



저작자표시-비영리-동일조건변경허락 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.
- 이차적 저작물을 작성할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



동일조건변경허락. 귀하가 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공했을 경우에는, 이 저작물과 동일한 이용허락조건하에서만 배포할 수 있습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

공학석사학위논문

액상주입성형 공정 중 섬유다발의 변형에 대한 연구

**Experimental Study on Tow Deformation
during Impregnation in LCM**

2012 년 8 월

서울대학교 대학원

기계항공공학부

최 재 응

액상주입성형 공정 중 섬유다발의 변형에 대한 연구

**Experimental Study on Tow Deformation during
Impregnation in LCM**

지도교수 이 우 일

이 논문을 공학석사 학위논문으로 제출함

2012년 6월

서울대학교 대학원

기계항공공학부

최 재 응

최재응의 공학석사 학위논문을 인준함

2012년 6월

위 원 장 : 고 상 근

부위원장 : 이 우 일

위 원 : 송 한 호

Abstract

Experimental Study on Tow Deformation during Impregnation in LCM

Jaiwoong Choi

School of Mechanical and Aerospace Engineering

The Graduate School

Seoul National University

Liquid Composites Molding(LCM) is one of the most effective manufacturing method in terms of cost and processes so it has been substituting existing processes such as autoclave, pultrusion, filament winding. However, we need to study for the relation between volume flow rate and permeability during impregnation further because the permeability is a key parameter to figure out the impregnation process of resin and the impregnation time. According to Darcy's law, permeability is proportional to volume flow rate and volume flow rate influences on fiber-tow geometry. Therefore this study has been conducted on the assumption that fiber-tow geometry and volume flow rate influenced by injection pressure would affect permeability. Experimental apparatus similar to an actual LCM process was made and the cross section pictures of the process during impregnation were taken. As volume flow rate increases, fiber-tow geometry is changed. As a result, that permeability is increased is confirmed.

Keywords: Permeability, Tow deformation, LCM(Liquid Composite Molding),
RTM(Resin Transfer Molding), Impregnation, 투과성계수, 섬유다발,
액상주입성형

Student Number: 2010-20724

CONTENTS

목차

ABSTRACT	I
CONTENTS	III
LIST OF TABLES AND FIGURES	V
LIST OF NOMENCLATURE	VII
CHAPTER 1	1
1. 1. 복합재료(COMPOSITE MATERIALS).....	1
1.2. 액상주입성형(LIQUID COMPOSITE MOLDING, LCM)	2
1.3. 연구 목적.....	2
CHAPTER 2	4
2.1 재료	4
2.1.1 엔진오일.....	4
2.1.2 유리섬유.....	4
2.2 실험 기기	5
2.2.1 LCM 공정 기기.....	5
2.2.2 촬영 기기	6
2.2.3 수지 주입 기기.....	6
2.2.4 압력 측정 기기.....	6
2.3 실험 수행	7
2.3.1 실험 기구 설치.....	7
2.3.2 실험 수행	8
CHAPTER 3	9
3.1 유량의 변화에 따른 섬유다발의 변형	9

3.1.1 섬유다발의 변형 및 영향.....	10
CHAPTER 4	13
REFERENCES.....	14
초 록.....	26

List of Tables and Figures

Tables

Table 1. Owens Corning 社 유리섬유 사양

Table 2. 유량에 따른 다공도, 체적비율, 면적 계산

Table 3. 유량에 따른 투과성계수

Figures

Figure 1. 유량에 따른 투과성계수 변화

Figure 2. Owens Corning 단방향 유리섬유

Figure 3. 몰드(주형) 상단부

Figure 4. 몰드(주형) 측면 / 촬영 기기 설치 부위

Figure 5. Video Micro Scope(VMS)

Figure 6. Universal Testing Machine(UTM)

Figure 7. 압력 측정 기기

Figure 8. 실험 기구 설치

Figure 9. 유량 $0\text{mm}^3/\text{s}$ 의 섬유다발 측면 모습

Figure 10. 유량 $50\text{mm}^3/\text{s}$ 의 섬유다발 측면 모습

Figure 11. 유량 $100\text{mm}^3/\text{s}$ 의 섬유다발 측면 모습

Figure 12. 유량 $0\text{mm}^3/\text{s}$ 의 섬유다발 측면 모습

Figure 13. 유량 $50\text{mm}^3/\text{s}$ 의 섬유다발 측면 모습

Figure 14. 유량 $100\text{mm}^3/\text{s}$ 의 섬유다발 측면 모습

Figure 15. [가정 1] 기존 연구의 섬유다발 모식도

Figure 16. [가정 2] 본 연구의 섬유다발 모식도 (낮은 유량)

Figure 17. [가정 2] 본 연구의 섬유다발 모식도 (높은 유량)

Figure 18. 유량에 따른 섬유 다발 단면적 넓이 비교

Figure 19. 유량에 따른 투과성계수

Figure 20. 유량에 따른 단면적과 투과성계수의 변화

List of Nomenclature

u	:	velocity, volume averaged velocity
p	:	pressure, volume averaged pressure
K	:	permeability
μ	:	viscosity
ε	:	porosity
h	:	height
k_{ij}	:	Kozeny coefficient
V_f	:	Volume fraction

CHAPTER 1

서론

1. 1. 복합재료(Composite Materials)

복합재료는 통상적으로 강화재인 유리, 탄소, 붕소 따위로 만들어진 섬유 강화재 부분과 모재인 열가소성, 열경화성, 세라믹 따위의 수지의 결합으로 구성이 된다. 강하지만 취성을 지닌 섬유와 약하지만 인성을 지닌 수지의 결합으로 각각이 달성할 수 없는 높은 기계적 성질을 달성하며 강성과 탄성이 매우 뛰어난 재료가 된다. 강화재인 섬유는 기계적 하중을 견뎌내고 섬유를 감싸고 있는 모재인 수지는 형태를 유지함과 동시에 섬유 외부의 하중을 섬유로 옮겨주는 역할을 한다. 하중은 주로 섬유에 의해 유지되고 실제 복합재료의 기계적 물성은 섬유의 특성과 체적 비율에 따라 결정된다.

날이 갈수록 그 특징과 장점 때문에 산업계에 널리 사용되고 있으며 앞으로 더 많은 사용이 기대되는 재료이다.

1.2. 액상주입성형(Liquid Composite Molding, LCM)

복합재료의 필요성은 오랜 시간 매우 강조되었고 다양한 제작 방법들이 개발되었다. 복합재료의 제조 공정에는 크게 액상주입성형(Liquid Composite Molding, LCM)과 Autoclave, Pultrusion, Filament winding, Compression Molding 등이 있다. 그 중 여러 종류의 제조 공정 중 복잡한 형상을 만드는 데 LCM 공정이 적합하다. 무엇보다 공정 시간이 다른 방법들에 비해 짧은 편이며, 기능면에 있어서도 비용이 저렴하기 때문에 점차 각광받고 있다. 특히 경제성 그리고 상대적으로 간단한 제작 기자재 등의 이점을 가지고 있다.

액상주입성형(LCM)에는 Resin Transfer Molding(RTM), Vacuum Assisted Resin Infusion (VARI) 등이 있다. 액상주입성형 공정의 과정을 살펴보면 섬유 매트(주형)에 깔고 덮개를 덮는다. 그리고 열경화성 수지를 주형 내에 주입한 후 경화를 시키면 복합재료가 만들어지게 된다. 현재 액상주입성형이 당면한 과제는 최적 수지 주입 속도이다.[1]

1.3. 연구 목적

기존 연구 <Figure 1>에서 확인할 수 있듯이 투과성계수(K)는 유량(Q)에 비례해서 증가하게 된다. 그렇기 때문에 섬유다발과 유량 간에 어떤 상관관계가 있기 때문에 투과성계수가 증가하게 되는지 연구가 필요하다.

[2]

Darcy's law에 의하면 투과성계수(K)는 일정 유량(Q)과 점도(μ)에서 압력 구배에 따라 달라지게 된다. Carman-Kozeny 모델에서 기공의 형상과 실증적 경험에 의한 값인 Kozeny 상수(k_{ij})와 섬유의 지름(d_f), 섬유 다발 내의 체적비율(V_f) 정도에 의해 투과성계수가 정해진다. 투과성계수는 Carman-Kozeny 모델에 의해 계산될 수 있으며, 섬유 다발의 물질적 특성에 의해 결정이 되게 된다. 유량과 투과성계수의 관계식은 다음과 같다. [3] [4]

$$V = \frac{Q}{A} = -\frac{KdP}{\mu dx} \quad (1)$$

여기서 K는 투과성계수로 아래와 같이 정의된다.

$$K_{ij} = \frac{d_f^2}{16k_{ij}} \frac{\epsilon^3}{(1-\epsilon)^2} \quad (2)$$

CHAPTER 2

재료 및 실험방법

2.1 재료

2.1.1 엔진오일

실험에 사용된 유체는 GS칼텍스 社에서 만든 Kixx PAO 5W40 엔진 오일로 화학적 안정성 때문에 선정하였다. 상온에서 엔진 오일의 점도는 0.114 Pa·s이다. 엔진 오일의 밀도는 74.4g/ml이고 표면장력은 0.03N/m이다. 이 엔진 오일이 수지를 대신하여 UTM기에 의해 몰드로 주입된다.

2.1.2 유리섬유

Owens Corning 社에서 제작된 너비(W) 58mm(2.3inch), 두께(T) 0.53mm 단방향 유리 섬유를 사용하였다. <Figure 2> 그리고 유리 섬유에 관한

자세한 사항은 <Table 1>에 나타내었다.

2.2 실험 기기

2.2.1 LCM 공정 기기

<Figure 3>에서와 같이 길이(L) 420mm, 높이(H) 2mm, 폭(W) 59mm인 몰드틀을 알루미늄으로 제작하고 덮개는 투명한 아크릴로 제작을 하였다. 그리고 < Figure 4>에서 볼 수 있듯이 몰드의 우측 촬영이 가능하도록 알루미늄 몰드의 측면을 없애고 대신 유리판을 집어 넣어 카메라를 통한 측면 단층 촬영이 가능하게 제작하였다. 몰드 상, 하판에 일정한 압력을 가하여 유격이 생기지 않게 하기 위해 컴프레서를 연결하여 지속적으로 일정한 압력을 가해주었다.

LCM 공정 기기는 반복적으로 사용이 되고 제조 공정에 있어 균일함을 유지하기 위해 몇 회에 걸쳐 수정하고 새로이 제작이 되었으며, 위 사이즈 몰드 내에서 유리섬유로의 수지 주입이 가장 균일하게 이루어짐을 확인할 수 있었다.

2.2.2 촬영 기기

섬유 다발 단면 촬영에 사용된 기기는 Video Micro Scope(Sometech社, USA)이다. 아래 사진 <Figure 5>은 해당 기기의 렌즈 부분으로서 사용된 렌즈는 100배를 확대할 수 있는 렌즈로서 Working Distance(W.D.)는 17~20mm 이다. 본 기기는 사진 촬영과 동영상 촬영이 동시에 가능하다 그리고 촬영된 사진의 길이와 면적을 계산할 수 있다.

2.2.3 수지 주입 기기

<Figure 6>에 보이는 기기는 Universal Testing Machine (LR 50K, LLOYD instrument 社, UK)로서 실험에는 compression 모드를 통해 수지를 0, 50, 100, 200, 400 mm³/s 이와 같이 순으로 일정한 유량을 주입하는데 사용하였다. 수지 주입 기기와 몰드는 튜브로 연결을 하였고 몰드 주입구 부분에 밸브를 장착하여 개폐를 할 수 있게 하였다.

2.2.4 압력 측정 기기

<Figure 7>에서 보여지는 압력 변환기(Sensys 社) 4개를 설치하여 투과성계수(K) 계산을 위한 압력을 측정하였다. 압력 변환기는 수지의 선단이 압력 변환기 센서에 닿는지 여부에 따라 확인이 되며, 주입 공정 중

유동 선단의 압력을 측정하는데도 이용되었다. 압력 센서의 위치는 140mm, 90mm, 140mm 간격으로 유동의 방향을 따라 4개를 설치하여 측정하였다. [5]

2.3 실험 수행

2.3.1 실험 기구 설치

실험 수행은 아래 <Figure 8>에서와 같이 먼저 알루미늄으로 제작된 몰드 하단부와 아크릴로 제작된 상단부 사이에 오일링을 깔고 상, 하단부를 볼트를 이용해 압착시킨다. 다음으로 측면 촬영을 하기 위해 몰드의 한 쪽 면에 또 오일링을 깔고 유리판을 넣은 후 22개의 볼트로 몰드와 유리판을 압착시킨다. 수지 주입구는 UTM에 설치된 수지 주입 펌프와 연결하고 그 사이에는 개폐식 밸브를 설치한다.

몰드의 사이즈는 420mm * 59mm * 2mm이다. 알루미늄 하단부와 아크릴 상단부의 두께는 각각 50mm이며, 수지 주입 시 압력에 변형이 생기지 않는다. VMS는 유리판이 있는 몰드의 측면에 밖에 설치한다.

몰드 내부에 유격이 발생하면 안되기 때문에 컴프레서가 연결된 구조물 속에 몰드를 넣어 일정한 압력으로 몰드를 압착한 상태로 실험이 진행된다.

2.3.2 실험 수행

VMS에 의해 촬영이 될 부분을 수정 사인펜으로 색칠을 한 유리 섬유 4장을 몰드에 나란히 적층하고 오일링을 배열한 후, 아크릴 상단부를 압착시키고 측면에 유리판을 압착시킨다. 유리섬유 4장을 깔았을 때의 몰드 내에서의 체적비율(V_f)은 34.96%가 된다.

유량은 0, 50, 100, 200, 400 mm^3/s 순으로 주입하고 이 때 주의할 점은 50 mm^3/s 로 주입을 할 때 몰드 내부가 수지로 포화(saturated)되어야 한다는 점이다. 이후 유량을 증가시켰을 때도 일정시간 포화가 될 때까지 유량을 유지한 후 그 다음 유량으로 증가시켜야 한다. 그리고 실험이 진행되는 과정 각 유량 별 섬유 다발의 측면 변형 사진을 VMS로 사진, 동영상 촬영을 실시간으로 진행하고 이때 몰드 내의 압력이 압력변환기를 통해 측정된다. 그리고 이렇게 측정이 된 압력 데이터는 주입 과정 중 유량에 따른 투과성계수를 구하는데 이용된다.

CHAPTER 3

실험 결과 및 논의

3.1 유량의 변화에 따른 섬유다발의 변형

유량이 0, 50, 100, 200 mm³/s 순으로 증가함에 따라 섬유다발의 모양이 변형되었다.

<Figure 9>은 유량이 0mm³/s로 수지가 주입 전 섬유 다발만 존재하는 상태이다. <Figure 10>은 유량 50mm³/s로 포화(Saturated)가 된 상태에서 촬영한 섬유다발의 형태이다. <Figure 11>은 유량 100mm³/s 일 때, 부풀어진 섬유 다발의 형태이다.

<Figure 12>, <Figure 13>, <Figure 14>도 각각 <Figure 9>, <Figure 10>, <Figure 11>과 동일한 실험 조건에서 촬영된 섬유 다발의 단면들이다.

유량이 0mm³/s일 때에 비해 유량이 50mm³/s, 100mm³/s인 경우, 섬유다발 끝부분 단면의 넓이가 각각 40.7%, 85.6% 가량 증가함을 확인하였다.

VMS를 통해 섬유다발과 유로의 거리와 면적의 수치를 얻고 사각형을 가정하여 단순화하여 각각의 값을 구한 후 다음 식들을 통해 투과성계수를 구한다.

$$K_{ij} = \frac{d_f^2}{16k_{ij}} \frac{\varepsilon^3}{(1-\varepsilon)^2} \quad (2)$$

$$\mu \approx \frac{h^3 \Delta P}{8Q} \quad (3)$$

$$\frac{A_{total}}{K_{total}} = \frac{A_{fiber}}{K_{fiber}} + \frac{A_{non-fiber}}{K_{non-fiber}} \quad (4)$$

Carman-Kozeny Equation과 Hagen-Poiseuille equation(for rectangular)을 사용하여 50mm³/s, 100mm³/s에서 투과성계수를 계산하였을 때, 각각 $K_{50} = 7.75 * 10^{-6} \text{ mm}^2$, $K_{100} = 1.45 * 10^{-5} \text{ mm}^2$ 이 된다. [6] [7]

3.1.1 섬유다발의 변형 및 영향

기존 연구에서 알 수 없었던 섬유다발이 적층 된 형태와 그 형태에 수지 유동이 영향을 주는 모습을 단면을 관찰함으로써 파악할 수 있었다.

<Figure 15>는 가정되었던 섬유다발의 적층 형태이다. 하지만 실제로

관찰된 적층 형태는 낮은 유량의 경우, <Figure 16>, 높은 유량의 경우, <Figure 17>의 적층 형태에 가깝다. 특히 섬유다발의 체적비율(V_f)과 압력이 높아질수록 <Figure 16> 가깝게 된다.

이 사실은 섬유다발과 섬유다발 사이(inter tow region)의 투과성뿐만 아니라, 섬유다발 자체의 변형과 그에 따른 투과성의 변화가 전체 투과성계수 변화에 영향을 미칠 수 있음을 의미하는 것으로 볼 수 있다.

<Table 2>의 자료를 토대로 유량에 따른 투과성계수를 계산해 본 결과 섬유다발 부분의 투과성계수는 각각 $K_{f50} = 4.7 * 10^{-6} \text{ mm}^2$, $K_{f100} = 1.15 * 10^{-5} \text{ mm}^2$ 이 된다. 유량이 $50\text{mm}^3/\text{s}$ 인 경우와 $100\text{mm}^3/\text{s}$ 인 경우, 섬유다발 부분과 섬유다발 사이(inter tow region)의 투과성계수를 모두 고려하여 계산했을 때, 각각 $K_{50} = 7.88 * 10^{-6} \text{ mm}^2$, $K_{100} = 1.448 * 10^{-5} \text{ mm}^2$ 이 되었다. < Table 3>

섬유다발의 변형이 일어나면서 수지 이동을 방해할 것이기 때문에 투과성계수가 낮아지지 않을까 예상하였으나, 섬유다발이 격자 형태로 적층이 되고 실제 유동은 <Figure 15>가 아닌 <Figure 16>, <Figure 17>과 유사하게 진행되기 때문에 투과성계수에 결정적인 영향을 미치는 것을 확인하기 위해서는 변형된 섬유다발 자체의 투과성과 섬유다발과 섬유다발 사이의 투과성 모두를 고려해야 한다.

본 연구를 통해 대형 LCM 공정의 중요한 변수인 투과성계수에 섬유다발의 변형이 영향을 주는 것을 확인할 수 있었다.

<Figure 18>에서 확인할 수 있듯이 유량이 $50\text{mm}^3/\text{s}$ 에서 $100\text{mm}^3/\text{s}$ 으로 증가를 함에 따라 섬유다발의 단면적은 약 17% 증가하였다. 수지가 주입되지 않는 상태에 비해 유량이 $100\text{mm}^3/\text{s}$ 일 때의 단면적은 약 74.5% 증가함을 확인할 수 있었다.

<Figure 19>에서 볼 수 있듯이 유량이 $50\text{mm}^3/\text{s}$ 에서 $100\text{mm}^3/\text{s}$ 으로 2배 증가함에 따라 투과성계수는 20% 가량 증가하였다.

유량이 증가하며 단면적이 변화하게 되고 그 결과 투과성계수가 변하는 것을 확인하였다. 그리고 압력측정기를 통해 입력된 압력 값을 토대로 투과성계수를 계산하였을 때, 유량이 2배 증가하였을 때 약 5.6%의 증가가 있었다. 이는 몰드 내 전체의 투과성계수의 증가로서 섬유다발 단면부분의 투과성계수 증가보다는 작은 값이지만 증가하는 경향성을 보인 것으로 볼 수 있다. <Figure 20>

CHAPTER 4

결론

본 연구를 통해 액상성형공정 중 수지 주입 유량에 따라 섬유다발의 변형이 발생함을 관찰할 수 있었다. 또한 투과성계수의 변화는 섬유다발의 변형에 의해 발생하는 것을 확인할 수 있었다. 기존 섬유다발의 적층 모델과 달리 격자형태로 적층되는 섬유다발은 변형이 일어남에 따라 <Figure 16> [가정 2]에서와 같이 부피가 팽창하게 된다. 이 결과 섬유다발 내의 투과성계수는 유량의 증가에 따라 증가하게 된다. 하지만 섬유다발과 섬유다발 사이의 간격은 감소하게 됨에 따라 투과성계수가 감소하게 된다. 본 연구를 통해 유량의 증가에 섬유다발 내의 투과성계수 증가 효과가 섬유다발 사이의 투과성계수의 감소 효과보다 크게 나타나는 경향을 확인할 수 있었다. 이는 유량이 증가함에 따라 투과성계수가 비례하여 증가하는 경향을 뒷받침할 수 있는 의미 있는 결과이다. 본 연구는 섬유다발의 끝단을 관찰하였기 때문에 오차 범위 내의 차이가 발생하였다. 본 연구에 이어 추가적으로 실제 공정과 같은 섬유다발의 높은 체적 비율(V_f)에서 섬유다발의 변형에 관한 연구가 이어진다면 LCM 공정이 향상될 수 있을 것이다.

References

- [1] Stephen W. Tsai and Thomas. H. Hahn, *Introduction to composite Materials*, Technomic pub., 1980
- [2] J.W. Jung and W.I. Lee, *Numerical and experimental study on unsaturated flow behavior and void minimization in liquid composite molding*, Ph.D Thesis of Seoul National University, Korea, 62, 2011
- [3] J.N. Reddy and D.K. Gartling, *The Finite Element Method in Heat Transfer and Fluid Dynamics*, CRC, 1994
- [4] F.A.L. Dullien, *porous Media : Fluid Transport and Pore Structure*, Academic Press, 1979
- [5] J.W. Jung and W.I. Lee, *Numerical and experimental study on unsaturated flow behavior and void minimization in liquid composite molding*, Ph.D Thesis of Seoul National University, Korea, 36, 2011
- [6] Xiaoming Chen, Thanasis D, *On the variability of the Kozeny constant for saturated flow across unidirectional disordered fiber arrays*, Composites: Part A 37 (2006) 836–846
- [7] S. Prentner, D.M. Allen, L. Larcombe, S. Marson, K. Jenkins and M. Saumer, *Effects of Channel Surface Finish on Blood Flow in Microfluidic Devices*, Microsystem Technologies, January 2010.

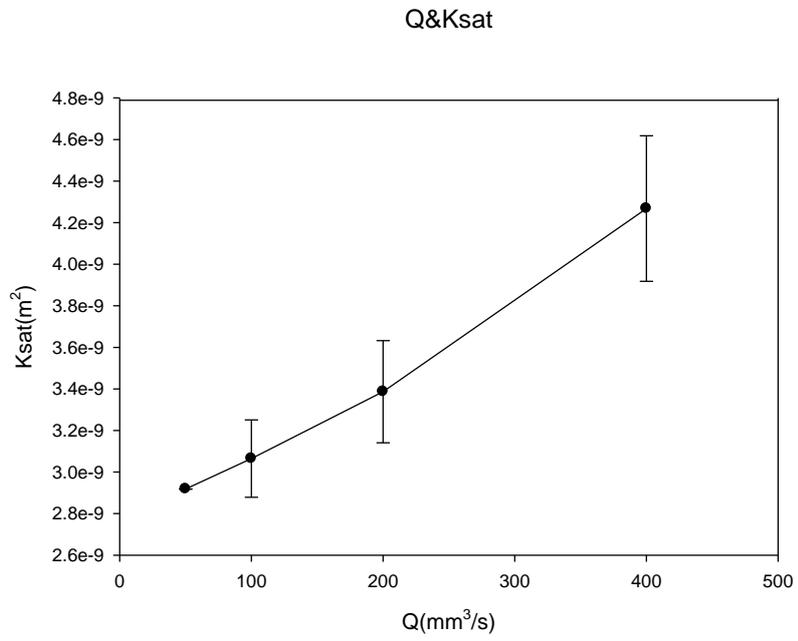


Figure 1. 유량에 따른 투과성계수 변화



Figure 2. Owens Corning 단방향 유리섬유



Figure 3. 몰드(주형) 상단부



Figure 4. 몰드(주형) 측면 / 촬영 기기 설치 부위

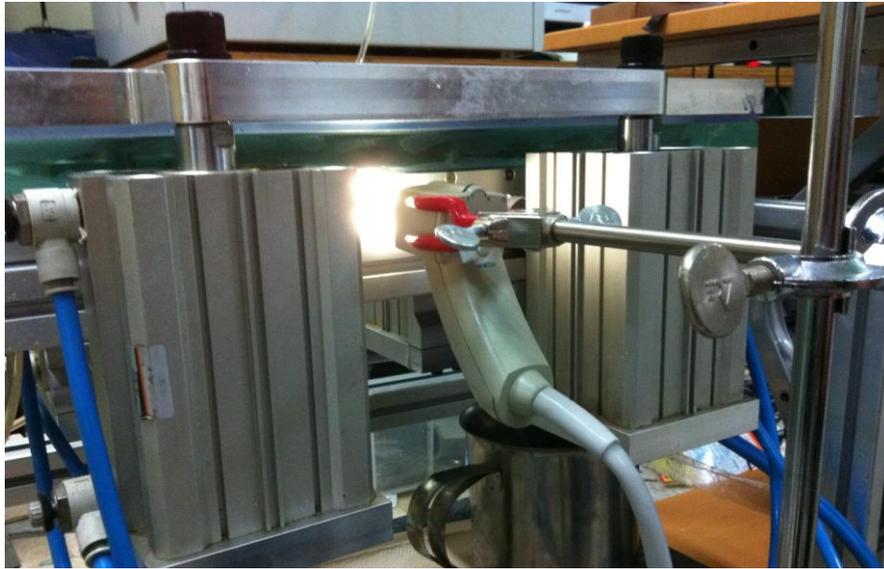


Figure 5. Video Micro Scope(VMS)



Figure 6. Universal Testing Machine(UTM)



Figure 7. 압력 측정 기기

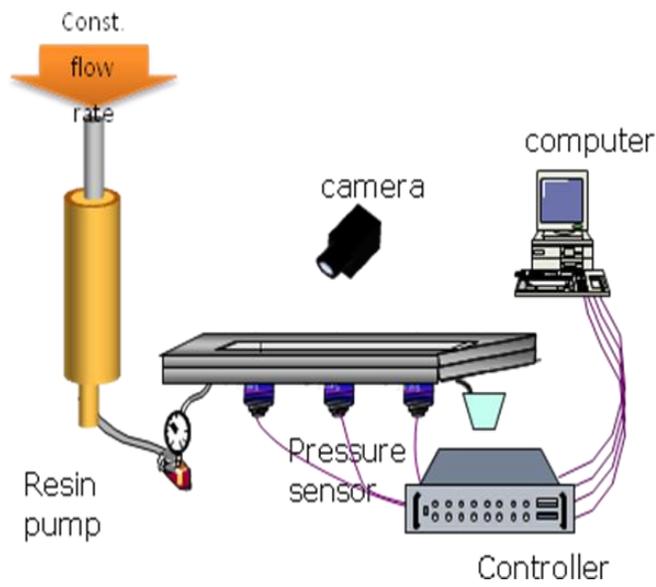


Figure 8. 실험 기구 설치



Figure 9. 유량 0mm³/s

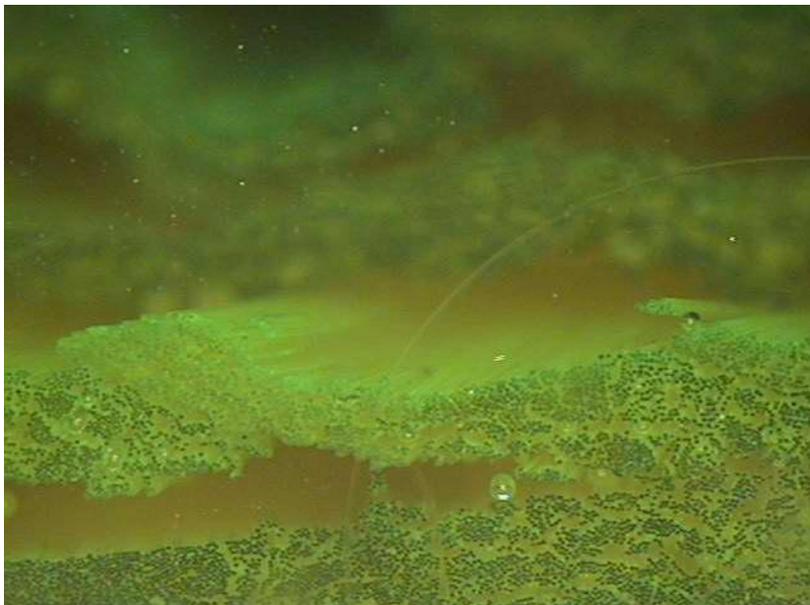


Figure 10. 유량 50mm³/s

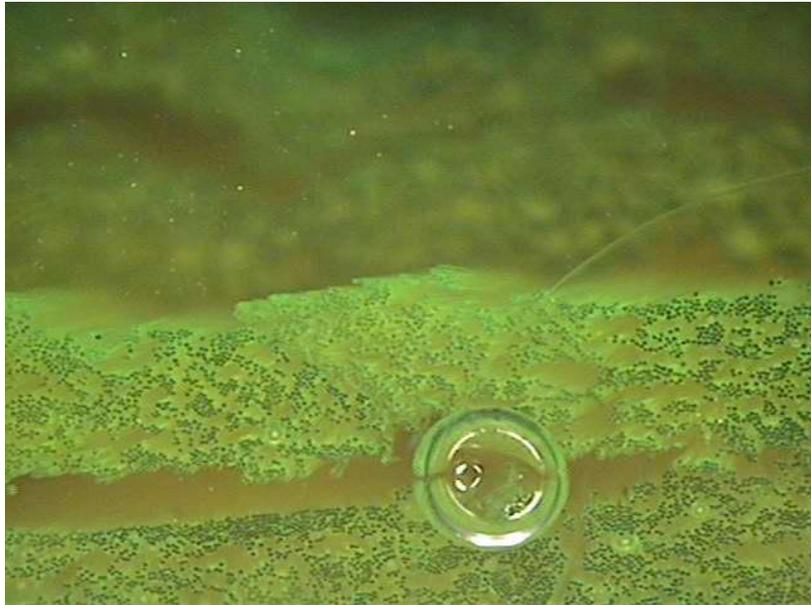


Figure 11. 유량 100mm³/s



Figure 12. 유량 0mm³/s

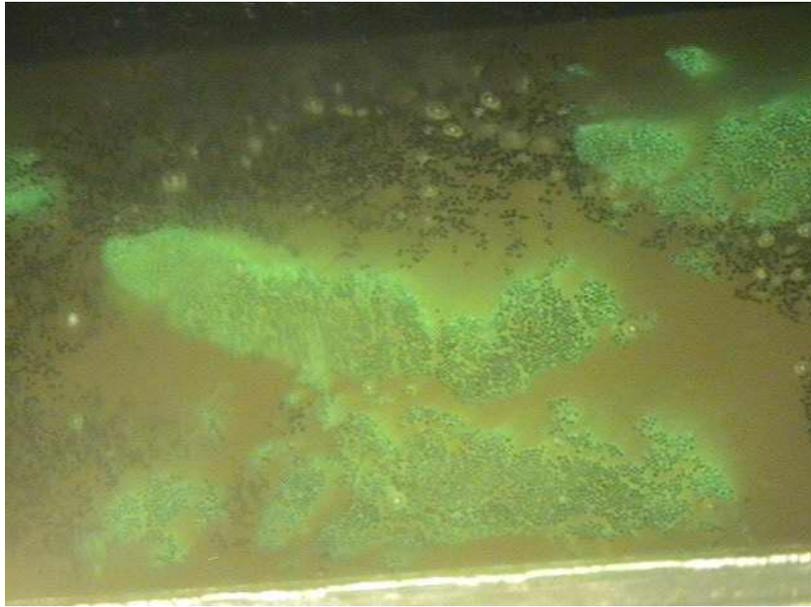


Figure 13. 유량 50mm³/s

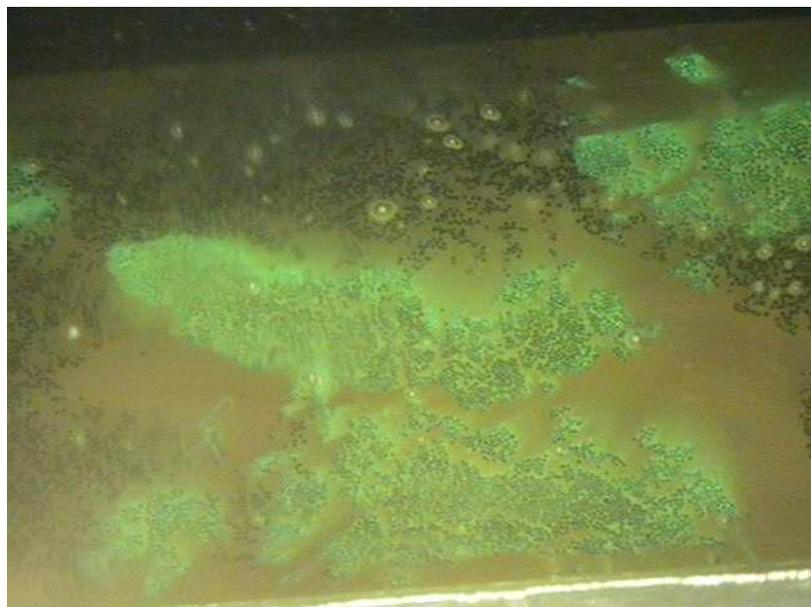


Figure 14. 유량 100mm³/s

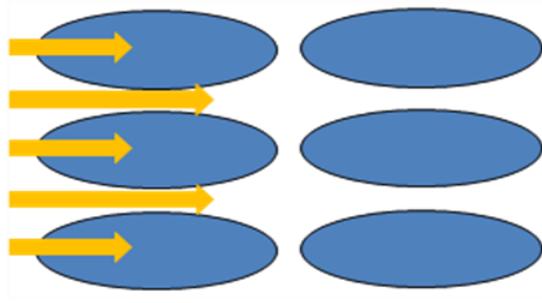


Figure 15. [가정 1] 기존 연구의 섬유다발 모식도

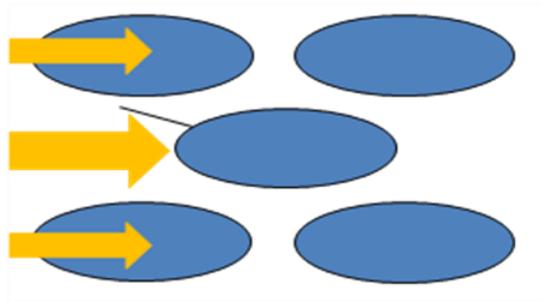


Figure 16. [가정 2] 본 연구의 섬유다발 모식도 (낮은 유량)

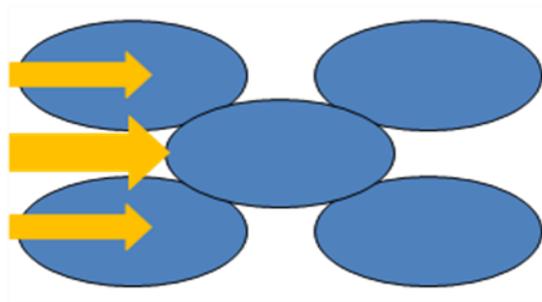


Figure 17. [가정 2] 본 연구의 섬유다발 모식도 (높은 유량)

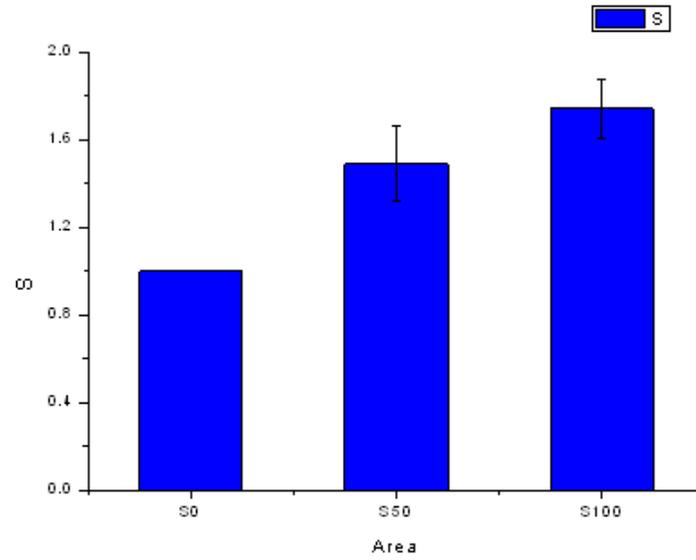


Figure 18. 유량에 따른 섬유 다발 단면적 넓이 비교

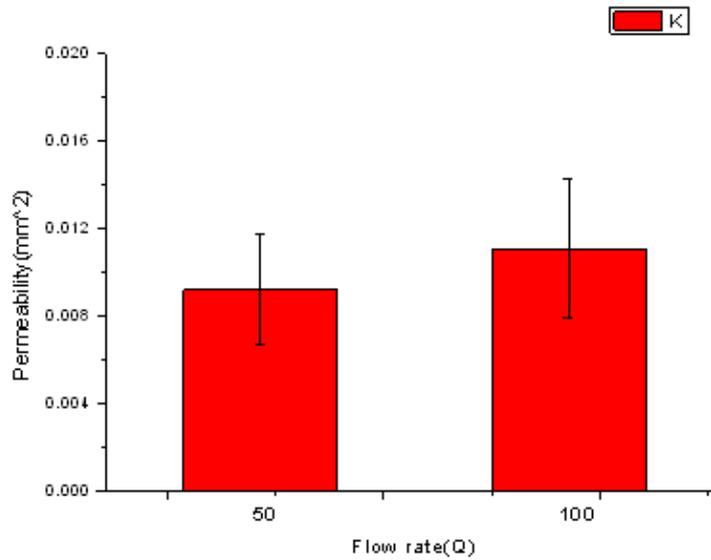


Figure 19. 유량에 따른 투과성계수

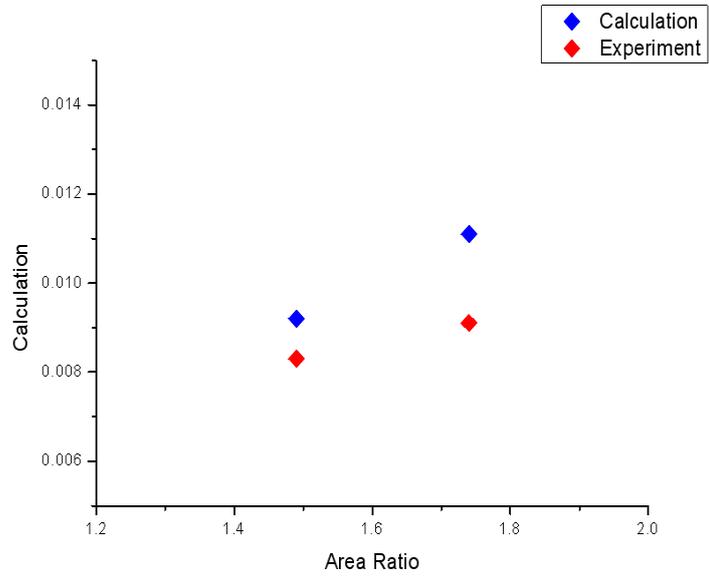


Figure 20. 유량에 따른 단면적과 투과성계수의 변화
 (빨간색 : 실험값, 파란색 : 계산값)

Table 1. Owens Corning 社 유리섬유 사양

Volume per unit tow(m ³)	1.212 × 10 ⁻⁵
Volume per unit tow (experimental, m ³)	4.5 × 10 ⁻⁶
Total weight(nominal, g/m ²)	542.2 (±30)
Thickness (m)	0.53× 10 ⁻³
Mass per unit tow(g)	12.4

Table 2. 유량에 따른 다공도, 체적비율, 면적 계산(<Figure 9, 10, 11> 2차원 가정)

Q	0mm ³ /s	50mm ³ /s	100mm ³ /s
ε	0.53	0.66	0.75
V _f	0.47	0.34	0.25
A(μm ²)	9.84* 10 ⁵	1.39 * 10 ⁶	1.82* 10 ⁶

Table 3. 유량에 따른 투과성계수 (<Figure 9, 10, 11> 2차원 가정)

Q	50mm ³ /s	100mm ³ /s
K _{fiber} (mm ²)	4.7 * 10 ⁻⁶	1.15 * 10 ⁻⁵
K _{non-fiber} (mm ²)	1.36 * 10 ⁻³	6.81 * 10 ⁻⁴
K _{total} (mm ²)	7.75 * 10 ⁻⁶	1.45 * 10 ⁻⁵

액상주입성형 공정 중 섬유다발의 변형에 대한 연구

서울대학교 대학원

기계항공공학부

최재웅

초 록

액상주입성형공정(LCM)은 제조공정 상의 이점과 경제적 이점으로 인해 복합재료 제조 산업에서 각광을 받고 있고, 기존의 공정을 대체해 나가고 있다. 하지만 수지 주입 공정에 있어 유량과 투과성에 관한 연구가 더 수행될 필요가 있다. 투과성계수는 수지 주입 공정과 충전 시간을 이해하는 중요한 파라미터이기 때문이다. Darcy's law에 따르면 투과성계수는 유량과 유량의 변화에 따른 섬유 다발의 형상 변화에 따라 변화가 일어나게 된다. 따라서 본 연구에서는 섬유 다발의 형태와 수지 주입 압력의 변화에 따른 유량이 투과성에 영향을 미칠 것이라 예상하며 실험을 수행하였다. 실제LCM 공정과 유사한 조건의 실험기구를 제작하여 공정 진행 중 측면에서 섬유다발의 변화를 관찰하였으며, 유량이 증가함에 따라 섬유다발의 형상이 변화하였고 결과적으로 투과성계수가 증가함을 확인할 수 있었다.

주 요 어 : 투과성계수, 섬유다발, 액상주입성형

학 번 : 2010 - 20724