

應用 CWB ARPS 預報降雨於洪水預報作業流程之評估

沈志全¹ 張哲豪¹ 吳祥禎² 謝孟益³ 蕭健雄³

土木工程系¹

高速網路與計算中心²

水文技術組³

國立臺北科技大學

國家實驗研究院

經濟部水利署

摘要

經濟部水利署在 2013 年利用 FEWS_Taiwan 平台完成全台 26 流域洪水預報系統的建置工作。在洪水預報系統中各流域的水文與水理模式搭配完整的觀測與預報降雨量與潮位資料，可提供全台灣 26 條流域未來 0~24 小時的水位、流量預測資訊及流域水情資訊。而在洪水預報作業過程中模式輸入資料來源為降雨量資訊。而為了有效提高預報降雨量的準確度，近年來水利署陸續使用氣象局 QPESUMS, WRF, ETQPFs 等不同觀測與預報降雨組合資訊作為洪水預報的降雨量資料來源。但目前水利署在極短延時的預報降雨量 0~3 小時資料來源為 QPESUMS 中的 QPF 預報資料，而為了有效提昇在短延時預報降雨量的準確度。本研究將利用 FEWS_Taiwan 平台，銜接氣象局的先進區域預報系統(Advanced Regional Prediction System, ARPS)預報降雨量資訊作為相關水情預報資料來源。

在極短延時的預報降雨量評估工作，將針氣象局 ARPS 提供的未來 1~4 小時預報降雨量資料與現有預報作業流程使用 QPESUMS 中提供 QPF 的 1~3 小時預報降雨量進行比對，作為改善目前預報作業流程中預報降雨量組合方式。過程中利用 2013 年康芮颱風為案例資料，評估 ARPS 預報降雨量於各流域集水區的降雨情況與不同預報降雨量組合的方式成果的差異性。並且探討 ARPS 預報降雨量應用於現有洪水預報作業流程的可行性。並將 ARPS 資料處理流程以元件化、自動化方式加以測試驗證，以作為後續水利署的銜接氣象局預報降雨產品的標準作業流程。

關鍵字：預報降雨、劇烈天氣監測系統、洪水預警、水情資訊

一、前言

臺灣每年的 5 到 11 月受到梅雨及颱風影響，雨量較大且集中經常容易造成淹水災害事件。因此當特定流域或區域的集水區範圍，降雨量超過原先規劃的保護標準或設計標準時，在流域河川容易發生水位暴漲或溢堤現象；而在都市區域則會因為下水道排水系統無法容納大量的雨水而發生積水或淹水的現象。而水利單位在災害管理過程中，為了有效減少災害的影響範圍。除了透過工程方法提高相關水利設施的保護標準外，也會透過非工程法來減少害可能的損失。而洪水預報系統為洪水災害應變流程中使用的一種非工程方法，透過取得預報降雨量搭配水文與水理模式，提早供應未來可能的水情變化風險資訊。讓防災運作可以提早進行準備工作，也可讓民眾提早做好相關防災準備工作。而洪

水預報系統的發展過程多模式與預報降雨的資訊為目前各國預報人員重視的方向(Wetterhall et al. 2013)。而降雨量來源為洪水預報的主要輸入來源，因此本文探討在洪水預報系統中導入新預報降雨量時，可能面臨的問題與在水利單位如何應用相關數值預報模式成果進行洪水預報工作。

二、洪水預報作業流程

洪水預報系統發展的目標上主要是要將資料轉換成資訊。將觀測與預報的雨量及水位資訊，轉換成為還有久時間後可能會發生能發生的狀況、預報成果可能的區間及其準確度、可能發生淹水或溢堤機率，提供給決策人員時間、地點、狀況等內容進行研判與決策工作(張哲豪等, 2012)。而在整洪水預報作業流程中整合了數值天氣預報、觀測資訊、水文水理模式等多項科學與資訊技術，透過自動化的排程達到 24 小時自

動化運作。為了達成上述相關工作內容與目標，使用水利署 FEWS_Taiwan 平台進行相關資料處理與模式銜接工作，如圖 1 所示為 FEWS_Taiwan 平台使用者操作介面。而 FEWS_Taiwan 平台為水利署與荷蘭 Deltares 應用 Delft-FEWS 平台(Werner et al. 2013)所發展的水文氣象資料與模式的整合平台，目前世界各國約利用 Delft-FEWS 平台進行水情預報管理系統建置有 87 個系統，應用於歐洲、美洲、亞洲、非洲、澳洲等區域如圖 2 所示。



圖 1 FEWS_Taiwan 平台使用者介面



圖 2 荷蘭 Delft-FEWS 平台應用分布情況

而在洪水預報的作業流程概念如圖 3 所示，首先取得各流域的觀測資料（降雨量、河川水位、潮位）與預報資料（預報降雨量、預報潮位），作為模式的上下游邊界條件資料來源。在雨量部份將降雨量資訊轉換成為相同時間與空間解析度的網格資訊，接著進行流域集水區平均降雨量資訊計算。而水理模式所需的下游邊界條件，利用潮位資料中的觀測潮位天文潮位及河口暴潮等資訊進行組合成為下游邊界條件。接著將各集水區降雨量作為降雨逕流模式的輸入檔，計算完成後產生各集水區之出流量資訊匯入水理模式，搭配潮位下游邊界條件資料進行一維河道水理模式演算。

最後輸出預報模的水位流量數據。而上述流程可透過自動化流程設定來進行以達到作業化的目標，並且可依照不同流域進行調整排程內容的調整(Gijsber 2010)。而預報產出的成果再提供預報分析人員進行研判，提供給決策者進行各種防救災作為指令的下達。

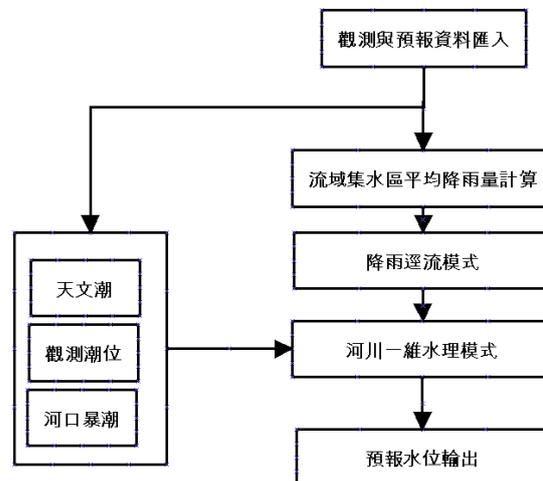


圖 3 洪水預報作業流程

三、預報降雨來源與處理方式

前述小節完成洪水預報作業流程之說明，而本小節將針對降雨量處理的步驟加以說明。水利署目前在 FEWS_Taiwan 平台上可以取得之觀測降雨量包含氣象局雨量站、水利署雨量站、QPESUMS 觀測降雨量、TRMM 衛星降雨量。而在預報降雨量資訊目前可以取得之預報降雨量分別為氣象局 QPESUMS QPF, CWB WRF, CWB ETQPFs、颱洪中心 TAPEX WRF 系集降雨、NOAA GFS 等預報降雨量。由於各種降雨量來源在空間解析度、時間解析度、投影坐標系統與檔案型態可能都有所不同。因此在處理流程上將取得之觀測與預報降雨量資料在 FEWS_Taiwan 平台上進行空間與時間序列內插的程序，將各種降雨量轉換成為與 QPESUMS 網格相同解析度之降雨網格與每小時一筆的時雨量資訊。同時利用內插方式產生的降雨網格資料，搭配集水區邊界範圍進行集水區平均降雨量計算，獲得各集水區每小時平均降雨量資訊。

而在預報降雨量來源的使用上可以區分為平時與颱風時期的降雨量。由於台灣地理位置的關係在颱風時期降雨量與的颱風路徑有絕對的關聯性，因此水利

署在颱風時期使用的是氣象局 ETQPFS 產品的預報降雨量。而在平時使用的氣象局決定性預報 WRF 的降雨預報資訊搭配 QPESUMS QPF 預報降雨量。但目前預報降雨量資訊在極端延時的資訊相對較少，為了銜補 QPESUMS QPF 預報未來 2~3 小時成果較差的狀況，如圖 4 所示，並且與取代 WRF 預報降雨量在 0~12 小時時間段成果較為不穩定之狀況。因此水利署期望利用氣象局在 2011 年引進的美國奧克拉荷馬大學風暴分析與預報中心(CAPS)發展的先進區域預報系統 (Advanced Regional Prediction System ; ARPS)預報降雨產品來改善上述在極短延時前預報成果的狀況，並且評估 ARPS 預報降雨量在各集水區分區的成效，與後續洪水預報作業流程所需注意的事項。而 ARPS 預報網格資訊如表 1 所示，透過檔案格式轉換、網格空間定位調整、網格資料空間內插、集水區平均降雨量計算等步驟，將 ARPS 匯入到 FEWS_Taiwan 平台的成果如圖 5~6 所示。

而在洪水預報作業過程中為了確保降雨量不會因為儀器故障或資料傳輸出問題，因此會將各種不同降雨量來源的集水區平均降雨量進行組合，其組合方式如圖 7 所示，資料的優順序為由上到下，組合成為單一時序降雨量資料，提供給各流域各集水區過去 72 小時與未來 72 小時的組合降雨量資訊。

表 1 ARPS 預報降雨網格資訊

項目	內容
解析度	2.5km
維度	363x363(=905x905 公里)
預報頻率	每 3 小時 1 報 00Z/03Z/06Z/09Z/12Z/15Z/18Z/21Z
預報長度	4 小時

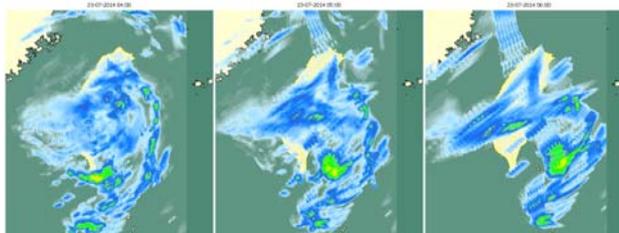


圖 4 QPESUMS QPF 預報降雨量

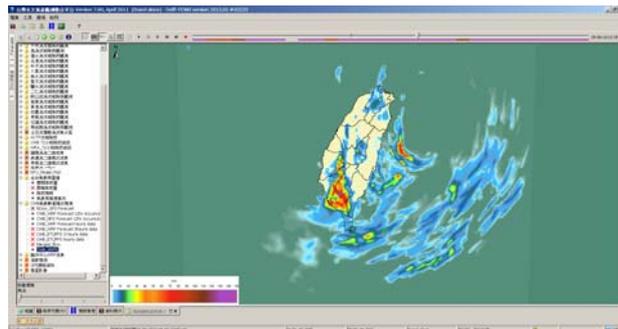


圖 5 氣象局 ARPS 網格展示

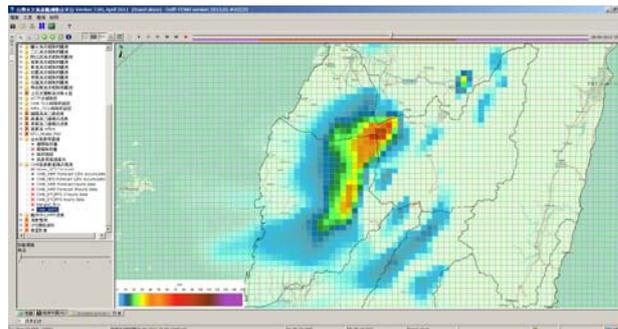


圖 6 氣象局 ARPS 網格展示(局部放大)

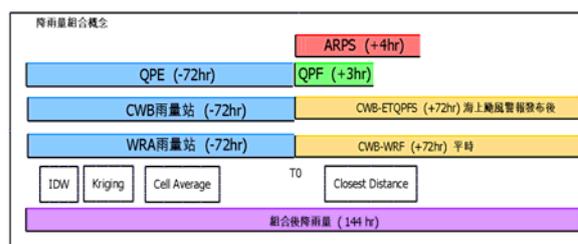


圖 7 降雨量組合概念

四、流域集水區預報降雨比較

在完成 ARPS 預報降雨量銜接的工作後，接著展開全台各流域的測試。由於水位站上游集水區降雨量與水位站之水位變化有顯著的關聯性，如圖 8 所示。因此利用各集水區平均降雨量的比對工作，以了解 ARPS 預報降雨量應用在洪水預報的可行性。在氣象局的協助下取得 2013 年康芮颱風事件 08-29 02:00~08-29 14:00 的 ARPS 預報降雨量資料。由於水位站上游集水區降雨量與水位站之水位變化有顯著的關聯性。因此使用全台灣各流域共 143 個水位站上遊集水區的進行評估與計算工作。而在集水區面積的資訊中濁水溪西濱大橋集水區面積最大為 3150 平方公里的烏溪的隘寮橋集水區面積最小為 13 平方公里。而目前使用的全台水位站上游集水區面積分布情況，如表 2 所示。

而在康芮颱風案例中使用的五場預報資料前三大累積降雨的集水區，分別為於曾文溪流域的左鎮上游集水區 508mm，鹽水溪新市上游集水區 489mm，北港溪溪口上游集水區 472mm。

由於 QPESUMS QPF 與 ARPS 預報時間的長度不相同，因此在預報降雨量比對方式主要針對 QPESUMS QPE(觀測)與 QPESUMS QPF(預報)與 ARPS 時間重疊的時間段，如圖 9 與表 3 所示為對應三種降雨量來源對應的五場預報時間。如圖 10 所示為利用 FEWS_Taiwan 查詢水位站上游集水區兩種預報降雨量資訊畫面。而圖 11~13 為預報時間段期間累積降雨量最大的 3 個水位站上游集水區逐時降雨量與預報降雨量的比對情況，在左鎮水位站上游集水區 ARPS 預報降雨量成果較其他兩個測站為佳，在第 2、3、4 場預報相對誤差介於 30%~50%內。在新市水位站上游集水區的預報降雨相對誤差量有四場超過 50%。而在溪口水位站上游集水區 5 場預報中有 3 場低於 50%。而整體 143 個水位站上游集水區預報降雨量以 QPE 為觀測值進行計算，同時將 QPE 觀測降雨 3 個小時累積降雨量大於 30mm 的集水區擷取出來進行比對，並且將 QPF 與 ARPS 和 QPE 相對誤差小於 50% 的數量加以彙整其成果，如圖 14 所示。可發現 ARPS 預報降雨量在 2,3,4 場預報成果優於 QPF 預報成果。但由於本文進行的評估的資料目前只有一場颱風事件後續仍然需要持續測試不同場颱風豪雨事件，才能有足夠數據證實預報模式的成效。

表 2 水位站上游集水區面積分布

集水區面積 (平方公里)	數量	比例
1000 以上	20	14%
1000~600	18	13%
600~400	18	13%
400~200	31	22%
200~100	28	20%
100~50	16	11%
50~10	12	8%

表 3 五場預報對應時間資訊

場次	預報時間段
1	2013-08-29 03:00~2013-08-29 05:00
2	2013-08-29 06:00~2013-08-29 08:00
3	2013-08-29 09:00~2013-08-29 11:00
4	2013-08-29 12:00~2013-08-29 14:00
5	2013-08-29 15:00~2013-08-29 17:00

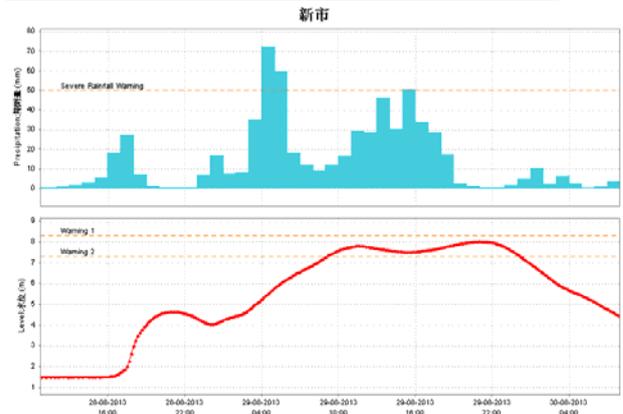


圖 8 鹽水溪新市水位的降雨量變化與水位變化趨勢。

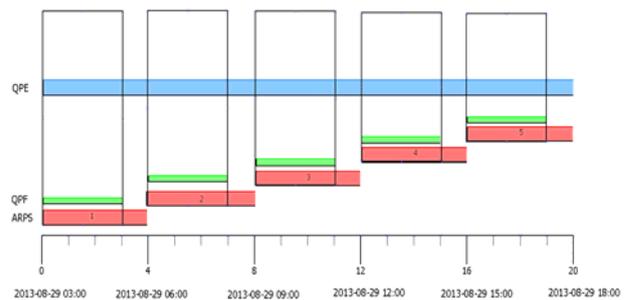


圖 9 預報降雨量比對時間段

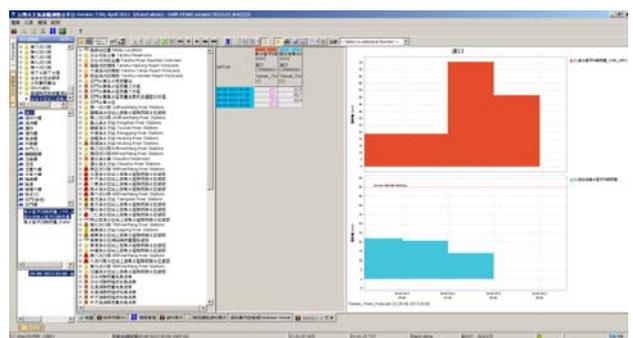


圖 10 ARPS 與 QPF 降雨量集水區比對展示介面

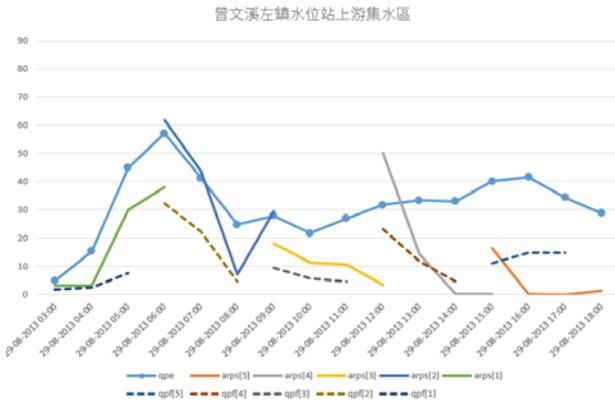


圖 11 左鎮水位站上游集水區預報情況

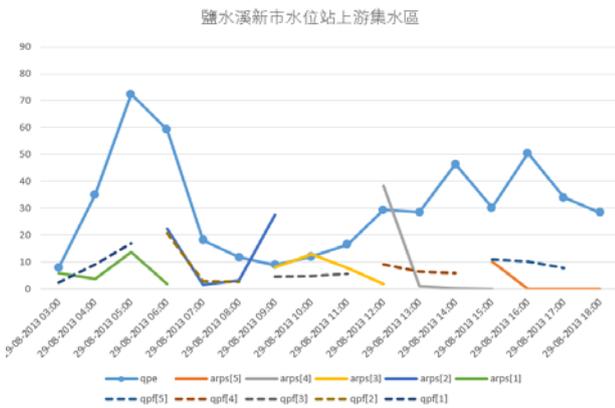


圖 12 新市水位站上游集水區預報情況

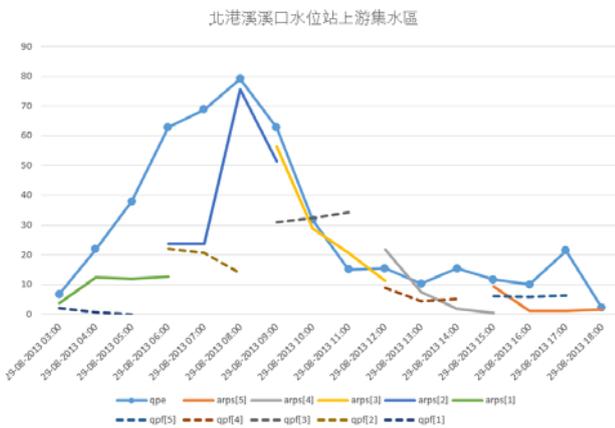


圖 13 漢口水位站上游集水區預報情況



圖 14 五場預報時間段 ARPS 與 QPF 成果比對

五、結論與建議

在氣象局 ARPS 預報降雨量產品應用的評估工作中，完成了檔案格式轉換讀取的程序，可以將預報檔案內容檔案順利匯入 FEWS_Taiwan 平台中，並且將原先 ARPS 預報降雨網格位置與圖台使用的坐標系統進行疊合，同時將 ARPS 網格資料由原先的 2.5 公里解析度內插成為與 QPESUMS 網格相同大小解析度，使後續資料計算可以在相同的空間解析度下進行，以減少計算過程中因為不同解析度的大小在空間分析過產生的數值差異。並且進行全台集水區平均降雨量計算，完成預報降雨量成果比對等工作。

而上述相關作業流程中需在洪水預報過程中需要考量的內容包含預報資料供應檔案的方式、供應檔案的格式與預報產品使用的坐標投影系統與資料空間解析度、時間解析度與預報頻率、預報長度等相關資訊，才能有效在作業化洪水預報流程中順利與相關水文水理模式整合。後續將持續針對氣象局所提供的預報產品進行銜接與納入洪水預報作業流程中。

以下針對現階段在水利單位使用預報降雨量的需求與應用方法提供建議，針對預報資料來源（檔案格式、資料時間與空間解析度、坐標系統、預報長度、預報頻率）、水利單位應用（水位站上游集水區、流域子集水區降雨量、水庫集水區、鄉鎮集水區降雨量、村里降雨量、水位流量預報）等內容提供氣象相關單位參考。

在預報資料來源資料中使用的檔案格式以 CSV 文字檔、ESRI ASC Grid 或標準的氣象資料交換檔案格式如 WMO 定義的 grib，UCAR 定義的 netcdf 檔案格式加以供應。而在預報資料時間解析度上，供應的是每小時的資訊。網格空間解析度可以比照 QPESUMS 網格解析度。預報資料輸出使用投影系統建議使用橫麥卡脫投影（Transverse Mercator Projection），大地坐標系統上則建議使用 WGS84 坐標系統以經緯度資料方式供應。預報長度在短延時可以提供未來 72 小時或在極短延時可以提供未來 12 時。而預報頻率上每三小時一次或每六小時一次即可。而系集降雨量的內容由於考量計算的效率可以提供全部系集成員最大、最小、90%、75%、50%、25%、10%的統計降雨量成果，無

需供應全部成員降雨量。

在水利單位應用降雨量資訊，目前主要在於集水區或特定區域範圍（縣市、鄉鎮、村里）內的降雨量數值計算，再將降雨量資訊匯入模式進行相關水位流量計算或風險模式的計算。以洪水預報作業流程為例，一般河川在預報過程中主要關心的是洪水上升段的變化，在降雨量達到最高峰後在數小時之後水位也會達到最高峰。因此若可以有效提早獲得可能開始降雨到最大降雨量發生時間，將有助於提早或準確計算出可能發生洪水或淹水發生時間。如前述三個集水區降雨資訊如圖 10~12 所示，其預測雨量若可以在第 1,2 組預報獲得較佳的成果，將有助於整體預報的成果。

五、誌謝

本研究感謝經濟部水利署計畫『雷達觀測資料及多水文模式於水文氣象觀測整合平台之加值應用(1/2)』在經費上的補助。同時感謝中央氣象局衛星中心在資料與技術的支援。

六、參考文獻

1. Gijsber, P. (2010). "Opportunities and limitations of DelftFEWS as a scientific workflow tool for environmental modelling." Ottawa, Ontario, Canada.
2. Werner, M., Schellekens, J., Gijsbers, P., van Dijk, M., van den Akker, O., and Heynert, K. (2013). "The Delft-FEWS flow forecasting system." *Environmental Modelling & Software*, 40, 65–77.
3. Wetterhall, F., Pappenberger, F., Alfieri, L., Cloke, H. L., Thielen-del Pozo, J., Balabanova, S., Daňhelka, J., Vogelbacher, A., Salamon, P., Carrasco, I., Cabrera-Tordera, A. J., Corzo-Toscano, M., Garcia-Padilla, M., Garcia-Sanchez, R. J., Ardilouze, C., Jurela, S., Terek, B., Csik, A., Casey, J., Stankūnavičius, G., Ceres, V., Sprokkereef, E., Stam, J., Anghel, E., Vladikovic, D., Alionte Eklund, C., Hjerdt, N., Djerv, H., Holmberg, F., Nilsson, J., Nyström, K., Sušnik, M., Hazlinger, M., and Holubecka, M. (2013). "HESS Opinions 'Forecaster priorities for improving probabilistic flood

forecasts." *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 17(11), 4389–4399.

4. 張哲豪, 沈志全, 王俊傑. (2012). "以水情預報資訊輔助防救災執行人員之教育訓練規劃." 桃園龜山.