WATER

CONTENTS

PROLOGUE 上善若水

INTRO

SPECIAL ARTICLE

SA01 김치앤칩스

SA02 구본창의 '물'

SA03 드뷔시의 바다

SA04 로얄 앤 컴퍼니

SA05 커피와 물

SA06 물방울 에너지

SA07 한강을 찍는 작가 이대원

SA08 사우나 스튜디오

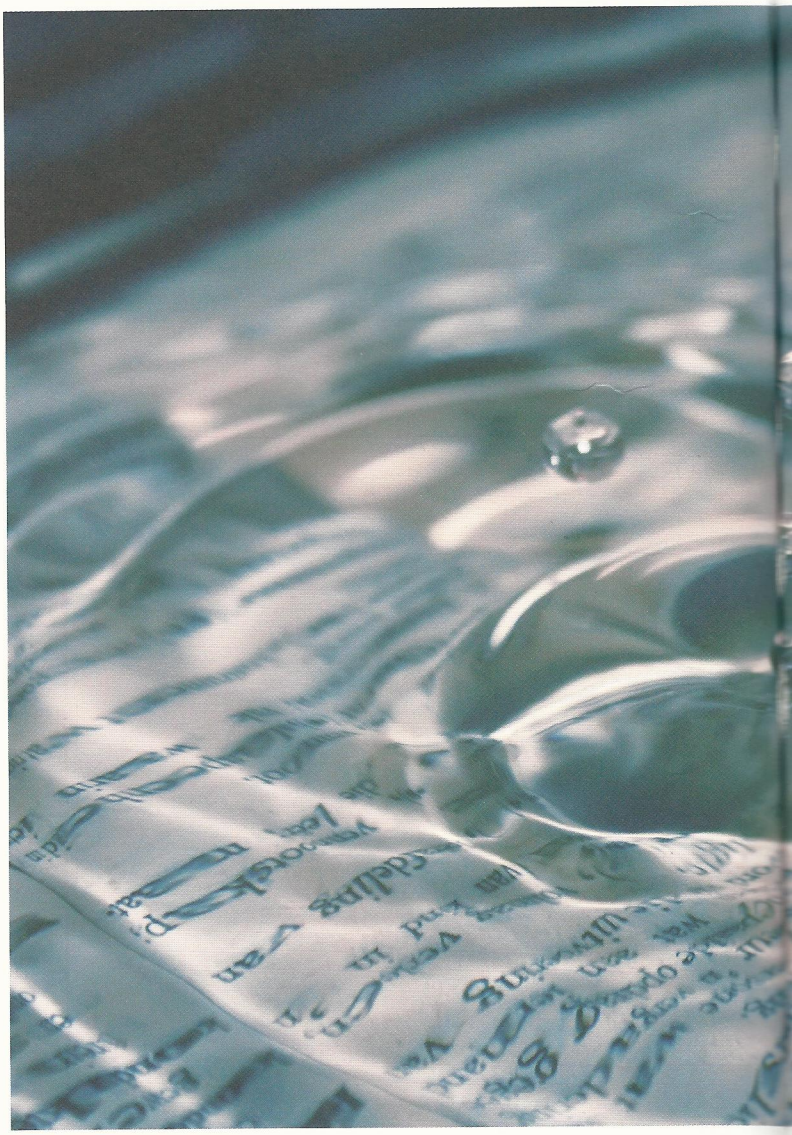
SA09 Art in New York - Hudson River

S.A06

물방울 에너지
○
한 방울의 물로 만드는 전기

에너지 수확(energy harvesting) 기술은 여러 형태로 존재하는 에너지를 전기 에너지로 수확하는 기술이다. 자연에서 존재하는 햇빛, 바람, 물, 열 과 같은 원초적인 형태의 에너지를 전기에너지로 변환하는 것뿐만 아니라 차량 진동, 실내 조명, 몸에서 나오는 열, 걸을 때 마다 눌려지는 압력 등 우리 주변에서 쉽게 버려지는 에너지까지 전기에너지로 변환할 수 있는 기술이다.

최근 환경오염문제가 심각해지면서 친환경 신재생 에너지에 대한 필요성이 커지고 있고 이를 위해 다양한 형태의 에너지 수확 장치나 기술들이 연구되고 있다. 그 중에서도 물은 생활용수, 비, 하천, 바다 등 우리 주변에 다양한 형태로 존재 하기 때문에 이를 이용한 에너지 수확 기술에 관심이 높아지고 있다. 물을 이용하여 전기를 만드는 기술은 물의 위치 에너지를 이용한 수력 발전, 열을 이용한 하수열 발전, 물 속 이온의 농도 차를 이용한 염분 차 발전 등이 이용되고 있다. 최근 이러한 에너지 전환 방식과는 다르게 전기동력학적 (electrokinetic) 현상을 기반으로 물방울을 이용해 전기를 만들어낼 수 있는 에너지 수확 기술이 연구되고 있으며 이를 소개하고자 한다.



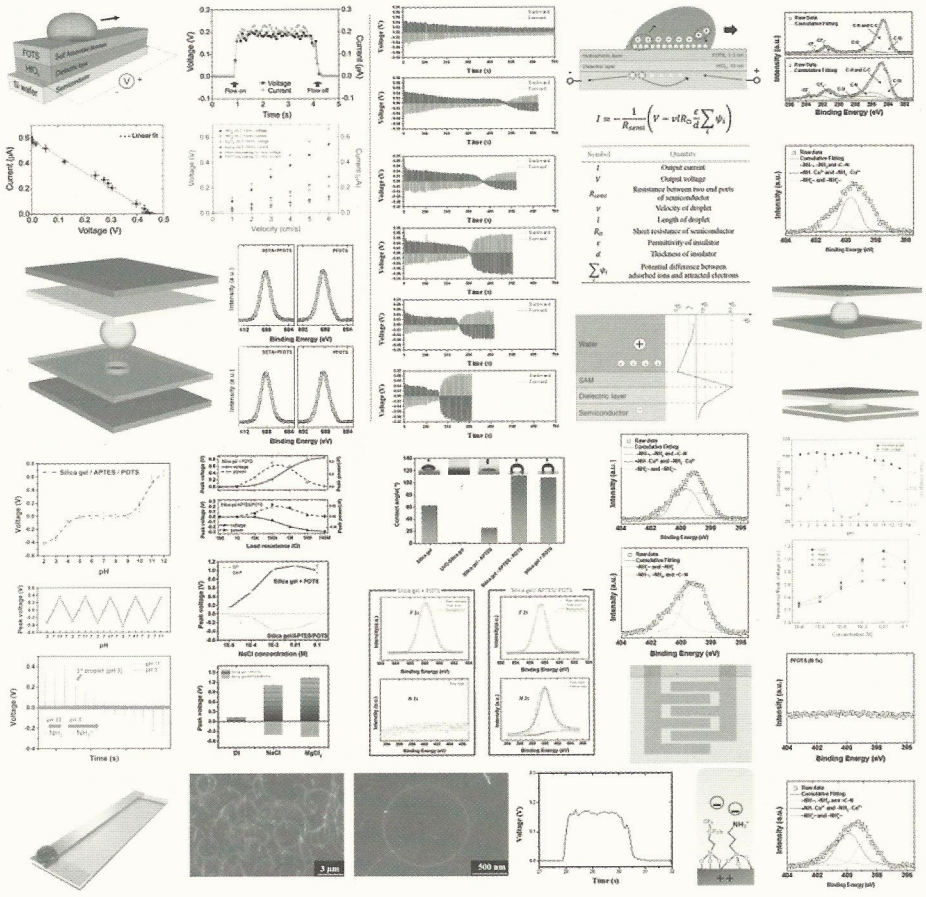
물방울이 전기 에너지로

빗방울은 땅으로 떨어져 스며들기도 하고 지붕에 떨어져 구르기도 한다. 건물 외벽이나 창문을 타고 흐르기도 하며 우산 위로 떨어질 때도 있다. 나뭇잎에 떨어진 물방울은 튕겨 나가기도 하며 달리는 차에 떨어진 물방울은 바람의 저항으로 옆으로 흘러가기도 한다. 다양한 형태로 떨어진 빗방울에서는 많은 일들이 일어난다.

이러한 과정이 잘 일어 날 수 있도록 하기 위해서는 물방울이 잘 굴러가도록 표면처리를 해주게 된다. 표면처리 기술은 차량 발수 코팅이나 테프론 코팅된 후라이팬 등 우리 주변에서 어렵지 않게 찾아 볼 수 있다. 빗방울이 차량 표면에서 잘 굴러 떨어지게 만들어 비 오는 날 시야 확보를 해준다거나 요리 후 잔여물이 프라이팬에 달라붙지 않게 하여 조금 더 쉽게 뒷정리를 할 수 있게 해주는 것이 그것이다. 물방울을 이용한 에너지 수확 장치에서 표면 처리는 물방울을 에너지 수확 장치에 달라붙거나 젖지 않게 하여 물방울이 잘 굴러 갈 수 있도록 해준다. 뿐만 아니라 표면처리를 통해 물방울 속에 있는 다양한 이온들을 조금 더 많이, 더 강하게 잡아 당기거나 밀어낼 수 있게 되면서 전기를 더 많이 수확 할 수 있게 해준다.

창문에 떨어진 한 방울의 빗방울이 굴러가는 모습을 상상해보자. 물방울 하나가 그냥 흘러 내려가는 것처럼 보이지만 자세히 들여다 보면 물방울의 아래쪽에서 끊임없이 창문의 표면과 닿으면서 내려가고 물방울 위쪽에서는 계속해서 창문과 떨어지면서 전체적으로 조금씩 아래로 흘러가는 모습을 상상해 볼 수 있다. 빗방울의 아래쪽과 위쪽을 나누어 조금 더 자세히 들여다 보면, 끊임없이 창문 표면과 새로운 경계면을 만들면서 아래로 흘러내리는 부분에서는 물이 창문을 적실 뿐만 아니고 빗방울에 녹아 있는 나트륨, 칼슘, 칼륨, 염소 등 다양한 이온들이 창문 표면에 달라 붙게 된다. 빗방울 위쪽 꼬리부분에서는 물이 창문 표면과 떨어지면서 달라 붙어있던 많은 이온들이 같이 떨어져 나가게 된다. 이러한 이온들이나 먼지들이 얼룩으로 남기도 한다.

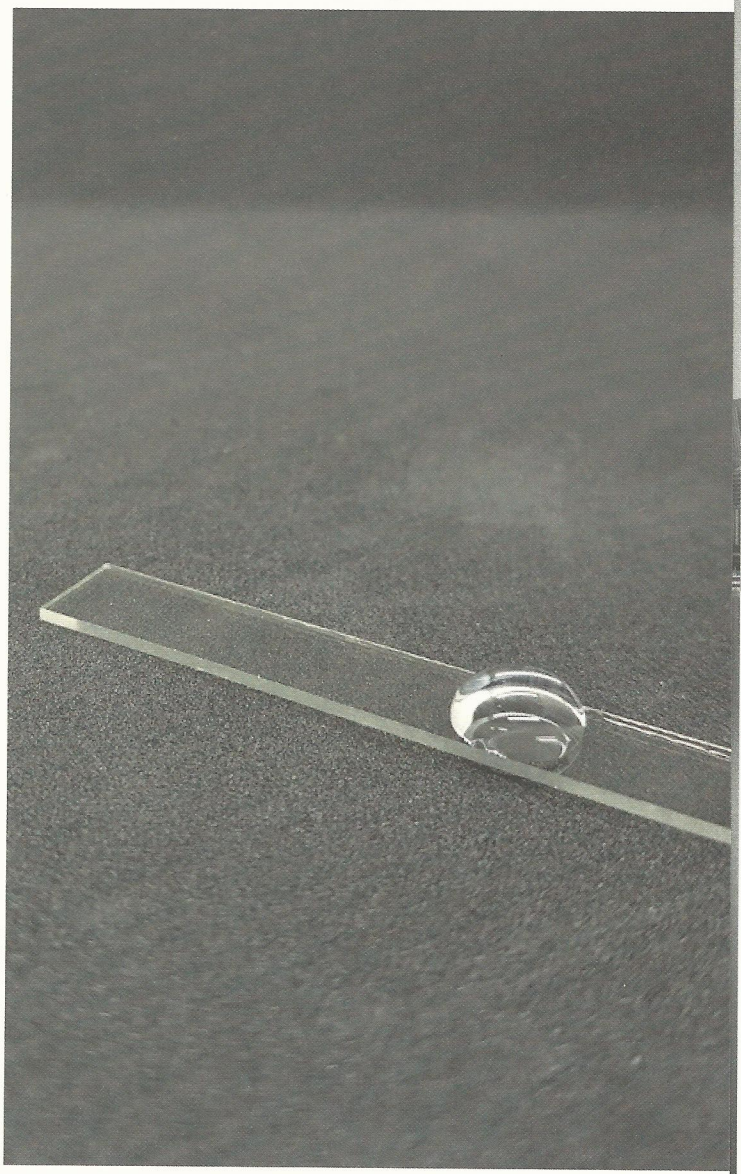
고체 표면을 유리창이 아니라 전극으로 바꾸고 약간의 표면처리를 해주면, 앞서 말한 빗방울이 흘러가는 현상을 전기에너지로 변환해주는 에너지 수확 장치로 사용할 수 있게 된다. 물방울과 고체 표면의 경계에서 움직이는 물에 의해서 끊임없이 달라붙고 떨어지는 수 많은 이온들이 전극 속에 있는 전자(electron)들을 잡아 당기고 또 밀어내면서 전자의 흐름 전류를 만들게 된다.



$$I \approx -\frac{1}{R_{semi}}\left(V - vlR_{\square}\frac{\epsilon}{d}\sum_{i}\psi_i\right)$$

Symbol	Quantity
I	Output current
V	Output voltage
R_{semi}	Resistance between two end ports of semiconductor
v	Velocity of droplet
l	Length of droplet
$R_{\square}$	Sheet resistance of semiconductor
ϵ	Permittivity of insulator
d	Thickness of insulator
$\sum_i \psi_i$	Potential difference between adsorbed ions and attracted electrons

물방울의 움직임에 따라 고체와 액체 경계 면에서 물과 이온 그리고 전자의 연계된 움직임을 이용한 에너지 수확 방식은 비싼 구동 모터나 복잡한 제작 공정 과정 없이 자연적인 물의 움직임만으로도 에너지를 수확 할 수 있다. 이와 같은 에너지 수확 장치는 이전부터 많이 연구되어 왔지만 2010년대에 와서야 실용화 가능성을 보여줄 만큼 발전하였고 한 방울이 떨어졌을 때 여러 개의 LED를 잠깐 켤 수 있을 정도의 전기 (하나의 LED를 켜기 위해 필요한 전압 2.1 V)를 만들어 내는데 성공하였다. 최근에는 물방울이 흘러가는 내내 전기를 연속적으로 만들어 내는 수준까지 연구가 진행되었으며 대면적화와 집적화 연구를 통해 더 많은 전기를 수확할 수 있는 기술을 연구하고 있다.



미래 에너지

현재 연구중인 이 기술은 저렴한 비용과 더불어 몇 번의 코팅으로 쉽게 제작 할 수 있다는 장점이 있다. 페인트처럼 바르기만 해도 되는 형태로도 제작 가능하고 투명한 유리처럼 제작 할 수도 있기 때문에 현재 상용화되어 사용되고 있는 다양한 에너지 수확 소자가 적용되지 못하는 영역에서의 응용 또한 기대할 수 있다. 가령, 비가 많이 오는 지역에서는 태양광 패널의 효율이 많이 떨어질 수 밖에 없다. 이런 지역에 추가로 물방울을 이용한 에너지 수확 장치를 패널이나 창문 형태로 제작하여 빗방울을 이용해 에너지를 수확 할 수 있을 것이며, 강물이나 파도와 같이 계속해서 주기적으로 접촉과 비접촉을 반복하는 지역(해변, 강변)에도 적용 하여 에너지를 수확 할 수 있다. 뿐만 아니라 가정에서 쓰고 버려지는 물을 비롯해 상하수도관을 통해서 흐르는 물을 이용할 수도 있을 것이다. 이런 상상이 현실이 되기 위해서는 효율을 높이고 안정성 유지와 같은 추가적인 연구가 필요하지만 구현 된다면 버려지는 에너지를 수확하는 것이기 때문에 오염물질의 배출이 없으므로 친환경적으로 전기를 만들어 낼 수 있게 된다. 현실적으로 구현 가능한 기술인 만큼 우리 일상 생활에 빠르게 적용되어 많은 사람들에게 도움이 되기를 희망한다.

1. S.-H. Kwon, J. Park, et al., Energy Environ. Sci., 7, 3279–3283 (2014).
2. J. Park, Y. Yang, S.-H. Kwon, Y. S. Kim, J. Phys. Chem. Lett., 6, 745 (2015).
3. Y. Yang, J. Park, S.-H. Kwon, Y. S. Kim, Sci. Rep., 5, 15695 (2015).
4. J. Park, et al., J. Am. Chem. Soc., 139, 10968–10971 (2017).
5. J. Park, Y. Yang, S.-H. Kwon, S. G. Yoon, Y. S. Kim, Nano Energy, 42, 257 (2017).
6. J. Park, et al., Angew. Chem. Int. Ed., 57, 2091 (2018).
7. Y. Yang, J. Park, S. G. Yoon, Y. S. Kim, Nano Energy, 40, 447 (2017).
8. S.-H. Kwon, et al., ACS Appl. Mater. Interfaces, 8, 24579 (2016).

글
양영준

서울대학교 융합과학기술대학원 김연상 교수님 연구실
연구실 홈페이지 (Nano Matrix Lab. : www.snunml.com)
Email: angssa@snu.ac.kr

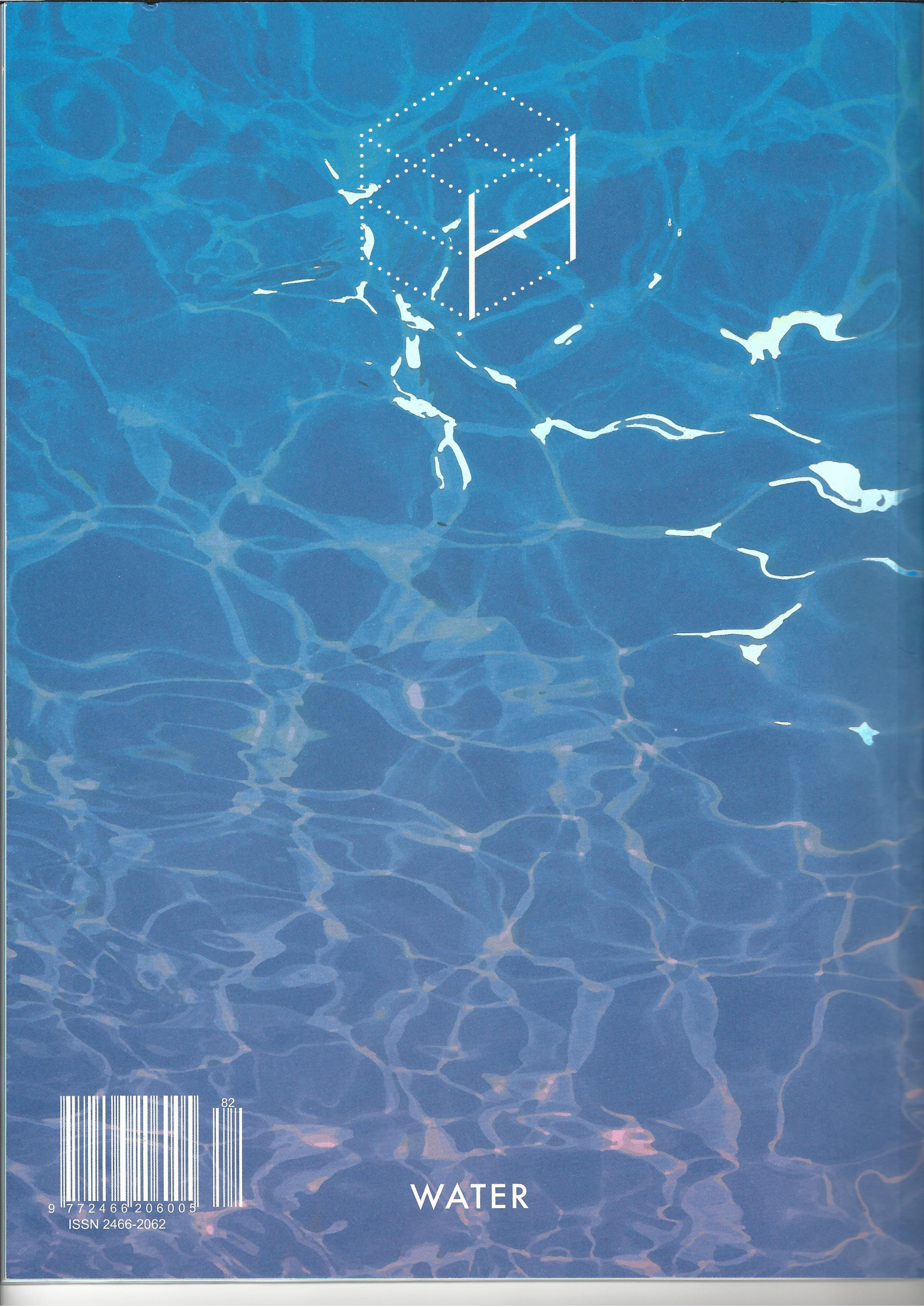
Publisher H.art community
Sponsor GuPoSungShim Hospital, MERCIEL
Editor in chief Park Hyunjin
Editors Kim Chaewon, Yang yoojin
Designer DownLeit

Contributors
Kim Minkyung
Choi Junghoon
Yang Youngjun
Gunsu Lee
Jimmy Sangmin Chung

Correspondents
Arum Seo
Francesco Correggia

Photo
Yeo Seungjin

Publishing
H.art community
Haeundae Dalmaji 65th 154



WATER

82
9 772466 206005
ISSN 2466-2062