

論文

복합재료 groove의 성형 특성 및 강도에 관한 연구

황병선* · 박승범* · 김진우* · 육종일** · 박인서** · 송경현***

A Study on Processability and Strength of Composite Grooves

B. S. Hwang*, S. B. Park*, J. W. Kim*, J. I. Yuk**, I. S. Park** and K. H. Song***

ABSTRACT

A study on processability and strength of composite screws and grooves was conducted. Since the local failure from the contact with metal parts subjected to loads is possible the strength of screw or groove made by composite materials is important in service. To improve the strength of grooves the fiber reinforcements should be evenly placed. Five materials were used to mold the specimens by compression molding method. Specimens for mechanical properties and block specimens for groove evaluation were fabricated. Observation of cross section of molded and failed groove, measurements of groove strength and mechanical properties were performed. The specimens made of unidirectional fiber reinforced prepreg showed higher mechanical and groove strength than those of short fiber BMC(Bulk Molding Compound). The processability of groove was shown by UD prepreg specimens stacked with radial direction and BMC materials.

초 록

복합재료 나사(screw) 혹은 그루우브(groove)의 제작시 발생하는 제품의 성형성과 강도에 관한 연구가 수행되었다. 금속 부품과 접촉하여 하중을 받는 상태로 사용될 때 국부적으로 파괴가 발생할 수 있기 때문에 보강섬유가 나사나 그루우브 부위에 고르게 분포될 수 있도록 다섯 가지의 재료를 적용하여 실험하였다. 압축성형법을 사용하여 기계적 특성시험편과 그루우브(나사) 진단시험편을 제작하였고 제작후 단면의 관찰, 그루우브(나사) 강도의 측정, 기계적 기본 물성의 측정, 파괴단면의 관찰 등을 통하여 결과를 비교하였다. 사용된 재료 중에서 단방향 연속 섬유보강 프리프레그를 사용하였을 때가 단섬유 재료보다 높은 강도를 나타내었다. 성형성 면에서는 원주 방향으로 연속섬유 프리프레그를 적층한 것과 단섬유 BMC(Bulk Molding Compound)가 우수한 성형성을 보여 주었다.

1. 서 론

복합재료의 물성이 향상됨에 따라서 적용분야가 매우 넓어져 기어(gear)[1], 나사산(screw thread)이나

나사꼴(root) 혹은 직선상의 그루우브(groove)를 지닌 복합재료 부품[2]의 사용이 증가하게 되었다. 복합재료를 이용한 기계 부품에서 가장 문제점으로 지적되고 있는 것 중의 한가지가 집중 하중 하에서의 국부 취약

* 한국기계연구원 복합재료그룹

** 국방과학연구소

*** 배재대학교 의류학부

성이다. 이것은 상대적으로 낮은 기지재료의 기계적 물성과 보강섬유와의 완전하지 못한 결합이 한 원인이다. 또한 열경화성 수지의 인성(toughness)의 부족도 원인이 될 수 있다. 보강 섬유를 배열하여 굴곡 반경이 큰 부품 형상을 제조하는데는 큰 문제점이 없으나 작은 groove형태의 부분의 제작은 섬유를 배열하는데 어려움이 있기 때문에 수지만으로 형성될 가능성이 있다. 복합재료의 하중을 주로 지지하는 부분은 섬유이기 때문에 하중 방향으로의 적절한 섬유의 배열은 무엇보다 중요하다.

나사 및 groove형상을 기계적 가공으로 제작하는 방법이 있을 수 있으나 경량화의 장점을 기계가공 비용으로 상쇄해버리면 복합재료의 장점을 효과적으로 이용하지 못하게 된다. 복합재료의 중요한 장점 중의 한가지가 급형에 의한 대량 성형으로 생산성을 향상시키는 것인데 금속재료에 해당하는 기계적 특성을 유지하면서 생산성을 높이면 기계 부품에의 경제적인 응용면에서 매우 유리하다.

복합재료를 구조물 혹은 기계적 부품으로 응용하고자 하는 설계 및 제작기술자들은 절단 및 구멍내기, 접착, 기계적 접합에 대한 신뢰성이 부족하다고 느끼고 있다. 또한 기계적 가공 부분의 신뢰성 문제도 완전 해결되지 않고 있는 부분이다. 본 연구도 관련 기술자에게 급격한 형상 변화를 지닌 구조물을 복합재료로 성형할 때 발생하는 정성적 혹은 정량적인 기술자료를 제공하기 위하여 수행되었다.

본 연구에서는 나사산이나 groove같은 급격한 굴곡을 지닌 복합재료 부품의 성형시 섬유가닥 혹은 직조물의 단위 구조(unit cell)의 굴곡강성(stiffness) 때문에 발생하는 성형성과 그성형품의 부분 강도에 대한 평가를 수행하고자 하였다. 성형성이 우수하면서 절단 강도가 가장 좋은 재료의 선정, 즉 재료 자체 및 보강재의 배열 방법 등의 결정을 목표로 하였다.

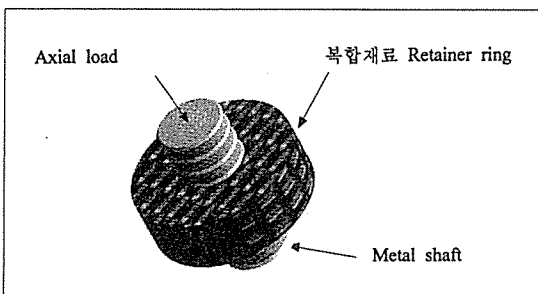


Fig. 1. Composite retainer ring with screw shaft

2. Groove 전단해석

복합재료 리테이너 링(retainer ring)이 기계 부품과 함께 작동하는 과정에서 축 방향으로 하중이 존재할 경우 Fig. 1과 같은 복합재료 부품이 축하중을 견디기 위해서는 실제 힘을 전달하는 나사 혹은 groove 부분의 충분한 강도가 요구된다. 금속 shaft와 복합재료 groove가 접촉되는 부분에서의 응력 상태를 정확히 이해하기 위하여 나사형 groove 부분을 중심으로 하중 작용시 발생하는 응력분포를 유한요소해석으로 계산한다. 해석에 사용한 모델의 형상은 플라스틱재의 전단 강도 시험[3]을 응용한 F. McLaughlin[2]의 정적 전단 시험과 내면에 groove가 존재하는 원통형상이다. 논문의 특정 부품인 기계축이 복합재료 부품에 전달하는 힘은 groove의 축방향으로 작용하는데, 해석시 작용하중은 계산의 편의상 7° 경사면에 수직 압력으로 하였다. 그리고 모델의 기하학적 형상과 작용하는 압력은 축에 대하여 대칭이므로 축대칭 솔리드 요소(axisymmetric solid element)를 사용하였다.

3. 실험

3.1 재료

본 연구에서 보강재는 유리섬유와 탄소섬유의 두 종류로 국한하였고 그 형태는 장섬유와 단섬유로 나누어서 고려하였다. 기지재료(matrix)로는 에폭시와 폴리에스터 수지가 사용되었다. 제품의 형상과 관련하여 압축 성형이 선택되었기 때문에 prepreg형태의 재료로 사용되었다. 사용된 재료는 Table 1과 같다.

3.2 시편

본 연구에서는 성형성과 특정 부위에 대한 응용시의

Table 1. Materials used for groove experiment

Materials	Fibers	Matrices
Carbon UD	carbon, 3K	Ep
BMC	carbon, 6mm	UP
carbon		
BMC	glass, 6mm	UP
glass		
Carbon chopped	carbon, 6mm	Ep

*UD : Unidirectional prepreg, Ep: Epoxy, UP: Unsaturated polyester, BMC: Bulk molding compound, 3K: 3000 tow

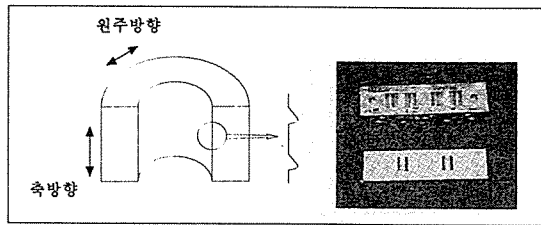


Fig. 2. Specimens configuration and mold

문제점을 알기 위하여 기계적 특성 시편과 groove시편을 제작하였다. 기계적 특성 시편(인장 및 전단시편)은 관련 규정[4,5,6]에 제시된 평판시편으로 측정하였으며, 실제 부품의 강도 평가를 위하여 내부에 groove를 가진 반원통형의 실린더를 제작하여 시험 치구와 조립하여 groove의 강도를 시험하였다. 시편 제작에 사용된 금형은 상형과 하형으로 제작하여 유압프레스를 이용하여 한번에 두 개의 반원통형 시편을 제작할 수 있게 했다.

Groove시편의 형상은 Fig. 2와 같고 본 연구에서 사용된 용어의 정의인 원주 방향과 축방향을 도시하였다. 시편형상은 참고문헌[6]을 기준으로 결정하였다. groove의 깊이와 폭은 약 2.35mm와 1.05mm이다. 실린더의 직경은 59mm, 내경은 23mm, 높이는 30mm 이다. 2절에서 준비된 재료를 금형에 넣고 유압프레스를 이용하여 성형하였다. 시편의 두께가 18.5mm에 이르기 때문에 ply당 두께가 약 0.25mm인 prepreg를 약 90매 정도 적층하였다. 단섬유 재료는 60~65g을 투입하였다. 사용된 모든 재료의 성형압력은 1.83MPa, 성형온도 150℃, 성형시간은 BMC는 30분, prepreg는 1시간이었다.

3.3 시편성형

groove의 수직 방향으로 하중을 받는 부품을 고려할 때 섬유 방향에 따라 groove의 성형 완성도가 달라질 수 있다. groove의 형상이 완만한 곡선을 이루는 부분보다는 각도가 상당히 높기 때문에 섬유가 이 각도에서 제대로 성형될 것인가는 상당히 의문시되었다. 따라서 선택된 재료를 배열 방향을 달리함으로써 원하는 형상의 나사부위가 형성되도록 재료의 형상에 따라서 UD prepreg와 단섬유 재료로 나누어서 성형하였다.

3.3.1. UD prepreg 시편 성형

groove의 형상 형성과 강도에 영향을 미치는 섬유

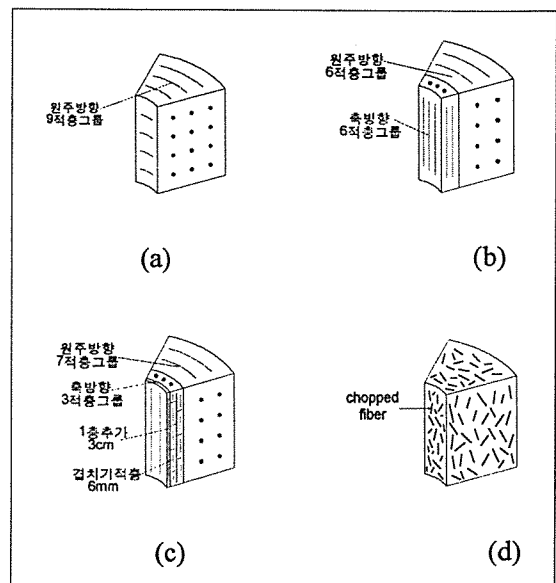


Fig. 3. Fiber alignment of UD prepreg (a) hoop (b) axial(continuous), (c) axial(short, 6mm), (d) random (BMC and chopped fiber)

의 배열을 비교하기 위하여 Fig. 3과 같이 섬유를 배열하여 성형하였다. Fig. 3(a)는 prepreg를 원주방향으로 배열하였고, Fig. 3(b)의 경우 substrate부분은 원주방향으로 한 후 groove의 강도를 향상시키기 위하여 접착 예상 부분만 축방향으로 섬유를 배열하였다. Fig. 3(c)는 prepreg를 부분적으로 절단하여 축방향으로 배열시켜 성형하였다. 축방향으로 하중을 받았을 때 groove는 끝부분에서 MODE I 형의 균열상태가 되어 이것을 방지할 필요성에 의한 것이다.

3.3.2 Chopped fiber 및 BMC시편 성형

방향성 재료인 UD prepreg와는 달리 Fig. 3(d)와 같이 단섬유인 chopped fiber를 성형 금형에 넣고 성형하였다. Table 1에서 제시된 carbon 및 glass BMC 및 carbon chopped가 이에 해당된다. 여러번의 시도를 통하여 금형에 적절한 양의 재료를 투입한 후 성형 조건에 따라 제작한다. 섬유가 혼재되어 방향성이 없이 골고루 분포하게 된다.

3.4 groove 강도실험

groove의 강도시험을 위한 치구의 개략도를 Fig. 4에 나타내었다. 시험은 Instron 4206에서 행하며 crosshead를 0.5mm/min.의 속도로 하강시켰다. 치구

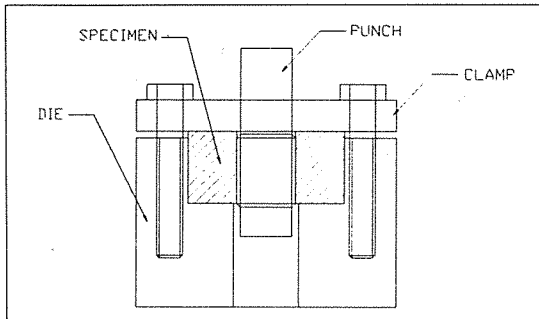


Fig. 4. Schematics of test fixtures

의 중앙부분에 있는 원형의 공간에 성형된 시편을 장착하고 시편의 내면에 가공되어있는 groove와 동일 톱나사(buttruss thread)를 가진 펀치를 조립한다. 이때 하중에 의하여 시편편이 이탈되는 것을 방지하기 위하여 시편 윗면은 그림과 같이 클램프(clamp)를 이용하여 고정시킨다. crosshead의 하강에 의하여 펀치와 접촉하고 있는 시편의 groove 부분은 전단하중을 받게 된다. groove 부분이 파손되는 전단하중을 이용하여 나사의 유효면적으로 나누어 groove전단강도 값을 구하였다. 강도시험에 사용된 시편의 수량은 각 재료별로 3개씩이었다.

4. 결과 및 고찰

4.1 Groove 전단해석 결과

Groove 성형품 가운데 나사부분의 형상이 우수하게 성형되고 groove 강도가 크게 나타난 성형에 대하여 유한요소해석을 행하여 그 결과를 나타내었다. 탄소/에폭시 일방향 프리프레그의 섬유를 groove의 원주방향으로 배열한 성형품에 대하여 강도시험결과로 나타난 강도값의 80%에 해당되는 하중을 나사면에 가하였다. 이때 급격한 치수의 변화가 존재하는 나사의 선단부분을 중심으로 발생하는 응력의 분포를 나타내었다. 발생하는 응력성분들은 모두 다른 부분에 비해서 나사 선단부분에서 국부적인 응력 집중이 발생하였으며, 이러한 높은 응력에 의하여 파괴가 발생하게 된다.

작용압력에 의하여 발생하는 응력성분 가운데 반경방향과 축방향 응력의 분포를 Fig. 5와 Fig. 6에 각각 나타내었다. 이 응력성분들은 복합재의 섬유방향과 수직인 횡방향 수직응력성분(transverse normal stress)을 나타낸다.

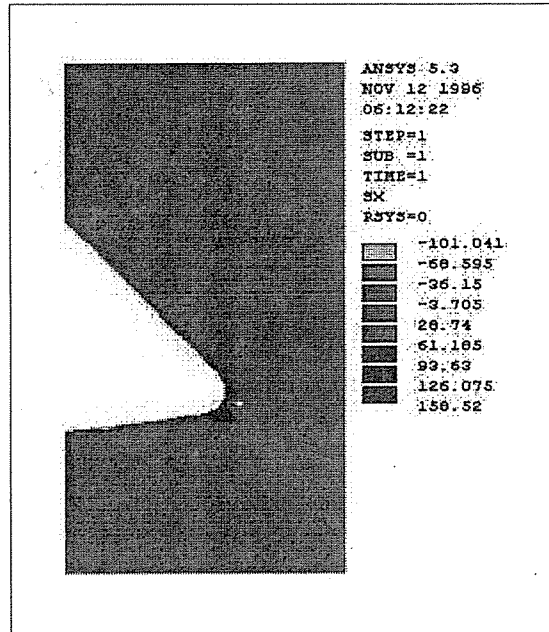


Fig. 5. Distribution of radial stress

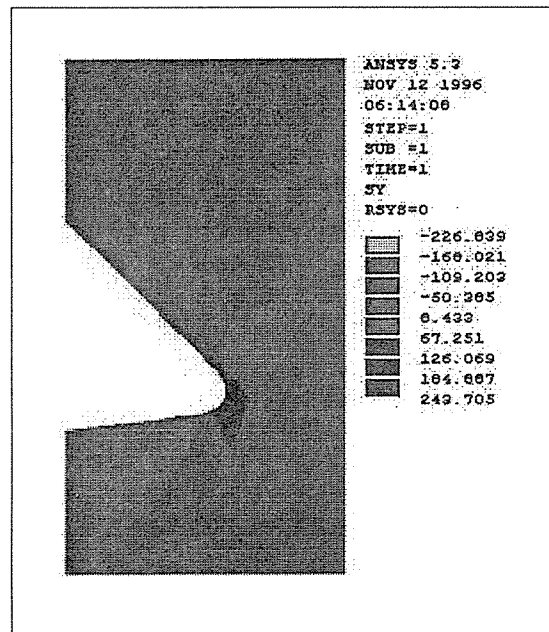


Fig. 6. Distribution of axial stress

작용 하중이 나사의 7° 경사면에 작용하기 때문에 반경방향에 비해서 축방향으로의 하중이 상대적으로 매우 크게 작용한다. 따라서 발생하는 응력의 크기도 원

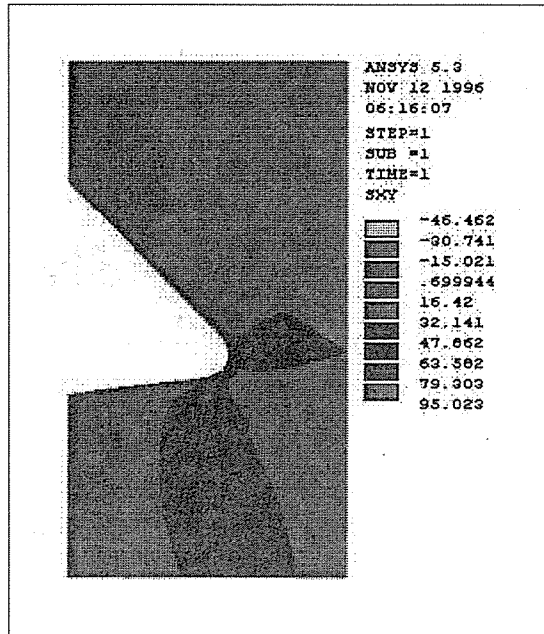


Fig. 7. Distribution of shear stress

주방향보다는 축방향의 응력이 매우 크게 나타났다. 따라서 주로 축방향의 응력에 기인하는 나사의 선단에서 홈이 벌어지는 파괴모드 의 파괴가 이루어지게 된다.

그리고 전단응력의 분포를 Fig. 7에 나타내었다. 이 응력성분은 복합재의 횡방향 전단응력(transverse shear stress)을 나타낸다. 나사면에서 축방향으로 작용하는 하중에 의하여 나사의 선단과 선단을 가로질러 나사를 전단하는 파괴가 이루어지게 된다.

따라서 나사의 선단에서 국부적으로 크게 발생하는 이러한 응력성분에 대한 보강을 위하여 매우 큰 강도를 가지는 섬유방향을 각 응력방향에 대하여 배열함으로써 큰 강도를 지니는 부품으로 성형할 수 있다. 즉, 나사 선단의 측면부분에서는 수직응력인 축방향 응력이 크게 나타나므로 축방향으로 섬유를 배열하고, 나사 선단의 하부에는 전단응력이 크게 나타나므로 반경방향으로 섬유를 배열하는 것이 바람직하다. 그러나 치수의 변화가 급격한 나사 선단에서의 섬유배열과 성형성을 고려할 때, 섬유의 배열을 적절히 분포시킴으로써 보다 우수한 groove 강도를 가지는 성형품을 얻을 수 있다.

4.2 재료시험 결과

Table 2에 나타난 바와 같이 재료의 기계적 물성 결

Table 2. Mechanical properties of materials

Materials		Tensile Str. [MPa]	Shear Str. [MPa]	Poisson's ratio	Fiber Vol. [%]
Carbon UD	0°	1730	95.8	0.32	64
	90°	50.1	5.9		
BMC Carbon		32.3	51.8	0.37	30 wt%
BMC Glass		24.3	25.7	—	10 wt%
Carbon chopped		113	92.8	—	50

과를 비교할 때 일반적으로 예상하는 대로 연속섬유의 섬유 방향으로의 물성은 단섬유보다 매우 높아 이 실험에서 사용된 재료의 인장강도는 1730MPa 정도이었다. 반면 단섬유 시편에서는 24.3 ~ 113MPa 값을 보였다. 단섬유의 물성치는 문헌상[7]의 수치보다 낮게 나타났다. 장섬유의 경우는 문헌상의 재료와 큰 차이는 없지만 단섬유 복합재료의 경우 국내재료의 특성이 낮게 나타나고 있다.

이것은 단섬유에서는 수지자체의 강도, 인성, 섬유와의 계면에서의 접착력 등이 강도에 영향을 많이 미치는데 본 연구의 하중 특성상 인장강도보다는 전단강도가 중요한 요인이다. 즉 하중이 groove의 나사산에 직각으로 작용하기 때문에 순수한 전단응력 상태가 된다.

전단강도는 장섬유의 0° 방향과 단섬유의 carbon chopped가 비슷한 값을 나타내고 있다. 전단강도값은 Iosipescu법[6]에 의하여 얻어졌는데 장섬유 자체의 전단에 의한 파괴보다는 섬유를 따라 기지재료의 크랙이 발생하는 하중이므로 낮은 파괴하중을 얻을 수 밖에 없었다. 0° 방향시편의 실험치는 단섬유의 전단강도와 비슷하게 나타나고 있다. 상대적으로 90° 방향의 전단강도는 매우 낮아서 단섬유의 그것보다 오히려 낮다. 이 값은 섬유와 수지간의 완벽한 접착이 이루어지지 않는 한 neat resin의 전단강도 수치보다 낮을 수 밖에 없다. 이 경우 하중방향이 섬유보강 효과를 전혀 받을 수 없는 쪽으로 향하기 때문이다. 이 낮은 전단특성은 제품의 성형성과 내하중성을 고려할 때 제품의 섬유 방향의 배열에 어려움을 가져다 준다.

BMC재료의 경우에도 문헌상에 나타난 수치보다 매우 낮기 때문에 재료자체의 물성을 향상시키는 노력이 필요하다. 세 가지 단섬유 재료의 강도비교를 보면

carbon chopped가 BMC보다 월등히 우수하다. 이것은 기본적으로 보강섬유의 양이 매우 많기 때문이다. 나머지 두 가지 BMC는 보강섬유이외에 충전제가 상당량 함유되어 있다. 두 종류의 수지의 영향은 평가하기 어렵고 본 연구에서는 확보 가능한 재료의 선정에 주안점이 일차적으로 있기 때문에 더 이상의 재료 자체의 물성 향상을 위한 시험 및 평가는 실시하지 않았다.

4.3 성형성

앞에서 언급된 재료별 성형상태를 단면 관찰을 통하여 Fig. 8(a)~(f)로 나타내었다. 시편형상의 원주방향으로 prepreg를 적층하였을 경우에는 섬유의 급격한 변형이 필요 없기 때문에 자연스럽게 groove 부분을 평행하게 채우게 된다. Fig. 8(e)에서 보는 것과 같이 외부 성형 압력에 의하여 섬유 굽기가 약 7-10 μ m인 미세한 섬유가 나사형상의 끝 부위까지 골고루 분포되는 데는 큰 문제점이 없다.

prepreg의 섬유 방향을 축방향으로 금형에 적층하여 성형한 시편은 Fig. 8(f)와 같이 톱니나사(buttress thread)의 형상이 양호한 경우도 있으나 나사의 모서리부분은 구경된 형상으로 성형되지 않았다. 이러한 불완전한 성형을 보이는 부분은 사진과 같이 섬유가 분포되지 못하는 모서리 부분의 형상은 단지 에폭시만으로 채워지거나 빈 공간으로 남게된다. 섬유의 배열 분포가 이렇게 되는 이유는 축방향으로 적층되는 비교적 길이가 긴 장섬유가 가압력에 의하여 섬유의 횡 방향으로 굽힘 변형을 하여 나사의 급격한 형상대로 변형이 이루어져야 하는데 가압시 나사의 뿌리부분 양단에서 가압력에 의하여 섬유가 당겨지기 때문에 섬유의 횡방향으로의 굽힘 변형이 구속되어 완전한 나사의 형상대로 섬유가 배열되지 못하는 것으로 판단된다. 다른 측면에서 판단해보면 약 18mm의 시편 두께에서 2.3mm의 groove깊이를 형성하기 위해서 충분한 압력이 가해지지 않기 때문이었다.

위에서 섬유방향을 groove부분에 축방향으로 적층하였을 때 발생하는 현상을 개선하기 위하여, Fig. 3(c)와 같이 톱니나사가 존재하는 내면에는 비교적 섬유의 길이가 짧은 6mm의 단섬유 적층그룹들을 서로 맞대어 적층한 후에 성형하였다. 이와 같은 방법으로 적층한 시편은 톱니나사의 형상은 비교적 우수하게 성형되었으나, 섬유의 배열 분포가 골고루 이루어지지 않고 6mm의 적층그룹 들이 개별적으로 분포되었다. 그

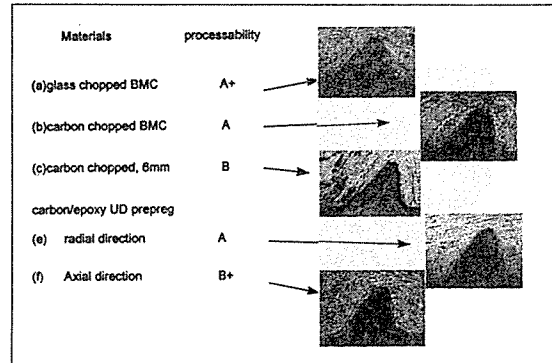


Fig. 8. Fabricated grooves using five materials and their polished cross sections

리고 길이 6mm의 섬유가 나사의 뿌리를 중심으로 굽힘변형을 하여 나사의 형상대로 배열되는데, 이때 섬유가 파단되지 않고 변형할 수 있는 곡률의 한계 때문에 나사의 모서리 부분은 섬유가 배열되지 않고 수지만 채워졌다.

Fig. 8(a), (b), (c)에서 나타난 것같이 단섬유 재료는 섬유의 길이가 6mm이고 방향성이 없기 때문에 groove형상을 따라서 잘 분포되었다. 특히 BMC재료는 보강섬유이외에 충전제가 섞여 있고 섬유의 함유량이 낮기 때문에 성형표면이 아주 우수하였다. carbon chopped재료는 장섬유 prepreg보다 groove의 성형결과가 아주 우수하고 섬유 분포도 우수하였다. 하지만 기포함량이 다른 재료에 비하여 많았다.

본 연구에서 추구하는 성형성이 우수함을 판단하는 기준은 섬유의 분포가 고르고, 기포가 적으며, 금형이 형상에 따라 정확하게 성형이 되는지 여부이었다. 이 기준에 따라 판단할 때 groove형상의 성형성이 우수한 것은 섬유의 배열을 원주방향으로 한 재료와 방향성이 없는 단섬유 재료였다.

4.4 groove강도

재료의 성형성 면에서는 여섯 가지의 재료가 비교되었으나 groove의 강도비교에서는 대표적인 다섯 가지 재료만 수행하였다. UD chopped(6mm), Fig. 3(c)가 제외된 것은 섬유가 골고루 산재되지 않고 모여져서 기지재료와 많이 분리되었기 때문이었다. 그 중에서 탄소섬유와 유리섬유 groove시편의 전단 시험시 crosshead에 작용하는 하중과 변위를 Fig. 9에 나타내었다. 축방향으로 탄소섬유를 배열하였을 때 glass BMC 보다 약 64%정도 우수하였다.

Table 3. groove strength of materials

Materials	Shear strength [MPa]	Remarks
BMC glass	16.2	UP, 6mm
BMC carbon	33.9	UP, 6mm
Carbon chopped	30.6	Ep, 6mm
UD Carbon, hoop	42.6	Ep, Continuous
UD carbon, axial	44.2	Ep, Continuous

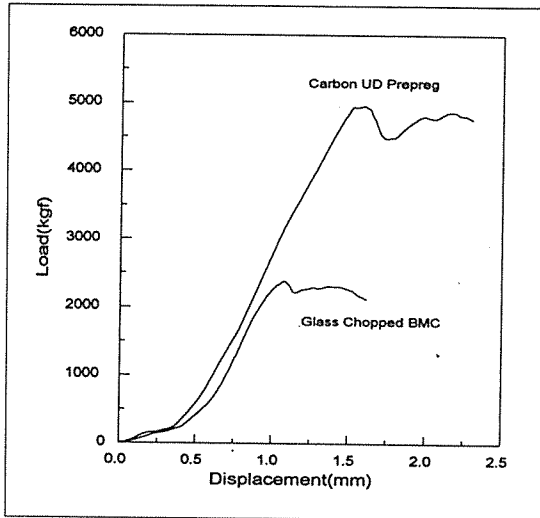


Fig. 9 Load-displacement curves of groove test

시편의 나사 부위에 작용하는 하중은 변위가 증가함에 따라 거의 선형적으로 증가하며, 하중이 최대값에 도달한 후, 변형이 계속됨에 따라 거의 일정한 값을 유지한다. 이때 하중이 최대가 되는 시점이 시편의 틈이나 나사가 전단에 의하여 파손되기 시작하는 순간이며, 이후 나사부위의 전단이 계속 진행된다. 이때 나사의 초기 전단이 발생하는 하중의 최대값을 이용하여 groove의 전단 강도 값을 구하였으며, 각 시험편에 대한 결과를 Table 3에 나타내었다.

나사의 모양이 가장 우수하게 형성되는 BMC glass의 전단 강도 값은 다른 재료에 비하여 아주 낮게 나타났다. 이는 앞에서도 언급한 바와 같이 보강섬유량이 가장 적기 때문이다. 반면에 carbon chopped BMC는 나사부위의 성형도 우수하였고 비교적 양호한 전단강도 값을 얻었다.

일 방향 섬유배열을 가지는 UD prepreg의 원주방향 배열 시험편은 나사부위의 성형도 우수하였으며, 그 전단강도 값도 다른 시험편에 비하여 아주 크게 나타났

다. 그리고 섬유방향을 축방향으로 배열한 시험편은 나사 부위의 성형이 완전히 이루어지지 않았지만 다른 시험편에 비하여 아주 크게 나타날 것이라는 예상과 달리 전단강도 값이 그다지 높지 않았다.

Table 3에서 나타난 바와 같이 장섬유 groove가 단섬유보다는 현저하게 전단 강도가 높게 나타났다. 이는 예측 가능한 결과이다. 단지 탄소섬유 장섬유의 경우 원주방향과 축방향으로 배열된 시편의 시험결과는 큰 차이를 보이지 않고 있다. 이는 실험 방법상 나타나는 완벽하지 않은 punch와 groove간의 접촉으로 발생한 미끄럼현상 때문이었다. 축방향으로 배열된 시편에서 섬유의 파단강도에 이르기 전에 일부 기지재료의 파손과 함께 미끄럼이 일어났다.

파괴 형상의 관찰은 groove가 어떻게 섬유에 의하여 보강되어야 하는지를 보여준다. 준등방성 재료(Fig. 10(a), (b))의 파괴 양상은 응력해석에서 나타나는 응력상태를 잘 반영하고 있다. Groove의 뿌리 부위에서 축방향의 하중 및 수직응력에 의하여 균열이 발생하여 진행되었음을 보여주고 있다.

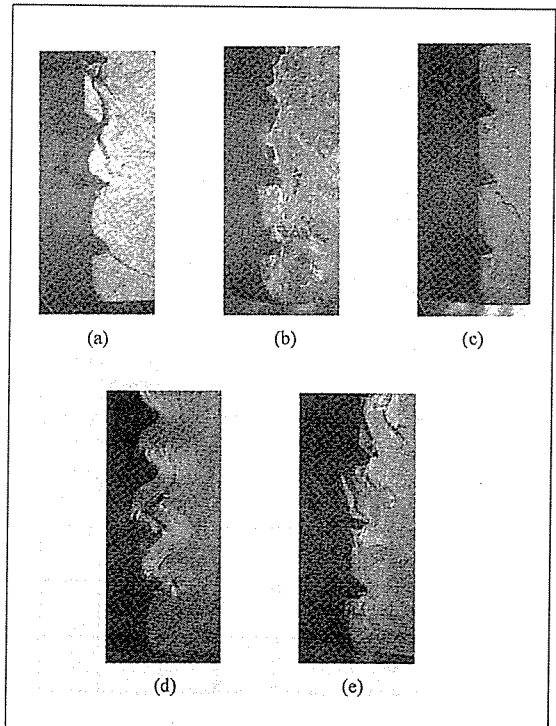


Fig. 10. Failure mode of grooves made of (a) BMC glass (b) Chopped carbon (c) UD radial (d) UD axial (e) BMC carbon

Chopped fiber 프리프레그를 이용한 시편(Fig. 10(c))은 표면의 기포 때문에 관찰이 어렵지만 준등방성 재료와 같은 파괴 현상이 나타났다. 직조섬유를 보강재로 사용한 시편(Fig. 10(d))의 groove 부위는 수직층으로 형성되어 축방향으로 파괴된 것을 볼 수 있다. Fig. 10(e)는 섬유의 배열이 원주방향으로 되어있어 축방향에서 볼 때 수직이 주된 하중지지 역할을 하여 준등방성 재료와 같은 양상을 보였다. 섬유가 축방향으로 배열된 시편(Fig. 10(e))에서는 축방향 및 반경방향의 수직응력과 전단 응력이 섬유의 파괴강도보다 낮기 때문에 섬유간의 interface에서의 파괴현상이 나타났다.

Groove의 강도와 재료의 몇가지 기계적 특성과의 비교를 Fig. 11.에서 도표로 비교하였다. 기계적 특성의 증가와 groove강도의 증가는 비례관계가 있음을 알 수 있다. 특히 압축 강도와 groove강도의 경우 뚜렷한 경향이 있다. 본 연구에 사용된 시편의 하중조건에서는 Fig. 1에서 보는 바와 같이 groove에 압축하중이 직접 가해지므로 재료의 압축강도가 매우 중요하다.

UD(hoop) carbon재료의 경우는 앞절에서 언급한 바와 같이 섬유와 수지사이의 이상적인 접착력이 존재하지 않고 섬유의 보강효과가 미치지 않아서 매우 낮다. 하지만 groove의 뿌리부위에서는 순수 전단 응력 상태만 존재하지 않기 때문에 낮은 전단력을 가진 재료임에도 불구하고 압축강도에 의하여 하중 분담이 이루어지는 것으로 판단된다.

이상의 재료 및 적용 변화에 따른 각 전단강도 즉 groove강도 값을 나사부위의 성형성과 같이 종합하여

Table 4에 비교하였다.

성형성 및 groove강도 두 가지면에서 볼 때 UD 원주방향과 chopped carbon재료가 우수한 결과를 나타내고 있다. BMC재료는 성형성은 우수하지만 전단강도가 예상대로 낮게 나타나고 있다. 축방향 섬유배열시편은 모서리 부분에서의 수직 과잉현상이 해결되면 아주 높은 강도를 가질 것이라 예상된다.

5. 요약 및 결론

기계 부품에 사용되는 groove부위의 압축성형에 대한 연구가 수행되었다. 열경화성 수지 기지재료와 탄소 섬유 및 유리섬유 보강재를 원재료로한 복합재료가 성형재료로 사용되었다. 연속섬유와 단섬유를 groove의 방향을 고려하여 배열하여 성형하였다.

(1) Retainer ring과 같은 금속축과 하중을 공유하는 복합재료의 부품의 접촉면에서의 응력 해석 결과 나사 선단의 측면 부분에서는 수직 응력이 크게 나타나므로 축방향으로 섬유를 배열하고, 나사 선단의 하부에는 전단응력이 크게 나타나므로 반경 방향으로 섬유를 배열해야 하는 것으로 나타났다. 파괴 형상의 관찰은 groove가 응력해석의 결과와 유사한 결론을 얻을 수 있었다.

(2) UD prepreg재료를 사용하여 groove의 원주방향을 따라서 섬유를 배열하였을 때 성형결과는 아주 우수하였으나 축방향으로 배열된 섬유는 groove형상을 완전하게 형성하지 못하였다. 이유는 섬유가 groove의 형상을 따라 급격한 변형에 적응하기 전에 수지가 채워지기 때문이며 충분한 압력이 전달되기 어렵기 때문이었다.

Table 4. Comparison of molding results and strength of groove

Materials	Molding results	Strength of groove	강도비% (재료/UD axial)
BMC glass	매우우수	가장낮음	36
BMC carbon	우수	비교적우수	77
carbon chopped	우수	비교적우수	69
UD carbon (hoop)	우수	우수	97
UD carbon (axial)	불량	우수	100

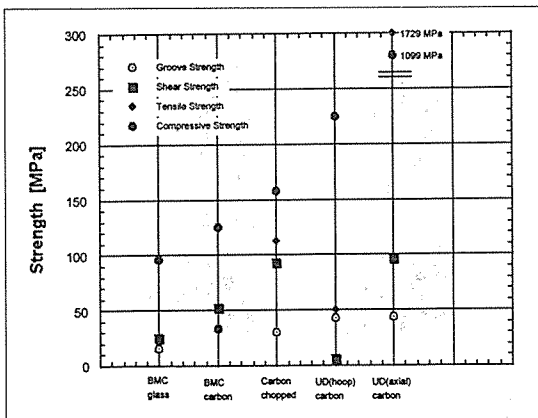


Fig. 11. Comparison of groove strength and materials strength

(3) BMC 및 chopped fiber재료로 성형하였을 때는 성형성이 우수하였다. 강도 측면에서는 단섬유의 경우 BMC carbon 및 carbon chopped재료가 비교적 우수한 전단 특성을 보여주었다.

(4) 성형된 시편의 강도는 섬유를 축방향으로 배열했을 때 가장 높았고 원주방향배열 결과도 상당히 좋았다. 축방향으로 배열된 시편은 groove 부분에 형성된 기지재료의 파손으로 미끌림현상 때문에 예상보다 낮은 수치를 보였다.

(5) 본 응용 부품의 경우 재료 기계적 특성의 증가와 groove강도의 증가는 비례관계가 있으며 압축 강도와 전단강도는 groove강도에 영향을 미치는 것을 알 수 있었다.

참 고 문 헌

1. Hamajima, K. and Matsuda, M., "Polymeric

composites for automotive gears," Proc. 4th Japan International SAMPE Symposium, Sep. 25-28, 1995, pp 1189 -1194.

2. McLaughlin, F. A., "Polymeric composites for sabots-feasibility study," 24th International SAMPE Technical Conference, Oct. 20-22, 1992.

3. "Shear strength of plastics by punch tool", ASTM D732, pp.335-338.

4. "Tensile properties of polymer matrix composite materials," ASTM D 3039, 1995.

5. "Tensile properties of plastics," ASTM D 638, 1986, p 210.

6. "Shear properties of composite materials by the V-notched beam method," ASTM D 5379, 1993.

7. Mallick, P. K. and Newman, S., Composite Materials Technology, Hanser Publisher, New York, 1990.