

出國報告（出國類別：考察）

出席「新南向國家資源循環區域夥伴及  
國際交流」

服務機關：環境部資源循環署

姓名職稱：李逢茹 技士

派赴國家/地區：印尼泗水

出國期間：114年8月19日至23日

報告日期：114年10月8日

## 前言

臺灣-印尼科技創新中心(TI-STIC)於 2021 年在臺灣國家科學及技術委員會(NSTC)的支持下，由國立臺灣科技大學與印尼泗水理工大學(Sepuluh Nopember Institute of Technology, ITS)、Widya Mandala 天主教大學(WMCUS)及印尼國家研究與創新總署(BRIN)共同成立。該中心主要關注循環經濟、綠色技術及永續發展目標(SDGs)，並致力於建立臺灣與印尼政府、產業界與學術界的合作網絡與夥伴關係。

繼 2025 年 4 月 15 日於雅加達成功舉辦第二屆循環經濟研討會後，本次「臺灣-印尼低碳營建國際研討會」於 2025 年 8 月 21 日假泗水理工大學(ITS)舉行，以「低碳建築：研究、應用與規範」為主題，並由臺灣-印尼科技創新中心攜手財團法人臺灣營建研究院及環境部資源循環署共同主辦，邀集兩國政府代表、專家學者與企業領袖，共同探討低碳營建的最新研究成果、技術應用與政策規範。

除研討會外，活動亦規劃兩天參訪行程，參訪印尼在地低碳營建及循環經濟相關設施，包含拜會泗水市環境局，及參訪印尼泗水理工大學土木系材料與施工實驗室及再生能源示範場、印尼科技創新中心、泗水 Benowo 廢轉能電廠。透過專題演講、交流討論、案例分享與實地觀摩，期能促進雙邊經驗交流，推動印尼更廣泛落實低碳建築實踐，並深化臺灣與印尼於永續營建領域之合作關係。

壹、出國人員：資源循環署李逢茹薦任技士。

貳、出國日期：114年8月19日至114年8月23日

參、行程內容：

日期	工作內容概要
08月19日(二)	上午啟程，晚上抵達印尼泗水，與駐泗水臺灣代表處晚宴交流。
08月20日(三)	上午參訪泗水理工大學土木系材料與施工實驗室，下午拜會印尼泗水市環保局。
08月21日(四)	參與臺印低碳營建國際研討會。
08月22日(五)	上午參訪泗水理工大學再生能源示範基地(REIDI)、及印尼科技創新中心-韋地雅曼達拉天主教大學校區，下午參訪 Benowo 廢轉能電廠。
08月23日(六)	回程，返回臺灣

於8月19日啟程至印尼泗水，參加「臺灣-印尼低碳營建國際研討會」暨參訪活動。

本次正式會議為114年8月21日，於印尼泗水理工大學(ITS)舉行，會議模式主要以專家演講、綜合座談方式進行，並於114年8月20日及8月22日安排拜會泗水市環境局、印尼泗水理工大學土木系材料與施工實驗室，以及再生能源示範場、印尼科技創新中心、泗水 Benowo 廢轉能電廠之參訪活動。以下就每日情形簡要說明：

一、第一天：114年8月19日

由於自臺灣前往印尼泗水需經轉機，於當地時間晚間六時抵達泗水，並隨後與駐泗水臺灣代表處舉行晚宴交流。

二、第二天：114年8月20日參訪行程

1. 參訪印尼泗水理工大學土木系材料與施工實驗室

參訪泗水理工大學土木系實驗室(ITS)，議題聚焦低碳道路基礎設施相關案例，首先參觀交通與鋪面材料實驗室，了解其在道路、鐵路與海運系統研究上的成果，特別是透過推動民眾由私人運具轉向公共運輸以降低碳排放，並瞭

解泗水當前公共運輸發展（如公車系統、SRRL 鐵路規劃及即時資訊應用）所面臨的挑戰與對策。

隨後參訪建築管理實驗室，介紹其在教育、研究與產業服務上的角色，特別著重於專案進度、成本與品質的管理，以及永續建築與風險管理議題；同時也分享印尼在大型建設、補貼住宅、新首都計畫等面向的推動經驗，以及在勞動力素質不足、綠建築成本過高與國際承包商影響下所面臨的挑戰。此次參訪不僅加深對印尼營建發展現況的理解，也為未來在交通、營建與永續領域的交流合作奠定基礎。



圖 1、參訪泗水理工大學土木系實驗室（ITS）

## 2. 拜會泗水市環境局

泗水市環境局（DLHK Kota Surabaya）為泗水市政府轄下之地方環保主管機關，負責全市環境政策推動與執行，涵蓋廢棄物管理、污染防制、資源回收及城市綠化等業務。

在拜會泗水市環境局期間，環境局長 Dedik Irianto 首先說明該市整體廢棄物管理現況。介紹泗水市約三百萬人口，每日垃圾產生量逾一千八百公噸，透過「垃圾銀行」、堆肥場與廢棄物回收設施推動社區循環經濟，並由 3 萬多名環保志工協助家庭垃圾分類與宣導；最終垃圾送往 Benowo 廢轉能電廠，該廠以垃圾掩埋後所產生的沼氣來發電及垃圾焚化處理後的廢氣進行氣化發電的熱轉能技術的能源化處理。另一方面，政府亦推動「以廢換乘」政策（回收寶特瓶換搭乘公車）、禁用一次性塑膠袋、推廣可重複使用尿布等措施。

雙方交流過程中，我國代表則介紹「資源回收四合一制度」，包括社區、地方政府、回收體系及回收基金的整合運作，並分享隨袋徵收制度與大型垃圾的處理經驗，說明如何藉由制度設計與經濟誘因提升民眾參與率。透過此次雙邊討論，不僅對泗水市的廢棄物管理模式有更深入的理解，也突顯臺灣與印尼在廢棄物減量、回收利用與循環經濟領域的合作潛力。

	
<p>泗水市環境局長 Dedik Irianto 分享簡報</p>	<p>現場交流情形 1</p>
	
<p>現場交流情形 2</p>	<p>展示廢輪胎再利用實例-垃圾桶</p>



圖 2、拜會印尼泗水市環境局

### 三、第三天：114 年 8 月 21 日

當日上午的開幕典禮，由印尼泗水理工大學副校長 Prof. Agus Muhamad Hatta、臺灣印尼海外科學研究與技術創新中心主任劉志成教授，以及駐泗水臺北經濟貿易代表處邱陳煜處長致詞，正式為會議揭開序幕。

本次會議以「低碳建築：研究、應用與規範」為主題，首先由印尼公共工程部建築工程與環境衛生司司長 Kuswara, S.T., M.A.，介紹印尼住宅基礎建設政策與法規的發展；接著由印尼東爪哇省公共工程與公路局處長 Ir. Krisna Murti Suryani, S.T., M.T.，分享該省推動綠色基礎建設及低碳建築的政策與實踐。

隨後，我國專家依序進行專題報告：臺灣科技大學廖敏志教授說明低碳道路材料與混合設計；中央大學陳介豪教授探討智慧營建與減碳策略；高雄科技大學蘇育民助理教授則分享含再生瀝青的低碳、低彈性模數混凝土鋪面。



印尼泗水理工大學副校長 Prof. Agus Muhamad Hatta



臺灣印尼海外科學研究與技術創新中心主任劉志成教授



印尼 Trisakti 大學  
Dr. Kadarsah Suryadi 校長



印尼公共工程部建築工程與環境衛生  
司長 Kuswara 介紹印尼住宅基礎建設  
之政策與法規發展



印尼東爪哇省公共工程與公路局處長  
Ir. Krisna Murti Suryani 分享印尼  
東爪哇綠色基礎建設與低碳建築政策與  
實踐



臺灣科技大學廖敏志教授  
說明低碳道路材料與混合設計

	
<p>中央大學陳介豪教授 說明智慧營建與減碳策略</p>	<p>高雄科技大學蘇育民助理教授 分享含再生瀝青的低碳低彈性模數混 凝土鋪面</p>
	
<p>上午講者合照</p>	

圖 3、研討會上午會議情形

下午第一場專題演講由印尼 Petra 大學 Prof. Antoni 主講，介紹透過自膠結飛灰技術推動低碳混凝土的研究。隨後，由我國環境部資源循環署薦任技士分享臺灣無機資源循環政策與成功案例，並由印尼泗水理工大學 Dr. Asdam Tambusay 說明印尼低碳營建的研究進展與發展現況。

隨後，第二場專題演講主要以臺灣代表分享實務經驗。由財團法人臺灣營建研究院林信宏工程師分享資源廢棄物再利用的經驗；金和泰實業公司董事長湯博宇分享該公司在創新節能減碳道路材料方面的技術與應用實例；以及皓勝工業公司副總經理簡瑞村則介紹公司無機廢棄物再利用技術上的發展。



印尼 Petra 大學 Prof. Antoni 介紹透過自膠結飛灰技術推進低碳混凝土



本署代表分享臺灣無機資源循環政策及成功經驗



印尼泗水理工大學 Dr. Asdam Tambusay 說明印尼低碳營建之研究及發展現況



下午第一場專題演講者合照



財團法人臺灣營建研究院林信宏工程師分享資源廢棄物再利用的經驗



金和泰實業公司分享該公司在創新節能減碳道路材料方面的技術與應用實例



圖 4、研討會下午會議情形

四、第四天：114 年 8 月 22 日

1. 參訪印尼泗水理工大學再生能源示範場

該設施隸屬於印尼泗水理工大學（ITS），是一座兼具教學、研究與展示功能的再生能源實驗場域。不僅示範並推廣太陽能、生質能與風能等再生能源技術的

應用，也作為學生實作教學及跨校合作的重要平台。場域內展示多元再生能源設備與應用情境，並積極呼應印尼能源轉型政策，致力於培育能源工程人才與推動低碳技術落地，是 ITS 在智慧校園及永續能源管理上的核心實踐基地。

參訪過程中，場域重點介紹其「太陽能農電共生設施」。該設施除將電力輸入電網外，亦結合儲能系統供夜間照明使用，並藉此提升作物產量。園區以農業太陽能技術栽培甜椒與新稻米品種，透過遮蔭、溫度與濕度控制實驗，探索最佳生長條件。設施設計具高度彈性，包括半開放屋頂、雨水灌溉及人工栽培槽，未來並規劃導入不同光譜照明以研究藥用植物的栽培。實驗結果證實，植物可在太陽能光電模組下持續生長，展現「農光互補」兼顧能源與農業發展的可行性。

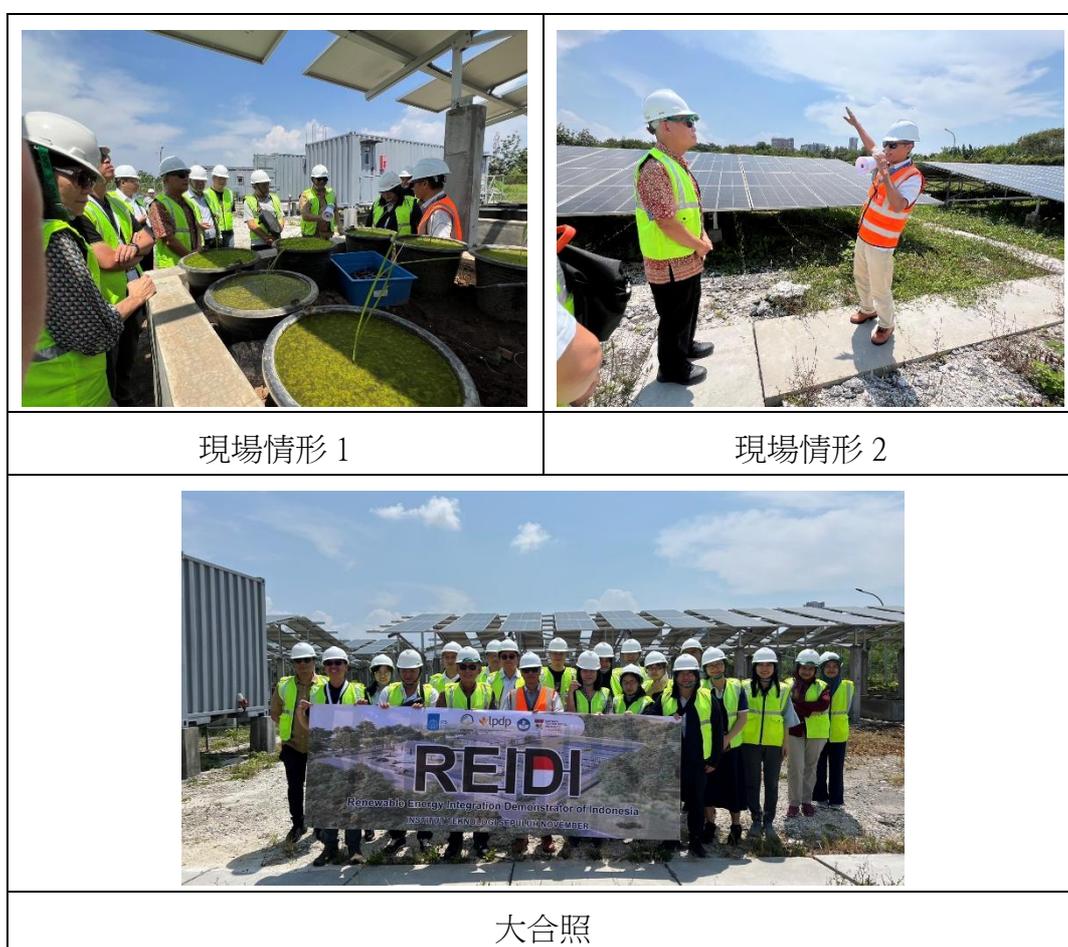


圖 5、參訪印尼泗水理工大學再生能源示範場

## 2. 參訪印尼科技創新中心-韋地雅曼達拉天主教大學校區

印尼科技創新中心(STIC)於 2021 年由印尼泗水理工大學、Widya Mandala 天主教大學及印尼國家研究與創新總署(BRIN)共同設立，旨在促進臺印兩國政府、產業與學術領域的夥伴合作，並建立長期穩固的合作網絡。該中心聚焦於循

環經濟、綠色技術及聯合國永續發展目標等核心議題，透過舉辦國際研討會、推動雙邊研究與技術合作，以及促進人才與青年交流，不斷深化臺印在永續發展與科技創新領域的實質連結，成為推動低碳與永續發展的重要平台。



圖 6、參訪印尼科技創新中心

### 3. 參訪泗水 Benowo 廢轉能電廠

Benowo Waste-to-Energy Plant 位於印尼東爪哇省泗水市，由印尼私人企業 PT Sumber Organik 與泗水市政府合作建設與營運，並於 2021 年正式啟用。電廠採用焚化技術將都市固體廢棄物轉化為能源，部分廢棄物則製成固體衍生燃料 (RDF)，每日處理量約 1,000 噸，發電能力達 11 兆瓦。電廠同時配置濾袋除塵與煙氣淨化等先進空污控制系統，以符合國內外環保標準。

該電廠為印尼總統於 2018 年簽署《總統令第 35 號》所規劃的八座 WtE 示範城市之一，目標在於降低掩埋廢棄物比例、推動廢棄物價值化與能源自主。作為印尼落實「Waste to Energy」政策的首批示範案例之一，此電廠不僅展現公私協力的成果，更是推動永續城市政策的重要里程碑。





圖 7、參訪泗水 Benowo 廢轉能電廠

## 肆、重要行程說明

本次「臺灣-印尼低碳營建國際研討會」以「低碳建築：研究、應用與規範」為主題，並由臺灣-印尼科技創新中心攜手財團法人臺灣營建研究院及環境部資源循環署共同主辦，邀集兩國政府代表、專家學者與企業領袖，共同探討低碳營建的最新研究成果、技術應用與政策規範。與會人員包含政府、產業界、研究機構與學術單位，共計超過 100 人出席。會議內容說明如下：

### 一、議程

臺印低碳營建國際研討會	
時間	議程
08:30-09:00	報到
09:00-09:30	開幕致詞及合照 1. 國立臺灣科技大學/劉志成副校長暨 TI-STIC 主任 2. 印尼泗水理工大學/ Prof. Bambang 校長
09:30 - 12:30 (演講各 30 分，綜合 討論 20 分)	<b>第一場：專題演講</b> 1. 印尼住宅基礎建設之政策與法規發展/印尼公共工程部建築工程與環境衛生司長 Kuswara, S.T., M.A. 2. 印尼東爪哇綠色基礎建設與低碳建築政策與實踐/東爪哇省公共工程與公路局處長 Ir. Krisna Murti Suryani, S.T., M.T ※綜合討論(主持人： Dr.Eng. Januarti Jaya Ekaputri ) ※茶敘(10:30-10:40) 3. 低碳道路材料與混合設計/臺灣科技大學 廖敏志教授 4. 智慧營建與減碳策略/中央大學 陳介豪教授 5. 含再生瀝青的低碳低彈性模數混凝土鋪面/高雄科技大學 蘇育民助理教授 ※綜合討論(主持人：Prof. Felycia Edi Soetaredjo )
12:30-13:30	午餐
13:30-14:50 (演講各 20 分，綜合 討論 20 分)	<b>第二場：專題演講</b> 1. 透過自膠結飛灰技術推進低碳混凝土/印尼 Petra 大學 Antoni 教授 2. 臺灣無機資源循環政策及成功經驗/環境部資源循環署 李逢茹 技士 3. 印尼低碳營建之研究及發展現況/印尼泗水理工大學(ITS)/Dr. Asdam Tambusay

	※綜合討論(Ph.D. Ahmad Basshofi Habieb)
14:50-15:10	茶敘
15:10-16:45 (演講各 20 分，綜合討論 15 分)	<b>第三場：專題演講</b> 1. 廢棄物資源再利用經驗分享/臺灣營建研究院 林信宏 工程師 2. 節能減碳道路材料創新應用/金和泰實業股份有限公司 湯博宇 董事長 3. 廢棄物再利用經驗分享/皓勝工業股份有限公司 ※綜合討論(Ph.D. Ahmad Basshofi Habieb)

## 二、研討會內容

### 1. 印尼住宅基礎建設之政策與法規發展/印尼公共工程部建築工程與環境衛生司長 Kuswara, S.T., M.A.

印尼為因應氣候變遷並履行《巴黎協定》承諾，逐步提升國家自主貢獻目標，2030 年無條件減排比例由 29% 提升至 31.89%，有條件則由 41% 提升至 43.20%，並以 2060 年實現淨零排放為長期目標。其中，建築部門被視為關鍵領域，藉由推動綠建築政策以降低能源消耗與碳排放。

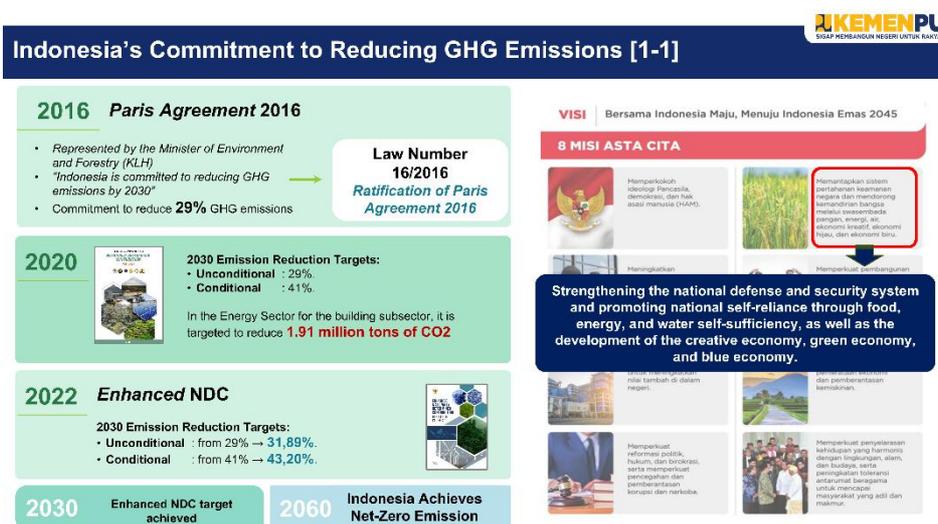


圖 8、印尼減少溫室氣體排放的目標

在《2025 – 2029 國家中期發展計畫》中，政府將「綠色經濟轉型」列為優先方向，涵蓋循環經濟、生物多樣性管理、低碳發展、環境品質改善、綠色就業及永續森林經營。而綠建築被納入永續建設專案，作為推動低碳轉型的重要策略。

政策與法規方面，印尼制定綠建築績效評估標準，規定公共建築逾 5,000 平方公尺者須強制導入綠建築原則，並設定節能 25%、節水 10% 的目標。政府同

時透過容積獎勵、減免規費、碳交易與技術輔導等措施，鼓勵地方及民間部門參與。



圖 9、印尼綠建築推動的法規與政策

2024 年印尼正式發布綠建築推動藍圖，由內政部、能源與礦產部及公共工程與住宅部共同簽署合作備忘錄，後續展開跨部門協議與指引，分為短期(2023 - 2024)、中期(2025 - 2026)及長期(2027 - 2028)三階段，逐步涵蓋更多區域與建築類別。推動策略聚焦於強化法規、建築優先排序、能力培訓、跨部門合作及資料庫建置。

在執行成果上，2022 - 2025 年間已有多項建築獲得綠建築評估，包括日惹大學宿舍、泗水醫院、西爪哇住宅專案，以及新首都（IKN）的總統府與部會辦公大樓等，在能源效率、水資源管理、廢棄物處理及室內空氣品質等方面皆有相當成效。政府亦積極培育專業人力，已認證數百名綠建築評估師與專家，並結合 PT SMI 能源轉型貸款與 REDD++ 基金等金融工具，支持改造與新建工程。

整體而言，印尼綠建築政策正逐步建構完整推動架構，從法規制定、跨部門合作、人才培訓到金融支持皆有規劃，並透過藍圖與案例累積，展現其邁向低碳與永續建築的決心與行動。

## 2. 印尼東爪哇綠色基礎建設與低碳建築政策與實踐 / 東爪哇省公共工程與公路局處長 Ir. Krisna Murti Suryani, S.T., M.T

印尼在《巴黎協定》及國家自主貢獻（NDC）框架下，持續提升減碳承諾。其中，建築與基礎設施部門被視為關鍵部門，並單獨設定減排目標，包括政府建

築 300 萬噸二氧化碳、商業建築 1,400 萬噸、住宅建築 1,900 萬噸，並透過綠建築政策與基礎設施永續化來達成目標。

在東爪哇省，地方政府已積極將綠建築與減碳政策落實到區域性，頒布整體的能源規劃、屋頂太陽能安裝規定等，並推動公共建築及民間建築的改造與新建工程。例如泗水市已進行多棟建築的綠建築評估與改造，包括醫院、地方議會大樓、傳統市場與交通樞紐，部分案例亦獲得國際獎項與認證。代表性案例如東爪哇省住建廳辦公大樓的既有建築改造，導入外型設計調整、空調與照明系統優化、雨水回收、廢水再利用、3R 廢棄物管理及能耗監測系統，展現出建築改造對提升能源效率與環境表現的貢獻。

在推動過程中也面臨挑戰，包括建築許可與綠建築認證的行政程序繁瑣、缺乏永續建材與施工技術的資訊、地方供應鏈能量不足，以及尚缺乏完整的設計指引與示範案例。這些限制突顯跨部門協力的必要性，需結合中央部會、地方政府、民間企業與大學研究單位，共同建立技術、標準與資源共享機制。

**Implementation and Challenges of Green Building Practices in East Java**  
(Best Practice: Retrofitting Kantor Dinas PRKPCK Provinsi Jawa Timur)

Dinas Perumahan Rakyat, Kawasan Permukiman dan Cipta Karya Provinsi Jawa Timur aims to become a pilot green building project in East Java Province for buildings of less than 5,000 m<sup>2</sup> through retrofitting.

**Retrofitting includes:**

- BUILDING ENVELOPE REDESIGN
- HVAC System
- Lighting System
- Rainwater Harvesting
- Utilization of Treated Wastewater
- 3R-based Waste Management
- Energy Consumption Monitoring System
- Utilization of fly ash in concrete mixtures

**Retrofitting faces the following challenges:**

- Completing the administrative requirements for building permits and green building certification
- There is a lack of information regarding sustainable building materials
- There is a lack of information regarding sustainable construction technologies
- Information on supply chains capable of providing sustainable materials from local sources to minimize the carbon footprint remains limited
- There is a lack of design guidelines for achieving sustainable buildings AND A design prototype that establishes a building energy baseline in line with the budget has not yet been developed

圖 10、東爪哇省綠建築實踐與挑戰

除建築領域外，東爪哇省政府亦將綠色基礎建設理念延伸至道路與交通建設。實務上推動的措施包括使用竹樁加強軟土路基穩定、以生物工程方式進行邊坡加固、採用快速硬化混凝土縮短橋樑施工時間、推動伐木後補植兩倍同種成熟樹木等，以降低施工過程對環境的衝擊。



圖 11、東爪哇省永續友善基礎建設原則

綜合上述，印尼政府及東爪哇省的低碳建築與綠色基礎建設策略展現「中央政策—地方落實—實務案例」的多層次推動模式。透過法規制定、藍圖規劃、跨部門合作及示範專案，逐步建立綠建築與低碳基礎建設的推動框架，雖仍面臨材料、技術及行政面的挑戰，但已展現印尼邁向低碳與永續發展的行動。

### 3. 低碳道路材料與混合設計 / 臺灣科技大學廖敏志教授

廖敏志教授指出道路基礎建設在全球減碳行動中的關鍵角色。隨著都市化快速發展，道路鋪設與維護導致能源消耗及大量碳排放，其中瀝青雖然單位碳排放量低於水泥，但由於鋪面使用面積龐大，仍占整體建設與維護的碳排放約 15%。因此，尋找低碳替代材料與優化工法，對於推動低碳經濟至關重要。

## Road Contribution to CO<sub>2</sub> Emission



- Finding **lower carbon** materials for road surfaces is an important way to help the transition to a low carbon economy.

圖 12、低碳道路材料與平衡配比設計

針對瀝青材料特性，說明其黏彈性行為與鋪面性能的關聯，並提出「聚合物改質瀝青」(PMA) 在高溫、高流量道路環境下的重要性。透過添加 SBS (苯乙烯-丁二烯-苯乙烯) 聚合物，可有效提升瀝青的抗車轍與抗裂縫能力，並在多項流變試驗與能量回復測試中展現優勢。

此外，團隊也探討多項低碳技術，包括以生物基結合料取代石化瀝青、延長壽命的結合料設計、回收塑膠與廢輪胎橡膠取代高碳添加劑、高比例再生瀝青 (RAP) 減少原料開採、生物再生劑讓再生瀝青恢復至接近新料的性能，以及「半溫拌和技術」以降低拌和與壓實溫度，達到節能減碳效果。另有創新嘗試如剪切增稠流體 (STF) 改質瀝青與松香替代石化瀝青，分別用於改善材料性能與促進資源循環。

研究結果指出，SBS 改質瀝青在抗裂縫與抗車轍方面表現最佳，具有顯著提升道路耐久度的效果；STF 改質亦能略為提升性能，但松香則因缺乏彈性成分而效果有限。同時，SBS 與 LDPE 的混合應用亦展現一定潛力，而再生比例與最佳瀝青含量則是影響路面性能的關鍵因子。

綜合來看，低碳道路材料的發展不僅能減少碳排放，更能延長道路壽命並促進資源循環。未來研究方向將持續優化材料配方與施工工法，並以平衡配比設計為核心，推動道路工程朝向低碳及永續發展。

#### 4. 智慧營建與減碳策略 / 中央大學 陳介豪教授

營建產業屬於高耗能、高排碳部門，如何結合數位科技、人工智慧與智慧材料，達成減碳、提升效率並兼顧安全，是未來工程管理的重要方向，陳介豪教授分享研究團隊在智慧施工與永續工程方面的成果。

研究歷程方面，團隊自 2015 年起推動預鑄工法流程再造，可縮短 24% 的生產時間。2017 至 2019 年進一步導入大數據與計算智慧，能分類施工難度、掌握人力成本並優化配置，讓利潤增加 38.4%，績效提升高達 97.75%。2021 年後，團隊建置雲端網路互動平台，並導入自然語言處理技術，同時開發智慧化報價系統，使議價時間明顯縮短、價格更趨合理，展現智慧管理對效率與減碳的助益。

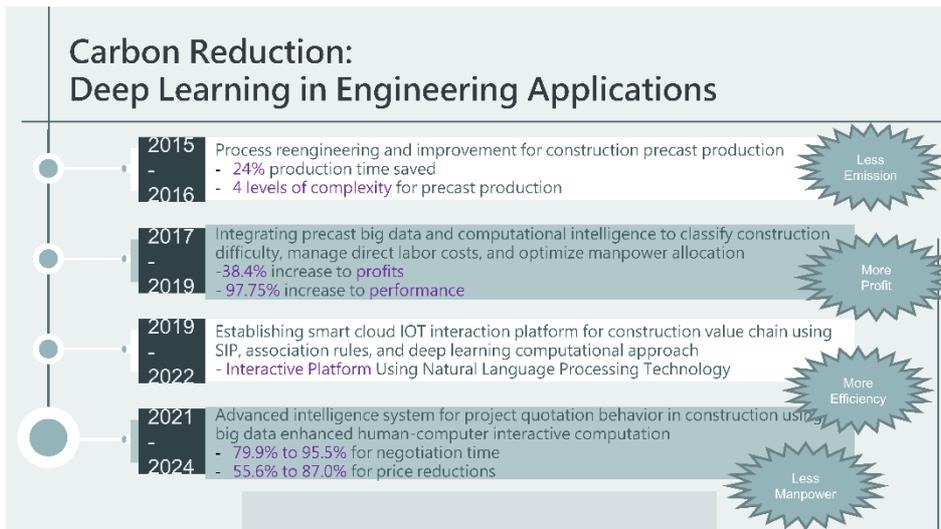


圖 13、智慧工程中的減碳與深度學習

在工程材料與製程方面，研究著重於智慧鋼構與塗裝系統，透過人工智慧提升製程精準度並加強職安防範。團隊同時發展自動化漏水檢測與建物交屋檢驗系統，並推動專業檢驗人員培訓與認證，搭配專利與數位平台，逐步建立完整的智慧檢驗服務鏈，提升品質並兼顧環境效益。

在碳減排與環境管理上，團隊運用新型演算法與 3D 點雲技術於土方管理、完工檢驗及都市污染預防，並結合擴增實境（AR）、光達（LiDAR）與 BIM/數位孿生模型，探索大型工程的智慧管理。這些技術不僅能提高施工透明度，也有助於能源使用與碳排放的精準監測。

整體而言，透過人工智慧、大數據、網際網路與智慧材料的應用，實現「減碳、降人力、提效率、增效益」的目標，展現智慧營建在產業轉型與碳減排上的實際可行性與前瞻價值。

#### 5. 含再生瀝青的低碳低彈性模數混凝土鋪面 / 高雄科技大學 蘇育民助理教授

在美國佛羅里達州的研究中發現，混凝土路面若彈性模數過高，容易產生裂縫，因此發展兼具低彈性模數、足夠抗裂強度及低熱膨脹係數的混凝土配方，更適合作為鋼筋混凝土路面材料。蘇育民助理教授在演講中分享如何將再生瀝青混凝土（RAP）納入剛性路面材料設計，兼顧減碳、性能與資源循環。



## Research Background

- **Reclaimed Asphalt Pavement (RAP)** has been accumulated around the asphalt plants around the world.
- A 5-year research work from 2008-2012 funded by FDOT aimed to explore the feasibility of utilizing RAP in concrete slabs in Florida.



圖 1、研究背景

再生瀝青混凝土 (RAP) 目前在全球瀝青廠區普遍大量堆積，若能有效利用，不僅有助於減少廢棄物，也能降低整體碳足跡。然而，既有研究指出，隨著 RAP 含量增加，混凝土的抗壓強度、抗彎強度、單位重與彈性模數會下降，但同時可改善材料韌性與抗疲勞性。臺灣同樣存在大量 RAP 累積，因此探討其與水泥混凝土結合的可行性，對於推動減碳與循環利用具有重要價值。

研究指出，針對不同水泥混凝土配比，進行新拌與硬化性質測試。新拌混凝土的測項包括坍度、拌合溫度、單位重與含氣量；硬化混凝土則評估抗壓強度、抗彎強度、彈性模數、收縮、熱膨脹係數及劈裂韌性能量等指標。結果顯示，含 RAP 的低彈性模數混凝土具備低碳與資源再利用的優勢，雖然力學強度略有下降，但在抗裂與韌性表現上展現潛在優勢，適合作為剛性路面材料。未來建議進行實地試鋪，以進一步驗證其耐久性與工程效益。

整體而言，本研究展現 RAP 再利用在道路工程中的可行性，透過材料特性調整與結構設計平衡，不僅能有效減少廢棄物堆置，亦能配合低碳道路發展策略，實現兼顧低碳、永續與工程應用的多重目標。

### 6. 透過自膠結飛灰技術推進低碳混凝土/印尼 Petra 大學 Antoni 教授

過去印尼對於飛灰的利用率極低，主要原因在於 2021 年前飛灰仍被列為有害廢棄物。隨著新法規將飛灰重新歸類為一般工業副產品，建築產業得以展開推動飛灰資源化利用的新契機。本研究的目標在於評估高鈣飛灰 (CaO 含量約 20%)

在無需添加任何化學活化劑的情況下，是否能透過自膠結作用形成具結構強度的混凝土。試驗設計涵蓋不同水灰比（w/fa 0.08 – 0.29），並評估其抗壓強度、劈裂抗拉強度、抗彎強度、彈性模數及鋼筋握裹力等工程性質。



圖 2、印尼飛灰資源化利用現況與趨勢

研究結果顯示，高鈣飛灰展現自膠結反應的特性，僅加水即可形成類似傳統水泥漿體的硬化材料。在低水灰比條件下，材料性能表現尤為突出，顯示其具備成為完全替代水泥膠結材料的潛力。然而，也觀察到一些限制：由於水化作用主要集中於飛灰顆粒表面，導致強度略低於傳統水泥混凝土，特別是在抗拉與握裹力等與拉伸相關的性能上較弱。此外，部分飛灰顆粒在硬化後仍保持完整，顯示水化反應尚不完全。

基於此，研究團隊建議未來應建立專門的檢測標準，以正確評估飛灰的自膠結潛力，並針對不同來源飛灰的品質差異進行深入測試，同時逐步驗證其在實際工程中的耐久性與穩定性。雖然仍有改進空間，但此研究顯示以高鈣飛灰完全取代水泥製作混凝土的可行性，為低碳建材的發展提供了新方向。若能廣泛推廣應用，將有助於減少水泥生產過程中的二氧化碳排放，對推動低碳建築與循環經濟具有重要意義。

#### 7. 臺灣無機資源循環政策及成功經驗 / 環境部資源循環署李逢茹技士

本署介紹臺灣推動無機資源循環的政策與成果，並強調「資源循環與零廢棄」是 2050 淨零排放的重要策略之一。循環署的主要業務涵蓋廢棄物源頭減量、資

源回收再利用、事業廢棄物清除處理，以及循環基金管理，並積極推動跨部會合作，以強化資源循環的法制化與管理基礎。

目前臺灣的無機資源包括焚化底渣、爐渣類、再生瀝青混凝土粒料、廢鑄砂、玻璃、陶瓷及污泥等，共計 8 大類 59 項，每年產量約 1,700 萬噸。其主要去向為陸域相關工程再生粒料，其次為水泥產業替代利用與港區填築。

## Inorganic Resource Status and Flow in Taiwan

- Taiwan's inorganic resources can mainly be categorized into 8 major types and 59 items, with an annual output of approximately 17 million tonnes.
- The primary flow is for use as recycled aggregates in land-based engineering projects, with some directed to cement industry recycling or port area reclamation.

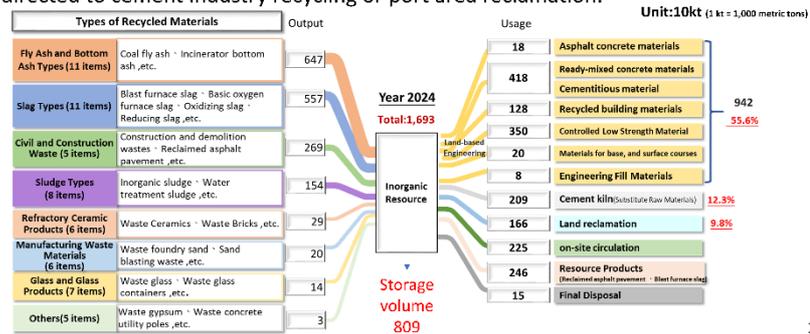


圖 3、臺灣無機資源現況與流向

為確保推動過程的品質與安全，政府制定環境溶出管制標準，逐步修訂工程規範與應用手冊，並推動認驗證及供料履歷制度，以提供材料來源與品質追溯資訊。同時，積極推動技術研發，涵蓋碳利用、碳捕集與固定、材料改質與高值化應用等領域，並透過數位平台建立全程申報與監測機制，以提升管理效能。

在政策工具上，政府導入經濟誘因，例如徵收循環促進費並提供分級補貼，引導業者提升技術及產品品質；同時鼓勵再生產品申請綠色標章並納入政府綠色採購，擴大公共工程的使用範圍。除此之外，也積極促進跨產業合作與循環聯盟，推動社會溝通與案例分享，以提升市場接受度。

## Driving High-Value Development with Subsidies

- Promote circulation through various economic incentives by guiding market mechanisms (both supply and demand sides).
- Collect resource circulation promotion fees from responsible industries generating waste, and use tiered subsidies to encourage technological advancement in the circular industry toward high-value development, ensuring the proper application of reused products.

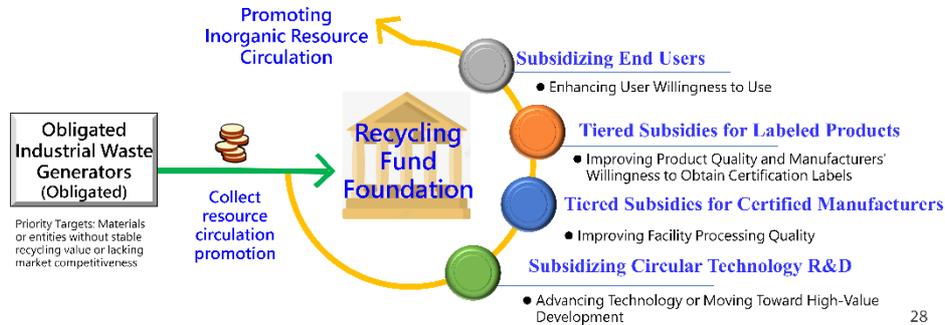


圖 4、促進費補貼引導高值化發展

整體而言，臺灣正透過法規調適、技術創新、經濟誘因、跨界合作及數位轉型，逐步建立無機資源循環的完整推動架構，不僅降低天然資源開採與掩埋需求，也展現出在減碳、循環利用與跨產業整合方面的成果，成為我國邁向淨零排放與永續發展的重要基礎。

### 8. 印尼低碳營建之研究及發展現況 / 印尼泗水理工大學 (ITS) / Dr. Asdam Tambusay

水泥生產約占全球二氧化碳排放的 8%，其中以中國、印度、美國等國為主要排放來源。印尼自 1980 年代都市化與基礎建設快速發展以來，水泥需求與排放量持續上升，並在 2019 年達到高峰。Dr. Asdam Tambusay 在研討會中以「低碳混凝土新進展：鹼活化混凝土於結構應用的可行性」為題，探討如何以鹼活化混凝土 (Alkali-Activated Concrete, AAC) 作為傳統波特蘭水泥混凝土 (OPC) 的替代方案，以降低基礎建設所帶來的碳排放。

研究的核心動機是推廣「一劑式鹼活化混凝土」。這種材料僅需加水即可拌合，能在常溫養護條件下製作，施工方式亦與傳統混凝土相近，具備大規模應用潛力。本研究採用飛灰與礦渣作為前驅體，搭配鹼性活化劑，並透過控制水灰比進行比較，針對不同齡期的強度發展進行觀察。同時，以梁體試件進行抗彎與抗剪試驗，並結合有限元素模型，檢驗其結構行為的可行性。

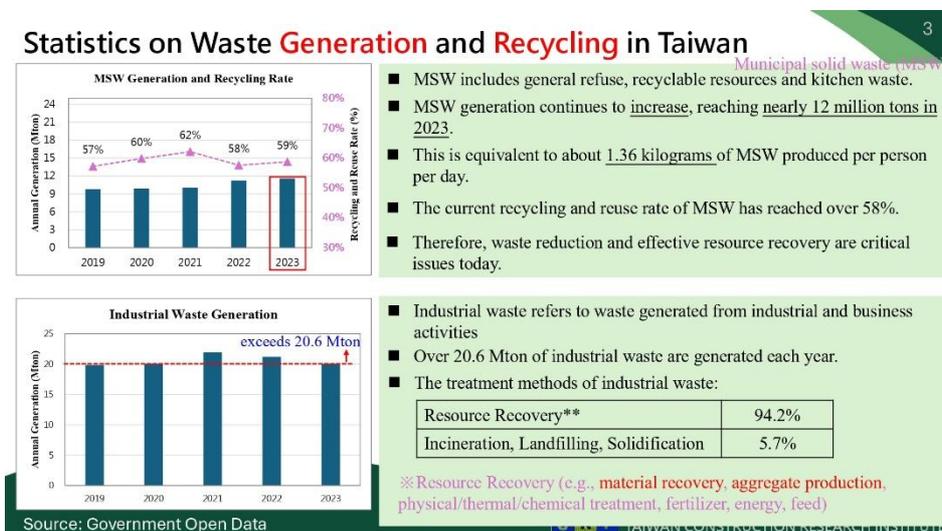


圖 5、研究成果摘要

研究結果顯示，一劑式鹼活化混凝土在常溫養護下可展現與傳統混凝土相當的結構性能，並具備高達 75% 的隱含碳減量潛力，顯示其作為結構用混凝土替代材料的可行性。該研究不僅驗證了 AAC 在工程上的應用價值，也為印尼推動低碳建築材料與永續基礎建設提供了重要參考依據。

9. 廢棄物資源再利用經驗分享 / 臺灣營建研究院林信宏工程師

臺灣每年產生大量都市與工業廢棄物，其中 2023 年都市垃圾產生量已達 1,200 萬噸，相當於每人每日約 1.36 公斤；在政府推動下，回收與再利用率已超過 68%。相較之下，工業廢棄物年產生量更高達 2,060 萬噸，其中 94.2% 已透過資源回收再利用，僅有 5.7% 需進行焚化、掩埋或固化處理，顯示廢棄物再利用對臺灣資源循環的重要性。



## 圖 6、臺灣廢棄物產生量與回收概況

在廢棄物種類方面，主要來源包括焚化底渣、煉鋼爐渣、建築混合料、各類污泥與煤灰等。這些材料若經適當處理，即可應用於工程用途，例如再生骨材、控制性低強度回填材料（CLSM）、道路基層或水泥原料等。以 CLSM 為例，臺灣每年需求量可達 250 萬噸，若能以廢棄物取代部分天然砂石，將能有效減少掩埋壓力並促進資源循環。

以焚化底渣為案例，說明其回收流程包括清洗、機械分選與去除重金屬，最終轉化為再生骨材，可應用於 CLSM 與道路基層。2024 年焚化底渣回收總量約 81.8 萬噸，其中 76% 用於 CLSM，顯示此途徑為最主要再利用方式。試驗結果也證實，以焚化底渣製成的 CLSM 在工作性與強度上符合國內施工規範，具工程應用可行性。

臺灣天然砂石資源有限，近五年平均產量為 7,140 萬噸，但混凝土年需求卻達約 8,540 萬噸，存在供需落差。透過廢棄物再利用，不僅能部分替代天然砂石與石灰石，也能降低掩埋需求，符合「減量、再利用、資源化、能源回收」的政策架構，實現由「搖籃到搖籃」的循環經濟模式，推動臺灣朝向資源永續與淨零發展。

### 10. 節能減碳道路材料創新應用/金和泰實業股份有限公司 湯博宇董事長

臺灣長期以來道路工程多仰賴天然骨材，但受限於政府規範，回收瀝青混凝土（RAP）的使用比例不得超過 30%，其餘必須堆置於工廠，造成龐大的空間與成本負擔。為解決此問題，金和泰公司團隊研發出「冷拌瀝青（Cold Mix）」技術，並於五年前取得專利。此技術能完全利用回收瀝青，且無需高溫加熱，即可有效降低碳排放與能源消耗，為循環經濟與低碳道路建設提供全新解方。

傳統瀝青拌合需採用熱拌方式（約 170°C）或溫拌方式（約 110°C），均伴隨大量能源消耗與二氧化碳排放。相較之下，冷拌瀝青僅需於常溫下操作（20 - 30°C），無需額外加熱即可完成拌合，製程過程無毒、無味且安全，並能靈活應用於回收瀝青或新骨材。此技術在生產與施工階段皆能大幅降低溫室氣體排放與能耗，並通過多項國際標準測試，證實其力學性能與耐久性不亞於傳統瀝青混凝土。



圖 7、冷拌瀝青流程

以臺北都會區為例，傳統熱拌瀝青每年造成約 4 萬噸碳排放及 400 萬度電力消耗；若改用冷拌技術，幾乎可降至零碳排放，並能避免有害物質的產生，降低對環境及人體健康的風險。相關實驗包括馬歇爾穩定度、車轍、劈裂抗拉與含水穩定性試驗，結果顯示冷拌瀝青在黏結性、抗水損害及耐久性方面，均符合甚至優於傳統標準，展現其工程應用的可行性。

在實務應用上，冷拌材料已用於臺灣高速公路的試鋪工程，涵蓋高交通量與多雨環境路段。測試結果顯示，冷拌材料不僅符合施工規範，且因路面顏色偏淺，有助於減緩熱島效應。經 SGS 檢測亦證實材料未檢出重金屬，安全無虞。此外，研究團隊更進一步開發結合再生橡膠的冷拌複合材料，以提升耐磨耗性與韌性。該技術已於國際展會如瑞士日內瓦、德國紐倫堡及美國矽谷等地獲得肯定，並榮獲金獎。

總結而言，冷拌瀝青突破傳統製程高耗能、高碳排的限制，能 100% 利用回收瀝青，降低天然資源依賴並減少廢棄物堆置問題。此技術施工方式簡便、成本較低，尤其適合推廣至缺乏高溫拌合設施的國家。作為符合 ESG 與循環經濟精神的創新材料，冷拌瀝青有助於道路工程邁向低碳永續發展，展現臺灣在綠色建材技術上的實質貢獻與國際競爭力。

- ① **Eco-friendly:** Reduces reliance on asphalt binder and reduces consumption of natural resources such as aggregates.
- ② **Reduce waste:** RCRAP and RCCP road engineering materials are in a circular economy that recycles reclaimed asphalt pavement (RAP), which means zero waste.
- ③ **Reduce emissions:** No heat energy is used in the production process. According to domestic research, if the usage of RCRAP and RCCP is increased by 10% every year, carbon emissions can reduce by 52% by 2030, and reach net zero by 2050.
- ④ **Low resource solution:** The low cost and ease of operation of RCRAP and RCCP make them ideal for developing countries.

圖 8、新型冷拌鋪面材料效益

11. 廢棄物再利用經驗分享/皓勝工業股份有限公司 簡瑞村副總經理

臺灣自 2021 年起將 2050 淨零轉型納入國家政策，並強調資源循環對減碳的重要性。皓勝公司策略包含四大面向：前瞻部署關鍵循環技術、強化與政府及產業合作、推動材料碳足跡透明化，以及結合產學技術團隊開發高價化產品。

在廢棄物再利用方面，皓勝公司每月處理及再利用的廢棄物，包括電弧爐煉鋼渣（3 萬噸）、回收瀝青混凝土（2 萬噸）、焚化底渣（6,500 噸）、燃煤電廠底渣（8,250 噸）、混合灰（8,682 噸）及氟化鈣污泥（2,400 噸）。再利用產品涵蓋再生骨材、控制性低強度材料（CLSM）與人工螢石，應用於建築工程、水泥原料與鋼鐵助熔劑。透過這些措施，不僅減少天然砂石及石灰石的開採壓力，也降低掩埋需求。



圖 9、皓勝每月廢棄物再利用概況

公司也導入 ISO 9001 品質管理，確保產品從進料、檢驗到施工應用皆有嚴格把關。且皓勝公司為臺灣首家獲得 CLSM 碳足跡標籤的預拌廠，每月處理超過 4 萬噸廢棄物，並協助政府推動底渣資源化。人工螢石產品亦取得專利與綠色產品認證。

實際案例中，道路工程使用 1,300 噸 EAF 渣可減碳 8,112 公斤；再生 CLSM 每立方公尺可減碳 37 公斤，相當於 5 棵樹的吸碳量。這些成果展現循環經濟不僅能解決廢棄物問題，更能實質助益減碳與永續發展。

## 伍、行程成果評估及心得建議：

### 一、本次赴印尼泗水與「臺灣-印尼科技創新中心(TI-STIC)」及財團法人臺灣營建研究院共同辦理「臺灣-印尼低碳營建國際研討會」成果

本次會議邀集臺灣與印尼代表，針對低碳營建的最新研究成果、技術應用與政策規範進行交流，涵蓋產、官、學、研各界，共計約 100 人與會。

臺灣方面，重點分享低碳營建的研究成果與政策推動方向，內容包括低碳道路材料、智慧營建技術、再生資源應用及循環經濟實踐。研發面向如結合再生瀝青與低彈性模數的混凝土配方、冷拌瀝青等新工法，可有效降低能源消耗與碳排放；同時透過智慧施工管理與工程數位化，提升施工效率與安全。在政策面，政府持續推動資源循環，透過法規制度、經濟誘因及技術創新，逐步建構完整的循環利用架構，促進廢棄物高值化應用。整體而言，臺灣展現出在低碳建材研發、工程技術創新及循環經濟推動上的成果，突顯我國在永續營建發展的進展與國際貢獻。

印尼方面，則整體介紹推動綠建築與低碳建材的政策與技術進展，涵蓋國家與地方層級的法規制度、認證機制及跨部門協作模式，並提出透過政策誘因推動建築節能與再生資源應用。在技術上，學研單位展示了替代性膠結材料的研究成果，例如以高鈣飛灰取代水泥的自膠結材料，以及鹼活化混凝土的結構應用潛力，展現出減碳效益。這些分享顯示印尼不僅重視制度建構，也積極推動在地研究與技術驗證，逐步形塑低碳營建的發展框架。

印尼近年因都市化與基礎建設快速發展，水泥需求與碳排放持續攀升。政府已承諾 2060 年實現淨零排放，並逐步提高 2030 年減碳目標。建築與基礎設施部門被視為減碳關鍵領域，推動措施包括強制大型公共建築導入綠建築規範、推廣屋頂太陽能、應用再生建材及生態工程工法。地方層級如泗水市，則積極落實垃圾減量與資源化政策，透過垃圾銀行、以廢換乘及廢轉能等措施，提升廢棄物管理效能。整體而言，印尼已逐步建構低碳營建的政策與制度框架，但仍面臨材料供應不足、技術落差及行政程序複雜等挑戰。

### 二、建議事項

綜合本次會議內容，臺灣分享低碳建材研發、智慧營建技術及循環經濟政策推動經驗，展現以技術創新、制度建構與產學合作為核心的永續營建模式。印尼則從國家與地方政策、綠建築推動及替代性建材研究出發，展現對低碳轉型的政

策承諾與技術潛力。雙方分享内容相互呼應，分別展臺灣在制度與產業落實上的完整經驗，以及印尼在需求龐大且具成長潛力的市場與政策環境。

1. 未來在政策面，雙方可持續深化經驗交流，特別是在低碳建築規範、資源循環制度及永續工程管理等領域，協助印尼加速法規與制度的建構。
2. 在技術面，雙方可合作推動低碳建材與循環資源利用的研發與示範應用，例如再生瀝青、冷拌瀝青、飛灰自膠結混凝土與鹼活化混凝土，並導入智慧營建與數位化管理技術，以提升工程效率、安全性與碳排放監測能力。
3. 此外，臺印雙邊可加強人才培訓與產業鏈合作，建立跨國培育人力機制，促進專業人力、產學研合作。透過政策對話、技術合作與人才交流的三大方向，臺印雙邊合作可共同推動低碳建築與循環經濟發展。

附件、我國團員名單

序號	單位	姓名	職稱
1	國立臺灣科技大學 / 臺灣印尼科技創新中心 TI-STIC	劉志成 Jhy-Chern Liu	副校長 Vice President / 主任 Director
2	臺灣營建研究院 TCRI / 臺灣印尼科技創新中心 TI-STIC	邱建國 Chien-Kuo Chiu	院長 President / 副主任 Vice Director
3	國立臺灣科技大學	何明樺 Ming-Hua Ho	主任 Chairwoman
4	國立臺灣科技大學	陳鴻銘 Hung-Ming Chen	主任 Chairman
5	國立臺灣科技大學	廖敏志 Min-Chih Liao	教授 Professor
6	國立臺北科技大學	Ardila Hayu Tiwikrama	副教授 Associate Professor
7	國立中央大學	陳介豪 Ya-Fen Wang	特聘教授 Distinguished Professor
8	國立高雄科技大學	蘇育民 Yu-Min Su	助理教授 Assistant Professor
9	朝陽科技大學	劉敏信 Min-Hsin Liu	退休教授 Professor (Retired)
10	財團法人臺灣營建研究院 TCRI	林信宏 Hsin-Hung Lin	工程師 Engineer
11	金和泰實業股份有限公司 King Ho Tai International Co., LTD	湯博宇 Po-Yu Tang	董事長 Chairman
12	金和泰實業股份有限公司 King Ho Tai International Co., LTD	王威凱 Wei-Kai Wang	副總經理 Deputy General Manager
13	金和泰實業股份有限公司 King Ho Tai International Co., LTD	陳冠達 Steve Chen	經理 Manager

序號	單位	姓名	職稱
14	皓勝工業股份有限公司 Hao-Sheng Industrial Co., LTD	簡瑞村 Jui Tsun Chien	副總經理 Vice President
15	皓勝工業股份有限公司 Hao-Sheng Industrial Co., LTD	王茂佳 Mao-Chia Wang	副總經理夫人
16	嘉德技術開發股份有限公司 Katec R&D Corporation, Taiwan	何長慶 Chang-Ching Ho	董事長 Chairman
17	環興科技股份有限公司 Sinotech Engineering Services	劉建民 Chin-Ming Liu	技術經理 Technical Manager
18	風傳媒 Storm Media, Taiwan	吳典蓉 Dian-Rong Wu	總編輯 Executive Editor
19	毅泰管理顧問股份有限公司 e-Titanium Consulting, Inc., Taiwan	黃玉盛 Yu-Sheng Huang	資深經理 Senior Manager
20	毅泰管理顧問股份有限公司 e-Titanium Consulting, Inc., Taiwan	張雅婷 Ya-Ting Chang	工程師 Engineer
21	新南向科研合作專案辦公室 New Southbound Science & Technology Cooperation Project Office	李品蓉 Anita Lee	專員 Specialist
22	新南向科研合作專案辦公室 New Southbound Science & Technology Cooperation Project Office	張捷禕 Gabby Chang	專員 Specialist
23	臺灣印尼科技創新中心 TI-STIC, Taiwan Tech	鍾宏蒂 Fenty Zhong	計畫助理 Project Assistant