한국의류산업학회지
제20권 제3호, 2018
<연구논문>

pISSN 1229-2060
eISSN 2287-5743
Fashion & Text. Res. J.
Vol. 20, No. 3, pp.353-359(2018)
https://doi.org/10.5805/SFTI.2018.20.3.353

FDM 3D 프린팅 기술로 제작된 3D 프린팅 레이스/보일 복합직물의 역학적 특성 및 세탁성 평가

이선희†
동아대학교 패션디자인학과

Evaluation of Mechanical Properties and Washability of 3D Printed lace/voil Composite Fabrics Manufactured by FDM 3D printing Technology

Sunhee Lee†
Dept. of Fashion Design, Dong-A University; Busan, Korea

Abstract : In this study, fused deposition modellig(FDM) 3D printing technology has been applied directly to polyester voil fabric to produce 3D printed lace/voil composite fabrics. A stereolithograpy(STL) file with a lace type 3D modelling under the various thickness were prepared and transformed into a g-code file using a g-code generator. The extrusion conditions for FDM 3D printing were controlled by 50mm/s of nozzle speed, 235°C of nozzle temperature, 40°C of heating bed temperature. 3D printed lace/voil composite fabriscs manufactured by 3D printing based on FDM using a thermoplactic polyurethane(TPU) filaments were obtained. To evaluate the mechanical properties and washability of the fabricated 3D printed lace/voil composite fabric, KES-FB system test, washing fastness test and dry cleaning resistance test were conducted. As 3D printing thickness increased, KOSHI, NUMERI, and FUKURAMI of 3D printed lace/voil composite fabric increased. From the results of the primary hand value test, 3D printed lace/voil composite fabrics were confirmed to be applicable to women's summer garments. As a result of the washability and dry cleaning resistance test of the 3D printed lace/voil composite fabrics, all samples were graded 4-5.

Key words : 3D printed lace (3D 프린팅 레이스), TPU (열가소성 폴리우레탄), FDM 3D printing technology (FDM 3D 프린팅 기술), mechanical properties (역학특성), washability (세탁성)

1. 서 론

최근 패션산업에서는 3D 프린팅 기술을 적용한 패션 디자인 및 제품 개발이 활발히 진행되고 있다. 3D 프린팅을 활용한 패션제품에 관한 국내 연구로는 소재에 대한 연구(Choi & Kim, 2016), 패션 프로토 타입에 관한 연구(Chun, 2017), 손목보호대 개발(Koo & Lee, 2017) 및 낙상충격 보호패드 개발(Park et al, 2017) 등이 보고되고 있다. 3D 프린팅 구조체를 텍스타일 형태로 제조하는 연구로는 직물위에 PLA로 3D 프린팅 출력을 직접하여 제작 가능성을 타진한 연구(Pei et al, 2015)와 SLA, SLS, FDM, LOM, 및 Polyjet 등 프린터 종류별로 텍스타일 제조를 시도한 연구(Gürcüm et al., 2018) 등이 있으며, 3D 프린팅을 이용한 텍스타일 제조 기술동향(Kim & Kim, 2018)을 보고하였다.

본 연구팀은 선행연구에서 열가소성 폴리우레탄(Thermoplastic polyurethane, TPU) 필라멘트를 이용하여 FDM 3D 프린팅 텍스타일을 제조가능성을 타진하는 것을 목적으로 출력 조건에 대한 연구(Lee, 2015)를 시작하였고, 3D 텍스타일 디자인 모티브 개발 및 후공정을 적용한 연구를 지속적으로 진행해 왔다. Kim et al.(2017a)의 연구에서는 TPU필라멘트, FDM방식, 3D 모델링 기법을 적용하여 오리엔탈 모티브를 활용한 텍스타일 디자인 개발하였으며 이를 활용하여 3D 텍스타일 및 시제품 3종을 개발하였다. Kim et al.(2017b)의 연구에서는 3차원 프린팅 출력 조건 및 열처리 공정에 따른 3D 텍스타일의 물성 분석결과, 채우기 함량이 증가할수록 두께는 유사한 경향을 보였고 무게는 증가하였다. 열처리 후의 시료 두께는 40~45%가 감소하였으나 무게는 원시료와 유사한 경향으로 확인되었다.

한편, FDM 3D 프린터를 이용한 3D 프린팅 레이스 개발을 위해, 3D 프린팅용 레이스 디자인(Kang & Lee, 2017a), 3D 프린팅 레이스 제조공정에 따른 물성 측정에 관한 연구(Kang

†Corresponding author; Sunhee Lee
Tel. +82-51-200-7329, Fax. +82-51-200-7335
E-mail: shlee014@dau.ac.kr
© 2018 (by) the authors. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution license (http://creativecommons.org/licenses/by/3.0/), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

& Lee, 2017b; Kim et al., 2017b)를 진행하였다. 특히, 3D 프린팅 소재 중 TPU를 활용하여 3D 프린팅 레이스를 제조하고, 기존 직물과 합포하여 텍스타일로 개발하고 이에 대한 물성평가를 실시한 연구를 보고한 바 있다(Lee, 2017; Lee, 2018). 즉, 3D 프린팅 기술과 레이스를 결합한 레이스형 3D 텍스타일의 디자인을 기반으로 레이스형 3D 텍스타일의 문양 반복 횟수와 두께를 제어하여 3D 텍스타일을 레이스 복합 직물 형태로 제조하였다. 이에 대한 물성 분석 결과, 롤러 공정을 적용할수록 두께를 얇게 제어하면서도 강인성을 증가하는 재료를 얻을 수 있었다.

본 연구에서는 3D 프린팅 출력공정을 직물 위에 직접 적용하여, 3D 프린팅 레이스/보일 복합직물을 제조공정을 점검하고, 얻어진 레이스형 3D 텍스타일을 가와바타 시스템을 활용하여 직물의 역학적 특성을 측정하고 분석하였고, 세탁성 분석을 위해 내세탁성 및 드라이클리닝견뢰도를 측정하였다. 이에 의류소재의 감각적 태특성 및 세탁내구성 평가를 통해 쾌적성 및 관리성을 갖는 3D 프린팅을 활용한 텍스타일로의 제조방법에 대한 기초 자료로 제시하고자 한다.

2. 실 험

2.1. 시료 및 3D 프린팅 레이스/보일 복합직물 제조

본 연구에 사용한 시료는 시료 제조에 사용하기 위해서 폴리에스테르 100%이고, 직물밀도가 88×88/inch 인 평직구조인 보일직물 사용하였다. 이 보일직물을 20cm×20cm의 크기로 준비하였고, 아세톤으로 충분히 수세하고 건조한 후 3D 프린팅 공정에서 사용하였다.

3D 프린팅 레이스를 출력하기 위해, TPU계 필라멘트를 사용하였고, FDM 3D 프린터(Finebot FB-9600, TPC mechatronix)를 노즐 온도 235°C, 베드온도 40°C, 출력 속도 50mm/s, 채우기 100%, 출력 사이즈 150mm×150mm의 조건으로 설정하였다. 이때 레이스 모델링 문양의 두께를 0.2mm, 0.4mm, 및 0.6mm로 제어하여 g-code 파일로 변환하여 출력 준비를 하였고(Fig. 1), 이를 보일직물 위에 직접 출력하여, 3D 프린팅 레이스/보일 복합직물 3종을 얻었다. Table 1은 3D 프린팅 레이스/보일 복합직물의 표면 사진 두께 및 무게를 나타낸 것이다.

2.2. 특성 분석

2.2.1. 역학적 특성

3D 프린팅 레이스/보일 복합직물의 역학적 특성을 알아보기 위하여 KES-FB 시스템(Kawabata Evaluation System, Kato Tech. Co. LTD., Japan)을 사용하여 제조된 3D 프린팅 레이스/보일 복합직물 시료의 인장특성, 전단특성, 굽힘특성, 압축특성 등을 측정하였다.

이를 이용하여 아래 식으로 객관적 감각평가치인 기본태(primary hand value)를 산출하였다. 이 때 변환식 및 변수는 KN-203-LDY(women's thin dress)를 사용하였으며 KOSHI, NUMERI, FUKURAMI의 3가지 기본태 값을 산출하였다(Kawabata, 1984).

$$Y = C_0 + \Sigma_{i=1}^{16} C_i \frac{X - \overline{X}_i}{\sigma_i} \quad (3)$$

where, Y: hand value

X_i : i th characteristic value or its logarithm

$\overline{X}_i$: the mean value of i th characteristic value

σ_i : the standard deviation of the i th value

C_0, C_i : constant coefficient

2.2.2. 세탁내구성

3D 프린팅 레이스/보일 복합직물의 세탁내구성을 알아보기 위하여 내세탁성은 KS K ISO 6330에 준하여 측정하였다. 드라이클리닝견뢰도는 KS K ISO 105-D에 준하여 측정하였다.

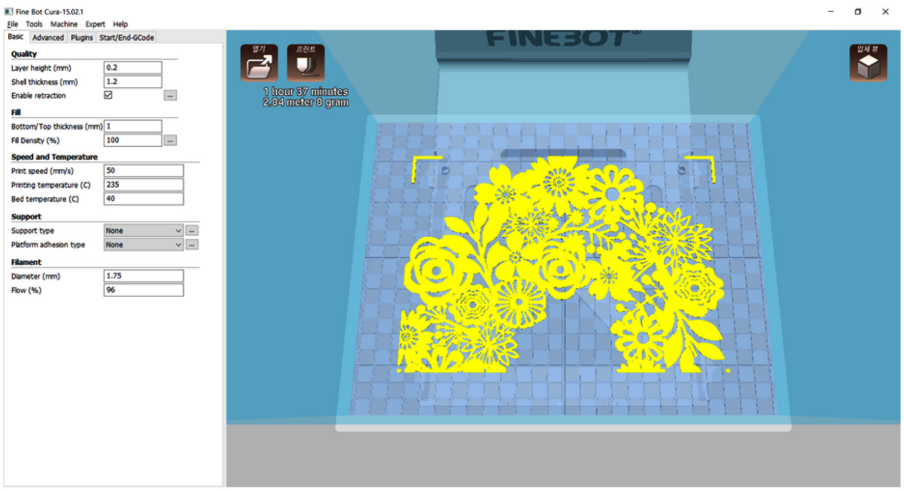

Fig. 1. G-code generated for lace motive.

Table 1. Sample specification of 3D printed lace/voil composite fabrics

Sample code	Surface image	Thickness (mm)	Weight (mg/cm^2)
Lace 0.0		0.14	2.50
Lace 0.2		0.34	14.45
Lace 0.4		0.54	25.94
Lace 0.6		0.74	37.64

3. 결과 및 논의

3.1. 역학적 특성

의복 소재의 감각적 특성은 촉감과 관련하여 태(handle)라고 하며, 직물의 물리적 특성 측정을 통해 객관적인 태를 평가할 수 있다(Cho, 2009). 본 연구에서 제작한 3D 프린팅 레이스/보일 복합직물을 가와바타 테스트를 통해 인체 동작에 의해 직물이 받는 복합적인 변형동작을 가하여 무게와 두께를 포함하여 6가지 기본 물리적 특성치인 인장, 굽힘, 전단, 압축, 및 표면특성을 측정하였다.

인장특성: Fig. 2는 KES-FB를 사용하여 보일직물 및 레이스 문양을 두께별로 3D 프린팅 출력을 한 3D 프린팅 레이스/보일 복합직물의 인장선형성(LT), 인장에너지(WT), 인장회복성(RT)의 측정결과를 나타낸 것이다.

측정결과 미처리 보일직물에 비해 두께별로 3D 프린팅 출력을 한 3D 프린팅 레이스/보일 복합직물의 경우 인장특성은 잘 늘어나지 않고 치수안정성이 커지는 경향을 나타냈다. 3D 프린팅 레이스/보일직물을 두께별로 보일직물에 출력한 경우 3D 프린팅 레이스 프린팅의 두께가 증가함에 따라 LT값은 증가하는 경향을 보이고 있다. 한편, 인장레질리언스(RT)는 인장에 대

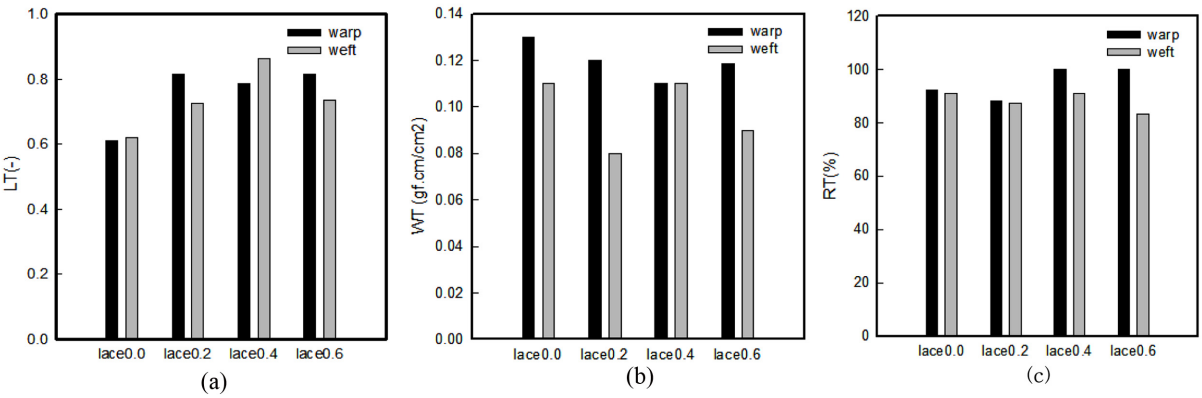

Fig. 2. Tensile properties of 3D printed lace/voil composite fabrics with various printing thickness; (a) LT, (b) WT, (c) RT.

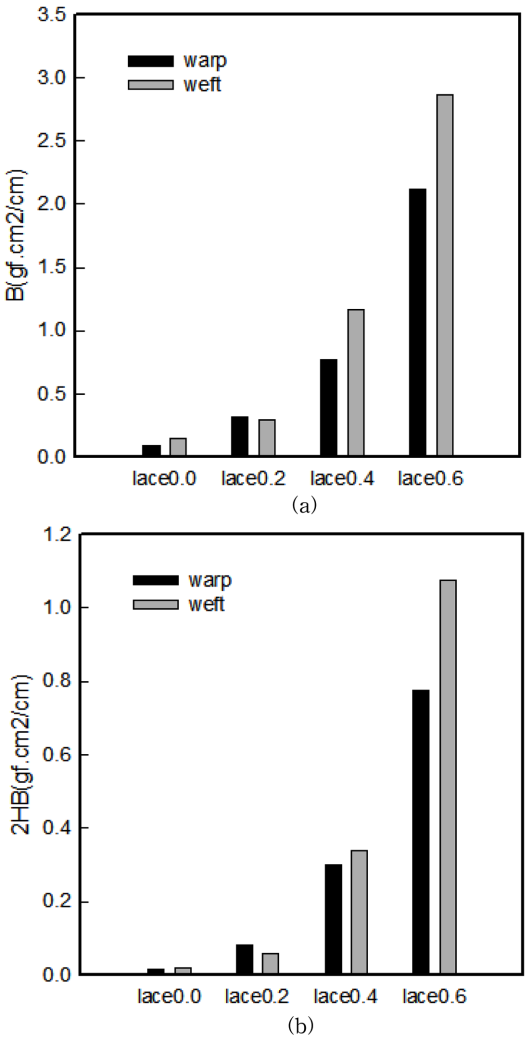

Fig. 3. Bending properties of 3D printed lace/voil composite fabrics with various printing thickness; (a) B, (b) 2HB.

한 회복성을 나타내는 값으로 값이 클수록 늘어난 후의 회복성이 좋음을 의미하는데, 미처리 보일직물에 비해 3D 프린팅 레이스를 두께별로 프린팅한 보일직물의 경우 RT 값은 약간 감소하는 경향을 보였다. 3D 프린팅 레이스를 두께별로 프린팅한 보일직물의 경우, 즉 lace 0.2에 비해 lace 0.6의 RT 값은 약간 증가하는 경향을 보이고 있다. LT값과 RT값이 높을수록 치수안정성이 높은 것을 의미하므로, 3D 프린팅 레이스의 두께가 두꺼워질수록 3D 프린팅 레이스/보일 복합직물의 치수안정성은 커짐을 알 수 있다. 또한 WT는 직물의 질긴 정도를 나타내는 데 3D 프린팅 레이스/보일 복합직물의 WT값이 작아지고 있으므로, 3D 프린팅 레이스의 두께 변화에 의해 복합직물이 뻣뻣하고 잘 늘어나지 않음을 알 수 있다.

굽힘특성: Fig. 3은 보일직물 및 레이스 문양을 두께별로 3D 프린팅 출력을 한 3D 프린팅 레이스/보일 복합직물의 굽힘강성(B) 및 굽힘이력(2HB)의 측정결과를 나타낸 것이다. 굽힘강성(B)은 굽힘에 대한 저항성을 나타내며 그 값이 클 경우 형태안정성은 좋은 것을 의미한다. 굽힘이력(2HB)은 직물을 구성하는 실의 굽힘 탄성한도를 넘게 되면 구성섬유들이 원상태로 재배열되지 못하고 점탄성적인 굽힘변형을 일으키게 되어 회복되진 않는 거동을 나타낸다. 미처리 보일직물에 비해 3D 프린팅 레이스를 두께별로 프린팅 된 보일직물의 경우 B 및 2HB 값이 증가하는 경향을 나타냈으며, 이것은 3D 프린팅 레이스의 두께가 두껍게 프린팅 됨에 따라 형태안정성이 매우 증가하는 것을 의미한다. 3D 프린팅의 두께가 얇은 lace 0.2에 비해 lace 0.4 및 lace 0.6의 경우 B 및 2HB 값의 변화폭은 매우 증가하는 경향을 보이고 있다. 이는 3D 프린팅 레이스의 두께가 굽힘거동에 미치는 영향이 큰 것을 의미한다. 즉, 레이스 문양을 두께별로 3D 프린팅 출력을 한 3D 프린팅 레이스/보일 복합직물의 경우, 3D 프린팅 레이스의 소재인 TPU의 함량이 증가함에 따라 굽힘에 대한 탄력성이 우수해지는 것으로 볼 수 있다.

전단 특성: Fig. 4는 보일직물 및 레이스 문양을 두께별로 3D 프린팅을 한 3D 프린팅 레이스/보일 복합직물의 전단강성(G) 및 전단이력(2HG, 2HG5)의 측정결과를 나타낸 것이다. 전단특성은 시료 한 쪽을 일정 하중으로 고정한 후 다른 쪽에 각도를 주면서 신장시킨 외력에 대한 변형으로 동작 시 신체 곡면과 형태유지성이나 드레이프성에 영향을 미치는 요소이다. 드

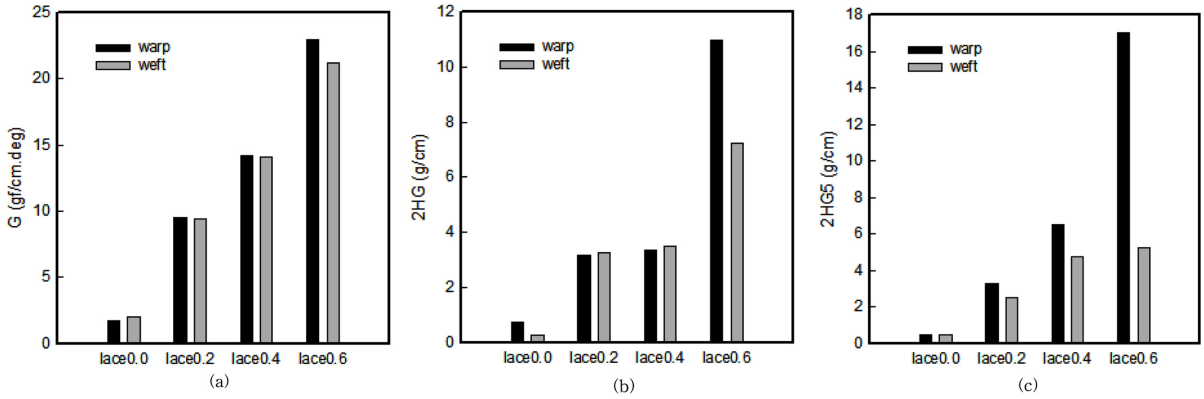

Fig. 4. Shear properties of 3D printed lace/voil composite fabrics with various printing thickness; (a) G, (b) 2HG, (c) 2HG5.

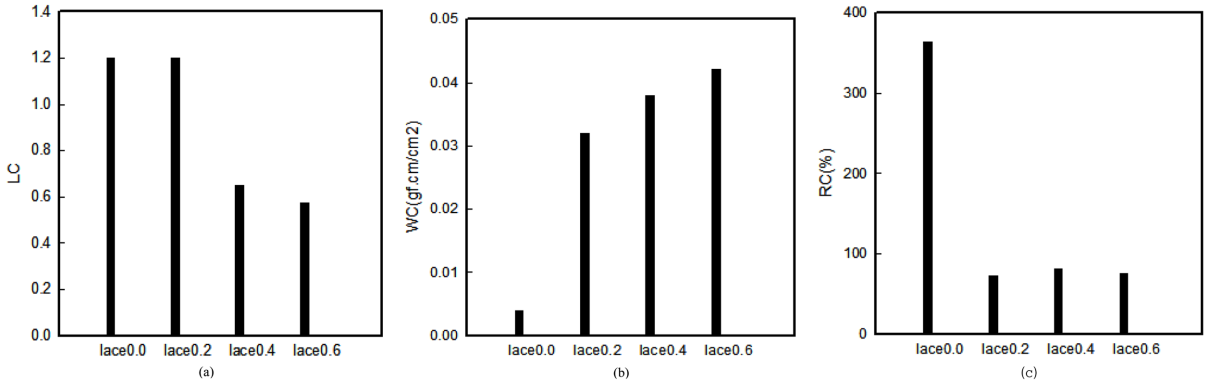

Fig. 5. Compression properties of 3D printed lace/voil composite fabrics with various printing thickness; (a) LC (b) WC (c) RC.

레이프성에 관련된 항목인 전단강성(G)은 전단 각도에 대한 단위 길이당 전단력으로 정의하며, G 값이 클수록 직물이 뻣뻣해짐을 나타낸다. 미처리 보일직물에 비해 두께별로 3D 프린팅 출력을 한 3D 프린팅 레이스/보일 복합직물의 G값이 월등히 크게 나타났다. 레이스 문양을 두께별로 3D 프린팅 레이스/보일 직물의 경우, 두께가 증가함에 따라 G값은 증가하고 있으며, 전단이력 측정결과도 전단강성의 결과와 유사하게 나타났다.

압축 특성: Fig. 5는 보일직물 및 레이스 문양을 두께별로 3D 프린팅 출력을 한 3D 프린팅 레이스/보일 복합직물의 압축선형성(LC) 및 압축회복성(RC)의 측정결과를 나타낸 것이다. 압축특성은 직물의 부피감과 두께와 관련이 있는 항목으로 시료의 압축선형성(LC)은 압축을 가할 때 딱딱해지는 정도를 나타내는 것이다. 보일직물에 비해 두께별로 3D 프린팅을 한 3D 프린팅 레이스/보일 복합직물의 경우 LC 값은 감소하고 있으므로, 초기 압축성이 쉬워졌다는 것을 나타낸다. 특히 3D 프린팅 레이스의 두께가 두꺼워짐에 따라, 즉 TPU의 성분이 증가함에 따라 LC의 값은 매우 감소하는 경향을 보이고 있다. 즉, 3D 프린팅 레이스/보일 복합직물의 두께가 증가함에 따라 복합직물은 유연해지고 있음을 알 수 있다. 압축회복성(RC)은 보일직물에 비해 두께별로 3D 프린팅을 한 3D 프린팅 레이스/보일 복합직물이 매우 낮은 RC값을 보이고 있다. 3D 프린팅 레이스의 두께가 증가함에 따라 TPU의 함량이 증가하여 RC값은 매우 증가하는 경향을 보이는 것으로 판단된다.

표면 특성: Fig. 6은 보일직물 및 레이스 문양을 두께별로 3D 프린팅 출력을 한 3D 프린팅 레이스/보일 복합직물의 표면마찰 계수(MIU), 마찰 계수의 편차(MMD) 및 표면 요철 편차(SMD)의 측정결과를 나타낸 것이다.

MIU는 표면의 마찰특성과 거칠기를 나타내는 항목으로 값이 작을수록 표면이 매끄러워졌다는 것을 의미한다. 미처리 보일직물에 비해 두께별로 3D 프린팅 출력을 한 3D 프린팅 레이스/보일 복합직물의 MIU값은 증가하고 있으며, 두께별로 3D 프린팅한 레이스/보일직물 중 lace 0.6의 경우 MIU값은 감소하는 것으로 나타났다. 이는 MIU이 결과에서도 유사한 경향을 나타내었다. SMD의 경우 미처리 보일직물에 비해 3D 프린팅 레이스/보일 복합직물의 경우 매우 낮은 값을 나타내고 있다.

3.2. 기본 태의 변화

기본 태 값은 KES-FB 시스템으로 측정한 6가지 물리적 특성치를 가와바타가 고안한 기본 태 파라미터 변환식에 대입하여 코시(KOSHI, stiffness), 누메리(NUMERI, smoothness) 후

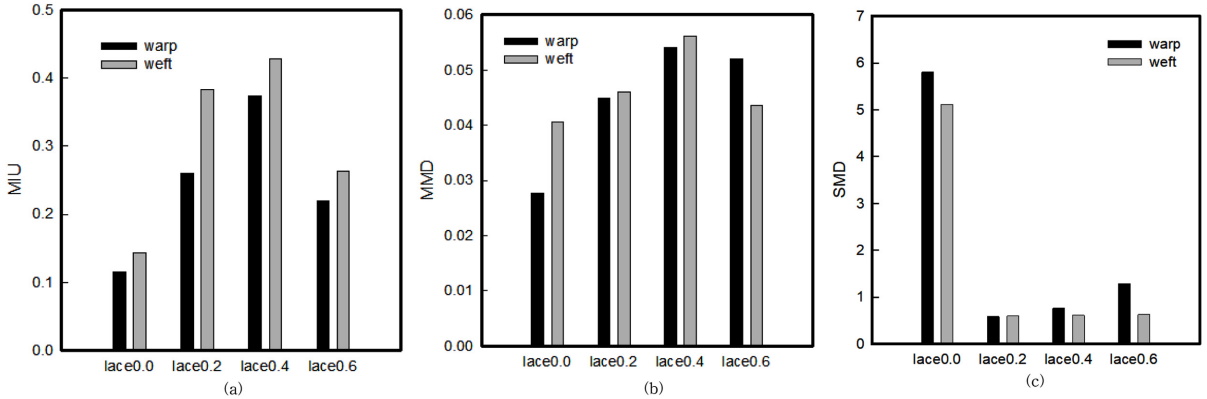

Fig. 6. Surface properties of 3D printed lace/voil composite fabrics with various printing thickness; (a) MIU (b) MMD (c) SMD.

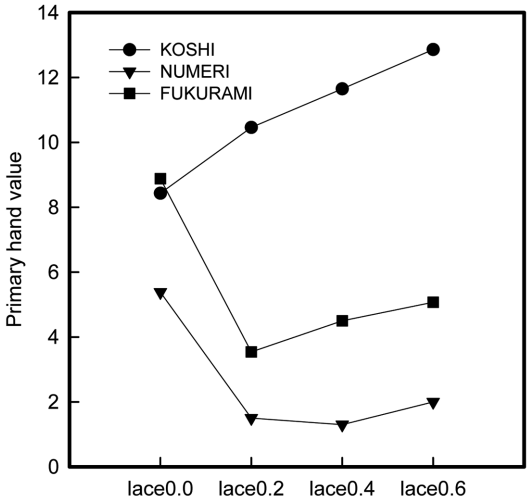

Fig. 7. Primary hand values of 3D printed lace/voil composite fabrics with various printing thickness.

쿠라미(FUKURAMI, fullness and softness) 등을 0에서 10까지 산출한 것이다. 여기서 10은 가장 강한 느낌을 말한다(Cho, 2009).

Fig. 7은 보일직물 및 레이스 문양을 두께별로 3D 프린팅 출력을 한 3D 프린팅 레이스/보일 복합직물의 기본 태특성의 변화를 나타낸 것이다. 코시는 굽힘성과 관련된 것으로, 손으로 쥐었을 때 느껴지는 반발력, 탄성, 뻣뻣한 느낌을 종합하여 표현한 것이다(Cho, 2009). 측정 결과, 3D 프린팅 레이스/보일 복합직물의 기본 태 중 코시는 미처리 보일직물에 비해 3D 프린팅 레이스/보일직물은 강하게 나타났고, 두께가 두꺼워질수록 코시감은 강하게 나타났다. 누메리는 직물을 만졌을 때 느껴지는 매끄럽고, 유연하며, 부드러운 감촉 등을 종합해서 표현한 것이며, 후쿠라미는 직물의 표면특성과 관련한 것으로, 부품성, 부피감이 있으면서 부드러운 느낌을 표현할 수 있다(Cho, 2009). 측정결과 보일직물에 비해 3D 프린팅 레이스/보일 복합직물의 누메리 및 후쿠라미 값은 감소하는 경향을 보이고 있다. 다만, 3D 프린팅 레이스/보일 복합직물 두께별로 비교해볼 때, 두께가 증가함에 따라 lace 0.2에 비해 lace 0.6의 누메리 및 후쿠라미감은 강해지는 경향을 나타내고 있다. 기본 태 값을 분석한 결과, 본 연구에서 제조된 3D 프린팅 레이스/보일 복합직물은 두께 제어를 통해 뻣뻣하고, 부품성이 있는 여름용 직물로서 적용가능할 것으로 판단된다.

3.3. 세탁성

Table 2는 보일직물 및 레이스 문양을 두께별로 3D 프린팅 출력을 한 3D 프린팅 레이스/보일 복합직물의 내세탁성 및 드라이클리닝견뢰도 시험 결과를 나타낸 것이다. 내세탁성 시험 결과 보일직물 및 레이스 문양을 두께별로 3D 프린팅 출력을 한 3D 프린팅 레이스/보일 복합직물은 모두 4-5등급으로 나타나 세탁내구성이 있는 것으로 판단된다. 드라이클리닝견뢰도 시험 결과, 용제를 퍼클로로벤젠을 사용한 경우 변퇴색 및 용제오염 모두 4-5등급으로 나타났다. 본 세탁성 시험 결과 3D 프린팅 레이스/보일 복합직물의 경우 물세탁 및 드라이클리닝이 가능한 소재이므로, 용도에 맞는 생활용 제품이나 의류용으로 소재를 적용할 것으로 판단된다.

4. 결 론

FDM 3D 프린팅 출력공정을 직물위에 직접 출력하여, 3D 프린팅 레이스/복합직물을 제조하였으며, 3D 프린팅 레이스/보일 텍스타일을 가와바타 시스템을 활용하여 직물의 역학적 특성을 측정하고, 기본 태특성을 분석하였고, 세탁성 분석을 위해 내세탁성 및 드라이클리닝견뢰도를 측정한 바 다음과 요약할 수 있다.

1. FDM 3D 프린팅 출력공정을 직물위에 직접 적용하여, 3D 프린팅 레이스/복합직물을 제조공정 중 베드온도 및 3D 모델링의 두께를 제어하여 직물 위에 직접 3D 출력이 가능하였고, 두께별 3D 프린팅 레이스/보일 텍스타일을 제조할 수 있었다.

2. 3D 프린팅 레이스/보일 복합직물의 인장선형성(LT), 인장레질리언스(RT), 인장에너지(WT) 측정결과, 3D 프린팅 레이스 두께가 증가함에 따라 인장선형성값과 인장레질리언스 값이 커지며, 치수안정성이 높은 것을 의미한다. 인장에너지 값은 감소하는 경향을 보이고 있으며, 이는 직물의 강인성이 증가하고 있음을 알 수 있다. 3D 프린팅 레이스/보일 복합직물의 굽힘강성(B) 및 굽힘이력(2HB)의 측정결과 증가하는 경향을 나타내었다. 전단강성(G) 및 전단이력(2HG, 2HG5)의 측정결과 증가하는 경향을 나타내었고, 압축선형성(LC) 및 압축회복성(RC)의 측정결과 감소하는 경향을 보이고 있다.

3. 기본 태 중 코시는 미처리 보일직물에 비해 3D 프린팅 레이스/보일직물은 강하게 나타났고, 두께가 두꺼워질수록 코

Table 2. Washability of 3D printed lace/voil composite fabrics with various printing thickness

	Test item	Lace 0.0	Lace 0.2	Lace 0.4	Lace 0.6
Washing fastness	Fading color (grade)	4-5	4-5	4-5	4-5
	Appearance change evaluation	None	None	None	None
Dry cleaning resistance	Fading color (grade)	4-5	4-5	4-5	4-5
	Solvent contaminant (grade)	4-5	4-5	4-5	4-5
	Appearance change evaluation	None	None	None	None

시감은 강하게 나타났다. 누메리 및 후쿠라미는 미처리 직물에 비해 3D 프린팅 레이스/보일직물이 감소하는 경향을 나타냈고, 3D 프린팅 시 두께가 증가한 시료일수록 누메리 및 후쿠라미감은 강한 경향을 나타내었다.

4. 3D 프린팅 레이스/보일 복합직물의 내세탁성 시험 결과, 모든 시료는 4-5급으로 나타났으며, 드라이클리닝견뢰도 시험 결과, 변퇴색 및 용제오염의 경우 모든 시료는 4-5급으로 판정되었다.

이에 FDM 3D 프린팅 출력공정으로 제조된 3D 프린팅 레이스/보일 복합직물은 두께제어를 통해 기본태 값 제어가 가능하고, 여성용 의류 소재로서의 적용 가능성을 확인할 수 있었다.

감사의 글

이 논문은 동아대학교 교내연구비 지원에 의하여 연구되었음.

References

Cho, G. S. (2009). *Clothing and environment.* Seoul: Dongsumoonhwasa.

Choi, G. B., & Kim, S. M. (2016). Adaptive modeling method for 3-D printing with various polymer materials. *Fibers and Polymers, 17*(7), 977-983. doi:10.1007/s12221-016-6225-1

Chun, J. H. (2017). Development of wearable fashion prototypes using entry-level 3D printers. *Journal of the Korean Society of Clothing and Textiles*, *41*(3), 468-486. doi:10.5850/JKSCT.2017.41.3.468

Gürcüm, B. H., Börklü, H. R., Sezer, K., & Eren, O. (2018). Implementing 3D printed structures as the newest textile form. *Journal of Fashion Technology & Textile Engineering,* S4. doi:100.4172/2329-9568.S4-019

Kang, M. Y., & Lee, S. H. (2017a). Design development of lace type 3D textile. *Proceedings of the Society of Fashion & Textile Industry*, *Fall Conference, Korea,* p. 241.

Kang, M. Y., & Lee, S. H. (2017b). Analysis of physical properties of lace type 3D textile. *Proceedings of the Society of Fashion & Textile Industry*, *Fall Conference, Korea,* p. 24.

Kawabata, S. (1980). The standardization and analysis of hand evaluation, 2nd Ed. Osaka: *The Textile Machinery Society of Japan.*

Kim, H. J., Kim, S. Y., & Lee, S. H. (2017a). Development of textile design using oriental motif by applying 3D modeling technique. *Proceedings of the Korean Society of Clothing and Textiles*, *Fall Conference, Korea,* p. 103.

Kim, M. J., Kim, S. Y., Kim, H. J., Kim, H. L., & Lee, S. H. (2017b). Analysis of physical properties of 3D textiles by 3D printing output condition and heat treatment process. *Proceedings of the Korean Society of Clothing and Textiles*, *Fall Conference, Korea,* p. 107.

Kim, S. G., & Kim, H. R. (2018). The recent tendency of fashion textiles by 3D printing. *Fashion & Textile Research Journal*, *20*(2), 117-127. doi:10.5805/SFTI.2018.20.2.117

Koo, D. S., & Lee, J. R. (2017). The development of a wirst brace using 3D scanner and 3D printer. *Fashion & Textile Research Journal, 19*(3), 312-319. doi:10.5805/SFTI2018.19.3.312

Korean agency for technology and standards. (2011). *KS K ISO 6330:2011 Textiles - Domestic washing and drying procedures for textile testing.* Seoul: Author.

Korean agency for technology and standards. (2015). *KS K ISO 105-D01:2015 - Textiles - Tests for colour fastness - Part D01:Colour fastness to dry cleaning.* Seoul: Author.

Lee, S. H. (2015). Morphology and properties of textiles manufactured by three-dimensional printing based on fused deposition modeling. *Textile Science and Engineering*, *52*(4), 272-279. doi:10.12772/TSE.2015.52.272

Lee, S. H. (2017). Characterization of lace type 3D textiles manufactured by 3-dimensional fused deposition modelling. *Proceeding's of 14th Asian Textile Conferences*, *Hongkong.*

Lee, S. H. (2018). Tensile property and stiffness of 3D printing lace and their voil composite fabrics manufactured by various roller processing. *Fibers and Polymers*, 2018 (under review).

Park, J. H., Jung, H. K., & Lee, J. R. (2017). Structure design of fall impact protection pad using 3D printing technology and comparison of characteristics according to filament material. *Journal of the Korean Society of Clothing and Textiles*, *41*(5), 939-949. doi:10.5850/JKSCT.2017.41.5.939

Pei, E., Shen, F., & Watling, J. (2015). Direct 3d printing of polymers onto textiles: Experimental studies and applications. *Rapid Prototyping Journal*, *21*(5), 556-571. doi:10.1108/RPJ-09-2014-0126

(Received 4 June 2018; 1st Revised 6 June 2018;
2nd Revised 13 June 2018; Accepted 23 June 2018)