



자연모사 표면을 이용한 공기 중 수분수집 기술동향

박준식, 임현익 | 한국기계연구원

[요약문]

2001년과 10년 후인 2010년 Nature지에 나미브사막 딱정벌레와 거미줄이 특수한 표면 성질을 이용하여, 에너지의 사용 없이 공기 중의 수분을 수집하고, 이를 식수로 활용하고 있다는 연구논문이 발표되었다. 자연을 고려하고 이들과 함께하는 삶이 우리가 가야할 방향임이 틀림없는 현시점에서 이러한 연구들이 시사하는 바는 매우 크며, 자연의 지혜를 배운 고효율화되고 친환경적인 과학기술 발전이 절실하다.

이 글에서는 이와 관련하여 에너지를 최소화하면서 물을 수집할 수 있는 가능성 표면을 이용한 공기 중 수분수집 기술에 대하여 연구동향과 특허동향, 응용분야 및 응용제품들의 시장성에 대해 간략히 기술한다.

1. 서 론

지구표면의 70%를 차지하는 물, 우리 몸의 70%를 구성하는 물, 어디서든 흔하게 볼 수 있는 물의 소중함을 우리는 간과하고 지내고 있으나 지금 세계의 여러 곳에서는 물을 확보하기 위한 전쟁이 진행 중이다. 특히 안전한 식수원의 확보는 인구의 급증과 기후변화, 공해, 지형적 특성 등으로 전 세계적으로 문제가 되고 있다. 식수원 확보에 문제가 있는 지역은 주로 적도의 남북 약 4000km 부근에 위치해 있는데 세계 인구의 약 70%가 이 지역에 거주하고 있다. 식수원 확보의 효과적인 문제해결을 위해서는 식수원의 공급이 주변 환경을 오염시키지 않고 외부 식수원의 고갈을 초래하지 않아야 하는데, 최근 기초연구가 진행되고 있는 공기 중 수분수집 기술은 이러한 문제를 해결해줄 수 있는 효과적인 방안으로 제안되고 있다. 더욱이 식수원 확보 문제를 겪고 있는 적도 부근에 위치한 지역은 고온다습의 기후로 공기 중 많은 수분량을 가지고 있으므로, 만일 효과적인 수분포집기술이 적용된다면 이 지역에 거주하는 수많은 주민들의 건강과 위생문제를 해결해줄 수 있을 뿐만 아니라 황무지 지역의 개간도 가능할 것으로 보이며 대도시에서 발생하는 스모그 등의 공해문제를 해결하는데도 이용될 수 있을 것이다.

나노기술을 바탕으로 저에너지로 물 부족 문제를 해결할 수 있고 효율적으로 공기 중의 수분을 제거할 수 있는 가능성 표면재료와 시스템에 관한 연구들은 요즘 많은 과학자들의 관심을 받으며 연구가 진행 중이다. 이는 자연계에 존재하는 특수한 표면 특성을 모방하여, 물 또는 용제들의 수집/응축 시스템을 친환경적이면서도 저에너지를 사용하는 경제적인 기술로 진보시키고자하는 시도들로서 이 기술들은 공기 중이나 생산라인에 존재하는 과포화상태의 유동층으로부터 공기 중 수분을 스마트 표면구조와 표면재료를 이용하여 수집함으로써 에너지를 혁신적으로 절감하는 개념으로서 환경개선의 효과를 얻을 수 있으며 부족한 수자원을 확보 할 수 있는 기술이기도 하다. 가장 대표적인 예로, 나미브사막에 사는 딱정벌레의 등을 들 수 있는데, 딱정벌레는 등표면이 친수성/발수성 복합구조로 되어 있어 공기 중에 존재하는 수분을 포집하여 자신의 식수로 활용하고 있다. 이러한 친수성/발수성 복합구조를 모방하여 수집/응축 시스템에 사용할 수 있는 원천기술을 개발한다면 그림 1에서 볼 수 있듯이 고효율 열교환기 시스템, 물 생산/제거 시스템, 분리/여과 시스템 등 다양한 분야의 핵심소재개발 기반기술로 사용할 수 있을 것이다.⁽¹⁾

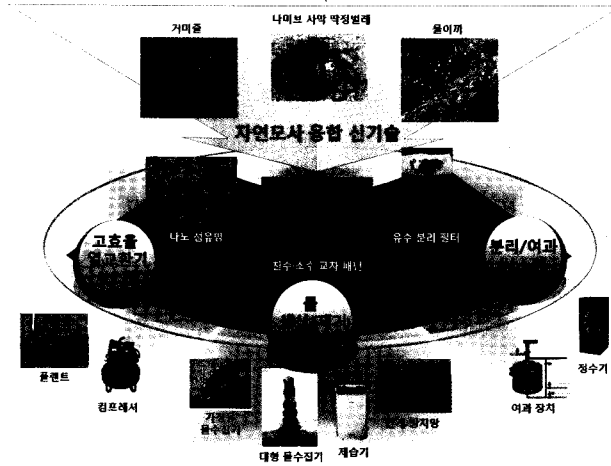


그림 1. 자연을 모사한 기능성 표면의 수분수집 기술 개념도⁽¹⁾

따라서 본고에서는 기능성 표면을 이용한 공기 중 수분수집 기술에 대한 연구동향과 특허동향, 응용분야 및 응용 제품들의 시장성에 대해 소개하고자 한다.

2. 본 론

2.1 수분수집/응축 기술동향

2.1.1 기능성표면을 이용한 수분수집

최근 들어 표면에너지를 화학적 또는 구조적 특성으로 조절하여 공기 중 수분 수집의 효율을 높이려는 기초적인 연구들이 활발히 이루어지고 있다. 단순히 화학적인 코팅을 이용한 친수, 발수 표면의 제작이 아닌 구조물을 이용한 초친수, 초발수 표면과 이들의 복합패턴을 이용한 연구들을 간략히 소개하면 다음과 같다.⁽²⁾

사막 딱정벌레의 등껍질을 모사한 기능성 표면 제작 기술은 영국 옥스퍼드 대학 Andrew Parker 교수팀이 2001년 Nature지에 사막 딱정벌레의 이슬을 모으는 능력을 발표함으로써 주목을 받기 시작하였으나,⁽³⁾ 현재까지 기초연구만 진행된 상태이다. 미국 MIT Michael Rubner 교수팀은 2006년 Nano Letter에 이를 모방한 필름을 세계 최초로 제작하여 발표함으로써 그 가능성을 제시하였다.⁽⁴⁾

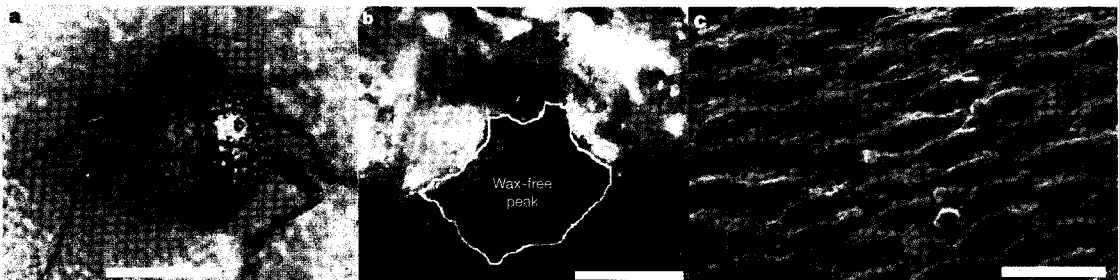


그림 2. 사막 딱정벌레의 등껍질⁽³⁾

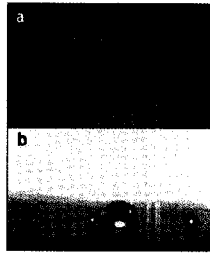


그림 3. 친수와 발수표면 함께 존재하는 표면의 특성⁽⁶⁾

그후 미국 Lawrence Berkeley 국립연구소의 Jean Frechet 교수팀은 2008년 JACS에 초발수성 표면 위에 탄소 나노튜브의 패턴을 형성하고 화학처리를 하여 탄소 나노 튜브 패턴 부분만 친수성으로 만들어 그 위에 물을 응집시키는 발수/친수 하이브리드 구조를 제작하여 발표한 바 있다.⁽⁶⁾

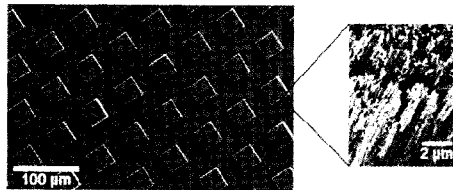


그림 4. 탄소나노튜브를 선택적으로 성장시켜 제작한 복합 표면⁽⁶⁾

독일 Freiburg 대학의 Jurgen Ruhe 교수팀은 같은 해인 2008년 초발수성 표면위에 화학적으로 친수성 패턴을 형성하고, 친수성 패턴에 응집된 물방울이 시편을 기울임에 따라 중력에 의하여 아래로 구를 때, 패턴의 크기와 물방울의 부피 관계를 관찰하여 Langmuir에 발표하였다.⁽⁶⁾

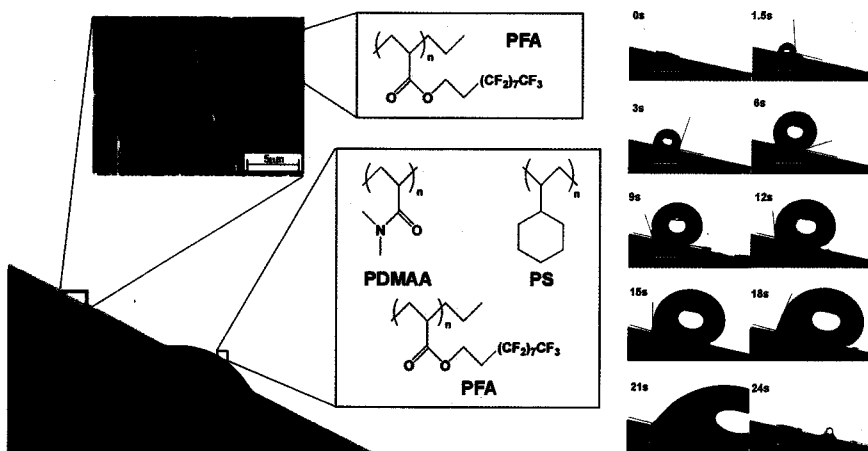


그림 5. Jurgen Ruhe 교수팀이 제작한 친수성 표면 및 응집된 물방울의 흐름⁽⁶⁾

중국 베이징 대학과 중국국립분자과학원에서는 거미줄에 물방울이 맺히는 현상을 규명하고 인조 거미줄을 제작하여 수분포집현상을 재현한 연구를 2010년 Nature에 발표하였다.⁽⁷⁾ 거미줄은 나노파이버들이 정렬된 구조와 엉켜



있는 구조의 두 부분으로 구성되어 있으며 이들의 구조와 직경의 차이는 표면에너지 차와 Laplace pressure의 차이를 생기게 하고, 이러한 원리가 같은 거미줄 상에서 응집된 물을 모을 수 있는 기능을 가지게 함을 밝혀내었다.

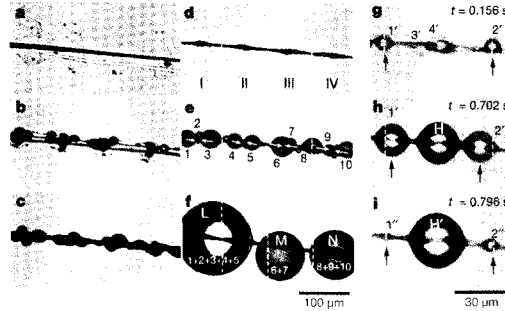


그림 6. 거미줄에 응집된 물의 이동⁽⁷⁾

미국 Lehigh 대학의 연구팀은 표면에 화학물질의 코팅을 조절하여 화학적 성질이 초발수에서 친수로 변화할 때 표면에 맺힌 물방울이 표면에너지의 차이로 인하여 이동하면서 더 큰 물방울로 맺히는 현상을 Science지에 발표하였다.⁽⁸⁾ 이 현상은 친수 표면을 이용하여 포집된 수분이 굴러갈 수 있는 임계 크기 이상의 물방울이 되도록 만들 수 있다.

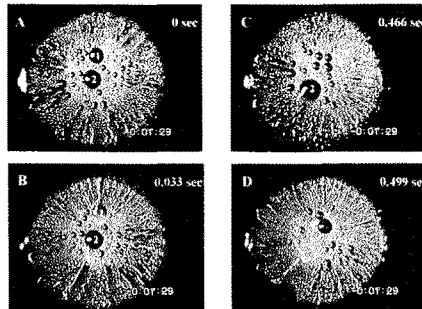


그림 7. 점진적으로 표면에너지차를 갖는 표면에서의 물방울 이동⁽⁸⁾

미국 하버드 대학의 Howard A. Stone 교수팀은 친수표면의 마이크로 구조물에 물방울이 흡수되는 현상을 분석과 함께 물방울이 원형에서 팔각형, 사각형으로 진화하고 다시 원형으로 돌아오는 실험을 Nature지에 발표한 바 있다. 마이크로 구조물의 형상을 설계함에 따라 물방울의 흡수가 매우 빠르게 진행되고 표면적이 일시적으로 평행상태보다 더 커지는 현상을 관찰할 수 있어 수분포집에 매우 효과적인 기술이 될 수 있다.⁽⁹⁾

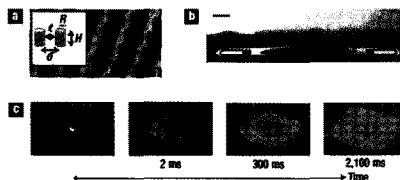


그림 8. 친수특성의 마이크로 구조물 패턴 위에서 물방울의 형태가 변하면서 퍼지는 모습⁽⁹⁾

Fog catcher는 사막 딱정벌레와 구조는 다르지만 동일한 원리로 수분을 수집하는 장치로, 캐나다 과학자들에 의해 개발되어 현장에서 사용되고 있다.⁽¹⁰⁾ 이 장치는 polypropylene으로 만든 망사를 이용한 것으로 해안가나 산에서 발생하는 안개로부터 물을 수집하는 기능을 가지며 칠레, 에콰도르, 네팔 등에 설치되어 실제로 식수를 모집하는 용도로 사용되고 있다. 이 표면을 이용하여 안개를 포집할 때 가장 큰 요인은 안개의 형성과 바람의 속도로 밝혀져 있고 적당한 망사 굵기와 기공의 크기, 다양한 조건에서의 실제 측정값에 대한 많은 정보들이 실험을 통해 확보되어 있다.



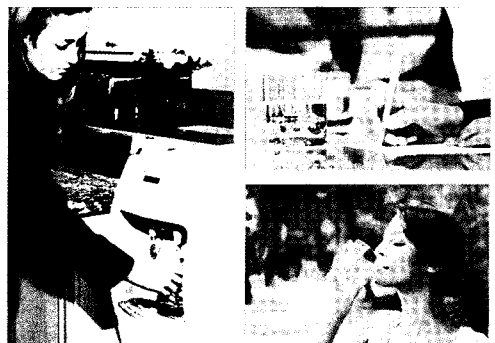
그림 9. Fog Quest에서 제작하여 설치한 fog catcher⁽¹⁰⁾

2.1.2 수분수집 시스템

식수로 사용하기 위한 수분수집이외에도 산업현장에서 수분은 부품과 장비의 고장을 일으키는 가장 중요한 요인으로 제습은 산업현장의 필수적인 공정요소이다. 또한 우리나라의 기후가 아열대성으로 변하면서 일반가정에서도 수분을 제거하고 싶은 사람들의 욕구가 증가하고 있는 실정이다. 공기 중에서 수분을 수집하는 연구는 주로 냉각을 이용하거나 흡습제를 이용한 습기제거 시스템이 개발되어 있다. 그러나 현재의 제습 시스템은 환경의 유해성을 일으키는 프레온 가스를 사용하거나 높은 온도의 가열이 필요한 흡착제를 사용하고 있어 제품의 단가를 높이고 환경을 오염시키고 있으므로 저에너지를 사용하면서 환경친화적인 제습기 개발에 대한 필요성이 증가하고 있다. 최근에는 다양한 연구가 이루어지고 있는데 주로 응축이나 석회석 등 부가장치나 다른 에너지원을 필요로 하는 연구들이 진행되어오고 있다.

칠레의 Universidad de Antofagasta, Universidad Arturo Prat, 미국의 NASA에서는 대기 중 수분수집 장치를 냉각 코일에 공기를 순환시키는 방법으로 개발하였다.⁽¹¹⁾ 칠레 아타카마 사막에서 이 수분수집 장치를 이용하여 약 3시간에서 24시간동안 진행한 실험에서 대기 중 존재하는 수분의 약 60%에서 90%를 수집할 수 있었고, 수집된 물에서는 약 4g/liter 농도의 소금이 발견되었다.

오스트레일리아의 Island Sky사에서는 현재 가정에서 사용할 수 있는 가장 효율적인 수분수집형 정수기를 판매하고 있다.⁽¹²⁾ 이 시스템은 컴프레셔와 냉각제를 이용하여 주변온도를 현재 습도에 알맞은 이슬점까지 낮춘 후 팬을 이용하여 공기를 주입시켜 이슬을 모으는 방법을 쓰고 있고 모인 물은 필터를 통해서 정수가 된다. 평균적으로 이 시스템은 하루에 약 20리터의 물을 생산할 수 있고 조건이 알맞을 경우(온도 35도, 습도 90%) 최대 50리터의 생산이 가능한 것으로 보고되고 있다.



1 liter of bottled water costs over 30 times more than 1 liter of Skywater®

그림 10. Island Sky사의 Skywater 14⁽¹²⁾



미국의 Aquasciences 사는 재난지역이나 물공급이 어려운 지역에서 동력을 이용하여 대량으로 공기중의 수분을 수집하는 시스템을 개발하였다.⁽¹³⁾ 이 기계는 하루에 350-1200갤런의 물을 수집할 수 있으며 북미지역의 에너지 비용을 고려했을 때 약 7cent의 가격에 1 리터의 물을 생산할 수 있다고 한다. 이 시스템은 전기나 디젤 발전기를 통해 작동된다.

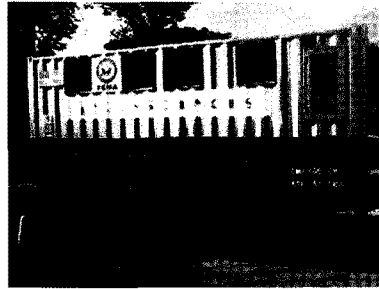


그림 11. Aqua sciences사의 Foot emergency water station⁽¹³⁾

미국의 Air2Water사는 하루에 최대 약 10,000 리터의 물 생산이 가능한 대량 수분수집기를 개발하여 물병에 담아 판매할 수 있는 공장형 시스템을 개발하였다.⁽¹⁴⁾

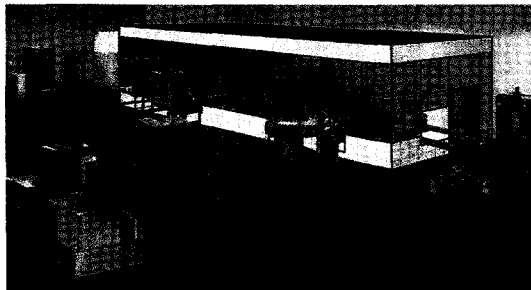


그림 12. Air2Water사의 Moist capturing water bottling Plants⁽¹⁴⁾

캐나다의 Element four사는 컨덴서를 이용하여 물을 냉각 응축시키는 방법으로 수분을 수집하고 카본필터와 UV 광원을 이용하여 정수/살균을 통해 식수를 공급하는 제품을 개발하였다.⁽¹⁵⁾ 약 15kg의 이 제품은 하루에 약 11리터의 물을 생산하고 북미지역의 전기비를 고려했을 때 리터당 약 3~4cent의 가격에 생산할 수 있다고 발표하고 있다.



그림 13. Element four사의 Watermill⁽¹⁵⁾

인도의 Watermaker India사는 세계 최초로 인도 Jalimudi 마을의 식수를 수분수집을 통해 생산하는 스테이션을 설치하였다.⁽¹⁶⁾ 약 600여명의 주민들이 살고 있는 이 마을에 설치된 AW 1000 기계는 하루에 약 5000 리터 이상의 물 생산이 가능하다.



그림 14. Watermaker India사의 AirWater/WaterMaker Water Station⁽¹⁶⁾

이외에도 다양한 개념들을 적용한 공기 중 수분수집 장치에 대한 아이디어들이 도출되어 있다. 영국의 QinetiQ사는 나미브 사막 Stenocara 딱정벌레의 친수/발수 패턴을 이용하여 안개를 수집하는 개념을 처음 소개했던 옥스퍼드 대학 연구진과 함께 딱정벌레의 친수/발수 패턴을 이용하여 저렴한 가격에 무동력으로 안개에서 물을 생성하는 방법을 연구하고 있고 이에 대한 특허를 보유하고 있다.⁽¹⁷⁾

일본의 Koshiyama와 Takuya는 친수성을 가지는 금속 플레이트를 냉각시켜 이슬을 모은 후 플레이트를 회전시켜 표면에 생성된 수막을 벗겨내는 방법으로 능동적 수분수집기를 특허출원하였다.⁽¹⁸⁾ 플레이트의 수막을 벗겨내는 방법으로 초음파 진동을 이용할 수도 있고, 이 장치는 전원을 연결하여 식물에 물을 주는 장치로도 쓰일 수 있다.

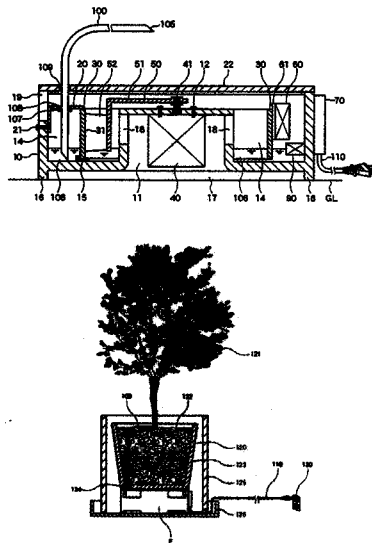


그림 15. 친수성의 금속판을 이용한 능동적 수분 수집기 개념도⁽¹⁸⁾

더욱이 멀지 않은 미래에 구현될 개념으로 칠레에서는 Fog Tower를 제작하여 사막에서의 물부족을 해결하려는 시도를 하고 있는데 이 구조물은 높이 200-400미터의 지속가능한 구조를 가지며 바다안개로부터 물을 수집하는



기구로써 개념설계에 들어가 있다.⁽¹⁹⁾

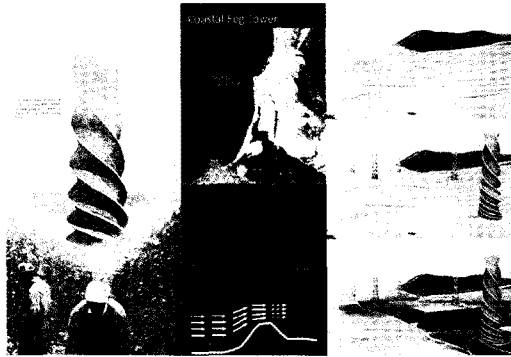


그림 16. Fog Tower의 개략도⁽¹⁹⁾

2.2 수분수집/응축기술 특허동향

2.2.1 특허관점에서의 기술수준

전체적인 특허 등록/출원수가 저조한 것으로 보아 본 핵심기술 분야의 기술개발은 도입단계에 있는 것으로 판단된다. 하지만 등록/출원수 중 대부분(81%)을 미국과 일본의 출원 및 등록이 차지하고 있어 해당 국가들의 무동력 공기 중 수분수집 기술 분야에 대한 연구 활동이 왕성할 것으로 판단된다.^(1,2)

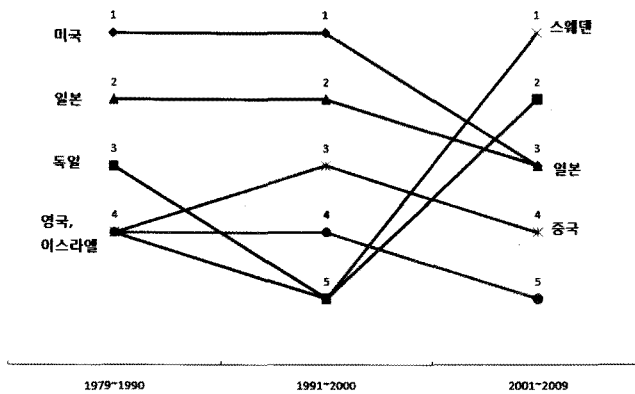


그림 17. 미국특허에서 국가별 기술력 지수(TS) 순위의 변화

국내에서도 출원수가 전체의 10%에 불과할 뿐만 아니라, 출원인의 수도 다양하지 못하여 적극적인 투자 및 개발이 본격적으로 일어나는 단계는 아니라고 판단된다. 다만 친환경 녹색성장 및 대체 에너지 기술에 대한 국내외적 요구는 해당기술의 산업 발전과 함께 관련기술에의 투자 및 연구활동의 촉매제가 될 것으로 판단된다.

미국 내 등록특허를 기준으로 국가별 기술수준 순위를 나타낸 상기 그래프(그림 17)를 보면, 미국 출원인의 특허 출원 및 등록이 많음을 알 수 있다. 그러나 90년대 이후에는 일본 및 스웨덴의 미국 내 특허 등록 건수는 저조함에도 불구하고 수준 높은 특허를 출원함에 따라 영향력 지수 및 기술력 지수가 미국을 앞서고 있다. 특히, 미국 내에서 출원국 중에 최하위권의 기술력 지수(TS)를 유지하던 스웨덴은 2000년 이후 출원건수는 2건에 불과하지만, 영향력

지수(PII)가 6.09, 기술력 지수(TS)가 12.18로 1위를 차지하고 있어, 본 핵심 기술 분야에서의 기술력을 인정받는 것으로 보인다. 국내에서도 경쟁적인 특허출원을 통한 양적인 성장 보다는 원천특허를 등록받을 수 있도록 질적인 성장에 중점을 두는 연구 및 투자가 이루어지는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

2.2.2 특허동향 조사결과

국가별 출원/등록 건수를 살펴보면 일본이 가장 많고(115건), 그 다음이 미국(79건), 한국(24건), 유럽(19건) 순이다. 점유율을 살펴보면 일본은 전체 출원의 48%를 차지하고 있고, 미국 등록 특허는 33%로 그 다음을 차지하고 있으며, 한국과 유럽은 각각 10%와 8%의 점유율을 나타내고 있다. 전체적인 등록건수(239건)가 저조하긴 하지만 대부분(81%)을 미국과 일본의 출원 및 등록이 차지하고 있어 해당 국가들의 무동력 공기 중 수분수집 기술 분야에 연구활동이 왕성할 것으로 판단된다.

단일 출원인의 출원/등록 건수를 보면, 일본의 MULTI KOKEN KK사가 6건으로 1위이고, 독일의 Creavis Gesellschaft Fuer사가 5건으로 그다음을 차지하고, 미국의 Ferro GmbH, Minnesota Mining and Manufacturing Company, Thermedics Inc., 일본의 NITTO DENKO CORP, MITSUI ENG; SHIPBUILD CO, LTD.사가 4건으로 공동 3위를 나타내며, 그 밖의 다수 출원인들은 1~2건의 출원 건수를 보여준다. 미국 및 일본 등 일반적으로 선진국으로 인정되는 국가내에서는 본 핵심 기술 분야와 관련되어 다양한 분야에 있는 회사 및 연구기관들이 다수의 특허의 출원, 등록을 통하여 원천 기술 확보에 힘쓰고 있는 것으로 보인다.

국내에서는 일반 기업의 출원활동은 극히 미비하고 한국과학기술연구원, 포항공과대학교 산학협력단이 3건을 출원하여 학교, 학술 및 연구단체의 연구활동에 의한 출원이 주를 이루고 있다. 특허 출원을 시간대별로 보면, 규칙성이 있는 것은 아니지만 전체적으로 2000년대 이후에 출원/등록 건수가 증가하고 있다. 이는 본 핵심 기술이 현재 직접적으로 응용될 수 있는 기술에 해당 하는 것이 아니라, 대체 에너지 확보를 목적으로 미래에 반드시 확보되어야 하는 미래지향적 첨단 기술에 해당하기 때문인 것으로 판단된다. 일본에서는 2002년부터 2008년에 특허출원 건수가 많은 수를 차지하고 있으며, 한국에서도 2002년 전까지는 매년 한 두건에 머무르던 출원이 2002년부터 점점 증가하는 추세를 보이고 있다.

본 핵심 기술은 첨단 기술로서, 빠른 발전 속도가 예상되며, 특정분야에 편중되는 기술개발보다는 다양한 분야의 투자를 통하여 기술력을 인정받는 것으로 보여 출원인에 따른 기술개발 방향의 다양성이 엿보인다. 따라서 다른 국가와 벌어지는 기술 격차를 줄이기 위하여 빠른 기초 기술의 연구개발을 통한 원천 기술의 확보가 필요하다. 한편, 연구개발의 빠른 착수 이외에도 미래 지향적 기술의 특성상 현재 비교적 앞선 기술력을 확보한 것으로 판단되는 일본, 미국 등 국가의 기술력과 기술계휴 등 전략적인 접근을 시도할 필요성이 있다.

2.2.3 특허장벽 분석

무동력 공기 중 수분수집 기술에서 외국기업들의 출원 및 등록 특허들을 살펴본 바 외국의 주요 출원인으로는 친수성표면과 발수성 표면을 동시에 형성하여 droplet이 생기도록 하는 기술을 출원한 Qinetiq사, Fuji Film사로 조사되었다. 이 핵심기술과 유사한 특허의 한국 출원인은 조사되지 않았으며, 국내 출원된 무동력 공기 중 수분수집 기술 특허는 외국 출원인에 의한 특허이다. 무동력 공기 중 수분수집 기술의 선행기술로는 자연생태 모사 기술인 친수, 발수 영역을 동시에 포함하여 드롭렛을 형성하는 기술 및 자연생태 모사 기술은 아니지만, 공기 중 수분을 무동력 흡수, 응축하여 물을 제조하는 기술이 존재하여 장벽을 형성한다. 따라서 한국 기업들은 기술개발을 진행하기 앞서 해외 주요 출원인들의 주요 특허 기술 및 선행 기술에 대한 권리분석과 특허분석을 토대로 특허 장벽을 회피할 수 있도록 해야 한다.



표 1. 외국기업의 특허장벽 분석 요약

관련특허				
특허번호	출원 (등록)일 /발행일	출원인 (저자)	권리 상태	핵심요지
[KR] 2001-0043296	2000.11.03	3M (US)	공개	교대하는 발수성 표면과 친수성 표면 영역을 포함하고 친수성 표면은 무기물 코팅으로 돌출부를 형성하여, 표면에 이슬이 맺히지 않도록 함
[KR] 2004-0074082	2004.06.12	Akkad, Osman (AE)	공개	대기 중 습도를 물로 변화시키는 응축기를 포함하는 물 제조 장치
[US] 6,993,928	2006.02.07		등록	응축기에 의해 대기 중의 습기를 물로 수집하고, 수집된 물에 미네랄을 혼합한 후, 필터에 의해 유기물과 박테리아를 제거하여 음용수로 사용되는 기술
[KR] 2007-0047366	2007.03.28	EVEREST INTERNATIONAL (US)	공개	공기로부터 수분을 응축하여 저장탱크에 집수하는 물 생성 시스템
[KR] 2009-0057527	2007.12.03	Wartair International (US)	공개	냉각기술에 의해 공기로부터 물을 수집하는 장치를 구비하는 식수 처리 장치
[KR] 846,616	2003.10.22	Qinetiq (GB)	등록	냉각기술에 의해 공기로부터 물을 수집하는 장치를 구비하는 식수 처리 장치
[JP] 2007-170169	2006.12.06		공개	안개로부터 물방울을 수집하기 위해 액체 반발성 재료와 액체 흡인성 재료 부분을 갖는 표면을 제공하여 표면에 생성되는 물방울을 포집함
[JP] 3,984,551	2002.02.18		등록	액체 반발부와 액체 흡인부가 존재하는 표면이 한 방향으로 경사지게 구성하여, 수집부 방향으로 물방울이 수집되도록 함
[US] 2004-0109981	2003.10.23		등록	액체 유인부와 액체 반발부를 갖는 표면을 구비하여 표면의 드롭렛이 액체 유인부의 직경에 의해 크기가 제어되고, 일정 크기의 드롭렛이 형성되면 수집부에 저장됨
논문 Nano Lett 2006,6(6) pp.1213-1217	2006.05.02	Robert E. Cohen (US)	-	나미브사막 딱정벌레의 물 수확 등껍질 표면을 모사하여, 초발수성 표면상에 친수성 패턴을 형성하는 것으로 물 수집 표면을 얻음
[EP] 2,045,401	2007.07.24	KOSHIYAMA HIDEYA (JP)	공개	친수성 피막을 표면에 포함하는 열전도성 금속 플레이트의 냉각으로 플레이트 표면상에 대기중의 습기를 응집시켜 물을 수집하는 장치
[JP] 2008-025298	2006.07.25		공개	표면상에 친수성 피막을 형성한 금속플레이트를 냉각하여 표면에 습기를 응집시키고 표면에 생성된 수막을 와이퍼 등으로 구동하여 물을 수집하는 장치

관련특허				
특허번호	출원 (등록)일 /발행일	출원인 (저자)	권리 상태	핵심요지
[JP] 2007-238352	2006.03.06	FUJI FILM (JP)	취하	기재상에 친수성 부위와 발수성 부위를 포함하여 물방울 추락성이 우수한 창문 유리를 획득함
[JP] 2008-036828	2006.08.01		공개	발수성 고분자 재료와 친수성 고분자 재료로 이루어지는 물 추락성 시트를 기재상에 접착하여 물 추락성 구조체를 얻음
[JP] 2007-204351	2006.02.06		취하	무기 다공성 친수성 재료 영역과 발수성 재료 영역을 구비하는 물 추락성 구조체
[JP] 2001-254402	2000.03.13	SUEKANE TOSHIO (JP)	취하	땅속에 매설한 가열관으로 공기를 흡입하여 가열한 후, 지면의 배기관으로 공기를 이동하여 냉각된 공기로부터 물방울을 채집하도록 하는 야간의 공기와 땅속 온도차이를 이용한 물 수득 방법
[US] 2009-0114091	2008.11.07	ALBONIA INNOVATIVE TECHNOLOGI ES (CA)	공개	물의 극성결합에 의한 물 분자 유인 성질을 이용하여 씨드로서의 물에 공기 흐름을 유입하여 공기를 제습함에 따라 물을 생산하는 기술
[US] 7,000,410	2006.02.21	Ecotek International (US)	등록	대기 중 공기를 흡입하고, 이온화 장치에 의해 이온화한 공기를 대기 중의 공기와 혼합하여 냉각기에서 이슬점 이하로 냉각, 응축하는 것으로 물을 생산함
[US] 7,293,420	2007.11.13	Marine Desalination Systems (US)	등록	대기 중의 수분을 수확하는 응축 장치에 있어서, 냉각 효율을 높이기 위해 냉각부를 구획하여 냉각제습 공기와 따뜻한 공기 흐름의 냉각 적용을 별도로 적용함
[US] 7,043,934	2006.05.16	University of Maryland (US)	등록	에어필터를 통과한 공기를 열교환기에 의해 냉각하여 물저장 탱크로 물을 수집하고, 수집된 물은 여과, 증류, 냉각되어 다시 물저장 탱크로 수집되는 기술
검토의견				
<p>○ 무동력 공기 중 수분수집 기술로는 표면에 친수구역과 발수구역을 반복 패턴화하여 물방울의 크기를 제어함에 따라 드롭렛을 형성할 수 있도록 한 기술이 검색되었으며, 대기 중의 습기를 친수성 소재 또는 흡입수단에 의해 흡수한 후 냉각, 응축에 의해 물을 생산하는 기술이 추가로 검색됨 (단, 물 생산을 위한 습기 흡수 기술이 아닌, 제습기능을 위한 흡수 기술은 배제함)</p> <p>○ 무동력 공기 중 수분수집 기술의 핵심 기술 요소가 되는 친수구역과 발수구역을 동시에 구비하는 것으로 드롭렛을 형성하는 것은 물 생산 뿐 아니라, 서리방지 기능을 위해서도 적용됨</p> <p>○ 무동력 공기 중 수분수집 기술의 주요 출원인은 Qinetiq사, Fuji Film사이며, 친수성 구역과 발수성 구역을 반복 형성하고, 친수성 구역의 크기에 따라 물방울의 크기를 제어하여 드롭렛이 형성되는 기술에 대한 특허를 출원함</p>				



2.3 수분수집/응축기술의 시장성 분석

2.3.1 시장 규모 및 성장률 예측

2003년 UN의 세계 수자원 개발 보고서에 따르면 아래 그림과 같이 2025년에 세계 인구의 40%인 약 27억 명이 담수 부족에 직면할 것이고, 전 세계 국가의 1/5이 심각한 물 부족 사태를 겪을 것이라고 전망되고 있다. 미국의 경우 30년간 물 사용량이 300% 이상 급증하였으며, 이처럼 물 공급 부족과 수요 급증으로 초래될 심각한 물 부족은 물의 경제적 가치를 높여 물 값이 원유 가격만큼 상승할 수 있을 것으로 예측된다.

음료 시장을 제외한 전 세계 물 시장은 2007년 현재 3,496억 달러로 추산되며, 2016년에는 5,295억 달러의 시장으로 성장할 것으로 예상되고 있다. 이와 같은 상황에서 2010년 환경 관련 분야에서 매출 20조원을 달성하겠다고 공언한 GE는 그 중에서도 첫 번째로 물 산업을 지목하였다. 국내 업체인 코오롱의 경우 2002년까지 영업이익의 40%를 차지하고 있던 원사 사업부를 구조조정 하고, 미래 신성장 사업으로 물 산업을 제시하여 세계 10대 종합 물 기업으로 도약한다는 비전을 제시하였다. 코오롱 뿐만 아니라 GS건설, 삼성엔지니어링, 두산중공업 등의 많은 기업들이 적극적으로 물 산업에 뛰어들고 있다.^(1,2)

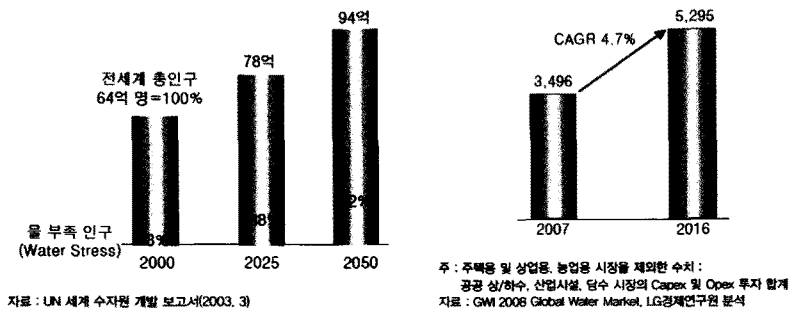


그림 18. 물 부족인구 및 물 시장 예측자료

표 2. 관련시장 예측자료

구분		2010	2011	2012	2013	2014	CAGR
국내 (억원)	제습기	250	300	360	430	520	27.6
	안개제거/수집기	0	0	100	200	400	100
	정수기	17,900	19,600	21,600	23,800	26,200	10
	유수분리 모듈	650	696	744	796	852	7
계 (억원)		18,800	22,607	24,816	27,239	29,986	5.5
국외 (억달러)	제습기	150	160	176	194	213	12.4
	안개 제거/수집기	0	0	5	10	20	100
	정수기	8.2	8.8	9.4	10.1	10.8	8.5
	유수분리 모듈	1.1	1.17	1.26	1.34	1.44	7
계 (억달러)		37,759.3	45,383.97	49,823.66	54,693.44	60,217.24	5

※ 제습기 출처 또는 인용 : 한국냉동공조공업협회(2009년 통계자료)

※ 안개제거/수집기 출처 또는 인용 :

- 국내외 안개제거 및 수집기(水集機) 분야는 아직까지 개발되지 않은 신시장 분야이므로 전체적인 상황을 예측하기는 어렵지만 개발을 성공할 경우 나타날 수 있는 시장의 가능성을 기준으로 작성
- 수집기 분야는 2012년 기준으로 정수기 시장의 10% 대체할 수 있을 것으로 예상

※ 정수기 출처 또는 인용 :

- W사 내부 자료, 연 10% 성장률 예상

※ 유수분리 출처 또는 인용 :

- 유수분리 국내 시장은 연간 폐탈지역 위탁처리 비용을 약 2천억으로 추정

이 중 분리여과 기술이 적용되는 목표 잡재 시장을 막분리 시장(시스템 기준)으로 추정[유수분리 막여과 국내/세계 시장 : "막제조 및 응용 공정 개발을 위한 중장기 전략 수립-최종보고서"(지경부, 2001)]

- 유수분리 막여과 시장 2001년 대비 2010년 30% 확장 가정, 향후 연 평균 성장률 7%로 가정

① 제습기 시장

제습이란 공기 중에 존재하는 수분을 제거하는 것으로, 공조시스템에 적용되는 제습 방법은 크게 냉각식 제습방법과 흡착식 냉각 방법 및 화학(흡수)식 제습 방법으로 구분할 수 있다. 제습기 시장은 크게 처리부하가 소량인 가정용과 처리부하가 대량인 산업용으로 구분된다. 가정용은 주로 냉각식과 화학식이 적용되고 있으며, 산업용은 적용되는 분야에 따라 냉각식과 흡착식 및 화학식이 다양하게 적용되고 있다. 국내에서는 여름 장마철에 습기를 제거하기 위하여 사용되는 가정용 제습기가 매년 수요가 급증하고 있는 상황이며, 선박용이나 자료실, 문서 보관실 및 박물관 등을 포함하여 산업용 또한 꾸준히 증가추세를 보인다. 특히 최근에는 공동주택의 지역 냉난방 시스템에 제습냉방 시스템의 도입이 검토되고 있는 등 국내 제습기 시장은 약 250억원 가량으로 예측하고 있다. 우리나라의 경우 가정용 제습기의 시장성장 속도가 27%에 이를 정도로 빠르게 성장하고 있음을 알 수 있다.

② 안개 제거 시스템 시장

우리나라는 삼면이 바다이며, 산악 지형이 많아 지형상 안개가 많이 발생한다. 안개가 발생하는 조건은 대기 중에 수분이 많이 포함되고 기온이 이슬점 아래로 내려가 공기가 포화되어 물방울로 응결되어야 한다. 따라서 따뜻하고 습한 공기가 지표 가까이의 차가운 공기와 만나거나 주변의 수증기 공급원이 많아 습도가 높을 경우 안개가 잘 발생한다. 산, 강, 바다가 많은 국내 지형의 특성상 도로에 발생하는 안개를 효과적으로 차단하면 운전자의 시야확보에 따른 안전운전이 가능하여 대형 교통 사고의 예방이 가능하다. 또한 상습안개구간으로 인한 정체구간 발생억제 효과 있으며 이로 인한 경제적 파급효과가 매우 클 것으로 기대된다.⁽²⁰⁾

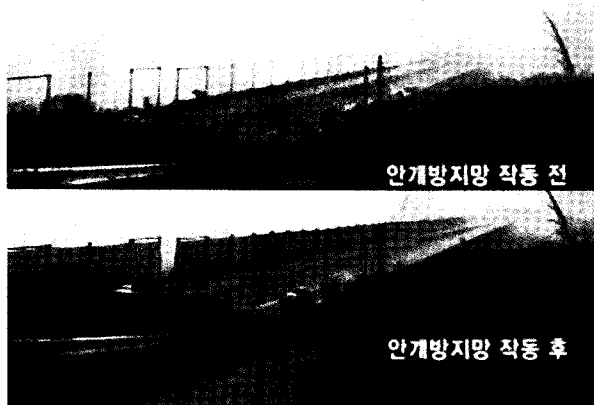


그림 19. 일본 오이타현 고속도로 안개 방지망⁽²⁰⁾

③ 수집기(水集機) 시장

수집기 시스템은 미래에는 해수의 담수화를 대체하여 인류의 담수 부족현상을 해결할 수 있는 기술이지만, 가까운 미래에 적용 가능한 분야는 사막과 같은 곳에서 어느 정도 소량의 물을 필요로 하는 곳에서 사용이 가능할 것으로 예상된다.⁽²¹⁾

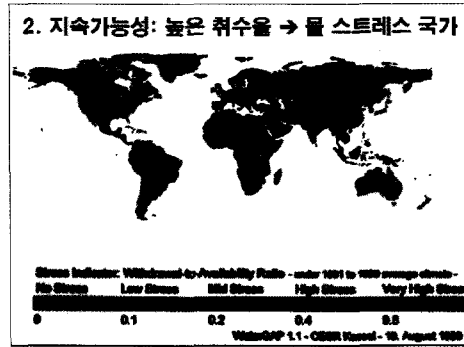


그림 20. 물 부족(스트레스) 국가 현황

또한 ‘군인의 휴대용 생명유지키트’라든지, 물의 공급이 절대적으로 필요한 빈곤국가의 ‘가정/마을 보급용 장치’로 활용이 가능하다. 즉, 현재까지는 시장이 형성되어 있지 않으며 기술개발 이후에는 국방 또는 세계복지 차원의 활용이 가능할 것으로 기대된다.

④ 정수기 시장

전 세계적으로 물 부족의 위기상황과 산업화에 따른 환경오염으로 정수기 시장의 성장이 꾸준히 증가하고 있다. 국내 시장의 경우 2008년 기준 1조 4천억원 규모의 시장을 형성하고 있으며 대표적으로 웅진코웨이, 청호나이스가 70% 이상의 시장 점유율을 형성하고 있으며 시장 포화상태에서도 신규수요와 교체수요로 인하여 연평균 10% 이상의 지속적인 성장을 보여주고 있다. 해외 주요 시장은 미국, 유럽, 중국, 인도를 중심으로 형성되고 있으며 미국시장의 경우 2001년 기준 3.2억달러의 규모의 정수기 시장을 형성하고 있으며 매년 평균 5.5%의 성장률을 보이고 있다. 중국시장의 경우 2006년에서 2008년까지 3년간 정수기 소비량이 매년 20%의 증가율을 보이고 있으며 2008년 기준 1,300만대의 판매량을 보여주고 있어 평균 가격 35만원 기준 0.5억달러의 시장규모를 보인다. 인도시장의 경우 2008년 기준 2억달러 규모로 정수기 시장을 형성하고 있으며 연간 15~20%의 성장률을 기록하고 있다.

2.3.2 앞으로의 전망

최근 몇 년간 시장성 조사를 바탕으로 한 많은 벤처 기업들이 미국, 캐나다, 호주, 일본, 인도 등에서 수분수집 정수기 제품을 생산, 판매 중에 있다. 이 제품들은 아직 기존의 생수통이나 수도관이용 정수기보다 가격면에서 뒤지고 있으며 정수를 할 때 쓰이는 에너지의 효율화가 많이 필요한 상황이다. 현재 기초연구가 진행되어 가능성이 입증된 친수/발수 패턴이 이와 함께 응용된다면 기존의 제품들보다 설치, 유지, 보수 면에서 월등히 앞서는 제품의 생산이 가능하리라고 판단된다. 사람들의 삶의 질에 대한 욕구가 커지면서 산업현장이 아닌 가정이나 사무실에서도 제습을 하려는 경향이 커지고 있어 제습기의 시장은 급성장을 하고 있는 추세이나 현재 국내의 제습기회사들은 기술개발의 여력을 갖추지 못하고 있으므로, 세계시장을 선점할 수 있는 기술을 정부주도로 개발하여 조속히 그 경쟁력을 강화시킬 필요가 있으며, 이 기술은 에어컨의 제습기에도 응용될 수 있어 환경규제나 에너지 소비측면에서 우위를 차지하여 시장을 이끌 수 있을 것이다. 현재 국내의 친수/발수 표면 연구는 미국과 일본 등과 비교해볼 때 대등한 수준이며 국내의 우수한 표면 처리 기술로 뛰어난 가격대 성능을 가지는 제품을 생산하여 시장을 선점한다면 세계의 많은 지역에 보급되어 식수난을 해결함과 동시에 새로운 대형 시장을 창출할 수 있을 것이다.

3. 맺음말

최근 아프리카 나미브 사막에서 발견된 *Stenocara* 딱정벌레의 등껍질을 이용한 수분수집의 생존방법이 연구됨에 따라 물이 부족한 고산지대, 사막 또는 안전한 식수원이 부족한 지역에서 이 기술을 사용하여 공기 중에서 물을 생산하는 방법이 시도되고 있다. 한 예로 칠레, 네팔, 예멘 등 산악개가 많이 발생하는 고산지대와 해안지역에서 발수 패턴을 가진 비닐망을 통해 식수나 생활용수를 포집하는 연구가 FogQuest라는 캐나다 비영리 자선단체에서 시행중에 있다. 미국, 캐나다, 오스트레일리아, 인도에 위치한 여러 벤처 기업들은 냉각기와 정수필터, UV 소독기를 결합하여 공기 중의 수분을 응결, 수집하여 정수를 거친 후 식수로 쓸 수 있는 수분수집형 정수기를 개발하여 판매 중에 있으며, 현재 상용화된 제품들은 리터당 약 3~7센트의 비용이 전기비나 동력원으로부터 발생하므로 전기수급이 불안정한 지역이나 전기비용이 비싼 지역에서는 식수를 구입해서 사용하는 것보다 비용이 더 많이 발생할 수 있다.

따라서, 나미브사막 딱정벌레의 친수, 발수 패턴을 모사한 mesh 혹은 plate를 제작하여 기후와 환경, 인프라 등 지역적 특성에 따라 냉각기와 함께 연동하여 사용한다면 수자원이 부족한 지역에서 보다 효율적으로 수분을 수집하여 식수/생활용수로 사용할 수 있을 것으로 예상된다. 하지만, 현재는 기초연구만 일부 진행되고 있는 상태로 표면 에너지의 특성, 대기 중 수분농도, 온도, 표면 디자인에 따른 구름각 특성 등 여러 가지 조건을 고려한 연구개발이 필요하다. 이러한 연구에서 개발된 기술은 원천기술로서 단지 수분 수집이 아닌 여러 응용에 사용될 수 있을 것이며, 또한 이를 기반으로 더욱 진보되고 다양한 연구가 이루어진다면 그 응용범위는 더욱 광범위할 것으로 예상된다.

❁ 참고 문헌

- [1] 자연모사응용 스마트 물/용제 순환기술, 산업원천기술개발사업 기획보고서, 지식경제부, (2010)
- [2] 자연모사응용 스마트 물/용제 순환기술, 청정생산기술에서 녹색기술까지, 국가청정지원센터, (2010)
- [3] A. R. Parker and C. R. Lawrence, Water captured by a desert beetle. *Nature* (2001) 414.
- [4] L. Zhai et al., Patterned superhydrophobic surfaces: toward a synthetic mimic of the namib desert beetle. *Nano Letters* (2006) p6.
- [5] S. J. Pastine et al., A facile and patternable method for the surface modification of carbon nanotube forests using perfluoroarylazides. *J. Am. Chem. Soc.* (2008) p130.
- [6] C. Dorrer and J. R uhe, Mimicking the stenocara beetle-dewetting of drops from a patterned superhydrophobic surface. *Langmuir* (2008) p24.
- [7] Y. Zheng et al., Directional water collection on wetted spider silk. *Nature* (2010) p463.
- [8] S. Daniel et al., Fast Drop Movements Resulting from the Phase Change on a Gradient Surface. *Science* (2001) p26.
- [9] L. Courbin et al., Imbibition by polygonal spreading on microdecorated surfaces. *Nature Materials* (2007) p6.
- [10] Fog catchers bring atmosphere's water to parched regions,
<http://www.greendiary.com/entry/fog-catchers-brings-atmosphere-s-water-to-parched-regions/>
- [11] L. Careres et al., Atmospheric moisture collection from a continuous air flow through a refrigerated coil tube. *Atmospheric Research* (2004) p71.
- [12] Island Sky Corporation,
<http://www.islandsky.com/products/home-and-office-water-making-machine>
- [13] Aqua Sciences - Advanced Water Technology, <http://www.aquasciences.com/products.html>



- [14] Air2Water – The New Generation of Water, http://www.air2water.net/bottling_plants.html
- [15] Element Four, <http://www.elementfour.com/>
- [16] Watermaker India – Atmospheric Water Generators, <http://www.watermakerindia.com/>
- [17] Case study: how to collect water?
<http://www.biomimicryeuropa.org/news-media/features/case-study-how-to-collect-water>
- [18] 일본 공개특허공보 2006-201835, <http://www.wipo.int/pctdb/en/wo.jsp?WO=2008013306>
- [19] Coastal Fog Tower Harvests Chilean Mist, <http://www.inhabitat.com/2008/04/02/coastal-fog-tower/>
- [20] 두리시스템 – 안개차단시설(원적외선 방사네트), <http://www.doorisys.co.kr>
- [21] World Water Council – Water Crisis, <http://www.worldwatercouncil.org/index.php?id=25>



박 준 식

- 한국기계연구원 프린팅공정 자연모사연구실 연구원
- 관심분야 : 미세유체역학
- E-mail : jp375@kimm.re.kr



임 현 의

- 한국기계연구원 프린팅공정 자연모사연구실 선임연구원
- 관심분야 : 자연모사표면
- E-mail : helim@kimm.re.kr