業界情勢

FRP の自動車への応用

三 津 木 正 明

Masaaki MITSUGI*

I. ま え が き

自動車メーカーが FRP の特性に着目してから今日まで、各種の成形法によって大小の自動車部品を生産してきた。1953年にシボレーコルベットの車体がオールFRPで作られ、翌年にはフォードサンダーバードのハードトップに FRP が採用された。これらの FRP は平均 7% の収縮、シャープコーナーおよび外周部にクラック発生、機械的性質の不均一、不経済な成形サイクル、塗装前の表面サンディングが必要、などの問題があり自動車用材料としてはかなりの不安定要素を抱えていた。その後原料メーカーをはじめ問題解決への努力がなされ、近年になって自動車業界が長い間望んでいたノーサンディングで焼付塗装も可能な低収縮性不飽和ポリエステル樹脂が米国の Rohm & Haas 社から発表され一躍脚光を浴びた。以来各樹脂メーカーでもこの開発に取り組み、現在では樹脂の改良と成形技術の進歩が相まって量産車種への可能性が見出されるようになった。ちなみに1972年の米国での自動車に使用した SMC は約 7700 トン、BMC は 1330 トンで、1973 年は SMC だけでも乗用車で 10,000 トン、トラックに 5,000 トンの使用量が予

写真 1

* 日産自動車(株)第一試作部モデル製作課 ()

* Nissan Motor Co. Ltd., Trial Production Department No. 1, Model Section ()

測されている。一方わが国では 15~16 年前から実用化が始まり現在では大型トラックのキャブフロント(写真 1)の大物から、ランプフィニッシャーなどの小物部品まで生産されている。日産自動車の例を 2,3 あげると、1957年にオール FRP ボデーのスポーツカー(HLU 成形)写真 2 を 50 台と少量ながら市場に送り出し、以来

写真 2

フェアレディのハードトップ(HLU 成形)、フェアレディ Z のフェンダーエクステンション(低収縮性 Pre-mix→BMC 成形)およびエアースポイラー(SMC)、エアロダイナノーズアッパー(SMC) 他がある。しかし FRP が自動車部品用材料としてどの程度位置づけされているかは、一部特殊なものを除き現時点では確固たるものはない。したがって現在かかえている諸問題を分析し、解決に粘り強く努力せねばならない。

II. FRP 部品の利用

1. FRP 部品の特徴 FRP 部品の特性については今更述べるまでもないが、自動車部品に利用される理由として次の点をあげることができる。

- 複雑な形状の成形が可能であり、デザインの自由度が大きい。
- 一体成形が可能であることから、外板パネルと内部補強との一体構造が得られ組立費の低減ができる。
- 高比強度のものが得られる。

- iv. 耐食性にまさる。
- v. 軽量化できる
- vi. 遮熱性に優れている。
- vii. 着色が容易である。

上記理由のうち

i. はユーザーの要求多様化によるマイナーチェンジテンポの早さから、型費および設備費軽減化のためFRPが注目されており、iv. は北米、北欧などの寒冷地では道路凍結防止として塩を散布するのでその塩害対策としてFRPの利用も考えられる。v. はスポーツカーには必要である。

2. 生産量とコスト FRPを自動車部品に応用するためには、その部品が材料的にFRPで適当か否かの検討はもちろん、他の材料とのコスト比較をする必要がある。特に外板の場合は鋼板部品の製造サイクルはFRPに比べ非常に早く、材料費も安いし不良率は皆無に等しい、などから生産量が上るとFRPは不利となる。したがって販売量の推移(販売の伸び予測)も含め慎重な検討が必要である。

図1 生産量とコストの関係

注1 トウリングコストは3年償却とする

2 (A) 材料費 280円/kg 板厚 t2.5

(B) 材料費 250円/kg 板厚 t2.5

(C) 材料費 280円/kg 板厚 t2.0

(D) 材料費 60円/kg

i. 小型自動車のHoodを例に鋼板との比較を図1に示すと鋼板とFRPの生産量とコストの分岐点がFRP材料費により大幅に左右されることがわかる。したがって特殊な形状とか数個の部品からなる物でトウリングコストが鋼板部品より下がらなければFRPによる部品化はできない。また平凡な形状で数個の部品を組み合わせでFRPで一体成形することも危険である。

ii. 10トンクラストラックのキャブフロントをFRP化した場合の米国NAR社における実例を参考に供したい。表1は3車種について原価分析したもので利益率は最低でも10%は確保し、メリットとしてトウリングコストが鋼板より安いことと、重量が軽くて取り扱い

表1 NARでの生産

車種	材料費 (円)	生産費*1 (円)	作業 工数 (Hr)	製品重量 (kg)	生産価 格/重量 (円/kg)	生産量 (台/日)
A	31,000	47,900	29.5	73.8	1070	10
B	23,300	26,760	17.0	60.4	830	40
C	20,300	14,820	11.0	45.0	778	50

*1 生産費=直接人件費+間接人件費+設備償却費

が便利なことであり、販売政策の点でも有利のようである。しかし国情が異なりFRP製品化に経験不足のわが国自動車メーカーでは余程検討しないと技術蓄積の効果より利益面で損害をまねくことになる。

3. 一般的な応用

i. 乗用車系 自動車に採用されたFRP部品の経過をみると、大物から小物へそしてまた大物へと移行しつつある。米国ではフロントマスク(写真3)、フード、フェンダーエクステンションのように、デザインの自

写真3

由性と一体成形性を生かした形状のものが多く、多様化に有利な使い分けをしている。またスポーツカーでは特異な風貌と軽量化からFRPに頼る傾向にある。

ii. トラック系 米国における10トンクラスのトラックはほとんどがFRP製で、ボンネットタイプの車ではキャブフロントだけマイナーチェンジする場合もあり、エンジンの整備脱着に便利なTilt Typeを採用するので外板の軽量化を余儀なくされ、必然的にFRP化の公算が強まってくる。

iii. 成形法による使い分け FRPはその材料と成形法により物性および生産性が大きく左右されるため、おおむね次のような使い分けが行なわれている。

MMD: 車体外板 Tilt Body, 各 Panel, Reinforcement

SMC: 車体外板 Front Panel (Mask), Fender, Hood, Apron, Air Spoiler, etc.

写真 4

図 2 リブ

くし相手側取り付け部での考慮が必要である。

ii. 平面に立てたリブは平面部のヒケが目立つので板厚を増すことも一つの手である。

平面部板厚 $t 2.0$ ……明らかに悪い

～ $t 2.5$ ……多少良くなる

～ $t 3.0$ ……かなり良くなる

iii. 焼付塗装後のピンホールは特に圧力のかかりにくい部分に発生することはいうまでもないが、写真のテスト品ではほとんど問題なかった。(皆無ではない) フロントマスクを想定したテスト品ではピンホールが発生したので、樹脂の改良を行ない発生部分をごく一部にまで追込むことができた。しかし SMC のロットが変わると別の位置に発生してしまう。

ボス部の表面ヒケはほとんどなかったがリブ部では成形後のヒケ状態が一段と進行する。また樹脂によってそ

表 3 ボス、リブ部表面歪み測定結果 (単位 μ)

測定部	1	2	3	4
樹脂				
A	35	23	42	22
B	55	65	30	47
C	15	67	40	45
D	92	53	65	83
E	45	57	30	20
F	55	45	22	70

(注) TAYLOR HOBSON の歪み測定による

グラフ 1 表面歪み測定 A社 樹脂

注) 1. 測定部 1, 2, 3 は端より 50 mm の所で測定
2. 測定部 4 はボス上部を測定

図 3 ボス、リブ部表面歪み測定

の差が大きかった。

これらの解決には部品、金型の設計、成形技術面は勿論のこと特に樹脂組成、配合物など材料面の基礎的な研究をさらに進めねばならない。

塗装後のリブ、ボス部表面ヒズミ測定結果を図 3、表 3、グラフ 1 に示す。

3. 自動車は路上より受ける震動と車体のネジレが同時に部品や接合部に作用し疲労限界を越すと破壊するので、過酷なベンチ加震やベルジアンロードテストを行ないこれに耐える構造設変を繰返す場合もある。ボデー関係の試作はハンドレイアップで行なうが、生産時には MMD 成形、SMC と成形法が異なることもあり成形法による強度、特徴など含めた計画が必要となる。

i. トラックではネジレによる他部品との干渉は想像以上で設計時点で十分な検討を要す。

ii. 樹脂リッチ部は必ずといってよい程クラックが発生する。

iii. 接合部ボルト締めめるときは締め過ぎによる孔周辺の亀裂防止のため、トルクを指定しワッシャーなども一工夫を要する。

iv. 異質物との接着は収縮率の差もあり剥離を起こすので接着剤にシランカップリング材を添加し接着効果を上げるとよい。われわれは電気自動車にこれを採用し接着強度向上の確認をした。

v. 悪路での砂利、小砂利による部分衝撃やサンドブラスト対策も必要である。

vi. 低収縮タイプはイソフタリックに比べ座屈、引張強度がともに低く引張強度は 7~8% の差がある。落球衝撃はさらに低くなるので、使用部位により樹脂を選択することや低収縮タイプでの熱可塑性ポリマーの添加量による影響も見のがせない。図 4 参照

図 4 熱可塑性ポリマー含有量と強度の関係

IV. 今後の課題

1. FRP 材料 圧縮成形材料としての必要条件をいくつかあげてみると次のようになる。

i. 流動性がよいこと

流動性が悪いと不良率が上り品質の均一性が落ちる。低圧でも成形可能とし低圧成形機による設備投資の減少と、金型への負荷を小さくして寿命を延ばす。

ii. 容積秤量精度が良いこと

SMC はシート裁断のまま金型へチャージし計量工程をはぶく。樹脂とガラスの分布および重量が均一であること。

iii. 成形性にある程度の幅があること

特殊な形状の場合、金型温度分布のバラッキに対するもの、また形状が異なる他の部品に同じ樹脂を使用する場合、成形速度、プレス圧がそれぞれ異なるのでこれに即応し得るものであること。

iv. 熱間強度が高いこと

脱型時にエジェクターで破壊されないこと、また焼付塗装時に不測の衝撃震動に耐えること。

v. 離型性が良いこと。

金型に付着したバリ剝しに手間取らないこと。

vi. 成形サイクルが速いこと。

vii. 外観が良いこと。

などこれらが満足されなければならない。現在一番問題となるのは外観で塗装後のピンホールやヒケの解決にはなみなみならぬ努力が必要である。

Hood や Trunk Lid などの平坦な成形品の場合「ヒケ」の問題は重要であり、英国では強度アップも考慮しリブ部に鉄芯を完全封入する技術も完成しつつあると聞いている。(SMC 成形)

2. 金型について プラスチック製品は金型のでき如何で品質がきまるといわれており、特に大型部品は成形圧力が高くまた偏心圧のかかる、形状のものも多くなってくるのが予想されるので金型材質の選択や金型構造の設計に留意せねばならない。準構造部材として FRP を採用する場合は当然試作、実験が必要となる、試作の使命は設計が要求する品質を短期間で作ることであり、生産用の金型を作るような余裕はない。そこでいかに金型を短期製作するかが問題となる。試作用金型は生産用金型と同程度の質を維持したものが望ましく、しかも設計変更に対応できるものでなければならないので、特殊な金型材料と加工法の開発が重要な鍵となる。

そこでわれわれは高温、高圧に耐え、加工性のよい特殊合金を使用し金型を試作してみた。特にトラベル部の

形状や構造は一般的なものの考え方を捨てて設計し、エジェクターはピンと同時にエアを採用し離型効果を計った(キャビティ側に付着する場合もあるのでキャビティ側にも採用)

結果は短期間製作は可能であったが次のような問題が残った。

- (イ) 型の剛性不足(ガイドピンが曲った)
- (ロ) 脱型に手間取る(キャビティに付着したとき)
- (ハ) その他

これらの解決はさほど困難性がないと思うので試作用金型として採用の可能性はある。

3. 塗装について 塗装について FRP 材料、成形技術の問題はさておき、FRPを White Body に組み込んでボデーと同色塗装する場合、鋼板の現行工程で実施することが理想的である。しかし現時点では電着塗装は不可能と思われるし、車種によって塗装プロセスが異なる場合もある。一般的には下塗、シーラーは部品塗装でトップの前に White Body に組み込む方式となる。最近では No 2 プロセス(静電塗装)、REA プロセス(エア霧化式静電塗装)用として通電性のあるシーラーも開発されてはいるが、未だ完全なものとは思えない。また組立作業者が FRP 部品であることを認識して取り扱いしないと破損を生じ修正などの手間もかかるのでよく PR をする必要がある。

4. 生産管理について FRP のプレス成形においてその省力化は非常に困難性がある。材料の製造、供給、成形、ダンプに到る各工程はできる限り自動化したいが、生産量とこれら設備費との兼ね合いをどの点に置くか慎重な検討が必要である。材料管理についても SMC, BMC は長期貯蔵をさけるべきとされており、ロットごとの品質のバラツキを考えると材料の製造サイクルと成形サイクルを如何にコントロールするか問題となる。また品質の簡便な検査方法も確立せねばならない。

5. 成形技術 成形技術は設計時点から始まり金型製作技術、コンパウンドの配合など総合的な技術が結集されなければその確立はできない。何といっても設計時の基礎資料が不足しており、FRP 専門家のサゼッションが必要である。機密の問題はあるとしても樹脂メーカー、成形メーカーと一体となって経験を積み重ねることが肝要ではなかろうか。

6. 自動車への使用部位 FRP は自動車の構造部材として古くから使われ、車体の安全性についてもその抵抗力は鋼板より優位であることが示されてきた。すなわち接触や衝突時にその変形の仕事量はボデーが変形してその歪みエネルギーに変換され(図5の斜線部に相

図5 応力-歪み比較

当) その量が多い程望ましく(おのおのを U_F, U_S とし、変形仕事量を $W=FS$ とすると $U_F > W > U_S$ の場合 FRP ボデーは凹まずにすむ) 実際には3倍の厚さが有効に働くので FRP は強く、しかも破断まで永久変形せず、破断時でも局部にとどまることであった。しかし現在では排気対策とならんで乗員保護という安全対策も最大の課題であり、昨今の衝突時における車体の破壊は即人身事故につながっている所以对策の一環として車体構造の検討を行なっている。この観点から FRP は降伏点から破断までほとんどヒズミ差がなく、その差の大きい鋼板は優位となる。これは応力-ヒズミ曲線から単純に考えたものであるが、実際にはエンジン、プロペラシャフト、ミッションケースなどがエネルギー吸収にどのような影響をおよぼすか細部検討と合わせ考えなくてはならない。したがって FRP を構造部材として使用する場合はこの面の検討が重要となる。現在の鋼板構造的な考えでは使用部位の制限を受ける可能性もあり、FRP などの特殊な構造とか他の材料との組み合わせによる構造開発も必要ではなかろうか。最近ではソリッドウレタンと鉄板の組み合わせ(鉄板を封入)で一体成形した例もあり注目すべきことと思う。

7. スクラップ処理 プラスチックのスクラップ処理は、今後ますます重要な課題となる。現在は焼却、粉碎、埋立てが主流で、還元化については実験段階で未だしの感が強い。FRP は今のところ還元化は望めない、また鉄板や他材料との分離なども考えねばならないし、

使用量の増大とは裏腹にこの処理問題には頭を痛めてしまふ。

V. あとがき

前にも述べたように低収縮性ポリエステル樹脂が開発されてから、米国において自動車部品への使用が急増してきた。国情の差こそあれわが国でも材料の改良と成形

技術の研究が進み大型部品への応用も活発化するものと思われる。しかし、外板部品には未だ幾多の問題を抱えており、これらを解決するため基礎的な研究と総合的な経験を多く積み重ねて行かなければならないと考える。

最後にこの投稿にあたって、多くの方々と意見交換をし有益な勉強をさせていただきましたことを心から深く感謝致します。(昭和48年3月5日受理)

— 書 評 —

「アミノ酸工業—合成と利用」

金子・千畑・泉・伊藤編
講談社発行
328 ページ, 3,400 円

本書はその副題にもある通り、アミノ酸の合成と利用についての解説書であり、内容もそれぞれに別れている。合成の部にはアミノ酸の特徴である光学活性を考える時に重要な光学分割法と不斉合成について、およそ50ページが費やされ、合成法各論(170ページ)が続く。各論はそれぞれを得意とする人々によって執筆されているので信頼がおける。合成法は解説と共に、単位操作ごとに構造式が示されていることは、有機化学者にとって誠に有難い。これはどの程度難しい単位反応が使われるのか、どんな中間体を経て、何行程でアミノ酸が合成されているかがわかる。このことはさらに中間体の(他の目的への)利用を思い浮かせ、新しい原料化合物の開発や、新しいアミノ酸誘導体の合成を考えるのに役に立つ。最近の化学工業が指向するいわゆるファインケミカルを目的とする仕事のタネにもなるであろう。また有機合成での原料合成についてのヒントを得るための書物としても便利である。

第二部・利用の篇はアミノ酸の規格・品質、および食品、飼料、医薬、化粧品、工業的应用について記述されている。特に今後応用開発されるであろう利用法も多く書かれている。この部分は概説であるが、合成という hard な仕事に従事する研究者にとっては background として興味深く読むことができる。

総じて、本書は合成に重点があり、その内容は高度であり、かつ平易である。利用篇は概説としておもしろい。本書の価値を特に高めているのは、豊富な文献(1971年も含む)があげられていることである。これによって本書の利用度が高いものになっている。

少々残念なことは、合成の部が天然のアミノ酸しか取り上げられていないことと、規格・旋光度の章で ORD およびシフト試薬を用いた nmr による光学純度測定の可能性には解説を加えて欲しかった。また利用の面で医薬薬については、いくつか書き落しているものがある。

(KS)