

## 海水 淡水化의 研究와 問題點

徐 石 清\*

### 1. 序 文

産業의 급속한 발전, 生活水準의 향상 및 도시의 인구집중에 따라 淡水의 需要는 세계적으로 急増하고 있다. 따라서 물 不足 현상은 현재에도 심각하게 나타나고 있으며 장래 특히 큰 문제가 될 것으로 생각된다. 우리나라는 亞熱帶에서 溫帶에 걸쳐있는 넓은 지역에 위치하고 있으므로 비가 많이 내리고, 물의 혜택을 많이 받고 있는 나라로 생각되는 경향이 많지만 인구 1인당 강우량으로는 미국에 비하여 1/6밖에 되지 않고 게다가 국토의 幅이 좁고 山地가 海岸까지 接해 있으므로 빗물의 利用率은 극히 낮다. 그러므로 물 부족은 우리나라에 있어서도 가까운 장래에 증대한 문제가 될 것으로 우려된다.

이를테면 일본 建設省 河川局이 1971년에 정리한 조사 보고서에 따르면 1985년에 京浜 京葉 地域에서만도 31억톤/年の 물부족이 예상되고 있고 이것은 현재 東京의 年間 물 사용량의 2배 가까이 팽창된 量이다.

이 정도의 量을 댐의 건설 등에 따른 河川水 利用率 향상 정도로 기대한다는 것은 도저히 불가능한 것이다. 이러한 물 需給을 간파하므로써 今後の 물 공급을 海水에서 얻고자 하는것이 今後の 과제로 考慮하게끔 되었다.

河川水로는 원래 太陽에너지에 따라 海水에서 증발한 빗물이 원래 상태로 있는 것이므로 이것이 부족하면 海水에 人工에너지를 이용해서

淡水를 얻도록 하는 것이고, 뽑아낸 물의 가격을 어떻게 하든 낮추는 것이 최대의 문제이지만 에너지의 가격이 높아지고 있는 현재로서는 특히 고려해야 한다.

현재 海水 淡水化로 뽑아낸 淡水의 가격은 噸 당 수십엔이 되므로써 自然의 河川水 평균 가격인 약 10엔에 비해서 현저하게 高價이다.

그러나 河川水에서 얻어진 물의 價格은 今後 차츰 높아지는 경향이 있으므로 淡水化 裝置의 改良에 따라 造水價格을 저하 시킬수만 있다면 海水 淡水化는 장래 물부족을 해결하는 有力한 수단으로 될것이다.

### 2. 各國의 淡水化에 관한 技術開發

淡水化에 관해서는 선진 각국이 서로 다투어 多額의 연구개발비를 투자하고 있는 실정이며 몇몇 주요 국가들에 대한 연구 概要를 아래에 열거해 본다.

#### 1) 美 國

미국은 淨火水(pure water)의 수요증가에 따라 현재 대규모 淡水化 plant(Desalting Plant)의 건설이 계속 진행되고 있으며 이는 대량의 海水를 淨化하여 해안도시에 공급하려는 엄청난 계획인 것이다.

海水 淨化는 대규모 생산의 잇점은 있으나 증류법을 사용하므로 생산비가 많이 소요되는 취약점이 있다. 즉 海水 이외의 水源에 대한 淡水化 기술인 濾過法(Membrane Process : 鹽水を 얇은 膜에 통과시켜 염분과 기타 불순물을

\* 正會員, 울산엔지니어링

제거하는 방법)으로는 淡水 1,000갈론당 약 50~60센트의 생산비로 충분하나 海水淨化에 이용되는 증류법은 여과법의 약 5배에 해당하는 1,000갈론당 약 2.5\$가 소요된다.

현재 미국내에는 346개의 淡水처리 plant에서 하루에 약 68백만 갈론의 淨化水를 생산하고 있으나 대부분이 산업시설의 附帶 施設로서 제약(製藥)이나 식료품가공 및 맥주생산 등에 필요한 양질의 물을 공급하는데 그치고 있는 실정이다.

그러나 산업이 발달하고 인구가 증대함에 따라 음료수가 부족한 지역에 대한 급수를 위해 淡水生産 시설의 건립數가 늘어나고 있다.

예를들어 「플로리다」주에서는 사회경제 규모가 확장됨에 따라 Coral Gables 및 Key Largo 등과 같이 물에 鹽분이 많은 지역에 淡水化 Plant를 설치하고 있으며 남서부의 「오클로호마」에는 1974년에 이미 日産 3백만 갈론을 淡水化할 수 있는 Plant를 건설한 바 있다.

이외에 미국 최대의 도시용 淡水處理 Plant가 Los Angeles 남쪽에 건립되어 여과법을 사용하여 日産 5백만 갈론 규모의 淨水生産 공장이 1977년 가동되었으며 「플로리다」의 Key West에는 증류법에 의한 海水淨化 Plant가 가동중에 있는 실정이다.

이상과 같이 현재 미국에는 도시 급수용 淡水化 plant가 급속히 증가하고 있는 바 이러한 증가 원인으로서는 식수의 절대량이 부족한 데에도 원인이 있으나 무엇보다도 음료수의 最小適合 기준을 규정한 新安全 飲料水法(New Safe Drinking Water Act)에 기인한다고 N. W. R. A(National Water Resources Association: 전국 水資源協會)의 J. W. O'Meara氏は 언급하면서 현재 미국 내에는 1,000개 이상의 市 및 郡이 同法이 정한 기준에 미달하는 물을 사용하고 있다고 주장하고 있다.

현재 세계 전체로는(미국 제외) 1,036개의 淡水化 plant가 가동되어 日産 526백만 갈론의 淡水를 생산하고 있으며 「사우디 아라비아」는 물이 매우 부족하여 부득히 海水를 이용하지 않을 수 없으며 이에 따라 건설 및 생산비가 많이 소

요되는 증류법(Distilling Process)을 사용하게 되어 있다.

同 공장 건설에는 수십억 \$ 이상이 소요될 것으로 예상하고 있는 바 세계 주요 產油國인 「사우디」로서는 건설비 조달에 별 문제가 없는 것으로 보인다.

이러한 막대한 공장 건설에 우수한 淡水 技術을 보유하고 있는 미국이 적극적으로 참여치 못하는 것은 「이스라엘」과 거래관계가 있는 미국 商社에 대하여 아랍국들의 거부기가 있기 때문인 것으로 알려지고 있다. 미국 연방정부의 淡水化에 대한 연구 및 조사는 1952년 내무성에 鹽水課(Office of Saline Water)가 설치된 이후 水資源 研究所 技術課(OWRT)로 발전하면서 계속되어 왔다. 이에 따라 鹽水(Brackish Water) 및 海水(Sea Water)에 대한 淡水技術은 상당히 향상되어 오고 있으나 경제성은 별로 개선되지 않고 있다.

그 이유는 현행 淡水技術의 대부분이 Energy 다량 소비형 工程으로 되어있기 때문이다. 이하에 Energy 비용이 증대함에 따라 淨化水 생산비도 증가하여 왔으며 1973년 말의 Energy 파동 이래 증류법의 경우는 물론 여과법에 의한 淡水生産費도 1,000갈론당 30센트에서 60센트로 무려 2배나 증가한바 있다.

그러나 이러한 淡水 생산비의 증가에도 불구하고 미국은 국민들의 淡水의 필요성에 대한 깊은 인식에 힘입어 淡水의 조사 및 연구와 淡水化 Plant 건설에 박차를 가하고 있는 실정이다.

## 2) 英 國

英國의 當面 開發의 重點은 多段 flash 증발법이지만 여기에 이어 새로운 방법으로 flash 증발법, 垂直 長管式, 冷凍法, 電氣透析法, 逆浸透壓法이 개발되고 있다. 개발의 목적은 産業의 國家的 育成으로 國內에 있어서는 水資源 개발의 보조수단으로서 여겨져 왔고, 1963년~1967년까지 정부의 연구개발費는 약 520만 \$ (130만 파운드)에 이르렀고 1968년부터 3개년 간에 걸쳐 1,600만 \$ (400만 파운드)의 예산이 들었다.

英國 원자력 개발기구(UKAEA)가 기초적 문

제를 해결하고 Weir-Westgarth社에 多段 flash 증발법의 개발을 委託하였으며 연구비의 대부분이 多段 flash 증발법의 개발을 위해 쓰여졌고 Work group가 作成한 것들을 보면

- (1) flash 室의 構造 (2) 凝縮器  
(3) Scale 對策 (4) 材料 (5) Steam

이며, 스코틀란드 「Troon」에 새로운 海水 실험 시설이 Weir-Westgarth에 의해 제작되었고 이 시설은 4,500m<sup>3</sup>/day 정도의 대규모 Plant 特性 試驗을 실시할 수 있고, 英國에서는 장래 4~5만 m<sup>3</sup>/day 이상의 규모에 대한 效果도 기대할 수 있는 容量을 고려하고 있으며 2~5만 m<sup>3</sup>/day의 多段 Flash Plant 설계에 대한 연구가 진행되고 있다.

### 3) 이스라엘

1969年 海水 炎水化에 관한 專門部局(Israel Commission for Sea Water Conversion)가 조직돼 연구개발을 해 나가고 있다.

이스라엘은 1961年, 이래 原子力 發電과 炎水化를 結合 사용해 오고 있으며 미국과 협동으로 檢討를 해가며 初期에 20만 kW와 38만 m<sup>3</sup>/day와의 結合을 고려해 오고 있으며 건설 목표는 1971년도 였다.

近年의 조사에서 1970년 중순경에는 30만 kW와 57만 m<sup>3</sup>/day 정도가 필요하게 되었다.

이 정도에서 原子爐의 크기는 1,860MW(t)이며, 최근 原子爐의 標準化에 입각해 2,367MW(t)와 3,300MW(t)의 原子爐가 쓰이고 있어 당연히 過剩의 電力 사용방법을 고려하지 않으면 안된다. 이스라엘의 肥料, 소다공업, 알루미늄精製등의 process 공업에 이 電力과 蒸氣를 사용하기 위해서 調査하고 있다.

### 4) 프랑스

프랑스의 淡水化에 관한 活動狀況은 각국에 이미 잘 알려진 사실로서 작년 쿠웨이트에 세계 최대의 2.25만 m<sup>3</sup>/day의 裝置 5基를 受注한 바 있어 이목을 집중시켰고 실제적으로 活動이 활발하다. 프랑스 정부는 1966年 政令으로 科學技術 및 原子力 宇宙問題 담당 大臣을 長으로 하

는 炎水化問題 委員會를 설치, 여기에 D. G. R. S. T(과학기술연구 總合代表部), C. E. A(原子力廳), E. D. F(電力公社), 工業省, 軍事省(研究, 試驗 施設局)에도 水問題 研究擔當 常任 書記官을 참여시켜 計劃토록 했다.

C. E. A는 D. G. R. S. T와 협력하여 淡水化 分野에 대해서 민간 및 公共機關에 對하여 연구개발 노력을 촉진토록 調整했으며, 上記 위원회의 決定에 대한 實行機關으로 일하고 있다. C. E. A에서는 2년 前부터 年間 500~600만 프랑의 예산으로 傘下 연구소에서 연구토록 하였다.

연구 사항에 대해서는 아래의 내용과 같다.

- 1) 증발법에서의 熱的, 流體動力學的 問題
- 2) Scale 問題
- 3) 材 料
- 4) 逆浸透膜의 物理的 特性
- 5) 高溫 電氣 透析
- 6) 原子力과 結合시킬 수 있는 大型 炎水化裝置의 概念 設計
- 7) 經濟的 견지에서서의 工業經濟的 研究

C. E. A에서는 海水 腐食에 대한 연구는 「라. 아. 구 Center」에서 行하도록 또 「쓰-몬」에서는 시험 시설을 갖추도록 했다.

프랑스에서 주목될 만한 연구는 數個의 多段 Flash를 조합하여 Scale의 발생을 일으키게 하는 Brme의 온도를 150°C까지 올리는 방법, 脫鹽水와 天然水를 組合할 수 있게하는 合理的 使用法의 檢討를 시작하여 다소간의 상승효과를 기대할 수 있었다는 事實이다.

### 5) 이탈리아

이탈리아 南部는 雨量이 적어 물이 부족되는 경우가 많다. 그리하여 16,500m<sup>3</sup>/day의 裝置가 이탈리아 各地에서 稼動되고 있으며 연구개발에 힘을 기울이고 있으며 政府는 L'Institute di Ricerca Sulle Acqua del Consiglio Nazionale delle Ricerche(C. N. R.)을 設立, 서해안의 「마리」 淡水化 연구 시설을 만들어 광범위한 연구활동을 행하고 있다.

6) 日 本

비가 많이 내리는 나라에 속해 있는 日本에서도 前述한 바와 같이 1985년 경에는 예상外로 물이 부족하게 될 것에 對備하여 1969년부터 通産省에서 대형 Project인 多段 Flash 法の 개발을 시작하기 위해 총액 50億圓의 예산을 책정 했었다. 그에 대한 개발의 테-마는 아래와 같다.

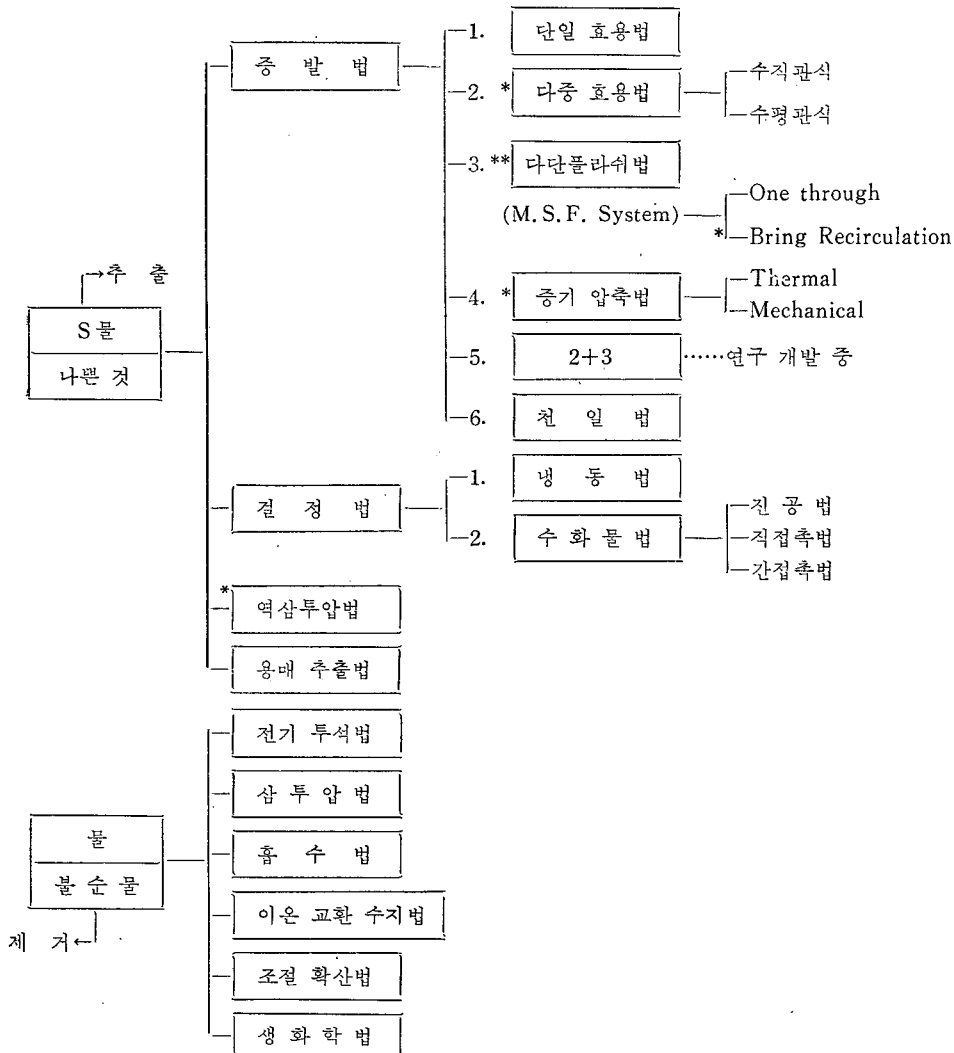
- 1) 材料의 選定(傳熱管 및 蒸發管體)
- 2) 海水의 前處理 및 Scale의 制御

3) 高流速 長管式 多段 Flash 증발관의 構成 (3,000m<sup>3</sup>/day plant의 建設과 運轉)

4) 最適化 및 制御

現在の 예정으로는 1973년까지는 각종 Data를 수집, 그것을 기초로하여 10만 m<sup>3</sup>/day Plant의 概念設計를 행하여 일부분(모줄)을 실제 製作하여 運轉과 改造를 했다. 그 결과가 순조로워 1975년대의 前半에는 10만 m<sup>3</sup>/day Plant를, 後半에는 100만 m<sup>3</sup>/day의 Plant 建設을 企劃하고 있다.

3. 담수화 공장 건설 공법 방안(요약)



4. 多段 Flash(Mult-Stage Flash Sysetm: M. S. F. System)法

1) 개 요

Flash 이라고 하는것은 加熱한 海水를 그 증기 압 보다도 낮은 압력실에 끌어들여 순간적으로 沸騰(이것을 Flash 라고 말한다)시켜서 수증기를 발생시키는 방법으로서 수증기는 증발실의 上部에 있는 傳熱管內에 흐르고 있는 海水와 熱交換하여 眞水로 된다.

한편 전열관내의 따뜻해진 海水는 가열기에 따라 특히 고온으로 되어 증발실에 다시 들어가게 된다. 이 순환계통에서 가열기에 쓰이는 열 에너지의 효율을 가능한 한 높이는 목적에는 증발실의 수(段數)를 많게 해서 미소한 온도차(압력차)를 이용해서 Flash 효율을 좋게 행하는 것이 필요하며 그림 1은 증발실 6段의 Flash 형 淡水化 裝置로서 이 시험장치의 作動概念을 나타낸 것이다. 실제의 장치에서는 그림 1에서 보여준 이외에 공급 海水의 脫酸素, PH 조정, 銅 및 鐵分 제거 등의 附屬裝置가 필요하게 된다.

간단히 요약하면 Sea Water Pump 에 의해 공급되는 바닷물은 냉각제로서 발생하는 스팀을

응축시키고 대부분은 바다에 버려지고 일부는 스케일 방지약품이 첨가되고 탈기된 후 마지막 플래쉬 챔버(Flash Chamber)에 주입되어 농축브라인과 혼합된다.

이에 대부분은 냉각제로 열회수부에 도입되고 나머지는 순환 브라인의 농도를 조절하기 위해 바다에 버려진다.

순환 브라인은 증기를 냉각시키면서 충분히 예열된후 브라인 히터(Brine Heater)에 들어가는데 여기서 예정온도(110°C 가량)까지 가열된 후 플래쉬 챔버에 들어가 마지막 단까지의 연속적인 단에서 증기를 발생시킨다.

이때 발생한 증기는 각 챔버의 튜브다발에서 응축되어 다음 챔버로 옮겨져 맨 마지막 단에서 담수로 뽑아낸다.

상기 MSF 공정은 세계에서는 70%, 중동지역에서는 98% 적용하고 있는 실정므로 앞으로는 이 공법의 활용이 더욱 증가될 것으로 본다.

2) 장 점

- (1) 대규모 공장에 적합하다.
- (2) 폐열이용 가능 곧 발전소와 병설될 경우 저압스팀(페스팀)을 사용할 수 있어 원가절감으로 제조비가 저렴하다.

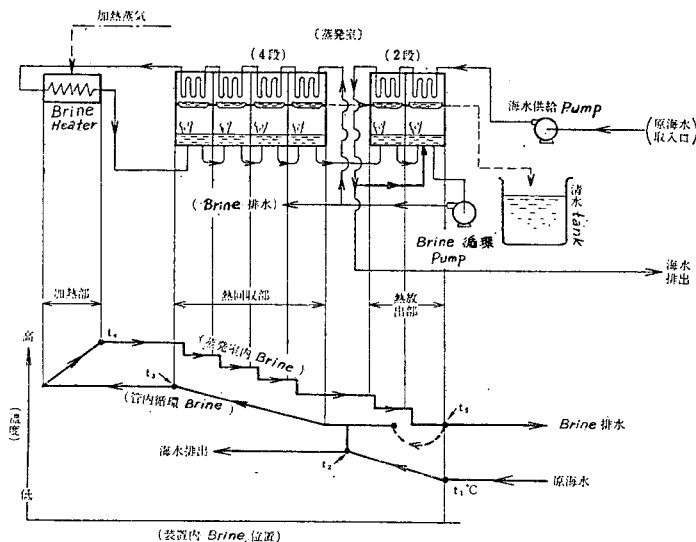


그림 1. 多段 Flash 型 海析淡水化 裝置. 動概念圖

- (3) 열 효율이 높아 곧 열 경제성을 쉽게 증가시킬 수 있다.
- (4) 담수 용량과 생산 비율을 자유로이 선택 가능하다.
- (5) 가열 표면의 스케일 조절(Scale Control)이 매우 용이하여 열 전달 계수를 오랫동안 좋은 상태로 유지할 수 있다.
- (6) 정비 작업과 시동, 정지시의 과정이 용이하여 운전이 용이하다.
- (7) 보충 바닷물의 전처리 장치와 분사 스팀은 적은 용량으로 만들수 있고 장치의 부식이 극소화 된다.
- (8) 공장 배치를 유동적으로 할수 있다.

### 3) 단 점

- (1) 장치 재료가 고가의 것으로 Titanium, Cupronickel, Aluminum Brass, Epoxy Resin, Chloroprene 등으로 대체로 전열관 재료비가 전 장치비의 30—50%를 차지한다.
- (2) 처리해야 하는 해수의 량은 100,000m<sup>3</sup>/Day 규모의 담수화 공장의 경우 1,200,000m<sup>3</sup>/Day (220,000GPM)이라는 엄청난량이 필요하다.

### 4) 특 성

- (1) Corrosion : 용존산소, PH 관계에서 Deaerator에서 탈기해서 O<sub>2</sub>, N<sub>2</sub> 등을 제거시켜야 하며 Decarbonator해서 CO<sub>2</sub> 또는 탄산을 제거해야 된다.
- (2) Scale Formation: Consistency(농도), Temp 관계의 유지의 적정화
- (3) Sluge: CaSO<sub>4</sub>, CaSO<sub>4</sub>·1/2H<sub>2</sub>O, CaSO<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O가 생기지 않도록 운전.

## 5. 各 工程別 概要

다음에 설명하고자 하는 것은 海水로부터 淨水를 얻을 수 있는 효과적인 원리인 M. S. F. System의 기초 공정에 대한것으로 蒸發器(Evaporator), 海水加熱器(Brine Heater), 酸處理 시스템(Acid Treatment System), 蒸氣噴射眞空 시스템(Steam Jet Vacuum System) 등 4개의 주

요 부분으로 나눌수 있으며 각 회로(Circuit)별 주요 공정은 다음과 같다.

### 1) 총 론

해수는(Cold Sea Water) Heat Reject Stage의 Condenser로 인입되어 열을 흡수한후 대부분 바다로 방출된다.

Condenser에서 열을 받은 해수의 일부는 Scale방지를 위해 조치가 주어지고, 공기를 제거한후 Last Stage에서 처리되고 Flash Chamber에 보충수로써 들어가게 된다.

Brine은 Heat Recovery Stage의 저압 Stage로 재순환하게 된다.

이 Brine은 증발기의 Heat Recovery Stage를 지나면서 각 Stage마다 수증기로 부터 열을 받게 된다. Brine이 Heat Recovery Stage의 전 과정을 지나면서 담수 생산에 필요한 요구 열량의 83% 이상을 받게 된다.

담수 생산에 필요한 나머지 열량은 Brine Heater에서 외부의 열(Steam)로써 충당되며 이곳에서 최고 필요 온도(Maximum Desirable Level)까지 가열된다.

그리고 Brine은 Heat Recovery Stage의 제 1 Stage로 들어가며 이곳에서 포화 압력 이하로 유지된다. 이렇게 하여 Brine의 일부가 증발하게 되어 열적 평형을 얻게 된다. 나머지 Brine은 다음 Stage를 통과하게 되며 이러한 과정은 계속적으로 반복된다.

각 Stage에서 발생된 증기는 Demister를 통하여 Condenser로 가게 된다.

그리고 증기는 Condenser Tube에 응축하게 되며 재순환하는 Brine에게 열을 주게 된다.

Tube로부터 나온 응축된 물방울은 Tube로부터 증발접시에 떨어지며 증발 접시는 보다 압력이 낮은 Stage로 연결되어 흐르게 된다.

그리하여 증발된 정수는 Last Stage로부터 끊임없이 나오게 된다. Last Stage에서는 고체 상태의 소금이 포함된 고 농도의 Brine은 다시 증발기를 통해서 재순환한다. 반면에 이러한 운동을 하기전에 Brine의 일부는 Pump에 의해서 밖으로 배출되고 보충수가 Brine에 보충된다.

배출되는 물의 양은 보충수에서 담수 생산량을 뺀 양과 동일하다.

## 2) FEED SEA WATER CIRCUIT

해수는 Heat Reject Section의 Last Stage로 pumping 되어 Heat Reject Section의 First Stage로부터 배출된다.

정상 조업 조건하에 해수는 Heat Reject Stage에서 잠열을 흡수하여 흡입온도  $36^{\circ}\text{C}(96.8^{\circ}\text{F})$ 보다  $8.5^{\circ}\text{C}$ 가 상승하게 된다.

Heat Reject Section의 First Stage를 떠날때 보충수는 인입(引入)된다. 그리고 나머지 해수는 바다로 배출 된다.

보충수의 일부는 Last Stage에 도달하기 전에 분기되어 Air Ejector 냉각수로써 사용된다.

## 3) RECYCLE BRINE CIRCUIT

Last Stage에서 증발기의 Shell Side를 흘러간 Brine은 순환 Pump에 의해서 Heat Recovery Section의 Condenser Tube로 재순환하게 된다.

재순환 Brine은 각 Stage에서 증발된 증기를 응축시키는데 필요한 냉각수로써 작용하게 되어 각 Stage 간에서 응축되는 증기로부터 열을 받는다. 이런 응축증기를 증류수 또는 담수라 부른다.

재순환 Brine이 Stage 1. 압축관을 떠났을 때는 담수 생산에 필요한 열량의 약 85%를 받게 된다. 그리고 Brine이 Brine Heater로 들어가서 저압기에 의해  $212^{\circ}\text{F}(100^{\circ}\text{C})$ 의 최종 온도까지 가열된다.

다음에는 Brine이 Heater를 떠나서 증발기의 Stage 1. Flash 제어장치 안으로 흘러들어 간다.

Stage 1과 Brine Heater의 압력의 차이로 Brine이 가지고 있는 운동 에너지와 결합하여 Flash 제어장치를 통해서 상승 칸막이 안으로 들어가도록 한다.

Stage 1. Flash Chamber의 압력이 들어오는 Brine의 포화 압력보다 낮기 때문에 Brine의 일부는 Stage 1의 상승 칸막이로 들어 오면서 Flashing하여 증기를 발생시킨다. 압력 차이로 인해 Flashing에 의한 증기의 형성은 Brine/증

기 혼합물의 밀도를 낮춰서 혼합물을 칸막이의 꼭대기 위로 운반시킨다.

상승 칸막이는 Stage 마다의 압력차이에 따른 누설을 방지하는 밀폐 장치로도 작용한다.

이러한 작용은 증기가 Flashing 및 분리하는 데 큰 표면적을 주어 유통 경로를 만들어 주는 역할을 한다. Brine과 수증기의 혼합물이 Brine Level까지 떨어짐으로 증기분자들은 액체 방울로부터 분리되어 Mesh Demister를 통과하게 된다. 흐르는 유로를 아래로 바꿔줌으로 해수가 Demister 위로 향하여 Condenser Section으로 흘러가는 것이 방지된다.

Stage 1로부터 나온 Unflashed Brine은 Flash 제어장치인 오리피스를 지나고 Stage 2의 상승 칸막이 안으로 들어가게 된다. Stage 1과 Stage 2의 압력의 차이는 낮은 압력의 Stage 2로 Flash하게 한다.

Brine과 수증기의 혼합물은 Weir 판의 꼭대기를 넘쳐 흐르게 되고 Stage 2의 Flash Chamber아랫쪽으로 기울게 된다. Brine과 수증기의 혼합물이 분리된 후 Unflashed Brine은 공정이 반복되고 있는 Stage 3의 Flash 제어장치 쪽으로 흘러간다.

이러한 공정은 전 Stage에서 계속적으로 반복된다. 연속된 각 Stage의 낮은 압력(고진공)은 내부로부터 Pumping 장치의 도움없이 Brine이 Stage에서 Stage로 흘러가게 하는 역할을 하게 된다. Last Stage에서 Brine의 일부분은 Pump에 의해서 밖으로 배출되고 보충해수가 공급되어 Brine과 혼합하게 된다.

보충 해수가 Brine과 혼합된후 Brine은 Brine 재순환 Pump에 의해서 Last Stage로부터 이동하게 된다. 보충 해수의 공급과 농축 Brine의 배출에 의해서 Brine의 염분이 알맞는 비율로 유지된다.

보충 해수는 Heat Reject Section의 stage 1의 판을 떠나는 Feed Sea Water에서 분기되어 일부분이 보충수로써 사용된다. 그것이 마지막으로 산처리되고, 탈탄되고, 공기를 빼서 Scale 형성을 줄이고, 부식율을 절감시키고 또한 비응축 개스의 양(量)을 줄이게 된다.

#### 4) 증기와 증류회로(VAPOR AND DISTILLATE CIRCUIT)

Stage 1. Flash Chamber 에서 Brine 으로부터 Flash 된 수증기는 높이 올라가며 Stage 1의 Mesh Demister 를 통해서 지나가면서 이곳에서 액체 물방울이 수증기로부터 분리된다. 액체는 수증기가 Stage 1. 응축 부분(Condense Section) 을 지나가는 동안 공급 Brine 로 되돌아 떨어져 나온다.

수증기는 Tube 의 바깥부분에서 응축된다. 응축된 증기 즉 담수는 떨어져서 증류수 접시에 한데 모여지고 오리피스를 통해 흘러 Stage 2의 증류접시 안으로 들어간다. Stage 2에서는 이것의 소량부분이 재증발해서 Tube 속에서 응축되

어 다시금 증류접시 안으로 떨어져 나온다. 증류수는 Stage 를 지나는 동안 계속 재증류해서 재응축함으로써 관내의 Brine 에게 열을 빼앗긴다.

그리고 관속에서 재순환 Brine 응축으로 인해 열량이 감소한다. Stage 1의 증류수가 Stage 2 에서 재증발할때 Stage 2의 Flash Chamber 로부터 나온 증기는 Demister 를 통해 올라오고 Tube 에 응축해서 증류수 접시에 떨어진다.

다음 각 연속된 Stage 의 공정도 Stage 2에서와 같이 유사하다. 각 Stage 의 응축부분의 Air Baffle 은 공기냉각 부분을 형성하며 전 비응축 개스들은 배출 매니폴드의 배출구를 통하기 전에 이곳을 통과하게 된다.

증류수는 Last Stage 에 있는 증발기로부터

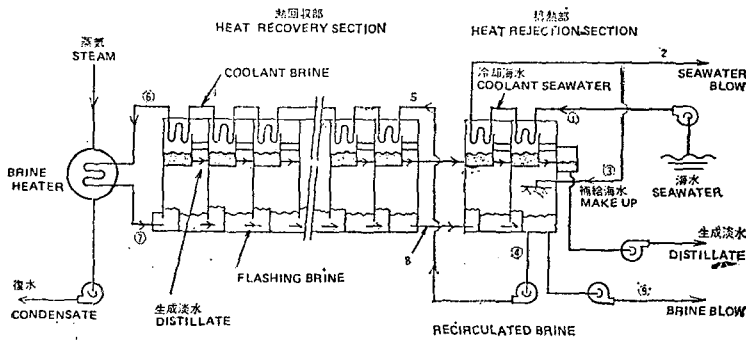


그림 2. Flow Diagram of Multi-Stage Flash Process

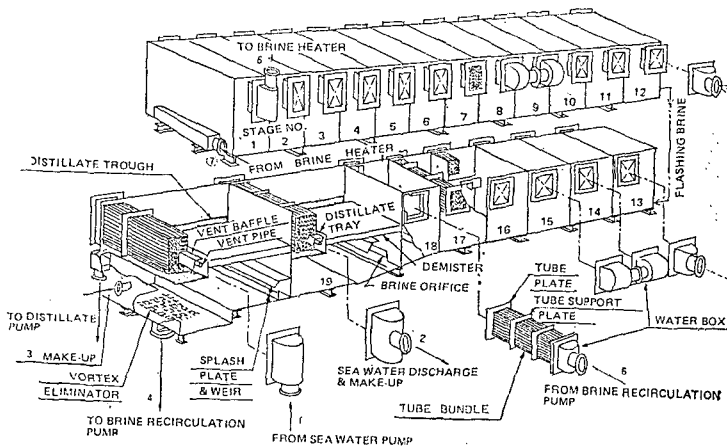


그림 3. Construction of Multi-Stage Flash Evaporator



최종적으로 옮겨지고 증류 Pump 를 통해 저장 Tank 안으로 모아지게 된다.

5) 배출회로(VENTING CIRCUIT)

Stage 1의 비응축 개스는 Condenser Section 에 있는 Air Baffle 로 형성된 공기냉각부분에 모아지게 된다.

수증기와 비응축 개스의 혼합물은 Stage 2의 Condense Section 으로 이어진 배출파이프를 통해 배출된다. 비응축 개스가 Stage 2로 끌어들이어진 후 Stage 2의 공기냉각부분에 도달하게 된다.

다음 각 Stage 의 Collecting System 에서 비응축 개스의 공정은 위에서와 같이 유사하다. 최종적으로 비응축 개스는 Last Stage 에 도달하고 2중으로 된 2개의 Stage 로 구성된 Ejector 진공 System 에 의해 배출된다.

6) 증기회로(STEAM CIRCUIT)

Brine Heater 용의 포화증기는 Boiler Plant 로 부터 공급된다.

저압 증기는 Brine Heater 로 유입되어 관 표면에 응축된다.

6. 淡水化 Cost 算出에 관한 1,2의 例

1) 「지프아나」의 例

멕시코의 「지프아나」에 14,300m<sup>3</sup>/day 의 裝置 2기가 稼動하고 있는데 이 裝置는 1970年 당시 技術的으로 最新銳라고 했다.

多段 flash 증발 方式으로 熱回收部 40段, 熱放出部 4段, Brine 최고 온도가 235°F(113°C)이다. Steam 1톤당 淡水 30m<sup>3</sup>을 얻을수 있고, 이 裝置의 加熱 Steam 은 既設 發電所로부터 공급된다. 그 Cost 는 314/100만 BTU(2.06 \$/10<sup>6</sup> kcal)이다. 이 裝置에 대한 淡水化 Cost 의 推定을 표 1 에 나타냈다.

이 표에 표시된 바와 같이 淡水 Cost 는 0.29 \$/m<sup>3</sup>로 이 숫자는 지금까지의 여러 경우에서 수천 m<sup>3</sup>/day 의 裝置에 사용되었던 경우의 실적 약 0.46 \$/m<sup>3</sup>에 비해서 현저하게 적은 숫자로

표 1. 멕시코 「지프아나」의 豫定 原價

| 항                                | 목 | Cost \$ / 1,000gal | 圓/m <sup>3</sup> |
|----------------------------------|---|--------------------|------------------|
| 년율 8%의 고정비                       |   | 0.21               | 20               |
| Steam(1 Lb/水 10 Lb)(31 ¢/백만 BTU) |   | 0.239              | 23               |
| 전력(7 kWh/1,000gal)(단가 1.2 ¢/kWh) |   | 0.083              | 8                |
| 화학약품(2.5 Lb/1,000 gal)           |   | 0.06               | 6                |
| 유지, 관리, 보수 등                     |   | 0.058              | 5                |
| 합                                | 계 | 0.65               | 62               |

이것은 각종 기술의 진보로써 이루어 졌다고 보겠다.

2) 原子力 産業會議의 Working Group 의 作業 結果

出力 100만 kW 의 원자력 발전소와 50만 m<sup>3</sup>/day 의 淡水化 공장을 결합하는 案이 「마드리드」에서 1968년 11월에 개최되었던 原子力 脫鹽 심포지움에서 제출되었었다.

이러한 計劃은 3,450MW(t)의 原子爐用, 100만 kW 의 發電을 행하고 이중 72만 kW 는 復水 Turbine 에 의한 發電이고, 나머지 28만 kW 는 배압 Turbine 에 의한 發電이며 2.46 ata 의 Steam 을 淡水裝置에 보내어 Steam 1톤당 물 11m<sup>3</sup>을 얻으므로써 Cost 試算이 행해졌다.

표 2 에서는 각각의 동일한 전기출력 발전에

표 2. 二重目的 工場의 原子力 發電所 建設費

|   | 항            | 목          | 단 위   | 단일목적  | 이중목적  |
|---|--------------|------------|-------|-------|-------|
| 1 | 원 자 로        | 출 력        | MWt   | 3,000 | 3,450 |
| 2 | 발전           | Turbine 출력 | MWe   | 1,000 | 720   |
| 3 | 복수           | Turbine 출력 | MWe   | —     | 280   |
| 4 | 발 전 소        | 출 력        | MWe   | 1,000 | 1,000 |
| 5 | 건 설 비        |            | 億 \$  | 2.09  | 2.25  |
|   | (同上 kW 당 비용) |            | \$/kW | (209) | (225) |
| 6 | 건 설          | 利 子, 기 타   | 億 \$  | 0.32  | 0.34  |
| 7 | 총            | 건 설 비      | 億 \$  | 2.41  | 2.6   |
| 8 | 건 설          | 비 단 가      | \$/kW | 241   | 260   |

서 단일목적 및 이중목적으로 만들 경우를 포시 하였으며 이것을 기본으로 하여 각각 표 3와 같이 발전 원가를 계산, 이의 차이가 증기 단가로 계산되며 단가는 2.46 ata에서 0.45\$/톤으로 산출된다. 그리하여 金利를 6.9%, 운전일수 300日/年, 건설비 4.65\$/m<sup>3</sup>/day 등을 가정했을 때 元金均等 償還法에 의한 Cost 계산이 표 4와 같이 된다.

이 0.17\$/m<sup>3</sup>이 初年度의 값이고 상환되어 감

표 3. 發電原價 및 蒸氣原價

| 항 목           | 단 가    | 단일목적                  | 이중목적   |
|---------------|--------|-----------------------|--------|
| 1 고정비         | \$/kW年 | 26.5                  | 28.5   |
| 2 연료비         | "      | 22.8                  | 26     |
| 3 운전유지비       | "      | 5.1                   | 5.5    |
| 4 세금 및 일반관리비  | "      | 2.37                  | 2.6    |
| 5 연간 kW 당 총경비 | "      | 56.5                  | 62.7   |
| 6 연간 운전 시간    | Hr     | 7,008                 | 7,008  |
| 7 발전원가(發電端)   | \$/kWh | 0.008                 | 0.009  |
| " (送電端)       | "      | 0.0085                | 0.0094 |
| 8 발전원가차       | "      | 0.0009                |        |
| 9 연간 금액차      | \$/年   | 5.9                   |        |
| 10 연간 造水用 증기량 | 吨/年    | 13.28×10 <sup>6</sup> |        |
| 11 증기 단가      | \$/吨   | 0.5                   |        |

- 註: 1) 이용율: 80%  
 2) 고정비율: 10.97%  
 3) 연료비: 0.003\$/kWh

에 따라 당연히 감소하는 것으로 하나의 목표로서 고려될 수 있다.

표 4. Cost 推 定

| 500,000m <sup>3</sup> /day 脫鹽水 단가<br>(造水比: 1:11) |                            |
|--|----------------------------|
| 건설비  | \$ 232/m <sup>3</sup> /day |
| 운전일수   | 300日/年                     |
| 金利(金利)   | 6.9%                       |
| 증기 단가  | 44.9\$/吨                   |
| 直接運轉費  |                            |
| 1) 증기비   | 0.04                       |
| 2) 전력비   | 0.014                      |
| 3) 화학약품비   | 0.009                      |
| 4) 비품 및 보조자재                                     | 0.004                      |
| 5) 保守 노력비  | 0.004                      |
| 6) 運轉 노력비  | 0.0007                     |
| 小計   | 0.0717                     |
| 其他의 運轉費  |                            |
| 7) 특별給與  | 0.0007                     |
| 8) 관리비·일반경비                                      | 0.0016                     |
| 9) 償却費   | 0.035                      |
| 10) 金利(金利)                                       | 0.057                      |
| 11) 운전자금金利                                       | 0.0024                     |
| 小計   | 0.0967                     |

合計 1m<sup>3</sup> 當 \$ 0.1684

7. 日本의 海水淡水化 「플라트」 受注實績(蒸發法)

1977年 7月末 現在  
 ▲ 印은 共同受注를 表示

| 業 體 名     | 工 事 名                 | 容量 m <sup>3</sup> /日(基數) | 納入 年月日  |
|-----------|-----------------------|--------------------------|---------|
| Sasakura  | Saudi Arabia(아라비아 石油) | 2,300                    | 62. 12. |
| (銜倉機械製作所) | 松島炭嶺嶺·池池島嶺業所          | ▲ 2,650                  | 63. 3.  |
|           | Iran                  | 125(×2)                  | 64. 2.  |
|           | Kuwait 政府電氣水利省        | ▲ 9,100(×2)              | 64. 6.  |
|           | Kuwait 政府電氣水利省        | ▲ 9,100(×2)              | 64. 12. |
|           | Kuwait 政府電氣水利省        | 115                      | 64. 12. |

海水淡水化의 研究와 問題點

| 業體名                    | 工事名                   | 容量 m <sup>3</sup> /日(基數) | 納入年月日   |
|------------------------|-----------------------|--------------------------|---------|
| Sasakura               | Iran                  | 60                       | 65. 1.  |
|                        | 關西電力・姫路第二火力           | 1,200                    | 65. 6.  |
|                        | Iran                  | 905                      | 65. 6.  |
|                        | Egypt(루마니아 政府)        | 96(×3)                   | 66. 4.  |
|                        | Kuwait 政府電氣水利省        | ▲18,200                  | 66. 5.  |
|                        | 首港政廳                  | 228                      | 67. 2.  |
|                        | 工業技術院(神奈川)            | 3,000                    | 67. 4.  |
|                        | Bahrain 政府電氣局         | 520                      | 67. 5.  |
|                        | Saudi Arabia(아라비아 石油) | 2,300                    | 67. 6.  |
|                        | 西日本 탄카-씨비스(伊王島)       | 60                       | 67. 8.  |
|                        | Algeria               | 960                      | 67. 10. |
|                        | 輕金屬協會(茅ヶ崎)            | 20                       | 68. 10. |
|                        | TEC/東獨                | 3,600                    | 69. 1.  |
|                        | TEC/東獨                | 3,840(×2)                | 69. 1.  |
|                        | Saudi Arabia 肥料       | 1,300                    | 69. 3.  |
|                        | Saudi Arabia 政府       | 550                      | 69. 6.  |
|                        | Mexico(GAIMAZ 火力)     | 360(×2)                  | 69. 6.  |
|                        | Saudi Arabia(Aramuco) | 1,100                    | 69. 7.  |
|                        | Bajrain(石油)           | 1,700(×2)                | 69. 8.  |
|                        | TEC/peru              | 3,120                    | 69. 9.  |
|                        | Saudi Arabia(Aramuco) | 1,630                    | 69. 12. |
|                        | TEC/Algeria           | 380                      | 70. 4.  |
|                        | 中部電力・西名古屋火力           | 1,000                    | 70. 6.  |
|                        | 古河電工/Peru             | 1,500                    | 70. 9.  |
|                        | Libiya(Slyden 市)      | 4,500(×3)                | 70. 12. |
|                        | 關西電力・第2多奈川火力          | 2,000                    | 70. 12. |
|                        | 工業技術院(테스트모듈)          | 9,000                    | 71. 3.  |
|                        | 兵庫縣家島町役場              | 1,000                    | 71. 3.  |
|                        | 四國電力・伊方原子力            | 1,000(×2)                | 71. 10. |
|                        | 首港政府                  | 30,000(×6)               | 71. 12. |
|                        | Saudi Arabia(Aramuco) | 1,630(×2)                | 71. 12. |
|                        | Saudi Arabia(아라비아 石油) | 2,300                    | 71. 12. |
|                        | TEC/Algeria           | 8,000(×3)                | 72. 1.  |
|                        | 宇和島市水道局(日振島)          | 200                      | 72. 2.  |
|                        | 關西電力・大飯電子力            | 1,300                    | 72. 3.  |
|                        | 東亞建設/Irag             | 150(×2)                  | 72. 8.  |
|                        | Qatar                 | 18,200(×4)               | 73.     |
|                        | Saudi Arabia 政府       | 11,000(×2)               | 73.     |
|                        | Saudi Arabia 政府       | 11,000(×2)               | 74.     |
|                        | Abudhabi              | 18,000(×4)               | 74.     |
| Saudi Arabia(台船 Plant) | ▲682(×3)              | 74.                      |         |

小 計

77基

※ 494,812

徐 石 清

| 業 體 名                            | 工 事 名                  | 容量 m <sup>3</sup> /日(基數) | 納入 年月日     |
|----------------------------------|------------------------|--------------------------|------------|
| Ishikawasima Harima<br>(石川島播磨重工) | Saudi Arabia(아라비아 石油)  | 1,900                    | 63. 3.     |
|                                  | 松島炭礦・池島鑛業所             | ▲ 2,650                  | 63. 3.     |
|                                  | Kuwait 政府電氣水利省         | ▲ 9,100(×2)              | 64. 6.     |
|                                  | Kuwait 政府電氣水利省         | ▲ 9,100(×2)              | 64. 12.    |
|                                  | Kuwait 政府電氣水利省         | ▲18,200                  | 66. 5.     |
|                                  | Lebanon 政府電氣局          | 520                      | 66. 5.     |
|                                  | Kuwait 政府電氣水利省         | 23,000(×2)               | 71. 4.     |
|                                  | Abudhabi 政府水電氣省        | 18,000(×2)               | 74. 4.     |
|                                  | Abudhabi 政府水電氣省        | 18,000(×2)               | 74. 9.     |
|                                  | Kuwait 政府水利省           | 27,000(×3)               | 75. 3.~11. |
|                                  | Abudhabi 政府水電氣省        | 18,000(×2)               | 76. 1.~ 4. |
|                                  | 아랍首長國連邦                | 13,600(×2)               | 76. 4.     |
| 小 計                              | 21基                    | ※ 293,245                |            |
| Sumitomo(住友重機械)                  | 아랍首長國連邦                | 9,100(×2)                | 70.        |
|                                  | 아랍首長國連邦                | 9,100                    | 71.        |
|                                  | Saudi Arabia           | 9,100                    | 72.        |
| 小 計                              | 4基                     | 36,400                   |            |
| Babcock, Hitachi<br>(바브콕・日立)     | 日立製作所・日立研究所            | 50                       | 60.        |
|                                  | 通産省(茅ヶ崎)               | 100                      | 66.        |
|                                  | Malta 政府               | 3,000                    | 68.        |
|                                  | 日立製作所・吳工場              | 100                      | 71.        |
|                                  | 關西電力・多奈川火力             | 2,000                    | 71.        |
| 小 計                              | 5基                     | 5,250                    |            |
| Mitsui shipbuilding<br>(三井造船)    | Saudi Arabia Swcc      | 225,000                  | 77. 9. ◎   |
|                                  | Saudi Arabia 通信省       | 4,500                    | 74. 11.    |
| 小 計                              | 2基                     | 229,500                  |            |
| Hitachi shipbuilding<br>(日立造船)   | 自社・因島工場                | 500                      | 67. 9.     |
|                                  | 關西電力・大飯原子力             | 1,200                    | 69.        |
| 小 計                              | 2基                     | 1,700                    |            |
| Kawasaki(川崎重工)                   | Saudi Arabia(台般 plant) | ▲ 682(×3)                | 74. 2.     |
| 小 計                              | 3基                     | ※ 1,020                  | 74. 2.     |
| 合 計                              | ※ 105基                 | 1,061,930                |            |

資料：日本 電氣日日新聞(1977.8.18)

(注)＝小計 및 合計欄의 ※印 數字는 ▲印의 共同受注分을 基數, 容量에 對해 兩社 半씩으로 計算한다.

## 8. 結 論

우리나라에서는 水資源 開發에 대해서는 많은 연구가 진행되고 있으나 아직까지 발전소와 결부된 淡水化에 대한 실질적인 개발실적은 거의 없다고 보겠다.

최근 정부는 資源의 장기안정적 확보를 위해 대기업의 해외 자원 개발 투자를 권장하고 一方 制度的 측면에서, 海外開發基金, 租稅減免, 保險問題 등을 포함한 해외 자원개발 촉진법의 제정을 서두르고 있는 것으로 알려지고 이와 때를 같이하여 業界에서도 해외 자원개발 투자에 커다란 관심을 보이고 있는 실정이며, 아울러 先進 外國에서는 中東地域을 비롯한 세계 각처에 대한 2,000년대까지의 豫想을 조사·연구·개발시키고 있는 실정을 감안할때 지금부터라도 淡

水의 필요성을 깊이 인식하여 淡水의 조사 및 연구 개발에 역점을 두어 淡水化 Plant 수출 건설에 박차를 가해야 될 것으로 믿는다.

前述한 바와같이 외국에서는 정책적인 측면에서 法으로 淡水化 問題 委員會를 설치하여 관련되는 官界, 學界, 業界가 혼연일체가 되어 연구 개발 노력을 촉진토록 조정 및 장려하고 있는 실정으로 다음과 같은 대책을 강구해야 될 것으로 본다.

1. 淡水化 産業의 정책적 지원육성방안 수립.
2. 淡水의 조사 및 연구기관 설립 推進.
3. 기초적 조사 연구에 대한 연구 개발비 支援.
4. 새로운 海水 실험 시설의 설치 및 각 요인별 特性試驗 講究.
5. 선진국과의 기술제휴로 淡水 Plant 수출시장 確保.