

전기방사를 이용한 향나무 추출물 함유 PU 나노웹 제조

Electrospinning Fabrication of *Juniperus Chinensis* Extracts Loaded PU Nanoweb

김정화* · 이정순*†

Jeong-Hwa Kim* · Jung-Soon Lee*†

*충남대학교 생활과학대학 의류학과

*Department of Clothing and Textiles, Chungnam National University

Abstract

The uniform nanofibers of polyurethane with different contents of *Juniperus Chinensis* extracts were successfully prepared by electrospinning method. Polyurethane is widely used as functional polymers in the industrials, medical field as their properties can be tailor-made by adjusting their compositions. *Juniperus Chinensis* has been reported for anti-tumor, anti-bacterial, anti-fungal, and anti-viral activities. PU/*Juniperus Chinensis* extracts composite nanofibers were produced at different *Juniperus Chinensis* extracts concentrations (0.25, 0.5, 1, 1.5wt.%). The effects of the major parameters in electrospinning process such as tip to collector distance (TCD), voltage, polymer concentration on the average diameter of electrospun nanoweb were investigated. As results, 12wt% PU solution concentration, 8kV applied voltage and 15cm tip to collector distance were identified as optimum conditions for electrospinning the composite nanofibers. The diameter and morphology of the nanocomposite nanofibers were confirmed by a scanning electron microscopy (SEM). The resulting fibers exhibited a uniform diameter ranging from 435nm~547nm. It has been found that the average diameters of fibers decreased by the adding of *Juniperus Chinensis* extracts. These nanoweb can be used for medical materials, protective clothing, and antimicrobial filters.

Key words: Fabrication, Electrospinning, *Juniperus Chinensis* extract, PU, Nanofiber

요약

전기방사법을 이용하여 향나무 추출물을 함유하는 폴리우레탄 나노섬유를 제조하였다. 폴리우레탄은 적절한 성분 배합 제조가 가능하므로 다양한 산업 분야, 의료 분야에서 널리 이용되고 있는 소재이다. 향나무는 항암, 항균, 항곰팡이, 항바이러스성을 가진 것으로 알려져 있다. 향나무 추출물의 다양한 농도(0.25, 0.5, 1, 1.5wt.%)를 포함하는 폴리우레탄 복합 나노섬유를 제조하였다. 나노섬유를 제조하기 위한 다양한 공정변수(방사용액의 농도, TCD, 인가전압)의 변화를 살펴보았다. 실험을 통해 얻어진 PU방사용액의 적정 전기방사 조건은, 방사용액의 농도가 12wt%, 인가전압은 8kV, TCD는 15cm로 나타났다. SEM을 통한 향나무 추출물을 함유하는 나노섬유의 직경은 435nm~547nm였으며, 향나무 추출물의 함량이 증가함에 따라 나노섬유의 평균직경은 감소하는 것으로 나타났다. 개발된 나노웹은 의료 소재, 보호복 소재, 항균필터 소재 등으로의 활용이 기대된다.

주제어: 전기방사, 향나무 추출물, PU, 나노섬유, 제조

※ 이 논문은 2014년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(NRF-2014R1A1A3A04049595).

† 교신저자 : 이정순 (충남대학교 의류학과)

E-mail : jungsoon@cnu.ac.kr

TEL : 042-821-6830

FAX : 042-821-8887

1. 서론

최근 전기방사법으로 만들어진 나노섬유 웹의 장점에 천연 추출물의 특성을 결합시켜 서로의 성능을 향상시키거나 새로운 기능의 소재를 만들고자하는 연구가 보고되고 있다(Islam & Karim, 2010; Ren et al., 2008; Shao et al., 2006). 천연 소재 또는 천연 추출물의 활용성과 유용성을 극대화하기 위해서는 소재나 재료의 미립화, 나노화, 분산화 및 유용한 소재의 복합화를 통해 그들의 기능이 확보되어야 한다(Venugopal et al., 2014). 고분자 나노섬유에 나노입자를 융합시키는 방법으로는 나노입자의 전구체를 고분자 용액에 넣어 전기방사를 실시한 후 나노섬유에서 환원이나 열처리 등의 방법 등으로 나노입자를 생성시키는 방법(Wei et al., 2006)과 미리 제조된 나노입자를 고분자용액에 넣어 전기방사를 하는 방법을 들 수 있다(Son et al., 2006; Jeong & Park, 2014; Junkasem et al., 2006). 기능성 고분자에 대한 관심이 증가하면서 천연 고분자와 합성 고분자의 융합은 고분자 재료의 용도 확대와 다양화라는 측면에서 중요한 수단이 되고 있다. 이러한 합성고분자 중 폴리우레탄은 구조내의 우레탄기(-NH-COO-)에 기인한 우수한 접착력 및 내구성으로 인하여 직물, 식품포장, 군사용, 의료용 재료 등을 비롯한 산업계에 광범위하게 사용되고 있다(Deepak & Vijay, 2010; Pizzi, 2006; Noh & Lee, 1999). 특히 박막으로 만들어 섬유에 라미네이팅하여 투습방수 또는 투습발수 섬유제품 제조에 널리 이용되고 있는 소재이다(Yang et al., 2011). PU는 일반적으로 2가 이상의 이소시아네이트와 폴리올 등의 활성 수소 화합물과의 결합에 의해 합성되며 사용되는 이소시아네이트의 폴리올 선택 범위가 넓어 경질에서 연질까지 엘라스토머에서 폼까지 다양한 제품설계가 가능하다(Hepburn, 1996), 또한 폴리우레탄 탄성체는 감축이 좋으며 표면에너지가 높아 이종 재료와의 접착성 및 인쇄특성이 우수한 장점이 있어서 데이터 입력용 키패드나 신발, 의류 등의 로고 및 유아용품, 완구 등의 분야에서도 실리콘 고무나 연질 PVC의 대체 소재로 연구되고 있다(Jeong et al., 2009; Tang et al., 1996; Tonelli, 1995).

향나무(*Juniperus chinensis* Linne)는 측백나무과의

상록 침엽 교목으로 높이는 15~20m이며 나무껍질은 암갈색이다. 잎은 비늘모양과 송곳모양이 있으며, 꽃은 4~5월에 피고 과실은 홍자색의 콩알만한 것이 이듬해 10월에 핀다. 목부를 향목, 백단, 백전이라 하고 심재를 자단향(*Juniperi Lignum*)이라 한다. 향나무는 예로부터 향암, 향균, 향미생물, 향염증 등의 효능이 있다고 보고되고 있으며(Ali, et al., 1996; Chang, et al., 2008; Shiu, et al., 1999), 향나무 추출물의 항산화 효과 및 피부질환 개선 등의 연구 결과를 찾아볼 수 있다(Choi et al., 2002; Lim et al., 2004). 또한 Nam(2013) 등은 향나무 심재의 메탄올 추출물의 페렴균과 포도상구균에 대한 우수한 항균력을 확인하고 향나무 추출물의 천연 항균성능을 보고하였다.

따라서 본 연구에서는 천연 항균물질을 포함하고 있는 향나무 추출물을 일정 비율(0.25, 0.5, 1, 1.5wt%)로 폴리우레탄 방사용액에 용해시켜 복합 방사용액을 만들고 전기방사를 실시하였다. 다양한 공정 변수의 변화를 통해서 형성된 나노섬유의 섬유 직경 변화와 형태를 관찰하였다. 본 연구를 통해 제조된 복합 나노웹은 외과용 보호 직물, 극한환경의 방호기능 소재, 미용 마스크 및 팩 소재, 상처치유 패치 소재 등으로의 활용 가능성이 기대되며, 그 소재개발을 위한 기초자료를 제안하고자 한다.

2. 연구 방법

2.1. 시료 및 시약

본 연구에 사용된 향나무는 심재인 자단향을 전문업체를 통해 구입하여 사용하였다. 나노섬유 제조를 위한 고분자로 열가소성 폴리우레탄(TPU) KURAMIRON[®] 3180(Kuraray Co. Ltd.)이 사용되었다. 용매로는 N,N-dimethylformamide(DMF)와 methyl ethyl ketone (MEK)의 1:1 중량비 혼합용매가 사용되었다.

2.2. 향나무 추출물의 제조

향나무 추출물은 에탄올을 이용하여 향나무와 용매를 액비 1:10으로 하여 상온에서 48시간 침지한 후, 3

회 반복 추출하여 침전물이 없을 때까지 여과지로 3회 여과한 후, 회전증발 농축기(RV10, IKA®, Germany)를 이용하여 온도 40~60°C, 회전속도 180rpm으로 감압 농축 후 건조하여 gum상태로 추출하였다.

향나무 추출액의 농도는 gum상태의 향나무 추출물을 PU 용액과 혼합하기 용이하도록 에탄올과 1:1 비율로 혼합 stock solution으로 만들어 사용하였다.

2.3. 방사용액 제조

Polyurethane KURAMIRON® 3180(Kuraray Co. Ltd.)을 N,N-dimethylformamide(DMF)와 methyl ethyl ketone(MEK)의 1:1 중량비 혼합용매에 용해하여 각각 8, 10, 12, 14wt.% 방사용액을 제조하였다. 방사용액에 향나무 추출물을 각각 0.25, 0.5, 1, 1.5wt.%로 하여 12시간 교반 후에 1시간 초음파 처리한 다음, 다시 12시간 교반하여 향나무 추출물을 함유하는 PU 복합 방사용액을 제조하였다.

2.4. 전기방사

PU/향나무 추출물 복합 방사용액을 이용한 나노섬유를 제조하기 위해 전기방사 시스템을 0~40kV의 전압공급이 가능한 고전압 공급장치(high voltage DC power supply unit, Matsusada Precision Inc.), 집전판(collector), 주사기 펌프(syringe pump, KDS100), 주사기(gastight and needle lock type 10mL, Hamilton), 금속 주사기 바늘(21G), 유체 주입속도 0.5mL/h 등으로 구성하였다. 나노섬유 제조조건은 폴리우레탄의 농도와 점도에 따른 방사성의 변화를 알아보고자 8~14wt%로 용액의 농도를 변화시켜 방사하였고, 방사전압과 방사 거리는 각각 6~12kV와 10~25cm로 하였다.

2.5. 방사용액의 특성 분석

PU 고분자 용액과 향나무 추출물을 포함하는 복합 방사용액의 농도에 따른 점도 변화, 표면장력의 변화를 관찰하기 위하여 LVDV II+ Pro Viscometer (Brookfield), 표면장력측정기(Surface Tensiometer, TK6,

KRUSS, Germany)를 이용하여 각각 측정하였다.

2.6. 나노섬유의 표면분석

나노섬유의 형태와 직경을 조사하기 위해 Scanning Electro Microscope(JSM-6010LA, JEOL, Japan)를 이용하였다.

3. 결과

3.1. PU 방사용액의 농도에 따른 나노섬유의 방사성

PU 방사용액의 농도 변화에 따른 점도 변화와 나노섬유 직경의 변화를 Table 1에 나타내었다. PU 방사용액의 농도가 8wt.%일 때 점도는 50.2cP였으며, PU 10wt.%일 때의 점도는 116.4cP으로 나타났다. PU 방사용액의 농도가 12wt.%일 때의 점도는 285.2cP로 나타났으며, 14wt.%일 때는 380.1cP로 나타났다. PU 방사용액의 농도가 증가함에 따라 점도가 증가하는 것으로 나타났다. 또한 방사용액의 증가에 따른 나노섬유의 직경 변화를 살펴보면 PU방사용액의 농도 증가에 따라 342~869nm까지 증가하였다.

따라서 PU 방사용액의 농도가 증가함에 따라 점도가 증가하였으며, 점도가 증가함에 따라 나노섬유의 직경도 증가하였다. 이러한 경향은 용액의 점도가 용매 내에서 고분자 사슬의 얽힘 정도가 증가되어 제트의 붕괴를 방해하므로 이로 인해 나노섬유의 직경 증가가 나타나는 것이다(Renekek & Yarin, 2008). PU 방사용액의 농도 12wt.%에서 평균직경의 표준편차가 가장 작은 것으로 나타나, 전기방사를 위한 PU 방사용액의 적정농도는 12wt.%임을 확인할 수 있었다.

Table 1. Viscosity of PU solution (8, 10, 12, 14wt%) before electrospinning and diameters of electrospun PU nanofibers. (Tip-to-collector distance;15cm and voltage; 8kV)

PU Solution (wt%)	Viscosity (cP)	Fiber diameter (nm)
8	50.2±4.35	341.7±197.56
10	116.4±12.69	437.8±182.12
12	285.2±21.78	526.7±82.49
14	380.1±24.37	869.3±145.63

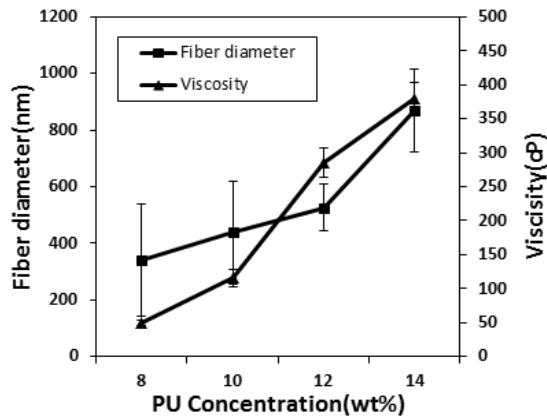


Fig. 1. Changes in nanofiber diameter and solution viscosity according to PU solution concentration (Tip-to-collector distance; 15cm and voltage; 8kV).

PU 방사용액의 농도를 8, 10, 12, 14wt.%로 변화시켜 전기방사한 나노섬유의 형태를 Fig. 2에 나타내었다. 그림에서 보는 바와 같이 방사용액의 농도가 8wt%로 낮을 때에는 비드와 섬유형태가 혼재하는 양상을 보이며, 10wt% 이상으로 농도가 증가할수록 필라멘트 형태로 방사되는 것을 볼 수 있다. 방사용액의 농도가 낮을 경우 점도저하로 인한 방사성이 부족하여 섬유형성이 완전히 이루어지지 못하고 비드 형태로 방출이 되는 것을 확인할 수 있었다 이는 전기방사에서 방사용액의 농도가 낮으면 고분자는 방울형태로 축적되고 점차 농도가 높아짐에 따라 방추형 방울들이 서로 얽은 실에 의해 연결된 형태를 거쳐 안

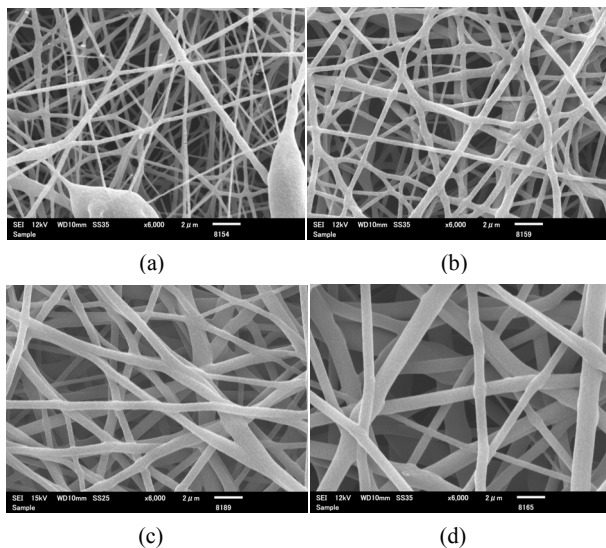


Fig. 2. SEM images of electrospun PU nanofibers prepared from different solution concentrations;(a) 8, (b) 10, (c) 12, (d) 14wt. % (Tp-to-collector distance;15cm and voltage; 8kV)

정된 섬유상을 형성한다는 선행연구(Theron et al., 2004; Zander, 2013)와 일치하는 결과이다.

3.2. 인가전압에 따른 나노섬유의 방사성

PU 방사용액에 인가되는 전압을 6, 8, 10, 12kV로 변화시키고, 용액 농도를 12wt%, 방사거리를 15cm로 일정하게 유지하여 전기방사한 결과를 Fig. 3, Fig. 4에 나타내었다. 그림에서 보면 6~12kV의 실험 인가 전압 범위에서 모두 매끄러운 필라멘트상의 나노섬유가 얻어졌다. 전압이 6kV에서 나노섬유의 평균직경은 588.1nm, 표준편차는 182.1로 나타났으며, 8kV에서는 평균직경이 526.7nm, 표준편차가 79.6nm로 나타났고, 10kV에서는 나노섬유의 평균직경이 488.3nm, 표준편차가 154.8로 나타났으며, 12kV에서는 평균직경이 451.1nm, 표준편차가 113.7로 나타나 인가 전압이 커짐에 따라 나노섬유의 평균직경이 줄어드는 경향을 나타내었다. 이는 전압의 증가에 따라 토출되는 jet의 표면에 더 높은 전하밀도를 가지도록 유도하여 jet내의 높은 정전기적인 반발력을 가져와 더 가는 섬유가 얻어지도록 연신력을 크게하기 때문이라는 선행연구(Huang et al., 2003)와 일치하는 결과이다. 또한 8kV의 인가전압시 토출된 나노섬유의 평균직경에 대한 표준편차가 가장 작은 것으로 나타나 본 실험 조건의 적정 전기방사 인가전압은 8kV임을 확인하였다.

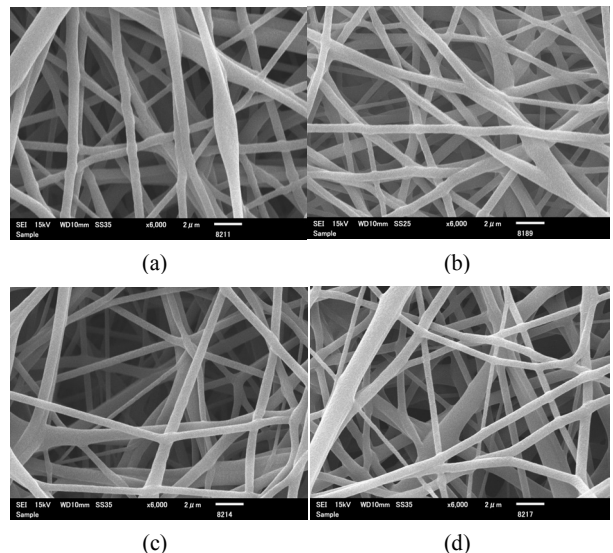


Fig. 3. SEM images of electrospun PU nanofibers prepared by using various voltages of (a) 6kV, (b) 8kV, (c)10kV, (d) 12kV (PU solution concentration; 12wt.% and tip-to-collector distance; 15cm)

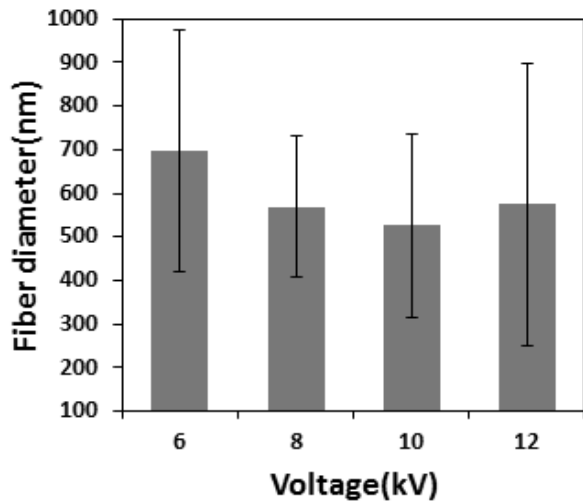


Fig. 4. Changes in nanofiber diameter according to voltages (PU solution concentration; 12wt.% and tip-to-collector distance; 15cm)

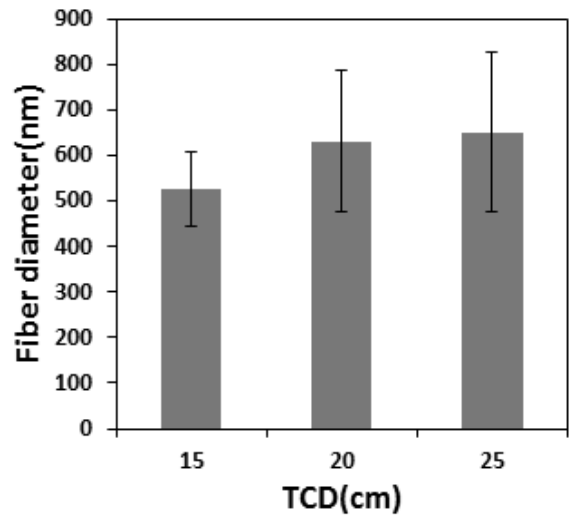


Fig. 6. Changes in nanofiber diameter according to TCD. (PU solution concentration; 12wt.% and voltage; 8kV)

3.3. TCD에 따른 나노섬유의 방사성

Syringe 팁으로부터 collector 표면까지의 거리를 10, 15, 20, 25cm로 변화시켜 전기방사한 PU나노섬유의 형태 관찰 결과를 Fig. 5에 나타내었고, 얻어진 섬유의 직경변화를 Fig. 6에 나타내었다. 방사거리가 10cm로 가까울 때는 방사용액이 덩어리로 떨어져 방사된 섬유의 형태가 일그러져 서로 융착된 모습을 나타내어 적절한 웹 형성 조건이라고 볼 수 없으며 나노

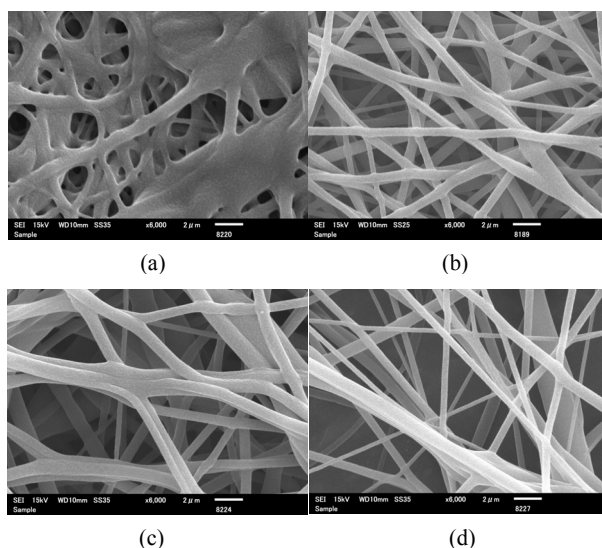


Fig. 5. SEM images of electrospun PU nanofibers prepared by using various tip to collector distances of (a) 10cm, (b) 15cm, (c) 20cm, (d) 25cm (PU solution concentration; 12wt.% and voltage; 8kV)

섬유의 평균직경 값을 얻기는 힘들었다. 방사거리가 15cm이상~25cm까지는 매끈한 표면상태의 나노섬유가 얻어졌으며, 방사거리가 증가함에 따라 나노섬유의 평균직경이 다소 증가하는 경향을 나타내었다. 또한 방사거리가 15cm일 때, 나노섬유 평균직경의 표준편차가 가장 작은 것으로 나타나, 본 실험의 전기방사 조건 중 TCD는 15cm가 적절함을 확인하였다.

3.4. 향나무 추출물 함량에 따른 나노섬유의 방사성

향나무 추출물을 함유한 PU 방사용액의 점도와 나노섬유의 직경을 Table 2에 나타내었다. 향나무 추출물을 각각 0.25, 0.5, 1, 1.5wt% 첨가함에 따라 향나무 추출물을 함유한 PU 방사용액의 점도는 266, 255, 226, 215cP로 낮아지는 결과를 보였다. 이는 순수한 PU의 방사용액 제조시 용매로 DMF와 MEK의 혼합 용매를 사용하여 용해하고, gum상태의 향나무 추출물을 PU방사용액에 혼합하기 용이하게 하기 위해 에탄올로 1:1 stock solution을 만들어 혼합 방사용액을 만들었기 때문에 향나무 추출물이 증가됨에 따라 에탄올의 양도 증가하게 되어 방사용액의 점도가 낮아진 것으로 보인다. 또한 향나무 추출물의 첨가량이 증가함에 따른 나노섬유 평균직경의 변화를 Fig. 7에서 살펴보면 향나무 추출물이 0.25wt%일 때, 나노섬유의 직경은 547.2nm로 나타났고, 0.5wt%가 첨가되었을 때에는 483nm, 1wt% 첨가되었을 때 나노섬유의 평균직

경은 455.8nm로 나타났으며, 향나무 추출물이 1.5wt% 첨가되었을 때 나노섬유의 평균직경은 435.1nm로 나타나, 향나무 추출물의 양이 증가함에 따라 나노섬유의 평균직경은 감소하는 것으로 나타났다. 이는 향나무 추출물의 첨가량이 증가함에 따라 방사용액의 점도가 낮아져 생기는 결과로서, 방사용액의 농도가 낮으면 상대적으로 가는 섬유를 얻을 수 있으며, 일반적으로 전기방사에서 나노섬유의 직경은 고분자 용액의 농도의 제곱에 비례한다는 선행연구 결과(Demir et al., 2002)에 따른다. Fig. 8은 SEM을 이용한 향나무 추출물 함유량에 따른 복합나노섬유의 표면 형태를 관찰한 결과이다. 향나무 추출물의 함량이 0.25wt% ~ 1.5wt% 첨가되었을 때, 나노섬유의 표면은 매끄럽고 비교적 균일한 상태의 섬유가 얻어졌다.

Table 2. Solution parameters before electrospinning of PU solution with *Juniperus Chinensis* extracts (0.25, 0.5, 1, 1.5, wt%) and diameters of electrospun *Juniperus Chinensis* extracts loaded PU nanofibers(PU solution concentration; 12wt.% and tip-to-collector distance; 15cm and voltage; 8kV)

J/C* extract concentration (wt%)	Viscosity (cP)	Fiber diameter (nm)
0.25	265.8±10.3	547.2±97.9
0.5	254.6±2.7	483.0±81.5
1	226.3±5.6	455.8±58.9
1.5	215.4±3.1	435.1±79.4

J/C*: *Juniperus Chinensis*

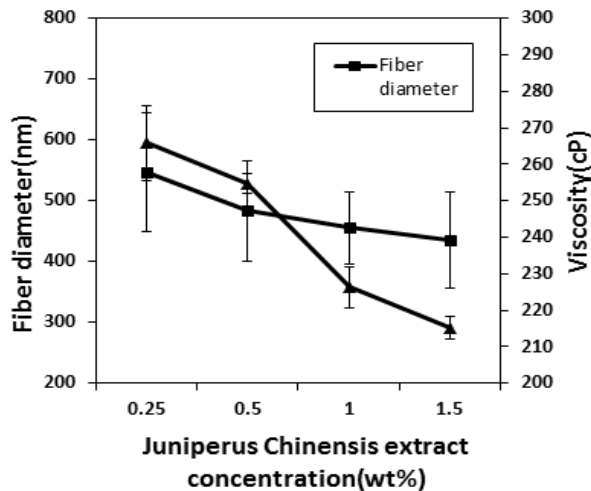


Fig. 7. Changes in nanofiber diameter and solution viscosity according to PU/*Juniperus Chinensis* extracts solution concentration (PU solution concentration; 12wt.%, tip-to-collector distance; 15cm and voltage; 8kV)

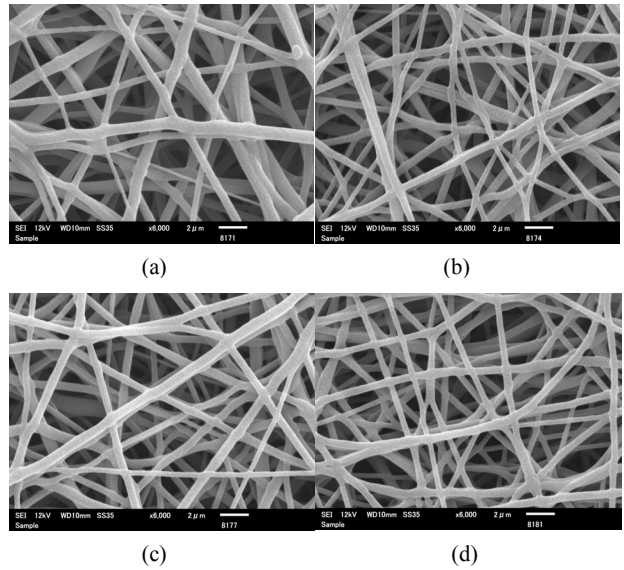


Fig. 8. SEM images of electrospun PU nanofibers *Juniperus Chinensis* extracts loaded prepared from different extracts concentrations; (a) 0.25, (b) 0.5, (c) 1 wt.% (d) 1.5wt% (PU solution concentration; 12wt.% and tip-to-collector distance; 15cm and voltage; 8kV)

4. 결론

전기방사법을 이용하여 천연 항균물질을 포함하는 향나무 추출물을 각각의 비율(0.25, 0.5, 1, 1.5wt%)로 폴리우레탄 방사용액에 혼합하여 나노섬유 웹을 제조하기 위하여 방사용액의 농도, 인가전압, 팁과 콜렉터사이의 거리 등 다양한 전기방사 조건을 고찰하였으며, 향나무 추출물을 함유하는 PU 나노섬유의 방사성의 변화를 살펴보기 위해 표면구조, 직경을 관찰하였다.

향나무 추출물을 함유하는 폴리우레탄 나노섬유를 제조하기 위한 전기방사의 조건 중, 방사용액의 농도 12wt%, 인가전압 8kV, TCD는 15cm일 때 나노섬유의 표면이 매끄럽고, 평균직경 편차가 가장 작은 균일한 섬유가 얻어졌다. 복합 나노섬유의 직경은 향나무 추출물의 함량이 증가함에 따라 감소하는 것으로 나타났는데, 추출물 함량이 0.25wt%일 때 547nm, 0.5 wt%일 때 438nm, 1 wt%일 때 456nm, 1.5wt% 일 때는 435nm로 나타났다. 향나무 추출물의 함량이 증가함에 따라 방사용액의 점도가 낮아졌으며, 그에 따라 나노섬유의 평균직경도 감소하는 경향을 나타내었다. 이로써 천연 항균 물질을 포함하는 향나무 추출물 함

유한 PU 나노섬유가 전기방사를 통해 얻어졌다. 본 연구를 통해 제조된 복합 나노웹은 외과용 보호 직물, 극한환경의 방호기능 소재, 미용 마스크 및 팩 소재, 상처치유 패치 소재 1회용 속옷 등으로의 활용 가능성이 기대되며, 이를 위해서는 추후 나노웹의 FT-IR, XRD 등의 다른 특성을 포함하여, 항균성과 같은 기능성 고찰이 더 필요하다.

REFERENCES

- Ali, A. M., Mackeen, M. M., Intan-Safinar, I., Hamid, M., Lajis, N. H., El-Sharkawy, S. H., & Murakoshi, M. (1996). Antitumor promoting and antitumor activities of the crude extract from the leaves of *Juniperus chinensis*. *Journal of Ethnopharmacology*, *53*(3), 165-169.
- Choi, O. K., Kim, Y. S., Cho, G. S., & Sung, C. K. (2002). Screening for antimicrobial activity from Korean plants. *Korean Journal of Food and Nutrition*. *15*(4), 300-306.
- Chang, C. I., Chen, W. C., Shao, Y. Y., Y도, G. R., Yang, N. S., Chiang, W., & Kuo, Y. H. (2008). A new labdane-type diterpene from the bark of *Juniperus chinensis* Linn. *Nat Prod Res.*, *22*(13), 1158-1162.
- Deepak M. & Vijay K. S. (2010). Eco-economical polyurethane wood adhesives from cellulosic waste: Synthesis, characterization and adhesion study. *International Journal Adhesion and Adhesives*, *30*(1), 47-54.
- Demir, M. M., Yilgor, I., Yilgor, E., & Erman, B. (2002). Electrospinning of polyurethane fibers. *Polymer*, *43*(11), 3303-3309.
- Hepburn, C. (1996), Polyurethane Elastomers: The ultimate in multiphase polymeric materials. *Key Eng. Mater.*, *118-119*, 3-18.
- Huang, Z. M., Zhang, Y. Z., Kotaki, M., & Ramakrishna, S. (2003). A review on polymer nanofibers by electrospinning and their applications in nanocomposites. *Composites Science and Technology*, *63*(15), 2223- 2253.
- Islam, Md. S. & Karim, M. R. (2010) Fabrication and characterization of poly (vinyl alcohol)/alginate blend nanofibers by electrospinning method. *Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects*, *366*(2), 135-140.
- Jeong, B. Y., Chun, J. M. Chun, J. H. Mok, D. Y., & Lee, H. M., (2009). Synthesis and characterization of polyurethane elastomer. *J. Soc. Adh. Interface*, *10*(3), 169-174.
- Jeong, L. & Park, W. H. (2014). Preparation and characterization of gelatin nanofibers containing silver nanoparticles. *Int J Mol Sci*. *15*(4), 6857-6879.
- Junkasem, J., Rujiravanit, R., & Supapholl, P. (2006). Fabrication of α -chitin whisker-reinforced poly (vinyl alcohol/nanocomposite nanofibres by electrospinning. *Nanotechnology*, *17*(17), 4519-4528.
- Kang, N. R. & Na, Y. J. (2010). Physiological responses and subjective sensation of human body wearing cool Mapi in air-conditioning environment. *Sci. Emot. Sensib.*, *13*(2), 359-370.
- Lim, J. A., Bhatt, L. R., Na, Y. S., Lee, J. S., & Baek, S. H. (2004). Antimicrobial effects of essential oil from *Artemisia vulgaris* on skin disease bacteria. *J. Kor. Soc. Cosm.*, *10*(3), 219-222.
- Nam, K. Y. & Lee, J. S. (2013). Dyeing properties and functionality of methanol extract from *Juniperus chinensis* heartwood. *Textile Coloration and Finishing*, *25*(3), 194-205.
- Noh, M. W. & Lee, D. C. (1999). Comparison of characteristics of SAN-MMT nanocomposites prepared by emulsion and solution polymerization. *J. Appl. Polym. Sci.*, *74*(12), 2811-2819.
- Pizzi A. (2006). Recent development in eco-efficient bio-based adhesives for wood bonding : opportunities and issues. *Journal of Adhesion Science and Technology*, *20*(8), 829-846.
- Ren, G. Xu, X. Liu, Q. Cheng, J. Yuan, X. Wu, L., & Wan, Y. (2006) Electrospun poly(vinyl alcohol)/glucose oxidase biocomposite membranes for biosensor applications. *React. Funct. Polym.* *66*(12), 1559-1564.
- Reneker, D. H. & Yarin, A. L. (2008). Electrospinning jets and polymer nanofibers. *Polymer*, *49*(10),

- 2387-2425.
- Shao, C., Kim, H., Gong, J., Ding, B., Lee, D., & Park, S. (2003). Fiber mats of poly (vinyl alcohol) / silica composite via electrospinning. *Mater. Lett.* 57(9-10), 1579-1584.
- Shiu, L. L., Chen, W. C., & Kuo, Y. H. (1999). Five new cis-himachalane-type sesquiterpenes from the the heartwood of *Juniperus chinensis* var. *tsukusiensis*. *CHEM PHARM*, 47(4), 557-560.
- Son, W. K., Youk, Y. Z., & Park, W. H. (2006). Antimicrobial cellulose acetate nanofibers containing silver nanoparticles. *Carbohydrate Polymers*, 65(4), 430-434.
- Tang, Y. W. Santerre, J. P. Labow, R. S., & Taylor, D. G., (1996). Synthesis of surface-modifying macromolecules for use in segmented polyurethanes. *J. Appl. Polym. Sci.* 62(8), 1133-1145.
- Theron, S. A., Zussman, E., & Yarin, A. L. (2004). Experimental investigation of the governing parameters in the electrospinning of polymer solutions. *Polymer*, 45(6), 2017-2030.
- Tonelli C, Trombetta T, Scicchitano M., & Castiglioni G. (1995). New perfluoropolyether soft segment containing polyurethanes. *J. Appl. Polym. Sci.* 57(9), 1031-1042.
- Venugopal, J. R., Sridhar, S., & Ramakrishna, S. (2014). Electrospun plant-derived natural biomaterials for tissue engineering. *Plant Science Today*, 1(3), 151-154.
- Wei, Q. F. Ye, H. Hou, D. Y. Wang, H. B., & Gao, W. D. (2006). Surface functionalization of polymer nanofibers by silver sputter coating. *Appl. Polym. Sci.* 99(5), 2384-2388.
- Yang, J. H., Yoon, N. S., Kim, I. K., & Yeum, J. H. (2011). Fabrication of waterproof and moisture-permeable polyurethane nanofiber multi-membrane. *Textile Coloration and Finishing*, 23(2), 107-117.
- Zander, N. E. (2013). Hierarchically structured electrospun fibers. *Polymers*, 5(1), 19-44.

원고접수: 2016.02.02

수정접수: 2016.02.26

게재확정: 2016.05.03