

해수담수화 플랜트 소개

The Introduction of Desalination Plant System



글 | 趙孟洙

(Cho, Maeng Soo)

건설기계기술사, 산업기계설비기술사,
한국기술사회 이사,
한국건설관리공사 상무.
Email : kcmcoms@naver.com

Recent desalination plant system are being operated by applying one of the technologies as like MSF, MED and, or RO.

The production cost of pure water from sea water by the desalination plant was US\$9/m³ in 1960, but now has been reduced to US\$1/m³ at present.

The Power and Desalination Plant Project in Al Cobar of Saudi Arabia gave good chance to us export the similar plant systems actively to the world market.

1Hidd IWPP Project in Bahrain, Taweelah B Extension Project in Abu Dhabi of UAE and Ras Laffan B IWPP of Qatar are the recent large scale desalination projects under construction.

1. 해수담수화 발전소(플랜트) 개요

GWI (Desalination Market 2005-2015)에 의하면 2015년 까지 전 세계적으로 추가 담수화 소요량은 31.1 백만m³/일 규모가 될 것으로 전망하고, 연간 30조 규모의 시장이 형성될 것으로 예상하고 있다.

우선 담수화발전소 개념을 잠시 소개한다면 국내에서 잘 알려진 열병합 발전소를 생각했을 경우 이해가 빠를 것이다. 열 병합 발전소는 발전을 하면서 발생하는 잉여 열을 아파트 등의 난방에너지로 회수하여 열효율을 높이는 것이 특징이다. 즉 전기와 온수를 같이 생산하는 발전소인 것이다.

이에 반해 담수화 발전소는 전기와 먹는 물을 생산하는 복합발전소인 셈이다. 열 병합 발전소

는 폐열을 이용하여 온수를 생산하고 이 물을 관로 망(폐회로)을 통하여 아파트 단지에 공급 하지만, 담수화 발전소는 폐열을 이용하여 해수를 증발시켜 증류수를 만들고 이 증류수에 석회석과 탄산가스등을 주입하여 사람이 마실 수 있는 생활용수를 만드는 것이다.

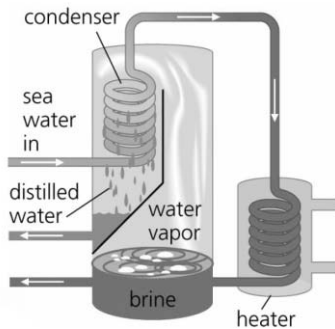
따라서 담수화 발전소는 일반적으로 해안가에 대형 화력발전소를 필요로 하고 여기서 생산된 물을 저장할 수 있는 저수 탱크시설과 이 물을 도시로 공급하기위한 관로 시설을 겸비하고 있다.

해수담수화의 방식은 크게 기본원리에 따라 분류된다. 해수담수화 기술은 증발 법에서 출발하여 1894년 다중효용법 (Multi Effect Desalination) 방식부터 다단증발법 (Multi-stage flash distillation), 증기응축법 (Vapor Compression) 방식으로 개발이 진행되었으며

1980년대 들어 역 삼투 (Reverse Osmosis)막을 담수화에 활용하기 시작하였다. 이외에도 결정화법 이온교환막법, 용제추출법, 가압흡착법 등이 해수담수화에 적용되고 있으나 현재 널리 상용화된 해수담수화 방식은 MSF, MED와 RO의 3가지 기술이다. MSF 또는 MED와 RO를 혼용하여 담수를 생산하는 하이브리드 방식이 적용되는 경우도 있다.

다중효용법(MED)에서는 첫 번째 증발기 보일러에서 발생된 증기가 다음 효용 증발기의 가열원으로 작용하고 냉각·응축되어 담수가 되고, 두 번째 증발기에서 발생된 증기는 다음 효용의 증발기에서 가열원으로 작용하여 증발기 내부의 해수를 증발시킨다. 이와 같은 증류를 여러 증발기를 이용하여 수행함으로써 에너지 효율을 향상시킨다.

다단증발법(MSF)에서는 해수를 끓는 점 이상으로 가열하고 압력을 유지한 채로 진공 실에 공급하여 증기상태로 분사한다. 발생한 증기는 열교환기에 공급된 해수를 가열하는데 사용되며, 물로 응축되어 증류수가 생산된다. 특히 이를 다단으로 배열하여 분사(flashing)하여 에너지 효



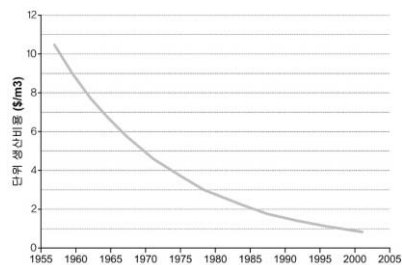
〈그림 1〉 MSF의 원리

율을 향상시킨다.

역삼투(RO)에서는 해수를 높은 압력으로 공급하면서 반투과성을 가진 막을 통과시켜 염을 배제하고 순수한 물을 생산한다. 상변화를 필요로 하지 않기 때문에 증발 법에 비해서 상대적으로 에너지 비용이 낮다.

해수담수화 플랜트의 설치에는 대략 1000 m³/일의 생산용량당 100만 달러가 필요한 것으로 알려져 있다. 증발식 해수담수화의 경우 단위유닛을 대형화함으로써 설치비용을 절감할 수 있다. 이로 인하여 MSF의 단위유닛의 크기는 대형화되는 추세이며 1980년대 초반에 MSF 단위유닛은 23000 m³/일의 생산용량을 가지고 있었으나 2000년대 초반에는 77000 m³/일로서 3배 이상 증가하였다.

해수담수화의 생산비용은 지속적으로 감소하고 있는 추세이다. 1960년대에는 1m³의 물을 생산하기 위한 비용이 9달러 수준이었으나 현재는 1달러 수준까지 감소하였다.



〈그림 2〉 MSF 플랜트의 단위 생산비용 변화추세 (GWI, 2004)

해수담수화 플랜트를 20년간 운영하면서 발생하는 비용을 분석하여 보면 MSF의 경우에는 일반적으로 시설비가 32%, 에너지비용이 59%, 약

품비용과 인건비는 9%의 비중을 차지한다. 반면에 역삼투 방식의 경우 따라서 증발식 해수담수화는 에너지 비용의 변화에 따라 전체 비용 변화가 크게 나타나는 특성을 가진다.

현재 해수담수화 시장은 역삼투 방식이 51%, 증발법이 43%를 차지하고 있으며, 에너지 비용의 상승에 따라 역삼투 방식의 비중이 점차 증가하고 있다.

2. 알 코바 담수화 발전소 시공사례

알 코바 시는 사우디아라비아 동부지역으로 페르시아인 걸프와 접해있고, 다란, 알 코바, 담맘, 주베일을 포함하고 있는 동부지역에 위치하고 있다.

알코바 담수화 발전소(Power and Desalination Plant) 는 초기의 담수화 발전소 건설공사로서 알 코바시의 남단에 위치하고 있다.



〈그림 3〉 사우디아라비아 알코바 담수화발전소 건설공사 전경

이 프로젝트는 계약 방식이 턴키방식으로 사우디 담수 청(Saline Water conversion cooperation) 이 발주하고 5개의 조합이 공동으로 수행한 특이한 방식으로 컨설턴트는 독일의 Fichtener GMBH가 수행 했다.

조합의 구성원은 KRAFT WERK UNION(독

일), DEUTSCHE BABCOCK(독일), SIDEM(프랑스), MODERN ARAB CONST. CO. LTD(사우디), BABCOCK AND WILCOX(미국) 으로 구성 되었다. 현대건설은 프랑스 Sidem과 같이 담수화 부분을 공동으로 현대중공업에서 제작하여 설치한 공사이다. 공사기간은 1979~1983 까지 수행했고 공사비는 전체적으로 10억US \$ 규모이고 현대에서 수행 한 것만 4억\$의 대형공사 였다. 시설 규모로 발전설비 150MW x5기=750MW/일, 담수설비 22,500TON x 10기=225,000 TON/일 이였다.

담수화 발전소에서 가장 문제가 되는 것은 해수를 증발시켜 담수를 만들기 때문에 부식에 견딜 수 있도록 제작 하는 것이다.

또한 해수와 발전소의 폐열을 열교환하여야 하기 때문에 담수화 공장은 수 만개의 특수 합금 튜브를 통하여 열교환이 이루어진다. 이 특수 금속에만 약 2만 톤의 구리 니켈 합금과 티타늄 합금이 사용되어졌다. 이렇게 하여 한국에서 최초로 담수화 공장의 국산화를 시도한 것이다.

이런 특수합금을 용접하는 기술은 매우 높은 기술을 요하는 특수용접 사들이기 때문에 울산 현대 중공에서 6개월간 교육훈련을 받고 영국의 로이드로부터 자격증을 취득한 사람만 제작에 참여 했으며 그들이 다시 사우디 현장에 투입되었던 것이다. 담수화는 10개의 집합체로 구성되어 있는데 한 집합체를 8개의 블록 (10m x 4m x 3.5)으로 나눠 제작하여 이것을 해상 바지선으로 울산에서 사우디까지 운반하여 설치하였다. 요즈음은 열악한 현장여건 때문에 인력에 의한 작업

을 줄이고 능률을 높이기 위하여 공장에서 집합체를 조립으로 만들어 해상운송을 하여 공기와 인건비를 줄이고 있다.

알코바 담수화 발전소 건설공사는 우리나라가 해외에 플랜트를 본격적으로 수출하는 계기가 되었다 할 수 있다. 이전에는 플랜트공사가 일본이나 유럽의 업체에 단순 하청 공사를 수행하였으나, 알코바 담수화 발전소를 계기로 국산기자재를 포함하여 플랜트공사를 수행함으로써 부가가치를 높일 수 있었다고 할 수 있다.

담수화발전소의 주요 공정과 구성요소를 보면 다음과 같다.

① Seawater Intake Pumping Station

취수설비, 담수플랜트의 원수이자 발전소의 냉각수로 쓰이는 바닷물을 1 km 밖에서 끌어들이기 위한 설비이다.

② Chlorination Plant

염소가스 주입설비, 취수설비에서 바닷물을 끌어들이는 때 바다 속의 조개류, 해조류 등 생물체가 함께 들어와서 부착/서식하여 해수통로를 막는 등의 활동을 방지하기 위하여 취수설비에 염소가스를 주입하는 설비이다.

③ MSF Desalination Units

해수를 끓여서 생기는 증기를 다시 응축시키는 과정을 여러 번 반복하여 응축수를 모으는 담수설비로서 상업적으로 가장 많이 사용하는 대형 담수설비이다.

④ Chemical Dosing System

MSF 담수설비의 공정에 필요한 화학약품을 주입하는 설비로서 Anti-scale, Anti-foam, Oxygen scavenger 등이 있는데 이들을 주입하는 설비이다. Anti-scale은 바닷물을 끓이기 위해 온도를 높이면 해수에 녹아 있는 이온들 중 온도가 올라갈수록 용해도가 떨어지는 물질들이 석출되면서 열 교환 Tube 내벽에 Scale을 만들게 되는데 이것을 방지하는 약품이고, Anti-foam은 공정 중에 있는 해수에서 거품생성을 방지하며 Oxygen scavenger는 부식을 일으키는 해수 중 용존산소를 제거하는 약품이다.

⑤ Auxiliary Boilers

발전소에서 필요한 Steam을 얻기 어려울 경우 Boiler를 사용하여 담수공정에 필요한 Steam을 얻는다. 일반적으로 MSF 담수설비는 이러한 Boiler 설비를 따로 만들지 않고 발전소의 Turbine 후단에서 나오는 Steam을 사용한다.

⑥ Town Water Pumping Station

생산된물을 대형 펌프를 사용하여 사용처 (도시/마을/공장)로 송수하는 설비

⑦ Remineralization Plant

MSF에서 생산된 물은 증류수로서 순도가 지나치게 높아 식수 (상수도물)로 사용하기에 적합하지 않은데, 이 물에 미네랄 등을 첨가하여 식수기준에 맞추어 주는 설비이다.

⑧ Chemical Storage

담수공장에서 사용하는 화학약품을 보관하기 위한 창고.

⑨ De-aerator

보일러에서 Steam을 만들기 위해 사용하는 물

은 기기손상을 방지하기 위해서 미네랄이나 염류, 그리고 공기이온을 완전히 제거하여야 하는데 De aerator는 주로 공기, 특히 산소를 제거하기 위한 설비이다.

⑩ Surge Vessels

고압의 대형펌프를 사용하여 생산된 물을 사용처까지 보내는 파이프라인에 생길 수 있는 Water Hammering 을 방지하기 위한 충격완화 장치이다.

⑪ Potable Water Storage Tank Farm

생산된 물을 보관하는 물탱크로서 보통 1일 생산분 이상을 저장한다.

3. 최근의 해수담수화 플랜트

(1) 1Hidd IWPP Project - 바레인

전체 생산 수 용량은 50만 톤/일 규모이며, MED와 MSF 방식을 같이 사용하고 있는 해수담수화 플랜트이다. 기존의 MSF 방식에 MED 방식을 추가하였으며 평균 물 생산 비용은 \$0.69/m³로 보고되고 있다.



〈그림 4〉 1 Hidd IWPP Project-바레인

(2) Taweelah B Extension - 아부다비, U.A.E.



〈그림 5〉 Taweelah B Extension - 아부다비, U.A.E.

전체 생산 수 용량은 31만 톤/일 규모이며, 현재 전 세계에서 가장 큰 MSF 단위 유닛 (78,700 m³/일) 을 가지고 있는 해수담수화 플랜트이다.



〈그림 6〉 Ras Laffan B IWPP - 카타르

(3) Ras Laffan B IWPP - 카타르

전체 생산 수 용량은 27만 톤/일 규모이며, MSF 방식을 적용하고 있다.

그동안 해수 담수화 플랜트는 물이 부족한 중동 산유국을 중심으로 널리 보급 되어 왔으나, 우리나라도 앞으로 기후의 변화와 자연 환경의 변화로 물 부족 국가로 된다는 것이 현실로 닥아 오고 있는 것 같다. 이에 대비책으로 해수담수화 플랜트의 기술을 활용 하여야 할 것으로 보인다.

〈원고접수일 2009년 4월 27일〉