

# 解 說

## 原子力發電所의 換氣系統의 設計

白 正 基\*

### I. 序 論

換氣裝置는 住宅, 事務室 等의 一般建物 및 各種 生産工場에 여러 目的에 따라 광범위하게 使用되고 있다. 原子力發電所에도 換氣裝置들이 여러 區域에 設置되어 있으며, 現在 商業用으로 가장 널리 使用되고 있는 輕水型原子力發電所의 換氣系統에 對하여 說明하고자 한다. 原子力發電所에서 換氣裝置設置의 主目的은 運轉中인 各種 裝備들의 周圍溫度를 適當하게 維持시키고, 運轉要員들에게 알맞는 作業條件을 만들어 주는데 있다. 또한, 放射能準位를 許用值 以下로 減少시켜 正常運轉뿐 아니라 事故時에도 여러 區域에서 運轉委員들이 安全하게 運轉할 수 있도록 하여 주며, 外部로 排出되는 空氣中 포함되어 있는 氣體狀態의 放射能含有量을 規定된 許容限界值 以下로 낮추는데 있다.

### 2. 換氣系統의 一般의 고려事項 및 構造

#### (1) 區域別 고려事項

放射能性質이 存在할 可能性이 있는 區域은 大氣壓보다 이의 壓力을 낮게 維持하여 汚染空氣가 그 區域外로 漏洩되지 않도록 한다. 또한, 한 建物內에서 放射能汚染準位가 다른 여러 區域들에 對하여는 空氣의 流動에 따라 各 區域別로 壓力의 差異를 두어, 換氣裝置가 放射能의 汚染이 擴散되는 것을 制御하는 役割을 하도록 한다. 即, 가장 낮은 汚染度의 區域은 大氣壓보다 0.05-inch-H<sub>2</sub>O 정도 낮은 壓力이 되도록 한다. 그리고 汚

染度가 增加할수록 壓力을 점차 낮게 하여, 汚染度가 가장 높은 區域은 壓力을 가장 낮게 한다. 보통 各 區域別 壓力差異는 0.05~0.08inch-H<sub>2</sub>O 정도로 한다. 따라서, 汚染된 空氣가 漏洩時 항상 空氣의 流動이 汚染度가 낮은 區域에서 높은 區域으로 흘러가게 하여 全區域에 汚染이 擴散되지 않게 한다. 이것은 原子力發電所의 換氣裝置設計時 安全性的 觀點에서 고려하는 가장 基本的인 것의 하나이다.

#### (2) 設計溫度

보통 設計條件은 沸騰輕水型原子爐(BWR)의 “dry well”이나 加壓輕水型原子爐(PWR)의 格納建物은 內部裝備들의 使用溫度에 따라 다르나 약 50°C 정도이고 事故時 最下 15~16°C 以下로 떨어지지 않게 한다. 사람의 出入이 制限된 곳은 40°C, 계속 사람이 出入하는 곳은 外氣條件에 따라 32~35°C 정도로 한다. 高溫의 設計區域은 整備을 爲하여 사람이 들어갈 必要가 있을 때를 對備하여 淨化冷却裝置를 設置한다.

#### (3) 換氣系統의 構成要素 및 要素別役割

換氣系統은 一般의 爲으로 demister, 加熱器, prefilter, HEPA (high-efficiency particulate air) 필터, adsorption unit, 팬, 덕터, 벨브 等으로 構成된다.

Demister는 外部 吸入口로부터 空氣에 실려 오는 작은 물방울을 除去하여 prefilter 및 HEPA 필터를 保護하는 役割을 한다.

加熱器는 보통 demister 다음에 設置되며, 空氣가 필터와 adsorption unit에 到達하기 前에 이의 相對濕度를 減少시킨다.

Prefilter는 roughing filter 라고 불리어지고, 一般의 爲으로 fiber glass 필터로 되어 있으며,

\*韓國原子力研究所

空氣中 放射能을 가진 比較的 큰 固體粒子를 除去하여 HEPA 필터에 過多한 負荷가 걸리는 것을 防止한다.

HEPA 필터는 absolute filter 라고 하며 필터 材質들을 주름진 板의 形狀으로 만들어 서로 간격을 두고 겹친 組立體로 한후 얇은 金屬으로 包圍, 아연도금된 鐵材나 카드뮴板의 骨材로 使用하여 61×61×29 cm 크기의 상자모양으로 만든다. HEPA 필터는 0.3 $\mu$  크기 以下의 粒子除去效率이 99.95% 정도이고 空氣中 放射能을 가진 微細한 粒子를 除去하여 adsorption unit 를 通過토록 하며, 또한 adsorption unit 로부터 排出되는 放射能을 가진 微細한 炭素를 吸收한다.

Adsorption unit 로는 一般的으로 야자수열매 껍질로서 만든 活性炭필터(activated charcoal filter)를 使用하며, 排出되기 전의 空氣中 氣體狀態의 碘로겐—주로 I<sub>2</sub><sup>131</sup>를 除去한다.

팬은 一般的으로 換氣系統의 가장 끝部分에 設置한다. 格納建物 換氣用 닥터의 팬과 모터는, 正常運轉時뿐 아니라 事故時 공기의 溫度 및 密度가 매우 增加되었을 境遇에도 空氣를 送風할 수 있도록 容量係數를 2~4 정도로 充分히 크게 한다. 馬力은 空氣密度가 가장 클 때를 基準으로 하여 어떤 한 裝置를 驅動시킬 때 要하는 馬力으로 定한다. 또한 벨트驅動裝置를 할 境遇 發生되는 整備上의 問題 때문에 팬은 모터軸위에 一直線으로 設置하고 centrifugal 팬보다 vaneaxial 팬이 좋으며, 事故時 冷却期間동안 運轉할 수 있도록 設計溫度를 약 160°C 정도로 擇한다.

#### (4) 닥터의 設計

닥터의 設計 및 配列은 特殊部分을 除外하고는 一般的인 方法으로 한다. 格納建物換氣用 닥터系統은 格納建物の 內部 및 外部 두곳에 隔離밸브를 設置해야 하며, 이곳의 밸브와 닥트는 格納建物の 設計基準과 同一한 基準을 適用한다. 이곳의 밸브의 크기는 發電所容量에 따라 다르나 대체로 1067~1219 mm 크기의 주장 또는 다른 延性材料로서 ethylene-propylene 고무 또는 neoprene 으로 된 彈性的座를 가진 butterfly 網으로 만든다. 格納建物 및 放射能區域에 設置되

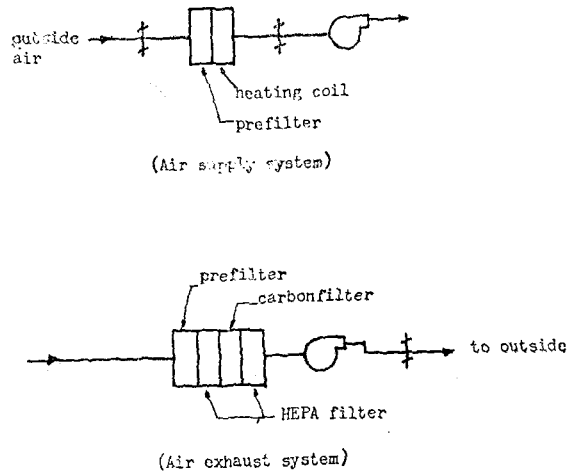


Fig. 1. Typical Filter Arrangements

는 닥터의 外部는 汚染除去를 用易하게 하기 위하여 polyvinyl 이나 epoxy 保護피막으로 쓴다. 닥터의 外部 吸入口는 강한 바람, 비, 눈 등의 影響을 最小로 하기 爲하여 鐵鋼 기타 등으로 保護한다. 水素制御를 爲해 알카리가 噴霧되는 建物內의 닥터材料로서 Al 은 使用할 수가 없고, 原子爐壓力容器內를 再循環하는 系統은 seamless 파이프를 使用할 수도 있다. 가장 광범위하게 使用되는 換氣系統은 吸入 및 排出 양쪽에 필터가 있는 貫流(once through) 型이다. 이 系統은 空氣吸入側에는 한개의 roughing 필터, 排出側에는 prefilter, HEPA 필터 및 活性炭필터가 있다. 다음의 Fig. 1은 PWR의 代表的인 필터配置의 例이다 單一 換氣系統의 空氣流量은 약 3,000 cfm 정도로 制限하고, 그 以上の 流量이 必要時는 多系統으로 한다. 再循環하는 1次系統의 하우징 및 닥터는 流量 1,000 cfm 당 最大 10 cfm의 漏洩를 許容하며, 높은 放射能區域을 再循環하는 2次系統의 排出側 닥터는 流量 1,000 cfm 당 最大 0.5 cfm의 漏洩로 設計한다.

發電所에서 換氣裝置가 設置되는 곳은 制御室 (Traffic and plant Control Zone), 各種 補助建物 및 터빈建物 等이다. 다음은 制御室 및 補助建物の 換氣系統에 對하여 간단히 說明한다.

### 3. 制御室, 格納建物 및 補助建物の 換氣系統

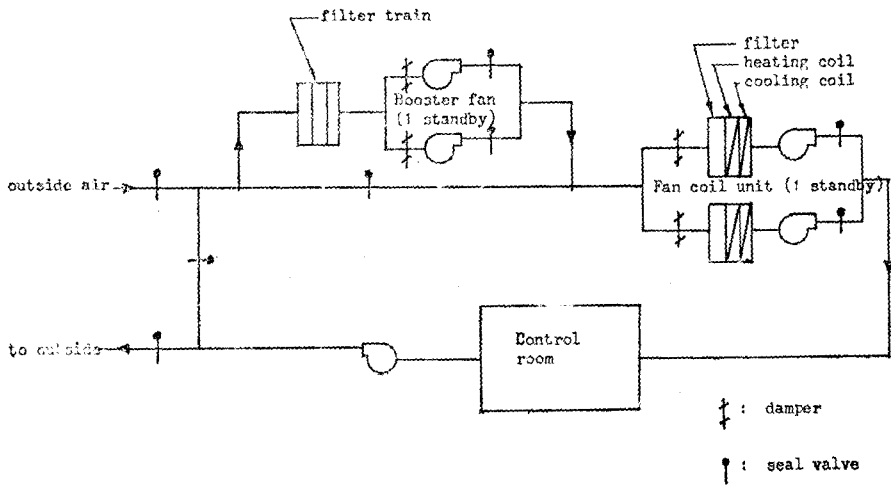


Fig. 2. Air-conditioning system for control room

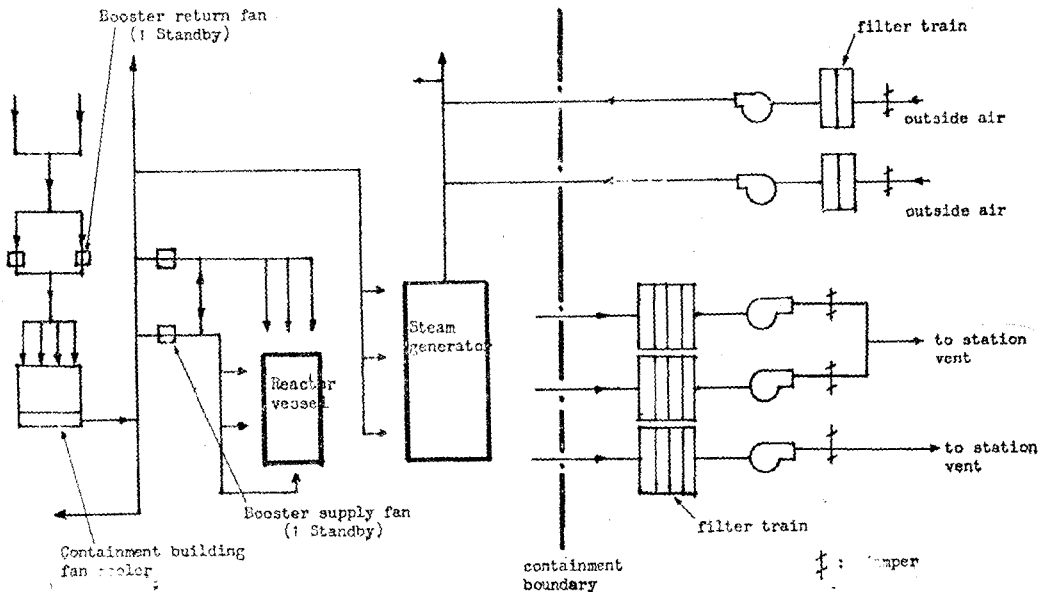


Fig. 3. Typical PWR containment air cooling system

(1) 制御室의 換氣系統

制御室에는 獨立된 換氣裝置가 設置되어, 正常 및 事故時에도 制御內의 모든 裝備들이 正常的으로 作動하도록 하며, 運轉要員들을 放射能으로부터 安全하게 保護되도록 한다. 이 系統의 空氣入口에는 最少한 HEPA 필터 및 必要에 따라 活性炭필터가 同時 부착되며, 放射能探知裝置가 부착되어 許容值 以上の 放射能을 檢出即時 100% 再循環토록 主로 貫流型으로 設計한다. 이 系統

은 壓力密封이 되도록 하고, 制御室의 壓力은 大氣壓 보다 높아 外部로부터 放射能이 漏洩되어 들어오지 않도록 한다. 또한 換氣系統의 計測機器 및 放射能探知裝置는 非常電源으로 連結되고, 事故時에 對備하여 系統의 各要素들을 重複으로 設置한다. Fig. 2는 制御室換氣系統의 一般의 例이다.

(2) 格納建物の 換氣系統

格納建物の 換氣 및 冷却은 水冷却코일 再循環

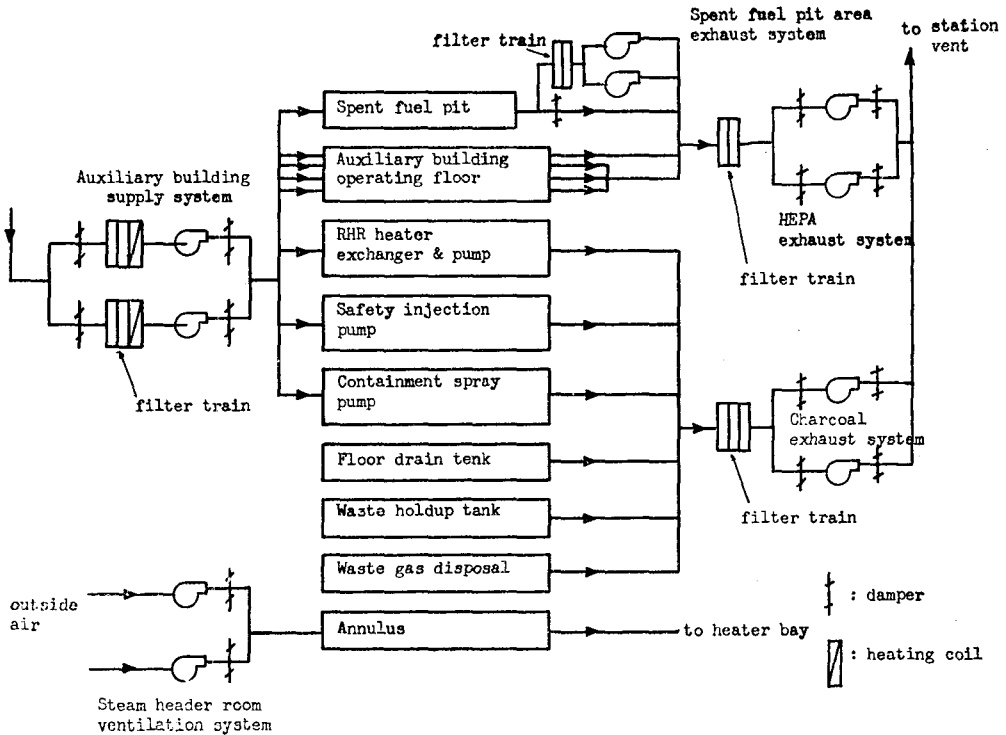


Fig. 4. Auxiliary building ventilation system

裝置에 의하여 이루어진다. PWR에서는 正常 및 冷却材喪失事故時 格納建物로부터 熱을 除去키 위한 安全裝置의 一部分으로 役割을 하며, 팬, 모터, 冷却코일, 댐퍼, 필터 등으로 構成되어 있다. BWR에서는 PWR과 같이 安全裝置의 役割은 하지 않고 原子爐壓容器를 適當히 冷却하는 作用을 하며, 設計에 따라 再循環펌프의 모터를 空氣로 冷却시킬 境遇도 있다. 따라서 設計時 PWR과 BWR의 基準이 서로 다르다. 即 PWR에서는 事故後 과도기에서 1/10~2/10초 동안에 大氣壓에서 格納容器的 壓力인 3~4 kg/cm<sup>2</sup>까지 닥터 系統에 壓力이 增加하므로 이에 對한 고려를 해야 한다. 또한 이 系統은 燃料被覆材의 破裂로 인한 酸素의 放出 및 放射性物質의 分解로 인한 水素의 濃蓄을 除去하는 役割도 한다. PWR의 代表的인 境遇, 格納建物內 普通 5개의 팬 冷却裝置가 있으며 正常運轉時는 最大 4개의 裝置로서 設計上의 熱을 除去하도록 되어 있고, 事故時 最少한 3개의 裝置가 安全用으로 役割을 하도록

되었다. 正常運轉時 空氣는 닥터를 거쳐 格納建物の 上部로부터 流入하여 正常流動入口 댐퍼를 지나 roughing 필터와 冷却코일을 通過後 換氣系統으로 나간다. 事故時에는 非常流動入口 댐퍼를 지나 濕氣分離器, HEPA 필터, roughing 필터 및 코일을 거쳐 나가며, 이 때는 蒸氣와 空氣의 混合物을 流動시키기爲 適合하도록 팬이 自動적으로 低速으로 運轉된다. 여기에 冷却코일은 空氣의 熱을 除去할 目的으로 設置되고, 冷却水는 service water system에서 供給된다. Fig. 3은 PWR의 格納建物の 換氣系統의 例이다.

(3) 補助建物の 換氣系統

補助建物の 換氣系統은 汚染區域과 清潔區域으로 分離되며, 公衆健康과 安全에 危險을 줄 수 있거나, 裝備의 誤動作으로 因하여 다른 安全裝備을 損傷시킨 可能性이 있는 系統은 重複으로 設置한다. 換氣裝置의 裝備는 正常運轉中 週期的인 檢査나 點檢을 爲해 사람이 接近할 수 있도록 하고, 各 補助建物들이 내략 最小 15°C에서 最大

40°C 정도로 溫度를 維持하게 한다. 主換氣系統은 大氣壓보다 낮은 壓力을 維持하게 된다. 換氣用 供給系統은 濾過되고 調節된 外部空氣을 建物에 繼續供給 및 各種 裝備의 冷却을 爲하여 室內 溫度을 適當히 維持토록 되어져 있다. 이 系統은 roughing 필터, 計차壓力指示計, 豫備加熱코일, 再加熱코일 등으로 되어 있고, 豫備加熱器 및 再加熱器의 加熱用 蒸氣는 補助蒸氣系統으로부터 供給되고 豫備加熱器는 外部空氣에 依한 熱電帶에 依해 作動되며, 再加熱器는 共通連結된 排出 닥터의 溫度調節器에 依해 調節된다. 그의 各 補助建物의 換氣系統圖의 一例가 Fig. 4에 圖示되어 있다.

#### 4. 結 言

以上에서 輕水型原子力發電所の 空氣調和 및

換氣裝置의 概要만을 간단히 說明하였으며, 더 자세한 事項들은 關聯문헌들을 參考바란다.

#### 參 考 文 獻

1. U. S. NRC; Division Regulatory Guide Power Reactors 1.52, —Design, Testing, and Maintenance criteria for atmosphere cleanup system air filtration and adsorption unit of light-water-cooled Nuclear Power Plants, (1973).
2. U. S. NRC; Standard Review Plan for the review of safety analysis reports for Nuclear Power Plants, LWR Edition, Chapter 9. (1975).
3. Kenneth C. Lish; Nuclear Power Plant Systems and Equipment, Industrial Press Inc. N. Y. (1972).