

해수 담수화를 통한 발전용수 확보



이재봉
한국전력공사 전력연구원 책임연구원

1. 개황

물 부족 현상이 세계적으로 심화되고 있다는 뉴스는 더 이상 새롭지 않다. 자연이 인류에게 공급하는 물만으로는 충분하지 않아 인위적으로 해수를 담수로 만드는 노력이 활발히 이루어지고 있는 현실을 잘 알고 있기 때문이다. 또한 물 수요에 대한 증가율이

전력 증가율을 능가하고 있다는 자료에서도 그 심각성을 잘 알 수 있다. 이와 같은 물 부족에 대한 우려는 전력산업에서도 예외가 아니다. 전력을 생산하는 발전소는 기본적으로 터빈을 구동하기 위해 증기를 필요로 하고, 그 증기를 만들기 위해 민물 수준의 물을 필요로 한다. 실제 발전소에서는 1,000MW의 발전을 위해 연간 약 11만 톤의 물을 사용한다.

전력산업이 물에 대해 더욱 중요하게 고려해야 하는 요소는 발전용수의 필요량이 많고 적음보다도 상시 발전용수를 안정적으로 확보하는 것이다. 대부분의 발전소는 발전용수의 확보를 강물이나 상수도에 의존하고 있으므로 이상기후변화에 따른 갑작스러운 가뭄이 있거나 중장기적 물 부족 현상이 지속되면 발전정지의 위급성이 나타날 수 있기 때문이다. 뉴욕 대학의 교수 나심 니콜라스 탈레브가 집필한 ‘블랙스완’에서 확률편향의 오류로 예측하지 못한 긴급 상황에 대해 경고하듯이, 이와 같은 발전용수의 위급성에 대해 전력산업 종사자는 발생확률이 희박하다고 방심하기보다는 사전준비가 필요하다. 일반적으로 발전소는 해안에 위치하고 있기 때문에 이와 같은 사전준비는 어려운 것이 아니다.

발전용수의 안정적 확보 문제에 있어서 그 해결책은 바로 해수담수화가 될 것이다. 발전소가 해안에 근접한 지리적 이점 상 해수담수화로 발전용수의 확보가 용이하고 그 기술 또한 상당한 발전을 이루었기 때문이다. 실제로 최근의 신규발전소 건설은 IWPP (Independent Water and Power Plant)의 형태로 이루어지고 있다. 이는 전력수요와 물 수요를 동시에 만족시키기 위한 수요자 중심의 발전소 및 담수화 시설 건설방식이다. 이와 같은 경향은 그림 1에서 보는 바와 같이 2000년대 초반부터 시작하여 2006년 이

후 두드러지게 나타나고 있다.

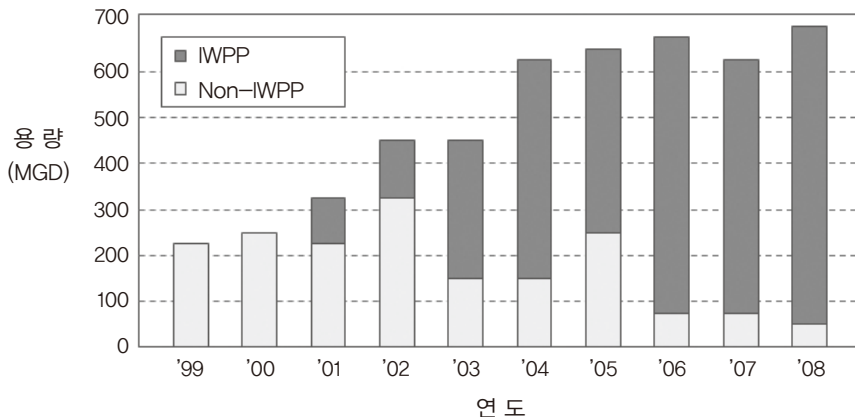
2. 현황

가. 해수담수화 기술 현황

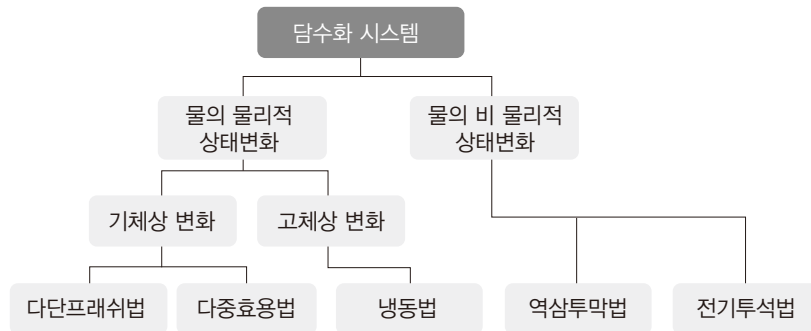
○기술별 특성

현재 해수담수화 분야에 활용되고 있는 기술은 그림 2에서 보는 바와 같이 담수화 과정에서 물의 물리적 상태변화가 수반되는 것인지 아닌지에 의해 일차적으로 분류된다. 물의 물리적 상태변화가 발생하는 기술은 다시 기체 상 변화가 일어나는 다단프레쉬법과 다중효용법으로 나누어지고 이를 일반적으로 증발법이라고 칭한다. 또한 고체 상 변화가 일어나는 기술은 냉동법으로 분류된다. 물의 물리적 상태변화가 발생하지 않는 기술에는 역삼투막법과 전기투석법이 있다.

증발법은 해수를 외부의 열원을 이용하여 기화 온도 이상으로 가열한 후 해수 중에서 순수한 물만 증발시켜 담수화하는 방법이며, 외부 열원은 액화가스나 석유 또는 태양열 복사에너지다. 증발법 중 다단프레쉬법은 진공도가 높은 격식이 직렬로 이어진 형태이며, 해수를 포화증기압 이하로 급감압하여 유지되고 있던 열을 증발 잠열로 소비시키고 플래쉬 증발



[그림 1] 아부다비 IWPP 및 Non-IWPP 담수화 용량



[그림 2] 담수화 시스템의 분류

하게 하여 담수를 생산하는 원리이다. 다중효용법은 관 외부를 흐르는 해수와 관 내부에서 응축하는 수증기 간의 잠열교환을 이용하여 증발과 반응용기 내의 압력을 낮추는 원리이다. 냉동법은 고체-액체 간의 상변화를 이용한 것으로 염수가 냉각될 때 얼음 결정에는 염분이 배제되는 원리이다. 역삼투막법은 상당한 압력을 이용하여 반투막을 통해 물을 높은 농도의 용액으로부터 낮은 농도의 용액으로 보내는 방법으로 썬 가열이나 상 분리 변화가 없으며 담수화에 필요한 주요 에너지는 공급되는 해수를 가압하는데 사용된다. 역삼투법에 의한 대표적 대형 해수담수화 플랜트

는 공급수의 전처리, 고압 펌핑, 분리막, 삼투, 후처리 등 4개로 구성된다. 전기투석법은 양이온 교환막과 음이온 교환막을 교대로 설치하고 그 사이에 해수를 흐르게 한 후 양 끝단에 설치한 전극에 인가된 전압으로 해수 중의 무기 이온을 제거하여 담수를 생산한다.

이와 같은 해수담수화 기술들은 표 1에서 보는 바와 같이 각각의 장단점을 가지고 있으며, 그 특성에 따라 다양하게 이용되고 있다.

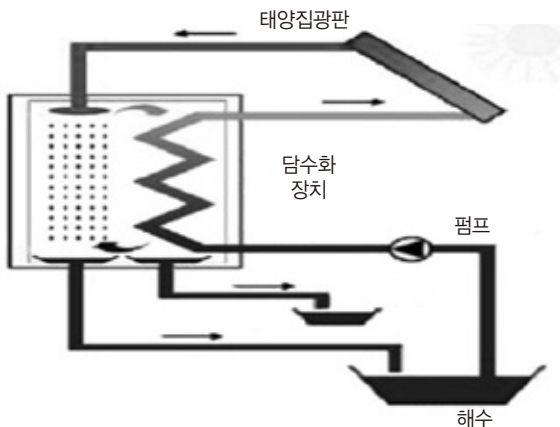
○해수담수화 신기술

해수담수화의 신기술개발 노력은 표 1에서 나타난

[표 1] 담수화 기술별 장·단점

탈염 공법	장 점	단 점
다단프레쉬법 (MSF; Multi-Stage Flash Distillation)	<ul style="list-style-type: none"> • 대용량 처리 • 전처리 최소화 • 높은 생산수질(<10mg/L TDS) • 타 공법과 연계 용이 	<ul style="list-style-type: none"> • 낮은 회수율 • 높은 초기 투자 비용 • 운전 비용이 높음
다중 효용 증발법 (MED; Multiple Effect Distillation)	<ul style="list-style-type: none"> • 전처리 최소화 • 높은 생산수질(<20ppm) • 간단한 운전방식 • 고농도 유입수 처리 	<ul style="list-style-type: none"> • 별도 냉각시스템 필요 • 낮은 회수율 • 생산수질 조절 어려움
전기투석법 (ED; Electrodialysis)	<ul style="list-style-type: none"> • 높은 회수율 • 고농도 유입수 처리 • 전처리 최소화 • 막의 장기간 사용가능 	<ul style="list-style-type: none"> • 막에서 침출수 발생 • 박테리아 및 탁도성분 처리 곤란
역 삼투법 (RO; Reverse Osmosis)	<ul style="list-style-type: none"> • 대용량, 고농도 처리 • 에너지 절약(상 변화 없음) • 높은 회수율 • 타 공법과의 연계 용이 	<ul style="list-style-type: none"> • 높은 유지관리비 • 전처리 및 후처리 복잡 • 파울링 발생 • 유입수 특성(pH, 온도 등)에 영향

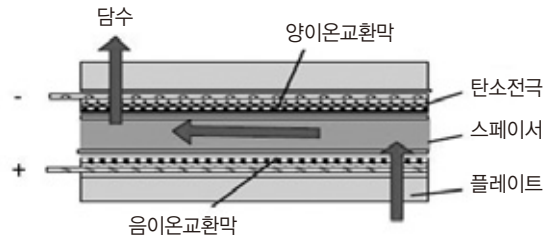
단점들을 해소하고, 경제성을 확보하는데 초점이 맞춰지고 있으며, 신기술의 형태는 크게 두 분야로 구분된다. 첫 번째는 해수담수화의 에너지원을 전력 대신 자연에너지를 이용해 경제성을 확보하는 방법이다. 해수담수화기술은 기존과 동일하고 에너지원으로 전력대신 태양에너지, 풍력, 지열 등을 이용해 경제성을 확보하는 방법이다. 태양열을 이용한 증발법 담수화는 그림 3과 같다.



[그림 3] 태양광 증발법 담수화

두 번째는 에너지효율을 올려 전력소비량을 저감하는 방법이다. 에너지원으로 전력을 사용하고 신공정이나 신소재를 이용해 에너지소비량을 획기적으로 저감하여 경제성을 확보하는 방법이다. 이 기술에는 그래핀을 이용한 해수담수화, 정삼투 원리를 이용한 해수담수화, 증류 신공정을 이용한 해수담수화, MCDI(Membrane Capacitive Deionization) 담수화 등 다양한 방법이 있다.

이러한 기술 중 MCDI는 그림 4와 같은 셀 구조를 가지고 있으며, 직류전압이 인가된 탄소전극 사이로 해수를 통과시키고 해수 중의 무기 이온을 탄소전극에 흡착 제거하여 담수를 생산하는 기술이다. 이 기술은 높은 탈염 효율에 따른 저에너지소비형, 화학약품 사용이 최소화되는 환경친화형 등의 강점을 보유하고 있으며, 세계 각국에서 연구가 활발히 진행 중이다.



[그림 4] MCDI 담수화

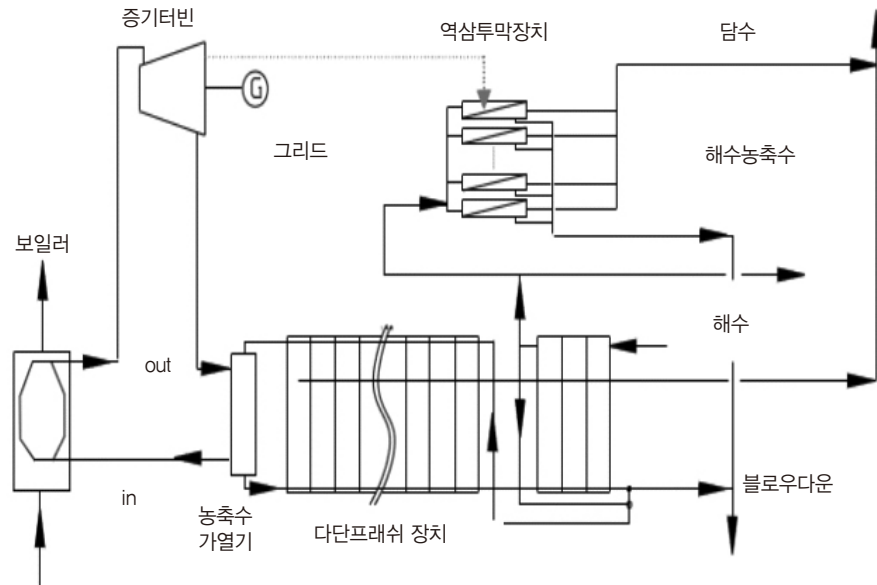
나. 발전소 연계 해수담수화 특성

해수담수화의 세계적 추세는 이미 언급한 바와 같이 발전설비와 연계된 IWPP 형태의 담수 및 전력 동시생산체계를 추구하고 있다. 그림 5에서 보는 바와 같이 발전 사이클은 보일러, 전기를 생산하는 스팀터빈, 열에너지를 포함하고 있고 담수 플랜트는 다단프레쉬와 역삼투막 장치를 포함하고 있다. 다단프레쉬 담수화는 스팀을 사용하고 역삼투막 담수화는 생산된 전기를 사용한다.

이와 같은 IWPP 형태의 담수 및 전력 동시생산체계의 장점은 여러 가지가 있다. IWPP는 발전설비와 담수설비에서 동시에 필요로 하는 설비를 공통으로 활용할 수 있다. 해수 취수시설, 취수관, 해수 취수펌프, 해수 전해설비, 배수시설, 배수관, 각종 필요 모니터링 장치 등을 공통으로 사용함으로써 자본비용 및 운영비용을 절감할 수 있는 장점을 지니고 있다. 그 뿐만 아니라 전력수요의 변화에 따라 전력생산과 담수생산을 적절히 조절함으로써 스마트그리드의 역할도 일부 소화할 수 있다. 또한 발전용수 확보의 안정성이 해결되기 때문에 향후에는 IWPP 형태가 점차 확대될 것으로 예상된다.

3. 전망

기후변화, 바이오 산업발전 등에 의해 세계적 물 부족 현상은 지속적으로 심화되고 있다. 영국 임팩트



[그림 5] 발전연계 전력/담수 동시생산 시스템

매니지먼트의 2013년 발표 자료에 따르면, 세계 담수화 수요 증가율이 2002년 4.4%에서 2012년 6.0%로 증가되었음을 알 수 있다. 이는 심화되는 물 수요 증가의 심각성을 잘 대변해 주고 있다. 또한 세계 전력수요 증가율도 지속적으로 증가하고 있기 때문에 전력과 담수를 동시에 생산하는 IWPP의 건설은 지속적으로 증가될 전망이다. 이와 같은 현상은 기존 발전소도 향후 안정적 발전용수 확보를 위한 해수담수화의 필요성을 간접적으로 암시해 주고 있다.

미국의 군사정치 전문가인 조지 프리드먼은 그의 저서 넥스트디케이드(Next Decade)에서 미래의 물 부족 현상을 예견하면서 물 부족 현상 자체보다는 이를 해결하기 위해 소비되는 더욱 많은 양의 에너지를 더 우려하고 있다. 따라서 물 부족 현상의 해결책 중 하나인 해수담수화에서 우선적으로 고려해야 할 사항은 에너지소비량을 줄이는 일이다. 이를 위해 현상용기술의 에너지소비량 감소를 위한 노력이 활발히 이루어지고 있지만 근본적 해결책은 저에너지형 담수화 신기술을 개발하는 것이다.

한전 전력연구원은 현 담수화 기술 대비 약 30% 이



[그림 6] 100톤/일 MCDI 파일럿플랜트

상의 에너지소비량을 저감할 수 있는 기술을 개발 중이다. 이 기술은 나노구경 탄소전극을 이용한 막 전기 흡착식 담수화(MCDI, Membrane Capacitive Deionization)로 원천기술은 이미 개발하였으며, 2013년 현재 100톤/일 용량의 파일럿플랜트 시험을 발전소 현장에서 진행 중이다. 향후 지속적인 노력으로 조기 상용화를 추진하여 안정적 발전용수 확보는 물론 세계 물 부족을 문제를 해결하는데 기여할 계획이다. KEA