

대규모 해수담수화시설의 표준모델 적용방안 연구

○김충환, 윤재홍, 김우구

1. 서론

지역적으로 댐이나 광역상수도에 의해 용수수급계획이 어려운 상습가뭄지역, 임해공단, 특수개발지역 등 용수가 부족한 지역에 해수담수화에 의해 용수를 공급하기 위한 계획으로 해수의 담수화 타당성조사 및 증장기계획을 수립하였다.

본 연구에서는 해수담수화 타당성조사 및 증장기계획에 의거하여 선정된 지역을 대상으로 우리나라의 실정에 적합한 표준 해수담수화 도입모델을 개발하여 장래 대규모 해수담수화시설의 도입을 위한 표준모델을 제시하였다.

표준모델에는 도입과정 및 시설을 포함하는 것으로 검토 내용은 표준모델 해수담수화시설의 선정, 표준모델 해수담수화시설의 시스템평가, 표준모델 개발을 위한 해수담수화시설의 후보지 선정, 해수담수화시설의 도입계획조건 조사 및 표준모델 해수담수화시설의 개념설계 등이다.

모델시설의 선정은 우리나라에서는 대규모 해수담수화시설을 도입한 경험이 없기 때문에 우리나라의 물부족 현상과 유사한 지역으로 일본의 오키나와현 차탄 해수담수화시설을 평가하여 모델시설로 선정하였고, 시스템의 주요구성은 해수/압력식응집모래여과조/전처리필터/고압펌프/역삼투막으로 구성되어 있으며 주변설비로는 세정설비, 배수설비 및 방류설비 등으로 이루어져있다. 또한 농축수 및 배수 방류설비는 주변해양의 환경을 고려하여 수중확산방류방식을 도입하였다. 표준모델시설 적용지역으로는 관광지역으로서 장래 물부족이 예상되는 동해북부권의 S지역을 선정하였으며, 시설용량 50,000 m³/일의 역삼투법 해수담수화시설을 도입하기 위한 도입계획조건조사, 개념설계 및 경제성, 재무평가를 실시하였다.

2. 표준모델 해수담수화시설의 선정 및 시스템 평가

대규모 해수담수화시설의 도입에서 시설의 표준모델은 생활환경 및 자연환경이 우리나라와 유사하고, 시설은 일반적인 역삼투법 해수담수화시설을 도입하였다는 점, 원수수질이 유사하다는

김충환: 한국수자원공사 수자원연구소 수도연구부 선임연구원

윤재홍: 한국수자원공사 수자원연구소 수도연구부장

김우구: 한국수자원공사 수자원연구소장

점, 정수수질 기준이 유사하다는 점, 장치산업의 제조기술을 보유하였다는 점, 제한 급수 등의 도입사유가 우리나라와 유사하다는 점 및 하루 생산량 수만톤 정도로 규모가 유사하고 기존 정수처리시설과 결합된 시설이라는 점, 기타 자료수집이 용이하였다는 점 등을 고려하여 하루 40,000 m³ 생산 규모의 일본 오키나와현 차탄 역삼투법 해수담수화시설을 선정하였다.

(1) 생산수 수질

1993년에 공포한 일본 수도수의 수질기준은 수질기준항목 46, 쾌적수질 항목 13, 감시항목 26으로 전체 85개 항목이다. 생산수의 수질은 pH가 5.3전후로 낮고 경도성분이 30 mg/L 이하인 것이 특징이나 정수처리한 물과 혼합하기 때문에 수질기준에는 문제가 없는 것으로 나타났다. 특히 해수중에 존재하는 Br⁻이온이 해수담수화시설의 미생물에 의한 장애를 방지하기 위하여 주입한 염소 (NaClO)와 반응하여 THMs을 생성하지만 THMs의 제거 능력이 높은 폴리아미드막을 사용하였기 때문에 수질기준에는 문제가 없었다.

(2) 환경영향요소

해수담수화 시설이 환경에 미치는 영향을 파악하기 위한 조사에서 도입시와 도입후에 조사하여야 할 항목은 공사중과 시설이 완성된 후 운전시로 구분하였으며, 공사중에는 소음진동, 지하수 오염, 지반 침하 등이 있고, 운전시에는 수질오염, 수중생태계의 변화, 악취 등이 있다. 특히 시설로부터 배출되는 농축수는 수중생태계에 영향을 미칠 수 있는 중요한 요소이다.

(3) 담수화시스템 평가

해수중의 염분농도 TDS 약 35,000 mg/L인 해수를 원수로 하여 먹는물을 생산하기 위한 역삼투법 해수담수화시설은 원수의 수질에 대하여 먹는물의 수질기준을 충분히 달성할 수 있어야 하고 또한 시설의 배치, 유지관리 및 경제성을 고려한 최적 공정이 선정되어야 한다. 시스템에서 전처리공정으로 압력식응집여과, 역삼투막공정은 1단 탈염 폴리아미드재질의 와권형막을 채용하였으며, 생산수는 기존의 정수와 혼합하여 경도를 보충하는 등의 기존수도와 연계하여 도입하였다. 또한 시스템은 기본적으로 막의 성능을 일정하게 유지하기 위한 전처리설비, 원수를 역삼투막모듈에 공급하기 위한 고압펌프, 용존염을 제거하기 위한 역삼투막모듈 등의 크게 세부분 구성되지만 실제시설에서는 원수를 공급하기 위하여 취수설비 및 급수설비, 세정설비, 세정배수처리설비 등으로 구성되어 있다.

3. 시설의 도입계획 조사

대상지역은 장래 광역상수도나 지방상수도의 도입이 어려운 틈새지역, 가뭄지역(가뭄피해가 빈번한 지역, 가뭄피해 지역 중 인근에 대규모 댐 및 저수지의 수리혜택이 없는 지역), 공단 및 특수지역(입해공단지역, 석유비축기지지역, 관광지역) 및 환경부에서 선정한 26개 도서지역 등을 대상으로 검토하여 동해의 S지역을 대상지역으로 선정하였다.

(1) 범위

해수담수화시설을 구성하고 있는 취수설비, 전처리설비, 역삼투설비, 후처리설비, 세정설비, 배수처리설비 및 농축수처리설비 등이다.

(2) 처리용량

수요량과 더불어 건설비용 및 운전비용의 저감, 공기 단축, 운전관리 용이, 가동실적 등을 고려하여 설정한다. 대규모 해수담수화시설의 도입모델을 개발하기 위하여 동해북부권 S6시지역에 설치할 해수담수화 플랜트의 규모는 2011년도의 용수부족량 53,100 m³/일의 90 %정도를 생산, 50,000 m³/일 용량으로 한다.

(3) 위치

해양, 해변 및 육지쪽의 위치와 기존 정수시설과의 접속 등을 고려하여 속초시 대포정수장 부근으로 한다.

(4) 도입공정

도입의 실용성과 완성도 및 에너지공급조건 등을 고려하여 증발법 등 보다 비교우위에 있는 역삼투법의 도입을 전제로 한다.

(5) 생산수 수질 기준

역삼투법 해수담수화시설의 생산수는 먹는물 수질기준을 만족하도록 시설의 시스템과 운전조건 및 유지관리 조건을 결정한다. 특히 해수중에 3~4 mg/L정도 포함되어 있는 붕소는 염분제거율 99.5 %정도인 역삼투막에 의해 50 %정도 제거되는 것으로 우리나라에서는 2000년 7월부터 0.3 mg/L로 규제하고 있다. 그러나 생산수를 기존정수와 혼합하여 공급하는 경우에는 붕소농도를 저감시킬 수 있다.

(6) 해수수질

염분농도 99.5 %정도를 제거할 수 있는 역삼투막처리수는 우리나라의 먹는물의 수질기준 ('97 환경부령 45개항목)을 만족한다. 특히 먹는물의 수질기준을 만족시키는데 있어 염분농도와 수온은 역삼투법 해수담수화시설의 설계용량에 영향을 주는 인자로 우리나라 연안의 겨울철 염분농도는 32~34.4 ‰, 수온은 4~14 °C 정도인 것으로 나타났고, 여름철 염분농도는 30.6~33.0 ‰, 수온은 23~27 °C 정도인 것으로 나타났다. 속초지역의 겨울철 염분농도는 34.1 ‰, 수온은 8°C, 여름철 염분농도는 33.0 ‰, 수온은 23 °C 정도이다.

(7) 환경보전대책

농축수와 세정배수에 의한 주변의 환경에 미치는 영향을 최소화하도록 그림 1과 같은 시설의 계통도에 의거 설계한다.

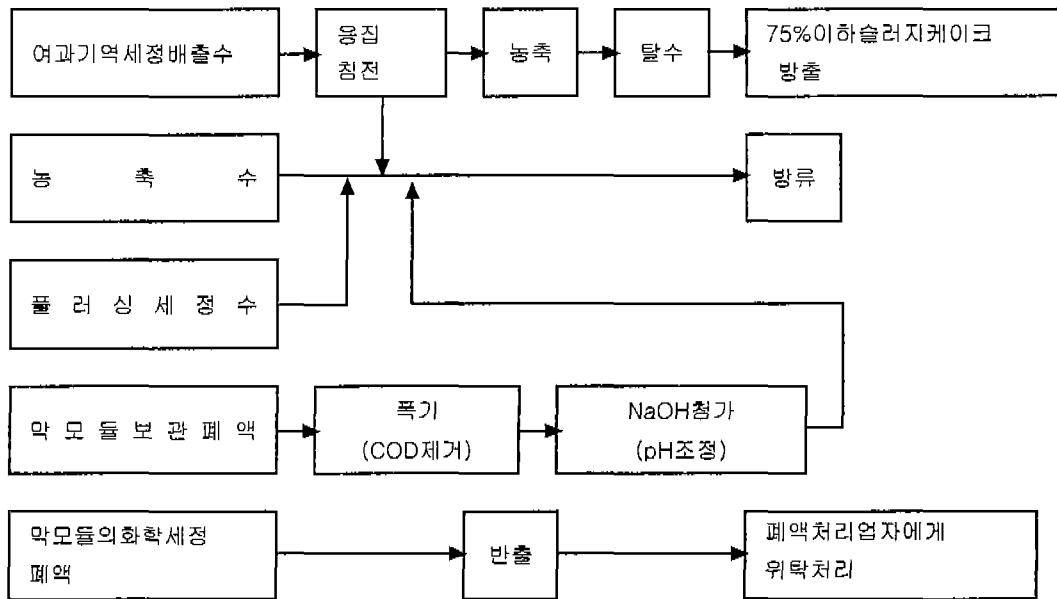


그림 1 역삼투법 해수담수화시설의 배수처리 계통의 예

4. 도입 모델공정

담수화시설의 방식은 비교적 에너지가 적게 소모되고 실용성이 높은 역삼투법을 선정하였으며, 역삼투법 해수담수화시스템의 개요는 다음과 같고 개략적인 시설의 배치도는 그림 2와 같다.

(1) 취수설비

해수와 지하해수 중 사용할 해수담수화의 원수를 결정하고, 해수를 직접 취수하거나, 지하관정을 개발하여 해수를 취수할 수 있다.

(2) 전처리설비

부유물질, 조류, 유분 등이 역삼투설비로 유입되는 것을 방지하기 위하여 압력식응집여과장치나 카트리지 필터를 사용한다. 전처리 약품으로 응집제($FeCl_3$), 살균제($NaOCl$), 스케일방지제(H_2SO_4)와 염소가 폴리amide계 삼투막으로 유입되는 것을 방지하기 위한 환원제로 SBS를 주입한다.

(3) 역삼투설비

해수중의 염분이 99% 이상 제거되는 부분으로 고압펌프와 역삼투막으로 구성되어 있다. 역삼투막은 폴리amide(내염소성 약함)재질의 와권형(Spiral Wound Type)을 도입한다.

(4) 후처리설비

먹는물로서의 위생성을 확보하기 위하여 염소를 주입하고, 해수담수화 생산수에 소석회 첨가하여 pH를 조정하거나 담수와 혼합하여 미네랄 성분 보충 및 pH조정을 해준다.

(5) 농축수처리설비

원수의 70%에 해당하는 양의 농축수가 배출되는데, 이때 배출되는 농축수의 염분농도는

45,000~50,000mg/l 정도로 해수의 염분농도보다 높아 39,000mg/l 이하로 희석하거나 빠른 유속으로 해양에 방류하여 주변 해양환경에 미치는 영향을 최대한 배제하도록 한다.

(6) 세정배수처리설비

해수담수화 시설에서 발생되는 배수로는 농축수이외에 여과기역세정배출해수, 플러싱세정수, 막모듈보관폐액, 막모듈 화학세정폐액 등이 있다. 여과기역세정배출해수의 슬러지는 침전·농축·탈수하여 매립하고, 침전수와 플러싱세정수, 폭기로 COD를 제거하고 NaOH 등으로 pH를 조정한 막모듈보관폐액, 중화처리한 막모듈 화학세정폐액은 방류한다.

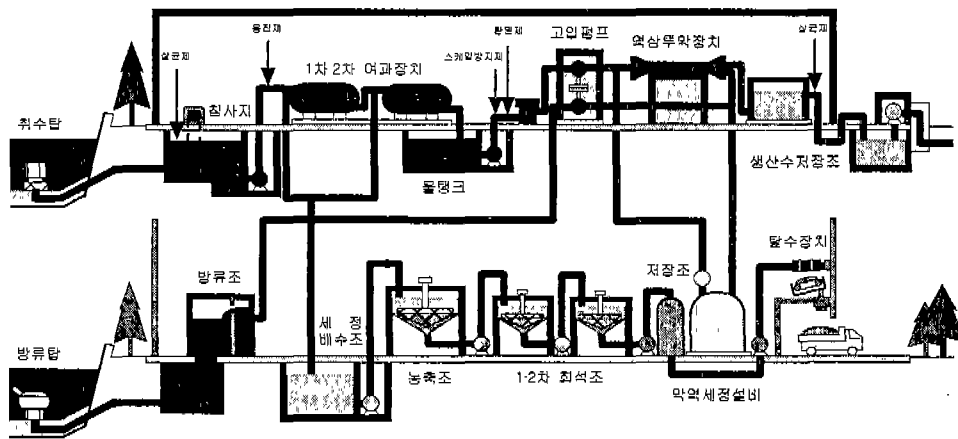


그림 2 역삼투법 해수담수화시설의 공정도

5. 경제성 및 재무평가

경제성 및 재무 평가에서는 자본비를 포함한 경우 비용은 일본에서 해수담수화시설 도입시 사용하는 방식인 담수생산비용 (용수공급단가)의 결정(I)에서는 824 원/m³ (자본비 제외: 597 원/m³) 우리나라의 상수도에 사용하는 방식인 담수생산비용 (용수공급단가)의 결정(II)에서는 709 원/m³으로 계산방법에 따라 다소차이는 있었다. 재무적 비용 및 재무적 수익을 이용하여 본 사업의 년차별 손익계산을 분석하면 해수담수화시설을 도입한 후에도 물값을 S시의 1999년 용수평균단가 기준으로 산정한 경우에는 2010년까지는 -279,465,834원으로 적자가 예상되지만 2011년부터는 100,575,451원의 흑자가 예상된다.

재무타당성조사에서는 투자비 51,118,800,000원, 시설운영기간은 20년으로 감가상각비는 20년 균등상각하며, 담수생산비용은 연간 3 %균등 인상하는 것으로 결정하여, 담수생산비용 709 원/m³, 842 원/m³ 및 597 원/m³일 때 각각의 FIRR값의 생산량 50,000 m³/일을 기준으로 생산단가 709 원/m³일 때 내부수익율은 12.0 %였고, 담수생산비용 (용수공급단가)의 결정(I)의 자본비를 포함한 824 원/m³일 때는 12.3 %, 자본비를 포함하지 않은 597 원/m³일 때는 11.7 %였다. 여기서는 내부수익율이 사회적할인율 8 %보다 크기 때문에 재무적 타당성은 있다고 할수 있다.

재무평가에서는 자본비를 포함하는 담수생산비용은 709 원/m³으로 비용중에 80 %가 전력비 및 소모품비인 변동비, 20 %가 인건비 등의 고정비이다. 담수생산수량이 적을수록 고정비의 비용이

높아지기 때문에 가동율을 높여서 상대적으로 고정비를 줄여야 할 것이다. 해수담수화 생산수의 단가는 일반적으로 수도물값보다 비싼 것으로, 해수담수화시설을 설치한 후 물값을 수도물값과 동일하게 판매할 경우에는 초기적자가 예상되므로 물값의 기준책정에는 정부의 보조나 주민의 부담 증가 등 기존의 수도와는 다른 방향의 정책이 필요할 것으로 생각된다.

6. 맺은말

우리나라에서 해수담수화는 장래 물 부족에 대비하여 대체 수자원으로 간주할 수 있으나, 개발의 정도는 기존의 계획된 담수자원의 개발보다 우선하거나 대등할 수는 없을 것이며, 물 부족에 대비해서는 우선 지표담수자원의 양적 확보 및 물 사용의 합리화 등이 이루어져야 할 것이다. 그렇지만 장래 해수담수화가 부족한 담수자원을 확보하기 위한 유일한 대안으로 검토될 경우를 대비하여 정부에서는 지역적으로 댐이나 광역상수도에 의해 용수수급계획이 어려운 상습가뭄지역, 임해공단, 특수개발지역 등 용수가 부족한 지역에 해수담수화에 의해 용수를 공급하기 위한 계획으로 해수의 담수화 타당성조사 및 중장기계획을 수립하였다.

본 연구에서는 해수담수화 타당성조사 및 중장기계획에 의거하여 선정된 지역을 대상으로 우리나라의 실정에 적합한 표준 해수담수화 도입모델을 개발하여 장래 대규모 해수담수화시설의 도입을 위한 표준모델을 제시하였다. 표준모델시설은 기술의 완성도 및 유지관리가 편리하고 에너지소비가 상대적으로 증발법보다 적은 역삼투법으로 선정하였다. 아울러 해수담수화생산수중의 수질면에서 보론은 환경부에서 0.3 mg/L로 규제하고 있는 항목으로 생산수중의 농도는 기준을 초과하기 때문에 기존의 담수와 혼합하여 저감시킨다. 따라서 모델지역에서는 해수담수화시설의 규모 결정에서 보론농도를 고려하면 담수화시설의 규모가 50,000 m³/일 일때에는 해수담수화 생산수화 정수 혼합수의 보론농도를 0.3 mg/L이하로 유지하기 위한 정수시설의 용량은 300,000 m³/일 이상으로 결정하여야 하는 것으로 계획용량 50,000 m³/일과는 차이가 있다. 그렇지만 정수시설의 규모를 일정하게 둔 상태에서 해수담수화 생산수와 정수혼합수의 보론농도를 0.3 mg/L이하를 유지하기 위해서는 해수담수화시설의 규모를 28,000 m³/일 이하로 결정하여야 하는 것으로 이는 장래 물공급 부족량 53,100 m³/일을 보충하기 위해서는 부족한 양이다. 따라서 해수담수화시설로 부족한 양을 공급하기 위한 방안으로서는 수도에서 수개소의 기존의 정수시설이 포함되어 있다면, 해수담수화시설을 포함하는 수도시설의 정비에서는 전체수도의 종합적인 물량 및 수질을 고려한 수운용을 통하여 규모를 결정하여야 할 것이다.

참고문헌

1. 해수의 담수화 시스템 및 적용방안 연구(3차년도), 한국수자원공사, 1998
2. 한국수자원공사, 대규모 해수담수화시설의 표준모델 적용 방안 연구, 1999
3. 김충환, 정혜원, 역삼투 공정을 이용한 먹는물 생산에서 보론제거에 관한 연구, 한국물환경학회지, 제15권, 제1호, 13-22, 1998
4. 김충환, 한국수자원학회지, 해수담수화의 개발현황과 장래전망, Vol. 31. No.5, 1998
5. 水道維持管理指針, 日本水道協會, 1998