

다공성 매질에서의 부피율과 최적 주입속도와의 관계에 대한 연구

A study on the relation between the volume fraction and the optimal inlet velocity of the porous media

*황인주¹, #이우일², 최성웅², 이동연², 김성하¹

*I. J. Hwang¹, #W. I. Lee(wilee@snu.ac.kr)², S. W. Choi², D. E. Choi², S. H. Kim²

¹ 서울대학교 WCU 멀티스케일 기계설계 전공, ² 서울대학교 기계항공공학부

Key words : optimal inlet velocity, volume fraction, air void, capillary force

1. 서론

액상 성형 공정은 보강 섬유 프리폼 (fiber preform)에 액상의 수지를 함침시켜 복합재료를 성형하는 방법이다. 제조공정이 간단하고, 초기 투자비용 대비 생산성이 높아서 널리 이용되고 있다. 하지만 이 공정에서 생성되는 기공은 복합재료의 modulus, strength 등 기계적 성질을 저하시키는 요인이 된다.[1] 기공의 생성원인은 섬유다발로 이루어진 다공성 영역의 수지 속도와 빈 공간에서의 수지 속도 차이에 기인한다.

본 논문에서는 유한 요소 해석(Finite Element Method)과 Volume of Fluid 를 사용하여 다양한 Volume fraction 을 가지는 복합재료 제조시 기공이 생기기 않기 위한 수지의 최적 주입속도를 확인 하였다.

2. 계산영역 Modeling

복합재료에 지름 1mm 인 유리섬유다발 (porosity=0.53) 이 균일한 간격으로 배치 되어 있는 다공성 매질로 모델링 하였다. 지름이 1mm 인 유리섬유로 volume fraction 이 각각 40%, 50%, 60% 인 계산영역을 만들기 위해서 다음과 같이 디자인 하였다.

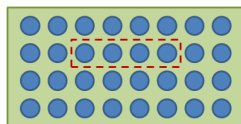


Fig. 1 modeling of porous media

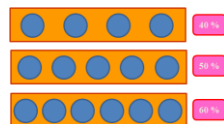


Fig. 2 modeling of each of volume fractions

	(x 10 ⁻³ mm)		
Volume Fraction	40%	50%	60%
가로	5.6050	6.2666	6.8647
세로	1.4012	1.2533	1.1441
Tow 지름	1	1	1

Table 1 geometries of each of volume fractions

3. 모사과정

유리섬유가 없는 open 영역에서는 continuity equation 과 Navier-Stokes equation 을 지배 방정식으로 해석하였다.

$$\nabla \cdot u = 0 \quad (1)$$

$$0 = -\nabla p + \mu \nabla^2 u + f \quad (2)$$

유리섬유 다발로 이루어진 porous 영역에서는 continuity equation 과 Darcy's law 를 이용하였다.

$$u = -\frac{K}{\mu} \nabla (p + p^c) \quad (3)$$

Darcy's law 에서 capillary force 와 permeability 를 구하기 위해서 각각 Young-Laplace equation 과 Carman-Kozeny model 을 이용하였다.

$$p^c = \frac{4\sigma \cos \psi}{D_E} \quad D_E = \frac{8r_{fibri}\epsilon}{F(1-\epsilon)} \quad (4)$$

$$K_{ij} = \frac{d_f^2}{16k_{ij}} \frac{\epsilon^3}{(1-\epsilon)^2} \quad (5)$$

두 영역의 경계에 대한 해석과 수학적 난해성을 피하기 위해서 역의 지배방정식으로 Brinkman equation 을 사용하였다. [2][3]

$$0 = -\nabla p - \frac{\mu}{K} u + \mu_e \nabla^2 u + f \quad (6)$$

4. 해석 결과

수지의 주입속도가 0.05mm/s 에서는 volume fraction 에 관계 없이 모두 open 영역에서의 수지

속도가 porous 영역의 속도 보다 빠른 결과를 보였다. 이 속도 차이로 인하여 porous 영역 내에 공기가 갇히게 되고 air void 가 발생하게 된다. 수지 주입속도가 0.01mm/s 로 느려지면 open 영역과 porous 영역에서의 속도차이가 줄어들어 공기가 갇히는 현상은 나타나지 않았다. 주입속도가 0.008mm/s 일 때는 유동 선단의 굴곡이 0.01mm/s 때 보다 더 완만 해지는 것을 확인할 수 있었다.

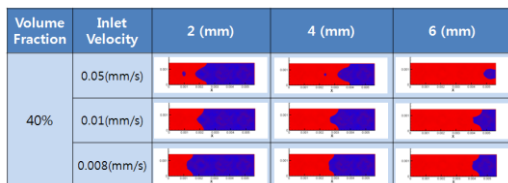


Fig. 3 the result of volume fraction (40%)

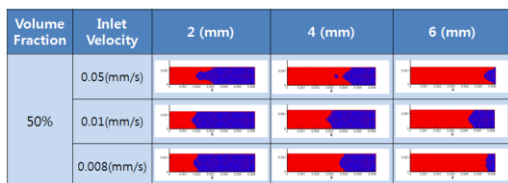


Fig. 4 the result of volume fraction (50%)

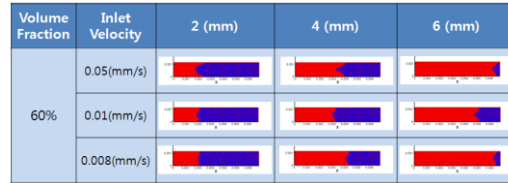


Fig. 5 the result of volume fraction (60%)

5. 결론

본 연구에서는 복합재료 제조 공정시 air entrapment 가 발생하지 않도록 하는 수지의 최적 주입 속도에 관해서 해석을 수행하였다. 강화재의 volume fraction 이 40%에서 60%까지 증가를 해도 air void 가 발생하지 않도록 하는 최적 주입속도는 크게 변하지 않았다. 세가지 경우 모두 주입속도가 0.01mm/s 부근에서 유동 선단이 안정화 되었다.

후기

본 연구는 교육과학기술부의 세계 수준의 연구중심대학 육성사업(WCU)(R31-2008-000-10083-0)과 2 단계 두뇌한국 21 사업에 의해 지원되었습니다.

참고문헌

1. 문창권, 타카꾸 아끼라, 고분자 복합재료, 시그마프레스, 2006
2. N. Martys, D. P. Bentz, and E. J. Garboczi, Computer simulation study of the effective viscosity in Brinkman's equation, Phys. Fluids, 6(4), 1994
3. V. A. F. Costa, L. A. Oliveira, B. R. Baliga, and A. C. M. Sousa, Simulation of coupled flows in adjacent porous and domains using a control-volume finite-element methods, Numerical Heat Transfer, Part A, 45:675-697, 2004