強化プラスチック成形法の現状*

田 部 井 清**

The Present State of Fabricating Technique of Fiberglass Reinforced Plastics

by

Kiyoshi Tabei

(Glass Fiber Research Institute of Nitto Boseki Kaisha, Ltd., Sagamihara)

Revolution of technique to process fiberglass reinforced plastics is urgently required by the following situations.

- (1) The principal industrial concerns in Japan have begun to take interest in this field of industry to meet the expansion of its market.
- (2) The hand work must give place to mechanical operations in view of shortage of labor.
- (3) Automation is general tendency in the industrial world.

In order to show how revolution is required to meet these situations the present state of fabricating technique of FRP is represented at length in this paper.

(Received Aug. 3, 1970)

1 はじめに

わが国において強化プラスチック (Fiberglass Reinforced Plastics 以下略して FRP という) の成形が工業的規模で始められて以来、すでに15年以上の経験が積み重ねられてきた。その間、たえず新しい手法が導入され、また改善が顕著に行なわれていたため、どの時点でもその現状を説明することはかなりむずかしいことであった。

その多岐にわたる成形法のほとんどが出尽した感のある今日においても、その現状の解説にあたっては相変わらず流動的要素が多く、今日の常識がかならずしも明日の常識たりえない事柄が多く存在するので、その点充分考慮していただきたい。

2 各種成形法の現況

2・1 成形法の大別

数多くある FRP の成形手段のうち、現在一般に用いられている成形法を大別するとつぎのようになる。

- (1) ハンドレイアップ法 (Hand lay up method)
- (2) スプレーアップ法 (Spray up method)
- (3) マッチドメタルダイ法
(Matched metal die method)
- (a) プリフォームマッチドメタルダイ法

(Preform matched metal die method)

(b) マットマッチドメタルダイ法

(Mat matched metal die method)

(c) プリプレグマットマッチドメタルダイ法

(Prepreg mat matched metal die method)

(4) プリミックス法 (Primix method)

(5) 減圧ゴム袋法 (Vacuum bag method)

(6) フィラメントワインディング法

(Filament winding method)

(7) 連続プルトルジョン法

(Continuous pultrusion method)

(8) 連続パネル成形法

(Continuous panel production method)

以上のうち(1)～(5)はすでに10年以上の実績を有し一般化されたとみなされるものであり、(6)、(7)はここ4、5年の間に技術が確立された。(8)は現在限られた数社が波板、平板を生産している。

2・2 製品と成形法との関連

Table I は強化プラスチック技術協会の調べによる昭和44年1年間の FRP 用主原料の出荷実績と、その用途別分類の推定を示したものである。使用されている成形法を4つに大別しそのすう勢をあらわしてみた。それによると、

* 原稿受理 昭和45年8月3日

** 日東紡績(株)磁織研究所 相模原市麻溝台

Table I. Consumption of FRP-1969.

	Consumption (ton)	Percentage	Processing techniques
1. Corrugated sheet and flat sheet	6 931.1	11.6	C
2 Bath tub	12 148.1	20.4	A 90% B 10%
3. Sewage tank	13 434.2	22.5	A 80% B 20%
4. Cooling tower	1 877.6	3.1	A
5. Boat and marine	3 549.3	6.0	A
6. Transportation	1 358.2	2.3	A 60% B 40%
7. Safety helmet	1 708.2	2.9	B
8. Tank and container	5 429.4	9.1	A D
9. Industrial uses	3 932.6	6.6	D
10. Consumer goods	2 566.6	4.3	A, D
11. Miscellaneous	6 676.5	11.2	A
Total		100	

Note 1) A: Hand lay up or Spray up
B: Matched metal die
C: Continuous process
D: Miscellaneous

ハンドレイアップ法	}	58.1%
スプレーアップ法		
マッチドダイ法		10.3%
連続パネル成形法		11.6%
その他		20.0%

ということで、現在はハンドレイアップ法とスプレーアップ法の全盛期といえそうである。

2・3 各種成形法の現状

2・3・1 ハンドレイアップ法 Table I の製品のうち、

浴槽、浄化槽、クーリングタワー、水槽、舟艇。

船舶、車両部品、タンク容器類、雑貨類

がこの成形法で生産されているものと考えられる。

土地、建物さえあれば高額な機械設備投資の必要もなく、比較的容易に成形を始められるため上記のような現象を呈したものである。

当初非能率と思われたこの成形法も、治工具を多数準備し、硬化炉を多用することにより、

(1)生産工程を流れ作業方式に持ち込むとともに

(2)工程を単能化

することが可能で、浴槽程度の大型製品を1～1.5分に1個あて脱型していくことができる。したがって必要人員さえ集められれば

(1)生産準備期間が短かく

(2)広範囲に設計の自由度のある

(3)型、治工具費の安い

量産品の生産手段となりうることもわかったので、少量生産、大量生産いずれにも捨てがたい成形法である。

2・3・2 スプレーアップ法 スプレーアップ法の

利点として、一般に、

(1)ガラス繊維基材としてもっとも安価なガラスロービングを原料として使用するため、材料費を大幅に軽減しうる。

(2)ガラス繊維を裁断して形を整える必要がないためロスが少ない。

(3)機械的に原料を混合して型に吹き付けるため作業工数を軽減しうる。

(4)硬化がはやいので型の回転もはやくなる。

といわれている。そのメリットのために、浴槽、便槽の量産に積極的に取り上げられ、数千セット／月生産に成功を収めた。しかしながら、

(1)ハンドレイアップ以上に作業環境が悪く今後作業者の定着がむずかしい。

(2)ハンドレイアップの場合と同様、生産量が作業人員の絶対数により定まってしまう。

という欠点があり、人件費の高騰とともに機械化の方向に転換する必要性がある。

2・3・3 マッチドメタルダイ法 保安帽や椅子などのように、

(1)生産量が当初よりかなり多く、

(2)製品の両面の美しさが要求される。

ものは古くからプリフォームマッチドメタルダイ法が用いられた。初期にはいろいろなトラブルもあったが、現在ではこれら中小型製品に対しては、プリフォーマー、プレス、金型などもほぼ満足される状態となり、その成形サイクルも2～3分／個の線に落ち着いている。2、3年前よりわが国にも省力化のため大型プレス成形採用の動きが活発となり、まず

(1)生産数量が多く

(2)単位重量当たり単価がかなり高く

(3)しかも金属や単体プラスチックとの競合がはげしくなってきた

浴槽の分野で実用化された。従来の小型製品や海外の大型製品と比較して、

(1)テーパのきわめて小さい深ねじり製品である。

(2)従来のゲルコート仕上げに劣らぬ美しい表面が要求される。

(3)きびしい JIS 規格に定められた耐煮沸性を満足せねばならぬ。

などの相当にむずかしい問題点が露呈されたが、

(1)計画企業の自由技術の確立と、

(2)耐煮沸性のよい低収縮ポリエステル の出現

によりこの難関を突破し、現在国内数社が成功裡に優秀な製品を市販していることは、わが国 FRP 業界として他に誇りうるものと思われる。

プリフォームマッチドダイ法およびプリプレグマッ

トマッチドダイ法の双方による製品があり、いずれもその単重は10数キログラムである。

2・3・4 プリミックス法

プリミックス製品は、
(1)単体プラスチックでは、強度、寸法安定性、耐熱性が不十分で

(2)形状が複雑で

(3)製品価格が安い

分野に用途を見いだし、電気部品、自動車部品、機械部品、車両部品などとして用いられるに至った。最近では、

(1)単体プラスチックの改良

(2)FRTP (Fiberglass Reinforced Thermo Plastics の略) の出現

(3)合成繊維補強材使用による射出成形の採用

などの諸条件を加味しながら着実に歩み続けている。

2・3・5 減圧ゴム袋法

この方法は、

(1)生産量は少ないが

(2)高価で

(3)寸法精度、均一性に対する要求のきびしい

製品、たとえば航空機部品、潜水艦部品などの製造に適するもので、航空機関係の会社内においてかなり活発に用いられ、製造ノウハウも確立した模様であるが一般民需を対象に考えた場合にはあまり縁のない成形法である。

2・3・6 フィラメントワインディング法

航空宇宙関係の必要性から研究開発に手のつけられたこの成形法も、

(1)原料としてもっとも安価なロービングを使用する。

(2)連続成形のため、自動化、自動制御化の可能性がある。

などといった見地からいろいろな試みが行なわれ、ようやくわが国においても、パイプとしての性能評価が一段落し、タンク、筒に対する応用が試みられる段階を迎えようとしている。

2・3・7 連続パネル成形法 建材用波板および平板の製法としてこの連続パネル成形法はほぼ確立されたものと考えられる。かつて30社を数えたメーカーもいつしか整理され、外国技術導入メーカー2社、自主技術メーカー2社の合計4社に落ち着いた。すでに工程の連続化と自動化も完成されており、今後成形手段としての画期的な飛躍はなく、むしろ、

(1)難燃性

(2)耐候性

(3)表面仕上げ状態の改善

などに努力が払われるものと思われる。

3 各種成形法の今後の動向

3・1 総括的な問題点

先に示したように現在のわが国 FRP 生産高の50パーセント以上がハンドレイアップまたはスプレーアップに依存しているということは非常に重要な問題である。なぜならば、この事柄から、

(1) FRP は前近代的な労働集約的生産形態をとっている工業である。

(2)したがって、浴槽や便槽などのように従来材料が陶器や木材など加工生産速度のあまり速くないものには置換しえたが真の量産性はどうか。

(3) FRP は真の大量生産に入るまでに過渡的に用いるのに適する材料ではなかろうか。

などという誤った結論を導びかれる可能性があるからである。

Table II. FRP consumption in U.S.A.

(1 000 tons)

Category	1957		1967		Process techniques
	Consumption	%	Consumption	%	
Aircraft and aerospace	11.5		21.4		Vacuum bag, Matched metal die
Boats and marine	11.5		50.0		Hand lay up, Spray up
Construction	11.5		47.7		Continuous process
Transportation	15.3		52.3		Matched metal die, Primix
Sub total	49.8	65.0	171.4	67.3	
Consumer products	2.3		9.1		
Appliance	11.5		20.3		
Container and tray	2.3		10.0		
Electrical products	2.3		11.3		
Pipe, Tank, Duct	1.5		18.6		
Miscellaneous	6.9		13.6		
Total	76.9	100	254.5	100	

ひるがえって、FRPの先進国であるアメリカをみると、Table II に示すように、1957年にすでに4本の柱として確立していた。

航空機・ミサイル、舟艇、建材、自動車・車両の4分野はそれぞれに、ハンドレイアップ法、スプレーアップ法、マッチドメタルダイ法、プリミックス法、減圧ゴム袋法、連続パネル成形法の特長を活かして製造手段を確立し、この4分野で全生産高の65パーセントを占めていたが、10年後の1967年に至ってもその地位はゆるがず、わずかに航空機部門の伸びが他より少ない程度の問題を生じたのみで、やはり全需要の67パーセントのシェアを確保している。

このことは、それぞれの分野においてFRPがたんなる代替材料、過渡的置換材料ではなく、最適材料であるとの信念の下に同一成形法を改善改良して今日に至ったことをはっきりと物語っている。

これに対してわが国では、

- (1)多額の設備投資が不要
- (2)適宜コントロールしての下請生産に最適
- (3)原材料メーカーなどの手ほどきにより戦列に加わる

などの理由により、ハンドレイアップ法によるFRP生産が安易に取り入れられ、玉石混済の状態で推移してきた感があり、今日、

- (1)ハンドレイアップ労働人口の頭打ち
- (2)若年労働者の投入困難
- (3)加工費の上昇

などの問題が深刻化するにいたり一つの重大な転機を迎えたものといえよう。

3・2 要望される成形技術の進歩

わが国におけるFRP成形は、今後

- (1)大型化
- (2)機械化

の方向に進むことはまず間違いはない。それに伴って次のような技術的進歩が必要となる。

3・2・1 舟艇などを対象とした大型厚肉用ハンド

レイアップ法 浴槽、便槽、浄化槽など今日のハンドレイアップ成形の主流をなしている製品の外壁の厚さは、一般に2~3mm程度である。形状や補強の方法により異なるが、この程度の厚さのFRP構造物はだいたい1mm鋼板に匹敵する強度、剛性があるようで、現在市場にあるFRP製品の相当量の板厚がこの範囲内にあり、基礎データも3mm(1/8in)のものはかなり整備されている。

ところが板厚の大なるものの資料はきわめて少ない。公表されているものとしては、高級ガラス布を用いた潜水艦レーダードーム、外洋耐久型モーターボートの試作などの数点が眼につくのみである。

製品肉厚が大となると、

- (1)樹脂のポットライフの設定
- (2)ガラス繊維基材番手の選択
- (3)能率のよい脱泡手段
- (4)樹脂の発熱のコントロール
- (5)厚み不同のコントロール

などの基準を定めていく必要がある。

3・2・2 大型プリフォームマッチドメタルダイ法

保安帽や椅子などのように製品の両面の美しさを要求されるものは、当初からハンドレイアップなどの簡便法を採用することができなかったため、プリフォームマッチドメタルダイ法を採用し、発生した諸問題を逐次解決して今日にいたっている。したがってこれらの製品成形上のノウハウはほぼ確立されている。

またプレス1台当たりの成形サイクルは2~3分であるが、保安帽の量産に対してはロータリープレスを使用することによりその成形サイクルを短縮することに成功している。

最近浴槽など1個当たりの単重が10kg以上もある大型製品がプリフォームマッチドメタルダイ法により生産されるようになってきた。製品の性能的問題はすでに解決されたので今後なさねばならぬ問題は

- (1)成形サイクルのスピードアップ
- (2)自動化、省力化

の2点であろう。

今後わが国の労働条件が、1週間40時間と想定すると、サイクル3分では、

$$\frac{60分 \times 40時間 \times 4週}{3分} = 3200個/月$$

したがって不良率を5パーセントとすると、1交代3000個/月ということになる。競合他材料と肩をならべるため、1交代で10000個/月を目標とすると、

$$3分 \times 60秒 \times \frac{3000}{10000} = 54秒$$

すなわち1サイクル50秒の成形速度が必要となる。

これを実現させるためには、

- (1)材料取扱いの機械化
- (2)高速プレスの製作
- (3)速硬化性樹脂の開発
- (4)樹脂含量および樹脂流れの改良
- (5)製品取出しの機械化

などが必要である。Table III は、第21回SPI大会(1966)で報告されたアメリカにおける研究成果で、現在すでにわれわれよりかなり速い成形サイクルで実生産が行なわれているということである。

3・2・3 シートモルディングコンパウンド法

プリプレグマットマッチドメタルダイ法のことをシートモルディングコンパウンド法 (Sheet Molding

Table III. Press cycle operations for medium-large parts.

Operation	Present time range, seconds	Probable near future time range, seconds	Factors previously limiting time range
Loading	20-30	5	Lack of mechanical loading equipment
Rapid advance	6-12	2-3	Press design
Intermediate advance	2-5	2-5	Part configuration
Slow advance to full pressure	10-20	4-5	Lack of wetting equipment which would permit maximum area saturation, minimum flow distance
Cure time	45-150	10-30	Lack of fast curing resin
Breakaway	2-3	2-3	Part configuration
Rapid return	6-12	2-3	Press design
Unloading	10-30	5	Lack of mechanical equipment
TOTAL	101-262	32-59	

Compound 略して SMC) という。

これはマッチドメタルダイ法のうちのかなりめんどうな部分であるプリフォーム工程を省略するために誕生した今後有望な成形手段である。

しかしながら、現在みうけられる、ガラス繊維メーカーから購入したガラスマットを用いて樹脂メーカーが作成した SMC を購入して成形するのでは、

(1)原材料価格低減の魅力がない。

(2) SMC の製造時期により、成形作業条件が大きく変動する。

(3)製造後使用までかなりの時間が経過するため大きな成形圧と強靱な金型が必要となり、従って設備費が割高となる。

といった欠点があるため、相当量消費する場合には、自社内に SMC 製造装置を設備し、アメリカで見られるようにロービングからスタートすべきであるが、この場合、装置の第一工程となるガラスマットフォーミ

ング工程は、プリフォームと同じくらいやっかいなものとなる。

3・2・4 高能率フィラメントワインディング フィラメントワインディング法は当初比強度の大きい耐圧容器の製造手段として開発された。当時アメリカにおいては航空宇宙関係の需要が膨大であったため、もっぱらその方面の技術が大いに発展したものであるが、

(1)連続繊維を使用するため、原料単価が安く、自動化、自動制御化も可能。

(2)連続成形に持込むことにより大量生産が可能というメリットにより民需用に大きな展開が期待されるようになった。

わが国数社がすでに導入した Drosthholm 式（デンマーク）に見られるように 100 本以上のロービングを同時に供給し、1 トン／時以上の生産速度を示す装置が今後どしどし出現することであろう。