

國立臺灣大學管理學院碩士在職專班國際企業管理組

碩士論文

Executive MBA Program in International Business Management

College of Management

National Taiwan University

Master Thesis

台灣碳纖維產業發展之研究

A Study on the Industrial Development of Carbon Fiber
in Taiwan



郭紹儀

Shao-Yi Kuo

指導教授：湯明哲 博士

Advisor: Ming-Je Tang, Ph.D.

中華民國 99 年 1 月

Jan, 2010

國立臺灣大學碩士學位論文
口試委員會審定書

台灣碳纖維產業發展之研究

A Study on the Industrial Development of Carbon Fiber
in Taiwan

本論文係郭紹儀君（學號 P96746010）在國立臺灣大學管理學院碩士在職專班國際企業管理組完成之碩士學位論文，於民國九十九年一月二十二日承下列考試委員審查通過及口試及格，特此證明

口試委員：

湯明哲 (指導教授)

吳學良

陳凌忠

系主任、所長

任立中

中文摘要

二十一世紀是複合材料的世紀，碳纖維為複合材料的首選原材料之一，其應用廣泛、需求不斷增漲且未來之發展前景看好。目前碳纖維複合材料已經廣泛使用在航空器、風力發電渦輪葉片、運動用品當中，另外像是汽車、造船、工業模具、滾輪等等工業上的用途也逐漸廣泛且技術日趨成熟，使碳纖維的需求步向正面穩定的高成長趨勢，供給面也將同步攜手邁進，因此碳纖維與碳纖維複合材料產業的前景與未來是相當令人期待的。

全球 PAN 基碳纖維主要製造商包括 Toray、Toho、Mitsubishi、Formosa Plastics、Hexcel、Cytec、Zoltek 與 SGL 等八家企業，小絲束碳纖維之生產基本上已被日本 Toray、Toho、Mitsubishi 與台灣 Formosa Plastics 碳纖維生產製造商所掌握，而大絲束碳纖維之生產主要集中在美國 Zoltek 與歐洲 SGL 碳纖維生產製造商。

國內僅台塑企業之台麗朗事業部生產製造碳纖維，台塑企業自 1983 年起開始投入碳纖維領域中，並於 1987 至 2008 年間進行擴產，投入近百億之資金，直至 2008 年止台塑的碳纖維產能已增加到 6,150 噸/年，為全球第四大的碳纖維製造廠商，且在亞洲排名第二，僅次於日本。

本研究以五力分析與鑽石模型探討我國碳纖維產業之優勢、劣勢及面臨之機會與威脅，其結論為：台灣發展碳纖維產業必須善利用國內豐富的人力資源與碳纖維自有技術研發能力之優勢儘快研發出高性能等級碳纖維之生產技術能力，並憑藉大規模生產製造能力與一貫化生產體系之經營模式來取得碳纖維生產成本優勢。此外，國內碳纖維產業業者可以利用碳纖維自有技術生產能力與產能規模優勢來快速進入並掌握節能趨勢所帶動的輕量化飛機、汽車、高壓氣體儲槽或綠色替代能源所帶動的風力發電...等市場的發展機會。

另外，本研究針對全球碳纖維產業整體的發展概況與我國碳纖維產業所面臨的 SWOT，分別對我國碳纖維製造商、政府、相關產業給予以下建議：一、碳纖維製造商應儘快開發並生產大絲束碳纖維以因應一般工業領域對碳纖維的快速需求、可朝向台灣專長且揚名國際之產業領域來開發新的碳纖維市場、掌握節能趨勢所帶動的風力發電渦輪葉片及汽車兩個碳纖維市場契機。二、政府可提供碳纖

維產業融資優惠方案，協助產業發展並設立專案計畫輔導、補助碳纖維技術研發或成立產學合作計畫以鼓勵創新研發。三、紡織產業上、中游段之企業可以憑藉本業製程的能力與優勢來評估投入碳纖維生產之可行性。四、汽車、醫療、土木建築、能源、電子工業等領域相關業者應把握碳纖維產品的發展契機，積極研發高附加價值的碳纖維製品，以迎合快速興起的市場需求。

關鍵字：碳纖維、五力分析、鑽石模型、SWOT



THESIS ABSTRACT

Executive MBA Program in International Business Management

College of Management

National Taiwan University

NAME: Shao-Yi Kuo

MONTH/YEAR: JANUARY, 2010

ADVISER: Ming-Je Tang, Ph.D.

TITLE: A Study on the Industrial Development of Carbon Fiber in Taiwan

The 21st century is the compound materials century. Carbon fiber is the first choice of the compound materials, and its application is widespread, the demand is unceasing growth, the future prospects for development will be very well.

At present the carbon fiber compound materials are already widely used in aircraft, wind turbine blade, sports equipment, moreover is likely in automobile, shipbuilding, industry mold, roller and so on industry, and the technology is day by day mature. The demand of carbon fiber step to frontage stable high growth tendency, the supplies also hand in hand to make great strides forward the synchronization, therefore the carbon fiber and the carbon fiber compound materials industry's prospect in the future will be quite makes one anticipate.

The main manufacturers of global PAN-based carbon fiber, including Toray, Toho, Mitsubishi, Formosa Plastics, Hexcel, Cytec, Zoltek and SGL. The production of small tow carbon fiber basically already grasp by Japanese Toray, Toho, Mitsubishi and Taiwanese Formosa Plastics enterprise, and the production of large tow carbon fiber are mainly to concentrate in American Zoltek and the European SGL enterprise.

TAIRYLANG business division of Formosa Plastics is the only one carbon fiber manufacturer in Taiwan. Formosa Plastics started from 1983 to invest in the carbon fiber domain, and from 1987 to 2008 carried on expands production capacity, the investment nearly 10 billions. The production capacity of carbon fiber in Formosa Plastics is increases to 6,150 tons/year in 2008, and Formosa Plastics is the global fourth carbon fiber manufacture, and

places in Asia second, is only inferior to Japan.

This research is based on the methodologies of Five Forces Analysis, Diamond Theory, as well as SWOT Analysis. The conclusions of this research are as follows: Taiwan develop carbon fiber industry should use domestic rich human resources and superiority of the carbon fiber innate R&D ability to research and develop high performance carbon fiber technology as soon as possible. Then should rely on the large-scale production capacity and the consistent production system to get cost advantage.

In addition, the domestic carbon fiber manufacturers may use innate technology productivity and the scale superiority to enter and to grasp the market development opportunities of the lightweight airplane, the automobile, the pressure vessel or the wind power blade...and so on.

Moreover, based on SWOT analysis of this research that some suggestions are proposed as follows:

1. The carbon fiber manufacturer should develop and produce large tow carbon fiber as soon as possible, so as to face expansion of demand in industrial field. And should develop new carbon fiber market which Taiwan well known and specialty fields, grasp the opportunities of wind turbine blade and automobile carbon fiber market which energy saving tendency leads.
2. The government can provide the financing preferential project to carbon fiber industry to assist industry development, and establish carbon fiber technology development program, industry-university cooperative research project to encourage innovation and R&D of carbon fiber.
3. The upstream and midstream enterprises of the textile industry may rely on their own ability of produce process to appraise the feasibility of the investment carbon fiber production.
4. Enterprises of automobile, medical service, civil construction, energy and electronics industry should grasp the development opportunities of carbon fiber product, and actively research the high add-valued carbon fiber product to catch up with raised demand.

Keywords: Carbon Fiber, Five Forces Analysis, Diamond Theory, SWOT

目 錄

中文摘要	I
英文摘要	III
目 錄	V
表目錄	VII
圖目錄	VIII
第一章 緒論	1
第一節、研究背景	1
第二節、研究動機	3
第三節、研究目的	5
第二章 文獻探討	6
第一節、複合材料與纖維強化高分子複合材料簡介	6
第二節、碳纖維與碳纖維複合材料簡介	10
第三節、五力分析模型	22
第四節、鑽石模型	24
第五節、SWOT 分析	27
第三章 研究方法	28
第一節、研究架構	28
第二節、研究流程	29
第四章 碳纖維產業分析	30
第一節、全球碳纖維市場概述	30
第二節、國外碳纖維產業近況	37
第三節、台灣碳纖維產業近況	44
第四節、台灣碳纖維產業五力分析	51

第五節、台灣碳纖維產業鑽石模型分析	56
第五章 結論與建議	61
第一節、台灣碳纖維產業之 SWOT 分析	61
第二節、結論	65
第三節、對我國發展碳纖維產業之建議	67
參考文獻	72
中文部分	72
英文部分	73
網路資料	74



表目錄

表 2-2-1	纖維強化高分子複合材料(FRP)與金屬材料之力學性能比較.....	10
表 2-2-2	碳纖維的分類	11
表 2-2-3	碳纖維和石墨纖維的特性	13
表 2-2-4	碳纖維與碳纖維複合材料之發展歷程	16
表 2-2-5	PAN 基碳纖維價格	20
表 2-2-6	碳纖維與碳纖維複合材料之應用	21
表 4-1-1	各國對聚丙烯腈基小絲束碳纖維之需求量	30
表 4-1-2	各產業對聚丙烯腈基小絲束碳纖維之需求量	32
表 4-1-3	碳纖維之應用	32
表 4-1-4	全球 PAN 基碳纖維主要製造商之設廠位置分佈情況	33
表 4-1-5	2007 年與 2008 年全球主要 PAN 基碳纖維廠商生產能力	34
表 4-1-6	全球主要碳纖維製造廠產能與擴建表	36
表 4-2-1	東麗集團之碳纖維產能	38
表 4-2-2	東麗集團之碳纖維產品及應用領域	38
表 4-2-3	東邦特耐克斯公司之碳纖維產能	40
表 4-2-4	三菱人造絲集團之碳纖維產能	40
表 4-2-5	HEXCEL 公司之碳纖維產能	41
表 4-2-6	HEXCEL 公司之碳纖維產品及產品特性	42
表 4-2-7	ZOLTEK 公司之碳纖維產能	43
表 4-3-1	台塑碳纖維之創建沿革	46
表 4-3-2	台塑公司近五年之擴建情況與碳纖維產能	47
表 4-3-3	台塑公司之碳纖維產品及產品特性	47
表 4-3-4	台灣近六年碳纖維進出口值	48
表 4-3-5	近五年台塑之碳纖維產量與產值	50
表 4-5-1	全球風力發電對碳纖維之需求	59
表 5-2-1	台灣碳纖維產業之 SWOT 分析	65

圖目錄

圖 2-1-1 FRP 複合材料之組成	8
圖 2-1-2 FRP 複合材料之分類	9
圖 2-2-1 碳纖維市場發展歷程	15
圖 2-2-2 PAN 基碳纖維之生產製程	18
圖 2-3-1 五力分析模型	23
圖 2-4-1 MICHAEL E. PORTER 鑽石模型	26
圖 3-1-1 研究架構	28
圖 3-2-1 研究流程	29
圖 4-1-1 2008 年全球碳纖維需求情況	31
圖 4-3-1 台灣 PAN 基碳纖維產業鏈結構	45
圖 4-3-2 2008 年台灣碳纖維主要出口國家	49
圖 4-3-3 2008 年台灣碳纖維主要進口國家	49
圖 4-4-1 台灣碳纖維產業五力分析	55



第一章 緒論

第一節、研究背景

面對全球信貸危機與景氣蕭條的現狀，唯有創新技術並落實運用才能解決產業根本的危機，同時追求持續穩定的成長。近年來由於國際經濟的衰退，我國各產業紛紛尋求轉型以突破經營上的困境，特別是傳統產業，更積極地引進新的生產加工方式或附加材料的採用來創造高的產品增值空間，而碳纖維產業的興起正是最佳的寫照。

碳纖維的應用自 2005 年開始在全球迅速的發展，特別是航空產業，以美國的波音與歐洲的空中巴士兩大飛機製造商為例，分別宣布將大量採用碳纖維複合材料製造飛機，因而更加引起各產業對於複合材料的興趣。碳纖維除了被廣泛應用於傳統的航太工程領域外，由於其可以大大提高產品強度、減輕結構質量、延長使用壽命和增加安全可靠度的特性，在汽車、風力發電渦輪葉片及壓力容器的新市場上也正快速發展。因此專家們預測在未來三年內碳纖維的總產量將增漲 78%（趙稼祥，2008），並且根據相關部門的預測，世界碳纖維需求每年將以大約 13% 的速度飛速增漲，預計到 2018 年需求量更將達到 10 萬噸（江蘇化工網，2008）。

到了 2006 至 2007 年期間，由於全球油價持續攀升，運輸成本因而大幅提高，加上溫室效應使地球氣候異常，使得世界各國對於環境保護的重視更甚以往，因此節省能源與使用替代能源之呼聲在這兩年間更化為實際的行動，其中，尤以運輸工具輕量化以及風力發電成為世界一種重要的趨勢。

台塑公司指出，由於碳纖維擁有比金屬更輕也更堅固的特性，因此在 2006 至 2007 年間，碳纖維的需求遠遠大幅超過全世界纖維製造商的總和供應能力，製造商產能的向上擴增亦無法跟上需求增加的脚步。在 2007 年僅台灣台塑、日本東麗及三菱縲縈三家廠商完成擴建，導致碳纖維在市場上呈現嚴重短缺的情況，預計在 2008 年後會得到改善。

世界對碳纖維的需求量不斷地在增漲，2000 年世界對碳纖維的需求量僅為 15,101 噸，但到 2010 年預測世界碳纖維的需求量將會增加到 41,000 噸，與 2000 年相比，增漲 171.5%（柯澤豪、梁恆嘉、顏妙妤，2008）。而英國業內分析公司

市場技術出版公司(Market Technology Publications)認為在未來四年中，全球碳纖維複合材料銷售量可望增漲 37%，到 2010 年，更將有價值 136 億美元（104 億歐元）的市場，其報告並指出，受到宇航、風能、近海石油和天然氣、壓力容器和體育用品行業需求增漲的推動，碳纖維即將進入大發展期（台灣區人造纖維製造工業同業公會，2008）。

由於碳纖維本身獨特的特性，近年來已成為新崛起的節能材料，並且大量被廣泛應用於日常生活中，因此在未來誰能掌握發展碳纖產業的新契機，即可在國際間扮演重要的角色，同時引領全球商業及工業的發展。



第二節、研究動機

二十一世紀是複合材料的世紀，碳纖維為複合材料的首選原材料之一，其應用廣泛、需求不斷增漲且未來之發展前景看好。另外，中國材料科學泰斗、兩院院士師昌緒於 2008 年時也提及碳纖維複合材料是當前應加快發展的材料（中國石油新聞中心，2008）。

目前碳纖維複合材料已經廣泛使用在航空器、風力發電渦輪葉片、運動用品當中，另外像是汽車、造船、工業模具、滾輪等等工業上的用途也逐漸廣泛且技術日趨成熟，使碳纖維的需求步向正面穩定的高成長趨勢，供給面也將同步攜手邁進，因此碳纖維與碳纖維複合材料產業的前景與未來是相當令人期待的。隨著國民經濟的發展、科學技術的進步，碳纖維市場必將進一步往上增漲，需求量也將越來越大，必然會促進碳纖維工業的發展（台灣區人造纖維製造工業同業公會，2008）。

從 2005 年開始，世界對碳纖維的應用表現出極大興趣，特別是大型民用客機開始大規模使用碳纖維複合材料，造成市場的供需緊俏，價格上漲，由於價格飆漲幅度過高，到 2006 年更造成碳纖維有價無市的現象。另外，加上包括中國等新興國家近年來對飛機採購激增，更導致全球碳纖維供不應求問題雪上加霜。根據一項調查，在 2006 年北美地區共消費世界碳纖維總產量的 38%，為全球的最大宗；歐洲與日本則分別用掉 30%與 15%；而世界其它地方則消費剩餘 17%的總量，並且需求有持續不斷增漲的趨勢，但全世界聚丙烯 (PAN)基碳纖維的生產能力為 3.8 萬噸/年，生產量僅為 2.7 萬噸，由於供不應求，促使一些生產廠家正在擴大生產能力，2008 年世界碳纖維的總生產能力已達到 6.7 萬噸/年。第一波士頓信貨銀行(CSFB)分析師 Masami 更指出，未來幾年，世界碳纖維需求將以年平均兩位數快速增漲，市場供應短缺至少將延續到 2009 年，甚至有可能會延長到 2012 年（台灣區人造纖維製造工業同業公會，2008）。

近年來台灣政府一直積極推動傳統產業進行技術提升與創新，或鼓勵相關業者進行轉型，台灣若能創新碳纖維製程上的技術，領先於世界發展，並協助相關傳統產業，例如紡織業、塑膠工業、自行車業等，透過技術上的提升、創新或研

發，轉型投入碳纖維產業之生產，進而提升產品的附加價值，相信必可帶動國內
整體經濟的發展，進而提升國家整體之競爭力。



第三節、研究目的

綜觀本研究的研究背景與研究動機，可歸納出研究目的共有以下三點：

- 一、深入瞭解國際主要的碳纖維生產國—日本、美國與我國碳纖維產業之發展背景與現況。
- 二、以五力分析與鑽石模型探討我國碳纖維產業之優勢、劣勢及面臨之機會與威脅。
- 三、對碳纖維製造商、國內政府與相關產業提出建言，以作為我國發展碳纖維產業之參考。



第二章 文獻探討

本章將針對複合材料與纖維強化高分子複合材料、碳纖維與碳纖維複合材料、波特五力分析、鑽石模型與 SWOT 分析等相關資料進行收集與瞭解，期能對於後續研究能夠有更深入的探討。

第一節、複合材料與纖維強化高分子複合材料簡介

一、複合材料

由於近年來科技的日新月異，對材料品質之要求愈來愈嚴格，部份的傳統材料已不符合此方面需求，因此，應運而生的是發展質量輕、強度高、彈性好之複合材料。複合材料係利用兩種或兩種以上不同性質的材料，以不同的加工方法結合在一起，擷取原材料的特性與優點，發揮協同作用製成性能優異並能滿足需求的一種新材料。

複合材料一般是由基材(Matrix)與增強材(Reinforcement)所組成，然而基材可分為金屬或非金屬基材，金屬基材主要有鋁、鎂、銅和它們的合金；非金屬基材主要有合成樹脂、碳、石墨、橡膠、陶瓷；增強材料主要有玻璃纖維、碳纖維、硼纖維、芳綸纖維等有機纖維和碳化硅纖維、石棉纖維、晶鬚、金屬絲及硬質細粒等。複合材料其性質除受基材與增強材兩者所影響外，基材與增強材的界面(Interface)亦是決定複合材料性質好壞的關鍵。

基材的性質有大致上有尺寸安定、耐化學性、耐酸鹼性、可切削等特性，而增強材則為具有剛性、強度、抗磨耗等性質。複合材料便是組合了此二種材料的特點而成型的一種材料，其性質為高比強度、高可靠度、高設計彈性度，可廣泛的運用在各領域的產品當中（謝文隆，2008）。

二、纖維強化高分子複合材料(Fiber Reinforced Polymers, FRP)

高分子結構複合材料是由高強度的承力增強材料與較柔韌的起傳遞力及黏合作用的基體材料所組成，二者之中至少有一種是高分子，其中發展最快、產量最大的是纖維增強塑料，所用增強材料為高強度、高模量、耐熱的纖維如玻璃纖維、碳纖維、克維拉纖維、硼纖維、聚芳醯胺纖維等和上述纖維的混雜品或織物。基體材料有不飽和聚酯樹脂、環氧樹脂、酚醛樹脂、聚醯亞胺等熱固性樹脂和聚乙

烯、聚丙烯、尼龍、聚碳酸酯、ABS 樹脂等熱塑性樹脂。

然而纖維強化高分子複合材料即是指由熱固性樹脂或熱塑性樹脂為基體材料，並以纖維為增強材料所組成之高分子結構複合材料。

(一)FRP 複合材料之組成

唐孟瑞（2005）指出，FRP材料是由基材(Matrix)、纖維強化材料(Fiber Reinforcement)及纖維－基材之界面(Interface)等三種成份所組成（見圖 2-1-1）。

- 1.基材：基材大部分為高分子化合物，一般可分為熱固性樹脂和熱塑性塑膠。最常用的熱固性樹脂為不飽和聚酯(Unsaturated Polyester Resin)和環氧樹脂(Epoxy Resin)；而一般使用的熱塑性塑膠則有尼龍(Nylon)、聚丙烯(Polypropylene, PP)等。
- 2.纖維增強材料：使用纖維作為強化材料，目的為使FRP材料具有很高的強度和彈性係數，並使FRP材料於承受應力時不致於彎曲或破壞，且纖維強化材料是決定FRP材料機械性能的主要因素。然而，依照使用的纖維種類不同，纖維強化材料大致分成三種，分別是碳纖維(Carbon Fiber)，玻璃纖維(Glass Fiber)以及克維拉纖維(Kevlar)。
- 3.界面：纖維－基材的界面材料是決定複合材料使用壽命之重要因素，在界面處有很高的局部應力，纖維複合材料可能從界面處先行破壞。所以纖維－基材界面必須有良好的物理性與化學性質，以便使負荷能夠很順利由基材傳遞到纖維（增強材料）。利用偶合劑可改進界面的黏結現象，界面材料必須能抵抗由纖維和基材因不同熱膨脹所造成之應力，也必須能抵抗因樹脂硬化所造成之現象，界面亦可避免複合材料受液體之滲透，幫助基材保護纖維。

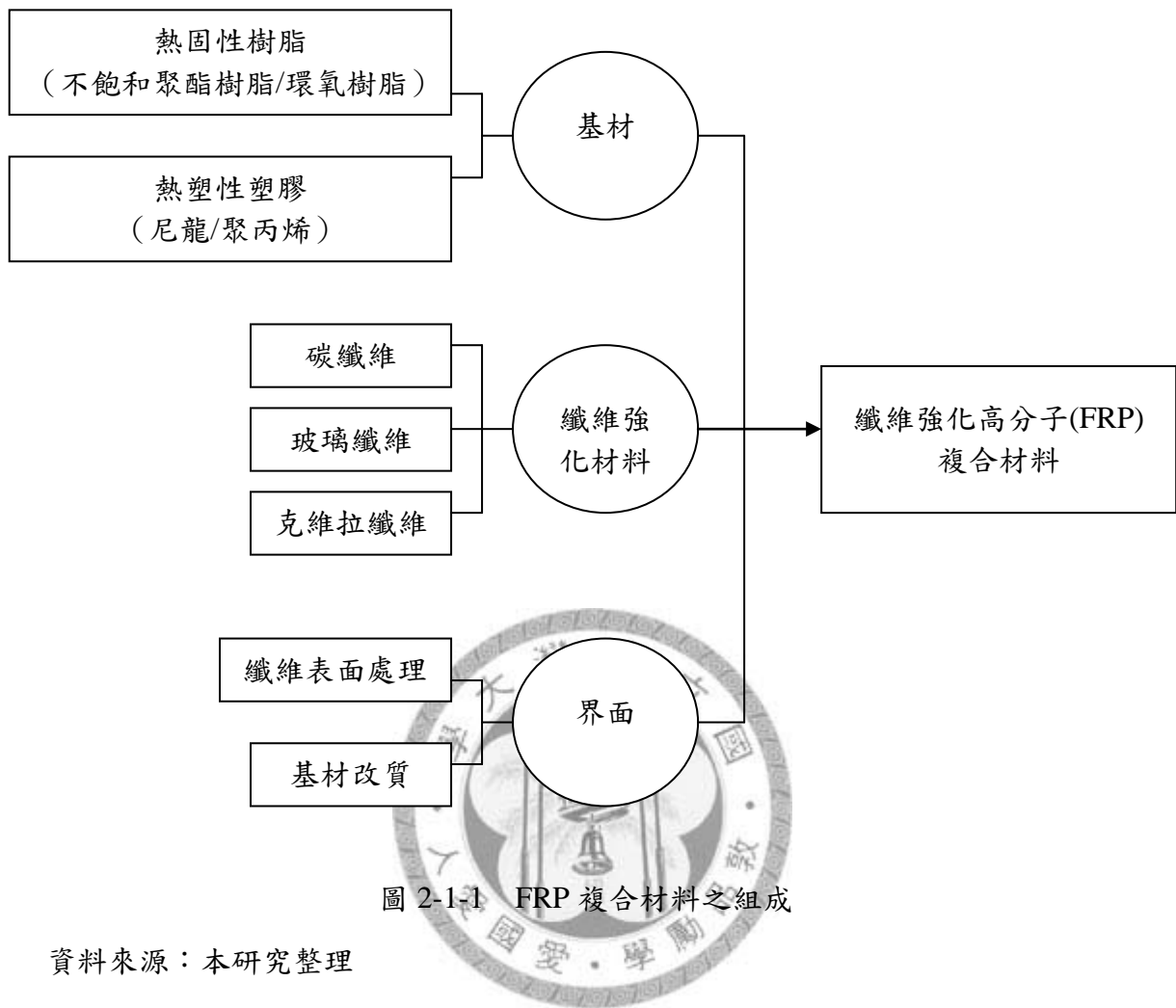


圖 2-1-1 FRP 複合材料之組成

資料來源：本研究整理

(二)FRP 複合材料之分類

依FRP複合材料之組成成份，可得其分類如圖2-1-2所示。

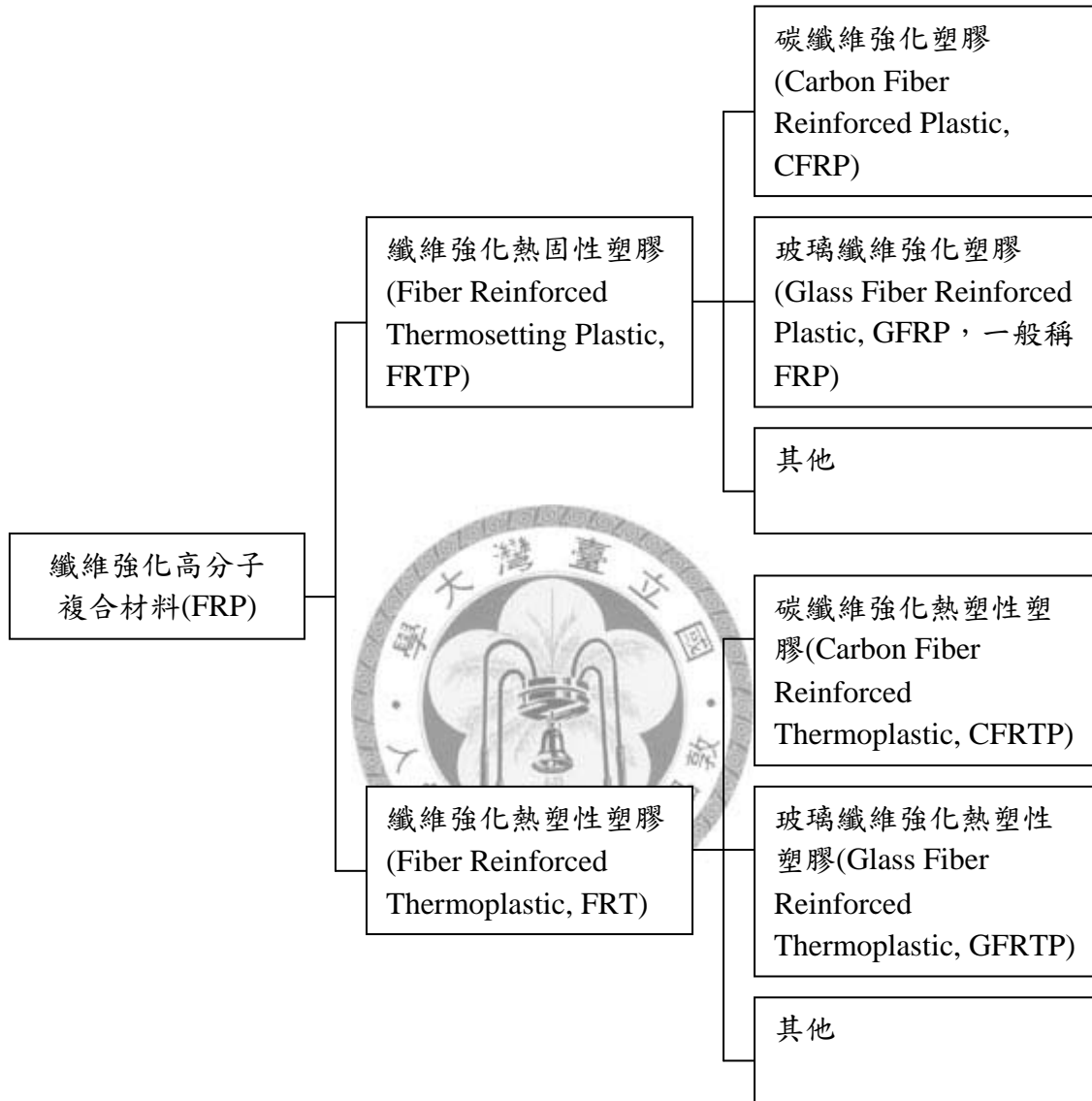


圖 2-1-2 FRP 複合材料之分類

資料來源：游錫揚（1992）

第二節、碳纖維與碳纖維複合材料簡介

一、碳纖維

碳纖維是一種以嫫縈(Rayon)、瀝青(Pitch)、聚丙烯腈(PAN)三種材料為前驅體(Precursor)來製造(魏吉明, 2003)。前驅體經預化、碳化與石墨化等過程製得含碳量達 90% 以上的無機纖維材料, 具有高比強度、高比模量、耐高溫、耐腐蝕、導電導熱性好及熱膨脹係數小等一系列優異性能(郭玉明、馮志海、王金明, 2007), 特別是它的高比強度與高比模量, 在絕氧條件下, 可耐 2000°C 的高溫, 且碳纖維和樹脂形成的複合材料的比強度和比模量比鋼和鋁合金還高三倍左右(見表 2-2-1)。碳纖維為重要的工業用纖維材料, 其適用於製作增強複合材料、燒蝕材料和絕熱材料; 它是 20 世紀 60 年代初發展起來的一種新型材料, 現在已成為一種現代社會不可缺少的新穎材料。

表 2-2-1 纖維強化高分子複合材料(FRP)與金屬材料之力學性能比較

材料名稱	規格	密度 (g/cm ³)	強度 (kgf/mm ²)	比強度 (mm ² /s ²)	模量 (kgf/mm ²)	比模量 (mm ² /s ²)
鋼	S97	7.8	103	1.3*10 ¹⁰	2.1*10 ⁴	2.7*10 ¹²
鈦合金	DTD5173	4.5	96	2.1*10 ¹⁰	1.14*10 ⁴	2.6*10 ¹²
鋁合金	L65	2.8	47	1.7*10 ¹⁰	0.75*10 ⁴	2.6*10 ¹²
玻璃纖維—環氧樹脂	E 玻璃	2.0	150	7.5*10 ¹⁰	0.42*10 ⁴	2.1*10 ¹²
碳纖維—環氧樹脂	高強度型	1.5	190	12.7*10 ¹⁰	1.5*10 ⁴	10.0*10 ¹²
碳纖維—環氧樹脂	高模量型	1.6	130	8.1*10 ¹⁰	2.4*10 ⁴	15.0*10 ¹²
硼纖維—環氧樹脂	—	1.7	93	5.5*10 ¹⁰	1.4*10 ⁴	8.2*10 ¹²
聚芳酰胺纖維—環氧樹脂	Kevlar-49	1.4	180	13.8*10 ¹⁰	0.65*10 ⁴	4.6*10 ¹²

資料來源：塑膠 e 學苑 (2004)

二、碳纖維複合材料(CFRP)

碳纖維強度比鋼強、重量比鋁輕、耐疲勞性優, 其主要用途是與樹脂、金屬、陶瓷與水泥等基材複合以做成結構材料, 其中以樹脂為基材、碳纖維為加強材所組成之碳纖維增強樹脂基複合材料之比強度與比模量等相關性能是現有結構材料

中最高的；碳纖維還具有極好的纖度（9000 米長纖維的克數），一般僅約為 19 克，拉力高達 $300\text{kg}/\text{mm}^2$ ，目前幾乎沒有其他材料像碳纖維這樣具有一系列的優異性能，因此在剛度、重量、疲勞特性等有嚴格要求的領域以及在要求高溫、化學穩定性高的場合，碳纖維複合材料具備不可替代的優勢。

三、碳纖維的分類

碳纖維一般可按力學性能、製造原料與用途來進行分類：

(一)按機械性質之抗拉強度及抗拉彈性模數之高低可分為（謝明釗，2008）（見表 2-2-2）：

1.高性能型碳纖維（High Quality Performance，簡稱HP）

(1)高強度型碳纖維（High Tenacity，簡稱 HT）

(2)高彈性（高模數）型碳纖維（High Modulus，簡稱 HM）

2.普通型碳纖維（General Performance，簡稱GP）

表 2-2-2 碳纖維的分類

類別		機械特性	
		強度	彈性模數
普通型	低模數型碳纖維 (LM type CF)	—	$E_y > 100\text{GPa}$
	中模數型碳纖維 (IM type CF)	—	$E_y > 200\text{GPa}$
高性能型	高模數型碳纖維 (HM type CF)	—	$E_y > 350\text{GPa}$
	超高模數型碳纖維 (UHM type CF)	—	$E_y > 450\text{GPa}$
	高強度型碳纖維 (HT type CF)	$\sigma > 3\text{GPa}$	—
	超高強度型碳纖維 (SHT type CF)	$\sigma > 4.5\text{GPa}$	—

資料來源：化工技術（2008），16(3)，p116；本研究整理

(二)按製造原料可分為（北京凱博信諮詢，2008）：

1.螺縲碳纖維

2.瀝青基碳纖維

3.聚丙烯腈基碳纖維

(三)依用途可分為 (柯澤豪、梁恆嘉與顏妙好，2008)：

1.航空用小絲束 (1K~24K) 碳纖維：主要應用於國防以及體育休閒用品，例如飛機、導彈、火箭、衛星和釣魚竿、高爾夫球桿、網球拍等。

2.商用大絲束 (48K以上) 碳纖維：主要應用於不同民用工業，包括紡織、醫藥衛生、機電、土木建築、交通運輸和能源等。

(1K：一條碳纖維絲束含1,000根單絲)

四、碳纖維的特性

碳纖維是由六個擁有 SP^2 軌道的碳原子所構成之平面環型結構，彼此之間以層狀重疊方式組成的，如果加高碳纖維的處理溫度，就會產生和石墨相似的結晶構造，若其結晶再沿纖維方向配置，就會產生具有較高強度和彈性模數之碳纖維 (謝明釗，2008)。然而，碳纖維具有下列多項優點：

- (一)強度比鋼強，重量比鋁輕。
- (二)模數高(200-650Gpa)。
- (三)耐腐蝕、不生鏽。
- (四)尺寸安定性高，熱膨脹性小。
- (五)震動衰減性優。
- (六)X光穿透性高，導電、熱性佳。
- (七)摩擦係數小、耐磨耗性優。
- (八)耐疲勞性優、耐潛變性優。
- (九)與樹脂親和性良好，加工性佳。
- (十)具有電磁波遮罩性。
- (十一)複合材料應用範圍廣泛，可製成各種成品。

由於碳纖維性脆且高溫抗氧化性能較差，故很少單獨使用，主要用作樹脂、碳、金屬、陶瓷、水泥、橡膠基複合材料的增強體。碳纖維為含碳量在 90% 以上的高強度高模量纖維，而含碳量在 99% 以上的稱為石墨纖維，其兩者之特性如下表 2-2-3 所示。

表 2-2-3 碳纖維和石墨纖維的特性

種類 特性	碳纖維				石墨纖維	
	通用級	標準型 T300	高強中模型 T1000	高強高模型 M40J	通用型	高模型
密度($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$)	1.70	1.75	1.82	1.77	1.80	1.81~2.7
拉伸強度(Mpa)	1200	3530	7060	4410	1000	2100~2200
比強度($*10^6 \text{cm}$)	7.1	20.1	38.8	24.9	5.5	9.6~14.5
拉伸模量(Gpa)	48	230	294	377	100	392~829
比模量($*10^8 \text{cm}$)	2.8	13.1	16.3	21.3	5.6	21.7~37.5
電阻率($*10^{-3} \Omega \cdot \text{cm}$)	-	1.87	-	1.02	-	0.89~0.21
熱膨脹係數($*10^5 \cdot \text{K}^{-1}$)	-	-0.5	-	-	-	-1.44
熱導率($\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$)	-	8	-	38	-	84~613
含碳品質分數(%)	64		90~96	-	-	>99

資料來源：北京凱博信諮詢（2008）

五、碳纖維與碳纖維複合材料的發展歷程

愛迪生於 1879 年以油煙與焦油、棉紗和竹絲試製碳絲，並於 1880 年研製成功碳纖維電燈絲，但此時的碳纖維太脆，機械強度差，僅能用做燈絲可通電發光。直到 20 世紀 50 年代初，隨著空間技術的發展，需要有優良性能的結構材料，許多工業發達國家開始重視碳纖維的研究工作，並於 60 年代獲得迅速的發展。

美國聯合碳化物公司（Union Carbide Co., UCC）於 1959 年最早開始生產螺縲碳纖維，50 年代至 60 年代是螺縲碳纖維的鼎盛時期。1959 年，日本研究人員進藤昭男發明了使用聚丙烯腈(PAN)原絲製造碳纖維的新方法。且在此基礎上，英國皇家航空研究院研製出了製造高性能 PAN 基碳纖維的技術流程，使其發展駛入了快車道。1975 年，美國 UCC 公司開始了高性能中間相瀝青基碳纖維 Thornel-P55 的研製，並取得成功。目前 Thornel-P 系列高性能瀝青碳纖維仍是最好的產品。

然而如圖 2-2-1 所示，國際市場上碳纖維的全方位商業化始於 20 世紀 70 年代，70 年代是高爾夫球桿和釣魚杆應用的引入和發展時期。在 80 年代早期，歐洲和北美開始將碳纖維廣泛地用在客機和航空飛行器上作為結構材料。逐漸地人們提高了對碳纖維的認識，開始把碳纖維當成一種高品質的材料，並在 20 世紀 80 年代

中期得到了飛速的增漲。在 80 年代中期，空中巴士公司開始將碳纖維複合材料作為首要的結構材料，並應用在它們的飛機上，而且隨著碳纖維在網球和新的體育項目之應用，碳纖維市場得到了穩定的發展（台灣區人造纖維製造工業同業公會，2008）。

儘管在 1991 年的海灣戰爭之後，航空業的發展走向衰退，全球經濟開始停止不前，碳纖維的需求增漲也趨向緩慢，但自 90 年代中期以後，歐洲和北美開始將碳纖維應用於壓力容器上，且增漲非常顯著。由於 1994 年美國發生洛杉磯大地震和 1995 年的日本神戶大地震，因而加快了人民對抗震加固應用的需求。在未來，預計碳纖維的主要應用領域為工業應用，而且此一需求將會穩固增加，例如碳纖維應用於石油開採領域，隨著高含硫油田及進入開發後期的老油田腐蝕等問題之凸顯和石油工業向海洋、深層進軍，碳纖維複合材料在石油領域日益受到重視。另外，新一代的航太計畫（例如：空中巴士公司推出 A380 飛機、波音公司推出 B787 飛機）、汽車、風力發電渦輪葉片及壓力容器等碳纖維新市場之興起，都將促進碳纖維的工業化應用（台灣區人造纖維製造工業同業公會，2008）。



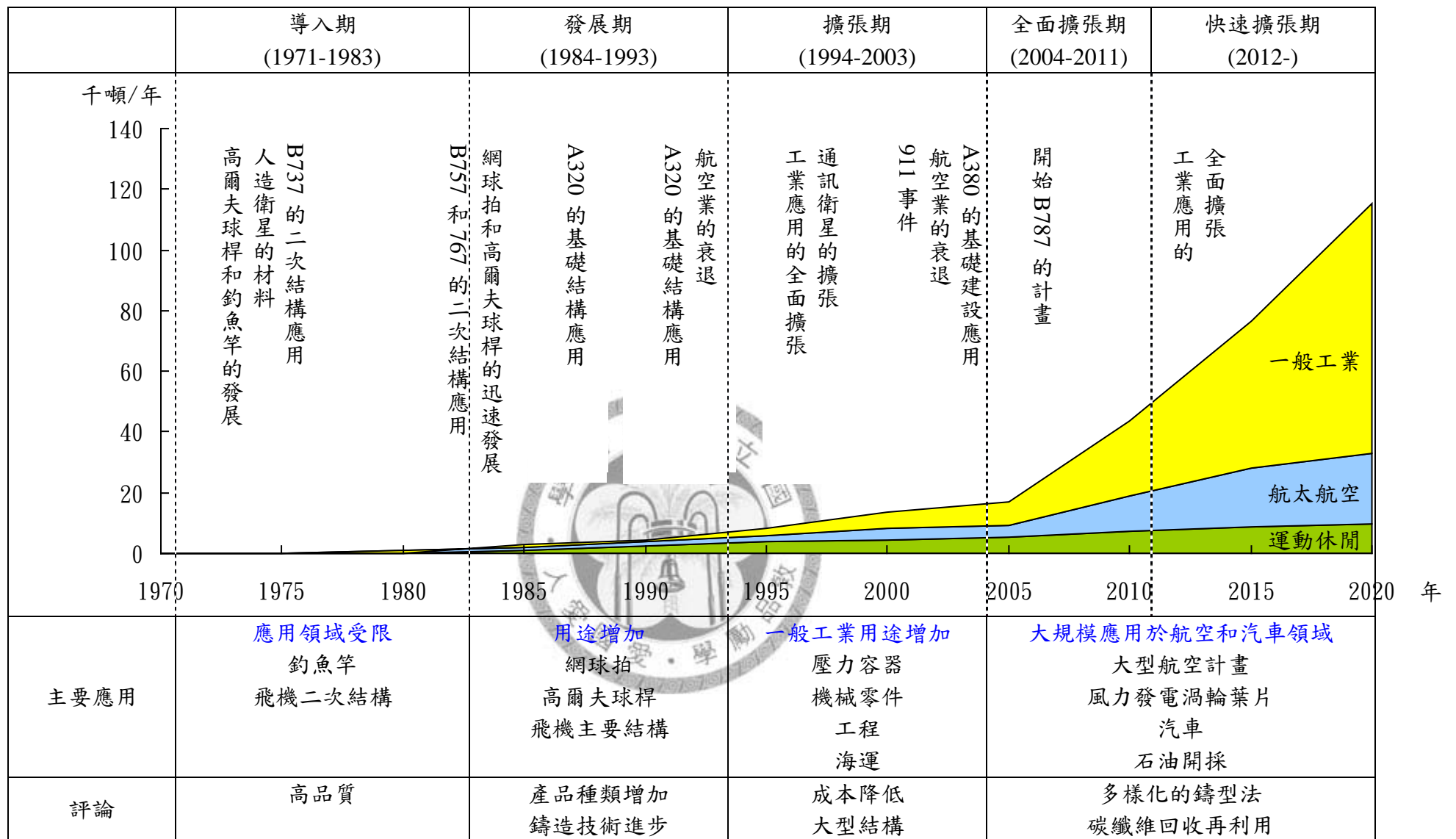


圖 2-2-1 碳纖維市場發展歷程

資料來源：Toray Industries, Inc.(2008)

碳纖維目前主要包括螺縈、瀝青基和聚丙烯腈(PAN)基等三大原料體系，然而透過表 2-2-4 我們可以清楚的瞭解碳纖維與碳纖維複合材料之發展歷程。

表 2-2-4 碳纖維與碳纖維複合材料之發展歷程

年	發 展
1860	斯旺製作碳絲燈泡。
1878	斯旺以棉紗試製碳絲。
1879	愛迪生以油煙與焦油、棉紗和竹絲試製碳絲。
1882	碳絲電燈實用化；1911 年鎢絲電燈實用化。
1950	美國 Wright-Patterson 空軍基地開始研製螺縈碳纖維。
1959	美國聯合碳化物公司(UCC)生產低模量螺縈碳纖維”Thornel-25”。 日本大阪工業試驗所—進藤昭男發明聚丙烯腈(PAN)基碳纖維。
1962	日本碳公司開始生產低模量 PAN 基碳纖維 (0.5 噸/月)。
1963	英國皇家航空研究院(RAE)—瓦特和詹森研發出製造高性能 PAN 基碳纖維的技術流程。
1964	英國 Courtaulds, Morganite 與 Røii-Roys 公司利用 RAE 之技術生產 PAN 基碳纖維。
1965	日本群馬大學—大谷杉郎發明瀝青基碳纖維。 美國 UCC 公司開始生產高模量螺縈碳纖維 (石墨化過程中牽伸)。
1970	日本吳羽化學公司生產瀝青基碳纖維 (10 噸/月)。 日本東麗公司與美國 UCC 公司進行技術合作。
1971	日本東麗公司工業規模生產 PAN 基碳纖維 T300/石墨纖維 M40(1 噸/月)。
1972	美國 Hercules 公司開始生產 PAN 基碳纖維。 日本使用碳纖維製造釣魚竿。 美國使用碳纖維製造高爾夫球桿。
1973	日本東邦人造絲公司開始生產 PAN 基碳纖維 (0.5 噸/月)。 日本東麗公司擴產 PAN 基碳纖維 (5 噸/月)。

表 2-2-4 碳纖維與碳纖維複合材料之發展歷程（續）

年	發 展
1974	碳纖維釣魚竿、高爾夫球桿迅速發展。 日本東麗公司擴產 PAN 基碳纖維（13 噸/月）。
1975	碳纖維網球拍商品化。 美國 UCC 公司公布利用中間相瀝青製造高模量瀝青基碳纖維 '' ThorneI-P''。 美國 UCC 公司的高性能瀝青基碳纖維商品化。
1976	日本東邦人造絲公司與美國塞蘭尼斯進行技術合作。 住友化學與美國 Hercules 公司成立聯合公司。
1979	日本碳公司與旭化成工業公司成立旭日碳纖維公司。
1980	美國波音公司提出高強度、大伸長的碳纖維需求。
1981	台灣台塑公司設立碳纖研究中心。 日本三菱人造絲公司與美國 Hitco 公司進行技術合作。
1984	台灣台塑公司與美國 Hitco 公司進行技術合作。 日本東麗公司成功研製高強中模碳纖維 T800。
1986	日本東麗公司成功研製高強中模碳纖維 T1000。
1989	日本東麗公司成功研製高強中模碳纖維 M60。
1992	日本東麗公司成功研製高強中模碳纖維 M70J。
1995	碳纖維應用於製造壓力容器、機械零件、工業工程...等一般工業領域。
2000	碳纖維應用於製造空中巴士公司 A380 的主要結構。
2005	碳纖維大規模應用於航空和汽車領域。

資料來源：北京凱博信諮詢（2008）；本研究整理

六、PAN基碳纖維的生產製程

全世界之碳纖維約 85% 為 PAN 基碳纖維，而 15% 來自螺螄與瀝青基碳纖維(張碩杰, 2007)，由於以 PAN 為前驅體所製成之碳纖維具有高產品力學和高溫性能等優點，且兼有良好的結構和功能特性，發展速度快，為當前碳纖維的主流，因此本研究以 PAN 基碳纖維為探討之研究標的。

生產 PAN 基碳纖維時，先將丙烯腈(Acrylonitrile, AN)進行聚合反應並經過紡絲後製成聚丙烯腈(PAN)基纖維，然後將 PAN 放入氧化爐中，在攝氏 200 到 300 度間進行穩定化，之後置於碳化爐中，在攝氏 1,000 到 2,000 度的溫度下進行碳化後製成碳纖維，其生產製程如下圖 2-2-2 所示。

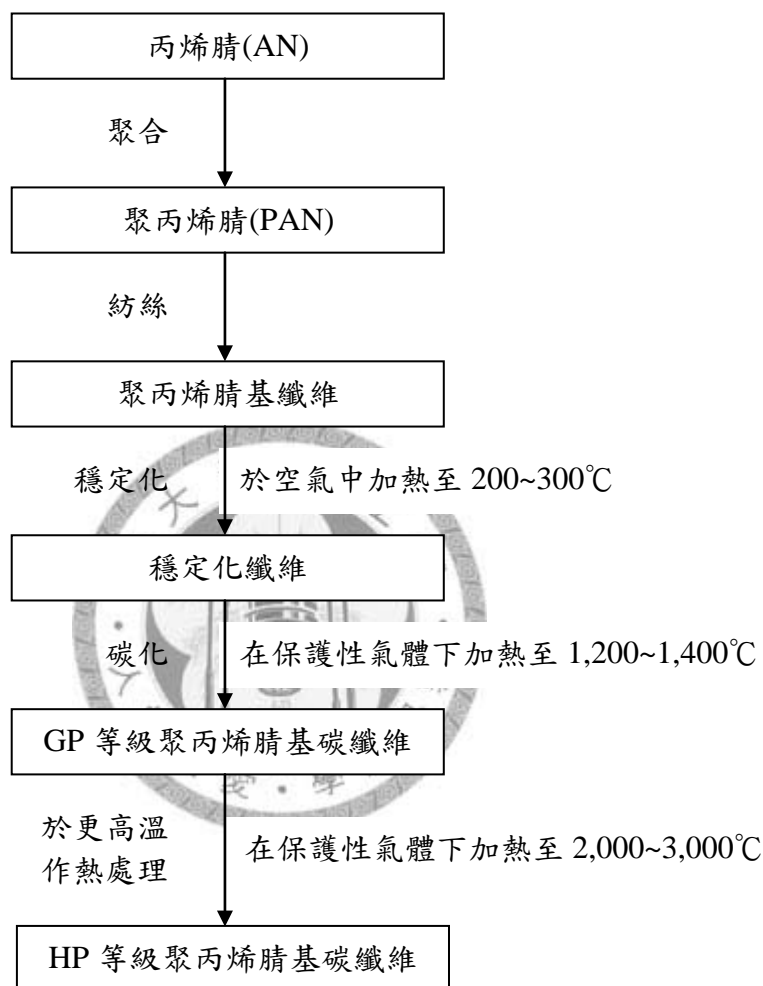


圖 2-2-2 PAN 基碳纖維之生產製程

資料來源：化工技術（2008），16(3)，p117

柯澤豪、梁恆嘉與顏妙妤（2008）指出，聚丙烯腈(PAN)是由單體丙烯腈(AN)聚合而成，目前合成聚丙烯腈有兩種方式分別為溶液聚合(solution polymerization)與溶劑—水懸浮聚合(solvent-water suspension polymerization)。合成過程中聚丙烯腈的組成分、分子量與分子量分布會影響後續的製程。合成出來的聚丙烯腈聚合物，呈現泥漿狀，須再經過精製後才能在後續抽絲加工。

聚丙烯腈要轉變為碳纖維，其首要的程序為抽絲，再經穩定化、碳化、石墨

化才能逐漸轉變為高強度及高模數的碳纖維。目前的抽絲方式有四種，分別為濕式紡絲(wet spinning)、乾式紡絲(dry spinning)、乾噴溼式紡絲(dry-jet wet spinning)與熔融紡絲(melt spinning)，最廣為使用的為濕式紡絲，但最近已逐漸被乾噴濕式紡絲所取代，因為乾噴濕式紡絲可得較高機械強度的聚丙烯腈。

欲將聚丙烯腈母材纖維製成碳纖維之前需經過穩定化。穩定化是將聚丙烯腈纖維於氧氣氣氛下，溫度範圍在 180~300°C，加熱速度在 1~2°C/min 下施以一定張力做熱處理。穩定化過程主要產生三種反應，即環化反應(cyclization)、脫氫反應(dehydrogenation)及氧化反應。另外在穩定化過程中，纖維會受到纖維上張力、熱處理溫度及處理中媒介等因素的影響。

碳化是碳纖維形成的主要階段，氧化纖維在惰性氣體保護下做高溫熱處理，溫度一般為 1,000~1,600°C 之間。經穩定化後之纖維，其碳含量大約在 50% 左右，而纖維中尚有氮、氫、氧等非碳元素將藉由碳化脫出，元素能藉由環化分子間彼此凝縮聚合而除去，使穩定化纖維生成之梯狀聚合物形成相互連結的芳香族平面，這種平面沿著纖維軸列產生石墨層面，組成了碳纖維的構造。聚丙烯腈纖維經過碳化反應後所得到的碳纖維具有較高的強度，若藉助 1,500°C 以上的熱處理可以得到更高模數的碳纖維。

石墨化是在惰性氣體下熱處理 2,000°C 以上，此處不用氮氣當保護性氣體而是用氫氣，因為氮會與碳纖維產生反應成為氰基。

由於生產碳纖維原絲的壁壘很高，儘管碳纖維的生產流程相對較短，但碳纖維原絲的噴絲工藝、聚丙烯腈聚合工藝與丙烯腈於溶劑及引發劑的配比等所需之技術卻難以研發。

目前世界碳纖維技術主要掌握在日本的東麗公司、東邦集團和三菱人造絲集團手中，然而其他碳纖維企業均是處於成長階段且生產工藝仍在摸索中不甚完善。

七、PAN 基碳纖維價格

由下表 2-2-5 可得知 PAN 基大絲束碳纖維售價在 8~12 美元/磅，相對於每磅 18~20 美元的小絲束(12K)標準模量型碳纖維在價格上有優勢，約便宜一倍左右。

表 2-2-5 PAN 基碳纖維價格

碳纖維類別		抗拉模量(GPa)	價格 (美元/磅)
大絲束		210~231	8~12
小絲束	標準模量型碳纖維(12K)	231~245	18~20
	中級模量型碳纖維(12K)	266~301	31~33
	高級模量型碳纖維(12K)	336~490	60~65
	超高模量型碳纖維(3K,6K,12K)	490~980	120~900

資料來源：北京凱博信諮詢（2008）

八、碳纖維與碳纖維複合材料之應用

20 世紀 50 年代初期，隨著火箭、宇航及航空等尖端科學技術的需要，碳纖維應運而生。由於碳纖維複合材料具有比強度高、比模量高、高溫性能優異、耐疲勞性能好、可設計性強... 等一系列獨特優點，因此逐漸被應用於航太航空、運動休閒與一般工業（汽車、土木、紡織、化工機械及醫學... 等）領域。

航太航空工業領域中，商用客機波音公司的 B787 飛機和空中巴士公司的 A350 飛機，目前大量使用碳纖維複合材料於結構材料與內裝材料；另外，在運動休閒領域中，由於碳纖維複合材料的輕量化，因此在製造網球拍、高爾夫球桿、釣魚竿... 等運動休閒用品時也大量使用碳纖維複合材料，且隨著汽油價格高漲、休閒風氣和環保意識的抬頭，使得人民對碳纖複材自行車之需求也逐漸增加中；在工業應用領域方面，隨著工業不斷進步，人們正在尋找更多具有新功能與新用途的材料，因此碳纖維在工業應用方面的需求逐漸增漲且廣泛地應用於醫療設備、土木工程和建築材料、能源... 等工業領域中。然而各種碳纖維及其複合材料之應用請參照表 2-2-6。

預計在 2010 年，全球對碳纖維的需求中，約有 16% 碳纖維將應用於運動休閒領域，約 28% 應用在航太工業領域以及 56% 將被應用於一般工業領域（柯澤豪、梁恆嘉、顏妙好，2008）。

表 2-2-6 碳纖維與碳纖維複合材料之應用

應用領域		應 用 項 目
軍事國防		軍用飛機；導彈；火箭。
航太航空		飛機（機身、引擎蓋、壓縮器、舵、升降梯、減速板、門、主翼、尾翼...等）；太空航行器（人造衛星、太空梭）。
運動休閒		高爾夫球桿、球桿頭；網球拍；羽球拍；釣魚竿；冰球棍；滑雪杖；射箭；遊艇；衝浪；帆船；自行車...等。
一般工業	交通運輸	汽車（引擎零件、傳動軸、板簧、構架、剎車片、車輪、緩衝器等製件）；機車排氣管罩；船（桅杆、航杆）；快艇；海底電纜；潛水艇...等。
	醫療衛生	X 射線儀器；義肢；斷層掃瞄照相床板及頭部固定部分。
	土木工程	碳纖維複合鋼材；混凝土補強材料；複合材料棒材；碳纖維複合材料片；纖維增強膠接層板；簾牆板；電磁遮罩板、導電板...等。
	能源	燃料電池的電極；風力發電渦輪葉片；探油平台。
	電子工業	電子機器元件；家用電器；半導體相關設備；消費性電子產品。
	紡織	紡織機械之結構材料（投梭、導板）；布（防火布、抗靜電布、工業複合材料用布...等）。
	化學	化學裝置（攪拌器、管道、儲存罐）。
	壓力容器	CNG 罐、壓縮天然氣罐、SCBA 整裝呼吸器。

資料來源：本研究整理

第三節、五力分析模型

Michael E. Porter(1980)在「競爭策略」一書中發展出「五種競爭力模式」(Five Forces Model)的架構(如圖 2-3-1)，用以分析某一產業與產業競爭者的結構及競爭環境，並清楚說明一個產業競爭強度的來源，因此，可以用來幫助管理者分析企業在該產業環境中所具備的競爭力。然而，五種影響產業競爭態勢的作用力分別是，「新進入者的威脅」、「現有廠商的對抗強度」、「購買者的議價力量」、「供應商的議價力量」以及「替代品或服務的威脅」。

透過五種競爭力的分析，將有助於釐清企業所處的產業結構與競爭環境，點出產業中競爭的關鍵因素，並界定最能改善產業和企業本身獲利能力的策略。茲對此五種競爭力分述如下(引自李明軒、邱如美，1999)：

一、新進入者的威脅

新進入產業的廠商會帶來一些新產能，不僅分享既有市場，也會拿走一些資源，連帶影響規模經濟、產品差異、資金需要、轉換成本、銷售通路的取得、和規模相關而不利成本的要素。

二、現存競爭者的對抗強度

產業中廠商家數的多寡，是影響競爭強度的基本要素。除此之外，競爭者的同質性、產業產品的戰略價值以及退出障礙的高低等，都會影響同業競爭強度。

三、客戶的議價力量

購買者的議價力量除了決定於其購買的數量以外，購買者對產品的知悉程度、轉換成本的高低以及自身向後整合的可能性等，都是主要的影響因素。

四、供應商的議價力量

形成供應者議價力量的主要原因是賣方產業集中程度、買方產業重視程度、向前整合的能力、供應項目對成本或差異化的影響，以及所供應項目是否有替代品存在。

五、替代品的威脅

替代品決定了本產業廠商訂價上限，等於限制了一個產業可能獲得的投資報酬率。替代品相對價格、移轉成本、客戶使用替代品的傾向等，都是主要的影響因素。

這五項分析層面可確認產業結構的特質，這些特質決定產業的競爭力，並共同決定產業的競爭密集程度與獲利能力。就企業策略的觀點而言，企業面對每一項競爭力的構面所擁有的相對態勢即形成其優劣勢。

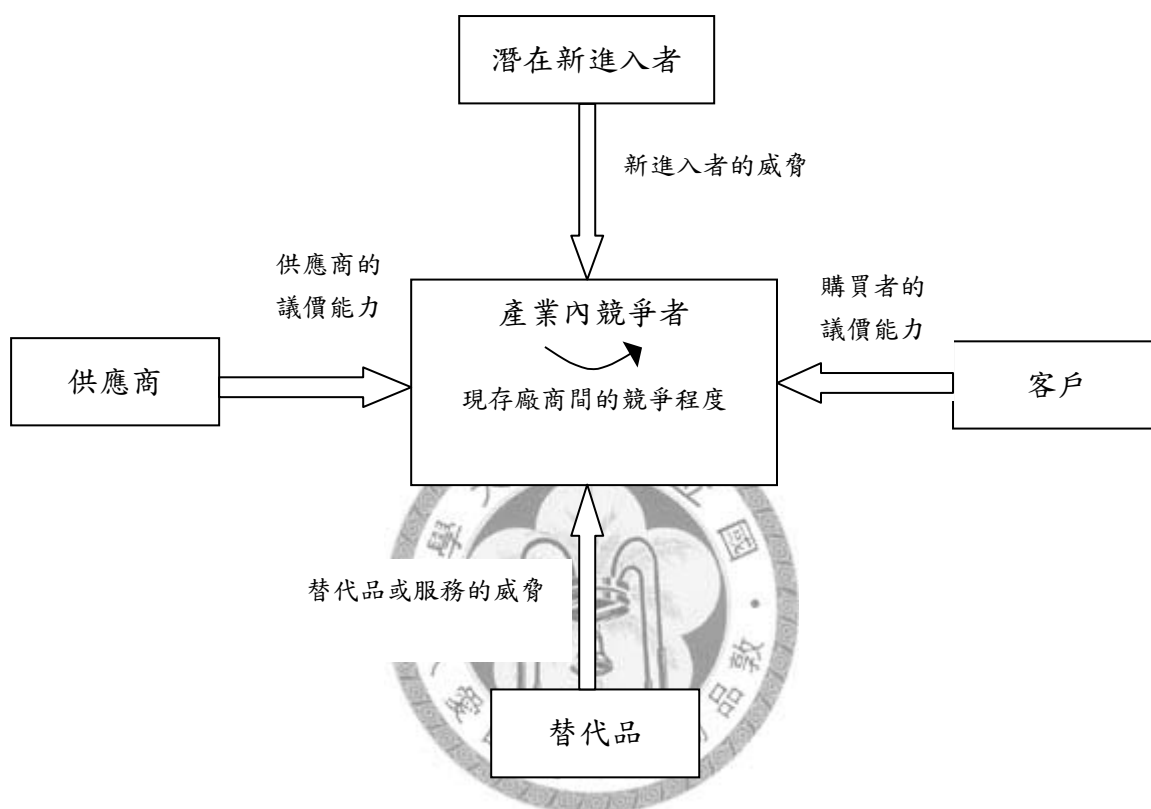


圖 2-3-1 五力分析模型

資料來源：Michael E. Porter (1980)

第四節、鑽石模型

Michael E. Porter (1990) 在「國家競爭優勢」一書中提出著名的鑽石模型（如圖 2-4-1），Porter 在書中指出，國家是產業最基本的競爭優勢，不但影響企業所實行的策略，也是創造並延續生產與技術發展的核心。Porter 認為，一個國家的某種產業為了在國際競爭中嶄露頭角，就必須充分應用鑽石模型中的四項關鍵因素——生產要素、需求條件、相關與支援產業、企業策略和結構與國內競爭情況，當產業具備鑽石模型裡的某項要素的優勢，則會連帶增強或改善其他要素，相同的可能因為要素互相抵制而消滅企業在產業的發展。另外，完整的鑽石模型還包括機會和政府兩個變數。一般來說，機會在產業發展所能控制的範圍以外，甚至不為一國政府所控制，在很多情況下這些機會因素能夠起到促進產業結構調整升級的作用，而各級政府實行的政策也會對鑽石模型造成影響，刺激相關產業的興起與發展。茲對此六項因素分述如下：

一、生產要素(Factor Conditions)

指一個國家在特定產業競爭中有關生產方面的表現，可歸納為人力資源、天然資源、知識資源、資本資源與基礎建設等五大類。

- (一)人力資源：工作量、技術能力、人事成本與標準工時等。
- (二)天然資源：包括自然資源的充沛與否、品質優劣、土地價格、水力、礦藏、林產、水力發電、漁場及其他有形資源。
- (三)知識資源：國家所儲藏與所能提供之產品及服務有關之科學、技術和市場等方面之知識，包括大學、政府研究機構、私立研究單位等。
- (四)資本資源：國家內金融產業的資金總額及資金成本。
- (五)基礎建設：係指在型態品質與使用成本會影響到競爭狀況之基礎建設，包括運輸系統、通訊系統、金融系統及文化機構等。

二、需求條件(Demand Conditions)

國內需求市場對該產業所提供產品服務的需求。內需市場最重要的意義在於它是產業發展的原動力，主要刺激產業的改進及創新。然而可從以下三點來衡量需求條件此項因素：

- (一)國內市場性質：包括需求的區隔結構、國內客戶複雜程度、需求特性及是否

有預期型需求之購買者。在產業競爭優勢上，國內市場的影響力主要透過客戶需求的型態和特質來施展。

(二)國內市場大小與成長速度：市場規模和成長模式有強化競爭的效果，包括國內市場規模、客戶多寡、國內市場需求的成長率及國內市場是否有先發需求或提前飽和等相關影響因子。

(三)國內市場需求轉換國際市場需求的能力：是否具有機動性高或跨國型之本地客戶及對國外市場之影響。

三、相關與支援產業(Related and Supporting Industries)

指產業與相關產業間的關係是否密切，並與其上、下游產業構成之國際競爭力。然而可由下列兩種概念來分析相關與支援產業此項因素：

(一)上、下游產業的競爭優勢：一個國家即使缺乏國際性的下游產業，若是具有國際競爭優勢的上游供應商存在，則對整個產業的競爭優勢仍會產生正面的影響。相同的，當下游產業已經健全發展且佔有舉足輕重的地位時，母國上游產業的不足之處，並不會對產業競爭優勢造成明顯妨害。

(二)相關產業內的拉拔效應：競爭力強的產業如果具有相互關連性存在，比較容易對新興產業產生拉拔提攜的效果。因此，有競爭力的本國產業通常也會帶動相關產業的競爭力，因為彼此間的競爭優勢，也可能形成相關產業在技術、製程、銷售、市場和服務上的競爭力。

四、企業策略、結構和競爭對手(Firm Strategy, Structure & Rivalry)

在國家競爭優勢對產業的關係中，第四個關鍵因素就是企業。企業在一個國家的組織和管理形態，以及國內外市場競爭對手的表現，都會影響產業的國際競爭優勢。此一層面需考量下列幾點：

(一)國內該產業之廠商策略、管理型態與組織結構。

(二)國內該產業廠商之企業目標。

(三)國內該產業廠商所屬員工之個人事業目標。

(四)國內該產業之競爭情形。

五、機會角色(The Role of Chance)

「機會」一般與產業的該國整體環境無關，不是產業內部所能面對的能力，

也不是政府所能夠左右的，但機會的出會往往會對產業造成相當程度影響。機會的產生而影響產業競爭的來源包括下列幾點：

- (一)基礎科技的創新發明。
- (二)傳統科技產生斷層。
- (三)生產所需成本突然提高。
- (四)全球金融市場或匯率發生重大變化。
- (五)全球或區域市場需求遽增。
- (六)外國政府之重大決策。
- (七)發生戰爭。

六、政府角色(The Role of Government)

政府的補貼、教育和資金市場等政策會影響到生產因素，政府制定本地的產品規格標準，會影響到客戶的需求狀態。由於政府政策的績效成敗深深影響整個產業的未來發展，更牽動著整個鑽石模型中各個層面的狀態，且 Porter 認為一個理想的政府角色應將政府定位為觸媒或挑戰者，它必須鼓勵並推動企業之抱負與目標，導引其競爭力之提昇，並應致力於創造一個環境，促使企業創造競爭優勢而非直接幫助或進行干預。

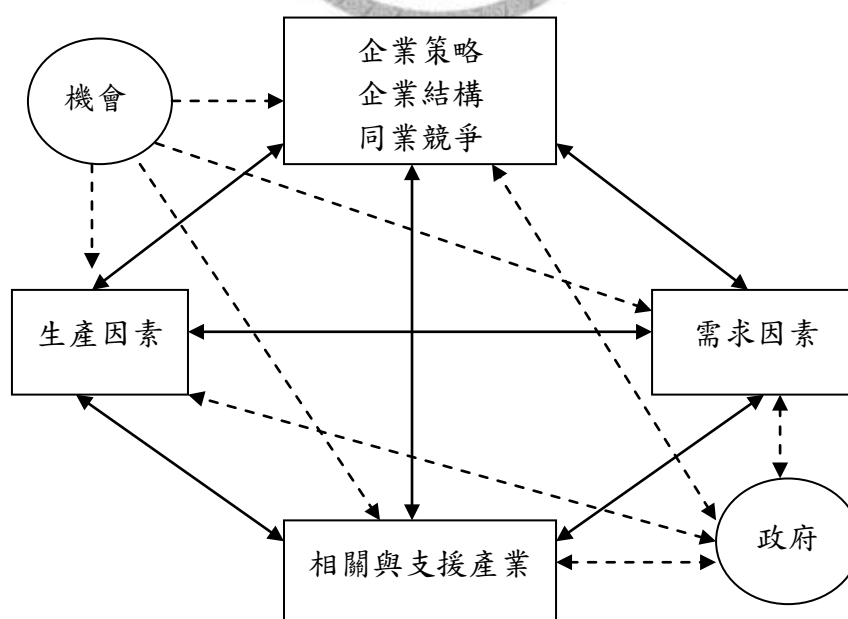


圖 2-4-1 Michael E. Porter 鑽石模型

資料來源：Michael E. Porter (1990)

第五節、SWOT 分析

SWOT 分別為 Strengths (優勢)、Weaknesses (劣勢)、Opportunities (機會) 與 Threats (威脅) 的縮寫。SWOT 分析主要是指出企業或產業面對外來競爭時，應檢視產業或企業本身的優劣勢，並審視企業或產業所面對外在環境的機會與威脅。

企業或產業針對內部因素(例如：生產製造能力、技術能力、業務銷售能力、成本結構、市場競爭力與品牌形象、人力資源及有形與無形資產...等)進行評估後可以得知本身所具備的優勢與劣勢，另外，在進行外部環境(例如：經濟、政治局勢、科技發展狀況、社會文化變遷、法令政策變遷、競爭者的動態、市場需求的潛力與演變及資源條件等)評估後，可以預期擺在企業目前的機會與威脅，並可依據此分析適時作出產業或企業的對應策略。



第三章 研究方法

第一節、研究架構

本研究採用 Michael Porter 五力分析對台灣碳纖維產業進行產業結構分析，並採用鑽石模型分析台灣碳纖維產業所處的國家環境與競爭力，透過對該產業進行內、外部分析後，整理並歸納出台灣碳纖維產業所面對之優勢、劣勢、機會與威脅，進而對我國發展碳纖維產業提出建議。本研究架構如圖 3-1-1 所示：

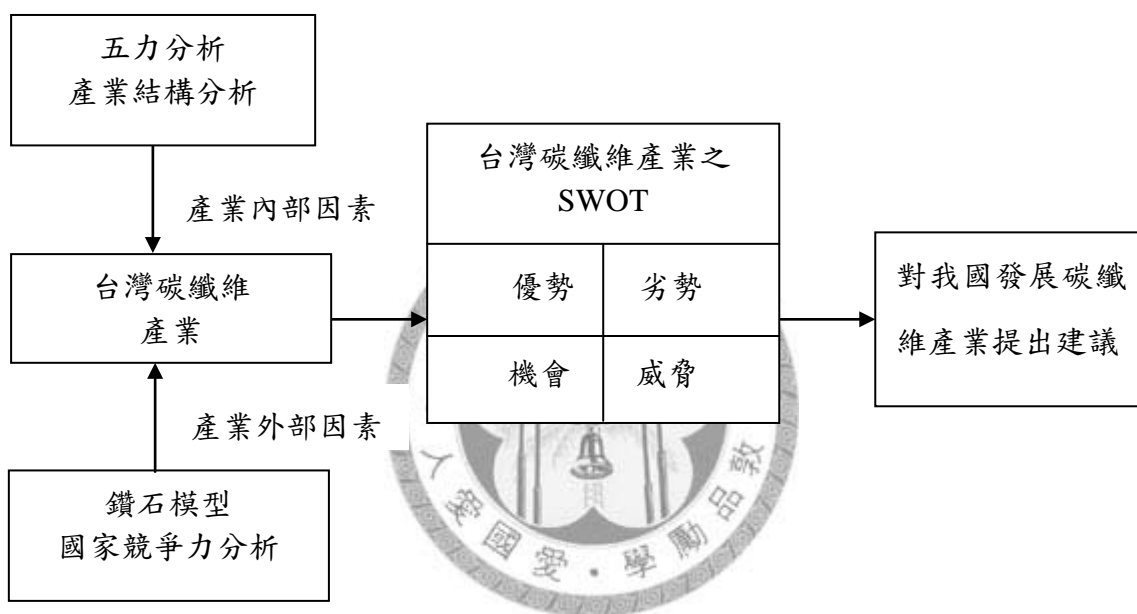


圖 3-1-1 研究架構

資料來源：本研究整理

第二節、研究流程

本研究主要分為七個步驟，如下圖 3-2-1 所示：

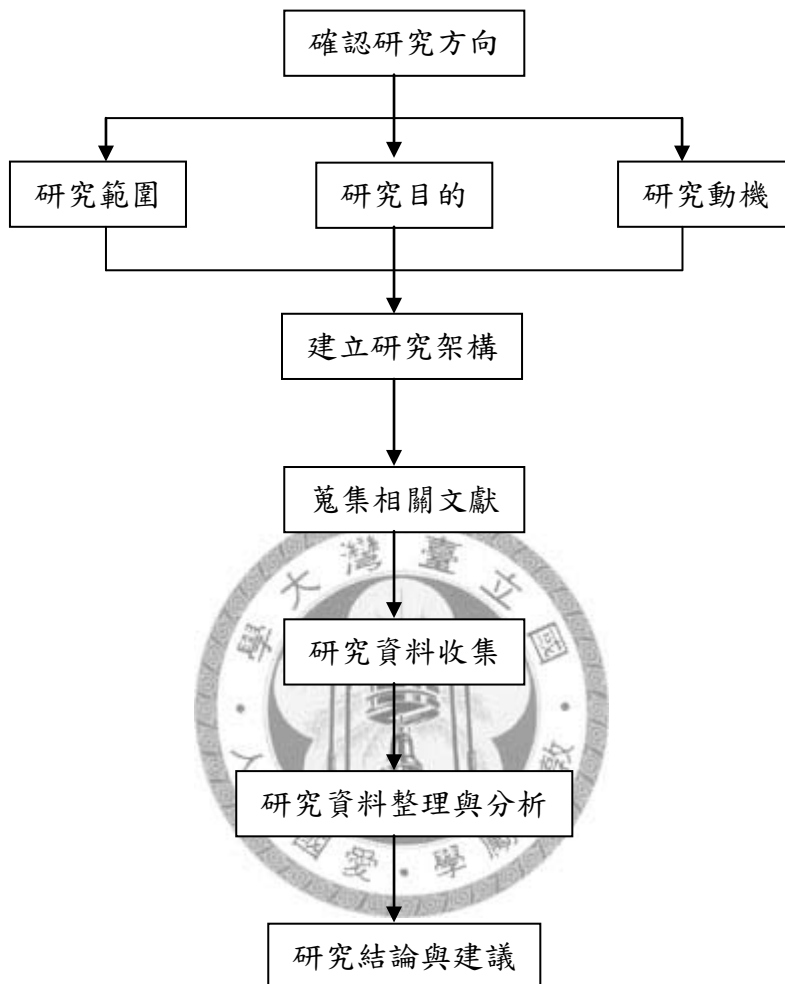


圖 3-2-1 研究流程

資料來源：本研究整理

第四章 碳纖維產業分析

第一節、全球碳纖維市場概述

一、碳纖維市場需求與應用狀況

自從碳纖維工業化生產以來，世界各國都特別重視其應用開發。隨著碳纖維價格不斷降低，其應用範圍從滿足性能要求高的航太航空領域逐步向體育、民用領域推廣。目前，碳纖維的市場需求在北美、歐洲、亞洲基本上呈鼎足之勢（見表 4-1-1），然而，北美仍是最大的碳纖維消費國家，占全球碳纖維消費之 39%（見圖 4-1-1）。

表 4-1-1 各國對聚丙烯腈基小絲束碳纖維之需求量

單位：噸/年

地區		2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	平均成長率(%)
北美洲		6,510	7,250	8,620	11,210	12,850	14,400	16,250	15.9
歐洲		5,170	5,805	6,780	8,540	9,880	11,050	12,550	15.4
亞洲	日本	2,820	3,120	3,450	4,120	4,680	5,120	5,720	12.1
	台灣與大陸	2,240	2,510	2,850	3,470	4,020	4,450	4,900	14.1
其他		1,060	1,085	1,150	1,240	1,370	1,480	1,580	6.48
合計		17,800	19,770	22,850	28,580	32,800	36,500	41,000	14.5
成長率(%)		11.3	11.1	15.6	25.1	14.8	11.3	12.3	14.5

資料來源：化纖手冊（2009），p111

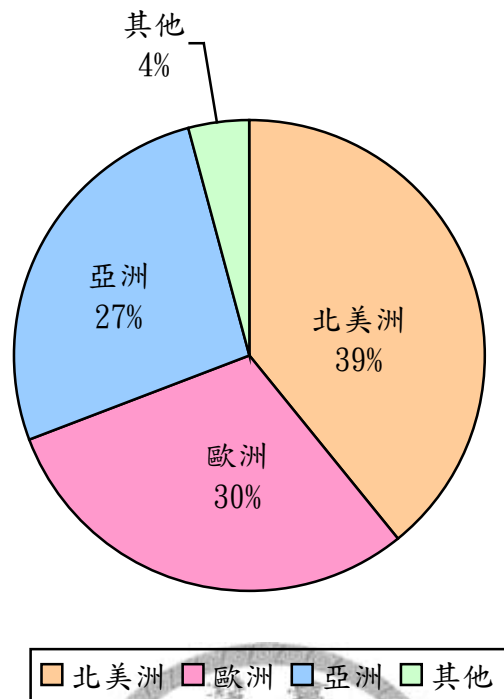


圖 4-1-1 2008 年全球碳纖維需求情況

資料來源：本研究整理

2010 年全球碳纖維市場需求約為 2006 年的 1.8 倍，需求量由 22,850 噸/年增加為 41,000 噸/年（柯澤豪、梁恆嘉、顏妙好，2008），且 JEC Composites（2007）指出 2006 年至 2010 年期間，平均每年將以 13% 的成長率增漲，尤其以北美和歐洲的需求增加最多，預期每年約成長 14%~15%，然而，日本和亞洲國家的需求約成長 6%~9%。該雜誌並指出 2010 年歐洲對碳纖維的消費將佔全球的 35%，北美約為 31%、亞洲約佔 19%，而日本約佔 15%。

根據表 4-1-2 之數據顯示，近 20 年來世界聚丙烯腈基碳纖維的需求量不論在航太、運動休閒或是一般工業領域上皆逐年增高。日本東麗公司預測碳纖維除了在航空航太以及體育用品進一步應用外，近年內包括土木建築、交通運輸、汽車、能源等領域將會大規模採用工業級碳纖維。JEC Composites（2007）也指出，由於風力能源、壓力容器、交通運輸、國家工程、航太航空和探鑽油井等領域，在未來對碳纖維相關複合材料的需求漸增，使得 2010 年碳纖維應用於一般工業領域的比例將大幅上漲，而碳纖維在運動休閒領域的重要性將下降。

表 4-1-2 各產業對聚丙烯腈基小絲束碳纖維之需求量

年份	需求量 (噸/年)			
	宇航用	體育用品	工業用	總計
1985	1,174	1,342	503	3,019
1990	1,846	2,852	1,174	5,872
1995	1,510	4,195	3,356	9,061
2000	2,181	4,866	8,054	15,101
2005	2,349	4,866	13,758	20,973
2007	7,145	6,860	14,290	28,295
2010	11,480	6,560	22,960	41,000

資料來源：化工技術（2008），16(3)，p117

由下表 4-1-3 可得知目前航太航空、國防與運動休閒領域為碳纖維已發展成熟之市場；然而碳纖維之新興市場則包括增強塑膠、壓力容器、建築加固、風力發電...等領域；另外在汽車、醫療器械與新能源等領域則為未來待開發之市場。

表 4-1-3 碳纖維之應用

市場類型	應用領域
成熟市場	航太航空、國防領域（飛機、火箭、導彈、衛星、雷達等）與體育休閒用品（高爾夫球桿、漁具、網球拍、羽毛球拍、箭杆、自行車、賽艇等）。
新興市場	增強塑膠、壓力容器、建築加固、風力發電、摩擦材料與鑽井平臺等。
待開發市場	汽車、醫療器械、新能源等。

資料來源：本研究自行整理

二、碳纖維的產能和擴產情況

全球 PAN 基碳纖維主要製造商包括 Toray、Toho、Mitsubishi、Formosa Plastics、Hexcel、Cytec、Zoltek 與 SGL 等八家企業，各製造商生產碳纖維的廠房分佈於美國、亞洲與歐洲國家（表 4-1-4），此外，這八家碳纖維製造商都設有自己配套的 PAN（聚丙烯腈基碳纖維之前驅體）生產裝置，如此可以確保碳纖維的

品質穩定度並可加以控制其生產成本。

表 4-1-4 全球 PAN 基碳纖維主要製造商之設廠位置分佈情況

製造商 \ 設廠地區	美國	亞洲	歐洲
Toray Group (東麗集團) Toray Japan Soficar France CFA USA	▲	▲	▲
Toho Tenax Group (帝人集團—東邦特耐克斯公司) Japan Germany USA	▲	▲	▲
Mitsubishi Rayon Group (三菱人造絲集團) Japan Grafil USA Europe(SGL)	▲	▲	
Formosa Plastics (台塑企業)		▲	
Hexcel USA USA Spain	▲		▲
Cytec USA	▲		
Zoltek Group Eroupe USA	▲		▲
Carbon Fiber Tech. Aldila/SGL J.V. USA (東邦子公司 Aldila 與 SGL 合併的公司)	▲		
SGL Group	▲		▲

資料來源：本研究整理

全球 PAN 基碳纖維（小絲束/大絲束）主要生產廠商的產能如表 4-1-5 所示。世界 PAN 基碳纖維主要的製造商位於日本和美國；日本和美國所生產的碳纖維約占全球總供應量的 90%。2008 年世界 PAN 基碳纖維的生產能力約為 67,050 噸/年，其中，小絲束碳纖維為 49,550 噸/年，大絲束碳纖維為 17,500 噸/年。

世界小絲束碳纖維之生產基本上已被日本碳纖維生產製造商所掌握，東麗、東邦和三菱企業這三家碳纖維製造商生產小絲束碳纖維之能力占世界小絲束碳纖維總產能的 75.88%。

世界大絲束碳纖維之生產主要集中在美國與歐洲，美國 Zoltek 集團生產大絲

束碳纖維之產能占世界大絲束碳纖維產能的 66%，歐洲 SGL 集團生產大絲束碳纖維之產能則占世界大絲束碳纖維產能的 34%。

表 4-1-5 2007 年與 2008 年全球主要 PAN 基碳纖維廠商生產能力

單位：噸/年

類別	生產廠商	2007 年	比重(%)	2008 年	比重(%)
小絲束	日本				
	Toray Group	13,900	34.75	17,900	36.13
	Toho Tenax Group	9,100	22.75	11,800	23.81
	Mitsubishi Rayon Group	7,900	19.75	7,900	15.94
	小計	30,900	77.25	37,600	75.88
	美國				
	Hexcel USA	3,250	8.13	3,900	7.87
	Cytec USA	1,900	4.75	1,900	3.83
	小計	5,150	12.88	5,800	11.7
	台灣				
	Formosa Plastics	3,950	9.88	6,150	12.41
	小計	3,950	9.88	6,150	12.41
	合計	40,000	100	49,550	100

表 4-1-5 2007 年與 2008 年全球主要 PAN 基碳纖維廠商生產能力（續）

單位：噸/年

類別	生產廠商	2007 年	比重(%)	2008 年	比重(%)
大絲束	美國				
	Zoltek Group	8,500	73.91	10,500	60.00
	Carbon Fiber Tech. Aldila/SGL J.V. USA（東邦子公司 Aldila 與 SGL 合併的公司）	1,000	8.7	1,000	5.71
	小 計	9,500	82.61	11,500	65.71
	歐洲				
	SGL Group	2,000	17.39	6,000	34.29
	小 計	2,000	17.39	6,000	34.29
	合 計	11,500	100	17,500	100
小絲束 + 大絲束	總 計	51,500		67,050	

註：1.小絲束—1K, 3K, 6K, 12K, 24K

大絲束（24K 以上）—24K, 48K, 80K, 320K...

2.上列產能係以 12K 一般規格計算，但因部份生產高模數或 3K、6K 小絲束，故稼動率達 75%即已全能生產。

資料來源：JEC Composites (2007), p23；本研究整理

2004 年以前，世界碳纖維的供給大於需求，但從 2005 年開始，由於美國的波音與歐洲的空中巴士兩大飛機製造商大規模應用碳纖維複合材料，帶動了市場對碳纖維之需求，並造成市場供應轉向吃緊，碳纖維價格也因此一路攀升，2006 年更是處於有價無市的狀況。另外，第一波士頓信託銀行(CSFB)的分析師也指出，未來幾年世界碳纖維需求將以年平均兩位數快速增漲，市場供應短缺至少將延續到 2009 年，甚至有可能會延長到 2012 年。

由於目前國際市場對碳纖維的需求急劇上升，國內外碳纖維製造商為適應世界碳纖維需求的快速和穩定增漲無不競相擴大其產能，表 4-1-6 列出國內外碳纖維

製造商之產能及擴產情況。

表 4-1-6 全球主要碳纖維製造廠產能與擴建表

單位：噸/年

製造商		2006	2007	2008	2009	2010
東麗	擴建	1,800	2,200	1,200	3,600	-
	產能	10,900	13,100	14,300	17,900	17,900
東邦	擴建	-	1,500	2,700	1,700	-
	產能	6,300	7,800	10,500	12,200	12,200
三菱	擴建	500	2,200	-	2,700	-
	產能	5,700	7,900	7,900	10,600	10,600
台塑	擴建	300	1,800	2,200	2,600	-
	產能	2,150	3,950	6,150	8,750	8,750
Hexcel	擴建	500	500	1,000	3,000	-
	產能	2,770	3,270	4,270	7,270	7,270
Cytec	擴建	-	-	-	-	-
	產能	1,850	1,850	1,850	1,850	1,850
Zoltek	擴建	-	2,000	2,000	-	-
	產能	6,500	8,500	10,500	10,500	-
SGL	擴建	-	-	4,000	-	-
	產能	2,000	2,000	6,000	6,000	-

資料來源：化工技術，16(3)，p128；蘆長椿（2007）；本研究整理

第二節、國外碳纖維產業近況

一、日本碳纖維市場狀況

全世界前三大的碳纖維製造商分別為東麗集團、帝人集團東邦公司及三菱人造絲集團，這三家碳纖維製造商都是日本企業，它們幾乎壟斷並控制了世界高性能小絲束碳纖維的生產，左右著全球碳纖維市場，此三家公司的產能約佔全世界碳纖維產能的 76%，目前他們正積極投資擴大生產能力，並在鞏固傳統航空航太領域的基礎上，不斷地開發新興之碳纖維應用市場。未來，航太航空領域仍然是碳纖維的主要市場，東邦公司指出碳纖維複合材料應用於製造飛機上，預期每年將以 12% 的成長率增漲。然而，製造工業領域消費碳纖維的數量會比以往成長更快，預期每年約成長 15%；至於汽車工業領域將是最具潛力的市場，碳纖維複合材料傳動軸、尾翼和引擎蓋已經在汽車行業廣泛應用，雖然現在主要是用在高級車種，但在省油、節能等因素的需求推動下，碳纖維複合材料在未來將會應用於大眾車型上。

另外，日本在碳纖維製造領域上，無論在技術或生產能力皆領先於世界其他各國，因此世界各國也將日本所生產的碳纖維規格視為標準之產品性能指標，例如，日本東麗集團所生產的 T300 碳纖維即被視為是碳纖維產業的標準級碳纖維。

(一)東麗集團

日本東麗集團是世界上最大的PAN基碳纖維生產廠商，此公司是商用客機波音公司唯一的碳纖維及碳纖維預浸布供應商，且並於2005年與波音公司達成協定，協議未來的17年內將提供29億美元的碳纖維給波音公司用於B787大型客機的生產（張有定，2009）。

東麗集團2008年的產能佔全球小絲束PAN基碳纖維產能的36%（17,900噸/年），其中，在日本國內的產能為7,300噸/年，在美國亦擁有5,400噸/年產能，在法國則與Atofia合資成立Soficar公司，其產能為5,200噸/年（表4-2-1）。另外，為因應航太航空領域以及未來汽車工業對碳纖維複合材料的龐大需求，東麗集團自2007年以來持續進行碳纖維擴產計劃，預計2009年之產能將達到17,900噸/年。

表 4-2-1 東麗集團之碳纖維產能

單位：噸/年

年 公司.所在地區	2007	2008
Toray Japan	6,900	7,300
Soficar France	3,400	5,200
CFA USA	3,600	5,400
合 計	13,900	17,900

資料來源：JEC Composites (2007), p23

東麗集團所擁有的碳纖維生產技術與研發一直處於世界領先水準，這是由於此公司非常重視基礎研究，且認為「只有研究才能創造明日的東麗」。該公司的研究開發組織包含九個研究所，各研究所之間各自保持獨立性，以期能在自由廣闊的空間內進行創造性技術的開發；另外，研究開發組織透過與產官學進行合作以將外部觀點納入考量，且公司內部成立核心技術聯絡會來分析自身的技術能力並與其他公司的競爭優勢進行比較，透過公司內部各種技術的交流來創造出具有國際水準的一流核心技術，並用以開發出具高附加價值的碳纖維產品。

東麗公司碳纖維產品之品牌為【TORAYCA】，其生產的碳纖維產品品質與規格在全世界的碳纖維產業中頗具代表性，下表4-2-2為東麗集團碳纖維之產品類別與其應用領域，其中以高強度型T1000及高模量型M65J之碳纖維產品分別為全世界最高強度和最高模量之碳纖維。

表 4-2-2 東麗集團之碳纖維產品及應用領域

產品類別	型號	應用領域	抗拉模量 (GPa)	抗拉強度 (Gpa)
標準模量型碳纖維 (Standard Modulus Carbon Fibers)	T300, T300J, T400H, T700S, T700G	一般工業；運動 休閒	227~234	—

表 4-2-2 東麗集團之碳纖維產品及應用領域 (續)

產品類別	型號	應用領域	抗拉模量 (GPa)	抗拉強度 (Gpa)
中級模量型碳纖維 (Intermediate Modulus Carbon Fibers)	T800H, T800S, T1000G, M30S, M30G	航太航空；一般 工業；運動休閒	290	—
高級模量型碳纖維 (High Modulus Carbon Fibers)	M35J, M40, M40J, M46J, M50J, M55J, M60J, M65J	航太航空；一般 工業；運動休閒	344~585	—
高強度型碳纖維 (High Strength Carbon Fibers)	T700S, T800S, T1000G, M30S	航太航空；一般 工業；運動休閒	—	>5

資料來源：Toray Carbon Fibers America, Inc. (2008)；本研究整理

(二) 帝人集團—東邦特耐克斯

東邦公司碳纖維的總產能位居世界第二，由表4-2-3可得知東邦公司2008年的產能達到11,800噸/年，其中，在日本的產能為6,400噸/年，在德國的產能為3,400噸/年，在美國廠房的產能為2,000噸/年。由於東邦公司有鑑未來歐洲市場對碳纖維有旺盛需求，因此於2007年10月11日宣佈增設其在歐洲廠房的生產線，並計劃2009年8月開始進行投產，屆時該公司德國廠房之碳纖維年產能將達到5,100噸。

東邦公司所生產的碳纖維主要供應給空中巴士公司作為製造民航客機之材料，且該公司目前正積極開發碳纖維產品在汽車工業上之應用。

表 4-2-3 東邦特耐克斯公司之碳纖維產能

單位：噸/年

廠房所在地 \ 年	2007	2008	2009
Japan	3,700	6,400	6,400
Germany	3,400	3,400	5,100
USA	2,000	2,000	2,000
合 計	9,100	11,800	13,500

資料來源：JEC Composites (2007), p23；本研究整理

(三)三菱人造絲集團

全球第三大PAN基碳纖維生產廠商為三菱人造絲集團，該公司碳纖維產能如下表4-2-4所示，其中，2008年年產能為7,900噸，且在日本的產能為5,400噸/年，在美國廠房的產能為2,000噸/年，在歐洲的產能則為500噸/年。

表 4-2-4 三菱人造絲集團之碳纖維產能

單位：噸/年

公司.所在地區 \ 年	2007	2008
Japan	5,400	5,400
Grafil USA	2,000	2,000
Europe(SGL)	500	500
合 計	7,900	7,900

資料來源：JEC Composites (2007), p23

二、美國碳纖維市場狀況

美國為因應其在軍事及太空應用領域對碳纖維之大量需求，使其成為世界PAN 基碳纖維主要的供應國之一，並為全球大絲束碳纖維的主要生產國家。2008年美國碳纖維年產能為 17,300 噸，占全球碳纖維總產能的 25%。然而，在美國生產碳纖維的主要製造商包括 Hexcel、Cytec、Zoltek Group 與 Carbon Fiber Tech. Aldila/SGL J.V. USA (東邦子公司 Aldila 與 SGL 合併的公司) 等四家公司，其中，Hexcel 與 Cytec 公司主要生產小絲束碳纖維，而 Zoltek Group 與 Carbon Fiber Tech.

Aldila/SGL J.V. USA 則主要生產大絲束碳纖維。

目前，美國正在開發碳纖維複合材料的五大新市場，包括清潔能源車輛、土木建築工程、近海油田勘探和生產、風力發電機大型葉片、高爾夫球桿和球拍等五大市場，這是推動美國和世界碳纖維複合材料大發展的動力，亦是碳纖維需求的推力。然而，未來隨著碳纖維生產規模的擴大和生產成本的下降，在增強木材、機械和電器零組件、新型電極材料乃至日常生活用品...等領域中，碳纖維的應用必將迅速擴大。

(一)Hexcel 公司

Hexcel公司是一家位於美國的先進複合材料公司，它是美國複合材料產業的領導廠商，該公司開發、製造並銷售用於商業航空、航太、國防及工業的輕型、高性能結構材料，包括碳纖維、增強材料、預浸料、蜂窩材料、基體系統、膠黏和複合結構。該公司於2008年獲得空中巴士公司A350 XWB飛機主結構供應之碳纖維複合材料合約，該合約涵蓋了截至2025年整個A350 XWB飛機系列，Hexcel公司預計，整個合約期將產生40至50億美元的營收。

碳纖維產業領域中，Hexcel公司主要生產小絲束碳纖維，2008年此公司小絲束碳纖維年產能為3,900噸，占全世界小絲束碳纖維產能的7.8%，其中，在美國的產能為3,250噸/年，在西班牙廠房的產能為650噸/年（見表4-2-5）。

表 4-2-5 Hexcel 公司之碳纖維產能

單位：噸/年

廠房所在地 \ 年	2007	2008
USA	3,250	3,250
Spain	0	650
合計	3,250	3,900

資料來源：JEC Composites (2007), p23

該公司生產的碳纖維包括高強度型碳纖維與高強中模型碳纖維（見表4-2-6），且Hexcel為全世界最大的中級模量型碳纖維生產製造商。

為了滿足日漸成長之商業和軍用飛機以及一般工業領域對碳纖維複合材料的需求，Hexcel公司於2008年投資28億美金，在西班牙設立其在歐洲的第

一座碳纖維製造工廠以擴大該公司的碳纖產能，因此，到了2009年底該公司碳纖維的年產能將達到7,270噸。

表 4-2-6 Hexcel 公司之碳纖維產品及產品特性

產品類別	型號	纖根數	抗拉強度 (MPa)	抗拉模量 (GPa)	密度(g·cm ⁻³)
高強度型 碳纖維	AS2C	3K	4,470	221	1.8
	AS4	3K	4,480	231	1.79
		6K	4,400	231	1.79
		12K	4,400	231	1.79
	AS4C	3K	4,650	231	1.78
		6K	4,420	231	1.78
		12K	4,410	231	1.78
	AS4D	12K	4,800	245	1.79
	AS7	12K	4,830	241	1.79
高強中模型 碳纖維	IM6	12K	5,700	279	1.76
	IM7	6K	5,480	276	1.78
		12K	5,570	276	1.78
	IM9	12K	6,140	304	1.8
	PV42/850	12K	5,810	292	1.79

資料來源：Hexcel Corporation；本研究整理

(二)Cytec 公司

Cytec公司除了生產PAN 基碳纖維外，也生產瀝青基碳纖維，其所生產之PAN基碳纖維主要供應於航太航空領域。該公司2008年碳纖維的產能為1,850噸/年，且目前正於美國South Carolina建設新的碳纖維生產線，預計未來將替Cytec增加30%的產能。

(三)Zoltek 公司

Zoltek公司是世界上最有名的大絲束碳纖維公司，也是世界上首先研

製、開發並生產廉價、高性能大絲束碳纖維的公司。該公司是一家出售、安裝和維修加工設備的公司，它從事碳纖維事業並不久，因有鑑於飛機剎車片和火箭發動噴管的需求，而於1988年以75萬美元收購了Stackpole Fibers後才進入碳纖維領域；像所有碳纖維公司一樣，該公司最初聚焦於生產高性能、小批量供航空和航太工業用的碳纖維。

Zoltek公司2008年大絲束碳纖維的產能已達10,500噸/年，占全世界大絲束碳纖維產能的60%，其中，在歐洲的產能為8,000噸/年，在美國的產能為2,500噸/年（表4-2-7）。

表 4-2-7 Zoltek 公司之碳纖維產能

單位：噸/年

廠房所在地	年	
	2007	2008
Europe	6,000	8,000
USA	2,500	2,500
合計	8,500	10,500

資料來源：JEC Composites (2007), p23

第三節、台灣碳纖維產業近況

一、台灣碳纖維產業上中下游結構

台灣碳纖維產業上中下游之產品鏈結構如下圖 4-3-1 所示。上游為製造碳纖維所需之原料—丙烯腈(AN)。台灣僅兩家丙烯腈生產製造商，分別為中石化公司及台塑公司；2007 年國內丙烯腈年總需求量為 47 萬噸/年，中石化公司年產能約 19 萬噸，而台塑公司年產能為 28 萬公噸。

台塑所生產的丙烯腈以自用向下整合生產為主，即該公司所生產的丙烯腈會供給其台麗朗事業部作為生產碳纖維的原料。

中游以台塑為台灣唯一的碳纖維製造廠商。雖然台灣目前僅存在一家碳纖維製造廠商，但未來東華合纖股份有限公司將加入碳纖維的製造領域。東華合纖公司已於 2007 開始投入碳纖維的開發與原絲的實驗室試產，目前尚處於試驗階段，還未開始進行碳纖維的量產，然而該公司表示，將計畫在 2009 年 10 月進行試車。因此台灣碳纖維產業在未來將多了一個碳纖維製造商與台塑企業進行競爭。

產業下游為生產製造碳纖維預浸布(Prepreg)或生產製造航太航空、運動休閒(高爾夫球桿、網球拍、釣魚竿、羽球拍...等)與一般工業(汽車、土木、紡織、化工機械及醫學...等)之相關碳纖維複合材料製品。台灣生產碳纖維預浸布的廠商也是屈指可數，以明安國際與揚能碳纖公司為生產碳纖維預浸布的主要廠商，而富比利實業股份有限公司於 2008 年投入 0.5 億元引進國外設備，預定在中部科學工業園區生產高性能之碳纖維浸布，以供應碳纖維複合材料製造商製造輕量化高性能之碳纖維複材。另外，國內有許多廠商生產製造碳纖維製品，因為台灣為世界知名的網球拍、羽毛球拍、高爾夫球桿、釣魚竿和自行車之製造國，且近年來在環保節能概念的推廣下，帶動且增加了碳纖維複合材料製品的需求。

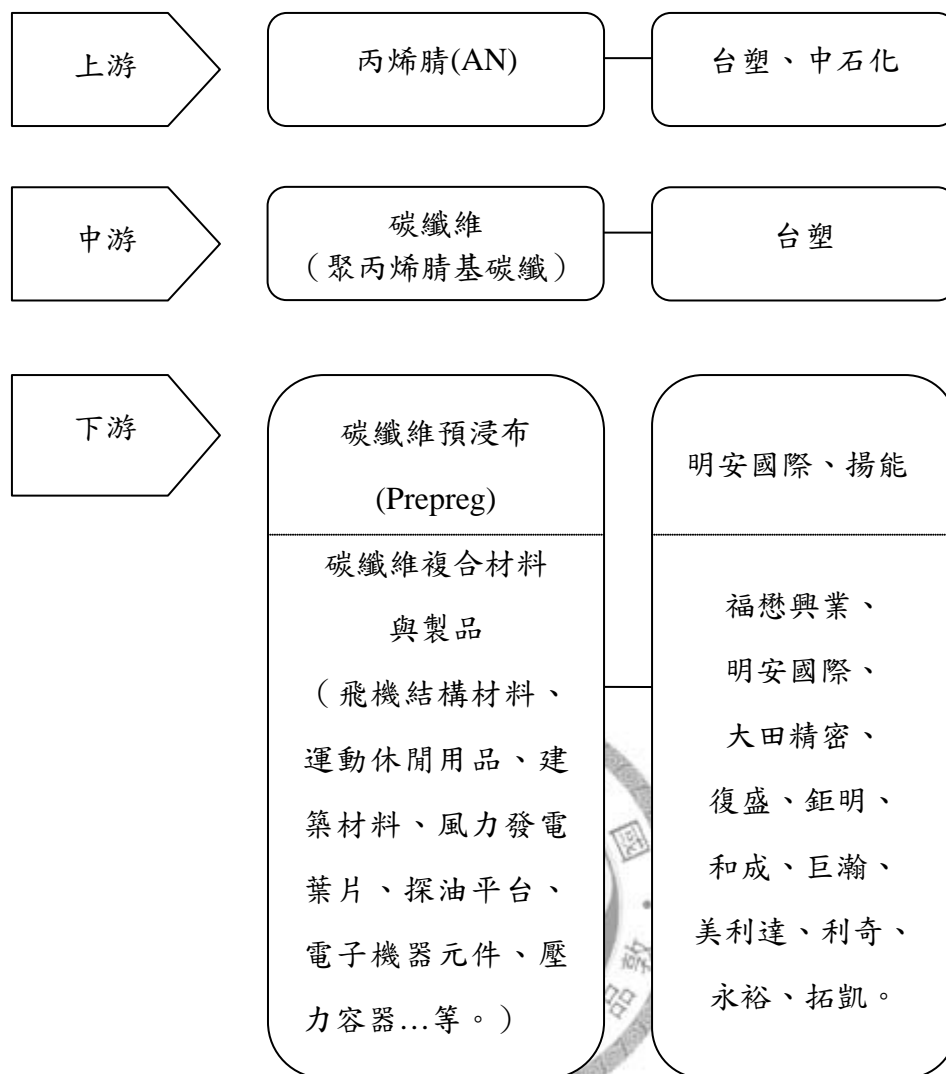


圖 4-3-1 台灣 PAN 基碳纖維產業鏈結構

資料來源：本研究整理

二、台灣碳纖維市場狀況

國內僅台塑企業之台麗朗事業部生產製造碳纖維，因此可從台塑公司的碳纖維生產狀況、生產能力與產品種類等方面，來對台灣碳纖維市場狀況進行瞭解。以下就台塑公司碳纖維之創建沿革、產能、產品品牌與種類進行介紹。

(一)台灣塑膠工業股份有限公司

1.碳纖維之創建沿革

碳纖維是台塑企業台麗朗事業部四大產品之一，由表 4-3-1 可得知台塑企業是自 1983 年起開始投入碳纖維領域中，於 1986 年時向美國一家專精航碳纖維零件的 Hitco 公司購買一條碳纖維燒成設備裝置於仁武（年產能為 100

噸)，並於 1987 年自行研發碳纖原絲且開始進行量產（年產能 300 噸），然而在 1987 至 2008 年間，台塑陸續進行擴產，投入近百億之資金，直至 2008 年止台塑的碳纖維產能已增加到 6,150 噸/年，為全球第四大的碳纖維製造廠商，且在亞洲排名第二，僅次於日本。

表 4-3-1 台塑碳纖維之創建沿革

年	公 司 沿 革
1983	碳素纖維開發完成。
1986	向美國 Hitco 公司購買一條碳纖燒成設備裝置於仁武，年產能 100 噸。
1987	自行研發之碳纖原絲開始量產，年產能 300 噸。
1991~1998	於仁武擴建碳纖生產線，年產能達 700 噸。
1999	於麥寮完成擴建碳纖生產線，年產能 1,000 噸。
2000	仁武廠關閉。
2005	將仁武閒置設備拆遷至麥寮，全廠合計產能 1,700 噸/年，去瓶頸與效率提升，產能達 2,150 噸/年。
2006	進行擴建，產能 1,800 噸/年，現有產能達 3,950 噸/年。
2007~2008	於麥寮新建碳纖生產線 2,200 噸/年。
2009	於麥寮新建碳纖生產線 2,600 噸/年。

資料來源：台灣塑膠工業股份有限公司（2009）

2. 碳纖維產能

台塑企業為強化競爭力，近年來積極地進行碳纖維產能之擴建與去瓶頸工程。由表 4-3-2 可以清楚的瞭解台塑公司碳纖維近五年的擴建情況與產能狀況，其中原訂於 2009 年進行 2,600 噸的擴產計畫，因受 2008 年下半年度美國次級房貸風暴所衍生的全球金融海嘯之影響，目前只進行麥寮年產 1,300 噸碳纖四期 H 列的擴建工程，另一 1,300 噸之擴建工程則暫緩推動，以減少企業之資本支出並降低產品去化之壓力。

表 4-3-2 台塑公司近五年之擴建情況與碳纖維產能

單位：噸/年

年	2006	2007	2008	2009	2010
擴建	-	1,800	2,200	2,600	-
產能	2,150	3,950	6,150	8,750	8,750

註：上列產能係以 12K 一般規格計算，但因部份生產高模數或 3K、6K 小絲束，故稼動率達 75% 即已全能生產。

資料來源：本研究整理

3. 碳纖維產品

台塑台麗朗事業部主要是生產種類多元的普通型碳纖維（表 4-3-3），其中只有 TC-42 為中模數型碳纖維，其他則皆為標準模數型碳纖維。台塑的碳纖維產品品牌為【TAIRYFIL】，而其所生產的碳纖維大部份是被應用於製作運動休閒器材（例如：自行車、釣魚竿、網球拍、羽球拍、高爾夫球桿...等），小部份則是應用於土木建設、風力發電渦輪葉片、汽車、遊艇、醫療用床板...等工業領域與航太領域（例如：飛機結構材料、國防武器等）中。

表 4-3-3 台塑公司之碳纖維產品及產品特性

產品類別（型號）		纖根數	抗拉強度		抗拉模量		密度 g · cm ⁻³
			Ksi	Mpa	Msi	Gpa	
TC-33	3K	3,000	500	3,450	33	230	1.8
	6K	6,000	500	3,450	33	230	1.8
	12K	12,000	500	3,450	33	230	1.8
TC-35	12K	12,000	580	4,000	35	240	1.8
	18K	18,000	580	4,000	35	240	1.8
TC-36	3K	3,000	680	4,680	36	250	1.81
	6K	6,000	680	4,680	36	250	1.81
	12K	12,000	680	4,680	36	250	1.81
TC-36S	12K	12,000	710	4,890	36	250	1.81

表 4-3-3 台塑公司之碳纖維產品及產品特性 (續)

產品類別 (型號)		纖維根數	抗拉強度		抗拉模量		密度 g · cm ⁻³
			Ksi	Mpa	Msi	Gpa	
TC-42	6K	6,000	710	4,890	42	290	1.8
	12K	12,000	710	4,890	42	290	1.8

資料來源：sagecarbon.com (2009)

三、台灣碳纖維產銷狀況

台灣碳纖維是以出口為導向，2008 年台灣碳纖維出口值達 5,700 萬美元 (約新台幣 19.4 億元) (見表 4-3-4)，自 2003 年以來，除了 2008 年受到金融海嘯的影響，碳纖維出口值較 2007 年有下降的趨勢外，近幾年來台灣碳纖維的出口值與貿易值皆呈現成長趨勢。

表 4-3-4 台灣近六年碳纖維進出口值

單位：美元

年	2003	2004	2005	2006	2007	2008
出口值	9,414,404	23,510,157	37,803,320	48,862,032	62,333,053	57,104,404
進口值	3,679,124	3,628,277	4,312,928	5,708,487	4,534,420	3,923,274
合計	13,093,528	27,138,434	42,116,248	54,570,519	66,867,473	61,027,678
成長率(%)	-	107.30%	55.20%	29.60%	22.50%	-8.70%

資料來源：中華民國關稅總局 (2009)

圖 4-3-2 與圖 4-3-3 顯示，2008 年台灣碳纖維主要出口地區為中國大陸，並以香港居次、韓國位居第三，台灣碳纖維出口至大陸占 2008 年碳纖維出口之 66%，金額為 3,805 萬美元，表示台灣碳纖維對中國大陸出口依存度高，因此受大陸市場整體經濟變動的影響大。

進口碳纖維的主要來源為日本地區，2008 年由日本進口碳纖維金額為 109 萬美元，占 2008 年碳纖維進口之 29%。

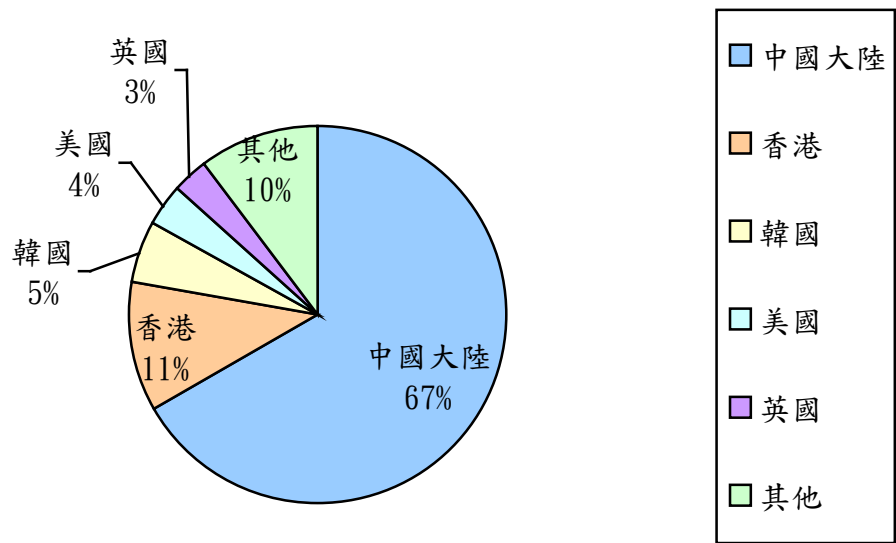


圖 4-3-2 2008 年台灣碳纖維主要出口國家

資料來源：中華民國關稅總局（2009）

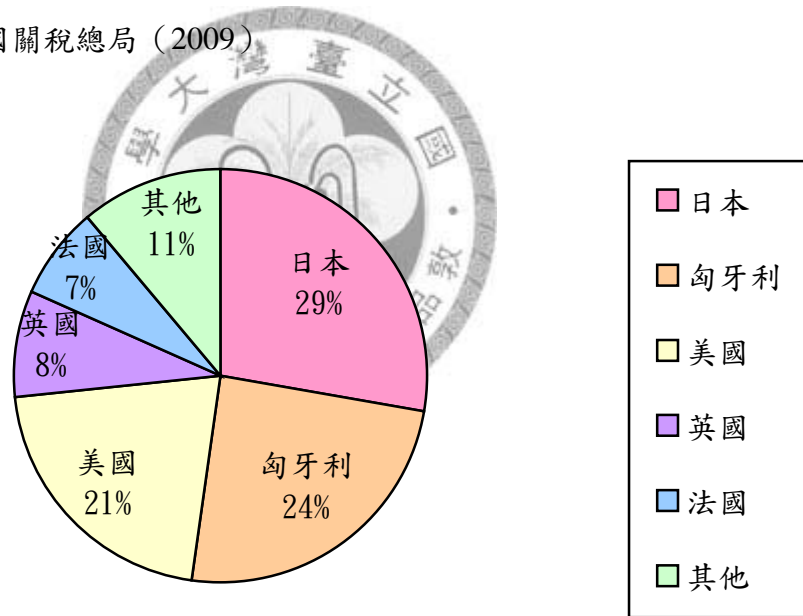


圖 4-3-3 2008 年台灣碳纖維主要進口國家

資料來源：中華民國關稅總局（2009）

由於台灣塑膠工業股份有限公司為台灣唯一的碳纖維製造廠商，因此由該公司的碳纖維產量與產值（表 4-3-5）可以得知我國 2008 年碳纖維產業之產值約 21 億新台幣，較 2007 年 15.6 億新台幣增加了 35.2%。從歷年趨勢來看，自 2004 年起台灣碳纖維產業之產量與產值一直呈現成長趨勢，近五年來每年之產值更是成長 20% 以上。

表 4-3-5 近五年台塑之碳纖維產量與產值

年	2004	2005	2006	2007	2008
產量 (公噸)	1,670	2,092	2,265	2,858	2,736
成長率(%)	62.30%	25.30%	8.30%	26.20%	-4.27%
產值 (新台幣千元)	718,312	922,895	1,119,240	1,560,015	2,109,182
成長率(%)	39.00%	28.50%	21.30%	39.40%	35.20%

註：上列產能係以 12K 一般規格計算，但因部份生產高模數或 3K、6K 小絲束，故稼動率達 75% 即已全能生產。

資料來源：本研究整理

四、台灣碳纖維及碳纖維複合材料產業發展和應用

台灣碳纖維及碳纖維複合材料少量應用於航空航太產業，絕大多數用於生產運動休閒領域的相關器材，其中網球拍、羽毛球拍、高爾夫球桿、釣魚竿和自行車為台灣的王牌產品，不僅在台灣有規模化的生產而且在世界各國的市場佔有率也相當大，為台灣出口創匯的支柱產業之一。另外，因應環保與節能議題，全世界自行車的銷量正節節成長，也相對帶動了台灣自行車王國的產業契機，使得製造、行銷、研發等商業活動蓬勃發展。

五、小結

由於碳纖維的品質在很大程度上取決於原絲，而製造品質優異之原絲的主要製約因素包括有聚合體中共聚單體類型、紡絲方法及工藝、拉伸工藝、乾燥致密化程度、上油工藝及油劑類型...等多項要素須注意。然而，因為製造碳纖維之技術掌握在日本東麗、東邦、三菱與美國 Hexcel 公司手中，而且碳纖維小絲束的生產技術皆由日本所掌握，又日本相關的碳纖維製造公司到目前為止並不願意將技術釋出，因此台灣若要發展碳纖維產業，除了握有目前已自行研發出的普通型碳纖維技術外，另外在高性能型碳纖維之研發必須有所突破，如此在國際的碳纖維市場上才能更加具有競爭力。

第四節、台灣碳纖維產業五力分析

本節採用五力分析來瞭解台灣碳纖維產業結構之狀況。

一、新進入者的威脅—低

(一)生產技術門檻高且現有廠商已掌握普通型碳纖維之生產技術

生產碳纖維原絲的壁壘很高，因此碳纖維產業存在高度的進入障礙。由於碳纖維的品質在很大程度上取決於原絲，但碳纖維原絲的噴絲工藝、聚丙烯腈聚合工藝與丙烯腈於溶劑及引發劑的配比等所需之技術研發不易，必需投入大量的時間進行研發與經驗累積才有可能製得具一定品質水準之碳纖維。然而，國內碳纖維生產製造商台塑企業已掌握普通型碳纖維之生產技術且正積極投入高性能型碳纖維的研發，所以現有廠商已對新進入廠商的加入築起一道高牆。

(二)需投入龐大之營運與投資資金

中國建材報(2009)指出七大碳纖維製造商(Toray、Toho、Mitsubishi、SGL、Hexcel、Cytac、Zoltek)計劃在未來三到五年內擴產78%，總投資額為87,970萬歐元(13億美元)；另外，台塑在麥寮碳纖廠三期擴建工程的計劃中，其機器設備的投資概算金額為17.2億新台幣。由此可知企業若欲投入碳纖產業的領域，則必須擁有龐大的財力與資金。

(三)品質要求嚴格

碳纖維主要被應用於製作航太航空、運動休閒與一般工業領域所需之碳纖維複合材料，這些應用領域對產品品質的要求非常嚴格，尤其以航太航空領域最為嚴格，由於航太用碳纖維需要漫長而複雜的認證過程，且品質需要符合嚴格的產品標準，例如，用於製造飛機機翼和尾翼之碳纖維複合材料在美國必須進行民機適航審定以符合美國聯邦航空條例FAR25。

歸納以上幾點，企業若欲投入碳纖維產業的生產必須擁有雄厚的資本、投入長期且龐大的研究發展經費並具備高品質的生產技術，因此整體而言碳纖維產業存在高度之進入障礙，新進入者的威脅程度低。

雖然如此，由於碳纖維複合材料的應用目前在全球正迅速的發展，碳纖維產業存在著龐大的商機，因此將吸引國內與其他國家之企業投入該產業，舉例來說，

國內東華合纖公司與台塑企業一樣，因基於其本業製造聚丙烯纖維的優勢而於 2007 年開始投入碳纖維之生產研發，目前已進入少量實驗室試紡的階段，雖然現階段未開始進行碳纖維的量產，但已計畫於 2009 年 10 月進行試車。因此台灣碳纖維產業在未來將多了一個碳纖維製造商與台塑企業進行競爭。

又例如中國大陸鑑此產業擁有廣大的發展前景，而其中國國家發展和改革委員會於 2008 年將碳纖維製備技術和碳纖維複合材料列為國家產業升級的重點之一，且中國中科院長春應化所於 2008 年取得開發 T700 碳纖維原絲專業紡絲溶液及適用於高強度碳纖維原絲製備之濕紡技術和高溫蒸汽牽伸之技術專利。另外，吉林石化公司已突破 T300 碳纖維及原絲的穩定生產關鍵技術，並擁有自主知識產權的碳纖維工業化技術，且於 2008 年開始組織實施年產千噸級碳纖維原絲項目建設，推動實現規模化生產（國家發展和改革委員會，2009）。

雖然在中國大陸所生產出的碳纖維，其品質較差且性能較不穩定，但近年來該國在政府的支持與推廣下，許多公司相繼投入碳纖維產業的研發與生產。然而，未來台灣碳纖維產業所面對之潛在競爭者的威脅主要會來自中國大陸。

二、現有廠商的對抗強度—低

(一) 廠商規模大，台塑公司獨占碳纖維市場

台灣國內僅台塑一家企業進行碳纖維之生產，該公司 2008 年總產能為 6,150 噸，為全世界第四大、台灣第一大的碳纖維製造廠商，且於 2009 年還設有擴充 2,600 噸產能的規劃。另外，台塑企業除了經營碳纖維事業外，還從事碳纖維上游原料丙烯腈與下游碳纖維複合材料製品的生產，即台塑企業擁有完整碳纖維之產業鏈，且為世界唯一一家從碳纖維原料到碳纖維產品皆由自己支援發展的一貫化企業。

由於碳纖維產業存在高度進入障礙，其他企業若無經過仔細評估則不會輕易進入此產業。然而，台塑公司在此產業特性下自然的成為台灣碳纖維產業的獨占廠商。因此，國內之碳纖維產業內不存在現有競爭者，產業內競爭程度低。

(二) 高性能型碳纖維技術障礙高

高強度或高模數之碳纖維生產技術障礙高，國內缺乏中模數、高強度或

高模數之碳纖維。台塑公司目前只發展出普通級小絲束碳纖維，且該公司在其九十六年財務年報中指出，公司短期的目標是發展中模數碳纖維，長期則計劃研發高強度或高模數之碳纖維以追求產品多樣化及達到區隔市場之目的。但是目前在國外已有部份碳纖維生產製造公司發展出中模數碳纖維，且日本東麗公司與美國Hexcel公司已經研發出高強度、高模數之碳纖維。因此，在國外的碳纖維種類較國內多樣化且國外碳纖維產業內的競爭情況也較台灣國內的碳纖維產業激烈。

三、購買者的議價力量—小

(一)一個碳纖維供應商，轉換供應商不易

我國現有碳纖維主要的下游購買者有明安國際與揚能等碳纖維預浸布製造商，以及福懋興業、明安國際、大田、復盛、鉅明、和成、巨瀚、美利達、利奇、永裕、拓凱...等碳纖維複合材料製品銷售商。由於台灣生產碳纖維的廠商只有一家，下游碳纖維預浸布與碳纖維複合材料製品銷售商只能向台塑購買或向國外進口碳纖維。

(二)購買者向上垂直整合不易

生產碳纖維所需的技術門檻與人力設備投資成本高，且下游購買者之資本較現有碳纖維生產商（台塑）為低的情況下，下游購買者進行向上垂直整合之能力小。

上述分析顯示，由於購買者轉換供應商不易且進行向上垂直整合之能力與可能性小，因此國內碳纖維購買者的議價能力較低。

四、供應商的議價力量—大

(一)碳纖維產業並不是上游原料供應商的唯一或主要市場

上游原料丙烯腈除了可供製造碳纖維外，還可供製造亞克力棉、ABS/SAN樹脂、家電器材、汽車零組件、文具用品、安全帽、行李箱、運動器材及NBR橡膠...等產品，因此碳纖維產業並不是其唯一或主要市場。

(二)原料供應商向下整合，自行生產碳纖維

雖然國內有中石化與台塑公司兩家丙烯腈(AN)生產製造商，但在國內的碳纖維產業中，是由台塑公司提供丙烯腈原料並自行生產碳纖維，且台塑所

生產的丙烯腈數量足夠供應其製造碳纖維所需，因此原則上並不會向中石化購買丙烯腈原料。

歸納以上分析顯示，對於上游供應商而言碳纖維產業並不是其唯一或主要市場，且原料供應商也具備向下整合之能力，因此國內碳纖維產業中供應商的議價能力高。

五、替代品或服務的威脅—中、高

(一)碳纖維具備多項優點，但價格較高

碳纖維主要是與樹脂、金屬、陶瓷或水泥等基材複合以製成碳纖維複合材料來取代其他金屬材料（例如：鋼、鋁、鋁合金、鎂合金...等）與混凝土材料。由於碳纖維具有高強度、高模數、重量輕、耐腐蝕...等多項優點，這些優點提高了碳纖維複材及碳纖維製品的附加價值，也降低了其替代品（金屬材料與混凝土材料）對碳纖維的威脅。但是在價格方面，由於碳纖維的價格高於其他金屬材料與混凝土材料，因此使得金屬與混凝土材料等替代品的威脅增加。然而，在未來隨著全球碳纖維產量的增漲和國產化加快，碳纖維複合材料價格將更有優勢，其替代品的威脅也將降低。

(二)新材料不斷湧現

隨著科學技術的不斷進步，新技術、新材料和新產品不斷推陳出新，例如超高強聚乙烯纖維、聚芳醯胺纖維、聚芳酯纖維等高強力纖維的出現，由於這些高強力纖維的比強度和比模量高且成本低，因此在價格的考量下，某些應用領域則會使用其他高性能纖維來取代碳纖維。

上述分析顯示，由於碳纖維的價格高但具備多項優點，使金屬、混凝土材料等替代品對其替代威脅性為中等，但是超高強聚乙烯纖維、聚芳醯胺纖維、聚芳酯纖維等新材料的出現，使得碳纖維的高強高模優勢減弱，替代品的威脅性增加。

綜合以上分析，碳纖維產業之五力分析結果如下圖 4-4-1 所示。

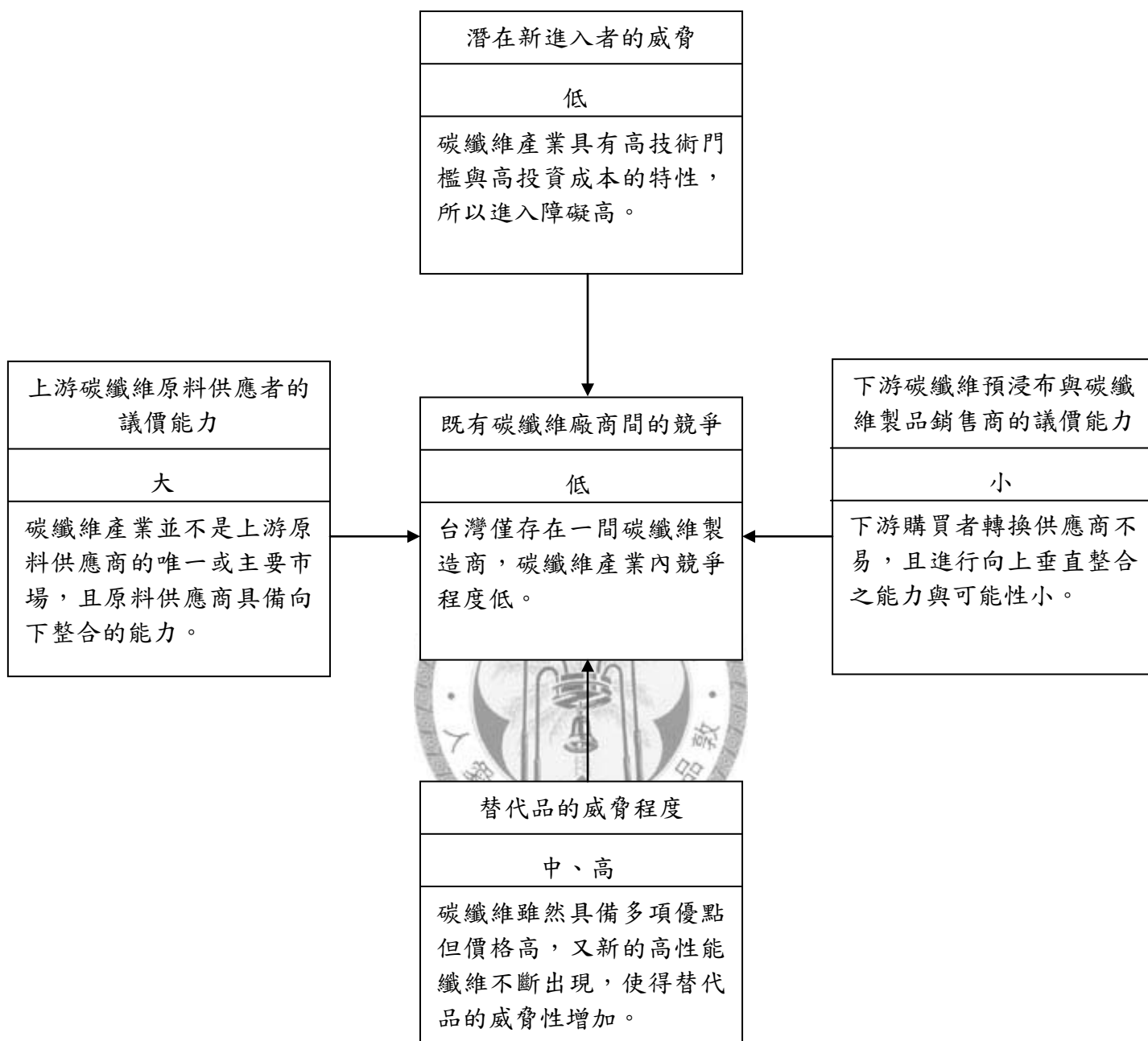


圖 4-4-1 台灣碳纖維產業五力分析

資料來源：本研究整理

第五節、台灣碳纖維產業鑽石模型分析

本節經由鑽石模型分析來瞭解台灣國家的四項主要環境因素與機會、政府兩項因素對碳纖維產業之影響。

一、生產要素(Factor Conditions)

(一)人力資源

我國人民的教育水準逐年提高，有助於發展需要投入大量研發資源的碳纖維產業，但也因教育普及造成勞力不足、工資高漲，使得高漲的人事成本降低了我國人力資源的優勢。

另外，2008年全球金融風暴造成的失業潮與每年畢業生的就業潮，使得今年就業市場競爭激烈。在激烈競爭下，求職者對工作條件的接受度比較高，且較不計較薪水和職務，也有很多優秀人才願意往中小企業流動，企業要找到有特殊專業的求職者變得比較容易。因此，碳纖維企業今年將可在眾多求職者中挑選優秀人才來投入碳纖維技術之研發。

(二)天然資源

碳纖維原料—丙烯腈由台塑自行生產並向下提供給其碳纖廠，因此原料品質優良且供應穩定，唯丙烯腈價格受石油價格波動之影響，使得碳纖維原料成本不穩定，若國際油價持續攀升將會造成原料成本未來有增加的趨勢。另外，由於台灣欠缺天然資源，而且幅員狹小，在產業經營上，所需原料近乎百分之百依賴進口，製造的產品絕大部份也要出口外銷；凡此等等，都是不利於產業發展的條件限制。

(三)知識資源

台灣具有製造普通型碳纖維的技術與知識能力，但國內尚未具備生產高性能型碳纖維之能力，對於中模數、高模數、高強度碳纖維之製造仍處於研發階段，因此我國碳纖維產業之競爭力相較於其他國家為差。

(四)資本資源

碳纖維產業屬於資本密集產業，仰賴資金程度高；由於2008年下半年發生全球性的金融危機，全世界各金融機構無不對其國內之企業進行銀根縮減，然而台灣國內之金融機構也不例外，因此未來幾年在景氣復甦以前，金

融機構對企業的放款與融資限制將會更加嚴格與審慎，故國內碳纖維產業之業者將較不易取得營運資金以從事相關的產業活動。

二、需求條件(Demand Conditions)

近年來由於休閒風氣的興起，帶動了台灣人民對運動休閒用品及自行車之需求，並有助於我國球拍、高爾夫球桿、自行車...等產品的出口，且在自行車業者積極推動自行車專用道、「自行車島」的理念以及在政府政策支援配合下，台灣騎乘自行車環境大幅改善，各縣市自行車道大幅成長，並成功連結，加上2007年5月劉金標單車環島，以及準總統馬英九從南到北的「青春鐵馬行」，帶動台灣自行車騎乘風潮，使台灣自行車內需銷售出現多年來難得一見的快速成長（大紀元，2008）。另外，節能議題日益受到全球人民的重視，因此使得重量輕、質地堅硬且具低耗能優勢的碳纖維材料製品之需求逐漸增加；加上碳纖維複合材料已經廣泛使用在航空器、風力發電葉片與運動用品中，又其應用於汽車、造船、工業模具、滾輪等工業領域逐漸廣泛且技術逐漸成熟。然而，上述這些因素都顯示出碳纖維的需求在未來會有正面穩定且高成長之趨勢，且JEC Composites(2007)指出，2006年至2010年期間，日本和亞洲國家對碳纖維的需求約每年成長6%~9%。

三、相關與支援產業(Related and Supporting Industries)

台灣碳纖維產業上、中、下游為一完整緊密的價值鏈，產業關聯性高，碳纖維產業之榮枯與下游碳纖維複合材料製品市場發展狀況息息相關。由於碳纖維可應用於航太航空、運動休閒與一般工業領域，因此碳纖維產業的發展相對的也會促進這些領域的競爭力。

四、企業策略、結構和競爭對手(Firm Strategy, Structure & Rivalry)

面對全球化的競爭環境，速度即成為現代企業成功的重要原因之一。由於碳纖維製造技術大多掌握在日本與美國碳纖維製造商手中，又國外廠商為了避免未來產生更多的競爭對手，而不願意移轉先進技術給國內競爭業者；另外，外國政府基於軍事國防的考量，也限制碳纖維製造商將碳纖維出口至其他國家。因此台灣碳纖維業者需加快研發腳步，取得關鍵技術才能促進我國碳纖維產業之升級。國內碳纖維產業目前只有台塑企業進行碳纖維之製造生產，產業內不存在競爭情形；然而台塑企業目前正致力於強化碳纖維之研發，透過提供市場新規格、新用

途之碳纖維以提升產品的附加價值，且正積極的擴大碳纖維產能以達到規模經濟效益並解決全球碳纖維供給不足的問題。

五、機會角色(The Role of Chance)

(一)輕量化、節能化、環保化的運輸載具

全球能源短缺日趨嚴重，節約能源是當前趨勢，節能議題也日益受到全球人民的重視，因此重量輕、質地堅硬、具低耗能優勢的碳纖維材料製品將會被大量的使用於製造飛機、汽車、船舶等運輸載具上以取代傳統材質。另外，重量輕的運輸工具（例如：汽車），可以降低二氧化碳的排放量，同時可以提高汽車的安全性能並使車體的空氣動力學性能得到優化。

(二)休閒樂活風盛行，帶動自行車需求

近年來在健康、環保意識抬頭下，全球自行車活動人口的族群成長不斷攀升，然而台灣也不例外，經建會表示根據蓋洛普市場調查，台灣自行車騎乘人口從2006年的33萬人成長到2007年的46萬人，預估2008年更可能大幅成長到70萬人，而且其中有八成比例是休閒用途（時報資訊，2008）。另外，行政院自2002年起即規劃並推動「全國自行車道系統計畫」，透過政府來建構自行車環境，使得近幾年來參與自行車活動及人數均有大幅成長。然而，由於現代人民的生活較以前富裕且較注重與追求自我的享受，人民對自行車的需求不再只是要求經濟實惠，而是會加上時尚與機能性之考量，因此以往多被使用於自行車競賽的碳纖維自行車，因為其具備堅固、耐用、安全、質輕與避震性佳等優點，已成為一般民眾的選購標的。

(三)綠色能源受到重視

全球能源緊張，石油價格一漲再漲，綠色能源因而逐漸受到重視。由於利用風能發電的成本低廉又符合乾淨環保的要求，因此風力發電能源成為人類開發新能源的重要領域，且近年來正快速的發展，全球風力發電對碳纖維的需求亦逐年呈現上漲趨勢（表4-5-1）。

另外，2006年2月台灣經濟部在面對高油價環境下，發布「能源政策白皮書」，鎖定七項再生能源為我國未來發展綠色能源產業的目標，其中風力發電即是推廣的重點項目之一。

因為碳纖維複合材料的輕重量、高剛性、耐腐蝕等優點可以降低啟動風速，擴增風能吸收範圍並提升發電效率，大大的增加了風力發電之效率與效能，所以碳纖維複合材料近幾年被大量的用於製造大型風力發電渦輪葉片，成為風力發電裝備的重要部件。

表 4-5-1 全球風力發電對碳纖維之需求

單位：MW（百萬瓦）；公噸

年	2005	2006	2007	2008	2009	2010
發電量	59,004	73,904	90,000	109,000	132,000	160,000
對碳纖維需求量	1,000	1,200	1,380	1,650	2,150	2,370

資料來源：化纖手冊（2009），p126

綜上所述，節約能源的訴求、休閒樂活風氣盛行及人民對綠色能源的重視等趨勢，都將有助於我國碳纖維產業的發展。

六、政府角色(The Role of Government)

(一)兩岸關係改善，創造台灣發展新機會

2008年5月政黨輪替後兩岸大三通的落實，同年7月台灣政府開放大陸遊客來台觀光、2009年推動兩岸簽署經濟合作架構協議（Economic Cooperation Framework Agreement, ECFA）及2009年6月行政院針對「大陸地區人民來台投資許可辦法草案」進行審查...等，這些兩岸互動例子顯示出兩岸關係在近年來已不如以往緊張並且正在逐漸改善；由於中國大陸擁有豐富的天然資源與廣大的市場，而台灣擁有許多優異的技術與人才，然而近兩年兩岸關係的改善，將有利兩岸依據各自的優勢相互結合，促進台灣與中國大陸經濟發展，進一步提升雙方國家之經濟競爭力。

(二)舉辦產業技術交流座談會、提供研發經費補助，積極推動國內產業科技發展

經濟部技術處於2008年與2009年舉辦碳纖維產業技術交流座談會，使產官學界能夠進行經驗分享與交流。

經濟部自1999年起即提供企業研發經費之補助，例如，技術處推動「業界開發產業技術計畫」、「小型企業創新研發計畫（SBIR）」與工業局2008年推動「主導性新產品開發輔導計畫」等，皆鼓勵企業投入產業技術研發工

作、開發超越目前國內產業之前瞻性技術以及產業所需之關鍵性技術或整合性技術，透過推動產業科技發展，以期能帶動整體產業升級並加速提升我國產業之競爭力。



第五章 結論與建議

第一節、台灣碳纖維產業之 SWOT 分析

由前一章第四節台灣碳纖維產業五力分析可以得知我國碳纖維產業內部面對之優勢、劣勢，且由第五節台灣碳纖維產業鑽石模型分析可以瞭解我國碳纖維產業所面對之外部機會與威脅如下：

一、優勢(Strengths)

(一)人力資源豐富，有助於提升研發效率

我國人民教育普及且教育水準高，各產業領域人才汲汲，因此相較於其他國家具備較佳之人力資源優勢，且有助於發展需要投入大量研究發展資源的碳纖維產業。

(二)生產製造能力位居全球第四、亞洲第二

2008年台灣碳纖維年產能6,150噸，為全球第四大的碳纖維製造廠商，且在亞洲排名第二，僅次於日本，因此我國在碳纖維之生產製造規模擁有較佳之競爭優勢。

(三)台塑企業一貫化生產碳纖維，使台灣碳纖維具有成本優勢

台灣唯一的一家碳纖維製造商—台塑企業，由於其具備一貫化的碳纖維生產體系，因此該公司在碳纖維的生產上可大幅的降低並控制生產成本，另外也可掌握產品的交期，且從原料、製造到銷售端的利潤均可兼得，同時也將原物料價格變動或是市場需求變動的風險降到最低。然而，國內其他的下游碳纖維預浸布、碳纖維複合材料製品廠商則可向台塑購買較便宜的原料，以取代自國外進口碳纖維，也可排除因國外廠商對我國碳纖維的出口限制所造成的原料缺口。

(四)我國擁有碳纖維自有技術研發能力

台塑公司擁有優越的研發能力，使我國成為除了日本以外唯一一個具備碳纖維技術研發能力的國家。台塑台麗朗事業部沈清鄉副經理在2009年碳纖維複合材料工程應用技術交流座談會中指出，雖然日本、美國兩國為較早發展碳纖維且產能規模大的國家，但美國碳纖維製造商生產碳纖維的技術是向

日本購買而來，並非為其自主研發的技術，因此，我國因擁有碳纖維技術之研發能力而在國際上具備較佳的競爭優勢。

二、劣勢(Weaknesses)

(一)我國石油仰賴進口，使得丙烯腈成本易受國際原油價格波動影響

我國天然資源匱乏，缺乏原油製造碳纖維原料—丙烯腈，使得丙烯腈原料成本受國際原油價格波動影響，當原油價格高漲將會引起丙烯腈價格的上漲。

(二)內需市場相對小，受外銷市場影響較大

我國碳纖維內需市場相對較小，2007年我國碳纖維外銷比例占內外銷總金額之61%，因此碳纖維產業受外銷市場影響大。

(三)缺乏高性能等級碳纖維之生產技術能力

我國碳纖維產能增加很快，但碳纖維質量的提高幅度並不大，由於生產中模數、高強度或高模數之碳纖維技術仍處於研發階段，目前我國尚未具備高性能型碳纖維之生產技術。由於碳纖維可以使用於軍事用途，例如用來製造飛彈彈頭與軍機，因此生產碳纖維的國家其政府對出口碳纖維皆有一定的管制。柯澤豪、梁恆嘉與顏妙妤（2008）即指出，自1992年起美國開始把碳纖維列為管制品，日本、德國、法國等國家也陸續將碳纖維列管。儘管目前國外碳纖維的製造技術與產品對華出口有所鬆動，通用級碳纖維進口渠道已經開通，但高性能碳纖維對我國依然限制。由於高性能型碳纖維之生產技術主要掌握在日本與美國碳纖維企業手中，而且此兩國之碳纖維廠商也正積極的進行碳纖維產能之擴增，因此我國生產高性能型碳纖維之技術能力與產能相對較國外廠商不具競爭力。

(四)碳纖維售價高，成本結構上較不具競爭優勢

由於生產碳纖維面臨量產不易、生產技術障礙高、丙烯腈原料價格受原油價格波動影響大、投入研究發展費用龐大...等原因，使得碳纖維價格高於其他金屬材料與混凝土材料，因此碳纖維產業在成本結構上較不具競爭優勢。

三、機會(Opportunities)

- (一)汽車、風力發電渦輪葉片、高壓氣體儲槽、建築建材等新興市場不斷壯大，帶動了碳纖維市場之需求

碳纖維複合材料已經廣泛使用在航空器、運動用品與工業領域中，另外汽車、風力發電渦輪葉片、高壓氣體儲槽、建築建材等新興市場不斷壯大，如此等等使得全球碳纖維市場需求快速成長，亦增加了產品外銷空間。JEC Composites (2007) 指出2006年至2010年期間，全球碳纖維市場需求平均每年將以13%的成長率增漲。

- (二)節能議題與發展綠色替代能源為當今趨勢，碳纖維複合材料成為新興能源的重要部件

全球能源緊張，節能議題日益受重視，因此重量輕、質地堅硬之碳纖維材料製品，由於其具低耗能與可提高能源使用效能等優點，使其成為取代其他金屬製品之新材料；另一方面，隨著石油逐漸消耗以及價位逐年攀升，太陽能電池、風力發電、燃料電池等綠色替代能源逐漸受到重視並快速發展，然而這些新興能源使用碳纖維複合材料作為其重要部件，使得碳纖維成為現今不可或缺的材料。

- (三)全球暖化嚴重，可降低二氧化碳排放量的輕量化碳纖維運輸載具成為未來的新焦點

全球暖化日益嚴重，環保意識抬頭，全世界主要工業國家已簽訂京都議定書，以降低溫室氣體之排放量，因此可降低二氧化碳排放量的輕量化碳纖維運輸載具將成為未來的新焦點。

- (四)兩岸關係改善，有利雙方相互結合人力、技術、天然與市場資源

2008年政黨輪替後兩岸關係改善，有利雙方相互結合各產業領域所需之人力、技術、天然與市場資源，促進我國與中國大陸之經濟發展。

四、威脅(Threats)

- (一)2008年全球性金融大海嘯，對全球貿易造成重大衝擊；金融機構嚴格將設限對企業的放款與融資

由於2008年下半年發生全球性金融大海嘯，導致全球經濟衰退並對全球貿

易造成嚴重的衝擊，除了美國、日本及歐盟等先進國家瀕臨衰退外，亦削弱了大陸及俄羅斯等新興國家經濟成長之力道。全世界景氣在短時間內將無法復甦，也使得以出口為導向的台灣面臨出口訂單衰退、信貸緊縮、消費不振、企業獲利大減與投資意願低落等現象。我國行政院主計處在今年2月更是公佈今年台灣經濟成長率為-2.97%，出口成長率-20.10%，進口成長率-26.20%，民間投資成長率-28.07%的預測。

另外，在金融風暴的影響下，金融機構在景氣復甦前，對企業的放款與融資條件將嚴格設限。

(二)石油資源有限，丙烯腈之來源與價格將成為碳纖維產業未來發展之隱憂

原料價格易受石油價格波動影響，然而在有限的石油資源下，原料的價格與來源將成為碳纖維產業未來發展之隱憂。



第二節、結論

本研究利用五力分析檢視台灣碳纖維產業的優劣勢，並透過鑽石模型審視該產業所面對外在環境的機會與威脅後，歸納出台灣發展碳纖維產業所面臨的SWOT如下表 5-2-1 所示。

表 5-2-1 台灣碳纖維產業之 SWOT 分析

優 勢	劣 勢
1.人力資源豐富，有助於提升研發效率。 2.生產製造能力位居全球第四、亞洲第二。 3.台塑企業一貫化生產碳纖維，使台灣碳纖維具有成本優勢，由台塑直接供應國內所需，較不易受到其他國家對我進行碳纖維出口限制之影響。 4.我國擁有碳纖維自有技術研發能力。	1.天然資源匱乏，缺乏原油製造丙烯腈，使得丙烯腈成本易受國際原油價格波動影響。 2.內需市場相對小，受外銷市場影響較大。 3.缺乏高性能等級碳纖維之生產技術能力。 4.碳纖維售價高，成本結構上較不具競爭優勢。
機 會	威 脅
1.由於碳纖維的應用範圍廣泛，因此汽車、風力發電渦輪葉片、高壓氣體儲槽、建築建材等新興市場不斷壯大，將帶動碳纖維市場之需求。 2.節能議題與發展綠色替代能源為當今趨勢，碳纖維複合材料成為新興能源的重要部件。 3.全球暖化嚴重，因此可降低二氧化碳排放量的輕量化碳纖維運輸載具將成為未來的新焦點。 4.兩岸關係改善，有利雙方相互結合人力、技術、天然與市場資源。	1.2008 年全球性金融大海嘯，對全球貿易造成重大衝擊；金融機構嚴格設限對企業的放款與融資。 2.石油資源有限，丙烯腈之來源與價格將成為碳纖維產業未來發展之隱憂。

資料來源：本研究整理

台灣發展碳纖維產業必須善用既有的資源與特殊能力來擷長補短，即利用國內豐富的人力資源與碳纖維自有技術研發能力之優勢儘快研發出高性能等級碳纖維之生產技術能力；另外，憑藉大規模生產製造能力與一貫化生產體系之經營模式以取得碳纖維生產成本優勢。若能透過優勢之善用以掌握關鍵技術與取得成本優勢來彌補劣勢，則能提升國內碳纖維產業之整體競爭力並使國內碳纖維產業規模日益茁壯。

此外，除了可以善用優勢彌補劣勢外，還必須利用優勢來掌握碳纖維產業所面臨的每一個機會。因此，國內碳纖維產業業者可以利用碳纖維自有技術生產能力與產能規模優勢來快速進入並掌握節能趨勢所帶動的輕量化飛機、汽車、高壓氣體儲槽或綠色替代能源所帶動的風力發電...等市場的發展機會。

然而，碳纖維廠商在善用優勢與掌握市場機會後，相信將具備避開部分金融海嘯對全球經濟環境造成威脅之能力。

最後，藉由本研究對碳纖維產業之 SWOT 分析，希望可以提供國內碳纖維產業業者瞭解產業目前所具備的優勢、劣勢及目前或未來所面臨的機會、威脅，進而發展可行的策略並維持和創造產業的競爭優勢。

第三節、對我國發展碳纖維產業之建議

本研究針對全球碳纖維產業整體的發展概況與我國碳纖維產業所面臨的SWOT，分別對我國碳纖維製造商、政府、相關產業給予以下建議。

一、對碳纖維製造商之建議

(一)應儘快開發並生產大絲束碳纖維以因應一般工業領域對碳纖維的快速需求

碳纖維的高價格是該材料無法被各領域大規模採用的最大原因。由於大絲束碳纖維價格較小絲束碳纖維至少便宜一倍左右，且近年來大絲束碳纖維已經可以取代小絲束碳纖維。大絲束碳纖維可被用以製造體育休閒用品或航太航空產品，例如美國Zoltek公司所生產的【PANEX 33】大絲束碳纖維，其性能已達到甚至超過小絲束碳纖維，所以對各應用領域而言，大絲束碳纖維在價格上相對於小絲束碳纖維具經濟可接受性。

另外，JEC Composites (2007) 指出使用大絲束碳纖維為材料的一般工業領域（例如：汽車、能源工業），在未來消費碳纖維的數量將會比以往成長更快，2010年碳纖維應用於一般工業領域的比例將大幅上漲，約占全球碳纖維總需求的56%。

因此，我國碳纖維製造商除了生產小絲束碳纖維外，應該加快修改小絲束碳纖維之生產製程與改善設備轉型生產碳纖大絲束原絲開發之計劃，以因應一般工業領域對碳纖維的快速需求，並提升企業本身收益能力。

(二)可朝向台灣專長且揚名國際之產業領域來開發新的碳纖維市場

碳纖維與碳纖維複合材料應用範圍廣泛可製成各種成品，從飛機、人造衛星、火箭...等航太領域，及高爾夫球頭、網球拍、釣魚竿、自行車...等運動休閒器材領域，到汽車、遊艇、醫療用床板、建築補強材料、風力發電渦輪葉片、機械手臂...等一般工業應用領域，這些都是碳纖維廠商可以開發的新市場。

日本與美國的碳纖維製造商，他們的目標市場主要為航太飛機領域，雖然在未來全世界的航太航空領域對碳纖維仍存在有較大的需求，然而，一般工業領域消費碳纖維的數量將會比以往成長更快，所以美國現在已經開始開發清潔能源車輛、土木建築工程、近海油田勘探和生產、風力發電機大型葉

片等市場。另外，由日本日產汽車公司、本田汽車公司與東麗公司等三家企業聯手開發應用於汽車車體之新型碳纖維材料的合作案，可以得知日本目前正在積極開發汽車工業市場。

因此，台灣碳纖維及碳纖維複合材料廠商不應該一窩蜂地擠在競爭已呈白熱化的運動器材領域上，還可以朝向台灣專長且揚名國際之電子通訊、消費性電子、船舶...等一般工業領域中來開發新的碳纖維市場。例如，台灣最具有競爭力的產業，包括電腦、電子、機械、汽機車零配件、體育用品以及自行車等優勢產業，所以碳纖維及碳纖維複合材料製品廠商除了在運動休閒器材與自行車市場外，可以從這些優勢產業來檢視、評估並開發新市場。舉例來說，台灣資通訊產品有許多世界第一，包括半導體晶圓代工、IC封裝測試、顯示器、電腦主機板、筆記型電腦、光電、無線區域網路設備、寬頻上網設備等，而在電子機器元件、半導體相關設備、筆記型電腦與手機機構殼體等都存在碳纖維與碳纖維複合材料製品商機。另外，台灣在民國70年代就享有「遊艇王國」的美譽，又近年來遊艇製造業者積極投入巨型豪華遊艇市場，且由於航體需具備抗腐蝕、表面佳、輕量化等特性，目前碳纖維遊艇的建造量正逐漸增加取代了傳統材質，因此，船舶遊艇領域亦是碳纖維廠商可積極開發的市場。

(三)掌握節能趨勢所帶動的風力發電渦輪葉片及汽車兩個碳纖維市場契機

1.風力發電渦輪葉片

中國建材報（2009）指出碳纖維在風力發電渦輪葉片的應用，到2010年將成為繼航太航空領域後第二大應用。全球風力發電機裝機容量的增漲速度正在加快，高碳纖維含量的長葉片製成的大容量風機已成為主要趨勢。國際第一大風機製造商 Vestas 公司到目前為止在全球已經安裝了將近 38,000 套的風機系統；另一知名風力發電機製造商 Gamesa 公司指出，2008 年 1 月在全球已收到超過 8,000MW 的風力發電機訂單，其中 3,000MW 已安裝完畢。

全球風力發電對碳纖維的需求逐年增加，推動了大絲束（24K）碳纖維產量的增漲，因此台灣碳纖維生產製造商應儘快開發大絲束碳纖維產品，以掌握風力能源所開啓的碳纖維需求契機。

2. 汽車

東麗公司指出 2012 年後，碳纖維將大規模應用於航太航空和汽車領域中。由於碳纖維汽車因車體重量輕可達到省油節能與降低二氧化碳排放量的目的，因此在石油價格日漸高漲與世界各國訴求降低溫室氣體排放量以期減少溫室效應對全球環境造成影響的今日，碳纖維汽車在未來將成為人民購車的首選之一。另外，使用碳纖維所製成的汽車可提高車子的安全性並優化車體的空氣動力學性能，相信碳纖維及碳纖維複合材料未來將廣泛應用於大眾車型上，以滿足消費者對汽車安全性與節省油耗的需求。然而，再加上汽車零組件的市場規模遠遠超過自行車與運動器材的市場規模，因此，國內的碳纖維製造商在市場規模與節能趨勢的考量下應快速掌握汽車市場，以免錯失發展的利基。

二、對政府的建議

(一) 提供碳纖維產業融資優惠方案，協助產業發展

碳纖維因為具有高強度、高模量、高溫性能優異、耐疲勞性能好、可設計性強...等一系類優越性能，而被廣泛應用於軍事國防、航太航空、運動休閒與一般工業（汽車、土木建築、紡織、化工機械及醫療設備...等）領域上。由於該產業極具前瞻性且與國家經濟發展及國家安全密切相關，加上近年來全球對碳纖維需求量的大幅增加，因此，政府若能提供相關融資優惠則可以幫助碳纖維產業廠商取得低成本的投資資金來推動產業發展並進而帶動國家經濟與國家安全發展。

(二) 設立專案計畫輔導並補助碳纖維技術研發或成立產學合作計畫以鼓勵創新研發

碳纖維原絲的生產技術壁壘很高且研發技術費時，雖然國內碳纖維生產製造商目前正積極從事碳纖維技術研發並不斷地投入研發人力與費用，但倘若政府能夠設立專案計畫輔導補助碳纖維技術研發或成立產學合作計畫以推廣建立產學研究中心培養技術研發人才，將可使碳纖維製造商擁有更多的研發人力與能力來對現有碳纖維製程技術進行改造、提升或再創新，以加快技術攻關與快速掌握關鍵核心技術。

(三)應積極推動並簽署兩岸經濟合作架構協議

近年來國際經貿快速整合，全球各地區出現快速經濟整合的現象，例如歐盟、北美自由貿易區與東亞自由貿易區的成立。

自台灣經濟發展以來，對外貿易一直是帶動台灣經濟發展的引擎。台灣由於受限於政治因素而無法加入東亞自由貿易區，將使我國未來外貿拓展之競爭力受到阻礙。因此，在面對經濟區塊化的發展趨勢下，我國政府需正視台灣經濟邊緣化之危機。

由於台灣高度依賴對外貿易，且目前台灣對大陸出口佔台灣總出口的四成，而台灣對大陸投資佔總對外投資七成以上，因此若兩岸能在近期內簽署2009年由台灣政府所推動的兩岸經濟合作架構協議，將對台灣經濟產生莫大的實質助益。

三、對相關產業之建議

(一)紡織產業

紡織產業之上、中游段生產製造商，其生產尼龍絲、聚酯絲、亞克力棉等原絲的生產製程與碳纖維相同，即都必須進行聚合之化學反應與紡絲此兩道製程，其中以亞克力棉之生產與碳纖維原絲之製程尤為相似，因為製造亞克力棉所使用的原料—丙烯腈及製程（聚合、紡絲）皆與生產碳纖維相同。

由於亞克力棉的生產製程與生產碳纖維相似，國內台塑企業台麗朗事業部與東華合纖公司則憑藉著前段製程的能力與優勢，皆著手投入碳纖維的研發生產。因此，本研究建議紡織產業上、中游段之企業，可以試著評估投入碳纖維生產之可行性，其中須考慮到雖然生產製程具有相通性，但是生產碳纖維所需的聚合化學反應條件與紡絲技術要求會更嚴苛，另外，尚須考量碳纖維生產所投入的設備、技術研發等高投資成本需經長時間才能回收。然而，相關紡織企業在評估投資生產碳纖維之種種可行性後，相信碳纖維領域將是紡織企業的新藍海，將會為其帶來可觀的投資效益。

(二)其他產業

近年來由於碳纖維複合材料應用於新領域的開發不斷，例如汽車、醫療、土木建築、能源、電子工業...等，這些領域等相關業者應把握碳纖維產

品的發展契機，積極研發高附加價值的碳纖維製品，以迎合快速興起的市場需求。



參考文獻

中文部分

1. 北京凱博信諮詢 (2008)。2009-2010 年中國碳纖維市場調查與投資諮詢研究報告。中國北京：北京凱博信諮詢公司。
2. 台灣區人造纖維製造工業同業公會 (2008)。新纖維暨紡織高科技彙集本(七)。台北：台灣區人造纖維製造工業同業公會。
3. 台灣區人造纖維製造工業同業公會 (2009)。化纖手冊。台北：台灣區人造纖維製造工業同業公會。
4. 李明軒、邱如美 合譯 (1999)。「競爭優勢-上」。台北：天下遠見。
5. 李明軒、邱如美 合譯 (1999)。「競爭優勢-下」。台北：天下遠見。
6. 柯澤豪、梁恆嘉、顏妙妤 (2008)。化工技術，16 (3)，114-129。
7. 唐孟瑞 (2005)。碳纖維貼片補強磚構件之耐久性能測試研究。朝陽科技大學營建工程研究所碩士論文。
8. 郭玉明、馮志海、王金明 (2007)。高科技纖維與應用，32 (5)，1-7。
9. 游錫揚 (1992)。纖維複合材料。台中：國彰。
10. 趙稼祥 (2008)。高科技纖維與應用，33 (5)，1-6。
11. 謝文隆 (2008)。複合材料高爾夫球桿頭之設計與擊球效果分析。國立中山大學機械與機電工程研究所碩士論文。
12. 謝明釗 (2008)。以珍珠岩粉為基材製成無機聚合樹脂耐高溫及黏結性能之研究。國立台北科技大學土木與防災研究所碩士論文。
13. 魏吉明 (2003)。聚醯亞胺樹脂/碳纖維複合材料製備與性質之研究。逢甲大學材料與製造工程研究所碩士論文。
14. 蘆長椿 (2007)。紡織導報，12，61-64。

英文部分

1. JEC Composites (2007). Carbon fibre: fast-growing production capacities. JEC Composites Magazine, 31, 22-23.
2. Michael E. Porter (1980). Competitive Strategic: Techniques for Analyzing Industries and Competitors. New York: the free press.
3. Michael E. Porter (1990). The Competitive Advantage of Nations. New York: the free press.



網路資料

1. 大紀元 (2008)。環台熱潮再扮台灣自行車產業內需市場推手。線上檢索日期：2009/4/29。網址：<http://www.epochtimes.com/b5/8/5/3/n2104090.htm>
2. 中國石油新聞中心 (2008)。小小碳纖維引發大變革—碳纖維複合材料在石油工業的應用及前景。線上檢索日期：2009/4/17。網址：<http://161.207.1.13:82/gate/big5/www.oilnews.com.cn/zgsyb/system/2008/12/01/001211314.shtml>
3. 中國建材報 (2009)。金融危機下碳纖維生產商的發展策略。線上檢索日期：2009/2/3。網址：<http://www.zgjcc.com/ac/pageDetail.jc?pkCnt=29126&cntype=1>
4. 中華民國關稅總局 (2009)。貨品__國家表。線上檢索日期：2009/5/11。網址：<http://cus93.trade.gov.tw/bftweb/fsci/>
5. 台灣塑膠工業股份有限公司 (2009)。公司沿革。線上檢索日期：2008/12/12。網址：<http://www.fpc.com.tw/suba1-2.htm>
6. 台灣塑膠工業股份有限公司 (2009)。年報下載—最近三年度年報下載。線上檢索日期：2009/5/18。網址：<http://www.fpc.com.tw/suba5-1.htm>
7. 江蘇化工網 (2008)。世界碳纖維市場呈現投資暖流。線上檢索日期：2009/1/20。網址：http://www.jschemnet.cn/news_detail.asp?pid=123466
8. 時報資訊 (2008)。經建會：今年台灣自行車騎乘人口大幅成長到 70 萬人。線上檢索日期：2009/5/7。網址：http://www.taipeitradeshows.com.tw/leisuretaiwan2008/overview/industryinfo_view.shtml?docno=1171
9. 國家發展和改革委員會 (2009)。吉林石化公司碳纖維項目將成為新的經濟增長點。線上檢索日期：2009/5/5。網址：http://203.207.194.3:82/gate/big5/dbzxs.ndrc.gov.cn/zxjb/t20090416_272939.htm
10. 張有定 (2009)。碳纖維的產業現狀及發展。線上檢索日期：2009/05/15。網址：<http://www.lunwentianxia.com/product.free.10009480.6/>
11. 張碩杰 (2007)。碳纖維簡介。線上檢索日期：2009/2/13。網址：<http://www.tisc.com.tw/new/newreport/industry/upload/industry20070929-3.pdf>

12. 塑膠 e 學苑 (2004)。高分子複合材料。線上檢索日期：2009/2/7。網址：
<http://psdn.pidc.org.tw/ike/doclib/2004/2004doclib/2004ike49-0/2004ike49-0-307.asp>
13. Hexcel Corporation (2009). Carbon Fiber Data Sheets. 線上檢索日期：2009/2/9。
網址：
<http://www.hexcel.com/Products/Downloads/Carbon+Fiber+Data+Sheets.htm?ds=Continuous>
14. Sagecarbon.com (2009). Products. 線上檢索日期：2009/6/26。網址：
http://www.sagecarbon.com/cms/index.php?option=com_content&view=section&layout=blog&id=2&Itemid=8
15. Toray Carbon Fibers America, Inc. (2008). Product Information. 線上檢索日期：
2009/3/5。網址：<http://www.toraycfa.com/product.html>
16. Toray Industries, Inc., (2008). Toray's Strategy for Carbon Fiber Composite
Materials. 線上檢索日期：2009/3/10。網址：
<http://search.toray.com/com/search.x?q=%3C3rd+IT-2010+Strategy+seminar&ie=SJIS&page=1&submit.x=27&submit.y=12#0,39906>