

GMT-Sheet의 접합에 있어서 기계적 성질에 미치는 성형조건의 영향

김 혁* · 최유성* · 서 진* · 한길영** · 이동기**
*조선대학교 대학원 정밀기계공학과, **조선대학교 공과대학 기계공학부

Effect of Molding Condition on Mechanical Properties during Joining of GMT-Sheet

H. KIM, Y. S. CHOI, J. SEO, G. Y. HAN AND D. G. LEE
*Dept. of Precision Mechanical Engineering, Chosun University, Gwang-ju 501-759, Korea
**School of Mechanical Engineering, Chosun University, Gwang-ju 501-759, Korea

KEY WORDS: Glass mat reinforced thermoplastic-sheet (GMT-Sheet) 유리섬유강화 열가소성 복합재료 시트, Randomly oriented composite 랜덤재, Unidirectional oriented composite 일방향재, Joining efficiency 접합효율, Compression ratio 압축비, Degree of nonhomogeneity 불균질도, Lap joint 겹치기 이음, Closure speed 압축속도

ABSTRACT: The application as the parts of an automobile, using the property of GMT-Sheet, is increasing. In order to exchange the parts of an automobile for GMT-Sheet, at first, the establishment and joining problem of exact joining strength must be determined. We have studied it using composites which is not same each other fiber oriented condition so as to determine joining strength and joining condition of GMT-Sheet. In this study, the result of experiment of forming condition concerned joining problem of GMT-Sheet is this ; joining efficiency of GMT-Sheet, increases as lap joint length L increases. Increase of compression ratio causes decrease of joining efficiency after of GMT-Sheet joining. In the viewpoint of recycling, randomly oriented composite of GMT-Sheet is desirable more than unidirectional oriented composite. We has better design the structure so as not to occur to stress centralization on the joining part.

1. 서 론

열가소성 복합재료 시트(glass mat reinforced thermoplastic-sheet : 이하 GMT-sheet라 한다)는 방향성이 없는 무배향(random) 유리섬유 매트와 일방향으로 배향된 직선섬유를 조합시킨 UD grade (unidirection grade)가 개발되어 사용되고 있다. 특히, 무기물과 유기물을 잘 결합시켜 제작된 GMT-sheet는 열경화성 복합재료의 강도 수준에 근접할 뿐만 아니라 열경화성 복합재료의 취약점으로 지적되고 있는 생산성, 리사이클성, 내충격성 등이 우수하다. 그리고 성형성, 강도, 경도, 내약품성 및 가격이 비교적 저렴하면서도 강성 및 인성이 우수하다는 등의 많은 장점을 가지고 있으며, 열가소성 플라스틱을 모재로 하기 때문에 재활용의 측면에서 현재 가장 주목받고 있는 복합재료이다(Mallick et al., 1990; 자동차용 복합재료, 1990; 이등, 1996). 이와 같이 GMT-sheet 자체가 가지고 있는 특성을 이용해 자동차용 부품으로 그 활용도가 커지고 있고, 그 외 비자동차용으로도 그 활용 범위가 넓어지고 있어 보다 광범위한 활용을 기대하기 위해서는 GMT-sheet의 접합문제가 선결되어야 한다(Kim and Hwang, 1995).

Hipol 등은 비틀림 하중하에서 복합재료와 강철튜브로 구성된 원형 접착 조인트에 대한 해석을 수행하여 강철 피접착부가 부분적으로 경사졌을 경우의 응력감소 효과는 단지 부분적

일 뿐이라는 결론을 내렸다(Hipol, 1984). 그리고 Lee 등은 강철-강철 피접착부를 가지는 원형 single lap 접착 조인트의 정적 토오크 전달 용량이 접착 두께에 미치는 영향에 대해 연구하여 접착 두께가 증가함에 따라 토오크 전달용량은 감소함을 고찰하였다(Lee et al., 1992). Yu 등은 알루미늄 합금 단순겹치기 이음의 접착강도 시험을 수행하여 랩길이, 피착재 두께, 접착층 두께를 함께 고려한 이음계수를 제안하여 접착강도 특성을 평가하였다(Yu et al., 1998). 그외 지금까지 접착 조인트에 대한 많은 연구 등이 수행되었으나, 최근까지도 GMT-sheet의 프레스 랩 접합에 관한 체계적인 연구가 진행되지 못하여 접합강도에 신뢰성이 확립되지 않은 상태이다(Kwon et al., 1998; Lee et al., 2000; Moon, 1996; Moon, 1998).

GMT-sheet의 접합에 대한 연구는 기존의 차량부품을 GMT-sheet로 대체하고 재활용하기 위해서 정확한 접합강도의 설정 및 접합조건인 접합부의 랩길이, 압축비, 압축속도 등에 미치는 영향에 관해 연구되어야 하나, 아직까지 체계적인 연구 결과를 제시한 경우는 거의 없는 실정이다. 그러므로 GMT-sheet 성형품의 접합이나 안정성 있는 성형품 생산에는 많은 애로점을 가지고 있어 이에 대한 연구가 시급한 상태이다. 이로 인해 기존의 차량부품의 대체보다는 신규 개발차량의 부품개발에만 한시적으로 적용되고 있는 실정이다.

본 연구에서는 고강도, 고강성 구조부재로 사용되는

GMT-sheet의 성형조건 및 랩(lap) 접합조건을 결정하기 위하여 섬유 함유율과 섬유배향 상태가 서로 다른 재료를 사용하여 연구한다. GMT-sheet의 고온·압축 프레스 랩 접합성형시 접합강도와 랩 접합이음효율을 명확히 하고 접합 이음부의 랩길이에 관한 연구자료를 제시함으로써, 기존제품의 대체 및 비자동차 분야에서의 꾸준한 용도 개발에 기여할 뿐만 아니라 구조물의 설계 자료로서 명확한 역학적 특성을 규명하는데 그 목적을 두고 있다.

2. 압축비, 섬유 함유율비 및 불균질도의 정의

고온·압축 프레스 접합성형시 Fig. 1과 같이 시험편을 배열하고, 재료의 흐름은 Fig. 2와 같이 폭방향을 구속하여 길이방향으로만 되게하여 초기두께 h_0 를 h 까지 압축한 경우의 압축비 R_{cr} 은 식 (1)과 같이 정의한다(Hojo *et al.*, 1987).

$$R_{cr} = 1 - \frac{h}{h_0} \quad (1)$$

여기서 h : 성형후의 두께
 h_0 : 성형전의 두께

시험편의 단면에 작용하는 평균 수직응력의 계산식은 식 (2)와 같고 실험의 횟수는 각각 5회씩 수행하여 평균값으로 계산하였다(Denton *et al.*, 1985).

$$\sigma_{(t,c)} = \frac{P_{(t,c)}}{b \cdot t} \quad (2)$$

여기서 $\sigma_{(t,c)}$: 최대 수직응력(MPa)
 $P_{(t,c)}$: 최대 하중(N)
 b : 시험편의 폭(m)
 t : 시험편의 두께(m)
 t, c : 인장, 압축

또한 충격에너지는 하중-시간곡선의 밑면적을 디지털면적계(Koizuml model: KP-90, Japan)에 의해서 정밀하게 측정되었고, 식(3)에 의하여 에너지로 환산하였다(Kim *et al.*, 1995)

$$E = \frac{A C_x C_y P_d V_m}{C_a} \quad (3)$$

여기서 E : 전함수 에너지 (N·m)
 A : 하중-시간곡선의 밑면적 (m^2)
 C_x : time sweep rate/div (sec/div)
 C_y : vertical sensitivity (volt/div)
 P_d : load factor (N/volt)
 V_m : tube의 평균속도 (m/sec)

고온·압축 프레스 성형중의 섬유를 고체, 모재를 액체로 하는 고액 혼상류는 성형이 진행됨에 따라 유동속도차에 의해서 분리가 생기며 이로 인하여 성형품은 불균질하게 된다. Fig. 2

와 같이 압축성형 후에 성형품의 불균질의 정도를 측정하기 위한 연소시험은 Fig. 3과 같이 성형품의 중립면에서 x축을 따라서 각각 10 mm×10 mm로 채취한다. 그리고 전기로를 사용하여 시험편을 600℃에서 30분간 가열·연소하고, 연소전후의 무게를 정밀전자저울(1/10,000g)로 섬유함유율비를 측정하여 섬유함유율비 Q_{fr} 을 식 (4)로 계산한 후 섬유함유율 분포를 Fig. 4와 같이 나타낼 수 있다(Lee *et al.*, 1993).

$$Q_{fr} = \frac{q_f}{q_{f0}} \quad (4)$$

여기서 q_f : 성형후의 중량섬유함유율
 q_{f0} : 성형전의 중량섬유함유율

고온·압축 프레스 성형한 GMT-sheet 성형품의 각각의 실험강도값에 의한 랩 접합이음효율(η)은 식(5)와 같이 나타낼 수 있다(Choi *et al.*, 2000).

$$\eta = \frac{\text{접합이음 후의 성형강도}}{\text{접합이음 전의 성형강도}} \times 100(\%) \quad (5)$$

Fig. 2와 같이 고온·압축 프레스 성형한 GMT-sheet 성형품은 분리가 심할수록 불균질하게 되어, Fig. 4와 같이 섬유함유율비와 유동거리와의 관계를 2차원함수 그래프로 나타낼 수 있다. Fig. 4에서 성형품은 분리가 심해질수록 사선부분의 영역이 더 크게 되어 불균질함을 알 수 있다. 섬유함유율 분포곡선 Q_{fr} 을 2차함수로 하고 계수 c_1, c_2, c_3 를 최소자승법에 의해서 구한 후 사선의 면적을 계산하여 성형품 불균질의 정도를 나타내는 불균질도 Γ 를 식 (6)과 같이 나타낼 수 있다(Hojo *et al.*, 1987)

$$\Gamma = \frac{\text{사선의 면적}}{B \times 1} \quad (6)$$

여기서 Γ 는 무차원 수이며, 0에서 1사이에 있으나 0에 가까워지면 성형품은 균질에 가깝게 된다.

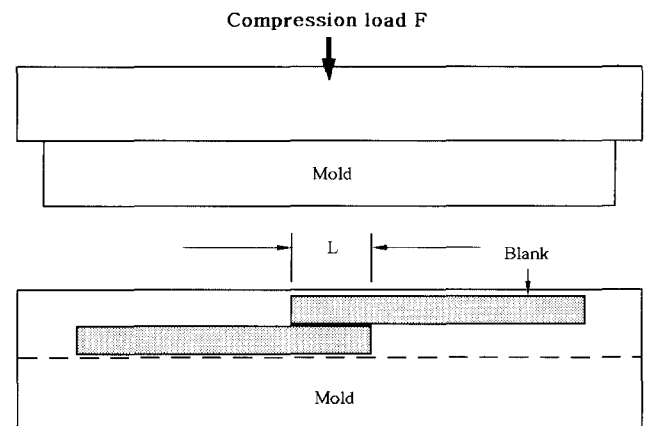


Fig. 1 Illustration of GMT-sheet joining process

3. 실험

3.1 GMT-Sheet 복합재 물성 및 성형조건

실험에 사용한 재료는 시판되고 있는 미국 Azdel사 제품으로서 두께 h_0 가 3.8 mm인 GMT-sheet중 방향성이 없는 랜덤 유리섬유매트로 강화하여 섬유함유율이 각각 20wt%, 30wt%, 40wt%인 랜덤재(모재: polypropylene, 강화재: random glass mat, 이하 R2038, R3038, R4038이라 한다), 그리고 일방향으로 배향한 직선섬유를 방향성이 없는 랜덤 유리섬유매트로 고정하여 강화시킨 섬유함유율이 각각 40wt%, 42wt%, 50wt%인 일방향재(모재: polypropylene, 강화재: unidirectional glass mat, 이하 U4038, U4238, U5038이라 한다)를 사용하였다. 이 GMT-sheet내 섬유 및 플라스틱의 밀도는 각각 2.55 g/cm^3 , 0.9 g/cm^3 이다.

시험편은 GMT-sheet를 다이아몬드 커터(Beuhler, model: Powermat 2000)를 사용하여 32 mm (폭) \times 100 mm (길이) \times 3.8 mm (두께)의 직사각형판으로 절단한 후, 시험편을 가열용 전기오븐(200°C)에서 약 30분간 가열하여 Fig. 1과 같이 블랭크를 금형에 충전한 후 Fig. 2와 같이 압축성형 하였다. 본 실험에서 금형캐비티(cavity)의 치수는 $32 \text{ mm} \times 300 \text{ mm}$ 로 하고, 가압장치는 25톤 유압 열프레스(Carver, model: 2518)를 사용하였다. 금형에는 열전대를 부착시키고 가열은 봉 및 판 히터를 사용하였다(Lee et al., 1995).

GMT-sheet의 고온·압축 프레스 성형시 압축속도에 따른 압축비와 압축하중, 불균질도의 관계를 고찰하기 위하여 프레스의 압축속도는 0.1 mm/min , 1 mm/min , 10 mm/min , 100 mm/min 의 4종류로 하여, 각각의 압축속도에 대하여 압축비를 변화하여 압축성형하였다. 압축성형시 x-y레코더를 이용하여 각 성형조건에 따른 하중값을 구하였다. 압축된 시험편의 두께는 다이얼 게이지를 장착하여 구하였다.

GMT-sheet의 고온·압축 프레스 성형전 후의 기계적 성질은 Table 1에 나타냈으며, 유리섬유가 일방향으로 강화된 일방향재 U4238은 랜덤재 R4038보다 인장강도 및 압축강도 값이 크게 나타남을 알 수 있다. 이 Table 1의 값들은 GMT-sheet 시제품의 랩 접합이음효율을 예측하기 위하여 Fig. 2와 같이 고온·압축 프레스 성형하여 나타난 강도값이며, 성형전보다 성형후 강도 값들이 약 10% 떨어짐을 알 수 있다. 여기서 *는 성형전 시험편의 강도 값이고, **는 성형후의 강도 값이며, 이때 성형조건에서 블랭크와 금형온도는 200°C 로 동일하게, 압축비는 0으로, 프레스 압축속도는 100 mm/min 로 하였다.

Table 1 Mechanical properties of R4038 and U4238

Specimen	Unit	R4038	U4238
Glass fiber content	wt%	40	42
Tensile strength	MPa	* 88 ** 80	* 93 ** 84
Compressive strength	MPa	* 86 ** 79	* 91 ** 85

* Virgin (Before molding), ** Recycled (After molding)

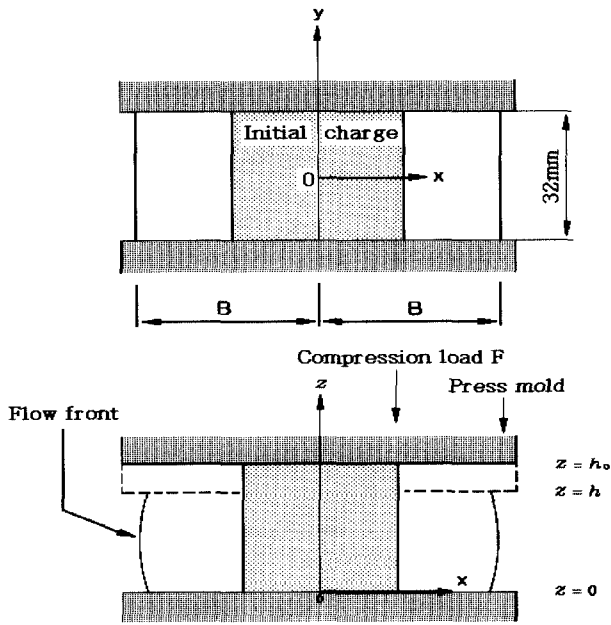


Fig. 2 Nomenclature for slab-shaped part compression molding

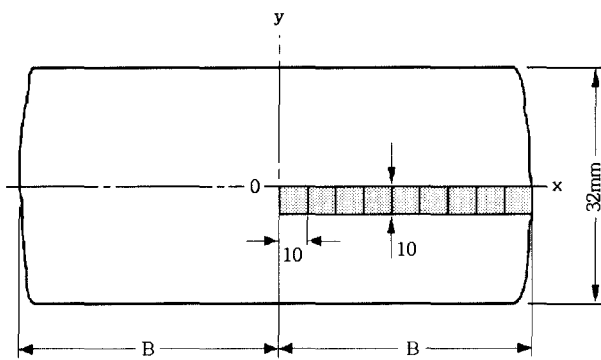


Fig. 3 Parts for measuring fiber content by means of burning

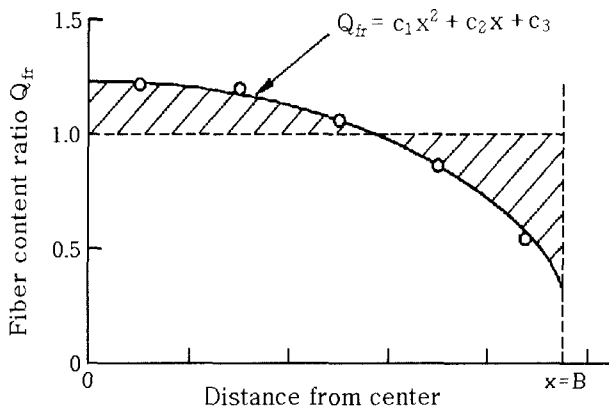


Fig. 4 Distribution of the fiber content ratio

3.2 GMT-sheet의 랩 접합성형 및 강도시험

열가소성 플라스틱은 온도가 올라감에 따라 연해져 녹으므로, 낮은 온도에서 용접으로 접합시킬 수 있다. 용접은 접착제로 접합하지 못하는 섬유강화 플라스틱 복합재료의 접합에 특히 유용하다.

고온·압축 프레스 랩 접합성형된 GMT-sheet의 두께 t (3.8 mm)에 대하여 랩길이 L 은 1t, 3t, 5t, 7t, 9t의 5종류로 하고, 이때 접합성형에서 블랭크와 금형온도는 200 °C로 동일하게 하여 앞에서 언급한 Fig. 1과 같은 방법에 의해 Fig. 2와 같은 캐비티를 갖는 금형에 충전하고, 폭방향을 구속하여 길이방향으로만 유동하도록 하여 랩 접합성형하였다.

단순 고온·압축 프레스 랩 접합 이음부의 접합강도를 측정하기 위하여 인장, 압축, 충격시험하였다. 이때 시험편의 파단강도는 파단하중을 시험편 단면적(시험편 폭×두께)으로 나눈 값으로 하였고, 각 실험조건에 대하여 5회 반복 실시하여 그 평균값으로 하였다.

인장시험의 경우 인장시험편에 랩을 부착하면 랩부분의 접합 문제를 또 다시 고려해야 하므로 정확한 측정이 어려워지고, 판 시험편으로 제작하였을 경우 인장시험 때 그립(grip)부분이 파괴되어 정확한 강도측정이 어렵기 때문에, ASTM D638 규격(Denton *et al.*, 1985)을 고려하여 25.4 mm(폭)×152.4 mm(길이)로 하였으며, 표점거리는 76.2 mm로 제작하였다. 재료시험기(Ston, 영국, Hounds-Field)의 크로스 헤드속도는 1 mm/min의 일정변위 속도로 하였다.

압축시험에 사용한 시험편은 ASTM D3410-87 규격을 고려하여 25.4 mm(폭)×139.7 mm(길이)로 하여 표점거리는 12.7 mm로 제작하고, 압축지그는 ASTM D3410-87의 규격을 참조하여 제작하였다(Kim *et al.*, 1995). 압축시험에서 크로스 헤드속도는 1.26 mm/min로 하였다.

충격시험은 Force Transducer가 내장된 ITR-2000 충격시험기에 의하여 PC로 계산된 충격에너지 값을 이용하였으며, ASTM D256규격을 고려하여 10 mm(폭)×55 mm(길이)로 하였고, 접합부를 노치(notch)라고 가정하여 노치는 가공하지 않았다. 여기서 충격속도는 1.65 m/sec로 하였다.

연 X-선 사진을 촬영하기 위하여 사용한 X-선 발생장치는 일본 아코마 HF-46(mammography)이며, 필름은 일본 후지사 제품(MI-NC이료용 X-ray필름, 180 mm×240 mm)을 사용하였다(Kim *et al.*, 1996).

4. 실험결과 및 고찰

Fig. 5는 GMT-sheet(R4038, 40wt%)의 성형조건을 고찰하기 위하여 절단된 직사각형 시험편을 Fig. 2와 같이 고온·압축 프레스 성형하여 압축속도에 따라 압축비와 프레스의 압축하중과의 관계를 나타낸 그림이다. 압축비가 증가하면 할수록 프레스의 압축하중이 증가하고, 압축속도가 빠를수록 압축하중도 증가함을 알 수 있다. 이러한 것은 복합재 내에 있는 섬유의 양이 많을수록 유동 성형중에 액체부분(폴리프로필렌) 보다는 고체부분(유리섬유)이 많기 때문이며, 압축속도가 빠를수록 물체를 움직이는 데 필요한 힘이 많이 소요되기 때문이다.

Fig. 6은 GMT-sheet(R4038, 40wt%)를 Fig 2와 같이 고온·압축 프레스 성형한 후 불균질도를 측정하기 위하여 압축속도 변화에 따른 압축비 R_{cr} 과 불균질도 Γ 와의 관계를 나타낸 그림이다. 이 그림에서 성형품의 불균질도는 유리섬유의 매트구조가 니들펀칭(needle punching)되어 서로 강하게 엉켜 있어서 압축비가 증가함에 따라 섬유와 모재와의 분리가 심해져 불균질도는 커지고, 압축속도가 작을수록 모재만 유동하기 때문에 불균질도가 크게 나타남을 알 수 있다(Lee *et al.*, 1995). 이는 모재와 강화재의 유동속도차에 의해서 분리가 생겨 성형품의 섬유함유율 분포가 변화됨을 나타내고 있다.

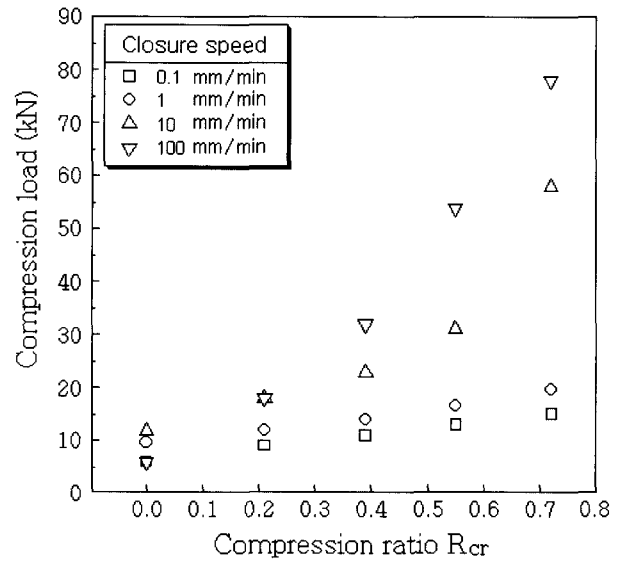


Fig. 5 Relationship between compression ratio R_{cr} and compression load F

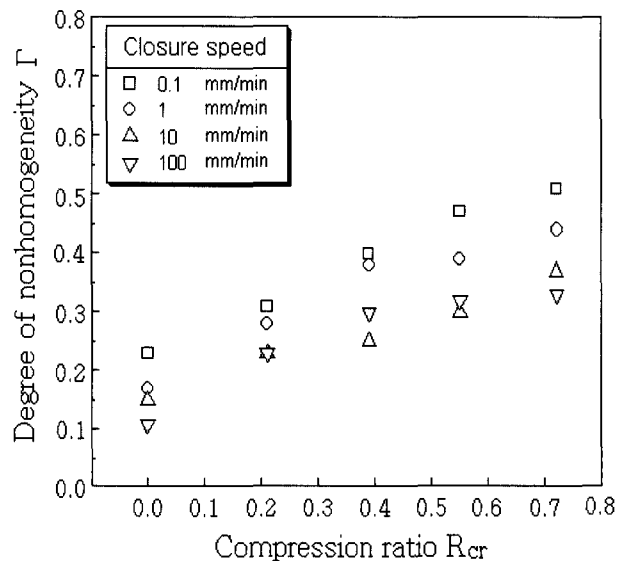
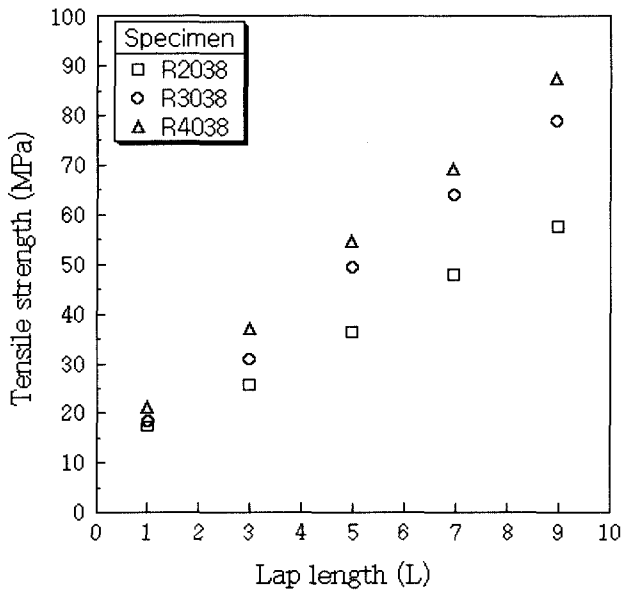


Fig. 6 Relationship between compression ratio R_{cr} and degree of nonhomogeneity Γ

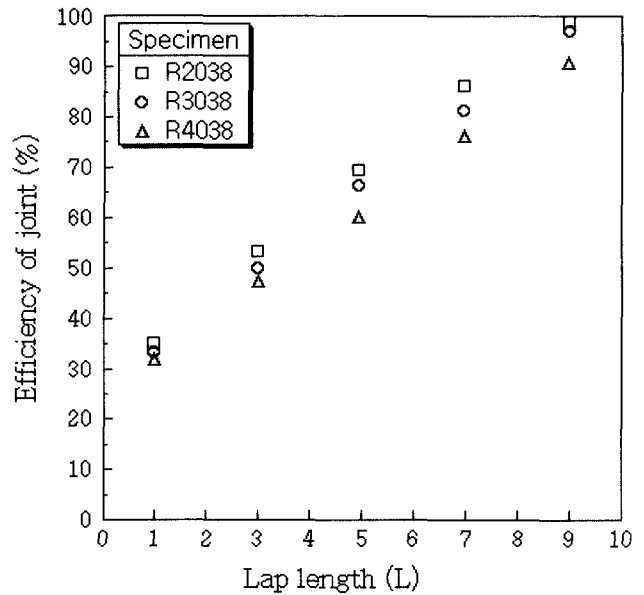
Fig. 7은 GMT-sheet를 고온·압축 프레스 랩 접합성형할 때 프레스 접합 이음부 랩길이가 접합 파단강도에 미치는 영향을 알아보기 위하여 실험한 결과를 나타낸 그림이다. 이 접합성형 시 시제품 시험편의 두께와 같도록 하기 위하여 성형전 시험편의 두께(h_0)와 같은 경우를 압축비(R_{cr}) 0으로 하여 Fig. 1과 같이 시험편을 겹쳐 놓은 다음 Fig. 2와 같이 폭방향을 구속한 후 길이방향으로 유동하도록 하였다. 랜덤재 R2038, R3038, R4038과 일방향재 U4038, U4238, U5038을 고온·압축 프레스 랩 접합성형하여 인장시험한 후 랩길이가 변화에 따른 랩 접합

강도값을 Fig. 7에 나타냈으며, 랩길이 L이 증가할수록 인장응력 값이 증가함을 알 수 있다.

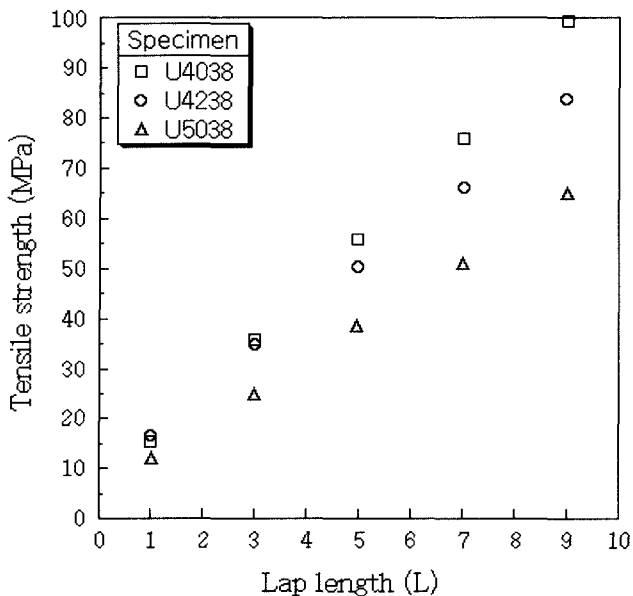
Fig. 7 (a)에서 랜덤재의 경우 섬유함유율이 증가할수록 인장응력 값이 증가함을 알 수 있고, Fig. 7 (b)에서 일방향재의 경우는 섬유함유율이 증가할수록 인장응력 값이 감소함을 알 수 있었다. 이는 랜덤재의 경우 용접 접합성형시 유리섬유가 유동하여 섬유가 유동방향으로 배향되어 섬유함유율이 높을수록 인장강도 값이 높게 나타났으나(Lee *et al.*, 1995), 일방향재의 경우는 섬유배향 상태가 유동방향과 같아 고온·압축 프레스



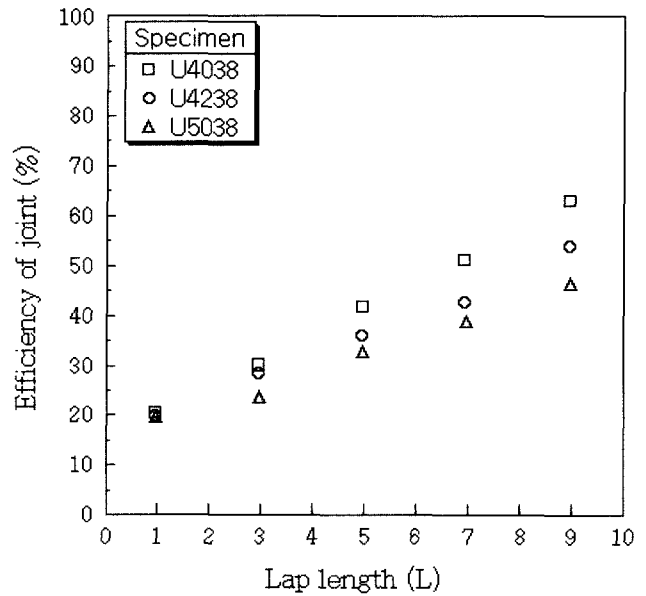
(a) Random GMT-sheet



(a) Random GMT-sheet



(b) Unidirectional GMT-sheet



(b) Unidirectional GMT-sheet

Fig. 7 Relation between tensile strength σ_t and lap length L (Tensile test)

Fig. 8 Effects of joining efficiency on the lap length L (Tensile test)

랩 접합성형시 유리섬유가 유동되지 않고 프레스의 높은 압축 압력으로 인하여 전단되어 강도저하의 원인이 되기 때문에 섬유 함유율이 높을수록 인장강도 값이 저하됨을 알 수 있다.

Fig. 8은 GMT-sheet의 랜덤재 R2038, R3038, R4038과 일방향재 U4038, U4238, U5038을 압축비(R_{cr})가 0인 조건에서 랩 접합성형 한 후 인장시험하여 랩길이 변화에 따른 랩 접합이음 효율을 나타낸 그림이다. GMT-sheet 시제품을 겹치지 않은 상태에서 Fig. 2와 같이 고온·압축 프레스 성형만을 한 후 인장

시험하여 얻은 성형재 강도값과 Fig. 1과 같이 랩 접합성형하여 구한 접합재의 강도값을 비교하여 랩 접합이음 효율로 하고, 각 랩길이에 따른 접합이음 효율을 비교하였다. Fig. 8 (a), (b)에 나타나 있는 바와 같이 랩길이 L이 증가할수록 랩 접합이음 효율이 증가함을 알 수 있다.

Fig. 8(a)에서 랜덤재 R2038, R3038, R4038의 랩 접합이음 효율은 거의 유사하게 나타났으나, Fig. 8(b)에서 일방향재 U4038, U4238, U5038은 섬유 함유율이 높을수록 접합이음 효율이 감소함을 알 수 있다. Fig. 8(b)에서 섬유 함유율이 낮을수록 접착제 역할을 하는 모재의 가용성이 양호하므로 접합 효율이

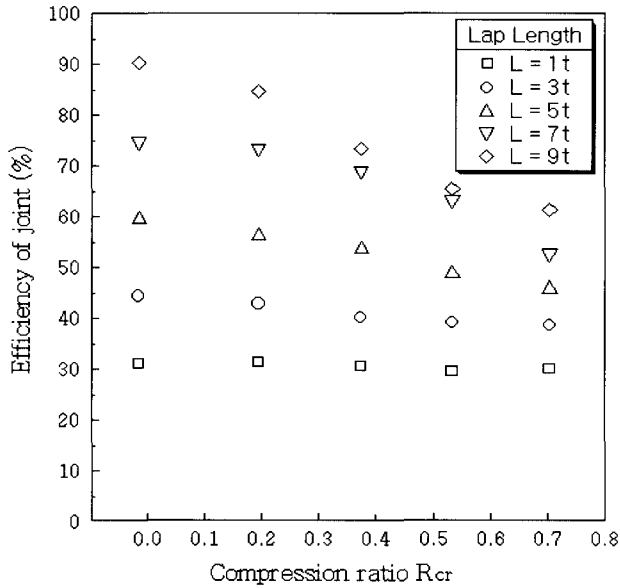
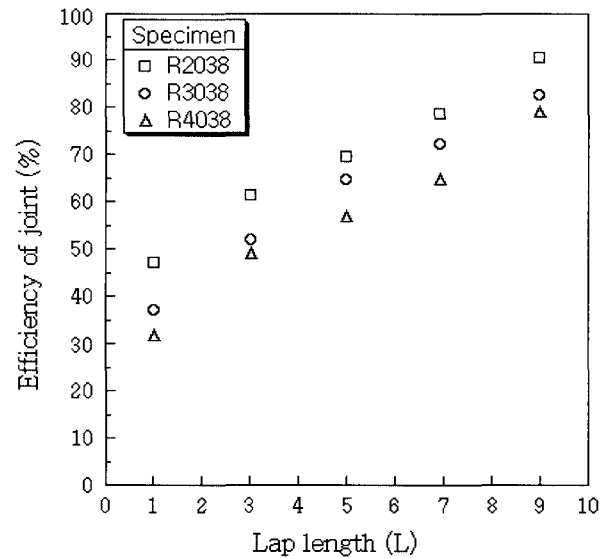


Fig. 9 Effects of joining efficiency on the compression ratio R_{cr} (Tensile test)



(a) Random GMT-sheet

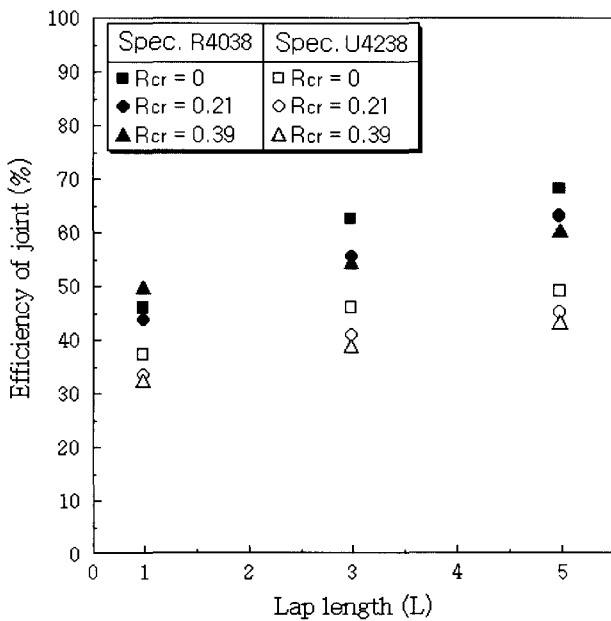
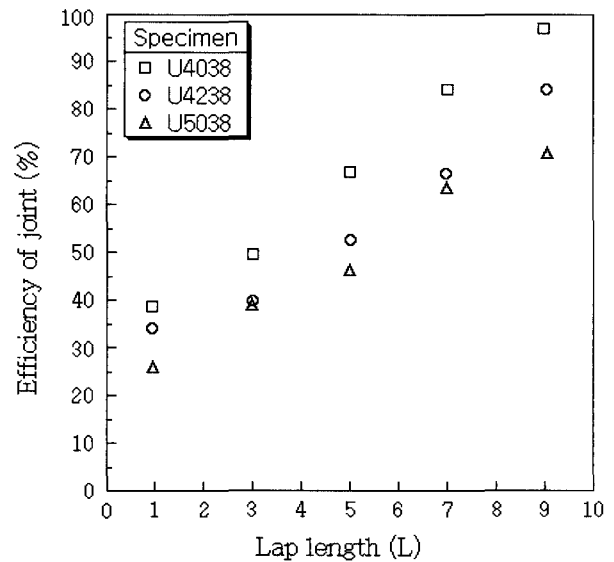


Fig. 10 Effects of the joining efficiency on the lap length L (Compressive test)



(b) Unidirectional GMT-sheet

Fig. 11 Effects of joining efficiency on the lap length L (Impact test)

높게 나타났으며, 랜덤재가 일방향재 보다 랩 접합이음효율이 높게 나타남을 알 수 있다. 이는 GMT-sheet를 고온·압축 프레스 성형시 랜덤재는 섬유가 길이방향으로 유동이 되나, 일방향재는 섬유가 유동방향으로 놓여있어 섬유가 배향되지 않고 프레스의 높은 압축압력 때문에 모재인 수지만 유동하여 분리가 심하게 될 뿐만 아니라 섬유가 많이 전단되기 때문이다.

GMT-sheet 접합 성형시 랩길이가 증가함에 따라 성형품의 강도와 접합이음효율이 증가하고 있다. 이는 랩접합 성형시 강화재인 유리섬유는 용융되지 않아 유리섬유끼리 접촉되지 않으나, 모재인 폴리프로필렌이 열가소성 수지로 가용성이 우수하여 접착제 역할을 강화하기 때문에 단위면적이 증가함에 따라 성형품의 강도와 접합이음효율이 선형적으로 증가함을 볼 수 있다.

Fig. 9는 GMT-sheet(R4038, 40wt%)를 랩 접합성형 한 후 인장시험하여 압축비와 랩 접합이음효율과의 관계를 나타낸 그림이다. 이 그림에서 랩길이가 길고 압축비 값이 적을수록 랩 접합이음효율이 높게 나타남을 알 수 있다. 랩 접합성형시 랩 길이가 적을 때는 압축비에 관계없이 접합이음효율이 일정하였다. 그러나 랩길이가 길 때 압축비가 증가함에 따라 랩 접합이음효율이 감소하는 이유는 랩 접합성형시 모재인 폴리프로필렌은 유체이므로 유동이 잘되고, 강화재인 유리섬유는 고체이므로 잘 유동되지 않아 랩접합 성형품이 불균질하게 되어 강도저하의 원인이 됨을 알 수 있다(Lee et al., 1995).

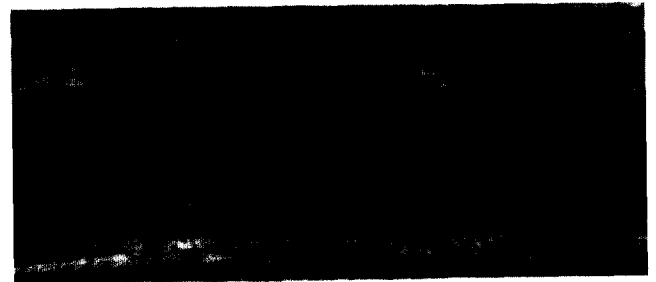
압축성형시 프레스의 높은 압축압력 및 유리섬유와 모재의 흐름이 점탄성적인 성질로 인하여 강화재인 유리섬유간의 충돌을 증가시키고, 이 충돌로 인하여 유리섬유의 전단과 분리현상이 일어난다. 이러한 유리섬유의 전단과 분리는 압축비가 증가할수록 유리섬유의 양이 많아짐으로 더욱 더 활성화되어 랩 접합이음효율의 감소 원인이 됨을 알 수 있다. 또한 과도한 압축을 하는 경우는 유리섬유의 파괴 및 GMT-sheet 자체에 니들 펀칭하여 섬유가 서로 강하게 엉겨있는 성질을 잃게 되어 압축비가 클 경우에는 접합이음효율의 저하가 나타남을 알 수 있다.

Fig. 10은 GMT-sheet 랜덤재 R4038과 일방향재 U4238를 고온·압축 프레스 랩 접합성형 한 후 압축시험하여 압축비 변화에 따른 랩길이가 랩 접합이음효율과의 관계를 나타낸 그림이다. 압축시험시 좌굴이 일어나지 않도록 하기 위하여 압축시험편의 표점거리 규격이 12.7 mm이므로, 본 실험조건에서 랩길이는 1t, 3t, 5t의 3종류로 변화시켜 실험하였다. 접합성형시 랩 길이가 같은 경우에 압축을 많이 할수록 랩 접합이음효율이 저하됨을 알 수 있다. 이는 섬유와 모재와의 분리가 심하게 일어나 랩 접합부분에서 접착제 역할을 하는 모재가 유동되어 대부분 섬유만 남기 때문이다. 인장시험의 경우와 같이 랩길이 L이 증가할수록 랩 접합이음효율이 증가함을 알 수 있다.

압축비 변화에 따른 영향은 랩길이가 증가할수록 접합경계면이 크기 때문에 랩 접합면의 분리가 일어나지 않으나, 랩길이 1t에서는 접합길이가 3.8 mm이므로 압축비에 관계없이 불규칙하게 나타났다. 또한, 이 그림에서 랜덤재 R4038이 일방향재 U4238보다 랩 접합이음효율이 높게 나타남을 알 수 있는데 이는 랜덤재가 한 방향재보다 유동방향으로 섬유배향이 잘 됨을

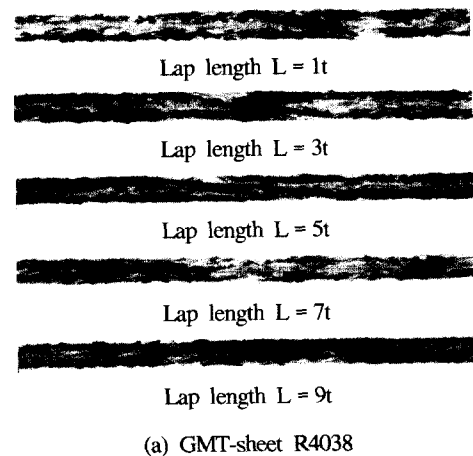


(a) GMT-sheet R4038

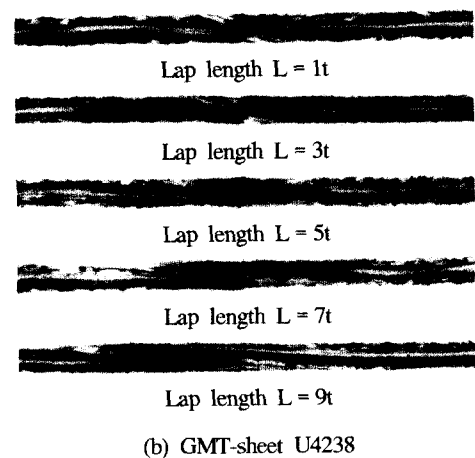


(b) GMT-sheet U4238

Photo 1 Soft X-ray photograph of GMT-sheet (Ichnography)



(a) GMT-sheet R4038



(b) GMT-sheet U4238

Photo 2 Soft X-ray photograph of GMT-sheet (Side view)

알 수 있다.

Fig. 11 (a), (b)는 랜덤재 R2038, R3038, R4038과 일방향재 U4038, U4238, U5038을 압축비(R_r)가 0인 조건에서 접합성형 후 충격시험하여 랩길이 변화에 따른 랩 접합이음효율을 나타낸 그림이다. 이 그림에서 랩길이가 길어질수록 접합이음효율이 높게 나타남을 알 수 있다. 또한 랜덤재와 일방향재의 GMT-sheet의 경우 섬유함유율이 높을수록 충격하중이 가해질 때 접합이음효율이 낮게 나타남을 보였다. 이는 단위면적 당 섬유함유율이 높을수록 연성인 폴리프로필렌보다 취성인 유리 섬유가 대부분의 충격하중을 담당하기 때문에 섬유함유율이 높을수록 유리섬유의 충격강도 지지력이 떨어짐으로 인하여 접합이음효율이 떨어짐을 알 수 있다.

Photo 1 (a)에서 보이는 것과 같이 GMT-sheet를 고온·압축 프레스 랩 접합성형시 랜덤재는 원래 섬유의 배열이 랜덤하게 배열이 되어 있어 섬유가 유동할 때 유동방향으로 섬유가 배향을 한다. 그러나 일방향재는 섬유가 Photo 1(b)와 같이 배향되어 있어 고온·압축 프레스 성형시 모재와 섬유간의 분리가 심하게 일어날 뿐만 아니라 유리섬유가 길이방향으로 유동하지 못하고 프레스의 높은 압축압력으로 인하여 유리섬유가 전단되기 때문에 접합성이 불량하다고 생각된다.

Photo 2 (a), (b)는 GMT-sheet(R4038, 40wt%)의 랩 접합성형재 측면부를 촬영한 연-X선 사진이며, 이 사진으로부터 랩길이가 증가할수록 접합경계면이 크기 때문에 접합이 잘 됨을 알 수 있다. 랩길이 1t에서 5t까지는 접합면의 경계면이 나타남을 알 수 있으나, 랩길이 7t이상에서는 강화재인 유리섬유가 접합면에서 모재와 잘 접합됨을 알 수 있다. 이 사진에서 GMT-sheet의 R4038이 U4238보다 더 접합성이 양호하게 나타나 있는 데, 이는 랩 접합성형시 랜덤재 유리섬유 매트가 한 방향재 유리 섬유 매트보다 랩 접합성형시 섬유가 유동할 수 있어 접합성이 양호함을 잘 나타내고 있다.

Photo 3은 Photo 2의 GMT-sheet (R4038, 40wt%, L = 5 t) 랩 접합부를 인장시험하여 파단면을 SEM 촬영한 사진이다. Photo 2와 같이 이 사진의 좌측부와 우측부는 접합시 경사단면이 생성되고, 이 단면에서 파괴가 일어남을 관찰할 수 있다. GMT-sheet를 고온·압축 성형할 때 층간에 인접한 섬유들의 층

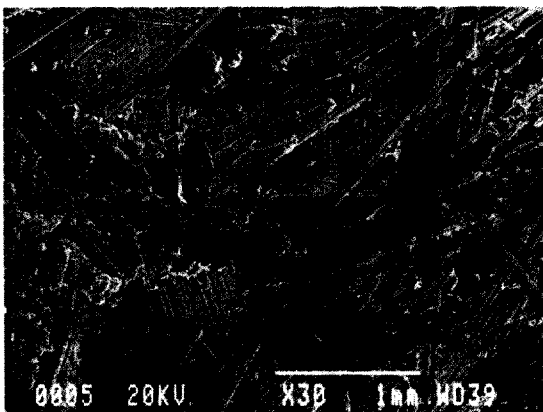


Photo. 3 Fractured surface of GMT-sheet R4038

간유동이 발생하게 된다. 이와 같은 섬유 연계 현상(bridging)에 의하여 균열이 전파될 때 하나의 층간으로 전파되지 않고 인접한 다른 층으로 균열이 이동하거나 몇 개의 층으로 확대되는 현상이 발생하게 됨을 알 수 있다(Lee et al., 1996).

5. 결 론

프레스 랩 접합성형 GMT-sheet의 기계적 성질에 미치는 성형조건의 영향에 관한 실험 결과는 다음과 같다.

- (1) GMT-sheet의 고온·압축 프레스 성형에 있어서 압축비가 증가할수록 압축하중 및 불균질도가 증가하고, 압축속도가 빨라지는 경우도 압축하중이 증가함을 알 수 있었다.
- (2) GMT-sheet의 프레스 랩 접합성형에서 랩길이 L의 증가에 따라 인장응력 및 랩 접합이음효율이 증가하였다. 그러나, 압축비의 증가 및 충격시험에서 단위면적 당 섬유함유율이 높을수록 GMT-sheet 접합 성형후의 랩 접합이음효율의 저하를 야기 시킨다.
- (3) GMT-sheet의 랜덤재는 유동방향으로 섬유가 배향되기 때문에 랩 접합이음효율 면에서 유리한 반면, 일방향재는 배향이 되지 않을 뿐만 아니라 유리섬유가 전단되어 일방향재 강도감소의 원인이 됨을 알 수 있다. 그러므로 재활용의 관점에서 볼 때 일방향재보다는 랜덤재 GMT-sheet가 더 바람직하다.

후 기

본 연구는 “1997년도 교육부 학술연구조성비(기계공학 ME-97-E-31)에 의하여 연구되었음”

참 고 문 헌

- 이선석, 광태훈, 민태익(1996). “GMT Sheet의 특성 및 용도”, 한국복합재료학회 춘계논문집, pp 1~8.
- (株)大阪(1990). “自動車用 複合材料”, Chemical Marketing Center.
- Choi, Y. S., Kim, H., Kang, M. G., Lee, D. G., Han, G. Y. and Kim, E. G.(2000). “Creep Behavior of Press Joined Molding GMT-sheet”, The Korea Committee for Ocean Precision Engineering, Autumn, pp 171~177.
- Denton, D. L. and Munson-McGee, S. H.(1985). “in ASTM STP 873”, pp 23.
- Hipol, P. J.(1984). “Analysis and Optimization of a Tubular Lap Joint Subjected to Torsion”, Journal of Composite Materials, Vol. 18, pp 298 ~ 311.
- Hojo, H., Kim, E. G. Tamakawa, K.(1987). “The Fiber Content Distribution of Compression Molded Long Fiber-Reinforced Thermoplastic Products”, International Polymer Processing, Vol. I. Issue 2. pp 60~65.
- Kim, B. S. and Hwang, B. S.(1995). “Recycling of Composites”, The Korean Society for Composites Materials, Vol. 8. No. 1. pp 66~75.

- Kim, H., Han, G. Y., Lee, D. G., and Kim, E. G.(1995). "Effect of Chopped Strand Length, Fiber Content and Moisture Absorption on Mechanical Properties in Fiber-Reinforced Polymeric Composites", The Korea Committee for Ocean Precision Engineering, Spring, pp 175~181.
- Kim, H., Han, G. Y., Lee, D. G., Kim, E. G. and Kim, K. S.(1995). "Effect of Moisture Absorption on the Compressive and the Bending Residual Strength in Fiber-Reinforced Polymeric Composites", The Korea Committee for Ocean Precision Engineering, Vol. 9. No. 2. pp 315~322.
- Kim, H., Ann, J. Y., Han, G. Y., Lee, D. G. and Kim, E. G.(1996). "Measurement of Fiber Orientation-Angle Distribution of Glass Fiber Reinforced Polymeric Composite Materials by Intensity Method", The Korea Committee for Ocean Precision Engineering, Vol. 13. No. 6. pp 33~44.
- Kwon, J. W., Cho, D. H., Lee D. G., Lee, T. M. and Lee, J. W.(1998). "Hygrothermal Characteristics of Adhesives and Adhesively Bonded Tubular Single Lap Joints", Journal of the Korean Society of Precision Engineering. Vol. 11. No.2. pp 29~39.
- Lee, S. J. and Lee, D. G.(1992). "Development of the Failure Model for the Adhesive Bonded Tubular Single Lap Joint", The Korean Society for Composites Materials. Vol. 5. No. 1. pp 27~36.
- Lee, D. G., Yu, J. H. and Kim E. G.(1993). "A Study on the Correlation between the Separation and the Orientation during Compression Molding of Fiber-Reinforced Polymeric Composites", Transactions of the Korean Society of Mechanical Engineers. Vol 17. pp 62~68.
- Lee, D. G., Han, G. Y. and Kim, E. G.(1995). "Effect of Mold Temperature on the Separation and the Orientation during Compression Molding of Fiber-Reinforced Polymeric Composites", The Korea Committee for Ocean Resources and Engineering, Vol. 9. No. 2. pp 305~314.
- Lee, Y. B., Kim, T. Y., Chung, C. S. and Choi, J. H.(2000). "A study on the Optimum Joining Condition in a Mechanical Press Joint", Transactions of the Korean Society of Mechanical Engineers. Vol. 24. Issue A. No. 3. pp 752~760.
- Mallick P. K. and Newman, S.(1990). "Composite Materials Technology", Hanser Publisher, New York.
- Moon, C. K.(1996). "The Interface and Mechanical Properties of a Fiber Reinforced Composites", The Korea Committee for Ocean Precision Engineering, Vol. 10. No. 1. pp 5~16.
- Moon, C. K., Kim, Y. D. and Roh, T. Y.(1998). "Change of Interfacial Properties by the Fiber Degradation in the Fiber Reinforced Composites", The Korea Committee for Ocean Precision Engineering, Vol. 12. No. 3. pp 31~41.
- Yu, Y. C., Oh, S. K. and Yi, W.(1998). "Stress Analysis and Strength Evaluation of Structural Adhesive Joints in Automobiles-Bond Strength for Adhesive-Bonded Aluminum Alloy Single-Lap Joints", Transactions of the Korean Society of Mechanical Engineers. Vol 22. Issue A. No. 4. pp 905~915.

2000년 9월 5일 원고 접수

2001년 4월 12일 수정본 채택