Journal of the Korean Chemical Society **2010**, Vol. 54, No. 2 Printed in the Republic of Korea DOI 10.5012/jkcs.2010.54.02.222

금 나노입자를 포함한 안의료용 고분자의 합성 및 물성에 관한 연구

예기훈 · 성아영*

대불대학교 안경광학과 (접수 2010. 3. 28; 수정 2010. 3. 30; 게재확정 2010. 3. 30)

Study on the Synthesis and Physical Properties of Ophthalmic Polymer Containing Gold Nanoparticles

Ki-Hun Ye and A-Young Sung*

Department of Ophthalmic Optics, Daebul University, Jeonnam 526-702, Korea *E-mail: say@mail.daebul.ac.kr (Received March 28, 2010; Revised March 30, 2010; Accepted March 30, 2010)

요약. 본 연구는 기존 콘택트렌즈 재료에 Au colloid를 첨가한 후 농도조건을 다양화 하여 $70\,^{\circ}$ C에서 약 40분, $80\,^{\circ}$ C에서 약 40분 마지막으로 $100\,^{\circ}$ C에서 약 40분 동안의 열처리 공정을 거쳐 공중합 하였다. 중합 후 생성된 고분자를 사용하여 콘택트렌즈를 제조하고 물리적 특성을 측정한 결과, 산소투과율 $9 \sim 12 \times 10^{-9}\,\mathrm{cm/s}\,\mathrm{mL}\,\mathrm{O}_2/\mathrm{mL}\,\times\,\mathrm{mmHg}$, 함수율 $27.84\% \sim 32.17\%$, 굴절률 $1.432 \sim 1.443$ 을 나타내었으며, 가시광선 투과율 $83.2\% \sim 89.5\%$ 그리고 인장강도 값은 $0.141\,\mathrm{kgf} \sim 0.152\,\mathrm{kgf}$ 를 나타내었다. 또한 생성된 고분자는 콘택트렌즈로 사용 가능한 물리적 특성에 부합되어 안 의료용 기능성 소재로 의 응용이 충분히 가능할 것으로 판단된다.

주제어: 금 나노입자, 콘택트렌즈, 인장강도

ABSTRACT. This study added Au colloid in martial of conventional contact lens in various concentrations and copolymerized by heating at 70 °C for 40 minutes, 80 °C for 40 minutes, and finally, 100 °C for 40 minutes. Using the polymer produced through the copolymerization process, we have produced a contact lens and measured the physical characteristics which showed oxygen transmissibility of $9 \sim 12 \times 10^{-9}$ cm/s mL O₂/mL × mmHg, water content of $27.84\% \sim 32.17\%$, refractive index of $1.432 \sim 1.443$, visible transmittance of $83.2\% \sim 89.5\%$ and tensile strength of 0.141 kgf ~ 0.152 kgf. The polymer satisfied the physical properties required to produce contact lenses. Also, we judged that the polymer is suitable to be applied as a functional material for ophthalmological purposes.

Keywords: Au nanoparticle, Contact lens, Tensile strength

서론

콘택트렌즈 역사는 콘택트렌즈의 착용으로 인해 발생되는 안과적인 부작용 및 문제점, 그리고 이물감과 불편감 등 착용감 향상을 위해 점차적으로 발전되어져 왔다. 이러한 발전은 콘택트렌즈 재질의 변화로 이어졌다. 새로운 콘택트렌즈 소재는 콘택트렌즈 적용에 요구되는 광투과율, 함수율, 굴절률, 인장강도 등과 같은 물리적 특성을 변화 시켰다. 이와 같은 콘택트렌즈 재료로는 콘택트렌즈원료로 주로 많이 사용되며, 친수성의 특성을 지니고 있는 HEMA(2-hydroxyethyl methacrylate), 락탐고리의 구조로 생체조직과 비슷한 NVP(N-vinyl pyrrolidone), 함수율을 증가시키는 MA(methacrylic acid)와 AA(acrylic acid) 그리고 소수성 재료로 습윤성은 좋지 않지만 광학적으로 뛰어

난 MMA(methyl methacrylate), 콘택트렌즈의 유연성을 갖게 하는 BMA(butyl methacrylate)등이 있다. 그리고 모너머 간의 chain을 유지시키고, 적은 양으로도 폴리머의 기능을 향상시키는 교차결합제(cross-linking agent)인 EGDMA (ethylene glycol dimethacrylate) 등의 모너머 조합을 통해 콘택트렌즈의 물성은 변화하게 된다. 이러한 재질의 변화는 착용에 있어 이물감을 줄여 주었고, 콘택트렌즈의 착용을 증가시켰다. 또한 최근에는 콘택트렌즈 재료의 변화를 통해 착용감을 좋게 할 뿐만 아니라 기능성이 첨가된 콘택트렌즈로 발전되고 있다. 콘택트렌즈 착용은 대기 중으로부터 각막으로 전달되는 산소의 공급을 차단하거나 작용을 원활히 이루지 못하게 한다. 이는 각막의 산소 부족으로 이어지게 되어 부작용 및 안과적인 문제점을 야기시킨다. 12 이를 최소화하기 위해 산소투과성이 높은 실리

콘 재질을 사용한 실리콘 하이드로젤 렌즈가 개발 되었다. 1-3 또한 콘택트렌즈에 미용의 기능을 적용한 미용 칼라 콘택트렌즈 그리고 자외선을 차단시키는 자외선 차단 콘택트렌즈 등이 대표적인 기능성 콘택트렌즈이다. 4-6 이와 같은 기능성 콘택트렌즈는 앞으로도 더 많이 연구되고 개발 될 것으로 판단된다. 본 연구에 사용한 나노 금은 항균성의 기능을 갖으면서 생체 적합성이 뛰어난 것으로 알려지면서 바이오 의학 분야 및 의료 분야에 활발히 적용되고 있다. 또한 나노 금은 최근 다양한 기능화 기술에 대한 최신 기술로 응용 되고 있으며, 앞으로도 기능성 나노 입자의 응용분야는 더욱 발전될 것으로 판단된다. 9,10 본 연구에서는 항균성의 기능성을 첨가한 기능성 콘택트렌즈 재료를 중합하였으며, 이에 대한 물리적 특성을 알아본 실험으로 기능성 콘택트렌즈 분야로의 응용이 가능할 것으로 판단된다.

실험

시약 및 재료

본 실험에 사용한 재료 중 MMA(methyl methacrylate)는 Crown Guaranteed Reagents사 제품을, NVP(N-vinyl pyrrolidone)와 EGDMA(ethylene glycol dimethacrylate)는 Acros사 제품을, 그리고 HEMA(2-hydroxyethyl methacrylate)와 개시제 AIBN(azobisisobutyronitrile)은 JUNSEI사 제품을 구입하여 사용하였다. 또한 실험에 사용된 나노 금은 20 - 30 nm의 colloid 입자를 25 ppm 농도로 사용하였다.

실험 방법

고분자의 중합은 케스트 몰드법(cast mould)을 사용하여 렌즈를 제조하였다. 사용된 모너머는 HEMA (9.62 g), NVP (2.50 g), MMA(1.00 g) 그리고 교차결합제로 EGDMA (0.3 g) 를 사용하였으며, 개시제로는 AIBN (0.001 g)을 사용하였 다. 각각의 시료를 배합하여 약 30분 동안 교반하였으며, 이 조합을 통하여 reference를 중합하였다. 또한 위의 조합 을 기본으로 하여 Au colloid를 각각 1%에서 10%까지 농 도를 다양화시킨 후 각각을 약 30분 동안 교반하여 sample G1, G3, G5, G7 그리고 G10을 중합하였다. 실험에 사용된 Au colloid는 약 25 ppm의 농도를 사용하였다. 교반 후 준비 된 재료는 열 중합 방식 통해 제조 하였다. 열중합 방식의 제조 과정은 교반되어진 모너머를 콘택트렌즈 몰드에 적 정량을 주입 후 70℃~80℃에서 약 1시간 30분, 열처리 공 정을 위해 100°C에서 약 40분의 공정을 거쳐 렌즈를 제조 하였다. 중합된 콘택트렌즈는 몰드에서 제거하여 건조된 무게를 측정 한 후 0.9%의 염화나트륨 생리 식염수에 약 24시간 동안 함수 시켰다. 약 24시간 수화시킨 콘택트렌 즈의 무게와 표면검사 및 광투과율과 굴절률 등을 측정하 여 제조된 콘택트렌즈가 기존 콘택트렌즈의 물리적 특성에 부합되는 정도를 알아보았다. 열 중합 방식을 통해 얻어 진 콘택트렌즈의 물리적 특성은 각각 3번씩 측정하여 오 차를 줄였으며, 이에 대한 평균값을 표와 그래프로 나타 내었다.

측정 기기 및 분석

산소투과율

산소투과율은 polarographic method을 기준으로 측정하였다. 측정에 사용된 기기는 Rehder single-chamber system-O2 permeometer 사용하였으며, 온도를 일정하게 유지하기위한 발열상자(heated box)는 General Incubator (LIB-030M, Labtech, Korea)를 사용하였다. 실험에 사용된 콘택트렌즈는 최소한 검사 24시간 전에 표준 식염수 용액(0.9% 염화나트륨 용액)에 보관하고 검사 온도에서 최소한 2시간 동안 평형을 이루게 하였다. 또한 콘택트렌즈를 고정한 센서전체 시스템이 35 $^{\circ}$ C \pm 0.5 $^{\circ}$ C의 온도를 유지하는 동안의전류 값을 측정하여 계산하였다.

함수율

함수율은 중량측정법을 통하여 함수율을 산출하였다. 이를 위해 중합한 고분자의 건조 무게와 0.9%의 염화나트 륨(NaCl) 생리 식염수에 약 24시간 수화시킨 고분자의 무 게를 통해 측정하였다. 함수된 무게는 수분을 Filter paper No. 1-whatman(Whatman International Ltd, England)을 사 용하여 고분자 표면의 수분을 제거한 후 측정하였으며, 각각의 sample은 상온에서 측정하였다.

굴절률

굴절률은 ABBE Refractormeter(ATAGO NAR 1T, Japan) 를 사용하여 상온에서 측정하였다. 중합을 통해 수화된 sample의 수분은 Filter paper No. 1-whatman(Whatman International Ltd, England)을 사용하여 수분 제거 후 측정하였으며, 프리즘 부에 위치시킨 후, 측정 핸들을 돌려 경계선에 위치될 때 눈금을 읽어 굴절률을 측정하였다.

인장강도

인장강도는 AIKOH Engineering사(Japan)의 Model-RX series를 사용하여 측정하였다. 측정방법은 생리 식염수에약 24시간동안 함수시킨후, 수분을 제거한후 고분자를 0에서 10초시간동안 0.000 kgf에서 1.000 kgf의 힘을 sample에 가해 파괴 될 때의 값을 인장강도로 나타내었다.

표면분석

표면분석을 위해 JEOL사의 JSM-7500F+EDS(Oxford) 을 사용하여 공중합한 sample 표면 형상을 관찰하였다.

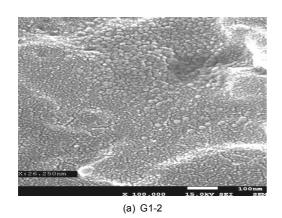


Fig. 1. SEM image of sample

광투과율

광투과율은 TOPCON TM-2를 사용하여 자외선 영역과 가시광선 영역에서의 투과율을 측정하였다.

결과 및 고찰

고분자 표면 분석

기존 콘택트렌즈의 재료에 Au colloid를 첨가하여 공중합한 후 콘택트렌즈를 제조하여 주사전자현미경 FE-SEM을 통해 분석한 결과를 Fig. 1에 나타내었다. SEM image의표면 분석을 통해 나노 입자의 존재를 확인할 수 있었다.

물리적 특성 재료의 배합비

HEMA(96.20%), NVP(2.50%), MMA(1.00%), EGDMA (0.30%)를 기본 조합으로 하고 이를 R로 명명하였다. 그리고 Au colloid의 양을 일정량씩 증가시켜 배합하였으며, 이를 G1, G3, G5, G7 그리고 G10으로 분류하여 명명하였다. 이에 대한 배합비를 *Table* 1에 나타내었다.

함수율

건조한 무게와 수화한 무게를 측정한 후 이를 통해 산출된 각각의 함수율과 평균값을 Table 2에 나타내었으며, 측정된 함수율의 경향과 분포를 Fig. 2에 나타내었다. 나노금 입자를 첨가하지 않은 sample R의 중합 후 얻어진 건조무게와 함수 후 얻어진 수화된 무게는 0.0683 g과 0.1007 g을, 평균 함수율은 32.17%를 나타내었다. G1은 0.0613 g과 0.0614 g을, 함수율은 31.19%, G3은 0.0687 g과 0.0990 g을, 함수율은 30.56%, G5는 0.0646 g과 0.0919 g을, 함수율은 29.70%를, G7은 0.0651 g과 0.0927 g을, 함수율은 28.95%를 그리고 G10은 0.0658 g과 0.0913 g을, 함수율은 27.84%를 각각 나타내었다. 함수율은 Au colloid의 비율이 증가함에 따라 감소하는 경향을 나타내었다. 나노금의 함수율은

Table 1. Percent composition of sample

unit: %

| | HEMA | NVP | MMA | EGDMA | Au colloid |
|-----|-------|------|------|-------|------------|
| R | 96.20 | 2.50 | 1.00 | 0.30 | - |
| G1 | 95.23 | 2.48 | 0.99 | 0.30 | 1.00 |
| G3 | 93.31 | 2.43 | 0.97 | 0.29 | 3.00 |
| G5 | 91.38 | 2.38 | 0.95 | 0.29 | 5.00 |
| G7 | 89.45 | 2.34 | 0.93 | 0.28 | 7.00 |
| G10 | 86.55 | 2.27 | 0.91 | 0.27 | 10.00 |

Table 2. Water content of sample

| Sampl | e | ⁺ m _{dry} (g) | ++m _{hydrated} (g) | +++w _{H2O} (%) |
|-------|-----|-----------------------------------|-----------------------------|-------------------------|
| R | 1 | 0.0675 | 0.0995 | 32.16 |
| | 2 3 | 0.0693 | 0.1014 | 31.66 |
| | | 0.0690 | 0.1021 | 32.42 |
| | 4 | 0.0675 | 0.0999 | 32.43 |
| Avg. | | 0.0683 | 0.1007 | 32.17 |
| | 1 | 0.0638 | 0.0925 | 31.03 |
| G1 | 2 3 | 0.0695 | 0.1008 | 31.05 |
| GI | 3 | 0.0692 | 0.1016 | 31.89 |
| | 4 | 0.0425 | 0.0614 | 30.78 |
| Avg. | | 0.0613 | 0.0891 | 31.19 |
| | 1 | 0.0690 | 0.0999 | 30.93 |
| C2 | 2 | 0.0686 | 0.0983 | 30.21 |
| G3 | 2 3 | 0.0691 | 0.0995 | 30.55 |
| | 4 | 0.0682 | 0.0982 | 30.55 |
| Avg. | | 0.0687 | 0.0990 | 30.56 |
| | 1 | 0.0642 | 0.0909 | 29.37 |
| C.F | 2 | 0.0604 | 0.0856 | 29.44 |
| G5 | 2 3 | 0.0644 | 0.0915 | 29.62 |
| | 4 | 0.0693 | 0.0995 | 30.35 |
| Avg. | | 0.0646 | 0.0919 | 29.70 |
| | 1 | 0.0580 | 0.0831 | 28.62 |
| 67 | 2 | 0.0673 | 0.0963 | 29.35 |
| G7 | 2 3 | 0.0683 | 0.0980 | 29.12 |
| | 4 | 0.0666 | 0.0934 | 28.69 |
| Avg. | | 0.0651 | 0.0927 | 28.95 |
| | 1 | 0.0660 | 0.0931 | 27.74 |
| C10 | 2 | 0.0639 | 0.0869 | 27.98 |
| G10 | 2 3 | 0.0658 | 0.0919 | 27.97 |
| | 4 | 0.0675 | 0.0933 | 27.65 |
| Avg. | | 0.0658 | 0.0913 | 27.84 |

 $^{^+}m_{dry}$ is the mass of the dry lens. $^+m_{hydrated}$ is the mass of the hydrated lens. $^{+++}w_{HeO}$ is the water content.

나노 은의 경우와는 반대의 경향이 나타났으며, 이는 나노 은의 경우, 친수성으로 인해 함수율이 증가하였으나 나노 금을 포함하는 경우에는 HEMA의 친수성을 방해하기 때 문에 나노 금의 비율이 증가할수록 함수율이 감소하는 것 으로 판단된다.

굴절률

열중합 방식을 통해 중합한 각각의 sample을 0.9%의 염화나트륨 생리 식염수에 약 24시간 동안 함수 시킨 후 측정한 수화된 sample의 각각의 굴절률과 이에 대한 평균값

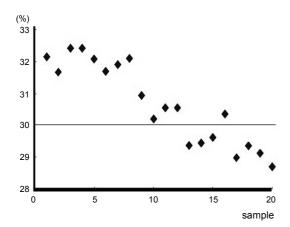


Fig. 2. Distribution chart of water content

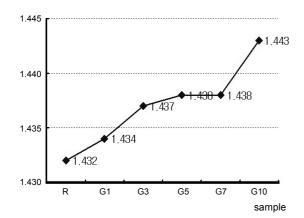


Fig. 3. Refractive index of sample

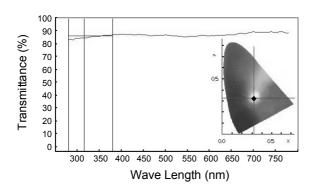


Fig. 4. Optical transmittance of G1-1

을 Table 3, 측정된 경향을 Fig. 3에 나타내었다. 나노금 입자를 첨가하지 않은 R은 1.432를 나타내었고, Au colloid양을 점차적으로 증가시킨 sample의 경우는 G1 1.434, G3 1.437을, G5 1.438, G7 1.438을 그리고 G10은 1.443을 나타내었다. 이 결과로 볼 때 나노금의 첨가가 생성된 고분자의 굴절률에는 큰 영향을 주지 않는 것으로 나타났다.

Table 3. Refractive index of sample

| | | | $^{+}n_{hydrated}$ | | |
|-------|---|-------|--------------------|-------|-------|
| | 1 | 1.433 | | 1 | 1.437 |
| R | 2 1.432 | G5 | 2 | 1.437 | |
| K | 3 | 1.432 | GS | 3 | 1.438 |
| | 4 | 1.432 | | 4 | 1.438 |
| Avg. | | 1.432 | | | 1.438 |
| | 1 | 1.434 | G7 | 1 | 1.438 |
| G1 | 2 | 1.434 | | 2 | 1.439 |
| GI | 3 | 1.433 | G/ | 3 | 1.438 |
| | 4 | 1.433 | | 4 | 1.438 |
| Avg. | | 1.434 | | | 1.438 |
| | 1 | 1.436 | | 1 | 1.443 |
| C_2 | $ \begin{array}{cccccccccccccccccccccccccccccccccccc$ | 2 | 1.442 | | |
| us | | 1.437 | GIU | 3 | 1.443 |
| | 4 | 1.437 | | 4 | 1.443 |
| Avg. | | 1.437 | | | 1.443 |

 $^{^{+}}n_{\it hydrated}$ is the index of refraction.

Table 4. Optical transmittance of sample

unit: %

| Sample | UV-B | UV-A | Visible transmittance |
|--------|------|------|-----------------------|
| R | 85.7 | 86.8 | 89.5 |
| G1 | 84.5 | 85.2 | 85.4 |
| G3 | 84.5 | 84.7 | 84.9 |
| G5 | 85.4 | 84.5 | 84.1 |
| G7 | 83.4 | 83.5 | 83.2 |
| G10 | 82.5 | 82.3 | 83.5 |

광투과율

중합하여 얻어진 콘택트렌즈의 평균 광투과율을 Table 4에 나타내었으며, 대표적으로 sample G3-1의 측정 결과를 Fig. 4에 나타내었다. HEMA, NVP, MMA를 중합한 기본 조합 sample R의 UV-B, UV-A 그리고 visible transmittance 는 각각 85.7%, 86.8%, 89.5%의 투과율을 나타내었다. G1은 84.5%, 85.2%, 85.4%, G3은 84.5%, 84.7%, 84.9%를, G5는 85.4%, 84.5%, 84.1%를 나타내었으며, G7은 83.4%, 83.5%, 83.2% 그리고 Au colloid양을 가장 많이 첨가한 G10은 82.5%, 82.3%, 83.5%를 각각 나타내었다. 광투과율을 측정한 결과, 생성된 고분자의 가시광선 영역에 대한 전체적인 투과율은 비교적 높은 값을 나타내었으며, Au colloid 양에 따른 투과율은 큰 차이를 나타내지 않았다.

인장강도

중합한 고분자를 사용하여 제조된 콘택트렌즈의 평균 인장강도는 0.125 kgf~0.201 kgf를 나타내어 기존 콘택트 렌즈의 물리적 특성에 부합되는 것으로 판단된다. 226 예기훈·성아영

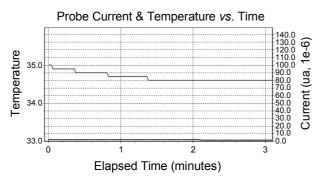


Fig. 5. Probe current and temperature versus time (G1-1)

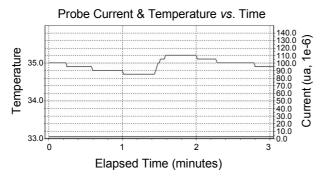


Fig. 6. Probe current and temperature versus time (G5-1)

산소투과율

Polarographic method을 이용한 산소투과율 측정 결과 각 조합별로 $9 \sim 12 \times 10^{-9}$ cm/s mL O_2 /mL × mmHg의 값을 나타내었으며, 조합별로 큰 증감의 경향을 나타내지 않았다. 산소투과율은 콘택트렌즈를 고정한 센서 전체 시스템이 $35\,^{\circ}$ C ± $0.5\,^{\circ}$ C의 온도를 유지하는 동안의 전류 값을 측정 하여 다음 식 (1)을 사용하여 산소투과율을 계산하였다. 각

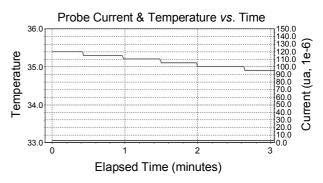


Fig. 7. Probe current and temperature versus time (G10-1)

조합별로 계산한 예를 나타내었으며, 산소투과율 그래프를 Fig. 5~7에 각각 나타내었다.

결론

본 연구는 항균성을 갖은 나노 금과 일반 콘택트렌즈에 사용되는 재료인 HEMA, NVP 그리고 MMA 등을 함께 중합하여 기능성을 갖는 안 의료용 고분자를 제조하였으며, 이를 통해 물리적 특성을 비교 분석 하였다. 그 결과, 나노금은 고분자의 함수율에 영향을 주었으며, 이는 기존의 재료들로만 제조한 sample R의 평균 함수율이 32.17%를 나타낸 것과 비교하여 Au colloid를 점차적으로 증가시킨 sample G1 ~ G10에서는 27.84%~30.56%를 나타내어 Au colloid의 양을 증가시킬수록 함수율은 감소시키는 경향을 나타내었다. 이는 나노 금이 친수성인 HEMA에 배위되어함수율의 감소를 야기 시킨 것으로 판단된다.

Sample R의 평균 굴절률은 1.432를, sample G1 ~ G10에서는 1.434~1.443의범위를 나타내어함수율이감소할수록 굴절률은 증가하는 경향을 나타내었다. Sample R의 평균 광투과율은 UV-B 85.7%, UV-A 86.8% 그리고 visible

$$\begin{aligned} Dk/t & (preliminary) = [Dk/t]_{uncorrected} \\ &= \frac{I}{A \times N \times F \times P_{O_2}} \end{aligned} & \begin{aligned} & I = I \text{ amp} \times 22400 \text{ cm}^3/\text{mole} \\ & A = 0.126\text{cm}^2 \\ & N = 4 \text{ mole electrons/mole} \times 96500 \\ & F = 96500 \text{ amp sec/mole electrons/mole} \times 96500 \\ & P_{O_2} = 155 \text{ mmHg} \end{aligned}$$

$$Dk/t (G1-2) = [Dk/t]_{uncorrected}$$

$$\begin{split} &=\frac{I}{A\times N\times F\times P_{O_2}}\\ &=\frac{Iamp\times 22400\,cm^3/mole}{0.126\,cm^2\times 4\,mole\,\,electrons/mole\times 96500\,\,amp\,\,sec/mole\,electrons\times 155\,mmHg}\\ &=2.97\times 10^{-3}\times 3.2\\ &=2.97\times 10^{-9}\times 3.2\,\,cm\,\,ml\,O_2/sec\,\,ml\,\,mmHg\\ &=9.5\times 10^{-9}\,\,cm\,\,ml\,O_2/sec\,\,ml\,\,mmHg \end{split}$$

식 (1)

transmittance를 나타내었으며, sample G1~G10에서의 자외선 영역과 가시광선 영역의 평균 투과율은 UV-B에서는 82.5~85.4%, UV-A에서는 82.3%~85.2%의 범위를 나타내었고, visible transmittance에서는 83.2%~85.4%의 투과율을 나타내었다. Sample R과 비교하여 광투율은 다소 감소하는 경향을 나타내었지만 비교적 높은 투과율을 보였으며, Au colloid 양에 따른 투과율은 많은 차이를 나타내지 않았다. 인장강도에서는 평균 인장강도가 0.141 kgf~0.152 kgf를 나타내어 기존 콘택트렌즈의 물리적 특성에 부합되는 것으로 나타났다. 따라서 항균성을 갖는 기능성 고분자로써 의료분야에 다양한 적용이 가능할 것으로 판단된다.

Acknowledgments. This research was financially supported by the Ministry of Eduction, Science Technology (MEST) and Korea Institute for Advancement of Technology (KIAT) through the Human Resource Training Project for Regional Innovation.

REFERENCES

- Gellatly, K. W.; Brennan, N. A.; Efron, N. Am. J. Optometry Physiol. Opt. 1988, 65, 934.
- Soltys-Robitaille, C. E.; Ammon, D. M. Jr.; Valint, P. L. Jr.; Grobe, G. L. III *Biomaterials* 2001, 22(24), 3257.
- 3. Ye, K. H.; Kim, T. H.; Sung, A. Y. Korean J. Vis. Sci. 2008, 9, 459.
- 4. Kim, T. H.; Ye, K. H.; Kwon, Y. S.; Sung, A. Y. J. Korean Oph. Opt. Soc. 2006, 11(3), 259.
- 5. Kim, T. H.; Sung, A. Y. J. Kor. Chem. Soc. 2009, 53(3), 340.
- Ye, K. H.; Cho, S. H.; Sung, A. Y. J. Kor. Chem. Soc. 2009, 53(5), 542.
- 7. Ye, K. H.; Sung, A. Y. J. Kor. Chem. Soc. 2009, 53(3), 335.
- 8. Kim, T. H.; Sung, A. Y. J. Kor. Chem. Soc. 2009, 53(5), 547.
- Lee, S. W.; Lee, J. W.; Kim, S. I. Applied Chemistry 2009, 13(2), 201.
- 10. Kim, C. N.; Xing, Z. C.; Baek, J. Y.; Bae, H. S.; Kang, I. K. *Polymer(Korea)* **2009**, *33*(5), 429.