

## 소수성 모노머들을 포함한 콘택트렌즈의 특성에 관한 연구

예기훈 · 김태훈 · 성아영

대불대학교 안경광학과

투고일(2008년 7월 31일), 수정일(2008년 9월 1일), 게재확정일(2008년 9월 10일)

**목적:** 본 연구에서는 HEMA(2-Hydroxyethyl methacrylate)/Silicone 기본 조합에 각각 BMA(Butyl methacrylate)와 MMA(Methyl methacrylate)를 혼합하여 콘택트렌즈의 재료로 사용한 후, 각각의 물리적 특성을 비교하였다. **방법:** 캐스트 몰드 법을 이용하여 각각의 렌즈를 제조 하였으며, 각 시료의 물리적 특성에 대한 평균값을 사용하여 분석 하였다. **결과:** HEMA/silicone/BMA 조합의 경우, 흡수율은 24.69%에서 29.26%, 인장강도는 0.109 kgf에서 0.263 kgf의 분포를 나타내었다. HEMA/silicone/MMA 조합의 경우, 팽윤율은 13.56%에서 14.83%, 흡수율은 25.61%에서 29.33%, 인장강도는 0.107 kgf에서 0.286 kgf의 분포를 나타내었다. **결론:** 두 조합은 HEMA/silicone(0.20%~11.50%)의 기본 조합에서 BMA(5.15%)와 MMA(5.15%)를 일정량 첨가한 것으로 두 경우 모두에서 BMA의 양과 MMA의 양이 상대적으로 감소할수록 팽윤율과 흡수율이 증가하는 경향을 보였다. HEMA/silicone/MMA 조합의 경우, 인장강도는 silicone의 비율이 증가할수록 4-MMA 시료까지는 다소 증가하는 경향을, HEMA/silicone/BMA 조합의 경우, 인장강도는 silicone의 비율이 증가할수록 감소하는 경향을 나타내었다.

**주제어:** 콘택트렌즈, 실리콘, 흡수율, 팽윤율, BMA, MMA

### 서 론

1955년 체코슬로바키아 국립 고분자연구소의 Drahaslay Lim과 Otto Wichterle가 친수성 폴리머 PHEMA(Poly hydroxyethyl methacrylate)를 개발한 이후 흡수율이 좋고 착용감이 좋은 소프트 콘택트렌즈가 1971년 Bausch & Lomb 회사에 의해 미국 F.D.A에 의해 승인을 얻은 후 출시되면서 대중들에게 큰 호응을 얻게 되었다<sup>1</sup>. 그러나 눈에 원활한 산소 공급과 순환에 있어서는 재질적으로나 렌즈의 형태적으로 많은 문제점을 가지고 있었다<sup>2,3</sup>. 이런 문제점은 여러 가지 부작용으로 나타나게 되었다<sup>4,5</sup>. 이런 문제점을 보완 및 극복하기 위해 많은 방법들이 고안되었고, 이는 콘택트렌즈의 재료 개발로 이어졌다. 1973년에 Rynco CAB(Cellulose acetate butyrate)폴리머 재료의 산소 투과성을 이용하여 산소투과성 하드콘택트렌즈(RGP, Rigid gas-permeable lens)를 개발하였고, 1978년에는 Gaylord가 실리콘을 이용하여 산소투과성이 좋은 하드콘택트렌즈(RGP, Rigid gas-permeable lens)를 개발하였다<sup>6-8</sup>. 그러나 실리콘의 가장 큰 특징인 소수성을 갖는 특징은 렌즈의 흡수율을 감소시켜 렌즈 착용감을 좋지 않게 하는 주된 원인이 되었으며, 큰 문제점으로 나타났다. 이후 친

수성 하이드로겔 렌즈의 재질과 중합하여 소수성을 보완할 수 있는 렌즈를 만드는 연구가 많이 진행 되어 착용감과 산소투과성이 모두 좋은 실리콘 하이드로겔 렌즈로 발전되었다. 본 연구에서는 기존의 소프트 콘택트렌즈 재질인 BMA(Butyl methacrylate)와 MMA(methyl methacrylate)의 각각의 조합에 친수성의 아크릴레이트가 포함된 실리콘을 적절한 비율로 공중합하였다. 얻어진 각각의 시료를 콘택트렌즈에 적용되는 물리적 특성(팽윤율, 흡수율, 광투과율, 인장강도 등)에 알맞은 실험을 통해 각각의 특성을 알아보고, 각각에 대하여 비교하였다.

### 사용 시약 및 실험방법

실험에 사용된 시약은 JUNSEI사의 HEMA(2-Hydroxyethyl methacrylate), BMA(Butyl methacrylate), Crown Guaranteed Reagents사의 MMA(Methyl methacrylate) 그리고 silicone polyether acrylate를 사용하였다. Monomer 간의 결합이 잘 이루어지도록 가교제(Cross linking agent)로 ACROS사의 EGDMA(Ethylene glycol dimethacrylate)를, 개시제(Initiator)로는 JUNSEI사의 AIBN(Azobis 2-methyl propionitrile)을 사용하였다. Monomer의 중합을 위

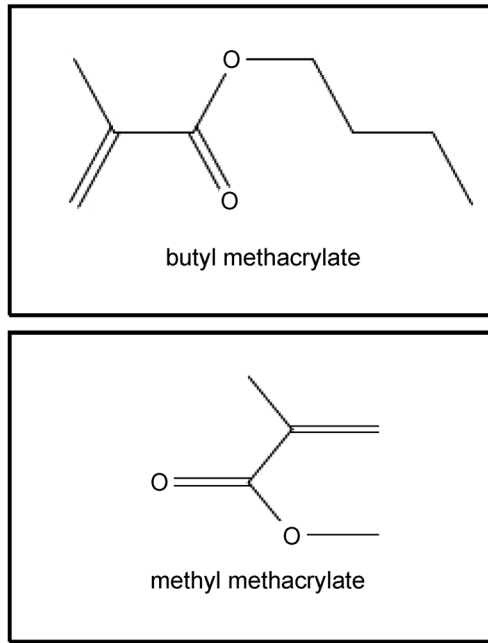


Fig. 1. Structure of monomers.

해 건조기는 세종과학의 SJ-201D, 건조된 직경과 함수된 직경의 측정을 위해 Hand magnifier와 Projection magnifier를 사용하였다. 광투과율 측정에는 TOPCON의 TM<sub>2</sub>를, 인장강도 측정에는 AIKOH ENGINEERING사의 MODEL-RX Series를 사용하여 측정하였다.

실험에 사용한 콘택트렌즈 제조 방법으로 캐스트 몰드법(cast mould)을 사용하여 렌즈를 제조하였으며, 배합한 재료들을 공중합 하여 몰드에 주입시키고 70°C 에서 40분간 유지하였으며, 80°C에서 40분간 가열하였다. 마지막으로 100°C에서 40분간 열처리 공정을 거친 후 만들어진 콘택트렌즈 시료의 건조된 무게와 길이를 측정하였다. 각각의 콘택트렌즈 시료는 0.9%의 염화나트륨(NaCl) 생리 식염수에 24시간 함수시킨 후 팽윤율(swelling ratio), 함수율(water content), 광투과율(optical transmittance), 인장강도(ultimate strength) 등의 물리적 특성을 평가하였다. 각 조합별로 시료는 최소 5개의 시료를 사용하였으며, 오차 값이 큰 시료는 제외시키고 평균값을 비교 분석하였다. 광투과율은 TOPCON TM<sub>2</sub> 가시광선 영역(380 nm~720 nm)을 측정하였고 총 3번 반복 측정하여 측정의 정확도를 높였다. 인장강도는 인장강도를 0에서 30초의 시간 동안 0.03~2.00 kgf의 힘이 가해졌을 때 렌즈의 파괴가 일어나는 최고치를 인장강도 값으로 나타내었다.

**결과 및 고찰**

**1. BMA 포함 시료의 중합 결과**

실리콘 양을 0.20%~11.50%까지 변화시킨 조합에 BMA

Table 1. Composition percents of samples (BMA composition) unit: %

No.	HEMA	EGDMA	BMA	Silicone
1-BMA	94.15	0.52	5.14	0.19
2-BMA	93.88	0.52	5.13	0.47
3-BMA	93.57	0.52	5.11	0.80
4-BMA	92.96	0.51	5.08	1.45
5-BMA	91.72	0.51	5.01	2.77
6-BMA	88.06	0.49	4.81	6.64
7-BMA	85.05	0.47	4.64	9.83

Table 2. Physical properties of each sample (BMA composition)

No.	Swelling ratio (%)	Water content (%)	Optical transmittance (visible) (%)	Ultimate strength (kgf)
1-BMA	13.31	24.69	89.60	0.263
2-BMA	13.56	25.81	88.40	0.246
3-BMA	13.98	26.82	87.20	0.226
4-BMA	14.15	27.15	85.80	0.175
5-BMA	14.24	27.87	85.40	0.202
6-BMA	14.83	29.12	81.40	0.108
7-BMA	14.83	29.26	65.30	0.109

양을 일정량 첨가하여 나타나는 물리적 특성을 알아보기 위한 실험으로 사용된 각각의 monomer 배합비를 Table 1에 나타내었다. 또한 각각의 시료를 1-B~7-B로 분류하여 명명하였다.

중합하여 얻어진 각 시료의 물성의 평균값을 Table 2에 나타내었다. 팽윤율은 1-B에서 13.31%로 가장 낮은 값을, 6-B와 7-B에서 각각 14.83%로 가장 높은 값을 나타내었다. 함수율에서는 1-B에서 24.69%로 가장 낮은, 7-B에서 29.26%로 가장 높은 값을 나타내었다. 팽윤율과 함수율은 BMA의 양이 감소함에 따라 모두 증가하는 경향을 보였다. 인장강도의 경우, 7-B에서 가장 낮은 0.109 kgf를, 1-B에서 가장 높은 0.263 kgf의 인장강도를 나타내었다.

**2. MMA 포함 시료의 중합 결과**

Silicone 양을 0.20%~11.50%까지 변화시킨 조합에 MMA양을 일정량 첨가 하게 되었을 때 나타나는 물리적 특성을 알아보기 위한 실험으로 각각의 단위체 배합 비를 Table 3에 나타내었다. 또한 각각의 시료를 1-MMA~7-MMA로 분류하여 명명하였다.

중합하여 얻어진 각 시료의 물성을 평균한 결과 값을 Table 4에 나타내었다. 팽윤율은 1-MMA에서 13.56%로 가장 낮게, 6-MMA와 7-MMA에서 각각 14.83%의 값으로

Table 3. Composition percents of samples (MMA composition) unit: %

No.	HEMA	EGDMA	MMA	Silicone
1-MMA	94.15	0.52	5.14	0.19
2-MMA	93.88	0.52	5.13	0.47
3-MMA	93.57	0.52	5.11	0.80
4-MMA	92.96	0.51	5.08	1.45
5-MMA	91.72	0.51	5.01	2.77
6-MMA	88.06	0.49	4.81	6.64
7-MMA	85.05	0.47	4.64	9.83

Table 4. Physical properties of samples (MMA composition)

No.	Swelling ratio (%)	Water content (%)	Optical transmittance (visible) (%)	Ultimate strength (kgf)
1-MMA	13.56	25.61	88.80	0.200
2-MMA	14.24	26.81	85.00	0.231
3-MMA	14.41	27.24	84.60	0.225
4-MMA	14.49	27.87	87.20	0.286
5-MMA	14.66	28.26	86.60	0.258
6-MMA	14.83	29.33	83.00	0.143
7-MMA	14.83	29.20	67.40	0.107

가장 높은 팽윤율을 나타내었다. 함수율에서는 1-MMA에서 25.61%로 가장 낮은 함수율을, 6-MMA에서 29.33%로 가장 높은 함수율을 나타내었다.

팽윤율과 함수율은 MMA의 양이 감소함에 따라 모두 증가하는 경향을 보였다.

광투과율의 경우, 67.40%에서 88.80%의 분포를 나타내었다. 인장강도에서는 7-MMA에서 가장 낮은 0.107 kgf를, 4-MMA에서 가장 높은 0.286 kgf의 인장강도를 나타내었다.

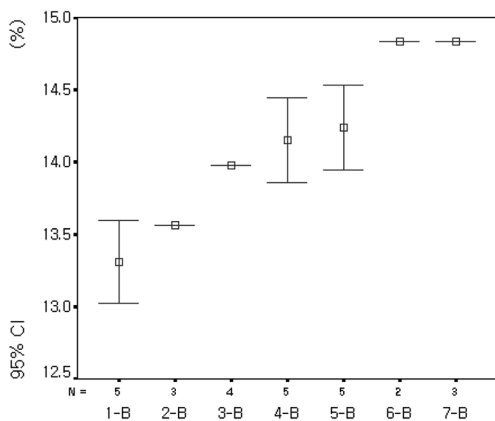


Fig. 2. Swelling ratio of BMA samples.

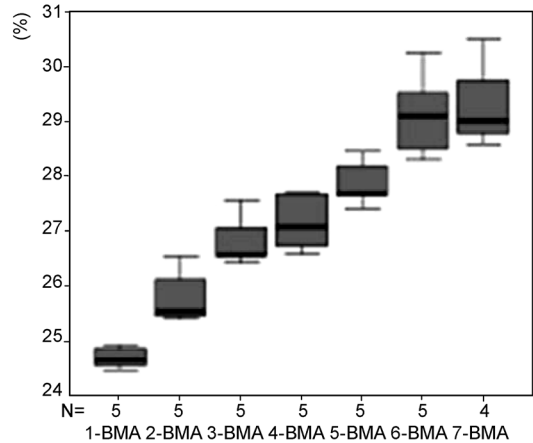


Fig. 3. Water content of BMA samples.

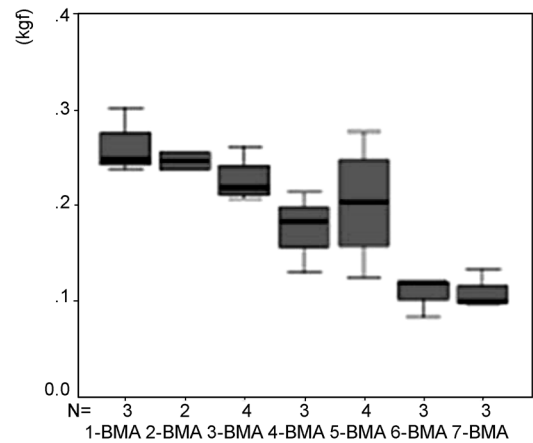


Fig. 4. Ultimate strength of BMA samples.

실험에서 나타난 팽윤율 및 함수율의 결과를 Fig. 2과 Fig. 3에 나타내었다. 팽윤율은 점점 증가하여 6-B와 7-B에서 일정하게 유지되는 경향을 나타내었으며, 함수율 또한 비슷한 경향을 나타내었다.

인장강도의 경우 점점 감소하는 경향을 볼 수 있었다 (Fig. 4).

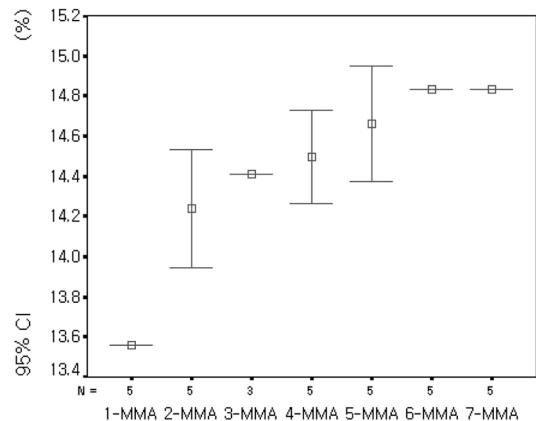


Fig. 5. Swelling ratio of MMA samples.

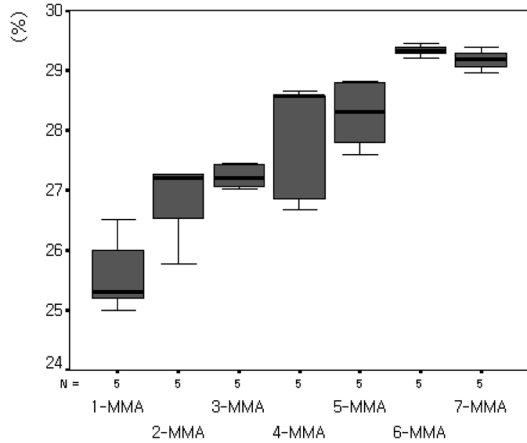


Fig. 6. Water content of MMA samples.

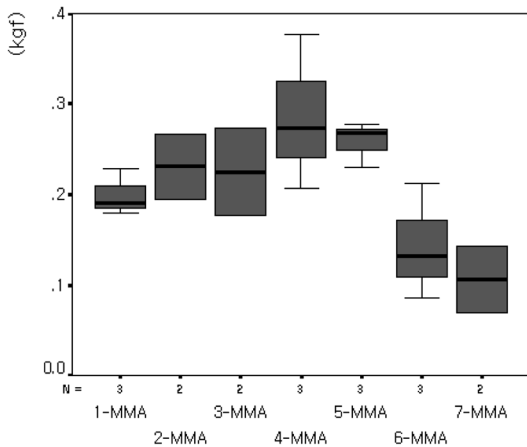


Fig. 7. Ultimate strength of MMA samples.

팽윤율 및 함수율의 결과를 Fig. 5과 Fig. 6에 나타내었다. 팽윤율은 점점 증가하여 경향을 나타내다가 6-MMA와 7-MMA부터 일정하게 유지되었다. 함수율 역시 증가하는 경향을 나타낸 후 6-MMA와 7-MMA부터 일정하게 유지 되는 경향을 나타내었다.

인장강도의 결과를 Fig. 4에 나타내었다. 인장강도의 경우는 4-MMA까지는 증가하는 경향을, 6-MMA부터는 감소하는 경향을 나타내었다(Fig. 7).

**3. BMA(Butyl methacrylate)와 MMA(Methyl methacrylate) monomer 조합에 대한 각각의 물성 비교**

HEMA/silicone 기본 조합에 BMA와 MMA를 일정량 첨가한 경우 나타나는 물리적 특성을 비교 분석하였다. 김 등<sup>9</sup>의 연구에 의하면 BMA가 팽윤율 감소에 영향을 준 것으로 연구 되었으며, 본 연구에서도 BMA의 양이 상대적으로 적어짐에 따라 팽윤율은 다소 증가하는 경향을 나타내었다. 이는 실리콘의 증가에 따라 두 조합에서 비슷한 경향을 나타내었다(Fig. 8).

두 조합에 대한 각각의 함수율 변화를 Fig. 9에 나타내

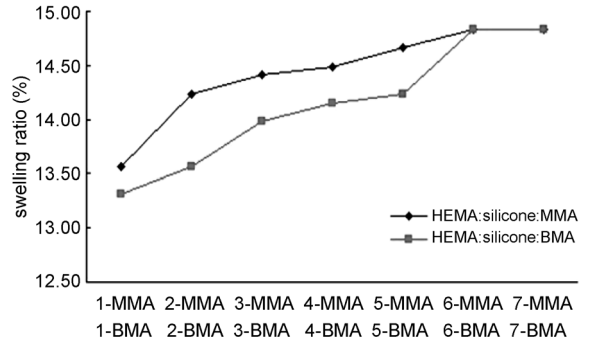


Fig. 8. The change of swelling ratio with silicone including BMA and MMA.

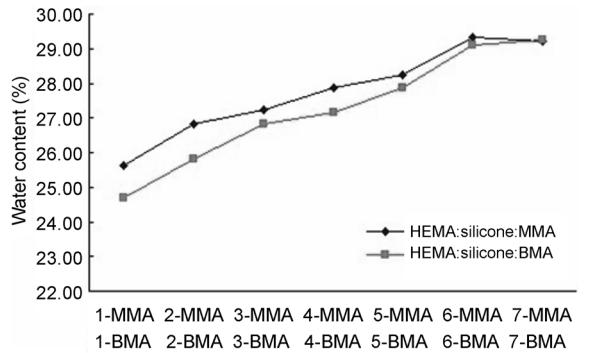


Fig. 9. The change of water content with silicone including BMA and MMA.

었으며, 김 등<sup>10</sup>의 연구에 의하면 MMA가 함수율 감소에 영향을 준 것으로 연구 되었으며, 본 연구에서도 MMA의 양이 상대적으로 적어짐에 따라 함수율은 다소 증가하는 경향을 나타내었다. MMA와 BMA를 첨가한 조합 모두에서 그 양이 상대적으로 감소할수록 함수율은 증가하는 경향을 보였다. MMA 조합에서 약간 함수율이 더 높은 것으로 나타났다.

인장강도를 비교한 결과, 두 조합 모두에서 실리콘의 함량이 증가함에 따라 인장강도는 감소하는 경향을 나타냈

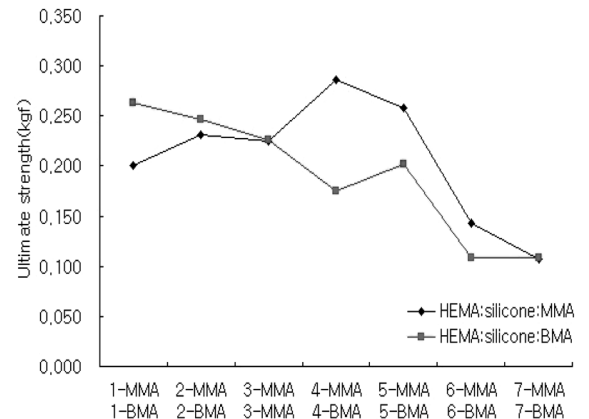


Fig. 10. The change of Ultimate strength with silicone including BMA and MMA.

다. 4-MMA와 5-MMA의 조합을 제외하고 전체적으로 감소하는 경향을 나타냈고 MMA를 첨가한 조합에서 인장강도가 더 좋은 것으로 나타났다(Fig. 10).

## 결 론

### 1. BMA 포함 시료의 중합

상대적으로 BMA양이 감소할수록 팽윤율과 흡수율은 증가하는 경향을 보였다. 팽윤율은 13.31%에서 14.83%, 흡수율은 24.69%에서 29.26%의 분포로 나타났다. 광투과율은 65.30%에서 89.60%, 인장강도는 0.108 kgf에서 0.263 kgf로 나타났다.

### 2. MMA 포함 시료의 중합

상대적으로 MMA양이 감소할수록 팽윤율과 흡수율은 증가하는 경향을 보였다. 팽윤율은 13.56%에서 14.83%, 흡수율은 25.61%에서 29.33%의 분포로 나타났다. 광투과율은 67.40%에서 88.80%, 인장강도는 0.107 kgf에서 0.286 kgf로 나타났다.

### 3. BMA와 MMA 포함 시료의 물성 비교

HEMA/silicone/BMA와 HEMA/silicone/MMA 조합의 물리적 특성을 비교하면, HEMA/silicone의 기본 조합에서 BMA와 MMA를 일정량 첨가한 것으로 두 경우 모두 BMA의 양과 MMA의 양이 상대적으로 감소할수록 팽윤율과 흡수율이 증가하는 경향을 보였다. 인장강도의 경우 전체적으로 두 조합 모두 비슷한 결과를 나타내었으며, 실리콘의 비율이 증가할수록 인장강도는 감소하는 경향을 나타내었다. 이와 같이 본 연구에서 Methacrylate 계의 monomer인 BMA와 MMA는 실리콘과의 공중합을 통해

얻어진 결과의 물리적 특성은 전체적으로 비슷한 경향의 특성을 나타내었지만 내구성 면에서는 BMA보다는 MMA에서 조금 더 안정된 내구성을, 흡수율과 팽윤율에서도 MMA가 BMA보다 다소 좋은 물성을 나타내었다.

## 참고문헌

1. Theodore Grosvenor, "Primary Care Optometry", Elsevier Science Health Science divp, p. 392(2001).
2. Larke J. R., Parrish S. T., and Wigham C. G., "Apparent human corneal oxygen uptake rate", Am. J Optom. Physiol. Opt., 58(10):803-805(1981).
3. Fitzgerald J. and Efron N., "Oxygen uptake profile of the human cornea", Clin. Exp. Optom., 69(4):149-52(1986).
4. Papas E. B., Vajdic C. M., Austen R., and Holden B. A., "High oxygen-transmissibility soft contact lenses do not induce limbal hyperaemia", Curr. Eye. Res., 16(9):942-948(1997).
5. Efron N. and Morgan P., "Hydrogel contact lens dehydration and oxygen transmissibility", CLAO J., 25(3):148-151(1999).
6. Gaylod N., "Oxygen-permeable contact lens composition, methods and article of manufacture", US Patent 3808178(1974).
7. Jones L., Modern contact lens materials, "A clinical performance update", Contact Lens Spectrum, 17(9):24-35(2002).
8. Tighe B., "Soft lens materials. in Contact Lens Practice", N. Efron, Editor. Oxford, Butterworth-Heinemann, pp. 71-84(2002).
9. 김태훈, 예기훈, 권영석, 성아영, "AA(Acrylic acid)와 BMA(Butyl methacrylate)를 이용한 실리콘 콘택트렌즈에 관한 연구", 한국안광학회지, 3(11):259-265(2006).
10. 김태훈, 예기훈, 권영석, 성아영, "Silicone을 이용한 콘택트렌즈 재료의 중합", 한국안광학회지, 11(2):143-149(2006).

## Study on Characterization of Contact Lens with Hydrophobic Monomers

Ki-Hun Ye, Tae-hun Kim and A-Young Sung

Department of Ophthalmic Optics Daebul University

(Received July 31, 2008: Revised September 1, 2008: Accepted September 10, 2008)

**Purpose:** In this study, we compared the physical properties of the compositions that were mixed with basic materials of HEMA (2-Hydroxyethyl methacrylate)/Silicone and BMA (Butyl methacrylate), MMA (Methyl methacrylate) by making the silicone contact lens. **Method:** Each sample of contact lenses was fabricated by cast mould method. We analyzed results by using average values of physical property of each sample. **Results:** In the composition of HEMA/Silicone/BMA, water contents of samples showed the value from 24.69% to 29.26%. Ultimate strength of samples showed the value from 0.109 kgf to 0.263 kgf. In the composition of HEMA/Silicone/MMA, swelling ratio of samples showed the value from 13.56% to 14.83%. Water contents of samples showed the value from 25.61% to 29.33%. Ultimate strength of samples showed the value from 0.107 kgf to 0.286 kgf. **Conclusions:** The compositions of percents of silicone were ranged from 0.20% to 11.50% and the composition percent of BMA and MMA was 5.15% in total. Swelling ratio and water contents increased with decreasing of BMA (Butyl methacrylate) and MMA (Methyl methacrylate) percent. In the composition of HEMA/Silicone/MMA, the values of ultimate strength increased with increasing of silicone percent to 4-MMA sample. In the composition of HEMA/Silicone/BMA, the values of ultimate strength decreased with increasing of silicone percent.

**Key words:** contact lens, silicone, water content, swelling ratio, BMA (Butyl methacrylate), MMA (Methyl methacrylate)