

탄소섬유 강화 PA6/PPO 복합재료의 섬유 배향에 따른 충격강도 및 열팽창 거동에 관한 연구

원희정* · 성동기** · 이진우** · 엄문광**†

A Study on the Effect of Fiber Orientation on Impact Strength and Thermal Expansion Behavior of Carbon Fiber Reinforced PA6/PPO Composites

Hee-Jeong Won*, Dong-Gi Seong**, Jin-Woo Lee**, Moon-Kwang Um**†

ABSTRACT: Short fiber reinforced composites manufactured by injection molding have diverse fiber orientations variable with measuring positions even in the same specimen, which is caused by the flow induced fiber orientation. Fiber orientations considerably affect the mechanical and thermal properties of final composite products. In this study, fiber orientation of injection molded carbon fiber reinforced PA6/PPO composite was measured at several points of the specimen by optical microscopy analysis and the corresponding izod impact strength, coefficients of thermal expansion (CTE) were also measured to investigate the influence of local fiber orientation on the mechanical and thermal properties. Izod impact strength where fiber was perpendicular to the direction of crack propagation was higher than where fiber was parallel to the direction, which could be explained by the impact resistance reinforcing mechanism by fiber orientation. CTE was also lower where fiber was parallel to the measurement direction of CTE than where fiber was perpendicular to the direction, which could be also explained by the dimensional stability mechanism by fiber orientation.

초 록: 사출 성형을 통해 제조된 단섬유 강화 복합재는 사출 성형 중 발생하는 수지 유동으로 인해 동일 시편 내에서도 다양한 섬유 배향을 갖는다. 이러한 섬유의 배향은 최종 복합재의 기계적, 열적 특성에 많은 영향을 주므로, 본 연구에서는 사출 성형된 탄소단섬유 강화 PA6/PPO 복합재의 섬유 배향을 광학 현미경 분석을 통하여 측정하고 섬유의 배향이 복합재의 충격강도 및 열팽창 계수에 미치는 영향을 분석하였다. 충격강도의 경우에 섬유의 배향이 크랙이 전파되는 방향에 수직으로 배향되어 있을수록 더 높은 충격강도를 보였으며, 이는 섬유의 배향에 따른 충격내성 강화 메커니즘과 밀접한 연관성을 보여주었다. 열팽창 계수의 경우에는 섬유가 열팽창률을 측정하는 방향과 동일한 방향으로 배향되어 있을수록 더 낮은 열팽창계수를 보였으며, 이 결과 역시 섬유의 배향이 열팽창 특성에 미치는 메커니즘과 밀접한 연관성을 보였다.

Key Words: 사출성형 (injection molding), 섬유 배향 (fiber orientation), 충격강도 (impact strength), 열팽창 계수 (coefficient of thermal expansion)

Received 4 December 2013, received in revised form 26 February 2014, accepted 28 February 2014

*과학기술연합 대학원 대학교 신소재공학전공 대학원

**한국기계연구원 부설 재료연구소

**† 한국기계연구원 부설 재료연구소, Corresponding author (E-mail: umk1693@kims.re.kr)

1. 서 론

고분자 블렌드는 단일 고분자만으로는 충족할 수 없는 특성을 두 개 이상의 고분자를 혼합함으로써 서로의 부족한 특성을 상호 보완할 수 있는 가장 효율적인 방법 중 하나이다. 대표적인 엔지니어링 플라스틱인 Polyamide 6(PA6)는 높은 내화학성과 우수한 성형성을 가지지만 낮은 치수 안정성의 문제를 가지고 있으며, Poly(phenylene oxide) (PPO)는 높은 치수안정성과 우수한 기계적 특성을 가지지만 성형 및 가공성이 부족한 단점을 가지고 있어 PA6와 PPO를 블렌드화할 경우 서로의 부족한 특성을 상호 보완할 수 있다. 이러한 PA6/PPO 블렌드는 우수한 기계적, 열적 특성을 가지기 때문에 여러 산업분야에서 활용이 가능한데, 특히 자동차 산업 분야에서 자동차의 외장재로서 활용이 기대되는 고분자이다. 그러나 자동차의 외장재로 사용되는 재료는 외부 충격에 잘 견뎌야 하고 여러 온도 범위에서 재료의 치수가 변화하지 않는 것이 중요하기 때문에 충격강도와 열팽창 특성이 매우 중요하다. PA6/PPO 블렌드는 우수한 기계적, 열적 특성을 가지지만 자동차 산업에서 요구되는 충격강도 및 열팽창 특성을 만족시키기에는 부족하다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 열가소성 고분자에 섬유를 강화하여 복합재를 제조함으로써 고분자만으로는 충족시키기 어려운 특성을 보완해 주는 연구들이 다양하게 진행되고 있다[1-3]. 특히 단섬유강화 열가소성 고분자 복합재는 사출 성형이라는 공정을 통하여 간단하면서도 효율적으로 복합재에 원하는 특성을 부여할 수 있는 장점을 가지고 있어 여러 산업분야에서 활발한 연구가 진행 중이다[4-8]. 탄소 단섬유의 경우에 고강도, 고강성을 가지며 고온에서도 열에 의한 변형이 거의 없는 특징을 가지고 있기 때문에 우수한 물리적 열적 특성을 갖는 고분자 복합재의 제조에 강화재로 많이 사용되고 있다.

일반적으로 단섬유 강화 복합재는 이방성을 갖는 연속 섬유 강화 복합재와 달리 섬유의 길이가 짧아 특정한 방향성이 없이 복합재로 제조하였을 경우, 등방성에 가까운 특성을 갖는다. 그러나 사출 성형으로 제조된 단섬유 강화 복합재의 경우에는 사출 압력에 의한 수지 유동에 의해 섬유가 배향을 이루게 되며, 이로 인해 동일한 시편이라도 위치에 따라 각기 다른 배향을 가진다. 이러한 섬유의 배향은 곧 최종적인 복합재의 기계적, 열적 특성에 영향을 미치게 된다. 따라서 복합재의 섬유배향을 측정하고 섬유의 배향과 복합재의 기계적, 열적 특성과의 상관관계를 확인하는 것은 매우 중요한 연구이다.

이와 같이 섬유의 배향에 따른 복합재료의 물성 변화에 관한 다수의 연구가 진행되고 있다. 먼저 섬유의 배향을 측정하는 방법에 관한 연구 중에는 intensity method, ellipse method, tomography, optical image analysis 등이 있다[9-13]. 또한 섬유의 배향을 측정하고 그 배향이 실제 복합재

료의 물리적, 열적 특성에 미치는 효과에 대한 식을 모델링하여 재료의 특성을 예측하거나 배향효과가 실제 복합재의 물성에 미치는 영향에 대한 연구도 다양하게 진행되어 왔다[14-20]. 그러나 많은 연구가 실제 산업에서 사용되는 공정 대신에 미리 정해진 형태의 섬유 배향을 유도하여 시편을 제작하고 이에 관한 기계적, 열적 특성을 측정하였다. 본 연구에서는 가장 실용화된 공정인 사출 성형을 이용하여 Pitch 탄소 단섬유 강화 PA6/PPO 블렌드를 제조하고, 제조된 시편의 각 부분마다의 섬유 배향을 image analysis를 통하여 측정하였다. 또한 복합재의 Izod 충격강도 및 열팽창 계수 측정을 통하여 복합재 내의 탄소 단섬유의 배향이 복합재의 충격강도 및 열팽창 특성에 미치는 영향을 확인하였다.

2. 실험

2.1 재료

본 연구에서 사용된 기지재는 PA6(SHINIL Chem)와 PPO(ASAHI KASEI)이며 각각의 고분자의 상용성을 위하여 상용화제로서 Glycidylmethacrylate(GMA, Lotader, AX8900)를 사용하였다. 또한 강화제로는 Pitch계 탄소 단섬유(Nippon graphite, XN-90-60s)를 사용하였다.

그러나 일반적으로 열가소성 고분자와 탄소섬유는 서로 좋지 않은 계면 결합력을 가지며 이는 결국 최종 복합재의 물성 감소를 가져오게 하므로 본 연구에서는 이러한 문제를 해결하고자 탄소 단섬유와 PA6/PPO 블렌드와의 계면결합력 향상을 위해 탄소섬유의 표면에 Phenoxy resin (InChem Corporation)을 코팅하여 사용하였다. Pitch계 탄소 단섬유 무게 대비 phenoxy resin의 코팅율은 약 10%이다.

2.2 탄소섬유 강화 복합재의 제조

복합재의 제조는 먼저 압출기를 이용하여 PA6, PPO, 상용화제(GMA), Pitch 탄소단섬유를 혼합하고 이를 2 mm 길이의 펠렛으로 제조하였다. 압출은 twin screw extruder (TSE 15 TC, PRISM, UK)를 이용하여 수행되었으며 압출 온도는 260-280°C, 스크루 속도는 60 rpm이었다. PA6는 수분흡수율이 높은 재료이므로 압출 전에 충분한 사전 건조를 하여 사용하였다. 이렇게 제조된 PA6/PPO 블렌드의 혼합 비율

Table 1. Composition of materials for carbon fiber reinforced PA6/PPO composites

Materials	PA6/PPO	PA6/PPO/Pitch SCF
PA6	10	10
PPO	90	90
Compatibilizer	10	10
Phenoxy resin-coated Pitch SCF (wt%)		10

은 질량비로 PA6:PPO = 1:9이며, 제조된 펠렛은 대류 오븐에서 100°C, 2시간동안 건조하였다. 또한 재료의 균일성과 탄소 단섬유의 고른 분산을 위하여 압출은 동일조건으로 2회에 걸쳐 진행하였다. 이렇게 제조된 펠렛은 사출성형을 이용하여 직사각형 시편과 인장시험용 Dog-bone 시편으로 제작하였다. 사출은 NE55(Woojin Selex, Korea)를 이용하여 수행되었으며 사출온도는 270-290°C, 금형 온도는 80°C였다. 사출 성형으로 제조된 Pitch 탄소단섬유 강화 PA6/PPO 블렌드의 재료 배합 비를 Table 1에 나타내었으며 이전 연구에서 재료의 최적 조성이 도출되었다[21].

2.3 탄소섬유 강화 복합재의 특성평가

2.3.1 Izod 충격강도(Izod impact strength)

제조된 복합재의 섬유 배향에 따른 충격강도를 측정하고자 Izod 충격강도 평가를 ASTM D256에 맞추어 실시하였다.

충격강도 측정용 시편은 인장시험용 Dog-bone 시편을 3부분으로 나누어 추출하였고, 이에 따른 시편의 사이즈는 길이: 63 mm, 너비: 12 mm, 두께: 3.2 mm 그리고 v-notch: 2 mm이다. 사출 성형된 인장시험용 Dog-bone 시편은 수지가 주입되는 게이트와의 거리에 따라 시편 각각의 부분의 섬유 배향이 다르게 이루어져 있다.

본 연구에서는 이러한 시편의 각 부분의 섬유 배향을 측정하고 이에 따른 충격강도를 측정하여 섬유의 배향과 충격강도 사이의 상관관계를 확인하였다. 충격강도 테스트에 사용된 장비는 Cantilever Beam Impact Machine(TOYOSEIKI, Tokyo)이며 시편에 V-노치를 형성하기 위해서는 Notchvis(CEAST) 장비를 사용하였다. Izod 충격강도 측정에 관한 시편 및 측정 장비를 위의 Fig. 1에 나타내었다.

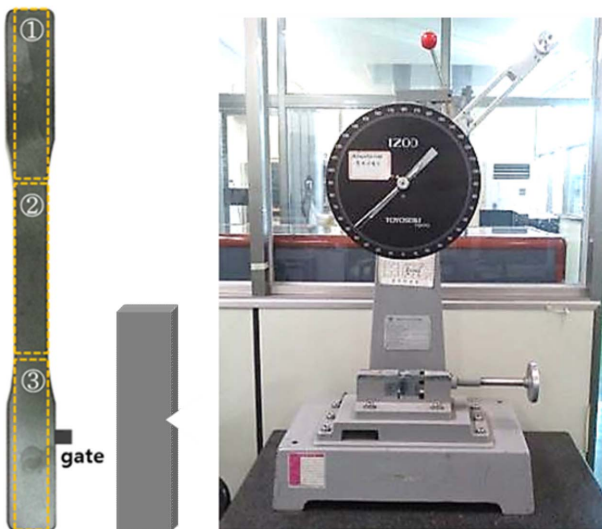


Fig. 1. Specimen of izod impact strength and test machine

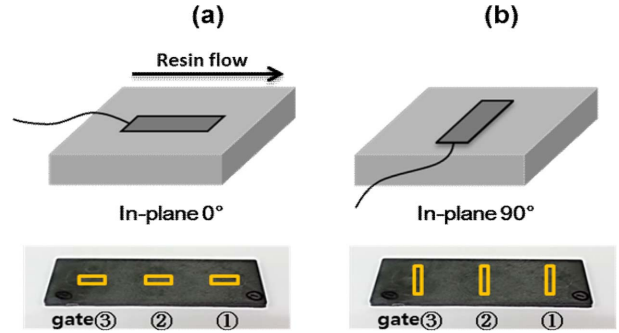


Fig. 2. Specimens of CTE (a) 0° and (b) 90° for resin flow direction

2.3.2 열팽창 계수(CTE)

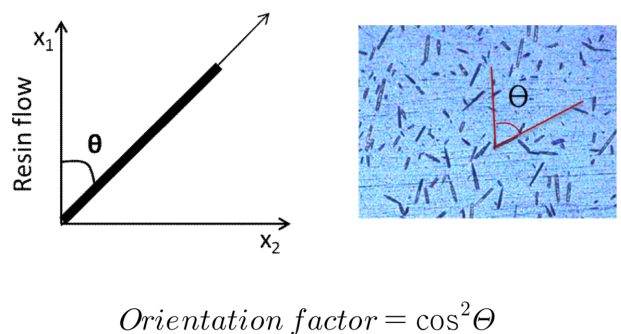
제조된 복합재의 섬유 배향에 따른 열팽창 거동을 확인하고자 복합재의 열팽창 계수를 측정하였다. 이는 strain gauge를 이용하여 시편의 표면 0도 방향, 표면 90도 방향 각각의 열팽창 계수를 측정하였다. 열팽창 계수 측정을 위한 시편의 사이즈는 길이: 25 mm, 너비: 25 mm, 두께: 3.2 mm이다. CTE 측정에 대한 시편 및 모식도를 Fig. 2에 나타내었다.

열팽창 계수 측정 시편은 측정 전에 사출 성형으로 인해 발생한 재료의 잔류응력을 제거해 주기 위하여 대류 건조 오븐에서 200°C까지 가열했다가 서냉하여 사용하였다. 또한 Strain gauge를 이용하여 열팽창 계수를 측정할 경우, strain gauge 고유의 변형이 존재한다. 이러한 변형을 보정해 주기 위하여 다양한 온도범위에서 열 변형이 0에 가까운 Titanium Silicate를 이용하여 동일하게 strain gauge를 부착하고 열 변형을 측정하고 그 측정값을 실제 시편의 측정값에서 제거하여 주는 방식으로 보정을 하였다.

2.3.3 섬유 배향(Fiber orientation)

제조된 복합재의 섬유 배향은 광학현미경을 통해 얻은 이미지를 image analysis(IMAGE TOOL)를 거쳐 섬유 배향의 정도를 나타내는 orientation factor를 Fig. 3과 같이 수지 유동방향과 섬유가 이루는 각 (θ)에 대한 $\cos^2\theta$ 를 적용하였다.

Orientation factor는 2차원 평면상에서의 섬유의 방향으로 정의되며, θ 는 0°에서 90° 사이의 값을 갖는다. orientation



$$\text{Orientation factor} = \cos^2\theta$$

Fig. 3. Scheme of fiber orientation measurement and definition of orientation factor

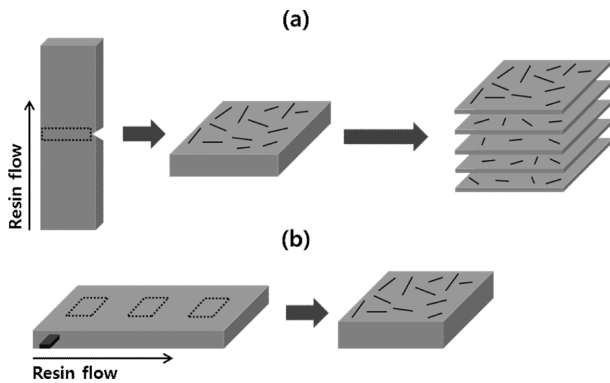


Fig. 4. Scheme of measuring fiber orientation from specimens of (a) impact strength and (b) CTE

factor가 1에 가까울수록 섬유가 수지유동방향으로 배향($\cos^2 0 = 1$)된 것을 의미하고, orientation factor가 0에 가까울수록 섬유가 수지유동에 수직인 방향으로 배향($\cos^2 90 = 0$)된 것을 의미한다.

충격강도 시험의 경우에는 표면에 존재하는 섬유 이외에도 두께 방향 내에 존재하는 섬유의 배향 효과 또한 충격강도에 많은 영향을 미치기 때문에 이러한 섬유의 효과를 포함시키기 위하여 시편을 두께 방향으로 구간을 나누어 평면방향으로 절단한 후 각각의 표면에 존재하는 섬유 배향을 측정하였으며, 각 지점에서의 대푯값은 두께 방향 측정값들의 평균값을 사용하였다. 열팽창 계수 측정 시편의 경우에는 strain gauge를 이용하여 시편 표면의 열팽창률을 측정 하므로 strain gauge가 붙는 시편의 표면에 존재하는 섬유의 배향만을 측정하였다. 이에 대한 측정 모식도를 Fig. 4에 나타내었다.

3. 결과 및 고찰

3.1 섬유 배향에 따른 Izod 충격강도 거동

Pitch계 탄소 단섬유 강화 PA6/PPO 블렌드의 섬유배향에 따른 충격강도를 Fig. 5에 나타내었다. 충격강도의 경우에는 사출된 인장 dog-bone 형태의 시편을 세 구역으로 나누고 각각의 시편의 Izod 충격강도를 측정하였다. 또한 각 부분의 크랙이 진행되는 부분의 시편을 추출하여 광학이미지를 촬영하고 그 이미지를 이용하여 image analysis를 실시하여 섬유 배향에 따른 Orientation factor값을 추출하여 Orientation factor와 Izod 충격강도의 상관관계를 확인하였다.

먼저 섬유가 포함되지 않은 수지와 탄소단섬유 강화 복합재의 충격강도 값을 비교해 보면, 수지와 탄소섬유 강화 복합재의 경우, 공통적으로 2번 시편이 가장 높은 충격강도를 보였다.

이러한 결과를 보인 이유는, 수지의 경우에 사출 성형에 의한 수지의 유동이 발생하여 이로 인해 molecular orientation

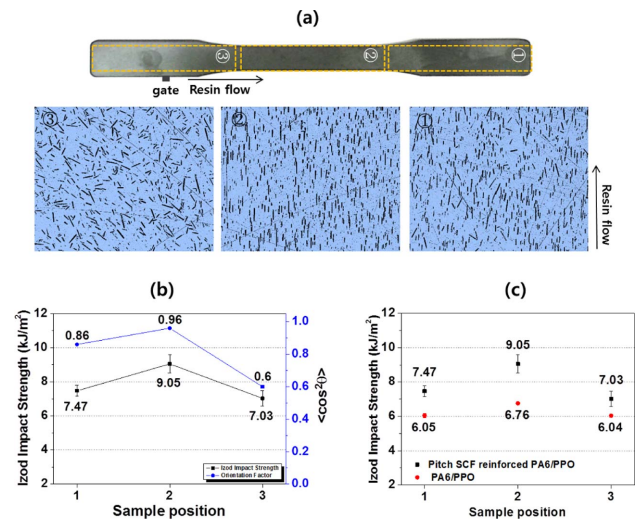


Fig. 5. (a) optical image of fiber orientation from 3 different areas, (b) the corresponding impact strength and orientation factor and (c) impact strength of pure matrix and composite

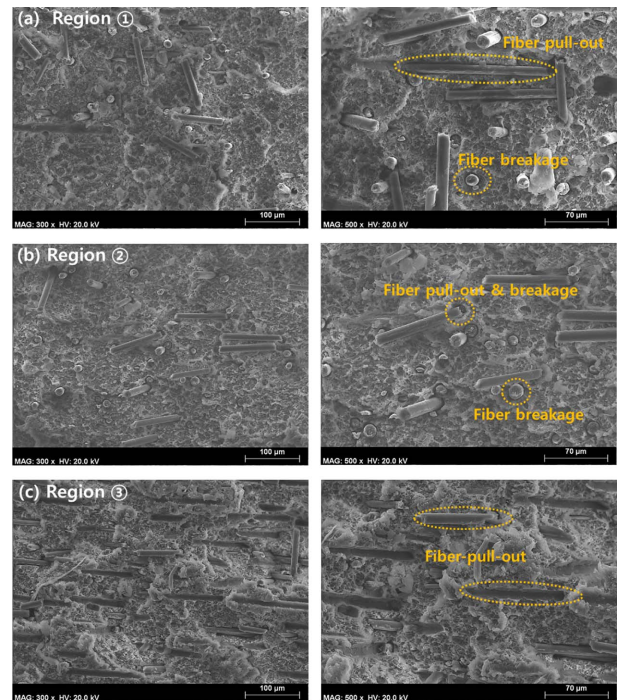


Fig. 6. Micro-structure of cracked surface after izod impact test at (a) region ①, (b) region ② and (c) region ③ of the composites

과 수지 유동 형상 효과로 인하여 2번 구간에서 더 높은 충격강도 값을 보인 것으로 생각된다. 반면 탄소섬유를 강화한 복합재의 경우에는, 그러한 분자배향효과와 더불어 2번 시편에서의 탄소 단섬유가 수지흐름 방향으로 가장 많은 배향을 이루고 있기 때문으로 생각된다. 이러한 결과를 해석해 보면, 수지에 의한 분자 배향 효과의 효과보다 탄소섬

유를 강화한 복합재의 충격강도 증가폭이 더 높으며 이러한 증가폭의 차이는 섬유 배향에 의한 효과라고 할 수 있다. 또한 복합재의 충격강도와 orientation factor의 그래프를 보면, orientation factor값이 높을수록 복합재의 충격강도가 높은 결과를 보였다. 이는 섬유가 수직으로 배향이 되어 있을수록 섬유로 인하여 크랙의 전파를 저지하는 역할을 하기 때문이다. 섬유 배향에 따른 충격강도 테스트 후 충격강도 시편의 파단면의 미세조직을 Fig. 6에 나타내었다.

아래의 미세조직에서 알 수 있듯이 사출 게이트가 존재하는 ③영역에서는 섬유가 주로 수직으로 배향된 비율이 상대적으로 높고, ②영역에서는 섬유가 주로 수직으로 배향이 되어 있고, ①영역에서는 섬유가 수직으로 배향된 것과 수직으로 배향이 아닌 다른 각도를 가지고 배향된 섬유들이 혼재되어 있다. 이러한 섬유의 배향은 크랙이 전파되는 방향과의 상관관계에 따라 섬유의 파단이나 섬유의 pull-out 등의 현상이 나타나게 된다. 아래의 SEM 이미지 상에서 크랙 전파는 이미지의 수평 방향으로 이루어졌다.

먼저, ③영역에서는 섬유가 주로 크랙이 전파되는 방향으로 배향을 이루고 있다. 이러한 경우에는 크랙이 전파될 때 섬유가 응력을 전달 받아 파단 되기가 매우 어렵기 때문에 상대적으로 약한 섬유와 수지의 계면을 따라 크랙이 전파되고 결국 섬유와 수지의 사이가 분리 되는 현상을 보인다. 반면 ②영역에서는 섬유가 주로 크랙이 전파되는 방향에 대하여 90° 방향으로 배향되어 있다. 이런 경우에는 크랙이 전파될 때 섬유가 크랙전파에 수직 방향으로 존재함으로써 크랙 전파를 저지하는 역할을 하게 되고 결국에는 섬유가 외부 응력을 전달 받아 파단 되게 된다. 이렇게 섬유가 파단 되는 경우에는 섬유가 수지-섬유간 분리나 섬유의 뽑힘의 경우보다 더 많은 에너지가 요구되기 때문에 최종적으로 더 높은 충격강도를 갖는다. 또한 ①영역의 경우에는 섬유가 크랙 전파 방향에 수직으로 존재하는 것과 그렇지 않은 것들이 혼재되어 있기 때문에 섬유의 파단이나 섬유의 뽑힘, 수지-섬유간 분리 현상이 함께 존재한다. 이렇듯 크랙이 전파되는 방향과 섬유의 배향 각도에 따라 섬유의 파단, 수지-섬유간 분리 및 섬유의 뽑힘 현상에 대한 모식도를 Fig. 7에 나타내었다.

Fig. 7에서 알 수 있듯이 크랙이 전파될 때 복합재 내에 존재하는 섬유의 파단 양상에는 섬유의 파단, 수지-섬유간 분리, 섬유의 뽑힘 등의 현상이 발생할 수 있다. 이러한 현상 중 섬유가 파단될 경우에 필요한 에너지는 주로 탄소섬유가 가지는 충격흡수에너지에 기인한다. 반면 수지-섬유간 분리의 경우에 필요한 에너지는 섬유-매트릭스 사이의 결합력과 섬유와 매트릭스의 계면이 가지는 면적에 기인한다. 또한 섬유의 뽑힘의 경우에 필요한 에너지는 섬유가 매트릭스에서 뽑혀져 나오는데 발생하는 계면결합력, 특히

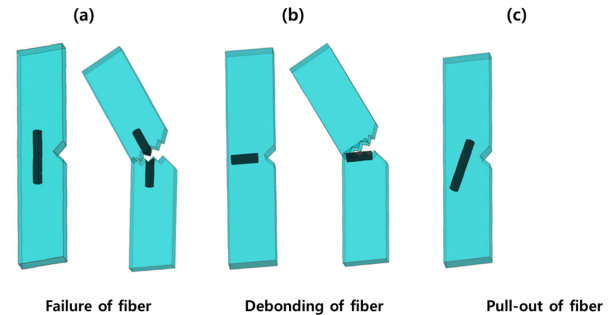


Fig. 7. Schematic diagram of Crack propagation mechanism of carbon fiber reinforced PA6/PPO composites

전단결합력에 기인한다.

이러한 현상이 발생할 때 필요한 에너지의 크기는 섬유의 파단 > 섬유의 뽑힘 > 수지-섬유간 분리의 순서가 될 것이며, 이러한 이유로 섬유의 파단이 많이 일어날수록 충격에너지 흡수가 높고 수지-섬유간 분리가 많이 일어날수록 충격에너지 흡수가 낮다. 그러나 섬유의 파단 및 섬유의 뽑힘은 동시에 발생하는 경우가 많으며 섬유의 파단 및 섬유의 뽑힘은 섬유가 크랙전파 방향의 수직으로 배향이 되어 있을수록 발생할 가능성이 높다. 반면에 섬유가 크랙 전파 방향으로 배향이 되어 있는 경우에는 주로 수지-섬유간 분리가 발생할 가능성이 높다. 즉, 섬유의 배향이 크랙전파 방향의 수직으로 배향되어 있을수록 섬유의 파단, 섬유의 뽑힘이 많이 발생하여 충격강도가 높게 나타나고 섬유가 크랙전파 방향으로 배향되어 있을수록 수지-섬유간 분리가 많이 발생하여 충격강도가 낮게 나타나는 것을 확인할 수 있었다.

3.2 섬유 배향에 따른 열팽창 거동

Pitch계 탄소 단섬유 강화 PA6/PPO 복합재의 섬유배향에 따른 열팽창계수를 Fig. 8에 나타내었다. Fig. 8을 보면, 사출 게이트와 가까운 3번 위치의 섬유는 수지 흐름방향에 수직인 방향으로 배향이 상대적으로 많이 이루어져 있으며 중간부분인 1번 위치와 2번 위치는 섬유가 주로 수직으로 배향이 이루어져 있다. 그 결과, orientation factor 값이 1번과 2번 위치의 경우에는 0.645와 0.687로서 유사한 값을 가졌으며, 3번 위치는 0.425로 가장 낮은 값을 가졌다.

이러한 orientation factor 값과 열팽창 계수의 관계에 대한 그래프를 살펴보면, 먼저 표면 0° 방향의 CTE에서는 orientation factor 값이 높을 경우에 더 낮은 CTE 값을 보였으며 orientation factor 값이 큰 경우에는 높은 CTE 값을 보였다. 이와 반대로 표면 90° 방향의 CTE는 orientation factor 값이 클수록 큰 CTE를 가지고 orientation factor 값이 작을수록 낮은 CTE 값을 보였다.

이러한 결과를 보인 것은 섬유가 배향을 이루고 있는 방향과 CTE를 측정하는 방향이 동일할 경우에, 그 방향으로 섬유가 존재함으로써 기지재가 열에 의해 변형하는 것을

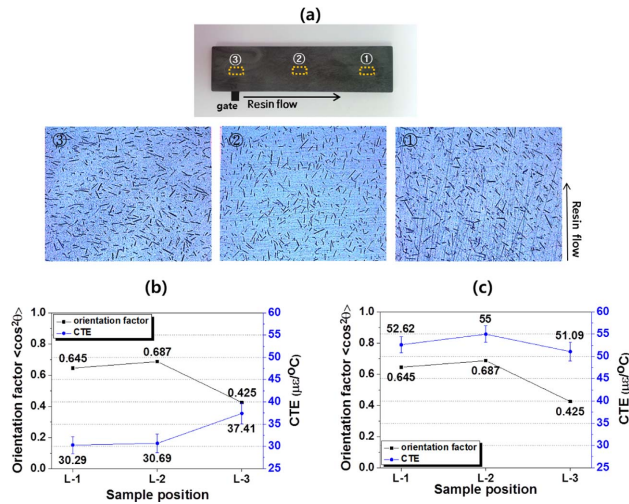


Fig. 8. (a) CTE specimen and optical images, (b) CTE-orientation factor along 0° and (c) CTE-orientation factor along 90° to resin flow direction in carbon fiber reinforced PA6/PPO composites

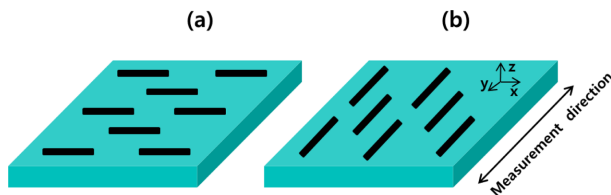


Fig. 9. CTE measurement scheme of along (a) 0° and (b) 90° to resin flow direction

저지하는 효과가 더욱 우수했기 때문으로 생각된다. 섬유 배향과 이에 따른 복합재의 모식도를 Fig. 9에 나타내었다. Fig. 9를 보면, 섬유가 복합재에 x 방향으로 배향이 되어 있는 것과 y 방향으로 배향되어 있는 것을 알 수 있다.

이렇게 섬유가 CTE를 측정하는 방향으로 배향되어 있을 경우에는 그 방향으로 수지와 섬유 사이에 전단결합력이 작용하는 면적이 넓어지게 되고, 반대로 섬유가 CTE를 측정하는 방향에 대해 수직으로 배향이 되어 있는 경우에는 전단결합력이 작용하는 면적이 작아지게 된다. 측정방향에 존재하는 섬유의 비율이 높을수록 섬유에 의한 복합재의 변형을 저지하는 효과가 크기 때문에 더 낮은 CTE를 갖고, 측정방향에 수직으로 배향된 섬유의 양이 많으면 측정방향에 존재하는 섬유의 접촉 면적이 작기 때문에 섬유에 의한 복합재의 변형을 저지하는 효과가 낮아 더 높은 CTE를 갖게 된다.

4. 결 론

본 연구에서는 고충격강도, 저열팽창 특성의 복합재를 제조하기 위하여 Pitch계 탄소 단섬유를 PA6/PPO 블렌드

를 재료로 하고 압출 및 사출성형 공정을 이용하여 복합재를 제조하였다. 또한 사출성형을 통해 수지 유동방향으로 배향된 탄소 단섬유의 섬유 배향을 광학현미경 관찰을 통한 image analysis를 통하여 측정하고 이러한 배향이 복합재의 충격강도 및 CTE에 미치는 영향을 확인하였다. 그 결과 충격강도의 경우에는 섬유가 크랙이 전파되는 방향에 수직으로 배향이 되어 있을수록 섬유의 파단 및 섬유의 뽑힘이 발생하여 높은 충격강도 값을 보였으며 반대로 섬유가 크랙이 전파되는 방향과 동일한 방향으로 배향되어 있는 경우에는 수지-섬유간 분리 현상으로 인해 더 낮은 충격강도 값을 갖는다.

CTE의 경우에는 섬유가 CTE를 측정하는 방향으로 배향이 되어 있을수록 CTE측정 방향에 존재하는 섬유의 접촉 면적이 높고 이는 섬유로 인한 복합재의 변형을 저지하는 효과가 크기 때문에 더 낮은 CTE를 가지며 반대로 섬유가 CTE 측정방향에 수직인 방향으로 존재하게 되면 CTE 측정방향에 존재하는 섬유의 접촉 면적이 작아 섬유와 수지간의 전단결합력으로 인한 복합재의 변형을 저지하는 효과가 작아 더 높은 CTE를 갖는 것을 확인할 수 있었다.

사출 성형을 통한 탄소 섬유의 배향에 따른 충격강도 및 열팽창 거동의 변화를 명확하게 규명하였는데, 이는 최적의 기계적, 열적 특성 확보를 위한 섬유 배향을 유도할 수 있는 사출성형 공정조건 최적화에 활용할 수 있을 것으로 기대된다. 기본적으로 주입 압력과 사출속도가 수지 유동을 결정하는 가장 중요한 공정 조건이며 이의 조절을 통해 섬유 배향을 조절할 수 있다. 특히 수지 주입 게이트 부분에서는 시편 길이 방향과 수직인 방향으로의 수지 유동이 강하게 나타나는 등 유동장이 복잡하여 섬유의 배향성이 감소하는 경향을 보이기 때문에 일관된 섬유의 배향을 유도하기 위해서는 수지주입게이트의 위치를 최적화하는 등의 연구가 필요하다.

후 기

본 연구는 산업통상자원부 탄소밸리 구축사업과 한국 기계연구원 부설 재료연구소의 일반 사업의 지원을 받아 수행되었습니다.

참고문헌

- Karsli, N.G., and Aytac, A., "Tensile and Thermomechanical Properties of Short Carbon Fiber Reinforced Polyamide6 Composites," *Composites Part B: Engineering*, Vol. 51, 2013, pp. 270-275.
- Xu, Y., and Hoa, S.V., "Mechanical Properties of Carbon Fiber Reinforced Epoxy/Clay Nanocomposites," *Composites Science and Technology*, Vol. 68, 2008, pp. 854-861.
- Van den Oever, M., and Peijs, T., "Continuous-Glass-Fibre-

- Reinforced Polypropylene Composites II. Influence of Maleic Anhydride Modified Polypropylene on Fatigue Behaviour,” *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, Vol. 29, issue 3, 1998, pp. 227-239.
4. Boli, Y., Zhang, X., Bai, S., and Wang, J.J., “Effect of PPO-g-MA on Structures and Properties of PPO/PA6/Short Glass Fiber Composites,” *Journal of Polymer Science Part B: Polymer Physics*, Vol. 47, 2009, pp. 2188-2197.
 5. Hassan, A., Yahya, R., Yahaya, A.H., and Tahir, A.R.M., “Tensile, Impact and Fiber Length Properties of Injection-Molded Short and Long Glass Fiber-Reinforced Polyamide 6,6 Composites,” *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, Vol. 23, No. 9, 2004, pp. 969-986.
 6. Tjong, S.C., Xu, S.A., and Mai, Y.W., “Impact Fracture Toughness of Short Glass Fiber-Reinforced Polyamide6,6 Hybrid Composites Containing Elastomer Particles Using Essential Work of Fracture Concept,” *Materials Science and Engineering*, A347, 2003, pp. 338-345.
 7. Rezaei, F., Yunus, R., Ibrahim, N.A., and Mahdi, E.S., “Development of Short-Carbon-Fiber-Reinforced Polypropylene Composite for Car Bonnet,” *Polymer-Plastics Technology and Engineering*, Vol. 47, 2008, pp. 351-357.
 8. Mlekusch, B., “Thermoelastic Properties of Short-Fibre-Reinforced Thermoplastics,” *Composites Science and Technology*, Vol. 59, 1999, pp. 911-923.
 9. Kim, J.W., and Lee, D.G., “Measurement of Fiber Orientation Angle in FRP by Intensity Method,” *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 201, 2008, pp. 755-760.
 10. Gregorio, M., V. Garcia, P. Wapperom, Donald G. Baird, Alex O. Aning, and V. Kunc, “Unambiguous Orientation in Short Fiber Composites over Small Sampling Area in a Center-Gated Disk,” *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, Vol. 43, 2012, pp. 104-113.
 11. Blanc, R., Germain, Ch., Da costa, J.P., and Cataldi, M., “Fiber Orientation Measurements in Composite Materials,” *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, Vol. 37, 2006, pp. 197-206.
 12. Eberhardt, C., and Clarke, A., “Fibre-Orientation Measurements in Short- Glass- Fibre Composites. Patr I: Automated, High-Angular-Resolution Measurement by Confocal Microscopy,” *Composites Science and Technology*, Vol. 61, 2001, pp. 1389-1400.
 13. Eberhardt, C., Clarke, A., Vincent, M., Giroud, T., and Flouret, S., “Fibre-Orientation Measurements in Short-Glass-Fibre Composites II: a Quantitative Error Estimate of the 2D Image Analysis,” *Composites Science and Technology*, Vol. 61, 2001, pp. 1961-1974.
 14. Fu, S.-Y., and Lauke, B., “Effects of fiber Length and Fiber Orientation Distributions on the Tensile Strength of Short-Fiber-Reinforced Polymers,” *Composites Science and Technology*, Vol. 56, 1996, pp. 1179-1190.
 15. Tezvergil, A., Lassila, L.V.J., and Pekka K. Vallittu, “The Effect of Fiber Orientation on the Thermal Expansion Coefficients of Fiber-Reinforced Composites,” *Dental Materials*, Vol. 19, 2003, pp. 471-477.
 16. Berrasconi, A., Davoli, P., Basile, A., and Filippi, A., “Effect of Fibre Orientation on the Fatigue Behaviour of a Short Glass Fibre Reinforced Polyamide-6,” *International Journal of Fatigue*, vol. 29, 2007, pp. 199-208.
 17. Yun, S., and Lauke, B., “The Elastic Modulus of Misaligned Short-Fiber-Reinforced Polymers,” *Composites Science and Technology*, Vol. 58, 1998, pp. 389-400.
 18. Rasheva, Z., Zhang, G., and Burkhart, Th., “A Colletion Between the Tribological and Mechanical Properties of Short Carbon Fibers Reinforced PEEK Materials With Different Fiber Orientations,” *Tribology International*, Vol. 43, 2010, pp. 1430-1437.
 19. Tungjitpornkull, S., and Sombatsompop, N., “Processing Technique and Fiber Orientation Angle affecting the Mechanical Properties of E-Glass Fiber Reinforced Wood/PVC Composites,” *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 209, 2009, pp. 3079-3088.
 20. Lusti, H.R., Hine, P.J., and Andrei A. Gusev, “Direct Numerical Predictions for the Elastic and Thermoelastic Properties of Short Fibre Composites,” *Composites Science and Technology*, Vol. 62, 2002, pp. 1927-1934.
 21. Won, H. J., “A Study on the Effects of Interfacial Property and Fiber Orientation on Impact Strength and Thermal Expansion Behavior of Pitch Carbon Fiber Reinforced PA6/PPO Composites,” Master Thesis, University of Science and Technology, 2014.