

역류방지 체크밸브의 응고해석 특성 Solidification Analysis Characteristics of Back Flow Prevention Check Valve

윤정인* · 문정현*** · 손창효**† · 이정진****

Jung-In Yoon*, Jung-Hyun Moon***, Chang-Hyo Son**† and
Jung-Jin Lee****

(Received 20 April 2015, Revision received 1 June 2015, Accepted 1 June 2015)

Abstract: Check valves used in vessels include shock-release function on piping system, aside from basic back flow prevention. However, proper and enough protection of system is not obtainable due to use of high-pressure and bulk fluids, resulting from enlargement of vessels. In this study, casting analysis of check valves protecting systems in flow path from water hammering or back flow is conducted, using Z-CAST program. Also, molten metal filling, flow analysis, solidification analysis and shrinkage cavity analysis are conducted. The main results are as following. Regarding filling of each risering, molten metal showed stable supply condition without being isolated. It was identified that the final solidification exists on risering, but shrinkage cavity possibly might happens at the point of isolation solidification.

Key Words : Back Flow Prevent, Check Valve, Z-CAST, Solidification Analysis, FDM

1. 서 론

체크 밸브는 배관계통 구성에 있어서 계통의 운전 상태에 따라 자력으로 폐쇄하는 유일한 밸브이며 외양 및 작동 특성별로 스윙체크, 리프트체크, 틸팅 디스크 체크, 홀딩디스크 체크, 인라인 체크, 스톱 체크로 대별할 수 있으며, 압력 강하량의 크기문제, 체크밸브 사이의 유체흐름 속도의

문제, 밸브의 설치 위치와 누설한계 등의 문제 및 계통 특성상 체크밸브의 닫힘 시간의 문제 등을 해결하기 위해 다양한 체크밸브들이 개발되고 있다.¹⁾

선박에서 사용되는 체크밸브는 기본적인 역류방지를 포함하여 맥동 등의 이상 압력에 의한 배관계통의 충격을 완화시키는 역할까지 요구되고 있으며 스윙 체크, 리프트 체크를 보완한 틸팅 체

*윤정인 : 부경대학교 냉동공조공학과
**† 손창효(교신저자) : 부경대학교 냉동공조공학과
E-mail : sonch@pknu.ac.kr, Tel : 051-629-6183
***문정현 : 부경대학교 냉동공조공학과 대학원
****이정진 : 한국기계연구원

*Jung-In Yoon : Department of Refrigeration and Air-conditioning Engineering, Pukyong National University.
**† Chang-Hyo Son(corresponding author) : Department of Refrigeration and Air-conditioning Engineering, Pukyong National University.
E-mail : sonch@pknu.ac.kr, Tel : 051-629-6183
***Jung-Hyun Moon : Department of Refrigeration and Air-conditioning Engineering, Pukyong National University, Graduate student.
****Jung-Jin Lee : Korea Institute of Machinery & Materials

크 밸브가 개발되었으나 선박의 대형화에 따른 배관계통의 고압 및 대용량 유체 사용에 따라 기존 방식으로는 시스템 보호 역할이 이뤄지지 않음으로 인해 새로운 밸브 개발이 진행되었다.

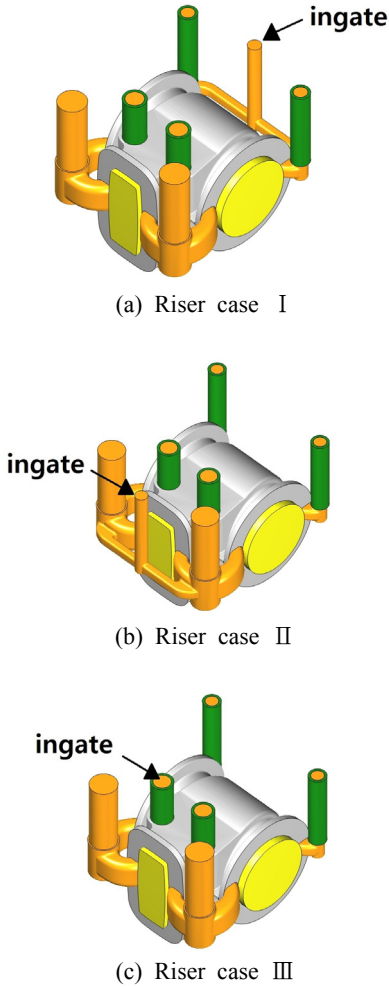


Fig. 1 Solid modeling of check valve

본 연구는 디스크에 의해 유로가 차단될 때 발생하는 수격현상 또는 역류에 의한 유체압력이 판 체크밸브의 스프링 탄발력 이상일 때 판 체크밸브가 열려 일부 유체의 역류가 가능하게 하므로 과도한 유체압력을 감소시켜 밸브 및 관, 펌프 등 유로 내 설치된 장치를 보호할 수 있는 체크밸브의 개발에 관한 것이다.

Table 1 Physical properties of casting material

Condition	values
Inlet temperature(°C)	1,619
Inlet time(s)	5
Critical solid fraction(%)	65
Mold temperature(°C)	25

따라서 그 첫 단계로 상용프로그램 Z-CAST를 이용하여 다양한 압탕 방안에 따른 밸브 바디의 구조해석을 수행하여 어떠한 방안이 가장 수축결함이 적은지 분석하였다. 해석은 용탕 충전 및 유동해석, 응고해석과 수축공 예측에 대하여 수행하였다.

2. 해석 전처리

2.1 모델링 및 메쉬생성

해석대상인 밸브 및 탕도개, 압탕부의 3D모델링은 범용 CAD프로그램 CATIA를 사용하였으며 Z-CAST를 이용하여 주형을 모델링하였다. Fig. 1에 각 압탕 방안에 대한 모델링 형상을 나타내었다. (I)과 (II)에 나타난 형상은 주입구가 외부에 있는 압탕 방안이다. 압탕 방안(I)은 주입구를 후면 작은 압탕에 연결하였고, 압탕 방안 (II)는 주입구를 전면의 큰 압탕에 연결하였다. 압탕 방안 (III)은 주입구가 직접 바디에 연결된 압탕 방안이다. 또한 충전 경로를 추적하기 위하여 가상의 pathline marker를 주입구에 설정하여 두었다. 메쉬의 생성은 FDM(유한차분법 : Finite Difference Method)에 의해 분할하였으며, 각 압탕 방안마다 전체 계산영역에 대해 약 1,000만개의 메쉬를 만들었다.

2.2 해석조건 입력

Table 1에는 해석에 사용된 대표적인 물성치들이 나타나 있다. 주물은 탄소강 계열의 SC460을 사용하였으며, 주형은 Silica sand를 사용하였다. 압탕 방안에 관계없이 주입온도는 1,619°C이며, 주형의 초기 온도는 25°C이다. 용탕의 주입시간은 5초로 하였으며, 응고해석 시 65% 이상 고형화가

진행되었을 시 완전한 고체로 간주하였다. 또한 용탕 주입 시 주형과의 마찰을 나타내는 계수인 Wall condition은 사형주조의 값인 0.4로 설정하였다.

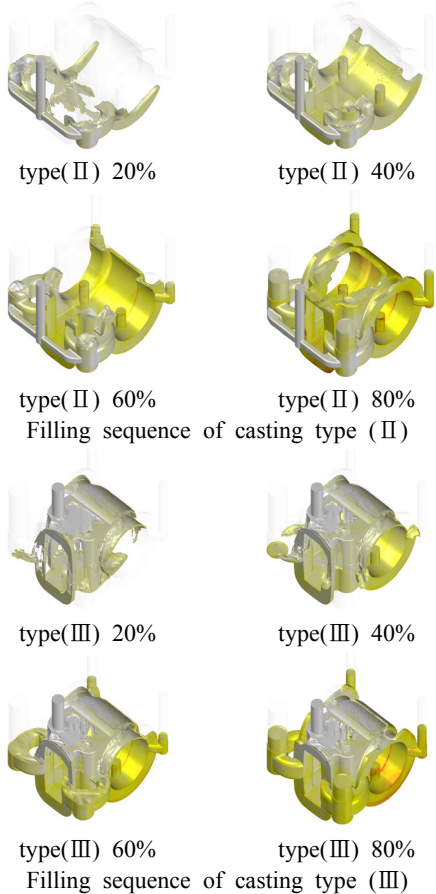


Fig. 2 Filling sequence of check valve casting

3. 결과 및 고찰

3.1 충전해석

용탕의 원활한 주입 여부를 확인하기 위하여 각 압탕 방안에 대한 충전 해석을 수행하였으며, (II)와 (III) 압탕 방안에 대한 충전 해석을 Fig. 2에 나타내었다.

압탕 방안 (I)에 대하여는 그림에 나타나 있는 압탕 방안 (II)와 마찬가지로 Body 형상 외부에 존재하는 외부 주입구로부터 용탕이 주입되며, 주입구를 통해 용탕이 주입될 때 주입된 용탕이 밸브

의 아래쪽을 빈틈없이 채우며 상승하는 안정적인 충전양상을 보인다. 또한 해석 전처리 과정에서 용탕의 거동을 확인하기 위하여 설정한 Pathline marker의 확인 결과 용탕은 고립되거나 난류거동하지 않는 충전 양상을 보였다.

압탕방안 (III)는 밸브 Body에 직접 용탕을 주입한다. 용탕 주입 시 용탕이 주입구를 채우며 주형으로 주입되며, 용탕이 벽면을 타고 흐르며 비산되지 않는 안정된 충전양상을 보이는 것이 확인되었다.

충전해석을 통하여 체크밸브 주조공정에 사용된 각 압탕 방안이 적절하게 세워진 것으로 판단된다.

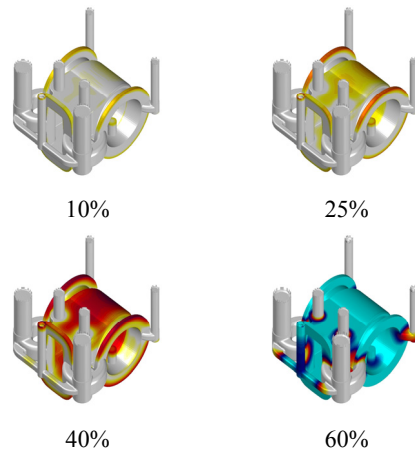


Fig. 3 Solidification aspect of casting type(II)

3.2 응고해석

1) 응고양상

Fig. 3은 압탕 방안 (II)의 응고양상을 나타낸 사진이다. 압탕 방안 (I)과 (III) 또한 비슷한 양상을 나타내었으며, 그 결과는 다음과 같다.

그림에 보이는 바와 같이 충전이 완료된 직후부터 응고가 시작되는데, 시간이 지남에 따라 밸브의 플랜지 부분 및 바깥쪽부분부터 응고가 시작되어 안쪽 및 바깥쪽과 압탕 부분으로 순차적 응고가 잘 이루어지고 있음을 확인할 수 있다.

100% 응고까지 걸린 시간은 (I)타입의 경우 2,508초, (II)타입의 경우 2,600초, (III)타입의 경우

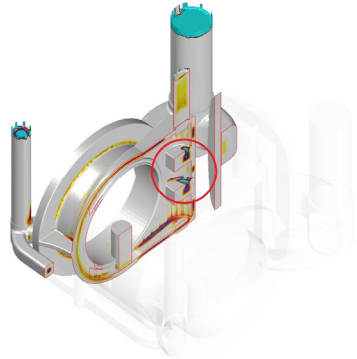
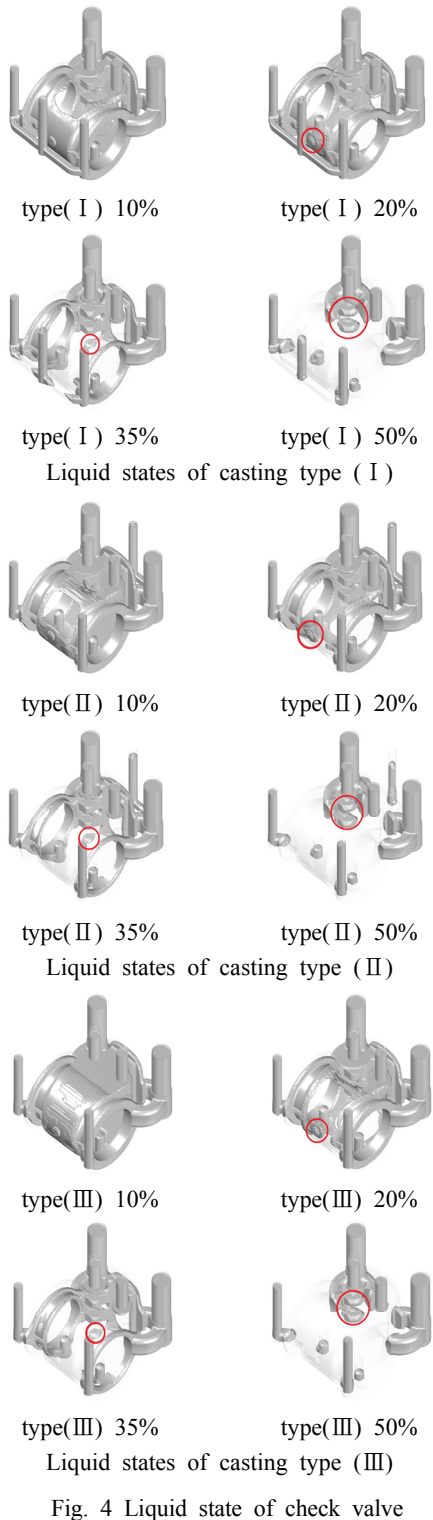


Fig. 5 Niyama

2,536초로, 주입구 이외에 주형이나 압탕에 큰 차이가 없기 때문에 유사한 응고시간 결과를 얻었다.

2) 잔류액상분포

Fig. 4는 각 압탕 방안의 잔류액상 분포 상태를 나타낸 것이다. 응고 시간별 잔류액상을 분석함으로써 방향성 응고가 이루어지지 않는 부분을 찾아낼 수 있고, 응고 시 큰 부분에서 떨어져 나와 고립 응고되는 부분을 파악하면 수축결함이 일어나는 곳을 예상할 수 있다.

Fig. 4에 표시된 부분은 잔류액상 분포 해석에서 Type (I)~(III)에 공통적으로 액상이 고립응고되는 곳이다. 두 곳의 밸브 가공부분과 스윙체크 밸브의 특성상 디스크 암을 연결하는 체결부위에서 공통적인 고립응고가 발생한다.

응고 시 방향성 응고를 지향하고 압탕이 최종적으로 응고가 되면 최종 응고 시 일어나는 수축결함을 압탕에 밀집시킬 수 있다. 하지만 Fig. 4의 경우처럼 고립응고가 일어나는 곳에서는 최종 응고 시 수축결함이 나타날 수 있기 때문에 고립 응고를 피할 수 있는 방안 또는 수축공이 최소화 될 수 있는 방안을 마련하여야 한다.

3) 수정온도구배(Niyama)

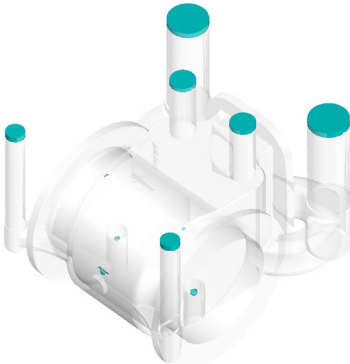
수정온도구배란 온도구배를 계산할 때 냉각속도를 고려하여 계산한 값으로 미세한 수축공들을 예측할 때 유용하다. 온도구배와 마찬가지로 수정



(a) Riser case I



(b) Riser case II



(c) Riser case III

Fig. 6 Shrinkage cavity of check valve

온도구배 값이 큰 쪽에서는 온도가 낮은 곳에서 높은 방향으로 방향성 응고가 일어나나 값이 작은 곳에서는 수축결함이 발생할 위험이 크다. Fig. 5에는 해석에 사용된 밸브의 압탕 방안 (I)에 관한 수정온도구배 값이 매우 낮은 위치를 표

시해 두었다. Fig. 5에 표시된 곳은 주변과의 온도구배가 매우 적어 방향성 응고 대신 고립응고가 일어나며 수축공이 발생할 가능성이 매우 큰 지점이다. 따라서 압탕방안 (I)에서는 표시된 지점에 대해 방향성 응고를 할 수 있도록 추가적인 연구가 필요하다.

4) Shrinkage cavity

Fig. 6은 각 압탕 방안에 대한 수축공 발생 예상지점이다. 압탕 방안 (I)은 다른 압탕 방안에 비해 스윙체크밸브의 디스크 암을 체결하는 부위에 수축공이 발생할 가능성이 높고 발생 부위가 크다. 더블스윙체크밸브의 특성상 밸브의 시트부분보다 디스크 암 체결부위에 충격 및 진동 등의 응력이 크게 발생하기 때문에 제품의 건전성을 생각할 때 좋은 압탕 방안이라 할 수 없다.

압탕 방안 (II)에는 같은 부분에 수축공이 발생할 가능성이 낮고 발생 가능성 또한 낮다. 하지만 역시 디스크 암 체결부위에서의 제품 건전성을 생각할 때 수축공의 발생을 최소화할 수 있는 대책이 마련되어야 할 것이다.

압탕 방안 (III)에서는 다른 압탕 방안에 비해 제품자체에 수축공 발생 부분이 적고, 디스크 암 체결부위의 수축공 발생 가능성이 매우 낮아 가장 안정된 압탕 방안이라 할 수 있다.

4. 결 론

더블스윙체크밸브의 개발을 위한 초기단계인 밸브 바디의 압탕 방안에 따른 사형주조 공정의 충전 및 응고해석을 통해 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 주입온도 1619℃, 초기 주형의 온도를 25℃로 하여 충전해석을 수행한 결과, 압탕 방안 (I)과 (II)에서는 용탕이 고립되지 않고 바디의 아랫면을 채우며 상승하였고, 압탕 방안 (III)에서는 용탕이 벽면을 타고 흘러내리는 안정된 충전양상을 보이는 것이 확인되었다.

2) 응고해석 결과, 방향성 응고가 일어나는 모습과 최종 응고부위가 압탕 부위에 존재함을 확

인 할 수 있었으나, 디스크 압 체결부위에서 고립 응고가 일어나 압탕 방안 별로 수축결함의 가능성이 있는 것으로 판단되었다.

3) 비교해석 된 3가지의 압탕 방안 중 압탕 방안(Ⅲ)이 밸브 주조공정에 적당한 압탕 방안인 것으로 판단되었다.

4) 수축공의 발생 위치 및 크기를 줄이려는 추가적인 연구로, 다양한 압탕 방안의 설계 및 주조해석이 필요함을 알 수 있었다.

후 기

본 연구는 산업통상자원부와 한국산업기술진흥원의 지역특화산업육성사업으로 수행된 연구결과입니다.(과제번호 : R0002995).

References

1. KARSE, 2001, "A selection method of dual-plate type check valve", Journal of the KARSE, Vol. 18, No. 4, pp. 112-119.
2. J. H. Kim and C. H. Kim, 2004, Filling and solidification analysis for the casting process of cylinder liner, Journal of the Korean Foundrymen's Society, Vol. 24, No. 4, pp. 225-230.
3. I. H. Choo, S. K. Yu and J. K. Choi, 1998, Production of automobile Al wheel by low-pressure die casting (I) : flow and solidification simulation, Vol. 18, No. 6, pp. 578-585.
4. Z-CAST pro. Version 3.0, Cubictec co.,ltd.