

| 융합카페 |

문어 흡착판을 모사한 스킨패치 및 응용 기술

<https://doi.org/10.5757/vacmac.5.1.28>

백상열, 방창현

생체모사를 통한 신개념 점착소재

오랜 세월 자연계에는 가혹한 주변 환경에서 생존하고자, 다양한 방식으로의 진화를 이루었다. 그 중에서도 여러 표면에 단단히 부착할 수 있는 다양한 메커니즘의 점/점착 방식이 존재한다[1-5]. 최근 이러한 자연의 지혜로부터 창의적인 영감을 받아 기능성 점착 표면 및 인터페이스를 개발하고, 나아가 기존의 시스템과 융합하는 생체모사 공학(biomimetics)의 연구들이 각광을 받고 있다[6-8]. 예를 들어, 곤충 날개 접합, 게코 도마뱀/양서류 발, 연체동물의 빨판 등은 화학적 점착제(단백질, 점액 등)를 사용하지 않고, 놀라운 점착능력을 발휘하는 계층적 미세구조를 모사하는 연구가 국내·외적으로 활발히 진행되어 왔다[9-13].

구체적으로, 생체의 미세 구조를 모사하여 굴곡지거나 습한 신체의 피부 및 장기 표면에 부착 가능한 기술은 의료용 점착/봉합 소재 또는 인체 부착/삽입소자의 계면 기술로 활용이 가능하다. 이러한 배경에는 본 생체모사 소재들은 물리적인 상호작용(반데르발스 힘, 부압, 모세관력)들을 이용하여 피부/장기에 점착을 유도하였기 때문으로 볼 수 있다. 즉, 기존 스킨패치들은 대부분의 아크릴계의 화학점착 소재를 이용하여 점착을 구현하여 탈착 후 피부 오염, 가려움, 땀에 의한 점착력 감소, 반복성 저하의 문제점들을 지니고 있으며, 생체모사 구조 기반 점착

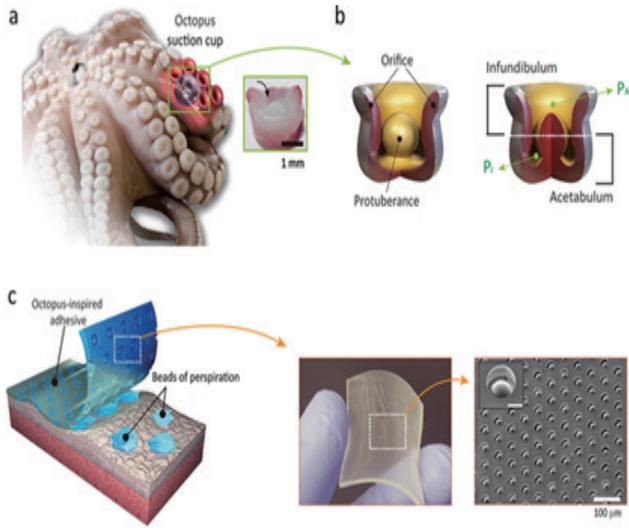


[Fig. 1] 생체모사 점착 시스템들 및 응용기술

제들이 그러한 문제를 해결할 가능성이 높을 것으로 기대되고 있다. 또한, 이러한 인체표면에 부착이 가능한 점착 소재들은 심전도, 뇌파, 혈류량 및 혈류속도 등의 생체신호들을 측정하는데 쓰이는 의료기기에 응용 가능하다. 예를 들어, 박막형 웨어러블 소자표면에 미세 섬모들을 제작하여 인체의 미세한 생체신호들 (다양한 맥파, 체온,

<저자 약력>

- 백상열 저자는 성균관대학교 공과대학 화학공학과 석박통학과정 재학 중이다. (bsy7863@skku.edu)
- 방창현 교수는 성균관대학교 공과대학 화학공학과와 나노과학기술학과 조교수로 재직 중이다. (chpang@skku.edu)



[Fig. 2] 문어빨판 모사 점착소재 기술

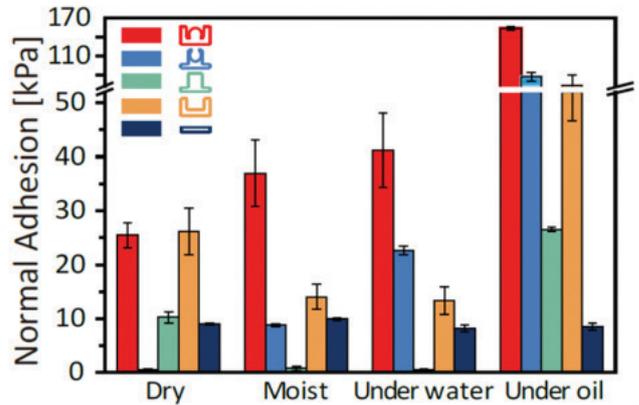
PH, 혈당량 등)을 증폭하거나, 국부적인 치료가 가능한 삼차원 미세구조들을 이용한 계면 기술이 개발되고 있어 화제가 되고 있다.

한편, 그 중에서도 최근 거친 표면 또는 젖은 환경에서도 효율적으로 부착하는 문어의 빨판 시스템을 모사하는 연구들이 크게 이슈가 되고 있다. 문어빨판에는 빨판 내부에 미세한 진공을 유도하여 높은 흡착력을 발생시키는 컵 모양의 챔버와, 챔버 내부의 미세 돌기구조가 존재한다. 이러한 문어 흡착판의 구조를 모사한 점착소재 들은 반복적인 사용이 가능하며, 탈착 후 오염물이 남지 않는 동시에, 진공에 의한 강력한 부압발생을 유도하여 기존의 다양한 점착소재를 대체할 수 있다는 점에서 주목을 받고 있다. 나아가, 새로운 개념의 본 점착 소재는 웨어러블 디바이스, 의료용 진단 및 치료 피부패치 등과 같이 시장가치 규모가 2020년 내에 약 120억 달러 규모에 달할 것으로 예측되는 전도유망한 산업들에 응용이 가능할 것으로 기대되고 있다 (그림 1) [14-17].

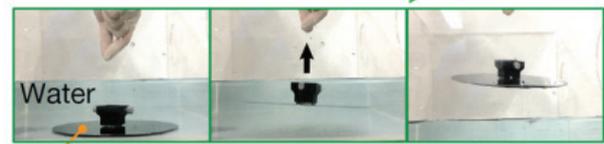
이러한 맥락에서 본문에서는 최근 개발된 문어의 빨판을 모사한 진공 유도형 점착소재에 대한 피부 점착 기술과, 생체모사 기반의 점착 계면을 융합한 기술들의 향후 발전 방향 및 적용 가능성에 대해 구체적으로 논의하고자 한다.

흡착력을 가지는 문어 빨판의 계층구조를 모사한 점착 기술

문어모사 패치의 점착 성능

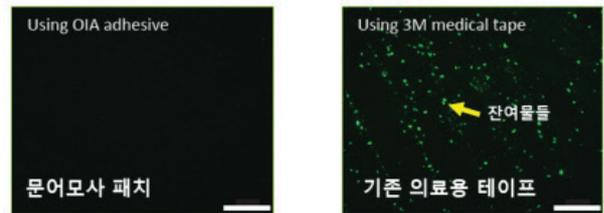


웨이퍼 고정/이송 장치



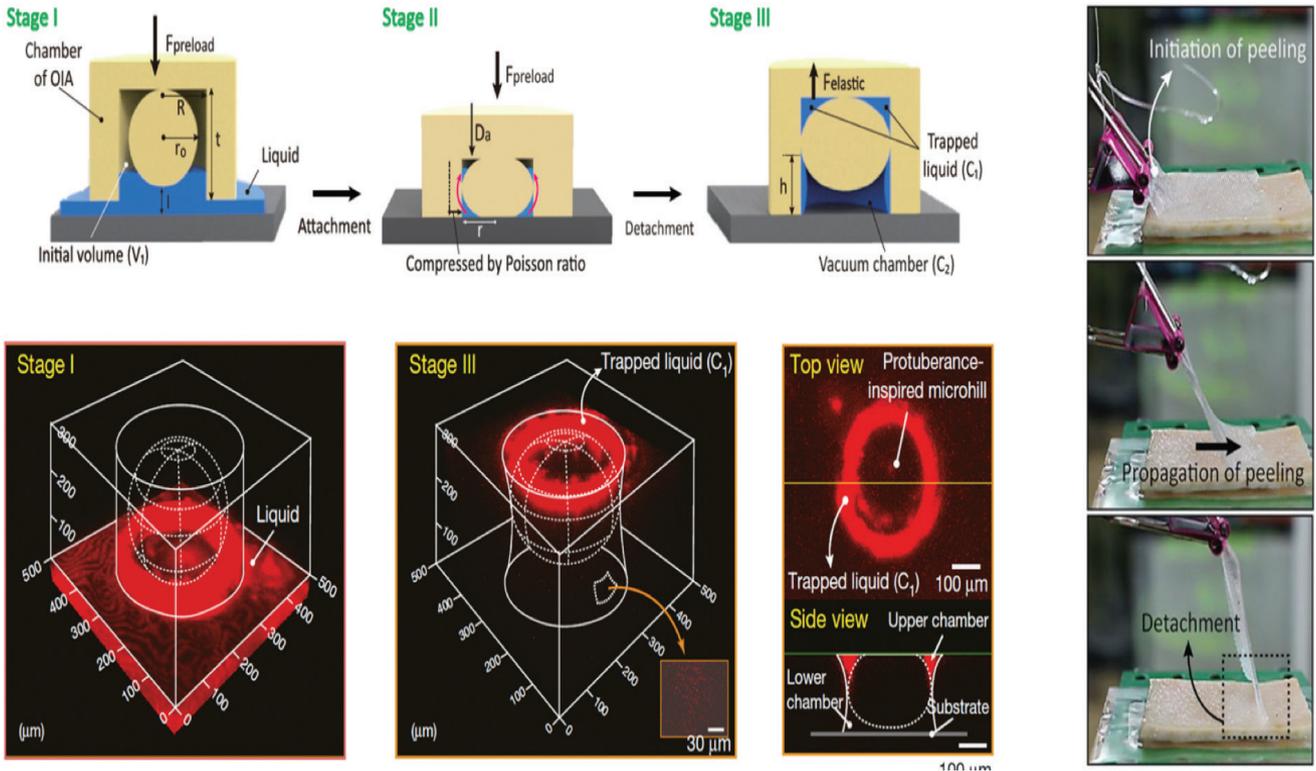
Si wafer (8 inch)

패치 탈부착 후 표면 오염도



[Fig. 3] 문어빨판 모사 패치의 특징

기존의 주로 사용되는 피부점착 기술은 화합물 기반의 점착제들로 물속의 젖은 표면과 땀에 의한 습한 피부에 점착력이 급격하게 저하되는 문제점들이 있다. 또한 기존의 점착 소재들은 습한 인체 표면 환경에서 반복적인 탈부착이 불가능하다. 이러한 맥락에서 최근 젖은 피부 표면 환경에서도 높은 점착력을 유지하면서 표면의 오염을 최소화하는 새로운 개념의 문어빨판 모사 점착 소재가 개발되었다[13]. 이러한 연구는 기존에 알려지지 않은 문어의 흡착판 내부 미세 구형 돌기의 점착 메커니즘을 분석/규명하여, 이를 모사한 미세 삼차원 계층 구조 디자인 및 대면적 제조공정 기술을 제시하였다 (그림 2).



[Fig. 4] 문어빨판 모사 점착소재의 점착 원리 및 피부 점착테스트

본 문어모사 패치는 점착표면에 오염물을 남기지 않는 소재이며, 건조한 표면, 물방울이 맺힌 습한 유리표면, 물속의 유리표면, 그리고 실리콘 오일 속의 유리표면에 대하여 높은 수직 점착력을 가진다. 또한, 본 점착 소재를 이용하여 수중의 환경에서 웨이퍼와 같은 정밀 반도체 소자의 고정 및 이동 장치를 구현하였다. 특히, 기존의 화합물 기반의 끈적이는 점착제와 달리 점착 표면에 오염물이나 손상이 발생하지 않는 것을 보여주었다 (그림 3).

실제로 문어의 독특한 빨판에서는, 빨판 내부의 미세 돌기와 빨판 내부표면 사이에서 유체의 응집력을 통해 극대화된 부압(negative pressure)이 발생한다. 마찬가지로, 탄성고분자(elastomer) 소재의 미세 구형 돌기를 가지는 음각의 문어 모사 빨판 컵은 다음과 같은 점착 메커니즘을 가진다. 먼저 점착을 위한 외부의 힘에 의해 점착 표면의 수분을 밀어내고, 남은 수분은 구형 돌기와 돌기 주변 표면 사이의 공간으로 모세관 효과에 의해 포집한다. 그리고 점착을 위한 외부의 힘을 제거하면 포집된 수분은 응집력에 의해 유지되며, 동시에 문어 빨

판 모사 컵과 부착 표면 사이의 공간은 높은 부압이 유도된다. 이러한 결과는 실제로 미세 입체구조의 내부에서 물 분자들이 거동하는 형태를 공초점 현미경(Confocal Microscopy)을 이용하여 관찰 및 증명하였고, 수학적 모델을 통해 검증하였다. 나아가, 본 문어모사 점착패치는 습하거나 굴곡진 피부에 안정적이고 높은 점착력을 가지며, 창상 치료 패치로의 응용 가능성을 확인하였다. 이는 향후 피부부착 의료용 생체신호 모니터링 소자의 부착소재 및 약물을 로딩 가능한 창상치료 패치로 적용될 수 있을 것으로 전망된다. (그림 4)

맺음말

오래전부터 인류는 그들이 당면한 여러 문제점들을 극복하기 위하여, 자연의 시스템에서 다양한 영감을 받아 그 해답을 찾으려 하고 있다. 이러한 자연의 시스템을 모방하여 삶을 윤택하게 하는 생체모사 공학은 나노/마이크로 크기의 구조물을 제작하는 공정기술의 발달과 함께, 여러 생물의 표면에 존재하는 진화된 미세구조물을

모사하여, 다양한 기능성을 갖는 표면 및 계면 기술의 혁신을 가져왔다.

그 중에서도 생체모사를 통하여 화학 접착제를 사용하지 않고 문어와 같이 흡착 효과를 이용하여 표면에 부착하는 미세구조물 기반 계면 기술에 대한 연구가 국내·외 대학 및 연구소에서 활발히 이루어졌다. 또한, 최근에는 헬스케어용 웨어러블 디바이스의 발전 동향과 그에 대한 관심과 함께, 소자와 피부/장기표면 사이의 계면의 개선을 통해 치료 및 진단 기술의 획기적인 돌파구를 제시하는데, 이러한 생체모사 기술을 융합하려는 시도가 꾸준히 진행되고 있다 [15-17]. 이러한 측면에서 생체모사 기반 점착 계면 기술은 단계적으로 기존의 의료용 패치 및 테이프와 장기 봉합을 위한 점착 기술로 활용될 수 있으며, 장기적으로 웨어러블 신체부착/생체이식형 소자의 고성능 진단 및 향후 세포조직공학과 결합된 고효율 치료를 위한 계면 기술로도 잠재력이 높을 것으로 기대된다.

| References |

- [1] C. Pang, M. K. Kwak, C. Lee, H. E. Jeong, W. G. Bae and K.-Y. Suh, *Nano today*, 7(6), 496-513 (2012).
- [2] C. Pang, T.-i. Kim, W. G. Bae, D. Kang, S. M. Kim, and K. Y. Suh, *Advanced Materials*, 24(4), 475 (2012).
- [3] Autumn, K., Liang, Y. A., Hsieh, S. T., and Zesch, W., *Nature*, 405(6787), 681 (2000)
- [4] Zheng, Y., Bai, H., Huang, Z., Tian, X., Nie, F. Q., Zhao, Y. and Jiang, L., *Nature*, 463(7281), 640 (2010).
- [5] Lee, H., *Nature*, 465(7296), 298-299 (2010).
- [6] C. Pang, G.-Y. Lee, T.-I Kim, S. M. Kim, H. N. Kim, S.-H. Ahn, and K.-Y. Suh, *Nature Materials* 11, 795-801 (2012).
- [7] Kang, D., Pikhitsa, P.V., Choi, Y.W., Lee, C., Shin, S. S., Piao, L., and Choi, M., *Nature*, 516(7530), 222-226 (2014).
- [8] Lee, H., Lee, B. P., & Messersmith, P. B., *Nature*, 448(7151), 338 (2007).
- [9] Kwak, M. K.; Jeong, H. E.; Suh, K. Y. *Adv. Mater.* 23, 3949 (2011).
- [10] Pang, C., Kim, S. M., Rahmawan, Y., & Suh, K. Y. *ACS applied materials & interfaces*, 4(8), 4225-4230 (2012)
- [11] Jeong, H. E., & Suh, K. Y., *Nano Today*, 4(4), 335-346 (2009)
- [12] Park, Y., Shim, J., Jeong, S., Yi, G. R., Chae, H., Bae, J. W., and Pang, C., *Advanced Materials*, 29(21) (2017).
- [13] Baik, S., Park, Y., Lee, T. J., Bhang, S. H., and Pang, C., *Nature*, 546(7658) (2017).
- [14] 웨어러블 디바이스 기술 및 시장 동향, S&T Market Report 26 (2015).
- [15] Dagdeviren, C. et al., *Proceedings of the National Academy of Sciences* 111, 1927-1932 (2014)
- [16] Xu, S., Zhang, Y., Jia, L., Mathewson, K. E., Jang, K. I., Kim, J. & Bhole, S. *Science*, 344(6179), 70-74 (2014)
- [17] Cahill, E.M., O’Cearbhaill, E.D., *Bioconjugate chemistry*, 26(7), 1289-1296 (2015)