熱硬化と紫外線硬化, 電子線硬化に必要な とされる硬化エネルギーの比較

星 野 喜 信*

1. はじめに

最近の世界的な石油供給状態の悪化による入手の困難さとともに価格の大幅な上昇の中で, 各国は懸命にエネルギー消費節約のための努力を行なっている最中である。

塗料関係においても省エネルギーという観点から低温硬化形塗料の開発が望まれているが, 紫外線 (UV) 硬化や電子線 (EB) 硬化などの放射線硬化法を使用することによってエネルギー節約ができる。これらの放射線硬化

形塗料は一般の塗料と違って, 乾燥中に失なわれる揮発性溶剤を含有せず, その代り粘度調整剤として一官能〜多官能 (メタ) アクリレートのような反応性希釈剤が用いられ, それらは次の重合工程にいれられる。また放射線硬化形塗料は, 一般の焼付形塗料より少ないエネルギーで塗膜が硬化するという省資源・省エネルギーを特徴とするものである。

本資料では, 焼付形塗料と放射線硬化形塗料の硬化に必要なエネルギーの比較 (省エネルギー性) を行なってみたいと考える。

表-1 塗料の乾燥機構

乾燥の種類	乾燥の機構	塗料の例
揮発乾燥	塗料中の溶剤や水が蒸発し去って塗膜が硬化する。	ラッカー, ビニル樹脂塗料 エマルジョン塗料
熔融, 冷却乾燥	塗料を加熱熔融して塗布した後, 冷却して塗膜を硬化させる。	ホットメルト形塗料 粉体塗料
膨潤ゲル化乾燥	加熱によって可塑剤で膨潤され, ゲル化によって塗膜を硬化させる。	ゾル塗料
酸化乾燥	空気中の酸素を吸収して酸化し, これにともなって重合がおこって塗膜が硬化する。	調合ペイント, フタル酸塗料
熱重合乾燥	加熱 (80~300°C) により樹脂が橋かけを行なって塗膜を硬化させる。	アミノアルキド樹脂塗料 熱硬化アクリル樹脂塗料
触媒重合乾燥	触媒, 硬化剤の作用によって樹脂が重合し, 硬化する。	不飽和ポリエステル樹脂塗料 エポキシ, ウレタン樹脂塗料
光重合乾燥	有効波長の光線を照射して重合, 硬化する。	紫外線硬化塗料
電子線重合乾燥	電子線加速器を用いて電子線の照射をし, 活性ラジカルを生成させ, 重合, 硬化する。	電子線硬化塗料

昭和 55.5.26 受理
Comparison of Curing Energy for Thermosetting,
UV-Curing and Electro-Beam Curing Processes

Yoshinobu HOSHINO
* 日本油脂(株)戸塚工場
横浜市戸塚区下倉田町 296 (〒244)

2. 硬化機構の相違

塗料の乾燥の種類には、表-1 のようにいろいろある¹⁾。従来の焼付硬化形塗料は、熱伝導による熱エネルギーを利用して塗膜を硬化させるものであった。この場合塗料の熱伝導があまりよくないために、塗膜表面から内部へ熱エネルギーによって励起される分子運動の伝達が遅く、硬化反応が終了するまでに数十分の加熱を必要とした。

一方、放射線硬化形塗料の硬化機構はラジカル反応で、紫外線・電子線が塗料に当たると塗料構成成分の分子にラジカルが生成し、それからあとは触媒によるラジカル重合反応と類似のメカニズムで高分子化反応および橋かけ反応が起こり、塗料は硬化する。通常のラジカル重合反応では、触媒と熱とを必要とし、また触媒が熱分解してラジカルができるのに幾分時間がかかるが、放射線による反応はきわめて短時間にかつ室温で多量のラジカルが生成するので、反応は短時間に完結し、塗料は硬化する。

3. エネルギーの利用効率

熱硬化法に必要なエネルギー E (熱) は、塗料の硬化に直接必要なエネルギー以外に、被塗物、周辺空気、炉本体、炉内設備などを加熱するためのエネルギーが大量に必要であるのに対し、放射線硬化法に必要なエネルギー E (UV・EB) は、直接塗料に対して放射エネルギーを集中させればよく、被塗物、炉などに無関係である。

更にまた放射線硬化法ではハイソリッド形の塗料を用いるので、炉から排出される溶剤の燃焼無害化のためのエネルギーも節減される (表-2)。

電子線硬化法では、加速器の入力として投入されたエネルギーの約 50~60% が有効エネルギーとして塗料の硬化に利用される。紫外線硬化法では、高圧水銀灯の出力の大部分は赤外領域で、近紫外領域の出力は約 18% である。さらに紫外線照射器の反射板、ハウジングなどによる損失を考慮すると、紫外線硬化の場合、全入力約 10% が有効エネルギーとして利用されることになる。熱風硬化法では非常に効率が悪く、全入力の 1% 以下のエネルギーしか塗料の硬化に利用されていない⁴⁾。

M. A. Parrish⁵⁾によれば、4 種の硬化法で木工目止を“適正研摩度”になる程度まで硬化した時のエネルギー必要量は表-3 に示すように大きな差がある。

4. 各乾燥方法における所要エネルギー

現在焼付形塗料の乾燥に用いられている熱風乾燥炉、遠赤外線炉と、紫外線硬化および電子線硬化における所要エネルギーの概略計算式を示す。

4.1 熱風乾燥炉の所要熱量^{1~3)}

熱風乾燥炉に必要な熱量は、塗料の乾燥に要する熱量だけでなく、たとえば焼付コンベヤーラインで 150°C で焼付ける場合、被塗物および搬送具 (コンベヤー) を 150°C まで上昇させるに必要な熱量、乾燥炉周辺よりの拡散熱量、炉体骨組みおよび内壁を加熱するに要する熱

表-3 エネルギー必要量

硬 化 方 式	物質の単位面積当りの必要エネルギー, kJ/m ²
赤 外 線	1,600
電 磁 線	330
紫 外 線	64
電 子 線	30

表-2 炉ランニング時の必要エネルギー

項 目	乾燥形式	熱 風 乾 燥 炉	遠赤外線乾燥炉	紫 外 線 硬 化	電 子 線 硬 化
塗 料 の 加 熱 (硬 化)		○	○	○	○
製 品 (被 塗 物) 加 熱		○	○		
コンベヤーチェーン		○	○		
排 気 損 失		○	○		
開口部 (出入口) 損 失		○	○		
炉 外 壁 放 散 熱		○	○		
ダ ク ト 放 散 熱		○			
排気, 冷却, 循環空気の動力		○	○	○	○
コンベヤー駆動モーター		○	○	○	○
備 考		ヒートアップに要する時間は30~60分	ヒートアップに要する時間は5~15分	スイッチON後3~5分で使用	スイッチON後1~5分で使用 不活性ガス必要

量, 送りダクトの放散熱量, 炉内空気を加熱する熱量, 排気ファンの持ち去る熱量, 炉出入口の流出空気が持ち去る熱量などを必要とする。

1) 炉ヒートアップ時の必要熱量

① 炉体負荷熱量

$$Q_a = \text{炉外壁表面積 } A_1 (\text{m}^2) \times \text{炉壁蓄熱係数 } P \\ \times 1/2(t_3 + t_0) \quad \text{kcal}$$

② ダクト類負荷熱量

$$Q_b = \text{被加熱物重量 (kg)} \times \rho_1 \times (t_4 - t_0) \quad \text{kcal}$$

③ ダクト保温材負荷熱量

$$Q_c = \text{被加熱物重量 (kg)} \times \text{保温材比熱 } \rho_3 \times (t_4 - t_0) \\ \text{kcal}$$

④ 炉内残留物負荷熱量

$$Q_d = \text{被加熱物重量 (kg)} \times \rho_1 \times (t_3 - t_1) \quad \text{kcal}$$

⑤ 炉内および循環系空気負荷熱量

$$Q_e = \text{空気体積 (m}^3) \times \{273/(273 + t_4)\} \\ \times C_v \times (t_4 - t_0) \quad \text{kcal}$$

⑥ 排気損失熱量

$$Q_f = 1/2 Q_g \quad \text{kcal/hr}$$

⑦ 開口部損失熱量

$$Q_g = 1/2 Q_7 \quad \text{kcal/hr}$$

したがってヒートアップ時の必要熱量は, ヒートアップに必要な時間を T 分とすれば,

$$Q_H = \{\sum Q_{a-e}\} \times 60/T + Q_f + Q_g \quad \text{kcal/hr}$$

となる。間接加熱の場合には, 上記の熱負荷の他に, さらに熱交換器, 燃焼炉材などに要する熱負荷を加算しなければならない。

2) 炉ランニング時の必要熱量

炉温が上昇して定常状態になってからの必要エネルギーは, 下記の加熱に要する熱量と, 放散損失熱量の合計および運転に要する動力からなっている。

加熱に要する熱量は,

① 被塗物とコンベヤー・トロリー・ハンガーなどの搬送具の負荷熱量

$$Q_1 = \text{被加熱物重量 (kg/hr)} \times \rho_1 \times (t_2 - t_1) \\ \text{kcal/hr}$$

② 塗料の加熱に要する熱量

$$Q_2 = \text{塗料の重量 (kg/hr)} \times \rho_2 \times (t_2 - t_1) \quad \text{kcal/hr}$$

③ 溶剤および水の蒸発熱

$$Q_3 = \text{溶剤の蒸発潜熱 (kcal/kg)} \times \text{溶剤の重量 (kg/hr)} \\ + \text{水の蒸発潜熱} \times \text{水の重量} \quad \text{kcal/hr}$$

④ 炉外壁からの放散熱量

$$Q_4 = \text{炉外壁表面積 } A_1 (\text{m}^2) \times \text{炉壁放散係数 } \gamma_1 \\ \times (t_3 - t_0) \quad \text{kcal/hr}$$

⑤ ダクト類の放散熱量

$$Q_5 = \text{ダクト表面積 } A_2 (\text{m}^2) \times \text{ダクト放散係数 } \gamma_2 \\ \times (t_4 - t_0) \quad \text{kcal/hr}$$

⑥ 排気損失熱量

$$Q_6 = \text{必要とする排気空気量 } V (\text{m}^3/\text{hr}) \times \text{空気比重 (kg/m}^3) \\ \times \text{空気比熱 (kcal/kg} \cdot ^\circ\text{C)} \times (t_2 - t_1) \quad \text{kcal/hr}$$

⑦ 開口部損失熱量

$$Q_7 = \text{開口部合計面積 } A_3 (\text{m}^2) \times \text{開口部流出風速 } v \\ (\text{m/hr}) \times 273/(273 + t_3) \times C_v \times (t_3 - t_0) \\ \text{kcal/hr}$$

t_0 : 外気温度 $^\circ\text{C}$

t_1 : 初期温度 $^\circ\text{C}$

t_2 : 被塗物加熱温度 $^\circ\text{C}$

t_3 : 炉内ふん囲気最高温度 $^\circ\text{C}$

t_4 : 熱風最高温度 $^\circ\text{C}$

ρ_1 : 鋼材比熱 kcal/kg $\cdot^\circ\text{C}$ (約 0.12)

ρ_2 : 塗料比熱 kcal/kg $\cdot^\circ\text{C}$ (約 0.4)

水の比熱 kcal/kg $\cdot^\circ\text{C}$ (1.0)

空気比熱 kcal/kg $\cdot^\circ\text{C}$ (0.24)

溶剤の蒸発潜熱 kcal/kg (約 80)

水の蒸発潜熱 kcal/kg (540)

放散係数 γ_1, γ_2 の単位 kcal/m $^2 \cdot \text{hr} \cdot ^\circ\text{C}$

γ_1 : 1~1.5

γ_2 : 1.5~2.5

C_v : 空気の比熱 kcal/m $^3 \cdot ^\circ\text{C}$

乾燥炉においては, 火災・爆発の危険防止のために排気を行ない, 循環系統内の溶剤濃度を爆発下限値 (L. E. L.) 以下にする必要がある。溶剤濃度を安全値以下に保つために必要な排気量は,

$$V = (22.4/\text{分子量}) \times w \times (100/\text{L. E. L.}) \times \text{安全率}$$

V : 乾燥炉よりの排気量 (Nm 3 /hr)

w : 炉内で蒸発する溶剤の重量 (kg/hr)

L. E. L.: 混合溶剤の爆発下限値 (%)

乾燥炉の排気量は以上の外に, 直接加熱型においては燃焼用に使った空気量, 燃焼ガス生成量, 被塗物が包含して持込んだ空気量などの合計を計算する必要がある。また, 水性塗料のように水を含有している場合, 炉内の温度を低く保つために, 新鮮な空気を必要とする。

4.2 遠赤外線炉の所要熱量^{1~3)}

赤外線 (輻射) は伝導・対流と共に, 熱移動の第3の形である。一般に, 温度が上昇したあらゆる物体は, 表面の近い部分において大量の電磁波を放散する。この熱放射は 0.1 μ から 100 μ にわたる広い範囲のスペクトルを示す。このスペクトルの中で 0.35~0.75 μ の間は

可視光線の部分であり、これより長い波長の領域に赤外線領域がある。この赤外線の中でも長波長の部分を遠赤外線という。遠赤外線は純エネルギーの波長で、それ自身には熱量を持っていない。波長は光速で直線的に伝わり、光の法則の殆んどに従う。被塗物表面に当たった赤外線は被塗物の温度を上げる。すなわち熱エネルギーへの転換を行なう。

遠赤外線炉の設計は次の手順で行なわれる。

- ① 使用塗料の乾燥条件、すなわち加温温度・加熱時間あるいは適当な照射距離などを知る。
- ② 被塗物の大きさ、形状およびコンベヤー・ハンガーによる吊り姿などにより炉体の断面形状を決める。この場合、①におけるデーターからパネルヒーターの表面と被塗物との距離は、特別の場合を除き 250 mm を最小とする。
- ③ 生産量、加熱時間が決まれば、乾燥炉内の有効長さを算出する。
- ④ 前記の②、③で炉の断面形状、炉の有効長さが決定すると、次式で熱量計算をし電力容量を求める。

$$Q = q + L_1 A + L_2 a + L_3 V$$

Q : 必要全熱量の大略 (Kcal/hr)

q : 被加熱物の持去る熱量 (Kcal/hr)

A : 炉外壁全表面積 (m^2)

a : 開口部面積の 70% (m^2)

V : 炉内容積 (m^3)

L_1, L_2, L_3 はそれぞれ損失係数で、

$$L_1 = 300 \sim 500 \text{ kcal}/m^2 \cdot hr$$

$$L_2 = 15,000 \sim 20,000 \text{ kcal}/m^2 \cdot hr$$

$$L_3 = 400 \sim 800 \text{ kcal}/m^3 \cdot hr$$

とすると、遠赤外線炉のパネルヒーターの容量は、

$$KW = Q / (860 \times \eta)$$

とし、 η の値を 0.7~0.9 とする。ただし、被塗物の厚みが大きい時、または被塗物以外に熱容量の大きい部分があるときなどは、別途に考えなければならない。

遠赤外線炉における排気は自然排気、強制排気のいずれでもよいが、対流熱風炉と同様に乾燥の初期の排気量を大きくする。排気量としては、炉内容積 $100 m^3$ 当たりダンパー操作が可能なことを条件に、 $20 \sim 30 m^3$ /分くらいの排風機を取付ける。

4.3 紫外線硬化におけるエネルギー量

紫外線硬化 (UVC) は熱硬化と違って、被塗物、搬送具や炉・ダクトなどにエネルギーを必要とせず、塗膜の硬化に必要なエネルギーを与えるだけでよい。UVC の場合、電子線硬化 (EBC) のように特に不活性ガス中で照射する必要はなく (不活性ガス中で照射すると硬化は

早くなるが)、設備費も EBC 装置や焼付形乾燥炉よりも安価である。

紫外線照射装置はランプ、照射器 (照射炉)、冷却装置、電源装置その他で構成されているが、個々の概略は次のとおりである。

1) ランプ

ランプ発光長 1 cm 当たりの電気入力として $30 \sim 160 W/cm$ のものがあるが、硬化効率、価格および放射効率の面より、現在は $80 W/cm$ が適していると考えられている。また、ランプの種類としては 365 nm をピークとする水銀ランプと、410 nm をピークとするメタルハライドランプがあるが、一般的には水銀ランプが使用されている。これらのランプは石英ガラス製の発光管の中に、高純度の水銀と少量の希ガスが封入されている。使われている石英ガラスには、普通石英とオゾンレス石英の 2 種類があり、後者を使用したランプは、特に 220 nm 以下の短波長の紫外線がカットされるためオゾンの発生はほとんどないが、前者を使用したランプに比べ硬化能力が約 20~30% 減少する。したがって、事情の許すかぎり普通石英製のランプを使用の方が経済的である。

2) 照射器 (照射炉) および冷却装置

照射器はランプ・反射板などを内蔵し、紫外線を効率よく利用するためのもので、ランプ・反射板などを適温に保つために、冷却機構を備えている。

a. 反射板の形状・材質

紫外線を効率よく得るためには、ランプとともに反射板の形状・材質が重要である。反射板は高純度アルミで作られているが、表面処理の方法により紫外線の反射率が異なる。反射板の形状には大きくわけて、集光型 (楕円形) と平行光線型 (放物面) および拡散型の 3 種類がある。

b. 冷却装置

一般には、照射器を通して外部へ強制排気を行なうことによって、主にランプ・反射板の温度を適温に保っている。これが炉内温度、炉壁温度の上昇を防ぐ役割も果たしている。排気量としては、ランプ入力 1 kW 当たり $1 \sim 1.5 m^3$ /分必要である。これはランプ入力の約 10% の電力を必要とする排風機と考えればよい。更に補助的に反射板、炉壁などを水冷する場合もある。

c. 電源装置

電源装置はランプを点灯するための安定器と機器の制御機構、安全機構を備えたもので、ランプ 1 本につき各一装置を必要とする。

UV 硬化塗料の硬化は、照射強度 (W/M^2) × 照射時間

表-4 80W/cm のランプ 1 本当りの必要電力

電 極 間 (mm)	700	1,300	2,000
有 効 照 射 幅 (mm)	600	1,200	1,900
消 費 電 力 (kW)	5.6	10.4	16
冷却装置その他の消費電力 (kW)	・0.6	・1.0	・1.5
合計 消費電力 (kW)	6.2	11.5	17.5

(またはラインスピード)によって決定される。照射強度はランプ入力(ここでは 80W/cm とする)と、ランプ/被塗物の距離、反射板の形状(集光型か平行光線型か)によって変ってくる。この照射強度と必要照射時間、要求ラインスピードによってランプの本数が算出される。その際の必要エネルギー(使用電力)は、ランプ 1 本に対する消費電力×ランプの本数である。

ランプ 1 本当たりの電気入力は極間の長さによって決定される。さらに冷却用ファンおよび操作などにランプ入力の約 10% の電力を必要とする(表-4)。

4.4 電子線硬化における必要エネルギー量

電子線硬化(EBC)も UVC と同様、被塗物、搬送具や炉体・ダクト等にエネルギーを必要とせず、塗膜の硬化に必要なエネルギーを与えるだけでよい。その他に必要なエネルギーとしては、乾燥炉と同様にコンベヤー、排気に電力と、付帯設備と窓冷却のプロアーにエネルギーを必要とする。また熱硬化形には不要であるが、EBC に必要なものとして不活性ガスがある。この不活性ガスとしては窒素ガス、または燃焼ガスが用いられる。

電子線加速器は、原理的には電子銃から発生した電子を加速し、金属窓を通して取り出すものである。この場合、EB の束を電磁石により走査させるスキャンニング方式が一般的であったが、近年、線状フィラメントからカーテン状に取り出すカーテンビーム方式が開発され、注目を集めている。

EBC では、塗膜が吸収する電子線の量(エネルギー)を線量(Dose)で示し、単位は M rad (メガラッド)で表わす。樹脂および配合によって異なるが、普通 4 M rad 以上の線量を硬化に必要とする。また電子線の透過力は加速電圧にはほぼ比例し、透過する物質の密度に反比例する。乾燥塗膜の密度が 1 に近いクリアーの場合、加速電圧 300 KeV では、約 350 μ , 500 KeV では約 700 μ 前後の塗膜の硬化が可能である。したがって、一般の塗膜の硬化では加速電圧 200~300 KeV で十分である。この加速電圧の大きさによって、しゃへいの程度は変ってくる。加速電圧 250 KeV 前後以下では比較的容易なしゃへいでよく、コンパクトな装置となる。

吸収線量の計算式は次のとおりである。

表-5 電子線照射器(スキャンニング幅 180 cm)の必要電力

項 目	加速電圧	
	300 KeV	500 KeV
加 速 器	38 KWH	60 KWH
操 作 関 係	6	6
イオンポンプ	1	1
付帯設備	12.5	18.5
排 気	10	15
合 計 (KWH)	67.5	100.5

$$D=100 \times (E/R) \times I / (Y \times S)$$

D : 吸収線量 (M rad)=10 Watt·sec/g

E : 加速エネルギー (MV)

R : 飛程 (g/cm²)=エネルギー吸収量が 0 になる深さ
(=最大透過深さ)

I : 電子線電流 (mA)

Y : 走査幅 (cm)

S : コンベヤースピード (cm/sec)

E/R は装置によって数値は異なり、スキャンニング方式の場合 300 KeV で 3.6, 500 KeV で 2.9 と報告されている。

加速器の電流密度は走査幅(スキャンニング幅) 180 cm に対して、現在の所 100 mA (0.56 mA/cm) が限界である。前述の計算式より、塗膜が線量 5 M rad で硬化して電流を限界まで出すとすると、ラインスピードは、

300 KeV の場合……24 m/min

500 KeV の場合……19.3 m/min

が可能となる。

電子線照射器を稼働させる場合、上記に述べた加速器関係(電子線を出す本体)と常に真空中に保たせるためのイオンポンプ、設備を動かすための操作関係、付帯設備として窓箔を冷却するためのプロアーおよびその排気などが必要となる。必要圧縮空気の量は、走査幅 180 cm で約 400 m³/hr を必要とする。これらの必要電力量をまとめると、電流を Full Power 出した場合の概略は表-5 のようになる。

EBC 塗料の硬化は線量によって示され、線量は電子線電流とコンベヤースピードによって決まる。コンベヤースピードを遅くすると、必要な電子線電流は少なくてすむ。しかしながら、操作関係、イオンポンプ、付帯設備などの電力は、それらに関係なく常に一定の電力を必要とする。したがってラインスピードを最大にする方が、単位面積当たりの必要エネルギー量は少なくてすむ。

5. モデルにおける各乾燥炉のエネルギー比較

板厚 0.5 mm, 大きさ 600×1,800 mm の処理鋼板が, フローコーターもしくはロールコーターで塗装され, 乾燥炉に入れられるプレコートメタルの工程を想定し, その場合のランニング時の各エネルギーの比較を行なってみる。ここで設定した乾燥炉の概略は, 単に各乾燥方法の比較のために行なったもので, 炉設計者および現場の方からは実際的でないといわれるかもしれないが, 御容赦願いたい。

5.1 熱風乾燥炉の場合

計画条件およびライン設定を次のようにする。

被塗物: 処理鋼板 600×1,800×0.5 mm

塗料: 溶剤形焼付アクリル塗料 (塗装加熱残分 55%)

乾燥塗膜厚: 30 μ (塗膜比重を 1.5 とすると, 塗膜重量 45 g/m²)

焼付条件: 180°C×20 分

コンベヤー速度: 2 m/min, 被塗物の間隔: 200 mm

乾燥炉の寸法: 2.0 m^W×1.0 m^H×40 m^L

処理枚数: 2 m/min×60 min/hr÷0.8 m=150 枚/hr

処理重量: 60×180×0.05×7.86×150÷640 kg/hr

コンベヤー重量: 10 kg/m×2 m/min×60 min=1,200 kg/hr

塗装面積: 0.6×1.8×150=162 m²/hr

塗料使用量(加熱残分): 45 g/m²×162 m²/hr÷7.3 kg/hr

溶剤使用量: 162 g/m²×162 m²/hr÷6.0 kg/hr

上記の条件で炉ランニング時の必要熱量を算出すると,

①被塗物とコンベヤーの負荷熱量

$$Q_1 = 1,840 \text{ kg/hr} \times 0.12 \text{ kcal/kg} \cdot ^\circ\text{C} \times (180 - 20) \\ \div 35,300 \text{ Kcal/hr}$$

②塗料の加熱に要する熱量

$$Q_2 = 7.3 \text{ kg/hr} \times 0.4 \text{ kcal/kg} \cdot ^\circ\text{C} \times (180 - 20) \\ \div 500 \text{ kcal/hr}$$

③溶剤の蒸発熱

$$Q_3 = 80 \text{ kcal/kg} \times 6.0 \text{ kg/hr} \div 480 \text{ kcal/hr}$$

④炉外壁からの放散熱量

$$Q_4 = 240 \text{ m}^2 \times 1.3 \text{ kcal/m}^2 \cdot ^\circ\text{C} \times (200 - 20) \\ \div 56,200 \text{ kcal/hr}$$

注: 炉内ふん囲気最高温度を 200°C とする。

⑥排気損失熱量

炉を安全に運転するのに, 25% 爆発下限濃度を維持するとすると, 前記の計算式によって溶剤 1 l に対して, 74.8 m³ の新鮮空気を炉に送らなければならない⁹⁾。溶

剤の比重を 0.85 とすると,

$$Q_5 = 6.0 \text{ kg/hr} \div 0.85 \text{ kg/l} \times 74.8 \text{ m}^3/\text{l} \times 1.201 \text{ kg/m}^3 \\ \times 0.24 \text{ kcal/kg} \cdot ^\circ\text{C} \times (180 - 20) \div 24,400 \text{ kcal/hr} \\ Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 \div 117,000 \text{ kcal/hr}$$

上記の合計熱量以外に, ダクト類の放散熱量, 開口部損失熱量, 換気損失等が含まれるが, 117,000 kcal/hr の熱量は重油, 約 11 kg の燃焼によって得られる。

5.2 遠赤外線乾燥炉の場合

被塗物, 塗料, 乾燥塗膜厚を熱風乾燥炉と同様にして, 次のライン設定を行なう。

焼付条件: 210°C×4 分

コンベヤー速度: 8 m/min

乾燥炉の寸法: 2.0 m^W×1.0 m^H×32 m^L

処理枚数: 8 m/min×60 min/hr÷0.8 m=600 枚/hr

処理重量: 60×180×0.05×7.86×600÷2,550 kg/hr

コンベヤー重量: 10 kg/m×8 m/min×60 min=4,800 kg/hr

塗装面積: 0.6×1.8×600÷650 m²/hr

塗料使用量 (加熱残分): 45 g/m²×650 m²/hr÷29.2 kg/hr

溶剤使用量: 37 g/m²×650 m²/hr÷24 kg/hr

これらの条件による所要熱量は,

$$Q = q + L_1 A + L_2 a + L_3 V$$

$$q_1 = 7,350 \text{ kg/hr} \times 0.12 \text{ kcal/kg} \cdot ^\circ\text{C} \times (210 - 20) \\ \div 168,000 \text{ kcal/hr}$$

$$q_2 = 29.2 \text{ kg/hr} \times 0.4 \text{ kcal/kg} \cdot ^\circ\text{C} \times (210 - 20) \\ + 80 \text{ kcal/kg} \times 24 \text{ kg/hr} \div 4,200 \text{ kcal/hr}$$

$$L_1 A = 192 \text{ m}^2 \times 300 \text{ kcal/m}^2 \cdot ^\circ\text{C} = 57,600 \text{ kcal/hr}$$

$$L_2 a = (0.15 \times 2) \times 2 \times 0.7 \times 17,500 \text{ kcal/m}^2 \cdot ^\circ\text{C} \\ 7,400 \text{ kcal/hr}$$

$$L_3 V = 600 \text{ kcal/m}^3 \cdot \text{hr} \times 64 \text{ m}^3 = 38,400 \text{ kcal/hr}$$

$$Q = 168,000 + 4,200 + 57,600 + 7,400 + 38,400 \\ = 275,600 \text{ kcal/hr}$$

パネルヒーターの容量 (kW) は,

$$\text{kW} = 275,600 / (860 \times 0.8) \div 400$$

この電気容量以外に溶剤の排気に必要とするファンの熱量が含まれてくる。

5.3 紫外線硬化の場合

被塗物および硬化塗膜厚は前回と同様であるが, 他の条件は下記のとおりとする。

塗料: UV 硬化形塗料 (加熱残分 100%)

コンベヤー速度: 8 m/min

硬化条件: 電気入力 80 W/cm のランプ×9 灯

発光長 2,000 mm (有効照射幅 1,900 mm)

炉の外型寸法: 2.3 m^W×1.3 m^H×6 m^L

表-6 各乾燥炉における必要エネルギーの比較

硬 化 方 式	熱 風 乾 燥	遠 赤 外 乾 燥	紫 外 線 硬 化	電 子 線 硬 化
硬 化 条 件	180°C×20 分	210°C×4 分	80W/cm×9 灯	300 KeV, 100 mA 5 M rad
コンベヤー速度 (m/min)	2	8	8	24
炉 長 (m)	40	32	6	5
乾燥炉設置概略面積 (m ²)	80	64	14	13
処 理 面 積/hr (m ²)	162	650	650	1,940
必 要 熱 量 (kcal/hr)	117,000+ α_1'	275,600+ α_2'	108,360	46,440
単位面積当たりの熱量 (kcal/m ²)	722+ α_1	424+ α_2	167	24
灯油または重油	11kg+ α			
電 気	α_3	400 KWH+ α_4	157.5 KWH	67.5 KWH
備 考	α はダクト類の放散熱量開口部損失熱量, 換気損失及びヒートアップ時に必要なエネルギーや循環送風用のファン等に電力を必要とする。			不活性ガス(窒素ガスまたは燃焼ガス)を必要とする。

注) すべてコンベヤーを駆動させるためのモーターの電気量を必要とする。

処理枚数: 600 /・hr 処理面積: 650m²/hr

表-4 に示したように発光長 2,000 mm のランプの場合, ランプ 1 本につき 16 kW の熱量(電力)を必要とする。また冷却ファンに約 10% の電力が要するとなると,

$$17.5 \text{ kW} \times 9 = 157.5 \text{ kW}$$

のエネルギーが消費される。

5.4 電子線硬化の場合

被塗物, 膜厚は同様であるが, 他の条件を次のように設定する。

塗料: 電子線硬化形塗料 (加熱残分 100%)

硬化条件: 照射 5 Mrad, 電圧 300 KeV, 電流 100 mA

スキャンニング幅 180 cm

コンベヤー速度: 24 m/min

処理枚数: 24 m/min × 60 min ÷ 0.8 m = 1,800 枚/hr

塗装面積: 0.6 × 1.8 × 1,800 = 1,944 m²/hr

この硬化条件での必要エネルギーは表-5 より, 67.5 KWH である。

以上の各乾燥炉における単位面積当たりの必要エネルギー量をまとめてみると, 表-6 のようになる。

熱風乾燥に比べ, 遠赤は約 1/2, 紫外線は遠赤の約 1/3, 電子線は熱風乾燥の約 2~3% のエネルギー量でそれぞれ乾燥する。このように少ないエネルギーで乾燥するということは, 最近の石油・エネルギー価格の大幅な上昇, および供給量の減少という中ではますます重要となってくる。現在と約 1 年前のエネルギー価格で, 各乾燥炉における単位面積当たりの価格を比較してみると, 図

図-1 各乾燥炉における単位面積当たりのエネルギー価格

-1 のようになる。この中の熱風乾燥炉の計算の場合計算していない部分が多いので, 仮りに次のような数値を入れた。すなわち, ダクト類の放散熱量, 開口部損失熱量などの α 分は約 6% とし, ヒートアップ時の熱量は炉ランニング時の熱量と同じで, 運転 8 時間中塗装稼働時間は 7 時間として単位面積当たりの単位を計算した。

熱風乾燥炉と紫外線硬化とのエネルギー費を比較すると, 循環送風や排気に必要なファンの電気エネルギー費

を含まなくても, 単価は約1年前で同じくらいで, 現在ではUVの方が安くなっている。

もちろんEBではエネルギー費は更に少なく, 他の因子の方が大きく作用してくる。

6. お わ り に

先に示したように, UVやEBを使用することによってエネルギー消費およびエネルギー単位は大幅に減少する。今後この単位面積当たりの価格差は, 更にひろがっていくものと思われる。しかしながら使用面からみると, UV・EB塗料はどこにでも使えるという完全なものでなく, 欠点ももっている。したがってすべての塗装が

このような放射線硬化形塗料に置き換えられ得るというわけではなく, UV・EBの特徴がいかせる適材適所に使用されていくものと考えて。

引 用 文 献

- 1) 石渡, 今井, 上池, 多田: 最新工業塗装技術, 幸書房 (1977)
- 2) 松谷守康: 増補塗装と塗装設備, 技術書院 (1973)
- 3) 黒川英二: 塗装工場の効率の計画法, 理工出版社 (1979)
- 4) 岸 直行: 金属表面技術, Vol.28, No.4 (1977)
- 5) M. A. Parrish: *J. Oil Colour Chem. Assoc.*, 60 [12], 474~478 (1977)
- 6) H. R. Powers: *Metal Finishing*, Dec. (1975)

共催・協賛関係

第28回 レオロジー討論会

主催 日本レオロジー学会

共催 色材協会 他

日 時 昭和55年10月20日(月)~22日(水)
会 場 宮城県医師会館大ホール (仙台市大手町1番5号・電話 (0222)27-1591) 交通: 市バス大町西公園前下車, 南へ徒歩1分

参加登録費 主催・共催団体会員: 予約4,000円, 当日5,000円, 非会員: 予約5,000円, 当日

6,000円, 学生: 予約2,000円, 当日2,500円 (いずれも講演要旨集代を含む)

懇 親 会 10月21日(火) 17時30分から宮城県医師会館2階ホールで開催。会費4,000円。

参加登録予約締切日 10月10日(金)

参加登録を原則とします。参加希望者は, 1) 氏名, 2) 所属, 3) 連絡先を明記し, 下記宛現金書留でお申し込み下さい。

申 込 先 〒980 仙台市荒巻字青葉 東北大学工学部
応用化学科 梅屋研究室内 討論会準備委員会 (電話 (0222)22-1800 内線 4357)

日本材料学会腐食防食部門委員会 第99回例会(公開)

主題/有機耐食材料の最近の進歩と問題点

主催 日本材料学会

協賛 色材協会 他

日 時 昭和55年11月18日(火) 10:00~5:00
会 場 大阪科学技術センター (大阪市西区靱本町1-8-4, 電話 06-443-5321)

内 容

1. 樹脂ライニングの最近の進歩と問題点
(富士レジン) 藪本昭五郎

Business meeting

2. 現地施工用のゴムライニング材質と納入例
(大機ゴム) 永井 要作
3. フッ素系樹脂の最近の進歩と化学プラントへの応用
(旭硝子) 安 部 毅
4. 最近の重防食について
(関西ペイント) 佐野 隆一
5. Panel discussion「有機材料の使用実績と信頼性」
司会 山崎 昇

参加費 腐食防食部門委員会会員 無料
一般参加者 5,000円