

中華民國第 52 屆中小學科學展覽會

作品說明書

高職組 土木科

第一名

最佳團隊合作獎

091202

雨過水留痕－防止外牆汙染之設計

學校名稱：國立嘉義高級工業職業學校

作者：	指導老師：
職一 王亮鈞	趙春福
職一 吳建緯	高文雅
職一 呂韋霆	

關鍵詞：雨滴、灰塵、外牆汙染

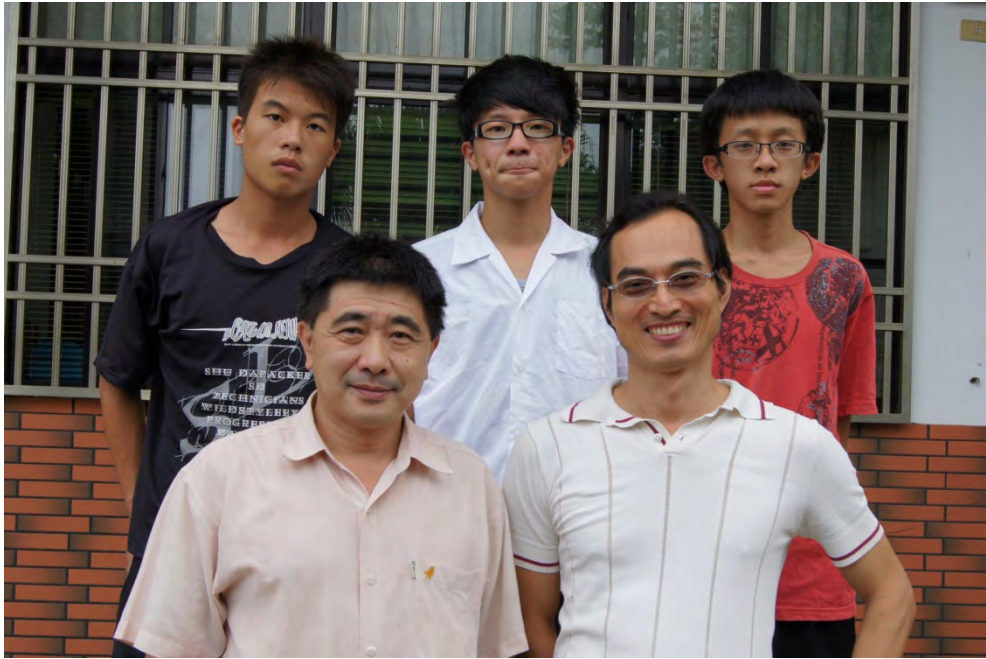
得獎感言

為了探討常見的外牆污染問題，我們展開了科展之旅，這趟旅程竟然長達半年多。回顧我們整個科展研究過程，真的十分漫長，十分艱辛，卻也終生難忘，值得一再回味。

本來以為我們研究的主題很簡單（就像吃雞肉飯一樣），怎知實際進行時，卻發覺困難重重，原本認為攝影很簡單，就是拿著相機隨意拍就有成果了，剛開始拍攝建築物外牆污染情形還算順利，接著拍攝雨滴之影像就不怎麼順利了，只好善用身邊的資源，尋求各種解決之道：到圖書館借閱攝影書籍、上網查詢攝影知識、參考相關研究之拍攝方法、請教老師……等。經過充電之後，我們也逐漸掌握拍攝雨滴之訣竅。實驗持續進行著，但是實驗做得愈多；浮現的問題也愈多，困境逼迫我們要想辦法去一一克服，面臨的挫折愈多；卻也學到愈多；我們解決問題之能力也隨之增強，透過師生團隊不斷地腦力激盪，我們的實驗方法也不斷地改良，當整個研究架構逐漸條理分明時，過去的挫折與鬱卒，全部被成就感所取代。

參加分區科展時，原本信心十足，結果比賽時，發覺我們的作品仍有許多疏漏之處，感謝評審給了許多指導與建議，在參加全國科展前，我們進行許多實驗加以補強，使科展作品更加嚴謹，更具實用價值。全國科展的成績揭曉，我們的小團隊榮獲「第一名」及「最佳團隊合作獎」，學校的大團隊亦榮獲團體「第一名」，心中的喜悅真的非筆墨所能形容。這次科展豐碩的成果，我們由衷感謝師長的指導，感謝父母的支持，更感謝所有協助我們科展的人。





壹、摘要

雨水與灰塵時常對建築物外牆造成污染，本研究希望設計出防止外牆污染之裝置。首先，爲了模擬污染情境，自行設計組裝一套「擬真裝置」，此裝置包含三大部分：雨滴生成器、抵石子試體、灰塵產生器。將抵石子試體以灰塵產生器進行落塵處理後，放置在雨滴生成器下方，實際模擬出雨水與灰塵對外牆造成污染之情境，結果出現「逕流污染」及「飛濺污染」現象。接著，測試各種防止污染的方法，由實驗結果顯示，採用「U型防污設計」將污水導流至排水管，可防止「逕流污染」；採用「60°斜板組件」，可防止「飛濺污染」。最後，我們整合「U型防污設計」及「60°斜板組件」，自行設計組裝的「防污裝置」可有效防止「逕流污染」與「飛濺污染」。

貳、研究動機

看到一幢嶄新的建築物出現在街角，外牆採用價值不菲的天然石材，白色格子窗鑲嵌綠色玻璃，顯得鮮明亮麗、質感高雅。美中不足的是，抵石子收邊怎麼沒多久就出現污痕（如下圖箭頭所示）呢？我們很好奇這些市容景觀殺手，爲什麼這麼快出現呢？



叁、研究目的

1. 蒐集分析外牆污染可能之原因。
2. 組裝改良外牆污染之「擬真裝置」。
3. 研究探討防止外牆防污之方法及應用。

肆、研究設備



高速攝影數位相機
CASIO EX-F1
(Japan)



單眼數位相機
Nikon D700
(Japan)



顯微攝影設備
Nikon YS
(Japan)



電子天平
A&D GR-120
(Japan)



電子秤
DER HER
(Taiwan)



接物測微計
KS
(Japan)



紅外線轉速計
YOKOGAWA 3631
(Singapore)



閃頻儀
SHIMPO DT-301
(Japan)



標準分析篩
TALL YOUNG
(Taiwan)



筆記型電腦
Acer JAL90
(China)



翻拍架 (LED燈)
LPL L1812
(Japan)



氮氣瓶
壓力調節閥
(Taiwan)

伍、研究過程與方法

一、文獻探討

(一) 雨滴⁽¹⁾⁽²⁾⁽¹³⁾

大部分的雨滴粒徑分佈在 5mm 以下，在雨滴降落過程中，會受重力及空氣阻力作用，當二者平衡時，雨滴呈現等速現象，而這一等速度則稱為水滴的終端速度。雨滴終端速度與粒徑的關係式：

$$v = 0.057D^3 - 0.9084D^2 + 4.9751D - 0.2037$$

v：終端速度（m/sec）

D：粒徑（mm）

(二) 灰塵⁽⁴⁾

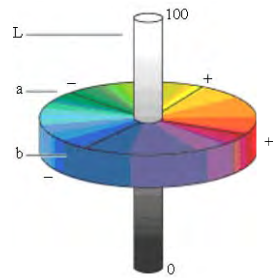
灰塵是懸浮微粒與落塵的合稱，懸浮微粒是粒徑小於 10 μ m 之粒狀污染物；落塵是粒徑大於 10 μ m 之粒狀污染物。由相關研究顯示，約 98% 的灰塵其粒徑是小於 50 μ m。灰塵成分包括無機物與有機物，不同地區的灰塵成分及粒徑均有差異。

(三) 抵石子⁽⁷⁾

抵石子是將石子與水泥、石粉混合後，用粉刷方式塗抹於牆面，直接用海綿反覆擦拭直至露出石子。抵石子屬於較耐看建築材料，優點是表面的石子不易脫落，可以改善磁磚無法到達的地方，常應用在外壁收邊、窗戶邊的接縫處及一般的小角落。

(四) Lab 色彩模型⁽⁹⁾⁽¹¹⁾

Lab 色彩模型是「國際照明委員會」所制定的，Lab 是一種與裝置無關的色彩模型，如下圖所示。L 值：0(黑)←→100(白)；a 值：-(綠)←→+(紅)；b 值：-(藍)←→+(黃)。Adobe Photoshop 軟體有支援 Lab 色彩模型。若兩個顏色分別為(L₁, a₁, b₁)、(L₂, a₂, b₂) 則二者之色差值 $\Delta E_{ab} = \sqrt{(L_1 - L_2)^2 + (a_1 - a_2)^2 + (b_1 - b_2)^2}$ 。



白度值(White Index, 簡寫：WI)是以純白(100, 0, 0)為基準點，白度值 $WI = 100 - \sqrt{(100 - L)^2 + a^2 + b^2}$ 。

(五) 外牆污染⁽⁴⁾

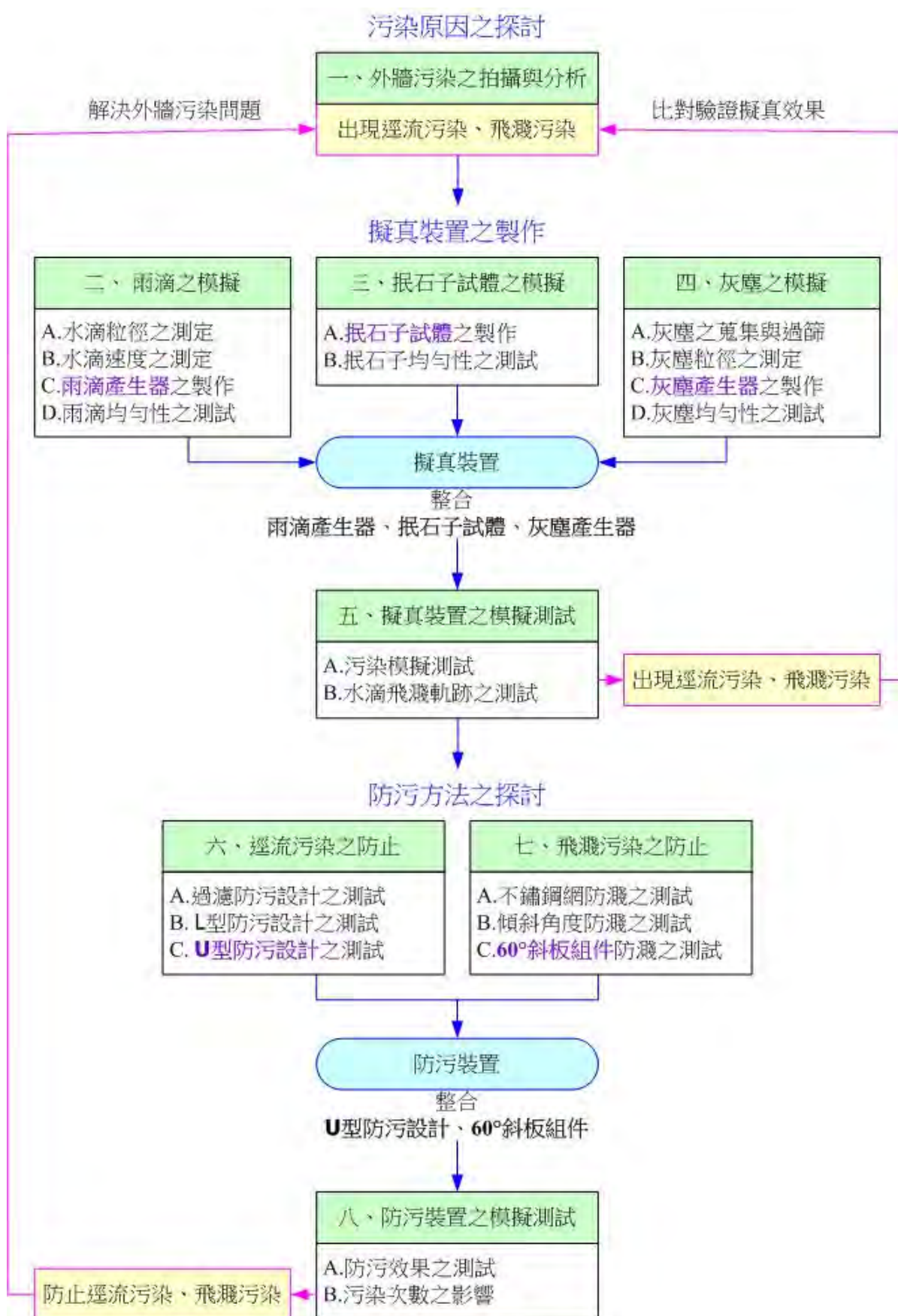
造成外牆污染的原因很多，主要有三個層面：

- (1) 外在因素：大氣污染(如：灰塵)、生物污染(如：黴菌)、氣體污染(如：廢氣)...等。
- (2) 自身因素：被污染材料的性質（如：磁磚、石材、抵石子、玻璃...等）。
- (3) 人爲因素：設計或施工不良引發之污染（如：女兒牆、窗台之細部設計不良）。

(六) 外牆更新(拉皮)⁽⁵⁾

近年來各國都非常重視消費行為留下的碳足跡(Carbon Footprint)，當建築物逐步進入高齡化階段，建築物的整建與外牆更新(拉皮)需求亦與日俱增。

二、研究架構



三、研究方法

(一) 外牆污染原因之探討

【實驗一】外牆污染之拍攝與分析

爲了要瞭解雨水與灰塵形成之污染問題，必須先實地拍攝建築物外牆污染現況，分析其污染形成之原因。

步驟：

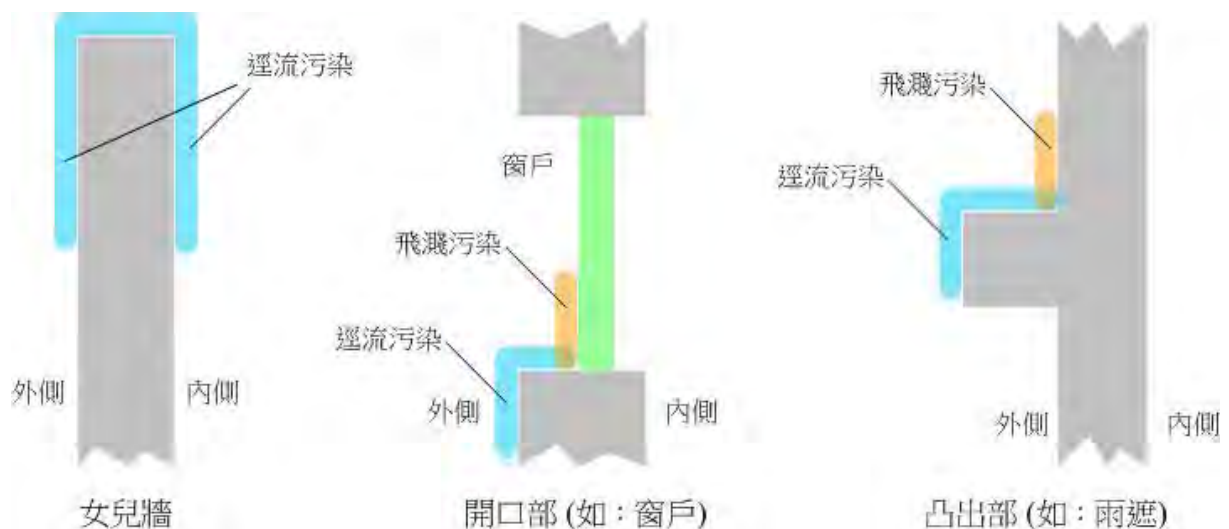
1. 使用單眼相機拍攝建築物外牆污染之相片。
(爲了確認污染原因不是建材本身老化所造成，拍攝較新的建築物爲主)
2. 分別探討雨水與灰塵對女兒牆、凸出部、開口部污染形成之原因。

結果：

1. 雨水與灰塵對女兒牆、凸出部、開口部污染情形如圖1所示。
2. 女兒牆上緣、凸出部上緣、開口部下緣較易形成明顯的污痕。
3. 凸出部上方牆面、開口部玻璃常有飛濺污染情形發生。

討論：

1. 女兒牆、凸出部、開口部之污染，可能是雨水沖刷水平面及鉛直面之灰塵，形成逕流污水所留下之污痕。
2. 凸出部上方牆面、開口部玻璃之飛濺污染，可能是雨水撞擊水平面之灰塵，形成飛濺污水所留下之污痕，如下圖所示。



3. 建築物外牆無論採用何種材質(抵石子、洗石子、磁磚、金屬、玻璃...等)，均有外牆污染現象發生，但以淺色系的抵石子、洗石子等表面粗糙材質較爲嚴重，這與相關研究結果相似。⁽⁴⁾



圖1 雨水與灰塵對女兒牆、凸出部、開口部污染情形

(二) 污染擬真裝置之製作

爲了更深入探究雨水與灰塵之污染問題，我們參考相關研究之裝置⁽⁴⁾，著手設計改良裝置，自行組裝更佳的污染擬真裝置。

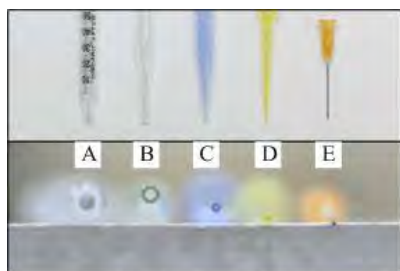
【實驗二】 雨滴之模擬

首先必須確定水滴粒徑與速度，使降雨裝置產生之水滴儘量接近天然狀況。

步驟：

A. 水滴粒徑之測定 (6) (8) (15)

1. 採用不同口徑的滴管頭。(自行標示為A、B、C、D、E如下圖所示)



五種不同口徑的滴管頭



使用單眼相機拍攝水滴影像



使用電子天平測定水滴質量

2. 利用單眼數位相機拍攝單一水滴之影像。

(快門先決模式／快門1/4000S／光圈3.5／ISO800／未用閃光燈／鹵素燈正向補光)

3. 使用Photoshop度量工具，分別測量水滴粒徑、直尺刻度(20cm)之數值，依下列計算式，換算出水滴粒徑 $x(\text{cm})$ 。

$$\frac{\text{水滴粒徑}x(\text{cm})}{\text{直尺}20(\text{cm})} = \frac{\text{水滴粒徑量測數值}}{\text{直尺}20\text{cm量測數值}}$$

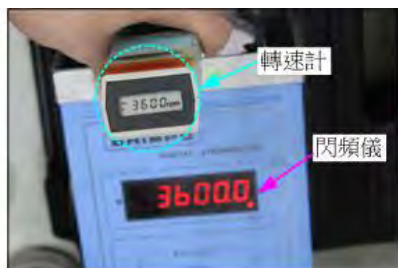
4. 另採用電子天平測量水滴之質量 (25°C 水之密度=0.9971)⁽¹²⁾，換算成水滴之體積 V ，利用球體體積公式 $V = \frac{4}{3}\pi r^3$ ，算出水滴直徑進行比對驗證。

B. 水滴速度之測定 (2) (8) (10) (14) (15)

1. 選用適當口徑的滴管頭置於高處，使用閃頻儀與相機拍攝單一水滴之連續影像。



以轉速計校正閃頻儀



轉速計與閃頻儀頻率相同



利用閃頻儀拍攝水滴連續影像

2. 閃頻儀設定3600rpm，即頻率=60(1/sec)，可知周期 $T=1/60(\text{sec})$ ；使用Photoshop度量工具，同「本實驗」A之步驟，測出水滴影像間隔距離 Δx (位移)。利用運動學公式，將 Δt (周期 T)、 Δx 代入 $\bar{v} = \Delta x / \Delta t$ ，可算出水滴接近3.6m處影像間隔之平均速度 \bar{v} 。

C. 雨滴產生器之製作

1. 採用塑膠容器、砧板、1ml針筒（自行標示之A型滴管頭）等材料製作雨滴產生器。
2. 改裝汽車雨刷馬達、連桿、球型萬向接頭、紗網、小風扇等組件（皆為廢棄回收品），使本裝置可前後左右移動，使雨滴分佈較均勻。
3. 加裝水管、抽水馬達，測試用水可循環回收；加裝液位開關，水位可維持 $\pm 0.5\text{cm}$ ，使水壓較穩定。
4. 雨滴產生器之製作過程如下圖所示。



水槽底板鑽孔



安裝液位開關



安裝水槽



安裝抽水馬達



安裝水槽往復馬達



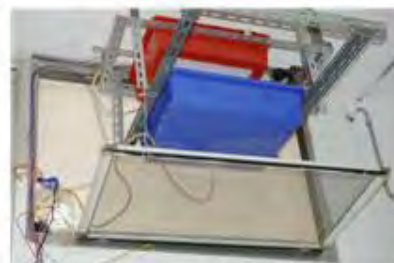
安裝廢水循環水槽



安裝紗網

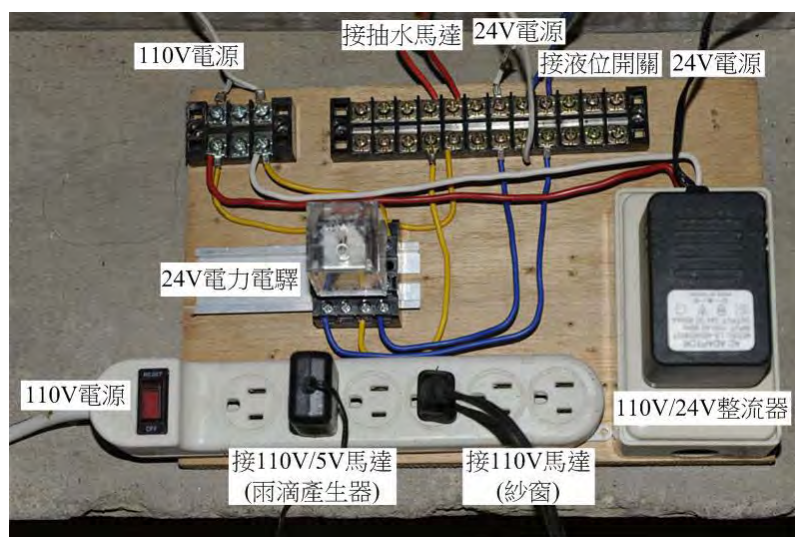


安裝紗網往復馬達



雨滴產生器

雨滴產生器之製作過程



電路控制配置圖

D. 雨滴均勻性之測定

1. 在翻拍架上拍攝雨滴滴落在乾燥的細砂上之均勻性。
2. 拍攝通過紗網之雨滴影像，測定雨滴粒徑分佈情形。
(快門先決模式／快門1/8000S／光圈4.0／ISO4000／未用閃光燈／鹵素燈正向補光)
3. 利用Photoshop度量工具，測定雨滴粒徑，同「本實驗」A之步驟。

結果：

A. 水滴粒徑之測定

1. 如圖2所示，五種不同滴管頭產生不同粒徑水滴之影像。
2. 如表1、圖3所示，分別以影像法與質量法測定水滴之粒徑，測定結果相近。

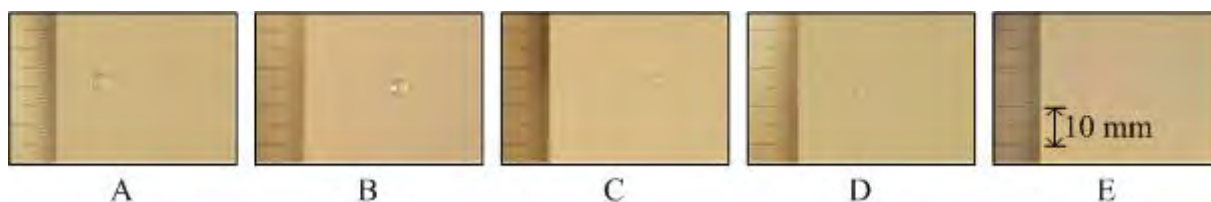


圖 2 五種滴管頭產生不同粒徑之雨滴

表 1 影像法與質量法測定水滴粒徑之比較

滴管頭	雨滴粒徑 (mm)			
	影像法		質量法	
	平均值	標準差	平均值	標準差
A	5.04	0.22	4.60	0.02
B	4.55	0.11	4.46	0.02
C	3.32	0.29	3.59	0.02
D	3.18	0.18	3.32	0.02
E	2.03	0.11	2.30	0.02

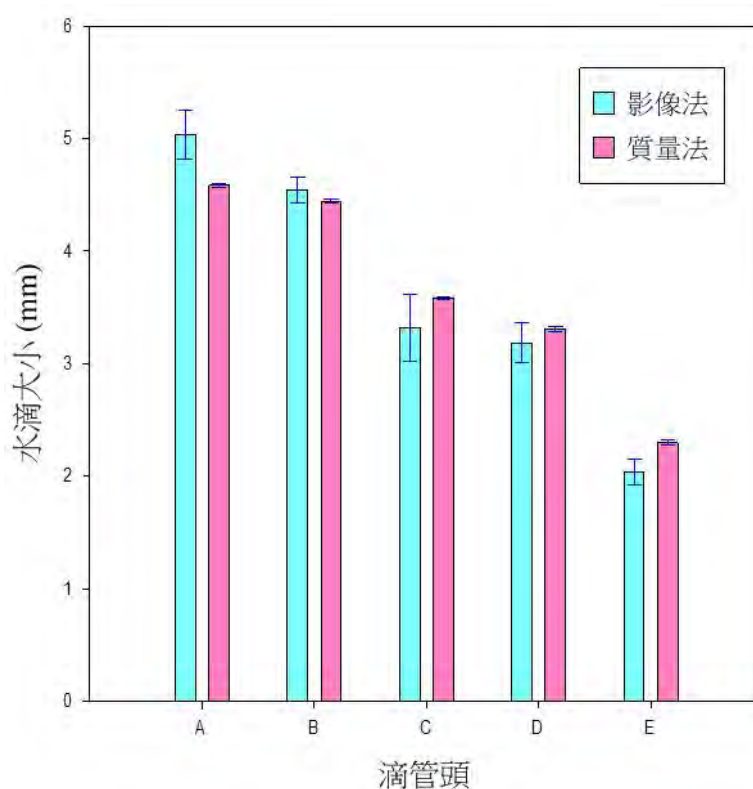


圖 3 影像法與質量法測定水滴粒徑之比較

B. 水滴速度之測定

1. 如圖4所示，使用閃頻儀與相機拍攝呈現出單一水滴之連續影像。
2. 如表2所示，可計算出本裝置接近3.6m處之雨滴速度約8.22(m/s)。

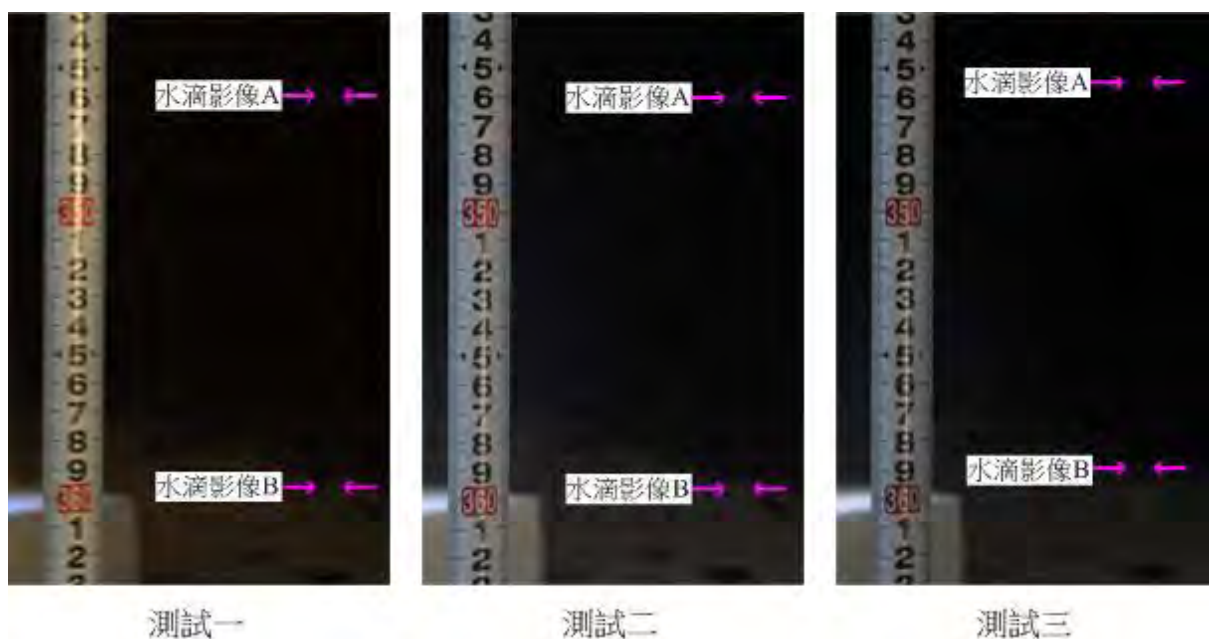


圖 4 單一水滴之連續影像

表2 水滴下降至B點之速度

項目	測試一	測試二	測試三	平均值	標準差
位移 Δx (cm)	13.82	13.71	13.54	13.69	0.14
時間變化量 Δt (sec)	1/60	1/60	1/60	1/60	0
AB 間平均速度 v (m/sec)	8.29	8.23	8.12	8.22	0.08

C. 雨滴產生器之製作

雨滴產生器之水槽可左右移動、紗網可前後移動、水位控制正常、降雨測試正常。

D. 雨滴均勻性之測定

1. 如圖5所示，本裝置滴落之雨滴，其散佈情形大致均勻。
2. 如圖6所示，本裝置滴落之雨滴，其粒徑分佈與天然雨滴相似。⁽¹⁾⁽²⁾



圖 5 降雨測試後雨滴之散佈情形

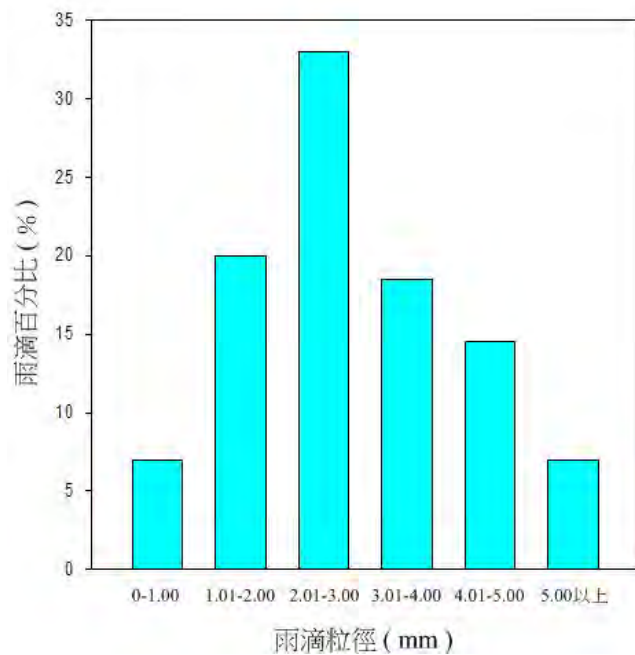
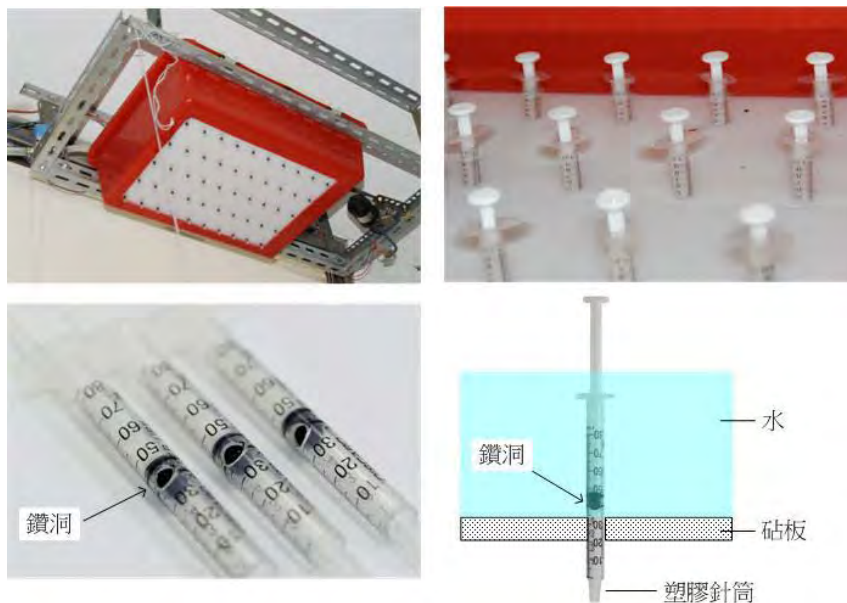


圖 6 雨滴粒徑之分佈

討論：

1. 如下圖所示，本研究雨滴產生器之特點是使用針筒鑽洞改裝而成，具有使雨滴產生速度容易控制、滴管頭容易更換、雨滴粒徑容易調整、製作方式更簡易、成本更低等優點。



2. 本研究選用五種的滴管頭，所產生水滴之粒徑皆在天然雨滴之粒徑範圍內。⁽¹⁾⁽²⁾
3. 利用影像法測定水滴之粒徑時，有些水滴會呈現扭曲狀，此點證明空氣阻力會導致雨滴之形變，因此採用質量法測定水滴之粒徑較精確。⁽¹⁵⁾
4. 本實驗產生之雨滴速度約 $8.22(\text{m/s})$ ，與天然雨滴之終端速度相近。⁽²⁾⁽¹³⁾
5. 本實驗採用滴管頭 A（水滴粒徑最大），水滴通過紗網後，粒徑大小不一，大致與天然雨滴相近。⁽¹⁾⁽²⁾

【實驗三】抵石子試體之模擬

建築物為講究外觀材質之變化，抵石子廣泛運用在女兒牆、開口部、凸出部等周邊位置，作修飾或收邊之用。此外，抵石子表面粗糙，較易受到污染，故本研究之試體採用抵石子材質。

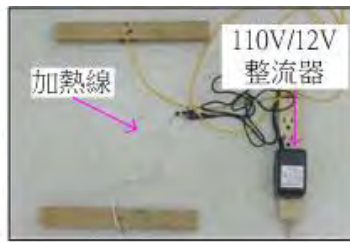
步驟：

A. 抵石子試體之製作⁽⁷⁾

1. 使用自製切割器切割保麗龍（60cm×30cm×12cm）。
2. 將白石子、抵石泥等體積混合適量的水，調配適當黏稠度的石子泥漿，塗抹在保麗龍表面，進行抵石子試體之製作。



保麗龍



自製切割器



切割保麗龍



塗抹石子泥漿



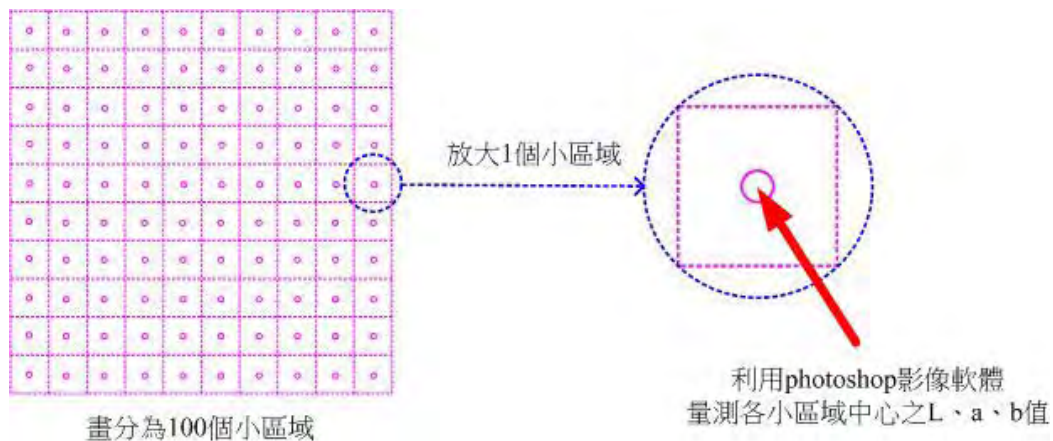
以報紙吸附過多水分



以海綿抵石子

B. 抵石子試體均勻性之測定^{(3) (4) (9) (11)}

1. 在暗室中拍攝抵石子試體。
(手動曝光模式／快門1/100 s／光圈5.0／ISO200／使用閃光燈)
2. 將抵石子試體左半部、右半部各畫分為100個區域，利用photoshop影像軟體量測各區域中心之L、a、b值。



3. 將抵石子試體左半部、右半部之 L、a、b值代入白度值 (WI)公式，計算出白度值，作為抵石子試體色澤均勻性之量化指標。
($WI = 100 - \sqrt{(100 - L)^2 + a^2 + b^2}$)

4. 將抵石子試體左半部、右半部之WI數據，利用Excel資料分析之z檢定功能，判別二者是否具有顯著差異。(信賴水準95%)

結果：

1. 如圖 7 所示，由肉眼觀察抵石子試體左半部、右半部之色澤十分均勻。

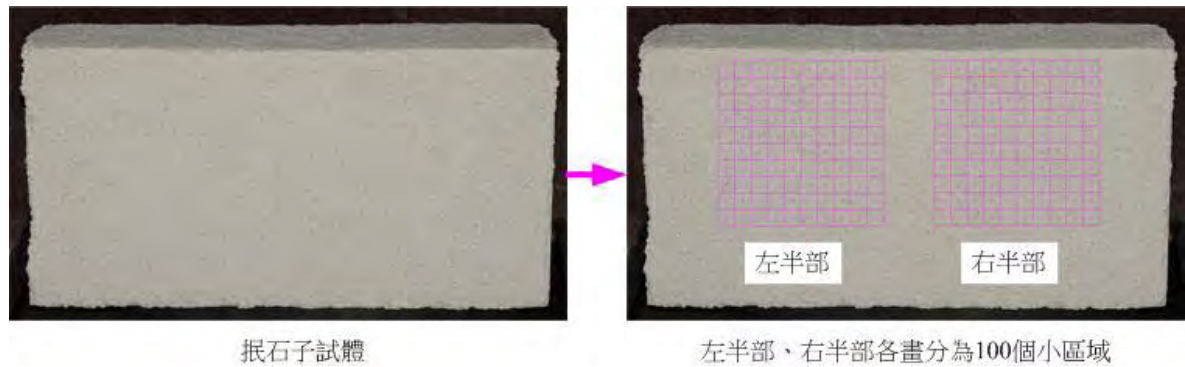


圖7 抵石子試體左半部、右半部之影像

2. 如圖 8 所示，抵石子試體左半部、右半部之 WI 十分接近。利用 Excel 資料分析之 z 檢定分析 WI 數據，結果顯示二者之 WI 沒有顯著差異 (信賴水準 95%)，證明抵石子試體之色澤十分均勻。

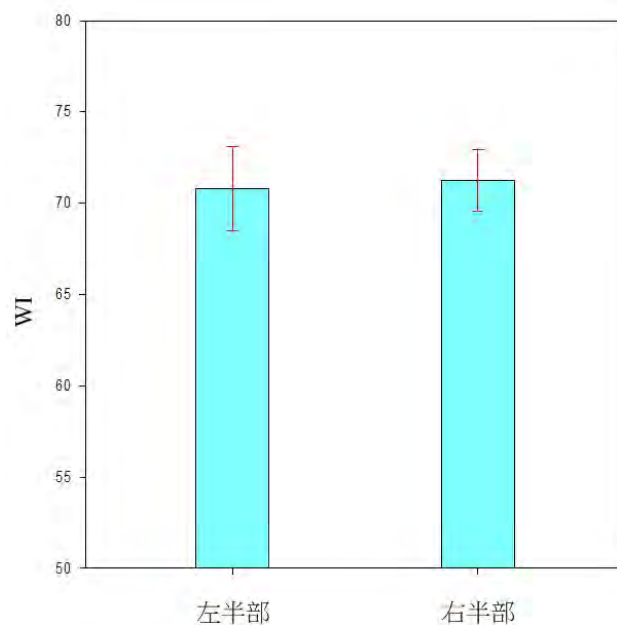


圖8 抵石子試體左半部、右半部WI之比較

討論：

1. 市售保麗龍切割器尺寸太小，無法切割本研究之保麗龍 (60cm×30cm×12cm)，因此，我們使用110V/12V整流器，再串接加熱線 (廢棄吹風機的加熱線) 自製切割器。
2. 由於抵石子試體左半部、右半部之WI十分接近，爲了判別二者是否具有顯著差異，故進一步參考統計學方法，利用Excel資料分析之z檢定，判別左半部、右半部WI之差異顯著性。⁽³⁾

【實驗四】灰塵之模擬

灰塵是外牆污染之元兇，通常灰塵易附著在外牆平台上，若加上雨水之沖刷污染，污水逕流之處，很容易成為微生物滋長之溫床。⁽⁴⁾

步驟：

A. 灰塵之蒐集與過篩⁽⁴⁾

1. 使用吸塵器蒐集室內乾沉降之灰塵。
2. 先經60 mesh分析篩去除較大之雜質，再經140mesh分析篩過篩。



灰塵之蒐集

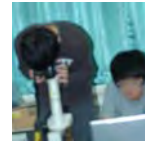


灰塵之過篩

B. 灰塵粒徑之測定

1. 將灰塵置於接物測微計（每一小格10 μm ）上。
2. 使用單眼相機連接顯微鏡拍攝觀察灰塵之粒徑。

（手動曝光模式／快門1/15 s／ISO100／使用Nikon Camera Control軟體控制拍攝）



C. 灰塵產生器之製作

1. 使用大型紙箱做為落塵處理箱，使用氮氣做為灰塵噴霧之流體來源。
2. 氮氣出口壓力維持2kg/cm²，利用白努力原理⁽¹⁴⁾將灰塵噴霧至紙箱中，每次灰塵噴霧量10克，噴霧後靜置30分鐘，使灰塵均勻自然沉降。



調壓閥與壓力表



利用白努力原理之噴霧頭



自製灰塵產生器

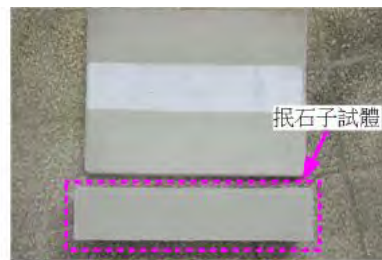
D. 灰塵均勻性之測定

1. 拍攝落塵處理後之抵石子灰塵試體。

（手動曝光模式／快門1/100 s／光圈5.0／ISO200／使用閃光燈）



落塵處理前之抵石子試體



落塵處理後之抵石子試體

2. 測定灰塵分佈之均勻性，步驟同【實驗三】B之方法。

結果：

1. 由圖9顯示，灰塵粒徑大小不一，但絕大部分小於 $50\mu\text{m}$ ，與文獻資料相似。⁽⁴⁾

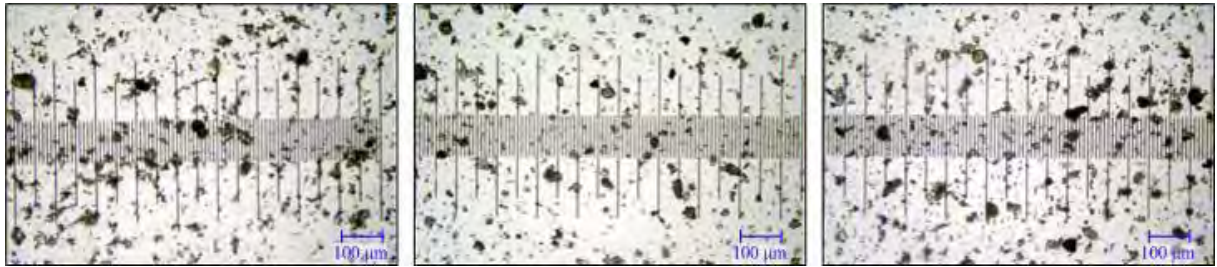


圖9 灰塵粒徑之測定

2. 如圖 10 所示，由肉眼觀察灰塵試體左半部、右半部之色澤十分均勻。



圖10 灰塵試體色澤十分均勻

3. 如圖 11 所示，灰塵試體左半部、右半部之 WI 十分接近。利用 Excel 資料分析之 z 檢定分析 WI 數據，結果顯示二者之 WI 沒有顯著差異（信賴水準 95%）。

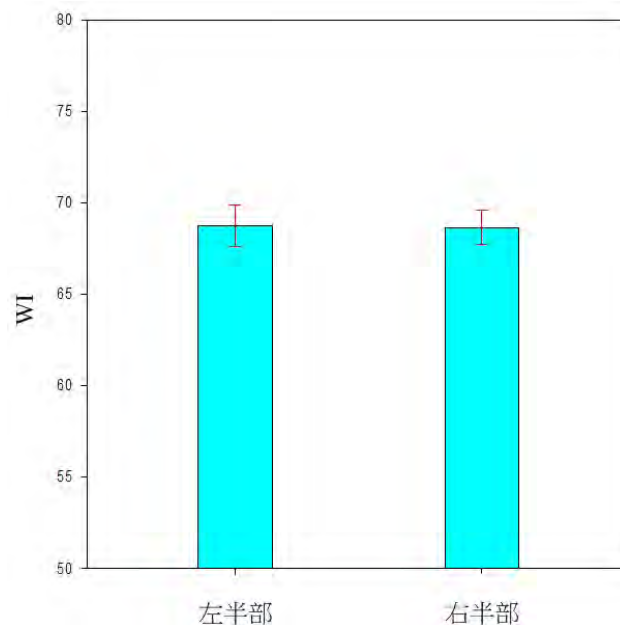


圖11 灰塵試體左半部、右半部WI之比較

討論：

1. 我們使用140mesh分析篩（孔徑： $0.105\text{mm}=105\mu\text{m}$ ），過篩所得灰塵之粒徑大致與文獻資料相近。⁽⁴⁾

2. 由於灰塵試體左半部、右半部之WI十分接近，爲了判別二者是否具有顯著差異，故進一步利用Excel資料分析之z檢定進行差異性判別。

【實驗五】擬真裝置之測試

擬真裝置製作完成後，我們需進行模擬測試，以便瞭解此裝置之實用性，並希望藉此裝置尋求污染防止之方法。

步驟：

A. 污染模擬測試

1. 將抵石子試體經落塵處理（寬度30cm）。
2. 以擬真裝置進行降雨測試，如下圖所示。



B. 水滴飛濺軌跡之測試

1. 開啓雨滴產生器單一針筒，以單一水滴撞擊抵石子試體。(未用紗網)
2. 使用閃頻儀與單眼相機拍攝水滴飛濺軌跡之連續影像。(閃頻儀：頻率10000rpm)
(單眼相機：手動曝光／光圈4.5／快門0.4S／ISO3200／未用閃光燈)
3. 利用Photoshop度量工具，測定阻擋飛濺雨滴最低高度，同【實驗二】A之步驟。

結果：

A. 污染模擬測試

如圖12所示，抵石子試體上方之內側鉛直面有明顯的飛濺污染；抵石子試體下方之外側鉛直面有明顯的逕流污染。



圖12 測試出現明顯的飛濺污染與逕流污染

B. 水滴撞擊軌跡之測試

1. 水滴飛濺軌跡之連續影像如圖13所示。

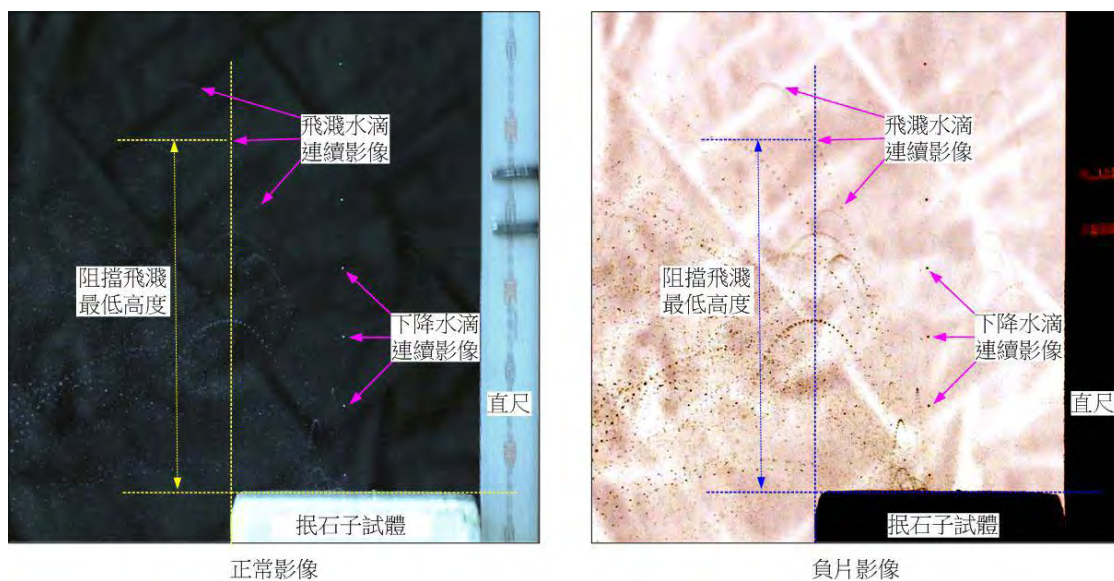


圖13 水滴飛濺軌跡之連續影像

2. 利用Photoshop求出阻擋水滴飛濺最低高度，如表3所示。

表3 利用Photoshop求出阻擋飛濺最低高度

	Photoshop 測量數值		阻擋飛濺高度 (cm)
	阻擋飛濺高度	直尺 20cm	
測試一	10.53	9.44	22.31
測試二	10.55	9.39	22.47
測試三	8.75	9.46	18.50
平均值	9.94	9.43	21.09
標準差	1.03	0.04	2.25

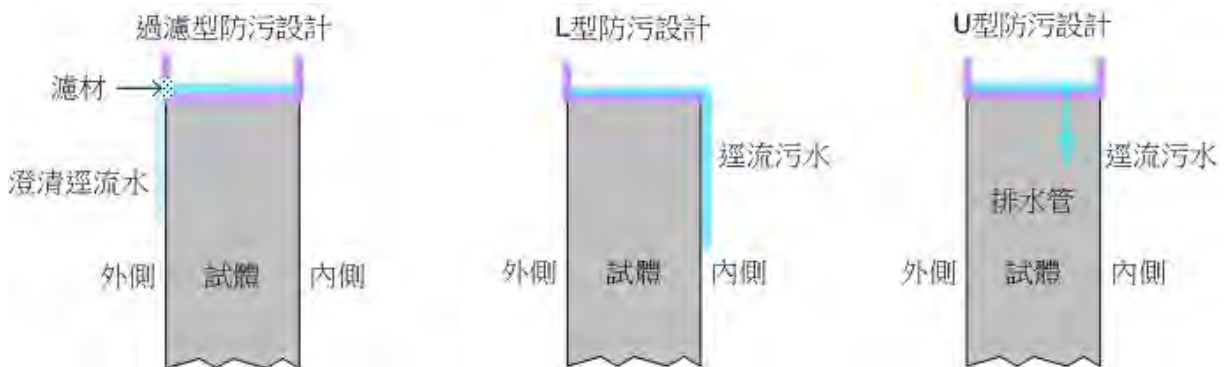
討論：

1. 本實驗證明，我們自行設計製作的「擬真裝置」，可有效模擬出雨水與灰塵對外牆造成之「逕流污染」與「飛濺污染」，這有助於我們探討防污方法之可行性。
2. 水滴撞擊抵石子試體後，其飛濺軌跡近似拋物線，若要阻擋水滴飛濺，擋板最低高度約21 cm。若想依靠擋板防止飛濺污染，此高度恐怕會影響建築物的美觀性，因此，我們必須尋求其他更好的防污方法。

(三) 污染防止方法之探討

【實驗六】逕流污染防止方法之探討

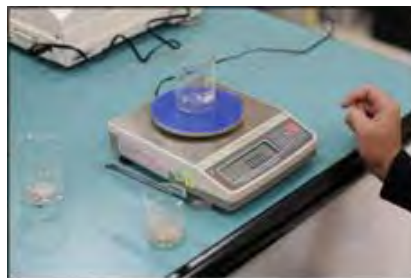
我們預期可藉由過濾污水或導流污水等設計，避免污水造成外牆逕流污染，構想圖如下圖所示。



步驟：

A. 「過濾型防污設計」之測試

1. 採用二種不同孔徑之濾紙。(No.42/No.1)
2. 分別配製灰塵混濁液(0.1 g灰塵+10ml蒸餾水)，進行過濾1分鐘，測試二種濾紙之過濾量及濾液澄清度。



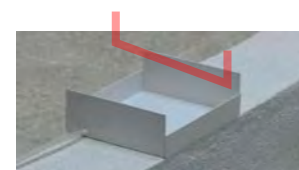
B. 「L型防污設計」之測試

1. 使用塑膠板自行設計組裝「L型防污設計」，如右圖所示。
2. 分別測定抵石子試體「L型防污設計」、「無防污設計」之WI，步驟同【實驗三】B之方法。(信賴水準95%)



C. 「U型防污設計」之測試

1. 使用塑膠板自行設計組裝「U型防污設計」，如右圖所示。
2. 分別測定抵石子試體「U型防污設計」、「無防污設計」之WI，步驟同【實驗三】B之方法。(信賴水準95%)



結果：

1. 如圖14所示，污水過濾1分鐘後，通過No.1濾紙的濾液約7.2ml，呈現混濁；通過No.42濾紙的濾液雖然較澄清，但濾液僅約0.37ml。

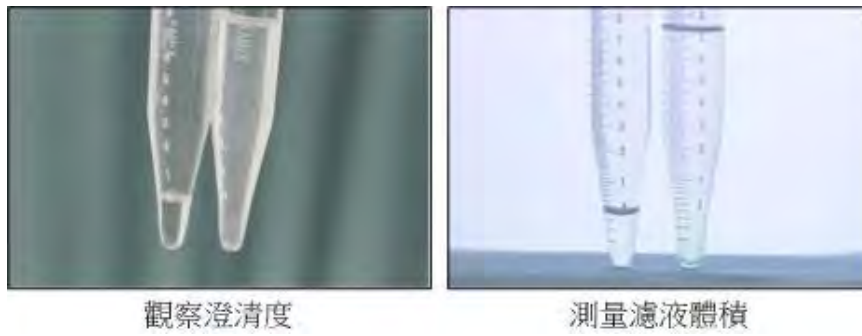


圖14 不同濾紙過濾效果之比較

2. 如圖15、圖16所示，安裝「L型防污設計」可防止試體之逕流污染。

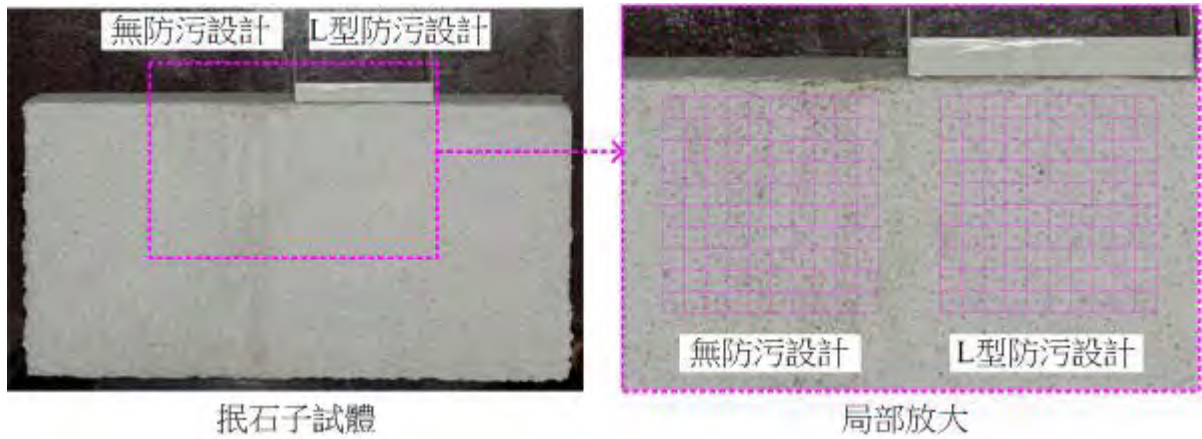


圖15 「L型防污設計」可防止逕流污染

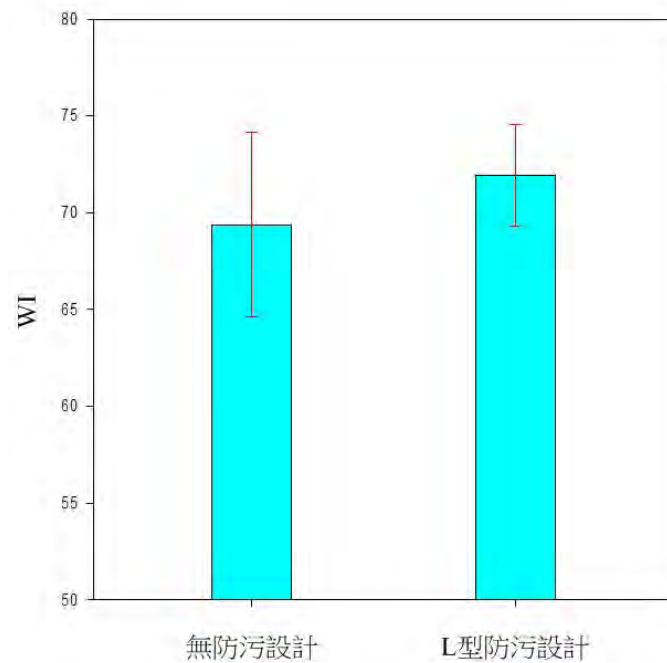


圖16 「L型防污設計」可防止逕流污染

3. 如圖17、圖18所示，安裝「U型防污設計」可防止試體之逕流污染。

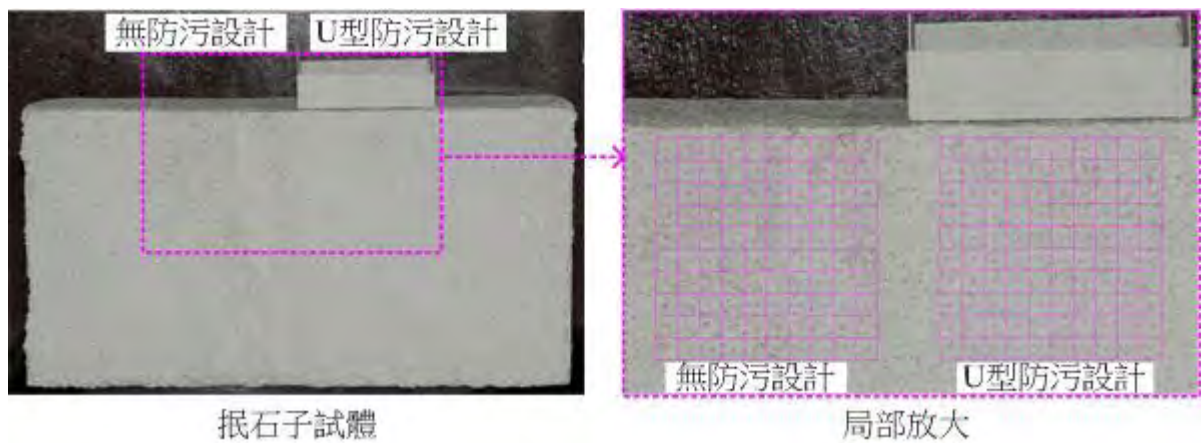


圖17 「U型防污設計」可防止逕流污染

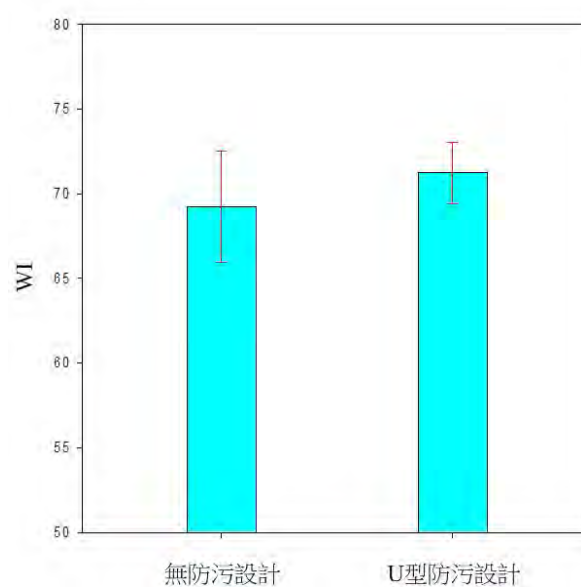


圖18 「U型防污設計」可防止逕流污染

討論：

1. 使用過濾法處理污水時，採用孔徑較大的No.1濾紙，則濾液混濁；採用孔徑較小的No.42濾紙，則過濾速度太慢，故過濾法較無實用價值。
2. 「L型防污設計」，則可防止女兒牆外側污染，卻造成內側污染，不過內側較易清洗，且對建築物外觀影響較小。
3. 「U型防污設計」，將污水導流至排水管，可防止女兒牆內外兩側逕流污染，是較佳之設計，新的建築物建議採用此種設計。

【實驗七】飛濺污染防止方法之探討

我們由飲水機引發設計靈感，預期不銹鋼網可防止飛濺污染。另外，我們觀察周遭建築物，預期採用傾斜面設計，亦可防止飛濺污染。



不鏽鋼網消除飛濺現象



傾斜面上方沒有飛濺污染

步驟：

A. 不鏽鋼網防濺之測試

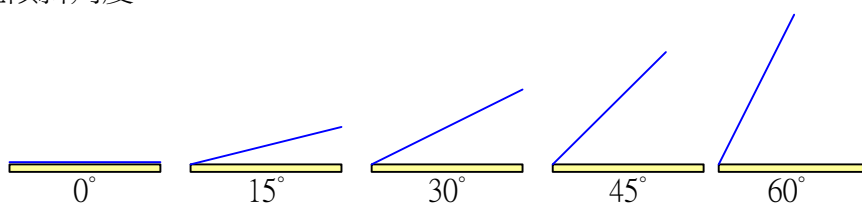
1. 採用六種不同孔徑之不銹鋼網：

	A	B	C	D	E	F
mesh	120	60	35	18	10	普通紗網
孔徑	0.125mm	0.250mm	0.50mm	1.00mm	2.00mm	約1.35mm

2. 進行防濺測試，使用高速攝影拍攝單一水滴撞擊不銹鋼網之影像。

B. 傾斜角度防濺之測試

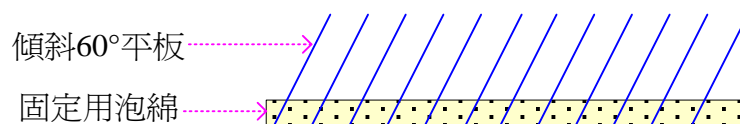
1. 採用五種傾斜角度



2. 進行防濺測試，使用高速攝影拍攝單一水滴撞擊傾斜平板之影像。

C. 60°斜板組件防濺之測試

1. 採用傾斜60°的平板多片（3cm×15cm），每片平板間隔8mm，並排製成斜板組件。



2. 進行防濺測試，使用高速攝影拍攝單一水滴撞擊斜板組件之影像。



不鏽鋼網防濺測試



傾斜角度防濺測試



斜板組件防濺測試

結果：

1. 由圖 19 顯示，六種不同孔徑之不銹鋼網均有水滴飛濺現象。

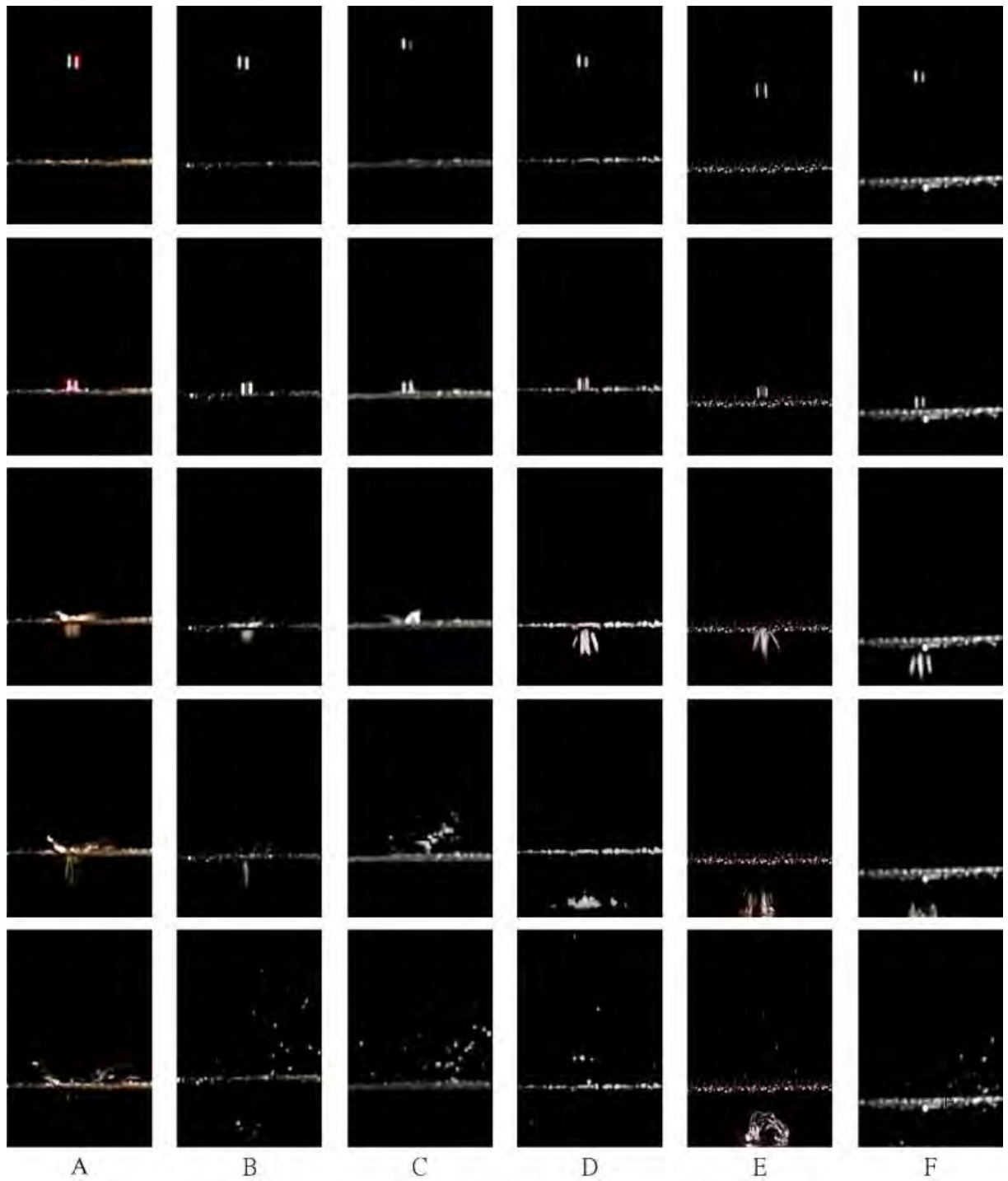


圖19 不鏽鋼網防濺測試之連續影像

2. 由圖20顯示，隨著平板傾斜角度遞增，則水滴飛濺現象會遞減，當平板傾斜 60° 時，就沒有水滴飛濺現象。

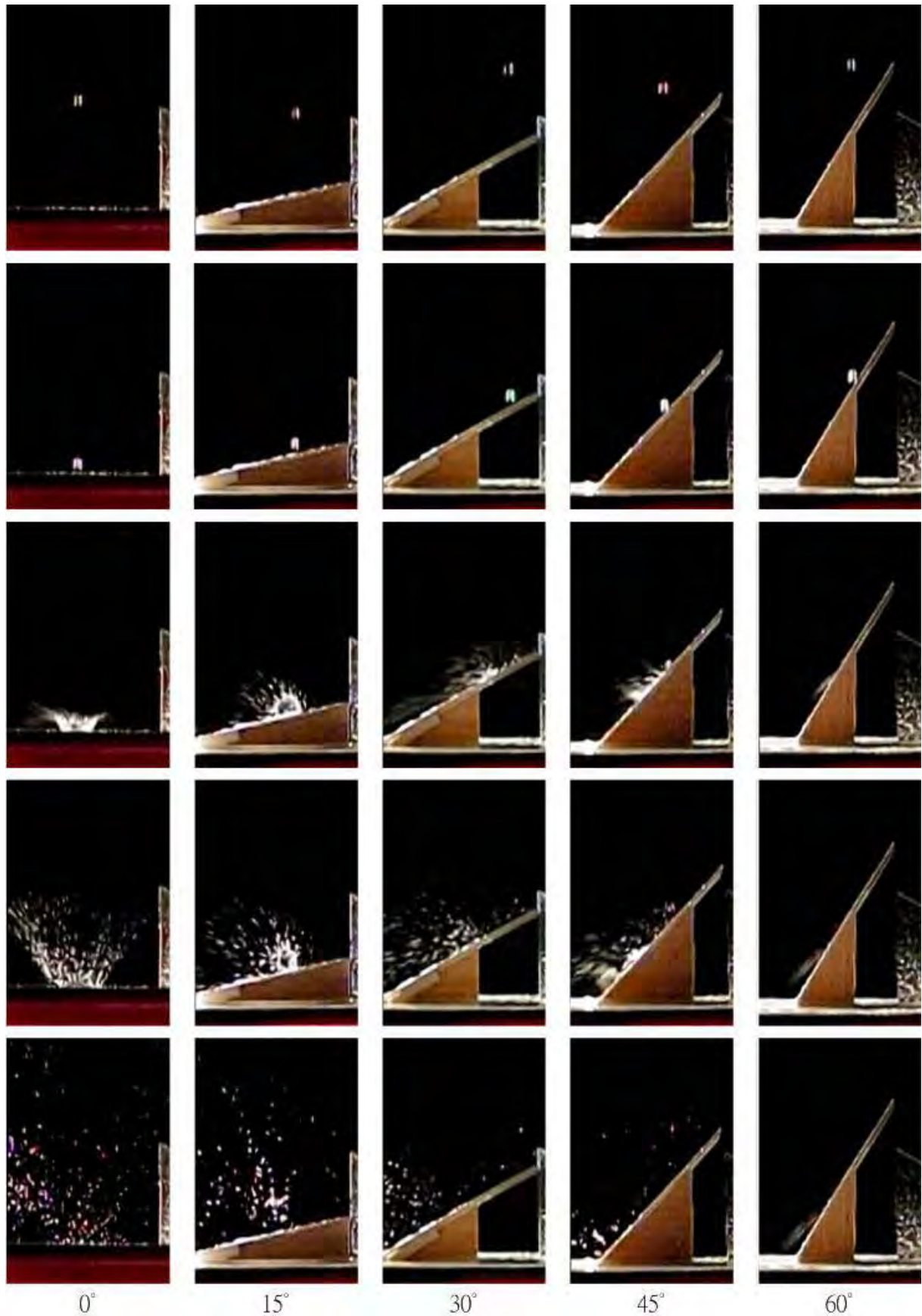


圖20 傾斜角度防濺測試之連續影像

3. 由圖 21 顯示，無論水滴撞擊斜板組件任何位置，都沒有水滴飛濺現象。



圖21 斜板組件防濺測試之連續影像

討論：

1. 隨著平板傾斜角度遞增，則水滴飛濺現象會遞減，我們測試出傾斜 60° 時，就沒有水滴飛濺現象。
2. 使用 60° 斜板組件，無論水滴撞擊任何位置，都能有效防止水滴飛濺現象。

【實驗八】防污裝置之測試

整合「U 型防污設計」、「 60° 斜板組件」，我們自行設計組裝的「防污裝置」預期可有效防止「逕流污染」與「飛濺污染」。

步驟：

A. 防污效果之測試

1. 使用塑膠板自行組裝「防污裝置」，如下圖所示。



防污裝置 = U型防污設計 + 60°斜板組件

2. 將防污裝置安裝在抵石子試體上，經落塵處理後進行防污測試，拍攝觀察防污效果。
(手動曝光模式／快門1/100 s／光圈5.0／ISO200／使用閃光燈)

B. 污染次數之影響

1. 每天進行一次防污測試，隔日乾燥後拍攝試體，連續測試拍攝五天。
2. 測定試體各部位（上左、上右、下左、下右）之WI，步驟同【實驗三】B之方法。

結果：

1. 由圖22、圖23顯示，自行組裝「防污裝置」能有效防止「飛濺污染」、「逕流污染」。
2. 由圖24、圖25顯示，隨著污染次數遞增，「防污裝置」之防污效果更加明顯。

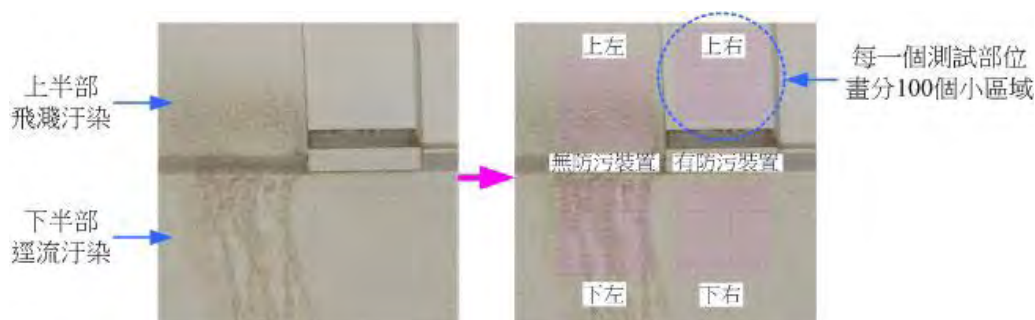


圖22 「防污裝置」可防止「飛濺污染」、「逕流污染」

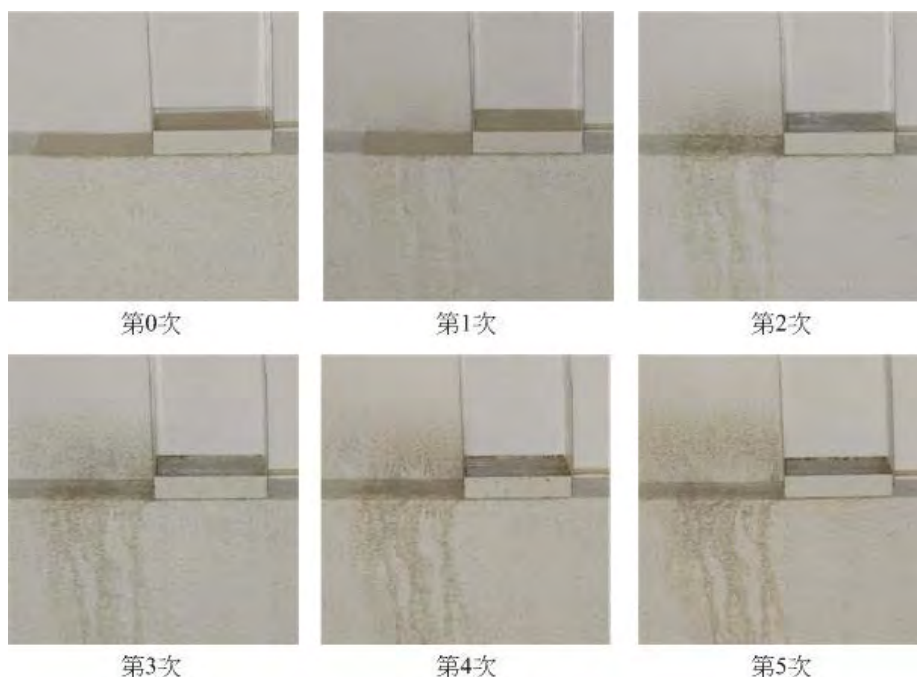


圖23 污染次數遞增，「防污裝置」之防污效果更加明顯

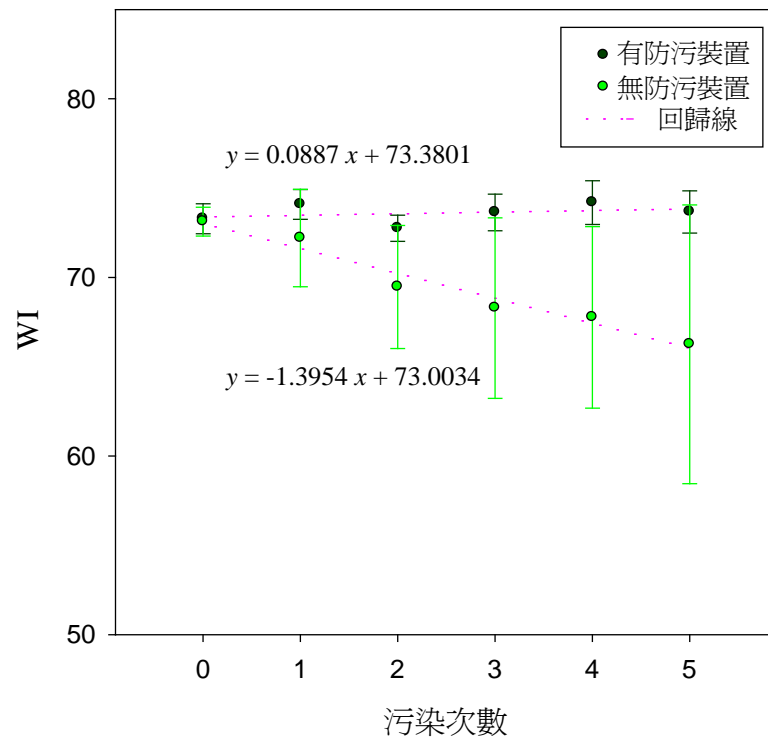


圖24 污染次數遞增，「防污裝置」防止「飛濺污染」之效果更加明顯

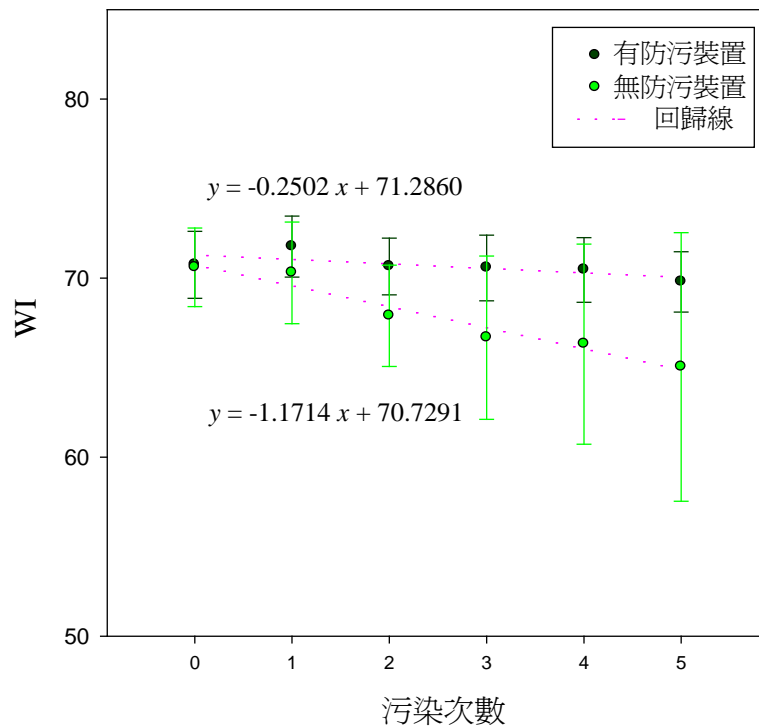
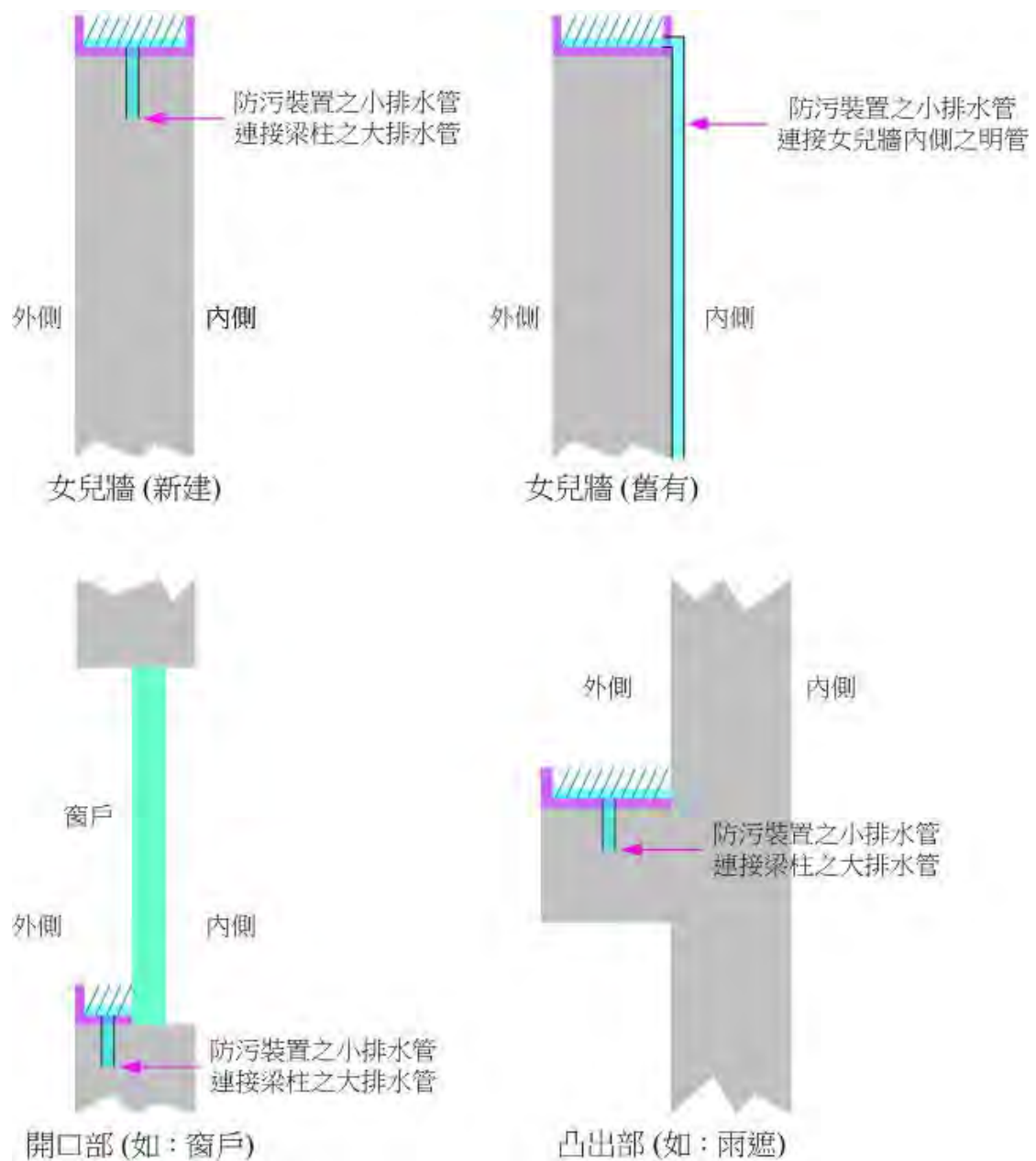


圖25 污染次數遞增，「防污裝置」防止「逕流污染」之效果更加明顯

討論：

1. 由Excel之z檢定分析WI數據顯示，測試前(第0次)試體各部位之WI沒有顯著差異；測試後(第1~5次)就有顯著差異。(信賴水準95%)
2. 隨著污染次數之遞增，有防污裝置、無防污裝置的WI差異性更加明顯。
3. 經由實驗證明，我們自行組裝的「防污裝置」，確實可防止「飛濺污染」、「逕流污

染。未來，此「防污裝置」可實際應用在建築物之女兒牆、凸出部、開口部上，有效防止外牆污染。「防污裝置」之實際應用，如下列示意圖。



陸、研究結論

一、實驗結論

1. 雨水與灰塵對建築物的女兒牆、凸出部、開口部時常造成污染現象。
2. 我們自行設計組裝的雨滴產生器，所產生雨滴之粒徑、速度、均勻性等，都與天然雨滴相近。
3. 我們製作的抵石子試體之色澤大致均勻。

4. 使用我們自製的灰塵產生器，將抵石子試體進行落塵處理，試體上灰塵分佈十分均勻。
5. 我們自行設計製作的「擬真裝置」（雨滴產生器+抵石子試體+灰塵產生器）可有效模擬出雨水與灰塵對外牆造成之污染情形。
6. 採用「U型防污設計」可防止女兒牆內、外兩側「逕流污染」。
7. 採用「60°斜板組件」，無論水滴撞擊任何位置，都沒有水滴飛濺現象。
8. 我們整合「U型防污設計」、「60°斜板組件」，自行設計組裝的「防污裝置」可有效防止「逕流污染」與「飛濺污染」。

二、具體貢獻

1. 本研究擬真裝置是以文獻資料⁽⁴⁾之裝置為基礎，但有幾項具體改良：
 - (1) 本研究雨滴產生器之特點是使用針筒鑽洞改裝而成，具有使雨滴釋放速度容易控制、滴管頭容易更換、雨滴粒徑容易調整、製作方式更簡易、成本更低等優點。
 - (2) 本研究應用液位開關與抽水馬達，精準控制水位高度 $\pm 0.5\text{cm}$ ，使水壓更穩定。
 - (3) 本研究將雨滴產生器之水槽加裝馬達使之左右移動；紗網加裝馬達使之前後移動，讓雨滴隨機分散效果更加均勻。
 - (4) 本研究將雨滴位能轉變成動能列入考量，模擬出雨滴速度 $8.22(\text{m/s})$ ，與天然雨滴之終端速度相近。⁽²⁾
 - (5) 本研究應用白努力原理，使用簡易三通接頭，有效改良灰塵產生裝置。⁽¹⁴⁾
2. 經實驗證明，我們所設計組裝的「防污裝置」，融合「U型防污設計」與「60°斜板組件」之優點，可有效防止外牆之「逕流污染」與「飛濺污染」。
3. 本研究無形中達到節能省碳之效益。相關研究顯示⁽⁵⁾，建築物整建更新(拉皮)會留下可觀的碳足跡。建築物設計時，若對外牆防污裝置妥善設計規劃，日後將使建築物的外牆更美觀、更耐久、更保值、更節能省碳。

三、未來展望

國內有關外牆污染試驗之研究很少，若研發更精良的「擬真裝置」，提供給學術單位或建築相關產業，進行外牆污染模擬試驗用，進而改善外牆污染情形，對於建築物整建或外牆更新(拉皮)之需求將會延後，無形中對節能省碳將有非常大的貢獻。

四、課程應用

科目	主題	應用
物理 ⁽¹⁴⁾	運動學	水滴速度之測量
物理	白努力定律	灰塵產生器
物理	牛頓第三運動定律	防濺試驗
化學 ⁽¹²⁾	水的物理性質	水滴粒徑之測定

柒、參考資料

1. 林沛練、簡巧菱、許玉金（2007）。台灣北部地區雨滴粒徑分布特性之探討。2007 年台灣地球科學學術研討會論文。
2. 林俐玲、林文弘（1998）。紅壤可蝕性因子之量測。水土保持學報 30(1)：p41-58。
3. 林惠玲、陳正倉（2007）。統計學-方法與應用（下），三版。雙葉書廊有限公司，台北市。
4. 孫臆勛（2002）。灰塵與雨水作用造成建築物外牆污染之研究—以表面粗度與角度因子探討之。國立成功大學建築研究所碩士論文。
5. 張智元、薛小春（2011）。從永續整建觀點探討建築物外牆整建之碳足跡。物業管理研究成果發表會論文集。
6. 許毅然（1998）。雨滴觀測之自動化 量測系統研製。第十三屆全國技術及職業教育研討會論文集。
7. 陳韋廷、陳姝妤（2011）。抵石子奧妙。第 1000331 梯次全國小論文得獎作品。
8. 陳榮洪（2003）。液滴與液柱碰撞現象研究。行政院國家科學委員會補助專題研究計畫精簡報告。
9. 曾國書（2007）。決明子涼麵及醬汁開發與感官品評之探討。台南科大學報 (26)：p243-258。
10. 楊鴻進（2003）。液滴撞擊之實驗研究及現象分析。國立台灣大學機械工程研究所碩士論文。
11. 維基百科。<http://zh.wikipedia.org/wiki/Lab%E8%89%B2%E5%BD%A9%E7%A9%BA%E9%97%B4>。
12. 蔡永昌（2011）。化學（I）。台科大圖書股份有限公司，新北市。
13. 蔡沛勳、王安邦、隋中興（2011）。水滴大氣之旅中的力學。中華民國力學學會，第 135 期會訊。
14. 賴彥良、潘彥弘（2009）。物理 C（I）。啓英文化事業有限公司，台北市。
15. 賴薇羽、張維玲、王靜嫻、賴宜彥（2004）。當蒼天落淚時—小水滴的自由落體。中華民國第四十四屆中小學科學展覽會優勝作品。

【評語】 091202

1. 研究團隊根據相關文獻進行雨滴生成器、抵石子試體與灰塵產生器之設計改良，模擬建築物外牆之汙染現象，並進一步設計外牆防污裝置，在研究目的、研究方法與結果呈現均相當完整並具系統化。
2. 相關實驗設計頗具創意且嚴謹，尤其在雨滴粒徑產生機制與後續在雨滴終端速度及粒徑分布等科學觀察皆相當細緻與準確。
3. 有關灰塵材料之模擬可利用研磨粉塵替代即可，非必要蒐集實際灰塵。
4. 後續應可進一步利用此降雨模擬系統，進行抗污外牆材質之研發。
5. 雖然雨滴終端速度接近天然降水，未來可進一步分析所模擬之降雨強度與所衍生汙染之關聯，即由降雨動量觀點分析與探討。