IRC 85 KYOTO

開会式総合講演から

ゴム加工の進歩

イギリスゴムプラスチック研究所

所長 James P. Berry

(訳) 編集委員会

1. はじめに

ゴム加工，すなわち原材料を製品にする方法の進歩は，多くの内的及び外的要因の影響をうける。内的要因は通常，伝統化した次に示すゴム加工の三工程に起因している。

- (1) 配合物の製造
- (2) 成形
- (3) 加硫

外的要因には，次に述べるようなものがあり，ゴム加工に影響を与える。マイクロコンピュータや半導体デバイスのような技術的な要因，高品質化指向や一定の性能維持のような経済的な要因そして，ときには法律，規制化されるような社会的，環境的压力などである。

ゴム工業は成熟しているので保守的である。この数十年，激的な進歩はないけれども調べてみると，いくつかの進歩のきざしがある。企業及び工業全体がそのきざしに適切に対応していけば，大きなインパクトを受けるに違いない。以下にゴム製造の各工程にどのような影響を与えるか述べてみる。

2. 配合物の製造

ゴム加工技術の特異性は，ゴムの中に加硫剤，補強剤，加工助剤，老化防止剤や軟化剤などを混ぜた配合物を製造するところにある。配合剤(変数)は非常に多く，ときには20くらいあるので，配合物の製造の変動要因はたくさんある。

一般に，配合物のレシピはファイルカード化されており，配合はマニュアルで貯蔵してある配合剤の中から選んでくる。混合は，通常インターナルミキサで行っている。混合の終点は，経験から所定の時間と決めている。すなわち，ゴム混合はマニュアルのバッチ操作であ

る。したがって，労働集約的であり，予測しがたい変動性を持っている。ゴム加工の重要な工程である混合にコンピュータ技術を導入することにより，混合制御が改善されることは明白である。

配合物のレシピは数が多く複雑であるため，多くの内包されている情報を効率的に，また系統的に処理する必要がある。このような面にコンピュータは適している。そのうえ，基本的なレシピをファイルしておき検索することができる。また，配合コストの絶対値又は相対値の変化も個々の配合剤変化をインプットすれば，ただちに求められるようになる。配合物のレシピを混合，生産計画と接続すれば，配合剤の将来の必要量がわかり，貯蔵量がモニターされているので発注に結びつけられる。また，配合レシピに対応する製品特性との対応がなされ，最適コストで，要求性能に適合する配合レシピを選び出してくれる専門システムができる。

コンピュータシステムは，このような面で有用であるばかりではなく，混合操作全体の制御にも有用である。コンピュータで個々の配合剤の貯蔵，計量を行い，適当な順序で混合機に投入する。一つ残念ながらこのように自動化できないのがゴム自身である。ゴムは通常ペール又はスラップの形で供給されているからである。とはいっても，やはりゴムをマニュアルで切ったり計量したりするにしても，より一貫した操作ができる点でもコンピュータを利用する価値はある。このようなシステムは，いくつかすでに使われているし今後更に増えるだろう。

この10年間，粉末ゴムや粒状ゴムが提唱されている。この形態のゴムは，まだ一般的ではないけれども，明らかにコンピュータにより混合機に自動的に供給できるし，マニュアル操作を排除することができる。

以上のようなコンピュータシステムにより配合物の個々の配合剤は準備され，適時インターナルミキサに供給

されるようになる。しかし、混合工程にはまだ解決されていない問題がある。それは伝統的、経験的な混合操作を制御することである。理想的には、混合機を制御し、混合物の性質をもとに混合の終点を決めることである。しかしながら、混和物の性状は複雑であるし、また物質がインターナルミキサ内にあること及び混合時間内にキャラクター化をしなければならないなどの困難さがある。したがって、このような一次変数（性状）で直接混合工程を制御することはできない。代わりに混和物の性状とロータトルク、温度や積算消費電力のような二次変数との相関性の研究が行われている。この研究は単にこれらの相関性が求められるというのではなく混合機制御システムの基礎データとして有用である。

ゴム工業で通常使用されているインターナルミキサの幾何学的設計は古くからあるもので、長年の間大きな改善はなされていない。

ミキサの容器内で起こる流動過程の性質を解析したり、これら過程の数学的モデルを工夫しようとの試みも、すでに確立している設計を正当化するもの以上のものではなかった。

それゆえ、結局のところ混和物の状態と機械の操作条件との間の実験的關係をもとにした制御技術についていくらかの改善は行われているが、インターナルミキサの伝統的設計はそのまま存続しているようである。

工程の制御化、すなわち、製品の一定化の問題は、もし工程中に一定状態の条件が保てるなら、非常に単純化できる。

インターナルミキサは本質的にバッチ工程である。また、供給する材料の性質やサイクルタイムの長さは、一定状態の条件を達成しえないものである。したがって、連続混合工程には多くの利点がある。すでにこの方向へ多くの注目が払われている。そのため、全部とはいわないまでも、いくらかの必要条件を満す設備が利用できるようになっている。

連続混合工程が特に魅力的なのは次の場合である。すなわち、押出機のような連続成形及び加工するプロセスと一体化した場合及び同一の混和物を長時間必要とし、かつ、その操業条件をつかむのに、時間を要する場合である。それゆえ、特に連続混合工程はタイヤトレッドのブランクやホースの製造に適しているように思える。しかし、一般的ゴム製品、特に特別注文の製品に対しては、バッチ混合固有の柔軟性は非常に重要な要素であり、疑いもなく、バッチ工程はこれらの用途に対し存在し続けるであろう。

また、連続混合への移行は、混合工程及び材料を扱う工程でのコンピュータ制御システムへの再考慮を必要としている。

連続混合工程は、粒状とか粉状などの計量できる形状のゴムを必要としている。また、組成をミキサーに直接供給する粉体ブレンド技術の採用も必要となるであろう。

作業のやりやすいようコールドフィード型ゴム押出材が使用される方向にする。しかし、この場合、通常の設計のスクリーを使用すると一定速度で、一定の品質のものを得るためには、押出機中で、必要な混合度合を達成せねばならないことが問題となる。

スクリーの高さを長くすると混合効率は上がるが、ゴムの押出機中での滞留時間が長くなり、スコーチの危険性が増大する。混合能力を増加させる手段が種々工夫されている。例えば、スクリー溝を分割したり、ピンを使うなど、スクリーの形状を改善するとか、また、RAPRAのキャビティトランスファーミキサのごとく補充装置をとりつけるなどである。押出機のみぞにそった物質の、特にプラスチックの流れについては理論的及び実験的に広く研究がなされており、押出機のスクリーの設計に及び押出技術の発展に実質的に貢献している。

しかし、押出機のダイの設計については、あまり注目が向けられていなかった。そのため、適切なダイの発展、特に複雑な形状のダイの発展は経験に頼っている。したがってこの分野での今後の発展の可能性は大きい。要因分析に基づくコンピュータのモデル化がおおいに貢献しうる分野である。

3. 成 形

圧縮成形はゴム製品の製造に最も広く使用されている技術である。しかしながら、ある製品に対しては、射出成形が有望な方法である。既存するいくつかの欠点が克服されれば、ますます射出成形が一般化していくであろう。

配合ゴム組成は化学的に活性なシステムである。ゴム組成を金型のキャビティ中に射出する間は加硫せず、射出後は、全工程のサイクルタイムを短くするよう早く加硫するようなゴム配合組成を開発する必要がある。射出段階では、ゴムが金型のキャビティに達するまでにいろいろな形状のスプルー、ランナー及びゲイトなどのみぞを早い流速で通過する工程を含んでいる。

もし、工程がよく制御されるため、また、みぞが正しく設計されるためには、上述の極端な流動条件下での物質の挙動が完全に理解されねばならない。材料の流動、

熱及び加硫挙動を同定するための適切な技術は現在はいきりしていないし、また、同定された特性の材料について設備を設計するための適切な技術も現在は明確化されていない。

しかし、これらの問題も注目を集めつつある。また、製品の製造にとっても、これら技術が将来ますます重要になってくることは明らかである。もちろん、ゴムの射出成形における問題の多くは、サーモプラスチックゴムを使用することによって大きく軽減される。なぜなら、サーモプラスチックは、複雑な化学挙動を示さないからである。

サーモプラスチック材料には、本質的に普通のプラスチックモールド技術が用いられる。事実、広い応用範囲で通状のゴムにおき変わりつつある。これは、急速に発展しつつある分野の一つである。現在の進歩の度合からみて、今後数年間は重要な進歩を示すであろう。

数年前は、反応性末端基をもった比較的低分子量の液状ポリブタジエンゴムにかなりの興味注がれていた。

現在は反応性加工工程として認められているごとく、製品の製造のため、このタイプの物質にもかなりの可能性があると思えた。最初の液状ゴムは、この目的のゴムの先駆者として不適当なものであることがわかった。

しかし、もし、適切な材料があるなら、このアプローチは特殊な製品に対し新しい別の道を提供するものである。

シリコンゴムはすでに確立されている。他のシステムも疑いなくこれに続くであろう。ポリウレタンは特に興味のあるものである。特に液状射出成形モールドによってタイヤを作る可能性がある。このプロセスに対する主張は実現化されていない。充分な品質、性能及び信頼性を必要とする乗用車用タイヤをこの方法で作ることは難かしいが、オフロードや農業用タイヤへの可能性は非常に大きい。

4. 加 硫

現在までのところ、架橋の最も一般的な方法は化学反応を利用しており、硫黄と促進剤をベースにした反応が大部分である。エネルギーは架橋反応を開始させるために必要であり、外部的に造られた熱を熱源として使用されるのが最も普通である。内部的に発生する熱を利用するマイクロ波法もあり一部の押出し製品に確立されている。また、超音波法なども特殊な状況のもとでは可能性があるであろう。

加硫の化学についての研究はたくさんあるが、架橋の

物理的な現象については、あまり注意が払われていない。化学反応を起こさせるためにはエネルギーを低い熱伝導度の材質中を通過させることが必要であることも基本的な問題である。製品中に発生する温度勾配は、不均一加硫を導くことになり、この影響の程度は製品の大きさと形状及び加硫条件などに依存する。このうち製品断面の厚さが大きな役割を果たしている。大きな製品に対するこの影響の詳細な解析は確かに重要である。過剰な熱量は不経済のみならず、過加硫により製品の特性劣化を導くことになるので、供給したエネルギー量が要求程度に加硫するのに充分であることを確認する必要もある。幸いに、これらの影響に関する基本的理論は十分に研究されており、コンピュータプログラムがこの解決に有効となっている。

一般的にエネルギー供給に用いられている高圧蒸気や電熱によるシステムは、熱効率が約10~30%と低い。これは発熱と伝導において生ずるロスが原因である。これらについては、燃料を最も近いところで熱媒体に直接転換させることで大きく改良できる。天然ガスに関してのこの転換の技法と応用の技術は、燃焼生成物を熱源として用いることにより約70%程度の高い熱効率が得られており、これは更生タイヤのような実際の製品の加硫においても実証されている。

5. 外 的 要 因

以上に述べてきたのは、主としてゴム工業界の内的進歩からでた加工法の進歩に関するものであったが、外的に与えられた重要な要因もあり、これについて以下に述べる。

多くのゴム製品は、いろいろの用途があり、品質の保持と実用規格が確立されている。近年、大きな企業、特に自動車工業において、製品品質のばらつき許容範囲に対して統計的な基準を設けることを要求している。これはゴム加工工業における製品規格と工程の品質管理が、こういったものの記録の保存や信頼性は非常に厳密な形で基準に合致するものでなければならなくなることを示している。

職場安全衛生処置によって、労働環境についても注意を払うようになってきている。これは化学薬品を取扱う場合には、それらが原型のままですす毒性のみならず、それらが加工されている反応中において発生する副生成物に関しても、注意が払われねばならないことを示している。これは、架橋反応の揮発性反応生成物について、特にその温度依存性について研究した著名な研究団体にお

ける結果である。

6. 工業との関連性

進歩した技術の利用によって、ゴム加工工業はコンピュータ管理によるより高級でより堅実な品質の製品を、

より効率的に生産できるようになった。換言すれば、こうすることにより工業は生産性と利益を増すことを示しているであろう。しかし、よりよい需要の拡大は、市場の開拓と市場が要求する製品の開発する工業界の努力に依存している。

書 評

Extruder Principles and Operation

(押出成形機の原理と操作)

M. J. Stevens

Elsevier Applied Science Publishers Ltd.

本書は熱可塑性樹脂及びゴムのスクリュウ押出成形機の数値計算から予測される装置の理論的性能と現場での操作実績とのギャップを埋める目的で書かれている。オペレータの経験に依存しがちな押出成形において、最適加工条件に内包されている多くの変数が理論的に裏打ちされ、数値化されれば今後の押出成形加工の発展に寄与することは間違いないだろう。

まず、成形加工の基礎になる熱可塑性高分子の粘弾性の性質とその測定法と熱的性質と熱伝導について述べられている。続いて、押出成形機の原理では、押出成形機内の流動挙動とエネルギーバランスを中心に述べられている。ここでは、成形加工時の変数を単純化した式と図で平易に解説されており、押出成形加工時の基礎データを整理するのに役立つ

だろう。最後に、現場での押出加工への理論の適用化について述べている。ここでは、生産速度と製品品質保持に焦点を当て、高分子の性質、スクリュウの設計及び装置変数を総合評価して、所期の効果を得るための可能な操作上の戦略としてまとめている。

Contents: 1. Introduction 2. Flow behaviour relevant to extrusion 3. Thermal and energy properties in processing 4. Practical extrusion processes 5. Principles of single-screw extrusion 6. Principles of energy balance 7. Operation of single-screw extruders 8. Extruder operation as part of a total process 9. Practical extruder operation 10. Application to the individual machine

(NOK株) 佐々木康順)