

出國報告(出國類別：開會)

## 2017 年 JEC Asia 國際 複合材料研討會

服務機關：台灣中油公司煉製研究所

姓名職稱：呂國旭 機械工程師

派赴國家：韓國、首爾

出國期間：106 年 10 月 31 日 至 106 年 11 月 04 日

報告日期：106 年 11 月 22 日

## 摘要

2017 年 JEC Asia 國際複合材料研討會於 2017 年的 11 月 01 日至 11 月 03 日在韓國首爾的 COEX, Convention and Exhibition center 會議場舉辦，此研討會以往都在新加坡舉行，為每年國外探討碳材料及複合材料開發技術及產品展示的重要研討會之一，今年則首度在韓國首爾舉辦，2018 年韓國也爭取到主辦權。會議內容分為研討會及展場兩部份，研討會主題部份涵蓋玻璃纖維及碳纖維的製造及發展、複合材料在太空領域(aerospace)、運輸工具(Automotive & Road Transportation)、建築結構方面(Building & Construction)、運動器材(Sports, Leisure & Recreation)、能源設備應用(Renewable Energy)及其他的應用等領域；展場部份主要為複合材料相關設備商、材料商、產品製造商與研究過程需用分析儀器展出。由於碳複合材料具有優良的導電與導熱性能、高溫力學性能及化學穩定性，它作為功能性材料和結構材料越來越受到人們的重視，並已在電工電子、冶金、機械、化工、核能、軍事、航太等方面得到廣泛的應用，乃至應用於家用電器、體育和醫療器材，特別是在某些尖端科學技術領域中占有極重要的地位。本屆 JEC Asia 國際複合材料研討會主要有來自包括日本、韓國及歐美各國生產廠商及研究學者參加。由於公司現階段以開發碳材為主，因此，將碳材相關的議題，就技術部分，整理於此報告當中，除了解發展趨勢，也可做為未來技術提升和創新的參考。

# 參加 2014 年國際碳材料研討會 出國報告書目次:

摘要.....	P2
本文	
一、緣起.....	P4
二、目的.....	P5
三、會議內容整理	
(一)、複合材料的應用領域介紹 .....	P7
(二)、大陸在碳纖維材料的應用與趨勢介紹.....	P12
(三)、韓國在碳纖維材料發展現況與策略.....	P15
(四)、德國 SGL 公司在碳纖維材料發展現況.....	P21
四、心得與建議.....	P23

## 一、緣起

隨著環境保護與氣候變遷等議題逐漸成為國際關注核心，再加上能源短缺的問題日益嚴重，如何將這些大量衍生的副產品，作更高質化的開發利用，將會是台灣甚至全世界石化業者的趨勢。這些副產品，若針對不同的應用來進行適當的改質，將可轉化成更高價值的產品，例如針狀焦、人工石墨等。中油公司煉製研究所在近幾年來使用煉油重質油料，以不同條件實驗成功製備非晶型碳材、浸漬瀝青、介相瀝青及其他相關碳材料的前驅物，其中浸漬瀝青又是碳纖維的前驅物。瀝青可分為石油瀝青(Petroleum pitch)與煤焦瀝青(Coal tar pitch)兩類，為熱塑性高分子，擁有數百種芳香族碳氫化合物的複雜混合物，其中包含了 3~8 個環的多環化合物，並帶有烷基側鏈，常溫下是黑色固體，呈玻璃相，在受熱後軟化再繼而融化，其組成取決於來源以及前處理的方法。也因為如此，瀝青本身是化學組成和結構非常複雜的混合物，所以分子量分布很廣，因此依照瀝青對於不同溶劑的溶解程度，來區分分子量不同的成分。這些成分的含量或比例，會直接地影響到瀝青的軟化點、黏度、流變性及碳化性能等。利用甲苯和喹啉，可將瀝青分為如表一中四種組份<sup>1</sup>。

組分名	別名	C/H比	分子量	作用	含量影響
甲苯可溶物(TS)	γ樹脂	0.56~1.25	200~1000	- 降低瀝青黏度，增加塑性，有利成型。	- 過多會降低瀝青的結焦值，進而影響待浸材的密度和機械強度。
喹啉可溶物(QS)	β樹脂	1.25~2.0	1000~1800	- 為提供黏結作用的主要成分。	- 含量多可提高待浸材的物理化學性能例如電阻率、熱導率、機械強度等。
甲苯不溶物(TI)		~1.53	1200~2100	- 主要起黏結劑作用。	- 過多會影響在混捏時的黏結性能。 - 過少會影響待浸材的強度和氣孔率。
喹啉不溶物(QI)	α樹脂	>1.67	1800~2600	- 分成原生QI和次生QI兩種類型。 - 原生QI存在於原始油料中，包含無機雜質和大分子芳烴。 - 次生QI則是在焦化中由原生QI以外的其他物質縮聚而成。 - 無浸潤和黏結能力。	- 過量會降低瀝青的黏結性能，並阻塞碳材氣孔，影響浸漬效果。 - 適量可提高結焦值。

表一 瀝青成份其分子量、C/H 比以及在瀝青中的作用和含量影響表<sup>1</sup>。

複合材料之母材有碳纖維、玻璃纖維以及克維拉纖維，其中又以碳纖維複合材料具有質輕、高剛性、高強度、高設計自由度及耐腐蝕等眾多優點，應用範圍更極為廣泛，已遠超越傳統金屬。美國行業媒體《Composite World》2012 年報導，全球碳纖維市場 2005 年僅為 9 億美元，2012 年達到 100 億美元，2022 年可望達到 400 億美元。全球 PAN 系大絲束碳纖維主要供應商 SGL 公司估計碳纖維產業未來發展，2008~2020 年需求量可由 3.5 萬噸成長至 11.2 萬噸，需求量擴增 3 倍以上，而對各產業需求之評估，工業產業應用是碳纖維未來最具開發潛力之市場，2008~2015 年複合成長率 13%；航太產業 2008~2015 年複合成長率 11%；運動產

業 2008~2015 年複合成長率 2%，由於全球工業化程度提高，為能節省能源及減少二氧化碳排放量以求環境永續，碳纖維於大型工業設備、發電用大型風機扇葉、電動車輛、汽車零件等應用，可提供產品輕量化、高強度、低耗能優勢，帶動碳纖維未來發展之強勢動力。

碳纖維材料基材包含熱固性及熱塑性，其中熱塑性碳纖維複合材料具備可回收再利用特性，在國際環保趨勢下，近年來為國外致力發展的方向。2003 年，全球最重要的複合材料國際展覽會 JEC Show(Pairs)開始大量出現熱塑性碳纖維複合材料相關產品，包括 PMC、Bond laminates、TenCate、Porcher、Toho 等國外大廠紛紛推出民生用熱塑碳纖複材並投入相關研發工作。

中油公司使用自有重質油 CPC004 來作為進料，經由熱處理來開發製備碳纖維的浸漬瀝青當前驅物，目前實驗室已成功穩定生產出高品質的浸漬瀝青前驅物。

## 二、目的

藉由參加 2017 年 JEC Asia 國際複合材料研討會，收集碳材料與技術發展之最新資訊，特別是在碳纖維的應用及前景預估，期能更精進本所目前自有的相關碳材技術。圖一為此次會議參加的國家，台灣也是參與國。



圖一、2017 年 JEC Asia 國際複合材料參與國家

透過本次出國，預計將可獲致如下效益：

1. 帶回本研討會論文資料手冊。
2. 收集國外碳纖維生產公司及各國研究單位的最新發展趨勢。
3. 收集與煉油/石化相關之碳材料發展情形。
4. 收集韓國在碳材料領域的國家策略及研發投入等相關議題。

### 三、會議內容整理

中油煉研所在近幾年投入碳材料相關領域的研究，其中也包括高性能產業用碳纖維之核心技術開發，並以具有中/高模數特徵的瀝青基碳纖維為主要開發標的。因此，在參與本次 JEC Asia 國際複合材料研討會即規劃針對碳纖維相關的研究主題進行深入及系統化資料收集工作，以作為本團隊未來在開發碳纖維相關工作時的參考依據。將本屆 JEC Asia 國際複合材料研討會中的資訊進行統整後，區分成包含複合材料的應用領域介紹、德國大廠 SGL 在碳纖維的開發方向、大陸在碳纖維的發展與應用趨勢及韓國政府與研究機構在碳纖維的佈局與投入應用等四大主軸，以下即針對上述四個項目分別敘述：

(一).複合材料的應用領域介紹:



圖二、汽車軸承的應用



圖三、汽車輪胎鋼圈的應用



圖四、汽車剎車系統的應用



圖五、韓國 KC TECH 公司利用碳纖維複材使用 3D 列印方式生產的汽車



圖五、韓國 KC TECH 公司利用碳纖維複材使用 3D 列印方式生產的汽車



圖六、碳纖維複合材料應用在汽車零件



圖七、無人飛機載具的應用(民生用途)



圖八、無人飛機載具的應用(軍事用途)



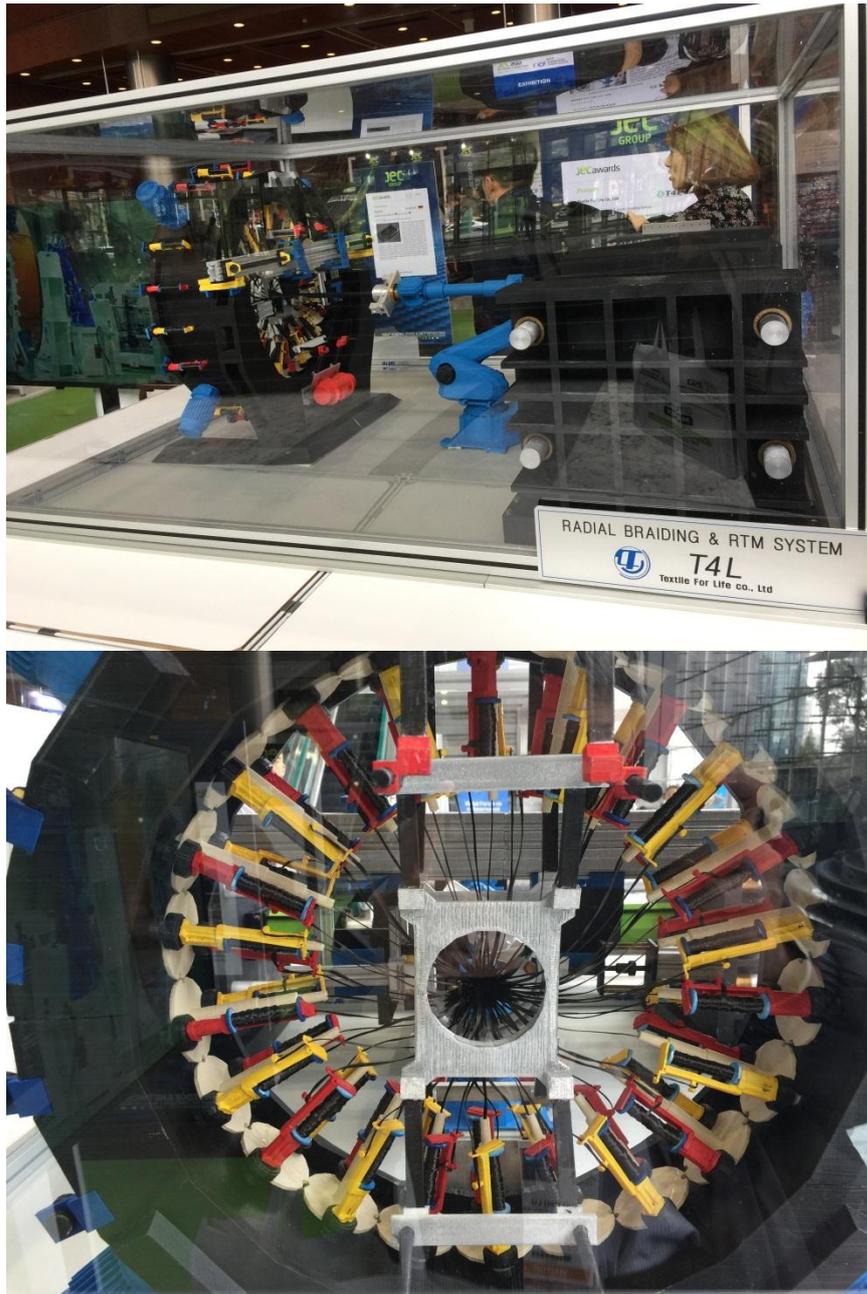
圖九、燃料電池儲氫罐(壓力可達 700Bar)



圖十、韓國 KC TECH 公司利用纖維複合材使用 3D 列印方式生產的帆船



圖十一、使用機械自動編織的碳纖複材的腳踏車

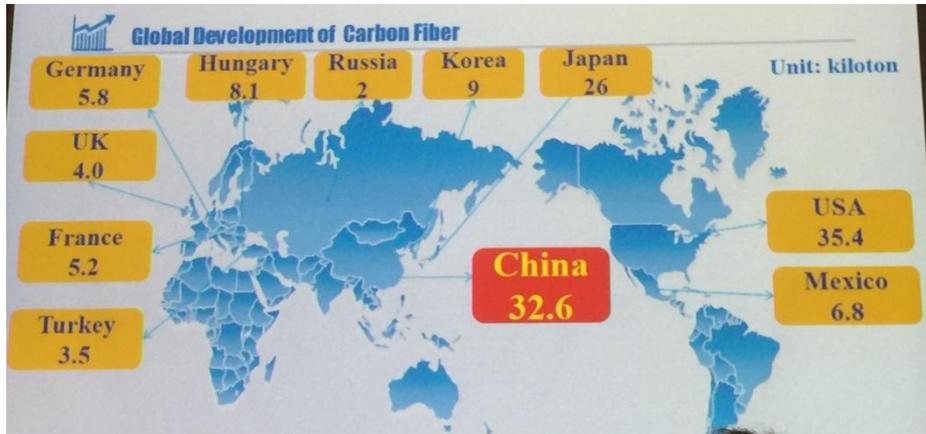


圖十二、大型全自動的碳纖編織機械

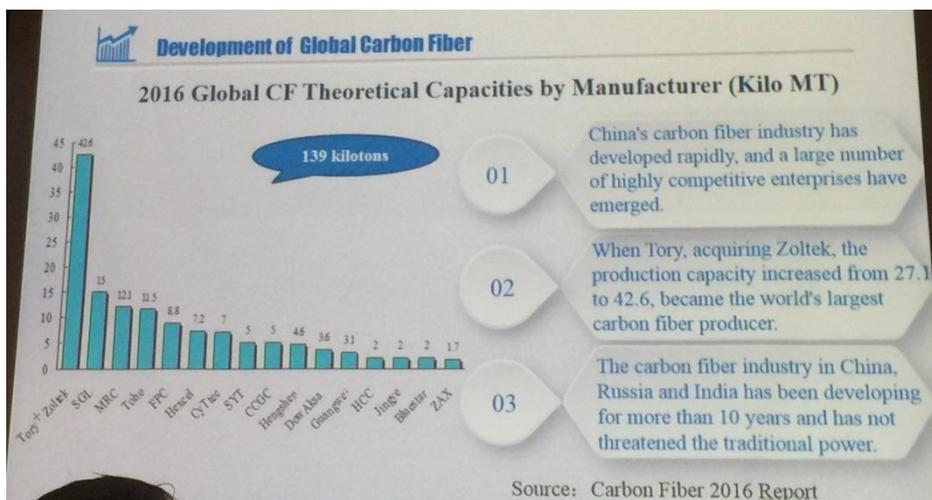
## (二).大陸在碳纖維材料的應用與趨勢介紹:

由 Haichao Huang 博士介紹碳纖維在中國的技術發展趨勢與應用(Technology Development Trends and Applications of Carbon Fiber in Chian)，到 2016 年，全球碳纖維產能達到 13.9 萬噸，如圖十三所示。生產國以美國最多，達到 35.4 萬噸，其次為中國大陸的 32.6 萬噸，再其次為日本的 26 萬噸，而個別公司方面以日本 Tory 公司從 27.1 萬噸成長到 42.6 萬噸，成為全球產量最大的公司，如圖十四所示。而到 2016 年全球碳纖維的需求量為 7.65 萬噸，產值達 21 億美元，其中以航空器

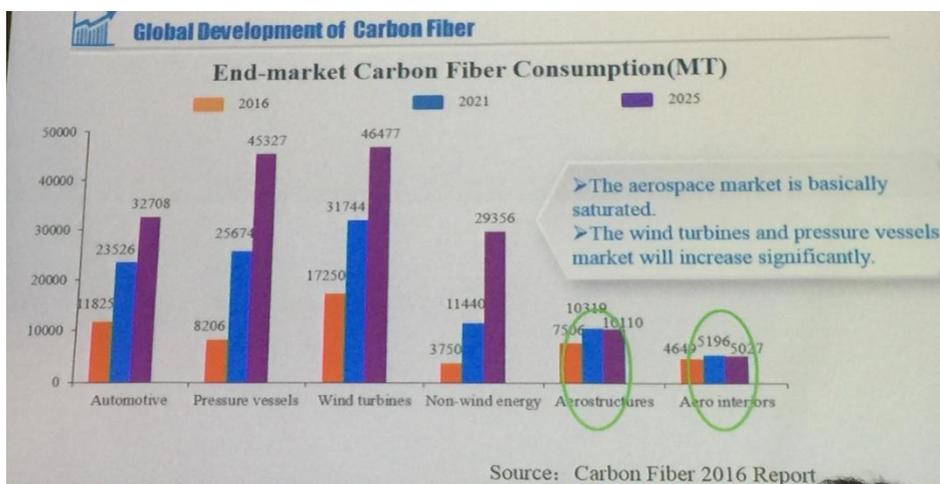
材與風力的使用最多，分別達到 1.76 及 1.8 萬噸，但航空器材產值達到 10.56 億美元最多，佔比達到 50%。預估到 2021 及 2025 年，全球需求量分別達到 10.78 萬噸及 16.9 萬噸，如圖十五所示。



圖十三、全球碳纖維生產分佈圖

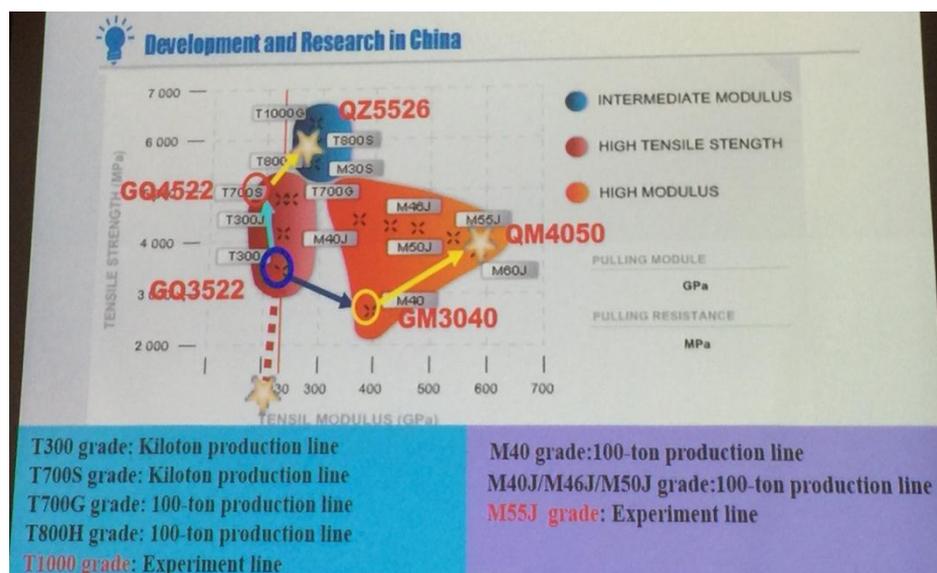


圖十四、全球碳纖維生產公司產量比較圖



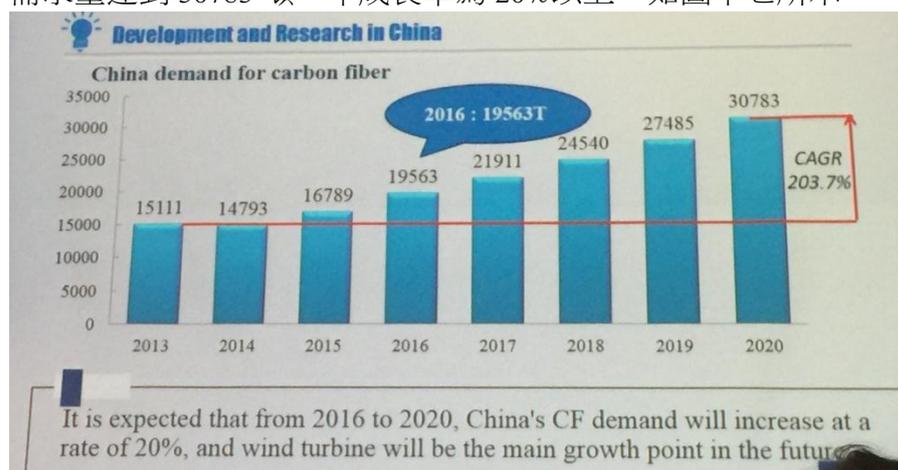
圖十五、全球碳纖維需求預估量

大陸在碳纖維的研究，早期在 1962 年從 PAN 前驅物開始研究，1970 年代著重在連續生產的工藝，到 1975-2000 年階段進入試量產的研究與測試，2000-2017 年進入快速成長的階段，產品從 T300 及 T700S grade(有千噸的生產線)到高強度 T1000 Grade(已有試量產線)，在高模數的研究方面，從 M40 到 M40J/M46J/50J Grade(已有 100 噸級的產線)，在 M55J Grade 已開發試量產線，如圖十六所示。



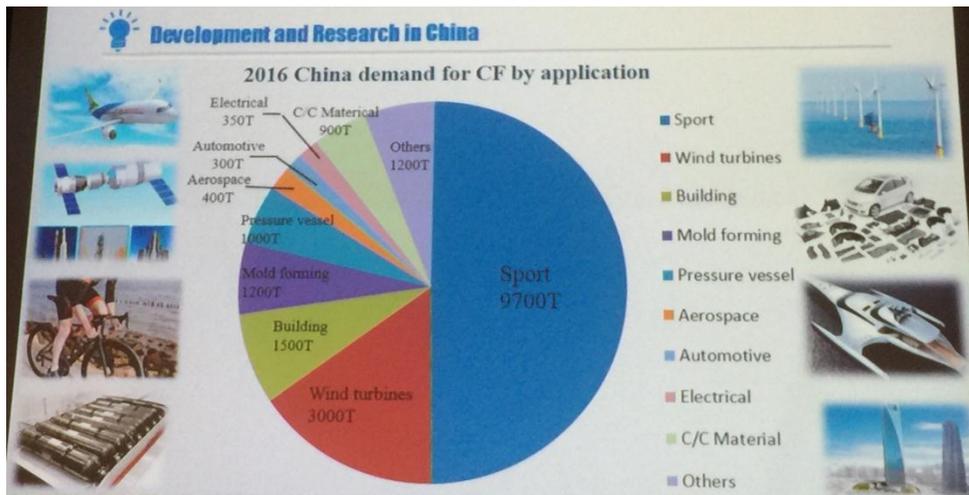
圖十六、大陸在高強度與高模數碳纖維研發狀況

大陸在需求方面，在 2013 年為 15111 噸，2016 年達到 19563 噸，預估到 2020 年需求量達到 30783 噸，年成長率為 20% 以上，如圖十七所示。



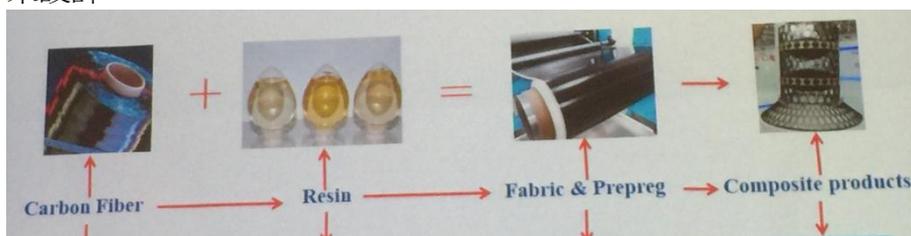
圖十七、大陸到 2020 年碳纖維需求量預估值

在 2016 年大陸碳纖維使用量為 19563 噸，使用量最多為運動器材方面佔 9700 噸 (62%)，風力方面為 3000 噸(佔 15.3%)，如圖十八所示。



圖十八、2016 年大陸碳纖為使用領域分佈

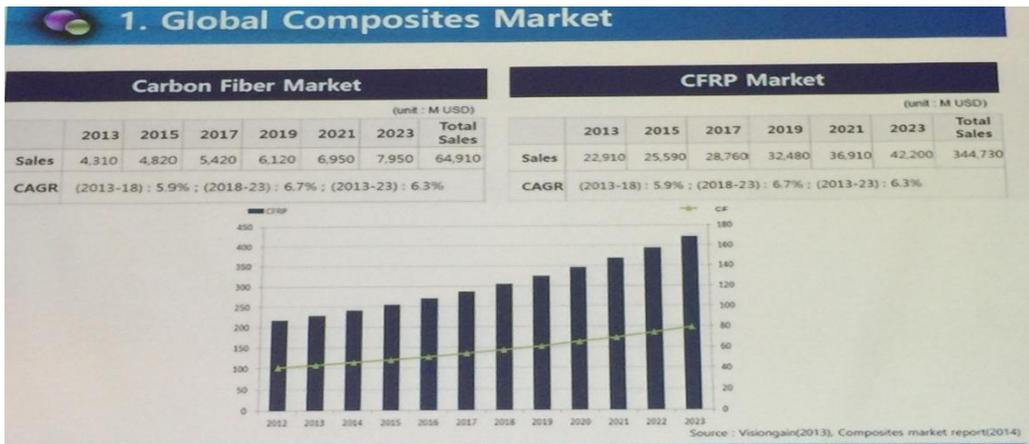
碳纖維複合材料的工藝流程如圖十九所示，有 Carbon Fiber、樹脂當 Binder、成膜到複材成品，每項物件皆有不同工藝流程，自動化的設備也會依據不同的產品來設計。



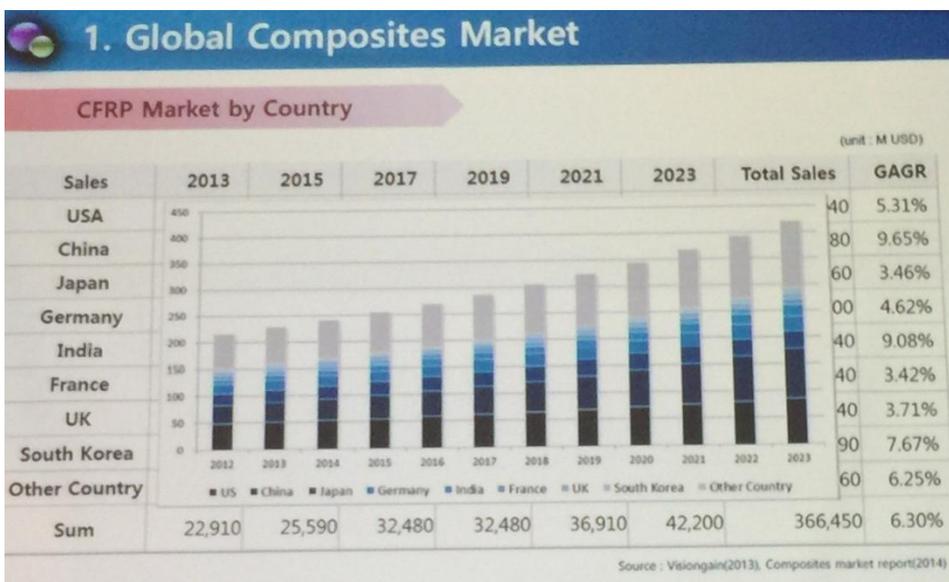
圖十九、碳纖維複合材料的工藝流程

### (三).韓國在碳纖維材料發展現況與策略

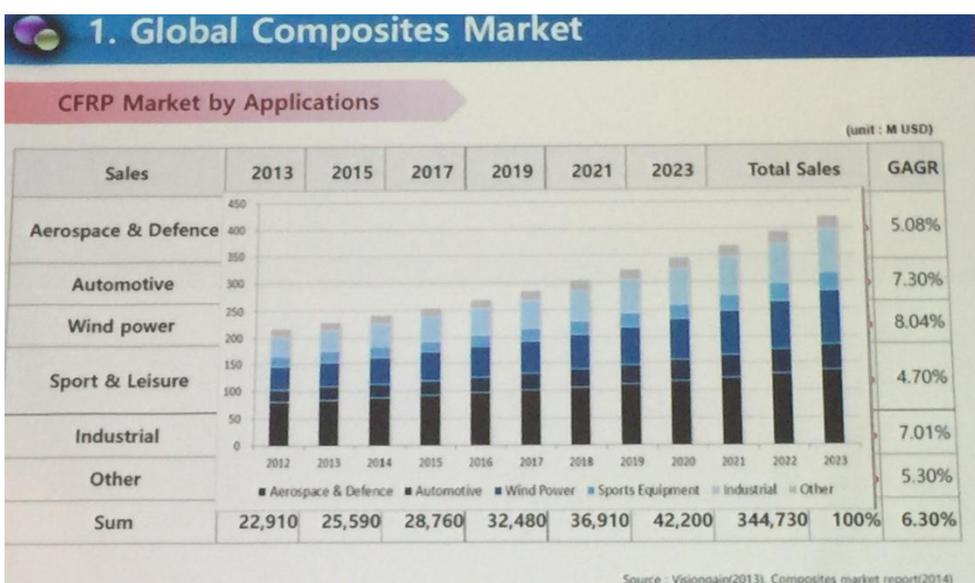
韓國近年大量投入資源開發碳材料相關產業，並針對碳纖維、複合材料及等材料製程與應用等特定議題進行中長期的策略規劃。Kyusoon Park 博士目前任職於 Kctech(Korea institute of Carbon Convergence Technology) ，在簡報中他預估碳纖維從 2017 年產值為 54 億美金到 2023 年成長到 79 億美金，2013 年-2018 年成長率為 5.9%，2018 年-2023 年成長率為 6.7%，2013 年-2023 年成長率 6.3%。而碳纖維複合材料產值將從 229 億元成長到 2023 年的 422 億美元，年成長率也為 6.3%，如圖二十所示。若以國家來分，中國及印度是成長最大的國家，分別達到 9.65% 及 9.08%，如圖二十一所示，在產品應用方面則以風力發電設施的成長率最高，為 8.04%，如圖二十二所示。



圖二十、碳纖維與碳纖維複合材料至 2023 年產值預估

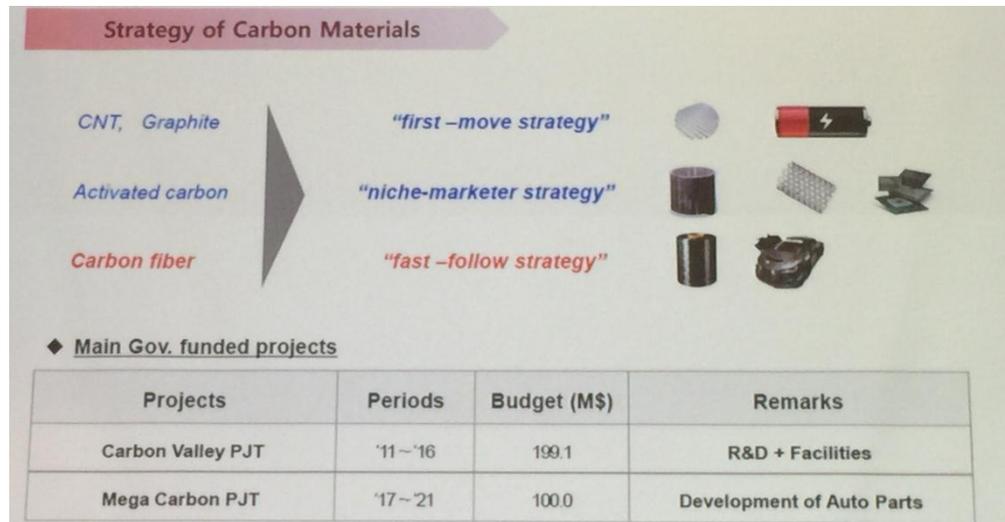


圖二十一、全球碳纖維複合材料各國成長率預估

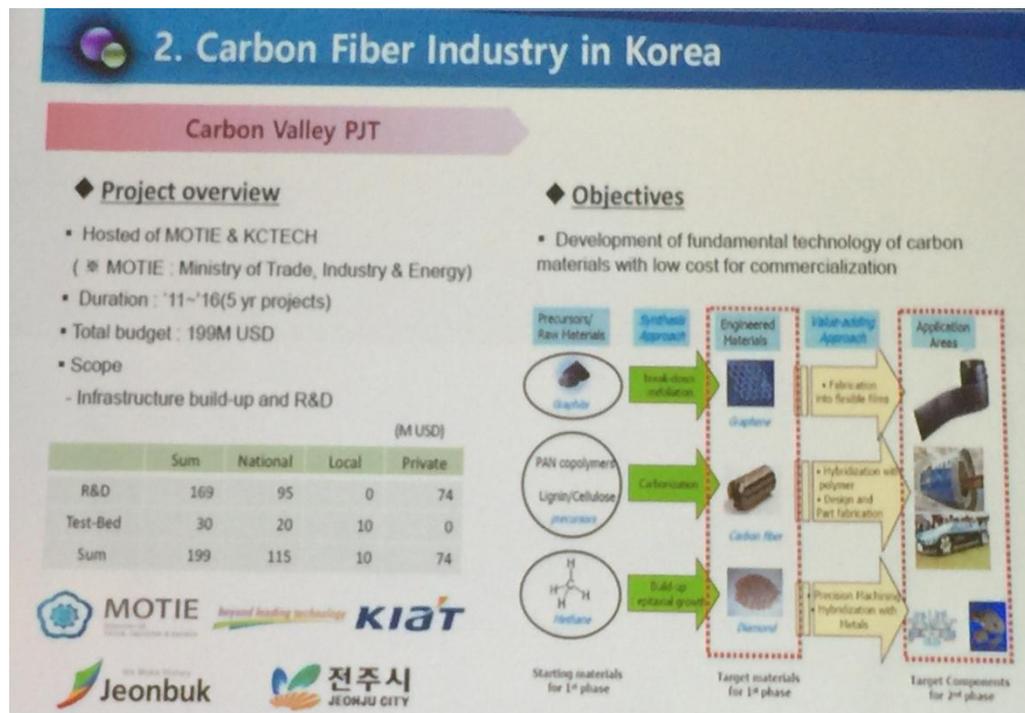


圖二十二、全球碳纖維複合材料產品應用成長率預估

Kyusoon Park 博士提到依據目前市場現況，具有商業價值的碳材料選擇仍以碳纖維與石墨材料為主，如圖二十三所示，並設定 5-9 年的中長期整體開發計畫。同時各計畫之展開皆通過產官學各計畫展開皆涵蓋產官學界，並有政府研發法人及產業鏈加入形成策略聯盟。如圖二十四至二十七所示。



圖二十三、韓國在碳材料的研究規劃及經費



圖二十四、韓國在碳材料的第一期規劃及目標(2011-2016)

2. Carbon Fiber Industry in Korea Carbon Valley_Facilities	
Manufacturing	Analysis
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <b>PAN fiber and CF Manufacturing Equipment</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Polymerization and spinning equipment</li> <li>- Oxidation &amp; Carbonization equipment</li> </ul> </li> <li>▪ <b>Preform Equipment</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Hybrid braiding equipment</li> <li>- Spreading equipment &amp; weaving equipment</li> </ul> </li> <li>▪ <b>Intermediate Manufacturing</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Wet-laid equipment</li> <li>- Thermoplastic UD prepreg</li> <li>- AFP(auto fiber placement) machine</li> </ul> </li> <li>▪ <b>CFRP Manufacturing Equipment</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- HP-RTM systems</li> <li>- Pultrusion machine</li> <li>- Filament winding machine</li> <li>- Non-crimp fabric machine (NCF)</li> <li>- 3D dynamic water jet</li> <li>- High temperature furnace</li> <li>- Ultrasonic machining center</li> <li>- Microwave oven</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Agilent NMR 600MHz Liquid System</li> <li>- Coefficient of thermal expansion measurement system</li> <li>- Contact Angle Analyzer, Surface electro optics</li> <li>- Dynamic contact angle measuring devices</li> <li>- Dynamic Mechanical Analyzer</li> <li>- EMI Shielding Tester</li> <li>- High compression tester</li> <li>- Mechanical tester for Carbon fiber</li> <li>- Micro CT</li> <li>- Powder resistivity measurement system</li> <li>- Real time high resolution 3D holography</li> <li>- Rheometer</li> <li>- Surface analysis machine</li> <li>- Thermal Conductivity tester for fil, and sheet</li> <li>- Universal testing machine</li> <li>- 3D C-Scan</li> </ul>

圖二十五、韓國在碳材料的第一期目標(2011-2016)

## 2. Carbon Fiber Industry in Korea

### Mega Carbon PJT

◆ **Project overview**

- Hosted of MOTIE & KCTECH  
(※ MOTIE : Ministry of Trade, Industry & Energy)
- Duration : 2017 ~ 2021 (5 yrs)
- Total budget : 100M USD
- Scope
  - R&D for Commercialization and Infrastructure build-up

◆ **Objectives**

- Expansion of CFRP applications in diverse industries by cost reduction and first class technologies, especially automotive parts development





圖二十六、韓國在碳材料的第二期規劃及目標(2017-2021)

## 2. Carbon Fiber Industry in Korea Mega Carbon PJT

- Suspension module for vehicle application using rapid curing CFRP
- Side body structure using multi-materials CFRP/foam
- Mass production of trunk lid based on hybrid wet Compression Molding
- Metal/CFRP hybrid riveting technology
- CFRP components using thermoplastic PC resin system
- Cross member using rCF(recycled Carbon Fiber) pellet
- Hybrid construction material using Carbon Fiber Reinforced Concrete
- Carbon fiber ( $\geq T700, 48K$ ) with fast spinning
- Graphite fiber based on petroleum-based materials
- CFRP intermediate manufacturing equipment
- Certification and standardization of all carbon materials

**Light Weight  
CO<sub>2</sub> Reduction**

圖二十七、韓國在碳材料的第二期目標(2017-2021)

韓國政府對碳纖維的產業相當重視，韓國文在寅總統也 announced 政府會支持成立韓國碳材料中心，並投入經費，如 2015.06-2017.05(2 年)、2016.07-2019.06(3 年)、2016.05-2019.04(3 年)及 2014.10-2020.05(5 年)等計畫，分別有其特定的目標，如圖二十八至三十一所示，韓國政府對各計畫展開皆涵蓋產官學界，並有政府研發法人及產業鏈加入形成策略聯盟。計畫總投資總金額達 5 億美元，除基礎環境建構外，更大量招回海外韓籍科學家及引進外部研發人員建構核心研發能量。

### National funded Project

- **Project : Development of light door inner part using thermoplastic prepreg**
- **Period : 2015. 06 ~ 2017. 05(2yrs)**
- **Participants : KOLON, SUNGWOO HITECH, HUMAN COMPOSITE, KAIST, KCTECH**

▪ **Target**

- Development of NCF and thermoplastic prepreg with two fiber
- Light CFRTP auto parts
- Dissimilar bonding technology (Al+CFRP)

▪ **Detailed R&D**

- Hybrid (CF+GF) NCF development
- Thermoplastic NCF prepreg
- Light door inner prototype
- Test and evaluation

**Hybrid thermoplastic prepreg process**

**Dissimilar bonding for door inner**

圖二十八、2015.06-2017.05 計畫規劃及目標

**National funded Project**

- **Project :** Process platform development with flexible materials by 3D printing
- **Period :** 2016.07.01 ~ 2019.06.30 (3yrs)
- **Participants :** Daelim Chem, KETI, KCTECH

- **Target**
  - Flexible carbon composites for 3D printing
  - Process platform for 3D printing
- **Detailed Research Contents**
  - High conductive/heat dissipative materials for 3D printing
  - Carbon compounding for flexible substrate with 3D shape
  - Continuous carbon composites for PCB platform

**Extrusion MC for composite filament**




a) Resin bath, b) Carbon Fiber, c) Nozzle, d) Winder

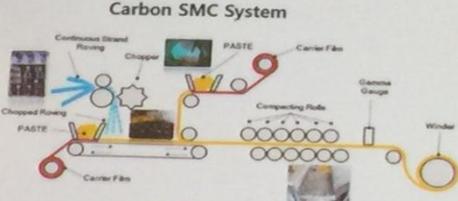
圖二十九、2016.07-2019.06(3年)計畫規劃及目標

**National funded Project**

- **Project :** SMC system development with long carbon fiber for high production of auto parts
- **Period :** 2016. 05 ~ 2019. 04 (3yrs)
- **Participants :** LG Hausys, Dongsung TCS, ILSUNG, KOTMI, KCTECH

- **Target**
  - Resin impregnated chopped carbon fiber
  - SMC system development of sheet type
  - Prototype for battery carrier
- **Detailed R&D**
  - Carbon SMC sheet with high thermal property
  - Compounding formulation
  - Free halogen carbon SMC sheet prototype
  - Mold design and manufacturing process

**Carbon SMC System**



**Battery carrier module**



圖三十、2016.05-2019.04(3年)計畫規劃及目標

**National funded Project**

- **Project :** Environmental friendly & high thermal resistant thermoset resin system for autos
- **Period :** 2014. 10 ~ 2020. 05 (5yrs)
- **Participants :** SHIN-A T&C, SUNGWOO HITECH, KANGNAM CHEM, Renault Samsung, KIMS, SNU, KCTECH

- **Target**
  - Flame resistant thermoset resin system
  - High thermal resistant (180oC) CFRP
- **Detailed R&D**
  - High thermal thermoset resin system
  - Compounding formulation for HP-RTM
  - Adhesion of dissimilar materials
  - Mold design, Test and evaluation of prototype

**HP-RTM manufacturing**



**HP-RTM mold**



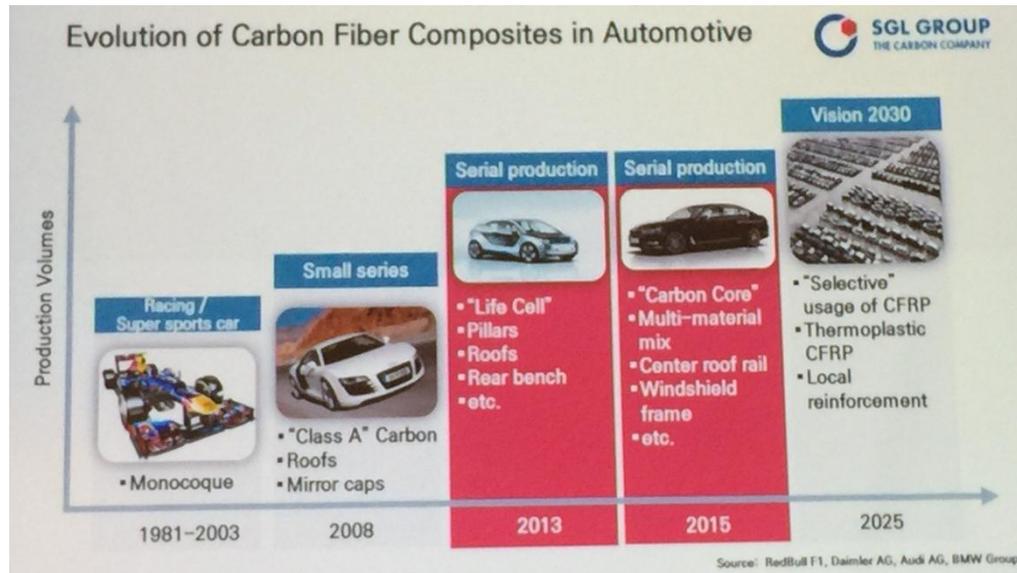
**Stress distribution at bonding area**



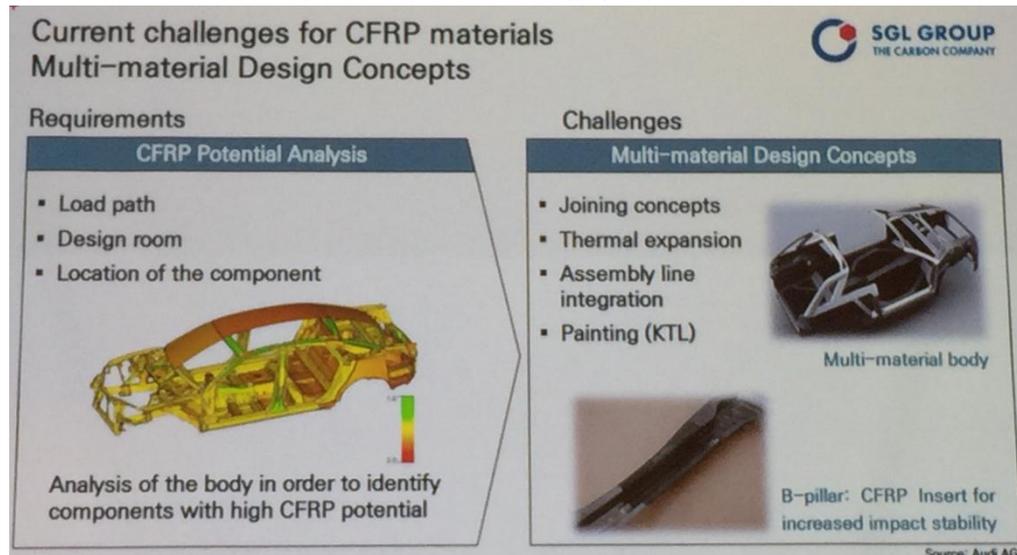
圖三十一、2014.10-2020.05(5年)計畫規劃及目標

#### (四).德國 SGL 公司在碳纖維材料發展現況

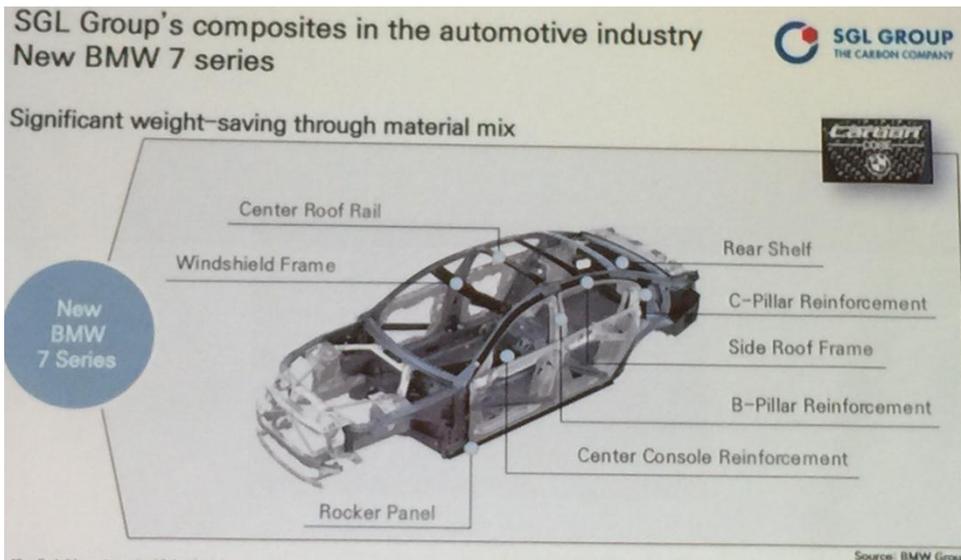
德國最大的碳材料公司 SGL 這次由 Andreas Erber 先生介紹 SGL 碳纖維複合材料在車輛載具的應用評估，他認為在 1981-2003 年之間，CFRP 只應用在賽車或特殊的運動車上，到 2008 年也只是適用在小型車上，到 2013-2015 年就有一系列的車子使用 CFRP，預估 2030 年就全部使用熱塑性的 CFRP 材料了，如圖三十二所示。目前有一些課題必須克服，如不同材料如何結合?熱膨脹係數的問題?組裝及外表面的塗裝問題?如圖三十三所示。針對這些問題，SGL 公司也是成立相當多的研究團隊進行研究，目前該公司有針對 BMW7、Audi 及 Leaf 等車型提供 CFRP 結構件的應用，如圖三十四至三十五所示。SGL 與車廠合作，有一個輕量化與應用中心(Lightweight and Application Center)簡稱 LAC，介於材料開發單位與市場端中間，當成兩者的橋梁，該中心的工作項目如圖三十七所示，就如試量產的定位。



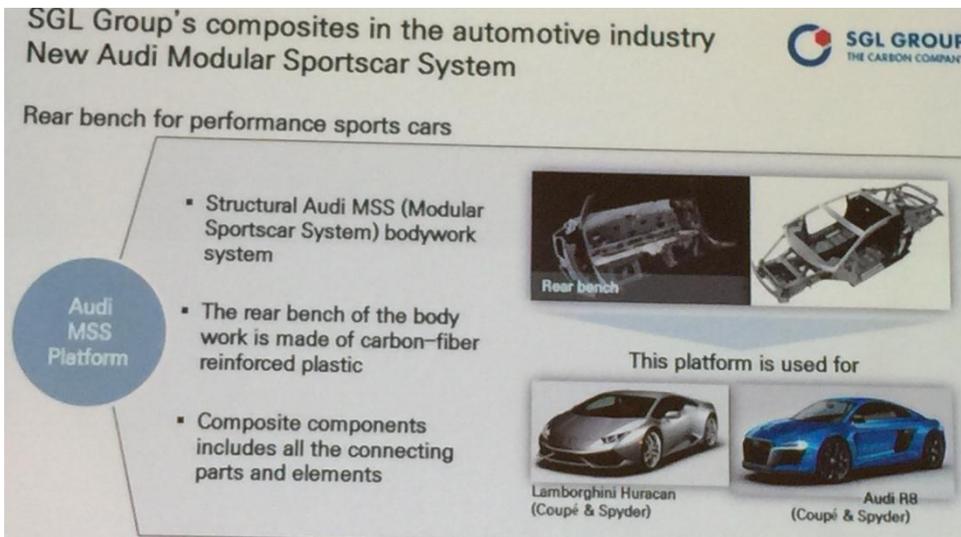
圖三十二、SGL 公司對碳纖維複合材料在車輛載具的應用評估



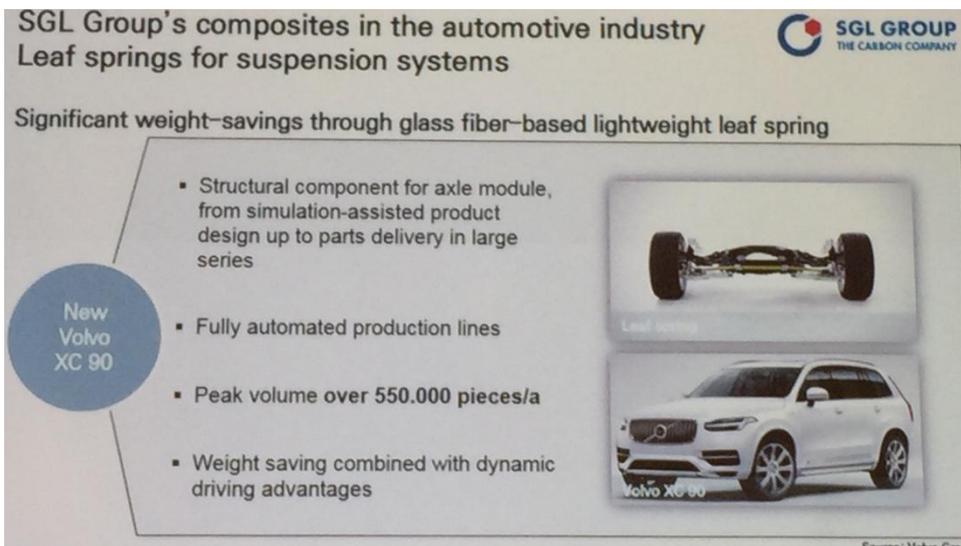
圖三十三、對碳纖維複合材料在車輛載具的挑戰



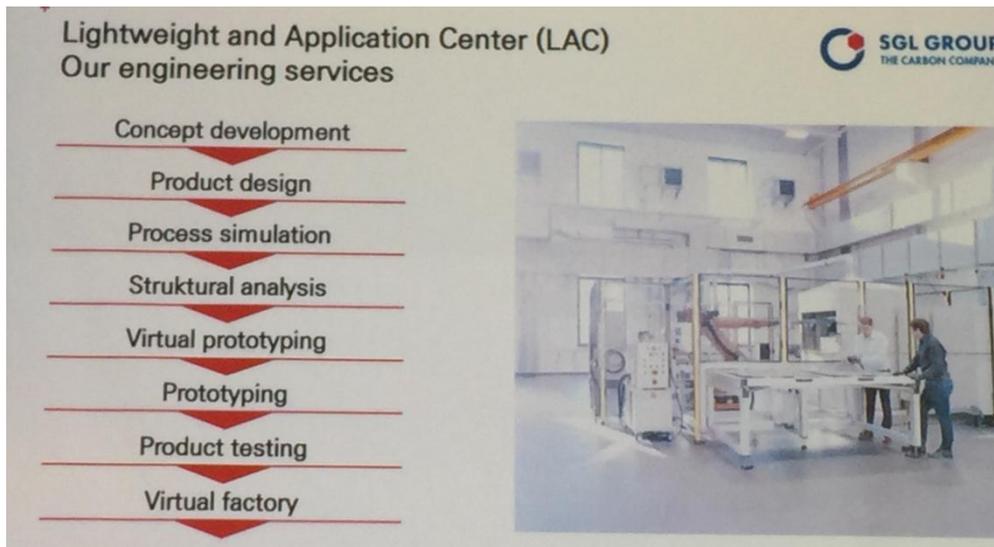
圖三十四、BMW7 車型 CFRP 結構件的應用



圖三十五、Audi 車型 CFRP 結構件的應用



圖三十六、Leaf 車型 CFRP 結構件的應用



圖三十七、LAC 中心的工作項目

#### 四、心得與建議

此次有機會參與 2017 年 JEC Asia 國際複合材料研討會，實在獲益良多，尤其碳纖維複合材料在大型工業設備、發電用大型風機扇葉、電動車輛、汽車零件及燃料電池儲氫罐等領域，深深體會到，能夠活用各種材料本身的特性，去截長補短，進而形成嶄新的材料體系以提升碳材料效能；這樣的活用思維，對於日後在研就能量上有許多的幫助。另外，各家研究單位或者產業單位，無不投入大量資源進入此領域的開發，尤其是韓國政府大力支持下，更激發更多廠商人力及經費的投入，也注意到大陸及印度是未來 CFRP 需求量最大的地方，透過此研討會的參與和討論，更可深刻體會世界研發的動能和活躍，更警惕著我千萬不能鬆懈，否則就會被紅海所淹沒了。殷切希望從這次會議帶回來的資訊，除了提供技術上的最新訊息外，也期望能鼓舞我們公司甚至台灣相關產業，於此領域的熱情和靈感，投入更多的資源於技術開發、市場開拓以及相關智財的佈局等，為台灣下一市代的產業定調，也能和國際趨勢接軌。

幾點建議如下：

1. 目前公司使用自有重質油料所開發非晶型碳材，已有初步成果，對於性能提升，可藉由其它碳材料來進行改質，例如精製瀝青、短切纖維等。這些改質碳材，可經公司自有油料進行適當改質來製得，可以評估可行性。
2. 碳纖維的應用會越來越廣泛，開發等向性及異向性的可紡瀝青以作為碳纖維製作的前驅物是一個值得投入的研究工作，不僅達到公司高值化的策略目標，更能創造獲利。
3. 韓國為加速發展碳材料相關產業，在碳纖維嚴究開發上，並設定 5-9 年的中長期整體開發計畫。同時各計畫之展開皆通過產官學各計畫展開皆涵蓋產官學界，並有政府研發法人及產業鏈加入形成策略聯盟。計畫總投資總金額達

5 億美元，除基礎環境建構外，更大量召回海外韓籍科學家及引進外部研發人員建構核心研發能量，看到韓國在碳材料產業的佈局，相對台灣則沒有整體的政策規劃與佈局，所以建議我國更應結合產官學界進行自己的產業規劃，不止是 CFRP 材料，其他如台灣半導體業、長晶廠每年進口大量人工石墨塊，若遭到斷貨則可能引起產業斷鏈，所以更應加緊腳步急起直追進行研究與生產。

4. 德國 SGL 公司在產品開發與市場端有一個 Lightweight and Application Center) 做為一個橋梁，會依據市場端的需求從概念的發想、產品設計、流程模擬、構件分析、外觀審視與產品測試，一切可行之後才進入生產階段，可切入客戶需求及降低產品研發及生產的風險，是值得做產品開發者的參考。