

섬유코팅용 왁스링 성형을 위한 자동화 시스템 개발

조영학^a, 맹희영^{a*}

Development of Automatic Wax-Ring Manufacturing System for Silk Coating

Young Hak Cho^a, Heeyoung Maeng^{a*}

^a Department of Mechanical System Design Engineering, Seoul National University of Science & Technology,
232 Gongneung-ro, Nowon-gu, Seoul, 139-743, Republic of Korea

ARTICLE INFO

Article history:

Received 25 March 2013
Revised 30 April 2013
Accepted 3 May 2013

Keywords:

Automatic removing device
Paraffin wax-ring
Moving pallet
Water-cooling
Lifting part
Cutting part

ABSTRACT

An automatic wax-ring manufacturing system for silk coating was developed, which consisted of a container, pallet with a cooling part, injection port, and removing device. The removing device is a system to load, lift, and cut the wax-ring, which is widely used for various silk-coating industrial purposes. A novel removing device equipped with a water cooling circulation system is proposed in this paper. It has the benefit of easy control, as well as the convenience of loading and unloading without the use of other equipment. Three-dimensional modeling techniques were adopted to develop integrated functions for the automatic wax-ring manufacturing system, which made it possible to confirm the smooth integration/interface of each part and the system's interrelations with other manufacturing systems.

1. 서론

파라핀 왁스링은 섬유 원사의 유연성과 인장을 향상시키기 위해 코팅 용도로 사용되는 제품으로, 롤에 끼워져 회전하는 왁스링 표면을 실이 스치고 마찰하면서 원사 표면에 코팅이 이루어진다. 과거 재래식 제조 공정에서는 파라핀 왁스링을 성형하기 위해 혼합기와 가열로, 가열 및 교반 탱크, 주입 관로, 냉각 장치 등을 각각 독립적으로 사용하고 있었다^{1,2}. 파라핀은 열전달계수가 낮고 냉각속도가 매우 느려서 왁스링 형태로 완전히 성형냉각하는 데에는 약 30분 정도의 냉각시간을 필요로 하며 작업 생산속도가 매우 느리다^{3,4}. 재래식 제조 공정은 대부분이 수작업으로 이루어져, 파라핀의 용융, 성형, 커팅, 그리고 다듬질 공정에서 위생상 및 공정상 위험성이 발생하고, 제품의 치수와 품질도 일정치 못한 문제점을

가지고 있다⁵.

본 연구는 링왁스 제품을 공냉 방식에서 수냉 방식으로 전환시키면서 냉각성형 공정을 자동으로 수행하고 정치수로 가공하면서 자동으로 이형할 수 있는 자동화 시스템 개발을 목표로 하였다. 특히, 기존 고정식 팔레트와 다른 이동식 팔레트를 새롭게 설계하였으며, 이로부터 냉각성형된 제품을 하단부의 리프팅 장치에서 상하 운동을 통해 이형할 수 있는 자동 이형장치를 개발하였다. 또한, 팔레트의 상단부에 절삭부가 위치하여서 잔여물을 제거하고 완성품을 밀어내어 주는 역할을 하는 절단 기구도 새롭게 설계하였다. 이밖에 모터 동력에 의해서 중앙축이 회전할 때 체인에 의해 이형판이 상하 운동을 하는 작업 유니트 및 하나의 동력으로 같은 회전력과 방향성으로 각 지점에서 판을 평행하게 유지하면서 밀어줄 수 있는 리프팅 시스템을 고안하여 작동의 적합성을 검토하였다.

* Corresponding author. Tel.: +82-2-970-6363

Fax: +82-2-974-8270

E-mail address: maeng@seoultech.ac.kr (Heeyoung Maeng).

2. 자동화 시스템의 구성

본 연구에서의 개발 목표는 섬유 제품을 수지코팅 처리하는 데에 사용되는 링왁스 제품을 자동으로 냉각하면서 성형하고 정치수로 가공하는 기계시스템을 개발하는 것이다. 이를 위한 생산자동화 시스템은 Fig. 1과 같이 주입 장치, 팔레트를 포함하는 적재 및 냉각 장치, 이형장치 등으로 구성되어 있으며, 팔레트를 자동 이송하면서 작업을 진행한다. 각 장치의 역할 및 구성은 다음과 같다^{6,7)}.

2.1 팔레트와 적재 및 냉각장치

기존 생산 현장에서 쓰이고 있는 재래식 장비에서는 고정식 팔레트가 이용되었으나, 본 연구에서는 Fig. 2에서와 같은 이동식 팔레트를 이용하여 다양한 규격의 왁스링을 하나의 장비에서 생산이 가능하게 되어 보다 효율적인 냉각과 자동창고와의 연결을 통한 공간 활용성이 높아진다.

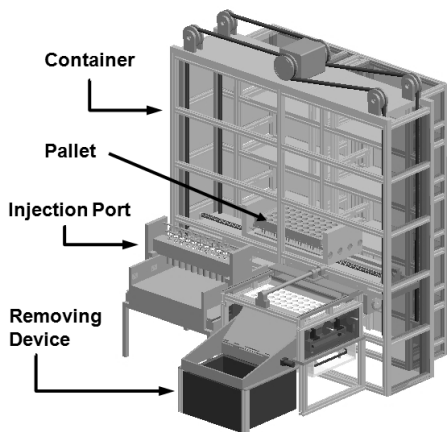


Fig. 1 Overall configuration of manufacturing system

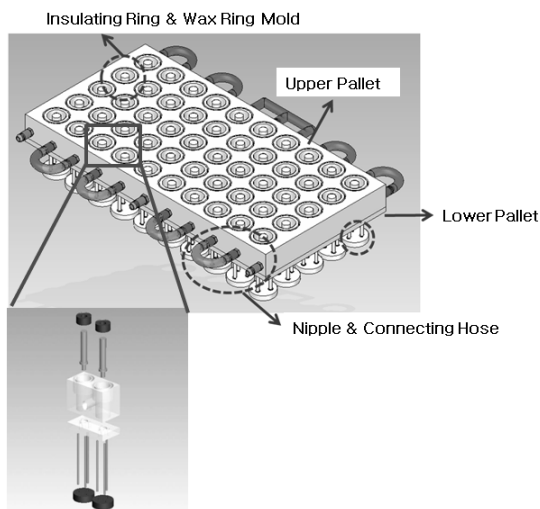
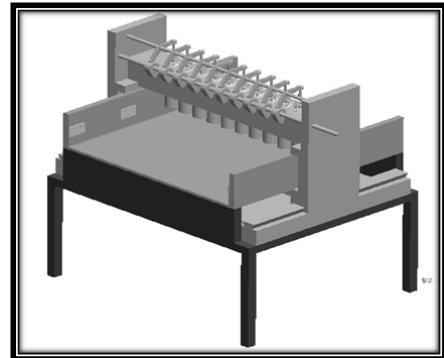


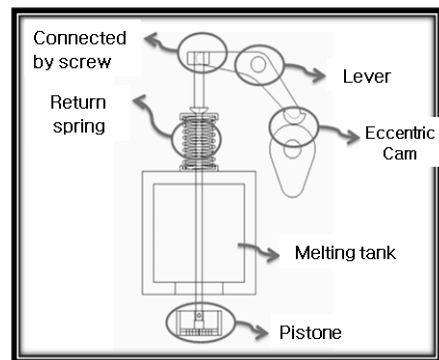
Fig. 2 Schematic view of pallet for wax casting

2.2 주입장치

파라핀 왁스를 팔레트에 주입하기 위한 장치는 Fig. 3과 같이 이송 테이블 위에서 실린더 헤드, 체크밸브, 레버 등으로 구성된 주입 기구를 사용하였다. 이와 같이 주입된 파라핀 왁스는 냉각을 위해 냉각장치에 적재되어 냉각수 순환 시스템에 연결된 후 냉각 과정을 거치게 된다.



(a) 3D design of supplying part



(b) Components of supplying unit

Fig. 3 Schematic view & components of paraffin wax supplying part

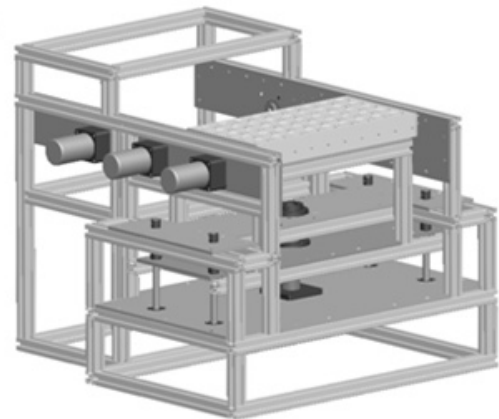


Fig. 4 Design of wax ring removing device including lifting part and cutting part

2.3 이형장치

이형장치는 리프팅부(lifting part), 절단부(cutting part), 선별부(sorting part)로 구성되어 있다. Fig. 4에서 보이듯이 팔레트를 중심으로 하단부에 리프팅부가 위치하는데, 이는 팔레트의 리프팅 핀을 상하운동 할 수 있도록 하여, 적정온도로 냉각된 파라핀을 밀어내어 이형시켜 주는 역할을 한다. 또한, 팔레트의 상단부에는 절단부가 위치하여 1차적으로 파라핀 상부의 잔여물을 잘라내어 제거시킬 뿐 아니라, 2차 작동으로 완성된 파라핀 왁스를 상자로 밀어내는 역할을 한다. 이에 대한 자세한 설명은 3.2에서 주어질 것이다. 마지막으로 선별부는 캠 기구를 이용하여 상자에 잔여물과 완성품을 분리, 적재할 수 있도록 한다.

본 연구에서는 기존 왁스링 성형 장치와 달리 이형장치를 자동화하여 생산성을 높이하고자 하였다. 이에 대한 자세한 설계 요소 및 기능에 대해서는 3장에서 주어질 것이다.

2.4 제어장치

본 자동화 시스템에 사용된 센서 및 모터의 제어를 위해 경제적인 면과 추후의 기능 확장성 등을 고려하여 PLC (LS산전, GLOFA-GM6)를 사용하였다. 근접센서를 이용하여 변위조절을 하며 신호에 의한 순차적 제어를 실시하였으며, 가공시간은 사전에 만들어진 공정 순서 시간표를 바탕으로 설정하였다.

3. 자동 이형장치의 설계

본 장에서는 2장에서 언급한 이형장치를 구성하는 부분에 대한 설계 요소 및 기능에 대해 설명한다.

3.1 리프팅부

리프팅부는 Fig. 5에 나타난 바와 같이 4개의 샤프트 가이드와 이형장치의 상하운동을 위한 중앙 사각나사가 모터의 동력에 의해서 작동된다. 이 때, 사각나사의 연결 방식은 모터와 사각나사를 체인으로 연결하여 회전운동을 통해 이형장치의 상하운동이 이루어진다^[8].

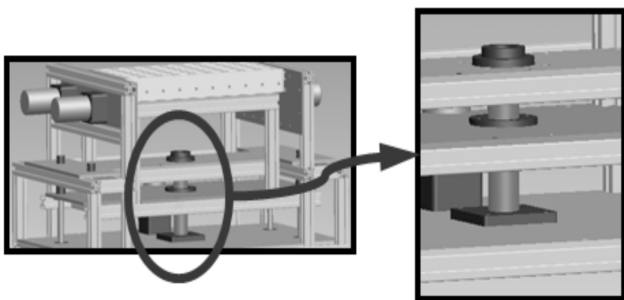


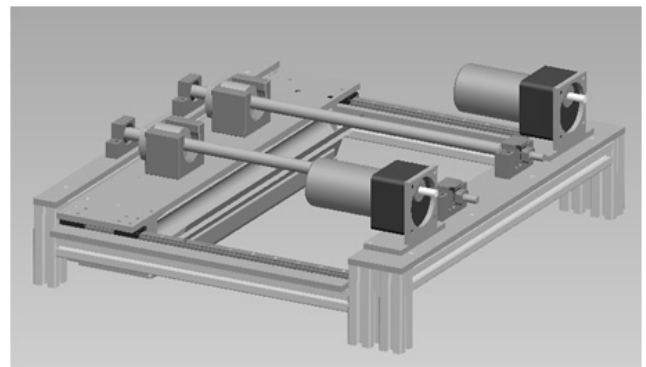
Fig. 5 Connecting method of lifting screw

어진다^[8].

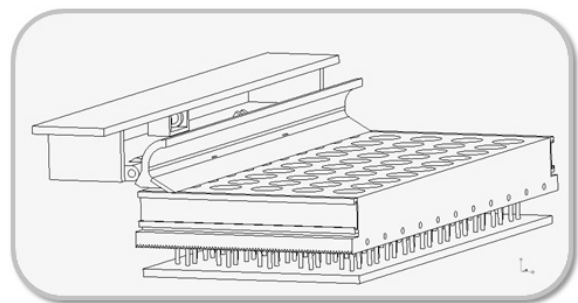
리프팅은 1차와 2차로 구분되는데, 1차 리프팅은 왁스 표면에 발생하는 수축공 등의 문제를 해결하기 위한 것으로, 파라핀 왁스의 상부를 잘라내기 위해 상승하게 되면 절단 장치가 작동되어 칼날에 의해서 상층부가 절삭된다. 2차 리프팅 시에는 칼날부가 90° 상방향으로 회전하여 고르게 부분이 나오게 되고, 이 부분에 의해서 완성된 파라핀 제품을 상자로 밀어내게 된다. 이 때, 사각나사에 의한 이송은 변위 조절이 가능하여 제품의 높이 범위를 20 mm ~ 60 mm로 설정가능하게 하였다.

3.2 절단부

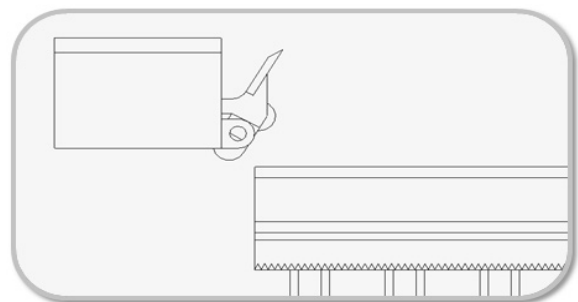
절단부는 Fig. 6(a)에서와 같이 양쪽의 LM가이드와 중앙쪽의



(a) Feeding system of cutting part



(b) Operation as cutting edge for cutting the wax ring



(c) Operation as strickle for pushing the wax ring

Fig. 6 Illustration of cutting part and units

볼스크류에 연결된 폴리벨트 및 모터, 그리고 이들에 연결된 칼날부로 구성되어 있다. 2개의 모터와 2개의 볼스크류를 폴리 벨트로 연결, 직접적으로 동력을 전달하여 절삭부가 전후 동작을 한다. 이때 좌우 대칭을 위해 2개의 모터를 동기화시켜 균형적이고 안정적으로 이송이 이루어지도록 하였다. 즉, 2개의 양쪽의 볼스크류 지지축과 고정축에 의해서 결속이 되어 있고, 동력에 의해서 이송 시에도 양쪽의 LM가이드에 의해서 안정적인 이송이 되도록 하였다.

또한, 이를 통해 모터에 의한 진동을 최대한 감소시키고 하중을 분산시켰을 뿐만 아니라 전체적으로 이송 속도가 일정하여 파라핀의 표면을 고르게 절삭하는 것이 가능하였다. 한편 칼날부는 솔레노이드 작동에 의해서 절삭날과 고르개 두 가지 형태로 번갈아가면서 작업이 이루어지게 설계되었다. Fig. 6(b)에 나타난 바와 같이, 절삭날 부분은 1차 리프팅 시 사용되는데, 칼날부 후면에 있는 2개의 솔레노이드에 신호가 들어간 상태에서 축에 고정된 3절 링크가 밀리게 되면서 90° 아래 방향으로 회전하여 절삭날이 팔레트의 표면과 맞닿은 상태에서 전후 운동을 하여 절삭된 잔여물을 제거한다. 반면, 고르개 부분은 2차 리프팅 시 사용되는데, Fig. 6(c)에서와 같이 절삭날이 작동할 때와 솔레노이드가 반대의 작동을 하게 되어 칼날의 아래 부분에 달린 고무파킹에 의해서 적정온도에서 완성된 왁스링을 몽개짐과 같은 변화없이 안정적으로 밀어내게 된다. 이 때 고무 파킹이 왁스링의 상부를 밀기보다는 하부부분을 밀게 하였으며, 또한 완전하게 응고되지 않은 파라핀이 밀리는 현상을 방지하기 위해서 빠른 속도로 작동하기보다는 저속으로 안정적으로 밀어내도록 하였다.

3.3 선별부

선별부에서 완성 제품을 분리하여 주는 셔터는 모터의 동력으로 작동되는 캠 기구를 이용하여 2개의 상자에 잔여물과 완성품을 분리하여 적재시켜 준다. 측면에 부착된 모터와 회전축이 폴리 벨트에 의해서 연결되어 있으며, 회전축의 양쪽 부분에 편심 캠기구가 부착되어 있어서 편심 부분에 의해서 경첩에 연결되어 있는 셔터를 들어주는 방식으로 분리 작업을 실행하도록 하였다. 금속센서의 신

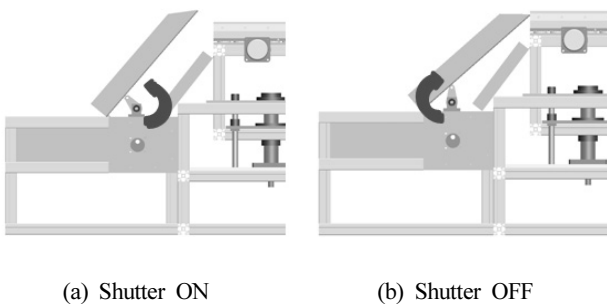


Fig. 7 Connecting method of lifting screw

호에 의해서 ON/OFF 동작이 실행되며 이형부 파트의 작업 순서에 의해서 순차적으로 동작이 진행되도록 하였다 (Fig. 7).

3.4 이형장치의 어셈블리

Fig. 8은 이형장치의 전체 어셈블리를 나타내고 있으며, 가장 왼쪽의 선별부, 중앙에 위치한 리프팅부, 그 위에 위치한 절단부와 오른쪽 후면의 적재창고로 구성된다.

이 시스템의 작동은 Fig. 9와 같이 주입부로부터 적재창고에서 적정온도로 응고될 때까지 순환하며 대기하다가 이형부로 팔레트가 수납 서랍식으로 이송되게 된다. 이송된 팔레트는 롤러슬라이드와 가이드롤러에 의해 정확한 위치에 놓이게 되면 리프팅부에서 1차 리프팅을 하여 주고, 절단부의 절삭날 부분이 파라핀 왁스링의

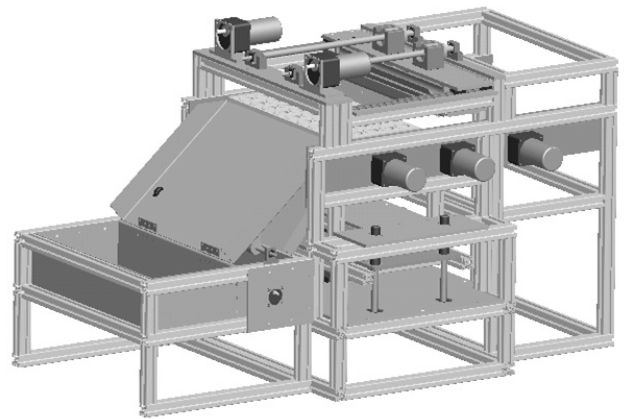


Fig. 8 Assembly of overall removing device

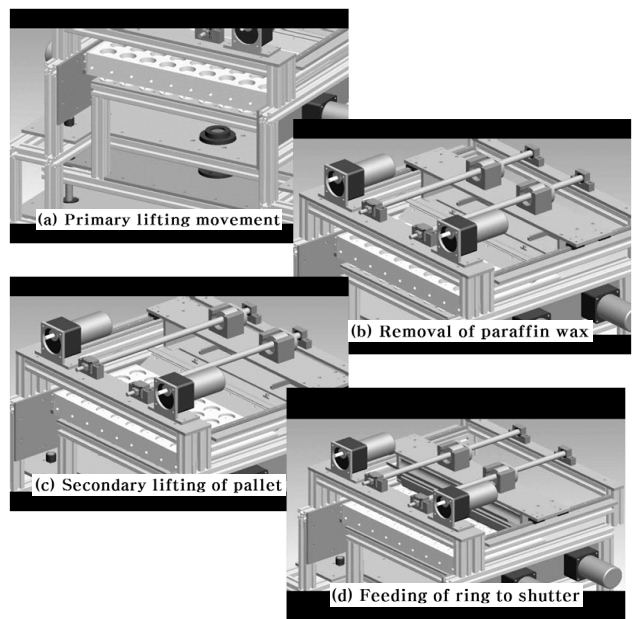


Fig. 9 Simulation of the acting sequence of system

상부면을 절삭하여서 수축공 부분을 제거하여 준다. 다시 리프팅부에서 2차 리프팅하여 파라핀 왁스링을 팔레트에서 완전히 이형시켜 주고, 절단부에서 절삭날 부분이 슬레노이드 작동에 의해서 고르게 역할을 하면서 파라핀 왁스링을 선별부로 밀어내어 준다. 선별부는 1차적으로 제거된 파라핀의 잔여물을 이형부 안쪽의 부분의 상자로 떨어뜨려주고, 2차적으로 완성된 파라핀 왁스링을 바깥쪽의 상자로 미끄러지듯이 떨어뜨려 주는 순서를 시뮬레이션 하였으며, 그 과정을 통하여 간접 여부와 작동의 원활성을 평가 하였다.

4. 팔레트 모델링 및 왁스링의 성형성 검증

본 개발 장치에 주요 부분 중 왁스링을 성형하는 팔레트에 대해 모델링을 통해 왁스링의 성형성을 검증하였다. 일반적으로 왁스링을 팔레트의 틀에 부어서 가공할 시에 왁스링의 원재료인 파라핀 왁스의 성질 때문에 공기와 같이 온도가 다른 면과 접하는 부분은 응고막이 생성이 되고 응고막이 단열층 역할을 하게 되어 왁스링이 내부로부터 응고가 이루어지지 않고 외부에서 내부로 응고가 이루어진다. 따라서, 이런 외부의 응고막이 생기는 과정에서 왁스링 내부와 외부 사이에 공간이 생겨 기공이 발생하게 된다. 이와 같이 팔레트에 나타나는 수축공 현상을 방지하기 위하여 단열링을 두어 외부로의 열손실이나 열의 유입을 적게 하였다.

단열링은 단열재로 만들어진 링모양의 구조물로, 일정한 온도를

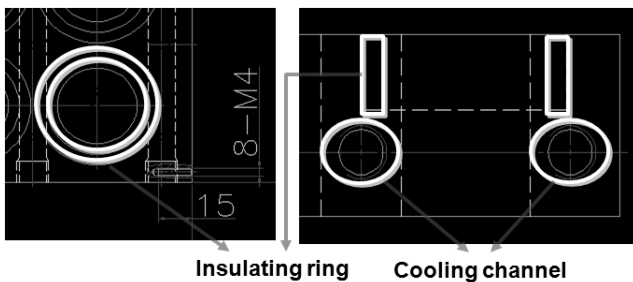


Fig. 10 Location of cooling channel and insulating ring

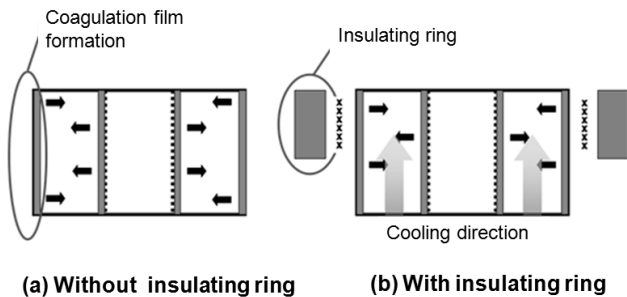


Fig. 11 Effect of existence of insulating ring for cooling

유지하기 위해 왁스링의 바깥쪽을 피복하여 외부로의 열손실 및 열 유입을 감소시키는 역할을 할 뿐만 아니라, 주형틀에서 왁스링이 냉각될 때 피더(feeder) 역할을 한다 (Fig. 10). 즉, 단열링 주변부에서 냉각수의 작용에 의해서 단열재가 없는 아랫부분이 단열재가 있는 윗부분보다 냉각이 더 빨리 일어나도록 하여 수축공 없이 냉각할 수 있도록 하였다 (Fig. 11).

하부에서 상부로 냉각되어 가면서 하부가 굳은 후에 상부가 식는 순차적으로 진행이 되므로 수축공이 발생하게 되면 상부에 발생하게 되고 이를 상부의 액체부분이 이를 채워줌으로써 수축공의 생성을 방지할 수 있다. 이에 대한 적정 온도를 찾기 위해 ANSYS를 이용하여 해석을 실시하였다. Fig. 12에서 보이는 바와 같이 팔레트는 크게 3부분으로 이루어져 있다. A1은 파라핀으로 열전달계수가 $0.237 \text{ W/m}^\circ\text{C}$, A2는 단열링으로 재료는 펄라이트로 이루어져 있으며 열전달계수는 $0.45 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ 이다. A3는 왁스링의 중공 형성을 위한 알루미늄축으로 열전달계수는 $203 \text{ W/m}^\circ\text{C}$, 팔레트의 냉각을 위해 사용되는 냉각수의 온도는 20°C 로 고정하였으며, 공기의 대류열전달계수는 $5 \text{ W/m}^2\text{C}$, 온도는 35°C 로 가정하였다.

본 연구에서 사용된 파라핀 왁스(분자량 300~500)의 융점은 $38\sim65^\circ\text{C}$ 로, 개개의 융점을 가진 여러 탄화수소의 혼합물로 이루어져 있어 개개의 탄화수소 융점의 합성으로 나타나게 된다. 파라핀 왁스는 냉각 시 융점 바로 아래 온도에서 등방성의 점성 유동체 상태가 되고 이 유동체가 차츰 응고되면 수축이 일어나 왁스 속으로 공기가 스며들어 기공이 발생하게 된다. 해석 결과 Fig. 13에서 보이는 바와 같이 $60\sim70^\circ\text{C}$ 의 낮은 온도 하에서 급격한 상변화를 보이며, 냉각수와 단열재의 영향으로 인해 하부가 상부보다 상대적으로 온도가 낮게 되어 하부로부터 응고한다. 상온의 기준 온도에 따라 약간의 차이가 있을 수 있으나 온도분포에는 큰 차이가 없음을 알 수 있다.

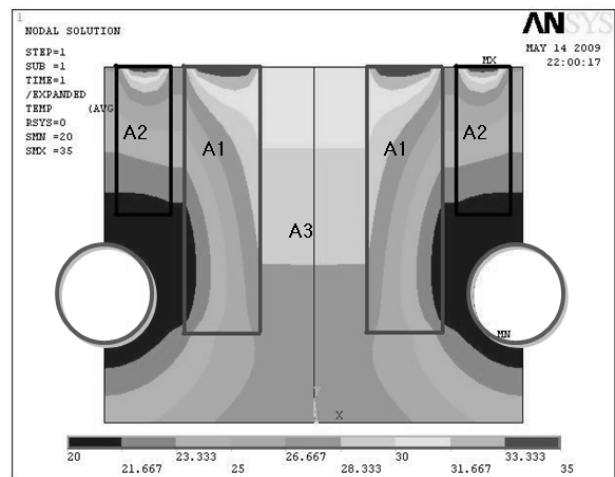
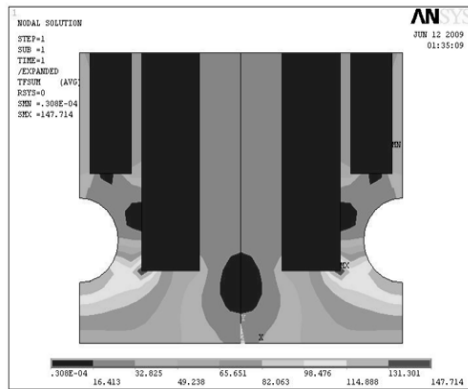
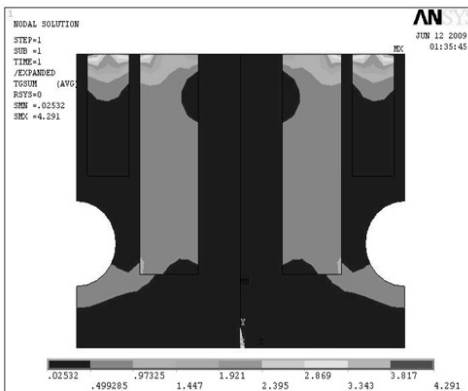


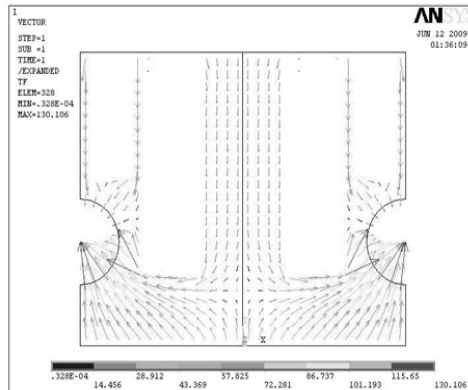
Fig. 12 Modelling for pallet with wax-ring



(a) Thermal flux



(b) Thermal gradient flux



(c) Distribution of heat flow and temperature

Fig. 13 Thermal distribution of wax ring and mold

5. 결론

왁스링의 냉각성형을 위한 자동 이형장치를 설계 및 개발하여 정치수로 커팅하고 이형하는 과정의 자동화를 도모하였으며 설계의 적합성을 검토하기 위하여 단위 부위별 작동 검토와 시뮬레이션을 통한 간섭을 검토하였다. 본 기술개발을 통하여 얻은 결과들을 요약하면 다음과 같다.

왁스링 제품은 열전달 및 성형, 수축 등 물리적인 특성이 까다로워 냉각성형된 이후에 내부 수축공이 발생하기 쉬우나, 팔레트 상부의 단열재 링을 설치하는 아이디어를 통해 내부 수축공이 없는 양호한 제품을 얻을 수 있었다. 또한, 팔레트 모델에 대한 ANSYS 해석을 통하여 냉각성형 과정에서의 온도 분포를 해석하였으며, 상부의 온도가 높고 아래로 갈수록 온도가 낮아지는 분포를 확인하여 적용함으로써 수축공 발생을 방지시킬 수 있었다. 종래의 수작업에 의한 팔레트 시스템을 한번에 완성할 수 있는 구조의 팔레트 시스템으로 고안하여 제품의 성형과정을 자동화 할 수 있었다. 그리고 종래의 공랭식을 수냉식으로 개선함으로써 제품의 순도를 높일 수 있었고, 냉각시간을 대폭 단축시킬 수 있었다. 본 연구를 통하여 왁스링 제품을 자동으로 리프팅하고 커팅하는 이형장치를 개발하여 생산의 자동화와 효율성을 높임은 물론, 제품의 치수정밀도와 직각도, 진원도 등을 향상시킬 수 있었다.

References

- [1] Kim, C. K., Cho, S. H., 2002, Numerical Study on the Behavior Characteristics of a Screw in Injection Molding Machine, Journal of Korean Society of Precision Engineering, 11:5 30-37.
- [2] Kim, J., Choi, J., 2009, A study on Optimal Design of Polymer Extruder Dies by CFD, Journal of KSMTE, 19:6 585-589.
- [3] Beaumont, J. P., Young, J. H., Jaworski, M. J., 1999, Mold Filling Imbalances in Geometrically Balanced Runner Systems, Journal of Reinforced Plastics and Composites, 18:6 572-590.
- [4] Rhee, B. O., Choi, J. H., Tae, J. S., 2009, Reduction of Design Variables for Automated Optimization of Injection Mold Cooling Circuit, Journal of the KSMTE 18:4 417-422.
- [5] Jung, H. T., Yoon, H. G., Lim, S. H., 2008, Manufacturing Polymer/clay Nanocomposites Using a Supercritical Fluid Process, Int. Journal of Precision Engineering and Manufacturing, 9:4 63-65.
- [6] Lu, K. J., Kota, S., 2006, Topology and Dimensional Synthesis of Compliant Mechanisms Using Discrete Optimization, J. Mech. Des., 128:5 1080-1091.
- [7] Im, M., Park, J. Y., Ham, S. Y., 2010, Reliability Based Topology Optimization of Compliant Mechanisms, Journal of the KSMTE, 19:6 826-833.
- [8] Yoon, J. Y., Hwang, Y. K., Park, J. S., KO, T. J., Park, J. W., 2002, An Integrated CAD System for Design of Extruder Screw, Journal of Korean Society of Precision Engineering, 19:8 100-107.