

레이저퓨징기술을 이용한 고효율 냉각채널코어 제작에 관한 연구

A Study of Manufacturing of High Efficiency Cooling Channel Core by Laser Cusing Technology

*# 이성희¹, 고영배¹, 이종원¹

*# S. H. Lee(birdlee@kitech.re.kr)¹, Y. B. Ko¹, J. W. Lee¹

¹ 한국생산기술연구원 금형·성형기술연구부

Key words : Direct Metal, Laser Cusing, Rapid Tooling, Conformal Cooling Channel, Injection Molding

1. 서론

최근 들어 사출성형분야에서도 에너지절약 및 최적냉각에 대한 중요성이 계속적으로 부각되고 있다. 이를 위해 Direct Tooling 기술의 확대 적용이 진행되고 있는 실정이다. 과거 쾌속조형으로 불리는 쾌속성형(Papid Prototyping:RP)은 약 10년 전에 개발되어 그 동안 많은 관심을 끈 제품 성형방법중에 하나이다. 이 방법은 제품 설계에서부터 시제품 제작과 완제품의 대량생산까지 도달하는데 필요한 시행착오를 컴퓨터를 기반으로 통합하면서 제품 생산시간을 단축하는 것을 특징으로 하고 있다. 이러한 성형방법은 원래 고분자나 금속 모형을 만드는 목적으로 출발하였기 때문에 금속과 기계 분야에서 지속적으로 발전하였다¹⁻³.

이러한 장점으로 인하여 최근에는 사출성형 금형 개발 분야에서 제품의 생산성 향상과 변형 최소화를 위하여 형상 적응형 냉각채널(Conformal Cooling Channel)을 가진 금형과 이중 재료 혼합식 금형개발에 대한 쾌속툴링(Rapid Tooling:RT) 공정의 적용에 대한 연구가 활발히 진행이 되고 있다⁴⁻⁸. 연구초기에는 Direct Metal Laser Sintering(DMLS)기법을 이용한 쾌속툴링 기술이 활발히 진행되었으며 기존 기계가공에 의한 공법보다 소재의 낭비가 없으며 환경친화적인 방법으로 금형형상 및 냉각채널을 제작할 수 있어 많은 주목을 받았다. 하지만 공정의 특성상 실제 사출성형에 적용하였을 경우 냉각채널의 누수 및 금형표면의 크랙등의 문제가 빈번하게 발생되었다. 이러한 문제점을 극복하고자 최근에 주목받고 있는 기술중 하나는 레이저를 이용한 금속분말을 3차원적으로 용융 및 급속 응고하는 기술로 냉각채널의 누수 및 크랙등의 문제가 많이 향상되었다.

본 연구에서는 레이저퓨징 기술(Laser Cusing Technology)⁹을 적용한 자동차용 Foot Brake Pedal용 사출금형 제작에 대한 연구를 수행하였으며, 최적냉각회로 설계 및 제작측면에서 살펴보았다.

2. 플라스틱인서트사출성형

본 연구에서는 자동차용 Foot Break Pedal Ass'y의 플라스틱 인서트 사출성형기술에 대해 살펴보았다. 부품 형상은 Fig. 1에 제시하였으며, 그림에서 보듯이 상측에 플라스틱 인서트가 존재하는 구조이다. 부품의 전체적인 크기는 약 40mm x 36mm x 25mm이며, 사출성형에서 가장 중요한 치수인 부품 두께는 3mm에서 5.5mm로 위치에 따라 가변적이고, 일반적인 사출성형품 두께에 비해 상대적으로 두꺼운 형상이다. 결과적으로 이러한 두께 편차로 인해 사출성형과정에서 수축편차와 같은 많은 문제가 발생될 것으로 판단된다. 즉, 대상부품의 두께가 두껍고 불균일하며, 언더컷구조로 강제 취출이 필요하므로 사출성형시 냉각에 많은 문제가 발생될 수 있다. 따라서 균일한 제품 성형 및 생산성 향상을 위해서는 사출금형의 냉각구조에 대한 면밀한 검토가 이루어 져야 한다. 이를 위해 본 연구에서는 금형표면 온도를 균일하게 냉각시킬 수 있는 Conformal Cooling Channel 설계, 열전달해석, 유동해석 및 레이저퓨징 가공기술에 대해 살펴보았다. 한편 사출성형에 사용된 인서트 플라스틱과 페달 플라스틱 재료는 각각 Polyram Ram-On Ind LP의 PPH308G8로 PP와 Bayer Material Science의 Desmopan DP 5080A로 열가소성 엘라스토머(TPU)이며, 물성자료는 Table 1에 제시하였다. 사용된 고분자 수지는 실제 사출성형에 가장 유사한 것으로 유동해석 프로그램 DB에서 선정하였다.

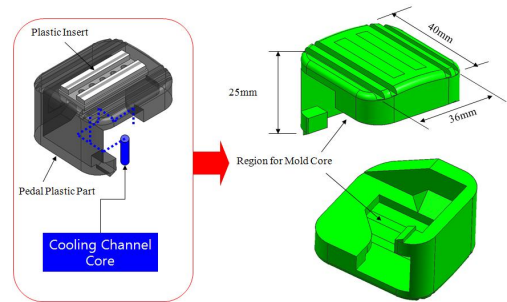


Fig. 1 Geometry of foot break pedal ass'y model with plastic insert for injection molding

Table 1 Material properties and processing parameters for plastics

Part	Item	Unit	Value
Insert Part	Transition Temp.	°C	123
	Ejection Temp	°C	113
	CTE(α_1)	1/°C	1.896e-05
	CTE(α_2)	1/°C	5.083e-05
Pedal Part	Mold Temp.	°C	40
	Melt Temp.	°C	220
	Abs. Max Melt Temp.	°C	260
	Ejection Temp.	°C	50
	Transition Temp.	°C	125
	Specific Heat(Cp)	J/kg·°C	1700(at 205°C)
	Thermal Conductivity(k)	W/m·°C	0.139(at 205°C)

3. Conformal Cooling Cavity Core 설계

금형설계 CAE 평가에 앞서 본 절에서는 Fig 1에 제시된 모델의 금형코어 냉각구조에 대해 여러가지 설계 방안을 고려하였으며 Fig. 2에 제시하였다. 즉, 금형구조상 하측에 사용될 코어형상이며, 냉각채널이 무시된 단순코어 블록이 사용될 수도 있으나, 결과적으로 연속적인 사출성형과정에서 코어부에 열이 축적되어 긴 사이클 타임이 발생될 수 있으므로 Fig. 2에 제시된 것과 같은 냉각채널형상들을 고려하였다. 그러나 그림에서 보듯이 삼차원적으로 복잡한 냉각회로 형상을 기존의 기계가공방식으로 제작하는 것은 불가능하므로, 본 연구에서는 레이저퓨징 가공방식을 적용하여 냉각회로를 형성하고자 하였다.

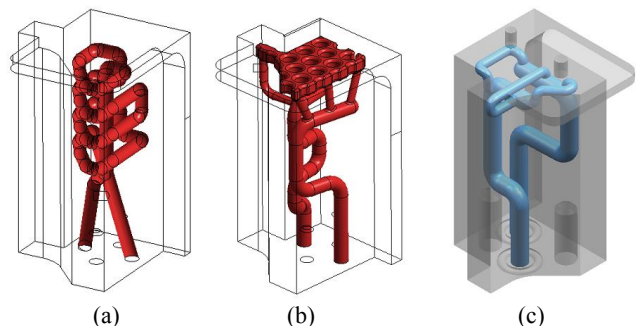


Fig. 2 Various 3D shapes of conformal cooling channel for insert core block in injection molding system

4. 금형설계 CAE 평가

본 절에서는 Fig. 2에 제시된 냉각채널 형상에 대한 열전달 해석, CFD(Computational Fluid Dynamic) 해석 및 사출성형해석을 수행하여 주어진 범위에서의 최적의 Conformal Cooling Channel 형상을 결정하였다. 이러한 일련의 CAE해석과정은 시행착오를 줄여 총 제작비용을 감소시키고, 보다 정밀한 사출성형을 가능하게 한다.

가) Conformal Cooling Core의 단순 열전달 해석

앞 절에서 제시된 Conformal Cooling Channel에 대해 채널 표면에 50℃의 일정한 냉각온도를 부여한 후 열이 전달되는 특성을 살펴보았으며, Fig. 2(b)모델에 대한 대표적 온도해석 결과를 Fig. 3(a)에 제시하였다. 해석에 사용된 코어 재료의 기계적 물성은 E=140GPa, k=14W/m℃이다.

나) Conformal Cooling Core의 CFD 해석

또한 제시된 냉각회로에 유체가 주입되었을 경우 유동이 발생하는 현상을 살펴보기 위해 CFD해석을 수행하였으며, 그 결과를 Fig. 3(b),(c)에 제시하였다.

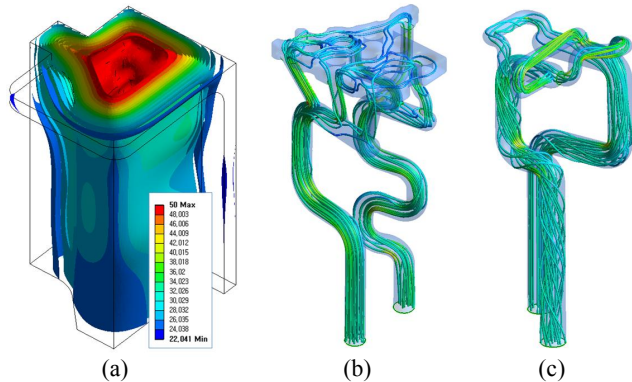


Fig. 3 Steady state temperature distribution(a) and CFD analysis result for various conformal cooling channel core((b) & (c))

비록 Fig. 2에 제시된 냉각회로 형상중 사출성형시 부품의 하측표면온도 균일도확보 측면에서는 Fig. 2(b)의 형상이 Fig. 3(a)의 결과를 기초로 가장 적합할 것으로 판단되었으나, CFD 해석을 수행한 결과 채널자체의 유동흐름에 문제가 있음을 확인할 수 있었다(Fig. 3(b)). 결과적으로 원활한 열전달이 발생될 수 없을 것으로 사료되어 Fig. 2(c)의 모델형상을 제안하였다. 결과적으로 Fig. 3(c)에서 보듯이 상대적으로 원활한 유동흐름이 발생되고 있음을 볼 수 있다. 물론 보다 정확한 해석을 위해서는 열유체 해석이 필요함을 알 수 있다.

다) 정밀사출성형해석

본 연구에서는 제시된 Conformal Cooling Channel에 대한 사출성형해석을 수행하였으며, 코어부 냉각채널이 없는 경우와 Fig. 2(c)의 냉각채널이 고려된 대표적 결과비교를 Fig. 4에 제시하였다. 해석결과는 수지의 취출온도 50도를 최대온도로 제안하여 플롯하여 비교하였으며, 결과에서 보듯이 부품의 중심부에서 제안된 냉각채널이 있는 경우가 양호한 결과를 발생시키고 있음을 볼 수 있다.

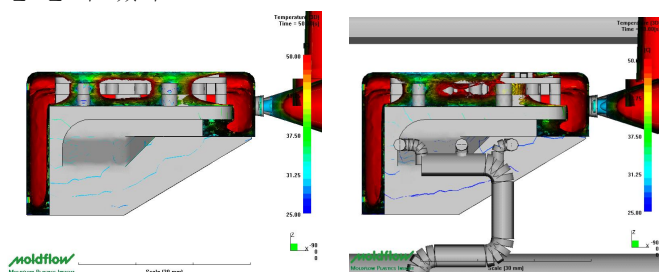


Fig. 4 Temperature distribution with & without cooling channel core for the presented model

5. Conformal Cooling Cavity Core 가공 및 CT측정

지금까지의 해석결과를 기초로 하여 금형설계 및 코어설계를 수행하였고, 가장 핵심금형부품인 코어를 레이저큐징방법으로 직접 제작하였으며, 그 결과를 Fig. 5(a)에 제시하였다. 또한 가공된 냉각채널의 형상 확인을 위해 코어의 CT촬영 결과(Fig. 5(b))를 같이 제시하였다. 최종적으로 설계된 금형조립도를 Fig. 5(c)에서 보여주고 있다.

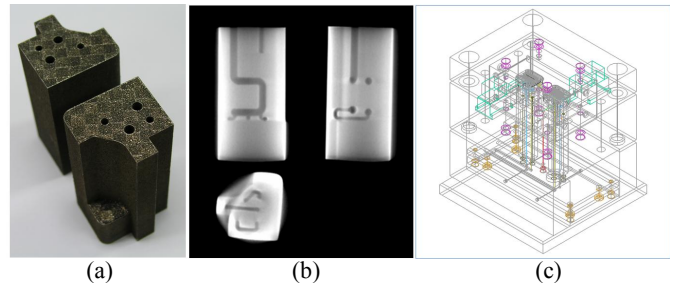


Fig. 5 Manufactured conformal cooling channel core(a), CT result(b) and final design result of mold system(c)

6. 결론

본 연구에서는 자동차용 Foot Break Pedal용 사출금형 제작에 대한 연구를 수행하였으며, 제품 성형 공정상 가장 중요한 코어 냉각부에 대한 금형제작을 위해 레이저큐징 기술을 적용하였다. 정밀한 코어 형상 제작을 위해 사전에 사출성형해석(Moldflow™), 열전달해석 및 Conformal Cooling Channel의 CFD 해석(ANSYS™)을 수행하여 효율적인 냉각회로 채널 설계를 수행하였다. 또한 선정된 냉각회로형상을 레이저큐징으로 실제 코어 제작을 수행하였으며, 냉각채널이 코어부에 정확히 가공되었음을 CT측정으로 확인하였다.

후기

본 연구는 2008년도 중소기업기술혁신개발사업(08-SE-1-0049)에 의해 수행되었으며, 이에 관계자 여러분께 감사드립니다. 또한 연구를 위해 도움을 주신 (주)현대정금 및 KAMI 관계자 여러분께 진심으로 감사드립니다.

참고문헌

1. T. T. Wohlers, "Rapid Prototyping Manufacturing State of the Industry Annual Worldwide Progress Report," Wohler's Associates, Inc., 2006.
2. E. Sachs, "Production of Injection Molding Tooling With Conformal Cooling Channels Using the Three Dimensional Printing Process," Polymer Engineering And Science, Vol. 40, No. 5, 2000.
3. Ronald X. Xu, "Rapid Thermal Cycling with Low Thermal Inertia Tools," Polymer Engineering And Science, v.49 no.2, 2009.
4. <http://www.pomgroup.com>
5. M. Knights, "Rapid Tooling Its Faster in Molding," Plastics Technology online Articles, 1-6, 2003.
6. J. Meckley and R. Edwards "A Study of the Effect of Conformal Cooling on Part Temperature," ANTEC 2008, 2008.
7. J. Meckley and R. Edwards "A Study of the Mold Thermal Characteristics of Cooling Lines in Conventional and Rapid Tooling," ANTEC 2008, 2008.
8. Gebhardt, "Rapid Prototyping," 1st Ed, Hanser, 181-183, 2007.
9. K. Buijs, "Lasercusing will it make removing metal by machine and casting a thing of the past," Stainless Steel World, December, 2005.