

# 왕복동식 수소 압축기용 완충기 진동 특성 분석

## The Vibration Analysis of Snubber for Reciprocating Type Hydrogen Compressor

김효중\* · 장용석\* · 조성원\* · 최병근†

H. J. Kim, Y. S. Jang, S. W. Cho and B. K. Choi

**Key Words** : Reciprocating hydrogen compressor(왕복동식 수소 압축기), vibration analysis(진동해석), Pressure pulsation(맥동압), optimization(최적화)

### ABSTRACT

The reciprocating type hydrogen compressor is occurred by the pulsation from the mechanism and this pulsation is make much noise and vibration. Therefor snubber is installed for pulsation decreasing. The five type snubber models were designed for increasing pulsation amplitude reduction and decreasing pressure loss in snubber considering output pipe location as design value. And the pressure flued analysis is carried by CFD.

In this paper, each type snubber according CFD result are analyzed by the MSC/NASTRAN to identify the vibration characteristic of each type. The vibration results are compared with CFD results.

## 1. 서 론

최근에 석유 고갈 및 환경오염 문제로 수소 에너지에 대한 기대가 커지고 있다. 새로운 담체로서 수소 에너지가 떠오르고 있으며, 수소 전지 자동차가 개발 되어 그 시장이 급속히 증가 되고 있다. 따라서 수소 에너지 인프라 구축을 위한 준비가 국가적으로 진행 되고 있다. 그 일환으로 국내에서는 자동차용 수소 스테이션을 위한 고압용(100 MPa급) 수소 압축기가 개발 되어 현장에 적용 하고 있는 단계이다.

대용량의 경우 스크류 타입이나 회전식을 채택하지만, 이 타입의 경우 고압을 얻기 힘들므로 왕복동식 타입이 채택 되고 있다. 그러나 왕복동식의 경우 기구적 특성상 피스톤이 왕복하면서 압력차가 발생하여 맥동압(pulsating pressure)이 발생 하게 되고, 이는 왕복동식 압축기에서 발생하는 진동의 주원인이 된다. 그러므

로 압축기에 완충기(snubber)를 부착 하게 되는데 snubber의 역할은 고압으로 압축된 수소 가스가 snubber를 통과하면서 맥동 압력의 진폭을 저감하고 수소 가스의 이물질 제거한다. 맥동의 성질이 저감 되어야 수소 압축기에서 피스톤의 왕복 운동 시 실린더 내부의 압축효율이 유지되므로 snubber에 대한 연구가 필수적이다.

따라서 본 논문에서는 기존의 snubber를 압력손실과 맥동 진폭감소를 목적 함수로 하여 유동해석을 통해 최적화된 설계 변수 조건을 토대로 진동 특성을 살펴보고 분석 하여 보았다.

## 2. 연구 배경 및 목적

### 2.1 연구 대상

Table 1.과 Fig.1은 본 연구에서 해석을 수행한 snubber case들의 형상과 설계 변수들을 나타내고 있다.

Snubber의 직경은 193.68mm이고 내부에 input pipe로 들어온 고압의 수소의 압력 진폭을 줄이는 버퍼(buffer)가 있다. 그리고 Fig. 1에서 A는 input과 output의 간격을 나타내고 B는 output과 바닥의 간격을 나타낸다.

† 최병근; 경상대학교 기계항공학부  
E-mail : bgchoi@gnu.ac.kr  
Tel : (055)640-3059  
FAX : (055)640-3188

\* 국립 경상대학교 대학원 정밀기계공학과

Table. 1 Model Specification

| case     | input과 output<br>간격(A) | Output과<br>bottom 간격(B) |
|----------|------------------------|-------------------------|
| original | -130mm                 | 375mm                   |
| IO-01    | 0                      | 375mm                   |
| IO-02    | 100mm                  | 475mm                   |
| IO-03    | 200mm <td 575mm        |                         |
| IO-04    | 300mm                  | 675mm                   |
| IO-05    | 400mm                  | 775mm                   |

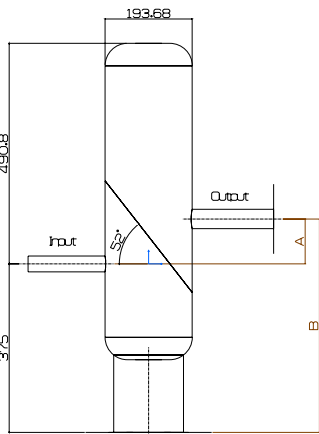


Fig. 1 Geometry of the snubber model

Original case는 기존에 개발된 수소압축기의 snubber로 input pipe의 위치는 바닥에서부터 505mm 떨어져있고 output pipe의 위치는 바닥에서부터 375mm 이다. 이 case를 기준으로 input pipe의 위치를 바닥에서 375mm로 하고, output piped와의 간격을 0~400mm로 하여 총 5가지 IO case에 대한 진동 해석을 수행 하였다.

## 2.2 선행 연구

수소 압축 시스템에서 왕복동식을 적용하려면 반드시 맥동압을 고려해야 한다. 유동 해석을 통해 압력 손실과 맥동에 의한 진폭 감소를 목적 함수로 하고 input과 output pipe의 간격을 설계변수로 하여 유동 해석 연구가 수행 되었고 결과는 Table. 2와 같다.

Table. 2는 유동 해석을 통해 구한 각 case들의 압력 손실과 진폭 감소량을 나타내고 있다.

이 결과를 살펴보면 맥동 압력 손실을 목적함수로 한 경우 IO-05가 가장 좋고, 진폭의 감소는 IO-01이 가장 좋은 것을 알 수가 있다. Fig. 2는 CFD로 수행된 IO-01과 IO-05의 압력 분포 해석 결과를 나타낸다.

Table. 2 Numerical Result of all cases<sup>2)</sup>

| cases | Mean Pressure<br>Loss (MPa) | Amplitude<br>Reduction (MPa) |
|-------|-----------------------------|------------------------------|
| IO-01 | 0.2577                      | <b>0.1538</b>                |
| IO-02 | 0.2652                      | 0.1296                       |
| IO-03 | 0.1967                      | -0.0395                      |
| IO-04 | 0.2721                      | 0.1397                       |
| IO-05 | <b>0.1269</b>               | 0.0248                       |

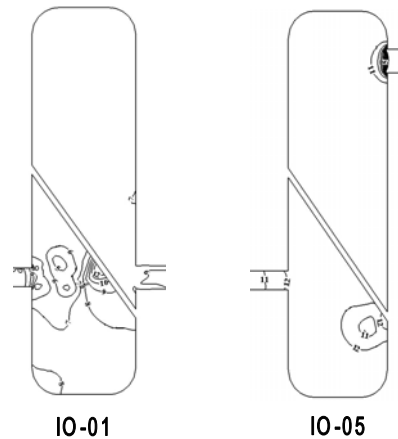


Fig. 2 The pressure distributions of IO-01&05

## 3. 진동 해석

### 3.1 자유 진동 해석

앞서 기술한 각 case들의 고유치와 고유 모드를 알아보기 위해 자유진동해석을 수행 하였다. 수행 과정은 Fig. 3과 같다.

각 case별 geometry model을 상용 3D CAD프로그램인 CATIA를 이용하여 설계 하였고, 이를 MSC.partran을 이용하여 격자를 생성 하였다. 경계 조건은 각각의 input과 output pipe 그리고 snubber 바닥 부분을 완전 고정 하였고, 물성치는 stainless를 부여 하였다. 이후 MSC.nastran을 solver로 자유진동해석을 수행하였다.

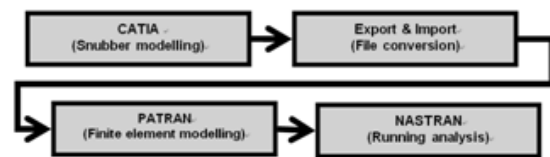


Fig. 3 Analysis process

Table. 3은 각 case별 고유치를 나타내고 있다.

이를 살펴보면 original과 IO-01~03까지는 3차 모드가 IO-04와 05는 2차 모드에서 540Hz~560Hz로 나타나고, Fig. 4와 같은 모드 형상이 나타나는 것을 확인 하였다. snubber 내부의 버퍼의 변위는 0.0377~0.0314mm로 진동이 탁월한 것을 볼 수 있다. 이는 original과 IO-01~03 case는 output의 pipe 위치 때문에 2차 모드에서 snubber의 상부가 많은 영향을 받아 탁월 하지만 IO-04와 05의 경우 output pipe가 높게 설계되어 snubber의 상부의 영향이 적게 나타나는 것으로 사료 된다.

Table. 3 Natural Frequency of all cases

| mode | Original     | IO-01        | IO-02        | IO-03        | IO-04        | IO-05        |
|------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| 1    | 224.0        | 185.6        | 210.4        | 239.8        | 270.9        | 299.8        |
| 2    | 431.7        | 319.4        | 377.1        | 457.4        | <b>540.8</b> | <b>551.4</b> |
| 3    | <b>556.3</b> | <b>559.6</b> | <b>558.5</b> | <b>559.5</b> | 588.9        | 680.8        |
| 4    | 694.4        | 673.1        | 678.1        | 684.9        | 685.6        | 737.7        |
| 5    | 811.1        | 823.3        | 812.6        | 803.1        | 804.9        | 826.1        |
| 6    | 920.5        | 923.7        | 922.9        | 923.1        | 906.5        | 924.2        |
| 7    | 982.4        | 977.5        | 974.5        | 947.0        | 923.4        | 956.5        |
| 8    | 1091.5       | 1180.9       | 1057.9       | 1000.0       | 993.4        | 1023.0       |
| 9    | 1348.9       | 1344.5       | 1353.5       | 1404.2       | 1397.0       | 1362.8       |
| 10   | 1422.6       | 1345.5       | 1416.5       | 1423.9       | 1423.4       | 1419.5       |

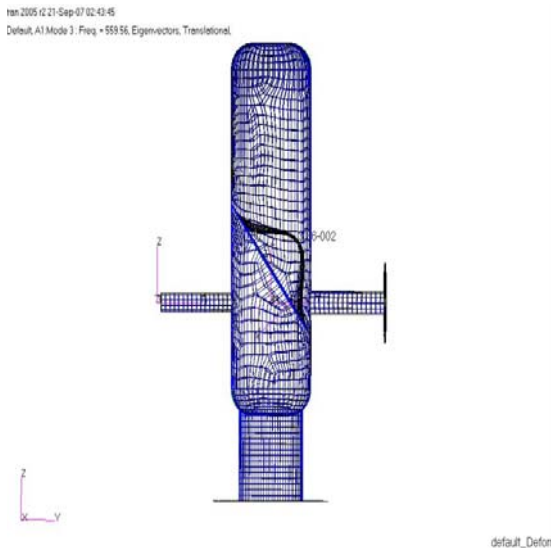


Fig. 4 3rd mode shape of IO-01

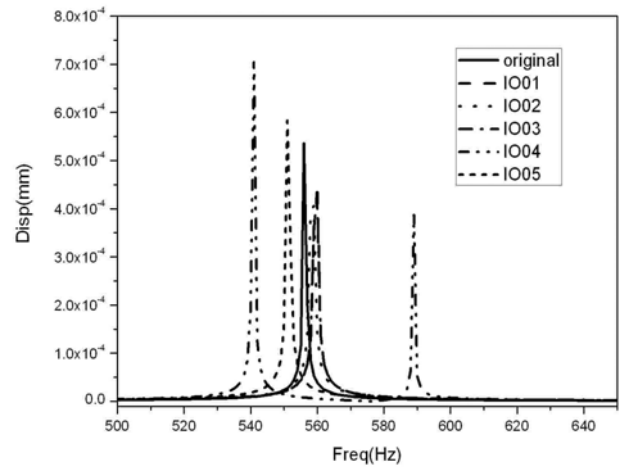


Fig. 5 result of forced vibration

### 3.2 강제 진동 해석

왕복동식 수소압축기의 맥동압의 영향이 진동적 측면에서 어떠한 영향을 주는지 알아보기 위해 강제 진동 해석을 수행 하였다.

해석 수행 과정은 자유진동 해석과 동일하다. 구속 조건은 자유진동해석과 동일하게 in&output과 바닥 부분을 고정 하였고, 왕복동식 압축기의 맥동 압력이 8Mpa~12Mpa 이므로 force는 max값인 12Mpa를 부여하였고, 가진 주파수는 수소압축기의 맥동 파형 주기인 16Hz로 가진 하여 강제 진동 해석을 수행 하였다.

Fig. 5는 각 snubber case에 12Mpa, 16Hz로 가진한 결과를 비교한 것이다.

이결과를 살펴보면 IO-01~03의 경우 original case보다 강제응답이 작게 나타나고 IO-04와 05는 크게 나타나는 것을 볼 수가 있다. 이는 IO-01~03는 output pipe의 위치가 내부 buffer의 위치와 비슷하여 mode를 잡아 주기 때문에 변위가 작은 것으로 사료된다. 따라서 유동 해석에 의해 압력 손실이 적거나 맥동의 진폭저감이 크게 최적화 되더라도 진동적 특성이 좋지는 않다는 것을 알 수가 있다.

### 4. 결 론

왕복동식 수소 압축기의 snubber의 압력 손실과 맥동압 저감에 따른 유동 해석 결과를 진동적 특성에 따른 분석을 위해 자유 진동 해석 및 강제 진동 해석을 수행 하였고, 다음과 같은 결론을 얻을 수 가 있었다.

자유 진동 해석의 경우 각 case별 고유치 및 모드 형상을 확인 하였다. Snubber의 내부 buffer의 진동이 탁월한 것을 확인 하였다. 그러므로 왕복동식 압축기의 진동을 저감 하기 위해서는 buffer의 두께를 조정하는 것이 효과적이라고 사료 되나, 이는 맥동 진폭 감소에 영향을 줄 수 있으므로 고려가 필요하다고 사료된다.

그리고 강제진동해석의 경우 IO-01~03은 원 snubber보다 변위가 작은 것을 확인 하였고, 압력 손실이나 진폭저감의 상태에 따라 진동적 특성이 좋지만은 않다는 것을 알 수가 있었다. 그리고 유동해석결과와 진동 특성을 같이 분석한 결과 IO-01이 압력 손실은 다소 있지만 가장 효과적이라고 사료 된다.

이 결과를 통해 유동적 특성이 좋더라도 진동적 특성이 좋지만은 않다는 것을 확인 하였고, 이후 두 특성을 같이 고려한 연구가 필요하다고 사료된다.

## 후 기

이 논문은 산업 자원부 지역혁신인력양성사업, 산업자원부중점기술개발사업(과제번호 : 10024348100200 ) 와 2단계두뇌한국21 (2nd BK21)의 지원을 받았습니다.

## 참 고 문 헌

- (1) B. S. Yang, 1994, Actuality of equipment diagnosis by vibration's law, Ilo. P. 240-241, Korea
- (2) Wanda Ali Akbar, "A Study on High-Pressured Gas Flow inside Snubbers of Reciprocating Hydrogen Compressor System", the Degree of Master, Gyeongsang university, 2007, pp. 95~102
- (3) Kyujin Sim, C. S. Yi, Wanda Ali Akbar, H. S. Jung, H. M. Jung and M. G. "CFD Anlysis on the Without-Snubber of Reciprocation Hydrogen Compressor", Proceedings of the KSME Gyeongnam Spring Meeting 2006, 2006, pp. 187~192.
- (4) Kyujin Sim, C. S. Yi, Wanda Ali Akbar, H. S. Jung, H. M. Jung and M. G. "Numerical Analysis on the Pressure Characteristics in a Snubber for Hydrogen Compressor", J. of The Korean Society for Power System Engineering Volume 1, No. 2, 2007, pp. 76~81
- (5) MSC.Software Corporation. 2004. MSC.Nastran Quick Reference Guide. MSC.Software Corporation