KIGAS Vol.8, No.2, June, 2004
(Journal of the Korean Institute of Gas)

LNG 초저온 2차 펌프의 진동 원인 분석

†고 재 필 · 김 준 호 · 홍 성 경
한국가스공사 연구개발원
(2004년 4월 12일 접수, 2004년 6월 22일 채택)

The evaluation of LNG Cryogenic Secondary pump vibration

J. P. Koh · J. H. kim and S. K. Hong
Kogas R&D Center
(Received 12 April 2004 ; Accepted 22 June 2004)

요 약

한국가스공사는 천연가스를 외국으로부터 수입하여 전국의 도시가스회사에 공급하는 일을 하고 있다. 이 때 수입하는 천연가스는 영하 162도의 액화된 상태로 LNG 운반선을 이용하여 운반한다. 한국가스공사에는 평택, 인천, 통영에 액화된 천연가스를 하역, 저장하고 액화천연가스를 기화시키기 위한 설비들이 있고, 이를 통상 생산기지라 명명한다. 생산기지에서는 여러 가지 다양한 설비들이 있는 데, 이 중에서, 2차 펌프는 액화천연가스를 압력이 10 kgf/cm2 에서 70 kgf/cm2 로 승압 시키는 부분을 담당한다. 이 펌프는 한 개의 지하 PIT내에 두 개의 펌프가 설치되어 있고, 이로 인해 한 펌프가 옆에 있는 펌프에 영향을 주는 것으로 의심되고 있다. 또한 펌프 지지대 구조물과의 공진 여부를 판단하기 위하여, 진동 분석을 실시하였다.

Abstract - Korea Gas Corporation(KOGAS) is a Liquified Natural Gas(LNG) supplier through out the Korea. LNG, which is imported wholly from foreign countries, is compressed 1/600 for easy transportation and is stored in a liquid state in the storage tanks at Incheon, Pyeongtaek and Tongyeong. At LNG receiving terminals, LNG is vaporized to natural gas before supplying to City Gas Consumer or Power Plant. The secondary pump is a equipment which compress LNG from 10 kgf/cm^2 to 70 kgf/cm^2. The secondary pump at Tongyeong LNG receiving terminal is consisted of two pumps in one underground PIT, and is connected to supporting structures. It is therefore expected that there is a vibration problem with the pump and was found that high level vibration was occurred in a low frequency band(5~10Hz). In this paper, the vibration of secondary pump was analyzed, and the main cause of vibration was found out.

Key words : Cryogenic Pump, Low frequency Vibration, transmissibility, LNG

1. 서 론

한국가스공사에는 외국으로부터 들어오는 LNG를 저장하고, 전국의 도시가스사에 가스를 공급하기 위해 건설된 생산기지가 평택, 인천, 통영에 3개가 있다. 이들 기지에는 각종 설비들이 있고 이 중 초저온의 상태에서 운전되어야 하는 설비들도 있다. 본 진동시험 대상인 2차 펌프도 액화천연가스를 승압 시

† 주저자 : jpkoh@kogas.or.kr

키는 장치로 -162℃의 온도에서 가동되는 특성을 가지고 있다.

2차 펌프는 구동되는 모터가 LNG에 잠겨 펌프를 구동 시키고, 운전주파수가 펌프의 고유진동수보다 적은 회전수에서 운전되고 있다. 통영생산기지에 있는 2차 펌프는 1개의 지하 PIT내 2기의 펌프가 설치되어 있고 PUMP를 지지하는 구조물 등이 연결되어 있어 진동전달 측면에서 문제가 있을 것으로 예상되었고, 펌프 내에 설치된 진동센서에서의 5 ~ 10 Hz 성분에서 진동치가 크게 발생하였다. 따라서 이에 대한 진동 원인 및 2대의 펌프가 한 구조물에 설치되어 있으므로 해서 발생되는 진동을 분석하였다.

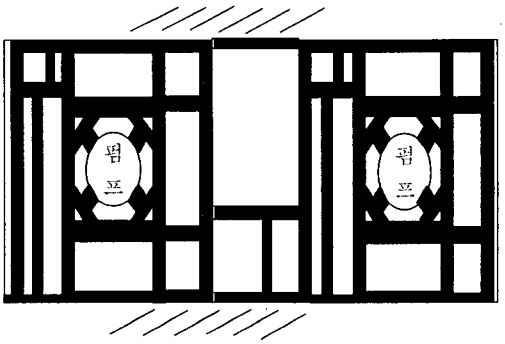

Fig. 1. Support structure of secondary pump.

2. 본 론

진동측면에서 문제가 되고 있는 2차 펌프는 1개의 지하 PIT내 2기의 펌프가 설치되어 있고, PUMP를 지지하는 구조물이 두 개의 펌프가 연결되어 있는 형식으로 설치되어 있다(Fig.1). 또한 개별 펌프도 지지 방법이 상단부만 지지되어 있고, 하부 지지가 없는 형식을 취하고 있다(Fig. 2). 펌프의 특성도 일반 펌프와는 달리 LNG를 압축 시키는 용도이므로 -162℃의 온도에서 운전하게 되어 있는 기기이다. 위와 같은 조건 속에서 확인하고자 하는 내용은, 같은 구조물 내에 있는 펌프들 간의 진동 전달이 미치는 영향과 저주파 진동원인을 확인하고자 함이다. 5 Hz 주파수에서 6.29 mm/s RMS의 진동이 발생하는 것으로 측정되었고, 이 수치는 API Standard의 기준치인 5.0 mm/s RMS를 초과하는 진동이다. 진동시험은 먼저 한 펌프의 진동을 측정하고, 다른 펌프를 기동했을 때의 진동 전달을 측정하여 평가하였다. 저주파 진동 특성의 경우 측정된 펌프의 진동을 분석하여 원인을 찾고자 하였다.

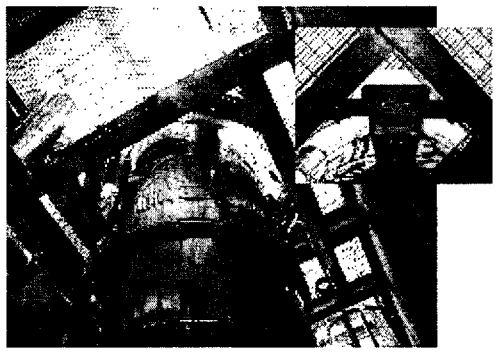

Fig. 2. Support type of secondary Pump.

2.1. 펌프의 제원

- 제작사 및 Model : Ebara International Corporation, 6ECC-129M
- V/P/Hz 및 정격용량 : 6600/3/60, 900 KW
- 회전수 : 3600 rpm
- 토출유량 : 260 ㎥/h
- 토출압력 : 81.5 ~ 91.4 kg/㎠
- Diffuser Type : Radial 9단 Vane 수 5EA
- Impeller : 9단
- Impeller Vane 수: 5EA
- Trust 방식 : Trust Equalizing Mechanism
- Bearing : Radial Type (제작사:SKF)
  - Motor top : 6314
  - Motor Bottom : 6317
  - Pump Tail : 6311

2.2. 진동측정

진동측정은 펌프의 진동상태를 정확하게 측정하기 위해서는 API Standard 610에서 권고하는 바와 같이 베어링에서 가장 가까운 곳에서 측정하는 것이 바람직하다. 따라서 Pump Top Plate에서 측정을 실시하기 위해서 수평 방향으로 90° 각을 두고 센서를 설치하였고, Pump Top Plate에 직접 설치할 수가 없기 때문에, 사람이 탐침봉으로 직접 접촉하는 방식을 이용하였다(Fig.3). 탐침봉을 이용하여 진동을 측정한 이유는 저온용 진동센서가 아닌 것과, 센서를 직접 부착할 수 있는 방법이 용이하지 않기 때문이었다. 펌프에

서 구조물로 전달되는 진동 특성을 파악하기 위하여 펌프와 구조물이 연결되는 곳에 수평, 수직 방향으로 센서를 설치하였다(Fig.4). 그리고 A펌프에서 발생하는 진동이 구조물을 통해서 B펌프로 전달되는 정도를 파악하기 위하여 6번 센서를 설치하였고, B펌프에는 A펌프에서와 마찬가지로 펌프와 구조물이 연결되는 곳에 수직방향으로 센서를 설치하였다. Fig.5는 총 7개의 센서들이 설치되어 있는 위치를 나타내고 있고, Table 1에 각 센서들의 방향과 설치 목적을 정리하였다.

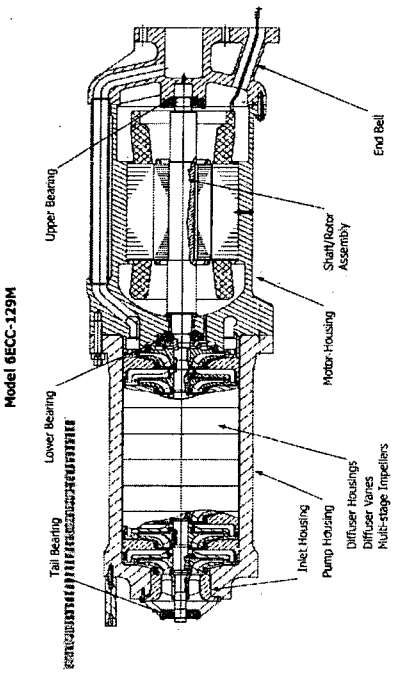

Fig. 3. Secondary pump.

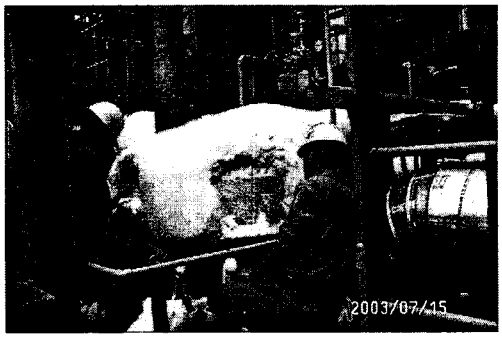

Fig. 4. Measuring vibration of secondary pump.

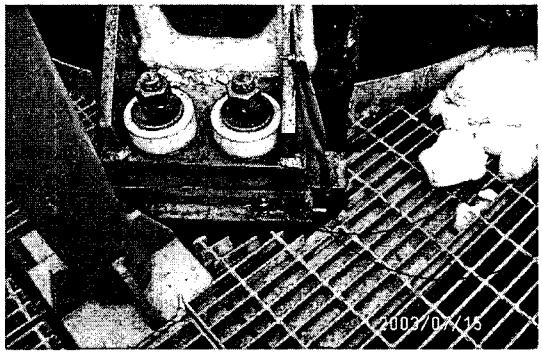

Fig. 5. Support point of secondary pump.

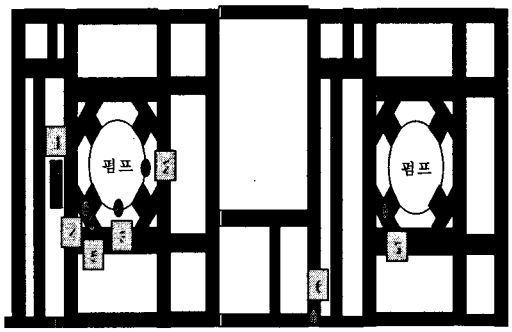

Fig. 6. Position of Sensor.

Table 1. Direction of sensor.

센서	설치목적	방 향
1	소음분석	Microphone
2	펌프진동 분석	수 평
3	펌프진동 분석	수 평
4	펌프진동 분석	수 직
5	펌프진동 분석	수 평
6	진동전달 분석	수 직
7	진동전달 분석	수 직

2.3. 진동 분석

이번 진동측정에서 관점은 펌프 진동과 펌프를 지지하고 있는 구조물을 통한 진동 전달 정도를 파악하기 위함이었다. 따라서, 진동시험은 다음과 같이 두 가지 경우에 대하여 측정을 실시하였다.

(1) A, B 펌프 중 A만을 운전하는 경우
(2) A 펌프가 운전 중인 상황에서 B 펌프를 가동했을 때의 경우

진동시험에서는 시간에 대한 속도(mm/sec) 데이터를 분석하여 진동기준치 정도를 파악하고, 이 시간 신호를 FFT를 통해 주파수 신호로 변환시켜 진동의 주요 성분을 분석하였다. 시간에 대한 진동 데이터는 2차 펌프의 가동 전 2초 전부터 시작하여 펌프가 안정이 될 때 까지의 진동을 측정하였다. 또한 진동값에 대한 기준은 펌프가 안정화(2m 30s 이후) 되는 시점부터 측정하여 분석하였다. 주파수 범위는 A, B 펌프에서는 펌프와 구조물과의 진동에 중점을 두기 위하여, 펌프에서 큰 진동을 유발할 수 있는 5 Hz 에서 800 Hz 까지로 하였다. (참고로 API에서 권장하는 주파수는 5 Hz에서 2Z * running speed, 여기서 Z는 impeller vane 수로 다단 펌프일 경우 각 단계 중에서 vane 수가 가장 많은 것을 택한다)

(1) 두 대의 펌프 중 한 대만 운전하는 경우

Fig.6은 펌프 가동 전, 펌프 A에 주위 다른 시설로부터 전달되는 진동이 존재하는 가에 대한 조사를 하기 위하여 측정한 것이며, 주위로부터 전달되는 진동이 없음을 확인 할 수 있다. 다음 Fig.7은 펌프의 시간에 대한 진동을 나타내고 있다. 그림에서 펌프 가동 직후, 순간 진동이 크게 나타남을 보이고 있다. Fig.8은 펌프가 정상 운전 중일 때의 2번 센서에서 진동을 측정한 것으로, 이 때의 속도는 0.73 mm/s RMS 로 진동이 크지 않음을 알 수 있다. Fig.9는 펌프에서 구조물로 전달되는 수직 방향 진동을 측정한 값으로, 이 때의 진동 값(0.51 mm/s RMS)도 펌프에서 측정한 진동보다는 값이 작아졌음을 알 수 있다. 주파수 측면에서는 60 Hz 성분이 더 큼을 알 수 있고, 이렇게 주파수 성분이 600 Hz 에서 60 Hz 로 바뀌는 이유는, 저주파 성분의 진동 전달이 고주파에 비해서 더 잘되기 때문인 것으로 판단된다. 펌프 A와 B 사이의 지지대에 설치되어 있는 6번 센서에서의 진동을 분석해 보면 60 Hz 성분보다는 100 Hz 근처와 다른 주파수가 주요 성분임을 알 수 있다. 위와 같이 A 펌프 또는 B펌프에서 발생하는 주파수와 다른 이유는 구조물에서 진동의 주 원인이 펌프 보다는 주위 배관에서 발생하는 진동의 영향 때문으로 판단된다. 즉, 가가의 펌프로부터의 진동 전달은 매우 작음을 알 수 있다.(센서 6번에서의 진동 속도 값은 0.28 mm/s RMS 이다) Fig.10은 B 펌프에 수직 방향으로 설치된 7번 센서에서 측정된 진동이다. 보는 바와 같이 진동 값이 매우 작고 주파수 분석에서도 A 펌프에서 발생하는 진동과는 차이가 큼을 알 수 있다. (진동속도 0.17 mm/s RMS)

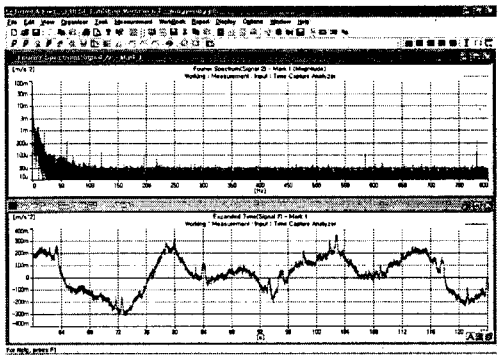

Fig. 7. Background vibration.

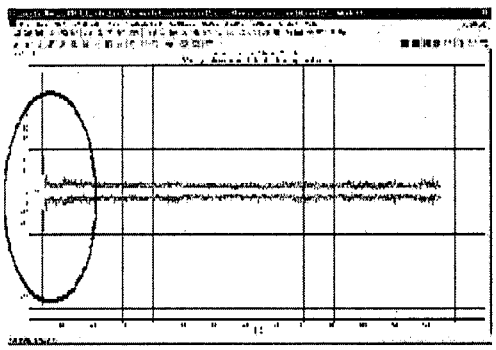

Fig. 8. Vibration of secondary pump "A"

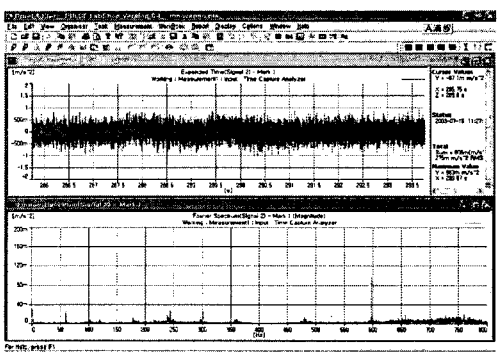

Fig. 9. Vibration of secondary pump "A" with normal operation.

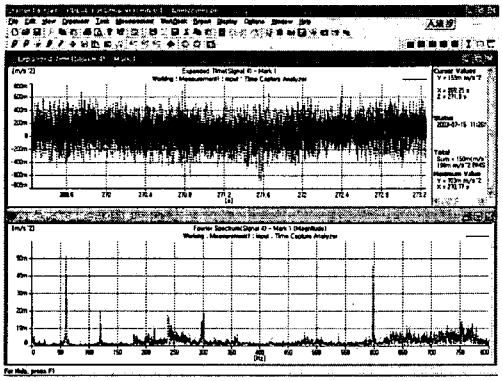

Fig. 10. Vibration of support point(No.4 sensor).

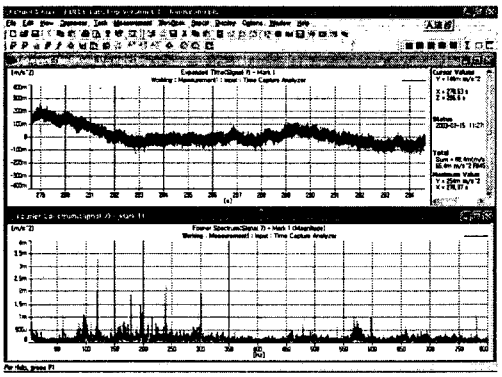

Fig. 11. Vibration of support point(No.7 sensor).

(2) A 펌프가 운전 중인 상황에서 B 펌프를 가동했을 때

A 펌프가 가동 중에 B 펌프의 기동을 시작하는 경우에 대한 진동을 측정하였다. Fig. 11에서 상단 그래프는 B 펌프가 기동 시, 시간에 대한 진동 값을 나타내고 있고, 하단 그래프가 동시에 A 펌프에서 측정한 진동 값이다. 빨간색 상자 부분이 B 펌프를 기동하는 순간 발생하는 큰 진동이므로, 이 때 운전 중인 A 펌프에서의 진동 값을 분석하면 진동 전달 정도를 확인할 수 있다. 만약 진동이 전달된다면 파란색 상자에서 진동신호가 달라져야 하는데, 그러한 현상은 발생하고 있지 않다. 따라서 펌프 정지 때와 마찬가지로 진동 전달은 크지 않다는 것을 다시 한 번 확인 할 수 있다.

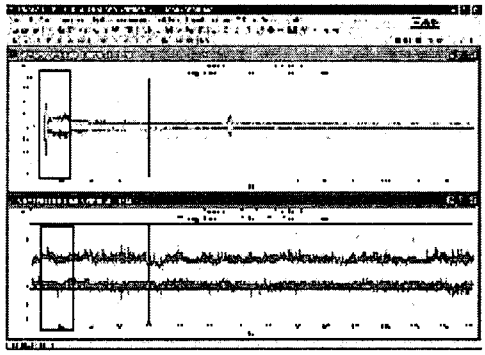

Fig. 12. Vibration of pump "A" while pump "B" operate.

Table 2. Vibration level and transmissibility.

진동전달경로 (위에서 아래로)	센서	진동 (mm/s RMS)	주파수 (Hz)	비고
A 펌프	2	0.73	600, 60	기준치보다 진동값 작음
A 펌프 지지점	4	0.51	60, 600	
구조물 중간	6	0.28	100, 기타	펌프진동보다 다른 진동이 더 큼
B 펌프 지지점	7	0.17	여러 주파수	펌프진동보다 다른 진동이 더 큼

2.4. 펌프의 저주파 성분원인에 대한 분석

Fig.12는 2차. 펌프의 Junction Box를 통해서 측정한 진동 자료로 5 Hz와 11 Hz 근처에서의 저주파 성분을 확인할 수 있다. 그렇다면 이 저주파가 실제 존재하는 진동인지 아니면 잡음(Noise) 성분인지를 확인할 필요가 있다. 왜냐하면 대부분의 진동센서들의 유효한 주파수 범위는 최소 5 Hz 이상이기 때문이다. (특별히 저주파 진동을 측정하기 위하여 제작된 센서가 아니라면 일반적으로 5 Hz 이하의 진동을 측정하기 위한 진동센서는 토목분야에서 사용되고 크기가 상당히 크므로 기계진동을 평가하기 위해서는 사용이 곤란하다) API Standard 610 2.8.3.2.1에서 언급한 주파수 범위도 이러한 이유로 5 Hz 이상

을 권장하고 있는 것이다. 만약 이러한 진동이 펌프에서 발생하고 있다면 어느 정도의 힘이 발생되는가를 계산해 보면 진동신호의 진위 여부를 판가름할 수 있다. 5 Hz 이하에 대한 주파수는 센서에서의 신뢰 문제가 있기 때문에, 다음 주파수인 11 Hz에 대해서 계산해 보면 다음과 같다. 11 Hz에서 진동 크기가 3.65 mm/sec 라고 한다면 이 속도 값을 가속도로 변환시키고 펌프의 무게를 고려하면 발생되는 힘 F를 알 수 있다.

가속도 = 2X3.14X10.9X3.65
= 249.8 mm/s2 = 0.25 m/s2
펌프무게 = 730 kg
발생 힘 = 182.5 Kgf

만약 11 Hz 성분의 힘이 펌프에서 발생하고 있다면 이는 펌프를 지지하고 있는 구조물로 전달되어야 한다. 또한 5 Hz 근처의 주파수도 검출되어야 한다. 그러나 앞서 살펴본 A, B 펌프에서는 이러한 주파수 성분이 없음을 확인할 수 있었다. 따라서 저주파 성분의 신호는 실제 진동일 가능성 보다는 잡음 성분 가능성이 큼을 알 수 있다. 이러한 잡음의 원인은 Cable Noise일 가능성이 있다. 즉, 펌프내부 센서에서 Junction Box까지의 Cable이 내부 유체에 의한 유동으로 발생한 잡음이라고 판단된다.

3. 결 론

통영생산기지에서 요청한 2차 펌프진동 진단 결과는 다음과 같이 결론을 내릴 수 있다.

1) 펌프운전과 구조물과의 공진은 발생하지 않았다. 구조물의 고유진동수와 펌프의 운전주파수는 상당히 차이가 있으므로 공진이 발생하지 않는다. 또한 2차 펌프의 운전 주파수(59.8 Hz)가 펌프 제작사에서 제공한 고유주파수(70Hz) 보다 작기 때문에 병렬운전으로 인해 진동 발생 문제는 크지 않을 것으로 판단했다.

2) 펌프에서 저주파 성분의 신호는 실제 진동일 가능성보다는 잡음일 가능성이 크며, 잡음의 원인은 Cable Noise로 판단했다.

참 고 문 헌

(1) B & K, Ltd., 1987, Frequency analysis
(2) W. WEAVER, JR S.P. TIMOSHEKO D.H. YOUNG, 1990, Vibration problems in engeering
(3) Steve Goldman, 1999, Vibration Spectrum Analysis
(4) Singiesu S. Rao, 1988, Mechanical Vibration,
(5) Maurice L. Adams, Jr. 2001, Rotating Machinery Vibration