멤브레인(Membrane Journal)
Vol. 25 No. 1 February, 2015, 75-83

Print ISSN: 1226-0088
Online ISSN: 2288-7253
DOI: http://dx.doi.org/10.14579/MEMBRANE_JOURNAL.2015.25.1.75

식물 엽록소와 고분자 나노섬유를 이용한 광합성 나노섬유복합막의 제조

윤 재 한·장 원 기·변 홍 식†

계명대학교 화학공학과
(2015년 2월 10일 접수, 2015년 2월 17일 수정, 2015년 2월 22일 채택)

Preparation of Photosynthesis Nanofiber Composite Membrane by Using Chlorophyll and Polymer Nanofiber

Jaehan Yun, Wongi Jang, and Hongsik Byun†

Department of Chemical Engineering, Keimyung University, Daegu 704-701, Korea
(Received February 10, 2015, Revised February 17, 2015, Accepted February 22, 2015)

요 약: 본 연구에서는 우리 주위에서 흔히 채취할 수 있는 식물을 이용하여 엽록체를 추출하고, 이를 다양한 방법으로 PP부직포 위에 도포하여 복합막을 제작하였으며, 산소 발생여부에 대한 연구를 진행하였다. 제조된 엽록체의 도입 방법에 따른 실험에서, 딥(dipping) 코팅법과 스프레이(spraying) 코팅법을 이용하였으며, 밀폐된 용기와 진공오븐 내 초를 이용한 연소시험 모두에서 스프레이 코팅이 비교적 우수한 결과를 나타내었다. 또한, 엽록체의 활성을 증가시키기 위해 nylon6/6 나노섬유를 PP부직포 위에 전기방사하여 복합지지체를 제조한 후, 엽록체를 도입하여 제조한 샘플의 경우, 나노섬유가 도입되지 않은 샘플에 비해 낮은 활성을 가진다는 것을 확인하였다. TiO_2가 포함된 샘플들의 경우, 포함되지 않은 샘플들에 비해 엽록체 함량이 50%가 도입되었지만, 16%에서 21%까지 도달되는 시간과 초를 이용한 연소실험에서 각각 유사한 결과값을 나타내었다. 따라서 본 연구에서 도입된 스프레이 코팅법과 TiO_2 접목은 산소발생용 분리막 및 공기청정기용 필터소재로의 응용에 대한 기초연구 자료로 활용할 수 있을 것으로 기대된다.

Abstract: In this study, chlorophylls were been extracted from common local plants, deposited on polypropylene (PP) substrate using various approaches, and the oxygen generation effect of the chlorophylls were investigated. The loading of chlorophylls on the substrates was achieved by dipping and spraying methods, where the spraying coating showed overall better results regarding oxygen generation from the combustion experiments in the closed vessel or in the isolated vacuum oven cell than those of dip coating. In addition, a composite substrate was prepared by nylon6/6 nanofiber on the PP substrate, and it exhibited an increase in the activation of chlorophylls. In the case of samples containing titanium dioxide (TiO_2), the reaching time of oxygen concentration from 16% to 21% and the combustion test using a candle for a sample with 50% chlorophylls showed similar results to those of a sample without TiO_2. As such, combining a spray coating and TiO_2 incorporation into gas separation membrane systems are expected to be useful to understand the fundamentals of material properties for their applications as oxygen generation membranes and air filtration systems.

***Keywords**: Chlorophylls, Nylon6/6, Electrospinning method, Titanium dioxide, Oxygen generation membrane*

1. 서 론

도시의 산업화와 에너지 사용량이 증가함에 따라 도시형 대기오염 물질의 발생이 증가되고 있다. 대기오염 물질은 다양한 경로를 통해 실내로 유입될 수 있으며, 그중 지구 이산화탄소의 경우 미생물의 분해 작용이나 인간의 물질 대사 과정 및 실내에서 사용되는 개방형 연소기구의 작동으로 다량 발생된다. 이러한 이산화탄소의 발생은 실내에서 85~90%를 보내는 현대 도시인들에게 호흡장애, 두통 및 어지러움 등 건강에 치명적인 영향을 준다[1].

†Corresponding author(e-mail: hsbyun@kmu.ac.kr)

Table 1. Electrospinning Conditions of Nylon6/6 Nanofiber

Contents	R.H. (%)	Temp (°C)	Voltage (kV)	TCD (cm)	Rate (mL/h)	Duration (hr)
Value	35	25	20	15	0.5	1.0

따라서 이산화탄소 배출을 줄이기 위해 산업에서는 크게 흡수법, 흡착법, 막분리법, 승화법 등 다양한 방법이 연구되고 있으며, 그중 메탄올, 암모니아수, 아민류를 이용한 흡수법이 대표적인 방법으로 적용되고 있다[3-8]. 실내의 이산화탄소 농도를 줄이기 위한 방법으로는 공기정화 장치를 설치하거나, 실내에 식물을 배치하여 실내 공기를 정화하는 방법을 사용하고 있다[1].

산소발생 기술은 공기를 압축하여 액화점까지 온도를 낮춰 증류법에 의해 다양한 가스로 분리시켜 고순도의 산소를 얻을 수 있는 CF법과 합성제올라이트를 이용하는 Pressure Swing Adsorption (PSA)법과 선택적 투과를 이용한 멤브레인법(Membrane Separation System) 등 상온에서 낮은 순도의 산소를 분리하는 방법인 Non Cryogenic Fractionation (NCF)법을 이용하여 공기에서 산소를 분리하여 산업용, 의료용 등 다양한 분야에 활용하고 있다[9,10].

식물은 실내의 이산화탄소를 흡수하고 산소를 방출함으로 밀폐된 공간에서 자연적으로 공기를 정화한다. 식물의 사용은 경제적이고 자연친화적이지만 실제 실내 공기 정화를 위해 식물을 사용하기 위한 기초자료가 부족하다[1]. 특히, 식물에서 엽록체를 추출하고, 부직포에 복합하여 실내 공기 정화에 활용하는 연구는 전무한 상황이다.

Nylon (Poly amide) 고분자의 경우 바이오메스로부터 합성 가능한 엔지니어링 플라스틱으로 내열성, 내약품성, 내마모성, 성형성이 우수하고 단가가 낮아 의류용 섬유나 공업용 기어제작에 이용되고 있으며, 천연 면과 비슷한 흡습성을 가지고 있어 무기물 등 첨가제를 사용하여 특성을 분석하는 연구가 진행되고 있다[11-13].

본 연구에서는 주변에서 흔히 볼 수 있는 잡초류(망초, 민들레) 식물을 이용하여 엽록체를 추출하고, 부직포 복합화를 통해 산소발생용 필터개발에 대한 연구를 진행하였다. 그리고 표면적의 증가를 위해 부직포 위에 nylon을 이용한 나노섬유복합화를 통해 엽록체의 활성 증가에 대한 연구도 진행하였다. 사용된 Nylon6/6의 경우 친수특성을 보유하고 있기 때문에, 대기 중의 수분을 원활히 엽록체로 공급하여 다른 소재에 비해 활성을 증가시킬 수 있을 것으로 기대된다.

2. 실 험

2.1. 시약 및 재료

실험에 사용된 부직포는 한국필터텍에서 제조한 poly(propylene) (PP;AF-932)을 이용하였고, Sigma-aldrich에서 hexadecyltrimethyl ammonium bromide (MW = 364.45 g/mol)를 구입하여 0.1 M로 제조한 뒤 PP를 5초간 함침시킨 후 24시간 60°C 오븐에 건조하여 사용하였다. 전기방사를 위해 사용된 고분자인 Nylon 6/6 (MW = 262.35 g/mol)의 경우 Sigma-aldrich에서, 용매인 formic acid (85.0%)는 DUCSAN chemical에서 각각 구매하여 사용하였다. 비용매인 distilled water의 경우 Millpore사의 Ultra-pure water system (Milli-Q plus)을 통해 제조하여 사용하였다. 엽록체 추출을 위해 사용된 망초와 민들레는 대구 계명대학교 공과대학 인근에서 신선도를 유지하기 위해 뿌리와 함께 채집하여 사용하였다.

2.2. Nylon6/6 용액 제조

전기방사를 이용하여 nylon6/6 나노섬유를 제조하기 위해 기질고분자인 nylon6/6 (1.1 g)와 용매인 formic acid (8.46 g), distilled water (0.44 g)를 20 mL 바이얼(vial)병에 넣은 후 24시간 이상 교반을 진행하였다. 교반이 완료된 용액은 기포 제거를 위해 1시간 이상 상온에서 비치 후 사용하였다.

2.3. 나노섬유/PP 부직포 복합체 제조

나노섬유/PP 부직포 복합체의 제조는 준비된 nylon6/6 방사 용액을 5 mL 주사기에 넣어 30분 이상 수직으로 세워두어 잔류하고 있는 기포를 완전히 제거한 후 Table 1에 나타낸 조건하에서 PP 부직포 위에 방사하여 제조하였다. KDS100 (KD Scientific Inc.)을 이용하여 방사용액의 주입속도를 조절하였으며, PCS 60K02VIT (CHUNGPA EMT co., Ltd.)를 이용하여 방사전압을 조절하였다.

Table 2. Preparation Conditions of Membranes

Sample	Number of chlorophyll (mL)	Number of 300 ppm TiO_2 (mL)	Total solution (mL)	Nanofiber	Coating method
CD	15	0	15	X	Dip
CS	15	0	15	X	Spray
CNS	15	0	15	O	Spray
CDT	7.5	7.5	15	X	Dip
CST	7.5	7.5	15	X	Spray
CNST	7.5	7.5	15	O	Spray

2.4. 식물의 엽록체 추출

엽록체는 4℃ 이상에서 활성하기 때문에 엽록체 추출을 위한 모든 과정은 ice-bath를 이용하여 4℃ 이하의 환경에서 진행하였다. 우선 채집한 망초와 민들레를 호일을 이용하여 빛이 들어가지 않도록 포장 후 냉장고에 24시간 동안 저장 보관하였다. 표면에 잔류하고 있는 불순물을 제거하기 위해 distilled water를 이용하여 표면을 세척하였으며, distilled water에 넣어 30분간 빛이 있는 곳에서 보관하였다. 샘플 표면의 물기를 필터페이퍼를 이용하여 완전히 제거한 후 30 g을 채취하여 5 mm × 5 mm 정도의 크기로 잘라 0.1 M phosphate buffer saline (PBS; 0.1 M) 100 mL에 넣은 후 분쇄기(Mini Electric Mixer, SFM-E200)를 사용해 5초간 분쇄과정을 진행하였다. 분쇄된 잎은 4겹으로 된 거즈를 이용하여 거른 후 걸러진 용액을 원심분리기(Hanil Science Industrial Co. Ltd, FLETA 5)를 이용하여 500 × g에서 3분간 원심분리과정을 진행하였다. 원심분리과정이 완료된 용액의 상등액을 다른 튜브에 옮겨 담고 1,000 × g에서 5분간 원심분리 한 후 상등액을 버리고 하등액을 15 mL의 PBS 용액을 이용하여 현탁 후 사용하였다. 제조된 용액은 4℃ 이하의 냉암소에 보관 저장하였다[14,15].

2.5. 엽록체 복합막 제조

엽록체가 도입된 복합막의 제조는 15 cm × 15 cm로 제작된 PP부직포 위에, 엽록체 현탁액과 엽록체와 300 ppm TiO_2를 1 : 1 비율로 혼합된 용액을 15 mL를 각각 취하여 코팅 방법에 따라 딥(dipping) 코팅과 스프레이(spraying) 코팅을 진행하였다. 또한, 엽록체 활성을 증가시키기 위해 나노섬유를 상기와 같은 방법으로 복합화를 시도하였으며, PP부직포 위에 제조된 nylon6/6 고분자용액을 1시간 동안 전기방사를 실시한 후 엽록체 현탁액 15 mL를 스프레이 코팅하여 제조하였다. 조성별 제조 조건을 Table 2에 나타내었다.

엽록체 코팅양의 최적화를 위해 직경 110 mm 필터페이퍼(filter paper)를 이용하여 엽록체 현탁액을 5~30 mL까지 5 mL씩 증가시켜 코팅하였다. 코팅된 필터페이퍼는 3시간 동안 50℃ 오븐에서 건조한 뒤 대기질 측정기를 이용하여 20~21%까지 산소 농도가 변하는 시간을 측정하여 최적화를 진행하였다.

2.6. 특성평가

2.6.1. 엽록소 함량 및 흡광도 측정

엽록소 함량 측정은 Hiscox와 Israelstam(1978)에 의해 제시된 방법에 따라 추출용매(DMSO)를 이용하여 측정하였다. 추출 방법은 채취한 잎 20 mg을 2 mm × 2 mm 크기로 자르고, 5 mL DMSO에 넣은 뒤 암실에서 48시간 동안 추출하였다. 추출액은 UV-Vis 분광광도계(SHIMADZU, UV-1650PC)를 이용하여 663 nm와 645 nm의 파장에서 흡광도를 측정하였으며, 식 (1)에 대입하여 엽록소 a와 b, 총 엽록소 함량을 측정하였다[16,17].

무기물 첨가에 따른 흡수파장의 변화를 확인하기 위하여 엽록체 추출액을 가시광 영역(400~700 ppm) 내에서 흡광도를 측정하고, TiO_2와 distilled water를 이용해 50, 100, 150, 200, 300, 400 ppm 용액을 만든 뒤, 초음파 분쇄기(Branson Co. Ltd, 2510E-DTH)를 이용하여 1시간 동안 분쇄 후 농도별 흡광도를 측정하였다(Table 3). 그리고 엽록체 추출액과 농도별 TiO_2를 각각 1 : 1 비율로 10분 동안 교반시킨 후 가시광 영역 내에서 흡광도를 측정하였다. Table 4에 조성별 제조 조건을 나타내었다.

Table 3. Preparation Conditions of TiO_2 Dispersion Solution

Sample	TiO_2 (mg)	H_2O (mL)	dispersion time (h)
T50	5	100	1
T100	10	100	1
T150	15	100	1
T200	20	100	1
T300	30	100	1
T400	40	100	1

Table 4. Preparation Conditions of CT Solution

Sample	Chlorophyll (mL)	T50 (mL)	T100 (mL)	T150 (mL)	T200 (mL)	T300 (mL)	T400 (mL)
CT-50	10	10	·	·	·	·	·
CT-100	10	·	10	·	·	·	·
CT-150	10	·	·	10	·	·	·
CT-200	10	·	·	·	10	·	·
CT-300	10	·	·	·	·	10	·
CT-400	10	·	·	·	·	·	10

Chlorophyll a (mg g^{-1} fresh wt) =
(12.7 × A663 - 2.69 × A645)
Chlorophyll b (mg g^{-1} fresh wt) =
(22.9 × A645 - 4.68 × A663)
Chlorophyll total (mg g^{-1} fresh wt) =
(8.02 × A663 + 20.21 × A645) (1)

A645 : 645 nm 파장에서 흡광도, A663 : 663 nm 파장에서 흡광도

2.6.2. 산소농도 증가를 이용한 광합성 측정

제작된 막의 광합성 여부를 확인하기 위해 밀폐된 용기(400 mL) 내부에 15 cm × 15 cm 크기의 막을 넣은 후, 30 cm 거리에서 스탠드(Unerwriters Laboratories Inc., BL-49,913)를 이용하여 빛을 조사하였으며, 대기질 측정기(MIC meter industrial company, 98192)를 이용하여 산소 농도가 16%에서 21%까지 증가하는 시간을 측정하였다.

2.6.3. 초를 활용한 산소 발생 확인

밀폐된 계(isolated system) 내에서 물질의 연소 시간은 계 내에 존재하는 산소의 양에 비례한다. 따라서 계 내에 산소를 발생하는 물질이 동시에 존재할 시 연소시간은 비례하여 증가할 것으로 판단된다. 본 실험에서는 제조된 막들의 산소 발생 여부를 판단하기 위해 밀폐된 공간 즉, 진공오븐과 연소물질인 초를 이용하여 연소시간의 변화를 측정하였다. 5회 이상 측정하여 평균값을 구하였으며, 측정 시 마다 초를 교체하여 사용하였다. 이때, 사용된 진공오븐 내부의 부피는 10 L이다.

3. 결 과

3.1. 엽록소 함량 및 흡광도 측정

엽록소는 식물이 광합성을 하는데 필수적인 색소로 알려져 있고, 지구상에 가장 많은 색소 중 하나이다. 일반적으로 엽록소 함량에 따라 광합성 능력이 비례하는 것으로 알려져 있다. 본 연구에서 제조된 엽록체의 양을 확인하기 위하여 UV-vis 분광광도계를 이용하여 분석하였으며, 그 결과를 Fig. 1에 나타내었다. 663 nm에서 흡광도가 0.545와 0.539로 측정되었고, 645 nm에서는 0.214와 0.22의 결과를 얻었다. 이 결과를 식 (1)에 대입하여 채취한 식물 20 mg에서 엽록소 함량을 계산한 결과 chlorophyll a가 6.3 ± 0.05 mg・g^{-1} fresh wt, chlorophyll b는 2.4 ± 0.08 mg・g^{-1} fresh wt로 측정되었고 total chlorophyll의 양은 8.7 ± 0.04 mg・g^{-1} fresh wt로 측정되었다. 즉, 본 연구에서 적용된, 30 g의 식물

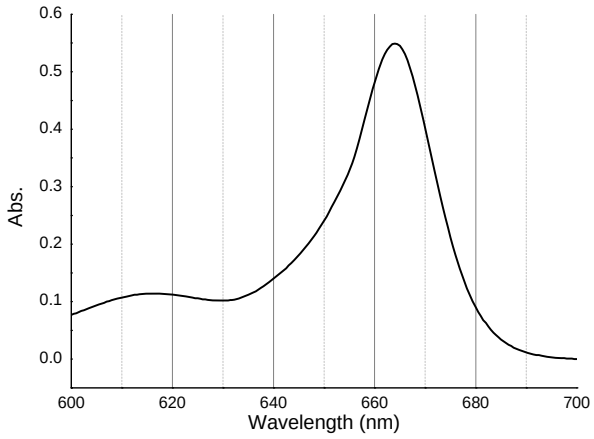

Fig. 1. UV-vis spectrometer of chloroplast.

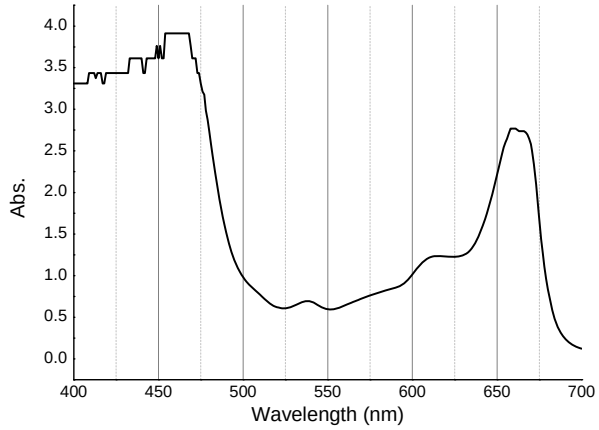

Fig. 2. UV-vis spectrometer of chloroplast.

에서 추출된 chlorophyll의 양은 대략 13,050 mg · g^{-1} fresh wt 값을 나타낼 것으로 판단된다.

가시광영역 내에서 엽록체가 흡수하는 영역을 확인하기 위하여 400~700 nm 파장 영역에서 흡광도를 측정하였으며, 그 결과를 Fig. 2에 나타내었다. 475 nm 이하의 파장에서 3 이상의 높은 흡광도를 나타내었으며, 650~675 nm 사이에서도 2.5 이상 흡광도를 보여주었다. 이를 통해 엽록체는 주로 적색과 청색의 빛을 이용하여 광합성을 한다고 판단된다.

TiO_2는 광화학반응을 촉진시키는 물질로 분류되어 있으며, 유해물질을 산화 분해하는 기능을 이용하여 환경정화(항균, 탈취효과)하는데 이용되거나, 초친수성 기능을 응용하여 셀프크리닝 효과가 있는 유리 및 타일, 공기청정기, 커튼, 벽지, 인공관엽식물 등 다양한 제품

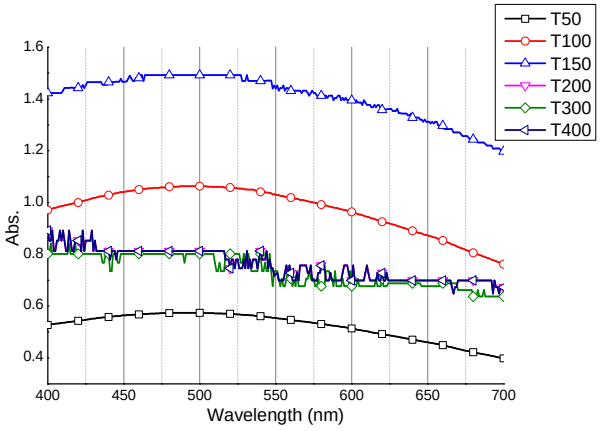

Fig. 3. Absorbance of TiO_2 dispersion solution.

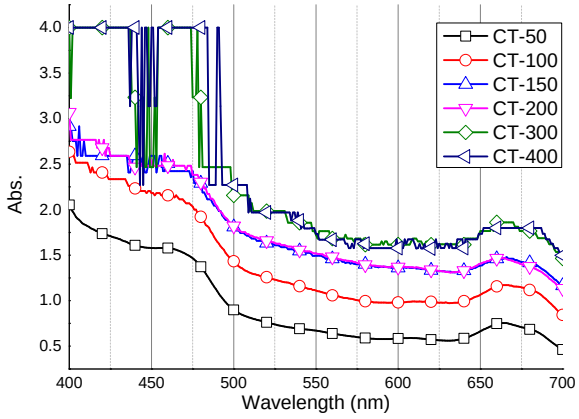

Fig. 4. Absorbance of TiO_2 and chloroplast.

에 적용되고 있다. 따라서, 본 연구에서는 TiO_2를 엽록체에 복합화할 경우 광합성반응의 활성을 증가할 수 있을 것으로 예상하였으며, 각각의 흡광도를 분석하여 증가여부를 확인하였다. TiO_2 농도별 흡광도를 측정하여 Fig. 3에 나타내었다. TiO_2의 농도가 증가할수록 흡광도가 증가하여 150 ppm과 200 ppm에서 1.2이상의 가장 높은 값을 보였고, 200 ppm 이상의 농도에서는 흡광도가 오히려 감소하는 결과를 얻었다. 따라서 TiO_2의 도입양은 150 ppm과 200 ppm이 최적화된 함량이라는 것을 확인할 수 있었다.

엽록체와 TiO_2를 복합화한 샘플의 흡광도 측정 결과를 Fig. 4에 나타내었다. CT-300과 CT-400 샘플의 경우 490 nm 이하의 파장에서 4 이상의 흡광도를 보여주었고, 엽록체 흡광도 측정 결과에서 1 이하의 흡광도 값으로 측정된 500~600 nm 파장 영역도 약 50% 증가된 흡광도 값을 나타내는 것을 확인할 수 있었다. 그러나

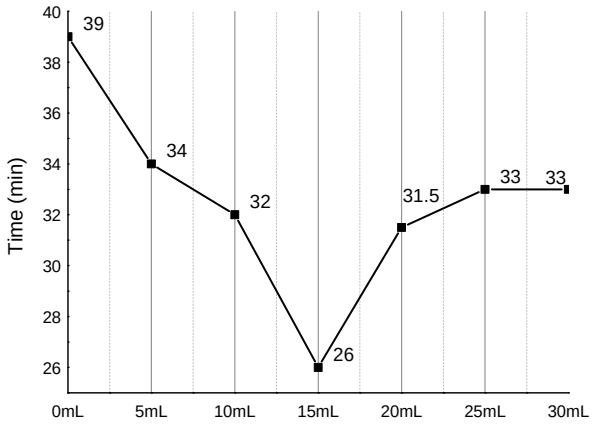

Fig. 5. Saturation time of oxygen (20% → 21%) at various amount of chlorophyll.

650~675 nm 파장영역에서는 엽록체에 비해 2 이하로 떨어지는 결과를 얻었다. 이는 Fig. 3의 결과에서 650 nm 이상의 파장에서는 TiO_2의 흡광도가 현저히 낮게(1 이하) 측정되었고, 그 결과 엽록체와 TiO_2를 복합화 시켰을 때 흡광도의 감소가 발생한 것으로 판단된다.

3.2. 산소농도 증가를 이용한 광합성 측정

엽록소의 함량에 따른 산소발생량 증가 여부를 확인하기 위하여 밀폐된 용기(400 mL)에 제조된 샘플을 넣은 후 산소농도가 20%에서 21%로 도달할 때 걸리는 시간을 측정하였으며, 그 결과를 Fig. 5에 나타내었다. 엽록체 현탁액을 5 mL 코팅한 샘플의 경우 약 34분으로 측정되었으며, 현탁액을 5 mL씩 증가할수록 산소농도의 변화시간이 감소하여 15 mL를 코팅하였을 때 26분으로 가장 짧은 시간에 21%에 도달한 것을 확인하였다. 하지만 15 mL 이상 첨가될 경우 오히려 20 mL부터 33분으로 시간이 7분 증가하는 결과를 얻었다. 이러한 결과는 코팅과정에서 도입된 엽록체의 분산도와 연관이 있을 것으로 판단되며, 이를 확인하기 위하여 광학현미경(Optical microscopy; ZEISS)을 이용하여 분산도를 측정하였다(Fig. 6). 그 결과, 엽록체가 20 mL 이상 첨가된 샘플의 경우 엽록체가 서로 뭉쳐있는 것을 확인할 수 있었다. 이러한 결과는, 내부에 위치한 엽록체의 활성이 감소하고 표면에 있는 엽록체만 활성하기 때문에 산소발생량이 감소한 것으로 판단된다. 위 결과로부터 도입된 엽록체의 함량을 15 mL일 때, 최적화된 성능을 확보할 수 있을 것으로 판단된다.

15 mL로 최적화된 엽록체함량 기준으로 도입방법의

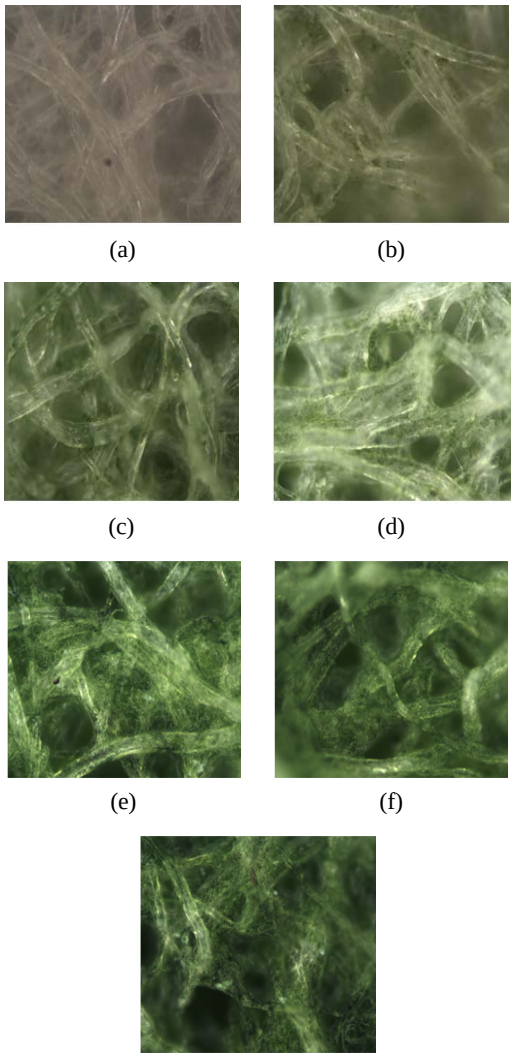

Fig. 6. Optical microscopy image of chlorophyll in filter paper. (a) No, (b) 5 mL, (c) 10 mL, (d) 15 mL, (e) 20 mL.

최적화 연구를 진행하였으며, 그 결과를 Fig. 7 나타내었다. 이때 30 g의 식물에서 추출된 엽록체의 함량은 1.2 g으로 15 mL 현탁액에 도입된 엽록체 함량과 동일하며, 이를 기준으로 400 mL 밀폐용기 내에서 산소의 농도가 16%에서 21%까지 도달하는 시간을 측정하였다. 측정된 결과로부터 코팅법에 따라 5~6분의 시간변화가 나타났으며, 미약하지만 스프레이 코팅법(89 min)이 우수한 결과를 나타낸 것을 확인하였다. 그러나 같은 함량의 엽록체를 가지고 있는 식물(12 min)에 비해 현저히 낮은 결과(94, 89 min)를 보여주었다. 따라서 본 연구에서는 엽록체 활성을 증가시키는 방법으로 PP부

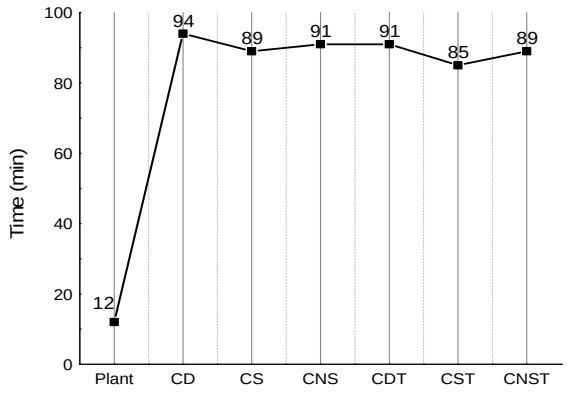

Fig. 7. Saturation time of oxygen (16% → 21%) with various samples coated.

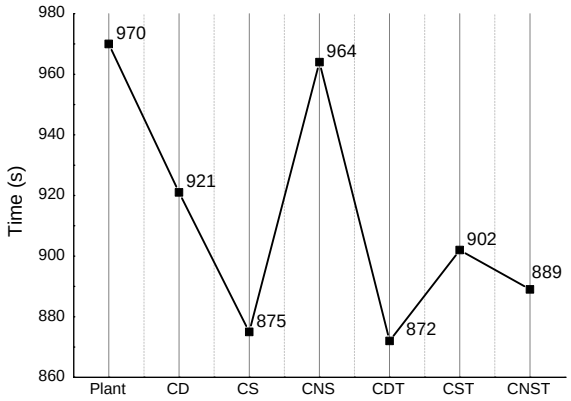

Fig. 8. Saturation rate of oxygen with various coated samples by candle test.

직포 위에 nylon6/6 나노섬유를 도입하는 연구를 진행하였으나, Fig. 7의 CNS 샘플의 결과와 같이 활성이 증가되지 않는다는 결과(91 min)를 얻었다. 이를 보완하기 위하여, TiO_2 광촉매를 엽록체와 복합화한 용액을 도입한 연구를 더불어 진행하였다. Fig. 7의 CDT, CST 그리고 CNST의 결과값으로부터 다른 샘플들의 비해 엽록체의 함량이 50% 적은 TiO_2가 포함된 샘플들이 엽록체만 코팅된 CD, CS, CNS막과 대등한 결과를 보였다. 이는 Fig. 4 결과를 통해 TiO_2에 의해 넓은 파장의 빛을 흡수하게 되어 엽록체의 활성이 증가시킨 것으로 판단된다. 그러나 이를 확인하기 위해서는 동일한 함량의 엽록체가 포함된 샘플과 비교하는 연구가 보완되어야 한다고 판단된다.

3.3. 초를 이용한 산소 발생 확인

밀폐된 계(isolated system) 내에서 물질의 연소 시간은 계 내에 존재하는 산소의 발생량과 비례적으로 증가한다. 따라서 10 L 용량의 밀폐된 진공오븐 내에서 촛불의 연소되는 시간을 측정하여 산소의 발생 여부를 확인하였으며, 그 결과를 Fig. 8 나타내었다.

1.2 g의 엽록체를 포함한 30 g의 식물의 경우 약 960초의 연소시간을 보여주었으며, 1.2 g의 엽록체가 포함된 15 mL 현탁액을 딥코팅법과 스프레이 코팅법으로 제조한 샘플의 경우 각각 921초와 875초로 측정되어, 앞서 연구된 400 mL 밀폐용기를 이용한 실험과 다르게 코팅법이 보다 우수한 연구결과를 보여주었다. 또한, 나노섬유가 도입된 CNS 샘플의 경우는 964초로 측정되어 엽록체 활성을 저해시키는 연구결과를 도출하였다. 엽록체의 함량이 50% 적은 TiO_2가 포함된 샘플인 CDT, CST, CNST의 경우 각각 872초, 903초, 889초로 측정되어, 1.2의 엽록체가 도입된 코팅된 막과 대등한 결과를 보였다. 이는 Fig. 7 결과와 유사하게 광촉매인 TiO_2에 의해 엽록체의 활성이 활발히 증가되어 산소발생량이 증가한 것으로 판단된다.

4. 결 론

본 연구에서는 우리 주위에서 흔히 채취할 수 있는 식물을 이용하여 엽록체를 추출하고, 이를 다양한 방법으로 PP부직포 위에 도포하고, 복합막형태로 제조하여 산소 발생여부에 대한 연구를 진행하였다.

DMSO를 이용해 식물의 잎에서 엽록소를 추출하고 UV-Vis 분석을 이용해 645 nm와 663 nm 파장에서 흡광도를 측정하여, 포함된 엽록소의 양을 확인하였다. 엽록체 현탁액을 PP부직포에 도포하기 위한 최적의 조성비를 도출하기 위하여 5 mL에서 30 mL까지 다양한 함량으로 제조된 현탁액을 코팅하였으며, 그 결과 15 mL의 엽록체 현탁액이 도입된 샘플이 최단시간(26분) 내 산소 농도가 20%에서 21%로 도달하였다. UV-Vis 분석을 이용하여 엽록체가 적색과 청색 영역의 파장을 흡수하는 것을 확인하였으며, 광촉매인 TiO_2를 첨가할 경우 가시광범위에서 더 넓은 파장을 흡수하여 엽록체의 광합성 활성을 증가시킬 수 있을 것으로 판단되었다.

제조된 엽록체의 도입 방법에 따른 실험에서, 딥(dipping) 코팅법과 스프레이(spraying) 코팅법이 조사되었으며, 밀폐된 용기와 진공오븐 내 초를 이용한 연소시험 모두에서 스프레이 코팅이 비교적 우수한 결과

를 나타내었다. 또한, 엽록체의 활성을 증가시키기 위해 nylon6/6 나노섬유를 PP부직포 위에 전기방사하여 복합지지체를 제조한 후, 엽록체를 도입하여 제조한 샘플의 경우, 나노섬유가 도입되지 않은 샘플에 비해 낮은 활성을 가진다는 것을 확인하였다. TiO_2가 포함된 샘플들의 경우, 포함되지 않은 CD, CS, CNS 샘플들에 비해 엽록체 함량이 50%가 도입되었지만, 16%에서 21%까지 도달되는 시간과 초를 이용한 연소실험에서 각각 유사한 결과값을 나타내었다. 이는 TiO_2가 엽록체의 광합성반응을 활성화 시킬 수 있는 결과로 판단된다. 따라서, 본 연구에서 도입된 스프레이 코팅법과 TiO_2 접목은 산소발생용 분리막 및 공기청정기용 필터소재로의 응용에 대한 기초연구 자료로 활용할 수 있을 것으로 기대된다.

감 사

본 연구는 환경부 친환경혁신사업(Global-Top project, No. 2014001080001)으로부터 지원받아 진행하였으며, 이에 감사드립니다.

Reference

1. S. A. Park, M. G. Kim, M. H. Yoo, M. M. Oh, and K. C. Son, “Comparison of Indoor CO_2 Removal Capability of Five Foliage Plants by Photosynthesis”, *Korean Journal of Horticultural Science & Technology*, **28**, 864 (2010).
2. S. J. Lee, C. Y. Oh, S. H. Han, K. W. Kim, and P. G. Kim, “Photosynthetic Responses Populus alba×glandulosa to Elevated CO_2 Concentration and Air Temperature”, *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology*, **16**, 22 (2014).
3. K. H. Lee, “Membrane Seperation of Carbon Dioxide”, *Membr. J.*, **4**, 78 (1994).
4. A. S. Woong, “A study on estimation of reduction technology for CO_2 from fossil-fuelled power plant”, Master Degree Dissertation, Yonsei University, Seoul (2006).
5. D. H. Cho, J. H. Rho, D. S. Kim, and J. H. Cho, “A Study for Carbon dioxide Removal Process Using Methanol Solvent in DME Manufacture Process”, *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*, **14**, 1502 (2013).
6. J. J. Kang, J. H. Noh, J. S. Ahn, and J. H. Cho, “A Comparative study on the carbon dioxide removal capability between the processes using physical solvent and membrane process”, *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*, **14**, 6590 (2013).
7. C. K. Yeom, H. S. Ahn, K. R. Kang, J. Y. Kim, J. S. Han, and K. O. Kwon, “Development of Adsorptive Permeation Membrane (APM) and Process for Separation of CO_2 from gas mixtyres”, *Membr. J.*, **23**, 409 (2013).
8. J. K. You, H. S. Park, W. H. Hong, J. K. Park, and J. N. Kim, “Effect of Precipitation on Operation Range of the CO_2 Capture Process using Ammonia Water Absorbent”, *Korean Chemical Engineering Research*, **45**, 258 (2007).
9. G. W. Lee, “A Recent Technology Advance of the Oxygen Generator and its Future Trend”, Master Degree Dissertation, Anyang University, Anyang (2010).
10. J. P. Kim, S. H. Son, J. H. Park, and Y. T. Lee, “Preparation and Oxygen Permeability of Nb-doped BCFN Ceramic Membrane”, *Membr. J.*, **21**, 55 (2011)
11. H. Y. Kim, “Preparation and characterization of biomass-based nylon copolymers”, Master Degree Dissertation, Chungbuk National University, Cheongju (2014).
12. S. S. Shin, S. H. Park, Y. S. Lee, M. J. Jung, and H. K. Choi, “Preparation and Mechanical Properties of Nylon/Clay Nanocomposite”, *Journal of The Korean Society of Industrial Application*, **12**, 5 (2009)
13. S. C. Park, H. G. Kim, and K. E. Min, “Effect of MMT on Anti-Water Absorption of Polyamide/MMT Nanocomposites”, *Polymer(Korea)*, **37**, 113 (2012).
14. N. Shi, X. Li, T. Fan, H. Zhou, D. Zhang, and H. Zhu, “Artificial chloroplast: Au/chloroplast-morph-TiO_2 with fast electron transfer and enhanced pho-

tocatalytic activity", *International Journal of Hydrogen energy*, **39**, 5617 (2014).
15. I. H. Park, S. H. Seo, H. J. Lee, C. B. Lee, and Y. G. Sunwoo, "Photosynthetic Characteristics of Polyvinylalcohol-Immobilized Spinach Chloroplasts", *Korean J. Bot*, **34**, 215 (1991).
16. M. S. Cho, K. W. Kwon, G. N. Kim, and S. Y. Woo, "Chlorophyll Contents and Growth Performances of the Five Deciduous Hardwood Species Growing Under Different Shade Treatments", *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology*, **10**, 149 (2008).
17. S. J. Lee, "Effects of experimental warming on growth, chlorophyll contents and net photosynthetic rate of Quercus variabilis seedings", Master Degree Dissertation, Korea University, Seoul (2013).