高分子材料の帯電現象と帯電防止

船 津 実*

はじめに

高分子材料の用途面での開発はそのすぐれた性質を利用して現在盛んに行なわれ、各種分野に広く進められつつある。しかしこのような多様化とともに高分子材料にもときには欠点となる幾つかの性質もあり、その一つとして特に合成高分子材料は帯電しやすいということが良く知られている。ここではこの高分子材料—特に合成高分子材料を中心にその帯電現象の問題とその帯電防止のために現在行なわれている方法並びにそれに関連する問題点などについて述べることで、高分子材料の新用途面での開発にあたり帯電障害に直面している方に少しでも参考になれば幸である。

高分子材料の帯電現象

われわれの回りにある合成高分子材料で作られている製品にホコリが付着しやすかったり、いやな電撃、くっつきなどが起こったり、その他静電気によるトラブルと考えられる現象は日常生活にまで入り込みよく経験することである。このような現象は皆これら高分子材料の帯電しやすいという性質のために起こると考えられる。なぜ合成高分子材料は従来多く使用されていた天然の他の材料に比べて帯電しやすいかということが次に問題になるが、これはその材料の一つの特長でもある電気絶縁性がきわめてすぐれていることから起因している。

帯電現象の理論というものは古くから物理学者によって考えられ、古典的理論から量子論的理論まで提出されている。古典的理論の代表的なものは Volta や Helmholtz の理論で、2個の物体の接触による接触電位差の発生—さらにそれが接触物体間に生じる電気二重層に起因し接触している物体をハク離、分離した場合にその容

量の変化から大きな帯電圧がその物体の表面に生じるものと考えて、摩擦帯電の説明をしている。これをさらに発展させたものが Coehn の帯電列という考え方になり、2個の物体を摩擦すると誘電率の高い方が(+), 低い方が(-)に帯電し、その帯電量は2個の物体の誘電率の差に比例するという法則であるが、理論的にはこの考え方には問題もあるとされている。量子論的理論では接触電位差というものを物体界面での電荷の移動ということで捕え、そのキャリアーは電子であると考え、さらに物体の電子の表面準位の存在を仮定し、物体が接触した場合その表面準位の高低によって電子の移動が行なわれ、これが物体表面の帯電に起因すると考えているようである。

これらの理論から考えても、広い意味での接触の連続である摩擦ということが実際の帯電現象にきわめて深い関連をもってくるわけで、すでに接触面積の増加と帯電との関係などについても検討されており、さらに摩擦による物体表面での破断、分解あるいは熱の発生などということがより一層電荷の移動を促進し、帯電現象に関連してくると考えられる。

このようにして発生する物体表面の帯電が合成高分子材料などの場合にはその電気絶縁性のきわめてよいということのためにいつまでも漏えいすることなく残っており、障害となる場合が生じるわけである。すなわち、物体表面の静電気の発生と漏えいのバランスにより帯電現象が問題になる。いいかえれば帯電現象があってもその電荷漏えいの速いものは現実には帯電現象は問題にならない場合が多い。

合成高分子材料の電気絶縁性がきわめてよいということはそれが本質的に電気伝導性が悪く、いいかえれば電気抵抗が高い構造になっているからで、その上一般に天然材料などと比べて吸湿性なども少なく、またその中に含まれている異物質、不純物なども少ないというような原因もある。であるから同じ高分子材料であってもその物理的構造とか、結晶性とか、表面に存在する異物質などによってその帯電性というものは当然異なってくる。

また帯電現象というものはその漏えいとのバランスで

昭和 46.10.29 受理

Static electrification and charge preventing of polymeric materials

Makoto FUNATSU

* 花王石鹼(株)産業科学研究所
和歌山市湊薬種畑 1334

あるからそのふん囲気一たとえば空気中の湿度とかその温度にも関連し、湿度が高くなれば空気の絶縁性が低下するとともに物体表面の吸湿現象などと合わせて、物体表面の電荷の漏えいが大きくなることもよく知られている。

表面電気伝導の湿度、温度依存性を示す式としては次式が考えられている。

$$K_s = A_s(\theta) \exp(-E_s/kT)$$

ここで K_s は表面電気伝導を示し、 $A_s(\theta)$ は吸湿による水分の吸着層の数 θ の関数で湿度と深い関係があり、

$$A_s(\theta) = \exp(\beta\theta)$$

なる式が表面の吸着量のあまり多くない範囲では成立するといわれている。

また E_s はイオン移動のための活性化エネルギーと呼ばれ K_s と表面温度 T との関係を示しているが、室温と考えられる範囲での温度変化では K_s におよぼす影響は湿度の影響に比べてきわめて少ない。

高分子材料の帯電現象に最も利用し得る電気的性質はポテンシャルや界面動電気現象であるともいわれ、今後、高分子の帯電とこれらの結びつけがなされるだろう。

しかしまた一方高分子材料がある種の不純物や水の吸着というようなことにより多量の電荷の発生するというような実験的事実も認められており、帯電現象の複雑さを示している。

高分子材料の帯電障害

高分子材料の具体的な帯電障害についてその主なものを次に示そう。

まず第一に高分子材料で作られた製品はホコリの付着によりきわめて汚れやすいことがあげられる。一般にこれら加工製品は美しいものが多いが、ただ汚れやすいだけでなくふいても除去しづらいようなホコリが付着し、見苦しい感を強くするとともに商品価値なども低下し、われわれの日常生活の中でもプラスチック製品というのは汚れやすいものとの悪印象を強くもたれている。

次に高分子材料を使用する場合の実際的なトラブルである。たとえばインフレーションしたプラスチックフィルムに機械的に粉末製品などを充テンする場合、まずフィルムの開口性が悪かったり、開いたフィルム内部に粉末が吸着し、その後のヒートシールにトラブルを起こしたりすることはよく知られている。またプラスチックフィルムなど印刷する場合でも、その表面が高速印刷などの際には特に高電位に帯電し、回りの空気中のガスをイオン化しアースとの間で火花放電を起こす。この際放電

エネルギーが発生し、最少着火エネルギーの低いものがあれば引火したり、さらには爆発を引き起こすようなこともよく聞くことである。またプラスチックの印刷の際にその帯電のためインクなどがうまく乗らず、いわゆるひげの現象などを生じることもある。これは静電気の反発力のための障害である。

高分子材料の成形時における静電気トラブルも多い。高速でプラスチックフィルムを作る場合とか、大型の射出成形品を金型より取り出す場合の作業者に対する電撃などその一例である。

電撃といえば最近湿度の低いところで使用される高分子材料は多くなっているが、たとえば電子計算機室のタイルの上を歩行して他のものに急にふれたり、椅子やシートから急に立上ったりした場合それらが合成高分子材料からできていると人体に強く電撃を受けることなどもあるといわれているし、また米国などでは自動車などの高分子材料でできている塗装面に手をかけて電撃を受けた例などもある。

さらに高分子材料の成形後二次加工するまでの間でのトラブルもよく問題になる。すなわち、二次加工までの間にホコリの吸着などのために二次加工がうまくできなくなったりしてしまう。

また二次加工で研磨、研削などする場合にはその加工クズなどもホコリとともに再付着して困る場合が多い。

弱電関係の家庭商品にも高分子材料はきわめて多く使用され始めているが、たとえばテレビ、ラジオなどあるいはレコードなどはただ単に汚れて困るということだけでなく、ときには雑音、雑音などの原因にもつながってくる。

電導度の低い液体が流れる高分子材料を用いたパイプなどには放電削孔などの現象も認められ、さらに絶縁材料などが特にケーブル、重電関係製品などが放電により劣化し、絶縁破壊を生じることもある。その他放電障害の例としては写真フィルムの放電感光によるスタチックマーク発生の原因を作る場合などもある。

高分子材料の粉末も最近その生産量の増大とともに粉じん爆発などを起こす危険が増加しているといわれ、その原因は粉末粒度、形状などの要因のほかにもその高分子材料の化学構造とも深く関連しているようである。これらは皆、高分子材料の帯電障害の例である。

これら帯電障害の現象を2, 3の数式で簡単に表現することもできるので次に示そう。

真空中の誘電率を ϵ_0 とし、距離 r 離れている電荷量 Q_1, Q_2 を持った点電荷の間に働く力 F (単位ニュートン) はクーロン則から下式で表現されている。

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q_1 \cdot Q_2}{r^2}$$

ここで Q_1 , Q_2 が同符号なら反発力, 異符号なら吸引力である。すなわちこの力が高分子材料の場合のホコリの付着力などのトラブルの原因になる。

また電荷の放電の際のエネルギー—これが着火や電撃などの原因になるが— U は放電前後の帯電圧をそれぞれ V_0 , V とすれば下式で表現されている。

$$U = \frac{1}{2} C (V_0^2 - V^2)$$

ここで C は静電容量であるが高分子絶縁体の場合には限られた部分の電荷の放電によるので導体より小さくなる。

高分子材料の帯電防止

以上のような高分子材料の帯電障害を解決していくためにはその帯電防止ということが問題になってくる。そこで次に高分子材料の帯電防止として考えられている方法を示そう。

高分子材料の帯電防止法は大別し, 機械的な方法, 環境を変える方法, 添加剤—帯電防止剤を樹脂に加える方法がある。

まず機械的な方法としては除電器を使用することによりその製品の表面電荷を減少させる方法が主たるものである。これは原理的には帯電体に接触するローラーのような表面を摩擦ができるだけ少ないような構造にしてその電荷を放電させるものを使用する方法である。またその成形加工時などにおいては成形加工機が帯電することにより障害を生じるが, このような場合には加工機の金属部分を完全にアースする必要がある, これにより実際解決されている場合も多い。

次に環境を変える方法であるが, これは帯電現象が空気中での温湿度に大きく依存していることを利用するもので, 特に湿度に対しては大きく依存しているのでこれらを調節することにより障害を少なくする方法である。すなわち湿度を高くすることにより帯電は見かけ上減少し, 帯電防止にきわめて有意義な場合もある。

しかし, 最も一般的で広く利用されている方法は添加剤—帯電防止剤と呼ばれているものを使用する方法である。この方法の原理は高分子材料からなる製品の表面を帯電防止剤で導電性にするにより帯電防止するものであるが, 電荷の発生を抑えたり, 表面摩擦の緩和を行なうような場合も考えられる。

いずれの場合も実際の帯電防止という問題は電荷の発生そのものを抑えることにもあるがむしろ電荷の漏えい

をいかにうまく行なわせるかということが主体である。

電荷の発生を抑えるということはその物体の表面の誘電率などの本質的なものと深い関連があり, 材料の化学的組成などにより大きく変えることはむづかしく, 摩擦の低減などといってもそれを考慮してすべての場合使用することはできないので電荷の漏えいをいかにうまく行なうかということの方が容易である。

電荷の漏えいには表面電導ということが重要な因子になってくることは当然で, 特に高分子材料の帯電防止という場合にはこれが重要な役割を果たす。

帯電防止剤の種類と使い方

高分子材料の帯電防止のために広く使用されている現状の帯電防止剤の種類とその使い方について少し述べよう。

高分子材料の帯電防止剤としては大別して表面塗付形帯電防止剤 (外部用) と練込形帯電防止剤 (内部用) の2種類になる。

前者はさらに大別するとシリカ系帯電防止剤と界面活性剤系帯電防止剤にわかれ, その使用法なども異なる。

シリカ系帯電防止剤は高分子材料の表面にガラス類似の薄膜を形成させるもので, ガラスに近い表面状態にする。そのため製品の形状などにより多少の差はあるが, まず前処理として表面に付着している汚れ, さらに水滴や油脂類も充分除去し, その後防止剤を塗付し, 適当な指定された温度, 湿度, 時間による後処理を厳密に行なう必要があり, これらを注意しないと期待するような結果を得ることはむづかしい。すなわち, その防電効果や耐久性に関しては次に述べる界面活性剤系のものに比べて非常にすぐれているが, その取扱い上の問題や, そのためのコストアップということなどで実際の帯電防止処理ではネックになる場合が多いようである。

次に界面活性剤系帯電防止剤を使用する場合であるがこれは防止剤を水溶液, 場合によってはその溶解性, 処理後の乾燥性などのため適当な溶剤の溶液として使用する。

いずれにしてもこれら溶液の中に高分子材料の製品を浸セキするか, これらの溶液をそれら製品の必要な面にスプレーするか, あるいは適当な布とか, ハケのようなものにこれら溶液を含浸させて, これで必要な部分をこすることにより, 界面活性剤の薄い塗膜を高分子材料の表面に形成させるものである。

ただ, 処理後水あるいは溶剤を乾燥により除去する必要がある。もちろん, 室温に放置しておけば自然に乾燥はするが, 短時間で連続的に乾燥しようとするれば装置的

に熱風乾燥などを考えなければならないし、乾燥の際に注意しなければならないことは空気なり、熱風なりの汚れがあると乾燥表面に静電気に関係なく汚れが吸着し、帯電防止処理のできあがった時点ですでに汚れがついてしまうなどということもある。

特殊な方法ではあるが、射出成形の場合などその金型に帯電防止剤を塗付してのちそこに成形することにより成形品を帯電防止する方法なども考えられている。適当な帯電防止剤さえ選べば一度金型に塗付することにより数回成形を繰り返してもその成形品は防電効果を保持しているし、その金型に成形機と連動して自動的に帯電防止剤の溶液を塗付するというようなことも考えられている。

この方法は金型表面の帯電防止剤が成形品の表面に再付着するもので界面活性剤の親油基の樹脂に対する吸着力の強さを利用している。この場合加熱されている樹脂に帯電防止剤が付着することになるので前述の一般的な表面塗付形帯電防止剤使用の場合に比べて、その付着力はかなり強いものと考えられるし、処理後成形品を乾燥させるというような問題もなくなる。

界面活性剤系の表面塗付形帯電防止剤のよくいわれることは原理的に表面に塗付されているだけであるから、その耐久性に限界のあることであるが、その点を少しでも改良をしようとする方向も最近二、三見受けられる。その一つは帯電防止剤を適当なバインダーすなわち高分子材料と間で接着剤になるようなものとともにその表面に塗付するという考え方、あるいは防電塗料という考え方であるが、実際には現時点で必ずしも満足な結果を与えるようなものは開発されていないようである。また次に界面活性剤として高分子の構造を持ったものを帯電防止剤として使用すればその分子構造にもよるけれども高分子材料との付着力が一般的な低分子の構造を持ったものに比べて強くなり、その耐久性が向上するだろうという考え方であり、これも今後の一つの表面塗付形帯電防止剤として興味のある方向である。

以上界面活性剤系の表面塗付形帯電防止剤を使用することは処理方法として比較的簡単で、その使用量の絶対量も少なく経済的であるが、一般に実際の高分子材料の成形ラインの中で生産性をあげて行なうことには限界があり、このために応用面での限界もある。

また表面塗付形帯電防止剤は成形後それを使用するため一般的には成形時における帯電障害は解決されない場合が多く、成形後できるだけ早く処理しないと処理前に障害が起こりやすい。

練込形帯電防止剤にも界面活性剤系のものとそれ以外

のものがある。

それ以外のものとしては導電性の微粒子を充テン剤的にかなり大量添加することにより高分子材料の体積的な抵抗を減少させる場合が代表的な例である。導電性微粒子としては金属粉やカーボンなどが一般的には使用される。

この場合には高分子材料の表面の問題というより、体積的に導電性にするわけであるから、これらの添加剤が均一に練込まれて導電性粒子相互間に電荷の移動する道が形成されていなければならない、そのためには粒子の細かなことや添加量の多いことなど問題点があり、高分子材料の物性におよぼす影響が大で、また色、透明性なども自由にならない場合が多く、たとえばカーボンのようなものを使用すれば黒色以外の製品は考えられないなど、その用途的にも限られてしまう。

界面活性剤系の練込形帯電防止剤というものは高分子材料の帯電防止剤としては最も広く利用され、現実的にこれを使用することが帯電防止法としてもっとも一般的で今後もその主流として考えられている。それゆえ狭義で高分子材料の帯電防止剤という場合にはこの界面活性剤系練込形帯電防止剤を指すとみてよい。次に少し詳細にこの界面活性剤系練込形帯電防止剤の作用機構や使い方などについて述べよう。

界面活性剤系練込形帯電防止剤の作用機構と使い方

現状の界面活性剤系練込形帯電防止剤の高分子材料への応用する場合のその作用機構は原理的には先にも述べたように、その界面活性剤の導電性フィルムで高分子材料の表面をおおい、イオン性あるいは吸湿性などの性質を高分子材料の表面に与える一つの表面改質であるが、一度帯電防止剤が高分子材料の内部に練込まれてのち、その一部が表面に出てきて薄い導電性フィルムを形成しなければならない。このためには練込形帯電防止剤は高分子材料と空気との間で界面活性を示す物質であること一すなわち、高分子材料と相溶性が余りよいと完全に溶けて界面活性は示されないし、また余り悪いと完全に移行してその表面にですぎて薄い膜以上のものになり、表面特性を全く変えてしまうというような結果になるので、高分子材料に対する適当な相溶性があり、しかもある程度表面に移行して適当な移行量で止まり、水洗などにより表面の帯電防止剤が取り除かれるとまた内部からその表面にある程度移行してくることが必要である。またその表面への移行性とともに移行して形成されるそのフィルム層が防電性を有する構造のものであることが必

要である。そのフィルム層に電導性の発揮する原理は連続的につながっている界面活性剤の分極による効果と界面活性剤が空気中の水分を微量ではあるが吸着し、水をも分極化させ、その効果を一層発揮させるためと考えられる。この前者の効果を説明するために湿度0%の状態でも高分子材料表面に直流電圧を印加したさい流れる電流を帯電防止剤処理、未処理の試料について検討してみると、処理した材料ではもれ電流が観測されるのに未処理材料では吸収電流しか観測されず、もれ電流はみられない。もれ電流は電荷を運ぶ担体の存在することを示すもので、これは高分子材料表面で、帯電防止剤自体の極性基などの配合分極によるものと考えられる。また後者の効果は帯電防止剤で処理した高分子材料の防電性がそのおかれている湿度と大きな関係があり、湿度の低下に従って防電効果の低下することからも推察することができる。

上述のように練込形帯電防止剤の高分子材料表面への移行しやすさということはきわめて重要な因子であるが、これはその界面活性剤の構造とともに高分子材料の性質ともきわめて深い関係がある。その高分子材料の性質としてそのガラス転位温度というものを考えると理解しやすい。

すなわち、ガラス転位温度の室温より低いような高分子材料と高いような高分子材料をわけて考えると理解しやすい。

まずガラス転位温度の室温より低いような高分子材料の場合であるが、その構成するポリマー分子は室温ではミクロ的にセグメント内で分子運動を盛んに行なっているため、帯電防止剤が高分子材料の内部に練込まれていると、そのポリマー分子の運動に助けられて、界面活性剤の高分子材料表面への移動が行なわれやすい。このため、ガラス転位温度の低い高分子材料の場合には室温においてその内部に適当な帯電防止剤が練込まれていれば、成形後界面活性剤が時間的に高分子材料表面に移動してきて防電効果を発揮するのであり、表面水洗後も再度表面に内部にある界面活性剤が時間的に移行してくることができる。それゆえガラス転位温度の低い高分子材料の場合でも温度がそのガラス転位温度より低いところにおかれると練込まれている帯電防止剤の表面への移行はきわめて困難になり、防電性は発揮されずらい、また逆に放置されている温度が高くなるに従って練込まれている帯電防止剤の表面への移行は速くなり、防電性は発揮されやすい。しかし余りその放置温度が高すぎると移行は速いが、高分子材料表面に移行した帯電防止剤のその表面からの飛散なども多くなり、さらには熱分解なども

しやすくなるわけで、高すぎても問題がでてくる。

帯電防止剤が高分子材料に練込まれた場合、その非結晶質の部分に存在しているわけであるが、ガラス転位温度が室温に比べて低い高分子材料であっても、その結晶性が高くなったり、結晶の形状が異なったり、結晶の配向性などが異なると同じ樹脂でも帯電防止剤のその表面への移行性も異なってきて、防電性に異なりがでてくる。すなわち、一般に成形方法とか成形条件、後処理条件などにより、同一の帯電防止剤を一定量同一高分子材料に練込んで成形しても、同じ効果が必ずしも発揮されない場合がありうる。

次にガラス転位温度の室温より高い高分子材料の場合であるが、この場合にはその構成するポリマー分子は室温では凍結状態にあるのでミクロ的なセグメント内の分子運動はほとんど考えられず、したがってその運動による練込まれている帯電防止剤の高分子材料表面への移行ということは期待できない。それゆえこのような場合には帯電防止剤が高分子材料内部に練込まれていても、室温で成形後時間的に帯電防止剤が移行して防電効果を発揮することはほとんどない。すなわち、このような場合の帯電防止性の発現は、その高分子材料成形時においてポリマーの熔融状態からそのガラス転位温度に低下するまでの間に一成形加工時のきわめて短時間に防電性を発揮するに必要な大部分がその表面に移行してくる場合か、金型などを使用するある種の成形の場合にポリマーの熔融状態で帯電防止剤がある程度の蒸気圧を持ち、そのため金型の表面にポリマーの付着する前に帯電防止剤がガス状で均一に付着してそれが成形された高分子材料の表面に再付着し防電性を示す場合になる。それゆえにガラス転位温度の高い高分子材料の場合には、水洗あるいは強い摩擦などによって表面の帯電防止剤がなくなったような場合に、室温での放置によりその時間的な防電効果の回復ということはきわめてむづかしい。このような考え方を裏付ける一例として帯電防止剤の練込まれているガラス転位温度の高い高分子材料を充分水洗し、表面の防電性を完全に除去してのち、温度を変えて放置した場合、その放置温度がガラス転位温度よりも高くなるにつれて、防電効果が急激に回復してくるものと、放置温度に関係なく一度防電効果を完全になくすと全く回復してこない場合が実験的にも確認されている。このような二つの相違は帯電防止剤の構造との関連がきわめて大きく、はっきりした沸点をもたず、かなり的高温まで蒸気圧のほとんどないもので高分子材料との相溶性がガラス転位温度以上でかなり悪いものはガラス転位温度以上で放置すれば防電性が発現してくるようなものであ

り、高分子材料とのガラス転位温度以上の温度における相溶性はある程度よく、かなりの蒸気圧を成形温度でもつような構造の帯電防止剤は、一度水洗などにより防電性をなくしてしまうと放置温度を変えても防電効果の発現はみられない。

またガラス転位温度の高い高分子材料の場合も当然その成形方法や成形条件などが防電効果を左右する。

現状の帯電防止の問題点と今後

上述のような高分子材料の帯電防止の方法として、広く行なわれ始めている界面活性剤をベースにした帯電防止剤を使用する方法にも幾つかの問題点が含まれており、今後解決されていかねばならない。

まず、ガラス転位温度の低い高分子材料の場合でも、実用的な立場からみて、効果的な帯電防止剤をいかに少量均一分散させて使用するか、他の添加剤特に顔料などとの併用の際それらの分散不良をいかにしてなくするか、水洗などによる永久性をできるだけ大きくするにはどうすればよいかなど問題になるが、現状では帯電防止剤の限界をよく認識して使用することが大切である。現状の帯電防止剤の作用機構などよりみて帯電防止剤自体の化学的構造を少しぐらい変えても余り大きな解決にはならず、むしろ現状のものをいかにうまく使用していくの方が重要であろう。できるだけ帯電防止剤の使用量を少なくして効果を最大限に発揮するためにはただ帯電防止剤を添加するというだけでなく、それとともに成形後そのものを物理的な後処理と合せて行なうことが知られている。たとえばブロー成形で成形後フレーム処理を行なうとか、インフレーションフィルム成形で成形後コロナ放電処理をするとかはよく知られており、それ以外にも放射処理、熱処理、酸化剤処理など考えられている。

界面活性剤は化学構造的に分類して考えるとその主なものは幾つかのタイプにあてはまり、合成的に今後全く新しいものが生まれてくる可能性はきわめて少なく、従来から知られているものをある程度改良することとか、それらの適当な組合わせで一層の効果を上げるようにすることが考えられ、それが今後の一つの方向だろう。このことは最近数年間の特許などを調べてみてもよくわかることである。また帯電防止剤の形状が従来液状あるいは粉末、ペースト状などであったが、その使いやすさのためとともにより効果的に使用するために使用するポリマーでマスターベレット化したようなものも商品化され市場で好評に受け入れられようとしている。すなわち、高分子材料の種類ごとにそのポリマーに高濃度に帯電防

止剤が練込まれているもので、今後の帯電防止剤の一つの方向を示すものである。

ガラス転位温度の高い高分子材料の場合には、練込形帯電防止剤といってもその現状のものは作用機構からみても、練込形として必ずしもふさわしい機能を持っておらず、今後いかにこれを解決していくか大きな問題である。現状では上述のような不満足のをいかに用途に応じてその性能範囲内で使いこなしていくかということが重要なことである。

さらにほとんど触れなかったが熱硬化性高分子材料についてはそのポリマーの構造からみて分子が網状化しており、熱可塑性高分子材料のガラス転位温度に相当するようなものがはっきり考えられないため、練込形帯電防止剤をその作用機構的にみて考えることはより一層難しい。ただ、熱硬化性高分子材料の場合には一般に触媒や硬化剤など使用して硬化させるため、硬化時間がある程度あり、この間内部に混練りしておいた帯電防止剤が表面に移行するようなことも考えられるし、またその材料中に不純物のようなものも入りやすく、そのため熱可塑性高分子材料に比べて表面比抵抗などいくらか低い場合が多い。しかし実際に熱硬化性高分子材料でも帯電現象は問題になるケースも多く、このような場合には表面塗付形帯電防止剤を使用して解決するより他により方法はない。

今後の高分子材料の帯電防止の方向として、帯電防止剤的なものを使用することなく、放射線照射による表面処理を使用するか、表面化学薬品処理—たとえばスチレン系高分子を硫酸化するか、高分子材料表面に金属メッキをするとかの方法も考えられてはいるが現状では帯電防止の目的だけで上記処理することには問題があり実用的ではない。

高分子材料自体を導電性構造のものにしたものを開発することも導電性ポリマーの開発ということで話題として取り上げられているが、満足の防電効果を持つようなものにするには、その高分子自体の物性その他からみて現状の汎用高分子材料と同程度のものが開発される可能性は現状では少なく、特殊な用途以外には開発されてもそのような材料が使用される可能性はない。

現在広く使用されている高分子材料を帯電防止するためにはやはり既に述べたような界面活性剤を中心にした帯電防止剤の使用以外により方法が考えられず、それをより一層満足できるような方向に持っていくようにすること、さらにそれを効果的に利用する方法を考えていくことに努力していくことしかないと思う。

結 び

高分子材料の帯電現象と帯電防止ということでまとめてみたが限られた紙面の関係もあり充分な解説ができていないとは思えない。より一層の詳細を求められる方には既に公表されているこれらに関する単行本¹⁾などを参照していただきたい。特に高分子材料の帯電防止の実際と現状の問題点については別に筆者が具体的に実例を上げながらの解説をしているし²⁾, また帯電防止剤を実際使用する場合のその選択と効果的な使い方などについてもすでに公表している³⁾のでそれらを参考にさせていただけば役立つことが多いと思われる。

また帯電防止剤の最近の動向を知るために昭和 40 年ごろより 46 年 2 月ごろまでの日本特許公報にのったすべての帯電防止剤についてその構造的に分類してプラスチックエッジエンサイクロペディア⁴⁾に筆者がまとめたのせておいたのでこれらも参考になることだろう。

高分子材料の用途の多様化, 消費パターンの高級化と

ともに帯電現象も複雑化し, 帯電防止もより一層重要になるが, そのためには今後より一層その末端ユーザー, 加工成形メーカー, 材料原料メーカーと帯電防止剤メーカーとの協力なくしては解決できない問題が多くなっていくことだろう。最近の帯電防止剤の動向についてもそれらを既に公表している⁵⁾ので参考にさせていただきたい。

文 献

- 1) 橋高重義, プラスチックの帯電防止 (日刊工業新聞社)
丸茂秀雄, 帯電防止剤—高分子の表面改質 (幸書房)
- 2) 船津, ラバーダイジェスト, 22 [6], 28~44 (1970)
- 3) 船津: プラスチックス, 22 [10], 71~79 (1970)
- 4) プラスチックエッジエンサイクロペディア, p. 277~279 (1970); p. 250~253 (1972)
- 5) 船津, オールプラスチック, 13 [1], 168~169 (1971)