小麦粉の加熱押出し加工に関する基礎的研究

國府田佳弘*・小宮俊幸**

Fundamental Studies on Extrusion Forming of Wheat Flour

YOSHIHIRO KOHDA and TOSHIYUKI KOMIYA

Fundamental gelatinization properties of wheat flour by an extruder were studied. Results are as follows.

(1) Weak flour began to flow at the temperature of 120°C, was gelatinized above 138°C, was texturized above 170°C and had the softest texture above 190°C under the compression of 150 kg/cm². These behavior were observed more evidently under the compression of 200 kg/cm².

(2) In the case of strong flour, expansion ratio was smaller than that of the other, and had no maximum value below 200°C.

(3) Expansion ratio was closely related to apparent viscosity, and their relationships were formulated as follows.

$$\epsilon = 0.8 \times \left(\frac{\eta_a}{10^6} \right)^{-1.3} \quad (\text{Weak flour})$$

$$\epsilon = 0.5 \times \left(\frac{\eta_a}{10^6} \right)^{-1.0} \quad (\text{Strong flour})$$

(Received July 16, 1974)

穀物の加熱押出し加工法は、たとえばスナック軽食品を作るとき、あるいは Textured Vegetable Protein を作る場合などに用いられている^{1)~5)}。これらは原料をエクストルーダなどで加熱状態で圧縮押出しをし、瞬間的に除圧される際の膨化乾燥と組織の生成、すなわち連続的な Puff Dry 効果などを利用したものである。しかしながら、これらの加工に際しての加工条件と製品との定量的な関係は明らかでなく、また高温、高圧下における穀粉の挙動も全く不明である。本研究はこれらを明らかにし、押出し加工法の条件選定の資料とすると共に、めん類、焼酎などの既存の食品の新しい加工法を見出すための示唆を得ようとするものである。

そこで、試料として、穀物のうち最も広く使われている小麦粉をとり、加工時の圧力、加熱温度と製品の性状との関係を明らかにすると共に、その加工条件下における試料の流動特性を求めた。

試料および実験方法

1. 試料

試料は工場規模のロール製粉をした、添加物を含まない風乾状態の小麦粉を用いその種類は表1に示すように薄力系の粉2種(試料AおよびB)と、強力粉(試料C)1種とした。これらの試料の含水率は12%内外で、蛋

表1 供試試料

試料	蛋白質含量	原料
A	7.1%	米 国 産 Western White 内 麦
B	7.6%	米 国 産 Western White 内 麦
C	11.4%	カナダ産 Manitoba 米 国 産 Hard Winter

* 九州大学農学部食糧化学工学科 (福岡市東区箱崎)
Dept. of Food Science & Technology, Faculty of Agriculture. Kyushu Univ., Hakozaki,
Higashi-ku, Fukuoka.

** 有明工業高等専門学校 (大牟田市東萩尾町 150)
Ariake Technical College. 150 Higashihagio-machi, Ohmuta,

白質含量および原料は表に示したとおりである。ここで試料Bは蛋白質含量が7.6%ということから薄力系としたが、その実際の用途としては乾めんなど中力系に属する商品とされているものである。

2. 装置および測定法

実際の加熱押し出し加工にはスクリュウ・イクストルダを使うことが多いが、これは加工中に圧力が著しく変動し、かつ多量の試料を必要とするので基礎研究には不適当と考え、通常合成高分子材料の押し出し加工の際に予備試験に用いられるピストン式の加圧押し出し試験機を用いた。すなわち、前述の試料 3 gr. をあらかじめハンドプレスで直径 1.0 cm, 長さ 2 cm 内外に予備成形し、これを島津製作所製の高化式フローテスターの加熱体内に入れ、加熱、加圧し、押し出した。このとき試料は加熱体内で一部または全部が gelatinize されて流動状態になりノズルから流出し、同時に除圧乾燥されてその条件により Fig. 1 の写真に示すような乾めん状から麩状になる。なおフローテスターについては文献 6) に詳しく、また本誌においても別報⁷⁾ に述べたので説明を省略する。流出が後述の定常状態になった時点でこの流出物の断面積を測定し、ノズル (口径 0.5 mm) の断面積との比を求めて膨化率とし、流出物の性状の指標とし、これが加圧時の圧力と温度の変化に伴いどのように変化するかを検討した。圧力は 200 kg/cm² と 150 kg/cm² の2種類とし、温度は 120°C から 200°C まで 2°C きざみに設定した。また、さらにプランジャの沈下と時間の関係を示す試料の流出曲線から見かけの粘度を求めた。すなわち Fig. 2 に流出曲線の例を示すと、AB は粉体状の試料の圧縮による沈下域であり、CD は gelatinize

Fig. 2. An example of flow curve

された試料の初期流出域で、DE が定常状態に達した流出域の沈下と時間の関係を示している。この DE の傾斜から試料の流出速度 Q を算出し、圧力 P とノズル半径 R および長さ L とから見かけの粘度を

$$\eta_a = \{(PR)/(2L)\} / \{(4Q)/(\pi R^3)\}$$

として求めた⁸⁾。なお試料の流出が定常域に達する時間は試料および条件によって異なるが 30~100 秒で、定常域の持続時間はこの 1~4 倍であるが流出速度が早いので流出量からいえば流出物の 90% 以上である。

実験結果および考察

上述の過程によって得られた流出物の膨化率と温度、圧力との関係を Fig. 3 (a)~(c) に示す。ここで、(a), (b), (c), 各図はそれぞれ試料 A, B および C の測定結果であり、実線は加圧力 200 kg/cm² の場合で破線は 150 kg/cm² の場合である。またこのときの流出物の性状の外観の例を示すと Fig. 1 のようになる。すなわち薄力粉である試料 A を原料とするものでは、まず圧力 150 kg/cm² の場合に 120°C 近辺から gelatinize を開始し、

Fig. 1. Examples of extruded products

Fig. 3. (a) Relation between expansion rate of weak flour (Sample A) and temperature

Fig. 3 (b) Relation between expansion rate of weak flour (Sample B) and temperature

Fig. 3 (c) Relation between expansion rate of strong flour and temperature

押し出しが可能になり、138°C を越えると膨化を始めほぼ乾めん状のものが得られ、170°C を越えると膨化率は急に増大し Puff Dry 効果によって多孔質のやや硬い性状のものが得られ、さらに 190°C を越えると多孔質の組織は非常にやわらかくなり、麩状となる。圧力 200 kg/cm² で押し出すときは Fig. 3 (a) の実線で示すように、さらにこれが顕著であり 180°C をわずかに越えたところで麩状になるが、190°C を越えると膨化率は低下する。

試料 B を原料とした場合にもほぼ同様の傾向を示すが膨化率はわずかに低く、200 kg/cm² の圧縮圧力のときの膨化率の最大値も高温側に移動する。一方、強力粉である試料 C を原料とした場合には Fig. 2 (c) のように前二者とは異なり、150 kg/cm² の圧力のときは 116°C で gelatinize を開始し、150°C で膨化をはじめ、200 kg/cm² の圧力のときには 104°C で流出を開始し 142°C で膨化をはじめ、膨化率は全般に低く、本実験の高温限界とした 200°C 程度までは膨化率の極値は現れず、また前二者にくらべ温度上昇に伴う膨化率の増大のしかたは一様で変化が少なく、めだつた変曲点を持たず麩状のものはこの範囲内では得られない。Fig. 1 はこれらの

流出物の性状を写真に示したもので、強力粉と薄力粉(試料 A)を原料とするものが対比してある。

今、水分を一定とすれば膨化率の度合は物理的にはノズルから流出するときの試料の性状と除圧速度によるものと考えられるが、これらはいずれも試料の粘度がその因子になるので前述の方法で各条件における試料の見かけの粘度を求めた。その結果は Fig. 4 (a)~(c) のとおりで、その値は薄力粉の試料 A の場合が $5 \times 10^4 \sim 5 \times 10^6$ dyne·sec/cm²、同じく試料 B の場合が $6 \times 10^4 \sim 2 \times 10^6$ dyne·sec/cm² で、強力粉の場合は $8 \times 10^6 \sim 7 \times 10^8$ dyne·sec/cm² であった。すなわち薄力粉の場合は強力粉の場合よりも粘度が低く、これが膨化率の差になっているものと推察される。

Fig. 4 (a) Relation between apparent viscosity of weak flour (Sample A) and temperature

Fig. 4 (b) Relation between apparent viscosity of weak flour (Sample B) and temperature

Fig. 4 (c) Relation between apparent viscosity of strong flour and temperature

Fig. 5. Relation between expansion ratio and apparent viscosity

見かけの粘度と膨化率の関係をより一層明確に知するために各試料の粘度と膨化率の関係を両対数方眼紙にプロットすると Fig. 5 のようになる。これによれば見かけの粘度が 0.5×10^6 dyne·sec/cm² よりも低くなると膨化を始め、粘度が低下するにつれて薄力粉と強力粉の2群に分れて膨化率は上昇する。この2群に直線を適合させれば両者の関係はそれぞれ

$$\epsilon = 0.8 \times \left(\frac{\eta_a}{10^5} \right)^{-1.3} \quad (\text{薄力粉})$$

$$\epsilon = 0.5 \times \left(\frac{\eta_a}{10^5} \right)^{-1.0} \quad (\text{強力粉})$$

という式で表わすことができる。ここで ϵ は膨化率を、 η_a は見かけの粘度を表わす。この結果から、たとえばパスタ類のような性状の連続相を持つ材料を得ようとす

れば、見かけの粘度を 0.5 dyne·sec/cm² 以下にするような条件を与えればよい。しかしながら膨化の度合は単純に粘度だけによっては決まらずに上述のように小麦粉の性質によって(1)式をもって表わされるものと(2)式によって表わされるものなどがあるわけであるが、小麦粉のDoughの粘弾性の挙動においてもその支配因子は蛋白質の含量であるように、この場合も試料A・Bの7.1および7.6%に比較して試料Cの蛋白質含量は11.4%と非常に高く、これがそれぞれ異なる挙動を示す重要な因子であると思われる。

要 約

加熱押出し法によって小麦粉を加工するときの基本的特性をフローテスタを用いて定量的に追求し、次の結果を得た。

(1) 薄力粉は加圧力 150 kg/cm² のときに 138°C 近辺から流動を開始し、 170°C を越えると多孔質の組織を持ち始め 190°C を越えると流出物は糸状となる。加圧力 200 kg/cm² のときは温度に伴う膨化率の上昇がこれよりも明確で、 190°C を越えると膨化率は減少する。(Fig. 3(a), (b))

(2) 強力粉の場合には膨化率は前二者よりも低く、膨化率の極値も現れない。(Fig. 3(c))

(3) 膨化率は見かけの粘度と密接な関係があり、その両者の関係は次式によって示される。

$$\epsilon = 0.8 \times \left(\frac{\eta_a}{10^5} \right)^{-1.3} \quad (\text{薄力粉})$$

$$\epsilon = 0.5 \times \left(\frac{\eta_a}{10^5} \right)^{-1.0} \quad (\text{強力粉})$$

文 献

- 1) SPADRO, J. J., MOTTERN, H. H. and GALLO, A. S.: *Cereal Science Today*, **16**, (8) 238 (1971).
- 2) SMITH, O. B.: *The Miller*, Aug. 1971, p. 14.
- 3) 米山 徹: 日本食品工業学会第16回大会シンポジウム要旨, p. 54 (1969).
- 4) HARPER, J. M.: ASAE 1971, Annual Meeting Paper No. 71~869.
- 5) HARMANN, D. V. and HARPER, J. M.: ASAE 1972 Annual Meeting Paper No. 72~370.
- 6) 高分子学会: レオロジー測定法(共立出版), 2版, p. 90 (1968).
- 7) 國府田佳弘・小宮俊幸: 食品工誌, **18**, 366(1971).
- 8) 高分子学会: レオロジー測定法(共立出版), 2版, p. 94 (1968). (昭和49年7月16日受理)