

전자빔조사에 의한 HEMA의 중합과 소프트콘택트렌즈 제조

황광하¹, 신중혁², 성유진¹, 정근승¹, 전 진^{1,*}

¹동신대학교 안경광학과, 나주 520-714

²한국원자력연구원 방사선기기연구부, 대전 305-600

투고일(2012년 4월 27일), 수정일(2012년 6월 12일), 게재확정일(2012년 6월 16일)

목적: 전자빔(electron beam)을 이용한 HEMA(2-hydroxyethyl methacrylate)의 중합과정에 대한 최적의 전자빔조사(irradiation) 조건을 살펴보고, 전자빔과 일반적인 열중합 방법에 의해 제조된 콘택트렌즈의 물리적 특성을 각각 비교함으로써 콘택트렌즈 제조에 전자빔조사 방법의 활용가능성을 알아보고자 한다. **방법:** 중합에 사용된 모노머(monomer)나 첨가제의 구성비 그리고 전자빔흡수선량(0~120 kGy)에 따라 HEMA의 중합정도를 관찰하여 전자빔조사(irradiation)에 의한 중합여부와 최적의 중합조건을 제시하였다. 동일한 반응물 구성비에 대해 전자빔과 열중합의 두 가지 다른 중합방법을 이용하여 고분자를 합성하였다. 각각의 고분자로부터 제조된 소프트콘택트렌즈에 대해 흡수율, 산소전달률(Dk/t), 광투과율 등의 물리화학적 특성을 FT-IR 결과를 이용하여 비교 분석하였다. **결과:** 전자빔조사선량(0~120 kGy)에 따라 살펴본 HEMA의 중합률은 100 kGy 이상에서 99% 이상으로 나타났으며, 사용된 모노머의 구성비나 광개시제와 가교제 등의 첨가에 무관하게 높은 중합률을 보였다. 전자빔 조사에 의해 제조된 렌즈의 흡수율은 열중합 방법에 의해 제작된 렌즈에 비해 10% 이상 높게 나타났다. 산소전달률(Dk/t)도 흡수율과 마찬가지로 전자빔조사방법에 의해 제조된 렌즈에서 더 높게 나타났으며, 순수한 HEMA의 경우는 약 2배 정도 높은 값을 보였다. FT-IR 분석결과, 전자빔 조사방법에 의해 제조한 렌즈에서 친수성 증가와 관계되는 OH group의 농도가 증가하였고 이에 따른 분자간 수소결합의 농도가 증가함을 확인하였다. 두 가지 다른 중합방법에 의해 제조된 렌즈의 가시광선(380~800 nm) 영역에서 광 투과율은 제조방법과는 상관없이 유사하였으며, 90% 이상의 높은 값을 나타내었다. **결론:** HEMA를 기본으로 구성된 다양한 반응혼합물과 개시제나 가교제의 첨가가 없는 순수한 HEMA에 100kGy 이상의 전자빔을 조사할 경우 중합이 성공적으로 이루어졌다. 또한 순수한 HEMA에 100kGy의 전자빔을 조사하여 중합된 고분자로부터 제조된 콘택트렌즈에서 가장 높은 흡수율과 산소전달률을 나타내어 전자빔조사조건에 따라 물리적특성이 다른 콘택트렌즈의 제조가 가능함을 확인하였다.

주제어: 전자빔, HEMA, 중합, 소프트콘택트렌즈, 흡수율, 산소전달률, 광투과율

서 론

HEMA(2-hydroxyethyl methacrylate)를 이용한 하이드로겔(hydrogel) 폴리머는 높은 친수성과 우수한 광 투과율 등의 특성 때문에 현재 소프트콘택트렌즈 제조에 가장 널리 사용되고 있는 물질 중의 하나이다.^[1-4] 이 하이드로겔 폴리머의 제조는 가교제(cross-linker)와 free radical을 형성하는 개시제 등을 첨가한 후 일정온도에서 일정시간 동안 중합하는 화학적 방법 이른바 열중합방법을 이용한다. 이 중합방법은 개시제와 가교제가 반드시 필요하며, 중합 후 첨가한 물질을 제거하는 공정이 수반되어야 하고 잔류 물질이 있을 경우 렌즈의 기능이 저하되는 원인이 될 수 있다. 따라서 기존의 소프트 콘택트렌즈 제조방법에서 나

타난 단점을 보완하기 위한 새로운 방법이나 제조된 렌즈 표면의 물리 화학적 특성을 변화시킬 수 있는 방법이 제시되고 있다. 최근에는 감마선(γ -ray)이나^[5,6] 전자빔(electron beam)과^[7-10] 같은 방사선 조사를 이용하여 콘택트렌즈 제조용 폴리머를 합성하는 방법이나 제조된 콘택트렌즈에 방사선이나 플라즈마를 처리하여 산소투과율과 흡수율을 증가시키는 방법^[11] 대한 연구가 진행되고 있다. 방사선 조사를 이용하여 폴리머를 합성하는 방법은 개시제와 가교제 등이 불필요할 뿐만 아니라 실온에서 중합이 가능하며 반응시간이 매우 빠르고 멸균 혹은 살균 작용까지도 기대할 수 있다는 장점을 가지고 있다.^[12]

본 연구에서는 전자빔(electron beam)을 이용한 HEMA(2-hydroxyethyl methacrylate)의 중합과정에 대한 최적의

*Corresponding author: Jin Jun, TEL: +82-61-330-3551, E-mail: jinjun@dsu.ac.kr

Table 1. Labeling of the samples on the constituent of reactant monomers and the dose of electron beam

(Unit: g)

Synthesis Type	HEMA	MMA	NVP	EGDMA	AIBN	Sample name
Thermal polymerization (70°C, 3hr.)	20	-	-	0.1	0.06	TS-1
	20	0.15	-	0.1	0.06	TS-2
	20	0.15	0.4	0.1	0.06	TS-3
Electron beam polymerization 2 MeV, 100 kGy	20	-	-	-	-	ES-0
	20	-	-	0.1	-	ES-1
	20	0.15	-	0.1	-	ES-2
	20	0.15	0.4	0.1	-	ES-3

전자빔조사(irradiation) 조건을 살펴보고, 소프트콘택트렌즈 제조용 폴리머를 전자빔과 열중합 방법에 의해 합성한 후 콘택트렌즈 사용에 필수적인 물리적 특성을 비교함으로써 전자빔을 이용한 새로운 콘택트렌즈 제조방법에 대한 가능성을 살펴보고자 한다.

재료 및 방법

1. 시약 및 재료

하이드로겔 콘택트렌즈 제조에 사용된 HEMA는 (주)대정 화학의 순도 96% 제품을 사용하였으며, 불순물과 첨가된 중합방지제(hydroquinone)를 제거하기 위하여 N₂분위기에서 진공 증류한 후 사용하였다. 가교제는 EGDMA(ethylene glycol dimethacrylate, 98%, Aldrich), 개시제인 AIBN(azobisisobutyronitrile, 98%, Junsei)를 각각 사용하였다. 친수성과 강도조절을 위해 NVP(N-vinyl-2-pyrrolidone, Junsei)와 MMA(methyl methacrylate, 99%, Daejung)를 사용하였다.

2. 중합반응

중합반응은 동일한 모노머(monomer) 구성비에 대해 가장 일반적으로 사용되는 열중합(thermal polymerization) 방법과 전자빔을 이용하는 전자빔조사(electron beam polymerization) 방법을 이용하였으며, 각각의 방법으로 제조된 렌즈의 물리화학적 특성을 비교하였다.

열중합방법은 각각의 모노머들을 구성비에 따라 30 mL vial에 혼합한 후 6시간 동안 상온에서 교반하였다. 혼합된 모노머는 콘택트렌즈 몰드에 주입하고 공기와의 접촉을 피하기 위하여 진공포장 한 다음 70°C에서 3시간동안 중합하였다.

전자빔 조사에 의한 중합반응은 열중합방법에서와 동일한 모노머 구성비를 유지하였다. 사용된 전자빔은 ELV-8(0.8~2.5 MeV, EB-Tech, 대한민국), 전자빔 가속기(accelerator)를 이용하였으며, 조사 조건은 0.8, 2 MeV 전자빔 에너지에서 전류(2.9 mA)와 조사 시간을 조절하여 흡수선

량을 결정하였다. 시료에 1회 조사되는 선량은 20 kGy가 되도록 하였으며, 총 조사선량이 20, 40, 60, 80, 100, 120 kGy이 되도록 한 후 선량에 따른 중합률을 살펴보았다. 전자빔조사에 의해 합성된 폴리머는 선반가공을 이용하여 콘택트렌즈를 제조하였다(평균직경: 13 mm, 베이스커브: 7.5, 굴절력 0.0D, 평균두께: 0.1 mm).

각각의 중합방법에서 모노머의 구성비와 전자빔 조사선량에 따라 제조된 시료를 분류하여 Table 1에 나타내었다.

3. 분석

1) 중합률(Degree of polymerization)

전자빔 조사에 의해 중합된 모노머의 중합률 측정은 모노머 혼합물에 일정선량의 전자빔을 조사한 후 생성된 물질에 에탄올과 아세톤을 이용하여 중합되지 않은 모노머를 제거한 다음 50°C 건조기(drying oven)에서 건조한 무게를 이용하였으며, 다음 식에 따라 전자빔 선량에 따른 중합률을 계산하였다.

$$\text{degree of polymerization}(\%) = \frac{W_i}{W_0} \times 100$$

여기서, W_i 는 전자빔에 의해 중합된 모노머의 무게, W_0 는 중합에 사용한 모노머의 무게이다.

2) 함유물(Water content)

제조된 콘택트렌즈의 함유물은 ISO(International Organization for Standardization)에서 제시한 방법에 따라 측정하였다.^[13] 표면의 수분을 제거한 콘택트렌즈 무게(W_i)를 측정하는 다음 수화된 콘택트렌즈를 40°C 건조기에서 48시간 동안 건조하여 그 무게(W_a)를 측정하였다. 콘택트렌즈의 함유율은 아래의 식을 이용하여 계산하였다.

$$\text{Water content}(\%) = \frac{W_i - W_a}{W_i} \times 100$$

3) FT-IR

폴리머의 제조방법(열중합과 전자빔조사 중합)과 모노

머의 구성비 그리고 조사된 전자빔 선량에 따른 콘택트렌즈의 화학적 구조 변화는 FT-IR(Fourier Transform Infrared spectroscopy, Prestige-21, Shimadzu)을 이용하여 살펴보았다. IR 분석을 위한 시료는 중합된 콘택트렌즈를 분쇄한 후 KBr(Aldrich)과 섞어 pellet으로 제작하여 사용하였다.

4) 산소전달률(Oxygen transmissibility(Dk/t))

산소전달률은 ISO에서 제시하는 방법에 따라 측정하였다.^[13] 측정기기는 Rehder Single-Chamber System인 Rehder Development Company의 O₂ Permeometer Model 20IT를 사용하였다. 산소전달률 측정은 시료가 고정된 센서 전체 시스템이 35°C±0.5°C로 유지된 항온기에서 이루어졌으며, O₂ Permeometer 로 측정된 전류 값과 샘플의 중심두께 값을 이용하여 산소전달률 (Dk/t)을 얻었다.

5) 광 투과율(Optical transmittance)

각각의 방법에 의해 제조된 콘택트렌즈의 광학적 특성은 UV-Visible Spectrophotometer(HUMAN, X-ma 6000PC)를 이용하여 200 nm에서 800 nm까지의 파장 범위에서 광투과율을 측정하여 살펴보았다.

결과 및 고찰

1. 중합률(Degree of polymerization)

전자빔조사 선량에 따른 중합률을 살펴보기 위하여 모노머 구성을 달리한 반응물에 2 MeV의 전자빔에너지에서 일정 선량의 전자빔을 조사한 다음 얻어지는 폴리머에 대한 중합률을 측정하여 Fig. 1에 나타내었다. 모노머 구성과는 무관하게 100 kGy 이상의 전자빔 조사선량에서 모두 99% 이상의 중합률을 보였다. 또한, 0.8 MeV의 낮은 전자빔에너지를 이용한 실험에서는 모노머 표면에서만 중

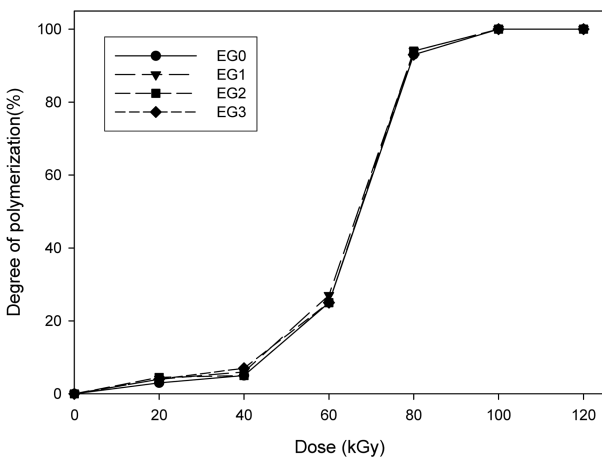


Fig. 1. Degree of polymerization according to the dose of electron beam at the each reactants.

합반응이 진행됨을 관찰할 수 있었다.

HEMA에 흡수된 100 kGy의 전자빔은 100 kJ/kg에 해당하며, 이는 중합반응이 시작되기 위해 해리되어야만 하는 C=C 이중결합의 결합 해리에너지 620 kJ/mol 보다는 크게 낮은 에너지에 해당한다.^[14] 따라서 전자빔 조사에 의한 중합과정이 열중합방법에서 일반적으로 사용되는 개시제의 첨가 없이 실온에서 진행되었기 때문에 전자빔에 의한 중합반응은 공기 중에 있는 증기상태의 물이나 HEMA의 작용기로부터 생성되는 라디칼에 의해 진행되었음을 시사한다. 또한, 상대적으로 낮은 0.8 MeV 에너지에서 관찰된 결과는 전자빔의 투과 깊이가 전자빔에너지에 의존한다는 사실로^[15] 설명 가능하며, 이와 같은 결과 또한 전자빔에 의한 중합과정이 라디칼 반응에 의해 진행됨을 입증한다.

2. 함유율(Water content)

전자빔 조사와 열중합 방법으로 제조된 콘택트렌즈의 함유율을 측정하여 Fig. 2에 나타내었다. 열중합으로 제조된 콘택트렌즈(TS-1, TS-2, TS-3)의 함유율은 약 40% 정도로 나타났으며, 이 값은 HEMA를 주원료로 하여 제조한 콘택트렌즈의 함유율이 약 40% 정도를 가진다는 보고^[4]와 대체로 일치된다. 전자빔 조사에 의해 제조된 콘택트렌즈의 함유율은 전체적으로 열중합에 의해 제조된 것에 비해 10% 이상 증가한 것으로 나타났다. 또한, 가교제와 개시제를 사용하지 않고 순수한 HEMA에 전자빔만을 조사하여 중합한 폴리머를 이용하여 제조한 콘택트렌즈인 ES-0 시료에서 가장 높은 함유율(65%)을 보였다.

ES-0에서 함유율이 가장 높게 나타나는 이유는 가교제로 사용된 EGDMA와 렌즈의 강도유지를 위해 첨가한 MMA가 소수성을 증가시키거나,^[16] 열중합이나 다른 전자

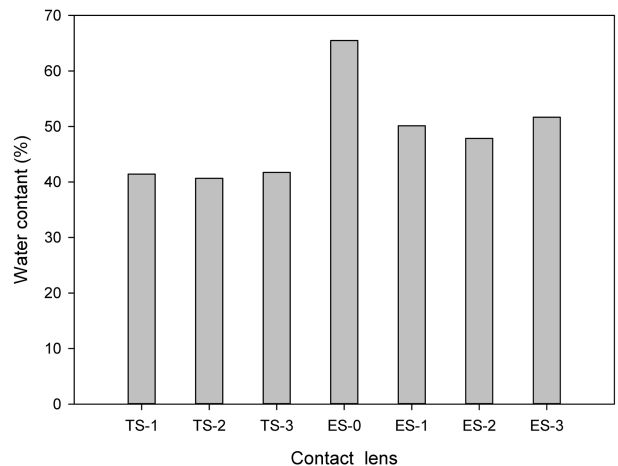


Fig. 2. Water content of the contact lenses fabricated by electron beam and thermal polymerization.

빔 중합반응에서 첨가되는 가교제와 개시제가 중합과정에서 상대적으로 OH 라디칼의 도입과 치환을 방해하거나 HEMA 분자간의 수소결합을 방해하는 역할을 하기 때문으로 생각된다.

3) FT-IR 분석

두 가지 다른 방법에 의해 합성된 폴리머(PHEMA)와 순수한 모노머 상태의 HEMA에 대한 FT-IR 결과를 Fig. 3에 나타내었다. HEMA의 구조에 포함된 C=C 이중결합에 대한 특징적인 peak(1640 cm⁻¹)가 두 형태의 폴리머(PHEMA: TS-1, ES-0) 모두에서 나타나지 않은 사실로부터 중합반응이 성공적으로 이루어졌음을 확인할 수 있었다. 또한, 3450 cm⁻¹ 근처에서 나타난 OH의 broad한 peak의 변화로부터 전자빔조사에 의해 중합된 폴리머에서 분자간 수소결합이 증가함을 알 수 있었다.

Fig. 4는 모노머의 구성성분을 다르게 하여 전자빔조사 방법에 의해 제조한 콘택트렌즈에서 얻은 FT-IR 결과이다.

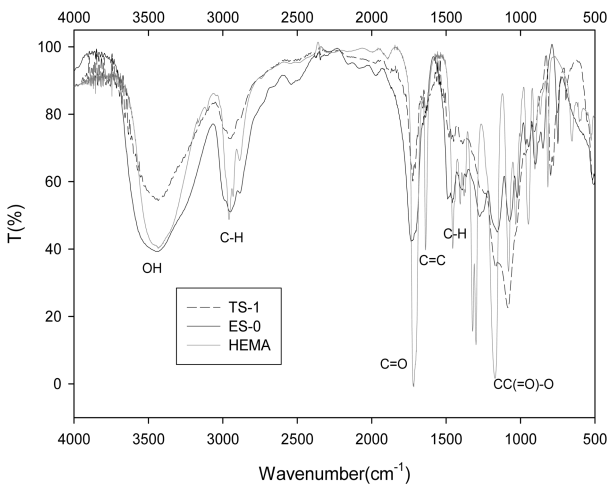


Fig. 3. FT-IR spectra of the pure HEMA and the PHEMAs synthesized by the two different methods.

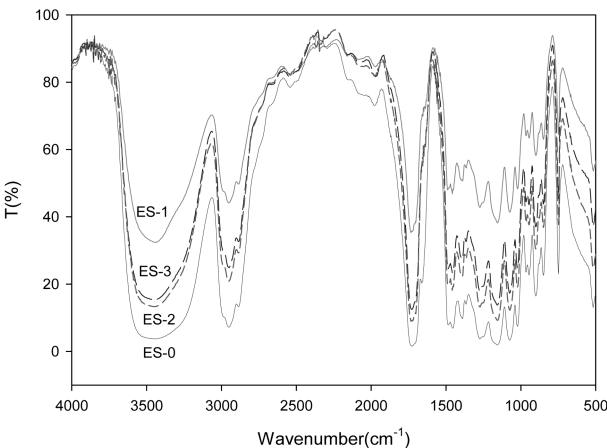


Fig. 4. FT-IR spectra of the PHEMAs synthesized by using the electron beam irradiation.

EGDMA, MMA, NVP 등이 첨가된 콘택트렌즈(ES-1, ES-2, ES-3)에 비해 순수한 HEMA로 이루어진 ES-0 렌즈에서 3450 cm⁻¹ 근처의 broad 한 피크가 증가하였으며, 낮은 파수 방향으로 이동하면서 더욱 broad하게 나타났다. 3500~3200 cm⁻¹ 범위에서 broad하게 나타나는 피크는 OH group에 의한 분자간 수소결합에 의해 나타나는 대표적인 신호로 알려져 있다.^[17]

Fig. 4의 결과는 전자빔 조사에 의한 중합반응과정에서 생기는 OH 라디칼(radical)과 이온(ion)들이 HEMA의 -CH₂-CH₂-에 있는 수소 대신 도입되면서 OH group의 농도가 증가되어 나타난 현상으로 해석할 수 있다. 결국, 가교제나 개시제에 의한 방해 작용이 없는 순수한 HEMA만을 이용하여 합성한 폴리머로부터 제조된 렌즈(ES-0)에서 OH group의 농도가 가장 높게 되면서 분자간의 수소결합이 증가하거나 수화과정에서 제공되는 물과의 수소결합이 증가함을 의미한다. 이와 같은 사실은 함수율 측정 결과에서 ES-0의 함수율이 가장 높게 나타난 Fig. 2의 결과와도 일치된다.

4) 산소전달률(Dk/t)

열중합과 전자빔조사 방법에 의해 중합한 폴리머를 이용하여 제조된 콘택트렌즈의 산소전달률(Dk/t)을 측정하여 Fig. 5에 나타내었다.

그림에서 “Ref.”는 HEMA를 주원료로 하여 제조된 현재 시중에서 판매되고 있는 소프트 콘택트렌즈의 산소전달률 값(13.7)이다.

열중합으로 제조한 TS 계열의 산소전달률은 시중에 판매되는 제품에 비해 낮게 나타났으며, 특히 TS-3의 값이 가장 낮았다. 이는 합성에 첨가한 MMA, NVP 등에 의한 영향으로 생각된다. 전자빔 조사 방법에 의해 제조된 렌즈의 산소전달률은 모노머의 구성비와 흡수선량에 따라 다소 차이가 있지만 전체적으로 열중합에 의해 제조된 콘택

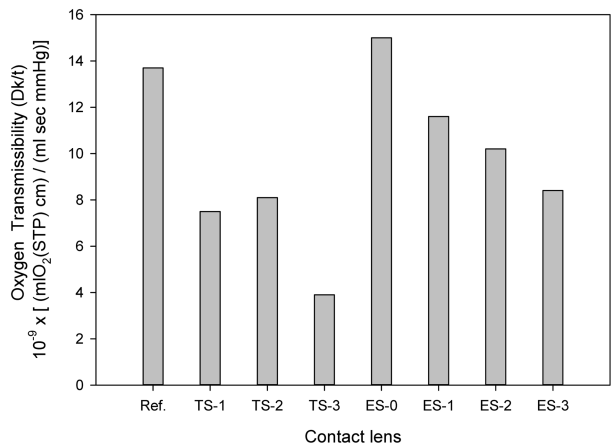


Fig. 5. Oxygen transmissibility(Dk/t) of the contact lenses fabricated by electron beam and thermal polymerization.

트렌즈보다 더 높게 나타났다. 특히, 가교제와 개시제 없이 순수한 HEMA에 전자빔만을 조사하여 제조한 콘택트렌즈(ES-0)의 산소전달률 값은 열중합된 콘택트렌즈에 비해 약 2배 정도 높게 나타났다. 이 값은 문헌에서¹⁴⁾ 제시되고 있는 순수한 PHEMA의 산소전달률 값(7.3) 보다 두 배 이상 높은 값에 해당된다.

MMA, EGDMA, NVP가 첨가된 콘택트렌즈에서는 순수한 HEMA로 이루어진 콘택트렌즈와 비교하여 산소전달률이 감소하는 것을 볼 수 있다. 이는 MMA, EGDMA, NVP 등의 첨가가 콘택트렌즈의 산소전달률을 감소시키는 요소로 작용한 것으로 생각된다.

콘택트렌즈에서 산소전달률(Dk/t)과 흡수율은 상호 비례하며, 흡수율의 증가는 곧 물속의 용존산소의 농도 증가를 의미한다. 본 실험에서 FE-SEM(Field Emission Scanning Electron Microscopy) 분석을 통해 살펴본 렌즈의 표면 형상 즉, 세공구조나 표면의 거칠기 등은 TS와 ES 계열의 렌즈 간에 큰 차이를 발견할 수 없었다. 따라서 전자빔에 의한 중합반응에서 합성한 폴리머의 구조가 물리적으로 크게 다르기 때문에 산소전달률이 증가하는 것 보다는 PHEMA의 화학적 구조가 3차원으로 이루어질 수 없기 때문에 흡수율을 향상시킬 수 있는 화학적 작용기(functional group)의 농도 증가에 의한 것으로 생각된다.

결과적으로 전자빔 조사를 이용하여 제조한 콘택트렌즈는 일반적으로 첨가되는 가교제와 개시제 없이 중합함으로써 전자빔 조사에 의해 생성되는 OH 라디칼이 보다 자유롭게 치환되면서 콘택트렌즈의 흡수율과 더불어 산소전달률이 향상된다고 할 수 있다.

5) 광 투과율(Optical transmittance)

열중합 방법으로 제조된 렌즈(TS-3)와 전자빔조사방법

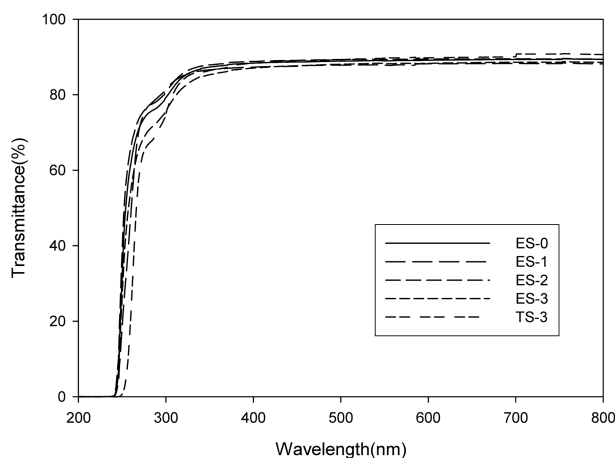


Fig. 6. Optical transmittance of the contact lenses synthesized by the method of thermal and electron beam irradiation, respectively.

으로 제조한 ES 계열의 콘택트렌즈에 대한 광 투과율을 측정하여 Fig. 6에 나타내었다. 측정된 모든 렌즈의 가시광선(380-800 nm) 영역에서의 광투과율은 90% 정도로 콘택트렌즈로 사용에 충분한 값을 보였다. 폴리머 합성방법에 따른 렌즈의 광투과율 변화는 없었으며, 전자빔 흡수선량에 대해서도 큰 영향을 받지 않았다.

결론

HEMA를 비롯한 다양한 모노머로 구성된 반응혼합물에 대해 열중합과 전자빔조사 방법을 이용하여 제조한 콘택트렌즈의 물리화학적 특성을 살펴보았다. 개시제나 가교제 첨가 없이 전자빔만을 조사할 경우 모노머 구성과 무관하게 100 kGy 이상의 전자빔 흡수선량에서 99% 이상의 중합률을 보였다. 전자빔 조사방법을 이용하여 제조한 콘택트렌즈는 동일한 구성비의 모노머에 대해 열중합 방법으로 제조한 렌즈에 비해 친수성이 증가하였다. 또한, 100 kGy의 전자빔조사에 의해 중합된 고분자로부터 제조된 콘택트렌즈에서 가장 높은 흡수율과 산소전달률을 나타냈다. 이는 일반적으로 중합반응에서 첨가되는 가교제와 개시제 등이 없이 반응이 이루어짐으로써 전자빔 조사에 의해 생성되는 OH 라디칼이 보다 자유롭게 첨가되면서 PHEMA 구조에 OH group의 농도가 증가하게 된다. 이에 따라 분자간 혹은 수화과정에서 제공되는 물과의 수소결합이 증가하면서 콘택트렌즈의 흡수율이 향상되고 이와 더불어 산소전달률이 향상된다. 따라서 전자빔조사 방법을 이용하여 보다 친수성이 향상된 HEMA 기반의 소프트콘택트렌즈 제조가 가능함을 알 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 교육과학기술부 원자력 연구기반 확충사업 지원비로 연구되었습니다.

REFERENCES

- [1] Kim TH, Sung AY. Study on the Polymerization of Hydrogel Polymer Containing HEMA and Measurement Method of Oxygen Transmissibility. J Kor Chem Soc. 2009;53(6):749-754.
- [2] Kim TH, Ye KH, Sung AY. Synthesis of Contact Lens Material with High Oxygen Transmissibility Using Polyphosphazene. Korean J Vis Sci. 2009;11(3):203-209.
- [3] Cho CS, Kim BC, Kang SW, Sung YK. Homogeneous Graft Copolymerization of (2-hydroxyethyl methacrylate) onto Gelatin. Polymer(Korea). 1987;11(5):417-424.

- [4] Joo DJ. Contact Lens Materials. *Polymer(Korea)*. 1985;9(4): 253-260.
- [5] Lee JH, Park KR, Nho YC, Son TI. Preparation and Characterization of Hydrogels by Radiation. *J Chitin Chitosan*. 2003;8(1):10-17.
- [6] Chmielewski AG, Chmielewska DK, Michalik J, Sampa MH. Prospects and challenges in application of gamma, electron and ion beams in processing of nanomaterials. *Nucl Instr and Meth in Phys Res*. 2007;265(1):339-346.
- [7] Rashi N, Anil K, Acharya NK, Vijay YK. XPS and AFM surface study of PMMA irradiated by electron beam. *Surf Coat Technol*. 2009;203(17-18):2600-2604.
- [8] Burkert S, Schmidt T, Gohs U, Dorschner H, Arndt KF. Cross-linking of poly(N-vinyl pyrrolidone) films by electron beam irradiation. *Radiat Phys Chem*. 2007;76(8-9): 1324-1328.
- [9] Nouha SA, Mohamed A, EL Hussieny HM, Sakr EM. Thermal and optical properties of electron beam irradiated cellulose triacetate. *Mater Chem and Phys*. 2008;110(2-3):376-379.
- [10] Nathawat R, Kumar A, Kulshrestha V, Singh M, Ganesan V, Phase DM, Vijay YK. Surface modification study of low energy electron beam irradiated polycarbonate film. *Appl Surf Sci*. 2007;253(14):5985-5991.
- [11] Ren L, Yin S, Zhao L, Wang Y, Chen H, Qu J. Study on the surface of fluorosilicone acrylate RGP contact lens treated by low-temperature nitrogen plasma. *Appl Surf Sci*. 2008;255(2):473-476.
- [12] Rosiak JM, Ulanski P, Pajewski LA, Yoshii F. Radiation Formation of Hydrogels for Biomedical Purposes. Some Remarks and Comments. *Radiat Phys Chem*. 1995;46(2): 161.
- [13] ISO. Ophthalmic Optics-Contact Lenses 18369-4:2006, 2006. <http://www.iso.org/iso/home.html>(10 May 2009).
- [14] Chang R. *Essential Chemistry*, International Ed. Mcgraw-Hill, 1996;266.
- [15] Woods RJ, Pikaev AK. *Applied Radiation Chemistry: Radiation Processing*, 2nd Ed. NY: Wiley-Interscience, 1994;20-58.
- [16] Luensmann D, Jones L. Albumin adsorption to contact lens materials: A review. *Contact Lens & Anterior Eye*. 2008;31(4):179-187.
- [17] Silverstein RM, Bassler GC, Morrill TC. *Spectrometric Identification of Organic Compounds*, 5th Ed. NY: John Wiley & Sons, 1991;105-111.

Polymerization of HEMA by Electron beam Irradiation and Fabrication of Soft contact lens

Kwang-Ha Hwang¹, Joong-Hyeok Shin², Yu-Jin Sung¹, Keun-Seung Jeong¹ and Jin Jun^{1,*}

¹Dept. of Optometry and Optic Science, Dongshin University, Naju 520-714, Korea

²Radiation Instruments Research Division, Korea Atomic Energy Research Institute, Daejeon 305-600, Korea

(Received April 27, 2012; Revised June 12, 2012; Accepted June 16, 2012)

Purpose: Polymerization of HEMA(2-hydroxyethyl methacrylate) which can be used in the soft contact lens has been performed by using electron beam(EB) irradiation, and examined the best condition for the polymerization. Comparing the physical properties of the contact lenses to the one fabricated by thermal polymerization method, we check the use possibility of the EB irradiation to the fabrication of the soft contact lens. **Methods:** We investigated the degree of polymerization of the HEMA according to the composition of the monomer, the additive ratio and the dose of electron beam (0~120 kGy). The degree of polymerization was measured depending on the EB dose to research the best synthetic condition under the EB irradiation. The physical properties of the contact lens such as water content(%), oxygen transmissibility(Dk/t) and optical transmittance were analysed by using the FT-IR results with comparing the two different polymerization method (thermal and electron beam polymerization) with same additive ratio. **Results:** When the dose of electron beam was above 100 kGy, the degree of polymerization of HEMA was above 99% with regardless using cross-linker and initiator. The water content of the lens fabricated by EB method showed 10% higher than the one by the thermal method which was 40%. The lens fabricated by EB method also showed higher oxygen transmissibility(Dk/t) as same with the water content, and showed twice higher value in the lens fabricated by pure HEMA. According to the FT-IR results, hydrophilic property of the lens fabricated by EB method was increased due to increasing the intermolecular hydrogen bonding. It showed above 90% optical transmittance in the visible range of wavelength on the contact lenses fabricated by the both of two different polymerization method. **Conclusions:** The polymerization of HEMA without cross-linker and initiator was successful above 100 kGy of EB irradiation. Moreover the lens fabricated from the polymer synthesized by pure HEMA with 100 kGy of EB showed the highest water content and oxygen transmissibility. Therefore EB irradiation is another possible method to synthesize the polymer which can be used for the soft contact lens.

Key words: Electron beam, HEMA, Polymerization, Soft contact lens, Water content, Oxygen transmissibility, Optical transmittance