

中華民國第 58 屆中小學科學展覽會  
作品說明書

---

國中組 生活與應用科學(二)科

第三名

032910

水洩暢通——洗臉台存水彎的幾何設計

學校名稱：苗栗縣立明仁國民中學

作者：  國二 林昀陽  國二 賴科樺  國二 傅琮皓	指導老師：  何明昌
---	------------------

關鍵詞：水封儲水量、相對能量損失百分率、  
水流自淨能力

## 摘 要

日常生活所使用的洗手台、馬桶、浴缸等衛浴設備，為了阻隔下水道臭氣及防止小昆蟲進入室內，其排水通道上常設置一段彎折之存水彎，以儲水方式形成水封。本研究以洗手台之存水彎的幾何設計為主題，提出不同於傳統 S 型存水彎之新型 O 型存水彎幾何設計，並比較兩者在『水封儲水量』、『相對能量損失百分率』及『水流自淨能力』等效標的優劣。

經本研究顯示，O 型存水彎之幾何設計，其『水封儲水量』明顯優於傳統 S 型存水彎，而在『相對能量損失百分率』及『水流自淨能力』兩項效標的表現上，兩者並無明顯的差距，基於存水彎需有足量的水封儲水量，才能有更高的防臭及防蟲實用性。故本研究自行設計之新型 O 型存水彎，其整體效標表現，優於傳統的 S 型存水彎。

## 壹、研究動機

洗臉台是生活中常使用的衛浴器具，為了防止下水道的逆衝臭氣，由排水管倒灌進入建築物，以及避免蟑螂、螞蟻等小生物入侵室內，洗臉台之排水管並非直通的設計，而在排水中段設置存水彎，其設計理念是讓排水管路中，留下一些殘存的水，利用水分子形成水封。常見的洗臉台、浴缸、廁所馬桶等裝置的排水通道，常在內部或外部設有存水彎。

存水彎的發明歷史，最早在 1775 年 **Alexander Cummings** 發明 S 型彎管，但湯馬斯·克拉普在 1880 年改成 U 形存水彎，目前常見的採用是 U 型、S 型、或 J 形的幾何設計（圖 1）。由於其形狀設計的彎折，存水彎在排水之後，能保留了少量的水。另一方面，為了解決存水彎常有淤積物堵塞的問題，大多數存水彎可以拆卸進行清洗，或者是設計底排水口，提供了某種程度的清洗功能。因為 J 型存水彎設計複雜且水流暢通度不足，水流速率緩慢、容易阻塞，已被揚棄不用。目前存水彎的設計，主要以 U 型及 S 型為主。



圖 1 目前常見的存水彎設計，於彎管最低處設計成可拆卸，方便進行清洗

另一方面，從力學能轉換的觀點而言，洗臉台在安裝高度  $H$  已經固定的情況下，水分子在洗臉台上的重力位能  $U = mgH$  也隨著高度  $H$  固定，其做功(Work)的能力有限，在無能量損耗的理想情況下，水分子的重力位能轉換為動能  $E_k = \frac{1}{2}mv^2$ ，根據國中自然課程所提出的力學能守恆定律，水分子在下降  $h$  的高度後，瞬時速率為  $v = \sqrt{2gh}$ ；但在現實生活上，只要水分子流經排水管路，即會有能量的損失，損失的程度會隨著管路的管徑、彎折情形、阻塞程度、漩窩狀況而讓  $v$  有所變動。

若能量損失愈少，則水分子瞬時速率  $v$  將會較大。在存水彎管徑已固定的情況下，本研究分別以排出洗臉台在滿水位、高水位、中水位、低水位等四個固定水量之下，測量所需的排水時間  $t$ ，間接推測水流經過存水彎時平均速率  $\bar{v}$  的變化情形，表示水流通過存水彎時的順暢程度；若排水總時間  $t$  愈短，以表示水流經存水彎時的平均速率  $\bar{v}$  愈佳，水流經存水彎管時的能量損失則愈少，顯示管路彎折情況愈理想。本研究從排水時間  $t$  的變化情形，推測在各個高度、角度及管路彎曲情形下力學能的損耗情形。

本研究欲解決目前傳統 S 型存水彎常有淤積阻塞的問題，試著提出另一種存水彎幾何形狀為圓環狀的 O 型存水彎，並探討存水彎幾何形狀的改變，如何影響水流的儲水能力、能量變化，以及自我清淨能力。

## 貳、研究目的

理想的存水彎，除了需有足夠的存水量外，尚須兼顧良好的水流順暢度及自我清淨能力。若水封儲水量愈多，表示水封密閉性愈好；若相對能量損失百分率愈低，表示水流經過存水彎時，管路內壁的能量損耗愈低。水流自淨能力愈佳，表示管路愈不易阻塞、愈潔淨。

因此，本研究針對存水彎的管路設計，提出一個新的 O 型圓環彎管的設計（圖 2），並與傳統的 S 型管路設計做比較，針對探討「水封儲水量」、「相對能量損失百分率」及「水流自淨能力」三項效標，評估本研究所提出的 O 型圓環設計，是否優於傳統的 S 型彎管？並且找出 O 型存水彎的最佳的高度及旋轉角度配置方式。



圖 2 本研究設自行設計之 O 型存水彎

## 參、研究設備及器材

### 一、O 型存水彎設計之理念

傳統的 U 型或是 S 型存水彎，讓水分子侷限在空間上的固定一平面上流動，而且水分子流動時方向變化劇烈，流速很容易減緩，管路自淨能力較差，故常發生管路滋生細菌、堵塞等缺點，於是須另外設計清洗的裝置（圖 1）。本研究設計 O 型存水彎的理念（圖 3），係讓水分子在立體空間中流動時，考慮重力作用及運動慣性，讓水分子在管路內作 O 型的圓周運動，使水分子在管路內如同坐雲霄飛車，以減少水分子的流動時的能量損耗，並且於洩完水後，保留足夠的水封儲水量。

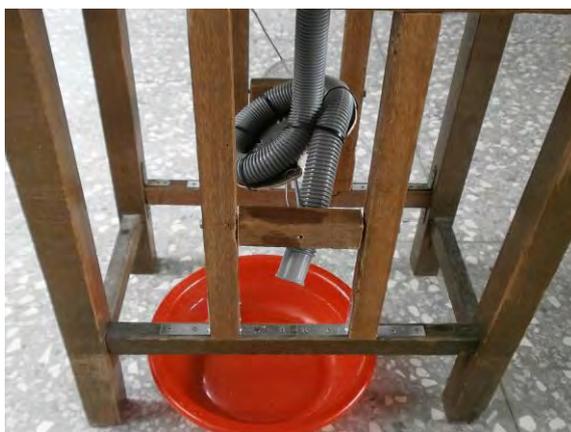


圖 3 本研究自行設計之 O 型存水彎

## 二、 研究設備及器材

本研究以洗臉台的存水彎為實驗主題，故實驗器材裝置選用對應口徑為 35mm 的可彎折式排水彎管，並設計旋轉盤直徑為 15 公分的 O 型圓環，如圖 2 所示。藉此裝置進行在預設之各項高度及角度組合下，測量洗臉台洩完水後，殘存在彎管內的水封儲水量，以及在洩水過程中，水流的相對能量損失百分率、水流自淨程度。

高度的設定，係以洗手台排水塞到 O 型圓環盤面圓心間的垂直距離  $h$  (圖 4)，分成 20 公分、30 公分、40 公分，共三個高度。



圖 4 高度  $h$  的設定方式

角度的設定方式係透過可旋轉調整角度的轉盤（圖 5-1），設定出 O 型環旋轉盤面與地面之間的夾角，分成 0 度、15 度、30 度、45 度、60 度、75 度、90 度，共 7 個夾角角度（圖 5-2~5-8）。



圖 5-1 轉盤與地面夾角角度的設定



圖 5-2 夾角 0 度的設定



圖 5-3 夾角 15 度的設定



圖 5-4 夾角 30 度的設定



圖 5-5 夾角 45 度的設定



圖 5-6 夾角 60 度的設定

圖 5 轉盤與地面夾角角度的設定及各角度之彎折情形



圖 5-7 夾角 75 度的設定



圖 5-8 夾角 90 度的設定

圖 5 轉盤與地面夾角角度的設定及各角度之彎折情形 (續)

另一方面，本研究以同一條排水彎管，在與 O 型環相同管路長的前提下，將排水彎管彎折成傳統的 S 型存水彎 (圖 6)，採用與地面夾角為 90 度，排水塞與存水彎中心點設定在 20 公分、30 公分、40 公分，共三個高度條件下，做為本研究之實驗對照組，並測量殘存在 S 型彎管內的水封儲水量、相對能量損失百分率、水流自淨能力等效標。



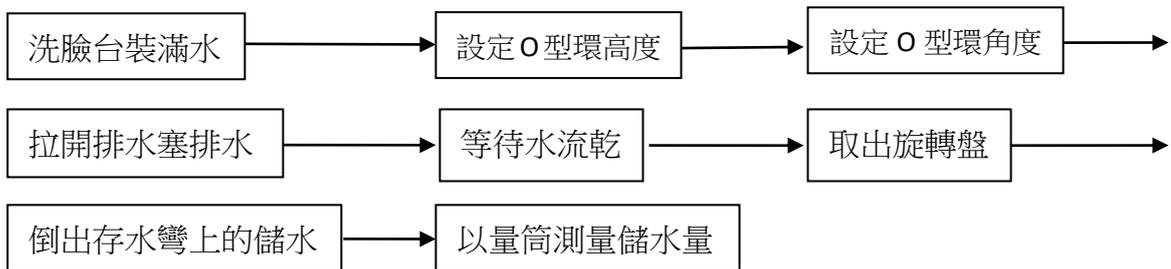
圖 6 本研究實驗對照組：傳統 S 型存水彎 (與地面夾角 90 度)

## 肆、研究過程或方法

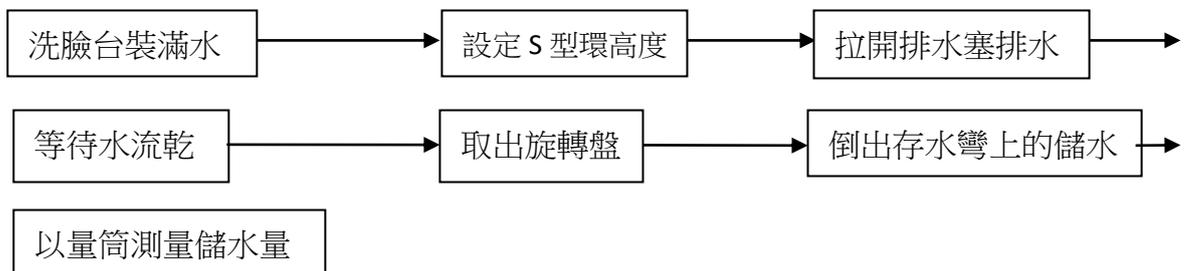
### 一、存水彎「水封儲水量」測定過程

存水彎必須在洗臉台洩完水後，需留純少量的水，形成水封，達到隔絕下水道臭氣及防止小昆蟲進入室內的目的是。因此，水量愈多，表示水封密閉效果愈佳。因此，本研究針對自行設計之實驗組（O 型存水彎），並與對照組（傳統 S 型存水彎），進行水封儲水量之測定。

（一）實驗組在各種 O 型環高度及轉盤夾角下，測量存水彎之儲水量，流程如下：



（二）在傳統 S 型環高度及轉盤夾角 90 度下，測量存水彎之儲水量，流程如下：



### 二、存水彎『相對能量損失百分率』的推測方法

本研究探討水分子在洩水過程中，流經存水彎時所消耗的能量，本研究考量整段排水管路中，除了存水彎是密閉水流狀態之外，洗臉台出水口到存水彎的區段內會有空氣混入，導致無法直接根據流體力學的水頭損失（Head Loss）的水頭壓力差，也導致本研究無法以伯努利方程式（Bernoulli Equation）的方式，直接測量水流的能量變化。故本研究自行提出以洗臉台高度 H 為固定的情況下，改以間接測量兩個存水彎在不同彎折狀態、不同高度及角度之組合下，兩者在能量損失的相對比較，並提出『相對能量損失百分率』的新概念，其推論過程如下：

(一) 兩個存水彎上方的洗臉台（圖 7 及圖 8），在洗臉台形式及儲水量  $V$  皆相同情況下。兩者使用同一洗臉台，故洗臉台之洩水口孔徑及形式固定。



圖 7 第一種存水彎



圖 8 第二種存水彎

本研究假設水流在洩水口到存水彎之間，為「穩定流」的等流速狀態，因此水流在存水彎無任何阻塞物的狀況下，也是處於穩定流的狀態，則存水彎內水流的瞬時速率  $v$ ，始終等於平均速率  $\bar{v}$ 。

因此，儲水量  $V$  與洩水時間  $t$  的關係為

$$V = \frac{\pi D^2}{4} \times v \times t = \frac{\pi D^2}{4} \times \bar{v} \times t$$

若第一種存水彎彎折狀態下的水流瞬時速率  $v_1$ 、平均速率  $\bar{v}_1$ ，則

$$V = \frac{\pi D^2}{4} \times \bar{v}_1 \times t_1$$

若第二種存水彎彎折狀態下的水流瞬時速率  $v_1$ 、平均速率  $\bar{v}_1$ ，則

$$V = \frac{\pi D^2}{4} \times \bar{v}_2 \times t_2$$

又  $\because$  洩水量  $V$  及管路直徑  $D$  皆相同。

$$\therefore \bar{v}_1 \times t_1 = \bar{v}_2 \times t_2$$

$\therefore$  兩種存水彎在洗臉台洩水量相同時，水流平均速率  $\bar{v}$  與時間  $t$  成反比

(二) 本研究假設水流流進洩水口到存水彎之間為穩定流的等流速狀態，此區間內水流瞬時速率  $v$ ，始終等於平均速率  $\bar{v}$ 。

則單位質量  $m$  的水分子，其動能  $E_k$  可用  $E_k = \frac{1}{2} m \times v^2 = \frac{1}{2} m \times \bar{v}^2$  表示。

(三) 在洗臉台水量相同的情況下，體積  $V$ 、水分子密度相同，此時洩水總質量  $M$  相同。則水分子洩水過程所轉換的總動能  $\widehat{Ek} = \int \frac{1}{2} m \times v^2 = \frac{1}{2} M \times \bar{v}$ ，

因此，第一種存水彎彎折狀態下，洩水過程的總動能為

$$\widehat{Ek}_1 = \int \frac{1}{2} m \times v_1^2 = \frac{1}{2} M \times \bar{v}_1^2$$

且第二種存水彎彎折狀態下，洩水過程的總動能為

$$\widehat{Ek}_2 = \int \frac{1}{2} m \times v_2^2 = \frac{1}{2} M \times \bar{v}_2^2$$

(四) 在能量相對損失率的估算方式上，若  $\widehat{Ek}_1$  小於  $\widehat{Ek}_2$ ，則第一種存水彎設計的水流總能量  $\widehat{Ek}_1$  相對於第二種存水彎設計的水流總能量  $\widehat{Ek}_2$  的百分率為

$$\frac{\widehat{Ek}_1}{\widehat{Ek}_2} \times 100\% = \frac{\frac{1}{2} M \times \bar{v}_1^2}{\frac{1}{2} M \times \bar{v}_2^2} \times 100\% = \frac{\bar{v}_1^2}{\bar{v}_2^2} \times 100\%$$

(五) 利用上述 (一) 所提出的水流平均速率  $\bar{v}$  與洩水時間  $t$  成反比之結論，可知：

$$\frac{\bar{v}_1^2}{\bar{v}_2^2} = \frac{t_2^2}{t_1^2}$$

此時，第一種存水彎設計的水流總能量  $\widehat{Ek}_1$  相對於第二種存水彎設計的水流總能量  $\widehat{Ek}_2$  的百分率，可轉換變成與洩水時間平方成反比的關係式

$$\frac{\widehat{Ek}_1}{\widehat{Ek}_2} \times 100\% = \frac{t_2^2}{t_1^2} \times 100\%$$

(六) 經由上述 (五) 的推論，假設若  $t_1 > t_2$ ，則表示第二種存水彎設計優於第一種設計，其能量損少較少，則可以第二種存水彎設計為比較基準，進一步估算第一種存水彎設計的水流總能量  $\widehat{Ek}_1$ ，相對於第二種存水彎設計的水流總能量  $\widehat{Ek}_2$  的能量損失百分率，可轉換為

$$\begin{aligned} \frac{\widehat{Ek}_2 - \widehat{Ek}_1}{\widehat{Ek}_2} \times 100\% &= \left(1 - \frac{\widehat{Ek}_1}{\widehat{Ek}_2}\right) \times 100\% \\ &= \left(1 - \frac{t_2^2}{t_1^2}\right) \times 100\% \dots\dots\dots \text{式 3-1} \end{aligned}$$

因此，本研究針對兩種存水彎設計的相對水流總能量 $\widehat{Ek}$ 損失百分率，可簡化成只須分別測量兩種存水彎在洩相同的水量下的時間  $t_1$  與  $t_2$ ，最後透過 3-1 式的轉化，即可計算出兩者的相對能量損失百分率。

### 三、存水彎『水流自淨能力』的測定過程

因為存水彎容易淤積髒污在管路最低處，存水彎除了要能儲存足夠的水封儲水量之外，尚須兼顧排淤自淨的能力，因研究所採用之排水軟管管徑為 35mm，本研究分別以直徑均約為 25mm 的毛髮球、衛生紙團、10 顆玻璃彈珠等各種不同密度的物體，作為本研究探測存水彎『水流自淨能力』所使用之『淤積模擬物』，模擬淤積在存水彎內的情境。其物質基本性質，如表 1 所示。

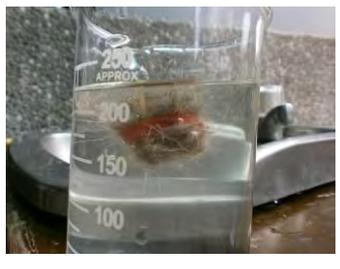
淤積物	直徑 25mm 毛髮球	25mm 衛生紙團	10 顆 25mm 的玻璃彈珠
照片			
在水裡的浮沉情形	 浮在水面	 沉入水中	 沉入水中（單顆）
質量	8.42 公克	11.4 公克	20.32 公克（單顆平均）
密度	$\frac{8.42}{8.58} = 0.98$	$\frac{11.4}{8.58} = 1.33$	$\frac{20.32}{8.58} = 2.37$

表 1 本研究所使用之各種淤積模擬物之基本資料

本研究分別採用直徑均約為 25mm 的毛髮球、衛生紙團，以及 10 顆玻璃彈珠等物體，模擬淤積在存水彎內的少量、中量及大量的淤積物情境下，測量洗臉台在不同水位、各種存水彎形式、高度及角度組合的情境下，透過水流的重力，水流排出阻塞物的時間，藉此評估排水水流清除淤積物的自我清淨能力。水流自淨能力愈高，表示存水彎在日常使用時，愈不容易淤積髒汙，細菌愈不易在存水彎中孳生。

### (一) 水流自淨能力的測量方法

本研究進行水流自淨能力的測量，測量方式為將『淤積模擬物』由軟水管上方投入，並搖晃管路讓淤積模擬物進入存水彎內部，洗臉台裝滿水後，測量開始拔排水塞到排出模擬物，模擬物掉落地面塑膠水盆所花的時間（如圖 9），排出時間愈短，表示水流自淨能力愈佳。

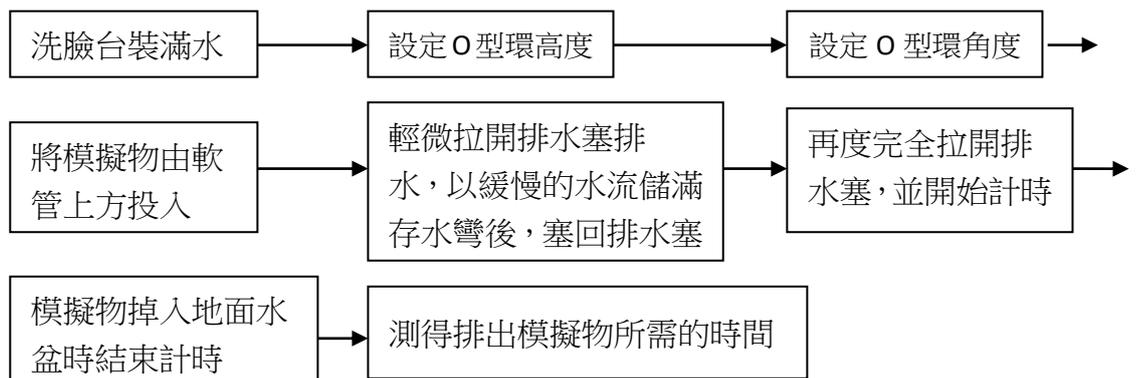


圖 9 測定水流自淨能力之裝置

### (二) 測量模擬物由存水彎排出，掉落地面塑膠水盆所需的時間：

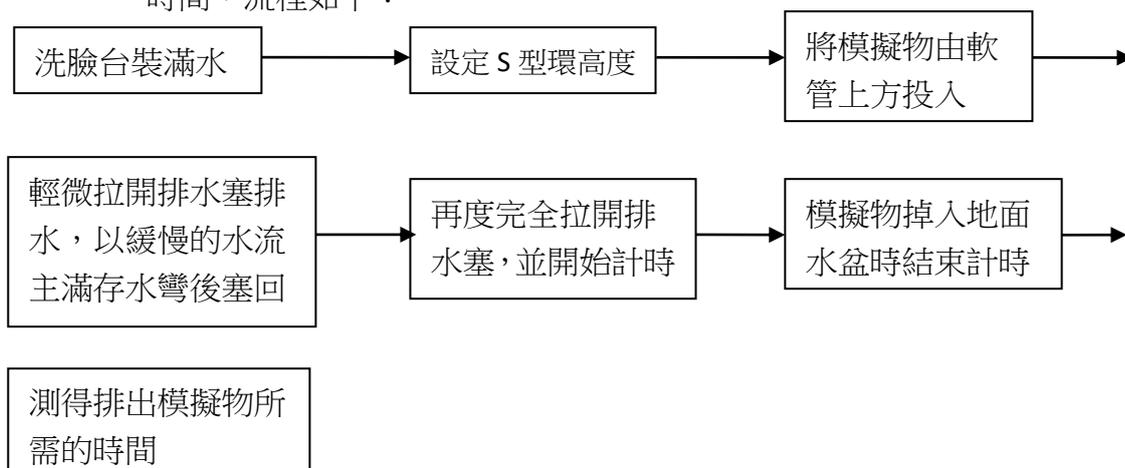
1. 實驗組：O 型存水彎在各種 O 型環高度及轉盤夾角下，測量淤積模擬物排出

時間，流程如下：



2. 對照組：傳統 S 型存水彎各種高度及轉盤夾角 90 度下，測量淤積模擬物排出

時間，流程如下：



## 伍、研究結果

### 一、存水彎「水封儲水量」測定結果

本研究測量實驗組 O 型及對照組 S 型存水彎存水彎，水封儲水量之關係表，如表 2：

組 別	高度			
	角度	20 公分	30 公分	40 公分
實驗組： O 型存水彎	0 度	39 毫升	19 毫升	26 毫升
	15 度	238 毫升	225 毫升	203 毫升
	30 度	277 毫升	260 毫升	252 毫升
	45 度	285 毫升	278 毫升	276 毫升
	60 度	302 毫升	283 毫升	287 毫升
	75 度	297 毫升	294 毫升	288 毫升
	90 度	294 毫升	293 毫升	290 毫升
對照組： S 型存水彎	90 度	191 毫升	186 毫升	172 毫升

表 2 O 型及 S 型存水彎水封儲水量

根據表 2 所示，O 型存水彎在幾何形狀上，比傳統 S 型存水彎有先天優勢，只要 O 型存水彎傾斜角度超過 30 度，其儲水量便明顯優於 S 型存水彎。而 O 型存水彎在高度 20 公分、角度 60 公分時，具有最大的儲水量。

## 二、存水彎『相對能量損失百分率』的推測結果

本研究設定洗手台在儲水位分別為低水位（1 公升）、中水位（2 公升）、高水位（3 公升），及滿水位（3.92 公升）等四個水位（圖 10），測量存水彎在無任何阻塞物之情境下，改變 S 型存水彎及 O 型存水彎在各種高度、角度的組合，針對洗手台洩完所有儲水的時間  $t$  進行量測，結果如下：



圖 10 洗手台在不同儲水量下的液面水位高度

(一) 洗手台在儲水位分別為低水位（1 公升）：

洗手台在儲水位分別為低水位（1 公升）時，洗臉台之水面如圖 10- 1，本研究分別測量實驗組 O 型存水彎及對照組 S 型存水彎，在管路無阻塞、低水位時之洩水時間  $t$ ，測量結果如表 3：

組 別	高度		20 公分	30 公分	40 公分
	角度				
實驗組： O 型存水彎	0 度		8 秒	7.5 秒	7.5 秒
	15 度		9.5 秒	8.5 秒	8.5 秒
	30 度		8 秒	8.5 秒	9.4 秒
	45 度		8.5 秒	7.5 秒	8.5 秒
	60 度		9 秒	8 秒	9 秒
	75 度		8.5 秒	7.5 秒	7.5 秒
	90 度		8.5 秒	7.5 秒	9 秒
對照組： S 型存水彎	90 度		7.5 秒	7 秒	7.5 秒
管路直通無彎折			8 秒		

表 3 O 型存水彎及 S 型存水彎，在低水位時之洩水時間表

進一步根據表 3 及式 3-1 推算，若以 S 型存水彎高度  $h=30$  公分的能量損耗為比較基準，其他管路組合的相對能量損失相對百分率，如表 4：

組 別	高度		20 公分	30 公分	40 公分
	角度				
實驗組： O 型存水彎	0 度		23.4%	12.9%	12.9%
	15 度		45.7%	32.2%	32.2%
	30 度		23.4%	32.2%	44.5%
	45 度		32.2%	12.9%	32.2%
	60 度		39.5%	23.4%	39.5%
	75 度		32.2%	12.9%	12.9%
	90 度		32.2%	12.9%	39.5%
對照組： S 型存水彎	90 度		12.9%	比較基準	0.0%
管路直通無彎折			23.4 %		

表 4 O 型存水彎及 S 型存水彎，在低水位時之相對能量損失相對百分率表

最後，根據表 4，本研究將 O 型存水彎在各高度、角度組合下的相對能量損失百分率變動情形，以圖 11 表示。

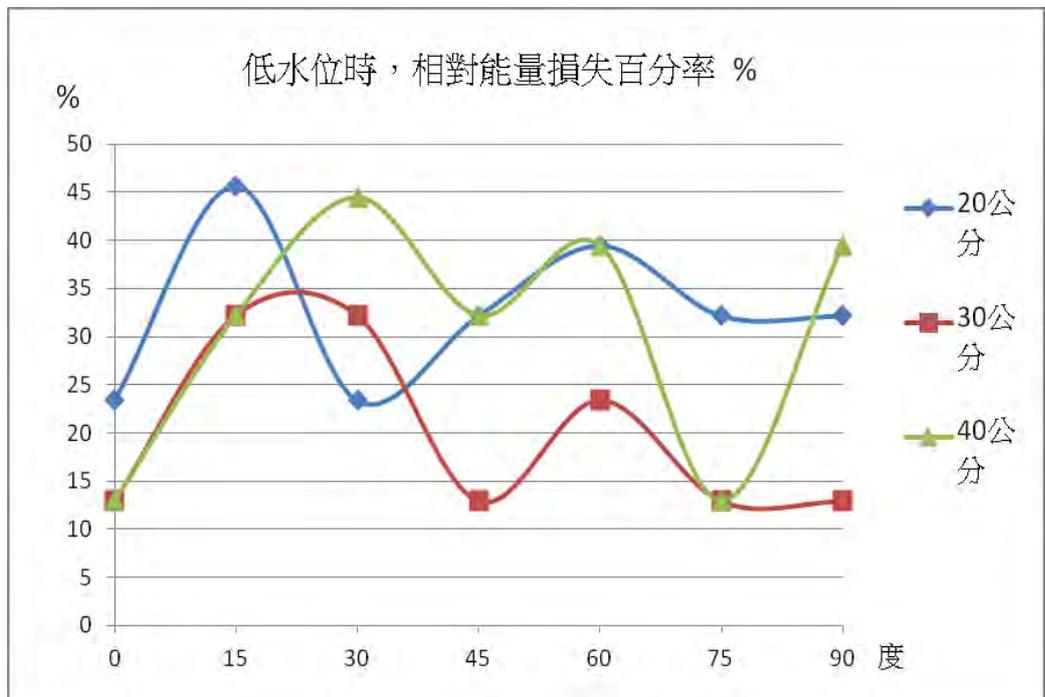


圖 11 O 型存水彎及 S 型存水彎，在低水位時之相對能量損失相對百分率圖

由圖 11 可知，在洗臉台低水位時，O 型存水彎以（高度 30 公分，角度 0 度）、（高度 30 公分，角度 45 度）、（高度 30 公分，角度 75 度）、（高度 30 公分，角度 90 度）、（高度 40 公分，角度 0 度）或是（高度 40 公分，角度 75 度）等六種組合方式，具有最低的相對能量損失百分率。

(二) 洗手台在儲水量分別為中水位（2 公升）：

洗手台在儲水量分別為中水位（2 公升）時，洗臉台之水面如圖 10- 2，本研究分別測量實驗組 O 型存水彎及對照組 S 型存水彎，在管路無阻塞、中水位時之洩水時間  $t$ ，測量結果如表 5：

組 別	高度	20 公分	30 公分	40 公分
	角度			
實驗組： O 型存水彎	0 度	14 秒	14 秒	13.5 秒
	15 度	16 秒	14 秒	15 秒
	30 度	14 秒	13.5 秒	15.5 秒
	45 度	14 秒	13.5 秒	14 秒
	60 度	14.5 秒	13.5 秒	15 秒
	75 度	14 秒	12.5 秒	13.5 秒
	90 度	14.5 秒	15 秒	15.5 秒
對照組： S 型存水彎	90 度	12.5 秒	12.5 秒	13.5 秒
管路直通無彎折		13.5 秒		

表 5 O 型存水彎及 S 型存水彎，在中水位時之洩水時間表

進一步根據表 5 及式 3-1 推算，若以 S 型存水彎高度  $h=30$  公分的能量損耗為比較基準，其他管路組合的相對能量損失相對百分率，如表 6：

組 別	高度	20 公分	30 公分	40 公分
	角度			
實驗組： O 型存水彎	0 度	20.3%	20.3%	14.3%
	15 度	39.0%	20.3%	30.6%
	30 度	20.3%	14.3%	35.0%
	45 度	20.3%	14.3%	20.3%
	60 度	25.7%	14.3%	30.6%
	75 度	20.3%	0.0%	14.3%
	90 度	25.7%	30.6%	35.0%
對照組： S 型存水彎	90 度	0.0%	比較基準	14.3%
管路直通無彎折		14.3 %		

表 6 O 型存水彎及 S 型存水彎，在中水位時之相對能量損失相對百分率表

最後，根據表 6，本研究將 O 型存水彎在各高度、角度組合下的相對能量損失百分率變動情形，以圖 12 表示。

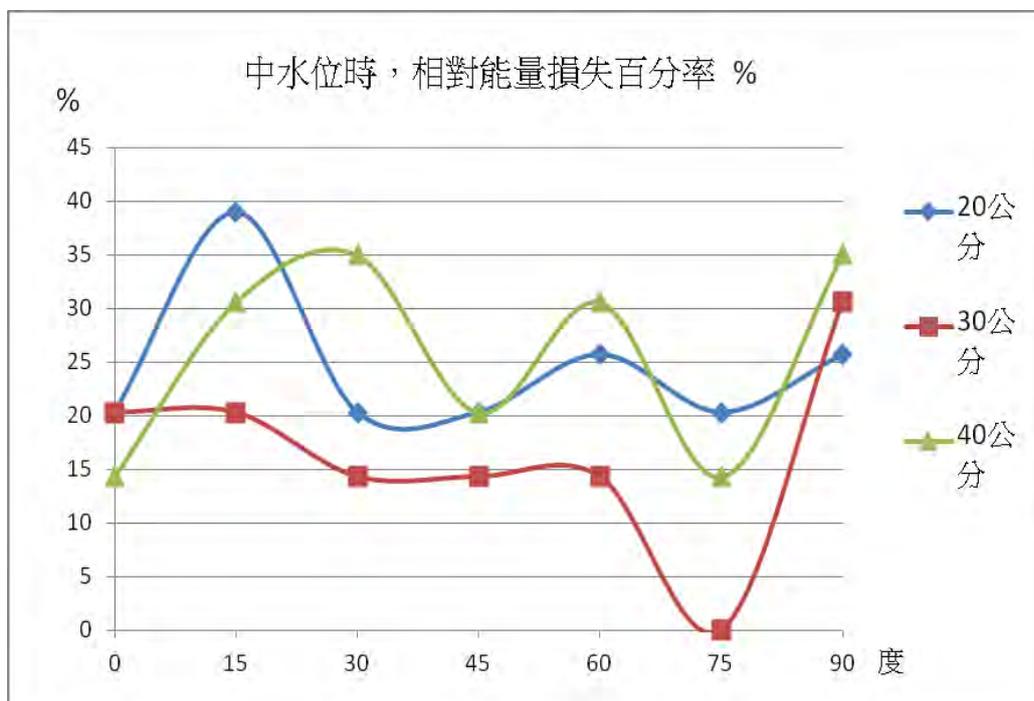


圖 12 O 型存水彎及 S 型存水彎，在中水位時之相對能量損失相對百分率圖

由圖 12 可知，在洗臉台中水位時，O 型存水彎以（高度 30 公分、角度 75 度）的組合方式，具有最低的相對能量損失百分率。

(三) 洗手台在儲水位分別為高水位（3 公升）：

洗手台在儲水位分別為高水位（3 公升）時，洗臉台之水面如圖 10-3，本研究分別測量實驗組 O 型存水彎及對照組 S 型存水彎，在管路無阻塞、高水位時之洩水時間  $t$ ，測量結果如表 7：

組 別	高度		20 公分	30 公分	40 公分
	角度				
實驗組： O 型存水彎	0 度		21 秒	19 秒	20.5 秒
	15 度		20 秒	20.5 秒	22 秒
	30 度		19.5 秒	21 秒	18.5 秒
	45 度		18.5 秒	18.5 秒	19 秒
	60 度		19 秒	19 秒	18.5 秒
	75 度		18.5 秒	18.5 秒	19.5 秒
	90 度		19.5 秒	18.5 秒	20 秒
對照組： S 型存水彎	90 度		18.5 秒	19.5 秒	20.5 秒
管路直通無彎折			21 秒		

表 7 O 型存水彎及 S 型存水彎，在高水位時之洩水時間表

進一步根據表 7 及式 3-1 推算，若以 O 型存水彎高度  $h=30$  公分，角度 75 度的能量損耗為比較基準，其他管路組合的相對能量損失相對百分率，如表 8：

組 別	高度		20 公分	30 公分	40 公分
	角度				
實驗組： O 型存水彎	0 度		22.4%	5.2%	18.6%
	15 度		14.4%	18.6%	29.3%
	30 度		10.0%	22.4%	0.0%
	45 度		0.0%	0.0%	5.2%
	60 度		5.2%	5.2%	0.0%
	75 度		0.0%	比較基準	10.0%
	90 度		10.0%	0.0%	14.4%
對照組： S 型存水彎	90 度		0.0%	10.0%	18.6%
管路直通無彎折			22.4 %		

表 8 O 型存水彎及 S 型存水彎，在高水位時之相對能量損失相對百分率表

最後，根據表 8，本研究將 O 型存水彎在各高度、角度組合下的相對能量損失百分率變動情形，以圖 13 表示。

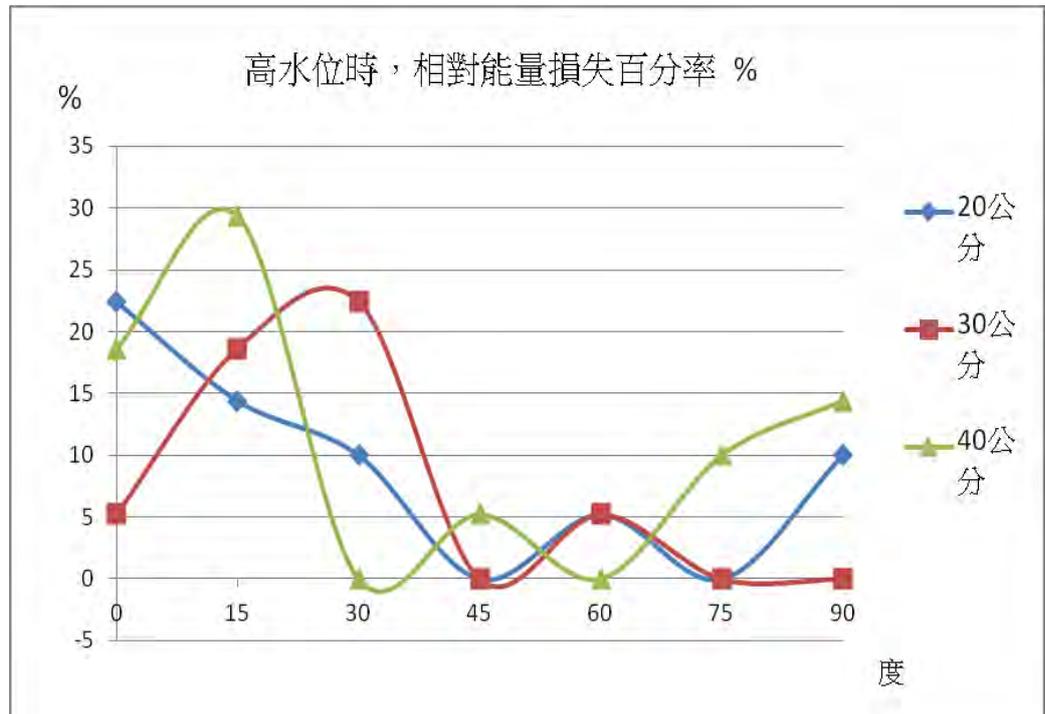


圖 13 O 型存水彎及 S 型存水彎，在高水位時之相對能量損失相對百分率圖

由圖 13 可知，在洗臉台高水位時，O 型存水彎以（高度 20 公分，角度 45 度）、（高度 20 公分，角度 75 度）、（高度 30 公分，角度 45 度）、（高度 30 公分，角度 75 度）、（高度 40 公分，角度 30 度）或是（高度 40 公分、角度 60 度）等六種組合方式，具有最低的相對能量損失百分率。

(四) 洗手台在儲水位分別為滿水位 (3.92 公升)：

洗手台在儲水位分別為滿水位 (3.92 公升) 時，洗臉台之水面如圖 10-4，本研究分別測量實驗組 O 型存水彎及對照組 S 型存水彎，在管路無阻塞、滿水位時之洩水時間  $t$ ，測量結果如表 9：

組 別	高度	20 公分	30 公分	40 公分
	角度			
實驗組： O 型存水彎	0 度	22.5 秒	25.0 秒	22.5 秒
	15 度	24.5 秒	24.5 秒	23.5 秒
	30 度	24.5 秒	23.5 秒	23.0 秒
	45 度	25.5 秒	23.5 秒	24.5 秒
	60 度	23.5 秒	22.5 秒	24.0 秒
	75 度	23.5 秒	22.0 秒	25.5 秒
	90 度	23.5 秒	25.0 秒	24.5 秒
對照組： S 型存水彎	90 度	22.0 秒	21.5 秒	22.5 秒
管路直通無彎折		25 秒		

表 9 O 型存水彎及 S 型存水彎，在滿水位時之洩水時間表

進一步根據表 9 及式 3-1 推算，若以 S 型存水彎高度  $h=30$  公分的能量損耗為比較基準，其他管路組合的相對能量損失相對百分率，如表 10：

組 別	高度	20 公分	30 公分	40 公分
	角度			
實驗組： O 型存水彎	0 度	8.7%	26.0%	8.7%
	15 度	23.0%	23.0%	16.3%
	30 度	23.0%	16.3%	12.6%
	45 度	28.9%	16.3%	23.0%
	60 度	16.3%	8.7%	19.7%
	75 度	16.3%	4.5%	28.9%
	90 度	16.3%	26.0%	23.0%
對照組： S 型存水彎	90 度	4.5%	比較基準	8.7%
管路直通無彎折		26 %		

表 10 O 型存水彎及 S 型存水彎，在滿水位時之相對能量損失相對百分率表

最後，根據表，本研究將 O 型存水彎在各高度、角度組合下的相對能量損失百分率變動情形，以圖 14 表示。

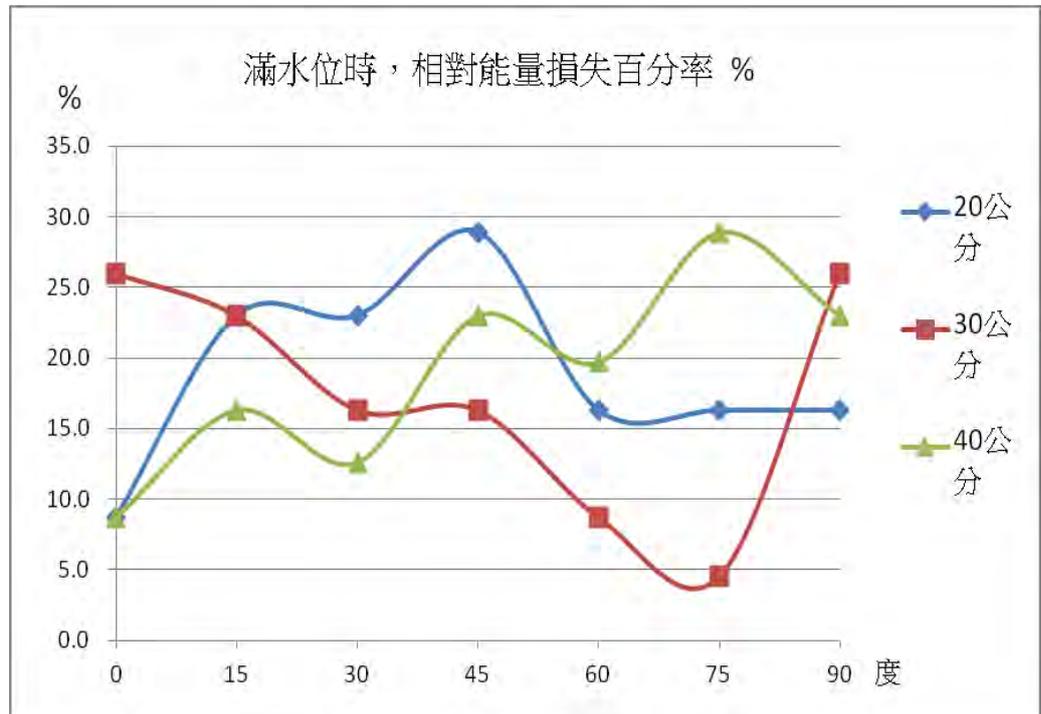


圖 14 O 型存水彎及 S 型存水彎，在滿水位時之相對能量損失相對百分率圖

由圖 14 可知，在洗臉台滿水位時，O 型存水彎以（高度 30 公分，角度 75 度）的組合方式，具有最低的相對能量損失百分率。

### 三、存水彎『水流自淨能力』的測定結果

存水彎排出各種淤積模擬物的時間，測量結果如下：

(一) 淤積模擬物為 25mm 毛髮球之排出時間，如表 11 所示：

組 別	高度			
	角度	20 公分	30 公分	40 公分
實驗組： O 型存水彎	0 度	1.5 秒	1.8 秒	1.7 秒
	15 度	2.2 秒	2.1 秒	2.1 秒
	30 度	2.5 秒	2.0 秒	2.1 秒
	45 度	2.3 秒	1.9 秒	2.3 秒
	60 度	2.2 秒	2.0 秒	2.2 秒
	75 度	2.0 秒	2.2 秒	2.6 秒
	90 度	2.5 秒	2.4 秒	2.4 秒
對照組： S 型存水彎	90 度	1.9 秒	1.7 秒	1.6 秒

表 11 存水彎排出 25mm 毛髮球之時間表

由表 11 可知，當淤積物密度與水分子接近時，以 O 型存水彎在（高度 30 公分，角度 45 度）的組合方式，其水流自淨能力最佳。

(二) 淤積模擬物為 25mm 衛生紙團之排出時間，如表 12 所示：

組 別	高度			
	角度	20 公分	30 公分	40 公分
實驗組： O 型存水彎	0 度	2.0 秒	2.1 秒	1.6 秒
	15 度	1.9 秒	1.9 秒	1.8 秒
	30 度	1.8 秒	2.0 秒	1.9 秒
	45 度	1.9 秒	1.8 秒	2.1 秒
	60 度	1.9 秒	1.8 秒	2.0 秒
	75 度	1.9 秒	2.0 秒	2.0 秒
	90 度	2.3 秒	2.1 秒	2.0 秒
對照組： S 型存水彎	90 度	1.9 秒	1.9 秒	2.1 秒

表 12 存水彎排出 25mm 衛生紙團之時間表

由表 12 可知，當淤積物密度稍微大於水分子時，以 O 型存水彎在（高度 40 公分，角度 0 度）的組合方式，其水流自淨能力最佳。

（三）淤積模擬物為 10 顆 25mm 彈珠之排出時間，如表 13 所示：

組 別	高度	20 公分	30 公分	40 公分
	角度			
實驗組： O 型存水彎	0 度	1.8 秒	2.0 秒	1.4 秒
	15 度	2.1 秒	1.8 秒	1.6 秒
	30 度	2.4 秒	2.2 秒	1.6 秒
	45 度	2.5 秒	2.4 秒	1.9 秒
	60 度	2.7 秒	2.6 秒	2.3 秒
	75 度	3.3 秒	3.3 秒	2.9 秒
	90 度	4.2 秒	3.6 秒	3.5 秒
對照組： S 型存水彎	90 度	2.0 秒	1.8 秒	1.6 秒

表 13 存水彎排出 10 顆 25mm 彈珠之時間表

由表 13 可知，當淤積物密度比水分子大、且接近砂石的密度（約  $2.7 \text{ g/cm}^3$ ）時，以 O 型存水彎在（高度 40 公分，角度 0 度）的組合方式，其水流自淨能力最佳。

（四）理論上氣塞現象，會造成水流前進的阻礙，而且管路內的氣體分子會吸收水分子的動能，產生氣體回壓，導致水分子的動能損失，以及自淨能力的下降。因此，洗臉台設置的溢水口（如圖 9 所示），與排水管相通之設計，除了避免洗臉台的水因過度儲水而溢出洗臉台外，也能將洗臉台與存水彎間所產生的氣塞氣體排出，以避免排水管路產生氣塞而不利於排水。本研究另外針對氣塞現象進行探討，實驗方式是將洗臉台的水流原本是開放水流，改成以熱熔膠將洗臉台的溢水口密封，讓洗臉台與存水彎間所產生的氣體無法排出，而形成封閉水流，刻意讓管路造成氣塞現象，以利本研究探討在密閉水流產生氣塞現象時，各種存水彎組合情況下，各種存水彎高度、角度組合之下，水流的自淨能力。

1. 在密閉水流的情況下，本研究發現 S 型存水彎，在投入 1 顆玻璃彈珠時，於高度 20 公分、高度 30 公分、高度 40 公分時，除了洗臉台的洩水速率明顯比未封閉溢水口前的開放水流還變慢外，存水彎內部的水，也被氣塞的氣體牽絆著，出水口的水流明顯變慢。因此，連 1 顆彈珠都無法排出存水彎。
2. 至於探討 O 型存水彎在密閉水流產生氣塞現象時的排淤自淨能力，本研究以能排出淤積模擬物的旋轉盤最小角度，作為臨界角度，實驗流程如圖 15：

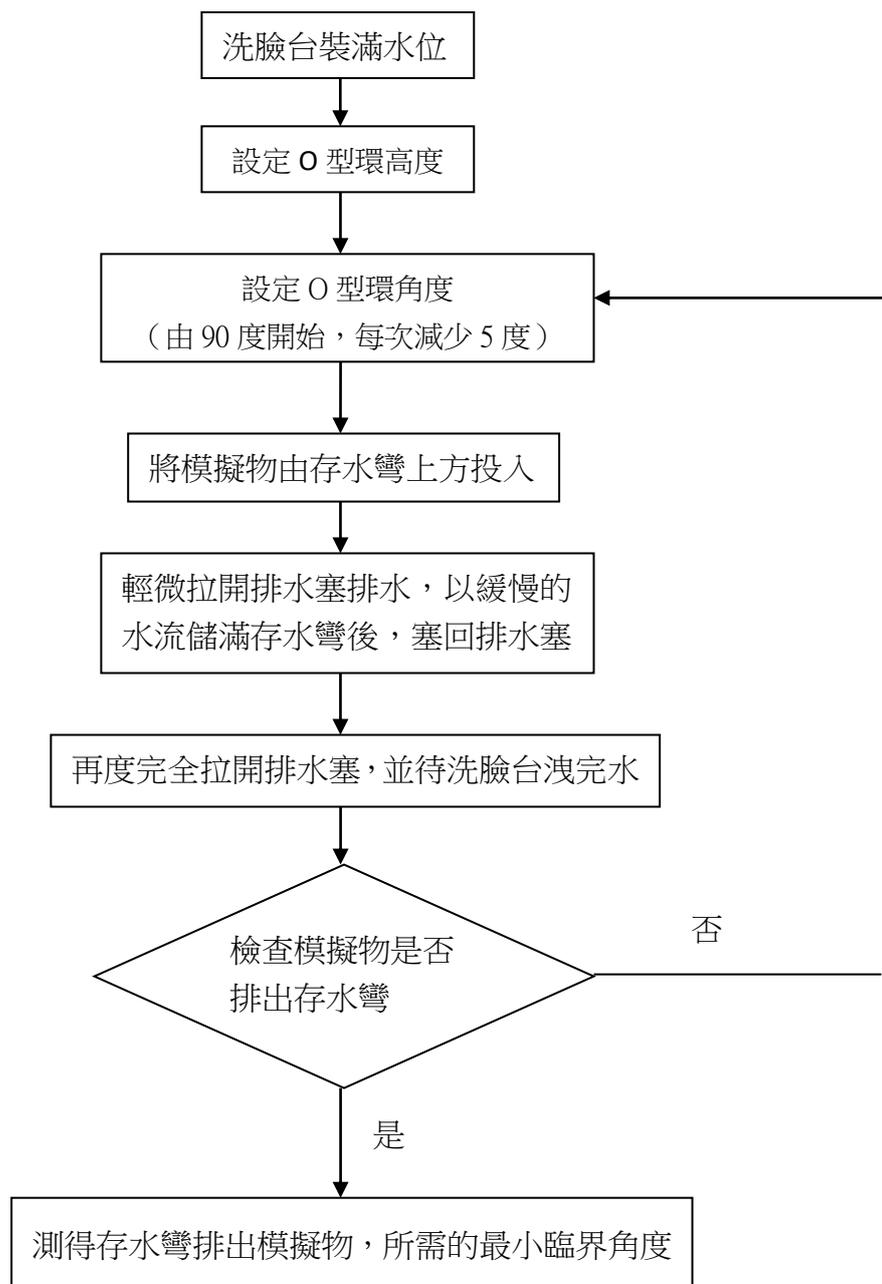


圖 15 測得 O 型存水彎排出模擬物，所需最小臨界角之流程圖

3. 測量 O 型存水彎在密閉水流產生氣塞現象的情況下，求得在各個高度及不同彈珠數（模擬淤積物）時，存水彎排出淤積物的最小臨界角，本研究以折線圖方式表示實驗之結果，如圖 16、圖 17 及圖 18 所示：

(1) 高度 20 公分時，O 型存水彎在不同淤積程度時的水流自淨最小臨界角，如圖 16 所示，圖中著色區域為存水彎可自行清除淤積區，空白區域為存水彎無法透過水流清除淤積區：

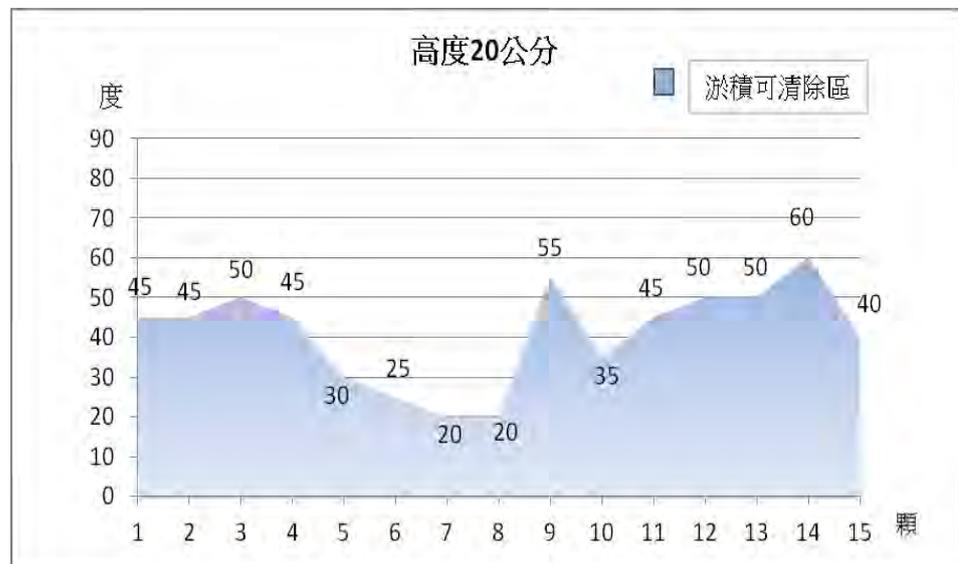


圖 16 O 型存水彎在高度 20 公分時，封閉水流的自淨能力圖

- (2) 高度 30 公分時，O 型存水彎在不同淤積程度時的水流自淨最小臨界角，如圖 17 所示，圖中著色區域為存水彎可自行清除淤積區，空白區域為存水彎無法透過水流清除淤積區：

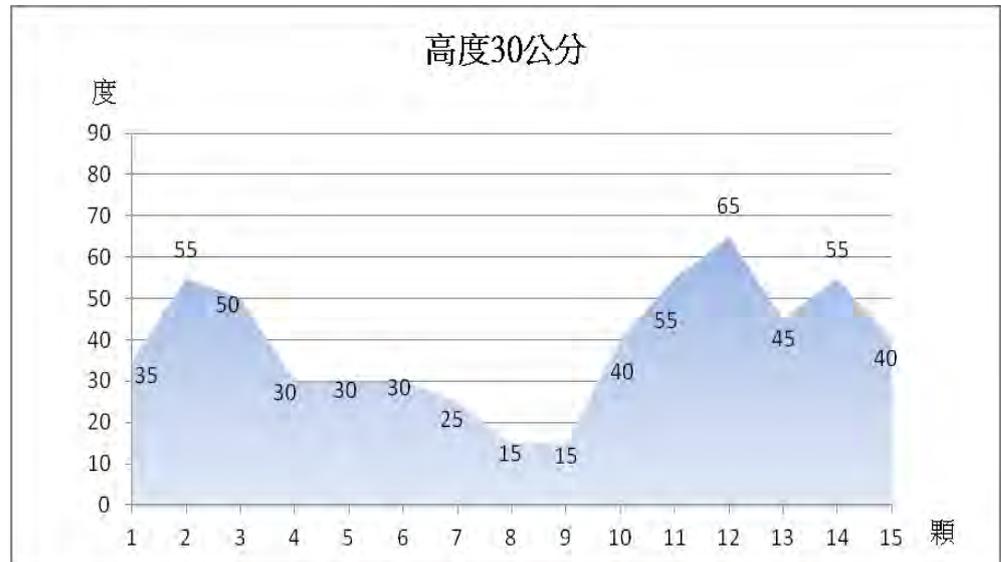


圖 17 O 型存水彎在高度 30 公分時，封閉水流的自淨能力圖

- (3) 高度 40 公分時，O 型存水彎在不同淤積程度時的水流自淨最小臨界角，如圖 18 所示，圖中著色區域為存水彎可自行清除淤積區，空白區域為存水彎無法透過水流清除淤積區：

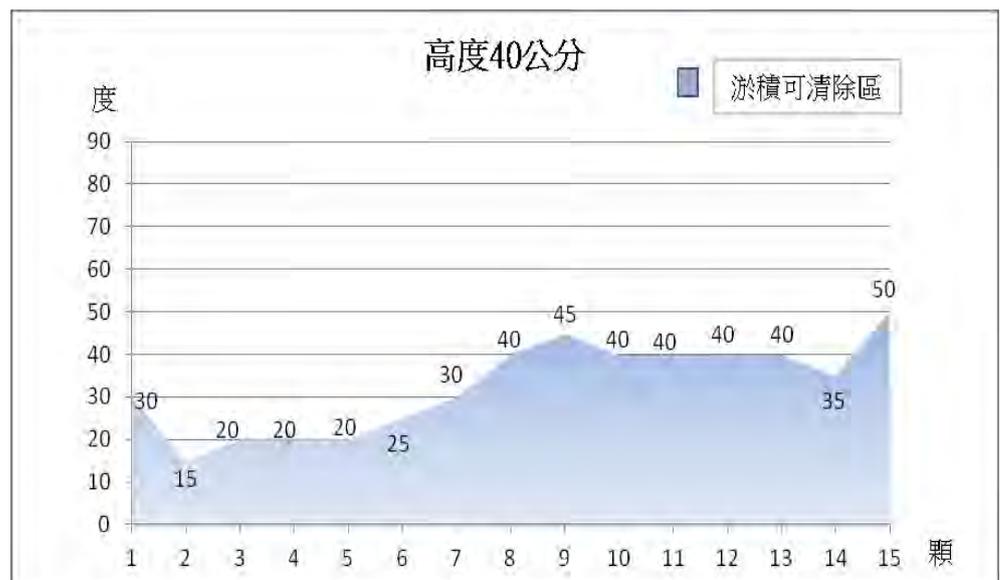


圖 18 O 型存水彎在高度 40 公分時，封閉水流的自淨能力圖

## 陸、討論

### 一、存水彎「水封儲水量」：

- (一) 本研究自行提出不同於傳統 S 型存水彎，而改成 O 型存水彎的幾何設計，O 型存水彎在幾何形狀，比傳統 S 型存水彎有先天優勢。也因此，只要 O 型存水彎旋轉盤傾斜角度超過 30 度，其儲水量便明顯優於 S 型存水彎 90 度的設計。而 O 型存水彎在高度 20 公分、角度 60 公分時，具有最大的儲水量。
- (二) O 型存水彎在角度 45 度以上時，其儲水量的變異性變低，而且有緩慢增加的趨勢，但角度 90 度的儲水量卻比角度 75 度少，表示角度 90 度時，存水彎的入水口及出水口，在空間位置上，反而讓管路過度彎折不平順。
- (三) 洗臉台出水口與存水彎旋轉盤心之間的高度 h 愈高，儲水量反而有下降的情形，例如高度 40 公分的儲水量，反而低於高度 20 公分及 30 公分的儲水量，本研究認為高度過高容易讓水流在存水彎中流速過快，也容易產生虹吸現象，反而不利於存水彎的儲水。

### 二、存水彎『相對能量損失百分率』：

- (一) 本研究原以連通管分別連接存水彎入口及出口兩處，希望能在洩水過程中，測量存水彎入口及出口兩處的壓力差。但因無法精確測出壓力差，導致本研究無法利用柏努利方程式，推測水流在存水彎的水頭損失（能量損失）。故本研究改以自行推論之相對能量損失百分率，做各種存水彎組合間的相對能量損失比較。並以洩水時間 t 為最短的存水彎組合為比較基準，間接求得其他存水彎高度、角度組合的“相對”能量損失，並以百分率表示。
- (二) 當洗臉台水位在滿水位、中水位、低水位時，根據實驗結果，整體能量損失以 S 型存水彎為最少者；而當水位在高水位時，整體能量損失才是以 O 型存水彎，（高度 30 公分、角度 75 度）的組合為最少者。本研究認為其原因是洗臉台水位愈高，流經存水彎的平均速率  $\bar{v}$  愈大，洗臉台在中水位、低水位時，流經存水彎的水分子動能不足，無法克服 O 型存水彎儲水長度過長的管道，而產生回衝現象，導致在 O 型存水彎的入水口及出水口之間，水分子互相擠

壓而造成能量的損失。而在滿水位時，水分子流經存水彎時的平均速率  $\bar{v}$  過大，洗臉台的水分子在排水口產生而造成能量的損失，使的水封儲水長度較少的 S 型存水彎，反而能量損失較 O 型存水彎少。因此，存水彎的管長，須配合洩水的水流速率，存水彎儲水長度的過短或過長，皆容易產生能量損耗。

(三) 本研究嘗試以移除存水彎，讓水流以直通方式測量各洗臉台在不同水位時，皆發現管路直通管的洩水總時間，都比接上 S 型存水彎或 O 型存水彎的時間還長，此現象表示在沒有管路給予適當的氣塞回壓下，水流在洗臉台上的流速過快，導致水分子在排水口處發生擠壓，反而降低的洩水的速度率，尤其是洩水過程的後半時段，排水口洩水的速率反而更慢，代表水流在洗臉台上形成亂流，造成能量損失在洗臉台上，水分子在排水管路上也形成不穩定流。

### 三、存水彎『水流自淨能力』：

- (一) 日常生活中，存水彎管路常因髒污淤積而造成管路有阻塞物。因此，除了考慮存水彎的儲水量及能量損失外，尚需兼顧存水彎管路須有足夠的水流自我潔淨能力。因此，本研究分別以密度接近水的毛髮球、密度稍微比水大的衛生紙團，以及密度接近泥沙的玻璃彈珠，分別模擬淤積於存水彎底部的各種淤積物，藉此測試各種存水彎組合的自淨能力。
- (二) 當淤積物的密度接近水分子時，以 O 型存水彎在（高度 30 公分，角度 45 度）的組合方式，其水流自淨能力最佳。表示 30 公分的高度適中，角度 45 度的水流最順暢。
- (三) 當淤積物的密度稍微比水分子大時，在 O 型存水彎角度 30 度以上時，以（高度 30 公分，角度 60 度）的組合方式，其水流自淨能力最佳。也表示 60 度的管路彎折情形，水流最順暢。
- (四) 當淤積物的密度接近泥沙時，在 O 型存水彎角度 30 度以上時，以（高度 40 公分，角度 30 度）的組合方式，其水流自淨能力最佳。表示當與淤積物愈多時，需有較大的重力位能提供水分子轉換成更大的動能，以及旋轉盤面較水平，水分子所轉換的動能，才能有足夠的能力將淤積物排出。

(五) 本研究為了探討氣塞現象，對於水流自淨能力的影響，而以熱熔膠將洗臉台的溢水口密封，讓洗臉台與存水彎間所產生的氣體無法排出，而形成封閉水流。在封閉水流情況下，本研究發現氣塞現象將會明顯削弱水流自淨能力。例如：當 O 型存水彎在高度 30 公分時，在開放水流的情況下，模擬淤積物為 10 顆玻璃彈珠時，皆可透過水流排出。但在封閉水流情況下，管路氣塞作用明顯，存水彎在 10 顆玻璃珠的淤積程度下，根據圖 17 所示，存水彎的角度需小於 40 度，方可將淤積物排出。

## 柒、結論

本研究以自行設計之 O 型存水彎幾何型式，在『水封儲水量』的效標上，有水量較多的先天優勢，但經本研究另外針對『相對能量損失百分率』，及『水流自淨能力』兩個效標面向之相對比較後，O 型存水彎幾何與傳統 S 型存水彎的效標表現，形成各有優缺點的拉鋸。

本研究提出的『相對能量損失百分率』，及『水流自淨能力』兩個效標面向，背後代表探討在洩水過程中，存水彎內的水流順暢度。經本研究針對 O 型存水彎與傳統的 S 型存水彎的相對比較結果，兩種幾何設計的水流順暢程度，並無明顯差異；但 O 型存水彎的水封儲水量優於傳統的 S 型存水彎，表示本研究設計之 O 型存水彎，在單位儲水量上的效標表現，還是優於傳統的 S 型存水彎。

在測定 O 型存水彎在各種高度、角度組合中，其中以（高度 30 公分，角度 70 度）為最佳組合，雖然此組合的水封儲水量並非所有高度、角度組合中，水封儲水量最多的，但此組合的『相對能量損失百分率』，及『水流自淨能力』兩個效標卻是相對較優的。本研究探討其原因，應該是此組合之管路彎曲最平順、30 公分之高度適中，存水彎的儲水長度較適當。

本研究認為，存水彎的儲水長度，過短會有水封密閉性差的問題，過長卻會有能量損失、自淨能力下降的問題。本研究設計之 O 型存水彎，其水封儲水量與水流順暢程度，兩者具有魚與熊掌不可兼得的特性、需做權衡取捨（Tread Off）後，只能找出最適的高度、角度組合方式。至於存水彎的最適儲水長度為何？後續研究可針對存水彎的『防蟲效果』及『氣密性』等效標，進行更深入的探討，或許能找出更適合日常生活使用現況的 O 型存水彎組合方式。

## 捌、參考資料

1. 維基百科：「存水彎」，  
<https://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E5%AD%98%E6%B0%B4%E5%BD%8E>
2. 莊萬春譯，1989，《流體力學》，台南：復漢出版社。  
譯自 VICTOR L STREETER and E.BENJAMIN WYLIE *.Fluid Mechanics*

## 【評語】 032910

本作品研發新型 O 型存水灣，與傳統 S 型存水灣進行水封儲水量、相對能量損失百分率及水流自淨能力之優劣比較，提供實驗數據來找出 O 型存水灣的最佳高度(轉盤中心點與洩水口距離)及旋轉角度(轉盤與地面夾角角度)。研究結果發現 S 型存水灣具有洩水時間短與高自淨能力的優勢，但 O 型存水灣儲水量高且高水位時洩水時間短。題材貼近日常生活，生動有趣，且作品在學理分析、實驗設計及資料整理上表現均甚優異。

# 摘要

日常生活所使用的洗手台、馬桶、浴缸等衛浴設備，為了阻隔下水道臭氣及小昆蟲進入室內，排水通道上常設置一段彎折之存水彎，以儲水方式形成水封。本研究以『洗手台之存水彎的幾何設計』為主題，提出不同於傳統S型存水彎之新型O型存水彎幾何設計，並比較兩者在『水封儲水量』、『相對能量損失百分率』及『水流自淨能力』等效標變項的優劣。

經本研究顯示，O型存水彎之幾何設計，其『水封儲水量』明顯優於傳統S型存水彎，而在『相對能量損失百分率』及『水流自淨能力』兩項效標變項的表現上，兩者並無明顯的差距，基於存水彎需有足量的水封儲水量，才能有更高的防臭及防蟲實用性。故本研究自行設計之新型O型存水彎，其整體效標變項的表現，優於傳統的S型存水彎。

## 壹、研究緣起

存水彎的發明史中，曾經採J型、U型、或S型的幾何設計，傳統的J型存水彎設計複雜且水流暢通度不足，容易阻塞，已被揚棄不用。而目前採用之U型或是S型存水彎，只讓水分子侷限在空間上的固定一平面上流動、水流方向變化劇烈，流速很容易減緩，管路自淨能力較差，也同樣有管路滋生細菌、堵塞等問題。

為了解目前傳統S型存水彎常有淤積阻塞的問題，本研究試著提出另一種幾何形狀為圓環狀的O型存水彎，並探討存水彎幾何形狀改變後，如何影響水體的儲水能力、能量變化，以及自我清淨能力。



圖8 夾角45度的設定

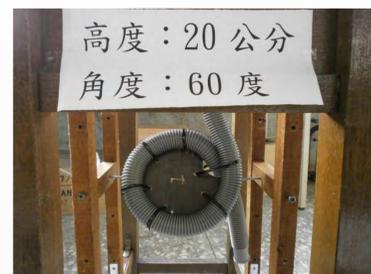


圖9 夾角60度的設定



圖10 夾角75度的設定



圖11 夾角90度的設定

## 貳、研究目的

為解決目前S型存水彎常仍有堵塞的問題，本研究提出另一種O型存水彎之管路幾何設計（圖1）為實驗組，並以傳統的S型管路幾何設計（圖2）做為對照組。

本研究針對兩種幾何設計在「水封儲水量」、「相對能量損失百分率」及「水流自淨能力」等三項效標變項之表現，評估本研究提出的O型存水彎設計，是否優於傳統的S型存水彎？若O型存水彎較優，則進一步找出O型存水彎的最佳的高度及旋轉角度配置方式。



圖1 實驗組（O型）



圖2 對照組（S型）

## 參、研究設備及器材

### 一、實驗組：

- 選用對應洗手台排水口徑，直徑為35mm可彎折式排水彎管。
- O型存水彎設置於直徑為15公分、可旋轉的O型圓環盤面上。
- 高度的設定，以洗手台排水塞到O型圓環盤面圓心間的垂直距離h（圖3），分成20cm、30cm、40cm，共三個高度。



圖3 高度的設定方式

- 角度的設定方式係透過可旋轉調整角度的轉盤（圖4），設定出O型環旋轉盤面與地面之間的夾角。角度分成0度、15度、30度、45度、60度、75度、90度，共7個角度，各角度之彎折情形，如圖5~圖11所示。
- 藉此裝置進行在預設之各項高度及角度組合下，測量洗手台洩完水之後，殘存在彎管內的水封儲水量，以及在洩水過程中，水體的相對能量損失百分率、水流自淨能力。



圖4 旋轉盤角度的設定



圖5 夾角0度的設定



圖6 夾角15度的設定



圖7 夾角30度的設定

### 二、對照組：

- 藉以同一條排水彎管，在與O型環相同周長的前提下，將排水彎管彎折成傳統的S型存水彎，如圖2所示。
- 採用與地面夾角為90度、排水塞與存水彎中心點分別在20公分、30公分、40公分，共三個高度條件下，做為本研究之實驗對照組，並測量殘存在S型彎管內的水封儲水量，以及在洩水過程中，水體的相對能量損失百分率、水流自淨能力。

## 肆、研究過程及方法

### 一、『水封儲水量』測定：

#### （一）實驗組：

在O型環各種高度及轉盤夾角下，測量『水封儲水量』，流程如下：



#### （二）實驗對照組：

在S型環高度及轉盤夾角90度下，測量『水封儲水量』，流程如下：



### 二、『相對能量損失百分率』的推測方法：

兩種存水彎在洗手台形式及儲水量V皆相同情況、假設水體為「穩定流」時，推測兩者間的『相對能量損失百分率』：



第一種存水彎



第二種存水彎

- 若第一種存水彎彎折狀態下的水流瞬時速率 $v_1$ 、平均速率 $\bar{v}_1$ ，則
- $$V = \frac{\pi D^2}{4} \times \bar{v}_1 \times t_1$$
- 若第二種存水彎彎折狀態下的水流瞬時速率 $v_2$ 、平均速率 $\bar{v}_2$ ，則
- $$V = \frac{\pi D^2}{4} \times \bar{v}_2 \times t_2$$
- 又∵洩水量V及管路直徑D皆相同。
  - ∴ $\bar{v}_1 \times t_1 = \bar{v}_2 \times t_2$
  - ∴兩種存水彎的水流平均速率 $\bar{v}$ 與洩水總時間t成反比

- 第一種存水彎彎折狀態下，洩水過程的總動能為

$$\widehat{Ek}_1 = \int \frac{1}{2} m \times v_1^2 = \frac{1}{2} M \times \bar{v}_1^2$$

- 第二種存水彎彎折狀態下，洩水過程的總動能為

$$\widehat{Ek}_2 = \int \frac{1}{2} m \times v_2^2 = \frac{1}{2} M \times \bar{v}_2^2$$

- 若 $\widehat{Ek}_1$ 小於 $\widehat{Ek}_2$ ，則第一種存水彎設計的水體總能量相對於第二種存水彎設計的水體總能量的百分率為

$$\frac{\widehat{Ek}_1}{\widehat{Ek}_2} \times 100\% = \frac{\frac{1}{2} M \times \bar{v}_1^2}{\frac{1}{2} M \times \bar{v}_2^2} \times 100\% = \frac{\bar{v}_1^2}{\bar{v}_2^2} \times 100\%$$

- 水流平均速率 $\bar{v}$ 與洩水總時間t成反比之結論，可知：

$$\frac{\bar{v}_1^2}{\bar{v}_2^2} = \frac{t_2^2}{t_1^2}$$

- 第一種存水彎設計的水體總能量 $\widehat{Ek}_1$ 相對於第二種存水彎設計的水體總能量 $\widehat{Ek}_2$ 的百分率，可轉換變成與洩水時間平方成反比的關係式：

$$\frac{\widehat{Ek}_1}{\widehat{Ek}_2} \times 100\% = \frac{t_2^2}{t_1^2} \times 100\%$$

- 若 $t_1 > t_2$ ，則以第二種存水彎設計為比較基準，估算第一種存水彎設計的相對能量損失百分率，可轉換為：

$$\frac{\widehat{Ek}_2 - \widehat{Ek}_1}{\widehat{Ek}_2} \times 100\% = \left(1 - \frac{\widehat{Ek}_1}{\widehat{Ek}_2}\right) \times 100\% = \left(1 - \frac{t_2^2}{t_1^2}\right) \times 100\% \dots \dots \dots \text{式 3-1}$$

最後，簡化成只須分別測量兩種存水彎在洩相同的水量下的總時間 $t_1$ 與 $t_2$ ，只需透過3-1式的轉化，即可計算出兩者的相對能量損失百分率。

### 三、存水彎『水流自淨能力』的測定過程

- 測量存水彎『水流自淨能力』的裝置，如圖12所示：

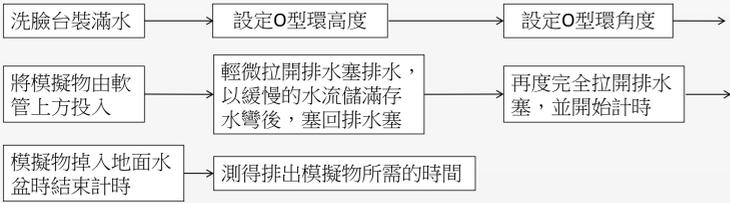


圖12 測量水流自淨能力的裝置

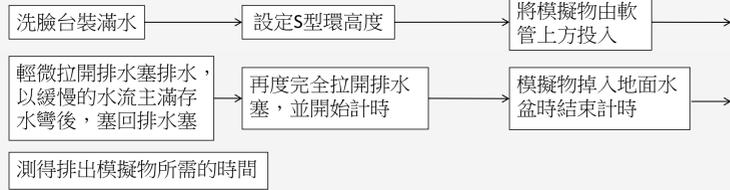
- 分別以密度不同的毛髮球、衛生紙團、10顆玻璃彈珠等物體，模擬淤積在存水彎內之情境，作為本研究探測存水彎『水流自淨能力』，所使用之『淤積模擬物』，各物質之基本性質，如下表：

淤積物	直徑25mm 毛髮球	25mm衛生紙團	10顆25mm的玻璃彈珠
照片			
浮沉情形	浮在水面	沉入水中	沉入水中(單顆)
質量	8.42公克	11.4公克	20.32公克(單顆平均)
密度	0.98 g/cm <sup>3</sup>	1.33 g/cm <sup>3</sup>	2.37 g/cm <sup>3</sup>

- 透過水流的重力，測量各種淤積模擬物從存水彎最低處，掉落至地面塑膠水盆，所需花費的時間。
- 排出淤積模擬物時間愈短，表示水流自淨能力愈佳。
- 實驗組：0型存水彎在各種0型環高度及轉盤夾角下，測量淤積模擬物排出時間，流程如下：



- 對照組：傳統S型存水彎，在S型環高度及轉盤夾角90度下，測量淤積模擬物排時間，流程如下：



## 伍、研究結果

### 一、『水封儲水量』的測定：

- 實驗組0型及對照組S型存水彎，水封儲水量之結果，如下表：

組別	高度			
	角度	20公分	30公分	40公分
實驗組：0型存水彎	0度	39 mL	19 mL	26 mL
	15度	238 mL	225 mL	203 mL
	30度	277 mL	260 mL	252 mL
	45度	285 mL	278 mL	276 mL
	60度	302 mL	283 mL	287 mL
	75度	297 mL	294 mL	288 mL
	90度	294 mL	293 mL	290 mL
對照組：S型存水彎	90度	191 mL	186 mL	172 mL

- 0型存水彎在幾何形狀上，比傳統S型存水彎有先天優勢，當0型存水彎傾斜角度超過30度，儲水量便明顯優於S型存水彎。
- 0型存水彎在高度20公分、角度60度時，具有最大的儲水量。

### 二、存水彎『相對能量損失百分率』的推測結果：

設定洗手台在儲水位分別為低水位（1公升）、中水位（2公升）、高水位（3公升），及滿水位（3.92公升）等四個水位（如下表），測量存水彎在無任何阻塞物之情境下，改變S型存水彎及0型存水彎在各種高度、角度的組合，針對洗手台洩完所有儲水的總時間t進行量測。



### (一) 洗手台在儲水位分別為低水位（1公升）時：

- 分別測量實驗組0型存水彎及對照組S型存水彎，在管路無阻塞、低水位時之洩水時間t，並以S型存水彎高度h = 30公分的能量損耗為比較基準時，其他管路組合的相對能量損失百分率%(括號內)，測量結果，如下表：

組別	高度			
	角度	20公分	30公分	40公分
實驗組：0型存水彎	0度	8.0秒 (23.4%)	7.5秒 (12.9%)	7.5秒 (12.9%)
	15度	9.5秒 (45.7%)	8.5秒 (32.2%)	8.5秒 (32.2%)
	30度	8.0秒 (23.4%)	8.5秒 (32.2%)	9.5秒 (45.7%)
	45度	8.5秒 (32.2%)	7.5秒 (12.9%)	8.5秒 (32.2%)
	60度	9.0秒 (39.5%)	8.0秒 (23.4%)	9.0秒 (39.5%)
	75度	8.5秒 (32.2%)	7.5秒 (12.9%)	7.5秒 (12.9%)
	90度	8.5秒 (32.2%)	7.5秒 (12.9%)	9.0秒 (39.5%)
對照組：S型存水彎	90度	7.5秒 (12.9%)	7.0秒 (比較基準)	7.5秒 (12.9%)
管路直通無彎折		8 秒 (23.4%)		

- 將0型存水彎在各高度、角度組合下的相對能量損失百分率變動情形，如下圖：



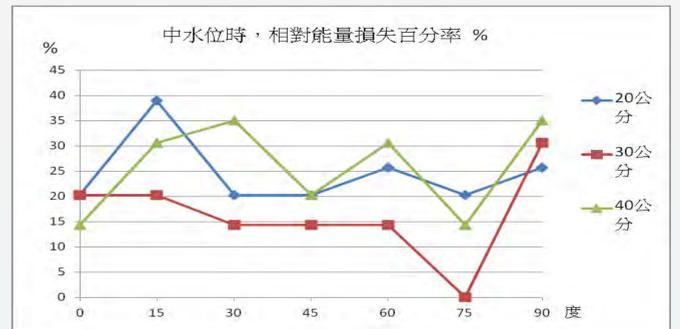
- 由上圖可知，0型存水彎以（高度30公分，角度0度）、（高度30公分，角度45度）、（高度30公分，角度75度）、（高度30公分，角度90度）、（高度40公分，角度0度）或是（高度40公分，角度75度）等六種組合方式，具有最低的相對能量損失百分率。

### (二) 洗手台在儲水位分別為中水位（2公升）時：

- 分別測量實驗組0型存水彎及對照組S型存水彎，在管路無阻塞、中水位時之洩水時間t，並以S型存水彎高度h = 30公分的能量損耗為比較基準時，其他管路組合的相對能量損失百分率%(括號內)，測量結果，如下表：

組別	高度			
	角度	20公分	30公分	40公分
實驗組：0型存水彎	0度	14.0秒 (20.3%)	14.0秒 (20.3%)	13.5秒 (14.3%)
	15度	16.0秒 (39.0%)	14.0秒 (20.3%)	15.0秒 (30.6%)
	30度	14.0秒 (20.3%)	13.5秒 (14.3%)	15.5秒 (35.0%)
	45度	14.0秒 (20.3%)	13.5秒 (14.3%)	14.0秒 (20.3%)
	60度	14.5秒 (25.7%)	13.5秒 (14.3%)	15.0秒 (30.6%)
	75度	14.0秒 (20.3%)	12.5秒 (0.0%)	13.5秒 (14.3%)
	90度	14.5秒 (25.7%)	15.0秒 (30.6%)	15.5秒 (35.0%)
對照組：S型存水彎	90度	12.5秒 (0.0%)	12.5秒 (比較基準)	13.5秒 (14.3%)
管路直通無彎折		13.5秒 (14.3%)		

- 將0型存水彎在各高度、角度組合下的相對能量損失百分率變動情形，如下圖：



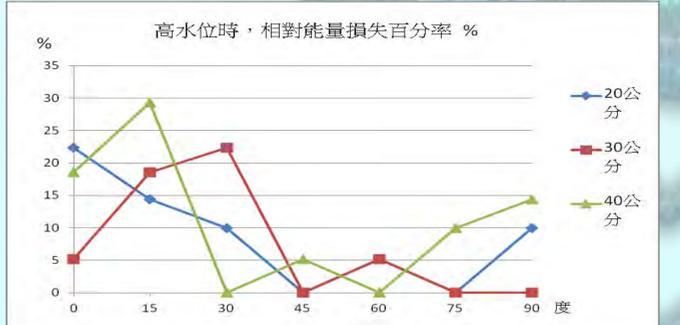
- 由上圖可知，0型存水彎以（高度30公分，角度75度）的組合方式，具有最低的相對能量損失百分率。

### (三) 洗手台在儲水位分別為高水位（3公升）時：

- 分別測量實驗組0型存水彎及對照組S型存水彎，在管路無阻塞、高水位時之洩水時間t，並0型存水彎高度h = 30公分，角度75度的能量損耗為比較基準時，其他管路組合的相對能量損失百分率%(括號內)，測量結果，如下表：

組別	高度			
	角度	20公分	30公分	40公分
實驗組：0型存水彎	0度	21.0秒 (22.4%)	19.0秒 (5.2%)	20.5秒 (18.6%)
	15度	20.0秒 (14.4%)	20.5秒 (18.6%)	22.0秒 (29.3%)
	30度	19.5秒 (10.0%)	21.0秒 (22.4%)	18.5秒 (0.0%)
	45度	18.5秒 (0.0%)	18.5秒 (0.0%)	19.0秒 (5.2%)
	60度	19.0秒 (5.2%)	19.0秒 (5.2%)	18.5秒 (0.0%)
	75度	18.5秒 (0.0%)	18.5秒 (比較基準)	19.5秒 (10.0%)
	90度	19.5秒 (10.0%)	18.5秒 (0.0%)	20.0秒 (14.4%)
對照組：S型存水彎	90度	18.5秒 (0.0%)	19.5秒 (10.0%)	20.5秒 (18.6%)
管路直通無彎折		21秒 (22.4%)		

- 將0型存水彎在各高度、角度組合下的相對能量損失百分率變動情形，如下圖：



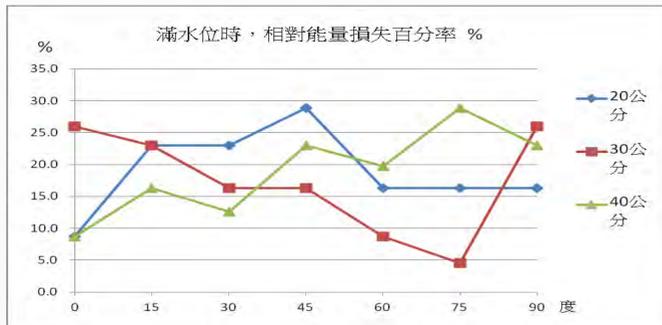
- 由上圖可知，0型存水彎以（高度20公分，角度45度）、（高度20公分，角度75度）、（高度30公分，角度45度）、（高度30公分，角度75度）、（高度40公分，角度30度）或是（高度40公分，角度60度）等六種組合方式，具有最低的相對能量損失百分率。

(四) 洗手台在儲水位分別為滿水位 (3.92公升) 時：

- 分別測量實驗組0型存水彎及對照組S型存水彎，在管路無阻塞、滿水位時之洩水時間t，並以S型存水彎高度h = 30公分的能量損耗為比較基準時，其他管路組合的相對能量損失相對百分率(括號內)，測量結果，如下表：

組別	高度 角度	20公分	30公分	40公分
		實驗組： 0型存水彎	0度 22.5秒 ( 8.7%)	25.0秒 (26.0%)
	15度	24.5秒 (23.0%)	24.5秒 (23.0%)	23.5秒 (16.3%)
	30度	24.5秒 (23.0%)	23.5秒 (16.3%)	23.0秒 (12.6%)
	45度	25.5秒 (28.9%)	23.5秒 (16.3%)	24.5秒 (23.0%)
	60度	23.5秒 (16.3%)	22.5秒 ( 8.7%)	24.0秒 (19.7%)
	75度	23.5秒 (16.3%)	22.0秒 ( 4.5%)	25.5秒 (28.9%)
	90度	23.5秒 (16.3%)	25.0秒 (26.0%)	24.5秒 (23.0%)
對照組： S型存水彎	90度	22.0秒 ( 4.5%)	21.5秒 (比較基準)	22.5秒 ( 8.7%)
管路直通無彎折		25秒 (26.0%)		

- 將0型存水彎在各高度、角度組合下的相對能量損失百分率變動情形，如下圖所示：



- 由上圖可知，0型存水彎以 (高度30公分，角度75度) 的組合方式，具有最低的相對能量損失百分率。

三、『水流自淨能力』的測定：

存水彎排出各種淤積模擬物的時間，測量結果如下：

- (一) 淤積模擬物為25mm毛髮球之排出時間，如下表：

組別	高度 角度	20公分	30公分	40公分
		實驗組： 0型存水彎	0度 1.5秒	1.8秒
	15度	2.2秒	2.1秒	2.1秒
	30度	2.5秒	2.0秒	2.1秒
	45度	2.3秒	1.9秒	2.3秒
	60度	2.2秒	2.0秒	2.2秒
	75度	2.0秒	2.2秒	2.6秒
	90度	2.5秒	2.4秒	2.4秒
對照組： S型存水彎	90度	1.9秒	1.7秒	1.6秒

- 由上表可知，當淤積物密度與水分子接近時，以0型存水彎在 (高度30公分，角度45度) 的組合方式，其水流自淨能力最佳。

- (二) 淤積模擬物為25mm衛生紙團之排出時間，如下表：

組別	高度 角度	20公分	30公分	40公分
		實驗組： 0型存水彎	0度 2.0秒	2.1秒
	15度	1.9秒	1.9秒	1.8秒
	30度	1.8秒	2.0秒	1.9秒
	45度	1.9秒	1.8秒	2.1秒
	60度	1.9秒	1.8秒	2.0秒
	75度	1.9秒	2.0秒	2.0秒
	90度	2.3秒	2.1秒	2.0秒
對照組： S型存水彎	90度	1.9秒	1.9秒	2.1秒

- 由上表可知，當淤積物密度稍微大於水分子時，以0型存水彎在 (高度40公分，角度0度) 的組合方式，其水流自淨能力最佳。

- (三) 淤積模擬物為10顆25mm彈珠之排出時間，如下表：

組別	高度 角度	20公分	30公分	40公分
		實驗組： 0型存水彎	0度 1.8秒	2.0秒
	15度	2.1秒	1.8秒	1.6秒
	30度	2.4秒	2.2秒	1.6秒
	45度	2.5秒	2.4秒	1.9秒
	60度	2.7秒	2.6秒	2.3秒
	75度	3.3秒	3.3秒	2.9秒
	90度	4.2秒	3.6秒	3.5秒
對照組： S型存水彎	90度	2.0秒	1.8秒	1.6秒

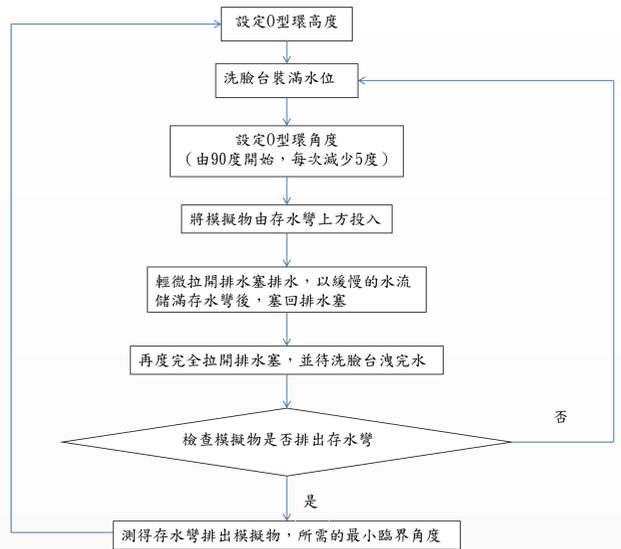
- 由上表可知，當淤積物密度比水分子大、且接近砂石的密度 (約 2.7 g/cm<sup>3</sup>) 時，以0型存水彎在 (高度40公分，角度0度) 的組合方式，其水流自淨能力最佳。

- (四) 探討氣塞現象對存水彎排出淤積模擬物能力的影響：

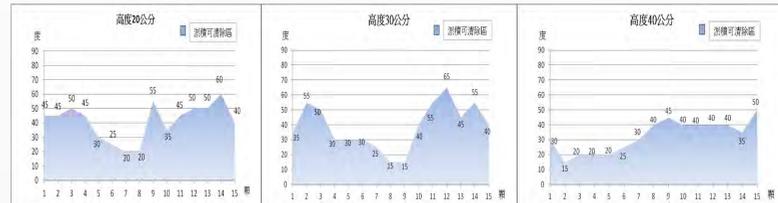
實驗方式是將洗臉台的水流原本是開放水流，改成以熱熔膠將洗臉台的溢水口密封 (如下圖)，讓洗臉台與存水彎間所產生的氣體無法排出，刻意形成封閉水流，讓管路造成氣塞現象。



- 在密閉水流的情況下，發現S型存水彎，在投入1顆玻璃彈珠時，除了洗臉台的洩水速率明顯比未封閉溢水口前的開放水流還變慢外，存水彎內部的水，也被氣塞的氣體牽絆著，出水口的水流明顯變慢。因此，連1顆彈珠都無法排出存水彎。
- 探討0型存水彎在密閉水流產生氣塞現象時的排淤自淨能力，以能排出淤積模擬物的旋轉盤最小角度，作為臨界角度，實驗流程如右上圖：



- 根據上述流程圖，測量0型存水彎在密閉水流產生氣塞現象的情況下，分別求得高度為20公分、30公分、40公分時，存水彎排出模擬淤積物為不同彈珠數目的最小臨界角，實驗結果如下列折線圖所示：



- 上圖中著色區域為存水彎可自行清除淤積區，空白區域為存水彎無法透過水流清除淤積區。

陸、討論

一、存水彎「水封儲水量」：

- (一) 0型存水彎在幾何形狀上，比傳統S型存水彎有先天優勢。因此只要0型存水彎旋轉盤傾斜角度超過30度，其儲水量便明顯優於S型存水彎90度。而0型存水彎在高度20公分、角度60度時，具有最大的儲水量。
- (二) 洗臉台出水口與存水彎旋轉盤心之間的高度h愈高，儲水量反而有下降的情形，高度40公分的儲水量，反而低於高度20公分及30公分的儲水量。本研究認為：高度過高容易讓水體在存水彎中流速過快，也容易產生虹吸現象，反而不利於存水彎的儲水。

二、存水彎『相對能量損失百分率』的推測：

- (一) 因無法利用連通管精確測出存水彎入口處及出水處兩端的壓力差，導致本研究無法利用『柏努利方程式』，推測水體在存水彎的水頭損失。故本研究改以自行推論之相對能量損失百分率，做各種存水彎組合間的相對能量損失的比較。
- (二) 洗臉台水位在滿水位、中水位、低水位時，整體能量損失以S型存水彎為最少者；而當水位在高水位時，整體能量損失才以0型存水彎 (高度30公分、角度75度) 的組合為最少。本研究認為洗臉台在中水位、低水位時，流經存水彎的水分子動能不足，無法克服0型存水彎儲水長度過長的管道，而產生回衝現象，導致在0型存水彎的入口及出水口之間，水分子互相擠壓而造成能量的損失。而在滿水位時，水分子流經存水彎時的平均速率過大，洗臉台的水分子在排水口產生而造成能量的損失。因此，存水彎的管長，須配合洩水的水流速率，存水彎儲水長度的過短或過長，皆容易產生能量損耗。
- (三) 本研究嘗試以移除存水彎，讓水體以直通方式，測量各洗臉台在不同水位時，皆發現管路直通管的洩水總時間，都比接上S型存水彎或0型存水彎的時間還長，此現象表示在沒有管路給予適當的氣塞回壓下，水流在洗臉台上的流速過快，導致水體在排水口處發生擠壓，反而降低的洩水的速度率。

三、存水彎『水流自淨能力』：

- (一) 淤積物為密度接近水分子的毛髮球時，以0型存水彎在 (高度30公分，角度45度) 的組合方式，自淨能力最佳。
- (二) 淤積物為密度稍微比水分子大的衛生紙團時，在0型存水彎角度30度以上時，以 (高度30公分，角度60度) 的組合方式，自淨能力最佳。
- (三) 淤積物為密度接近泥沙的玻璃彈珠時，在0型存水彎角度30度以上時，以 (高度40公分，角度30度) 的組合方式，自淨能力最佳。表示當淤積物愈多時，需有較大的重力位能提供水分子轉換成更大的動能，以及旋轉盤面較水平，水分子所轉換的動能，才能有足夠的能力將淤積物排出。
- (四) 本研究發現氣塞現象將會明顯削弱水流自淨能力。例如：當0型存水彎在高度30公分時，在開放水流的情況下，模擬淤積物為10顆玻璃彈珠時，皆可透過水流排出。但在封閉水流情況下，管路氣塞作用明顯，存水彎在10顆玻璃珠的淤積程度下，存水彎的角度需小於40度，方可將淤積物排出。

柒、結論

- 0型存水彎幾何型式，在『水封儲水量』的效標變項上，具有水量較多的先天優勢，但經本研究另外針對『相對能量損失百分率』，及『水流自淨能力』兩個效標面向之相對比較後，0型存水彎幾何與傳統S型存水彎的效標表現，形成各有優缺點的拉鋸。
- 『相對能量損失百分率』，及『水流自淨能力』兩個效標面向，背後代表探討在洩水過程中，存水彎內的水流順暢度。經本研究針對0型存水彎與傳統的S型存水彎的相對比較結果，兩種幾何設計的水流順暢程度，並無明顯差異；但0型存水彎的水封儲水量優於傳統的S型存水彎，表示本研究設計之0型存水彎，在單位儲水量上的效標表現，仍是優於傳統的S型存水彎。
- 存水彎之水封儲水量與水流順暢程度，兩者具有魚與熊掌不可兼得的特性、需做權衡取捨後，才能找出最適的高度、角度組合方式。
- 0型存水彎在各種高度、角度組合中，其中以 (高度30公分，角度75度) 為最佳組合，此組合的『相對能量損失百分率』，及『水流自淨能力』兩個效標是相對較優的。本研究探討其原因，應該是此組合之管路彎曲最平順、高度適中、儲水長度較適當。

捌、建議

- 0型存水彎在角度較大時，雖具有水封儲水量佳的優勢，但水體的能量損失較大、也較不易排出淤積物。因此，若能將旋轉盤改成可調角度的方式。在平時使用時，調成水封能力較佳的大角度；若要清理淤積物時，則調成自淨能力較佳的小角度。
- 本研究假設管路無任何阻塞物時，水體在洩水過程中為穩定流的狀態，採用測量存水彎入口前端的水體洩水全程的平均速率，估算相對能量損失百分率。但現實生活上，水體大多為非穩定流狀態，未來的研究，可測量存水彎出口後端的水體，將洩水過程的時段進行分割，並分別測量各時段的平均速率。最後，以積分的方式，估算出整體的相對能量損失百分率，將會比本研究更精確、更接近實際的水流狀況。