2003 추계학술발표회 논문집
한국원자력학회

# 안전밸브 유동에 관한 연구

# A study on fluid flow of safety valve

강성구
전력연구원
대전광역시 유성구 문지동 103-16

## 요약

안전밸브의 블로우다운(blowdown)은 밸브가 열릴 때의 압력과 밸브가 어떤 유동 조건에서 완전하게 닫힐 때의 압력의 차이로 정의가 된다. 지금까지의 많은 기관에서 행해진 연구결과에 의하면 안전밸브의 블로우다운은 일반적으로 밸브 형상, 링의 위치, 스프링 강성, back pressure 등에 의해서 영향을 받는 것으로 알려지고 있다. 본 연구는 링의 위치에 따른 안전 밸브 내부에 형성되는 유속을 분석함으로써 블로우다운과 링 위치 관계를 관찰하고자 한다.

## Abstract

The blowdown of a safety valve is defined as the difference between the pressure at which the valve opens and the pressure at which the valve fully closes under certain fluid flow conditions. An extensive series of tests carried out in the EPRI/PWR Utilities Valve Test Program have shown that the blowdown of safety valves can in general be strongly dependent upon the valve geometry and other parameters such as ring adjustments, spring stiffness, back pressure etc. On this study, fluid velocity within safety valve in accordance with ring setting has been investigated.

## 1. 서론

안전밸브는 원자력이나 다른 산업에서 과압력에 대해 고압력 용기를 보호하기 위해서 사용된다. 이러한 안전 밸브는 시스템 압력이 열림 압력(opening pressure)라고 불리는 값의 크기보다 증가하면 열리도록 설계가 되어 있다. 밸브가 열리기 때문에 용기내의 압력은 유체 방출로 감소하게 되고 일정시간이 시간이 지나면 시스템 압력은 닫힘 압력(closing

pressure)라고 불리는 최소압력 이하로 크기가 감소하게 되고, 이때 밸브는 닫히도록 설계되어 진다. 열림 압력과 닫힘 압력사이의 차이는 블로우다운으로 정의되어지고, 일반적으로 열림 압력에 대한 백분율(percentage)로서 표시가 된다. 블로우다운은 밸브의 안정성에 영향을 미치기 때문에 중요한 파라메타이다. 너무 낮은 블로우다운은 압력의 작은 떨림에도 밸브에 채터링(chattering) 현상이 발생하도록 하기 때문에 밸브를 불안정하게 만든다. 반면에 커다란 블로우다운은 많은 유체 손실을 발생시키기 때문에 바람직하지 않다.

밸브 블오우다운은 일반적으로 밸브 형상 특성, 유동 조건, 스프링 강성, 밸브 몸체에서의 뒤압력(backpressure)와 조절 링 설정에 의해서 영향을 많이 받는다. 밸브와 플랜트 시스템에 대해서 블로우다운은 링 설정을 조절함으로써 어떠한 영역 안에서 조절 될 수 있다. 안전 밸브는 일반적으로 두개의 링을 가지고 있다. 가이드 링(Guide ring)과 노즐 링(nozzle ring)두개가 일반적으로 존재한다. 이 링들은 수직한 방향으로 위로 돌려지거나 아래로 돌려질 수가 있고 원하는 위치에서 조절되어 질 수 있다. 밸브가 열렸을 때, 유체는 밸브 노즐을 통과한 후, 시트(seat)을 지난 후에 두 링사이에 형성된 영역을 통하여 밖으로 흐르게 된다. 가이드 링위치가 조절됨에 따라서, 나가는 유체의 방향이 바뀌게 되고 밸브 디스크에 작용하는 모멘텀 힘도 바뀌게 되고, 이것으로 인해서 블로우다운의 변화를 가져온다. 일반적으로 낮은 링 위치는 유체 흐름에 대해서 커다란 회전(turning)각을 만들고, 결과적으로 커다란 블로우다운이 발생하도록 만들어 준다.

링 설정과 안전밸브 블로운 다운과의 상관관계에 대해서 A. Singh, D. Shak 가 연구를 수행하였고[1], 밸브의 열리는 현상에 대해서 CFD-ACE 를 사용하여 Alton 은 시뮬레이션을 수행하였다[2]. 안전 밸브를 A. Singh, D. Shak 는 모델링하면서 관련 현상들에 대해서 연구를 수행하였다[3][4].

본 연구에서는 블로우다운에 많은 영향을 미치는 가이드 링과 노즐 링의 위치에 따른 안전 밸브 내의 유동에 대해서 시뮬레이션을 실시하였다. 가이드 링 위치를 2 개로 하고, 노즐 링 위치를 2 개로 하여서, 총 4 가지의 조합에 대한 밸브내의 유동에 대해서 시뮬레이션을 실시하였다. 정상(steady) 상태, 오일러(euler)로 가정하여서 문제를 풀었다. 밸브 내부의 유속이 어떻게 형성이 되는지, 특히 가이드 링과 노즐 링사이의 영역에 대해서 관심을 가지고 연구를 수행하였다. 이 연구들을 기본으로 하여서 과도(transient)상태에서의 디스크의 움직임을 모델링하여 블로우다운을 계산하는 것을 추후에 수행할 예정이다.

본 연구에는 실제 모델을 개발하기 전 단계의 1 인치 테스트 밸브의 수치를 가지고 모델링을 수행하였다.

## 2. 소프트웨어

CFD-FASTRAN 소프트웨어는 압축성 유동 및 관련 현상에 대해서 정확한 시뮬레이션을 제공한다. 구조 격자(Structured grid), 비구조 격자(unstructured grid) 시스템을 제공하며, 6 자유도(fully coupled 6-DOF)를 풀 수 있는 기능을 가지고 있다. 본 연구를 위해서 유동 모듈, 구조 격자를 사용하여 시뮬레이션을 수행하였다.

## 3. 격자(grid) 형성

전체 시스템 형태가 Fig.1 에 나타나 있다. 두개의 탱크와 입력 파이프, 출력 파이프 및 연결된 밸브로 구성되어 있다. 출력 파이프와 연결된 대기를 커다란 탱크로 모델링을 하였다. 그림에서 아래 부분에 있는 사각형 영역들이 탱크 두개를 모델링 한 것이고, 오른쪽의 큰 사각형 영역은 대기 부분을 모델링 한 것이다. 밸브는 왼쪽 윗 부분에 작은 영역을 차지하며 모델링이 되어 있다. 각 탱크와 대기 부분을 연결하는 부분은 파이프를 모델링 한 것이다.

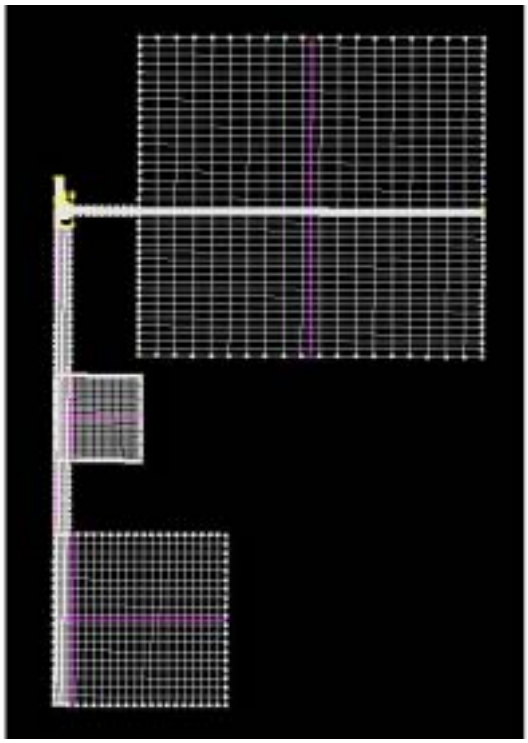

Fig. 1

격자를 만들기 위해서 CFD-GEOM 소프트웨어를 사용하였다. CFD-GEOM 에서 제공하는 구조 격자(Structured grid)를 사용하여서 전체 영역을 모델링 하였다. 두개의 탱크와 밸브와 연결된 입력 파이프, 출력 파이프 및 대기를 모델링한 부분에서는 비교적 영역이 크기 때문에 격자의 크기가 큰 것들로 이루어져 있다. 밸브 내부에서의 유동을 제대로 보기 위해서는 비교적 조밀한 격자를 형성할 필요가 있었다. 특히 디스크와 바로 접하는 밸브 벽사이의 간격이 상당히 작기 때문에 이 부분에서의 격자를 제대로 형성해야 할 필요가 있었다.

축 대칭 모델을 사용하여서 전체 격자 수를 줄였다. 4 가지의 경우에 대해서 시뮬레이션을 수행하였는데 각각의 경우에 대한 만들어진 격자에 대한 그림에 나타나 있다. 각 조건들에 대한 가이드 링과 노즐 링 설정이 Table.1 에 나타나 있다. 가이드 링과 노즐 링이 유동에 미치는 영향을 명확하게 볼 수 있는 조건만을 선택하여 시뮬레이션을 수행하였다. .




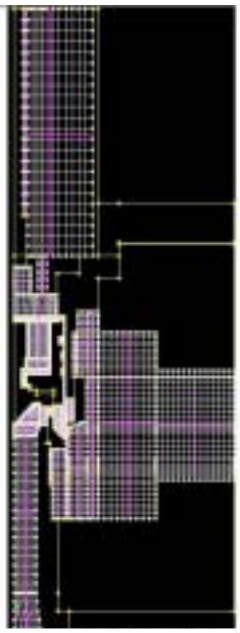

Fig. 2 Fig. 3 Fig. 4 Fig. 5

Table. 1 링 설정 조건

| | 가이드 링(노치) | 노즐 링(노치) |
|---|---|---|
| 1 | 0 | 0 |
| 2 | 0 | 295 |
| 3 | 200 | 0 |
| 4 | 200 | 295 |

문제를 풀기 위한 경계조건은 다음과 같다. 대기를 모델링한 영역에서는 입출력(Inflow-outflow)조건을 주어서 압력이 대기압 값을 유지하도록 하였다. 축 대칭으로 하였기 때문에 왼쪽가장자리 영역은 모두 대칭조건을 주었다. 나머지 부분들은 모두 벽(wall)로 해서 경계조건을 설정하였다. 초기조건으로는 큰 탱크, 큰 탱크와 작은 탱크를 연결하는 파이프는 100kgf, 작은 탱크는 85kgf, 나머지 영역은 대기압을 갖도록 해놓고 문제를 풀었다.

## 4. 밸브 내부의 유속

조건 1 의 경우 밸브 내부의 유속이 Fig.6 에 나타나 있다. 가이드 링과 노즐 링으로 인한 유동의 흐름에 방해가 없기 때문에 유체가 밸브 디스크에 부딪힌 후 직각으로 밸브 몸체로 나오는 것을 알 수가 있다. 유속을 분석해 보면 U 성분이 대부분이고 V 성분은 거의 0 에 가까움을 알 수 있었다. 이것으로 인해서 디스크에 미치는 모멘트 힘이 4 가지 경우에 있어서 가장 작을 것이라고 생각할 수 있다.

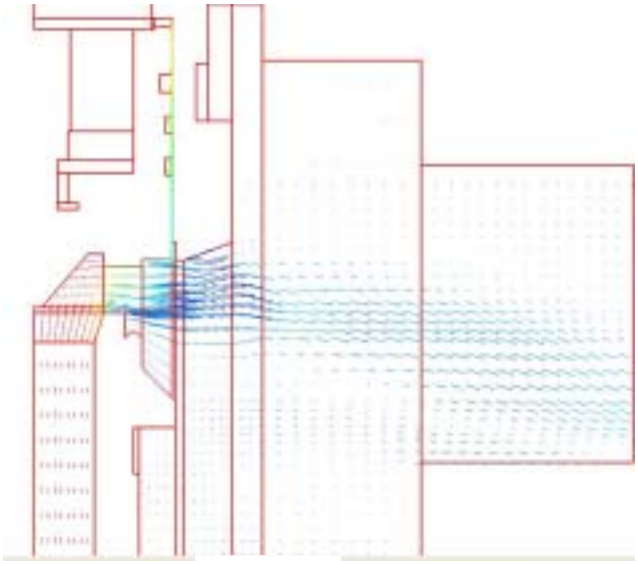

Fig. 6

조건 2 의 경우의 유속의 그림이 Fig.7 에 표시되어 있다. 유체와 디스크와 접한 후에 노즐 링에 의해서 흐름에 방해를 받게 된다. 디스크와 노즐 링 사이에 형성된 틈 사이로 빠른 유속이 형성 되는 것을 알 수가 있다. 노즐 링을 통화한 후에 U 성분과 함께 V 성분이 발생하고 있음을 알 수 있었다. 노즐 링으로 인한 유체의 속도에서는 많은 변화가 있지만 방향에서는 V 방향으로 변화가 발생하지만 그 크기가 속도의 변화의 크기만큼 크지는 않음을 알 수 있었다. 이것으로 인해서 유속의 방향 변화로 인한 블로우다운의 변화가 많지 않을 것이라고 생각되어진다.

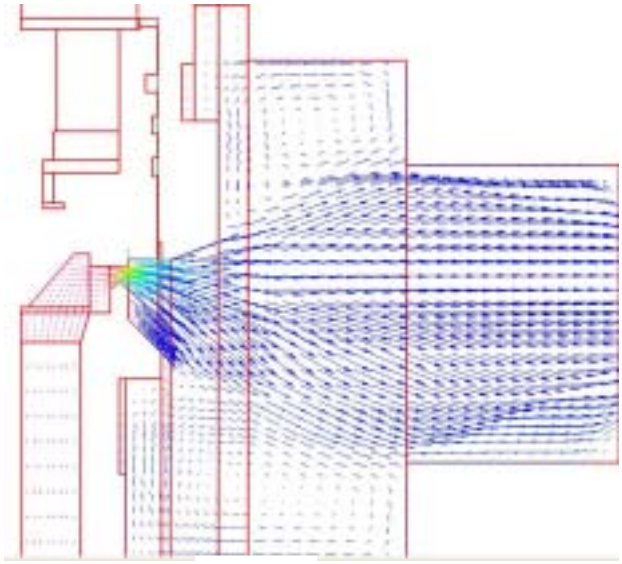

Fig. 7

조건 3 의 경우의 유속의 흐름이 Fig.8 에 표시되어 있다. 유체의 흐름이 가이드 링에 의해서 영향을 받으면서 급격하게 흐름의 방향이 바뀌는 것을 알 수가 있다. 유체의 방향이 V 방향으로 급격하게 바뀌기 때문에 디스크에 많은 양의 모멘트 힘을 작용하게 하게 됨을 알 수가 있다. 모멘트 힘이 크기 때문에 노즐 부분의 압력이 어느 값까지 낮게 형성 되더라도 디스크를 밀어 올린 상태로 지속할 수가 있을 것으로 생각된다. 이것으로 인해서 밸브가 내려 올 때의 닫힘 압력이 밸브 전단에서 낮게 형성이 되어서 블로우다운이 크게 형성 될 것을 예측할 수가 있다.

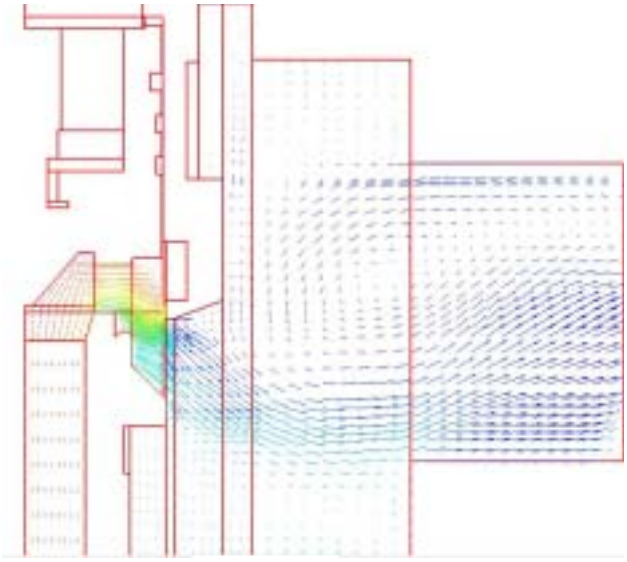

Fig. 8

조건 4 의 경우는 Fig.9 에 나타나 있다. 유체가 노즐 링에 의해서 일차적으로 흐름에 방해를 받고 가이드 링에 의해서 다시 한번 방해를 받기 때문에 유체의 방향이 가장 크게 바뀜을 알 수가 있다. 노즐 링과 가이드 링 사이에 형성되는 영역이 작게 형성되기 때문에 이 영역을 통과하면서 디스크에 가장 큰 모멘트 힘을 작용 시킬 것으로 생각할 수가 있다. 큰 모멘트 힘을 작용시킬 수 있기 때문에 노즐부분의 압력이 낮아져도 디스크를 오랜 동안 밀어 올릴 수 있는 힘을 제공할 수 있고, 디스크가 닫힐 때의 압력이 낮게 형성될 것이라는 것을 예상할 수 있다. 결과적으로  큰 블로우다운이 발생할 것으로 생각된다.

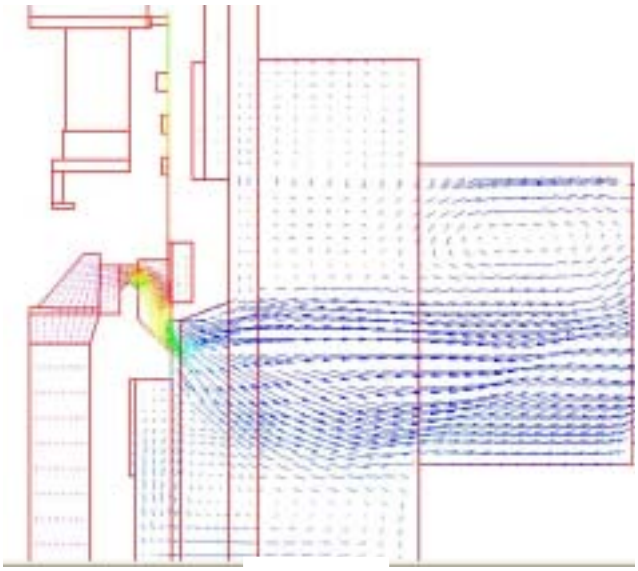

Fig. 9

## 5. 결론

가이드 링과 노즐 링의 위치에 따른 밸브 내부의 유속에 대해서 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션을 위해서 CFD-FASTRAN 소프트웨어를 사용하였고, CFD-GEOM 을 사용하여 격자 만들기 작업을 수행하였다. 4 가지 경우에 대해서 모델링 작업을 수행하였고, 밸브 내부의 유속에 대해서 분석을 하였다. 시뮬레이션을 통해서 밸브 내부의 유속의 방향이 가이드 링에 의해서 많은 변화를 나타내며, 노즐 링으로 인한 변화는 상대적으로 적음을 알 수 있었다. 이것으로 인해서 가이드 링에 의한 블로우다운 값이 크게 될 것이라는 결과를 얻었다.

## Reference


[1] A. Singh and D. Shak, *A correlation for safety valve blowdowm and ring settings*, Testing and Analysis of Safety/Relief valve performance, 39-46

[2] Alton J. Reich and Alex DiMeo, *Coupled Fluid structure interaction simulation of the opening of the target rock vacuum relief valve*, MDICE, 경원테크

[3] A. Singh and D. Shak, *Modeling of a spring-loaded safety valve*, Testing and Analysis of Safety/Relief valve performance, 63-70

[4] A. Singh, *On the stability of a coupled safety valve-piping system*, Testing and Analysis of Safety/Relief valve performance, 30-38