

스티칭에 의한 유리섬유강화 복합재료의 물성 및 충격거동 변화

박재용 · 강태진 · 육종일
서울대학교 공과대학 섬유공학과

Effect of Stitching on Mechanical and Impact Properties of Glass Fiber Reinforced Composite

Jae Yong Park, Tae Jin Kang and Jong Il Yuk
Department of Textile Eng., College of Eng., Seoul National Univ., Seoul, Korea

초 록 S-2 유리섬유직물과 폴리에스터 수지로 구성된 적층복합재료를 케블라 49 Thread로 1/2 인치, 1인치 2인치 간격으로 스티칭하여 스티칭 간격에 따른 물성과 충격 강도의 변화로부터 최적 스티칭 조건을 구하였으며 또한 스티칭하지 않은 적층복합재료와의 물성차를 비교연구하였다. 인장실험과 3점굽힘실험을 통해 시편의 종류별 기본 물성을 알아보고, 234.7J의 충격에너지를 가해 시편의 파단 현상과 에너지 흡수 능력을 조사하였다. 파단에너지의 약 50% 정도인 110.2J의 충격에너지로 3회 반복실험하여 시편의 손상정도와 충격강도를 비교 검토하였다. 인장실험과 굽힘실험의 결과 1인치 간격으로 스티칭한 시편이 가장 높은 강도를 보였으며, 충격실험에서도 가장 뛰어난 에너지 흡수능력 및 손상에 대한 저항을 보였다. 반복충격 실험의 결과 스티칭하지 않은 시편은 현저한 충격강도의 감소를 보인 반면 스티칭한 시편은 반복충격에도 에너지 흡수능력이 우수하게 유지되었다. C-scanning으로 손상부위를 관찰한 결과 스티칭으로 인해 손상영역의 확산이 억제되어 현저히 감소함을 보여주었다. 스티칭 간격이 너무 조밀한 경우 강도의 향상보다는 스티칭으로 인한 손상이 더 커져서 1/2인치 간격으로 스티칭한 시편의 경우는 인장강력이나 충격에너지 흡수가 스티칭하지 않은 시편에 비해 오히려 감소하는 결과를 나타내었다. 그러나 이러한 감소에도 불구하고 외부충격에 의한 손상영역의 확산은 효과적으로 억제되어 국부적인 손상만이 발생함을 알 수 있었다.

Abstract Mechanical and impact properties of stitched S2 glass fiber reinforced polyester woven laminates composites have been studied. Laminates were stitched using Kevlar 49 thread with 1/2, 1, and 2 inch stitch spacing. Tensile and 3-point bending tests have been performed to evaluate the mechanical properties of stitched and unstitched laminates. Impact tests at applied energy of 234.7J were performed to examine the impact behavior and toughness changes of the specimen. The same specimens were also tested repeatedly at low impact energy level of 110.2J for 3 times to evaluate damage tolerance properties. The tensile and 3-point bending test results showed that one inch spacing specimen had the highest tensile and flexural strength. It also showed the highest energy absorption capability and the best damage tolerance property at the repeated impact test. The half inch spacing specimen showed the lowest tensile strength and energy absorption property at the impact energy level of 234.7J, even though it had the highest frequency of stitching thread.

1. 서 론

섬유강화 복합재료의 사용은 날로 다양해져 새로운 용도의 전개 및 이에 따른 기능성의 부여기술이 활발하게 연구개발되어지고 있다.

종래의 적층복합재료가 가지는 층간분리와 같은 물성의 단점을 보완하여 주기 위하여 섬유 제조 기술 분야에서 개발된 여러가지 선래의 섬유기술이 고기능성 복합재료의 제조에 응용되어지고 있다. 이러한 섬유구조물의 복합재

료 응용은 재래의 적층 또는 필라멘트 와인딩 복합재료가 가지는 통상의 물성외에 섬유 구조물에 의해서 발현되는 구조 성질이 복합재료에 부여되어 기존의 복합재료보다 우수한 물성을 지닌 구조물의 제조가 가능하다. 현재 가장 보편적으로 사용되고 있는 섬유구조물로서는 2축 또는 3축 제직물(Bi-or Tri-Axial Weaving), 위입편포(Weft-Inserted Knitting), 다축경편포(Multi-Axial Warp Knitting), 부직포(Non-Woven), 브레이딩(Braiding), 3차원 제직물(3-D Weaving) 또는 3차원 브레이딩(3-D Braiding)등이 있다¹⁻⁴⁾. 기존의 적층복합재료는 두께방향으로 보강섬유가 존재하지 않기 때문에 두께 방향으로 취약성을 보이며 특히 적층의 층간 보강력이 약하므로 높은 내피로성과 인성 및 내충격성이 요구되어지는 구조물에는 부적당하다. 그러나 3차원 섬유보강 구조물에 의한 복합재료는 층간균열전파를 방지하여 층간분리가 배제됨으로 재래의 적층복합재료보다 구조의 보지성 및 안정성(Damage Tolerance)이 우수하고 또한 피로 수명이 길다. 3차원 섬유보강 복합재료는 3축 보강섬유를 통해서 충격에너지를 구조물 전체에 골고루 분산시켜 주기 때문에 내충격성도 우수하여 최근 첨단 우주항공분야에서 필수 구조재료로써 응용되어 지고 있다.

스티칭을 이용한 복합재료의 구조물은 위에서 언급한 3차원 섬유보강 구조물에 비해서 물성이 뒤지나 제조의 용이성 및 생산성이 높고 보강섬유의 경사도가 작은 잇점이 있다. 또한 종래의 적층복합재료에 비해서 충격 강도가 우수하고 층간 파단저항이 뛰어나기 때문에 여러가지 고기능성 복합재료의 제조공정에 응용되어지고 있다. 외부 충격시 스티칭에 의한 두께 방향의 보강섬유는 구조재를 Out-of-Plane 하중에 잘 견디게 하고 층간 분리에 보다 많은 에너지를 흡수하게 하여 손상영역의 확산을 제한하여 외부 충격후 구조물의 잔여 강력을 크게 유지시켜 준다^{5, 6)}.

일반적으로 복합재료의 층간분리에 관한 성질은 층간분리가 확대됨에 따른 저장에너지의 변화를 관찰함으로써 밝혀질 수 있다. 층간분리는 복합재료내의 탄성에너지가 새로운 층간분리를 유발할 만한 크기에 도달하면 계속해서 성장한다. 이러한 층간분리는 정적 하중뿐

만 아니라 충격 하중에서도 발생하며 특히 충격하중은 층간분리의 가장 중요한 원인이기 때문에 우주항공 및 첨단군사장비에 사용되고 복합재료의 최대 관심사이다. Lee⁷⁾에 의하면 층간분리영역의 크기는 충격에너지의 1/2승에 비례하고 충격후의 잔여 압축강도는 층간분리영역의 크기에 비례한다고 보고되어져 있다. 스티칭 조건이 섬유강화 적층복합재료의 층간분리 저항 능력 및 물성에 미치는 영향을 살펴보면 스티칭에 사용된 실의 종류 및 타입, 지름, 가공조건, 절단강도, 스티칭 패턴, 스티칭 간격, 스티칭 스텝등을 들 수 있다.

스티칭 조건이 적층복합재료의 인성에 미치는 영향을 모우드 I 변형에너지 완화율, 충격후 압축응력 및 충격 손상영역과 관련지어 수학적 모형이 Pelstring⁸⁾에 의해서 제안되었다. 또한 모우드 I 변형에너지 완화율은 적층복합재료의 층간분리를 방지하는 변형을 평가하는 유용한 변수로 보고되어져 있다⁸⁻¹⁰⁾. 스티칭은 적층복합재료의 모우드 I 변형에너지 완화율을 현격하게 증가시킨다. Madan⁸⁾은 이러한 현상을 다음과 같은 관계식을 사용하여 보여주고 있다.

$$G_{1c}/G_{1c0} = f_1(S, K_1, K_2, C_1, C_2) \dots\dots\dots(1)$$

- 여기서,
- G_{1c} = 스티칭한 적층복합재료의 모우드 I 변형에너지완화율
- G_{1c0} = 스티칭하지 않은 적층복합재료의 모우드 I 변형에너지완화율
- S = 스티칭 간격
- K_1, K_2 = thread의 파단 강도와 지름에 근거한 상수 값
- C_1, C_2 = 실험에서 결정된 상수 값

스티칭은 복합재료에 가해진 충격에 의해서 층간 분리가 개시된 후 충격 손상영역을 제한시키거나 압축하중에 의한 층간 분리의 성장을 억제시킴으로써 복합재료의 잔여강력을 향상시켜 준다¹¹⁾. 본 연구에서는 유리섬유 직물과 폴리에스터 수지로 구성된 적층복합재료를 케블라 49 Thread로 스티칭하여 성형한 후, 인장, 굽힘, 충격실험을 행하여 최적 스티칭 조건을 구하였으며 스티칭하지 않은 적층복합재료와의 비교로부터 스티칭이 복합재료의 물성에 미치는 영향을 알아보았다.

2. 실험

2-1. 시편의 제작

2-1-1. 재료

본 연구를 위한 적층 복합재료의 보강 재료는 Owens-Corning Fiber Glass사의 S2유리섬유직물을 사용하였다. 기지 물질로는 iso-type의 불포화 Polyester를 사용하였으며 이들의 기본 물성은 다음 Table 1과 같다. 개시제와 경화제로는 Benzoyl Peroxide(BPO)와 Diallyl

Phthalate(DAP)를 사용하였는 데 이때 비율은 93(polyester) : 7(DAP) : 1(BPO)로 하였다. 스티칭 Thread는 Kevlar 49를 사용하였으며 그 물성은 다음과 같다.

밀도 : 1.44(g/cm³)
 인장탄성 계수 : 120(GPa)
 압축탄성계수 : 0.16
 선밀도(denier) : 280×2

Table 1. Physical properties of S-2 glass fiber and isotype polyester resin

물 성	S-2 glass fiber	polyester resin	Kevlar 49
밀도(g/cm ³)	2.46	1.25	1.44
인장탄성계수(GPa)	86.81	4.5	120
인장 강력(GPa)	4.58	0.02	
최대 변형률(%)	5.40	1~5	
Fabric system	평 직	-	
Count/ich	5×5	-	
Type	449AA, 250type	-	

2-1-2. 시편의 제작

시편은 스티칭하지 않은 적층복합재료와 1/2인치, 1인치, 2인치의 간격으로 2축방향의 스티칭해준 것등 총 4종류의 시편을 제작하였다. 시편제작의 공정을 나타낸 것이 다음의 Fig. 1이다. 이때 스티칭하지 않은 시편은 Prepreg 제작, 성형, 절단의 공정만 거쳤다.

① Prepreg 제작

유리섬유 직물에 직물 무게의 30%의 경화제와 개시제, Polyester수지의 혼합물을 아세톤으로 희석하여 유리섬유 직물에 도포하여 주었다. 이것을 상온에서 24시간 건조하여 B-stage에 이르게 하였다.

② 적층

B-stage에 이른 후 5ply를 적층하였는데, 이때 유리섬유직물이 일정한 배향을 유지하도록 주의하여야 한다.

③ 가압

압력을 가하지 않은 Prepreg를 스티칭하는 경우, 성형시 압력을 받으면서 두께가 감소하여 스티칭해 준 thread가 휘게 되므로 이것을 방지해 주기 위하여 미리 100psi 정도의 압력으로 늘려 주었다. 이때 적층한 Prepreg의 한

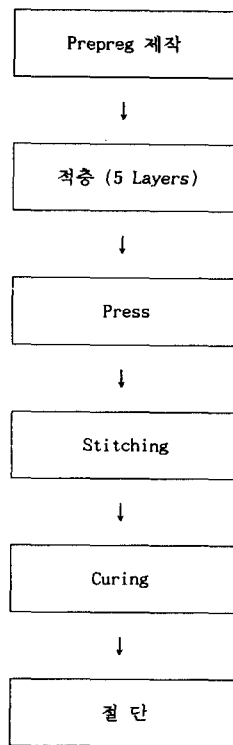


Fig. 1. Process of specimen preparation.

쪽 면에 간격별 스티칭 패턴을 표시한 패턴 페이퍼를 부착하였다.

④ 스티칭

가압한 prepreg상에 부착된 패턴 페이퍼에 따라 다음의 Fig. 2와 같은 형태로 스티칭하였다. 이때 스티칭 thread에도 유리섬유에 가한 것과 똑같은 조건의 수지를 가해 주었다. Fig.

2는 적층복합재료상에 대칭형의 균일한 분포를 갖는 plain 스티칭의 패턴을 보여준다. 일반적으로 multi needle에 의한 대량 생산 체계에서는 일축방향으로만 스티칭하는 경우가 많은데^{6, 12)} 반하여, 본연구에서는 이축 방향의 스티칭을 하여 주었다.

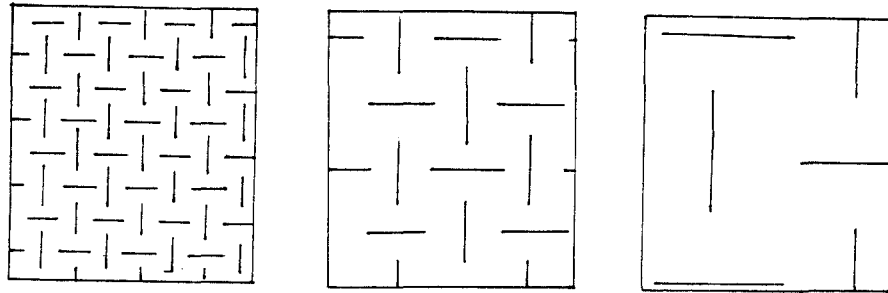


Fig. 2. Stitching pattern with :
(a) 1/2" spacing (b) 1" spacing (c) 2" spacing

⑤ 성형

복합재료 성형 후 수지의 함유율이 약 25%가 되게 하였다. Resin content 20%이하에서는 스티칭해 준 thread와 유리섬유직물간의 미세한 틈에 수지가 제대로 스며들지 않는 문제가 발생하므로 주의하여야 한다. Prepreg를 이용하는 방법에도 대량생산의 경우, Resin Impregnation이나 Resin Infusion에 의한 성형이 많이 사용된다^{6, 13)}. 성형 후에 측정된 복합재료의 각 종류별 두께와 수지의 Resin Content는 다음의 Table 2에 보인 바와 같다.

Table 2. Thickness and resin content of specimens

Specimen	Thickness	R. C (%)
Unstitched	2.65	23.1
2" spacing	2.63	26.4
1" spacing	2.71	23.5
1/2" spacing	2.77	24.2

2-2. 실험

2-2-1. 인장 실험

인장 강력 및 인장 계수를 측정하기 위하여 Instron에서 인장실험을 하였다. ASTM규격의 인장시편을 제작하여 실험하였으며 이때, Cross-Head Speed는 2mm/min으로 하였다.

2-2-2. 굽힘 실험

굽힘 강도 및 굽힘 계수를 측정하기 위하여 ASTM D790-84a방법에 의한 3점 굽힘 실험을 하였다. Cross-Head Speed는 10mm/min, 지지거리는 10cm로 하였으며 이때 굽힘강도와 굽힘계수는 다음식에 의하여 구하였다.

$$\text{굽힘강도} = \frac{3PL}{2bt^2}$$

$$\text{굽힘계수} = \frac{L^3m}{4bt^3}$$

여기서,

P : 최대하중

L : 시험편의 지지길이

m : 하중-변형을 곡선의 초기 기울기

t : 시험편의 두께

2-2-3. 충격실험

충격실험은 낙하하중 충격 시험기(Drop-Weight Impact Tester)를 사용하였다. 시험편은 가로 세로 각각 10cm의 크기였고 tup의

직경은 0.5inch, 추의 질량은 6.5kg이며 별도의 하중을 더 부가할 수 있게 장치되어 있다. 충격에너지는 추의 중량과 낙하 높이를 조절하여 변화시킬 수 있다. 충격 시험기로 부터 하중이 10μsec. 단위로 컴퓨터에 전송되며 시간에 따른 하중-변위 곡선을 출력할 수 있고, 시편의 흡수한 에너지 및 최대하중에 도달하기까지의 에너지인 파단 개시 에너지와 그 이후에 흡수하는 전파에너지를 전산처리할 수 있는 기능을 가진 충격 시험기를 사용하였다.

① 고 충격에너지 실험

130cm의 높이에서 18.4kg의 추를 낙하시켜 충격시험을 하였다. 이때 가해진 충격에너지는 234.7J로 이것은 수차례의 예비실험을 통해 시편에 심각한 손상 또는 관통이 나타날 정도의 충격 에너지 수준을 찾은 결과로 얻어진 값이다. 이 실험의 목적은 높은 충격에너지를 가했을 때 각 시편의 충격 강도 및 파단 현상을 관찰하기 위한 것이다.

② 반복 충격 실험

시편의 관통이 시작되는 에너지 값의 약 50% 정도의 에너지 수준에서 3회에 걸쳐 반복 실험을 하였다. 가해진 에너지는 110.2J이었고 100cm의 높이에서 11.2kg의 추를 낙하시켜 실험하였다. 시편의 Slippage를 막기 위해 1회, 2회 충격실험 후 Indentation으로 휘어진 부분을 펴서 다시 고정하였다.

③ C-Scan

반복 충격실험 후 시편의 손상 영역을 알아보기 위해 Ultrasonic C-Scan을 하였다.

3. 결과 및 고찰

3-1. 인장 실험 결과

Fig. 3는 인장실험결과를 보인것으로 1인치 간격으로 스티칭한 시편이 가장 높은 값을 보여주고 있으며 스티칭하지 않은 것에 비해 약 1.2배의 강도를 보였다. 1/2인치 시편은 스티칭의 간격이 가장 조밀함에도 불구하고 강도의 저하를 보였는데, 이것은 스티칭시 발생하는 강화섬유가 바늘에 의해 절단되는 등의 손상이 일정 간격이하에서는 심각하게 발생하여, 그 부위에 인장시 응력이 집중되어 쉽게 파단이 개시되므로 이로 인한 강도저하가 스티칭으로 인한 보강효과를 넘어서는 데 그 이유가 있다.

인장 시험시 파단이 일어나기까지의 과정을 살펴 보면, 초기에는 Matrix Cracking이 주로 일어나다 하중이 증가함에 따라 층간 전단응력에 의해 층간 분리 현상이 나타나기 시작하며 파단응력에 가까워지면 한가닥씩 유리 섬유가 끊어져 나가다가 결국 파단이 일어나는 현상을 보였다. Fig. 4는 파단이 일어난 인장시편으로 스티칭을 하지 않은 시편은 층간 분리가 심하게 발생하면서 파단이 일어났으며, 스티칭 해준 간격이 조밀해 질수록 층간 분리는 억제되고 Fiber pull-out이 많이 발생한다. 스티칭 해준 시편의 경우 표면의 인장 방향의 스티칭 thread가 파단시 끊어지는 양상을 보였는데, 적은 양이지만 스티칭 thread도 하중을 분담한다는 것을 알 수 있다.

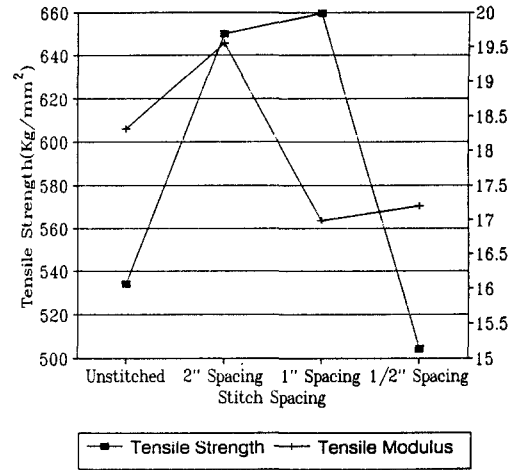


Fig. 3. Tensile strength and tensile modulus of each specimen.

3-2. 굽힘 실험 결과

Fig. 5는 굽힘 실험결과를 보인 그림으로써 굽힘 강도는 인장 강도와 마찬가지로 1인치 간격으로 스티칭한 시편이 가장 높은 값을 보였고, 스티칭 하지 않은 것이 가장 낮은 값을 나타내었다. 1/2인치 시편은 스티칭하지 않은 시편보다 약간 높은 강도를 나타냈으나 stitching시의 손상으로 인해 기대한 만큼의 강력증가는 보이지 않았다. 굽힘 계수도 1인치 간격의 시편이 가장 컸으며 1/2인치 간격의 시편이 그 다음으로 큰 값을 나타냈다.

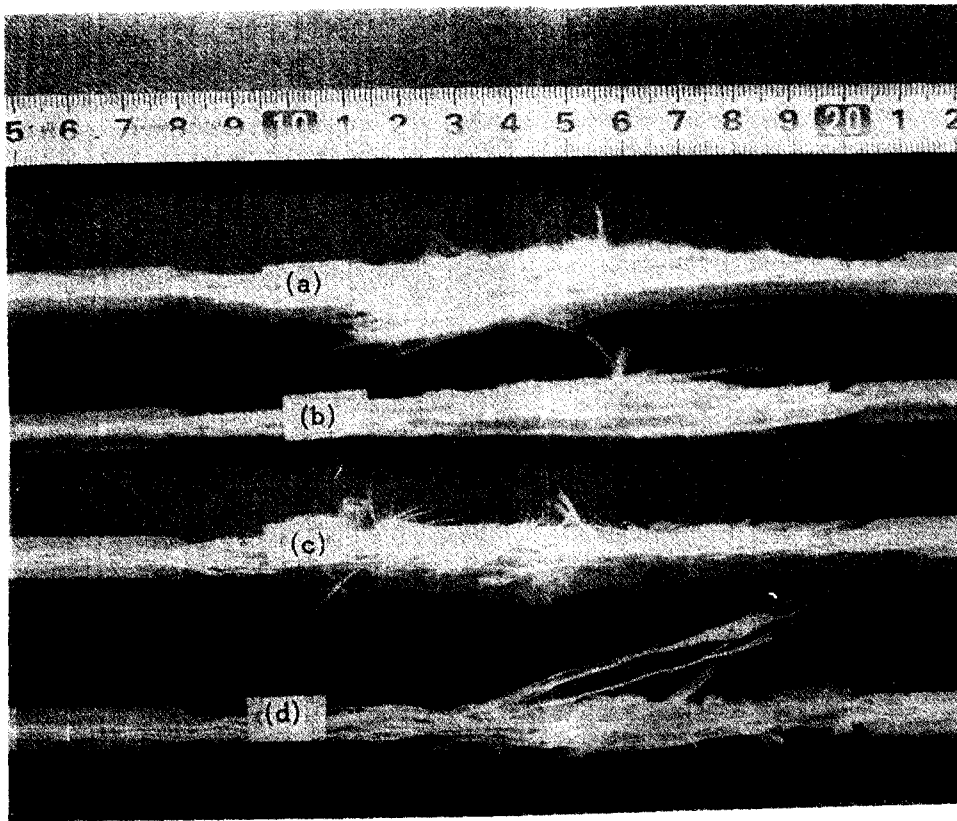


Fig. 4. Failure modes of tensile specimen.

(a) unstitched (b) 2" spacing (c) 1" spacing (d) 1/2" spacing

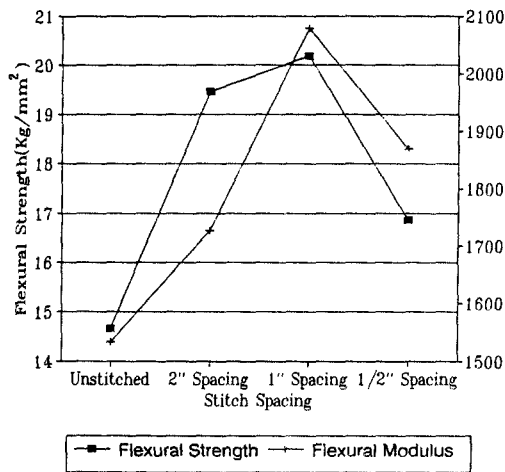


Fig. 5. Flexural strength and flexural modulus of each specimen.

3-3. 충격실험 결과

3-3-1. 고충격 에너지 실험 결과

234.7J의 에너지를 가해 충격에 대한 강도를 측정된 결과 1인치 간격으로 스티칭한 것이 가장 높은 에너지흡수를 보여주었다. 그러나 스티칭하지 않은 시편과 비교할 때 흡수 에너지 증가가 약 10%에 불과했고 1/2inch 시편은 거의 비슷한 값을 나타냈다. 일반적으로 스티칭하지 않은 시편은 파단개시까지 많은 에너지를 흡수하는 반면 스티칭한 시편은 파단개시이후에 더 많은 에너지를 흡수하는 결과를 보였다. 스티칭 간격이 조밀해 질수록 파단 개시이후에 전파되는 에너지를 더 많은 부분을 차지해 Ductility Index가 증가하였는데, 이것은 스티칭을 해준 경우 파단 개시 에너지는 스티칭으로 인한 손상으로 조금 떨어지나, 파단 개시 이후 중간 분리를 효과적으로 막아 주어, 이 부분에서 더 많은 에너지를

흡수하기 때문이다. 시편 종류별 총 흡수에너지(Et)와 Ductility Index를 Fig. 6에 나타냈다. Fig. 7는 충격 시 최대하중을 비교한 그림이다.

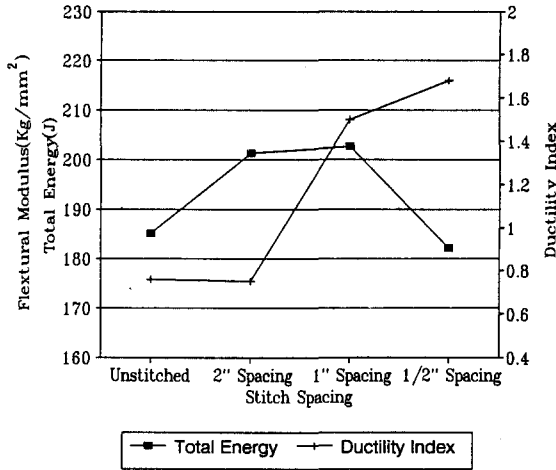


Fig. 6. Absorbed energy and ductility index of each specimen. applied energy : 234.7J

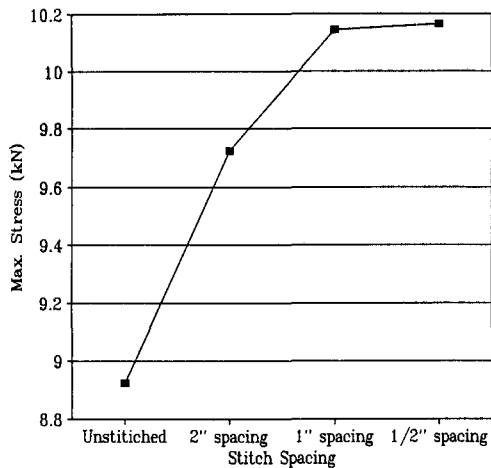


Fig. 7. Maximum stress in impact test of applied energy 234.7 J.

시편의 파단현상을 살펴보면, 모든 시편이 심한 Indentation을 보였으며 인장면이나 압축면에서의 Buckling과 강화섬유나 스티칭한 thread의 절단이 관찰되었다. 특히 1인치 간격 이하에서는 인장면의 스티칭 thread가 절단되는 모습을 보였다. 1/2인치 시편은 대부분 관통이 되었으며, 이것은 스티칭으로 인한 손상부위가 충격시 파단 개시를 촉진시키는

취약부위로 작용하기 때문이다. 인장실험 및 굽힘실험에서와 마찬가지로 1인치 간격의 시편이 가장 높은 강도를 보였고 1/2인치 간격의 시편은 스티칭 하지않은 것과 비교하여 오히려 강도가 떨어지거나 비슷한 정도의 강도를 보였다. 이것은 스티칭의 적절한 간격이 존재하며, 그것은 스티칭의 보강효과와 스티칭시의 손상으로 인한 강도 저하의 합에서 구할 수 있다는 것을 나타낸다. Fig. 8은 이것을 도식적으로 표시한 그림이다⁵⁾.

X축은 스티칭 하지 않은 적층복합재료의 물성 혹은 강도이고 a는 스티칭으로 인한 보강효과로 스티칭 간격이 조밀해 질수록 선형적으로 증가한다고 할 수 있다. b는 스티칭으로 인한 손상을 나타내는 그림으로 간격에 따라 증가하는 함수가 된다. 최종적인 물성 혹은 강도는 a와 b의 합으로 표시할 수 있다. 이때 최적의 스티칭 간격은 O_v 가 된다. 이 실험에서는 1인치 간격이 O_v 값임을 확인하였다.

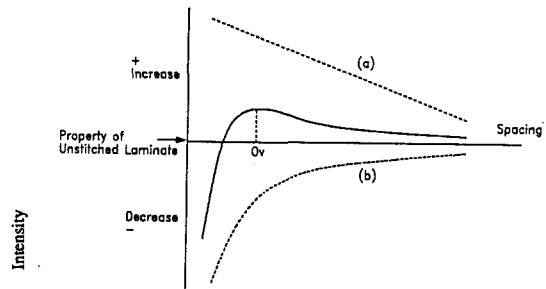


Fig. 8. Concept of optimum stitch spacing.

(O_v : optimum spacing)

(a) 스티칭으로 인한 보강효과

(b) 스티칭으로 인한 손상

3-3-2. 반복충격 실험 결과

반복충격실험은 재료의 파단이 일어나는 에너지의 약 50% 정도의 110.2J의 충격에너지로 3회에 걸쳐 반복 실험하여 그 결과를 비교하였다. 스티칭하지 않은 시편은 반복 충격시 지속적인 충격강도의 저하를 보였다. 1회 실험에서 이미 많은 손상을 입어 2회 3회 실험시 시편의 치구안으로 미끌어져 들어 가는 모습을 보였다. 반면 스티칭한 시편은 반복 충격에 잘 견뎌내며 보여주었다. 파단 개시에너지나 충격시 최대 인장하중은 반복 실험에서 감

소하는 경향을 보였으며 전파에너지는 증가하는 값을 나타냈다. 선행된 충격 실험시 입은 손상으로 인해 파단이 개시되는 강도나 파단 개시까지 흡수하는 에너지는 감소하지만 스티칭한 thread가 층간 분리를 막기 때문에 에너지 전파단계에서 더 많은 변형에너지를 흡수하게 되며 1인치와 2인치 간격 시편의 경우, 초기실험에서는 가해진 충격에너지가 재료에 파단을 일으킬 정도가 아니어서 탄성에너지로 많이 흡수되지만 반복해서 실험할 때는 충격으로 입은 손상으로 인해 충격에너지가 대부분 재료에 파단을 일으키거나 층간분리 등을 통해 재료에 직접 흡수되므로 1회 실험에서 보다 2회, 3회 실험에서 더 많은 에너지를 흡수하였다. 1인치 간격으로 스티칭한 시편은 파단개시에너지가 거의 일정하게 유지되어 반복 충격을 주었을 때 손상을 잘 억제 하였음을 보여 주었다. 1/2인치 간격의 시편은 파단개시에너지는 감소하였으나, 3축 방향의 보강사가 많아 층간 분리를 가장 잘 막아 내므로 충격횟수를 거듭함에 따라 전파에너지가 많이 증가함을 보여 주었다. Fig. 9은 네 종류의 시편이 반복 충격에서 흡수한 에너지를 나타낸 그림이고 Fig. 10, Fig. 11는 개시에너지와 전파에너지의 충격횟수에 따른 변화를 보여주는 그림이다. Ductility Index는 스티칭하지 않은 시편을 제외하고는 모두 횟수를 거듭할수록 증가함을 보여 주었다.

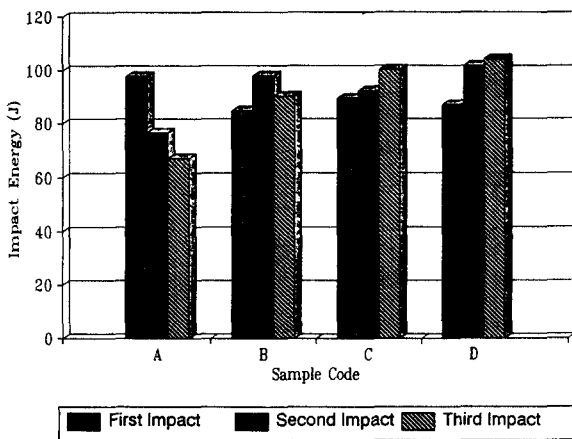


Fig. 9. Total absorbed energy of each specimen in repeated impact test.
 (A) unstitched (B) 2" spacing
 (C) 1" spacing (D) 1/2" spacing

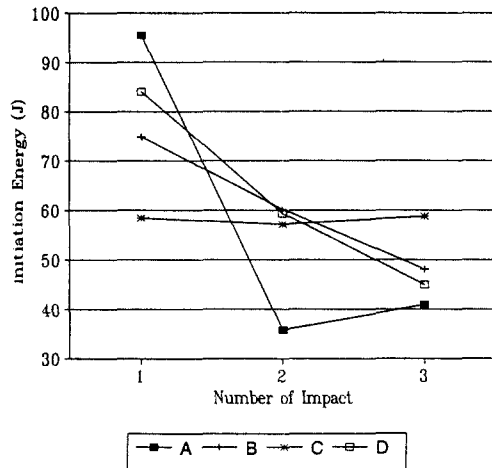


Fig. 10. Initiation energy of each specimen in repeated impact test.
 (A) unstitched (B) 2" spacing
 (C) 1" spacing (D) 1/2" spacing

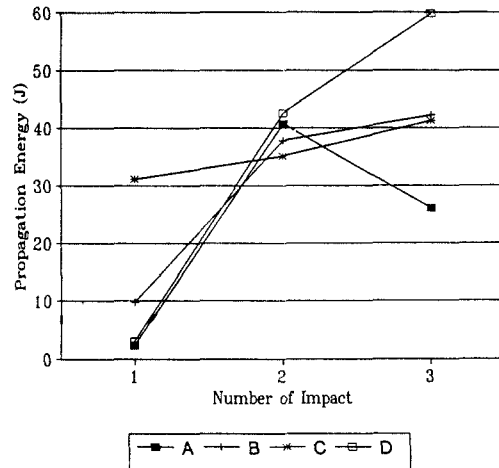


Fig. 11. Propagation energy of each specimen in repeated impact test.
 (A) unstitched (B) 2" spacing
 (C) 1" spacing (D) 1/2" spacing

Fig. 12는 Ultrasonic C-Scan을 이용해서 반복충격을 받은 시편의 손상영역을 확인하여 얻은 값으로 스티칭하지 않은 시편과 2"간격으로 스티칭한 시편은 비슷한 정도의 손상영역을 나타냈으나, 1", 1/2" 간격으로 스티칭한 시편의 경우 손상영역이 현격히 감소함을 보인다. 즉 이러한 스티칭 간격에서 복합재료의 손상억제 효과가 매우 우수함을 보여 주고 있다. 1/2"간격으로 스티칭한 시편은 간격의

조밀함에 따라서 스티칭 공정중 발생하는 보강 섬유손상과 Stress Concentration 현상 때문에 인장 및 굽힘 성질은 열세함을 보여 주었으나 두께 방향으로의 손상부위의 파급억제효과 및 층간분리 배제 능력이 우수하여 외부충격에 의한 구조재의 손상을 국부적으로 잘 제한시켜줄 수 있다.

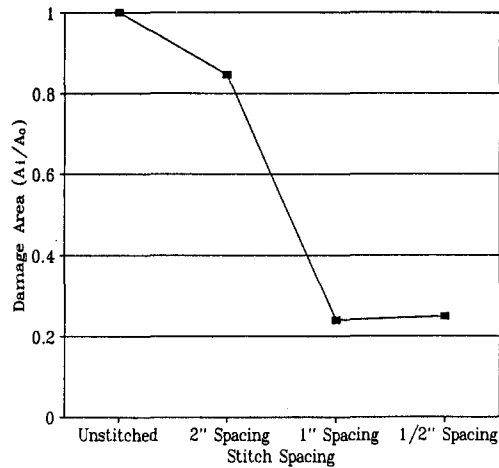


Fig. 12. Damage area of each specimen.

(A_i : stitched A_o : unstitched)

4. 결 론

5ply의 유리섬유보강 적층 보합 재료를 Kevlar 49 Thread로 스티칭조건을 달리하여 스티칭복합재료를 성형하여서 인장, 굽힘 실험 및 충격 실험을 행한 결과 스티칭에 의해서 인장강력이나 굽힘강력이 각각 최대 1.2배, 1.4배까지 증가함을 보여 주었으며 234.7J의 충격에너지를 가한 결과 1인치 간격으로 스티칭한 것이 가장 높은 에너지 흡수를 보였고, 스티칭하지 않은 것에 비해 11%의 충격강도의 증가를 보였다. 또한 스티칭 복합재료의 Ductility Index가 간격이 조밀해짐에 따라 증가함을 보여 주었다.

반복충격 실험의 결과 스티칭하지 않은 시편은 현저한 충격강도의 감소를 보인 반면 스티칭한 시편은 반복충격에도 에너지 흡수능력이 우수하게 유지되었다. C-scanning으로 손상부위를 관찰한 결과 스티칭으로 인해 복합재료내의 에너지 흡수능력보강과 손상 영역이 확산이 억제되어 손상부위가 현저히 감소함을 확인하였다.

스티칭 간격이 너무 조밀한 경우 강도의 향상보다는 스티칭으로 인한 손상이 더 커져서 1/2인치 간격으로 스티칭한 시편의 경우 인장강도나 충격에너지 흡수가 스티칭하지 않은 시편에 비해 오히려 감소하는 결과를 나타내었다. 그러나 이러한 감소에도 불구하고 외부충격에 의한 손상영역의 확산은 효과적으로 억제되어 국부적인 손상만이 발생함을 알 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 1991년도 교육부 신소재분야 연구 지원에 의해 이루어졌음을 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. F. K. Ko, and F. L. Scardino, Textile Technology Forum(1982).
2. P. Popper and R. McConell, 32nd International SAMPE Symposium and Exhibition, p. 92 (1983).
3. A. Mayadas, C. Pastore, and F. K. Ko, 30th National SAMPE Symposium, pp. 1284-1293 (1985).
4. E. R. Stover, W. C. Mark, I. Marfowitz, and W. Mueller, AFML-TR-70-283 (1971).
5. R. M. pelstring and R. C. Madan, 34th International SAMPE Symposium (1989).
6. H. B. Dexter, J. G. Funk and S. J. Lubowinski, NASA CP-2420 (1986).
7. S. M. Lee, Ciba-Geigy Corporation (1986).
8. R. C. Madan, Douglas Paper 7912 presented at 19th International SAMPLE Technical Conference (1987).
9. M B. Dow and D. L. Smith, NASA TP-2926 (1988).
10. R. C. Madan, NASA Contract NAS1-178409 (1988).
11. NASA RP-1092EV (1983).
12. L. E. Hotz, "Aplication of Quilting and Stitching Technology".
13. G. V. Schooneveld. "Potential of knitting/stitching and resin infusion for cost-effective composites", Xerkon Inc.
14. P. K. Mallick, "Fiber-Reinforced Composites". Dekker