

出國報告（出國類別：實習）

赴比利時莫爾參加 ELINDER
「Decommissioning licensing and
environmental impact assessment」
訓練課程

服務機關：行政院原子能委員會

姓名職稱：吳景輝 簡任技正兼科長

派赴國家/地區：比利時莫爾

出國期間：108 年 10 月 19 日至 108 年 10 月 27 日

報告日期：108 年 12 月 26 日

摘要

本次出國主要目的是赴比利時莫爾參加 ELINDER「Decommissioning licensing and environmental impact assessment」訓練課程，是項訓練課程從 108 年 10 月 21 日至 24 日總共為期 4 天，配合我國核能電廠運轉執照屆期即除役之政策，透過本次參加國際除役訓練課程，對歐盟核能業界核電廠進行除役的管制現況及技術經驗加以瞭解，掌握核能電廠除役管制相關最新資訊，將有助於本會除役安全管理專業能力之精進，並可作為我國核能電廠除役安全管理的重要參考。

核設施除役有關的作業與在運轉期間所執行的作業有顯著的差異，除役作業參與的人員(包括管理階層、工程師、技術人員、保健物理人員、及管制單位等)要面對包括環境變化、眾多“一次性”操作、大量廢棄物產生、設施在原設計與最終狀態的差異等特定議題；而針對法規的要求以及有關許可的程序，都須要對拆除策略、安全評估、風險管理及環境影響評估等做好充分的準備，在必須建立除役項目時出現的許多問題，利益關係者的參與至關重要，也是本訓練課程的目標。

本訓練課程的主題涵蓋歐盟及其會員國針對永久停止運轉之機組，進行除役或拆解的安全管制作業，及構成拆除許可程序的環境影響評估。在過去這段時間歐盟及其會員國安全管理機關已累積了豐富的除役管制經驗；針對本次訓練課程所探討的不同面向，對我國後續除役作業管制之精進應能有所助益。

目 錄

	頁碼
壹、目的	1
貳、出國行程	2
參、過程紀要	3
肆、心得與建議	26
伍、附件	27

壹、目的

本次出國主要目的是參加 ELINDER 「Decommissioning licensing and environmental impact assessment」訓練課程，配合我國核能電廠運轉執照屆期即除役之政策，透過本次參加國際除役訓練課程，對歐盟核能業界核電廠進行除役管制的現況及技術經驗加以瞭解，掌握核能電廠除役管制相關最新資訊，將有助於本會除役安全管理專業能力之精進，並可作為我國核能電廠除役安全管理的重要參考。

ELINDER 訓練課程「Decommissioning licensing and environmental impact assessment」的目的地，在提供參與者有關除役計畫的許可及環境影響評估的基本要求並分享正在進行中除役計畫的經驗。本課程屬於歐盟 ELINDER(European Learning Initiatives for Nuclear decommissioning and Environmental Remediation)計畫架構。核設施除役有關的作業與在運轉期間所執行的作業有顯著的差異，除役作業參與的人員(包括管理階層、工程師、技術人員、保健物理人員、及管制單位等)要面對包括環境變化、眾多“一次性”操作、大量廢棄物產生、設施在原設計與最終狀態的差異等特定議題；而針對法規的要求以及有關許可的程序，都須要對拆除策略、安全評估、風險管理及環境影響評估等做好充分的準備，在必須建立除役項目時出現的許多問題，利益關係者的參與至關重要，也是本訓練課程的目標。

本訓練課程(課程表如附件)包括：法規及管制架構(Legal and regulatory framework)、歐盟的除役策略(Strategies of decommissioning in the EU)、制定安全個案、獲得許可以及與管制單位的互動(Development of a safety case, licensing and interaction with safety authorities)、實務個案：備妥安全評估(Practical case: preparation of a safety assessment)、全面性風險管理：放射性風險(Global risk management: radiological risks)、全面性風險管理：工業性風險(Global risk management: industrial risks)、安全工具(Safety tools)、環境影響評估(Environmental impact assessment)、個案研究(研究用反應器、加速器、MOX 燃料製造工廠(Case studies (research reactor, accelerator, MOX fuel fabrication plant))、BR3 反應器設施(目前正在除役程序)之技術參訪等項目內容。

貳、出國行程

此次國外公差行程自 108 年 10 月 19 日起至 108 年 10 月 27 日止，公務行程共計 9 天，相關行程如下表。

日期	行程	摘要
10/19 (六)	台北—荷蘭阿姆斯特丹	去程
10/20 (日)	荷蘭阿姆斯特丹— 比利時莫爾	路程
10/21(一)~ 10/24(四)	比利時莫爾	ELINDER「Decommissioning licensing and environmental impact assessment」 訓練課程
10/25(五)	比利時莫爾— 荷蘭阿姆斯特丹	路程
10/26(六)~ 10/27(日)	荷蘭阿姆斯特丹—台北	返程

參、過程紀要

歐盟 ELINDER 計畫是針對核能除役的訓練計劃，藉由一套補充的培訓課程組織而成。核能除役計畫包含與核設施停止運轉、接著的拆除以及至包括廠址環境復原的解除管制等有關之所有技術與管理的作業，而在歐盟預期核能除役作業將日益擴大，除役相關工業在近期即需要具動機、符合資格及經驗豐富的人員。ELINDER 是由歐盟聯合研究中心(Joint Research Centre , JRC)與包括歐洲核能專業領域的大學和研究所在內的多個合作夥伴進行協調，由歐洲不同國家的每個合作夥伴提供包括參訪與實務研習的課程。

ELINDER 計畫希望藉由提供核能除役的訓練課程，協助尋求在這個不斷擴展的領域中的學生、年輕或有經驗的專業人士之職涯發展。自 2017 年以來，國際原子能總署藉由其專家網絡、培訓工具和技术合作計劃提供 ELINDER 計畫相關的支持。ELINDER 計畫的訓練課程由分為核能除役一般介紹的補充內容開始，到專注在不同除役作業的特定內容，包括 5 個一般性課程提供核能除役的基礎性介紹(G1~G5)，8 個特定課程更深入處理與除役相關的主題(模組 S1~模組 S8)，以及 IAEA 線上學習提供核能科學的補充介紹(模組 D&D1~模組 D&D8)。本次參加的「Decommissioning licensing and environmental impact assessment」訓練課程是 ELINDER S2 課程，在報名此訓練課程的相關簡介資料中，建議參與者先從網路使用 IAEA 線上學習課程，以建立在訓練課程中對除役作業有相當的基礎背景知識。在參訓前已透過 IAEA 的 NUCLEUS 網頁自行申請帳號、密碼，使用 IAEA 線上學習的 8 個模組課程。

核能除役基礎性介紹的一般性課程

模組 G1－比利時核能研究中心(Belgian Nuclear Research Centre, SCK•CEN)

模組 G2－布拉迪斯拉發斯洛伐克科技大學(Slovak University of Technology in Bratislava, STU)

模組 G3－法國原子能及替代能源研究委員會(French Alternative Energies and Atomic Energy Commission, CEA)

模組 G4—德國卡爾斯魯爾理工學院(Karlsruhe Institute of Technology, KIT)

模組 G5—歐盟聯合研究中心(Joint Research Centre, JRC)

上述五個模組的訓練課程基本上可以提供相當的成效，對除役、相關管制及標準、情境、經驗回饋、廢棄物管理方法論、技術與組織主題、輻射安全議題、利益關係人參與經驗等提供一般性的介紹。

更深入處理與除役相關主題的特定課程

模組 S1—除役計畫及成本評估(Decommissioning planning and cost assessment)，由布拉迪斯拉發斯洛伐克科技大學(STU)提供，課程包括管制架構、政策、除役策略及規劃過程、電廠特性調查、除役成本及基金、工項準備及管理過渡階段等內容。

模組 S2—許可及環境影響評估(Licensing and environmental impact assessment)，由比利時核能研究中心(SCK•CEN)提供，課程包括許可、安全個案、環境影響評估、全面性風險管理、安全工具、安全作業經驗回饋等內容。

模組 S3—除役安全(Decommissioning safety)，由法國歐洲核能安全培訓學院(European Nuclear Safety Training and Tutoring Institute, ENSTTI)提供，課程包括安全評估、風險確認、人為因素、輻射防護、火災安全、在除役期間吊掛作業的風險等內容。

模組 S4—計畫及項目管理(Programme and project management)，由法國的 NUVIA 及義大利的 SOGIN 提供，課程包括歐盟除役市場、計畫追蹤、工項規劃及計劃管理、採購與合約、與外部公司合作、風險管理等內容。

模組 S5—除役的物料及廢棄物(Material and waste for decommissioning)，由法國原子能及替代能源研究委員會(CEA)提供，課程包括廢棄物及清除管制、廢棄物管理的國際實務、廢棄物分類、廢棄物及物料清除、廢棄物吊掛、包裝及處理、廢棄物核算等內容。

模組 S6—除污及拆除技術(Decontamination and Dismantling techniques)，由德國卡爾斯魯爾理工學院(KIT)提供，課程包括除役策略、除污技術、發展中的拆解、拆除技術以及機械、新技術、數位化及機械人等內容。

模組 S7—廢棄物特性調查及清除的計量學(Metrology for Waste Characterisation and

Clearance)，由歐盟聯合研究中心(JRC)義大利部門提供，課程包括廢棄物及物料特性調查方法、清除方法論非破壞檢測/破壞檢測之測量技術、測量驗證、計量網絡等內容。

模組 S8－環境復原及廠址外釋(Environmental remediation and site release)，由英國伯明翰大學(University of Birmingham, UoB)提供，課程包括管制架構、污染廠址的輻射特性調查、復原策略、復原技術、最終偵檢與監測、組織、規劃、資源及公眾溝通等內容。

IAEA 核能科學補充介紹的線上學習課程

模組 D&D 1－策略、規劃及許可(Strategic, Planning and Licensing)包括除役基礎(Decommissioning Fundamentals)、除役策略(Decommissioning Strategy)、除役規劃(Decommissioning Planning)及除役許可的程序(Licensing Process for Decommissioning)等 4 個子模組。

模組 D&D 2－放射性物料(Inventory)。

模組 D&D 3－成本與基金(Costing and Funding)包括除役成本(Decommissioning Costing)及除役基金(Funding for Decommissioning)等 2 個子模組。

模組 D&D 4－過渡階段(Transition Period)。

模組 D&D 5－計劃管理、組織與規劃細節(Project Management and Organization and Detailed Planning)。

模組 D&D 6－實施期間的技術面向(Technical Aspect during Implementation)包括設備/系統/結構的除污(Decontamination of Structures, Systems and Components (SSC))、拆解及拆除(Dismantling and Demolition)及除役物料的管理(Decommissioning Material Management)等 3 個子模組。

模組 D&D 7－廠址再開發及再利用(Site Redevelopment and Reuse)包括技術及管制的面向(Technical and Regulatory Aspects)及社會的面向(Social Aspects)等 2 個子模組。

模組 D&D 8－除役的個案研究(Decommissioning Case Studies)。

本次參加的 ELINDER S2 「Decommissioning licensing and environmental impact assessment」訓練課程為期 4 天，係由位在比利時莫爾的核能研究中心(SCK•CEN)辦理，

課程內容包括：法規及管制架構(Legal and regulatory framework)、歐盟的除役策略(Strategies of decommissioning in the EU)、制定安全個案、獲得許可以及與管制單位的互動(Development of a safety case, licensing and interaction with safety authorities)、實務個案：備妥安全評估(Practical case: preparation of a safety assessment)、全面性風險管理：放射性風險(Global risk management: radiological risks)、全面性風險管理：工業性風險(Global risk management: industrial risks)、安全工具(Safety tools)、環境影響評估(Environmental impact assessment)、個案研究(研究用反應器、加速器、MOX 燃料製造工廠(Case studies (research reactor, accelerator, MOX fuel fabrication plant))、BR3 反應器設施(目前正在除役程序)之技術參訪等項目，訓練課程表如附件。課堂的訓練課程在 SCK•CEN 旁的 Lake House 一樓之教室，二樓區域是學員的住宿區；僅有 10 月 22 日上午參訪 BR3 係進入 SCK•CEN 研究中心。以下分別就 4 天訓練課程的重要內容摘要說明如下：

■ 10 月 21 日 (一)

本日上午課程首先由 SCK•CEN 的 Tom Clarijs 先生及 Sven Boden 先生分別針對「Welcome, presentation of SCK•CEN and SCK•CEN Academy activities」、「Introduction to the course」主題，包括訓練機構 SCK•CEN 的工作內容、課程期間的注意事項以及對本訓練課程提出概要說明。強調此一訓練課程希望在技術知識面向，提供參與者了解除役過程(包括安全、管制要求、業主與安全管制機關的互動、風險管理等)的複雜性以及多元性，能夠從工業及輻射兩觀點描述全面風險管理，以及可用的安全工具之實例，掌握在不同除役專案(壓水式反應器、加速器以及燃料製造廠等)之間的差異性，在技能面向使參與者具備準備除役計畫風險評估的全貌。

接著由歐盟 JRC 歐洲原子能協調部門(Euratom Coordination Unit)的資深專家 Pierre Kockerols 先生依序提出「Different approaches to nuclear decommissioning in a European context」、「International regulatory framework linked to decommissioning and waste management」

兩項課程。

在「歐洲範圍內核能除役採用的不同方法」課程中，開宗明義指出核能除役包括將核設施從管制解除並外釋的所有程序，說明歐洲除役作業的內涵、除役所需建立的全面專業能力、以及除役所必須的項目。接著說明除役的三種選項，立即拆除(DECOM)、長期安全封存(SAFSTOR)及固封(ENTOMB)，歐盟國家共有 222 座商用反應器，僅 131 座目前在商業運轉，除少數已完成除役及長期封存者，大多數永久停機者正在拆除。這些機組永久停機的理由：43% 為經濟性因素，18% 為執照及接受性因素，15% 因老化技術議題，3% 因為事故，另有 21% 為無法歸在上述之其他因素所致。以英國為例介紹有多種核能設施除役的作業，過去兩年內負責除役機構的預算約 30 億英鎊(約新台幣 1200 億)，採取長期監護(care and maintenance)階段，以簡化最後階段的除役作業；並概要介紹法國、德國核能機組永久停止運轉及除役的狀況，提出義大利自 1987 年即決定廢核，並由義大利 SOGIN 公司管理除役及廢棄物。西班牙有兩座核電廠由 ENRESA 公司負責除役及廢棄物管理，另外在立陶宛、斯洛伐克及保加利亞各有 2、4、2 座 RBMK、VVER、VVER 形式機組，由歐盟共同出資協助除役作業。

有關除役成本的估算，主要與機組形式、廠址狀況(機組數目)、國家及國際要求(安全與廢棄物路徑)、計畫期長等有關，目前估計每 1000 MWe 約需 3~27 億歐元，除役作業不可或缺的是初步成本估算；其中，廢棄物處理及處置佔除役成本的約 20%~40%，依據除役業廢棄物產生的經驗回饋顯示，不同型式機組(輕水式/VVER/氣冷式)每 MWe 產生的廢棄物約為 10 噸、17 噸、100 噸，其中約 90% 可以回收或視為一般廢棄物處理。廢棄物可以藉由源頭的規劃及管理、除污技術的發展、廢棄物專用的處理設施及設備以及發展適當的清除方式有效的降低總量。各國對除役基金有其要求及建立方式，主要係內部累積極外部累積兩種。

在「聯結除役及廢棄物管理的國際管制架構」課程中，提出三個國際上的義務，包括歐盟指令(EU Directives)、用過燃料管理/放射性廢棄物管理安全的聯合公約(Joint Convention)以及國家之間的協議(agreements)。歐盟委員會的專家準備指令的內容，初稿先

送交歐盟議會及委員會後，要求在限期前會員國轉換為國內法律，會員國可以採更嚴格的措施，歐盟委員會監督有及時並正確的轉換以及實施。歐盟有 33 個政務總署(Directorates General, DG)，其中 4 個與核能除役有關，DG ENER(能源，負責政策與立法)、DG JRC(聯合研究中心，負責政策支持、直接的研究及培訓)、DG RTD(研究及創新，負責間接的研究及培訓作業)及 DG DEVCO(發展及合作，負責協助非歐盟國家)。歐盟委員會發佈與核能有關的三個主要指令，2011 年 7 月 19 日的廢棄物指令、2013 年 12 月 5 日的 EU BSS(基本安全標準)指令及 2009 年 6 月 25 日(2014 年修訂)的核能安全指令。另外，在 2011 年 12 月 13 日(2014 年修訂)發佈的環境影響評估(EIA)指令適用於核能及非核能部門。

在廢棄物指令對國家層級計畫要求須包括目標、里程碑及時間表、放射性物料、技術解決方案的計畫或概念、封閉後、研究發展及示範、責任及關鍵績效指標、成本、財務方案、透明化政策或程序、協議等。會員國在 2015 年提出放射性物料及國家計畫，之後每三年定期更新國家報告，並且每 10 年定期辦理自我評估或國際同行審查。在基本安全標準指令中整併五個原有的指令及 1 項建議，審查管制監管系統，以及 IAEA(GSR Part 3)與 ICRP(103)等輻射防護標準；訂定豁免(Exemption)及放行(Clearance)的標準，兩者採相同的活度濃度值，即在預設的豁免值(原使用 96/29/Euratom 指令的附件 I)以及一般的放行值(原使用委員會輻防 122 建議值)兩者都採用 IAEA RS-G-1.7 的建議值。

在用過燃料管理/放射性廢棄物管理安全的聯合公約，處理用過燃料及放射性廢棄物的管理，包括相關的安全規定及除役。每 3 年辦理為期 2 週的審查會議，在會議前 7 個月各會員國提出國家報告，會議前 3 個月提出問題與意見，會議前 1 個月提出答覆說明。國家報告的架構包括前言、政策與實務、應用的範疇、物料及清單、立法及監管系統、其他一般安全規定、用過燃料管理的安全性、放射性廢棄物管理的安全性、跨越國界的運輸、廢棄的密封射源、改善安全的規劃作業以及附件。歐盟雖然沒有針對除役的專有指令，但除役安全已涵蓋在核設施生命週期的核能安全指令中，且在廢棄物指令及聯合公約提出國際的激勵措施去推動除役。

在結束上午課程之前，由參加訓練課程人員做自我介紹，本課程共有 9 名學員，其他

8 名分別來自比利時、荷蘭、立陶宛及南韓的學員，2 位來自比利時安特衛普 Mourik NV 工程顧問公司，1 位來自比利時 Engie Electrabel 工程顧問公司，1 位來自荷蘭 RadiatCo 輻射防護顧問公司，1 位來自比利時放射性廢棄物及濃縮分裂物料局(Belgian Agency for Radioactive Waste and Enriched Fissile Materials, NIRAS)，1 位來自立陶宛國家核電安全監察局(State Nuclear Power Safety Inspectorate, VATESI)，1 位來自荷蘭核安全及輻射防護局(The Authority for Nuclear Safety and Radiation Protection, ANVS)，以及 1 位來自南韓慶熙大學碩士在讀研究生。

本日下午課程首先由 SCK•CEN 的 Koen Nijs 先生針對「Development of a safety case, licensing and interaction with safety authorities」主題提出說明，介紹比利時核電除役的管制架構，FANC(Federal Agency for Nuclear Control)是比利時 1994 年成立的聯邦核能監管機構，2001 年起依皇家法令運作；Bel V 係 FANC 的附屬機構，2001 年立法授權委託技術支援 FANC 任務，正式成立在 2008 年，FANC 及 Bel V 即比利時的核能管制單位，主要負責核安、輻安及保安。NIRAS/ONDRAF 成立在 1980 年，1981 年起依皇家法令運作，即比利時的廢棄物管理機關，主要負責廢棄物管理、財務及技術可行性。

比利時除役的法規架構則包括 2001 年的一般輻防法令，第 17 條作業及拆除的中止要立即通知 FANC、NIRAS/ONDRAF 及其他機關，設施的拆除須遵守拆除許可證，業者申請許可包括有關 NIRAS/ONDRAF 權責的意見，拆解作業的安全報告，並納入環境影響評估，經 FANC/Bel V 審查評估及國內科學委員會/地方政府/國際機構等諮詢，依據皇家法令由拆除許可取代運轉執照，主要安全顯著性的拆除作業在取得拆除許可後始得執行；第 18 條固/液體放射性廢棄物再使用、回收、清除的許可；第 35 條固體廢棄物的收集、處理及清除，應考量擴散的風險，拆除作業產生的廢棄物須遵守許可證，放行須保健物理部門核准，FANC 在 2010 年制定放行導則，禁止故意稀釋。

在 2011 年的核能安全法令第六章有關除役在第 17.1~17.12 條，第 17.10 條有關拆解作業的安全報告，內容包含安全分析、輻射防護措施及拆解的階段與規劃，並且必須定期地更新；報告章節有前言(拆解的目的)、設施的描述(歷史、除污作業、物理/化學/輻射特性

調查)、除污/拆解/廢棄物所需新增的設施或系統、管理系統(包括安全、組織與責任、合格人員及承包商、SSC 的老化、經驗回饋)、文件管理、拆解技術、安全示範/風險分析、輻射防護措施及廢棄物等 9 個部分。其中，風險分析首先須確認相關危害，工安性質的有火災/爆炸(設施拆除、火載量、焊接及切割機械性(重物、索具及吊裝、重機械及電動工具、輪車運動、墜落防護)、化學性(石棉、溶劑、重金屬)、電器性(停用、暫時性使用)、生物性(通風系統冷媒、清潔劑、昆蟲/動物)、人機介面(高空作業、熱/冷/濕/滑、低可見度、照明、局限空間)、廠房管理(建築物殘骸、拆解之殘骸)等；風險分析包括三類核能相關風險，輻射照射(伽瑪、貝他及中子)、污染(伽瑪/貝他、阿爾發、內部/外部、除污)及臨界；拆解作業在輻射場可能很高的區域中必須注意，打開內部污染的迴路或管線，檢視文件避免非預期的情況，一次性操作，一個操作將輻射風險轉移至他處(例如，一次迴路的除污)，模擬試做，先/後除污的考量，臨時劑量計，專有的訓練，對放行標準的影響，拆解等同於產生廢棄物，廢棄物管理，工作團隊多樣性(安全文化)，安全/保安議題；輻射防護措施針對需要在不適合工作的地方進行作業，考量拆解活動所需增設的新設施及原有設施；會影響 ALARA 的拆解作業，包括將基礎設施拆除、屏蔽的拆除、長距離運送拆解下來的設備、切割後暫時貯存、不易進出場所、沒有臨時性屏蔽、無法精準量測劑量率等會影響環境的狀況，以及，一般而言並不總是會有精準的資料數據。輻射防護措施在研擬階段，納入劑量模擬(例如，Visiplan)、所需要的劑量學型式、人員訓練(包括工作的模擬試做、發展工具)；進入拆解階段後，活性劑量學、與模擬做檢核比對、例行對劑量/污染做量測、污染的清除、調整的模擬及屏蔽。拆解作業必須執行環境影響評估，考量輻射的影響是否與開發期間相同，納入大氣/液體等排放及事故狀況的影響，將廢棄物貯存在建築物之內或外部都需要做環境影響評估。在拆解的階段與規劃，建立專屬拆解作業計畫具重要性，規劃中納入劑量模擬與量測，小的規劃變動可能導致劑量有巨大影響，許多團隊在不同位置作業與所有團隊在同一位置作業的集體劑量不同。拆解作業與管制機關的互動，相關作業可歸類成輕微修改(保健物理)、小設施或設施的一部分(不重要修改—Bel V)、較大型設施(重要修改—FANC)。以不重要的修改而言不需遵照皇家法令，僅需 Bel V 核准；針對重要的修改，拆

解的申請案(包括安全評估報告)業主需送交 FANC 並經皇家法令的審查核准後，才能開始拆解、除役。在拆解作業期間，視需要更新安全評估報告，規劃的變更要與管制機關對話，管制機關會定期視查工作現場，文件管理有助益於最終拆解報告的提出。在拆解作業完成後，提交拆解報告，所有量測必須被執行，並妥善處理產生的廢棄物。

接著由 SCK•CEN 的 Luc Ooms 先生及 Belgonucleaire 的 Henri Libon 先生針對「Case Study: Decommissioning of a research reactor and accelerator」、「Case Study: Decommissioning of a MOX fuel fabrication plant」提出說明。在比利時核能電廠以及測試、研究用反應器(例如 BR3)均屬第 I 級設施，申請並獲得除役許可需備有最終除役計畫、安全分析報告、環境影響評估及 Art. 37。業主針對除役作業必須定期更新安全報告，例如在修改時的風險分析；針對拆除組織所設置的架構，要清楚的訂定責任之歸屬；對具有安全功能的設施訂有維護及管理計畫；放射性廢棄物的移除要有認證文件；合約商及新技術均要符合資格；建立風險管理系統；廢料管理系統要建置程序，物料的分類要符合規範(廢棄物、放行、熔化)，物料的輻射特性，文件記錄保存，具可追溯性，對管制機關陳報，放行的程序書；建築物的外釋；拆解報告等。除役計畫的管理應包括基礎計畫管理、法規架構及符合性、先期輻射特性調查、除污及拆除技術、廢棄物管理、最終輻射特性調查、安全性等面向。拆解作業的分法論包括拆解、切割/分類/鑑定、暫時性貯存、處理、特性調查、物料的移除等面向及其資料的取得。在物料管理的部分，以 Thetis 研究用反應器而言，放射性廢棄物約 30 噸(佔比 2%)，放行或回收約 1500 噸；以 Type 520 CGRmeV 加速器而言，放射性廢棄物約 10 噸(佔比 0.2%)，放行或回收約 5000 噸；由拆解作業產生物料的管理及相關資料庫須具可追溯性、保存紀錄、經驗回饋等符合品保計畫作法，視作業進行彈性調整管理系統並定期提出報告。提供給拆解作業內部/外部工作人員的資訊及訓練，包括主要的風險、基本安全原則、輻射防護原則、保護性設備、責任、事故的因應以及緊急情況。在除役期間典型的安全風險有：(1)不佳的進出動線，包括早期核設施的設計未將拆除作業納入考量，不易精準的量測劑量率，疏散動線差(人員進出、物料進出)；(2)環境的改變，包括基礎設施拆除，有新增建的設施，下層包商間彼此作業的可能干擾，移動、調整或拆除屏蔽，拆解設

備的安裝，切割件及物料的暫時貯存；(3)核能及傳統風險，包括干預期間的特定風險，重物的操作，墜落風險，通訊等。

■ 10月22日(二)

本日上午課程首先由 SCK•CEN 的 Sven Boden 先生帶領參訪接近完成除役之比利時研究用反應器 3 號機(Belgium Reactor 3, BR3)，並由 SCK•CEN 的 Luc Denissen 先生針對「BR3 除役」之主題，做概要的說明包括參訪 BR3 現場期間的注意事項。之後，由 Luc Denissen 先生及 SCK•CEN 的 Jerome Dadoumont 先生(BR3 除役計畫負責人)兩位陪同至 BR3 除役現場了解。

在「BR3 除役」之內容，說明 BR3 是西屋單一迴路(一台蒸汽產生器，兩台主泵)的壓水式反應器輸出電功率為 10.5 MW(熱功率 40.9 MW)，此研究用反應器是歐洲第一個併網發電的壓水式反應器，其在 1962 年至 1987 年間共 25 年的運轉期間發電量達 964.6 GWh，提供做為後續核電廠反應器運轉員的訓練中心，以及壓水式反應器進步型燃料的試驗台。比利時自 1987 年即開始研究發展並針對 D&D 技術、效能及成本等項執行小型先導計畫，並在 1989 年由歐盟選定 SCK•CEN 的 BR3 作為先導拆除計畫，除役所產生約 33675 噸物料，體積約為 24402 立方公尺，密度約 1.38 kg/cm³，目前預計在 2023 年底前完成除役。爐心的用過燃料移出裝在 7 只 CASTOR 桶存放在 Belgoprocess 廢棄物管理服務公司，爐心內部組件、蒸汽產生器及反應爐槽以拆解並切割，中子屏蔽槽先行除污。此一計畫的目的在驗證拆除技術的可行性，並建立民眾對後續核電廠停機拆除的可接受度，所採取的策略是發展/測試/最適化相關技術，由各種不同的作業蒐集成本/放射性廢棄物/劑量的數據資料，發展拆除核電廠的專業知識，針對高度活化的爐心內部組件(實驗用的 Vulcain 內部組件衰變 8 年，西屋內部組件衰變 30 年)開發水下切割及乾式技術，高活度的生物屏蔽(Neutron Shield Tank, NST)採取三種方式拆解；對所有重要拆解作業，先在測試槽內做冷測試，之後才在反應器水池內實作；將反應爐槽與一次迴路分離後，提高到用過燃料池，

重建用過燃料池完整性後，在池中採水下切割，耗時一年的前置與準備作業，依計畫順利完成。拆解前的重要步驟如下：對一次迴路採全面廣泛的 CORD®程序除污，俾在切割一次側管線、爐心內部組件及反應爐槽時降低人員劑量；一次迴路管線以三次連續循環的除污程序(CORD®程序、置放 10 年衰減、再以 MEDOC®程序除污)移除一次迴路 90%的活度，並在切割之後的金屬採 MEDOC 化學除污作業，有 85%以上可以外釋，廢棄物減量逾 95%。建築物混凝土的除污主要採手持重工具機對所有表面為之，依污染程度分成五類(0~4 級)，表面須刨除深度從 0 mm 至數十公分不等。BR3 拆解計畫的廢棄物管理遵循符合 ISO 9002 的品保系統，在移除燃料及重要爐心組件(反應爐槽、一次迴路、蒸汽產生器等)之後，2%屬中高階放射性廢棄物，10%屬低階放射性廢棄物，其他 88%屬放行之可回收使用或視為一般廢棄物移除。BR3 除役計畫與實施期間主要的經驗回饋，包括應該處理含非輻射之所有危害，在全面輻射特性調查完成前不要急著有可見的進度，儘早規劃最終輻射特性調查，須注意輻射風險隨著除役的過程降低、工安風險增加，備有後援計畫，業主可將作業分包給承攬商但要負除役的全部責任等。

接著至 BR3 現場參訪，依據管制規定穿著輻防衣物、手套、鞋套及安全帽，進入廠房區，由於大多數除污及拆除工作已完成，講員在參訪區域大致說明相關除役作業；如針對一次側系統均已完成除污作業，除污因子大約為 10，可減少相關拆解作業的人員劑量。針對較高活度的反應器金屬組件之切割，SCK•CEN 採不同切割方式(帶鋸、圓形刀具、電火花腐蝕及電漿火炬等)做測試；反應爐槽在水面下採遙控切割之方式處理，亦針對複雜幾何的爐心組件及儀控設備發展相關技術；爐槽周圍藉雙層牆的 NST 圓柱槽提供屏蔽，故 NST 是高活度的設施，由於結構複雜只適合現地拆除，將高壓水刀切割裝置架在機械臂之技術做水下切割；後續將低活度的部分亦拆除，目前僅餘與除役有關的壓縮空氣、水及通風及排放等系統尚未拆除。

針對金屬除污的部分亦開發 ZOE 噴砂單元，把砂粒和加壓水的組合投射，用在易於觸及的生鏽或噴漆鋼鐵等表面進行淨化處理。另外 MEDOC 化學除污設施，仍置於現場可供爾後其他除役作業之使用，其採用特定的化學物質腐蝕所有類型幾何形狀的不銹鋼表面上

之固定污染物。例如，蒸汽產生器的除污，先將之吊起並水平放置以完全充滿一次迴路，設置 MEDOC 除污迴路，以軟管將 MEDOC 設施與蒸汽產生器一次迴路進/出口相連接，除污後再行切割。

原來的用過燃料池位置已清空並完成除污，改裝成密閉之方形帳篷，供研磨、切割等工作空間，由於該處劑量較高並未入內。圍阻體雙重氣鎖門的位置亦更換成透明膠布的簡易門框。針對建築物混凝土開發測量的方法論以減少放射性廢棄物的數量，並向安全管制單位申請核准。廠房結構的除污主要採取機械式表面移除(刮擦、錘擊、氣動機具、鋼刷，噴砂等)技術，依課堂說明的不同污染程度，刨除不同表面之深度的作法；也測試了解一些技術可能不適用，例如，價格較高、施作較久、較多二次廢棄物等會影響成本的非機械式技術。事實證明要去除已嵌入在牆壁、地板等之中受污染的埋管是非常費時費力的工作，可使用的技術有錘擊、金剛石線鋸、取芯鑽等。在靠近反應爐及鄰近地方，其周圍的混凝土基礎在長期受中子的照射範圍內，從而產生了高活化的混凝土和鋼筋。這些被活化的部分可能佔據壁厚的很大一部分。因此，建築物的穩定性也成為重要的考量課題，可使用的拆除技術包括錘擊、圓鋸、金剛石線鋸等。

在除役階段的輻射特性調查，SCK•CEN 已建立各階段的作法，包括在除役階段之前對設施進行初步盤點；繪製建築物和土壤中的污染物和活化分佈圖；控制拆解活動產生的所有物料及流程，包括按照比利時法規無條件釋出物料和按照 NIRAS/ONDRAF 定義的標準可接受的放射性廢物；建築物和廠址的外釋。在反應器廠房牆壁、天花板及地面，繪有約一公尺見方的格子，每個格子的四周及中央均有量測並註記量測結果，在穿越管的附近該格子就較小且密，量測的結果也註記較多，是廠房後續除污作業的基礎，在這個區域就要求再增加套上一層鞋套避免污染。

在 BR3 除役作業的不同階段，已撰寫超過 1000 份程序書，每份程序書的大小各異，拆解反應器爐槽的該份程序書逾 100 頁，最近用於拆解平台結構的程序書只有 8 頁。針對管制要求，也準備一些方法論的程序書，此類程序書描述特定作業的工作方式及採用的方法，例如，廠房自由外釋的量測方法之架構，包括量測的作法、使用的儀器、特性調查的

型式，這種程序書的準備甚為耗時，因為必須與管制機關充分的溝通討論；但只要說服管制機關接受這些程序書，然後業主就可以贏得許多時間。除役作業中有許多的一次性(one-shot)工作或操作，大約 95%~98%的程序書屬於此類一次性操作程序書；亦有些程序書為一般性質，經常性地重複使用在例如更換通風過濾器、簡單手動的除污作業、放射性廢水排放的分析等。惟基於保安等考量，講員表示相關程序書受到嚴格管制不得公開。

由於保安規定不得攜帶手機、相機等進入 BR3 現場，但 BR3 拆下的汽機轉子就放在上課教室 Lake House 的入口處，BR3 的主控制室亦搬遷至 Lake House 的地下室，分別如圖 1 及圖 2。

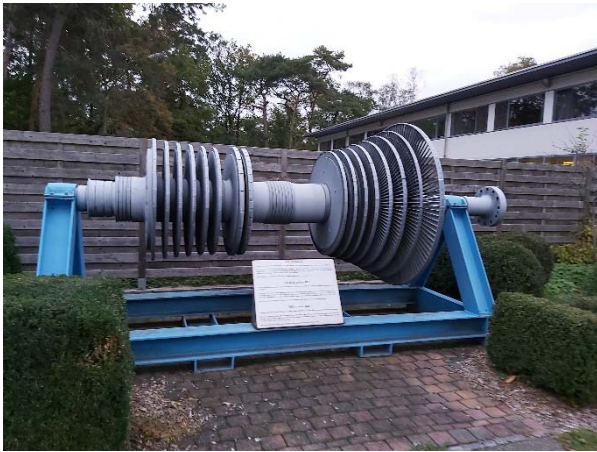


圖 1. BR3 拆下的汽機轉子

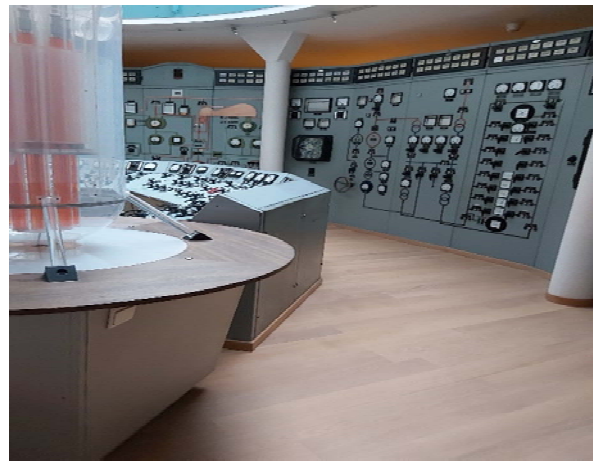


圖 2. BR3 的主控制室

本日下午課程由歐盟 JRC 歐洲原子能協調部門(Euratom Coordination Unit)的資深專家 Pierre Kockerols 先生提出「Practical Case: preparation of a safety assessment」課程的介紹。

JRC 在義大利 ISPRA 的重水式實驗反應器(ESSOR)為例，熱功率 25 MW，由 1968 年運轉至 1983 年永久停機，規劃在 2028 年完成除役，本課程以 ESSOR 的除役為例說明準備安全評估的實際案例，講師以問答之方式帶領學員進入本課程的內容，摘要如下。

(1a)除役應該要遵循的策略：是否立即拆除？廢棄物採取之方式為何？包括處置/處理/貯存等，處置之廢棄物可接受標準(Waste Acceptance Criteria, WAC)如何訂定？用過燃料及新燃料的處理方式？處理之選項包括高階廢棄物、回收鈾、鈾及暫時貯存；電廠外釋的最終狀態為何？

(1b)除役作業整體期程的規劃：除役計畫包括執照、準備工作(人力資源、採購規劃、

期程規劃)、財務規劃、風險管理及廢棄物管理等內容，並提出環境影響評估，儘可能地清潔至完成除役釋出。

(2a)在拆除期間應考慮安全相關風險的事故及防護措施：包括火災/爆炸(可能與切割有關)位置及救援措施、粉塵、電氣感電、污染、結構/機械、墜落事件、運送事件、洩漏、化學物等各式危害及相關防護措施。

(2b)安全相關組件、系統及結構的內容及其隨著拆除作業的演變：通風系統(視除役需要調整，拆除之時機)、消防系統(要做全面及局部的防護)、電氣系統(包括電源供應)、冷卻系統(包括用過燃料池)、圍阻體、實體防護(人員、物料)、輻射防護監測系統、資訊技術。從核設施永久停止運轉後，重要工作包括將燃料移出爐心，辦理輻射特性調查(相關計畫涵蓋安全、廢棄物管理、放行、外釋等，量測作業、運轉歷史資料及如反應爐槽劑量的分析評估)，清潔除污作業(儘快儘好)，除役計畫的相關更新，先期準備工作(包括拆解非安全組件，現有設施整備，新增設必要設施等)；在除役許可核准後，由活度高的組件優先拆解，例如，反應器爐槽、污染/活化的組件、其他組件，以及最終輻射特性調查。

(3a)由拆解產生廢棄物的管理及有關的安全顧慮：依據法規架構之不同廢棄物可接受標準(例如，低階、中階、長壽期)，建立廢棄物管理計畫，包括存量、設施、體積及輻射狀況；特性調查、整理分類、包裝、量測(破壞性及非破壞性分析)、內部搬運；要考量二次廢棄物(包括個人防護裝備、除污的殘餘物、以及模擬測試)；在中期貯存設施要考慮量測、處理、最終包裝、及中期貯存。

(3b)由拆解產生廢棄物及物料的放行/外釋之做法：考慮法律管制之放行標準之放行計畫，特性調查確認釐清污染、活化，整理分類、量測並記錄，依程序書實施並建有良好安全文化。

(4a)除役過程中的利益關係人：以辦理除役的電力公司及核電廠討論，利益關係人包括中央政府、安全管制機關、技術支援機構、地方政府(市/省/邦)及管制機關、消防部門、建管機關、環境保護機關、放射性廢棄物管制機關、一般廢棄物管制機關、職業安全衛生機關、籌資機構、環境保護組織、非政府組織、一般民眾、當地居民、媒體、農民、合約商、

內部/外部工作人員及工會等。

(4b)與除役作業有關利益關係人的顧慮：上述利益關係人的主要顧慮，對中央/地方政府的安全及相關管制機關、技術支援機構是法規符合性及安全要求，對地方政府(市/省/邦)是稅收及收益，對放射性廢棄物管制機關是廢棄物分類分級及處理能力(容量)，對一般廢棄物管制機關是放行的考量；對環境保護組織、非政府組織、一般民眾、當地居民、媒體、農民等是有無輻射外釋?有無違反規定?清潔狀態，除役結束的狀態，以及貯存廢棄物在廠址內；對合約商、內部/外部工作人員及工會關切的是工作的連續性。

最後，講員以安全管理的金科玉律(golden tips)做總結：在實施除役作業的業者與安全管制機關要建立相互的信任，尋求解決方案而非製造問題，採走動管理確認安全性，對廠務管理要擇善固執，避免或儘量減少暫貯廢棄物，儘可能保持所有作業的簡單但不要簡化。

■ 10月23日(三)

本日上午課程由 Tecnubel-Transnubel-ECS (TTE)公司的 Maurice Vanuytven 先生針對「Global Risk Management: radiological risk」、「Global Risk Management: industrial risk」之主題，分別提出輻射風險及工業風險在風險管理之概要說明。講員先介紹 TTE 公司係 ENGIE Electrabel 公司 100%持股的子公司，Tecnubel 主要業務係提供電力營運商服務及專案之技術支援，Transnubel 主要業務係研究、工程、專案、運輸及貯存/處理的設施，ECS 主要業務係輻射防護、核能/一般工業的安全訓練。此課程討論在劑量率較高場所工作人員的安全顧慮，第一部分討論：輻射風險種類有臨界、輻射、污染及活化等，工業風險種類有火災、高處作業、侷限空間及人員受傷等，第二部分討論：組織性、品保及變動管理等議題。

講員接著以法規架構及財務面向說明全面風險管理之要求。核安的法規要求在歐盟來自 96/29/Euratom，比利時則為 ARBIS RD 20/7/2001。財務面向則從安全的成本(包括物料、準備時間、廢棄物處理等)以及不安全的成本(包括醫療、因事故或劑量超標而不可用、除

污等)兩者比較之優化結果；要求高度安全會提高成本，降低劑量現值會增加人力需求，較頻繁使用個人防護裝備會增加廢棄物，相關措施與對策必須合理可接受。發生輻射風險時第一優先考慮的是臨界，係因許多人(尤其外部工作人員)不知道此問題，影響劑量及緊急應變，因應對策的順序是避免、降低、冗餘及信號，後果雖然極嚴重，但在除役期間發生機率甚低，故臨界的整體風險仍低；基本上在除役期間，輻射的影響主要在長期的統計效應，並沒有致命或直接傷害的效應，但輻射劑量仍是第二順位的風險，因應對策是時間、距離及防護，以及達到合理可行的抑低(ALARA)，降低致癌的風險；污染則是第三個風險顧慮，在拆解期間的可接受污染標準，且不能將污染擴散，必要的措施係防護設備、合格人員及程序書，並備有除污之方法、程序書及人員。

課程講員以問答之方式，假設學員身為安全工程師，採一簡易的案例，針對桶槽的拆除移出、在高處有管線並具有輻射警報的標誌，帶領學員分組做腦力激盪的討論，提出至少 10 個問題，並排序前 5 順位之問題，進入本課程的內容定義全面性安全的措施，摘要如下。此案例可能的問題包括：(1)桶槽，內容物種類、空/滿槽、大小尺寸、材質等，(2)有輻射警報標誌的管線，大小尺寸、材質、內容物種類、空/滿管線、可否移除，(3)房間，廠務管理、工作人員輻射防護裝備，(4)是否有動火作業？

接著討論工業風險的火災，除役期間的切割作業可能導致火災，消防設施可能隨作業進行被拆解，增加的彈性做法是消防守衛及手動滅火設施，必須評估並涵蓋可能的火災風險；高處作業的風險，進出入設施、牆壁及天花板的搭架要加以訓練外，在核能環境的劑量及污染考量下，個人防護裝備(面罩、防護衣、耳塞等)會影響可見度、靈敏度及溝通而增加風險，故高處作業是除役期間較主要的傷害來源，可能更甚於輻射或污染；在侷限空間的作業，並未考量拆除作業的進行及人員出入，限制空氣循環對流，缺氧窒息、危害氣體、可燃物及感電等風險，由於核能環境的個人防護裝備對侷限空間的救援及疏散更加困難，輻射、污染的風險在數十年後發生，缺氧可能僅數分鐘即能致死。工業安全的風險可以被涵蓋並分析，但其與輻射機率風險相較係確定且直接的後果。

接著由學員分組提出對上述拆除案例擔任安全工程師須考量的項目，包括輻射防護措

施及緊急因應對策，分析緊急事件之劑量率，釐清並確認桶槽與管線的內含物、尺寸與材質，清空並隔離桶槽與管線，訂定拆解設備的順序(如先拆管線、再拆桶槽)，檢視確認消防計畫、切割/拆除等作業程序書，確認施工安全(包括高處作業、侷限空間等)；講員並補充安全工程師須要求業主提出風險分析報告，納入 ALARA 精神並要求降低桶槽的重心，管線切割作業要注意可能火災及受傷(高處、內含物)的防護，以及討論可能的輻射及污染的擴散。講員再針對案例做總結，風險分析是拆除作業之業主的責任，安全工程師職責是獨立驗證並核准業主提出的風險分析，提出因應措施的順序避免風險，評估可能事故情境的劑量以定義對工作人員作業時的限制，工業風險在除役期間最顯著但對其考慮可能須提高，並納入一般的見解與看法。本課程「全面風險管理」的總結是全面，除役期間須注意不要將核能與工業之風險做區隔，工業風險在除役期間是最顯著的風險來源，除役相關知識蒐集與管理對長期規劃為重要因素，除役作業是永久性的改變，包括人員、設施及解決方案，要針對改變做好管理，將安全的成本及不安全的成本做好掌控，採 ALARA 因應核能的風險，藉殘餘風險的管理因應工業的風險。

本日下午課程由 SCK•CEN 的 Robby Nijs 先生對「Safety Tool (part 1)」、「Safety Tool (part 2)」之主題，做安全工具 VISIPLAN 介紹及使用之概要的說明。採用 VISIPLAN 軟體的目的係劑量的最適化，在核設施應用 ALARA 係複雜之工作，需要針對不同的作業及環境評估劑量；會影響劑量評估結果的因素包括有設施的幾何形狀、射源的分佈與強度、屏蔽的構型配置(固定或可移動式)、工作的組織等，在除役作業迅速變動的環境之最適化更為複雜。針對給定的作業預測可能的劑量，於此給定的作業評估可達到降低或最適化劑量的措施或方法，納入不同工作情境之相關資訊(包括採用技術或工作的型態、工作期長、工作人員數量、勞動力的分佈、屏蔽的要求及採用屏蔽的方式、評估如化學除污之射源對作業的直接影響等)做劑量評估結果的比較，並發展適用工具模擬 3D 環境工作情境的劑量評估及規劃。參加此軟體使用者團體逾 100 個以上業主用戶、30 個以上學術研究用戶。

接著介紹 3D 劑量模擬及規劃工具 VISIPLAN 軟體，包括物料、空間幾何及射源，採點核仁(point kernel)方法考量放大因子(buildup factor)計算劑量，雖然結果較保守(高估約

40%)，因求解簡單可迅速計算結果。VISIPLAN 軟體的功能包括評估工作、移動軌跡及不同情境的劑量，個人與集體劑量的評估，由量測劑量率數據組計算射源的強度，以及射源的靈敏度分析等。劑量計算的核心採用 ANSI/ANS-6.4.3-1991, “Gamma-ray attenuation and build-up factors for engineering materials.”，並與類似工具軟體包括 MicroShield、QAD 及 MCNP 等分析結果做過比對。VISIPLAN 軟體建立模式在三個階段要提供三組數據資料，(1)空間尺寸資料：技術圖面、調查技術、攝影量測、雷射掃描等建立原始容積，(2)物料資訊：技術資料、廠內專家等建立物料資料組，(3)輻射輸入資料：技術資料、調查、廠址歷史資料等建立射源資料組。接續的是一般分析階段、詳細規劃階段、以及後續追蹤階段。

VISIPLAN 軟體已應用在許多 ALARA 實際案例上，包括 BR3 除役廠址、IRMM Geel, Gelina 加速器、HADES 地下實驗室、BR2 反應器、BR2 熱交換器、CELL 10 拆除、CORALUS 劑量計算、BP 熱室拆除、BR3 除污範圍、REBUS 用過燃料束載重研究、過濾器更換研究、燃料池除役研究、BR2 實驗裝置室及 Cel 40 除役等個案。VISIPLAN 軟體可提供 ALARA 分析者劑量評估及最適化的必要功能，可佐助由設計、維護及除役設施之應用，目前仍持續發展精進軟體之功能，例如改善精進現有圖形介面、提供虛擬實境之分析結果等。隨後，每兩位學員共用一台已安裝 VISIPLAN 軟體及個案數據資料的筆電，講員以內建 BR3 之劑量最適化個案(圖 3)做展示。上層樓中央部分有水平桶槽(空桶)，桶槽的管線往下伸展至

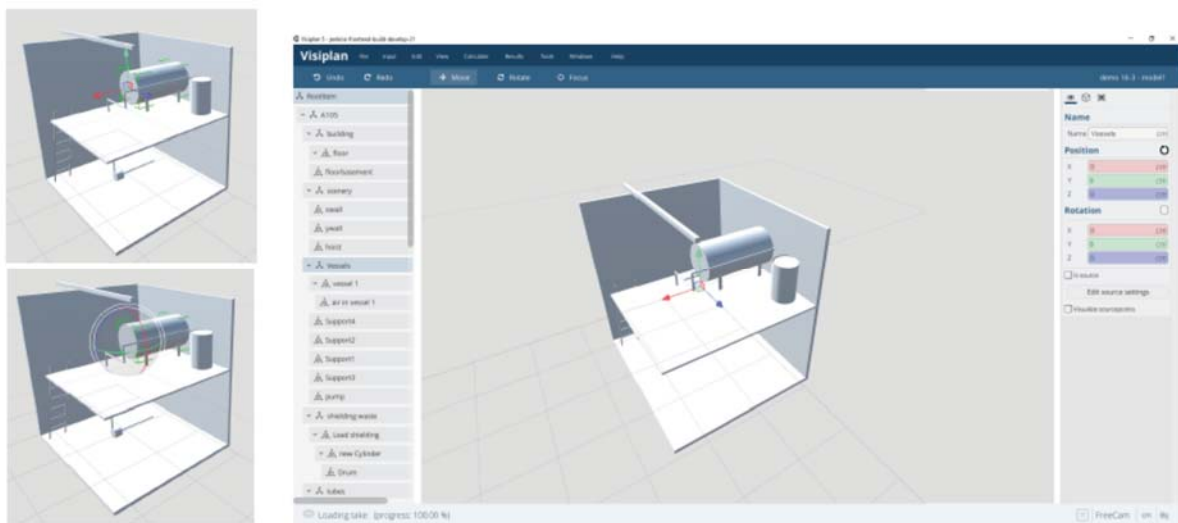


圖 3. Visiplan 個案分析之展示

下層樓泵處，桶槽底部(雜質堆積，銻 137)及管線有輻射的源項，上層樓天花板處有管線(偵測顯示有熱點)通過，上層樓水平桶槽之前的是放射性廢棄物貯桶(裝有鈷 60 污染的設備為主)。水平桶槽後方沒有樓地板，下層樓在該處有簡易爬梯可供人員進出。

展示的個案為在桶槽的管線上增設一只閥門及配電盤的 ALARA 一般分析，評估射源強度及檢視在工作區域的劑量分佈；此個案假設 1 個工作人員安裝閥門需 1 小時，安裝配電盤為 0.5 小時。用 Visiplan 軟體分析各種降低劑量的選項，(1)將廢棄物桶建立屏蔽，(2)將廢棄物桶移到另側(考慮劑量)，(3)桶槽充滿水沒加溶劑，(4)組合選項(1)及(3)，(5)桶槽充滿水加溶劑等不同選項並分析計算其劑量，軟體會顯示各種選項空間劑量率分佈的計算結果，並掌握施工時人員劑量來源的最大貢獻者(本案例安裝閥門是廢棄物桶，安裝配電盤是廢棄物桶及桶槽底部沉積的雜質)，管線也對劑量有貢獻但少於廢棄物桶及桶槽底部沉積雜質，下層樓泵在本案例分析可以忽略其影響。

■ 10 月 24 日 (四)

本日上午及下午課程分別由英國東英格蘭大學(University of East Anglia)的 Alan Bond 教授以及德國施特拉爾松德應用科學大學(Stralsund University of Applied Sciences)的 Wolfram Thiele 榮譽教授分別針對「Introduction to Environmental Impact Assessment (EIA)」及「Environmental Impact Assessment: experience」之主題，分別提出環境影響評估之概要說明及經驗回饋。

在環境影響評估簡介的部分，首先說明 EIA 的緣起，環保意識在 1960 年代的美國日益高漲，聯邦政府採取對策於 1969 年制定國家環境政策法案(National Environmental Policy Act, NEPA)有關對 EIA 實質與程序的要求。執行將依據決策的層級而有不同，在歐盟政策/立法層級要有影響評估，會員國的政策/立法層級要有管制影響評估(OECD 國家要求)，在規畫(plan)、計畫(programmes)層級要有策略環境評估(約 60 國要求)，在專案(project)層級要有環境影響評估(所有國家均要求)；在前兩者間通常受經濟考量而可能偏離，在後兩者

間則要在不同部門的收益之間尋求平衡。接著定義 EIA，在實施特定活動下，確認對生物地球物理環境、人類健康及福祉之可能後果，並在能夠實質影響決策之階段時，傳達給決策者相關資訊的程序。

英國環境評估(Environmental Assessment, EA)的程序有 10 項要素，包括(1)篩選(screening)：決定應採取適當層級的 EA，(2)範圍界定(scoping)：確認需進一步考量可能顯著的环境議題，(3)比較評估(comparative assessment)：檢視不同選項的影響，(4)基線研究(baseline study)：確認環境未開發的現在及預測未來開發對狀態的影響，(5)影響評估、評價及緩減(Impact assessment, evaluation and mitigation)：預測提案的可能影響，評估其顯著性並視需要提出緩減措施，(6)EA 報告(EA report)：準備決策所需知道及涵蓋的資訊，(7)審閱 EA 報告(review EA report)：檢視報告的品質，(8)決策(decision-making)：核准或拒絕提案並建立同意的條件，(9)決策後監視與監督(post-decision monitoring and auditing)：監視、管理與監督由開發所導致的影響，(10)利益關係人參與(stakeholder involvement)：諮詢或告知利益關係人，或鼓勵雙方的參與(授權)。

接著討論關鍵的 EIA 階段，在篩選階段確認對環境有顯著影響而決定要執行環境評估，採個案方式判斷，方法有表列(lists)、門檻(threshold)、標準(criteria)及檢核表(checklists)，由歐盟 EIA 命令附件 I 及附件 II 做篩選，核能除役明確列在附件 I 篩選進入。範圍界定階段的目的是確認環境顯著性議題，並且建立在初期將利益關係人納入的機制；基線研究階段涵蓋水文學、地質學、氣象學、大氣、土壤、土地使用容量、地標、地貌學及生態學等資訊，考量開發的影響及不同開發所累積影響之效應；歐盟 EIA 報告審查導則組(命令 2011/92/EU 公布，2014/52/EU 修訂)公布在歐盟委員會網站；相關程序均由歐盟發布命令各會員國納入國家法律架構執行。

講員以 Berkeley 核電廠的中期廢棄物貯存場為例，將學員分成三組練習「範圍界定」方法論的作法，並請各組說明由其成員經驗所獲得個案研究的結論。(1)檢核表(checklists)：列出可能造成影響的特定因素並加以排序，例如對水的影響包括，開發對區域洩水型的影響、對水文特徵(地下水位、水道、地下水流動)的變化、對海岸或河口水文學的影響、

污染物/廢棄物對水質的影響；對空氣與氣候的影響包括，化學排放的大小與濃度及其對環境的影響、微粒及惡臭、任何其他對氣候的影響；(2)矩陣(matrices)：一般型式採用二維的檢核表(範例如圖 4)，兩軸分別是環境的成份及開發活動，得採定性/定量方式為之；(3)網絡(networks)：認知環境是由複雜的網絡(範例如圖 5)相互關聯的組件所組成，優點是能釐清高階的影響，並能估算影響的大小、顯著性及機率，缺點是耗時且須對環境有深度的知識。

POTENTIAL ENVIRONMENTAL EFFECTS

POTENTIAL ENVIRONMENTAL EFFECTS	PROPOSED ACTIVITIES		ACTIVITIES IN PROJECT DEVELOPMENT
	Water Table	Ground Water Quality	
Water Table			Access Road
Ground Water Quality			Site Clearing
Surface Water Quality			Excavation
Land Drainage / Flood Inq			Blasting
Air Quality			Erosion Control
Land Use Compatibility			Drainage Alteration
Unique Physical Features			Stream Crossing
Land Stability			Channel Dredging
Landscape Quality			Channel Revetments
Terrestrial Habitats			Dams & Impounds
Aquatic Habitats			Seawalls
Recreation / Tourism			Pest Control
Amenity			Waste Disposal / Recovery
Noise			Reclamation
Odour			Ancillary Transmission Lines, Pipelines
Health			Labour Force
Housing			Operational Failures
Community Structure			Energy Requirements
Cultural Heritage			Other Resource Requirements
Local Economy			Energy Generation
			Vehicle, Aircraft, Vessel Movements
			Waste Disposal / Recovery
			Product Storage
			Spills and Leaks
			Dust Control
			Utilities
			Labour Force

圖 4. 範圍界定方法論之二維矩陣的範例

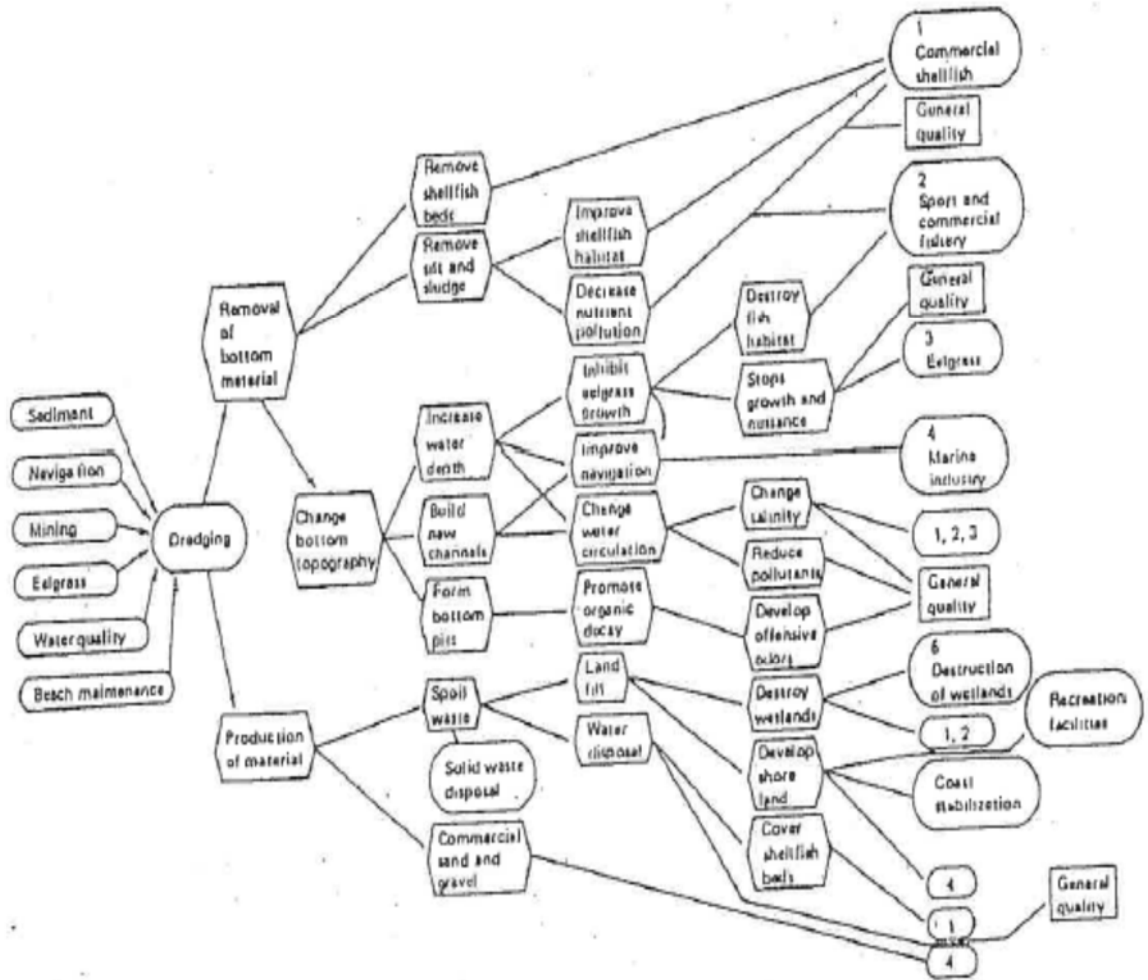


圖 5. 範圍界定方法論之網絡的範例

在環境影響評估經驗回饋的部分，講員採其在德國、斯洛伐克及保加利亞依據歐盟 EIA 命令的工作經驗，主要以保加利亞 Kozloduy 核電廠 EIA 為例做說明；業主指派合格團隊發展 EIA 所有程序的文件，屬於許可程序的一部分(核電廠拆除或除役以及用過燃料或放射性廢棄物貯存超過 10 年須要 EIA，歐盟 EIA 命令附件 I)；德國 EIA 的程序有 10 個，前 4 個屬於除役許可程序的一部分，第 5、6 個是專案執行期間對 EIA 的後續追蹤，後 4 個是 EIA-R 的內容，摘要如下。

除役許可程序的一部分包括有(1)通知(Notification)/篩選(Screening)：通知主管機關規劃的專案，由主管機關決定所需的 EIA 程序(歐盟 EIA 命令附件 II)，篩選包括傳統及跨域可能受影響的內容，例如，位於保加利亞多瑙河岸的 Kozloduy 核電廠，在河對岸即是鄰國羅馬尼亞，相關 EIA 程序須將鄰國納入考慮，(2)範圍界定(Scoping)：主管機關決定 EIA

報告的內容及範圍，包括利益關係人，並發給業主權責範圍條款，(3)審查(Review)：針對 EIA 報告(EIA-R)的品質及完整性做審查，並提供利益關係人、民眾及相關主管機關，(4)利益關係人/民眾參與及決策(stakeholder engagement, public participation, decision)：依據歐洲 1998 年 Aarhus 公約實施，由主管機關做決策並可附帶條件(對 Kozloduy 核電廠除役 EIA-R 帶有 68 個條件)。

專案執行期間對 EIA 的後續追蹤包括有(5)主機關的角色(Role of the competent authority)：業主在完成除役許可之 EIA 程序，需承諾實施期間之緩減/預防措施、監控計畫，並由主管機關監督程序確認，包括附隨的拆除許可、評價環境影響(Evaluation of Environmental Impacts, EEI)、拆除作業的技術規劃、外釋(free-release)計畫等，(6)監視、合理抑低、傳統的環境保護(Monitoring, ALARA, conventional environmental protection)：環境監視系統包括數據資料(例如冷卻水的化學性、生物及物理參數)蒐集、取樣與評價，採合理抑低將輻射影響最小化，採環境管理系統(ISO 14000)對非輻射影響最小化，建置環境資訊系統(Environmental Information System, EIS)，管理一般/有害事業廢棄物。

EIA-R 的內容包括有(7)替代方案、專案的描述(Alternatives, project description)：立即拆除或安全封存的選項，Kozloduy 核電廠除役有四個階段，除役前、短期安全封存並拆除汽機廠房(階段 1)、拆除安全封存區域(階段 2)、結束除役並重新使用，(8)環境的描述(Description of the environment)：包括大氣(氣象、空氣品質、排放數值)、水文(地表及地下水品質)、人口(人口統計學及健康狀態)、地震學/土地/土壤、生物多樣性及保護區，(9)環境影響估算(Environmental impacts estimation)：採用驅動力、壓力、現況、衝擊與回應(Driving forces, Pressure, State, Impact and Response, DPSIR)架構量化直接影響，並藉由類似計畫的經驗做比對，採不同特性評估對環境的影響並考量長期累積效應，(10)最小化/緩減/預防影響的措施(Measures for minimization/ mitigation/ prevention of impacts)。

肆、心得與建議

本次赴比利時莫爾參加 ELINDER 「Decommissioning licensing and environmental impact assessment」訓練課程之心得與建議，可歸納下列幾項：

1. ELINDER 是由歐盟聯合研究中心(JRC)與包括歐洲核能專業領域的大學和研究所在內的多個合作夥伴進行協調，由歐洲不同國家的每個合作夥伴提供包括參訪與實務研習的課程。在歐盟預期核能除役作業將日益擴大，除役相關工業在近期即需要具動機、符合資格及經驗豐富的人員。藉由有系統地選送相關人員參與 ELINDER 的多項訓練課程並可順道安排參訪歐盟及其會員國家管制機關，不但可以了解歐盟新近的除役作業安全管制議題，與最新的除役拆除技術之開發與發展，更可以深化了解歐盟及其會員國家的除役安全管制技術之發展進程。因此，建議本會未來在經費許可下，持續派員參加 ELINDER 的除役訓練課程。
2. 本項訓練課程所探討的內容主要涵蓋核能電廠除役的除役許可及環境影響評估，包括法規及管制架構、歐盟的除役策略、制定安全個案、獲得拆除許可以及與管制單位的互動、備妥安全評估的實務個案、全面性風險管理(放射性風險及工業性風險)、安全工具、環境影響評估、個案研究、目前正在除役程序之 BR3 反應器設施技術參訪等項目，可提供我國未來對除役作業之安全管制的具體參考。因此，建議本會未來應持續密切注意歐盟國家除役管制的相關作法，以能有效精進國內除役作業之管制效能。
3. 訓練課程的主題涵蓋歐盟及其會員國針對永久停止運轉之機組，進行除役或拆解的安全管制作業，及構成拆除許可程序的環境影響評估。在過去這段時間歐盟及其會員國安全管制機關已累積了豐富的除役管制經驗；針對本次訓練課程所探討的不同面向，我國依現行環境影響評估及管制法規架構已順利核發核一廠除役許可，在拆除許可有關之安全個案、全面性風險管理、安全工具等，值得持續了解掌握歐盟及其會員國在核能電廠執行除役作業時的考量及作法。因此，建議本會宜參考歐盟除役作法，將拆除許可之不同面向妥適納入除役管制考量，以順利、安全的完成除役作業。

伍、附件

ELINDER S2 「Decommissioning licensing and environmental impact assessment」訓練課程表

Decommissioning licensing and environmental impact assessment

SCK-CEN Lakehouse, Mol, Belgium
October 21-24, 2019

Programme

Day 1 | Monday October 21, 2019

09:00 – 09:30 h	Welcome, presentation of the SCK-CEN Academy activities and introduction by the participants <i>Sven Boden (SCK-CEN)</i>
09:30 – 10:45 h	International regulatory framework linked to decommissioning and waste management <i>Pierre Kockerois (European Commission, Brussels)</i>
10:45 – 11:15 h	Break
11:15 – 12:30 h	Different approaches to decommissioning in a European context <i>Pierre Kockerois (European Commission, Brussels)</i>
12:30 – 13:30 h	Lunch cafeteria
13:30 – 14:45 h	Development of a safety case, licensing and interaction with safety authorities <i>Koen Nijis (SCK-CEN) – Chantal Mommaert (Bel V)</i>
14:45 – 15:15 h	Break
15:15 – 16:30 h	Case study: Decommissioning of a research reactor and accelerator Case study: Decommissioning of a MOX fuel fabrication plant <i>Sven Boden (SCK-CEN), Henri Libon (Belgonucleaire)</i>

Day 2 | Tuesday October 22, 2019

08.30 – 10.00 h	Visit to BR3 <i>Jérôme Dadoumont, Luc Denissen, Sven Boden (SCK-CEN)</i>
10.00 – 10.30 h	Break
10.30 – 12.00 h	Visit to BR3 <i>Jérôme Dadoumont, Luc Denissen, Sven Boden (SCK-CEN)</i>
12.00 – 13.00 h	Lunch cafeteria
13.00 – 14.30 h	Practical case: preparation of a safety assessment <i>Pierre Kockerols (European Commission, Brussels)</i>
14.30 – 15.00 h	Break
15.00 – 16.30 h	Practical case: preparation of a safety assessment <i>Pierre Kockerols (European Commission, Brussels)</i>

Day 3 | Wednesday October 23, 2019

08.30 – 10.00 h	Global risk management: radiological risks <i>Maurice Vanuytven (TTE)</i>
10.00 – 10.30 h	Break
10.30 – 12.00 h	Global risk management: industrial risks <i>Maurice Vanuytven (TTE)</i>
12.00 – 13.00 h	Lunch cafeteria
13.00 – 14.30 h	Safety tools (part 1) <i>Robby Nijls (SCK-CEN)</i>
14.30 – 15.00 h	Break
15.00 – 16.30 h	Safety tools (part 2) <i>Robby Nijls (SCK-CEN)</i>



Day 4 | Thursday October 24, 2019

08.30 – 10.00 h	Environmental impact assessment <i>Alan Bond (University of East Anglia) - Wolfram Thiele (Greifswald)</i>
10.00 – 10.30 h	Break
10.30 – 12.00 h	Environmental impact assessment <i>Alan Bond (University of East Anglia) - Wolfram Thiele (Greifswald)</i>
12.00 – 13.00 h	Lunch cafeteria
13.00 – 14.30 h	Environmental impact assessment <i>Alan Bond (University of East Anglia) - Wolfram Thiele (Greifswald)</i>
14.30 – 15.00 h	Break
15.00 – 15.30 h	General Q&A, feedback & discussion <i>All lecturers & participants</i>
15.30 – 16.30 h	Multiple choice test (optional) <i>All participants</i>
16.30 h	Closure

