



出國報告（出國類別：考察）

赴歐盟考察循環經濟發展浪潮下水泥業 之產品標準、檢測技術及管理模式

服務機關：經濟部標準檢驗局

姓名職稱：林技正瑞陽、陳技士冠穎

派赴國家/地區：德國慕尼黑

出國期間：112年3月12日至3月18日

報告日期：112年6月12日

目錄

壹、背景及目的	6
貳、考察行程表	8
一、出國考察行程表	8
二、考察團員	8
參、工作紀要	9
一、第 1 屆 Global CemProducer 研討暨展覽會—參展摘要	9
二、海德堡水泥 Burglengenfeld 廠—參訪摘要	15
肆、心得與建議	22
伍、參考資料	24

附錄：英國預拌混凝土協會(BRMCA)之混凝土中氯離子計算資料

圖目錄

圖 1：臺灣 2050 淨零轉型十二項關鍵策略	6
圖 2：第 1 屆 Global CemProducer 研討暨展覽會	9
圖 3：水泥生產相關設備及技術諮詢服務展覽區域	11
圖 4：2050 年前水泥業減碳效益及路徑趨勢圖	12
圖 5：水泥業 2050 淨零碳排預估投資金額統計圖	13
圖 6：水泥業淨零碳排減碳量統計圖	13
圖 7：水泥業淨零碳排技術發展藍圖	15
圖 8：海德堡水泥 Burglengenfeld 廠及其採石場	16
圖 9：於海德堡水泥 Burglengenfeld 廠交流會議及實地考察	17
圖 10：品管控制室	17
圖 11：窯爐生產線參訪	19
圖 12：普通卜特蘭水泥與 LC3 水泥成分比較圖	19
圖 13：與各國水泥業專家代表於廠區合影	21

表目錄

表 1：出國考察行程表	8
表 2：出國計劃考察團員	8
表 3：第 1 屆 Global CemProducer 研討暨展覽會議程	10
表 4：各階段水泥業淨零碳排技術分類	14
表 5：海德堡水泥 Burglengenfeld 廠基本概況	16
表 6：歐盟地區混凝土中氯離子含量限制值	20
表 7：混凝土中各配料之氯離子限量值	21
表 8：混凝土中氯離子含量模擬計算表	21

摘要

近年來，各項數據顯示氣候變遷造成的影響已是相當緊急，全球暖化議題受到國際高度重視，其中水泥業由於碳排量大，故為淨零碳排轉型之首要產業，水泥為各項工程及建築的基礎原料，佔全球溫室排放量約 7%，使得水泥業如何在兼顧環保及民生下進行減碳措施備受關注。另一方面，歐盟於 2023 年開始實施碳邊界調整機制法規 (CBAM)，水泥業為第一波管制對象，預計牽動國際水泥商品產銷規畫，因此水泥業積極發展減碳技術，已成為水泥業不可避免的發展趨勢。

隨著近期國內水泥業陸續出現國家標準適用、檢驗技術更新及管理模式優化等產業需求，本局亦應針對水泥業淨零碳排相關規定、技術及管理模式作一前瞻研究及規劃，來促進水泥業之綠色轉型推動。本次出國計畫參加第 1 屆 Global CemProducer 研討暨展覽會及考察海德堡水泥 Burglengenfeld 水泥廠，與全球各界水泥業界專家進行研究交流，並蒐集以下相關議題資訊：

- (一)水泥業淨零碳排相關技術、製程改良及法規標準等最新資訊，並蒐集國際間於水泥業於碳捕捉新興科技及規劃部署情形，以作為我國水泥業淨零碳排技術發展之規劃參考。
- (二)國際間水泥凝膠材料及新興混合水泥等資訊，以及其相對應標準調整及規劃資訊，以作為輔助國內水泥業淨零碳排政策規劃之參考，協助水泥產業於法規制度及標準規範面能接軌國際。
- (三)對於水泥中氯離子及混凝土中水溶性氯離子限量值等相關議題，蒐集歐盟地區相關標準規範、檢測方法及管理模式資訊，作為本局水泥相關專案計畫執行、商品管理模式優化及標準修訂之參考。

此行透過考察國外水泥業在淨零碳排發展情形，並與專家學者進行研討交流汲取經驗，取得水泥業淨零碳排趨勢下之產品管理方式、標準訂定及檢驗方法等調整，並將歐盟地區在水泥製程與淨零碳排之鏈結及發展經驗帶回臺灣，以規劃我國水泥業淨零碳排相關制度建立並擬定未來發展內容。

壹、背景及目的

近年來，各項數據顯示氣候變遷造成的影響已是相當緊急，全球暖化議題受到國際高度重視，各國陸續提出「2050 淨零排放」的宣示與行動。為呼應全球淨零趨勢，蔡英文總統已宣示：「淨零轉型是全世界的目標，也是臺灣的目標，邁向此目標，需在各領域落實綠色轉型」，我國於 2022 年 3 月正式公布「臺灣 2050 淨零排放路徑藍圖」，路徑藍圖同時攸關競爭力及環境永續，須打下長治久安的基礎，以促進經濟成長、帶動民間投資、創造綠色就業、達成能源自主並提升社會福祉。



圖 1：臺灣 2050 淨零轉型十二項關鍵策略

「2050 淨零轉型」需在不同領域落實綠色轉型，打造具競爭力、循環永續、韌性且安全之各項轉型策略及治理基礎，其中水泥業由於碳排量大，故為淨零碳排轉型之首要產業，水泥為各項工程及建築市場的工業基礎，是建築物、水壩、橋樑和摩天大樓不可或缺的原料，水泥業每年會產生 23 億噸的二氧化碳，佔全球溫室排放量的 7%，使得水泥業如何在兼顧環保及民生下進行減碳措施備受關注。另一方面，歐盟於 2023 年開始實施碳邊界調整機制法規(CBAM)，水泥業為第一波管制對象，未來進口商將依據由碳排放交易系統(ETS)所計算的碳排量，採購相對應的 CBAM 憑證，預計牽動國際

水泥商品產銷規畫，因此水泥業積極發展減碳技術，已成為水泥業不可避免的發展趨勢。

隨著近期國內水泥業陸續出現國家標準適用、檢驗技術更新及管理模式優化等產業需求，本局亦應針對水泥業淨零碳排相關規定、技術及管理模式作一前瞻研究及規劃，來促進水泥業之綠色轉型推動，以下規劃研究方向如下：

(一)有鑑於國際間水泥業已發展出許多先進減碳技術，並在替代原料與替代燃料使用上擁有豐富經驗，因此觀摩先進國家之發展經驗實屬必要，透由本考察計畫將蒐集水泥業淨零碳排相關技術、製程改良及法規標準等最新資訊，並了解國際間於水泥業於碳捕捉技術及規劃部屬情形，以作為我國水泥業淨零排放技術發展之規劃參考。

(二)為有效減少水泥業總體碳排量，水泥製程逐步朝使用熟料替代物方向進行，國際間各式新興混合水泥產品推陳出新，逐漸造成標準適用之困擾；透過本考察計畫蒐集國際間水泥膠結材料及新興混合水泥產品等訊息，以及國際間相對應標準調整及規畫資訊，協助我國水泥產業於法規制度及標準規範接軌國際。

(三)隨著水泥原料來源逐漸複雜化，替代原料及替代燃料使用比例提升，水泥製程及檢驗上即有新的變化因子，製程改變使得水泥本身的特性及品質亦隨之調整，水泥中相應的有害物質如鉛、鎘、鉻及汞等重金屬含量有持續攀升之趨勢，其中水泥中氯離子含量多寡更是對混凝土品質強度與鋼筋耐久性有直接之影響，將藉由本考察計畫對於水泥中氯離子及混凝土中水溶性氯離子限量值等相關議題，蒐集歐盟地區相關標準規範、檢測方法及管理模式資訊，作為本局水泥相關專案計畫執行、商品管理模式優化及標準修訂之參考。

本行參加第1屆 Global CemProducer 研討暨展覽會及考察海德堡水泥 Burglengenfeld 水泥廠，透過考察國外水泥業在淨零碳排發展情形，並與專家學者進行研討交流汲取經驗，取得水泥業淨零碳排趨勢下之產品管理方式、標準訂定及檢驗方法等調整，期將歐盟地區在水泥製程與淨零碳排之鏈結及發展經驗帶回臺灣，以規劃我國水泥業淨零碳排相關制度建立並擬定未來發展內容。

貳、考察行程表

一、出國考察行程表

表 1：出國考察行程表

日期	地點	行程
3月12日	臺北-慕尼黑(Munich)	去程：臺北-慕尼黑(Munich)
3月13日		
3月14日	慕尼黑(Munich)	參加第1屆 Global CemProducer 研討暨展覽會，與各國水泥業代表們交流水泥品質管理、檢驗技術、替代燃料、替代原料及淨零排放等相關議題
3月15日	慕尼黑(Munich)	參加第1屆 Global CemProducer 研討暨展覽會，與各國水泥業代表們交流水泥品質管理、檢驗技術、替代燃料、替代原料及淨零排放等相關議題
3月16日	布格倫根費爾德 (Burglengenfeld)	參訪海德堡水泥 Burglengenfeld 廠，與廠方交流淨零排放製程及檢驗技術相關議題
3月17日	慕尼黑(Munich)-臺北	返程：慕尼黑(Munich)-臺北
3月18日		

二、考察團員

表 2：出國計劃考察團員

單位	姓名	職稱
經濟部標準檢驗局花蓮分局	林瑞陽	技正
經濟部標準檢驗局第一組	陳冠穎	技士

參、工作紀要

一、第 1 屆 Global CemProducer 研討暨展覽會—參展摘要

(一)會議介紹及議程

本研討會主辦單位為環球水泥傳媒公司(Pro Global Media)，該公司為歐洲水泥業界主流信息及活動提供商，並定期發行水泥相關雜誌刊物，提供歐洲地區乃至全球水泥行業各方面之市場領先信息、技術新知、研究資訊及市場數據。本次會議係為環球水泥傳媒公司於德國慕尼黑舉辦之第 1 屆 Global CemProducer 研討暨展覽會，時間訂於 2023 年 3 月 14 日至 3 月 15 日，本研討會匯聚了全球來自 20 個國家，超過 90 名水泥業專業人員與會，會議結合 22 項與水泥業產業現況相關之重要主題(如表 3)，涵蓋製程優化、產業趨勢及減碳技術等等，此外，本會議旁還同步舉辦了水泥生產相關設備及技術諮詢服務之展覽(如圖 2 及圖 3)，使與會代表可以相互交流新技術或尋找新的設備供應商。



圖 2：第 1 屆 Global CemProducer 研討暨展覽會

表 3：第 1 屆 Global CemProducer 研討暨展覽會議程

日期	項次	主題
2023 年 3 月 14 日	Paper 1	未來之水泥廠 - 請問是哪一個? Cement plants of the future - which one please?
	Paper 2	責任 - 透過水泥 4.0 減少碳足跡 Responsibility - Reducing the carbon footprint with Cement 4.0
	Paper 3	優化 DeNO _x /SCR 之連續原位氣體分析 - 案例研究 Continuous in-situ gas analysis for DeNO _x /SCR optimisation- a case study
	Paper 4	水泥供應鏈之成本及碳排減量 Costs and carbon reduction in cement supply chains
	Paper 5	水泥業 Fives' 之碳戰略 Fives' carbon strategy in the cement industry
	Paper 6	面向未來之耐火材料 Future-proof refractories
	Paper 7	如何透過規定監控條件以提升設備效率 How to improve equipment effectiveness with prescriptive condition monitoring
	Paper 8	粉塵抑製劑，防止重粉塵暴露之可持續解決方案 Dust Suppressant, a sustainable solution to prevent heavy dust exposures
	Paper 9	將數據轉化為美元:使用人工智慧避免停機並提高可靠性 Turning data into dollars: avoided downtime and improved reliability using artificial intelligence
	Paper 10	水泥廠餘熱回收以提高盈利能力:一體化項目開發及金融服務 Increasing the profitability of waste heat recovery projects in cement plants: integrated project development and financial services
2023 年 3 月 15 日	Paper 11	水泥廠向綠色轉型之方式 Ways cement plants can transition to Green
	Paper 12	水泥研磨之動態分析及降低聽覺的震盪 Dynamic analysis and approach to reduce acoustic vibrations of a cement mill
	Paper 13	預測性維護及智能潤滑以提高水泥廠之可靠性 Predictive maintenance and smart lubrication to increase cement plant reliability
	Paper 14	至 2030 年之水泥製程脫碳技術 - 全球回顧 Technologies to decarbonise cement production by 2030 - a global review
	Paper 15	以 ABB 能力分析優化器進行面向未來水泥製程優化 Future-proofing cement process optimisation with ABB Ability Expert Optimizer

Paper 16	<p>面向未來的水泥生產自動化物流之智能軟件解決方案 Smart software solutions for future-proof automated logistics in cement production</p>
Paper 17	<p>從昨天開始之未來輸送 The future of conveying has started yesterday</p>
Paper 18	<p>使用 CFD 模擬之水泥生產優化淬火冷卻解決方案 Optimised quench cool solutions in cement production using CFD simulation</p>
Paper 19	<p>研磨優化:純人工智慧非解決方案 Mill optimisation: Pure AI is not the solution</p>
Paper 20	<p>大批材料輸送系統面向未來之安全服務及解決方案 Future-proof safety services and solutions for bulk material conveyor systems</p>
Paper 21	<p>德國 IKN 最近一站式方案 - 高溫技術能力 IKN' s recent turnkey projects in Germany - competence in pyro technology</p>
Paper 22	<p>海德堡材料最近之最先進升級 Recent state-of-the-art upgrades at Heidelberg Materials</p>

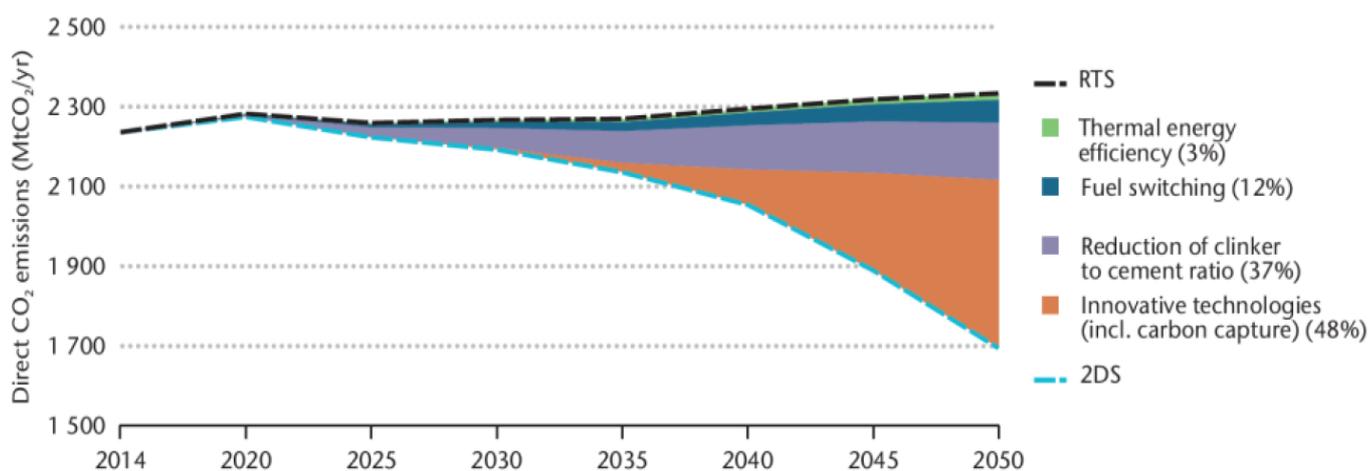


圖 3：水泥生產相關設備及技術諮詢服務展覽區域

(二)研討會重要內容摘要

本次參與 Global CemProducer 研討暨展覽會，兩天共計有 22 場研討會，透過研討會中透過各項主題演說，與各國水泥業專家們交流水泥品質管理、檢驗技術、替代燃料、替代原料及淨零碳排等相關議題，並取得水泥業發展趨勢及各項減碳技術相關報告及統計資料，並彙整其中與水泥業淨零碳排及綠色轉型相關內容，重點摘要如下：

1. 隨著全球人口的增加和都市化的發展，到 2050 年全球水泥產量將增長 12% 至 23%，儘管水泥業於製程節能減碳效率逐漸提高，但依據國際能源署(IEA)以參考技術情景(Reference Technology Scenario, RTS)估計，依照現有技術及各國對於協議氣候的承諾，到 2050 年全球水泥業的直接碳排放量預計仍將會成長 4%，從 2020 年的 2280 MtCO₂/year 成長至 2050 年的 2340 MtCO₂/year(如圖 4)。

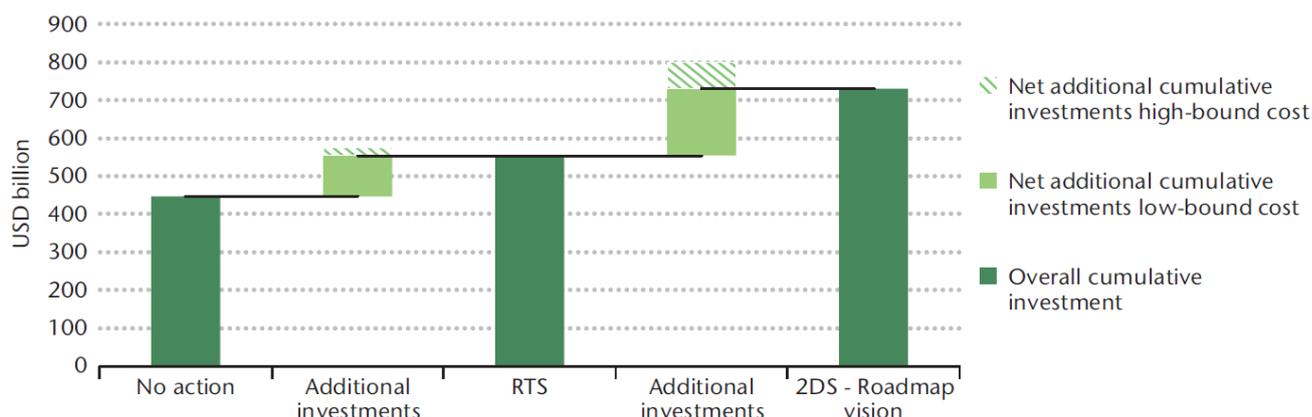


The Roadmap of the IEA describes 4 levers for decarbonization over the course of time

圖 4：2050 年前水泥業減碳效益及路徑趨勢圖

2. 為達成《巴黎氣候協定》設定目標，以實現永續發展，還需控制全球平均升溫在低於 2°C 以內(the 2 degree Celsius Scenario, 2DS)，亦即全球水泥業至 2050 年還必須削減 24 % 碳排放量(如圖 4)，碳排放量需由 2020 年的 2280 MtCO₂/year 逐步減至 2050 年的 1732 MtCO₂/year，這意味著水泥業要進行更全面的綠色轉型以減少大量的碳排放，並開創更多元更有效益的減碳技術，以實現 2°C 情景

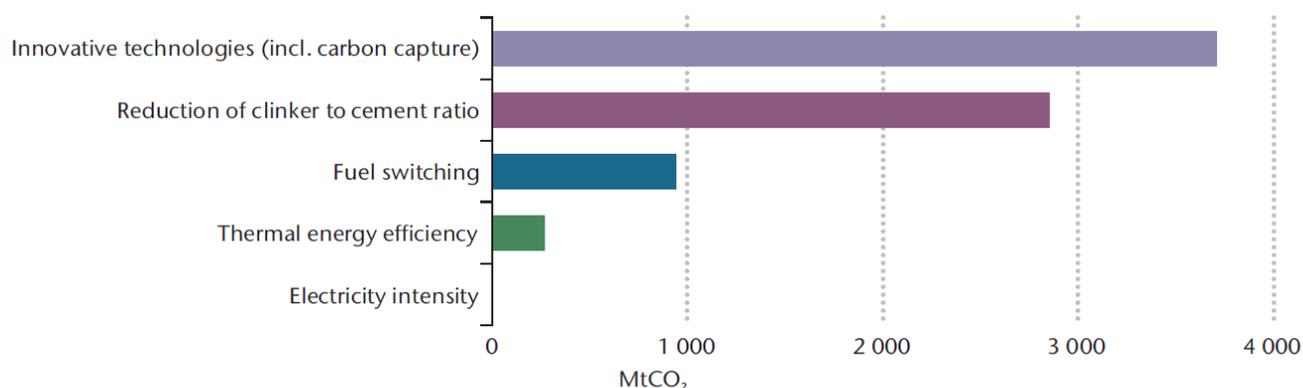
目標(2DS)，這代表全球水泥業還須加大對於淨零碳排相關技術之投資，據統計至 2050 年需額外再投資將達到兩千億美元以上(如圖 5)。



Note: Net cumulative additional investment numbers are assessed considering low- and high-bound sensitivity ranges for specific investment costs. Overall cumulative investments displayed in the above graph refer to the low-bound cost range.

圖 5：水泥業 2050 淨零碳排預估投資金額統計圖

- 於實現 2°C 情景目標(2DS)，於 2050 年前逐步將碳排放量減至 1732 MtCO₂/year，國際能源總署(IEA)歸類水泥業四大淨零碳排技術方向，可分為提高電熱能效率、燃料轉換(如使用替代燃料等)、降低熟料比例(如使用新材料取代傳統熟料等)及創新技術(如碳捕捉等)等 4 大方向，必須於 2020 至 2050 年間累計減碳約 7700 MtCO₂，並評估四大淨零碳排方向所能提供的效益如下(如圖 6)：
 - 提高電熱能使用效率(Thermal efficiency)預期累積減碳約 250 MtCO₂，佔 3%。
 - 燃料轉換(Fuel switching)預期累積減碳約 950 MtCO₂，佔 12%。
 - 降低熟料比例(Reduction of clinker to cement ratio)預期累積減碳約 2900 MtCO₂，佔 37%。
 - 創新技術(Innovative technologies)預期累積減碳約 3700 MtCO₂，佔 48%。



Note: Cumulative CO₂ emissions reductions refer to the period from 2020 to 2050 and are based on the low-variability case of the scenarios.

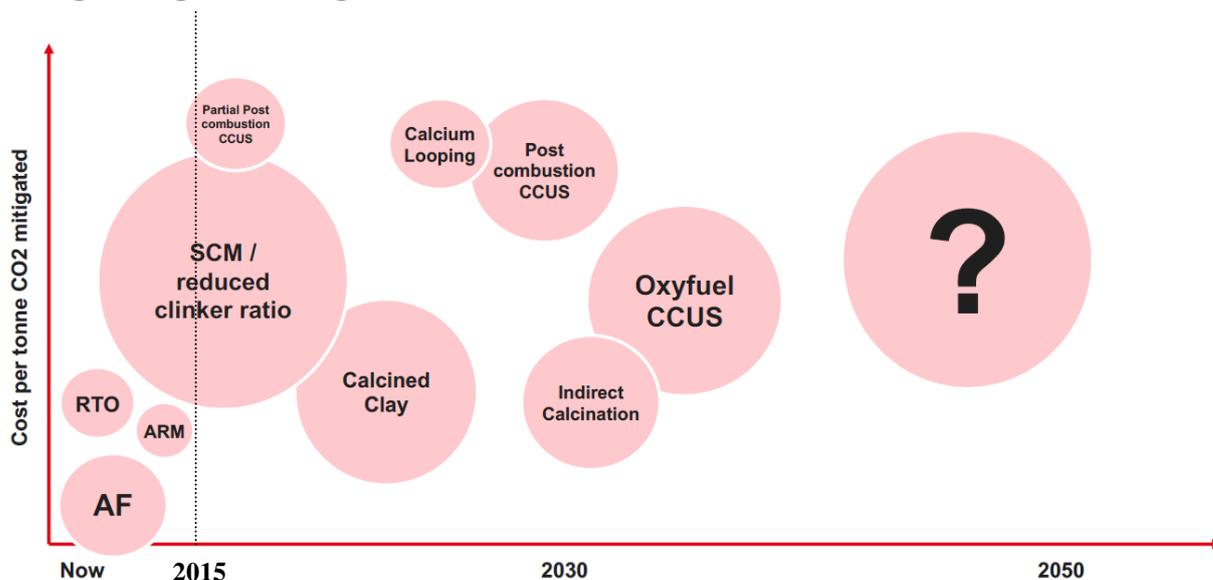
圖 6：水泥業淨零碳排減碳量統計圖

4. 依據全球減碳技術發展趨勢(如表 4 及圖 7)，在 2030 年以前燃料轉換(Fuel switching)及降低熟料比例(Reduction of clinker to cement ratio)是減碳技術主力，亦為目前各國主要進行及開發技術的方向，且已在部分國家(如德國)取得良好的進展及效益，於 2030 年前的技術進展目標熟料使用量最小化，絕大多數可被替代材料取代，以及盡可能廣泛的使用替代燃料，但在 2030 年之後，上述方法的減碳效果也會走到一個成長極限，故每年的碳排減量成長幅度小，關鍵在 2030 年之後，此後的減碳需求量大，而至今減碳技術仍尚未明確，亟待各界創新技術(Innovative technologies)的研發，發展出極具減碳效益之技術，以期達到 2050 年之減碳目標。

表 4：各階段水泥業淨零碳排技術分類

年分	方法	概況
2015 以前	替代燃料(AF) 廢氣處理技術(RTO) 替代原料(ARM)	於替代燃料及替代原料的使用技術成熟化，並於多國已有成功示範案例，為具市場化及規模化之技術。
2015~2030	鍛燒黏土(Calcined clay) 膠結材料(SCM) 鈣循環技術(Calium Looping) 燃燒後碳捕捉(Post combustion CCUS) 間接段燒(Indirect calcination)	致力於開發各類膠結材料以降低熟料比例，發展各式低碳水泥，為各國積極推展及逐步市場化之技術。
2030 以後	富氧燃燒碳捕捉(Oxyfuel CCUS)	2030 以後的減碳技術尚未明確，目前仍在研究階段的富氧燃燒碳捕捉極具減碳潛力並被賦予眾望，評估能在 2030 年後技術成熟及規模化，但仍不足以達到 2050 的減碳目標，亟待其他創新減碳技術跟進。

Navigating Through The Transition



The path towards 2030 is rather clear to see – but from 2030 onwards it is still blurry

圖 7：水泥業淨零碳排技術發展藍圖

二、海德堡水泥 Burglengenfeld 廠—參訪摘要

(一) 海德堡水泥 Burglengenfeld 廠-水泥廠介紹及製程概況介紹

海德堡水泥 Burglengenfeld 廠成立於 1912 年，位於雷根斯堡市以北 25 公里的區域，緊鄰石灰質砂岩採石場，該工廠靠近許多工業區和城市，提供德國南部巴伐利亞地區(例如慕尼黑、紐倫堡、雷根斯堡和英戈爾施塔特)水泥需求，該廠於 2016 年至 2018 年期間進行現代化改造，並於 2019 年 4 月啟動了歐洲最現代化的窯爐生產線。建置包括先進窯爐排氣布袋式除塵器、高效選擇性非催化還原 (SNCR) 系統、現代化預熱器、先進分解爐設計、熟料冷卻器和現代化物料廠區，生產容量為 4000 噸/天，並透過安裝先進的預分解爐設備及設計，將替代燃料使用比例提高達 90%，成為德國最現代化的水泥廠之一，於 2022 年該工廠生產了 1.3Mt 水泥。該廠生產九種水泥包括石灰石水泥、爐渣水泥和普通卜特蘭水泥。為了滿足市場低碳排放需求，亦提供具有較低碳排的水泥類型，如 EN197-5:2021 最新修訂的 CEM II / CM 型水泥 (熟料係數最低 50%)，該廠作為德國地區技術領先之水泥廠，致力於展現現代化製程及淨零碳排技術示範，為海德堡集團擔任未來水泥廠營運示範的領頭羊。

表 5：海德堡水泥 Burglengenfeld 廠基本概況

地點	伯格倫根費爾德·巴伐利亞
主要市場	德國南部巴伐利亞州
成立年分	1912 年
雙 KHD 線	2000 噸/天（建於 1968 年和 1974 年）
容量	4000 噸/天（1.3 百萬公噸/年）
預熱器	5 級，單線
窯	L = 61m，Ø = 4.8m
冷卻器	IKN Pendulum，4000 噸/天
替代燃料	90%（允許 100%）



圖 8：海德堡水泥 Burglengenfeld 廠及其採石場

(二)主要會面人員

Bernhard Reindl，海德堡水泥 Burglengenfeld 廠，工廠經理

(三) 海德堡水泥 Burglengenfeld 廠水泥製程概況及交流重點摘要

本次考察海德堡水泥 Burglengenfeld 廠，除參訪工廠內先進減碳製程及技術外，亦與廠內專業人員針對淨零排放製程及檢驗技術相關議題進行研討，並根據交流所取得資料，彙整出摘要如下：



圖 9：於海德堡水泥 Burglengenfeld 廠交流會議及實地考察

Q1：貴廠使用大量的廢棄物作為替代燃料，而廢棄物中含有許多重金屬及高氯離子含量，如何維持品質？

A1：

- (1) 大量使用替代燃料，會增加水泥含有重金屬及有害物質的風險，但海德堡水泥 Burglengenfeld 廠於使用替代燃料前，皆會先依據相關規範進行檢驗測試，確認其化學性質和物理性質，並對其進行分類、粉碎和均質化處理，進行篩選評估、成分計算及優化配比，控制廢棄物中有害元素的引入含量，以管制產品品質，控制其重金屬及相關有害物質在安全範圍之內。
- (2) 本廠窯爐生產線設有氯旁路系統(Chlorine Bypass System)，可利用高溫將氯離子汽化，可將揮發性元素(如 Cl、S 等)抽出到系統外，生產過程中可對熟料中所含氯元素進行品質控管，而我們生產出的熟料中氯離子含量約在 0.02%-0.03%(EN 197-1 所規範之水泥中氯離子限量值 0.1%)。



圖 10：品管控制室

Q2：海德堡水泥 Burglengenfeld 廠可以使用到 90%替代燃料的原因？

A2：為建立一符合減碳需求之現代化工廠，並且充分使用替代燃料，本廠建置許多先進設備及技術，促使窯爐生產線最大限度地利用各種替代燃料，以提高替代燃料的處理量至 90%，而我們拉高替代燃料使用量的原因，提供以下方向供參考：

(1) 廢棄物前處理廠

在海德堡水泥 Burglengenfeld 廠附近設有事業廢棄物和生活垃圾的分選處理廠，依據固體再生燃料特性及分類標準(如 ISO 21640)，利用廠內機械分類及篩選技術，將熱值高、可焚燒的成分(如廢輪胎、廢橡膠等，篩選出來進行破碎處理後，再將二次資源運到水泥廠使用，經篩選及破碎的廢棄物可有效提升替代燃料之燃燒效率，能有效處理廢棄物中的有害物質，為節能減碳的重要關鍵。

(2) 預分解爐設備及技術

採用先進預分解爐設備及技術，使替代燃料再進入旋窯前進行預處理及預燃燒，不易燃燒的替代燃料會先於特製燃燒器長時間燃燒，燒製成微細顆粒至飛起來並進入分解爐，並於分解爐中完全燃燒殆盡，如此可提升廢棄物乾燥、氯化及焚燒之效率，可大幅提升替代燃料使用量及替代率。

(3) 氯旁路系統(Chlorine Bypass System)

隨著廢棄物的處理量增加，帶入的有害揮發性成分(如 Cl、S 等)的量越多，這些成分將對水泥的品質產生不良的影響，並引起水泥製造設備如預熱器的堵塞等問題，影響窯爐生產線的正常運行，這時則應採取相應控制技術是旁路排氣除氯技術，該方法是利用高溫將揮發性成分汽化後，將揮發性成分的氣體抽出到系統外，並降溫而使得揮發性成分的化合物冷凝在粉塵的表面上，揮發性成分成為被濃縮的粉塵(bypass dust)，將粉塵水洗後再重新加回水泥中，氯旁路系統可有效解決預熱器的堵塞等問題，並除去有害的揮發性成分，本廠氯旁路系統使用比例高達 8%，為有效提升替代燃料的處理量之關鍵。



圖 11：窯爐生產線參訪

Q3: 因應 2050 淨零碳排的國際趨勢，貴廠對於水泥產品規格、標準及檢驗進行調整內容為何？

A3：隨著水泥工藝不斷進步，國際間已研究出許多具有商業潛力的膠結材料，可以有效替代熟料，其中一種新興的膠結材料即為煅燒黏土，可利用為煅燒黏土、石灰石與水泥熟料之三元水泥基膠結材組合製成一種新型的混合水泥，即石灰石煅燒黏土水泥(LC3, Limestone Calcined Clay Cement)，而 LC3 水泥的創新之處在於使用 30%的煅燒黏土、15%的石灰石和 5%的石膏，使熟料含量可減少至 50%，並且成功結合在一起，且具有與普通卜特蘭水泥相當的性能，由於膠結材使用較少的水泥熟料，因此生產過程中有效減少二氧化碳之排放。另為因應新興水泥成分之變化並鼓勵替代材料持續發展，歐盟已於 EN 197-5:2021 最新版本修訂，加入了 CEM II/CM 和 CEM VI 兩種成分水泥，對於 CEM II/CM 水泥，其熟料含量最多可減少至 50%，而對於 CEM VI 組中的複合水泥，熟料含量最多可減少至 35%。

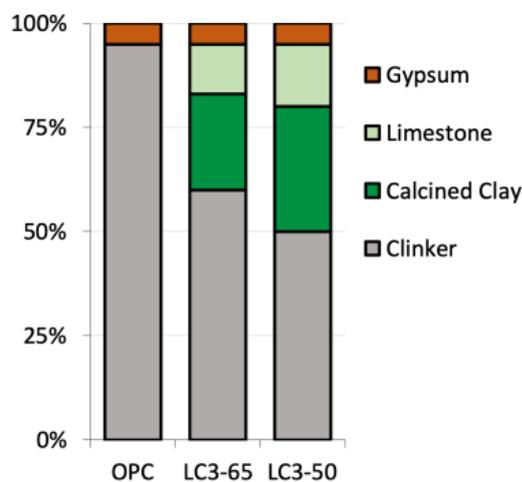


圖 12：普通卜特蘭水泥與 LC3 水泥成分比較圖

Q4：歐盟地區對於混凝土中氯離子之標準規範、檢驗計算方式及管理方式為何？

A4：

- (1) 歐洲混凝土中所能含有之氯離子限量值標準係參照 EN 206:2013 規定，混凝土中氯離子含量根據暴露條件有不同的限量值：無鋼筋混凝土在乾燥或是潮濕狀況下，氯離子限量值為 1.00 % (水泥重量百分比)。鋼筋混凝土在乾燥條件下其氯離子限量為 0.40 % (水泥重量百分比)，在潮濕條件下為 0.20 % (水泥重量百分比)。預力混凝土在乾燥條件下其氯離子限量為 0.20 % (水泥重量百分比)，在潮濕條件下為 0.10 % (水泥重量百分比)，如下表 6。

表 6：歐盟地區混凝土中氯離子含量限制值

混凝土種類	最大氯離子含量(水泥重量百分比)
無鋼筋	1.00%
鋼筋(乾燥環境)	0.40%
鋼筋(潮濕環境)	0.20%
預力(乾燥環境)	0.20%
預力(潮濕環境)	0.10%

- (2) 有關混凝土中氯離子管理方式，歐盟地區未訂定有預拌混凝土中水溶性氯離子的標準，僅訂定有混凝土中總氯離子限量值，其混凝土中氯離子含量為計算混凝土中各配料所貢獻氯離子之總和，各配料生產者依相應檢驗標準去檢測該配料氯離子含量，並提供給使用者作為配比評估及參考。
- (3) 使用者於拌混前依配比計算，並加總混凝土中氯離子含量，確認是否合於規範，各配料可貢獻之氯離子限量值，由各配料所對應之標準所規範(如表 7)，而使用者可容許配料之氯離子含量多寡，即依自身需求及拌混狀況去購買所適合的材料。

表 7：混凝土中各配料之氯離子限量值

種類	檢驗標準	限量值標準	限量值
水泥	EN 196-2	EN 197-1	0.1%
飛灰(fly-ash)	EN 196-2	EN 450-1	0.1%
爐石(ground granulated blastfurnace slg)	EN 196-2	EN 15167	0.1%
矽化物(Silica fume)	EN 196-2	EN 13263-1	0.1%~0.3%
外加劑(admixtures)	EN 480-10	EN 934-1	0.1%
骨材(aggregates)	EN 1744-1	EN 12620	水溶性氯離子數值
水	EN 196-2	EN 1008	0.1%

(4) 以下依照 EN 206:2013 之規範，模擬計算混凝土中總氯離子含量(水泥重量百分比)，計算各配料所貢獻之氯離子含量加總後，再除以混凝土中水泥重量。由下表 8 可知該配方混凝土每立方公尺氯離子含量總共 0.697 公斤，水泥總共 340 公斤，混凝土中氯離子含量計算得 0.21% (水泥重量百分比)，亦可參考英國預拌混凝土協會(BRMCA)計算資料，如附錄。

表 8：混凝土中氯離子含量模擬計算表

配料	每立方公尺各配料公斤重(kg/m ³)	氯離子含量 (%)	氯離子含量 (kg)
水泥(Cemment)	340	0.08 (800 ppm)	0.272
細骨材(Fine Aggregate)	790	0.04	0.316
粗骨材(Coarse Aggregate)	1080	0.01	0.108
外加劑(Admixture)	1	0.10	0.001
水(Water)	169	0.00	0.000
總計	2380		0.697



圖 13：與各國水泥業專家代表於廠區合影

肆、心得與建議

- (一) 歐盟地區已有水泥廠可在替代燃料使用率達到 90%，歸功於其現代化的生產處理技術及設備(如預分解爐、氯旁路系統等)，而我國目前替代燃料比例偏低，部分原因為我國水泥廠替代燃料處理設備尚未完善，使替代燃料比例無法有效提升，政府應逐步協助水泥產業進行技術及設備轉型，以協助國內水泥廠替代燃料使用率有效提升。
- (二) 國際間水泥業於 2030 年後的減碳技術尚未明確，亟待其他創新減碳技術跟進，因此本局除須重視現行替代燃料及低碳水泥等發展外，亦應關注未來創新減碳技術(如碳捕捉)的研究及開發，現行國內水泥業已有的「鈣迴路捕獲二氧化碳技術」和「微藻固碳及利用技術」等研究開發，為我國水泥業少有之創新碳捕捉技術，也相當值得政府關注，共同建立具減碳效益之碳捕捉技術。
- (三) 本次研討會所取得全球水泥業的減碳技術規劃藍圖，可得知每種減碳方法都有規模及效益上之差異，投入資源前皆需要加以評估，本局對於水泥廠每年皆有不定期工廠檢查，除例行之品質管理稽核外，亦可多加瞭解我國水泥廠減碳技術發展現況，蒐集水泥廠目前之減碳措施、技術及設備等資訊，聆聽業界對於政府協助減碳技術發展之需求建議，進而評估規劃本局於標準及檢測相關業務之未來方向。
- (四) 本次考察水泥廠所使用替代燃料達 90%，生產熟料所含氯離子為 200 ppm~300 ppm，遠低於歐盟地區水泥中氯離子限量值為 1000 ppm，其原因之一為仰賴先進氯旁路設備將氯氣體抽出，以進行品質管控，配合 2050 淨零碳排政策，我國配合趨勢已於 2021 年修訂 CNS 61「卜特蘭水泥」，調升水泥中氯離子限量值至 240 ppm，未來亦將持續滾動式調整，另可積極評估從生產設備進行升級，亦能有效控制及降低水泥中氯離子含量。
- (五) 歐盟地區未訂定有新拌混凝土中水溶性氯離子的標準，僅訂定有混凝土中總氯離子限量值，各配料生產者依相應標準檢測該配料氯離子含量，並提供給使用者作為配比評估及參考，使用者於拌混前依配比計算個配料所貢獻之氯離子，並加總混凝土中氯離子含量，以確認是否合於規範限量值，為歐盟地區混凝土

中氯離子含量之管理方式。本方式從限制混凝土中總氯離子量進行規範，不受到水泥中水溶性氯離子釋出率之影響，後續將分析歐盟地區混凝土中各配料貢獻氯離子之計算方式，並將歐盟地區混凝土中氯離子檢驗計算方式與國內檢驗計算方式做一比對分析，並提供予本局花蓮分局水泥專業實驗室作為相關專案計畫、氯離子檢驗及品質管控之重要技術參考。

- (六) 國際間以新興材料煅燒黏土(Calcined clay)取代部分熟料製作石灰石煅燒黏土水泥(LC3)，極具減碳效益，為拓展 LC3 水泥的減碳效益，歐盟新修訂了標準 EN 197-5:2021，新增了 CEM II/C-M 及 CEM VI 水泥，經查我國於 2022 年新修訂之 CNS 15286:2022「水硬性混合水泥」中，已囊括 LC3 水泥的規格需求，惟 LC3 水泥中特定性質之煅燒黏土(Calcined clay)國內無供應需仰賴進口，我國雖無生產 calcined clay 等材料，但規範也已為發展新型混合水泥預留空間，未來本局應持續追蹤國際間各類新興凝膠材料及水泥等資訊，以評估其適用程度，以期適時跟進國際水泥業發展趨勢。

伍、參考資料

1. Cement Plant of The Future – Which One Please? 簡報，1st Global CemProducer Conference & Exhibition，2023
2. Responsibility - Reducing the carbon footprint with Cement 4.0簡報，1st Global CemProducer Conference & Exhibition，2023
3. Recent state-of-the-art upgrades at Heidelberg Materials' Burglengenfeld plant簡報，1st Global CemProducer Conference & Exhibition，2023
4. IKN' s recent turnkey projects in Germany – competence in pyro technology簡報，1st Global CemProducer Conference & Exhibition，2023
5. Technology Roadmap Low-Carbon Transition in the Cement Industry，International Energy Agency (IEA)，2018
6. CNS 61:2021 「卜特蘭水泥」
7. CNS 15286:2022 「水硬性混合水泥」
8. EN 197-5:2021 Cement Portland-composite cement CEM II/C-M and Composite cement CEM VI
9. EN 196-2:2013 Method of testing cement Chemical analysis of cement
10. EN 197-1:2011 Cement - Composition, specifications and conformity criteria for common cements
11. EN 480-10:2009 Admixtures for concrete, mortar and grout. Test methods - Determination of water soluble chloride content
12. EN 1744-1:2009+A1:2012 Tests for chemical properties of aggregates - Chemical analysis
13. EN 450-1:2012 Fly ash for concrete - Definition, specifications and conformity criteria
14. EN 15167-1:2006 Ground granulated blast furnace slag for use in concrete, mortar and grout - Definitions, specifications and conformity criteria
15. EN 13263-1:2005+A1:2009 Silica fume for concrete - Definitions, requirements and conformity criteria
16. EN 934-1:2008 Admixtures for concrete, mortar and grout - Common requirements
17. EN 12620:2002+A1:2008 Aggregates for concrete
18. EN 1008:2002 Mixing water for concrete. EN 206:2013 Concrete. Specification, performance, production and conformity.
19. ISO 21640:2021 Solid recovered fuels — Specifications and classes

BRMCA Information Sheet

Concrete chloride class

The European Concrete Standard, BS EN 206¹, states that the chloride content of concrete is derived from the sum of the contributions from the constituents. The maximum chloride content of the constituent may be either; as permitted in the standard for the constituent, or as declared by the producer of each constituent.

In the UK the chloride content class is specified according to the concrete use as set out in Table 1.

Table 1: Concrete use and chloride class

Concrete use	Chloride content class	Maximum chloride content by mass of cement, %
Not containing steel reinforcement or other embedded metal except for corrosion resisting lifting devices. This includes BS 8500-2 ² Designated GEN and CB concretes as well as Standardized Prescribed concretes ST1 and ST2.	Cl 1,00	1.00
Containing steel reinforcement or other embedded metal. This includes BS 8500-2 Designated RC, FND and PAV concretes and Standardized Prescribed concretes ST3, ST4 and ST5 ^A	Cl 0,40	0.40
Containing prestressing steel reinforcement in direct contact with concrete ^B .	Cl 0,20	0.20
^A Excluding concrete made with BS EN 197-1 CEM I SR0 and SR3 ^B Concrete made with BS EN 197-1 CEM I SR0 and SR3 containing steel reinforcement or other embedded metal, including BS 8500-2 Designated concretes RC, FND and PAV as well as BS 8500-2 Standardized Prescribed concretes ST3, ST4 and ST5		

Chloride is present in most cements and additions as well as in some sources of other concrete constituents such as aggregates, admixtures and water.

Cements conforming to BS EN 197-1³, fly-ash conforming to BS EN 450-1⁴, and ground granulated blastfurnace slag conforming to BS EN 15167⁵ have a chloride content $\leq 0.10\%$. Silica fume conforming to BS EN 13263-1⁶ may have a chloride content up to $\leq 0.30\%$ but where it is above $\leq 0.10\%$ the upper limit for its characteristic value shall be declared.

Admixtures conforming to BS EN 934-1⁷ have a chloride content $\leq 0.10\%$ or a maximum value declared by the manufacturer.

For aggregates conforming to BS EN 12620⁸ the requirement for the chloride ion content for natural aggregate is that where required the water-soluble chloride ion content of aggregates shall be declared by the producer.

For concrete containing reinforcement or embedded metal then mixing water conforming to BS EN 1008⁹ has a maximum chloride content of 0.10%

BRMCA Information Sheet

An example of chloride class calculation for concrete in accordance with BS 8500-2 is summarized below.

Table 2. Example of concrete chloride class determination

Constituent	Concrete proportions kg/m ³	Chloride content of constituents %	Total chloride content kg
Cement, CIIIA	340	0.08	0.272
Fine Aggregate	790	0.04	0.316
Coarse Aggregate	1080	0.01	0.108
Admixture	1	0.10	0.001
Water	169	0.00	0.000
Total	2380		0.697

From Table 2 the chloride content by weight of cement can be calculated, that is it is equal to 0.697 kg of chloride divided by 340 kg of cement, 0.21%. At 0.21% the concrete chloride class declared would be Cl 0,40.

References

1. BS EN 206: 2013. Concrete – Specification, performance, production and conformity. Incorporating corrigendum May 2014.
2. BS 8500-2:2015+A1:2016. Concrete - Complementary British Standard to BS EN 206. Part 2: Specification for constituent materials and concrete
3. BS EN 197-1: 2011 Cement – Part 1: Composition, specifications and conformity criteria for common cements.
4. BS EN 450-1: 2012. Fly ash for concrete – Part 1: Definition, specifications and conformity criteria.
5. BS EN 15167-1: 2012. Ground granulated blastfurnace slag for use in concrete mortar and grout – Part 1: Definitions, specifications and conformity criteria.
6. BS EN 13263-1: 2005 +A1:2009. Silica fume for concrete – Part 1: Definitions, requirements and conformity criteria.
7. BS EN 934-1: 2005 +A1:2009. Silica fume for concrete – Part 1: Definitions, requirements and conformity criteria.
8. BS EN 12620:2002+A1:2008. Aggregates for concrete.
9. BS EN 1008: 2002 Mixing water for concrete – Specification for sampling testing and assessing the suitability of water, including water recovered from processes in the concrete industry, as mixing water for concrete.

27 September 2019