

평직직조방법을 적용한 GFRP Sheet 제조에 관한 연구[§]

김진우* · 김형석* · 이정훈* · 이동기*[†]

* 조선대학교 기계시스템공학과

Manufacturing of GFRP Sheet Using Plain Weaving Method

Jin Woo Kim*, Hyoung Seok Kim*, Jung Hoon Lee* and Dong Gi Lee*[†]

* Dept. of Mechanical System Engineering, Chosun Univ.,

(Received March 31, 2014 ; Revised May 24, 2014 ; Accepted May 26, 2014)

Key Words: Plain Weaving Method(평직직조방법), GFRP Sheet(섬유강화고분자복합판재), Degree of Impregnation(함침도), Degree of Nonhomogeneity(불균질도), Fiber Content Ratio(섬유함유율비)

초록: 유리섬유강화 플라스틱 복합재료의 압축성형 시, 모재와 유리섬유의 분리 없이 유동성이 우수하고, 불균질한 섬유배향이 없는 GFRP 복합재료 개발에 관한 체계적인 연구결과는 미흡한 실정이다. GFRP 복합재료를 사용하여, 자동차 부품 성형 시 발생하는 불균질도와 섬유배향 발생을 억제하는 많은 연구를 해왔으나 아직 해결되고 있지 않다. 본 연구에서는 위의 문제점들을 해결하기 위해 섬유유동성이 뛰어나고, 섬유배향이 발생하지 않고, 불균질성이 없으며, 구조안정성, 함침도, 기계적 특성 및 재활용성 등이 우수한 유리섬유강화 플라스틱 프리프레그를 제조하여, 수직교차형 평직직조방법을 적용하여, GFRP(Glass Fiber Reinforced Plastic) Sheet 를 제조한다.

Abstract: The GFRP composite is used for hot press flow molding of automotive components, and the different flow rates of fiber and plastic are likely to induce fiber orientation and inhomogeneity in the material. However, very limited systematic research studies are available on composite materials with superior flow homogeneity and optimized fiber orientation. The inhomogeneity and fiber orientation issues of GFRP composites have still not been resolved through research. The plain weaving method applied to the GFRP prepreg can improve its recyclability, inhomogeneity, fiber flow, structural stability, fiber deformation, surface smoothness, degree of impregnation, and other mechanical properties. The need for more detailed and thorough studies is evidenced.

1. 서 론

최근 자동차 관련 기술개발의 동향은 자동차 연비향상 등을 위한 경량화, 자원재활용을 위한 리사이클링, 부품의 모듈화, 차체 수명연장, 안정성 향상, 배기가스의 정화, 소음방지, 전기 및 하이브리드 자동차 등에 대한 폭 넓은 연구개발 투자가 이루어지고 있다.

자동차의 경량화 방안은 우수한 물성을 갖는 경

량재료의 개발과 기존재료의 제조방법 개선을 통한 기계적 성질을 향상시키는 방법 등이 있으며, 이를 위해 사용되는 재료로 알루미늄(Al) 합금, 마그네슘(Mg) 합금, 티타늄(Ti) 합금, 철강재료 등의 금속재료 외에 플라스틱 소재에 유리섬유로 강화한 플라스틱 복합재료 등이 있다.

플라스틱 복합재료는 모재와 강화재의 종류 및 형태에 따라 기계적 물성이 변화한다. 각종 플라스틱 복합재료 중에서 열가소성수지를 모재로 한 재료는 리사이클이 가능하고, 최종처리로써 소각도 용이하다. 이 재료는 비중이 작기 때문에 자동차 구조 부품의 경량화에 유효하고 비강도, 비강성, 충격강도 등의 기계적 특성이 뛰어나다.^(1,2)

자동차용 플라스틱 복합재료로 실용화되어 폭넓

§ 이 논문은 2014년도 대한기계학회 생산 및 설계공학부문 춘계학술대회(2014. 4. 24.-25., 라마다프라자호텔) 발표논문임

† Corresponding Author, dglee@chosun.ac.kr

© 2014 The Korean Society of Mechanical Engineers

게 이용되고 있는 복합판재는 모재(Matrix)를 폴리프로필렌(PP), 강화재(Reinforcement)를 유리섬유매트로 한 유리섬유강화 플라스틱 복합재료인 GMT(Glass Mat reinforced Thermoplastics) Sheet가 있다. 종래의 FRP(Fiber Reinforced Plastic)나 SMC(Sheet Molding Compound) 대신 프레스 성형재료로써, 열가소성수지를 모재로 하여 유리섬유로 강화한 하이브리드 성형재료이다. GMT Sheet는 자동차의 경량화를 위해, 자동차 내·외장 주요 부품인 범퍼 빔(Bumper back beam), 엔진 언더커버, 헤드램프 커버, 흡받이, 시트 프레임 등으로 사용되고 있다.^(3,4)

현재, GMT Sheet를 이용한 각종 부품 생산현장의 프레스 성형에서는 시트 재료를 제품 형상에 필요한 크기로 절단한 블랭크(약 200 °C)를 금형(약 40~80 °C)에 넣고, 고압(약 15~20 MPa)으로 압축성형한 후 급냉하여 성형된다. 이 때, GMT Sheet의 가장 큰 문제점은 재료를 열압축성형하면, 모재와 유리섬유의 유동속도 차가 발생한다. 특히 강화재인 유리섬유매트는 섬유끼리 엉켜있어 성형품의 끝 부분까지 섬유가 유동하기 어렵다. 이로 인해, 성형품이 불균질하게 되고 섬유배향이 이방성이 된다. 결국 성형품의 기계적 특성, 물성 등에 나쁜 영향을 미치게 된다. 또한 유리섬유매트를 강화재로 사용하는 플라스틱 복합재료는 섬유함유율이 높을수록 폴리프로필렌이 유리섬유를 감싸는 함침도(Degree of impregnation)가 낮아, 충격 시 박리가 발생하여 충돌에너지 흡수능력이 저하되게 된다.

이와 같은 문제점과 관련하여, 일방향 섬유강화 복합재료의 강도계산, 섬유배향 상태의 정량적 측정, 유리섬유강화 플라스틱 복합재료의 압축성형 시 섬유배향과 불균질도의 상관관계, 섬유함유율 및 섬유배향 상태가 복합판재의 인장강도에 주는 영향, 열가소성수지가 장섬유매트 속으로 함침되는 복합판재의 연속제조공정, 수학적 모델링, 수지와 유리섬유매트의 물성을 측정하여 함침도를 높이는 주요 인자 등의 연구가 진행됐다. 그러나 유리섬유강화 플라스틱 복합재료의 압축성형 시 발생하는 불균질도와 섬유배향 발생을 억제하는 많은 연구를 하여 왔으나 아직까지 해결되지 않고 있다.

본 연구에서는 위의 문제점들을 해결하기 위해 섬유유동성이 뛰어나고, 섬유배향이 발생하지 않고, 불균질성이 없으며, 구조안정성, 함침도, 기계적 특성 및 재활용성 등이 우수하도록 첫째, 유리

섬유 로빙(Roving)과 폴리프로필렌을 사용하여 GFRP(Glass Fiber Reinforced Thermoplastic) 프리프레그를 만든다. 둘째, 이 프리프레그를 수직교차형 평직직조방법(Plain weaving method)을 적용하여 GFRP Sheet를 제조하고 기계적 특성평가를 수행했다.

2. 이론

2.1 유리섬유와 폴리프로필렌의 함침도

GFRP 프리프레그의 모재인 폴리프로필렌과 강화재인 유리섬유의 함침도를 계산하기 위해, 미세조직 관찰을 위한 시편은 마운팅 한다. 마운팅 된 시편은 SEM 측정을 위해, 폴리싱 한다. 진동 연마를 통해 표면을 깨끗하게 한 후, 최종 연마된 시편은 Pt 코팅을 한다. 이와 같이 제조된 시편을 주사전자현미경(FE-SEM; Field Emission Scanning Electron Microscope)으로 관찰하여 시편의 함침된 섬유 수를 센다.

시편의 함침도는 다음 식과 같이 계산한다.⁽⁵⁾

$$D_i = \frac{\text{Number of impregnated fiber}}{\text{Number of total fiber}} \quad (1)$$

2.2 GFRP 프리프레그의 인장강도

GFRP 프리프레그의 섬유길이방향 인장강도는 섬유와 모재의 인장강도를 각각 고려하여, 프리프레그의 섬유체적비로부터 계산할 수 있다. GFRP 프리프레그의 섬유길이방향 인장강도는 다음 식과 같이 계산한다.⁽⁵⁾

$$\sigma = v_f \sigma_f + (1 - v_f) \sigma_m \quad (2)$$

여기서 σ_f, σ_m 은 섬유와 모재의 인장강도, v_f 는 섬유체적비이다.

2.3 압축비 및 섬유함유율비

GFRP 프리프레그와 GFRP Sheet를 각각 프레스의 평행판 사이에 끼우고, 하중을 가해 열압축성형 후의 압축비는 다음 식과 같이 계산한다.⁽⁶⁾

$$R_{cr} = 1 - \frac{h}{h_0} \quad (3)$$

여기서 h_0, h 는 성형 전·후의 두께이다.

섬유함유율비는 다음 식과 같이 계산한다.⁽⁶⁻⁸⁾

$$Q_{fr} = \frac{q_f}{q_{r0}} \quad (4)$$

여기서 q_{r0}, q_f 는 성형 전·후 중량섬유함유율이다.

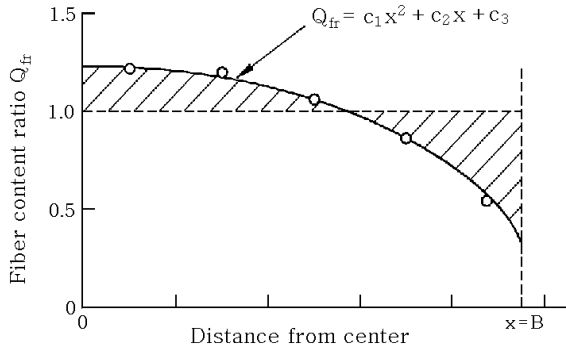


Fig. 1 Distribution of the fiber content ratio

2.4 불균질도

GFRP 를 프레스로 열압축성형하면 플라스틱과 유리섬유의 분리가 심할수록 불균질하게 되어, Fig. 1 과 같이 섬유함유율비와 이동거리의 관계를 2 차 함수 그래프로 나타낼 수 있다. 성형품은 플라스틱과 유리섬유의 분리가 심해질수록, 사선 부분의 영역이 더 크게 되어, 불균질함을 알 수 있다. 섬유함유율 분포곡선 Q_{fr} 을 2 차함수로 하고, 계수 c_1, c_2, c_3 를 최소자승법으로 구한다. 사선의 면적을 계산하여, 성형품 불균질의 정도를 나타내는 불균질도는 다음과 같이 계산한다.⁽¹⁾

$$r = \frac{\text{Area of hatched region}}{B \times 1} \quad (7)$$

여기서 r 는 무차원 수이며, 0 에서 1 사이에 있으나 0 에 가까워지면 성형품은 균질에 가깝다.

3. 실험

3.1 GFRP 프리프레그 제조

GFRP 프리프레그를 제조할 때 사용되는 펠트루전 성형장치를 Fig. 2 에 나타냈다. 펠트루전 성형작업은 로빙 스펴(Spool), 수지함침장치(Resin bath), 형상제어장치(Shape preformer), 가열금형(Heated die), 당김장치(Puller) 및 절단기(Cut-off) 등으로 구성된다. 형상제어장치의 길이는 1.5 m, 가열다이의 길이는 6 m, 다이 노즐 두께는 조절할 수 있도록 제작했다.

스풀로부터 공급되는 로빙 섬유(Filament diameter: 24 μ m, Roving linear weight: 2,310 tex)가 통과하는 수지함침장치 속에는 브레이크 바(Break bar)가 있다. 브레이크 바는 섬유의 진행 방향을 바꿔, 수지의 함침을 촉진시킨다. 로빙 섬유의 각 필라멘트를 약간 흠뻑하게 하여, 수지가 섬유 내부로 잘 흡수되도록 한다. 수지가 함침된 로빙 섬

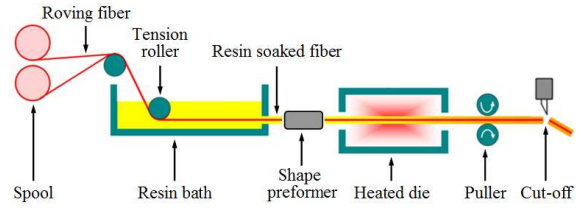


Fig. 2 Schematic diagram of pultrusion process

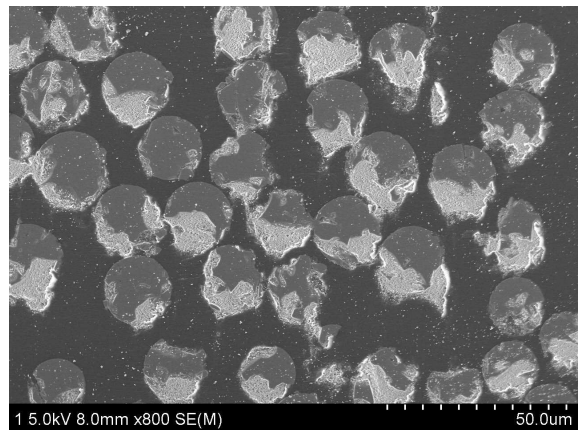


Fig. 3 SEM photograph of prepreg cross section (Fiber content 40 wt%)

유는 형상제어장치를 거치면서, 펠트루전 될 제품의 모양에 가깝도록 점진적으로 변형된다. 그리고 가열된 금형을 통과하면서 프리프레그로 경화된다. 금형을 빠져나온 프리프레그는 당김장치에 의해 연속적으로 당겨진다. 성형된 프리프레그는 크릴(Creel)에 감겨진 후, 절단되어 최종 완성된다.

본 연구에서 가열부의 다이온도를 일정하게 유지하기 위해, 예열한 후 실험했다. 로빙 섬유의 각 필라멘트 사이에 수지가 함침이 잘 되는 조건을 찾기 위해, 프리프레그의 두께와 다이온도 및 당김속도를 변화시키면서 실험했다. 프리프레그의 섬유함유율은 40 wt%이며, 제품의 두께는 약 1 mm 로 했다.

펠트루전 공정에 의해 제조된, 프리프레그의 모재와 유리섬유가 함침된 단면을 SEM 사진으로 Fig. 3 에 나타냈다.

3.2 GFRP 프리프레그 수직교차 평직직조방법

본 연구에서 제조한 GFRP 프리프레그와 시판되고 있는 GMT Sheet 의 섬유함유율비를 구하여, 불균질도를 계산했다. 각각의 압축성형 시, 성형온도 200 $^{\circ}$ C, 압축속도 14.4 mm/s, 압축비 0.5 로 했다.

섬유함유율비는 연소법(Burning method)으로 전

기로에서 해당 영역을 620 °C로 30 분간 가열 및 연소했다. 연소 후의 무게를 정밀전자저울로 측정하고, 이 측정값을 5 회 평균하여 실험값으로 했다. 시판되고 있는 GMT Sheet 의 모재는 폴리프로필렌, 강화제는 유리섬유매트, 섬유함유율은 40 wt%, 두께는 3.8 mm 이다. 섬유의 밀도는 2.55 g/cm³, 폴리프로필렌의 밀도는 0.9 g/cm³이다.

강화섬유의 방향은 GFRP 복합재료의 기계적 강도를 결정하는데 중요한 역할을 한다. 섬유가 일방향으로 배향된 복합재료의 경우, 일방향 섬유의 수직방향에 비교하여 일방향 섬유의 길이방향으로는 유동성이 현저히 저하된다.

그러므로 본 연구에서는 모재와 섬유의 유동속도 차로 인한 불균질과 섬유배향을 발생시키지 않기 위해, 프리프레그 직조를 평직으로 제조했다. 프리프레그 직조는 가로축의 프리프레그와 세로축의 프리프레그를 1:1 로 교차되도록 수직교차형 평직직조방법을 적용했다.

3.3 프리프레그 미세조직 관찰

로빙 섬유는 유리섬유의 생산공정 시, 필라멘트를 꼬임 없이 여러 가닥으로 뽑아낸 Direct roving 을 사용하였다. 실험값은 시편 당 5 회 관찰 후 평균을 구했다. 섬유함유율비, 불균질도 및 함침도를 구하기 위해, 시편의 미세조직을 주사전자현미경으로 관찰했다.

모재와 섬유의 함침도를 계산하기 위해, 미세조직 관찰을 위한 시편은 에폭시 수지(Epofix Resin)와 경화제(Epofix Hardener)를 약 7:1 비율로 섞어 마운팅을 했다. 마운팅 된 시편은 1,000 grit 의 SiC 연마지까지 단계적으로 연마 후, 초음파 세척했다. 최종연마된 시편은 GFRP 복합재료이기 때문에, 전도성을 주어야 SEM 관찰이 가능하므로, 시편을 3 nm 로 Pt 코팅하기 위해 이온 증착기를 이용했다. 모재와 섬유의 함침을 관찰하기 위해, 이와 같이 제조된 시편을 자동연마기로 연마해서 Ion Sputtering 한 후, 표면부와 절단면 등의 조직을 주사전자현미경으로 관찰했다.

3.4 섬유배향함수 및 불균질도 측정

가압장치는 30 ton 열압축 프레스로 금형에는 열전대를 부착시키고 가열은 봉 및 판 히터를 사용했다. 압축성형에 있어서 재료의 흐름은 폭 방향을 구속하여 길이 방향으로만 되게 했다.

섬유배향성을 측정하기 위해, 성형품의 길이 B/2 인 점을 기준으로 하여 50 mm×50 mm 의 영역을 화상처리 함으로써 섬유배향함수를 측정했다.

3.5 평직직조방법을 적용한 GFRP Sheet 제조

폴리프로필렌 층과 수직교차형 평직직조방법을 적용한 프리프레그 층을 적층하여 금형 속에 넣고, 열압축 프레스로 열압축성형하여 GFRP Sheet 를 제작했다. 이 때, 금형 캐비티의 치수는 200 mm×200 mm, 금형온도(TM)는 200 °C, 프리프레그 온도는 190 °C, 프레스의 압축속도는 21.5 mm/sec 이다.

4. 결과 및 고찰

4.1 GFRP 프리프레그의 함침도 및 인장강도

연속적으로 프리프레그의 섬유함유율 40 wt%, 폭 10 mm, 두께 1 mm 로 제조할 경우, 수지온도와 다이온도를 각각 180, 200, 220 °C의 세 종류로 변화시켜 유리섬유와 폴리프로필렌의 함침도와 당김속도의 관계를 Fig. 4 에 나타냈다. 연속적으로 유리섬유와 폴리프로필렌을 함침시킬 경우, 프리프레그의 함침에 영향을 미치는 주요 인자는 당김속도임을 알 수 있다. 함침되는 시간과 밀접한 관계가 있는 당김속도가 수지온도보다 더 지배적임을 알 수 있다.

연속적으로 프리프레그를 제조할 경우, 당김속도가 낮고 수지온도와 다이온도가 높을수록 유리섬유와 폴리프로필렌의 함침이 잘 되는 것을 알 수 있다. 또한, 함침도에 미치는 수지온도와 다이온도의 영향을 비교하면, 수지온도가 다이온도보다 크게 영향을 미치는 것을 알 수 있다.

Fig. 4 에서 수지온도가 220 °C이고, 다이온도가 220 °C인 경우, 함침도와 당김속도의 관계식을 다음과 같이 나타냈다.

$$D_f = 1.10875 - (0.2125 \times V_p) \quad (8)$$

이 함침도와 당김속도의 관계식으로부터, 산업현장의 생산성 향상에 기여할 수 있는 기초자료를 마련했다.

다이온도 220 °C, 수지온도 220 °C, 다이길이 6 m 에서 섬유함유율 40 wt%, 폭 10 mm, 두께 1 mm 로 제작한 프리프레그의 섬유 길이방향 인장강도의 이론 및 실험 값을 Table 1 에 나타냈다. 식 (4)와 실험으로 구한 인장강도 값을 비교했다. 오차가 약 0.8 %로 비교적 잘 일치했다.

Table 1 Tensile strength of GFRP prepreg

Theoretical tensile strength (MPa)	Experimental tensile strength (MPa)
295.96	293.57

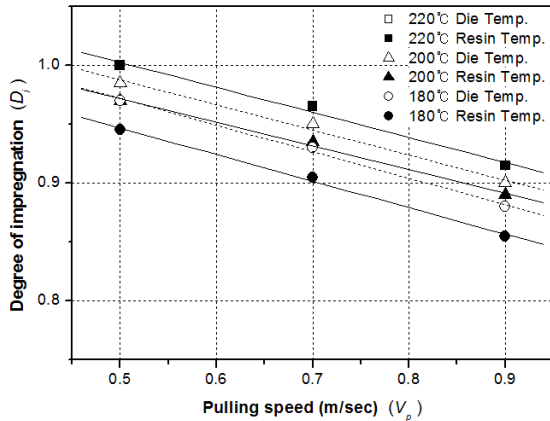


Fig. 4 Relationship between degree of impregnation and pulling speed

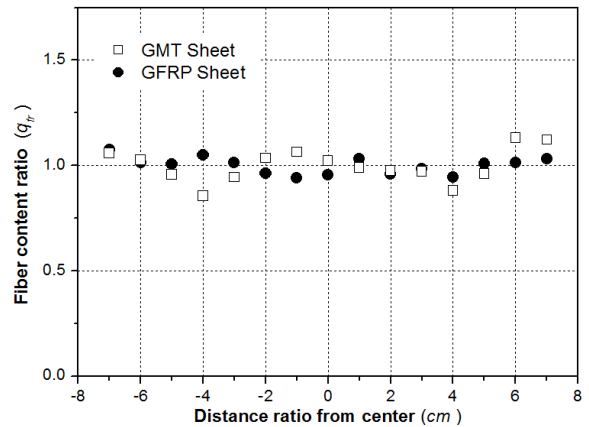
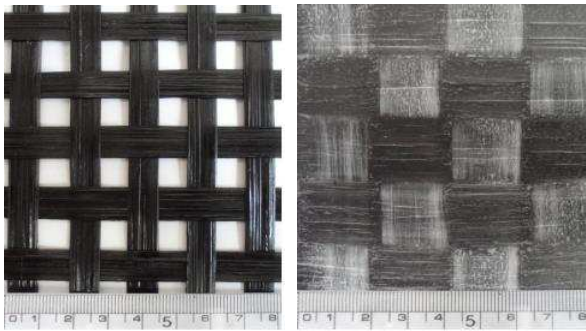


Fig. 6 Relationship between fiber content ratio and distance ratio from center



(a) GFRP prepreg (b) After molding ($R_{cr}=0.5$)

Fig. 5 GFRP prepreg of before and after compression molding

4.2 수직교차형 평직직조 프리프레그의 압축성형

Fig. 5(a)는 본 연구에서 제조한 섬유함유율 40 wt%인 경우, GFRP 프리프레그의 수직, 수평 방향의 섬유함유율을 1:1로 하여 수직교차형 평직직조방법을 적용한 프리프레그 적층판을 나타낸 것이다. 이 프리프레그 적층판을 프레스 1 ton의 압력으로, 다이온도 200 °C에서 압축비는 0.5로 1분간 압축성형한 것이 Fig. 5(b)이다. 이 결과로부터 로빙 섬유에 수지가 잘 함침된 프리프레그를 프레스로 압축성형하면, 섬유와 수지가 분리되지 않고, 유동함을 관찰했다. 즉, 프리프레그의 프레스 압축성형 시, 모재와 유리섬유의 유동속도 차가 발생하지 않아, 모재와 유리섬유의 분리 및 이방성의 섬유배향이 발생하지 않았음을 알 수 있다.

4.3 섬유함유율비

Fig. 6은 본 연구에서 제조한 GFRP Sheet와 시판되고 있는 GMT Sheet의 섬유함유율 40 wt%인 경우, 이 두 종류 각각의 복합재료를 프레스로 열압축성형하여 제작한 자동차 범퍼 빔의 길이방향

단면에 대하여 중심으로부터의 거리에 따른 섬유함유율비를 나타낸 것이다.

섬유함유율비는 자동차 범퍼 빔의 길이방향 중심선을 기준으로 폭 10 mm를 절단하여 등간격 15등분하여 연소법으로 구했다. 이 두 종류 범퍼 빔의 섬유함유율비 분포를 비교한 결과, GFRP Sheet 복합재료의 범퍼 빔은 섬유함유율비 분포가 일정함을 알 수 있다. 이 결과로부터 GFRP Sheet는 섬유유동성이 뛰어나고, 섬유배향이 발생하지 않고, 불균질성이 없으며, 구조안정성이 우수한 재료이다. 즉, 기계적 강도나 특성에 변화가 생기지 않는 우수한 복합재료이다.

반면에 GMT Sheet 복합재료의 범퍼 빔은 길이방향 단면에 대하여 중심으로부터의 거리가 멀어질수록 섬유함유율비 분포가 일정하지 않음을 알 수 있다. 이는 GMT Sheet를 프레스로 열압축성형 시, 성형품의 중심으로부터 거리가 멀어질수록 유리섬유와 폴리프로필렌이 분리되어 섬유함유율비가 저하되며, 금형이 막혀있는 부분에서 섬유함유율비가 증가됨을 알 수 있다.

Fig. 7은 본 연구에서 제조한 GFRP Sheet 복합판재 범퍼 빔과 현재 시판되고 있는 GMT Sheet 복합판재 범퍼 빔을 Micro-CT 장비를 이용하여, X-Ray 촬영한 섬유함유율비 분포 결과를 나타낸 것이다. 이 두 종류 범퍼 빔의 X-Ray 사진을 비교한 결과, GMT Sheet 복합판재 범퍼 빔보다 섬유함유율비 분포가 우수함을 확인했다.

따라서 본 연구의 FRP 프리프레그를 수직교차형 평직직조방법을 적용하여 GFRP Sheet 복합판재를 사용한 성형품은 균질하고 섬유배향이 발생하지 않아, 기계적 강도나 특성에 변화가 생기지 않

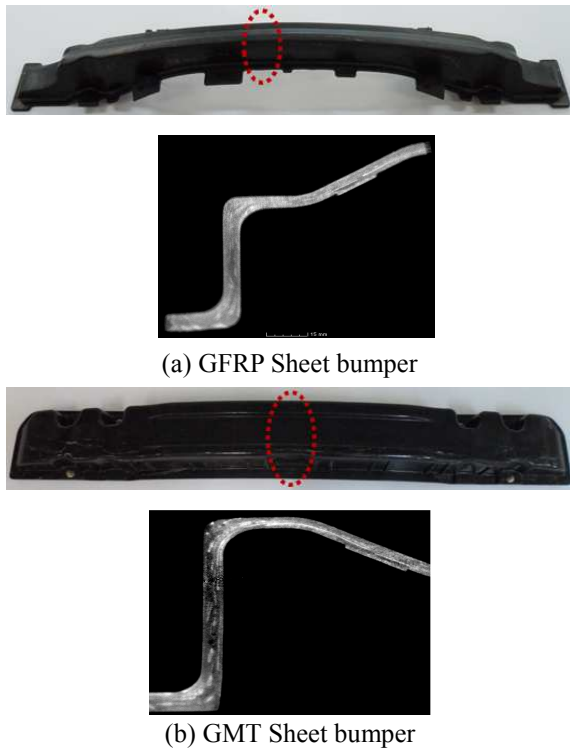


Fig. 7 X-ray photograph of automobile bumpers

는다. 또한, 제품의 기계적 특성에 맞도록 수평과 수직방향의 섬유함유량을 조절할 수 있어, 유동성이 우수한 GFRP Sheet 를 제조할 수 있다.

4.4 불균질도

Fig. 8 은 본 연구에서 제조한 GFRP Sheet 와 시판되고 있는 GMT Sheet 의 섬유함유율 40 wt%, 두께 3.8 mm 인 경우, 두 종류의 복합재료를 열압축성형하여 불균질도와 압축비와의 관계를 나타낸 것이다. GMT Sheet 는 폴리프로필렌과 니들펀칭된 유리섬유매트를 적층하여 함침시킨 복합판재이므로 실험값의 편차가 심하다. 이 편차 때문에, 측정값은 5 회 실험하여 얻어진 값을 평균으로 했다. GMT Sheet 의 불균질도는 압축비가 클수록 성형품 내의 엉켜있는 섬유와 모재와의 분리로 인하여 증가함을 알 수 있다. 즉, 압축비에 의존함을 알 수 있다.

반면에, GFRP Sheet 는 압축비와 섬유함유율에 관계없이, 불균질도가 0 에 가까워 모재와 강화재가 균일하게 잘 유동됨을 알 수 있다. 즉, 성형품이 균질하게 되어 성형품의 기계적 강도나 특성에 변화가 생기지 않는다.

그러므로 본 연구결과에서 제작한 GFRP Sheet 는 섬유유동성이 뛰어나고, 섬유배향이 발생하지 않고, 불균질성이 없으며, 구조안정성이 우수한 복합재료이다.

Table 2 Typical properties of GFRP Sheet and GMT UD Sheet

Specimen		GFRP Sheet (MPa)	GMT UD Sheet (MPa)
Tensile strength	MD	303.6	304.4
	TD	136.2	47.2
Bending strength	MD	306.5	238.1
	TD	151.6	91.9

MD: Vertical direction, TD: Horizontal direction

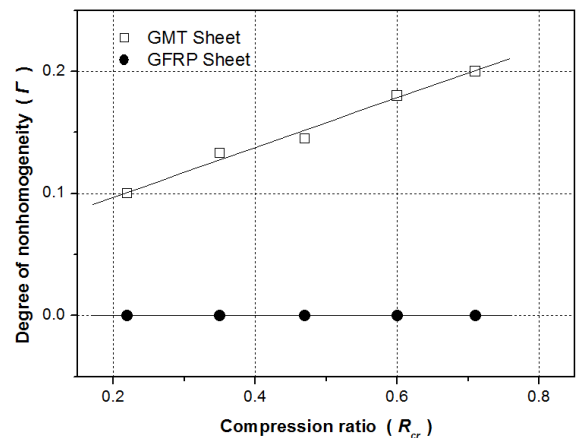


Fig. 8 Effect of compression ratio on degree of non-homogeneity

4.5 인장 및 굽힘 강도

자동차 범퍼비용 플라스틱 복합재료로 시판되고 있는 GMT UD Sheet 는 랜덤 유리섬유매트와 수직방향으로 배향된 일 방향 장섬유매트를 폴리프로필렌과 조합·함침 시킴으로서 특정 방향으로의 강도를 향상시킨 적층판이다. GFRP Sheet 의 시판 제작 시, GMT UD Sheet 와 유사한 시판제작을 위해 GFRP 프리프레그의 수직, 수평방향의 섬유함유율을 2:1 로 하여 수직교차형 평직직조방법을 적용했다. 본 연구에서 제조한 GFRP Sheet 와 시판되고 있는 GMT UD Sheet 의 인장 및 굽힘은 ASTM D638, ASTM D790M 규격에 의해 시험했다.

Table 2 에 2 종류의 복합재료에 대해 인장 및 굽힘 강도를 비교했다. GFRP Sheet 가 GMT UD Sheet 보다 수직방향의 인장강도 값은 유사하게 나타났으나, 수평방향의 인장강도 값은 약 2.8 배 크게 나타났다. 또한 수직방향의 굽힘강도 값은 약 1.2 배 크게 나타났으며, 수평방향의 굽힘강도 값은 약 1.6 배 크게 나타났다. 이와 같은 기초적인 데이터에 근거하여, 본 연구의 GFRP Sheet 복합재료는 자동차용 범퍼 빔 등과 같은 부품 개발에 적용할 수 있다.

5. 결 론

본 연구에서 GFRP 프리프레그를 제조한 후, 이 프리프레그를 수직교차형 평직직조방법을 적용하여 GFRP Sheet 를 제조하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

(1) 프리프레그의 제조 시, 당김속도가 낮고 수지온도가 높을수록 유리섬유와 폴리프로필렌의 함침이 잘 되고, 수지온도가 다이온도보다 크게 영향을 미치는 것을 알 수 있다.

(2) 섬유 유동성이 뛰어나고, 함침도가 우수하며, 이론과 실험으로 구한 인장강도 값이 잘 일치하는 GFRP 프리프레그를 제조했다. 이 GFRP 프리프레그를 압축성형 시, 모재와 섬유의 분리 및 이방성의 섬유배향이 발생하지 않음을 알 수 있다.

(3) GFRP Sheet 가 GMT UD Sheet 보다 수직방향의 인장강도 값은 유사하게 나타났으나, 수평방향의 인장강도 값은 약 2.8 배 크게 나타났고, 또한 수직방향의 굽힘강도 값은 약 1.2 배 크게 나타났으며, 수평방향의 굽힘강도 값은 약 1.6 배 우수하게 나타남을 알 수 있다.

후 기

이 논문은 2013 학년도 조선대학교 학술연구비의 지원을 받아 연구되었음.

참고문헌 (References)

- (1) Kim, J. W., Kim, H. S., Kim, T. I., Lee, D. G. and Sim, J. K., 2012, "Strength and Efficiency During Lap Joining Molding of GMT-Sheet," *Journal of the Korean Society of Manufacturing Technology Engineers*, Vol. 21, No. 6, pp. 1018~1023.
- (2) Do, T. T. and Lee, D. J., 2010, "Analysis of Tensile Properties for Composites with Wrinkled Fabric," *J. Mech. Sci. Technol.*, Vol. 24, No. 2, pp. 471~479.
- (3) Kim, H. S., Kim, J. W., Kim, Y. J. and Lee, D. G., 2010, "Effects of Molding Condition on Surface Unevenness of GFRP Composites in Compression Molding," *Trans. Korean Soc. Mech. Eng. A*, Vol. 34, No. 11, pp. 1649~1657.
- (4) Minay, E. J. Boccaccini, A. R., Veronesi, P., Cannillo, V. and Leonelli, C., 2005, "Sintering of Metal Fibre Reinforced Glass Matrix Composites Using Microwave Radiation," *Adv. Appl. Ceram.*, Vol. 104, No. 2, pp. 49~54.i
- (5) Kim, H. S., Kim, J. W., Seo, J., Lee, D. G. and Sim, J. K., 2013, "Fabrication and Characterization Evaluation of Prepreg with Unidirectional Glass Fibers for use of Automobile Bumper Beams," *Journal of the Korean Society of Manufacturing Technology Engineers*, Vol. 22, No. 5, pp. 806~811.
- (6) Kim, J. W. and Lee, D. G., 2011, "Creep and Tensile Properties of Press Molding Joined GMT-Sheets," *Trans. Nonferrous Met. Soc. China*, Vol. 21, No. s1, pp. s170~s174.
- (7) Kim, J. W., Kim, H. S. and Lee, D. G., 2011, "Study on Fibre Orientation of Weld Line Parts During Injection Moulding of Fibre Reinforced Plastic by Image Processing," *Mater. Res. Innov.*, Vol. 15, No. s1, pp. s303~s306.
- (8) Kim, J. W. and Lee, D. G., 2010, "Effect of Fiber Orientation and Fiber Contents on the Tensile Strength in Fiber-Reinforced Composites," *J. Nanosci. Nanotechnol.*, Vol. 10, No. 5, pp. 3650~3653.

(1) Kim, J. W., Kim, H. S., Kim, T. I., Lee, D. G. and Sim, J. K., 2012, "Strength and Efficiency During Lap Joining Molding of GMT-Sheet," *Journal of the*