

光纜進水監測系統之建構分析與應用研究

方毅	王志益	林勝福
中華電信研究院 寬頻網路研究所 高級研究員 yf@cht.com.tw	中華電信研究院 寬頻網路研究所 研究員 halolo@cht.com.tw	中華電信研究院 寬頻網路研究所 主任級研究員 sflin@cht.com.tw

摘要

為使光通訊網路達到最佳的網路服務品質，建設之光纖網路必須同步建置監測系統來進行網路之維運管理；而為因應多雨區域中的人孔可能發生進水現象，光纖網路之進水監測系統的設計將非常重要。本研究使用特殊設計的光反射式水感應器來做為監測系統之核心，再經由光纖網路之光層資訊的最佳化理論計算和設計，探討出在光纖網路中建置水感應器的各項設計參數；而實際測試所建置之監測系統，則顯示其具有感應速度快且可多點同步監測的優異特性。

關鍵詞：光反射式、水感應器、進水監測系統。

Abstract

To achieve the best network quality of service for the optical communication network, the construction of the fiber optic network must be synchronized to build a monitoring system for the maintenance and operation of the network management. In response to the rainy area the manhole may have influent phenomenon, the water sensing system of the optical network design will be very important. In this study, we use a specially designed light reflective water sensor to do for the core of the water sensing system. Via a light layer information theory and design, research successfully explore in the fiber optic network to build a water sensor, and the establishment of various design parameters. Test build of the water sensing system, its characteristics for sensing speed is fast and can multi-point synchronous monitoring.

Keywords: light reflective, water sensor, water sensing system.

1. 前言

為了因應光通訊網路的廣泛使用以及更加提高使用頻寬及高速率的需求，電信公司也快速的大量建設光通訊網路；而因各種型式的光纜在數量上的增加，整體光通訊網路之維護與管理的問題也開使浮現，如在台灣之一些為較多雨的區域，其區域內之部份的人孔會因為頻繁及大量的下雨而產生進水，因而造成置放於其中之光纜接續盒會處於長期浸於水中的狀態，進而可能造成光纖劣化以及光纜障礙；而此種浸水現象不但會造成網路品質的下降，也使電信公司產生極大的經濟損失；因此，為建立高品質的光通訊網路，必須同步於光網路中加入光纜進水監測系統；而由於一般設計之進水監測系統中，其使用之內含吸水性材料的感應器為均具有反應時間較長及穩定性較差的缺點[1]，因而研究改使用利用光反射原理的水感應器於光纜進水監測系統[2]；光反射式的水感應器相比於內含吸水材料的感應器，光反射式水感應器為具有能迅速反應，並能同時監測出多個進水的感應點之功能特性，而且感應器於感應過進水後也可再重覆使用於進水監測；本研究因而深入探討光反射式水感應器應用光纜進水監測系統，並經由光纖網路之光層資訊的最佳化理論計算，因而設計出最佳化的水感應系統，而所建立之有效的光纜進水監測系統，則可應用於光世代網路服務中之光纜線路建設及網路設計。

2. 實驗

2.1 實驗樣品

(1) 40 km 長之 G652C 光纖。

2.2 實驗設備

- (1) JDSU 之 MTS 6000 OTDR (Optical Time Domain Reflectometer)。
- (2) Ando 之光纖熔接機。

2.3 實驗步驟

研究以光纖熔接機，將 G652C 光纖分別以併接方式熔接出具不同的分歧比之耦合器。

3. 結果與討論

3.1 水感應系統的設計

3.1.1 耦合器的最佳分歧比選擇

如果要在光通訊網路之中建立一個光纖進水監測系統，其方式為依照不同之光纖長度，並固定在一定之間隔距離，分別在光纖接續盒之光纖收容盤 (Tray) 中置放水感應器；因此，如何在不同長度之光纖，並以何種之間隔距離來放置水感應器，並考量到裝置水感應器之總數量的成本以及其後續的整體網路維運，此均為在光纖進水監測系統之設計上必須考慮的設計參數。而建置包含多個光反射式的水感應器於進水監測系統 (圖 1)，其光傳輸的方式為入射光功率通過每一水感應系統之耦合器的共同埠 (Common Port)，以一定之分歧比，部份光功率被提取通過耦合器之穿透埠 (Through Port) 而進入水感應器，其餘之光功率則通過反射埠 (Reflect Port) 而繼續經由光纖傳向下一個水感應器；因此，在設計考量一個裝置有多個水感應器的光纖進水監測系統，由於其總光功率為通過多個感應器做多級光功率的提取，因此必須先找出系統設計中所使用之耦合器的最佳分歧比，而耦合器的最佳分歧比為光反射式水感應器之重要設計參數；探討進水監測系統，理論上，計算其總光損失將為光配線網路 (Optical Distribution Network, ODN) 之光損失及水感應器之反射損失的總和，這包括光纖的光損失、水感應器的光損失、熔接損失以及耦合的光損失[2]：

$$\text{Loss} = 2[(\text{SL} + \text{CL})(\text{EN}) + (\text{FL}) + (\text{CL} + \text{SeL})] \dots (1)$$

SL=Splicing Loss
CL=Coupling Loss
EN=Optical Closure Number
FL=Fiber Loss
SeL=Sensor Loss

$$\text{Loss} = 2[(0.4 - 10 \log(1-x))(L/d) + 0.3L + (-10 \log(x) + 3)] \dots (2)$$

L=Fiber Length

d=Spacing between Optical Closures

x=Splitter Ratio

如果設計在每 0.5 km 至 2 km 的間隔距離之位置處分別放置一水感應器，則在不同的光纖網路長度，以數值分析來模擬計算光損失和耦合器之分歧比的相關性 (圖 2 至圖 5)，而由方程式 (2) 理論計算出之數值顯示 (圖 6)：在 5 km 至 40 km 的光纖長度範圍中，在相同的水感應器間隔距離時，如果光纖之長度越長，具最低光損失點的耦合器之最佳分歧比越低；而如果在相同的光纖長度下，則水感應器的間隔距離增大，最佳分歧比也越高；而由光損失和耦合器之分歧比的相關性的模擬計算圖可以看出，光纖網路長度越短，其越無明顯的具轉折的最佳化之最低值，而且隨著分歧比之上升，光損失值為下降並趨向於平坦。相比之下，在長度為 20 km 以上的光纖，則有明顯的具轉折的最佳化之最低值。但在 0.5 km 的間隔距離，模擬計算圖則無法判斷出最佳化點，因而在設計光功率通過耦合器之穿透埠而進入感應器的比率，1.5 km 及 2 km 的間隔距離可選出最佳的理論最低值，而在每 0.5 km 的間隔距離設計放置水感應器，理論上將較不能找到最適當點。研究如果光纖是固定在一定的長度，則在不同的間隔距離裝置感應器，則其耦合器的最佳分歧比有何不同？圖 7 至圖 13 之理論模擬計算值顯示：在 1.5 km 及 2 km 的距離，存有明顯的具轉折點的最小光損失值，因而在較長的距離裝置水感應器，理論之計算能找到明顯的耦合器最佳分歧比值。因此在相同的光纖長度，放置水感應器的間隔距離越長，最佳化之分歧比值越大，而在相同的間隔距離之下，光纖長度越長，最佳化之分歧比值越小。

3.1.2 水感應器的裝置總數判定

建設光通訊網路時，其在長途光纖以及中繼光纖之長度為約 40 km，而在接取網路之光纖長度則為約 5 km，因此，在光纖進水監測系統之設計時，如果在不同之間隔距離之人孔中的接續盒內裝置水感應器，則其可置放的感應器之最大總數為何？由理論計算在進水監測系統中可置放之感應器總數：

$$\text{Loss} = (\text{SL} + \text{SeL})(\text{EN}) + (\text{FL}) \dots (3)$$

$$\text{Loss} = 0.9(L/d) + 0.3L \dots (4)$$

圖 14 至圖 17 為不同耦合器分歧比，以數值分析來計算方程式 (4)，而圖 18 的計算結果顯示：置放水感應器的間隔距離為 2 km，在相同的分歧比之下，其總光損失越大，可裝置之水感應器越多，而如果分歧比增加，則可裝置之水感應器越少，假設總光損失為 30 dB，其置放間隔距離為 2 km，分歧比如為 3%：97%，則其水感應器共可裝置 22 個，但則如果耦合器之分歧比為 17%：83%，其水感應器則只能裝置 14 個；如果總光損失為 10 dB，分歧比為 3%：97%，共可裝置 8 個；但分歧比為 17%：83%，則只能共裝置 5 個，在理論之模擬計算上，如果分歧比變大，也就是通過耦合器穿透埠的光功率比率越多，則可裝置之感應器的總數會變少；而如果裝置相同數目的感應器，則裝置間隔距離越小，其之總光損失也可越小。

3.2 光纖進水監測系統的建立

在選定的光通訊網路中，將設計之光反射式水感應器裝置於預定位置人孔中的光纖接續盒，而裝置水感應器的區域及通過路線需同步參考統計分析出之多雨及積水區域；因此在局端之遠端測試單元 (Remote Test Unit, RTU) 中，選定一個光纖路由來和光路選擇器 (Fiber Path Selector) 做連接，而此選擇出之光纖路由之一端，則和各個人孔中的光纖接續盒內之水感應器做串接 (圖 19)；因此當水感應器在週圍為乾燥的狀態，此時空氣的折射率為 1，則以 OTDR 在局端做測試，可得到在水感應器之位置處有強反射尖峰之曲線；而如果水感應器感應到水，折射率將變為 1.33，則原先水感應器在 OTDR 曲線上的強反射尖峰就會消失；而如果水感應器周圍又回復到乾燥的狀態，此時再以 OTDR 檢測光纖線路，則可見到原來水感應器的強反射尖峰又在原位置上出現。因此，在一個光通訊網路系統中裝置水感應系統，就可在局端 (Central Office, CO) 中利用 OTDR 來進行光纖進水監測，如果水感應器感應到光纖接續盒內有發生進水，則此監測系統的測試單元就會進程式指令並將光路切換至選定的光纖路由，再指令 OTDR 來進行光纖網路測試並將其測試結果送回監測主伺服器；因而就可經由感應器的光反射變化來判斷出光纖接續盒是否發生進水以及其之正確位置，而警示則可通過公共電話網路 (Public Telephone Networks) 以正確的維運程序送至光通訊網路

之維運人員；而在此光纖進水監測系統之中，提出的警示以及判定出之進水位置等資訊，則可經由包括行動電話、電子郵件及電子地圖等方式來通知網路維運人員。

4. 結論

經由光纖網路之光層資訊的最佳化理論計算，並使用新式的光反射式水感應器，研究成功在光通訊網路中建立一個可有效應用於台灣等為多雨區域的光纖進水監測系統，而此種類型的進水監測系統具有能迅速反應，並能同時監測多個進水的感應點的特點，而其高穩定度的特性也證明其可應用做為光世代服務網路中之光纖建設以及網路設計之參考。

參考文獻

- [1] K. Hogari and F. Ashiya., "Superabsorbent Polymers", pp 128-140, 1994.
- [2] 方毅、王志益、林勝福、蔡福源，"光纖進水監測系統在光通訊網路上之應用"，2012 全國電信研討會，B4-5_1192，2012。

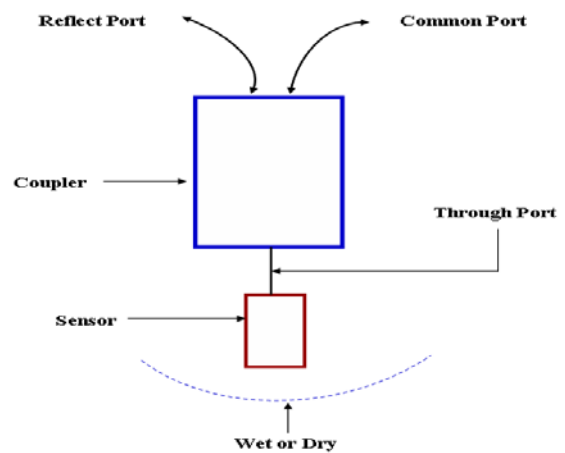


圖 1 使用光反射原理的水感應器之架構圖

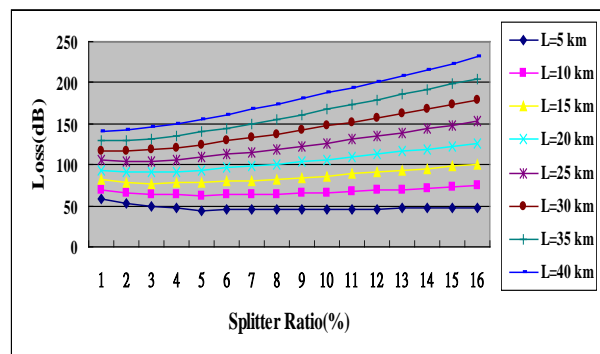


圖 2 不同光纖長度，光損失對耦合器之分歧比的模擬計算圖 (d=0.5 km)

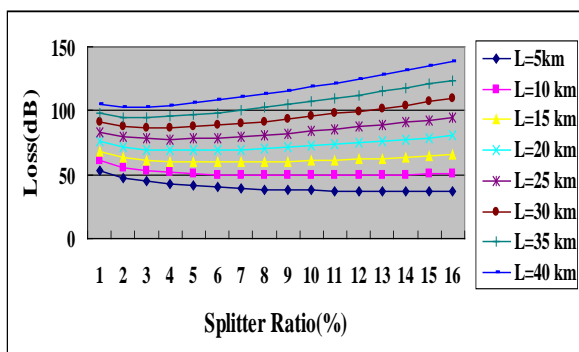


圖. 3 不同光纖長度，光損失對耦合器之分歧比的模擬計算圖 (d=1 km)

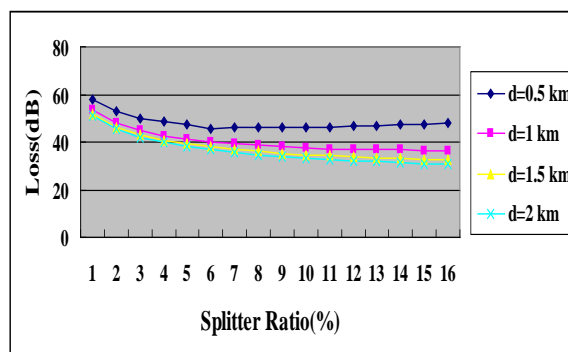


圖. 7 不同感應器距離，光損失對耦合器之分歧比的模擬計算圖 (L=5 km)

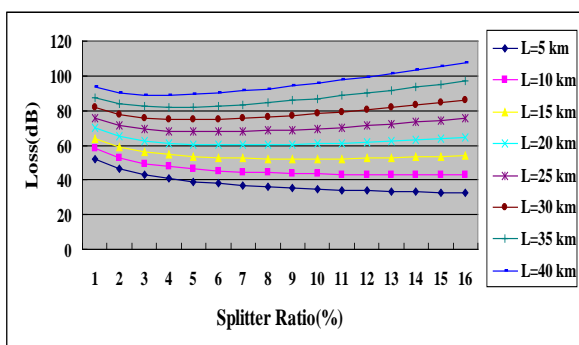


圖. 4 不同光纖長度，光損失對耦合器之分歧比的模擬計算圖 (d=1.5 km)

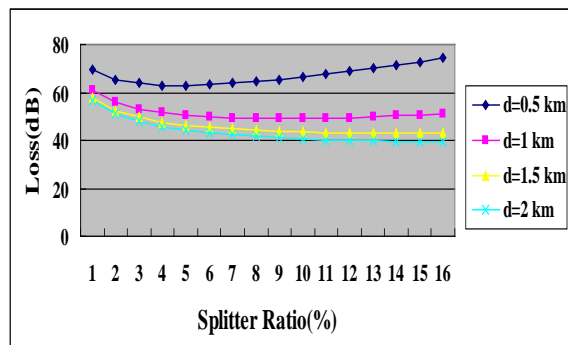


圖. 8 不同感應器距離，光損失對耦合器之分歧比的模擬計算圖 (L=10 km)

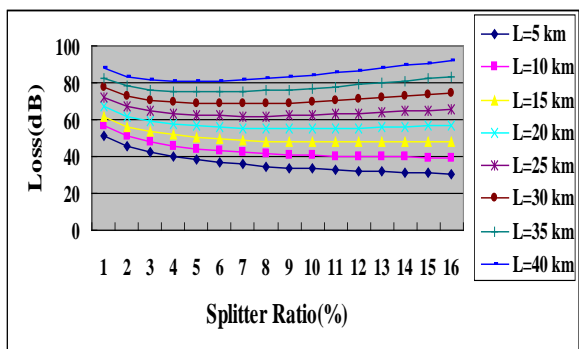


圖. 5 不同光纖長度，光損失對耦合器之分歧比的模擬計算圖 (d=2 km)

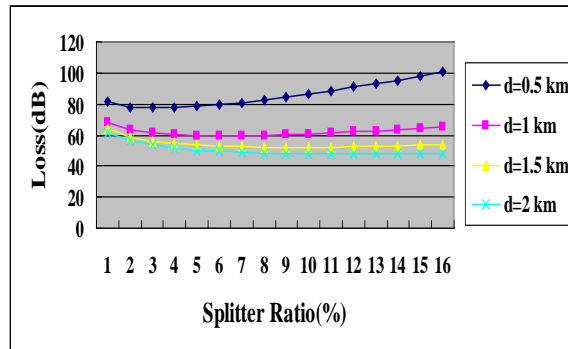


圖. 9 不同感應器距離，光損失對耦合器之分歧比的模擬計算圖 (L=15 km)

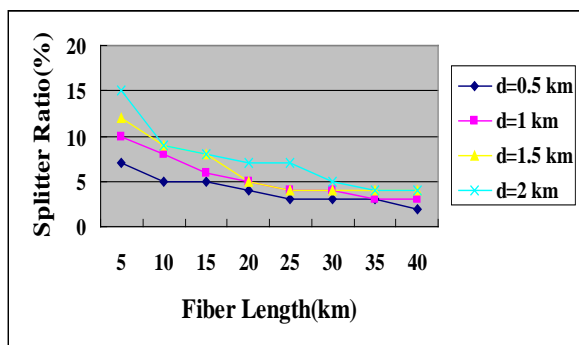


圖. 6 不同光纖長度下，耦合器之最佳分歧比值

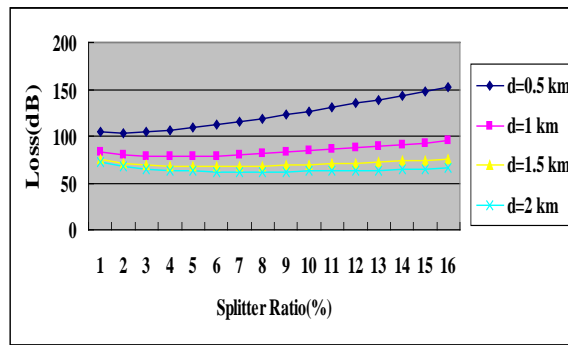


圖. 10 不同感應器距離，光損失對耦合器之分歧比的模擬計算圖 (L=25 km)

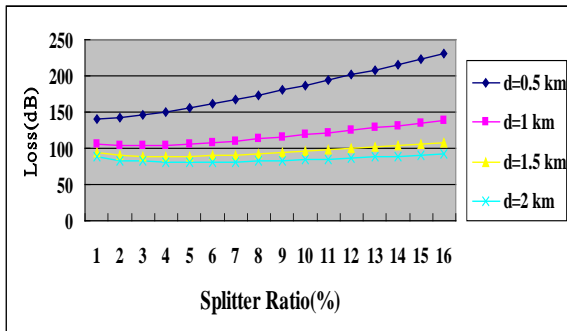


圖. 11 不同感應器距離，光損失對耦合器之分歧比的模擬計算圖 (L=35 km)

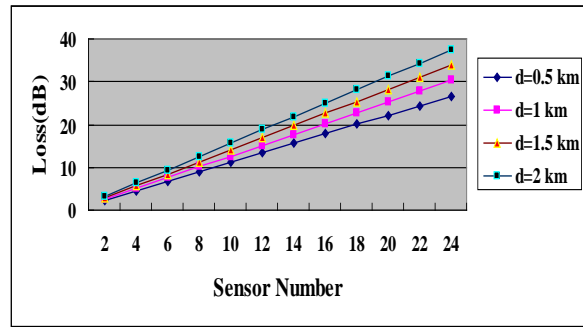


圖. 15 耦合器之分歧比為 8%:92%，水感應器之總數模擬計算圖

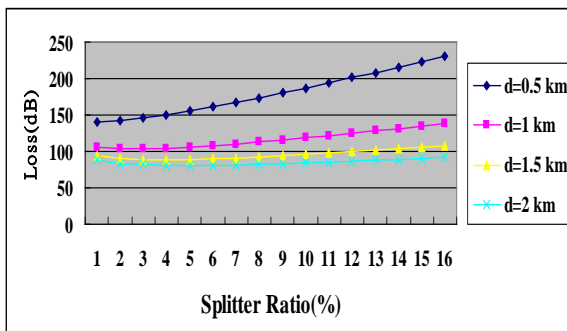


圖. 12 不同感應器距離，光損失對耦合器之分歧比的模擬計算圖 (L=40 km)

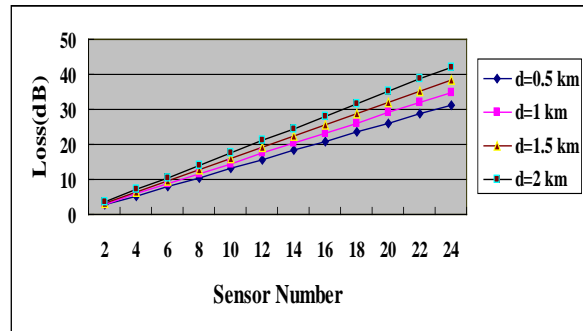


圖. 16 耦合器之分歧比為 12%:88%，水感應器之總數模擬計算圖

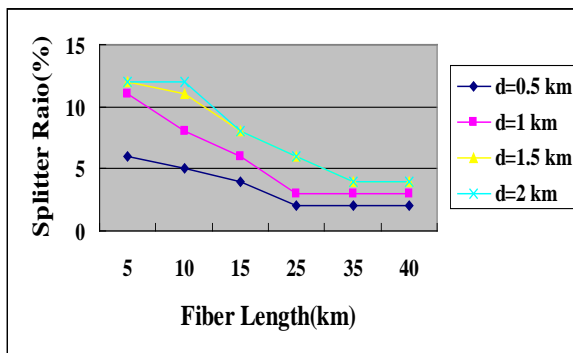


圖. 13 不同水感應器間隔距離下，耦合器之最佳分歧比值

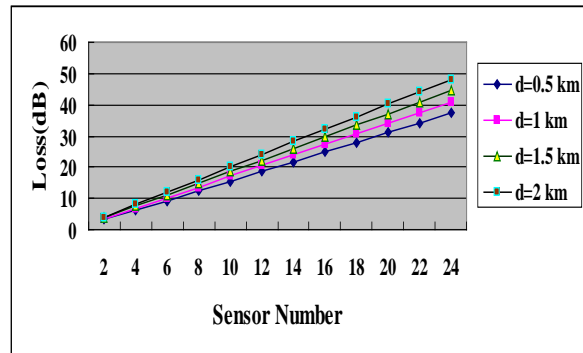


圖. 17 耦合器之分歧比為 17%:83%，水感應器之總數模擬計算圖

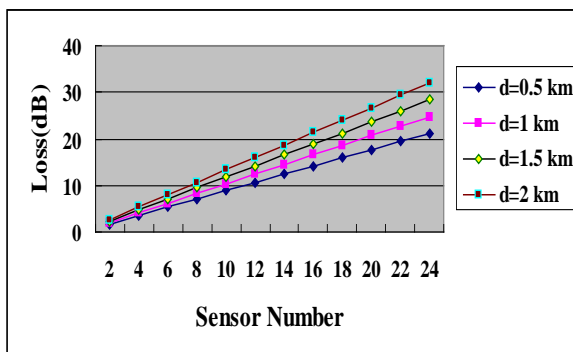


圖. 14 耦合器之分歧比為 3%:97%，水感應器之總數模擬計算圖

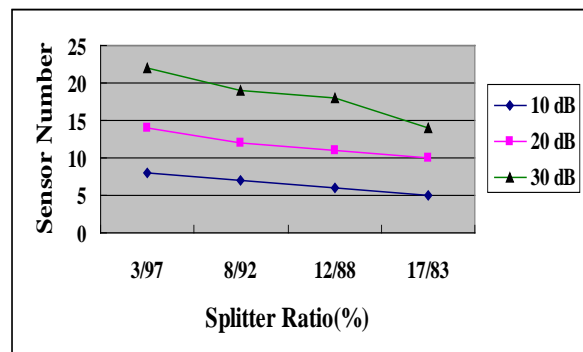


圖. 18 水感應器之總數和耦合器之分歧比的模擬計算圖 (d=2 km)

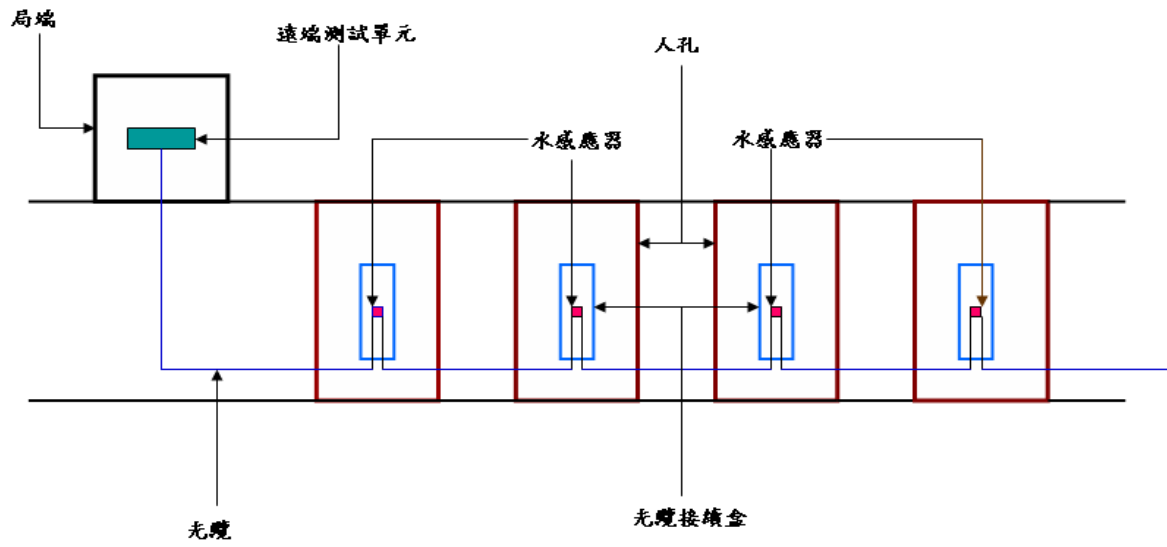


圖.19 光纜進水監測系統之整體架構圖