2011년도 대한전기학회 하계학술대회 논문집 2011. 7. 20 - 22

신재생에너지를 활용한 해수담수화플랜트 개발동향과 전망

최재백*, 정창희** 박승규***
한국수자원공사 수도기술처

Technical Trend of Seawater Desalination Plant Using Renewable Energy

Jae-Baek Choi*, Chang-Hee Jeong**, Seung-Gyu Park***
K-Water Water Supply Technology Dept.

Abstract - 이 연구는 최근 물 부족시대를 대비한 차세대 기술로 각광받고 있는 해수담수화설비의 동력을 기존의 화석연료에서 신재생에너지로 전환하고 있는 세계적인 추세와 기술동향을 살펴보고 국내 적용 가능성을 검토한 것이다. 특히 태양열, 태양광, 풍력 등을 활용하여 MENA(Middle East Asia & North Africa), 스페인, 지중해 연안 등의 지역에서 추진 중인 프로젝트의 성과를 살펴보고, 이를 토대로 극심한 물 부족으로 불편을 겪고 있는 국내 해안·도서지역에 적용할 수 있는 방안을 검토하였다.

1. 서 론

해수를 담수화하여 음용하는 담수화기술은 1593년 R. Hawkins가 신대륙 항해 중, 배 안에서 바닷물을 끓여 증발시킨 수증기를 식수로 사용한 것이 근대적인 해수담수화의 시초이다. 이후 꾸준한 기술개발과 도입 확대로 현재 해수담수화는 전 세계 15,000개 시설(6,520만㎥/day)이 운영중이며, 2016년에는 12,990만㎥/일, 시장 규모는 183억USD 수준으로 성장이 예상된다.(GWI) 현재 해수담수화 기술은 크게 증발법(다중효용법-MED, 다단플래쉬법-MSF, 증기압축식-MVC)과 역삼투법(RO멤브레인), 전기분해 원리를 이용한 전기투석법(ED) 등으로 나뉘어 있다. 세계 시장에서 RO의 점유율이 60%로 가장 크고 증발법(MSF+MED)이 35%를 차지하고 있으며, 증발법과 역삼투법의 특징은 <표 1>과 같다.[22]

<표 1> 증발법과 역삼투법 비교(GWI, GlobalWaterMarket 2011)

구 분	증 발 법		역삼투법
	MSF	MED	
전처리 중요도	낮음	낮음	매우 높음
스케일 생성	낮음	낮음	매우 낮음
운영 난이도	매우 낮음	낮음	높음
초기 시설투자비용	매우 높음	높음	낮음
전력소모량(kWh/㎥)	3.5	1.2	4
증기 소모량(GOR)	10:1	7:1	-
전력비(USD/㎥)	0.51	0.37	0.24
생산수 TDS(㎎/ℓ)	≤25	≤25	≤450

증발법은 대용량 설비 건설에 유리하고 시설이 간단하여, 전력과 용수수요가 급증하는 중동지역 등에서는 주로 화력발전(LNG가스)과 연계하여 민자담수발전사업(IWPP, Independent Water & Power Project)으로 건설해왔으나, 국제유가의 지속적인 상승으로 현재는 역삼투법(RO)으로 전환이 늘고 있는 추세이며,[22] 신재생에너지 활용 잠재력이 높은 유럽, 중동, 북아프리카에서는 태양에너지와 풍력 등 신재생에너지를 해수담수화 플랜트와 결합하여 전력과 물 부족문제 해결을 위한 연구가 진행되고 있다.

2. 본 론

2.1 태양열, 태양광을 활용한 해수담수화 해외 동향

현재 유럽 연구기관들과 MENA(GCC 국가 포함), 지중해 및 오세아니아 국가들의 자본이 결합되어 다양한 실험이 시도되고 있다. 중동과 북아프리카 지역(MENA)은 인구증가와 지하수 고갈 등으로 물과 전력 부족이 심화된 상황으로, 향후 2020년까지 9,000MW급의 CSP[1] 발전소 건설이 예정되어 있으며(EU, PRODES Project), 유럽 국가들과의 전력망 연계도 계획하고 있다.[2]

1) CSP : Concentrating Solar Power

<표 2> 대표적인 신재생에너지 담수화플랜트 현황

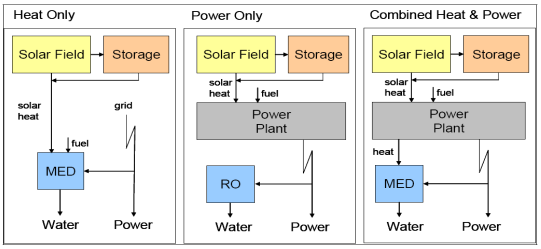
시설명(국가)	시설용량	동력		담수화방식	설치년도
		Main	Sub		
Univ.OfAthens(GRC)	1,000㎥/d	PV	Grid	RO	2000
Abu Dhabi(ARE)	24,000㎥/d	CSP	Fuel	RO	2007
Hurghada(EGY)	24,096㎥/d	CSP	Fuel	RO	2007
Valetta(MLT)	24,024㎥/d	CSP	Fuel	RO	2007
Brownsville(USA)	6,300㎥/d	CSP	Wind	RO	1981
Yabu(SAU)	24,024㎥/d	CSP	Wind	RO	1998
Marrakech(MRC)	1,500㎥/d	PT	Fuel	MSF	2006
Almeria(ESP)	8㎥/Hr	CSP	Fuel	MED	2002
Cycladic,(GRC)	1,400㎥/d	Wind	Grid	ED	-

a)PV:태양광발전, b)CSP:집중형태양열발전, c)Wind:풍력발전, d)Grid:전력망 연계 e)PT(Paravolic Trough) f)RO:역삼투막방식 g)MSF:다단플래쉬(증발법) h)MED:다중효용법(증발법) I)ED:전기분해법

<그림 2> PV, PT, Linear Fresnel, CSP(왼쪽부터)

2.1.1 CSP(집중형 태양열발전)기반 해수담수화플랜트 연구동향

MENA지역에서는 7개의 파일럿플랜트를 설치하여 연구(AQUA-CSP Study)한 결과, 이들 지역에서 가능한 태양에너지(CSP)를 활용한 급수·발전시스템을 3가지 형태로 제시하였다.[2] DLR은 CSP-MED, CSP-RO 등의 시스템을 통해 24,000(㎥/일)의 정수와 21MW 수준의 전력을 수요자에게 공급할 경우, 연료비는 기존 플랜트의 5% 수준, 생산원가는 0.3€(464.7원)/㎥까지 낮출 수 있다고 판단하였다.[4][9]



<그림 3> CSP를 활용한 해수담수화공법(AQUA-CSP)

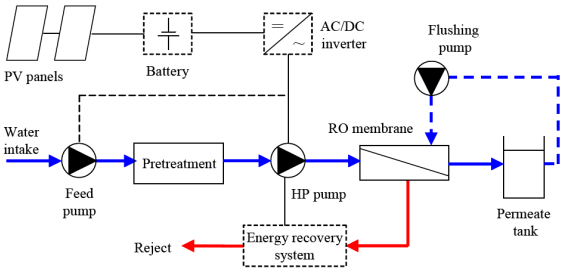
기존의 해수담수화플랜트는 증발법(MED, MSF 등, 13kWh/㎥)에 비해 역삼투막 방식(RO, 3.5~5.5kWh/㎥)이 에너지효율이 높았으나(GWI), PSA의 CSP-MED 플랜트는 2.2~2.4kWh/㎥, CSP-RO는 4.9~5.9kWh/㎥으로, 태양열을 적극 활용한 MED방식이 4%~11% 에너지절감이 가능한 것으로 나타났다.[1], [2] e.g 스페인 PSA(Plataforma Solar De Almeria) 시설용량 8㎥/Hr, MED(14 stage) 요르단, 예멘 등에서는 CSP를 발전량 1MW, 담수화용량 1,000㎥/일 이하의 소규모 플랜트에 적용하는 연구가 진행 중이다. 평균 일사량이 연간 2,000kWh/㎡(MED-CSD 2010) 이상인 MENA지역에서는 연속적인 운전을 위해 가열된 해수를 저장할 수 있는 CSP 방식이 풍력이나 PV를 활용한 RO방식의 시스템에 비해 경쟁력이 높은 것으로 판단된다.[3][4] 하지만 전일사량이 연평균 975kWh/㎡ 정도[21]로 적은 국내에서 10㎥/일 용량의 CSP-MED담수화시설을 운영하기 위한 집열기 면적을 계산하면,

- 1_{ST} Stage 온도 : 71.5℃
- ㎥당 필요에너지 = Thermal 69.1kWh + 내부전원 5.5kWh = 74.6kWh
- Solar Collector 효율 : 48%[7]
- 일평균 직달 일사량 : 2.67kWh/㎡(한국에너지기술연구원 RES-MAP)
  74.6kWh = 2.67 x 0.48(집열기(CSP) 효율) x 필요면적(㎡)[20]에서
  집열기(CSP) 필요면적 = 58.2㎡/㎥

따라서 10㎥/일 담수 생산을 위해 CSP방식의 집열기 면적은 582㎡가 필요하게 된다.

2.1.2 태양광발전을 이용한 해수담수화 동향

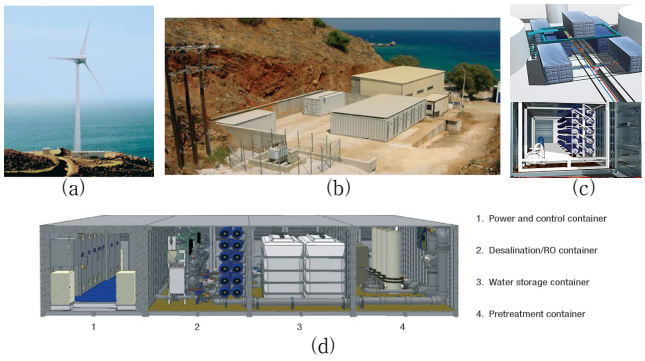
태양광발전을 활용한 PV-RO는 중동지역에서 주로 운영 중이며, 태양광 셀을 통해 입사된 에너지는 배터리를 통해 혹은 직접 펌프설비 등으로 전원을 공급하며, 펌프의 전원 방식에 따라 인버터를 거쳐 AC/DC로 변환, 공급하게 된다. 현재까지 태양광 셀의 효율은 15~16%의 낮은 수준[8]이나, ㎥당 생산원가는 2.7$(500㎥/일 기준) 수준으로, 향후 전지 및 셀의 효율이 개선된다면 생산원가의 지속적인 하락이 예상된다.[15] 하지만 태양광 셀의 설치에 많은 면적이 필요하므로 국내 도서지역 여건에는 맞지 않을 것으로 판단된다.



<그림 4> PV-RO 시스템 개요[8]

2.2 풍력을 활용한 해수담수화 동향

섬이 많은 지중해 그리스에서는 풍력발전 전문회사인 독일 ENERCON과 공동으로[Ionic Wind Hydro Plant]프로젝트를 통해 발전용량 400kW, 담수화용량 1,400㎥/일, 전기분해(ED) 방식의 시설을 건설, 운영 중이며, 약 6,000명의 급수인구에게 연간 24~27.5만㎥을 공급, 평균풍속 8.5m/s, 이용율(CF)은 41% 수준이다.[17] 모로코는 독일 SYNLIFT System사와 남부 TAN-TAN시에 11.2MW 규모의 풍력발전단지를 2020년까지 건설하고, 12,000㎥/일 규모의 정수를 생산(RO방식)하는 프로젝트를 추진 중이다.[6]

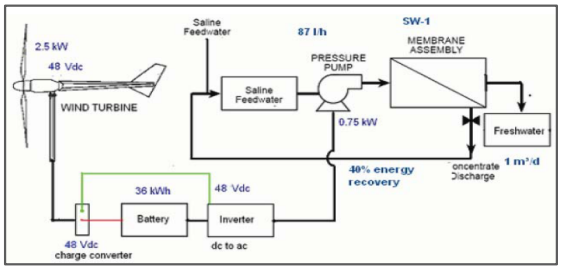


a),b),d):그리스 Cycladic섬의 Wind-Ro시설(1,400㎥/일)
c):요르단에 건설 예정인 Wind-Ro시스템(ENERCON co.)

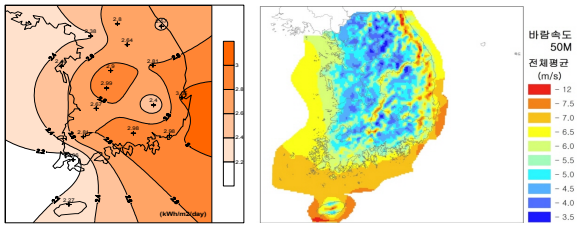
<그림 5> 풍력-RO시스템(ENERCON, 독일)

3. 결 론

현재 국내 서·남해안 일부 도서지역은 가뭄과 지하수 고갈로 물 부족에 시달리고 있으며, 전력망과의 연계도 어려워 자체 내연발전소 운영을 통해 전력문제를 해결하고 있는 실정이다. 더군다나 급수인구가 적은 소규모 도서지역은 이마저도 여의치 않아 대안 마련이 필요한 실정이다. 하지만 이들 지역에 태양열, 태양광을 활용한 해수담수화시설은 집열판 및 태양광 셀 설치에 많은 면적을 필요로 하므로 면적이 작은 도서 여건 상 어려울 것으로 판단된다. 그러나 현재 국내 서남부해안은 연간 평균풍속 7.0m/s 수준[21]으로, 풍력-RO를 추진 중인 MENA 지역(평균풍속 6~7m/s)과 풍력자원은 비슷한 수준이며, 시설 설치에 많은 면적이 필요하지 않으므로, 도서지역의 물 부족과 전력 확보를 위해 풍력터빈을 이용한 역삼투막 방식의 해수담수화시설을 설치하고, 연속적인 풍력발전이 어려울 경우를 대비해 충분한 용량의 정수탱크를 확보, 풍력발전이 가능한 날에 미리 정수를 생산하여 저장하는 방법으로 기존의 발전용 유류비 및 해수담수화 전력비 절감이 가능할 것으로 판단되며, 이를 위해 파일럿플랜트 건설 등에 대한 연구가 선행되어야 할 것이다.



<그림 6> 소형 풍력터빈을 이용한 풍력-RO설비(1㎥/일)



<그림 7> 전국 연평균 1일 법선면 직달일사량과 평균풍속(50m)

[참 고 문 헌]

[1] Diego Martinez Plaza, "PSA Annual Report", 15-30p, 2007
[2] Franz Trieb 외, "Concentrating Solar power For seawater Desal.",Final report, 1-8p, 2007
[3] DLR, "MENA Regional Water Outlook", 1-25p, 2011
[4] F. Trieb 외, "Combined Solarpower & Desal. plants for the Mediterranean Region", EUROMED 2002, 2-6p, 2002
[5] John Andrews, "Development of novel Renewable-energy Thermal Desal. systems", RMIT Research, 1-12p, 2008
[6] Joachim Kaufler, "Seawater Desal.(RO) as a Windpower Industrial Process", Arab water week, 3-28p, 2010
[7] Diego Alarcon 외, "Experimental Results of AQUASOL Project", CIEMAT, 3-7p, 2007
[8] Andrea Ghermandi 외, "Solar-driven Desal. with reverse osmosis", "Desalination and Water Treatment", 286-296p, 2009
[9] Lidia Roca 외, "Control and Modeling of Seawater Desal. using Solar Tech.", CIEMAT, 4-7p, 2009
[10] Fawzi Banat 외, "Economic Evaluation of Desal. by small-scale autonomous solar-powered membrane distillation units", Desalination 220, 569-571p, 2008
[11] C, Generaa 외, "Wind driven reverse osmosis Desal. for small scale stand-alone applications", Delft Univ., 23-109p, 2011
[12] Towfick Sufian 외, "Water for Sana'a & Taiz'z from Solar Desal. at the Red Sea", Trans-Mediterranean Renewable Energy Cooperation, 7-8p, 2006
[13] ADU-RES, "Desal. units poewred by Renewable Energy Systems", WIP International Seminar, 8-10p, 2006
[14] Chantel McGarth, "Renewable Desal. Market Analysis", ProDes Project, 18-88p, 2010.
[15] Edward Spang, "The Potential for Wind-Powered Desal. in water-scarce Country", Master oF Arts in law & diplomacy Thesis, 38-41p, 2006
[16] Houda Ben Jannet Allal 외, "Combined Solar Power & Desal Plant", WP2 Feasibility Studies, 14-40p, 2010
[17] George Karalis 외, "Pilot desalination plant with and hydrogen production from RES in Ios", CONFERENCE: ENERGY-RECYCLING - URBAN ENVIRONMENT KEDKE, 12-23p, 2008
[18] NOKRASCHY ENGINEERING, "New technology Produces Economic Solar-Electric Combined with seawater Desal.", 106-107p, 2007
[19] 황인선 외, "태양열이용 증발식 1단 SAT 해수담수화 시스템의 성능평가", 한국태양에너지학회 춘계 학술대회, 20-24P, 2010
[20] 김정배 외, "태양에너지 이용 해수담수화 실증 -1", 42-47P, 2010
[21] 한국에너지기술연구원, "Kwater 저탄소 녹색에너지 자원조사 용역 보고서", 78-166p, 2010.
[22] GWI, "Global WaterMarket 2011", 104~125p, 2010