

CNC 머시닝을 이용한 Spin-Casting 공정개발에 관한 연구

박주성*(부산대 대학원 지능기계공학과), 양화준**, 장태식**, 이일엽** (현대자동차 울산시작팀),
이석희*** (부산대학교 기계공학부)

A Study on Development of Spin-Casting Process with CNC Machining

J. S. Park* (Graduate School PNU), H. J. Yang**, T. S. Jang**, I. Y. Lee** (Ulsan Prototype manufacturing Team,
Hyundai Motor Company), S. H. Lee*** (School of Engineering, PNU)

ABSTRACT

Spin casting is one of useful methods to manufacture metal parts with low mold cost and short delivery time. But the silicon rubber based conventional method has several problems such as poor dimensional accuracy, limitation in casting materials and its dependency on speciality in mold making process.

To solve those problems, this paper suggests a steel based mold making method using direct CNC machining and the experimental results shows that the parts from the developed method has better dimensional accuracy and surface roughness than those from the conventional method.

Key Words : Spin-Casting(스핀캐스팅, 회전주조), Dimensional Accuracy(치수정밀도), CNC Machining(CNC 가공)

1. 서론

소득 수준의 증가와 인터넷을 필두로 하는 사이버 환경의 대중화로 인한 정보습득의 편의는 상품을 구매하는 소비자의 취향을 급속도로 변화 시켜 왔으며 구매 제품 선택에 대한 안목을 한 단계 높여 왔다. 이에 따라 좀 더 다양한 제품을 적절한 시점에 시장에 투입하는 것이 기업생존의 중요한 관건으로 대두되었으며, 이런 변화에 능동적으로 대처하기 위해 각 기업에서는 제품 개발의 초기 단계에서부터 양산단계에 이르는 기간을 획기적으로 단축시키기 위한 노력을 경주하고 있다. 제품 개발 초기 단계에서 많은 요소들이 연구, 검토, 검증되는 동시공학적인 개발 및 생산 시스템은 기업들의 이러한 노력에 대한 결과를 좀더 알차게 해 주는 효과적인 방법중의 하나로 평가되고 있다..

최근들어 자동차업계에서도 시작부품개발에 대한 연구가 활발히 이루어져 회전주조(Spin-Casting), 블로우성형(Blow Molding) 등의 공정⁽¹⁾⁽²⁾에 다양한 폐속조형기술을 접목시키는 다양한 시도가 이루어지고 있는 추세이다. 이러한 방법을 통해 신속하게

만들어진 시작부품을 디자이너 또는 설계자에게 제공하거나 시작차량에 장착하여 조기에 검증하게 함으로써 신속하고 효과적인 제품정보의 변경을 가능케 할 수 있으며, 원활하고 유기적인 제품개발 초기 단계의 설계변경은 양산차량에서 발생되어 심각한 영향을 미칠 수 있는 문제점을 미연에 방지할 수 있는 밑거름이 된다.

본 논문에서는 CNC 머시닝을 이용하여 스펀캐스팅용 몰드를 제작함으로써 기존의 실리콘몰드가 가지는 치수 정밀도문제, 변형, 성형가능 소재의 한계를 극복하고 몰드 제작 시간을 획기적으로 단축할 수 있는 새로운 공정을 제안하고자 한다.

2. 스펀캐스팅

기존의 스펀캐스팅은 회전주조기내에 원형 금속판(Mold Cover Plate and Mold Clamp plate)을 가진 금속플레이트 사이에 미리 제작한 실리콘 몰드를 삽입한 후 회전하여 원심력을 발생시킴으로써, 탕구(Sprue)를 통해 주입된 용융 상태의 금속 또는 플라스틱 수지가 게이트(Gate)를 거쳐 몰드 내부의 캐

비티(Cavity)에 충전되도록 하여 경화, 탈형 후 마스터 모델과 같은 형상의 부품을 만들어 내는 성형 기구를 가진다.

몰드를 제작하기 위한 소재로는 일반적으로 열경화성 실리콘과 RTV 실리콘이 주로 사용되며, 몰드의 제작과정은 Fig. 1 과 같은 순서로 구성된다.

캐버티 형성을 위해 이용되는 마스터 모델은 수작업이나 CNC 가공에 의해 많이 제작되어 왔으나 최근들어 3 차원 설계데이터의 기반의 개발환경과 쾌속조형 장비 보급의 급증에 따라 SLA, SLS, LOM 등을 이용한 마스터 모델⁽³⁾⁽⁴⁾의 제작이 보편화 되었다. 쾌속조형 장비에 의해 성형된 부품은 그 특성상 직접 마스터모델로 사용하기 어려우므로 표면 조도를 향상시키기 위한 별도의 후처리 공정이 필요하다. 다음으로 (b)와 같이 원형 프레임에 모델링용 점토를 평평하게 펴 깔아 놓은 후 마스터 모델을 미리 선정한 위치에 놓고 몰드의 파트라인을 생성하기위해 점토를 마스터모델에 표시된 파트라인과 정확하게 일치하도록 한 후 고정핀(nut)을 삽입한다. 파트라인을 생성한 원형 프레임 위에 RTV 실리콘용액의 주재 및 경화제를 혼합하여 탈포한 후 (c)에서 보이는 바와 같이 프레임 위에 서서히 부어 주면서 하형 몰드를 제작하는데 일반적으로 약 12 시간정도의 경화 시간이 필요하다. 하형의 제작이 완료되면 몰드를 반전시켜 모델링용 점토와 고정핀을 완전히 제거한 후에 하형 제작시와 동일한 방법으로 RTV 용액을 부어서 상형 몰드를 완성한다.(d) 그리고 상형, 하형 몰드에서 마스터모델을 제거하고 탱구, 게이트, 인게이트와 에어벤트를 전용 기구를 사용해 새겨넣는다.(e) 그 후 회전주조기로 몰드를 옮겨서 용융아연 또는 화학반응 경화성 수지 등을 몰드가 회전중일 때 부어넣어 만들고자 하는 성형 부품을 얻어내게 된다.(f)

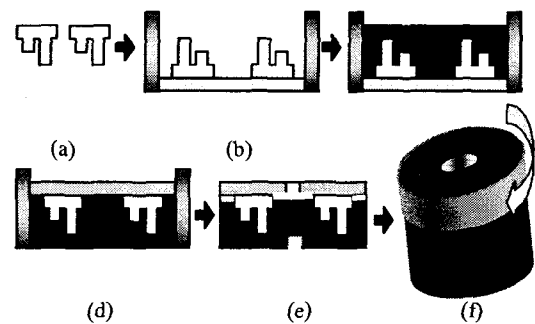


Fig. 1 Schematic diagram of RTV silicone mold

3. 신규 공정의 제안

스핀캐스팅법을 위해 기존에 적용하던 소프트몰드(실리콘몰드)를 제작과정과 본 논문에서 새롭게

제안하는 하드몰드(금속몰드) 제작공정을 Fig. 2 에 비교하여 나타내었다. 신규 몰드 제작법은 기존의 몰드 제작법과는 달리 마스터 모델을 사용하지 않고 3 차원 설계 데이터를 기반으로 성형 부품의 형상, 성형 소재를 고려하여 파트라인 및 수축률을 적용하고 이를 바탕으로 적당한 소재를 CNC 가공, 사상한 후 성형하는 비교적 간단한 방법을 채용한다. 그에 반해 기존 제작 방법에서는 마스터모델을 수가공, 쾌속조형, CNC 등을 이용하여 제작한 후 그 표면을 미려하게 후처리 한 후에 실리콘 몰드를 만들어야 하므로 시간이 많이 소요되고 제작일정과 비용이 추가로 소요된다. 또한 기존 제작 방법에서는 게이트의 크기 및 에어벤트의 크기, 위치와 같은 전반적인 몰드 구조가 작업자의 경험을 토대로 결정되고 제작 되므로, 공정 자체에 대한 신뢰도 및 안정성의 확보가 어렵고 몰드 제작자의 숙련도에 따라 성형품질의 차이가 큰 단점이 있었다. 본 논문에서 제안하는 방법을 활용하면 기존 몰드 제작에 사용되는 실리콘 보다 내열 온도 및 강도, 경도와 같은 기계적 특성이 훨씬 우수한 S45C 와 같은 소재를 몰드 재질로 사용할 수 있으므로 기존의 공정에서 발생할 수 있었던 성형 소재의 제한, 연속 성형시 몰드 변형 및 그에 따른 성형품의 형상 왜곡 및 치수오차 발생, 몰드 소재의 낮은 열 전도도에 의한 성형 사이클 타임의 장기화, 몰드당 성형 가능 횟수의 한정에 따른 몰드 제작 수량의 증가 등의 문제를 해결할 수 있다.

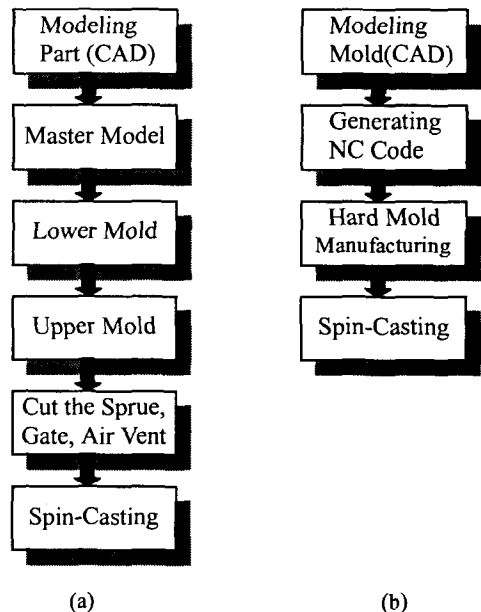


Fig. 2 Comparison between conventional method(a) and suggested method(b) to manufacture mold for spin casting

4. 실험 및 결과

스핀캐스팅을 위해 사용하던 기존의 실리콘형 몰드와 본 논문에서 새롭게 제시하는 스틸형 몰드로부터 성형된 부품의 치수정밀도를 비교하기 위하여 Fig. 3 에 제시한 것과 같은 형상의 시편을 각각의 방법으로 제작하였다. 전체적 치수를 고르게 평가할 수 있도록 8 개소의 두께 및 2 개소의 길이 측정점을 갖도록 하였다.

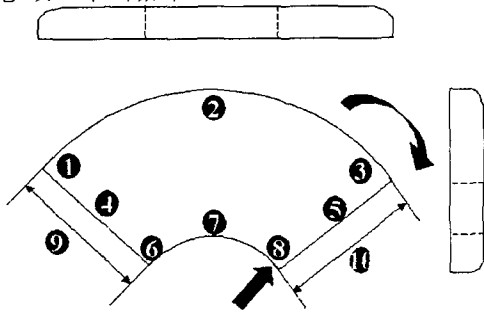


Fig. 3 Feature of the designed test geometry and measuring points.

측정시편은 두께가 10 mm, 내경이 30, 외경이 80 mm 이며, 8 번 주위의 있는 화살표 표시 부위에 게이트가 위치하고 있다. 성형 소재의 비중 변화에 따른 몰드별 성형 부품의 치수 거동을 고려하기 위해 스핀캐스팅 전용 플라스틱 소재인 POR-A-KAST MARK-3 과 Polyurethane, 그리고 비중이 크며 금속 성형품을 얻기 위해 가장 많이 사용되는 아연의 3 종을 선택하여 실험하였다. 그러나 비중이 높은 부품의 성형을 위해 고안된 스틸형 몰드의 경우에는 플라스틱 소재의 성형 후 치수 변화 패턴이 의미를 가지지 않으므로 5, 10 mm의 시편에 대해 아연으로 성형한 결과만을 가지고 분석하기로 한다.

우선 Fig. 4에 보이는 실리콘형 몰드에서 성형된 부품의 치수 측정 결과를 살펴보기로 한다.

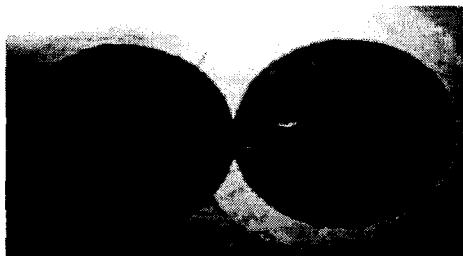


Fig. 4. Feature of the silicon based mold with conventional method for spin casting

POR-A-KAST MARK-3 과 Polyurethane 과 같은 플라스틱 소재는 별도의 교반 장치 없이 간단한 도구를 사용하여 혼합하였고, 성형기의 클램핑압력은 30psi, 회전수는 500rpm, 성형시간은 10 분으로 설정하였다. 그리고 자연경화 되는 특성을 가진 아연의 경우에는 전기로에서 430℃로 가열하여 아연을 용융한 후 회전속도는 300rpm, 성형 시간은 1 분으로 설정하였다.

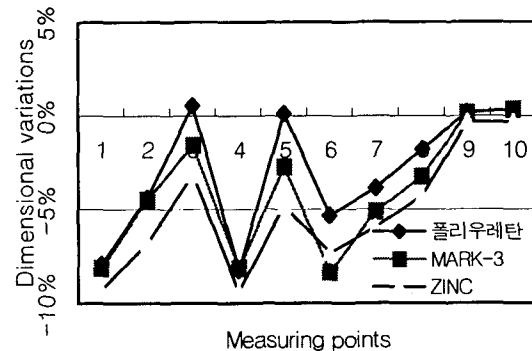


Fig. 5 Dimensional variations of the selected points for the silicon mold based spin casting parts.

Fig. 5 에 나타나 있는 시편의 두께 및 길이 측정하여 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

첫 째, 비중이 큰 아연을 성형 할 경우가 비중이 낮은 Polyurethane 보다 두께 변화량이 컸으며, 이는 회전 운동시 비중에 비례하여 발생하는 원심력에 기인한 것으로 판단된다.

둘 째, 측정 부위 전체적으로 성형품 소재의 일반적 수축 범위 이상의 두께 감소가 발견 되었는데, 몰드를 구성하는 소재 특성상 클램핑 압력에 의해 변형이 생겼기 때문으로 사료된다.

세 째, 몰드 회전 방향을 기준으로 할 때 뒤 쪽에 있는 1, 4, 6 에서 많은 두께 변화가 발견 되었는데 성형시 805030201 의 순서로 소재가 충전 되므로 성형 공정 후반에 충전 되는 부위에 있어서는 충전 압력이 저하되어 생기는 현상으로 판단된다. 이러한 문제를 해결하기 위해 회전수를 높여서 실험을 수행 하였으나 거의 유사한 결과를 얻었는데, 회전수를 높이면 몰드 내부로 유입되는 액상 소재의 속도가 빨라지게 되어 최종 충전 부위의 성형 압력은 증가 하지만, 상형과 하형의 형합 위치가 서로 어긋나는 쉬프팅(shifting) 현상이 발생하여 캐비티 내부에 부분적 함몰이 발생하 때문인 것으로 판단된다. 그리고 이 실험을 위해 고안된 시험편이 10mm 정도로 두껍게 설계된 점도 캐비티 함몰의 중요한 영향이라 사료된다.

네 째, 회전 방향을 고려할 때 가장 먼저 충전되는 3, 5, 8 의 세 부위를 비교한 결과 3, 5 번 지역의 치수 변화가 8 번 지역보다 적음을 알 수 있었는데, 몰드의 내측에 위치할수록 회전에 의한 원심력이 작아져서 충분한 성형압력을 얻기 힘든 것이 그 원인인 것으로 판단된다.

실리콘 몰드의 이러한 문제점들을 개선하기 위해 본 논문에서 제시한 CNC 머시닝을 이용한 스틸몰드와 이로부터 제작된 성형부품의 치수 측정 결과를 Fig. 7 에 나타내었다. 앞서 언급한 바와 같이 스틸 몰드는 주로 비중이 높은 금속 소재를 성형하기 위해 고안되었으므로 5, 10 mm의 두 가지 두께를 갖는 시편에 대한 성형결과만 나타내기로 한다.

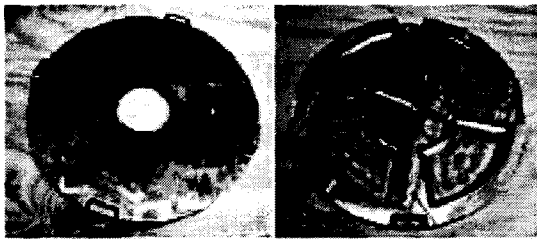


Fig. 6 Feature of the steel based mold with newly suggested method for spin casting

실험의 신뢰도를 높이기 성형 방향을 제외한 나머지 실리콘 몰드 성형에 적용하였던 것과 동일하게 선정 하였다.

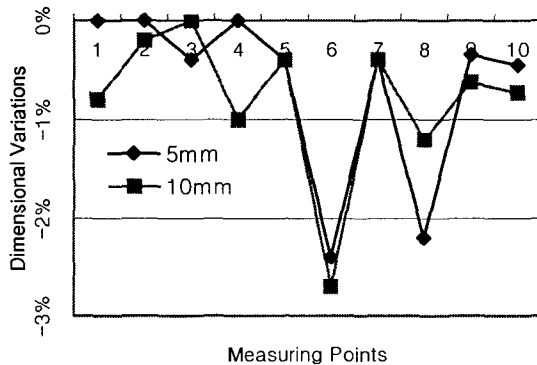


Fig. 7 Dimensional variations of the selected points for the steel mold based spin casting parts

스틸형 몰드로부터 제작된 부품의 치수변화를 실리콘 몰드에서 나온 부품과 비교하면 전체적으로 많은 향상이 있음을 알 수 있다. 이런 결과는 몰드용 소재인 스틸이 클램핑 압력에 의한 캐비티의 국부적인 함몰이나 쉬프팅 현상을 방지한 때문인 것

으로 판단된다. 그리고 회전 방향을 고려할 때 가장 먼저 충전되는 1, 4, 6 의 세 부위를 비교한 결과는 실리콘 몰드에서 나타난 것과 거의 유사한 경향을 나타내었으나, 몰드 특성상 캐비티 부위의 함몰 및 쉬프팅은 발생하지 않으므로 성형시 몰드 중심으로부터의 거리에 따른 성형압력의 위치별 차이가 주된 원인일 것으로 판단된다.

5. 결론

(1) 기존의 스피ن캐스팅이 가지는 6 단계 몰드 제작 공정을 4 단계로 단축하여 일정 단축 및 몰드 제작비용의 효과가 기대되는 새로운 몰드 제작법을 제시하였다.

(2) 마스터모델의 제작과 후처리 공정, 실리콘 몰드의 제작 및 스피ن캐스팅 공정에서의 원심력에 의한 두께변화, 클램핑 압력과 쉬프팅 등의 문제점을 해결하여 부품정밀도가 우수한 제품을 생산할 수 있음을 보였다.

(3) 스피ن캐스팅 성형법은 기존의 다이캐스팅을 대신하여 시작형 금속제품을 단기간에 제작한다는 이점을 가지고 있었으나, 몰드 소재 특성상 실리콘의 내열온도 이하의 용융온도를 가진 한정된 금속에 대해서만 성형이 가능하였다. 그러나 본 논문에서 제안하는 방법을 적용하면 성형 소재의 용융온도를 감안하여 몰드 소재를 선택할 수 있으므로 다양한 소재에 대한 성형이 가능할 것으로 판단된다.

후 기

본 논문에 필요한 실험을 위해 수고를 아끼지 않으신 보람하이테크 김광석 전무님께 감사드립니다.

참고문헌

1. 장태식, "RP 를 이용한 자동차 시작품개발기술", 부산 경남 자동차 테크노 센터, pp33-38, 1998
2. 양화준, "시작차용 의장부품 성형을 위한 하이브리드 림몰드개발", 제 18 권, 제 3 호, pp75-83, 2001
3. Lee Mosemiller & Len Schaer, "Combining RP and Spin-Casting for the automotive industry", Prototyping Technology Internatioal'97
4. Lenonard Schaer, "Assists automotive product designers in developing fully functional metal and plastic test parts from SLA model", Rapid Prototyping&Manufacturing'94