

図表 3 にスクリュウの全山数 25(シリンダー長 L/D=25)の場合に適正な圧縮比及びスクリュウの山数の配分の一例を示した。なお単軸押出機においては、スクリュウの全山数は 10 前後から 50 前後ほどであるが、25～35 程度が最も多用されている。

以上フルフライトタイプのスクリュウでの一般的な説明である。

	樹脂	比重 (一般)	成形温度 (参考) ℃	圧縮比及び山フリ (参考)
汎用樹脂	S. PVC : 軟質塩ビ	1.16 ~ 1.35	140 ~ 180	③ 標 ~ 緩
	R. PVC : 硬質塩ビ	1.30 ~ 1.58	160 ~ 200	④ 標 ~ 緩
	LDPE : 低密度ポリエチレン	0.92 ~ 0.93	140 ~ 180	① 標
	HDPE : 高密度ポリエチレン	0.95 ~ 0.97	180 ~ 220	② 標
	PP : ポリプロピレン	0.90 ~ 0.91	180 ~ 220	② 標
	PS : ポリスチレン	1.03 ~ 1.06	180 ~ 220	② 標
	ABS	1.01 ~ 1.21	220 ~ 260	② 標 ~ 緩
	PET	1.29 ~ 1.40	240 ~ 280	② 急 ~ 標
	PMMA	1.17 ~ 1.20	220 ~ 280	③ 急 ~ 標
エンジニア	PA6 : ナイロン6	1.12 ~ 1.14	240 ~ 280	② 急 ~ 標
	PA66 : ナイロン66	1.07 ~ 1.09	260 ~ 300	③ 急 ~ 標
	PC : ポリカーボネート	1.20	260 ~ 300	② 標
	POM	1.41	180 ~ 220	③ 急 ~ 標
	PBT	1.30 ~ 1.38	220 ~ 260	② 急 ~ 標
	変性PPO : ノリル	1.04 ~ 1.09	240 ~ 280	② 標 ~ 緩
スーパーエンジニア	PPS	1.35	280 ~ 320	② 急 ~ 標
	PEEK	1.30	340 ~ 380	② 急 ~ 標
	ETFE : フッ素	1.70	260 ~ 300	③ 急 ~ 標
	FEP : フッ素	2.12 ~ 2.17	280 ~ 320	③ 急 ~ 標
	PFA : フッ素	2.12 ~ 2.17	340 ~ 380	③ 急 ~ 標

圧縮比 { ①3.5~4.0
②3.0~3.5
③2.5~3.0
④2.0~2.5

テーパ部山数:L/D=25

急圧縮
2~4山

/

標準
6~8山

/

緩圧縮
10~16山

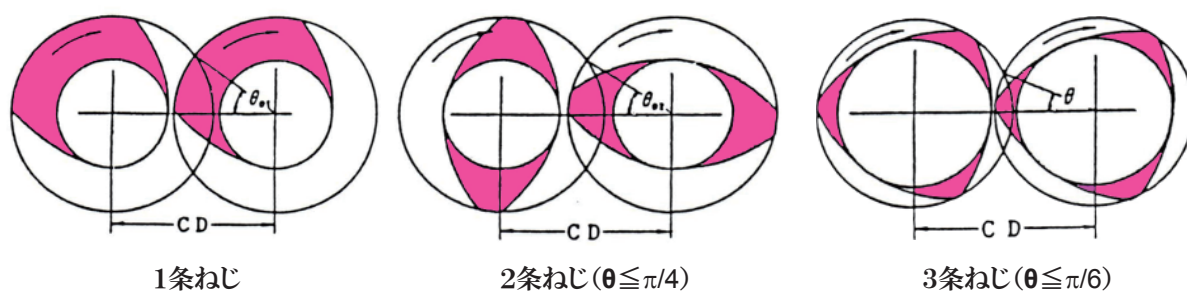
図表 3 樹脂とスクリュウ形状

2.1.2 ミキシングタイプのスクリュウ

フルフライトタイプのスクリュウに対して混練分散をより良くするためにまたより多く出

3.1 二軸押出機のスクリーユ構造と種類

スクリーユ軸中心間の距離(一般的に芯間距離と称する)を一定にした場合の、3パターンの噛み合いを考えてみたい。すなわち図表7に示すようにスクリーユ軸直角断面を詳細に考察してみる。まず、お互いのスクリーユフライト同士で相手側を掻き取りながら回転する動きを見てみる。勿論一定のギャップを保ちながら回転するものとする。この場合、2本のスクリーユの噛み合いが浅ければ3条ねじのような多条ねじが可能である。混練部(ねじの噛み合い部が3カ所)でのスクリーユ同士の剪断作用が有効に働くことが期待出来るので、混練分散を最も重視する場合には3条ねじが多く使用される。しかし溶融樹脂の占める容積は少ないため処理能力に限界がある。一方1条ねじは溶融樹脂の占める容積が多いため処理能力は格段に大きくなるが、混練部(ねじの噛み合い部が1カ所)でのスクリーユ同士の剪断作用が弱いために強い混練を必要とする材料には不向きである。そのため現在最も多用されているタイプが2条ねじである。



図表7 スクリーユ軸直角断面

次に2条ねじについてさらに詳しく見てみる。

スクリーユ軸中心間の距離(芯間距離)を一定にした場合は、2条ねじのスクリーユ径をある程度選ぶことが出来る。図表8に一例を示す。すなわち処理能力を上げるためにはスクリーユ外径を大きくすれば良いわけであるが、スクリーユ頂部の山幅は狭くなるので摩耗に対しては弱くなってしまふ。またスクリーユ谷径も小さくなるのでスクリーユ軸強度が問題になる。しかし同じ吐出量に対してスクリーユ回転を下げる事が出来るので、溶融樹脂の温度を抑えることは可能である。またスクリーユ回転を上げる事が出来るので、吐出量のアップが期待出来る。

4. 二軸押出機における混練・分散の考え方とその技術

4.1 スクリュー形状と混練・分散の関係

単軸押出機において種々のミキシングスクリーを組み合わせることによって幅広い樹脂配合に対応しているのと同様に、二軸押出機においても種々のミキシングスクリーを組み合わせることによって樹脂配合に対応しているわけであるが、特に二軸押出機の場合、ミキシングスクリーをパーツとして任意の位置に組み合わせることが出来るのが大きな特徴である。むしろ自由度が効き過ぎてかえって何を組み込んだら良いのか困惑してしまう。本来ならばより単純なスクリー形状で全てにマッチング出来るスクリー形状が望ましいのでありミキシングスクリーの種類も少なく出来るのであるが、現実には達成出来ていない。依然として経験と勘に頼って決定されている事実がある。今後の課題ではあるがまずは今までの実績から探してみたい。

最初に樹脂と添加剤との組み合わせから考えてみる。一般的に添加剤が無機フィラーの場合には樹脂配合物の加熱溶融が徐々に進むようなスクリー形状、つまり緩圧縮のスクリー形状を多用した方が良い結果を得ている。例えば ND-R, ND-N, ND-Wなどを多く使用している。

一方添加剤が有機フィラーの場合にはそれが混練温度において溶融する材料や可塑化する材料の場合、急圧縮のスクリー形状を多用した方が良い結果を得ている。ポリマーアロイが代表的な事例であるが、互いの溶融粘度が違ったり溶融温度が違ったりする組み合わせが多いために、両者とも出来るだけ同時に可塑化することが望ましい。一方が速く溶融してしまうと他方が溶融不足になってしまい、均一な溶融状態にならずサージングと呼ばれる現象が発生したり、造粒の場合ストランド切れが発生してしまうことがある。

そこでミキシングスクリーをどのように使用すれば良いのかを考える上で、一つの日安として混練指数という物を考えてみたい。ある一つのミキシングスクリー(例えば R3を1.0とする)を基準に他のミキシングスクリーの抵抗度合いが何倍かを決めておく。抵抗度合いは一定の条件の下に充満する溶融樹脂の比較で見る。これにより同じ抵抗度合いを示すには R3が何個必要かを見ても良い。ただし経験則なのであくまでも目安としてのものである。

4.2 混練・分散の適切条件

二軸押出機の大きな特徴は、混練・分散を調整するための操作条件としてスクリー回転数の変更の他に、プラスチック配合材料の供給量のある程度任意に変えることにより達成出来るまたは達成出来る可能性がある点であろう。プラスチック材料を充満させなく

8. スクリュー構成の組み合わせの考え方・事例

まず、あるプラスチック配合材料が提示された場合にどのようなステップで対応すれば良いか、具体的に述べてみたい。

もしも混練二軸押出機を全く所有しておらず使用経験もなければ、或いは試験室でバッチミキサーや加熱ロール程度の設備しか有していなければ、本来コンパウンドメーカーに相談するのが一番良いのであるが、同業であることが多いので接触しにくい。そこで樹脂メーカーに相談するのが一番良いであろう。なぜなら樹脂メーカーの研究所には中小型の混練二軸押出機が充実している上に、プラスチック配合材料に対する知見は豊富と考えられるからである。または機械メーカーに相談する方法も有効である。機械メーカーは、プラスチック配合材料の中身についてはそれほど詳しくはないことが多いが、類似のプラスチック配合材料はテストや納入実績で経験を多く積み重ねてきているので、相談に応じるはずである。

筆者の経験から機械メーカーの立場で、具体的に述べてみたい。機械メーカーの研究所にも中小型の混練二軸押出機が充実している。さらに大型の混練二軸押出機も充実しているので、次のようなステップで対応することが多い。

- ① プラスチック配合材料の概略を聞く。プラスチックはどんな種類のものか？(粘度・融点・材料形態等)、添加剤は何か？、どれ位入れるのか、また処理能力は？(研究用なのか生産機として検討しているのか)、添加方法は？、液体もあるのか等々である。なお相当程度の詳細な資料やノウハウが含まれることが多いので、一般的には秘密保持契約を結んだり、信頼出来る機械メーカーを選択すべきである。
- ② 研究機でまず計画を立てる。プラスチック配合材料の内容と過去の豊富な経験から予想されるシリンダー長(L/D)に基づきベントの数、位置などを決める。当然求めに応じた説明出来ることは論を待たない。
- ③ つぎにスクリュー形状の計画を立てる(最も重要な点であり、品質の70～80%は決まってしまう。残り20～30%はシリンダー温度、スクリュー回転数等の操作条件である)。スクリュー形状は、ミキシングスクリューパーツの種類、数及び組み込む位置を考えて決定する。なおスクリュー形状については、ある程度の説明はなされるが、詳細な形状、寸法等の説明はなされない。よく文献の一部やメーカーカタログに載せられている例を見かけるが、参考資料程度で考えるべきである。スクリュー形状や操作条件等は本来ノウハウに属するものであり詳細な説明はなされないからである。
- ④ 研究機で実際に数回トライし若干の修正を加えて完了する。極々汎用的な例や特殊な例であっても、過去の経験や実例から1回で完了することもあるが、例え不十分であ

ーディングデスクの始めの1～2組は力を分散させるために幅の狭いパーツが良い。なお外部からの熱不足を補うために原料供給部(フィードゾーン)の設定温度をやや高めにすることは有効である。

おわりに

二軸押出機の要素技術についてごく初歩的な説明から、長年の経験に基づく実践的な項目にまで踏み込んで語ってみた。一般的な押出成形はやってみなければ分からないことが多く文献を漁っているだけでは机上の空論になりがちである。まずは考えそしてトライである。経験からしか得られないことが多いのが現状である。特に原理、機構が比較的単純な単軸押出機でさえも、あるプラスチック材料ある配合材料が提示された時に、スクリー形状と操作条件をどのように決定すれば良いのか？ もし意図しない方向に進んだ場合にどこをどう修正すれば良いのか？ トライアンドエラーの中から答えを見い出さなければならず、しかもベターであってもベストではない方向になることの方が多い。二軸押出機について言えば、なおさら理論的な解析が進んでおらず、最もらしい解釈で説明を試みているのが現状であり十二分に考慮がなされているとは言えないと感じる。このような背景の下で事実の積み重ねに重点を置いて進めてきたので、理論的な解析との間に解釈に差があることを認めた上で記述してきたことを申し上げておきたい。

そのことを承知の上で活用していただければ幸いである。

参考文献

- 1) Janssen 「Twin Screw Extrusion」Elsevier Scientific Publishing Company Amsterdam-Oxford-New York
- 2) 斎藤竜太郎 「押出成形機」 高分子 1970 Vol. 19, No220
- 3) 村上健吉 「押出成形」 プラスチックエージ
- 4) 濱田博晟 「現場で活かす押出機マニュアル」 工業調査会