



國立臺北科技大學

光電工程系

專題報告

日光收集之非對稱光耦合器數值分析與實驗

專題生：林志翰
范詠欣
陳欣吟
郭筱玟

指導教授：徐巍峰 博士

中華民國 103 年 6 月

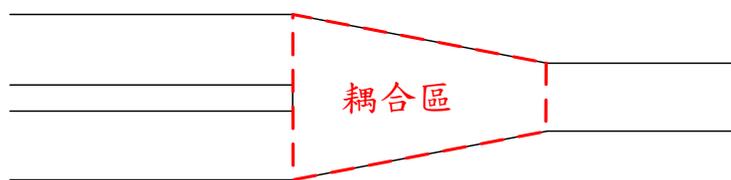
目錄

第 1 章 研究動機	1
1.1 專題報告架構	2
第 2 章 傳輸系統	3
2.1 光纖束	3
2.2 光傳輸管	3
2.3 傳統與步階式耦合器	4
2.4Y 型耦合器	5
2.5 結論	5
第 3 章 非對稱光耦合傳輸理論	6
3.1 光傳輸的基本原理	6
3.2 非對稱式主幹運算	8
3.3 非對稱式支幹運算	8
3.4 非對稱式主、支幹的實驗模擬與結果	9
3.5 光的傳輸損失及實驗結果	12
第 4 章 結論	13

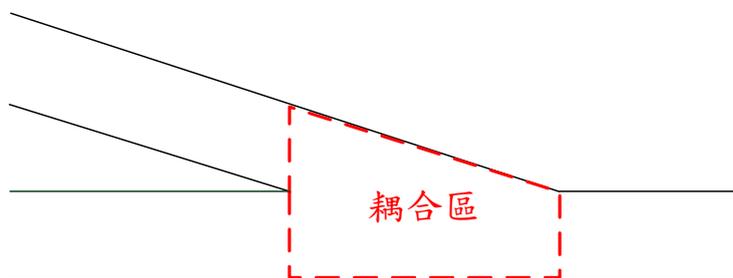
第一章 研究動機

整個太陽能的光學傳輸系統分為由集光、傳輸與光輸出等元件組成。而其中傳輸的部分影響整個耦合效率的地方最為關鍵，因為有效的使用太陽能，將太陽光直接應用在建設的室內照明，可以減少能量轉換的損失。因為不同於一般太陽能應用的大多數照明系統，太陽能必須由光能轉換電能，在經過照明設備由電能轉換成光能，而是直接將光導入傳輸並直接用光進行照明，因此可增加太陽光的使用效率。

因此為求提高太陽光在傳導系統中的傳輸效率，在傳輸系統內，本專題針對效率損失較嚴重的光耦合區進行分析，將前人所做的對稱式光耦合器與非對稱式光耦合器選擇效率較高的非對稱光耦合器去進行耦合區輸出的一系列的測量，以數值分析的方法來設計出較好的光耦合器用於日光的室內照明傳輸。而非對稱與對稱式光耦合器結構如圖 1-1 所示。



(a)對稱式光耦合器



(b)非對稱光耦合器

圖 1-1 對稱式與非對稱式光耦合器示意圖

1.1 專題報告架構

以光學傳輸系統中光耦合區時所發生的效率作為專題重點，期待能更快速的計算光耦合區的效率，並且能對光學傳輸系統有所助益。第二章傳輸系統將介紹光耦合的架構。第三章則探討非對稱光傳輸理論，包括光傳輸原理、非對稱光耦合主支幹的模型實驗、光傳輸損失架構及結果。第四章將總結此次專題成果及統合結論做收尾。

第二章 傳輸系統

傳輸系統為光線經由集光器傳輸到輸出的傳輸部分，一般來說光的傳輸是利用光纖束，或是傳輸管，而傳輸系統中效率為關鍵，當我們使用太陽光作為照明的應用時，需要大量的光才足夠達到室內照明的需求，而其中耦合器的效率影響大部分的傳輸損失，因此在本專題中重要的耦合器也會在此進行討論。

2.1 光纖束

通常使用於通訊上的光纖其實也可以當作光傳輸的用途，可以使用大量的光纖形成光纖束在引入室內做出照明系統，其原理是由光的全反射特性來傳輸，如圖 2-1 所示。



圖 2-1 自然光由光纖束進行傳輸。

2.2 光傳輸管

經由集光器將光聚集於光管中，然後再利用光傳輸管傳輸至室內做照明，不過由於是採自然光作為照明，因此需要有充足的亮度才可以作為照明使用，而且其鋪設必須與大樓一起同時動工，光管的大小也會影響到所能使用的空間，如圖 2-2 所示。

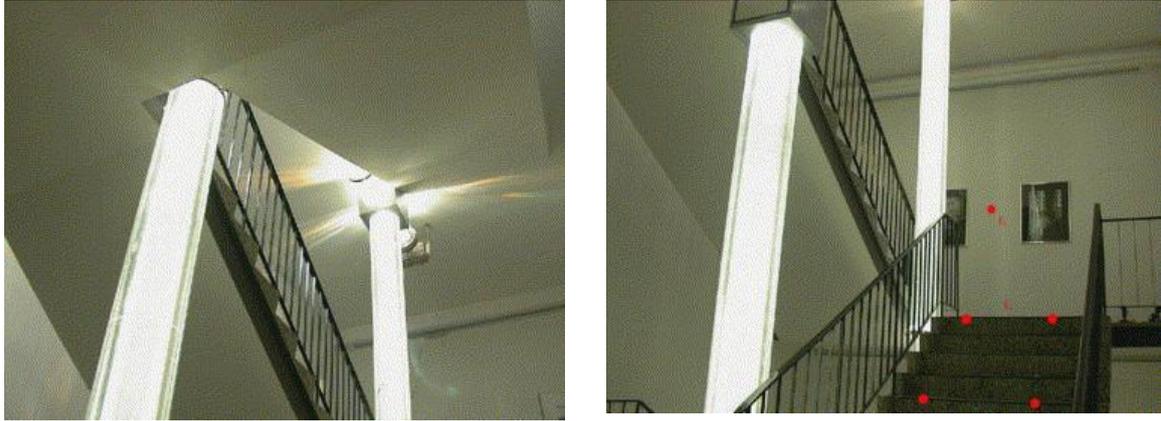


圖 2-2 光傳輸管傳輸與照明。

2.3 傳統與步階式耦合器

耦合器中，也有最傳統的耦合器，不過其效率非常不高只有 7% 左右，如圖 2-3 所示。因此也有對於基於傳統耦合器進行改良的步階式耦合器，使用此耦合器可以提高效率，如圖 2-4 所示。

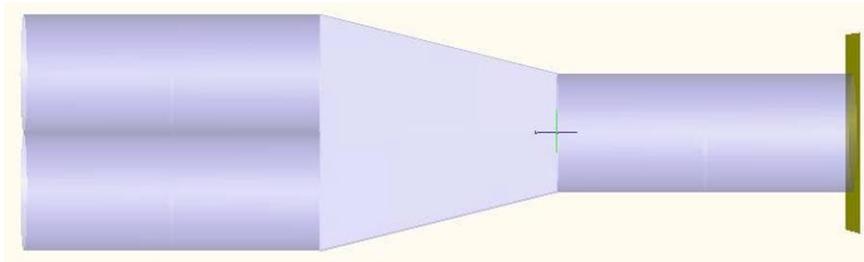


圖 2-3 傳統二合一耦合器

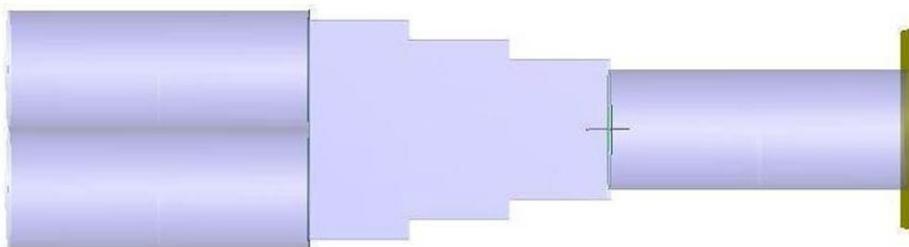


圖 2-4 步階式耦合器

2.4Y 型耦合器

Y 型耦合器唯一主幹與一支幹結合再一起耦合的光導，其中又分為對稱式與非對稱式耦合器，如圖 2-5 所示，而在研究中經過數值分析，非對稱式的耦合器比對稱式耦合器效率還要來得高，並且可以經過數學運算得到耦合區內的損失位置。

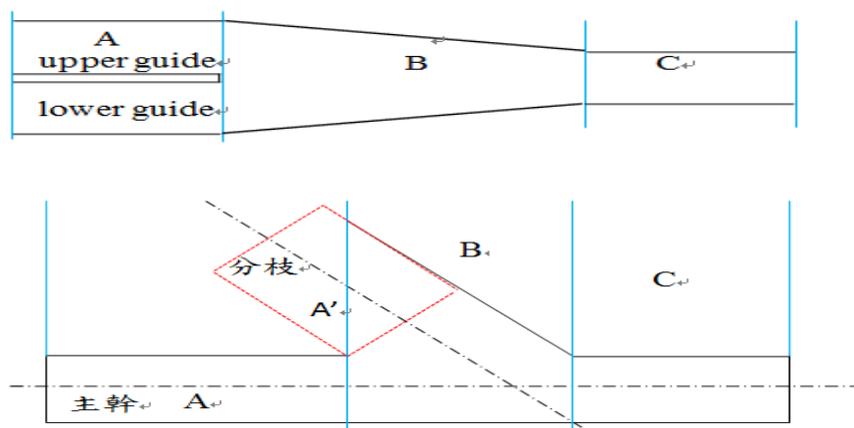


圖 2-5 對稱式耦合結構與非對稱式耦合結構圖

2.5 結論

為了有效率地應用太陽光，提供足夠的亮度以供室內照明，因此必須要有一個傳輸系統能將光傳輸到所需要的位置，其中為了將效率提升而提出的耦合器相關研究相較於集光和照明的部分來說較少，而且平時使用的光傳導管都必須配合建築架構，並且需要利用大量的光傳導管進行傳輸，因此不僅會需要空間，維修也變得較為不易，為此，對於耦合器的效率的研究就顯得較為重要，若能夠讓耦合器的效率提高，不僅僅能夠減少使用上的耗材，還可以提升照明的亮度，將節能環保做得更好。

第三章 非對稱光耦合傳輸理論

光傳輸系統，包含集光、傳輸、輸出，其傳輸系統中 Y 型耦合器中又可主要分為：對稱光耦合器、非對稱光耦合器，本專題主要是對於非對稱光耦合器的耦合區進行數值分析，對於二維平面來說，使用三角函數運算耦合區內輸入光與輸出光的關係，可以得知光是否會通過耦合區，可以針對每一條進入耦合區的光輸入角度和位置運算出光線輸出耦合區的角度和位置。

光傳輸主要是分為折射與反射，折射發生於光從一介質進入另一介質時，光線的方向會改變，並遵循著 Snell' s Law，反射則發生於光從一介質的表面返回原介質中，在本專題中光導傳輸的特性都採用折射與反射的原理來進行分析。

3.1 光傳輸基本原理

在光傳輸系統中，光傳播是直線前進的，依此建立的理論為「幾何光學」在幾何光學中的基本定律為折射與反射定律，如圖 3-1 所示，光由介質 1 進入介質 2 時，光會再在兩介質的分界面處會發生折射與反射，假設入射光線與反射光線和折射光線與介面法線的夾角分為 θ_i 、 θ_r 和 θ_t ，根據反射定律所描述：反射線在入射面上，且入射角會等於反射角，也就是 $\theta_r = \theta_i$ ，而入射面與法線之夾角為 θ_i ，而反射線與法線之夾角為 θ_r 。

幾何光學另外一個定律為折射定律：光傳輸至不同介面時，其前進方向會改變，此現象稱為折射，而光線的折射角、入射角、入射介質的折射率和穿透介質的折射率有著特定的關聯，稱此為折射定律，又稱 Snell' s Law，此關係為

$$n_i \cdot \sin \theta_i = n_t \cdot \sin \theta_t, \quad (3.1)$$

其中， n_i 為入射介質的折射率， n_t 為穿透介質的折射率。

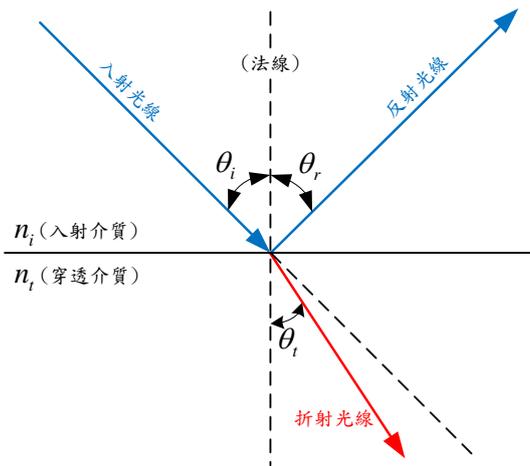


圖 3-1 反射、折射定律示意圖

在幾何光學中，還有一個特殊的現象，稱為全反射，全反射發生在光從密介質進入疏介質時，即 n_i 大於 n_t ，光全部反射回入射介質的現象，如圖 3-2 所示。在 n_i 大於 n_t ，且 $\theta_i = 90^\circ$ 時的入射角稱為臨界角 (Critical angle, θ_c)，根據 Snell' s Law (3.1)，臨界角 θ_c 定義為

$$\theta_c = \sin^{-1}\left(\frac{n_t}{n_i}\right), \quad (3.2)$$

當入射角大於 θ_c ，全反射發生，反射光也一樣遵循反射定律，也就是入射角等同於反射角。

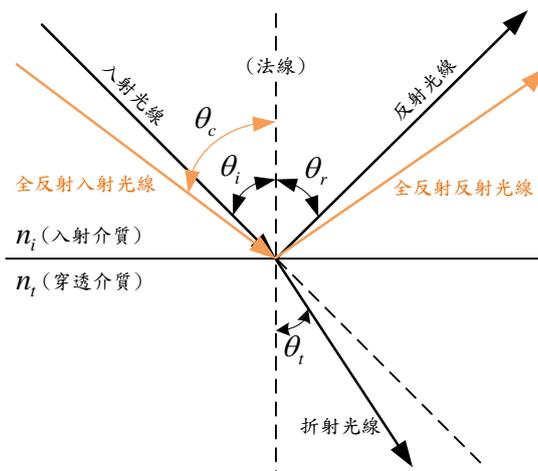


圖 3-2 全反射定律示意圖

全反射原理可以應用在設計光學元件，例如光導管、光纖等。而光在傳輸時為了降低損失，需要在傳輸時達到全反射的條件。本論文中所討論的非對稱式光耦合器也是在討論光在耦合區內全反射的現象，計算能通過耦合區的光線。

3.2 非對稱式主幹運算

本專題實驗討論兩條光導以不同角度耦合形成非對稱式耦合結構，如圖 3-3 表示，圖 3-3 中紅色線表示光線經由主幹在非對稱式耦合結構傳輸情形，一般而言，光線對邊界的入射角在通過耦合區後會是變小的，不利於後續的傳播。

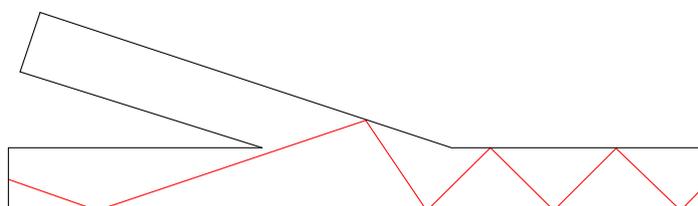


圖 3-3 光線由主幹進入傳輸情形

3.3 非對稱式支幹運算

兩條光導以不同角度耦合形成非對稱式耦合結構，以圖 3-4 中紅色線表示光線經由支幹在非對稱式偶和結構傳輸情形。

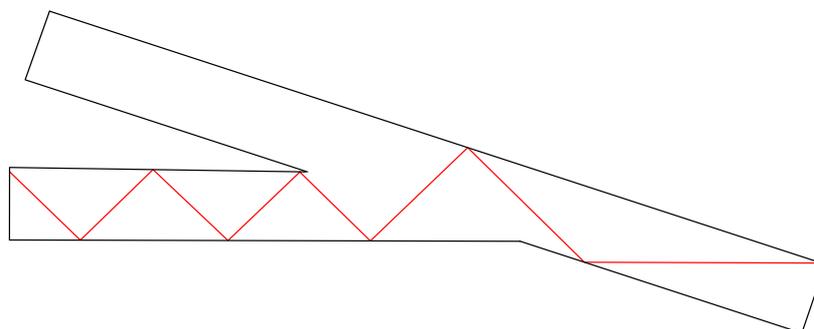
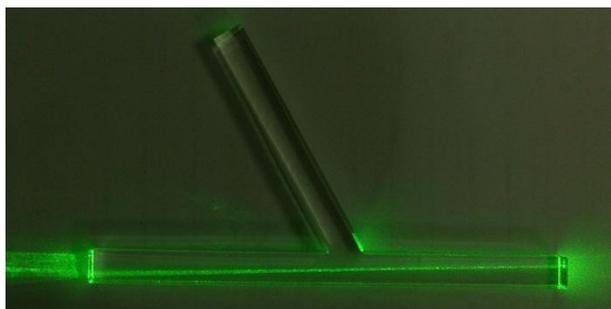


圖 3-4 光線由支幹進入傳輸情形

3.4 非對稱式主、支幹的實驗模擬與結果

為了驗證模擬數值的曲線趨勢是否正確，製作了兩組從 10 度至 80 度角耦合的非對稱式光耦合器，利用綠光雷射從 80 度至 -80 度分別打入主幹與支幹量測輸入功率與輸出功率，並且加總每個光線通過的光強除以進入的光強計算出效率，其雷射光通過主幹與支幹的圖如圖 3-5 所示。



(a) 光線由主幹進入非對稱光耦合器



(b) 光線由支幹進入非對稱光耦合器

圖 3-5 雷射光通過非對稱光耦合器實際圖片

本專題為了方便看出其曲線趨勢變化圖 3-6 為主幹光輸入耦合區模擬數值與實驗數值比較圖，圖 3-7 為支幹光輸入耦合區模擬數值與實驗數值比較圖，其中 Y 軸為效率，X 軸為光線進入耦合區後的角度。根據圖 3-6 所示，可以看到主幹曲線的趨勢相符，輸入角度 θ_{in_air} 越大時，光線所通過得量越少，因此效率越低。

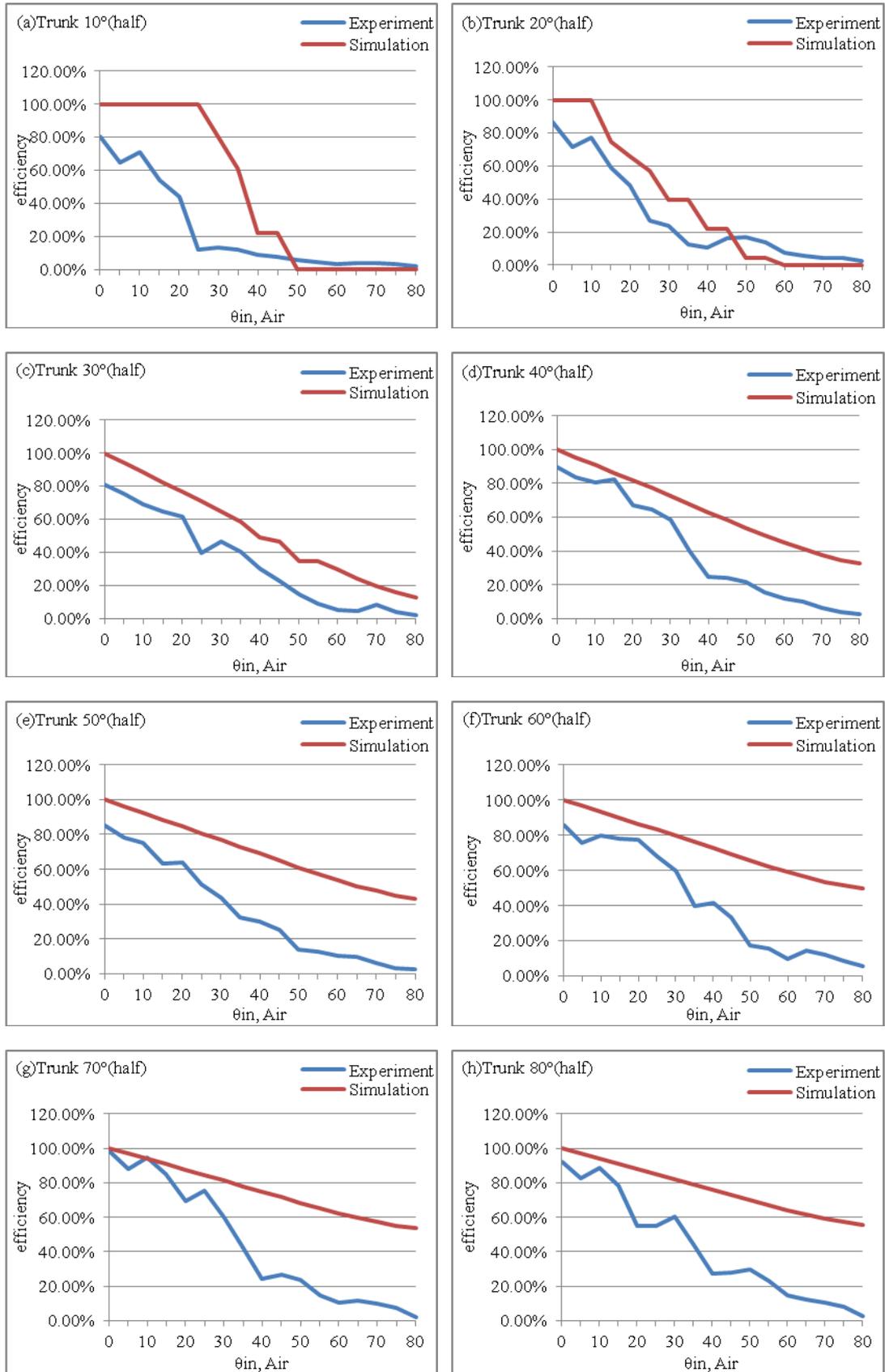


圖 3-6 主幹光輸入耦合區模擬數值與實驗數值比較圖

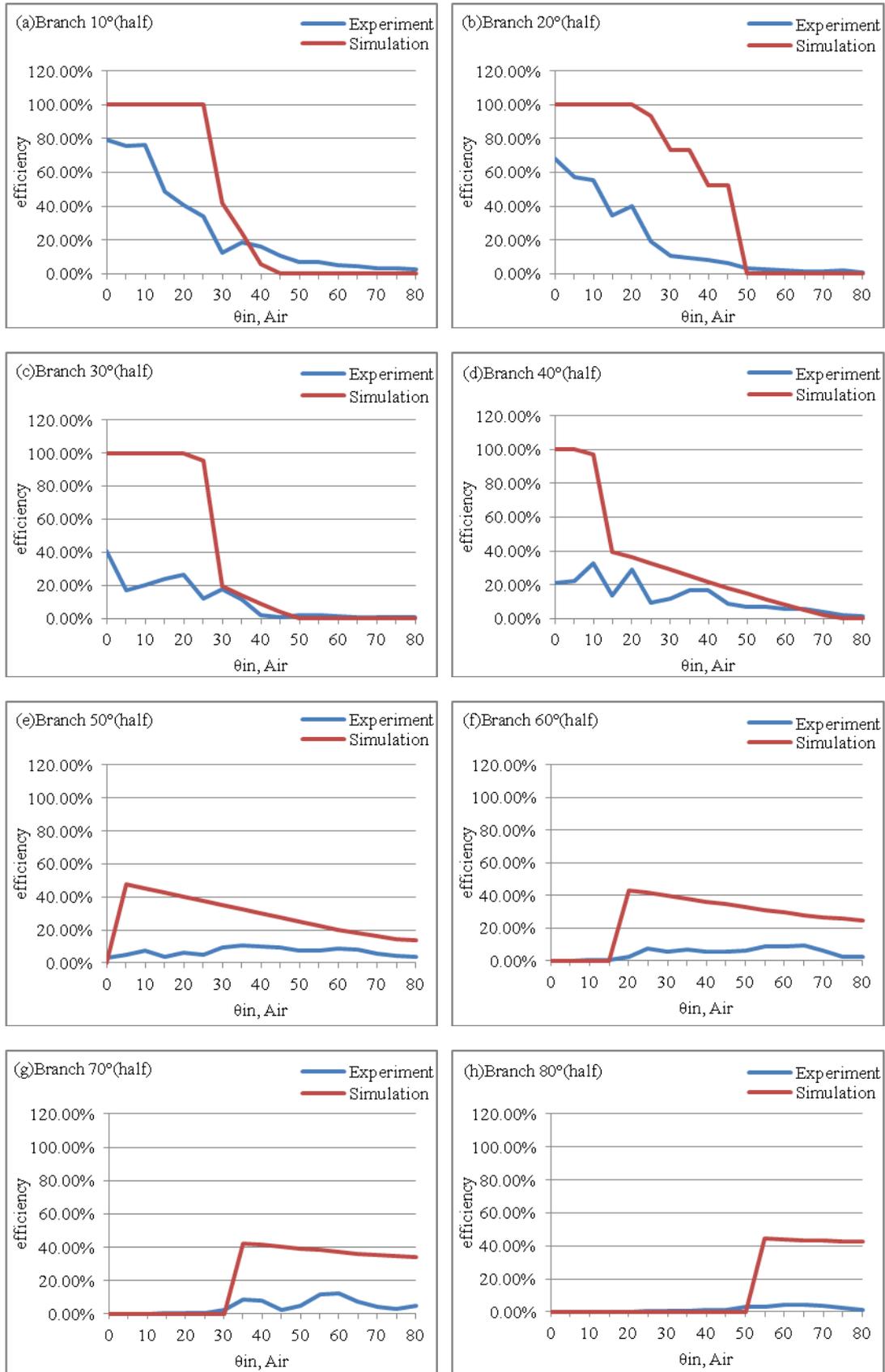


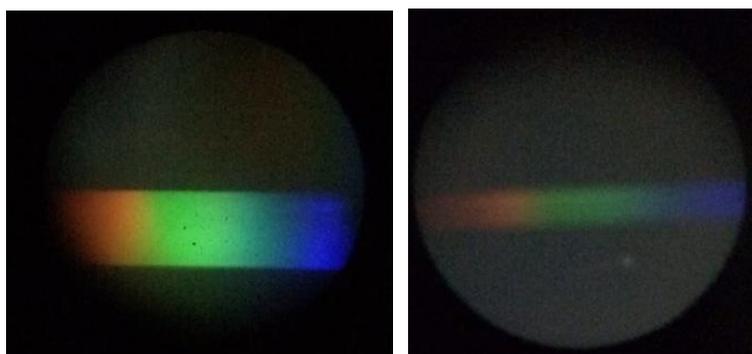
圖 3-7 支幹光輸入耦合區模擬數值與實驗數值比較圖

3.5 光的傳輸損失及實驗結果

在介質內，光纖的衰減，又稱為傳輸損失，指的是隨著傳輸距離的增加，光束（或訊號）強度會減低。由於現代光傳輸介質的高質量透明度，光纖的衰減係數的單位通常是 dB/km（每公里長度介質的分貝）。本次專題實驗我們藉由測量長度為 8m 的光纖來計算我們的光公率損失為

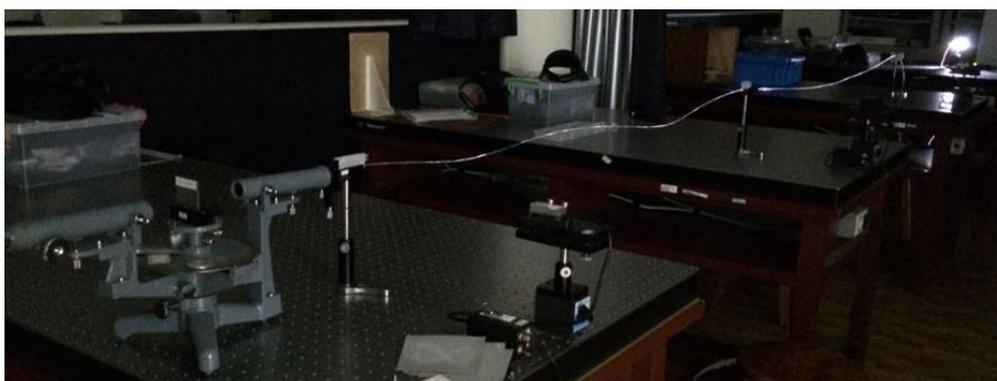
$$\frac{10}{0.0049} \log \frac{8u}{21u} = -855 \frac{\text{dB}}{\text{km}}$$

阻礙數位訊號遠距離傳輸的一個重要因素就是衰減。因此，減少衰減是光纖光學研究的必然目標。其傳輸架構及傳輸前、後光譜圖如圖 3-8 所示。



(a)光傳輸前光譜

(b)光傳輸後光譜



(c) 光纖傳輸架構

圖 3-8 長度為 8m 的光纖實際圖片

第四章 結論

本專題探討光束在導光元件中傳輸的狀態，藉此發展出用於日光室內照明用的高效率光耦合器。使用數值方法來進行耦合器的效率研究，而本專題所完成的項目如下：

- A. 提供基礎導光元件的傳輸模型，可以藉由基礎導光元件的組合來獲得各式各樣的導光元件的傳輸模型。
- B. 採用數值方法來設計光耦合器的時間效益較高，且可以預先知道該元件導光效率的理論最大值。
- C. 以製作為考量，首重於製作時因為元件的公差問題是否會造成影響，根據成果分析，本文推薦使用耦合角 $30-35^\circ$ ，此範圍在非對稱與對稱式結構的總效率屬於最高值區段，約 54%，如果集光角越小越能提供更高的耦合效率，最高可達 96%。
- D. 以多分枝做為考量時，本文推薦的光耦合器為非對稱式耦合器，其耦合角度為 80° ，而分枝收光角度集中到 -80° 到 -90° ，其耦合效率最高可達 77%。
- E. 經由長度為 8m 的光纖光功率損失實驗我們得其結果顯示出光散射和吸收是造成光纖衰減的主要原因。