시장성과 현실성 등 타당성을 연구
-중국의 연구개발 현황-

우 종 신
중국 찡후아대학 원자력기술연구소

"중국에서는 현재 원자력을 이용한 해수 담수화의 시장성과 현실성에 대한 몇 개의 타당성 연구가 진행중이다. 산동 반도 북쪽 연안의 창다오섬은 일일 담수 생산 능력 3,500m³의 5MW급 파일럿 원자로 건설을 제안하고 있고, 물 부족이 심각한 요동 반도의 항구 도시 대련은 일일 담수 생산 능력 150,000m³의 NHR-200/MED 공정 담수화 시설의 건설을 계획하고 있다."

중국은 전세계 인구의 20%를 차지하지만 지구 전체 수자원의 불과 5.8%만을 보유하고 있기 때문에, 1인당 수자원이 세계 평균의 27%밖에 안되는 물 부족 국가이다〈그림 1〉.

더군다나 가지고 있는 수자원마저 지리적으로 고르게 분포되어 있지 않다.

500개가 넘는 중국의 도시들 중, 104개의 도시가 이미 심각한 물 부족 때문에 고통받고 있다.

이 도시들 대부분은 경제 발전이 상대적으로 잘 이루어진 북부와 해안가에 위치하고 있으며, 전체 인구는 약 2억명 정도이다.

이 도시들 중 개발이 아주 잘된 20개는 총 인구가 3천만명이나 되지만 1인당 수자원은 겨우 연간 350m³에 불과하다.

이곳에서는 가정 용수, 산업 및 농업 용수의 수요를 감당하기에 수자원이 턱없이 부족한 실정이며, 인구 증가와 경제 성장에 따라 물 부족 현상은 더욱 더 심각해질 것이다.

따라서 북부 연안 지역에서는 도시에 필요한 용수를 원활히 공급하기 위해 수자원 부족 문제를 해결하는 일이 가장 시급한 선결 과제이다.

물 부족 문제에 대한 단기적인 해결 방안으로 물 절약 및 재순환 시행, 도시 하수 처리 건설, 용수 전환 공사가 시행되고 있다.

현재 물 사용료는 1m³당 0.12~0.18 달러인데 비해 도시 하수 처리장 건설에는 1m³당 0.1~0.15달러, 용수 전환 공사에는 1m³당 0.3~0.48달러의 비용이 소요되므로, 모자라는 부분에 대해 정부가 예산 지원을 하고 있다.

중국의 해수 담수화 전망

현재 몇기의 해수 담수 시설이 있는데, 이것들은 주로 산업체와 양질의 용수를 필요로 하는 발전소에 담수를 공급하기 위한 것이다.

해수 담수 시설들의 총담수 생산용량은 하루에 37,700m³이며, 이 중 가장 큰 담수 시설의 용량은 하루 6,235m³이다.

담수 시설이 처리하는 물은 주로 바닷물, 염도가 높은 담수와 도시 하

수이며, 담수 생산 공정으로서 미국 · 일본 · 이탈리아에서 들여온 RO · MED · MSF 공정을 사용하고 있다.

또한 용량이 매우 작긴 하지만 중국 자체적으로도 담수 생산 기술을 개발하고 있는 중이다.

1. 수자원이 오염된 도시 지역

양자강과 펄강 삼각주 지역은 강줄기가 무수히 갈라져 있기 때문에 오염도가 높다.

따라서 소독을 하지 않고는 강물을 식수로 사용할 수 없는데, 특히 카드뮴 이온의 농도가 매우 높은 상태이다.

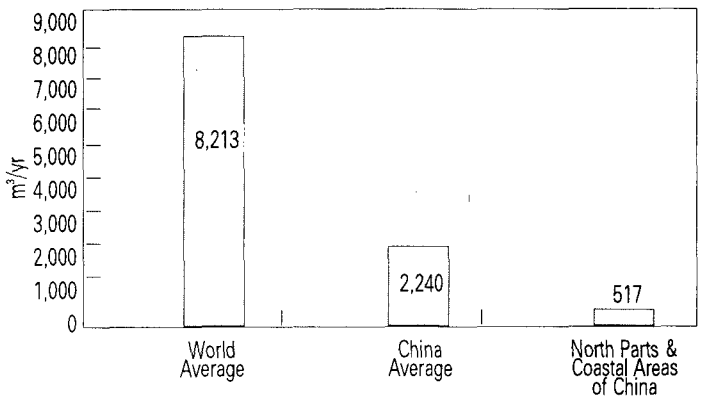
경제 성장에 따라 사람들이 값이 비싼 편임에도 불구하고 점점 더 양질의 물을 공급받고자 원하고 있다.

예를 들면 상해의 일부 거주 지역에 담수를 정수와 소독 과정을 거쳐 양질의 물로 만들어 1m³당 25달러에 공급하는 시설들이 있었는데, 현재는 상수도 공급 회사로 발전되어 있다.

2. 도서 지역

중국에는 연안을 따라 6,500여개의 섬들이 있는데, 이들 도서 지역들은 담수 부족으로 오랫동안 고통을 받아오고 있다.

예를 들면 물이 부족한 계절에는 어떤 섬들은 가까운 육지로부터 물을 수송해 와야 하는데, 수송 비용으로 1m³당 약 2.5~3.0달러를 지불하고 있는 실정이다.



〈그림 1〉 인구당 수자원 비교

원자력을 이용한 해수 담수화 전망

해안 지역은 인구 밀도가 높고 경제가 발전되어 있지만 담수와 에너지 자원이 부족하다.

중국에서는 석탄이 주요 에너지 자원이지만 생산지가 해안 지역으로부터 600~1,000km의 원거리에 위치하고 있다.

석탄 수송을 위한 철도 건설에는 막대한 투자 비용이 필요하고, 수송 비용 또한 비싸며, 대규모 석탄 발전은 심각한 환경 공해를 유발한다.

이 문제에 대처하기 위해 중국 정부는 해안 지역에 상업용 원자력발전소 건설 계획을 추진중이지만, 원자력을 이용한 해수 담수화를 고려하지 않았기 때문에 선정된 부지들이 담수가 부족한 지역과 너무 멀리 떨어져 있다.

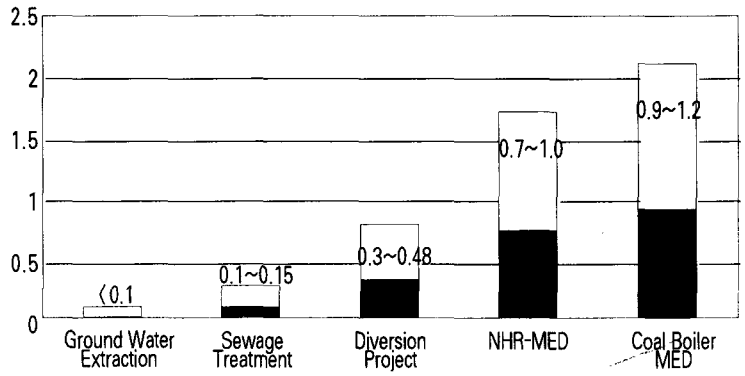
따라서 해수 담수화에 이용할 수 있는 원자력발전소로의 안전성이 뛰어난 중소형급 개발을 최우선적으로 추진할 필요가 있다.

중국 북부 지역에서는 겨울철 난방을 위해 막대한 양의 석탄이 소비되고 있어서 심각한 환경 공해를 야기하고 있으며 철도 수송에 어려움이 가중되고 있다.

지역 난방 원자로를 석탄 사용의 대안으로 고려할 수 있는데, 열 수송 거리의 제약 때문에 주거지에 근접하여 위치하여야 하며 중대 사고 발생 시에도 주민 소개가 필요없을 정도의 안전성을 갖추어야 한다.

청화대학 원자력기술연구소가 설계한 200MW급 난방로 NHR-200은 이러한 요건들을 만족시킬 수 있도록 설계되었다.

이 원자로는 난방 목적 이외에도



〈그림 2〉 담수 생산 기술에 따른 용수 생산 비용

MED 공정과 연계하여 해수 담수화 목적으로도 이용할 수 있다.

〈그림 2〉는 여러 기술의 담수 생산 비용을, 〈표〉는 NHR-200/MED에 대한 주요 설계 제원을 보여주고 있다.

NHR-200의 열 생산비는 석탄 보일러나 발전소에 비해 25~45% 정도 저렴하다.

이 원자로를 중국에 건설하여 운전하는 경우, 투자 비용은 열출력 1kW당 360달러, 운전 기간 20년을 기준으로 할인율이 5%, 8%, 12%에 대해, 열 생산비는 각각 2.16, 2.5, 3.0 달러/GJ이 된다.

MED 공정 기술은 외국에서 도입하고, 필요한 설비는 중국에서 만든다면 MED 담수 시설에 대한 투자비를 30% 정도 줄일 수 있다.

종합하면 NHR-200/MED를 이용한 담수 생산 비용은 1m^{3}당 0.7~1.0달러로 추정되기 때문에 화석 연료를 이용한 MED 시설이나 RO시설에 비해 경제적이다.

하지만 도시 하수 재처리와 용수 전환에 비해서는 비싸기 때문에 원자력을 이용한 해수 담수 시설이 가까운 장래에 대규모로 개발되지는 않을 것이다.

원자력 이용 해수 담수화 기술개발

1. 원자력을 이용한 해수 담수화 실험

청화대학 원자력기술연구소가 개발한 열출력 5MW의 난방 실험로인 HR-5는 89년에 운전을 시작하였다.

HR-5와 NHR-200은 유사한 설계 특성을 가지고 있다.

둘 다 일체형 일차 냉각 계통, 전출력에서의 자연 대류 냉각, 피동 잔열 제거 능력을 갖춘 격납 용기형 원자로이다.

HR-5는 3단계 냉각 계통을 가지고 있으며, 2차 냉각 계통은 1차 냉각 계통보다 고압을 유지하도록 설계되어 3차 냉각 계통으로의 방사능 누출과 오염을 방지한다.

1차 냉각 계통의 압력은 2.5MPa이고 출구 온도는 213°C이다.

Hr-5는 6년의 겨울 동안 성공적으로 운전하였으며 이용률은 98%에 이르고 있다.

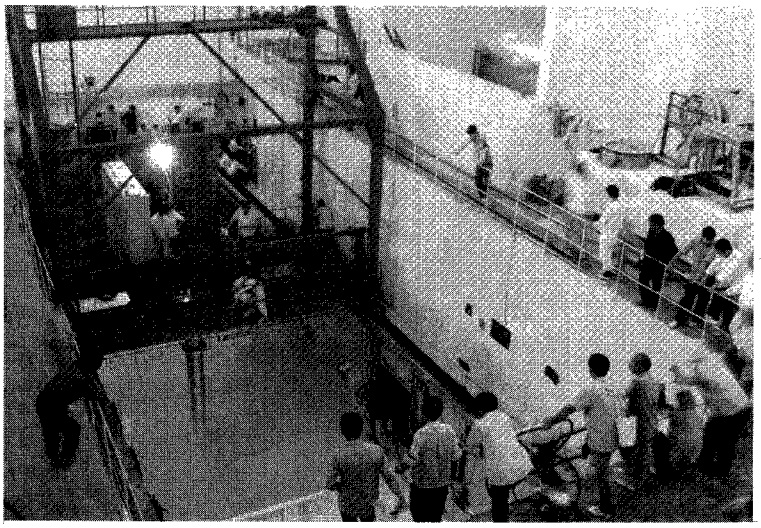
안전 성능을 증명하기 위한 일련의 실험을 통하여 NHR-5가 아주 안전하며 실용적임이 입증되었다.

또한 3차 냉각 계통에 연결된 증발기를 통과할 때 최대 120°C의 바닷물 온도를 갖는 MED 공정을 결합시켜 열수력 성능 실험을 수행하였으며, 이때 실험 용수 유량은 하루에 240톤이었다.

2. NHR-200

〈표〉 NHR-200/MED의 주요 제원에 대한 설계 자료

주요 제원	설 계 값
원자로 열출력	200MW
노심 출구/입구 온도	213°C/154°C
2차 계통의 출구/입구 온도	163°C/135°C
출구 증기 온도	130°C
바닷물 최고 온도	120°C
MED 설비 1기 용량	48,000m^3/일
MED 설비 갯수	4
GOR	20.76
최대 담수 생산량	156,000m^3/일
담수 생산 비용	0.7~1.0달러/m^3



중국 진산 원전의 내부 모습

중국 정부는 흑룡강성 다퀴앙에 지역 난방을 위한 NHR-200의 실증로를 짓기로 결정하였다.

중국 원자력안전청은 예비 안전성 분석보고서를 검토·완료하여 사업주에게 97년에 시작 예정인 건설 공사에 대해 허가를 승인한 바 있다.

이 원자로는 동절기 도시 난방에 원자력을 성공적으로 이용할 수 있음을 실증하고, 해수 담수화가 경제적임을 입증하는 데 이용될 것이다.

3. 고온 가스 냉각로

고온 가스 냉각로는 뛰어난 안전성과 높은 출구 온도로 전기 생산 효율이 높고 산업체에 양질의 열을 공급할 수 있다.

중국 첨단 기술 계획에 따라 베이징의 북서부에 위치한 원자력기술연구소에 10MW 출력을 갖는 헬륨 냉각 실험로 HTR-10이 건설중에 있다.

이 원자로는 자갈형(pebble-bed) 헬륨 냉각로로 99년에 초임계 도달을 목표로 하고 있다.

1단계에서는 출구 온도 700°C의 증기를 공급하여 전기와 열을 동시에 생산하는 경우의 증기 터빈 사이클에 대한 연구를, 2단계에서는 출구 온도 900°C의 증기를 이용하여 증기·가스 터빈의 복합 운전 모드에 대해 연구할 계획이다.

고온 가스 냉각로는 열병합 발전소로서 해수 담수화용으로 적용할 수 있다.

해수 담수화 열병합 발전소로서 고온 가스 냉각로는 다음과 같은 장점이 있다.

① 뛰어난 안전성
② 복합 담수 시설의 최적화
③ 모듈화 할 수 있어서 200MW급의 소형화 가능

4. 원자력 이용 해수 담수화에 대한 타당성 연구

앞에서 언급하였듯이 물 부족을 겪고 있는 경제 발전 지역에서는 사람들이 값이 비싸더라도 양질의 식수를 공급받고자 원하고 있다.

이런 상황 때문에 시장성과 현실성을 조사하기 위해 원자력을 이용한 해수 담수화에 대한 몇 개의 타당성 연구가 수행중이다.

예로서, 산동 반도 북쪽 연안의 창다오 섬은 일일 담수 생산 능력 3,500m^3의 5MW급 파일럿 원자로 건설을 제안하고 있다.

또한 물 부족이 심각한 요동 반도의 항구 도시 대련은 일일 담수 생산 능력 150,000m^3의 NHR-200/MED 공정 담수화 시설의 건설을 계획하고 있는데, 현재는 타당성 평가 단계에 있다.

5. 해수 담수화 기술에 대한 연구 개발

중국 내의 몇 연구소에서 RO와 MED 공정을 포함하여 해수 담수화 기술을 개발하고 있으며, 외국으로부터의 기술 도입 가능성도 검토중이다.