

MVR(Machinery Vapor Recompressor)의 고장분석에 관한 연구

김 태 구

인제대학교 산업안전보건학과

Abstract

이 논문은 MVR(Machinery Vapor Recompressor) Impeller Blade의 파손으로 발생한 사고원인 조사에 관한 것이다. MVR의 고장의 원인을 밝히기 위해서 육안 분석(visual examination), 실체현미경 분석(Stereoscopic examination), SEM 분석 (SEM examination)을 한 결과 주조결함으로 인한 Surface Crack이 장기간 지속되어 Initial Crack이 생성된 뒤에 이 부위에 응력이 집중되면서 Fatigue Crack이 임계 Crack 길이까지 진행되었다. 여기에 Impeller 회전속도의 상승으로 인한 과부하가 부가되어 MVR의 Blade가 파손된 것을 알 수 있었다.

1. Introduction

기계문명의 발전으로 산업현장에서 기계가 자동화되고 있어 빠르고 편리하다는 장점도 있지만 그 반대로 많은 문제점이 발생되고 있다. 압축기는 산업현장에서 많이 사용되고 있는 중요 장비이다. 본 논문은 제당공장의 MVR이 Blade가 파손되어 일어난 사고를 조사한 것이다. 압축기와 같이 중요장비의 고장은 생산성을 저하시킬뿐만 아니라 그에 따른 피해도 크기 때문에 사고원인의 정확한 조사를 통해 재발방지를 세우는 것은 아주 중요하다.

일반적인 Impeller 사고 사례들의 고장 원인을 살펴보면 첫째, 주조과정에서 생기는 수축Pitting등의 주조결함에 의한 Impeller 고장[1], 둘째, Cavity의 형성과 부식의 높은 속도 때문에 Impeller의 손상이 가속화로 인한 고장[2], 셋째, Impeller 각 부분에 대한 유속과 마찰되는 집중도에 의한 Impeller의 부식에 따른 고장[3], 그리고 Impeller blade 처음 형성된 Crack에 의해서 Impeller가 파손되는 고장[4]등이 있다. 파손된 MVR의 Impeller blade는 외면검사상 피로에 의한 Crack의 징후가 있고 13년 정도 사용했던 것으로 미루어 장기간 사용에 의한 고장과 주물제작에 의한 제품이므로 제작상의 주조결함의 가능성도 배제할 수 없다. 또한 외적인 요인에 의해 회전속도가 달라지는 운전조건의 변화가 있었으므로 본 논문에서는 Impeller 고장의 원인을 밝히기 위해서 육안 분석(visual examination), 실체현미경 분석(Stereoscopic examination), SEM 분석(SEM examination) 방법을 통하여 분석을 하여 정확한 사고의 원인을 규명하고자 하였다.

2. 사고현황과 공정도

2.1 사고현황

MVR은 기계식 증기압축기로 최종 정제된 당액의 농도를 높게하여 결정 작업시 에너지를 감소하도록 하는 공정에서 사용되고 있다. 본 공장은 2대의 Generator(5MW, 3MW)로 자가 발전에 의한 전원을 공급하고 있었으며, MVR도 Generator로부터 전원을 공급받아 11,750RPM으로 고속회전하고 있었다. 사고 당시 자가 발전설비의 Speed Control System에 문제가 발생하여 공정으로 공급되는 전력의 주파수가 60Hz에서 64Hz로 상승함에 따라 MVR의 Impeller속도가 11,750RPM에서 12,530RPM으로 상승하여 전류 및 진동이 순간적으로 상승하며 MVR의 Impeller blade가 파손되었다. 파손된 Impeller Blade의 사진은 그림1과 같다. 사고 공장의 공정도는 그림2와 같으며, 수지 탈색 후 농축과정에서 사고가 발생하였다.



Fig. 1 Picture of Impeller blade of MVR

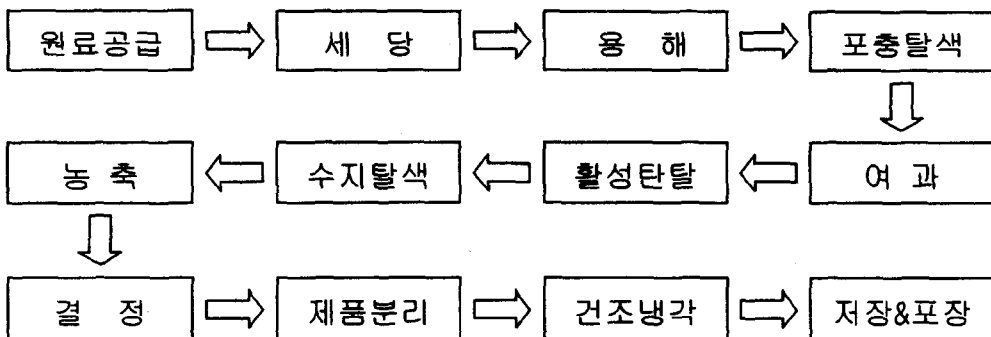


Fig. 2 The process of work of the whole factory

3. 분석 내용

3.1 육안 분석(visual examination)

Impeller Blade의 파단면에 대한 육안 관찰만으로도 Fatigue crack의 거시적인 특징인

Beach mark가 명확히 구분되며, Fatigue crack이 10.5cm 길이까지 진행된 뒤에 나머지는 일시에 파단 된 형태였다. 그림3에서와 같이 파단면 상에는 crack이 존재한 상태에서 파단면 사이의 상호 마찰 또는 최종 파단 후의 인위적인 손상으로 고려되는 마모 흔적이 여러 부위에서 존재하고 있었다.

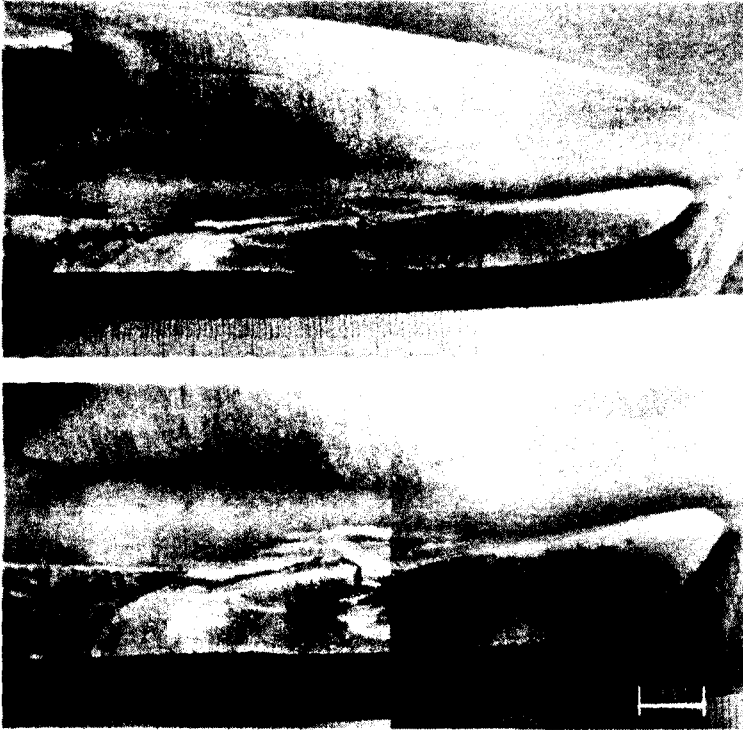


Fig. 3 Visual Examination of Failed Fracture Surface

3.2 실제 현미경 분석(Stereoscopic examination)

거시적인 관점에서 Crack origin으로 부위를 Stereoscopic을 이용하여 확대 관찰하면 그림 4에서처럼 crack의 진행 방향과 Crack origin의 위치를 나타내고 있는 반원형 beach mark가 명확히 구분되었다. 이 부위를 더 확대하면 반원형 beach mark의 중심에는 1.5mm 크기의 Initial crack이 존재하고 있으며, 이 부위에서 Crack이 진행되었음을 알 수 있었다.

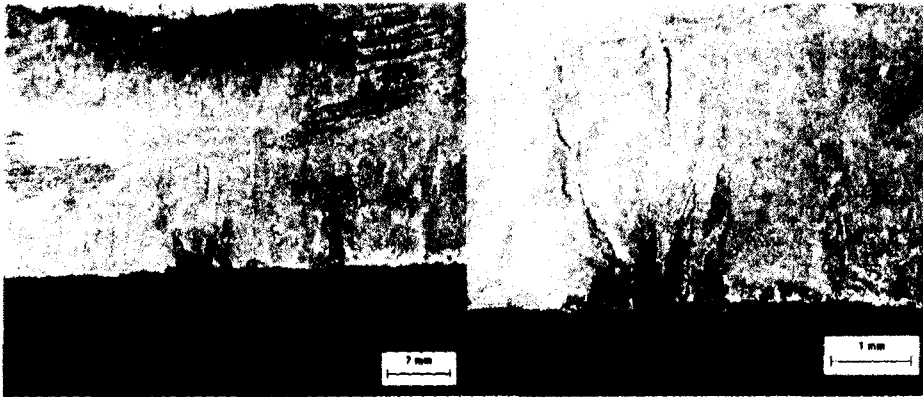


Fig. 4 Crack of Separated Panel viewed by Stereoscopic

3.3 SEM 분석(SEM examination)

그림5는 초기 균열의 발생 원인을 규명하기 위해 SEM을 이용하여 균열원(Origin)의 형상과 특징을 관찰한 것이다. 균열원(Origin)으로 작용한 Initial crack 부위에는 Fatigue crack에 의해 형성된 파단면과 구분되었다.



Fig. 5 SEM Micrograph Showing the Appearance of Fracture Origin

그림6에서는 Fatigue crack 파단면은 상대적으로 매끈한 형태를 보여주고 있는 반면에 Initial crack 부위는 거친 파단면을 나타내고 있으며, Initial crack 부위의 측면에서는 Crack 발생 이전에 형성되었던 것으로 판단되는 Surface crack이 존재하고 있다. 그림7에서는 Surface crack이 존재하고 있는 것을 보여주고 있다.



Fig. 6 SEM Micrograph Showing the Difference between Origin and Fatigue Fracture Surface

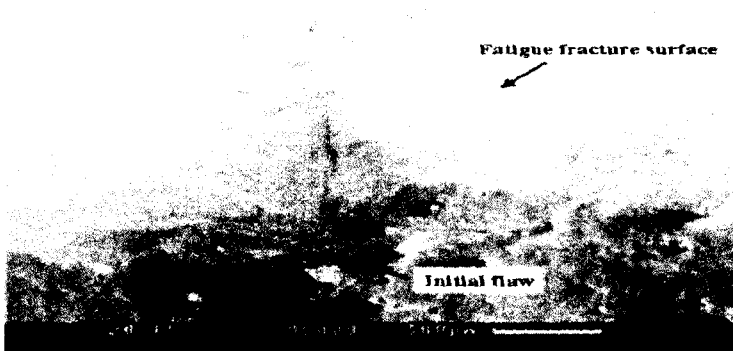


Fig. 7 SEM Micrograph Showing the Initial Flaw Nucleated by Surface Defects

그림8에서와 같이 Initial crack 부위와 Fatigue crack 파단면에 대한 EDS 분석 결과에서도 부식 산화물에서 흔히 검출되는 원소(C, O, F)의 함량이 큰 차이를 보이고 있으며 Initial crack 부위에서는 Fatigue crack 파단면에는 존재하지 않는 Na, Ca 등의 원소가 검출되었다.

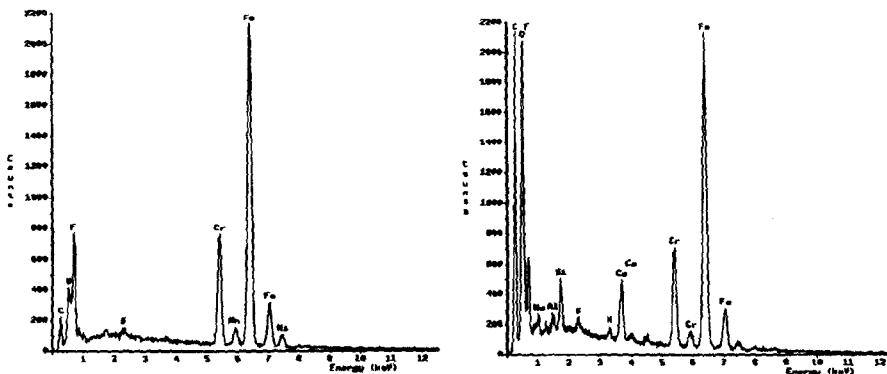


Fig. 8 EDS Spectrum Analysis of Initial Flaw(left) and Fatigue Fracture Surface(right)

또한 Impeller Blade 파단면의 표면에서는 그림9,10에서 보는 바와 같이 주물 공정 중에 발생한 것으로 판단되는 Surface crack이 많이 발견되었다.

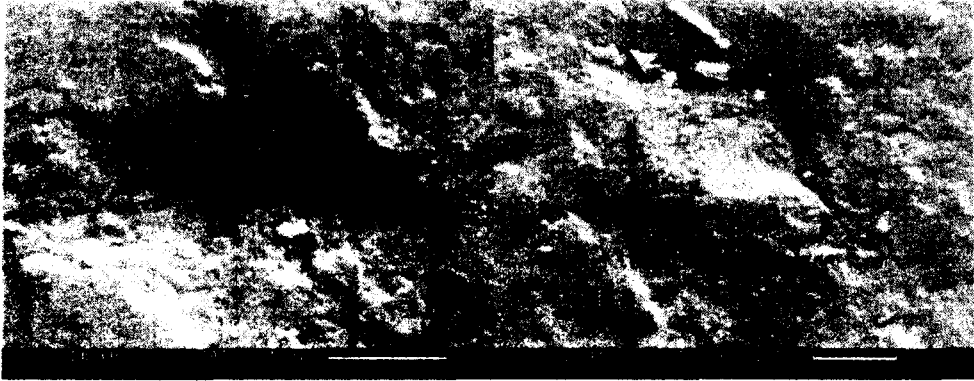


Fig.9 SEM Micrograph Showing the Material Defects(cavity) Reside in the Surface of the Failed Rotor Component

Fig. 10 SEM Micrograph Showing the Material Defects(pores, cavity) Reside in the Surface of theFailed Rotor Component

결론

본 연구에서 MVR(Machinery Vapor Recompressor)의 고장원인조사 및 실험적인 분석 결과는 다음과 같은 결론을 알 수 있었다.

첫째, 재료의 주조과정에서 발생한 주조결함으로 인한 Surface Crack 이 장기간에 걸쳐 First Crack 을 유발해서 MVR 이 고장 난 것으로 추정된다.

둘째, 장기간의(약 13 년) 고속운전으로 인한 피로현상으로 인한 자연생성 결함인하여 MVR 이 고장 난 것으로 추정된다.

셋째, 진동수 상승으로 인한 MVR Impeller 의 Over speed 에 의해 과부하가 발생하여 MVR 이 고장 난 것으로 추정된다.

감사의 글

본 논문은 2001 년도 인제대학교 학술연구조성비 보조에 의한 것임.

References

- (1) A. van Bennekom, F. Berndt and M. N. Rassool Pump impeller failures - a compendium of case studies, Engineering Failure Analysis, Volume 8, Issue 2, April 2001, P145-156
- (2) Colangelo VJ, Heiser FA. Analysis of metallurgical failures. New York: Wiley, 1974.
- (3) F. Aiming, L. Jinming and T. Ziyun Failure analysis of the impeller of a slurry pump subjected to corrosive wear, Wear, Volumes 181-183, Part 2, March 1995, P876-882
- (4) Prakash and R. K. Pandey Failure analysis of the impellers of a feed pump, Engineering Failure Analysis, Volume 3, Issue 1, March 1996, P45-52