

## 論文

## 압축성형된 한 방향 섬유강화 고분자 복합판의 섬유함유율 분포

조선형\* · 임영호\*\* · 김이곤\*\*\*

## Fiber Content Distribution of Compression Molded Unidirectional Fiber-Reinforced Polymeric Composite Sheet

Seon-Hyung Jo\*, Young-Ho Lim\*\* and E-Gon Kim\*\*\*

## ABSTRACT

Polymeric composites continues to grow significantly in automotive and aerospace applications. The family of continuous glass fiber-reinforced polypropylene composites are currently used in automotive bumper beams and load floors. Such materials are typically composed of continuous fibers and randomly oriented fiber mat embedded in a plastic resin matrix. There is no doubt that the properties of a composite material depend not only on the characteristics of the matrix but also on the structure of glass fiber mat and a fiber type of reinforcement. Particularly the strength of fiber-reinforced polymeric composites is greatly influenced by the fiber content, the fiber orientation, and the condition at the interface between fiber and matrix. However, in order to provide better reinforcement, it is necessary that the fiber should be oriented to the direction of the load.

During a compression molding of unidirectional continuous fiber reinforced composites, the separation of matrix and fiber is caused by the flow of the molding process. As the mechanical properties of the products are greatly dependent on the separation, it is very important to clarify the separation in relation to molding condition, material and mold geometry. In this study, the fabricating method of unidirectional continuous fiber reinforced composites is proposed by upgrading the strength in a particular direction. The composite sheet(UDFRTP) is produced by changing the followings; the structure of randomly oriented fiber mat and the fiber content of unidirectional fiber ply. After evaluating the mechanical properties of manufactured composite plate, it is compared with the commercial composite plate. The effects of the mould geometry on the degree of nonhomogeneity are studied.

## 초 록

한 방향 섬유강화 고분자 복합재료는 현재 자동차의 범퍼비임이나 구조부재로서 널리 이용되고 있다. 이러한 복합판은 연속섬유와 무배향 섬유 매트로 강화되어 있는 것이 일반적이다. 복합재료의 성질은 모재의 특성 뿐만 아니라 유리섬유 매트 구조와 강화재의 형태에 의해서도 달라진다. 특히 섬유강화 고분자 복합판의 기계적 성질은 섬유함유율, 섬유의 배향상태, 섬유와 모재와의

\* 대우공업전문대학 금형설계과

\*\* 숭실대학교 공과대학 기계공학과

\*\*\* 국민대학교 공과대학 기계설계학과

계면상태에 의해서 영향을 받지만 높은 강화 효율을 얻기 위해서는 강화섬유의 배향성이 부하응력의 방향과 일치 할 필요성이 있다. 그리고 이러한 한 방향 섬유강화 고분자 복합판을 압축성형 하는 경우에는 성형과정 중의 유동에 의해서 모재와 섬유의 분리가 발생한다. 압축성형 된 성형품의 기계적 성질 등은 이 분리의 영향을 크게 받기 때문에 성형조건이나 금형의 형상 등과 관련시켜 연구하는 것은 최적 성형품을 얻는데 있어서 매우 중요하다. 그러므로 본 연구에서는 어느 특정방향으로의 강도를 향상시킨 한 방향 섬유강화 고분자 복합판의 제작방법을 제안하고, 무배향 유리 섬유매트의 구조, 한 방향 섬유층과 무배향 섬유매트의 섬유함유율비 등을 변화시켜 시이트를 제작한다. 제작된 복합판의 기계적 성질을 평가한 후, 이 복합판과 시제품을 압축성형 하여 비교검토한다. 이때 섬유층 사이의 미끄럼 및 섬유와 모재의 분리에 의해서 야기되는 불균질도를 측정하여 비교하고 이 불균질도에 미치는 금형코너부 반경의 영향에 대한 결과를 보고한다.

## 1. 서 론

섬유강화 고분자 복합재료의 강도는 섬유함유율, 섬유배향성, 섬유와 모재와의 계면상태 등에 의해서 크게 영향을 받지만[1,2], 특정 방향으로의 높은 강화효율을 필요로 하는 경우에는 섬유의 배향성이 주로 문제가 된다. 예를 들어, 자동차 범퍼비임과 같은 구조부재 등은 하중을 받는 방향으로 최대한의 강도향상을 얻기 위해서 미리 장섬유를 인위적으로 배향시킬 필요가 있다. 따라서 방향성이 없이 균질한 강도를 갖게하기 위하여 균일하게 분산된 무배향 유리섬유 매트에 폴리프로필렌을 용융·함침시키는 일반 스템퍼블 시이트와는 달리, 무배향 유리섬유매트에 한 방향으로 배향된 유리 장섬유를 조합·함침시킴으로서 특정 방향으로의 강도를 향상시킨 한 방향 섬유강화 복합판이 구조재로서 더 유리하다[3]. 강화재로서 한 방향 유리섬유층을 무배향 섬유매트와 조합하여 구성하는 이유는, 한 방향 유리섬유층 자체만으로는 가로방향의 물성이 수지 단일체 이상의 것을 기대할 수 없기 때문이다.

이와 같은 한 방향 섬유강화 복합판은 일반 스템퍼블 시이트와 비교하여 섬유길이 방향의 유동성 저하로 인해 가공성이 약간 떨어지나 인장강도 및 충격강도 등의 기계적 성질들은 높게 나타내고 있다. 이 복합판의 구성은 내측에는 한 방향 섬유층, 양 외측에는 무배향 섬유층인 것이 일반적으로, 이러한 복합판을 압축성형하는 경우에는 유동속도 차에 의한 모재와 강화재의 분리가 일어남은 물론

섬유층간의 미끄럼 발생으로 성형품은 불균질하게 된다. 즉, 섬유함유율의 분포상태가 무배향 매트만을 사용했을 때 보다 더 복잡해진다. 그러므로 섬유강화 복합재의 압축성형에 있어서 섬유함유율은 각종 물성치의 지표가 되는 가장 기본적인 인자로서 사용될 수 있고, 제품의 기하학적인 변화 등의 성형조건에 대해서 섬유함유율 분포 경향을 찾아내고, 더 나아가 예측·제어하는 것은 뛰어난 성형품을 얻는데 있어서 매우 중요하다.

지금까지 모재와 섬유의 분리 및 섬유의 배향에 관한 연구로서, Hojo 등은 섬유의 분리를 표현할 수 있는 분리방정식을 유도하여 그때의 분리계수를 제안 및 측정하였고, 측정된 분리계수로 2차원 평판압축인 경우 섬유함유율 분포를 예측하였다[4~7]. 또한 시판되고 있는 고분자 복합판을 사용하여 이 분리와 배향에 대한 양자간의 상관관계에 대해서 발표하였다[8].

그러므로 본 연구에서는 어느 특정방향으로의 강도를 향상시킨 한 방향 섬유강화 고분자 복합판의 제작방법을 제안하고, 무배향 유리섬유 매트의 구조, 한 방향 섬유층과 무배향 섬유매트의 섬유함유율비 등을 변화시켜 시이트를 제작한다. 제작된 복합판의 기계적 성질을 평가한 후, 이 복합판과 시제품을 압축성형하여 비교검토한다. 이때 섬유층 사이의 미끄럼 및 섬유와 모재의 분리에 의해서 야기되는 불균질도를 측정하여 비교하고 이 불균질도에 미치는 금형코너부 반경에 대한 결과를 보고한다.

## 2. 실험

### 2-1. 한 방향 섬유강화 복합판의 함침 제작

복합판의 제작에 사용한 한 방향 섬유층의 섬유는 한국베트로텍스(주)제의 야안(직경  $23\mu\text{m}$ )이고, 무배향 섬유층은 니들펀칭 공정을 거치지 않는 무배향 장섬유 매트(이하 NNPM, 섬유길이 60mm, 섬유 직경  $23\mu\text{m}$ )와 니들펀칭 공정을 거친 섬유매트(이하 NPM, 12Needle Punching/ $\text{cm}^2$ , 18Needle Punching/ $\text{cm}^2$ , 직경  $23\mu\text{m}$ )를 각각 사용하였다. 일반적으로 강화재로서의 유리섬유의 직경은 작은 쪽이 강도상 유리하다. 이것은 유리섬유의 직경이 작을수록 Aspect ratio(섬유길이와 섬유직경의 비)가 크게 되어 보강효과가 향상되며, 또 섬유의 직경이 작으면 유리섬유의 표면적이 크게 되어 물성이 향상된다[2]. 그러나 본 연구와 같은 경우에는 수지의 함침성 향상을 위한 가압과 섬유다발의 압착 및 한 방향 섬유층을 이루고 있는 섬유끼리의 인장력 때문에 섬유다발로의 함침이 어렵게 되는데, 보강효과와 증대만을 위하여 섬유직경을 작게하면 오히려 역효과를 초래할 수 있으므로 통상의 스템퍼블 시이트와 같은 직경  $23\mu\text{m}$ 의 유리섬유를 사용하였다.

모재는 임팩트 코폴리머(호남정유제, 두께 0.2 mm)계의 폴리프로필렌을 사용하였으며, 가압장치는 10ton 용량의 열프레스(Heat press)를 사용하였고 프레스의 상하에 열전대를 부착하여  $200^\circ\text{C}$ 에서 균일하게 가열·가압한다. 이때 수지가 섬유 사이로 용이하게 함침이 되도록 약 20~30분간 가압·감압의 공정을 거듭하였다. 이 가압·함침공정에 이용한 금형의 개략도를 Fig.1에 나타내었다. 유리섬유가 무배향으로 배향된 복합판내의 유동거동은 소재의 어느 방향으로도 균일하지만 한 방향 섬유강화 복합판에서는 한 방향 섬유의 직각방향에 비교하여 한 방향 섬유방향으로는 유동성이 현저히 저하한다[6]. 그래서 본 연구에서는 금형의 형상을 가압·함침시 모재와 섬유의 유동으로 말미암아 한 방향 섬유의 방향이 틀어지는 현상을 막기 위해서 한 방향 섬유층의 가로방향은 구속을 하고, 한 방향

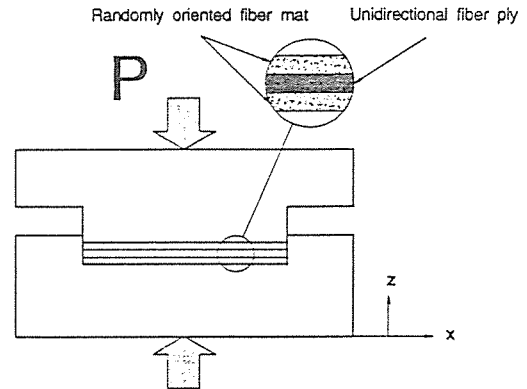


Fig. 1. Illustration of unidirectional continuous fiber reinforced polymeric composites impregnation process.

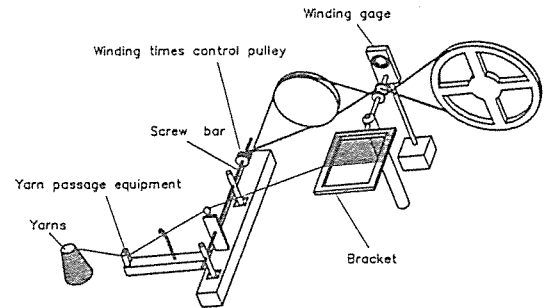


Fig. 2. Schematic diagram unidirectional fiber winding apparatus.

섬유층의 길이 방향으로서는 구속을 하지 않은 형상의 금형을 이용하여 복합판을 제작하였다.

한 방향 섬유강화 복합판의 기계적 특성 및 물성 등은 한 방향 섬유층내의 섬유가 일정한 장력을 유지하느냐에 따라서 크게 변화하기 때문에, 이를 위하여 한 방향 섬유에 성형이 완료될 때까지 길이 방향으로 인장을 주었고 인장상태를 유지하기 위하여 한 방향 섬유의 와인딩 장치에 야안 통과장치를 장착하여 한 방향 섬유층을 만든 다음, 섬유가 감긴 상태의 브라켓을 수지 및 무배향 섬유층과 함께 금형에 충전하는 방식을 택하여 제작하였다. Fig. 2는 이 한 방향 섬유의 와인딩 장치의 개략도를 나타낸 그림이다. 모재인 폴리프로필렌이 섬유층 사이로의 함침이 용이하도록 시이트를 무배향 섬유층과 한 방향 섬유층의 경계층에 각각 분할 배치하였다. Fig.3은 각각의 섬유함유율 별로 제작한



재외의 분리에 의해서 일어나는 불균질도에 미치는 성형품 코너부 반경의 영향을 고찰하기 위하여 사용한 재료는 실험실에서 제작한 복합판(이하 UD-FRTP; 무배향 섬유층과 한 방향 섬유층 상호간의 니들펀칭 하지 않음)과 일본 出光石油化學(株) 제품(이하 U4238, U5038; 섬유층 상호간의 니들펀칭 함) 2종류를 이용하였다. 이들 복합판 내의 섬유층 구성은 내측에는 한 방향 섬유층, 양외측에는 무배향 섬유층으로 구성되어 있으며, 복합판내의 총섬유 함유율은 40wt%, 50wt% 2종류이고, 복합판내 한 방향 섬유층과 무배향 섬유층과의 섬유함유율비는 50 : 50이며, 이 재료를 200mm(폭)×290mm(길이)×3.8mm(두께)의 직사각형으로 절단하여 시험편으로 하였다. 시험편을 전기로(온도 : 200℃)에서 약 20분간 가열하여 Fig.5와 같은 캐비티를 갖는 금형(온도 : 50℃)에 충전하여 압축성형을 하였다. 압축성형은 30ton 유압 프레스를 사용하였으며 금형에는 열전대를 부착시키고 가열은 봉 및 판히터를

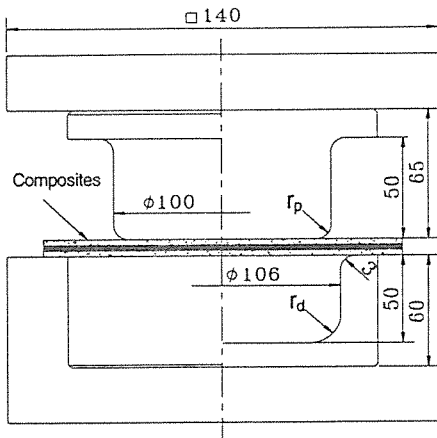


Fig. 5. Schematic of the compression molding mould.

Table 2. Dimensions of the compression molding mould.

Mould No.	$r_p$ (mm)	$r_d$ (mm)
1	1	4
2	6.35	9.35
3	12.7	15.7
4	25	28
5	50	53

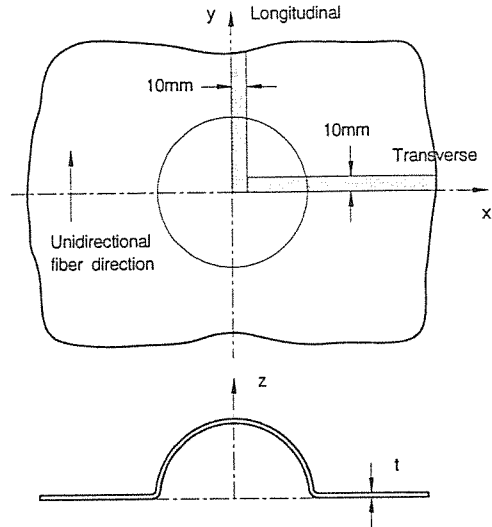


Fig. 6. Cutting pattern for measuring fiber content.

사용하여 함침성형과 마찬가지로 균일하게 온도를 유지시켰다. Table 2는 압축성형에 이용한 금형의 펀치와 다이의 크기를 나타낸 표이다. 불균질도를 구하기 위한 시험편의 연소는 Fig.6과 같이 시험편의 중립면에서 x, y축을 따라서 10mm(가로)×10mm(세로)를 채취하여 전기로내 700℃에서 30분간 가열 연소하고, 연소전후의 무게를 천칭으로 측정하여 섬유함유율 분포를 구하였다. 이 섬유함유율 분포로부터 섬유함유율비와 불균질도  $\Gamma$ 를 구하였다.

### 3. 섬유함유율비 $Q_{fr}$ 및 불균질도 $\Gamma$

재료를 Fig.5와 같이 금형사이에 끼우고 하중을 가했을 때 섬유를 고체, 모재를 액체로 한 고액혼상류는 성형이 진행됨에 따라서 섬유와 모재와의 유동속도 차이에 의하여 분리가 생기며 이로 인하여 성형품은 불균질하게 된다. 섬유함유율비  $Q_{fr}$ 은 성형전후의 중량섬유 함유율로서 다음과 같이 정의한다[6].

$$Q_{fr} = \frac{q_f}{q_{f0}} \quad \dots\dots\dots (1)$$

여기서  $q_{f0}$ ,  $q_f$ 는 각각 성형전후의 중량 섬유함유율이다. Fig.7은 압축성형후 성형품의 섬유함유

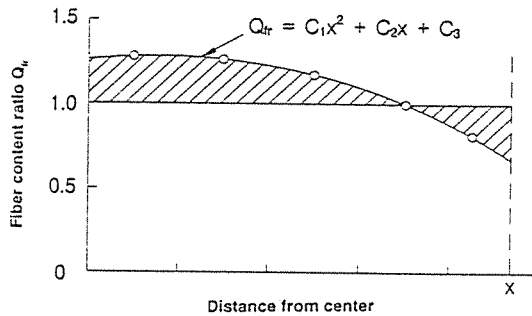


Fig. 7. Example of fiber content ratio.

을 분포를 나타낸 한 예이며, 분리가 심할 수록 성형품은 불균질하게 되어 그림에서 사선부분의 영역이 더 크게 된다. 섬유함유율비 분포곡선  $Q_{fr}$ 을 2차 함수로 하고 계수  $C_1$ ,  $C_2$ ,  $C_3$ 를 구해서 나오는 사선의 면적과  $x$ ,  $y$ 축이 만드는 면적의 비를 불균질도  $\Gamma$ 라 한다. 이는 무차원수로서, 0과 1 사이에 있으나 0에 근접할 수록 성형품은 균질에 가깝게 된다.

$$\Gamma = \frac{\text{Shaded area}}{\text{Distance from center}} \dots\dots\dots (2)$$

#### 4. 결과 및 고찰

각각의 성형 조건별로 함침 성형된 한 방향 섬유강화 고분자 복합판의 기계적 특성을 파악하기 위하여 인장시험(ASTM D638, Instron제 만능시험기, 용량 1 ton, crosshead speed 5mm/min)과 충격시험(ASTM D256, Toyoseiki제 Izod 시험기, 용량 60kgf·cm)을 행하였다. Fig. 8은 복합판의 인장강도에 미치는 한 방향 섬유층 섬유함유율의 영향을 나타낸 그림이며, 이들 실험값들은 한 방향 섬유층의 섬유함유율 및 무배향 섬유층 구조를 각각 3가지로 변화시켜 제작한 복합판의 평균 인장강도이다. Fig. 8에서 한 방향 섬유층의 섬유가 놓여져 있는 길이방향의 인장강도는 가로방향의 인장강도보다 큰 값을 나타내는 것과, 한 방향 섬유층의 섬유함유율이 증가하면 할수록 인장강도가 증가하는 것은 NNPM, NPM12, NPM18 모두 같지만, 한 방향 섬유층을 이루고 있는 섬유함유율이 동일한 경우에는 NPM 보다 NNPM을 사용하여 만든 복합

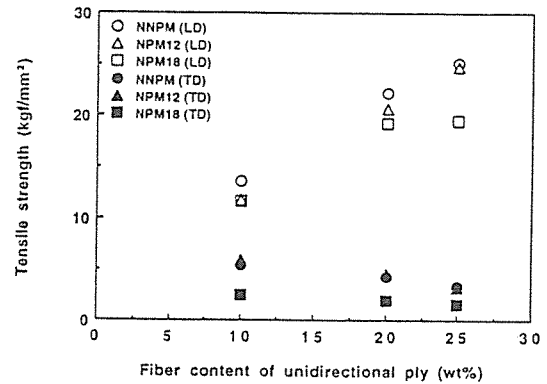


Fig. 8. Effect of unidirectional fiber content on tensile strength.

판의 인장강도가 가장 큰 값을 나타냄을 알 수 있다. 이것은 한 방향 섬유층의 길이방향이나 가로방향 모두 같은 경향을 나타내고 있다.

이러한 현상은 복합판의 세로방향으로 인장력을 받아서 파단에 이르기까지 한 방향 섬유층에서 외력의 대부분을 받고 있지만, 그 일부는 무배향 상태인 랜덤매트도 담당하고 있기 때문이며, 그 정도는 랜덤매트의 니들핀칭 횟수에 따라서 영향을 받고 있음을 알 수 있다. 즉 유리섬유 매트내로 수지침침의 용이함을 위하여 니들핀칭 횟수가 많을수록 함침성은 양호하나 니들핀칭으로 인한 랜덤매트 섬유의 손상으로 말미암아 복합판 전체의 인장강도에는 좋지 않은 영향을 미치게 되는 것이다.

Fig. 9는 복합판의 충격강도에 미치는 한 방향

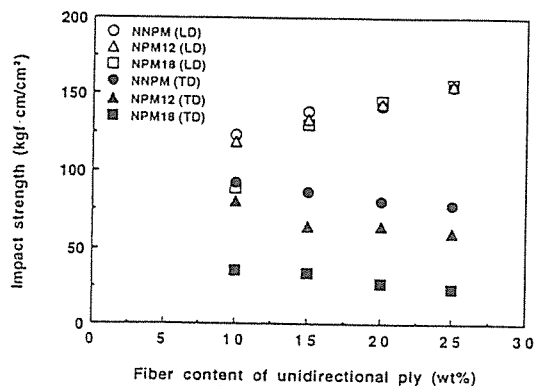


Fig. 9. Effect of unidirectional fiber content on impact strength.

섬유층 섬유함유율의 영향을 나타낸 그림이며, 이들 실험값들도 한 방향 섬유층의 섬유함유율 및 무배향 섬유층 구조를 각각 3가지로 변화시켜 제작한 복합판의 평균충격강도이다. 복합판의 충격강도는 한 방향 섬유층의 섬유함유율 증가에 대한 영향과 수지 함침성의 영향을 크게 받고 있음을 알 수 있다. 즉 한 방향 섬유층의 섬유함유율이 10wt%인 경우에는 니들펀칭 공정을 거치지 않은 NNPM의 충격강도가 가장 높고, 니들펀칭 횟수가 가장 많은 NPM18인 경우의 충격강도가 가장 낮다. 이것은 복합판 전체의 한 방향 섬유층 섬유함유율이 적은 경우에는 무배향 섬유매트의 니들펀칭으로 인한 섬유의 손상을 적게 받은 NNPM인 경우가 높은 충격강도를 나타내게 되는 것이다. 그러나 한 방향 섬유층 섬유함유율이 증가되면 충격강도는 한 방향으로 배향되어 있는 섬유층의 영향을 받을 뿐만 아니라 섬유사이로의 수지함침 여하에 따라서도 영향을 받기 때문에 수지함침성이 우수한 NPM18인 경우가 가장 큰 충격강도를 나타내고 있다.

Fig. 9의 한 방향 섬유층 섬유함유율 증가에 따른 가로 방향에 대한 충격강도의 관계에서 섬유함유율이 증가될 수록 가로방향의 충격강도는 NNPM, NPM12, NPM18의 순으로 급격히 떨어지는 것을 알 수 있다. 이것은 한 방향 섬유층의 가로 방향으로 작용하는 충격하중을 담당하고 있는 것은 한 방향 섬유층보다는 무배향 섬유매트의 영향이 크므로, 니들펀칭 횟수가 많은 NPM18인 경우가 가장 적은 충격치를 나타내는 것이다.

Fig. 10은 한 방향 섬유층의 섬유함유율 변화에 따른 비강도의 관계를 나타낸 그림이다. 이 그림에서 비강도는 각각의 경우의 시험편에 대해서 평균치를 나타내었으며, 비강도의 측정은 연소법에 의하여 복합판내의 섬유와 폴리프로필렌을 연소시켜 섬유의 무게를 구한 후 비중을 측정하여 비강도를 구하였다. 그림에서 한 방향 섬유층의 섬유함유율이 동일할 경우, 무배향 섬유층의 손상을 적게 입은 NNPM인 경우가 가장 큰 비강도치를 나타내고 있음을 알 수 있다.

Fig. 11은 한 방향 섬유층의 섬유함유율 변화에 따른 비탄성률의 관계를 나타낸 그림이다. 이 그

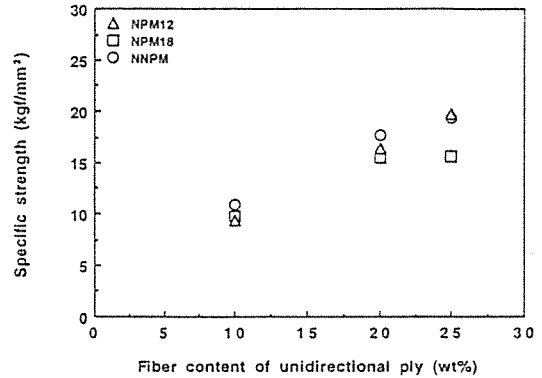


Fig. 10. Relationship between fiber content of UD and specific strength.

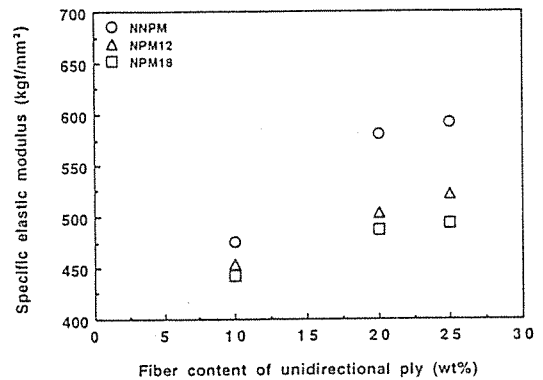


Fig. 11. Relationship between fiber content of UD and specific elastic modulus.

Table 3. Comparison between properties of X-sheet [9] and UDFRTP.

Specification	Sheet	X-sheet	UDFRTP
Specific gravity	1.19		NNPM 20-20 : 1.258
			NPM12 20-20 : 1.256
			NPM18 20-20 : 1.240
Fiber content (wt%)		40	40
Thickness (mm)		3.8	3.8
Tensile strength (kgf · mm <sup>-2</sup> )		7.5	21.0
Impact strength (kgf · cm/cm <sup>2</sup> )		60	143.5

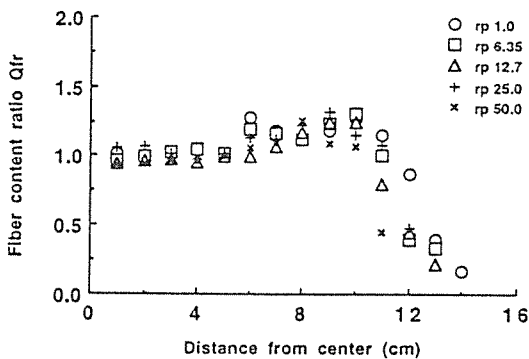
림에서도 한 방향 섬유층의 섬유함유율이 증가하면 할수록 비탄성률이 증가하는 것은 앞의 Fig. 10의 경우와 마찬가지로이며, 이러한 경향은 무배향 섬유매트의 구조에 의해서 크게 영향을 받고 있음을 알 수 있다. Table 3은 섬유함유율이 40wt%인 경우

시제품인 X-시이트의 물성과 본 연구를 통해서 제작된 한 방향 섬유강화 고분자 복합판의 물성을 비교한 것이다. 물성의 비교에 있어서는 강도와 탄성율이 중간정도인 NPM12의 복합판을 선정하였으며, Table 3에서 동일한 섬유함유율임에도 한 방향 섬유강화 고분자 복합판이 X-시이트보다 인장강도는 약 2.8배, 충격강도는 약 2.4배나 큰 값을 나타냄을 알 수 있다.

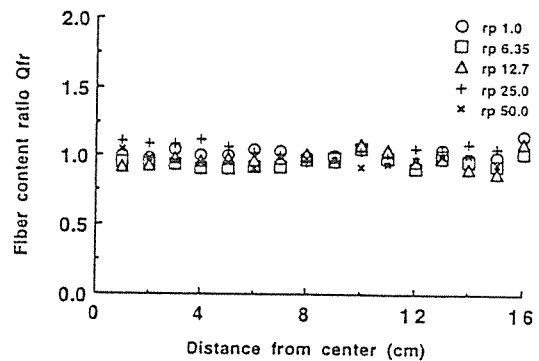
구조용 강판의 강도, 비중은 각각  $34.6 \sim 85.5 \text{ kgf/mm}^2$ , 7.87로 비강도는  $4.39 \sim 10.73 \text{ kgf/mm}^2$  이고[10], 본 연구를 통하여 성형제작된 복합판에 있어서는 한 방향 섬유층과 무배향 섬유층과의 섬유함유율비가 Table 3과 같이 50 : 50인 경우, 비강도의 측면에서는 강판에 비하여 1.5~4배나 큰 값을 나타냄을 알 수 있다.

Fig. 12 (a), (b), (c), (d)는 섬유함유율 40wt%

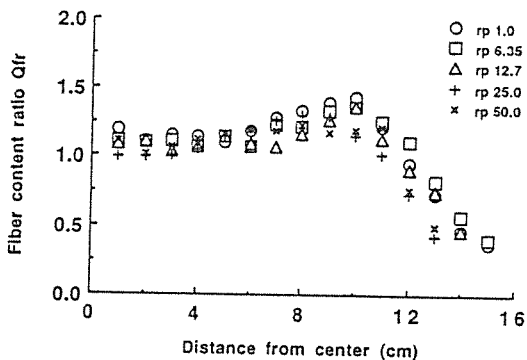
인 경우, UDFRTP와 U4238로 성형한 시험편의 중심으로부터 거리에 대한 섬유함유율비의 관계이다. 편치반경  $r_p$ 는 1.0mm, 6.35mm, 12.7mm, 25.0mm, 50.0mm이며, 금형온도는 모두  $50^\circ\text{C}$ 이다. 한 방향 섬유층 길이방향의 섬유함유율비 분포는 중심으로부터의 거리가 멀어질 수록 급격히 감소하지만 가로방향인 경우는 거의 변화가 없다. 이것은 성형이 진행되면서 한 방향 섬유층의 변위가 가로방향보다는 길이방향이 크기 때문에 섬유의 물림 현상이 급증한다. 또 편치반경  $r_p$ 가 적을수록 성형품의 형상변화가 심하게 이루어지기 때문에 거리가 90~100mm 즉, 유동상태가 곡선부와 직선부로 교차하는 곳에서 섬유가 많이 뭉쳐서 섬유함유율이 급증하고 있음을 알 수 있다. 이러한 현상은 UDFRTP나 U4238 모두 같은 경향을 나타내고 있다. 그러나 가로방향의 섬유함유율비는 중심으로부터의



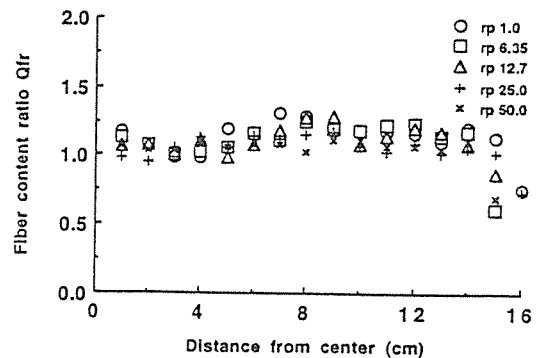
(a) Longitudinal direction of UDFRTP



(b) Transverse direction of UDFRTP



(c) Longitudinal direction of U4238

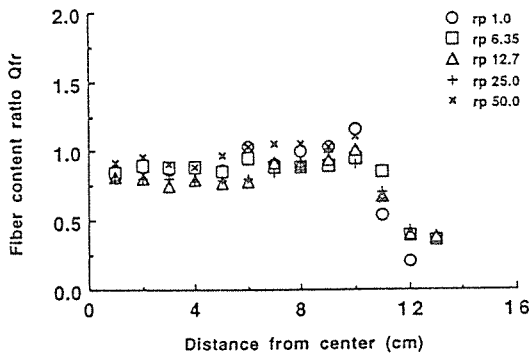


(d) Transverse direction of U4238

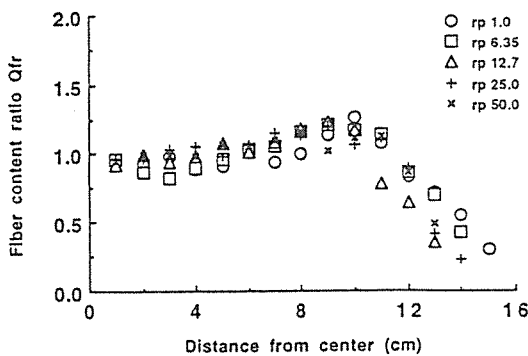
Fig. 12. Distribution of fiber content ratio Qfr on distance from center (40wt%).



거리가 유동선단에 근접할 때 UDFRTP와 U4238과는 반대의 현상을 나타낸다. 즉 UDFRTP의 유동상태는 성형이 진행되면서 금형부에 접촉하고 있는 무배향 섬유층과 중앙부에 위치한 한 방향 섬유층간에 미끄럼이 일어나지만 한 방향 섬유층보다는 양외측에 있는 무배향 섬유층의 유동속도가 더 느리기 때문에 유동선단에서 섬유함유율이 크게 감소하지 않는다. 그러나 U4238인 경우는 섬유층 끼리의 니들 펀칭으로 인한 상호구속력에 의하여 모재만 섬유 사이를 흘러나가는 현상 때문에 유동선단에서의 섬유함유율이 크게 감소하고 있음을 알 수 있다. Fig. 13(a), (b)는 섬유함유율이 50wt%인 경우 한 방향 섬유층의 길이방향에 대한 UDFRTP와 U5038인 성형품의 중심으로부터 거리에 대한 섬유함유율비의 관계이다. 이 그림에서도 성형품의 직선부와 곡선부로 교차되는 부위에서 섬유함유율비가 증가

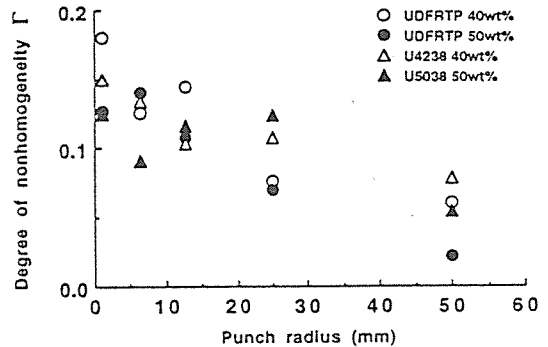


(a) Longitudinal direction of UDFRTP

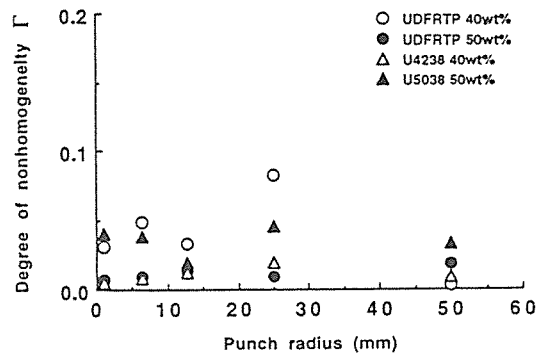


(b) Longitudinal direction of U5038

Fig. 13. Distribution of fiber content ratio Qfr on distance from center (50wt%).



(a) Longitudinal direction



(b) Transverse direction

Fig. 14. Relationship between mould dimension and degree of nonhomogeneity  $\Gamma$ .

하고, 유동선단에 근접할 때 급격히 감소하는 경향은 Fig. 12(a), (c)와 마찬가지로 알 수 있다.

Fig. 14(a), (b)는 섬유함유율 40wt%, 50wt%인 UDFRTP와 U4238, U5038을 성형한 펀치의 반경변화 즉, 성형품 코너부의 반경과 불균질도와의 관계를 나타낸 그림이다. 한 방향 섬유층의 길이방향인 경우는 펀치의 반경이 커짐에 따라서 불균질도가 감소함을 알 수 있고, 가로방향인 경우에는  $r_p$ 의 증가에 그다지 영향을 받고 있지 않음을 알 수 있다.

## 5. 결 론

특정 방향으로의 강도를 향상시킨 한 방향 섬유 강화 고분자 복합판을 제작하였으며, 이 복합판의 기계적 성질을 평가한 후 이 복합판과 시제품을

압축성형하여 비교검토한 결과, 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 복합판내 한 방향 섬유층 방향의 인장강도와 비강도는 복합판내의 한 방향 섬유층이 증가될수록 크고, 무배향 섬유 매트 구조가 NNPM인 경우가 우수하다.

(2) 복합판의 충격강도는 한 방향 섬유층 섬유함 유율의 영향을 많이 받고 있으며, 수지 함침성이 좋은 NPM18인 경우가 가장 큰 값을 나타내고 있다.

(3) 압축성형된 한 방향 섬유강화 고분자 복합판의  $Q_{fr}$  분포는 UDFRTP, U4238, U5038 모두 유동에 의해서 한 방향 섬유층의 가로방향보다는 길이방향의  $Q_{fr}$  변화가 심하여 성형품의  $I$ 가 증가한다.

(4) 한 방향 섬유층 가로방향의  $Q_{fr}$ 은 UDFRTP 보다는 U4238과 U5038인 경우가 유동선단에서 급격히 감소한다.

(5) 편치반경이 적은 성형품일 수록 성형품의  $I$ 가 증가한다.

## 참 고 문 헌

1. 牧廣, 島村昭治 編, “複合材料技術集成”, 産業技術センタ, 1976.
2. D. Hull, “An Introduction to Composite Materials”, Cambridge Univ. Press, England, 1982.
3. 越本勝, “ポリプロピレン系コンポジット(Xシート)”, 플라스틱스, Vol.40, No.3, 1989, pp. 44~50
4. Hojo, H., Kim, E.G., Tamakawa, K. and Nagatsuka, C., “Separation of Matrix and Fibers during Molding of Long Fiber-Reinforced Thermoplastics,” Processings of the Third Japan-U.S. Conference on Composite Materials, Tokyo, 1986, pp.605~612.
5. Hojo, H., Kim, E.G., Tamakawa, K., “The Fibre Content Distribution of Compression Molded Long Fibre-Reinforced Thermoplastic Products,” International Polymer Processing, Vol. 1, Issue 2, 1987, pp.60~65.
6. Hojo, H., Kim, E.G., Yaguchi, H. and Onodera, T., “Simulation of Compression Molding with Matrix-Fibre Separation and Fibre Orientation for Long Fibre-Reinforced Thermoplastics,” International Polymer Processing, Vol.3, Issue 1, 1988, pp.54~61.
7. Hojo, H., Kim, S.H., Beak, N.J. and Kim, E.G., “Prediction of Fibre Content Distribution in Compression Molded Fibre-Reinforced Thermoplastics,” Proceeding of the 5th Annual Meeting of the Polymer Processing Society, Kyoto, Japan, 1989, 12-20.
8. 이동기, 유정훈, 김이곤, “장섬유강화 고분자 복합판의 압축성형에 있어서 섬유의 분리와 배향의 상관관계에 관한 연구,” 대한기계학회 논문집, 제 17권 제1호, 1993, pp.62~68.
9. 出光NSG株式會社, “X-SHEET 技術資料”, pp.20.
10. James M., Gere, Stephen, P., Timoshenko, “Mechanics of Materials”, Third Edition, PWS-KENT Co., Boston, 1984, pp.728.