

Comparison of Loading and Release Efficiency of Asiatic Acid in Soft Hydrogel Lenses for Corneal Repair

Chaeyeon Kim^{1,a}, Seunghye Choi^{1,b}, Mijung Park^{2,c}, and So Ra Kim^{2,d,*}

¹Dept. of Optometry, Seoul National University of Science and Technology, Student, Seoul 01811, Korea

²Dept. of Optometry, Seoul National University of Science and Technology, Professor, Seoul 01811, Korea

(Received February 6, 2026: Revised February 23, 2026: Accepted February 27, 2026)

Purpose: This study aimed to evaluate the feasibility of developing soft contact lenses (hereafter, soft lenses) for corneal wound healing by developing asiatic acid (AA)-loaded lenses and assessing their optimal soaking conditions, physical properties, and drug release profiles. **Methods:** Soft lenses from FDA groups II and IV were soaked for 12, 24, and 48 hours in solutions with varying concentrations of AA. After soaking, the amount of AA loaded into the lenses was quantified, release profiles were analyzed, and lens parameters were measured before and after loading to assess changes. **Results:** After soaking in AA solution at 250 μ M, the hilafilcon B lens demonstrated the highest loading efficiency at 24 hours, whereas the etafilcon A lens showed the highest loading efficiency at 48 hours. Both lenses exhibited a pronounced initial release, with cumulative releases of 88.67% for the hilafilcon B lens and 75.96% for the etafilcon A lens. Changes in lens parameters following AA loading varied by material and were dependent on soaking time and concentration. Some parameters exceeded ISO tolerance limits, and a trend towards increased lens steepness was observed based on changes in total diameter and base curve. **Conclusions:** This study demonstrates that soaking and release profiles for AA-loaded soft lenses can be established. Furthermore, AA shows potential for use in therapeutic contact lenses for corneal wound healing and postrefractive surgery applications.

Key words: Asiatic acid, Drug delivery, Soaking technique, Soft contact lenses, Therapeutic contact lenses

서 론

시력교정 목적으로 사용되는 콘택트렌즈는 최근 바이오 센서 및 약물 전달체 등 다양한 사용 목적으로도 연구되고 있다. 1971년 하이드로겔 콘택트렌즈를 사용하였을 때 각막부종, 각막궤양, 원추각막, 안구건조증 등 환자들의 약 절반에게서 치료 효과를 보였다는 결과가 치료용 콘택트 렌즈에 관한 최초의 연구 결과이며,^[1] 최근까지도 치료용 콘택트렌즈의 개발을 위하여 *in vivo* 등의 다양한 연구가 지속적으로 진행되고 있다.^[2-4]

치료용 콘택트렌즈의 주요 목적 중 하나는 각막대사를 촉진하여 재생과정을 지원하고, 안구 조직 치유 및 불편감을 완화하는 것이다.^[5] 각막 일부를 절삭하여 모양과 곡률을 변화시킴으로써 굴절이상을 교정하는 각막굴절교정술은 수술 후 몇 년간 안정적인 시력이 유지되는 장점이 있으나 절삭면 및 경계면 부위의 상처로 인한 염증반응, 각

막혼탁 등의 부작용이 단점이다.^[6] 각막굴절교정술 후 상처치유 과정은 이러한 부작용을 막기 위한 중요한 요소로 작용하게 된다. 수술 직후 상피의 치료와 통증 완화를 위하여 약 3~5일간 소프트콘택트렌즈(이하 소프트렌즈)를 착용하는데,^[7-9] 초기에는 통증 완화의 목적이었으나 현재는 각막 재생피화 촉진을 위한 bandage contact lenses로 사용되며, FDA 승인도 이루어지고 있고,^[10] 여러 약물이 상처치유를 위한 치료용 콘택트렌즈 연구에 사용되고 있다.^[11]

병풀(*Centella asiatica (L.) Urban*)은 항염증, 상처 치유, 항산화 등 다양한 생리활성을 가진 약용 식물의 하나로, 주요 활성 성분으로는 asiatic acid(이하 AA), madecassic acid, asiaticoside 등이 알려져 있다. 트리테르펜 계열의 사포닌 성분인 AA는 lipopolysaccharide로 자극된 사람의 각막상피 배양세포에서 염증 인자의 생성을 감소시키고 활성산소의 생성을 억제하는 동시에 글루타티온 생성을 증가시키는 효과를 가지며,^[12] 녹내장이 있는 쥐의 손상된 망

본 논문의 일부내용은 「2021 한국안광학회 동계학술대회」에서 포스터로 발표되었음.

*Corresponding author: So Ra Kim, TEL: +82-2-970-6264, E-mail: srk2104@seoultech.ac.kr

Authors ORCID: ^ahttps://orcid.org/0009-0009-8695-4713, ^bhttps://orcid.org/0000-0002-7215-7424, ^chttps://orcid.org/0000-0002-4645-7415, ^dhttps://orcid.org/0000-0001-8786-2815

막신경절세포에서 신경보호 효과와 망막기능 개선 효과를 가지는 것으로 보고된 바 있다.^[13] 병풀 추출물과 주요 활성 성분인 AA가 *in vitro*에서 각막상피의 상처 치유를 촉진하며,^[14] 섬유아세포의 증식과 콜라겐의 합성을 촉진하고,^[15] 당뇨병성 상처 부위에서 감염 및 염증을 완화시키는 것으로 보고된 바 있다.^[16] 이러한 선행연구 결과로부터 각막의 상처 및 굴절수술 후 각막상피의 재생 및 재구조화에 AA를 치료 약물로 사용할 수 있을 것으로 판단하였다. 이에 본 연구에서는 천연 화합물 상처치유 활성 성분인 AA를 소프트렌즈에 침지시킨 후 방출 양상과 렌즈 파라미터 및 물성 변화를 분석함으로써, 각막굴절교정술 후 또는 각막에 상처 발생 시 상처 치유 과정에 효과적으로 사용될 수 있는 치료용 콘택트렌즈로서의 적용 가능성을 평가하고자 하였다.

대상 및 방법

1. 재료

천연 유래의 상처치유 물질로 asiatic acid(AA, Sigma-Aldrich Co., USA)를 사용하였으며, 약물 전달체로는 일회용 소프트렌즈인 FDA 2군의 hilafilcon B(Bausch & Lomb, Rochester, USA) 재질과 4군의 etafilcon A(Johnson & Johnson, Jacksonville, USA) 재질의 소프트렌즈를 사용하였다(Table 1). 치료용 콘택트렌즈로부터 AA의 방출 여부는 인산완충 식염수(PBS, pH 7.4)를 사용하여 확인하였으며, 렌즈로부터 방출된 AA의 양은 Ultra-performance liquid chromatography(UPLC, Waters Corp., Milford, MA, USA)로 정량하였다.

Table 1. Characteristics of soft contact lenses used in this study

Brand name	Bausch & Lomb Soflens 1-DAY ACUVUE	
	Daily Disposable	Moist
Manufacturer	Bausch + Lomb	Johnson & Johnson Vision
FDA group	class II	class IV
USAN*	hilafilcon B	etafilcon A
Wearing schedule	1 day	
Back vertex power (D)	-3.00	
Water contents (%)	59	58
Central thickness (mm)	0.090	0.084
Total diameter (mm)	14.2	14.2
Base curve (mm)	8.6	8.5
Oxygen Transmission (Dk/t) ($\times 10^{-9}$) [†]	22.0	21.4

*United States Adopted Name

[†](cm/s)(mL O₂/mL * mmHg)

2. 소프트렌즈의 AA 탑재 및 정량 조건

소프트렌즈를 포장 용기에서 꺼내어 PBS로 세척한 후 실온에서 24시간 이상 건조한 후 2 mL의 AA 용액이 담긴 바이알에 hilafilcon B와 etafilcon A 재질의 렌즈를 각각 넣고 12, 24 및 48시간 동안 침지하였다. AA는 50 mM stock solution으로 제조한 후 PBS로 500.0, 250.0, 125.0 및 62.5 μ M 농도로 희석하여 사용하였으며, 해당 농도에서 재질 별로 바이알 당 1개 렌즈의 침지를 3회 수행하였다.

AA가 함유된 PBS에 ethyl acetate 10 mL를 가하여 AA를 2회 추출한 뒤 회전식 감압 농축기를 사용하여 농축하고 750 μ L ethanol에 재용해하여 UPLC 분석에 사용하였다. UPLC 분석에는 C18 column(1.8 μ m, 2.1 \times 50 mm, Waters Corp., Milford, MA, USA)을 사용하였고, 이동상은 acetonitrile (A)와 distilled water(B)를 사용하여 0.35 mL/min의 유속으로 15분 동안 205 nm에서 AA 피크를 검출하였다. 이때 AA 시료의 주입량은 2.0 μ L이었으며, 컬럼 온도는 25°C, 시료 온도는 20°C로 유지하였다. UPLC 분석은 각 렌즈당 4회 반복 측정하여 렌즈별 평균값을 산출하였고, 이후 3개 렌즈에서 얻은 평균값을 다시 평균하여 해당 농도의 최종 분석값으로 사용하였다(Table 2).

3. 소프트렌즈 내 AA의 탑재량 및 방출량

소프트렌즈에 탑재된 AA의 양은 각각 탑재 전후 PBS 용액 내 AA를 UPLC로 정량하고 표준품의 검량선으로부터 얻은 수식을 사용하여 구하였다.

Table 2. Conditions of ultra-performance liquid chromatography (UPLC) for the quantification of asiatic acid

UPLC	Waters Acquity™ H-class ultra-performance liquid chromatography (UPLC) system (Waters Corp., Milford, MA, USA)		
Column	ACQUITY UPLC® HSST3 1.8 μ m 2.1 \times 50 mm column Part No. 186003538 Serial No. 015033283157 84		
Detect	UV 205 nm		
Flow rate	0.35 mL/min		
Injection volume	2.0 μ L		
Temperature	Column: 25°C, Sample: 20°C		
Mobile phase	A: Acetonitrile / B: Distilled water		
Gradient		A	B
	0	30	70
	3	30	70
	8	100	100
	10	100	100
	15	30	70

AA 탑재량 = (탑재 전 - 탑재 후) PBS 용액 내 AA 농도

소프트렌즈로부터 방출된 AA량은 탑재 효율이 가장 높았던 소프트렌즈를 세척 및 건조한 후, 암실에서 건조된 렌즈를 1.5 mL의 PBS가 담긴 바이알에 넣은 후 진탕기 (Shaker, CR-300, FINEPCR, Korea)를 이용하여 50 rpm의 속도로 0.5, 1, 2, 4, 6 및 8시간 동안 방출시킨 후 PBS 내 AA를 UPLC로 정량하였다. ISO 기준(ISO 18369-3:2017)에 따라 각막 온도(35°C) 및 습도 50%의 조건에서 수행하였다.

4. AA 탑재 소프트렌즈의 파라미터 평가

AA 탑재로 인한 파라미터의 변화 여부를 알아보기 위하여 탑재 전후 소프트렌즈의 중심두께, 전체직경, 곡률반경, 후정점굴절력, 함수율 및 가시광선 투과율을 측정하고 비교하였다. 소프트렌즈의 중심두께는 전자 두께 측정 장치 (Model ET-3, Chreatech, USA)를 이용해 0.001 mm 단위로 측정하였으며, 전체직경 및 곡률반경은 전용 측정 장치(JCF, Optimec, England)를 이용하여 각각 0.1 mm 및 0.05 mm 단위로 측정하였다. 후정점굴절력은 자동굴절력계(CL-200, Topcon, Japan)를 사용해 0.01 D 단위로 측정하였다. 함수율은 소프트렌즈의 건조 전후 무게를 전자저울(MW-120, Cas, Korea)을 이용하여 0.0001 g 단위로 측정하고 중량법 (gravimetric method, ISO 18369-3:2017)에 따라 구하였다. 즉, 소프트렌즈 건조 전 무게 측정을 위하여 표면 수분을 KIMTECH Science Wipers(Yuhan-Kimberly, Korea)로 제거하였고, 무게 측정 후 건조기(Gravity-air Ovens, Daihan, Korea)를 사용하여 65°C 온도에서 24시간 건조하고 무게를 재측정하였다. 소프트렌즈의 가시광선 투과율은 가시광선 투과율 측정기(TM-1, Topcon, Japan)에 콘택트렌즈의 중심을 맞추어 놓고 투과율을 측정하였다. 모든 파라미터는 3회 반복 측정하여 평균값을 사용하였다.^[17]

5. 통계처리

본 연구의 실험결과는 평균과 표준편차로 표시하였으며, IBM SPSS Statistics(ver 23.0)을 이용하여 유의수준을 결정하였다. AA의 침지 농도와 시간에 따른 소프트렌즈의 파라미터 변화는 경시적 선형 혼합모형(LMM)을 통해 분석하였으며, Bonferroni test를 사용하여 사후검정을 하였다. 이때 유의확률이 $p < 0.05$ 인 경우 통계적 유의성이 있다고 판단하였다.

결과 및 고찰

1. 소프트렌즈로의 AA 탑재

AA의 농도와 침지시간에 따른 소프트렌즈의 탑재 정도

를 알아보기 위하여 hilafilcon B와 etafilcon A 재질의 소프트렌즈를 62.5 μM, 125.0 μM, 250.0 μM 및 500.0 μM의 AA 용액에 각각 12, 24 및 48시간 동안 탑재하였다.

62.5 μM의 AA 용액에 침지시켰을 때 가장 많은 양의 AA

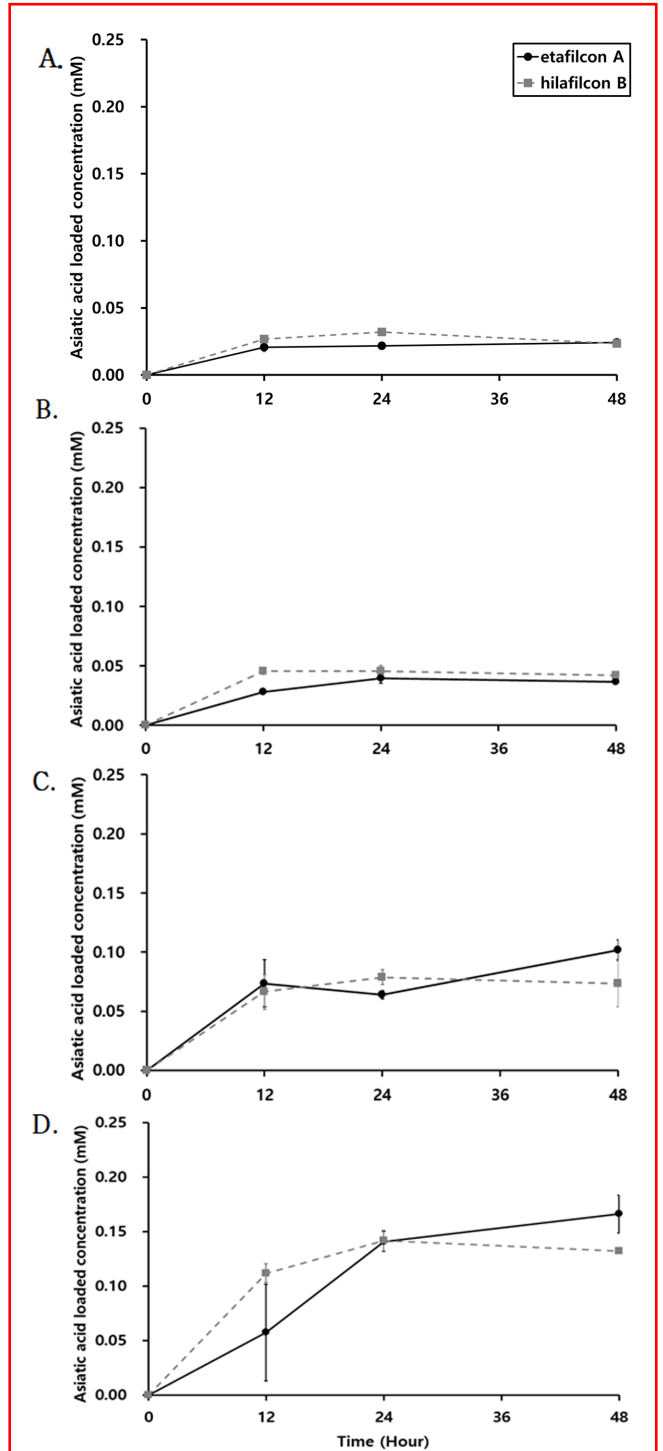


Fig. 1. Amount of asiatic acid loaded into soft contact lenses according to soaking time.

- A. 62.5 μM asiatic acid loaded
- B. 125.0 μM asiatic acid loaded
- C. 250.0 μM asiatic acid loaded
- D. 500.0 μM asiatic acid loaded

탑재는 hilafilcon B 렌즈에서는 24시간 침지 시, etafilcon A 렌즈에서는 48시간 침지 시 각각 $32.05 \pm 0.14 \mu\text{M}$ 과 $24.23 \pm 2.16 \mu\text{M}$ 로 확인되었다(Fig. 1-A). 이때 AA의 탑재 효율

은 hilafilcon B와 etafilcon A 재질에서 각각 $49.24 \pm 0.21\%$ 및 $37.23 \pm 3.32\%$ 로 나타났다(Fig. 2-A). $125.0 \mu\text{M}$ 의 AA 용액에 침지하였을 때는 hilafilcon B 렌즈에서는 12시간 침지 시 $45.63 \pm 3.38 \mu\text{M}$ 로 가장 많은 양의 탑재가 확인되었고, etafilcon A 렌즈에서는 24시간 침지 후 $39.78 \pm 5.22 \mu\text{M}$ 로 가장 많은 양의 탑재가 확인되었다(Fig. 1-B). 이때 AA 탑재 효율은 순서대로 각각 $38.62 \pm 2.86\%$ 및 $33.66 \pm 4.42\%$ 로 나타났다(Fig. 2-B). 한편 $250 \mu\text{M}$ 농도에서의 최대 탑재량은 hilafilcon B 렌즈에서는 24시간 침지 시 $78.68 \pm 7.68 \mu\text{M}$ 이었고, etafilcon A 렌즈에서는 48시간 침지 시 $101.89 \pm 10.39 \mu\text{M}$ 로 확인되었다(Fig. 1-C). 이때의 AA 탑재 효율은 순서대로 각각 $32.04 \pm 3.13\%$ 과 $41.49 \pm 4.23\%$ 로 나타났다(Fig. 2-C). $500 \mu\text{M}$ 농도에서는 hilafilcon B 렌즈에서 24시간 침지 시 $141.64 \pm 11.53 \mu\text{M}$ 로 가장 많은 양이 탑재되었으며, etafilcon A 렌즈에서는 48시간 후 $166.08 \pm 21.24 \mu\text{M}$ 로 가장 많은 양의 탑재가 확인되었다(Fig. 1-D). 이때 AA 탑재 효율은 순서대로 각각 $28.13 \pm 2.29\%$ 및 $32.98 \pm 4.22\%$ 로 나타났다(Fig. 2-D).

AA 탑재량은 소프트렌즈 재질과 관계없이 침지하는 AA 용액의 농도가 높을수록 큰 것으로 나타났으나 최고 AA 탑재량을 보이는 침지시간은 렌즈 재질에 따라 상이하였다. 가장 큰 탑재량은 $500 \mu\text{M}$ 의 AA 용액에 침지 시 hilafilcon B 렌즈에서는 24시간 후에 나타났고, etafilcon A 렌즈에서는 48시간 후에 나타났다. 이러한 차이는 탑재 약물인 AA와 렌즈 재질 간의 물리화학적 상호작용의 차이에 기인한 것으로 판단되었다. 즉, AA는 유기용매에 잘 용해되는 소수성 화합물로 DMSO:PBS(1:3, pH 7.2) 조건에서 약 0.25 mg/mL 의 농도까지 용해할 수 있는데,^[18] 비이온성 재질인 hilafilcon B 렌즈는 소수성인 AA와 반응하여 상대적으로 빠르게 포화 상태에 도달한 반면, 이온성 재질인 etafilcon A 렌즈는 소수성인 AA 분자 내의 카복실기와 정전기적으로 작용하여 탑재 속도는 상대적으로 느리나 48시간 후에는 더 많은 양의 AA가 축적되었음을 알 수 있었다.^[19]

치료용 콘택트렌즈로 사용 가능성을 평가하기 위하여 AA 탑재 양상을 침지 농도와 시간에 따라 알아보았다. 병풀을 함유한 의약품은 일부 유럽 국가에서 승인되어 판매되고 있으며, 국소 치료의 경우 크림 1%, 분말 2% 함량이 권장되며,^[20] 의약품으로 사용되는 병풀의 생리 활성물질에는 madecassoside, asiaticoside, madecassic acid 및 AA가 포함된다.^[21,22] 정상인의 눈물량은 약 $7.0 \mu\text{L}$ 이며 전체 눈물이 교체되는데 걸리는 시간은 약 10분 정도 소요되는 것으로 알려져 있다.^[23] 침지된 렌즈로부터 방출된 약물은 안구 표면에서 눈물의 지속적인 생성 및 배출에 의해 희석 과정을 거치게 된다. 이에 따라 실제 각막에 도달하는 유

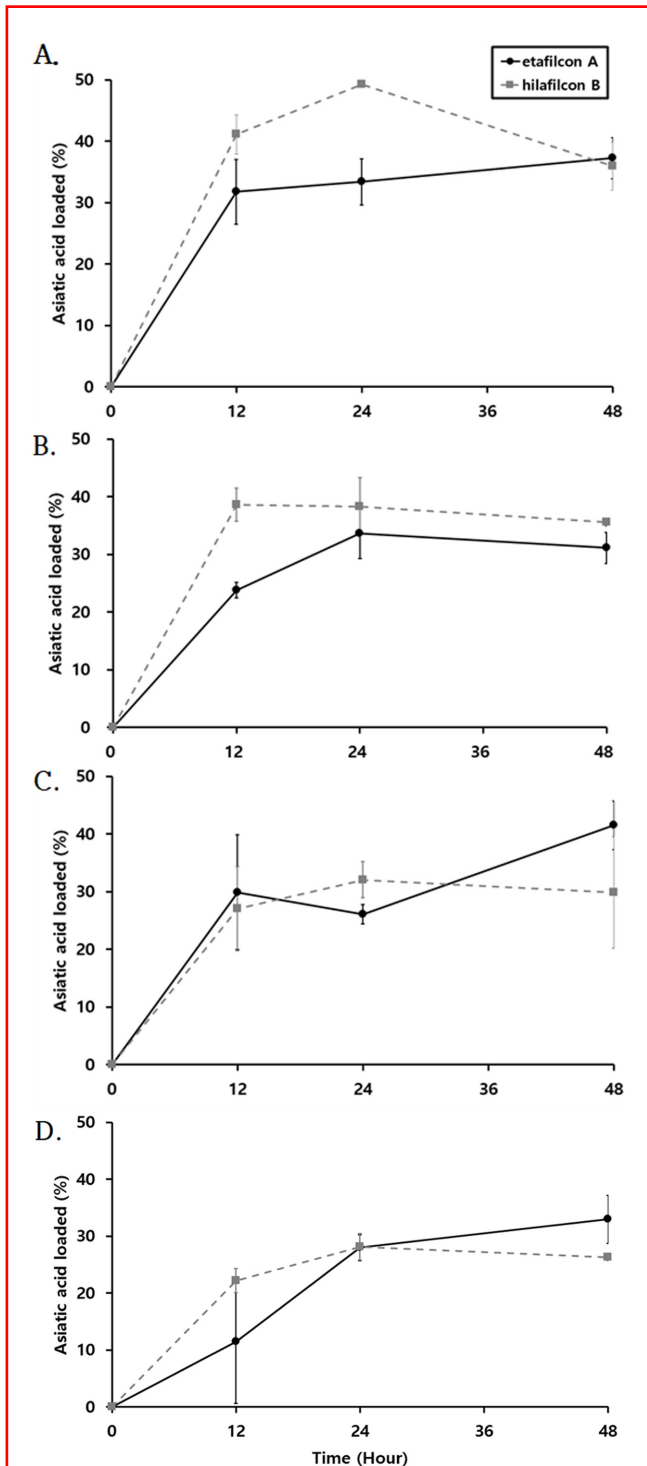


Fig. 2. Loading efficiency of asiatic acid in soft contact lenses according to soaking time.

- A. 62.5 μM asiatic acid loaded
- B. 125.0 μM asiatic acid loaded
- C. 250.0 μM asiatic acid loaded
- D. 500.0 μM asiatic acid loaded

효 농도는 침지 농도의 약 1/10 수준 혹은 그 이하로 낮아지는 것으로 보고된 바 있다.^[24] AA를 과다 적용할 경우 세포독성 및 신경독성과 같은 부작용이 발생할 수 있지만^[16] AA 농도가 30 μM 이하일 때는 세포독성이 관찰되지 않았으므로,^[25] 치료 유효 농도 범위를 유지하기 위해 본 연구에서는 250 μM를 최적 침지 농도로 선정하였다.

2. 소프트렌즈로부터 AA의 방출 양상

AA 탑재량 평가를 통해 각 콘택트렌즈 재질별 최적의 침지시간을 도출하였으며, 해당 조건에서 탑재된 AA의 방출 특성을 평가하였다. 250 μM의 동일 농도 조건에서 hilafilcon B 재질 렌즈는 24시간, etafilcon A 재질 렌즈는 48시간 동안 탑재시킨 후 0.5, 1, 2, 4, 6 및 8시간 동안 AA 방출 용액을 얻었다. 방출 용액 내 AA양을 UPLC로 정량한 결과, hilafilcon B 재질 렌즈에서는 방출 시간 순서대로 15.78 ± 1.93 μM, 11.27 ± 1.20 μM, 11.78 ± 0.54 μM, 11.45 ± 1.19 μM, 10.50 ± 0.54 μM 및 8.99 ± 0.75 μM이었으며, 방출 효율로 나타냈을 때는 20.06 ± 2.45%, 14.32 ± 1.52%, 14.98 ± 0.68%, 14.55 ± 1.51%, 13.34 ± 0.69%, 11.42 ± 0.95%로 초기 방출이 가장 높은 것으로 나타났다. Etafilcon A 재질 렌즈에서의 방출량은 방출 시간 순서대로 24.52 ± 2.10 μM, 15.31 ± 0.23 μM, 11.33 ± 0.69 μM, 9.69 ± 1.31 μM, 8.79 ± 0.83 μM 및 7.75 ± 0.37 μM이었으며, 이를 방출 효율로 나타냈을 때는 24.06 ±

2.06%, 15.03 ± 0.22%, 11.12 ± 0.68%, 9.51 ± 1.29%, 8.63 ± 0.81% 및 7.61 ± 0.36%로 나타나 etafilcon A 재질 렌즈 또한 초기 방출이 가장 높은 것으로 나타났다(Fig. 3-A). 8시간 동안의 AA 누적 방출량은 각각 hilafilcon B 재질 렌즈는 88.67 ± 3.53%이었고, etafilcon A 재질 렌즈는 75.96 ± 2.68%로 나타나 hilafilcon B 재질 렌즈에서 더 큰 방출 효율을 보였으나 방출량 비교에서는 더 많은 탑재를 보였던 etafilcon A 재질 렌즈에서 더 큰 방출을 나타내었다(Fig. 3-B).

250 μM AA의 침지 결과, hilafilcon B 재질 렌즈는 침지 농도의 32.04%에 해당하는 78.68 μM이 탑재되었고, 이의 누적 방출량은 탑재량의 88.67%인 69.76 μM으로 나타났다. 한편 etafilcon A 재질 렌즈는 동일 농도의 AA 침지 시 41.49%에 해당하는 101.89 μM이 탑재되었으며, 이의 누적 방출량은 탑재량의 75.96%인 77.39 μM으로 확인되었다. 두 재질 렌즈 모두 AA 침지 후 초기 30분간 가장 많은 방출이 관찰되었고 시간 경과에 따라 점차 감소하는 양상을 보였다. 본 연구 결과, 치료 목적으로 소프트렌즈에 AA를 탑재하는 최적 조건을 제시할 수 있었고, 재질별로 효율적인 방출 특성을 보이는 조건을 제시할 수 있었으나, 방출 속도 제어를 통한 치료 효과의 지속이 필요한 것으로 생각되었다. 약물전달 매개체로서 소프트렌즈를 사용하는 것은 약물농도의 큰 변동 없이 오랜 시간 일정한 농도로 전달하는 데에 목적을 가지고 있다. 그러나 콘택트렌즈를 이용한 약물전달에서 과다한 초기 방출에 대한 문제점이 지속적으로 제시되고 있어^[26] 향후에는 보다 높은 탑재 효율과 지속적인 방출 시간을 증가시키기 위한 추가적인 연구가 필요할 것으로 사료된다. 또한, 본 연구의 방출 실험은 콘택트렌즈 권장 착용 시간인 8시간까지 수행되었으나 실험조사 시 8시간 이상 착용하는 경우도 적지 않았으므로,^[27] 8시간 이후의 방출 양상 및 누적 방출 특성에 대한 후속 연구가 필요할 것으로 생각된다.

3. AA에 의한 소프트렌즈의 파라미터 변화

AA를 탑재한 소프트렌즈의 파라미터 변화를 침지시간과 농도에 따른 차이가 존재하는지 알아보기 위하여 각 농도 별로 12, 24 및 48시간 동안 침지한 후 렌즈 파라미터를 측정하였다.

AA 침지 전과 비교하였을 때, 중심두께의 경우 hilafilcon B 재질에서는 AA 62.5 μM에서 -2.77~1.06%, 125 μM에서는 -3.96~2.11%, 250 μM에서는 -2.91~1.19%, 500 μM에서는 -4.36~2.51%의 변화를 보였다. 통계분석 결과 침지시간($p=0.000$)에 따른 유의한 차이가 나타났으나 침지농도($p=0.408$)에 따른 차이는 없었으며, 침지농도와 침지시간의 상호작용($p=0.171$) 또한 관찰되지 않았다(Table 3). Etafilcon A 재질은 AA 62.5 μM에서 -4.30~26.80%, 125 μM

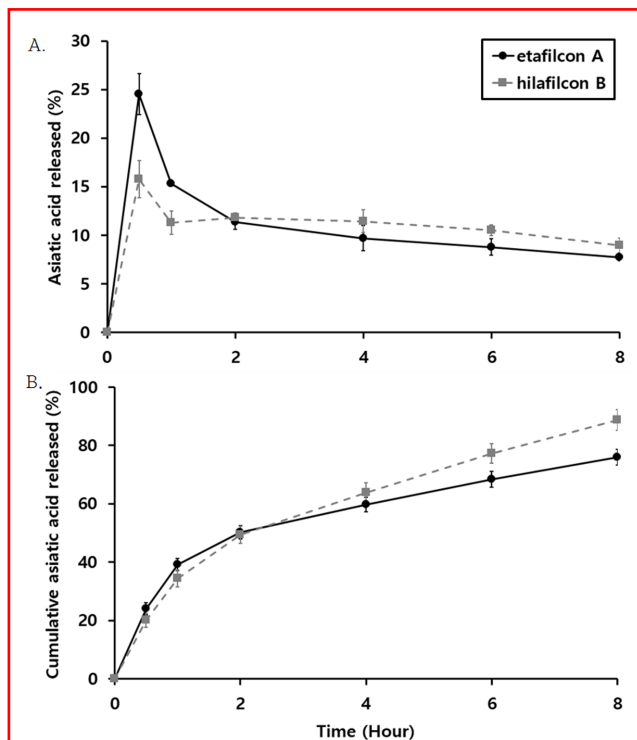


Fig. 3. Amount of asiatic acid released from soft contact lenses.

A. Released amount of asiatic acid
B. Cumulative release of asiatic acid

에서는 -16.15~1.20%, 250 μM에서는 -14.60~4.98%, 500 μM에서는 -6.01~23.20%의 변화를 나타내었다. 통계분석 결과 침지 농도($p=0.121$)에 따른 통계적 유의성은 없었으나 침지시간($p=0.015$)에 따른 유의한 차이가 나타났으며, 침지농도와 침지시간의 상호작용($p=0.004$) 또한 통계적으로 유의한 차이가 나타내었다(Table 4).

전체직경은 hilafilcon B 재질에서는 AA 62.5 μM에서 -3.77~2.12%, 125 μM에서는 -3.38~1.97%, 250 μM에서는 -3.07~1.81%, 500 μM에서는 -3.07~1.65%의 변화를 보였다. 통계분석 결과, 침지시간($p=0.000$)과 침지농도($p=0.005$)에 따른 유의한 차이가 관찰되었으며, 침지농도와 침지시간의 상호작용($p=0.016$) 또한 통계적으로 유의한 것으로 나타났다(Table 3). Etafilcon A 재질은 AA 62.5 μM에서 -1.51~0.08%, 125 μM에서는 -1.11~0.16%, 250 μM에서는 -0.48~0.63%, 500 μM에서는 -0.24~0.71%의 변화를 나타내었다. 통계분석 결과, 침지시간($p=0.747$)과 침지농도($p=0.104$)에 따른 유의한 차이는 나타나지 않았으며, 침지농도와 침지시간의 상호작용($p=0.102$) 또한 관찰되지 않았다(Table 4). 대조군 대비 변화율을 ISO 규격(± 0.2 mm)에 따라 평가한 결과, hilafilcon B 재질에서는 침지시간이 증가함에 따라 허용오차 범위를 초과하는 감소 경향이 지속적으로 관찰되어 렌즈가 스틱하여질 가능성을 시사하였다. 반면, etafilcon A 재질에서는 전체직경 변화 폭이 상대적

으로 작게 나타났으며 ISO 규격 범위 이내에 해당하였다.

곡률반경은 hilafilcon B 재질에서는 AA 62.5 μM에서 -5.43~3.45%, 125 μM에서는 -4.97~3.72%, 250 μM에서는 -4.70~3.12%, 500 μM에서는 -4.70~3.26%의 변화를 보였다. 통계분석 결과, 침지시간($p=0.000$)에 따른 유의한 차이는 관찰되었으나 침지농도($p=0.303$)에 따른 유의한 변화는 없었으며, 침지농도와 침지시간의 상호작용($p=0.179$) 또한 관찰되지 않았다(Table 3). Etafilcon A 재질은 AA 62.5 μM에서 -3.36~2.22%, 125 μM에서는 -3.57~2.96%, 250 μM에서는 -3.10~2.49%, 500 μM에서는 -3.57~2.15%의 변화를 나타내었다. 통계분석 결과, 침지농도($p=0.725$)에 따른 유의한 변화는 관찰되지 않았으나 침지시간($p=0.000$)에 따른 유의한 차이는 관찰되었으며, 침지농도와 침지시간의 상호작용($p=0.047$) 또한 유의한 것으로 나타났다(Table 4). Hilafilcon B 재질에서 감소 폭이 etafilcon A 재질보다 크게 나타났으나 두 재질 렌즈 모두 침지시간이 증가함에 따라 곡률반경이 감소하여 렌즈가 스틱해지는 방향으로 변화하였으며, 이를 ISO 규격(± 0.02 mm)에 따라 평가한 결과, 허용오차 기준 범위를 초과하는 변화임을 알 수 있었다.

후정점굴절력은 hilafilcon B 재질 렌즈에서는 AA 62.5 μM에서 -1.74~0.69%, 125 μM에서는 -2.62~2.00%, 250 μM에서는 -2.83~1.93%, 500 μM에서는 -5.23~2.83%의 변화를 보였다. 통계분석 결과, 침지시간($p=0.015$)에 따른 유

Table 3. Changes in the parameters of hilafilcon B lenses loaded with asiatic acid

Loaded concentration (μM)	0 (Control)												p	
	62.5			125.0			250.0			500.0				
Soaking time (hour)	0	12	24	48	12	24	48	12	24	48	12	24	48	Soaking time Loaded conc. Time×Conc.
	Central thickness (mm)	0.084 ±0.002	0.082 ±0.001 (-2.77)	0.083 ±0.002 (-0.79)	0.085 ±0.001 (1.06)	0.081 ±0.000 (-3.96)	0.086 ±0.002 (2.11)	0.084 ±0.001 (0.40)	0.082 ±0.000 (-2.91)	0.084 ±0.002 (0.26)	0.085 ±0.004 (1.19)	0.080 ±0.001 (-4.36)	0.082 ±0.002 (-2.64)	
Total diameter (mm)	14.13 ±0.06	13.60 ±0.00 (-3.77)	13.83 ±0.07 (-2.12)	13.79 ±0.02 (-2.44)	13.66 ±0.02 (-3.38)	13.86 ±0.04 (-1.97)	13.82 ±0.05 (-2.20)	13.70 ±0.00 (-3.07)	13.84 ±0.05 (-2.4)	13.88 ±0.02 (-1.81)	13.70 ±0.00 (-3.07)	13.82 ±0.04 (-2.20)	13.90 ±0.00 (-1.65)	0.000 0.005 0.016
Base curve (mm)	8.45 ±0.02	7.99 ±0.07 (-5.43)	8.09 ±0.03 (-4.18)	8.16 ±0.08 (-3.45)	8.03 ±0.01 (-4.97)	8.13 ±0.02 (-3.72)	8.09 ±0.07 (-4.18)	8.05 ±0.04 (-4.70)	8.16 ±0.02 (-3.45)	8.18 ±0.02 (-3.12)	8.05 ±0.04 (-4.70)	8.07 ±0.05 (-4.44)	8.17 ±0.07 (-3.26)	0.000 0.303 0.179
Back vertex power (D)	3.06 ±0.00	3.00 ±0.03 (-1.74)	3.01 ±0.07 (-1.42)	3.04 ±0.02 (-0.69)	2.98 ±0.02 (-2.54)	2.98 ±0.05 (-2.62)	3.00 ±0.05 (-2.00)	2.97 ±0.11 (-2.83)	2.99 ±0.10 (-2.22)	3.00 ±0.05 (-1.93)	2.99 ±0.10 (-2.99)	2.90 ±0.13 (-5.23)	2.97 ±0.08 (-2.83)	0.015 0.320 0.904
Visible transmittance (%)	98.67 ±0.33	97.33 ±0.33 (-1.35)	98.22 ±0.38 (-0.45)	97.11 ±1.02 (-1.58)	97.22 ±0.51 (-1.46)	98.00 ±1.20 (-0.68)	97.33 ±0.67 (-1.35)	96.56 ±0.51 (-2.14)	97.22 ±1.26 (-1.46)	95.78 ±0.84 (-2.93)	97.22 ±0.69 (-1.46)	96.89 ±0.84 (-1.80)	94.22 ±0.84 (-4.50)	0.000 0.003 0.035
Water content (%)	56.48 ±0.00	55.62 ±0.08 (-1.35)	54.27 ±0.17 (-3.92)	56.08 ±0.01 (-0.72)	58.26 ±1.15 (1.96)	55.15 ±0.00 (-2.36)	55.95 ±0.01 (-0.93)	59.41 ±0.01 (5.19)	57.03 ±0.14 (0.96)	55.50 ±0.01 (-1.74)	58.47 ±0.07 (3.52)	59.39 ±0.04 (5.15)	59.79 ±0.05 (5.86)	0.000 0.000 0.000

*Values in parentheses indicate the relative change (%)

Table 4. Changes in the parameters of etafilcon A lenses loaded with asiatic acid

Loaded concentration (μM)	0 (Control)	62.5			125.0			250.0			500.0			<i>p</i>
Soaking time (hour)	0	12	24	48	12	24	48	12	24	48	12	24	48	Soaking time Loaded conc. Time \times Conc.
Central thickness (mm)	0.065 ± 0.002	0.082 ± 0.005 (26.80)	0.062 ± 0.003 (-3.61)	0.062 ± 0.002 (-4.30)	0.063 ± 0.017 (-1.89)	0.065 ± 0.014 (1.20)	0.054 ± 0.008 (-16.15)	0.055 ± 0.002 (-14.60)	0.060 ± 0.002 (-6.87)	0.061 ± 0.008 (-4.98)	0.070 ± 0.008 (8.93)	0.080 ± 0.005 (23.20)	0.061 ± 0.007 (-6.01)	0.015 0.121 0.004
Total diameter (mm)	14.01 ± 0.04	13.80 ± 0.00 (-1.51)	14.00 ± 0.17 (-0.08)	13.98 ± 0.04 (-0.24)	13.86 ± 0.05 (-1.11)	13.94 ± 0.05 (-0.48)	13.99 ± 0.02 (-0.16)	14.10 ± 0.17 (0.63)	13.94 ± 0.05 (-0.48)	13.96 ± 0.04 (-0.40)	14.11 ± 0.19 (0.71)	14.03 ± 0.23 (0.16)	13.98 ± 0.02 (-0.24)	0.747 0.104 0.102
Base curve (mm)	8.26 ± 0.03	8.07 ± 0.05 (-2.22)	7.98 ± 0.04 (-3.36)	7.98 ± 0.03 (-3.30)	7.99 ± 0.09 (-3.16)	8.01 ± 0.03 (-2.96)	7.96 ± 0.07 (-3.57)	8.00 ± 0.00 (-3.10)	8.05 ± 0.04 (-2.49)	8.01 ± 0.05 (-2.96)	7.99 ± 0.03 (-3.23)	8.08 ± 0.05 (-2.15)	7.96 ± 0.06 (-3.57)	0.000 0.725 0.047
Back vertex power (D)	3.06 ± 0.00	3.06 ± 0.05 (-0.04)	3.08 ± 0.03 (0.69)	3.00 ± 0.04 (-2.00)	2.97 ± 0.14 (-2.94)	3.01 ± 0.09 (-1.60)	3.05 ± 0.04 (-0.47)	3.01 ± 0.08 (-1.56)	3.02 ± 0.13 (-1.27)	3.04 ± 0.06 (-0.80)	2.97 ± 0.04 (-2.87)	3.01 ± 0.07 (-1.53)	2.92 ± 0.07 (-4.79)	0.132 0.239 0.588
Visible transmittance (%)	95.67 ± 0.67	97.89 ± 0.51 (2.32)	95.00 ± 0.33 (-0.70)	99.00 ± 0.00 (3.48)	97.44 ± 1.84 (1.86)	97.11 ± 0.69 (1.51)	99.00 ± 0.00 (3.48)	96.56 ± 1.35 (0.93)	97.78 ± 1.02 (2.21)	98.89 ± 0.19 (3.37)	99.00 ± 0.00 (3.48)	97.56 ± 1.50 (1.97)	98.56 ± 0.77 (3.02)	0.000 0.270 0.003
Water content (%)	57.53 ± 0.00	59.97 ± 0.01 (4.25)	56.02 ± 0.00 (-2.63)	56.84 ± 0.16 (-1.20)	60.60 ± 0.01 (5.34)	56.53 ± 0.00 (-1.74)	56.77 ± 0.16 (-1.32)	58.70 ± 0.01 (2.03)	57.53 ± 0.00 (0.00)	57.19 ± 0.01 (-0.59)	59.03 ± 0.01 (2.61)	60.80 ± 0.06 (5.68)	56.48 ± 0.00 (-2.80)	0.000 0.000 0.000

*Values in parentheses indicate the relative change (%)

의한 차이가 나타났으나 침지농도($p=0.320$)에 따른 유의한 변화는 나타나지 않았으며, 침지농도와 침지시간의 상호작용($p=0.904$) 또한 유의한 차이는 관찰되지 않았다(Table 3). Etafilcon A 재질 렌즈는 AA 62.5 μM 에서 -2.00~0.69%, 125 μM 에서는 -2.94~-0.47%, 250 μM 에서는 -1.56~-0.80%, 500 μM 에서는 -4.79~-1.53%의 변화를 나타내었다. 통계분석 결과, 침지시간($p=0.132$)과 침지농도($p=0.239$)에 따른 유의한 차이는 나타나지 않았으며 침지농도와 침지시간의 상호작용($p=0.588$) 또한 관찰되지 않았다(Table 4). 대조군 대비 변화율을 ISO 규격(± 0.25 D)에 따라 평가한 결과, 두 재질 모두에서 음의 방향으로 변화하여 근시성 변화가 나타날 가능성을 시사하였으나 허용오차 범위 이내에 해당하였다.

가시광선투과율은 hilafilcon B 재질에서는 AA 62.5 μM 에서 -1.58~-0.45%, 125 μM 에서는 -1.46~-0.68%, 250 μM 에서는 -2.93~-1.46%, 500 μM 에서는 -4.50~-1.46%의 변화를 보였다. 통계분석 결과, 침지시간($p=0.000$)과 침지농도($p=0.003$)에 따른 유의한 차이가 나타났으며, 침지농도와 침지시간의 상호작용($p=0.035$) 또한 유의한 것으로 나타났다(Table 3). Etafilcon A 재질은 AA 62.5 μM 에서 -0.70~-3.48% 125 μM 에서는 1.51~3.48%, 250 μM 에서는 0.93~3.37%, 500 μM 에서는 1.97~3.48%의 변화를 나타내었다. 통계분석 결과, 침지농도($p=0.270$)에 따른 유의한 차이는 나타나지 않

았으나 침지시간($p=0.000$)에 따른 유의한 차이는 나타났으며, 침지농도와 침지시간의 상호작용($p=0.003$) 또한 유의한 차이가 관찰되었다(Table 4). FDA 그룹 2에 해당하는 hilafilcon B 재질에서는 5% 이내의 감소가 관찰된 반면, FDA 그룹 4에 해당하는 etafilcon A 재질에서는 전반적으로 증가하는 경향을 보였으며 최대 3.48%의 증가가 관찰되었다.

함수율은 hilafilcon B 재질 렌즈에서는 AA 62.5 μM 에서 -3.92~-0.72%, 125 μM 에서는 -2.36~-1.96%, 250 μM 에서는 -1.74~-5.19%, 500 μM 에서는 3.52~5.86%의 변화를 보였다. Etafilcon A 재질 렌즈에서는 AA 62.5 μM 에서 -2.63~-4.25%, 125 μM 에서는 -1.74~-5.34%, 250 μM 에서는 -0.59~-2.03%, 500 μM 에서는 2.61~5.68%의 변화를 나타내었다. 통계분석 결과, 두 재질 모두 침지시간($p=0.000$)과 침지농도($p=0.000$)에 따른 유의한 차이가 관찰되었으며, 침지농도와 침지시간의 상호작용($p=0.000$) 또한 유의한 차이가 관찰되었다(Table 3, 4). 대조군 대비 변화율을 ISO 규격($\pm 2\%$)에 따라 평가한 결과, 두 재질 모두에서 침지시간 및 침지농도 증가에 따라 유의한 변화가 관찰되었다. 일부 농도를 제외한 시간 및 농도 조건에서 허용오차 범위를 초과하는 변화가 나타났으므로 피팅 상태의 변화와 근시의 과교정 상태가 유발될 가능성이 있음을 알 수 있었다.

본 연구에서 AA를 탑재한 소프트렌즈의 파라미터 변화

를 평가하기에 앞서, 제조사 표기값(Table 1)과 대조군 렌즈의 실측값(Table 3, 4) 간의 차이가 존재함을 확인하였다. 일부 대조군 렌즈에서는 ISO 규격의 허용오차를 초과하는 변화가 관찰되었으며, 이는 약물 침지 여부와 무관하게 표기값과 실측값 간 차이가 존재함을 시사한다. 따라서 본 연구에서 실험군의 파라미터 변화는 제조사 표기값 대신 대조군 렌즈를 기준으로 ISO 허용오차 범위 내에서 상대적으로 비교하였다. 침지시간과 농도에 따른 렌즈 파라미터 변화의 통계적 유의성은 두 종류의 소프트렌즈에서 측정 항목에 따라 상이하게 나타났다. 전체직경과 곡률반경을 제외한 대부분의 파라미터에서 고탍수 이온성인 etafilcon A 재질이 고탍수 비이온성인 hilafilcon B 재질보다 상대적으로 큰 변화를 나타내었다. 선행연구에 따르면 침지법을 이용한 약물 탑재는 소프트렌즈의 수분함량이 감소할 수 있는 것으로 보고되고 있다.^[28] 특히 하이드로겔 렌즈는 HEMA 등의 고분자로 구성되어 있으며, 소수성 약물이 렌즈의 고분자 사슬과 상호작용을 함으로써 렌즈 고분자 네트워크에 국소적인 미세구조 재배열을 유도할 가능성이 있다.^[29] 이러한 결과를 종합하였을 때 AA는 렌즈의 화학적 및 물성에 영향을 미쳤을 가능성을 추측해 볼 수 있다. ISO 규격을 초과하는 변화를 보인 전체직경, 곡률반경 및 함수율은 통계적으로 유의하게 나타났으며, 이러한 렌즈의 steepening은 각막 주변부와의 밀착을 증가시켜 렌즈의 움직임이 제한되고, 눈물 순환 감소를 초래할 수 있다.^[30] 그러나, 대부분의 측정값은 ISO 허용오차 범위에 근접하거나 약간 벗어나는 수준에 해당하였다. 따라서 본 연구에서 관찰된 물성 변화는 침지법을 이용한 약물 탑재 과정에서 발생할 수 있는 화학적 영향으로 해석될 수 있겠으나, 치료용 콘택트렌즈로 활용될 경우 안정성이나 시기능에 직접적인 영향을 미칠 가능성은 높지 않을 것으로 예상되므로 이를 뒷받침할 후속 연구가 필요하다.

결 론

본 연구에서는 AA에 침지시킨 소프트렌즈에서 탑재 및 방출 특성과 이에 따른 렌즈 파라미터 변화를 분석하였다. 그 결과, 침지시간과 침지농도에 따라 렌즈 재질별로 상이한 최적의 로딩 조건과 방출 양상이 확인되었으며, 치료 목적 사용의 가능성을 확인하였다. 이러한 결과는 AA를 활용한 소프트렌즈가 각막 상처 회복 및 굴절수술 후 착용을 위한 치료용 콘택트렌즈로 활용될 가능성을 시사하였다. 향후 방출 속도 및 렌즈 파라미터 변화를 조절할 수 있는 후속 연구를 통해 AA를 활용한 치료용 소프트렌즈의 임상 적용 가능성을 제안한다.

감사의 글

본 연구는 서울과학기술대학교 교내연구비의 지원으로 수행되었습니다.

REFERENCES

- [1] Dohlman CH, Boruchoff SA, Mobilia EF. Complications in use of soft contact lenses in corneal disease. *Arch Ophthalmol.* 1973;90(5):367-371. DOI: <https://doi.org/10.1001/archophth.1973.01000050369006>
- [2] Peng CC, Burke MT, Carbia BE, et al. Extended drug delivery by contact lenses for glaucoma therapy. *J Control Release.* 2012;162(1):152-158. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jconrel.2012.06.017>
- [3] Alvarez-Rivera F, Rey-Rico A, Venkatesan JK, et al. Controlled release of rAAV vectors from APMA-functionalized contact lenses for corneal gene therapy. *Pharmaceutics.* 2020;12(4):335. DOI: <https://doi.org/10.3390/pharmaceutics12040335>
- [4] Banerjee SL, Samanta S, Sarkar S, et al. A self-healable and antifouling hydrogel based on PDMS centered ABA triblock copolymer polymersomes: a potential material for therapeutic contact lenses. *J Mater Chem B.* 2020;8(2): 226-243. DOI: <https://doi.org/10.1039/c9tb00949c>
- [5] Ambroziak AM, Szaflik JP, Szaflik J. Therapeutic use of a silicone hydrogel contact lens in selected clinical cases. *Eye Contact Lens.* 2004;30(1):63-67. DOI: <https://doi.org/10.1097/01.ICL.0000105563.54932.44>
- [6] Netto MV, Mohan RR, Ambrosio R, et al. Wound healing in the cornea: a review of refractive surgery complications and new prospects for therapy. *Cornea.* 2005;24(5):509-522. DOI: <https://doi.org/10.1097/01.ico.0000151544.23360.17>
- [7] Azar DT, Chang JH, Han KY. Wound healing after Keratorefractive surgery: review of biological and optical considerations. *Cornea.* 2012;31:S9-S19. DOI: <https://doi.org/10.1097/ICO.0b013e31826ab0a7>
- [8] Wilson SE. Biology of keratorefractive surgery- PRK, PTK, LASIK, SMILE, inlays and other refractive procedures. *Exp Eye Res.* 2020;198:108136. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.exer.2020.108136>
- [9] Jacobs DS, Carrasquillo KG, Cottrell PD, et al. BCLA CLEAR – medical use of contact lenses. *Cont Lens Anterior Eye.* 2021;44(2):289-329. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.clae.2021.02.002>
- [10] Razmjoo H, Abdi E, Atashkadi S, et al. Comparative study of two silicone hydrogel contact lenses used as bandage contact lenses after photorefractive keratectomy. *Int J Prev Med.* 2012;3(10):718-722.
- [11] Ionita M, Vlasceanu GM, Toader AG, et al. Advances in therapeutic contact lenses for the management of different ocular conditions. *J Pers Med.* 2023;13(11):1571. DOI: <https://doi.org/10.3390/jpm13111571>

- [12] Chen H, Hua XM, Ze BC, et al. The anti-inflammatory effects of asiatic acid in lipopolysaccharide-stimulated human corneal epithelial cells. *Int J Ophthalmol.* 2017; 10(2):179-185. DOI: <https://doi.org/10.18240/ijo.2017.02.01>
- [13] Huang W, Gao F, Hu F, et al. Asiatic acid prevents retinal ganglion cell apoptosis in a rat model of glaucoma. *Front Neurosci.* 2018;12:489. DOI: <https://doi.org/10.3389/fnins.2018.00489>
- [14] Idrus RBH, Chowdhury SR, Manan NABA, et al. Aqueous extract of *Centella asiatica* promotes corneal epithelium wound healing in vitro. *J Ethnopharmacol.* 2012;140(2): 333-338. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jep.2012.01.023>
- [15] Diniz LRL, Calado LL, Duarte ABS, et al. *Centella asiatica* and its metabolite asiatic acid: wound healing effects and therapeutic potential. *Metabolites.* 2023;13(2):276. DOI: <https://doi.org/10.3390/metabo13020276>
- [16] Han Y, Jiang Y, Liu Y, et al. An aligned porous electro-spun fibrous scaffold with embedded asiatic acid for accelerating diabetic wound healing. *J Mater Chem B.* 2019;7(40):6125-6138. DOI: <https://doi.org/10.1039/C9TB01327J>
- [17] Kim NH, Hwang SD, Kim SR, et al. Effects of artificial tear containing chlorhexidine gluconate on the stability of soft contact lenses. *J Korean Ophthalmic Opt Soc.* 2024; 29(4):193-201. DOI: <https://doi.org/10.14479/jkoos.2024.29.4.193>
- [18] Cayman Chemical. Asiatic Acid, 2026. [https://www.caymanchem.com/product/11818/asiatic-acid?srsId=Afm-BOoqftFkzuQ1Feej1O9ucHvvr1mG45ITnRotLMULpadPYTZUHR3p\(26 January 2026\)](https://www.caymanchem.com/product/11818/asiatic-acid?srsId=Afm-BOoqftFkzuQ1Feej1O9ucHvvr1mG45ITnRotLMULpadPYTZUHR3p(26 January 2026)).
- [19] Zhao L, Song J, Du Y, et al. Therapeutic applications of contact lens-based drug delivery systems in ophthalmic diseases. *Drug Deliv.* 2023;30(1):2219419. DOI: <https://doi.org/10.1080/10717544.2023.2219419>
- [20] Edwards SE, Rocha IdC, Williamson EM, et al. *Phytopharmacy: an evidence-based guide to herbal medical products*, 1st Ed. New Jersey: Wiley Online Library, 2015;91-93.
- [21] Bandopadhyay S, Mandal S, Ghorai M, et al. Therapeutic properties and pharmacological activities of asiaticoside and madecassoside: a review. *J Cell Mol Med.* 2023;27(5): 593–608. DOI: <https://doi.org/10.1111/jcmm.17635>
- [22] Park KS. Pharmacological effects of *Centella asiatica* on skin diseases: evidence and possible mechanisms. *Evid Based Complement Alternat Med.* 2021;5462633. DOI: <https://doi.org/10.1155/2021/5462633>
- [23] Eter N, Gobbels M. A new technique for tear film fluorophotometry. *Br J Ophthalmol.* 2002;86(6):616-619. DOI: <https://doi.org/10.1136/bjo.86.6.616>
- [24] Mishima S, Gasset A, Klyce SD, et al. Determination of tear volume and tear flow. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 1966;5(3):264-276.
- [25] Tang LX, He R, Yang G, et al. Asiatic acid inhibits liver fibrosis by blocking TGF-beta/smad signaling in vivo and in vitro. *PLoS One.* 2012;7(2):e31350. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0031350>
- [26] Maulvi FA, Soni TG, Shah DO. A review on therapeutic contact lenses for ocular drug delivery. *Drug Deliv.* 2016; 23(8):3017-3026. DOI: <https://doi.org/10.3109/10717544.2016.1138342>
- [27] Kim KS, Kim SK, Kim H. The survey on its wearing schedule of workers wearing contact lens. *J Korean Ophthalmic Opt Soc.* 2015;20(1):43-49. DOI: <https://doi.org/10.14479/jkoos.2015.20.1.43>
- [28] Franco P, Marco ID. Contact lenses as ophthalmic drug delivery systems: a review. *Polymers.* 2021;13(7):1102. DOI: <https://doi.org/10.3390/polym13071102>
- [29] Hoare TR, Kohane DS. Hydrogels in drug delivery: progress and challenges. *Polymer.* 2008;49(8):1993-2007. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.polymer.2008.01.027>
- [30] Liesegang TJ. Physiologic changes of the cornea with contact lens wear. *CLAO Journal.* 2002;28(1):12-27.

각막 치유를 위한 하이드로겔 렌즈의 아시아틱산 로딩 및 방출 효율 비교

김채연¹, 최승혜¹, 박미정², 김소라^{2,*}

¹서울과학기술대학교 안경광학과, 학생, 서울 01811

²서울과학기술대학교 안경광학과, 교수, 서울 01811

투고일(2026년 2월 6일), 수정일(2026년 2월 23일), 게재확정일(2026년 2월 27일)

목적: 본 연구에서는 천연 유래 화합물인 아시아틱산(이하 AA)이 탑재된 소프트콘택트렌즈(이하 소프트렌즈)를 개발하고, 최적의 침지조건과 이에 따른 렌즈의 물성 및 방출 양상을 평가하여 각막상처 치유 기능을 가진 소프트렌즈를 개발 가능성을 평가하고자 하였다. **방법:** 국내 시판 중인 FDA 2군과 4군의 하이드로겔 렌즈를 대상으로 AA 농도를 달리하여 12시간, 24시간 및 48시간 동안 침지시켰다. 침지 후 소프트렌즈의 탑재량을 정량하고, 방출 양상을 분석하였으며, AA 탑재에 따른 렌즈 파라미터를 AA 침지 전후로 측정하여 변화 여부를 평가하였다. **결과:** AA 용액 침지 결과, 250 μ M에서 hilafilcon B 렌즈는 24시간에서, etafilcon A 렌즈는 48시간 침지 시 가장 높은 탑재 효율을 나타내었다. 방출 결과 두 렌즈 모두 초기 방출이 가장 크게 나타났으며, 누적 방출량은 hilafilcon B 렌즈가 88.67%, etafilcon A 렌즈가 75.96%로 확인되었다. AA 탑재에 따른 렌즈 파라미터 변화는 침지시간 및 농도에 따라 재질별로 상이하게 나타났다. 일부 파라미터는 ISO 허용오차 기준을 초과하였으며 전체직경과 곡률반경의 변화로부터 렌즈가 스틱해지는 경향이 관찰되었다. **결론:** 본 연구 결과 AA 탑재 소프트렌즈를 위한 침지 및 방출 조건을 확립할 수 있었으며, 천연 유래 화합물인 AA을 활용한 각막 상처 회복 및 굴절수술 후 착용을 위한 치료용 콘택트렌즈로의 활용 가능성을 확인할 수 있었다.

주제어: 아시아틱산, 약물전달, 침지법, 소프트콘택트렌즈, 치료용 콘택트렌즈