한국염색가공학회지
pISSN 1229-0033, eISSN 2234-036X
Reviews
https://doi.org/10.5764/TCF.2018.30.1.38

3차원 입체직물의 특성 및 제조 기술

Manufacturing and Development of 3D Fabrics

*Corresponding author
Dae Geun Kim
(dgkim0119@dyetec.or.kr)

**Corresponding author
Seung Geol Lee
(seunggeol.lee@pusan.ac.kr)

윤영훈, 김대근*, 박정현[1], 이승걸[2]**
다이텍연구원 부산분원, [1]부산대학교 의류학과, [2]부산대학교 유기소재시스템공학과

Young Hoon Yoon, Dae Geun Kim*, Jung Hyun Park[1] and Seung Geol Lee[2]**
Korea Dyeing and Finishing Technology Institute (DYETEC), Busan, Korea
[1]Department of Clothing and Textiles, Pusan National University, Busan, Korea
[2]Department of Organic Material Science and Engineering, Pusan National University, Busan, Korea

Received_November 08, 2017
Revised_November 29, 2017
Accepted_December 03, 2017

Textile Coloration and Finishing
TCF 30-1/2018-3/38-50
©2018 The Korean Society of Dyers and Finishers

Abstract This investigation reported the recent development of 3 dimensional fabrics such as spacer fabric, 3 dimensional multi-layered fabric and 3 dimensional braided fabric. First, we categorized 3 dimensional fabrics into 3 main products; 3 dimensional woven fabrics, 3 dimensional knitted fabrics and 3 dimensional braided fabrics with reviewing the possible main applications. We also reported the research and development trends of 3 dimensional fabrics by analyzing technical trends in industry and research institutes at domestic and overseas. United State, Germany and Japan lead the manufacturing technology for the mainly preform related products to apply in aerospace, automotive, protections, architecture and clothing applications. Lastly, we reviewed the main products of the leading company which manufactured using the 3 dimensional fabrics.

Keywords *3D fabric, spacer fabric, multi-layered fabric, composite, 3D preform*

1. 서 론

3차원 직물에 대한 관심과 발전은 과거 20년 동안 급격하게 일어났다[1-3]. 3차원 직물은 섬유를 종 · 횡 · 수직의 3개 방향으로 입체적으로 구성한 직물로, 여러가지 형태의 변형에 뛰어난 저항성을 보여 관련 산업의 다양한 요구를 만족시키기 위하여 도입되었다. 예를 들어, 복합재료 분야에서는 3차원 다축 직기, 블레이딩기, 원형 직기 등을 기반으로 개발한 생산 장비를 활용하여 각종 산업용 부품들을 보다 저렴하게 제조할 수 있는 복잡 형상의 3차원 섬유제품 제조 기술들의 적용이 다양하게 시도되고 있다[4]. 최근의 자동화된 제조 기술들로 인하여 3차원 직물의 대량 생산이 가능해졌으며, 생산된 제품들은 항공 · 우주 산업과 자동차 산업, 건축 산업, 해양 산업 등에 폭넓게 사용되고 있다[2]. 또한 의료용 구조물과 인공 혈관, 신경관, 심장판막, 뼈, 봉합사 등 의료 산업에서의 3차원 직물의 응용도 가능해졌다[3,5]. 자동차에 사용되는 섬유 소재는 직물과 편물 원단이 차지하는 비중이 가장 크지만, 부직포 및 복합재 형태의 소재 사용량이 증가하는 추세에 있다. 특히 자동차 시트의 쿠션재로 채택되고 있는 폴리우레탄 폼(PU form)을 대체하기 위하여 중공사 및 복합사를 이용한 부직포 충격완충재에 관한 활발한 연구가 이루어지고 있다[6]. 기존의 폴리우레탄 폼이 가지는 우수한 볼륨감과 탄성을 부여하기 위하여 수직 레핑(vertical lapping) 부직포 제조기술에 대한 연구 및 3차원 복합구조인 스페이서 직물(spacer fabric)의 적용 가능성이 다양하게 논의되고 있다. 스페이서 직물은 공기를 쉽게 통과시킬 수 있어 통기성이 좋고 경량화가 가능하여 통풍 시트나 러닝화, 등산 가방에도 사용되고 있다[7]. 또한

www.kci.go.kr

복합재료 분야에서도 프리폼(preform) 제조에 3차원 직물이 활용될 수 있다[1,4,8]. 섬유 프리폼(textile preform)은 수지를 함침하기 전에 섬유집합체 등의 강화제로 복합재료의 골격을 이루는 중요한 소재이다. 3차원 프리폼은 편직 기술을 통해 두께 방향의 3차원 섬유 배열뿐 아니라 복잡한 3차원 형상을 갖는 첨단 섬유 구조체로 제조될 수 있다. 특히 구조 일체화로 복합재료의 성능 향상뿐만 아니라 원단 봉제 및 부품 가공공정의 생략이 가능하여 공정 비용 절감이 가능하여 경제성이 우수하다.

따라서 본고에서는 다양한 산업 분야에 응용될 수 있는 3차원 입체직물의 분류 및 특성에 대하여 알아보고 국내 · 외의 주요 개발 동향을 분석하고자 한다.

2. 3차원 입체직물의 분류 및 특성

스페이서 편직물, 혹은 3차원 편직물(3D woven, knitted, braided, stitched fabric 등)은 x, y, z 축의 모든 직교 방향으로 섬유가 배향되어 유사한 치수를 가지는 단위셀들이 모여서 하나의 일체화된 구조를 이룬다. 즉, 3차원 구조는 횡 방향의 강성과 강도를 위한 평면내 사와 두께 보강을 위한 z축 사의 결합으로 구성된다. 이러한 구조는 다른 보강재와는 달리 3차원의 모든 축에서 기계적 및 열적 안정성을 부여할 수 있다. 3차원 직물은 2차원 직물과 달리 경사와 필링 원사 사이의 교락(interlacing)이 없기 때문에 전단력에도 비틀림 없이 직물이 구부러져 쉽게 저항하며, z축으로의 보강재로 인해 횡방향 강도, 압축 특성 및 충격 손상 내구성 등에서 이점을 가진다.

2.1 3차원 직물(3D woven fabrics)

위사와 경사 두 축으로 이루어진 2차원 직물에 반해 3차원 직물은 위사와 경사로 이루어진 2차원 직물들을 z축 사로 엇갈리게 엮어서 Figure 1과 같이 구성할 수 있다.

Figure 2에서 나타난 바와 같이 종래의 2차원 직조 공정은 한 방향으로의 조작을 통하여 이루어진다. 이때 경사는 하나의 행 방향으로만 형성되게 배치될 수 있다. 3차원 직조 공정은 양방향으로의 쉐딩(shedding)

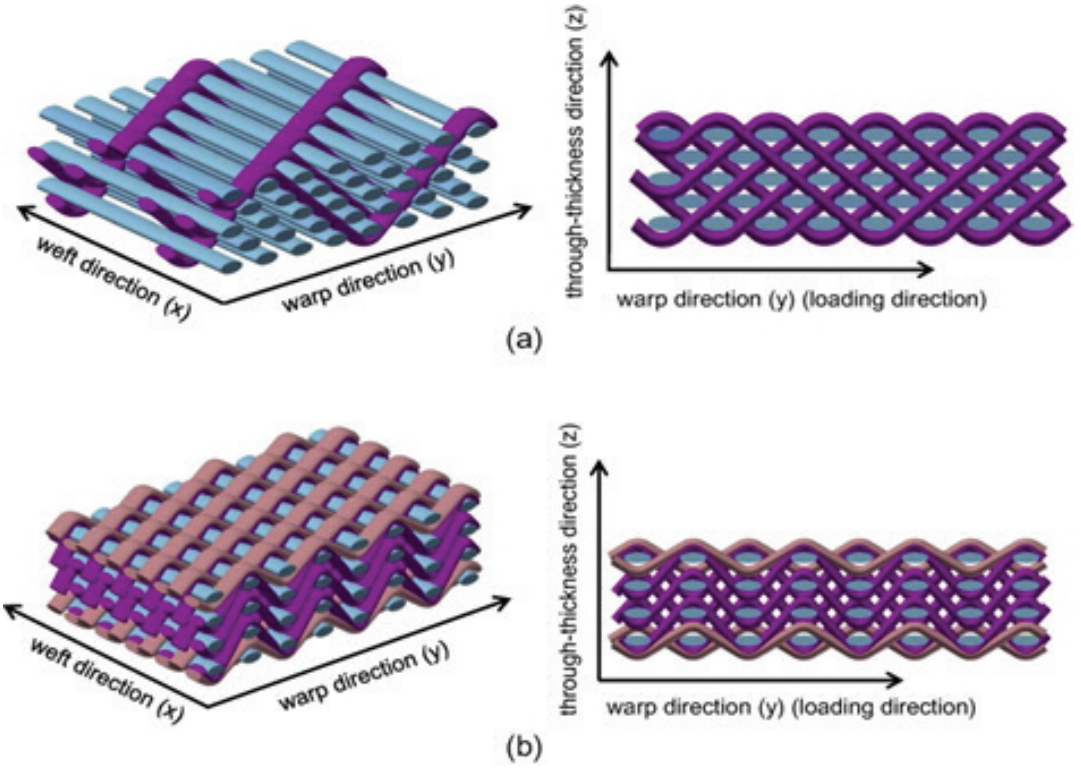

Figure 1. (a) 3D angle-interlocked fabric (left) and its cross-section (right); (b) possible modified layer-to-layer woven fabric (left) and its cross-section (right). weft, binder and additional warp yarns are colored blue, purple and pink, respectively[9].

www.kci.go.kr

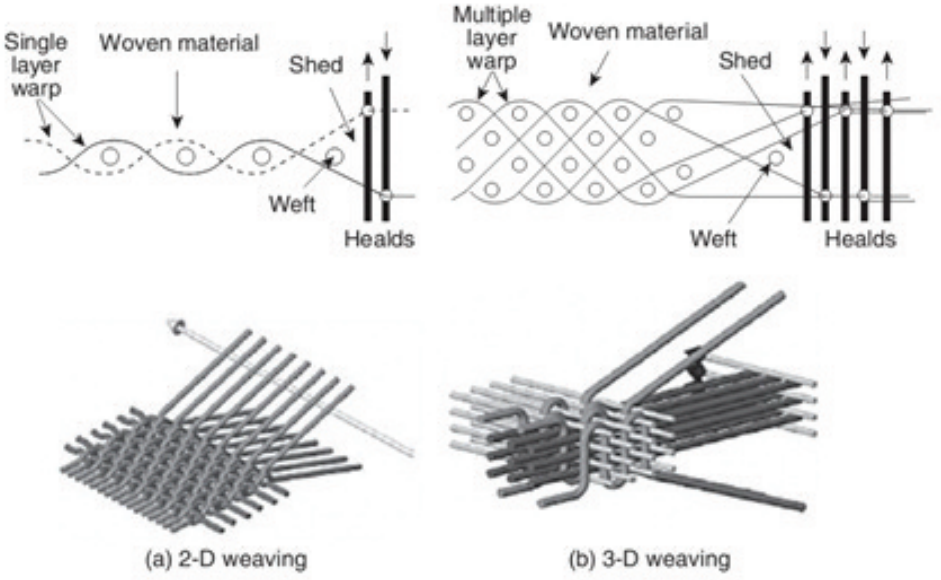

Figure 2. Comparison of (a) 2D and (b) 3D weaving[10].

작업을 통해 이루어진다. 이 작업을 통해 다층 경사는 z축 방향의 섬유와 서로 수직인 2개의 위사가 결합하여 하나의 완전한 구조를 이룬다. 3차원 직조로 제조된 직물은 섬유 내 압착으로 인해 일반적으로 물성이 향상되고 섬유의 두께도 두꺼워지지만 생산 속도는 느려지게 되는 단점이 있다.

3차원 다층 직물을 직조하는 과정은 몇 가지 단계가 있는데 3차원 다층 직조 시스템과 3차원 실제 직조 과정의 단계를 Figure 3과 Figure 4에 나타내었다. 3차원 다층 직물의 직조 과정을 요약하면, 경사 섬유가 관통하는 harness의 양방향의 상하반복 움직임으로 경사 섬유 사이의 간격을 만들고 그 사이로 위사 섬유를 삽입한다. 경사섬유는 실제로 harness 내부의 종광(heddle)을 관통하게 되는데, 이 종광은 일종의 wire로서 그 중간에 섬유 고리가 형성된 것이다. Shedding이 일어나면 위사 섬유를 이송하는 위사 바늘(weft needle)이 경사 섬유 사이를 지나면서 폭 방향으로 관통하게 된다. 이렇게 하여 interlace 된 경사 및 위사

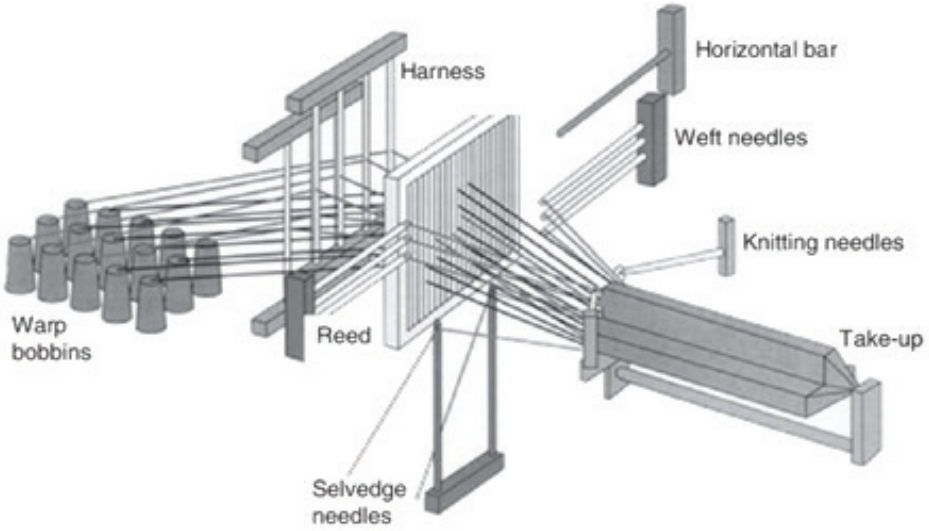

Figure 3. 3D multilayer waving system[11].

www.kci.go.kr

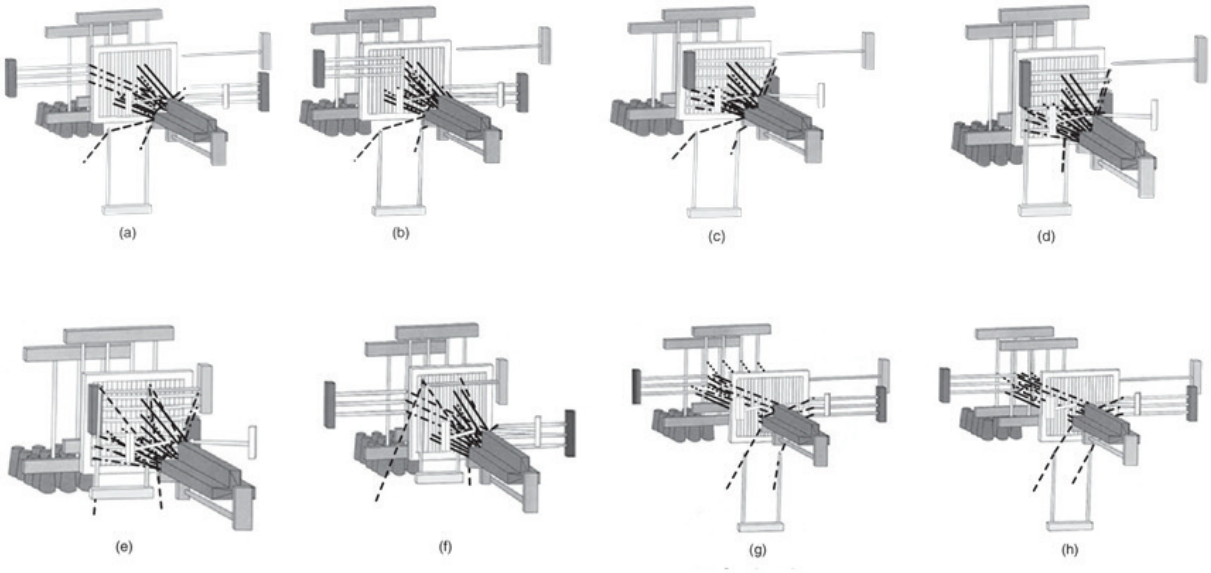

Figure 4. Stages in the production of multilayer woven fabrics[10].

섬유는 reed의 beat-up 과정을 거치게 되는데, 여기에서는 빗과 같은 형상의 reed를 앞뒤로 이동하여 섬유다발을 압축시키면서 직물을 형성한다. Beat-up 과정이 끝나면 직조된 직물은 take-up 장치에 감기면서 직조 작업이 계속되며, 이러한 작업의 반복을 통해 원하는 길이만큼의 3차원 직물이 제조된다.

3차원 직물은 섬유의 유형, 배향 및 얽힘 혹은 구조의 단위셀과 같은 다양한 파라미터에 기초하여 분류된다. 그 중에서도 3차원 직물의 구조적 차이는 solid, hollow, shell, nodal 형태로 분류한다(Table 1, Figure 5).

3차원 직물의 장점은 복잡한 형상을 가진 그물 모양의 프리폼(near-net shaped preform) 생산이 가능하며, 특정 용도에 필요한 특성과 물성을 조절할 수 있다는 장점이 있다. 또한 우수한 박리 저항성과 손상 내성을 나타내며 높은 인장 변형률과 우수한 층간 파괴 인성을 나타낸다.

2.2 3차원 편물(3D knitted fabrics)

편물은 다양한 형태와 구조로 생산이 가능하다는 장점을 가지고 있어 다양한 마이크로 및 매크로 구조 형상을 구현 가능하여 그 가능성이 주목받고 있다. 그 중 니트 구조의 편물 프리폼은 복합재의 제조비용을 절감할 수 있어 복합소재 시장에서 점점 더 많은 관심을 받고 있다. 편물은 구조 내의 비평면 고리 구조로 인하여 입체 직물로 간주되며 다축 · 다층 구조물로도 불린다.

Table 1. 3D textile structures and weave architecture[12]

Structure	Architecture	Shape
Solid	Multilayer; Orthogonal; Angle interlock	Compound structure with regular or tapered geometry
Hollow	Multilayer	Uneven surfaces, even surfaces, and tunnels on different levels in multi-directions
Shell	Single layer; Multilayer	Spherical shells and open box shells
Nodal	Multilayer; Orthogonal; Angle interlock	Tubular nodes and solid nodes

www.kci.go.kr

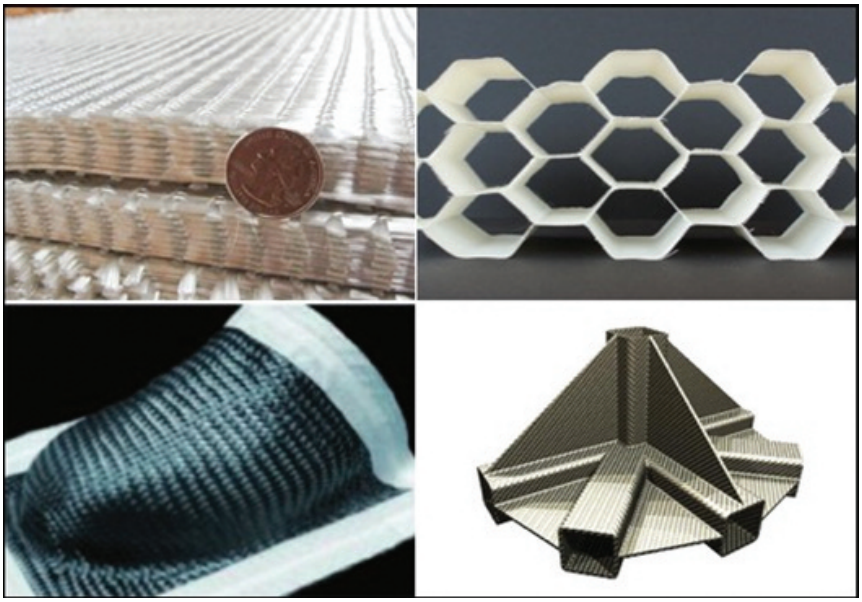

Figure 5. Structures of 3D woven fabrics (hollow, nodal, shell and solid structures from right top to clockwise direction[13].

또한 고리에 의해 결합된 직물이며 하나 또는 여러 개의 실이 평행하게 뻗어 있는 구조이다(Figure 6).

최근 몇 년간 큰 발전을 거듭하고 있는 다축 경편(multiaxial warp knit, MWK) 입체 구조는 일반적으로 모든 방향으로 응력 및 변형을 일으킬 수 있도록 최대 4~6개의 서로 다른 하중 보조 섬유를 갖추고 있다. 이러한 구조는 각 층마다 섬유가 일정하게 배열되어 있고 서로 다른 각도를 가지는 다방향성 섬유층과 매트릭스의 조합으로 여러 방향으로의 변형을 잘 견디고 흡수하게 해준다.

LIBA (LIBA Maschinenfabrik GmbH)사는 섬유의 각도가 0°, +45°, −45° 및 90°로 배열된 4중 편직

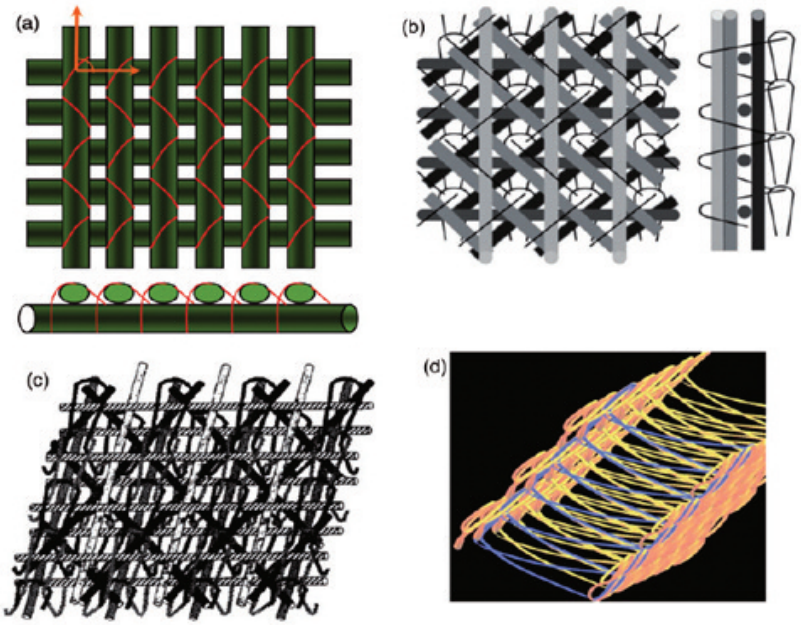

Figure 6. Some kinds of knit structures: (a) biaxial warp-knitted structure, (b) multiaxial warp-knitted structure, (c) multiaxial weft-knitted structure and (d) warp-knitted space structure[14].

www.kci.go.kr

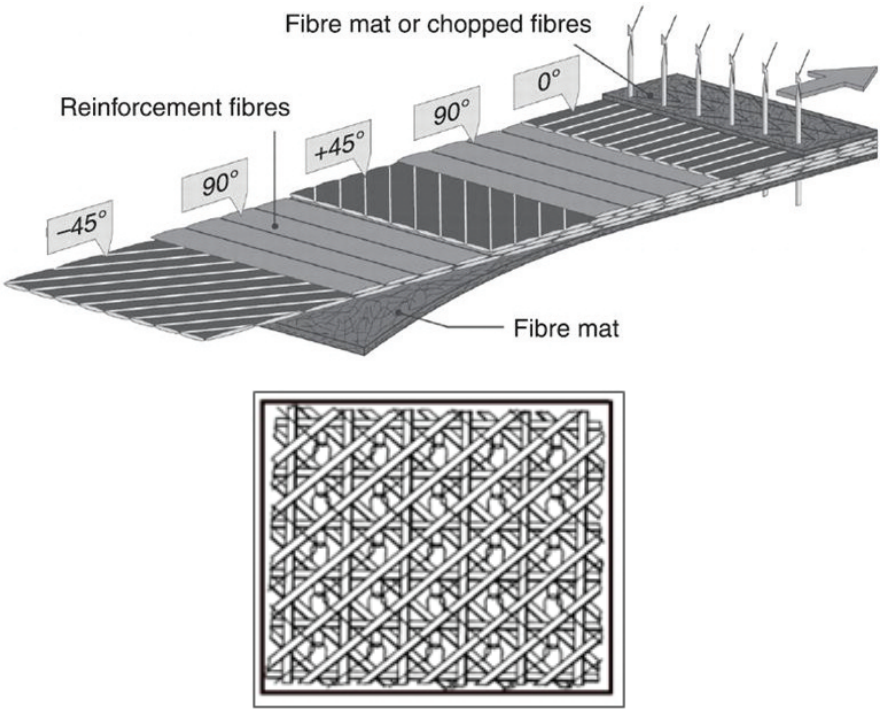

Figure 7. (a) Fabrication of multiaxial warp knit (MWK) and (b) multiaxial warp knit (MWK) fabrics[15].

물 구조를 만들 수 있는 직조 장비를 제조하였다(Figure 7). 이러한 섬유 층은 다양한 적층 순서로 조립될 수 있고 봉제 과정을 통해 함께 묶을 수도 있으며 5개의 편직물을 삽입하여 최대 73가지의 다양한 변형을 줄 수 있다. 또한 각 섬유 층에 원하는 종류의 섬유를 사용할 수 있어 아라미드, 유리 섬유, 탄소 섬유 또는 고강도 폴리에스터와 폴리프로필렌과 같은 고탄성 필라멘트를 사용하여 고성능 복합 재료를 제조할 수 있다.

Karl Mayer사의 Raschel 편직기(Figure 8)는 경사의 방향을 결정하고 공급해주는 가이드 바(guide bar)의 움직임에 따라 섬유 고리를 만들며 편직하고, 최대 폭 1.6m의 4층 구조 편물 원단을 생산할 수 있다.

Figure 8. Raschel 3D knitting machine of Karl Mayer[16].

www.kci.go.kr

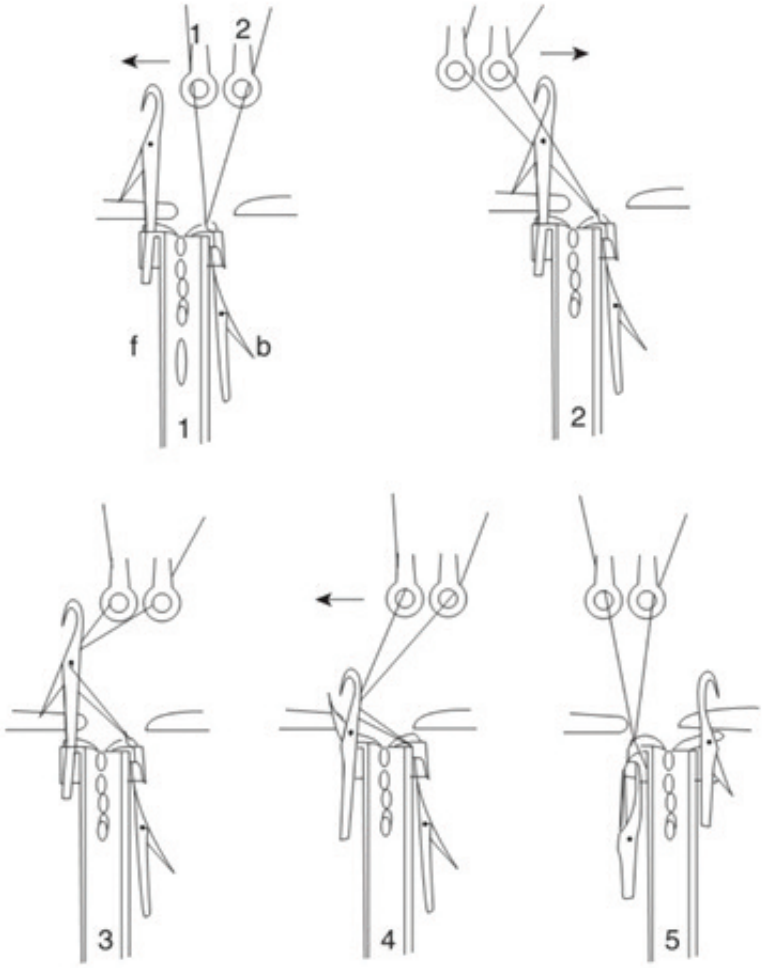

Figure 9. Knitting action of a double-needle-bar Raschel machine[17].

LIBA사의 장비(최대 폭 2.5m, 6층 구조)에 비해 제작할 수 있는 편물의 크기나 층수가 적지만 Mayer사의 장비는 각 층의 섬유 배열 정밀도가 높으며 1m 이상의 거리에서도 스티칭을 통한 섬유 고리 생성이 가능하다.

Figure 9에 나타나있는 Mayer사의 편물 장비의 작동 원리는 다음과 같다. (1-2) 섬유를 공급해주는 가이드 바는 바늘 뒤편에 위치해 있다가 첫 번째 바늘(왼쪽)이 올라오면 주위를 도는 언더랩(underlap) 동작으로 움직이며 섬유 고리를 생성한다. (3-4) 첫 번째 바늘에 섬유 고리를 생성한 가이드 바는 다시 원래의 위치로 돌아오는데, 이때 바늘이 내려가면서 섬유고리들이 서로 걸리면서 이어지게 된다. (5) 이렇게 한 번의 공정을 거친 가이드 바는 두 번째 바늘(오른쪽)에도 섬유 고리를 생성하기 위한 (1-4)의 공정을 반복하게 된다. 이러한 3차원 편물 구조의 장점은 드레이프성이 좋아 성형하기 쉬우며, 복잡한 형상의 프리폼을 생산할 수 있다. 또한 3차원 편물 구조는 우수한 충격 내구성과 에너지 흡수(충돌) 특성을 가지며 우수한 통기성으로 열의 효과적인 분산이 가능하며 우수한 신축성과 유연성을 가진다.

2.3 3차원 브레이드(3D braided fabrics)

3차원 브레이드는 Figure 10에서 보는 바와 같이 공정 중에 다른 층을 횡으로 연결하는 섬유를 도입하여 만들어진다. 기본적으로 서로 다른 사선 방향을 갖는 두 섬유와 축 방향을 갖는 날실로 이루어져 있다. 축 방향 섬유가 직물을 가로지르고, 사선 방향의 두 실은 날실 주위로 서로 얽혀 45도 각도를 만든다.

3차원 브레이드 직물은 일반적으로 축 방향 실과 두 사선 실 영역 사이에 큰 구멍을 갖는다.

따라서 전통적인 2축 브레이드 직물만큼 조밀한 직

www.kci.go.kr

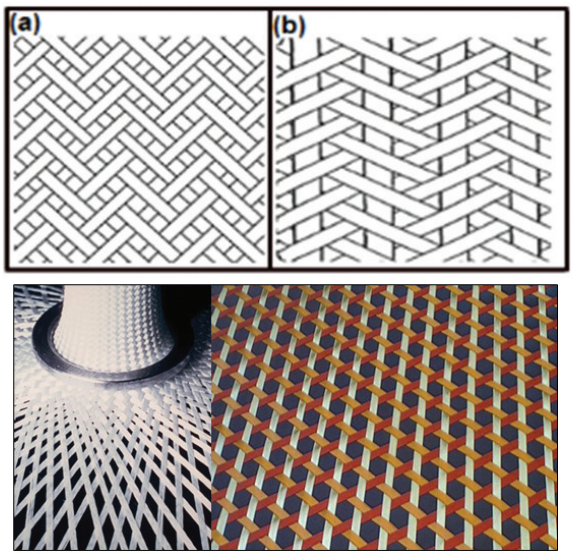

Figure 10. (a) Two-dimensional traditional biaxial braided fabric, (b) triaxial braided fabric and (c) 3D braided fabrics[3,18].

물의 제조에는 적합하지 않다. 3차원 브레이드 직물의 기계적 물성은 날실의 축 방향에서 이차원 직물보다 훨씬 더 높게 나타난다. 축 방향 하중과 굽힘 및 비틀림 하중을 견딜 수 있으므로 그에 따른 용도의 다양한 형태의 복잡한 구조 형상을 통합적으로 구현하고 생산할 수 있다. 이 방법을 이용하여 브레이드 구조 안의 사의 수를 추가하거나 제거하여 I-빔, H-빔, TT-빔 등의 다양한 직물 구조를 만들 수 있다(Figure 11).

3차원 브레이드 구조의 장점 역시 복잡한 그물 모양의 프리폼을 생산할 수 있으며 공정을 자동으로 제어할 수 있어 생산성 및 프리폼의 품질이 향상될 수 있다. 또한 제조가 간단하여 생산 비용이 저렴하면서 우수한 박리 저항성과 충격 내구성을 나타낸다.

3. 국내·외 3차원 입체직물의 기술 개발 동향

3.1 3TEX (미국)

미국은 3차원 입체직물을 이용하여 항공, 우주, 자동차, 선박 등의 방위 사업과 토목, 건축 분야에 복합재료의 예비성형체인 프리폼을 적용하기 위한 연구를 활발하게 진행하고 있다. 주로 3차원 직물과 3차원 브레이드 직물을 사용하여 제조하고 있다. 그 중 3TEX는 관련된 연구를 가장 활발하게 진행하는 기업이다. 대표적인 개발 제품으로는 3차원 직물인 3WEAVE와 3차원 브레이드 직물인 3BRAID 제품이 있다. 해당 제품들은 주로 풍력발전기의 블레이드, 선박, 방호용 차량, 개인 방호용품 그리고 고내열성이 요구되는 항공우주 분야에 적용되고 있다(Figure 12).

3.2 Albany International (미국)

Albany International에서는 주로 3차원 브레이드 프리폼을 생산하여 항공기 구조물에 적용하고 있다. 2013년에 수지 트랜스퍼 몰딩(RTM) 기술을 적용한 항공기용 엔진 부품용 3차원 복합재료 생산을 위해 생산 플랜트를 완공하였다. LEAP 엔진(CFM International)에 사용되는 fan case과 fan blade에 생산된 제품이 적용되고 있다(Figure 13).

LEAP 엔진은 일반 상업용 항공기에 날렵함과 파워를 증진시키기 위해 널리 활용되고 있는 엔진으로, 2016년에는 Airbus A320neo에 도입되었으며 2017년에는 Boeing 737MAX에 도입될 예정이다. 또한 LEAP 엔진은 고도의 공기역학 기술과 소재 기술을 바탕으로 제작되었으며, 강하고 가벼운 3D RTM 복합재료로 구성되어있다. 복합재료로 구성된 엔진은 항공기

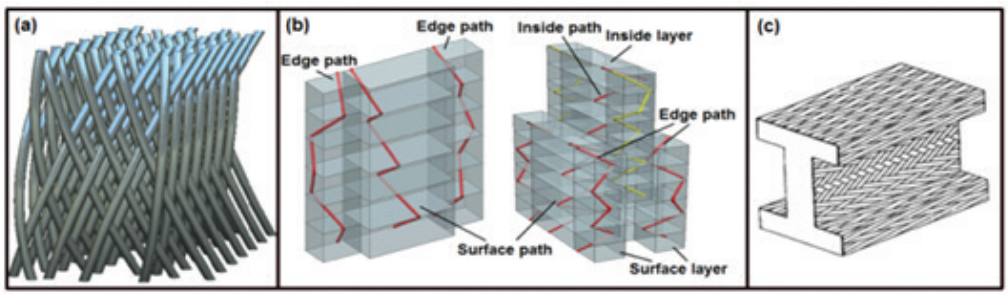

Figure 11. (a) Unit cell of 3D braided preform (b) braider yarn path on the edge and inside of the 3D representative braided preform with 4 layers (left) and 6 layers (right), and (c) schematic views of 3D braided I-beam preform[3,19,20].

www.kci.go.kr

Figure 12. Product of 3TEX and possible applications[21].

(a) (b) (c) (d)

Figure 13. (a) Fan blade, (b) LEAP engine, (c) A320neo, Airbus and (d) 737MAX, Boeing[22].

의 중량을 약 500kg 정도 줄일 수 있기 때문에 엔진의 연료 소비를 15% 이상 감소시킬 것으로 기대된다.

3.3 NASA (미국)

미국의 NASA는 컴퓨터로 제어되어 분당 40-200회의 속도로 평판뿐 아니라 곡면 부위에도 사용이 가능한 3차원 봉제 기계(stitching machine)를 개발하여 항공기 동체 구조물 제조에 사용하였다. 해당 구조물 제조는 NASA ACT(Advanced Composite Technology) 프로그램을 통하여 제조되었으며 개발된 3차원 봉제 기계를 사용하여 제품을 면적 1.2×1.8m, 두께는 38mm 이상으로 생산할 수 있다.

NASA는 thermal protection system(TPS)을 위해 Analytical Mechanics Associates Inc.와 함께 3차원 직물 방열 소재 연구 및 개발 프로그램을 추진해 왔다. NASA Ames의 3D-MAT 프로그램을 통하여 수지 트랜스퍼 몰딩(RTM) 공정을 통해 대형 3차원 직조 프리폼을 제작하였다(Figure 14).

3.4 드레스덴 공과대학(Technische Universitat Dresden)과 섬유연구소(ITM) (독일)

미국과는 달리 유럽의 경우에는 3차원 입체직물에 대한 직조 기술의 개발보다 봉제 기술을 중점적으로 연구하고 있다. 개발된 기술은 주로 유로 파이터의 동체 등 항공기 부품 생산에 활용되고 있으며 3차원 편직 기술을 사용하여 제조된 프리폼은 풍력 발전용 블레이드와 에어버스사의 A380 후방 벌크에 활용할 목적으로 연구되고 있다. 독일의 드레스덴 공과대학과 ITM은 경량화, 충격흡수 성능 개선, 단열성 향상, 부품의 설계 자유도 향상 등을 목적으로 섬유와 금속의 복합재료 시트와 부품 성형 공정 기술을 개발하였다. 이 기술을 통하여 자동차 경량화를 위한 복합소재 부품 개발에 있어서 난제였던 금속과 섬유 간의 접합을 해결하였으며,

Figure 14. 3D woven composite for TPS, NASA[23].

www.kci.go.kr

Figure 15. Products of Technische Universitat Dresden using 3D preform technology[24].

금속-섬유 복합재료 시트의 hot stamping 성형공법을 통해 복합재료를 개발하여, 보다 가볍고 단단하며 내열성과 충격 흡수성이 뛰어난 부품을 자동차 산업에 적용할 수 있게 되었다. 드레스덴 공과대학은 3차원 직조기술(weaving)을 이용해 3차원 다층 구조나 관 구조의 프리폼을 제작하여 자동차 조인트 구조물에 적용하였고, 다층구조의 위사와 경사를 갖는 3차원 전용 직기를 사용하여 섬유의 손상을 최소화하고 다양한 형상의 성형품을 제조하였다(Figure 15).

3.5 Institute of Textile Technology at RWTH Aachen University(ITA) (독일)

독일의 아헨 공대의 ITA 연구소는 double lock stitch 시스템을 CNC controled portal sewing 프리폼 자동화 시스템에 적용하여 설비의 크릴(creel)에서 3000 stitch/min의 속도로 섬유를 공급할 수 있는 고속 sewing/프리폼 재단 설비를 완성하였다(Figure 16).

3.6 vom Baur (독일)

독일의 vom Baur사는 3차원 세폭 및 원형 직기를 이용하여 다양한 3차원 구조의 프리폼을 제작하였고 탄소, 아라미드, 유리 섬유를 하이브리드한 세폭 직물과 탄성 위사를 사용한 원형 직물을 생산하고 있다(Figure 17).

3.7 Institute of Textile Technology and Process Engineering Denkendorf(ITV)와 TAO group (독일)

독일의 ITV 연구소와 TAO 그룹에서는 북극곰 가죽의 보온원리를 생체 모방한 태양열 흡수 및 에너지 저

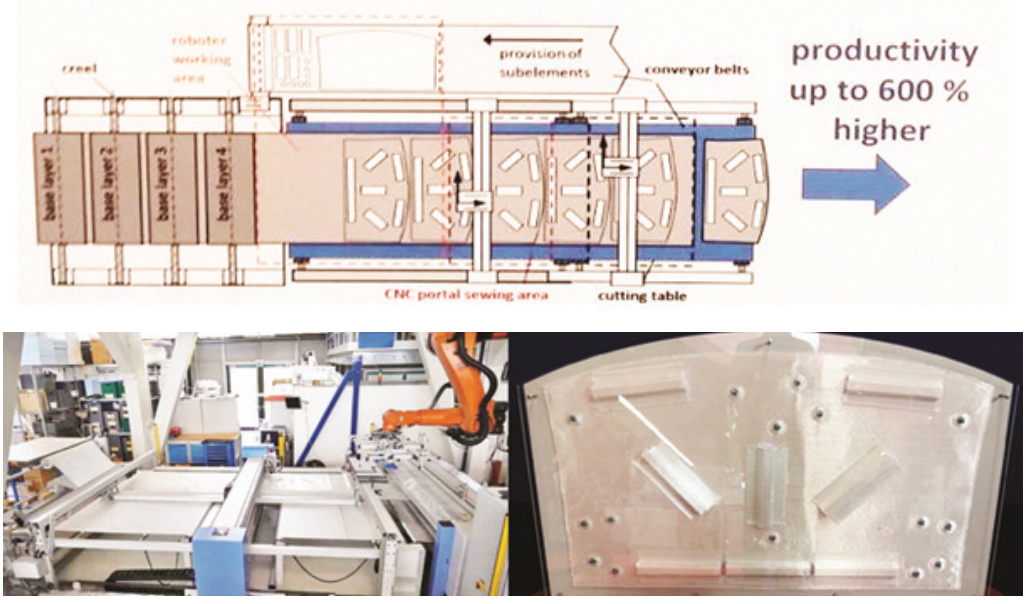

Figure 16. (a) Scheme of ITA preform auto manufacturing system. (b) ITA preform stitching unit and preform[24].

www.kci.go.kr

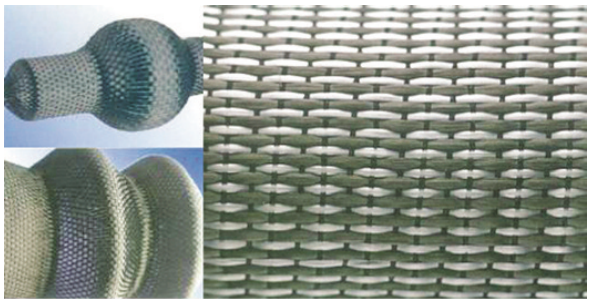

Figure 17. Products of vom Baur[24].

장형 3D 입체직물을 개발하였다. 해당 제품은 고내열성과 고내광성 그리고 고강도 특성이 요구됨에 따라 실리콘 유리섬유와 각종 가공처리기술을 복합화 하여 개발하였다. 태양열 흡수 3차원 스페이서 직물로 개발한 에너지 발생 지붕시스템은 난방 또는 냉난방 보조 열원으로서 사용되며 에너지 제로 주택, 공장, 물류센터, 축사, 경기장, 행사장, 리조트 가건물 등에 활용 가능성이 높을 것으로 기대된다(Figure 18).

3.8 Teijin, Asahi Kasei, Toyobo (일본)

폴리에스터계 고탄성 섬유 쿠션 소재가 일본의 Teijin Fibers, Asahi Kasei 및 Toyobo사를 중심으로 개발되고 있다. Teijin Fibers에서는 고기능 섬유 쿠션재 ELK®를 개발하여 일본 국철의 좌석에 적용하고 있다. Asahi Kasei는 나일론이나 PTT를 이용한 삼차원 구조의 폴리에스테르 편물인 Fusion, Cubit이라는 제품을 선보였다(Figure 19).

3.9 동일산자(주), 삼우기업(주)

동일산자(주), 삼우기업(주)을 중심으로 대표적으로 생산되고 있는 제품은 3차원 직조 프리폼이다. 또한 해당 기술을 사용하여 3차원 편직 기술로 제조된 다축 경편(MWK)은 풍력 복합재 블레이드와 항공기 빔, 패널 구조에 적용하기 위한 연구가 진행 중이다. 동일산자(주)에서는 다축 경편 원단을 유리섬유, 아라미드섬유, 카본섬유 및 다양한 특수섬유를 사용하여 프리폼을 생산하고 있다. 최근에는 삼우기업(주)에서 독일의 Saertex사의 기술을 도입해 풍력발전용 블레이드를 최대 폭이 2.5미터가 가능한 다축경편 프리폼을 사용하여 제조하고 있다.

3.10 재료연구소(KIMS)

연구소에서는 재료연구소(KIMS)를 중심으로 3차원 프리폼에 축 방향으로 고강도 섬유가 적용된 제품의 개

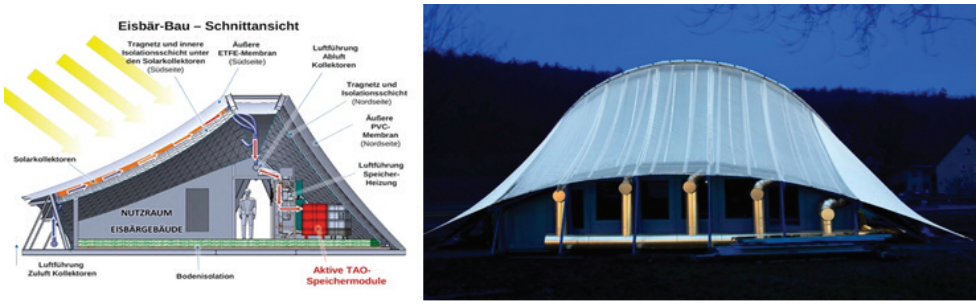

Figure 18. Schemes of Ice-bear building[25].

Figure 19. Product of 3D fabric, Cubit™, Asahi Kasei[7].

www.kci.go.kr

발 및 연구를 진행하고 있다. 재료연구소(KIMS)에서는 3차원 직조 기술, 3차원 브레이딩 및 3차원 봉제 기술 등을 개발 또는 개발 중에 있다. 재료연구소에서는 해당 직조 기술들을 적용하여 항공, 우주 산업 및 방위 산업에 필요한 초고온용 탄소/탄소 복합재 프리폼, 방탄 복합재 패널, 항공기 부품 등의 개발에 매진하고 있다.

4. 결 론

본 고에서는 3차원 입체직물의 분류와 국내 · 외의 기술 개발 동향을 알아보았다. 현재 3차원 입체직물을 이용한 제품의 개발과 연구는 미국, 유럽 특히 독일을 중심으로 이루어지고 있으며 해당 국가에서 관련된 기술을 선점하고 있다. 일본의 경우에도 국가에서 지원하는 연구 사업인 3D Composite Research Corporation이라는 컨소시움을 구성하여 3차원 프리폼과 관련된 연구 개발을 추진하고 있으며, 중국도 3차원 스페이서 프리폼 및 3차원 브레이드 프리폼을 개발 생산하고 있다. 한국에서도 해당 기술과 관련된 복합재료 분야에서 국가적인 연구 기술 개발 사업이 추진되고 있어 앞으로의 3차원 입체직물을 활용한 다양한 응용이 기대된다.

감사의 글

이 논문은 부산대학교 기본연구지원사업(2년)에 의하여 연구되었음.

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*, **30**, 1445(1999).
2. H. Jeon, “Woven Fabrics”, InTech, London, pp. 91-120, 2012.
3. H. Jeon, “Non-woven Fabrics”, InTech, London, pp. 81-141, 2016.
4. A. Miravete, “3-D Textile Reinforcements in Composite Materials”, Woodhead Publishing, Cambridge, 1999.
5. 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 J. of Preventive Medicine*, **4**(7), 761(2013).
6. 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).
7. S. Yoon, C. Jeong, M. Min, and W. Seo, Development Trend of Automotive Chemical and Textile Materials, *KIC News*, **16**(6), 26(2013).
8. K. J. Man, High Added-value Textile Composites for Sports and Leisure Products, *KIC News*, **17**(6), 26(2014).
9. 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).
10. J. Hu, “3-D Fibrous Assemblies”, Woodhead Publishing Series in Textiles, Cambridge, pp.104-130, 2008.
11. M. H. Mohamed, Three-dimensional Textiles, *American Scientist*, **78**(6), 530(1990).
12. X. Chen, L. W. Taylor, and L. Tsai, An Overview on Fabrication of Three-demensional Woven Textile Preforms for Composites, *Textile Research J.*, **81**(9), 932(2011).
13. A. Busgen, Woven Fabric having a Bulging Zone and Method and Apparatus of Forming Same, Patent No. US6000442(1999).
14. P. Ma and Z. Gao, A Review on the Impact Tension Behaviors of Textile Structural Composites, *J. of Industrial Textiles*, **44**(4), 572(2015).
15. B. Kumar and S. Thakur, “Textiles for Advanced Applications”, InTech, London, pp.87-133, 2017.
16. http://www.karlmayer.com, 2016.11.30.
17. J. Hu, “3-D Fibrous Assemblies”, Woodhead Publishing Series in Textiles, Cambridge, pp.70-103, 2008.
18. C. W. Rogers and S. R. Crist, Braided Preform for Composite Bodies, US Patent 5619903(1997).
19. K. Bilisik and N. Sahbaz, Structure-unit Cell Base Approach on Three Dimensional (3D) Representative Braided Preforms from 4-step Braiding: Experimental Determination of Effect of Structure-process Parameters

www.kci.go.kr

on Predetermined Yarn Path, *Textile Research J.*, **82**, 220(2012).
20. M. Tsuzuki, Three Dimensional Woven Fabric with Varied Thread Orientations, US Patent 5348056(1994).
21. http://www.3tex.com, 2016.12.1.
22. http://www.albint.com, http://www.cfmaeroengines.com, http://www.airbus.com, http://www.boeing.com, 2016.12.6.
23. www.nasa.gov, 2016.12.6.
24. K. Y. Kim, Report for Recent R&D Trends in Industrial Textiles, Korea Federation of Textile Industries and Korea Textile Trade Association, Seoul, pp. 41-106, 2015.
25. www.tao-group.de, 2016.12.8.

www.kci.go.kr