

흑연정출을 고려한 회주철제 시브제품의 응고해석

류 성 곤

계명대학교 공과대학 재료공학과

Solidification Simulation of Gray Iron Sheave Product with Consideration of Graphite Precipitation

Sung-Kon Yu

Dept. of Materials Engineering, Keimyung University, Taegu 704-701

(1998년 11월 3일 받음, 1998년 12월 4일 최종수정본 받음)

초 록 회주철주물의 응고특성인 흑연정출, 그리고 주조공정인 접종방법, 접종처리 및 접종률 등을 고려하여 시브제품의 응고 해석을 수행하였으며 실제 주조현장에 적용되어 제어가 가능하도록 하는데 그 목표를 두었다. 주조방안 (I)에서는 압탕의 직하부 및 제품의 중심부에서 수축결함의 발생이 예측되었는 바 압탕의 직하부는 압탕목의 응고거동에 그 원인이 있는 것으로 판단되었으며 제품의 중심부는 급탕로가 차단된 것에 기인하는 것으로 분석되었다. 주조방안 (II)에서는 압탕의 직하부에 수축결함의 발생을 방지하기 위해 압탕목의 길이를 줄이고 제품의 중심부에는 추가로 상부개방압탕을 설정하였다. 응고해석의 결과 제품내에 수축공의 발생이 예측되지 않았으며 실제제품과 일치할 이루었다.

Abstract Solidification simulation of gray cast iron sheave product was conducted with the consideration of graphite precipitation during solidification, and of casting processes such as post-inoculation method, treatment and rate, the result of which was aimed to be adopted in the field. In risering design (I), shrinkage cavities were predicted to occur in the part below the risers and center part of the product. While the former defect was considered to be due to the solidification behaviour of riser neck, the latter was due to the feeding channel. In design (II), the length of the riser neck was reduced and one top open riser was attached in the center of the product to prevent the formation of shrinkage cavities, whereby the defect-free product was produced.

1. 서 론

주조공정은 충전, 응고 및 조직 상변화등의 제반 물리적 현상이 수반되는 매우 복잡한 프로세스로서 실험적인 접근에 의한 공정제어는 많은 비용과 시간을 소모하게 되므로 이를 개선하기 위하여 선진업체를 중심으로 컴퓨터 시뮬레이션을 활용하여 주조공정의 이해 및 평가를 할 뿐 아니라 주조방안의 수립 및 주조품의 품질을 확립하는 일이 추진되어 왔다.^{1~3)} 최근 여러종류의 주조전용 소프트웨어가 국내기업 및 연구기관에 급속하게 보급되어 활용되고 있는 추세이다.

회주철 및 구상흑연주철의 경우, 주강과 달리 액상수축후 응고과정중 흑연이 정출되므로 팽창한 후 다시 응고수축 및 고상수축을 하게 된다. 따라서 일반적으로 알려진 열전도도 모델만으로 응고해석을 해서는 회주철의 응고시 발생하는 흑연팽창이 고려되지 않기 때문에 수축공의 정확한 해석이 불가능하게 된다.^{4,5)}

본 논문에서는 회주철주물의 응고특성인 흑연팽창, 그리고 제조공정인 접종방법, 접종처리 및 접종률 등을 고려하여 시브제품의 응고해석을 수행하였으며 실제 주조현장의 주조공정에 적용되어 제어가 가능하도록 하는데 그 목표를 두었다.

2. 응고해석의 방법

2.1 전처리 및 요소생성

해석대상인 시브의 3차원 형상 모델링은 범용CAD인 I-DEAS Master Modeler를 사용하였으며, STL파일 형식으로 변환하여 MAGMASoft의 CAD interface기능을 이용하여 솔리드 데이터를 만들었다. 주형 및 압탕 등의 방안에 대하여는 MAGMASoft의 3차원 modeler인 MAGMApre

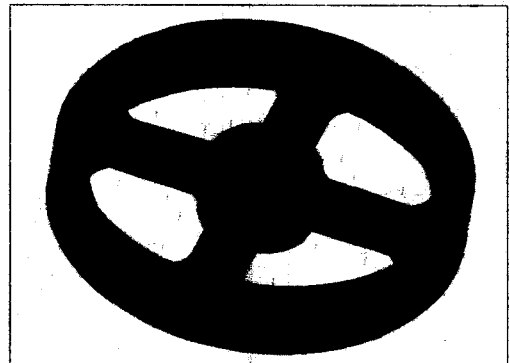


Fig. 1. 3-dimensional solid modeling of sheave product.

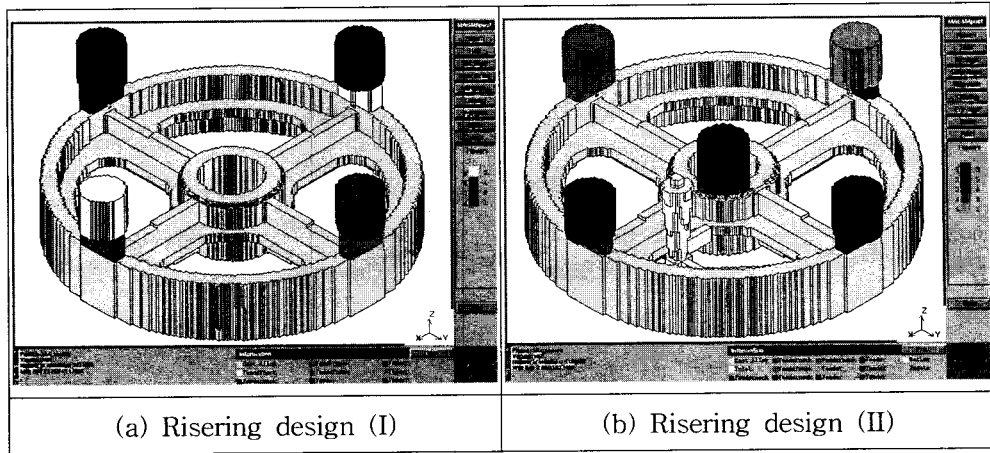


Fig. 2. Mesh generation of two risering designs.

를 이용하여 모델링하였는데 이는 해석결과를 feedback하여 수정방안으로 다시 해석할 경우 형상의 변경을 용이하게 할 수 있기 때문이다. 모델링 결과를 그림 1에 나타내었다.

FVM (Finite Volume Method, 유한체적법)에 의해 요소분할을 행하였다. 본 응고해석에서는 시브제품의 내부에 발생하는 응고수축결함을 제어하기 위해 단계적으로 두차례에 걸쳐 압탕계 및 탕구계를 설정하여 적정방안을 수립하고자 하였으며, 두가지 경우의 요소생성 결과를 그림 2에 나타내었다.

2.2 응고해석조건 입력

주물 및 주형의 물성치 및 초기온도, GC30등급에 대한 합금원소의 성분을 입력하였으며 열물성 변수인 비열, 밀도, 열전도도 및 viscosity 등은 온도의존성을 가지는 물성 데이터를 입력하였다.

충진해석을 위한 입력조건은 ladle에 의한 주입압력에 의해 용탕이 주입되도록 하였다. 즉 $v = (2gh)^{0.5}$ 의 관계식을 적용하였다 (g : 중력가속도, h : ladle에서 주입구까지의 높이, v : 주형내 유입되는 용탕의 유속). 주물-주형, 압탕-슬리브등 이물질간 열접촉면에 대한 열저항을 고려하기 위해 열전달계수를 사용하였는데 역시 온도의존성을 나타내는 데이터로 구성되어 있다. 응고시 발생하는 흑연정출에 의한 팽창의 영향을 고려하기 위해 4가지의 변수 즉, 접종방법 (inoculation method & treatment yield), 주형의 강도 (mold dilatation), 접종물 (graphite precipitation) 등을 정의하였다.

3. 응고해석의 결과

본 해석에서는 2회에 걸쳐 해석을 수행하였는데, 1차 방안에 의해 압탕목의 하부 및 제품내부에서 응고수축결함이 예측되었으며, 이로부터 수정방안을 수립한 2차 방안의 경우 주물내에 응고수축결함이 관찰되지 않았다. 각각의 주조방안에 대한 압탕 및 압탕목의 데이터를 표 1에 나타내었다.

3.1 1차 주조방안

1차 주조방안은 시브상부에만 4개의 상부개방압탕이 설치된 경우이다. 응고해석의 결과가 그림 3에 나타나 있는 바, 응고종료시 압탕직하부 및 제품부의 중심부위에 잔류액상이 존재하고 있음을 알 수 있다. 즉 응고완료후 잔류액상이 존재하는 부위에서 응고수축결함이 발생할 가능성이 있으며 화살표로 나타난 부위가 최종 응고부이다.

회주철의 응고에서는 흑연의 팽창에 의해 응고수축이 보상될 수 있다. 이러한 현상을 고려한 결과는 해석결과에서 'Feeding'으로 표현되는데 그림 4에 나타나 있다. 그림 3의 경우는 흑연팽창을 고려하지 않은 열전도만으로 해석한 결과인데 'Feeding' criterion에 의해서도 동일한 위치에 응고수축결함이 예측되고 있다.

주철주물의 경우 압탕목은 제품내부에 발생하는 응고수축에 많은 영향을 미친다. 예컨대 압탕목의 크기가 너무 클 경우 압탕목의 응고가 늦어져 제품내에서 나타나는 흑연팽창에 의한 압력이 제품내에서만 작용하지 않고 압탕목부를

Table 1. Dimensions of each risering design

		Design (I)	Design(II)	Remark
Riser		70×70h(4set)	70×70h(5set)	Top & Open Riser
Riser Neck		70×20×40h(4set)	70×20×20h(5set)	
Material	Casting	GC30	GC30	
	Mold	Furan	Furan	

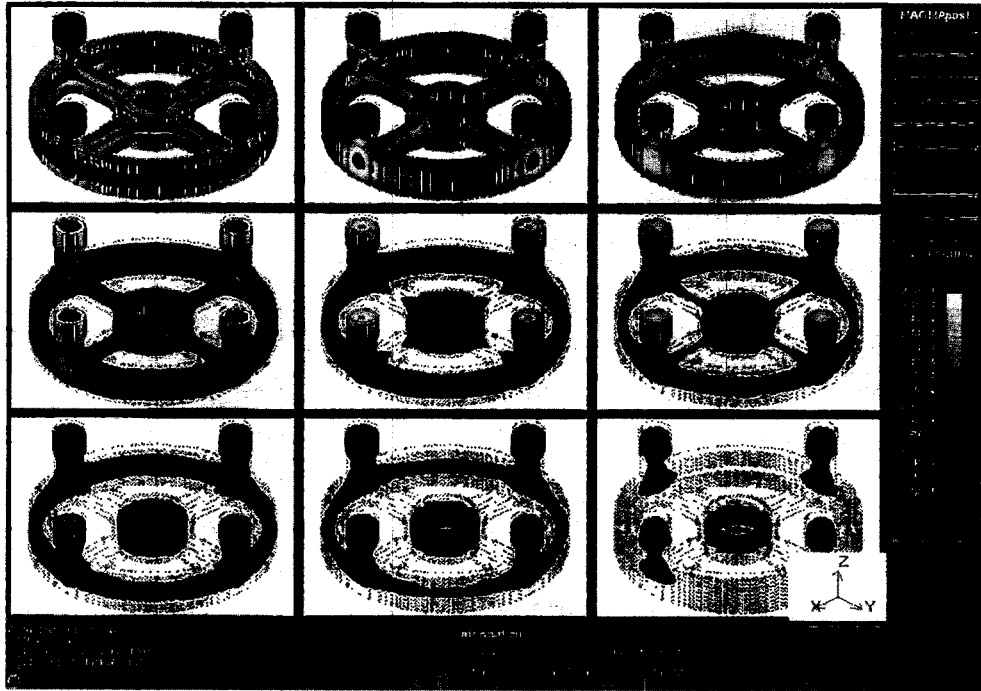


Fig. 3. Progress of solidification with the time.

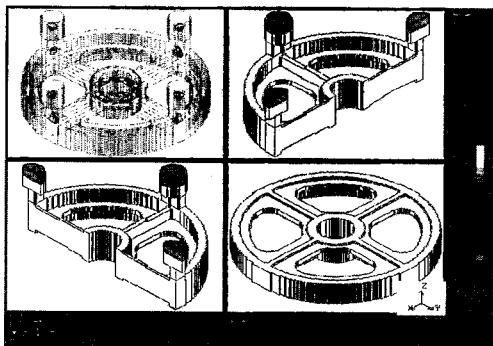


Fig. 4. Shrinkage cavities predicted by feeding criterion in risering design(I).

통해 압탕쪽으로 전달이 이루어져 압탕 직하부에 미세한 응고 수축결함이 나타날 수 있다. 시간에 따른 압탕과 압탕목의 관계를 표 2에 나타내었다. 전술한 바와 같이 응고후반부에서 압탕 직하부에 잔류용탕이 존재하게 되는데, 표 2에 나타낸 바와 같이 압탕목 부위는 아직 응고가 완료되지 않고 있음을 알 수 있다. 따라서 이러한 응고거동으로 인해 압탕 직하부에 응고수축결함이 발생하게 된 것으로 사료된다.

또한 제품 중심부에 나타나는 응고수축결함의 경우 제품 중심부와 압탕과의 급탕경로가 단절된 상태에서 응고가 이루어지므로 이 부위에는 별도의 압탕이 필요할 것으로 예상된다.

3.2 2차 주조방안

1차 응고해석으로부터 압탕목의 크기변경과 제품의 중심

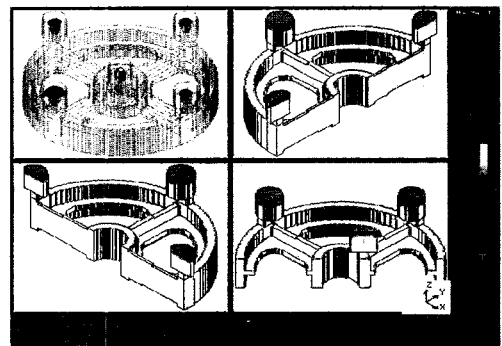


Fig. 5. Shrinkage cavities predicted by feeding criterion in risering design(II).

부에 추가로 압탕설치가 필요한 것으로 예측되었으므로 표 1에 나타낸 바와 같이 2차 수정방안을 설정하였다. 그림 5에 후연팽창을 고려하여 최종 응고수축부위를 예측하는 Feeding 결과가 나타나 있다. 응고해석의 결과 제품내부에 수축결함이 발생되지 않는 것으로 예측되고 있다. 따라서 1차 방안과 비교시 압탕목의 길이를 줄이고 제품의 중심부에 별도의 상부개방압탕을 설치한 2차 수정방안으로 결함없는 제품의 주조가 가능하게 되었다.

표 3에 시간의 경과에 따른 압탕과 제품부와의 응고비율을 나타내었다. 표 3은 1차 방안과는 달리 제품부의 응고가 약 95% 정도 진행되었을 때 압탕목의 응고가 완료되고 있음을 나타내고 있다. 따라서 제품부 보다 압탕목부의 응고가 먼저 완료되므로써 제품부에서 발생하는 후연팽창이

Table 2. Relationship between casting and feeder in risering design(I)

Time	Casting				Feeder 3/4				
	Fraction solid [%]	Shrinkage		Niyama	Fraction solid [%]	Liquid Volume		Feeder Neck open	Feeder active
		[%]	[kg]			[%]	[kg]		
50.7s	10.2501	2.143	1.08750	1000.00	0.05119	83.125	1.52897	YES	YES
1' 24"	20.3355	3.194	1.62095	2.77603	0.92597	74.429	1.37162	YES	YES
2' 7"	30.1894	3.852	1.95467	2.40844	4.32282	66.186	1.22132	YES	YES
3' 0"	40.1020	4.099	2.08002	0.02275	10.2388	58.892	1.08764	YES	YES
4' 3"	50.6862	4.150	2.10565	1.000e-05	16.9522	52.938	0.97799	YES	YES
5' 2"	60.1350	4.062	2.06121	1.000e-05	22.5605	48.882	0.90309	YES	YES
6' 5"	70.3091	3.891	1.97467	1.000e-05	27.8094	45.537	0.84129	YES	YES
7' 16"	80.6452	3.687	1.87084	1.000e-05	32.7906	42.440	0.78408	YES	YES
8' 40"	90.4652	3.460	1.75573	1.000e-05	37.7769	38.964	0.71985	YES	YES
9' 45"	95.0486	3.383	1.71678	1.000e-05	41.9384	35.561	0.65698	YES	YES
13' 14"	100.000	3.330	1.68995	1.000e-05	66.8511	15.094	0.27886	YES	YES
13' 56"	-	-	-	-	71.0941	11.353	0.20974	YES	YES
15' 58"	-	-	-	-	80.3611	2.909	0.05375	NO	YES

Table 3. Relationship between casting and feeder in risering design(II)

Time	Casting				Feeder 3/5				
	Fraction solid [%]	Shrinkage		Niyama	Fraction solid [%]	Liquid Volume		Feeder Neck open	Feeder active
		[%]	[kg]			[%]	[kg]		
2' 55"	10.3532	2.973	1.50971	0.98931	0.00000	81.880	1.50146	YES	YES
3' 59"	20.0497	3.409	1.73146	1.000e-05	0.54624	78.494	1.44318	YES	YES
5' 14"	30.1820	3.550	1.80283	1.000e-05	5.02854	72.622	1.33720	YES	YES
6' 36"	40.0502	3.544	1.80003	1.000e-05	11.8192	65.494	1.20695	YES	YES
8' 05"	50.2085	3.433	1.74328	1.000e-05	21.1005	59.467	1.09608	YES	YES
9' 35"	60.6740	3.181	1.61569	1.000e-05	27.5121	55.044	1.01454	YES	YES
11' 3"	70.7222	2.936	1.49134	1.000e-05	32.9564	51.094	0.94175	YES	YES
12' 36"	80.1835	2.686	1.36391	1.000e-05	37.9424	47.433	0.87426	YES	YES
14' 59"	90.5653	2.425	1.23164	1.000e-05	46.3634	40.710	0.75036	YES	YES
16' 36"	95.0298	2.320	1.17826	1.000e-05	57.6003	30.556	0.56319	YES	YES
23' 48"	99.9990	2.277	1.15642	-	88.5836	0.303	0.00559	NO	YES
24' 17"	-	-	-	-	80.0619	3.269	0.06039	NO	YES

제품부 내에서 효과적으로 수축보상에 적용될 수 있을 것으로 예측되며, 이로부터 1차 방안에서 예측되는 압탕직하부의 응고수축결합이 제거된 것으로 여겨진다.

4. 결 론

범용응고해석코드인 MAGMASoft를 이용하여 회주철 제(GC30 등급) 시브제품에 대한 응고해석을 행한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 회주철의 경우 응고시 발생하는 흑연정출의 영향과 제조공정 등을 고려하므로써 정확한 응고해석결과를 도출할 수 있었다.

2) 주조방안(I)에서 압탕의 직하부 및 제품의 중심부에서 응고수축결합의 발생이 예측되었는 바 압탕의 직하부는 압탕목의 응고거동에 그 원인이 있는 것으로 사료되며 제품의 중심부는 급탕로가 차단된 것에 기인되는 것으로 분석되었다.

3) 주조방안(II)에서는 압탕의 직하부에 응고수축결함의 발생을 방지하기 위해 압탕목의 길이를 줄이고 제품중심부의 경우에는 추가로 하나의 상부개방압탕을 설정하였다. 해석결과는 실제와 동일하였으며 이로 인해 수축결함이 존재하지 않는 제품의 주조가 가능하였다.

감사의 글

1) 본 연구는 1998년도 한국과학재단지정 계명대학교 저공해자동차부품기술개발센터의 연구 기금으로 수행되었습니다.

2) 본 연구의 MAGMA 응고해석에 도움을 준 ATES(주)의 이재경과장 및 최재권주임에게 깊은 감사를 드립니다.

참고 문헌

1. E. Niyama et al., *Journal of Materials Processing Technology*, **63**, 779 (1997)
2. Daming and R.D. Pehlke, *AFS TRANS.*, **99**, 737 (1991)
3. D.K. Banerjee and D.M. Stefanescu, *AFS TRANS.*, **104**, 747 (1996)
4. A. Shapiro, W. Stein and P. Raboin, *Modeling of Casting, Welding and Advanced Solidification Processes*, VI, 493 (1993)
5. I. Ohnaka and J.D. Zhu, *Modeling of Casting, Welding and Advanced Solidification Processes*, VII, 971 (1995)