

# 터보 압축기용 체크 밸브의 특성 분석과 신뢰성 개선

김경수<sup>†</sup> · 강보식\* · 이승훈\*\*

## Research on characteristic analysis and reliability improvement of check valve for turbo compressor

Kyung-Soo Kim, Bo-Sik Kang and Seung-Hun Lee

**Key Words** : check valve(체크밸브), failure mode(고장모드), turbo compressor(터보압축기), Reliability Assessment(신뢰성 평가)

### Abstract

In this study, we studied failure cause of check valve through analysing characteristic of it used in turbo compressor. We researched how to improve to reduce chattering occurrence which is cause of main failure mode and suggested how to improve reliability of check valve through it.

### 기호설명

고장 : 제품의 성능이 규정된 규격을 벗어나 기대된 기능을 발휘할 수 없는 상태

신뢰성: 부품이나 시스템이 주어진 환경에서 고장없이 일정 기간동안 원래의 성질을 유지하는 특성

### 1. 서론

터보압축기용 체크 밸브는 공기압을 이용하는 자동화 라인에서 압축 공기를 공급하는 터보압축기의 출구단에 장착이 되어 사용되고 있으며, 그 적용범위가 점차 확대되고 있다. 체크 밸브는 터보압축기로 역류하여 들어가는 압축 공기의 흐름을 막아, 터보압축기의 고장을 방지하는 기능을

수행함으로써, 체크 밸브에 고장이 발생할 경우에는 자동화 생산 라인에서 작업 중단 등으로 인해 막대한 손실이 발생하게 됨으로, 고장이 발생하기 전에 미리 관련 부품의 수명을 예측하여 부품을 교체하여야 한다. 하지만 체크 밸브의 수명 예측 및 성능 열화 특성 연구와 신뢰성 개선을 위한 데이터 확보와 분석은 매우 미미한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 체크 밸브의 현장 작동 조건 및 환경을 분석하여, 체크 밸브의 고장 모드 및 원인을 분석하고, 고장을 줄여 체크 밸브 및 터보압축기의 신뢰성을 향상 시키는 방법을 모색하고자 한다.

### 2. 고장 모드 분석

#### 2.1 체크 밸브의 구조 및 기능

터보압축기용 체크 밸브는 외형 및 유로를 형성하는 몸체(②), 공기의 흐름을 제어하는 디스크(④), 디스크의 움직임을 도와주는 가이드(①)와 디스크의 위치 복귀를 도와주는 스프링(③)으로 구성 되어 있다.

체크 밸브는 터보압축기의 출구에 설치되어

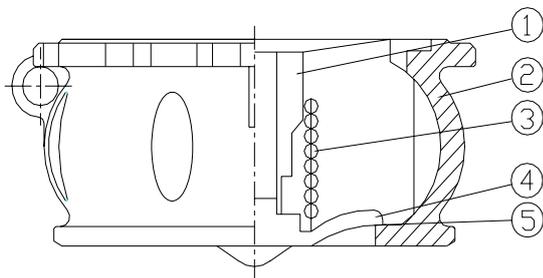
† 김경수, 한국기계연구원 신뢰성평가센터  
E-mail : xmas000@kimm.re.kr  
TEL : (042)868-7409 FAX : (042)868-7082

\* 한국기계연구원 신뢰성평가센터

\*\* 한국기계연구원 신뢰성평가센터

있으며, 작업장에서 이상 압력이 발생하거나, 또는 터보압축기가 정지시에, 압축 공기가 역류하여 터보압축기로 공급되는 것을 방지하는 기능을 수행하고 있다. 즉, 체크 밸브의 고장은 터보압축기의 고장과 직결된다.

본 연구에서 사용된 체크 밸브는 스테인리스 스틸로 구성되었으며, 주요 사양으로는 호칭 치수는 DN150 (6 inch), 배관 접속 방식은 wafer type 이다.



- ① 가이드(Guide)
- ② 몸 체(Body)
- ③ 스프링(Spring)
- ④ 디스크(Disc)
- ⑤ 시 트(Seat)

Fig. 1 Structure of check valve

Table 1 Specification of check valve

Classification	Value
Size	DN150 (6 inch)
Material	Stainless steel
Max. pressure	40 kgf/cm <sup>2</sup>
Weight	14 kg
Connection	wafer type

## 2.2 고장 사례 분석

터보압축기에 장착이 되어 운용되는 체크 밸브의 실제 고장 사례를 수집하고, 고장난 체크 밸브의 상태를 분석하였다. 주 고장 원인으로서는 터보압축기의 작동 on-off 시 약 1분간 발생하는 채터링(chattering)현상에 의해 디스크가 15~20 Hz 정도의 진동이 발생되어, 디스크 축과 가이드에서 마모가 발생이 된다. 마모가 심하게 진행될 경우, 디스크 축과 가이드의 갭이 매우 커져서 디스크가 가이드에 끼임이 발생되어, 디스크가 시트부로 안착이 안되어, 체크 밸브의 기능을 상실하게 된다.

또한, 체크 밸브의 개폐가 큰 압력 차이에서 지속적으로 동작되어, 용접으로 연결한 디스크와 디스크 축의 연결부위가 파단되는 경우가 발생하기도 하였다.

위와 같은 고장이 발생하였을 경우, 체크 밸브의 주 기능을 수행하지 못하며, 주 시스템인 터보압축기의 고장을 발생시켰다.

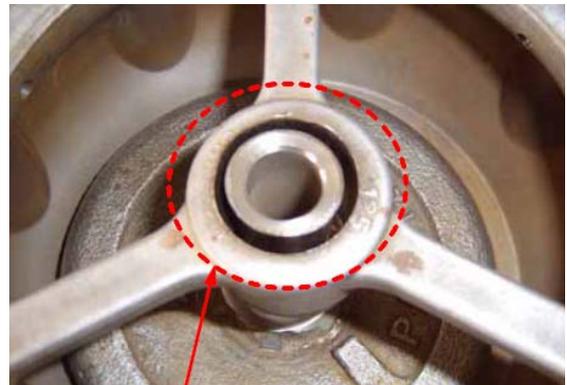


Fig. 2 Example of guide wear



Fig. 3 Fracture of disc connection

### 2.3 고장 모드 분석

체크 밸브의 고장 사례를 토대로, 치명도 매트릭스 분석(Criticality Matrix Analysis ; CMA)을 하였을 때, 가이드의 마모와 디스크 및 시트부의 크랙이 가장 큰 치명도를 나타내고 있다.

**Table 2** Failure Modes and Mechanisms Analysis

Primary components	Failure modes	Failure mechanisms	
Body	Crack	①	Fatigue Failure
		②	External Impact
	Corrosion	③	Lack of corrosion proof and wear resistance
Disc	Wear	④	Repeated operation
	Fracture	⑤	Operation Impact
	Jam	⑥	Guide Wear
Guide	Wear	⑦	Repeated Operation
Seat	Crack	⑧	Operation Impact
Spring	Deformation	⑨	Overload
		⑩	Deformation by high temperature
	Fracture	⑪	Bending Fracture
		⑫	Fatigue Failure
		⑬	brittle Failure

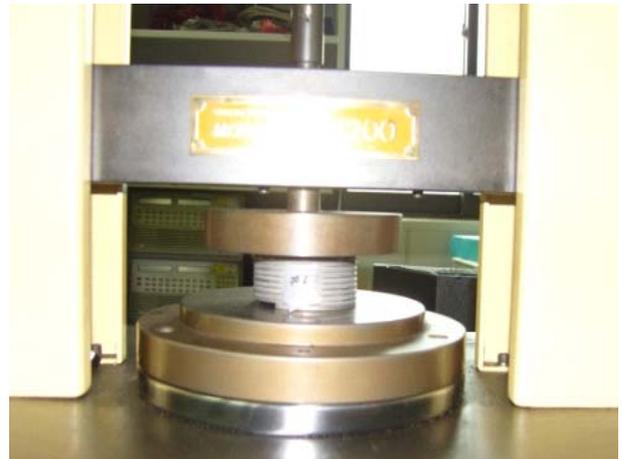
**Table 3** Criticality matrix analysis

failure severity	High	⑤	⑥,⑧	④,⑦
	Medium	①,②,⑪ ⑫,⑬		
Low	③	⑨,⑩		
	Low	Medium	High	
failure frequency				

### 3. 특성 분석

#### 3.1 체크 밸브의 스프링 특성 분석

체크 밸브의 작동에 있어, 가장 기본적인 성능에 영향을 미치는 부품은 스프링이다. 이에 스프링의 특성을 분석하였다. 스프링 특성 분석은 4 종류의 스프링에 대하여 실시하였다. 시료 1번은 현재 사용되고 있는 스프링이며, 2번은 1번스프링력의 50 %, 3번은 150 %, 4번은 300 %로 변화시켰다. 그러나 4번 시료는 보유하고 있는 시험장비의 사양보다 커서 특성 분석을 하지 못하였다.



**Fig. 4** Spring characteristic analysis test

**Table 4** Spring characteristic analysis test result

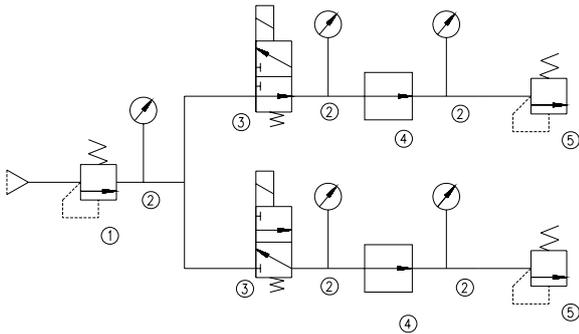
		(unit : kgf/mm)				
sample NO.	count of test	1st	2nd	3rd	4th	5th
	#1		0.251	0.251	0.252	0.251
#2		0.115	0.115	0.115	0.115	0.115
#3		0.034	0.035	0.035	0.035	0.035
#4		Not measurable				

### 3.2 성능 특성 분석

체크 밸브의 성능 특성을 확인 하기 위해, 현장 작동 조건을 분석하고, 현장 작동 조건하에서 고장을 재현하는 시험장비를 구축하였다. 주고장 모드를 발생시키는 채터링현상을 재현하기 위해 체크 밸브의 출구에 릴리프 밸브(⑤)를 설치하여, 실제 작동 현상을 재현하였다.

#### 3.2.1 신뢰성 평가 시험장비

체크 밸브의 현장 작동 조건을 고려하고, 고장 모드 재현을 위한 수명 시험 장비를 Fig. 5와 같은 회로도 구성을 하였다. 시험 대상품의 사이즈가 매우 커서 작동시 큰 소음이 발생되었고, 소음을 감소시키기 위해 시험장비 구축시 신중한 검토가 필요로 하였다.



- ① 압력 조절 밸브      ④ 시험 밸브
- ② 압력 센서          ⑤ 릴리프 밸브
- ③ 방향 제어 밸브

Fig. 5 Circuit of endurance test

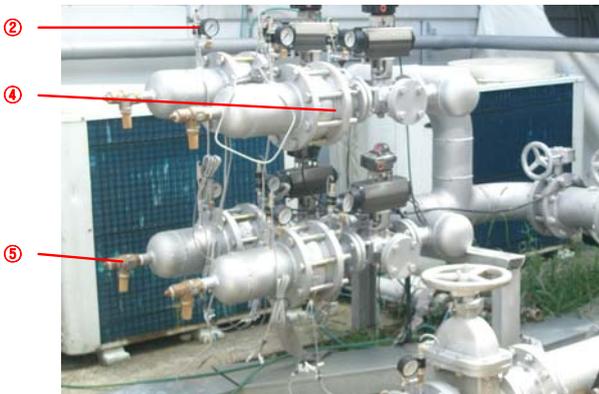


Fig. 6 The apparatus of endurance test

#### 3.2.2 신뢰성 평가 시험 및 결과

4개의 체크 밸브에 대하여, 성능 특성 확인을 위한 시험 항목으로, 개방 압력 측정 시험 (working pressure measurement test), 압력 손실 시험 (pressure drop test), 유량 측정 시험 (flow measurement test) 및 누설 시험 (leakage test) 등 총 4가지의 성능 시험을 실시 하였다. 이는 고장 재현 수명 시험중 체크 밸브의 고장여부를 확인하고, 수명 열화에 따른 특성 열화 정도를 확인하기 위한 시험 항목이다. 성능 시험은 Fig. 7의 시험 장비로 실시 하였다.

4가지의 성능 시험 결과, 체크 밸브의 수명 시험 전 성능 특성은 시험 규격에서 요구하는 기준치를 모두 만족하였다.



Fig. 7 The apparatus of performance test

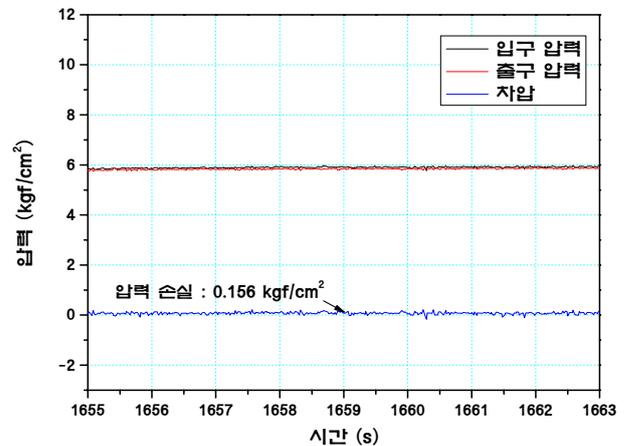


Fig. 7 Working pressure measurement test result

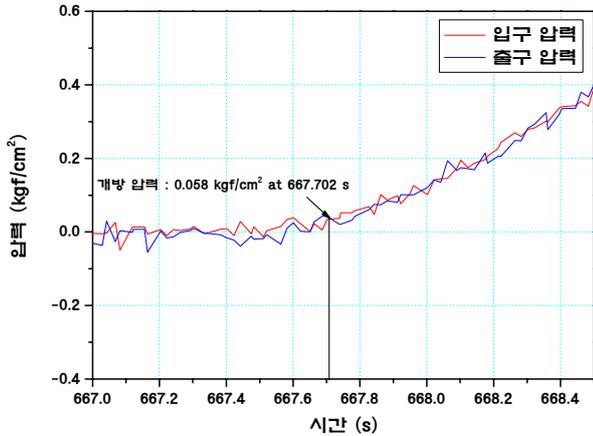


Fig. 8 Pressure drop test result

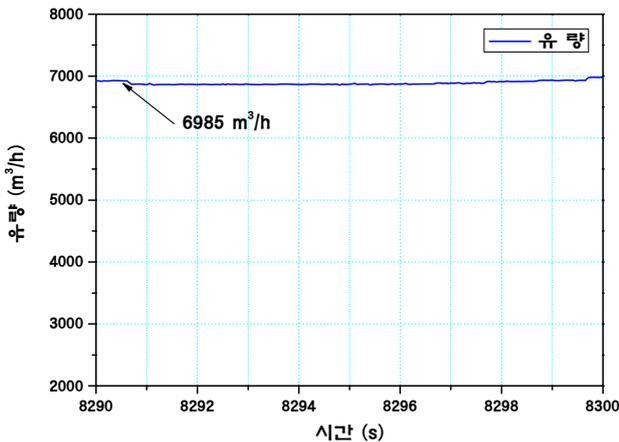


Fig. 9 Flow measurement test result

#### 4. 신뢰성 향상 개선 방안

##### 4.1 스프링 계수의 변경

성능 특성 결과와 마찬가지로, 현재 체크 밸브가 작동을 하기 위한 압력은 약  $0.05 \text{ kgf/cm}^2$  로 매우 낮은 압력에서 체크 밸브가 열린다. 즉, 체크 밸브 입구측에 미세한 압력이 발생하여도, 체크 밸브는 작동을 하게 된다. 이로 인해 더 많은 작동을 하게 되며, 입구와 출구의 미세한 압력 차이가 발생하여도 체크 밸브는 민감하게 반응하여, 미세한 움직임을 가지게 된다.

특히, 채터링이 발생하는 시점이 터보압축기가 일정한 압력을 공급하는 시점이 아닌, 가동이 시작되어 체크 밸브가 열리는 때와 가동을 멈추어 체크 밸브가 닫히는 때에 발생하는 것으로 보아, 현재 사용되고 있는 스프링의 탄성력이 매우 낮아 발생하는 것으로 보여 진다.

스프링 탄성력이 현재보다 매우 큰 개방 압력이  $(1\sim 2) \text{ kgf/cm}^2$  가 되도록 하면, 미세한 압력 차이에도 디스크가 동작을 하지 않게 되어 채터링 현상이 발생하는 것을 줄일 수 있다.

##### 4.2 마모량 저감 대책

위의 방법처럼 스프링 계수를 변경하여 채터링 현상을 줄일 수 있으나, 완벽하게 채터링 현상을 없애는 것은 아니다. 터보압축기에서 공급되는 압력의 변동이 클 경우, 디스크가 빈번하게 동작하여, 가이드의 마모가 발생 된다.

체크 밸브의 가이드 마모를 줄이는 것이 체크 밸브의 신뢰성 및 수명을 향상 시키고, 나아가 터보압축기의 신뢰성을 향상 시키는 것이다.

가이드 및 디스크 축의 마모를 줄이기 위한 방법중 가장 손쉬운 방법으로 해당 부위에 테프론 코팅(teflon coating)을 하였다.

테프론 코팅은 내마모성, 비점착성, 내약품성, 비유성, 절연성, 대전방지성, 내열성 및 저마찰 특성등 많은 장점이 있다. 특히, 내마모성과 저마찰 특성으로 인해 체크 밸브 가이드의 마모가 줄었으며, 이로 인해 수명이 향상 되고 마모로 인한 고장률을 감소하게 시킬 수 있다.



Fig. 10 Sample of teflon coated guide

#### 5. 결 론

현장에서 작동되다 고장난 체크 밸브의 시료를 수집하고 체크 밸브가 고장이 발생된 환경을 조사 하였다. 고장 분석 기법인 FMMA와 CMA를 이용하여 고장 모드 및 치명도 분석을 통해 체크 밸브의 주고장 모드를 확인 하였다. 주고장 모드인 가이드 마모가 발생하는 원인을 분석한 결과,

터보압축기가 초기 작동시 채터링 현상이 발생됨에 따라, 짧은 시간이지만 수많은 작동을 하게 되어, 가이드 및 디스크 축의 마모를 촉진 시키게 되었으며, 이로 인해 가이드와 디스크 축의 갭(gap)이 커져서 가이드에 디스크 축이 딱 끼어 디스크가 움직이지 않는 현상이 발생됨을 확인하였다.

체크 밸브에 사용된 스프링 특성과 성능 특성 시험을 통하여, 채터링이 발생하는 원인을 파악하여, 고장 원인 및 체크 밸브의 고장률을 줄이는 방법을 제시 하였다.

체크 밸브는 구조가 간단하고 많은 기능을 가지고 있지 않은 단품에 불과 하지만, 단품의 고장이 시스템 전체에 막대한 영향을 끼치는 것을 확인할 수 있다. 본 연구에서도 체크 밸브의 특성 분석을 통해 신뢰성을 향상 시키게 됨으로써 터보압축기 전체의 신뢰성 및 수명을 향상 시키게 되었다.

## 참고문헌

- (1) ISO 9635-3, 2006, "Agricultural irrigation equipment - Irrigation valves - Part 3 : check valves"
- (2) ISO 9644, 1993, "Agricultural irrigation equipment - Pressure loss in Irrigation valves - Test method"
- (3) SAE AS 1225, 1997, "Oxygen system fill/check valve"
- (4) Robert B. Abernethy, 2003, "The New Weibull Handbook", *Florida*
- (5) Gary S. Wasserman and Marcel Dekker, 2003, "Reliability Verification Testing, and Analysis in Engineering Design", *New York*.
- (6) Dimitri Kececioglu and Prentice Hall, 1993, "Reliability & Life Testing Handbook", *New Jersey*
- (7) NSWC(Naval Surface Warfare Center Carderock Division), 1998, "Handbook of Reliability Prediction Procedures for Mechanical Equipment"