

FRP 船殼樹脂轉注成型技術之整合規劃研究
Integrated Planning Research of RTM Technique Used on FRP Shiphull

計畫編號：NSC 90-2611-E-002-025

執行期限：90 年 8 月 1 日至 91 年 7 月 31 日

主持人：李雅榮 台灣大學造船及海洋工程學系教授

計畫參與人員：徐 堯 開南管理學院通識教育中心助理教授

吳金瀚 台灣大學造船及海洋工程學系碩士班研究生

一、中英文摘要

本計畫旨在對於樹脂轉注成型法 (RTM)，特別是 SCRIMP (Seeman Composite Resin Infusion Molding Process) 目前應用於造船及其他產業界、製造業的現況，所遭遇到的問題及需求，及國內外學術研究單位對此研究的現況等資料訊息，做一完整深入的探討。

複合材料工業近數十年來在國內的各產業佔有一席重要的地位。由於對於其產品品質的要求日益增加，製程的方式也因此不斷地在改良。在價格成本及產品性能的考量下，一種 RTM 之簡化技術法（稱為 SCRIMP）已為國內船廠所採用。但由於影響 SCRIMP 產品品質的因素相當多，例如硬化溫度、樹脂黏滯性、填充樹脂壓力等，若無法有效掌握這些特性，則在產品製作過程中常常會導致失敗，致使產品品質無法大幅提昇，因而喪失產品競爭力。有鑑於此，本計畫針對 SCRIMP 製程法提供一廣泛及深入的先導性研究，所研究的成果不僅有學術上的價值，對於國內廠商亟待解決的難題，亦能有效的提出解決方案，以期能將 SCRIMP 製程法廣泛使用於業界，提升業界的產品競爭力。

關鍵詞：樹脂轉注成型法、纖維含有率、滲透率

This research aims at getting the whole picture of (1) the present situation of RTM technique, especially the SCRIMP (Seeman

Composite Resin Infusion Molding Process) technique when they are used to shipbuilding or other industries. (2) The problems which industries encounter when SCRIMP are used and (3) the developmental status of domestic and foreign research institutes.

Under the consideration on costs and product quality, SCRIMP is quite an economical and profitable choice. However, due to the existence of lots of factors which may affect the SCRIMP-made product quality, such as curing temperature, resin viscosity, resin infusion pressure, etc., and if the negative influences from these factors could not be solved completely, failed product would occur, then country product competition loses. Although, yacht makers in Taiwan introduced SCRIMP technique, to build larger and more complex shiphull recently, but the basic principles and key technique of it still could not be known well, therefore, there is still large room to make an improvement on process technique for shiphull building.

According to mentioned above, this project is to make an extensive and detailed study on RTM and SCRIMP technique preliminarily, to propose a study on SCRIMP technique in the near future.

Keywords: RTM, SCRIMP, Fiber Content, Permeability

二、計畫緣起與目的

複合材料由於比剛性、比強度、耐損耗性、耐腐蝕性等特性均較傳統鋼鐵材料為佳，近數十年來已廣泛大量的運用於船舶、飛機、車輛工程及運動休閒產品（如

腳踏車、高爾夫球桿等)上。此複合材料部分取代或全部取代原有材料的趨勢，著實帶動了國內民間製造廠商及相關產業的蓬勃發展。然而在產品品質提升，產品多樣性，價格成本降低等要求下，傳統的製程方式，如噴布法、手積法、壓力釜法(Autoclave)等製作方式，恐不符合經濟效益。為此，尋找一種能使產品大量生產，高品質性能，低製造成本的製程方式是有其必要的。樹脂轉注成型法(RTM)是將預先裁切好的纖維，鋪在預鑄的模具上，蓋上模版後，以壓力灌以樹脂，加溫硬化而成型。此種方式不但可以製作具曲面且形狀較複雜的產品，且其高纖維含有率、生產性佳及成本價格合理的優點，近年來已漸漸成為製程法的主流。但影響此種方法最後產出產品性能好壞的參數相當的多，舉凡樹脂流動、樹脂硬化、樹脂滲透(Permeability)、氣泡含量(Void content)，纖維結構(Fiber architecture)等，卻因為國內投入此主題研究的機關單位有限，未能針對以上問題進行系統性的探討。另外，國內小型造船廠及遊艇工廠，對於複合材料船殼的製作，目前已有不少採用SCRIMP法之先進技術。不過其製造技術在使用上多是以試誤(Trial and Error)的方式累積經驗而得，使得製作的成功率及製作品質大打折扣。SCRIMP法基本上可視為RTM法的一簡化技術，若本計畫能對RTM及SCRIMP問題加以探明，將研究成果應用於實際製作，對於船舶工業助益甚多。

為此，本計畫為針對RTM及SCRIMP製程法相關研究的一先導性研究計畫，希冀藉由事前充分的資料收集，研讀整理等準備工作，能有助於未來研究案內容的訂定。

三、結果與討論

本計畫原先擬以樹脂轉注成型法RTM為主題，藉文獻收集及研讀以瞭解該施工方法目前的發展狀況，整理分類出未來可探討之課題，希冀能藉此成果作為針對目前國內船廠SCRIMP施工法的研究之基礎。但在經過文獻回顧研讀後發現，事實上有關SCRIMP施工法的相關研究已有不少研究成果發表，由於SCRIMP施工法的研究是本團隊最終欲探明之主題，故將本計畫的探討主題直接移轉至SCRIMP。

(1) SCRIMP 施工法背景介紹

SCRIMP (Seemann Composites Resin Infusion Molding Process) 技術是由 Bill Seemann 為符合美國海軍掃雷艇之研發計畫而發展出之施工方法。此法除了較其他傳統施工法(如手積法)有較佳的成品品質外(如空洞率低、纖維含有率高)及機械特性外，對於揮發性有毒氣體的排放量亦能降至最低。SCRIMP 技術類似於RTM，與其最大不同處在於SCRIMP方法是利用真空將樹脂引入已排列布置好的纖維，而非以施加正壓力的方式將樹脂注入纖維中，並且只需製作單片模具，不需製作氣密要求相當高的雙片模具，因此不但可降低製作成本，並可製作較大型之構件。與其類似的方法尚有真空袋法(Vacuum Bag Molding)、VARTM (Vacuum Assist Resin Transfer Molding)及LPRTM (Low Pressure Resin Transfer Molding)。SCRIMP 施工法除造船業界外，其他業界亦有不同的應用對象；如帆船、遊艇、海洋構造物、巴士電車車體、航空軍事等用途，使在尺寸規模及形式上有多樣的變化。綜合言之，SCRIMP 製程適用於中、大型複合材料構件，在施工安全維持、施工品質提升及施工成本降低的考量下，此施工法已逐漸成為廠家所採行之製程方法。

(2) 相關理論與解析方法之文獻回顧

由於 SCRIMP 是 RTM 製程的一種簡化方法，在許多 RTM 製程上的理論及實驗等相關課題之文獻可作為 SCRIMP 技術研究的基礎。就電腦數值模擬應用於製程方面的研究而言，主要並非在於基礎理論的建立；因為對於樹脂流過纖維的問題而言，複合材料界大抵均採用描述流體流經多孔性(Porous)物質的達西定律(Darcy's Law)及探討多孔性物質之幾何特性對滲透率影響的 Carman-Konezy Equation。分析軟體工具方面則大多是自行開發；利用流體力學領域常使用的 CV-FEM(Control Volume Finite Element Method)作為分析的工具，使用商用模流分析軟體來從事 SCRIMP 製程模擬的論文並不多見。由於製程數值分析需要一些特定參數的輸入（如纖維滲透率、樹脂黏度）等，許多研究對於如何以實驗方式量測此重要參數亦多有著墨，不僅可量測出橫向的纖維滲透率，厚度方向上可量出。經由文獻回顧，亦可以知曉國外研究人員對此主題的進展歷程：從樹脂灌注、膠化、硬化時之等溫問題(Isothermal)進展到非等溫問題；從僅考慮單純纖維種類到複雜纖維疊層；從模擬簡單平板結構到具曲面的複雜結構；從樹脂灌注時忽略纖維的變形到考慮纖維在厚度方向上的變形分析等等，對於起步稍晚的國內研究者有重要的參考價值。

值得一提的是，許多國外的研究成果為避免侵犯到 SCRIMP 之專利，在其發表論文的名稱上，多以 VARTM 而較少使用 SCRIMP，導致在文獻收集上，以 SCRIMP 為主題字 (Title Words) 的文章數量無預期的多。

(3) SCRIMP 施工法目前在台灣之現況

民國八十八年，聯合船舶設計公司在經濟部科技專案的支持下，自美國 TPI 公司

引進 SCRIMP 施工法，協助國內船廠學習並運用此施工法。目前在台灣有四家合法授權廠家，分別是嘉信遊艇股份有限公司、先進強化塑膠股份有限公司（原為嘉鴻遊艇股份有限公司）、大舟企業股份有限公司及甲申由企業股份有限公司。上述四家亦是亞洲僅有的四家。目前各家會員均有具體成功的製作經驗，例如大舟企業完成數艘 25 公尺警用巡邏艇之甲板結構成品；甲申由公司製作 50 呎雙體帆船船殼與連結甲板主結構及高應力集中之桅桿底座構造；先進公司亦有 90 呎複雜造型甲板及 82 呎船殼一體成型的製作經驗。以上的優良成果已漸漸引起歐美各國的注意，目前台灣在此施工法之技術水準已有相當之競爭力。

(4) 船廠待解決之課題

根據本計畫走訪國內船廠的訪查結果，發現目前使用 SCRIMP 製成技術的船廠，實務經驗豐富，大抵均能有效地使用此施工法，製做出符合船東要求的船體結構。但若未來需製做出更高品質，或結構較為大型或複雜的構件，由於船廠並無較具規模的研發能力及人才，尤其在製程數值模擬運算上的能力更是不足，恐仍須藉由以往之經驗，利用試誤的方式建立技術。如何利用電腦模擬技術協助並建立船廠在 SCRIMP 施工法的研究能力，以減少成本並提高產品品質是未來的課題。

另一個亟待解決的課題是，雖然 SCRIMP 施工法的確有其相當之優點，但樹脂注入成型脫膜後，船體外表經常會有外表折光瑕疵的問題存在，船廠因此需要對表面做粉光的處理，耗時耗力，影響國內遊艇業之競爭力。目前對此折光瑕疵之問題，其根本原因尚未釐清，目前亦無有效的解決方案。由於此課題困擾船廠甚鉅，船廠方面希望相關之材料、化工及製

程方面之專家學者能共同參與此課題之研究，協助船廠解決此難題。

(5) 未來研究之課題

1. 由文獻回顧及現況分析結果可知，國內目前雖有不少團隊進行 RTM、射出成型等製程技術的數值模擬分析，然對於 SCRIMP 施工法的數值模擬分析卻未有團隊從事此研究。且國外對此電腦模擬軟體或分析工具，大抵皆有相當規模之團隊自行研發，如何建立國內在此方面的研發能力（如理論基礎及分析工具的建立）是未來研究的首要課題。

2. 影響 SCRIMP 施工法之產品品質的變因相當多，例如纖維材料種類、纖維疊層、樹脂種類、施工時之真空壓力、樹脂黏度、膠化時間等課題均需做一系列完整的探討，若能建立定性甚至完備的量化方面資料，對有助於船廠之競爭力提升。

3. SCRIMP 製程的確可增加品之纖維含有率，然樹脂含量減少造成積層板的厚度減少，在壓縮、彎曲強度、疲勞特性及衝擊強度等是否有負面之影響，亦是未來需進一步探討之主題。

4. 由於數值模擬計算必須輸入一些參數，如纖維滲透率、樹脂黏度等資料方能從事計算，目前對此資料除可由原料供應商提供獲得外，亦可自行進行實驗取得。然國內造船界在此方面的實驗能力頗為不足，目前僅在材料、化工、紡織等領域的研究團隊具有相關類似的實驗能力，未來如何協助造船界建立求取上述參數的實驗方法及能力，以建立相關資料庫，為是否能從事正確有效的數值模擬運算的重要關鍵。

四、計畫結果自評

本計畫主要目標為針對 RTM 製程之相

關研究做一完整之探討，為一先導型研究，以作為未來從事國內造船界 SCRIMP 製程技術的相關整合性研究之規劃參考。計畫執行期間，因感於國內船廠使用 SCRIMP 技術日益頻繁，且國外對此之研究成果亦有不少文獻刊載，故本計畫適度將探討主體直接導入於 SCRIMP，以加速學界對此製程技術之掌握與瞭解。計畫雖未如預期延聘到一博士後研究員協助此計畫的進行，然於本計畫仍能按原定目標、步驟及時程進行，經由文獻回顧、廠家視訪、與其他領域之學者交流，確實能瞭解 SCRIMP 工法目前急需研究之課題。本研究團隊亦已依據本計畫之研究成果，提出一有關『SCRIMP 製程模擬技術的數值解析』之專題研究計畫，並已獲得國科會補助。綜合言之，本計畫確實已達到預定之目標。

五、近年之重要參考文獻

[1] Xiudong Sun, Shoujie Li, and L. James Lee, "Mold Filling Analysis in Vacuum-Assisted Resin Transfer Molding. Part I: SCRIMP Based on a High-Permeable Medium", *Polymer Composites*, Vol.19, No.6, pp.807~817, 1998

[2] Jun Ni, Shoujie Li, Xiudong Sun and L. James Lee, "Mold Filling Analysis in Vacuum-Assisted Resin Transfer Molding. Part II: SCRIMP Based on Grooves", *Polymer Composites*, Vol.19, No.6, pp818~829, 1998

[3] Kerang Han, Shunliang Jiang, Chuck Zhang, Ben Wang, "Flow Modeling and Simulation of SCRIMP for Composite Manufacturing", *Composites, Part A*, Vol.31, pp79~86, 2000