

도서지역 「해수담수화시설」 효율적인 관리 방안

- 전라남도 소규모 해수담수화시설을 중심으로 -

A Study on Efficient Management of Desalination Plants in Island Areas

- Focus on Small Scale Desalination Plants in Jeollanam-do -

정용문* · 이정일** · 윤설희*** · 정혜민**** · 이에영***** · 이무현***** · 차윤경***** · 안길원*****

Jung, Yong-Moon · Lee, Jeong-Il · Yun, Seol-Hee · Jung, Hae-Min · Lee, Ye-Yeong ·

Lee, Mu-Hyeon · Cha, Yoon-Gyeong · Ahn, Gil-Won

ABSTRACT

Most of the studies regarding desalination focused on large and medium scale desalination plants recently. However, 109 out of 112 plants were small scale desalination ones under 1,000 m³/d and 81 % of small scale desalination plant were under 100 m³/d in Korea. The states of desalination plants regarding operation and maintenance were investigated in Shinan region of Jeollanam-do. Process analysis of small scale desalination plant and applicability of

* 전라남도보건환경연구원 환경조사과 환경연구사 : (Dept. of Environmental Investigation, Jeollanam-do Institute of Health and Environment)

** 전라남도보건환경연구원 환경조사과 환경연구사 : (Dept. of Environmental Investigation, Jeollanam-do Institute of Health and Environment)

*** 전라남도보건환경연구원 환경조사과 환경연구사 : (Dept. of Environmental Investigation, Jeollanam-do Institute of Health and Environment)

**** 전라남도보건환경연구원 환경조사과 환경연구사 : (Dept. of Environmental Investigation, Jeollanam-do Institute of Health and Environment)

***** 전라남도보건환경연구원 환경조사과 환경연구사 : (Dept. of Environmental Investigation, Jeollanam-do Institute of Health and Environment)

***** 전라남도보건환경연구원 환경조사과 환경연구사 : (Dept. of Environmental Investigation, Jeollanam-do Institute of Health and Environment)

***** 전라남도보건환경연구원 환경조사과 환경연구사 : (Dept. of Environmental Investigation, Jeollanam-do Institute of Health and Environment)

***** 전라남도보건환경연구원 환경조사과 환경연구관 : (Dept. of Environmental Investigation, Jeollanam-do Institute of Health and Environment)

renewable energy to desalination plant was evaluated. Overall, 20 out of 27 desalination plants were shown to be responsible for just small water production under 50 m³/d. Desalination plants were located averagely 56 km from land and not operated by regular passenger ships in 29 % of islands. The total dissolved solids(TDS) of feed water was under 2,000 mg/L in 12 plants. Most of the desalination plants simply consisted of submersible pumps, cartridge filters, activated carbon filters, high pressure pumps, seawater reverse osmosis membranes, and disinfection systems without energy recovery devices. The highest wind speed and wind power density at 10 m were 7.39 m/s and 409.4 W/m². And it showed that wind power generators were applied in desalination plants. The carbon dioxide emissions were expected to decrease by 1.99 tCO₂ ~ 2.53 tCO₂ in each desalination plant when energy source was changed from oil to renewable energy. In order to efficiently manage small scale desalination plants, brackish water reverse osmosis facilities, accurate installation of measuring instruments and remote supervisory control system were needed. In addition, the possibility of utilizing wind power generation as renewable energy in island areas was confirmed.

Key Words(핵심용어) : desalination(해수담수화), management(운영), water quality(수질), wind power generation(풍력발전), carbon dioxide emission(이산화탄소 배출량), island(섬)

국문초록

국내 해수담수화시설 112개소 중 109개소는 1,000 m³/일 이하의 소규모 시설이며, 109개소 중 81 %는 100 m³/일 보다 작은 시설이다. 하지만 대부분의 해수담수화 연구는 중대형 규모의 해수담수화플랜트인 부산광역시 기장군 시설(45,000 m³/일), 포스코 광양제철소 시설(30,000 m³/일), 충남 서산시 시설(100,000 m³/일)을 대상으로 수행되어지고 있으며 소규모 해수담수화시설에 대한 조사 또는 연구는 극히 드물다. 본 연구에서는 해수담수화시설이 가장 많이 설치되어 있는 전라남도 신안지역을 대상으로 소규모 해수담수화시설의 설치, 운영, 관리 현황 등의 조사를 통해 효율적인 관리방안을 제시하였고, 풍속 분석을 통해 풍력에너지 도입 가능성 평가 및 온실가스 배출량을 분석하였다. 본 연구에 따르면 신안지역 해수담수화시설 중 물 생산량이 50 m³/일 보다 낮은 시설은 27개소 중 20개소로 조사되었으며 모두 하루 물 생산량이 100 m³ 이하의 시설들이다. 평균적으로 해수담수화시설은 육지에서부터 56 km 떨어져 있으며, 해수담수화시설이 설치된 섬들 중 29 %에서는 정기선편이 운항하지 않는 열악한 환경에 처해있다. 원수인 염기하수의 총용존고형물량이 2,000 mg/L 보다 낮은 시설은 12개소이며, 대부분의 공정이 취수펌프, 카트리지 필터, 활성탄 여과 필터, 고압펌프, 역삼투막, 소독장치로 구성되어 있으나 에너지회수장치는 설치되어 있지 않았다. 조사지역 중 가장 높은 10 m 풍속과 풍력에너지밀도는 7.39 m/s, 409.4 W/m²로 제주지역 대표 섬들과 비교했을 때 비슷하거나 높아 풍력발전 도입이 가능할 것으로 판단된다. 현재 섬 지역에서 사용 중인 내연발전의 화석

에너지를 신재생에너지로 전환한다면, 해수담수화시설에서 연간 1.99 tCO₂ ~ 2.53 tCO₂의 이산화탄소 배출량을 절감할 수 있다. 효율적인 소규모 해수담수화시설 운영을 위해서는 염분 농도가 낮은 시설에는 기수용 막을 적용해야하며, 현지 시설에서 해수담수화시설 운영에 필요한 최소한의 pH, 압력, 유량, 전기전도도 등의 디지털 계측기 설치가 필요하다. 또한 육지에서도 해수담수화시설을 체계적으로 관리할 수 있도록 원격제어시스템을 도입할 필요성이 높으며, 풍력에너지와 같은 신재생에너지 적용이 충분히 가능할 것으로 판단된다.

I. 서 론

국내 해수담수화 시설 112개소 중 109개소가 도서지역의 소규모시설(1,000 m³/일 이하)이고 이 중에서도 81 %는 100 m³/일 보다 작은 규모로 설치되어 있다(이현경, 2021). 하지만 대부분의 연구는 부산광역시 기장군(45,000 m³/일), 포스코 광양제철소(30,000 m³/일), 충남 서산시(100,000 m³/일)와 같은 중대규모 시설에 관한 것으로, 소규모 시설에 대한 연구는 극히 드물다. 시설운영 측면에서도 중대규모 시설에서는 전문 인력이 24시간 상주하면서 수질, 유량, 펌프압력, 수투과도 등을 체계적으로 기록 관리하고 있지만, 소규모 시설의 경우 압력, 유량, 수질을 확인하기 위한 계측기조차 설치되어 있지 않다.

국내 물산업 관련 기업의 69 %는 9인 이하의 영세기업으로 연구 및 개발에 투자하는 자본은 매출액의 2.6 %이며 회사 비율은 13.3 %로 매우 열악한 실정이다(양은태 등, 2021). 중대규모 시설의 물 생산 비용은 1 m³ 당 533원 ~ 956원으로 알려져 있다(황문현 등, 2017). 하지만 도서지역 소규모 해수담수화시설은 물 생산비용이 1 m³ 당 5,912원 ~ 11,200원으로 위탁관리를 수행하고 있는 수자원공사의 경우 5년 동안 100억 여 원의 손실을 보았다(박남식 등, 2011). 물 생산에 필요한 전기에너지는 에너지회수장치를 통해 낮출 수 있으나, 소규모 해수담수화시설에는 설치되어 있지 않다. 소규모시설에서 에너지회수장치의 효율이 낮을 것이라 생각되지만, 2.5 m³/일 규모의 해수담수화시설에서도 에너지회수장치 설치를 통해 전력비를 1 m³ 당 1,914.1원 절감 할 수 있다고 보고되고 있다(전종민 등, 2017). 높은 물 생산 비용으로 인해 도서지역은 정부의 지원이 없으면 해수담수화시설 운영이 어려운 실정이다. 열악한 정주환경과 높은 고령화율, 경제구조의 낙후성을 고려했을 때 소규모 해수담수화시설에 대한 관심과 심도 깊은 연구가 필요하다.

본 연구에서는 전라남도 신안지역 소규모 해수담수화시설을 대상으로 설치 및 운영현황 조사를 통해 시설관리에 대한 개선방안을 모색하였고, 담수 생산에 소모되는 화석에너지 사용량 및 이산화탄소배출량 분석과 신재생에너지 도입 가능성을 평가함으로써, 최종적으로 소규모 해수담수화시설의 효율적인 운영과 시설고도화 방안을 제시하고자 하였다.

II. 연구방법

1. 연구대상 및 기간

전라남도에는 전국 3,352개의 섬 중 2,165개의 섬들이 속해 있다. 그 중 신안군은 절반이 넘는 1,025개의 섬으로 이루어져 있으며, 외국인을 포함하여 39,411명이 거주 중이고 65세 이상 고령 인구는 37.0 %로 전라남도 평균 23.9 %보다 높다(전라남도, 2021). <표 1>에 따르면 도내 해수담수화시설은 총 67개소이며 여수 15개소, 영광 4개소, 완도 13개소, 진도 8개소, 신안 27개소가 설치되어 있다. 하지만 높은 물 생산비용과 마을이장, 어촌계장 등 비전문가에 의한 시설 관리로 인해 효율적으로 해수담수화시설을 운영하는데 한계가 있다. 또한 고장발생시 신속한 조치를 할 수 있도록 시스템이 갖추어져 있으나 시설진단, 부품조달, 운반, 수리 등 시설 정상화를 위해서는 일주일가량 소요되고 있다. 본 연구에서는 해수담수화시설의 전반적인 실태조사를 위해 신안군 해수담수화시설 27개소에 대해 2019년 7월부터 2021년 9월까지 운영데이터를 분석하였고 군청담당자, 현지관리인, 유지보수업체 기술인과의 면담 등을 통해 연구를 수행하였다. 또한, 원수의 염분농도에 따라 저염분 당사도, 중염분 다물도, 고염분 만재도 해수담수화시설을 대표 시설로 선정하여 공정을 분석하고, 신재생에너지 도입가능성 평가 등을 수행하였다.

<표 1> 전라남도 내 해수담수화시설 수

지역	여수	영광	완도	진도	신안	합계
해수담수화시설 수	15 (22.4 %)	4 (6.0 %)	13 (19.4 %)	8 (11.9 %)	27 (40.3 %)	67 (100 %)

자료 : 본 연구조사 내용분석에 의함

2. 풍력 및 에너지밀도

풍력에너지 도입가능성을 평가하기 위해 기상청 기상자료개발포털에서 제공하는 2019년 10월부터 2021년 10월까지 일별 풍속데이터를 이용하였다. 평가지점으로는 고염분, 중염분, 저염분을 대표하는 각 시설이 위치한 곳과 가장 가까운 관측소를 선정 하였다<표 2>.

지상으로부터 10 m에서 풍속은 풍력발전 도입이 가능한지를 판별하는 기준으로, 식(1)과 같이 구하였다. 여기에서 V 는 관측소 고도(m)에서 풍속(m/s), V_1 은 고도 z_1 (m)에서 풍속(m/s), n 은 지수로 장애물이 거의 없고, 주변 장애물의 평균높이가 1.5 m 이하인 해안, 초원, 비행장을 대표하는 D 지표면 조도구분을 사용했다(국토교통부, 2020).

$$V = V_1 \left(\frac{z}{z_1} \right)^n \quad (1)$$

풍력에너지 밀도는 단위면적 당 풍력에너지를 의미하며 풍력발전의 적격지를 판별하는데 사용되며 식(2)에 나타내었다. P_0 는 단위시간당 평균 풍력에너지 밀도(W/m^2), ρ 는 공기의 밀도 1.225 kg/m^3 (15 °C, 1기압), V 는 풍속(m/s), m 은 측정기간 총 동안의 데이터 수를 의미한다.

$$P_0 = \frac{\frac{1}{2} \rho V^3}{m} \quad (2)$$

〈표 2〉 관측소 정보

지역	관측 유형	위도(N) 및 경도(E)	관리번호
만재도	지면	N34.68719 E125.45105	169
다물도	해수면	N34.73333333 E126.24166667	22183
당사도	해수면	N34.0275 E125.2147	22193

자료 : 본 연구조사 내용분석에 의함

3. 온실가스 배출량 분석

해수담수화시설 운영에 따른 온실가스 배출량 분석을 위해 각 시설의 연간 전기사용량을 조사하였고, 「에너지법」 시행규칙 제5조(에너지열량 환산기준)제1항에 따른 별표 에너지열량 환산기준을 이용해 계산하였다. 석유환산톤은 다른 종류의 에너지원에서 발생하는 에너지양을 비교하기 위해 석유 1톤이 생산하는 열을 칼로리 기준 toe(Ton of oil equivalent)로 표준화한 것으로 Q 는 연료발열량(kcal)을 의미하며 다음 식(3)에 의해 표현된다.

$$toe = Q / 10^7 \quad (3)$$

이산화탄소는 대표적인 온실가스로 알려져 있으며 온실가스 배출량 중 가장 많은 비중을 차지하고 있다. 온실가스 배출량은 식(4)와 같이 탄소배출량(tC)과 식(5)와 같이 이산화탄소배출량(tCO₂)으로 나타낼 수 있다.

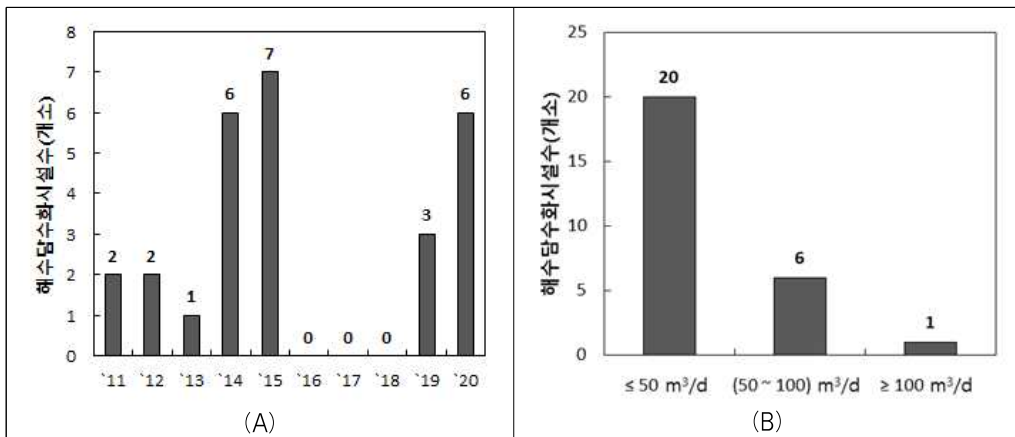
$$\text{탄소배출량}(tC) = \text{연료발열량}(MJ) \times \text{탄소배출계수}(tC/TJ)/10^6 \quad (4)$$

$$\text{이산화탄소배출량}(tCO_2) = \text{탄소배출량}(tC) \times 44/12 \quad (5)$$

Ⅲ. 결과 및 고찰

1. 해수담수화시설 설치 및 운영 현황 분석

신안군의 해수담수화시설은 2011년에 최초로 설치되어, 24개 섬에 27개소가 운영되고 있다. 설치연도별로는 2011년 2개소, 2012년 2개소, 2013년 1개소, 2014년 6개소, 2015년 7개소, 2019년 3개소, 2020년 6개소가 설치되었으며, 일 생산량 규모별로는 50 m³ 이하 시설이 20개소, 50 m³ ~ 100 m³ 시설이 6개소, 100 m³ 이상 시설이 1개소로 이루어져 있다<그림 1>.

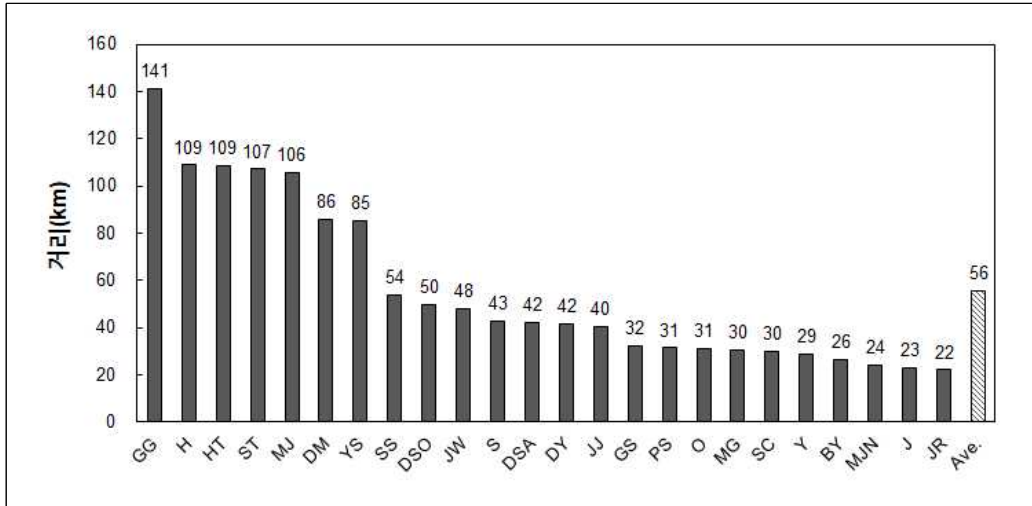


자료 : 본 연구조사 내용분석에 의한

<그림 1> 설치연도(A) 및 일일 물생산량(B) 별 해수담수화시설 수

해수담수화시설이 설치되어 있는 섬의 지정학적 위치는 설치 및 유지보수에 소요되는 비용과 시간을 결정하는 주요 인자 중 하나이다. 육지와와의 거리가 먼 섬에 설치된 시설일수록 자재의 운반비용이 증가하고 설치 및 부품 조달에 많은 시간이 소요된다. 또한, 정기운항 배편의 유무는 유지관리 전문인력의 정기적인 시설점검 외에도 고장 발생 시 신속하게 섬을 출입할 수 있는데 있어 중요한 요소이다. <그림 2>에는 목포항을 기준으로 해수담수화시설이 설치되어 있는 섬까지의 거리를 나타냈다. 가거도에 있는 해수담수화시설이 141 km로 가장 멀리 설치되어 있으며 평균적으로는 56 km 떨어져 있다. 24개 섬 중 71 %인 17개 섬은 정규 배편이 운항 중이나 29 %

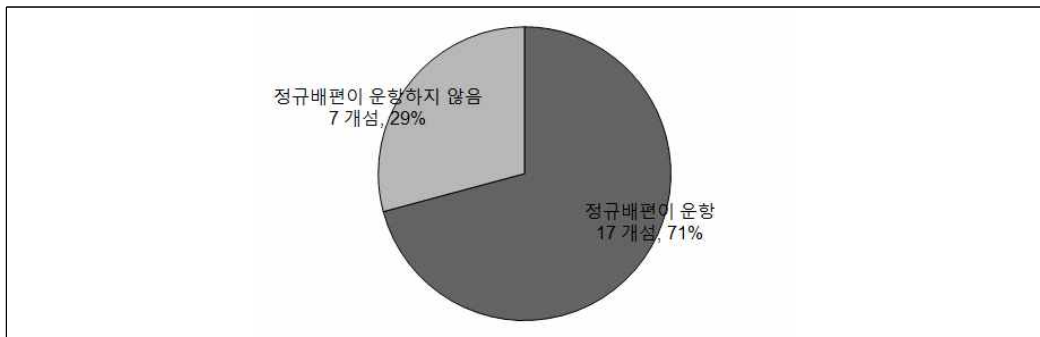
인 7개 섬은 운항하지 않고 있어 원격시스템이 갖추어지지 않은 소규모 해수담수화시설의 특성상 운영 및 관리제어가 어려운 실정이다<그림 3>.



* GG: 가거도, H: 흥도, HT: 하태도, ST: 상태도, MJ: 만재도, DM: 다물도, YS: 영산도, SS: 서소우이도, DSO: 동소우이도, JW: 재원도, S: 신도, DSA: 당사도, DY: 대야도, JJ: 장재도, GS: 고사도, PS: 평사도, O: 옥도, MG: 막금도, SC: 사치도, Y: 울도, BY: 백야도, MJN: 마진도, J: 장도, JR: 자라도

자료 : 본 연구조사 내용분석에 의함

<그림 2> 해수담수화시설이 설치된 섬이 육지에서 떨어진 거리

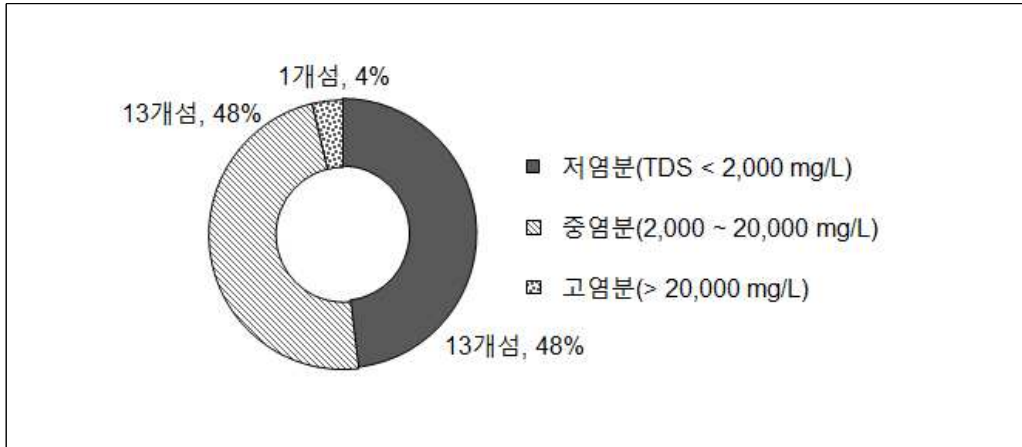


자료 : 본 연구조사 내용분석에 의함

<그림 3> 해수담수화시설이 설치된 섬 중 정규배편 운항 여부

해수담수화시설의 원수는 바닷물을 사용하는 것이 일반적으로 알려져 있으나, 전남지역에서는 지하 관정에서 염지하수를 취수해 원수로 사용하고 있다. 「먹는물관리법」 제3조(정의) 제3

호의2에 따르면 염지하수는 물속에 녹아있는 염분 등의 총용존고형물(TDS, Total dissolved solids) 함량이 2,000 mg/L 이상인 암반대수층 안의 지하수를 말한다. 염지하수의 총용존고형물에 따른 해수담수화시설을 구분해 보면 저염분(2,000 mg/L 이하) 13개소, 중염분(2,000 mg/L ~ 20,000 mg/L) 13개소, 고염분(20,000 mg/L 이상) 1개소로 나눌 수 있다<그림 4>.

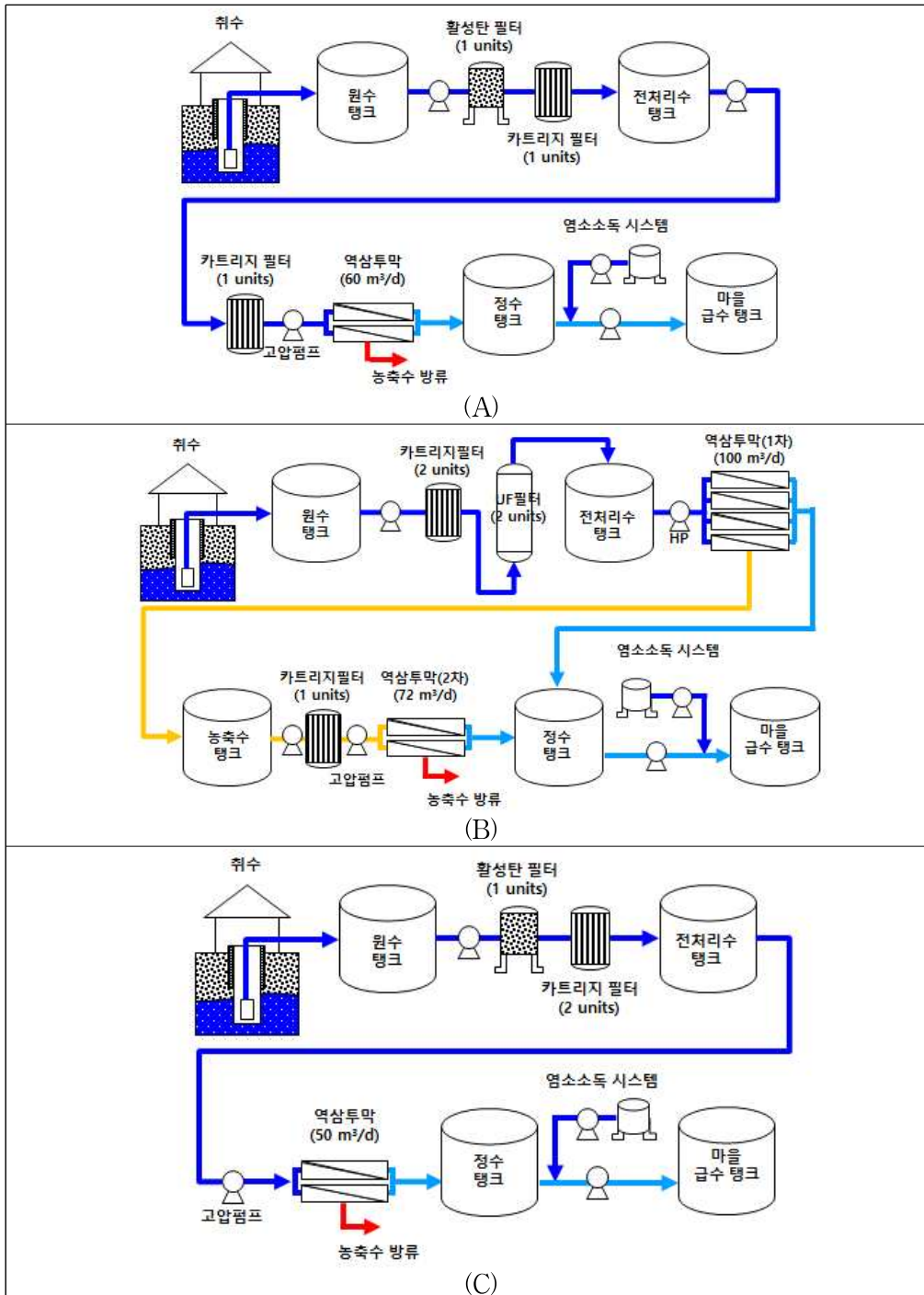


자료 : 본 연구조사 내용분석에 의함

<그림 4> 총용존고형물 농도에 따른 해수담수화시설 분류

2. 소규모 해수담수화시설 공정 및 운영

해수담수화시설의 공정은 일반적으로 취수부, 전처리부, 역삼투부, 에너지회수부, 후처리부, 막세정부 등으로 구성되어 있으며 살균제, 응집제, 수질조절제 등의 약품이 효율적인 해수담수화를 위해 사용되고 있다. <그림 5>에는 원수의 염분 농도에 따른 대표시설들의 해수담수화 공정을 나타내었다. 만재도와 당사도는 대표적인 소규모 해수담수화시설의 공정을 보여주고 있다. 취수부, 활성탄여과장치, 카트리지필터 여과장치, 역삼투막 여과장치, 염소소독장치로 구성되어 있으며 대부분 시설에서 활성탄여과, 카트리지필터 여과의 공정상 위치와 개수만 다를 뿐 유사한 공정을 보인다. 다물도 해수담수화시설은 2015년에 하루 100 m³ 생산이 가능한 해수담수화시설로 설치되었으며, 이후 2020년에 60 m³ 시설을 기존 해수담수화시설에 추가로 설치해 버려지고 있던 농축수를 재이용하였고 전처리방법으로 활성탄여과가 아닌 한외여과를 사용하고 있다.



자료 : 본 연구조사 내용분석에 의함

〈그림 5〉 해수담수화 공정도 (A)만재도, (B)다물도, (C)당사도

모든 시설에서 탁도와 유기물함량이 낮은 염지하수를 원수로 사용하고 있어 전처리가 간단하다는 장점이 있으나 에너지회수장치가 설치되어 있지 않고, 시설 유지관리를 위한 pH, 전기전도도, 압력, 유량 등 계측기가 없거나 부적절한 위치에 설치되어 있다. 해수담수화시설은 마을 물탱크와 연동되어 있어 수위가 낮아지면 시설이 가동되어 물이 생산되고 있으며, 현지관리인이 주 1~2회 시설을 방문해 누수, 부식, 장비고장 등을 확인하고 있다. 유지보수업체 기술인은 신안군과 유지관리 용역 계약을 체결하고, 월 1회 시설을 방문하여 간이 수질검사, 펌프 등 장비 유지보수를 전문적으로 수행하고 있다.

3. 원수, 처리수의 수질

염지하수는 지하수의 물리화학적 특성과 비슷해 연중 수질변동이 적고 일정하다. 해수담수화 시설 27개소 원수의 온도는 15.2 °C ~ 19.8 °C, pH는 6.7 ~ 7.5, 탁도는 0.3 NTU ~ 4.5 NTU로 나타났다. 처리수의 온도는 16.0 °C ~ 19.5 °C, pH는 6.2 ~ 6.6, 탁도는 0.1 NTU ~ 0.4 NTU로 조사되었다(표 3). 탁도의 경우 갈수기에 염지하수 수량 부족으로 인해 흙탕물이 유입되어 높아지는 경우가 있었으나 해수담수화시설의 막여과를 통해 제거 되어 수질 측면에서는 큰 문제가 되지 않았다. 하지만 수량 측면에서는 중장기적으로 문제가 될 수 있기 때문에, 향후 섬 내 염지하수 부존량 및 부존특성에 대한 조사가 추가로 필요할 것으로 사료된다.

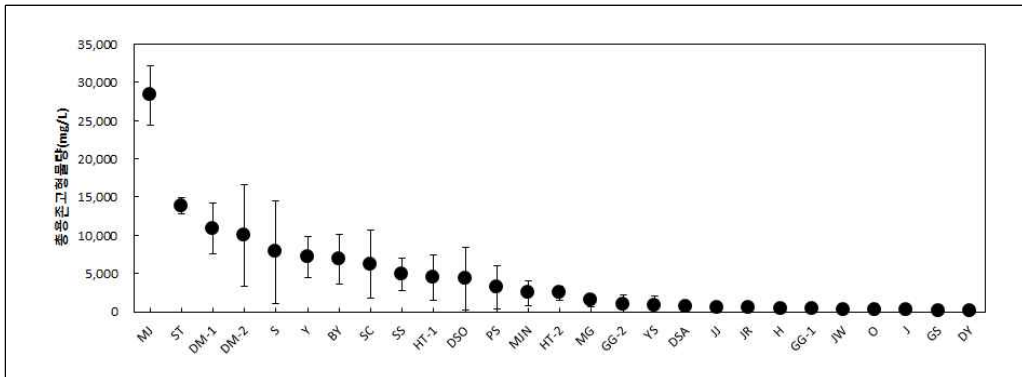
(표 3) 원수와 정수의 수질특성

지역	원수			정수			지역	원수			정수		
	온도 (°C)	pH	탁도 (NTU)	온도 (°C)	pH	탁도 (NTU)		온도 (°C)	pH	탁도 (NTU)	온도 (°C)	pH	탁도 (NTU)
DM-2	15.2	7.0	1.3	16	6.5	0.3	S	16.9	7.0	2.2	16.8	6.6	0.2
HT-2	15.4	6.9	1.0	16.2	6.4	0.1	DY	16.9	7.2	1.3	17.3	6.5	0.2
ST	15.6	7.0	0.7	16.4	6.4	0.1	MJN	17.1	6.7	2.7	17.3	6.3	0.2
HT-1	15.8	6.9	1.3	16.4	6.2	0.2	JR	17.1	7.1	0.7	17.7	6.3	0.2
DSO	15.8	7.2	2.5	16	6.4	0.3	Y	17.4	7.0	4.5	17.9	6.3	0.3
BY	16	7.1	3.5	15.9	6.4	0.2	DSA	17.5	7.5	1.1	16.5	6.2	0.1
MG	16	7.1	2.3	16.5	6.3	0.2	GS	17.7	6.9	3.5	17.6	6.4	0.2
DM-1	16.4	7.2	3.2	16.6	6.2	0.3	GG-1	17.9	6.9	1.1	18.6	6.3	0.2
H	16.5	7.1	2.2	16.1	6.3	0.2	GG-2	18.1	7.1	1.0	18.2	6.5	0.3
SS	16.7	7.2	1.6	16.5	6.4	0.4	YS	18.1	7.0	1.3	18.8	6.4	0.3
JW	16.7	6.8	0.8	17.7	6.4	0.2	J	18.2	6.8	0.6	18.4	6.2	0.3
PS	16.8	7.2	0.9	15.6	6.5	0.1	JJ	18.2	7.1	1.0	19.5	6.3	0.2
MJ	16.8	7.2	0.8	16.7	6.5	0.2	O	19.8	7.1	3.2	19.5	6.3	0.3
SC	16.8	7.0	0.3	18	6.6	0.2	Ave.	16.9	7	1.7	17.2	6.4	0.2

* DM-2: 다물도 2호기, HT-2: 하태도 2호기, ST: 상태도, HT-1: 하태도 1호기, DSO: 동소우이도, BY: 백야도, MG: 막금도, DM-1: 다물도 1호기, H: 흥도, SS: 서소우이도, JW: 재원도, PS: 평사도, MJ: 만재도, SC: 사치도, S: 신도, DY: 대야도, MJN: 마진도, JR: 자라도, Y: 율도, DSA: 당사도, GS: 고사도, GG-1: 가거도 1호기, GG-2: 가거도 2호기, YS: 영산도, J: 장도, JJ: 장재도, O: 옥도

자료 : 본 연구조사 내용분석에 의함

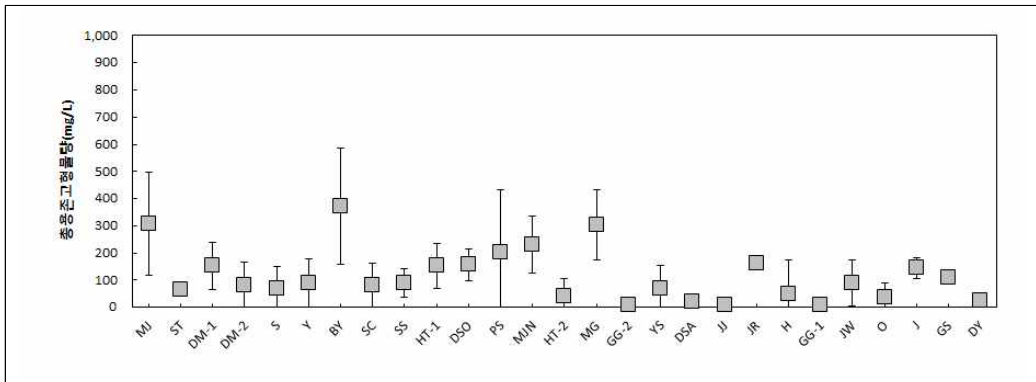
해수담수화시설의 주요 성능인자로는 염분농도, 수온, 막여과유속, 회수율 등이 있으며 원수의 염분농도가 높아지면 삼투압 증가로 인해 담수 생산에 많은 에너지가 필요하다고 알려져 있다(김지혜 등 2019; 윤승현 등, 2019). 2021년 해양수산부와 해양환경공단에서 발간한 한국해양환경조사연보에 따르면 표층의 염도는 신안연안 31.46 psu, 목포연안 29.01 psu, 무안연안 30.19 psu 이며 총용존고형물량으로 계산해보면 약 29,680 mg/L ~ 31,920 mg/L 이다. 총용존고형물량은 만재도의 경우 해수와 비슷한 28,273 mg/L로 고염분을 보이고 있지만, 두 번째로 염분이 높은 상태도는 만재도의 절반 수준인 13,831 mg/L를 보인다<그림 6>. 대부분 원수의 염분이 해수보다 절반 이상 낮은 것으로 조사되었고, 막여과에서 소모되는 에너지가 일반적인 해수담수화시설보다 낮게 필요할 것이라 판단된다. 신안군에서는 해수담수화시설에서 생산되는 담수의 총용존고형물량을 500 mg/L 이하로 관리하고 있다. 원수의 높은 총용존고형물량이 담수의 총용존고형물량에 미치는 영향에 대한 상관관계는 거의 없는 것으로 나타났으며, 담수의 총용존고형물량은 장재도가 6.78 mg/L로 가장 낮았고 백야도가 371 mg/L로 가장 높게 나타났다<그림 7>.



자료 : 본 연구조사 내용분석에 의함

* MJ: 만재도, ST: 상태도, DM-1: 다물도 1호기, DM-2:다물도 2호기, S: 신도, Y: 율도, BY: 백야도, SC: 사치도, SS: 서소우이도, HT-1: 하태도 1호기, DSO: 동소우이도, PS: 평사도, MJN: 마진도, HT-2: 하태도 2호기, MG: 막금도, GG-2: 가거도 2호기, YS: 영산도, DSA: 당사도, JJ: 장재도, JR: 자라도, H: 흥도, GG-1: 가거도 1호기, JW: 재원도, O: 옥도, J: 장도, GS: 고사도, DY: 대야도

<그림 6> 해수담수화시설 별 원수의 초용존고형물량

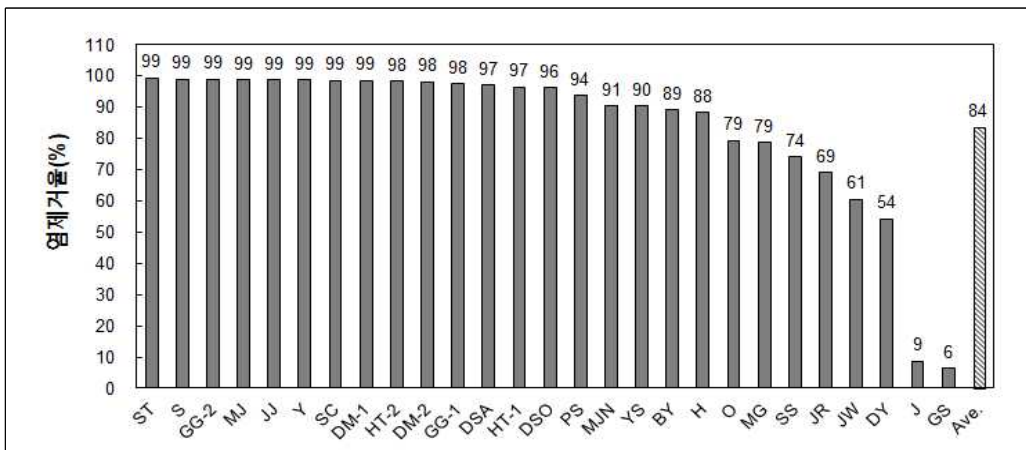


* MJ: 만재도, ST: 상태도, DM-1: 다물도 1호기, DM-2:다물도 2호기, S: 신도, Y: 울도, BY: 백야도, SC: 사치도, SS: 서소우이도, HT-1: 하태도 1호기, DSO: 동소우이도, PS: 평사도, MJN: 마진도, HT-2: 하태도 2호기, MG: 막금도, GG-2: 가거도 2호기, YS: 영산도, DSA: 당사도, JJ: 장재도, JR: 자라도, H: 흥도, GG-1: 가거도 1호기, JW: 재원도, O: 옥도, J: 장도, GS: 고사도, DY: 대야도

자료 : 본 연구조사 내용분석에 의함

〈그림 7〉 해수담수화시설 별 정수의 총용존고형물량

염제거율은 유지보수업체 기술인이 현장에서 원수와 담수를 간이수질측정기로 총용존고형물량 측정해 조사하고 있으며 염제거율이 낮아지면 막세척 보다는 막교체를 통해 염제거율을 높이고 있다. 염제거율은 최대 99 %에서 최소 6 %로 평균 약 84 % 나타났으며, 평균보다 낮은 시설은 전체 27개소 중 8개소이다(그림 8). 2개소의 경우는 막오염 및 시설 노후화로 인해 염제거율이 낮았으나, 나머지 6개소에서는 원수 자체의 총용존고형물량이 600 mg/L 보다 낮았다. 이는 해수용 역삼투막으로 제거할 수 있는 염분량이 매우 낮기 때문이다. 낮은 염분의 원수가 취수되는 섬에서는 수질 특성을 고려하여 기수용 해수담수화시설 공정 설계가 필요하다.



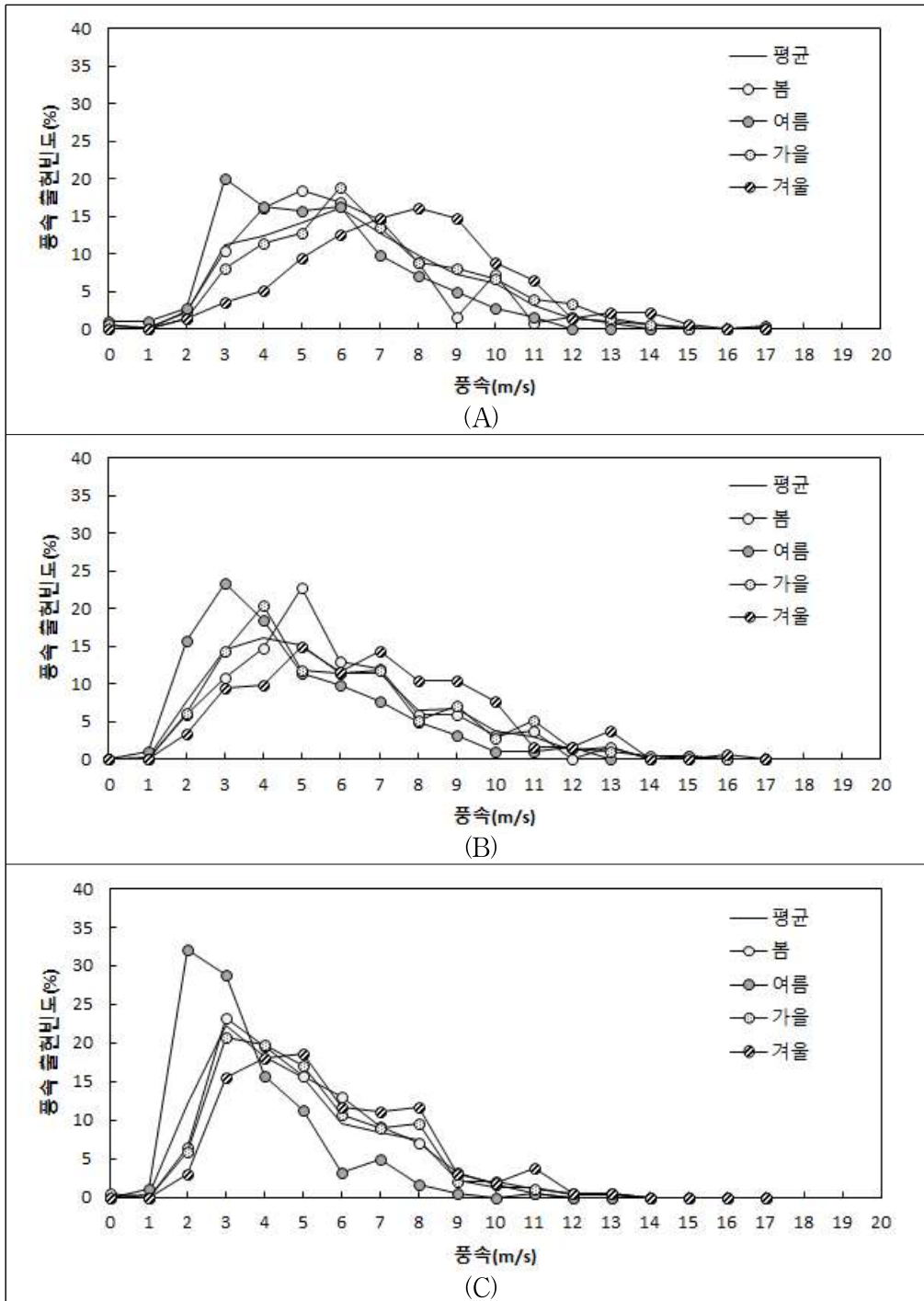
* ST: 상태도, S: 신도, GG-2: 가거도 2호기, JJ: 장재도, Y: 울도, SC: 사치도, DM-1: 다물도 1호기, HT-2: 하태도 2호기, DM-2: 다물도 2호기, GG-1: 가거도 1호기, DSA: 당사도, PS: 평사도, HT-1: 하태도 1호기, DSO: 동소우이도, PS: 평사도, MJN: 마진도, YS: 영산도, BY: 백야도, H: 홍도, O: 옥도, MG: 막금도, SS: 서소우이도, JR: 자라도, DY: 대야도, J: 장도, GS: 고사도

자료 : 본 연구조사 내용분석에 의함

〈그림 8〉 해수담수화시설 별 염제거율

4. 해수담수화시설 풍력에너지 도입 가능성 평가

〈그림 9〉에는 각 지점에서 관측된 풍속의 출현빈도를 연간 평균, 봄(3 ~ 5월), 여름(6 ~ 8월), 가을(9 ~ 11월), 겨울(12 ~ 2월) 별로 나타내었다. 모든 지점에서 겨울철 풍속이 평균풍속보다 높은 분포를 보였으며, 육지로부터 멀리 떨어진 지점일수록 풍속이 더 높았다. 봄과 가을에 평균풍속은 연중평균풍속과 유사하게 나타냈으나, 여름철에는 평균풍속이 낮았고 겨울철에는 평균풍속 분포가 높았다. 〈표 4〉는 각 지점과 제주도 대표 섬지역의 풍속과 풍력에너지 밀도를 보여주고 있다(김남형 등, 2010). 관측지점들의 연중 평균풍속은 4.31 m/s ~ 5.87 m/s, 풍력에너지밀도는 92.1 W/m² ~ 205.2 W/m² 이다. 지상 10 m 풍력에너지밀도는 102.5 W/m²(다물도), 183.7 W/m²(당사도), 409.4 W/m²(만재도)로 풍력발전 도입여부를 평가하는 기준 100 W/m²보다 높았다. 우리나라 대표 해상풍력단지 중 하나인 제주지역 대표 섬의 10 m 풍력에너지밀도는 131.4 W/m²(추자도), 153.3 W/m²(우도), 323.9 W/m²(마라도)로 조사되었으며, 이와 비교했을 때 해수담수화시설 인근 풍력에너지밀도는 제주지역과 비슷하거나 높아 풍력에너지를 이용한 해수담수화시설 운영이 가능할 것으로 판단된다.



자료 : 본 연구조사 내용분석에 의한

〈그림 9〉 풍속 출현빈도 (A)만재도, (B)다물도, (C)당사도

〈표 4〉 지점별 풍속 및 10 m 풍력에너지밀도

지역	높이 (m)	풍속(m/s)		풍력에너지밀도(W/m ²)	
		평균	10 m	평균	10 m
만재도	0	5.87	7.39	205.2	409.4
다물도	75	5.31	4.34	187.5	102.5
당사도	0	4.31	5.43	92.1	183.7
추자도	13	-	5.41	-	131.4
우도	39	-	4.82	-	153.3
마라도	36	-	6.29	-	323.9

자료 : 본 연구조사 내용분석에 의한

5. 에너지 사용량 및 온실가스 배출량

최근 수처리 공정과 신재생에너지를 융합한 에너지 절감에 관한 연구가 활발히 수행되고 있다(김택승 등, 2019; 주홍진 등, 2016; 윤종원 등, 2014). 〈표 5〉에는 해수담수화시설에서 연간 소비되는 에너지량과 이산화탄소 배출량을 나타내었다. 연간 해수담수화시설에서 소비되고 있는 전력량은 물생산용량이 큰 다물도가 34,800 kWh로 가장 많았으며 원수의 염분농도가 높은 만재도가 27,416 kWh, 염분농도가 낮은 당사도가 16,839 kWh로 조사되었다. 내연발전기를 이용해 전기를 생산하는 섬지역 특성에 따른 유류소비량으로 계산하면 다물도 3,322 L, 만재도 2,617 L, 당사도 1,607 L 이다. 해수담수화시설에서 소비되는 전력을 신재생에너지로 대체한다면 연간 다물도 2.53 tCO₂, 만재도 1.99 tCO₂, 당사도 1.22 tCO₂의 이산화탄소배출량을 줄일 수 있다.

〈표 5〉 해수담수화시설별 연간 전기에너지 소비량 및 이산화탄소배출량

구분	만재도	다물도	당사도
전기에너지 (kWh)	27,416	34,800	16,839
발열량 (kcal)	23,577,330	29,928,000	14,481,540
연료사용량 (L)	2,617	3,322	1,607
석유환산톤 (TOE)	2.36	2.99	1.45
탄소배출량 (tC)	98,714	125,303	60,631
이산화탄소배출량 (tCO ₂)	1.99	2.53	1.22

자료 : 본 연구조사 내용분석에 의한

IV. 결 론

본 연구는 국내 도서지역 소규모 해수담수화시설의 효율적인 운영 및 향후 신규시설 설치에 도움이 되고자, 신안군 지역 해수담수화시설의 설치 및 유지보수 현황, 공정 구성, 수질 특성, 물 생산에 따른 이산화탄소 발생량, 풍속 분석을 통한 풍력에너지 도입 가능성 등을 분석하였다.

신안군 소재 해수담수화시설 27개소 중 20개소는 하루 물생산량이 50 m³인 소규모 해수담수화시설이다. 해수담수화시설은 육지에서 평균 56 km 떨어져 있으며 7개 섬은 정규배편이 운행하지 않아 지정학적으로도 매우 열악한 환경에 위치하여 있다. 또한, 원수인 염지하수의 총용존고형물량이 2,000 mg/L 보다 낮은 시설이 13개소로 조사되었는데, 이를 고려하지 않고 바닷물 수준의 염분을 담수화하는 공정이 획일적으로 보급되어있어 해수담수화시설을 효율적으로 운영하기 어려운 실정이다. 따라서 소규모 해수담수화시설을 설치할 때에는 최우선적으로 해수(Seawater)와 기수(Brackish water)의 구분을 수행한 후 원수 특성에 맞추어 해수담수화 공정이 구성되어야 한다. 향후 해수담수화시설 노후화로 인한 신규 시설 설치 및 개보수시에는 기수를 이용하는 시설의 경우에는 물 생산량을 늘리고 유지보수 비용을 낮추기 위해 기수용 막과 저압펌프 도입이 바람직하다. 또한, 전기가 귀한 섬 지역 특성상 소규모 해수담수화시설의 에너지 소모를 줄일 수 있도록 농축수의 높은 압력에너지를 고압펌프 보조에너지로 재이용할 수 있게 해주는 에너지회수장치를 설치가 타당하다.

염제거율은 최대 99 %, 최소 6 %, 평균 84 %이나 정수의 총용존고형물량은 모든 시설에서 500 mg/L 이하로 조사되었다. 체계적인 수질 및 염제거율 관리를 위해서는 pH, 압력, 유량, 전기전도도 등의 디지털 계측기를 역삼투막과 고압펌프 등 주요설비 전단과 후단에 설치하고 계측 결과가 주기적으로 저장될 수 있는 시스템 구축이 필요하다. 더 나아가 육지부에서 도서지역 해수담수화시설 운영데이터를 받아 전문가들이 실시간으로 확인하고 시설을 제어할 수 있도록 하는 원격제어시스템 설치가 필요하다.

도서지역에서 사용되고 있는 에너지는 대부분 내연발전에 의한 화석에너지이며, 이로 인해 해수담수화시설에서도 연간 1.22 tCO₂ ~ 2.53 tCO₂의 많은 양의 이산화탄소가 배출되고 있어 신재생에너지 도입의 필요성이 매우 높다. 섬 지역의 풍부한 풍량으로 인해 풍력에너지 밀도는 92.1 W/m² ~ 205.2 W/m² 로 풍력발전기 도입의 경제성은 높으나, 계절적인 풍량의 편차가 크기 때문에 태양광에너지와 융합된 신재생에너지시설 도입이 고려되어야 한다. 하지만, 태양광발전은 염분에 의한 부식 등의 어려움이 있기 때문에 내염성분 소재 사용 및 중산간 지역 설치장소 확보 등에 관해 충분한 검토가 필요하다. 이를 토대로 에너지소비가 많은 공공시설인 해수담수화시설에서부터 신재생에너지를 도입하여 섬 지역 에너지 자립과 이산화탄소 배출량을 절감할 수 있

도록 앞장서야 할 것이다.

공공재로서 물은 국민 모두가 사용할 수 있도록 보장받아야할 기본 권리이다. 도서지역 주민의 정주환경 개선과 섬 지역 경제 활성화를 위해서 국가와 지방자치단체뿐만 아니라 국내 연구기관과 기업에서도 소규모 해수담수화시설에 대해 지속적인 지원과 연구가 필요하다.

참 고 문 헌

1. 국토교통부, 2020, 『건축구조기준 설계하중』 : 42
2. 김남형 · 진정운, 2010, “제주 연안지역 주변의 잠재 풍력에너지 평가”, 『대한토목공학회논문지』, 30(6B), 대한토목학회 : 623
3. 김지혜 · 이경혁 · 임재림, 2019, “에너지 소모를 고려한 역삼투 해수담수화 플랜트 주요 성능인자 영향 분석”, 『멤브레인』, 29(6), 한국막학회 : 315
4. 김택승 · 임병주 · 아요다 · 박창대, 2019, “태양에너지 시스템과 해수담수화 공정의 최적 조합 모델 선정을 위한 설계 플랫폼 개발”, 『한국태양에너지학회 논문집』, 10, 한국태양에너지학회 : 75
5. 박남식 · 박준영 · 문유리 · 김자겸, 2011, “소규모해수담수화 시설의 생산비용 절감 방안”, 『한국수자원학회 논문집』, 44(10), 한국수자원학회 : 809-817
6. 양은태 · 김향미 · 지호빈 · 송승현 · 최창규, 2021, “경상남도 물산업 현황 및 발전 방안”, 『대한환경공학회지』, 43(4), 대한환경공학회 : 310-312
7. 윤승현 · 우달식, 2019, “원수 특성 변화 및 공정운영 조건에 따른 해수담수화 에너지 소비량 분석”, 『상하수도학회지』, 33(4), 대한상하수도학회 : 286-288
8. 윤종원 · 김주영 · 최창규, 2014, “하수처리장 신재생에너지 설치 사례 연구를 통한 에너지 절감 방안”, 『조명·전기설비학회논문지』, 28(4), 한국조명·전기설비학회 : 42-48
9. 이현경, 2021, 『해수담수화』, 한국과학기술기획평가원 : 12-16
10. 전라남도, 2021, 전라남도 시군별 거주인구 및 세대현황, www.jeonnam.go.kr (검색일: 2021. 9. 1.)
11. 전종민 · 광경섭 · 김누리 · 정재학 · 손동민 · 김수한, 2017, “소규모 역삼투 담수화 시설에서 에너지 회수장치의 필요성에 대한 연구”, 『화학공학회지』, 55(6), 한국화학공학회 : 762-766
12. 주홍진 · 광희열, 2016, “태양열 해수담수화를 위한 진공 막 증발법 모듈의 해수 공급 조건에 따른 담수 생산 특성”, 『신재생에너지』, 12(2), 한국신·재생에너지학회 : 10-17
13. 황문현 · 한도선 · 김인수, 2017, “국내 해수담수화 플랜트 생산수 단가 추정”, 『대한환경공학회지』, 39(4), 대한환경공학회 : 177-178