

出國報告（出國類別：實習）

到美國 **RMA** 公司實習

服務機關：行政院原子能委員會核能研究所

姓名職稱：王德全/副研員

派赴國家：美國

出國期間：95年6月26日 95年8月25日

報告日期：95年9月20日

摘要

本次公差主要目的是要建立核二廠 MAAP5 程式圖形介面(MAAP5-SIM),另外了解 SIM (Simulation Interactive Modules) 1.1 版的新增功能,對本所日後修改或建立 MAAP5-SIM 程式及對嚴重事故分析程式的開發與採購有很大的幫助。本次公差行程自 95 年 6 月 26 日起至 8 月 25 日止,共計 61 日。以下對本次公差作一概要說明:

本次公差工作項目有二:第一是與 RMA (Risk Management Associates)公司合作完成核二廠 MAAP5-SIM 程式的開發,RMA 公司主要負責 MAAP5-SIM 軟體的開發,王員負責核二廠 MAAP5 程式圖形展示螢幕(Screen)的建立與測試,展示螢幕包括:圍阻體、系統、壓力槽、爐心、爐穴及圍阻體結點,完成展示螢幕的建立後,再與 MAAP5-SIM 軟體進行連結與測試,本次實習已對 MAAP5-SIM 程式充分了解,對日後核二廠 MAAP5-SIM 程式的修改及核一、三廠 MAAP5-SIM 程式的建立很有助益。

第二是藉由此次到 RMA 公司實習之便,順道了解 RMA 公司 SIM 1.1 版的新增功能,SIM 1.1 版主要之新增功能有: ActiveChart、Electrical Modules、ATWS (Anticipated Transient Without Scram) Package 等,實習期間由 RMA 公司總裁 Dr. Torri 對王員作了詳細的簡報,王員已對 SIM 1.1 版新增功能有了深入的了解,可作為本所日後嚴重事故分析軟體發展與採購的依據。王員本次的實習已建立與 RMA 公司交流的管道,對日後雙方的合作有很大的幫助。

目次

摘要

	頁碼
一、目的.....	1
二、過程.....	2
三、心得.....	5
四、建議.....	7
五、附錄.....	8

圖目錄

	頁碼
圖 1 核二廠 MAAP5 圍阻體展示螢幕.....	8
圖 2 核二廠 MAAP5 系統展示螢幕.....	9
圖 3 核二廠 MAAP5 壓力槽展示螢幕.....	10
圖 4 核二廠 MAAP5 爐穴展示螢幕.....	11
圖 5 核二廠 MAAP5 爐心展示螢幕.....	12
圖 6 核二廠 MAAP5 圍阻體節點展示螢幕.....	13
圖 7 ActiveChart 的範例流程圖(自動).....	14
圖 8 ActiveChart 的範例流程圖(手動).....	15
圖 9 Electrical Modules 的範例螢幕.....	16
圖 10 ATWS Packages 案例分析.....	17
圖 11 訓練用模擬器範例說明.....	18

一、目的：

本次公差行程自 95 年 6 月 26 日起至 8 月 25 日止，共計 61 日。公差主要目的有二：

1.1 建立核二廠 MAAP5 程式圖形界面(MAAP5-SIM)：

本所已於 94 年度向美國電力研究院(EPRI)購買 MAAP5 程式，EPRI 也將委託 RMA 公司進行 MAAP5 程式圖形介面(MAAP5-SIM)的發展，並選定核二廠為沸水式反應器(BWR)發展的參考廠，本次到 RMA 公司實習，將與 RMA 公司合作建立核二廠 MAAP5-SIM 程式，RMA 公司負責 MAAP5-SIM 軟體的發展，王員負責核二廠 MAAP5 程式圖形展示螢幕(Screen)的建立與測試，展示螢幕包括：圍阻體、系統、壓力槽、爐心、爐穴及圍阻體結點，完成展示螢幕的建立後，再與 MAAP5-SIM 軟體進行連結與測試，本次實習已對 MAAP5-SIM 程式充分的了解，對日後核二廠 MAAP5-SIM 程式的修改及核一、三廠 MAAP5-SIM 程式的建立很有助益。

1.2 了解 SIM 1.1 版的新增功能：

RMA 公司為 SIM (Simulation Interactive Module)程式的發展者，可應用於許多嚴重事故的分析程式(如 MELCOR、MAAP、SCDAP/RELAP5 等)，本所多年前即向 RMA 公司購買 SIM 1.0 版軟體，近年來 RMA 公司陸續新增許多功能(如 ActiveChart、Electrical Modules、ATWS Package 等)，希望藉由本次到 RMA 公司實習的機會，能更進一步了解這些新增的功能，可作為本所未來軟體的開發與採購的依據。

二、 過程

此次國外公差之行程如下：

95 年 6 月 26 日	自台北抵達美國聖地牙哥
95 年 6 月 24 日~ 8 月 23 日	RMA 公司實習
95 年 8 月 24 日~25 日	自美國聖地牙哥返回台北

RMA 公司位於美國加州聖地牙哥市，公司成立已有 20 多年，公司的規模不大，是一間研發效率很好的公司，公司主要成員有三人，總裁 Dr. Torri 主要負責公司產品的規劃與行銷，Mr. Luettringhaus 主要負責圖形介面的設計，Mr. Pochorny 主要負責圖形介面程式的開發。公司的營運模式為 Dr. Torri 規劃市場產品的規格與功能，並爭取與各電廠與研究單位的合作計畫，一方面開發市場未來的產品，另一方面執行與各單位的合作計畫，並將成熟的產品積極推廣到各電廠與研究單位，目前在瑞典、瑞士、美國、德國、台灣等國都有使用該公司相關產品，而公司主要的營運項目有使用者圖形介面的發展、嚴重事故模擬與分析、核電廠安全度評估及電廠人員的訓練等，公司的主要產品有即時模擬模組(SIM)、暫態視覺與後段處理(TVP)、繪圖軟體(GRAPHMAN)等，主要應用於嚴重事故的模擬與電廠人員的訓練，並提供客戶技術支援與服務，RMA 公司在嚴重事故的模擬、圖形展示系統、暫態視覺及事故後段處理上，已具有相當成熟的開發技術。

詳細實習的過程敘述於後：

2.1 在建立核二廠 MAAP5-SIM 程式方面：

實習期間王員將與 RMA 公司合作建立核二廠 MAAP5-SIM 程式，RMA 公司負責 MAAP5-SIM 軟體的發展，王員負責核二廠圖形展示螢幕(Screen)的建立與測試，首先使用 RMA 公司發展新版的 SBuild 軟體進行核二廠 Screen 的建立，舊版 SBuild 只有 MELCOR 程式的選項，而新版 SBuild 增加 MAAP 及 RELAP5 程式選項，因此增加了許多新的組件(Component)，如: Setpoint Controller、Toggle Component、Pipe Animation、Component Identification Pop-up Box、Active Component Colors、User Defined Variables in Plots 等，在此不多加陳述組件功能，詳細功能說明可參考到美國 RMA 公司實習資料文件 2。

核二廠 MAAP5-SIM 共有六張 Screen，以下分別針對六張 Screen 的製作簡述如下：

2.1.1 圍阻體 Screen 的製作

核二廠圍阻體 Screen 主要顯示圍阻體內各區間的壓力、溫度、水位等參數變化，根據核二廠 MAAP5 參數檔及核二廠圍阻體尺寸，將圍阻體分為九個格點，分別為爐穴(Cavity)、乾井(Drywell)、下通管(Downcomer)、濕井(Wetwell)、中間環形濕井區域(Middle Wetwell)、下頂部(Lower Dome)、上頂部(Upper Dome)、燃料更換池(Spent Fuel Refueling Pool)、反應器廠房環形區域(Annular Gap)，而核二廠氫氣點燃器分佈在乾井、濕井、中間環形濕井區域及上頂部，因此在這四個區間顯示可燃性氣體與惰性氣體濃度的分佈，另外三角圖(Shapiro Diagram)則分別顯示這四個區域中可燃性氣體與惰性氣體的移動軌跡，可清楚了解圍阻體內可燃性氣體與惰性氣體的變化。最後根據核二廠 MAAP5 參數檔，設定由反應器廠房環形區域(Annular Gap)到外界環境(Environment)的圍阻體外釋路徑，詳細核二廠圍阻體 Screen 可參考附錄的圖一。

2.1.2 系統 Screen 的製作

核二廠系統 Screen 主要控制及顯示系統在事故中的狀態，這些系統包括高壓噴灑系統(HPCS)、爐心隔離冷卻系統(RCIC)、低壓噴灑系統(LPCS)、餘熱移除系統(RHR)、蒸氣系統、飼水系統等，另外根據核二廠各系統的啟動、停止運轉邏輯，系統 Screen 也設定了停機按鈕及各重要系統的控制盤面，允許使用者在事故中將反應器停機、控制系統啟動及停止，可用做事故處理策略的驗證。核二廠系統 Screen 需要做許多系統邏輯上的設定，可說是核二廠圖形介面中最複雜的一張 Screen，核二廠系統 Screen 主要是根據核二廠 MAAP5 參數檔、系統 P&ID(Piping and Instrumentation Diagram)圖及電廠訓練教材制定，詳細核二廠系統 Screen 可參考附錄的圖二。

2.1.3 壓力槽 Screen 的製作

核二廠壓力槽 Screen 主要顯示壓力槽水位、爐心水溫、燃料溫度、爐心是否受損及爐心熔渣的分佈等，爐心的狀態可說是嚴重事故中相當重要的資訊，一旦爐心受損就會有放射性分裂產物的外釋，是執行事故處理策略重要的依據。另外壓力槽 Screen 也可顯示壓力槽底部是否破裂及提供許多重要參數的資訊(如爐心最高溫度、氫氣的產生量、熔融爐心池(Molten Pool)是否產生等)。核二廠壓力槽 Screen 也是根據核二廠 MAAP5 參數檔及壓力槽幾何尺寸制定，詳細核二廠壓力槽 Screen 可參考附錄圖三。

2.1.4 爐穴 Screen 的製作

核二廠爐穴 Screen 主要顯示壓力槽破裂後爐心熔渣與水泥地板的作用(MCCI)，提供地板侵蝕的厚度、寬度及圍阻體是否完整等訊息，另外也可從爐穴 Screen 得知爐穴的水位及爐外的熔渣是否可被冷卻，是壓力槽破裂後重要的資訊。核二廠爐穴 Screen 主要是根據核二廠 MAAP5 參數檔及爐穴的幾何尺寸制定，詳細核二廠爐穴 Screen 可參考附錄的圖四。

2.1.5 爐心 Screen 的製作

核二廠爐心 Screen 主要顯示爐心燃料(UO₂)、護套(Cladding)及控制棒(Control Canister)等溫度的變化，並可從數值及顏色清楚知道爐心各組件溫度的分佈情形，也可清楚得知爐心受損的情形。只要設定核二廠 MAAP5 參數檔，SBuild 軟體就可從參數檔中得知爐心重要的參數，自動建立爐心 Screen。核二廠爐心徑向(Radial)分爲 5 環形區域(Rings)及軸向(Axial)有 13 節點(Nodes)，詳細核二廠爐心 Screen 可參考附錄的圖五。

2.1.6 圍阻體節點 Screen 的製作

圍阻體節點 Screen 爲 SIM 1.1 版新增的 Screen，主要顯示圍阻體內各區間及流徑的重要參數，並以顏色加以標示，可清楚了解圍阻體內壓力、溫度、流量等重要參數的變化情形，根據核二廠 MAAP5 參數檔，將圍阻體節點 Screen 分爲九個區間(Compartment)及九個流徑(Junction)，詳細核二廠圍阻體節點 Screen 可參考附錄圖六。

2.2 在 SIM 1.1 版新增功能方面：

主要由 RMA 公司總裁 Dr. Torri 介紹 SIM 1.1 版的新增功能，其中比較重要的新增功能有：ActiveChart、Electrical Modules、ATWS Package。ActiveChart 主要應用電廠 EOP (Emergency Operation Procedure)的訓練，Electrical Modules 可應用於電廠電力系統的分析，ATWS Package 可較準確計算出 ATWS (Anticipated Transient without Scram)事故的爐心功率。王員也針對幾個國內關心的議題與 Dr. Torri 討論，這些議題包括圖形展示螢幕(Screen)與電廠 SPDS(Safety Parameter Display System)的連結、SIM 軟體應用到嚴重事故處理指引(SAG)及廠外輻射劑量的計算等，都獲得 RMA 公司正面的肯定與未來合作發展的意願。以下主要是針對 SIM 1.1 版新增功能作一詳細說明：

1. ActiveChart: 可以將 EOP 流程圖以圖形螢幕方式呈現，在事故的模擬時，可用手

動或自動的方式執行 EOP 流程圖，ActiveChart 可紀錄 EOP 執行的過程及採取的步驟，適用於電廠人員的訓練與核安演習，目前瑞典 OKG 電廠已採用 ActiveChart 進行電廠人員的訓練，ActiveChart 的範例流程圖可參考附錄的圖七及圖八(由 RMA 公司提供)。

2. Electrical Modules: 可將電廠電源以圖形螢幕方式呈現，Electrical Modules 啓動時，會將系統與所需電源連結，在模擬事故時可手動連結或切斷系統的電源，使得系統在事故中切換為可用或不可用，適合作為事故電力系統可用性的分析及 PRA(Probability Risk Assessment)的應用，Electrical Modules 的範例 Screen 可參考附錄的圖九(由 RMA 公司提供)。
3. ATWS Package: 可較準確計算出 ATWS 時的爐心功率，主要是一般的嚴重事故程式(MELCOR、MAAP)都使用 Chexal-Layman Correlation 計算 ATWS 時的爐心功率，而 Chexal-Layman Correlation 並未考慮爐心冷卻水進口的次冷度(Subcooling)，RMA 公司的 ATWS Packages 則將對 Chexal-Layman Correlation 作一修正，考慮爐心冷卻水進口的次冷度，因此可計算出較準確的爐心功率，ATWS Packages 的案例分析可參考附錄的圖十(由 RMA 公司提供)。
4. 訓練用模擬器(Training Simulator): SIM 可透過網路將重要的參數傳送到網路上的其他電腦，也可透過網路將指令傳給 SIM，因此可將 SIM 設定為訓練用模擬器，應用到電廠人員的訓練及提供資訊給技術支援中心(TSC)，訓練用模擬器的應用範例可參考附錄的圖十一(由 RMA 公司提供)。

三、心得

此次國外實習的心得有以下幾點：

3.1 在建立核二廠 MAAP5-SIM 程式方面：

1. RMA 公司在嚴重事故分析與軟體開發已有多年的經驗，該公司能針對業界的需要不斷發展新的產品，並能順利推廣到電廠使用，該公司的研發能力及產品的推廣非常值得國內學習。
2. 實習期間王員與 RMA 公司充分溝通，並獲得 RMA 公司全力支援，所以王員

能在短時間內學會建立圖形展示螢幕的能力，對未來核二廠圖形展示螢幕的修正及核一、三圖形展示螢幕的建立會有很大的幫助。

3. 王員在實習期間會將使用程式的問題及需要改進的地方告知該公司，該公司一旦發現程式有問題或需要改進，就能立即修正或改進程式，對該公司的研發效率留下深刻的印象。
4. 此次到 RMA 公司實習，能充分了解美國在嚴重事故分析與展示軟體的發展現況，並建立與 RMA 公司溝通管道，對問題的解決與經驗的交流很有幫助，帶回的資料也非常值得國內相關單位參考。

3.2 在 SIM 1.1 版新增功能方面：

1. ActiveChart 為 SIM 1.1 版的主要新增功能，瑞典 OKG 電廠已使用 ActiveChart 進行電廠人員的訓練，可考量國內的人力與市場，引進 ActiveChart 軟體到國內並推廣到電廠。
2. 新增 Electrical Modules 可進行電廠電力系統的分析，這是許多嚴重事故程式沒有的功能，國內以往較缺乏此類的分析經驗與能力，值得國內與 RMA 公司合作並引進國內推廣。
3. 一般嚴重事故分析程式使用都使用 Chexal-Layman Correlation 計算 ATWS 時的爐心功率，而並未考慮爐心冷卻水進口的次冷度及溫度回饋(Feedback)的效應，RMA 公司發展的 ATWS Packages 則考慮到爐心冷卻水進口的次冷度，而能較精確計算出 ATWS 時的爐心功率，94 年核安一號演習即為 ATWS 事故，RMA 公司的 ATWS Packages 也值得引進國內，對國內 ATWS 事件的分析很有幫助。
4. 到 RMA 公司實習後，對該公司在嚴重事故的分析及應用軟體發展上的努力留下深刻的印象，非常值得國內學習及參考。

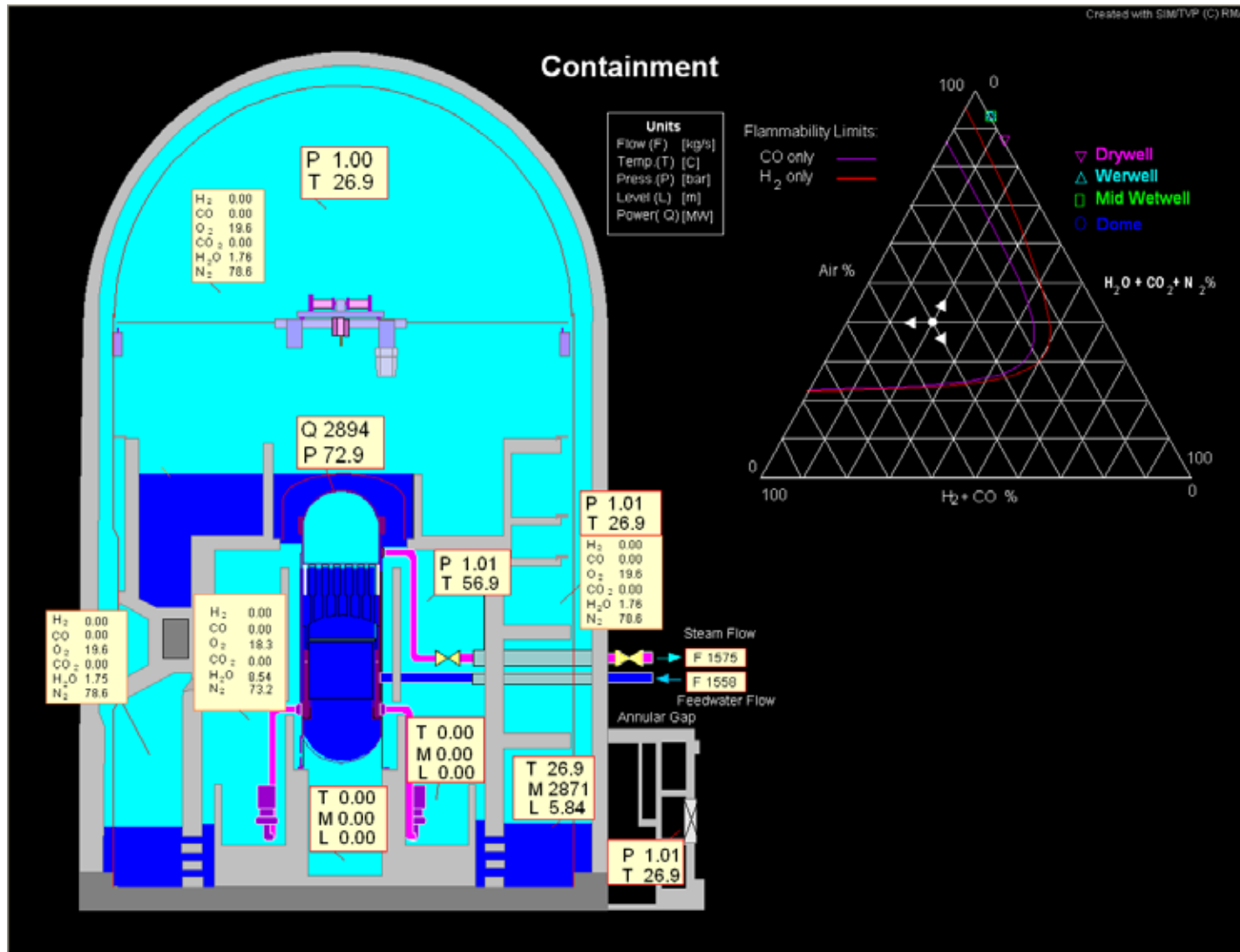
圖形展示系統與事故後段處理軟體的開發需要投入相當的人力與時間，尤其需要資訊相關人員的參與，本所目前在嚴重事故投入的人力相當有限，且著重於緊急操作程序書(EOP)與嚴重事故處理指引(SAMG)的驗證，本所是否要投入圖形展示系統與事故後段處理軟體核心技術的開發，需考量市場(電廠)的需求、RMA 公司產品的價格及人員的擴編。本次實習後應積極與電廠討論溝通圖形展示系統與後段處理軟體應用的可行性，如能獲得電廠正面的回應與後續委託計畫的執行，並獲得本所上級長官的支持與人員的擴編，本所應

可投入相關核心技術的開發，可防止 RMA 公司的市場壟斷與價格的哄抬，目前 RMA 公司的產品都採取每年簽約出租，使用者必須每年支付產品的租金，以 SIM 程式而言每年租金為美金 4800 元、TVP 租金為美金 4800 元、GRAPHMAN 租金為美金 4800 元，若國內有長期的市場需求，應值得本所投入相關核心技術的開發研究。

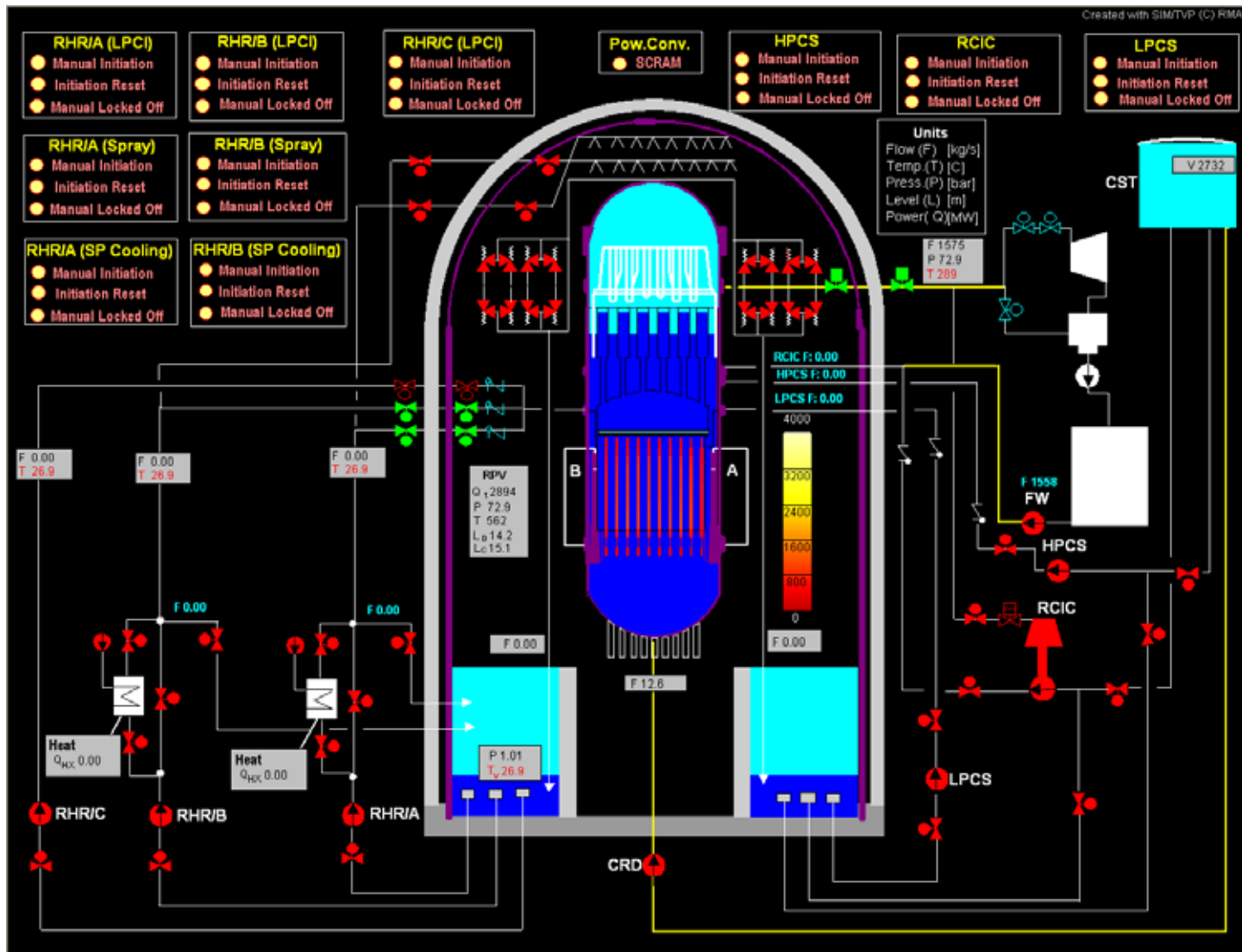
四、 建議

1. 國內已完成三座核能電廠嚴重事故處理指引(SAMG)的建立，並完成 MAAP5 程式輸入資料檔的建立，目前也完成核二廠 MAAP5-SIM 程式的建立，考量國內的人力與市場，可引進新版 SBuild 軟體，繼續完成核一、三廠 MAAP5-SIM 程式的建立，將以上三個分析工具應用在嚴重事故序列的分析與國內三座核能電廠嚴重事故處理指引的驗證。
2. 美國 RMA 公司在嚴重事故分析及圖形展示軟體上具有多年的研發經驗，可與 RMA 公司合作發展相關應用軟體(如與電廠 SPDS 連結軟體及 SIM 廠內外劑量的展示)，並可邀請 RMA 公司相關人員來所舉研討會，對經驗的交流與問題的解決很有幫助。
3. 可引進 RMA 公司 SIM 1.1 版軟體，擴大嚴重事故程式應用的範圍，並推廣到電廠人員的訓練及緊急計畫的演練上，對電廠運轉安全的提升有很大的幫助，值得國內投入相關的研究。

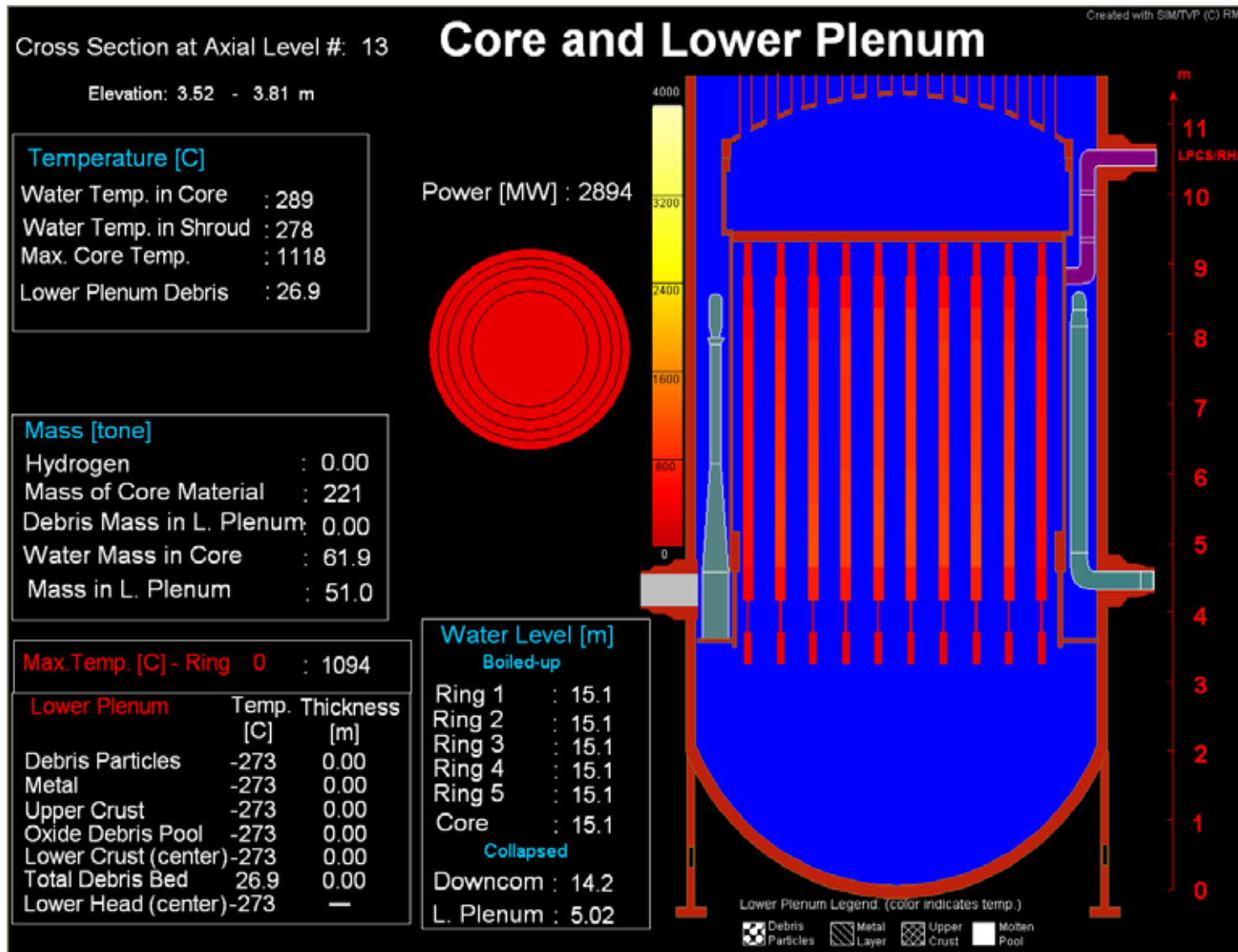
五、附錄



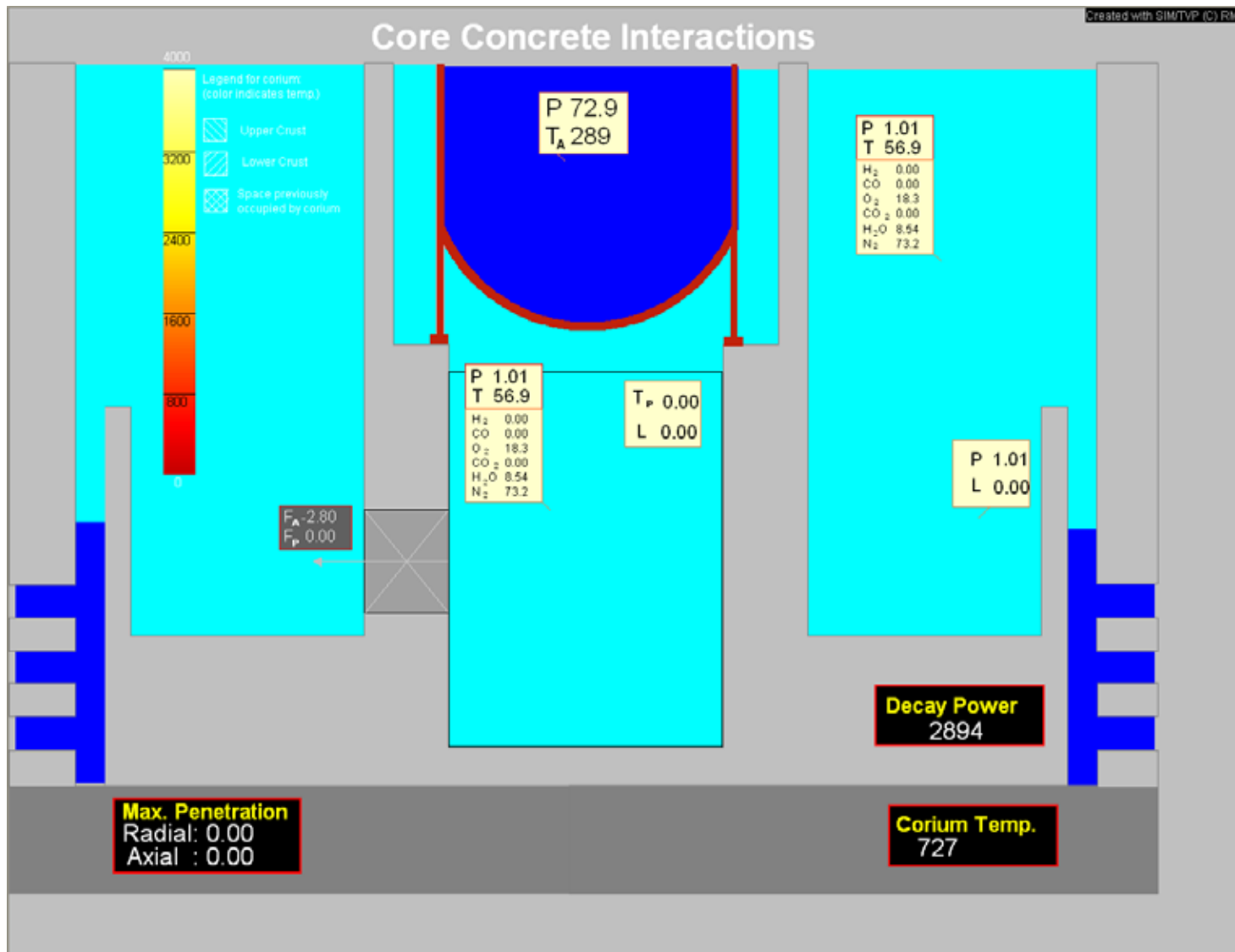
圖一：核二廠 MAAP5 圍阻體展示螢幕



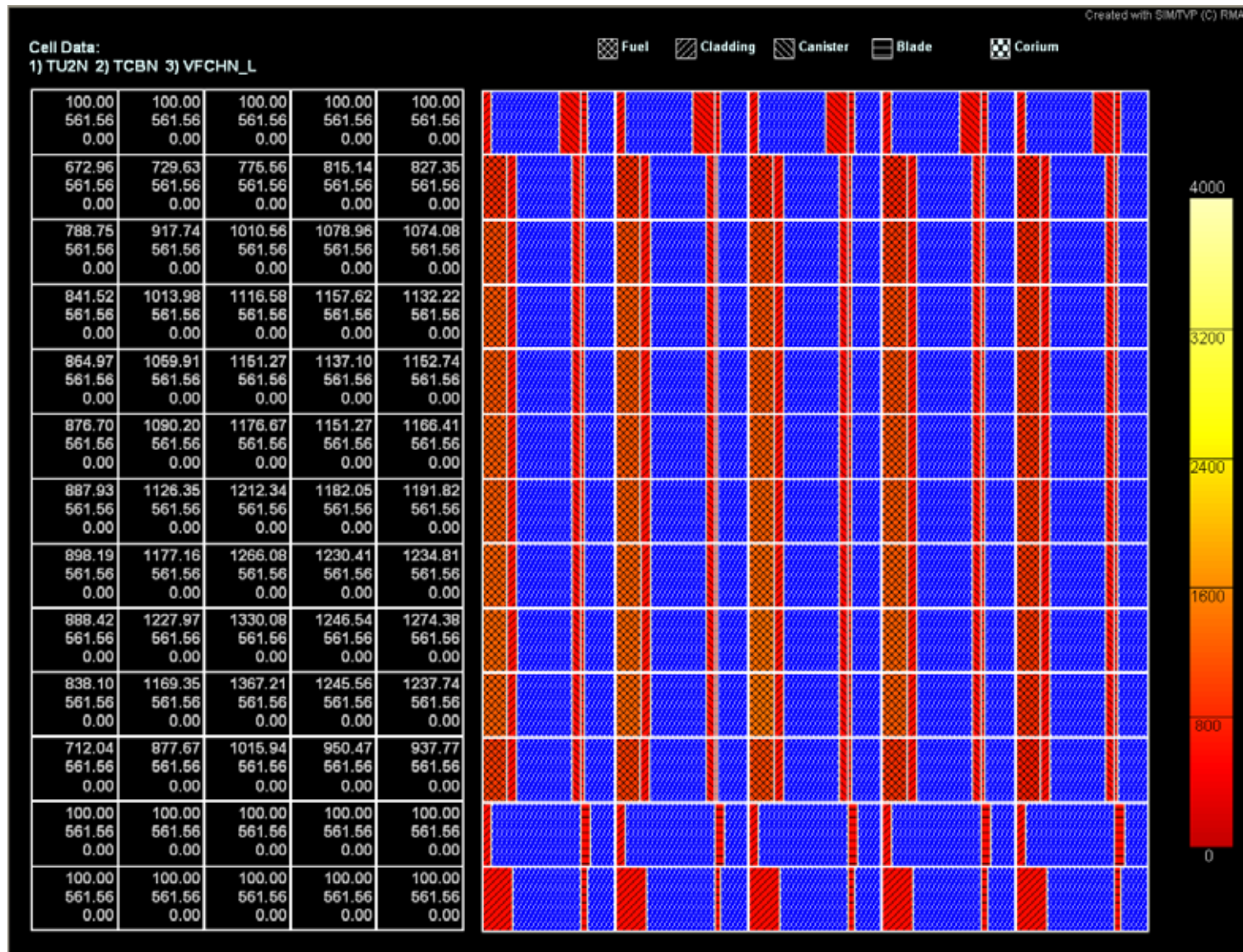
圖二：核二廠 MAAP5 系統展示螢幕



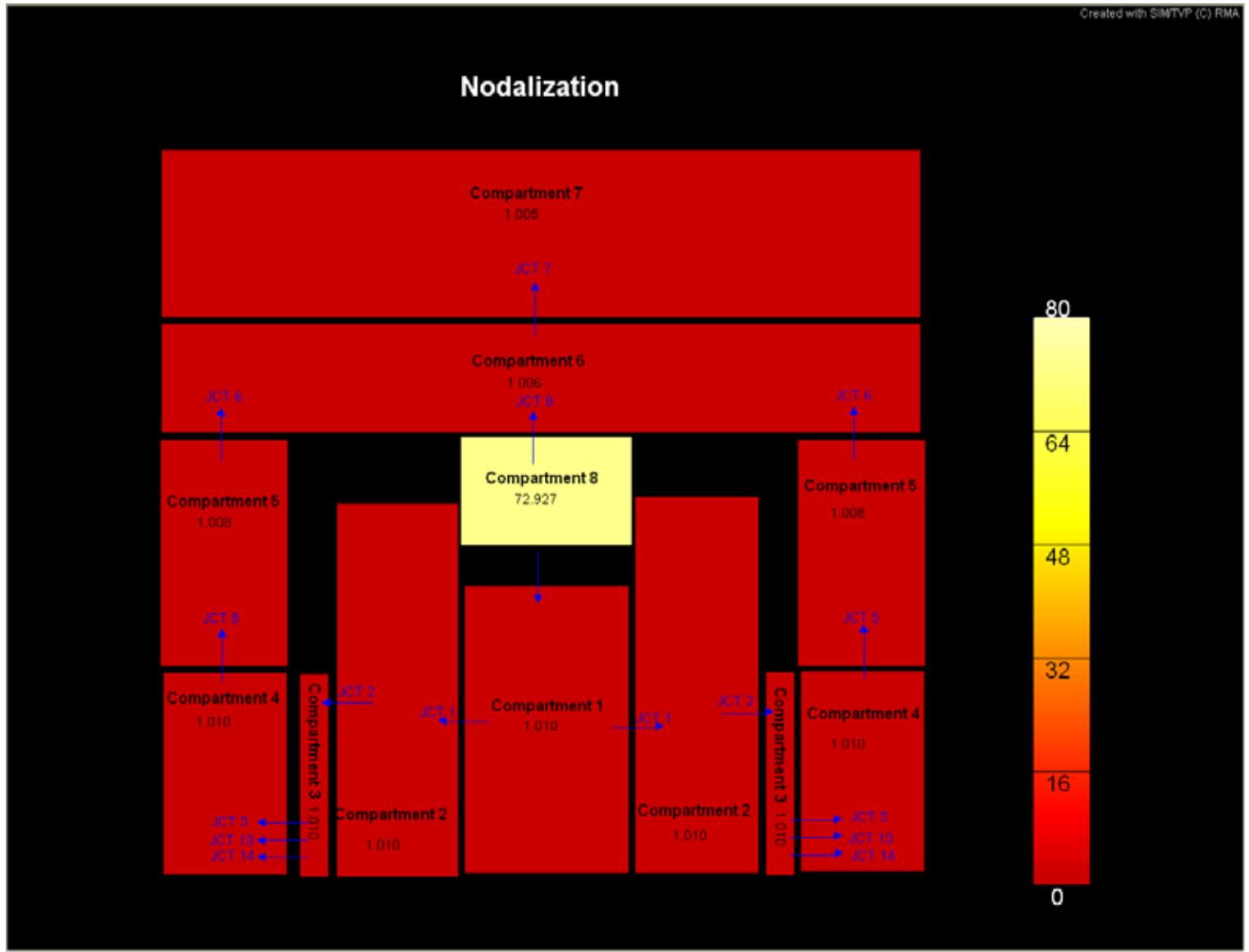
圖三: 核二廠 MAAP5 壓力槽展示螢幕



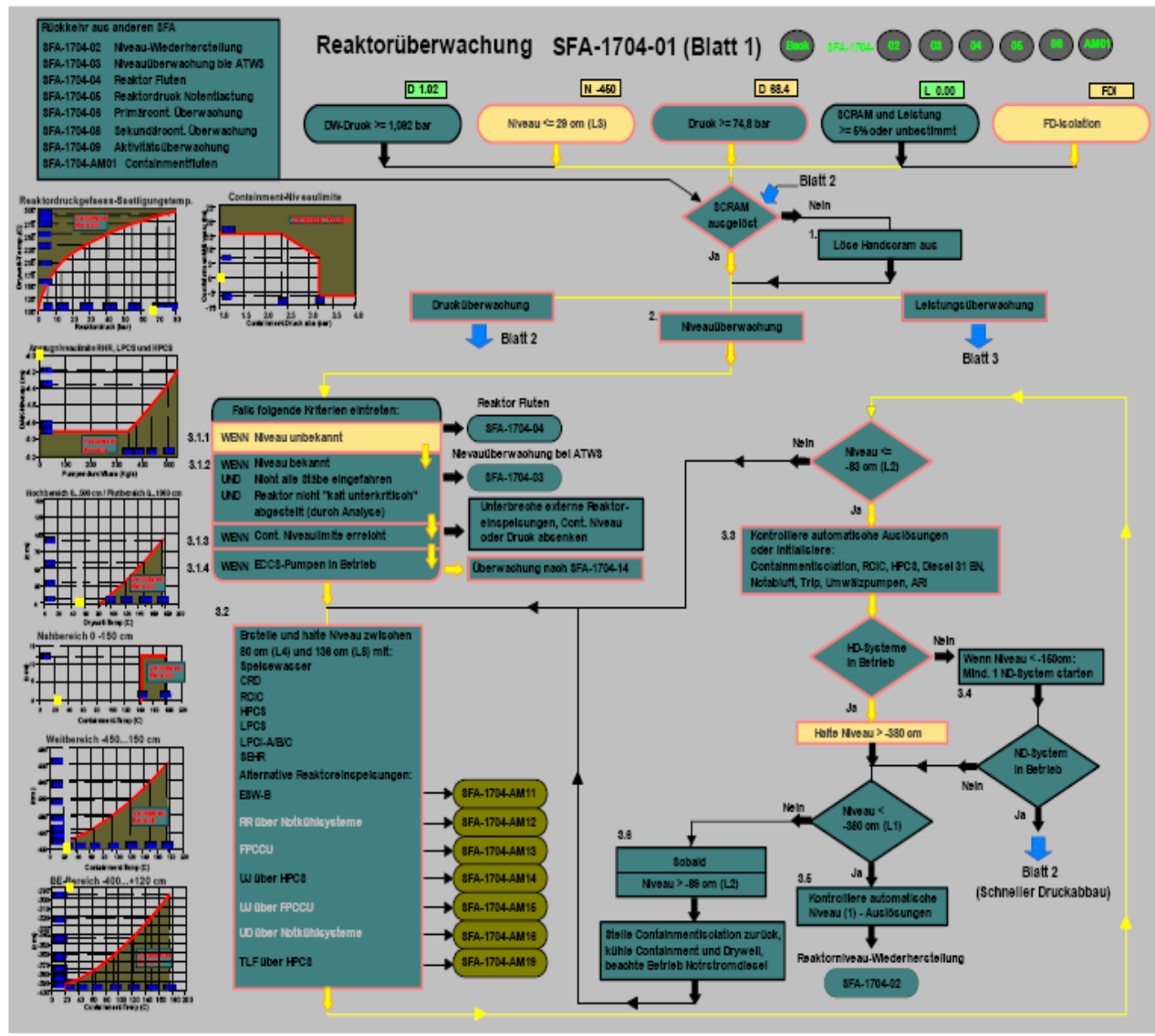
圖四: 核二廠 MAAP5 爐穴展示螢幕



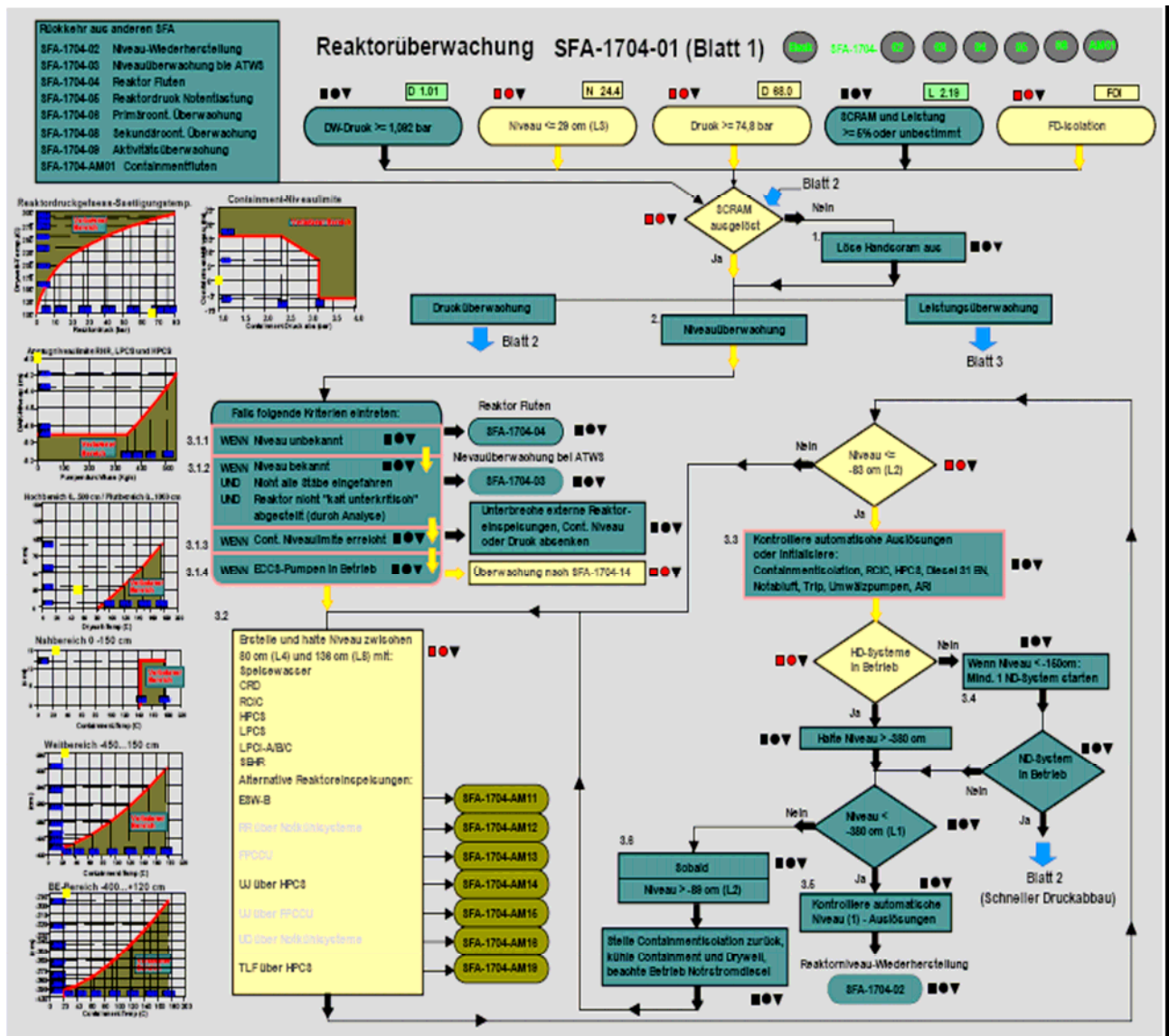
圖五: 核二廠 MAAP5 爐心展示螢幕



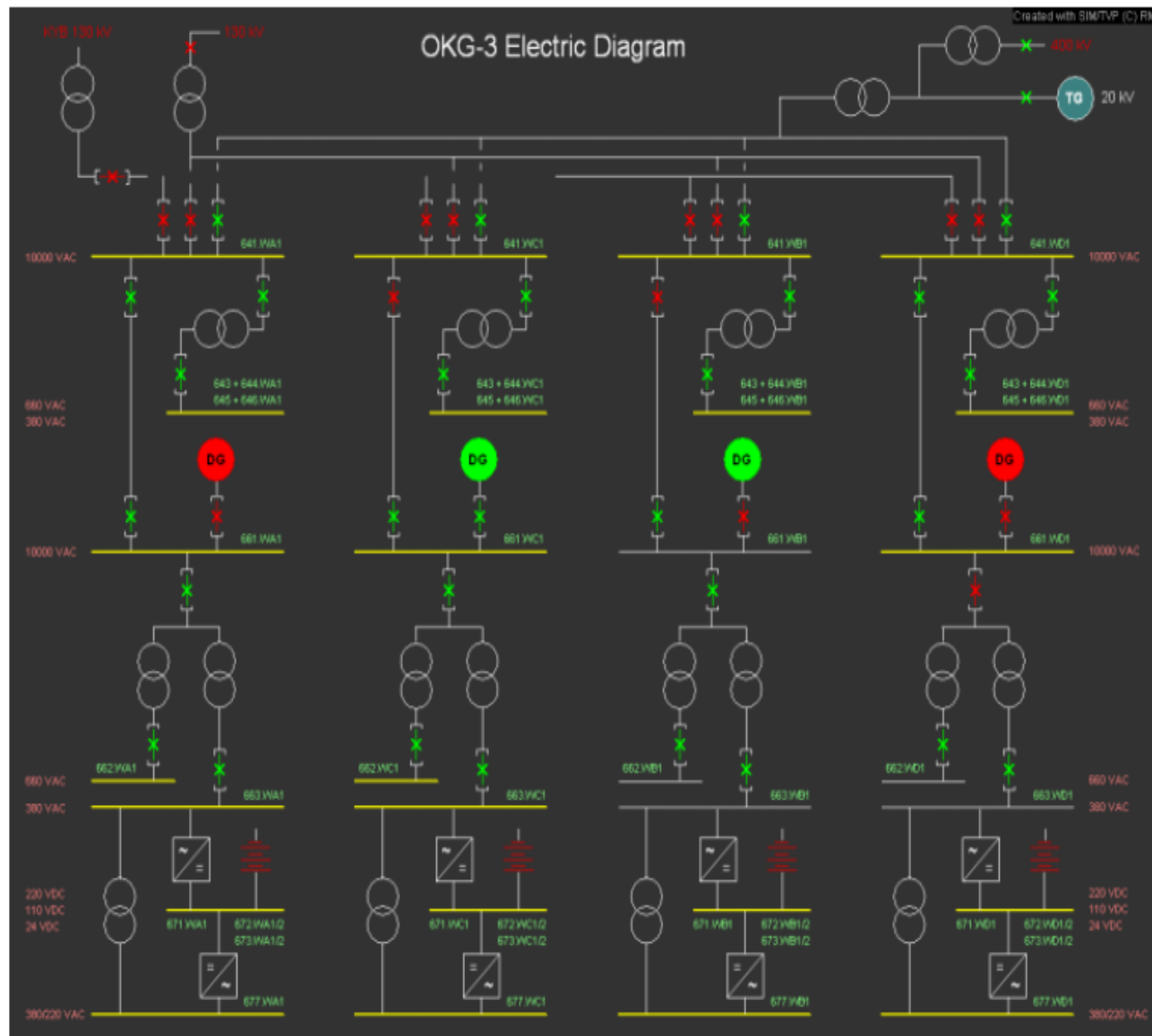
圖六: 核二廠 MAAP5 圍阻體節點展示螢幕



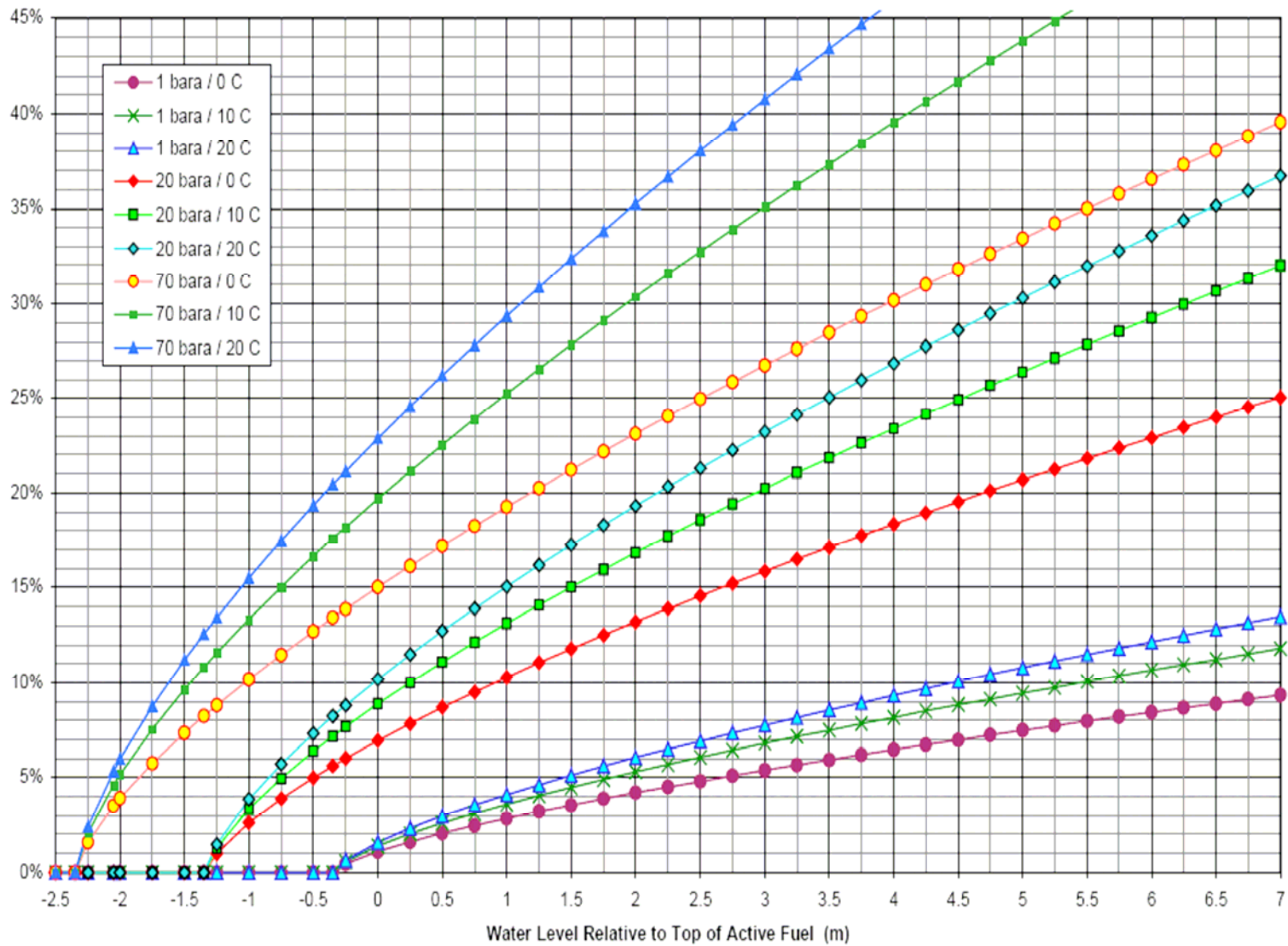
圖七: ActiveChart 的範例流程圖(自動)



圖八: ActiveChart 的範例流程圖(手動)

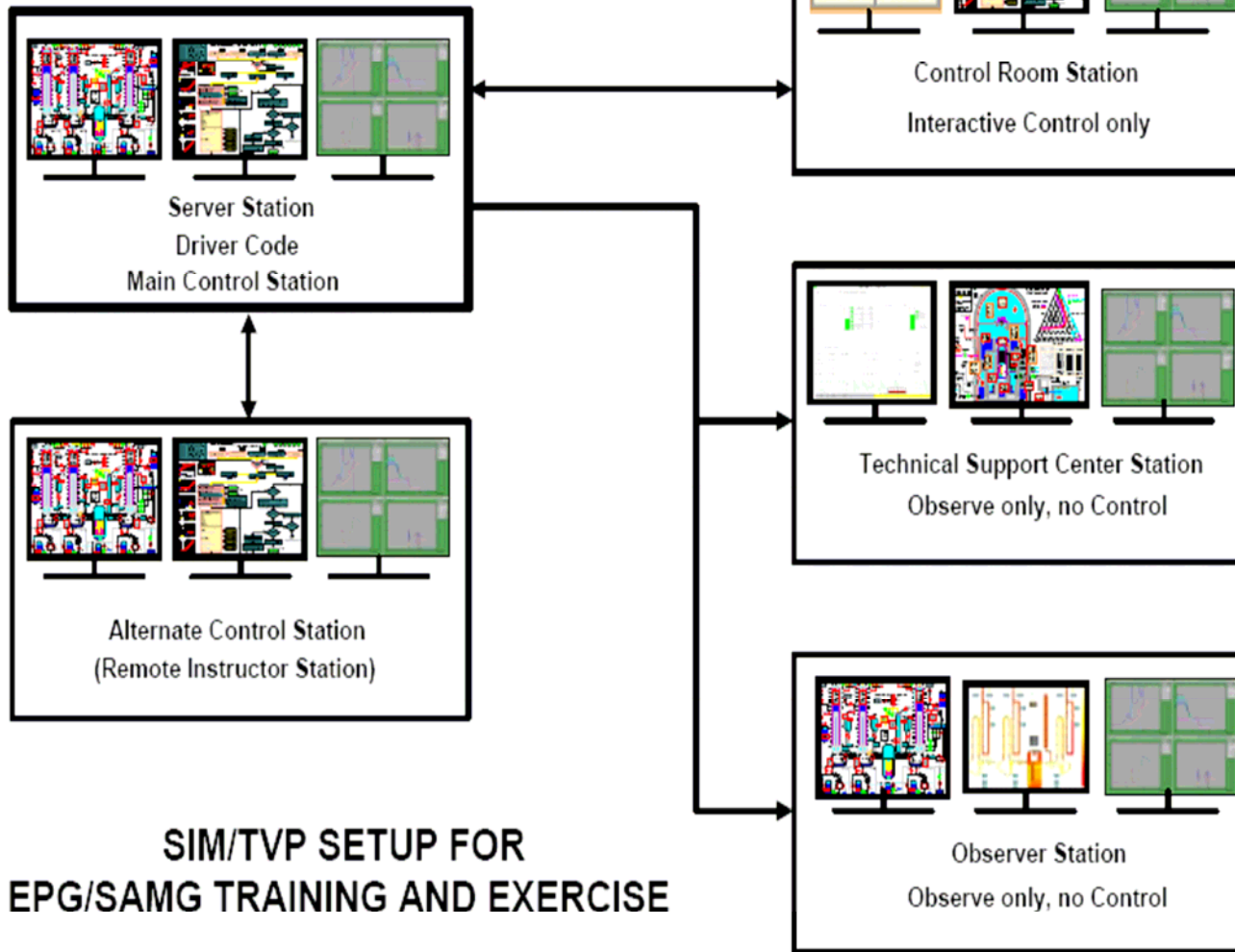


圖九: Electrical Modules 的範例螢幕



圖十: ATWS Packages 案例分析

MULTI-STATION TRAINING SETUP



圖十一：訓練用模擬器範例說明

到美國 RMA 公司實習資料。

1. A. Torri, U. Luettringhaus, V. Pokorny “Screen Builder User Guides” RMA, January, 2005
2. A. Torri, U. Luettringhaus, V. Pokorny “SIM User Guides” RMA, January, 2005
3. A. Torri, U. Luettringhaus, V. Pokorny “SIM 1.1 Improvement Features” RMA, January, 2006