

Reactor Agitator 의 진동분석 및 진단사례

Vibration Analysis and Diagnosis for Reactor Agitator

유 주형† · 정 구충* · 이 선희**

Juhyung Yoo, Goochoong Jung, Sunhwi Lee

Key Words : Agitator, ODS(Operation Deformation Shape), Resonance, Misalignment, Impact test

ABSTRACT

All chemical processes are centered in the chemical reactor. Chemical reactions are often accompanied by mixing. Mixing can influence not just reaction rate but also product distribution if more than one product is possible. So, reactor agitator is more critical in industrial reactions.

High vibration was occurred on reactor agitator which is critical equipment in HDPE plant. This paper describes analysis and diagnosis for agitator vibration throughout some tests. High vibration has been occurred by misalignment and resonance. Through the correction it could be stable.

1. 서 론

석유화학 플랜트에서 회전기계가 차지하는 비중은 굉장히 크며 만일 이런 장비에 문제가 생기게 되면 플랜트의 생산성에 큰 지장을 주게 된다. 이러한 회전기계에서 가장 흔히 발생하는 문제가 바로 진동이며 이는 소음을 유발할 뿐 아니라 근처의 다른 구조물에도 영향을 미쳐 기계의 파괴까지 이르게 된다. 회전기계에서 가장 빈번하게 일어나는 진동은 공진 및 축 정렬불량, 그리고 질량 불평형 등이다. 특히 진동분석법을 이용한 진단법은 다른 비파괴 진단법에 비해 가장 정확하고 많은 정보를 얻을 수 있으며, 가동상태에서 측정하기 때문에 실제 운전상태에 대한 올바른 진단을 내릴 수 있다는 장점을 갖고 있어 회전기계의류의 평가에 널리 사용되고 있다.

본 논문에서는 HDPE (High Density Poly Ethylene)를 생산하는 플랜트에서 운용되고 있는

4 대 중 3 대의 Reactor agitator 에 비정상적으로 큰 진동이 발생하고 있어서 진동분석을 통해 기계의 상태를 점검하였으며 분석방법 및 문제 대책처리에 대해 기술하였다.

2. 진동 진단

2.1 설비 사양

Reactor Agitator 에 대한 사양은 아래의 표와 같다.

Table 1 Specification for Agitator

Item No. for Agitator	AG-26121	AG-26122	AG-26124
Motor rating	350kw/60Hz		195kw/60Hz
Motor RPM	1790 rpm		1782 rpm
Motor bearing type	Antifriction		Antifriction
Reduction ratio for Gear box	15.6		20
Outlet speed of gear box	115 rpm		89 rpm
Coupling Type	Flexible		Flexible
No. of Impeller	5		1
No. of Blades	2		4

† 교신저자; 대림산업
E-mail : hugo_1@daelim.co.kr
Tel : 82-2-369-4787

Agitator RPM	115 rpm	89 rpm
Operating Condition	90 % Load	

2.2 진동 측정

육안으로 agitator의 진동감시 결과 motor측 상단의 radial 방향에서 상대적으로 높은 진동이 발생하고 있어 정상적인 운전이 어려운 상태이다. 이에 그 원인을 규명하고 대책을 세움으로써 원활한 작동이 되도록 정밀 진단을 실시하였다.

진단 방법은 구동 motor, gearbox 및 agitator의 위치 별 측정된 진동 데이터를 정밀 분석하여, 설비 결함의 원인을 찾아내고 현재의 진동이 설비 운전에 가능한 상태인가를 평가하기 위해 현장 가동 중인 agitator 3대를 동시에 90% 부하에서 운전을 실시하고, 진동측정 하였으며 이를 분석하였다. 또한 설비가 과도한 진동을 보이고 있어 공진이 의심되므로 설비의 고유진동수를 측정하기 위해 Impact test를 실시하였고, 각 모드에서 설비의 거동을 확인하기 위해 ODS분석을 함께 실시하였다.

(1) 위치 별 진동 측정

일반적으로 Motor를 구동원으로 한 Agitator 설비에서 발생하고 있는 진동은 구동 motor의 결합 진동과 gearbox 및 agitator의 결합진동, agitator blade의 통과에 의한 진동, motor와 gearbox, agitator 축을 연결하는 coupling 에서의 축 정렬불량 진동 등이 있으므로 이런 특성을 잘 나타내는 위치를 선택하여 진동 측정 위치로 정하였다. 진동 측정 방향은 수직, 수평, 그리고 축 방향의 3 방향 진동을 설정하였다.

측정오차를 줄이고 측정 데이터의 신뢰도를 높이기 위해서 20개의 입력신호를 평균 내고 이를 3~4회 반복하여 얻어진 값을 채택하였다. Figure 1은 Reactor agitator 설비의 진동 측정점을 나타낸 것이다.

각 부위의 진동측정과 Impact test 및 ODS 분석도 동일한 위치에서 실시하였으며, 구동 Motor의 horizontal 방향은 gearbox 감속방향, vertical은 horizontal 의 90도 회전한 방향이다.

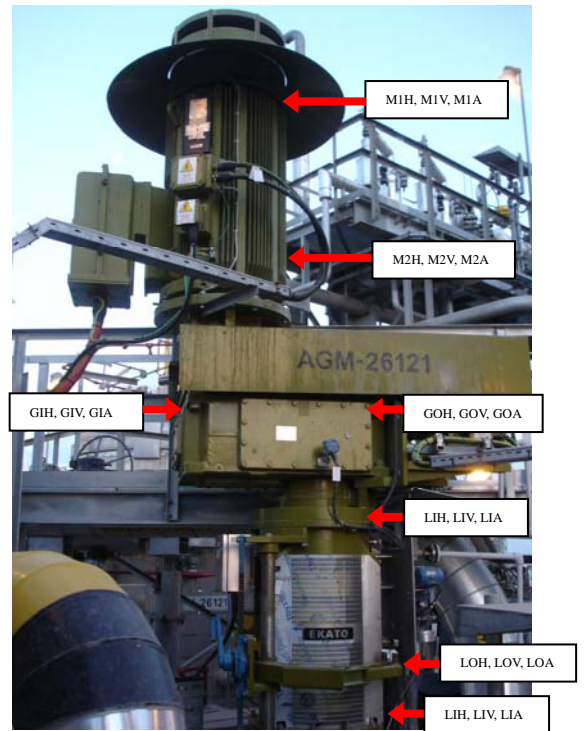


Figure 1 Vibration measuring points

2.3 진동 분석

(1) AG-26121의 분석

진동을 측정된 결과 motor NDE 쪽에서 가장 높은 진동을 보이고 있으며 이는 ISO-10816-3의 기준값을 초과하는 10.44mm/sec ~ 10.97mm/sec(RMS) 로 나타나고 있다. Gearbox 측부터 진동이 증가하고 있으며 Horizontal 방향보다는 Vertical 방향의 진동이 크게 나타나고 있다.

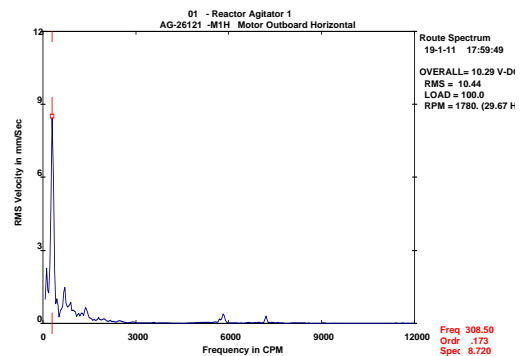


Figure 2 Vibration Frequency on Motor NDE(H)

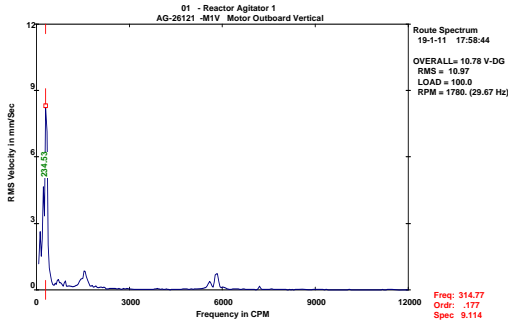


Figure 3 Vibration Frequency on Motor NDE(V)

Motor측 진동의 주성분은 315cpm 부근의 진동이며 Gearbox에서는 115cpm 및 292cpm 성분이 높다. Lantern 부위에서는 Agitator의 회전성분인 115cpm 과 2X 성분인 230cpm이 다른 부위에 비해 상대적으로 높게 나타나고 있다.

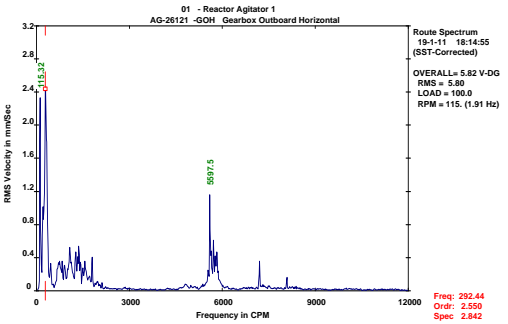


Figure 4 Vibration Frequency on Gearbox outboard (H)

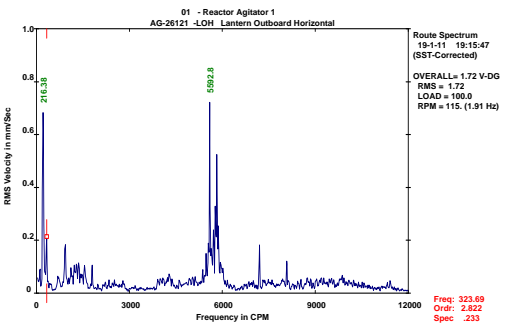


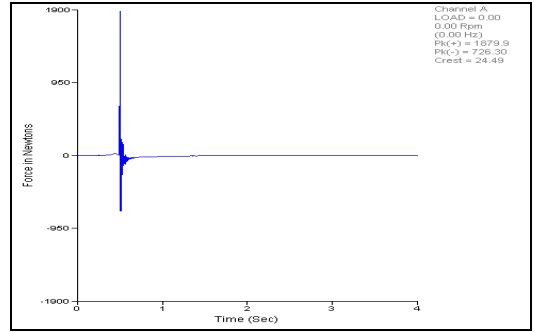
Figure 5 Vibration Frequency on Lantern outboard (H)

Agitator의 2X성분이 높고 Axial방향으로 GMF 성분과 Agitator 회전성분이 sideband로 나타나고 있어 Gearbox와 Agitator의 축 사이에서 축정렬불량이 발생하고 있는 것으로 판단된다.

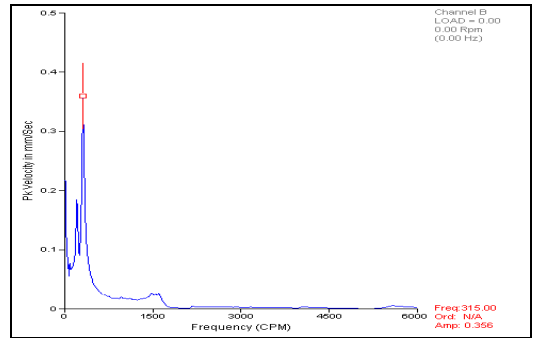
또한 Impact test 결과, motor 측에서는 315cpm

과 330cpm이, Lantern과 Agitator에서는 210cpm이 고유진동수로 나타났다.

Lantern과 Agitator의 고유 진동수과수가 210cpm으로 이는 Agitator의 2X성분인 230cpm과 근접하고, Motor의 고유 진동수 315cpm과 330cpm은 3X 성분과 근접해 있어 공진이 발생하고 있는 것으로 판단된다.



(a) Force time waveform



(b) Response spectrum

Figure 6 Impact test result on motor NDE (V)

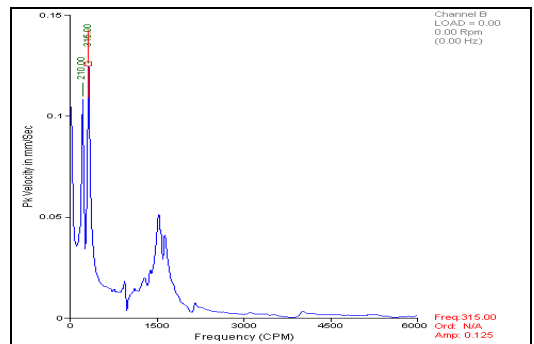


Figure 7 Impact test result on lantern inboard (V)

Agitator 축에 부착되어 있는 5개의 Impeller는 Blade가 2개로 되어 있어 Blade passing

frequency가 발생하고 이 진동 성분이 Agitator의 회전축에 영향을 미칠 것으로 예상된다.

Table 2는 AG-26121에서 측정한 진동값을 나타낸다.

Table 2 Vibration value for AG-26121

	Motor NDE mm/s (RMS)			Motor DE mm/s (RMS)		
	M1H	M1V	M1A	M2H	M2V	M2A
	10.4	10.9	4.81	7.06	8.06	2.08
	Lantern Inboard mm/s (RMS)			Agitator Inboard mm/s (RMS)		
	LIH	LIV	LIA	AIH	AIV	AIA
	3.71	3.96	1.98	0.81	0.95	1.19

(2) AG-26122의 분석

본 설비도 마찬가지로 Motor NDE 측에서 6.45~10.23mm/s (RMS)로 ISO 기준을 초과하고 있다. 진동의 주 성분은 315~327cpm으로 motor의 고유진동수 부분에 위치해 있고 Gearbox inboard는 308~315cpm 성분이 높고 Gearbox outboard에서는 Agitator의 회전성분과 218cpm 및 315cpm 성분이 나타나고 있으나 진동의 주 성분은 315cpm이다.

Agitator에서는 2X성분이 주도적으로 나타나고 있으며 Axial 방향에서 GMF성분의 진동이 높으나 AG-24121보다는 현저히 낮고 sideband성분도 낮게 나타난다.

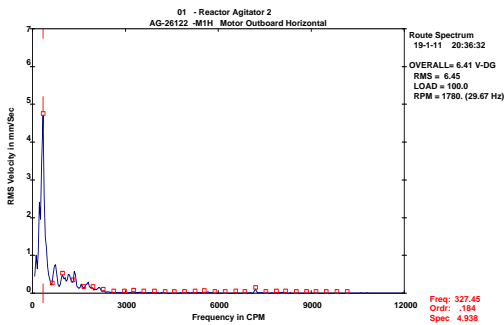


Figure 8 Vibration Frequency on Motor NDE (H)

종합해보면 motor 부위에서는 315cpm, agitator 부위에서는 225cpm 성분이 나타나고 있는데 이는 회전성분의 2X인 230cpm과 3X인 345cpm이 고유진동수 부근에 위치하고 있어 진동이 증폭되어 발생하며 Cantilever 형태를 이루고 있어 가장 바

깁쪽에 위치하고 있는 motor NDE에서 진동이 가장 크게 나타나고 있다.

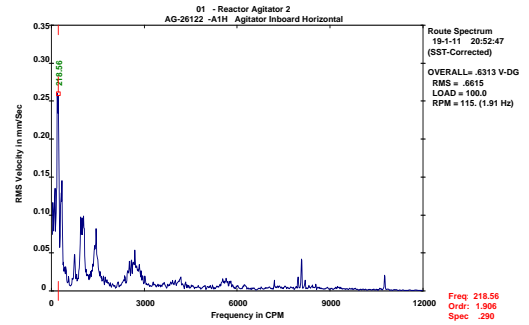


Figure 9 Vibration Frequency on Motor DE (H)

Table 3 Vibration value for AG-26122

	Motor NDE mm/s (RMS)			Motor DE mm/s (RMS)		
	M1H	M1V	M1A	M2H	M2V	M2A
	6.45	10.3	3.75	5.42	6.54	2.44
	Lantern Inboard mm/s (RMS)			Agitator Inboard mm/s (RMS)		
	LIH	LIV	LIA	AIH	AIV	AIA
	3.47	2.73	1.64	0.66	1.00	0.94

(3) AG-26124의 분석

본 설비는 Motor NDE측에서 10.93~16.75mm/s (RMS)로 3대의 Agitator 중 가장 높은 진동 값을 보이고 있다. 진동의 주 성분은 347cpm과 motor의 회전성분인 1794cpm 이다.

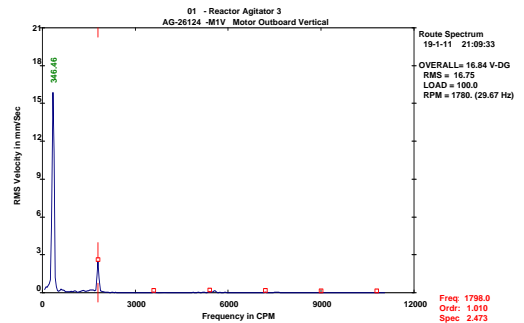


Figure 10 Vibration Frequency on Motor NDE (V)

Gearbox, lantern, and agitator 의 진동 주성분은 352cpm 성분과 motor회전성분인 1795cpm으로 나타나고 있다.

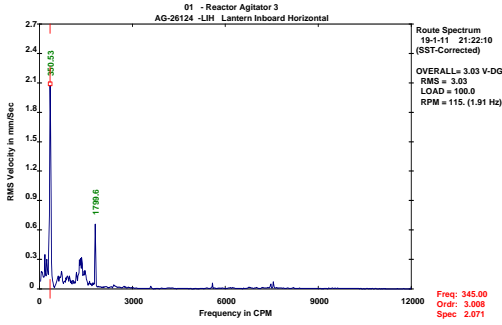


Figure 11 Vibration Frequency on Lantern inboard (H)

Motor측 진동의 원인은 1차적으로 motor와 gearbox 사이에 축 정렬불량이 발생하고 있으며, 이 가진력이 motor전체를 가진하여 motor의 고유진동수 부근에서 큰 진동을 발생시키고 있다. Agitator에서도 진동의 주성분은 motor와 동일한 것으로 보아 motor의 진동성분이 agitator 전체에 영향을 주고 있음을 알 수 있다.

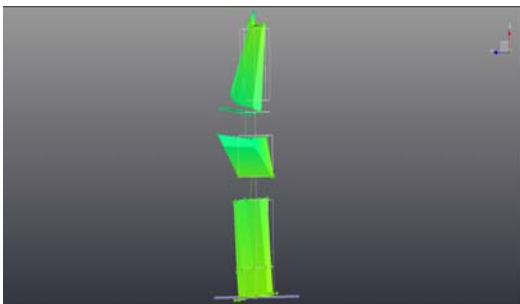
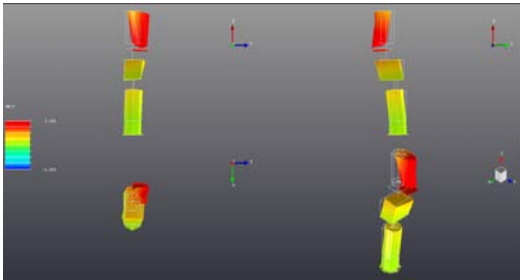


Figure 12 ODS Analysis for AG-26124

Table 4 Vibration value for AG-26124

	Motor NDE mm/s (RMS)			Motor DE mm/s (RMS)		
	M1H	M1V	M1A	M2H	M2V	M2A
	10.9	16.7	5.09	6.24	7.83	2.62
	Lantern Inboard			Agitator Inboard		

	mm/s (RMS)			mm/s (RMS)		
	L1H	L1V	L1A	A1H	A1V	A1A
	3.03	2.91	1.62	0.74	0.55	0.63

2.4 결과 및 대책

(1) AG-26121

진동분석결과 진동의 주 원인은 Agitator의 3X 성분이 motor의 고유진동수 315cpm과 330cpm에 근접해 있어 공진이 발생하고 있고, 진동을 더욱 증가시키는 원인은 gearbox와 agitator 사이의 축 정렬불량이 발생하고 있기 때문이다.

이에 대한 해결책으로는 축 정렬을 실시해야 하고 공진을 피하기 위해 stiffness를 변화시키는 방안이 있다.

(2) AG-26122

본 설비는 결함에 의한 진동은 없고 단지 공진에 의해 발생하므로 공진회피를 위해 기기의 stiffness 변화가 필요하다.

(3) AG-26124

진동의 주 원인은 motor와 gearbox 사이에 angle misalignment가 발생하고 있으며, 이 가진력이 motor의 고유진동수를 가진시키고 있다. 특히 352cpm 성분은 agitator의 4X 성분과 근접해 있어 공진에 의해 진동이 증폭되고 있다. 대책으로는 축 정렬과 함께 기기의 stiffness 변화를 주어야 한다.

3. 결 론

진동저감을 위해 다음과 같이 Agitator의 설계변경을 하였다.

- (1) AG-26121과 AG-26124의 축 정렬 실시
- (2) 각 Agitator의 gearbox와 lantern을 연결하는 부분에 support 및 support frame을 추가하였다. 이로 인해 좀 더 견고한 구조를 갖게 됨
- (3) Lantern의 재설계
기존의 것보다 out dia 및 wall thickness를 증가시킴.
- (4) 위의 변경사항으로 인해 기존의 기기보다 AG-26121 과 AG-26122 는 약 800kg 무게 증가. AG-26124는 약 970kg 무게 증가

가 이루어 짐

변경된 gearbox의 modal analysis 결과는 다음과 같다.

Eigenfrequencies of both Gearbox designs		
Frequency number	Frequency initial adapter [Hz]	Frequency new adapter [Hz]
1	17,8	22,3
2	19,194	28,2
3	84,06	110,24
4	178,42	258,88
5	274,35	293,16
6	288,83	326,44

Figure 13 Result of Modal analysis for gearbox

위와 같이 설계 변경하여 운전한 결과 진동이 눈에 띄게 줄어들었으며 아래와 같이 결과를 통보 받았음.

vibration speed was 8-10 mm / sec. at the lantern top measured with 90 % level.

modification was successful . Agitator run's very smoothly vibration was ~ 4 mm/sec at the gearbox (with 77% level)