

담수화 설비 스프레이 노즐에 대한 실험적 연구

신현경 · 주현태 · 박민호 · 박경민 · 김진영 · 임진영
울산대학교 조선해양공학부

An Experimental Study of Spray Nozzle Desalination Facility

HYUN-KYOUNG SHIN, HYUN-TAE JOO, MIN-HO PARK, KYOUNG-MIN PARK, JIN-YOUNG KIM AND JIN-YOUNG LIM
School of Naval Architecture and Ocean Engineering, University of Ulsan, Ulsan, Korea

KEY WORDS: Spary Nozzle 스프레이 노즐, Desalination Facility 담수화설비, Liquid sheet 액막, Evaporation 증발, Optimum arrangement 최적배치

ABSTRACT: Experimental research was undertaken to develop a domestic spray nozzle used on equipment for desalination. First, we made a test set-up in order to confirm nozzle efficiency of spray and distribution under different pressure conditions. Then, we found a maximum spray condition after verifying reliability of this facility. An optimum arrangement of the nozzle, based on the test result, was made using CATIA V5 and EXCEL.

1. 서 론

액체에 여러 가지 형태의 에너지를 가하면 불안정 상태가 진행되고 이것이 발전되면 분열이 일어난다. 이 현상은 매우 짧은 시간에 걸쳐 공급되는 에너지에 의해 발생하고 분열된 액체는 다수의 덩어리로 만들어져 무리를 형성한다. 이와 같이 액체덩어리가 분열되어 작은 알갱이가 되고 또 최종증발에 이르는 과정을 미립화(Atomization)라고 하고, 미립화가 진행되는 과정을 분무(Spray)라고 한다(이승오, 1993).

해수의 담수화에 위와 같은 과정을 응용하고 있으며, 해수담수화의 방법은 증발법과 막여과법으로 대별된다. 증발법에는 다단플래쉬법(Multiple Stage Flash. MSF), 다중 효용법(Multiple Effect. ME) 및 증발압축법(Vapor Compr ession. VC)이 있다. 또한 막여과법에는 압력을 이용하는 역삼투법(Reverse Osmosis. RO)과 전기를 이용하는 전기투석법(Electro Dialysis. ED)이 있으며 그 외에 냉열법(Freezing Process), 이온교환수지법(Ion Exchange) 등이 있다.

해수의 담수화 방법 중 가장 널리 쓰이는 증발법은 경제성과 대형화 응용에 크게 기여하여 담수 설비의 세계시장 70%를 차지하고 있다. 한국 역시 증발법을 도입하여 응용하고 있지만 효율적으로 해수를 증발시키는 핵심 부품인 노즐은 수입에 의존하고 있는 실정이다. 본 실험은 어떤 조건들이 노즐의 성능을 극대화 하는지를 연구하고, 또 상용 노즐에 대한 기존의 실험 결과를 비교 확인하며, 구축

된 실험장치의 신뢰성을 확인하는데 목적을 둔다. 그리고 노즐에서 분사되는 물의 양이 분사면적 내에 일정하게 고루 분포되는지 여부와 만약 그 결과가 고르게 분포되었다면 균일함이 가장 극대화 되는 높이와 압력을 구하고, 또한 얻어진 자료를 이용하여 노즐의 효율적인 배열 위치를 찾고자 한다(김병덕 등, 1996; 한국기계연구원, 1998).

2. 본 론

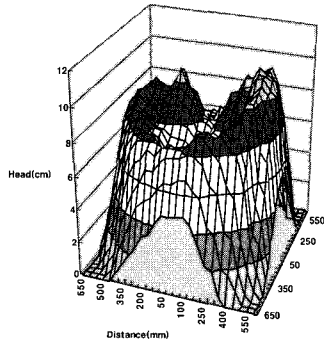
2.1 실험 System

노즐은 크게 액체 분사형태에 따라 액주형(Liquid Jet Type) 과 액막형(Liquid Sheet Type)으로 나뉜다. 본 실험은 액막형을 사용하였으며 실험에 앞서 쾌속 모형 조형(RPM; Rapid Prototyping and Manufacturing)을 이용하여 제작된 노즐을 사용하였는데 내부표면의 거칠기가 균일하지 못하고, 적층 상태로 제작한 것이라서 불안정한 부분도 발견되었다. 그래서 실험값의 오차를 우려하여 시판품인 노즐을 사용하였다. 먼저 실험 자료의 신뢰성을 확인하기위해 "기존 실험 자료(Table 1)"을 바탕으로 실험 장치를 만들었다.

Table 1 Existing test condition

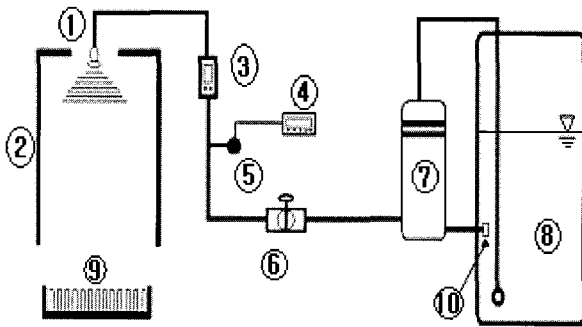
Pressure	Height	Spray time
0.5kgf/cm ²	500mm	60sec

제1저자 신현경 연락처: 울산광역시 남구 무거2동 산29
052-259-2696 hkshin@mail.ulsan.ac.kr



Average = 60mm / Standard deviation = 3.2mm
Dispersion = 10.2mm²

Fig. 1 3D Graphs of exiting test



- 1. Nozzle
- 2. Supporting frame
- 3. Flow meter
- 4. Pressure gauge
- 5. Pressure sensor
- 6. Flow controller
- 7. Pump
- 8. Water tank
- 9. Measuring instrument
- 10. Drain valve

Fig. 2 Schematic diagram of experiment

실험 장치는 간단히 액체공급부와 액체포집부로 나뉘고 유량조절부와 압력원 그리고 각종 계기가 첨가되며, 최종적으로 노즐을 통해서 분출된다. Fig.2는 실험 장치의 개략도를 나타낸 것이고 Figs. 3 ~ 4는 실험장치의 실물이다. 압력원(Pump)의 제원은 Table2에 주어진다.

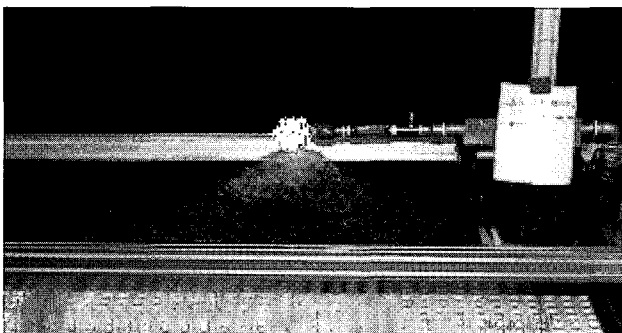


Fig. 3 Experiment (1)

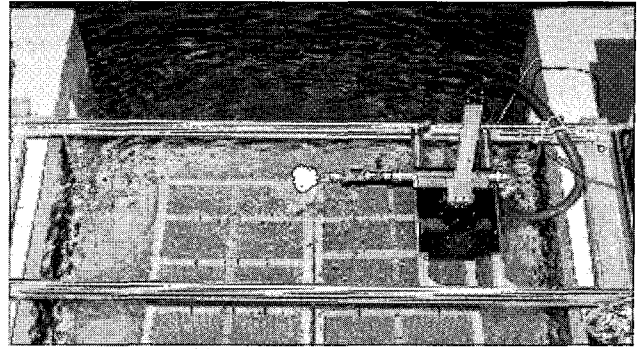


Fig. 4 Experiment (2)

Table 2 Pressure manpower

Model	PDV-A750MA
Power	단상220V 60Hz
Output(W)	750
Waters quantity(l/min)	170(Ht=7m)
Max quantity(l/min)	450
Exit(mm,inch)	50(2)"

Table 3 Collection size and standard test tube

Size	1790mm×890mm×100mm
Hole	D28mm×H200mm
Center for distance	50mm

액체 포집부는 시험관을 사용하고 받침대는 따로 스티로폼을 이용하여 제작하였다. 포집부의 상세는 Table 3에 나타내었다.

2. 2 측정방법

실험 환경조건은 주위온도 21℃, 수온 18℃, 그리고 습도는 70%를 유지하였으며, 계측에 사용되는 시험관은 무게를 각각 측정하여 각각의 오차를 최소화 하였다. 기존 실험의 대조는 포집부의 크기를 650mm×650mm로 제한하였으며 최적 분포실험은 180mm×180mm로 포집부를 적용하였다. 또 시설의 크기에 기준을 두어 노즐과 포집부의 높이는 500mm로 제한을 두었다. 실험과정은 다음 절차로 반복 수행되었다.

실험 과정을 반복하여 기존 실험보다 우세한 분포를 나타내는 실험 장치를 구축하고 압력을 달리하여 노즐의 최적 분포 조건을 찾

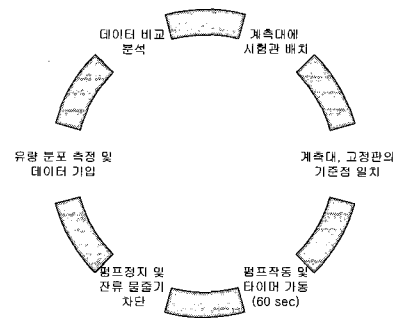


Fig. 5 Test process

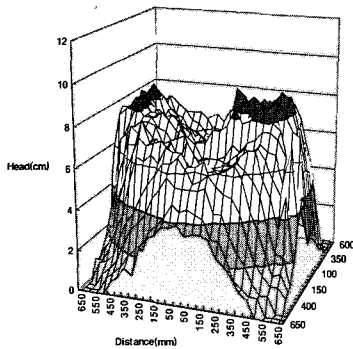
았다. 그리고 자료는 개개 시험관의 수두(head)함수로 표현되는 3차원 그래프로 나타내었다.

2.3 데이터 분석 및 해석

Figs. 4-6 과 Tables 4-6은 실험장치의 신뢰성을 검증하는 실험을 수행한 후 동일 조건에서 압력을 변화시켜 가면서 얻은 결과 값이다. 이 결과를 조합해보면 Table 4의 조건이 매우 우수함을 알 수 있었다.

Table 4 Test I condition

Pressure	Height	Spray Time	Capacity
0.5kgf/cm ²	500mm	60sec	90.0 ℓ /min



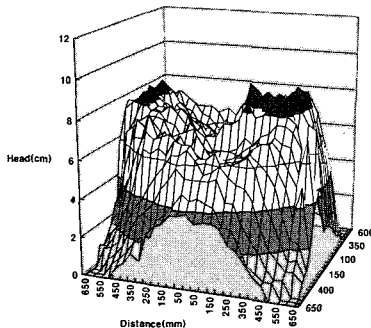
Average = 52mm / Standard deviation = 2.4mm

Dispersion = 6.0 mm²

Fig. 6 Test I 3D graph

Table 5 Test II condition

Pressure	Height	Spray Time	Capacity
0.4kgf/cm ²	500mm	60sec	81.0 ℓ /min



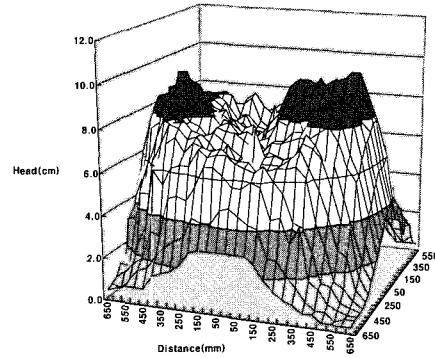
Average = 49.1mm / Standard deviation = 2.5mm

Dispersion = 6.3 mm²

Fig. 7 Test II 3D graph

Table 6 Test III condition

Pressure	Height	Spray Time	Capacity
0.6kgf/cm ²	500mm	60sec	98.0 ℓ /min



Average = 58mm / Standard deviation = 2.6mm

Dispersion = 6.6 mm²

Fig. 8 Test III 3D graph

실험값으로 작성된 수두 3차원 그래프의 부피를 CATIA V5를 사용하여 계산하고 디지털유량계에서 측정된 값과 비교하여 보면서 실험값의 정확성을 확인하였다 (Table 7).

Table 7 Flow comparison

Digital data	90.0 ℓ /min
CATIA data	93.0 ℓ /min

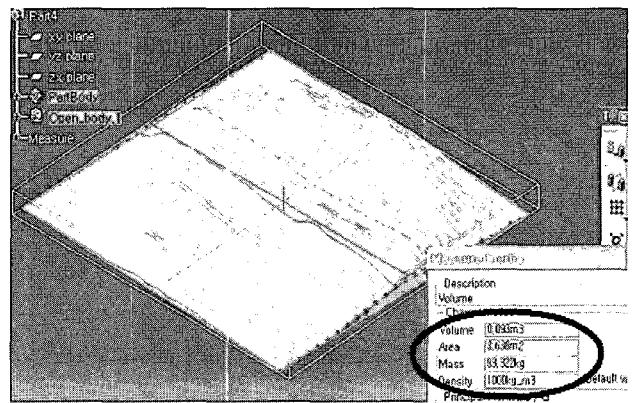
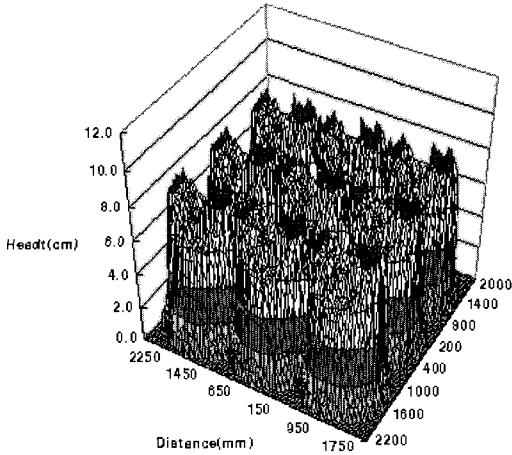


Fig. 9 CATIA Modeling

2.4 노즐의 최적 배치

실험에서 측정된 자료들을 기초로 노즐의 최적 배열상태를 찾는 작업을 시행하였다. 그 방법은 실험에서 얻은 자료를 EXCEL을 이용, 배열하여 노즐의 액막들이 겹칠 때 그 합이 가장 평균값들과 유사한 자료를 얻는 작업이다. 이 작업은 특정 공식을 가지고 하는 이론적 작업이 아니므로 자료의 방향과 좌표를 시행착오 법으로 계속해서 변동시키며 작업하였다.

우선 노즐을 같은 방향으로 격자 배열을 하였다. 그 결과는 노즐의 액막이 타원(Ellipse)인 관계로 여러 개의 타원들이 격자형으로 겹쳐지므로 공간이 생겼고, 3차원 그래프의 산(Peak)과 산들이 겹쳐 좋지 않은 분포상태를 나타내었다 (Fig. 10).



Average = 49mm / Standard deviation = 2.4mm
Dispersion = 5.6mm²

Fig. 10 Lattice arrangement - 3D

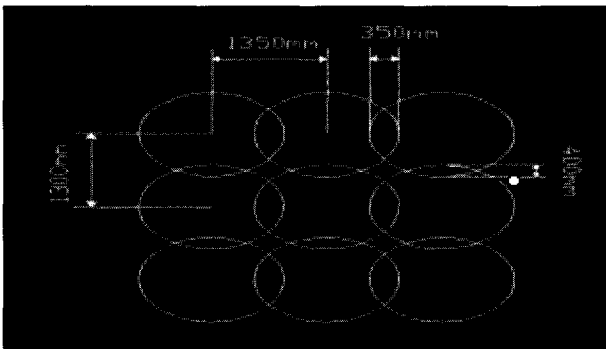
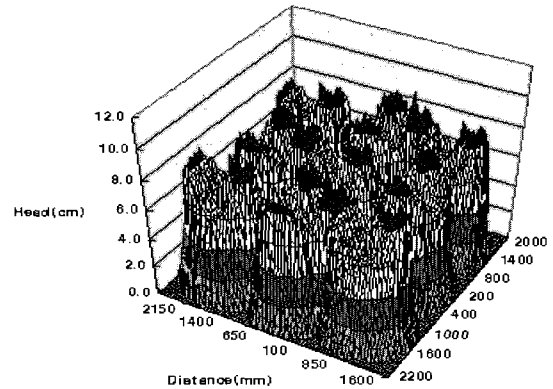


Fig. 11 2D Lattice arrangement layout sketch

Fig. 11는 노즐의 분사 모양을 근거로 위에서 본 2차원 그림의 타원 9개를 배치하여 분포를 나타낸 3차원 그래프이다. 물론 시행착오 법을 이용하여 격자모양의 최적의 데이터를 얻은 배치도이다. 다음으로 노즐의 방향을 90도씩 회전하여 보았다. 3차원 그래프의 산과 산이 교차하여 높이의 급작스런 변화를 줄임으로 비교적 고른 분포를 나타내었으나 여전히 타원들 간의 공간을 메우지 못하여 가장 이상적인 분포라 할 수 없었다. 하지만 노즐의 방향을 회전시켜 좀 더 나은 자료를 얻을 수 있음을 확인하였다. Fig. 12에 나타난 데이터 값은 인접해 있는 노즐의 방향을 모두 90도씩 회전시키고 배열하여 분산 및 표준편차가 처음 거론된 격자배열보다 높게 표시되었다. 이에 대한 개선은 다음에 거론될 지그재그형 배열에서 설명된다.



Average = 52mm / Standard deviation = 2.5
Dispersion = 6.5mm²

Fig. 12 Rotation lattice arrangement - 3D

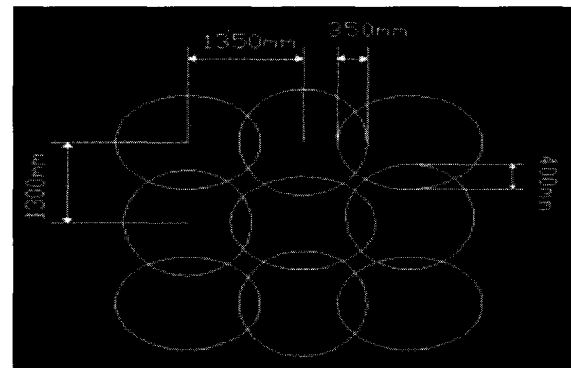
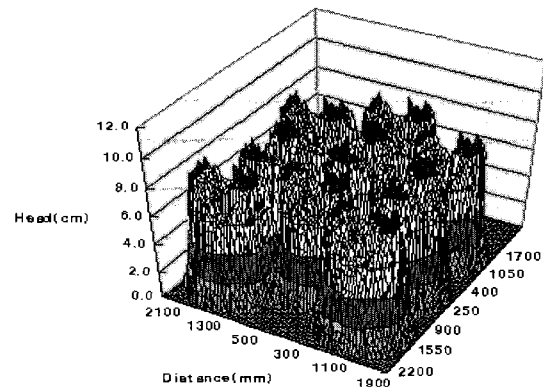


Fig. 13 2D Rotation lattice arrangement layout sketch

마지막으로 노즐의 액막이 타원이기 때문에 생기는 공간을 메우기 위해 노즐의 배열을 지그재그 형식으로 배열하고 가로로 인접된 노즐 방향은 90도씩 회전하고 가로의 배열을 그대로 가져와 2행의 배열을 650mm 이동하여 공간을 모두 메웠다.



Average = 54mm / Standard deviation = 2.1mm
Dispersion = 4.3mm²

Fig. 14 Zig-zag arrangement - 3D

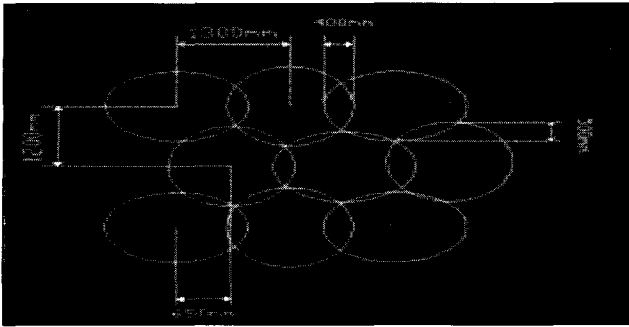
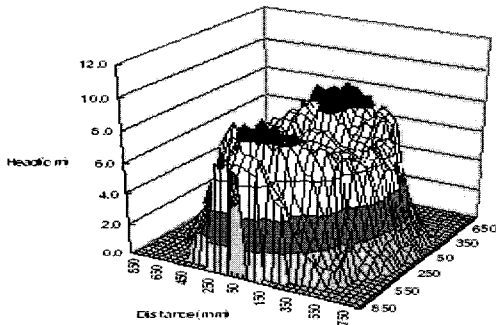


Fig. 15 2D Zig-zag arrangement layout sketch

그 결과, 3차원 그래프상이나 분산, 표준편차에서도 가장 균일한 자료를 얻을 수 있었다(Fig. 14). 이 배열은 실제 해수 담수화 시설의 설계에 있어 가장 효율적인 배열로 판명된다. 다음은 배열최적화 과정을 보여준다.

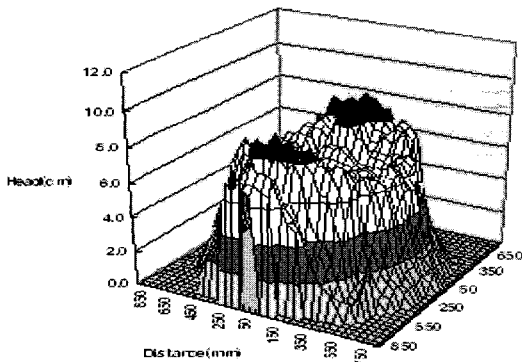
2.5 최적배치의 근거

우선 가로배열의 노즐간격이 결정되는 과정을 살펴보면 실험값이 50mm단위로 결정되어 있으므로 노즐의 간격을 50mm단위로 줄이면서 노즐 간격을 결정하였다. Figs. 16~18은 값을 분석한 것이고 Fig. 17에 나타나 있듯이 노즐 액막이 400mm겹쳐질 때 가장 고른 분포를 나타내었다.



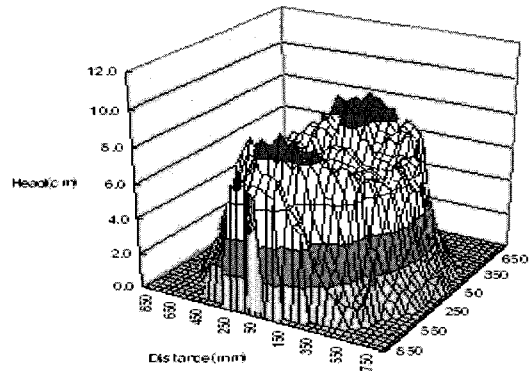
Average = 48mm / Standard deviation = 2.5mm
Dispersion = 6.0 mm²

Fig. 16 Width 350mm range



Average = 50mm / Standard deviation = 2.3mm
Dispersion = 5.8 mm²

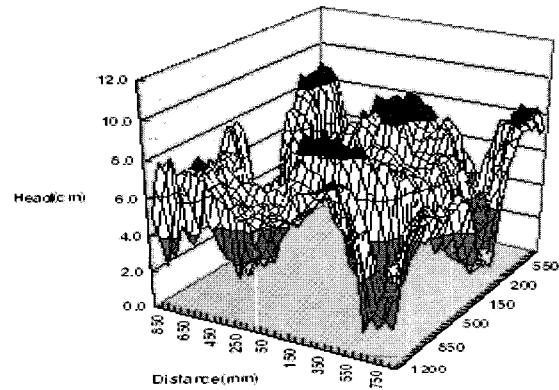
Fig. 17 Width 400mm range



Average = 54mm / Standard deviation = 2.4mm
Dispersion = 6.0 mm²

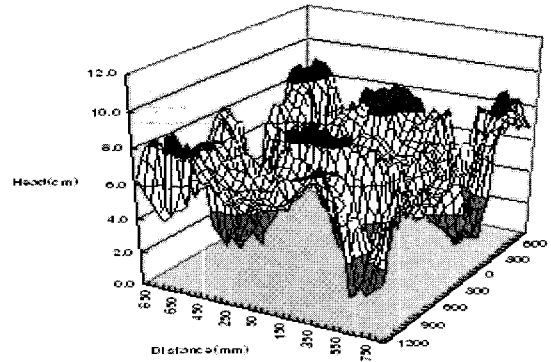
Fig. 18 Width 450mm range

Fig. 17의 결과를 바탕으로 가로 배열의 교차는 400mm로 결정하였다. 다음으로 세로 행에 대한 데이터 값의 분석을 Figs. 19~21에 나타내었다.



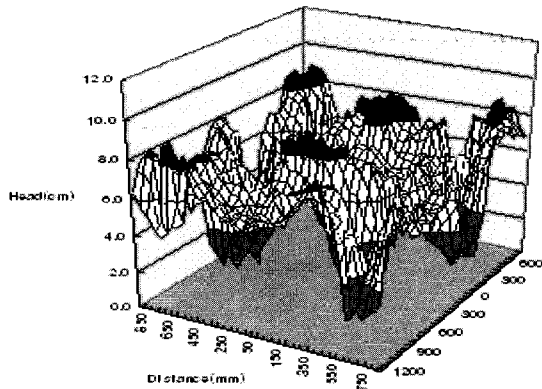
Average = 51mm / Standard deviation = 2.3mm
Dispersion = 5.1 mm²

Fig. 19 Length 450mm range



Average = 55mm / Standard deviation = 2.0mm
Dispersion = 4.0 mm²

Fig. 20 Length 500mm range



Average = 56mm / Standard deviation = 1.8mm
Dispersion = 3.4 mm²

Fig. 21 Length 550mm range

Figs. 19~21를 보면 550mm교차되었을 때 가장 좋은 분산과 표준편차를 가졌다. 이 점은 가로배열의 최적 배치를 찾을 때와 다른 점인데 세로 배열은 교차 면적이 넓어질수록 표준 편차와 분산 값이 작게 나왔다. 그러므로 세로 배열은 분산 및 표준편차 뿐 만아니라 해수 담수화 설비 제작의 효율성을 고려하여야 한다.

Table 8 Result comparison

Range Length{mm}	Average {mm}	Standard Deviation {mm}	Dispersion {mm ² }
400	49	2.4	5.6
450	51	2.3	5.1
500	55	2.0	4.0
550	56	1.8	3.4
600	62	1.6	2.7
650	66	1.5	2.3

Table 8에서 알 수 있듯이 500mm이후의 감소 범위는 줄어들어 다. 이 감소 폭은 노즐 분사효율을 더욱 감소시킴으로 무시 하였다. 그러므로 노즐 최적 노즐 세로 교차길이는 500mm 이다.

3. 결 론

실험을 통하여 노즐의 최대 성능 조건을 아래와 같이 구하였다.

Table 9 Nozzle maximum efficiency condition

Pressure	Height	Spray Area
0.5kgf/cm ²	500mm	2.27m ²

또한 노즐의 최적 배치는 가로 1300mm 세로 1200mm의 간격을 두고 지그재그 배열할 때 가장 이상적인 배치형태이다. 앞으로 본 실험에서 얻은 자료를 바탕으로 CFD (Computational Fluid Dynamics) 방법에 의한 노즐의 최적형상을 구현하여야 한다.

후 기

실험 수행에 도움을 준 두산중공업과 국일인토트의 관계자 여러분들께 깊은 감사를 드린다.

참 고 문 헌

김병덕, 송치성, 박상진 (1996). "해양 공간 이용 기술: 담수화 기술현황 및 연구동향", 대한조선학회지, 제33권, 제4편.
이승오 (1993). "액막형 노즐 분무의 액적 크기 분포특성에 관한 실험적 연구", 전북대학교, 석사논문.
한국기계연구원, 과학기술부 (1998). "해양공간이용 대형 복합플랜트 개발 - 해상 Barge용 담수화 기술개발".

2005년 10월 17일 원고 접수

2006년 1월 13일 최종 수정본 채택