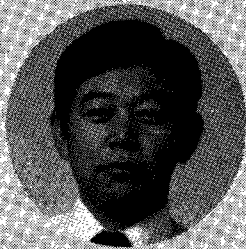


〉特別企劃：地域暖房〈

原子力 地域暖房 實用化 研究

*Practical Study on Nuclear
District Heating System*



李 翼 煥
〈現代建設(株) 部長〉

I. 序 論

地域暖房이란 一定地域 內에 位置한 住宅, 公共建物 등 多數의 建物이 個別的으로 暖房用 熱源設備를 保有하지 않고, 一個所 혹은 數個所의 集中된 熱生産 플랜트에서 配管網을 通하여 各需要處에 暖房熱을 供給하는 方式으로 1877年 美國 뉴욕州 Lock Port地域에서 처음 始作된 以後 유럽諸國과 소련을 中心으로 開發되어 왔다.

우리나라에서는 1970年代에 들어서면서 大規模 아파트단지의 建設과 함께 中央集中式 暖房이 導入되었으며, 近來에는 既存 發電所의 廢熱을 利用한 地域暖房과 熱併合發電에 依한 地域暖房을 推進하는 등 在來式 化石燃料를 使用하는 地域暖房方式이 國內에서도 활발하게 推進되고 있다.

그 이유는 地域暖房을 實施함으로써 에너지利用效率을 提高하고 에너지利用의 합리화, 大氣公害의 減少 및 快適한 住居環境을 造成할 수 있기 때문이다.

이것은 1970年代 以後 두차례에 걸친 石油波動의 충격으로 인해 세계각국의 에너지 소비절약과 새로운 代替에너지의 開發로서 에너지問題를 극복하고, 에너지대책을 국가적인 次元에서 다루게 되면서 세계적으로 나타나는 현상이다.

우리나라의 에너지消費構造는 總 消費에너지의 3/4이 熱에너지의 形態로 消費되고 있으며, 暖房熱은 그 중 40%를 차지하고 있다. 앞으로 國民生活 水準의 向上과 더불어 에너지, 특히 暖房熱의 消費는 더욱 더 增加할 것이므로 既存 暖房方式을 最大한 活用하면서 값싼 代替 에너지를 利用할 수 있도록 에너지의 需給對策에 關한 研究開發이 切實히 要請되고 있다.

II. 原子力 地域暖房 妥當性 調査

이러한 趨勢에 副應하여 1981年에 韓國에너지研究所에서는 서울 江南地域을 暖房對象으로 800MW_{th}級(400MW_{th}×2基) 暖房專用 原子爐

應用에 對한 豫備 妥當性 調査를 實施하여 “原子力을 利用한 地域暖房 妥當性 研究”라는 題目의 研究報告書를 發表하였다.

本 課題의 妥當性 調査檢討 結果에 의하면, 地域暖房用 原子爐는 非正常運轉時 工學的 安全 設備 없이도 稼動停止가 可能하고, 어떠한 假想 事故條件下에서도 原子爐 周邊으로의 放射能漏出이 自然放射能보다 적게 運轉될 수 있도록 設計되어 있다.

당초에는 冬節期가 긴 고위도지방에서 먼저 開發되어 왔으나, 우리나라의 경우 冬節期는 길지 않지만 서울의 江南地域과 같이 아파트群이 密集된 地域에서는 높은 配管效率을 가질 수 있으며, 地下埋設物이 적어 建設이 容易하여 다른 나라에 비해 敷地條件이 매우 유리하다. 또한 地域暖房用 原子爐는 그것이 가진 技術의 特殊性 때문에 商用原子爐보다 높은 國產化率을 이룩할 수 있다.

既存 石油보일러 暖房과 原子力 地域暖房과의 經濟性 比較分析에 있어서도 原子力 地域暖房의 經濟性이 極히 優秀하며, 稼動率이 높아질수록 그리고 化石燃料값이 상승할수록 더욱 우수함을 입증할 수 있다. 그러나 豫備 妥當性 調査의 實施에 있어서는 國內의 入手 可能한 資料가 제한되어 있었고 技術, 經濟的 變數를 대부분 外國 여건의 資料에 의거한 것이어서 公衆의 安全性에 立脚한 技術檢討가 다소 미흡했다고 보여진다.

그러므로 原子力 地域暖房의 國內 實用化를 위해서는 外國 技術資料와 國內의 實情을 充分히 반영하고 보다 자세한 資料를 基準으로 하여 敷地條件에 알맞는 建設費의 추정과 國產化 方案 등 技術, 經濟性 및 安全性에 대한 보다 넓고 깊은 研究가 必要하다.

Ⅲ. 原子力 地域暖房 實用化 研究

따라서 原子力 地域暖房의 技術開發을 위해 主 研究機關인 韓國에너지研究所와 그동안 原

子力發電所의 建設에 참여하면서 많은 技術經驗을 획득한 參與企業인 “現代”는 國內 實用化를 위한 研究計劃에 共同으로 參與하여 推進하기 위해서 보다 적극적인 연구개발의 推進方案을 수립하고, 이에 研究所, 現代 및 開發先인 ASEA-ATOM社 등 3社가 合議함으로서 韓國에너지研究所의 研究實績과 現代의 經驗技術을 最大한 活用하고 ASEA-ATOM社의 技術支援을 받을 수 있도록 하였다.

그 결과를 바탕으로 參與企業인 現代는 本 研究課題의 重要性에 비추어 당연히 國家의 次元에서 수행되어야 할 研究임을 認知하고 政府의 承認을 위해 1984年度에 特定研究開發課題로 申請하여 政府·企業 共同研究開發課題로 研究事業을 推進중에 있다.

原子力 地域暖房 實用化 研究의 最終 目標은 暖房用 原子爐를 利用한 地域暖房 플랜트를 建設하여 經濟적이고 安全한 溫水를 地域暖房 需用家에게 供給하며 또한 建設에 따른 關聯技術을 自立化하는데 있다. 따라서 그 最終 目標을 이룩하기 위해서는 여러 사람들의 많은 노력과 체계적이고 단계적인 研究業務가 수행되어야 한다.

가. 1次年度 研究開發 事項

現在는 1次年度 研究業務를 수행중에 있으며, 研究를 수행함에 있어 參與企業體인 現代는 개발선인 ASEA-ATOM社에서 부터 모든 資料를 제공받을 수 있도록 이미 1982年度에 兩社間의 技術協定을 체결하였다.

또한 수행되어야 할 研究業務를 詳細內容別로 수행하기 위하여 6個分科(熱需要分析分科, 原子爐系統分科, 安全性分科, 經濟性分析分科, 地域配管網分科, 敷地調査 및 分析分科)로 區分하였으며, 研究效果를 더욱 높이기 위하여 國內地域暖房事業을 主管하고 있는 韓國에너지管理公團을 參與시켜 긴밀한 協助體制下에 研究를 수행하고 있는데, 특히 安全性의 分析·評價에 있어서는 더욱 力點을 두기 위해 韓國科

學技術院이 參與하여 細部設計上의 技術的인 面에서 完璧한 評價가 내려지도록 推進中이다.

이와 같이 國內 여러 關聯機關이 參與하여 進行하고 있는 本 課題의 1次年度 研究開發 遂行 方法을 要約하면 다음과 같다.

1) 住居密集地域의 外廓에 數個의 候補地를 選定하여 敷地調査와 同時에 과거, 현재, 미래의 熱負荷를 調査, 예측하여 熱需要 規模를 測定·分析하고 現在의 問題點을 파악한다.

2) 選定된 敷地와 暖房地域間의 配管網을 最適分割하고, 概念的인 熱負荷모델을 整립하여 플랜트의 容量을 選定한다.

3) 選定된 容量의 熱水 供給用 原子力플랜트에 대한 資料를 수집하여 그 技術的인 特性和 安全性를 分析·評價하고, 國産化 可能性 및 技術導入 可能性을 檢討한다.

4) 플랜트 建設費의 推定 등 既存 暖房方式과의 經濟性을 相互 比較分析하고, 기타 地域에 미치는 影響을 고찰한다.

나. 2次年度 研究開發 事項

1次年度 研究結果로 技術, 經濟的으로 實用化 可能性이 立證되면, 이를 토대로 실제 플랜트 開發을 위한 준비가 되어야 할 것이나, 아직 우리나라에는 暖房用 原子爐를 이용한 大規模 地域暖房을 建設한 實例이 없고 建設에 必要한 關聯法令 등이 合理的으로 整理整頓이 되어 있지 않은 상태이다. 따라서 現在까지 原子力에 關한 關係法은 물론 先進活用國(스웨덴, 덴마크, 벨기에, 소련 등)의 實例를 面密히 檢討分析하여 우리 實情에 맞는 規制事項 및 認許可事項 등을 整립하기 위한 研究를 遂行할 豫定이다.

또한 實用化 研究가 進行中인 地域暖房 原子爐는 開發先이 外國의 特定會社(ASEA-ATOM社)이고, 實際 플랜트가 建設될 경우 일부 機資材 및 設計技術의 도입은 불가피할 것이다. 그러나 暖房用 原子爐가 갖는 技術的 特殊性 때문에 既存 動力用 原子爐보다 높은 國産化率을 이

득할 수 있다고 전망되어, 國內의 原子力發電所 建設經驗을 最大한 活用하고 最初의 플랜트 建設前에 機資材에 대한 目錄作成과 機資材의 사양 등을 집중적으로 研究하여 단계적인 國産化 計劃을 수립하고 推進해 나가야 할 것이다. 물론, 이의 推進計劃을 뒷받침할 設計, 製作 및 設置 등에 關한 國內 技術基準의 整립은 必須的으로 先行되어야 할 研究課題이다.

이를 위해 現在 原子力發電所 建設에 參與하는 生産業體를 中心으로 國內 産業體의 生産能力和 品質保證能力 등을 調査分析하고, 關聯 國內外的 CODE & STANDARD 등을 集中 調査하여야 할 것이며, 또한 現在의 原子力發電所 核燃料 開發과 병행하여 暖房用 原子爐에 대한 核燃料 國産化 方案 및 技術導入 必要性에 대한 檢討와 海外供給에 依存해야 할 設計의 일부와 製作 技術 및 運轉技術에 대한 단계적인 技術持援計劃도 함께 수립이 되어야 할 것이다.

1·2次年度에 걸친 實用化 研究가 成功的으로 마무리되고 政府 및 關係機關에서 檢討된후 PROJECT로 開發될 경우, 그 다음 단계의 추진계획으로는 地域暖房用 原子爐 設置를 위한 敷地設定 및 敷地調査 報告書가 作成되어야 할 것이며, 開發先의 技術導入에 依存해야 할 部分을 除外하고 國內에서 遂行 可能한 配管網系統의 設計 등 關聯計劃이 계속적으로 이루어져야 할 것이다.

以上과 같이 原子力 地域暖房의 國內 實用化를 위한 推進計劃을 科技處에 提出한 特定研究 開發課題의 研究內容을 中心으로 기술하였으며 다음으로는 實際 對象으로 삼고 있는 地域暖房用 原子爐의 固有한 安全特性을 中心으로 간단히 소개하고자 한다.

IV. SECURE爐(400Mwt)의 技術特性

순수 地域暖房用 原子爐로 스웨덴에서 開發한 SECURE(Safe & Environmentally Clean Ur-

ban Reactor)는 既存의 發電用 原子爐에 비해 容量(200MWt와 400MWt)은 작지만 發生된 熱에너지가 電氣에너지로의 轉換이 없으므로 利用되는 熱效率은 90%가 넘는다. 또한 原子爐의 冷却水 溫度가 120℃로 매우 낮고, 地域暖房網에 供給되는 熱水の 溫度도 100℃ 정도로 낮아 系統의 維持가 매우 용이하다. 核燃料의 出力密度가 낮으므로 核燃料의 損傷可能性이 낮아 安全性이 좋으며, 爐心 管理面에서는 核燃料의 使用期間이 길어 가동율이 좋다.

또한 SECURE 原子爐는 都市近郊에 設置되어야 하는 特殊性때문에 1次系統은 地下에 建設되고, 특히 原子爐部分은 1000ppm의 硼산수로 채워진 格納容器內에 들어있어(그림1) 原子爐와 硼산수는 벨브와 같은 기계적인 차단장치가 아닌 Mixing Barrier로 분리되어 있는 것이 특징이며, 固有한 安全裝置이기도 하다. 正常稼動中일

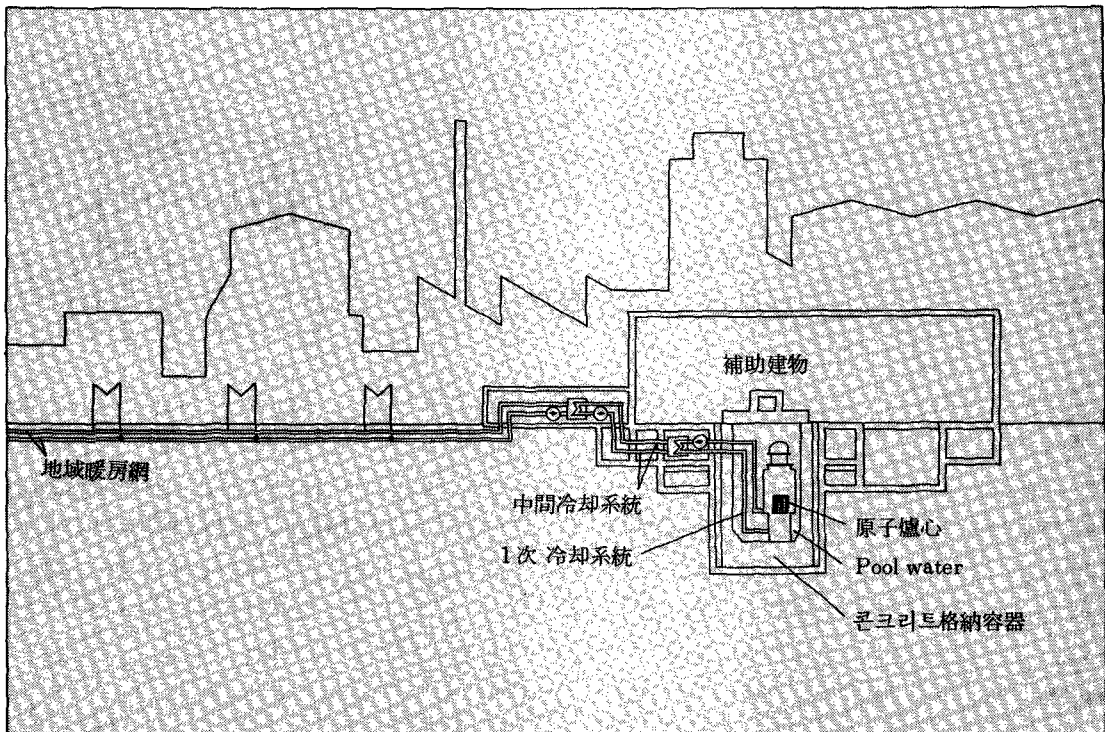
때에는 原子爐 하단의 Mixing Barrier를 통하여 硼산수의 流入은 일어나지 않는다.

그것은 原子爐 上部의 가스돔(Gas Dome)속의 기체와 冷却水 및 硼산수가 壓力의 平衡을 이루고 있기 때문이다. 그러나 冷却水 펌프 停止와 같은 非正常狀態에서는 壓力平衡이 깨어져 어떤 機械的 또는 電氣的 安全設備의 도움없이 상부의 가스가 格納容器의 硼산수속으로 빠져나가면서 Mixing Barrier를 통해 硼산수가 原子爐에 流入되어 原子爐를 自動적으로 稼動 中止시키고 自然對流에 의해 原子爐 爐心을 冷却시킨다. 이것은 그림 2에 잘 나타나 있다.

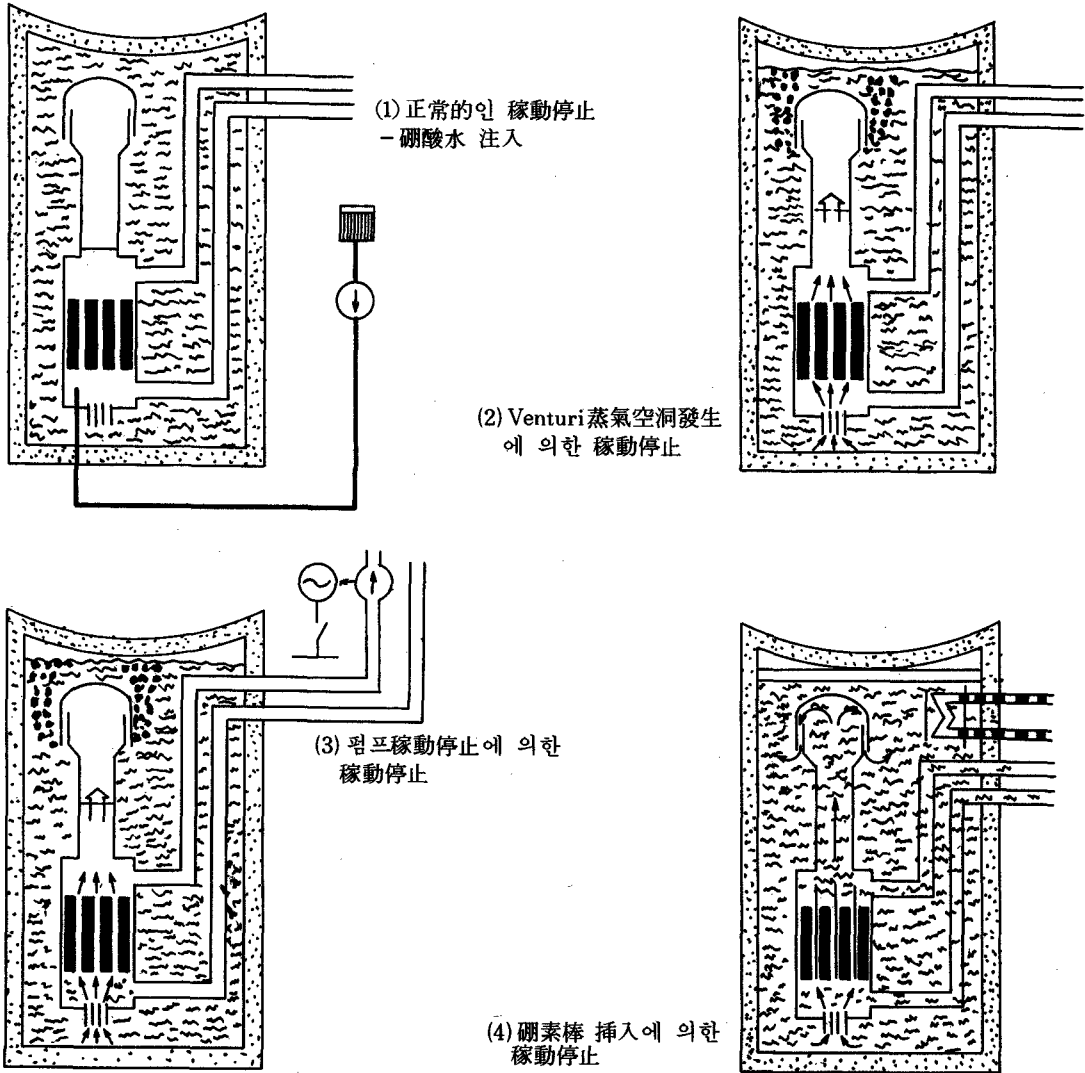
表 1은 地域暖房用 原子爐와 發電用 原子爐의 諸元을 比較한 것이다.

1) 反應度制御系統에 의한 正常的 稼動停止
 原子爐는 反應度 制御系統에서 冷却水속의 硼酸濃度を 增減하여 出力을 조절한다. 稼動停止

〈그림 1〉 SECURE 概要圖



〈그림 2〉 原子爐 稼動停止方法 (固有한 安全特性)



의 신호가 있게 되면 高濃度의 硼酸水가 原子爐에 注入되어 原子爐의 稼動이 停止 된다.

2) Venturi Cavitation에 의한 稼動停止

原子爐 冷却水의 溫度가 設計溫度보다 상승하기 시작하면, 原子爐心을 거친 冷却水가 原子爐心의 上部에 있는 Venturi를 지나가면서 速度가 빨라지고 壓力이 떨어지면서 Cavitation이 發生하여 冷却水의 흐름이 비정상상태로 된다. 그리하여 原子爐 内外의 壓力均衡이 깨어지고 原子

爐안으로 Pool内の 硼酸水가 올라와 稼動은 停止 된다.

3) 冷却水 循環펌프 Trip에 의한 稼動停止

原子爐를 正常的으로 稼動停止시키는 方法으로 冷却水 循環펌프가 停止신호에 依해 停止되면서 原子爐 内外의 壓力均衡이 깨어지고 下部의 Mixing Barrier를 통하여 Pool内の 硼酸水가 올라가 原子爐를 停止시킨다. 아울러 이 方法은 펌프전원상실사고에서도 原子爐를 安全하게 稼

(表 1) 地域暖房用 原子爐와 發電用 原子爐의 諸元

區 分	地域暖房原子 爐 (SECURE)	發電用 原子爐 (고리 5 호기)
出 力		
熱 出 力 (MW)	400	2775
電氣出力 (MW)	0	950
熱 損 失 (MW)	0	1825
1次系統冷却回路		
壓 力 (atm)	7	155
流入溫度 (°C)	90	291
流出溫度 (°C)	120	326
原子爐心		
우라늄量 (T)	26	82
濃 縮 度 (%)	2.7	26
熱 生 産 (W/g)	15	34
熱 媒 體 (물)		
供給溫度 (°C)	100	
還收溫度 (°C)	60	

(表 2) 公害物質 比較 (單位: 톤)

公害物質	石 油	石 炭	原 子 力
탄산화물	300,000	400,000	0
황산화물	3,000	4,000	0
질산화물	1,000	1,500	0
중 금 속	5	10	0
재	100	15,000	{ 3 (사용연료) 1.2 (방사성폐기물)

動停止시키는 固有한 安全特性이다.

4) 硼素棒 插入에 依한 稼動停止

근본적으로 核燃料 交替期間 동안의 稼動停止를 위한 方法으로 格納容器內的 모든 硼酸水가 상실되었다고 假定해도 이 方法에 依해 原子爐는 稼動이 停止된다. 즉, 硼素棒(Boron Absorber Rods)을 爐心 中央部에 넣음으로써 核反應을 沮止시키는 것이다.

V. 環境에 미치는 影響

現在 우리나라는 大部分의 에너지를 化石燃料에만 依存하고 있고, 이에 따라 必然的으로 發生되는 公害問題에 대하여 많은 研究와 이를 防止하기 위한 노력을 기울이고 있으나, 그 심각성은 날로 더해 가고 있다. 表 2는 熱出力400

MW에 대한 在來式 暖房과 SECURE地域暖房에 대한 公害物質의 發生을 比較한 것이다.

이 포에서 알 수 있는 바와 같이 化石燃料은 燃燒하면 人體에 有毒한 많은 量의 일산화탄소 및 亞황산가스 등을 放出하여 대기오염 등 심각한 公害問題를 야기시킨다. 또한 化石燃料 暖房 施設에서 나오는 재(炭) 등 산업쓰레기도 그 施設 가까이 거주하는 住民에게 公害를 끼칠 뿐만 아니라, 이의 廢棄問題도 큰 골치거리로 대두되고 있다.

반면에, 原子力을 利用한 地域暖房은 前述한 技術特性에 의해 어떤 事故條件下에서도 周邊環境으로 漏出되는 放射能은 사람이 일년간 받는 自然放射能의 1/1000이하이며, 化石燃料처럼 有毒가스나 산업쓰레기도 없는 無公害의 깨끗한 에너지를 供給할 수 있다.

VI. 結 論

前記한 바와 같이 原子力을 利用한 地域暖房의 實用化를 위한 研究計劃과 開發先의 資料에 의한 暖房用 原子爐 (SECURE)의 技術的인 特性에 대해 說明하였으나, III절에서 언급한 바와 같이 현재는 安全性, 技術適合性, 經濟性 등에 대하여 研究를 進行하고 있으므로 實用化의 與否는 감히 確言할 수는 없는 상태이다. 그러나 1次的인 研究結果가 보다 完璧한 상태에서 긍정적으로 評價된다면 보다 세부적인 研究는 必히 遂行되어야 할 研究課題이다.

現在의 研究遂行에도 그러하지만 앞으로 進行될 研究業務는 현재 研究에 參與하는 研究員은 물론 더욱 많은 關聯機關의 참여하에 遂行되어야 할 것으로 전망된다. 특히, 本 研究事業은 政府의 에너지節約을 위한 新技術開發施策에 順應하여 그 重要性이 점차 범국가적으로 인식되고 있으므로 本 研究가 成功的으로 遂行될 수 있도록 關聯機關은 勿論 本稿를 읽는 讀者들도 많은 관심과 協助가 있기를 당부드리는 바이다.