

エクストルーダーによる食品新素材の開発

京都大学食糧科学研究所助教授 北畠直文

エクストルーダーによる食品加工の特徴と利用現況

エクストルーダー（押し出し加工機）が本格的に食品加工に用いられるようになって以来、すでに50年近くを経ている。当初は、マカロニの原料混合や即席食品（調理済み朝食用食品）などの製造に使用されていたが、現在では様々な食品素材を中間食品素材や最終食品に変換する加工機として用いられている。エクストルーダーを用いる食品加工、すなわちエクストルージョン・クッキングの特徴を一言で言えば高温短時間食品加工である。エクストルーダーの用途が拡大していく理由としては、1)連続大量加工処理、2)エネルギー効率の改善、3)低水分食品素材の処理、4)組織化やフレーバー付与、5)未利用食品資源の活用が考えられる。これらはエクストルーダーの特異性、すなわち一台の装置が混合、混練、加熱等の単位操作をもつために、用途が多岐に渡るのである。現在、食品用エクストルーダーが用いられている分野としては、1)組織化植物タンパク、2)調理済み朝食用食品、3)スナック類、4)菓子類、5)ペットフード、6)マカロニの製造、および7)各種化学反応器としての利用が挙げられる。

わが国では大豆食品が古くから浸透していたこともあり、大豆タンパクを利用した組織化タンパクの製造に関する研究が活発で、ここ数年来の研究で、その製造法に著しい改良がみられるに至っている。一方、西欧諸国においては調理済み朝食用食品やスナック類、中でも小麦粉を主体とした膨化食品のフラットブレッドの開発が盛んである。近年は特に健康志向に対応して、食物繊維を添加した膨化食品や各種栄養成分を強化した食品などが開発されている。加工は通常150℃以上、20%以上の水分条件で行なわれ、この条件下で先の栄養成分やフレーバー成分がいかに変化するか、その保持条件等について詳細な研究が進んでいる。一般に高温では栄養成分の分解が進むと考えがちであるが、エクストルージョン・クッキングで用いられる低水分系では必ずしも現象は一様でなく、微妙な温度制御が可能であれば、150℃を付近であっても分解や化学反応を最小限に抑えることが可能である。特に二軸型エクストルーダーはこの温度制御を可能とし、品質の安定化をもたらしている。菓子類の製造における二軸型エクストルーダーの有用性は先のスナック類の場合より大きい。キャンデー、ガム、その他の菓子類は様々な成分を含み、それらの多くは温度感受性であるものが多い。例えばフレーバー化合物や糖の分解、褐変があり、したがってこれを抑えるためには微妙な温度制御を正確に行なわねばならない。一軸型エクストルーダーの場合であると構造的にこの温度制御が望めず、この分野での利用には困難を伴う。また二軸型エクストルーダーの高い混練機能に着目して、チョコレート製造のコンチシステムに用いる試みもある。ペットフード製造へのエクストルーダー利用は古く、一軸型エクストルーダーで多くの成功を収めてきた。乾燥タイプのペットフードが主流であったが、近年は水分をかなり含むペースト状、もしくはセミモイスト型の

ペットフードが多く生産されるようになり、高水分系で安定運転が可能であり、かつ混練力の優れた二軸型エクストルーダーがここでも利用されるようになってきている。ペットフードと並んで魚の飼料、フィッシュフィードの製造にもエクストルーダーが用いられるようになってきている。魚の種類や目的により、飼料の組成、形状、構造等が異なる。したがって、それに対応する加工条件を見出すことが技術的な大きな問題点であるが、機械性能の向上、成分特性の基礎的研究の蓄積により対応が可能になってきている。化学反応器としての利用はエクストルーダーの新しい利用法である。澱粉の α 化やタンパク質の変性、褐変反応を利用したフレーバー付与反応などはいわば化学反応器としての利用である。近年は積極的にこの面を活用するの試みがなされ、各種澱粉の α 化、加水分解、修飾澱粉の製造、さらにタンパク質の機能性改良、他成分との複合体形成、その他数多くあり、そのいくつかは成功を取めている。

以上の食品加工においては、従来の食品素材に固執する必要はなく、エクストルージョン・クッキングの特性を活かし得る素材を求める方向にある。同じ物性や形状が得られる場合には、従来とは全く異なる素材を用いて製造することも可能である。この場合にはやはり素材の特性を熟知していることが、応用範囲を広げるものと思われる。

エクストルージョン・クッキングの基礎的問題

エクストルージョン・クッキングに関わる基礎的な問題は大きく分けて三つある。

- 1) 第一点はエクストルーダーそのものについてである。エクストルーダーは単純な装置で、しかも多くの機能を有する。このことは、逆に考えれば、目的に応じて至適な条件を設定必要があることを意味する。これを克服する目的で多くの研究や改良がなされている。そのひとつは目的に応じたエクストルーダーの開発、ならびに改良による操作性の向上、安定運転の確保が挙げられる。一軸型、二軸型によらずこの方向で数多くのエクストルーダーが製造され、スクリュ、フィーダーなど各部分の機能の解析、改良が進んでいる。
- 2) 第二の問題点はエクストルーダー内における原材料の流動挙動である。エクストルーダー内は低水分条件下であるゆえ、粘度が極めて高く、しかも温度、およびスクリュ回転速度に応じて、見掛けの粘度は大きく変化する。当然それは原料の種類、特性に依存する。この問題は主要食品成分の基本的特性を明らかにする問題に繋がる。
- 3) 第三の問題点はこの主要食品成分の低水分高温域での化学変化、それに伴う物性変化を解明することである。澱粉の場合は α 化が物性に大きな影響を与える。この α 化温度の水分量依存性、スクリュ回転に伴うshear thinning効果、さらには分子の分解反応、すなわち低分子化が重要な点となる。低分子化はエクストルーダー内でのレオロジーのみならず、生成物の物性、品質にも影響を与えるため、その制御は極めて重要である。もうひとつの主要食品成分であるタンパク質については、組織化機構と関連し、多方面から研究がなされている。熱変性とそれに伴う分子内ジスルフィド結合形成やイソペプチド結合の形成などが組織化に大き

な役割を担っていると考えられている。しかしわれわれは以下の実験によりタンパク質の熱変性こそが、エクストルーダー内での溶融、流動化、そして組織化をもたらす因子であると考えに至っている。

大豆タンパク質を原料にしてエクストルージョン・クッキングで組織化を行なう場合、通常20-40%の水分下で140-150℃の加熱を必要とする。水分量と温度を変えて組織化を行なった結果、高水分条件ほど低い温度で組織化が可能であることを認めた。組織化は、エクストルーダー内でタンパク質の変性と溶融が生じ、それがせん断力のもとで配向して生成すると考えられる。そこで熱変性と組織化との関係を調べる実験を行なった。未変性脱脂大豆から調製した分離タンパクを用い、一定水分条件下で処理温度を変え、エクストルージョン・クッキングを行ない、得られた生成物のタンパク質の変性の程度と組織化の程度を調べた。前者は示差走査熱量計を用いる熱分析(DSC)で調べ、後者は組織化物の溶解性、保水性、吸水性を指標として検討した。その結果、組織化が明瞭に認められる生成物は明らかに変性しており、組織化していない生成物は未変性の状態を保っていた。また変性と溶融の関係を調べる実験を行なったところ、変性温度と溶融温度はよく対応する温度域にあることを見出した。すなわち組織化に必要な温度はその処理条件下での変性温度そのものであり、この変性に伴って溶融が生じ、組織化が行なわれるものと結論した。

まとめ

エクストルーダーによる新食品や食品素材を自在に開発するためには、エクストルーダー自体の機械的特性、エクストルーダー内部における原料の流動特性、さらに個々の食品成分の高温低水分、高せん断力条件下での変化についての研究を蓄積する必要がある。従来、経験に基づいて行なわれていた操作を科学的なものにすることによって初めて可能になるものと思われる。