

# 原子力發電所의 建築

## Nuclear Power Plants

design, operating experience and economics

延世大 教授 金 正 秀  
Joung-Su Kim

The demand for electric power is rapidly increasing in Korea. The electric power increased from 100,000 K.W. to a million K.W, and will reach ten million K.W. in not so distant future.

At present time five power plants which have the capacity of about 200,000 K.W. are under construction.

However in the past, such power plants have required domestic productive coal, but we are now facing a shortage domestic coal. In addition to that, our country has only a few locations for the construction of hydroelectric power stations.

Present newly constructed power plants depend on imported heavy oil fuel. In this point of view we must construct atomic energy power plant. Entirely new atomic energy power plant is very strange field for Korean technicians.

After a few years our Government will make plans to construct the grand 500,000 K.W. capacity atomic energy power plant.

Therefore I would like to make known to the Korean architects on the principles of atomic knowledge for the construction plan.

### § 1. 總 論

#### 1-1. 原子力發電所의 發電方式

一般火力發電所는 石炭, 重油 等を 燃燒시키어 蒸氣를 만들어 터어빈을 通過하게 하여 發電機를 回轉시켜 發電하게 한다. 이에 比하여 原子力發電所는 石炭 重油 代身으로 우라늄 等の 核燃料를 燃燒시키는 것이다 를 뿐이지 發生한 熱로 蒸氣를 만들어 터어빈과 發電機를 回轉시켜 發電하게 하는 데에 있어서는 火力發電과 完全히 同一하다 할 수 있으므로 一種의 火力發電이라 할 수도 있다.

### 目 次

#### § 1. 總 論

1-1. 原子力 發電所의 發電方式

1-2. 原子爐의 機能

1-3. 原子力 發電所의 現況

#### § 2. 原子力 發電所의 種類

加壓水型 原子力 發電所

(Pressurized Water Reactor Type)

沸騰水型 原子力 發電所

(Boiled Water Reactor Type)

가스冷却型 原子力 發電所

(Gas Cooled Reactor Type)

其他型式의 原子力 發電所

#### § 3. 立地條件

가) 位置選定

가) 臺地面積

다) 基礎地盤

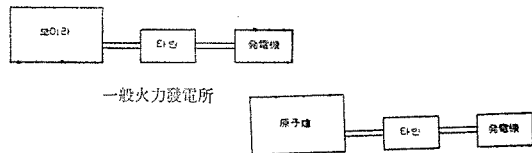
라) 輸送條件

#### § 4. 所要施設

#### § 5. 原子力 發電所의 建設

#### § 6. 大規模의 原子力 發電所

여기에 있어서 火力發電所의 「보일러」에 해당한 것이 原子爐이다. 단지 원자로에서 나오는 物質은 放射線의 위험성이 있으므로 一但 熱交換器(Heat Exchanger)



第一圖

原子力發電所

를 통하여 물을 끓여 蒸氣로 만들 따름이다. 이것을 그림으로 表示하면 第一圖와 같다.

### 1-2. 原子爐의 能機

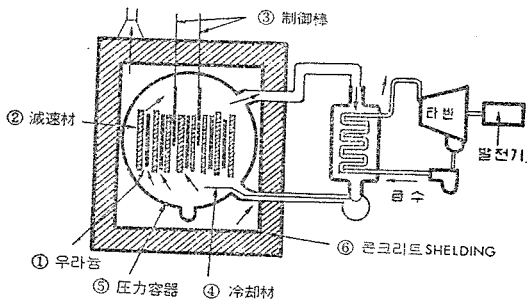
原子核——모든 原子는 原子核 Atomic Nucleus와 이것을 中心으로 하는 電子(Electron)라는 가벼운 粒子로 成立된다.

이 原子核은 一定數의 陽子(Proton)와 中性子(Neutron)라 하는 基本粒子가 아주 강하게 결합되어 있다 이 힘을 核力(Nuclear Force)이라 하며, 人類에게는 새로 發見된 에너지(Energy)라 할 수 있다.

原子核의 爆發——水素, 鐵, 亞鉛, 우라늄 등의 여러가지 天然物質은 全部 上記한 제각기의 種類가 다른 原子核으로 構成되어 있는데, 이러한 原子中에서 가장 가벼운 것이 水素原子이고, 가장 무거운 것이 우라늄(Uranium)이다. 原子發電의 燃料가 되는 우라늄은 常態에서는 固體의 金屬에 不過하다.

우라늄 原子核에 中性子を 쏘아주면 우라늄 原子核의 陽子와 中性子の 數에 變化가 생긴다. 即 原子核의 陽子와 中性子の 配置가 달라진다. 換言하면 原子核의 陽子와 中性子が 結合되어 있는 것이 파괴되어 核力이 放出되고 이 作用이 계속적으로 短時間內에 連鎖核分裂反應(Fission)을 일으키며 폭발한다. 이 폭발에서 많은 熱과 壓力과 有害放射線이 나온다. 이러한 폭발은 순간적이며, 原子彈은 이것을 이용한 것이다.

重水(물에는 무거운 물과 가벼운 물이 있음) 또는 흑연은 中性子の 活動을 減速시킴으로 이러한 物質을 減速材(Moderator)라고 불리운다.



第二圖 原子爐와 原子力發電原理

이러한 爆發作用을 適當히 抑制하여 長期間을 두고 서서히 爆發하게 하는 것이 原子發電에 使用하는 原子爐의 作用이다. 第二圖는 原子爐의 說明圖이다.

그림에 있어서 ① 燃料棒(우라늄) ② 減速材(Moderator) ③ 制御棒(Control Rods) ④ 冷却材(Cool Ant) ⑤ 壓力容器(Pressure Vessel) ⑥ 차폐 콘크리트(Concrete Shelding)

原子爐는 全體를 有害放射能을 防止하기 위한 두꺼운 차폐 콘크리트(Concrete Shelding)에 둘러싸여 있으며 그 속에 들어있는 鐵板製 壓力容器(Pressure Vessel)속에서 燃料棒우라늄이 서서히 燃燒하여 熱을 發하고 있으며 이러한 燃燒을 減速材가 연소를 느리게 하고 있으며 또한 이것은 中性子を 反射시키어 外部流出을 防止하여 有効히 쓰게 하므로 反射材(Reflector)의 역할도 한다.

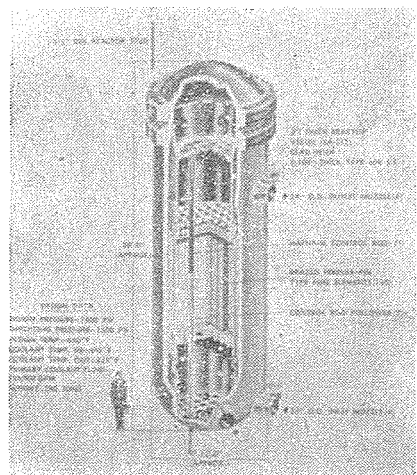
以上の 燃燒는 사이 사이에 있는 봉소, 카드미움 등이 달린 制御棒(Control Rods)의 上下運動으로서 中性子を 흡수하고 燃燒의 過少를 調整한다.

以上の 燃燒로서 發生한 熱은 冷却材(Cool Ant)에 의하여 熱交換器(Heat Exchanger)로 運搬된다. 冷却材로서는 熱傳達能率이 좋을 重水或은 輕水等の 液體가 쓰이고 炭酸가스 등의 氣體도 쓰이며, 간혹 水銀 등의 液體金屬 等도 쓰인다.

그러므로 大多數의 原子爐가 全體가 물에 가득차 있는 경우가 많다. 韓國 서울의 現存 原子爐도 同一한 형태이며 全體에 깨끗한 물 속에 들어있는 여러 制御設備을 내려다 볼 수 있다.

研究所——萬一 韓國에 장래 原子力發電所가 建設된다면 現存 原子爐보다 월등 大規模의 原子爐가 建設하게 되므로 發電뿐 아니라 各種 重要研究에 많이 利用되게 될 것이며, 따라서 現 原子力研究所도 같이 移轉하여야 하고 現研究所는 位置上으로나 原子爐의 規模上으로 보아 서울工大附設研究所 정도로 합이 적당할 것이다.

熱交換器——原子爐의 熱은 冷却材에 의하여 熱交換器에 約 300°C의 高溫으로 供給되며, 여기에서 發電機 터빈을 돌릴 飽和水蒸氣(壓力 約 50kg/cm<sup>2</sup> 溫度 約



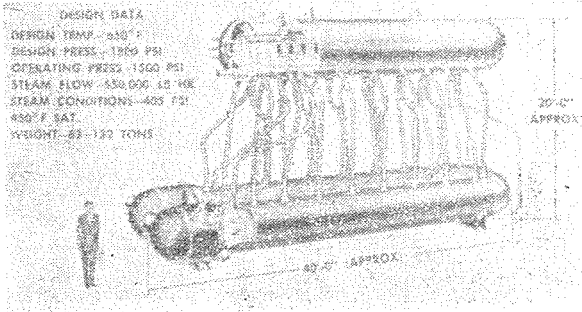
第三圖 15萬KW加壓水型 原子力發電所 原子爐

250°C)를 만들고 나서 約 250°C로 溫度가 저하되어 펌프에 依하여 原子爐로 다시 되돌아 간다.

터어빈을 돌리고 난 水蒸氣가 콘덴사(Condenser)에서 冷却되어 물이 되어 펌프에 依하여 熱交換氣로 재순환 하고 其後 發電되는 과정은 一般火力發電所의 경우나 同一하다.

一般火力發電所의 터어빈을 돌리는 水蒸氣의 溫度는 約 480°C 壓力 約 60kg/cm<sup>2</sup>이다.

다음 그림 (第3圖)은 美國 뉴욕의 Indin Point의 加壓水型原子力發電所의 15萬kW 出力의 원자로의 사진이다. 직경 約 11×長約 38'의 全 原子爐는 두께 約7'



第四圖 熱交換器 15萬kW 加壓水型原子力發電所

의 鐵製壓力容器속에 들어 있으며 內部에 各種 制御 장치와 燃料가 들어있고 外部 右側에 24' 徑의 冷却材 出入口가 上下에 있는 것을 볼 수 있다. (重量 280Ton 옆에 그린 사람은 크기를 비교하기 위함임)

第4圖 同上 發電所에 設置되는 熱交換器이다. 길이

(第六表 世界各國 重要 原子力發電所

約 40'×높이 約 20' 總重量 132 Ton

### 1-3 原子力發電所의 現況

經濟性——原子力發電은 一般的으로 建設 當時에는 油類等을 使用하는 一般火力發電보다 所要 外貨가 많이 必要하나 數年이 經過한 後에는 火力發電보다 外貨가 節約되는 것으로 보고 있으며 KW當 發電原價도 長期間이 경과한 後에는 火力보다도 有利한 것으로 計算되고 있으므로 地下資源이 限度가 있는 韓國은 장래에는 原子力發電에 依한 發電量의 補充은 불가피한 것으로 생각된다.

世界 名國에서도 大部分의 國家가 벌써 原子力發電所를 所有하고 있으며 特히 1958年 9月 서서에서의 原子力平和利用 國際會議에서 發表된 計劃은 別表와 같음(第5圖表)

國 名	1965年	1975年
CANADA	700MW	3,000MW
佛 蘭 西	800MW	4,000MW
西 獨 逸	750MW	7,500MW
伊 太 利	1,000MW	7,000MW
日 本	600MW	7,000MW
法 國	400MW	1,800MW
波 蘭	400MW	2,000MW
스 웨 덴	350MW	2,000MW
英 國	5,500MW	30,000MW
美 國	1,600MW	20,000MW

(第5表) 世界各國重要原子力發電所

또한 名國의 主要 原子力發電所의 型式, 容量(kW) 등은 다음 表와 같음 (第6圖表)

電 子 力 發 電 所 名	K.W.	型 式	所 在 地	設 置 年 月 日
Shipping Port 발전소	60,000	P.W.R.	美國 펜실바니아 주	1957
Yankee	155,000	〃	미국 마사쉴렛 주	1960
Saxton	3,250	〃	미국 펜실바니아 주	1962
Indian Point	151,000	〃	미국 뉴욕	1963
Selni	270,000	〃	이태리 트리노	1964
BR-3	10,700	〃	Belgium Mol	1962
Sena	242,000	〃	佛 Givet	1965
Dresden	200,000	B.W.R.	美國 Illinois	1960
J.P.D.R.	11,700	〃	日 Tokai-Mura	1963
듀셀돌프	250,000	P.W.R.	西獨 듀셀 돌프	
A.P.S-1	70,000	〃	조선	1960
이 우	100,000	H.W.R.	스웨덴	1963
Douglas Point	203,000	〃	캐나다 온타리오	1965
H.W.R.C.R.	150,000	G.C.	체코 Bohunice	1965
Brad Well	300,000	〃	英國 Brad Well	1962
Hinkley Point	496,000	〃	〃 Hinkley Point	1964
Latina	200,000	〃	伊 Foce Verde	1962
Hunterston	300,000	〃	英國 Ayrshire	1963
EDF-2	178,000	〃	佛 Chinon	1964

§ 2. 原子力 發電所의 種類

原子力 發電所의 形式은 原子爐의 冷却材에 依한 構造, 回路, 等에 依하여 下記와 같이 大別되며 同一 形式이라 할지도 設計에 依하여 一定하지 않으며 各種 變化가 있다.

가) 加壓水型 原子力 發電所  
(Pressurized Water Reactor Type)

爐 全體를 壓力容器에 넣어 爐 內部는 高壓으로 하고 熱交換器를 통하여 터빈을 돌리는 증기를 發生하게 하며 冷却材는 主로 물을 사용한다.

나) 沸騰水型 原子力 發電所  
(Boiled Water Reactor Type)

爐 內部는 沸騰이 생기지 않을 정도의 高壓水冷却材를 使用하며 熱交換器를 使用하지 않고 原子爐와 터빈을 直結하는 방식으로서 그 回路에 依하여 下記와 같이 구별된다.

- ㉑ 直接回路型 (Direct Cycle)
- ㉒ 間接回路型 (Indirect Cycle)
- ㉓ 2重回路型 (Dual Cycle)

다) 가스冷却型 原子力 發電所  
(Gas Cooled Reactor Type)

主로 영국에서 많이 사용하는 방식으로 冷却材로서 탄산가스 等を 使用한다. 熱交換器는 보통 原子爐一基當2개 이상 사용한다.

라) 其他型式의 原子力 發電所  
原子爐의 型式, 冷却材 減速材의 종류 및 이들 相互 混合構成方式에 依하여 下記와 같은 종류가 있다.

- ㉔ Heavy Water Reactors (重水 原子爐型)
- ㉕ Organic Cooled Reactors (有機物 冷却爐型)
- ㉖ Liquid Metal Cooled Reactors (液體 金屬冷却爐型)
- ㉗ Fluid Fuel Reactors (流體 燃料爐型)
- ㉘ Aerospace Reactors (氣體 冷却爐型)

§ 3. 立地條件

가) 位置選定——下記와 같은 것이 고려된다.

- ㉑ 臺地周邊에 人口密度가 적고 大都市와 相當이 떨어져 있을 것.
- ㉒ 送變電 費用이 많이 들지 않을 것.
- ㉓ 良質의 풍부한 水資源을 얻을 수 있을 것
- ㉔ 地盤이 良好할 것.
- ㉕ 滿潮, 洪水, 颱風 等の 피해가 적을 것.
- ㉖ 放射物質의 放出時 風向에 依한 피해가 적을 것
- ㉗ 重量物 搬入에 不便이 없을 것.
- ㉘ 充分한 放射線圈 內의 넓은 用地를 安價로 確保할 수 있을 것.

保할 수 있을 것.

나. 臺地面積 및 留意事項

- ㉑ 原子爐에서 450m以內에 住民이 없을 것.
- 原子爐에서 0.8km 以內에 住宅 5棟 以內
- 原子爐에서 1.6km 以內에 住宅 10棟 以內
- 原子爐에서 8km 以內에 住宅 20棟 以內
- 原子爐에서 8~16km 사이에 人口 5萬以內.

以上은 大略한 外國의 實例이다.

- ㉒ 부근에 병원, 요양소, 교도소, 저수지 등이 없을 것.
- ㉓ 主風向下 10km 以內에 大都市가 없을 것.
- ㉔ 有事時 緊急通信 및 交通시설이 있을 것.
- ㉕ 用地面積實例

用地面積實例

發 電 所 名	電氣出力 (MW)	面 積 (ha)
(英) Calder Hall	140	190 (約 9.4萬坪)
(英) Brad Well	300	351 (約 17.4 ㄷ)
(英) Hinkley Point	500	148 (約 7.4 ㄷ)
(英) Berkeley	275	237 (約 11.7 ㄷ)
(美) Dresden	180	約 2,000(約 100 ㄷ)
(美) Shipping Port	約70	980 (約 49 ㄷ)
(美) Yankee	134	4,942(約 245 ㄷ)

㉖ 用水

150(MW)級 級發電所에서 冷却水 所要量이 12-15 t/s임으로 大河川 또는 바다에 面하여야 하며 그렇지 못할 경우에는 Cooling Tower 等の 方法을 써야한다. 高純度の Turbin用 補給水所要量은 5~15t時 程度이다.

다) 基礎地盤——차폐用 콘크리트 等の 벽체重量이 큼으로 一般의으로 火力發電의 경우보다 良好한 地盤이 要求되며 50t/m<sup>2</sup> 以上の 許容支持力이면 可하다.

라) 輸送條件

建設當時에 重量物은 200~300ton 程度까지 있으며 原子爐容器, 復水器, 發電機 等の 長尺物은 原力爐容器 熱交換器 發電機의 回轉子 등이 있음으로 附近의 海運을 利用하여 上陸 後 現場까지 鐵路, 도르레궤기, 트레일러 等に 依한 現場까지의 搬入을 생각하여야 하며 平常時에는 使用하고난 燃料, 코핀 (Coffin)荷重 50~1007ton에 對한 運搬路를 고려해야 한다.

§ 4. 所要 施設

發電所 全體의 安全한 運轉을 爲하여 全體 機能을 大別하면 아래와 같다.

가. 中央 制衛室

原子爐에서 送電線까지의 全體를 中央에서 運轉管理하는 곳으로서 必要한 配電盤을 設定하기에 充分한 넓이와 모든 電話, 인타폰 등 의 施設과 명량성이 있어야 함.

나. 冷却系統 施設

原子爐 耐壓容器 熱交換器, 循環機, 펌프콘덴사 등의 設置 場所를 考慮함.

다. 燃料 取扱 施設

㉑ 新 燃料 貯藏 施設

鐵筋 콘크리트 造로 하여 耐火에 注意하고 換氣를 充分히 함.

㉒ 使用濟 燃料體 貯藏 施設 普通

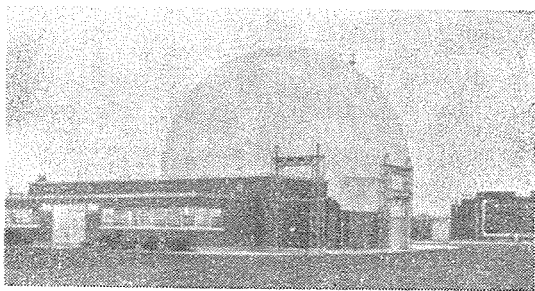
貯水機 속에 저장함.

㉓ 使用濟 燃料 解體 處理施設

普通 貯水棟 속에서 遠隔操作方式에 依함.

라. 原子爐 콘테나(Container)

原子爐의 不시의 事故로 一次 四距破壞 등을 當할 時 이것이 外部로 流出치 못하도록 全體를 포장한 半徑이 約 1km의 鋼板製球 또는 圓筒 구조體를 말하며 全體가 鐵筋콘크리트 基礎위에 設定하되 内部 上半部는 作業室 下半部는 原子爐, 터어빈, 貯水器 등 콘크리트 築造物이 收納됨. 「콘테나」는 完全 氣密性을 保持하여야 하며 外部 出入口 등은 特히 程度가 出入할 수 있음이 便하고 二重門으로 하여 문틈도 完全壓력과 氣密을 保持할 수 있는 構造이어야 함. 有故時에 全體에 散水하여 放射能을 吸收케 하기 위하여 此에 必要한 大量에 물을 天障에 貯藏케 할 경우에는 此에 必要한 Load를 加算하여 設計하여야 함.



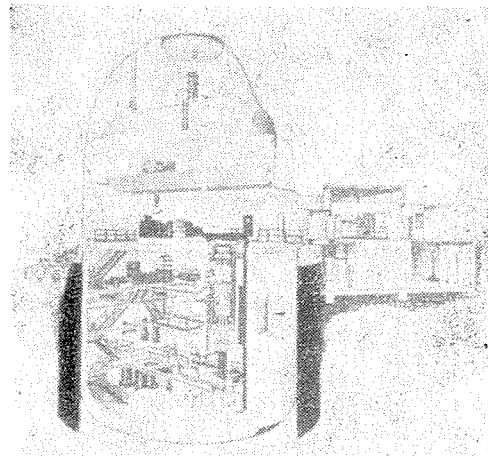
第7圖 B.W.R型原子力發電所外觀

第7圖는 4,500kw 出力의 沸騰水型 原子力 發電所의 콘테나 外 第8圖는 同 内部 透視圖

마. 放射線 防護 施設

1. 遮蔽體

放射線 및 熱에 對한 保護施設로서 鐵板, 重量 콘크리트 등이 使用됨.



第8圖 BWR 原子力發電所内部透視圖

普通 放射線量(렌트겐) 材料内部의 放射線의 減率等에 依하여 計算함.

2. 淨化系統

發電所에서 使用하는 流體中 再使用 및 再循環하는 것에 對한 放射性 其他 汚染의 淨化系統 및 事故時의 高度의 汚染에 對備하여 廢棄物處理系와 連絡을 取할 수 있게 하되 各種, 分析試驗 等의 設備가 필요하다.

3. 換氣系統

施設內에 放射能汚染의 危險性이 있는 部分은 換氣系統은 別途로 하되 特히 其中에서도 高度, 輕度의 系統을 區分配管하되 輕度에서 高度로 向하게 하고 逆流防止設備를 해야 한다.

4. 廢棄物 處理系統

廢棄物 處理系統

一次 冷却材의 淨化系統, 使用濟燃料 冷却池, 一般 汚染除去를 爲한 掃除, 洗濯 等에 依한 排出液, 機械器具, 汚染除去作業의 排出液 等등의 放射性 廢棄物로서 氣體, 液體, 固體 等의 形態가 있음.

以上の 廢棄物은 下記와 같은 方式으로 各各 處理됨

㉑ 氣體는 前記 換氣項에 準하되 淚過, 放射能의 瞬間에 依한 減衰, 空氣 希釋 等を 經由하여 煙突等을 通하여 排出함.

㉒ 液體는 蒸發, 이온交換, 沈澱, 淚過, 時間, 減衰, 多量의 물 希釋 等を 經由하여 排出管으로 排出함.

㉓ 固體는 燒却, 化學的 不活性, 物體로의 變換, 時間減衰 等を 經由하여 耐腐性 容器에 封入하여 指定場所에 保管 또는 廢棄함.

㉔ 放射線 監視 및 健康管理 施設

發電所 全體에서 特히 放射線 汚染의 危險性이 있는 地域을 管理區域으로 定하고 此管理區域 出入口에는

健康管理室을 設置하여 更衣, 除染, 洗淨 等の 設備을 하되 放射線量의 測定設備을 하고 從業員의 Pocket放射線量累計, 피림뱃찌 等の 管理를 함.

### § 5. 原子力 發電所의 建設

原子力 發電所는 前記한 바와 같이 原子爐의 型式 및 發電量 等に 의하여 여러가지가 있으므로 一律的으로 說明할 수는 없으나 大體로 가장 大規模인 가스冷却型 發電所를 中心으로 하여 記述하면 建設中에 특히 유의 할 사항은 아래와 같다.

#### 가) 輸送計劃

重量物, 大形物 等に 對한 製作工場에서부터 現場設置까지의 經路, 所要期日, 運搬장비 等に 관한 상세한 계획을 필요로 한다. 壓力用器 等은 여러개로 분리하여 輸送하고 現場組立하는 경우도 있다. 熱交換器 等은 汽車便일 때에는 터널을 통과할 수 있는 적당한 치수로 분리하여 수송해야 하며 全體를 海上에 浮上시켜서 끌어난 후 滿潮時를 이용하여 門形크레인을 설치하여 上陸시키기도 한다. 차폐기 黑鉛製品 等은 輸送時 乾燥 低溫狀態(常溫以下)로서 破損에 주의해야 한다. 高價인 汚染防止를 要하는 燃料 等은 金屬製 容器에 收納하여 輸送한다.

#### 나) 建設用 設備

㉑ 門形移動크레인——發電所建物 全體의 上部를 往來하며 各種 建設重量物 運搬用으로 설치하는 門形 크레인은 原子爐가 二基以上 設置하는 경우가 아니면 크레인 自體建設費가 高價임으로 不經濟的이다. 移動距離는 壓力容器와 熱交換器의 運搬設置되는 位置까지로 하여 直線에. 일을 부설하고 電動, 多輪式(16車輛×4臺)으로 하여 運轉하게 하며 大體로 最大重量物의 重量을 標準으로 하여 200~500ton用으로 하고 引揚距離는 30~50m 정도가 된다.

㉒ 工事用電氣設備——工事用 電氣 가장 많이 所要되는 경우가 組立이 끝난 壓力容器 및 熱交換器 等の 電熱에 依한 燒込으로서 電熱線을 內側 또는 外側에 設置하고 外部를 熱絶緣을 한 後에 最高約 600°C로 約 120시간 加熱하며 此에 所要되는 電熱이 約 2.5KW이다. 기타 75mm 內外 두께의 各種 溶接 等に 溶接器 一臺當 20KW로 하여 最大 同時 使用量이 約 1KW로 보고 其他 合計하여 150KW 程度의 發電所의 경우 總 4~5KW가 所要된다. 따라서 此에 필요한 變電, 配電設備을 필요로 한다.

#### 다) 設置工事上의 주의

㉓ 各種器具 配管 等은 이음, 其他에 있어서 水壓 氣壓, 漏水, 耐電壓 等の 試驗을 하여 完全을 期하여야 한다.

㉔ 重要器具, 配管 等은 淸淨으로 保持키 위하여 更衣, 更靴 等の 設備가 필요하다.

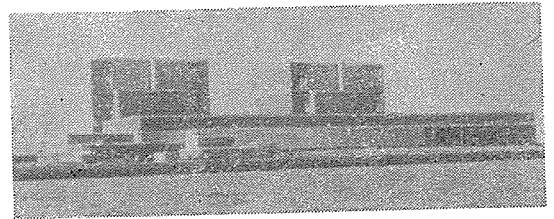
㉕ 材料保管에 注意하되 黑鉛 等은 乾燥, 低溫(常溫以下) 狀態로서 破損에 주의 하여야 한다.

㉖ 콘크리트공사는 配管貫通部 其他에 있어서 高度의 精密度가 要求되며 出入샷타들 等を 콘크리트 부을 때 매몰하는 경우도 있다. 熱에 의한 장래의 팽창을 고려하여 엄밀한 치수상의 이음을 요구하는 遮蔽材가 많다.

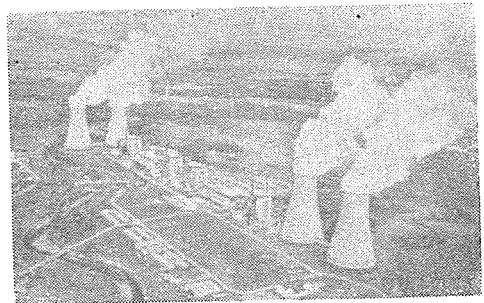
㉗ 雨露防止 等を 위한 假設物 및 各種工事材料 倉庫는 完全한 霪을 준비하여야 하는 경우가 많으므로 처음부터 장래 사용할 永久的인 倉庫를 建築할 경우도 있다.

### § 6. 大規模의 原子力 發電所

原子力 發電所의 規模가 큰 것은 原子爐의 型式이 가스冷却型의 例가 많으며 이러한 것은 영국에서 그例를 많이 볼수 있다. 原子爐 建物에는 爐를 中心으로한



第9圖 15萬KW의 原子力發電所



第10圖 50萬KW의 原子力發電所

四基의 巨大한 圓筒型의 熱交換器가 수직으로 四方에 있으며 爐建物에 연속하여 發電所 建物 內部에는 터어빈, 콘덴사, 發電機 等이 設비되는 것은 一般 火力發電의 경우와 같다.

다음 그림 第9圖는 150KW의 英國 Calder Hall 原子力 發電所의 外觀이다. 第10圖는 500KW의 英國 Hinkley Point 원자력 발전소이다.