

核能安全委員會
委託研究計畫期末研究報告

含天然放射性物質商品之調查及管理研究

(4/4)

**Research on the radiation survey and safety management for NORM
(naturally occurring radioactive material) contained products**

受委託機關(構)：國家原子能科技研究院

計畫主持人：楊子毅

聯絡電話：(03)4711400 ext 7980

主要工作項目負責人：袁明程、黃珮吉、盧苡欣、蔡惠雯

聯絡人：盧苡欣

報告日期：112 年 12 月 13 日

目 錄

中文摘要.....	i
Abstract.....	ii
壹、前言(計畫緣起).....	1
貳、研究目的.....	3
參、研究方法、過程、結果與產出.....	5
肆、結論與建議.....	29
伍、參考文獻.....	31
附件.....	34

中文摘要

含天然放射性物質之商品應用日漸廣泛且深入民生，本計畫分析不同商品之天然放射性物質添加型式及含量，建立含天然放射性物質商品之氡氣量測及校正、人員劑量評估等技術，及研擬輻射異常之含天然放射性物質商品之處理方案，以保障民眾使用相關商品之輻射安全。

關鍵字：天然放射性物質、氡氣、人員劑量評估。

Abstract

The applications of products containing naturally occurring radioactive materials (NORMs) are becoming increasingly widespread and deeply involved in people's livelihood. This plan was analyzed the types and content of NORMs added in different commodities, establish techniques for radon measurement and calibration, personnel dose assessment of products containing NORMs, and develop a treatment plan for products containing NORMs with abnormal radiation to protect the radiation safety of people using related products.

Keywords: naturally occurring radioactive material(NORM), radon, radiation dose evaluation.

壹、前言(計畫緣起)

天然放射性物質於一般商品上之應用愈趨多樣化且深入家庭，2018年於南韓發現的負離子床墊，經評估其釋放的氡氣可造成使用者約9 mSv/y的輻射劑量，數倍於全球的國民平均劑量3.1 mSv/y (聯合國原子輻射效應委員會2008)，在國內亦陸續發現類似商品，經原能會(現已改名為核能安全委員會，以下簡稱核安會)會實地訪查賣場，雖未於國內發現與南韓超標之同款負離子床墊，仍發現部分國內廠商使用負離子粉原料製作之床墊可能造成偏高之輻射劑量，後續已由行政院消保處協調商品主管機關經濟部標準檢驗局，要求業者下架、回收其產品。

行政院消保處於107年9月12日討論會議中，會議結論請標準局及衛福部將坊間宣稱具有負離子功能之商品或食品容器列為年度優先查核及檢驗之標的，並請原能會協助判定。原能會雖於南韓負離子床墊案中初步建立了檢測與輻射劑量評估技術，然相關技術仍有精進的空間，以氡氣量測為例，天然鈾系及釷系核種衰變後會產生氡氣，而氡氣量測結果有可能會因環境條件或儀器性能的差異受到影響，故有必要研析相關量測與校正技術；至於輻射劑量評估技術，負離子粉除添加於床墊外，亦可能用於製作護具、水壺、手環等商品，為瞭解這類商品可能造成的輻射影響，故應建立其對應的輻射劑量評估模式。有鑑於此，為確保國人的輻射安全，如何快速正確的評估或量測出含天然放射性物質商品之氡氣濃度及其造成的輻射劑量，將是輻射主管機關亟待面對之問題。

故本計畫之執行內容，係考量目前因科技之進步、民眾生活品質之提高，游離輻射於民生應用之發展較過去更為快速增長。主管

機關本於管制之立場，亟需針對未來游離輻射於民生應用之發展潮流，及參考國際趨勢，預先進行研究、調查，以為日後建立合宜之管制規範、審查及評估之技術。

貳、研究目的

含天然放射性物質之商品應用日漸廣泛且深入民生，本計畫分析不同商品之天然放射性物質添加型式及含量，建立含天然放射性物質商品之氡氣量測及校正、人員劑量評估等技術，及研擬輻射異常之含天然放射性物質商品之處理方案，以保障民眾使用相關商品之輻射安全。針對此需求，本計畫今年規劃執行工作包括：參考ICRP報告，建立含天然放射性物質商品之體內劑量評估技術、含天然放射性物質商品之處理方案研擬、執行含天然放射性物質商品後市場調查。具體實施方法如下述。

一、參考 ICRP 報告，建立含天然放射性物質商品之體內劑量評估技術

含天然放射性物質商品對人體所造成之輻射曝露，可分為體外曝露及體內曝露兩種途徑來源，前者已於上年度(111年)工作項目(二)完成相關技術建立，並彙整過往檢測數據搭配統計分析方法，以輻射劑量計之量測值作為商品初步快篩之判斷依據。而本年度之預期目標為參考國際作法，利用氡氣偵檢儀之量測值來建立體內劑量評估之相關技術，考量氡氣(Rn-222)及釷氣(Rn-220)之貢獻，透過測得之活度濃度與ICRP 115號報告之公式進行評估，考量不同商品使用情境的使用時間及條件，以計算出體內劑量。同時準備實驗室品保相關文件，包含標準作業程序書、檢測分析報告、實驗室間比對研究報告和不確定度評估分析等，以因應未來申請財團法人全國認證基金會(TAF)實驗室增項認證所需。

二、含天然放射性物質商品之處理方案研擬

為落實含天然放射性物質商品之管理，自 108 年起核安會(前身為原能會)便啟動跨部會合作機制，辦理市售含天然放射性物質商品之查核作業，以保障民眾安全。其中對於檢驗完畢之商品需建立完善之處理方案及機制，擬參考國際經驗作法，探討並比較不合格商品之處理方式。據此，本年度將研擬含天然放射性物質商品之處理方案，避免輻射異常商品在後續處理及運送貯存過程中造成額外之人員劑量風險。

三、執行含天然放射性物質商品後市場調查

市面上宣稱具負離子功能商品之使用日漸普及，為保護民眾在使用此類商品時之輻射安全，需對市售商品進行輻射含量抽驗檢測。核安會透過跨部會合作聯合稽查之方式，結合經濟部標檢局和衛福部食藥署等部會執掌，針對市售宣稱具負離子功能之相關商品進行輻射檢測。檢測將於本院實驗室進行，評估樣品造成的體內及體外劑量貢獻，並提供檢測報告予主責單位作為商品後續處理之依據。此外，為了讓相關科普資訊普及化並對民眾傳達正確的負離子觀念，本計畫也會持續於本院天然放射性物質資訊網更新相關資訊，如簡介、國內外管制規定、檢測方法及劑量評估模式等資訊讓民眾參考，搭配淺顯易懂的科普圖卡及影片來傳達負離子相關概念，以達到教育宣導之目的。

參、研究方法、過程、結果與產出

本(112)年度研究計畫工作項目依核安會核定版本計畫書執行，各項目研究過程與產出說明如後：

一、參考 ICRP 報告，建立含天然放射性物質商品之體內劑量評估技術

本工作項目本年度的研究方法、過程與產出詳述如下：

延續 111 年度工作項目一、建立氬氣量測標準校正程序與品保文件，本實驗室已於 112 年第一季備齊相關程序書及品保文件，於 3 月 31 日向全國認證基金會(TAF)提出增列申請，將於本院原有之認證實驗室「環境試樣放射性核種分析實驗室」(實驗室認證編號 0604)，增列「民生用品-含天然放射性物質商品」的加馬核種分析及阿伐核種分析(氬氣量測)，包含床墊、棉被、枕頭、眼罩、面具/面膜、口罩、水杯、水壺、護具(護膝、護腰、護腕)、圍巾/披肩、衣服、內衣、地氈、襪子(短襪、長襪、襪襪)、洗臉機、鹽燈、衛生棉/衛生棉條等，共 17 種商品類型。並於 5 月 19 日收到 TAF 回覆，規劃於 7 月 13、14 日進行實驗室現場評鑑，如圖 1 至圖 3 所示，本次評鑑包含兩位委員及一位觀察員到場，相關結案報告如圖 4。針對現場評鑑，委員共開列了 3 項 NC(不符合)紀錄，本實驗室已於 7 月 17 日完成相關資料修訂及回覆。

針對本次評鑑，TAF 於 8 月 24 日給出了第一次審查意見，共包含 12 項建議，本實驗室已完成相關文件修訂並於 9 月 5 日完成第一次意見回覆；隨後 TAF 於 9 月 11 日又給

出第二次審查意見，第二次意見回覆本實驗室於 9 月 15 日完成，最終於 9 月 19 日成功取得證書，如圖 5 所示，為國內第一家取得氬氣檢測認證之實驗室。

配合 9 月 27 日核能研究所改組為國家原子能科技研究院，為確保實驗室認證有效性，本實驗室已於 10 月 6 日提出實驗室重新認證申請，也包含了此次增列之氬氣檢測項目，TAF 也於 11 月 16 日前來進行初次審查，並於 12 月 14 至 15 日進行現場評鑑，後續將積極配合 TAF 時程規劃辦理。



圖 1、氬氣計測室現場評鑑



圖 2、氦氣計測室現場評鑑



圖 3、現場評鑑結案會議



實驗室認證 現場評鑑報告

機構名稱	行政院原子能委員會核能研究所
實驗室名稱	環境試樣放射性核種分析實驗室
實驗室地址	桃園市龍潭區佳安里文化路 1000 號
實驗室主管	李綉偉
實驗室編號	0604
評鑑地址	同上

評鑑類別：增列認證

評鑑日期：(如附頁)

評鑑領域：測試領域

特定計畫：

評鑑小組：主導評審員：高寶珠；

評審員：陳清江；

技術專家：

觀察員：陳佳琪

- 本報告為評鑑小組執行現場評鑑之結果，已由主導評審員向受評機構口頭報告。並於現場評鑑結束當日完成，請實驗室影印乙份留存，正本由主導評審員寄回本基金會。
- 本基金會於審查現場評鑑報告至認證決定階段時，如有事證顯示受評機構疑似違反「權利與義務規章」(TAF-AR-10)規定，將另行通知受評機構配合書面、現場或會議的查證具體事實後，做出認證決定。處置情境可能包含警告、暫時終止、減列、終止或撤銷。
- 受評機構對此報告的結論有異議時，請於現場評鑑總結會議時反應給主導評審員並應記錄於本報告，後續本基金會將會處理。如對本案認證決定有異議，應於收受本基金會認證決定通知之次日起三十日內，以書面行文方式正式向本會提出申訴，申訴案請寄至 25170 新北市淡水區中正東路二段 27 號 23 樓，財團法人全國認證基金會管理處收。

主導評審員(簽名)：高寶珠 日期：2023/9/14

註：請主導評審員完整地編列整份報告的頁碼(右下角)

基金會審查欄(評審員請勿填寫)

財團法人全國認證基金會

圖 4、TAF 實驗室現場評鑑報告

18. 99 民生用品

含天然放射性物質商品：

(床墊、棉被、枕頭、眼罩、面具/面膜、口罩、水杯、水壺、護具(護膝、護腰、護腕)、圍巾/披肩、衣服、內衣、地墊、襪子(短襪、長襪、襪襪)、洗臉機、鹽燈、衛生棉/衛生棉條)

I001 加馬核種分析

自訂方法：(文件編號: EMRAL-EO-011)

鈾系 Bi-214：(3.0 to 37000) Bq/kg

釷系 Ac-228：(3.0 to 37000) Bq/kg

鉀 K-40：(3.0 to 37000) Bq/kg

報告簽署人:楊子毅

18. 99 民生用品

含天然放射性物質商品：

(床墊、棉被、枕頭、眼罩、面具/面膜、口罩、水杯、水壺、護具(護膝、護腰、護腕)、圍巾/披肩、衣服、內衣、地墊、襪子(短襪、長襪、襪襪)、洗臉機、鹽燈、衛生棉/衛生棉條)

I058 阿伐核種分析(氬氣量測)

自訂方法：(文件編號: EMRAL-EO-021)

氬 Rn-220：(4.0 to 750000) Bq/m³

氬 Rn-222：(4.0 to 750000) Bq/m³

報告簽署人:楊子毅

(以下空白)



圖 5、本次實驗室增列認證申請證書

此外，為了確認市面上銷售之負離子商品的安全性，針對國際上市售負離子商品劑量評估模式進行研析，將探討氡氣劑量評估使用參數之演進，詳細內容請參考附件一、「含天然放射性物質商品劑量評估方法與廢棄物處置」研究報告，以下針對報告章節 2.含天然放射性物質商品衍生氡氣之影響內容摘錄如下：

1. 氡氣來源

氡氣為環境中主要之天然游離輻射來源之一，是由 ^{238}U (^{222}Rn)、 ^{232}Th (^{220}Rn)與 ^{235}U (^{219}Rn)的衰變產物所形成的一種惰性氣體，各別核種對應之的半衰期分別為 3.8 天、55.8 秒與 3.98 秒，其中 ^{219}Rn 自身具有半衰期較短且母核 ^{235}U 於土壤中既存濃度不高等因素，一般不計入其所造成之曝露影響。氡氣可從環境中地殼岩石和土壤層中散發出來，通常容易富集於不易通風之地下礦坑或房屋中，並會根據現場地質、建築物類型、通風情況和受曝露者的行為等因素，而使受曝露者接受不同程度之曝露影響。

2. 氡氣劑量評估

人體吸入氡氣後造成體內之年有效劑量(Annual effective dose, AED)評估公式係參考 UNSCEAR 報告[1]，其公式(1)表示如下：

$$\text{AED} = C_{\text{Rn}} \times F \times T \times \text{DCF}_{\text{EEC}} \quad (1)$$

其中， C_{Rn} 為曝露環境中所含氡氣活度濃度(Bq/m^3)；
 F 為平衡因子即非平衡狀態下的氡氣/鈾射氣濃度與平

衡狀態下的氡氣/鈾氣及其衍生子核種的濃度比值； DCF_{EEC} 為平衡當量濃度 (equilibrium equivalent concentration, EEC) 之劑量轉換係數 (Dose conversion factor, DCF) ($mSv \cdot h^{-1}/Bq \cdot m^{-3}$)； T 為處於氡氣環境之佔有時間(h)。

由於早期受氡氣曝露影響者多為礦坑中的工作人員，故針對長期身處氡氣環境作業之工作人員，所接受劑量係採用工作基準月 (Working level month, WLM) 進行表示，而 WLM 可視為工作人員在環境中所含氡氣子核濃度為工作基準 (Working level, WL) 時，於「工作月」170 小時 (約為年工時 2,000 小時) 內所累積之曝露量。故上述 DCF_{EEC} 可拆解為 $DCF(WLM \cdot m^3/Bq \cdot h)$ 與轉換因子 (Conversion factor, W) (mSv/WLM) 的乘積，此外，考量到本案例係針對消費者於使用商品時所接受到之體內劑量評估，須依據其使用情境分配佔有時間與呼吸率。此處以寢具商品為例，其使用時間可分為睡眠期與非睡眠期，其中，在人體處於睡眠期狀態時，呼吸量會大幅度降低 [2]，需額外考量呼吸率 (Respiratory rate, R) 所造成之影響，故最終可將體內之年有效劑量改寫為公式(2)：

$$AED = C_{Rn} \times F \times T \times DCF \times W \times R \quad (2)$$

國原院天然放射性物質檢測分析暨安全評估實驗室針對市面上含有天然放射性物質之負離子商品，其釋放氡氣 (含 ^{220}Rn 與 ^{222}Rn) 對人體造成之體內年有效劑量評估，所使用參數均參照國際報告與我國調查結果 [3]，

詳細數據如下表 1 所示。

表 1、吸入氡氣所造成體內年有效劑量評估參數

項目	單位	²²⁰ Rn	²²² Rn	出處
平衡係數 (F)	--	0.04	0.4	²²⁰ Rn: Health Phys. 2018 [4] ²²² Rn:ICRP 65 [5]
佔用時間 (T)	h/y	3650*/5110	3650*/5110	行政院主計 總處 93 年 度社會發展 趨勢調查 [3]
劑量轉換 係數(DCF)	WLM·m ³ /Bq·h	2.14×10 ⁻⁵	1.57×10 ⁻⁵	ICRP 115[6]
轉換係數 (W)	mSv/WLM	5.7	12.9	ICRP 115[6]
呼吸轉換 率(R)	--	0.37/1.0	0.37/1.0	ICRP 66[2]

*行政院主計總處 93 年度社會發展趨勢調查時間運用概況說明國人平均睡眠時間為 8 小時 40 分，如遇例假日則最高會上升至 9 小時 35 分，此處作保守評估將睡眠時間調整為每日 10 小時。

※ 論著產出

本工作項目結合工作項目二，完成「含天然放射性物質商品劑量評估方法與廢棄物處置」(如附件一)，一篇研究報告。

二、含天然放射性物質商品之處理方案研擬

本工作項目本年度研究方法、過程與產出詳述如下：

針對國際上對於含天然放射性物質之相關處理方式，蒐集我國與韓國就含有天然放射性物質之負離子商品，在管制標準設立基準以及產生廢棄物之處置方法之差異，詳細內容請參考附件一、「含天然放射性物質商品劑量評估方法與廢棄物處置」研究報告，以下針對報告章節 3.氬氣商品管制、量測與廢棄物處置方法內容摘錄如下：

1. 商品管制

天然放射性物質為自然界中本身就存在之物質，長期以來做為工業原料而廣泛應用於各種領域，並被製成各式商品進行運用，當中也包含個人用消費商品，故一般人在日常生活中也有機會接受到低劑量的曝露影響，因此，為了減輕此類含天然放射性物質商品所導致的健康風險，我國與韓國均有訂定相關管制措施以保障民眾安全。

1.1 台灣法規

目前我國對於含天然放射性物質商品之管制係依據「游離輻射防護法」[7]第 4 條與「天然放射性物質管理辦法」[8]第 3 條內容規定，針對天然放射性物質產生曝露有影響公眾安全之虞者，其所含核種活度濃度值大於法定基準值，且造成一般人之年有效劑量應大於 1 mSv 者，應依法納管。自韓國發生負離子床墊事件後，針對我國超標樣品之管制及作法，行政院消費

者保護處已整合核安會、經濟部標準檢驗局以及衛生福利部食品藥物管理署等相關單位，透過跨部會合作，共同辦理市售商品抽樣、輻射檢測、不合格商品查處及回收下架等事宜，以保障國人的輻射安全。

1.2 韓國法規

而韓國方面，針對天然放射性物質則有設立「自然環境輻射防護行動指引 (Act on Protective Action Guidelines against Radiation in the Natural Environment)」法案[9]，但在 2018 年韓國爆發 Daijin 公司產線所製造床墊商品，因材質內部添加獨居石負離子粉末，而導致商品輻射劑量超過法規管制值之事故後。韓國政府與韓國原子能安全委員會 (Nuclear Safety and Security Commission, NSSC) 便開始著手修法以修補此政策缺陷所產生之民安議題，並於 2019 年 1 月完成法案內容修訂(於同年 7 月 16 日生效)。其精神仍舊以劑量與活度濃度為出發點，針對含有天然放射性核種之加工原料或加工副商品，或以它們為原料製造的加工商品，要求其對於人員造成之年輻射曝露劑量不得超過 1 mSv 基準，且天然放射性核種鈾系釷系所含活度濃度，要求不得超過 1 Bq/g 之標準。此法案在床墊超標事件後主要修訂部分有兩處，首先對於原物料進口部分，於法案第 9 條內容修訂如下，要求製造商與進出口商須註冊在案且原料進口前須獲得主管機關授權，此外依據第 12 條規定經銷商須每半年向 NSSC 彙報原

料當下之分配情況。而法案第15條內文則增設禁止將獨居石等原料用於製造與人體密切接觸使用或穿著之商品，以及不得用於負離子療效與假廣告宣傳中。

2.天然放射性廢棄物處置策略

2.1 台灣負離子商品處置方式

針對含有天然放射性物質之廢棄物，我國早已訂定「天然放射性物質衍生廢棄物管理辦法」[10]以進行相關廢棄物之管理與處置，然而本辦法內所規範之衍生廢棄物係主管機關依游離輻射防護法第四條公告納入管理之天然放射性物質，經非核能工業相關之技術加工而導致活度濃度增強，所衍生之廢棄物或受其污染之廢棄物，或經主管機關公告含有天然放射性物質之廢棄物(本項須刊登政府公報)。

而本次國內所檢出含有超標輻射劑量/活度濃度之負離子商品，廠商僅透過添加過量之負離子粉末導致對人曝露劑量或核種比活度含量超標。故後續處置上並非依循上述法規規範，而是委託國原院依據自訂之「天然放射性物質商品負離子床墊回收處理作業程序書」[1]協助執行下架商品之回收與處置工作。

本案有關於負離子商品之貯存與處置方法均詳述於「天然放射性物質商品負離子床墊處理結案報告」中[12]，所接收之商品品項包含床墊、床墊原料、枕頭、棉被、面膜、涼被、毯子等，總重含包裝紙箱，上述所有商品含包裝紙箱總重共計約5.5噸，並依據本院規定

將待處理樣品存放於容量約為 41 L(35 cm x 35 cm x 35 cm)之紙箱容器內，考量此分類/分裝作業(如圖 7，左上)對於現場作業員工可能產生之氡氣曝露影響，故委託天然放射性物質檢測分析暨安全評估實驗室以 RAD7 儀器進行現場氡氣濃度監測作業，經評估現場氡氣濃度僅為 3.3 Bq/m³ (²²²Rn)與 18 Bq/m³ (²²⁰Rn)。分裝後為確認商品中鈾系釷系濃度分布情況，參考行政院環保署制定之事業廢棄物採樣方法進行代表性抽樣[13]，抽樣樣品均送往輻防所進行加馬能譜分析，檢測結果顯示樣品所含有之鈾系與釷系比活度值分別落在<MDA 至 262 Bq/kg 與 40.4 Bq/kg 至 64,490 Bq/kg。所有完成分類/分裝作業之商品如圖 7(右上)均盛裝於本所訂製之長 2.1 m 寬 1.55 m 高 1.85 m 標準鐵箱內，有鑑於上述商品之主成份多為乙烯醋酸乙烯酯共聚物(Ethylene vinyl acetate, EVA)，按照本院制定之「對外放射性廢棄物接收處理注意事項」內容[14]，應歸屬於可焚化之聚乙(丙)烯類塑膠種類進行焚化處理(如圖 7，左下)。本案負離子商品的處置共分兩梯次進行焚燒，剩餘灰渣合計共 142 kg，如圖 7(右下)經核種分析推估鈾系釷系核種濃度最高約為 15 Bq/g 與 55 Bq/g，而焚化裝置排氣濾紙之鈾系釷系核種濃度最高約為 2.2E-3 Bq/m³ 與 3.3E-4 Bq/m³，此外焚化過程中所排放之工業廢氣監測項目 Dust、NO_x、SO₂、HCl 及 CO 等均符合環保法規規範。在其它輻射偵測項目部分，還包含區

域輻射監測、空氣監測、煙囪氣體排放監測與環境監測等項目，上述監測項目於負離子商品焚燒期間，所有監測結果均符合本所相關規定之要求，而且透過劑量評估，負離子床墊焚化作業對民眾吸入劑量僅貢獻約 0.002 Sv/y，遠低於每年 1 mSv/y 法規標準，故可判定本處置方式對於周遭環境及人員之輻射影響風險相當低微。



圖 7、國原院負離子產品處理流程[12]

2.2 韓國負離子商品處置方式

Daijin 床墊商品經 KINS 實驗室檢測評估確認存在氡氣曝露風險後，便被以違反「自然環境輻射防護行動指引」[9]第 15 條第一項之規定，產品造成體內與體外劑量總和不得超過公告限值(即 1 mSv/y)之要求，而被公告商品下架並執行回收工作。然而 Daijin 公司違規床墊商品銷售遍布全國，逐個執行回收作業有其困難度，故韓國政府便委託郵局單位協助執行氡氣床墊商品回收工作[15]，如圖 8 所示，並要求 NSSC 協助提供相關作業之安全指引，透過人員攜帶防塵口罩與手套、床墊套袋封裝，以及手持式輻射量測等方式，來維護郵局人員執行床墊商品回收時的輻射安全。考量到床墊商品僅部分組件曾執行負離子粉材料加工，為有效針對此類氡氣發射源進行處置，NSSC 有另外針對拆除工人進行培訓，以確保於床墊拆除過程中，現場施作工人之安全[16]，最終共有約 480 噸含有獨居石粉末成份之床墊內襯與海綿貯放於 Daijin 公司位於天安市總部空地處，如圖 9。

自完成回收作業後，為有效處理含有天然放射性物質之床墊相關廢棄物，韓國環境部 (Ministry of Environment) 便於第九次核安政策協調委員會議 (Meeting of the Nuclear Safety Policy Coordination Council) 中提出氡氣床墊等天然放射性物質廢棄物處置方案 (waste disposal plan for products containing naturally occurring radioactive materials such as radon

mattresses)[17]，考量到此類違反「自然環境輻射防護行動指引」[9]之廢棄物並未設置處置標準，故環境部即著手修改「廢棄物管理法施行細則(폐기물관리법 시행규칙)」[18]，以便針對此類廢棄物進行處置。此修正案於 2021 年 9 月實施，針對不符合行動指引設立安全標準之加工產品，若廢棄物屬於可燃者，須與其它廢棄物一同混合焚燒，且焚燒量不得超過每天焚燒總量的 15%，焚燒完畢後所產生之灰渣須妥善掩埋；而屬於不可燃者，廢棄物則必須採密封掩埋方式處理。為了保障現場工人與周遭居民之健康安全，焚化設施每年焚燒含有天然放射性物質之廢棄物總量不得超過 1,000 噸，另掩埋設施則規定每年掩埋含天然放射性物質廢棄物及其灰渣量不得超過 1,200 噸。

自 2022 年 7 月起，韓國環境部便不斷與利益相關者針對此類含天然放射性物質廢棄物之焚燒處理問題進行討論，並於安裝有環境輻射監測儀器之焚化設施內進行試運轉[19]。試運轉之焚化設施位於群山市，為環境部指定之公共廢棄物處理場(환경부지정폐기물공공처리장)，含天然放射性物質商品焚燒試運轉為期 3 日(9/29-10/1)，運轉期間產出之廢氣、重金屬等 35 項指標監控結果顯示均無異常(如表 2)。而重點之輻射監測部分，如表 3 所示，含天然放射性物質廢棄物之焚燒後產物與一般廢棄物焚燒產物

相比，其放射性濃度僅略微增加，且均符合「廢棄物管理辦法」[20]中規定之 10 Bq/g 天然放射性物質廢棄物分類及掩埋標準，另焚燒處置對於現場工人造成之曝露劑量經評估僅為 2.9×10^{-5} mSv，為法定標準 0.3 mSv 的萬分之一。

雖然韓國政府為了處理相關廢棄物已付出相當多努力，但截至 2023 年仍無法與設施周遭居民及利益相關者取得共識(如圖 10)，以致於大量廢棄物仍堆置於 Daijin 公司內(如圖 11、12)[21-22]。期間政府均有定期檢查廢棄物貯存狀況，並持續監控周遭輻射劑量[23]，結果顯示現場設置之監測儀測得劑量為 $0.210 \mu\text{Sv/h}$ ，落在 5 年(2017-2021)來全國平均劑量 $0.0383 \mu\text{Sv/h} \sim 0.231 \mu\text{Sv/h}$ 之範圍內；另外針對現場土壤取樣之分析結果，顯示所含 ^{232}Th 最高濃度為 0.0675Bq/g ，亦落在全國土壤分析濃度 $0.005 \text{Bq/g} \sim 0.204 \text{Bq/g}$ 之範圍內，韓國政府未來也將持續監控現場狀態，並持續與相關人員進行協商，以妥善處置堆置之廢棄物。由上述內容可知，我國對於廢棄物處理需透過專門焚燒機構執行，較韓國做法來得嚴格。

表 2、含天然放射性物質焚燒過程監測結果[19]

項次	檢測項目	檢測標準	分析值	分析方法
1	煙塵	2(度)以下	0	比濁度
2	SO _x	20(12) ppm 以下	1.56	電化學
3	CO	50(12) ppm 以下	3.12	電化學
4	NO _x	50(12) ppm 以下	27.30	電化學
5	HCl	12(12) ppm 以下	2.1	離子層析
6	NH ₃	20(12) ppm 以下	8.3	靛酚法
7	氟化物	2(12) ppm 以下	0.47	紫外/可見光光譜
8	H ₂ S	2(12) ppm 以下	未檢出	亞甲藍
9	HCN	4 ppm 以下	0.04	紫外/可見光光譜
10	As	0.2(12) ppm 以下	0.006	感應耦合電漿原子放射光譜
11	Pb	0.2(12) mg/Sm ³ 以下	0.011	
12	Cr	0.2(12) mg/Sm ³ 以下	0.010	
13	Cu	4 mg/Sm ³ 以下	0.012	
14	Ni	2 mg/Sm ³ 以下	0.007	
15	Zn	4 mg/Sm ³ 以下	未檢出	
16	Cd	0.02(12) mg/Sm ³ 以下	0.001	
17	Hg	0.05(12) mg/Sm ³ 以下	未檢出	
18	苯	6 ppm 以下	未檢出	熱脫附氣相層析
19	Phenol	4 ppm 以下	未檢出	4-胺安替比林
20	CS ₂	10 ppm 以下	未檢出	紫外/可見光光譜

21	HCHO	8 ppm 以下	0.008	高效液相層析
22	Br ₂	3 ppm 以下	未檢出	次氯酸鹽法
23	二氯甲烷	50 ppm 以下	未檢出	熱脫附氣相層析
24	四氯乙烯	10 ppm 以下	未檢出	GC-MS
25	乙苯	23 ppm 以下	未檢出	熱脫附氣相層析
26	丙烯腈	3 ppm 以下	未檢出	
27	氯乙烯	- ppm 以下	未檢出	
28	苯乙烯	23 ppm 以下	未檢出	
29	三氯乙烯	50 ppm 以下	未檢出	
30	氯烷	3 ppm 以下	未檢出	
31	氯仿	5 ppm 以下	未檢出	
32	1,3-Butadiene	6 ppm 以下	未檢出	
33	1,2-dichloroethane	12 ppm 以下	未檢出	
34	含水量	(%)	20.01	
35	廢氣溫度	(°C)	62.00	

表 3、韓國含天然放射性物質廢棄物焚燒產物所含活度比較[19]

核種 \ 評估對象	一般廢棄物		含天然放射性物質廢棄物	
	底渣	飛灰	底渣	飛灰
鈾系 (²¹⁴ Pb, Bq/g)	0.0267	0.0221	0.0409	0.0536
釷系 (²²⁸ Ac, Bq/g)	0.00875	0.0220	0.0224	0.0384



圖 8、郵局協助接收運送床墊商品[24]



圖 9、床墊商品拆除物堆置[21]



圖 10、焚化設施周遭民眾抗議[21]



圖 11、Daijin 公司床墊商品堆置狀況[22]



圖 12、Daijin 公司床墊商品堆置狀況[25]

3. 處理方案研擬

綜整過往國原院處理負離子床墊之經驗，以及韓國對於 Daijin 公司床墊之處理方案，在此提出含天然放射性物質商品處理方式之建議，依照作業階段可分為：

- (1) **商品後市場抽樣調查階段：**由於目前尚未建立源頭管制規範，故採用後市場抽查方式辦理，對象為市面上宣稱具有負離子、能量或遠紅外線功效之販售商品。由主管機關提出建議抽樣調查之商品類型資訊，或針對市場上新出現之相關產品進行抽樣調查，並參考過往檢測結果，對曾有超標之樣品類型重點抽樣，提供資訊給相關主責單位(如經濟部標準局、衛服部食藥署)進行，並將抽樣商品寄送至檢測單位。
- (2) **商品檢測階段：**抽測商品之檢測作業由國原院負責，檢測程序依照「含天然放射性物質商品檢測標準作業程序書」[26]進行，並建立相關樣品資訊紀錄、數據覆核、報告簽署等步驟，於檢測完畢後提供檢測報告給核安會參考，以利後續對樣品之追蹤。
- (3) **商品處理階段：**核安會確認檢測結果後，對於未超標之檢測商品依實驗室程序書，自報告產具日期起至少保存二週，並通知委託單位取回樣品或由本實驗室將樣品寄回至委託單位；而對於檢測結果超過我國「天然放射性物質管理辦法」提到的天然放射性物質核種活度濃度基準值(^{40}K 活度濃度 $< 10 \text{ Bq/g}$ ，其他天然放射性核種 $< 1 \text{ Bq/g}$)，且評估產生之年有

效劑量超過1 mSv之商品，則該商品暫存於國原院，並依據天然放射性物質管理辦法及實驗室程序書，自報告產具日期起至少保存半年，再依本院放射性廢棄物處理程序，送國原院化工所進行樣品銷毀。同時需將檢測結果通知核安會，再由核安會協助通知抽樣單位，敘明超標之法源依據或相關規定，會同相關單位進行後續商品處理，向販售業者或通路進行調查訪談，追蹤商品庫存、源頭及流向，視情節輕重限期廠商下架回收或採取處份措施，共同監督完成後續商品回收作業，過程中也要適時評估處理(如運送或貯存)人員可能皆受到之額外輻射暴露風險，最後再將超標商品資訊於網站上公告。

※ 論著產出

本工作項目結合工作項目一，完成「含天然放射性物質商品劑量評估方法與廢棄物處置」(如附件一)，一篇研究報告。

三、執行含天然放射性物質商品後市場調查

本工作項目本年度研究方法、過程與產出詳述如下：

1. 商品後市場調查

綜觀市面上有越來越多商品，宣稱具有負離子、能量、或遠紅外線等功能，因此行政院消費者保護處遂請經濟部標準檢驗局和衛生福利部，將此類商品列為年度優先查核及檢驗之目標，輻射量檢測部分則請核能安全委員會協助；108年1月17日於核能研究所(現已改名為國家原子能科技研究院，以下簡稱國原院)召開「市售負離子產品清查協調討論會議」，就宣稱含負離子功能之商品檢測議題進行討論及合作分工，包含檢測的流程、數量、收費標準之確認、建立輻射商品違規調查、回收之相關機制等，並與各相關部會建立合作與聯繫 [27]。國原院在跨部會合作分工中，由國原院輻防所負責抽驗樣品之輻射檢測與劑量評估作業，由國原院化工所協助超標商品之回收銷毀，相關檢測結果將提供給主管機關核安會，依國內法規標準規定判斷商品是否超標。

表4為本年度(112年)1月至12月之國原院後市場調查結果，包含衛福部食藥署負責之醫療器材、面膜等商品類型，檢測共9件，以及經濟部標準局負責之眼罩、口罩或寢具等商品類型，檢測共20件(其中1件包含枕頭及棉被，於表5中分開統計)，總計共29件含天然放射性物質之商品檢測，相關商品類型、數量及超標件數等細節則展示於表5。本年度檢測中，並無商品超過「天然放射性物質管理辦法」所規

定之劑量限值。本調查評估結果可供後續含天然放射性物質商品後市場調查規劃之參考。

表 4、112 年 1 月至 12 月抽驗商品統計結果(依送樣單位)

送樣單位	送樣件數	劑量超標(1 mSv/y)件數
衛福部食藥署	9	0
經濟部標準局	20*	0
總計	29	0

*註：其中一件送檢樣品包含枕頭及棉被，於本表中以 1 件統計

表 5、112 年 1 月至 12 月抽驗商品種類統計結果(依樣品種類)

送樣單位	樣品種類	送樣件數	劑量超標(1 mSv/y)件數
衛福部食藥署	面具/面膜	4	0
	護腰	1	0
	水壺	2	0
	水杯	2	0
	小計	9	0
經濟部標準局	襪子	3	0
	枕頭	6*	0
	棉被	4*	0
	眼罩	2	0
	護腕	2	0
	口罩	2	0
	圍巾/披肩	2	0
	小計	21*	0

*註：其中一件送檢樣品包含枕頭及棉被，於本表中分 2 件統計

※ 論著產出

本工作項目完成「含天然放射性物質商品之後市場調查(111 年-112 年)」技術報告一篇(如附件二)。

肆、結論與建議

本計畫之執行內容，係考量目前因科技之進步、民眾生活品質之提高，游離輻射於民生應用之發展較過去更為快速增長。主管機關本於管制之立場，亟需針對未來游離輻射於民生應用之發展潮流，及參考國際趨勢，預先進行研究、調查，以為日後建立合宜之管制規範、審查及評估之技術，建立基礎。相關結論與建議依各子項工作具體說明如下：

一、參考 ICRP 報告，建立含天然放射性物質商品之體內劑量評估技術

本計畫蒐集 ICRP115 號報告、UNSCEAR 報告等文獻資訊，利用氡氣活度濃度之量測值搭配計算參數，建立含天然放射性物質商品之體內劑量評估方法。參考實際商品使用情節，目前已建立 17 種劑量評估模式，相關資訊已彙整於「含天然放射性物質商品檢測標準作業程序書」中。此外，本氡氣計測室已取得全國認證基金會 TAF 增項認證申請，為國內首間取得氡氣檢測認證之實驗室，為實驗室量測技術能力及品質具公信力之展現。

二、含天然放射性物質商品之處理方案研擬

本計畫彙整我國及韓國之管制規定，並就韓國 Daijin 床墊處理作法，以及我國過往處理負離子床墊之經驗，研擬含天然放射性物質商品之處理方案，分為商品後市場抽樣調查、商品檢測、商品處理三階段敘明。對於超標樣品建議於檢測數據通報核安會後，會同相關負責單位訪查販售業者，對商品之庫存、流向及來源進行追蹤，採取後續回收銷毀、網路資訊公開等作業，並進行人員劑量評估，確保運送貯存過程中造成之人員劑量風險。

三、執行含天然放射性物質商品後市場調查

本調查彙整 112 年 1 月至 12 月期間國原院協助市售商品主
責主管機關年度定期抽驗或核安會不定期抽驗樣品之輻射檢測
與劑量評估結果可供後續含天然放射性物質商品後市場調查規
劃之參考。

伍、參考文獻

1. UNSCEAR, “Sources and effects of ionizing radiation,” United Nation, 2000.
2. ICRP, “Human Respiratory Tract Model for Radiological Protection,” ICRP Publication 66. Ann. ICRP 24 (1-3), 1994.
3. 行政院主計總處，社會發展趨勢調查-時間運用，民國 93 年九月二十七日
4. Jing Chen and Naomi H. Harley, “A Review of Indoor AND Outdoor Radon equilibrium factors—Part II: ^{220}Rn ,” Health Physics, 115(4), 500-506, (2018)
5. ICRP, “Protection Against Radon-222 at Home and at Work,” ICRP Publication 65. Ann. ICRP 23(2), 1993
6. ICRP, “Lung Cancer Risk from Radon and Progeny and Statement on Radon,” ICRP Publication 115. Ann. ICRP 40(1), 2010
7. 游離輻射防護法，核能安全委員會，中華民國九十一年一月三十日，一百十二年九月二十七日權責變更
8. 天然放射性物質管理辦法，核能安全委員會，中華民國九十六年三月八日，一百十二年九月二十七日權責變更
9. Act on Protective Action Guidelines against Radiation in the Natural Environment, Partially amended by Presidential Decree No. 16299, 2019 年 7 月 16 日生效
10. 天然放射性物質衍生廢棄物管理辦法，核能安全委員會，中華民國九十六年一月五日，一百十二年九月二十七日權責變更
11. 陳俊鎰、陳永枝、郭柏慶、劉洪浩、甘金相，天然放射性物質商品負離子床墊回收處理作業程序書，民國 108 年，INER-SOP-0713R
12. 陳永枝、陳俊鎰、林忠永，天然放射性物質商品負離子床墊處理結案報告，民國 109 年，INER-15229
13. 事業廢棄物採樣方法(NIEA R118.00B)，行政院環保署，94 年 5

月 6 日 公 告

14. 彭勝興、張峰榮、蔡光福、羅立志、黃慶村，核能研究所所內放射
射性廢棄物接收處理注意事項，民國 93 年，INER-OM-0685
15. NSSC, The NSSC To Provide the Korea Post Office with Preliminary
Training for Collection of the Radon-emitting Mattresses and Conduct
On-site Safety Examinations, Jun 14 2018
16. NSSC, The NSSC Is Distributing the Safety Guidelines To the Workers
Collecting the Mattresses, May 30 2018
17. NSSC, The NSSC Held the 9th Meeting of the Nuclear Safety Policy
Coordination Council, Jan 15 2021
18. Ministry of Environment, 폐기물관리법 시행규칙, Sep 10 2021
19. Ministry of Environment, '22.7 월부터 소각시설 인근 지역
주민들과 협의를 진행해 왔으며, 시범소각 등을 통해 폐기물
처리 관련 안전성을 확인하였음, Dec 7 2022
20. Ministry of Environment, 폐기물관리법, Partially amended by
Presidential Decree No. 30311, Nov 29 2022
21. Korean Broadcasting System , [집중분석] ‘1 급 발암물질’
라돈침대 폐기물 무방비 방치, 왜?, Oct 10 2023
22. 京 鄉 新 聞 , 라돈 침대’ 4 년간 야외 방치 ... 대진침대,
처리계획서 제출도 안 해, Oct 9 2022
23. Ministry of Environment, 정부는 천연방사성제품폐기물로 인한
주민건강 피해가 없도록 안전하게 관리 중, Oct 16 2023
24. Jaiki Lee, “Episodes of Thoron Exposure due to Consumer products
claiming health benefits of Negative ions,” Radiation Protection. 40(6),
625-630 (2020)

- 25.스트레이트뉴스는, 방사성물질 '라돈' 매트리스, 폐기커녕
5년째 방치, Oct 12 2023
- 26.楊子毅、盧苡欣，含天然放射性物質商品檢測標準作業程序書，
民國 112 年，EMRAL-EO-021。
- 27.市售負離子產品清查協調討論會會議紀錄，中華民國 108 年 1 月
25 日行政院原子能委員會會輻字第 1080001226 號函。

附件

附件一、「含天然放射性物質商品劑量評估方法與廢棄物處置」研究報告

含天然放射性物質商品劑量評估方法與廢棄物處置

黃煥景、楊子毅、袁明程

摘要

本報告為輻射防護所天然放射性物質檢測分析暨安全評估實驗室針對國際上市售負離子商品劑量評估模式與廢棄物處置方法之研析，內文中將探討氬氣劑量評估使用參數之演進，並蒐集我國與韓國就含有天然放射性物質之負離子商品，在管制標準設立基準、商品中生成之氬氣含量分析情境，以及產生廢棄物之處置方法之差異，以供主管機關作為後續業務執行與做法精進之參考依據。

關鍵字：負離子商品、氬氣、處置。

國家原子能科技研究院

附件二、含天然放射性物質商品之後市場調查(111年-112年)

含天然放射性物質商品之後市場調查(111年-112年)

盧苡欣

摘要

107年8月我國得知韓國 Daijin 公司生產之床墊添加獨居石負離子粉，輻射超過法規管制值，行政院消保處立即召開跨部會會議，指示原子能委員會、經濟部標準檢驗局及衛生福利部食品藥物管理署，進行聯合稽查及相關事宜。本報告彙整 111 年 7 月至 112 年 6 月抽驗商品檢驗過程及結果，以作為含天然放射性物質商品後市場調查結果之依存。

關鍵字：天然放射性物質、氡氣、劑量評估。

核能研究所

ii