

복합재료 부품의 RTM 공정을 위한 쾌속금형의 제작

김선경[#]

Rapid Tooling for Resin Transfer Molding of Composites Part

S. K. Kim

(Received March 27, 2006)

Abstract

A rapid tooling (RT) method for the resin transfer molding (RTM) have been investigated. We fabricated a curved I-beam to verify the method. After creating a three-dimensional CAD model of the beam we fabricated a prototype of the model using a rapid prototyping (RP) machine. A soft mold was made using the prototype by the conventional silicone mold technique. The procedure and method of mold fabrication is described. The mold was cut into several parts to allow easier placement of the fiber preform. We conducted the resin transfer molding process and manufactured a composite beam with the mold. The preform was built by stacking up eight layers of delicately cut carbon fabrics. The fabrics were properly stitched to maintain the shape while placement. The manufactured composites beam was inspected and found well-impregnated. The fiber volume ratio of the fabricated beam was 16.85%.

Key Words : Rapid Tooling, RTM(Resin Transfer Molding), Composites

1. 서 론

최근에는 금형을 쾌속 제작하는 기법이 급속히 발전하고 있고 또한 널리 사용되고 있다. 이는 제품 개발 주기가 짧아지고 시장 경쟁이 격화되면서 제조 원가 절감을 위한 혁신 압력이 거세지고 있기 때문이다. 뿐만 아니라 제품의 기하학적 복잡성도 증가하고 있어 기존의 금형제조기술로서는 형상 구현과 제작 시간의 감축에 한계가 있다. 금형이나 주형을 신속하게 제작하는 기법을 흔히 RT(쾌속금형, 간이금형, rapid tooling)라고 부르며 RP(쾌속조형, rapid prototyping)기술과 밀접히 연관되어 있다[1]. RT 기술에는 크게 두 가지 방식이 있다. 실리콘 등의 무른 소재로 금형을 제작하여 열경화성 수지를 이용하여 제품을 생산하는 소프트툴링(soft tooling)기법과 사출 성형에 사용할 정도로 충분히 단단한 소재를 사용하여 금형을 제

작하는 하드툴링(hard tooling)기법이 있다.

본 연구에서는, 소프트툴링의 하나인 RTV(상온 고무주형법, room temperature vulcanizing)기법을 사용하여 탄소섬유와 에폭시 수지의 복합재료 부품을 RTM(resin transfer molding) 공정을 이용하여 제작하였다. 단섬유(short fiber)를 이용한 복합재료는 이미 RP 에 널리 사용되어 왔다[1~2]. 쾌속조형에 의해 부품을 제작할 때 복합재료 부품은 기존의 소재를 사용한 경우에 비해 기계적 강도가 많이 향상되는 것으로 알려져 있다[2~3]. 복합재료 부품을 제작하는 데 가장 널리 사용되고 연구되어 온 쾌속조형기술은 LOM(layered object manufacturing)이다. LOM 은 얇은 두께를 적층하고 경화하는 과정을 반복하여 큰 규모의 부품을 생산할 수 있게 한다. 이러한 적층기술을 이용한 RP 기법을 이용한 RT 기술은 이미 사출성형과 소성가공(metal forming)에 많이 사용되어 왔다[5~8]. 그러나, RT 기

[#] 교신저자: 서울산업대학교 급형설계학과
E-mail: sunkkim@snut.ac.kr

술은 복합재료 성형에는 많이 사용되지 못했다. Tari 등[9]은 LOM을 이용하여 RTM을 위한 복합재료 금형을 제작한 바 있다. Tari 등의 연구에서는 LOM장비를 제작하여 FRP(fiber-reinforced plastics) 금형을 직접 가공하였다. 이는 일종의 하드툴링 기술로 분류할 수 있는데, 이미 FRP금형들이 복합재료의 RTM공정에 많이 사용되었다는 점에서 금형자체에는 새로운 점이 없으나 FRP 금형을 LOM을 사용하여 제작한 점은 커다란 발전이라고 볼 수 있다.

본 연구에서는 이미 확립된 소프트툴링 기법인 RTV를 이용하여 RTM 공정을 수행하고 복합재료 부품을 제조하였다[1]. 이 방법에서는 RP 장비를 이용하여 원형을 제작하고 상자 안에 고정된 후 실리콘 수지를 주입하여 경화시켜 금형을 제작한다. 실리콘이 완전히 굳은 후 절단하고 원형을 제거하여 금형을 완성한다. 본 연구에서는 이런 방식으로 제작된 몰드로 RTM 공정을 수행하였다.

보통 이러한 RTV에 사용하는 무른 금형에서는 높은 양의 압력을 견디지 못하므로 진공 성형을 하여야 한다. 본 연구에서는 일반적인 VARTM (vacuum assisted resin transfer molding)처럼 압력 상태에 따라 두께변화가 심하지는 않으나 진공에 의해 수지의 주입이 이루어진다는 점에서는 동일하다. 실리콘 몰드 안에 강화 섬유를 넣은 후 에폭시 수지를 진공을 이용하여 주입하여야 한다. 강화 섬유 프리폼(preform)을 쉽게 넣기 위해서 몰드를 몇 조각으로 분할하였다. 자세한 내용은 다음 장에서 다룬다.

2. 모델링과 툴링

RTV 기법의 복합재료 액체 성형(liquid composite molding, LCM)에의 적용성을 검증하기 위해서 Fig. 1(a) 와 (b)에 도시한 것과 같은 휘어진 보를 제작하기로 한다. 잘 알려진 CAD 시스템 중 하나(Pro/ENGINEER WILDFIRE, PTC)를 사용하여 3 차원 CAD 데이터를 생성하였다[10]. 그리고, CAD 시스템에서 RP 장비에서 인식할 수 있는 STL 형태로 모델의 데이터를 전송하였다.

이 STL 데이터를 이용하여 RP 시스템에서 원형 모델을 가공하였다. 본 연구에서는 포토폴리머 (photopolymer)를 사용하는 EDEN330 RP 시스템 (Objet Geometries Inc.)을 사용하였다. 포토폴리머는 RP 장비들에 광범위하게 사용되고 있다[11]. 그런

다음, RP에 의해 제작된 원형을 투명한 플라스틱 상자에 적절히 고정시켰다. Fig. 2는 원형이 투명한 상자안에 고정된 모습을 보여 주고 있다. 그림에 보이는 투명한 둥근 막대는 금형이 완성된 후 수지를 공급하고 배기하는 스프루(sprue)의 역할을 한다.

이로서 이제 금형을 성형할 준비가 완료되었다. 투명한 상자에 실리콘을 부어 굳힘으로써 금형을 제작하고자 한다.

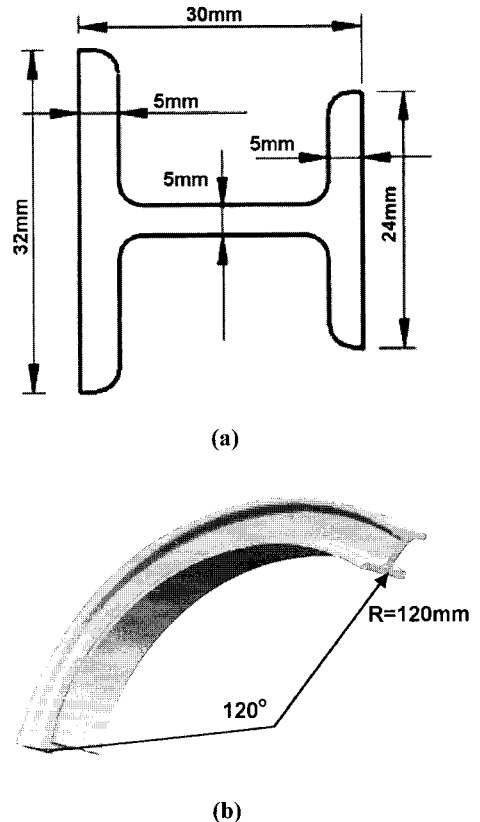


Fig. 1 Geometric model of the curved I-beam: (a) cross section; (b) three-dimensional view

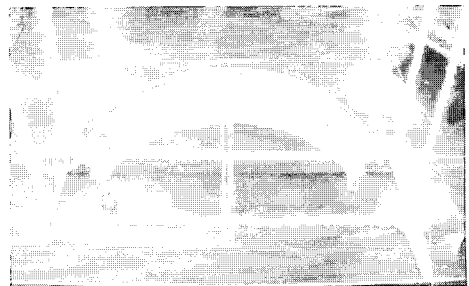


Fig. 2 Rapid prototyped object fixed in a transparent box

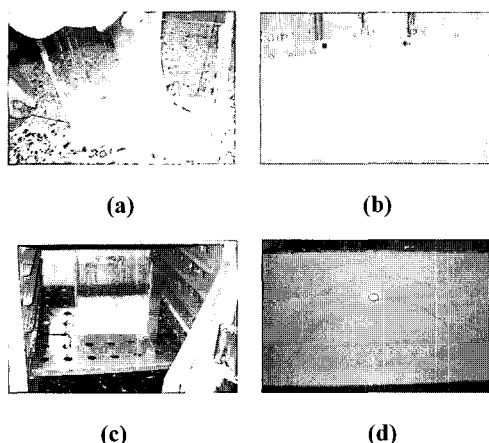


Fig. 3 Mold manufacturing procedure: (a) pouring the silicone; (b) curing the silicone in the oven; (c) opening the oven; (d) cured silicone out of the box

실리콘(KE1300T, Shin-etsu Chemical Co.)을 경화제와 혼합하여 상자에 부어 넣었다. 공기 방울들은 진공 상태에서 충분한 시간 동안 제거되어야 한다. Fig. 3(a)는 이 과정을 보여주고 있다. Fig. 3(b)는 실리콘 혼합물을 부어 넣는 과정을 보여 준다. 섭씨 60 도에서 24 시간 동안 경화를 시켜야 한다. Fig. 3(c)와 3(d)는 완전히 경화된 실리콘과 원형의 모습을 보여 주고 있다. 경화된 실리콘은 두 부분으로 조심스럽게 절단 되었고 원형은 Fig. 4(a)에 보이는 것처럼 빼내어 제거 되었다. 기본적으로 이 상태에서 금형으로 사용될 수 있으나, 프리폼의 삽입을 용이하게 하기 위하여 실리콘 금형은 각각 세 부분으로 추가적으로 절단되어 모두 여섯 조각으로 분할되어 사용된다. 프리폼을 삽입하면서 동시에 몰드는 자연스럽게 결합하게 된다.

3. 재료 및 공정

본 연구에서는 두께 0.25mm의 평면 직조(plain weave)된 탄소 섬유(CF3325NON, WTR-3K yarn, HANKUK CARBON CO.)를 섬유강화제로 사용하였다. 압축하지 않은 상태에서의 한 층의 두께는 0.25mm이고 단위 면적당 질량은 0.232Kg/m²이다. 8층을 Fig. 5에 보인 방식으로 적층하여 프리폼을 제작하였다. 형상을 유지하면서 삽입을 쉽게 할 수 있도록 프리폼은 스티치(stitch) 작업을 하였다. 최종적으로 섬유체적분율은 17% 정도에 도달하였

다. Fig. 6은 전체 실험 장치의 모습을 보여 주고 있다. 오븐 내부의 전체 공간이 진공으로 유지된 상태에서 수지와 경화제 혼합물이 오븐 내부의 상단부에서 금형의 좌측으로 공급된다. 넘쳐 흐르는 수지들은 그림에 보이는 통에 담기게 된다. 본 연구에서는 열경화 에폭시수지(EPOLAM 2020 resin system, ILBEOM CO.)를 사용하였다. 수지는 투명하고 수지와 경화제를 혼합한 상태에서 점도는 0.5Pas 이고 밀도는 1100kg/m³이다. 이형에 걸리는 시간은 48시간이고 유리전이온도(glass transition temperature)는 80~100°C이다. 점도가 충분히 낮아 함침성이 좋아 본 연구의 목적에 합당하다. 가사시간은 135분으로 본 연구의 주입시간을 고려할 때 충분히 긴 시간이다.

진공주형기(ChemVac-90S, ILBEOM CO.)를 사용하여 에폭시 수지를 금형으로 충전시켰다. 사용한 진공주형기는 차압방식으로 구동되고 재료의 탈포와 진공성형이 가능하다. 한번에 2000cc를 주입할 수 있고 최대 배기량은 1500ml/min이다.

충전과정은 진공주형기안에서 내부 전체를 최대 진공상태로 유지한 상태에서 수 초안에 완료되었다. 이때 충전과정 중의 내부 압력은 1.72kPa (0.017기압) 정도이다.

그리고 난 후, 부품을 섭씨 80도에서 48시간 동안 경화시켰다. Fig. 7(a)는 강화섬유프리폼 없이 수지만 주입하여 경화한 결과이다. Fig. 7(b)는 제작된 복합재료 보의 모습을 보여주고 있다. 충전과정 중의 프리폼 내부로의 수지의 함침(impregnation)은 성공적이었다. 충전은 약 2초 정도에 완료되었다. 이론적으로 계산된 섬유체적분율인 17%를 확인하기 위하여 프리폼없이 성형된 경우와 비교하여 주입된 수지의 양을 비교하였는데 각각 56.4cc와 46.9cc였다. 실험적으로 계산한 섬유체적분율은 16.85%로 섬유의 체적을 이용하여 이론적으로 계산된 값과 거의 일치한 것을 확인하였다. 이는 함침이 거의 완전하게 일어났음을 나타낸다.

함침에 있어서 발생할 수 있는 문제점은 금형 안에서 섬유의 분포밀도가 고르지 않아서 일부 영역으로 유동이 과도하게 먼저 진행되는 것이다. 일반적인 VARTM 공정에서는 진공에 의해서 수지를 압박하게 되지만 실리콘을 사용한 본 방법에서는 진공에 의해서 프리폼을 압박하기에는 금형이 충분히 유연하지 않다.

따라서 공정에 있어서의 가장 어려운 점은 프리폼을 준비하는 것이다. 보다 큰 섬유체적분율에

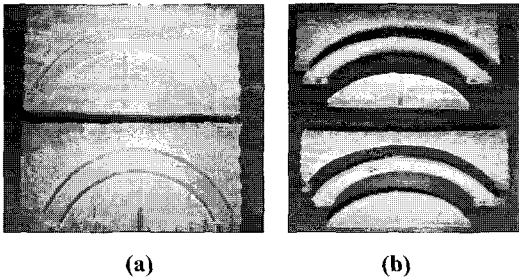


Fig. 4 Manufactured mold: (a) two part mold; (b) six part mold

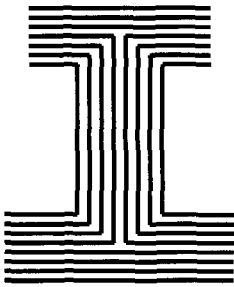


Fig. 5 Strategy for preform preparation

서도 공정은 성공적으로 수행될 수 있지만 이 경우 함침보다는 프리폼을 준비하여 스티치하는 과정이 간단치 않다. 그러나 섬유체적분율을 40% 이상으로 올리려면 적절하게 스티치(stitch)를 하여 제작하고자 하는 형상에 적합한 프리폼을 제작하여야 한다.

Fig. 7(b)를 보면 부분적으로 희게 나타난 부분이 관찰되는데 이 부분들은 섬유가 분포되지 않아 수지만 충전되어 경화된 부분이다. 이 연구에서는 모두 4 개의 휘어진 복합재료보가 제작이 되었는데 모두 정도의 차이는 있으나 비슷한 경향을 보였다. 이의 개선을 위해서는 역시 프리폼의 제작의 개선이 요구된다.

또 다른 문제는 이형(demolding) 과정 중에 발생하는 실리콘 표면의 손상이다. 수지 주입전 이형제의 충분한 도포에도 불구하고 이 문제는 부분적으로 발생하였다. 그러나, 실리콘 금형이 쉽게 제작이 가능하고 또한 수선할 수 있는 점은 큰 장점이다.

생산성의 향상을 위해서는 약 97% 경화 상태에서 조기에 이형하여 금형에서 분리된 상태에서 경화를 시켜야 한다. 전체적으로 보아 공정은 큰 문제점 없이 수행이 되었다. 본 연구에서는 제작

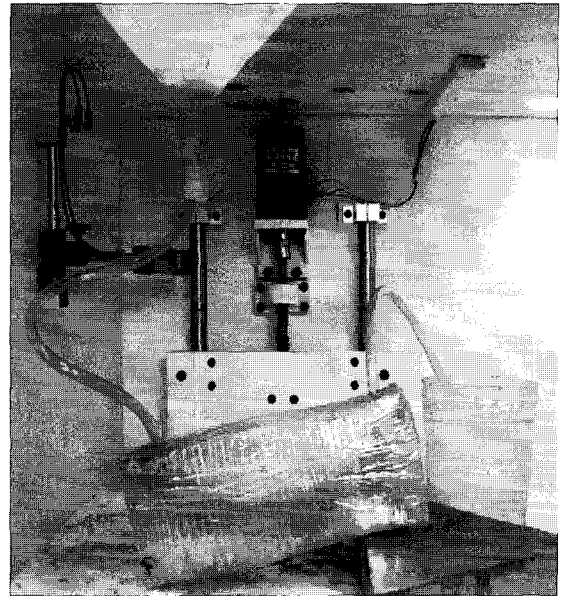


Fig. 6 RTM processing under vacuum



(a)



(b)

Fig. 7 Final products; (a) Epoxy; (b) Carbon fabric /epoxy composites

된 복합재료의 기계적 물성에 관해서는 평가하지 않았으나 함침 결과를 볼 때 보통의 다른 공정에서 제작된 복합재료와 다른 조건이 같다면 차이가 없을 것으로 본다. 여기서 제안된 복합재료 부

품 제조 기법은 원형(prototype)을 복합재료로 제작하는 경우나 생산 규모가 크지 않은 복합재료 부품의 제조에 편리하게 사용될 수 있다. 또한 실리콘 대신 단섬유강화수지를 이용한다면 진공이 아닌 통상의 RTM 공정에도 적용이 가능하다.

4. 결 론

본 연구에서는 신속 금형 제작 기법을 복합재료 부품의 제조에 사용할 수 있는지를 검토하여 보았다. 신속 제작된 실리콘 금형을 사용하여 RTM 공정을 통해 복합재료 부품을 어떻게 제조할 수 있는 지를 실제 과정을 통해 보였다. 금형은 RP 를 통해 원형을 제작한 후 박스에 고정시켜 실리콘으로 금형을 제작하는 일반적인 RTV 기법을 사용하여 제작이 되었다. 디자인, 모델링, 금형제작, 공정에 이르는 전 과정을 수행하여 제시된 방법이 편리하게 사용될 수 있음을 보였다.

본 연구에서 제작한 휘어진 복합재료보는 비교적 형상이 간단하고 섬유체적분율이 낮으나 상대적으로 기존의 RTV 공정이 복합재료의 제작에도 사용될 수 있다는 것을 확인하였다. 섬유체적분율을 높이기 위해서는 프리폼을 제작하는 기술의 향상이 필요하다. 또한, 연속 섬유를 이용한 RTM 공정을 이용하여 과도한 복잡성을 가진 부품을 RT 기술로 제작하기에는 근본적으로 한계가 있으나 이 또한 프리폼 제작 기술의 발전에 따라 향상될 것이다. 본 연구에서의 섬유체적분율은 17% 정도이므로 섬유체적분율을 높여서 고강도 제품에 적용하는 추가적 연구가 향후 필요하고 기술적 한계가 있음에도 불구하고 제안된 방법은 복합재료의 금형 개발 기간을 단축하고 비용을 감축하는데 기여할 것으로 기대한다.

후 기

본 연구의 실험을 도와준 김광석, 이범직, 황성 씨께 감사드립니다.

참 고 문 헌

- [1] P. D. Hilton, P. F. Jacobs, 2000, Rapid tooling, Dekker, New York.
- [2] G. Zak, C. B. Park, B. Benhabib, 2000, Mechanical properties of short-fibre layered composites, Rapid Prototyping Journal, Vol. 6, pp. 107~118.
- [3] A. Gupta, A. A. Ogale, 2002, Dual curing of carbon fiber reinforced photoresins for rapid prototyping, Polymer Composites, Vol. 23, pp. 1162~1170.
- [4] D. A. Klosterman, R. P. Chartoff, S. S. Pak, 1996, Affordable, rapid composite tooling via laminated object manufacturing, Proceedings of the 41st International SAMPE Symposium, pp. 220~229.
- [5] B. G. Bryden, D. I. Wimpenny, I. R. Pashby, 2001, Manufacturing production tooling using metal laminations, Rapid Prototyping Journal, Vol. 7, pp. 52~63.
- [6] G. S. Yoon, Y. M. Heo, M. W. Cho, T. I. Seo, 2005, Reverse Engineering for Rapid Prototyping of 3D Compound Surfaces using Edge Detection and Delaunay Triangulation Method, Metals And Materials International, Vol. 11, pp. 263~271.
- [7] 이호석, 최준섭, 2004, 금형의 래피드 툴링 기술, 기계저널, 44 권 제 5 호, pp. 24~26.
- [8] 정성일, 2003, 신발 금형의 쾌속제작기술 개발 및 그 적용에 관한 연구, 대한기계학회지, 27 권 제 8 호, pp. 1371~1379.
- [9] M. Tari, A. Bals, J. Park, M. Y. Lin, H. T. Hahn, 1998, Rapid prototyping of composite parts using resin transfer molding and laminated object manufacturing, Composites Part A, Vol. 29, pp. 651~661.
- [10] Parametric Technology Corporation, 1996, Pro/ENGINEER Interface Guide, PTC, Waltham, MA.
- [11] S. R. Hayse, 1998, RTM aerospace components developed using rapid prototype tooling, Materials and Process Affordability: Keys to the Future, Vol. 43, pp. 1715~1723.