

프레스 접합성형 GMT-Sheet의 기계적 성질

김혁*, 최유성*, 이춘호*, 한길영**, 이동기**

*조선대학교 대학원 정밀기계공학과

**조선대학교 공과대학 기계공학부

Mechanical Properties of GMT-Sheet on Press joined Molding

H. Kim, Y.S. Choi, C.H. Lee, G.Y. Han, D.G. Lee

Key Words : Glass Mat Reinforced Thermoplastic-Sheet(GMT-Sheet), Randomly Oriented Composite(랜덤재), Unidirectional Oriented Composite(한방향재), Joining Efficiency(접합효율), Compression Ratio(압축비), Degree of Nonhomogeneity(불균질도), Fiber Content Ratio(섬유함유율비), Lap Joint(겹치기 이음)

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 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

섬유강화 플라스틱 복합재료(Fiber Reinforced Plastics : FRP)는 모재(matrix) 수지의 특성에 따라 크게 열경화성 복합재료와 열가소성 복합재료로 대별될 수 있는데, 대부분의 플라스틱 복합재료의 추구 목적이 고강성 및 고내열성 소재개발에 있기 때문에 열가소성보다는 열경화성 복합재료 개발에 상대적으로 많은 관심과 연구가 진행되어 왔다. 그러나 최근 플라스틱의 재활용 문제가 크게 대두되면서 열가소성 복합재료에 대한 관심이 고조되고 있으며 새로운 제조공법들이 활발히 연구 개발되고 있다¹⁾.

FRP는 뛰어난 복합재료이지만 최근 발생되고 있는 환경문제나 재활용의 측면에서 보면 활용도가 거의 없는 실정이다. 즉, 종래의 플라스틱 복합재료는 열경화성 수지를 모재로 한 성형품이 대부분이었으나 FRP제의 폐선처리문제를 위시해 폐기물처리, 재생문제가 사회문제로서 대두되고 있다. 이들 문제에

대응하는 고성능, 고기능성, 성형성이 뛰어난 플라스틱 복합재료로서 유리섬유 매트에 PP수지를 함침한 시이트 형태의 유리섬유강화 열가소성 복합재료 시이트(Glass Mat reinforced Thermoplastic-Sheet : 이하 GMT-Sheet라 한다)가 주목되고 있다. 이것은 종래의 FRP나 SMC(sheet molding compound) 대신 프레스 성형재료로서 열가소성 수지를 매트릭스로 하여 유리섬유로 강화한 하이브리드 성형재료이다.

GMT-Sheet의 장점은 원료인 PP 및 유리섬유가 범용 소재이기 때문에 가격이 비교적 저렴하면서도 강성 및 인성이 우수하다는 점이다. 최근 GMT-Sheet는 방향성이 없는 랜덤 유리섬유매트와 한방향으로 배향된 직선섬유를 조합시킨 UD (unidirection) grade가 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 등의 많은 장점을 가지고 있으며 열가소성 플라스틱을 모재로 하기 때문에 재활용의 측면에서 현재 가장 주목받고 있는 복합재료이다.^{2,3,4)} 이와 같이 GMT-Sheet 자체가 가지고 있는 특성을 이용해 자동차용 부품으로 그 활용도가 커지고 있고, 비자동차용으로도 그 활용 범위가 넓어지고 있어 보다 광범위한 활용을 기대하기 위해서는 GMT-Sheet의 접합문제가 선결되어야 한다.

Hipol⁵⁾은 비틀림 하중을 받는 강철과 복합재료로 구성된 튜브형 접착 조인트의 형상과 기계적 성질이 최대응력과 경계층에서 응력의 변화에 미치는 영향을 연구하였고, Lee 등은⁶⁾ 강철-강철 피접착부를 가지는 원형 single lap 접착 조인트의 정적 토오크 전달 용량이 접착 두께에 미치는 영향에 대해 연구하였고, Yi 등은⁷⁾ 알루미늄 합금 단순접치기 이음의 접착강도 시험을 수행하여 랩길이, 피착재 두께, 접착층 두께를 함께 고려한 이음 계수를 제안하여 접착강도 특성을 평가하였다. 지금까지 접착 조인트에 대한 많은 연구가 수행되었으나 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 연구결과를 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. 실제적으로 신규 개발차량의 부품개발에서도 GMT-Sheet의 접합보다는 핸드레이업이나 스프레이업과 같은 1차원적인 생산방법을 따르고 있어서 GMT-Sheet의 자체가 가지고 있는 특성을 확실히 이용하지 못하고 있다.

본 연구에서는 고강도, 고강성 구조부재로 사용되는 GMT-Sheet의 접합강도 및 접합조건의 결정을 위하여 섬유배향상태가 서로 다른 재료를 사용하여 연구한다. GMT-Sheet의 접합성과 접합이음효율을 명확히 하고 접합이음부의 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, 섬유함유율비 및 불균질도

고온·압축 프레스 접합성형시 Fig. 1과 같이 시험편을 배열하여 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.⁸⁾

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

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.⁹⁾

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

여기서 $\sigma_{(t,c)}$: 최대 수직응력(N/m²)

$P_{(t,c)}$: 최대 하중(N)

b : 시험편의 폭(m)

t : 시험편의 두께(m)

t, c : 인장, 압축

섬유함유율비 Q_{fr} 을 구하는 식은 식(3)과 같다.¹⁰⁾

$$Q_{fr} = \frac{q_f}{q_{f0}} \quad (3)$$

여기서 q_f : 성형후의 중량섬유함유율

q_{f0} : 성형전의 중량섬유함유율

성형중의 섬유를 고체, 모재를 액체로 하는 고액 혼상류 성형이 진행됨에 따라 유동속도차에 의해서 분리가 생기며 이로 인하여 성형품은 불균질하게 된다. 불균질도를 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 전자저울로 측정하여 섬유 함유율 분포를 Fig. 4와 같이 구한다.

Fig. 4에서 압축성형후에 성형품의 섬유함유율 분포를 나타낸 예이며, 분리가 심할수록 성형품은 불균질하게 되며 그림에서 사선부분의 영역이 더 크게 된다. 섬유함유율 분포곡선 Q_{fr} 을 2차함수로 하고 계수 C_1, C_0 를 최소자승법에 의해서 구한다.¹⁰⁾

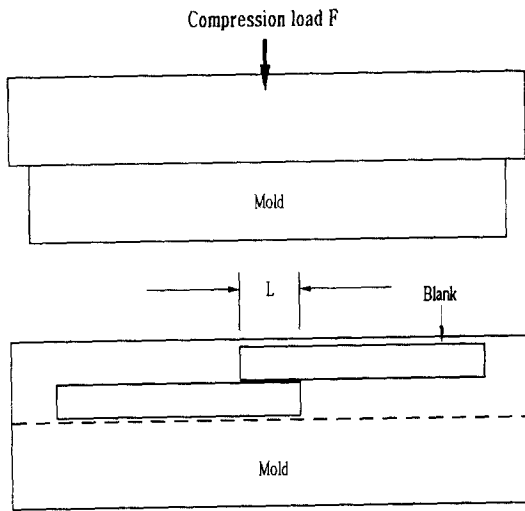


Fig. 1 Illustration of GMT-Sheet joining process

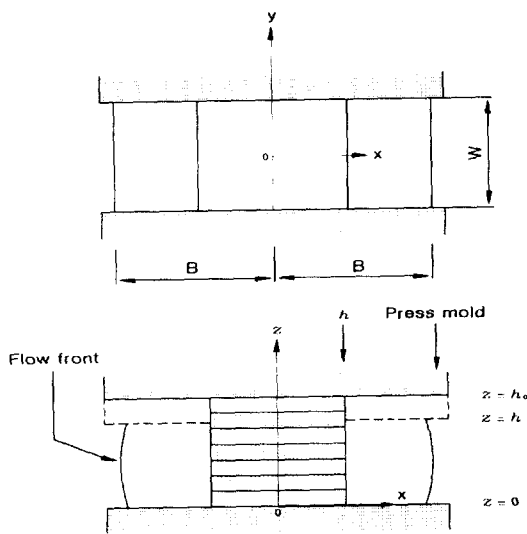


Fig. 2 Nomenclature for slab-shaped part compression molding

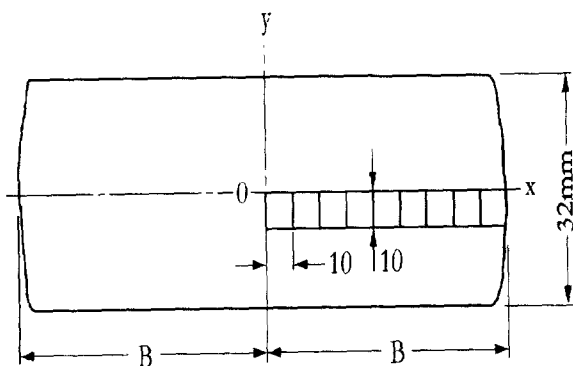


Fig. 3 Parts for measuring fiber content by means of burning

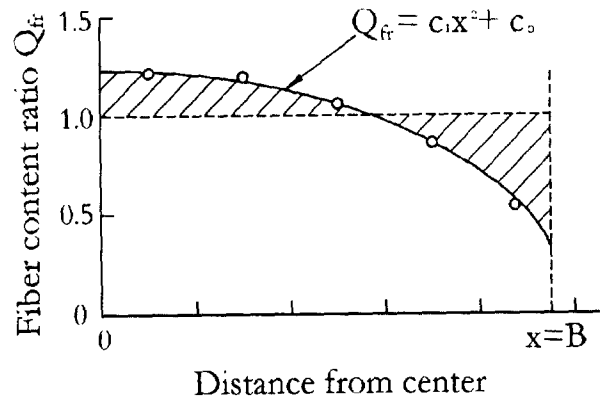


Fig. 4 Distribution of the fiber content ratio

사선의 면적을 계산하여 불균질도 Γ 를 구하는 식은 식(4)와 같다.⁸⁾

$$\Gamma = \frac{\text{사선의면적}}{B} \quad (4)$$

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

3. 실험방법

3.1 GMT-Sheet의 기계적 성질

GMT-Sheet의 고온·압축 프레스 접합성형시 사용한 재료는 시판되고 있는 미국 AZDEL사 제품 두께 h_0 가 3.8 mm인 GMT-Sheet중 섬유함유율이 40wt%인 랜덤재¹¹⁾(이하 P4038이라 함, 모재: 폴리프로필렌, 강화재: random glass mat)와 섬유함유율이 42wt%인 한방향재¹¹⁾(이하 U4238이라 함, 모재: 폴리프로필렌, 강화재: unidirectional glass mat)를 사용한다.

GMT-Sheet의 기계적 성질은 Table. 1에 나타냈으며, 한방향으로 섬유강화된 한방향재 U4238은 랜덤재 P4038보다 인장강도, 충격강도 등의 기계적 특성이 약 2배정도 크게 나타남을 알 수 있다.

3.2 GMT-Sheet의 고온·압축 프레스 접합성형

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

접합성형시 프레스의 압축속도는 0.1 mm/min, 1 mm/min, 10 mm/min, 84 mm/min, 100 mm/min, 1,500 mm/min의 6종류로 하였으며 각각의 속도에

Table. 1 Mechanical properties of P4038 and U4238

Specimen	Unit	P4038	U4238
Glass fiber Content	wt%	40	42
Density	Glass fiber : 2.55 g/cm ³ , Polypropylen : 0.9 g/cm ³		
Tensile strength	Mpa	65	93
Compressive strength		64	86
Bending strength		138	208

대하여 압축비를 변화하여 압축성형하였다. x-y레코더를 이용하여 각 성형조건에 따른 하중값을 구하였다. 압축된 시험편의 두께는 다이알 게이지를 장착하여 구하였다. 시험편은 GMT-Sheet를 다이아몬드 커터(BEHLER, Model : POWERMET 2000)를 사용하여 32 mm(폭)×100 mm(길이)×3.8 mm(두께)의 직사각형판으로 절단한 후 시험편을 가열용 전기오븐에서 약 30분간 가열하여 Fig. 1과 같이 블랭크를 금형에 충전 하였다.

고온·압축 프레스 접합성형전 GMT-Sheet의 두께 t(3.8 mm)에 대하여 랩길이를 1t, 3t, 5t, 7t, 9t의 5종류로 하고, 이때의 접합성형온도(블랭크와 금형온도는 동일함)는 180℃, 200℃의 2종류로 변화를 주었다. 금형캐비티의 치수는 32 mm × 300 mm로 하고, 가압장치는 25톤 유압 열프레스(CARVER, MODEL : 2518)를 사용하였다. 금형에는 열전대를 부착시키고 가열은 봉 및 판 히터를 사용하였다.

인장시험의 경우 인장시험편에 탭을 부착하면 탭 부분의 접합 문제를 또 다시 고려해야 하므로 정확한 측정이 어려워지고, 판 시험편으로 제작하였을 경우 인장시험 때 그립(grip)부분이 파괴되어 정확한 강도측정이 어렵기 때문에, ASTM D638규격을 고려하여 25.4 mm(폭) × 152.4 mm(길이) 이고 표점거리는 76.2 mm로 제작하였다. 재료시험기의 크로스 헤드속도는 1 mm/min의 일정변위 속도로 하였다.

압축시험에 사용한 시험편은 ASTM D3410-87 규격을 고려하여 25.4 mm(폭) × 152.4 mm(길이)로 하여 표점거리는 12.7 mm로 제작하고, 압축지는 ASTM D3410-87의 규격을 참조하여 제작하였다.⁸⁾ 압축시험에서 크로스 헤드속도는 1.26 mm/min로 하였다. 인장 및 압축응력은 만능재료시험기(5ton, 영

국, HOUND-FIELD)를 사용하여 측정하였으며, 크로스 헤드속도는 5 mm/min로 하였다.

4. 실험결과 및 고찰

Fig. 5는 GMT-Sheet를 압축성형하는 경우 압축 속도에 따라 압축비와 프레스의 압축하중과의 관계를 나타낸 그림이다. 압축비가 증가하면 할수록 하중이 증가하고, 압축속도가 빠를수록 하중도 증가함을 알 수 있다. 이러한 것은 복합재내에 있는 섬유 양이 많을수록 유동 성형중에 액체부분 보다는 고체부분이 많기 때문이며, 압축속도가 빠를수록 물체를 움직이는데 필요한 힘이 많이 소요되기 때문이다.

Fig. 6은 섬유함유율 40wt%의 랜덤재 P4038인 경우 압축속도 변화에 따른 압축비 R_{cr} 과 불균질도 Γ 와의 관계를 나타낸 그림이다. 압축비가 증가함에 따라 섬유와 모재와의 분리가 심해져 불균질도는 커지고, 압축속도가 작을수록 불균질도가 크게 나타남을 알 수 있다. 이는 모재와 강화재의 유동속도차에 의해서 분리가 생기며 시험편의 섬유함유율 분포가 변화됨을 나타내고 있다.

Fig. 7은 압축비(R_{cr})가 0인 동일조건에서 접합성형 후 인장시험하여 랩길이 변화에 따른 접합이음효율을 나타낸 그림이다. GMT-Sheet의 모체재료와 접합재료의 강도차를 비교하여 접합이음효율로 하고

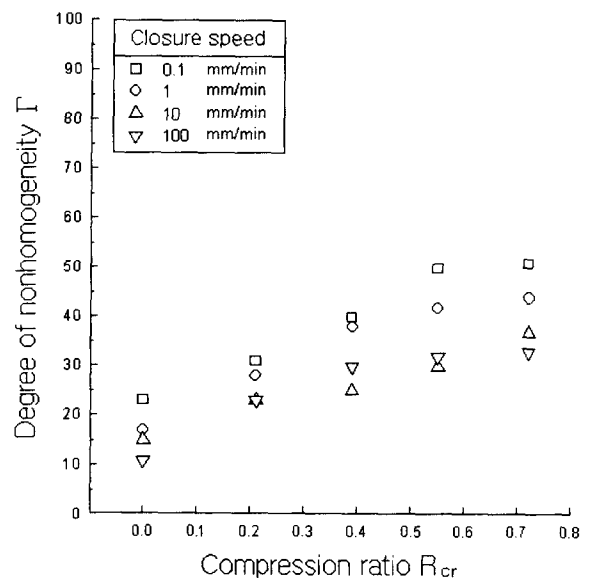


Fig. 5 Relationship between compression ratio R_{cr} and compression load F

각 랩길이에 따른 강도차를 비교하였다. 랩길이 L이 증가할수록 접합 이음효율이 증가함을 알 수 있다. 이 그림에서 랜덤재 P4038이 한방향재 U4238보다 접합이음효율이 높게 나타남을 알 수 있는데, 이는 GMT-Sheet를 고온·압축 프레스 성형시 랜덤재는 섬유가 길이방향으로 유동이 되나 한방향재는 섬유 배향이 되지 않고 분리가 심하게 되고 섬유가 전단 되기 때문이라 생각된다.

Fig. 8은 접합성형후 인장실험하여 압축비와 접합 이음효율과의 관계를 나타낸 그림이다. 이 그림에서

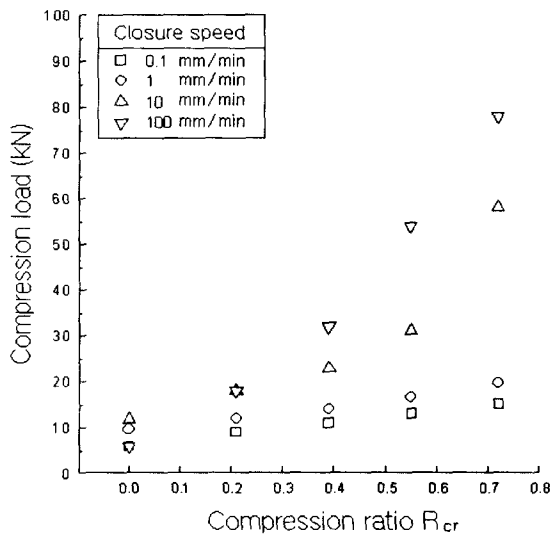


Fig. 6 Relationship between compression ratio R_{cr} and degree of nonhomogeneity Γ

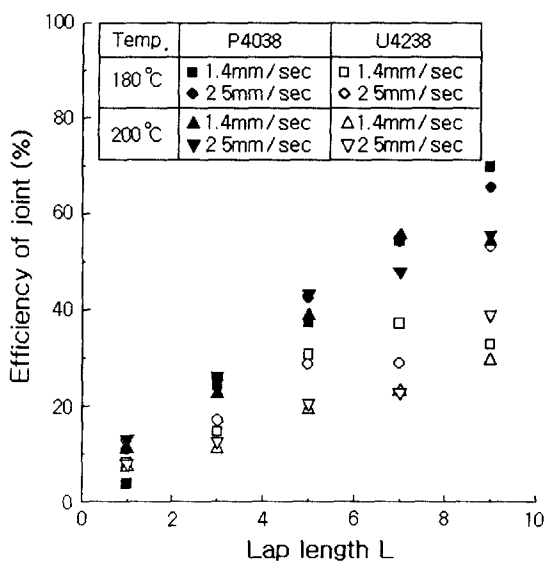


Fig. 7 Effects of joining efficiency on the lap length L

랩길이가 길고 압축비 값이 적을수록 접합 이음효율이 높게 나타남을 알 수 있다. 재료의 압축변위에 의해 섬유의 배향이 발생하여 성형품이 불균질하게 되어, 성형품의 강도나 특성에 변화가 일어남을 알 수 있다. 압축성형은 섬유의 분리 및 전단을 야기하여 강도 감소의 원인이 됨을 알 수 있다.

Fig. 9는 랜덤재 P4038과 한방향재 U4238를 압축 시험하여 압축비 변화에 따른 랩길리와 접합이음효율과의 관계를 나타낸 그림이다. 압축시험시 좌굴이 일어나지 않도록 하기위하여 압축시험편의 표점거리 규격이 12.7 mm이므로, 본 실험조건에서 랩길리는 1t, 3t, 5t의 3종류로 변화시켜 실험하였다. 접합성형시 랩길리가 같은 경우에 압축을 많이 할수록 접합 이음효율이 저하됨을 알 수 있다. 이는 섬유와 모재와의 분리가 심하게 일어나 접합부분에서 접촉재 역할을 하는 모재가 유동되어 대부분 섬유만 남기 때문이다. 인장실험의 경우와 같이 랩길이 L이 증가할수록 접합이음효율이 증가함을 알 수 있다. 이 그림에서 랜덤재 P4038이 한방향재 U4238보다 접합이음효율이 높게 나타남을 알 수 있다.

연-X선 사진 Photo. 1 (a), (b)를 통하여 랩길이가 증가할수록 접합경계면이 크기 때문에 분리가 되지 않음을 알 수 있었다. 랩길이 1t에서 5t까지는 접합면의 분리가 나타났으나 랩길이 7t이상에서는 강화재인 유리섬유가 접합면에서 모재와 잘 함침됨을 알 수 있었다.

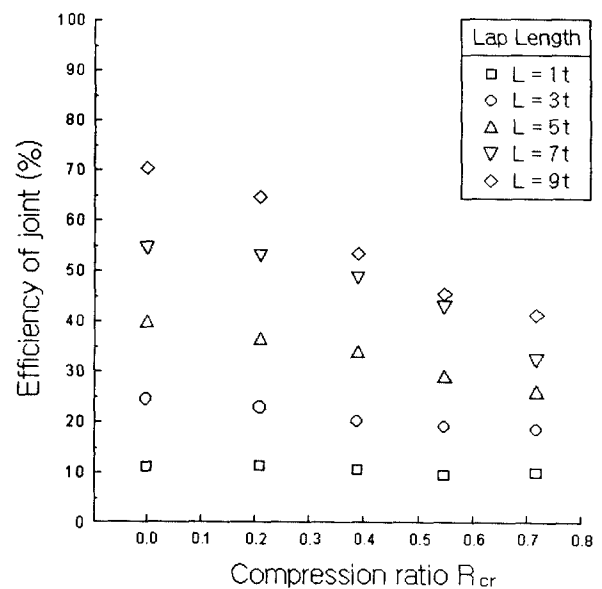


Fig. 8 Effects of joining efficiency on the compression ratio R_{cr}

Photo. 2(a)에서 보이는 것과 같이 GMT-Sheet를 고온·압축 프레스 성형시 랜덤재는 원래 섬유 배열이 랜덤하게 배열되어있어 섬유가 유동할 때 유동방향으로 섬유가 배향을 하며, 한방향재는 섬유가 Photo. 2(b)와 같이 배향되어있어 고온압축 프레스성형시 모재와 섬유간의 분리가 심하게 일어날 뿐만 아니라 유리섬유가 전단되기 때문이라 생각된다.

Photo. 3은 Photo. 1의 섬유와 PP 수지사이의 접합부를 인장실험하여 파단면을 SEM 촬영한 사진이다. 이 사진의 좌측부와 우측부는 접합시 경사단면이 생성되고 이 단면에서 파괴가 일어남을 관찰할 수 있다.

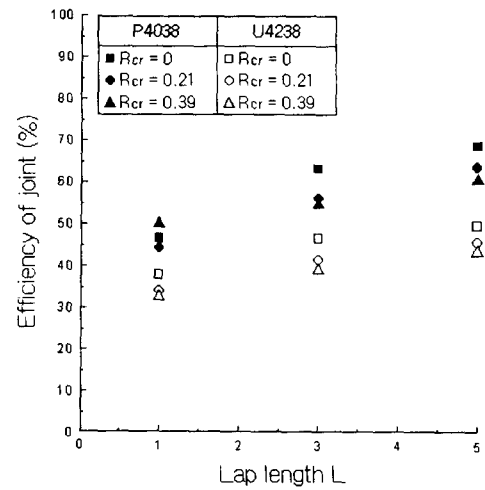
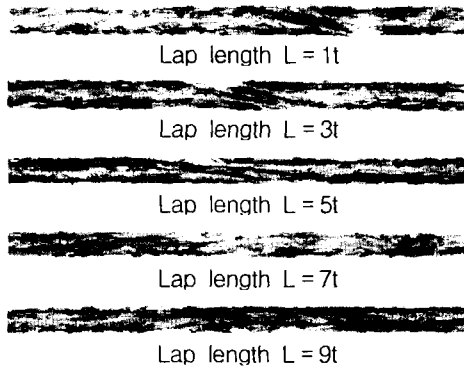
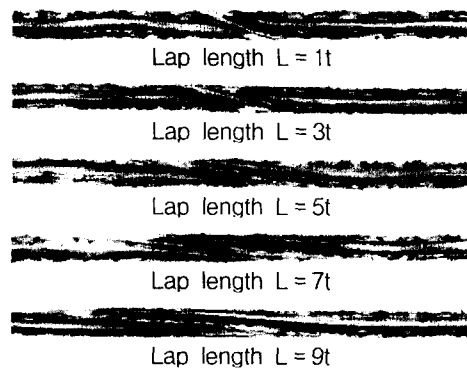


Fig. 9 Effects of the joining efficiency on the lap length L



(a) GMT-Sheet R4038



(b) GMT-Sheet U4038

Photo. 1 Soft X-ray photograph of GMT-Sheet (side view)



(a) GMT-Sheet R4038



(b) GMT-Sheet U4038

Photo. 2 Soft X-ray photograph of GMT-Sheet (ichnograph)

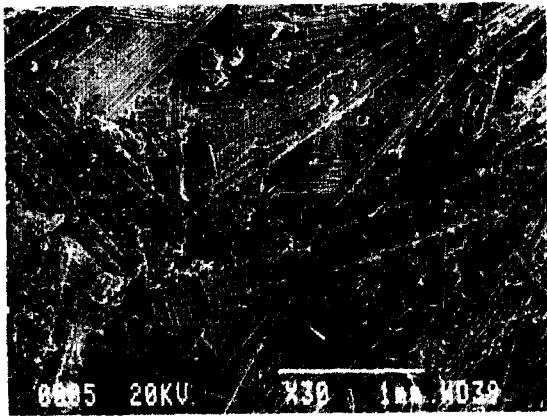


Photo. 3 Fractured surface of GMT-Sheet R4038

5. 결 론

프레스 접합성형 GMT-Sheet의 기계적 성질에 미치는 성형조건의 영향에 관하여 그 실험 결과를 고찰하면 다음과 같다.

- 1) 프레스 접합성형을 하면 접합부위의 응력분포를 넓게 함으로써 응력집중을 줄일 수 있을 뿐만 아니라 피접착체에 구멍가공 등의 기계적 가공을 하지 않아도 되는 장점이 있다.
- 2) GMT-Sheet는 랩길이 L의 증가에 따라 용접이음효율이 증가하고, 압축비의 증가는 GMT-Sheet 접합후의 접합이음효율의 저하를 야기시킨다. 또한 재활용의 관점에서 볼 때 한방향재보다는 랜덤재 GMT-Sheet가 더 바람직하다.

후 기

본 연구는 한국과학재단 지정 지역협력연구센터인 조선대학교 수송기계부품 공장자동화 연구센터의 연구비지원에 의해 수행되었음

참고문헌

- 1) 이선석, 광태훈, 민태익,(1996), "GMT Sheet의 특성 및 용도", 한국복합재료학회 춘계논문집 특별강연, pp.1.
- 2) Mallick P. K., and Newman, S.,(1990), "Composites Materials Technology", Hanser Publisher, New York.
- 3) (株)大阪,(1990), "自動車用 複合材料", Chemical Marketing Center.
- 4) 김병선, 황병선,(1995) "복합재료의 활용", 한국복합재료학회지 제8권 제1호, pp.66-75.

- 5) P. J. Hipol,(1984), "Analysis and Optimization of a Tubular Lap Joint Subjected to Torsion," Journal of Composite Materials, Vol. 18, pp.298-311.
- 6) 이수정, 이대길,(1992), "원형 Single Lap 접착 조인트의 파괴 shearf에 관한 연구", 한국복합재료학회, 제5권 제1호, pp.27-36.
- 7) 유영철, 오승규, 이원,(1998), "자동차용 구조접착 접합이음의 응력해석과 강도평가에 관한 연구", 대한기계학회 논문집 A권 제 22권 제4호, pp.905-915.
- 8) Hojo, H., Kim, E. G.,(1987), Tamakawa, K., "The Fiber Content Distribution of Compression Molded Long Fiber-Reinforced Thermoplastic Products", International Polymer Processing, Vol. I, Issue 2, pp.60-65.
- 9) Denton. D. L. and Munson-McGee. S. H.,(1985), : "in ASTM STP 873", : pp. 23.
- 10) 이동기, 유정훈, 김이곤,(1993), "장섬유강화 고분자복합판의 압축성형에 있어서 섬유 분리와 배향의 상관관계에 관한 연구", 大韓機械學會 論文集, 第17卷 第1號, pp. 62-68.
- 11) Yaguchi, H., Hojo, H., Lee, D. G., Kim, E. G.,(1995), "Measurement of Planar Orientation of Fibers for Reinforced Thermoplastics Using Image Processing", International Polymer Processing, Vol. X, Issue 3, pp.262-269.