

## 소프트 콘택트렌즈용 개질 PHEMA 하이드로젤의 제조 및 물성 연구

서은선\*, 김유나, 정재원, 김희연<sup>1</sup>, 박혜진<sup>1</sup>, 엄도현<sup>2</sup>, 이채은<sup>2</sup>, 허양일<sup>†</sup>  
 전남대학교, <sup>1</sup>경신여자고등학교, <sup>2</sup>조선대학교여자고등학교  
 (amorfati0025@naver.com\*)

### Fabrication and Properties of modified Hydrogels based on PHEMA for soft contact lens

Eunsun Seo\*, Yuna Kim, Jaewon Jeong, Heeyeon Kim<sup>1</sup>, Hyejin Park<sup>1</sup>, Dohyeon Um<sup>2</sup>, Cha Eun Lee<sup>2</sup>,  
 Yang-il Huh<sup>†</sup>  
 Chonnam Univ., GyunShin girl highschool<sup>1</sup>, Chosun Univ. girl highschool<sup>2</sup>  
 (amorfati0025@naver.com\*)

## I. 서론

### 1. 연구 목적 및 필요성

안구의 전면, 각막에 밀착하여 시력을 교정하며 눈의 치료에 도움을 주거나 미용의 목적으로 사용되는 안의용 렌즈는 단순한 시력보정을 위한 광학적인 특성뿐 아니라 렌즈의 착용감을 향상시키는 인체에 미치는 생리적 특성이 렌즈의 중요한 특성으로 대두되고 있다. 따라서 착용감을 향상시키는 함수성 및 습윤성, 눈의 피로를 줄이는 산소투과성, 등에 관련된 연구가 활발하게 진행되고 있다.

19세기 말 유리를 이용하여 만들어진 콘택트렌즈는 20세기 중반에 이르러 PMMA(polymethyl methacrylate)를 이용하여 만들어 지기 시작하였다. 하지만 안의료용 렌즈의 특성상 안전성, 생체적합성, 높은 가시광선 투과율과 굴절률, 각막의 부종을 줄이기 위한 산소투과성과 콘택트렌즈의 착용감을 향상시키는 습윤성 및 함수율 등이 필요하지만 PMMA는 습윤성이 좋지 않고, 함수율이 매우 낮으며, 산소투과성이 좋지 않는 단점들을 가지고 있었다. 이를 보완하기 위해 친수성 콘택트렌즈 재질인 HEMA(2-hydroxyethylmethacrylate)가 개발되면서 렌즈 착용감의 개선과 PMMA보다 높은 산소투과성으로 각광을 받았다.

소프트콘택트렌즈의 기본 재질인 poly(HEMA)는 현재에도 가장 많이 사용되어지는 하이드로젤 콘택트렌즈 재질이다. poly(HEMA)는 가교제에 의해 가교된 3차원 망상구조의 친수성 고분자이고, 이는 적절한 안정성과 기계적 강도를 갖는다. 또한 수화된 poly(HEMA)는 37%의 함수율을 나타내는 것인데 이것은 콘택트렌즈가 공기에 접촉하여 공기 중의 산소를 용해되게 하기 때문이다. 이러한 특징들 때문에 그전의 PMMA 하드 렌즈는 PHEMA 소프트 콘택트렌즈로 대체되었다. poly(HEMA)는 함수 평형을 높이고, 기계적 특성과 산소 투과성을 증가시키는 이점이 있고, 이와 같은 하이드로젤을 콘택트렌즈에 적용하기 위해서는 생체적합성, 무독성, 기계적강도, 투명도, 굴절률, 표면친수성, 산소투과성, 연속 착용성 등의 요구조건이 만족되어야 한다.

최근 주목받고 있는 콘택트렌즈의 특성으로 착용감과 습윤성 및 산소투과성 등이 있다. 특히, 콘택트렌즈의 습윤성은 콘택트렌즈 사용자들의 건조함과 착용감과 관련하여 여러 물리적 특성 중 매우 중요한 특성이고 이를 개선시키기 위해 가교제와 친수성 증강제의 함량 변화에 따른 물성변화를 연구하는 등의 많은 연구가 필요한 상황이다. 또한 우리가 실험에서 친수성 증강제로 사용할 NVP(Vinyl pyrrolidone)는 락탐고리를 포함하는 구조로 생체조직과 비슷하며, 많은 물을 흡수하므로 PHEMA와 같이 대표적인 함수성 콘택트렌즈의 재료이다. 재질의 강도가 다소 떨어지며 변형 변색의 우려와 단백질 흡착이 잘되는 등의 결점이 있지만 고함수율을 갖는 재료로써 적당한 반응 조건으로 50~80%에 이르는 넓은 범위의 함수율을 가질 수 있으며, 산소투과도도 높다.

따라서, 본 연구에서는 소프트콘택트렌즈를 제조하기 위해 가교제 DVB과 친수성 증강제 NVP의 함량 변화에 따라 poly(HEMA) 하이드로젤을 합성하고, poly(HEMA)를 기반으로 하여 콘택트렌즈의 개질을 통해 표면 친수성을 향상시키고자 하였다.

## II. 실험 및 방법

### 1. 시약 및 재료

본 연구에 사용된 주요 시약 및 재료는 표 1에 정리하였다. HEMA는 Hydroquinone methyl ether을 제거하기 위하여 Rotary evaporator 사용하여 정제 후 사용하였다. 이외의 모든 시료들은 별도의 처리 없이 그대로 사용하였다. 사용한 모노머는 HEMA(2-hydroxyethyl methacrylate), NVP(n-vinyl-pyrrolidone)를 사용하였다. 가교제는 DVB(divinyl benzene)을 사용하였고, 중합과정에 들어가는 개시제로는 열중합 개시제인 AIBN(azobisisobutyronitrile)을 사용하였다.

Table 1. Materials

Designation	Description	Source
HEMA	2-Hydroxyethyl Methacrylate	Junsei
DVB	Divinyl benzene	Sigma aldrich
AIBN	Azobis isobutyronitrile	Junsei
NVP	1-Vinyl-2-pyrrolidinone	BASF
NaCl	Sodium chloride	

### 2. 실험방법

가. 하이드로젤 소프트 콘택트렌즈 제조

하이드로젤 소프트 콘택트렌즈를 제조하는 조성은 Table 2에 나타내었다. Table 2에 나타난 조성비들이 350rpm으로 약 2시간동안 충분히 녹을 때 까지 교반해준다. 그 후 용액을 콘택트렌즈 몰드에 0.05~0.1ml 정도 각각 주입한 후 몰드의 뚜껑을 닫는다. 90℃오븐에서 2시간동안 라디칼 중합시킨다. 중합된 렌즈 몰드는 24시간동안 증류수에 침지시킨다. 수화된 렌즈는 몰드에서 분리되어 0.9% NaCl용액에 보관된다.

표 2. Composite of pHEMA hydrogel

Sample Code	(unit : mol%)			
	HEMA	DVB	NVP	AIBN
D1	99.3	0.5		
D2	98.8	1.0		
D3	98.3	1.5		
D4	91.8	2.0		
N1	99.3		0	0.2
N2	94.3		5	
N3	89.3	0.5	10	
N4	84.3		15	
N5	79.3		20	

### 3. 측정

#### 가. 적외선 스펙트럼 (FT-IR spectra)

적외선 흡수 분광법은 물질마다 고유한 흡광도를 가지는 작용기를 적외선 영역에서 흡수를 측정하여 분석하는 장치이다. 대부분의 유기 작용기는 특정 파장에서 흡수를 나타내므로 다양한 유기 작용기의 정성 및 정량 분석이 가능하다. 본 연구에서는 반응물의 화학적 결합을 확인하기 위해 FT-IR (Thermo Scientific Nicolet iS10 FT-IR Spectrometer (AZoNano, UK)를 사용하여 적외선 분광 스펙트럼을 측정하였다.

#### 나. 광학적 특성

제조된 하이드로젤 콘택트렌즈가 자외부와 가시부 영역(190nm~800nm)에서 전자기파를 얼마나 투과시키는지 측정하기 위해 가공한 렌즈를 수화시킨 다음 렌즈의 물기를 없애고 UV-Vis spectrophotometer를 이용하여 측정하였다.

#### 다. 함수율 측정

제조된 하이드로젤 소프트 콘택트렌즈의 함수율을 다음과 같은 공식에 의하여 측정하였다. 수화된 시료의 무게와 건조된 시료의 무게의 차를 수화된 시료의 무게로 나눈 뒤 백분율로 구한다.

$$\text{Water content}(\%) = \frac{W_{wet} - W_{dry}}{W_{wet}} \times 100$$

$W_{wet}$  : 수화된 샘플의 무게(g)

$W_{dry}$  : 건조된 샘플의 무게(g)

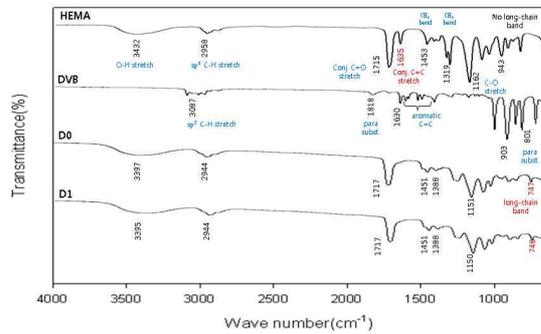
## III. 결과 및 토론

### 1. FTIR

주모노머인 HEMA에 가교제인 DVB를 가교시켜 hydrogel을 제조하였다. HEMA는  $3436\text{cm}^{-1}$ 에서 -OH groups,  $2958\text{cm}^{-1}$ 에서 CH stretching,  $1635\text{cm}^{-1}$ 에서 a vinylic peak,  $1162\text{cm}^{-1}$ 에서 C-O-C stretching를 확인하였다. poly(HEMA) hydrogel(D1)은  $1717\text{cm}^{-1}$ 에서 -COOH의 -C=O stretching,  $1151\text{cm}^{-1}$ 에서 C-O-C stretching vibrations을 확인하였다. 또한  $3500\sim 3800\text{cm}^{-1}$ 에서 -OH groups의 broad band를 확인할 수 있었다. 이에 대한 적외선 스펙트럼을 Figure 1에 나타내었다.

### 2. Light Transmittance

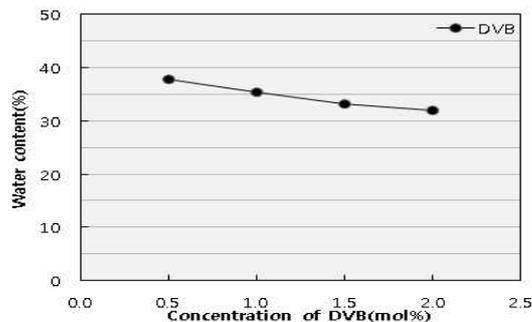
제조한 렌즈를 수화시킨 후 렌즈의 물기를 없애고 200~700 nm 범위에서 측정하였다. 가시광선 영역인 400~800nm 범위에서 각각 제조한 콘택트렌즈의 광투과율은 93~95%의 투과율과 투명한 성질을 나타내며 콘택트렌즈의 기본 성질을 만족시켰다. 농도별로 가시광선 영역에서 투과율은 상이하였다. 일반적으로 85%이상의 투과성만 유지되면 콘택트렌즈의 기능을 할 수 있다라고 사료된다.



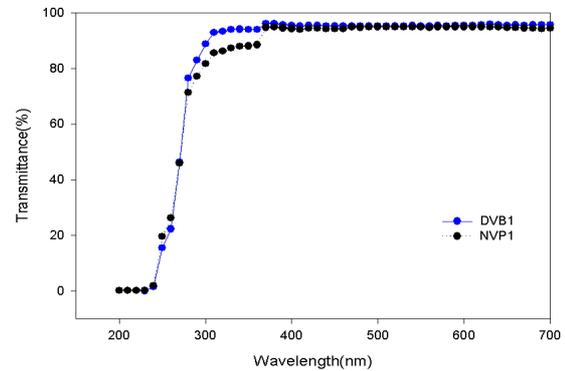
**Figure 1.** FTIR spectra of the HEMA, DVB, and poly(HEMA) hydrogel synthesized with different concentrations of DVB.

### 3. 함수율 측정

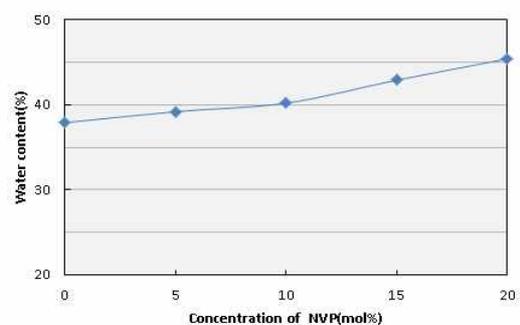
함수율은 소프트콘택트렌즈에서 가장 중요한 단일 성질이다. 가교제의 농도와 NVP의 조성비를 달리하여 함수율을 조절 할 수 있다. 순수 PHEMA의 함수율은 약 37%정도인데 실제로 가교제의 농도가 0.5mol%일 때 37.8%정도로 거의 유사한 것을 알 수 있었다. 또한, 가교제의 농도가 증가할수록 함수율이 38%~31%로 감소하는 경향을 알 수 있었다(Figure 3). 이는 가교제 농도가 높음에 따라 렌즈의 가교도가 증가하여 사슬의 강직도가 더 증가해 사슬 사이에 더 적은 양의 증류수가 들어감을 의미한다. Comonomer인 NVP의 농도가 증가할수록 함수율은 38%~46%로 증가하는 경향을 알 수 있었다(Figure 4). NVP는 렌즈의 함수량을 증가시키기 위한 재료로써 합당하다는 것을 알 수 있었다.



**Figure 3.** Water content of the poly(HEMA) hydrogel synthesized with different concentrations of DVB.



**Figure 2.** Light transmittance of poly(HEMA) hydrogel



**Figure 4.** Water content of the poly(HEMA) hydrogel synthesized with different concentrations of NVP.

## IV. 참고문헌

1. Nogueira, N., Conde, O., Miñones, M., Trillo, J.M., Miñones, J., *J. of Colloid and Interface Sci.* 2012, **385(1)**, 202
2. Amit Kumar, Priyanka Tyagi, Harpal Singh, Yougesh Kumar, Sitanshu S. Lahiri, *J. of Applied Polymer Sci.*, 2012, **126**, 894
3. A.S.Bruce, and S.J.Dain, Int, *Contact Lens Clin.*, 1988, **15**, 276-281