

攪拌槽による液状食品の粘性制御に関する基礎的研究

吉 田 豊 之 郎*

Basic Study on Controlling Viscosity of Liquid Foods in Agitated Vessel

by Toyoshiro YOSHIDA

液状食品の粘性は、製造段階における食材の処理から食卓における食物の消費までのあらゆる状況下での質に関係する重要な物性であると認識されている。液状食品の製造段階すなわち生産プロセスにおいてある食材と適当な粘性調整物質（増粘剤）を混合し、中間生産物を得る操作での粘性制御技術を工学的に確立することは適切な粘性制御による品質の向上のみならず、粘性制御操作を担う装置の最適設計による食品生産の効率化に大きく貢献するものと期待される。本論文ではウスターソース類の生産プロセスをモデルプロセスとして採り上げ、トウモロコシ澱粉を用いたトマト懸濁液の攪拌槽による粘性制御操作について、まず、澱粉の糊化により増粘したトマト懸濁液の粘性挙動に及ぼすプロセス操作条件および装置の幾何学的条件の影響を明らかにしている。次に、攪拌槽内の流動現象を反映する制御操作の指標を、粘性評価法を含めて明らかにするとともに、機械的回転翼攪拌槽の操作設計指針を確立している。研究内容を記述する論文は全7章から構成されており、その要旨は以下の通りである。

第1章では本研究の背景を記述するとともに、関連する既往の研究を概観し、本研究の目的を提示した。

第2章では、澱粉の糊化すなわち、澱粉を含む液を加熱冷却するための機械的回転翼攪拌槽を用い、トウモロコシ澱粉の糊化によるトマト懸濁液の増粘の過程を特徴付けるべく、増粘過程における粘性変

化を、トマトを含まない水での過程との比較において実験的に解析した。まず、増粘過程における粘性変化を、従来のアミログラフと同様に、軸トルクの経時変化を測定することにより評価した。澱粉によるトマト懸濁液の増粘過程は、軸トルクが最大になる昇温過程（Stage I）、軸トルクが減少する昇温過程（Stage II）、軸トルクが増加する降温過程（Stage III）の3段階で特徴付けられることを見出した。澱粉水系と澱粉トマト水系の粘性は、非ニュートン性より流動化挙動を記述する Herschel-Bulkley モデルに従うことを明らかにした。また、トマト懸濁液の増粘過程に対する所定温度基準の粘性変化の検討から、Stage Iは懸濁液の非ニュートン性の増加によるものであるが、Stage IIはStage IIIは懸濁液の構造変化の相違に帰着されることを指摘した。

第3章では、前章で特徴付けた増粘過程段階での懸濁液の粘性を、翼回転速度、熱媒冷媒温度といった操作条件および翼の形状、直径、取付高さといった幾何学的条件を変えて実験的に検討した。加熱および保温過程前後にわたる粘性変化は、操作および幾何学的条件の影響はほとんどなく、加熱および保温過程終了時は、ほぼ一定の粘性を有する懸濁液が得られることを示した。冷却過程の前後では、粘性は冷却水温度によらず翼回転速度とともに低下する傾向にあり、糊化過程終了時の粘性の相違は、主に冷却過程における翼回転速度の相違に起因することを明らかにした。また、その懸濁液の粘性は、幾何

*新潟大学大学院自然科学研究科大学院生

現在 日産化学工業(株)

[新潟大学博士(工学) 平成18年3月23日授与]

学的条件にかかわらず冷却開始時の消費動力により規定され、本食品系の粘性制御を目的とした攪拌槽の操作設計指針の検討にあたっては、冷却過程において翼の回転により槽内に生じる剪断力に関連する消費動力の制御が重要であることを指摘した。さらに、初期懸濁液に対する糊化澱粉トマト懸濁液の増粘比を、冷却開始時の消費動力の関数として予測する相関式を得た。

第4章では、懸濁液が増粘過程後に受ける機械的外力を想定し、所定の剪断力を与えた場合の粘性変化を実験的に検討し、懸濁液の耐剪断性として評価、それと、前章で取り上げた、糊化の条件、すなわち調製条件の関係を調べた。懸濁液の耐剪断性は、加熱過程における操作条件にはほとんど依存しないことを見出している。冷却過程において低い翼回転速度調整した懸濁液の粘性は、増粘過程後のプロセスで生じうる剪断の影響を受け易い一方、高い翼回転速度で調製した場合、耐剪断性の高い懸濁液が得られることを明らかにした。さらに、耐剪断性は幾何学的条件にかかわらず冷却開始時の翼の消費動力により規定されること、すなわち増粘操作後の粘性保持の観点から攪拌槽の操作設計を行う際には、冷却過程の翼の消費動力が重要な因子となることを明らかにした。

第5章では、トマト関連食材すなわちソース用食材の粘性評価に広く用いられている Bostwick 粘度計における液状試料の流れを理論的、実験的に解析した。2次元粘性流を記述する理論式により非ニュートン性試験液に対する実験値の解析を行い、その適用性の検討を行った。液体積に関する補正係数を含む修正理論式により、粘度計内の試験液の流動を精度よく再現した。液の流動は、摩擦係数とレ

イノルズ数の関係で特徴付けられ、粘性が支配的な層流であることを明らかにした。粘度計内の懸濁液のずり速度から、測定器内の試料の流れは、食物上のたれの状態を模擬できることを確認した。さらに、経験的な粘性指標としての Bostwick 粘度に代わる、液の流れ形状を規定する、所定のずり応力を基準とした新しい粘性評価指標を確立した。

第6章では、懸濁液の粘性制御に関する攪拌槽の操作設計、すなわちスケールアップについて検討、評価を行った。スケールの異なる攪拌槽を用い、増粘過程を特徴付ける段階での粘性および過程後の耐剪断性に及ぼす装置スケールの影響を明らかにした。まず、加熱および保温過程終了時の粘性は、装置スケールにほとんど依存しない一方、増粘過程終了時の懸濁液の粘性およびその後の耐剪断性の冷却時翼回転速度への依存性は、装置スケールにかかわらず同様に認められることを見出した。次に、粘性制御に関する操作設計基準を決定するために、前章で得られた粘性評価指標すなわち、所定のずり応力で評価した粘度と液質量あたりの冷却開始時消費動力の関係を調べ、粘度が高くかつ増粘後のプロセスで生じうる剪断に安定な懸濁液を得るための消費動力条件を明示した。さらに、液質量あたりの冷却開始時の消費動力を操作および幾何学的条件の関数として予測する相関式は、本液状食品系の粘性制御用攪拌槽の操作設計を行う際の指針として役立つことを明らかにした。

第7章は総括であり、本研究で得られた知見をまとめ、今後の展開について述べた。

終わりに、指導を賜った大川 輝教授に謝意を表します。