

Resin Transfer Molding 을 이용한 공기 압축기용 스크류로터 제작에 관한 연구

서정도* · 이대길**

A Study on the Manufacturing of Screw Rotors for Air-Compressors Using RTM Process

Jung Do Suh, Dai Gil Lee

KEY WORDS : Screw Rotor, Screw Compressors, RTM (Resin Transfer Molding), Helical Mold, Carbon Epoxy Composite

ABSTRACT

Screw rotors are core parts of screw type air compressors, compressors in refrigerating machines and super chargers of automobiles etc. They are composed of a female and a male rotors which have complex section profiles and helically swept geometry. Screw type compressors have advantages of low noise, high efficiency, less needs in maintenance etc. Usually, machining process of screw rotors requires long machining time using CNC machine designed only for screw rotors, which increase the cost of production. In this work, the screw rotors for air-compressors were manufactured with fiber reinforced epoxy composite materials by resin transfer molding process. The mold for the RTM process was made of aluminum and silicon rubber and was designed for release of helical shape products. Composite screw rotors, manufactured by RTM process, have advantages of lightweight, less cost of production, good characteristics of vibration etc.

기호설명

W : Total weight
W_f : Fiber weight
 ρ_r : Resin density
 ρ_f : Fiber density

1. 서 론

스크류 압축기는 기존의 왕복동식 압축기(Reciprocating Type Compressor)에 비하여 소음·진동, 효율, 유지·보수 측면에서 많은 장점을 가지고 있으므로 산업용 냉각기, 공기조화 장치, 약품 이송 등 여

러 산업분야에 사용이 확대되고 있다. 암로터(Female Rotor)와 수로터(Male Rotor)의 쌍으로 구성된 두 로터가 맞물려 회전하면서 로터의 홈(Groove)과 하우스징(Housing)사이에서 형성되는 용적 변화에 의해 유체나 가스를 연속적으로 흡입, 압축, 송출하는 스크류 압축기는 크랭크-슬라이더(Crank-Slider Linkage) 구조를 갖지 않으므로 고속 구동이 가능하여 압축기를 소형화 할 수 있으며, 회전수를 조절함으로써 용량제어가 연속적으로 이루어질 수 있다. 스크류로터(Screw Rotor)는 효율의 향상을 위해 특유의 기하학적 단면 형상과 나선각을 갖도록 제작 된다. 일반적으로 스크류로터는 알루미늄 등 금속재료를 전용 CNC 공작기계를 사용하여 정밀 가공하는데, 긴 가공시간으로

* 한국과학기술원 기계공학과

** 한국과학기술원 기계공학과

인한 생산비 상승은 스크류형 압축기의 보급에 걸림돌이 되고 있다. 스크류 압축기의 원리는 1878년 독일의 Krigar 에 의해 최초로 발명되었으나 기술상의 문제로 실용화되지 못하다가, 1934년 Alf Lysholm 에 의해 공기 압축기가 개발되고 1934년 스웨덴의 SRM (Svenska Rotor Maskiner)에 의해 상용화 되었다. 이후로 스크류 로터 설계에 관한 사항은 Lysholm 의 특허에 기반을 두고 발전하여 70년대에 이르러 기존의 대칭형 로터에 비해 효율이 향상된 비대칭형 로터가 개발되었다. 현재 스크류 압축기용 로터의 단면 형상 설계 (Section Profile Design)와 생산에 대한 연구가 생산 회사를 중심으로 비공개적으로 진행되고 있다. 일반적인 스크류 로터는 금속 재료의 절삭 가공에 의해 제조되지만 신소재를 이용하여 생산하려는 연구가 Kim [1] 등에 의해 시도된 바 있다. Stosic [2] 등은 스크류 로터의 단면 형상 설계에 있어 로터 간의 간섭을 배제하기 위한 수학적 미분 알고리즘 (Differential Algorithm)의 개념을 제시했고, Chon [3,4] 등은 스크류로터 형상과 압축기 설계를 위한 열역학적 해석을 수행하였다. Chlumsky [5]는 스크류 압축기의 원리, 구조 그리고 특성에 관해 서술하였다. Litvin [6] 등은 컴퓨터를 이용한 로터 단면 형상 설계 원리와 로터 치형의 접촉선 (Tooth Contact Analysis)에 관한 연구를 수행하였다. 이와 같이 스크류 로터 관련 연구는 단면 형상 설계 및 성능 해석 위주로 진행 되었으며 제작과 관련한 연구는 미흡한 실정이다.

본 연구에서는 탄소섬유강화 에폭시 (Carbon Fiber Reinforced Epoxy)를 소재로 RTM (Resin Transfer Molding) 공정을 적용하여 낮은 생산비용으로 저소음 및 경량 특성이 더욱 보강된 스크류로터를 제작하였다.

2. 스크류로터 제작용 금형

RTM 공정은 금형 내부에 형체를 갖춘 강화재 (Reinforcement)를 놓고 수지를 주입, 경화 시켜 제품을 얻는 공정으로, 낮은 주입 압력을 사용하므로 금형비용을 낮출 수 있고 적은 비용으로 다양한 형상과 크기의 제품을 생산할 수 있는 장점을 가진다. 스크류로터는 복잡한 단면 형상곡선 (Profile)이 축방향으로 일정 나선각을 갖도록 스위프 (Sweep) 된 형상을 가지므로, 금형의 제작이 까다롭고 제품의 성공여부에 가장 큰 비중을 차지한다.

스크류로터의 형상 모델링

본 연구에 사용된 스크류로터는 암로터 6개, 수로터 4개의 잇수를 가지는 비대칭형 로터로서 Figure 1 에서 좌측은 암로터의 단면 형상, 우측은 수로터의 단면 형상으로 암로터 반지름 42mm, 수로터 반지름 46.9mm, 길이 164.15mm의 크기를 갖는다..

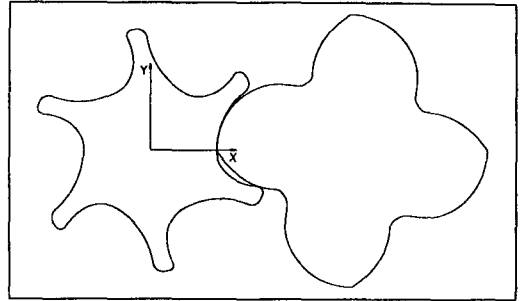


Figure 1. Meshing of screw rotors.

로터의 단면 형상 (Section Profile)은 에피-트로코이드 (Epi-trochoid), 원호, 에피-싸이클로이드 (Epi-Cycloid), 원호-이볼류트 (Arc-Evolute) 곡선 등의 곡선이 연결되도록 설계되는데, 본 연구에서는 C-Language 로 프로그램 하여, 점간 거리 0.5mm 이내 1000여개 점이 연결된 스플라인 (Spline)의 스크립트 파일 (.scr)로 단면형상의 출력을 얻은 후, 이를 Auto-Desk 사의 Mechanical Desktop 을 이용하여 IGES (Initial Graphics Exchange Specification) 형태로 바꾸어 이를 캠 (CAM) 소프트웨어인 Mastercam 에서 로터 중심축과 나선 (Helix Line)을 안내 곡선으로 나선 스위프면 (Helical Sweep Surface)을 생성하여 Figure 2 와 같은 3차원 곡면을 모델링 하였다.

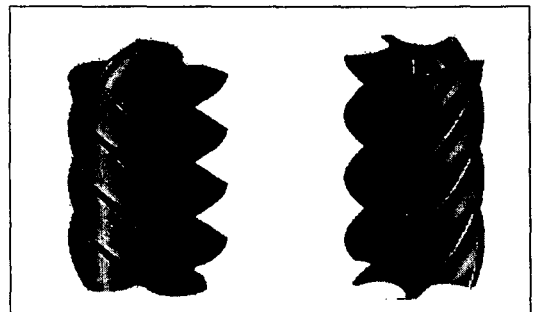


Figure 2. surface models of screw rotors.

본 연구에서 수로터용 금형의 나선부는 알루미늄을 소재로 제작 하였다. 나선 곡면부는 (Helical Surface)는 볼엔드밀을 사용한 금형의 CNC 절삭 가공과 RTM 공정 중 탈형에 적합하도록 4 등분하여 Figure 3 과 같이 모델링하여 NC 코드를 생성한 후 절삭가공을 통해 제작 하였다. 따라서 한 개의 수로터 나선부는 4 개의 나선 금형의 조합으로 이루어지도록 하였다. 암로터용 금형은 절삭가공에 의해 완성된 금속 로터를 원형으로 실리콘 고무 (Silicon Rubber, ShinEtsu KE1300)를 사용하여 나선부 금형을 제작 하였다.

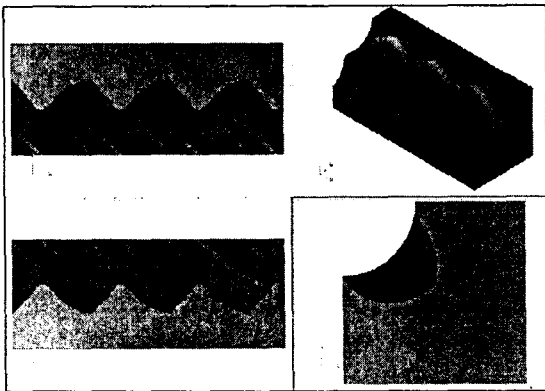


Figure 3. A piece of mold for male rotor.

나선부 금형 양단의 커버에는 수지의 유동을 고려하여 Figure 4 와 같이 로터 단면 형상 모양으로 제작된 틈새 높이 0.5mm 의 링 게이트 (Ring Gate)를 통하여 공동 (Cavity)내부로 수지의 유동이 고르게 이루어지도록 하였고 통기구 (Vent)도 동일한 설계 개념으로 제작 하였다.

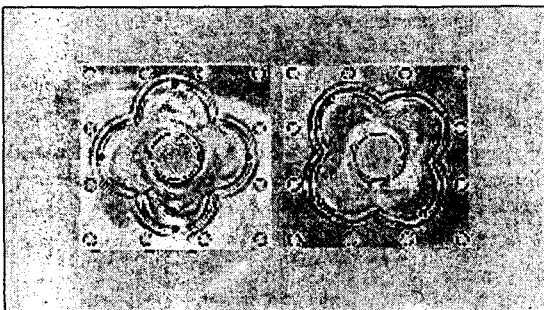


Figure 4. Mold covers with ring gate and vent.

스크류로터의 축에 해당하는 코어는 알루미늄 6061 T6 를 선반 가공한 후, 복합재료부와의 접합부분은 1.5mm 크기로 널링 (Knurling) 처리하여 코어와 스크류의 접합특성을 향상 시켰다[8].

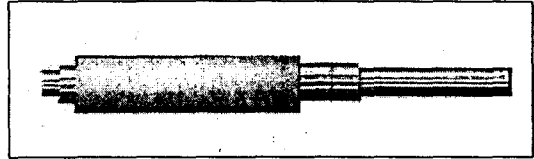


Figure 5. A Core used for screw rotor.

3. 스크류로터의 제작

스크류로터용 소재

일반적으로 RTM 공정용 수지는 Pot life 가 성형 시간에 충분해야 하고, 수지를 주입하는 온도에서 점도가 낮아야 하며, 경화시에 생기는 가스의 양이 적어야 한다. 스크류로터는 형상 정밀도가 중요하므로 성형 과정 중 수축에 의한 변형을 최소화하기 위해 상온 경화형 수지가 적합하다.

본 연구에서는 National Starch & Chemical 사의 IPCO 2482/2180 을 사용하였는데 상온 경화형으로 성형과정 중 변형이 작고 적당한 점도와 경화 특성을 가져 선정 하였다.

Table 1. Property of IpcO 2482/2180

Mixed viscosity	Density	Shrinkage	Mix ratio (weight)
2500 cps	1.1 / 1.0	0.0005cm/cm	100 : 15

보강재는 붕소 (B), 아라미드, 세라믹, 유리, 탄소섬유 등이 있는데 가장 많이 사용되는 것이 유리섬유와 탄소섬유이다. 스크류로터는 작동시 고온에 노출되고 윤활을 위해 오일 등이 사용된다. 탄소섬유는 비강성이 크고 화학적 저항성이 크므로 T-300 탄소섬유로 길이 4mm 의 단섬유 (Chopped Fiber)를 사용하였다. 보강재 함유량은 복합재료의 물성에 결정적인 영향을 미친다. 섬유 부피분율 V_f 는

$$V_f = \frac{W_r \rho_r}{(W - W_r) \rho_r + W_f \rho_f}$$

이고 본 연구에서는 40% 내외의 섬유 부피분율을 사용하였다.

RTM 장치의 구성과 성형공정

RTM 장치는 크게 수지 용기 (Resin Bath), 연결 장치, 금형으로 구성된다. 수지용기는 에폭시 (Epoxy)와 경화제를 혼합하는 곳으로 RTM 용 수지용기는 진공 및 압력을 가할 수 있는 형태로 제작되었으며, 연결 장치는 수지를 금형으로 이송 및 조절하기 위한 파이프라인과 밸브 등이다. Figure 6 은 장치 구성도이다.

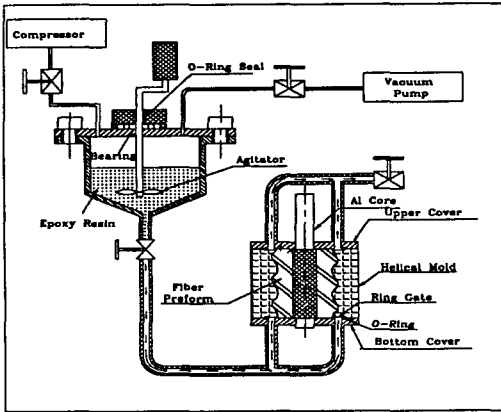


Figure 6. Equipment for RTM

RTM 장치를 구성하여 로터를 제조하는 순서는 다음과 같다.

- (1) 금형을 아세톤으로 세척, 금형표면에 이형제 (Airtech 사 Release-All #30)를 도포
- (2) 금형을 조립하고 보강제를 삽입
- (3) 에폭시와 경화제를 수지용기에 넣고 혼합
- (4) 수지용기를 밀폐하고 압력과 진공을 번갈아 가하면서 기포 제거
- (5) 수지 용기에 6 기압의 압력을 가하여 금형에 수지를 주입
- (6) 경화 및 탈형

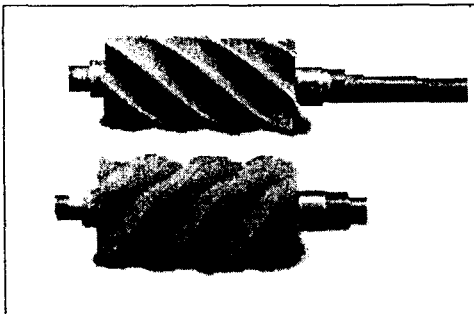


Figure 7. Screw rotors.

Figure 7 은 이와 같은 공정으로 제작된 스크류 로터의 모습이다.

4. 결론

본 연구에서는 스크류 로터의 제작에 RTM 공정을 적용하여, 높은 생산비용을 필요로 하던 기존의 금속로터를 낮은 생산비용으로 복합재료를 이용하여 제작함과 동시에 스크류 로터의 소음·진동 특성을 더욱 향상시킬 수 있었다. 또한 고속 구동에 따른 에너지 효율 특성과 직결되는 제품의 무게는 알루미늄 로터에 비해 50% 이상 감소하였다.

후기

본 연구를 공동 연구로 수행하면서, 정밀가공분야의 기술제공 등 연구에 도움을 많이 주신 송죽정 밑췌에 감사 드립니다.

참고문헌

- (1) Y. G. Kim, K. S. Jeong and D.G. Lee, "A Study on the Screw Rotors for Superchargers," *Composite Structures*, Vol. 32, 1995, pp. 575-581.
- (2) N. Stosic and K. Hanjalic, "Development and Optimization of Screw Machines with a Simulation Model," *Journal of Fluid Engineering*, Vol. 119, 1997, pp.659-663.
- (3) 전완주 외, *Screw Rotor의 최적 설계기술 개발에 관한 연구, 1 차년도 중간보고서*, 과학기술처 특정연구개발사업 연구보고서, 1989.
- (4) 전완주 외, *Screw Rotor의 최적 설계기술 개발에 관한 연구, 2 차년도 최종보고서*,
- (5) 과학기술처 특정연구개발사업 연구보고서, 1990.
- (6) F. L. Litvin and P. H. Feng, "Computerized Design, Generation and Simulation of Meshing of Rotors of Screw Compressor," *Mech. Mach. Theory*, Vol. 32, No. 2, 1997, pp. 137-160.
- (7) 김영구, "Resin Transfer Molding 에 의한 복합재료 스크류로터의 제작", 한국과학기술원 석사학위논문, 1994, pp. 46-47.