

# 107 年度氣候變遷創意實作競賽

## 決賽作品說明書

隊伍編號+名稱	28，力誠與他的快樂夥伴
作品名稱	Puzzle 啪藻 - 可分離式微藻永續循環減碳系統

參賽學校：國立成功大學

指導老師：游保杉、張嘉修 教授

團隊成員：薛力誠、蘇彥霖、李怡萱、白楷伊

## 目錄：

### 一、工程示意圖

### 二、作品說明

#### (一)構想

#### (二)作品特點與創意

#### (三)運作方式

##### 1.啲藻固碳反應器設計

##### 2.啲藻系統能量循環流程

##### 3.啲藻系統運作規劃

##### 4.啲藻系統結構(以嵌入式系統為例)

##### 5.作品材料說明

#### (四)藻種選擇與運作前操作配置

##### 1.藻種選擇

##### 2.運作前藻類操作配置

##### 3.培養液成分

#### 4.藻種保存培養基(藻盤)成份

#### (五)藻類生長曲線

#### (六)實際可行性測試

##### 1.二氧化碳吸收效率測試

##### 2.實際戶外溫度耐受性測試

#### (七)作品效益說明

##### A.成本面

##### B.效益面

#### (八)作品應用範圍

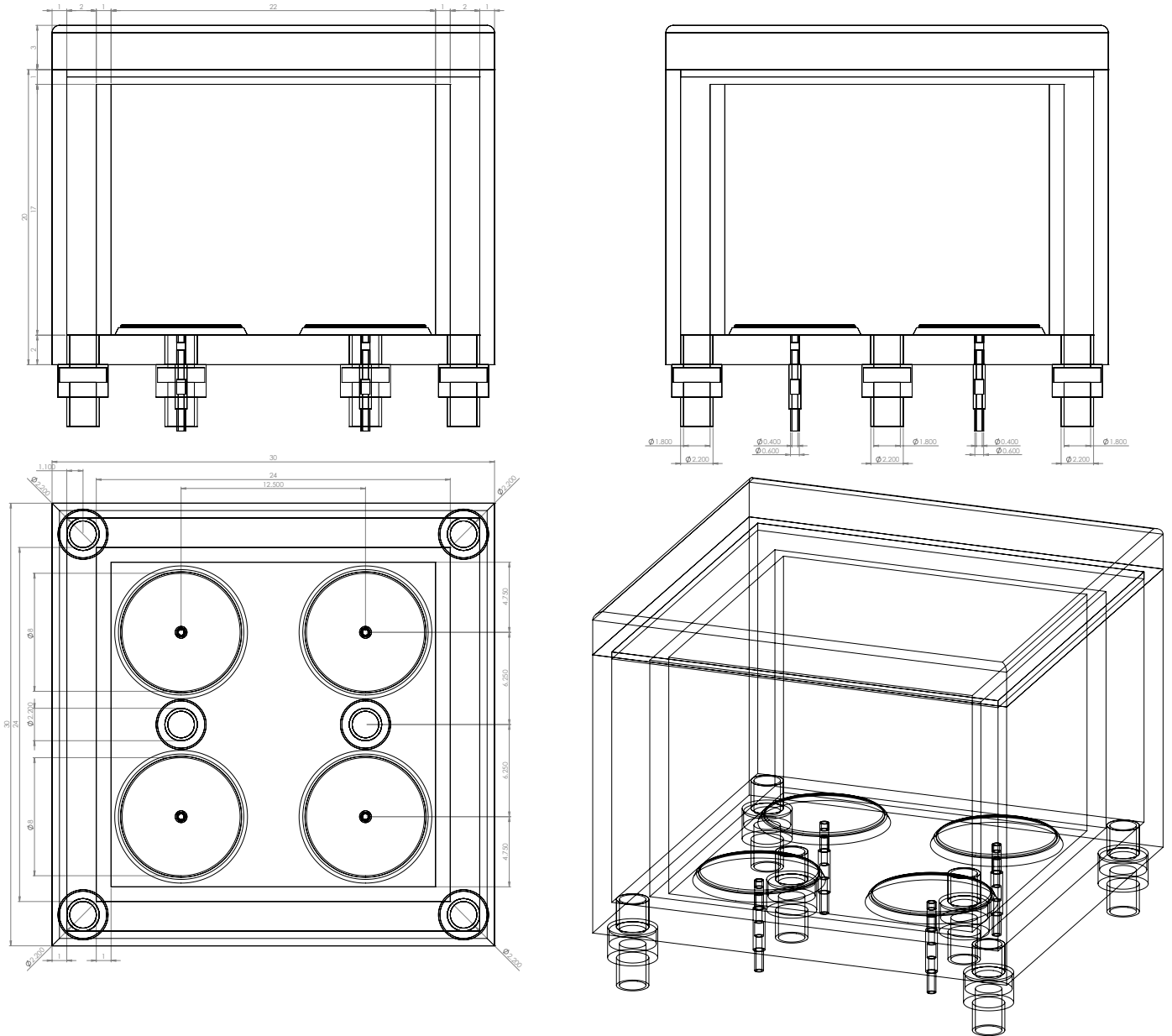
#### (九)發展潛能

#### (十)總結

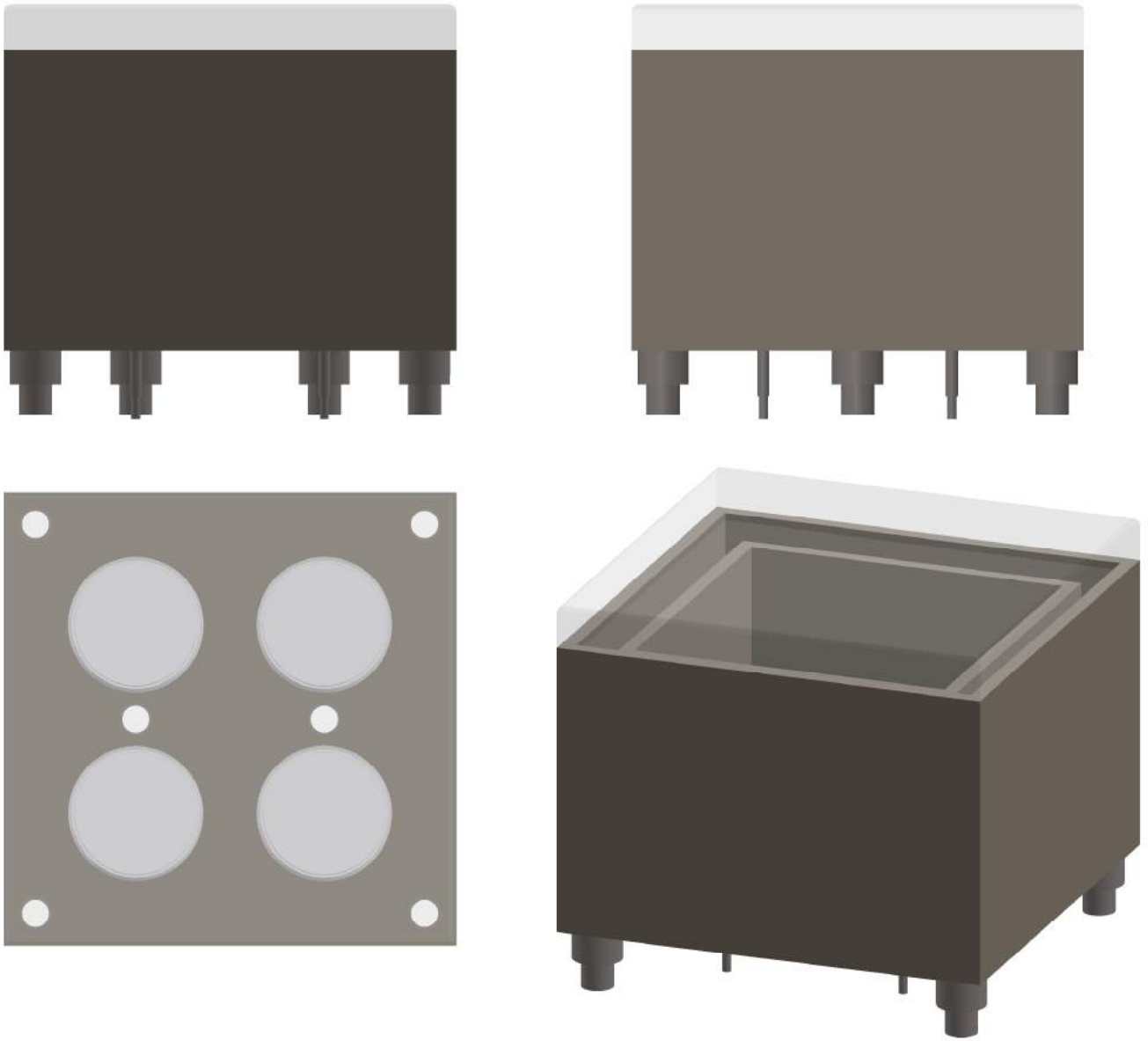
### 三、參考資料

# 一、工程示意圖

(一) 啞藻固碳反應器 (嵌入式) :

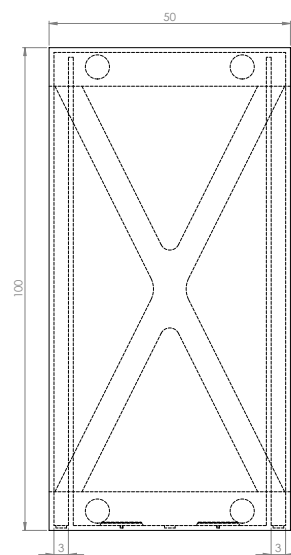
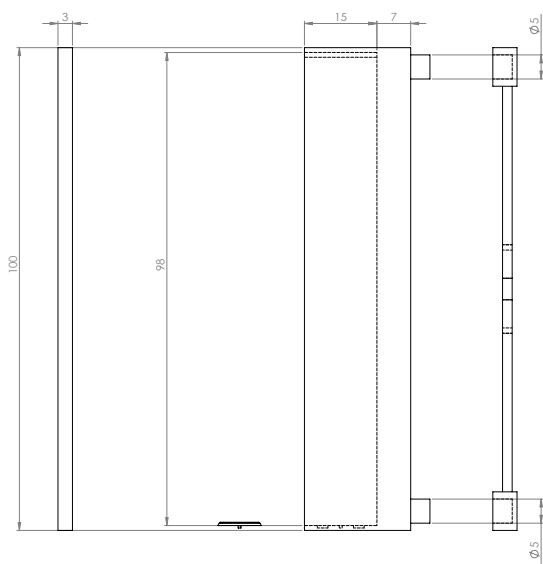
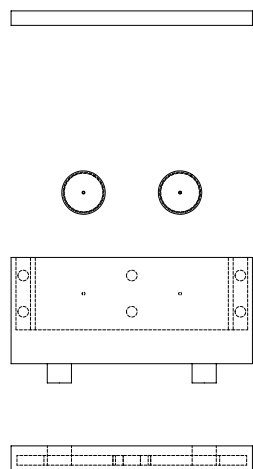
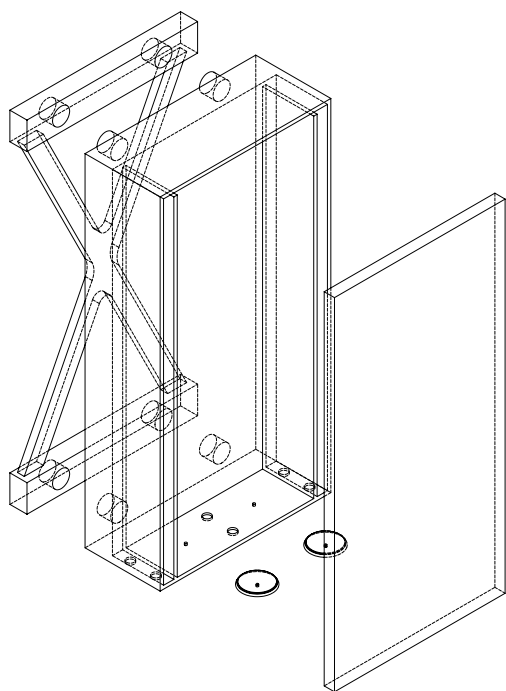


(圖 1) 透視圖



(圖 2) 實體模擬圖

(二) 啗藻固碳反應器 (懸掛式) :



(圖 3) 透視圖

## 二、作品說明：

### (一) 構想：

以造成氣候變遷之主要原因，「二氧化碳排放量過多」作為出發點，我們認為「固碳」乃為解決問題之核心 (IPCC Arc6, 2017)。雖然樹木等植物亦可固碳，但其缺點是若要達到有效固碳量，樹木之數量需達一定程度，而在現今全球人口不斷上升的情況下，可綠化的土地取得及使用勢必會越來越不易。因此本團隊最終以「微藻固碳」設計出一可分離式模組化系統，此系統能在不過度佔用人類生活空間的同時，與既有的都市、生活環境結合，在達到有效固碳效果的同時，也藉由本系統之設計，創造出特殊的空間氛圍、景觀，以提升生活品質，並提升大眾對環境保護之意識。

### (二) 作品特點與創意：

#### 創意：

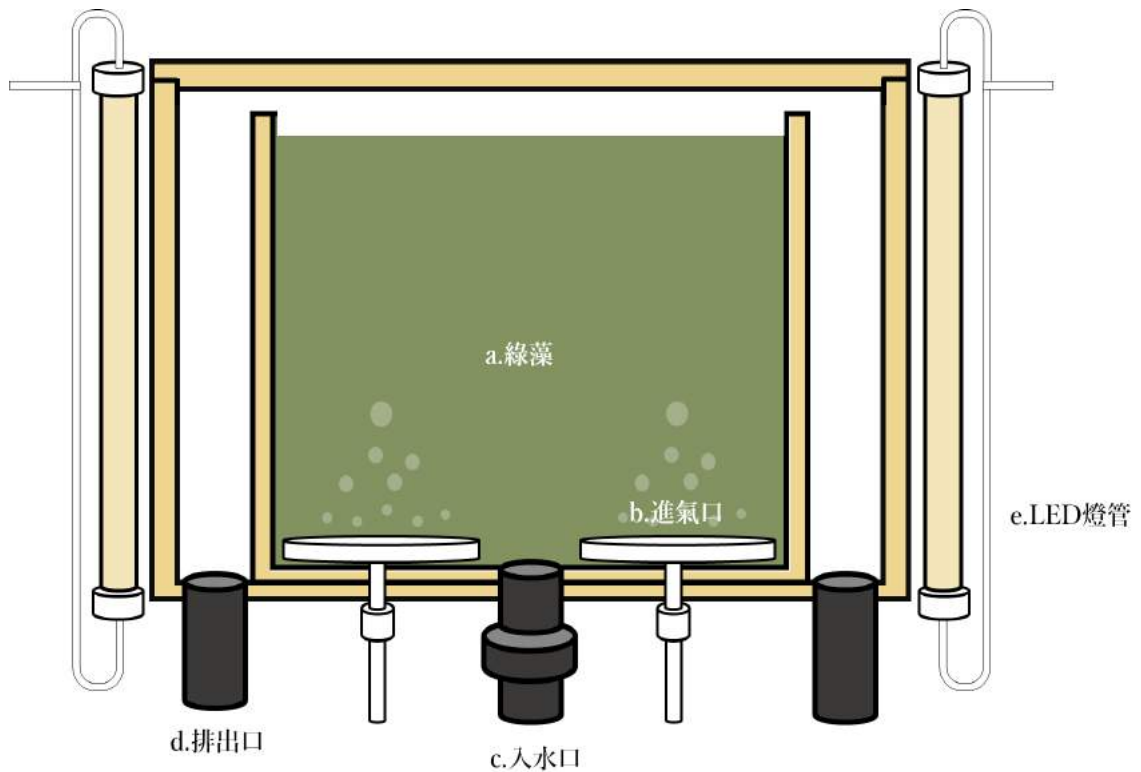
利用微藻行光合作用固碳之現象，並結合模組化之概念，設計出一個能因地制宜去改變配置、且方便維修及設置之可拼接、移動式的固碳系統，我們將之命名為「puzzle 啲藻」，取自「拼圖」之英文諧音及此作品能自由拼裝之意涵。

#### 作品特點：

- A.適應性高：適應各種場景，如城市、街道、海上、樓面等。
- B.機動性高：可拆卸和更替藻種，方便後續維護並可降低成本。
- C.養護成本低：藻類的養護成本低，搭配此系統更能有效降低固碳運作費用。
- D.效益高：除本身固碳效益外，亦有都市美觀和社會教育價值。
- E.目的明確：利用微藻固碳，達成捕捉空氣中二氧化碳來緩解溫室效應現象。
- F.永續運作：系統之能量可在內部循環，且藻類可永續使用。

### (三)運作方式：

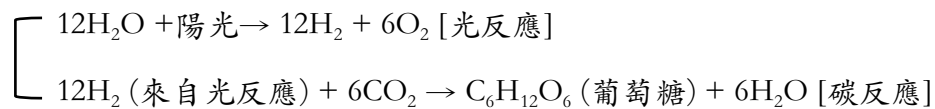
#### 1. 啣藻固碳反應器設計



(圖一) 啣藻固碳反應器

#### a. 綠藻：

將  $\text{CO}_2$  經由啣藻反應器，由綠藻行光合作用合成葡萄糖，來達到減碳之效果。



#### b. 進氣口：

加壓將二氧化碳濃度較高之空(廢)氣打入微藻水中，並經過由氣泡石細化氣體，以增加氣體溶解度。

#### c. 入水口：

廢水及綠藻液皆由入水口流入，並經由以下三點來調節藻類生長之最佳狀態。

1. 使微藻水能循環流動，降低綠藻沉澱以增加綠藻生長效率。
2. 減低溫度。
3. 增加營養鹽。



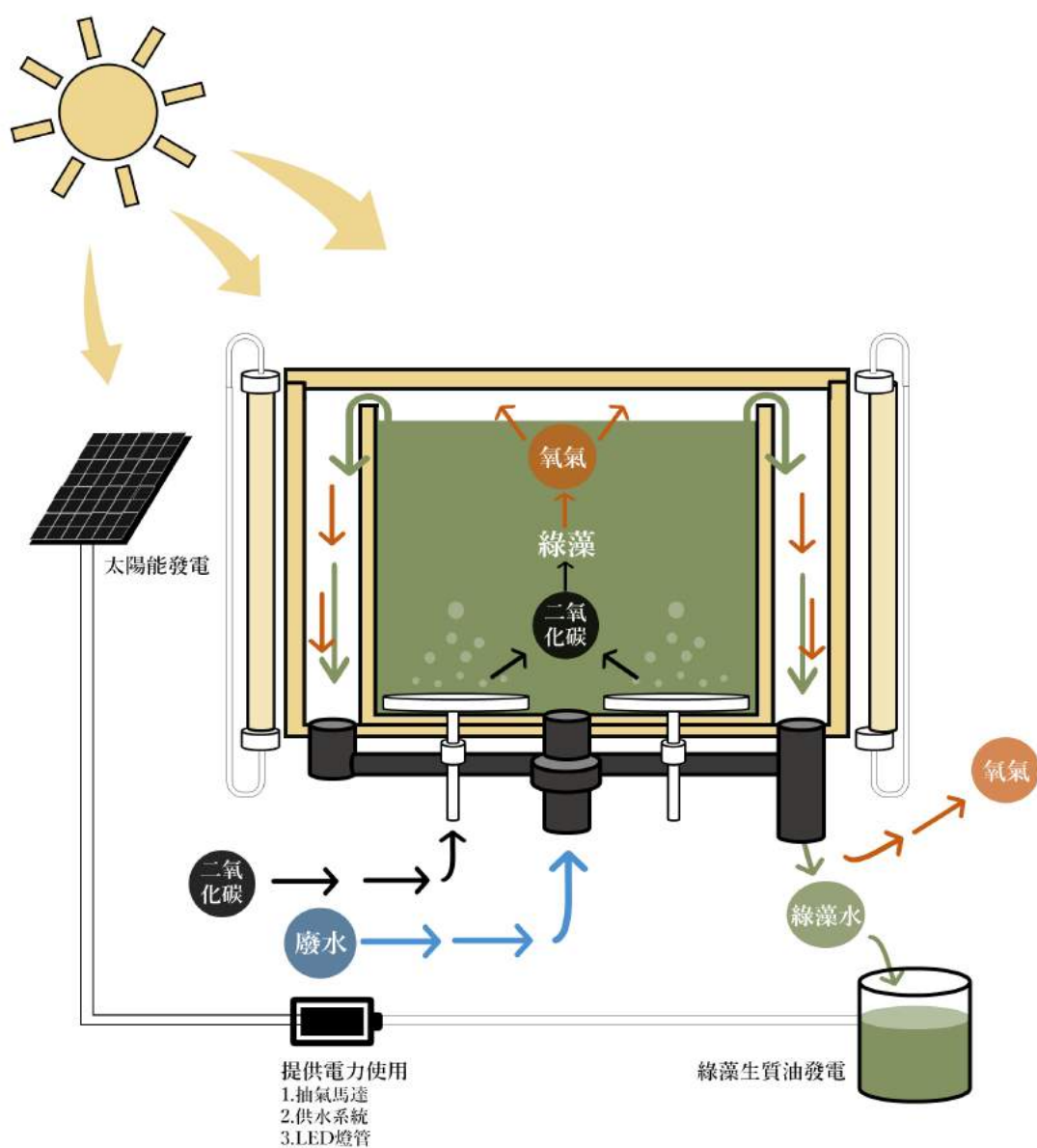
d. 排出口：

1. 為了控制啲藻固碳反應器之微藻水水位，設計溢流口使多餘的水可排放出去。
2. 將微藻行光合作用所產生出之  $O_2$  經由排氣口逸散出去。

e. 高演色 LED 燈管：

藉由加設的太陽能板和藻液回收後之生質能，以白天儲存的電力作為 LED 燈之能源，使微藻也能在夜間行光合作用，二十四小時持續回收  $CO_2$ 。

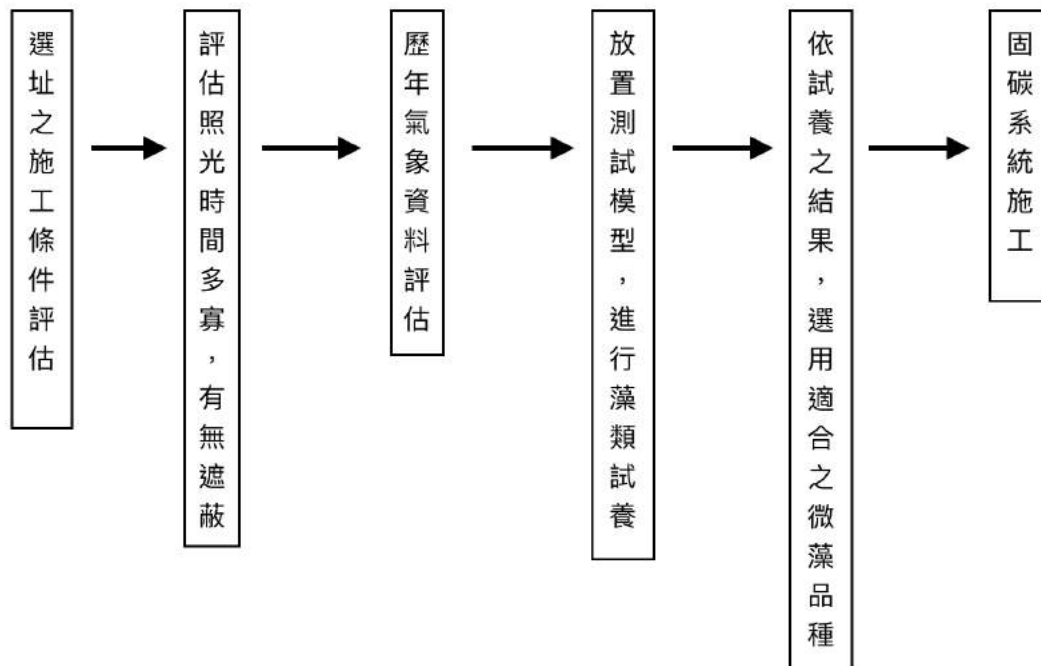
2. 啲藻系統能量循環流程



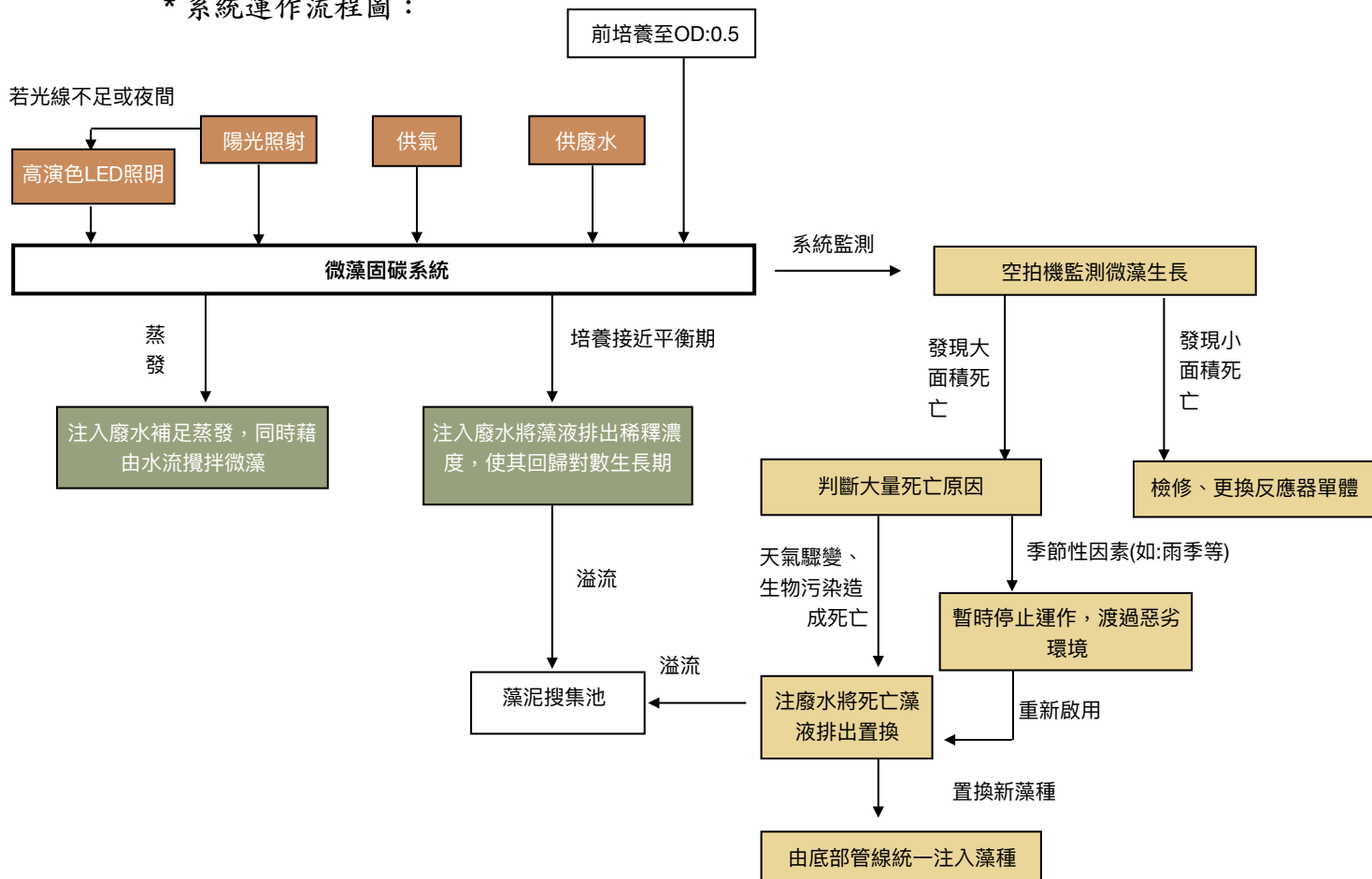
(圖二) 啲藻固碳系統能源永續循環圖

### 3. 微藻系統運作規劃：

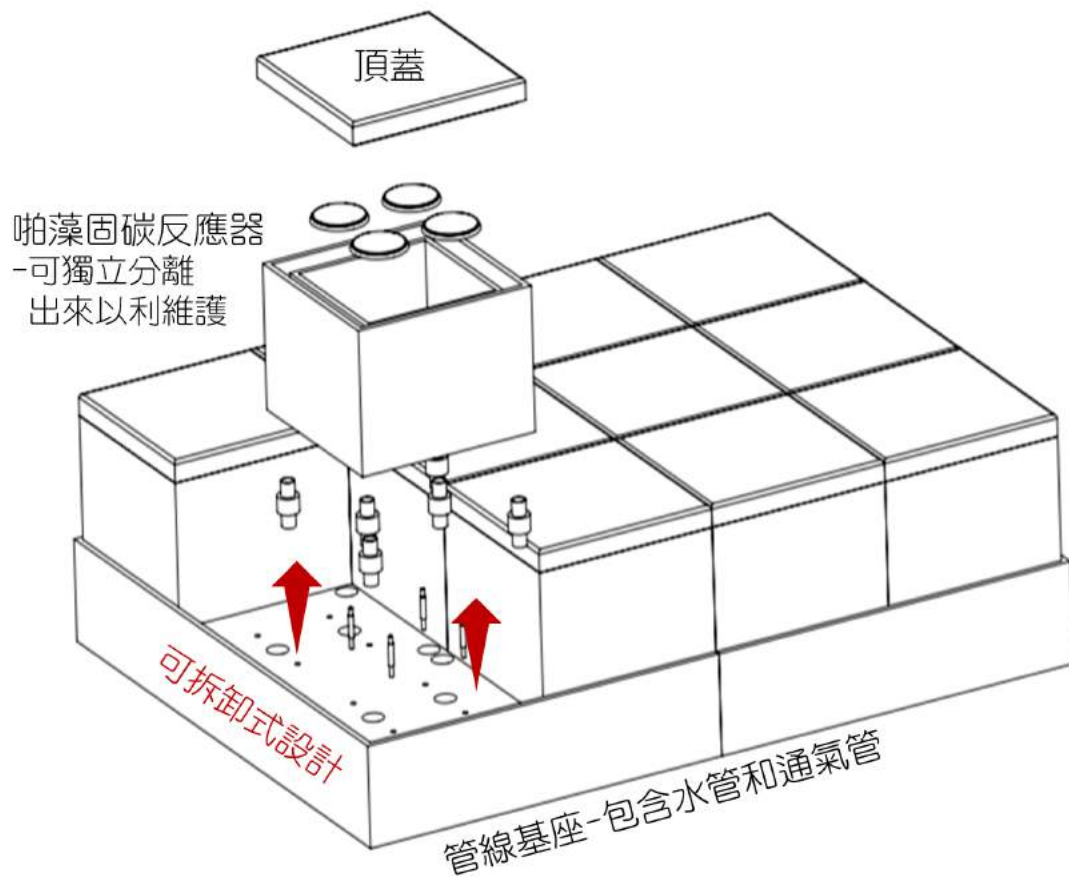
#### \* 事前評估流程圖：



#### \* 系統運作流程圖：



#### 4. 啪藻系統結構 (以嵌入式系統為例) :



(圖三) 啪藻系統結構示意圖 - 嵌入式

#### 5. 作品材料說明 :

##### 1. 外缸+頂蓋

- 強化玻璃(厚 1cm) , 大小:30\*30\*20 (cm)
- 四個角落各有外直徑 2.2cm(四分)的圓孔

##### 2. 內缸

- 強化玻璃(厚 1cm) , 大小:22\*22\*17(cm)
- 左右、中央各一個外直徑 2.2cm(四分)進水孔, 中間一個直徑 0.6cm 氣孔

### 3.外缸管路

a.PVC 塑膠水管，大小:四分(2.2cm)

### 4.內缸管路

a.PVC 塑膠水管，大小:四分(2.2cm)      b.矽膠管，大小:6mm

### 5.塑膠氣泡石

### 6.管線底板

a.混凝土      b.PVC 塑膠水管，四分(2.2cm)      c. 矽膠管，6mm

d.抽氣馬達      e.止(水)逆閥      f.止(氣)逆閥

### 7.高演色 LED 燈 (光照度至少 150 micromole/m<sup>2</sup>/s)

## (四)藻種選擇與運作前操作配置

### 1.藻種選擇：

#### A.小球藻屬 (屬名：*Chlorella*)

小球藻的大小約在 3-10 微米(μm)之間，可在淡水、海水及陸地土壤中生長，為一種常見之單細胞微藻，可細分為淡水小球藻、海水小球藻、本土小球藻等品種。可於 10~36°C間繁殖，其最適宜培養溫度為 25~28°C，適宜之水質酸鹼度則介於 pH 值 6~8，吸附廢水中銅、鋅、鎳、鎘等重金屬能力佳 (郭致廷, 2011) (王雪峰, 2001) (邱廷省, 2009) (張偉, 2001)。

#### B.紅藻門 (門名：*Rhodophyta*)

大多數為多細胞、少數為真核細胞之一門藻類，大多生長於海中，少數生長於淡水環境，其紅色顏色來自於於自身所含之藻紅素，其本身亦具有葉綠素、黃色素，最適宜培養溫度介於 20~25°C，適宜之水質酸鹼度則為 pH 值 6.5~8.5 (Wiki) (Marcelo Ribeiro Zucchi, 2006)。

#### C.藍綠藻門 (門名：*Cyanophyte*)

為原核生物，不具細胞核，細胞內除含有葉綠素和類胡蘿蔔素，尚含有藻藍素，部分種類亦含藻紅素，為地球最原始生物之一，適應能力極強，可耐高溫，低溫，低氧，乾燥及高鹽度等環境 (Wiki)。

#### D.螺旋藻屬 (屬名：*Spirulina*)

個體為螺旋狀長條，大小約為 0.5 毫米(mm)。可在淡水及鹹水中生長，並可進行自營及異營作用。生長速度快，大小相對於其他微藻大得多因此容易收集，為常見的培養藻種，適應環境能力強，具有良好吸附銀、鉛、鋅、銅、錳、鎳等金屬離子之能力（劉慧君, 2004）（郭致廷, 2011）。

## 2.運作前藻類操作配置：

### \* 操作步驟如下

- a. 做藻種前培養：用接種環於藻盤挖取兩小球之淡水小球藻作為母體，放入血清瓶中，並加入約 500 毫升培養液，打入濃度約 2%之 CO<sub>2</sub>，並以磁石攪拌器攪拌，培養約五天過後，使母體藻種順利生成濃藻液，完成前培養。



(圖四) 前培養(左)、藻盤(右)

- b. 將先前之濃藻液加入培養液，稀釋成 OD（見註一）約為 0.5 之藻液，再灌入內缸，準備運作。
- c. 依實際反應槽比例，決定打入之空氣量，並利用氣泡石增加氣容量。
- d. 依照各實行場域之實際水位及濃度情況，於入水孔補充廢水，並連帶攪拌槽內藻體，以避免藻種沉澱。
- f. 藻液回收後再利用。

### \*註一：

OD (Optical Density)：光密度，為檢測物之遮光能力。大多使用分光光度計以波長 680nm 之光進行檢測，可用來推估藻類細胞密度（梁芳, 2014）。



(圖五) 分光光度計 (UV Visiber)

3.培養液成分：

名稱：BG11 medium

藥品	量值
NaNO <sub>3</sub>	1.5 g/L
K <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	0.04 g/L
MgSO <sub>4</sub> · 7H <sub>2</sub> O	0.075 g/L
Citric acid	0.006 g/L
Stock 1, 2, 3, 4	1 ml

Stock 1 (100ml)

Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	2g + 100ml H <sub>2</sub> O
---------------------------------	-----------------------------

Stock 2 (100ml)	
CaCl <sub>2</sub> · 2H <sub>2</sub> O	3.6g + 100ml H <sub>2</sub> O

Stock 3 (100ml)		
Ferric ammonium citrate	0.6g	+ 100ml H <sub>2</sub> O
EDTA · 2Na	0.1g	

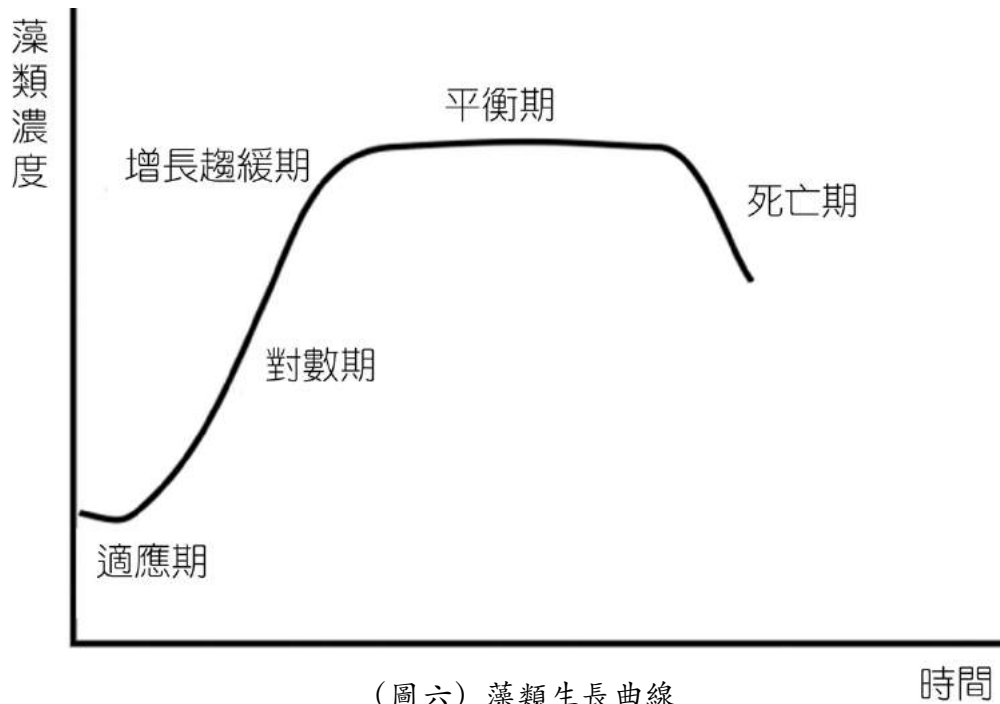
Stock 4 (250ml)		
H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	0.715g	+ 62.5ml H <sub>2</sub> O
MnCl <sub>2</sub> · 4H <sub>2</sub> O	0.4525g	
ZnSO <sub>4</sub> · 7H <sub>2</sub> O	0.0555g	+ 62.5ml H <sub>2</sub> O
Na <sub>2</sub> MoO <sub>4</sub> · 2H <sub>2</sub> O	0.0975g	+ 62.5ml H <sub>2</sub> O
CuSO <sub>4</sub> · 5H <sub>2</sub> O	0.01975g	+ 62.5ml H <sub>2</sub> O
Co(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> · 6H <sub>2</sub> O	0.01225g	

4.藻種保存培養基(藻盤)成份：

培養液加洋菜 (agar)



### (五)藻類生長曲線



(圖六) 藻類生長曲線

1. 適應期：停滯、緩慢發展時期，細胞密度增加緩慢；當藻類由種源接到培養液後，藻類細胞的成長會有一短暫的停滯期，甚至下降，這將使得擴培的時間拉長。成長停滯是因為細胞代謝的生理適應期，將會增加酵素含量、細胞分裂與固碳效率以利成長。
  2. 對數期：細胞快速增長時期，為時間的對數函數。
  3. 增長趨緩期：細胞分裂開始緩慢，當營養、pH 值，碳固定或著其他物理與化學性因子開始限制藻類成長。
  4. 平衡期：限制因子與成長速率達到平衡，相對穩定的藻類濃度。
  5. 死亡期：水質變差，營養耗盡無法維持成長，細胞濃度快速下降，稱作倒藻。
- 實際上，倒藻（藻類死亡）是由許多因素所造成的，其中包含：營養的耗盡、氣體的缺乏、溫度過高、pH 值擾動或者被污染等等。而成功養殖藻類的關鍵為儘量將藻類維持在對數期。
- 故我們於以下實際可行性測試中，找出啗藻固碳系統藻類生長曲線，使我們能加以設計，將啗藻固碳系統維持在對數期。



## (六)實際可行性測試

\*以下實驗皆以淡水小球藻（學名：*Chlorella Sorokiniana*）作為藻種選擇。

### 1.二氧化碳吸收效率測試：

地點：成功大學化工系館 B1 實驗室

溫度：攝氏 25 度

光照度：150 micromole/m<sup>2</sup>/s

氣體來源：98% 的空氣 + 2% CO<sub>2</sub> 之混合氣體

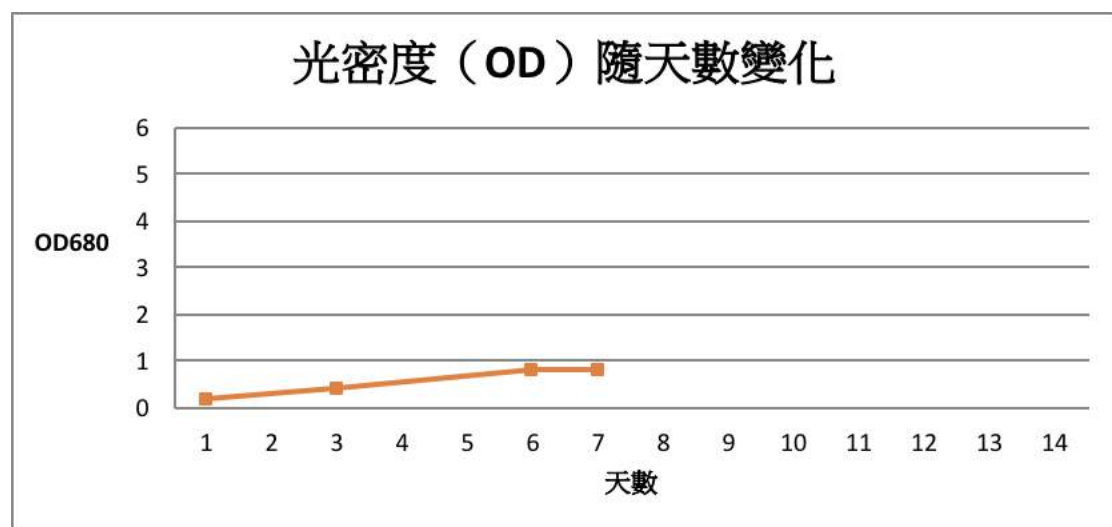
#### 一、實驗室 1 比 1 模型：

##### (1) 初始模型：

將止逆閥置於內缸進水口上方，將 2% 濃度之 CO<sub>2</sub> 分流至四個陶瓷細化器打入。

(表一) 光密度 (OD) 隨天數變化

時間	OD (以 680nm 波長光來測濃度)
4/25(三) DAY1	0.179
4/27(五) DAY3	0.404
4/30(一) DAY6	0.794



(圖七) 光密度 (OD) 隨天數變化



(圖八) 微藻反應器隨天數顏色漸變深

\* 問題發現：

1. 生長過度緩慢，Day6 OD 才 0.8。
2. 藻種沈澱嚴重。
3. 陶瓷細化器因微藻而堵塞，導致 CO<sub>2</sub> 氣體出不來。

\* 後續解決方法：拔除細化器，見二代模型。

(2) 二代模型：

把細化器拔除，直接以一個氣管通氣，解決堵塞問題，生長速率明顯上升。

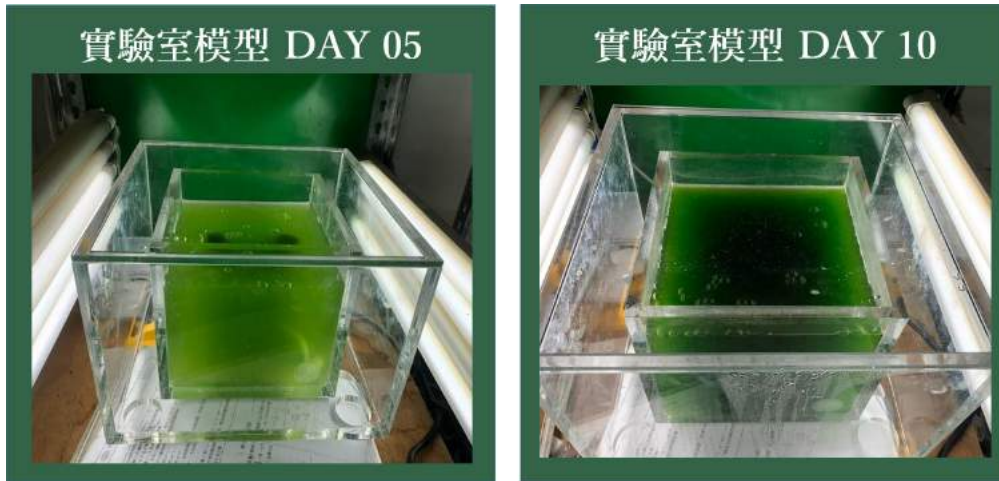
(表二) 光密度 (OD) 隨天數變化

時間	OD (以 680nm 波長光來測濃度)
5/1(二) DAY7	0.795
5/2(三) DAY8	1.5692
5/3(四) DAY9	2.298

5/4(五) DAY10	3.816
5/7(一) DAY13	5.42
5/8(二) DAY14	5.12
5/9(三) DAY15	5.5
5/10(四) DAY16	6.28
5/11(五) DAY17	5.647



(圖九) 光密度 (OD) 隨天數變化



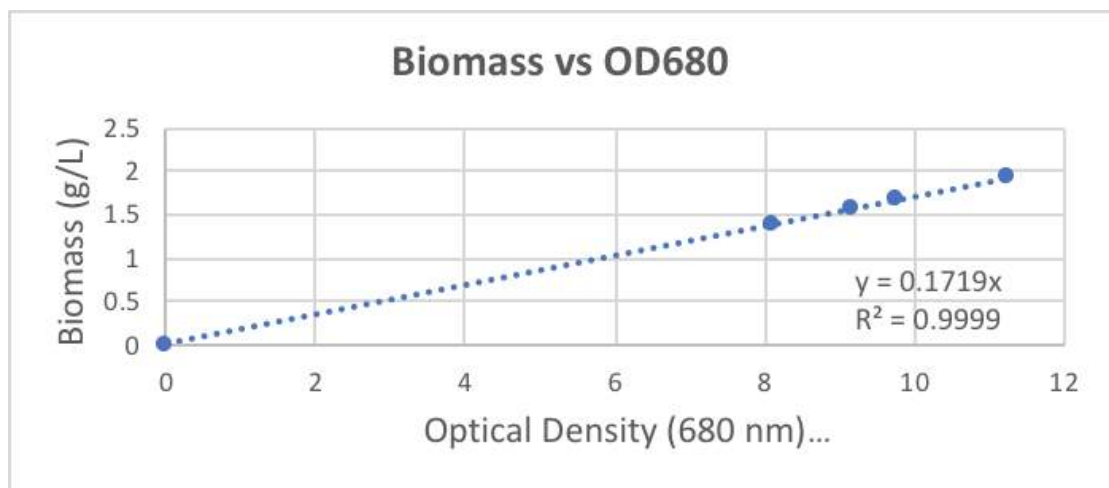
(圖十) 改變進氣模式比較前後藻水深

\* 問題發現：曝氣不均。

\* 後續解決方法：使用塑膠氣泡石改善曝氣不均，且其較不易阻塞。

(3) 二氧化碳吸收量計算：

此次實驗所選用之藻種 (*Chlorella sorokiniana*) 源自成大化工系微藻實驗室，其 Biomass (生物量) 與 OD 值 (光密度) 之迴歸線 (biomass calibration line) 經驗公式為  $y = 0.1719x$ ，y 值為 Biomass (g/L)，x 值為 OD 值。如下圖所示。



(圖十一) 生物量與光密度之關係

#### (4) 實驗計算步驟：

##### 1. 計算乾藻重

因 Day7 後之實驗配置有做修正，因此我們以 Day7 系統修正過後之數據為主。

- (1) 從實驗數據可得知在 Day13~17 時藻類開始邁入增長趨緩期，而平衡時之 OD 平均值約為 5.5934。
- (2) 實際操作時我們會將藻類維持在對數生長期，以達到最佳的固碳效率，由實驗數據可以得出 Day7 到 Day10 區間為對數成長期。
- (3) 我們將 Day7 之 OD 值設為起始濃度，而根據實驗數據，三天後 OD 之成長值應約為 3.021，依據 biomass calibration line 可推得3 天內成長之 Biomass 值約為 0.51931(g/L)。
- (4) 因啣藻固碳系統內藻液共 7L，故乾藻重約為 0.51931(g/L)\*7 (L)=3.63517g。

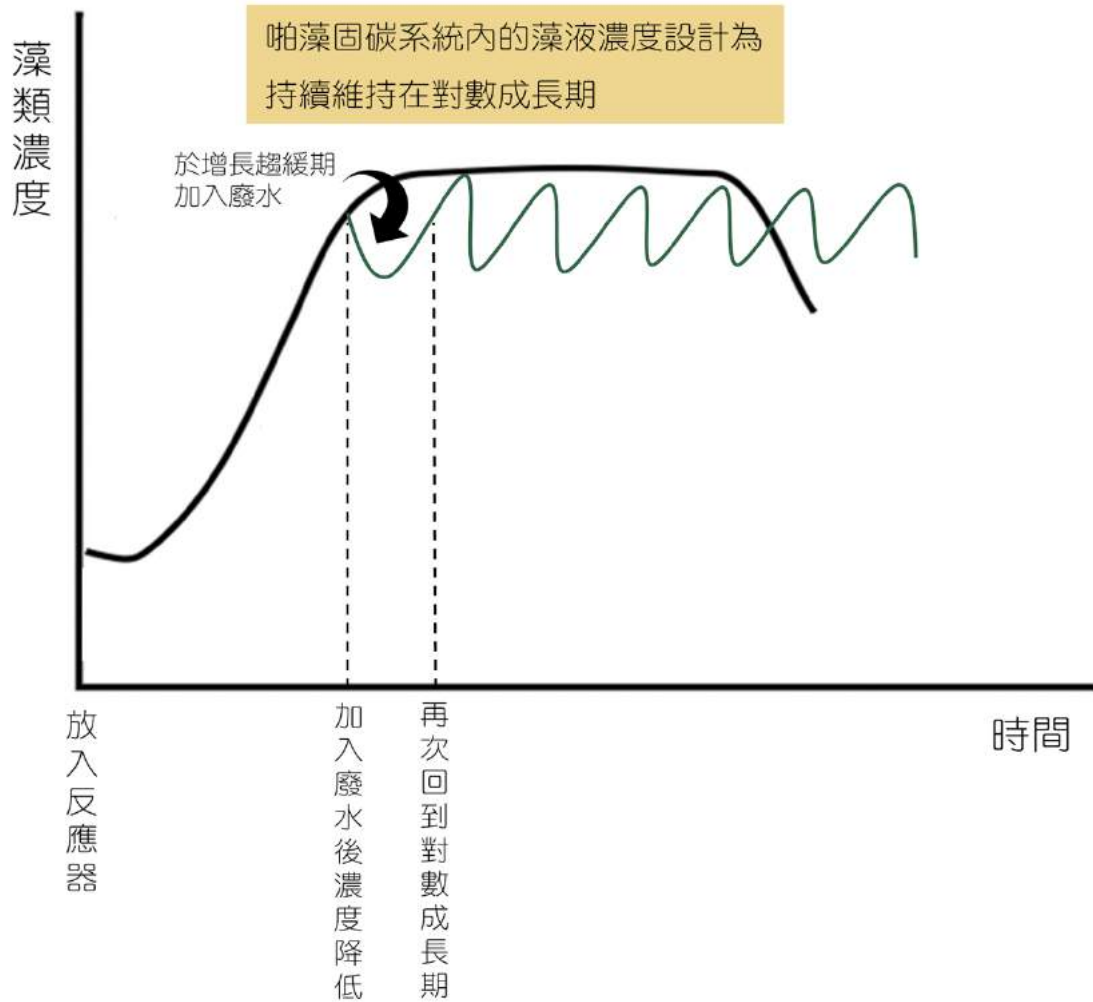
##### 2. 計算二氧化碳吸收量

由於在自營培養時，二氧化碳是藻類唯一的碳源，微藻體內碳比例約為 40%~50%，而乾重一公斤之微藻生長代謝約需要 1.5~2 公斤的二氧化碳 (Sobczuk et al., 1999)，再取平均，故一公斤微藻生長代謝約需 1.75 公斤的二氧化碳。最終由上述計算可得出：3 天成長之乾藻重=3.63517g，故3 天的二氧化碳吸收量至少約 6.36155 g，平均一天約可吸收 2.1205g CO<sub>2</sub>。

#### (5) 啣藻固碳系統藻類生長曲線設計：

讓藻類能高效固碳的關鍵是儘量將其維持在對數期，而由實驗數據可得知對數生長期約在 Day7 至 Day10 之間，Day7 之 OD 值為 0.795，而平衡期約落在 Day13~17 區間中，其 OD 平均值約為 5.5934。

為了維持系統於對數生長期，以實驗數據為例，若我們設計啣藻固碳系統之初始培養濃度約為 0.5，當其生長到 OD 值為 5 時(約 6-7 天)，加入廢水降低濃度，使藻類再次生長，進而使其持續維持在對數生長期，如下圖所示。



(圖十二) 啪藻固碳系統設計藻類生長曲線

## 2. 實際戶外溫度耐受性測試：

### 一、室外實際場景模型



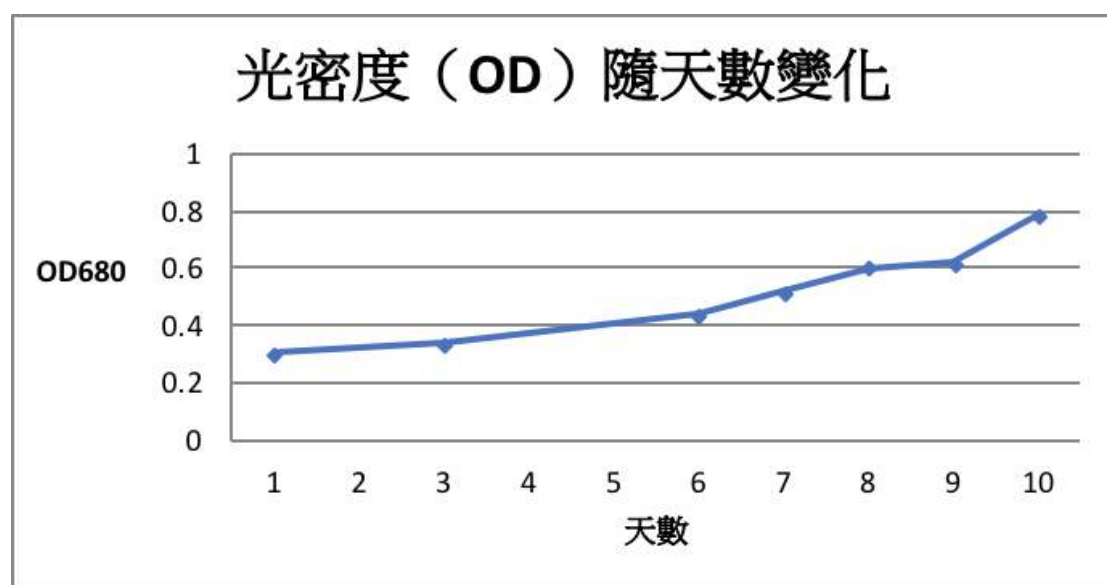
(圖十三) 室外試驗模型照片

地點：公寓頂樓無遮蔽處，近化糞池廢氣排放口

氣體來源：空氣及化糞池廢氣

(表三) 室外溫度改變下光密度 (OD) 隨天數改變之情形

	白天溫度(°C)	晚上溫度(°C)	OD680
4/25(三) DAY1	43	25	0.303
4/27(五) DAY3	49	26	0.34
4/30(一) DAY6	48	25	0.44
5/1(二) DAY7	48	25	0.52
5/2(三) DAY8	50	25	0.6
5/3(四) DAY9	49	25	0.62
5/4(五) DAY10	48	25	0.787
平均溫度	47.857	25.14	



(圖十四) 室外溫度改變下光密度 (OD) 隨天數變化



結論：

實驗之主要目的是模擬藻類在室外高溫下是否可以生存，而從數據顯示微藻 OD 值與天數增加成正相關，可推估微藻耐熱性佳，應可適應台灣炎熱氣溫。

## (七) 作品效益說明

### A. 成本面：

#### (1) 初始成本：

##### a. 基座（包含水管，線路）：

根據我們實際購買材料，每一個單體約需 1800 元，而實際價格會依槽體大小增減。

##### b. 缸體：外缸 430 元、強化玻璃內缸 315 元、上蓋 100 元

##### c. 光照設備：高演色 LED 燈，約 430 元。

##### d. 氣泡細化器：約 200 元。

##### e. 藻種來源：取自大自然，成本可視為 0。

#### (2) 後續維護：

##### a. 培養基成本：

成本極低，除藻種前培需使用培養液外，後續養殖可依不同場域，使用可再利用之廢水培養。

##### b. 電費成本：

電力主要用於抽氣馬達及高演色 LED 燈。使用太陽能和綠藻生質能以解決用電需求，並達到節能減碳、永續利用之目標。

##### c. 空拍機監測：

空拍機監測藻類生長。利用遠端監測，減少人力監測成本需求。

### B. 效益面：

#### (1) 固碳量：

##### a. 每平方公尺單位固碳量：

咱藻固碳系統從前面試驗得出 3 天之二氧化碳之吸收量至少約 6.36155g 故一天約可吸收 2.1205g 之 CO<sub>2</sub>，而由於我們實驗模型之綠藻面積約為



0.04 平方公尺，因此一平方公尺面積之啍藻固碳系統一天約可吸收 53.0125g 之 CO<sub>2</sub>，而實際固碳效率會依照實際反應槽面積增減而改變。

---

b. 與都市植物固碳量比較：

由於灌木（每平方公尺至少栽植 4 株以上時）40 年之 CO<sub>2</sub> 固定量為 300kg/m<sup>2</sup>，棕招類植物 40 年之 CO<sub>2</sub> 固定量為 400kg/m<sup>2</sup>，闊葉小喬木、針葉喬木及疏葉喬木 40 年之 CO<sub>2</sub> 固定量為 600kg/m<sup>2</sup>（綠建築解說與評估手冊，內政部建築研究所，2007 更新版），而我們的啍藻固碳系統 40 年 CO<sub>2</sub> 固定量約為 774kg/m<sup>2</sup>，皆高於都市常見之灌木、棕招類及闊葉小喬木、針葉喬木及疏葉喬木類植物。

若與單株行道樹相比，以都市常見喬木樹種「水黃皮」為例，樹齡 10 年、平均樹高 3.92m 且樹冠幅度直徑約 1.92m 之水黃皮，一年平均固碳量為 18.02kg（黃亞男，2005），我們反應器若同樣以行道樹所佔樹冠面積，即直徑 1.92m 之圓面積做計算，一年平均固碳量約 56.023kg，其固碳效率約為水黃皮之 3.11 倍。

---

c. 工廠應用固碳潛值：

台灣工廠用地大約有 12755.4674 公頃，約等於 127554674 平方公尺，若有約十分之一的工廠土地使用我們的系統，一天約可吸收 714.6 噸之 CO<sub>2</sub>，參考歐盟目前碳市場價格維持在 8 美元/公噸 CO<sub>2</sub>，一天約有 5716.8 美元，相當於 17.15 萬新台幣之碳效益，而這還不包含減緩氣候變遷等固碳成效。

(2) 綠藻泥：

依上述得出之數據，一個啍藻固碳系統 3 天成長之乾藻重=6.36155g。若以一個標準游泳池能裝 1890000 升水，約 27 萬個反應器（一個反應 7L），一年可以收集到的乾藻重約有 208980 公斤，小球藻(*Chlorella.*)的市場價值是每公斤 44 美元，約 208980(kg)\*44(美元/kg)= 9195120 美元之綠藻利益，約 919 萬美元（Oilgae, 2016）。

### (3)社會效益

減少大氣中二氧化碳乃解決氣候變遷之根本。使用啣藻固碳系統應用於日常生活中除了實際減少大氣中的二氧化碳，也讓人們對環境問題有更多的危機意識進而落實節約能源之想法，因此社會效益無價。

### (4)空間光影設計

能與既有的都市、生活空間做結合，並藉由光影變化及可設計之模板化基座進行空間設計，創造出具獨創性之環境空間、氛圍及景觀。

## (八) 作品應用範圍

此系統之特點為適應環境能力強和機動性高，因此我們將系統細分成四項：

- ⇒兩種模式
- ⇒五個場景
- ⇒三種藻類
- ⇒四個水源

雖然為這四個項目互相搭配組合，但系統操作配置及運作方式皆相同，因此能創造出的固碳功效差異不大，僅會因場域、反應槽面積、水源及藻種選擇不同而有數值上的些微差距。

(表四) 模式、場景、藻種、水源說明圖

模 式	場 景	藻 種	水 源
A.懸掛式	a.城市:街道/公車站/大樓牆面/屋頂	1.小球藻	(1)家庭廢水
B.嵌入式	b.室內:室內牆面/燈飾	2.紅藻	(2)畜牧廢水
	c.農村:畜牧業	3.螺旋藻	(3)工業廢水
	d.工廠:工廠牆面/週遭地面空間		(4)海水
	e.海上:海上作業平台		

## 1.城市應用模擬圖

模式	場景	藻種	水源
嵌入式 懸掛式	街道/公車站/大樓牆面/屋頂	小球藻	家庭廢水

設置於樹木無法生長的地方，懸掛在大樓牆面可以解決市區內光照受遮蔽的問題並且有效利用空間，以及嵌入人行道內或是結合公車站，搭配城市景觀美化並加強民眾對於環保意識的提升，藻種選擇上使用的是在熱帶生長良好的小球藻，可使固碳效果最大化。如下方示意圖所示。



(圖十五) 置放於公車站、街道之模擬圖

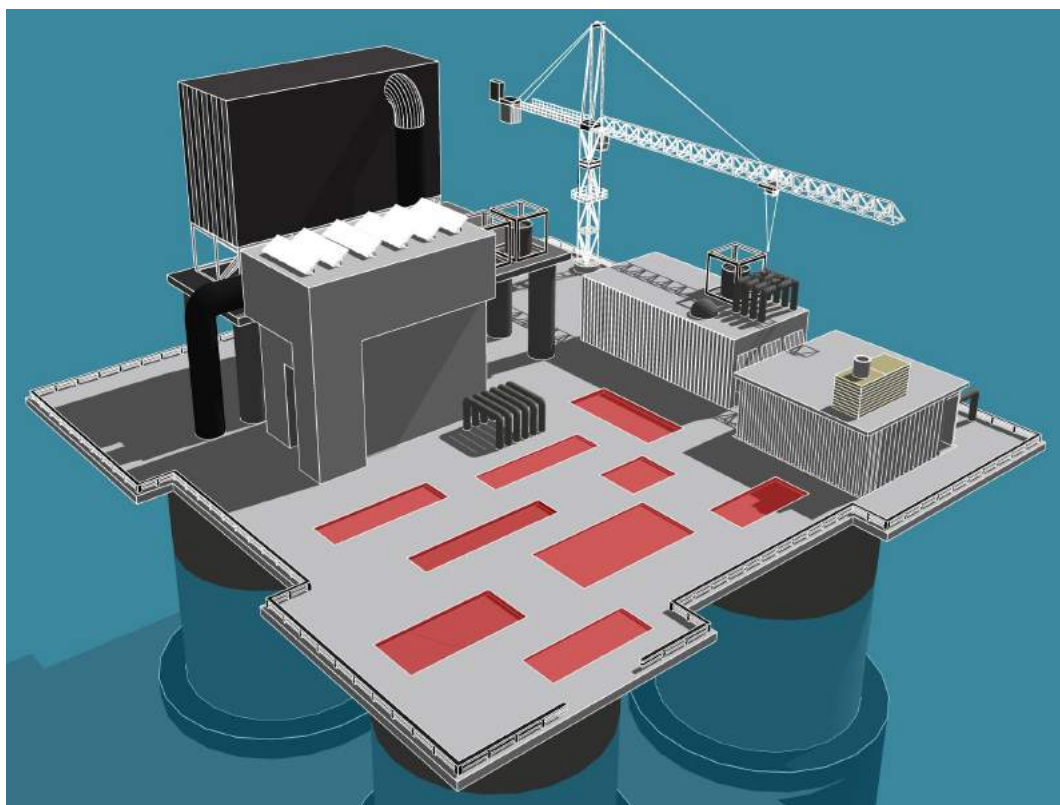


(圖十六) 置放於大樓牆面之模擬圖

## 2.海上應用模擬圖

模式	場景	藻種	水源
嵌入式	海上作業平台	紅藻	海水

植物雖然可以固碳，卻較難於海上這個場域進行，而海上作業平台是提供本系統位於海上固碳相當好的媒介，嵌入的方式可更有效運用平台空間，導入海水以及充足的光照，符合藻類最舒適的原成長環境，使得各項成本降低，達成最高固碳效益。如下方示意圖所示。

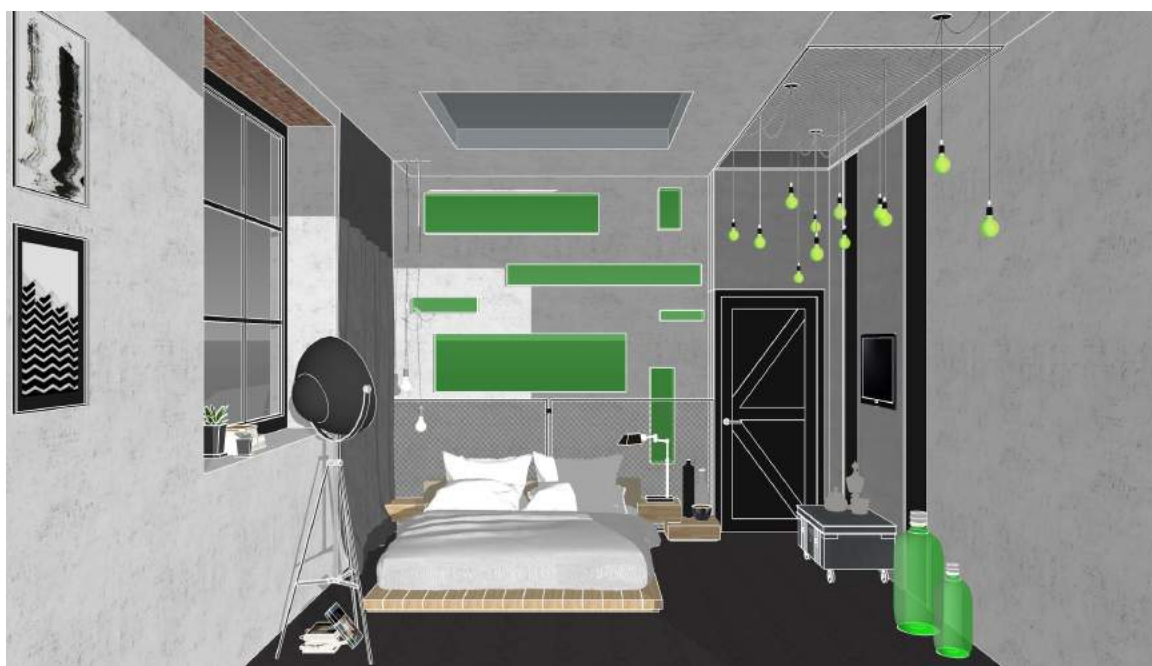


(圖十七) 置放於海上作業平台模擬圖

### 3.室內模擬圖

模式	場景	藻種	水源
懸掛式 嵌入式	室內牆面/燈飾	小球藻	家庭廢水

室內的二氧化碳濃度較高，有資料顯示過高的二氧化碳濃度（2250ppm）會造成頭暈及精神不濟問題（陳春萬, 2015），室內之啻藻系統可懸掛在牆上、嵌入地板或是做為燈飾，利用有豐富氮源的家庭廢水和原先室內必備的電燈，可同時具備淨化廢水及優化室內空氣品質的效果。如下方示意圖所示。



（圖十七）置放於室內牆面/燈飾模擬圖



## 5.農村模擬圖

模式	場景	藻種	水源
嵌入式	畜牧業	小球藻	農業廢水

畜牧業廢水含有豐富氮源和磷源，長期排放河川常造成河川下游嚴重汙染，又密度極高的豬隻和牛隻排放的二氧化碳濃度也高，研究顯示微藻用於處理畜牧廢水有極好的效果(陳佑瑜，2013)，本系統可運用嵌入方式安置在農舍中，或是懸掛式於農舍外牆，達成同時淨化廢水和固碳的效果。如下方示意圖所示。

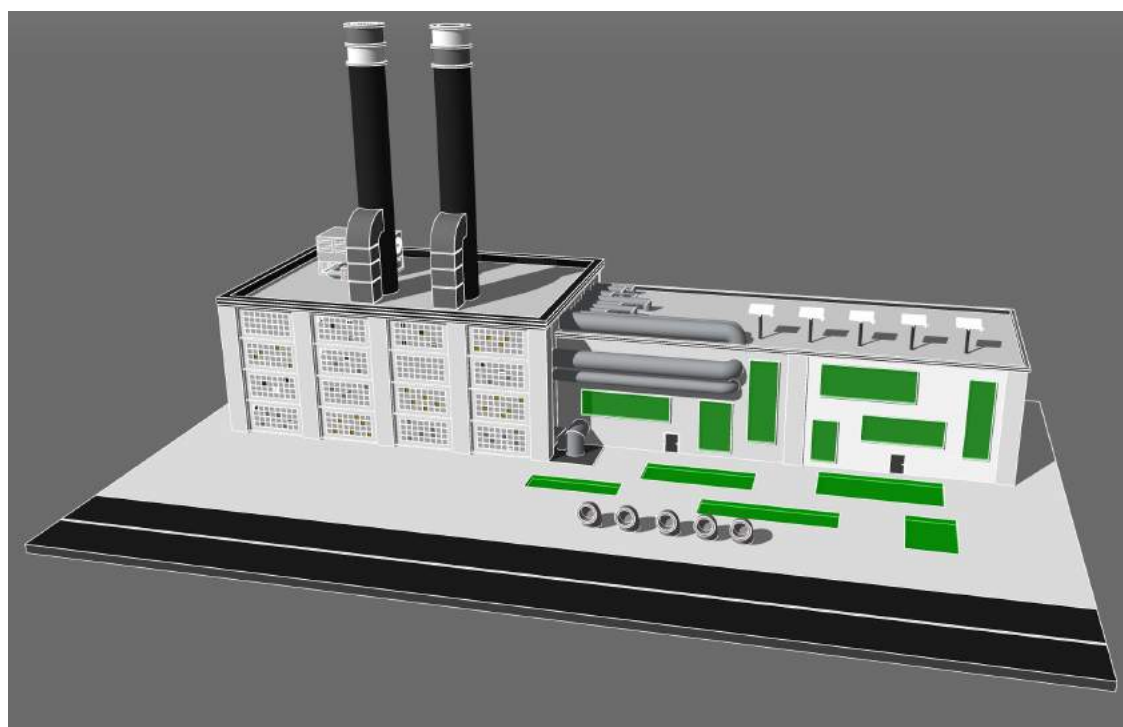


(圖十八) 置放於畜牧養殖場模擬圖

## 6.工廠模擬圖

模式	場景	藻種	水源
懸掛式	工廠牆面/週遭地面空間	螺旋藻	工業廢水
嵌入式		小球藻	

小球藻和螺旋藻在工廠重金屬污水吸附實驗上表現良好(邱廷省，尹艷芬，蔡魯晟，2009)，又耐熱和酸鹼性可承受工廠煙道管的惡劣環境，適合用於吸收工廠排放之濃度極高的二氧化碳氣體，建設於工廠的啣藻固碳系統可懸掛於牆面做良好的空間運用，也可建設在周遭空地，排出乾淨的氣體，可使廠區環境友善於工作人員，甚至帶來高額的社會效益。如下方示意圖所示。



(圖十九) 置放於工廠模擬圖



## (九) 發展潛能

### 1.居家水處理設備：

微藻具有可消耗水中總磷與氨氮的生物特性，恰好適合用於處理居家之糞尿污水與含磷清潔劑之廢水;此外郊區之污水接管率遠遠不及都市，換言之郊區的污水並沒有經過污水處理廠處理，藉由此設備可以解決都市以外地區污水處理不普及之問題，另外於都市地區使用時亦可減少接管污水流至污水處理廠途中之污染問題。同時也可利用微藻易吸附重金屬離子之能力，來淨化其他污染廢水。

### 2.能源生產工具：

微藻因具有富含油脂且生長快速之特點，被視為極具潛力的替代能源選項，目前有許多能源研究都以微藻養殖作為研究之題材。藉由此系統簡易的操作門檻，可在自宅進行能源製造，發展出新型態的能源農業。

### 3.觀光及環境教育應用：

可將此系統所創造出之特殊光影空間變化及永續固碳之功能與觀光及環境教育產業做結合，成為一個具有環境教育意義及觀光價值之地標，帶來後續更多的附加價值。

## (十) 總結

此系統設計上目的明確，針對造成氣候變遷之主因「二氧化碳」進行探討，利用微藻能固碳之功效，結合模組化概念，設計出一能因地制宜去改變配置、且方便維修及設置之可拼接、移動式固碳系統，其固碳效率高且維護成本低，並同時具有創造都市空間美感、提升環境意識及綠藻泥經濟價值等效益。

### 三、參考資料：

- ▶ Photosynthetic performance of freshwater Rhodophyta in response to temperature, irradiance, pH and diurnal rhythm, Marcelo Ribeiro Zucchi, Orlando Necchi Jr, 2006
- ▶ Bio Energy Today 生質能源趨勢, 潘崇良, 2012
- ▶ 台中都會公園綠覆率與植栽二氧化碳固定量之研究, 沈勝豐 陳明賢, 2009
- ▶ 行道樹水黃皮二氧化碳固定效益之研究, 王亞男 劉秀卿 蕭英倫, 2005
- ▶ 比較耐熱性小球藻異營生長之特性, 林榮芳 黃檀溪, 2002
- ▶ 含鋅重金屬廢水藻類吸附處理技術, 邱廷省 尹艷芬 蔡魯晟, 2009
- ▶ 銅抑制單細胞綠藻生長的毒性效應, 張偉 閻海 吳之麗, 2001
- ▶ 极大螺旋藻对几种金属离子生物吸附的研究, 劉慧君, 2004
- ▶ Carbon Dioxide Uptake Efficiency by Outdoor Microalgal Cultures in Tubular lift Photobioreactors. Biotechnol. Bioeng. Vol. 67, 465-475, Sobczuk, M. T., Camacho, F. G., Rubio, F. C., Fernández, F. G. A., rima, E. M, 1999
- ▶ Sixth Assessment Report (AR6) , IPCC, 2017
- ▶ 小球藻(Chlorella sp.)水體淨化系統技術研發, 禮俊植物材料行
- ▶ 二氧化碳再利用 — 微藻養殖, 張嘉修、陳俊延、林志生、楊勝仲、周德珍、郭子禎、顏宏偉、李澤民, 2015
- ▶ 藻類生質能源 (二) 常見藻種介紹, 郭致廷, 2011
- ▶ 微藻光密度与细胞密度及生物质的关系, 梁芳, 鸭乔, 杜伟春, 温晓斌, 耿亚洪, 李夜光, 2014
- ▶ 作業環境二氧化碳監測結果應用探討, 陳春萬, 吳至涵, 杜宗明, 陳俊瑋, 2015
- ▶ Comprehensive Report on Attractive Algae Product Opportunities, Oilgae, 2016
- ▶ Wikipedia
- ▶ 成大微藻實驗室, 郭恩瑋、簡禎祐 學長