

行政院原子能委員會  
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 (3/4)

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

GRB 系統科技計畫編號：PG11103-0260

受委託機關(構)：行政院原子能委員會核能研究所

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：111 年 12 月 29 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.....	47
伍、參考文獻.....	49
附件.....	51

## 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：建立氡氣量測標準校正程序與品保文件、應用輻射劑量計建立含天然放射性物質商品之體外劑量評估技術、蒐集國際間管理作法或規範並研擬含天然放射性物質商品之管理建議、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、建立氡氣量測標準校正程序與品保文件

為使氡氣量測實驗室具備完善的量測標準及校正作業程序，本計畫將參考美國環境保護署(EPA)及國際放射防護委員會(ICRP)相關文獻，並根據國內天然放射性物質管理辦法，擬訂氡氣量測標準校正程序書，作為執行含天然放射性物質商品輻射量測校正之依據。同時準備相關品保文件，並與國內其他具備相同檢測技術的實驗室進行量測比對，以因應未來申請財團法人全國認證基金會(TAF)的實驗室認證。

### 二、應用輻射劑量計，建立含天然放射性物質商品之體外劑量評估技術

使用含天然放射性物質商品對人體所造成之輻射曝露，主要可分為吸入商品所逸散出氡氣所造成的體內曝露，以及直接體外曝露兩種途徑，前者已於上年度(110年)工作項目(二)完成相關技術建立，而本年度之預期目標為參考國際作法，利用輻

射劑量計之量測值來建立體外劑量評估之相關技術，透過測得之劑量率與 ICRP 115 號報告之劑量評估公式進行，考量在不同商品使用情境下的商品使用時間，以計算出體外劑量。使用之輻射劑量計需定期進行儀器校正，以確保劑量率量測結果之正確性與可溯性。同時，透過實驗測試及歷史數據分析，建立輻射劑量計量測值與劑量評估結果之關聯性，作為含天然放射性物質商品快篩之判斷依據。

### **三、蒐集國際間管理作法或規範並研擬含天然放射性物質商品之管理建議**

為提供含天然放射性物質商品管理建議予原能會，做為我國未來訂定相關規範之參考，擬先蒐集日本、南韓等國對於含天然放射性物質商品之國際相關文獻資料進行彙整，再根據我國「游離輻射防護法」和「天然放射性物質管理辦法」，考量各國國情差異後研擬含天然放射性物質商品管理建議。

### **四、執行含天然放射性物質商品後市場調查**

為確保市面上商品之輻射含量皆符合標準，需對市售商品進行輻射含量抽驗檢測，除了協助原能會不定期抽驗市售宣稱之負離子商品外，也會透過跨部會合作聯合稽查等方式，協助經濟部標準局和衛福部食藥署之送樣檢測。樣品送至本所後會分別進行氬氣造成之體內劑量和體外劑量評估，提供予主責單位作為商品後續處理之依據，以保障民眾使用相關商品之安全。此外，也會持續於天然放射性物質資訊網上更新相關資訊，如簡介、國內外管制規定、檢測方法及劑量評估模式等讓民眾參考，以達到教育宣導之目的。

## 參、研究方法、過程、結果與產出

本(111)年度研究計畫工作項目依原能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、建立氬氣量測標準校正程序與品保文件

本工作項目本年度的研究方法、過程與產出詳述如下：

為向財團法人全國認證基金會(Taiwan Accreditation Foundation, TAF)，提出於本組環境試樣放射性核種分析實驗室之增項認證申請，彙整原有之「氬氣量測標準作業程序書」、檢測流程所需使用到的各項量測技術、及現有之 17 種評估模式，編撰「含天然放射性物質商品檢測標準作業程序書」(如附件一)，同時建立各類品保文件表格。此外，為驗證本實驗室量測結果之準確性，也與國內持有類似儀器設備之實驗室進行氬氣量測比對試驗，並完成研究報告一篇。但考慮到本研究之氬氣檢測為國內首次納入 TAF 認證之項目，對於國內之審核能量及驗證準確性尚須深入探討，目前已備齊相關程序書、比對報告、不確定度分析、檢驗報告格式、實驗室配置圖等必要資料，後續將配合 TAF 認證之資料需求及時程，持續積極辦理增項認證步驟。

「含天然放射性物質商品檢測標準作業程序書」內容摘錄如下：

#### 1. 儀器設備及器具

(1) 氬氣監測儀(廠牌: DURRIDGE，型號: RAD7)[1]，如圖 1。



圖 1、氡氣監測儀

(2)手提式加馬直接輻射偵檢儀器(廠牌: ATOMEX, 型號: AT-1121)[2], 如圖 2。



圖 2、手提式加馬直接輻射偵檢儀器

(3)手提式表面污染偵檢器(廠牌: GRAETZ, 型號: CoMo-170)[3], 如圖 3。



圖 3、手提式表面污染偵檢器

(4)加馬能譜計測系統[4], 如圖 4。



圖 4、加馬能譜計測系統。

## 2. 原理簡介

### 2.1 體內劑量

本作業以氡氣監測儀進行負離子產品中天然放射性物質(氡氣)的檢測，以評估體內劑量。氡氣監測儀是半導體偵檢器的一種，經過濾後的氡氣(Rn-222)在衰變後，逸散的阿伐粒子導致電子外殼潰散，子核釷(Po-218)在短時間內充滿了正電，離子將藉由腔體內部高壓電場，收集於固態偵檢器(量測效率 50%)的表面，偵檢器再偵測氡子核所放出之阿伐粒子，並以此回推樣品中氡氣濃度；釷氣(Thoron, Rn-220)則為量測衰變產物 Po-216 計算而得，氡氣監測儀即透過衰變後核種所產生之阿伐能譜度量氡氣。

## 2.2 體外劑量

本作業以手提式加馬直接輻射偵檢儀器進行負離子產品中天然放射性物質的檢測，以評估體外劑量。利用手提式加馬直接輻射偵檢儀器量測試樣表面之輻射劑量率，再搭配使用時間進行計算。

## 2.3 表面計數率

本作業以手提式表面污染偵檢器進行負離子產品中天然放射性物質的檢測，以量測試樣表面之輻射計數率。

## 2.4 加馬核種分析

本作業以加馬能譜計測系統進行負離子產品中天然放射性物質的檢測，以評估鈾系、鈾系及 K-40 的活度濃度。加馬能譜計測系統的偵檢器為純鍺偵檢器，屬於半導體偵檢器的一種，需置於適當屏蔽結構中以降低背景輻射影響。當偵檢器受到輻射照射，在輻射行進軌跡經過的沿路會產生游離，並生成電子電洞對，這些電子電洞對透過外加電場而被兩端電極收集，經電阻電路產生正比於收集量的脈衝訊號，即輻射量會正比於脈衝訊號高，並透過多頻道分析儀顯示。

## 3. 作業程序

### 3.1 表面劑量率及計數率量測

使用通過校正之手提式加馬直接輻射偵檢儀器 ATOMTEX AT-1121 及手提式表面污染偵檢器 Graetz

CoMo-170，分別進行表面劑量率及計數率的量測，並拍照記錄量測過程，量測條件請參考後續章節之各樣品類型評估模式。

### 3.2 氬氣監測儀軟硬體設定

- (1) 下載原廠官網資料擷取與分析軟體 Capture®並進行安裝，並以傳輸線連接通過校正之氬氣監測儀及電腦，如圖 5。
- (2) 下載啟動 Capture®軟體，程式將自動搜尋可用儀器並執行連線，成功時會顯示儀器機型序號，之後可點擊圖表紀錄器到達主要操作畫面。

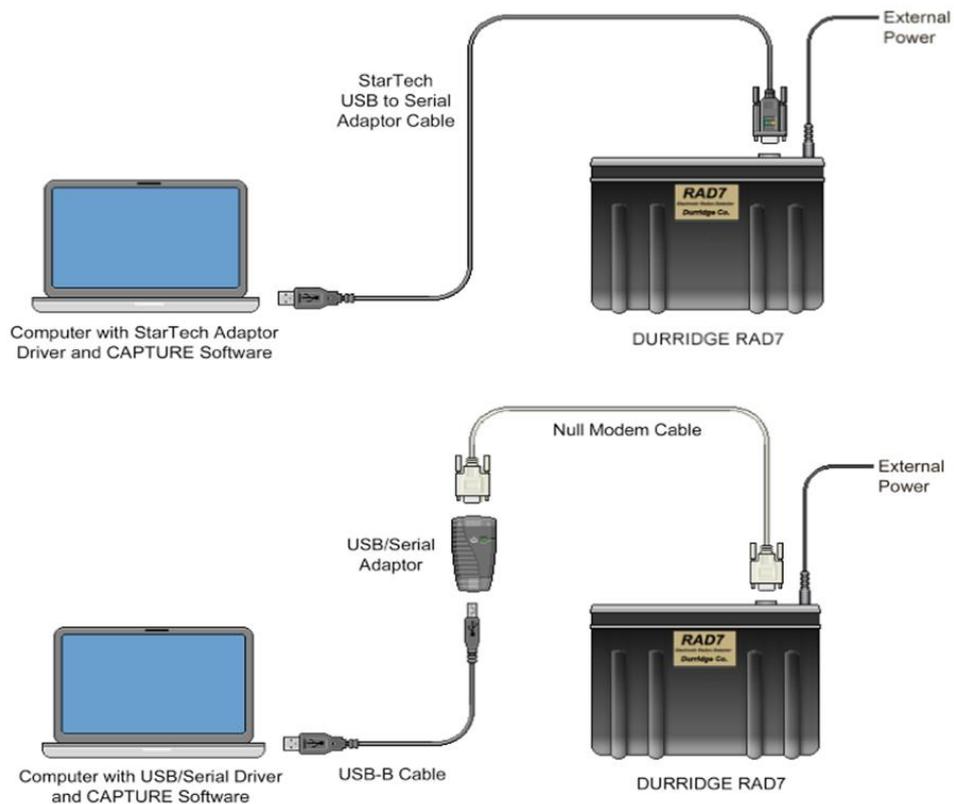


圖 5、氬氣監測儀連接電腦示意圖

### 3.3 氡氣監測儀樣品量測

- (1) 含天然放射性物質商品之氡氣量測需填寫檢測申請單，並依據原能會 107 年 8 月 28 日核定「負離子床墊之氡氣量測及劑量評估」模式(會輻字第 1070010652 號函)、107 年 11 月 20 日核定「負離子枕頭、棉被、眼罩、面具及口罩輻射量測與劑量評估」模式(會輻字第 1070014066 號函)、108 年 4 月 26 日核定「負離子水杯、水壺及護具輻射量測與劑量評估模式」(會輻字第 1080004912 號函)、108 年 7 月 16 日核定「負離子圍巾/披肩、衣服、內衣、地墊、襪子及洗臉機輻射量測與劑量評估模式」(會輻字第 1080008209 號函)，以及 110 年 10 月 22 日核定「負離子鹽燈、衛生棉(含衛生棉條)及口罩輻射量測與劑量評估模式」(會輻字第 1100014296 號函)辦理。
- (2) 本作業考量不同樣品類型於現實情況下的使用方式，共列出 17 種評估模式，進行體內劑量(氡氣)及體外劑量評估，各類型樣品之評估模式表列如下：

樣品類型	體內劑量(氡氣)	體外有效劑量	肢體接觸部位之等價劑量	備註
1. 床墊	以距床墊邊緣 2 公分處所測得氡氣活度濃度，搭配每日 10 小時睡眠時間進行評估。	將床墊劃分成 9 個區塊，量測各區塊表面處輻射劑量率，搭配每日 10 小時睡眠時間進行評估。	-	評估模式，依據會輻字第 1070010652 號函辦理。

2. 棉被	以距棉被邊緣 2 公分處所測得氬氣活度濃度，搭配每日 10 小時睡眠時間進行評估。	將棉被劃分成 9 個區塊，量測各區塊表面處輻射劑量率，搭配每日 10 小時睡眠時間進行評估。	-	評估模式，依據會輻字第 1070014066 號函辦理。
3. 枕頭	以距枕頭表面 2 公分處所測得氬氣活度濃度，搭配每日 10 小時睡眠時間進行評估。	以距枕頭中心 20 公分處(人體甲狀腺位置)所測得輻射劑量率，搭配每日 10 小時睡眠時間進行評估。	-	評估模式，依據會輻字第 1070014066 號函辦理。
4. 眼罩	以距眼罩邊緣 1 公分處(鼻孔位置)所測得氬氣活度濃度，搭配每日 10 小時睡眠時間進行評估。	以距眼罩中心 20 公分處(人體甲狀腺位置)所測得輻射劑量率，搭配每日 10 小時睡眠時間進行評估。	-	評估模式，依據會輻字第 1070014066 號函辦理。
5. 面具/面膜	以緊鄰面膜(或面具)鼻孔位置處所測得氬氣活度濃度，搭配日常活動(非睡眠)呼吸率，評估每日使用該產品包裝建議使用時間所接受之劑量。	以距面膜(或面具)中心 20 公分處(人體甲狀腺位置)所測得輻射劑量率，搭配每日使用該產品包裝建議使用時間進行評估。	-	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 若產品無建議使用時間，則以每日使用 2 小時 4 分進行估算。</li> <li>2. 評估模式，依據會輻字第 1070014066 號函辦理。</li> </ol>
6. 口罩	一般 以口罩內部緊鄰鼻孔位置處所測得氬氣活度濃度，搭配日常活動(非睡眠)呼吸率，評估每日使用該產品 1 小時所接受之劑量。	以距口罩中心 20 公分處(人體甲狀腺位置)所測得輻射劑量率，搭配每日使用該產品 1 小時所接受之劑量。	-	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 若產品無建議使用時間，則以每日使用 1 小時進行估算。</li> <li>2. 評估模式，依據會輻字第 1070014066 號函辦理。</li> </ol>

	COV ID-19 疫情期間	以口罩內部緊鄰鼻孔位置處所測得氬氣活度濃度，搭配日常活動(非睡眠)呼吸率，評估每日使用該產品 14 小時所接受之劑量。	以距口罩中心 20 公分處(人體甲狀腺位置)所測得輻射劑量率，搭配每日使用該產品 14 小時所接受之劑量。		<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 因應疫情修訂，以扣除每日睡眠 10 小時以外，剩餘日常活動時間 14 小時進行估算。</li> <li>2. 評估模式，依據會輻字第 1100014296 號函辦理。</li> </ol>
7. 水杯		<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 飲水情節：以緊鄰水杯杯口所測得氬氣活度濃度，搭配日常活動(非睡眠)呼吸率及每日使用 10 分鐘時間進行評估。</li> <li>2. 隨身攜帶情節：以距水杯中心表面(或輻射熱點)30 公分處所測得氬氣活度濃度，搭配日常活動(非睡眠)呼吸率及每日攜帶 16 小時時間進行評估。</li> </ol>	以距水杯中心表面(或輻射熱點)30 公分處所測得輻射劑量率，搭配每日非睡眠時間(16 小時)進行評估。	以水杯中心(或輻射熱點)表面處所測得輻射劑量率，搭配每日使用該產品 16 小時時間進行評估。	評估模式，依據會輻字第 1080004912 號函辦理。
8. 水壺		以距水壺中心表面(或輻射熱點)30 公分處所測得氬氣活度濃度，搭配日常活動(非睡眠)呼吸率及每日使用 16 小時時間進行評估。	以距水壺中心表面(或輻射熱點)30 公分處所測得輻射劑量率，搭配每日非睡眠時間(16 小時)進行評估。	以水壺中心(或輻射熱點)表面處所測得輻射劑量率，搭配每日使用該產品 16 小時時間進行評估。	評估模式，依據會輻字第 1080004912 號函辦理。
9. 護具	護膝	以距護膝中心(或輻射熱點)90 公分	以距護膝中心(或輻射熱點)20 公	以護膝中心(或輻射熱	評估模式，依據會輻字第 1080004912 號

		處所測得氬氣活度濃度，搭配日常活動(非睡眠)呼吸率，評估每日使用該產品 16 小時所接受之劑量。	分處(人體性腺位置)所測得輻射劑量率，搭配每日使用該產品 16 小時時間進行評估。	點)表面處所測得輻射劑量率，搭配每日使用該產品 16 小時時間進行評估。	函辦理。
	護腰	以距護腰中心(或輻射熱點) 55 公分處所測得氬氣活度濃度，搭配日常活動(非睡眠)呼吸率，評估每日使用該產品 16 小時所接受之劑量。	以距護腰中心(或輻射熱點) 表面(人體腸胃器官位置)所測得輻射劑量率，搭配每日使用該產品 16 小時時間進行評估。	以護腰中心(或輻射熱點)表面處所測得輻射劑量率，搭配每日使用該產品 16 小時時間進行評估。	評估模式，依據會輻字第 1080004912 號函辦理。
	護腕	以距護腕中心(或輻射熱點) 55 公分處所測得氬氣活度濃度，搭配日常活動(非睡眠)呼吸率，評估每日使用該產品 16 小時所接受之劑量。	以距護腕中心(或輻射熱點) 25 公分處(人體腹腔位置)所測得輻射劑量率，搭配每日使用該產品 16 小時時間進行評估。	以護腕中心(或輻射熱點)表面處所測得輻射劑量率，搭配每日使用該產品 16 小時時間進行評估。	評估模式，依據會輻字第 1080004912 號函辦理。
10. 圍巾/披肩		以距圍巾/披肩上緣 20 公分處所測得氬氣活度濃度，搭配日常活動(非睡眠)呼吸率及每日使用 16 小時時間進行評估。	以圍巾/披肩中心表面(人體甲狀腺位置)所測得輻射劑量率，搭配每日使用該產品 16 小時時間進行評估。	以圍巾/披肩表面處所測得輻射劑量率，搭配每日使用該產品 16 小時時間進行評估。	評估模式，依據會輻字第 1080008209 號函辦理。
11. 衣服		以距衣服上緣 20 公分處所測得氬氣活度濃度，搭配日常活動(非睡眠)呼	以衣服中心表面(人體肺部位置)所測得輻射劑量率，搭配每日使	以衣服表面處所測得輻射劑量率，搭配每日使	評估模式，依據會輻字第 1080008209 號函辦理。

		吸率及每日使用 16 小時時間進行評估。	用該產品 16 小時時間進行評估。	用該產品 16 小時時間進行評估。	
12. 內衣		以距內衣上緣 20 公分處所測得氬氣活度濃度，搭配每日日常活動(非睡眠)呼吸率使用 14 小時及每日 10 小時睡眠時間進行評估。	以內衣中心表面(人體肺部位置)所測得輻射劑量率，搭配每日日常活動(非睡眠)呼吸率使用 14 小時及每日 10 小時睡眠時間進行評估。	以內衣表面處所測得輻射劑量率，搭配每日使用該產品 24 小時時間進行評估。	評估模式，依據會輻字第 1080008209 號函辦理。
13. 地墊		以距地墊中心 70 公分處所測得氬氣活度濃度，搭配日常活動(非睡眠)呼吸率及每日使用 16 小時時間進行評估。	以地墊中心(人體性腺位置)所測得輻射劑量率，搭配每日使用該產品 16 小時時間進行評估。	以地墊中心表面處所測得輻射劑量率，搭配每日使用該產品 16 小時時間進行評估。	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 假設使用者坐在地墊上來進行評估，台灣勞工人體計測資料庫顯示，眼睛距座面距離男約 79 公分、女約 73 公分，在此以 70 公分評估。</li> <li>2. 評估模式，依據會輻字第 1080008209 號函辦理。</li> </ol>
14. 襪子	短襪	以距短襪上緣 110 公分處所測得氬氣活度濃度，搭配每日日常活動(非睡眠)呼吸率使用 14 小時及每日 10 小時睡眠時間進行評估。	以短襪表面中心 38 公分處(人體性腺位置)所測得輻射劑量率，搭配每日日常活動(非睡眠)呼吸率使用 14 小時及每日 10 小時睡眠時間進行評估。	以短襪表面處所測得輻射劑量率，搭配每日使用該產品 24 小時時間進行評估。	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 假設坐姿情況下腳穿著短襪，台灣勞工人體計測資料庫顯示，腳底距性腺位置之垂直高度男約 41 公分、女約 38 公分，在此以 38 公分評估。腳底位置與鼻孔之</li> </ol>

					<p>垂直高度距離男約 119 公分、女約 111 公分，在此以 110 公分評估。</p> <p>2. 評估模式，依據會輻字第 1080008209 號函辦理。</p>
	長襪	以距長襪上緣 70 公分處所測得氬氣活度濃度，搭配每日日常活動(非睡眠)呼吸率使用 14 小時及每日 10 小時睡眠時間進行評估。	以長襪中心 35 公分處 (人體性腺位置)所測得輻射劑量率，搭配每日日常活動(非睡眠)呼吸率使用 14 小時及每日 10 小時睡眠時間進行評估。	以長襪表面處所測得輻射劑量率，搭配每日使用該產品 24 小時時間進行評估。	<p>1. 假設坐姿情況下腳穿著長襪，長襪高度至膝蓋下方(座面)。依台灣勞工人體計測資料庫顯示，座深距離男約 55 公分、女約 53 公分，在此以 2/3 座深之長度 35 公分評估。</p> <p>2. 評估模式，依據會輻字第 1080008209 號函辦理。</p>
	褲襪	以距褲襪中心 55 公分處所測得氬氣活度濃度，搭配每日日常活動(非睡眠)呼吸率使用 14 小時及每日 10 小時睡眠時間進行評估。	以褲襪中心表面 (人體性腺位置)所測得輻射劑量率，搭配每日日常活動(非睡眠)呼吸率使用 14 小時及每日 10 小時睡眠時間進行評估。	以褲襪表面處所測得輻射劑量率，搭配每日使用該產品 24 小時時間進行評估。	<p>1. 台灣勞工人體計測資料庫顯示，鼻孔距肚臍高(約褲襪上緣位置)之垂直高度男約 59 公分、女約 57 公分，在此以 55 公分評估。</p> <p>2. 評估模式，依據會輻字第 1080008209 號</p>

					函辦理。
15. 洗臉機	以緊鄰洗臉機表面位置處所測得氬氣活度濃度，搭配日常活動(非睡眠)呼吸率，評估每日使用該產品包裝建議使用時間所接受之劑量。	以距洗臉機中心20公分處(人體甲狀腺位置)所測得輻射劑量率，搭配每日使用該產品包裝建議使用時間進行評估。	以洗臉機中心表面處所測得輻射劑量率，搭配每日使用該產品時間進行評估。		<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 若產品無建議使用時間，則以每日使用 2 分鐘進行估算。</li> <li>2. 評估模式，依據會輻字第 1080008209 號函辦理。</li> </ol>
16. 鹽燈	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 日間居家(或辦公)情節： 以距鹽燈中心表面(或輻射熱點)30公分處所測得氬氣活度濃度，搭配每日使用 14 小時(非睡眠呼吸率)進行評估。</li> <li>2. 夜間睡眠情節： 以距鹽燈中心表面(或輻射熱點)30公分處所測得氬氣活度濃度，搭配每日 10 小時睡眠時間(睡眠呼吸率)進行評估。</li> </ol>	以距鹽燈中心表面(或輻射熱點)30公分處所測得輻射劑量率，搭配每日使用 24 小時進行評估。			<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 日間居家(或辦公)情節，假定於居家或辦公地區桌面布置鹽燈，並以距離鹽燈 30 公分位置(比照水壺或水杯放置距離)量測輻射劑量率及氬氣濃度，搭配每日 14 小時進行評估。</li> <li>2. 夜間睡眠情節，假定於居家臥室內桌面布置鹽燈，並以距離鹽燈 30 公分位置量測輻射劑量率及氬氣濃度，搭配每日 10 小時(比照床墊使用時間)進行評估。</li> <li>3. 評估模式，依據會輻字第 1100014296 號函辦理。</li> </ol>
17. 衛生棉/衛生棉條	1.日間使用情節 以距衛生棉/衛生	以距衛生棉/衛生棉條中心(或輻射			1. 台灣勞工人體計測資料庫顯示，女

	<p>棉條中心表面(或輻射熱點) 73 公分處所測得氬氣活度濃度，搭配每月 5 天、每天使用 14 小時(非睡眠呼吸率)進行評估。</p>	<p>熱點)表面(人體性線位置)所測得輻射劑量率，搭配每月使用 5 天該產品進行評估。</p>		<p>性鼻孔距座面高(約衛生棉位置)之垂直高度約 73 公分。</p> <p>2. 依據衛生福利部國民健康署健康九九網站，正常月經期中出血約 3-5 天，此處以每月使用 5 天進行評估。</p> <p>3. 評估模式，依據會輻字第 1100014296 號函辦理。</p>
	<p>2.夜間使用情節 以距衛生棉/衛生棉條中心表面(或輻射熱點) 73 公分處所測得氬氣活度濃度，搭配每月 5 天、每天使用 10 小時(睡眠呼吸率)進行評估。</p>			

(3) 量測結果亦可利用 Capture®軟體輸出，進入程式後可點選“下載RAD7數據”，選擇要載入資料範圍(全部/最新量測/測試範圍/序號範圍)。

### 3.4 產出量測報表

(1) 將量測結果數據利用 Capture®軟體輸出，進入程式後可點選 File，進入 Create Report，點選 Data Summary Report 即可產生數據資料，並於程式畫面擷取量測圖譜，與數據資料一同彙整於 word 檔產出量測報表。

### 3.5 鈾系、鈾系及 K-40 的加馬核種分析

(1) 先將樣品放在盛裝容器內，若為枕頭或棉被等大件

樣品，需將樣品拆解後再裝入。

- (2) 將盛裝容器放入加馬能譜計測系統中，並挑選適合的能量及效率校正資料進行計測。
- (3) 透過多頻道分析儀來顯示鈾系、鈾系及 K-40 的活度濃度，鈾系核種主要觀察 911.07 keV 能峰(Ac-228)之貢獻；鈾系核種主要觀察 609.32 keV 能峰(Bi-214)之貢獻；K-40 主要觀察 1460.83 keV 能峰(K-40)之貢獻。

#### 4. 劑量評估

為評估含天然放射性物質產品所溢出氡氣造成之劑量，需將所量測得到之數據，套入下述之體外劑量評估和體內劑量評估公式中進行估算。其中體外曝露劑量係以所測得表面劑量率所估算而得；體內曝露劑量則以 ICRP 第 115 號報告[5]所提供計算方式，來評估吸入氡氣(或鈾氣)所造成之劑量，兩者加總後即為總接受之劑量。

##### 4.1 體外曝露劑量評估公式

人員因使用含天然放射性物質之產品，所接受之體外輻射劑量由下列公式計算而得。

$$D = (D_{x,y} - D_B) \times 0.001 \times T \times 365$$

- $D$ ：體外輻射劑量(毫西弗/年)
- $D_{x,y}$ ：為距樣品表面  $x$  公分及樣品中心  $y$  公分(僅適用於枕頭、眼罩、面膜、面具及口罩)處，所測得之表面輻射劑量率(微西弗/小時)。
- $D_B$ ：為計測室外空間背景輻射劑量率(微西弗/小

時)。

- **0.001**：為毫西弗轉換微西弗之單位換算。
- **T**：樣品每日使用時間(小時)。
- **365**：為年曝露天數。

#### 4.2 體內曝露劑量評估公式

人員因使用含天然放射性物質之產品，所接受之體內輻射劑量(溢出之氬氣)由下列公式計算而得。

$$D = (\text{net}C_{Rn-220} \times W_{Rn-220} \times DCF_{Rn-220} \times F_{Rn-220} + \text{net}C_{Rn-222} \times W_{Rn-222} \times DCF_{Rn-222} \times F_{Rn-222}) \times 365 \times T \times R$$

- **D**：體內輻射劑量(毫西弗/年)
- **netC<sub>Rn-220</sub>**、**netC<sub>Rn-222</sub>**：為 Rn-220 與 Rn-222 之淨活度濃度(貝克/立方米)。
- **W<sub>Rn-220</sub>**、**W<sub>Rn-222</sub>**：為 Rn-220 與 Rn-222 之轉換係數，其中  $W_{Rn-220} = 5.7$ (毫西弗/WLM)， $W_{Rn-222} = 12.9$ (毫西弗/WLM)，WLM 為月工作水平。
- **DCF<sub>Rn-220</sub>**、**DCF<sub>Rn-222</sub>**：為 Rn-220 與 Rn-222 之劑量轉換係數，其中  $DCF_{Rn-220} = 2.14 \times 10^{-5}$ (WLM\*立方米/貝克\*小時)， $DCF_{Rn-222} = 1.57 \times 10^{-6}$ (WLM\*立方米/貝克\*小時)。
- **F<sub>Rn-220</sub>**、**F<sub>Rn-222</sub>**：氬同位素衰變子核間平衡係數，

Rn-220 為 0.04、Rn-222 為 0.4。

- 365：為年曝露天數。
- T：每日曝露時數(小時)。
- R：為呼吸率。非睡眠期間呼吸率為 1.0；睡眠期間呼吸率為 0.37。

#### ※ 論著產出

本工作項目完成「不同氬氣量測儀器之比對試驗研究報告」(如附件二)，一篇研究報告。

## 二、應用輻射劑量計，建立含天然放射性物質商品之體外劑量評估技術

本工作項目本年度研究方法、過程與產出詳述如下：

含天然放射性物質商品的劑量評估方法，大概可分成直接量測、氬氣濃度活度量測以及加馬核種分析三類，其中參考國際作法，體外劑量的評估可透過劑量率搭配 ICRP 115 號報告[5]之劑量評估公式，在考量不同使用情境、時間等條件下進行評估，目前核研所透過召開專家討論會議，以建立 17 大類別商品的使用情境及評估模式，以貼近實際商品之使用情況。除此之外，由於完整的劑量評估流程，根據商品類型的不同，需耗時數小時至數天不等，因此有必要建立商品篩選機制，快速挑選出可能超標之商品。

據此，本年度的工作內容亦針對該項議題，希望利用歷

史檢測資料及數據，透過分析方法找出各項檢測數值間的關聯性，以建立商品快篩機制。以下將依序介紹使用到的統計分析方法，探討各種量測數值間的關係，並從中建立可供日後使用的劑量快篩評估方法。

## 1. 相關係數

相關係數全名為皮爾森相關係數(Pearson correlation coefficient)，是統計學上常見的數值分析方法，可用來表示兩變量之間的相關程度[6,7]。舉例來說，假設兩變量分別為 $X_1, X_2 \dots, X_n$ 和 $Y_1, Y_2 \dots, Y_n$ ，則兩變量的共變異數(Covariance)可由下式求得：

$$\text{Covariance}[X_j, Y_k] = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_{ij} - \bar{X}_j)(Y_{ik} - \bar{Y}_k)$$

其中 $\bar{X}_j$ 和 $\bar{Y}_k$ 分別為兩變量的平均值，而相關係數的定義為共變異數除上兩變量標準差的乘積，如下式：

$$r = \frac{\text{Covariance}[X_j, Y_k]}{\sigma_{X_j} \sigma_{Y_k}}$$

其中 $\sigma_{X_j}$ 和 $\sigma_{Y_k}$ 分別為兩變量的標準差，而計算出的相關係數其數值會落在正負 1 之間，分別代表預探討之兩變量間的關係為正相關或負相關，數值的大小則代表相關程度，可參考文獻的相關係數相關性之經驗法則[8]，如表 1，大致了解兩變量間的關係程度。

表 1、相關係數相關性之經驗法則

數值	相關性
0.9 ~ 1.0 (-0.9 ~ -1.0)	相當高
0.7 ~ 0.9 (-0.7 ~ -0.9)	高
0.5 ~ 0.7 (-0.5 ~ -0.7)	中
0.3 ~ 0.5 (-0.3 ~ -0.5)	低
0.0 ~ 0.3 (0.0 ~ -0.3)	非常低

若同時要討論多組變量間的關係，則需分別計算它們的共變異數，得到共變異數矩陣如下式：

$$\text{Covariance} = \begin{bmatrix} \text{cov}[X_1, Y_1] & \text{cov}[X_1, Y_2] & \text{cov}[X_1, Y_3] & \dots & \text{cov}[X_1, Y_n] \\ \text{cov}[X_2, Y_1] & \text{cov}[X_2, Y_2] & \text{cov}[X_2, Y_3] & \dots & \text{cov}[X_2, Y_n] \\ \text{cov}[X_3, Y_1] & \text{cov}[X_3, Y_2] & \text{cov}[X_3, Y_3] & \dots & \text{cov}[X_3, Y_n] \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \text{cov}[X_n, Y_1] & \text{cov}[X_n, Y_2] & \text{cov}[X_n, Y_3] & \dots & \text{cov}[X_n, Y_n] \end{bmatrix}$$

此矩陣為對稱矩陣，於對角線兩側相對位置上的元素數值相等，若將矩陣內元素分別除上兩變量的標準差乘積後，則可進一步得到相關矩陣如下式：

$$r_{n \times n} = \begin{bmatrix} 1 & r_{12} & r_{13} & \dots & r_{1n} \\ r_{21} & 1 & r_{23} & \dots & r_{2n} \\ r_{31} & r_{32} & 1 & \dots & r_{3n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{n1} & r_{n2} & r_{n3} & \dots & 1 \end{bmatrix}$$

此矩陣仍為對稱矩陣，而矩陣的對角線上的元素 $(r_{11}, r_{22}, \dots, r_{nn})$ ，由於是代表兩相同數值之間的相關係數，因此數值皆為 1。

根據「含天然放射性物質商品檢測標準作業程序書」，可統整出目前預探討的變數共有以下幾類，包含 CoMo-170 量測之計數值、AT-1121 量測之劑量率、RAD7 量測

之 Rn-220 和 Rn-222 氡氣濃度活度、HPGe 量測之鈾系活度濃度、鈾系活度濃度、K-40 活度濃度、以及最終評估出的體內劑量和體外劑量，其中可快速得出結果的量測量有 CoMo-170 和 AT-1121 兩種，而 AT-1121 與體外劑量兩者可直接透過評估模式換算，故在此視為同一變量處理，統一以體外劑量描述。故最終我們挑選 CoMo-170 作為主要劑量快篩指標，並依據各種量測量間的特性以及歷史數據，將上述變數分為兩批來分別進行相關係數分析，每批各包含五個變數，分類如下：

- (1) CoMo-170 計數值(cps)、Rn-220 氡氣濃度活度( $\text{Bq}/\text{m}^3$ )、Rn-222 氡氣濃度活度( $\text{Bq}/\text{m}^3$ )、體內劑量( $\text{mSv}/\text{y}$ ，以 Internal 表示)和體外劑量( $\text{mSv}/\text{y}$ ，以 External 表示)。
- (2) CoMo-170 計數值(cps)、鈾系活度濃度( $\text{Bq}/\text{g}$ )、鈾系活度濃度( $\text{Bq}/\text{g}$ )、K-40 活度濃度( $\text{Bq}/\text{g}$ )和體外劑量( $\text{mSv}/\text{y}$ )。

第一批變數的分析結果如圖 6 所示，由於相關係數矩陣為對稱矩陣，為求資料全面性及豐富性，在此一併將資料的散佈圖和累積直方圖一併顯示在矩陣的對稱位置及對角線上作為參考。從分析結果可看出 CoMo-170 計數值與體外劑量的關係有幾乎百分之百的相關性，但幾乎無法有效的反應出體內劑量的關係，相關性非常低，這是因為 CoMo-170 計數值與高穿透力的光子所造成的劑量相關，這會直接反應到體外劑量的部分；而反觀體內劑量主要與氡氣活度濃度較為相關，尤其是與 Rn-220 的相關係數可

達 0.7 左右，而 Rn-222 的關係度稍低，相關係數約 0.37。最後若綜整以往經驗及大數據分析結果，對於體內劑量超過 1 mSv/y 的案例，其 CoMo-170 大約會在 20 cps 以上 (20.1~187.9 cps)，雖然也有 CoMo-170 數值超過 20 cps 但體內劑量低於 1 mSv/y 的案例存在，但我們可用此數值作為是否要進一步進行 Rn-220 及 Rn-222 濃度檢測的快篩指標。

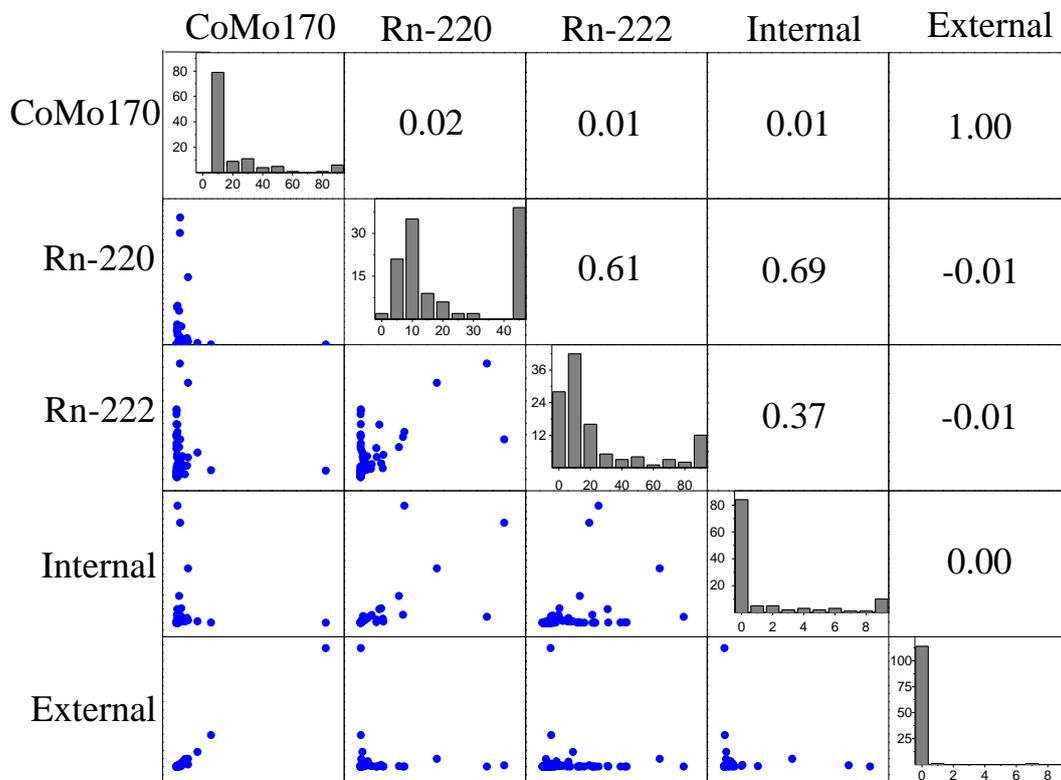


圖 6、CoMo-170 計數值、Rn-220 氡氣濃度活度、Rn-222 氡氣濃度活度、體內劑量和體外劑量之相關矩陣

第二批變數的分析結果如圖 7 所示，是進一步針對和光子相關的各種變量進行分析。從分析結果可見 CoMo-170 計數值除了可有效反應出體外劑量之外，也可一定程度的表現出鈾系活度濃度、鈾系活度濃度和 K-40 活度濃度的

趨勢，相關係數可達 0.47 到 0.88 的範圍，其中又以 K-40 的相關性最高。

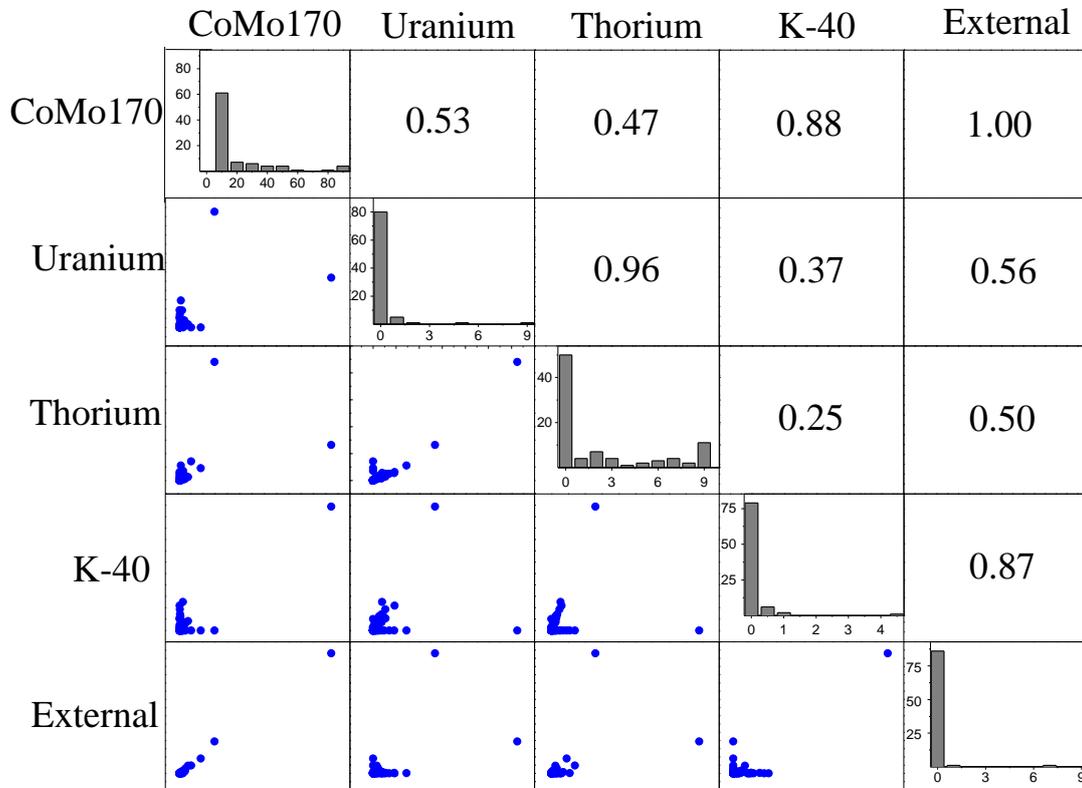


圖 7、CoMo-170 計數值、鈾系活度濃度、鈾系活度濃度、K-40 活度濃度和體外劑量之相關矩陣

## 2. 迴歸分析

迴歸分析(Regression Analysis)也是統計學上常見的數值分析方法，係最小平方法演變而來，可用來分析兩個或多個變數間的相關性，並透過建立迴歸模型，使用特定幾個自變數來預測感興趣之應變數[9]，如下式所示：

$$Y = A + B_1X_1 + B_2X_2 + \dots + B_nX_n$$

其中Y為應變數，X為自變數，A和B分別為使用迴歸分析所求出的係數，目的為最小化多元線性迴歸模型等號兩側數值差異的平方，如下式：

$$\sum_{i=1}^n (Y - A - B_1X_1 - B_2X_2 - \dots - B_nX_n)^2$$

經統計分析軟體進行分析後，產生之迴歸模型如下：

$$E = -0.1203 + 0.0059C$$

其中 E 為體外劑量(mSv/y)，C 為 Como-170 計數值(cps)，該迴歸模型的 R<sup>2</sup> 值為 99%；體內劑量部分，如圖 6 所示，劑量值和 Como-170 計數值幾乎無相關性存在，故在此不特別列出體內劑量與 Como-170 計數值之迴歸模型。

### 三、蒐集國際間管理作法或規範並研擬含天然放射性物質商品之管理建議

本工作項目本年度研究方法、過程與產出詳述如下：

107年5月南韓爆發負離子床墊檢測超標事件，在床墊上測得 Rn-222 和 Rn-220 濃度高於 2,000 Bq/m<sup>3</sup>，引起社會廣大關注。我國原能會在接獲消息後第一時間便成立專案小組，動員且連繫國內相關單位，調查各國進口之負離子床墊產品，進行劑量評估並協助回收銷毀超標之產品。由此可見，含天然放射性物質商品若無有效的管制，確實存在社會風險疑慮，若長時間的使用是有可能危害到國人身體健康。因此本案希望透過蒐集彙整國際間有關含天然放射性物質商品之管制文獻資料，在考量各國國情差異後，研擬出含天然放射性物質商品之管理建議予主管機關參考。相關內容整理如下：

#### 1. 國際作法與現況

##### 1.1 日本作法

為了降低在接觸到含有鈾或釷的材料及商品時，遭受到不必要的輻射而導致健康風險，日本文部科學省 (Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology) 於 2009 年發布了含有鈾或釷的原材料和產品的安全指南 Guideline for Ensuring Safety of Raw Materials and Products Containing Uranium or Thorium [10]，要求相關單位

與人員應採取必要措施，以減少生產場所之工人及附近居民接受到不必要的輻射曝露，同時也減少商品對民眾造成之不必要的輻射曝露。

目前日本針對含有鈾或鈾的材料是依照反應器管制法 (Reactor Regulation Law) 規範，其對於放射性核種的放射性活度及重量皆有明確的規定，如表 2 所示，對於活度超過 74 Bq/g (固態則為 370 Bq/g)，以及鈾重量的三倍加上鈾的重量超過 900 g 的原料需要申報使用，對於重量超過 300 g 的天然鈾、重量超過 900 g 的鈾及其化合物、濃縮鈾則需要使用許可。而濃度及重量低於上述規定之材料及商品，則不受反應器管制法約束。對於獲得使用許可及申報使用之材料及商品，本指南要求透過製造商識別、劑量率量測、劑量評估、減少輻射曝露、傳遞訊息、製作相關紀錄共六個步驟來進行，而本報告係針對含天然放射性物質商品的管制建議，目的為減少消費者從商品中接受到不必要的輻射曝露。

表 2、核材料申報與使用許可範圍

Nuclear raw materials subject to utilization notification	
In the case where both the concentration and quantity of uranium or thorium exceed the following values:	
• Radioactivity concentration	74 Bq/g (Solid state: 370 Bq/g)
• Quantity	Amount of uranium x 3 + amount of thorium = 900 g
Nuclear fuel materials subject to utilization permission:	
• Natural and depleted uranium and compounds thereof	Quantity in excess of 300 g
• Enriched uranium	Fully subject to regulation
• Thorium and compounds thereof	Quantity in excess of 900 g

劑量率量測可使用經過校正的 NaI 閃爍偵檢器，或同等性能之加馬測量設備，以商品常見之使用狀況下進行，並扣除背景貢獻。劑量評估方面，則須根據量測之劑量率，考量商品的使用頻率及商品使用時之最長使用時長來保守評估，如 8760 h/y，如下式：

$$\begin{aligned} & \text{[Exposure dose of consumer goods used not in contact with the skin (effective dose) (Dose I)]} \\ & \text{Dose I (mSv/year)} = \text{DEX [mSv/hour/(Bq/m}^2\text{)]} \times \text{C(Bq/g)} \times \text{M(g)} \times \text{T(hour/year)} \div \\ & \text{[D(m)]}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \text{[Exposure dose of consumer goods used in contact with the skin (effective dose) (Dose II)]} \\ & \text{Dose II (mSv/year)} = \text{DSKIN [mSv/hour/(Bq)]} \times \text{C(Bq/g)} \times \text{M(g)} \times \text{T(hour/year)} \end{aligned}$$

其中 Dose I 為商品未與皮膚直接接觸之情節所評估之年劑量、Dose II 為商品與皮膚直接接觸之情節所評估之年劑量，DEX 即 DSKIN 則分別為上述兩情節之轉換因子 (mSv/h/(Bq/m<sup>2</sup>))，對於鈾系核種 DEX 約為 1.8×10<sup>-10</sup>，DSKIN 約為 9.6×10<sup>-9</sup>，對於鈾系核種 DEX 約為 2.7×10<sup>-10</sup>，DSKIN 約為 1.3×10<sup>-8</sup>，數值皆略高於鈾系。C 為活度濃度(Bq/g)、M 為商品重量(g)、T 為使用時間(h/y)、D 為與商品之距離(m)，若是商品呈粉末或可能吸入形式，則需額外考慮體內劑量的影響。若評估出之結果超過 1 mSv/y，則需要採取減少輻射曝露的措施。

針對 Dose I，若以年劑量限值反向推估，假設要在一年

8760 小時內達到 1 mSv/y 的劑量，則鈾系核種的活度約需要 630000 Bq，鈾系核種活度約需要 420000 Bq 才能達到，若再除上法規規定之固體放射性活度規範的 370 Bq/g，則鈾系和鈾系之重量分別需要 1700 及 1100 g 才足夠造成 1 mSv/y 的劑量，這幾乎很難在現實生活中碰到這類使用情況，相關結果整理如表 3 所示。

表 3、商品未與皮膚直接接觸之情節(Dose I)之活度評估

	Unit	Thorium	Uranium
Exposure dose	mSv/y	1.0	1.0
Conversion factor	mSv/h/(Bq/m <sup>2</sup> )	1.80E-10	2.70E-10
Quantity of radioactivity	Bq	634,196	422,797
Duration of use	h/y	8,760	8,760
Distance from the product	M	1	1

針對 Dose II，同樣以一年(8760 小時)內達到 1 mSv/y 的年劑量估算，則鈾系活度約需 11891 Bq，鈾系約需 8781 Bq，若除上法規規定之固體放射性活度 370 Bq/g，則鈾系和鈾系之重量僅需要 32 及 34 g，此重量是符合日常商品使用情境的，結果整理如表 4。

綜上所述，本指南得出的結論為除了與皮膚近距離接觸之商品外，幾乎沒有超過 1 mSv/y 的可能性，而與皮膚近距離接觸之商品中，可用活度 8000 Bq，活度濃度 1 Bq/g 做為含有天然鈾鈾核種商品是否超標之判斷依據；對於含有

精煉鈷鈾核種的商品，則以 80000 Bq 和 10 Bq/g 作為判斷依據。

表 4、商品與皮膚直接接觸之情節(Dose II)之活度評估

	Unit	Thorium	Uranium
Exposure dose	mSv/y	1.0	1.0
Conversion factor	mSv/h/Bq	9.60E-09	1.30E-08
Quantity of radioactivity	Bq	11,891	8,781
Duration of use	H/y	8,760	8,760
Distance from the product	M	In contact with human bodies	In contact with human bodies

最後綜整本指南中提到的民眾輻射曝露相關概念，如下：

- 根據日本反應器管制法規定，職業曝露人員的劑量限值為五年 100 mSv 及 50 mSv/y，一般民眾之劑量限值則為 1 mSv/y，該年劑量現職是根據 ICRP 即 IAEA 的報告所制定，其他國家也大多是參考相同的規定，約為地球之背景輻射強度水平 2.4 mSv/y 的一半左右。
- 日本對於 NORM 的保護綜觀提出了以下 3 項建議：
  - (1) IAEA 編制的 NORM 法規豁免報告 (General Administrative Group Report) 中提到，劑量標準的選擇應在行為豁免(不需要任何監管，因健康風險可忽略不計)的劑量標準 10  $\mu$ Sv/y 和干預豁免(不需干預，因健康風險很低)的劑量標準 1 mSv/y，兩者之間進行考量。

(2) ICRP 82 號報告中將產品干預豁免標準定為 1 mSv/y。

[11]

(3) IAEA 於 2007 年主辦的「第五屆 NORM 專題研討會」中[12]，於會議最後總結時主席提到，從管制資源的有效利用性來看，建議使用 1 mSv/y 而不是 10  $\mu$ Sv/y 來作為 NORM 的標準值。

在參考上述國際規範及情況後，本指南採用 1 mSv/y 作為輻射劑量的評估標準。

## 1.2 南韓作法

南韓原子能安全委員會(Nuclear Safety and Security Commission, NSSC)於 2011 年發布了輻射安全管理法 Act on Protective Action Guidelines against Radiation in the Natural Environment [13]，並因應實際情況來陸續調整內容，最新版於 2021 年修訂完成，該法令目的為規定相關環境輻射的安全管理事項，從而保護環境及民眾健康並促進公共安全。該法令中提到了部分與天然放射性物質管制相關內容，摘錄如下：

- 第 14 條「原材料加工及副產品之注意事項」(2019 年 1 月 15 日修訂)：應採取必要之措施以避免原材料加工及

副產品於空氣中飄散，且須進行場所及從業人員的輻射劑量管控，並定期安排健檢追蹤。

- 第 15 條「加工產品之安全標準」(2019 年 1 月 15 日修訂):加工後之產品若含有天然放射性核種，不得洩漏到空氣中，亦不得透過接觸轉移至人體，造成之體內集體外劑量不得超過原子能安全委員會公布之標準，產品中天然放射性物質含量亦不可超過南韓原子能安全委員會訂定並公布之標準限值。標準部分可參考，2019 年 7 月 16 日修訂之「環境輻射安全管理規則」，摘錄如下：
  - ✓ 第 2 條「原材料之活度及數量」限制：K-40 活度濃度為 1 Bq/g，其他天然放射性核種為 0.1 Bq/g。原料中含有的天然放射性核種放射性限值為每年 10 萬 Bq。
  - ✓ 第 3 條「加工副產品之活度及數量」限制：針對處理含天然含放射性核種原料過程中產生的物質，如各種沉積物、石膏等，其 K-40 活度濃度為 5 Bq/g，其他天然放射性核種為 0.5 Bq/g。

表 5、南韓對於含天然放射性物質之註冊登記基準

Sort	Definition		Registration levels	
	Bq/g	kBq	Bq/g	kBq
Raw materials	0.1 (U, Th) 1 (K-40)	100	<b>1 (U, Th)</b> <b>10 (K-40)</b>	<b>1,000</b> <b>10,000</b>
Residues	0.5 (U, Th) 5 (K-40)	-	<b>1 (U, Th)</b> <b>10 (K-40)</b>	<b>1,000</b> <b>10,000</b>

此外，根據於南韓原子能安全技術院(Korea Institute of Nuclear Safety, KINS)的 Jaekook Lee 研究員於 2019 年在 IAEA 國際會議上整理之簡報資料[14]，南韓參考 IAEA RSG-1.7[15]及 IAEA SRS-49[16]等報告建議，對於含有鈾、鈾系和 K-40 等放射性核種的原物料、副產品、廢棄物及商品，訂定了註冊登記限值，分別為鈾、鈾系比活度 1 Bq/g，活度 1000 kBq，K-40 比活度 10 Bq/g，活度 10000 kBq，若超出標準則產品管理者需進行登記註冊，而從事商品生產及分銷者原先並不需要進行登記註冊，直到 2019 年中的南韓床墊事件後，才更改了此項規定。

該事件後，南韓政府進行了一系列的調查及抽驗作業，對象包含各類礦石、副產品到商品等，並評估部分商品可能會導致超過 1 mSv/y 的劑量限值，如表 6 所示，並將相關檢測結果登錄到網路資料庫系統中 (Comprehensive Information System on RAdiation in the Natural environment，

CISRAN)，供民眾隨時查詢。

表 6、南韓商品抽驗之年劑量評估結果

Type	External dose (mSv/y)	Internal dose (mSv/y)	Total dose (mSv/y)
<b>Raw material</b>			
Zircon	0.188 (0.01-0.843)	0.017 (0-0.078)	0.203 (0.014-0.843)
Potassium compounds	0.180 (0- <b>1.13</b> )	0 (0-0.002)	0.180 (0- <b>1.125</b> )
Monazite	0.273 (0.007- <b>1.35</b> )	0.360 (0.01-0.763)	0.351 (0.007- <b>2.12</b> )
Bauxite	0.236 (0.123-0.364)	0.020 (0.014-0.032)	0.256 (0.155-0.379)
Etc.	0.123 (0-0.29)	0.001	0.123 (0-0.291)
<b>Residues</b>	0.038 (0.003-0.165)	0.002 (0-0.004)	0.025 (0-0.165)
<b>Products</b>	0.112 (0.043-0.180)	0.008 (0-0.015)	0.06 (0-0.18)

簡報中亦提到，在後續針對收集之 29 種，總計超過 70000 張床墊的檢測結果顯示，最高輻射劑量約為 13.7 mSv/y，其高劑量源自於床墊中添加之獨居石(monazite)所含的鈷系核種，它會衰變放出 Rn-220 造成體內劑量，添加獨居石之目的為認為其所含之負離子有助於人體健康，但實際功效並未被證實。此外，在本次調查中也發現除了床墊外的其它商品如乳膠、枕頭、毯子等，也可能因含有放射性物質而導致民眾接觸到超過 1 mSv/y 之劑量。

### 1.3 荷蘭負離子商品評估報告

荷蘭國家健康與環境研究所 (Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu)於 2021 年發布了負離子商品放射性量測報告 Radioactiviteitsmetingen aan ‘negatieve ionen’-

consumentenproducten [17]，目的為因應核安全和輻射防護管理局 (Autoriteit Nucleaire Veiligheid en Stralingsbescherming, ANVS) 要求，需查明在 10 種負離子商品的選擇中是否真的存在放射性，包含手鍊、吊墜、項鍊、睡眠面膜等，檢測結果發現在所有產品中都發現了鈷系核種及衰變產物。本評估報告使用 n 型鍺半導體偵檢器量測加馬能譜，同時也量測 10 cm 處的表面劑量率，討論如局部皮膚劑量的確定性效應。

在商品加馬能譜分析部份，結果整理於表 7，分別呈現活度濃度(Bq/g)及總活度(Bq)，其中 Th-232 系特別分出了非平衡態，代表在部分材料生產過程中有進行過除去鐳的處理。依不同衰變系核種貢獻總結如下：

- Th-232 系(平衡態)：10 件商品中共有 5 件商品檢測到(商品編號 5、6、8、9、10)，活度濃度落在  $8.0 \pm 0.4$  到  $74 \pm 8$  Bq/g 的範圍，而總活度約落在  $5.9 \pm 0.4$  到  $780 \pm 80$  Bq 的範圍。
- Th-232 系(非平衡態)：10 件商品中共有 3 件商品檢測到(商品編號 1、4、7)，活度濃度落在  $6.4 \pm 0.6$  到  $16 \pm 1.7$  Bq/g 的範圍，而總活度約落在  $55 \pm 6$  到  $220 \pm 20$  Bq 的範圍。

- U-238 系：10 件商品中共有 6 件商品檢測到(商品編號 5 到 10)，活度濃度落在  $0.37 \pm 0.04$  到  $6.8 \pm 0.8$  Bq/g 的範圍，而總活度約落在  $1.13 \pm 0.09$  到  $72 \pm 8$  Bq 的範圍。
- U-235 系：10 件商品中只有 2 件商品(商品編號 5 及 10)能夠檢測且量化表示，落在  $0.068 \pm 0.006$  到  $0.22 \pm 0.03$  Bq/g 的範圍，而總活度約落在  $1.21 \pm 0.17$  到  $1.29 \pm 0.10$  Bq 的範圍。

表 7、荷蘭抽樣商品加馬能譜分析結果

Monsternr.	Reeks/nuclide	Activiteitsconcentratie [Bq·g <sup>-1</sup> ] <sup>a</sup>	Activiteit [Bq] <sup>a,b</sup>
1	Ac-228 <sup>d</sup>	8,8 ± 0,9	80 ± 8
	Ra-224+ <sup>d</sup>	12,4 ± 1,3	113 ± 12
2	Ac-228 <sup>d</sup>	8,7 ± 0,9	157 ± 16
	Ra-224+ <sup>d</sup>	12,3 ± 1,3	220 ± 20
3	Ac-228 <sup>d</sup>	10,3 ± 1,0	58 ± 6
	Ra-224+ <sup>d</sup>	14,7 ± 1,5	83 ± 9
4	Ac-228 <sup>d</sup>	11,0 ± 1,1	55 ± 6
	Ra-224+ <sup>d</sup>	16,0 ± 1,7	79 ± 8
5	Th-232sec <sup>c</sup>	21 ± 2	116 ± 12
	U-235sec <sup>c</sup>	0,22 ± 0,03	1,21 ± 0,17
	U-238sec <sup>c</sup>	3,7 ± 0,4	21 ± 2
6	Th-232sec <sup>c</sup>	18,7 ± 1,9	24 ± 2
	U-235sec <sup>e</sup>	n.q.	n.q.
	U-238sec <sup>c</sup>	1,78 ± 0,19	2,3 ± 0,2
7	Ac-228 <sup>d</sup>	6,4 ± 0,6	59 ± 6
	Ra-224+ <sup>d</sup>	7,5 ± 0,8	69 ± 7
	U-235sec <sup>e</sup>	n.q.	n.q.
	U-238sec <sup>c</sup>	0,37 ± 0,04	3,4 ± 0,3
8	Th-232sec <sup>c</sup>	74 ± 8	780 ± 80
	U-235sec <sup>e</sup>	n.q.	n.q.
	U-238sec <sup>c</sup>	6,8 ± 0,8	72 ± 8
9	Th-232sec <sup>c</sup>	16,2 ± 1,1	5,9 ± 0,4
	U-235sec <sup>e</sup>	n.q.	n.q.
	U-238sec <sup>c</sup>	3,08 ± 0,2	1,13 ± 0,09
	K-40	0,7 ± 0,3	0,27 ± 0,10
10	Th-232sec <sup>c</sup>	8,0 ± 0,4	153 ± 8
	U-235sec <sup>c</sup>	0,068 ± 0,006	1,29 ± 0,10
	U-238sec <sup>c</sup>	1,02 ± 0,05	19,4 ± 1,0

表 8 整理了各項商品的表面劑量率分析結果，商品造成的輻射劑量與佩戴物品的時間有關，最保守的做法是假設每週 7 天、每天 24 小時佩戴，包含手環、項鍊等商品，而睡眠面膜則假設每天配戴 8 小時。另外，由於阿伐粒子的穿透力較低，無法穿越皮膚表層，在本研究中僅考慮貝他及加馬的貢獻，搭配德國輻射防護辦公室報告[18]中的劑量轉換因子進行評估，評估結果整理於表 9，因佩戴各種商品而產生的等效皮膚劑量約為 12 到 50 mSv/y 之間，其中貝他的貢獻約為 10 到 44 mSv/y，而加馬的貢獻約為 2 到 10 mSv/y 之間，明顯高於荷蘭的平均輻射劑量水平 2.6 mSv/y。

表 8、荷蘭抽樣商品表面劑量率量測結果

Nummer	Gewicht gehele voorwerp <sup>a</sup> [g]	Dosistempo aan oppervlak
1	9,10	0,02 µSv/h
2	17,96	0,02 µSv/h
3	5,64	0,01 µSv/h
4	4,98	0,01 µSv/h
5	11,13	0,04 µSv/h
6	4,41	0,01 µSv/h
7	9,22	achtergrond
8	16,69	0,13 µSv/h
9	25,99	achtergrond
10	20,66	0,065 µSv/h

\*achtergrond 代表檢測結果為背景值以下

表 9、荷蘭抽樣商品年劑量評估結果

Monsternr.	Totale huiddosis (mSv)	Bijdrage bèta's (mSv)	Bijdrage gamma's (mSv)	Draagtijd per dag (h)
1	19	14	6	24
2	34	25	9	24
3	34	30	5	24
4	18	17	2	24
5	13	10	2	24
6	50	44	6	24
7	20	17	3	24
8	47	44	3	8
9	25	22	4	24
10	32	20	12	24

## 2. 我國作法及管理建議

我國「游離輻射防護法」第 4 條提到，「天然放射性物質、背景輻射及其所造成之曝露，有影公眾安全之虞者，主管機關得經公告之程序，將其納入管理」[19]。而我國「天然放射性物質管理辦法」第 3 條[20]，針對影響公眾安全之虞的天然放射性物質進行了定義，指活度濃度大於基準值且造成一般人之年有效劑量大於 1 mSv/y，基準值如表 10 所示，K-40 為 10 Bq/g，鈾、鈾系及其它核種則為 1 Bq/g。

表 10、天然放射性物質核種活度濃度基準值

核種	活度濃度基準值(貝克/克)
鉀-40	10
鈾系列核種	1
鈾系列核種	1
其他非鉀或鈾、鈾系列天然放射性核種	1

日本參考 ICRP 82 報告之產品干預豁免標準、IAEA 編制的 NORM 法規豁免報告建議數值，以及 IAEA 2007 年專題演討會上之結論，採用 1 mSv/y 作為劑量標準值，並分析商品直接及非直接接觸皮膚兩種情境，建議這類含有天然鈾、鈾核種之商品以活度 8000 Bq、比活度 1 Bq/g 作為是否超標的判斷依據。2019 年南韓爆發負離子床墊超標事件之後，南韓政府針對含有天然放射性核種的原物料、副產品、廢棄物及商品，訂定了註冊登記限值，其中鈾、鈾系比活度 1 Bq/g，活度 1000 kBq，K-40 比活度 10 Bq/g，活度 10000 kBq，並於當年 7 月 16 日修訂了「環境輻射安全管理規則」，對於「原材料之活度及數量」訂定了以下限制：K-40 活度濃度 1 Bq/g，其他天然放射性核種 0.1 Bq/g；對於「加工副產品之活度及數量」也訂定了限制，分別為 K-40 活度濃度 5 Bq/g，其他天然放射性核種 0.5 Bq/g，並以 1 mSv 作為輻射劑量衡量標準。我國現行「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，分別為 K-40 活度濃度 1 Bq/g，其他天然放射性核種 0.1 Bq/g，且造成一般人之年有效劑量大於 1 mSv/y，考量到除南韓係因過往經驗而採取較嚴謹的措施外，我國基準值與國際現行趨勢一致，因此對公眾之參考基準維持在 1 mSv/y 可能是最合適的。

#### 四、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

鑑於坊間除床墊外，亦有不少產品宣稱具有負離子功能，以增加商機；因此行政院消保處請標準局及衛生福利部將此類商品列為年度優先查核及檢驗之標的，並請原能會協助輻射檢測相關事宜；108年1月17日於原能會核能研究所(簡稱核研所)召開「市售負離子產品清查協調討論會議」，就輻射商品送核研所之檢驗流程、檢驗數量、收費標準之確認、建立輻射商品違規調查、回收之相關機制與建立各部會聯繫窗口等議題進行討論及合作分工[21]。核研所在市售負離子商品清查跨部會合作分工中，主要負責抽驗樣品輻射檢測與劑量評估(核研所保物組)，以供主管機關判斷抽驗樣品是否符合我國輻射防護相關法規規定，以及協助回收銷毀輻射異常物(核研所化工組)等工作。

本調查為說明111年1月至12月期間核研所協助市售商品主責主管機關年度定期抽驗(如衛福部食藥署：醫療器材、面膜等；經濟部標準局：眼罩、口罩或寢具等)之輻射檢測與劑量評估，結果如表11及表12所示，其中標準局送檢20件、食藥署送檢4件，共計24件含天然放射性物質商品送至核研所進行檢測。其中有1件商品經檢測評估結果顯示，一般人每日使用相關商品所接受之年有效劑量，超過「天然放射性物質管理辦法」所規定之年劑量限值(1 mSv)，且所含K-40、鈾系或釷系核種活度濃度，亦超過「天

然放射性物質管理辦法」所規定之核種活度濃度限值 1 Bq/g。經檢測有輻射異常之商品，後續則由核研所化工組協助回收銷毀等事宜，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 11、111 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	4	0
經濟部標準局	20	1
<b>總計</b>	<b>24</b>	<b>1</b>

表 12、111 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
	<b>小計</b>	<b>4</b>	<b>0</b>
經濟部標準局	枕頭	4	1
	棉被	3	0
	手環	3	0
	口罩	4	0
	襪子	4	0
	眼罩	2	0
	<b>小計</b>	<b>20</b>	<b>1</b>

## 2. 天然放射性物質資訊網更新

本年度持續更新維運核研所「天然放射性物質資訊網」(<http://192.192.22.68/nrmi/>，如圖 8)[22]，以提供最即時的資訊讓民眾知曉。更新內容包含評估模式更新、後台管理維護、常見問題 QA 整併、及科普宣傳影片製作等，以下將對更新內容進行摘錄說明。



圖 8、核研所天然放射性物質資訊網

## 2.1 模式更新

依原先網站架構內容，新增了 23 份內頁，搭配情境示意圖項來住民眾了解，如圖 9。目前不同商品類型之評估模式總計達 17 項，詳細內容可參考「含天然放射性物質商品檢測標準作業程序書」，及相關公文內容[23-27]。



圖 9、核研所天然放射性物質資訊網評估模式示意圖

## 2.2 後台管理維護

為即時因應網頁不定期資訊更新，本年度也更新了網站後台自行管理維運，以達有效性管理，使民眾或廠商能即時取得負離子商品相關資訊。圖 10 為簡要的后台管理示意圖，可根據需求自行新增或縮減不同的上下層架構，並依據需求上傳編輯相關圖文內容，在更新完畢後也會於網站最下方顯示更新時間，讓民眾得到第一手的即時資訊。

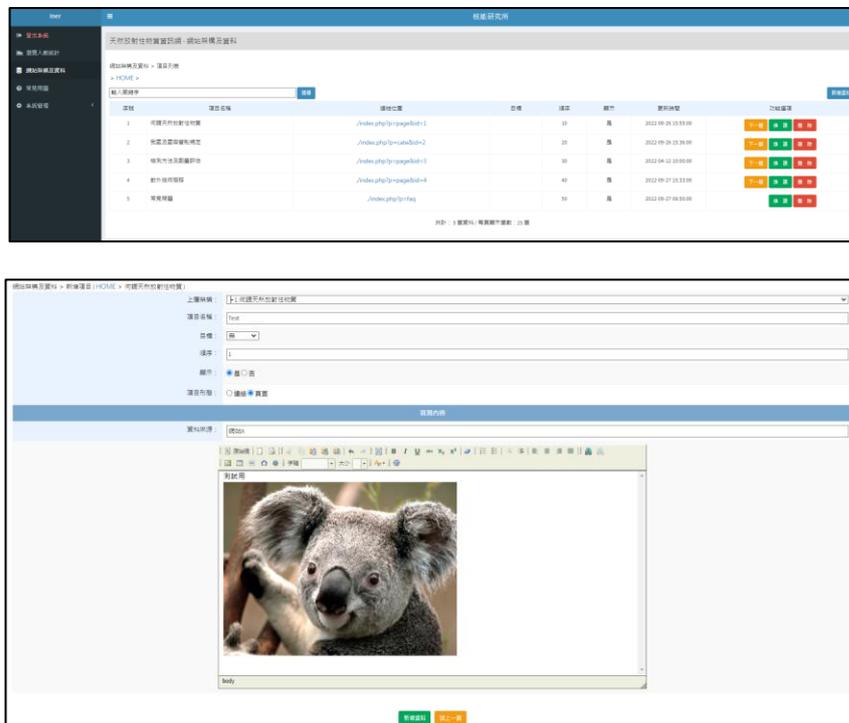


圖 10、網站後台管理維護功能示意圖

## 2.3 科普動畫

含天然放射性物質之商品應用日漸廣泛且深入民生，為達到有效傳播負離子相關知識的目的，希望透過網頁媒體傳播正確觀念，推廣原子能科普教育宣導，培養民眾媒體及網路資訊識讀能力，據此製作了相關科普動畫影片「負

離子產品知多少?」，如圖 11，影片內容包含含天然放射性物質及負離子相關之背景介紹、檢測分析方法及評估模式等，藉此提升民眾對於負離子產品之了解。本動畫未來將放至於天然放射性物質資訊網上，作為民眾科普資訊傳達之用途。



圖 11、負離子產品介紹科普影片

#### ※ 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」技術報告一篇(如附件三)。

## 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、建立氬氣量測標準校正程序與品保文件

本計畫彙整「氬氣量測標準作業程序書」、檢測流程所需使用到的各項量測技術、及現有之 17 種評估模式，編撰「含天然放射性物質商品檢測標準作業程序書」，並建立相關實驗室氬氣量測比對測試報告與品保文件，向財團法人全國認證基金會提出實驗室增項認證申請，以提昇執行含天然放射性物質商品檢測之技術能力及品質，並強化實驗室檢測結果之公信力。

### 二、應用輻射劑量計，建立含天然放射性物質商品之體外劑量評估技術

體外劑量的評估可透過不同使用情境之偵檢量測值，搭配 ICRP 報告之評估模式進行計算，目前已完成共 17 種不同種類商品的評估模式及技術建立，但考量到時間成本，希望能建立有效的商品快速篩選機制。為此目的，我們選定可即時偵檢反應的手提式表面污染偵檢器 Como-170 計數值作為判斷指標，並透過相關係數及迴歸分析等統計分析方法，針對 107 到 110 年之歷史案例數據進行分析。自分析結果來看，Como-170 計數值但可有效反應出體外劑量之高低趨勢，且預測值與詳細模式計算之

評估結果趨勢一致，應可做為快篩之參考指標。此外基於以往檢測經驗及數據分析結果，對於體內劑量大於 1 mSv/y 的案例，其 Como-170 數值皆大於 20 cps，故往後採用 CoMo-170 進行商品快篩時，針對數值超過 20 cps 的案例，建議可進一步進行氦氣檢測，以進一步確保體內劑量不超過 1 mSv/y 的限值。

### **三、蒐集國際間管理作法或規範並研擬含天然放射性物質商品之管理建議**

本計畫蒐集彙整日本、南韓、荷蘭等國之相關規範及 IAEA、ICRP 等國際文獻報告內容，對比我國現有游離輻射防護法及天然放射性物質管理辦法，最終在考量各國國情差異，建議含天然放射性物質商品所造成民眾之年有效劑量不高於 1 mSv，對於含有之鈷、鈾系天然放射性核種，建議其活度濃度不高於 1 Bq/g，K-40 核種則不高於 10 Bq/g，與目前國際大眾採用的數值相同。

### **四、執行含天然放射性物質商品後市場調查**

本調查彙整 111 年 1 月至 12 月期間核研所協助市售商品主責主管機關年度定期抽驗或原能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。此外，也持續更新維運核研所「天然放射性物質資訊網」，提供最即時之資訊及科普知識予民眾。

## 伍、參考文獻

- [1]. RAD7 Electronic Radon Detector User Manual, DURRIDGE U.S. Office.
- [2]. ATOMTEX, “AT1121, AT1123 X-RAY AND GAMMA RADIATION DOSIMETERS” (<https://atomtex.com/en/at1121-at1123-x-ray-and-gamma-radiation-dosimeters>)，擷取日期 111 年 11 月 7 日。
- [3]. User’s Manual Como-170, v20, GRAETZ Strahlungsmeßtechnik GmbH.
- [4]. ORTEC/AMETEK, “ High Purity Germanium (HPGe) Radiation Detectors” (<https://www.ortec-online.com/products/radiation-detectors/germanium-hpge-radiation-detectors>)，擷取日期 111 年 11 月 7 日。
- [5]. M. Tirmarche, J.D. Harrison, D. Laurier, F. Paquet, E. Blanchardon, J.W. Marsh, “Lung Cancer Risk from Radon and Progeny and Statement on Radon” ICRP Publication 115, Ann. ICRP 40, 2010.
- [6] R. S. Witte and J. S. Witte, *Statistics*, 11th ed. New Jersey: Wiley, 2017.
- [7] J. L. Rodgers and W. A. Nicewander, "Thirteen Ways to Look at the Correlation Coefficient," *The American Statistician*, vol. 42, pp. 59-66, 1988.
- [8] D. E. Hinkle, W. Wiersma, and S. G. Jurs, "*Applied Statistics for the Behavioral Sciences. 5th ed.* Boston: Houghton Mifflin, 2003.
- [9] S. Boslaugh and P. A. Watters, *Statistics in a Nutshell A Desktop Quick Reference*: O'Reilly Media, 2008.
- [10] Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology, “Guideline for Ensuring Safety of Raw Materials and Products Containing Uranium or Thorium”, 2009.
- [11] J. Valentin et. al, “Protection of the Public in Situations of Prolonged Radiation Exposure.” ICRP Publication 82, Ann. ICRP 29, 1999.
- [12] IAEA, Naturally Occurring Radioactive Material (NORM V), Proceedings of an international symposium Seville, Spain, 19–22 March, 2007.
- [13] Nuclear Laws of the Republic of Korea, “Act on Protective Action Guidelines against Radiation in the Natural Environment”, 2011.
- [14] J. Lee, “The Implementation of NORM Regulation and Challenging in Korea”, IAEA Naturally Occurring Radioactive Material (NORM) IX, Denver, Colorado, USA, 2019.
- [15] IAEA, “Application of the Concepts of Exclusion, Exemption and Clearance”, IAEA safety standards series No. RS-G-1.7, 2004.
- [16] IAEA, “ Assessing the Need for Radiation Protection Measures in Work Involving Minerals and Raw Materials”, IAEA safety reports series No. 49, 2006.
- [17] P.N. Brandhoff, “Radioactiviteitsmetingen aan ‘negatieve ionen’-

consumentenproducten”, RIVM-briefrapport 2021-0239, 2021.

- [18] Geschäftsstelle der Strahlenschutzkommission beim Bundesamt für Strahlenschutz, “Berechnungsgrundlage für die Ermittlung von KörperÄquivalentdosen bei äußerer Strahlenexposition”, 2017.
- [19] 游離輻射防護法，中華民國 91 年 1 月 30 日總統(九一)華總一義字第 09100019000 號令制定公布。
- [20] 天然放射性物質管理辦法，中華民國 106 年 9 月 15 日行政院原子能委員會會輻字第 10600120861 號令修正發布。
- [21] 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。
- [22]. 行政院原子能委員會核研所天然放射性物質資訊網(<http://192.192.22.85/>)，擷取日期 111 年 11 月 7 日。
- [23]. 負離子枕頭、棉被、眼罩、面具及口罩輻射量測與劑量評估，中華民國 107 年 11 月 20 日行政院原子能委員會會輻字第 1070014066 號函。
- [24]. 負離子水杯、水壺、及護具輻射量測與劑量評估，中華民國 108 年 4 月 26 日行政院原子能委員會會輻字第 1080004912 號函。
- [25]. 負離子床墊輻射量測與劑量評估，中華民國 107 年 8 月 28 日行政院原子能委員會會輻字第 1070010652 號函。
- [26]. 負離子圍巾/披肩、衣服、內衣、地墊、襪子、鞋墊及洗臉機輻射量測與劑量評估，中華民國 108 年 7 月 16 日行政院原子能委員會會輻字第 1080008209 號函。
- [27]. 負離子鹽燈、衛生棉(含衛生棉條)及口罩輻射量測與劑量評估，中華民國 110 年 10 月 22 日行政院原子能委員會會輻字第 1100014296 號函。

## 附件

附件一、含天然放射性物質商品檢測標準作業程序書(審查中)



### 環境試樣放射性核種分析實驗室

名稱	含天然放射性物質商品檢測標準作業程序書		
編號	EMRAL-EO-021	頁數	共 59 頁 (含封面、修訂紀錄與目錄)
發行日期	111 年 12 月 26 日	版別	1.0

編寫	審核	核准

核能研究所  
保健物理組

## 附件二、不同氡氣量測儀器之比對試驗研究報告

### 不同氡氣量測儀器之比對試驗研究報告

黃煥景、楊子毅、袁明程

#### 摘 要

本報告為保健物理組「天然放射性物質檢測分析暨安全評估實驗室 (Natural Radioactive Material Analysis and Safety Assessment Laboratory)」，為精進國內各單位氡氣量測實驗室之檢測能力，於 111 年度廣邀國家地震中心、中山醫學大學與南華大學實驗室參與氡氣量測比對試驗，並透過可追溯至 NIST 標準之  $^{222}\text{Rn}$  標準射源，對各種類型氡氣量測儀器進行相關測試，以確認各實驗室氡氣量測與評估的準確性。

關鍵字：氡氣量測、比對試驗。

核能研究所

ii

### 附件三、含天然放射性物質商品之後市場調查

含天然放射性物質商品之後市場調查(110年-111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 110 年 7 月至 111 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。

核能研究所保健物理組

ii