

자동차 사이드 도어용 인트루전 비임 개발을 위한 케블라섬유강화 복합재료의 기계적 특성에 관한 연구

한길영· 이동기
조선대학교 기계공학부

A Study on the Mechanical Characteristics of Kevlar Plain Weft Knitted Fabrics Reinforced Composites for Development of Intrusion Beam of Car Side Door Application

GIL YOUNG HAN AND DONG GI LEE

School of Mechanical Engineering, Chousn University, Kwang-Ju 501-759, Korea

KEY WORDS: Knitted fabric reinforced composites 니트섬유강화 복합재료, Weaving 위빙, Braiding 브레이딩, Looped fiber architecture 고리모양섬유구조, Knitting 니팅, Stitching 스티칭, Intrusion beam 인트루전 비임

ABSTRACT: Using conventional textile techniques such as weaving, braiding, knitting and stitching it is possible to produce a wide range two and three dimensional fiber preforms. However, so far only a limited attention has been given to knitted fabrics in composite industry. This is mainly due to the opinion that knitted fabric reinforced composites posses low mechanical properties owing to their looped fiber architecture. But it is possible to obtain desired mechanical properties by selecting proper knitted fabric structure. In this paper, mechanical characteristics of kevlar plain weft knitted fabrics reinforced plastics (KFRP) are evaluated for the development of intrusion beam of car side door . Tensile, bending, impact properties of KFRP are measured experimentally and crush demands of American Federal Motor Vehicle Safety Standard No.214(FMVSS 214) compared with the bending load and displacement of KFRP by quasi-static test/method. The applicability and limitation of bending load and displacement of KFRP according to specimen size has been discussed.

1. 서 론

섬유강화복합재료(fiber reinforced composites)는 일반 금속재료에 비하여 높은 비강도(인장강도/밀도), 비강성(탄성계수/밀도) 등이 우수하기 때문에 경량구조 설계가 요구되는 여러 산업분야에서 수요가 급증하고 있는 실정이다. 특히 우주, 항공, 자동차 산업 등 고부가가치 산업에서의 응용은 부 재료로서의 적용으로부터 점차 하중을 지지하는 주 재료로서의 적용이 시도됨에 따라 급신장하고 있다. 특히, 케블라섬유(kevlar fiber)의 밀도는 유리섬유(glass fiber)와 탄소섬유(carbon fiber)에 비해서 낮고 파단변형율(strain to fracture)이 우수하기 때문에 자동차, 우주, 항공, 조선 산업에서뿐만 아니라 케이블(cable)기구용 피복직물, 건축구조물 및 탄도보호용품(ballistic protection fabrics)에 사용되고 있으며, 많은 나라에서 법집행 대리인들이 케블라섬유로 만들어진 조끼(vest)를 입어왔다.

섬유강화 복합재료는 정형가공(net shap manufacturing)을 할 수 있는 제조방법을 제공할 수 있다. 특히 섬유강화 복합재료를 자동차용 구조 부재로 사용할 경우 NVH(noise, vibration, harshness) 효과가 금속보다 뛰어난 장점을 가지고 있다. 한편 니트섬유강화 복합재료(knitted fabric reinforced composites)는 고리모양의

섬유구조(looped fiber architecture) 때문에 기계적 성질이 낮다는 이유로 복합재료 산업에서 사용을 기피해 왔다. 그러나 최근의 연구자들의 연구에서는 적절한 니트섬유구조를 갖는 섬유강화 복합재료가 요구하는 기계적 성질을 얻을 수 있다고 보고되고 있다(Dewalt and Richard, 1994; Horsting et al, 1993). 니트섬유구조(knitted fabric structure)는 안(yarn)의 루프(loop)를 연결하는 방법으로 제작된다. 본 연구에서는 Fig. 1과 같이 안 이송(yarn feeding)과 니팅 방향(knitting direction)을 갖는 웹 니트섬유구조(web knitted fabric)로 제작하였다. 김 등(1998)등은 케블라 다축 경편성물 보강 복합재료의 충격에너지 흡수기구에 관한 연구에서 케블라 섬유가 유리, 탄소 섬유보강 복합재료보다 impact fracture toughness의 증가로 층간분리의 지연과 층간 분리영역이 감소됨을 보고하였다. (Ko et al, 1986)등은 웹 니트섬유구조를 갖는 복합재료의 인장성질을 예측하기 위하여 단위 정(unit cell) 개념과 적층이론을 기초로 한 섬유의 기하학적 모델을 제안하였다. Ko 등에 의하여 연구된 섬유구조는 특별한 경우에만 사용할 수 있는 제한이 있다. Rudd et al,(1990)과 Ramakrishana and Hull(1993)은 니트섬유구조를 갖는 웹 니트섬유강화 복합재료의 혼합법칙과 강화효율 인자를 조합하여 탄성계수 예측에 대하여 보고하였다. 이는 탄성계수만을 예측할

수 있다는 제한이 있다. 따라서 본 연구에서는 자동차 사이드 도어용 인트루전 비임(intrusion beam)을 개발하기 위해 미국의 듀퐁(Dupont)사 제품인 Kevlar-29 섬유를 이용하여 일방향 1안(unidirectional 1yarn), 4안(unidirectional 4 yarn) 및 5안 더블니트섬유구조(double knitted fabrics)의 시험편을 제작하고 인장실험을 하여 일방향 1안, 니트섬유구조의 1안의 파단 하중과 변위를 실험적으로 구하였다. 이러한 실험결과를 기초로 하여 보다 더 우수한 강도와 강성을 갖는 섬유구조를 갖게 하기 위하여 Fig. 2와 같은 니트섬유구조에 레이 인(lay-in)한 섬유구조를 선택하고, 에폭시를 모재로 한 케블라 니트섬유강화 복합재료(kevlar plain weft knitted reinforced composites)를 제작하였다. 또한 충격 실험을 하여 충격 후의 파면을 관찰하였다. 그리고 니트섬유강화 복합재료의 인장·굽힘 시험을 하여 미연방 자동차 안전 기준(Federal Motor Vehicle Safety Standard No.214 : FMVSS 214)에서 요구하는 크러쉬(crush)값을 비교하기 위하여 포드 자동차 재료시험 연구소에서 제시한 인트루전 비임 규격을 참조하여 쿠폰 타입(cupon type) (A type)과 풀 사이즈(full size)의 1/5시험편(B type)으로 굽힘 실험을 하여 준정적 도어 크러쉬 시험(Quasi-static door crush test)값과 비교하고 그 결과를 제시하였다.

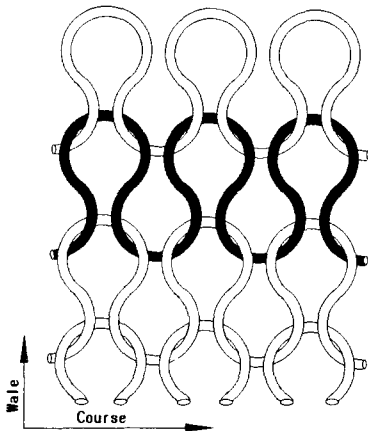


Fig. 1 Weft knitted fabrics

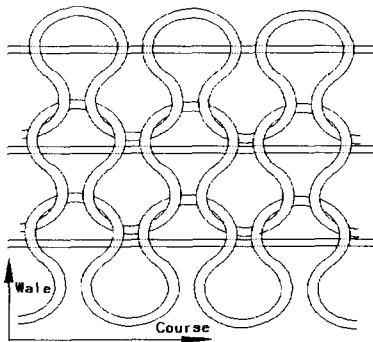


Fig. 2 Schematic diagram of weft knitted fabrics with lay in

2. 미연방 자동차 안전 기준(Federal Motor Vehicle Safety Standard No.214 : FMVSS 214)에 따른 준 정적 (Quasi-Static) 도어 크러쉬 시험(Door crush test) (Steinnacker, 1997)

미연방 자동차 안전기준에 따른 자동차 도어(car door)의 준 정적 크러쉬 시험은 Fig. 3과 같이 정지해 있는 자동차의 도어(door)에 강구(rigid steel cylinder)로 횡하중을 가하여 변형이 12 인치인 최소 범위까지의 강성(rigidity)이 보장되어야 하는 기준이 법령으로 제정되어 있으며 그 범위는 다음과 같다.

- a. crush에 의한 변형량이 6인치(152.4mm)에 달할 때까지 측정된 초기 crush 저항

$$F_1 = \frac{1}{S_1} \int_0^{S_1} F ds \geq 2250 lb (1020 kg)$$

- b. crush에 의한 변형량이 12인치(304.8mm)까지 측정된 중간 crush 저항

$$F_2 = \frac{1}{S_2} \int_0^{S_2} F ds \geq 3500 lb (1587.6 kg)$$

- c. crush에 의한 변형량이 18인치(457.2mm)까지 측정된 Peak crush 저항

$$F_{max} \geq 8750 lb (3969 kg)$$

본 연구에서는 Ford Door Project(Steinnacker and Patbarg, 1997)의 사양을 참조하여 인트루전비임의 크기를 길이(950mm) × 폭(500mm)로 하였다. 시험편은 125(mm) × 25(mm)인 쿠폰 타입(Cupon type: A type)시험편과 풀 사이즈(full size)의 1/5인 길이(180mm × 폭(100mm)인 시험편(B type)을 제작하여 3점 굽힘 실험을 하였다.

FMVSS에서 요구하는 crush 하중-변위값을 실험하중-변위값과 비교하기 위하여 full size의 단위 면적에 대한 하중-변위값을 구한 후 A type, B type 시험편에 대한 하중-변위값을 계산하여 실험적으로 측정된 값과 비교하였다. full size를 기준으로 한 시험편의 하중-변위값 계산은 다음과 같이 구하였다.

$$\frac{F_{1,2,3}}{A_f} \times A_s = F \quad - \quad (1)$$

$$\frac{D_{1,2,3}}{L_f} \times L_s = D \quad - \quad (2)$$

$F_{1,2,3}$: FMVSS 214에서 요구하는 초기, 중간, 피크에 대한 Crush 저항 하중

A_f : 인트루전 비임의 Full Size 단면적

A_s : 시험편의 단면적

$D_{1,2,3}$: FMVSS 214에서 요구하는 초기, 중간, 피크에 대한 Crush

저항 변위

L_f : 인트루전 비임의 Full Size 길이

L_s : 시험편의 길이

F : 하중 (N)

D : 변위 (mm)

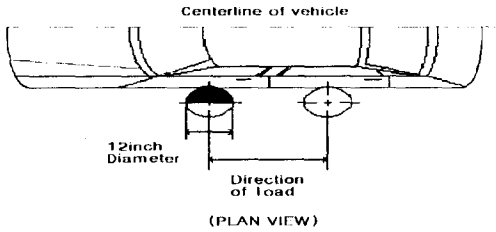
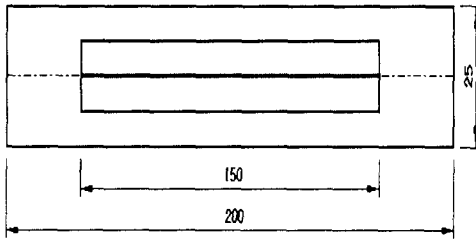


Fig. 3 Test arrangement FMVSS 214

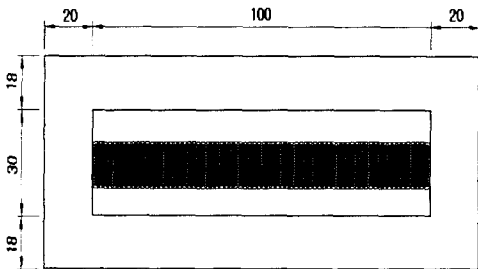
3. 시험편 및 실험방법

3.1 일방향 케블라 섬유(unidirectional kevlar fiber) 및 니트섬유(knitted fabrics)구조의 시험편 제작

본 연구에 사용한 실험재료는 미국 듀퐁(Dupont)사 제품인 케블라 섬유(kevlar-29, Dupont, America)의 일방향 1안, 4안 및 5안 더블 니트섬유구조(double knitted fabrics)의 시험편을 각각의 조건에 대하여 5개씩 제작하였으며 시험편의 치수와 형상은 Fig. 4와 같고 Fig. 5에 니트 섬유구조 시험편의 사진을 도시하였다. 케블라 섬유의 기본 물성은 Table 1과 같다.



(a) Unidirectional kevlar fiber



(b) Weft knitted fabric structure

Fig. 4 Configuration of unidirectional and knitted specimens of kevlar fiber

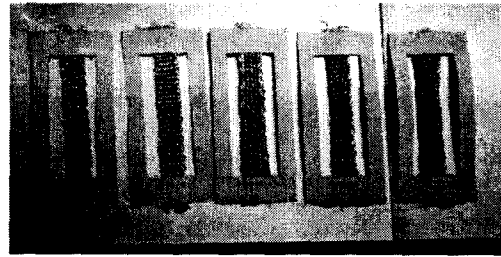


Fig. 5 Photographs of knitted specimens of kevlar fiber

Table 1 Basic properties of kevlar - 29

Material	Density(gm/cc)	Filament dia.(in)	Tensile strength (psi)	Modulus (psi)
kevlar -29	1.44	0.00047	400,000	9×10^6

인장실험시 인장시험기의 그립(grip)부분에서 응력집중을 피하기 위하여 카드보드(card board)를 이용하여 제작하였으며 그립부분은 본드(bond)를 사용하여 접착하였다.

인장시험기는 KES-G2-SBI/STRIP biaxial tensile tester(100kg)를 이용하였으며, 시험편을 시험기의 지그(jig)에 고정시킨 후 가위로 양쪽 카드 보드를 절단한 후 실험을 하였다.

일방향 1안, 4안과 5안 더블 니트구조의 인장하중-변위의 평균값을 실험적으로 측정하여 1안(yarn)에 대한 인장하중값의 신뢰도를 높였다.

니트섬유구조는 평직 니트섬유구조로(plain weft knitted fabrics)에 관한 것을 연구대상으로 하였다. 이러한 니트섬유구조는 평베드 머시인(Flat bed weft knitting M/C)으로 케블라 섬유 안을 이용하여 제작하였다. 니트 루프는 더블 안(double yarn)형태로 제작하였으며, 사용한 케블라섬유 안의 밀도(Density)는 1500데니어(Denier)이다. 이러한 니트섬유구조의 폭방향에서 루프의 열(row)을 코스(course)방향이라 하고, 길이방향의 루프의 열을 웨일(wale)방향이라고 칭한다.

3.2. 섬유강화 복합재료 제작

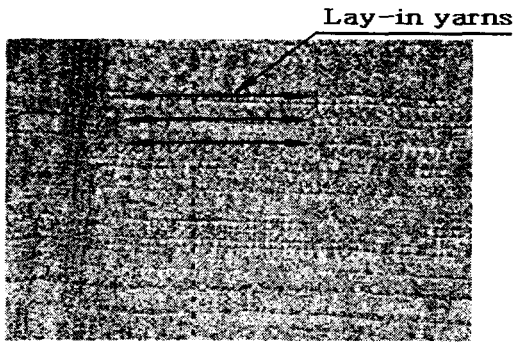
케블라 섬유강화 복합재료는 니트섬유구조에 레이 인(lay-in)한 섬유구조로써 에폭시(Epikote 828)수지와 경화제(Triethylenetetramine, 에폭시 수지중량의 20%)를 혼합하여 핸드 레이업(hand lay up)방법으로 제작하였다. 보이드(Void)를 제거하기 위해 3시간 동안 진공백(Vacuum bag)에서 성형하였다.

복합재료의 두께는 2.7mm로 제작하였으며, 섬유함유율은 연소법을 이용하여 420° C에서 4시간 유지하여 중량을 측정하여 구하였으며 약 27wt%였다.

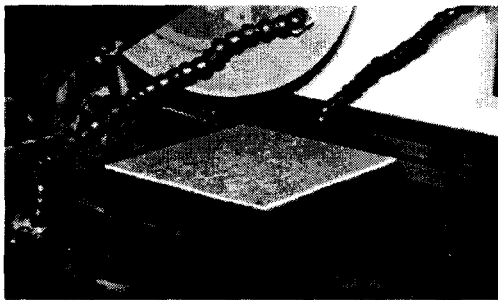
3.3 인장, 굽힘, 충격시험편

3.3.1 인장시험

니트섬유 직물(knitted fabrics)에 레이 인(lay-in)한 구조를 갖는 케블라 섬유강화 복합재료의 웨일(wale), 코스(course)방향의

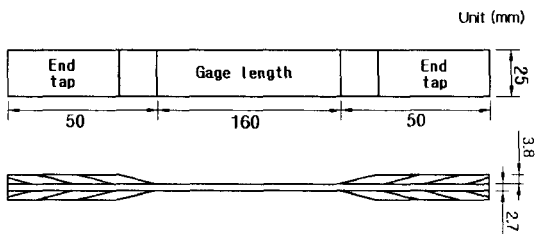


(a) Photograph of kevlar knitted fabrics with lay-in



(b) Photograph of KFRP sheet

Fig. 6 Photograph of kevlar knitted fabrics with lay-in sample and KFRP sheet



(a) Configuration of tensile specimen



(b) Photographs of tensile specimens

Fig. 7 Configuration and photographs of tensile specimen

인장하중-변위 값을 측정하기 위하여 제작한 시트(sheet)를 250mm(폭) × 300mm(길이) × 2.7mm(두께)의 직사각형 판을 다

이아몬드 휠 톱(powermat 2000 abrasive cutter)을 사용하여 절단하였다. Fig. 6 (a)에 니트섬유구조에 레이인(lay-in)한 샘플(sample)과 (b)에 가공한 케블라 섬유강화 복합재료 시트(sheet)를 도시하였다.

케블라 섬유강화 복합재료는 웨일과 코스방향에 평행하게 절단하여 인장시험편을 제작하였다. 인장시험편은 ASTM D638M 규격을 참조하여 Fig. 7 (a)와 같은 치수와 형상으로 길이 160mm, 폭 25mm로 제작하였으며 시험편의 양 끝에 25mm GFRP tab을 부착하였다. Fig. 7 (b)에 시험편의 사진을 도시하였다. 인장시험은 재료시험기(INSTRON, 4206)를 사용하였으며 크로스 헤드 스피드(cross head speed)는 1.2mm/min로 하였다.

3.3.2 굽힘실험

굽힘 시험편은 ASTM D790M method I(3-point bending)의 규격을 참조하여 Fig. 8과 같이 굽힘시험편(A type) 125mm(길이) × 25mm × 2.7mm(두께)와 intrusion beam full size의 1/5(B type)에 해당하는 180mm(길이) × 100mm(폭) × 2.7mm(두께)의 2종류를 제작하였다. 3점 굽힘시험은 Fig. 9와 같다. 3점 굽힘시험의 하중-변위 평가결과를 FMVSS 214의 crush값과 비교하였다.

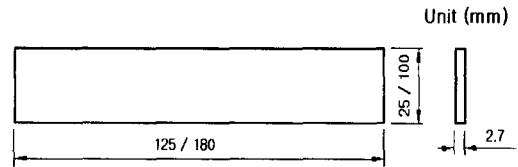


Fig. 8 Configuration of 3 point bending specimen

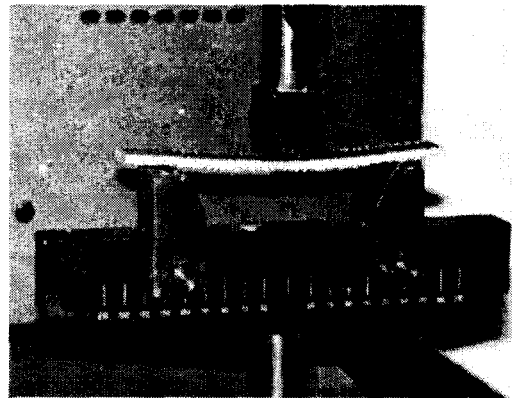


Fig. 9 Illustration of 3-point bending test

3.3.3 충격실험

충격실험은 낙추식 충격시험기를 이용하였으며 Fig.10에 낙추식 충격시험기를 나타냈다. 충격체인 낙추가 시험편에 편심되어 충격이 가해지는 것을 방지하기 위해 선단부의 형상은 직경 14mm의 곡면으로 했으며, 하중 검출 부분은 $\phi 10 \times 600$ mm의 연강환봉을 사용했다. 낙추는 길이를 3등분한 2개 부분에 중심축에 대칭이 되도록 스트레인 게이지를 2매 붙이고, 굽힘 변형의 영향이 없도록 하기 위해서 직렬로 연결시켰다.

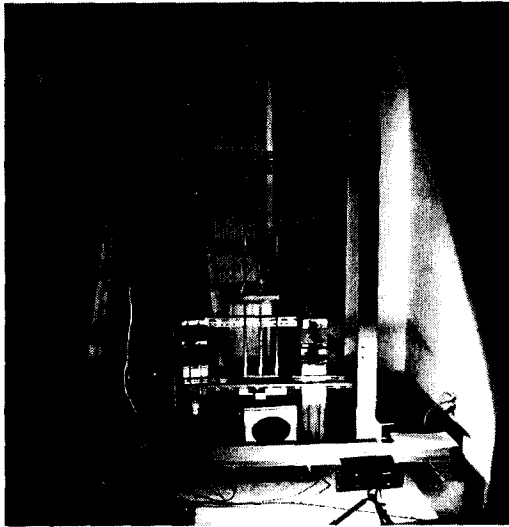


Fig. 10 Impact test system of drop - weight

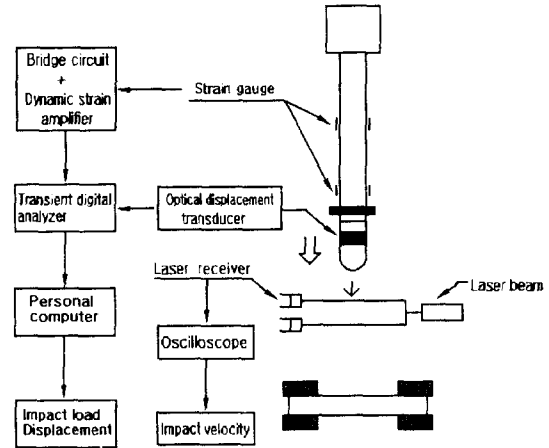


Fig. 13 Diagram of measuring system

Table 2 Characteristics of strain gage

KYOWA STRAIN GAGES	
Type	KFG-2-120-C1
Gage Length	2 [mm]
Gage Resistance	120.4 [Ω]
Gage Factor	2.1(24° C, 50%RH)[%]

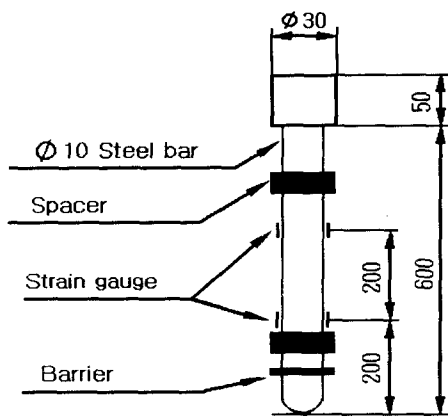


Fig. 11 Details of the drop-weights

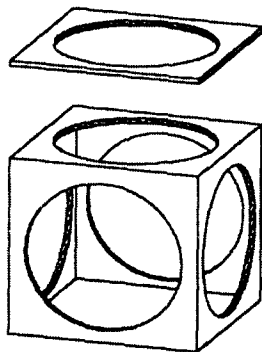


Fig. 12 Fixture for supporting specimens

낙추부분의 치수 및 질량을 Fig. 11에 스트레인 게이지의 사양을 Table 2에 나타냈다. 또한 시험편의 지지방법에 의해 방향성의 영향을 받지 않도록 주변을 원형지지 하였다. 본 연구에서는 $\phi 150\text{mm}$ 의 구멍이 있는 $180\text{mm} \times 180\text{mm} \times 10\text{mm}$ 의 연강제 정방형판을 2매 사용하여 상, 하 방향에서 시험편을 끼워 고정하였다. 지그 형상은 Fig. 12에 나타내었다. 시험편에 작용하는 충격하중은 낙추에 부착된 스트레인 게이지의 출력으로부터 프로그램에 그 변형률을 입력하여 하중으로 환산하였다. 충격체 낙추가 시험편에 충돌할 때 충격체의 선단부와 시험편이 접하는 위치의 이동량 즉 변위의 측정에는 낙추에 부착한 표적의 이동을 광학식 변위계(Zimmer OHG사, 100F)를 사용하여 측정하였다. 낙추의 충격 속도는 낙추식 충격 시험장치에 설치된 1초의 레이저 빔에 의해 낙추가 2점점(7.5cm)간을 오실로 스크프(Recroy 9310)를 이용해 시간을 체크해서 측정하였으며 측정 시스템을 Fig. 13에 도시하였다.

시험편의 충격특성은 하중과 변위선도로부터 하중-변위선도를 구하여 시험편의 충격특성을 구하였다. 우선시험 결과를 간편하게 비교하는 방법으로서 하중-변위선도에서 적절한 대표값을 산출하여 하중-변위선도를 나타내는 파라메타(parameter)로서 Fig. 19 (C)와 같은 하중-변위선도의 폐곡선으로 둘러싸인 부분의 면적을 시험편이 파괴할 때에 소비된 에너지(흡수에너지)로 간주하여 하나의 평가 파라메타로 나타냈다. 시험편은 다이아몬드 휠커파터(powermat 2000 abrasive cutter)를 이용하여 $180\text{mm} \times 180\text{mm}$ 의 정방형으로 가공하였다.

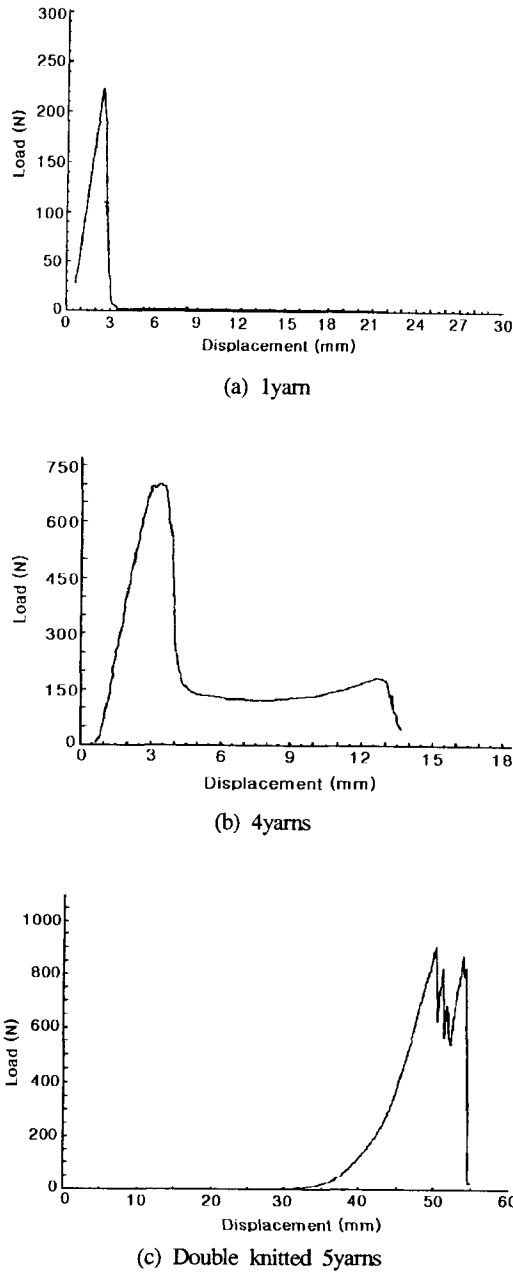


Fig. 14 Relation between tensile load and displacement of kevlar yarns

4. 실험결과 및 고찰

4.1 일방향 1안, 4안 니트섬유구조의 인장하중-변위 실험

Fig. 14의 (a), (b), (c)는 케블라 섬유강화 복합재료의 인장강도를 예측하기 위한 1안, 4안 일방향 섬유와 5안 더블 니트구조의 인장하중-변위의 대표적인 선도를 도시한 것이고, 실험 결과는 Table 3과 같다. 케블라섬유 일방향 1yam의 시험편을 U-K-1(5), 일방향 4yam의 시험편을 U-K4-1 (5), 더블니트 5안(double knitt 5yam)의 시험편을 K-1(5) 기호로 표시하였으며 각

각의 조건에 대하여 5개씩의 시험편을 제작하여 실험하였다.

케블라섬유 4yam 일방향의 경우 파단 하중값을 1yam의 4배 하중으로 하여 1안의 평균값의 신뢰도를 높였다. 케블라 섬유 1안, 4안, double knitt 5안의 인장파단하중-변위의 평균값은 각각 약210N, 2.9mm, 193N, 3.04mm, 109.3N, 38.6mm였으며 니트 섬유구조 1yam의 경우 인장 파단하중은 Table 3의 K-1 ~ K-5 까지 파단하중(Max. load) 평균값의 1/10인 약 110N이었으며 변위는 38.6mm로 평가되었다.

일방향 1안과 4안의 평균인장 하중-변위선도는 4안의 경우 변위가 약간 증가하는 경향으로 평가되었다. 니트섬유구조는 1안 일방향 섬유보다 약 48%의 인장파단 하중이 감소하였고, 변위는 약 92%가 증가함을 알 수 있었다. 이러한 원인은 안이 형성하는 루프(loop)로 인해서 일방향 섬유보다 니트구조의 섬유강도는 저하하지만, 변위가 증가함을 알 수 있다.

Table 3 Result of tensile load and displacement test (kevlar yarn)

Specimen No.	Max. load(N)	Displacement (mm)	Reference
U-K-1	211.7	3.1	1Yarn
U-K-2	215.6	2.7	
U-K-3	203.8	2.8	
U-K-4	196	3.1	
U-K-5	222	2.9	
ave.	209.8	2.9	
U-K4-1	782	2.8	4Yarns
U-K4-2	803.6	3.1	
U-K4-3	793.8	3.1	
U-K4-4	764.4	2.7	
U-K4-5	710	3.5	
ave.	773	3.04	
K-1	1097.6	35	Double Knitting (10Yarns)
K-2	1225	41	
K-3	952.9	50	
K-4	1014.3	33	
K-5	1176	34	
ave.	1093.16	38.6	

4.2 복합재료 인장실험

니트섬유에 레이 인(lay-in)한 구조를 갖는 케블라 섬유강화 복합재료의 웨일(wale), 코스(course)방향에 대한 인장실험을 하였다. 웨일, 코스방향의 실험결과를 바탕으로 크러쉬 시험시 시험편의 길이 방향을 결정할 수 있고 인트루전 비임 길이 방향을 결정할 수 있기 때문에 웨일과 코스 방향의 인장강도는 하나의 중요한 factor가 될 수 있다.

Fig. 15와 Table 4에 코스, 웨일방향에 대한 인장하중 - 변위

의 실험결과를 도시하였다. 코스, 웨일방향의 파괴하중과 변위는 각각 6.7kN, 6.5mm와 2.5kN, 14.4mm를 보였다. 코스방향의 파괴하중 값이 웨일방향보다 약 63%가 높게 나타남을 알 수 있는데, 이는 코스방향으로 레이 인되었기 때문에 강화효과가 크게 나타난 것으로 생각된다. 반면에 변위는 웨일방향이 코스방향보다 약 53%가 높게 나타남을 알 수 있다. Fig. 16은 코스, 웨일방향의 인장 파괴표면을 SEM 사진 촬영한 결과로써 양 방향 모두다 시험편 대부분이 Fig. 16의 (a)와 같이 얇은 가교(bridging yarn)를 관찰할 수 있었으나 인장강도가 강한 코스방향에서는 (b)와 같이 부분적인 섬유 파단이 일어남을 알 수 있다. 따라서 웨일방향이 코스방향보다 연성이 우수하게 나타났다으며 인장강도가 큰 코스방향을 굽힘실험시 굽힘시험편의 길이 방향이 되도록 하였다.

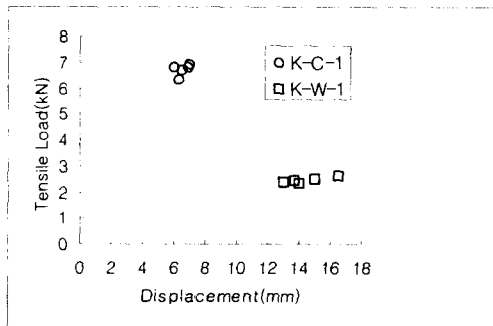
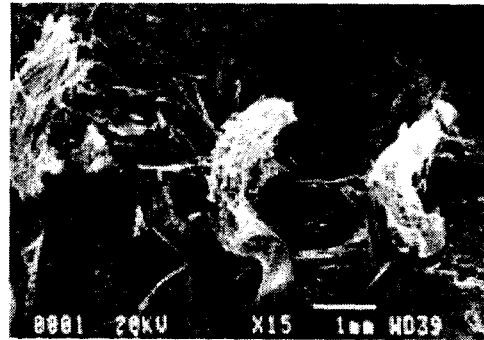


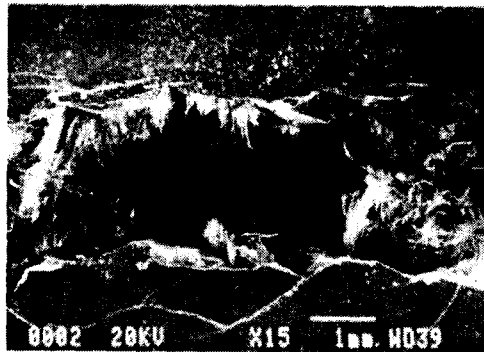
Fig. 15 Relation between tensile load-displacement of course and wale direction

Table 4 Result of course and wale direction for tensile load-displacement test

Specimens	Max. load(kN)	Displacement(mm)	Tensile stress(MPa)
K-C-1	6.8	6	86.36
K-C-2	6.82	6.9	86.61
K-C-3	6.9	7	87.63
K-C-4	6.3	6.25	80.01
K-C-5	6.7	6.5	85.09
ave.	6.704	6.53	85.14
K-W-1	2.4	13	29.53
K-W-2	2.35	14	28.91
K-W-3	2.45	13.7	30.14
K-W-4	2.6	16.5	31.99
K-W-5	2.5	15	30.76
ave.	2.46	14.44	30.266

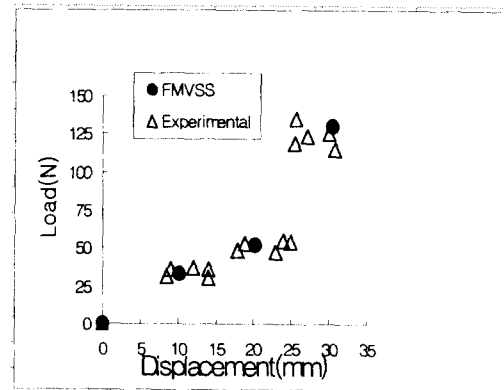


(a)

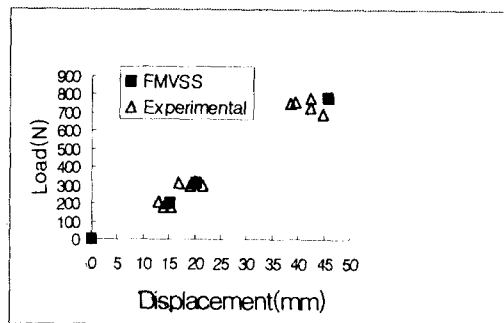


(b)

Fig. 16 Bridging yarns feature of SEM photographs of after tensile fracture



(a) A type



(b) B type

Fig. 17 Relation between experimental and FMVSS of bending load and displacement

4.3 케블라 섬유강화 복합재료 굽힘시험

굽힘하중과 변위는 FMVSS 214에서 요구하는하중과 변위를 인트루전 비임의 풀 사이즈(950mm × 500mm)로 가정했을 때 풀 사이즈 면적과 시험편 사이즈의 면적비로 계산한 식 (2.1)로 계산하여 허용범위를 결정하였다. 변위는 풀 사이즈 길이와 시험편 사이즈의 길이비로 계산한 식 (2.2)로 계산하여 허용범위를 결정하였다. Fig. 17 (a), (b)의 A 타입, B 타입과 Table 5는 굽힘시험 결과와 크러쉬 시험 초기저항값, 피크(peak) 저항값과의 비교결과이다.

Table 5 Result of 3-point bending test

Specimens	Max load(N)	Displacement(mm)	Bending stress(MPa)
K-A-1	125	30.04	52.67
K-A-2	119	25.5	50.12
K-A-3	123	27.05	51.82
K-A-4	135	25.6	56.9
K-A-5	115	30.8	48.45
ave.	123.4	27.8	52
K-B-1	780.8	42.3	117.12
K-B-2	755.5	39.5	116.33
K-B-3	695.3	44.8	104.3
K-B-4	730.5	42.5	109.58
K-B-5	750.5	38.5	112.58
ave.	742.52	41.52	111.98

A type 시험편의 경우 FMVSS 214에서 요구하는 초기, 중간, 피크 크러쉬 하중, 변위값은 각각 약 33.32N, 51.86N, 129.65N, 10mm, 20mm, 30.5mm이며 B type은 각각 약 199.9N, 311.7N, 777.9N, 15.2mm, 20.3mm, 45.7mm이었다. A type, B type 시험편 모두 중간 crush 저항까지의 하중과 변위는 FMVSS 214에서 요구하는 값을 얻을 수 있었다. 그러나 peak값은 약간 낮게 나타나는 결과를 나타내었다. 따라서 KFRP는 FMVSS 214에서 요구하는 crush 중간 저항 하중, 변위를 만족함을 보였다.

4.4 복합재료 충격시험

낙추를 이용하여 KFRP충격 시험편에 충격을 줄 때 시험편의 강도, 흡수에너지 특성을 고찰하기 위하여 KFRP 충격 시험편을 지그에 부착하여 U.T.M에 올려놓고 정적 굽힘시험을 행하여 하중, 변위데이터로부터 파괴할 때 까지의 하중 변위선도를 구했다. Fig. 18은 충격시험편의 정적 굽힘하중이 2.23kN인 경우의 정적 하중과 변위의 선도이다.

정적 굽힘하중은 2.23kN였으며, 굽힘 시험시에는 변위 10mm에서 변위 20mm까지 손상음이 5회정도 발생하였지만 시험편

에는 큰 변화는 없었고 변위 22.5mm에서는 손상음이 크게 발생하면서 하중의 변화가 크게 나타났으며, 이때 하중이 급격하게 변화하면서 결국 파괴되었다. 이러한 정적 파괴하중을 고려하여 낙추의 높이를 2.2m로 실험하였다.

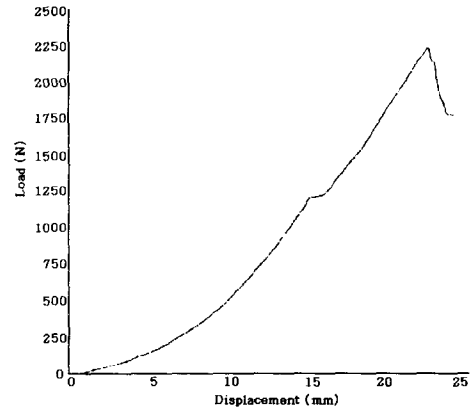
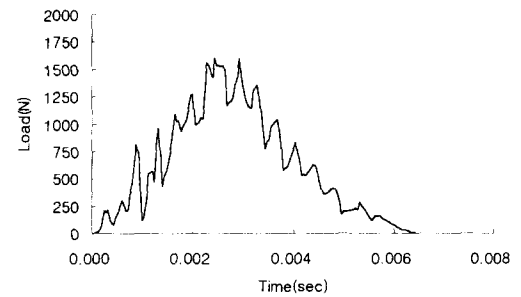
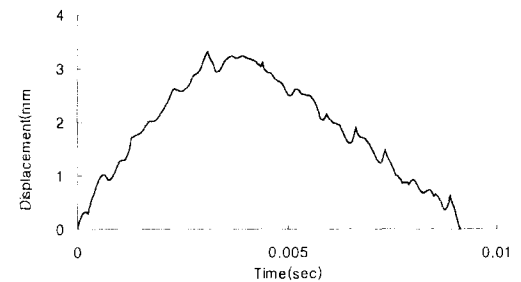


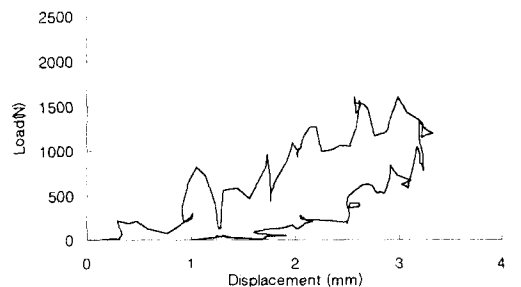
Fig. 18 Relation between static bending load and displacement



(a) Load - time curve



(b) Displacement - time curve



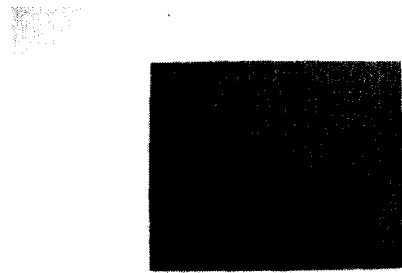
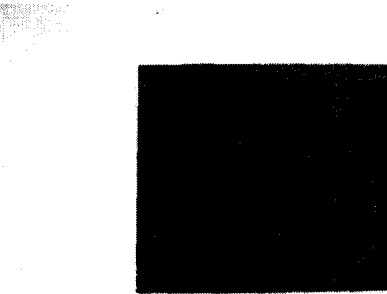
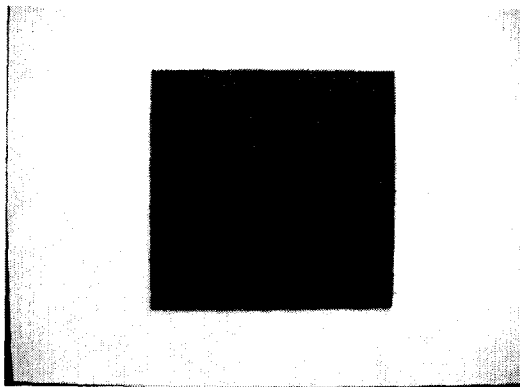
(c) Load- displacement curve [Impact energy : 2.35J]

Fig. 19 Result of Drop-Weight impact test (Impact energy : 2.35J)

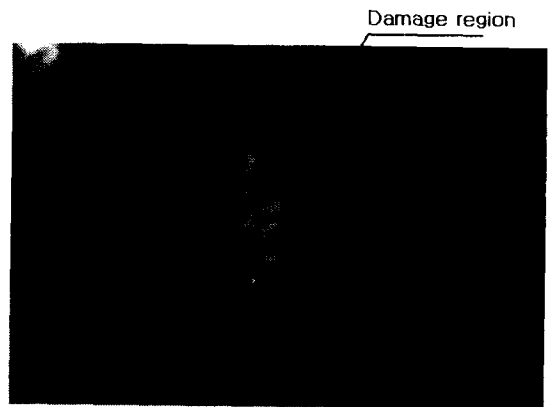
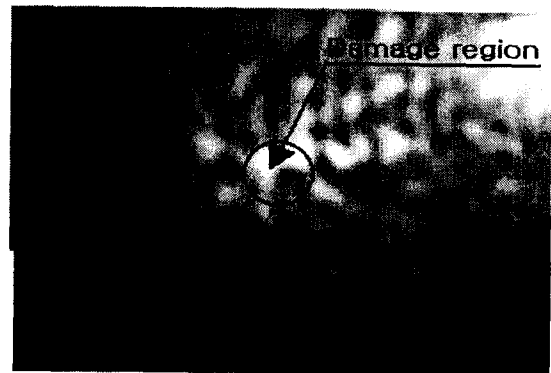
Table 6 Result of drop-weight impact test

시편종류	최대하중 (kN)	최대변위 (mm)	흡수에너지 (J)
Kevlar1	1.604	3.34	2.35
Kevlar2	1.858	3.36	2.11
Kevlar3	1.695	3.34	1.98
Kevlar4	1.840	3.17	2.13
Kevlar5	1.773	3.13	2.12
ave.	1.75	3.27	2.14

Fig. 20은 충격을 가하기 전 시험편(a)와 충격 후의 시험편(b)을 사진촬영한 결과로써 3개의 시험편을 도시하였다. 충격을 받은 후에도 시험편의 전·후면에는 미소한 손상만이 관찰되었다. 한편 복합재료 연구자들의 연구결과에 의하면 GFRP나 CFRP의 경우는 충격을 받은 시험편이 파괴되어 충격체가 관통되거나 큰 손상이 관찰되어 취성재료로 평가되고 있으나, KFRP는 연성재료로 평가되고 있다(김 등, 1998). 따라서 KFRP의 충격 후의 충격파면을 관찰한 결과 연성이 우수한 재료임을 평가할 수 있었으며 인트루전 빔(intrusion beam) 재료로 사용하기에 적합함을 알 수 있었다.



(a)



(b)

Fig. 20 Relation between damage of before and after impact

5. 결 론

자동차 사이드 도어용 intrusion beam 개발을 위한 케블라 니트 섬유강화 복합재료의 기계적 특성을 고찰한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 니트 섬유구조는 일방향 섬유구조보다 약 48%의 인장 파단하중이 감소하였으나 변위는 약 92%가 증가하였다.
- (2) 니트 섬유구조의 course 방향에 lay-in한 케블라 섬유강화 복합재료의 인장 파괴하중은 course 방향의 파괴하중이 wale 방향보다 약 63%가 높게 나타났다.
- (3) 니트 섬유강화 복합재료의 굽힘실험을 실시하여 준 정적 crush 시험값과 비교한 결과 FMVSS No.214에서 요구하는 crush 중간 저항값까지를 만족할 수 있었다
- (4) 충격 후 파면은 손상이 작은 연성재료로서 intrusion beam 제작에 적합한 재료임을 확인 할 수 있었다.

후 기

이 논문은 1996년도 조선대학교 교수 해외파견 연구비의 지원을 받아 연구되었으며 이에 감사를 드립니다.

참 고 문 헌

김 철, 김성민, 강태진(1998). "케블라 다축 경편 성물 보강

복합재료의 충격에너지 흡수기 구에 관한 연구", 한국복합재료학회지, 제11권, 6호. pp 69~78.

Dewalt, P. L. and Richard, R. P.(1994). "Just how good are knitted fabrics". J. Reinf. Plast. and Comp., 13, pp 908~917.

Horsting, K., Wulhorst, B., Franzke, G. and Offermann, P.(1993). "New types of textile fabrics for fiber composites", SAMPLE J., 29, pp 7~12.

Ko, F. K., Pastore, C. M., Ynag, J. M. and Chou, T. W.(1986). "Structure and properties of multilayer multidirectional warp knit fabric reinforced composites", Proc. of 3rd Japan-US conference, Tokyo, pp 21~28.

Ramakrishna, S. and Hull, D.(1993). "Energy absorption capability of epoxy composite tubes with knitted carbon fiber fabric reinforcement", Comp. Sci. & Tech., 49, pp 349~356.

Rudd, C. D., Owen, M. J. and Middleton, V.(1990). "Mechanical properties of weft knit glass fiber/polyester laminates", Comp. Sci. & Technol., 39, pp 261~277

T. Steinnacker, Patberg, L.(1997). "Ford Door Project Fiber - reinforced materials in car manufacturing", Institute für kraftfahrwesen, pp 4~7.

2000년 3월 3일 원고 접수

2000년 5월 13일 수정본 채택