

第七屆旺宏科學獎

成果報告書

參賽編號：SA7-150

作品名稱：導光式路標之設計製作與分析

姓名：陳奕臻

關鍵字：路標、背光、導光

作品名稱：導光式路標之設計製作與分析

壹、摘要

在面向陽光時由於陽光光線直接進入眼睛，導致瞳孔縮小，此時前方物體就會因為背光而成黑黑一塊。同樣的，道路上路標的字體，也會因為背光情況下看不清楚，因此本研究探討如何減少背光對路標的影響，研究各種使字體能在背光時明顯顯示出來的方法，使開車族不會因為面向陽光而錯過轉彎的路口。由於陽光在不同位置時對路標的影響不一樣，因此我們設計製作一套實驗設備，其中有一組可調整明暗度及各種角度的燈泡組，藉以模擬太陽光在不同時間的照射狀況，並利用數位相機及測光表的測光系統，量測各種路標設計的透光率，經過研究找出最佳的路標設計方式。

貳、研究動機

每當春夏或是秋冬季節交替時節，爸爸開車載我上學或放學時，看到好強的陽光，這時路標上的字就幾乎看不出來了，如果是到一個不熟悉的地方，駕駛者可能因為看不清楚路標，而錯過了轉彎的地方，或是為了注意路標而忽略了其他道路上的駕駛人或行人，而導致危險。現有的路標都是利用塗層油漆的反光效果反射光線，晚上時由於車燈照射下可以看到路標上的字，白天在背光時就會看不清楚，因此我們想設計出一個路標製作的方式，可以在各種情況下明顯的顯示路標上的字體出來。在研究的過程中我們先尋找可用的材料，在美術用品店中發現一種黃色透明壓克力條，在壓克力條的端部可以明顯看到光線透出來，這個原理類似光纖作用。搜尋資料發現，LCD 的背光模組中利用材料的導光作用，使光線均勻的在螢幕上發散出來。從物理課本中發現光線具有全反射、折射等特性，也許我們也可以利用鏡子來設計出一組路標，有了這些資料就可以開始我們的研究了。

參、研究目的

研究出一組製作路標的製作方式期望具有下列功能

- 一、 在正常光照下能明顯顯示路標上的字體。
- 二、 可以在背光情況下明顯顯示路標上的字體。

- 三、 在晚上以車燈照射下能明顯顯示路標上字體。
- 四、 在一年四季的陽光照射下都能明顯顯示路標字體
- 五、 夜間開車時，車燈的光線亦能使我們設計的路標字體顯示出來。
- 六、 期望設計出一套不需電能的路標顯示系統。
- 七、 經過實驗後比較現有路標系統、太陽能 LED 系統與本實驗結果比較。

為了實驗路標顯示的明暗度，我們設計了一套實驗設備，具有下列功能：

- 一、 有一可以調整明暗度的燈泡，藉以模擬不同時間時的陽光。
- 二、 具有一可以調整不同位置的燈架，藉以模擬陽光在不同時節照射路標的狀況。
- 三、 具有一可以夾持各種設計路標的架子，模擬電線桿。
- 四、 具有一數位相機，可以測量出路標上光線的明暗度，我們計畫以光圈的大小及快門速度來量化實驗結果。
- 五、 數位相機裝置於一可移動的架上，藉以模擬駕駛者開車狀況，在不同位置時對路標字體的反應。
- 六、 相機可以移動的架子上設計有兩個投射燈光，用來模擬夜間開車時的狀況。

肆、研究設備及器材

- 一、 雷射雕刻機，可以切割壓克力及各種材料，用來製作路標上的鏤空字體，或是特殊形狀外型材料、以及實驗設備製作組立。
- 二、 M/C 數值加工中心機，用來製作不同斜度的邊緣，研究光線透射與反射的角度。
- 三、 自製攝影棚，使光源可以移動不同位置來產生一年四季及每日不同時間的陽光。
- 四、 數位相機及測光表，用於測光。

伍、研究過程或方法

一、文獻探討：

(一)、陽光照射地球的角度及位置，了解影響較大的季節、及方位

太陽是地球光和熱的主要來源，因此太陽直接影響到地球上每天氣溫的變化和每年季節的更替，地球繞行太陽公轉時，自轉軸以 23.5 度角朝北極星傾斜。地球以橢圓型軌道繞行太陽公轉，在一月份繞至距離太陽最近的地方稱為近日點，在七月份繞至距離太陽最遠的地方稱為遠日點。

6 月 21 日太陽直射地球北迴歸線，是北半球的夏至。12 月 22 日冬至，太陽斜射北迴歸線北半球受陽光照射角度則與夏至相反。3 月 21 日、9 月 23 日春分和秋分時太陽直射赤道。由上述所知影響太陽照射最大的幾天分別是冬至，夏至，春、秋分，角度分別是 43 度、90 度、66.5 度。

表一、太陽在不同季節時的日出、日落位置。

季節	春分	夏至	秋分	冬至
太陽升起位置	正東方	東偏北	正東方	東偏南
太陽日落位置	正西方	西偏北	正西方	西偏南

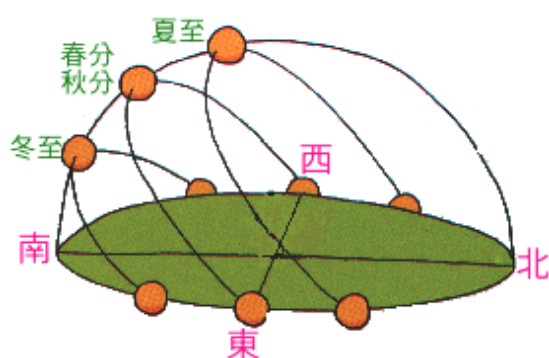


圖 1、太陽照射位置

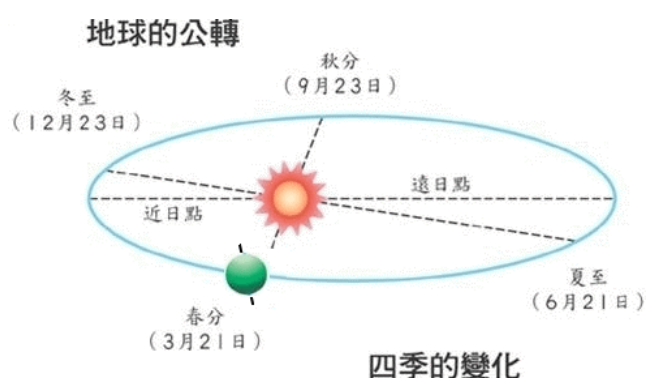


圖 2、地球公轉路徑(摘錄中央氣象局網站)

(二)、了解光線反射與折射的原理(全反射)

當光線照射一鏡面時，入射角會等於反射角當光線反射時，入射光線角 (P) 和反射光線角 (Q) 和法線會在同一平面上，且入射角會等於反射角。又因為光在不同的介質上傳播的光速度不同，所以會發生光線折射的現象。

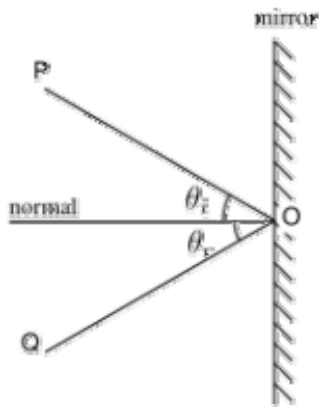


圖 3 光反射

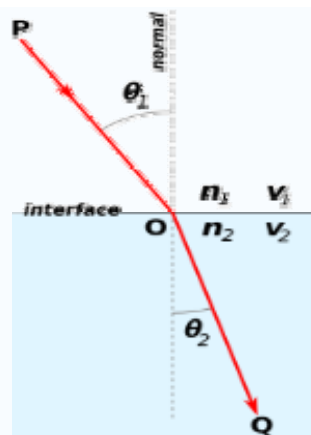


圖 4 光的折射

在折射定律中，若入射角一直移動直到折射角為 90 度時稱為臨界折射角，此時光線就無法穿透兩種介質，只有光線從光密入射光疏才會發生全反射。因此當我們設計雙鏡面路標時，其上邊緣的加工角度，理論上可以讓光線入射，而不會發生全反射，當光線進入路標內時，就可能因為全反射而保留在路標內再從字體發散出來。

(三)、了解數位相機(測光機)的測光原理及測光方式

為了解光線透過路標後，在字體上顯現的明暗度，我們利用數位相機的測光系統來做實驗的數據紀錄，我們使用 SONY 的 CDMavica 數位相機來測量明暗度。數位相機是以 TTL 的測光方式，透過鏡頭以及相機內建的測光器進行測光。鏡頭的焦長也有影響，如果使用 28mm 來測光，因為這是廣角鏡頭，他的測光方式會是平均值，也就是類似平均重點測光方式。至於使用 105mm 鏡頭時，因為視角窄，會比較像是點測光的模式，利用數位相機測光時必須拉遠焦距，使測光接近點測光。

當使用測光表時可以使用入射式測光，會測得射入測光表內光線的數據，因此只要攝影者在原地將測光表朝向拍攝主體就可以了。不過這種測光方式，明顯會受到主體以外光線的影響，在主體與背景反差太大而且拍攝者與主體相距太遠時，測光結果可能會與反射式有所誤差，但這種測光方式的結果，會與直接以相機的 TTL 測光結果比較相近一些，由於我們需要得到的是路標上出來的光線，因此我們使用反射式測光。測光時主要固定光圈與曝光值(ISO 值亦固定)，測試路

標上光線的快門速度，快門速度越快表示字體越明顯，效果越好。

(四)、光纖的原理

“光纖”(optical fiber)是一種可以傳送光而外形非常微細的玻璃纖維，光纖基本上是由兩部分組成,內層部分稱為核心，外層部分稱為外殼為了使光線能在介質中傳送,所以核心部分的折射率(光密)比外殼折射率(光疏)大一些，方能滿足光由密介質(高折射率區域)入射疏介質會發生全反射的原理，而使光線能繼續不斷的在介質中傳播。光纖大致可分為級射率光纖(step index fiber)和斜射率光纖(graded index fiber)二種。光纖的製造過程分為預型體\光纖抽絲和光纖被覆。

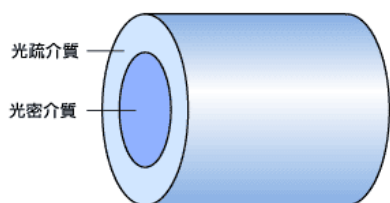


圖 5 光纖的切面

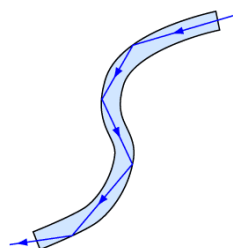


圖 6 光線在光纖中被全內反射

二、 實驗設備的製作

(一)、可動光源製作

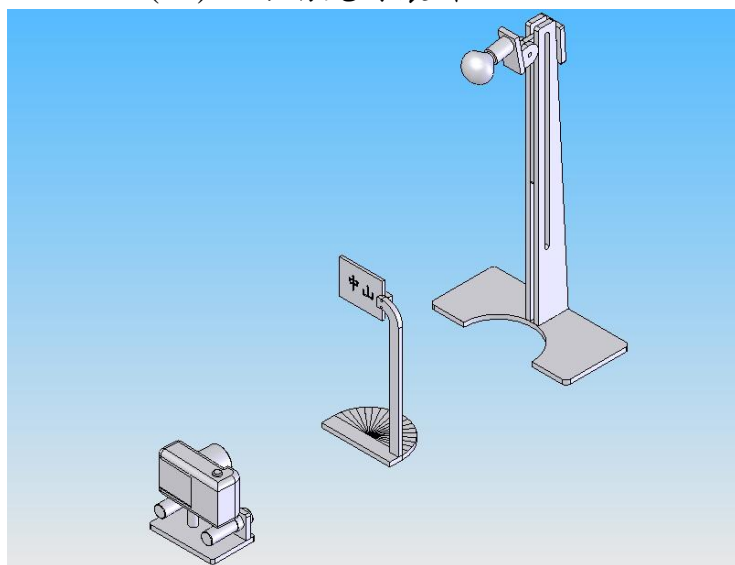


圖 7 實驗架構



圖 8 模擬燈光

我們構想的實驗設備如圖 7 所示，其中的模擬陽光設備以 100 燭光的燈泡構

成，為能模擬陽光的各種時間照射角度，燈架可以上下調整高度，陽光的強弱則以可微調裝置來控制燈泡的明暗。加工組立完成如圖 8 所示。

(二)、路標架子的製作

在製作路標架子時，我們先搜尋相關交通法規，其中依據「道路交通標誌標線號誌設置規則」中第18條之規定，**懸掛式標誌**之垂直淨空，一般道路不得少於**四公尺六十公分**，高速公路不得少於**四公尺九十公分**；其支柱或支架與路肩邊緣相距以不少於六十公分為原則。但情況特殊者，在影響行車最小原則下得酌予變更。同一路線之標誌，其橫向距離及高度應力求一致。

圖例如下：本標誌為綠底白字白色邊線。



指21

圖9 路標規格(橫型)

指21.1



圖10 路標規格(直立型)

由於實驗的限制，因此我們製作一小型的路標來模擬，使用材料為壓克力，架子的部分為可拆式，以適用不同的路標設計，路標下緣距離地面為 260mm，成品完成如下圖 11~12。

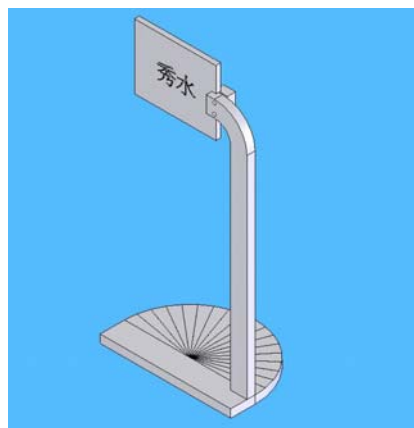


圖 11 路標架設計



圖 12 完成的路標之一

(三)、數位相機的可移動架子及模擬車燈光源

利用壓克力製作固定相機及固定 LED 的架子，完成的實驗設備如圖 13 所示，數位相機的固定是利用三腳架的雲台。



圖 13 車燈與相機架子

三、路標製作方式

(一)正常路標的製作

為比較一般路標在背光與順光下的清晰度，因此我們製作一組正常路標，製作時為與其他對照組比較，因此我們以同樣的壓克力材質製作，正面上噴上綠色噴漆，字體部分以白色材質填入，後方全面噴上噴漆，完成如下圖 14 之路標。



圖 14 一般路標(編號 S1)

(二)鏤空字體的路標

鏤空字體其製作方式有幾種，一種是直接鏤空字體，一種是將字體鏤空後再填入半透明白色的材料，讓光線散射。所以我們設計了幾種鏤空或是鏤空的字體，在路標正面非透光區域噴上不透光綠色噴漆。

1. 完全鏤空字體(編號 T1)
2. 鏤空字體填入透明材質(編號 T2)
3. 鏤空字體填入白色半透光材質(編號 T3)
4. 鏤空字體填入白色半透明材質，字體上以雷射切割打穿小孔(編號 T4)。



圖 15 完全鏤空路標



圖 16 透明材質字體鏤空路標



圖 17 白色半透明材質字體鏤空路標



圖 18 半透明材質字體鏤空路標加小孔

(三)雙鏡面路標製作

雙鏡面路標製作時，以雷射切割鏡面壓克力板，製作出兩面板子，再相對結合在一起。在設計上我們考量的因素有下列幾個：

1. 板面上端的截角角度：設計有 45 度、60 度及 75 度
2. 後方鏡面板上的字體刻痕形式：設計有直線及圓圈直徑 0.4mm 方式
 - a. 其中直線深度有兩種，圓圈的深度有兩種
 - b. 直線的間距有兩種，分別為 0.5mm 及 1mm 兩種。

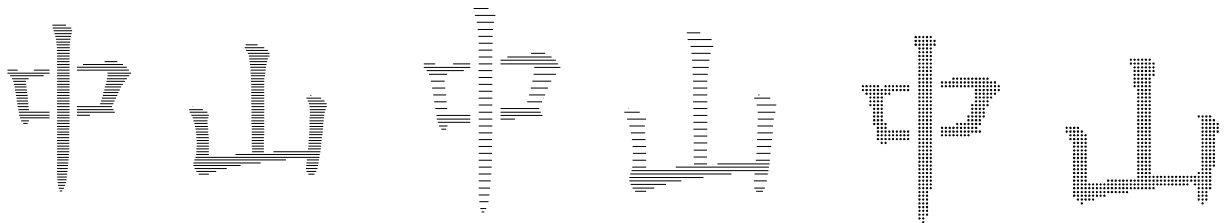


圖 19 直線刻劃間距 0.5mm 圖 20 直線刻劃距離 1mm 圖 21 圓形刻劃直徑 0.4mm

3. 由於在鏤空路標的設計實驗時，發現填充白色半透明材質的效果較佳，同時亦較類似目前路標。因此前方鏡面的鏤空字體我們填充半透明白色壓克力(加工如圖 23)。
4. 路標上緣的截角角度，由於陽光從上方截角經過折射後進入路標內部，在一連串的全反射下，光線可能從字體部分透出。因此設計時亦考慮上緣在不同截角角度下的效果。我們設計有與水平夾 45 度、60 度、75 度。
5. 路標前方下緣亦可能接受晚上車燈照射，因此亦設計有 45、60、75 度的夾角，希望能了解車燈對路標的影響(加工如圖 22 所示)。

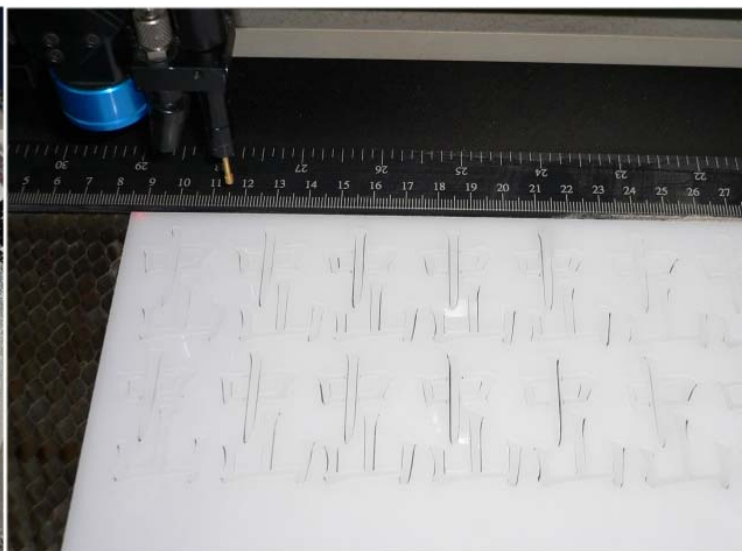
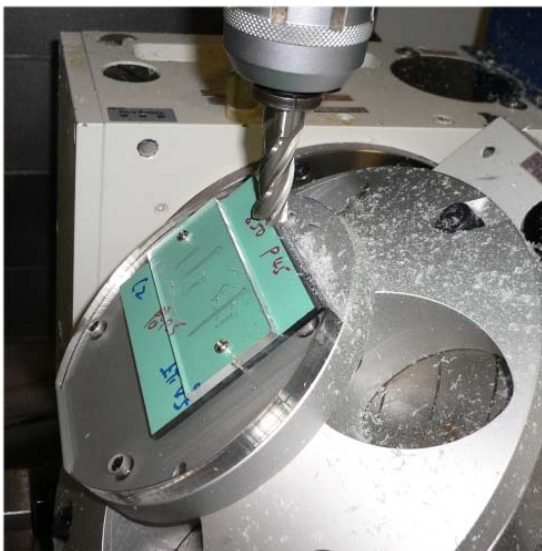


圖 22 雙鏡面路標邊緣角度加工

圖 23 雷射加工字體

表一 雙鏡面路標後方鏡面板參數：

編號	線條形式	雷射 功率	雷射 速度	穿透	上下截角 角度	備註
A1	間距 0.5mm 直線	15	50	×	45	
A2	間距 0.5mm 直線	30	50	×	45	
A3	直徑 0.4mm 孔	25	50	×	45	
B1	無刻劃	0	0	×	45	
B2	間距 1mm 直線	30	50	×	45	
B3	間距 1mm 直線	45	50	○	45	
C1	間距 0.5mm 直線	45	50	○	0	
C2	間距 0.5mm 直線	45	50	○	45	
C3	間距 0.5mm 直線	45	50	○	60	
C4	間距 0.5mm 直線	45	50	○	75	
D1	直徑 0.4mm 孔	30	50	○	0	
D2	直徑 0.4mm 孔	30	50	○	45	
D3	直徑 0.4mm 孔	30	50	○	60	
D4	直徑 0.4mm 孔	30	50	○	75	

(四)光纖式路標製作

光纖路標的設計製作時，需要選用合適的光纖，由於經費的關係，我們先使用光纖玩具的塑膠光纖作為實驗使用。由於塑膠光纖的光傳輸效果可能不佳，但是實驗時距離較短，因此暫不考慮塑膠光纖漏光的情形。

完成的光纖路標如下圖 24 所示，字體上一半的光纖朝上方，一半的光纖朝下方。當在使用塑膠光纖時，發現其中一種紅色的光纖具有螢光的效果，當其一側端面光源遮斷時，並不影響另外一側的出光，與一般光纖不同，因此我們亦製作一組紅色的光纖路標，其後面的光纖平均散開，使光線能從線上入射進入光纖內。



圖 24 塑膠光纖路標(F1)



圖 25 塑膠光纖路標背面(F1)

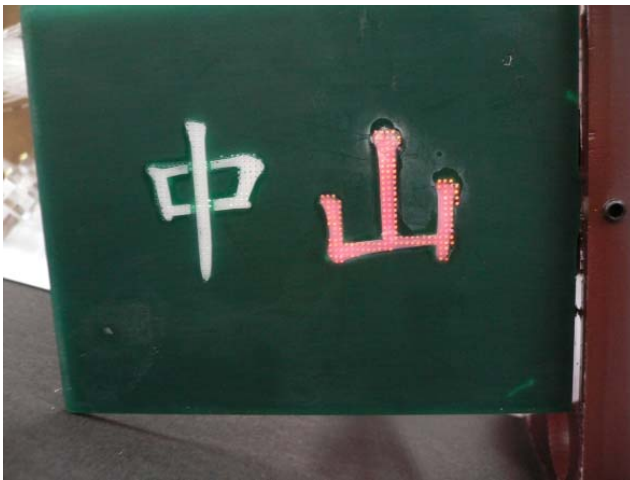


圖 26 紅色塑膠光纖路標(F2)

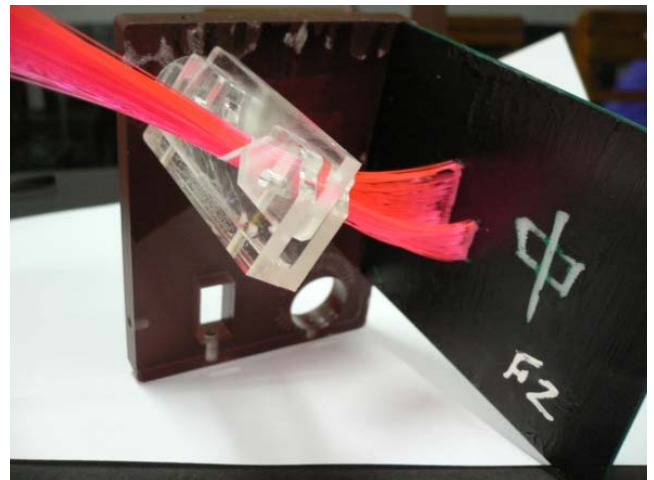


圖 27 紅色塑膠光纖路標背面(F2)

(五)LED 式路燈之製作

市面上亦有 LED 的路標設計，其能源的來源有電力或是太陽能如圖 28 所示，但本實驗設計目標在於背光下可以明顯顯示路標字體，因此只要路標模擬 LED 路標顯示即可，電源部分暫不考慮，完成的路標如圖 29~30 所示。

四、 陽光照射的角度

一般車輛駕駛員大約在路標前方 30~50 公尺處觀看路標，所以我們研究一天當中哪些時間，太陽光的角度剛好會在這些區域產生影響。也藉由實際量測的角度作為我們實驗的設計條件。依據交通法規規定，懸掛式標誌之垂直淨空，其高度為 460cm~490cm 以上，因此我們取其平均值 475cm，完成如下圖 31 陽光照射角度，陽光與水平夾角約為 5 度~9 度。



圖 28 太陽能 LED 路標



圖 29 自製 LED 路標前方

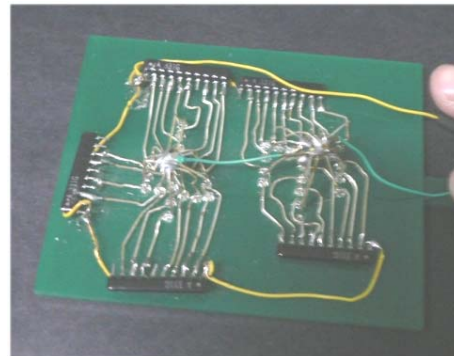


圖 30 自製 LED 路標後方配線

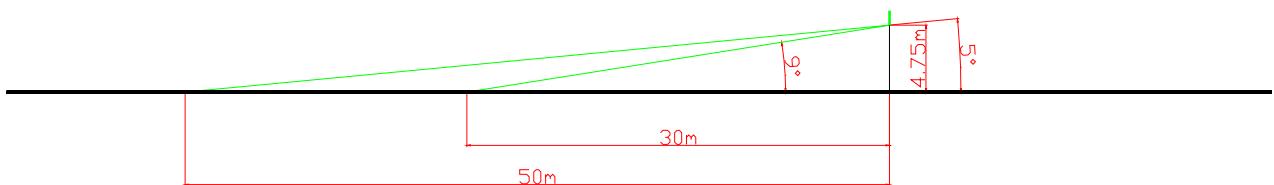


圖 31 陽光對駕駛人之影響角度

五、 實驗設計

實驗設備及各種路標的製作完成後，就開始實驗了，陽光的位置分別為路標正上方 90 度、路標後方成 45 度夾角、及與地面夾角 9 度(如圖 34~36 所示)。我們使用攝影用測光表 SEKONIC L408 來測光如圖 33 所示，利用測光表可以量測的數值有三個，其中一個為測光表在路標正前方量測字體光度、另外一個為在相機位置(駕駛人)量測整體光度及車燈照射下路標的光度，同時紀錄拍照編號。相機的部分為路標背光情況下，對整體路標測光，及另一種測光是將模擬陽光關掉，打開車燈，在車燈照射下，相機對準路標中央的測光值(如圖 37)。

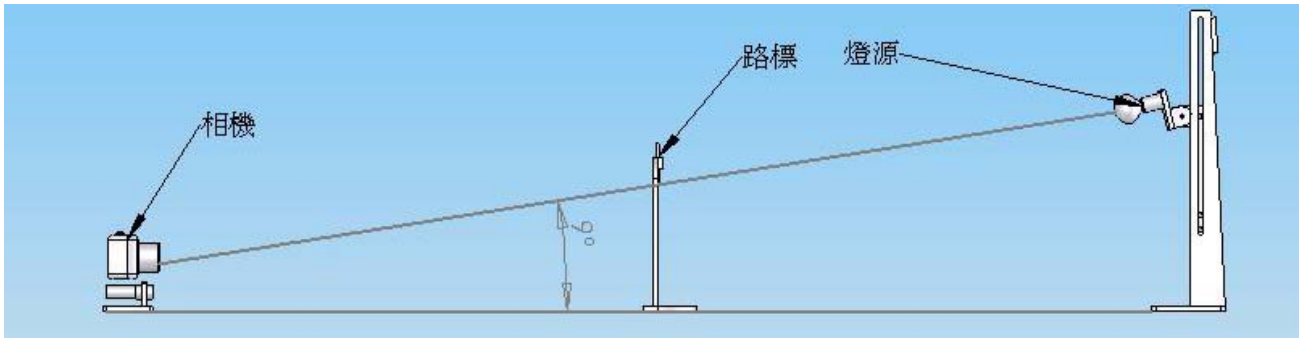


圖 32 實驗設備相關位置



圖 33 SEKONIC L408 測光表

測光表的設定為光圈 1.0, ISO100 後測光, 讀取快門速度, 當數值讀出為 100 時, 表示 1/100 秒。相機部份使用 A 模式其中曝光值為 0EV, 光圈為 F2.8, 此時讀出快門速度, 意義同測光表。



圖 34 90 度陽光



圖 35 45 度陽光



圖 36 9 度陽光



圖 37 車燈照射

陸、研究結果

當整個實驗設備製作完成，及初步設計的路標完成後，實驗結果如下。

一、一般路標在本實驗設備下的顯示光度結果

為實際了解背光下，一般路標的顯示狀況，我們利用本實驗相機拍攝道路上路標的顯示情況，如下圖 38 所示：



圖 38 一般路標背光情況

表二 背光下整體路標測光值(快門速度)

路標	S1	T1	T2	T3	T4	A1	A2	A3	B1	B2	B3
90 度	60	60	60	60	30	125	60	125	125	125	125
45 度	4	60	60	60	250	60	60	125	125	125	125
9 度	30	4000	1000	125	500	60	125	125	125	60	60
路標	C1	C2	C3	C4	D1	D2	D3	D4	L		
90 度	125	60	60	125	60	60	60	60	4000		
45 度	60	125	60	60	30	60	60	60	4000		
9 度	125	125	125	125	60	60	60	60	4000		

表三、背光下路標正前方測光值(快門速度)

路標	S1	T1	T2	T3	T4	A1	A2	A3	B1	B2	B3
90 度	4	8	15	15	15	30	8	60	60	15	15
45 度	0	60	60	30	125	8	15	15	30	8	15
9 度	0	500	500	125	1000	30	15	30	30	8	15
路標	C1	C2	C3	C4	D1	D2	D3	D4	L		
90 度	60	30	15	15	30	30	15	15	EO		
45 度	15	15	30	30	15	15	60	60	4000		
9 度	8	30	30	60	8	30	60	60	4000		

表四、車燈照射下路標測光值(快門速度)

路標	S1	T1	T2	T3	T4	A1	A2	A3	B1	B2	B3
相機(F3.8)	5 秒	2.5 秒	3.2 秒	2.5 秒	2.5 秒	3.2 秒	2.5 秒	2.5 秒	2.5 秒	3.2 秒	3.2 秒
測光計	8	8	8	8	8	8	4	4	4	4	4
路標	C1	C2	C3	C4	D1	D2	D3	D4	L		
相機(F3.8)	3.2 秒	3.2 秒	3.2 秒	3.2 秒	2.5 秒	2.5 秒	2.5 秒	2.5 秒	2.5 秒		
測光計	8	8	8	15	15	15	15	15	4000		

表五、背光下路標相機測光值(F2.8)

路標	S1	T1	T2	T3	T4	A1	A2	A3	B1	B2	B3
90 度	1/4	1/5	1/5	1/5	1/5	1/4	1/5	1/5	1/5	1/4	1/4
45 度	1/8	1/8	1/8	1/8	1/8	1/6	1/8	1/8	1/8	1/8	1/8
9 度	1/4	1/4	1/4	1/2	1/4	1/3.2	1/3.2	1/3.2	1/3.2	1/3.2	1/3.2
路標	C1	C2	C3	C4	D1	D2	D3	D4	L		
90 度	1/5	1/5	1/4	1/5	1/4	1/4	1/5	1/4	1/4		
45 度	1/8	1/8	1/8	1/8	1/8	1/8	1/8	1/8	1/8		
9 度	1/3.2	1/3.2	1/3.2	1/3.2	1/3.2	1/3.2	1/3.2	1/4	1/3.2		

二、光纖字體的顯示結果

由於光纖字體的後方，在光纖的受光處設計可以調整角度，因此我們調整角度分別為與水平夾角 0、15、30、45 度，來觀察路標的字體顯示狀況。

表六、背光下整體路標測光值

光纖路標	f1-0	f1-15	f1-30	f1-45	f2-0	f2-15	f2-30	f2-45
90 度	60	60	60	30	60	60	60	30
45 度	30	60	60	60	30	30	30	30
9 度	4	4	4	15	30	60	60	30

表七、背光下路標正前方測光值

光纖路標	f1-0	f1-15	f1-30	f1-45	f2-0	f2-15	f2-30	f2-45
90 度	15	30	15	15	60	30	60	30
45 度	15	30	8	30	15	30	30	60
9 度	8	4	8	15	30	30	30	30

表八、車燈照射下測光值

光纖路標	f1-0	f1-15	f1-30	f1-45	f2-0	f2-15	f2-30	f2-45
90 度	4				0			
45 度	0				0			
9 度	0				0			

表九、背光下路標相機測光值(光圈 2.8)

光纖路標	f1-0	f1-15	f1-30	f1-45	f2-0	f2-15	f2-30	f2-45
90 度	5	5	4	4	3.2	3.2	3.2	3.2
45 度	8	8	8	8	5	5	5	5
9 度	4	4	8	8	2.5	2.5	2.5	2.5

柒、討論

經過第一階段的實驗發現，在實驗架構上利用測光表與相機的測光方式，能表現出各種路標的顯示特性。就幾種路標作說明：

一、一般路標在本實驗設備下的顯示光度結果

實際路標在照相(陽光為 45 度照射)時光圈為 8.0、快門速度為 1000，顯示結果如圖 39 所示，與模擬路標的實驗結果光圈 2.8、快門速度 8。實驗結果顯示，模擬的燈光強度未達到實際陽光的強度。目前本實驗是以透光的強弱比較各種路標的特性，模擬燈光的強度亦可達到此目的，未來可考慮更強的光源。



圖 39 實際標準路標背光照相



圖 40 模擬標準路標背光照相

二、鏤空路標測試結果討論

在鏤空路標的設計實驗中發現，當字體中無填入任何物質時(T1)，在9度陽光時所得結果為高達4000的快門速度，光線直接穿過字體，同時在字體周圍產生光暈，對於駕駛者的目視有影響，填入透明材質(T2)亦產生類似不填入時的現象。至於填入半透明材質時(T3)，效果好一點，字體上光線透過半透明白色物質產生較柔和的光線，駕駛者觀看上較清楚。

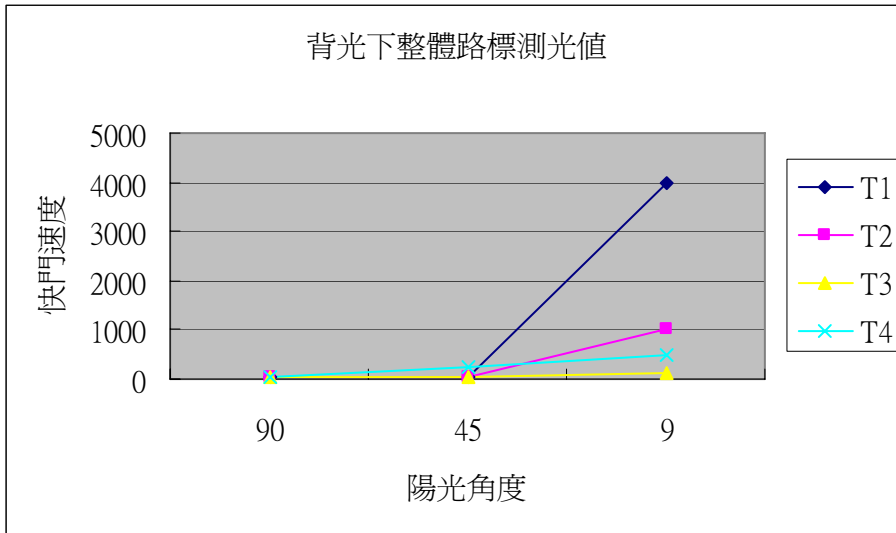


圖 41 鏤空字體不同處理時快門速度



圖 42、T2 陽光 9 度照射



圖 43、T3 陽光 9 度照射

三、雙鏡面路標測試結果討論

在雙鏡面路標的實驗分析上，我們區分為四個類型：

1. A 類為背版紋路不同，未穿透，路標向下邊緣均加工成 45 度。完成的實驗結果如圖 44 所示，其中 A3 路標的字體顯示結果較佳。
2. B 類為背版紋路相同，穿透與未穿透，路標向下邊緣均加工成 45 度。如圖 45 所示，其中 B1 效果最好。
3. C、D 類為背版直線與圓形紋路相同，穿透，路標上下緣分別加工與水平夾角 0、15、30、45 度。結果如圖 46 所示，C 類路標中，由於陽光在 90 度照射下，對路標的影響較小，因此我們推論其中 C4、D4 的效果最好。

四、光纖路標測試結果討論

光纖路標的測試結果如圖 47 所示，就 F1 光纖而言在陽光 9 度照射下時，以光纖角度與水平成 45 度最佳，F2 也是在光纖角度成 45 度時效果最好。

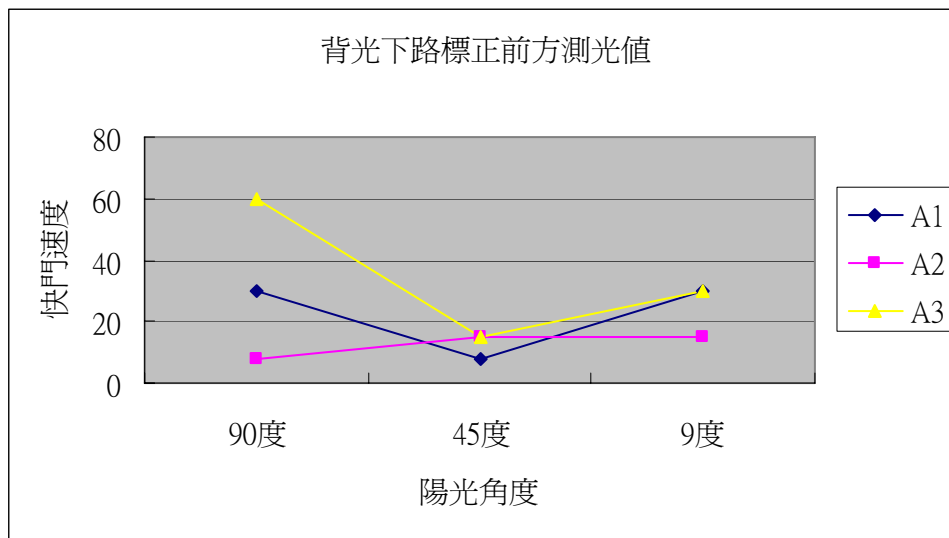


圖 44 雙鏡面路標背版無穿孔實驗結果(A)

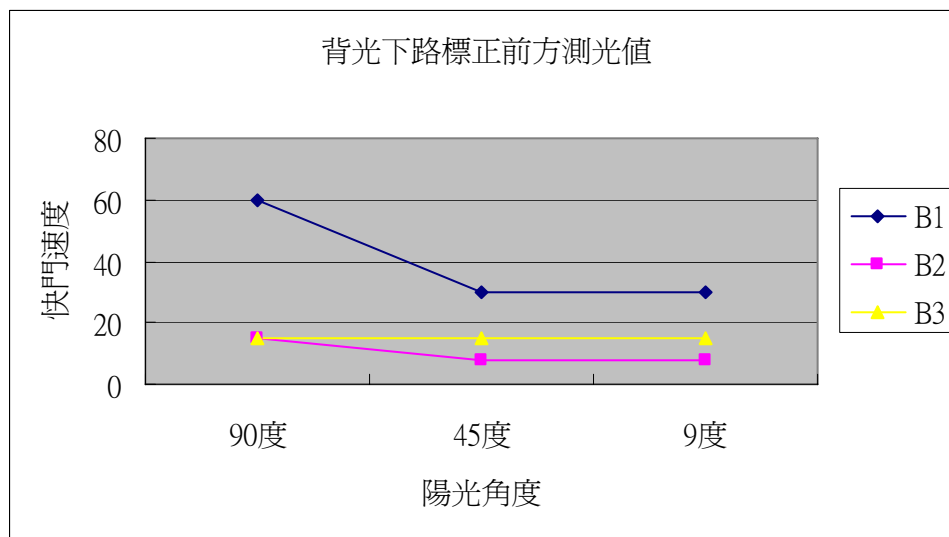


圖 45 雙鏡面路標背版相同紋路穿孔與不穿孔實驗結果(B)

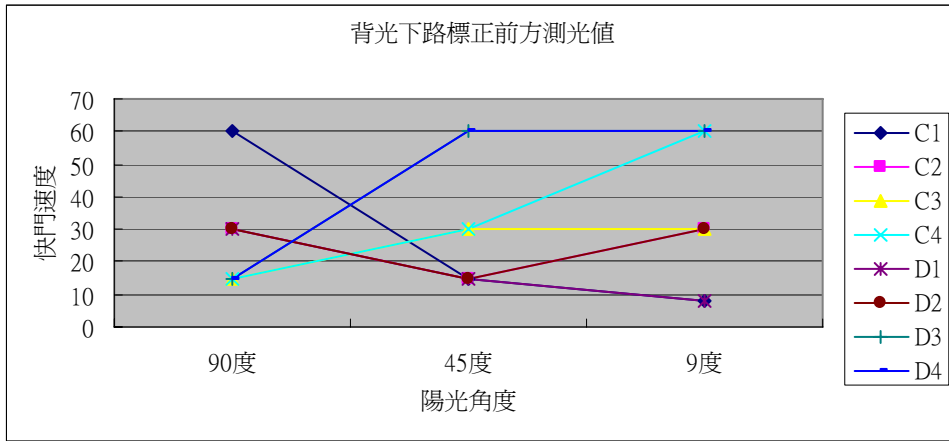


圖 46 C、D 類路標實驗結果

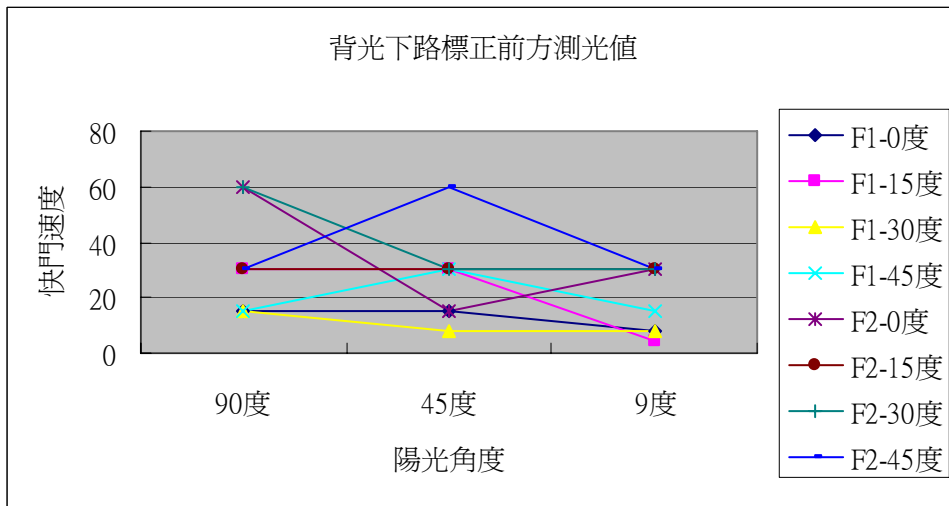


圖 47 光纖路標測試結果

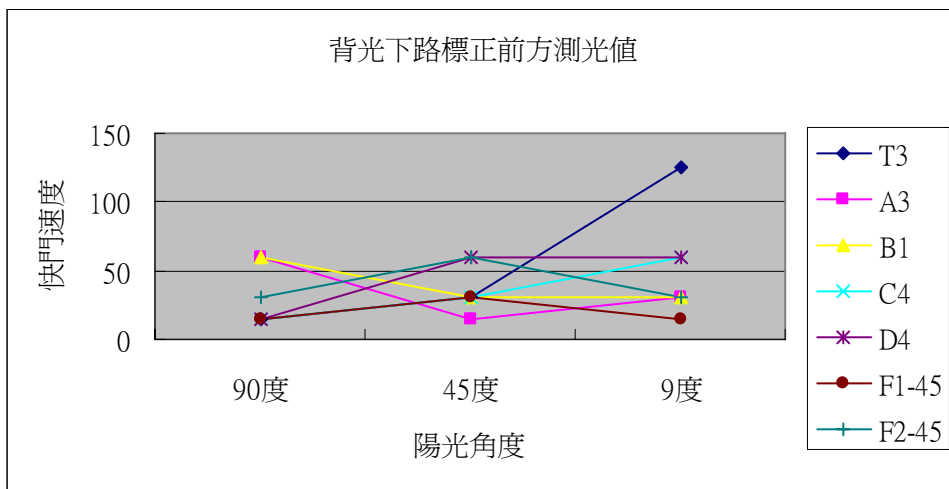


圖 48 各種路標最佳效果之比較

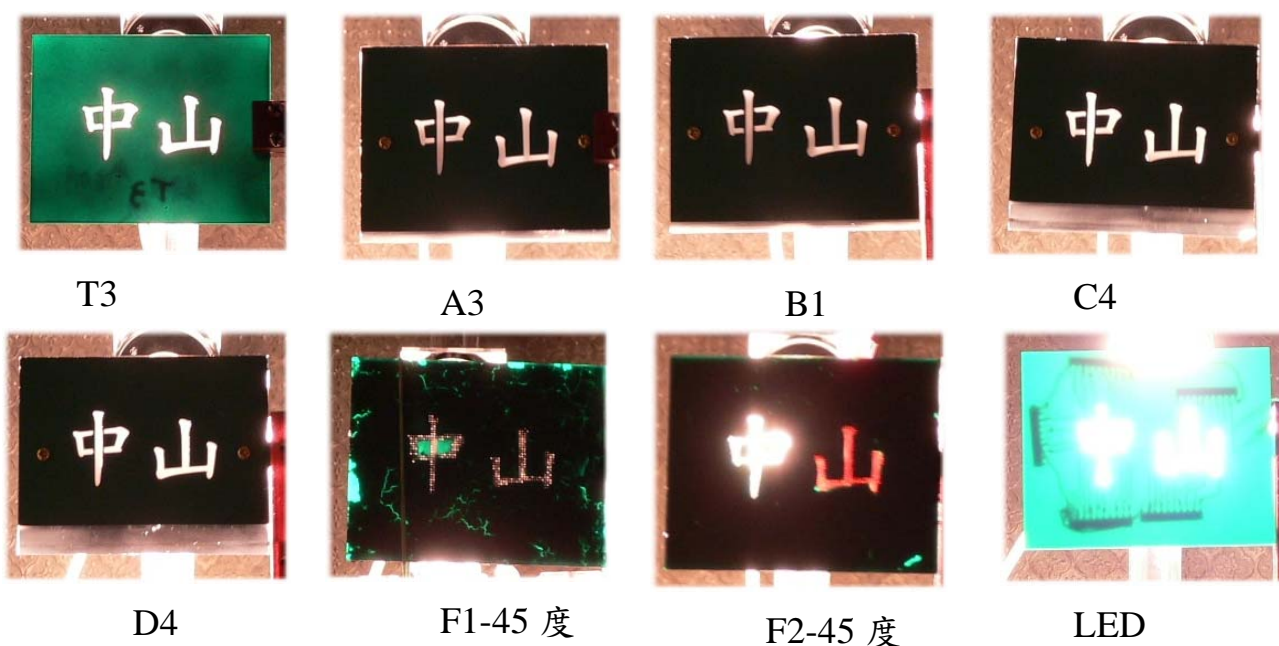


圖 49 各種路標在陽光背光下顯示結果

五、實驗修正與最佳化設計

經過第一階段的實驗後，我們進一步研究模擬不同季節，陽光左右照射角度對本路標的顯示影響，為了增加實驗的有效性，我們利用田口式品質分析來作實驗設計，田口方法(Taguchi Methods)是田口玄一博士結合技術、成本觀念、和統計方法發展出來的技術，田口博士的整體品質理念以“品質工程”(Quality Engineering)來表示，所以又稱為田口式品質工程，其中心目標在應用統計方法與工程知識，探討影響製程應變數(品質特性)的關鍵變數(因素)及其水準，希望以最小的實驗次數，決定製程最佳生產組合的因素及水準。一般產品的品質特性可分為望目、望小、及望大等三類，在本實驗中由於希望有最佳的光線顯示，因此目標大小為望大，也就是測光值愈大者為佳。

望大特性中，就單一產品而言其理想目標值 m 是 ∞ ，所以品質損失函數是

$$L(y) = k \left(\frac{1}{y} - \frac{1}{m} \right)^2 = k \frac{1}{y^2}$$

y 為產品品質特性質

$L(y)$ 為當品質特性為 y 時，每單位產品的損失

M 為產品品質特性目標值

K 為一常數，不同的產品有不同的常數值

因為 $L(y)$ 是損失，愈小愈好，所以 $\frac{1}{y}$ 愈小愈好(y 愈大愈好)

對 n 個產品而言，其品質損失函數為

$$L(y) = k \left[\frac{1}{y^2} \left(1 + \frac{3\sigma_n^2}{y^2} \right) \right]$$

σ_n^2 為製程變異， \bar{y} 為製程平均值

$$\sigma_n^2 = \frac{\sum (y_i - \bar{y})^2}{n}$$

$$\bar{y} = \frac{\sum y_i}{n}$$

信號雜訊比(Signal to Noise Ratio，簡稱 S/N 比)是在參數設計中，用來衡量產品品質特性的一種統計量度，可以表示製程或產品的水準及其雜訊因素的影響程度。當品質特性愈大愈好時，其 S/N 比為：

$$S/N = -10 \cdot \log_{10} \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \right] = \log_{10} \cdot \left[\frac{k}{L(y)} \right]^{10}$$

式中 $L(y)$ 愈小愈好，S/N 比將愈大，亦為望大品質特性所追求。

在田口式分析中，是以回應表及回應圖來作為分析工具，運用參數設計中的實驗數據或 S/N 比作為分析數據，愈大的 S/N 比為愈好的結果，參數設計即在尋找大的 S/N 比之各因素組合。

設計的因素有下列七點：

- A、路標側邊邊緣切角度，分別為 0 度及 45 度。
- B、陽光入射角度，維持仰角 9 度，左右角度為 45 度及 90 度
- C、後方鏡面穿孔大小分別為 0.6 及 0.3mm 兩種

D、孔排列的方式分別為十字及菱形兩種

E、入射光表面加工有銑削及拋光兩種方式

F、後方鏡面穿孔與否。

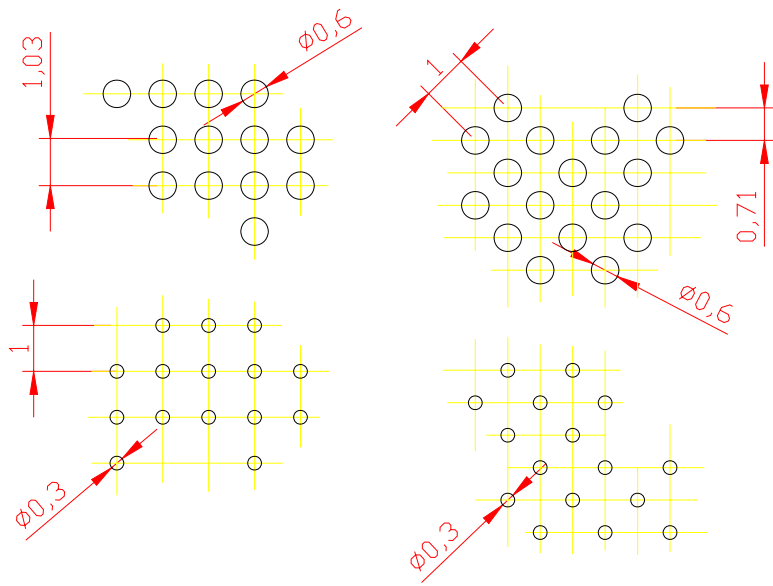
G、陽光強度分別為 60W 及 100W

其他固定參數

1. 燈光與路標維持仰角約 9 度，且距離一定。
2. 測光位置如先前實驗分別在路標正上方測光，及在駕駛人位置測光。
3. 測光方式同樣以測光表及數位相機來測光，測光表的參數設定修改為 ISO100 光圈值為 2.8，數位相機部分照相模式為 A 模式，其中 ISO 設為 100，光圈亦為 2.8。

表十 望大特性之各因素

	因素名稱	因素代號	水準 1	水準 2
控制因素	路標截角	A	0 度	45 度
	陽光角度	B	0 度	45 度
	後方鏡孔徑	C	0.3	0.6
	孔外形	D	十字形	菱形
	入射光表面	E	銑製	拋光
	穿透	F	有	無
	陽光強度	G	60W	100W
雜項因素	2	1	1	2
	2	1	2	1



十字排列

菱形排列

圖 50、後方鏡面加工方式，大小及排列方式

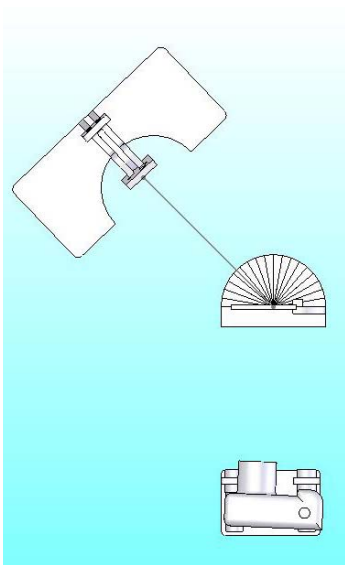


圖 51、陽光角度 45 度位置

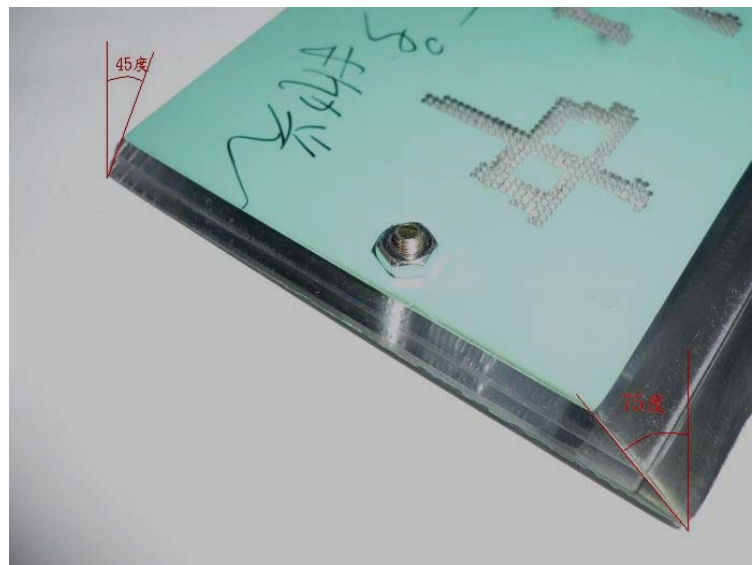


圖 52、路標邊緣截角 45 度



圖 53、數位相機測光



圖 54、陽光模擬偏右 45 度照射結果

表十一、L₈直交表

實驗 次序	A	B	C	D	E	F	G	回應值 (Response)
1 號板	1	1	1	1	1	1	1	
2 號板	1	1	1	2	2	2	2	
3 號板	1	2	2	1	1	2	2	
4 號板	1	2	2	2	2	1	1	
5 號板	2	1	2	1	2	1	2	
6 號板	2	1	2	2	1	2	1	
7 號板	2	2	1	1	2	2	1	
8 號板	2	2	1	2	1	1	2	

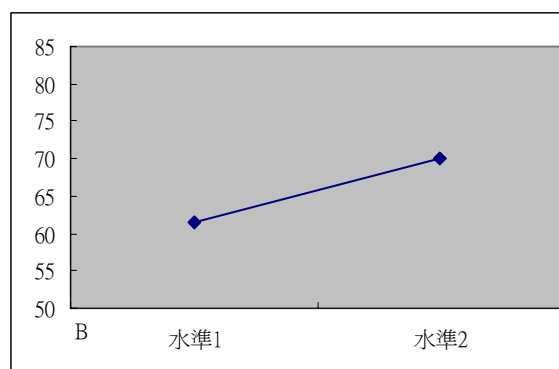
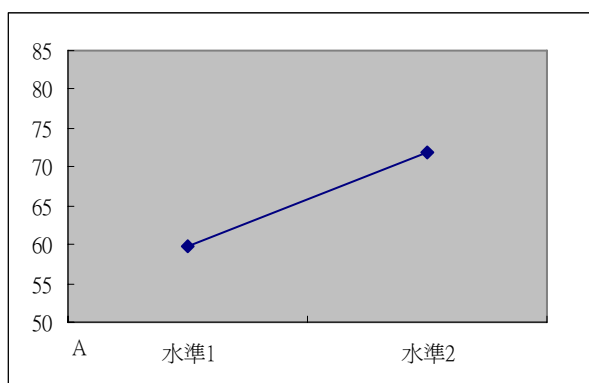
表十二、測光計路標測光結果(駕駛者位置)

實驗次數	N1	N2	N3	N4	平均數	S/N 比
1 號板	2	2	4	2		
	0.25	0.25	0.0625	0.25	0.116071	9.352747
2 號板	4	4	4	8		
	0.0625	0.0625	0.0625	0.015625	0.029018	15.37335
3 號板	8	8	8	8		
	0.015625	0.015625	0.015625	0.015625	0.008929	20.49218
4 號板	4	4	4	4		
	0.0625	0.0625	0.0625	0.0625	0.035714	14.47158
5 號板	8	8	15	15		
	0.015625	0.015625	0.004444	0.004444	0.005734	22.41533
6 號板	4	4	4	4		
	0.0625	0.0625	0.0625	0.0625	0.035714	14.47158
7 號板	4	4	4	4		
	0.0625	0.0625	0.0625	0.0625	0.035714	14.47158
8 號板	8	8	8	8		
	0.015625	0.015625	0.015625	0.015625	0.008929	20.49218

表十三、測光計測光結果(路標正前方)

實驗次數	N1	N2	N3	N4	平均數	S/N 比
1 號板	4	4	4	4		
	0.0625	0.0625	0.0625	0.0625	0.035714	14.47158
2 號板	2	2	2	2		
	0.25	0.25	0.25	0.25	0.142857	8.45098
3 號板	8	8	4	8		
	0.015625	0.015625	0.0625	0.015625	0.015625	18.0618
4 號板	4	4	4	4		
	0.0625	0.0625	0.0625	0.0625	0.035714	14.47158
5 號板	15	15	15	15		
	0.004444	0.004444	0.004444	0.004444	0.00254	25.95221
6 號板	2	2	2	2		
	0.25	0.25	0.25	0.25	0.142857	8.45098
7 號板	4	2	4	4		
	0.0625	0.25	0.0625	0.0625	0.0625	12.0412
8 號板	4	4	8	8		
	0.0625	0.0625	0.015625	0.015625	0.022321	16.51278

S/N 回應表							
	A	B	C	D	E	F	G
水準 1	59.68985	61.613	59.68985	66.73183	64.80869	66.73183	52.76749
水準 2	71.85067	69.92752	71.85067	64.80869	66.73183	64.80869	78.77303
差距(絕對)	12.16081	8.314521	12.16081	1.923147	1.923147	1.923147	26.00555
	2	3	2	4	4	4	1



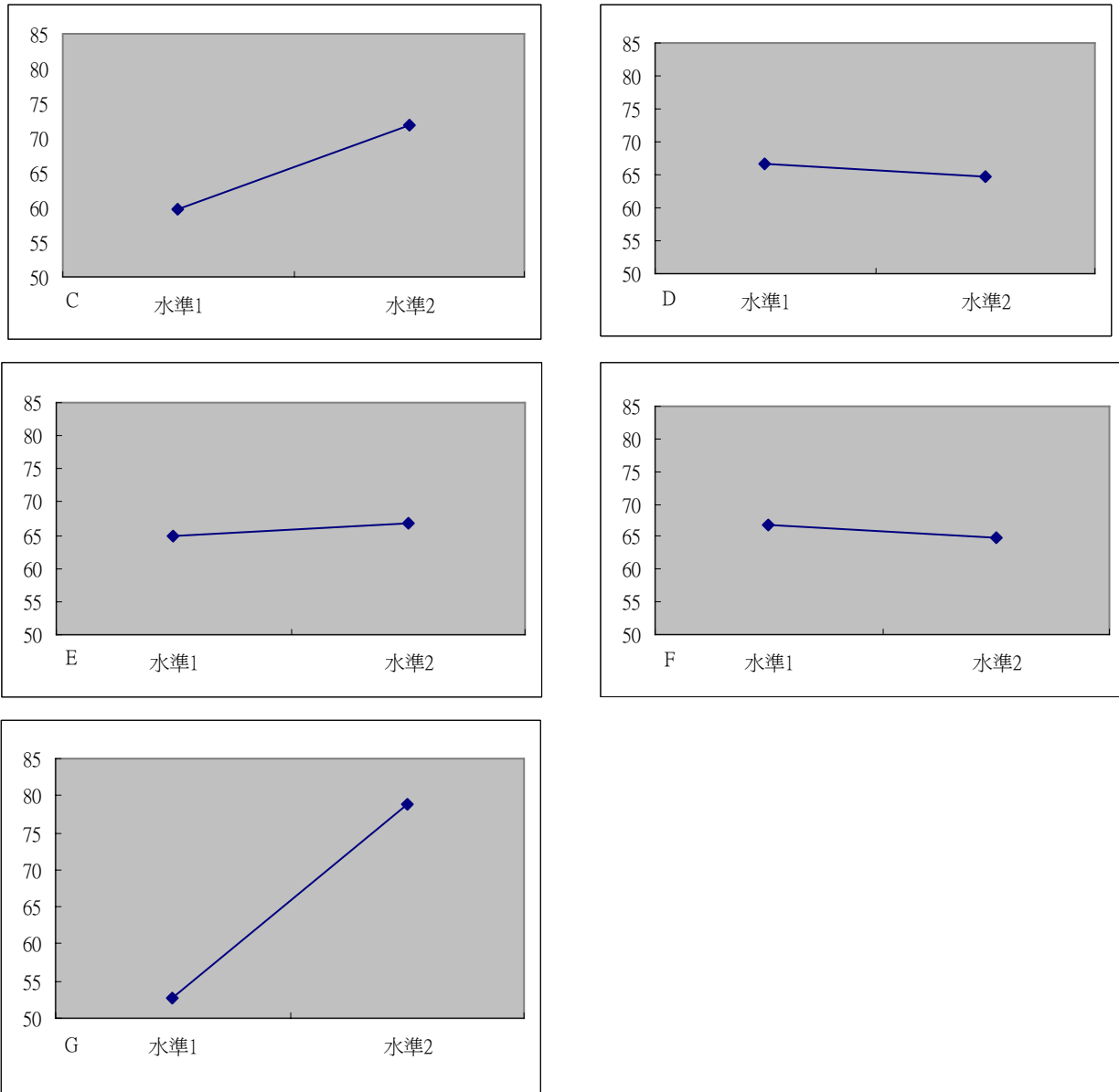


圖 55、以駕駛者位置測光結果得到的各因素 S/N 回應圖

在實驗結果中發現表十二及表十三中較佳的顯示結果是 5 號板，經過討論後，我們採用駕駛者位置的測光結果來討論，將表十二結果製作出 S/N 回應圖如圖 55 所示。圖 55 中的因素 A、B、C、G 的影響較大，D、E、F 的影響較小。

經過最佳化實驗，我們採用駕駛者位置的測光結果，推論以下列參數製作的路標效果較佳，路標邊緣截角 45 度，陽光角度偏向 45 度，後方孔徑 0.6mm，孔排列方式以十字形佈置，路標截角部分經過拋光處理，後面鏡面板孔洞以雷射打穿。同時陽光強度越強時，路標字體顯示愈明顯。

表十四、最佳化實驗後得到的各變數最佳組合

實驗次序	A	B	C	D	E	F	G	回應值 (Response)
最佳化	2	2	2	1	2	1	2	

我們將最佳化的因素組合重新再做一次實驗，實驗結果如下表十五所示，結果反而不如之前實驗的效果，由於在設計實驗時未考慮到各因素的交互作用，所以在實驗上所產生的效果會有所差異，未來需要將各因素的交互作用考慮到直交表內，實驗的精確度及各因素的影響可以更明確知道。

表十五、最佳化測試結果

實驗次數	N1	N2	N3	N4	平均數	S/N 比
駕駛位置	8	8	4	8		
	0.015625	0.015625	0.0625	0.015625	0.015625	18.0618
路標前方	8	8	15	15		
	0.015625	0.015625	0.004444	0.004444	0.005734	22.41533

捌、結論

道路上路標的清晰度會影響交通安全，太陽西曬時，面對陽光下路標會因為背光而不清楚，可能會導致駕駛人因為要找路標，或為看清楚路標上的字，而忽略了其他人的安全。因此我們設計幾種可以清楚顯示路標的方法，經過實驗後發現，雙鏡面路標對於各種時間的陽光照射下，路標皆能清楚顯現出來，最早實驗以雙鏡面 D4 路標，上下 75 度截角後方鏡面圓形穿透孔的效果最佳。

在路標製作與實驗過程中，一再作修正，尤其是路標的加工與效果上的製作、如何將壓克力板變成不透光，一再嘗試，實驗也重作了好多次，在討論初步實驗結果時，發現還有很多地方需要改善的，如光纖路標及 LED 路標的不透光部分，處理的並不好，因為花了好長一段時間才將光纖黏好，完成後才發現有點透光，LED 也是一樣，在實驗上又好像有許多地方沒有設計很

好，這也是需要修正。

在初步實驗完成後，我們導入田口式實驗分析，希望能以最少的實驗次數，了解何種製作路標因素的最佳組合，經過實驗設計與分析後我們得到以路標邊緣截角 45 度，後方鏡面板圖案孔徑 0.6mm，孔排列方式以十字形佈置，路標截角部分經過拋光處理，後面鏡面板孔洞以雷射打穿。陽光角度偏向 45 度，同時陽光強度越強時，路標字體顯示愈明顯。

經過這一連串的實驗設計及路標的製作，讓我們學習到很多技巧，在初步的設計上，我們只想到作出一個可以讓陽光顯示出來的路標製作方法，後來更導入了田口式實驗設計，學習到實驗可以利用統計分析來減少實驗次數，雖然最後的結果不是很令人滿意，但是也讓我們知道影響路標製作因素之間可能還有交互作用的關係，也了解可能還有其他更好的方式能讓路標在背光下能明顯顯示出來。最後希望這個研究只是一個開始，未來能真正將不需要能源的實際路標製作出來，讓駕駛人能更安全的找到路。

玖、參考資料及其他

1. 道路交通標誌標線號誌設置規則，交通部。
2. 譯者楊建人，實用通俗光學，第二版，台北，徐氏基金會出版，民 78 年。
3. 譯者薈培熙·駱劍秋，基礎物理學(下冊)(第二版擴增本)，曉園出版社，民 79 年。