**Introduction**

#1

고분자 3D 골격과 기공들로 이루어진 다공성 물질인 스펀지는 유연하고 신축성이 있으며 내부에 빈 공간을 포함하고 있기 때문에 많은 관심을 받고 있는 소재이다. 특히, 스펀지 내부의 빈 공간을 활용하여 원하는 액체를 함침시켜 oil/water separation, sensor 등에 이용한 연구가 진행되었다. 액체를 효율적으로 함침시키기 위해 액체의 특성에 맞게 스펀지의 젖음 특성을 조절하기도 하였다. 최근에는 wetting properties를 한 방향이 아닌, 두가지 방향으로 조절하려는 연구가 많이 진행되었다. 예를 들면 ~~et al은 wetting properties를 조절하기 위해 azo group을 도입하여 UV에 의해 surface energy가 변화하는 소재를 개발하였다. 또한 @@는 ionic copolymer를 활용하여 pH에 따라 달라지는 surface energy를 갖는 소재를 개발했다.

#2

그러나, stretchable 함과 동시에 wetting properties를 조절한 스펀지를 활용한 기존 연구들 에서는 특정한 trigger가 작동해야만 wetting을 변화시킬 수 있었다. 이는 switch 역할도 하지만 특정 조건이 의도치 않게 발동된다면 원하지 않는 wetting으로 변화될 수 있다는 가능성을 내포하고 있다. 이러한 이유로 인해 stretchable 하면서 wetting properties의 조절 가능성을 지님과 동시에 영구적인 surface 특성을 갖는 소재의 개발이 필요하게 되었다.

#3

따라서 본 연구에서는, stretchable 함과 동시에 surface energy를 목적에 맞게 (on-demand)조절할 수 있으며, 조절된 wetting properties를 영구적으로 지닐 수 있는 polymer matrix for sponge를 개발하고자 하였다. ~~이러한 형태의 연구는 아직 이루어지지 않았다.~~ 또한 polymer matrix 자체의 젖음 특성을 조절하기 때문에 영구적으로 안정적인 wetting 특성을 확보할 수 있다. 본 소재를 스펀지 matrix로 응용하게 되면 기존 연구에 비해 개선된 기계적 물성을 지니게 된다. 예를 들면, PDMS 스펀지에 비해 @@배 가량 잘 늘어나며 적은 stress 값을 지니게 되며, PU sponge에 대비하여 %%배 가량 잘 늘어난다. 또한 기존 wetting 조절 방식에 비해 안정적이고 지속적인 surface energy 값을 가지는 결과를 보였다.

#4

젖음 특성이 조절된 스펀지의 장점을 증명하기 위해 물/기름 분리 소재와 strain sensor로 두가지의 응용을 수행하고, 평가하였다. 낮은 표면에너지의 스펀지는 높은 물 접촉각을 가지며 오일을 흡수하기 때문에 오일을 담지하는 물/기름 분리에 응용되었다. 높은 표면에너지의 스펀지는 액체 금속을 흡수하기에 유리하기 때문에 전도성을 띠는 액체금속 담지체로 사용되어 tactile sensor로 사용될 수 있었다.

The porous materials composed with polymeric 3D skeleton and diverse pores hold the great public attentions due to the flexibility, stretchability and empty space inside of sponges. Especially, many studies about oil/water separation, sensor and hydrogel by absorbing liquids to the inside of sponges, the pores, were conducted. For effective absorbing of targeted liquids, some researches adjusted the wetting properties of sponges. For instance, ~~ explored of

그러나 stretchable한 고분자 스펀지를 만든 기존 연구들 에서는 특정 조건이 작용해야만 원하는 wetting 특성을 얻을 수 있었다. 이는 switch 작용을 함과 동시에, 특정 조건이 발동된다면 원하지 않는 wetting으로 변화할 수 있다는 가능성을 내포하고 있다. 게다가, 기존에는 stretchable 함과 동시에 원하는 wetting properties를 영구적으로 갖기 위해 sponge matrix를 만든 연구는 아직 이루어지지 않았다.

Here, 우리는 위와 같은 특성을 갖는 스펀지 matrix용 신물질을 제안하였다. 본 물질은 잘 늘어나고, 투명하며 hydrophilic 또는 hydrophobic moiety를 쉽게 도입할 수 있어서 wettability를 원하는 정도로(on-demand) 영구적이게 조절 가능하다. 본 소재를 스펀지 matrix로 응용하게 되면 기존 연구에 비해 개선된 기계적 물성을 지니게 된다. 예를 들면, PDMS 스펀지에 비해 @@배 가량 잘 늘어나며 적은 stress 값을 지닌다.

**Result and Discussion**

Figure 1a shows chemical structure of crosslinked-poly(acrylate) and Figure 1b exhibits the schemes of the ingredient chemical materials, shortly. For well-knit crosslinked structure, ethyl acrylate (EA) and poly(ethylene glycol) dimethacrylate (PEGDMA) were mainly used as the monomer and crosslinker, respectively. Additionally, we employed 2-hydroxyethyl acrylate (HEA) and 2,2,3,4,4,4-hexafluorobutyl acrylate (HFBA) for obtaining the adjustable surface properties. 처음으로, Figure 1c에서 볼 수 있듯이, PEA 필름은 매우 잘 늘어나는 특성을 가지고 있습니다. PEA 필름이 내부에 가교 역할을 할 수 있는 화학적 결합 뿐만 아니라, 물리적 결합도 존재하기 때문입니다 (Figure 1d). 물리적/화학적 결합들로 인해 견고해진 고분자의 구조는 필름을 늘렸을 때 쉽게 끊어지지 않아 잘 늘어날 수 있으며, 필름이 원래 형태로 돌아올 수 있는 탄성력을 부여하게 됩니다. 특히, 이러한 기계적 물성은 가교제의 함량에 따라 달라지는 결과를 보였습니다 (Figure 1e, f). 자세하게 말하자면, Figure 1e에서 나타난 strain-stress curve에서는 가교제의 함량이 증가할수록 elongation at break(%)가 점차 감소하는 것을 확인할 수 있습니다 (수치화된 값은 supporting에). 뿐만 아니라 Figure 1f에서 알 수 있듯이 가교제 함량이 증가할수록 영탄성률이 증가하였습니다. 이들의 관계는 우상향 1차함수 그래프로 나타낼 수 있으며, 자세한 정보는 그래프 내부에 있습니다. 이러한 현상이 나타나는 이유는 가교제의 양에 따라 PEA의 가교 site의 양 또한 달라지기 때문입니다. Figure 1g에서는 가교제의 함량에 따라 gel content와 swelling rate를 확인할 수 있습니다. 가교제의 함량이 증가할수록 gel content는 증가하는데 반해, swelling rate는 감소하는 것을 알 수 있습니다. 이는 가교 site가 점차 증가하면서 더욱 촘촘한 구조를 형성하게 되어 강한 용매에도 잘 용해되지 않을 뿐더러, 단단한 구조를 지니고 있기 때문에 용매에도 swelling이 적게 됩니다. 우리는 이러한 점들을 고려하여, saturation 되는 지점인 PEGDMA 7%의 함량을 선정했습니다. 다음으로, wetting properties가 조절된 acrylate 필름에 대해 investigate?를 진행했습니다. Figure 1h에서 볼 수 있듯이, hydrophilic moiety인 -OH를 도입한 film은 높은 표면 에너지를 지니기 때문에 물 분자와 고분자 사슬 간의 interaction이 증가하게 됩니다. 이와 반대로, fluoroalkyl chain이 도입된 film은 hydrophobic moiety로 인해 감소된 표면 에너지를 지니게 됩니다. 이로 인해 물 분자와의 interaction은 감소하는 대신, hexadecane과의 interaction이 증가하는 거동을 보입니다. 각 wetting adjustable moiety의 함량을 다르게 하여 contact angle과 surface energy를 측정한 값을 Figure 1i에 나타냈습니다. HEA의 함량이 증가할수록 물 접촉각은 점차 감소하여, 30wt% 함량 이상부터는 물을 흡수하였습니다. 이를 바탕으로 표면 자유 에너지를 계산하면 물의 표면장력과 유사한 72mN/m의 값을 얻을 수 있습니다. 이와 반대로, HFBA의 함량이 증가하게 되면 물 접촉각은 점차 증가하며, 30wt% 이상부터는 hexadecane의 접촉각이 증가하는 것을 알 수 있습니다. 이는 HFBA 30wt% 함량 이상부터 hexadecane보다 표면에너지가 감소하기 때문에 나타나는 결과입니다.