

2022 年【全國科學探究競賽-這樣教我就懂】

高中（職）組 成果報告表單

題目名稱：液晶顯示面板玻璃製作高流動化混凝土之研究

一、摘要：

液晶顯示器(LCD)廣泛應用於日常生活中，如手機、平板、電視等。隨著 LCD 使用量急遽成長，廢棄量亦與日俱增。目前我國每年市售液晶面板報廢品與製程不良品，合計約有 8,000 噸(工業技術研究院，2021)，若未妥善處理將造成環境沉重的負擔，如圖 1 與圖 2 所示。

廢液晶玻璃若能循環使用，除可使面板廠每年減少數億元材料成本外，每年又可減少數億元面板掩埋費(吳庭安，2021)。本研究針對廢液晶玻璃壓碎成玻璃砂，依據不同比例，製作玻璃砂混凝土，並進行混凝土抗壓強度試驗。



圖 1：LCD 液晶顯示器面板玻璃



圖 2：廢液晶面板玻璃砂

二、探究題目與動機

依據「臺灣顯示科技與應用行動計畫」(行政院，2020)，2019 年我國顯示科技產業產值高達 1.4 兆元，LCD 產值位居全球第二名。但在手機、電視、筆電、Monitor、液晶面板製造過程中，難免產生大量廢棄的液晶面板和次品的液晶面板，如何進行有效的回收或再利用，是一個值得研究的課題(麥浩斯，2020)。

本研究蒐集相關資料，瞭解廢液晶玻璃成分，並以廢液晶玻璃砂取代細粒料(河砂)，製作玻璃砂混凝土，進行混凝土抗壓強度試驗，瞭解其性質與適合使用場所，達到再生粒料資源之再利用。

三、探究目的與假設

- (一) 蒐集文獻瞭解LCD液晶顯示面板玻璃
- (二) 蒐集文獻瞭解HFC、SCC、CLSM混凝土
- (三) 進行玻璃砂氯離子含量試驗
- (四) 進行玻璃砂比重試驗
- (五) 進行玻璃砂篩分析試驗
- (六) 玻璃砂混凝土配比設計

- (七) 進行玻璃砂混凝土坍度試驗
- (八) 進行玻璃砂混凝土抗壓強度試驗
- (九) 瞭解玻璃砂含量與細度模數之關係
- (十) 瞭解玻璃砂含量與混凝土坍度之關係
- (十一) 瞭解玻璃砂含量與混凝土抗壓強度之關係
- (十二) 依據試驗結果，提出問題討論與研究結論

四、探究方法與驗證步驟

本研究針以廢液晶玻璃壓碎成玻璃砂，進行氯離子含量試驗、比重試驗、篩分析試驗，瞭解玻璃砂的基本性質，與一般常用河砂之差異。另添加「0%、10%、20%、30%」玻璃砂取代河砂，製作混凝土試體，進行坍度試驗，並依「7天、28天、56天」3個齡期，進行硬固混凝土的抗壓強度試驗。瞭解玻璃砂混凝土的性質，以期達到廢液晶玻璃資源化，與工業廢棄物之再利用。

(一)玻璃砂氯離子含量試驗

本研究使用的「廢液晶玻璃砂」，於110年10月15日，向新竹市春池玻璃實業有限公司購買，屬於M2P再生玻璃粉碎料。為檢測液晶玻璃砂是否含有氯離子，影響結構物安全。本研究使用莫爾法、間接法，檢測氯離子含量。

依據經濟部標準檢驗局，粗細粒料應符合CNS 1240規定，水溶性氯離子含量，一般混凝土應少於0.024%，預力混凝土應少於0.012%。本研究14天氯離子含量試驗結果，莫爾法為0.014%、間接法為0.024%，均符合CNS 1240規定，如圖3所示。

(二)玻璃砂比重試驗

本研究於110年10月19日，使用容積法測定廢液晶玻璃之比重(陳耀如，2017)。秤取500g玻璃砂，倒入已裝水的量桶內，觀察水面升高體積，計算玻璃砂比重。 $G=500/V$ ，G：玻璃砂之比重，V：水面升高體積(cm^3)。試驗結果，水面升高 200cm^3 ，故玻璃砂比重為 $500/200=2.5$ ，比常重河砂比重2.64略低，試驗過程如圖4所示。



圖3：玻璃砂氯離子含量試驗



圖4：玻璃砂比重試驗

(三)玻璃砂篩分析試驗

本研究於110年10月19日進行玻璃砂篩分析試驗，玻璃砂含量分別為：0%、10%、

20%、30%、100%。各組砂與玻璃砂重量分別為：A 組(2500g/0g)，B 組(2250g/250g)，C 組(2000g/500g)，D 組(1750g/750g)，如圖 5 所示。



圖 5：玻璃砂篩分析試驗

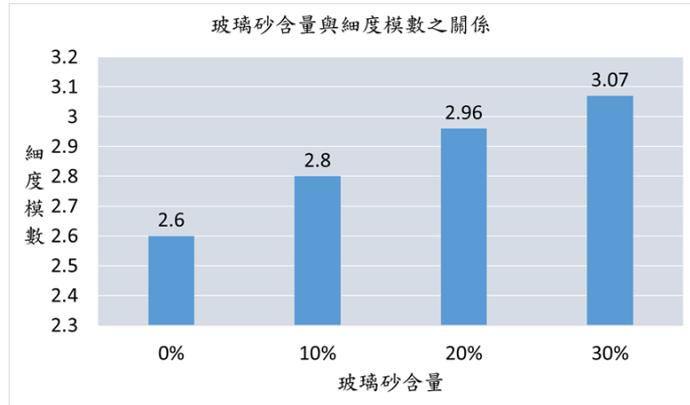


圖 6：玻璃砂含量與細度模數之關係

本研究共進行 4 組「玻璃砂」篩分析試驗，玻璃砂含量分別為：A 組 0%、B 組 10%、C 組 20%、D 組 30%。玻璃砂篩分析試驗結果，A 組 FM=2.60，B 組 FM=2.80，C 組 FM=2.96，D 組 FM=3.07。研究發現：「玻璃砂含量愈多，細度模數愈大」，表示玻璃砂顆粒較一般河砂略粗，如圖 6 所示。

(四)混凝土坍度試驗

本試驗於灌注 A 組、B 組、C 組、D 組混凝土圓柱試體時，同時進行各組試體的坍度試驗。將試樣分 3 層填入，每層約為坍度模體積的 1/3。每層以搗棒搗實 25 次，搗實完成後，垂直方向提起坍度模，量取錐頂面和坍下試體頂面之垂直高度差，此即為混凝土的坍度，單位為公分，如圖 7 所示。

本研究依玻璃砂含量分為 4 組，分別添加「0%、10%、20%、30%」廢液晶玻璃取代部分河砂。混凝土拌合完成後，立即進行「坍度試驗」，試驗結果如下：A 組(玻璃砂 0%)9cm，B 組(玻璃砂 10%)11cm，C 組(玻璃砂 20%)16cm，D 組(玻璃砂 30%)21cm，研究發現：「玻璃砂含量愈多，混凝土坍度愈大」。主要原因在於玻璃砂具斥水性，導致混凝土產生多餘的水，故坍度值較大。玻璃砂含量與混凝土坍度之關係，如圖 8 所示。



圖 7：玻璃砂混凝土坍度試驗

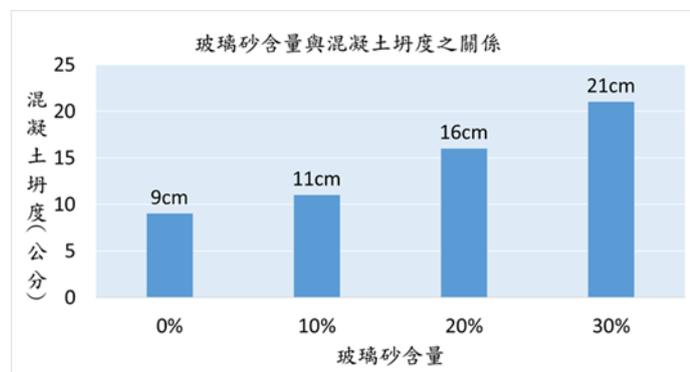


圖 8：玻璃砂含量與混凝土坍度之關係

(五)混凝土抗壓強度試驗

本研究以廢液晶玻璃壓碎的玻璃砂，共製作 36 顆混凝土試體，各組試體分別進行 7 天、28 天、56 天抗壓強度試驗，控制模式為 CNS-1238 定荷重速率、應力增加率每秒 3kgf/cm²，切換荷重 10kgf/cm²，定速率 10mm/min，斷點比例 20%，如圖 9 與圖 10 所示。



圖 9：控制模式為 CNS-1238



圖 10：應力增加率每秒 3kgf/cm²

(六)7 天混凝土抗壓強度試驗結果

本研究選取各組試體常態分布信賴區間的正負 2 個標準偏差，做為「平均抗壓強度」。以 A 組試體為例，「標準差」(Standard Deviation, SD)為 11.94，「標準偏差」(the estimated standard error of the mean, SEM)為 6.90，正負 2 個標準偏差為 75.81 至 103.40 間。



故 A 試體平均抗壓強度為 89.60Kg/cm²，標準差與標準偏差，計算公式詳列如右。本研究 28 天與 56 天，各組混凝土抗壓強度計算方式均相同，以下各節不再贅述。

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

7 天齡期混凝土抗壓強度，A 組為 89.60kg/cm²，B 組為 114.55kg/cm²，C 組為 97.65kg/cm²，D 組為 95.52kg/cm²。研究發現：「混凝土早期齡期，玻璃砂含量愈多，坍度愈大，抗壓強度愈低」。本研究 7 天齡期混凝土抗壓強度，玻璃砂含量與混凝土坍度之關係，如圖 11 所示。

A1、A2、A3、B1、B2、B3、C1、C2、C3、D1、D2、D3 試體，7 天齡期混凝土抗壓試驗結果，請詳見：<https://bit.ly/3rAkyTZ>。

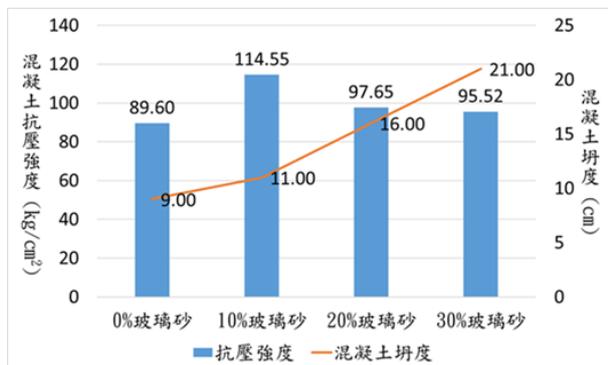


圖 11：7 天混凝土強度與玻璃砂含量關係

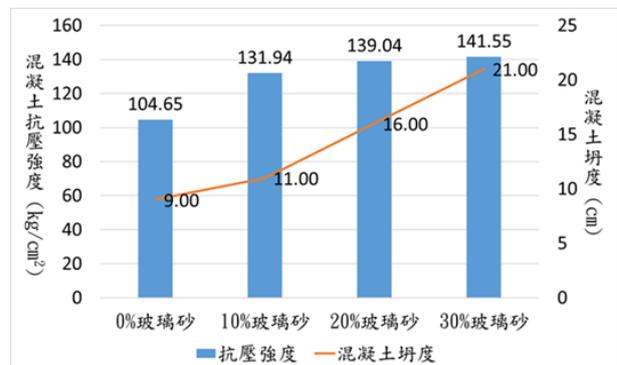


圖 12：28 天混凝土強度與玻璃砂含量關係

(七)28 天混凝土抗壓強度試驗結果

A4、A5、A6、B4、B5、B6、C4、C5、C6、D4、D5、D6 試體，28 天齡期混凝土抗壓試驗結果，請詳見：<https://bit.ly/3rwVIEo>。本研究 28 天齡期的玻璃砂混凝土抗壓強度，A 組(0%玻璃砂)為 104.65kg/cm²，B 組(10%玻璃砂)為 131.94kg/cm²，C 組(20%玻璃砂)為 139.04kg/cm²，D 組(30%玻璃砂)為 141.55kg/cm²。



研究發現：「玻璃砂含量愈多，混凝土坍度愈大，混凝土抗壓強度亦愈高」。28 天齡期混凝土抗壓強度，玻璃砂含量與混凝土坍度之關係，如圖 12 所示。

(八)56 天混凝土抗壓強度試驗結果

研究發現：「56 天齡期混凝土，玻璃砂含量愈多，坍度亦愈大，其中以含量 20% 玻璃砂混凝土抗壓強度最高。」56 天齡期混凝土抗壓強度，玻璃砂含量與混凝土坍度之關係，如圖 13 所示。

A7、A8、A9、B7、B8、B9、C7、C8、C9、D7、D8、D9 試體，56 天齡期混凝土抗壓試驗結果，請詳見：<https://bit.ly/3B6Eocu>。

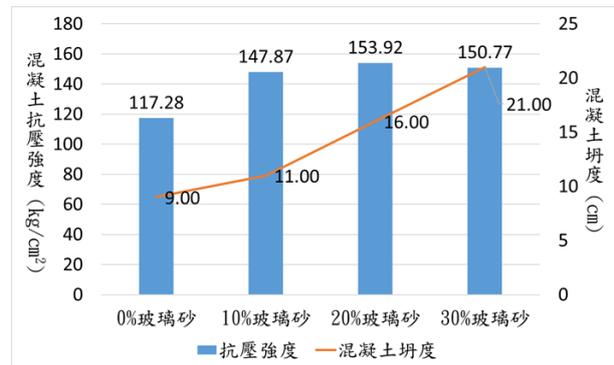


圖 13：56 天混凝土強度與玻璃砂含量關係

(九)混凝土齡期與抗壓強度之關係

本研究抗壓設計強度 $f_c'=140\text{kg/cm}^2$ ，玻璃砂混凝土試驗結果，7 天齡期平均抗壓強度 $f_c'=99.33\text{Kg/cm}^2$ ，28 天齡期平均抗壓強度 $f_c'=127.23\text{Kg/cm}^2$ ，56 天齡期平均抗壓強度 $f_c'=142.46\text{Kg/cm}^2$ 。

試驗結果 7 天齡期抗壓強度為 28 天齡期的 70.95%，56 天齡期抗壓強度為 28 天齡期的 101.76%。研究發現：「添加廢液晶玻璃混凝土，中晚齡期硬固性質有略為增加的趨勢」，如圖 14 所示。

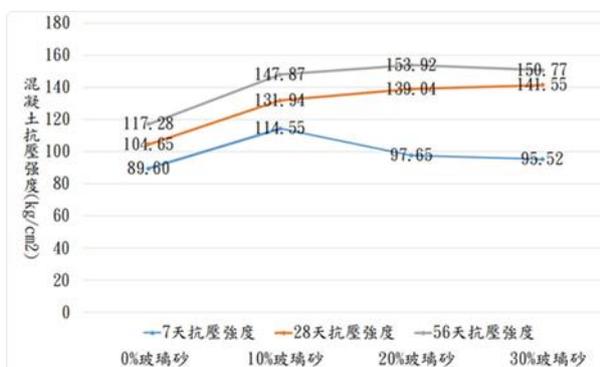


圖 14：混凝土齡期與抗壓強度之關係

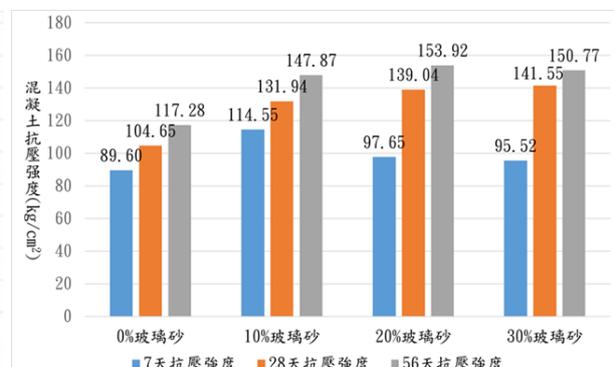


圖 15：玻璃砂含量與混凝土抗壓之關係

(十)玻璃砂含量與混凝土抗壓強度之關係

本研究 7 天齡期抗壓強度為對照組(106.61%-127.85%)，28 天齡期為對照組(136.87%-146.84%)，56 天齡期為對照組(126.08%-131.24%)，研究發現：「廢液晶玻璃混凝土中晚齡期硬固性質高於對照組」。

添加 30%的液晶玻璃砂中晚齡期混凝土抗壓強度較大，坍度值亦較大。液晶玻璃含有矽和鈣，物理性質與混凝土接近，而且玻璃硬度比砂石料高，磨損率與混凝土抗壓強度均比混凝土優異，因此廢液晶玻璃適合做為混凝土的材料。玻璃砂含量與混凝土抗壓強度之關係，如圖 15 所示。

五、結論與生活應用

本研究以廢液晶玻璃取代河砂，一共製作 36 個混凝土試體，進行混凝土硬固性質的抗壓強度試驗，依據試驗結果，提出以下四點結論。

(一)添加廢液晶面板玻璃砂可以減少水泥用量

本研究進行不同比例玻璃砂之篩分析試驗，研究發現：「玻璃砂含量愈多，細度模數愈大」，表示玻璃砂粒料較一般河砂粗。混凝土配比設計時，若混凝土水灰比及坍度保持一定，添加廢液晶玻璃砂可以減少水泥用量。

(二)添加廢液晶面板玻璃砂可以提高混凝土的工作度

本研究針對不同比例的玻璃砂混凝土，進行坍度試驗，研究發現：「玻璃砂含量愈多，混凝土坍度愈大」。因玻璃砂具有斥水性，導致混凝土產生多餘的水，故添加廢液晶玻璃砂，可增加混凝土的流動性，提高混凝土的工作度。添加 30%的玻璃砂混凝土，坍度為 21 cm，符合 HFC 高流動化混凝土之容許坍度(18cm-23cm)。

(三)添加廢液晶面板玻璃砂可製作 HFC 高流動化混凝土

本研究針對不同比例的玻璃砂混凝土，進行抗壓強度試驗，研究發現：「廢液晶面板玻璃混凝土的中晚齡期硬固性質高於對照組」。添加 30%的玻璃砂混凝土抗壓強度較大，坍度值亦較大，具高流動性、可自行充填，適合製作 HFC 高流動化混凝土。

(四)廢液晶面板玻璃適合回收利用做為再生粒料

本研究依據文獻探討與試驗發現：「廢液晶面板玻璃適合回收利用，做為再生粒料拌合混凝土，成本低廉且有助於環保」，添加適量廢玻璃砂的混凝土，有相似一般混凝土之工程性質，可減少天然砂石使用，保護自然環境。

六、參考資料

1. 工業技術研究院(2021)。**廢液晶玻璃助電渡業高值化**。工業技術與資訊，352，14-17。
2. 吳庭安(2021)。**春池玻璃**。漂亮家居。243，93-95。
3. 麥浩斯(2020)。**玻璃材質萬用事典**。漂亮家居。
4. 陳耀如、洪國珍、劉叔松(2017)。**工程材料II**。旭營文化。
5. 行政院(2020)。**臺灣顯示科技與應用行動計畫(2020-2024年)**。行政院。