

발전설비 대형펌프의 신뢰성 향상을 위한 설비 상태지수 연구

Asset Health Index for Improving Reliability of Large Pumps in Power Generation Facilities

김형진* · 안병현* · 정덕영* · 박성훈* · 박계륜* · 손종덕** · 최병근†

Hyoung-Jin Kim*, Byung-Hyun Ahn*, Deok-Yeong Cheong*, Seong-Hun Park*, Kye-Ryun Park*, Jong-Duk Son** and Byeong-Kuen Choi†

(Received January 25, 2021 ; Revised March 4, 2021 ; Accepted March 22, 2021)

Key Words : Preventive Maintenance(예방정비), Asset Health Index(자산 건강 지수), Index(요소), Condition Criteria(상태기준), Weight Factor(가중치), Performance(효율)

ABSTRACT

Power generation facilities carry out periodic preventive maintenance to ensure smooth generation of electricity. However, frequent maintenance results in considerable losses such as suspension of operation and unnecessary replacement of parts. In order to overcome these issues, it has been proposed to develop an asset health index to reduce the maintenance and economic costs. To improve the reliability of the asset soundness index assessment, this study considers pump efficiency and conducts a state assessment study. Based on the results of the improved asset soundness index assessment, important information is expected to be provided for developing an efficient maintenance plan.

기 호 설 명

ACS : 알람 상태기준 점수
ACV : 알람 값
DH : 토출 양정
DP : 토출 압력
ME : 모터 효율
MV : 측정 값
NCS : 정상 상태기준 점수
NCV : 정상 값
 P_b : 축 동력

P_w : 수 동력
PF : 역률
Q : 펌프 유량
 η_p : 펌프 효율

1. 서 론

발전설비는 전력의 원활한 생산 및 정상적인 상태를 유지하기 위해 유지보수 및 관리에 집중하고 있다. 기존 발전설비의 유지보수 및 관리는 일정 시간에 따라 주기적으로 정비를 수행하는 preventive

† Corresponding Authors; Member, Yonsei University, Department of Mechanical Engineering, Professor
E-mail: bgchoi@gnu.ac.kr

* Member, Yonsei University, Department of Mechanical Engineering, Student

** KEPCO Reasearch Institute, Researcher

‡ Recommended by Editor Seon Jun Jang

© The Korean Society for Noise and Vibration Engineering

maintenance(PM) 방식으로써, 설비가 정지되어 있는 동안에 상태 측정, 부품 정비 및 교체 등을 수행하게 된다.

그러나 최근 빅 데이터, 머신러닝, 인공지능 등 4차 산업 혁명 기술들의 발전이 이루어지면서 설비의 효율성, 에너지 절감, 성능, 비용 절감 등 체계적인 관리의 필요성이 대두되고 있다. 이에 따라 현재 실시간 상태 모니터링 진단 및 데이터 분석 등을 적용한 predictive maintenance(PdM) 관련 연구가 활발히 진행되고 있다⁽¹⁻⁴⁾.

PdM 개발하기 위해 수행되고 있는 다양한 연구들 중에 이 연구는 비용을 절감하고 기존의 투자의 가치를 극대화하는 자산 건강 지수(AHI) 기술 개발 연구를 수행하였다.

자산의 사전적 의미는 개인이나 기업이 소유하고 있는 경제적 가치가 있는 것을 말한다. 보통 가치는 무형물과 유형물로 구분되는데, 무형물은 소프트웨어나 금융자산, 지적재산권 등을 의미하며, 유형물은 건축물이나 생산설비, 전기설비와 같은 사회 인프라 시설을 의미한다. 그러나 유형물의 경우 시간의 지남에 따라 성능이 떨어지고 그에 따른 고장 횟수 및 유지보수 비용이 증가하게 되므로 경제적 가치를 극대화하기 위한 자산 관리 기술 개발연구가 필수적으로 요구된다.

AHI의 기본적 개념은 설비의 상태평가를 통한 수명주기 동안의 자산관리 또는 건강지수를 결정하는 지표로서, 상태평가 결과는 설비 문제에 대한 조기 경고 알림 및 진단 정보를 제공하여 설비 가동 중지 시간을 줄이고 안정성을 높이며, 성능을 향상시켜 운영 및 유지 관리 비용을 줄일 수 있다.

설비 상태평가를 위한 주요 요소(index)는 고장데이터, 상태데이터, 정비 이력, 운용시간 등이 존재하며, 주요 요소들의 통합관리를 통해 자산 상태평가를 수행한다.

상태평가 수행은 선정된 주요 요소들의 평가기준(criteria)에 따라 산출된 정량적인 점수와 선정된 주요 요소들이 설비에 미치는 피해영향 정도 즉, 중요도에 따른 가중치를 통해 전반적인 상태평가가 수행되며, 평가결과 통해 추후 설비상태를 예측하고 설비 보존 및 정비 계획^(5,6)을 수립하는데 유용한 정보를 제공하게 된다.

이 연구는 AHI 상태평가의 신뢰성을 향상시키기 위해 펌프 효율을 평가요소로 추가하였다. 펌프는 유체

를 이동시키는데 이용되는 설비로써 유체의 유량, 유속, 유압의 급변에 의해 cavitation, surging 현상 등 다양한 결함이 발생하며, 이에 펌프 성능은 저하된다. 이에 따라 상태평가의 신뢰성 향상을 위해 유량, 유속, 유압 등의 정보를 포함하여 펌프의 효율을 산출하고 이를 상태평가 요소로 추가 적용하여 평가를 수행했다.

2. Asset Health Index

2.1 Asset Health Index Flow Chart

Fig. 1은 AHI의 상태평가 결과의 신뢰성 향상 위해 수행한 AHI work process flow chart이며, 대상설비는 발전소의 대형 회전체인 boiler feed pump(BFP)를 대상으로 선정하여 연구를 수행하였다.

BFP는 보일러에서 필요한 급수를 높은 압력으로 공급하는 설비로써, 구동 중에 문제가 발생하게 되면 전력 공급의 차질 및 경제적 손실이 발생하게 되므로 각별한 주의가 요구되는 설비이다. 따라서 이 연구의 AHI의 자산관리의 대상설비로 적합하다 판단되어 선정하였다.

BFP의 평가대상은 모터, 펌프, 베어링⁽⁷⁾을 선정하였으며, 선정된 요소 (motor, pump, bearing)는 건전성을 나타낼 수 있는 진동⁽⁸⁾, 온도⁽⁹⁾, 권선온도, 펌프 효율 총 4개를 선정하여 평가를 수행하였다.

요소별 평가기준은 제작사가 제공한 권고 사항에 따라 기준을 적용하여 정립하였으며, 추가 적용된 펌프 효율의 경우에는 정립된 상태기준이 없어 ANSI/API 610 지침을 활용하여 상태기준을 정립하였다.

가중치는 설비별 고장모드 라이브러리를 활용하여

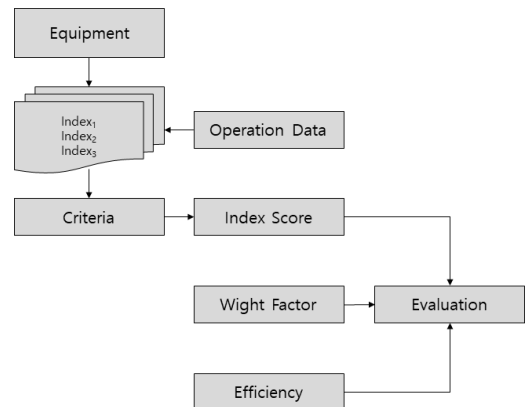


Fig. 1 Work process flow chart of asset health index

요소 별 발생가능한 모든 종류의 고장 부품을 기반으로 검출할 수 있는 요소들의 확률을 통해 가중치를 선정하였다.

최종적으로 산출된 요소별 점수(index score)와 선정된 가중치(W/F)를 통해 AHI 상태평가를 수행하였으며, 펌프 효율의 추가 적용 전/후 결과 비교를 통해 신뢰성 향상 가능성 여부를 판단하였다.

2.2 Index 선정 (기준)

AHI⁽¹⁰⁾의 상태평가를 수행하기 위해 주요 요소 선정이 필수적이다. 기존의 연구는 BFP의 운전 중 실시간으로 측정되는 operation data⁽¹¹⁾ 중 회전체 상태를 평가하는데 필수적 진단요소인 진동과 고장 메커니즘 별 고장발견이 가능한 베어링 온도, 권선 온도를 주요 요소로 선정하여 평가를 수행하였다. Table 1은 펌프 관리회사로부터 제공받은 데이터의 센서 위치를 정리한 표이다.

2.3 요소 별 상태기준 (기준)

요소(진동, 온도)의 현재 상태를 정의하기 위해서는

Table 1 Boiler feed pump data measure sensor point

Boiler feed pump	
Vibration	Pump vibration (DE-X)
	Pump vibration (DE-Y)
	Motor vibration (DE-X)
	Motor vibration (DE-Y)
Temperature	Pump bearing temperature (DE)
	Pump bearing temperature (NDE)
	Motor bearing temperature (DE)
	Motor bearing temperature (NDE)
	Motor winding temperature (U PH)
	Motor winding temperature (U1 PH)
	Motor winding temperature (V PH)
	Motor winding temperature (V1 PH)
	Motor winding temperature (W PH)
	Motor winding temperature (W1 PH)

상태기준(criteria) 정립이 필수적으로 수행되어야 된다. 요소 별 상태기준은 제작사에서 제공한 모터, 펌프, 베어링에 대한 권고사항을 적용하여 정립하였으며, Table 2는 정립된 상태기준을 정리한 표이다. 모터, 펌프의 진동 상태기준은 진동변위가 $100 \leq x < 165 (\mu m)$ 이면 alarm, $165 \leq x (\mu m)$ 이면 trip으로 선정하였다. 베어링의 온도 상태기준은 모터부의 경우에는 $95 \leq x < 100 (^\circ C)$ 이면 alarm, $100 \leq x (^\circ C)$ 이면 trip으로 선정하였으며, 펌프부의 경우에는 $90 \leq x < 95 (^\circ C)$ 이면 alarm, $95 \leq x (^\circ C)$ 이면 trip으로 선정하였다.

모터의 권선온도 상태기준은 $130 \leq x < 135 (^\circ C)$ 이면 Alarm, $135 \leq x (^\circ C)$ 이면 trip으로 선정하여 상태기준을 정립하였다.

2.4 Index Score 결과 (기준)

Table 3은 펌프 관리회사로부터 제공받은 BFP의 요소별 데이터 값(measure value)과 정립된 상태기준을 통해 요소별 점수(index score)를 산출한 결과표이다. 측정값은 모터, 펌프, 베어링에서 취득된 데이터에서 진동 값과 온도 값이며, 상태기준은 2.3절의 요소 별 상태기준을 활용하여 요소별 점수를 정리하였다. 점수는 상태기준에 따라 normal =5, alarm=3, trip=1점으로 정의하여 환산하였으며, 예로 펌프 진동 x축의 요소 점수 환산과정을 식 (1)~(3)과 같이 정리하여 나타내었다. 측정된 값(vibration) 21.67을 기준으로 normal상태기준(NCV), alarm상태기준(ACV) 사이에 있으며, 기준에

Table 2 Boiler feed pump vibration, temperature criteria

Boiler feed pump	
Motor winding temperature	130 °C
Motor DE&NDE bearing temperature	95 °C
Pump bearing temperature	90 °C
Pump&Motor radial vibration high	100 μm
Trip	
Motor winding temperature	135 °C
Motor DE&NDE bearing temperature	100 °C
Pump bearing temperature	95 °C
Pump&Motor radial vibration high	165 μm

따라 환산된 점수(normal 상태기준 점수(NCS)), (alarm 상태기준 점수(ACS))를 활용하여 index 점수를 환산하였다.

$$\text{Measure Value} = 21.67 \tag{1}$$

$$0_{NCV} < 21.67_{MV} < 100_{ACV} \tag{2}$$

$$5_{NCS} + ((3_{ACS} - 5_{NCS}) \times 21.67_{MV} / 100_{ACV}) = 4.57 \tag{3}$$

2.5 요소 별 가중치 선정 (기준)

설비의 상태평가를 수행하기 위해 요소 별 피해 영향 정도, 즉 가중치(weight factor)⁽¹²⁾ 선정이 필수적으로 수행되어야 한다. 현재 가중치 선정은 위험성

분석⁽¹³⁾ 및 전문가들의 주관적인 판단을 통해 선정되며, 이는 많은 시간과 높은 지식을 요구하게 된다. 이 연구에서는 발전 설비의 유지보수 일정 및 정보 관리 시스템인 고장모드 라이브러리를 활용하여 요소 별 가중치를 선정하였다.

고장모드 라이브러리란 RCM(reliability centered maintenance)을 기반으로 설비별 고장 모드 라이브러리의 고장 부품 및 진단 인덱스별 빈도 분석한 자료를 사용하여 가중치를 선정하였다. Table 4는 펌프 관리회사로부터 고장 부품을 정리한 자료로서, 예시로 coupling의 경우에는 진동을 통해서 10번의 고장을 검출한 사례가 있으며, bearing의 경우에는 진동을 통해서 20번, 권선온도를 통해서 14번, 베어링 온도를 통해서 5번 고장들을 검출된 사례가 있으므로, 이를 기반으로 각 설비별 index들의 합을 백분율하여 가중치를 선정했다.

Table 3 Index score (vibration, temperature)

		Measure value		Criteria			Index score	
		x axis	y axis	Normal (N)	Alarm (A)	Trip (T)	x axial	y axial
Vibration (μm, rms)	Pump	9.77	9.67	x < 100	100 ≤ x < 165	165 ≤ x	4.80	4.81
	Motor	47.04	40.82	x < 100	100 ≤ x < 165	165 ≤ x	4.06	4.18
Temperature (°C)	Pump bearing	51.81	45.93	x < 90	90 ≤ x < 95	95 ≤ x	3.85	3.98
	Motor bearing	65.03	64.13	x < 95	95 ≤ x < 100	100 ≤ x	3.55	3.57
	Motor winding (U)	102.47	101.00	x < 135	130 ≤ x < 135	135 ≤ x	3.42	3.45
	Motor winding (V)	99.37	100.75	x < 135	130 ≤ x < 135	135 ≤ x	3.47	3.45
	Motor winding (W)	102.15	102.86	x < 135	130 ≤ x < 135	135 ≤ x	3.43	3.42

x = index value

Table 4 Weight factor (vibration, temperature)

BFP			
Discovery method	Vibration	Winding temperature	Bearing temperature
Coupling	10	0	0
Shaft	13	0	0
Bearing	20	14	5
Impeller	10	9	3
Count	53	23	8
Wight factor (%)	63.1	27.38	9.52

3. 효율을 적용한 Asset Health Index 개발

3.1 펌프 효율 요소 개발

AHI의 상태평가의 신뢰성을 향상시키기 위해서는 다양한 요소들의 지속적인 연구 및 개발이 필요하다. 펌프는 유체를 이동시키는데 이용되는 설비로써 유체의 유량, 유속, 유압의 급변에 의해 cavitation, surging 현상 등 다양한 결함이 발생하며, 이에 펌프 성능은 저하된다. 이에 따라 상태평가의 신뢰성 향상을 위해 유량, 유속, 유압 등의 정보를 포함하여 펌프의 효율을 요소로 추가 적용하였다.

3.2 펌프 효율 계산

펌프 효율 계산은 한국 산업규격 KS B ISO 5198의

원심, 사류 및 축류 펌프-수력 성능 시험 규격 지침을 참고하여 작동중의 BFP의 토출압력, 입구압력, 유량 등을 취득하여 식 (4)~(7)과 같이 효율을 계산하였다.

$$\eta_p = P_w \text{ (kW)} / P_b \text{ (kW)} \tag{4}$$

$$P_w = 9.8 \times DH \text{ (m)} \times Q \text{ (t/H)} / 3600 \tag{5}$$

$$DH = DP \text{ (kg/cm}^2\text{)} \times 10 \tag{6}$$

$$P_b = \text{Current (A)} \times \text{Voltage (V)} \times \sqrt{3} \times PF / 1000 \times ME \tag{7}$$

Table 5는 제작사에서 제공한 BFP의 효율 곡선 및 현장에서 O/H기간이 끝난 이후의 30일 동안 취득된 데이터를 활용하여 위 수식과 같이 계산된 펌프 효율

Table 5 Efficiency value

Flow	Original efficiency	Calculation efficiency	Efficiency gap
250.8	70.6	65.4	5.2
260.2	72.0	66.5	5.5
270.5	73.0	67.1	5.9
280.4	74.0	68.6	5.4
290.4	75.0	69.4	5.6
300.4	76.0	70.1	5.9
310.6	77.1	71.5	5.5

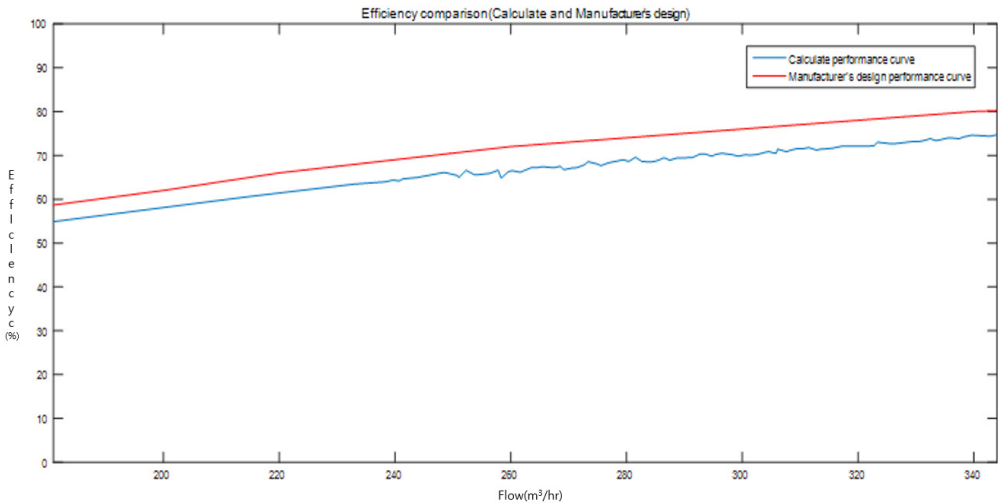


Fig. 2 Manufacturer's efficiency and calculated efficiency comparison

결과이며, 유량은 동일 유량에서 나타나는 효율 값을 나타내었다. 비교결과 효율의 평균오차는 5.49이지만, Fig. 2와 같이 x축은 유량, y축은 효율로써 제작사에서 제공한 효율곡선(빨간색)과 계산된 효율곡선(파란색)의 트렌드를 비교한 결과 형상이 유사한 것으로 확인되어 상태평가를 수행하기 위한 주요 요소로 적용이 가능할 것으로 판단된다.

3.3 펌프 효율 상태기준

펌프 효율에 대한 상태기준은 정의되어 있지 않아 이 연구에서는 제작사에서 제공한 효율곡선 그래프에 Head 곡선을 ANSI/API 610⁽¹⁴⁾의 원심 펌프의 허용 작동지역에 대한 지침을 적용하여 상태기준을 적립하였다.

Table 6 Efficiency criteria

Criteria	Efficiency value (%)
Normal	$74.4 < x$
Alarm	$35.75 < x \leq 74.4$
Trip	$x \leq 35.75$

ANSI/API 610 지침은 preferred operation region(선호하는 작동 영역), allowable operation region(허용가능 작동 영역)에 대해 펌프의 작동 가능 여부를 판단하게 된다. Preferred operation region은 펌프의 효율과 작동 신뢰성이 실질적으로 저하되지 않은 예측된 best efficiency point를 기준으로, preferred operation region의 범위는 70%까지 지점까지 정의하며, allowable operation region은 preferred operation region의 외부 광범위한 흐름으로, 최소유량에서 preferred operation region의 끝 지점으로 정의한다. Fig. 3은 각 작동 영역 범위를 BFP 효율곡선에 적용하여 나타낸 것이며, Table 6은 정의된 preferred operation region = $74.4\% < x$, allowable operation region = $74.4\% \leq x < 35.75$, Trip = $35.75 < x$ 의 영역범위를 normal, alarm, trip으로 정의하여 상태기준을 나타낸 표이다.

3.4 Boiler Feed Pump의 효율 평가

펌프의 효율 요소 평가는 2.4절의 요소 별 점수 산출 방법과 같이 산출하여 계산된 효율 값과 정립된 상태기준을 통해 효율의 요소 점수를 환산하였으며, Table 7은 환산된 효율 요소 점수 결과를 정리한 표이다.

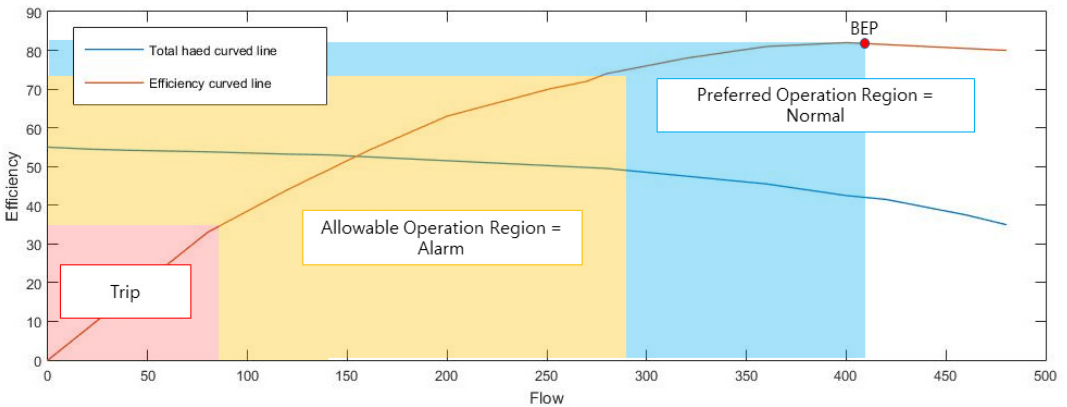


Fig. 3 Boiler Feed Pump Operating area

Table 7 Efficiency index score

	Measure value	Criteria			Index score
		Normal (N)	Alarm (A)	Trip (T)	
Efficiency (%)	66.89	$74.4 < x$	$74.4 \leq x < 35.75$	$35.75 \leq x$	3.66

$x = \text{index value}$

Table 8 Efficiency weight factor

BFP				
Discovery method	Vibration	Winding temperature	Bearing temperature	Efficiency
Coupling	10	0	0	0
Shaft	13	0	0	0
Bearing	20	9	22	0
Impeller	10	3	0	9
Diffuser & Volute	14	0	8	12
Count	67	12	30	21
Sum	130			
Wight factor (%)	51.54	9.23	23.08	16.15

Table 9 Asset health index evaluation score

Grade					
Category / scale	5	4	3	2	1
Definitions	Very good	Good	Fair	Poor	Very poor

Table 10 AHI diagnosis results (efficiency index = 0)

Boiler feed pump								
		Measure value		Index score		W/F	I/W score	
		x axial	y axial	x axial	y axial	x, y axial	x axial	y axial
Vibration (μm , rms)	Pump	9.77	9.67	4.80	4.81	61.47	295.05	295.66
	Motor	47.04	40.82	4.06	4.18		249.56	256.94
Temperature ($^{\circ}\text{C}$)	Pump bearing	51.81	45.93	3.85	3.98	27.52	105.96	109.54
	Motor bearing	65.03	64.13	3.55	3.57		97.71	98.26
	Motor winding (U)	102.47	101.00	3.42	3.45	11.01	37.65	37.98
	Motor winding (V)	99.37	100.75	3.47	3.45		38.20	37.98
	Motor winding (W)	102.15	102.86	3.43	3.42		37.76	37.65
Before applying pump efficiency								
Sum of I/W score / sum of W/F = operation evaluation score						Sum of W/F	Sum of W/F score	
4.11						422.02	1735.90	

3.5 펌프 효율 가중치 선정

펌프 효율 가중치 선정은 2.5절의 요소 별 가중치 선정 방식과 동일하게 발전 설비의 유지보수 일정 및 정보 관리시스템인 고장모드 라이브러리를 활용하여 선정하였으며, Table 8은 설비 별 고장모드 라이브러리의 고장발견 수에 펌프 효율을 추가하여

요소 별로 정리한 표이다.

4. Asset Health Index 평가결과

AHI 평가는 아래의 식과 같이 요소 별 점수와 가중치를 곱한 I/W Score의 총 합과 가중치 합을 나누

Table 11 AHI diagnosis results (Efficiency index = X)

Boiler feed pump								
		Measure value		Index score		W/F	I/W score	
		x axial	y axial	x axial	y axial	x, y axial	x axial	y axial
Vibration (μm , rms)	Pump	9.77	9.67	4.80	4.81	51.54	245.52	246.03
	Motor	47.04	40.82	4.06	4.18		207.67	213.80
Temperature ($^{\circ}\text{C}$)	Pump bearing	51.81	45.93	3.85	3.98	23.08	88.17	91.14
	Motor bearing	65.03	64.13	3.55	3.57		81.30	81.75
	Motor winding (U)	102.47	101.00	3.42	3.45	9.23	31.33	31.60
	Motor winding (V)	99.37	100.75	3.47	3.45		31.79	31.60
	Motor winding (W)	102.15	102.86	3.43	3.42		31.42	31.33
Efficiency(%)		66.89		3.66		16.15	61.45	
After applying pump efficiency								
Sum of I/W score / sum of W/F = operation evaluation score				Sum of W/F		Sum of W/F score		
4.09				370.01		1514.65		

어 점수를 산출하였으며, 이 연구에서는 AHI의 결과의 신뢰성을 향상을 판단하기 위해 펌프 효율을 추가 적용하기 전/후의 AHI 평가결과를 비교 평가하였다.

$$AHI\ Score = \left(\frac{\sum I/W\ Score}{\sum W/F} \right) \quad (8)$$

Table 9는 계산된 BFP의 AHI score에 따라 very good, good, fair, poor, very poor로 총 5가지 설비의 상태로 평가하였으며, AHI Score 계산은 아래의 식에 과 같이 수행하였다.

Table 10은 효율을 적용하기 전의 AHI 평가 결과로 BFP 선정된 요소 별 점수와 가중치 그리고 요소 점수, 가중치, I/W score를 정리한 표이며, 평가 결과 BFP의 AHI score가 4.11점으로 설비의 상태가 good으로 양호한 수준으로 판단된다. Table 11은 효율 적용 후 AHI 평가 결과한 결과로써, 평가 결과 BFP의 AHI score가 4.09점으로 설비의 상태가 good으로 양호한 수준으로 판단된다.

비교 결과 효율 적용 전, 후의 AHI 점수의 차이가 0.02정도로 미비하게 나타나며, 이러한 이유는 측정된 데이터가 O/H 정비 이후의 데이터로 설비의 상태가 정상 상태에 가까운 상태이며, 또한 평가를 위해 사용된 데이터의 기간이 짧아 비교적 결과가 미비한 것으로 판단된다.

하지만 효율을 추가한 평가 결과가 기존의 평가 결과보다 조금 더 낮은 점수가 산출되는 것으로 보아 기존 평가방법보다 엄격한 기준을 적용하였음을 확인하였으며, 이에 따라 안전성 있는 상태평가가 가능할 것으로 판단된다.

5. 결 론

이 연구는 boiler feed pump의 효율적인 설비의 상태관리 및 정비를 수행하기 위해 asset health index 개발에 관한 연구를 수행하였다. Index 선정은 실시간 취득되는 operation data를 통해 진동, 베어링 온도, 권선온도, 효율을 index로 선정하여 수행하였으며, 효율 계산은 KS B ISO 5198의 원심, 사류 및 축류 펌프-수력 시험 규격 지침을 참고하여 산출하였다. 상태기준은 진동, 베어링 온도, 권선온도의 경우 펌프 제작사의 권고사항을 적용하여 각 index 별 normal, alarm, trip으로 수립하였으며, 효율의 경우 상태기준이 규정되어 있지 않아 ANSI/API 610의 원심 pump의 허용 작동 지역에 대한 지침을 적용하여 normal, alarm, trip으로 상태 기준을 수립하였다. 가중치는 RCM을 기반으로 발전소에서 발생할 수 있는 각 설비요소 별 모든 종류의 고장 부품 및 진단 index 별 빈도를 분석한 자료를 활용하여 discovery method의 진동, 베어링 온도, 권선온도, 효율의 index의 확률을 기반으로 가중치를 선

정하였다. AHI index score은 각 index 별 상태기준에 따라 점수로 환산하고 가중치를 곱하여 산출된 결과를 통해 설비의 상태를 평가하였다.

최종 AHI 상태평가 비교결과 효율을 적용하지 않았을 때보다 적용하였을 때의 결과가 더 낮게 나타났지만 그 차이가 미비한 것으로 나타났다. 이는 짧은 기간의 데이터를 사용하고, O/H이후의 데이터를 사용하여 크게 차이가 나타나지 않은 것으로 판단된다. 하지만 효율을 적용한 결과가 낮은 평가되는 것으로 보아 기존의 방법보다 더 엄격한 기준을 적용하였을 확인하였으며, 이에 안전성 있는 상태 평가가 가능할 것으로 판단된다.

Pump 효율이 AHI의 상태평가의 신뢰성 향상 초기 연구로 가능성을 확인하였으며, 추가적인 검증에 관한 연구가 필요할 것으로 판단된다. 따라서 이 연구는 AHI 개발을 위한 기초 연구로써, pump 효율 index 추가를 통한 AHI평가 신뢰성 향상 연구를 수행하였으며, 지속적인 index 개발을 통해 효율적인 설비 상태 관리 및 정비를 수행 가능할 것이라고 판단된다.

후 기

이 연구는 2019년도 경상대학교 연구년제 연구교수 연구지원비에 의하여 수행되었으며, Intelligent Digital Power Plant(IDPP) 구축 (전력연구원 발전기술연구소)과제에서 지원받아 수행되었다.

References

(1) Sun, J. H., 2015, Power Facility Asset Management Technology Capability, Journal of Electrical World Monthly Magazine, Vol. 462, pp. 42~51.

(2) Labi, S. and Sinha, K. C., 2005, Life-cycle Evaluation of Flexible Pavement Preventive Maintenance, Journal of Transportation Engineering, Vol. 131, No. 10, 744~751.

(3) Okogbaa, G., Huang, J. and Shell, R. L., 1992, Database Design for Predictive Preventive Maintenance System of Automated Manufacturing System, Computers & Industrial Engineering, Vol. 23, No. 1~4, pp. 7~10.

(4) Chapin, N., 2000, Do We Know What Preventive Maintenance Is?, Proceedings 2000 International Conference on Software Maintenance, pp. 15~17.

(5) Hjartarson, T. and Otal, S., 2006, Predicting Future Asset Condition Based on Current Health Index and Maintenance Level, ESMO 2006-2006 IEEE 11th International Conference on Transmission & Distribution Construction, Operation and Live-Line Maintenance.

(6) Hughes, D. T., 2003, The Use of Health Indices for Determining Eol and Estimating Remnant Life for Distribution Assets, Presented at CIGRE 17th International Conference on Electricity Distribution.

(7) Lee, D. H., Park, S. G., Hong, S. D. and Lee, B. H., 2008, Degradation Characteristics of Pumps in Nuclear Power Plants, Proceedings of the KSNVE Annual Spring Conference, pp. 583~588.

(8) Jeong, J.-H. and Kim, J.-U., 2008, Equipment diagnosis through vibration measurement, Fire Protection Technology, Vol. 44, pp. 30~43.

(9) Lee, D. H. and Kim, Y. S., 2013, Prognostic Technique for Ball Bearing Damage, Transactions of the Korean Society of Mechanical Engineers A, Vol. 37, No. 11, pp. 1315~1321.

(10) Hughes, D. T. and Russell. D. S., 2005, Condition Based Risk Management (CBRM), A Vital Step in Investment Planning For Asset Replacement, 3rd IEE International Conference on Reliability of Transmission and Distribution Networks (RTDN 2005), pp. 261~265.

(11) Hughes, D., Dennis, G., Walker, J. and Williamson, C., 2006, Condition Based Risk Management (CBRM) - Enabling Asset Condition Information to Be Central to Corporate Decision Making, In Engineering asset management, Springer, London, pp. 1212~1217.

(12) Abu-Elanien, A., Salama, M. and Ibrahim, M., 2011, Determination of Transformer Health Condition Using Artificial Neural Networks, IEEE International Symposium on Innvations in Intelligent Systems and Applications, pp. 1~5.

(13) Hughes, D., 2003, The Use Of Health Indices To Determine End Of Life And Estimate Remnant Life For Distribution Assets, Proceedings of the 17th International Conference on Electricity Distribution (CIRED), pp. 5~15.

(14) Hughes, D. T., 2003, The Use of Health Indices for Determining Eol and Estimating Remnant Life for Distribution Assets, Presented at CIGRE 17th

International Conference on Electricity Distribution.

(15) API 610 - Pump Selection & Curve Evaluation Guide.



ment for diagnosis.

Hyoung-Jin Kim is unified master's course degrees at the Department of Energy and Mechanical Engineering at Gyeongsang National University in Korea. Areas of research are dynamic analysis of the shaft through FEM analysis and measurement for diagnosis.



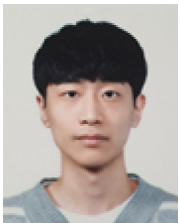
ment for diagnosis.

Byung-Hyun Ahn is unified master's course degrees at the Department of Energy and Mechanical Engineering at Gyeongsang National University in Korea. Areas of research are dynamic analysis of the shaft through FEM analysis and measurement for diagnosis.



measurement for diagnosis.

Deok-Yeong Cheong is unified Bachelor's course degrees at the Department of Energy and Mechanical Engineering at Gyeongsang National University in Korea. Areas of research are dynamic analysis of the shaft through FEM analysis and measurement for diagnosis.



ment for diagnosis.

Seong-Hun Park is unified master's course degrees at the Department of Energy and Mechanical Engineering at Gyeongsang National University in Korea. Areas of research are dynamic analysis of the shaft through FEM analysis and measurement for diagnosis.

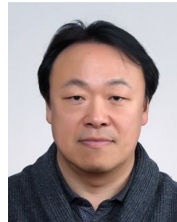


ment for diagnosis.

Kye-Ryuk Park is unified master's course degrees at the Department of Energy and Mechanical Engineering at Gyeongsang National University in Korea. Areas of research are dynamic analysis of the shaft through FEM analysis and measurement for diagnosis.



Jong-Duk Son is graduated Ph.D. degrees at Pukyong National University in Korea. Now he works in KEPRI (KEPCO research institute). Areas of research are monitoring, diagnosis and asset performance management of power facilities.



From 1999 to 2002, Dr. Choi worked at Arizona State University as an academic researcher. Dr. Choi's research interests include vibration analysis and optimum design of rotating machinery, machine diagnosis, and prognosis and acoustic emission. He is listed on Who's Who in the World, among others.

Byeong-Keun Choi is a Professor at the Department of Energy and Mechanical Engineering, Gyeongsang National University in Korea. He received his Ph.D. degree in Mechanical Engineering from Pukyong National University, Korea, in 1999.