

Cooling Tower System 진동 진단

The Diagnosis of Cooling Tower System

이 선 휘*
Sun Hwi Lee

Key Words : Cooling fan, Fan Blade Pass Frequency, Resonance, Gear Mesh Frequency

ABSTRACT

The aim of this study is to estimate the cause of Cooling Tower vibration and eliminate the faults of fan with high vibration in spite of overhaul. The cause of high vibration was that the natural frequency of fan blade coincide with second blade pass frequency. To achieve reduction of Cooling Tower vibration, change motor speed from 1784rpm to 1714rpm, and then the vibration has reduced conspicuously.

1. 서 론

최근 산업 플랜트에서 회전 기계의 사용이 증가함에 따라 이들 회전 기계에 대한 안전도 평가와 상태 관리가 중요하며, 특히 전력 플랜트와 같은 국가 기반 시설의 경우 그 피해가 산업 전반에 걸쳐 나타나고, 경제적인 손실이 미치는 영향은 다른 플랜트 보다 막대하므로 사전에 사고를 미리 예방하고 대책을 세우는 것이 매우 중요하다.

Cooling Tower 시스템은 stx 에너지(주) 구미 발전 사업 본부에서 중요한 설비로서 보수 후, 운전 중에 과도한 진동이 발생하여 지속적인 보완 정비를 실시하였으나 진동 값이 정상 복귀되지 않고 기준 값을 초과하므로 이의 원인을 규명하고, 결함의 원인을 제거하여 원활한 작동이 될 수 있도록 정밀 진단과 설비 교정을 실시하였다.

진동 분석법을 이용한 진단 방법은 다른 비파괴 진단법에 비해서 가장 정확하고 많은 정보를 얻을 수 있으며, 가동 상태에서 측정하기 때문에 실제 운전 상태에 대한 올바른 진단을 내릴 수 있다는 장점을 갖고 있어 회전 기계류의 평가에 널리 사용되고 있다. 진단 방법은 Cooling Tower 시스템의 구동 Motor 에서 위치별 측정된 진동 데이터를 정밀 분석하여 설비 결함의 원인을 찾아내고 현장에서 교정 작업을 실시하였다.

2. 진동 측정 및 분석

2.1 진동 측정 및 분석 장비

일반적으로 Induction Motor 를 구동원으로 한 냉각 Fan 설비에서 발생하는 진동은 구동 Motor 의 전기적 진동을 비롯하여 Rotor 의 불평형 진동과 냉각 Fan 의 불평형 진동, Fan blade 의 통과진동, 구동 Motor 와 Fan 을 연결하는 Coupling 에서 측정될 불량 진동, 감속 기어 진동 등이 있으므로 이런 특성을 잘 나타내는 위치를 선택하여 진동 측정 위치로 정하였다. 진동 측정 방향은 수직, 수평 및 축 방향의 3 방향 진동을 측정하였으며, 본 과제에서는 Gearbox 와 Fan 측 진동을 직접 측정할 수 없어 구동 Motor 에서 측정된 진동을 분석하여 설비 상태를 진단하고 현장 교정을 실시하였다.

진단 대상 설비는 실제의 가동 상태를 측정하기 위해 정상 운전을 시키고 안정된 상태에서 측정하였으며, 측정 오차를 줄이고 측정 데이터의 신뢰도를 높이기 위해 20 개의 입력 신호를 평균내고 이를 3~4 회 반복하여 얻은 값을 분석을 위한 데이터로 채택하였다.

베어링 결함을 검출하기 위해 PeakVue 분석법을 적용하였으며 구동 Motor 의 수평 방향에서 실시되었다. 이 방법은 Envelope 기능을 보완한 분석 방법으로 베어링이나 기어의 결함 검출에 적용하고 있다.

† 케이티엠엔지니어링(주), 설비진단부
E-mail : ktme@ktmeng.com
Tel : (031) 776-2200, Fax : (031) 776-3119

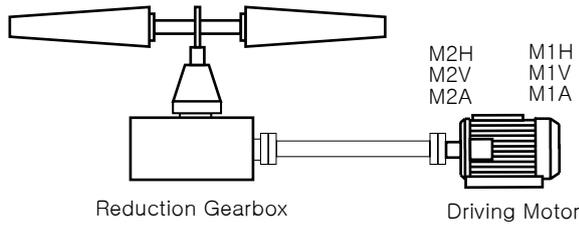


그림 1. Cooling Tower 설비 진동 측정점

2. 2. 분석 결과 및 고찰

2.2.1. Cooling Tower 설비의 교정 전 진동 분석

Cooling Tower 설비에서 발생하는 진동은 냉각 Fan의 회전 진동 성분과 이의 Harmonic 성분, 감속기어의 기어 맞물림 성분 및 구동 Motor의 회전 성분으로 크게 분류할 수 있다. 이중 냉각 Fan 전체 진동에 크게 영향을 미치는 성분은 냉각 Fan의 Blade 통과 진동 주파수이다. 구동 Motor의 진동 성분은 대체로 낮게 나타나고 있다.

그림 2.는 구동 Motor를 1784rpm에서 운전하였을 때 Motor outboard 수평 방향에서 측정된 진동 주파수이다. 가장 dominant한 성분은 냉각 fan의 blade 통과 주파수의 2 배 성분인 42.5Hz이며, 이 진동이 전체 진동을 주도하고 있다.

Cooling Tower 설비가 구동 Motor, 감속기 및 냉각 fan으로 구성되어 있으므로 이들 사양을 근거로 하여 각 부분별 진동 발생 주파수를 계산하여 표 2.에 표시하였다.

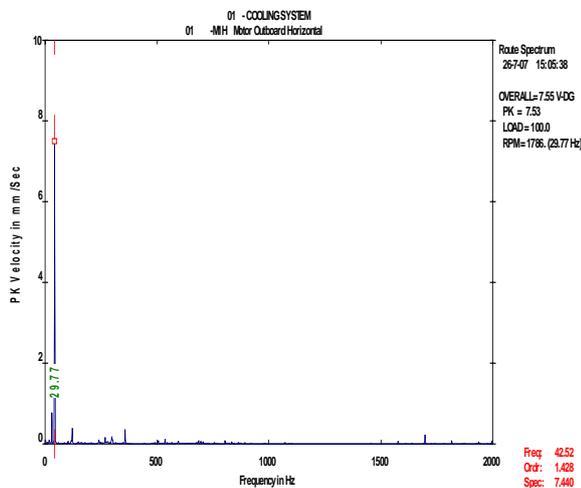


그림 2. Motor outboard 수평 방향의 진동 주파수

표 1. Cooling Tower 설비의 사양과 진동 주파수

	Motor	Reduction Gear				Fan
		1 st Reduction		2 nd Reduction		
Number of tooth (blade)	-	12	38	19	84	10
Actual Speed (RPM)	1784	1784	563.4	563.4	127.5	127.5
Gear Ratio	-	14.05				-
Gear Mesh Frequency (Hz)	-	356.78		178.39		-
Blade Pass Frequency (Hz)	-	-				21.25
2XBPS (Hz)	-	-				42.5

위치별 진동 특성을 살펴보면, Motor outboard 수평 방향의 경우 구동 Motor의 회전 성분과 이의 harmonic 성분들은 낮게 나타나는 반면에 냉각의 2XBPF 진동 성분인 42.5Hz가 가장 dominant하게 발생하고 있다. 전체 진동이 7.55mm/sec인데, 이 중 2XBPF 성분이 7.44mm/sec로 98.5%를 차지하고 있어 진동의 주 원인이 되고 있다.

Motor outboard 수직 방향 역시, 2XBPF 성분이 98.1%를 차지하고 있다.

수평 및 수직 방향의 전체 진동량이 모두 ISO-10816의 불량 또는 단시간 허용 운전 영역 범위에 있어 가능한 빠른 시일 내에 설비를 교정해야 할 것으로 판단된다.

Motor outboard 측 방향의 경우 전체 진동 값이 0.74mm/sec로 낮은 진동값을 보이고 있으며, Reduction gear의 1차 기어 맞물림 주파수 성분인 357.13Hz 성분도 낮게 나타나고 있다.

Motor inboard 측 진동 특성은 outboard와 같은 양상을 보이고 있다. 즉, 전체 진동 중 2XBPF 성분이 가장 dominant하게 발생하고 있으며, 모두 단시간 허용 운전 영역에 속하고 있다. 측 방향에서는 2XBPF 성분과 함께 1차 GMF(기어 맞물림 주파수) 성분이 상대적으로 높게 발생하고 있다.

2차 GMF 성분이 1차 GMF의 1/2로 되어 있어 2차 감속기어의 2XGMF 성분이 1차 감속기어의 GMF 성분과 일치하여 357Hz 성분이 다소 높게 발생할 것으로 예상된다.

지금까지 분석한 내용을 토대로 냉각 Fan에서 발생하고 있는 진동의 주 원인은 냉각 Fan의 2XBPF 성분으로 나타났으며, 이 진동을 감소시키기 위한 설비 교정이 이루어져야 할 것이다. 이 진동이 발생할 수 있는 원인은 다음과 같다.

1. 냉각 Fan 설비가 2XBPF 성분에 의해 공진을 일으키는 경우.

2. Fan blade 의 각도 불량에 의한 Flow turbulence 발생하는 경우.

3. Fan Blade 와 Fan Case 사이의 clearance 불량 일 경우.

위 항목 2),3) 번의 경우 1XBPF 성분이 발생하는 것이 일반적인 현상인데, 본 과제에서는 이 성분이 발생하지 않고 있어 공진을 진동의 주 원인으로 판단하고 공진을 피하기 위한 조치로 냉각 Fan 의 회전수를 낮추는 방향으로 교정이 실시되었다. (Motor 회전수를 1784RPM 에서 1714RPM 으로 감속 운전 하였다.

표 2. 교정전 Motor 의 위치별 진동량
단 위 : mm/sec

	Motor outboard			Motor inboard		
	M1H	M1V	M1A	M2H	M2V	M2A
Overall 값	7.55	8.62	0.74	8.16	7.20	5.76
Motor 1xrpm	0.81	0.82	0.05	1.18	0.84	0.29
42.5Hz	7.44	8.46	0.54	7.90	7.02	2.81

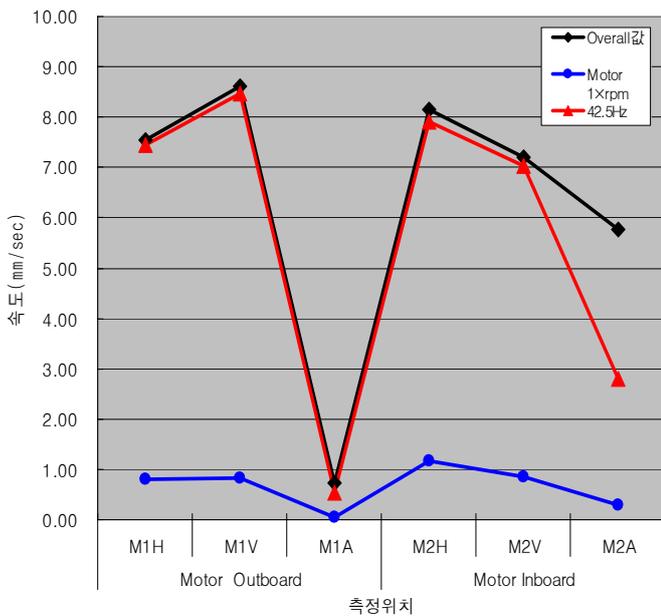


그림 3. 측정 위치별 진동량

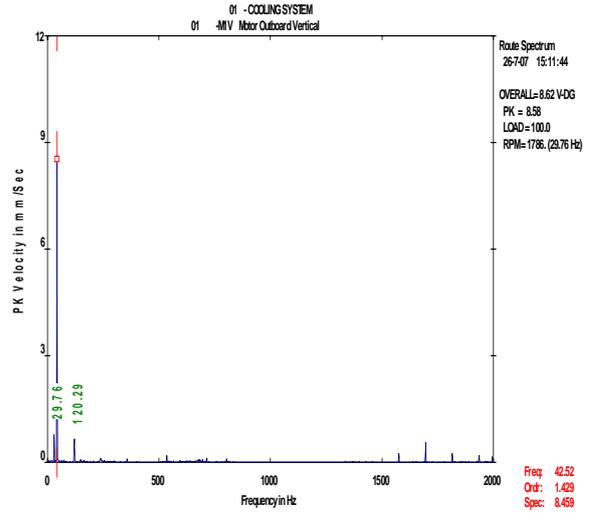


그림 4. Motor outboard 수직 방향 진동 주파수

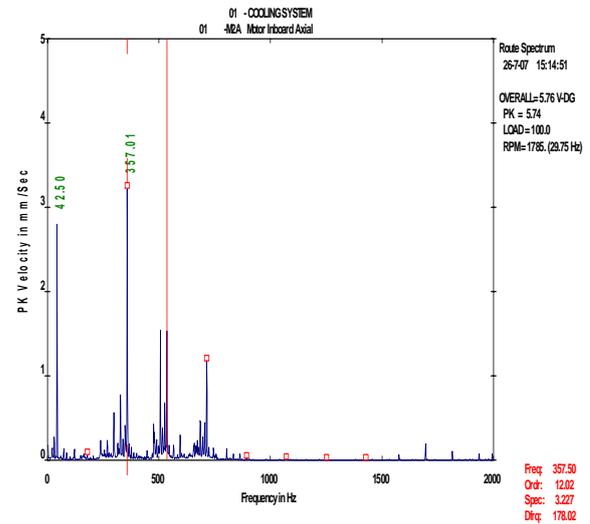


그림 5. Motor inboard 축 방향 진동 주파수

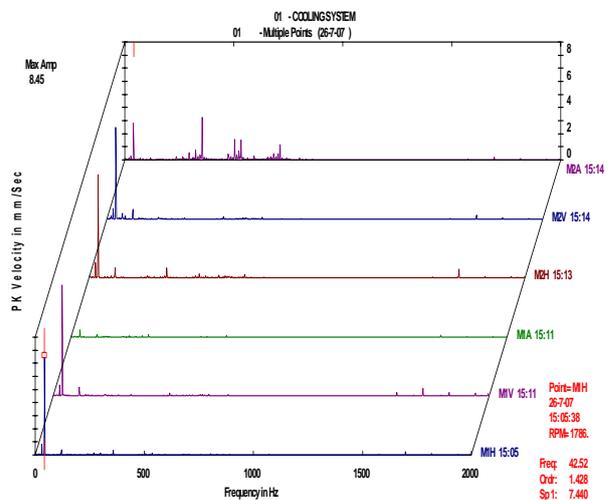


그림 6. Motor 측정 위치별 진동 주파수

2.2.2. Cooling Tower 설비의 교정 후 진동 분석

설비 교정 후 전체 진동량이 감소하였으며 특히, 2xBPF 진동 성분이 크게 감소한 것으로 나타났다.

진동이 가장 높았던 Motor outboard 수직 방향의 전체 진동량이 8.62mm/sec 에서 2.02mm/sec 로 77% 감소하였고, 주 성분인 2XBPF 진동 성분은 8.46mm/sec 에서 1.00mm/sec 로 88% 감소하였다.

수평 방향의 경우도 전체 진동량이 7.55mm/sec 에서 2.62mm/sec 로 65% 감소하였고, 2XBPF 성분도 7.44mm/sec 에서 2.17mm/sec 로 71% 감소하였다.

Motor inboard 에서도 진동량이 크게 감소하였으며, 역시 2XBPF 성분이 감소하는 특성을 보이고 있다. 그러나 축 방향의 경우, 상대적으로 적은 감소량을 보였다. 이는 축 방향의 주 성분이 기어의 맞물림 진동이 발생하였기 때문이다. 즉, 2XBPF 성분은 2.81mm/sec 에서 0.35mm/sec 로 88%의 큰 감소를 보이고 있으나 감속기의 1 차 GMF 성분과 harmonic 성분들이 거의 감소를 하지 않았기 때문이다.

표 3. 교정 후 Motor 의 위치별 진동값
단 위 : mm/sec

	Motor Outboard			Motor Inboard		
	M1H	M1V	M1A	M2H	M2V	M2A
Overall 값 (교정 전)	7.55	8.62	0.74	8.16	7.20	5.76
42.5Hz (교정 전)	7.44	8.46	0.54	7.90	7.02	2.81
Overall 값 (교정 후)	2.62	2.02	0.39	3.18	1.69	4.53
40.86Hz (교정 후)	2.17	1.00	0.08	2.43	1.03	0.35

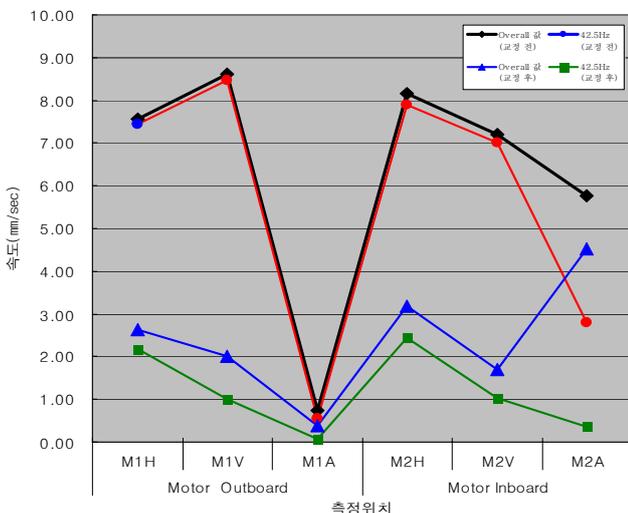
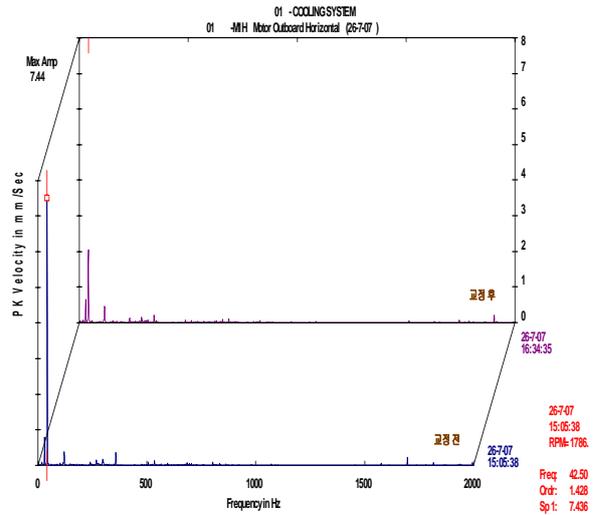
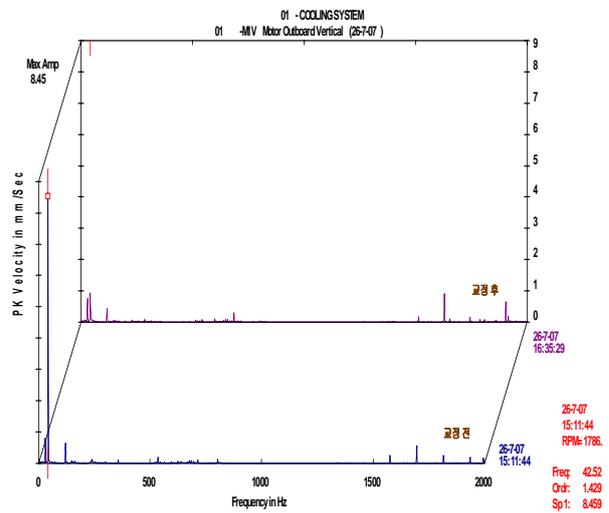


그림 7. 교정 전,후의 측정 위치별 진동량 변화



a) 수평 방향



b) 수직 방향

그림 8. Motor outboard 에서 교정전,후 비교

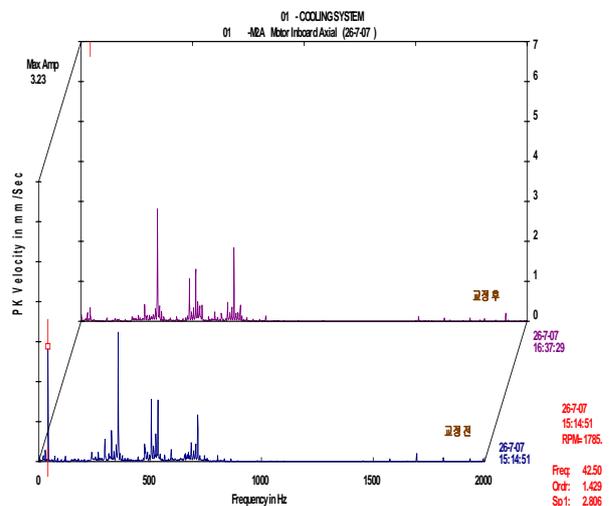


그림 9. Motor inboard 축 방향에서 교정전,후 비교

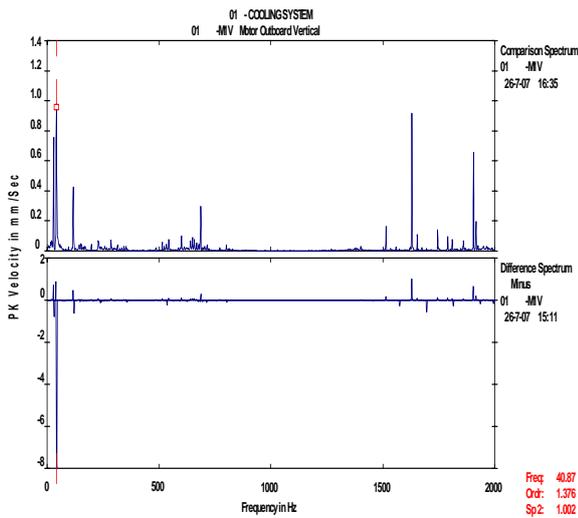


그림 10. Motor inboard 수직 방향에서 교정 후 진동 감소량

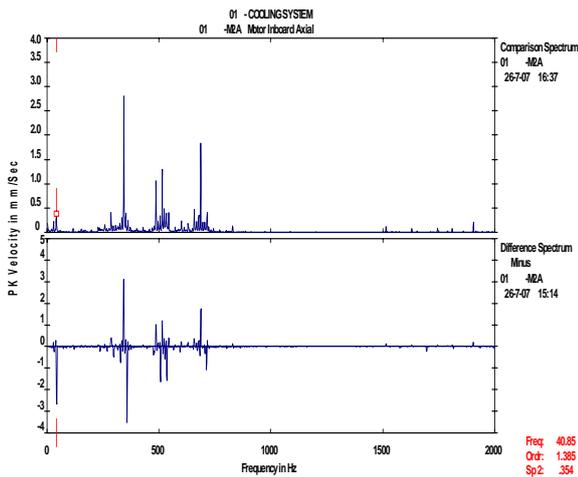


그림 11. Motor inboard 축 방향에서 교정 후 진동 감소량

3. 결론 및 향후 대책

구미 발전 사업 본부에서 운전 중인 Cooling Tower 에서 진동을 측정, 분석하고 교정 결과를 정리해 보면 다음과 같다.

1. Motor 각 부위에서 측정한 진동은 높게 발생하고 있었으며 ISO-10816 진동 기준에 의하면 불량 또는 단시간 허용 운전 단계로 빠른 시간 내에 설비 교정이 이루어져야 하는 상태였다.
2. Motor 자체 진동은 매우 낮아 안정적인 운전이 되고 있었으나 냉각 Fan 의 2XBPF 진동

성분이 모든 위치에서 가장 dominant 하게 발생하고 있었다.

3. 이 진동은 냉각 Fan 의 고유 진동수와 2XBPF 성분이 일치하여 발생하는 공진으로 판단되어 냉각 Fan 회전수를 변경하여 2XBPF 성분을 바꿈으로써 진동량 감소 효과를 얻을 수 있었다.
4. 설비 교정 이후 각 부위의 진동량은 크게 감소하였으며, 다만 Motor inboard 축 방향의 경우에는 1 차 및 2 차 기어 맞물림 주파수 성분이 발생하므로 진동량 감소에 한계가 있는 것으로 나타났다.
5. 현재로써는 큰 문제 없이 설비가 운전되고 있으며, 향후 정기 보수시 Gear 의 치면 검사와 함께 적절한 backlash 를 유지하는 것이 바람직하다.

후 기

설비 진동 측정에 협조를 해주신 stx 에너지(주) 구미 발전 사업 본부 임직원께 감사드립니다.

참고문헌

- (1) Crawford.R.A., 1992, The Simplified Handbook of Vibration Analysis. Computational Systems Inc.
- (2) Mitchell. S. J., 1993 Introduction to Machinery Analysis and Monitoring, Second Edition, PennWell Books.
- (3) James I. Taylor., 2003, The Vibration Analysis Handbook, Second Edition, Vibration Consultants Inc.
- (4) R.L. Nelson, 1980, "Free Vibration Analysis of Cooling Towers", The Shock and Vibration Digest.