

Session I-4
(11:00~12:00 , B215)

奈米級晶粒 α - Al_2O_3 生坯的節能製程

Energy saving processes for preparing nano-sized α - Al_2O_3 compacts

顏富士^{1*} 黃珮文² 黃雯巧² 黃啓原¹

Fu-Su Yen^{1*}, Pei-Wen Huang², Wen-Chiao Huang², Chi-Yuan Huang¹

1 國立成功大學資源工程學系 教授

Professor, Department of Resources Engineering, National Cheng Kung University

2. 國立成功大學資源工程學系 研究生

Graduate student² Department of Resources Engineering,

National Cheng Kung University

* Corresponding author: yfs42041@mail.ncku.edu.tw

摘要

本文說明如何利用氧化鋁在其 θ -至 α -相變過程會自然出現的熱力學穩定晶徑 80~100nm，首次製作粒徑小於 100nm 的 α - Al_2O_3 生坯。製作奈米級 α - Al_2O_3 生坯以製作微米級晶粒之氧化鋁陶瓷 (α - Al_2O_3)，除基於降低生產成本外，拓展其工業應用，乃是陶瓷界多年來的心願。唯因市場迄無細於 100nm 的起始 α - Al_2O_3 原料粉末的出現，而使生產此等產品必須採用熱壓 (Hot press) 或熱均壓(Hot isostatic press)等高成本技術製作，限制氧化鋁應用領域的拓展。

本文說明採用模擬核殼技術製作之 θ - Al_2O_3 (核) 外包聚乙二醇(Polyethylene glycol, PEG)(殼)(或 θ - Al_2O_3 @ PEG)之混合物粉末，可直接將其成型，先獲得含 PEG 的 θ - Al_2O_3 坯。再透過熱處理將 θ - Al_2O_3 相轉換為 α - Al_2O_3 ，再利用兩相間存在的 100nm 穩定晶徑，可製作粒(晶)徑為 100nm 的 α - Al_2O_3 生坯。並就技術性與能耗運用之觀點，製作之 α - Al_2O_3 生坯密度更高，而可於更低的溫度製作出產品。

含 PEG 之 θ - Al_2O_3 生坯因受益 PEG 之分散功能，再加上坯體成型時採用之壓力，將 PEG 均勻分布於 θ - Al_2O_3 粒體間使 θ - Al_2O_3 粒體分離，造成相變時的 α - Al_2O_3 核晶同時發生並同步到達熱力學穩定粒徑。因此可製作粒(晶)徑小於 100nm 的 α - Al_2O_3 生坯。根據此製作之 α - Al_2O_3 生坯其晶粒細於 100nm，密度可達 60%T.D.

關鍵詞：氧化鋁、核殼技術、PEG、陶瓷生坯

壹、前言

α -氧化鋁具有優異的物化特性，加上鋁元素在地殼中蘊藏豐富取得容易，因此成為現今工業上極為廣泛應用的工業材料。而其性能之發揮與其材料製作起用之原始粉末有絕對的關係。特別是作為結構及光學用氧化鋁。細粒 α - Al_2O_3 粉體對於達成燒結體作業的製程容易程度、材料性能提升和應用層面的擴散均呈現絕對的重要性。唯在製備微米級氧化鋁材料時，需採用的次微米級（即奈米級） α - Al_2O_3 粉末的取得上，目前市面能提供者僅止於平均粒徑 180-200nm[1,2]，為製作微米級晶徑氧化鋁產品，工業界就需採用設備昂貴產量不易提高的熱壓或熱均壓設備技術。確實限制其應用面的提升。

一般 α - Al_2O_3 粉末的獲得係經熱處理 θ - Al_2O_3 粉末，藉其相變生成 α - Al_2O_3 粉末。此一相變藉孕核成長（Nucleation and growth）機制完成。過程中存在三確定晶徑。相變會依序先生成 α - Al_2O_3 核晶，此核晶的晶徑約 20nm。再由核晶作對位接合（Orientated attachment）成長至約 50nm 的基礎晶徑，及最後達約 80-100nm 的熱力學的穩定晶徑。過此晶徑晶粒將相互作連接，發生蠕蟲狀成長（Vermicular growth），使晶粒大過 100nm，也即目前市售的平均粒徑 180-200nm 的 α - Al_2O_3 粉末[3]。

由相變得到的 α - Al_2O_3 粉末粒（晶）徑雖可為 <100nm，但卻無法全部在 100nm 晶徑以下。因為要發生相變的 θ - Al_2O_3 粉末很難粒粒同步發生相變。由於孕核成長的條件是 θ - Al_2O_3 晶粒先成長至相變的臨界晶徑，或至 25-30nm 才會發生相變。要一堆粒體同步互相支援成長至同一晶徑，同步相變談何容易。因此粗化一旦有快有慢，當然相變就有快慢。快相變者也先抵達 100nm 晶徑，甚至超過 100nm。慢者還在未能相變階段。因此工業上迄今未能有效解決同步相變的難題，當然 100nm 晶徑的 α - Al_2O_3 粉末就無法出現。

本研究設計採用晶徑相近之 θ - Al_2O_3 粉末與分散劑材料聚乙二醇（Polyethylene glycol, PEG）相混[4]，將 PEG 分散於 θ - Al_2O_3 粒體間形成類似 θ - Al_2O_3 （核）及 PEG（殼）（一般寫成 θ - Al_2O_3 @PEG）的粉末。再藉高壓成形，將粉壓成坯。利用壓坯時採用得壓力，進一步再將 PEG 擠入其他尚無 PEG 侵入的 θ - Al_2O_3 粒體間隙，使粒粒 θ - Al_2O_3 皆分離，降低 θ - Al_2O_3 接觸，造成 θ - Al_2O_3 粒體同步成長，同步相變，再同不達到 100nm 晶徑。

貳、實驗方法

2.1 實驗原料

起始原料為德國 Evonik 公司生產之 AEROXIDE- Al_2O_3 ，型號 Alu65（ Al_2O_3 >99.9%）的 θ - Al_2O_3 粉。取粒徑介於 200~400 目篩（75~45 μm ）粒徑部份進一步於 970 $^\circ\text{C}$ 持溫 3 小時，使之更接近單一 θ 相。此粉末的平均粒徑為 25nm，比表面積值為 65.1 m^2/g 。PEG 則為台灣 Choneye Pure Chemicals 生產。

2.2 實驗方法

模擬 θ - Al_2O_3 @PEG 粉末的製備：將 θ - Al_2O_3 粉末加進溶有 PEG 之丙酮溶液中，混成漿料。混勻、攪拌，於室溫下去 PEG，得到 θ - Al_2O_3 @PEG 粉。PEG 的用量係假設使 PEG 於 θ - Al_2O_3 粒體表面做厚度為 0、20、2.36、2.72nm 之包覆，(Table1)利用比表面積

計算得到。得到的粉末再以 464、438、412、及 387 MPa 四種單軸高壓加壓方式製作生坯。計得 16 組試樣。

生坯熱處理：，所得含 PEG 的 θ - Al_2O_3 生坯，參考其 DTA/TG 所得結果，作二階段熱處理：第一階段去 PEG。試樣加熱至 600°C 持溫 30 分鐘去除 PEG。第二階段則將去 PEG(DePeg)之生坯再繼續加熱至 1150°C 持溫在 2-15 分鐘，使生成 α - Al_2O_3 ，得 θ/α - Al_2O_3 生坯。研究即分析此 De-Peg θ - Al_2O_3 生坯及 θ/α - Al_2O_3 生坯。

2.3 特性分析

使用(DTA/TG)觀察含 PEG 樣品中去 PEG 及 α -相出現的熱反應行為。利用 BET- N_2 技術作熱處理前後的粉末比表面積量測及平均粒徑比較。後者的計算均假設形狀係數為 6 (球狀外形)。結晶相分析使用 X-光繞射分析儀(XRD)粉末法。操作條件：Cu 靶($K_{\alpha 1}$ ， $\lambda=1.5418\text{\AA}$)，30kV×15mA。 θ -相變出現之 α -相 Al_2O_3 晶粒的平均晶徑得自 XRD- Scherrer formula 式，相關計算利用 α - Al_2O_3 的(012) $_{\alpha}$ 繞射峰的半峰寬。相變過程的 α - Al_2O_3 生成量採用 XRD 內標準法定量。參考樣品為 CaF_2 ，分析繞射面為： α - Al_2O_3 (012)面與 CaF_2 (111)面。

最後所得 α - Al_2O_3 生坯的粒徑及蠕蟲狀成長觀察以掃描式電子顯微鏡(SEM)完成。晶粒尺寸計算採用 Ferets diameter。生坯密度以阿基米德法(Archimedes Method)完成。

叁、結果與討論

3.1 成型壓力與四種PEG含量生坯的密度

θ - Al_2O_3 是分散了嗎：表1紀錄以4種PEG用量及4種成型壓力製作之16個試片的密度及將其PEG移除後之 θ - Al_2O_3 生坯密度。表中也將經 θ - Al_2O_3 +PEG二者粉末之理論密度加入。可看出單獨提高成型壓力及提高PEG 的用量二者均可提高含PEG之坯體的密度。不過對同一成型壓力下提高PEG用量的試片則在去PEG後密度相對降低。前者說明提高成型壓力，一如一般預期，除壓密外，有助於PEG於 θ - Al_2O_3 粒體間有效的分布，填滿空隙，是以升高密度。後者則說明過多的PEG用量會留下較高的粒間間隙，致密度下降。因此比較16個試樣的去PEG後 θ -坯密度，高壓力低PEG用量的P20試樣的密度最高，說明該PEG用量應為16試樣中最適量者。

Table 1 The theoretical (calculated) density, and densities of the uni-axially pressed 4 sets of θ - Al_2O_3 compacts prior to and after the removal of PEG, % T.D.

Sample	PEG additn g/100g θ - Al_2O_3 (Thikns, nm)	Calculated Density, g/cm ³	pressure, MPa			
			387	412	438	464
			Relative density, % of T.D. Prior to / After PEG removal			
P00	0 (0.0)	3.65	50.2	51.3	52.0	52.5
P20	15.0 (2.0)	2.82	78.1/52.2	79.7/52.4	80.2/52.9	80.9/53.7
P23	17.5(2.37)	2.74	83.1/50.5	84.8/51.8	86.0/52.4	87.9/53.3
P27	20.0(2.64)	2.66	86.6/50.4	87.9/51.8	88.4/52.5	89.4/53.0

3.2 去PEG之 θ - Al_2O_3 生坯密度與 $\theta \rightarrow \alpha$ - Al_2O_3 相變的關係

Fig. 1 說明16個試樣的 $\theta \rightarrow \alpha$ - Al_2O_3 相變的相變放熱峰溫度變化情形。未使用PEG者（P00，實心圓）與一般瞭解相似，相變溫度隨 θ - Al_2O_3 坯體密度升高而下降；但使用PEG者反而上升。說明加PEG可造成 θ - Al_2O_3 粒體的成長速度變慢。原因是粒體分開疏遠。也即PEG的分布在高密度 θ - Al_2O_3 生坯中更均勻。原存在的 θ - Al_2O_3 凝聚體中的個體，因此被推開分離。在去PEG的過程， θ - Al_2O_3 粒體成長受阻，相變溫度因而提高。

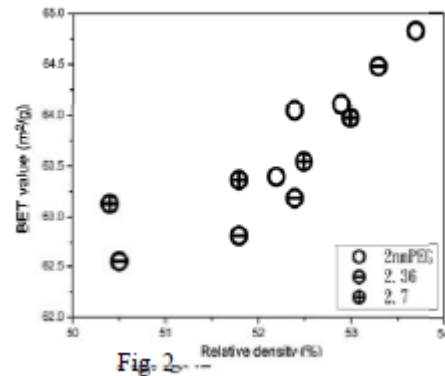
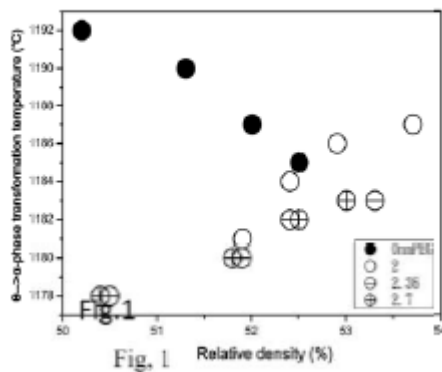


Fig. 1 θ - to α - Al_2O_3 phase transformation temperatures of θ - Al_2O_3 compacts (solid circles, P00) decreased and De-pegged θ - Al_2O_3 compacts (blank circles) rose with the increase in relative densities.

Fig. 2 The value of Specific surface area of the De-pegged θ - Al_2O_3 compacts increased with its relative density.

這點可由Fig. 2 去PEG後坯體的相對密度與坯體內存在 θ - Al_2O_3 粒體的比表面積看出：坯體的密度越大其所含粒體的比表面積越高，P20試樣的比表面積（ $61\text{m}^2/\text{g}$ ）與原起始 θ - Al_2O_3 粉接近。說明高壓成型可使PEG分布越均勻 θ - Al_2O_3 粒體分離越完全，因此在 600°C 持溫30分鐘去除PEG過程， θ - Al_2O_3 粉粒體不易成長。

3.3 提高相變溫度使 $>100\text{ nm}$ 延後發生

由 Fig. 1 及 2 可看出成型壓力應是分離 θ - Al_2O_3 坯體中之粒體、使相變溫度延後的控制因素。但在取得 PEG 可均勻分布，使 θ - Al_2O_3 粒體各自分離的過程上，PEG 的用量似有某等限制：因為同樣壓力（如 465MPa ），PEG 用量增加（PEG 厚度由 2.0nm 升高至 2.7nm ）的三個試樣中，PEG 厚度最薄的 P20 密度最高且 θ - Al_2O_3 粒體最能維持不變，說明 PEG 用量過多可能在壓力成型過程中，會妨害必須移出之粒體間殘留氣體之移出。這些沒能移出的可壓縮性氣體，除可能阻止 PEG 的隨意有效移動進入間隙外，也可能為脫模時坯體膨脹造成低密度 θ - Al_2O_3 坯體的原因之一。由於 PEG 之自由移動受限制下，部份 θ - Al_2O_3 粒體仍然以凝聚狀態存在。此部份未分離聚集之 θ - Al_2O_3 顯然在熱處理過程提前粗化，比表面積下降，同時相變可在較低的溫度發生。

利用表 1 中成型壓力 464MPa 的四 θ - Al_2O_3 生坯試樣於 1185°C (Fig. 1) 作不同時間熱處理，可得到不同 α - Al_2O_3 生成量的比表面積值圖 (Fig. 3)。由於圖上 α - Al_2O_3 生成量

為 5% 時的 BET 值得自 $\theta\text{-Al}_2\text{O}_3$ ，也即相變前的 $\theta\text{-Al}_2\text{O}_3$ 晶徑可為 30nm (BET 值為 $50\text{m}^2/\text{g}$)，則可得到 $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ 之 (回歸) 晶粒為 75nm (BET 值為 $20\text{m}^2/\text{g}$)，方程式 (式 1)

$$\text{BET (m}^2/\text{g)} = x \cdot 20 + (1-x) \cdot 50.0 \dots\dots\dots (\text{式 1})$$

式中 x 為 $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ 生成量，%。

(式 1) 在 $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ 生成量為 70% 時發生轉折，說明粒徑由此長大。再由於 $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ 生成量為 100% 時的 BET 值為 $15\text{m}^2/\text{g}$ ，因此也可設定由 30nm $\theta\text{-Al}_2\text{O}_3$ 粒體與其相變後之 100nm $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ 的比表面積和方程式為 (式 2)：

$$\text{BET (m}^2/\text{g)} = x \cdot 15 + (1-x) \cdot 50.0 \dots\dots\dots (\text{式 2})$$

由圖上可約略知： $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ 生成量 85% 後其晶徑有可能超過 100nm。

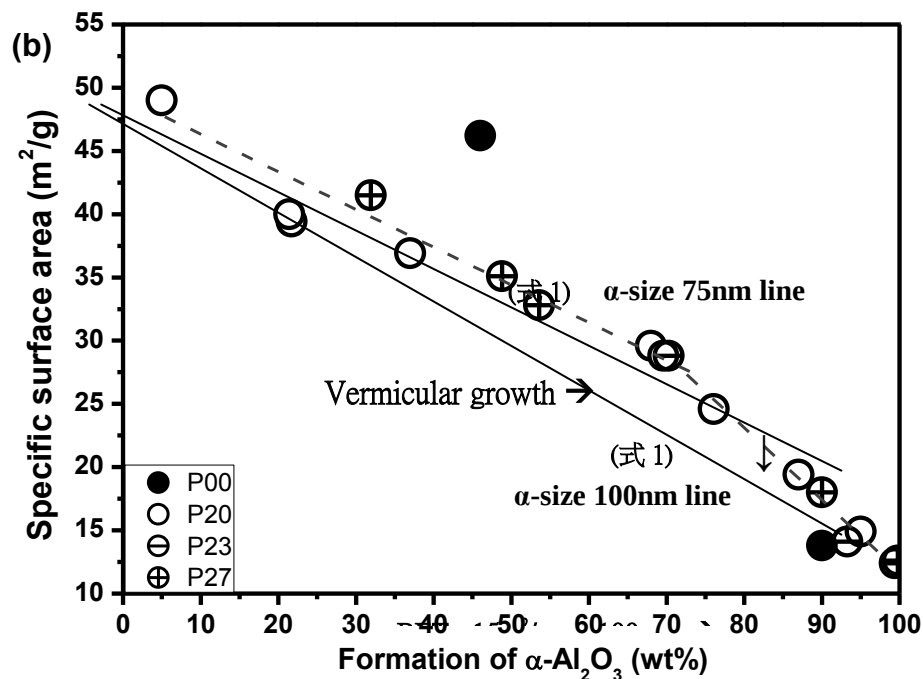
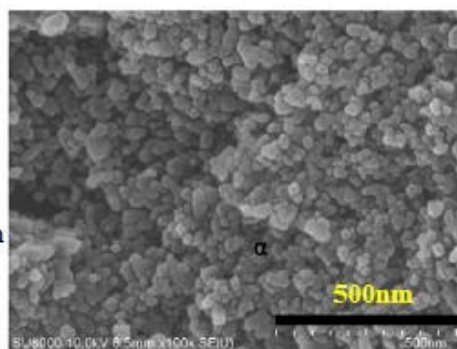


Fig. 3 $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ compacts with crystallite size smaller than 100nm.

Fig. 4 證明以 465MPa 成型壓力製作的 P20 試片經熱處理後可得粒徑 <100 nm，相對密度達 60% T.D. 之 $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ 生坯。

Fig. 4 SEM micrographs of $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ Compacts with $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ of grain size <100nm, relative density 60% T.D.



肆、結 論

利用氧化鋁在其 θ -至 α -相變過程會自然出現的熱力學穩定晶徑 80~100nm，可製作粒徑小於 100nm 的 α - Al_2O_3 生坯。其作法係需將 θ - Al_2O_3 粒體完全單獨分離，使能發生同步相變 α - Al_2O_3 ，同時成長至 100nm。採用 θ - Al_2O_3 （核）外包聚乙二醇(Polyethylene glycol, PEG)(殼)之混合物粉末，再經高壓成形，可因 PEG 的均勻分布，有效獲得 θ - Al_2O_3 粒體分離，同步相變、成長之 θ - Al_2O_3 生坯，因而獲得目前尚無法製作之粒徑細於 100nm 之 α - Al_2O_3 生坯。其相對密度並達 60%T.D。

誌謝

本研究執行期間承蒙靜精微有限公司提供部份作業經費，感謝。

參考文獻

1. R. J. Yang, P. C. Yu, C. C. Chen, and F. S. Yen, "Growth thermodynamics of nanoscaled α -Alumina crystallites," *Cryst. Growth Des.*, 9(4), 1692-1697, 2009.
2. Taimei Chemical Co., Ltd <http://www.taimei-chem.co.jp>
3. Baikowski <https://www.baikowski.com/en/>
4. V. A. Bershtein, V. M. Gun'ko, L. M. Egorova, N. V. Guzenko, E. M. Pakhlov, V. A. Ryzhov, and V. I. Zarko, "Well-defined oxide core-polymer shell nanoparticles: Interfacial interactions, peculiar dynamics, and transitions in polymer nanolayers," *Langmuir*, 26(13), 10968-10979, 2010.

以廢鋁電解液製作多晶藍寶石之研究
Study on the manufacturing process of polycrystalline sapphire from waste aluminum electrolytic liquid

陳智成^{1*} 吳俊毅² 吳伶芳³

Chih-Cheng Chen, ^{1*} Jun-Yi Wu, ² Lin-Fang Wu ³

1 遠東科技大學 機械工程系 特聘教授

1 Professor, Department of Mechanical Engineering, Far East University

2 遠東科技大學 機械工程系 副教授

2 Associate Professor, Department of Mechanical Engineering, Far East University

3 輔英科技大學 護理系 助理教授

3 Assistant Professor, Department of Nursing, Fooyin University

* Corresponding author: ccchen@cc.feu.edu.tw

摘 要

本研究採用廢鋁電解液資材化的創新技術，製備高純度奈米級氧化鋁粉，再製作成透明氧化鋁陶瓷(多晶藍寶石)，可應用於手機、平板電腦、智慧手錶之觸控面板及手機 home 鍵、相機鏡頭、LED 燈條等產品。本研究製備的高純度奈米氧化鋁粉之純度 >99.95%，粒徑約 170nm，粒形呈球狀，製作的多晶藍寶石之透光率 >90%，符合商品化產品之要求，而且製造成本只有傳統單晶藍寶石的 1/10。本研究除了替電解電容器產業解決廢水的環保問題，還可以讓垃圾變黃金，在成本及品質的雙重優勢下，在全球市場競爭中處於優勢，促進國內相關產業的升級與發展。

關鍵詞：廢鋁電解液、多晶藍寶石、高純度奈米氧化鋁粉、電解電容器

壹、前 言

鋁電解電容是目前最廣泛應用的電容產品，主要應用於電腦電源供應器及主機板，且具高電容量、耐中高壓及低單價等特性。製程主要原料包括陽極化成鋁箔、浸泡電解液之電解紙、陰極鋁箔、導針及鋁殼等。其中，陽極及陰極鋁箔，為鋁電解電容的關鍵材料，分佔原物料成本約40%及8%。一般陽極鋁箔及陰極鋁箔製程為將高純度(>99.98%)

的鋁箔透過電蝕或化學腐蝕方法，製成陽極電蝕鋁箔或陰極腐蝕鋁箔，經此步驟鋁箔表面積及相對電容量得以增加。由高純度鋁箔製程獲得的廢鋁電解液也具有高純度，是本研究的主要原料。

本研究的廢鋁電解液是來自於國內最大的鋁電解電容器製造廠-坤綸科技股份有限公司，由於屬於一般事業廢棄物，不僅要列管追蹤，且必須付費委託處理。坤綸科技股份有限公司創立於2002年，主要營業項目：電子零組件製造業，專業生產低壓及固態電容專用化成鋁箔與負箔，員工約50人，登記資本額約2億元。坤綸公司擁有豐富電容器廠實務經驗和化成鋁箔業界的豐厚人脈，製程產品良率逾99%，品質深具競爭力，並榮獲多家日本電容器廠認證採用；其第五代化成機每條生產線月產能達6萬平方米，產能效率冠全臺。圖1是坤綸公司產品製程流程，將濃度32%食品級鹽酸稀釋調整為10%，將純度99.98%以上的金屬鋁箔進行電解製程，過程中產生約濃度1.2N的廢鹽酸與濃度12~15g/L的鋁離子，若以目前坤綸公司生產線每月產能25噸鋁箔使用量換算鋁產生量約達12噸，由於新廠擴大現有的6倍產能，初估每月約能回收72噸的鋁資源。

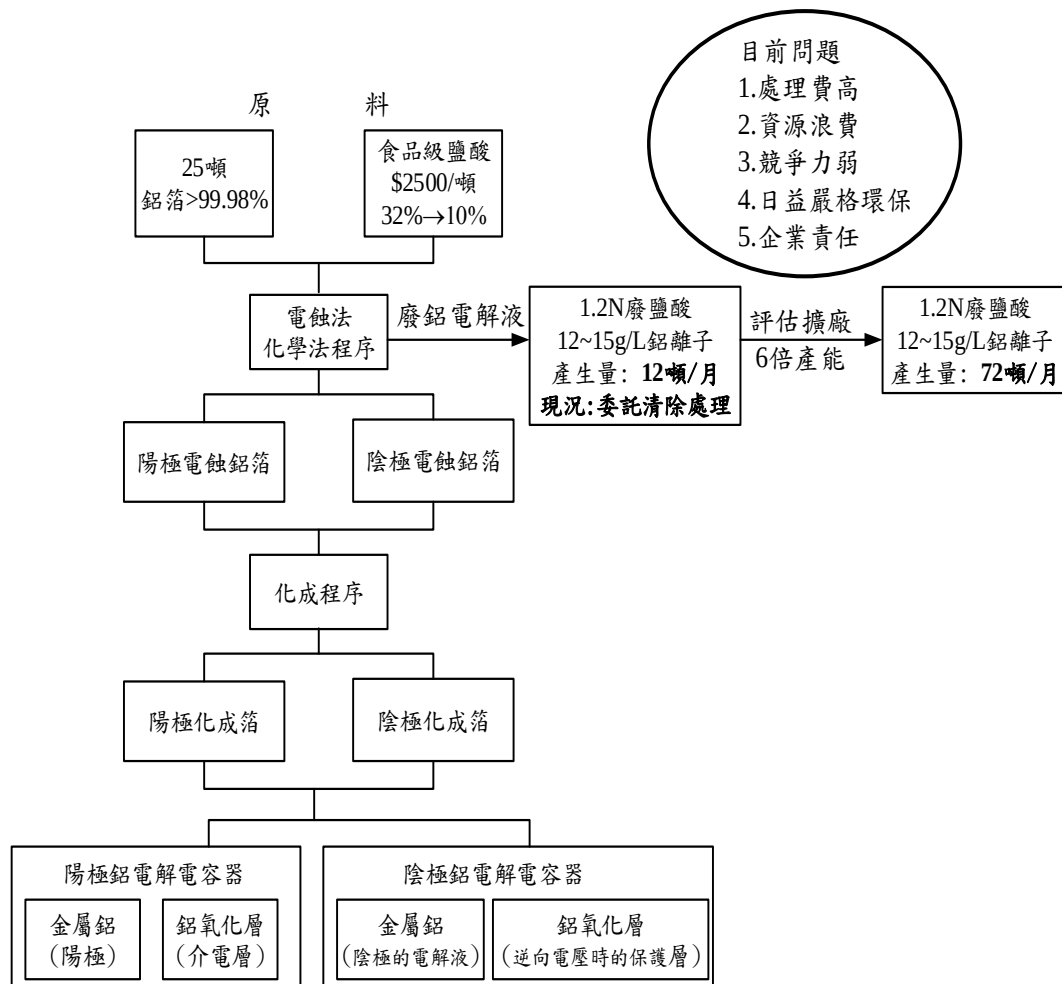


圖1 坤綸科技股份有限公司生產流程圖

目前廢鋁電解液是以一般廢棄物委託清運處理，不但造成業者成本負擔、浪費資源，且經初步分析廢鋁電解液中鋁純度高達99.98%以上，雜質僅約30ppm，且電解液中鋁濃度約12~15g/L，相當值得回收。本研究採用具選擇性的陰離子交換樹脂回收廢電解液中的鹽酸，不但可以回原製程再利用，且大幅降低後續處理藥劑的使用量。另外以樹脂回收後的氯化鋁，經由中和沉澱法，添加氨水與蒸氨回收技術等程序開發，不僅將廢鋁電解液回收鹽酸再利用，並將氯化鋁轉化為高純度一水軟鋁石($\text{AlO}(\text{OH})$)，再經熱處理獲得高純度奈米氧化鋁粉，其性質符合多晶藍寶石之原料要求。

彙整國內外文獻與專利[1~16]，內容著重於奈米氧化鋁的合成途徑、鋁料來源以及如何掌控平均粒徑大小和顆粒型態、晶相與提高純度避免污染等關鍵技術。楊海亮[3]等人指出若要提高鋁電解電容器的電容，大幅提升腐蝕箔的比容是關鍵。徐兵[4]等學者提出利用氯化鋁溶液以 15~20mL/min 速度加入到氨水溶液中，控制反應 pH 為 9~10，得到沉澱產物。再將沉澱物經陳化、水洗、乾燥及 1,200°C、2 小時熱處理，得到氧化鋁超細粉體。顏富士[7~11,15~16]等學者提及若以三水鋁石生產粒徑<100nm 之 α - Al_2O_3 粉末至少需克服三項問題(1) κ -至 α -之結晶相變化，所得粉末可能維持粉末外型，因此必須先備妥<100nm 三水鋁石粉末。(2) κ -至 α -之相變存在相變臨界晶徑，呈條狀晶粒之 κ -相難全部成長至臨界晶徑，低溫短時間難達成高比例 α -相變發生。(3)高溫長時間熱處理求取高比例相變將使粗(>100nm)晶粒或多晶粒體生成。徐占鋒[12]等人以廢氧化鋁催化劑和鋁合金為原料製作硫酸鋁，再銨添加至碳酸氫銨溶液，得到 $\text{NH}_4\text{Al}(\text{OH})_2\text{CO}_3$ ，經煅燒製備奈米氧化鋁(γ - Al_2O_3)粉體，可以有效降低奈米氧化鋁生產成本與工業廢料處理費用。

貳、實驗方法

本研究以廢鋁電解液製備高純度氧化鋁微粉，開發適用於燒製透明氧化鋁陶瓷(多晶藍寶石)之高純度易燒結氧化鋁粉。首先藉由回收廢鋁電解液中高純度氧化鋁，添加氨水以化學沉澱法獲得一水軟鋁石(pseudoboehmite)，經熱處理獲得高純度氧化鋁微粉，再以刮刀成形法製作平板狀坯體，經真空及氣氛燒結獲得多晶藍寶石。

經由離子交換樹脂選擇性濃縮含鋁的氯化鋁，再利用濕法冶金技術，操作程序如下：緩慢添加氨水調整反應槽中溶液 pH 值為鹼性($\text{pH}>8.5$)，形成白色膠體沈澱物，攪拌速率>300rpm，陳化反應時間 180~240 分鐘內(3~4 小時)。經固液分離(重力或離心)後，液體(濾液)透過蒸氨回收系統(加熱冷凝程序)回收氨水，減少氨水添加量；固體物經至少 3 次洗滌(純水與無水酒精，每次攪拌至少 10 分鐘)，調整溶液 pH 值與去除過量的氯與氯離子，經 105°C 乾燥後形成一水軟鋁石(α - $\text{AlO}(\text{OH})$)產物，純度>99.9%。再經 1100-1200°C 持溫 2 小時熱處理，得到氧化鋁(α - Al_2O_3)微粉，整個處理流程包含一水軟鋁石與氧化鋁粉末之製備，彙整如圖 2 所示。

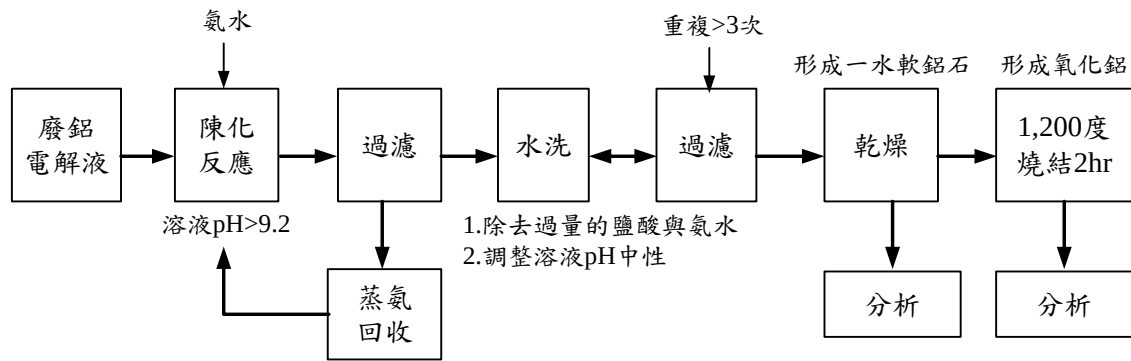


圖 2 廢鋁電解液資材化高純度氧化鋁流程圖

叁、結果與討論

3-1 不同 pH 值對水鋁石礦物相的影響

本研究採用化學沉澱法製備水鋁石，將廢鋁電解液添加氨水調整pH值中和沉澱獲得水鋁石，並採用三種不同pH值7、9、11 獲得的水鋁石來做後續陳化和洗滌處理，以瞭解pH值對水鋁石礦物相的影響。pH值7合成的水鋁石膠體，經乾燥、粉碎、磨粉後，進行XRD分析(圖3)，結果顯示為pseudoboehmite礦物相。增加氨水至pH值9 的水鋁石膠體，經乾燥、粉碎、磨粉後，進行XRD分析(圖4)，結果顯示為pseudoboehmite與bayerite混合礦物相。再增加氨水至pH值11的水鋁石膠體，經乾燥、粉碎、磨粉後，進行XRD分析(圖5)，結果顯示為bayerite礦物相。由上述XRD分析結果顯示，pH值對水鋁石礦物相有明顯的影響，且先前的研究[17]也顯示pH值9 的水鋁石膠體之混合礦物相可以抑制晶粒成長，獲得更微細的氧化鋁粉，因此以下實驗均採用pH值9 的水鋁石膠體。

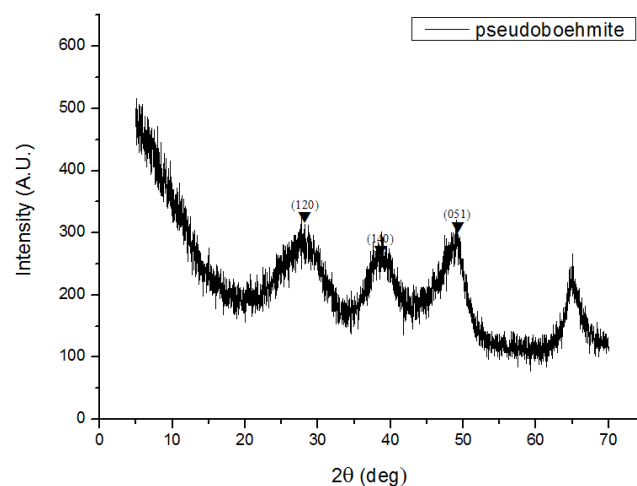


圖 3 pH 值 7 烘乾後之 XRD 圖

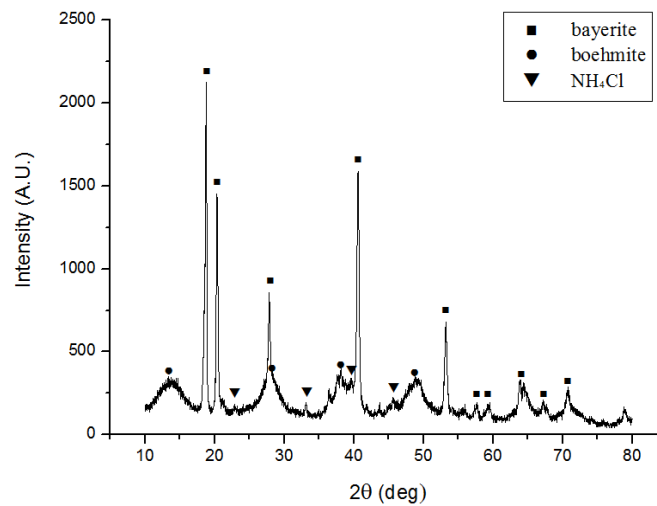


圖 4 pH 值 9 烘乾後之 XRD 圖

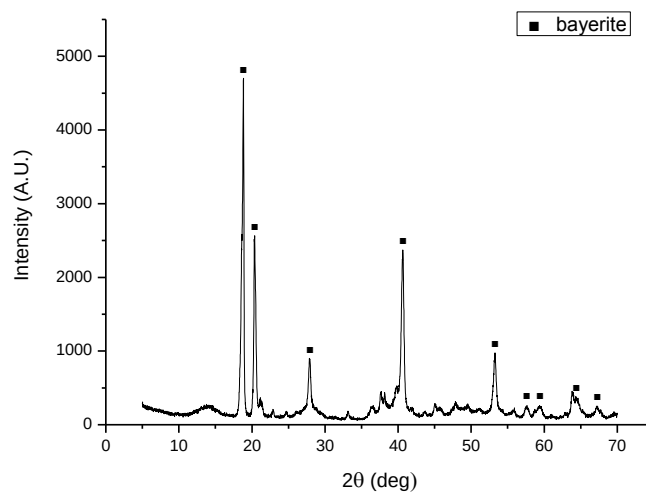


圖 5 pH 值 11 烘乾後之 XRD 圖

3-2 水鋁石之熱行為分析

由熱重/熱差分析(圖6)的結果顯示，pH值9 的水鋁石膠體在90°C有吸熱峰產生，且TG明顯下降，推測是粉體表面水燒除，當溫度上升至260°C，有吸熱峰產生，應是 pseudoboehmite與bayerite混合相膠體之結晶水燒除。

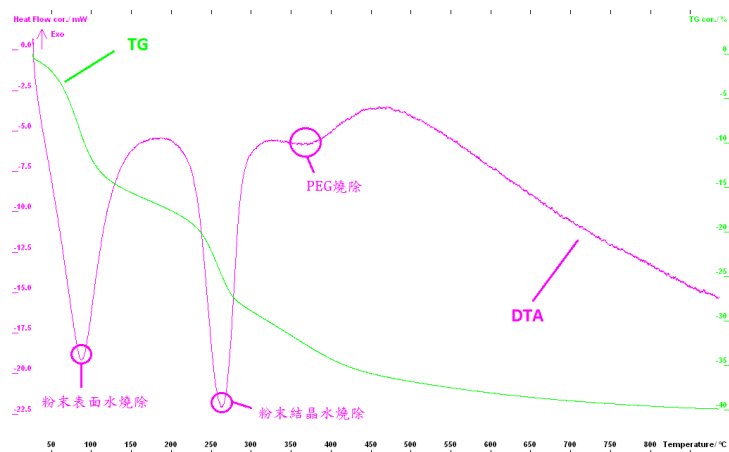


圖 6 pH 值 9 三水鋁石添加 PEG 之熱重/熱差分析圖

3-3 不同熱處理溫度之氧化鋁微粉性質

水鋁石添加PEG均勻攪拌分散並烘乾後，以三種不同熱處理溫度1,100°C、1,150°C、1,200°C持溫2h來作比較。煅燒溫度1,100°C之 α -Al₂O₃微結構如圖7所示，顆粒之間無團聚現象，而且許多顆粒的粒徑只有0.1~0.2 μ m，但是從XRD分析(圖8)顯示粉體仍殘留許多 θ 相，推測小顆粒粉體應是 θ -Al₂O₃。另一煅燒溫度1,150°C之 α -Al₂O₃微結構如圖9所示，顆粒亦無團聚現象，顆粒大小約0.2 μ m。從XRD分析(圖10)顯示， θ -Al₂O₃幾乎都轉換為 α -Al₂O₃，未發現 θ 相殘留，但XRD不足證明是否仍殘留 θ -Al₂O₃，故另以TEM顯微結構分析(圖11)來證明，是否仍有 θ -Al₂O₃殘留；從TEM照片可以看到 α 相晶粒周圍有 θ 相存在，證明煅燒1,150°C仍有微量的 θ -Al₂O₃殘留。而 θ 相可以抑制 α 相晶粒的指狀成長，這也是其晶粒沒有大幅成長的原因。

煅燒溫度1,200°C之 α -Al₂O₃微結構如圖12所示，顆粒間雖無燒凝聚現象，但是 α -Al₂O₃晶粒已明顯長大至1 μ m左右，從XRD分析(圖13)顯示，氧化鋁礦物相已全部轉變為 α 相，無殘留 θ 相晶粒。

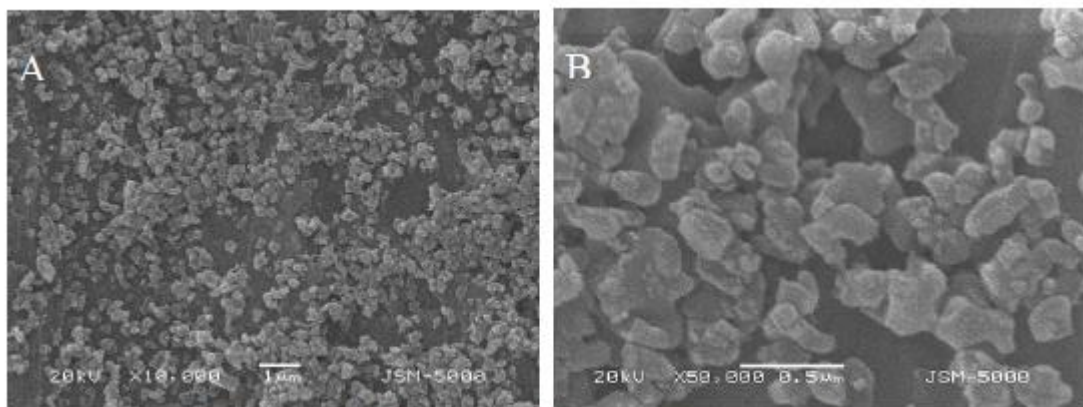


圖 7 熱處理 1,100°C之 SEM (A) $\times 10,000$ 倍 (B) $\times 50,000$ 倍

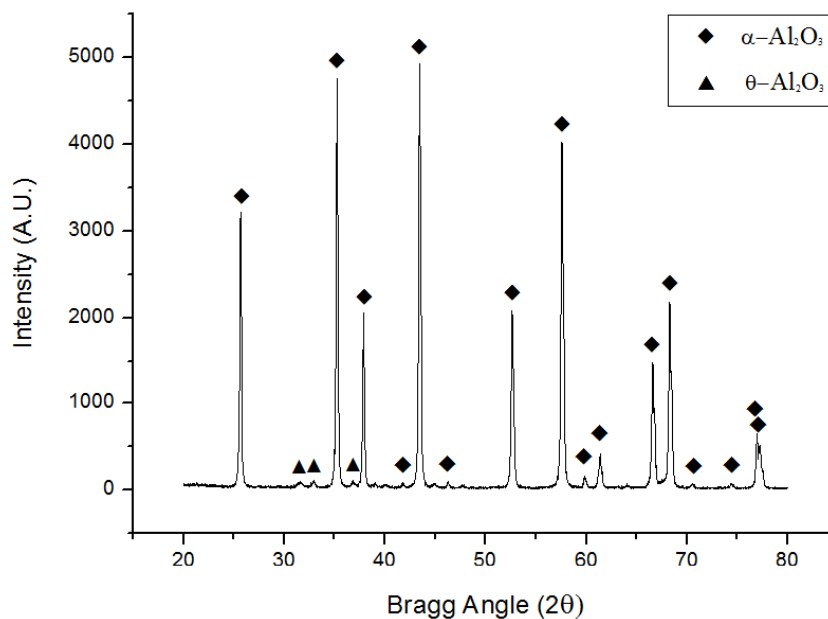


圖 8 熱處理 1,100°C之 XRD 圖

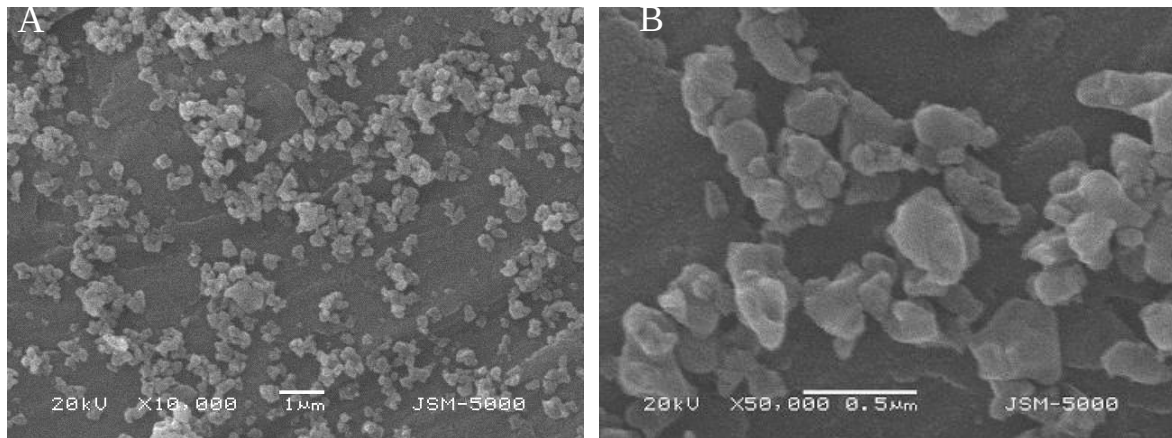


圖 9 熱處理 1,150°C 之 SEM (A) $\times 10,000$ 倍 (B) $\times 50,000$ 倍

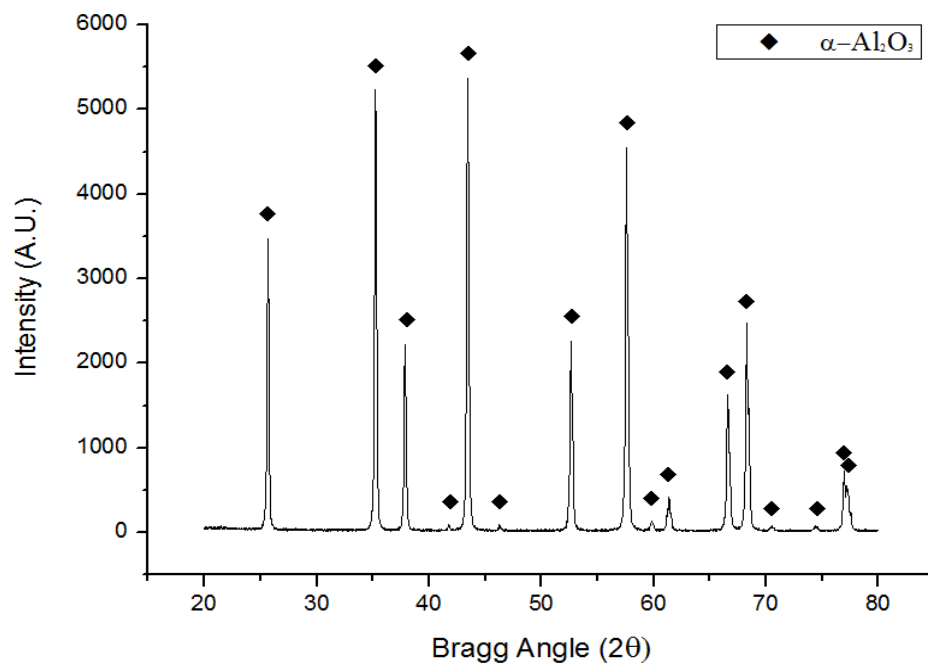


圖 10 熱處理 1,150°C 之 XRD 圖

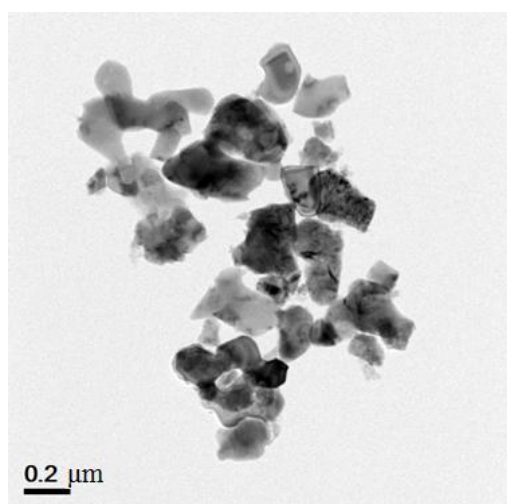


圖 11 熱處理 1, 150°C 之 TEM 分析圖

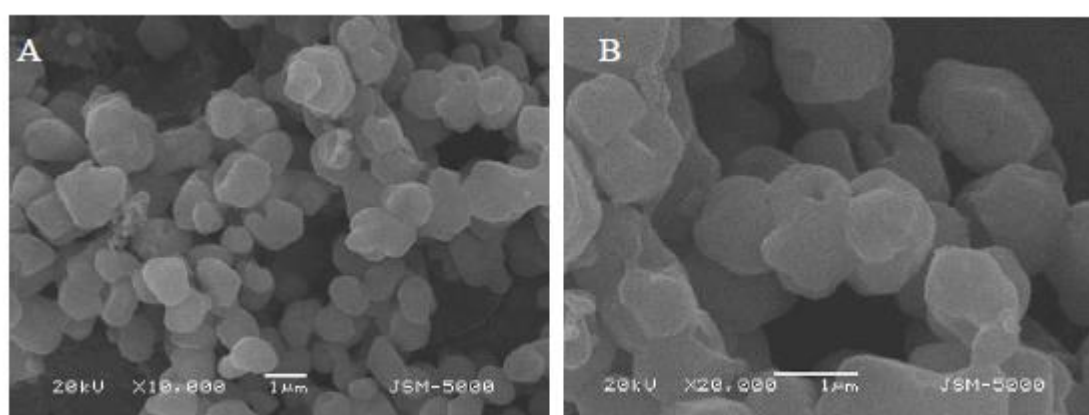


圖 12 熱處理 1, 200°C 之 SEM (A) ×10, 000 倍 (B) ×20, 000 倍

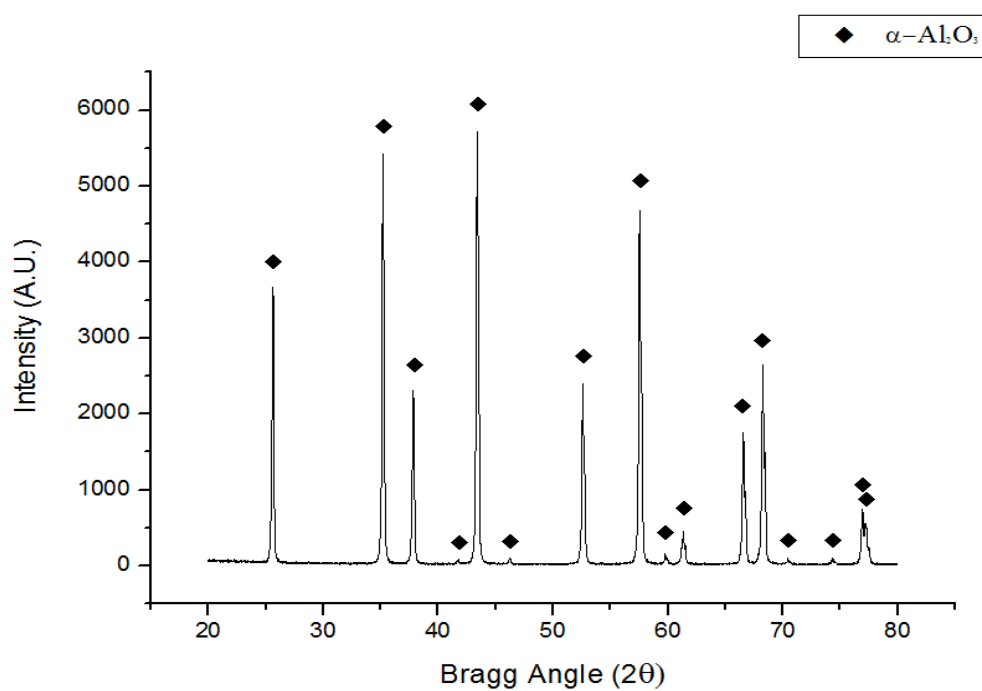


圖 13 熱處理 1, 200°C 之 XRD 圖

3-4 水鋁石與高純度奈米氧化鋁粉之純度分析

由表1 三種樣品之XRF分析結果得知，以廢鋁電解液合成的水鋁石中以氯、矽和鈣含量明顯偏高；氯經過煅燒後，可以直接燒除；而矽與鈣推測為廢鋁電解液之氯化鋁合成水鋁石時，用水洗滌膠體所造成汙染，而在洗滌過程中被水質及環境內粉塵所汙染，建議改善洗滌水質並在無塵環境下操作。後段經由陳化反應與熱處理相轉變得到的 α 氧化鋁粉，以矽、鈣、錫、鐵、鎳的雜質為主，含量雖然降低，但對比市售高單價高純度氧化鋁粉，矽、鈣雜質含量仍稍微偏高。

表 1 三種樣品之 XRF 分析

單位:ppm.	一水軟鋁石		α 氧化鋁		
分析項目	廢鋁電解液	氯化鋁	廢鋁電解液	氯化鋁	市售
氯(Cl)	8,707	8,702	—	—	—
矽(Si)	850	813	462	427	235
鈣(Ca)	101.8	90.2	64.7	52.4	24
錫(Sn)	28.1	27.1	13.3	11.2	—
鐵(Fe)	6.5	5.9	5.8	5.3	8.8
鎳(Ni)	2.8	2.6	2.6	2.4	1.9
鎳(Ga)	—	—	—	—	2.6
合計	9,696	9,641	548	498	270
純度(%)	99.030	99.035	99.945	99.950	99.973

3-5 高純度奈米氧化鋁粉製作多晶藍寶石之性質分析

將廢鋁電解液合成水鋁石，水鋁石陳化24h後，添加PEG分散水鋁石膠體，再經熱處理1150°C持溫1h，獲得高純度 α -氧化鋁粉，粒徑約0.17 μm 。再將高純度 α -氧化鋁粉提供給合作廠商晶越公司，以刮刀成形機製作氧化鋁薄帶，經脫脂後，以真空氣氛燒結爐燒結至1,800°C獲得透明多晶藍寶石薄板，並用SEM分析其微結構(圖14)及透光率。

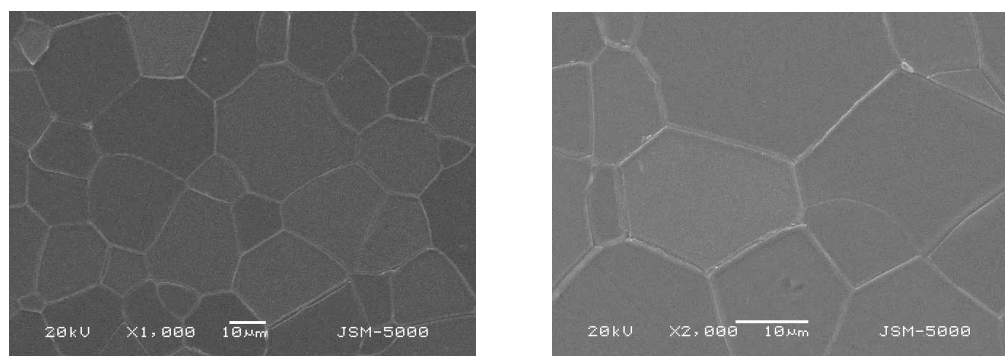


圖 14 透明基板 SEM (A) $\times 1,000$ 倍(B) $\times 2,000$ 倍

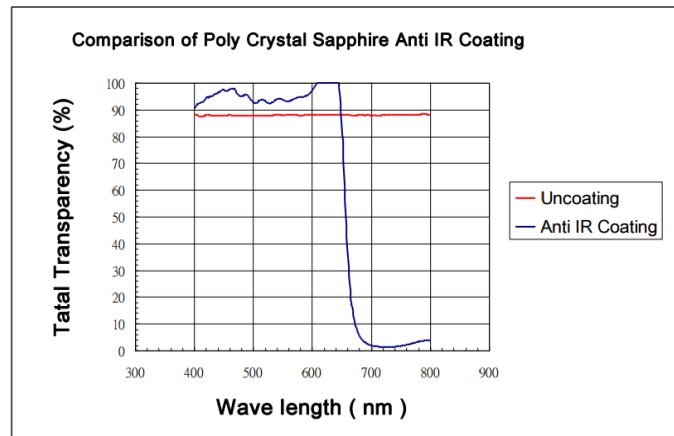


圖15 多晶藍寶石薄板透光率驗證

肆、結 論

- 1.本研究回收廢鋁電解液資材化為高純度奈米氧化鋁粉，作為透明氧化鋁陶瓷(多晶藍寶石)之前驅物，且氨水透過蒸氨流程回收再利用，回收率達80%以上，大幅降低處理成本，是一項高附加價值之零廢棄處理技術，並可額外獲得委託清除處理費每噸3,000~5,000元的利潤。
- 2.以廢鋁電解液合成的奈米氧化鋁，XRF成分分析顯示，含較多的鈣與氯等雜質，若提高重覆水洗純化次數，可明顯降低雜質含量，符合多晶藍寶石原料之性質要求。
資源化之一水軟鋁石，經1150°C的熱處理2小時，可獲得 α 相氧化鋁(α -Al₂O₃)，平均粒徑約0.17 μ m，純度達99.95%以上，與市售氧化鋁粉末純度99.97%相近。
- 3.不同pH值會影響氫氧化鋁膠體形成之礦物相；當pH值7時，氫氧化鋁礦物相為pseudoboehmite；當增加至pH值8時，開始出現為bayerite礦物相；至pH值9時，是pseudoboehmite和bayerite兩相共存；至pH值11時，已完全轉變為bayerite相。
- 4.在不同熱處理條件下水軟鋁石會相轉變成 α -Al₂O₃，在1200°C的熱處理溫度下會產生團聚現象，而1150°C的熱處理溫度以下，團聚現象會大幅減少且粒徑微細，應是微量 θ -Al₂O₃殘留而抑制 α -Al₂O₃成長之效果；1100°C之 α -Al₂O₃雖然粒徑微細，但殘留太多 θ -Al₂O₃，並不適於氧化鋁的高階應用。
- 5.本研究製備的高純度 α -氧化鋁粉以真空氣氛爐燒結至1,800°C可以獲得透明氧化鋁(多晶藍寶石)薄板，可見光之透光率>90%，符合商品化產品之要求。

誌謝

感謝科技部計畫(MOST 104-2622-E-269-002-CC3) 之經費補助

參考文獻

- [1] J. G. Li and X. Sun, Synthesis and sintering behavior of a nano crystalline alumina powder, *Acta Material*, Vol. 48, Issue 12, July 2000, P. 3103-3112.
- [2] J. K. Pradhan, L. N. Bhattacharya, S. C. Das, Characterization of fine polycrystals of metastable alumina obtained through a wet chemical precursor synthesis, *Materials Science and Engineering B*, Vol. 77, Issue 2, August 2000, P. 185-192.
- [3] M. T. Hernandez and M. Gonzalcz, Synthesis of resins as alpha-alumina precursors by the Pechini method using microwave and infrared heating, *J. Euro.Ceram. Soc.*, Vol. 22, Issue 16, December 2002, P. 2861-2868.
- [4] M. Ibrahim, T. Khalil and A. A. Mostafa, Densification of alumina produced by urea formaldehyde polymeric route, *Ceramics International*, Vol. 25, Issue 3, April 1999, P. 273-280.
- [5] U. Popp, R. Herbig, G. Michael et al, Properties of Nanocrystalline Ceramic Powders Prepared by Laser Evaporation and Recondensation, *J. Euro. Ceramic Soc.*, Vol. 18, Issue 9, 1998, P.1153-1160.
- [6] E. Pratsinis, Flame aerosol synthesis of ceramic powders · *Progress in Energy and Combustion Science*. Volume 24, Issue 3, 1998, P.197-219.
- [7] K. Varatharajan, S. Dash, A. Amnkumar et, Synthesis of nanocrystalline α -Al₂O₃
- [8] Y. Q. Wu, Y. F. Zhang, X. X. Huang et al, Preparation of plate like nano alpha alumina particles, *Ceramics International*, Vol. 27, Issue 3, 2001, P. 265-268. by ultrasonic flame pyrolysis, *Materials Research Bulletin*, Vol. 38, Issue 4, 24 March 2003, P. 577-583.
- [9] E. Borsella, S. Bothi, Lasers-driver Synthesis of Nanocrystalline Alumina Powders from Gas-Phase Precursors, *J. Appl. Phys. Lett.*, 1993, 63(10)1345-1347.
- [10] K. N. Kim, S. G. Kim, Nickel Particles Prepared From Nickel Nitrate With and Without Urea by Spray Pyrolysis[J]. *Powder Technology*, 2004, 145(3)155-162.
- [11] S. K. Friedlander, *Smoke Dust, H81, E, Fundamentals of Aerosol Behavior*, New York : Wiley Press, 1977, P.113- 124.
- [12] V. V. Subrahmanyara, Reaction Kinetics of the Formation of Indium Tin Oxide Films Grown by Spray Pyrolysis [J], *Thin Solid Films*, 1990, 1(1921)696-703.
- [13] P. Prathap, Y. P. V. Subbaiah, M. Devika, et al., Optical Properties of In₂O₃ Films Prepared by Spray Pyrolysis[J], *Materials Chemistry and Physics*, 2006, 271 (2) 39-44.
- [14] R. Lopcz Ibanez, F. Martin, J. R. Ramos—Barrado, et al. Optimization of Spray Pyrolysis Zirconia Coatings on Aluminized Steel[J]. *Surface & Coatings Technology*. 2005, 85(3)234-242.
- [15] O. Mustafa, B. Metin, A. Necmeddin Yazici, et al, Characterization of Copper-doped Sprayed ZnS Thin Films]. *Physics*, 2006, 38(1-2)40-46.
- [16] S.Y. Yang, S. G. Kim, Characterization of Silver and Silver/Nickel Composite Particles Prepared by Spray Pyrolysis[J]. *Powder Technology*, 2004, 146 (3)185-192.
- [17] 張振飛, “以廢鋁電解液製備高純度氧化鋁粉之性質研究”, 遠東科技大學機械工程研究所碩士論文, 2015.

利用冷壓技術開發紙廠無機副產物作為再生粗粒料之可行性研究
Feasibility of Utilizing Cold-pressing Technique to Develop Inorganic Papermaking
By-products as Recycling Coarse Aggregate

蔡志達^{1*} 李昂軒² 施承瑋³ 戴佳雄³ 羅嚮盛⁴ 張祖恩⁵

Chih-Ta Tsai^{1*}, Ang-Hsuan Lee², Cheng-Wei Shih³

Chia-Hsiung Tai³, Hsiang-Sheng Lo⁴, Juu-En Chang⁵

1. 國立成功大學永續環境實驗所 副研究員

Associate Research Fellow, Sustainable Environment Research Laboratories,
National Cheng Kung University

2. 中華紙漿股份有限公司 專案經理

Project Manager, Chung Hwa Pulp Corporation

3. 中華紙漿股份有限公司 專業工程師

Professional Engineer, Chung Hwa Pulp Corporation

4. 中華紙漿股份有限公司 主任

Director, Chung Hwa Pulp Corporation

5. 國立成功大學環境工程學系 特聘教授

Distinguished Professor, Department of Environmental Engineering,
National Cheng Kung University

* Corresponding author: chihta.tsai@gmail.com

摘要

冷壓資源化技術乃基於材料基本原理（愈緻密其強度等相關性質愈佳）與複合材料的觀念，根據安全性無機泥渣類再生資材的材料特性，導入水泥化學和卜作嵐材料間互制特性，藉以改善其界面性質，所開發出兼具低耗能、低 CO₂ 排放的新型安全性無機泥渣類資源循環技術。本研究期望透過冷壓資源化技術，將紙廠無機副產物中的綠泥與燃煤飛灰，資源化成為綠色建材（再生粗粒料）。所開發的再生粗粒料中綠泥與燃煤飛灰使用比率可達 90 % 以上，而綠建材評定基準中對混凝土粒料僅要求：「回收材料之比率如下：細粒料應佔 80 % 以上；粗粒料應佔 50 % 以上」，因此本研究可有效增加紙廠無機副產物再生資材之使用比率。經相關性能試驗結果顯示，本研究採用紙廠無機副產物所開發之冷壓型再生粗粒料，烘乾（OD）比重介於 1.56-1.64、面乾內飽和（SSD）比重介於 1.83-1.88、吸水率則介於 12.04-18.53 %；其單顆粒抗壓強度與超音波波速均隨齡期增長而持續成長；截至目前齡期已超過 180 天，其單顆粒抗壓強度與超音波波速仍持續成長中；再經熱壓膨脹試驗結果顯示，本研究採用紙廠無機副產物（飛灰與綠泥）所開發之冷壓型再生粗粒料，體積穩定性無虞。而冷壓資源化技術另一項優點係可直接處理含水分的再生資材，不需再經烘乾程序，同時兼備節能、減廢與資源再生等優點，符合再生綠建材精神，因此透過冷壓技術資源化紙廠無機副產物作為綠色建材（再生粗粒料）應是一合理可行的方式。

關鍵詞：冷壓技術、無機、紙廠副產物、再生粗粒料、再生綠建材

壹、前言

華紙公司深耕台灣漿紙產業已逾50年，為國內造紙產業之龍頭，為因應近年來全球經濟市場環境急遽變化：華紙公司不僅一方面以科技技術呈現跳躍式的變革和發展，另一方面導入資源循環再生的觀念，以改變以往線性的經濟思維，驅動循環經濟的發展^[1]。華紙公司積極努力達成林、漿、紙一貫化生產，承諾環境友善發展，積極引進生物技術及化學改質技術，加強環保製漿、提升能源效率及廢棄物資源化，致力達到零廢棄物排放的綠色目標，開創「垂直整合、綠色環保、技術加值」造紙業新紀元。

台灣地狹人稠，土地資源有限，天然營建資源十分匱乏，因此加強推動建築廢棄物減量回收，及開發並使用再生綠建材為兼顧資源永續與環境保護之最佳策略^[2]。另配合「京都議定書」協議，加強溫室氣體減量已是全球無法回避的課題。為因應京都議定書CO₂排放減量的要求，推動綠建築與綠建材已為台灣建築業的重要方向。為積極推動生態城市及綠建築，以達國土永續建設目標，台灣地區近年來致力於發展營建減廢技術與機制，提升資源有效利用，並推動建立循環型社會之營建廢棄物減量及再生建材推廣機制^[2]。期能透過減量（reduce）、重複使用（reuse）及再生利用（recycle）等手段來節省資源的開發，以達到保護環境及永續發展的目的。

為達成零廢棄物排放的綠色目標，華紙公司期望透過冷壓技術進行紙廠無機副產物綜合資源化研究，其中一項係「利用冷壓技術開發紙廠無機副產物作為再生粗粒料之可行性研究」，目前華紙公司之紙廠無機副產物主要為：綠泥、飛灰與底渣，其產出量比例大致為綠泥：飛灰：底渣=7：6：1。由於底渣粒徑較大，而冷壓資源化技術所開發的再生粗粒料粒徑分別為：24、18、12、8、5 mm，為方便日後量產，所開發的再生粗粒料僅採用飛灰與綠泥，因為若採用底渣，則需先將底渣進行破碎、研磨、篩分等程序，增加日後量產時原材料準備之程序與成本。因此本研究目標係透過冷壓資源化技術，將紙廠無機副產物中的飛灰與綠泥開發成為綠色建材（再生粗粒料），如此不僅能拓展紙廠無機副產物再利用途徑，另一方面降低恣意傾倒或棄置，所對環境之傷害，達成廢棄物零污染、零掩埋及資源化之目標，亦朝「零廢棄全回收資源循環社會」之願景邁進。

貳、實驗方法

2-1 實驗材料

1. 水泥：為台灣水泥公司所生產之第 I 型卜特蘭水泥，其性質符合 CNS 61 第 I 型卜特蘭水泥的規格，水泥於購入當日即以不透水塑膠袋密封，防止水氣侵入使水泥硬化。
2. 強塑劑：本研究採用羧酸系列之高性能減水劑，係購自優積企業有限公司，其物化性質均符合相關 CNS 與 ASTM 規範要求。
3. 飛灰：採用華紙公司台東廠流體化床鍋爐所衍生之無機副產物，為配合減少燃燒生煤，並以廢棄物衍生燃料作為替代燃料的政策，該流體化床鍋爐混燒一般事業廢棄物取代部分煤作為燃料，因此所衍生之飛灰係屬混燒煤灰，如圖 1 所示。其比重約為 2.31，由組成成分 XRF（見表 1）與 XRD（見圖 2）分析結果顯示，飛灰主要成分為 CaO、SiO₂，及 CaCO₃。



(a) 烘乾前



(b) 烘乾後

圖 1 華紙公司台東廠飛灰照片

表 1 紙廠無機副產物 XRF 分析結果

元素	飛灰	綠泥	綠液	元素	飛灰	綠泥	綠液	元素	飛灰	綠泥	綠液
Mg	ND	46042	59532	Fe	30153	9700	9534	Nb	8	ND	ND
Al	45041	2173	11505	Co	ND	ND	ND	Mo	ND	ND	ND
Si	28049	8965	14239	Ni	ND	ND	ND	Ag	ND	ND	ND
P	1512	2909	2002	Cu	309	ND	ND	Cd	ND	ND	ND
S	2942	4218	13042	Zn	647	118	338	Sn	34	ND	352
Cl	5037	ND	906	As	53	ND	ND	Sb	ND	ND	ND
Ca	297551	348440	264742	Se	ND	ND	ND	Ba	782	364	ND
Ti	ND	ND	ND	Rb	22	ND	22	Ce	ND	392	ND
V	ND	ND	ND	Sr	286	891	1406	W	ND	ND	28
Cr	ND	ND	ND	Y	ND	ND	ND	Hg	ND	ND	ND
Mn	ND	ND	4035	Zr	355	ND	ND	Pb	53	ND	ND

註：元素濃度(PPM)

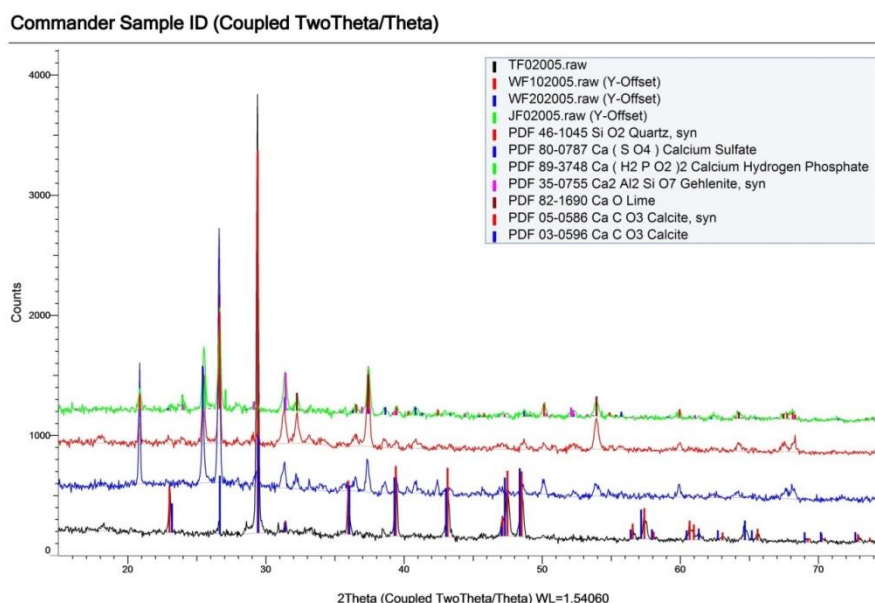


圖 2 華紙公司台東廠飛灰 XRD 試驗結果

4. 綠液：係製漿程序所產出之黑液送回收鍋爐燃燒（見圖 3），底部熔漿溶解後因含有 Fe^{3+} 、 Fe^{2+} 使液體呈現綠色，在製漿造紙業俗稱綠液，如圖 4 所示。綠液的比重約為 1.05，含水率為 83.0 %，固含率為 17.0 %，由組成成分 XRF（見表 1）與 XRD（見圖 5）分析結果顯示，綠液主要成分為 Na_2CO_3 與 CaCO_3 。由於其含水率高達 83.0 %，

未來期望採用綠液取代拌合水。

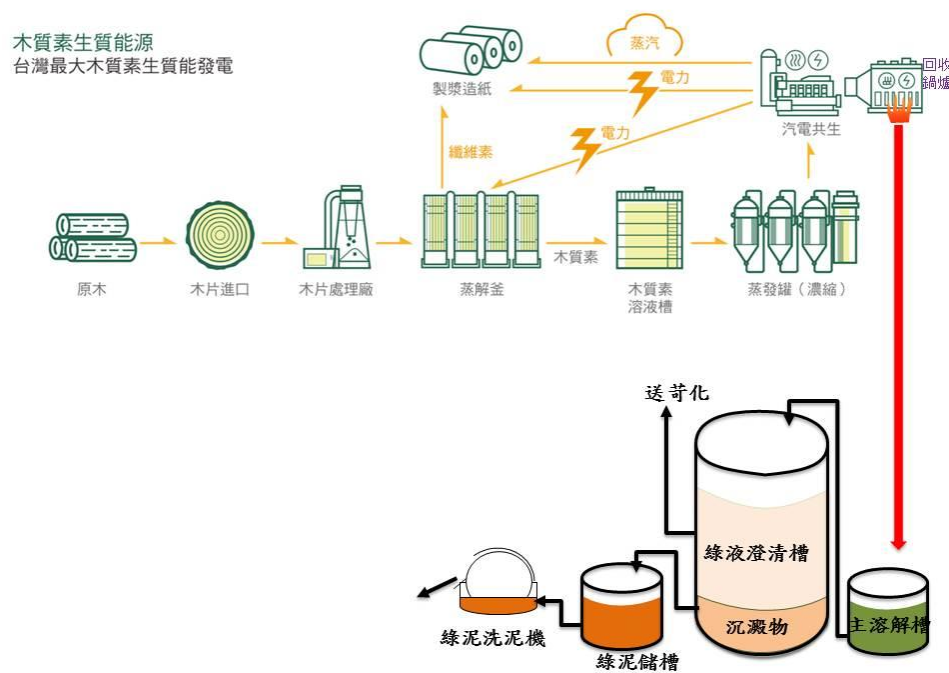


圖 3 綠液之產出製程



(a) 烘乾後



(b) 烘乾粉碎後

圖 4 綠液烘乾後照片

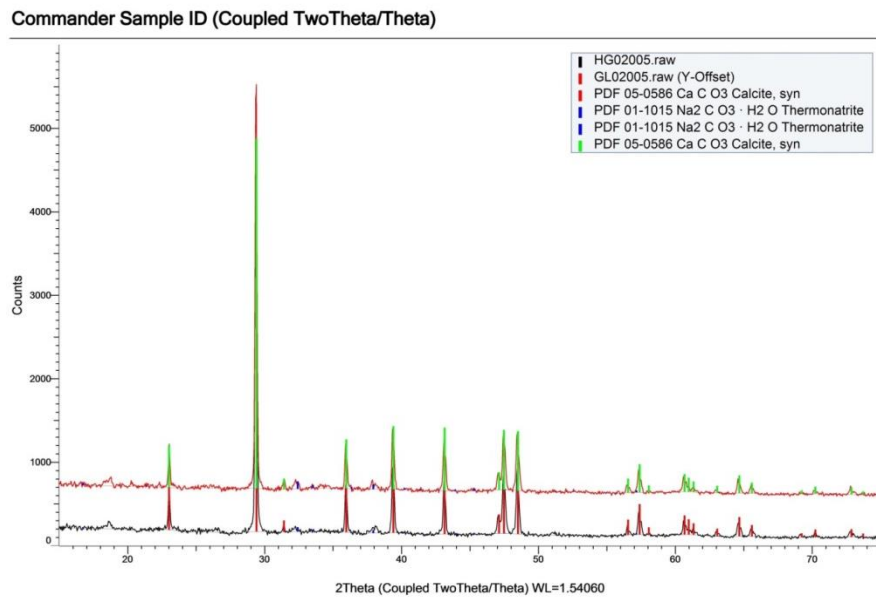


圖 5 綠泥 XRD 試驗結果

5. 綠泥：係由上述綠液添加白灰（ CaCO_3 ），再經板框壓濾脫水後（含水率約 50-55 %）所產出之紙廠無機副產物（見圖 6），目前華紙公司花蓮廠區堆置約 20 萬公噸。綠泥比重約為 2.44，由組成成分 XRF（見表 1）與 XRD（見圖 7）分析結果顯示，綠泥主要成分為 CaCO_3 。



(a) 壓濾後



(b) 烘乾後



(c) 烘乾破碎後

圖 6 綠泥照片

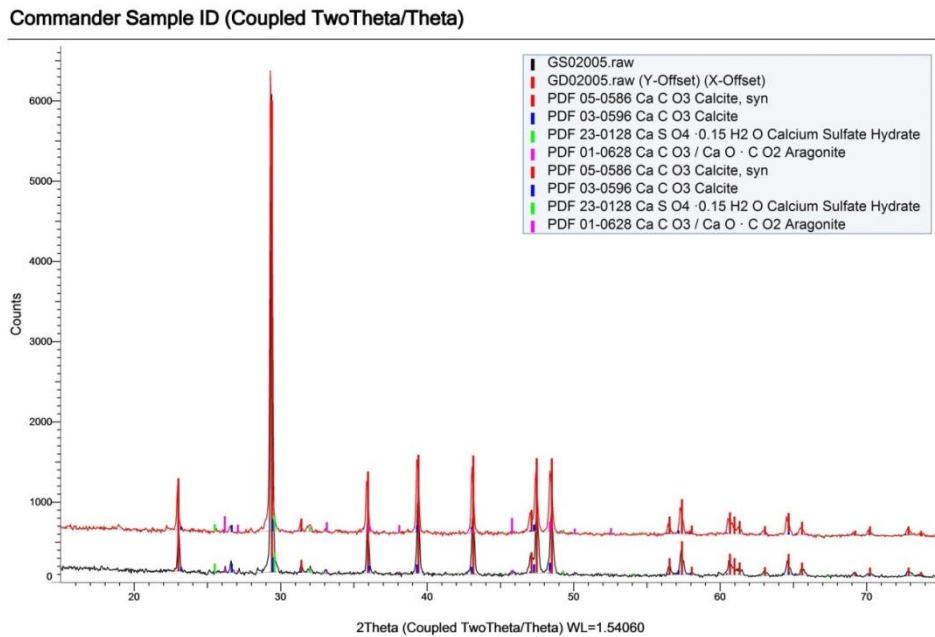


圖 7 綠泥 XRD 試驗結果

2-2 冷壓資源化造粒技術

冷壓資源化造粒技術乃基於材料基本原理（愈緻密其強度等相關性質愈佳）^[3]與複合材料^[4]的觀念，導入水泥化學及卜作嵐材料間互制特性^[5-7]，並依據再生資材的材料特性，藉以改善其界面性質，所開發出兼具低耗能、低 CO₂ 排放的資源化技術^[8]。此造粒方式係利用自行開發的壓錠造粒模具（見圖 8），經簡單的填料、擠壓造粒、退模等程序，即可成功完成冷壓型再生粒料造粒。本研究採用此法亦成功開發五種不同粒徑（24、18、12、8、5 mm）之冷壓型再生粗粒料，如圖 9 所示。



Step 1：填料



Step 2：安裝加壓杵



Step 3：擠壓造粒



Step 4：退模

圖8 冷壓資源化技術－「壓錠成型造粒法」造粒程序

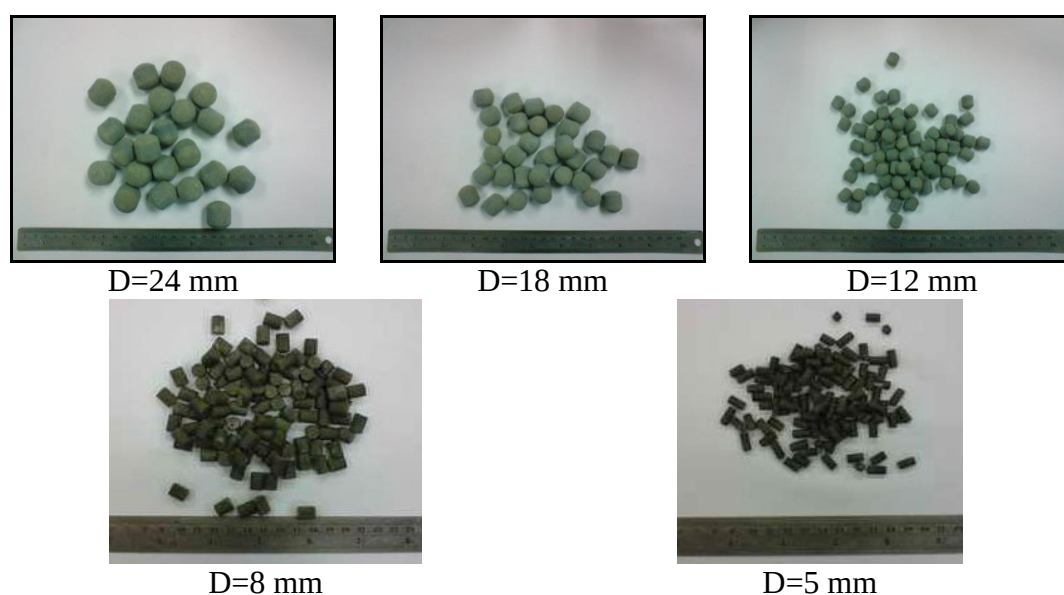


圖 9 不同粒徑之冷壓型再生粒料

2-3 配比設計

本研究造粒用之水泥系複合材料係依據緻密配比邏輯所設計^[9-10]，為避免過多的用水量影響再生粒料之體積穩定性與耐久性，並確保再生粒料的其他性能，故選定較低的水膠比（water-to-cementitious ratio, w/cm）為 0.20，另文獻^[11]研究結果指出，當再生資材鈣（CaO、CaCO₃）含量較高時，若水泥用量為 200 kg/m³時，將不利再生粗粒料的健度性能表現，因此本研究根據綠泥與飛灰組成成分，設計三種配比，如表 2 所示。

1. 水泥用量為 100 kg/m³，配比編號為 C100；
2. 水泥用量為 100 kg/m³，並採用綠液取代拌合水，配比編號為 C100_HG。
3. 水泥用量為 0 kg/m³，配比編號為 NC；

表 2 顯示紙廠無機副產物冷壓型再生粗粒料配比中，飛灰再加上綠泥將可達 90 % 以上，而綠建材評定基準^[12]中對混凝土粒料僅要求：「回收材料之比率如下：細粒料應佔 80 % 以上；粗粒料應佔 50 % 以上」，因此本研究可有效增加紙廠無機副產物再生資材之使用率。

表 2 紙廠無機副產物冷壓型再生粗粒料配比（kg/m³）

配比編號	水泥	飛灰	綠泥含水率調整			水+ SP
			造粒含水率	綠泥	綠泥含水量	
C100	100.00 (7.04%)	587.16 (41.31%)	25.0 %	734.13 (51.65%)	244.71	137.43
C100_HG	100.00 (7.04%)	587.16 (41.31%)	25.0 %	734.13 (51.65%)	244.71	綠液+ SP 143.75
NC	0.00 (0.00%)	610.68 (43.71%)	25.0 %	786.52 (56.29%)	262.17	122.14

註：（ ）中係指各組成固體材料之重量百分率

2-4 實驗項目

本研究所開發之紙廠無機副產物冷壓型再生粗粒料，將進行以下相關性質量測，以作為可行性評估之參據。紙廠無機副產物冷壓型再生粗粒料造粒完成後，將依據試驗變數與相關規範養護於 $23\pm 2.0^{\circ}\text{C}$ 的飽和石灰水中，除觀測其體積穩定性外，於齡期28天後，再根據相關規範進行下列性質測試：

1. 粗粒料之比重、吸水率試驗，依據CNS 488（於齡期28天後）。
2. 粗粒料之單顆粒抗壓強度試驗，參考CNS 1232（分別於齡期3、7、28、56、91、180天進行）。
3. 超音波波速量測，根據ASTM C597（分別於齡期3、7、28、56、91、180天進行）。為確認冷壓型再生粒料內部是否會因紙廠無機副產物（飛灰與綠泥）的膨脹作用而產生微裂縫，進而影響其整體性質，因此藉由超音波傳遞波速量測，以評估再生粒料內部是否因膨脹作用而產生微裂縫。
4. 熱壓膨脹試驗，參考CNS 1258（於齡期28天後）。利用高溫高壓環境，確認採用紙廠無機副產物（飛灰與綠泥）所開發冷壓型再生粗粒料之體積穩定性。

叁、結果與討論

3-1 造粒含水率

本研究採用壓錠成型造粒法進行紙廠無機副產物（飛灰與綠泥）造粒，其造粒應力與綠泥含水率之相互關係，影響冷壓型再生粗粒料性質甚鉅：因為造粒時，若綠泥含水率太低，則不易成型造粒，即使採用較高的造粒應力，於解壓過程，將因毛細孔隙吸水產生張力作用，使得冷壓型再生粗粒料產生裂縫；反之當造粒時，綠泥含水率過高，於造粒過程容易產生壓密排水現象（見圖10），所排出的水，將使再生粗粒料局部水膠比變高，而形成弱面，進而影響其相關性質。經相關測試，本研究建議使用紙廠無機副產物（飛灰與綠泥）製作冷壓型再生粗粒料之造粒應力為35 MPa；而相對之綠泥含水率為25.0 %。因此冷壓資源化技術對於含水分的資源材料可直接摻配使用，無須再經過烘乾程序（見表3）。表3中綠泥最大容許含水率係指將配比中的拌合用水量，當作綠泥含水量所計算求得。



圖 10 造粒應力與綠泥含水率測試

表 3 綠泥造粒與最大容許含水率

配比編號	造粒含水率 (%)	最大容許含水率 (%)
C100		34.13
C100-HG	25.00	25.00
NC		32.69

3-2 再生粗粒料基本性質

本研究採用紙廠無機副產物（飛灰與綠泥）所開發的冷壓型再生粗粒料，烘乾（OD）比重介於1.56-1.64；面乾內飽和（SSD）比重介於1.83-1.88；吸水率則介於12.04-18.53 %之間，如表4所示。其中NC（水泥用量為0 kg/m³），由於未使用水泥作為膠結材料，僅藉由紙廠無機副產物中綠泥與飛灰較差的水化反應，故無法像水泥用量為100 kg/m³的C100與C100_HG，具有較多的水化產物填塞粒料內部孔隙，導致其烘乾（OD）比重較低，而吸水率較高。

3-3 單顆粒抗壓強度

本研究參考CNS 1232，分別於齡期3、7、14、28、56、91、180天，進行冷壓型再生粗粒料單顆粒抗壓強度試驗，試驗結果如圖11所示。圖中顯示本研究採用冷壓資源化技術所開發之紙廠無機副產物冷壓型再生粗粒料，其單顆粒抗壓強度，均隨著齡期增長而成長，係由於其中添加大量卜作嵐材料（飛灰），配合卜作嵐反應，可轉換水泥水化產物Ca(OH)₂，形成較低密度之C-S-H膠體，藉以填塞內部孔隙，使其更緻密化，並改善其介面性質，進而使其單顆粒抗壓強度隨齡期的增長而持續提高。其中採用綠液取代拌合水的C100_HG單顆粒抗壓強度略高於C100，係由於綠液中主要成分為Na₂CO₃，低濃度的Na₂CO₃易與水泥水化時所釋出的Ca²⁺離子與水化產物Ca(OH)₂，反應生成CaCO₃沈澱，進而提升抗壓強度；惟當Na₂CO₃濃度太高時，水泥水化時所釋出的Ca²⁺離子與水化產物Ca(OH)₂，將大量反應生成CaCO₃沈澱，導致實際提供強度的C-S-H膠體反應生成不完全，進而影響抗壓強度的表現[13-14]。

表 4 紙廠無機副產物冷壓型再生粗粒料基本性質

配比編號	OD 比重	SSD 比重	吸水率 (%)
C100	1.64	1.83	12.04
C100-HG	1.61	1.88	16.84
NC	1.56	1.85	18.53

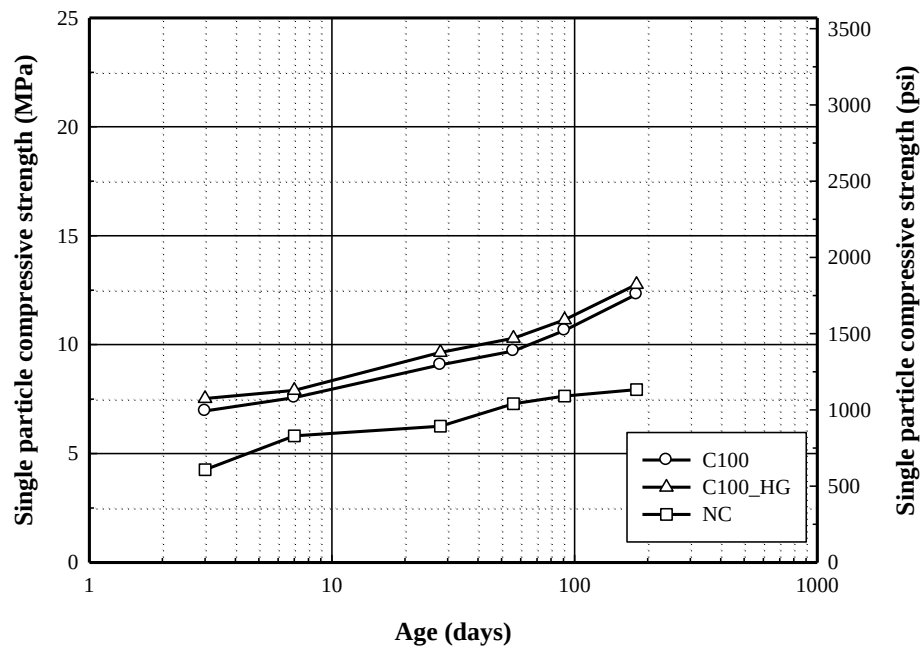


圖 11 紙廠無機副產物冷壓型再生粗粒料單顆粒抗壓強度成長關係圖

3-4 超音波波速量測

超音波波速量測係混凝土非破壞性檢測方法之一，而混凝土組成材料中對超音波速貢獻程度為粗骨材＞細骨材＞水泥漿體，孔隙與裂縫會降低超音波速，堆積越緻密，顆粒界面產生缺陷的機會越少，脈波傳遞路徑越短，超音波速也越快[15-16]。本研究採用冷壓資源化技術與紙廠無機副產物（飛灰與綠泥）所開發之再生粗粒料，其超音波於再生粗粒料中之傳遞速度亦隨著齡期增長而成長，如圖12所示。根據單顆粒抗壓強度與超音波波速試驗結果，可研判紙廠無機副產物冷壓型再生粗粒料，其內部應無因膨脹作用而產生微裂縫，進而影響其整體性質之情事。圖中亦顯示，紙廠無機副產物冷壓型再生粗粒料的超音波傳遞速度：C100_HG＞C100＞NC，主要影響因素同單顆粒抗壓強度，係與水泥水化反應有直接關係。

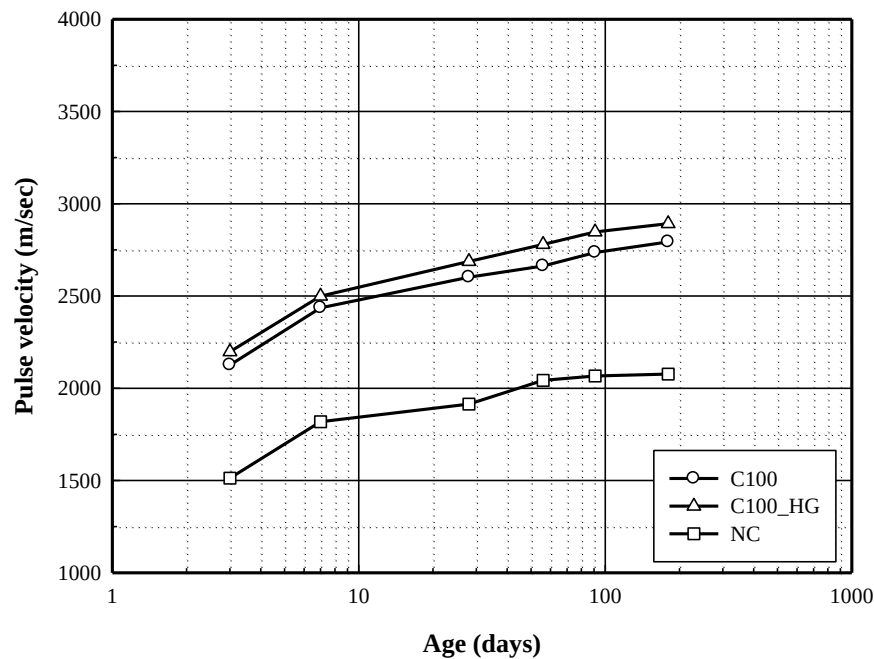


圖 12 紙廠無機副產物冷壓型再生粗粒料超音波波速成長關係圖

3-5 熱壓膨脹試驗

圖13為紙廠無機副產物冷壓型再生粗粒料熱壓膨脹試驗結果，圖中顯示無論是否使用水泥作為膠結材料，採用紙廠無機副產物（飛灰與綠泥）所開發的冷壓型再生粗粒料經熱壓膨脹試驗體積均無明顯變化，表5為紙廠無機副產物冷壓型再生粗粒料經熱壓膨脹試驗後長度與體積變化率，表中顯示其高度、直徑，甚至體積變化率均小於CNS 1258所規定的0.8 %，亦表示本研究採用冷壓資源化技術與紙廠無機副產物（飛灰與綠泥）所開發之再生粗粒料具備相當好的體積穩定性。

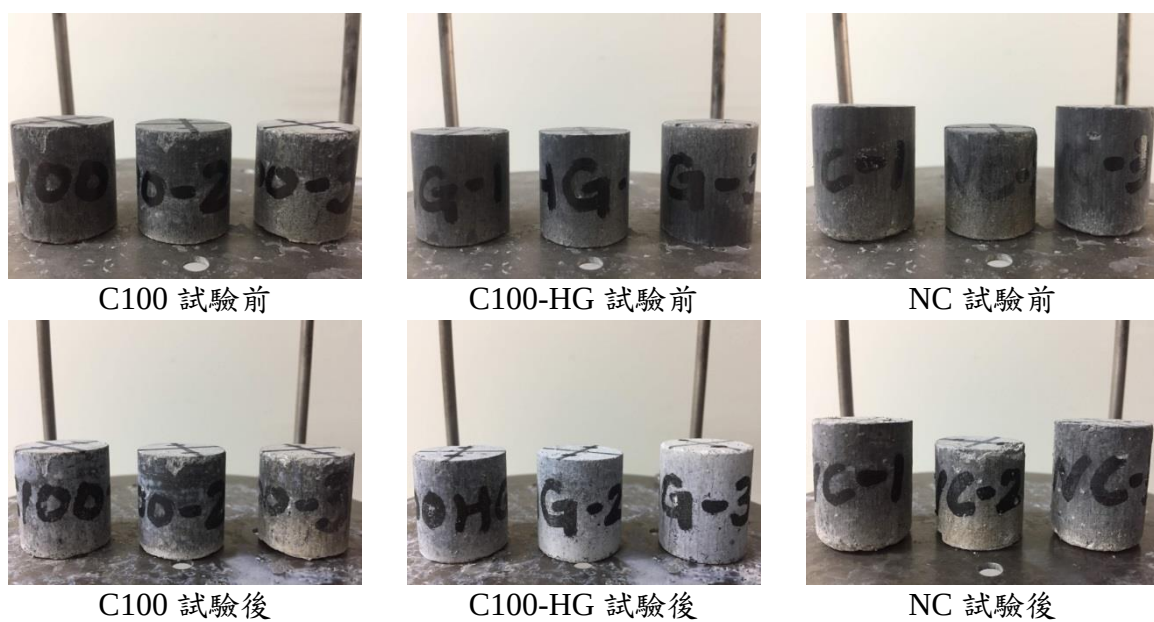


圖 13 紙廠無機副產物冷壓型再生粗粒料熱壓膨脹試驗結果

表 5 紙廠無機副產物冷壓型再生粗粒料熱壓膨脹試驗前後長度與體積變化率

配比編號：	試體1		試體2		試體3	
C100	高度	直徑	高度	直徑	高度	直徑
長度變化率 (%)	0.037	0.000	0.000	0.042	0.038	0.000
體積變化率 (%)	0.04		0.08		0.04	
配比編號：	試體1		試體2		試體3	
C100_HG	高度	直徑	高度	直徑	高度	直徑
長度變化率 (%)	0.074	0.250	0.036	0.125	0.034	0.125
體積變化率 (%)	0.57		0.29		0.28	
配比編號：	試體1		試體2		試體3	
NC	高度	直徑	高度	直徑	高度	直徑
長度變化率 (%)	0.287	0.207	0.309	0.207	0.289	0.208
體積變化率 (%)	0.70		0.73		0.71	

肆、結論與建議

1. 本研究採用冷壓資源化技術與紙廠無機副產物（飛灰與綠泥）所開發的再生粗粒料，其中飛灰再加上綠泥可達 90 % 以上，而綠建材評定基準中對混凝土粒料僅要求：「回收材料之比率如下：細粒料應佔 80 % 以上；粗粒料應佔 50 % 以上」，因此本研究可有效增加紙廠無機副產物再生資材之使用率。
2. 採用冷壓技術—壓錠成型造粒法資源化紙廠無機副產物（飛灰與綠泥）作為再生粗粒料，建議之造粒應力為 35 MPa；相對應之造粒含水率為 25.0 %，若將配比中的拌合用水量，當作綠泥含水量換算後，則綠泥最大容許含水率分別為 C100：34.13 %、C100_HG：25.00 %、NC：32.69 %。因此冷壓型資源化技術對於含水分的資源材料可直接摻配使用，無須再經過烘乾程序。
3. 根據單顆粒抗壓強度與超音波波速試驗結果，可研判本研究採用冷壓資源化技術所開發的紙廠無機副產物再生粗粒料，其內部應無因膨脹作用而產生微裂縫，進而影響其整體性質之情事。
4. 經熱壓膨脹試驗結果顯示，無論是否使用水泥作為膠結材料，採用紙廠無機副產物（飛灰與綠泥）所開發的冷壓型再生粗粒料經熱壓膨脹試驗體積均無明顯變化，其高度、直徑，甚至體積變化率均小於 CNS 1258 所規定的 0.8 %，亦表示本研究採用冷壓資源化技術與紙廠無機副產物（飛灰與綠泥）所開發之再生粗粒料具備相當好的體積穩定性。
5. 冷壓資源化技術同時兼備節能、減廢與資源再生等優點，符合再生綠建材精神，因此透過冷壓技術資源化紙廠無機副產物作為綠色建材（再生粗粒料）應是一合理可行的方式。

誌謝

本研究有幸獲得中華紙漿股份有限公司經費支持，並採用內政部建築研究所補助案 - 「再生綠建材開發與推廣應用計畫（一）（二）（三）」，與經濟部科技研究發展專案-學

研聯合研究計畫 98-EC-17-A-10-S2-0063 所開發的冷壓資源化技術，方便本研究得以順利完成，謹此致謝。

參考文獻

- [1] 中華紙漿股份有限公司(2017)：2017 永續報告書，台北。
- [2] 行政院(2009)：生態城市綠建築推動方案(修正案)核定本，台北。
- [3] Dowling, N. E. (1993): *Mechanical behavior of materials: engineering methods for deformation, fracture, and fatigue*, Englewood Cliffs, NJ.
- [4] Gibson, R. F. (1994): *Principles of composite material mechanics*, Detroit, Michigan.
- [5] Mindess, S. and J. F. Young (1981): *Concrete*, Englewood Cliffs, NJ.
- [6] Mehta, P. K. (1986): *Concrete-structure, properties and materials*, Englewood Cliffs, NJ.
- [7] 黃兆龍(2003)：混凝土性質與行為，台北。
- [8] Tsai, C. T. (2012): *Sintering of Ceramics - New Emerging Techniques*: Chapter 5 Cold-Bonding Technique – A New Approach to Recycle Innocuous Construction Residual Soil, Sludge, and Sediment as Coarse Aggregates, InTech, Rijeka, Croatia.
- [9] Tsai, C. T., L. S. Li, C. C. Chang, C. L. Hwang (2009): Durability design consideration and application of steel fiber reinforced concrete in Taiwan, *The Arabian Journal for Science and Engineering*, 34(1B), pp.57-79.
- [10] Tsai, C. T., G. T. C. Kung, C. L. Hwang (2010): Use of high performance concrete on rigid pavement construction for exclusive bus lanes, *Journal of Construction and Building Materials*, 24(5), pp.732-740.
- [11] Tsai, C. T., C. C. Chang, L. S. Li, and T. C. Kung (2012): Recycling lime sludge from CPDC An-Shun site as coarse aggregates through cold-bonding technique, *Advanced Materials Research*, 343-344, pp. 283-288.
- [12] 何明錦(2015)：綠建材解說與評估手冊 2015 年更新版，內政部建築研究所，台北。
- [13] 陳旭峰、陸純煊(1993)：鹼對硅酸鹽水泥水化硬化性能的影響，*硅酸鹽學報*，第二十一卷，第四期，第 301-308 頁。
- [14] 賈尚華、申向東、周麗萍、張鵬遠、溫永欽(2011)：碳酸鈉對水泥土強度的影響，*新型建築材料*，第五期，第 13-16 頁。
- [15] 黃兆龍、許桂銘(1991)：超音波在混凝土內傳遞行為及其應用，*建築學報*，第四期，第 83-99 頁。
- [16] 李隆盛、黃兆龍、張大鵬(1998)：由超音波速評估高性混凝土抗壓強度品質，*中國土木水利學刊*，第十卷，第四期，第 591-594 頁。

透過冷壓技術資源化紙廠無機副產物作為普通磚
Recycling Inorganic Papermaking By-products as Commons Bricks through
Cold-pressing Technique

蔡志達^{1*} 李昂軒² 施承瑋³ 戴佳雄³ 羅嚮盛⁴ 張祖恩⁵

Chih-Ta Tsai^{1*}, Ang-Hsuan Lee², Cheng-Wei Shih³

Chia-Hsiung Tai³, Hsiang-Sheng Lo⁴, Juu-En Chang⁵

1. 國立成功大學永續環境實驗所 副研究員

Associate Research Fellow, Sustainable Environment Research Laboratories,
National Cheng Kung University

2. 中華紙漿股份有限公司 專案經理

Project Manager, Chung Hwa Pulp Corporation

3. 中華紙漿股份有限公司 專業工程師

Professional Engineer, Chung Hwa Pulp Corporation

4. 中華紙漿股份有限公司 主任

Director, Chung Hwa Pulp Corporation

5. 國立成功大學環境工程學系 特聘教授

Distinguished Professor, Department of Environmental Engineering,
National Cheng Kung University

* Corresponding author: chihta.tsai@gmail.com

摘 要

永續發展為中華紙漿股份有限公司經營的最大公約數，其核心政策乃建構永續循環的管理系統，稱之為「R³」。以「3R 循環」為核心策略，努力尋求各種方法將漿紙產業生產製程中主要殘餘的有樹皮、木屑、水資源處理之無機、有機污泥等再生資材，透過回收再利用賦予它們嶄新價值。目前華紙公司主要無機副產物產出比例大致為綠泥：飛灰：底渣=7：6：1。本研究期望透過兼具低耗能、低 CO₂ 排放的冷壓資源化技術，將紙廠無機副產物資源化作為符合 CNS 382 性能要求的普通磚，其中製磚用之水泥系複合材料配比係依據緻密配比邏輯（Densified Mixture Design Algorithm, DMDA）設計，採用水膠比（w/cm）為 0.20，水泥用量為 200 kg/m³，選擇二種不同綠泥與飛灰混合料填充底渣的比例（β）=0.50 與 0.75。所開發之普通磚中綠泥、飛灰、底渣等紙廠無機副產物再生資材可達 85 % 以上，而綠建材評定基準中普通磚僅要求：「回收材料乾重比率 40 % 以上」。普通磚性能測試結果顯示，β=0.50 的普通磚，於齡期 7 天時即可滿足 CNS 382 中 2 種磚之性能要求，於齡期 180 天則可滿足 1 種磚之性能要求；β=0.75 的普通磚，於齡期 28 天時，抗壓強度可滿足 2 種磚，吸水率則可滿足 3 種磚之性能要求。另根據超音波波速量測結果，亦顯示本研究所開發之普通磚體積穩定性無虞，因此透過冷壓技術資源化紙廠無機副產物作為普通磚，不僅可有效增加紙廠無機副產物再利用之多樣性，亦可提高紙廠無機副產物經濟價值，符合再生綠建材的精神。

關鍵詞：永續循環、冷壓技術、紙廠無機副產物、普通磚、再生綠建材

壹、前言

華紙公司深耕台灣漿紙產業已逾50年，為國內造紙產業之龍頭，為因應近年來全球經濟市場環境急遽變化：華紙公司不僅一方面以科技技術呈現跳躍式的變革和發展，另一方面導入資源循環再生的觀念，以改變以往線性的經濟思維，驅動循環經濟的發展^[1]。永續發展為華紙公司經營的最大公約數，其核心政策乃建構永續循環的管理系統，稱之為「R³」。以「3R循環」為核心策略（Recycle、Reclaim、Regenerate），積極努力達成林、漿、紙一貫化生產，承諾環境友善發展，積極引進生物技術及化學改質技術，加強環保製漿、提升能源效率及廢棄物資源化，致力達到零廢棄物排放的綠色目標，開創「垂直整合、綠色環保、技術加值」造紙業新紀元。期許未來在全球的產業結構中，華紙公司能成為深化自我定位，建構服務串流平台，秉持「ECO」經營理念持續與利害關係人溝通，一步一腳印實踐新的循環經濟藍圖。為減少資源浪費與維護社區環境，努力尋求各種方法，將這些漿紙產業生產製程中主要殘餘的樹皮、木屑、水資源處理之無機污泥、有機污泥等餘料資源，透過回收再利用賦予它們嶄新價值。不僅可降低成本或回收邊際利益，同時可以提供環保材料，開發創新產品，致力達到零廢棄物排放的綠色目標，使人們的生活可以更環保。

為達成零廢棄物排放的綠色目標，華紙公司期望透過冷壓技術進行紙廠無機副產物綜合資源化研究，其中一項係「透過冷壓技術資源化紙廠無機副產物作為普通磚」，目前華紙公司之紙廠無機副產物主要為：綠泥、飛灰與底渣，其產出量比例大致為綠泥：飛灰：底渣=7：6：1。因此本研究目標係透過兼具低耗能、低CO₂排放的冷壓資源化技術，將紙廠無機副產物資源化作為符合CNS 382性能要求的普通磚（詳表1），不僅可有效增加紙廠無機副產物再利用之多樣性，亦可提高紙廠無機副產物經濟價值，符合再生綠建材的精神。

表1 CNS 382普通磚的性能要求

	1種磚	2種磚	3種磚
吸水率 (%)	10以下	13以下	15以下
抗壓強度 MPa (kgf/cm ²)	30.0 (300)以上	20.0 (200)以上	15.0 (150)以上

貳、實驗方法

2-1 實驗材料

- 1.水泥：為台灣水泥公司所生產之第I型卜特蘭水泥，其性質符合CNS 61第I型卜特蘭水泥的規格，水泥於購入當日即以不透水塑膠袋密封，防止水氣侵入使水泥硬化。
- 2.強塑劑：本研究採用羧酸系列之高性能減水劑，係購自優積企業有限公司，其物化性質均符合相關CNS與ASTM規範要求。
- 3.紙廠無機副產物：

(a)綠泥：係製漿程序所產出之黑液送回收鍋爐燃燒（見圖1），底部熔漿溶解後因含有Fe³⁺、Fe²⁺使液體呈現綠色，在製漿造紙業俗稱綠液，綠液添加白灰

(CaCO_3)，再經板框壓濾脫水後（含水率約 50-55 %）所產出之紙廠無機副產物（見圖 2），目前華紙公司花蓮廠區堆置約 20 萬公噸，為增加綠泥使用率，本研究中綠泥同時扮演二種角色，除當作填充材與飛灰填塞底碴的空隙外，亦視為膠結材取代部分水泥。綠泥比重約為 2.44，由組成成分 XRF（見表 2）與 XRD（見圖 3-(a)）分析結果顯示，綠泥主要成分為 CaCO_3 。

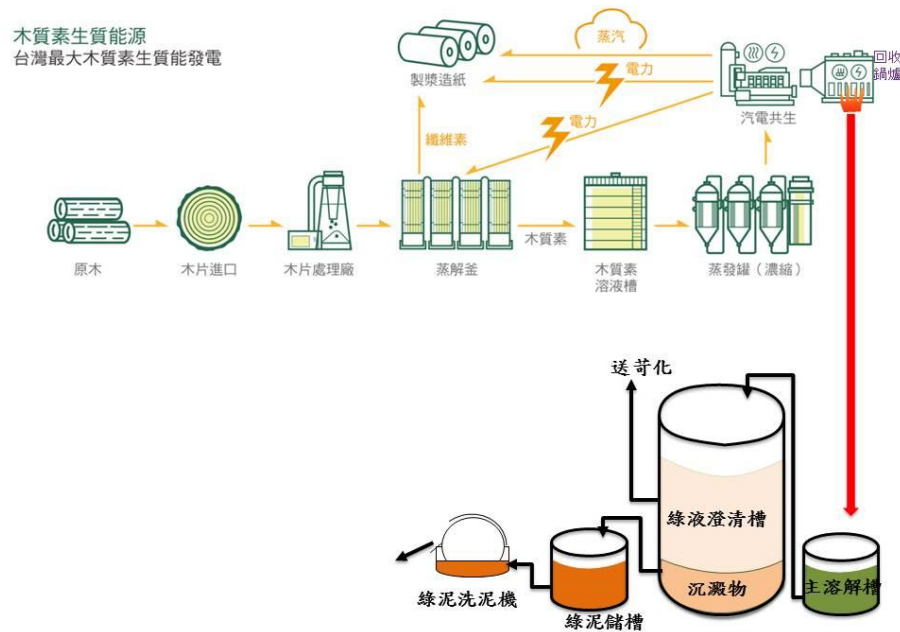


圖 1 綠液之產出製程



(a) 壓濾後



(b) 烘乾後



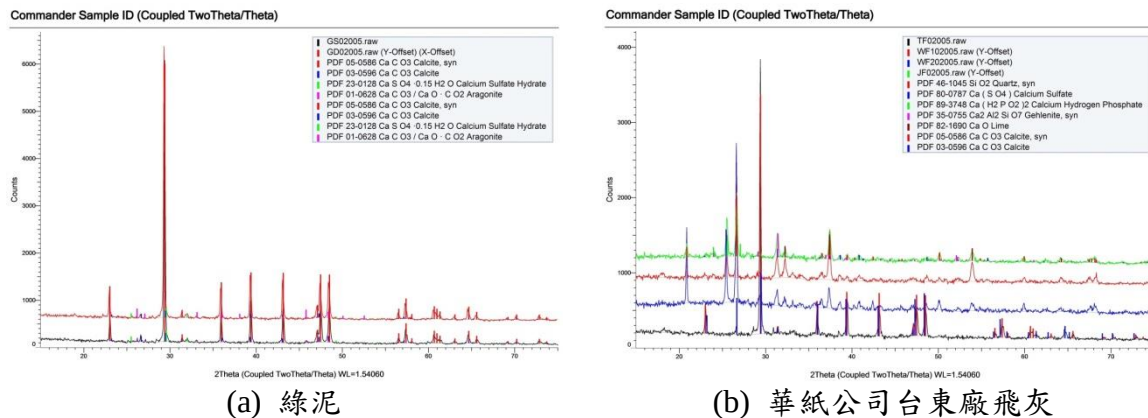
(c) 烘乾破碎後

圖 2 綠泥照片

表 2 紙廠無機副產物 XRF 分析結果

元素	綠泥	飛灰	底碴	元素	綠泥	飛灰	底碴	元素	綠泥	飛灰	底碴
Mg	46042	ND	ND	Fe	9700	30153	36979	Nb	ND	8	10
Al	2173	45041	25236	Co	ND	ND	558	Mo	ND	ND	ND
Si	8965	28049	46441	Ni	ND	ND	ND	Ag	ND	ND	ND
P	2909	1512	1571	Cu	ND	309	190	Cd	ND	ND	ND
S	4218	2942	5555	Zn	118	647	325	Sn	ND	34	35
Cl	ND	5037	5545	As	ND	53	ND	Sb	ND	ND	ND
Ca	348440	297551	176980	Se	ND	ND	ND	Ba	364	782	474
Ti	ND	ND	5252	Rb	ND	22	46	Ce	392	ND	ND
V	ND	ND	ND	Sr	891	286	275	W	ND	ND	ND
Cr	ND	ND	ND	Y	ND	ND	21	Hg	ND	ND	ND
Mn	ND	ND	ND	Zr	ND	355	122	Pb	ND	53	ND

註：元素濃度(PPM)



(a) 綠泥

(b) 華紙公司台東廠飛灰

圖 3 華紙公司綠泥與台東廠飛灰 XRD 分析結果

(b)飛灰：採用華紙公司台東廠流體化床鍋爐所衍生之無機副產物，為配合減少燃燒生煤，並以廢棄物衍生燃料作為替代燃料的政策，該流體化床鍋爐混燒一般事業廢棄物取代部分煤作為燃料，因此所衍生之飛灰係屬混燒煤灰，如圖 4 所示。其比重約為 2.31，由組成成分 XRF（見表 2）與 XRD（見圖 3-(b)）分析結果顯示，飛灰主要成分為 CaO 、 SiO_2 ，及 CaCO_3 。



(a) 烘乾前



(b) 烘乾後

圖 4 華紙公司台東廠飛灰照片

(c)底碴：係華紙公司台東廠流體化床鍋爐所衍生之無機副產物（見圖 5），其比重約為 2.62，吸水率為 7.28 %，粒徑分佈符合 CNS 1240 之規定，如圖 6-(a)所示。由組成成分 XRF（見表 2）與 XRD（見圖 6-(b)）分析結果顯示，底碴組成成分則較為複雜，主要成分為 SiO_2 。

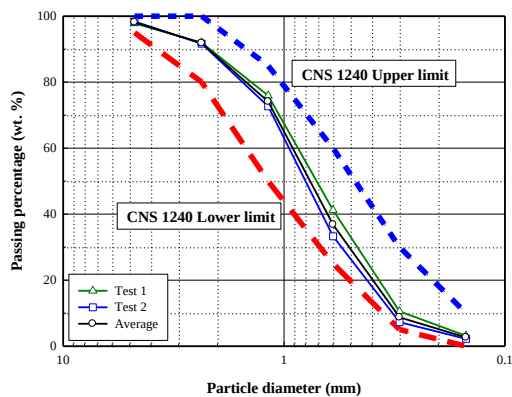


(a) 烘乾前

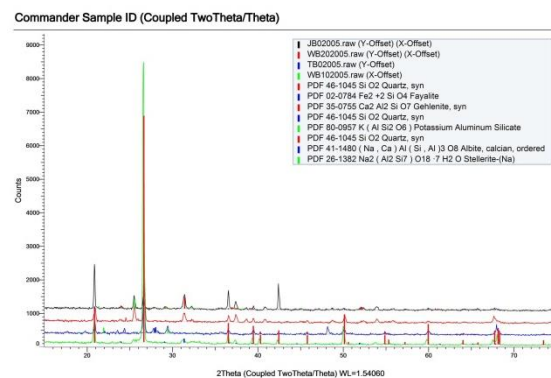


(b) 烘乾後

圖 5 華紙公司台東廠底碴照片



(a) 級配曲線



(b) XRD 分析結果

圖 6 華紙公司台東廠底碴級配曲線與 XRD 分析結果

2-2 冷壓資源化製磚技術

本研究採用內政部建築研究所補助計畫所開發成功的冷壓資源化製磚技術^[2]，冷壓資源化技術^[3]乃基於材料基本原理（愈緻密其強度等相關性質愈佳）^[4]與複合材料^[5]的觀念，導入水泥化學及卜作嵐材料間互制特性^[6-8]，並依據再生資材的材料特性，藉以改善其界面性質，所開發出兼具低耗能、低 CO_2 排放的資源化技術。此製磚方式係利用自行開發的冷壓型製磚模具（見圖 7），經簡單的填料、加壓成型、退模等程序，即可成功完成冷壓型砌塊、普通磚，或高壓地磚製作，如圖 8 所示。



底模



外模



加壓模

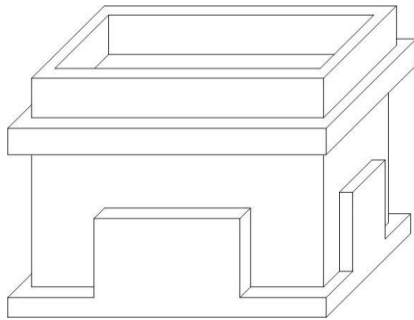


圖 7 冷壓型製磚模具



Step 1：填料



Step 2：安裝加壓模



Step 3：加壓成型



Step 4：退模

圖 8 冷壓資源化技術製磚程序

2-3 配比設計

本研究製作紙廠無機副產物冷壓型普通磚所使用之水泥系複合材料，係依據緻密配比邏輯（Densified Mixture Design Algorithm, DMDA）所設計^[9-10]，為避免過多的用水量影響冷壓型普通磚之體積穩定性與耐久性，並確保普通磚的其他性能，故選定較低的水膠比（water-to-cementitious ratio, w/cm）為 0.20；再考量水泥化學與紙廠無機副產物組成成分間互制特性，水泥用量設定為 200 kg/m³，並選擇二種不同綠泥與飛灰混合料填

塞底渣的比例 (β) = 0.50 與 0.75，如公式(1)所示。

$$\beta = \frac{W_{\text{綠泥}} + W_{\text{飛灰}}}{(W_{\text{綠泥}} + W_{\text{飛灰}}) + W_{\text{底渣}}} \text{-----式 (1)}$$

表 3 為本研究製作紙廠無機副產物冷壓型普通磚所使用之水泥系複合材料配比，表 3 中顯示，本研究採用紙廠無機副產物與冷壓資源化技術，所開發之普通磚中使用超過 85 % 的紙廠無機副產物再生資材（綠泥、飛灰，及底渣），而綠建材評定基準^[11]中對普通磚僅要求：「回收材料乾重比率 40 % 以上」。因此本研究可有效增加紙廠無機副產物再生資材之使用率。

表 3 紙廠無機副產物冷壓型普通磚配比 (kg/m³)

配比編號	水泥	飛灰	綠泥含水率調整			底渣	水+SP
			最適含水率	綠泥	綠泥含水量		
$\beta=0.50$	200.00 (11.76 %)	495.06 (29.12 %)	35.0 %	179.89 (10.58 %)	96.86	825.10 (48.53 %)	156.15
$\beta=0.75$	200.00 (13.37 %)	682.61 (45.63 %)	35.0 %	233.99 (15.64 %)	125.99	379.23 (25.35 %)	193.66

註：() 中係指各組成固體材料之重量百分率

2-4 實驗項目

紙廠無機副產物冷壓型普通磚壓製完成後，將依據試驗變數與相關規範養護於23±2.0℃的飽和石灰水中，除觀測其體積穩定性外，再根據相關規範進行下列性質測試：

- 普通磚吸水率試驗，依據CNS 382（分別於齡期3、7、28、56、91、180天進行）。
- 普通磚抗壓強度試驗，依據CNS 382（分別於齡期3、7、28、56、91、180天進行）。
- 普通磚超音波波速量測，根據ASTM C597（分別於齡期3、7、28、56、91、180天進行）。為確認普通磚內部是否因紙廠無機副產物（綠泥、飛灰，或底渣）的膨脹作用而產生微裂縫，進而影響其整體性質，因此藉由超音波傳遞波速量測，以評估普通磚內部是否因膨脹作用而產生微裂縫。
- 模廠試壓。

叁、結果與討論

3-1 最適含水率探討

本研究所採用之紙廠無機副產物，其中僅綠泥為具含水份的再生資材，且綠泥的顆粒較細，總表面積遠大於一般混凝土使用之天然粒料，故所需水量亦遠高於天然粒料。而製作冷壓型砌塊、普通磚，或高壓地磚時，母材最適含水率考慮之因素包含：再生資材種類、強塑劑性能及加壓成型方式等。而本研究採用冷壓資源化技術製作紙廠無機副產物普通磚，其成型應力與綠泥含水率之相互關係，影響冷壓型普通磚性質甚鉅：因為

普通磚加壓成型時，若綠泥含水率太低，則不易成型，即使採用較高的成型應力，於解壓過程，將因毛細孔隙吸水產生張力作用，使得普通磚產生裂縫；反之當加壓成型時，若綠泥含水率過高，於加壓成型過程容易產生壓密排水現象^[12]，所排出的水，將使普通磚局部水膠比（w/cm）或水灰比（w/c）變高，而形成弱面，進而影響其相關性質，故須進行加壓成型最適含水率之探討。為配合華紙公司試驗模廠既有之製磚設備，其固定的成型應力為12.5 MPa，經相關測試（見圖9），綠泥之最適含水率為35.0 %。因此冷壓資源化技術對於含水分的再生資材可直接摻配使用，無須再經過烘乾程序（見表4）。表4中綠泥最大容許含水率係指將配比中的拌合用水量，當作綠泥含水量所計算求得。

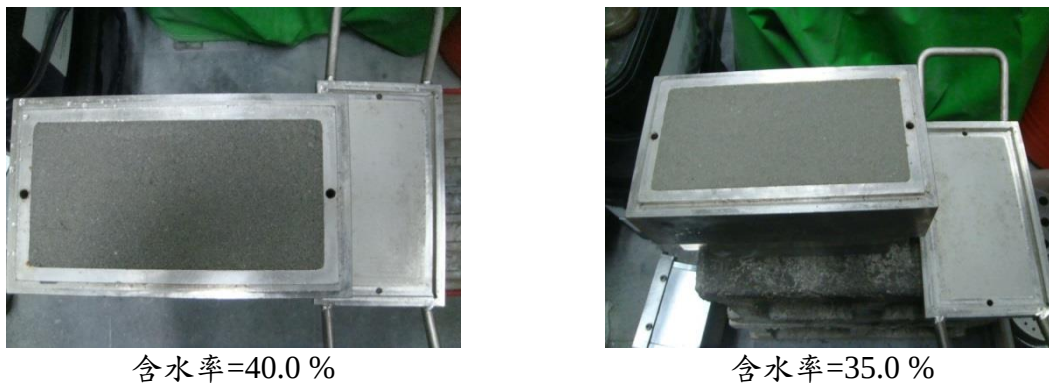


圖 9 綠泥最適含水率測試

表 4 綠泥最適與最大容許含水率

配比編號	最適含水率 (%)	最大容許含水率 (%)
$\beta=0.50$	35.00	58.32
$\beta=0.75$		57.69

3-2 普通磚吸水率

本研究依據CNS 382，分別於齡期3、7、28、56、91、180天進行紙廠無機副產物冷壓型普通磚吸水率試驗，試驗結果如圖10所示。圖10顯示，本研究採用冷壓資源化技術所製作之紙廠無機副產物普通磚，吸水率隨齡期的增長而持續下降，係由於其中添加大量卜作嵐材料（飛灰），配合卜作嵐反應，可轉換水泥水化產物 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ，形成較低密度之C-S-H膠體，藉以填塞內部孔隙，使其更緻密化，並改善其介面性質^[6-8]所致。其中

$\beta=0.50$ 的普通磚，於齡期7天時，吸水率即可符合CNS 382中2種磚，於齡期180天則可滿足1種磚；而 $\beta=0.75$ 的普通磚，於齡期28天時，吸水率亦可符合3種磚之性能要求。

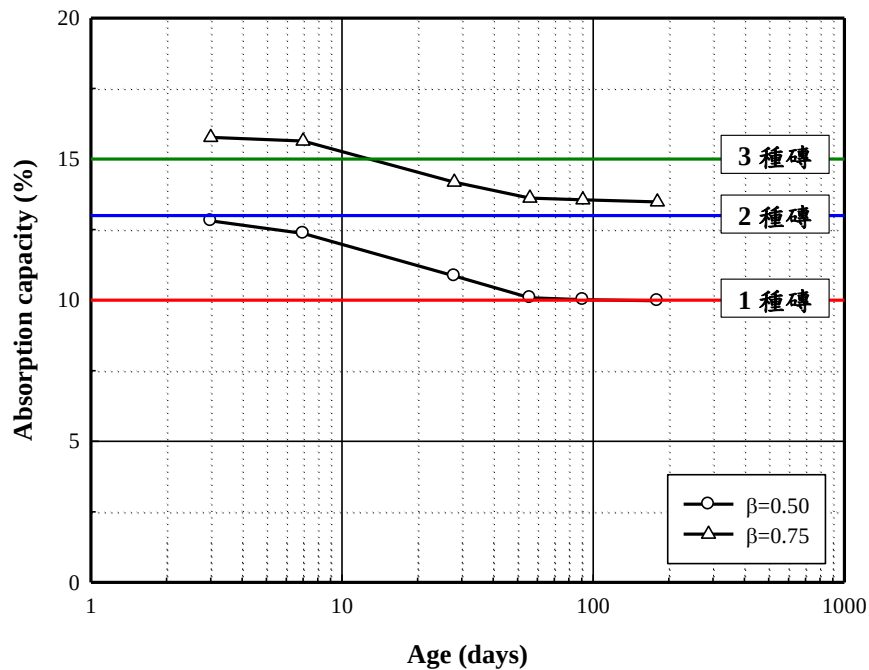


圖 10 齡期與紙廠無機副產物冷壓型普通磚吸水率關係圖

3-3 普通磚抗壓強度

本研究依據CNS 382，分別於齡期3、7、28、56、91、180天進行紙廠無機副產物冷壓型普通磚抗壓強度試驗，試驗結果如圖11所示。圖11顯示於齡期3天時， $\beta=0.50$ 與 0.75 的冷壓型普通磚，抗壓強度即可符合CNS 382中3種磚性能要求； $\beta=0.50$ 普通磚的抗壓強度分別於齡期7與91天，可滿足CNS 382中2種與1種磚之性能要求；而 $\beta=0.75$ 的普通磚，則分別於齡期28與180天，抗壓強度可滿足2種磚與1種磚之性能要求。另由於紙廠無機副產物冷壓型普通磚中添加大量卜作嵐材料（飛灰），配合卜作嵐反應，可轉換水泥水化產物 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ，形成較低密度之C-S-H膠體，藉以填塞內部孔隙，使其更緻密化，並改善其介面性質^[6-8]，進而使得冷壓型普通磚抗壓強度隨齡期的增長而持續成長。由此亦可研判，本研究採用紙廠無機副產物所製作之冷壓型普通磚，其內部應無因膨脹作用而產生微裂縫，進而影響其抗壓強度之情事發生。

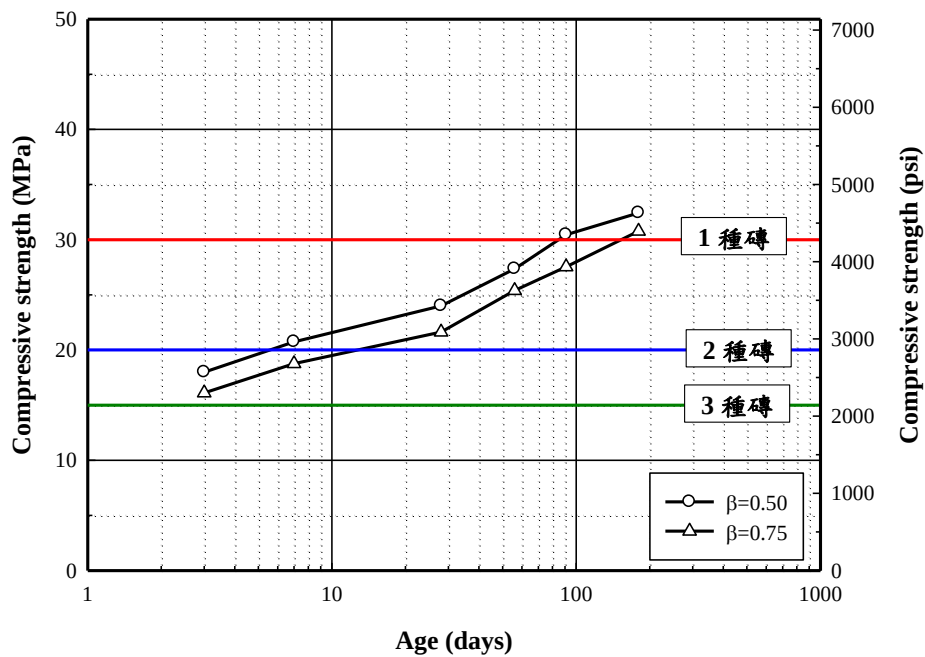


圖 11 紙廠無機副產物冷壓型普通磚抗壓強度成長關係圖

3-4 超音波波速量測

超音波波速量測係混凝土非破壞性檢測方法之一，而混凝土組成材料中對超音波速貢獻程度為粗骨材>細骨材>水泥漿體，孔隙與裂縫會降低超音波速，堆積越緻密，顆粒界面產生缺陷的機會越少，脈波傳遞路徑越短，超音波速也越快^[13-14]。為確認紙廠無機副產物冷壓型普通磚內部是否因膨脹作用而產生微裂縫，進而影響其整體性質，因此本研究根據ASTM C597進行冷壓型普通磚超音波波速量測。圖12為紙廠無機副產物冷壓型普通磚超音波波速成長關係圖，圖中顯示 $\beta=0.50$ 普通磚的超音波波速明顯高於 $\beta=0.75$ ，係由於 $\beta=0.50$ 普通磚中底渣含量較高，而底渣可視為細骨材，其超音波速貢獻程度優於屬粉體材料的綠泥與飛灰。另其超音波波速均隨著齡期增長而持續成長，此乃由於卜作嵐反應使紙廠無機副產物冷壓型普通磚更緻密化，並改善其介面性質，進而使其超音波傳遞速度持續成長。根據抗壓強度與超音波波速試驗結果，可研判本研究採用冷壓資源化技術與紙廠無機副產物所開發的普通磚，其內部應無因膨脹作用而產生微裂縫，進而影響其整體性質之情事發生。

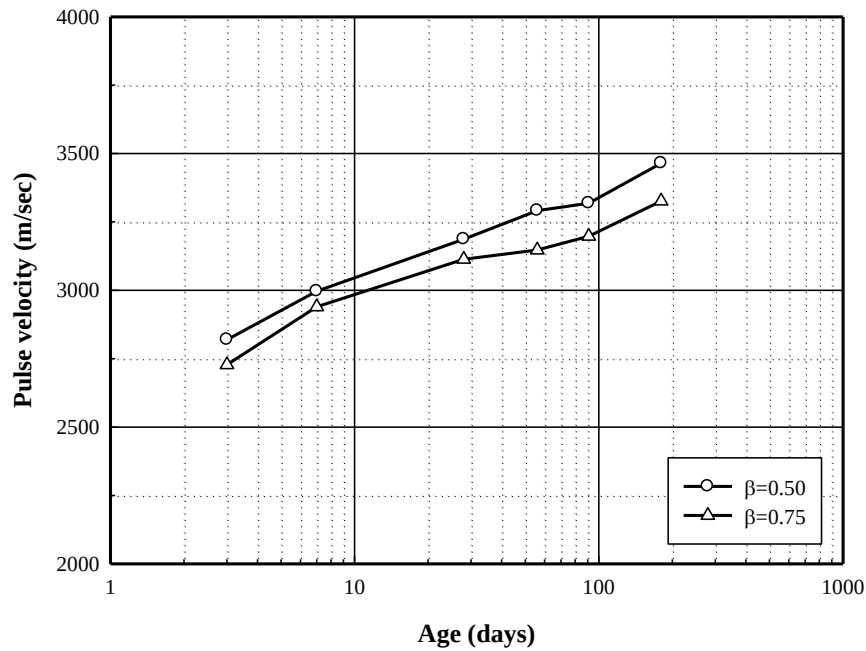


圖 12 紙廠無機副產物冷壓型普通磚超音波波速成長關係圖

3-5 模廠試壓

本研究採用冷壓資源化技術與紙廠無機副產物所製作的普通磚，相關性能於實驗室測試完成，並符合CNS 382規範要求後，多次前往華紙公司花蓮廠所設置的試驗模廠（見圖13），實際使用其製磚設備進行紙廠無機副產物冷壓型普通磚模廠試壓，以確認配比的可行性與重現性，並收集相關參數，作為日後實廠設置之參據。模廠試壓前須根據實際紙廠無機副產物含水率進行配比修正，再進行冷壓型普通磚模廠試壓，模廠試壓結果，如圖14所示。圖中顯示，本研究所設計的紙廠無機副產物冷壓型普通磚配比（詳表3）具高度可行性與重現性，且其相關性能符合CNS 382規範要求。



圖 13 華紙公司花蓮廠試驗模廠照片

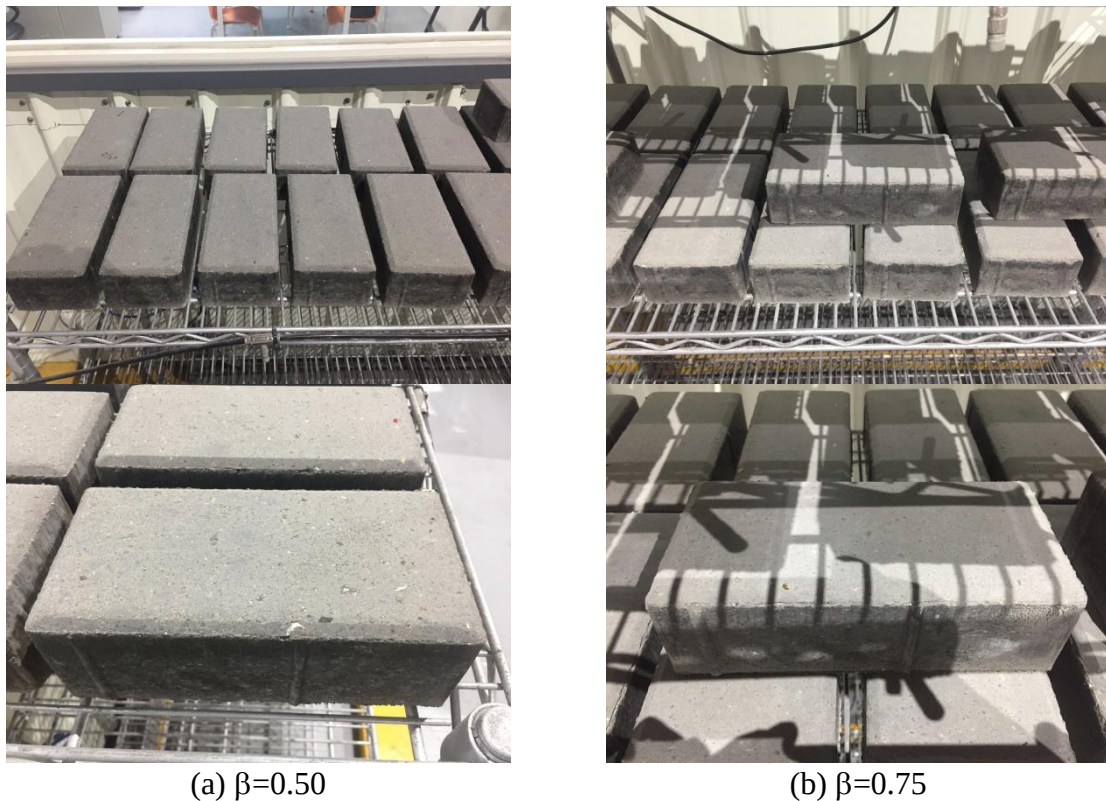


圖 14 模廠試壓紙廠無機副產物冷壓型普通磚照片

肆、結論與建議

6. 為增加紙廠無機副產物-綠泥的使用率，本研究中綠泥同時扮演二種角色，除當作填充材與飛灰填塞底碴的空隙外，亦視為膠結材取代部分水泥
7. 本研究採用紙廠無機副產物與冷壓資源化技術，所開發之普通磚中使用超過 85 % 的紙廠無機副產物再生資材（綠泥、飛灰，及底碴），而綠建材評定基準中對普通磚僅要求：「回收材料乾重比率 40 % 以上」。因此本研究可有效增加紙廠無機副產物再生資材之使用率。
8. 配合華紙公司試驗模廠既有之製磚設備，其固定的成型應力為 12.5 MPa，經相關測試，綠泥之最適含水率為 35.0 %。若將配比中的拌合用水量，當作綠泥含水量換算後，則綠泥最大容許含水率分別為 $\beta=0.50$ ：58.32 %、 $\beta=0.75$ ：57.69 %。因此冷壓型資源化技術對於含水分的資源材料可直接摻配使用，無須再經過烘乾程序。
9. 紙廠無機副產物冷壓型普通磚性能測試結果顯示， $\beta=0.50$ 的普通磚，於齡期 7 天時即可符合 CNS 382 中 2 種磚之性能要求，於齡期 180 天則可滿足 1 種磚；而 $\beta=0.75$ 的普通磚，於齡期 28 天時，抗壓強度可滿足 2 種磚，吸水率則可滿足 3 種磚之性能要求。
10. 模廠試壓結果顯示，本研究所設計的紙廠無機副產物冷壓型普通磚配比，具高度可行性與重現性，且冷壓型普通磚相關性能符合 CNS 382 規範要求。

誌 謝

本研究有幸獲得中華紙漿股份有限公司經費支持，並採用內政部建築研究所補助案-「再生綠建材開發與推廣應用計畫（一）（二）（三）」，與經濟部科技研究發展專案-學研聯合研究計畫 98-EC-17-A-10-S2-0063 所開發的冷壓資源化技術，方使本研究得以順利完成，謹此致謝。

參考文獻

- [17] 中華紙漿股份有限公司(2017)：2017 永續報告書，台北。
- [18] 張祖恩、陳文卿、蔡志達等人(2011)：建築廢棄物再生循環技術開發與推廣應用計畫，內政部建築研究所補助計畫成果報告，台北。
- [19] Tsai, C. T. (2012): *Sintering of Ceramics - New Emerging Techniques*: Chapter 5 Cold-Bonding Technique – A New Approach to Recycle Innocuous Construction Residual Soil, Sludge, and Sediment as Coarse Aggregates, InTech, Rijeka, Croatia.
- [20] Dowling, N. E. (1993): *Mechanical behavior of materials: engineering methods for deformation, fracture, and fatigue*, Englewood Cliffs, NJ.
- [21] Gibson, R. F. (1994): *Principles of composite material mechanics*, Detroit, Michigan.
- [22] Mindess, S. and J. F. Young (1981): *Concrete*, Englewood Cliffs, NJ.
- [23] Mehta, P. K. (1986): *Concrete-structure, properties and materials*, Englewood Cliffs, NJ.
- [24] 黃兆龍(2003)：混凝土性質與行為，台北。
- [25] Tsai, C. T., L. S. Li, C. C. Chang, C. L. Hwang (2009): Durability design consideration and application of steel fiber reinforced concrete in Taiwan, *The Arabian Journal for Science and Engineering*, 34(1B), pp.57-79.
- [26] Tsai, C. T., G. T. C. Kung, C. L. Hwang (2010): Use of high performance concrete on rigid pavement construction for exclusive bus lanes, *Journal of Construction and Building Materials*, 24(5), pp.732-740.
- [27] 何明錦(2015)：綠建材解說與評估手冊 2015 年更新版，內政部建築研究所，台北。
- [28] Holitz, R. D. and W. D. Kovacs (1986): *An introduction to geotechnical engineering*, New York.
- [29] 黃兆龍、許桂銘(1991)：超音波在混凝土內傳遞行為及其應用，*建築學報*，第四期，第 83-99 頁。
- [30] 李隆盛、黃兆龍、張大鵬(1998)：由超音波速評估高性混凝土抗壓強度品質，*中國土木水利學刊*，第十卷，第四期，第 591-594 頁。

國小教師對目前電力供應現況之認知及廢核行為意向調查—以彰化市為例
Elementary School Teachers Perception of the Current Status of the Power Supply and
Nuclear Abolition Behavioral Intentions Survey- A Case Study in Changhua City

吳照雄^{1*} 陳惠緣²

Chao-Hsiung Wu¹, Huey-Yuan Chen²

1 大葉大學環境工程學系 教授

Professor, Department of Environmental Engineering, Da-Yeh University

2 大葉大學環境工程學系碩士班 學生

Student, Graduate Program, Department of Environmental Engineering, Da-Yeh University

* Corresponding author: chwu@mail.dyu.edu.tw

摘 要

本研究的主要目的在探討彰化市國小教師之電力供應與核能發電知識、廢核態度及節能行為，分析不同的個人背景變項對其影響，以期提出具體且可行之建議，供日後辦理電力與核能教育及未來研究之參考。本研究採問卷調查方式，並以描述性統計、獨立樣本 t 檢定、單因子變異數、Pearson 積差相關等統計方法來進行分析。

研究結果顯示：(1) 在核能立場方面，彰化市國小教師有 74.6% 贊成逐步減核，有 73.2% 反對核四啟用。(2) 性別、科系、研習經驗在電力供應認知上皆達顯著差異。男性教師優於女性教師；理工農醫科系畢業者優於其他科系；有相關研習經驗者優於未參加過相關研習者。(3) 性別、研習經驗在廢核態度上有顯著差異。研究顯示女性教師比男性教師認同廢核；沒有相關研習經驗之教師比有相關研習經驗之教師認同廢核。(4) 教師畢業科系在節能行為達顯著差異，「理工農醫」科系之教師優於「其他」科系之教師，「藝文體育」科系之教師優於「其他」科系之教師。(5) 彰化市國小教師在廢核態度與節能行為之間有顯著正相關，顯示廢核態度得分高之教師，其節能行為表現也愈積極。

關鍵詞： 電力供應、廢核態度、節能行為、問卷調查

壹、前言

核能一直是大家爭議的話題，從西元 1957 年第一座核能發電廠開始商轉，到目前為止共發生三次的重大核災事故，有美國的三哩島事件，烏克蘭的車諾比事件，到 2011 年 3 月 11 日的福島核災事故，截至今日，日本福島核災已屆滿四年，但它的影響仍未過去，受創的核電廠至今仍然不斷釋放出強烈的輻射線，而要取出熔掉的核廢料更是艱困，根據東電的廢爐時程表，要廢掉一到四號機，預估要花 40 年，而福島縣目前有 8 萬核災難民，依舊住在收容所，無家可歸。而除污清出的輻射塵土，光是福島一個縣，輻射垃圾就高達 2200 萬立方公尺，相當 18 個東京巨蛋，對日本而言，核災像一條無止盡的道路。而台灣在地理條件方面和日本極為相像，同樣位於地震帶，同為島國，有地震與海嘯風險，地小人稠的台灣，核一廠和核二廠距離臺北市直線距離在三十公里以內，而周邊人口高達五百萬人，只要有任一座核電廠發生輻射外洩，就有上百萬人得在第一時間疏散或撤離，若發生反應爐熔毀事件，將有數百萬人無家可歸，這樣的後果，恐怕是大家承受不起的[1]。

2014 年三月，全台各地進行反核大遊行，主張核四不完工、不續建，讓已爭議三十年的核四安全問題，再次成為眾所矚目的焦點。面對這樣的反核氛圍，讓我想探究彰化市國小教師目前對核能的態度是反核四，還是反核能，不管是擁核還是反核，對目前台灣核能使用情況是否了解，其了解程度是否和反核態度與節能行為是否具有相關性。

曹書豪[2]研究台北縣國小教師對核能之認知與態度，發現男性教師在認知優於女性教師，態度亦比較正向；「31~40 歲」之教師在認知方面優於「30 歲以下」之教師；年資「6~10 年」之教師在認知上明顯優於其他年資之教師、「理、工、農、醫」科系畢業的教師在核能態度上較其他科系畢業的教師正向。

莊淵源[3]研究桃園縣國小教師對「核能發電」環境議題之認知與態度，發現「理、工、農、醫」科系畢業之國小教師核能發電知識得分明顯高於「藝文、體育」科系畢業的教師；而在核能態度方面，發現「30 歲以下」之教師核能發電態度明顯比「50 歲以上」之教師正向，「理、工、農、醫」科系畢業的教師核能態度得分明顯高於「其他」科系畢業的教師。

陳美秀[4]研究屏東縣國小教師能源認知、使用態度與行為中發現，51 歲以上之教師在能源使用行為上優於「30 歲以下」及「31~40 歲」之教師；「21 年以上」教學年資之教師優於「5 年以下」及「6~10 年」之教師；不同職務及不同研習次數在能源使用行為上皆達顯著差異。

依據教育部統計處，102 學年度彰化市國民小學共有 16 所，編制內的正式教師共 989 人[5]。本研究之研究結果與建議，可作為教師、學校、政府相關單位及後續研究者進行核能教育或相關研討之參考。

貳、研究方法

本研究希望藉由問卷調查與統計分析法，來探討彰化市國小教師對電力供應與核能的了解程度及其對廢核抱持的態度和願意為達成廢核之目的在節能行為的配合度。以下介紹問卷架構、研究對象、研究流程、研究工具。

一、問卷架構

為了瞭解目前彰化市國小教師之電力供應與核能認知及對廢核抱持之態度與節能行為的配合度，並對其認知與廢核態度和節能行為之相關性做深入的探討，本研究問卷架構包括四個部分：1.教師個人背景資料。2.電力供應認知。3.廢核態度。4.節能行為和核能立場抉擇。

二、研究對象

本研究以 102 學年度彰化市國民小學編制內的正式教師為本研究之母群體。依據母群體之大小，運用統計學之簡單隨機抽樣原理來取樣，假設抽樣誤差不大於 5%，即信賴區間為 95% 之條件下，其抽樣參考大小為 285 人，但因考慮無效問卷、回收率等問題，因此以八成回收率估算樣本大小，將問卷總數提高到 356 份。

三、研究流程

本研究方向與研究對象大致確定後，即著手蒐集相關文獻、確定本研究之理論基礎與研究架構，而後參考國內外文獻資料，再據以編製問卷，以便針對彰化市國小教師進行抽樣調查。本研究主要採用問卷調查法，經由專家審核、修正，作為預試問卷，並進行預試分析，再修訂以成為正式問卷。正式問卷施測後以 SPSS 軟體進行次數分配表、百分比、平均數、標準差、獨立樣本 t 檢定、單因子變異數分析、Tukey 事後比較、Pearson(皮爾遜)積差相關檢定等統計分析，最後再根據上述分析結果做出結論。

四、研究工具

本研究所用之「國小教師對目前電力供應現況之認知及廢核行為意向」以彰化市為例問卷初稿」主要參考曹書豪[2]、莊淵源[3]、鄭文蕙[6]、楊國良[7]等相關論文及問卷，再參考蒐集之文獻，並與指導教授討論後，編訂而成。問卷內容分為「教師個人背景資料」、「電力供應與核能認知」、「廢核態度」、「節能行為」等四個部分。背景變項包含性別、年齡、畢業科系所、任教年資、研習經驗、任教領域是否含自然與生活科技六項。電力供應與核能認知量表內容分為能源認知、供電現況、核能知識及核廢處理四個面向，採選擇題型式，每題有三個選項，其中一個為正確選項，每題答對給一分，答錯不給分，受試者在問卷上之總得分表現即為電力供應與核能相關知識之總得分，得分愈高，表示所具備的知識愈豐富。廢核態度態度量表分為能源開發、核能風險、供電情況及核能態度四個面向，採李克特(Likert)式五點量表設計，正向題非常同意給予 5 分，同意給予 4 分，無意見給予 3 分，不同意給予 2 分，非常不同意給予 1 分，反向題則反之。受試者在廢核態度所得總分愈高表示態度愈正向積極。節能行為量表分為節能行為、節能設施及生活品質三個面向，採李克特(Likert)式五點量表設計，正向題非常同意給予 5 分，同意給予 4 分，無意見給予 3 分，不同意給予 2 分，非常不同意給予 1 分，受試者在節能行為所得總分愈高表示節能行為愈正向積極。核能立場內容含四個選項，受試者勾選最貼近自己對核能與核四看法的選項，藉以分析不同核能立場的受試者所佔的百分比。

信度是指根據測驗工具所得到之結果的一致性或穩定性，一份信度係數較佳之量表或問卷，其總量表的信度係數最好在 0.80 以上，如果在 0.7 至 0.8 之間，還算可以接受的範圍；如果是分量表，其信度係數最好在 0.7 以上，如果在 0.6 至 0.7 之間，還可以接受使用[8]。

本研究問卷經 Cronbach's α 信度考驗結果，「電力供應與核能認知分量表」之信度係數為 0.699，趨近 0.7，接近信度佳；「廢核態度分量表」之信度係數為 0.693，趨近 0.7，接近信度佳；「節能行為分量表」之信度係數為 0.728，屬信度佳；總體分析之總量表為 0.783，所以本預試問卷符合自編測驗信度於 0.6 至 0.8 之間，內部一致性屬可以接受，趨近信度佳。

本研究問卷回收經整理後，以 SPSS 軟體為分析工具，進行次數分配表、百分比、平均數、標準差、獨立樣本 t 檢定、單因子變異數分析、Tukey 事後比較、Pearson(皮爾遜)積差相關檢定等統計分析，用以瞭解目前彰化市國小教師背景變項對電力供應認知與廢核態度和節能行為之影響，並對其認知與態度及行為之相關性做深入的探討。

叁、結果與討論

本研究旨在瞭解目前彰化市國小教師背景變項對電力供應與核能認知、廢核態度和節能行為之影響，並對其認知與態度及行為之相關性做深入的探討，以作為教師、學校行政、政府相關單位及日後辦理電力或核能相關研習時之參考。以下介紹本研究結果。

一、問卷預試結果及正式施測

電力供應與核能認知量表為 35 題、廢核態度量表為 20 題，節能行為量表為 11 題，本研究預計發出 65 份為預試樣本數，以進行難度、鑑別度及信度分析。

電力供應與核能認知量表問卷利用 SPSS 統計軟體進行分析後，保留難度介於 0.2~0.8 和鑑別度大於 0.3 之題數共 20 題；廢核態度量表問卷，保留臨界比值 t 大於 3 之題數共 16 題；節能行為量表問卷所有題目皆符合臨界比值 t 大於 3，故全數保留共 11 題。經預試修正後之正式問卷內容分別包括「教師個人背景資料」、「電力供應與核能認知量表」、「廢核態度量表」及「節能行為量表及核能立場抉擇」等四個部分，此四部份問卷內容分別如表 1、表 2、表 3、表 4 所示。

表 1. 教師個人背景資料

題號、題目
1. 性別： ☐ 男 ☐ 女
2. 年齡： ☐ 21 歲~30 歲 ☐ 31 歲~40 歲 ☐ 41 歲~50 歲 ☐ 51 歲以上
3. 畢業科系所： ☐ 文、法、商 ☐ 理、工、農、醫 ☐ 藝文、體育 ☐ 其他()
4. 服務年資： ☐ 5 年以下 ☐ 6 年~10 年 ☐ 11 年~20 年 ☐ 21 年以上
5. 是否參加過核能或電力方面的相關研習活動： ☐ 是 ☐ 否
6. 任教領域中是否含自然與生活科技： ☐ 是 ☐ 否

表 2.電力供應與核能認知量表

題號、題目
1. 【 】 台灣目前的主要供電來源是？(1) 核能 (2) 火力發電 (3) 水力發電。
2. 【 】 下列哪一種能源不是低碳能源 (1) 核能 (2) 燃煤和天然氣 (3) 風力和太陽能。
3. 【 】 下列哪一種發電方式，會加劇地球暖化？(1) 風力發電 (2) 火力發電 (3) 核能。
4. 【 】 核能廢料分為高階和低階兩種，使用過的核燃料棒屬於高階核廢料，目前主要貯存在 (1) 原核電廠 (2) 運送到國外處理 (3) 蘭嶼。
5. 【 】 台灣目前核能發電量約占全部供電量的 (1) 三分之一 (2) 五分之一 (3) 二分之一。
6. 【 】 截至目前為止，台灣共有幾座核電廠在商轉中？(1) 1 座 (2) 2 座 (3) 3 座。
7. 【 】 台灣的核能發電廠，是以哪一種方式來獲得發電所需的能源？(1) 核融合 (2) 核分裂 (3) 核水解。
8. 【 】 下列哪一種發電方式所產生的二氧化碳最少？(1) 燃煤發電 (2) 天然氣發電 (3) 核能發電。
9. 【 】 蘭嶼貯存場於 1996 年貯滿十萬桶核廢料後便不再接收，請問蘭嶼所貯存的核廢料是屬於 (1) 高階核廢料 (2) 高階和低階都有 (3) 低階核廢料。
10. 【 】 目前政府對核能四廠的暫定決議是 (1) 封存、停工 (2) 不續建、不封存 (3) 完工後啟用。
11. 【 】 台灣能源短缺，大部分的能源都倚賴 (1) 國外進口 (2) 再生能源 (3) 國內現有能源。
12. 【 】 過去三年，日本幾乎暫停全數的核電廠，推行節電並耗費大量經費採購何種能源？(1) 天然氣 (2) 燃煤 (3) 燃油。
13. 【 】 以 2013 年台灣電力發電量中所占比例最高的是？(1) 燃煤 (2) 燃氣 (3) 燃油。
14. 【 】 核能一廠於西元 1978 年 12 月正式商轉，若不延役，應於運轉幾年後除役？(1) 40 年 (2) 50 年 (3) 60 年。
15. 【 】 下列哪一個國家沒有興建核能電廠而且是全球第三大鈾礦出口國？(1) 美國 (2) 德國 (3) 澳洲。
16. 【 】 核能四廠（龍門核電廠）位於哪一個縣市？(1) 基隆市 (2) 新北市 (3) 桃園縣，若完工，主要是提供北部用電。
17. 【 】 下列哪一種非再生能源較便宜，而且蘊藏量豐富，以全球目前消費量計算，可再供人類使用一百年左右，但造成的空氣汙染最嚴重？(1) 石油 (2) 煤炭 (3) 天然氣。
18. 【 】 早在 1981 年，中央政府因能源危機，曾在宜蘭清水設置國內首座的 (1) 生質能 (2) 潮汐 (3) 地熱發電廠，但因發電效率低，於 1993 年關廠。
19. 【 】 根據 2012 年國際能源總署的統計，台灣平均每人每年用電量，在主要國家中，是第二高，只比哪一個國家低？(1) 美國 (2) 日本 (3) 德國。
20. 【 】 根據台電（我國用過核子燃料最終處置初步技術可行性評估）台灣目前最適合「深埋」高階核廢料的岩石種類是 (1) 花崗岩 (2) 頁岩 (3) 石灰岩。

表 3. 廢核態度量表

題號、題目	非常同意	同意	無意見	不同意	非常不同意
1. 我認為核四不啟用，台灣不會有電力不足的問題。	5	4	3	2	1
2. 我認為台灣地狹人稠，不適合使用核電。	5	4	3	2	1
3. 日本震後，使我更擔心台灣會發生類似的核能災害。	5	4	3	2	1
4. 我認為核能發電潛在風險極高。	5	4	3	2	1
5. 我認為只要做到全民節能和家家戶戶使用太陽能板，就能達成廢核的目的。	5	4	3	2	1
6. 我認為核能佔供應電能的比例並不高，廢核是可行的。	5	4	3	2	1
7. 我認為核能電廠的工程品質令人擔憂。	5	4	3	2	1
8. 我認為使用核能發電會有輻射外洩或爆炸等問題。	5	4	3	2	1
9. 我贊成核四封存。	5	4	3	2	1
10. 即使廢核可能阻礙經濟發展，我仍堅持反對核能。	5	4	3	2	1
11. 我支持新能源的開發。	5	4	3	2	1
12. 我認為即使沒有使用核能，台灣目前的電力供應仍是足夠的。	5	4	3	2	1
13. 我認為只要政府積極開發替代能源，逐步減核是可行。	5	4	3	2	1
14. 核能是低碳能源，我贊成使用核能。	5	4	3	2	1
15. 我認為核四應完工啟用。	5	4	3	2	1
16. 我認為政府對再生能源的開發不夠積極。	5	4	3	2	1

表 4. 節能行為量表

題號、題目	非常同意	同意	無意見	不同意	非常不同意
1. 我願意使用 LED 燈泡來取代傳統燈泡。	5	4	3	2	1
2. 我願意調漲電費，以達成廢核之目的。	5	4	3	2	1
3. 在炎熱的夏天，我願意少使用冷氣和電風扇。	5	4	3	2	1
4. 使用冷氣時，我願意調高一、二度，以達到節能的目的。	5	4	3	2	1
5. 我願意加裝太陽能光電板，來供應自家之用電。	5	4	3	2	1
6. 我願意少使用一、兩個燈泡，來減少用電量。	5	4	3	2	1
7. 如有需要，我願意讓風力發電廠設立在我住的鄉鎮。	5	4	3	2	1
8. 暫時不使用的電器，我會拔掉電器插頭。	5	4	3	2	1
9. 我願意使用有節能標章之家電用品。	5	4	3	2	1
10. 如有供電不足的情形時，我願意配合政府的分區限電措施。	5	4	3	2	1
11. 我願意積極參與低碳社區計畫。	5	4	3	2	1
12. 對核能抱持之立場： ☐ 我贊成使用核能和啟用核四。 ☐ 我反對核四，但贊成安全的核電。 ☐ 我贊成核四封存並逐步減核。 ☐ 我贊成啟用核四，老舊的核電廠如期除役，以達到逐步減核。	5	4	3	2	1

二、正式問卷回收情形

本研究發出問卷 356 份，回收 301 份，回收率 85%，有效卷 287 份，無效問卷 14 份，有效樣本率 82%。

三、國小教師對電力供應與核能認知結果分析

(一) 整體認知方面不盡理想，仍有加強空間，總量表答對率為 61.2%，以「核能認知」

面向的認知程度最高，再來依序為「能源認知」、「供電現況」、「核廢處理」等面向，「核廢處理」得答對率僅 44%，推測其原因，應是教師對核廢料有高階與低階區分的概念不是很清楚，且誤以為蘭嶼為所有核廢料處置場。

- (二) 教師對電力供應與核能的認知結果如下：性別、科系、研習經驗在電力供應認知上皆達顯著差異。研究結果顯示男性教師優於女性教師；理工農醫科系畢業者優於其他科系；有相關研習經驗者優於未參加過相關研習者。年齡、任教年資及任教領域在電力供應認知則未達顯著。

四、國小教師廢核態度結果分析

- (一) 整體問卷填答情形大多抱持廢核態度，平均數達 3.87，以「能源開發」面向的認同度最高，可見教師迫切希望能開發新能源來取代核能。再來依序為「核能風險」、「核能態度」、「供電情況」等面向。
- (二) 教師的廢核態度結果分析如下：性別、研習經驗在廢核態度上有顯著差異。研究顯示女性教師較男性教師認同廢核；沒有相關研習經驗之教師比有相關研習經驗之教師認同廢核。年齡、科系、任教年資、任教領域在廢核態度則皆未達顯著。

五、國小教師節能行為結果分析

- (一) 整體問卷顯示教師在節能方面積極正向，平均數達 4.13，以「節能設施」面向的認同度最高，可見教師在節能電器的使用上意願極高，再來依序為「節能行為」、「生活品質」等面向，但對於調漲電費以達成廢核目的之意願最低，平均數只有 3.54。
- (二) 教師的節能行為結果分析如下：科系在節能行為達顯著差異，「理工農醫」科系之教師優於「其他」科系之教師，「藝文體育」科系之教師優於「其他」科系之教師。性別、年齡、任教年資、相關研習、任教領域在節能行為皆未達顯著差異。

表 5. 教師對核能抱持立場一覽表

選項	內容	人數	百分比(%)	排序
1	我贊成使用核能和啟用核四	9	3.1	4
2	我反對核四，但贊成安全的核能	64	22.3	3
3	我贊成核四封存並逐步減核	146	50.9	1
4	我贊成啟用核四，老舊的核電廠如期除役，以達到逐步減核	68	23.7	2

六、教師之廢核態度與節能行為之相關性

彰化市國小教師在廢核態度與節能行為量表各面向間之 Pearson 積差相關分析中，廢核態度的四個面向及全量表和節能行為的三個向度及全量表都呈高度正相關，此結果與陳美秀[9]能源使用態度與能源使用行為之間達顯著正相關相符。即表示彰化市國小教師愈認同廢核，在節能行為方面愈正向積極。

七、小結

在電力供應認知方面，彰化市國小教師普遍表現不盡理想，在四個向度中，尤其以對目前核廢料的貯存方式了解程度較不足，仍有加強空間。在廢核態度方面，彰化市國小教師對核能安全大多抱持懷疑的態度，普遍抱持廢核的看法，並希望能積極開發新能源。在節能行為方面，彰化國小教師普遍正向積極，但比較不願意降低既有的生活水平

來節能，接受電費調漲的意願亦較低。在對核能抱持立場之分析有 74.6%之國小教師贊成逐步減核，25.4%之教師認同使用核能；有 73.2%反對使用核四。

性別、科系、研習經驗在電力供應認知上皆達顯著差異。研究結果顯示男性教師優於女性教師；理工農醫科系畢業者優於其他科系；有相關研習經驗者優於未參加過相關研習者。性別、研習經驗在廢核態度上有顯著差異。研究顯示女性教師較男性教師認同廢核；沒有相關研習經驗之教師比有相關研習經驗之教師認同廢核。從上述兩項結果可推論對電力與核能愈瞭解之教師，其廢核態度愈不積極。科系在節能行為達顯著差異，「理工農醫」科系之教師優於「其他」科系之教師，「藝文體育」科系之教師優於「其他」科系之教師。國小教師廢核態度與節能行為之間有顯著正相關，顯示廢核態度得分高之教師，其節能行為表現也愈積極。

肆、結 論

綜合上述各項研究成果，本研究獲得之結論如下：

- 一、教師方面：由本研究之資料分析發現，彰化市國小教師在電力供應認知得分偏低，尤其在核廢料處理方面，所以教師應多充實電力供應方面之相關知識，並多參加相關之研習活動或課程，在課堂上給學生基本之電力現況與核能知識，並讓學生正視節能概念之重要性，畢竟核能的爭議短時間內仍無法解決，我們的下一代即可能仍需面對核能之抉擇與核廢料處理之困境。
- 二、學校方面：由本研究之資料分析發現，相關研習可增進教師對電力供應之認知，故學校可利用週三下午研習時間，多舉辦電力或核能相關之研習或研討會，亦可安排教師參觀發電廠，了解各種電廠運作情形，並多鼓勵教師於寒、暑假期間自我進修；除此之外，網路資源相當多元，可藉由各相關機構之網站，對電力能源有進一步之認識。另外，核能議題不應視為異端，應積極將其納入環境推廣教育之範疇，進而藉由社區推廣教育，讓大眾對電力與核能有更多的認識。
- 三、政府方面：在面對反核聲浪高漲的社會氛圍，政府有義務針對目前核能爭議、核廢料處理與可能面對的供電困境做清楚明白之說明，並著重電力能源知識之宣導，讓大眾對電力能源有更進一步的了解，做明智之抉擇，而本研究之資料分析發現，有電力或核能相關研習經驗者雖認同廢核，但積極度不如未參加過研習者，可見對電力與核能了解較多者，在廢核態度上較不那麼激進，故政府相關單位可多舉辦電力與核能研習，架設網站提供線上學習或進一步提供有獎徵答，激發民眾之求知慾，讓民眾對核能有更多的了解，或許可稍緩目前之反核聲浪。
- 四、相關研究方面：(1) 目前國小六年級自然課程中，包含發電方式之相關課程，建議後續研究者可針對國小六年級學童進行電力供應方面量化或質性之教學研究，以增進學童對電力能源之了解，且目前關於這方面的研究近乎闕如。(2) 本研究限於時間、人力、物力等因素，僅以彰化市國小教師為研究對象，亦可

擴及民眾或其他縣市之教師，以了解彰化市教師和其他研究對象是否有差異存在，讓結果更具代表性。(3) 本研究方法是採問卷調查方式，其問卷的深度與廣度有其限制，建議後續研究者可採晤談或觀察等方式，增加質性之研究，使研究者更能深入了解研究對象對核能之看法與反應，讓研究結果更具事實和完整性。(4) 核能問題懸而未決，政府政策亦可能有所轉變，應蒐集相關新資訊，讓問卷內容更貼近當時之現況。而研究者在問卷施測期間，教師們多有問卷稍嫌艱深之感觸，故如何讓問卷更趨完善，值得後續研究者深入探究。

參考文獻

1. 賴建宇 (2014)，全球最可怕的三座核電廠，台灣有兩座，天下雜誌雙週刊，474，引自 http://www.cw.com.tw/article/article_Loginaction?id=5013181&login=false&page=1
2. 曹書豪 (2005)，台北縣國民國小教師對和能認知與態度之研究，臺北市立師範學院科學教育研究所碩士論文，台北。
3. 莊淵源 (2011)，桃園縣國民小學教師環境認知、環境態度及環境議題抉擇之研究—以「核能發電」為例，國立新竹教育大學在職進修科學教育教學碩士班碩士論文，新竹。
4. 陳美秀 (2009)，屏東縣國小教師能源認知、使用態度與行為之研究，大仁科技大學環境管理研究所碩士學位論文，屏東。
5. 教育部統計處 (2014)，學校基本資料，引自 <http://www.edu.tw/pages/detail.aspx?Node=3752&Page=22203&Index=7&WID=31d75a44-efff-4c44-a075-15a9eb7aecdf>
6. 鄭文蕙 (2012)，福島核電事故周年教師對核能認知與態度之調查研究—新北市國民小學教師為例，國立新竹教育大學在職進修科學教育教學碩士班碩士論文，新竹。
7. 楊國良 (2011)，高中職核能認知與核能態度關係之研究，國立彰化師範大學工業教育與技術學系工業教育教學碩士班碩士論文，彰化。
8. 吳明隆 (2014)，SPSS 問卷統計分析實務第二版，五南圖書出版股份有限公司，臺北。
9. 陳美秀 (2009)，屏東縣國小教師能源認知、使用態度與行為之研究，大仁科技大學環境管理研究

永續水資源教學對國小學童「水資源」認知與使用行為影響之研究—以彰化縣大興國小為例

A Research on the Influence of Sustainable Water Resource Instruction on Elementary School Students' Cognition and Water-Use Behavior of "Water Resource"-Da Sing Elementary School in Changhua County

吳照雄^{1*} 王毓懋²

Chao-Hsiung Wu^{1*}, Yuh-Maw Wang²

1 大葉大學環境工程學系 教授

Professor, Department of Environmental Engineering, Da-Yeh University

2 大葉大學環境工程學系碩士班 學生

Student, Graduate Program, Department of Environmental Engineering, Da-Yeh University

* Corresponding author: chwu@mail.dyu.edu.tw

摘要

水資源的認知與用水行為意向關係著有限水資源之利用，編製適合於國小學童學習的多媒體教材，並研究實施成效，實有其必要。本研究主要目的在探討「永續水資源多媒體教材」對國小學童之「水資源」概念理解程度、認知結構與用水行為之差異，研究結果可做為教育現場之教師在教學及課程設計的參考，以協助學童達到有效之學習。

本研究屬於量化研究，在問卷方面，選取大興國小四及六年級學童，共 121 人，在多媒體教材實施之前後與教學兩週後各施予一次問卷調查，再以 SPSS 分析比較三次調查之間的差異，作為教材編製與實施的成效依據。

研究結果如下：在測驗後，水資源永續利用之環境素養總平均在四分以上，呈現良好之概念。教學前，學生對「水資源概念」層面得分最好，在「自來水」層面則最後；教學後，學生對「水資源概念」層面依然得分最好，在「台灣水資源問題」層面則最後；教學兩週後，比教學後略為退步，在「水資源概念」層面依舊最好，在「自來水」層面則最後。不同背景之學生，整體表現，女生得分表現優於男生，但只有「水資源概念」層面達顯著差異；國小六年級學童大多優於國小四年級學童，唯「使用行為」層面相反；不同家庭社經背景之學生，未達顯著差異。教學前後，在「自來水」與「永續水資源」層面均有顯著之提升；教學前與教學兩週後，各層面得分依然優於教學前，但均未達顯著差異。顯示編製多媒體教學教材雖然讓學童平均分數進步，卻未能維持其成效，須再修正其內容。教學前後與教學後兩週，「使用行為」層面，均為「在家使用行為」方面表現最好，「在學校使用行為」方面次之，最後則為「在外面使用行為」方面。

關鍵詞： 水資源、永續水資源、國小學童、問卷調查

壹、前言

二十一世紀被稱為「水的世紀」。水的需求不斷增加，但水的供應卻是有限的。目前世界大部分的國家，多少都面臨缺水問題，而專家們相信在 2025 年以前，至少將有 35 億的人將面臨缺水的問題[1]。根據聯合國糧食及農業組織指出，全世界正經歷著水資源危機，預期有限的淡水資源將面臨嚴重不足，而台灣地區每年平均降雨量約二千五百公厘，但實際可用之水資源卻相當少，使得水成為台灣地區極珍貴的資源。據經濟部水利署「民國 97 年生活用水量統計報告」指出，國人每人每日用水量平均約 261 公升，高於國際標準值 250 公升，全國多出的用水量相當於 1.5 座石門水庫之多，而石門水庫有效蓄水量約 2400 億公升。因此，如何有效節約用水為當務之急。

眾知，生物都是由細胞構成的，而水是細胞中內含量最多的物質，占細胞大部分的體積。如樹木總重量的 60% 是水、香蕉含水量 74%、蘋果含水量 80%，水母含水量為 95%，是目前世界上含水量最高的生物。而人體內含水量最多的細胞是腦細胞，大約有 80% 的體積為水分；而含水量最少的細胞是我們的骨細胞，僅有 20% 的體積由水構成[1]。人體平均水分約占總質量的 70%，血液中更有高達 90% 是水分。因此，每日補充足夠的水分就顯得極為重要。如不吃東西只喝水只能維持二至三個星期生命，但失去 10% 的水分將有害身體。

因此，透過永續水資源教育及教材，讓學生瞭解水對生命的重要性，乃當務之急。且其重點有四：(1)透過永續水資源教材，進而讓學生瞭解水對生命的重要性。(2)近年來全球皆因氣候變遷而導致洪水、乾旱、土石流的災害越來越嚴重，而台灣地區也深受其害。因此，面對如此氣候極端異常，更喚醒我們應該從小培養正確的水資源保護觀念。(3)透過學校進行水資源教育，利用永續水資源教案，由教師的教學中增強學生對水的知識與正向的態度，並關心水的保護問題，建立正確用水之行為，讓學生了解水的相關知識並培養愛水行為，進而能愛護水源、珍惜用水，成為愛水、省水的小尖兵。(4)了解不同性別、年齡及家庭社經背景之學童，進行適性教學，往往可獲得不同的成效。

對於如何進行水資源教育課程來提升教學成效，學者看法亦不盡相同，例如魏文南的研究中指出，學童對於「水的三態變化」之概念仍然有許多迷思概念[2]。林佩薇的研究中指出，由學生傳達的知識能增加學生家長對水資源方面的學習[3]。莊英慧的研究中指出，學童水資源保育知識與態度成正相關，但與行為無顯著相關，而態度與行為亦成正相關[4]。郭和靜的研究中指出，男、女生對水資源保育的認知無顯著差異，但在水資源保育的態度和行為方面，則是女生優於男生[5]。

本研究為了瞭解國小學童對水資源認知及用水行為等，以我國教育體系下之國民小學學生為對象，挑選彰化縣大興國小四年級與六年級學生進行教學及測驗，以了解國小中高年級學生對水資源知識概念現況與用水情形，並藉由教師教學前與教學後，探討學生概念與使用情形之改變，且提供國小師生了解其水資源概念之基本素養以及所欠缺之不足，或迷思概念等，並進行水資源之環境教育教學時之學習診斷、教學改進等評量工具。因此，本研究之目的如下：(1)培養學生具備珍惜水資源之環境素養。(2)改善學生

水資源用水之認知和行為意向。(3)提供適用於國小學生認識水資源之多媒體教學教材。(4)以調查表評估永續水資源多媒體教學教材是否可行。

貳、研究方法

本研究在探討永續水資源多媒體教材教學對學生「水資源」概念理解程度、認知結構、用水行為及學童可能存在的迷思概念之影響。以彰化縣大興國小四年級學生和六年級學生為研究對象，採用問卷調查法來研究問題。

一、研究架構

根據研究目的與文獻探討，提出研究架構如圖 1：

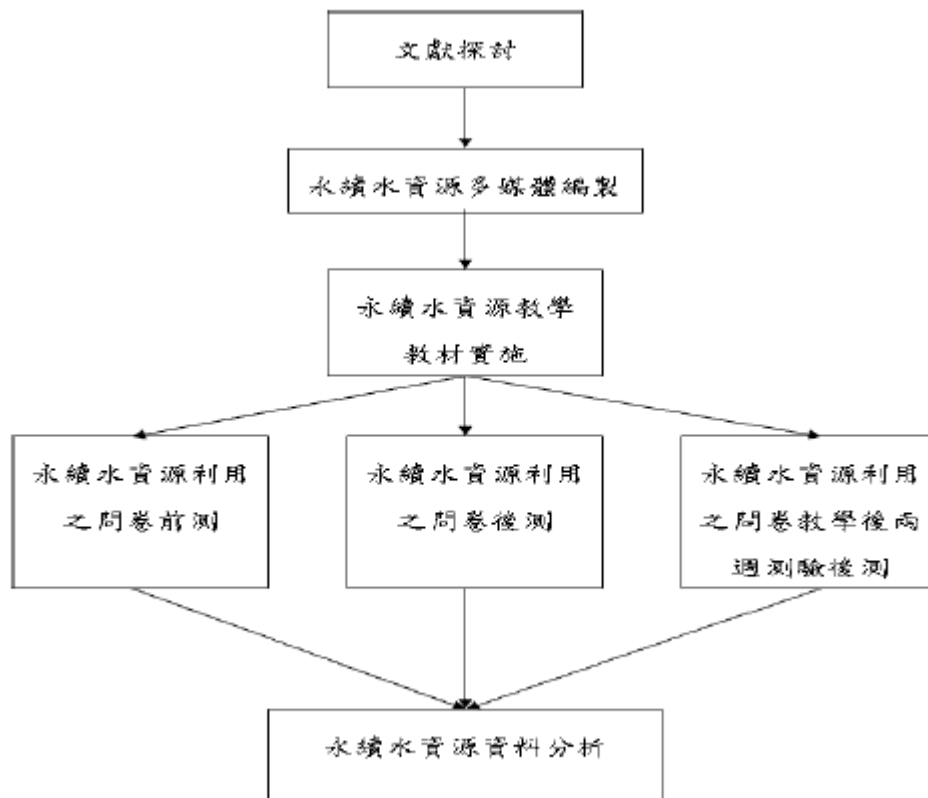


圖 1. 研究架構

二、研究對象

本研究對象以彰化縣大興國小九十九學年度全體四年級共 70 名學生，和六年級共 51 名學生，合計樣本 121 名，進行問卷調查，其研究對象統計資料如表 1。

三、研究工具

(一)問卷說明

本研究為探討不同的背景變項之學生在永續水資源利用之差異情況，其問卷分為前測、後測與教學兩週後測驗，各包含二個部份：

表 1. 研究對象統計資料表

背景變項	組別	樣本數	百分比 (%)
一、性別	1. 男性	63	52.1
	2. 女性	58	47.9
二、就學年級	1. 國小四年級	70	57.9
	2. 國小六年級	51	42.1
三、家庭社經地位	1. 高社經地位	8	6.6
	2. 中社經地位	21	17.4
	3. 低社經地位	92	76

第一部份：個人基本資料。

- (1) 就學情況：分為「國小四年級學生」、「國小六年級學生」。
- (2) 性別：分為「男」、「女」兩類。
- (3) 家庭社經地位：分為「高社經地位」、「中社經地位」、「低社經地位」等三級。

以父母的教育程度及父母職業來計算，計算方式如表 2：

表 2. 家庭社經地位等級計算表

職業等級	職業加權指數	教育程度	教育加權指數	社經地位指數算法	社經地位指數	社經地位等級
A	5×7	A	5×4	$5 \times 7 + 5 \times 4 = 55$	52-55	A
B	4×7	B	4×4	$4 \times 7 + 4 \times 4 = 44$	41-51	B
C	3×7	C	3×4	$3 \times 7 + 3 \times 4 = 33$	30-40	C
D	2×7	D	2×4	$2 \times 7 + 2 \times 4 = 22$	19-29	D
E	1×7	E	1×4	$1 \times 7 + 1 \times 4 = 11$	11-18	E

第二部份：認知與行為意向。

主要分為五層面，分別為「水資源概念」、「自來水」、「台灣水資源問題」、「永續水資源」及「使用行為」等。

(二)資料處理與分析

本研究係利用 SPSS 12.0 版統計軟體對水資源永續利用之認知與使用行為進行資料處理及統計分析。統計分析方法說明如下：

1. 描述性統計：

以算術平均數、標準差、百分比等；針對問卷上所填的資料，使用描述性統計分析受試學童的背景資料及問卷內容各部分得分的情形。

2. 獨立樣本 T 檢定 (Independent-Samples T Test)：

以獨立樣本 T 檢定來比較不同性別或不同年級學生，在永續水資源認知與使用行為各層面的表現差異情形。

3. 獨立樣本單因子變異數分析

以獨立樣本單因子變異數分析來比較不同社經地位的學童，在永續水資源認知與使用行為各層面的表現差異情形。

4. 相依樣本 t 檢定：

比較永續水資源教材教學前所測得之成績與教學後所測得之得分表現，進行相依樣本 T 檢定，是否達到顯著差異。

叁、結果與討論

本研究是利用「學生水資源永續利用之認知與行為意向」問卷來了解學生在接受水資源永續教學前後與教學後兩週所具備永續水資源利用之環境素養之情形；在不同背景的學童，在教學前、教學後與教學後兩週，表現於「學生對水資源永續利用之認知與行為意向」之差異；在教學前、教學後與教學兩週後，學生表現於「學生對水資源永續利用之認知與行為意向」之差異；針對本研究之結果進行討論。

一、教學前後與教學兩週後描述統計分析

由表 3 知，(1)在「水資源概念」層面可知經過教學後，學童對於「水的形成與循環」方面已建立正確概念，經過兩週時間，得分依然優於「水的利用」方面。(2)在「自來水」層面，經過教學後，各方面都顯著進步，但教學後兩週之「自來水水價」方面明顯退步，顯示學童對於自來水水價比較少機會接觸與瞭解。(3)在「台灣水資源問題」層面各方面都顯著進步，且教學後兩週測驗也未退步，可能因為台灣地區常年水旱災，且新聞媒體常常報導，故學童相當熟悉類似問題。(4)在「永續水資源」層面，經過教學都明顯進步，而在教學後兩週測驗略為退步。(5)在「使用行為」層面，由表 3 可知各方面都略為進步，且教學後兩週測驗未明顯退步，顯示教學能改善其行為。唯「在家使用行為方面」得分差異不大，由此可知，在家因父母從小教育之影響，導致得分無明顯差異，故顯示家庭教育的重要性。

由表 4 知，各層面平均得分都明顯上升，而教學兩週後得分略為下降，唯「台灣水資源問題」上升，可能因為台灣地區經常發生類似問題，再加上傳播媒體大肆報導，使得學童常有機會接觸相關訊息，導致不減反升。

表 3. 各層面分項前後測與教學後兩週平均得分之比較

測驗時期		教學前	教學後	教學兩週後
水資源 概念	水的形成與循環	4.1	4.62	4.51
	水的利用	4.31	4.4	4.43
自來水	自來水形成	4.04	4.28	4.29
	自來水水質	4.32	4.49	4.51
	自來水水量需求	4.07	4.56	4.44
	自來水水價	3.03	4.44	3.99
台灣 水資源 問題	台灣旱災問題	4.05	4.26	4.33
	台灣水災問題	4.15	4.36	4.39
	台灣水污染問題	4.38	4.52	4.47
	地層下陷及海水入侵	4.03	4.26	4.34
永續 水資源	水資源永續發展	4.28	4.48	4.34
	水資源環境教育	3.89	4.39	4.25
使用 行為	在家使用行為	4.39	4.37	4.42
	在外面使用行為	3.79	4.06	3.92
	在學校使用行為	4.09	4.23	4.18

表 4. 各層面前測、後測、教學兩週後平均得分之比較

測驗時期	水資源 概念	自來水	台灣水 資源問題	永續水資源	使用行為
教學前	4.2	3.86	4.15	4.08	4.09
教學後	4.51	4.44	4.35	4.44	4.22
教學兩週後	4.47	4.21	4.38	4.29	4.17

二、不同背景之差異分析

將大興國小學童之背景變項（性別、就學階段、家庭社經地位）在學生水資源

永續利用之認知與行為意向之差異情形加以分析與討論。

(一) 性別差異-獨立樣本 t 檢定

1. 教學前，均未達顯著差異，在「自來水」、「台灣水資源問題」方面，男性表現較佳，其它為女性表現較佳，如表 5。

表 5. 性別變項在教學前表現於五層面的比較表

層面	t	顯著性(單尾)	$<\alpha$ (0.05)
水資源概念	-0.416	0.062	
自來水	0.47	0.121	
台灣水資源問題	0.628	0.34	
永續水資源	-0.12	0.936	
使用行為	-1.505	0.095	

2. 教學後，依然未達顯著差異，但在男女的得分表現上，明顯五個層面均為女生高於男生的情況，如表 6。

表 6. 性別變項在教學後表現於五層面的比較表

層面	t	顯著性(單尾)	$<\alpha$ (0.05)
水資源概念	-0.217	0.832	
自來水	-0.736	0.315	
台灣水資源問題	-0.463	0.369	
永續水資源	-0.458	0.070	
使用行為	-0.027	0.295	

3. 教學兩週後測驗結果，在「水資源概念」方面，男女生得分表現明顯呈現女生高於男生，具顯著性差異，與沈廣城[6]、陳志欣(2003[7]、王財隱[8]研究結果相同，如表 7。

表 7. 性別變項在教學兩週後表現分析表

層面	t	顯著性(單尾)	$<\alpha$ (0.05)
水資源概念	-0.659	0.007	✓
自來水	-0.638	0.673	
台灣水資源問題	0.373	0.624	
永續水資源	-0.925	0.205	
使用行為	-1.628	0.074	

(二) 不同社經背景差異-單因子變異數分析

1. 教學前，不同社經背景對於「水資源概念」與「自來水」方面都達到顯著差異，其它方面則未達顯著差異，如表 8。

表 8. 社經背景變項在教學前表現分析表

層面		平均平方和	F 檢定	顯著性	$< \alpha (0.05)$
水資源概念	組間	2.033	5.023	0.008	✓
	組內	0.404			
自來水	組間	1.781	4.880	0.009	✓
	組內	0.365			
台灣水資源問題	組間	1.175	2.707	0.071	
	組內	0.434			
永續水資源	組間	0.455	0.999	0.371	
	組內	0.455			
使用行為	組間	0.073	0.190	0.827	
	組內	0.383			

2. 教學前與教學兩週後測驗，雖得分略有差異，但均未達顯著差異，與黃芳銘、楊世安 [9]、莊英慧[4]的研究結果符合，如表 9 及表 10。

表 9. 社經背景變項在教學後表現分析表

層面		平均平方和	F 檢定	顯著性	$< \alpha (0.05)$
水資源概念	組間	0.168	0.518	0.598	
	組內	0.325			
自來水	組間	0.029	0.132	0.876	
	組內	0.218			
台灣水資源問題	組間	0.057	0.163	0.85	
	組內	0.352			
永續水資源	組間	0.222	0.8	0.453	
	組內	0.278			
使用行為	組間	0.476	1.508	0.228	
	組內	0.316			

表 10. 家庭社經地位之教學兩週後測驗分析

層面		平均平方和	F 檢定	顯著性	$< \alpha (0.05)$
水資源概念	組間	0.439	0.88	0.419	
	組內	0.499			
自來水	組間	0.02	0.063	0.939	
	組內	0.323			
台灣水資源問題	組間	0.01	0.003	0.997	
	組內	0.34			
永續水資源	組間	0.13	0.34	0.713	
	組內	0.383			
使用行為	組間	0.348	1.11	0.335	
	組內	0.313			

(三) 教學前後與教學兩週後差異-相依樣本檢定

1. 教學前與教學後，在「自來水」與「永續水資源」方面有顯著差異，其它未達顯著差異，如表 11。

表 11. 教學前與教學後分析表

層面	T	顯著性(單尾)	$<\alpha$ (0.05)
水資源概念	-3.975	0.11	
自來水	-8.143	0.03	✓
台灣水資源問題	-2.534	0.10	
永續水資源	-4.559	0.02	✓
使用行為	-1.604	0.904	

2. 在教學前與教學兩週後，其 α 值均大於 0.05，故未達顯著差異。顯示編製多媒體教學教材雖然讓學童平均分數進步，卻未能維持其成效，須再修正其內容，如表 12。

表 12. 教學前與教學兩週後之分析

層面	t	顯著性(單尾)	$<\alpha$ (0.05)
水資源概念	-3.147	0.333	
自來水	-5.969	0.141	
台灣水資源問題	-2.805	0.104	
永續水資源	-2.528	0.085	
使用行為	-1.050	0.835	

三、小結

根據此次研究問卷的調查與分析結果，茲將此結論分述如下：

(一) 學生在教學前後與教學兩週後之情形

1. 教學前，學生水資源認知和使用行為意向情況分析：

- (1) 水資源永續利用之測驗得分介於 3.86 至 4.2 分之間，學生大體呈現不錯的概念。
- (2) 依得分情形，在「水資源概念」層面表現最好，「台灣水資源問題」層面次之，「永續水資源」層面緊接在後，最後則為「自來水」層面；在「使用行為」層面，「在家使用行為」方面表現最好，「在學校使用行為」方面次之，最後則為「在外面使用行為」方面。

2. 教學後，學生水資源認知和使用行為意向情況分析：

- (1) 教學後各層平均得分介於 4.22 至 4.52 分之間，各層面均優於教學前之平均得分。
- (2) 依得分情形，「水資源概念」層面表現最好，「自來水」層面次之，且進步最多，「永續水資源」層面緊接在後，最後則為「台灣水資源問題」層面；在「使用行為」層面，「在家使用行為」方面表現最好，「在學校使用行為」方面次之，最後則為「在外面使用行為」方面。

3. 教學兩週後，學生水資源認知和使用行為意向情況分析：

- (1) 教學兩週後各層平均得分介於 4.17 至 4.47 分之間，較教學後略為退步，唯「台灣水資源問題」層面略為進步，可能因為台灣地區常年水旱災，且新聞媒體常常報導，故學童相當熟悉類似問題。

- (2)依得分情形，「水資源概念」層面依然表現最好，「台灣水資源問題」層面次之，「永續水資源」層面緊接在後，最後則為「自來水」層面，其「自來水」層面經過教學後兩週又顯著退步，可能學生對於自來水價較少機會接觸；在「使用行為」層面，「在家使用行為」方面表現最好，「在學校使用行為」方面次之，最後則為「在外面使用行為」方面。

(二) 不同背景變項之學生，在教學前後與教學兩週後，表現於「學生水資源認知和使用行為意向」之差異。

1. 不同性別的學生，在「學生水資源認知和使用行為意向」五大層面上，表現之差異：

- (1)教學前，男女生均未達顯著差異，而在「自來水」、「台灣水資源問題」方面，男性表現較佳，其它為女性表現較佳。
- (2)教學後，男女生均未達到顯著差異，但男女的得分表現上，五個層面得分均為女生高於男生。
- (3)教學兩週後，在「水資源概念」方面，女生優於男生，具顯著差異，其它未達顯著差異。
- (4)整體平均，女生三次測驗總平均分數為 4.287，略高於男生分數 4.24。

2. 不同就學階段的學生，在「學生水資源認知和使用行為意向」五大層面上，表現之差異：

- (1)教學前，各層面六年級學童均優於四年級學童，唯「使用行為」方面，四年級學童均優於六年級學童。且「水資源概念」層面達顯著差異。
- (2)教學後，各層面依然六年級優於四年級，唯「使用行為」方面，仍舊四年級學童優於六年級學童，在「台灣水資源問題」層面之得分表現達到顯著差異，其它則未達顯著差異。
- (3)教學兩週後，各層面六年級學童均優於四年級學童，唯「使用行為」方面，四年級學童均優於六年級學童。且「水資源概念」層面達顯著差異。
- (4)國小六年級學童在三次測驗總平均得分為 4.325，高於國小四年級學童的總平均得分 4.219。

3. 不同家庭社經背景的學生，在「學生水資源認知和使用行為意向」五大層面上，表現之差異：

- (1) 教學前，不同社經背景對於「水資源概念」與「自來水」方面都達到顯著差異，其它方面則未達顯著差異。
- (2) 教學後與教學兩週後，雖得分略有差異，但均未達顯著差異。
- (3) 整體而言，「高社經地位」之總平均得分 4.625，高於「中社經地位」之總平均得分 4.317；「中社經地位」之總平均得分又優於「低社經地位」之總平均得分 4.219。

4. 教學前後和教學兩週後，學生表現於「學生水資源認知和使用行為意向」五大層面上，表現之差異：

教學前與教學後，學生得分表現在「自來水」與「永續水資源」層面，均有

顯著的提升，其它雖有提升，但未達顯著差異；在教學後與教學兩週後，略為退步，但均未達顯著差異。

肆、結 論

依據研究結論提出下列結論，以作為國小教育工作者從事水資源教學或未來研究之參考：

- 一、學校可以發展學校本位課程，發展出適合大興國小學童的水資源永續教材，並提供各年段的學習內容，讓學童適性發展，另外可舉辦節水、愛水等活動，常宣導學童水資源的重要性，使每一位學童都能愛惜水資源。
- 二、教師教學部分，由於國小階段是良好行為養成的關鍵時刻，與學童接觸最多、影響最深的莫過於級任導師。故身教重於言教，唯有身體力行，才能潛移默化。
- 三、學生學習部分，所謂「知易行難」，學生往往知道水資源的重要性，但要落實卻需要教育去實踐，從生活中一點一滴的改變。唯有從自身做起，才能永續利用有限的水資源。
- 四、研究部分，可擴大至更廣泛的區域，也可在縱斷面（高中生、國中生、國小生）上，進行類似研究，使研究結果應用更廣泛，更具公信力。研究變項方面，可加入其它影響變項，例如：學校地域、學校規模、過去活動經驗、家庭管教方式等變項，進行更深入的研究。而方法上，可增加晤談、觀察、實務紀錄等質的研究紀錄，加以比較，以得到更貼近實際現況之結果，更有助於推論。

參考文獻

1. 蔡采靜、莊偉民、張永達（2002），模組教材在課程設計的應用-以「水之奧秘」為例，科學教育月刊，250期，69。
2. 魏文南（1999），國小中高年級水資源保育概念標準化評量之研究，國立台中師範學院國民教育研究所碩士論文。
3. 林佩薇（2005），中小學生將環境知識傳遞給家長可行性之探討-以水資源教育為例，國立高雄師範大學環境教育研究所碩士論文。
4. 莊英慧（2007），台北縣國小六年級學童水的知識理解、水資源保育態度與行為之相關研究，國立台北教育大學自然科學教育研究所碩士論文。
5. 郭和靜（2010），學童水資源保育認知與態度之研究，大葉大學工學院碩士論文。
6. 沈廣城（2002），國小學童環境知識、環境態度與環境行為之研究，屏東師範學院國民教育研究所碩士論文。
7. 陳志欣（2003），環境議題教學對國小學童環境認知、態度及能源態度之研究，彰化師範大學工業教育研究所碩士論文。
8. 王財隱（2003），中部地區國小學生環境災害知識、態度和行為之研究-以颱風、地震為例，臺中師範學院環境教育研究所碩士論文。
9. 黃芳銘、楊世安（2006），家庭因素對國小學童環境行為影響模式之研究，師大學報，51，15

研討會論文查詢 (QR-Code)



研討會路徑查詢：大漢技術學院/學術單位/土木工程與環境資源管理系/研討會資訊
<http://www.dahan.edu.tw/releaseRedirect.do?unitID=184&pageID=5768>