

審查評估報告

送審單位	台灣電力公司
報告名稱	龍門核電廠緊急應變計畫區評估 檢討修正報告

行政院原子能委員會

中華民國 102 年 4 月

摘要

因應日本福島核電廠多機組核災事故，本會於 100 年 7 月 19 日函台電公司要求依照核一、二、三廠之分析條件（雙機組事故、疏散干預基準 50 毫西弗）重新計算龍門核電廠緊急應變計畫區範圍，本項要求並已列為本會審查同意龍門核電廠一號機核子燃料裝填申請的應完成項目之一。

台電公司依前述要求，於 100 年 10 月 20 日陳報「龍門核電廠緊急應變計畫區再評估報告」，本會隨即於 100 年 10 月 31 日提出第 1 次程序審查意見，要求再評估報告應採用至 99 年底之氣象資料，參考文獻亦應為最新資料，並請台電公司參考 100 年 10 月完成的「核一、二、三廠緊急應變計畫區檢討修正完成報告」相關分析計算方法及內容重新檢視修訂，再將報告函送本會審查，台電公司依據上述程序審查意見於 101 年 3 月 29 日陳報「龍門核電廠緊急應變計畫區評估檢討修正報告」第一版，本會隨即進行第 2 次程序審查，並於 101 年 4 月 3 日函請台電公司補正相關資料，台電公司依本會審查意見重新檢視修訂後於 101 年 5 月 9 日陳報「龍門核電廠緊急應變計畫區評估檢討修正報告」第二版。

本會完成程序審查確認台電公司提送報告之完備性後，隨即成立審查小組進入實質審查階段，除了本會各相關業務單位人員參與外，為求審查縝密與周延，另邀請大氣科學、核子工程與輻射防護等各領域學者專家共同進行審查。審查小組共召開 5 次審查會議，總計提出 50 項審查意見，台電公司依委員的審查意見增修訂相關內容，完成「龍門核電廠緊急應變計畫區評估檢討修正報告」(第六版，102 年 1 月)。

台電公司報告的重點結論為：以美國核能管制委員會(NRC)認可的事故評估程式(簡稱為 MACCS2 程式)評估分析所得的結果顯示，當龍門核電廠發生設計基準事故時，距離反應器中心半徑 4.5 公里內即可符合「核子事故緊急應變法施行細則」第三條規定的設計基準事故評估準則；而當龍門核

電廠發生爐心熔損事故時，在 0.5 公里內即可符合「核子事故緊急應變法施行細則」第三條規定的爐心熔損事故評估準則之要求。

本會成立的審查小組歷經 7 個多月之專業審查後，達成以下結論：台電公司提送之「龍門核電廠緊急應變計畫區評估檢討修正報告」之評估結果顯示，若疏散干預基準以 50 毫西弗來考量，龍門核電廠緊急應變計畫區為反應器中心半徑 4.5 公里之範圍，符合現行「核子事故緊急應變法施行細則」第三條規定的評估準則，經審查結果可以接受。然「核一、二、三廠緊急應變計畫區」業於 100 年 10 月 27 日核定公告為 8 公里之範圍，經審查委員討論結果，考量我國國情與民眾接受程度，我國核能電廠的緊急應變計畫區範圍宜一致，因此審查委員建議將龍門核電廠緊急應變計畫區由現有之 5 公里擴大為 8 公里。經本會拜訪地方政府進行緊急應變計畫區擴大後相關配套措施規劃之溝通說明及兼顧地方政府各行政區域運作的規劃考量後，本會決定龍門核電廠緊急應變計畫區範圍約 8 公里，涵蓋之行政區域共計 23 個里。

本會另對台電公司提出 2 項後續管制要求，該要求並列為本會審查同意龍門核電廠一號機核子燃料裝填前的應完成項目。

目錄

摘要.....	i
壹、前言.....	1
貳、「龍門核電廠緊急應變計畫區評估檢討修正報告」內容概述.....	3
一、前言.....	3
二、緊急應變計畫區評估準則.....	4
三、評估執行方法說明.....	5
四、龍門核電廠緊急應變計畫區分析結果.....	6
(一) 設計基準事故評估準則比較.....	6
(二) 爐心熔損事故評估準則比較.....	8
五、結論.....	9
參、審查重點與發現.....	11
一、審查意見與回覆.....	11
(一) 緊急應變計畫區等名詞的意義之補充說明.....	11
(二) 評估執行方法之補充說明.....	13
(三) 龍門核電廠緊急應變計畫區分析結果之補充說明.....	20
二、龍門核電廠緊急應變計畫區 8 公里行政區域範圍.....	23
肆、審查結論與後續要求事項.....	27

壹、前言

根據「核子事故緊急應變法施行細則」第四條之要求，核子反應器設施經營者應於申請該設施初次裝填核子燃料時提出緊急應變計畫區之評估報告，報請中央主管機關審查核定。龍門核電廠緊急應變計畫區已於民國 98 年 3 月 31 日經本會核定公告為以該廠反應器為中心半徑 5 公里之範圍。

100 年 3 月 11 日日本福島核子事故發生時，正值我國核一、二、三廠緊急應變計畫區每 5 年檢討之時機，以往我國核電廠緊急應變計畫區範圍之分析是以單部機組事故為假設，分析結果均小於 5 公里，因此依法核定公告為 5 公里；因應日本福島多機組核災事故，本會乃要求台電公司以雙機組事故為分析假設（註：我國四座核電廠均為雙機組設計），重新計算核一、二、三廠緊急應變計畫區範圍，結果核一、二廠仍小於 5 公里，核三廠為 7.5 公里，考量我國國情與民眾接受程度，決定我國核能電廠的緊急應變計畫區範圍宜一致，再取劃定範圍之整數，因此本會於 100 年 10 月 27 日核定公告「核一、二、三廠緊急應變計畫區」為 8 公里。

龍門核電廠緊急應變計畫區於 98 年 3 月 31 日核定公告（範圍亦為 5 公里），依每五年檢討之規定，尚不須於 100 年與核一、二、三廠同時提出檢討修訂，惟因應此次日本福島核災，本會於 100 年 7 月 19 日以會技字第 1000011691 號函要求台電公司依照核一、二、三廠之分析條件（雙機組事故、疏散干預基準 50 毫西弗）重新計算龍門核電廠緊急應變計畫區範圍，本項要求並已列為本會審查同意龍門核電廠一號機核子燃料裝填申請的應完成項目之一。

台電公司依前述本會要求，於 100 年 10 月 20 日以電核技字第 10010007341 號函陳報「龍門核電廠緊急應變計畫區再評估報

告」，本會於 100 年 10 月 31 日以會技字第 1000016724 號函提出程序審查意見，要求再評估報告應採用至 99 年底之氣象資料，參考文獻亦應為最新資料，並請台電公司參考 100 年 10 月完成的「核一、二、三廠緊急應變計畫區檢討修正完成報告」相關分析計算方法及內容重新檢視修訂，再將報告函送本會審查。

台電公司依據上述本會審查意見修正報告後，於 101 年 3 月 29 日以電核技字第 1013010311 號函陳報「龍門核電廠緊急應變計畫區評估檢討修正報告」第一版，本會隨即進行第 2 次程序審查，並於 101 年 4 月 3 日以會技字第 1010005084 號函請台電公司補正相關資料，台電公司依本會審查意見重新檢視修訂後完成「龍門核電廠緊急應變計畫區評估檢討修正報告」第二版，並於 101 年 5 月 9 日以電核技字第 10105003321 號函將報告函送本會審查。本會完成程序審查確認台電公司提送報告之完備性後，隨即成立審查小組，並於 101 年 5 月 14 日進入實質審查階段，除了本會各相關業務單位人員參與外，為求審查縝密與周延，另邀請大氣科學、核子工程與輻射防護等各領域學者專家共同進行審查。審查小組分別於 101 年 5 月 28 日、6 月 27 日、9 月 26 日、10 月 31 日及 12 月 26 日共召開 5 次審查會議，總計提出 50 項審查意見，要求台電公司增修訂相關內容。

貳、「龍門核電廠緊急應變計畫區評估檢討修正報告」內容概述

經過 5 次審查會議的討論及詢答，台電公司依委員的審查意見增修訂相關內容，完成「龍門核電廠緊急應變計畫區評估檢討修正報告」(第六版，102 年 1 月，以下簡稱台電公司報告)，內容主要包含前言、緊急應變計畫區評估準則、評估執行方法說明、龍門核電廠緊急應變計畫區分析結果、結論、參考文獻及附錄等。其主要內容，分別摘述如下：

一、前言

核能電廠秉持「深度防禦、多重保護」的原則，於設計、建造及運轉相關工作均力求安全，且為因應「萬一」發生意外核子事故之可能性，世界各核能先進國家（如美、法、日本等）均訂定法規要求核電廠經營單位，在核電廠正式營運前必須規劃妥適之緊急應變計畫，俾一旦發生核子事故時，能迅速集中人力、物力，採取必要措施以減除或降低民眾可能受到之損害。

依據「核子事故緊急應變法」第二條第五款之定義，「緊急應變計畫區：指核子事故發生時，必須實施緊急應變計畫及即時採取民眾防護措施之區域」。顧名思義，「緊急應變計畫區」即核能電廠萬一發生核子事故時，為減緩事故對電廠周邊民眾之影響所劃定的一個區域。平時藉由預先規劃緊急防護行動，以因應事故發生能即時採取有效之民眾防護措施，避免區域內民眾發生確定性健康效應，並抑低民眾發生機率效應之風險。

此外，依照「核子事故民眾防護行動規範」第二點第二款之規定，「可減免劑量：指採行防護措施所預估可以減免之個人劑

量」。因此，藉由實施防護措施可防止核子事故對於民眾之確定效應損害之發生及抑低機率效應之發生率。在事故發生之前，實務上我們無法得知事故之原因及其嚴重程度，因此必須歸納出可能發生之情況以及外釋程度，如設計基準事故與爐心熔損事故即分別代表不同程度之事故類型；對於事故之劑量影響程度及範圍，主要可由事故類型以及事故期間之氣象條件決定，故必須評估事故後各階段放射性核種污染程度及劑量影響範圍，以採行相應之防護措施。

過去國內評估緊急應變計畫區，主要參考美國核能管制委員會(NRC)於 1978 年出版之 NUREG-0396 報告擬定評估標準，並且採用美國聖地亞國家實驗室(SNL)發展之 CRAC2 程式，該程式為 MACCS 之前身，後再經修訂改版後為現今之 MACCS2 程式。於緊急應變計畫區劃定方面，NUREG-0396 報告建議應考慮由短期的輻射雲團所造成之直接曝露效應，以及長期的攝入外釋核種之體內效應，並且事先了解範圍內之人口、地理環境、電廠狀況及民眾防護措施之反應時間，以期事故發生後能採取適當的應變措施。隨著事故等級不同，其可能影響的範圍及程度亦有差異，因此須考量到較嚴重的設計基準事故以及爐心熔損之情形。換言之，對於緊急應變計畫區之設立係以風險、機率、成本效益以及事故特性作為評估基礎，以合理設定能達到最大效益的範圍。

二、 緊急應變計畫區評估準則

依現行核子事故緊急應變法施行細則第三條之規定，經營者劃定其核子反應器設施周圍之緊急應變計畫區，應依下列規定辦理：

- 一、 設計基準事故在緊急應變計畫區外所造成之預期輻射劑量，不超過核子事故民眾防護行動規範之疏散干預基準。
- 二、 爐心熔損事故在緊急應變計畫區外所造成之預期輻射劑

量，超過核子事故民眾防護行動規範疏散干預基準之年機率應小於十萬分之三。

三、 爐心熔損事故在緊急應變計畫區外所造成之預期輻射劑量，超過二西弗之年機率應小於百萬分之三。

經營者依前項規定辦理時，以核子反應器設施為中心分析計算之緊急應變計畫區半徑不得小於五公里，並應以村（里）行政區域為劃定基礎。

依現行「核子事故緊急應變法施行細則」第四條規定：「經營者應於申請初次裝填核子燃料時或本法施行之日起六個月內，將依前條規定劃定之緊急應變計畫區，依本法第十三條第一項規定報請中央主管機關核定公告之。前項緊急應變計畫區經中央主管機關核定公告後，經營者應每五年檢討修正一次，並於期限屆滿前六個月至九個月內，報請中央主管機關核定公告之。」

三、 評估執行方法說明

台電公司報告係依據「核子事故緊急應變法施行細則」規定的評估準則進行評估。評估作業主要採用民國 95 至 99 年五年之氣象資料，配合 MACCS2 程式執行龍門核電廠意外事故劑量評估，並依劑量及風險評估結果，作為緊急應變計畫區範圍劃定之參考。

評估所需之輻射源項、各類意外事故發生頻率、各類意外事故之滲漏率等，皆採自龍門核電廠終期安全分析報告(FSAR)數據資料；而用以計算有效劑量所引用之核種體內劑量轉換因數，則採用「游離輻射防護安全標準」附表三針對一般人所列之數據。

氣象數據來源為龍門核電廠之高、低兩座氣象塔，長期記錄電廠區域氣象資料。各氣象塔分別於高、低層裝設氣象監測儀器，包含高塔高層（海拔 93 米）、高塔低層（海拔 63 米）、低塔高層（海

拔 63 米)、低塔低層(海拔 21 米)，以測量包括民國 95 年至 99 年每小時之風向、風速、溫差及累積降雨量等資料。

台電公司報告評估方法與步驟包括：

- (1) 確認緊急應變計畫區評估準則及民眾防護準則
- (2) 蒐集龍門核電廠設計基準事故外釋輻射源項
- (3) 蒐集龍門核電廠嚴重事故外釋輻射源項
- (4) 整理核種之各曝露途徑劑量轉換因數
- (5) 蒐集龍門核電廠廠區之氣象資料
- (6) 利用 MACCS2 程式進行龍門核電廠設計基準事故及嚴重事故之劑量評估
- (7) 龍門核電廠緊急應變計畫區範圍之分析

四、龍門核電廠緊急應變計畫區分析結果

(一) 設計基準事故評估準則比較

有關設計基準事故評估之準則，主要依據「核子事故緊急應變法施行細則」第三條第一項第一款之規定：「設計基準事故在緊急應變計畫區外所造成之預期輻射劑量，不超過核子事故民眾防護行動規範之疏散干預基準。」。另依據 94 年 7 月 15 日原能會發布之「核子事故民眾防護行動規範」第六點之規定：「核子事故發生或有發生之虞時，應考慮採行疏散措施之干預基準，為可減免劑量於七天內達 50 至 100 毫西弗。」

由於核子事故之發生有時序性、階段性，而且是漸進的，當有嚴重輻射外釋之虞時，大部分事故應可預先評估並及時採取疏散措施以減少民眾可能接受的輻射劑量，因此疏散防護行動的可減免劑量可保守假設相當於事故發生後預期七天的累積劑量。採取疏散防護行動之干預基準主要以疏散民眾之易難度訂立，依我

國人文地理環境之關係及考量日本福島核災事故所造成的衝擊，執行龍門核電廠緊急應變計畫區之疏散干預基準保守採用「預估七天可減免劑量 50 毫西弗」。

龍門核電廠設計基準事故會造成廠外輻射劑量影響者分為九類，其中以冷卻水流失事故(Loss of Coolant Accident 簡稱 LOCA)之劑量影響最為嚴重，因此以冷卻水流失事故之劑量評估結果為設計基準事故之代表，以該結果為緊急應變計畫區之設立參考標準。

核電廠爐心內含之核種為意外情況發生時外釋射源項之來源，爐心射源項總活度表擷自龍門核電廠 FSAR 表 AL.-6，各核種再依其形態、物化性質、衰變形式、半衰期等特性分為九類；冷卻水流失(LOCA)事故主要釋出之核種為惰性氣體(Kr, Xe)及碘族(I-131 至 135)，分別屬第一類及第二類，根據 FSAR 表 15.6-8，此事故情況下約有 50% 爐心碘族核種盤存量為可外釋之射源，而爐心惰性氣體盤存量則 100% 為可外釋射源。假設一次圍阻體每天以爐心總活度之 0.5% 洩漏至二次圍阻體，在活度無衰減之保守情況之下，連續外釋七天之活度為爐心總活度之 3.5% (用以計算七天內之可減免劑量)。而備用氣體處理系統 (Standby Gas Treatment System, SGTS) 的除碘率為 99%，考量雙機組同時發生 LOCA 之極端情形，外釋至環境的碘族群核種約等同於單一機組爐心總活度含量之 0.035% ($2 \times 50\% \times 3.5\% \times 1\%$)，惰性氣體則為單一機組爐心總活度含量 7% ($2 \times 100\% \times 3.5\%$)；此外，核能電廠設計實際上從燃料丸至圍阻體有多重輻射防護屏蔽，不同洩漏途徑及排放點，為保守估計其劑量，本次評估並未逐一考量其效應，係假

設以燃料破損後圍阻體內的輻射源含量作為可外釋之射源，且所有核種皆經由地面排放，亦即排放高度為 0 公尺。

為配合程式之運算需求，評估時保守地將核種外釋持續時間訂為 24 小時，而排放總活度仍以七日排放總活度計算。配合上述相關參數及民國 95 年至 99 年的氣候條件進行分析，可求得 10 公里範圍內七天累積最高劑量分布結果。

依據評估結果，可知依各年度之氣象資料在 2.5 公里處之七天累積最高劑量已遠低於設定的疏散干預基準上限 100 毫西弗，而 4.5 公里處則低於疏散干預基準的下限 50 毫西弗。

(二) 爐心熔損事故評估準則比較

依「核子事故緊急應變法施行細則」第三條第一項第二款及第三款所述：爐心熔損事故在緊急應變計畫區外所造成之預期輻射劑量，超過核子事故民眾防護行動規範疏散干預基準之年機率應小於十萬分之三，超過二西弗之年機率應小於百萬分之三。

根據龍門核電廠 FSAR 附錄 AK 之評估，得出各種可能造成爐心熔損及輻射外釋的假想事件序列，計算出各事件序列的發生機率。再根據每個事故序列的特性，如事故發生時的運轉功率、圍阻體失效時間等，將性質類似的序列合併為一類，最後歸納出 15 類爐心熔損假想事故序列。

將上述射源項參數輸入 MACCS2 程式，並配合民國 95 年至 99 年五年的氣候條件進行分析，可求得龍門核電廠外 10 公里範圍內，有效劑量超過 50 毫西弗、100 毫西弗及 2 西弗累積之年平均機率。

各年度各氣象塔資料評估符合爐心熔損事故在緊急應變計畫區外所造成之預期輻射劑量，超過核子事故民眾防護行動規範疏

散干預基準之年機率小於十萬分之三，及超過二西弗之年機率小於百萬分之三條件之範圍資料，分別整理如表一及表二。

表一、距龍門核電廠反應器中心半徑 0.5 公里處劑量超過 50 毫西弗機率

	95 年	96 年	97 年	98 年	99 年
低塔 21m	8.94E-07	8.92E-07	7.97E-07	6.82E-07	7.23E-07
低塔 63m	6.52E-07	5.49E-07	5.99E-07	5.57E-07	5.62E-07
高塔 63m	5.69E-07	5.77E-07	5.75E-07	6.42E-07	5.23E-07
高塔 93m	5.06E-07	4.79E-07	4.75E-07	4.88E-07	4.79E-07

*緊急應變計畫區外，每年超過 50-100 毫西弗之機率應小於 3×10^{-5}

表二、距龍門核電廠反應器中心半徑 0.5 公里處劑量超過 2.0 西弗機率

	95 年	96 年	97 年	98 年	99 年
低塔 21m	6.34E-08	6.31E-08	5.90E-08	5.70E-08	5.60E-08
低塔 63m	5.46E-08	4.75E-08	5.12E-08	4.83E-08	4.57E-08
高塔 63m	4.79E-08	4.94E-08	5.24E-08	5.66E-08	4.86E-08
高塔 93m	4.37E-08	4.55E-08	4.94E-08	4.83E-08	4.53E-08

*緊急應變計畫區外，每年超過 2 西弗之機率應小於 3×10^{-6}

五、 結論

台電公司「龍門核電廠緊急應變計畫區評估檢討修正報告」係依現行「核子事故緊急應變法施行細則」所要求的評估準則，並因應福島事故衝擊，針對龍門核電廠雙機組同時發生意外事故進行劑量評估。評估作業採用龍門核電廠 FSAR 中設計基準事故及爐心熔損事故輻射源資料，及民國 95 年至 99 年之廠區氣象觀測資料，以 MACCS2 程式評估龍門核電廠假想發生設計基準事故、爐心熔損事故所造成之預期劑量達法規規定干預基準之範圍，以作為緊急應變計畫區範圍劃定之參考。

評估分析結果顯示，設計基準事故發生時，距離反應器中心半徑 4.5 公里處的有效劑量已至少降低至 42.3 毫西弗，可符合設計基準事故所造成之七日內劑量低於 50 毫西弗之評估準則；而爐心熔損事故發生時，距離反應器中心半徑 0.5 公里處超出 50 毫西弗或是 2 西弗之年機率分別為 8.94×10^{-6} 以及 6.34×10^{-8} ，亦能符合爐心熔損事故所導致之劑量風險年機率低於 3×10^{-5} 以及 3×10^{-6} 之評估準則。總結此次檢討修正結果，若疏散干預基準以 50 毫西弗來考量，龍門核電廠緊急應變計畫區為反應器中心半徑 4.5 公里之範圍。

參、審查重點與發現

一、 審查意見與回覆

依現行核子事故緊急應變法施行細則第三條之規定，緊急應變計畫區範圍大小主要係依照風險的概念採用機率法的評估準則分析計算而得，另因應此次日本福島核災，本會要求台電公司比照核一、二、三廠之分析條件（雙機組事故、疏散干預基準 50 毫西弗）重新計算龍門核電廠緊急應變計畫區範圍，並應採用至 99 年底之氣象資料及引用最新參考文獻。因此，本案之審查著重在檢視與確認台電公司提送的「龍門核電廠緊急應變計畫區評估檢討修正報告」內容是否符合現行法規以及相關專業領域的要求。隨著幾次的審查討論及提問，台電公司已配合各委員的審查意見修訂原來的報告內容，並就委員們的提問補充相關分析與說明資料於報告中。茲就本案審查之主要審查意見及台電公司的回覆情形彙整如下，詳細內容可參見台電公司報告附錄 G 審查意見及書面答覆：

（一）緊急應變計畫區等名詞的意義之補充說明

依據「核子事故緊急應變法」第二條第五款之定義，「緊急應變計畫區：指核子事故發生時，必須實施緊急應變計畫及即時採取民眾防護措施之區域」。顧名思義，「緊急應變計畫區」即核能電廠萬一發生核子事故時，為減緩事故對電廠周邊民眾之影響所劃定的一個區域；日本福島事故時，日本政府將疏散居民的範圍由 3、10 公里擴大至 20 公里，使得民眾對核電廠是否能安全運作失去信心，加上一般民眾對「緊急應變計畫區」的內涵不瞭解，認為此區域就等於疏散範圍，因此產生我國訂定的緊急應變計畫區範圍不夠

大的疑慮，委員亦針對此部分提出相關審查意見要求台電公司回覆。

針對台電公司報告第一章前言的審查，委員主要的審查發現彙整如下：

Q1：建議補充說明緊急應變計畫區之意義，特別是事故之機率與評估時氣象資料取樣的作法等。

台電公司之回覆說明為：

本公司將遵照委員意見，依據核子事故緊急應變法、NUREG-0396 報告及 MACCS2 劑量評估方法論等相關資料，於報告第一章節中補充說明緊急應變計畫區之意義，及事故之機率與評估時氣象資料取樣的作法等。以下簡述之：

依據核子事故緊急應變法第二條第五款之定義，緊急應變計畫區：指核子事故發生時，必須實施緊急應變計畫及即時採取民眾防護措施之區域。

有關事故造成劑量影響之機率計算，MACCS2 首先會分析全年逐時氣象資料並進行各氣象分級，再依各氣象分級利用 Latin hypercube sampling (LHS) 方式抽樣出數組氣象，並計算其相對於全年氣象之發生機率，再以所有抽樣氣象進行劑量評估，統計出各方位距離達到特定劑量之機率。

台電公司之回覆說明，經審查結果可以接受。

Q2：建議補充說明可減免劑量之意義。

台電公司之回覆說明為：

依據核子事故民眾防護行動規範第 6 條：核子事故發生或有發生之虞時，應考慮採行疏散措施之干預基準，為可減免劑量於 7 天內達 50 至 100 毫西弗；所謂可減免劑量係指採

行防護措施所預估可以減免之個人劑量。本公司將遵照委員意見加註於報告中。

台電公司之回覆說明，經審查結果可以接受。

(二) 評估執行方法之補充說明

針對台電公司報告第二章評估執行方法說明的審查，委員主要的審查發現彙整如下：

Q1：建議補充說明 MACCS2 程式之功能，並說明於 NUREG-0396 報告中美國據以評估其緊急應變計畫區之程序。

台電公司之回覆說明為：

將於報告第一章節中補充說明 MACCS2 程式之功能與 NUREG-0396 報告中美國據以評估其緊急應變計畫區之程序。以下簡述之：

NUREG-0396 報告中說明美國訂定緊急應變計畫區之程序探討，說明其需考量設計基準與爐心熔毀之第九類事故 (Class 9 accident) 時序之特性，確保設計基準事故造成之劑量在緊急應變計畫區範圍外不會造成超過規範之特定劑量，且可作為防衛嚴重事故的最後一道防線，以於萬一嚴重事故發生時，實施緊急應變計畫及即時採取民眾防護措施。由於嚴重事故發生機率極微小，但若發生可能造成大範圍事故影響，故在風險、機率、成本及有效對抗事故時序等因素考量下，提出每年以發生機率 1×10^{-4} 為事故機率評估準則，緊急應變計畫區須能涵蓋大部分嚴重事故所造成之影響衝擊。我

國緊急應變計畫區劃分之規定辦法也主要參考美國 NUREG-0396 報告而研擬。

MACCS2 程式(其前身為 CRAC2 程式)，由美國聖地亞國家實驗室發展，主要目的為執行 NUREG-0396 所研訂之程序準則。在本報告應用中，為符合核子事故緊急應變法施行細則第 3 條之規定，MACCS2 程式於評估設計基準事故時，可配合計算距事故發生點外之劑量，並詳列各方位距離之劑量結果，據以分析廠外個人劑量；MACCS2 程式於評估爐心熔損意外事故時，可進行各分級氣象之取樣與計算事故劑量影響，最後可統計出各方位距離可能超出特定劑量之機率，此部份為其它評估程式較難取代之部份，亦是 MACCS2 程式的核心價值。

台電公司之回覆說明，經審查結果可以接受。

Q2：需說明為何分別以高、低塔風場納入模式計算？是否代表煙囪排放高度？並說明是否有可能在不同高度同時釋放，其結果有何差異。

台電公司之回覆說明為：

電廠分別設置高、低氣象塔進行氣象監測，因無法明確哪一點可作為全區氣象之代表性，故本報告分別以每年的高、低塔風場納入模式計算，取影響最大之結果進行 EPZ 範圍評估分析。地面排放造成之相對濃度會較高點排放者為高，尤以近距離處最明顯，雖然高點排放之相對濃度會於近距離時產生尖峰值現象，但仍比地面排放者為低。本次報告為求保守度，遂以地面排放評估之。

台電公司之回覆說明，經審查結果可以接受。

Q3：高斯擴散模式無法考慮龍門核電廠複雜地形對氣流所造成的影響。同時，高斯擴散模式無法反應風向、風速之短時間變化。尤其是龍門地區夏季常見的海陸風現象，常會將夜間送往海上的污染物在日間又帶回來。建議至少在下一次評估應改用能模擬三維風場與地形效應的大氣擴散模式。

Q4：所使用的分析工具 MACCS2 只是簡單的高斯模式，並沒有考慮地形的影響，所得結果的說服力可能不夠。

針對 Q3 及 Q4 審查意見，台電公司之回覆說明如下：

依據核子事故緊急應變法，緊急應變計畫區的定義指核子事故發生時，必須實施緊急應變計畫及即時採取民眾防護措施之區域。故緊急應變計畫區的評估，以採保守假設進行評估，以提供民眾防護措施之用。評估方法論的選取，經查歐美各國進行緊急應變計畫區評估，均依循美國核管會認可的 NUREG-0396 報告及為執行此目的之程式 MACCS2。此外，檢視現行國內外並無任何一個模式可考量地形效應而評估出符合緊急應變計畫區三個準則的結果。故台電公司亦採用相同的方法論，依法合理評估緊急應變計畫區。

MACCS2 是以高斯擴散模式搭配統計取樣後之氣象條件進行評估，再加上相當保守的輻射源釋放假設，可適當反應全年各種氣候型態之劑量影響，適用於目前評估緊急應變計畫區設立範圍之目的。

至於三維風場與地形效應的大氣擴散模式之應用，本公司依據核子事故緊急應變法，有關核子反應器設施緊急應變計畫之環境輻射偵測及劑量評估相關要求，於民國九十三年

委託台大大氣科學系建立龍門核電廠三維風場與地形效應之大氣擴散模式，應用於緊急事故發生時輻射劑量及影響程度之評估，作為民眾防護之參考。

委員們進一步提出審查意見如下：

Q3-1：龍門核電廠附近的地形和氣候的特殊性仍不應忽略，台電公司應試著使用其他可以考慮三維風場與地形的程式，如 UAM-V、AERMOD 等去計算擴散劑量，其結果也更能說服大眾。

Q4-1：地形效應在龍門影響應該是很大，請台電公司提出其他的方式考慮地形效應。

台電公司之回覆說明為：

目前本公司先行提供額外三維劑量評估程式 HOTMAC/RAPTAD 之結果供委員參考以解疑慮，未來可以依主管機關認定考量較周全之評估程式進行評估，評估結果如附件二。(請參見台電公司報告)

委員們進一步再提出 2 項審查意見如下：

Q3-2：目前 HOTMAC/RAPTAD 僅以風速連續七日為東北風 0m/sec、2m/sec、5m/sec 三種假設作靈敏度評估，建議增加一個延伸案例，如前五日設定為 2m/sec，後二日為 0m/sec 的狀況。

台電公司再補充答覆為：

已依審查意見增加新的案例供委員參考，評估結果如附件二之案例四。(請參見台電公司報告)

Q4-2：目前相關設定皆以夏季(七月)的溫差為典型進行計算，建議增加冬季區域環流之擴散與劑量累積狀況。

台電公司再補充答覆為：

已依審查意見增加新的案例供委員參考，評估結果如附件二之案例五。(請參見台電公司報告)

針對 Q3 及 Q4 系列問題，委員最後提出審查意見如下：

Q3-3：報告中以可模擬地形效應的 HOTMAC/RAPTAD 模式，來模擬計算擴散影響範圍，若疏散干預基準以 50 毫西弗來考量，最大擴散影響範圍為何？請於報告中述明，以作為龍門核電廠緊急應變計畫區範圍劃定之參考。

台電公司之回覆說明為：

緊急應變計畫區評估工具，世界各國多採用美國核管會認可的程式 MACCS2，故本公司亦採用相同的方法論，依法合理評估緊急應變計畫區。MACCS2 是以高斯擴散模式搭配統計取樣後之氣象條件進行評估，再加上相當保守的輻射源釋放假設，整套評估程序可適當反應龍門核電廠各類事故於全年各種氣候型態之劑量影響，適用於設立緊急應變計畫區範圍評估之目的。本公司採用 MACCS2 計算評估龍門核電廠緊急應變計畫區為反應器中心半徑 4.5 公里之範圍。

由於 MACCS2 為高斯擴散模式，無法提供龍門地區複雜地形對氣流所造成的影響及夏季常見的海陸風現象之模擬，本公司獲大會同意使用核能研究所與中央氣象局發展建置國內核能電廠緊急應變劑量評估系統，利用高階大氣亂流模式與煙流傳輸擴散模式(HOTMAC/RAPTAD 模式)進行地形及海陸風效應影響評估，該程式主要應用於國內核子事故緊急應變階段，即時預測民眾劑量影響而建議採行相關防護行動之

評估參考，與 MACCS2 程式不同，國際上鮮少應用於緊急應變計畫區範圍評估。

本公司為提供 大會可探討龍門核電廠外釋放射性核種受周圍地形與海陸風效應之擴散影響，依據 HOTMAC/RAPTAD 模式的原理，評估時氣象資料僅能採用中央氣象局所建置的龍門地區周圍 30 公里範圍內的特定 7 天的典型風場，無法採用龍門核電廠氣象塔量測數據及無法考量龍門核電廠全年的氣象變化，本公司檢視 20 年氣象資料統計，雖無連續 7 天相同風向的情形發生，但仍假設連續 7 天大環境風向為東北風，風速為靜風、2m/s 與 5m/s，以凸顯周圍地形可能帶來的影響，並也探討在夏季海陸風盛行以及在冬季東北季風場盛行的影響趨勢，供 大會參考。由於氣象條件無法採用龍門核電廠歷年的氣象塔統計數據，所得之劑量分布結果僅為了解地形及海陸風效應影響情形，不宜作為實際 50 毫西弗影響的區域之認定。

在提供 大會的案例分析中，案例一探討大環境靜風下而僅受區域環流影響，其結果造成西南方向河谷的劑量累積，因此為凸顯西南方向河谷的劑量累積，再進而探討 2m/sec 與 5m/sec 大環境東北風的影響程度，結果顯示，以連續 7 日東北風 2m/s 的外加大環境風速計算結果的影響範圍最大。細部觀察劑量分布結果，可知電廠近距離周圍劑量影響以擴散作用為主，影響範圍約在反應器中心半徑 2 公里左右，此擴散影響結果較 MACCS2 計算之反應器中心半徑 4.5 公里影響範圍小，顯示考量擴散作用的 MACCS2 計算結果已相當保守。

至於大環境東北風與海陸風效應影響，傳輸作用所造成的劑量影響就具有顯著的方向性，在陸地方向除西南方外，其他地區幾乎沒有影響；海陸風效應會驅使劑量影響範圍侷限在龍門核電廠的東北方海面及西南方山谷，在與地形交錯影響下，位於龍門核電廠西南方半徑約 3~8 公里山區可能會造成局部地區 7 天累積劑量達 50 毫西弗，建議列於未來採取民眾防護行動措施的重點關切區域。由表 E-1 龍門核電廠方圓五十公里戶政人口分布得知，位於電廠西南方半徑 3~8 公里範圍內約有 700 多人，建議加強民眾防護宣導，於萬一發生核子事故之時也不致造成疏散困難。另分析電廠半徑 3~8 公里內的人口居住密集區主要為東南方與西方，其 7 天累積劑量影響均遠小於 10 毫西弗。

綜合上述評估可知，藉由 MACCS2 所計算評定之龍門核電廠緊急應變計畫區，即反應器中心半徑 4.5 公里之範圍，應已相當保守，可作為龍門核電廠緊急應變計畫區範圍劃定之參考。

台電公司針對 Q3 及 Q4 系列問題之回覆說明，經審查結果可以接受。

Q5：擴散模擬之風場必須考慮氣候變化。目前僅以 5 年風場做模擬，不能反映未來可能之趨勢。如堤防、水壩等各種防災工程，必須考慮 50 年、100 年洪水頻率；擴散模擬也需考慮未來的風場非此 5 年觀測風場所能涵蓋。

台電公司之回覆說明為：

依循核子事故緊急應變法及其施行細則之要求，核電廠之緊急應變計畫區須每五年重新檢討計算，此即考量每五年氣候變遷之影響。未來亦將持續依實際量測之氣象資料，配合修正緊急應變計畫區之設立。

委員進一步提出審查意見如下：

Q5-1：許多氣候變化是長時間持續性的變化，五年氣象資料許多現象是看不出來的，若能增加歷史氣象的評估方能更有說服力。

台電公司之回覆說明為：

已依委員建議以現有的 80 至 99 年資料進行評估。依目前結果而言設計基準事故劑量超出 50mSv 的部份，仍維持在反應器中心半徑 4.5 公里之內。（評估結果請參見台電公司報告附件一）

台電公司之回覆說明，經審查結果可以接受。

(三) 龍門核電廠緊急應變計畫區分析結果之補充說明

針對台電公司報告第四章龍門核電廠緊急應變計畫區分析結果的審查，委員主要的審查發現彙整如下：

Q1：福島災變以後，各核電廠的事故設計基準普遍認為過於保守，因此在模式計算中，其中許多參數的假設均須詳細說明選取的理由。

台電公司之回覆說明為：

各項參數（如洩漏率）來源皆參考 FSAR 第十五章的分析，依據表 15.6-8，估算時使用的參數如下：

- 圍阻體洩漏率為 0.5%/day，為龍門電廠運轉規範要求之

圍阻體洩漏率上限；

- SGTS 對於碘核種的過濾效益為 99%，對於惰性氣體的過濾效益為 0%；
- 事故發生時立即成為可外釋的碘核種爐心盤存量有 50%；
- 事故發生時立即成為可外釋的惰性氣體爐心盤存量有 100%。

DBA LOCA 圍阻體洩漏的途徑是爐心分裂產物從壓力槽進入一次圍阻體，接著因圍阻體洩漏而進到二次圍阻體，然後經過 SGTS，由煙囪排放至大氣環境，因此，估算式子如下：

$$(碘核種) \quad 2 \times 50\% \times 0.5\% \times 7 \times 1\% = 0.035\%$$

其中，
2 表示考慮雙機組同時發生事故；
50% 為事故發生時立即成為可外釋的碘核種爐心盤存量；
0.5% 表示圍阻體每天的洩漏率；
7 係為了計算 7 天有效減免劑量；
1% 表示 1% 碘核種可經過 SGTS。

$$(惰性氣體) \quad 2 \times 100\% \times 0.5\% \times 7 \times 100\% = 7\%$$

其中，
2 表示考慮雙機組同時發生事故；
100% 為事故發生時立即成為可外釋的惰性氣體爐心盤存量；
0.5% 表示圍阻體每天的洩漏率；
7 係為了計算 7 天有效減免劑量；
100% 表示 100% 惰性氣體可經過 SGTS。

台電公司之回覆說明，經審查結果可以接受。

Q2：LOCA 事故時，排放點是以何高度來進行劑量評估？

是否有考慮到高點排放？LOCA 所採用的排放高度的大氣擴散係數(γ/Q)值，是以何高度數值推估？

台電公司之回覆說明為：

LOCA 事故實際上包含地面及高點排放等多項途徑，本報告評估時對於 LOCA 事故排放假設為地面排放，大氣擴散係數為 MACCS2 程式內部計算地表高度 0 公尺之數值。本公司將遵照委員意見於本文中加強說明。

已參照委員意見於 4.1 節第四段補充說明『此外，核能電廠設計實際上從燃料丸至圍阻體有多重輻射防護屏蔽...』。

台電公司之回覆說明，經審查結果可以接受。

Q3：爐心熔損事故共 15 類，建議於報告內說明一下其意義。

台電公司之回覆說明為：

已依審查意見於第 4.2 節第二段內文補充『根據龍門核電廠 FSAR 附錄...』及表 4.5 供參考。

台電公司之回覆說明，經審查結果可以接受。

Q4：核種類別共 9 類，建議於報告內說明分類的原則。

台電公司之回覆說明為：

已依審查意見於第 4.1 節第四段內文補充『核電廠爐心內含之核種為...』。

台電公司之回覆說明，經審查結果可以接受。

二、龍門核電廠緊急應變計畫區行政區域範圍

根據台電公司 101 年提送的「龍門核電廠緊急應變計畫區評估檢討修正報告」分析結果，龍門核電廠之緊急應變計畫區約為 4.5 公里。本會於 100 年 10 月 27 日公告「核一、二、三廠緊急應變計畫區」為 8 公里，考量我國核能電廠的緊急應變計畫區範圍宜一致，因此審查過程中亦請台電公司提供龍門核電廠緊急應變計畫區 8 公里範圍內之行政區域圖。

台電公司依據交通部運輸研究所 100 年版之圖資，繪製龍門核電廠 8 公里涵蓋之行政區域如圖 1。另依據自內政部取得新北市之門牌位置資料，進行套疊至前述行政區域圖中，完成「龍門核電廠緊急應變計畫區行政區域含門牌位置圖」如圖 2，其中新北市瑞芳區南雅里、雙溪區上林里及泰平里雖有部分在 8 公里範圍內，然該區域應無人居住。為求審慎，台電公司派人前往勘查，確認此三個區域皆為山區或水源區無人居住，經評估後，台電公司建議不列入緊急應變計畫區。

基於應變計畫涉及地方的作為，為求審慎周延，經本會拜訪地方政府進行緊急應變計畫區擴大後相關配套措施規劃之溝通說明，同時瞭解地方心聲及行政區的運作後，決定龍門核電廠緊急應變計畫區範圍約 8 公里，涵蓋之行政區域為新北市貢寮區貢寮里、吉林里、雙玉里、龍崗里、龍門里、福隆里、仁里里、真理里、福連里、美豐里、和美里、雙溪區三港里、魚行里、新基里、共和里、牡丹里、雙溪里、平林里、三貂里、上林里、泰平里及宜蘭縣頭城鎮石城里、大里里等，共計 23 個里(如圖 3)。



圖 1. 龍門核電廠緊急應變計畫區行政區域圖(台電公司版)

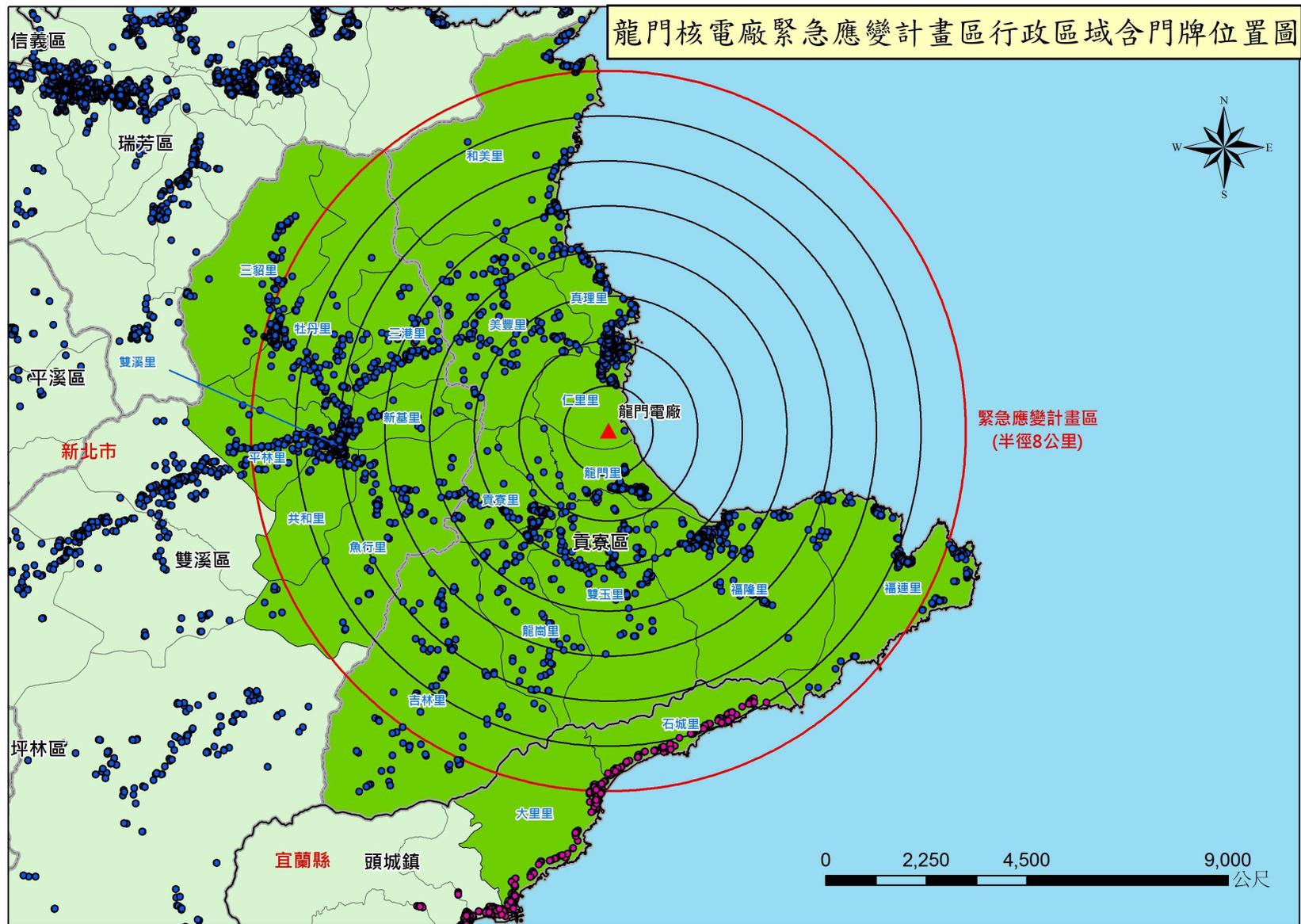


圖 2. 龍門核電廠緊急應變計畫區行政區域含門牌位置圖(台電公司版)

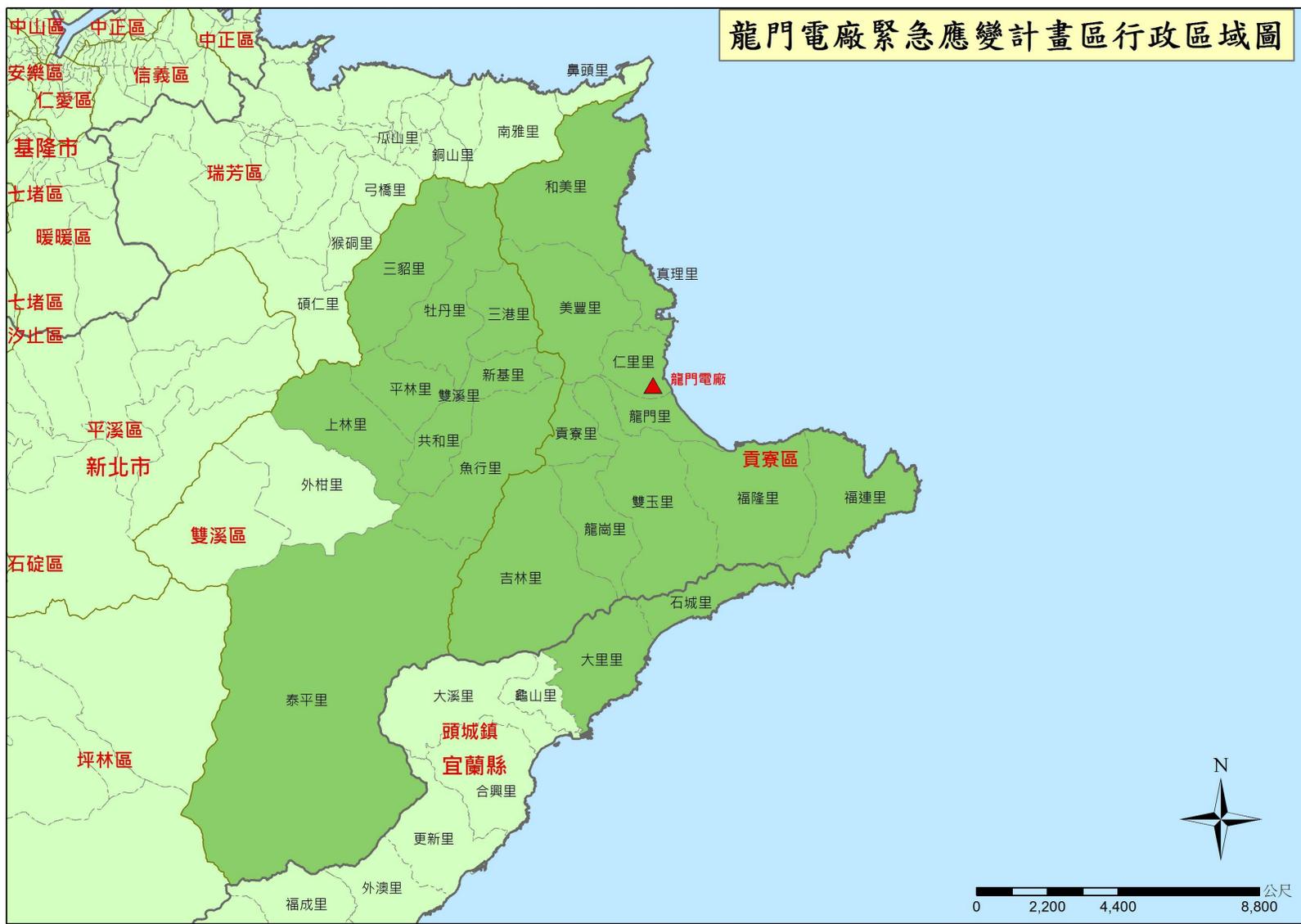


圖 3. 龍門核電廠緊急應變計畫區行政區域圖

肆、審查結論與後續要求事項

台電公司以 MACCS2 程式評估分析所得的結果顯示，假設龍門核電廠發生設計基準事故時，距離反應器中心半徑 4.5 公里處的有效劑量已至少降低至 42.3 毫西弗，可符合設計基準事故所造成之七日內劑量低於 50 毫西弗之評估準則；而爐心熔損事故發生時，距離反應器中心半徑 0.5 公里處超出 50 毫西弗或是 2 西弗之年機率分別為 8.94×10^{-6} 以及 6.34×10^{-8} ，亦能符合爐心熔損事故所導致之劑量風險年機率低於 3×10^{-5} 以及 3×10^{-6} 之評估準則。總結此次檢討修正結果，若疏散干預基準以 50 毫西弗來考量，龍門核電廠緊急應變計畫區為反應器中心半徑 4.5 公里之範圍。

本會成立的審查小組歷經 7 個多月之專業審查後，達成以下結論：台電公司提送之「龍門核電廠緊急應變計畫區評估檢討修正報告」之評估結果顯示，若疏散干預基準以 50 毫西弗來考量，龍門核電廠緊急應變計畫區為反應器中心半徑 4.5 公里之範圍，符合現行「核子事故緊急應變法施行細則」第三條規定的評估準則，經審查結果可以接受。然「核一、二、三廠緊急應變計畫區」業於 100 年 10 月 27 日核定公告為 8 公里之範圍，經審查委員討論結果，考量我國國情與民眾接受程度，我國核能電廠的緊急應變計畫區範圍宜一致，因此審查委員建議將龍門核電廠緊急應變計畫區由現有之 5 公里擴大為 8 公里。

此外，日本福島事故後，我國各核能電廠均進行安全總體檢，除了針對核能電廠防海嘯、防洪、耐震等，執行安全防護的升級外，在本會要求下，台電公司已建立斷然處置程序，縱使發生超出設計基準之天然災害，台電公司將當機立斷注入海水，維持反應爐核燃料被水

覆蓋，避免爐心熔毀及輻射外洩，決不重蹈福島事故之覆轍，也就是充分展現「防災重於救災」的精神。

透過層層的安全防護措施，儘管核子事故發生的機率很低，然而基於保護民眾安全的決心，原能會仍抱著戒慎恐懼的態度進行緊急應變機制之檢討與精進規劃，確保萬一發生嚴重核子事故時，能將民眾之傷害降至最低。由於 MACCS2 程式為簡單的高斯擴散模式無法考慮龍門核電廠複雜地形對氣流所造成的影響，因此審查委員提出相關疑慮請台電公司澄清，台電公司依照審查意見，另佐以可模擬地形效應的高階大氣亂流模式與煙流傳輸擴散模式(HOTMAC/RAPTAD 模式)進行地形及海陸風效應影響評估，該程式主要應用於國內核子事故緊急應變階段，即時預測民眾劑量影響而建議採行相關防護行動之評估參考。台電公司的評估結果顯示，在特定保守的氣候條件下，海陸風效應會驅使劑量影響範圍侷限在龍門核電廠的東北方海面及西南方山谷，在與地形交錯影響下，位於龍門核電廠西南方半徑約 3~8 公里山區可能會造成局部地區 7 天累積劑量達 50 毫西弗，因此，基於強化防災應變與合理抑低的考量，該區將列為未來防災對策之重點關切區域。

有關龍門核電廠緊急應變計畫區行政區域涵蓋的範圍，經本會拜訪地方政府進行緊急應變計畫區擴大後相關配套措施規劃之溝通說明及兼顧地方政府各行政區域運作的規劃考量後，本會決定龍門核電廠緊急應變計畫區範圍約 8 公里，涵蓋之行政區域為新北市貢寮區貢寮里、吉林里、雙玉里、龍崗里、龍門里、福隆里、仁里里、真理里、福連里、美豐里、和美里、雙溪區三港里、魚行里、新基里、共和里、牡丹里、雙溪里、平林里、三貂里、上林里、泰平里及宜蘭縣頭城鎮石城里、大里里等，共計 23 個里。

後續要求事項：

1. 台電公司應於龍門核電廠西南方之新北市貢寮區龍崗里、吉林里、雙溪區魚行里、泰平里及宜蘭縣頭城鎮石城里各增設 1 座固定式環境輻射監測站，並將相關環境輻射監測資訊即時上網公布。
2. 台電公司後續依「核子事故緊急應變法」第十三條規定提出之緊急應變計畫區內民眾防護措施之分析及規劃報告，亦應將龍門核電廠西南方半徑 3~8 公里區域列為未來防災對策之重點關切區域。

前述 2 項要求列為本會審查同意龍門核電廠一號機核子燃料裝填前的應完成項目。