



光 電 工 程 系
專 題 論 文

集魚燈增加效率之光學照明設計
Optical Lighting Design of Fish Lamp
for Increasing Efficiency

指導教授：林 世 穆 博士

專題生：詹 景 旭

中華民國 一 百 零 三 年 六 月

摘要

本論文所探討的主題是時下台灣漁業操作用的工具__集魚燈，截至目前，仍然有許多漁船上裝載著為數眾多的集魚燈，由於仰賴著它的性能，使我們注意到並且嘗試將它發揮更廣大的效能，以提升對漁業的幫助還有產值。

論文中討論以「加裝反射板」的方式，試圖在光學系統軟體上模擬，本文中會先以反射相關理論討論之，再者用材料上薄膜層的影響做更進一步的分析研究，最後會以著名光學系統設計軟體 TracePro 來模擬，模擬內容主要目標在求總效率提升百分比。

目錄

摘要.....	2
圖目錄.....	4
第一章 緒論.....	5
1-1 研究動機.....	5
1-2 研究背景及目的.....	5
1-3 論文架構.....	5
第二章 光之反射、折射.....	7
2-1 光程.....	7
2-2 Fermat 定理.....	8
2-3 反射定律與折射定律.....	10
2-4 臨界角和全反射.....	13
2-5 高斯球面性質.....	14
2-6 球面鏡系統.....	16
第三章 薄膜下之反射效能.....	18
3-1 單層膜之反射與透過.....	18
3-2 多重反射的單層膜之干涉光.....	21
3-3 玻璃表面之薄膜的反射率.....	23
第四章 模擬加裝反射板後之集魚燈.....	27
4-1 參考指標.....	27
4-2 外型模擬.....	27
4-3 原始模擬效率圖.....	30
4-4 加裝反射板後數值模擬.....	32
第五章 結論.....	34
5-1 過去型態.....	34
5-2 新興目標.....	34
5-3 過去/未來比較.....	35
5-4 總結.....	35
5-5 未來發展性.....	35

圖目錄

第二章

圖 2-1	8
圖 2-2	9
圖 2-3	10
圖 2-4	11
圖 2-5	12
圖 2-6	13
圖 2-7	14
圖 2-8	16

第三章

圖 3-1	19
圖 3-2	20
圖 3-3	21
圖 3-4	24

第四章

圖 4-1	27
圖 4-2	28
圖 4-3	28
圖 4-4	29
圖 4-5	30
圖 4-6	30
圖 4-7	32
圖 4-8	32
圖 4-9	33

第一章 緒 論

1-1 研究動機

在一連串基本光學理論課程後，很快地，真正來到奠定光學基礎各路專業課程的大學三年級，要把前面所學的物理、電子學、電磁學、工程數學、波動光學以及光電概論，實際操作在實習或軟體設計課程裡。在一次機緣下認識指導教授 林世穆博士，也開始接觸到光學系統設計軟體並漸漸對其感興趣，而後延伸運用到專題上面。

身為一個土生土長的台灣人，由衷地熱愛著自己成長的這片土地，因此關心著所有關係國家的自然環境、人文風情、歷史古蹟和生態平衡等重要議題，概括經濟、政策、自然環境、民生民情以及風俗文化以及所有台灣的面貌。由於台灣屬海島型國家，自然資源短缺所以大多仰賴貿易進出口供給民生需求，而今探討的主題正是重要民生基礎的漁獲，希望發揮專業所學為台灣漁民盡一份心。

1-2 研究背景及目的

農、林、漁、礦、畜牧業一直都是國家維持運轉的根基，但隨著世代交替，環境所面臨問題也不同以往，氣候變遷是人類自工業革命後快速更新產下的後果，這深深影響第一級產業現況與產值，也同時帶給人類重大威脅。

相對來說，如果現今仍無法以節能方式提升效能，那就需要想辦法使魚燈本身在不改變情況下，發揮更大作用，以至於目的在於如何用外在情況改變來達成所求。

1-3 論文架構

本論文之中，其內容分別為：

- 第一章--概要地介紹本研究的動機、背景、目的。
- 第二章--根據光的性質，幾何上根據費馬(Fermat)定理推論光在介質中的直行性，延伸出斯奈爾(Snell)定律由各方面探討光學平面、球面性質，反射與折射。
另外以不同平面(如球面)方面討論其反射結果。
- 第三章--藉由材料選擇探討薄膜層影響下的反射理論，另考慮干涉效應之場合，並以玻璃作為參考樣本。

- 第四章--透過光學系統軟體 TracePro 繪製實體魚燈、反射板及海平面，外加反射板外形大小、曲率之設計概念。藉軟體光線追跡模擬加裝各式反射板下的魚燈所增加之效率數值，改變並比較不同曲率球面產生的結果。
- 第五章—整合軟體模擬數據，討論主題未來發展情形，作總結。

第二章 光之反射、折射

2-1 光程

光程是光學中一個非常重要的物理量，可簡寫為 OP 或以符號 Δ 表示。對一個均勻介質而言，它的定義是折射率 n 與光線實際所走的路徑(亦稱作幾何路徑長， s)的乘積，即

$$OP = \Delta \equiv ns \quad (2.1.1)$$

若光經過由 m 種均勻但不同折射率所構成的介質層(stratified medium)，如圖 2-1 所示，那麼光從 A 到 B 的光程就應該是各層介質的折射率與實際路徑乘積的總合，即

$$OP = \sum_{i=1}^m n_i s_i \quad (2.1.2)$$

如果光在一個非均勻性的介質中行走，換句話說就是介質的折射率是一個位置的函數， $n=n(s)$ ，那麼光程的計算相當於由 A 點到 B 點經過了無數多個不同折射率的介質層，因此修正(2.1.1)是中的相加符號為積分符號，即

$$OP = \int_A^B n(s) ds \quad (2.1.3)$$

由光程的基本定義(2.1.1)式我們可對光程的物理意義有更進一步的瞭解

$$OP = ns = \frac{c}{v} s = ct \quad (2.1.4)$$

(2.1.4)式中 t 為光在介質中行走了 s 的路徑所需要的時間，因此(2.1.4)式說明了光程的物理意義相當於：光在真空中行走 ct 的距離與光在介質中行走 s 路徑所花的時間相同。

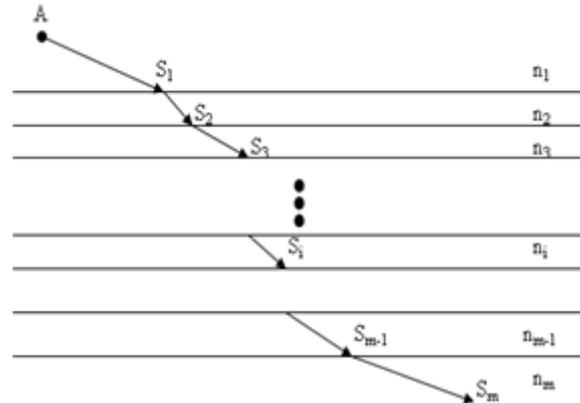


圖 2-

2-2 Fermat 定理

法國科學家 Pierre de Fermat 於 1660 年首先提出了光行進路徑所應遵循的原則，就是著名的費馬定理(Fermat principle)，又名「最短光時原理」，認為光線傳遞過程必須遵守時間為最少的原則，然而以現今的觀點來看，應該加以修正為：光沿著所需時間為極值(extrema)的路徑傳播。由(2.1.4)式可知，光行進所需之時間與光程成正比關係，即

$$t = \frac{1}{c} (OP) \quad (2.2.1)$$

所以我們可將費馬定理寫為：“光從某個 A 點傳至 B 點，總是沿著光程為極值的路徑傳播”。

所謂極值是指函數曲線的極大值、極小值，或為常數函數的穩定狀況。上述三種情形都滿足光程的一次導數為零時之解，譬如有一函數 $f(x)$ ，則極值發生處為在 $df(x)/dx=0$ 時 x 之解，也就是指光線在介質中行進的軌跡必滿足光程一次微分為零的結果，亦即不是選取最大光程的路徑、或最小光程的路徑、就是因每一路徑之光程皆相同而每一路徑皆可被選擇。

由費馬定理可知，光線直線行進在均勻介質中是一個必然的結果，因為均勻介質的折射率是一個常數，所以光程與路徑的變化率相同，當選取最小光程時亦即為選取最短路徑，而兩點之間最短的路徑即為直線，因此我們在均勻介質中看到的

光線一定是以直線行進方式行進。

日常生活中較常看到光線選取最小光程的路徑，至於其他極值狀況的發生，我們可以借助圖 2-2 的說明會較容易理解。橢圓有一個大家都知道的特性，那就是兩焦點到橢圓面上任一點的距離和是一個常數，假設圖 2-2 中橢圓的兩個焦點分別為 A 和 B，光線從 A 點發出，若是要經橢圓面反射到 B 點，則因橢圓面上任何一點(例如 Q 點、P 點)，所行走的光程都是一個定值，所以橢圓面上任何一點的反射路徑都保持了所謂極值的特性，因此由 A 點發出之光束必會聚焦會聚於 B 點，圖 2-2(a)提供了光行走所採取的路徑是滿足光程為常數的最好說明。若將橢圓反射面改成切 P 點的凹面鏡如圖 2-2(b)，因 P 點是橢圓面上的點，所以只有經 P 點反射的光線能從 A 點傳至 B 點，和凹球面鏡上其他位置的反射點相比較，經 P 點反射路徑的光程是所有可能路徑中最長的一條，故圖 2-2(b)提供了光行走所採取的路徑滿足光程為極大值的說明。若將橢圓反射面改成切 P 點的凸面鏡如圖 2-2(c)，仍因 P 點是橢圓面上的點，所以只有經 P 點反射的光線能從 A 點傳至 B 點，和凸球面鏡上其他位置的反射點相比較，經 P 點反射路徑的光程是所有可能路徑中最短的一條，故圖 2-2(c)提供了光行走所採取的路徑滿足光程為極小值的說明。

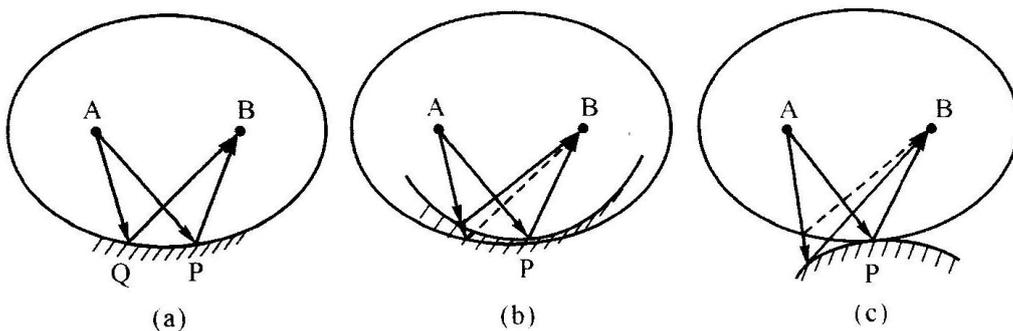


圖 2-

費馬定理可以簡單的用數學式子表示出來。從(2.1.3)式得知光程的計算式為

$$OP = \int_A^B n(s) ds$$

計算光程的一次微分等於零的條件下，可將費馬定理表示為：

$$\delta(OP) = \delta \int_A^B n(s) ds = 0 \quad (2.2.2)$$

另由(2.1.4)式時間與光程的關係可知費馬定理亦可表示為：

$$\delta(t) = \delta \left[\frac{1}{c} \int_A^B n(s) ds \right] = 0 \quad (2.2.3)$$

2-3 反射定律與折射定律

利用費馬定理我們可用以推導出光線在兩種不同介質的界面時，所表現出反射(reflection)與折射(refraction)的行為。

以圖 2-3 為例來說明，一觀測者在 P 的位置上欲觀測由光源 S 經反射面反射而來的光線。當然，我們知道由 S 所發出的無線條光線中，只有一條會滿足費馬定理而被觀測到，為找出這一條光線的軌跡，我們可假想所有的光線都是由 S 的鏡像 S' 所發出，因為 S 及 S' 對稱於反射面，所以 S-A-P 的距離等於 S'-A-P 的距離，S-B-P 的距離等於 S'-B-P 的直線距離所需的光程是極小值，故觀測者看到的光線是由 S 經 B 點再反射至 P 點，由幾何關係可知圖中角度 θ_i 等於角度 θ_r 。

我們歸納出光線在滿足費馬原理下反射所應遵守的原則，稱之為反射定律(Law of reflection)。

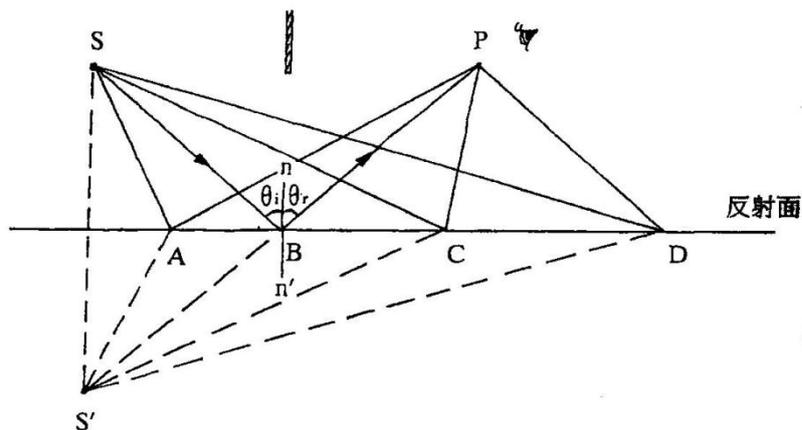


圖 2-

我們利用圖 2-4 來說明反射定律。當光線由 n 介質入射至 n' 介質時，在界面 $\overline{MM'}$ 處會有部分光線返回 n 介質，這種現象稱之為反射。S、B、P 所構成的面稱之為

入射面(incident plane)， \overline{SB} 光線稱為入射光，過入射線光線與界面 $\overline{MM'}$ 交點且垂直界面的線稱為法線($\overline{NN'}$)，入射光線與法線所夾的角為入射角以 θ_i 表示， \overline{BP} 光線稱為反射光，反射光線與法線所夾的角為反射角以 θ_r 表示。

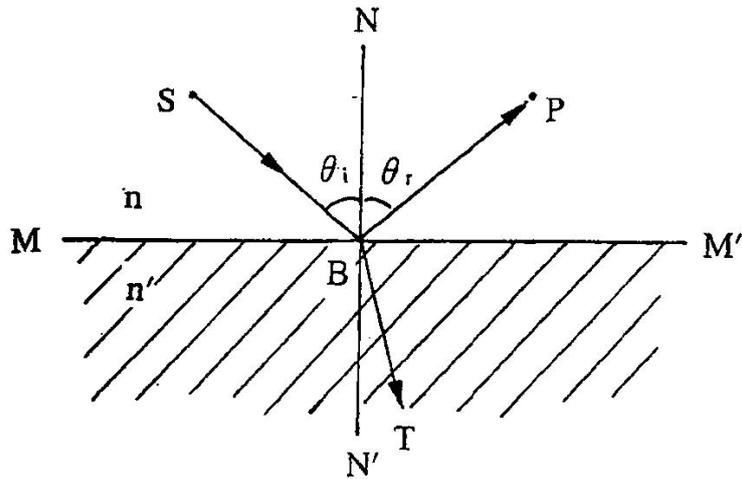


圖 2-

反射定律可歸納成下面三點：

1. 入射光、反射光和法線都在入射面上。
2. 入射光、反射光在法線的兩側。
3. 入射角等於反射角， $\theta_i = \theta_r$ 。

當光線由 n 介質入射 n' 介質時，於界面 $\overline{MM'}$ 處會有部分光線發生反射現象，然而也有一部分的光線經由界面穿透到 n' 介質中，這種現象稱為折射。圖 2-3 中若一觀測者在 n' 介質 P 點上，欲觀測由光源 S 所發出的折射光線，根據費馬定理可知，所觀測到的光線一定是選擇光程為極值的路徑而行，假設光源 S 到界面的垂直距離為 h ，觀測點 P 到界面的垂直距離為 h' ，若折射光線是由光源 S 行進到 B 點，再折射至觀測點 P ，令 B 在 S 的橫向位移 x 處，而 P 在 S 的橫向位移 a 處。由費馬定理可知， S - B - P 的光程必滿足極值的條件， S - B - P 的光程為

$$OP = n(\overline{SB}) + n'(\overline{BP}) = nd + n'd'$$

而

$$d^2 = h^2 + x^2$$

$$d^2 = (h')^2 + (a-x)^2$$

故

$$OP = n[h^2 + x^2]^{\frac{1}{2}} + n'[(h')^2 + (a-x)^2]^{\frac{1}{2}}$$

因為

$$\delta(OP) = 0$$

所以

$$\begin{aligned} \frac{d(OP)}{dx} &= n\left(\frac{1}{2}\right) \frac{2x}{[h^2 + x^2]^{\frac{1}{2}}} + n'\left(\frac{1}{2}\right) \frac{2(a-x)(-1)}{[(h')^2 + (a-x)^2]^{\frac{1}{2}}} \\ &= \frac{nx}{d} - \frac{n'(a-x)}{d'} \\ &= n \sin \theta_i - n' \sin \theta_t \\ &= 0 \end{aligned}$$

可得

$$\Rightarrow n \sin \theta_i = n' \sin \theta_t \quad (2.3.1)$$

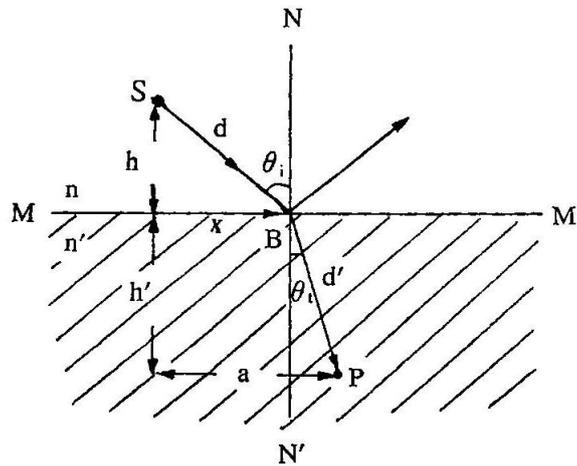


圖 2-

(2.3.1)式稱為 Snell 定理，其中 θ_i 為入射角， θ_t 稱為折射角，是折射光線與法線的夾角。Snell 定理對於折射光線非常的重要，因為它可計算出折射光行進的方向。從上面的討論我們也可歸納出折射定律的三點原則。

反射定律可歸納成下面三點：

1. 入射光、折射光和法線都在入射面上。
2. 入射光、折射光在法線的兩側。
3. 入射角與折射角的關係必遵循斯奈爾(Snell)定律。

$$n \sin \theta_i = n' \sin \theta_t$$

需要注意的是，雖然 Snell 定律中折射角的解有兩個，兩個解之和為 π ，然而只有一個是具有物理意義的，因為入射角和折射角的餘弦值還要滿足同時為正或同時為負的條件。此外反射定律也可看成是折射定律的一個特例，只是反射回同一介質中而已。

2-4 臨界角和全反射

在幾何光學中，討論光入射在“平面”上的反射與折射行為是十分重要的，因為任何曲面實際上都可以看成是由無限多個不同方位的平面所組而成。圖 2-6 是一光線由光疏介質經一平面入射至光密介質，此光線之折射角隨著入射角的增加而增加，然而每一對應之折射角都比入射角來的小($\theta_t < \theta_i$)，這種狀況稱之為外反射(external reflection)。

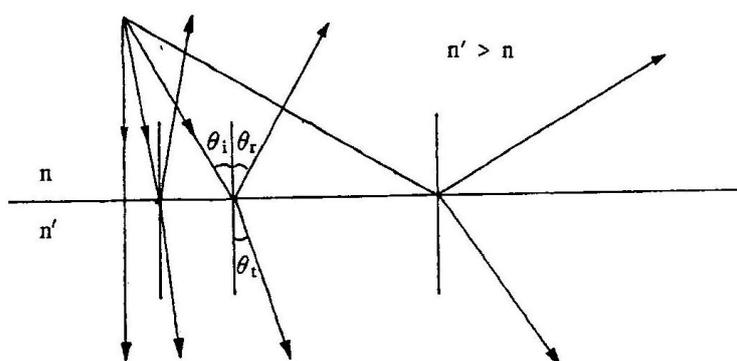


圖 2-

若光線由光密介質經一平面射至光疏介質時，見圖 2-7，折射角亦會隨著入射角的增加而增大，然而每一對應之折射角卻都比入射角來的大($\theta_t > \theta_i$)，這種狀況稱之為內反射(internal reflection)。

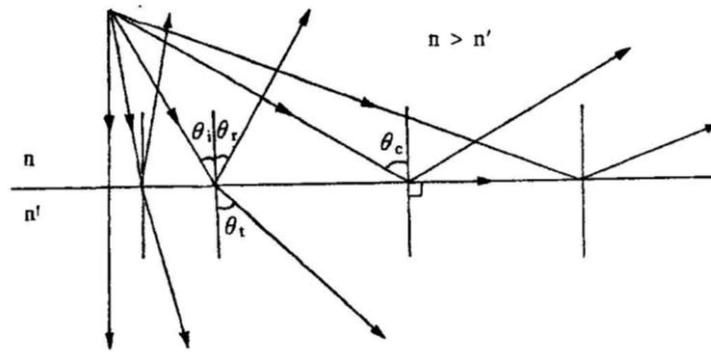


圖 2-

在內反射圖 2-7 中，有一個很有趣的現象，內反射系統中，每一光線之折射角均大於入射角，當入射角 $\theta_i = \theta_c$ 時，折射光已沿著界面行進即折射角為 90° ，而當 $\theta_i \geq \theta_c$ 時，折射光不見了，此時全部的光線都被反射回原來的介質中，這個現象稱之為全反射(total reflection)，而 θ_c 則稱為臨界角(critical angle)。在任何內反射系統中，臨界角的大小，取決於界面兩邊介質的折射率，其值可由臨界角的定義計算而得

$$n \sin \theta_c = n' \sin 90^\circ$$

$$\theta_c = \sin^{-1} \left(\frac{n'}{n} \right) \quad (2.3.2)$$

全反射的現象對於光學系統的影響往往是不能忽略的，譬如兩光學面的貼合，常會因光學面間極薄的空氣層，而使光線發生全反射現象，造成能量無法傳播，所以必須用和光學元件相同折射率的光學油(Canadian Balsam)來代替空氣層，以避免全反射的現象的發生，同時在膠合系統上也會有此問題發生。

2-5 高斯球面性質

前面討論了關於光線入射到光學平面的各種幾何性質，這些性質也是用於光線入射到曲面上的情形，因為任意一個曲面都可看成是由許許多多面積無限小的平面組合而成。在光學的應用上，曲面的應用要比平面廣泛得多，因為具有曲面的元件除了和光學平面一樣會造成光線方向的改變外，還能使光束產生發散(diverge)或會聚(converge)的現象，因而有不同的成像方式。

在討論之前，先介紹並說明一些成像系統德光學名詞和概念。真的光源都是具有體積大小的，然而為了使用上的方便，有所謂的點光源(point source)，這是一個具有幾何位置但沒有體積大小的光源，也是個實際上並不存在的理想光源，如同力學中的質點一樣，具有質量但體積無限小的理想物點。在光學系統中，還沒有通過光學系統的光線會聚點，定義為物點(object point)。若光線確實是由某一個發光點發出，這個點光原稱為實光點或實物點(real object point)；若是由實際光線的延伸線構成的發光點，稱為虛光點或是虛物點(virtual object point)。若組成光束的所有光源都會交於某一點，這種光束稱為同心光束，所交會的那一點即稱為此同心光束的心。同心光束的心為實光點，則此同心光束稱為發散光束；同心光束的心是虛光點，這個同心光束稱之為會聚光束；至於所謂的平行光束，即是指光束的心在無限遠的地方。通過光學系統後光線的會聚點，定義為像點(image point)。若像點是由實際的光線交會而成的，稱為實像點(real image point)；若是由光線的延伸線所交會而成的，則稱為虛像點(virtual image point)。用同心光束的觀點來看，會聚光束構成了實像點，發散光束構成了虛像點。由實像點所組成的像叫實像(real image)，由虛像點所組成像就叫做虛像(virtual image)。

理想光學系統的理論是在 1841 年由 Gauss 建立的，所以就把這種光學理論稱為高斯光學(Gauss optics)。高斯光學中的方程式都是屬於線性一階方程式：在小角度的條件下(通常是指小於 10°)，三角函數中的正弦函數值可直接用角度值來取代，其中角度值的單位為弧度(radian)，亦即

$$\sin \theta \approx \tan \theta \approx \theta \quad , \quad \cos \theta \approx 1$$

所以也稱為一階光學(first order theory of geometrical optics)。小角度的條件限制了光線距離軸的高度必須要在光軸附近，所以又稱為近軸光學(paraxial theory of geometrical optics)。

在高斯光學的條件下，Snell 定律可改寫為 $n\theta_i = n'\theta_t$ 。

這使的具有曲率的球面界面也可視為平面來處理，再用作圖法來解決問題時會方

便許多。

2-6 球面鏡系統

透鏡成像系統所應用的基本原理是折射定律，以 Snell 定律為計算的基礎；而球面鏡系統中面鏡成像應用的基本原理則是反射定律，是以反射角等於入射角為計算的依據。入射光與反射光都在同一個介質中，沒有折射率變化，因而也就沒有色像差的麻煩，然而面鏡的這項優點，站在另一個角度來看卻也是它的缺點，正因為面鏡不會產生色像差，所以也無法在系統中消除由其它非面鏡元件所產生的色像差，因此在實際的應用上仍然不像透鏡廣泛。

球面鏡的光軸為曲率中心 O 與頂點 A 的連線。若球面的曲率半徑 r 為負，則稱此球面鏡為凹面鏡(concave mirror)，如圖 2-8(a)；若 r 為正，則稱為凸面鏡(convex mirror)，如圖 2-8(b)所示。

球面鏡的焦點定義和透鏡系統相同，用圖 2-8 來說明。若平行於軸的光線入射至球面鏡之 B 點上， \overline{OB} 即為 B 點切平面的法線，光線依反射定律後和光軸交於 F 點，此即為球面鏡的第二焦點。

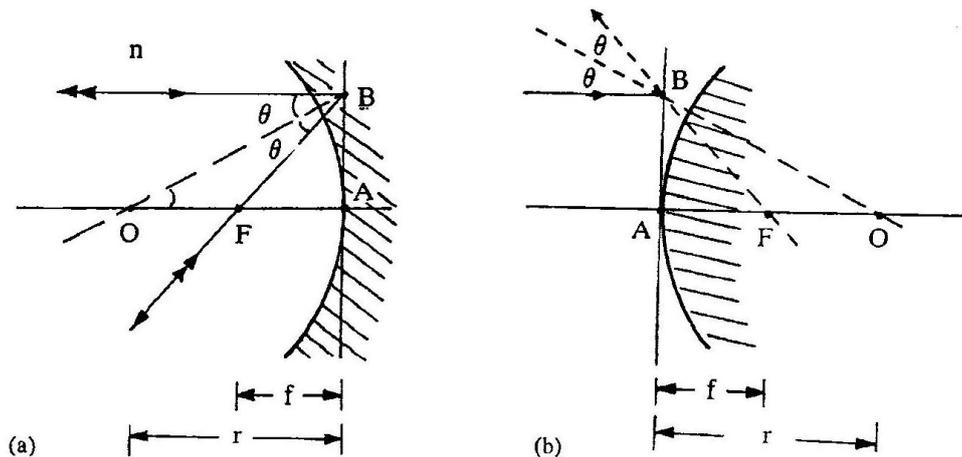


圖 2-

根據光具有可逆性的特性，因此通過 F 點的光線反射後會平行於光軸射出，因此對球面鏡系統而言，第一焦點與第二焦點重合在 F 的位置上。兩個主光點也是重

合為一個點，位於球面鏡的頂點 A 上，因此 \overline{AF} 即為球面鏡的焦距長。因為凹面鏡為會聚系統，故 f 的符號為正；凸面鏡為發散系統，所以 f 為負值。至少 f 的長度可利用圖 2-8 來計算。因為

$$\angle BOA = \theta$$

這表示 $\triangle OFB$ 為等腰三角形，所以

$$\overline{OF} = \overline{FB}$$

在近軸的條件下

$$\overline{FB} \approx \overline{FA}$$

所以

$$|f| = \frac{|r|}{2} \quad (2.6.1)$$

(2.6.1) 式說明了焦距和曲率半徑在長度上的關係，若再把符號的因素考慮進去，則可以寫成

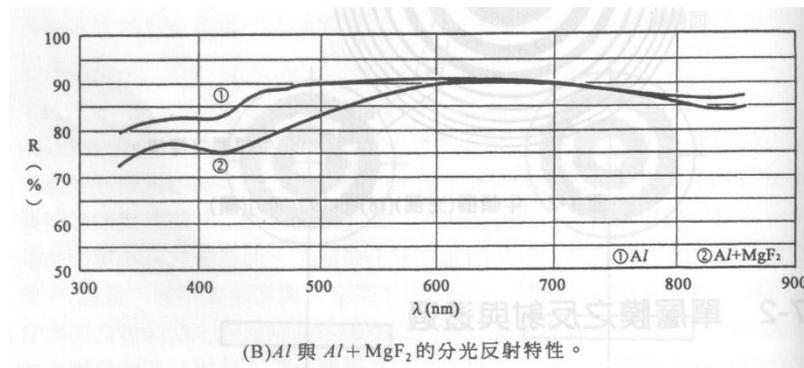
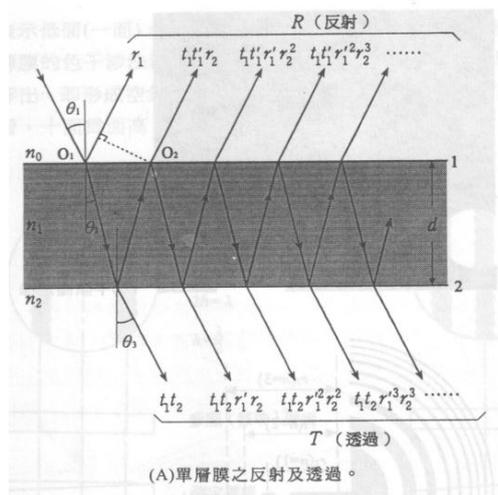
$$f = -\frac{r}{2} \quad (2.6.2)$$

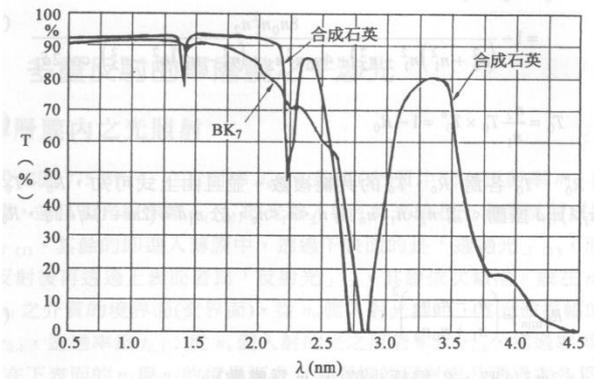
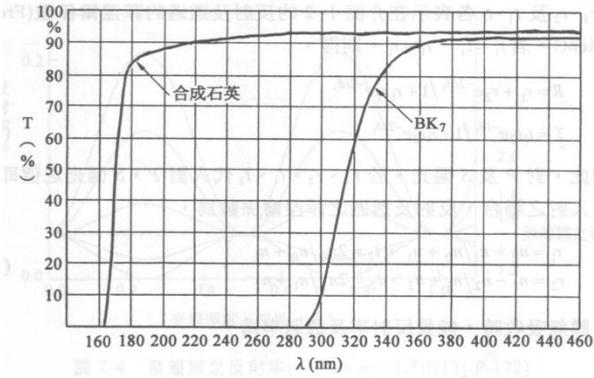
第三章 薄膜下之反射效能

3-1 單層膜之反射與透過

設在折射率 n_2 的基板之平行平面膜(折射率 n_1)上, 有從折射率 n_0 之媒(介)質來的入射光, 若膜厚 d 為光波長級時, 應考慮於薄膜之兩界面的反射波(光)的干涉。如圖 3-1 所示, 於 O_1 點反射之光與往復薄膜中從 O_2 點出來的光之間有 $2\delta_1$ 的相位差。由 Snell 定律可得,

$$2\delta_1 = \frac{4\pi}{\lambda} n_1 d \cos \theta_2 \quad (3.1.1)$$





(C)分光透過率特性(厚 10mm)。

圖 3-

而其振幅反射率 R_1 ，振幅透過率 T 各為，

$$R = r_1 + t_1 r_2 t_1' e^{-2i\delta_1} + t_1 r_2 (r_1' r_2') t_1' e^{-4i\delta_1} + t_1 r_2 (r_1' r_2')^2 t_1' e^{-6i\delta_1} + \dots \quad (3.1.2)$$

$$T = t_1 t_2 e^{-i\delta_1} + t_1 (r_2 r_1') t_2 e^{-3i\delta_1} + t_1 (r_2 r_1')^2 t_2 e^{-5i\delta_1} + \dots \quad (3.1.3)$$

式中， r_1 、 r_2 及 t_1 、 t_2 各表示在介面 1、2 的反射及透過的菲涅爾係數(Fresnell coefficient)。若 $t_1' = t_1$ 、 $r_1' = r_1$ ，則得，

$$R = r_1 + r_2 e^{-2i\delta_1} / 1 + r_1 r_2 e^{-2i\delta_1} \quad (3.1.4)$$

$$T = t_1 t_2 e^{-i\delta_1} / 1 + r_1 r_2 e^{-2i\delta_1} \quad (3.1.5)$$

因此，對 P 及 S 偏光，於 r_1 、 r_2 、 t_1 、 t_2 代入對 P，S 偏光之值即可。當垂直入射之場合，反射及透過之菲涅爾係數為，

$$\left. \begin{aligned} r_1 &= n_0 - n_1 / n_0 + n_1 & t_1 &= 2n_0 / n_0 + n_1 \\ r_2 &= n_1 - n_2 / n_1 + n_2 & t_2 &= 2n_1 / n_1 + n_2 \end{aligned} \right\} \quad (3.1.6)$$

尤其，膜無吸收時，能量反射率及透過率為，

$$R_0 = R_0 \times R_0^* = 1 - \frac{8n_0n_1^2n_2}{(n_0^2 + n_1^2)(n_1^2 + n_2^2) + 4n_0n_1^2n_2 + (n_0^2 - n_1^2)(n_1^2 - n_2^2)\cos 2\delta_1} \quad (3.1.7)$$

$$T_0 = \frac{n_2}{n_1} T_0 \times T_0^* = 1 - R_0 \quad (3.1.8)$$

式中， R_0^* 、 T_0^* 各為 R_0 、 T_0 的共軛複數。並且由上式可知， R_0 、 T_0 係對 $\delta_1 = \left(\frac{2\pi}{\lambda}\right)n_1d$

振動。當 $n_2 > n_1 > n_0$ 或 $n_2 < n_1 < n_0$ ，於 $n_1d = (2m+1)\left(\frac{\lambda}{4}\right)$ 時， R_0 為極小值。

$$\text{則，} \quad R_{0m} = \left(\frac{n_1 - n_0n_2}{n_1 + n_0n_2}\right)^2 \quad (3.1.9)$$

又， $n_1d = \frac{2m\lambda}{4}$ 時， R_0 為極小值(但 m 為整數)。

$$\text{則，} \quad R_{0m} = \left(\frac{n_2 - n_0}{n_2 + n_0}\right)^2 \quad (3.1.10)$$

此值等於無膜之場合的數值。當 $n_2 > n_1 > n_0$ 或 $n_2 < n_1 < n_0$ 時， R_0 值於 $n_1d = \frac{(2m+1)\lambda}{4}$

為極小值，而 $n_1d = \frac{2m\lambda}{4}$ 時為極小值。若 $n_0=1$ 、 $n_2=1.5$ 時，對 n_1 值之反射率值以

$\frac{n_1d}{\lambda}$ 為函數，可得圖 3-2，而 nd 稱之為光學厚度，由圖可知，當 $n_1 < n_2$ 時，反射

率比無 n_1 層時為低，尤其於 $n_1 = \sqrt{n_0n_2}$ 時，反射率為零，即可完全防止反射。

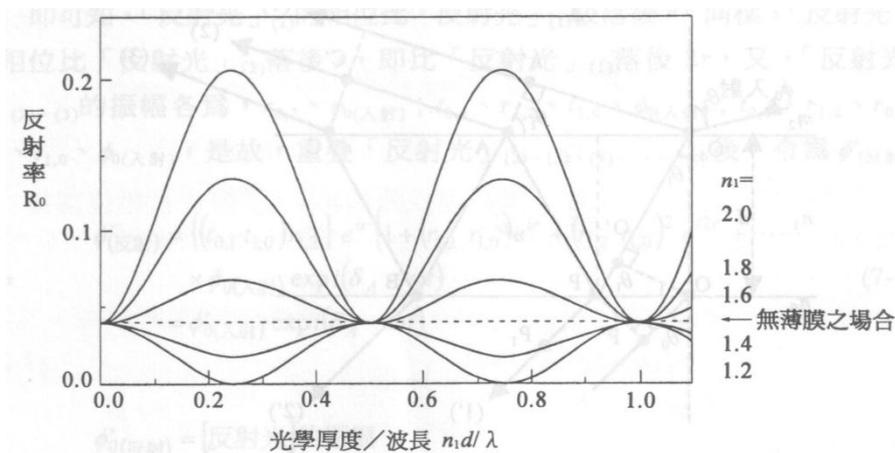


圖 3-

3-2 多重反射的單層膜之干涉光

3-2.1 單層膜內之光照射

設如圖 3-3 所示，在折射率 n_0 、 n_2 的媒(介)質中間有折射率 n_1 ，厚度 d 的薄膜，並且有光線振幅 ϕ_0 (入射) 的光線入射。此光線在上表面反射成為「反射光」(1)，其餘的即進入薄膜中，透過下表面的是「透過光」(1')，而在下表面反射後在透過上表面者為「反射光」(2)，其餘依次類推。設在 n_0 之介質與 n_1 介質的境界面(交界面)，從 n_0 側入射光線時，其光波振幅的反射率為 $r_{0,1}$ ，透過率為 $t_{0,1}$ ；從 n_1 側入射的光反射率為 $r_{1,0}$ ，透過率為 $t_{1,0}$ 。同樣，在下表面的 n_1 與 n_2 的境界面之光波振幅的反射率及透過率各為 $r_{1,2}$ 、 $r_{2,1}$ 、 $t_{1,2}$ 、 $t_{2,1}$ 。

令在 O_1 點的入射光為 $\phi_0 \exp(-i\omega t)$ ，於 O_1 點之反射光為，

$$\phi_{(0)} = r_{0,1} \phi_0 \exp(\delta_A - \omega t) \quad (3.2.1)$$

但是， $\delta_A = \frac{2\pi}{\lambda} \Delta_A$

Δ_{O_1} = 從 O_1 點所測定之反射光沿 O_1P' 的光學性距離。

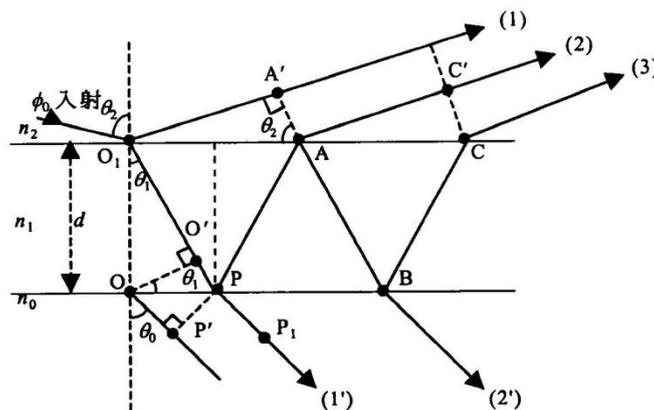


圖 3-

3-2.2 單層膜的反射光之干涉

通過 $O_1 \rightarrow A \rightarrow P$ 路徑的光，從 O_1 至 P 的光學性距離為 $\Delta_{O_1AP} = 2n_1 \overline{O_1A}$ ，比 AB' 的光學性距離較長。

故， $\Delta = \Delta_{O_1AP} - n_0 \overline{O_1P'}$

但是， $\overline{O_1P'} = \overline{O_1P} \sin \theta_2$

$$2\overline{O_1A} = \overline{O_1P} / s \ i \theta_1$$

$$\overline{O_1P} = 2d_1 \ t \ a \theta_1$$

故，

$$\begin{aligned} \Delta &= \left(\frac{n_1}{s \ i \theta_1} - n_0 \ s \ i \theta_2 \right) 2d_1 \ t \ a \theta_1 \\ &= \left(\frac{n_1}{s \ i \theta_1} - n_1 \ s \ i \theta_1 \right) 2d_1 \ t \ a \theta_1 \\ &= 2n_1 d_1 \ c \ o \theta_1 \end{aligned} \quad (3.2.2)$$

並令， $r = \frac{2\pi}{\lambda} \Delta$ (3.2.3)

即可知，「反射光」(2)的相位比「反射光」(1)較落後 r 。同樣，「反射光」(3)的相位比「反射光」(2)落後 r ，即比「反射光」(1)落後 $2r$ ，又「反射光」(1)·(2)·(3)的振幅各為， $r_{0,1}$ 、 ϕ_0 (入射)； $t_{0,1}$ 、 $r_{1,2}$ 、 $t_{1,0}$ 、 ϕ_0 (入射)； $t_{0,1}$ 、 $r_{1,2}$ 、 $r_{0,1}$ 、 $r_{1,2}$ 、 $t_{1,0}$ 、 ϕ_0 (入射)，是故，重疊「反射光」(2)·(3)·(4)·……· ∞ 後，令為 $\phi'_{(反射)}$ ，

$$\begin{aligned} \text{則，} \quad \phi'_{(反射)} &= \left\{ (t_{0,1} t_{1,0}) r_{1,2} \right\} e^{ir} \left\{ 1 + (r_{1,2} r_{1,0}) e^{ir} + (r_{1,2} r_{1,0})^2 e^{i2r} + \dots \right. \\ &\quad \times \phi_0 \text{ (入射)} \exp i(\delta_A - \omega t) \\ &= \phi_0 \text{ (入射)} \exp i(\delta_A - \omega t) \end{aligned} \quad (3.2.4)$$

而 $\phi'_{(反射)}$ = [反射光]的振幅

$$= \left\{ (t_{0,1} t_{1,0}) r_{1,2} \right\} e^{ir} / \left\{ 1 - (r_{1,2} r_{1,0}) e^{ir} \right\} \phi_0 \text{ (入射)} \quad (3.2.5)$$

再加上「反射光」 ϕ_0 的振幅 $\phi_0 = r_{0,1} \phi_0$ (入射)的全部「反射光」之振幅為，

$$\phi_0 \text{ (反射)} = \left\{ r_{0,1} + \frac{(t_{0,1} t_{1,0}) r_{1,2} e^{ir}}{1 - (r_{1,2} r_{1,0}) e^{ir}} \right\} \phi_0 \text{ (入射)} \quad (3.2.6)$$

設薄膜的振幅反射率為 $r_{0,2}$ ，

$$\text{則， } r_{0,2} = \frac{\phi_{0(\text{反射})}}{\phi_{0(\text{入射})}} = \frac{r_{0,1} + [(t_{0,1}t_{1,0}) - (r_{0,1}r_{1,0})]r_{1,2} \exp ir}{[1 - (r_{1,2}r_{1,0}) \exp ir]} \quad (3.2.7)$$

3-3 玻璃表面之薄膜的反射率

設在玻璃表面(基板)附著(蒸鍍)厚度 d_1 的薄膜。令振幅反射率為 $r = Y_1 - Y_2 / Y_1 + Y_2$ ，

即可令在表面 A 的振幅反射率為，

$$r_A = r_{0,1} = \frac{Y_2 - Y_1}{Y_1 + Y_0} = -r_{0,1} \quad (3.3.1)$$

能量反射率為，

$$R_A = R_{0,1} = |r_{0,1}|^2 \quad (3.3.2)$$

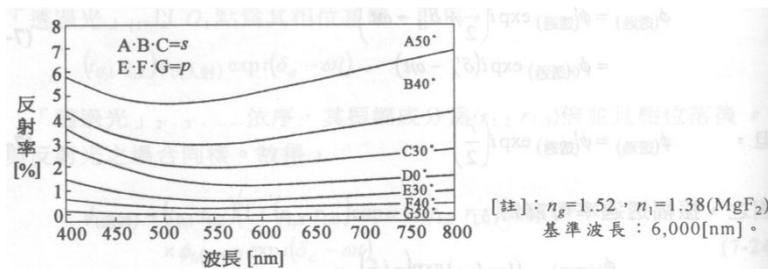
在下表面 B 的振幅反射率為，

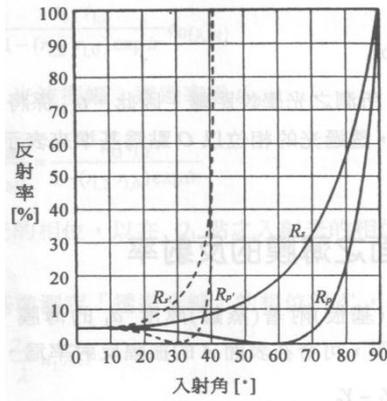
$$r_B = r_{1,2} = \frac{Y_2 - Y_1}{Y_2 + Y_1} = -r_{2,1} \quad (3.3.3)$$

能量反射率為，

$$R_B = R_{1,2} = |r_{1,2}|^2 \quad (3.3.4)$$

其反射率特性曲線即如圖 3-4 所示。





(B) 折射率 $n_2=1.55$ 的透明體之反射率。
實線：反射至空氣側之場合。
點線：反射至媒質側之場合。

圖 3-

3-3.1 不考慮干涉效應之場合

(1) 只考慮在上表面的反射光與在下表面的一次反射光重疊而不考慮干涉效應。

當 R_A 為十分小的厚膜之場合，得取其近似。若令綜合能量反射率為 $R_{0,2} = R$ ，

$$\text{則，} \quad R = R_A + R_B = \left(\frac{Y_1 - Y_0}{Y_1 + Y_0} \right)^2 + \left(\frac{Y_2 - Y_1}{Y_2 + Y_1} \right)^2 \quad (3.3.5)$$

例如，以折射率為 1.52 的玻璃板，放置在空氣中，而予入射光之場合，即

$$n_0=n_2=1.00, \quad n_1=1.52, \quad R_A=R_B。$$

(2) 考慮上下表面之反覆性反射光而不考慮干涉效應。

令上下表面的能量反射率各為 R_A 、 R_B ，由於光線在上下表面間反覆反射，因之，有微量的光線由上表面的上方透過，乃應將該能量予以重疊考量，

$$\begin{aligned} R &= R_A + (1 + R_A)^2 \{ R_B + R_B (R_A R_B) + R_B (R_A R_B)^2 + \dots \} \\ \text{故，} \quad &= R_A + \frac{(1 - R_A)^2 R_B}{1 - R_A R_B} \\ &= \frac{R_A (1 - R_B) + R_B (1 - R_A)}{1 - R_A R_B} \end{aligned} \quad (3.3.6)$$

因為， $R_B=R_A$ (與上述同例， $n_1=1.52$ ， $n_0=n_2=1.00$)

$$\text{故，} \quad R=2R_A/1-R_A \quad (3.3.7)$$

3-3.2 考慮干涉效應之場合

(1) 上表面的反射光與在下表面之一次反射光重疊並考慮干涉效應：

設 r_A 、 r_B 均十分小，其二乘方項可忽視，由式(3.2.4-6)得，

$$\begin{aligned}\phi'_{0(\text{反射})} &= r_B \exp ir \phi_{0(\text{反射})} \\ \phi_{0(\text{反射})} &= \{r_A + r_B \exp ir\} \phi_{0(\text{入射})}\end{aligned}$$

故，式(3.2.7)可改寫為，

$$r_{0,2} = r_A + r_B \exp ir \quad (3.3.8)$$

$$R_{0,2} = |r_{0,2}|^2 = R_A + R_B + 2r_A r_B \cos r \quad (3.3.9)$$

但，
$$r = \frac{2\pi}{\lambda} \Delta$$

$$\Delta = 2n_1 d_1 \cos \theta_1$$

為兩光線以近似表示的薄膜之干涉式。

(2) 考慮反覆反射之薄膜之干涉式。

由能量反射率透過率 $R_{0,2}$ 關係式，

$$\begin{aligned}R_{0,2} = |r_{0,2}|^2 &= \frac{\{-r_{1,0} + r_{1,2} \exp ir\} \{-r_{1,0} + r_{1,2} \exp(-ir)\}}{\{1 - (r_{1,0} r_{1,2}) \exp ir\} \{1 - (r_{1,0} r_{1,2}) \exp(-ir)\}} \\ &= \frac{r_{1,0}^2 + r_{1,2}^2 + 2(r_{1,2} r_{1,0}) \cos r}{1 + (r_{1,2} r_{1,0})^2 + 2(r_{1,2} r_{1,0}) \cos r}\end{aligned}$$

可得，

$$R_{0,2} = \frac{R_A + R_B + 2r_A r_B \cos r}{1 + R_A R_B + 2r_A r_B \cos r} \quad (3.3.10)$$

$$r_1 = \frac{2\pi}{\lambda} \Delta_1 \quad (3.3.11)$$

$$\Delta_1 = 2n_1 d_1 \cos \theta_1 \quad (3.3.12)$$

由式(3.3.1-4)可得，

$$r_A = \frac{Y_1 - Y_0}{Y_1 + Y_0} \quad R_A = r_A^2 \quad (3.3.13)$$

$$r_B = \frac{Y_2 - Y_1}{Y_2 + Y_1} \quad R_B = r_B^2 \quad (3.3.14)$$

若 $r_1 = \pi$ ，由式(3.3.11-12)得，

$$n_1 d_1 = \frac{\lambda}{4} \quad (3.3.15)$$

即為四分之一波長膜($\lambda/4$ 膜)的場合。

並由式(3.3.10)可得，

$$R_{0,2} = \frac{(r_A - r_B)^2}{(1 - r_A r_B)^2} \quad (3.3.16)$$

第四章 模擬加裝反射板後之集魚燈

4-1 參考指標

產品公司：日本富士電球工業株式會社

額定電壓：230(V)

額定電流：18(A)

功率：4000(W)

光通量：480000(Lm)

光視效能：120(Lm/W)

尺寸：562*280(mm)



4-2 外型模擬

1. 首先依照參考目標，將目標(半)外形繪出如圖 4-1：

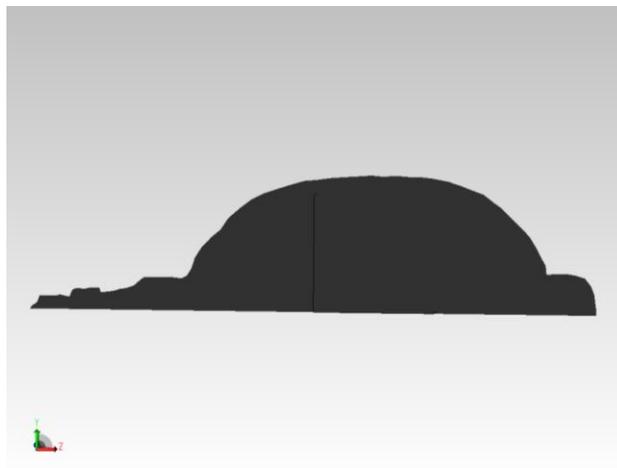


圖 4-

2. 運用軟體 TracePro 將座標軸改變，以 y 軸為基準旋轉 360° 塑出魚燈本身，如圖 4-2。

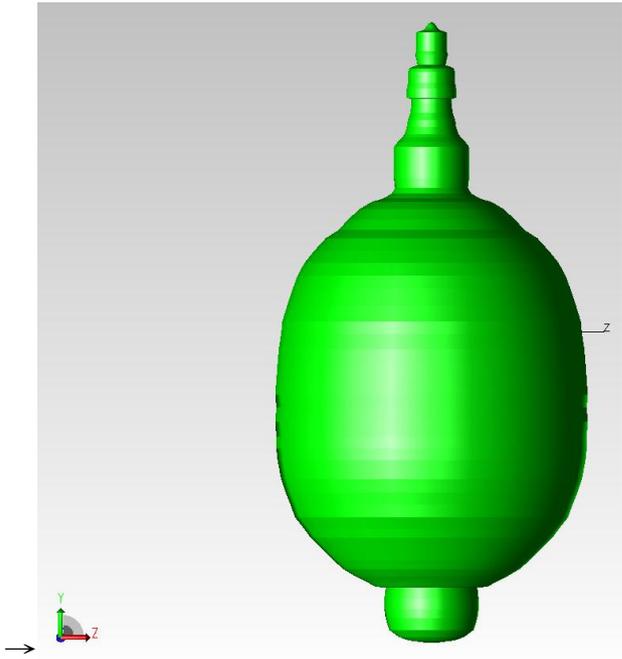
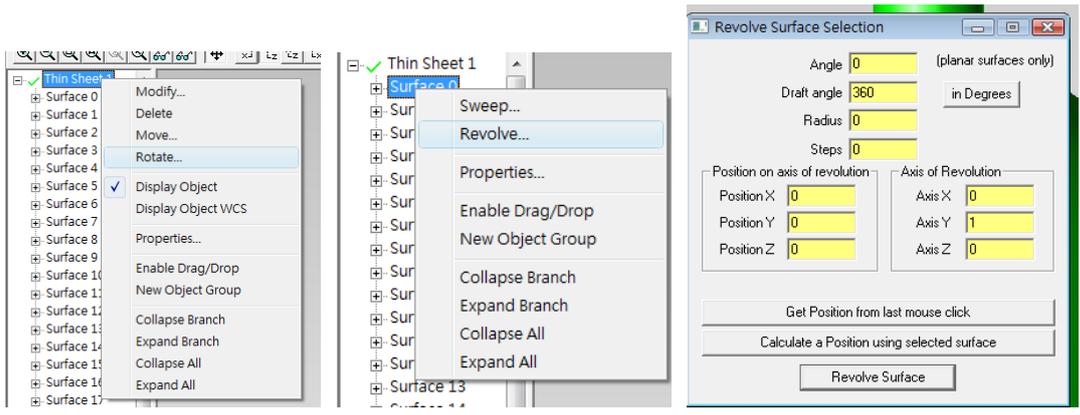


圖 4-

3. 加入燈內極管(正、負)如圖 4-3 :

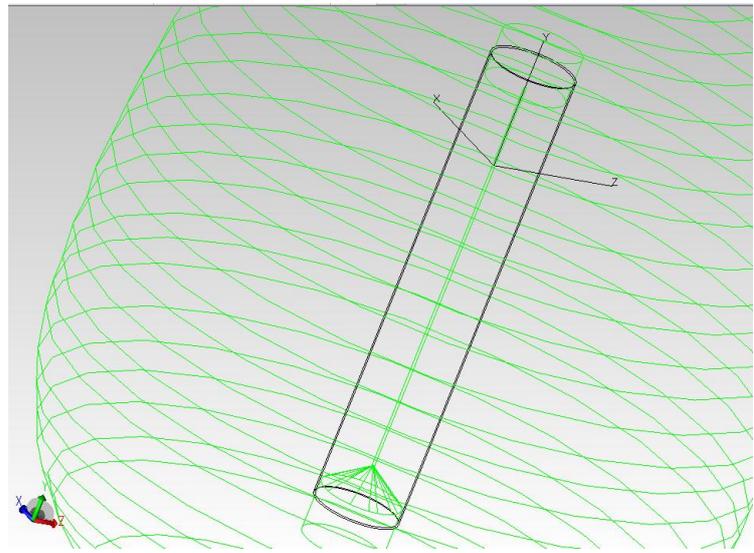


圖 4-

讓燈絲成為發光源(加入發光波長)如圖 4-4：

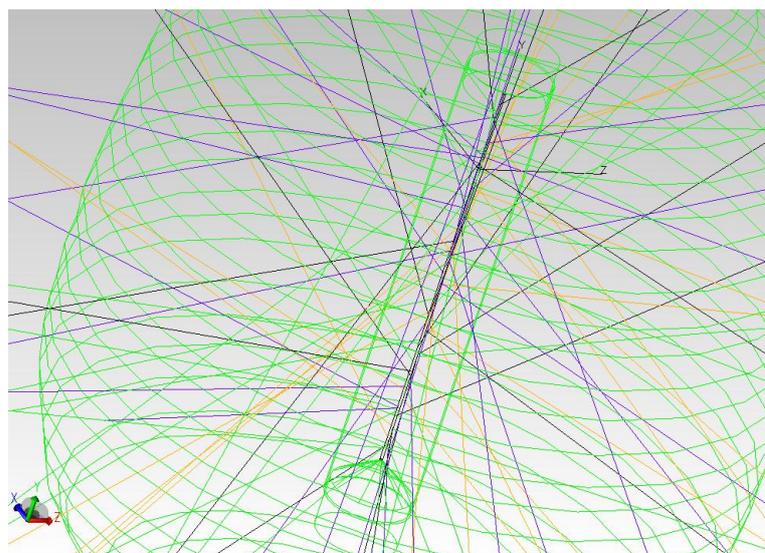
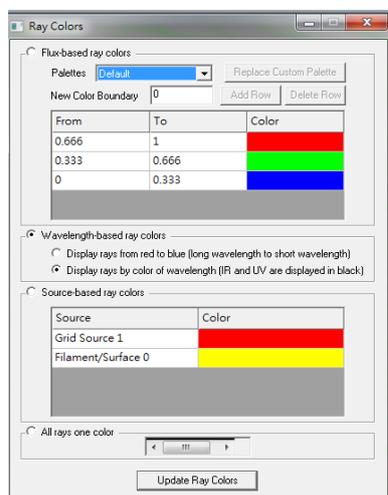
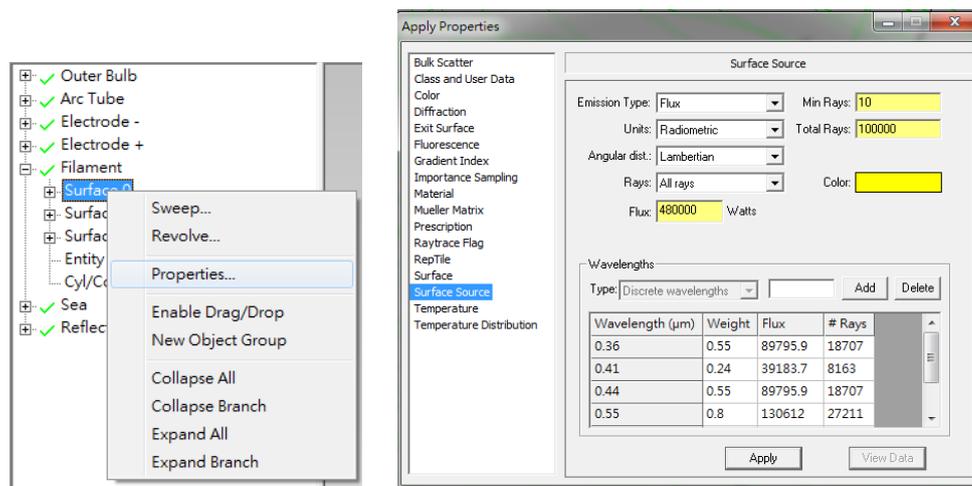


圖 4-

4. 繪製完成圖(圖 4-5)：

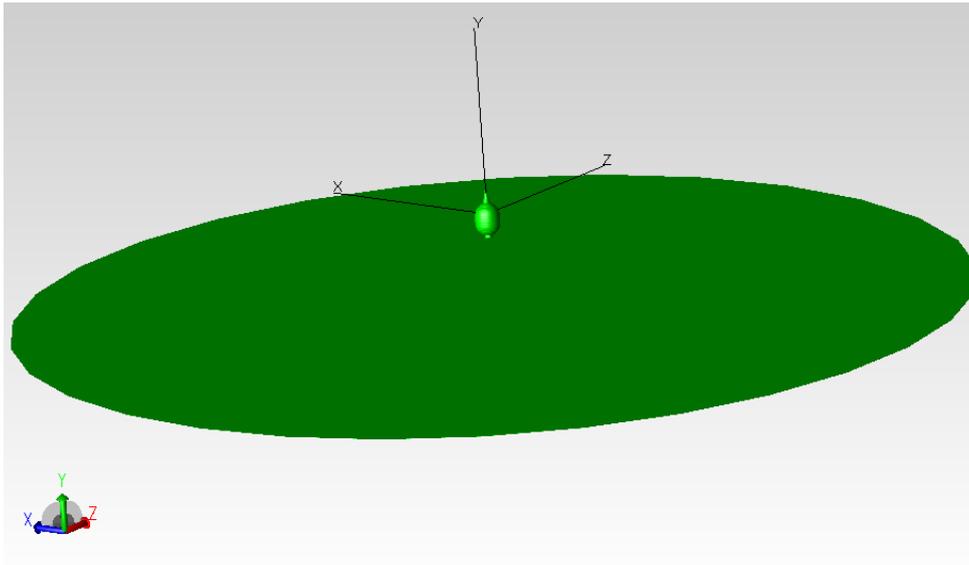


圖 4-

4-3 原始模擬效率圖

1. 選擇發光百分比，如圖 4-6

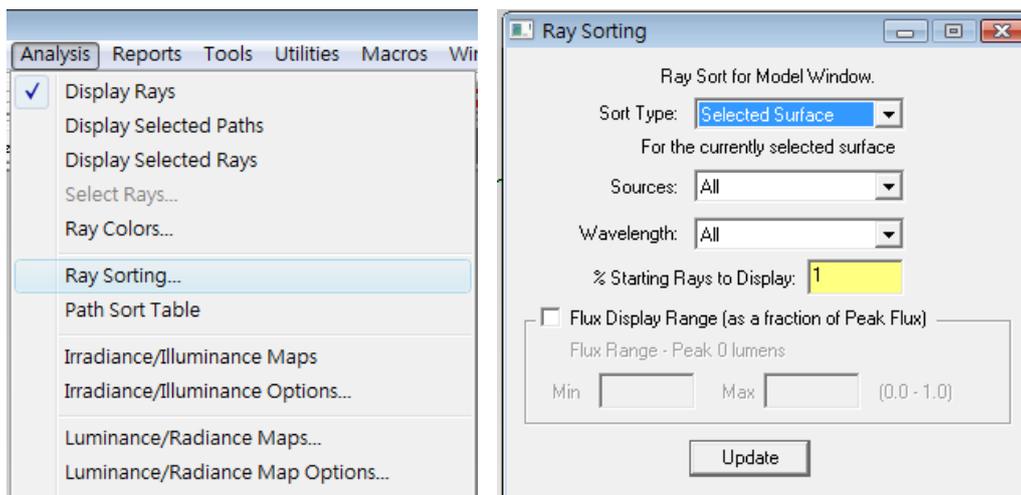
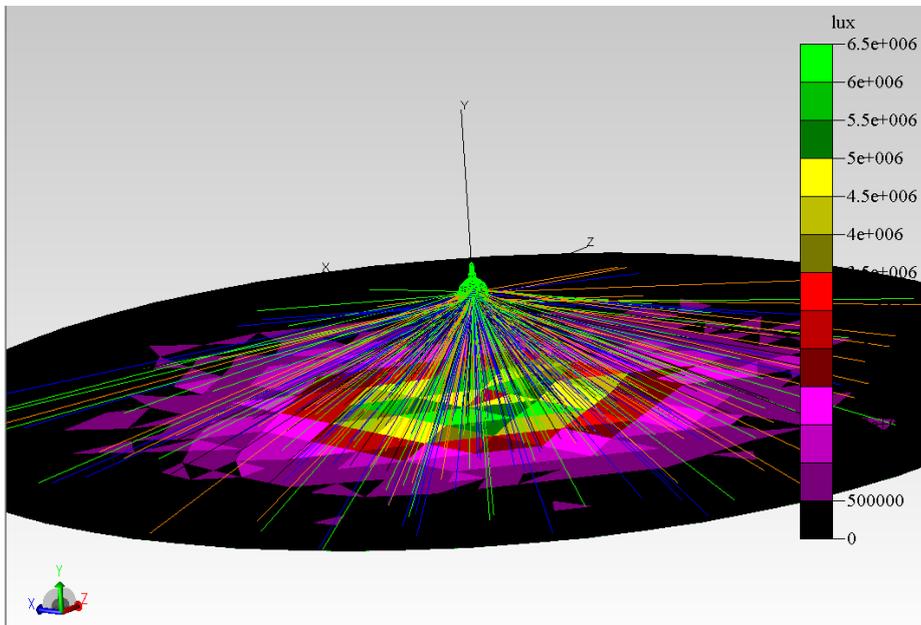
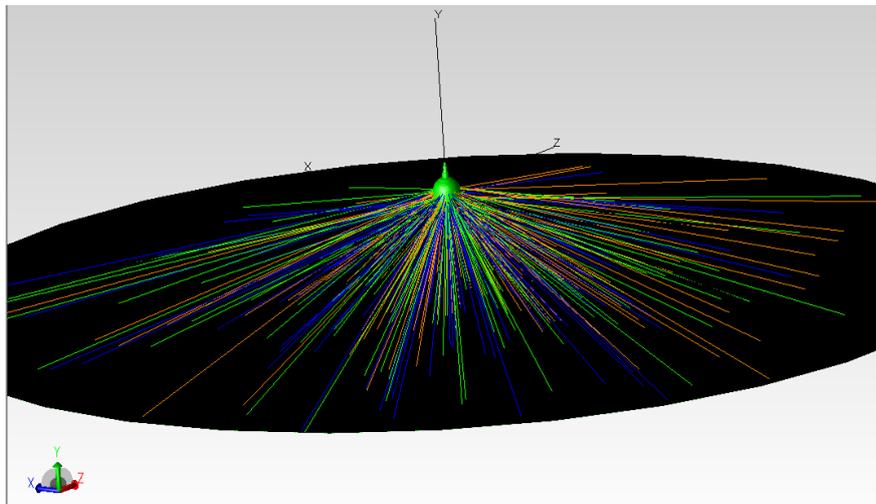
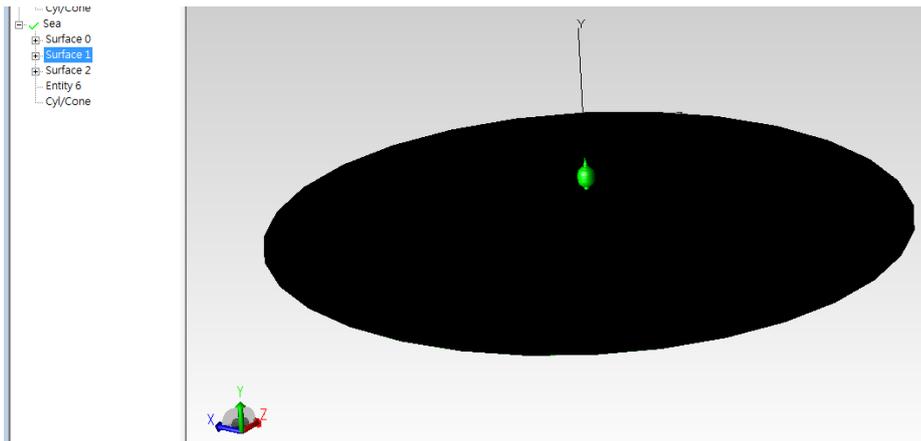


圖 4-

※為方便觀察，起初使用 1% 的可見光源發光。

2. 選擇海平面，投射光並分析光強分佈、效率數值。(圖 4-7)。



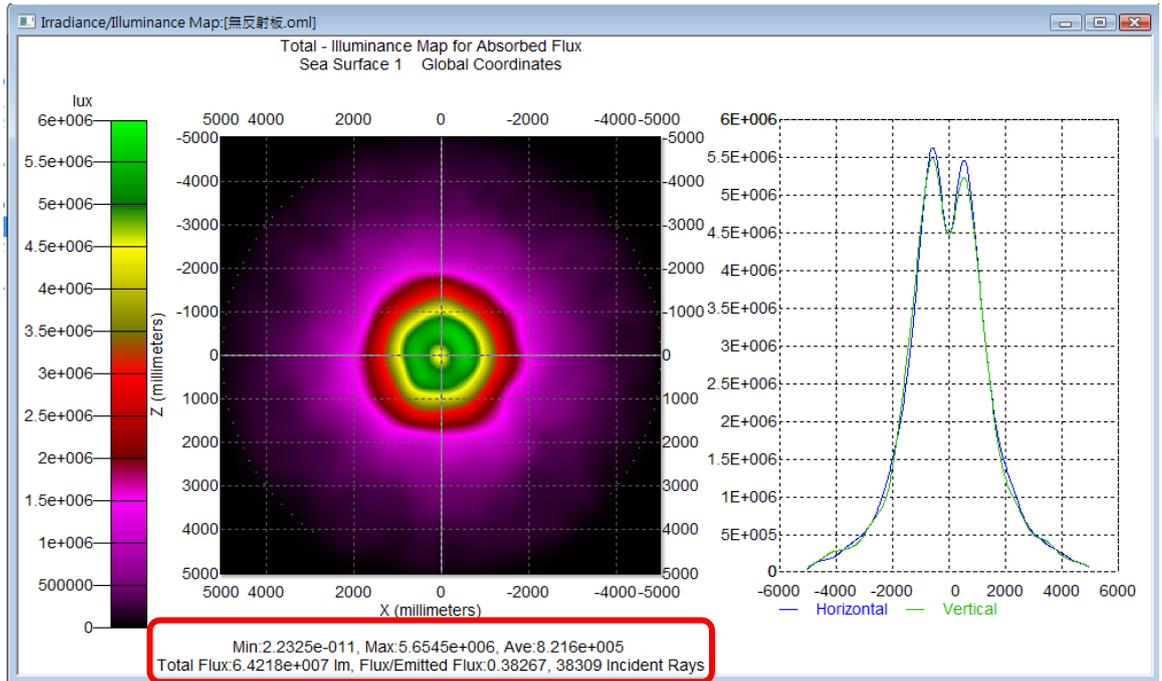


圖 4-
 顯示效率值：38.26%。

4-4 加裝反射板後數值模擬

1. 反射板外形圖，如圖 4-8。

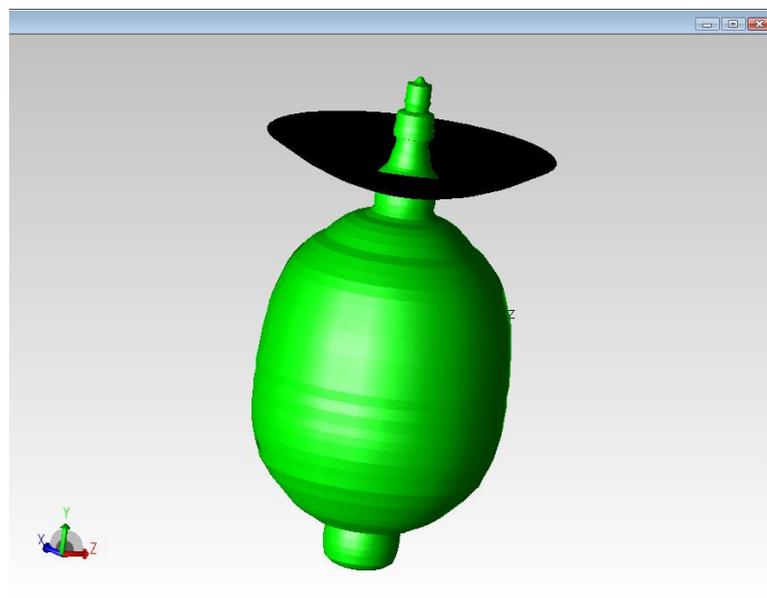


圖 4-

2. 發光百分比依然選擇 1%，模擬加入反射板後的發光、分佈，效率計算。如圖 4-9。

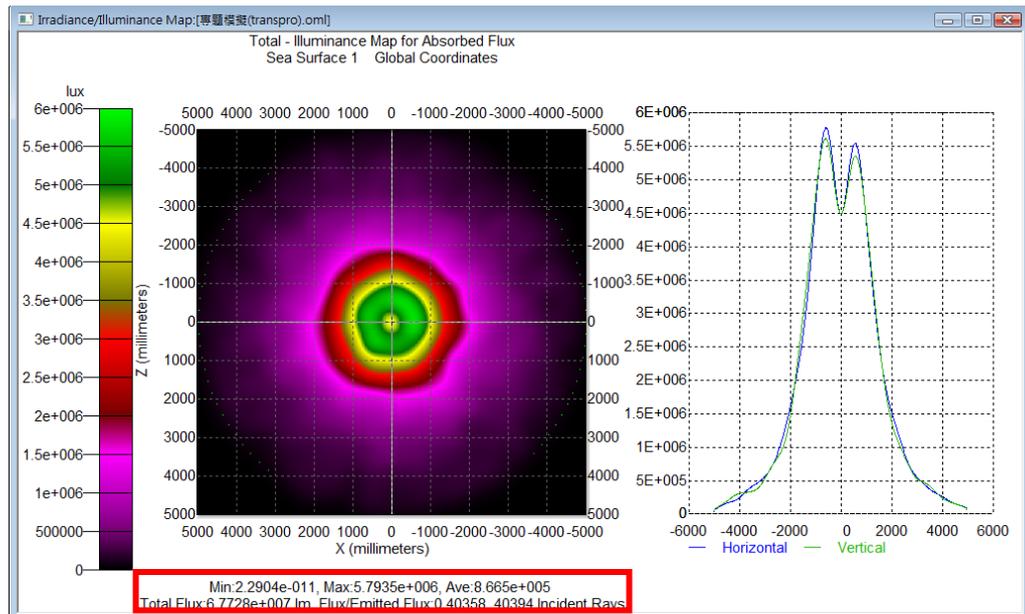
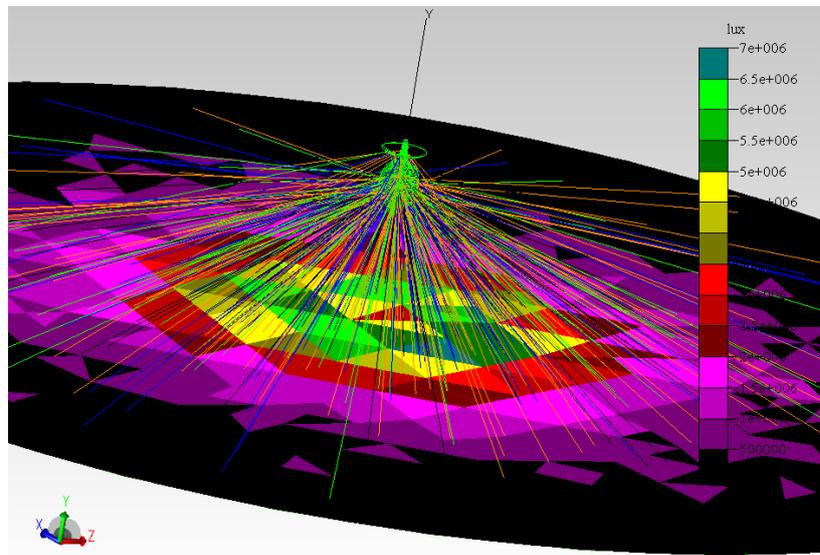
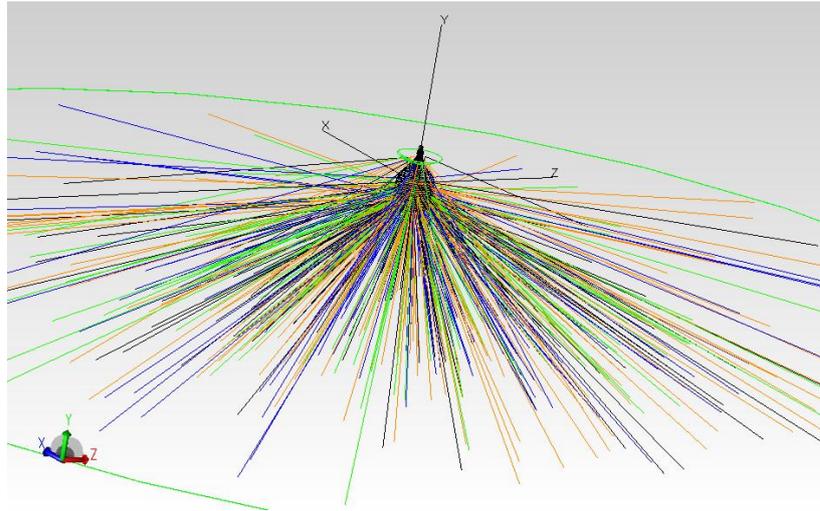


圖 4-
顯示效率值：40.35%。

第五章 結 論

5-1 過去型態

集魚燈方面，傳統集魚燈採用鎢絲燈、覆金屬燈及高壓汞燈，燈具溫度高且玻璃結構不耐撞擊，易產生安全性疑慮，葉寅夫提到，傳統集魚燈耗電量達 2,000~4,000 瓦(W)，燈具發光效率僅每瓦 50 流明。

不僅如此，傳統集魚燈為發散狀，光照射範圍較廣，但約僅有 30% 的光能照射至海面，故須提高消耗功率，以增加其光照滲透率。此外傳統集魚燈固定頻譜且含紫外線，壽命僅 6~14 個月，以及暖燈需 20~30 分鐘。

傳統集魚燈波長穿透力低，需要加大功率來增加其水中穿透力，但當瓦數過強時又會消耗過多的電力，這不僅造成能源的浪費，也使漁民皮膚病與漁獲生態受損，增加漁船作業成本。

5-2 新興目標

據 2012 年報導指出，成功大學系統及船舶機電工程系特聘教授方銘川、副教授沈聖智以「高亮度 LED 燈」取代傳統燈泡，針對魚類偏好的光線及光形，領先全球創新研發「照明光形觀念」集魚燈，不但漁獲量不輸傳統燈泡的集魚效果，更可使節省十五到廿%漁船用油。

研究團隊評估，國內現有近海漁船及遠洋秋刀漁船，若全部改用高亮度 LED 集魚燈，每年可為漁民省下六到七億元燃油費。沈聖智指出，採用高亮度 LED 集魚燈，除了降低成本外，傳統燈具因含有汞等毒性物質，歐盟已預告未來將全面禁用，也可兼顧漁民健康與作業安全。

5-3 過去/未來比較

LED 集魚燈耗電量則達 50~300 瓦，燈具發光效率每瓦 90 流明。相對而言，LED 集魚燈光源具指向性，且可藉由特定光學設計提升光照範圍與水下光照滲透性。LED 集魚燈光源可針對不同魚群喜好調整光頻譜，壽命長達 3~5 年，且光可瞬間點滅。

以近海漁船為例，「照明光形觀念」集魚燈經連續三年實船出海作業測試，油耗量比傳統集魚燈節省 20% 以上，20 噸到五十噸級漁船每年可節省近三十二萬元。沈聖智指出，新造漁船若直接裝設「照明光形觀念」集魚燈，成本跟使用傳統集魚燈差不多；舊漁船若把傳統集魚燈改為「照明光形觀念」集魚燈，改裝成本只需一年半時間，就可從節省的油錢回收。

5-4 總結

據相關報導指出，新產品 LED 集魚燈的創造帶給漁民許多的效益，但仍不能否定的是，它還需要時間來克服相關的檢測、硬體上的裝載、漁民更換的意願以及使用的說明等。

雖然本專題模擬結果看似彰顯不大，但是不能忽略的是，一艘漁船所載的魚燈數量都是以數十到數百顆不等，若都是在加裝反射板下，效率值提升仍然是可觀的。

5-5 未來發展性

由於本論文採用加強光效能的方式，在許多地方仍有更改、加強的空間，設計的方法與外形也可再創新，因此期許集魚燈的相關開發者們，能夠打造更加有效的設計，以突破且使漁業更蓬勃。