

3차원 입체 직물의 시뮬레이션 기술

Simulation Technology of 3D Fabrics

*Corresponding author

Jung Hyun Park
(jhpark1391@pusan.ac.kr)

박정현*

부산대학교 의류학과

Jung Hyun Park*

Department of Clothing and Textiles, Pusan National University, Busan, Korea

Received_September 06, 2019
Revised_September 09, 2019
Accepted_September 13, 2019

Abstract This investigation reported the simulation technologies to design the 3-dimensional fabrics such as 3 dimensional multi-layered fabric, 3 dimensional braided fabric and spacer fabric. The simulation system or software has been actively used to develop products of 3 dimensional fabric which can be reduced development costs and time. Thus, many countries such as Japan, Germany, China, and U.K. show great interests on simulation technologies for developing new materials and processes including 3 dimensional fabric field. In this study, simulation systems have been reviewed for the 3 dimensional fabric design system from Mikawa Textile Research Center, Japan; ProCad and ProFab from Karl Mayer and Texion, Germany; xComposites from China; TexGen from Nottingham University, U.K.; TexPro from Young Woo CnI, Korea, respectively.

Textile Coloration and Finishing

TCF 31-3/2019-09/214-224
©2019 The Korean Society of Dyers and Finishers

Keywords 3D fabric, 3D fabric design, simulation system, 3D fabric modeling, CAD

1. 서 론

3차원 입체 직물에 대한 관심과 발전은 최근 급격하게 증가하고 있으며, 아울러 3차원 입체 정보를 활용한 의류 제조 기술은 고부가가치 시장인 패션 시장에 급격한 변화를 가져올 전망이다¹⁻⁴⁾. 3차원 입체 직물은 섬유를 종·횡·수직의 방향에 대하여 입체적으로 구성된 직물로 종·횡의 2차원 직물과 제작 과정은 기본적으로 동일하지만, 3차원 직조를 통해 명확한 깊이, 두께 등 눈에 띄는 뚜렷한 입체 구조를 지니고 있다. 3차원 직물은 용도 및 제품에 따라 스페이서 직물, 지오텍스타일, 의료재, 컨베이어 벨트 등에 적용되며 패션 분야뿐만 아니라 우주항공, 스포츠·레저, 건축, 의료 분야 등 넓고 다양한 분야에 적용되고 있다⁵⁻¹³⁾. 3차원 입체 직물 형상 제작을 위한 시뮬레이션 기술 및 3차원 시뮬레이션을 활용한 디자인 기술 및 3차원 가상 착의 등에 활용되는 입체 패턴 제작 기술 등은 제품을 직접 만

들기 전에 시뮬레이션을 통해 시제품을 미리 구상할 수 있어 효율적인 제품 설계가 가능하며, 제조 단가 및 공정 비용을 절감할 수 있다. 하지만 3차원 입체 형상 제작을 위한 데이터베이스화에 매우 많은 비용이 소모되고, 3차원 입체 구조를 제작할 수 있는 제작 구조가 한정되어있는 등 아직 해결해야 될 문제점이 존재한다¹⁴⁾. 하지만 독일의 Karl Mayer사 등이 3차원 입체 직물 분야의 기술 개발과 연구를 주도적으로 진행하고 있으며, 3차원 입체 직물 분야는 독일 뿐만 아니라 세계 각국의 섬유 산업에서 매력적이고 고부가가치로 여겨지는 분야이다.

3차원 입체 직물의 상용화를 위하여 독일 연방교육연구부(Federal Ministry of Education and Research - BMBF)에서는 약 300억 원 규모의 연구비를 들여 섬유 생산 공정을 간소화하고 신소재의 개발 기간과 비용을 효과적으로 줄일 수 있는 컴퓨터 시뮬레이션 개발을 지원하고 있다¹⁴⁾. 관련된 여러 분야 중, 편물

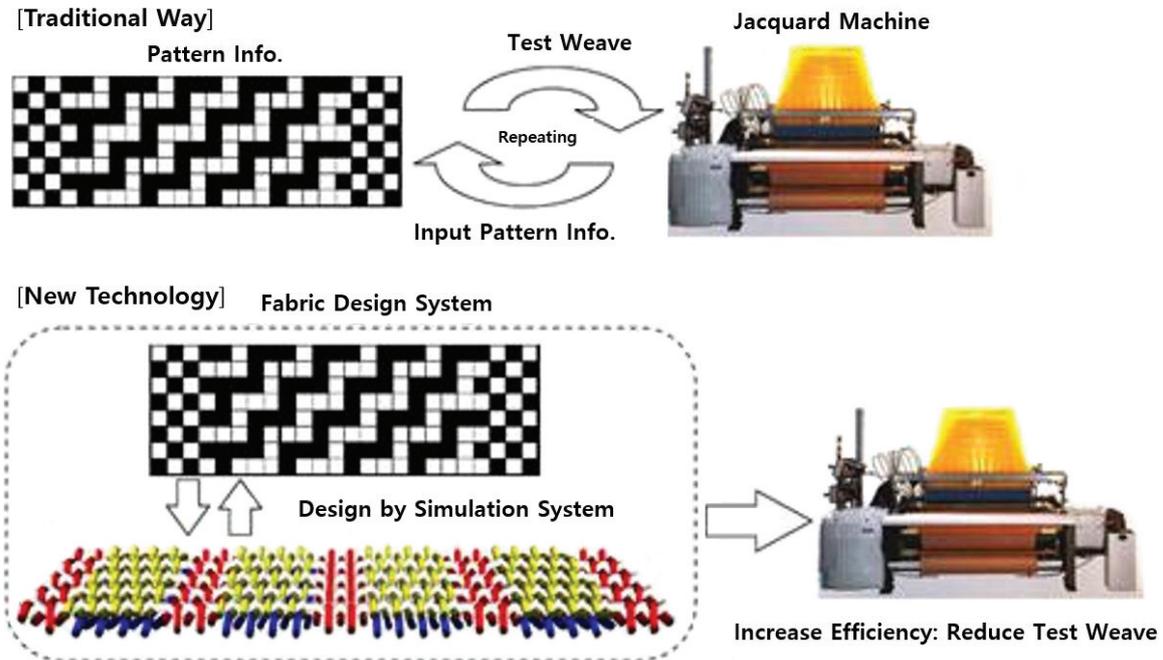


Figure 1. 3D fabric design system¹⁵⁾.

은 레이어별 조직, 통입 방법(threading In/Out), 통경 시작점(start point)의 변화, 실의 굵기와 색상에 따라 수많은 종류가 나오므로 작업 이전에 정확한 예측을 기반으로 한 설계를 가능하게 하기 위한 CAD나 다른 프로그램을 적용하는 추세이다. 복합재료 분야에서는 현재까지도 몇몇 우수한 기계적 특성을 가진 신소재들을 정확하게 분석하거나 예측할 수 있는 컴퓨터 시뮬레이션이 발전해왔지만 아직까지는 복합소재 내의 다양한 기계적 특성들을 모두 해석하기에는 기술이 부족한 현실이다. 또한 컴퓨터 시뮬레이션 기술을 사용하여 봉제 혹은 접합을 시키지 않는 상태의 3차원 입체 구조를 갖는 섬유제품을 미리 설계할 수 있지만, 이러한 섬유제품 개발을 위한 생산 공정의 최적화를 위해서는 컴퓨터 시뮬레이션 분석방법 등 연계 개발이 필요하다.

따라서 본고에서는 다양한 산업 분야에 응용될 수 있는 3차원 입체 직물을 위한 시뮬레이션 기술 및 관련 소프트웨어에 대하여 알아보고 소개하고자 한다.

2. 3차원 입체 직물의 시뮬레이션 기술 개발 동향

2.1 미카와 섬유기술센터(일본)

일본의 미카와(三河) 섬유기술센터(Mikawa Tex-

tile Research Center)는 컴퓨터 시뮬레이션을 활용한 무봉제(seamless) 입체 직물 설계기술을 개발하였다¹⁵⁾. 자료에 따르면 이 기술을 자카드 직물 제조에 이용할 수 있게 하기 위하여 미카와 지역에 기술을 보급하였다. 이 기술을 이용하면 비교적 간단하게 무봉제 입체 직물을 만들 수 있다. 해당 시뮬레이션 기술을 사용하여 신제품 개발 시 시직 횟수를 줄일 수 있어 개발에 걸리는 시간과 비용을 절감할 수 있다. 해당 기술은 의류와 각종 생활용품 뿐만 아니라 섬유 강화 복합재료의 설계에도 응용이 가능하다.

Figure 1에서 보는 바와 같이 해당 시스템은 자카드 직기로 무봉제 입체 직물을 설계하는 것이다. 이 입체 직물설계 시스템에서는 컴퓨터를 이용하여 다중 스케일(multi-scale) 해석을 도입한 가상적 직조를 수행함으로써 시직을 하지 않고도 입체직물설계가 가능하다. 이러한 기술의 도입으로 기존의 경험과 감에 의존하는 작업이 대폭 개선되어 단시간에 효율적인 입체 직물 직조가 가능하게 되었다.

2.2 Karl Mayer-TEXION Software Solution(독일)

독일의 편직 기계 제작사인 Karl Mayer사는 Texion Software Solution사와 공동으로 연구하여 3차원 편직물 시뮬레이션과 제작 공정 및 기계 상태의 실

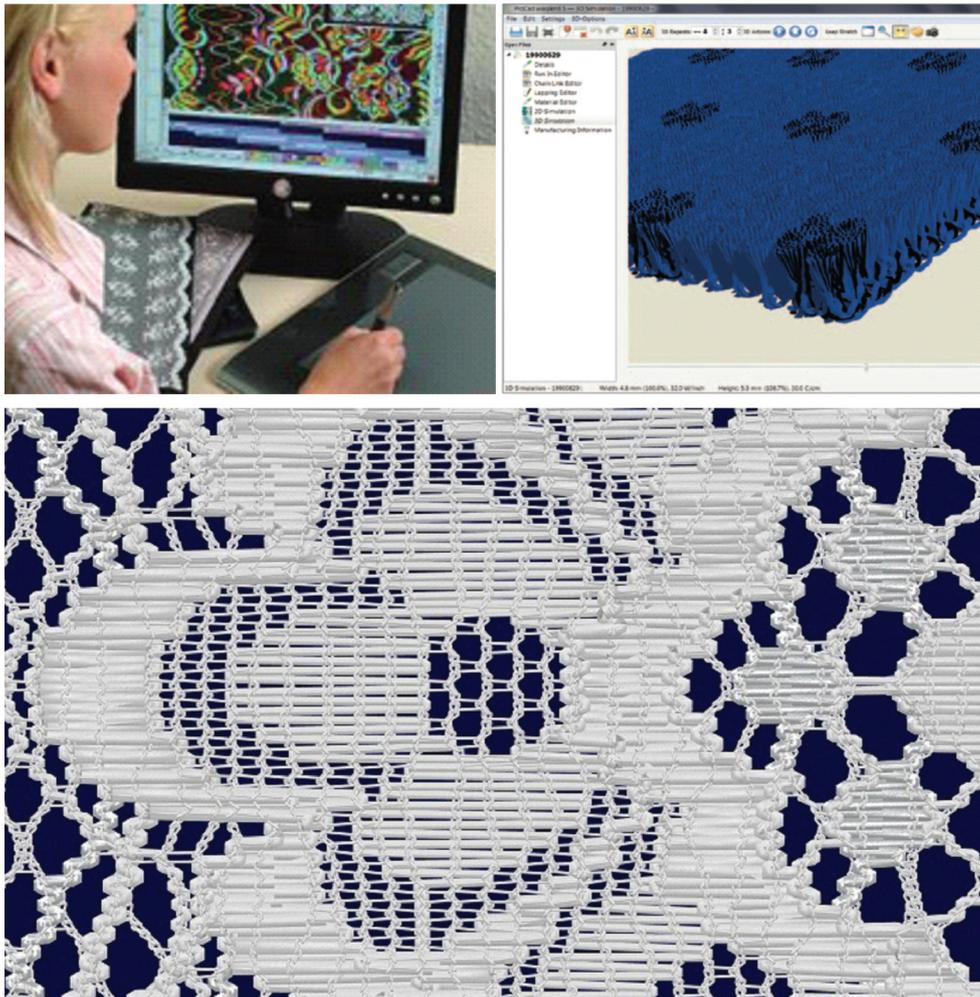


Figure 2. Pictures of Warpknit 3D computer simulation software(above) and knitted fabric model(bottom)^{16,17).}

시간 점검을 위한 소프트웨어 시스템인 ProCad와 ProFab을 개발하였다^{16,17).}

Karl Mayer사에 따르면 Texion사의 소프트웨어인 3차원 편직을 위한 ProCad와 편직물 기계용 제작 관리 시스템(Manufacturing Execution System)인 ProFab을 사용해서 생산 자동화를 이루고 신제품 개발에 사용될 수 있다고 한다. Texion사의 대표이사 Werner Modenbach는 편직물 제조 과정에서 필요한 시간과 비용이 높은 각종 시제품 제작을 피하기 위하여 3차원 시뮬레이션을 사용하였고, 시뮬레이션 시스템을 활용한 결과 해당 시스템은 이전보다 저렴한 비용으로 더 많은 직물을 사전에 검토하고 선택할 수 있게 하는 효율적인 도구라고 하였다. ITMA(International Textile Machinery Exhibition) 2015에서 처음으로 시연되었던 ProCad Warpknit 3D 소프트웨

어는(Figure 2) 지금까지 많은 비용과 긴 시험 시간이 요구되었던 신섬유 개발에 필요한 평가를 효율적으로 수행할 수 있고 모든 공정 과정을 단계별로 나누어 데이터를 관리할 수 있다.

Karl Mayer사에 따르면 Texion사의 ProCad Warpknit 3D 소프트웨어는 섬유를 현미경 수준까지 3차원으로 시각화할 수 있어 미세한 부분의 분석이 가능하여(Figure 3) 초기 개발 단계의 섬유 특성을 평가하기가 용이한 장점을 가진다고 하였다. 또한, 시각화된 섬유를 컴퓨터 알고리즘을 통해 장력 효과 등을 모델에 재현할 수 있고, 여러 가지 래핑 배열을 시뮬레이션하여 다양한 제직 밀도와 섬유 수, 색상, 신축성을 가지는 단일 및 이중 편직물을 쉽고 직관적으로 설계할 수 있다.

ProFab 또한 편직물 생산 기계를 모니터링할 수 있는 효율적인 공정 관리 시스템이다. 복잡한 과정 없이

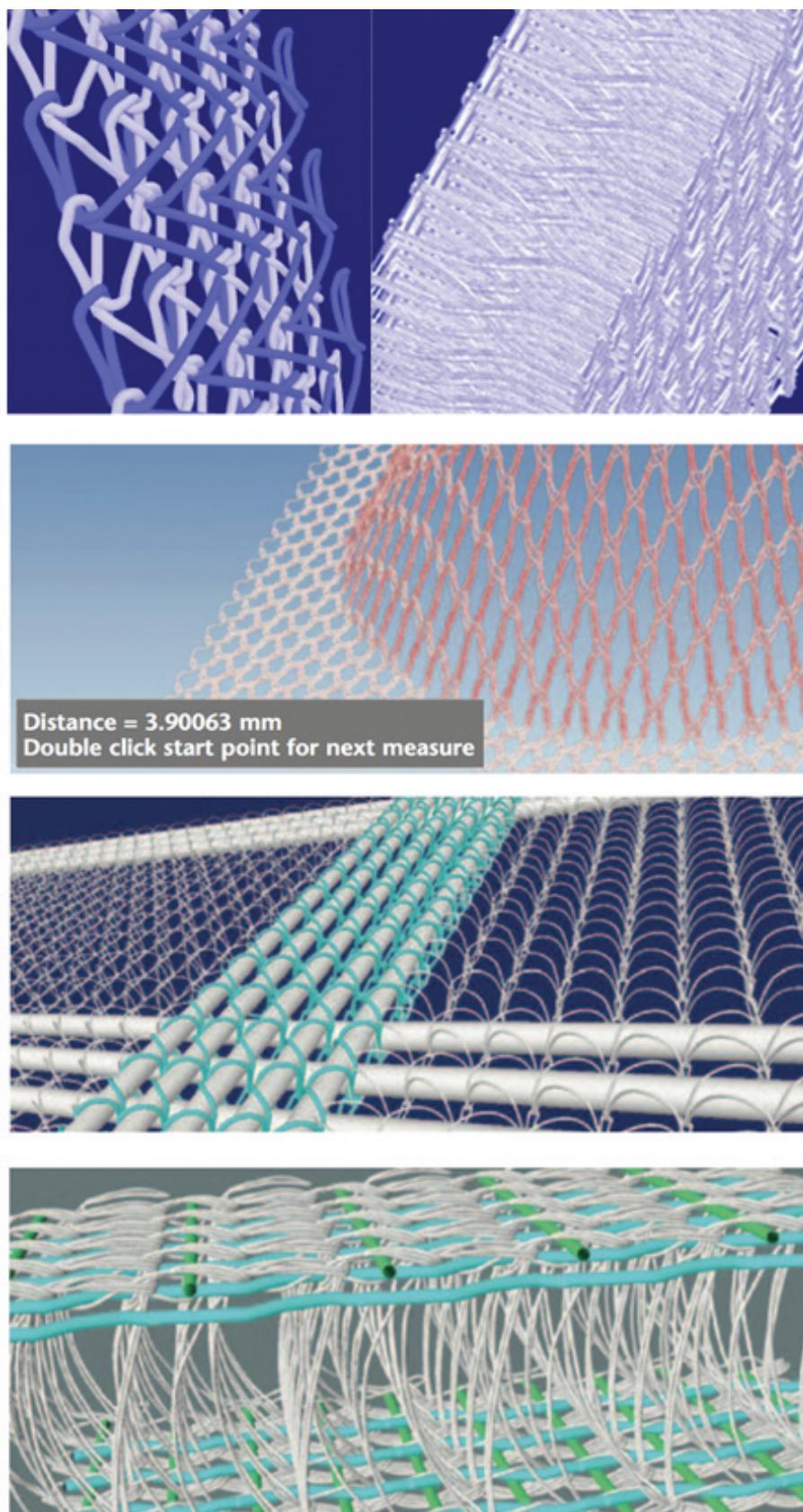


Figure 3. Images of model structures by 3D Warpknit software^{16,17)}.

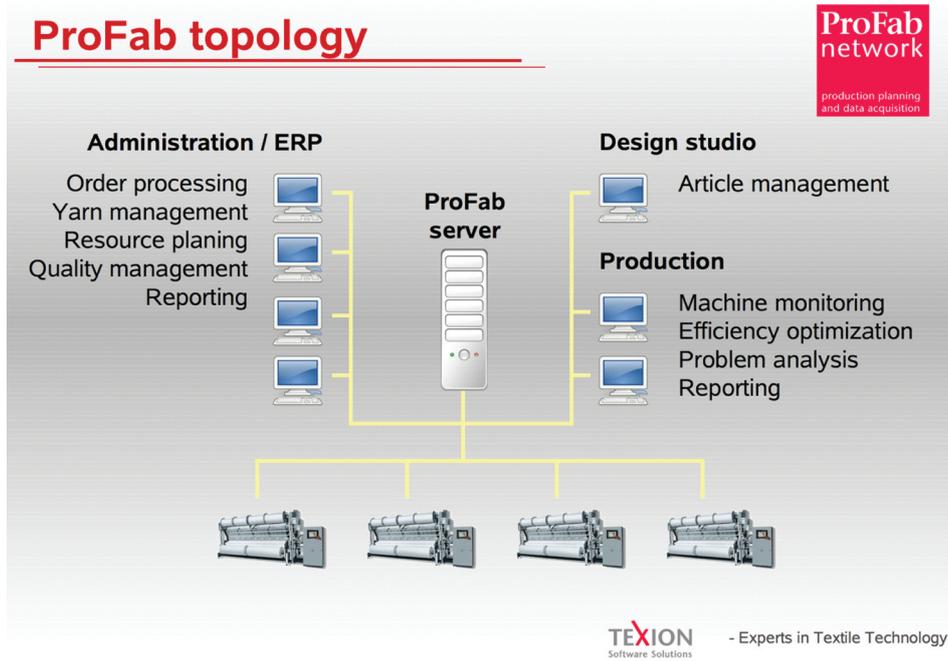


Figure 4. ProFab topology^{16,17}.

ProFab은 장비와 연동되어 공정 및 생산 데이터를 분석하여 완전 자동화 공정을 가능하게 한다. ERP7 (Enterprise Resource Planning) 시스템으로 장비와의 실시간 네트워크를 통해 장비 상태와 활용도, 작업 상태, 품질 보고, 분석 등을 확인할 수 있다(Figure 4).

2.3 xComposites(중국)

xComposites는 Java, Matlab, VBA(Visual Basic for Application) 등을 이용한 다중 스케일 시뮬레이션 및 분석 소프트웨어이다¹⁸.

개발자인 Lei Xu 박사는 단섬유에서부터 직조 직물

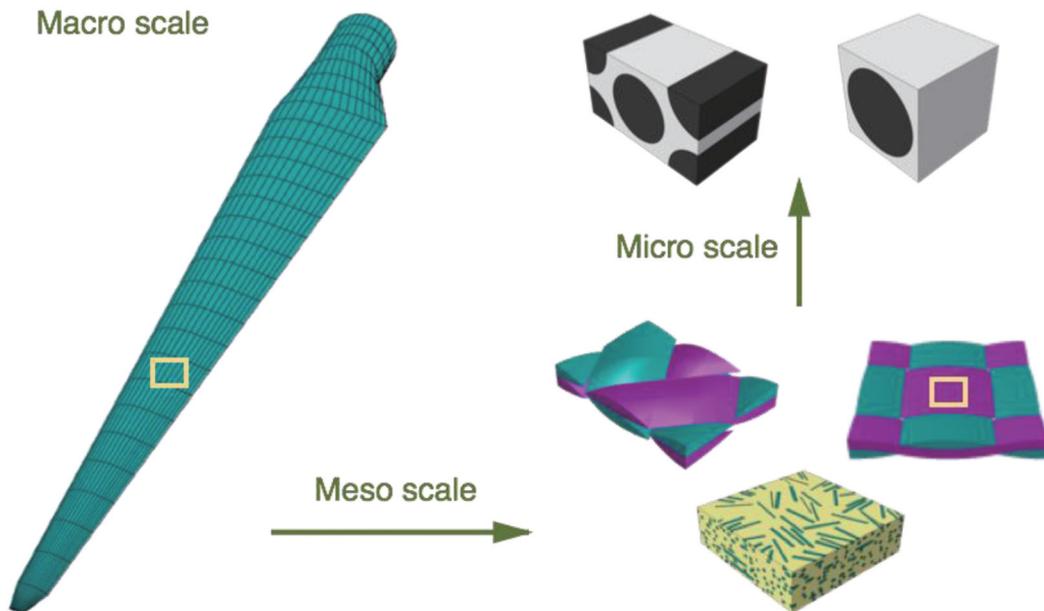


Figure 5. Scheme of material analysis by multi-scale simulation approach¹⁸.

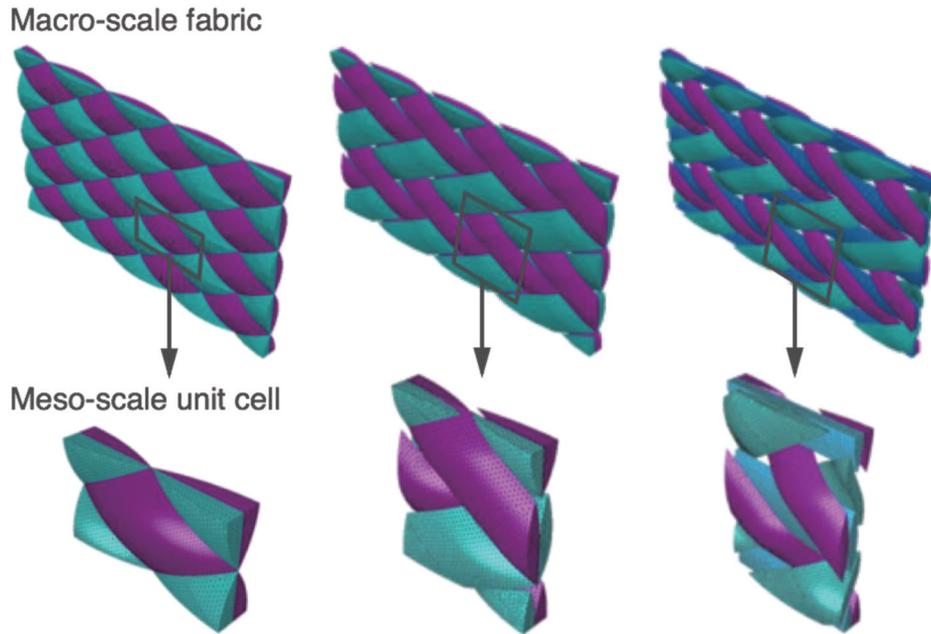


Figure 6. Scheme of meso-scale analysis¹⁸⁾.

및 브레이드 직물의 파괴, 손상, 피로도 등을 xComposites 소프트웨어를 통하여 분석할 수 있게 하였다. 다중 스케일 접근법은 복합재료나 분자, 유체 분석을 포함한 수많은 응용 분야에서 사용되고 있다. 뿐만 아니라, 다중 스케일 접근법은 파괴 거동이나 결합의 전파, 피로도 거동과 같은 좀 더 상세한 역학 정보를 파악

할 수 있다(Figure 5).

또한 xComposites 소프트웨어는 브레이드 직물이나 직조 직물과 같은 여러 유형의 복합 직물을 메조(Meso) 스케일로 모델링이 가능하다(Figure 6).

메조 스케일은 재료의 매크로 스케일과 마이크로 스케일의 중간 스케일인데, 반복된 패턴의 형태를 가지는

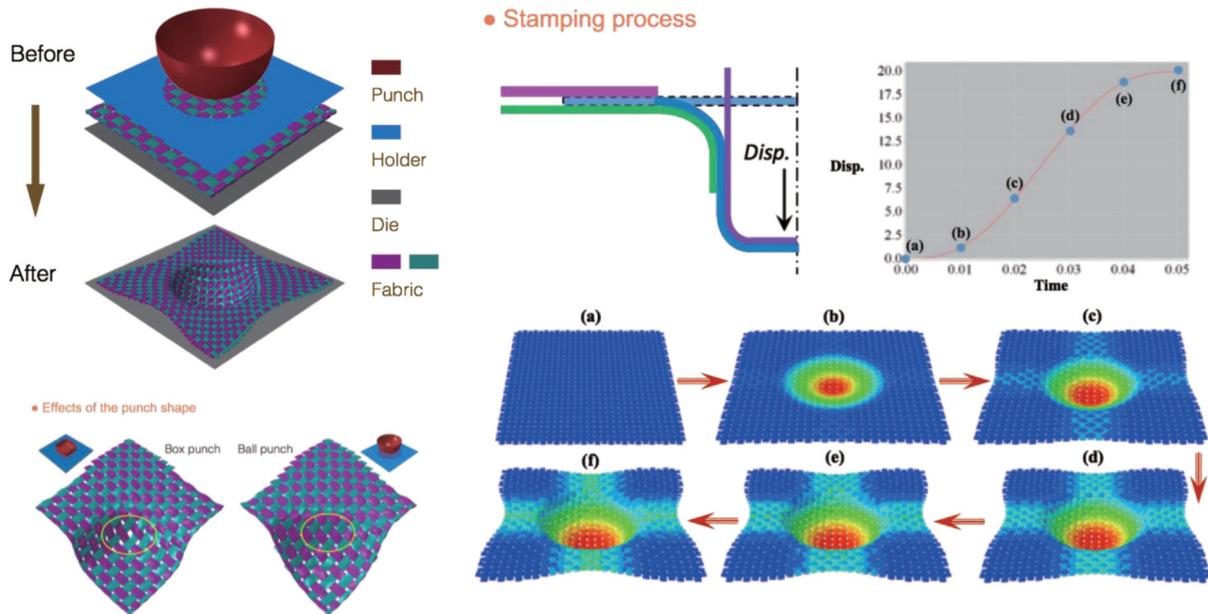
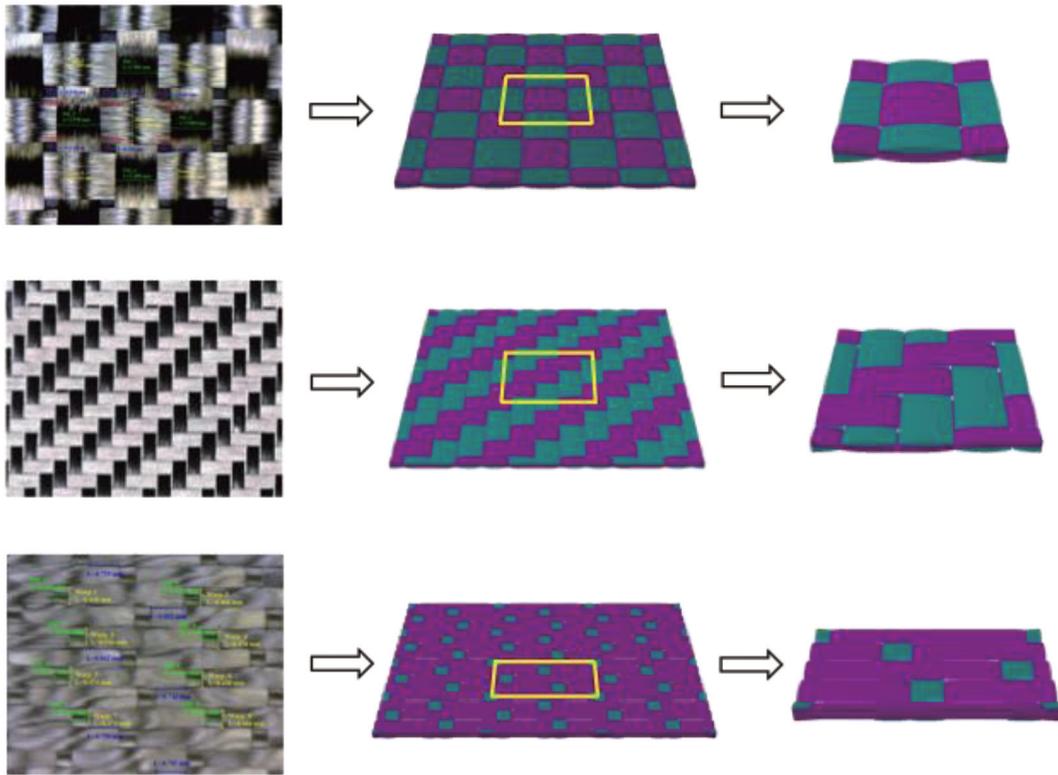
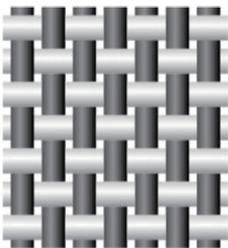


Figure 8. Scheme of deformation model and simulation by applying pressure¹⁸⁾.

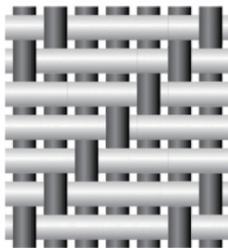


● Classification based on weave pattern

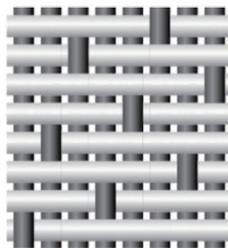
Plain weave



Twill weave

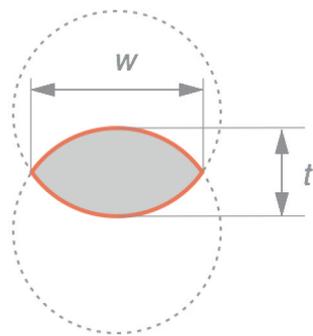


Satin weave



Warp tow
Fill tow

● Cross section



● Undulation

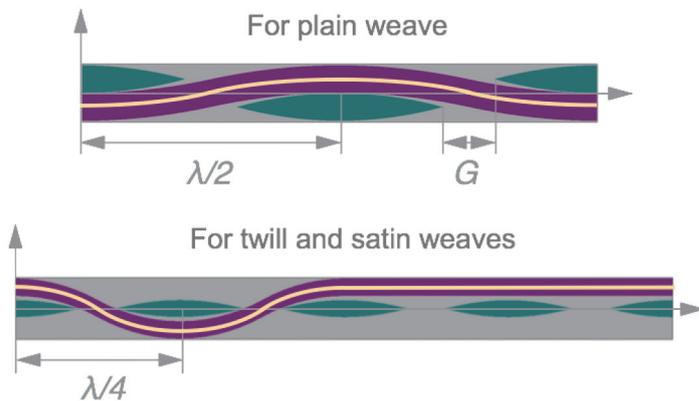


Figure 7. Scheme of pattern modeling¹⁹⁾.

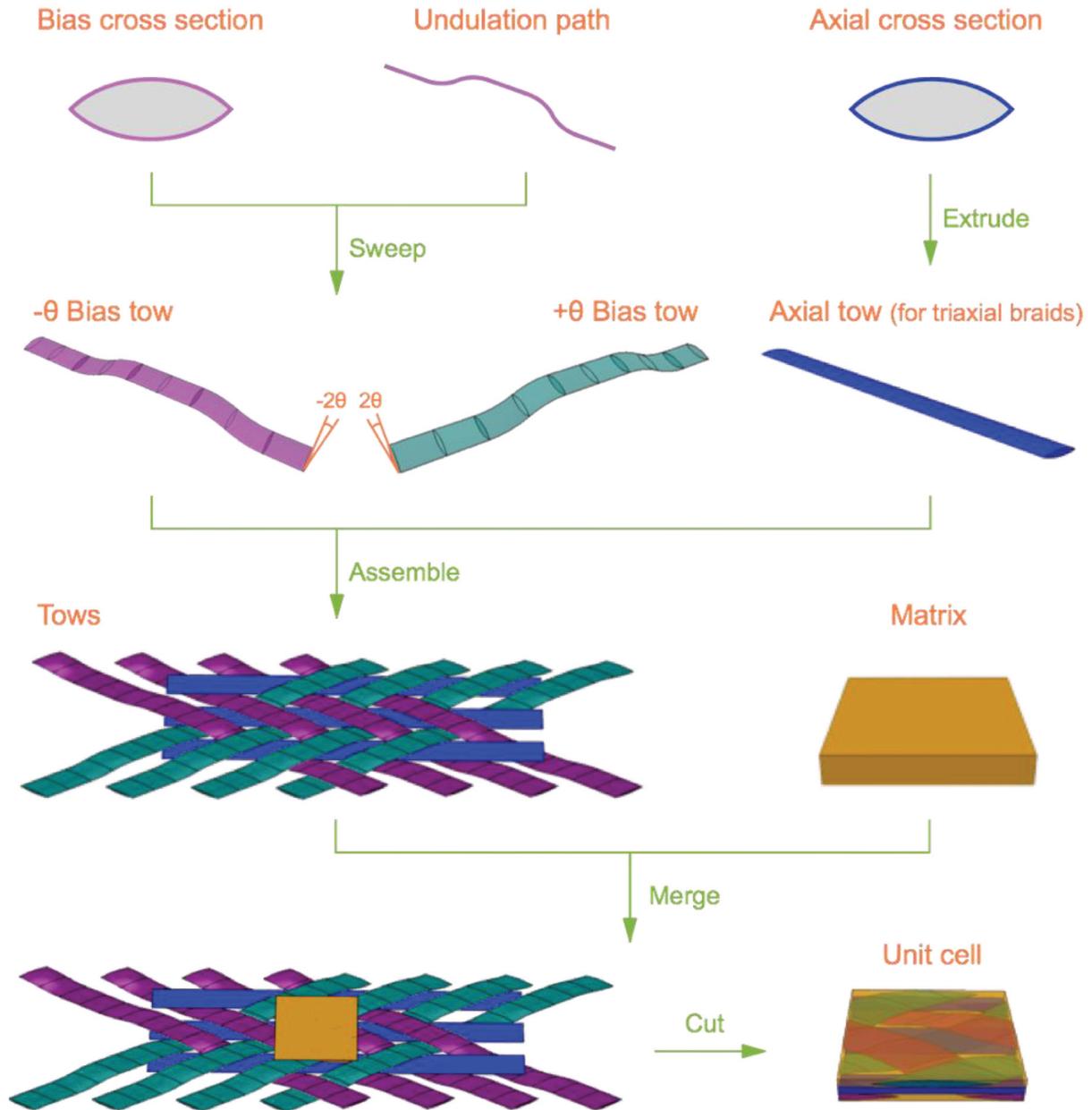


Figure 9. Scheme of braid fabric modeling¹⁸⁾.

직물의 경우 주기경계조건(periodic boundary condition)을 적용하여 하나의 단위 셀을 만들어 해당 시스템의 역학적 상수를 계산하여 전체 직물의 거동을 시뮬레이션 할 수 있다.

직조 직물의 경우에는 경사와 위사의 조합으로 이루어진 규칙적인 패턴으로 구성되어 직물의 거동을 예측하는데 다소 수월하다. 직물의 패턴에 따라 직물의 드레이프성과 강도가 영향을 받으며, xComposites 소

프트웨어를 통해 Plain, Twill, Satin의 패턴 등을 모델링하여 유한요소법(Finite Element Method, FEM)과 다중 스케일 시뮬레이션 방법으로 각각의 패턴에 따른 역학적 특성을 예측할 수 있다(Figure 7).

또한 모형의 연성 특성을 고려한 경화 및 연화 거동 시뮬레이션 모델, 취성 특성을 고려한 모델, 섬유에 급격한 손상 및 단계적 손상을 고려한 모델, 직물에 압력 및 변형을 주어 강도를 측정하는 모델 등 여러가지 모

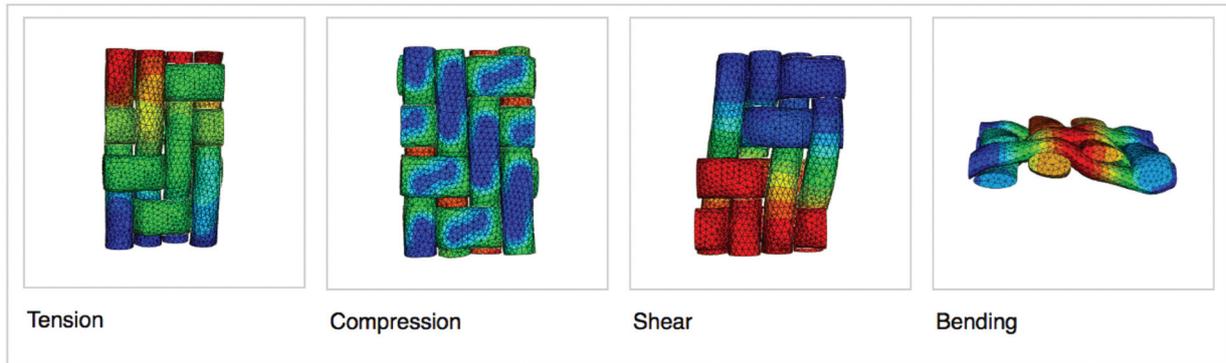


Figure 10. Images of TexGen simulations¹⁹.

델 들을 설계할 수 있다(Figure 8).

다양한 산업 분야로의 응용이 급격하게 증가하고 있는 브레이드 직물의 경우에도 브레이딩 섬유 간 각도의 변화에 따른 서로 다른 하중 하에서의 재료 거동을 예측하는 시뮬레이션 분석이 가능하다(Figure 9).

2.4 TexGen(영국)

TexGen은 Nottingham University에서 개발한 섬유 구조물의 기하학 모델링을 위한 오픈소스코드 소프트웨어이다¹⁹.

TexGen 소프트웨어를 활용하여 복합재의 기하학적

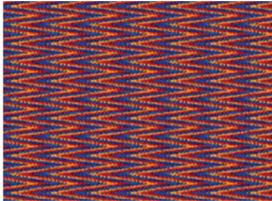
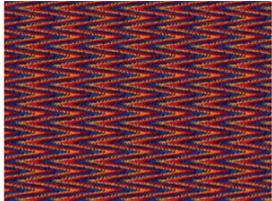
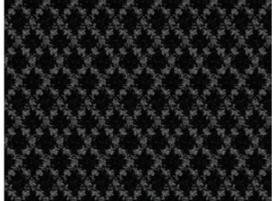
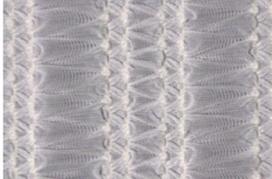
Design NO	Tricot fabric	CAD Simulation	SETTING		
				Width	CPC
Design1			Primary	105	25
			Simulation	68	40
Design2			Primary	73	28
			Simulation	56	19
Design3			Primary	63	28
			Simulation	49	20
Design4			Primary	84	20
			Simulation	60	33

Figure 11. Image of Tricot CAD simulations²⁰.

모델을 생성하고 각각의 단위 셀에 유한요소분석을 통해 재료의 거시적 특성들을 효과적으로 분석할 수 있어 직물 강화 복합재료의 기계적 성질을 예측할 때 주로 사용한다. TexGen 소프트웨어로 편직물 혹은 직물 복합재의 장력에서부터 압축, 전단, 굽힘, 투과 특성, 열 전달 특성까지 다양한 기계적 특성들을 모델링하고 분석할 수 있다(Figure 10).

2.5 TexPro(국내)

TexPro 소프트웨어는 국내의 영우씨엔아이가 개발한 섬유, 패션 디자인 CAD 프로그램으로 편직물의 구조 분석, 설계, 디자인 개발 및 기획, 관리, 생산 등 기업에서 요구하는 모든 기능을 포괄적으로 수행할 수 있는 시뮬레이션 기술이다(Figure 11)²⁰⁾. 원단의 사실적 표현이 가능하도록 함으로써 최종 완제품 상태의 예측을 통해 일괄적인 기획, 생산이 가능하며 정확한 자재 소요량을 산출해줌으로써 생산 단가의 절감과 다양한 제품 기획 생산이 가능하게 하였다. TexPro 이외에도 스타일 디자인 장비 TexStylist, 트리코트 경편물 설계 디자인 장비인 TexTricot, 3D 모델링이 가능한 Tex3D, 전문 선염직물 디자인 프로그램인 TexWeave 등에 이르기까지 다양한 관련 시스템을 선도적으로 개발, 국내외 섬유/패션/의류산업 발전에 기여하고 있다.

3. 결 론

본 연구에서는 3차원 입체 직물의 설계에 활용되는 시뮬레이션 기술과 관련 소프트웨어에 대하여 알아보았다. 현재 3차원 입체 직물을 이용한 제품의 개발과 관련된 시뮬레이션 기술 등은 특히 독일을 중심으로 이루어지고 있으며 해당 국가에서 관련된 기술을 선점하고 있다. 독일에서는 큰 규모의 연구비를 기초연구와 산학협력을 강화할 목적으로 투자하고 있으며, 신소재의 개발 기간과 소요비용을 획기적으로 줄일 수 있는 컴퓨터 시뮬레이션을 기반으로 하는 가상 신소재 개발을 적극적으로 지원하고 있다. 신소재 개발은 해당 국가의 경제에 미치는 영향이 매우 크고, 중요한 국가 경쟁력의 바탕이 되고 있다. 신소재의 물성 예측과 공정 개발을 위한 컴퓨터 시뮬레이션 기술은 계속적으로 발전하고 있어 향후 다양한 응용이 기대된다.

감사의 글

이 논문은 2019년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임 (No. 2019R1A6A3A01096512).

References

1. A. P. Mouritz, M. K. Bannister, P. J. Falzon, and K. H. Leong, Review of Applications for Advanced Three-dimensional Fibre Textile Composites, *Composites Part A Applied Science and Manufacturing*, **30**(12), 1445 (1999).
2. H. Jeon, "Woven Fabrics", InTech, London, 2012.
3. H. Jeon, "Non-woven Fabrics", InTech, London, 2016.
4. Y. H. Yoon, D. G. Kim, J. H. Park, and S. G. Lee, Manufacturing and Development of 3D Fabrics, *Textile Coloration and Finishing*, **30**(1), 38(2018).
5. H. B. Kwon, "Understanding of 3D Fabrics", Korea Federation of Textile Industries, Seoul, 2013.
6. K. Bilisik and N. Sahbaz, Structure-unit Cell-based Approach on Three-dimensional Representative Braided Preforms from Four-step Braiding: Experimental Determination of Effects of Structure-process Parameters on Predetermined Yarn Path, *Textile Research Journal*, **82**(3), 220(2012).
7. X. Chen, L. W. Taylor, and L. Tsai, An Overview on Fabrication of Three-dimensional Woven Textile Preforms for Composites, *Textile Research Journal*, **81**(9), 932(2011).
8. E. Ghorbani, H. Hasani, H. Rafeian, and B. Hashemibeni, Analysis of the Thermal Comfort and Impact Properties of the Neoprene-spacer Fabric Structure for Preventing the Joint Damages, *International Journal of Preventive Medicine*, **4**(7), 761(2013).
9. W. Y. Jeong, D. Y. Lim, and Y. C. Park, Comparative Study on the Physical Properties of 3D-spacer Fabrics, *Textile Science and Engineering*, **47**(4), 291(2010).
10. P. B. Ma and Z. Gao, A Review on the Impact Tension Behaviors of Textile Structural Composites, *Journal of Industrial Textiles*, **44**(4), 572(2015).

11. K. J. Man, High Added-value Textile Composites for Sports and Leisure Products, *KIC News*, **17**(6), 26(2014).
12. S. Yoon, C. Jeong, M. Min, and W. Seo, Development Trend of Automotive Chemical and Textile Materials, *KIC News*, **16**(6), 26(2013).
13. B. Yu, R. S. Bradley, C. Soutis, P. J. Hogg, and P. J. Withers, 2D and 3D Imaging of Fatigue Failure Mechanisms of 3D Woven Composites, *Composites Part A Applied Science and Manufacturing*, **77**, 37(2015).
14. B. G. Song, "Textopia Textile Information", KTDI, Seoul, 2010.
15. http://www.koteri.re.kr/board/content.asp?board_id=kot-eri_tecinfo&board_gb=&ref=1613&step=1&page=1, 2013.11.26.
16. www.texion.eu/, 2015.01.01.
17. www.karlmayer.com/, 2019.01.01.
18. www.xcomposites.com/, 2019.01.01.
19. www.texgen.sourceforge.net/, 2019.06.07.
20. https://www.texclub.com, 2019.01.01.

Authors

박정현 부산대학교 의류학과 박사후 연구원