



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

공학석사 학위논문

금속용사에 의한 보일러 급수펌프
축 진동 개선에 관한 연구



2016년 8월

부경대학교 산업대학원

기계공학과

박동욱

공학석사 학위논문

금속용사에 의한 보일러 급수펌프
축 진동 개선에 관한 연구

지도교수 곽재섭

이 論文을 工學碩士 學位論文으로 提出함.

2016년 8월

부경대학교 산업대학원

기계공학과

박동욱

박동욱의 공학석사 학위논문을 인준함

2016년 08월



주심 공학박사 강 대 민 ㉠

위원 공학박사 박 영 환 ㉠

위원 공학박사 곽 재 섭 ㉠

목 차

List of tables	ii
List of figures	iii
제 1장 서론	1
1.1 연구배경	1
1.2 연구내용	3
제 2장 이론적 배경	5
2.1 진동 결함 특성	5
2.2 마르텐사이트 스테인리스강의 특성	10
2.3 금속용사	13
제 3장 실험 방법	18
3.1 실험 장치 및 측정 장비	18
3.2 실험 방법	20
제 4장 결과 및 고찰	22
4.1 금속용사 재질 적합성 평가	22
4.2 금속용사 두께에 따른 진동 특성 비교	25
4.3 설비 적용 결과	28
제 5장 결론	34
References	35
Abstract	40

List of tables

Table 2.1 Rotational machines for inspection	8
Table 2.2 Identification of defective operation speed	9
Table 2.3 Chemical composition of the STS 420J2	12
Table 2.4 Mechanical properties of heat treated STS 420J2	12
Table 2.5 Nose and Starting point of transformation in STS 420J2	12
Table 2.6 Characteristics of metallizing	17
Table 3.1 Motor specification of simulator	19
Table 4.1 Comparative measurement data of the monitoring system	29
Table 4.2 Measurement data of the portable oscilloscope	29

List of figures

Fig. 2.1 Defect characteristics of vibration	7
Fig. 2.2 Metallizing method	15
Fig. 2.3 Metallizing process	16
Fig. 2.4 Wire metallizing	17
Fig. 3.1 Laboratory simulator	19
Fig. 3.2 Experimental schematic diagram	21
Fig. 4.1 Comparison frequency of each material	23
Fig. 4.2 Comparison orbit and waveform of each material	24
Fig. 4.3 Metallizing the thickness of the comparison frequency	26
Fig. 4.4 Metallizing the thickness of the comparison orbit and waveform ..	27
Fig. 4.5 Shaft of drawing	29
Fig. 4.6 Spectrum of main pump	30
Fig. 4.7 Spectrum of main pump(since maintenance)	31
Fig. 4.8 Time waveform of main pump	32
Fig. 4.9 Time waveform of main pump(since maintenance)	33

제 1장 서론

1.1 연구배경

우리의 생활에 없어서는 안 될 중요한 도구 중의 하나인 전기는 대부분 발전소에서 생산된다. 발전소의 전기 생산방식은 고온 고압의 증기를 이용하여 터빈을 구동시켜 터빈 축에 연결된 발전기를 이용하여 전기를 만드는 것이다.¹⁾ 전기를 생산하는 과정에서 발전용 보일러는 연료의 연소열을 이용하여 터빈이 필요로 하는 증기를 발생시키는 장치이다. 이런 증기 발생 장치에는 과열기, 재열기 및 절탄기를 포함하는 보일러 본체와 연료를 저장 공급하고 연소 후 생성된 배기가스를 배출시키는 통풍설비, 보일러에 물을 공급하기 위한 급수설비, 보일러 부하 변동에 따른 연료공기 및 급수를 자동적으로 조정하는 자동제어 장치 및 기타의 부속설비 등으로 구성된다.²⁾ 여기서 급수설비에 해당하는 보일러 급수펌프는 터빈-발전기에서 소요되는 대용량의 증기를 공급해주기 위해 고속 회전체를 이용하여 고온의 급수를 이송시켜주는 시스템으로 발전소에서 중요한 역할을 담당하고 있다.³⁾

발전소의 터빈 발전기 뿐만 아니라 보일러 급수펌프와 같은 중요 회전설비의 기계적 이상이 발견될 때 진동 신호에 민감한 변화를 나타내게 되는데, 운전신뢰도를 증진 노력은 운전 중인 기계의 각종 진동 신호 및 관련 운전 데이터를 실시간으로 감시함으로써 설비에서 발생할 수 있는 불시정지 요인 등 이상 징후에 신속히 대응할 수 있도록 한다. 설비에서 이상 경향이 발생 시, 운전 데이터와 더불어 진동 신호를 분석하면 신속하고 적절한 조치가 가능하게 되어 과급손상 방지와 예측정비가 가능하여 운영비용을 최소화 할 수 있다. 실제로 발전소의 주요 설비에 이상 고 진동이 발생

하게 되면 발전소는 관련 전문가를 통하여 상시 감시 시스템 데이터베이스에 저장되고 있는 이상 진동 데이터를 분석하거나 필요시 추가적인 진동 시험을 통하여 진단을 시행하고 있다.⁴⁾ 특히 축은 회전기계의 회전력을 전달하는 가장 중요한 요소이고, 축에 문제가 발생하면 전체적인 이상으로 발전하기 쉽기 때문에 축 자체 또는 축이 연결된 부품에서의 진동 신호를 추출하여 분석하면 고장 관련된 정보를 알 수 있다.⁵⁾

일반적으로 발전소 내의 터빈, 원심 펌프, 컴프레서와 같은 고속 회전기계는 무거운 기계 케이스와 베어링의 증량 및 강성 때문에 외부에 설치된 속도와 가속도 픽업이 회전체나 축 진동의 외향적 징후를 거의 나타내지 못할 때가 종종 있다. 또한, 회전체는 베어링의 간극 이내에서 과도한 진동을 하고 있고, 쉘과 베어링 간극이 위험 수위에 이르게 될지를 알기 위해서 축의 실제 진동을 측정하는 것이 필요하다. 이러한 기능을 수행할 수 있는 것이 비 접촉 변위 센서(non-contact pick-up)이다.⁶⁾

1.2 연구내용

비 접촉 변위센서를 사용하여 실시간 모니터링 시스템 감시중인 보일러 급수펌프의 반 부하(NDE side)측에 진동 값이 116~136 μ m로 측정되면서 경고음이 발생하였다. 진동 데이터들을 분석결과 전기적 런아웃 불량으로 확인되었고, 이에 대한 개선책으로 금속용사를 제안하고 이를 실시하기로 하였다. 금속용사 재질로는 실제 축의 성분과 비교하여 STS 420을 선정하였지만, 진동 측정에 있어서 좀 더 신뢰성 있는 데이터가 추가로 필요하였다.

발전소 설비의 진동을 저감하기 위해 그동안 여러 연구가 진행되어 왔다. 백승환⁷⁾은 격납용기 살수펌프의 베이스를 진동감쇠능이 우수한 철계 방진합금(Fe-Mn alloy)을 적용하여 진동 특성을 분석, 평가한 결과 2배 정도의 우수한 진동감쇠를 보였다. 그리고 다른 진동변화요인을 배제하고 단순히 펌프 및 전동기의 베이스만 대체 실험한 결과, 펌프의 재순환 유량에 따라 약간의 차이는 보이지만, 전반적으로 3~4mm/s의 진동 개선효과가 확인되었다. 김원현 등⁸⁾은 열 병합 발전소 배기 덕트 시스템에 물 첨가 분사 시의 연소가스 난류 운동에 의한 가진원과 디퓨저 및 덕트 캐비티와의 공명에 의해 발생한 소음 진동을 저감시키기 위해 덕트 캐비티를 변경시키는 최적의 배플판을 설치함으로 소음 저감효과를 얻었고, 입구 덕트 등에서의 진동은 외판 및 덕트 내부를 보강함으로써 진동 수준을 크게 낮출 수 있었으며, 공명에 의한 덕트에서의 진동, 소음이 HRSG(heat recovery steam generator)의 구조 안전성에 영향을 미치지 않는다는 것을 계측을 통하여 규명하였다. 김민규 등⁹⁾은 울진과 영광에 설치되어 있는 비상 디젤 발전기의 진동을 비교하여 스프링-점성댐퍼 시스템이 설치된 울진에서 진동저감 효과가 나타나는 것에 대해 연구하였다. 장한기 등¹⁰⁾은 외류에 의해 음향 공

진 구조물 진동 현상의 진동 발생 메커니즘을 규명하고, 음향 공진의 발생 억제를 위한 개선안을 도출, 적용함으로써 진동문제를 단기간에 해결한 연구를 진행하였다. 원윤호 등¹¹⁾은 증기 공급배관이 속도조절밸브의 헌팅에 의해서 진동이 발생하고, 이는 터빈 노즐부에 피로손상을 발생시킬 위험이 있기 때문에 배관계의 건전성을 확인하고 진동감쇠방안을 도출하였다. 그 결과 강성 지지대를 이용하여 진동을 구속할 경우 진동을 쉽게 구속할 수 있으나, 큰 유연성을 필요로 하는 배관 계에서는 열응력이나 노즐 허용하중을 만족시키지 못할 수 있으므로 강성이 없는 진동감쇠기를 이용하여 진동을 감쇠시켜야 함을 증명하였다. 원윤호 등¹²⁾은 1차기기 냉각해수 배관계로 공기를 유입할 수 있는 진공완화장치를 설치하여 배관계의 높은 진동 원인이 되는 캐비테이션을 방지하는 배관계의 진동을 저감시킨 연구를 진행하였다. 박혁¹³⁾은 순환수 계통 수직펌프를 대상으로 고유진동수를 측정하고, 유체와 구조가 연성된 경우의 진동이론으로부터 높은 진동의 원인을 파악하였으며, 수치해석으로 예측한 진동 저감방안을 실제 적용하여 실증 실험을 실시하였다. 정휘권¹⁴⁾은 파이프가 물에 부분적으로 잠겼을 때와 파이프 시스템의 부품들이 고유 진동수에 미치는 영향을 알아보았다. 또한 상부 가진 조건 시 공진을 지나는 지점과 그렇지 않은 지점에서 진폭의 변화를 분석, 진동 저감 설계를 수행하였다.

본 논문에서는 진동 측정용 시뮬레이터를 이용하여 실험한 진동 데이터들을 비교하여 금속용사 재질의 적합성 여부를 점검하고, 추가로 금속용사 두께에 따른 진동 데이터들을 비교하고자 한다. 또한 여기서 나온 실험 결과를 바탕으로 실제 설비에 적용하여, 설비의 진동개선에 최적화 하는데 목적이 있다.

제 2장 이론적 배경

2.1 진동 결합 특성

기계의 베어링 하우징이나 축에서 측정된 진동에서 주파수 성분들은 결합진단에 가장 중요한 요소이다. 이외에 사용되는 기본적인 분석 기법들에서는 시간파형, 궤적, 위상이 사용된다. 시간파형 및 궤적, 주파수는 축과 케이싱의 물리적 운동 특성을 분명하게 파악할 수 있게 한다. 그리고 위상은 기계의 여러 위치에서 측정된 진동들 간의 시간적 관계를 나타낸다. Table 2.1은 회전기계에 대한 진단 기법들을 정리하였다.

질량 불평형은 회전체의 기하적인 중심과 질량 중심이 일치하지 않는 경우 발생하게 된다. 불평형력은 Fig 2.1의 (a)와 같이 회전주파수로 대부분 발생하며 높은 배수의 주파수 진동은 운전 속도 주파수의 운동보다 작은 크기를 갖는다. 오정렬은 베어링, 축 그리고 외부 커플링에서 축 속도의 주파수의 예하중을 일으킨다. 결과적으로 진동의 크기는 시스템을 구성하는 요소들인 베어링, 축, 씰(seal), 커플링 등의 반경방향 강성에 좌우된다. 오정렬로 발생한 진동은 Fig 2.1의 (b)와 같이 2배수와 고배수 성분의 원인이 되고 심각한 경우 1배수 성분보다 커질 수가 있다. 축 굽힘은 흰 축의 질량중심이 기하학적 중심에서 멀리 이동될 수 있기 때문에 어느 정도의 질량 불 평형을 발생시킨다. Fig 2.1의 (c)에서와 같이 기계가 가동 혹은 정지 시에 위험 속도를 통과하고 난 뒤 진폭이 급격히 감소된 후에 상승한다면 축 굽힘을 의심할 수 있다. 회전기계 요소의 편심에 의해서 그 요소가 비록 평형 상태에 있더라도 Fig 2.1의 (d)에서와 같이 회전속도의 진동이 발생된다.¹⁵⁾

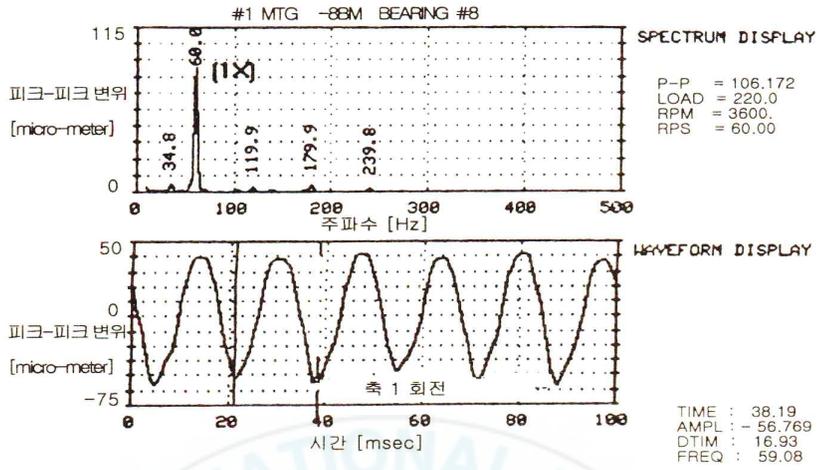
이처럼 운전속도 결합들은 운전 속도와 운전속도의 배수 성분들이 지배

적인 주파수로 발생된다. Table 2.2는 기계의 운전 속도에 관련된 기계 결합들을 정리하였다.

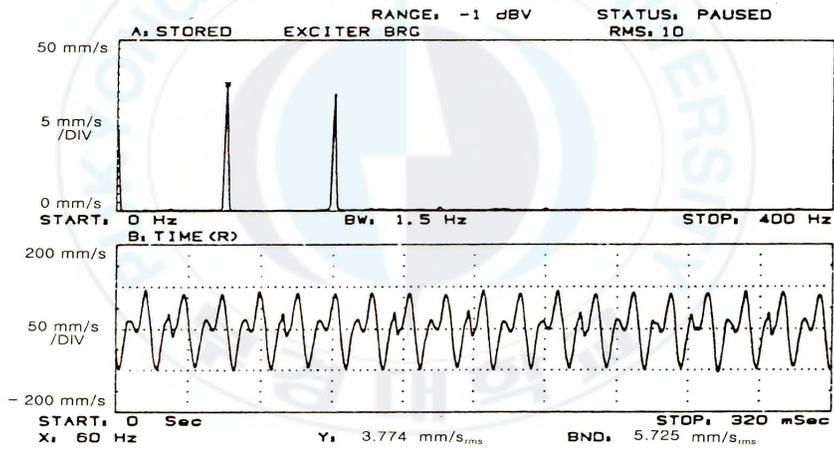


Table 2.1 Rotational machines for inspection

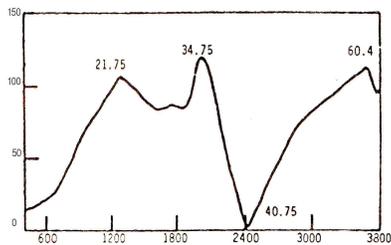
Techniques	Expression	Equipment
Time waveform	Amplitude vs. Time	Oscilloscope (Analog/digital) FFT spectrum analyzer
Orbit	Relative displacement of bearing	Digital vector filter Oscilloscope
Phase	Relative time of vibration between the signal	Stroboscope Digital vector filter Oscilloscope (Analog/digital) FFT spectrum analyzer
Spectrum	Amplitude vs. Spectrum	FFT spectrum analyzer



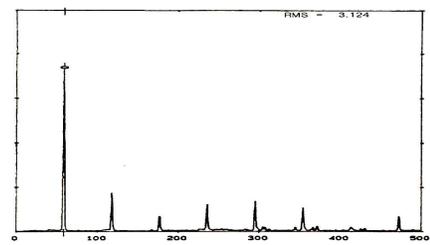
(a) Unbalance



(b) Misalignment



(c) Bending



(d) Eccentricity

Fig. 2.1 Defect characteristics of vibration

Table 2.2 Identification of defective operation speed

Defect	Spectrum	Correction
Misalignment	1x, 2x(3x)	Alignment
Unbalance	1x	Balancing
Natural frequency	Nx	Shock elimination
Coupling lockup	1x, 2x, 3x, etc	Replacement
Eccentricity	1x	Balancing
Looseness	1x, 1/2x drainage harmony	Strength reinforced
Resonance	1x, 2x, 3x, etc	Natural frequency change
Distortion	1x drainage harmony	Soft foot
Shaft bow	1x	Heating Peening
Sheave eccentricity	1x	Readjustment
Thermal variability	1x	Balance in compromise
Excessive clearance	1x, unstable form	Bearing change
Critical speed	1x, 2x, 3x, etc	Natural frequency change

2.2 마르텐사이트 스테인리스강의 특성

마르텐사이트 스테인리스강은 13크롬강을 주체로 하여 탄소량을 변화시켜 강종을 구분하며, 모두 고온에서 급랭하면 마르텐사이트 변태에 의해 경화하나 다량의 크롬을 함유하므로 탄소강이나 저합금강보다 경화능이 좋아 수랭식으로 전환하지 않아도 충분히 경화한다. 저탄소의 13크롬강은 내식 구조용 강으로 사용되는데 비하여, STS 420J2는 내마모용 부품에 적합하며, 기계 구조물 및 공구, 주방용 칼이나 다목적용 소형 칼의 소재로 널리 사용되고 있다.¹⁶⁾

마르텐사이트계 스테인리스 강재는 퀴칭 그대로는 강도 및 내식성이 가장 높으나, 노치(notch)인성이 낮고, 응력부식 균열 등을 일으키므로 그대로 사용하는 경우가 드물며 반드시 템퍼링 한다. 템퍼링의 경우 절삭공구 등에 행하는 내부왜곡과 잔류응력의 완화를 목적으로 하는 저온 템퍼링과 강인성을 부여하고자 하는 고온 템퍼링을 실시한다. 퀴칭한 마르텐사이트계 스테인리스강의 기계적 성질 및 내식성에 미치는 템퍼링 온도의 영향은 500℃ 부근에서 경도상승과 함께 충격치가 현저히 낮아진다.¹⁷⁾ Table 2.3 과 Table 2.4는 실험재료로 사용된 STS 420J2의 화학조성과 열처리 조건을 정리하였다.

크롬 13% 이상의 함량을 가지고 있어 오스테나이트화 온도가 상승하면 퀴칭 후에 경도 값도 상승하나, 약 1,050℃를 정점으로 하여 그 이상의 고온에서 저하하는 이유는 오스테나이트화 온도 상승에 따라 탄소의 고용량 증가와 더불어 잔류오스테나이트양도 증가하여 경도가 저하한다. Table 2.5 은 Nose 온도와 변태 개시 점을 정리하였다.

열처리 후의 강도는 탄소, 크롬 등의 고용량에 의하여 변동될 수 있으며, 특히 탄소 함유량이 높은 경우에 고강도와 경도를 얻을 수 있으나 내식성은 약화된다. 특히 500~600℃에서의 템퍼링조건에서는 탄화물이 미세하

게 석출되어 기지에 고용된 크롬 량이 감소하므로 내식성이 저하된다. 65 0℃ 이상에서는 탄화물의 성장과 함께 일부 크롬은 기지(matrix)에 재고용 되는 효과로 인하여 내식성에는 그다지 큰 영향을 미치지 않으며 고온도에 서 상온으로 완전 어닐링된 상태의 강재는 내식성이 감소된다.



Table 2.3 Chemical composition of the STS 420J2

C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo
0.26~0.40	1.00<	1.00<	0.04<	0.03<	-	12.00~14.00	-

Table 2.4 Mechanical properties of heat treated STS 420J2

Quenching temp (°C)	Tempering temp (°C)	Tensile strength (kgf/mm ²)	Yield strength (kgf/mm ²)	Elongation (%)	Reduction of area (%)
1038	316	162	137	8	25

Table 2.5 Nose and starting point of transformation in STS 420J2

Nose temp(°C)	Starting point of transformation	Ms point(°C)	Mf point(°C)
680	8minute	300	200

2.3 금속용사

금속용사는 Fig. 2.2과 같이 용사재료(금속, 세라믹, 플라스틱 등)를 고온의 연소 또는 전기에너지로 용사재료를 가열하여 용융된 재료가 분출되어 바탕재료에 충돌하면서 피막 층을 형성하는 기술이다.⁽¹⁸⁻²⁰⁾

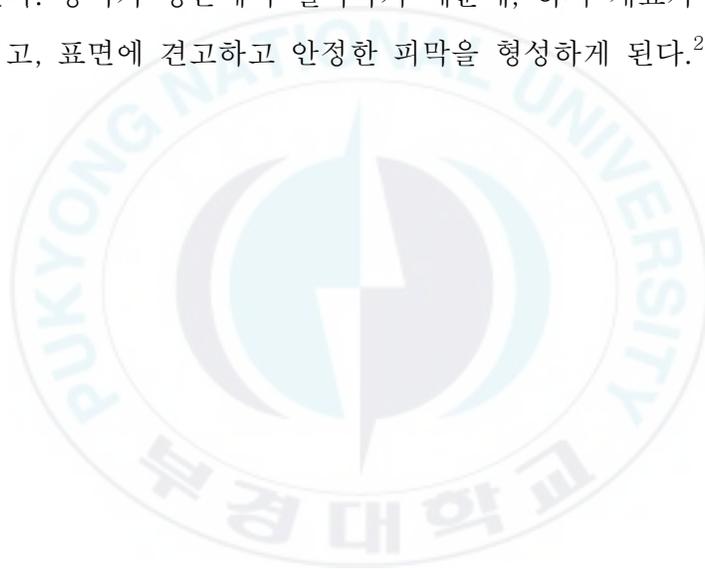
금속용사 시스템은 처음에 주로 장식이나 내식성을 개선하기 위해 사용되었다. 용사 시스템은 기술 및 재료의 발달로 경금속 피막이 사용되면서 플라즈마 용사법, 폭발용사와 같은 새로운 기술이 개발되어 왔다. 이후 진공 플라즈마 용사 기술의 개발되면서 산업 전반에 용사기술이 사용되기 시작하였고, 고속 화염용사 기술의 개발부터는 더욱 폭넓게 사용되어, 현재 마감공법의 하나로 자리하게 되었다.⁽²¹⁻²²⁾

금속용사의 공정은 Fig. 2.3에서 보듯이 일반적으로 피막의 밀착성을 확보하는 전 처리, 소재의 피막을 형성하는 용사시공, 용사후의 피막특성을 향상시키는 후처리의 3개의 공정으로 나누어지고, 목적, 이용된 재료 및 방법에 따라 공정의 일부분을 생략할 수 있다.

금속 용사 시스템은 가열 열원에 의해 분류되는데 재 실용화 되어있는 용사방법은 가스식 프레임용사, 아크용사, 플라즈마 용사의 3종류로 그 특징을 Table 2.6에 정리하였다.²³⁾

본 연구에서는 가스 프레임 용사 법에 비해 안전성과 시간당 용사 피막 시공성이 우수하고, 가공 면이 큰 아크식 금속용사법을 이용하여 실험을 진행하였다. 아크식 용사 기술은 용융한 금속에 압착공기를 내뿜는 용사건의 노즐이 원환상의 슬릿트로 되어있고, 용융 금속의 액적이 아크 점에서 생성되어 노즐로부터 분출된 아크 점을 둘러싸고 있는 원추상 수축기류에 빨려 들어가 분쇄되어 분산 냉각되면서 용사대상에 도달해 급랭되기 때문에 바탕에 대해서 극단적인 열 영향을 주지 않고 종이나 목재에도 금속용사피막을 형성시키는 것이 가능하다.²⁴⁾

Fig. 2.4는 아크 금속용사의 시공 원리를 나타낸 것이다. 아크금속용사의 시공법은 금속선재(Zn, Al 등)를 용사기를 이용하여 전기적 아크를 발생시켜 용융시킨 후 압축공기를 통해 하지재료(substrate) 표면에 피막을 형성하는 공법이다. 아크에서 용융된 금속 선재는 분산과 냉각작용을 받은 상태로 운반되며, 확산된 금속 용액은 하지재료에 충돌하여 막을 형성하면서 적층, 고화된다. 이를 통해 다공질의 금속용사 피막을 형성하게 되는데, 용사 금속이 하지재료 표면에 접촉하는 순간, 급랭되어 거의 상온으로 온도가 내려간다. 용사가 상온에서 일어나기 때문에, 하지 재료가 받는 열 변형은 없어지고, 표면에 견고하고 안정한 피막을 형성하게 된다.²⁵⁾



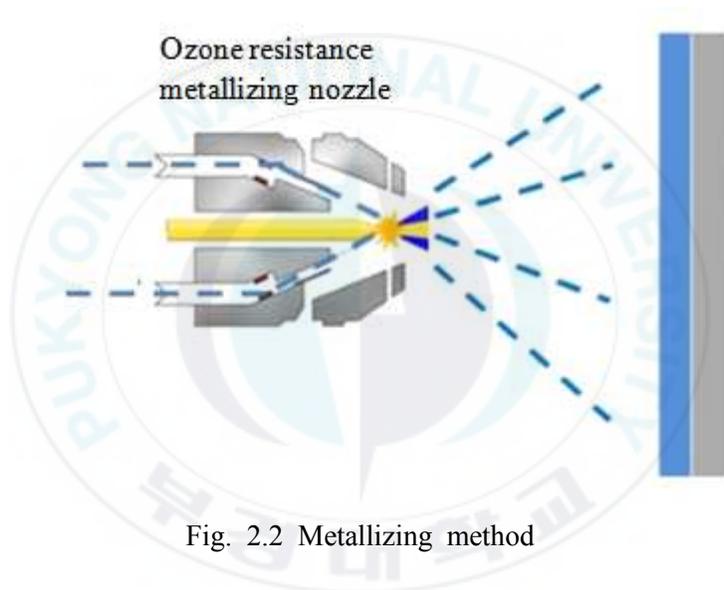


Fig. 2.2 Metallizing method

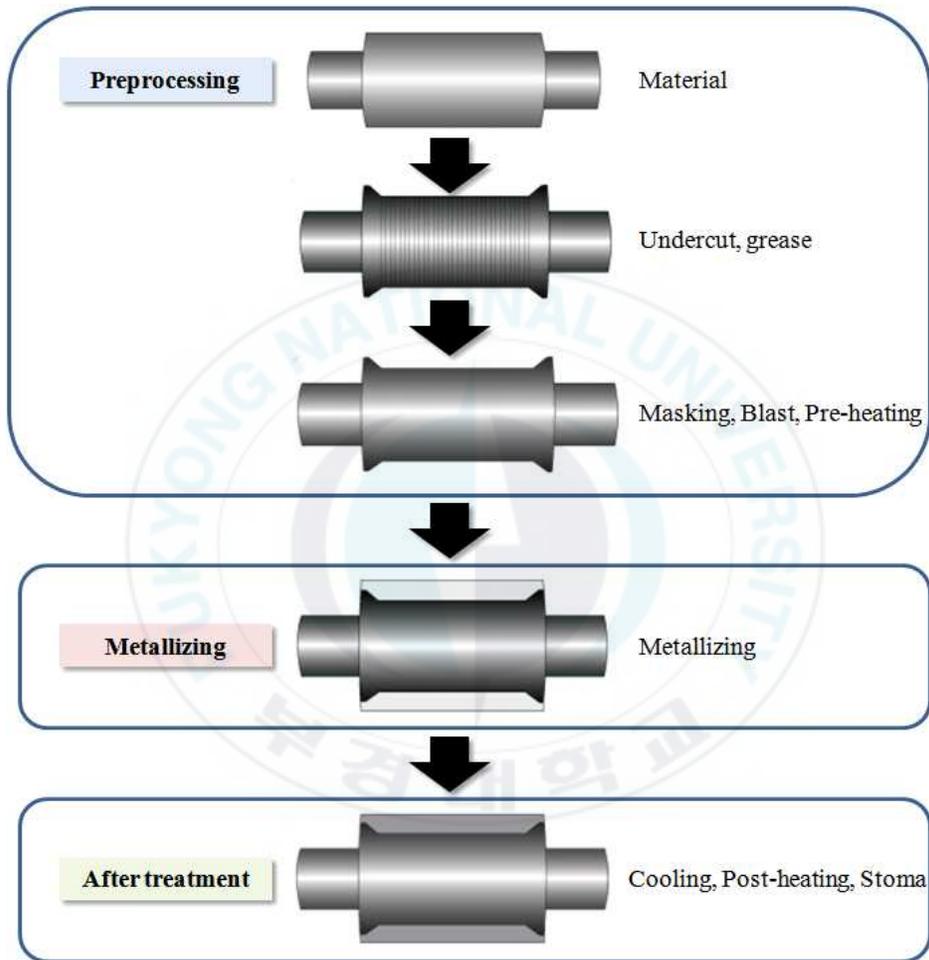


Fig. 2.3 Metallizing process

Table 2.6 Characteristics of metallizing

Metallizing	Material		Hot source	Melting temperature	Acceleration method
	Feature	Kind			
Gas frame	Powder Linear	Metal Ceramic	Acetylene Propane Oxygen	3,000	Salt burning Pneumatic
Arc	Linear	Metal	Direct current Alternating current	4,200	Pneumatic
Plasma	Powder Linear	Metal Ceramic	Plasma gas	10,000 ~ 20,000	Jet

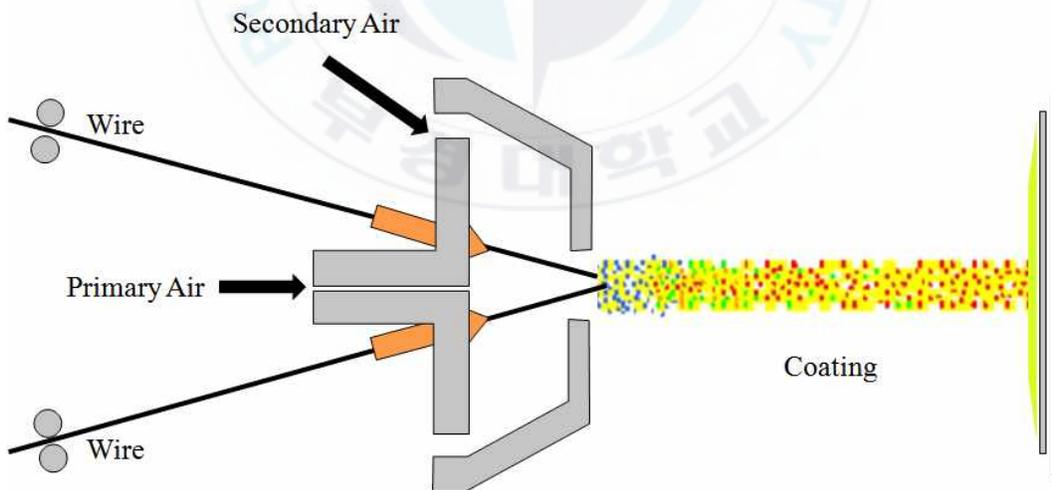


Fig. 2.4 Wire metallizing

제 3장 실험 방법

3.1 실험 장치 및 측정 장비

본 연구에서는 금속용사의 적합한 재질과 두께를 선정하기 위하여, 실험용 모형 시뮬레이터를 사용하였다. 이는 밸런싱 측정과 교정을 위해 구비된 장비로 Fig. 3.1에서 나타낸 것과 같이 시험장치의 구성은 구동용 모터와 모터의 전원을 제어할 수 있는 제어기, 유연커플링, 밸런싱용 베어링 스펀으로 이루어져 있다. 모터의 회전수는 1,650rpm이고, 플러그를 연결하여 스위치를 조작하면 축이 회전한다. 기타 모터 사양은 Table 3.1에 정리하였다.

본 실험에 진동을 측정, 분석하기 위해 다채널 신호 수집 장비(ADRE 208)를 사용하였다. 다채널 신호 수집 장비는 GE의 하드웨어 성능과 새로운 소프트웨어 플랫폼을 결합시켜 완전히 새롭게 설계된 데이터 수집 시스템이다. 이 새로운 시스템에는 동적 신호 처리 장치와 소프트웨어가 포함되어 있다. 휴대성이 우수하여, 시험대에서 단독으로 운용될 수 있고, 원격 감시 및 조작 기능도 포함되어 있다.

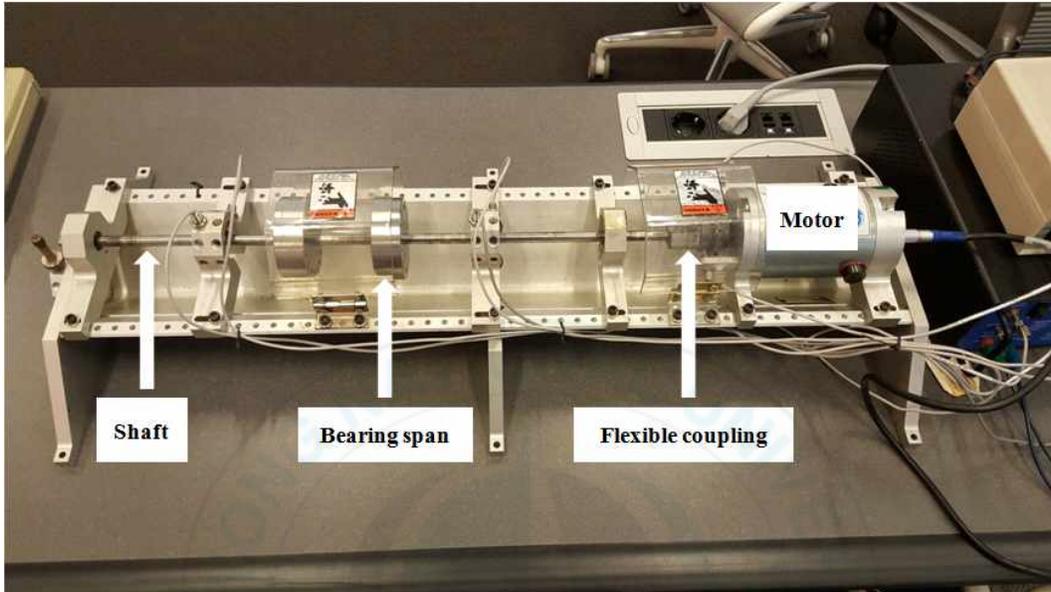


Fig. 3.1 Laboratory simulator

Table 3.1 Motor specification of simulator

Category	Specifications
Rated voltage	110/220V
Rated frequency	60Hz
Full-load current	2/1A
Rated output	120W
Speed	1,650rpm
Number of pole	4P
Efficiency	40%

3.2 실험 방법

실험 및 측정에 관한 개략도는 Fig. 3.2와 같으며, 진동을 측정, 분석하기 위해 베어링 커버 수직방향으로 진동 절대위상 측정 센서를 설치하여 회전수를 측정하였고, 이 센서를 기준으로 양쪽 45도 간격에 비 접촉 변위센서를 설치하여 진동을 측정하였다.

본 실험에서는 IR3 Mo와 STS 420J2 재질로 제작된 축을 시뮬레이터에 설치하여, 진동 측정을 하였고, 진동 특성을 비교하여 금속용사용 재질 적합성 유무를 확인하였다. 그리고 0.5, 1, 5mm의 STS 420J2로 용사된 3종류의 축을 설치하여 진동 특성을 비교하였다. 금속용사는 축의 크기와 관계 없이 실시할 수 있으며, 일반적으로 최대 20mm의 두께까지 용사가 가능하다. 하지만 시뮬레이터 축의 직경이 46.7mm임을 고려하여 그 중 약 10%에 해당되는 최대 5mm까지 용사된 축을 제작하여 실험하였다.

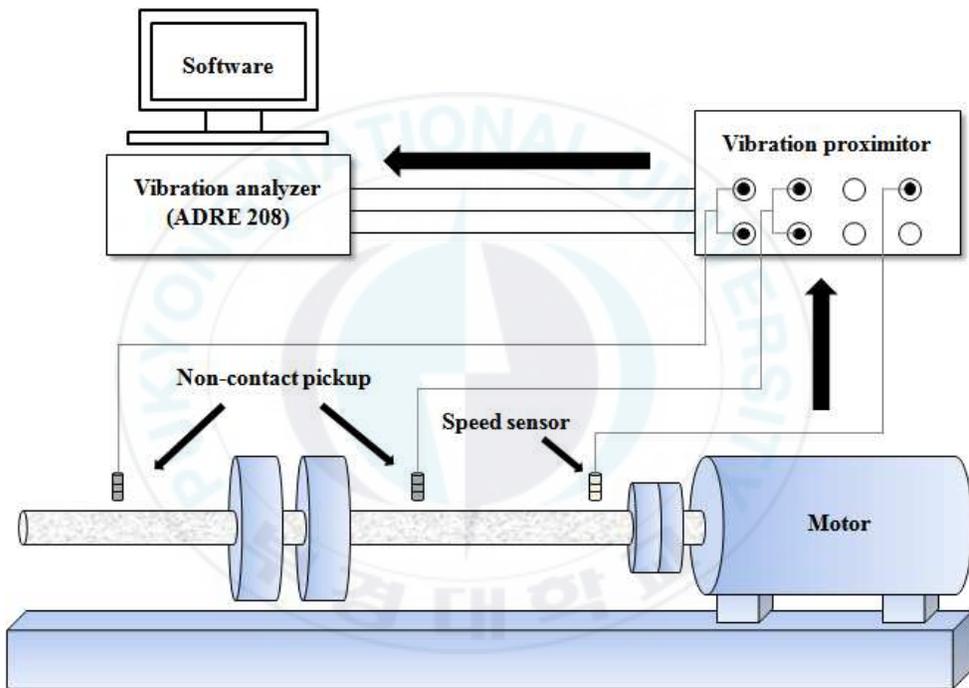


Fig. 3.2 Experimental schematic diagram

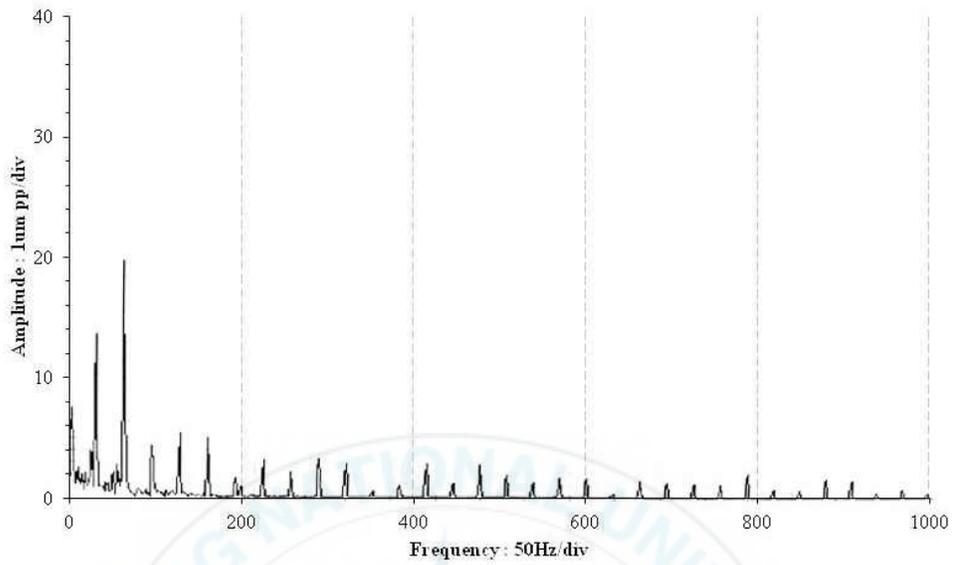
제 4장 실험결과 및 고찰

4.1 금속용사 재질 적합성 평가

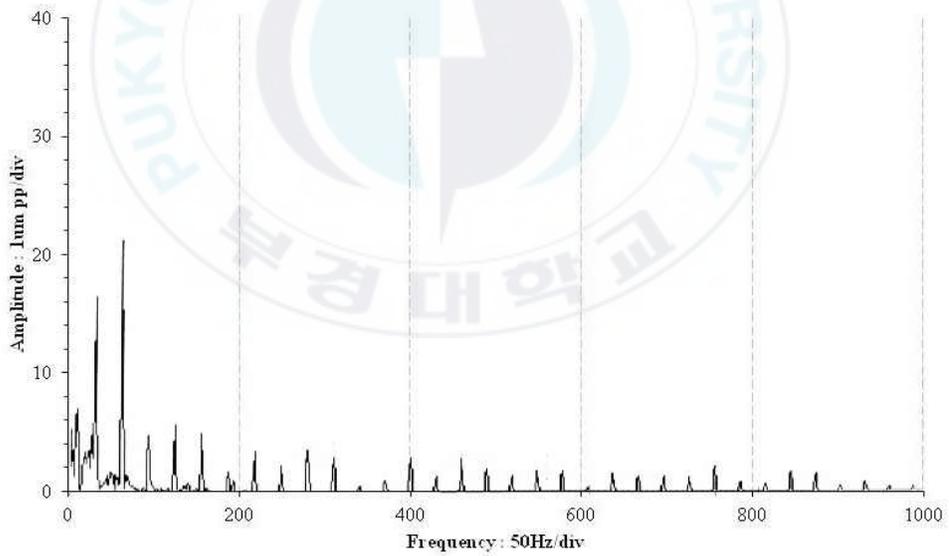
금속용사의 적합한 재질을 선정하고, STS 420J2로 제작된 축을 IR3 Mo의 재질과 비교하기 위해 진동 측정하여 데이터, 주파수, 파형, 축의 궤적을 비교하였다. 주파수와 파형, 궤적은 진동 분석에 사용되는 기본적인 진동 데이터들로서, 여기서 나타나는 진동 특성들을 비교하여 재질의 적합성을 평가할 수 있도록 해준다.

두 재질의 축에서 나타난 주파수를 Fig. 4.1에 나타내었다. Fig. 4.1을 살펴보면 두 재질 모두 회전수의 2배에 해당되는 55Hz에서 가장 높은 성분이 나타났고, 그 값은 약 20 μ m이다. 회전수에 해당되는 27.5Hz 성분은 17~18 μ m로 동일하게 나타나고, 이외의 기타성분들에서도 많은 차이를 보이지 않았다. 그리고 두 재질의 축에서 나타나는 궤적과 파형을 Fig. 4.2에 나타내었다. 축의 궤적에서는 두 번의 실험 모두 기울어진 타원을 나타내고 있으며, 파형에서도 40~65 μ m의 진폭이 나타나 유사한 진동 특성을 가지는 것을 확인할 수 있었다.

축의 재질을 제외한 같은 조건에서 실험한 결과로 두 재질 모두 비슷한 진동특성이 나타났다. 이 결과는 두 재질의 축이 상호 대체가 가능함을 의미하며 금속용사에도 적합한 재질임을 확인할 수 있었다.

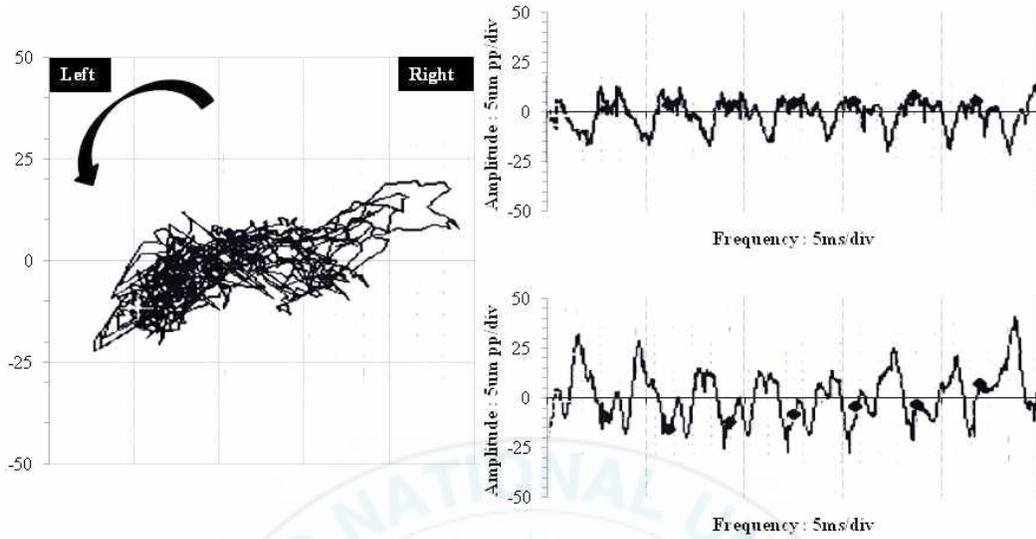


(a) Shaft frequency of IR3 Mo

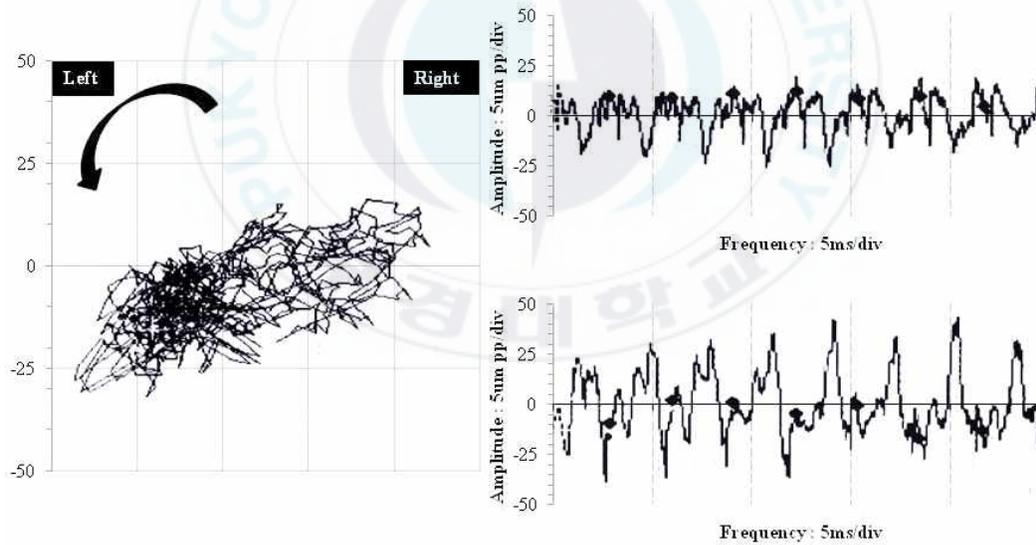


(b) Shaft frequency of STS 420J2

Fig. 4.1 Comparison frequency of each material



(a) Shaft orbit and waveform of IR3 Mo



(b) Shaft orbit and waveform of STS 420J2

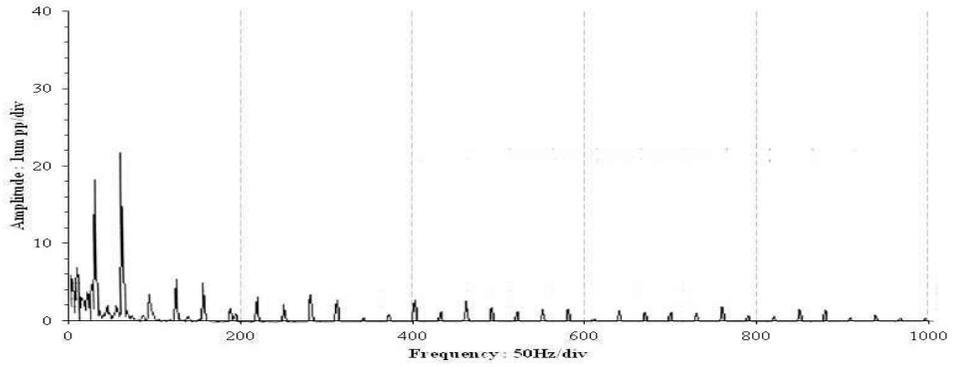
Fig. 4.2 Comparison orbit and waveform of each material

4.2 금속용사 두께에 따른 진동특성 비교

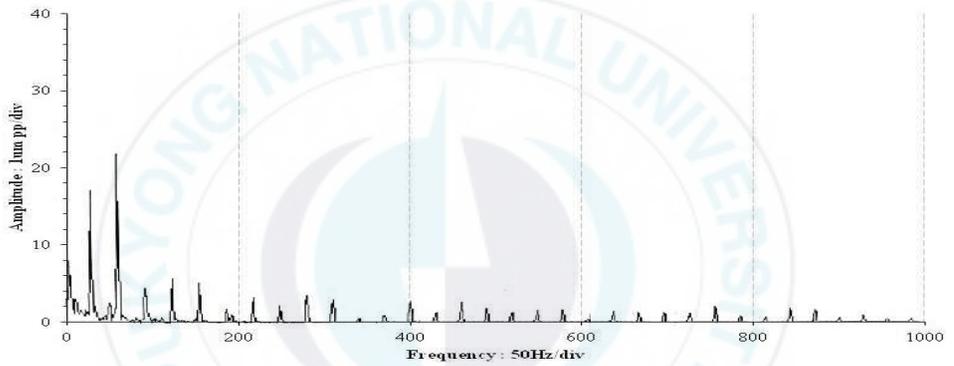
STS 420J2와 IR3 Mo로 제작된 축의 진동 데이터들은 같은 특성을 나타내거나 유사한 결과를 도출하여 용사에 적합한 재질임을 확인할 수 있었다. 이어서 금속용사 두께를 결정하기 위해, 0.5, 1, 5mm의 STS 420J2로 용사된 3종류의 축을 설치하여 진동 데이터를 비교하였다.

Fig. 4.3은 금속용사 두께 별로 비교한 진동 주파수 데이터를 나타낸 것이다. 3번의 실험결과에서 앞서 재질시험과 동일하게 55Hz인 회전수의 2배 성분이 가장 높게 나타났고, 27.5Hz 성분과 이외의 기타 성분들이 주파수에서 나타났다. 그러나 0.5, 1mm의 두께로 용사된 축보다 5mm로 용사된 축의 실험에서 27.5Hz와 55Hz에 해당되는 주파수의 변위 값이 약 $1\mu\text{m}$ 증가되어 나타나며 미세한 오차가 발생하였다. 두 재질의 축에서 나타나는 궤적과 파형을 Fig. 4.4에 나타내었다. 축의 궤적에서는 앞서 재질시험 결과와 마찬가지로 3번 모두 기울어진 타원형을 나타내고 있었다. 그러나 파형에서 주파수에서 나타난 결과와 마찬가지로 5mm 두께에서의 측정된 데이터가 약 $1\mu\text{m}$ 상승되어 나타나며 미세한 오차를 확인할 수 있었다.

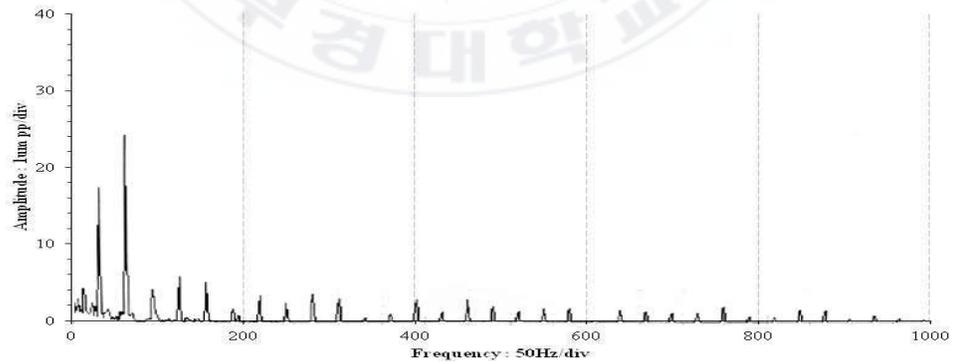
이 실험결과로 3종류의 두께에서 나타나는 진동특성은 재질과 마찬가지로 모두 비슷한 진동특성을 나타내고 있었다. 그러나 5mm의 두께에서 큰 진동 특성변화는 없었지만, 진동이 약간 상승되어 나타나는 것을 확인하였다. 이는 재질시험에서와 마찬가지로 진동 특성에 변화가 없는 것으로 짐작하여 STS 420J2 재질이 금속용사용으로 적합한 재질임을 재차 확인할 수 있었다. 그리고 미세하지만 용사두께가 작을수록 실제 축에서 나타나는 진동과 유사한 진동데이터가 나타나는 것을 확인할 수 있었다.



(a) Shaft frequency of metallizing shaft (0.5mm)

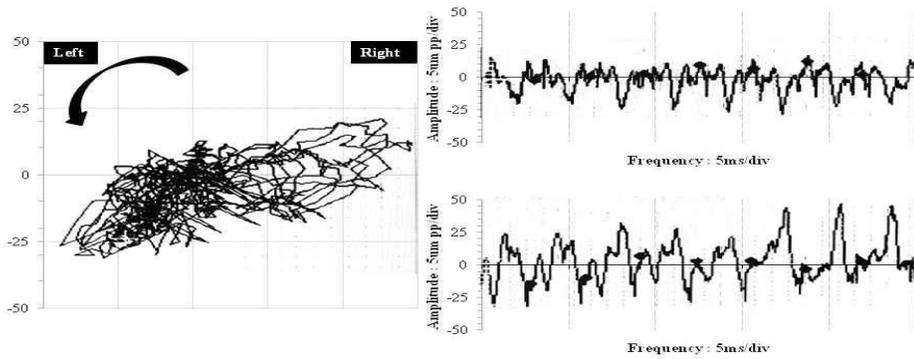


(a) Shaft frequency of metallizing shaft (1mm)

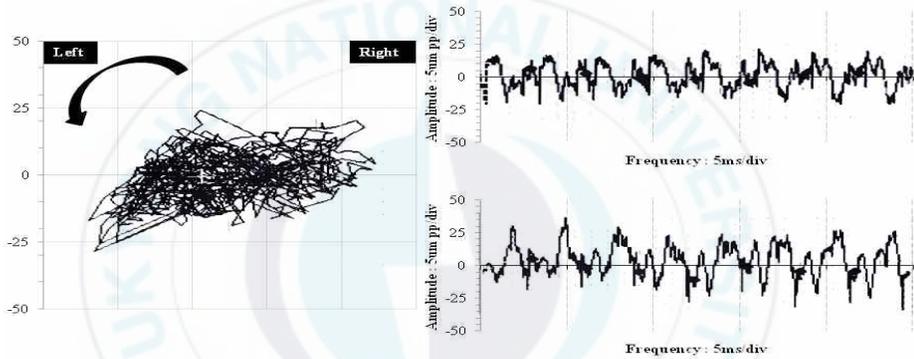


(c) Shaft frequency of metallizing shaft (5mm)

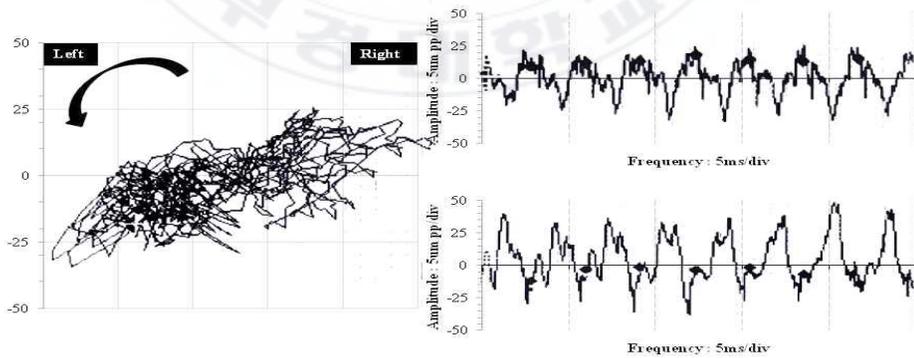
Fig. 4.3 Metallizing the thickness of the comparison frequency



(a) Shaft orbit and waveform of metallizing shaft (0.5mm)



(b) Shaft orbit and waveform of metallizing shaft (1mm)



(c) Shaft orbit and waveform of metallizing shaft (5mm)

Fig. 4.4 Metallizing the thickness of the comparison orbit and waveform

4.3 설비 적용 결과

앞에서 실시한 재질실험을 통해 STS 420J2 재질이 금속용사에 적합한 재질임을 확인하였다. 그리고 금속용사 두께 실험에서는 낮은 두께일수록 미세하지만 실제 축에서 나타나는 진동과 유사한 진동데이터가 나타나는 것을 확인할 수 있었다. 이러한 실험결과를 바탕으로 실제 펌프 축에 이를 적용시켜 진동 데이터들을 확인하였다.

Fig. 4.5의 축 도면을 살펴보면, 반 부하(NDE side)의 센서 자리에 크롬 도금 깊이는 약 0.46mm이고, 부하(DE)의 센서 자리의 크롬 도금 깊이는 약 0.37mm임을 확인할 수 있다. 가장 낮은 치수인 기존 도금 두께만큼만 절삭하게 되면, 축의 표면에 크롬 성분이 잔류하게 될 수 있으므로 반 부하측은 0.47mm, 부하 측은 0.38mm로 양쪽 모두 0.01mm추가하여 절삭하였다. 이후 STS 420J2의 재질로 금속용사를 하였다.

Table 4.1과 Table 4.2는 금속용사 실시 전과 후를 모니터링 시스템으로 비교한 진동 데이터들과 휴대용 진동기로 측정된 진동 데이터들을 정리한 것이다. 금속용사 이후 진동은 최대 109 μ m 감소하였고, 모니터링 시스템과 휴대용 측정기 사이의 오차도 사라졌다. Fig. 4.6과 Fig 4.7에서는 주파수에서는 기존에 나타나던 특성들은 크게 변화가 없지만 진동이 크게 감소하였고, Fig. 4.8과 Fig 4.9의 파형과 궤적에서는 불규칙적으로 나타났던 신호들이 대체적으로 정상적인 형태를 나타내게 되었다.

설비 적용 결과를 살펴보면 금속용사 후 안정적인 진동형태를 나타내었고, 모니터링 시스템에서 도출된 데이터와 실제 측정된 값이 유사하게 나타났다. 이는 앞서 실험한 결과와 마찬가지로 금속용사에 STS 420J2 재질과 최소 두께 적용이 적합한 선정임을 확인할 수 있다.

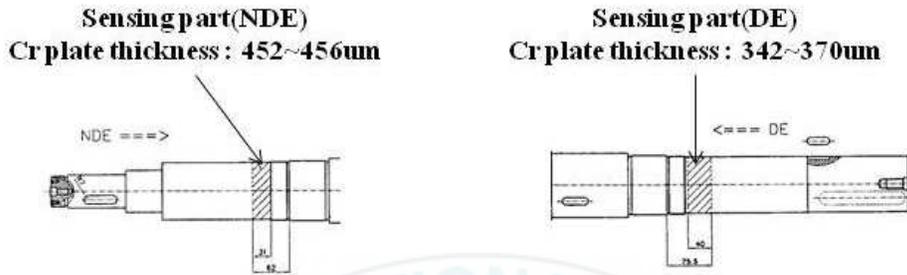


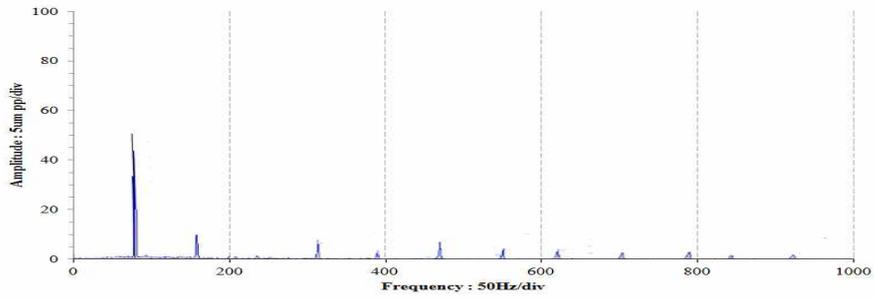
Fig. 4.5 Shaft of drawing

Table 4.1 Comparative measurement data of the monitoring system

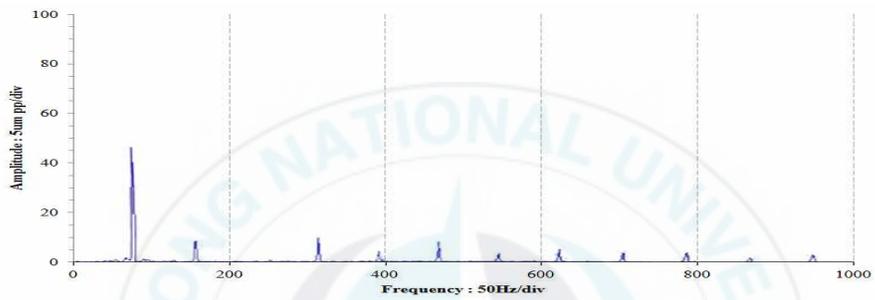
Measurement point		Pump NDE side	Pump DE side
Before	Point 1	140 μ m	80 μ m
	Point 2	122 μ m	79 μ m
After	Point 1	31 μ m	31 μ m
	Point 2	26 μ m	23 μ m

Table 4.2 Measurement data of the portable oscillometer

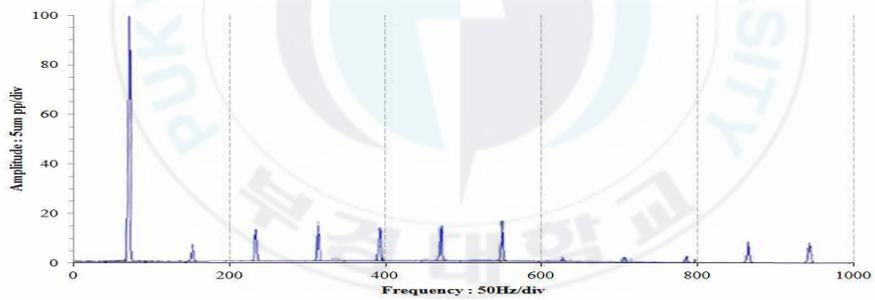
Measurement point	Pump NDE side	Pump DE side
Point 1	140 μ m	80 μ m
Point 2	122 μ m	79 μ m



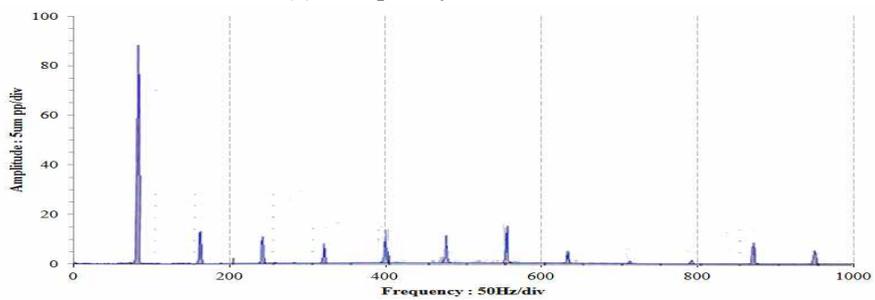
(a) Frequency of DE-1



(b) Frequency of DE-2

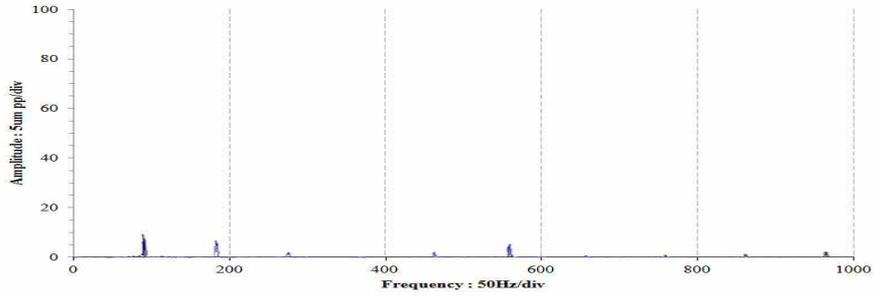


(c) Frequency of NDE-1

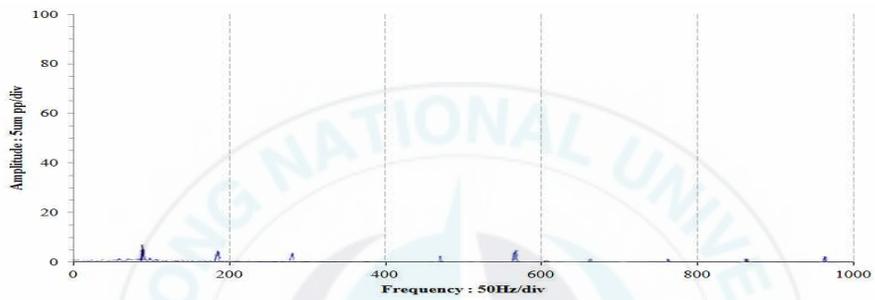


(d) Frequency of NDE-2

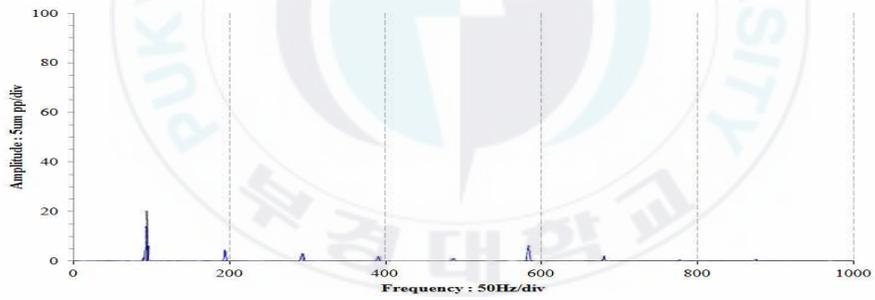
Fig. 4.6 Spectrum of main pump



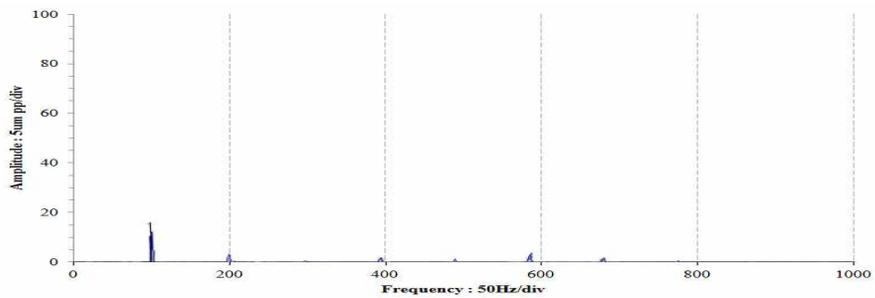
(a) Frequency of DE-1



(b) Frequency of DE-2

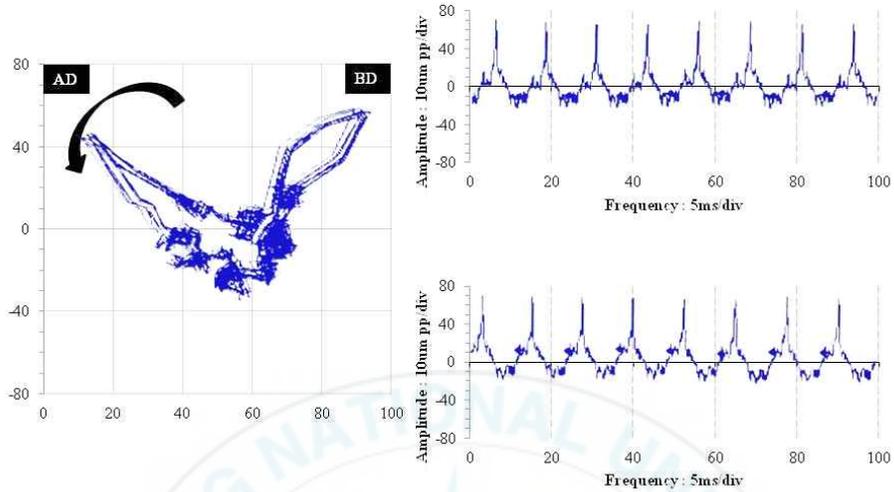


(c) Frequency of NDE-1

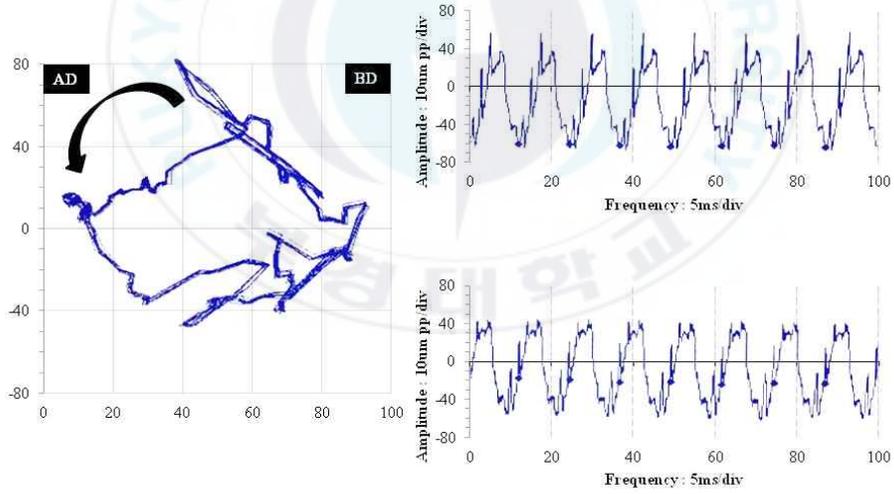


(d) Frequency of NDE-2

Fig. 4.7 Spectrum of main pump (after metallizing)

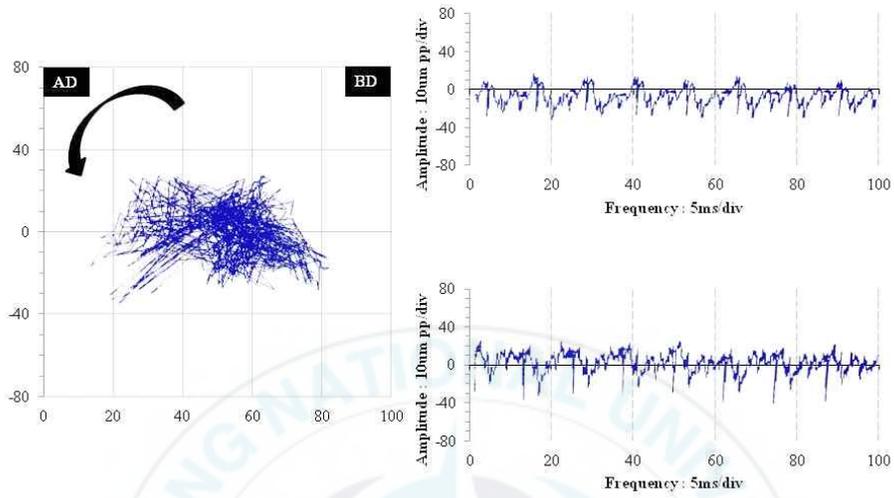


(a) Time waveform of DE

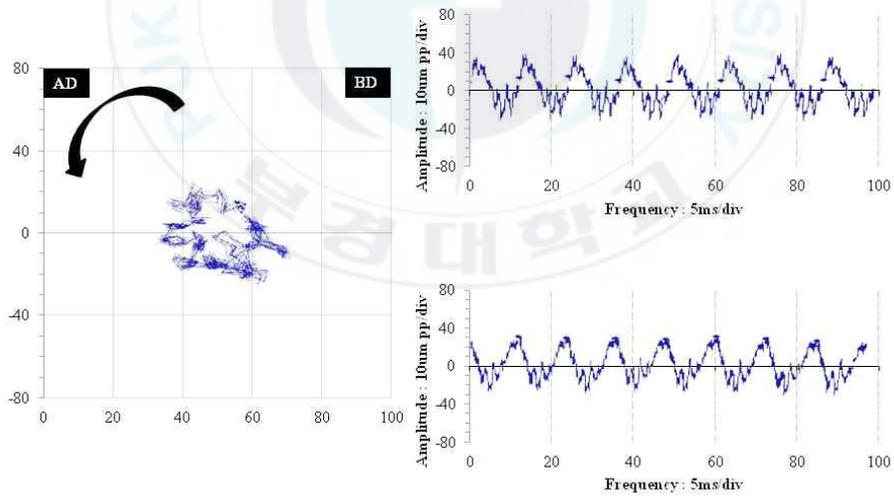


(b) Time waveform of NDE

Fig. 4.8 Time waveform of main pump



(a) Time waveform of DE



(b) Time waveform of NDE

Fig. 4.9 Time waveform of main pump (after metallizing)

제 5장 결론

이 논문에서는 발전소 펌프 축의 높은 진동 문제를 해결하기 위해 금속 용사를 제안하였고, 모형 시뮬레이터를 이용한 실험을 통해 금속용사 선정 재질인 STS 420J2의 적합성과 금속용사 두께에 따른 비교 실험을 통하여 다음과 같은 실험결과를 도출하였다.

1. 재질 비교 실험을 통해 실제 축의 재질인 IR3 Mo와 금속용사 재질인 STS 420J2의 진동 데이터와 특성이 유사하게 나타났고, 이 결과를 바탕으로 적합한 재질임을 확인할 수 있었다.
2. 금속용사 두께 비교 실험을 통해 두께에 따라 진동 데이터와 특성에서 큰 차이가 나타나지 않았다. 그러나 5mm의 두께에서 나타나는 주파수와 파형에서는 약 $1\mu\text{m}$ 상승되어 나타나는 것을 파악할 수 있었다. 이 결과를 바탕으로 금속용사 두께가 작을수록 실제 축에서 나타나는 진동과 유사한 진동데이터들이 나타나는 것을 확인할 수 있었다.
3. 실험결과를 바탕으로 실제 펌프 축에 STS 420J2의 재질과 최소한의 두께로 금속용사 하였고, 이후 측정된 진동데이터에서는 최대 $109\mu\text{m}$ 감소된 값과 주파수와 파형에서 정상적인 형태를 나타내는 것을 확인할 수 있었다.

References

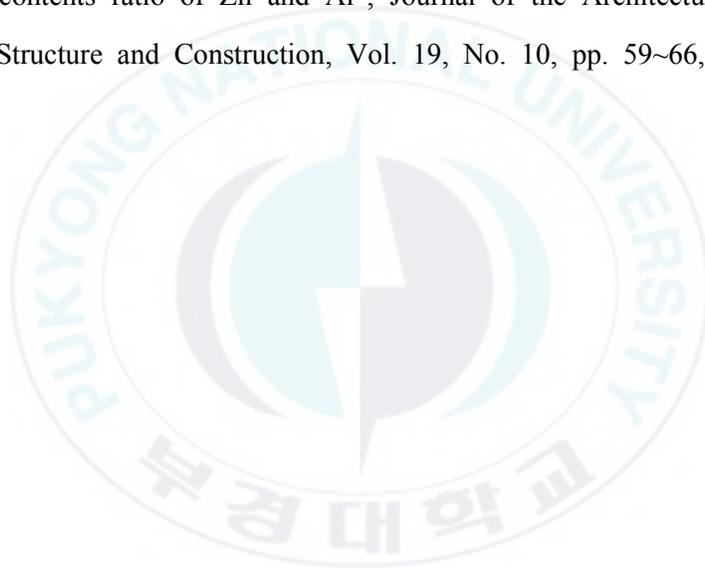
1. W. K. Lee, W. S. Ko, K. Y. Kim, J. R. Koo, "Analysis of high vibration in nuclear turbine-generator", Proceedings of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering Conference, pp. 46~50, 2007
2. E. S. Lee, "A study on the corrosion of boiler tube", Department of Metallurgical Engineering Ulsan University, 2006
3. K. H. Yang, C. H. Cho, C. H. Bae, "Study on noise control for piping system of BFP in a Power Plant", Proceedings of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering Conference, pp. 490~494, 2004
4. Y. H. Kim, "Domestic power plants based on vibration signal real-time condition monitoring of large rotating equipment status and direction", The Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Vol. 23, No. 1, pp. 9~14, 2013
5. H. J. No, "A study on diagnosis method based on the correlation of vibration and acoustic signals of rotation machine", Department of Mechanical and Automative Engineering Ulsan University, 2010
6. C. H. Cho, "Study on characteristics of noncontact vibrating displacement sensor", The Korean Society for Power System Engineering, Vol. 15, No. 2, pp. 13~18, 2011

7. S. H. Baik, "Application of Fe-Mn high damping alloys for reduction of noise and vibration in power plants", Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Vol. 9, No. 4, pp. 720~729, 1999
8. W. H. Kim, W. H. Joo, J. G. Bae, "Noise and vibration reductions in exhaust duct system of cogeneration power plants", Proceedings of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering Conference, pp. 641~646, 2004
9. M. K. Kim, Y. S. Choun, "Operating vibration reduction effect evaluation of EDG at the NPP site", Proceedings of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering Conference, pp. 111~118, 2006
10. H. K. Jang, S. H. Kim, "Reduction of flow induced vibration in the heat exchanger of thermal power plant", Proceedings of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering Conference, pp. 633~638, 2000
11. Y. H. Won, C. B. Jeon, D. B. Oh, "Reduction method for the piping vibration of main feed-water pump turbine", Proceedings of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering Conference, pp. 429~430, 2010
12. Y. H. Won, Y. G. Kim, S. B. Lee, J. H. Lee, M. B. Park, S. H. Lee, "Vibration reduction by application of vacuum mitigation apparatus to essential service water piping system of power plants", Proceedings of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering Conference, pp. 323~327, 2014

13. H. Park, "A study on vibration reduction of vertical pumps used in the power plant circulating water System", Department of Power Engineering Hanyang University, 2012
14. H. K. Jung, "Dynamic characterization and vibration suppression of a submerged piping systems in a power plant", Department of Mechanical Engineering Chonnam National University, 2014
15. Ronald L. Eshleman, Ph. D, P. E, "Basic machinery vibrations - An introduction to machine testing, analysis, and monitoring with SI units", The Korean Society for Noise and Vibration Engineering, 2008
16. S. H. Lee, "The effects of the mechanical properties and structural changes of the austenitized and tempered martensitic STS 420J2 stainless steel on its temper embrittlement", Department of Advanced Materials Engineering Kookmin University, 2009
17. C. Y. Lee, "A study on mechanical properties and structures STS 420J2 by austenitizing and tempering", Department of Material and Chemical Engineering Hanyang University, 2009
18. H. S. Lee, "Development for finishing method of concrete structures applying metal spraying system", Korea Concrete Institute Proceedings of the symposium, pp. 1225~1228, 2001

19. S. H. Jung, “Experimental study on the adhesion property between spraying metal and concrete surface according to the treatment method of concrete surface”, Journal of the Architectural Institute of Korea Structure and Construction, Vol. 19, No. 2, pp. 83~90, 2003
20. M. H. Han, H. S. Lee, “An experimental study on the application of cathodic protection method applying Zn-Al metal spray on the RC structure”, Korea Concrete Institute Proceeding of the Symposium, pp. 177~178, 2015
21. J. H. Park, H. S. Lee, “A literature study on the ozone degradation of concrete structures in water treatment facilities”, The Korean Institute of Building Construction, Vol. 15, No. 1, pp. 177~178, 2015
22. S. M. Lee, H. S. Lee, “An experimental study on the electromagnetic shielding efficiency of concrete applying metal spraying finishing method”, Journal of the Architectural Institute of Korea Structure and Construction, Vol. 25, No. 1, pp. 225~228, 2005
23. S. H. Seo, “Evaluation on the adhesion property of metal spraying system by moisture condition and concrete surface treatment”, Department to Architectural Engineering Hanyang University, 2016

24. H. R. Kim, J. C. Lee, C. S. Kim, H. S. Jung, H. S. Lee, “An influence of the surface conditions of steel plate to the adhesion strength of metal spraying finish layer”, Journal of the Architectural Institute of Korea Structure and Construction, Vol. 22, No. 1, pp. 353~356, 2002
25. S. H. Jung, M. S. Lee, “Experimental study on the corrosion protection properties and anticorrosive life of the Zn/Al metal spray method according to the contents ratio of Zn and Al”, Journal of the Architectural Institute of Korea Structure and Construction, Vol. 19, No. 10, pp. 59~66, 2003



A study on vibration reduction of shaft for water pump of boiler by stainless steel metallizing

Park, Dong-Wook

*Department of Mechanical Engineering,
Graduate School of Industry of Pukyong National University*

ABSTRACT

High vibration metallizing to solve the problem of the pump shaft of the plant in this study proposal. Metallizing the compatibility of STS 420J2 and selected by and experiments with model simulator metallizing with Type of comparative tests. Through the comparison test material it was similar to the vibration data and attributes that appear in the IR3 Mo and STS 420J2 metal spraying material of the actual shaft material. Through the thickness of the sprayed metal comparative experiment it did not show a large difference in the vibration data and characteristics in accordance with the thickness. However, the frequency and the waveform that appears at a thickness of 5mm was found that appears is about 1 μ m rise. The pump shaft on the basis of the experimental results was the sprayed to a thickness of the metal material and at least the STS 420J2, since the measured vibration data exhibit was a normal type in the frequency and waveform with a reduced value up to 109 μ m.

감사의 글

오늘의 이 결실을 맺기까지 많은 분들의 도움에 진심으로 감사를 드립니다. 먼저 대학원 생활동안 직장이란 핑계로 공부에 소홀히 한 부족한 저를 관심과 가르침으로 이 자리까지 서게 해주신 광재섭 지도교수님께 진심으로 감사의 말씀을 드리며 항상 건강하시고 행복하시길 기원합니다. 또한 바쁘신 가운데 최종논문이 완성되기까지 지도와 심사해주신 강대민 교수님과 박영환 교수님께도 진심으로 감사드립니다.

아울러 대학원 과정을 졸업할 수 있게 허락해 주시고 응원해주신 한전 KPS 울산사업처 동료 분들께 감사드립니다. 특히 바쁜 업무에도 불구하고, 지속적인 관심으로 논문 수정에 많은 협조와 도움을 주신 이을식 과장님께 감사드립니다. 또, 여러모로 불편 없이 학교생활을 할 수 있도록 도와주시고 배려해주신 기술팀 선배님들께도 감사드립니다.

무엇보다도 나름대로의 나의 길은 정해놓고 달려오면서, 가정에 소홀함은 어쩔 수가 없었다는 핑계를 이해해주고, 남편인 저를 지켜준 아내 “이선하”에게 가장 큰 감사를 하고 싶습니다. 그리고 사랑스런 딸 “채리”와 곧 태어날 둘째에게도 고맙다고 전하고 싶고, 지금의 저를 존재하게 해주시고 항상 큰 용기 주시는 아버지, 어머니 그리고 변함없는 믿음과 사랑으로 지켜봐주시는 장인어른, 장모님께도 감사의 마음을 전하며, 비록 부족한 논문이지만 소중한 교훈으로 남기고 싶습니다. 감사합니다.

2016년 8월

박 동 욱 드림