

## 太平洋沿岸國의 原子力 技術基準 展望

Norman W. Edwards

本 論文은 지난 4月 11일 美國原子力學會(ANS) 韓國支部의 月例技術討論會에서 「The Future Outlook for Consistencies in Pacific Basin Codes and Standards」라는 題目으로 행한 特別講演文을 번역한 것이다.



Norman W. Edwards  
(Nutech International社 社長)

韓國은 太平洋沿岸地域에서 가장 意慾인 原子力發電計劃을 가지고 있으며, 國土의 面積을 감안한다면 실로 全世界에서 가장 意慾이라고 말할 수도 있다. 그렇다면 原子力發電所의 設計, 建設, 檢査 및 運轉에 걸친 全過程에 指針이 되는 韓國 自體의 技術基準(Codes and Standards)을 開發할 時點이 가까와졌다고 할 수 있겠느냐는 質問이 나오겠지만, 이 글의 목적은 거기에 대한 答변을 하고자 하는 것은 아니며, 그러나 決定이 내려졌다는 假定아래 韓國이 어떻게 하면 그러한 技術基準을 開發할 수 있겠느냐에 대한 약간의 參考와 나름대로의 洞察한 結果를 提示코자 한다.

우선 지금까지 韓國의 原子力産業에 影響을

주어 온 몇몇 國家들의 技術基準制度의 構造와 인접 國家들의 接近樣態를 概觀코자 한다. 다음은 太平洋沿岸國原子力協力委員會(PBNCC : 1985년 서울에서 開催된 第5次 PBNCC를 契機로 結成됨—譯者註)에 의하여 現在 推進되고 있는 事業중의 하나를 說明하고, 끝으로 韓國이 自體의 技術基準開發에 착수하는 경우 이러한 PBNCC의 노력이 韓國에 어떻게 도움이 되겠느냐에 관한 提言을 하고자 한다.

### 美國의 原子力規制構造

韓國의 原子力産業은 現在까지 美國의 技術과 經驗에 크게 依存하여 왔기 때문에 美國의 原子力規制 構造를 우선 간략하게 검토하는 것이 도움이 된다.

美國의 原子力産業에 대한 최종적인 規制의 權限은 聯邦政府에 있다. 즉, 原子力規制委員會(NRC)이다. 간단히 말하여 NRC의 任務는 民間産業界가 10 CFR(Title 10, Code of Federal Regulations)이라고 알려진 法規의 該當事項을 遵守토록 하는 것이다. 이 10 CFR에 따라 부여된 權限에 依據하여 NRC는 具體的 要件을 수록한 標準評價基準(Standard Review Plan)과 몇개의

規制指針書(Regulatory Guides and NUREGs)를 制定하였다. 이러한 文書들 중에서 重要的 몇 개를 列擧하면 다음과 같다.

- Seismic Design Response Spectra
- Seismic Design Classification
- Design Bases Tornado
- Flood Protection
- Ultimate Heat Sink
- Shared Emergency and Shutdown Electrical Systems
- Fire Protection Guidelines
- Design Guidance for Residual Heat Removal
- Spent Fuel Storage Facility Design Bases
- Pre-operational Testing of Instrument Air

上記한 文書들은 電力會社에 發給하는 認可의 條件으로서 要求된다. 또한 各種의 規程들은 A SME, ASTM, ACI, IEEE, ASCE, ANSI 등과 같은 各種의 協會나 專門家 團體가 發行하는 技術基準의 準守를 要件으로 한다. 따라서 美國의 原子力發電事業을 規制하는 法律은 理論上으로는 單一하다고 할 수 있으나, 現實으로는 各種의 機構와 團體들이 制定한 수백여종의 個別 文書들이 原電의 設計, 建設 및 運轉을 規制한다.

### 캐나다의 技術基準構造

韓國의 原電 3號機는 CANDU 시스템으로 되어 있기 때문에 캐나다 技術基準의 構造를 간략하게 검토하여 보기로 한다.

캐나다에서는 原子力發電所들을 캐나다 國家標準(National Standards of Canada)에 의거하여 수립한 要件에 맞추어 設計, 建設 및 運轉한다. 이 國家標準은 캐나다 議會가 制定한 法令에 의해 1970년에 創設된 캐나다 標準委員會(Standards Council of Canada)에 의하여 作成되었다.

이 委員會는 委員會가 認定하는 標準作成, 試驗 및 認證 分野의 自律 機構와 團體들의 聯合體인 National Standards System의 核心的 役割

을 한다.

原電에 있어서의 캐나다標準協會(CSA: Canadian Standards Association)의 活動은 지난 10년 동안 급속한 발전을 하여왔으며 CANDU 시스템 적용의 확대를 반영하여 주고있다. 現在까지 20여종이 넘는 原子力標準이 制定되었으며, 이와 비슷한 숫자가 追加로 개발중이거나 계획중에 있다. 最近의 標準시리즈들을 例示하면 다음과 같다.

- N285- CANDU Nuclear Power Plant Systems and Components
  - N286- Overall Quality Assurance for Nuclear Power Plants
  - N287- Concrete Containment Structures for Nuclear Plants
  - N288- Environmental Radiation Protection
  - N289- Seismic Design
  - N290- Reactor Control Systems, Safety Systems and Instrumentation for Nuclear Power Plants
  - N291- Safety Related Concrete Structures
  - N292- Radioactive Waste Management
  - N293- Fire Protection
  - N299- Quality Assurance for Manufacturing
- 事實上 앞에 열거한 標準시리즈는 各各 主題別로 다시 細部事項을 취급한 여러 개의 文書들로 構成되어 있다. 例를 들면, 耐震設計에 관한 N289시리즈는 地動測定(Ground Motion Determination), 設計節次, 試驗節次 등과 細部 主題들을 다룬 別個의 文書들로 構成되어 있다.

### 일본의 規制法律構造

韓國의 近接國인 日本의 경우를 보면 原子力發電所를 規制하는 法律의 構造는 세 개의 基本法律로 되어 있다. 즉 原子力基本法(Atomic Energy Basic Law), 電氣事業法 및 原子爐規制法이다.

이들 法律에 의하여 수립된 基本要件은 一連의 條例와 告示를 통하여 具體化된다. 電氣事業法에 의거한 條例와 告示중 4個를 소개하면 다음과 같다.

- MITI Ordinance 62, Code of Nuclear Power Plant Facilities
- MITI Ordinance 63, Code of Nuclear Power Plant Fuel
- MITI Ordinance 81, Code of Welding for Electrical Facilities
- MITI Notification 501, Code of Structures for Nuclear Power Plant Facilities

이러한 文書들은 다시 日本電氣協會, 日本電氣製作協會 등과 같은 團體들이 制定한 各種의 指針과 標準의 準守를 提示하고 있다.

### 臺灣의 法律構造

臺灣의 경우 基本이 되는 法律은 1968년에 制定되고 1971년에 立法院에 의해 改正된 原子能法이다. 이 原子能法을 시행하기 위하여 行政院은 原子能法 細部施行規則을 1976년에 制定하고, 1981년에 改正하였다. 그 內容은 中華民國原子能委員會라고 칭하는 行政機構를 設定하고 있다. 同委員會는 美國 NRC의 規制指針과 같은 文書を 發行하지는 않지만, 重要한 安全事項에 관하여는 臺灣電力公社(Taiwan Power Company)에 訓令(Orders)을 示達한다. 대만에 있는 原子力發電所의 設計, 建設, 運轉에 관한 基準의 大部分은 NRC規制指針과 ASME나 IEEE 등에서 制定한 美國의 技術基準에 따르고 있다. 현재까지 대만의 原子力發電所 核蒸氣供給系統(NSSS)과 主要 엔지니어링이 美國의 業體들에 의하여 提供되어 왔다는 사실을 감안하면 이러한 현상은 극히 당연한 것이다.

### 韓國의 技術基準現況

韓國의 경우는 현재까지로는 몇가지 면에서

臺灣과 유사하다. 앞으로는 機資材의 대부분을 국내에서 設計하고 製作할 계획이지만 NSSS와 主要 엔지니어링 用役은 지금까지는 外國會社들이 提供하여 왔다. 原電 1, 2號機, 5, 6號機 및 7, 8號機의 NSSS는 美國會社의 設計이며, 原電 3號機는 天然우라늄을 사용하는 캐나다의 CANDU型이다. 그러나 原電 9, 10號機는 프랑스會社가 供給하였다.

以上の 모든 경우에서 基本設計와 建設을 위한 技術基準은 該當 NSSS를 공급하는 國家의 의 것을 使用하여 왔다. 이러한 경험은 予見할 수 있는 바와 같이 韓國의 原子力産業 종사자들에게 重要한 教育的 기회를 부여하여 왔으며, 사실상 유일한 합리적 선택이었다.

### WGCS의 役割

太平洋沿國原子力協力委員會(PBNCC)의 技術基準分科委員會(Working Group on Codes and Standards)는 PBNCC 參與國家들 간의 技術基準의 相通性을 고취하는 課題를 맡았다. 同分科委(WGCS) 構成員들의 대체적인 所見은 비록 원자력발전소의 設計, 建設, 運轉을 規制하는 基準을 定하는 文書들이 國家別로 다르게 構成되어 있기는 하지만, 根本的인 要件은 현저하게 相異하지는 않다는 것이다. 이러한 要件들이 다소 用語上的 차이가 있거나 어느 정도는 別個의 조처를 필요로 할 수도 있겠지만, 한 나라에서의 要件을 充足시킬 수 있는 것은 餘他的 모든 PBNCC 參與國家들에게도 비슷하게 要件을 충족시킬 수 있지 않느냐는 것이다. 특히 機資材에 있어서 는 더욱 可能하리라고 느껴진다.

以上の 근거에 입각하여 PBNCC는 WGCS의 課題記述文(Statement of Mission)을 다음과 같이 채택하였다.

“太平洋沿岸地域의 商業用 原子力發電所의 機器, 系統 및 構造物의 設計, 製作, 建設, 試驗, 運轉 및 補修에 있어서 適當히 相通하는 基準을

使用할 것을 勸奨함으로써 첫째 安全基準의 相應性を 촉진하고, 둘째 PBNCC 當事國들 사이에 交易을 증진시키며, 셋째 製作, 建設, 試驗, 運轉, 補修의 經費를 節減하며, 넷째로 備蓄部品の 共同使用을 촉진시킨다.”

앞에서 “適當히(Reasonably)” 相通하는(Consistent) 基準을 使用할 것을 “勸奨(Encourage)” 한다는 表現에 注目할 필요가 있다. 즉, 모든 國家의 모든 基準들이 相互一致되는 것을 期待하는 것은 아니다. 國家들이 別個의 技術基準을 가지고 있는 現實속에서도 地域內 國家들의 相互通用은 계속 增進시켜 나가자는 것이 WGCS의 目的인 것이다.

上記 WGCS의 構成員들의 信念은 地域內 各國이 수립한 技術基準의 根低를 검토하여 보면 그 基本은 國家別로 重大한 差異는 없다는 것이다.

이러한 確信은 특히 機資材(Hardware)에 관한 要件에서 더욱 分明하다. 部品에 關한 한 國家의 特定 技術基準이 餘他 國家들의 것과 懸殊하

게 相異한 경우는 技術協議를 통하여 修正補完될 수도 있을 것이다.

WGCS가 그 任務를 達成하기 위하여는 우선 機資材에 관한 各種 技術基準의 根本要件은 類似하다는 信念을 確認하는 作業부터 착수해야 한다. 또한 根本要件이 懸殊하게 相異한 分野를 밝혀내는 努力도 하여야 할 것이다. 여기서 注目할 것은 上記 課題記述文은 機資材에만 해당한다는 것이 아니고, 機資材 분야가 가장 빠른 結果를 얻을 수 있으며 運轉 및 補修 등의 分野에도 본보기가 되어 줄 수 있다는 뜻이다.

이 WGCS의 構成員들은 모두 엔지니어들이다. 따라서 자연스럽게도 自己들의 作業에 「매트릭스」를 使用하여 보았다. 즉, 原子爐壓力容器나 非常除熱系統(Emergency Heat Removal System)과 같은 原子力發電所의 各種 機器를 設計, 製作, 建設, 試運轉의 過程에서 이루어지는 機能的 活動에 對置시킨 「매트릭스」를 構成하여 보는 것이다. 이 「매트릭스」는 WGCS가 여러 國家들의 技術基準들이 根本的으로는 同一한 要件

〈도표 1〉 PBNCC CODES AND STANDARDS MATRIX

FUNCTIONAL ACTIVITIES EQUIPMENT COMPONENTS & SYSTEMS	NUCLEAR FUEL ASSEMBLIES	REACTOR VESSEL	PRIMARY CONTAINMENT	SECONDARY CONTAINMENT	PRIMARY COOLANT SYSTEMS	SECONDARY PIPING SYSTEMS	...ETC...	...ETC...	...ETC...
DESIGN BASES... CRITERIA									
DESIGN BASES... ANALYTICAL METHODS									
MATERIALS									
SHOP FABRICATION... PROCEDURES									
...ETC...									
...ETC...									

을提示하는分野를 정리하는 데이터 베이스를 수립하고 또한 技術基準이 현저하게 相異한分野를 規明하기 위해 WGCS가 考案한 技法이다.

도표 1 은 WGCS가 최초로 만든 「매트릭스」로서 橫軸에는 發電所의 主要機器와 그 部品들이 나열된다. 이들 主要機器들로서 例示된 것은 다음과 같다.

- Nuclear Fuel Assemblies
- Reactor Vessel
- Primary Containment
- Secondary Containment
- Primary Coolant Systems
- Secondary Piping Systems
- Isolation Valves
- Pressure Relief Devices
- Pressurizers
- Steam Turbine and Generator
- Electrical Cabling
- Instrumentation
- Controls
- Control Room Equipment
- Balance of Plant Structures
- Foundations

○ Emergency Support Systems

다음은 橫軸의 各項目을 더욱 細分하여 보았다. 예를 들면, Secondary Piping System은 다음과 같이 細分될 수 있다.

- Piping
- Pumps
- Valves
- Supports

이 「매트릭스」의 縱軸에는 設計, 製作, 建設, 試驗, 運轉 및 補修와 관련된 機能의 活動의 項目들이 열거되었다. 이들을 例示하면 다음과 같다.

- Design Bases - Criteria
- Design Bases - Analytical Methods
- Materials
- Shop Fabrication - Procedures
- Shop Fabrication - Testing
- Shipping
- Field Installation
- Field Testing
- Operations / Maintenance

앞에서 “Shop Fabrication - Procedures”는 다음과 같이 細分될 수 있다.

Shop Fabrication - Procedures

〈도표 2〉 EXAMPLE OF HEIRARCHY OF CODES AND STANDARDS

EQUIPMENT, COMPONENTS, & SYSTEMS FUNCTIONAL ACTIVITIES	NUCLEAR STEAM SUPPLY SYSTEM PRESSURE BOUNDARY COMPONENTS	INSTRUMENTATION AND CONTROLS SYSTEMS	BALANCE OF PLANT STRUCTURES	...ETC...
DESIGN CRITERIA				
MATERIALS	(SEE FIGURE 3)			
INSERVICE INSPECTION				
...ETC...				

- Cleaning
- Fit - up
- Fastening
- Forming / Shaping
- Handling
- Welding
- Tolerances

以上은 WGCS가 一次的으로 고려했던 項目들로서 이것을 보다 더 細分化할 것을 주장하는 사람들도 있다. 실제로 美國에서 增殖爐에 적용할 基準을 연구하는 사람들 중에는 橫軸과 縱軸에 共히 보다 많은 項目을 포함시킬 것을 提案하였다. 그런가 하면 上記 例示된 項目이 너무 細分化되었다는 意見을 가지고 있는 사람들도 있다.

WGCS의 現在의 立場은 後者의 見解와 一致한다. 즉 별로 많은 노력을 들이지 않고도 有用한 比較작업이 가능토록 「매트릭스」의 構成이 간략해야 한다는 것이다. 도표 2, 3, 4와 같이 「매트릭스」를 階層化함으로써 보다 효율적으로 할 수 있을 것이다.

도표 2, 3, 4에서 든 例는 프랑스의 RCCM과 美國의 ASME Code에 맞추어 수립한 증기발생

“실제로 美國에서 增殖爐에 적용할 基準을 연구하는 사람들 중에는 橫軸과 縱軸에 共히 보다 많은 項目을 포함시킬 것을 提案하였다.”

기 資材의 要件들을 比較하는데 적용하여 본 「매트릭스」이다. 이것은 PBNCC 會員國에서 建設되어 稼動되고 있는 여러 原子力發電所에 적용하는 각종 技術基準들 사이의 共通點과 相異點의 정도를 이해하는데 필요한 比較項目의 細分化 정도를 例示하여 본 것이다. 앞서 말한 바와 같이 WGCS가 그 任務를 실제로 達成하기 위해서는 구체적인 事項을 파악할 必要가 있다. 도표4를 보면 알 수 있듯이, 要件의 相異點과 共通點이 分明하여 지는 정도까지 細分化를 해야 하는 것이다.

太平洋沿岸國原子力協力委員會(PBNCC)의 技術基準分科委員會(WGCS)의 活動을 이렇게 仔細히 說明하는 理由는 韓國이 어떻게 自體의 國家技術基準을 開發하느냐에 대한 提議와 직접적으로 관계가 있기 때문이다. 만약 WGCS의 생각이 맞는다면 現在까지 韓國의 原子力發電所에

〈도표 3〉 NUCLEAR STEAM SUPPLY SYSTEM PRESSURE BOUNDARY COMPONENTS

EQUIPMENT, COMPONENTS, & SYSTEMS FUNCTIONAL ACTIVITIES	REACTOR VESSEL	PIPING	PUMPS	VALVES	STEAM GENERATOR	COMPONENT SUPPORTS	...ETC...	...ETC...
DESIGN CRITERIA								
MATERIALS					(SEE FIG. 4)			
INSERVICE INSPECTION								
...ETC...								

적용하여 온 基準들의 大部分을 包容하는 一聯의 原則들을 찾아낼 수 있을 것이다. 사실상 도표 4의 「매트릭스」는 PBNCC의 WGCS에 參與하고 있는 韓國代表중의 한 名(韓國重工業 權中圭理事—譯者註)이 作成한 여러개의 「매트릭스」중의 하나인 것이다. 原子力 9, 10號機의 工事が 進行되어 감에 따라 美國의 ASME Code와 프랑스 RCC - M Code의 要件들이 어떻게 相異한가를 파악할 必要가 생겼다. 이러한 노력이 이미 韓國의 原子力産業內에서 進行되고 있기 때문에 이 훌륭한 作業의 結果를 有益하게 活用해야 함은 妥當한 일이다.

### 끝으로

끝으로 筆者의 私見을 하나 더 밝히고자 한다. 技術基準을 開發하는데 필요한 努力의 規模에 관한 問題로서, 原子力産業에 종사하는 사람들은 技術基準에 對하여 “大規模”委員會에 依해 作成된 “龐大한” 文書를 期待하기 쉽다. 筆者의 所見으로는 基準의 必需的 內容들은 簡明하고 條理一貫하게 技術要件들을 記述하는데 현신적인 小數의 眞正한 專門家들이 作成한다면 보다 能率的으로 作成될 수 있다고 본다. 이것은 私見일 뿐이지만 一考의 價直가 있을 것이다.

〈도표 4〉 COMPARISON OF RCC - M AND ASME CODE REQUIREMENTS FOR STEAM GENERATOR MATERIALS

MATERIAL SPECIFICATION		M2123/A 16MND5 (RCC-M)			SA 533 GrBCLT +NB -2000(ASME)			
MELTING PROCESS		ELECTRIC FURNACE & VACUUM LD. CONVERTOR +VACUUM			SAME AS RCC-M CODE			
CHEMICAL COMPOSITION		C/0.20, Mn/1.15-1.55, P/0.02, S/0.012 Ni/0.50-0.80, MO/0.45-0.55, Si/0.10-0.35 Cr/0.25, V/0.03, Cu/0.10, Al/0.04			C/0.25, Mn/1.15-1.50, P/0.035, S/0.04 Ni/0.040-0.70, Mo/0.45-0.50			
MANUFACTURING	SCHEDULE	REQUIRED MANUFACTURING SCHEDULE BEFORE COMMENCEMENT			NOT REQUIRED			
	HEAT TREATMENT	AUSTENIZING : 850-925°C QUENCHING : WATER TEMPERING : 635-665°C			AUSTENIZING : 850-925°C QUENCHING : WATER TEMPERING : 635-665°C			
MECHANICAL PROPERTIES	TENSION (NORMAL TEMPERATURE)	$\frac{T/S}{55-67}$ (MPa)	$\frac{Y/S}{40}$ (MPa)	$\frac{XA}{20}$	$\frac{T/S}{56-70}$ (MPa)	$\frac{Y/S}{35}$ (MPa)	$\frac{XA}{13}$	
	TENSION(HIGH TEMPERATURE)	Y/S AT 316°C--30			NOT REQUIRED			
	IMPACT			L	T	1) LONGITUDINAL TEST IS NOT REQUIRED 2) TEST TEMP +TNOT +33°C 50 ft-lb, 35 MILE		
		0°C		84 ft-lb	61 ft-lb			
		-20°C		61 ft-lb	44 ft-lb			
		+20°C		100 ft-lb	78 ft-lb			
	BEND	REQUIRED			NOT REQUIRED			
TEST COUPON SIMULATION	TENSION : HIGH TEMPERATURE IMPACT : NORMAL TEMPERATURE			TENSION IS NOT REQUIRED AT HIGH TEMP,IMPACT SAME AS RCC-M CODE				
TEST METHOD	AFNOR +MC 1000			ASTM				
DROP WEIGHT	ASTM E208			ASTM E208				
PROCEDURE	MC-2400			SA 578				
AREA OF EXAM	FIRST AREA : 100%.SECOND AREA : 10cm GRID			100% & 10% OVERLAP				
NDE(UT)	ACCEPTANCE CRITERIA	5 ≤ K		1000mm <sup>2</sup>	TOTAL LOSS OF BACK REFLECTION : 3 in CIRCLE OR 1/2 T			
		5 ≤ K ≤ 10		100 mm <sup>2</sup>				
TEST REPORT	TEST REPORT/M2123 A			CMTR/NCA-3867				