

原料水分、擠壓及乾燥條件對濕狀擠壓 半成品及烘烤成品品質之影響

施明智

摘 要

本研究主要探討不同套筒溫度及原料水分對產品膨發性的影響，藉以了解擠壓半成品之糊化程度及其他物理化學特性對烘烤成品比容（膨發性）的影響，及擠壓半成品之處理對烘烤產品品質之影響，包括預乾燥及調質的效果。

以玉米粉：豆渣：米穀粉乾重比=81.8：10：8.2 當作基本配方。將基本配方分別調水至35%至40%（溼重）進行擠壓試驗。然後，利用三組不同的套筒溫度組合及固定 BT2=90°C，而改變BT3(110、130及150°C)的方式進行擠壓試驗。

結果發現，以三組不同的套筒溫度組合擠壓所得之半成品糊化程度愈小，反而比容愈大。由其相關性分析的結果發現，比容與半成品的最高黏度，膨脹力及水溶性碳水化合物(WSC) 值有極高的相關性。預乾燥實驗結果發現，乾燥至水分25%之片狀物再經 0.5小時的調質製得產品之外觀最佳。

前 言

食品多孔狀的構造乃利用氣泡的產生並使之成長的方式達到此目的（四宮與矢野，1985）。氣泡膨發理論首先來自Epstein 等(1949)觀察氣泡在水中之消長而提出溶存空氣(dissolved air) 的擴散理論。亦即在氣泡中，水分子向內蒸發（擴散），而造成氣泡往外生長。食品膨發的過程可分為下列四階段（四宮與矢野，1985）：(1)食品原料中氣泡核的分佈，以均勻分布最好，(2)以加熱等方法使氣泡核成長為

氣泡，此時水及空氣之蒸汽壓增加，(3)氣泡之繼續成長與合併（澱粉顆粒開始吸水膨脹），(4)原料物性產生變化氣泡固定，膨發停止。此時產生澱粉糊化，蛋白質變性及水分蒸發等現象而導致食品快速固化。

以擠壓機製造出之擠壓半成品，經調質、乾燥後，具有耐儲存之特性，且可再次加工（油炸、烘烤）成最終產品，此最終產品多具有膨發性。一般食品經膨發後的好處為可使產品呈多樣化的性質，並增加產品的脆度，而增進消費者之食慾及產品的吸引力。另外，膨發亦可造成食品的產生空泡，而有助於復水。

調質的機制到目前尚不明瞭（Fast and Cald-well, 1990），以往的觀念認為調質只是單純的使水分平均分佈於乾燥物中。因早期以熱風乾燥物品，而又缺乏控制濕度的機器，故在乾燥物中，中心的水分較表面為多，而當要將乾燥物進一步壓片時，乾燥的表面會阻礙其進入壓片機的滾輪空隙中。即使進入滾輪後，由於中心較濕黏，因此會黏覆在壓片機的切刀上，而影響其正常作業。有的學者則認為調質與澱粉的老化有關（White, 1979），因為經冷卻後但未調質之小麥雖可壓片，但所製得的半成品外觀較短、硬，且易卷曲，因此製得的產品較差；而經15-30°C調質8-28小時之小麥，則可製得長、直且平滑之半成品。

在本研究中探討的內容包括：(1)不同套筒溫度及原料水分對產品膨發性的影響，藉以了解擠壓半成品之糊化程度及其他物理化學特性對烘烤成品比容（膨發性）的影響，(2)擠壓半成品之處理對烘烤產品品質之影響，包括預乾燥及調質的效果。

材料與方法

一、實驗材料

以玉米粉：豆渣：米穀粉乾重比=81.8：10：8.2 當作基本配方，其水分為33.5%。

二、實驗設計

1.不同原料水分對產品膨發性影響試驗

將基本配方分別調水至35%至40%（溼重），以進料速率440g/min，螺旋轉速150rpm，套筒溫度：第一節為室溫，第二節100°C（簡寫為BT2），第三節140°C（簡寫為BT3），第四節則予以冷卻至40°C左右的擠壓條件進行擠壓試驗。所製得之擠壓產物經冷卻後以壓片機壓成2 mm之片狀物，並剪成2.5cm長之條狀物，

以輸送式紅外線烤爐進行烘烤，所用溫度為將各火嘴設定於 140°C 。實驗中除觀察片狀物之爐內體積(spring)改變之情況外，並測定烘烤時水分變化情況，測定方式為烘烤過程中，分別於進爐後30, 60, 90, 120, 150及190cm(出爐)位置分別取樣後，置於密閉玻璃秤量瓶中冷卻後測量水分含量，每組樣品重複兩次求平均值。

2.不同套筒溫度對產品膨發性影響試驗

將基本配方調水分至35%，以進料速率440g/min，螺旋轉速150rpm，利用三組不同的套筒溫度組合：(1)BT2= 60°C ，BT3= 60°C ，(2)BT2= 60°C ，BT3= 90°C ，(3)BT2= 90°C ，BT3= 130°C 進行擠壓試驗。所製得之擠壓產物經冷卻後以壓片機壓成2mm之片狀物再剪成2.5cm長，以 140°C 於輸送式紅外線烤爐中烘烤。烘烤過程中，分別於0、120、150及出口冷卻後取樣，經減壓乾燥後以肉眼觀察。同時，將烘烤成品以 40°C 減壓乾燥處理後，測定其比容，而擠壓半成品則分別測定其WAI、WSI及WSC，並與比容作相關性分析比較。

烘烤時產品內部溫度之變化情況係將熱電偶插入2mm片狀物中，以鐵絲將片狀物固定於輸送帶上，於進爐後每10cm記錄一次溫度，重複兩次求平均值。

3.不同第三節套筒溫度對產品膨發性影響試驗

將調水至35%之基本配方以固定BT2= 90°C ，而改變BT3(分別為100、130及 150°C)的方式，以進料速率440g/min，螺旋轉速150rpm進行擠壓試驗。所得擠壓產物經冷卻壓片成1.5mm厚之片狀物後，剪成約2.5cm，並於輸送式紅外線烤爐中以 140°C 之溫度加以烘烤。所得產物經 40°C 減壓乾燥後，測定其比容(SV)；同時，將擠壓半成品以 60°C 烘乾後，磨成通過60mesh之粉狀物以測定其膨脹力(swelling power)以及連續黏度(viscoamylograph)。將所得之比容、膨脹力及連續黏度之最高黏度值(peak viscosity)利用SAS(1988)統計套裝軟體進行相關性分析。

4.擠壓半成品之預乾燥(pre-drying)及調質(tempering)對烘烤成品品質之影響

將基本配方以BT2= 90°C ，BT3= 130°C 之擠壓條件製得擠壓半成品後，壓片至約1.5mm厚。首先將片狀物約50g置於鐵網上，懸掛於熱風乾燥箱中，以 40°C ，平均出口風速2.7m/s之條件進行乾燥。實驗中每隔30分鐘秤重一次，以求得乾燥曲線，並重複兩次求平均值。

由乾燥曲線選取 40°C 乾燥至水分25%及20%(乾燥時間分別為30min及1小時)之條件作為預乾燥(pre-drying)之條件。所得之乾燥物置於室溫下(相對濕度

70%)，分別放置30min及1, 2, 3 小時以調質。將調質後之片狀物以140°C 於輸送式紅外線烤爐進行烘烤。所得烘烤產品分別觀察外觀顏色及測定水分。

三產品理化性質之測定

1. 水分之測定

將原料約4g置於已烘乾恒重之燒杯中，於熱風乾燥箱中以105°C 烘乾至恒重後稱重，以計算水分。

2. 水溶性指標(water solubility index, WSI)與水溶性碳水化合物(water soluble carbohydrate, WSC) 修飾Anderson等(1969)之方法。

3. 比容

以油菜籽充填法(rapeseed method)。

4. 膨脹力(swelling power, SP)

以杉本等(1979)之方法修飾後測定。取樣品約1g置於45ml之離心管，加入35ml之蒸餾水，以玻棒均勻攪拌並避免結塊，於70°C水浴下振盪30min。取出後以離心機離心(3000g, 15 min)，將上澄液倒入燒杯中，以酚-硫酸法測定可溶性糖，離心管則稱重以計算沈澱物重，膨脹力之計算方式為：

$$SP(\text{g-gel/g-DM}) = \frac{\text{沈澱物重}}{(\text{樣品重} - \text{可溶性糖})}$$

5. 連續黏度測定

以Brabender 連續黏度儀(Brabender Viscoamylograph E, No. 1129E, Germany)測定。以乾燥後通過60mesh之擠壓半成品10克加水成500ml之懸浮液為樣品，由30°C開始加熱，以每分鐘上升1.5°C之速率至95°C，並於95°C維持30分鐘後，以同速降至30°C。測試時轉速為75rpm，使用350cmg之cartridge，黏度值以Brabender Unit(B. U.)表示。

結果與討論

一、不同原料水分對產品膨脹性之影響

將以兩種不同原料水分(35%，40%)擠壓所得半成品於冷卻後壓成約2mm厚之片狀物，經由輸送式紅外線烤爐烘烤並於不同進爐距離觀察後發現，40%水分原料製成的片狀物，在烘烤時皆是在90cm處開始膨大，而原料水分30%者，則在120cm處開始膨大。觀察片狀物的膨發發現膨發為瞬間性的，可能為當內部的溫度

達一定條件後，體積立即膨脹，否則則無法膨發。圖 1 為兩組不同原料水分在烘烤時，片狀物水分殘留量與其在烤爐中移動距離之關係。造成水分不同膨發位置不同的原因可能為：(1)水分愈高，熱傳愈佳(Mohsenin, 1980)，使片狀物內部的水分越易形成過熱蒸氣；(2)水分愈高，澱粉糊化愈快。澱粉製品在冷卻儲存過程中，澱粉會有老化現象產生(Chang and Liu, 1991)，而根據Hsieh(1990)製造膨發玉米粒之報告發現，在膨發過程中，澱粉必須要先行糊化。而在水分含量較高時，澱粉糊化所需的能量較小，且糊化溫度較狹窄，故較易膨發；當水分降低時，則糊化溫度升高，且範圍加大，此時糊化所需的能量較大，所以能提供造成過熱蒸氣的能量較少，故膨發性不佳。在本實驗中，當水分高時，澱粉較易糊化，且易形成過熱蒸汽，故較易膨發；當水分低時，澱粉不易糊化，且過熱蒸汽較少，故膨發略為延遲。

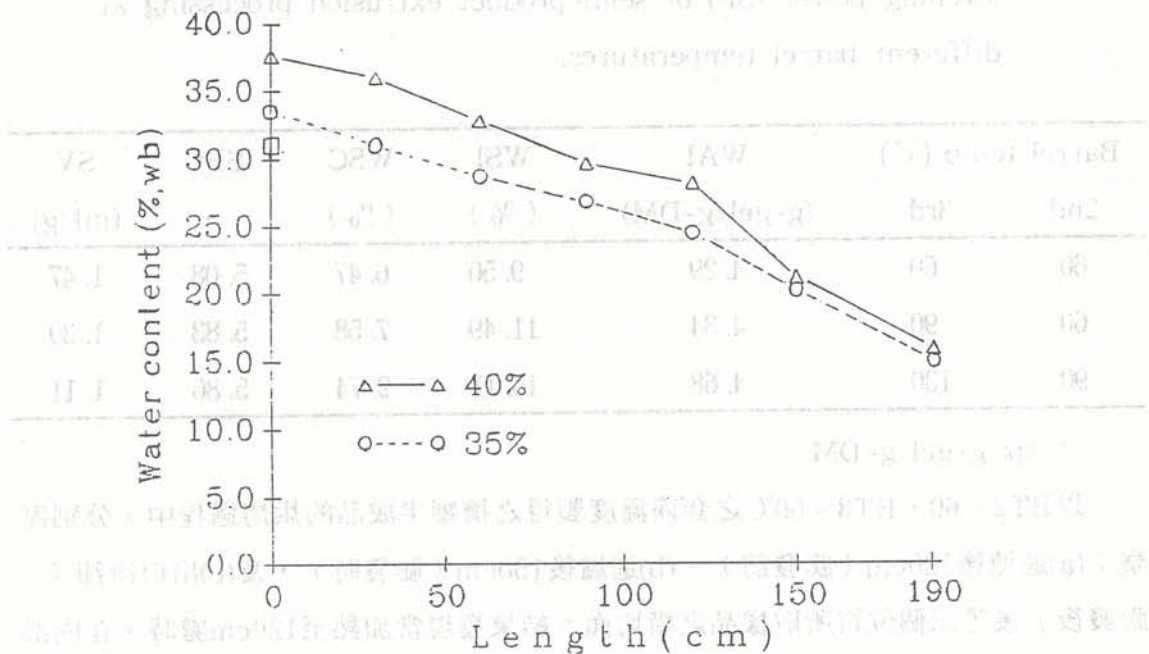


圖 1 不同初水分及厚度之擠壓半成品於輸送式烤爐中烘烤時水分移除之情形。

△-△：原料水分40%，厚度 2 mm；0---0：原料水分35%，厚度 2 mm.

Fig.1 The water removed during band oven baking of extruded semi-products with different initial moisture contents and thicknesses.

△-△:40% moisture content and 2mm thickness; 0---0:35% moisture content and 2mm thickness.

二不同套筒溫度對產品膨發性之影響

爲了解澱粉糊化程度與成品膨發之關係，利用基本配方以三組不同的套筒溫度，製成擠壓半成品後，壓成 2 mm厚之片狀物（因爲 2 mm厚之片狀物較易膨發）。三種半成品的WAI，WSI，WSC值，膨脹力及烘烤成品之比容值如表 1。結果發現糊化程度愈小，反比比容愈大。由觀察片狀物在烤爐內膨發之情況發現，片狀物皆在進爐後150cm處瞬間膨發，測定片狀物內部溫度之變化發現，此時溫度已達沸點，此顯示膨發乃係片狀物內部水分溫度達沸點後，形成蒸汽而將其內部撐開。

表 1.不同套筒溫度組合製得之擠壓半成品的WAI, WSI, WSC值，膨脹力(SP)及烘烤成品之比容

Table 1. The specific volume of baked product and WAI, WSI, WSC and swelling power (SP) of semi-product extrusion processing at different barrel temperatures.

| Barrel temp. (°C) | | WAI | WSI | WSC | SP* | SV |
|-------------------|-----|--------------|-------|------|------|--------|
| 2nd | 3rd | (g-gel/g-DM) | (%) | (%) | | (ml/g) |
| 60 | 60 | 4.29 | 9.50 | 6.47 | 5.08 | 1.47 |
| 60 | 90 | 4.34 | 11.49 | 7.58 | 5.83 | 1.30 |
| 90 | 130 | 4.68 | 15.11 | 9.74 | 5.86 | 1.11 |

* sp: g-gel/g-DM

以BT2=60，BT3=60°C之套筒溫度製得之擠壓半成品的烘烤過程中，分別觀察：(a)進爐後120cm（膨發前），(b)進爐後150cm（膨發時），及(c)出口冷卻（膨發後）後等三個位置所取樣品之橫切面。結果發現當加熱至120cm處時，在內部已有多處裂縫，但在外觀上仍不明顯，至150cm處，因內部溫度已達100°C以上，水蒸汽將原有的裂縫撐大，故體積迅速膨脹，此時取樣，體積會略微降低，乃因其組織尚未固化。在本實驗片狀物由進爐到150cm處前，即係四宮與矢野(1985)之膨發四階段理論中，彼所述第二階段—以加熱等方法使氣泡核成長爲氣泡，此時水及空氣之蒸汽壓增加。而在150cm處左右，即其所述第三階段—氣泡之繼續成長與合併（澱粉顆粒開始吸水膨脹），於150cm處膨發後至出爐即固化之第四階段。

3.不同第三節套筒溫度對產品膨發性影響

為進一步了解套筒溫度對烘烤產品膨發特性之影響，因此以固定BT2=90°C，而改變BT3之方式進行擠壓試驗，所得半所品經壓片成1.5mm厚度之片狀物後，加以烘烤。

表 2 為不同BT3所得的擠壓烘烤產品之比容與半成品的最高黏度值、膨脹力、WAI、WSI及WSC。表 3 為其相關性分析的結果。由表 3 發現，比容與半成品的最高黏度，膨脹力及WSC值有極高的相關性，杉本等(1977)發現澱粉質製品的膨脹力與amylograph之最高黏度及膨脹力成正比，而Gaines及Donelson(1982)亦發現蛋糕麵糊的黏度與其膨脹性成正比，其結果與本實驗相類似。造成此結果的原因可能最高黏度值與膨脹力皆為澱粉糊化程度的一個指標，根據四宮(1984)的膨發四個階段的理論，黏度值對膨發的影響可能為當黏度大時，麵糰對空氣的包容性較大，故可膨脹成較大的體積；而黏度小時，由於空泡不易保留，使蒸氣逸失，因此膨脹體積較小。

表 2. 不同第三段套筒溫度所得烘烤產物之比容(SV)及擠壓半成品之最高黏度，膨脹力，WAI，WSI與WSC值。

Table 2. Specific volume of the baked product, and the peak viscosity, swelling power, WAI, WSI and WSC of the semi-product extruded under the various third barrel temperatures.

| BT3 temp. (°C) | SV (ml/g) | Peak viscosity (B. U.) | Swelling power* | WAI (g-gel/g-DM) | WSI (%) | WSC (%) |
|-------------------|--------------|---------------------------|--------------------|---------------------|------------|------------|
| 110 | 2.10 | 96.25 | 6.92 | 4.47 | 6.14 | 3.33 |
| 130 | 1.39 | 71.40 | 6.50 | 4.65 | 6.33 | 3.56 |
| 150 | 1.45 | 75.25 | 6.57 | 4.68 | 6.34 | 3.56 |

* swelling power: g-gel/g-DM

表 3. 不同第三段套筒溫度所得烘烤產物之比容(SV)及擠壓半成品之最高黏度(PV)，膨脹力(SP)，WAI，WSI與WSC值之相關性。

Table 3. The correlation between specific volume (SV) of baked product and peak viscosity (PV), swelling power (SP), WAI, WSI and

WSC of extruded semi-products extrusion processing by defferent third barrel temperatures.

| | SV | PV | SP | WAI | WSI |
|-----|---------|----------|----------|--------|--------|
| PV | 0.997* | 1.000 | 0.999*** | -0.962 | -0.982 |
| SP | 0.997* | 0.999*** | 1.000 | -0.959 | -0.980 |
| WAI | -0.978 | -0.962 | -0.959 | 1,000 | 0.996* |
| WSI | -0.993 | -0.982 | -0.980 | 0.996* | 1,000 |
| WSC | -0.997* | -0.990 | -0.988 | 0.991 | 0.999* |

*P<0.05

***P<0.001

Hoseney等(1983)研究爆米花的膨發機制發現，玉米中澱粉有兩種形式，一為透明澱粉(translucent starch)，一為不透明澱粉(opaque)，而膨發乃發生於透明澱粉處。由內部構造發現，透明澱粉為緊密排列的澱粉細胞，而不透明澱粉為大而平滑的顆粒，且顆粒間空隙較多，可能因此無法聚集過熱空氣，故無法造成膨發。五島等(1988)則提到爆玉米花的內部因澱粉糊化而可形成薄膜狀的構造以包容空氣。由上述結果推論造成本實驗片狀物糊化愈低，反而比容愈大的原因為：當擠出物壓片時，糊化程度愈低者，其內部愈緊密，在加熱時，可糊化形成連續膜，且內部黏度高，因此包容住的空氣較多，比容較大；而糊化程度高者，內部間隙較大，加熱時黏度低，故空氣可由間隙處逸失表面，故包容的空氣少造成比容小。

四擠壓半成品之預乾燥(pre-drying)及調質(tempering)對烘烤成品品質之影響

由基本配方製得之擠壓半成品，以40°C乾燥的乾燥曲線如圖2所示。由乾燥曲線中選擇水分30.5%（未乾燥），25%（乾燥30min）及20%（乾燥60min）之條件將片狀物乾燥後，以輸送式紅外線烤爐進行烘烤，發現以未乾燥之片狀物製得之產品，水分仍較高（約10%）；而以乾燥到20%水分之片狀物加以烘烤時，有兩項不利因素：(1)片狀物過於乾燥，在修整片狀物的皺摺時易破裂，(2)烘烤時因水分過少，故易烘烤過度而焦黃。而乾燥至水分25%之片狀物製得產品之外觀最符合所需之產品，因此選擇乾燥到水分25%（以乾燥時間30min計）做為片狀物之預乾燥條件。

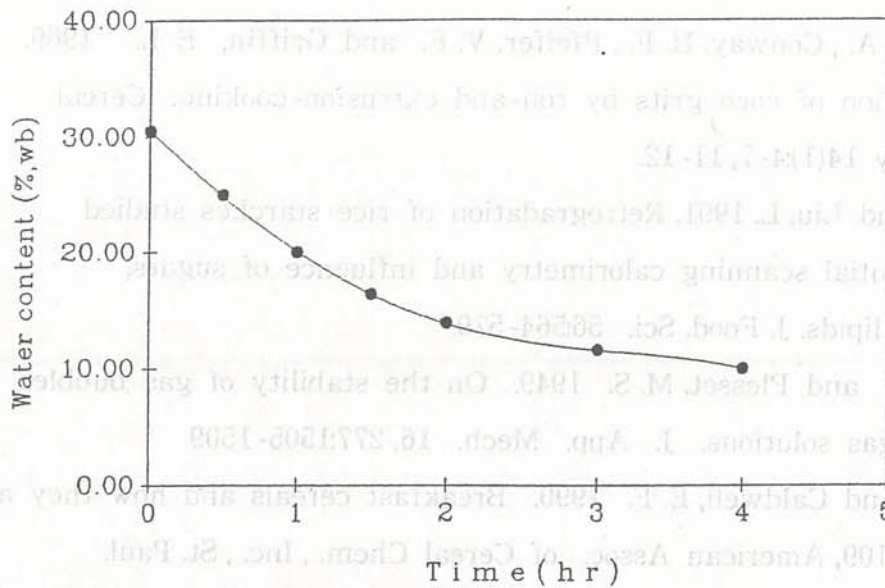


圖 3 片狀物以40°C乾燥時之乾燥曲線。

Fig. 3 Drying curve of pellet drying at 40°C.

將乾燥至25%水分之片狀物分別置於室溫下（相對濕度70%）調質0.5, 1, 2, 3小時後烘烤，發現產品的性狀及最終水分差異不大，故選擇0.5小時的調質時間為加工程序之一部分。

結 論

由實驗結果得知，擠壓所得之半成品糊化程度愈小，反而比容愈大。而經BT2=90°C，BT3=130°C之擠壓條件所得半成品，經乾燥至水分25%後再經0.5小時的調質製得產品之外觀最佳。

參 考 文 獻

五島義昭・青山英樹・西沂健治・柘楨治人・1988・ポップコーンの膨化機構・日食工誌 35:147-153.

四宮陽子・1984・食品素材中の氣泡核存在狀態と膨化初期過程の解析・東京大學博士論文, 東京。

四宮陽子・矢野俊正, 1985・食品膨化初期過程解析・New Food Ind. 27:66-76

杉本勝之・高木正敏・後藤富士雄・1979・澱粉の膨化に關する研究・第3報：

バレイシヨ澱粉の物理化學的性質と膨化との關係・澱粉科學26:231-240.

- Anderson, R. A. , Conway, H. F. , Pfeifer, V. F. and Griffin, E. L. 1969. Gelatinization of corn grits by roll-and extrusion-cooking. *Cereal Sci. Today* 14(1):4-7, 11-12.
- Chang, S. and Liu, L. 1991. Retrogradation of rice starches studied by differential scanning calorimetry and influence of sugars, NaCl and lipids. *J. Food. Sci.* 56:564-570.
- Epstein, P. S. and Plesset, M. S. 1949. On the stability of gas bubbles in liquid-gas solutions. *J. App. Mech.* 16, 277:1505-1509
- Fast, R. B. and Caldwell, E. F. 1990. Breakfast cereals and how they are made. P. 109, American Assoc. of Cereal Chem. , Inc. , St. Paul.
- Gaines, C. S. and Donelson, J. R. 1982. Cake batter viscosity and expansion upon heating. *Cereal Chem.* 59:237-240.
- Hoseney, R. C. , Zeleznak, K. and Abdelrahman, A. 1983. Mechanism of popcorn popping. *J. Cereal Sci.* 1:43-52.
- Hsieh, F. , Hu, L. , Peng, I. C. and Huff, H. E. 1990. Pretreating dent corn grits for puffing in a rice cake machine. *J. Food Sci.* 55:1345-1348
- Mohsenin, N. N. 1980. Thermal properties of foods and agricultural materials. p. 331,
- SAS. 1988. SAS/STAT guide for personal computers. 6th ed. , SAS Institute Inc. , Cary.
- White, E. G. 1979. Process for manufacturing a whole wheat food product. U. S. patent 4,179,527.