

플라스틱 용기 성형을 위한 스택금형 제작에 관한 연구

정우철[†] · 허영무 · 신광호 · 윤길상

한국생산기술연구원 정밀금형팀
(2007. 6. 13. 접수 / 2007. 10. 31 채택)

Development of 2 Level × 4 Cavity Stack Mold for Plastic Container

Woo-Chul Jung[†] · Young-Moo Heo · Kwang-Ho Shin · Gil-Sang Yoon

Precision Molds and Dies Team, Korea Institute of Industrial Technology

(Received June 13, 2007 / Accepted October 31, 2007)

Abstract : In recent, the demand of high-productivity injection mold increases because of the growth of international packaging market. The increase of productivity leads to the large-sized injection molding machine and peripheral devices. For solving this problem, the stack mold which is based on the existing machine and device is studied in advanced countries actively. In this study, as the preliminary research of stack mold development, the stack mold which has 2 Level × 4 Cavity is designed and manufactured. Besides, the motion and structural analysis are executed to verify the stability of developed stack mold.

Key Words : Stack Mold, Injection Molding, Motion Analysis, Structural Analysis,

1. 서 론

최근 자동차산업, 전기·전자산업, 항공 우주 산업 등의 발전에 따라 새로운 제품개발이 요구되며 이러한 제품 개발 및 생산 등을 위한 필수 기반기술인 금형 산업 역시 발전을 거듭하고 있다. 또한 다양한 소비자의 욕구에 따른 정밀화, 고기능화, 복합화 추세로 인해 제품의 수요가 변하고 있는 실정이다. 현재 주위에서 볼 수 있는 대부분의 플라스틱 제품이 사출금형을 이용하여 사출성형 공정을 통하여 생산된 것이라 할 수 있을 만큼 매우 중요하며, 사출금형산업은 국내 금형산업에 있어 가장 큰 비중을 차지하고 있다¹⁾.

북미, 유럽의 생활용품 시장은 가장 오래된 시장으로 많은 인구와 높은 생활수준을 기반으로 꾸준히 성장하고 있으며, 신흥 시장으로 주목받고 있는 중국과 인도는 세계 최대의 인구를 바탕으로 엄청난 소비력과 함께 급속한 경제 발전으로 인한 생활

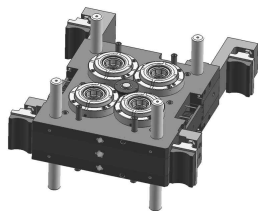
수준의 향상으로 생활용품 관련 시장이 크게 확대되어 이에 대응하는 초고생산성 생활용기 금형·성형 기술이 필요로 하게 되었다. 생산성 증대를 위해 단편적으로 캐비티(cavity)의 수를 2배로 하면 생산량도 2배가 되지만 금형의 대형화는 필연적으로 대형 사출기 및 주변 시스템을 요구하게 된다. 이에 유럽과 미국의 선진 금형 회사들은 기존의 사출기 및 주변 장치를 활용할 수 있는 콤팩트(compact)한 금형에 대한 연구에 초점을 맞추게 되어 경제성 측면에서 기존의 대용량 금형보다 우월한 스택금형(stack mold)에 대한 연구, 개발 및 시장 확보가 활발히 이루어지고 있는 현실이다.

본 연구에서는 고생산성 스택금형 개발을 위한 선행 연구로 2 Level × 4 Cavity 스택금형을 설계 제작하였으며, 설계된 금형에 대하여 모션해석(motion analysis)을 이용한 동역학적 분석과 구조해석(structural analysis)을 수행하여 스택금형 구동부의 안정성을 검증 하였다.

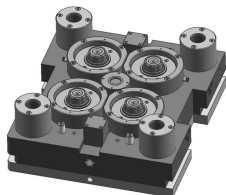
[†] bogus2@lycos.co.kr

2. 스택금형 설계

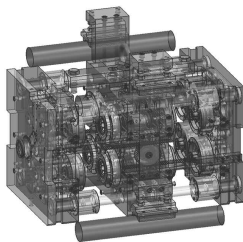
스택금형을 제작하기 위해 먼저 제품 선정 및 3D 모델링을 수행하였다. 선정된 모델은 식품용기이며, 완성된 제품 모델링을 기반으로 하여 2 Level × 4 Cavity 금형의 3D 모델링 작업을 수행하였다. 선정된 제품은 생활용품의 특성상 복잡한 형상과 매우 얇은 두께를 가지고 있기 때문에 성형에 많은 어려움을 가지고 있다. 이를 해결하기 위해 금형에 수지가 충전된 후 성형품이 빠른 시간에 고화될 수 있도록 코어 내부에 냉각채널을 설계하였다. 냉각채널은 코어의 온도를 균일하게 하기 위해 나선형 구조로 설계되었으며, 게이트코어(gate core) 부분의 재질을 열전도도가 우수한 재료를 적용하여 냉각효과를 극대화 하였다. 또한 고속사출방식에 적합한 스택금형 제작을 위해 작동구조를 상대적으로 구조가 간단하고 운동전달 및 강성 확보가 용이한 랙-피니언(rack & pinion) 방식의 구조로 설계하였다. Fig. 1은 본 연구에서 설계된 금형의 구조를 나타낸 것이다.



(a) Middle plate assembly



(b) Moved assembly and stationary assembly



(c) Master assembly

Fig. 1. Design of 2Level×4cavity stack mold

3. 구동해석

3.1. 구동분석 및 해석 모델생성

스택금형은 일반금형과는 달리 이동측과 고정측 사이에 Center Plate가 존재하며 Center Plate에 캐비티와 핫 런너 시스템(hot runner system)의 매니폴드(manifold) 대부분이 위치하여 큰 하중을 가지고 있다^{2,4)}. 설계된 랙-피니언 구동방식은 충전공정이 끝난 뒤 성형기의 형개력을 이용하여 구동 하며, 운동의 전달은 형개력에 의한 이동측의 이동, 하측 랙, 피니언 회전, 상측 랙의 이동 순으로 진행된다. 이때 상측 랙의 이동에 따른 운동은 고정측으로 인하여 Center Plate에 전달된다.

구동해석을 위한 모델 생성은 설계된 스택금형의 3D 모델을 이용하여 생성하였고 해석 수행을 위한 각 부분의 경계조건(boundary condition)은 각 부품들의 자유도(degree of freedom)를 구속하는 어셈블리(assembly) 조건을 그대로 적용하였다. Fig. 2는 모션해석을 위해 생성된 모델의 경계조건을 나타내고 있다.

3.1. 구동해석 결과

구동해석 과정에서는 형개력에 의한 구동부인 랙과 피니언에 작용하는 운동하중을 집중적으로 관찰하였으며, 해석결과 전체적인 운동에는 큰 문제가 없는 것으로 나타났다. 스택금형의 형개시 작용하는 구동부의 모멘트(moment)는 Fig. 3에 도시하였으며, 기어를 이용한 운동 전달이기 때문에 일정한 주기를 가지고 있다. 모멘트의 크기는 구동이 시작되는 시점에서부터 점점 감소하다가 금형이 완전히 열리기 직전에 랙과 피니언에 가장 큰 모멘트가 작용하는 것으로 해석되었고 최대 모멘트가 작용할 때의 상태를 Fig. 4에 나타내었다.

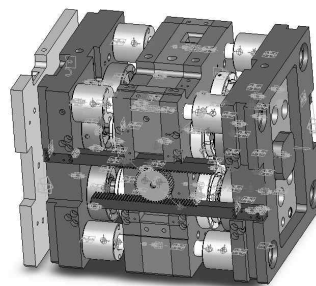


Fig. 2 Boundary condition of rack & pinion type stack mold

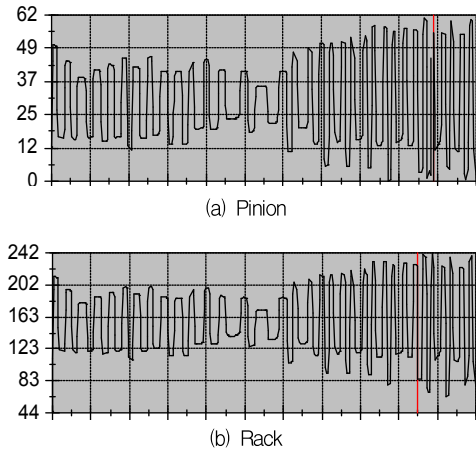


Fig.3. Magnitude of moment on pinion & rack

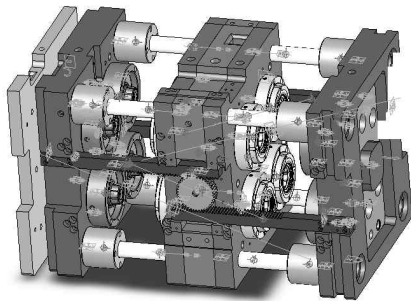


Fig. 4. Motion state of being applied the maximum moment

4. 구조해석

모션해석결과를 이용하여 각 구동부품들의 구조 해석을 수행하였다. 구조해석은 각 부품에 작용하는 모멘트의 크기가 최대인 순간에 작용하는 모든 운동하중, 중력, 구속 조건 등을 하중조건으로 반영하여 구조해석을 수행하였다.

4.1. 피니언의 구조해석 결과

해석에 사용된 모델은 Fig.5와 같이 35,872개의 절점(node)과 22,162개의 요소로 분할하였으며, 사용 재질인 SM45C의 물성치는 Table 1.에 제시하였다. 해석결과는 Fig. 6. 에서와 같이 최대 응력은 중앙의 힌지(hinge)부에서 발생하였고, 최대 유효응력(effective stress)은 약 1.1 MPa로 계산되었다. 이는 SM45C의 항복응력(yield stress) 620 MPa 보다 매우

작기 때문에 구조적으로 문제가 없음을 확인 할 수 있다. 최대 변형은 기어의 외곽부 즉, 치형에서 발생 하였으며 크기는 Table 2.에 제시하였다.

4.2. 랙의 구조해석 결과

랙의 재질은 피니언과 같은 SM45C를 사용하였으며, 32,028개의 절점과 19,300개의 요소로 분할하였다 (Fig. 7.). 해석결과 최대 유효응력은 SM45C의 항복응력 620 MPa 보다 작은 5.4 kPa로 계산되어 구조적인 문제점은 없는 것으로 확인 되었다. 최대 변형을 Table 2.에 제시하였다.

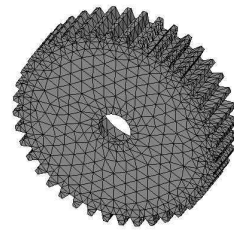
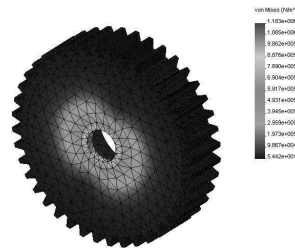
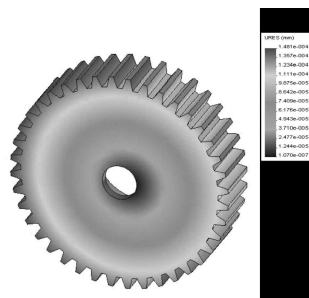


Fig. 5. Mesh shape of pinion



(a) Max. Von-Mises stress



(b) Max. Displacement

Fig. 6. Structural analysis result of pinion

5. 금형제작 및 성형

5.1. 코어 가공 및 측정

모션해석과 구조해석이 완료된 후 각 부품을 가공하였다. 비교적 낮은 정밀도의 단순한 요소부품들 경우에는 밀링, 선반, 연마 등의 과정을 통해 제작하였으나, 높은 정밀도와 조도가 요구되는 부분인 코어(core)와 캐비티(cavity) 부분은 별도의 CAM 작업으로 가공 데이터를 생성한 후 스위스 MIKRON사의 고속 가공기를 이용하여 가공하였다. 본 연구에 적용된 플라스틱용기 금형의 경우 특성상 형상이 자유 및 복합곡면으로 이루어져 있고 대량생산 및 금형의 수명을 연장시키기 위하여 코어부에 열처리 공정을 거치기 때문에 정밀가공에 어려운 점이 있었다. 따라서 CAM 작업시 각 가공 공정에서의 절입량(depth of cut)을 10 μ m로 균일하게 하여 기계 및 공구의 손상을 최소화 하도록 하였고, 공정별 공구 선정 및 가공 피치(pitch)를 조절하여 높은 정밀도와 조도를 확보 하였다.



Fig. 7. Mesh shape of pinion



(a) Max. Von-Mises Stress



(b) Max. Displacement

Fig. 8. Structural analysis result of pinion

Table 1. Material Properties of SM45C

Elastic Modulus	205 GPa
Poisson Ratio	0.29
Yield Stress	620 MPa

Table 2. Von-Mises Stress and Displacement

	Rack	Pinion
Max. Von-Mises Stress	5.4 kPa	1.1 MPa
Max. Displacement	1.006E-06 mm	1.481E-04 mm

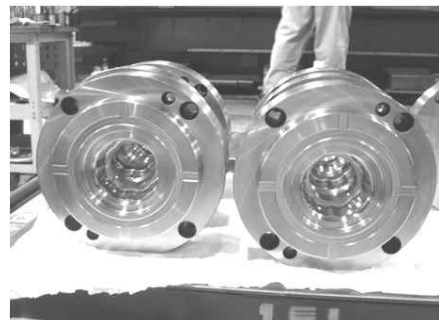


Fig. 9. The manufacturing of cavity and core using high speed machining center

5.1. 시험성형

스택금형 가공 및 조립 공정 완료 후 시험성형을 수행하여 금형의 원활한 작동 여부, 성형품의 사이클 타임 및 품질 등을 점검하였다. 시험성형에 사용된 사출기는 두께가 얇은($t=0.8$) 본 제품의 특성을 고려해 우진 세렉스사 MS250 고속전동사출기를 사용하였고 수지는 PP(SJ560S)를 사용하였다. 시험성형에 적용된 제품도는 Fig. 10에 나타냈으며, Table. 3은 대표적인 사출성형 인자의 조건을 나타내고 있으며, Fig. 11.은 성형된 제품을 도시하고 있다.

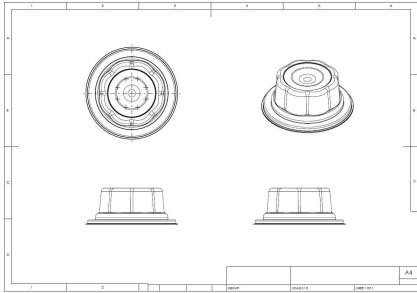


Fig. 10. Drawing of Plastic Case

Table 3. Injection Molding Conditions

	Unit	Value
Melt Temp.	°C	240
Mold Temp.	°C	70
Injection Pressure	MPa	5

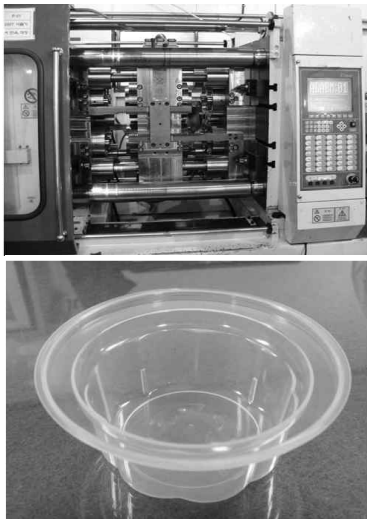


Fig. 11. Injection molding machine and product using stack mold

6. 결론

고생산성 스택금형 개발을 위한 선행연구로 2Level × 4Cavity 금형을 설계/제작 하고, 모션해석을 통하여 스택금형의 동역학적 안정성을 검증한 본 연구의 결론은 다음과 같다.

- (1) 모션해석 결과를 이용하여 주요 구동 부품들의 구조해석을 수행 하였으며, 그 결과 최대 유효응력이 랙에서 5.4kPa, 피니언에서 1.1MPa로 계산되었다. 이는 사용 재료인 SM45C의 항복응력 620 MPa에 비하여 상당히 작은 수치이며, 스택금형의 운동으로 인한 구동부 주요 부품에서 구조적인 문제가 없음을 확인 하였다.
- (2) 고속가공기를 이용하여 복합, 자유곡면의 형상을 가지고 있는 캐비티와 코어를가공하였으며, 형상정밀도 측정결과 10 μ m 이내로 양호한 결과를 나타내었다.
- (3) 제작된 금형을 이용하여 시성형을 수행하였으며, 수행결과 제품의 품질 및 형상에 문제가 없음을 확인하였다.
- (4) 향후 4Level×32Cavity등 초고생산성 스택금형의 작동 구조 및 성형에 대한 추가적인 연구가 필요하다 사료된다.

후기

본 연구는 산업자원부에서 주관하는 『우수제조기술연구센터(ATC) 기술개발사업』의 일환으로 진행중인 『초고생산성 CAP Stack 금형요소 기술 개발』 과제의 연구비 지원에 의하여 이루어졌습니다.

참고문헌

- 1) 허영무, 신광호, 윤길상, 정우철, 2004, 기능성고분자 성형용 마이크로 금형 시스템, 한국소성가공학회 추계학술대회 논문집, pp.267-270
- 2) 신장순, 황순환, 김유진, 정귀재, 허영무, 윤길상, 2006, 기능성 용기 2Level 스택 금형개발, 한국정밀공학회 춘계학술대회 논문집, pp.575-576
- 3) Menges, Morhren, 1986, How to make injection molds, NewYotk, Hanser
- 4) Hotz A, 1978, Multi-Level injection molds, Plastverarbeiter, Vol29, pp.185-188