

컴퓨터 시뮬레이션을 이용한 고압다이캐스팅 금형의 이형제 분사공정에 따른 금형온도분포 및 금형수명 예측

김동현[†] · 윤상일¹ · 장대정²
(㈜삼기오토모티브^{1,†} · 마그마엔지니어링코리아²)

A prediction of mold temperature distribution and lifetime with different spray process of mold release agent in high pressure diecasting mold using computer simulation

Dong-Hyun Kim[†] · Sang-Il Yoon¹ · Dae-Jung Chang²

Samkee Automotive, Seosan 31919, Republic of Korea^{1,†}

MAGMA Engineering Korea, Seoul 42714, Republic of Korea²

(Received June 11, 2019 / Revised June 27, 2019 / Accepted June 30, 2019)

Abstract: The temperature distribution and lifetime of molds were predicted by computer simulation analysis with various spraying and blowing process of high pressure die casting. After varying the spraying angle and time, the mold temperature, heat exchange and mold life were predicted. As the spraying angle increases, the maximum temperature of the mold decreases, which is because the spraying area increases and the heat exchange with the mold increases. Heat exchange occurs more actively in the blowing process than in the spraying process. This is because the cooling is not performed due to the steam generation. When the spraying angle is 50 degree, the minimum life of the mold is analyzed 200 times. After adjusting the blowing time from 5s to 3s, the minimum lifetime of the mold has been increased almost twice.

Key Words: Computer simulation, Heat exchange, High-pressure diecasting, Mold life, Spraying

1. 서 론

고압다이캐스팅은 고온의 금속용탕을 고속·고압으로 금형에 충전시키는 주조방식으로 빠른 생산속도와 저렴한 가격으로 인해 자동차, 항공기, 선박 등 여러 산업분야의 부품제조에 핵심적으로 사용되고 있는 주조공정이다¹⁾. 고압다이캐스팅에서 금형수명은 생산성을 결정짓는 중요한 요소로서 많은 연구자들이 금형수명을 향상시키기 위한 연구를 수행하고 있다. 금형수명을 향상시키기 위해 금형표면에 요구하는 특성은 내열성, 내마모성, 이형성으로 내열성이나 내마모성은 금형소재의 합금설계를 통

해 많이 연구되고 있으나²⁻⁴⁾ 이형성은 이형제 분사의 방법으로 시행착오를 통해 개선하고 있는 실정이다. 금형의 이형성은 고온의 용탕과 금형이 접촉할 때 제품이 금형에 소착되어 취출 시 제품의 변형이나 결함을 유발할 수 있으므로 반드시 고려해야 할 항목임에도 불구하고 관련 연구가 많지 않다.

또한 열 충격에 의한 크랙 발생으로 금형 손상이 발행할 수 있으며 이는 뜨거운 용탕이 금형의 표면에 닿으면 금형이 온도가 상승하고 온도상승에 따른 대량의 압축응력이 발생한다. 이후 이형제 스프레이 공정에서 금형표면은 수축을 하게 되고 이로 인해 대량의 인장응력이 발생하기 때문이다⁵⁾. 이러한 금형손상은 금형 수리 혹은 추가 제작으로 인한 비용 발생으로 이어지기 때문에 고온으로 유지되는 주입 및 응고 공정 후 이형제 분사공정으로 인한 열

1. (주)삼기오토모티브
[†] 교신저자: (주)삼기오토모티브
E-mail: cozydh@samkee.com

충격을 최소화하는 것이 필수적이다⁶⁻⁷⁾.

본 연구에서는 주조공정해석 프로그램을 이용하여 실제 양산에 적용되고 있는 금형의 이형제 분사공정을 전산모사하여 금형온도 분포를 예측하였다.

2. 해석 방법

2.1. 해석 조건

해석에 사용된 금형은 자동차 벨브바디용 금형으로 재질은 SKD61종이며, 다이캐스팅 주조조건은 Fig. 1과 같다.

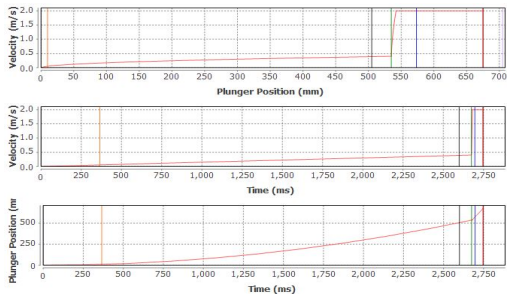


Fig. 1 Shot profile

본 연구에서는 각 위치가 고정된 분사구를 통하여 분사되는 이형제의 분사각도를 10°~ 50°까지 10°씩 변화시켜 금형온도 분포를 해석하였으며 이를 위하여 각 이형제 분사구의 분사위치를 해석 모델 상에 설정하였다(Fig. 2).

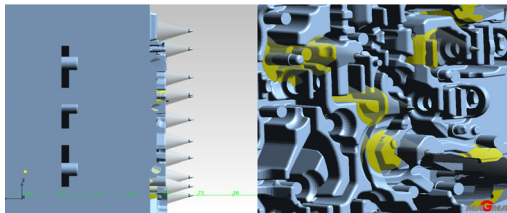


Fig. 2 Spray position and effective range

금형은 고정몰드와 가동몰드 그리고 사이드몰드로 구분되지만 본 연구에서는 해석에 미치는 영향도 및 해석 시간을 고려하여 가동몰드의 온도변화에 대해서만 해석하였으며 이는 현재 선진유럽의 주조해석 트렌드인 '모델의 간소화'에 기인한 것으로서 간소화 모델을 여러번 해석하여 해석결과에 대한 경향성을 확인함으로써 개선방향에 대한 오차를 줄이고자 하였다.

3. 해석 결과

3.1. 분사각도에 따른 분사유효범위

Fig. 3은 각각의 분사각도에 따른 분사유효범위를 나타내고 있다. 10°에서 50°로 분사각도가 변함에 따라 금형에 분사되는 이형제 면적은 넓어지며 50° 분사각도에서 중심부 1곳을 제외하고 중복분사는 나타나지 않았다. 중복분사가 되는 부분은 이형제가 분사되지 않는 부분에 비해 빠르게 냉각될 것으로 예상되며 이로 인한 열응력에 의해 금형손상이 나타날 수 있을 것이다.

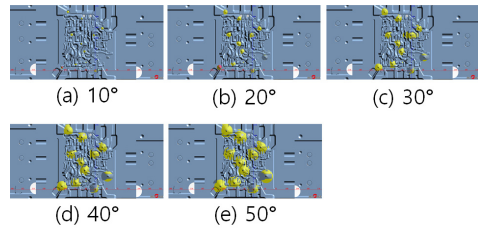


Fig. 3 Spraying area with various angle

3.2. 분사각도에 따른 금형온도분포

Fig. 4는 분사각도에 따른 금형온도분포를 나타내고 있으며 금형의 최대온도는 Table 1에 나타내었다. 그림에서 알 수 있듯이 분사각도가 넓어짐에 따라 전체적인 온도분포가 낮음을 알 수 있으며 따라서 금형의 최대온도도 또한 분사각도가 커짐에 따라 낮아짐을 확인할 수 있다(Fig. 5). 이는 Fig. 3에서 설명한 바와 같이 분사 표면적의 차이에 따라 나타나는 것으로 판단할 수 있다.

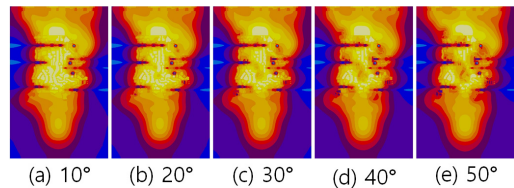


Fig. 4 Mold temperature distribution

3.3. 분사각도에 따른 금형의 에너지 교환

분사노즐을 통한 분사공정은 이형제를 적용하는 spraying과 air를 이용하는 blowing 공정으로 나눌 수 있다. Table 1은 가동몰드와 고정몰드와 제품 등의 다른 부품과의 열 교환 정도를 나타낸 것이다. 가동

금형에서 열을 가장 많이 뺏어가는 부품은 냉각채널이며 이후 고정금형, 제품, 주조방안, 금형준비공정의 순서로 열 교환이 발생한다.

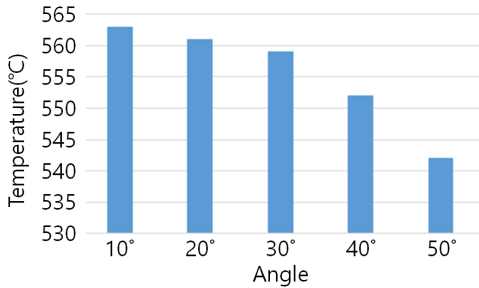


Fig. 5 Maximum mold temperature

Table 1 Heat Balance

Angle	Balance boundary	External	Energy Exchanger(KJ)	Energy Out(KJ)	Energy In(KJ)
10°	Ejector Die	Casting	315.11	3.21	318.32
	Ejector Die	Casting system	324.00	0.19	324.19
	Ejector Die	Permanent Mold	-40.44	90.36	49.91
	Ejector Die	Tempering Channel	-164.48	164.48	
	Ejector Die	Boundary	-36.69	36.69	0.00
	Ejector Die	Spraying	-0.42	0.42	
	Ejector Die	Blowing	-2.33	2.33	
	Sum		394.75	297.67	692.42
	20°	Ejector Die	Casting	320.01	3.25
Ejector Die		Casting system	324.61	0.19	324.80
Ejector Die		Permanent Mold	-39.56	90.19	50.63
Ejector Die		Tempering Channel	-163.99	163.99	
Ejector Die		Boundary	-36.24	36.24	0.00
Ejector Die		Spraying	-2.06	2.06	
Ejector Die		Blowing	-10.70	10.70	
Sum			392.06	306.62	698.68
30°		Ejector Die	Casting	326.75	3.21
	Ejector Die	Casting system	325.09	0.19	325.27
	Ejector Die	Permanent Mold	-37.50	89.29	51.79
	Ejector Die	Tempering Channel	-163.48	163.48	
	Ejector Die	Boundary	-35.73	35.73	0.00
	Ejector Die	Spraying	-4.62	4.62	
	Ejector Die	Blowing	-21.38	21.38	
	Sum		389.12	317.90	707.03
	40°	Ejector Die	Casting	334.70	3.49
Ejector Die		Casting system	326.68	0.19	326.87
Ejector Die		Permanent Mold	-39.05	90.39	51.34
Ejector Die		Tempering Channel	-163.85	163.85	
Ejector Die		Boundary	-35.68	35.68	0.00
Ejector Die		Spraying	-9.79	9.79	
Ejector Die		Blowing	-33.05	33.05	
Sum			379.95	336.43	716.39
50°		Ejector Die	Casting	344.07	3.60
	Ejector Die	Casting system	328.22	0.19	328.40
	Ejector Die	Permanent Mold	-38.30	90.29	51.99
	Ejector Die	Tempering Channel	-162.31	162.31	
	Ejector Die	Boundary	-34.75	34.75	0.00
	Ejector Die	Spraying	-15.26	15.26	
	Ejector Die	Blowing	-47.30	47.30	
	Sum		374.36	353.71	728.07

금형준비공정의 **spraying**과 **blowing**은 열교환의 측면에서는 금형의 온도변화에 상당히 미약한 역할을 하는 것으로 분석된다. 그럼에도 불구하고 제품 혹은 고정금형과 같은 기타 부품은 열을 뺏는 것과 동시에 열을 제공하는 역할을 하는 반면 금형준비공

정은 냉각채널과 같이 순수하게 열을 뺏는 역할을 하는 공정으로 그 역할이 중요하다고 할 수 있다.

Fig. 6은 **spraying**공정과 **blowing**공정에서의 열 교환을 나타내고 있다. 그림에서 볼 수 있듯이 **spraying**공정보다 **blowing**공정에서 더 많은 열 교환이 있음을 알 수 있다. 이는 이형제가 뜨거운 금형 표면에 닿게 되면 이형제가 끓으면서 증기로 이루어진 단열층이 만들어지는 라이덴프루스트 효과(Leidenfrost effect)로 인해 금형의 열 교환이 크지 않은 것으로 판단된다. 이후 뜨거운 증기가 제거되고 **blowing**공정에서 air에 의한 온도저하가 발생하는 것으로 분석된다.

3.4 분사각도에 따른 금형수명예측

분사각도에 따른 금형수명을 예측하였으며 Fig. 7에 나타내었다. 금형수명은 최대 1,638,400회 까지 사용하여도 크랙 없이 견딜 수 있는 것으로 나타났으며 온도분포에 따라 금형수명이 낮은 부분들이 산재하고 있다. 그림에서 알 수 있듯이 금형온도가 상대적으로 낮은 50°분사각도를 가질 때 수명이 낮은 부분이 넓게 분포하고 있으며 특히 분사가 중복되는 중심부의 수명이 낮음을 확인할 수 있다. 이때의 수명은 평균 200회로 분석되었다.

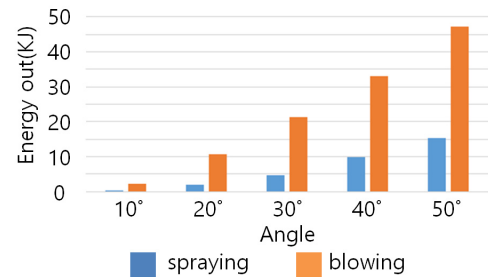


Fig. 6 Energy out at preparation process

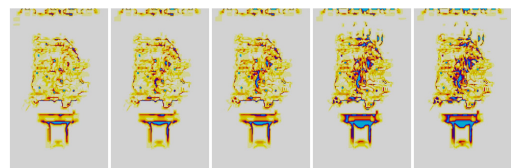


Fig. 7 Die life with spraying angle

즉, 금형제품 전체는 충분히 사용가능하나 해당 부분과 같이 급격히 수명이 줄어드는 부분이 있을

경우 보수 혹은 교체의 작업이 필요하므로 이러한 비정상 부분이 발생하지 않도록 사전에 공정을 최적화하는 것이 필수적이다.

3.5. 분사시간에 따른 금형수명예측

위에서 살펴본 바와 같이 금형의 온도에 영향을 미치는 분사공정은 **blowing**공정으로 기존의 50° 분사각도에 대하여 **spraying**공정은 동일하게 2s로 분사하고 **blowing**공정은 기존의 5s에서 3s로 공정시간을 줄였다. 이는 분사각도 50°일 경우 분사면적은 금형의 온도에 전체적으로 영향을 주는데 충분하지만 **blowing**공정 중 온도저하가 높은 것을 판단하였기 때문이다. Fig. 8은 **blowing**공정시간이 3s 일 경우와 5s일 경우의 금형수명을 비교한 것이다. 그림에서 볼 수 있듯이 3s일 경우 수명이 낮은 구역이 현저히 줄어들었으며 중심부 금형사용회수는 496회로 분석되었으며 이는 5s로 분사할 경우보다 약 2배 이상 수명이 늘어난 결과이다.

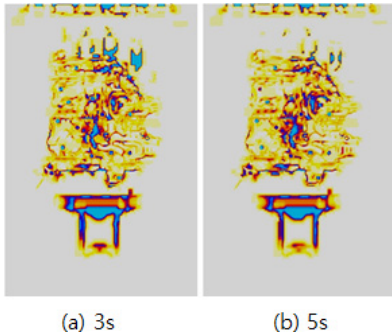


Fig. 8 mold life with various blowing time

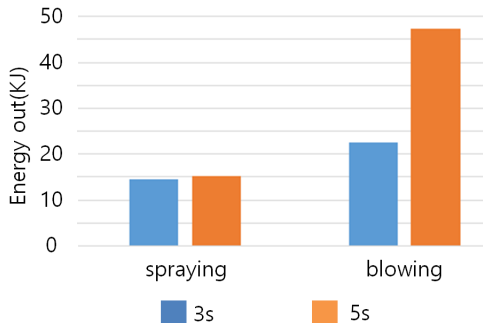


Fig. 9 Indicating heat exchange with blowing time

이러한 결과는 열 교환 결과를 통해서도 확인할 수 있다. Fig. 9는 **blowing**시간에 따른 열 교환을 나

타내고 있다. 그림에서 알 수 있듯이 **spraying**공정은 변함없이 진행하여 열 방출에 큰 변화가 없는 반면 **blowing**공정은 상당히 열 방출이 줄어드는 것을 확인할 수 있다.

이로 인해 금형의 온도저하가 크지 않고 이에 따라 수반되는 열응력이 감소됨으로써 금형수명이 늘어난 것으로 분석할 수 있다. 다만 금형의 온도가 너무 높아지게 되면 소착 등의 결함이 발생할 수 있으므로 최적의 공정을 도출하는 것이 필요하다.

4. 결론 및 토의

고압다이캐스팅의 금형준비공정인 이형제 분사공정에 대한 컴퓨터 시뮬레이션 해석을 통해 금형의 온도분포와 수명을 예측하였다.

1) 이형제 분사각도가 커짐에 따라 금형의 최대 온도는 낮아지고 이는 분사면적이 달라져 금형과의 열 교환이 커지기 때문이다.

2) 금형과의 열 교환을 분석하였으며 금형과 냉각채널과의 열 교환이 가장 높았으며 **spraying**이나 **blowing**공정은 다른 부품에 비해 큰 영향을 미치지 않는다. 그렇지만 제품이나 주조방안 등은 열교환시 열을 방출하는 역할 뿐만 아니라 열을 공급하는 역할을 하는 반면 순수하게 열을 방출하는 역할은 냉각채널과 금형준비공정에서만 발생한다.

3) 금형준비공정에 **spraying**공정보다 **blowing**공정에서 열 교환이 활발히 발생하며 이는 라이덴프로스트 현상에 의해 이형제가 뜨거운 금형에 닿았을 경우 증기발생으로 인해 냉각의 역할이 크지 않기 때문이다.

4) 분사각도가 50°일 경우 금형의 최소수명은 200회로 분석되었으며 이를 향상시키기 위해 **blowing**공정시간을 5s에서 3s로 조절하면 금형의 최소수명이 496회로 약 2배 이상 상승한다. 그러나 금형의 온도가 너무 높아지게 되면 소착결함이 발생할 수 있으므로 최적의 공정을 도출하는 것이 필요하다.

후기

본 연구는 2018년도 정부(산업통상자원부)의 재원으로 한국 산업단지공단 충남지역본부의 지원을 받아 수행된 연구임. (과제번호 : RCC18012, 2018년도 생산기술사업화지원사업)

참고문헌

- 1) Bill Andersen, “Die casting engineering_A hydraulic, thermal and mechanical process”, Marcel Dekker, 2005.
- 2) E. Lugscheider, K. Bobzin, T. Hornig, M. Maes, “Increasing the lifetime of aluminium and magnesium pressure die casting moulds by arc ion plating pvd coatings”, 6th International tooling conference, pp. 979-990, 2010.
- 3) NADCA White paper “Technologies & Strategies for Longer Lasting Die Casting Dies”,
- 4) B. PAWŁOWSKI, P. BAŁA, T. TOKARSKI, J. KRAWCZYK, “Premature cracking of dies for aluminium alloy die-casting”, Archives of metallurgy and materials, Vol. 85, pp. 1275-1279, 2013.
- 5) Abelardo Garza-Delgado, “A study of casting distortion and residual stress in die casting”, Thesis, The ohio state univ., 2007.
- 6) Jame L. Graff, Loathar H. Kallien, “The effect of die lubricant spray on the thermal balance of dies”, Chem-Trend Inc.
- 7) A.J. Norwood, P.M. Dickens, R.C. Soar, R.A.Harris, “Surface temperature of tools during the high-pressure die casting of aluminium”, Proc. IMechE Vol. 221 Part B: J. Engineering Manufacture, 2007.