

出國報告（出國類別：會議）

參加第五屆歐洲國際輻射防護學會會議

服務機關：原子能委員會輻射偵測中心

姓名職稱：洪明崎副主任、劉任哲技士

派赴國家/地區：荷蘭/海牙市

出國期間：107年6月3日至10日

報告日期：107年8月6日

摘要

本次奉派參加第五屆歐洲國際輻射防護學會(IRPA: International Radiation Protection Association)會議，於2018年6月4日至8日在荷蘭海牙市世貿會議中心舉行，由荷蘭輻射防護協會主辦，規劃五天的會議議程，採大會全體會議、專題分組會議、壁報論文展覽、以及廠商儀器展覽等進行，為輻射防護專業人員提供了相互經驗交流的機會。

大會邀請Stefan Mundigl、Hilde Bosmans、Michael Hauptmann、Jean Francois Lecomte等四位歐洲輻射防護著名專家分別就「歐盟的輻射防護」、「醫療曝露最佳化的新方法」、「來自醫療輻射的癌症風險新的證據」、「來自工業處理過程中天然存在的放射性物質(NORM)的輻射防護」等專題演講，講述他們在輻射防護方面的研究成果，以供與會專家分享。本屆口頭發表和壁報論文合計約300篇，口頭發表論文歸納為輻射研究與應用、輻射共通性議題、醫療輻射、工業輻射及非游離輻射等五類，採專題分組會議同時進行，內容議題廣泛。本中心發表一篇壁報論文「Indoor Radon Dose Reassessment in Taiwanese Dwellings (臺灣住宅室內氡劑量再評估)」，研究調查台灣地區住宅室內氡濃度造成國民之輻射劑量，並於壁報論文展覽期間與專家學者們互相交流意見，以瞭解歐盟輻射防護與監測最新發展情形。

就會議期間搜集的輻射防護與監測相關資料，彙整八項心得，撰擬重點包括歐盟游離輻射基本安全標準概況、歐盟在核事故或輻射意外緊急情況下輻射資訊交換機制、歐盟環境輻射監測網偵檢器現場校準、輻射地圖方式展現氡曝露監測調查結果、荷蘭執行環境輻射監測的做法、荷蘭核子事故緊急應變整備作為、歐盟發展輻射光譜劑量儀的趨勢、歐盟發展無人機概況等。另也擬出五項建議，期能提升本中心環境輻射監測效能與精進核子事故緊急應變整備作業。

目次

壹、前言(含緣起、目的).....	3
貳、行程.....	3
參、會議過程紀要.....	4
一、大會全體會議.....	5
(一)歐盟的輻射防護.....	5
(二)醫療輻射曝露最佳化的新方法.....	6
(三)來自醫療輻射的癌症風險新的證據.....	6
(四)來自工業處理過程中 NORM 的輻射防護.....	7
二、專題分組會議.....	8
三、壁報論文展覽.....	9
四、廠商儀器展覽.....	10
肆、心得.....	11
一、歐盟游離輻射基本安全標準概況.....	11
二、歐盟在核事故或輻射意外緊急情況下輻射資訊交換機制.....	11
三、歐盟環境輻射監測網偵檢器現場校準.....	12
四、輻射地圖方式展現氡曝露監測調查結果.....	12
五、荷蘭執行環境輻射監測的做法.....	14
六、荷蘭核子事故緊急應變整備作為.....	16
七、歐盟發展環境光譜劑量儀的趨勢.....	17
八、歐盟發展無人機概況.....	17
伍、建議.....	18
一、建立平時例行與緊急狀況下不同的分析標準作業程序.....	18
二、引進輻射光譜劑量儀提升即時監測功能.....	18
三、以輻射圖資方式展現監測數據.....	18
四、建置空浮微粒放射性核種自動分析儀.....	18
五、建議現場校準納入環境輻射監測網運作參考.....	19
陸、附件(本中心發表壁報論文).....	19

壹、前言(含緣起、目的)

因應政府 2025 非核家園計畫，我國 3 座核電廠將陸續達預定運轉年限而須除役。因國內尚無核電廠除役經驗，可能因放射性物質釋出，影響除役核電廠周圍環境，造成目前例行環境輻射監測代表性不足之疑慮，而且核電廠除役期間輻射防護管制與環境輻射監測工作，也將是原能會在逐步解除管制區域時，與民眾進行風險溝通之重要一環。另近年來電腦網路科技進步，核子儀器隨之日新月異，特別是歐盟國家環境輻射監測儀器之發展與應用更是值得我們關注。透過參加歐洲國際輻射防護學會(IRPA)會議，瞭解歐洲各國政府及國際輻射防護組織的輻防專業發展趨勢，進而搜集歐盟新穎的輻射監測儀器資訊，以提升本中心環境輻射監測效能。

歐洲國際輻射防護學會是由不同國家輻射防護專業人士所組成的非營利國際學術組織，該學會多年來致力於推行輻射防護的執行規定，鼓勵輻射防護技能和知識的應用，推動輻射防護文化，以造福個人和社會。國際間許多國家依據 IRPA 的建議制定與輻射防護相關的法規。歐洲 IRPA 研討會每 4 年舉辦 1 次，本屆 IRPA 會議於 2018 年 6 月 4 日至 8 日在荷蘭海牙市世貿會議中心舉行。本次奉派出國目的有 (一)參加 2018 年第五屆 IRPA 會議，(二)發表壁報論文「Indoor Radon Dose Reassessment in Taiwanese Dwellings (臺灣住宅室內氡劑量再評估)」一篇，(三)實地了解歐洲輻射監測儀器發展與核子事故緊急應變整備作為，(四)搜集歐盟成員國環境輻射監測網運作資訊等。

貳、行程

日期	地點	工作內容
107 年 6 月 3 日(日)	高雄-桃園-荷蘭海牙市	1. 去程(高雄市→桃園機場→荷蘭阿姆斯特丹機場→荷蘭海牙市) 2. 壁報論文發表準備
107 年 6 月 4 日(一) ~ 6 月 8 日(五)	荷蘭海牙市世貿會議中心	1. 參加大會會議 2. 參加專題分組會議 3. 發表壁報論文 4. 瀏覽廠商儀器展
107 年 6 月 9 日(六) ~ 6 月 10 日(日)	荷蘭海牙市-桃園-高雄	回程(荷蘭海牙市→荷蘭阿姆斯特丹機場→桃園機場→高雄市)

貳、會議過程紀要

第五屆歐洲 IRPA 會議以“鼓勵輻射防護的可持續性”為主題，大會重點關注歐洲各國擁有並將繼續擁有足夠的設備、人力和資源，以保護民眾的健康和環境，避免游離和非游離輻射的不利影響。本屆會議於 2018 年 6 月 4 日至 8 日在荷蘭海牙市世貿會議中心舉行如圖 1 及圖 2，由荷蘭輻射防護協會(NVS :The Dutch Society for Radiation Protection)主辦，採大會全體會議、專題分組會議、壁報論文展覽及廠商儀器展覽等進行，為輻射防護專業人員提供了相互經驗交流的機會。



如圖 1 會議大廳報到處

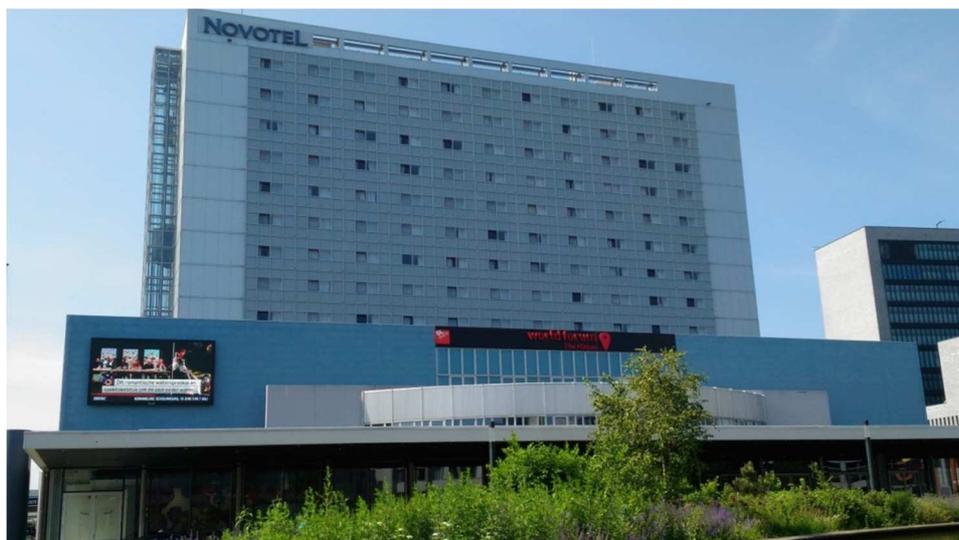


圖 2 荷蘭海牙市世貿會議中心外觀

一、大會全體會議

本屆開幕由荷蘭格羅寧根大學教授兼大會主席 Hielke Freerk Boersma、荷蘭衛生委員會主委 Pim van Gool、核安全和輻射保護管理局理事會主席 Jan van den Heuvel、荷蘭輻射防護學會會長 Carolien Leijen、及 IRPA 主席 Roger Coates 等共同主持，開幕會議情景如圖 3。大會邀請 Stefan Mundigl、Hilde Bosmans、Michael Hauptmann、Jean Francois Lecomte 等輻射防護專家分別就「歐盟的輻射防護」、「醫療輻射曝露最佳化的新方法」、「來自醫療輻射的癌症風險新的證據」、「工業處理過程中天然存在的放射性物質(NORM)的輻射防護」等專題演講，講述他們在輻射防護方面的研究成果，以供與會專家分享。



圖 3 開幕會議情景

(一) 歐盟的輻射防護

1. 在 2004 年到 2006 年期間，Stefan Mundigl 博士曾擔任德國聯邦輻射防護局的部門主管。自 2006 年以來，一直擔任歐洲委員會總部輻射防護和核安部門的政務官員，也曾代表歐盟參與國際委員會或組織有關輻射防護議題討論協調，如聯合國原子輻射影響科學委員會 (UNSCEAR)，國際輻射防護委員會 (ICRP)，國際原子能總署 (IAEA)，國際輻射防護學會 (IRPA)，經濟合作與發展組織核能署 (NEA OECD)，和世界衛生組織 (WHO) 等。
2. Stefan Mundigl 博士演講內容也提到歐洲原子能共同體基本安全標準有關歐盟委員會與其成員國之間業務互動關係。該標準內容涵蓋歐盟委員會的食品和飼料安全計畫、職業輻射防護、醫療輻射曝露、天然輻射源防護、高活度輻射源的安全與控制、人類消費的飲用水中放射性物質的健康防護、緊急應變整備與國際合作、輻射防護教育與培訓、以及歐盟成員國間資訊交換 (Information exchange) 等。該標準也規定歐盟成員國必須建立必要的設施，以持續監測空

氣、水和土壤中的放射性水平，各國有義務定期向歐盟委員會提報監測結果。為定期公佈空氣、水和土壤中放射性水平的資訊及確保其品質，歐盟委員會建置了放射性環境監測 (REM: Radioactivity Environmental Monitoring) 資料庫與網路平台，同時可組稽查團視察各歐盟成員國的量測設施、運作情形，並提出視察建議。

3. 萬一發生核事故或輻射緊急情況，歐盟委員會採用歐盟緊急放射性資訊交換 (ECURIE: European Community Urgent Radiological Information Exchange) 平台通知各成員國，另也建置歐洲放射性數據交換平台 (EURDEP: European Radiological Data Exchange Platform) 與其資料庫，該資料庫監測數據涵蓋加馬劑量率及空浮放射性活度等，EURDEP 各監測站平時每 1 小時更新 1 次，在緊急情況更新頻率為 10 分鐘 1 次。

(二) 醫療輻射曝露最佳化的新方法

1. Hilde Bosmansy 在比利時魯汶大學醫學院擔任教授，致力於藉由開發影像品質精進乳房 X 線照相篩檢技術。Bosmansy 教授提到全球正在應用數位乳房 X 線照相術於乳腺癌診斷和篩查，為了證明乳腺癌篩查的合理性，正在詳細研究輻射劑量與乳房相關的風險。在篩檢應用中應考慮影像品質並兼顧輻射劑量，好的影像品質會對醫療診斷產生影響。
2. Bosmansy 教授也提到有關影像處理或重建、病變檢測性能、影像品質和輻射曝露劑量評估等問題，並強調精確地再現 2D 和 3D 乳房圖像的特徵的重要性，其團隊研究引入具有結構化背景的物理體模型應用於 3D 乳房攝影 (mammography) 和乳房斷層合成 (breast tomosynthesis)，此數位乳房斷層合成 (DBT: Digital Breast Tomosynthesis) 是一種相對較新的 3D 乳房成像技術，與 2D 數位乳房 X 射線照相術相比，它可以實現更好的影像解析度。

(三) 來自醫療輻射的癌症風險新的證據

1. Michael Hauptmann 博士擔任荷蘭阿姆斯特丹癌症研究所及流行病學和生物統計學系的負責人，在方法學和統計學研究等面向提出分享，諸如評估醫療輻射曝露對健康影響的統計方法、臨床研究設計與統計分析、預測癌症倖存者中癌症和心血管疾病的風險、從職業和醫療來源的低到高劑量在輻射流行病學研究等。Hauptmann 博士提出自 1947 年以來長期追蹤調查研究，由數萬名腹部放射治療後之罹患睪丸癌倖存者中診斷出胰腺癌和胃癌風險有增加現象。
2. 儘管電腦斷層 (CT: Computed Tomography) 掃描在臨床上非常有用，但對於比成人更具輻射敏感性的兒童，相關的游離輻射有潛在癌症風險的可能性，並提出兒童時期 CT 掃描的輻射曝露與罹癌風險研究心得。

(四) 來自工業處理過程中 NORM 的輻射防護

1. 本議題由 Jean-Francois Lecomte 博士以 2007 年 ICRP 出版物 103 號報告為前提，講述來自工業處理過程中 NORM 曝露有關輻射防護原則。Lecomte 博士曾任職於法國工業和能源部，現任法國輻射防護與核安全研究所 (IRSN) 的輻射防護資深專家。IRSN 是法國核安全局的主要技術支援機構，IRSN 提交法國核安全局 (ASN) 每年平均 700 份輻射防護相關專案報告，ASN 負責管理法國核安全和輻射防護，主要任務為保護工人、患者和環境免受核輻射活動所涉及的風險，並提供民眾輻射防護資訊。目前 Lecomte 博士代表法國核安全局參與 ICRP 第 4 委員會且擔任第 76 工作組 (Task Group) 的主席。ICRP 主要委員會於 2007 年 10 月在德國柏林舉行的會議上核准了 ICRP 第 4 委員會訂定之 ICRP 出版物 103 號報告。
2. 由於工業過程或工作活動可能引發 NORM 曝露，這些活動致使增加職業和公眾的輻射曝露。NORM 行業的主要類型包括採礦和礦物加工業、能源開採 (煤炭、石油和天然氣生產)、一些金屬生產行業 (鈦、鋁、鋳石、鈦等)、磷酸鹽工業和一些建築材料的生產、以及水處理等等。2007 年 ICRP 出版物 103 號報告建議中歸納為三類曝露，即患者的醫療曝露、職業曝露和公眾曝露，其中患者的醫療曝露發生在診斷與介入治療過程中，因此 NORM 行業不會導致醫療風險。另歸類三種輻射防護曝露情境即計畫曝露情況、緊急曝露情況、和既有曝露情況。計畫的曝露情況是由於故意引入和操作來源而引起的，此曝露可以預期和控制。緊急曝露情況是由於對來輻射源失去控制造成的，因此必須採取緊急行動以避免或減少不良後果；其還包括由惡意行為或任何其他意外情況引起的曝露。既有的曝露情況是在採取控制相關曝露的決定時，曝露的來源已經存在的情況，包括天然發生的曝露以及過去輻射意外事件和核事故所造成的曝露。
3. Lecomte 博士在演說中提到輻射防護原則，任何涉及輻射曝露的活動都必須具備充分理由，也就是說該活動對受曝露的個人或社會應利多於弊，即實踐的正當化原則。另個人劑量及受輻射曝露的人數，應在合理可行及考慮經濟和社會因素的情況下減至最少，即輻射防護的最優化原則，即盡可能合理地實現 (ALARA: As Low As Reasonably Achievable)，這些原則在 NORM 行業中扮演重要角色。
4. Lecomte 博士在這次會議也提到氬曝露問題，在 NORM 行業中工作人員有關氬曝露造成之劑量因可能是偶然的，在這種情況下，工作人員應被視為公眾成員考慮。無論 NORM 曝露情況如何，都主要在優化過程的基礎上進行管理，ICRP 委員會第 76 號工作組未來需要進一步思考，以確定適用於 NORM 曝露的建議。

二、專題分組會議

專題分組會議口頭發表論文約 180 篇，依論文內容主要歸納為輻射研究與應用、輻射共通性議題、醫療輻射、工業輻射及非游離輻射等五類，各類之論文數量比例如圖 4 所示，以輻射研究與應用方面占 41% 最多。這五類在同一時段且不同會議廳同時進行，我們主要參加輻射研究與應用、輻射共通性議題等專題會議場次，而以參加非游離輻射會議場次最少，以下摘紀各類主要討論內容。

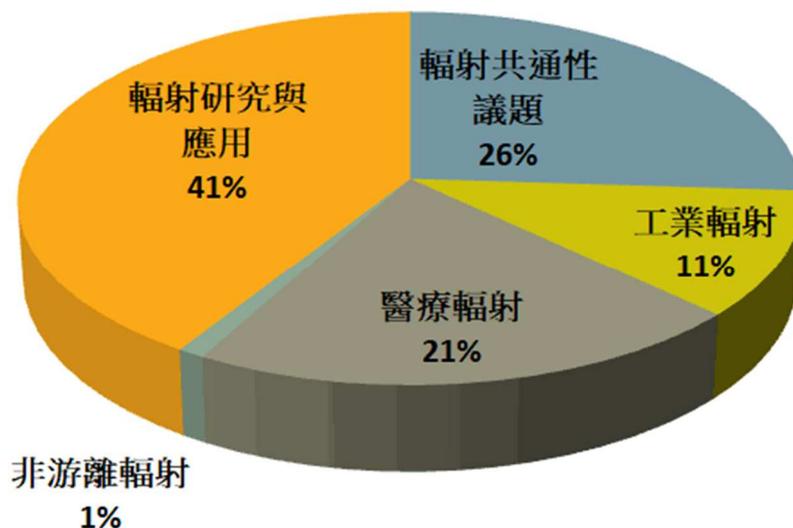


圖 4 專題分組會議口頭發表論文各類之論文數量比例

- (一) 輻射研究與應用方面，主要討論內容包括輻射防護的計算劑量學與模式建置、住宅室內空氣中氡的管制與測量、核事故緊急應變管理與準備、游離輻射的早期和晚期確定性影響、個人劑量測定的進展、放射性核種生產的新進展、核設施的退役所帶來的輻射防護挑戰、21 世紀的輻射應用風險交流、關於國際輻射防護委員會建議的可持續性的討論、及從基本安全原則到輻射防護計畫運行等。另人和環境（例如動物和植物）接受輻射劑量的計算模式與評估、宇宙輻射與飛航劑量等也有與會專家提出討論。
- (二) 輻射共通性議題方面，主要討論內容包括年輕一代的輻射防護現狀與挑戰、加強輻射安全文化、放射源安全文化(減輕內部威脅)、公眾對輻射風險的理解、溝通與風險管理、輻射防護相關教育和培訓及輻射防護的倫理等。此議題與會專家也提出緊急應變準備和風險溝通看法、輻射防護的可持續性作為、利益相關者參與(Stakeholder involvement)輻射防護活動等經驗分享。

- (三)醫療輻射方面，主要討論內容包括患者劑量和診斷參考水平、眼球水晶體和四肢劑量監測的程序、醫學監督(監視眼睛鏡片)和風險評估、光學輻射(眼睛保護)、CT 檢查中的胎兒輻射劑量等。另患者劑量最佳化、可靠和經濟地使用放射性同位素與 X 射線有關的問題等也是與會專家關注焦點。
- (四)工業輻射方面，主要討論內容包括 NORM 特性和應用測量、應用人工神經網絡評估 NORM 行業活動活度濃度豁免限制、及歐洲相關 NORM 法令對歐盟邊界的影響等。與會專家也就有關核電廠、NORM 再處理工廠等輻射防護執行面問題提出經驗分享。
- (五)非游離輻射議題，主要討論內容包括紫外線輻射防護與健康影響、預防皮膚癌、醫藥和工業中的雷射光安全和保護等。另歐洲工業、醫療和環境中電磁場曝露和可能的健康影響，諸如手機、電力線、磁振造影及電磁頻率傳輸站等，有關公眾對其風險的看法及監管保護原則方面，與會專家們也提出討論與經驗分享。

三、壁報論文展覽

(一)本屆研討會議壁報論文成果展安排於海牙市世貿會議中心 1 樓展示大廳，壁報論文成果展覽實景如圖 5，壁報論文總計約 120 篇報告，分成 4 個區域展示。主題非常廣泛，包含醫療輻射防護與劑量評估、核設施除役、輻射度量設備與技術、放射源安全文化、天然放射性物質、輻射防護系統與劑量限制、歐盟輻射防護法規、氡的輻射防護與體內劑量評估、核子事故緊急應變、放射性廢棄物管理、非游離輻射的健康影響、日本福島實務經驗等議題。展覽期間與其他壁報論文作者們交換意見，瞭解最新研究情形。另展覽區也設有數位展示電腦平台，在會議期間可以在該平台上顯示任何海報，透過大會聯繫程序，參與者可以安排與任一壁報的作者見面，並進一步討論壁報內容。除壁報論文靜態展示外，大會在休息期間亦有安排幾個時段，舉行特殊簡短報告(elevator pitches)活動，讓壁報論文作者口頭發表，與現場專家進行技術諮詢與討論。

(二)今年本中心發表一篇論文「Indoor Radon Dose Reassessment in Taiwanese Dwellings (臺灣住宅室內氡劑量再評估)」，研究調查台灣地區住宅室內氡濃度造成國民之輻射劑量。我們採用氡監測儀進行量測，收集 279 戶住宅室內客廳和臥室的氡濃度，加權平均氡濃度為 $19.3 \text{ Bq}\cdot\text{m}^{-3}$ 。調查結果顯示在客廳與臥室的氡濃度無明顯差異，且目前所有收集之室內氡濃度均低於 WHO (世界衛生組織)建議值 $100 \text{ Bq}\cdot\text{m}^{-3}$ ，評估氡氣對台灣地區國民之輻射劑量約為

每年 0.68 毫西弗，比本中心 25 年前的評估值每年 0.36 毫西弗高 88%，約為 UNSCEAR 公布世界平均值每年 1.2 毫西弗的 57%。雖然目前台灣地區氬濃度調查結果遠低於 WHO 建議值，但建議每個家庭應保持室內空氣流通，以確保良好的空氣品質和健康的環境。



圖 5 壁報論文成果展覽實景

四、廠商儀器展覽

(一)安排廠商儀器展場在海牙市世貿會議中心 1 樓大廳入口兩側，如圖 6，共計 21 家大型儀器公司展示最先進的輻射偵測儀器，大部分是歐洲的廠商。會場配備保全，務須配戴大會提供之名牌才可進入會場及展示區域。



圖 6 廠商儀器展覽區實景

(二)展示的儀器種類十分廣泛，諸如各類型手持式輻射偵檢器、快速篩檢功能放射性分析相關設備、核設施輻射監測儀器、機動式緊急應變輻射偵測儀器、隱藏式背包輻射偵檢儀器、無人機空中偵測儀器、車載式緊急應變輻射偵測儀器、樣品中總 α 活性和總 β 活性計數器、識別放射性核種監測器、門禁輻射監控儀器、個人輻射劑量計、超高流量空浮微粒自動取樣分析儀器、人員快速全身計測設備、行駛於高劑量區域的小型機動偵檢車、水中加馬光譜監測器、環境加馬光譜與劑量率監測整合設備、低能光子及中子校正相關設備等。

肆、心得

一、歐盟游離輻射基本安全標準概況

目前核能發電為歐盟最主要的發電量來源，占約 26%，但是隨著老舊核能發電廠逐漸淘汰，比例有穩定下降的趨勢，每個歐盟國家都面臨抉擇，依其國情決定是否將核電納入其能源結構中。歐洲原子能聯盟（European Atomic Energy Community）是獨立的法律實體且受歐盟機構管理，在歐盟內的所有核能電廠都受其管轄。為確保人類健康免受游離輻射引起的危險，歐洲原子能聯盟邀請公共衛生科學專家，尤其是輻射防護專家，制定了輻射防護基本法，其主要內容包括環境輻射、飲用水中的輻射、醫療輻射、運輸放射性物質、密封輻射源的控制及新核設施輻射影響評估等。

從日本福島事故後也更新游離輻射基本安全標準版本，除加強了對緊急應變準備和應變的要求外，更明確規範保護可能遭受游離輻射的對象，諸如核能工業和其他工業應用的工作人員、醫務人員、在室內氬氣場所工作的人員或涉及天然放射性物質活動的工作人員。另外在建築物中的氬濃度規定、避免放射診斷和放射治療中的事故等方面也有加強要求。最新的游離輻射基本安全標準法令於 2014 年 2 月 6 日生效，歐盟成員國必須在今年(2018 年)2 月 6 日之前要遵循。

二、歐盟在核事故或輻射意外緊急情況下輻射資訊交換機制

歐盟委員會聯合研究中心（JRC: Joint Research Center）為歐盟的決策提供獨立的科技支援。該研究中心的放射性環境監測（REM）小組在 2013 年開發新版的歐洲放射性數據交換平台（EURDEP）實時交換輻射監測數據，監測數據來自 39 個參與國家的自動監測系統，約 5000 個監測點，以平均加馬劑量率數值和過去 24 小時的歷史數值形式在輻射地圖上顯示環境輻射監測結果。如果沒有輻射意外事件發生，這些數據基本上反應了天然輻射背景。

若在核事故或輻射意外緊急情況下，REM 採下列三種方式提供基本數據和信息交換：

（一）以歐盟緊急放射性資訊交換（ECURIE）通知歐盟成員國；

（二）以 EURDEP 輻射地圖提供即時監測數據；

（三）透過國家大氣擴散預測調節（ENSEMBLE: A SYSTEM FOR ENSEMBLE

DISPERSION FORECAST IN CASE OF NUCLEAR EMERGENCIES）網路平台，藉以調和各歐盟成員國的大氣擴散評估模式、天氣預報方法以及國家緊急應變管理策略等差異，解決緊急應變管理和決策協調一致性的問題。

三、歐盟環境輻射監測網偵檢器現場校準

1986年車諾比爾(Chernobyl)發生核反應器事故之後，歐盟的大多數國家都建置了環境輻射監測網，歷經十多年建立了一個共同的歐洲放射性數據交換平台(EURDEP)，例行情況下所有歐盟成員國每天以線上自動傳輸方式提報其監測結果。在緊急情況下，提報間隔縮為一小時，甚至10分鐘以內。各歐盟成員國建置之環境輻射監測網路運作機制略同，但至今各成員國採用之加馬劑量率偵檢器類型不竟相同，包括蓋格計數器、比例計數器、閃爍偵檢器、游離腔偵檢器、和半導體偵檢器等。這些偵檢器類型因結構特性差異，致使其輻射靈敏度、線性、能量依賴性、結構本身效應(如偵檢器內部雜訊)和對宇宙游離輻射的反應等不同。

自1996年起德國聯邦輻射防護局為比較長期在惡劣氣候條件下(如豪雨季節、寒冷雪天)不同的加馬劑量率偵檢器類型對環境背景輻射反應結果，協調各歐盟成員國每2年到3年進行一次比對。另該局也與德國國家度量衡標準研究所合作，設計一套校正模式，即將不同類型之偵檢器安裝在一個半徑5米的圓形之圓周點上且同一高度(距地表1公尺)，並放置輻射校準源在圓圈中心，同時進行校準所有偵檢器並互相比對。歐盟成員國中德國為擁有最多劑量率監測站數量的國家，將近2000個監測站，為要求監測數據品質，積極推動偵檢器現場校準比對的做法，值得我國國內環境輻射監測網運作參考。

四、輻射地圖方式展現氡曝露監測調查結果

氡屬於天然背景輻射來源之一，有別於人造輻射的防護，根據1987年發表的ICRP 50號報告探討住宅和工作場所曝露氡的肺癌風險，因此氡在歐盟和其他歐洲國家一直是監管控制的重要議題。1990年出版的ICRP 60號報告引入劑量約束的觀念，對於一般民眾接受天然背景輻射的防護有了干預的依據，因此對室內氡活度的防護是以行動基準(Active Level)取代容許濃度限值。1990年歐盟委員會關於保護公眾免於室內氡曝露的建議書也參考這些觀念，即現有建築中室內曝露一個參考水平為每年20 mSv(當時相當於 $400 \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-3}$)，未來新建築的設計水平將建議為 $200 \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-3}$ ，雖然此建議值比其他國家或組織(美國： $150 \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-3}$ ；英國： $100 \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-3}$ ；世界衛生組織： $100 \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-3}$)略高，但仍意味著保護新建築免受氡污染。

2013年歐盟委員會根據ICRP 103號報告於基本安全標準(BSS:Basic Safety Standards)規定中進行氡防護的基本原則更新和整合。新的BSS的影響對許多歐盟成員國來說將是重要的，因為該規定要求他們制定計畫，以便到2018年2月前達到所要求的標準。每個成員國都需要訂定一個“國家行動

計畫”來處理工作人員的氡曝露，且還要處理公眾的氡曝露，並提高對氡風險的認識。該計畫中應考慮到減少住宅中氡曝露的策略，提高公眾和工作人員意識的溝通，並在減少氡曝露可能導致的肺癌風險方面確定長期目標。歐盟委員會聯合研究中心彙集 34 個歐洲參與國家輻射防護主管部門提供之住宅內氡曝露輻射監測數據，不定期以輻射地圖方式更新展現，如圖 7。另荷蘭在 2013 年至 2014 年制定之國家行動計畫也完成氡監測調查如圖 8 所示，整個荷蘭境內平均氡活度濃度為 $16 \text{ Bq}\cdot\text{m}^{-3}$ ，僅 0.4%之住宅內氡活性濃度介於 100 與 $200 \text{ Bq}\cdot\text{m}^{-3}$ 之間，荷蘭典型住宅內氡的來源有 70%是建築材料造成。這種以輻射地圖方式展現氡曝露監測調查結果之做法，值得我們學習。

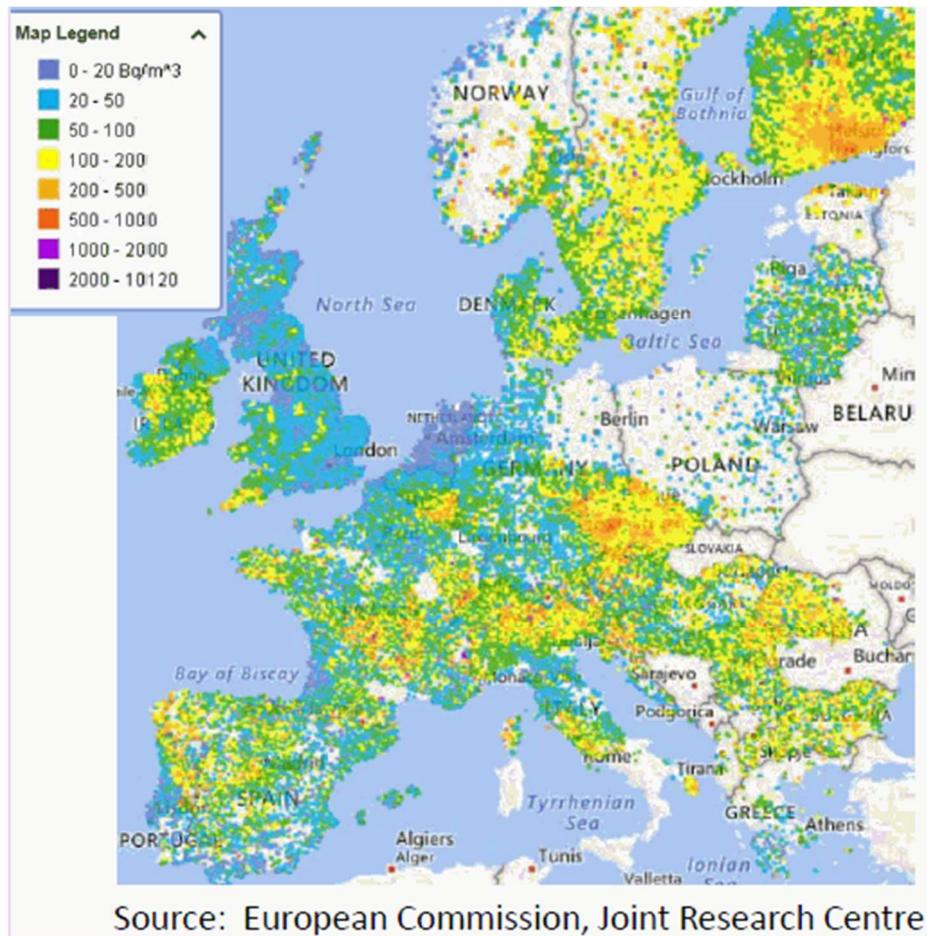


圖 7 歐洲國家住宅內氡曝露輻射地圖(March 2018)

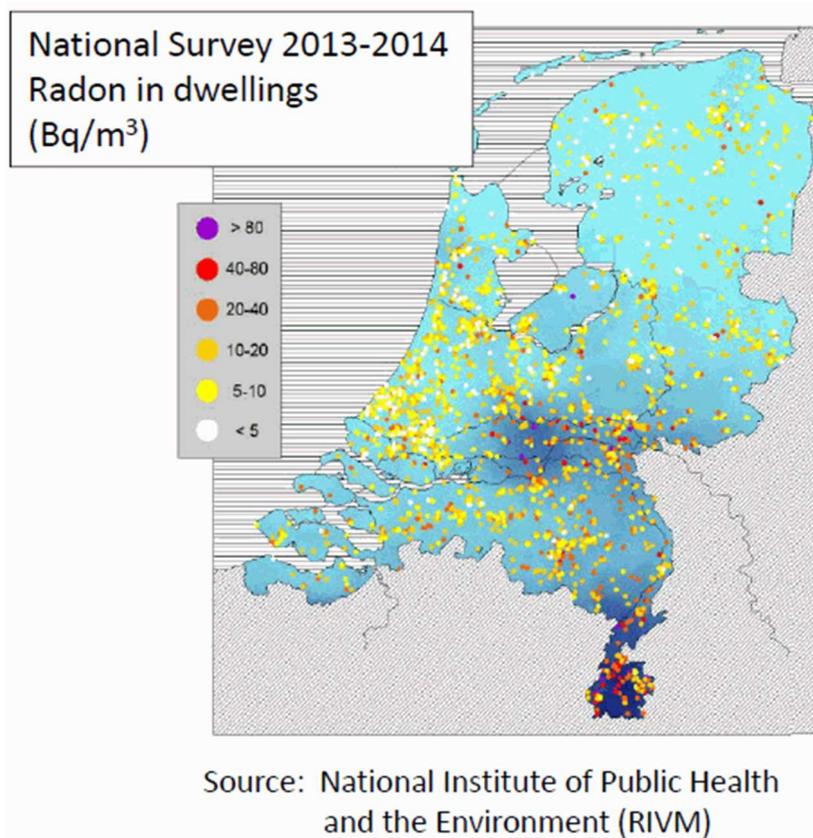


圖 8 荷蘭國家住宅內氡曝露輻射地圖

五、荷蘭執行環境輻射監測的做法

荷蘭是歐盟國家之一，荷蘭政府必須根據歐洲原子能聯盟制定的《歐洲原子能機構條約》36 條的建議，建立必要的輻射監測設備，以持續監測空氣、水和土壤中的放射性含量。目前荷蘭主管當局為核安全和輻射防護局 (ANVS)，負責荷蘭的環境監測和緊急應變準備，ANVS 委託國家公共衛生和環境研究所(RIVM: National Institute for Public Health and the Environment) 執行國家環境監測計畫，計畫內容中關注的分析試樣包括空浮微粒、落塵、地表水、海水、飲用水、土壤、食物、草、牛奶和飼料等，其中落塵試樣係透過多個乾溼沉降採集器收集，如圖 9。這些試樣分析結果應每年提報歐盟委員會。RIVM 在環境輻射監測做法與現行我國類似，不過其在環境劑量及空浮微粒等方面之監測設備建置比我國完整。

RIVM 開發一套國家輻射監測網(NRM: National Radioactivity Monitoring Network)，在荷蘭境內建置 167 個監測站如圖 10，均設有測定加馬劑量率的設備，其中 14 個監測站也具有自動測定空浮微粒中總阿爾伐 (α_t)和總貝他 (β_t)功能。該網路監測結果傳送至歐盟委員會聯合研究中心

並納入 EURDEP 輻射地圖顯示。依 NRM 輻射劑量率監測結果，近 10 來年荷蘭境內環境背景輻射劑量率，年平均約為 $0.08 \mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ ，較本中心大部分監測站之監測結果年平均值略高，主要係本中心與荷蘭 RIVM 採用的偵檢器類型不同所致。另 NRM 空浮微粒測定數據比每週抽氣濾紙量測的 α_t 和 β_t 值高，這是由於短半化期的天然放射性核種（如氦子核）貢獻。NRM 自動測定空浮微粒中 α_t 和 β_t ，並即時推算人造貝他 (β_{art}) 活度濃度，藉以研判空浮微粒中是否存在人造放射性核種。



圖 9 荷蘭 RIVM 乾溼沉降採集器設置實景



圖 10 荷蘭環境輻射監測站分布位置

六、荷蘭核子事故緊急應變整備作為

為了核子事故緊急應變整備，荷蘭國家公共衛生和環境研究所(RIVM)備有 25 個移動式加馬劑量率設備，配備與固定站相同，可以在荷蘭的任何地方快速設置，這些移動設備具有無線通信系統和太陽能電池板。RIVM 也備有兩部應變監測車輛和一系列手持監測設備。應變監測車輛裝備有空調和加壓設備，配備發電機、GPS 和 UPS 系統，輻射監測設備涵蓋加馬劑量率、總阿爾伐和總貝他監控儀器、空氣樣品採集器、手持式放射性偵檢器、液體樣品分析設備、及 2 部加馬能譜分析儀(1 部電冷式和 1 部固定於車上的液態氮冷卻式純銻偵檢器)等。

另為核事故或輻射緊急狀況期間能即時取得詳細的輻射監測資訊，荷蘭政府在 RIVM 的所在地 Biltoven (比爾托芬)空曠區域建置一環境輻射監測站，外觀如圖 11。這站內設置大容量空氣取樣器，空氣流速約為 $780 \text{ m}^3\text{h}^{-1}$ ，取樣週期為每週一次，若遇到特殊事件，諸如日本福島第一核電廠事故或歐洲部分地區空氣中發現鈈-106 事件，將會提早更換過濾器。另也建置一套空浮微粒放射性核種分析儀，持續監測環境空氣中放射性核種的活度濃度，每兩小時自動傳送一組結果至設在 RIVM 內的伺服器。RIVM 在核子事故緊急應變整備作為，值得我們仿效。



圖 11 位於荷蘭比爾托芬環境輻射監測站實景

七、歐盟發展輻射光譜劑量儀的趨勢

日本福島第一核電廠事故後，歐洲原子能聯盟條約、國際原子能機構 (IAEA)、和聯合國原子輻射影響科學委員會 (UNSCEAR) 等報告，均強調了適當的環境輻射監測的重要性。尤其在核事故或輻射緊急情況下，環境輻射監測網提供的即時監測數據(如加馬劑量率和空浮微粒活度濃度)是採取措施的關鍵參考資訊，而且在核設施的例行運作期間，關於加馬劑量率和活度濃度的可靠性和數據驗證也是不可缺少的。為了監測環境中之劑量率和活度濃度，蓋格計數器、比例計數器、閃爍偵檢器、游離腔和半導體偵檢器等，是現今最常被使用的輻射偵檢器類型，這些類型偵檢器結構材料性質相異，因而在環境輻射監測之運用上也有所不同。歐洲國家大部分採用蓋格計數器當作監測站之監測儀器，蓋格計數器的主要缺點是不能鑑別能量，即無法提供放射性核種及其含量之相關信息。

歐盟自 2014 年開始積極發展適用於環境中輻射光譜劑量儀，包括溴化鏷 (LaBr_3)、溴化銻 (CeBr_3) 等，它們的結構堅固、價格合理且靈敏性高，且具有可接受的能量分辨率（在 662 keV 時約為 3% ~ 4%）與碘化鈉 (NaI) 閃爍偵檢器的 8% 相比較佳。另基於溴化鏷和溴化銻等偵檢器具有快的閃爍光衰減時間，因此可以測量更高的劑量率，而且使用更小的閃爍晶體，就可達到現行環境輻射監測功能。輻射光譜劑量儀具有鑑別放射性核種，可定量分析地面污染水平的活度濃度 (activity concentration) 且同時提供劑量率等功能，這意味著未來將可能取代歐盟成員國現行採用之劑量率偵檢儀器，同時可用於無人機 (drones 或 unmanned aerial vehicles) 及水下環境中的測量，例如湖泊或海水中的活度濃度。上述輻射監測設備之發展趨勢，值得我們關注。

八、歐盟發展無人機概況

無人機為歐洲社會的利益提供了廣泛的可能性，包括環境控制和安全，以及各種迷人的商業服務。其使用可帶來明顯的經濟節約和環境效益，同時降低人類生命的風險。在任何災難發生後，執行準確和及時的需求評估是後續支援響應的效率和有效性的關鍵，特別是發生複合式災難，如 2011 年 3 月 11 日因強震引起日本福島第一核電廠事故，受影響地區的基礎設施不可避免地遭受破壞，無人機就可發揮其功能，收集重要輻射資訊提供決策者參考。然而，歐盟委員會決策層面缺乏明確的監管框架 (regulatory framework)，無法為無人機與其服務創造真正的歐洲市場，限制了無人機行業的增長與創造潛力。

為了解決這些問題，歐盟委員會根據 2015 年歐盟航空戰略 (European Aviation Strategy) 提議，為所有類型的無人機操作建立一個基本風險的框架 (risk-based framework)。該框架將確保無人機在民用空域的安全使用，並為該行業創造法律確定性。歐盟委員會與歐洲航空安全局合作 (European Aviation Safety

Agency)，確保未來無人駕駛飛機的規則與所涉及的風險成比例，並確保新的開發不受不必要的規則和程序的阻礙。我國正進行規畫發展無人機空中輻射偵檢計畫，對於歐盟之現行作為值得參考。

伍、建議

一、建立平時例行與緊急狀況下不同的分析標準作業程序

一般環境試樣分析實驗室，必須透過認證制度檢核實驗室能力，分析儀器的MDA需較低才符合規定，所以需要長的計測時間，也可能需要繁瑣的樣品前處理，因此在同一期間內能處理的樣品數量有限。然而在核子事故或輻射意外事件發生的初期，決策過程中需要正確且快速的評估受影響的區域範圍，並確認放射性核種與活度，才能準確判斷下一步行動，建議環境試樣分析實驗室建立平時例行與緊急狀況下不同的分析標準作業程序。

二、引進輻射光譜劑量儀提升即時監測功能

歐盟自2014年開始積極發展適用於環境中輻射光譜劑量儀，其結構堅固、價格合理且能量分辨率佳，可量測環境伽馬劑量率，未來歐盟成員國將可能採用輻射光譜劑量儀取代現行劑量率偵檢器。建議引進輻射光譜劑量儀，建置於我國水庫或給水廠供水區域中，進行水下環境輻射監測，另也可搭配於本中心之環境輻射監測站，提升即時監測功能。

三、以輻射地圖方式展現監測數據：

執行全國性環境輻射水平或住宅室內氡曝露輻射劑量調查等類似方案或施政計畫，建議監測數據盡可能以輻射地圖方式展現，增加宣導視覺效果，提高政府資訊公開效果，消弭民眾疑慮。

四、建置空浮微粒放射性核種自動分析儀：

為核事故或輻射緊急狀況期間能即時取得詳細的輻射監測資訊，建議設置空浮微粒放射性核種自動分析儀，持續監測環境空氣中總阿爾伐、總貝他、及放射性核種活度濃度，以提升我國核災應變監測能力。

五、現場校準納入環境輻射監測網運作參考

現今監測站之輻射偵檢器大部分在室內校正場校準，由於校正場採用之標準輻射源強度無法以接近環境背景輻射劑量等級執行校準作業，致使影響偵檢器監

測品質。德國境內擁有近 2000 個加馬劑量率監測站，為歐盟成員國中最多監測站的國家，其為提高監測數據品質，監測站之偵檢器採現場校準比對的做法，建議將此做法納入本中心環境輻射監測網運作參考。

陸、附件(本中心發表壁報論文)

Indoor Radon Dose Reassessment in Taiwanese Dwellings



Chi-Chang Liu*, Ching-Jiang Chen, Pei-Ho Lin, Ming-Chi Horng

Radiation Monitoring Center, AEC, 823 Chemg Ching Road, 833 Koahsiung, Taiwan

ChiChang@aec.gov.tw*

ABSTRACT

In 2009, WHO suggest to keep indoor radon level below 100 Bq/m^3 and national action level setting not more than 300 Bq/m^3 . While the current reference level of indoor radon in Taiwan is 150 Bq/m^3 . After a island-wide survey project for total of 279 dwellings with active radon monitors collected valid indoor radon data of bed room and living room in each dwelling. The weighted average Radon concentration is 19.3 Bq/m^3 . There was no obvious difference between data of bed room and living room and all less than 100 Bq/m^3 . Radon induced population radiation dose assessed to Taiwanese is about 0.68 mSv/y which is 88% higher than the 25-year-ago estimated results of 0.36 mSv/y . The reason might be due to air conditions are more catholically applied in Taiwan than before that consequence the indoor air exchange rate is much lower than ever. However, it is only about 57% of the world average of 1.2 mSv/y by UNSCEAR report 2008.

KEYWORDS: Radon, Dose reassessment, NORM

EXPERIMENTAL

The concentration of radon gas was measured by ionization chamber detector (Safety Siren HS71512 Pro Series3). The detector is designed to plug into a standard 120-volt household outlet using the attached power cord. The detector may be placed face-up on a tabletop, counter top, or any flat surface where the ventilation slots will not be blocked. After adequate briefing of the dwellers and gaining their consent and filling the questionnaires, the detectors were installed in living room and bed room at the desirable locations based on the U.S. EPA's Protocol[5]. Any house with results over 100 Bq/m³ will be check by more sensitive solid state detectors (SARAD RTM-1688). Samples need to be taken for more than 2 days (48 hours) to obtain an accurate reading.

INTRODUCTION

Radon is a chemically inert and natural radioactive gas. The most important isotope is radon 222 that is a decay product of radium 226 with a half-life of 3.82 days. Radon gas emits from rock and soil and tends to accumulate in closed space to an elevated level. Radon is known to be the second largest factor of lung cancer after smoking, and its role as the first cause of cancer in nonsmokers has been proven.[1]

The global average annual effective dose to all natural radioactive sources is estimated to be 2.4 mSv, and about 52% of this exposure is caused by the inhalation of radon gas [2]. The indoor radon concentration reference level is 148 Bq/m³ recommended by US environmental protection agency (USEPA)[3]. While world health organization (WHO) published "Handbook on indoor Radon" at 2009 [4] and recommended that countries should develop their own national radon investigation plans and the intervention level for households should be between 100 - 300 Bq/m³. Based on the study 25 years ago, average indoor radon concentration of Taiwan is 9.9 Bq/m³ and all of the measurement results below reference level of USEPA. Due to drastic changes in life styles and environment, we re-conducted an indoor radon investigation project from 2014.

RESULTS & DISCUSSION

Since background radiation varies only slightly within Taiwan, and households share a similar architectural structure with steel and cement materials, no significant radon activity difference occurs in the region. The statistical results found that the indoor average radon concentration is 19 Bq/m^3 , almost twice as high as levels of 25 years ago. It is suspected that air conditioners and air-tight windows are widely used, leading to the decrease of air flow. Yet the household radon concentration investigated in the study is lower than 100 Bq/m^3 , the suggested mitigation level by the WHO.

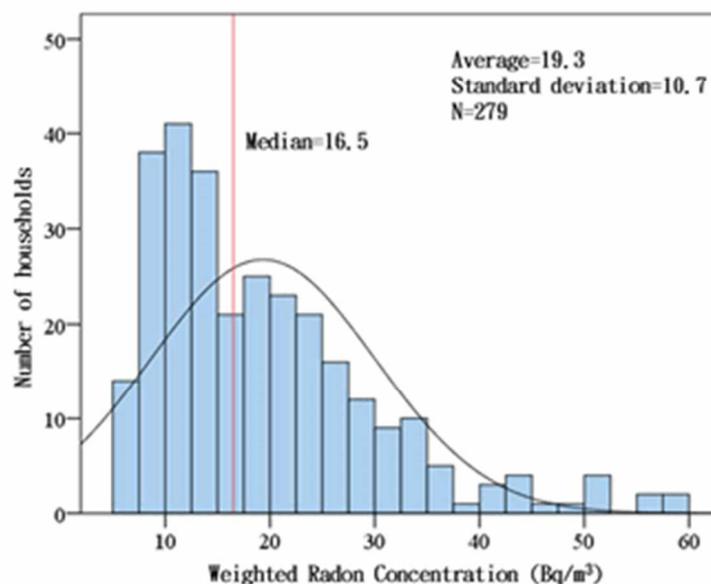


Fig. Weighted radon concentration frequency distribution shows average is 19.3 Bq/m^3 while median is 16.5 Bq/m^3 .

CONCLUSION

The average radiation dosage for the general public in radon consumption is about 0.68 mSv/yr based on dose conversion factor suggested by ICRP[6], 88% higher than the average 0.36 mSv/yr tested 25 years ago and only about 57% of the world average 1.2 mSv/yr announced by the United Nations. Although current radon concentration suggest no radiation harmful effect, it is recommended that each household should maintain indoor air ventilation to ensure good air quality and a healthy environment.

REFERENCE

1. Kant K, Upadhyav SB, Sharma GS, Chakarvarti SK. Measurement of Inhalation Dose Due to Radon and Its Progeny in An Oil Refinery and Its Dwellings. Iran J Radiat Res. 2004; 1(4): 181-6.
2. UNSCEAR. Sources, Effects And Risks Of Ionizing Radiation. 2008.
3. USEPA, A Citizen's Guide to Radon: The Guide to Protecting Yourself and Your Family from Radon. Available: <https://www.epa.gov/radon/citizens-guide-radon-guide-protecting-yourself-and-your-family-radon>
4. Zeeb H, Shannoun F. WHO handbook in indoor radon: a public health perspective. Geneva, Switzerland:World Health Organization (WHO); 2009.
5. ANSI/AARST, Protocol for Conducting Measurements of Radon and Radon Decay Products in Homes ,MAH-2014.
6. ICRP, Radiological Protection against Radon Exposure. ICRP Publication 126. Ann. ICRP 2014:43(3).