F_2=-0.0007$) | | Corn starch 60% | | |
|---|-------------|---|-------------|------------|
| Flow rate Q (10^6 m ³ s ⁻¹) | | Flow rate Q (10^6 m ³ s ⁻¹) | | |
| Rotational speed of screw (rpm) | Measurement | Calculated | Measurement | Calculated |
| 200 | 5.08 | 5.09 | 4.28 | 3.03 |
| 300 | 8.00 | 7.63 | 6.45 | 4.54 |
| 400 | 9.87 | 10.2 | 7.87 | 6.06 |
| 500 | 11.6 | 12.7 | 8.54 | |
| 600 | 12.8 | 15.3 | 10.2 | |
| 700 | 14.6 | 17.8 | 12.1 | |
| 800 | 17.7 | 20.3 | 12.1 | |
| 900 | 16.9 | 22.9 | 13.1 | |
| Potato starch 40% ($F_1=0.0131$ $F_2=-0.0004$) | | Potato starch 60% ($F_1=0.0112$ $F_2=-0.0003$) | | |
| Flow rate Q (10^6 m ³ s ⁻¹) | | Flow rate Q (10^6 m ³ s ⁻¹) | | |
| Rotational speed of screw (rpm) | Measurement | Calculated | Measurement | Calculated |
| 200 | 4.12 | 4.13 | 3.53 | 3.61 |
| 300 | 6.23 | 6.20 | 4.75 | 5.42 |
| 400 | 8.32 | 8.26 | 7.14 | 7.23 |
| 500 | 11.9 | 10.3 | 9.36 | 9.04 |
| 600 | 13.5 | 12.4 | 12.2 | 10.8 |
| 700 | 16.3 | 14.5 | 14.2 | 12.7 |
| 800 | 19.3 | 16.5 | 17.0 | 14.5 |
| 900 | 21.9 | 18.6 | 19.0 | 16.3 |

Under lines mean that manufacturing of the noodle is impossible.

ぞれ、 G_1 $1.954 \times 10^{-4} \text{ m}^3$ 、 G_2 $1.946 \times 10^{-8} \text{ m}^3$ が実測された。また、流量 Q 、回転数 N 、見掛けの粘性率に対する圧力比 $\Delta P/\eta_{ap}$ の実測値から求めた F_1 、 F_2 はTable 2に表した通りである。コーンスターチ60%配合生地においては麵線にならず割愛した。(9)式にこれらの G_1 、 G_2 、 F_1 、 F_2 の値を代入し、各配合生地において、(10)式の定数 K を求めると、コーンスターチ40%配合生地では $1.52 \times 10^{-6} \text{ m}^3$ 、バレイショでんぷん40%配合生地では 1.239×10^{-6} 、バレイショでんぷん60%配合生地では $1.084 \times 10^{-6} \text{ m}^3$ となった。また、理論流量の相対誤差は10%であった。

4. 滞留時間

Fig. 6は、各スクリュ回転数における滞留時間の分布関数 $E(x)$ を示した。この分布はスクリュ回転数の増加につれて上方の凸の鋭利な形状となった。

Table 3は各種滞留時間を示した。表中で明らかなるよう $t_m > t_n > t_v$ の関係がある。実測の t_m では200 rpmで284 s、900 rpmで38 sで、回転数が4.5倍となると、 t_m は1/7.5倍になった。 t_m は他の滞留時間より大きいのは、前述したように生地がスクリュ内で準塑性流動を示すためと、考えられる。 Q_2/Q_1 の比を表中に示した。この値は回転数と関係なくほぼ一定の値を示し、推進流量の16.4%が背圧流量を生じている。

5. 押しエネルギーの解析

冷麺用押し機に(13)式を適用すると

$$E_1 = 1.4 N^2 \eta_{ap} + 3.5 \times 10^{-5} N \Delta p \quad (19)$$

となる。また、(7)式を用いて Δp を $N\eta_{ap}$ で表すと、 E_1 はつぎのように書直すことができる。

$$E_1 = 1.8 N^2 \eta_{ap} \quad (20)$$

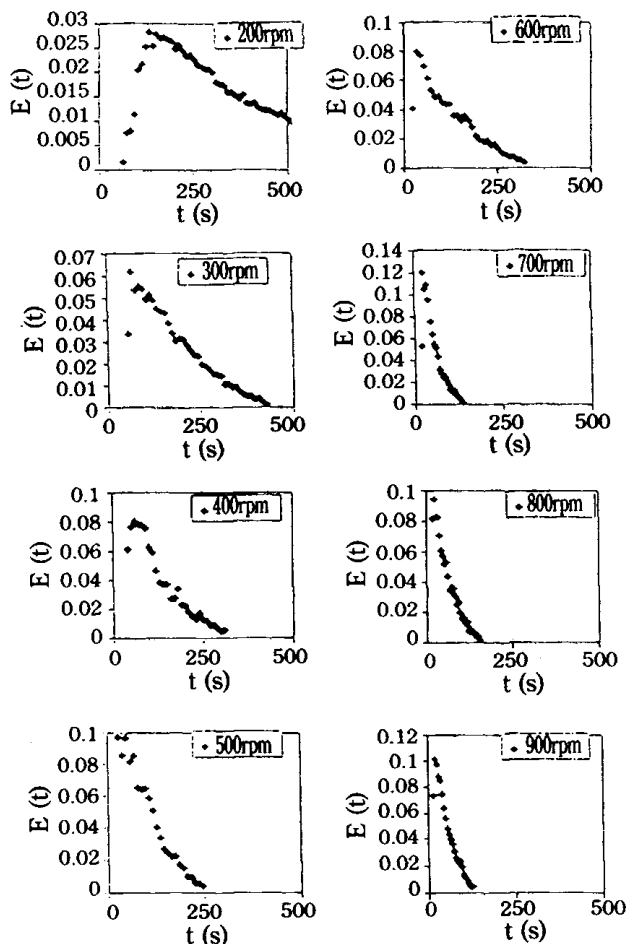


Fig. 6 Distribution function $E(t)$ of residence time at various rotational speed of screw

Table 3 Relationship between number of revolution of screw and various residence times

| Number of Revolution (rpm) | 200 | 300 | 400 | 500 | 600 | 700 | 800 | 900 |
|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| t_m (s) | 284 | 146 | 101 | 78 | 61 | 45 | 43 | 38 |
| t_v (s) | 27.94 | 18.46 | 13.82 | 9.65 | 8.53 | 7.04 | 5.91 | 5.25 |
| t_n (s) | 71.06 | 38.09 | 30.31 | 22.99 | 24.24 | 20.69 | 12.69 | 11.49 |
| $t_m t_v (-)$ | 10.16 | 7.90 | 7.30 | 8.08 | 7.15 | 6.39 | 7.28 | 7.23 |
| $t_m t_n (-)$ | 3.99 | 3.83 | 3.33 | 3.39 | 2.51 | 2.17 | 3.38 | 3.30 |
| $Q_1 (10^6 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1})$ | 4.95 | 7.42 | 9.89 | 12.36 | 14.84 | 17.32 | 19.78 | 22.63 |
| $Q_2 (10^6 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1})$ | 0.82 | 1.22 | 1.63 | 2.03 | 2.44 | 2.85 | 3.26 | 3.67 |
| $Q_2/Q_1 \times 100$ | 16.6 | 16.4 | 16.5 | 16.4 | 16.4 | 16.5 | 16.5 | 16.2 |

駆動モータの電流、電圧の測定による押し出しエネルギー E_2 と理論エネルギー E_1 との関係は Fig. 7 に示した。これから、実際のエネルギーは理論エネルギーの約 83% であることが分かった。

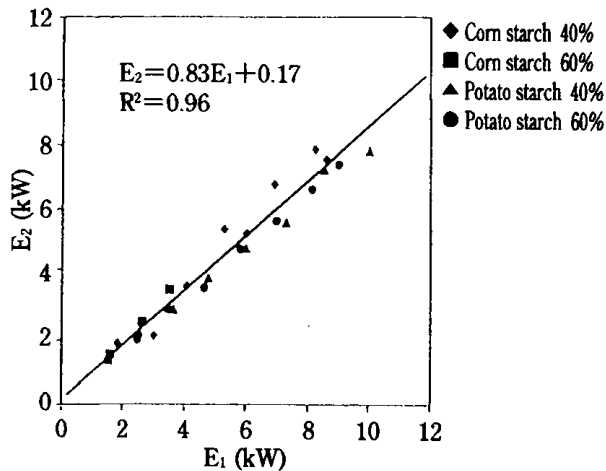
6. 押し出し摩擦熱の解析

まず (16) 式により実際の熱量 q を求める。(16) 式の第 1 項は生地比熱に関する熱量である。定圧比熱 $C_p = 1.53$ ($J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$) (40% 配合生地)、および 1.50 ($J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$) (60% 配合生地) とし、 $\rho = 1.83 kg \cdot m^{-3}$ 、バレルに生地が入るときの生地の温度 t_1 と生地の最大温度 t_2 をそれぞれ $98, 43^\circ C$ とし、この項を計算した。第 2 項の圧力差に関する熱量で、流量によって変動するので、流量毎の圧力 P_1 および P_2 を求め (圧力差 $P_1 - P_2 = 4.5 \sim 6.0 MPa$) この項の熱量を求めた。これらの第 1 項と第 2 項の和として、実際の熱量が求められた。摩擦熱 F は (13) 式の第 2 項 $G_i N \Delta P$ が圧力に依存し、この熱量が摩擦熱に変換するものと仮定し求められた。実際の熱量 q と摩擦熱 F とを比較すると Fig. 8 のようになった。両者は一致せず、実際の測定による熱量は約 30% 大きい。これは最初スクリーヘッドをバーナで加熱し、それによる熱容量を維持しながら、高温加熱が行われているからである。バレルおよびスクリーを一体とした熱容量は約 $1.2 \times 10^3 kJ$ である。

7. 動力数の算出

押し出し機の動力 P はつぎの関数として表される。

$$P = f(DN, \rho, \eta_{ap}, g) \tag{21}$$



E_1 : Energy calculated from theoretical equation
 E_2 : Energy calculated from measuring values

Fig. 7 Comparison between extruding energy calculated from measuring values and that from theoretical equation

ここで

DN : 回転速度 ($m \cdot s^{-1}$)

ρ : 生地の密度 ($kg \cdot m^{-3}$)

η_{ap} : 生地の粘性率 ($Pa \cdot s$)

g : 重力加速度 ($m \cdot s^{-2}$)

である。

次元解析により (21) 式の関数形を求めると

$$\frac{P}{D^5 N^3 \rho} = C \left(\frac{g}{DN^2} \right)^x \left(\frac{\eta_{ap}}{D^2 N \rho} \right)^y \tag{22}$$

である。

動力数 $N_p = P/D^5 N^3 \rho$ 、フルード数 $Fr = DN^2/g$ 、レイノルズ数 $Re = D^2 N \rho / \eta_{ap}$ で、(22) 式を表すことができる。すなわち、

$$N_p = C (Fr)^{-x} (Re)^{-y} \tag{23}$$

となる。

測定値により、 N_p 、 Fr 、 Re を求め、指数 x 、 y を求めると、

$$N_p = C (Fr)^{-0.46} (Re)^{-0.45} \tag{24}$$

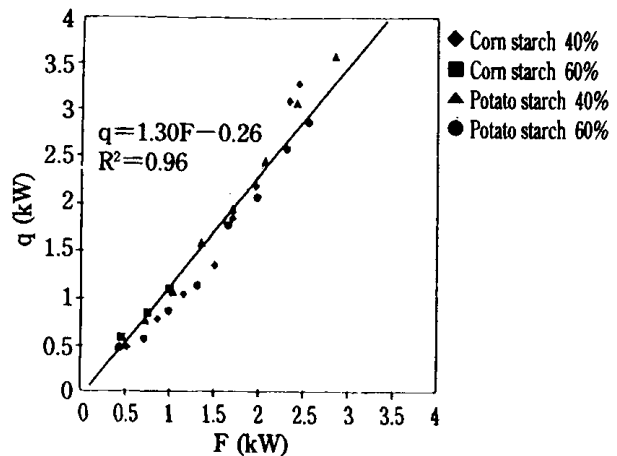
となる。

Fig. 9 は $N_p / (Fr)^{-0.46}$ と $(Re)^{-0.45}$ との関係を示した。この勾配は C を与え、 $C = 2.3 \times 10^3$ が求められる。

要 約

摩擦熱を利用して、生地を加熱する冷麺用押し出し機の機械特性および熱特性を検討し次の結果を得た。

1) 押し出し機中の生地の粘性は塑性流動を示し $f = k(\dot{\gamma})^n + f_0$ (f : ずり応力, k : コンシステンシー係数, $\dot{\gamma}$: ずり速度, f_0 : 降伏値, n : 流動指数) で示された。コーンスターチ (40~60%) およびバレイショでんぷん (40



F : Heat quantity of friction obtained from pressure loss
 q : Practical heat quantity for dough

Fig. 8 Relationship between F and q

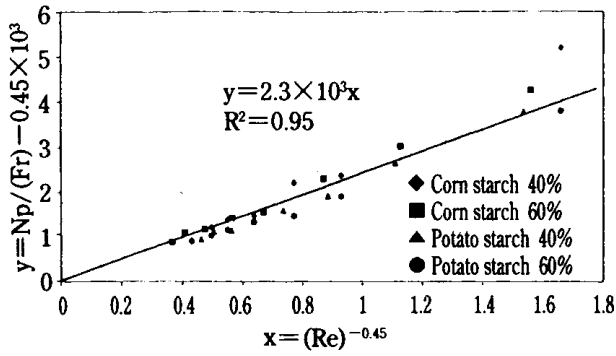


Fig. 9 Relationship between $N_p / (Fr)^{0.46}$ and $(Re)^{-0.45}$

～60%) 配合生地では $k = 1.45 \text{ Pa} \cdot \text{s}^n$, $f_n = 15 \text{ kPa}$, $n = 0.4$ であった。

2) 麺線の膨化率は生地の見掛けの粘性率の増加につれて、減少する傾向が見られた。バレイショでんぷん配合の方がコーンスターチ配合より高い膨化率を得た。また、両配合とも高でんぷん配合(60%)の方が膨化率は高かった。

3) 容積流量は $Q = KN$ (K : 定数, N : スクリュ回転数) で表された。 K はコーンスターチ 40% で $1.52 \times 10^{-6} \text{ m}^3$, バレイショでんぷん 40% で 1.239×10^{-6} , バレイショでんぷん 60% で 1.084×10^{-6} であった。

4) スクリュ内の容積と流量から求めた見掛けの滞留時間 t_v と生地がニュートン流体と仮定したときの滞留時間 t_n はいずれも赤色マーカー法で求めた滞留時間 t_m

より小さく, $t_m > t_n > t_v$ の関係があった。これは生地が準塑性流動することによるものと考えられ, t_m はスクリュ回転数 200 rpm で 284 s, 900 rpm で 38 s であり, 回転数の増加につれて減少した。

5) 押し機の理論エネルギーは, $E_1 = 1.801 N^2 \eta_{ap}$ で表され, 実際のエネルギーは理論エネルギーの約 83% であった。

6) 圧力損失から求めた摩擦熱量は, 実際の生地の熱量の約 70% を占めていた。

7) 押し機の動力数 N_p はフルード数 Fr , およびレイノルズ数 Re の無次積で, つぎのように表すことができた。

$$N_p = 2.3 \times 10^3 (Fr)^{-0.46} (Re)^{-0.45}$$

文 献

- 1) 日本食品工業学会編：新版食品工業総合事典（光琳，東京）p.1030（1993）。
- 2) 高橋節子：私信。
- 3) HAPPER, J.M. : Extrusion of Foods. vol. 1, CRC Press, Inc. p. 48（1981）。
- 4) PATON, J.B., SQUIRES, P.H., DARELL, W.H., CACH, F.W. and CALEY, J.F. : Processing of Thermoplastic Matelials, Bernhardt, Ed. R. OBERT Krieger, Huntington, New York, p. 178（1974）。
- 5) 矢野俊正・桐栄良三監修：食品工学基礎講座—混合と成形（光琳，東京），p. 110（1990）。

（平成 8 年 3 月 1 日受理）