



정압기지내의 안전밸브 분출용량 관계식 검증을 위한 유동해석 (II)

- 안전밸브 유동 해석 및 필요분출면적

†권혁록 · 노경철 · 김영섭* · 이성혁

중앙대학교 기계공학부, *가스안전연구원 신뢰성평가연구팀
(2008년 5월 15일 접수, 2008년 6월 16일 수정, 2008년 6월 16일 채택)

Numerical Analysis for Evaluation of Ejection Capacity Relationship of Safety Valves in Pressure Regulating Station (II)

- Flow Analysis and Required Effective Discharge Area of Safety Valve

†Hyuk Rok Gwon · Kyung Chul Roh · Young Seop Kim* · Seong Hyuk Lee

School of Mechanical Engineering, Chung-Ang University
*Korea Gas Safety Corporation, Reliability Assessment & Research Team
(Received May 15, 2008, Revised June 16, 2008, Accepted June 16, 2008)

요 약

안전밸브는 정압기지 내에 정압기의 파괴 또는 관 내 수분의 응축 등으로 인한 관내 압력의 비정상적인 증가를 자동적으로 완화시켜주는 메커니즘을 가지고 있는 밸브이다. 따라서 정압기지의 안전을 위해서 안전밸브의 유동 특성과 유동 형태를 살펴보는 것은 매우 중요하다. 본 논문은 안전밸브의 분출용량과 필요분출면적에 따른 유동 특성을 수치해석을 통해서 분석하였다. 본 결과를 국내·외 안전밸브 관련 규정인 미국의 API(America Petroleum Institute), 유럽 연합의 EN(European Standard), 프랑스의 NF(Norme Francise)를 이용하여 분석, 비교하였다. 또한 안전밸브의 최대 필요 분출 면적을 이용하여 국내 및 국외 규정을 각각 적용하였을 때의 안전밸브의 필요 설치 수량에 대한 고찰을 해보았다.

Abstract – A safety valve has a valve mechanism for the automatic release of gas from piping system when the pressure exceeds preset limit cause of a defect of a pressure regulator, condensation of water in a pipe. Therefore, for the safety of pressure regulating station, it is essential to study the flow regime and characteristics of safety valve. This article presents the numerical analysis on the flow analysis, the ejection capacity and required effective discharge area of the safety valve that is established in pressure regulating station. Then, the results are compared and analyzed with domestic and foreign regulations such as API(America Petroleum Institute), EN(European Standard), and NF(Norme Francise). Moreover, the installation number of safety valve is considered by using domestic and foreign regulations and maximum required effective discharge area of safety valve.

Key words : pressure regulating station, pressure regulator, safety valve, required effective discharge area, computational fluid dynamics

I. 서 론

도시가스 정압기지의 시설 안전장치로서 설치되어 있는 안전밸브(safety relief valve)는 설비 내 가스압력이 비정상적으로 상승하여 설정된 압력 값을 초과하게 되면 밸브가 작동되면서 가스를 방출시키는 역할을 한

다. 즉, 안전밸브는 정압기의 2차 압력이 정압기의 고장이나 온도 팽창, 기압의 변화 등으로 승압된 경우 대개 증으로 가스를 방출하여 승압을 방지하는 데 사용된다. 따라서 정압기 및 안전밸브의 정확한 특성과 기존 설계 기준들을 명확히 검증하는 것은 시설 안전에 있어서 필수적이다[1-5]. 최근 들어 정압기지 시설 관련 사고가 빈번하게 발생되면서 가스 압력이 상승하였을 때 안전밸브의 정상적인 작동과 방출 성능이 적

†주저자: hrgwon99@wm.cau.ac.kr

절하게 설계되었는지 판단하는 것은 매우 중요한 사항으로 대두되고 있다[6,7].

그리고 현재 도시가스안전관리기준과 고압가스안전관리기준에는 이러한 안전밸브 및 파열판에 있어서 분출부의 유효면적 및 필요분출량을 여러 가지 경우에 대해서 다양한 관계식으로 표현되어 고시되어 있다[8,9]. 또한 외국의 관계 법령 및 표준에도 이러한 안전밸브의 유효면적 및 필요분출량에 대한 관계식 및 제한 조건이 언급되어 있다[10-12]. 이렇게 현재 고시되어 있는 다양한 설계 기준들은 실무자의 편의성에 기초하여 사용되고 있으나 경험식에 의존되어 있는 관계식들의 정확성을 검증하는 작업은 상당히 중요하며, 다양한 운전조건 변화에 따른 정보 D/B를 구축하는 것은 이후 설계 기준 확보 및 운영에 있어서 매우 중요하다.

본 연구의 주된 목표는 한국 가스공사 정압기지 내에 설치되어 있는 안전밸브의 방출 성능 설계를 검증하고 설치 기준 마련을 위한 데이터 확보 및 전산유체 해석을 이용한 안전밸브 분출용량 관계식 검증, 그리고 다양한 운전조건에 따른 설치기준 데이터 및 가시화 결과 구축이다. 이를 위해서 본 연구에서는 앞선 본 연구 논문(I)편의 정압기를 통과하는 유동의 분석 및 질량유량의 계산결과를 이용하여, 국내·외의 안전밸브 분출용량 및 분출면적에 대한 관계식을 비교, 분석하고, 적절한 안전밸브 설치 수량을 제시하고자 한다.

II. 정압기지 내 안전밸브 개략도

본 연구에 적용될 정압기지는 한국가스공사 표준형 정압기이며, 본 연구논문(I)편에 언급을 하였으며, 여기에서는 전체 정압기지에서 정압기를 통과한 부분부터 안전밸브를 통하여 대기로 배출되는 부분을 연구한다. 아래의 Fig. 1에 개략도가 나타나 있으며, Fig. 1의

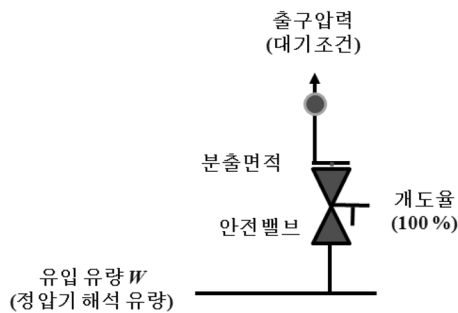


Fig. 1. Schematic of gas ejection with safety valve.

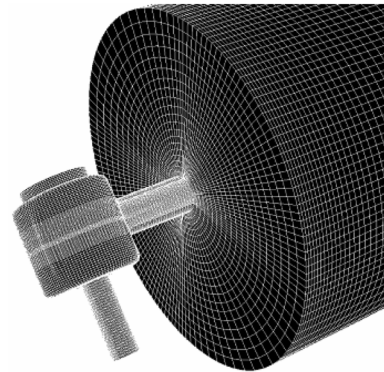


Fig. 2. Mesh generation of 1900 series safety valve.

왼쪽에서 유입되는 가스의 유량 W 는 연구논문(I)편에서 계산된 결과를 이용하였다. 또한 안전밸브의 개도율은 100%로 일정하게 유지하였다. 본 연구에서 사용한 안전밸브는 Dresser®의 1900 series이다.

III. 안전밸브의 유동 해석

3.1. 모델링 및 격자 생성

Dresser®에서 제공하는 1900 series 안전밸브의 단면 정보[13]를 기초로 본 연구에서는 PTC®의 Pro-engineering을 이용하여 3차원 CAD 모델링을 수행하였다[14]. 안전밸브의 격자 생성에는 상용 격자 프로그램인 ANSYS®의 ICEM-CFD V10.0을 사용하였으며[15], 수렴성 및 해석시간의 효율성 향상을 위해 육면체 격자(hexahedral mesh)를 구성하였다. 안전밸브의 격자 모습이 Fig. 2에 나타나 있으며, 안전밸브의 통과한 고압가스가 출구를 통해 대기로 방출되는 현상을 모사하기 위하여 대기부분을 포함하여 해석을 수행하였다. 전체 격자의 개수는 약 45만개이다.

3.2. 안전밸브의 유동해석

안전밸브를 통과하여 대기로 방출되는 고압가스의 해석을 위하여 출구 압력은 대기압으로 고정하고 입구 조건을 정압기의 유출 압력과 동일하게 변화하여 해석을 수행하였다. 본 해석에는 상용 열·유체 해석 프로그램인 ANSYS®의 Fluent V6.3을 이용하였다[16]. 전반적인 수치해석에 대한 해석조건은 연구논문(I)편과 동일하다. 안전밸브의 경우 과도 해석(unsteady)을 통하여 안전밸브의 초기 유동 특성을 예측할 수 있다. Fig. 3은 입구 압력 1.5 MPa일 때 안전밸브를 통과하는 고압가스의 유속 및 압력분포를 나타낸 것이다. 또한 Fig.

정압기지내의 안전밸브 분출용량 관계식 검증을 위한 유동해석 (II)

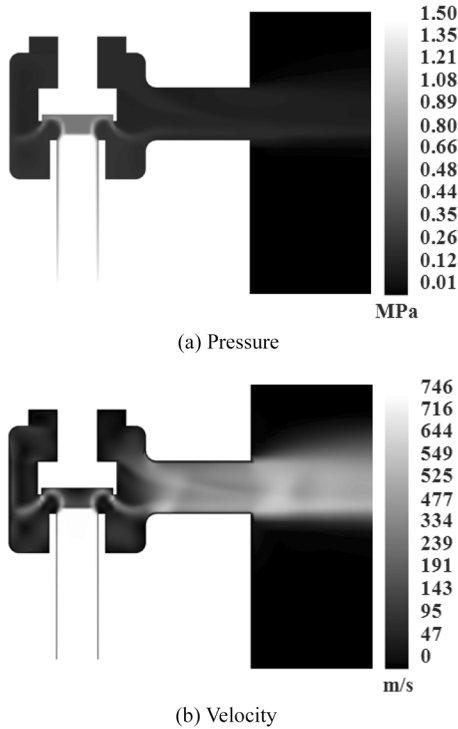


Fig. 3. Velocity and pressure contour of safety valve (inlet pressure 1.5 MPa).

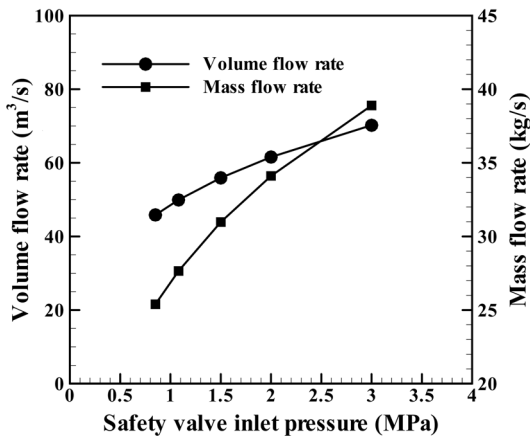


Fig. 4. Volume flow rate and mass flow rate of safety valve according to inlet pressure.

4는 입구 압력에 따른 안전밸브의 질량유량 및 체적유량을 나타내었다.

3.3.1. 정압기의 분출유량

본 연구에서는 수치해석결과, 다양한 국내 고법/도법

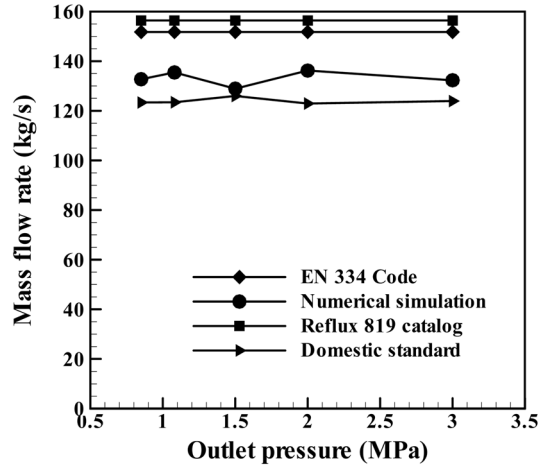


Fig. 5. Mass flow rate of pressure regulator w.r.t outlet pressure.

관계식, 그리고 유럽 EN 규정에 나와 있는 분출 유량식을 이용하여 정압기의 분출 유량을 정압기의 출구 압력에 따라 상호 비교해 보았다. 그 결과가 아래의 Fig. 5에 나타나 있으며, 그림에서 Domestic standard는 국내 고압가스안전관리기준통합고시[8]을 의미한다.

국내의 고압가스안전관리기준통합고시 계산식은 분출용량 자체도 작을 뿐 아니라 적용방법에 따라서도 많은 변화를 보이고 있다. 이러한 분출용량 계산의 어려움 때문에 유럽의 EN code[10] 및 Reflux 819 Catalog의 수식[13]에서는 측정이 비교적 쉽고 정확한 압력에 관한 함수로 구성되어 있고, 각각의 상황에 맞는 실험적 보정계수를 적용함으로써 포괄적으로 적용할 수 있는 계산식을 사용하고 있다.

전체적인 경향은 서로 유사하지만 분출 유량의 정량적인 수치는 규정 별 차이가 많이 나는 것을 알 수 있다.

국내 규정을 통한 정압기의 분출유량은 외국의 규정이나 제작사에서 제안하는 값에 비해 가장 적게 예측하는 것을 볼 수 있다. 이는 안전밸브의 설치 수량의 선택에 있어서도 직접적인 반영이 되는 것으로서 시설의 안전에 있어서 고려되어야 할 사항으로 여겨진다. 연구논문(1)편에 계산된 수치해석 값은 국내 규정에 비해서는 좀 더 높게 예측하는 것을 알 수 있다.

3.3.2. 안전밸브의 필요 분출면적 계산

국내 규정인 도시가스안전관리통합고시[9]와 국외 API 520[11] 및 프랑스의 NF E 29-414[12]를 이용하여 필요 단면적을 예측해 보았다. 각각의 수식에 적용한 필요 분출량은 수치해석, 고압가스안전관리기준통합고시, EN code, 그리고 Reflux 819 catalog의 수식을 이

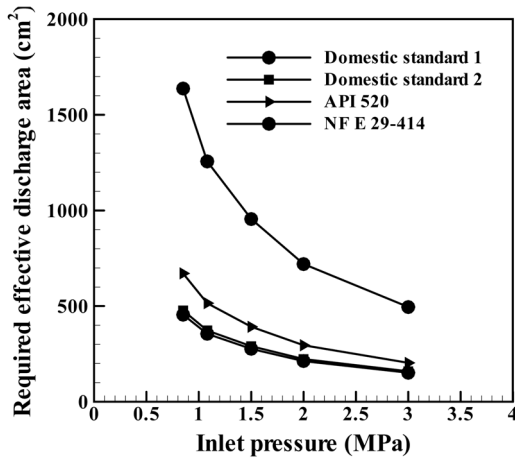


Fig. 6. Required effective discharge area w.r.t inlet pressure.

용한 결과 중 최대값을 사용하였다. 그 이유는 안전도의 측면에서 위험도가 큰 경우에 대해서 비교해보기 위해서이다. 아래의 Fig. 6에 정압기의 개도율이 100%인 경우의 정압기의 분출유량을 이용하여 계산된 각 규정별 안전밸브의 필요분출면적이 나타나 있다.

여기서 Domestic standard 1과 Domestic standard 2는 도시가스안전관리기준통합고시[9]에 나와 있는 수식을

Table 1. Required effective discharge area w.r.t inlet pressure (open rate 25%).

Inlet pressure (MPa)	Required effective discharge area (cm ²)			
	1st	2nd	API	NF
0.85	455.11	477.30	671.41	1637.19
1.08	355.30	372.62	515.30	1256.52
1.50	276.83	290.33	391.80	955.39
2.00	212.70	223.07	295.27	720.00
3.00	151.50	158.88	203.12	495.30

Table 2. Required effective discharge area w.r.t inlet pressure (open rate 50%).

Inlet pressure (MPa)	Required effective discharge area (cm ²)			
	1st	2nd	API	NF
0.85	517.37	542.60	763.27	1861.18
1.08	428.77	449.67	621.84	1516.32
1.50	310.87	326.03	439.98	1072.86
2.00	237.36	248.93	329.51	803.49
3.00	173.23	181.68	232.26	566.35

Table 3. Required effective discharge area w.r.t inlet pressure (open rate 75%).

Inlet pressure (MPa)	Required effective discharge area (cm ²)			
	1st	2nd	API	NF
0.85	544.55	571.09	803.35	1958.93
1.08	438.42	459.79	635.83	1550.44
1.50	332.00	348.18	469.87	1145.76
2.00	261.07	273.80	362.43	883.76
3.00	176.89	185.52	237.17	578.32

Table 4. Required effective discharge area w.r.t inlet pressure (open rate 100%).

Inlet pressure (MPa)	Required effective discharge area (cm ²)			
	1st	2nd	API	NF
0.85	525.81	551.44	775.71	1891.53
1.08	438.54	459.92	636.02	1550.90
1.50	314.81	330.15	445.54	1086.43
2.00	258.02	270.60	358.20	873.44
3.00	175.54	184.10	235.35	573.90

이용한 결과이다. 그리고 아래의 Table 1~4에는 개도율의 변화에 대하여 안전밸브로 유입되는 입구 압력에 따른 필요분출면적을 나타내고 있다. Table 1~4에서 1st와 2nd는 각각 Domestic standard 1과 Domestic standard 2를 나타낸다.

위의 결과에서 알 수 있듯이 국내의 규정은 미국의 API 규정에 비해서 안전밸브의 분출면적이 평균적으로 100~200 cm² 정도 작게 예측하는 것을 알 수 있다. 국내의 규정을 사용하여 안전밸브를 설치한다면 국외의 규정을 사용하는 것에 비하여 안전밸브의 수량을 적게 설치될 것이며, 이는 국내의 규정은 누출되는 가스의 양을 최소화 하여 주위 환경에 미치는 여파를 최소화 하기 위한 목적으로 제정되었음을 알 수 있으며, 프랑스의 NF 규정의 경우에는 안전밸브의 수량이 보다 많게 설치될 것이며, 이는 NF 규정이 시스템의 보호 측면에서는 우수하나 과다 설개로 인한 설치 공간 및 설비비용 증가를 불러올 가능성이 크며, 외부로 누출되는 가스의 양이 증가함으로 환경에의 영향이 클 것으로 생각된다. 따라서 각각의 국내 및 국외의 규정에 따르는 안전밸브의 필요분출면적을 고려해 볼 때 실제 이에 따른 안전밸브의 설치수량을 선택에 있어서는 각 나라의 실정 및 주변 환경을 고려하여 탄력적으로 적용할 수 있을 것이라 생각된다.

IV. 결 론

본 연구에서는 천연가스 정압기지 내의 정압기와 안전밸브의 유동해석을 통하여 현재 사용하고 있는 국내 규정의 적합성을 판단하고, 아울러 미국의 API, 유럽 연합의 EN code, 그리고 프랑스의 NF와 같은 선진 규정과의 비교, 분석을 하였다. 그 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 정압기지 내 설치되어 있는 Dresser®의 1900 series 안전밸브의 유동 특성을 알아보았다.
- 2) 정압기의 분출 유량 및 안전밸브의 필요분출면적을 국내·외 여러 규정과 비교 및 분석하였다.
- 3) 안전밸브의 필요분출면적의 비교 결과 국내 및 국외의 여러 규정간의 많은 차이가 있음을 알 수 있었고, 이는 각 나라별 고려되는 사항 및 설치 환경의 특성에 따라서 안전밸브의 설치 수량의 선택도 다양함을 알 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 지식경제부의 에너지 기술혁신 프로그램으로 지원되었으며 이 논문은 “차세대에너지안전연구단”의 연구 결과입니다(세부과제번호: 2007-M-CC23-P-11-1-000). 또한 본 연구는 “한국가스안전공사”의 2007년 위탁용역 과제로 지원되었습니다(관리번호: KGS 2007-091).

참고문헌

[1] 신창훈, 하종만, 이철구, 허재영, 임지현, 주원구, “정압기의 임계유동 특성과 배관망해석 모델링에 관한 연구(I) -압력비 영향-”, *대한기계학회논문집 B권*, **29**(12), 1291-1298, (2005)

[2] 신창훈, 하종만, 이철구, 허재영, 임지현, 주원구,

“정압기의 임계유동 특성과 배관망해석 모델링에 관한 연구(I) -개도비 영향-”, *대한기계학회논문집 B권*, **29**(12), 1299-1306, (2005)

[3] Curt Miller, Lindsey Bredemyer, “Innovative Safety Valve Selection Techniques and Data”, *Journal of Hazardous Materials*, **142**(3), 685-688, (2007)

[4] Ralf Diener and Jürgen Schmidt, “Sizing of Throttling Device for Gas/Liquid Two-Phase Flow, Part 1: Safety Valves”, *Process Safety Progress*, **23**(4), 335-344, (2004)

[5] El Golli Rami, Bezian Jean-Jacques, Grenouilleau Pascalb, Menu François, “Stability Study and Modelling of a Pressure Regulating Station”, *International Journal of Pressure Vessels and Piping*, **82**(1), 51-60, (2005)

[6] Naci Zafer, Greg R. Luecke, “Stability of Gas Pressure Regulators”, *Applied Mathematical Modelling*, **32**(1), 61-82, (2008)

[7] El Golli Rami, Bezian Jean-Jacques, Delenne Bruno and Menu François, “Modelling of a Pressure Regulator”, *International Journal of Pressure Vessels and Piping*, **84**(4), 234-243, (2007)

[8] 한국가스안전공사, “고압가스안전관리기준통합고시”, (2007)

[9] 한국가스안전공사, “도시가스안전관리기준통합고시”, (2006)

[10] European Committee for Standardization, “EN 334”, (2005)

[11] America Petroleum Institute, “API Recommended Practice 520”, (2000)

[12] Norme Francise, “NF E 29-414”, (1984)

[13] Pietro Fiorentini®, “Reflux 819 Manual”, (2006)

[14] PTC®, “Pro-Engineering Wildfire 2.0 User’s Manual”, (2005)

[15] ANSYS®, “ICEM-CFD 10.0 User’s Manual”, (2006)

[16] ANSYS®, “FLUENT 6.3 User’s Manual”, (2007)