

単軸スクリュ押出機におけるダルメージスクリュの 分配混合性能に関する研究

木村, 公一

<https://hdl.handle.net/2324/4784574>

出版情報 : Kyushu University, 2021, 博士 (工学), 課程博士
バージョン :
権利関係 :



氏 名 : 木村 公一

論 文 名 : 単軸スクリュ押出機におけるダルメージスクリュの分配混合性能に関する研究

区 分 : 甲

論 文 内 容 の 要 旨

フィルム・シートや合成繊維などの樹脂成形品の製造に多用される単軸押出機では、樹脂を搬送・溶融・混練するスクリュで発生しているスクリュ表面での樹脂滞留、及びスクリュ溝中央とその他領域間での樹脂の流動形態の違いによって、押出される樹脂内には滞留時間・物理量に分布が生じ、不均質になっている。この樹脂内での不均質の解消には、滞留時間・物理量が異なる樹脂同士を再配置し、均一化させる分配混合が有効であるとされており、これまでに分配混合の促進のためにスクリュ先端付近に多様な構造の単軸混練スクリュが導入されてきた。単軸混練スクリュは、樹脂成形品の製造プロセスに利用される樹脂、操作条件に合わせて形状最適化を図ることが重要であり、その精度向上には単軸混練スクリュの分配混合性能に関する体系的理解が必要不可欠である。

単軸混練スクリュの分配混合性能に関する既往の研究では、単軸混練スクリュ通過後のマトリックス樹脂内でのトレーサ分布の一様性が実験・数値解析によって評価されているが、その目的は主に単軸混練スクリュの種類・構造と分配混合性能の相関の解明に限定されている。実験的評価では、単軸混練スクリュの流入面でのトレーサ分布を制御することができていないため、単軸混練スクリュの構造及び操作条件を変更した場合の分配混合性能を厳密に評価・比較することができていない。また、数値解析的評価では、単軸混練スクリュ内でトレーサが受ける混練履歴を多様な指標によって定量化することが試みられているが、単軸混練スクリュ内での樹脂流動が混練作用や分配混合性能とどのように相関しているのか議論はほとんど行われていない。本論文は、単軸混練スクリュの分配混合に関する知見を体系化することを目標として、樹脂成形品の製造プロセスへの採用実績が豊富なダルメージスクリュをモデルケースとして、ダルメージスクリュの構造、ダルメージスクリュ内で発生する樹脂流動・混練作用等の諸現象、ダルメージスクリュの分配混合性能の三者の相関を実験・数値解析の両面から調査したものであり、以下の 7 つの章から構成されている。

第 1 章の序論では、単軸混練スクリュの分配混合性能の評価、及び分配混合メカニズム解明に関する既往の研究を概観し、本研究の課題をまとめた。

第 2 章では、ダルメージスクリュのフィン部溝内での樹脂流動を簡便に予測可能な解析モデルを検討した。この解析モデルを用いて、ダルメージスクリュの分配混合性能と相関があると言われる旋回作用に対するフィン部溝の構成要素の影響を検証した。フィン部溝の構成要素の中でフィン部溝螺旋角の影響が最も大きいことが確認された。フィン部溝がスクリュ軸に対して平行に近づくほど、フィン部溝内を旋回する流れに関する流速が向上し、更にフィン部溝内での樹脂流動で体勢を占めるフィン部溝底での流動時間が長くなり、フィン部溝内での旋回作用の回数が増加することが期待される。この結果を参考に、本研究で用いるダルメージスクリュのフィン部溝にはスクリュ軸に平行な構造を採用することとした。

第3章では、3台の押出機を利用して、マトリックス樹脂・トレーサの可塑化と熔融混練の過程を分離し、単軸混練スクリュの流入面でのトレーサ分布を制御可能な試験装置を開発した。更に、この試験装置を用いて、単軸混練スクリュの流入面でスクリュ表面にトレーサを配置した二層構造を形成し、単軸混練スクリュでの熔融混練によるトレーサ分布の変化状況を追跡することで、単軸混練スクリュの分配混合性能を評価する手法を確立した。この試験装置・試験方法では、フライトスクリュで構成される一般的な単軸押出機とは異なり、広範な比体積流量（体積流量とスクリュ回転数の比）の操作条件下で分配混合性能を評価することができるため、多様な樹脂成形品の製造プロセスに適用可能なデータを取得することが可能である。

第4章では、第3章で開発した試験装置を利用し、体積流量を一定にしながらスクリュ回転数を変更した（比体積流量を変更した）条件下で、フィン部溝の構造が異なる7種のダルメージスクリュの分配混合性能を実験的に評価した。すべてのダルメージスクリュに関して、分配混合性能がスクリュ回転数に対して非単調かつ振動的に変動しながら向上することが確認された。この結果より、ダルメージスクリュ内で発生する分配混合メカニズムはスクリュ回転によるせん断作用に立脚した従来の混合メカニズムとは異なることが示唆された。

第5章では、三次元流動解析を利用して、第4章で利用した一部のダルメージスクリュ内での樹脂流動を可視化し、ダルメージスクリュの分配混合メカニズムを考察した。第4章での結果と同様に、スクリュ流出面でのトレーサ分布の一樣性がスクリュ回転数に対して非単調に変動していることが確認された。スクリュ流出面でのトレーサ分布の一樣性の変動は、スクリュ内でのトレーサの半径方向分布と相関しており、フィン部通過前後でトレーサの半径方向分布に変化が生じないスクリュ回転数で分配混合性能の低下が発生していた。トレーサの半径方向分布の変化は主にフィン部溝内での旋回作用によって生じており、リング部内ではせん断作用によってトレーサの円周方向分布が変化していた。リング部内でのせん断作用には半径方向距離依存性が存在するため、リング部内での円周方向分布の変化量は直前のフィン部出口でのトレーサの半径方向分布の大きさによって決定される。このように、フィン部溝内での旋回作用によるトレーサの半径方向分布の変化がダルメージスクリュ内で発生する分配混合に対して主体的な役割を果たしていることが明らかになった。

第6章では、体積流量及びスクリュ回転数の双方を変更した条件下で、第5章で利用したダルメージスクリュの分配混合性能を実験的に評価し、また三次元流動解析を用いてこのダルメージスクリュ内での樹脂流動を検証した。実験及び三次元流動解析の双方において、ダルメージスクリュの分配混合性能の変動が比スクリュ回転数（スクリュ回転数と体積流量の比）によって系統的に整理可能であった。この結果は、フィン部溝内での旋回作用によるトレーサの半径方向分布の変化が、スクリュ回転数（円周方向流速）だけでなく、フィン部溝内での滞留時間（軸方向流速）との組み合わせによって決定されることを示している。また、フィン部入口でフィン部溝底やバレル表面に近接した領域を流動するトレーサほどフィン部溝内を旋回しやすく、フィン部出口でのトレーサの半径方向分布が比スクリュ回転数によって大きく変化した。これは、ダルメージスクリュが単軸押出機の課題である、スクリュ表面での樹脂滞留の解消に有効な単軸混練スクリュであることを意味しているが、その有効性を得るためにはフィン部溝内での旋回作用によるトレーサの半径方向分布を制御することが重要である。フィン部出入口でのトレーサの半径方向分布をヘリンジャー距離によって比較することで、フィン部通過前後でトレーサの半径方向分布に生じる変化の大きさを定量的に把握することが可能であった。ダルメージスクリュの分配混合性能を高く維持可能な操作条件・スクリュ設計を決定するための指針に関する大変貴重な知見が得られた。

第7章の結論では、これまで得られた研究成果を総括し、今後の課題と展望について述べた。