

行政院及所屬機關出國報告

(出國類別：考察)

赴德國考察水泥品質檢測驗證、邊境調整機制(CBAM)及碳費制度設計、推動低碳水泥發展及相關技術商業化過程與替代能源之應用 出國報告

服務機關：經濟部標準檢驗局

姓名職稱：賴俊杰 副局長

黃雯苓 簡任技正

劉冠麟 科長

黃凱弘 科長

派赴國家：德國

出國日期：113年3月9日至113年3月17日

報告日期：113年6月11日

摘要

本局業依「商品檢驗法」將「卜特蘭水泥」及「水硬性混合水泥」列為應施檢驗商品，檢驗標準分別為 CNS 61「卜特蘭水泥」及 CNS 15286「水硬性混合水泥」，檢驗方式為監視查驗並實施管理系統監視查驗，進口或國內出廠該等商品均須檢驗符合規定後，始得於國內市場上販售。

近來因應淨零減碳、循環經濟及碳費等因素，水泥業者於製程上須進行調整及技術轉型(碳捕捉利用及封存，CCUS)，又該等調整或轉型方式，會涉及水泥商品品質規範(如氯離子含量)修訂，如何兼顧業者需求及推動管理措施，爰希借鏡國外相關作法，提供國內業者及機關訂定相關檢驗管理規劃之參考。

鑑於德國有全球首屈一指之水泥產業，該產業具因應淨零碳排，進而開發應用之檢測技術，故本次赴德國拜會當地水泥公會就國外之水泥管理方式、標準及檢驗技術發展，及當地水泥業者就淨零碳排因應方式交流、拜會林德集團(Linde)、德國蒂森克虜伯工業集團旗下公司(thyssenkrupp Polysiu, tkPol)公司及實地參訪其水泥工廠 Phoenix Cement 公司瞭解碳捕獲技術場域、開發之水泥產業最新純氧燃燒製程與技術等，與卡爾斯魯爾理工學院(KIT)及其 Celitements 商轉公司交流水泥節能製程之最新研究及商業應用發展等，並會晤 TUV 南德意志集團(TÜV SÜD)及德國萊因 TÜV 集團(TÜV Rheinland)兩家檢測認證機構，請益歐盟就碳捕捉之技術、標準或驗證層面，與氫燃料等替代能源運用於水泥產業之發展趨勢，藉以瞭解並蒐集前述議題之相關資料。

目 錄

壹 背景及目的.....	1
貳 參訪行程內容.....	2
參 參訪內容紀要.....	4
一、參訪 TÜV 南德意志集團.....	4
(一)單位簡介.....	4
(二)交流活動.....	4
二、參訪林德集團.....	10
(一)單位簡介.....	10
(二)交流活動.....	11
三、參訪德國水泥公會.....	16
(一)單位簡介.....	16
(二)交流活動.....	16
四、參訪蒂森克虜伯工業集團旗下公司及其水泥廠.....	23
(一)單位簡介.....	23
(二)交流活動.....	24
五、參訪德國萊因集團.....	32
(一)單位簡介.....	32
(二)交流活動.....	32
六、參訪卡爾斯魯爾理工學院及其商轉公司.....	37
(一)單位簡介.....	37
(二)交流活動.....	37
肆 心得與建議.....	42
伍 參考資料.....	45

壹、背景及目的

因應台灣區水泥工業同業公會建議提升卜特蘭水泥國家標準之氯離子含量限值議題，本局相關評估辦理方式，除已完成蒐集國內水泥廠場實際執行概況及影響程度資料，及辦理水泥模擬試驗計畫外，瞭解國外水泥產業對於水泥產品之氯離子含量管理及技術開發內容，借鏡國外方式，亦是評估辦理方式重要環節之一，惟基於國外資訊涉及工廠實際製程面及設備措施之運行，僅以書面方式蒐集相關資料有其難度，故藉實地考察方式，蒐集相關資訊。

配合 2050 淨零政策，身為碳排較大之水泥業，多藉由「碳捕捉利用及封存(CCUS)」及「資源循環零廢棄」為技術轉型之重點項目，另 CBAM 要求自 2026 年起，納管產品包含水泥等進口商應於每年 5 月 31 日前於指定登錄系統提交前一年 CBAM 申報單及產品碳含量查證報告影本，此外，國內預定自 2025 年開徵碳費，考量國內水泥業者因應該等政策，配合調整相關製程過程中，常涉及水泥商品品質規範(如氯離子含量)相關議題，爰希借鏡國外相關作法，提供國內業者及機關訂定相關檢驗管理規劃之參考。

查德國有全球首屈一指之水泥產業，該地區產業具因應淨零碳排，進而開發應用之檢測技術，故本次赴德國當地水泥公會、水泥廠、學術單位及相關認證單位等進行考察與交流，瞭解並蒐集前述議題之相關資料。

貳、參訪行程內容

為考察德國水泥產業就減少碳排之因應作法及水泥中氯離子含量管制等事宜，由本局賴副局長俊杰率局內相關同仁，及邀請台灣區水泥工業同業公會、臺灣水泥股份有限公司、亞洲水泥股份有限公司、國內法人機構等單位代表共同前往拜會德國水泥公會、林德集團(Linde)、德國蒂森克虜伯工業集團旗下公司(thyssenkrupp Polysiu, tkPol)公司及其水泥工廠 Phoenix Cement 公司、卡爾斯魯爾理工學院(KIT)及其 Celitements 商轉公司，並會晤 TUV 南德意志集團(TÜV SÜD)及德國萊因 TÜV 集團(TÜV Rheinland)兩家檢測認證機構，參訪日期：113 年 3 月 9 日至 17 日共計 9 日，參訪行程內容簡述如下：

日期	行程	行程內容
3 月 9 日(六)至 3 月 10 日(日)	桃園機場搭機前往德國法蘭克福機場(轉機)至德國慕尼黑	
3 月 11 日(一)	拜會 TUV 南德意志集團(TÜV SÜD)	水泥之碳排放的捕獲、再利用及封存(CCUS)技術與氫能等替代能源用於水泥產業之發展趨勢議題交流
	拜會林德集團(Linde)	
3 月 12 日(二)	拜會德國水泥公會 [German Cement Works Association (VDZ)]	國外之水泥管理方式、標準及檢驗技術發展，及當地水泥業者就淨零碳排因應方式交流
3 月 13 日(三)	拜會德國蒂森克虜伯工業集團旗下公司 (thyssenkrupp Polysiu, tkPol)及參訪其 Phoenix Cement Plant 水泥廠	瞭解碳捕獲技術場域，開發之水泥產業最新純氧燃燒製程與技術
3 月 14 日(四)	拜會德國萊因 TÜV 集	水泥之碳排放的捕獲、再

	團(TUV Rheinland)	利用及封存(CCUS)技術與 氫能等替代能源用於水泥 產業之發展趨勢議題交流
3月15日(五)	拜會卡爾斯魯爾理工 學院(KIT)及其 Celitements 商轉公司	考察水泥節能製程之最新 研究及商業應用發展
3月16日(六)至 3月17日(日)	搭機返臺	

參、參訪內容紀要

一、參訪 TÜV 南德意志集團

日期：113 年 3 月 11 日

地點：德國 慕尼黑

(一) 單位簡介

TÜV 南德意志集團(TÜV SÜD)於 1866 年成立，總部位於德國慕尼黑，至今已超過 150 年，初期為蒸汽機之檢測協會，該集團在全世界擁有 1,000 多個代表處，員工人數超過 26,000 人，服務區域主要是在歐洲、北美及亞太地區，每年營收超過 29 億歐元。

該集團在德國及全球是知名的產品檢測驗證機構，其服務項目包括機械安全、電子和電氣消費品、遊樂設施和遊樂場、汽車、承壓設備和工業裝備、化工、石化、太陽能產品、燃氣產品、風力發電、工程機械與工業機器等領域產品測試驗證，亦是獨立第三方驗證單位。另對於前述產品領域，TÜV SÜD 之服務範疇同時包含了產品之研發、測試、製造及使用階段等生命週期(如圖 1)。

(二) 交流活動

1. 交流活動紀要

本次參訪 TÜV SÜD，係藉由本局同仁及法人機構透過該集團台灣分公司積極聯繫協助下，安排前往其慕尼黑總部拜會，並就碳捕捉之技術、標準或驗證層面，與氫燃料等替代能源運用於水泥產業之發展趨勢作為參訪目標。交流會議過程中，該集團其他地區負責人透過視訊方式共同參與討論，並分享碳捕獲、利用與封存(Carbon Capture Utilisation and Storage, CCUS)及該單位可持續發展服務方案(以氫能議題為例)之實際經驗進行

簡報，重點如下：

Adding value across the business lifecycle

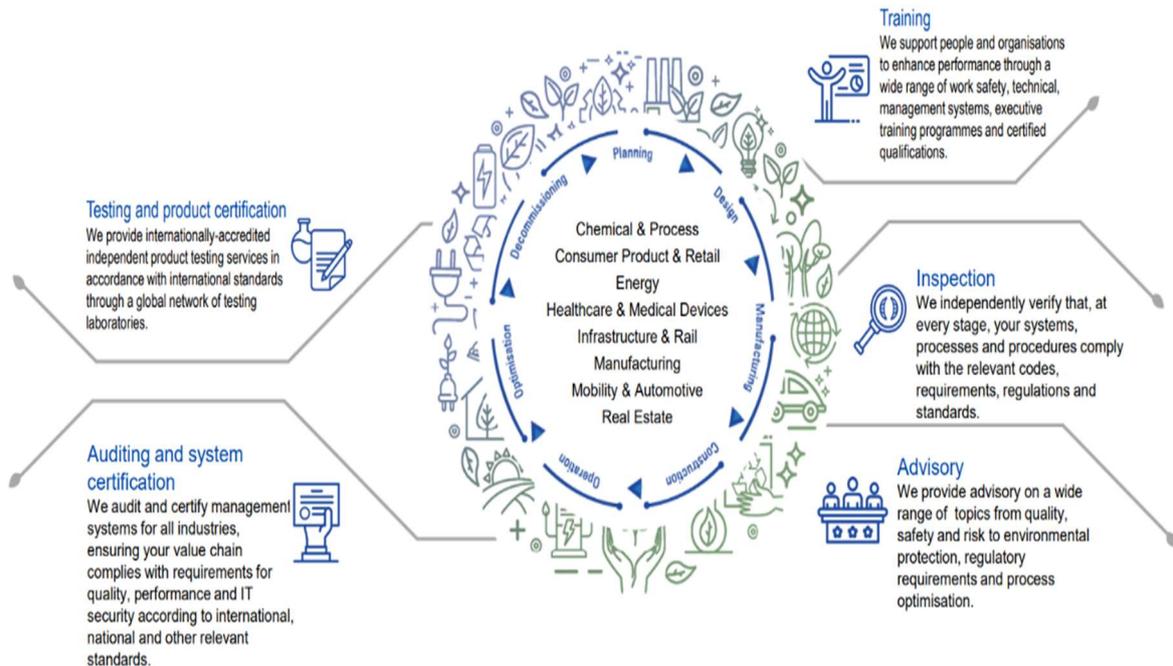


圖 1 TÜV SÜD 產品服務生命週期示意圖

(1) CCUS 部分：

因應淨零碳排及碳費徵收等議題，透過二氧化碳捕捉、封存、再利用技術將工廠排放或大氣中的二氧化碳進行捕集和灌入地底封存或再利用，是水泥等高碳排產業降低二氧化碳排放量的重要應用技術。

全球對於 CCUS 尚在研究發展階段，TÜV SÜD 在 CCUS 層面發展，主要著重於擔任英國政府技術顧問(能源安全與淨零部)之 CCUS 計劃團隊，並提供諮詢及執行如「CO₂ 規範 JIP-WP7-計量」及「測試和校準-氣體迴路」各項測試如圖 2，並預計 2025 年第一季推動「測試和校準-密相迴路」。

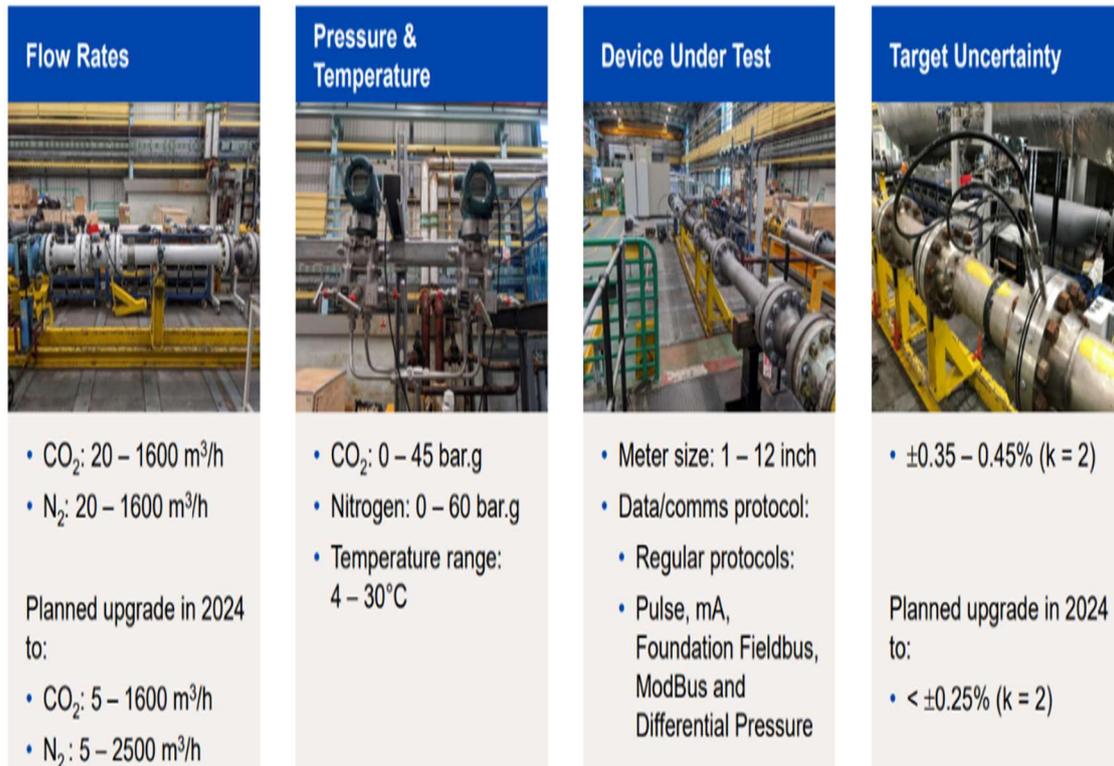


圖 2 「測試和校準-氣體迴路」各項測試校正資料示意圖

TÜV SÜD 刻正協助制修訂 CCUS 相關標準，如 ISO 27913 「碳捕捉、運輸與地質封存-管線運輸系統」、歐洲標準委員會 CEN TC 474/ WGX 「碳捕獲、利用與封存」、英國標準協會工作項目提案(NWIP) 「二氧化碳計算：量化、品質與驗證」(如圖 3)，期藉由標準化過程減少不確定性，並提供開發相關驗證方案，藉此打開商業規模，落實發展。

(2) 可持續發展服務方案部分：

氫可作為能量載體及儲存介質，在實現脫碳淨零排放目標，目前被視為具有巨大潛力，故我國及世界各國已經開始支持在專案中引入氫，包括在運輸行業生產綠氫以及在各種應用中使用氫。TÜV SÜD 在氫能發展範疇上，已導入可提供之服務項目包含：綠氫/低碳氫驗證、

技術服務、測試、人員訓練及策略評估等，由於 2050 年淨零排放需求，氫能交易量逐漸增長，爰 TÜV SÜD 之認證服務需求亦日增，其認證之標準包括：TÜV SÜD CMS 70/CMS 77 及 ISCC/ CertifHy。

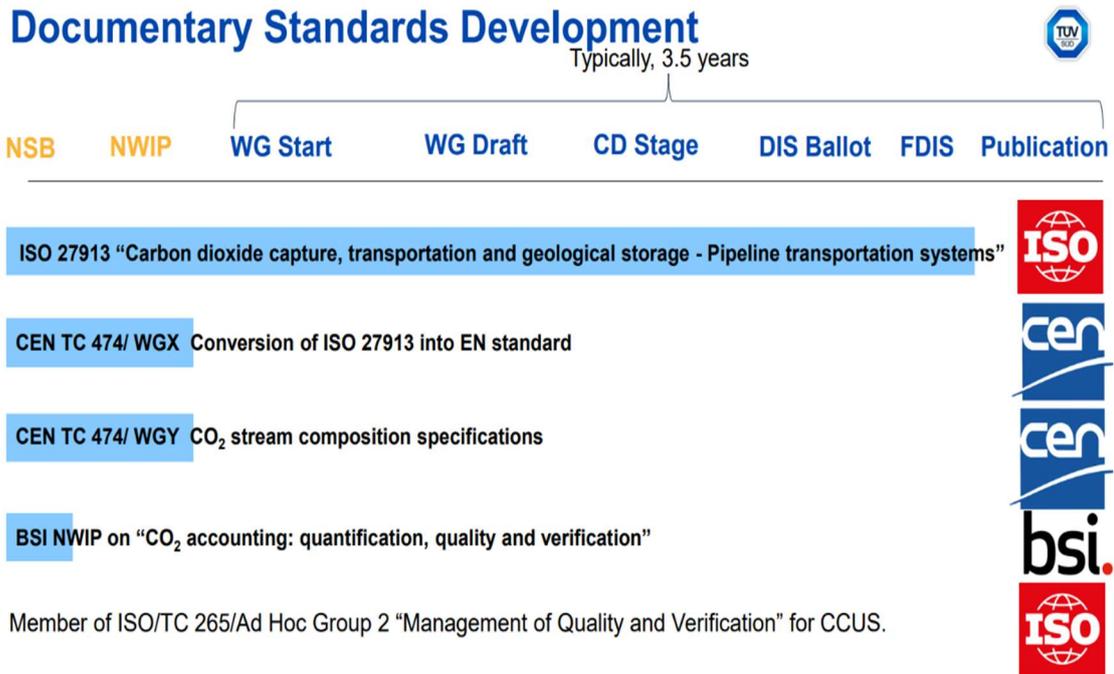


圖 3 TÜV SÜD 協助制修訂相關標準示意圖

據查，TÜV SÜD 是歐盟境內第一個針對綠氫(Green Hydrogen)與低碳氫(Low Carbon Hydrogen)之能源來源證明(Guarantee of Origin, GOs) CertifHy GO 方案之認可驗證機構，可執行生產設備(Production Devices)查核及生產批次(Production Batch)查核。

2. 交流議題

議題一：現行 TÜV SÜD 提供有關 CCUS 服務所依循之相關標準及規範，其中標準部分係屬國際標準或是產業標準，另相關規範係政府制定或是產業自發訂定之規範？

回覆：TÜV SÜD 依循標準包含國際標準、區域性(如歐盟)標準及部分產業標準，並會提供各界制定標準之必要性協助，另依循相關規範係依政府訂定政策規範。

議題二：CCUS 中碳儲存層面是最重要一環，但是現在對於碳儲存之濃度等似乎尚無標準，故請教是否有相關標準資訊及 CCUS 與溫室氣體 (Greenhouse Gas, GHG)及 ISO 17064「溫室氣體排放查證/確證」配合之實務經驗？

回覆：

- a.以英國為例，英國政府訂定相關準則，原則上由業者確保無洩漏及提供監控方式之證明，經由政府發予核可證明方進行碳儲存事宜，另外歐盟於 113 年 2 月份成立工作小組，刻正就碳儲存涉及之洩漏及監控內容研討中。
- b.因現行對於 CCUS 相關國際標準尚在討論階段，爰尚無法就水泥業者提供該等驗證服務，僅就前述相關計量、水泥碳中和及能源管理方面做驗證，另可提供專家意見及研提策略供選擇，並持續留意 CCUS 相關訊息，以期即時提供驗證服務。

議題三：水泥業目前為了減碳，會考量以氫氣做為替代燃料，TÜV SÜD 是否和設備商合作導入氫能？

回覆：現行是有相關案例用氫氣取代燃料，惟要從設備層面計算使用氫能之所需成本是否符合需求，另外製程也要大幅改變，故得由業者評估是否符合利潤下再去推動。

3. 交流活動剪影



圖 4 TÜV SÜD 集團其他地區人員透過視訊會議參與會談



圖 5 參訪團人員與 TÜV SÜD 永續長 Celine Bilolo(右六)與副總裁 Rapp Hajo(左五)等人合影

二、參訪林德集團(Linde)

日期：113 年 3 月 11 日

地點：德國 慕尼黑

(一) 單位簡介

林德集團(Linde)為全球工業氣體企業，業務遍及台灣等 100 多國，員工 7,300 人，年營業額約 330 億美元，主要業務範圍包含氣體分離、氫及合成氣體、氣體吸附薄膜、化石燃料減碳之永續方案等，主要核心業務分別約分為氣體(Gases)及工程(Engineering)兩大項，其中氣體是其最大領域，該生產之工業氣體應用於各種領域，從醫院用氧到電子行業之所需之高純度氣體及特殊氣體等，亦包含用於潔淨能源之氫氣等，工程部門則包括應用在烯烴設備、天然氣設備和空氣分離設備以及氫氣和合成氣設備等(如圖 6)。



圖 6 林德集團業務領域示意圖

該集團透過三大層面(如圖 7)，包含碳捕捉及氫能、再生能源及循環經濟，並期於 2035 年達到降低 35 % 碳排之目標，以符合 2050 淨零排放之趨勢。



圖 7 林德集團推動淨零減碳示意圖

(二) 交流活動

1. 交流活動紀要

本次參訪林德集團，係藉由駐德代表經濟組及本局同仁積極聯繫協助下前往拜會，並以碳排放的捕獲、再利用及封存(CCUS)技術及替代能源用於水泥產業之發展趨勢參訪目標。該公司由工程部門研發執行董事 Mr.Klaus Ohlig 及銷售執行董事 Dr.Mark Scherle 接待，該集團並就二氧化碳捕集技術進行簡報，重點如下：

該公司針對水泥生產之直接、間接及供應鏈之碳捕及減少排放等問題，透過一站式服務方式提供協助(如圖 8)，並在不同階段(含原料、儲存、運輸及應用等)及不同碳含量來源下，提供不同方法進行二氧化碳捕集，而碳捕集程序之捕集率越高，可拉進與淨零碳排之距離，惟現行在提高捕集率下，可能需要設置更大的設備或更多製程設備，導致每捕集一噸二氧化碳所需能耗增加進而增加成本，如何取得這些因素之平衡，是業者須審慎評估考量的議題。本次會議主要對現行林德集團開發使用較廣之 3 種技術方法進行介紹。

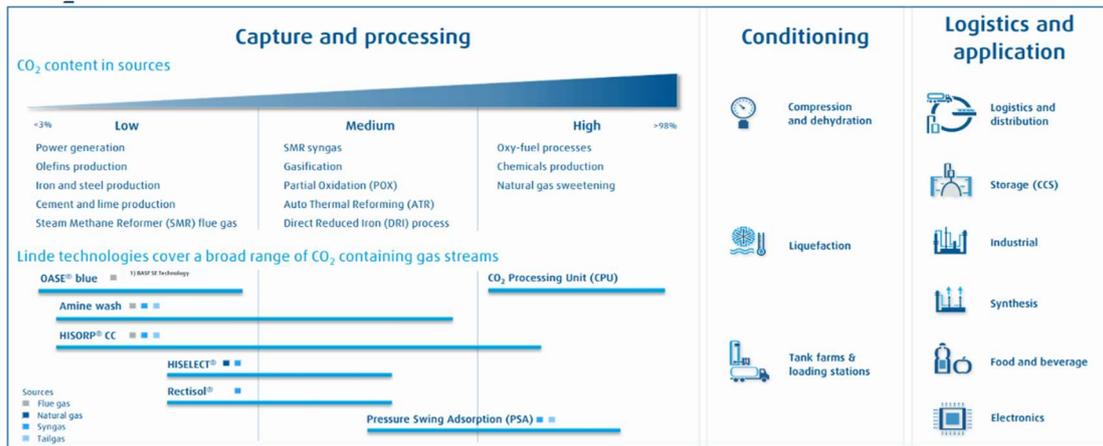


圖 8 林德集團碳捕抓技術應用層面示意圖

(1) 胺洗技術(Amine Wash Technology)

採用巴斯夫 OASE®溶劑的胺洗技術，用於捕捉煙道中的二氧化碳氣體，該技術可應用於發電業、鋼鐵業、水泥業等產業，其煙氣(Flue gas)、天然氣(Natural gas)及合成氣(Syngas)中二氧化碳濃度少者(佔比約 3 -25 %者)，該技術須提供熱源，而所需熱源可以透過熱泵或可用的儲熱器提供(圖 9)，其二氧化碳捕獲率高達 95 %。目前該技術運用之實例為刻正建置中之德國海德堡水泥公司(圖 10)，另外以過去 15 年來之實際案例來看，採用該技術之產業，由最早每天可捕捉 7 噸量，到現在有些產業每天可以捕捉 225 噸量。

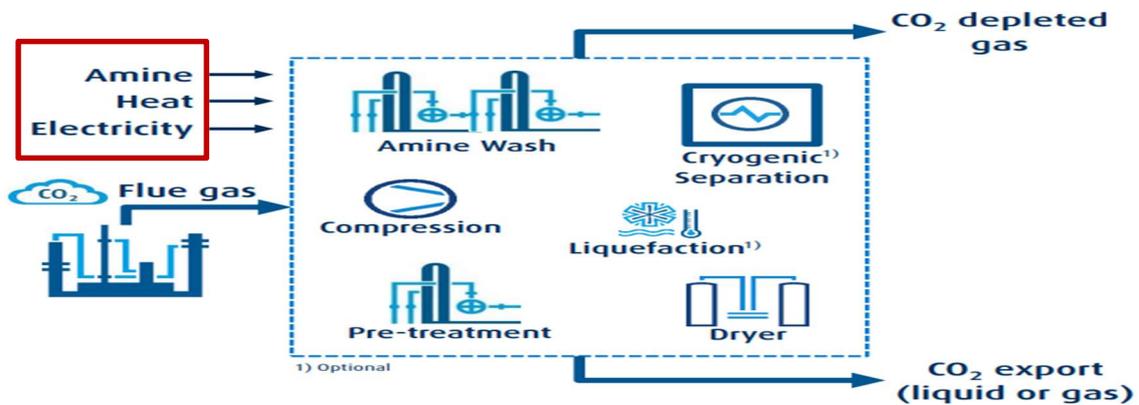


圖 9 林德集團胺洗技術製程流程圖



圖 10 林德集團胺洗技術實際案例示意圖

(2) 模組化技術(HISORP® CC Technology)

採用林德的內部吸附技術與低溫技術，透過使用不同饋送流的單獨設施，在設備尺寸和規模較有彈性，並可適應各種 CO₂ 產品(液態或氣態)要求，其二氧化碳捕獲率高達 99%，具無需通入蒸氣且不需消耗、處理和處置化學清潔劑之特性(圖 11)，該技術目前跟很多水泥業合作，另該技術與胺洗技術最大差異在於本技術可僅用電力，不需提供熱源。目前該技術運用之實際案例，包含產氫工廠等(圖 12)

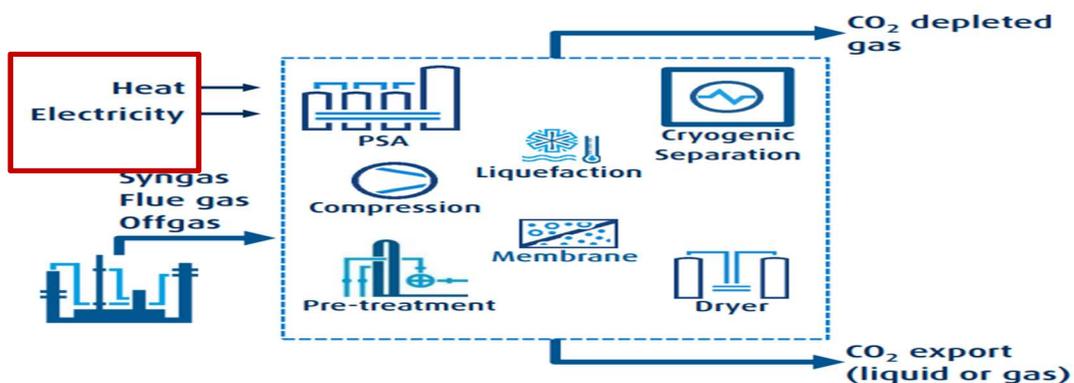


圖 11 林德集團模組化技術製程流程圖



圖 12 林德集團模組化技術實際案例示意圖

另外林德集團與德商 Holcim 公司合作，透過甲醇及電解槽產氫，可為新型富氧燃燒窯提供替代能源，也與國內台泥公司在富氧燃燒有 3 年期合作方案刻正進行中，期藉此技術就減少碳排放能有顯著效益。

2. 交流議題

議題一、採用胺洗技術執行整個循環製程，約會損失多少胺？

回覆：依現行執行實際經驗上，損失量不會太大，因為在製程中會讓胺再會收運用，以達到最小損失量。

議題二、水泥窯氣體可能含有部分粉塵，捕捉氣體是否要前處理，以歐洲實際經驗，捕捉一噸碳約需多少成本？

回覆：

a. 當知道不同氣體時，有不同系統可以進行將粉塵等進行前處理並清除，現行也有針對硫化物、氮化物及重

金屬進行前處理之方式。

- b. 一噸碳要多少成本決定於廠規模，且影響成本最大因素在於運輸及儲存設備，另二氧化碳濃度也會影響捕捉量，一般而言成本約需 20 到 30 歐元。

3. 交流活動剪影



圖 13 參訪團人員與林德集團研發執行董事 Klaus Ohlig(左五)等人合影

三、參訪德國水泥公會 [German Cement Works Association (VDZ)]

日期：113 年 3 月 12 日

地點：德國 杜塞道夫

(一) 單位簡介

VDZ 由德國水泥製造商於 1877 年成立，總部位於北萊茵-西伐利亞邦杜塞道夫，員工數約 200 名，為德國水泥產業的經濟、技術和科學組織。該公會宗旨為維護和促進水泥產業的共同經濟利益、研究和開發水泥相關技術和科學及參與國家和國際標準及技術法規的制定和發展。目前有 16 家會員廠商，前揭會員在德國共擁有 45 個水泥廠(包含 31 個生產熟料/水泥廠、13 個研磨廠及 1 個混合攪拌廠)，年營業額超過 30 億歐元。另有 3 家德國公司和 20 家外國企業為 VDZ 準會員。

公會業務範圍包含製程技術、碳捕捉和其他與環境氣候保護、水泥性能、混凝土技術、實驗室測試、認證服務及教育訓練等相關領域。

(二) 交流活動

1. 交流活動紀要

本次參訪德國水泥公會，係藉由駐德代表經濟組及本局同仁積極聯繫協助下前往拜會，並以國外之水泥管理方式、標準及檢驗技術發展，及當地水泥業者就淨零碳排因應方式作為參訪目標。交流會議由 VDZ 執行長 Dr. Martin Schneider 接待，說明該公會資金收入來源包含會員占 20 %、政府機構經費占 20 %及提供專業技術服務收入占 60 %、並就水泥與混凝土淨零排放路徑及

行動策略進行簡報，重點如下：

- (1)德國水泥業統計至 2022 年，計有 21 家公司及 53 個水泥廠(其中 33 個可生產熟料廠，具有 38 個旋窯)，2022 年水泥生產量約 3,300 萬噸，熟料生產量約 2,300 萬噸，年營業額約 35 億歐元，員工 8,000 人。
- (2)「聯合國氣候變化綱要公約第 21 屆締約國大會」(COP21)暨京都議定書第 11 次締約國會議(CMP11)，通過巴黎公約(Paris Convention)，設定目標「限制全球溫升於 2 °C 以下，並於 2050 年溫室氣體排放總量為零」。水泥產業因為製程特性，以旋窯高溫鍛燒生產水泥熟料，及燃料與電力等高能源耗用，是碳排放量相對高的產業，約佔全球碳排 7 %；另歐盟排放交易系統(EU ETS)為歐盟氣候政策的基礎，該體系是根據污染者付費原則對歐洲境內發電、供熱、能源密集型產業等之排放源設定一個溫室氣體排放總量上限並隨著時間的推移降低該上限，在最終達成總體排放量下降之目的，該體系採用「總量管制和交易」，可通過買賣許可的方式來進行排放，為達到 2050 年零碳排目標，已規定於 2040 年不再核給新的 CO₂ 允許排放額度(如圖 14)，且德國政府於「聯邦氣候保護法」明定，於 2045 年達成碳中和，爰水泥業需積極投入二氧化碳(CO₂)減量，實現生產碳中和水泥。
- (3)德國水泥業經統計於 2019 年 CO₂ 排放量約 20Mt，CO₂ 排放源來自燃料及製程，要在 2045 年達到淨零排放，可採取的脫碳技術如下：
 - a.製程端：使用替代燃料、運用氫能、提高能源效率、發展碳捕捉與再利用及封存技術(CCUS)等。

b. 產品端：發展 CEM II /C 及 CEMVI 型別水泥、水泥中熟料比例降至 53 % 及運用新型膠結材料等。

No new allowances around 2040

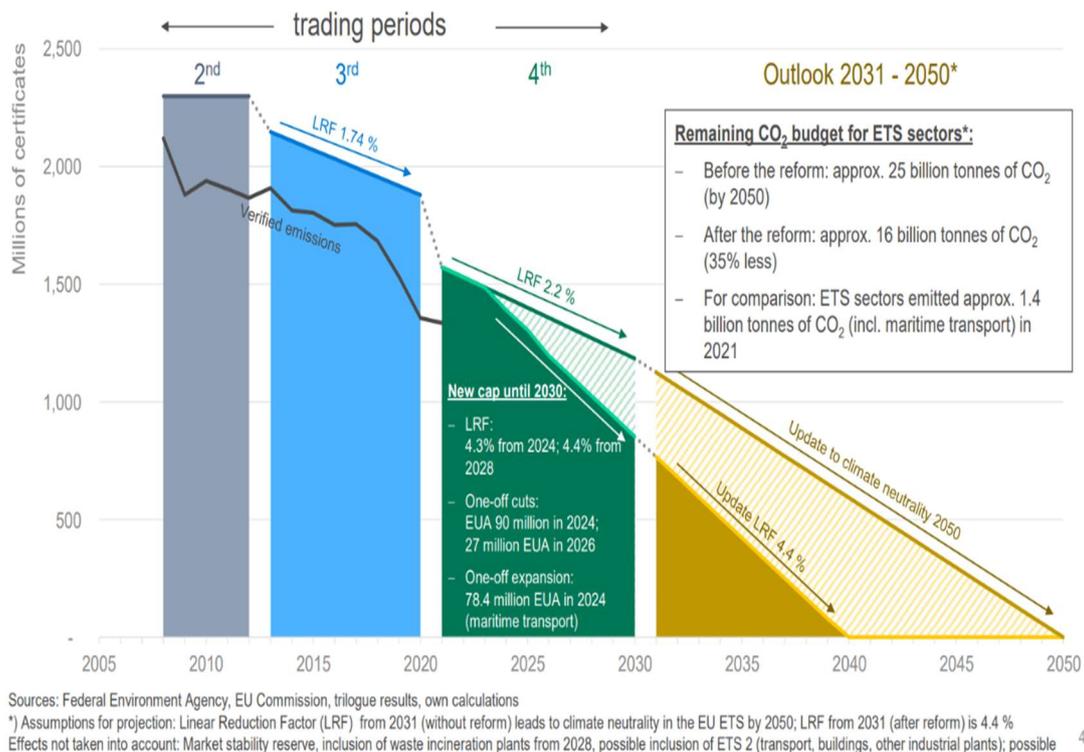


圖 14 歐盟排放權交易：整體允許排放額度

(4) 德國生產水泥所使用之替代燃料占比逐年提高，於 2022 年已達 71 %，其來源包括廢輪胎、廢木材、工業廢棄物、生活垃圾或污泥等，惟其使用皆必須符合水泥熟料之製造程序及品質要求。

(5) 在降低熟料使用的部分，為降低碳排，積極發展低碳水泥，即調整個水泥型別組成，增加替代材料的運用，爰持續修訂水泥標準，增列可替代材料項目及比例，於 2020 年修訂 EN 197-5，增加 CEM II /C-M 及 CEMVI 型別水泥，CEM II /C-M 熟料比例可降到 50 %，CEMVI 則可降到 35 %，可添加物包含高爐爐渣、卜作嵐材料、飛灰及石灰石等，而於 2023 年發布之新版 EN 197-6，則再增列可添加物項

目「再生混凝土細粉(recycled concrete fines)」，鼓勵廢棄物再利用，發展循環經濟。

(6)水泥廠碳捕捉程序及成本費用介紹如下：

- a.製程碳捕捉：包含富氧燃燒、燃燒後處理、鈣迴路及間接鍛燒等，每噸 CO₂ 處理成本約 40-90 歐元。
- b.CO₂ 運輸：成本約 10-60 歐元。
- c.碳捕捉再利用(CCU)：成本約 200-400 歐元。
- d.碳捕捉封存(CCS)：成本約 5-20 歐元。

(7)據統計，目前德國水泥業有 11 個碳捕捉計畫(如圖 15)，其中「CAP2U」計畫係由 Heidelberg Materials(海德堡材料)與德國工業氣體集團 Linde(林德)成立「Capture-to-Use」合資企業，共同建造營運 CCU 設施。將建於 Heidelberg Materials 位於巴伐利亞邦烏茲堡附近 Lengfurt 的水泥廠，該設施將從水泥生產中捕獲的 CO₂ 氣體運用於食品和化學工業，例如：碳酸礦泉水。處理 CO₂ 量約為 70,000 噸/年，預計 2025 年營運。德國聯邦經濟及氣候保護部(BMWK)以工業脫碳資助計畫提供約 1500 萬歐元補助。



圖 15 德國水泥業碳捕捉計畫圖示

- (8)在碳捕捉封存部分，德國政府補助經費規劃建構運輸 CO₂ 及 H₂ 管線延伸到歐洲北海，可供產業將捕捉下來的 CO₂ 封存於德國專屬經濟區 (EEZ) 海域進行封存，以抵銷其碳排放，目前規劃可儲存 3.7bnt CO₂。
- (9)德國水泥業將依據巴黎協定於 2045 年前達到零碳排，採取之措施包含提高熱效率、使用替代燃料、運用氫能、運用膠結材料等技術，希冀達成減碳目標。另由於水泥熟料製程會造成許多碳排放，故德國水泥業希望能夠以爐石及石灰岩等材料取代熟料，並使熟料占水泥成分之比重由目前約 71%，降至 63%(2030 年)及 53%(2050 年)。德國水泥業需減少排放 1040 萬噸 CO₂，但由於水泥製程之碳排放量甚高，故須非常仰賴碳捕捉技術來達成目標，例如富氧燃燒、燃燒後捕捉及鈣迴路設備等。

(10)Dr. Martin Schneider 總結，水泥業達到碳中和的 5 個核心領域如下：

- a. 可用的再生能源及電網。
 - b. 適合的 CO₂ 運輸基礎設施。
 - c. 具有競爭力及創新的政策框架。
 - d. 市場對於低碳及碳中和水泥與混凝土產品之接受度。
- 社會對產業轉型的認可。

2. 交流議題

議題一、德國對於水泥及混凝土氯離子含量限值規定為何？

回覆：德國對於水泥及添加物的氯離子含量係採用源頭管制，而水泥之氯離子含量規定為 1,000 ppm，水泥廠會透過氯旁路設備將氯氣體抽出，以進行品質管控，至於混凝土則未訂定預拌混凝土中水溶性氯離子限值，而是訂定混凝土中總氯離子限值；實際上，德國更重視水泥及混凝土之鹼含量，因鹼含量過高造成鹼矽反應，形成膠體後吸水膨脹，會使混凝土內產生應力和破裂，造成爆開及地圖狀裂縫，會有損害建築物結構體安全之虞。

議題二、德國推行低碳水泥，是否於法規訂定相對應之建築物施工規範？

回覆：目前法規未訂有規範，係依使用者需求提供施工方法建議，新的施工方法須透過學習以取得共識。

3. 交流活動剪影



圖 16 參訪團人員與德國水泥公會人員合影



圖 17 賴俊杰副局長與德國水泥公會執行長 Dr. Martin Schneider 合影

四、參訪德國蒂森克虜伯工業集團旗下公司(thyssenkrupp Polysiu, tkPol)及該公司 Phoenix 水泥廠

日期：113 年 3 月 13 日

地點：德國 貝庫姆(Beckum)

(一) 單位簡介

tkPol 成立於 1859 年，專注於設計、製造和銷售用於水泥生產和礦石加工的設備與機械，包括磨機、窯爐、熟料和煤礦加工設備等，為德國鋼鐵龍頭 Thyssenkrupp 集團之成員，已有 170 年歷史，年營業額約 8 億歐元；在全球範圍內提供產品和服務，並在多個國家設有分支機構和代理商，業務專注於水泥產業之綠色技術、售後服務、自動化及數位化，目前與德國水泥業者 Heidelberg Materials 公司及 Holcim 公司均有密切合作。

tkPol 總部位於德國 Beckum，目前約有 3,800 位員工，其中超過 70% 為工程師與技術人員，每年營收約 8 億歐元，30% 收入來自於技術服務且持續增加中，tkPol 作為一家歷史悠久的公司，以工業製造方面的技術創新而聞名，並致力於開發新的生產技術和設備，以滿足客戶的需求，同時也積極參與減碳和環保技術的研究和應用。

Phoenix 水泥廠成立於 1914 年，同位於德國 Beckum，目前共有 23 名技術人員、77 名商業員工和 8 名實習生，每日生產能力約 1,400 噸，年產約 50 萬噸；Phoenix 水泥廠產量很少，且與 Tkpol 鄰近並保持良好合作關係，相關新技術都會在 Phoenix 水泥廠進行試運轉。主要原料石灰石之鳳凰水泥礦場分布於鄰近區域，採石卡車運

至廠裡後開始生產水泥，其生產產品包含生產 14% 石灰石之卜特蘭石灰石水泥、卜特蘭高爐水泥。由於其產量少，產品皆採混磨方式生產。

(二) 交流活動

1. 交流活動紀要

tkPol 與我國台灣水泥股份有限公司於本年簽署碳捕捉項目合作意向書，將以花蓮和平廠一號窯做為技術場域，共同開發第 3 代富氧燃燒製程技術，故本次參訪 tkPol 及其旗下水泥廠，係藉由台灣水泥股份有限公司積極聯繫協助下前往拜會，並就該公司之碳捕獲技術場域，開發之水泥產業最新純氧燃燒製程與技術進行交流。tkPol 由行銷長 Frank Ruoss 率同仁接待本局訪團，首先介紹該公司基本背景資料，tkPol 主要分為 4 家公司：

- (1) Rothe Erde：全球第一發電機軸承製造商，可應用在綠能產業；
- (2) Uhde：業務為化學工廠建設相關電機工程，目前有很大需求生產氫，協助氫氣運輸；
- (3) Polysius：水泥、石灰粉建設工程，提供水泥產業轉型減碳技術，如碳捕捉、熟料比例降低技術；
- (4) Thyssenkrupp necera (由 Uhde 分家)，主要生產電解液，在全球都有生產工廠，可供生產綠氫製成，技術領導地位。

在水泥產業方面 tkPol 集團之 Polysius 提供水泥製程中所需要的所有設備，包括的原料處理設備(破碎、混合與研磨)，加熱設備(預熱器與加熱窯)及冷卻設備

等，並提供水泥檢測設備、自動化整合及技術支援與訓練服務。目前水泥產業最重要的議題是降低碳排，碳排放交易，過去 5 年 Polysius 專注在水泥廠綠色轉型，不再僅僅是擴增產能，研發的投入也逐步實現，目前正在興建德國第二代富氧燃燒技術。Polysius 主要專注下列三個方向：

- (1) 綠色技術：降低水泥廠碳排，如降低熟料比例、提高替代燃料使用率、富氧燃燒技術及碳捕捉技術；
- (2) 技術服務：18 個國家有 5 個技術服務中心與 20 個服務辦公室，協助客戶即時技術支援。
- (3) 自動化與數位化：提升工廠運轉效率，降低能源消耗及營運成本。

Guido Hohmann 資深經理接者介紹全球變遷歷史及水泥產業減碳專案，截至 2024 年 3 月，全球共有 69 個專案發布或進行中，38 個碳捕捉計畫預計減碳 27 Mt，平均每個專案減碳 710 kt，且主流技術係富氧燃燒，即在製程中加入氧氣使燃料充分燃燒，提高 CO₂ 濃度以利進行碳捕捉。

歐盟水泥廠平均需要每公噸水泥支付約 100 歐元碳費，歐盟碳費預計將會逐年增加，水泥廠必須開始減碳；2034 年歐盟碳交易系統(ETS)將取消免費額度，根據公開資料，德國最大的海德堡水泥與 Holcim 水泥如在 2025 年到 2034 年不進行減碳工作，屆時將會需要支付高達數十億歐元的碳費，因此水泥業的減碳勢在必行。德國討論氣候變遷非常熱烈，海德堡水泥目標 2030 年每噸水泥碳足跡為 400 公斤 CO₂，Holcim 水泥

設定 2030 年每噸水泥碳足跡 420 公斤 CO₂、2050 年則達到淨零排放。

碳邊境調整機制(CBAM)為歐盟 FIT For 55 法案的工具之一，伴隨 CBAM 逐步導入，在歐盟境外的水泥製造商，銷售歐洲時也需要根據碳排放量支付碳費，目前 CBAM 已進入過渡期收集相關數據，水泥業者需要開始收集上游供應鏈的碳排放，並提供下游供應鏈相關資料。

根據全球水泥和混凝土協會(GCCA)設定的淨零路徑圖(圖 18)，達成水泥與混凝土淨零排放，製造熟料(Clinker)時使用替代燃料可以貢獻 11%，水泥降低熟料比例可貢獻 9%、提高製程能效可以貢獻 11%、使用綠色電力可以貢獻 5%、混凝土固碳可貢獻 6%、碳捕捉封存可貢獻 36%、工廠設計與製造時效能改良可貢獻 22%。

使用替代燃料方面，Polysius 最新 prepol@SC 燃燒爐設備可以 100%使用廢棄物作為替代燃料，為因應料源品質不穩定，設備最重要的是可靠度與適用各種原料的彈性(可彈性調整滯留時間)；在歐洲替代燃料都是由第三方進行前處理，破碎到小顆粒才提供水泥廠使用，尺寸可以配合水泥廠需求處理；目前 Holcim 水泥在 Lagerdorf 廠將會採用 Prepol 技術。

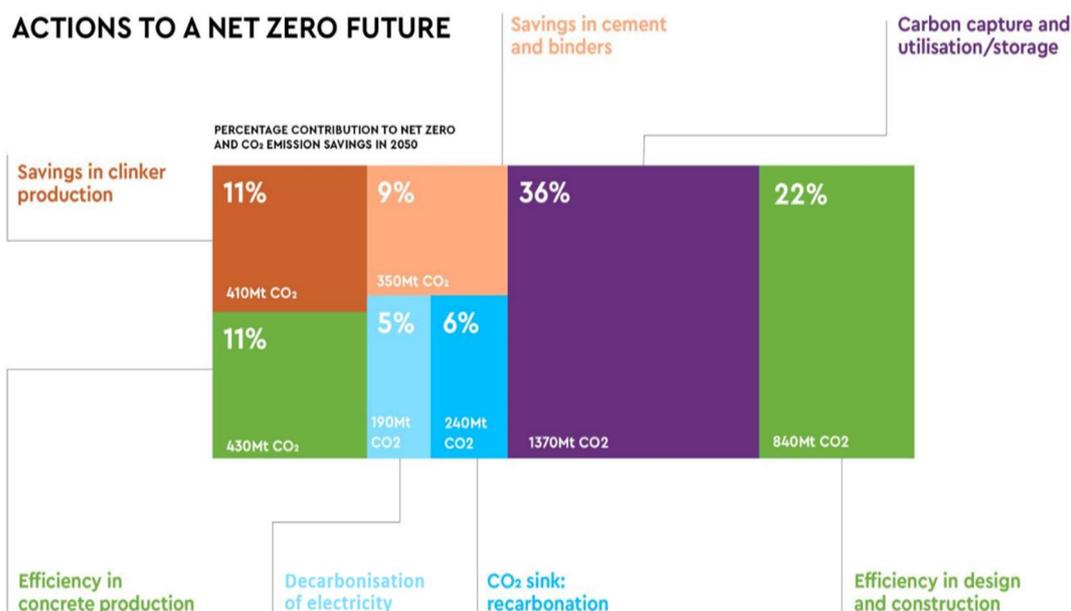


圖 18 全球水泥和混凝土協會之減碳路徑圖

熟料使用比例降低方面，Polysius 的 Booster Mill 增壓超細研磨設備(目前最大容量是 120 公升、用電 400 kW)，可以將黏土研磨更細，活化黏土來取代熟料使用；目前歐洲正在發展新標準，定義使用活化黏土製造的水泥。Booster mill 體積小，不需多餘空間與能耗，目前美國與非洲有 2 家水泥廠將採用 Booster mill 設備。

碳捕捉方面，Polysius 第二代 Oxyfuel 富氧燃燒設備係在預熱器(Preheater)及水泥窯導入純氧取代空氣來進行燃燒，可以使得燃燒更完全，除可節省能源同時提升燃燒排放煙氣(Flue Gas)的 CO₂ 濃度，可提升捕捉與後續純化的效率；傳統水泥廠煙道氣中 CO₂ 濃度僅佔 30%，第一代 Oxyfuel 技術可將 CO₂ 濃度提高至 80%，第二代 Oxyfuel 技術可進一步將濃度提升至高於 90%；Oxyfuel 技術除了適用新建水泥廠，Polysius 也提供技術支援，來改裝既有水泥廠進行分線富氧燃燒，且既有水

泥廠無須停工可同步施作，可將 CO₂ 濃度提升至約 75 %；目前德國 Holcim 水泥在 Lagerdorf 廠亦將會採用 Oxyfuel 技術，另外德國與克羅埃西亞各另有一間水泥廠將採用該技術。目前 tkPol 和台泥公司簽訂 MOU，將以花蓮和平廠作為碳補捉技術示範場域，目標 6 年內做到年捕獲 10 萬噸。

最後介紹 Polysius 最新的水泥品質檢測儀器 PolabCal，為第一台自動化測量熟料及水泥品質的儀器，一般多以 28 日強度來測定水泥品質，PolabCal 可以提供即時水泥品質，並據以適時調整製程參數來生產具一致性品質之水泥產品。

在聽取完 tkPol 之簡報後，由 Polysius 的廠區整合企劃部門之 Guido Hohmann 資深經理帶領本團人員赴 Phoenix 水泥廠，就整個水泥廠區製程及其品管實驗室進行參觀及簡介(圖 19、20)。



圖 19(左) Phoenix 水泥廠；(右) Phoenix 水泥廠品管實驗室

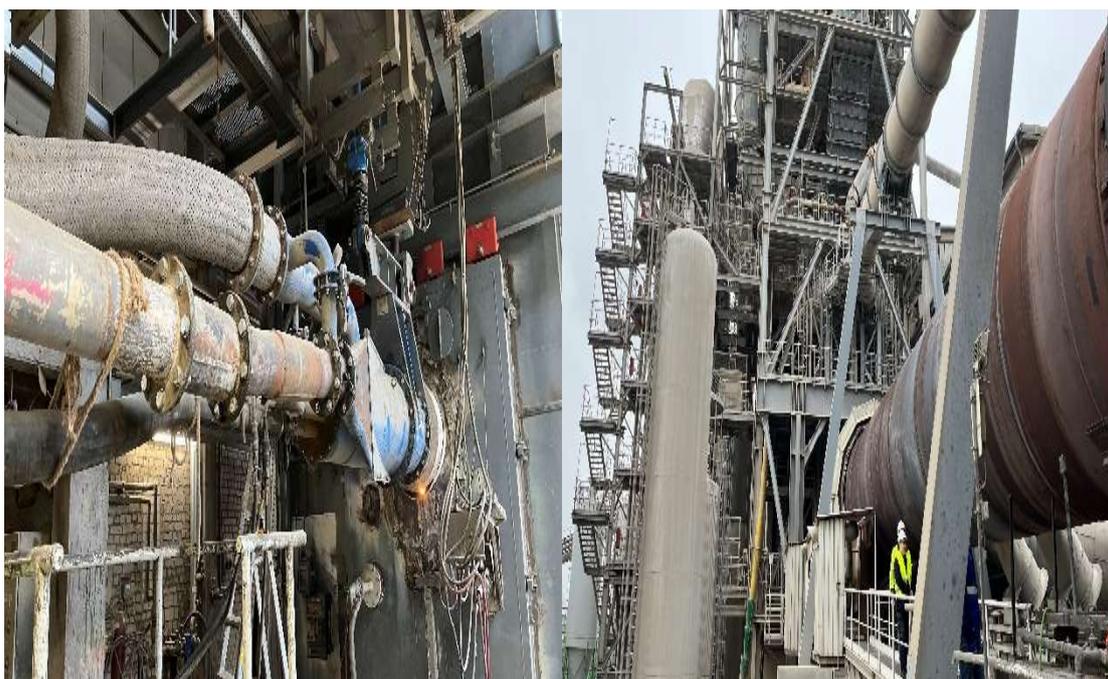


圖 20 95 %廢棄物與 5 %煤粉送入旋窯燃燒

2. 交流議題

議題一、本局水泥之 CNS 國家標準是參考 ASTM 制修訂，惟 ASTM 並未定義低碳水泥，詢問歐盟標準對於新型水泥之定義是否屬低碳水泥，及有無機會推動成為國際標準，供參考制定成為 CNS 國家標準。

回覆：因應淨零減碳所發展涉及水泥層面之技術，係近年慢慢開發建立，故近期才開始將穩定發展技術資料導入制修訂相關標準。

議題二、德國水泥廠替代燃料來源？

回覆：Phoenix 水泥廠替代燃料使用比率 95 %以上，僅使用約 5 %的煤粉，替代燃料來源為廢棄物，由其他公司進行乾燥與破碎後，以貨櫃運送至廠內，每貨櫃廢棄物重量約 15 噸，每小時約消耗 6 至 8

噸，廢棄物每公斤熱值約 5,000 千卡，可達煤粉熱值的 8 成(如圖 21)，另因事先廢棄物分類較完善，爰替代燃料之氯離子含量值較穩定，避免須調整製程之情事。



圖 21 (左)廢棄物燃料之運送貨櫃；(右)廢棄物燃料輸送帶

3. 交流議題



圖 22 參訪團人員與 tkPol 銷售總監 Frank Ruoss(左七)等人合影



圖 23 賴俊杰副局長與 tkPol 資深經理 Guido Hohmann 合影



圖 24 參訪團人員與 tkPol 資深經理 Guido Hohmann 於
Phoenix 水泥廠合影

五、參訪德國萊因集團 TÜV Rheinland Group

日期：113 年 3 月 14 日

地點：德國 科隆

(一) 單位簡介

TÜV Rheinland 成立於 1872 年，是一家德國技術服務供應商，為安全、效率和質量領域的技術測試機構，目前擁有 2 萬名員工，2022 年營業額達 22.75 億歐元，在 56 個國家設有超過 500 處據點並有 238 間實驗室，全球取得 780 件認證。

最初是以蒸汽機檢測為主，1904 年開始車輛測試、1908 年開始電梯檢測、1955 年開始產品驗證並拓展國際業務，1986 年在台灣成立分部，2009 年開始太陽能檢測驗證、2012 年驗證標誌導入 QR code，2014 年開始資安檢測服務，2017 年成立 IoT 卓越中心，最新的發展是電池測試、氫能、太陽能以及永續 ESG 服務、自動駕駛；TÜV Rheiland 目前在台灣比較大的業務是車用零件測試。

(二) 交流活動

1. 交流活動紀要

本次參訪 TÜV Rheiland，係藉由本局同仁及法人機構透過該集團台灣分公司積極聯繫協助下，安排前往拜會，並針對氫燃料等替代能源之驗證制度及其運用於水泥產業之發展趨勢作為參訪目標。

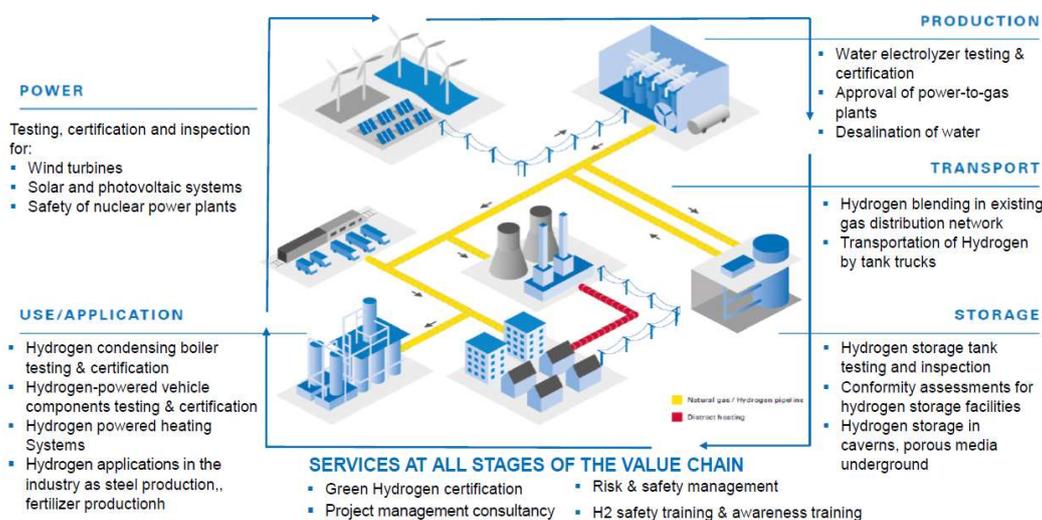
TÜV Rheiland 全球氫能中心 Thomas Fuhrmann 主任介紹氫能服務項目，其中 TÜV Rheiland 提供氫能供應鏈各階段—包含使用能源(如風力、太陽能等)、氫氣產製

(如海水淡化、水的電解等)、運輸(相關管路及設備)、儲存(相關儲存槽及設施)及應用(氫能車、煉鋼等)—相關設備與零件之測試及驗證，並提供下列事項之服務：

(1) 綠氫驗證

依據 ISO 14067 / ISO 14040 計算氫氣或其衍生物(包括氫、甲烷或甲醇)之碳足跡，評估能源使用與原料之直接與間接排放，目前設定之低碳氫門檻為 3.384 kgCO₂ / kgH₂ (為石化能源排放之 70 %以下)；並可針對藍氫(搭配碳捕捉與儲存技術)、綠氫(使用再生能源進行水的電解反應)及零碳氫等提供證明；此外亦可提供氫能專案之財務可行性評估，包含商業計畫、銷售策略及運營模擬評估的一站式服務，如圖 25。

TÜV Rheinland' s core services along the H2 value chain



We connect the components of the value chain



圖 25 TÜV Rheiland 提供氫能供應鏈各階段之測試與驗證

(2) 風險安全管理

依據國際間認可之方法，如危害與可操作性分析 (HAZOP)、危害辨識 (HAZID) 及聯邦緊急事務管理署規定 (FEMA)，提供各種工廠如電廠、煉油廠及製氫廠等工

廠安全建議與風險評估。

(3) 風險安全管理

提供氫能專案各階段之諮詢，包含財務、技術與法規，以及氫能產品之商業模式與利害關係人管理等。

(4) 氫能安全訓練

提供氫能相關知識，包括產製技術、運輸、儲存、全球氫能發展、歐盟法規管理架構，以及認知到氫能之危險性與如果管理風險。

此外，TÜV Rheiland 針對水的電解設備(Electrolyzer) 提供驗證服務，驗證標準為 ISO 22734 (Hydrogen generators using water electrolysis - Industrial, commercial, and residential applications)，並依據歐盟相關指令進行安全性之符合性評鑑，包括爆炸防護與資安等面向；另亦提供在天然氣管線混合氫氣使用之技術支援，包括熱值測量、管路架構、洩漏量測及風險管理，從初期專案規劃、試車到運維、監測皆有相關技術協助，可加速相關產業導入使用氫氣。

2. 交流議題

議題一、請教 TÜV Rheiland 對於目前發展氫能等替代燃料或其他新興技術及驗證之發展趨勢看法？

回覆：因應淨零碳排政策推動之影響，各國對於相關技術之發展刻正發展中，如這次來訪主軸碳排放的捕獲、再利用及封存(CCUS)技術即是重要一環，另該集團現行多著墨於氫能驗證層面，惟因為俄烏戰爭之影響，政府推動時程順延且尚在研議中，初步獲得消息係預計 2030 年推動。另就新興技術發

展層面，則以自動駕駛為該集團現行發展重點之一。

議題二、如水泥產業導入以氫能作為替代燃料，TÜV Rheinland 能否提供相關驗證服務或給予相關導入方式之諮詢與服務？

回覆：目前歐洲各國有多項氫能計畫，以英國為例，該國目前有 476 個氫能計畫，該集團多有涉略，故該集團可提供在氫能製造、運輸、使用及儲存等方面之安全測試與驗證，確保氫能使用安全，另外該集團亦可提供相關加氫站建置實際案例之分享，故如國內相關產業有建置規劃與推動，該集團有充分能量且樂於提供服務及合作。

3. 交流活動剪影



圖 26 參訪團人員與 Gorica Glisic 經理(右三)合影



圖 27 賴俊杰副局長與銷售執行副總 Michael Wepler 合影

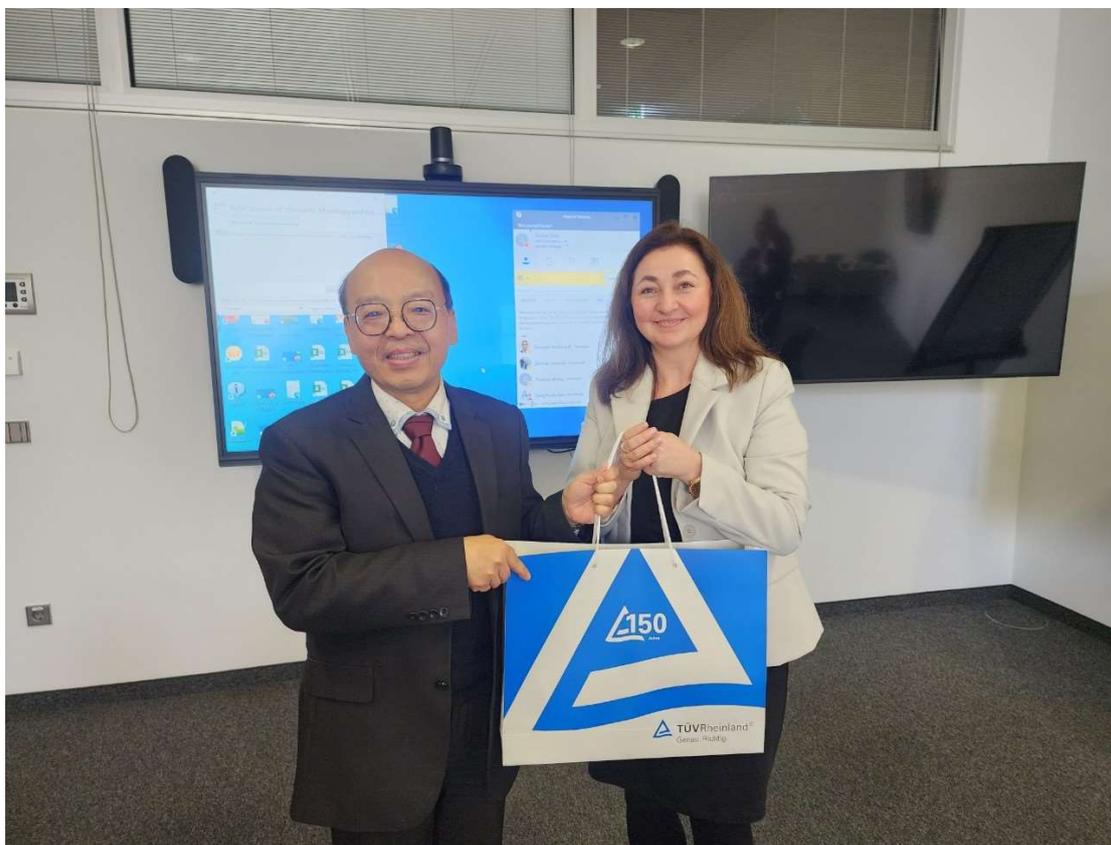


圖 28 賴俊杰副局長與 Gorica Glisic 經理合影

六、參訪卡爾斯魯爾理工學院(KIT)及其 Celitements(商轉公司)

日期：113 年 3 月 15 日

地點：德國 法蘭克福

(一) 單位簡介

Celitement 公司位於德國卡爾斯魯厄理工學院(KIT)內部，是 KIT 技轉成立之公司；KIT 創建於 1825 年，KIT 是德國 11 所卓越大學之一，目前有 2 萬 2 千多名學生、其中 21%是國際學生，另有 5 千 7 百多名研究員、其中 25%國際研究員。KIT 多年來一直致力於水硬性黏合劑的研究。過去和現在的重點是矽酸鈣水合物的結構和反應的測試，基於對水合矽酸鈣結構和性能的基礎研究成果，KIT 於 2007 年以 Celitement®為品牌，為新型創新黏合劑的製造原理取得專利，KIT 基於該專利於 2009 年成立 Celitement 公司。2020 年 Celitement 公司被股東 Schwenk 水泥公司完全收購。

(二) 交流活動

1. 交流活動紀要

本此參訪由 Celitement 公司總經理 Hendrik Möller 博士接待本團，介紹該公司專利水泥製程技術並進行工廠參訪。

KIT 有兩百年歷史，機器人能源材料是現在研究方向，KIT 有六個園區，主要會進行機密性研究為南邊校園區域，學生要許可才能進來園區。因為如果要生產大量之研究標的物質，須跟化學局處申請，要產生很大成本，爰目前正在計畫小型生產(一周五噸)。

卜特蘭水泥熟料成分主要為矽酸三鈣(Ca_3SiO_5)，係由碳酸鈣(CaCO_3)，經 $1,450^\circ\text{C}$ 高溫燒製，過程中釋放出 CO_2 ，形成中間產物氧化鈣(CaO)，再與二氧化矽(SiO_2) 結合產生矽酸三鈣(即熟料)。熟料加入水會變成漿狀物並逐漸硬化，其化學式為氫氧化鈣矽鈣石($\text{Ca}(\text{OH})_2$)和矽酸鈣水合物($\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2\cdot\text{H}_2\text{O}$ 、簡寫為 CSH)，其中 CSH 作為混凝土或砂漿中的「膠水」。傳統卜特蘭水泥熟料製程需要高溫度，且原料中的碳酸鈣，是主要 CO_2 的排放來源，一般來說生產 1 噸卜特蘭水泥熟料會產生 770-870 公斤 CO_2 。

Celitement 公司之專利水泥，係將碳酸鈣在 1,000 度環境加熱，釋放出 CO_2 產生氧化鈣，接著混合氧化鈣、二氧化矽及水，在 200 度進行研磨，產生近似 CSH 之產物，後續再加水即可產生 CSH 並逐漸硬化；相較傳統卜特蘭水泥熟料製程，其特點是使用較少的碳酸鈣原料，且製造過程中的溫度較低，有助於降低水泥生產的 CO_2 排放。

Celitement 水泥已於 2018 成功取得 ECHA 的 REACH 註冊，因其並未被 EN 標準定義，實際應用前需要向德國建築技術研究所(DIBt)申請許可，目前該公司已提出申請，預估審查需要約 4 年時間；主要係供應公共工程與一般建築 2 個市場，並依據客戶需求，提供 Celitement 水泥給客戶進行研究測試；該公司目前以小量產量為主(約 5 噸/周)，規劃要擴大產量至 5 萬噸/年。

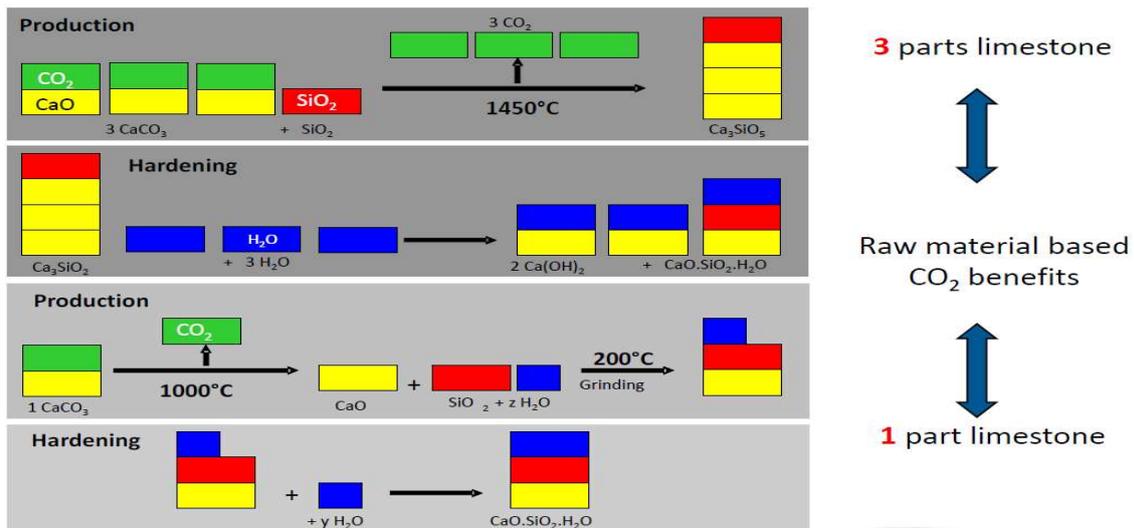


圖 29 傳統卜特蘭水泥熟料(上)與 Celitement 水泥製程(下)比較



圖 30 Celitement 水泥加熱爐(左)與 Moller 總經理介紹研磨設備(右)

2. 交流議題

議題一、Celitement 公司產製的新型水泥目前的規格，
是否有相對應之標準規範可供參考？

回覆：該新型水泥尚無適用之標準，也因為不是傳統水泥，所以相關標準及驗證尚待建立，目前針對這種水泥，比較相近之標準為 CEMI 42.5 或 EN 197-1(Portland cement)。

議題二、產製之新型水泥製程是批次或連續式？

回覆：目前還是處於批次製程階段，該製程之優點為可以調整參數和測試，尚無發展連續式製程。

議題三、Celitement 如何推廣新型水泥。

回覆：目前 Celitement 提供樣品供其他水泥公司進行試用及相關測試，惟多數業者對於該公司水泥能否大量生產仍有疑慮，待 Celitement 順利擴大產能後應可更進一步推廣使用。

議題四、生產 Celitement 水泥的碳排放量為多少？

回覆：Celitement 水泥使用的原料在製程中的較傳統水泥少 1/3，後續的研磨是使用電力，若使用再生能源則研磨部分碳排為零，整體相較傳統水泥可減少 2/3 以上碳排放。

3. 交流活動剪影



圖 31 參訪團人員與 Moller 總經理於 Celitement 公司合影



圖 32 賴俊杰副局長與 Moller 總經理合影



圖 33 賴俊杰副局長與 KIT 國際合作主任 Oliver Schmidt 合影

肆、心得與建議

因應淨零碳排及碳費徵收等議題，德國為達到 2050 年零碳排目標，已規定於 2040 年不再核給新的 CO₂ 允許排放額度，且該國於「聯邦氣候保護法」明定，於 2045 年達成碳中和，爰該國水泥業均積極投入二氧化碳(CO₂)減量，實現生產低碳水泥，顯見其推動之決心，其中該國於推動過程中，就標準、技術及驗證層面，辦理內容及可供作為借鏡心得綜整如下：

一、標準部分：

- (一) 制修訂 CCUS 相關標準，如 ISO 27913「碳捕捉、運輸與地質封存-管線運輸系統」、歐洲標準委員會 CEN TC 474/ WGX「碳捕獲、利用與封存」、英國標準協會工作項目提案(NWIP)「二氧化碳計算：量化、品質與驗證」。
- (二) 修訂水泥相關標準，如 EN 197-5，增加 CEM II /C-M 及 CEM VI 型別水泥，CEM II /C-M 熟料比例可降到 50%，CEM VI 則可降到 35%，可添加物包含高爐爐渣、卜作嵐材料、飛灰及石灰石等，於 2023 年發布之新版 EN 197-6，則再增列可添加物項目「再生混凝土細粉(recycled concrete fines)」。
- (三) 目前雖尚無針對低碳水泥訂定相關產品標準，惟刻正處於規劃階段，也是未來在推動低碳水泥相關驗證層面所必須具備，國內若能提早部署規劃並訂定相關標準，未來除可供國內相關管理制度所用，更可領先國際。

二、技術部分：

(一) 製程端：可使用技術包含替代燃料、運用氫能、提高能源效率、發展碳捕捉與再利用及封存技術(CCUS)等，其中運用氫能部分，受限於製程改變及投資成本等因素，現行發展及運用較少，主要仍係採取CCU方式，該方式也是現行使用最廣且有實際案例者，包含胺洗技術、模組化技術及富氧燃燒技術等。

(二) 產品端：為降低碳排，積極發展低碳水泥，即調整各水泥型別組成，增加替代材料的運用，包含發展CEM II /C 及 CEM VI 型別水泥、水泥中熟料比例降至 53 % 及運用新型膠結材料等。

(三) 國際上發展之碳捕捉最新技術，國內部分業者也刻正引進導入製程中並積極發展低碳水泥替代傳統水泥，未來因應碳費及減碳議題，該等技術之導入協助水泥產業轉型之需求會日益升高，本次報告內容可提供業者參考，預為因應。

三、驗證部分：

(一) 目前國外就涉水泥產品之減碳相關驗證，主要仍著墨於「二氧化碳計算：量化、品質與驗證」、水泥碳中和及能源管理方面驗證層面。

(二) 國內在推動使用低碳水泥之速度將會日趨增加，可預見將來因應低碳水泥相關產品標準之制定，針對低碳水泥之驗證將會快速發展，建議可逐步蒐集資料及建置相關檢驗能量，規劃低碳水泥之驗證制度，以符合國內產業之需。

德國生產水泥所使用之替代燃料占比逐年提高，於2022年已達71%，其來源包括廢輪胎、廢木材、工業廢棄物、生活垃圾或污泥等，又該國廢棄物分類較完善，爰替代燃料之氯離子含量值較穩定，另德國對於水泥及添加物的氯離子含量係採用源頭管制，而水泥之氯離子含量規定為1,000 ppm，水泥廠會透過氯旁路設備將氯氣抽出，以進行品質管控，至於混凝土則未訂定預拌混凝土中水溶性氯離子限值，而是訂定混凝土中總氯離子限值，基於前述因素下，近年來因應循環經濟及淨零碳排議題下，本團所參訪之水泥廠其替代燃料使用比率95%以上，僅使用約5%的煤粉，故國內於面對相同問題時，可從廢棄物妥為分類、水泥製程精進及制(修)訂相關水泥標準及規範等方面，以因應未來發展趨勢。

德國水泥產業於推動減碳相關技術已頗具進展，故樂意且重視與我國訪團分享各項推動規範及解決方案，另德國水泥公會執行長，不僅深諳德國相關技術發展，也樂意提供我方業者資訊，在此要感謝本次考察參與之德方相關人員、駐德代表經濟組及國內相關水泥業者及法人機構協助合作，本次參訪雙方互動良好，也搭建良好交流平台。

伍、參考資料

1. TÜV SÜD 南德意志集團網站[網址：<https://www.tuvsud.com/>]及 113 年 3 月 11 日會議簡報內容。
2. 林德集團(Linde)網站[網址：<https://www.linde.com/>]及 113 年 3 月 11 日會議簡報內容。
3. 德國水泥公會[German Cement Works Association (VDZ)]網站[網址：<https://www.vdz-online.de/en/the-association>]及 113 年 3 月 12 日會議簡報內容。
4. 德國蒂森克虜伯工業集團旗下公司(thyssenkrupp Polysiu, tkPol)網站[網址：<https://www.thyssenkrupp-polysius.com/en>]及 113 年 3 月 13 日會議簡報內容。
5. 德國萊因 TÜV 集團(TUV Rheinland)網站[網址：<https://www.tuv.com/world/>]及 113 年 3 月 14 日會議簡報內容。
6. 卡爾斯魯爾理工學院(KIT)網站[網址：<https://www.kit.edu/>]
7. celitement 商轉公司[網址：<https://celitement.de/en/>]及 113 年 3 月 15 日會議簡報內容