

# 대형회전설비의 효율적인 상태감시를 위한 AHI 가중치 선정 기술 개발 연구

## A Study on the Development of Asset Health Index Weighting Factor Selection Technology for Efficient Condition Monitoring of Large Rotating Machines

문영빈\* · 정덕영\*\* · 민태홍\*\* · 최병근†

Young-Bin Moon\*, Deok-Yeong Cheong\*\*, Tea-Hong Min\*\* and Byeong-Kuen Choi†

(Received June 16, 2022 ; Revised August 30, 2022 ; Accepted September 15, 2022)

**Key Words :** Large Rotating Machine(대형 회전설비), Genetic Algorithm(유전 알고리즘), Weighting Factor(가중치), Condition Monitoring(상태 감시), Asset Health Index(자산 건강 지표)

### ABSTRACT

Most large rotating facilities are periodically prevented and repaired regardless of the health condition of the facility, and unnecessary maintenance may cause facility operation suspension and economic loss. To overcome this, research is currently underway to develop an Asset Health Index (AHI) for large rotating facilities to implement condition-based maintenance. The AHI can be used to intuitively grasp the status of surveillance targets by calculating scores, and to implement this, it is necessary to set an appropriate weighting factor for each index. This study conducted weight optimization through Genetic Algorithm (GA) to improve the reliability and function of the AHI. Based on the optimized results, AHI score calculation is expected to increase the intuitiveness of state monitoring.

### 기 호 설 명

- IS* : 인덱스 점수
- OA* : 운전 자산건전도 점수
- k* : 인덱스 개수
- n* : 인덱스 번호
- wf* : 가중치

### 1. 서 론

대부분의 발전설비는 전력의 안정적인 공급과 설비의 고장으로 인한 손실을 예방하기 위해 유지 보수 및 관리에 많은 집중을 하고있다. 기존 발전 설비의 유지 보수 및 관리는 설비의 운전 상태 및 성능이 설계 범위 내에서 유지되는지 주기적으로 정비를 수행하는 예방정비(preventive maintenance, PM) 방식으로 관리되고 있다. 이러한 방식은 불필요한 장비 교

† Corresponding Author; Member, Department of Energy and Mechanical Engineering, Gyeongsang National University, Professor  
E-mail : bgchoi@gnu.ac.kr

\* Member, Department of Energy and Mechanical Engineering, Gyeongsang National University, Student

\*\* Member, Department of Energy and Mechanical Engineering, Gyeongsang National University, Student

‡ Recommended by Editor Heon Jun Yoon  
© The Korean Society for Noise and Vibration Engineering

체 및 주기적인 운전 정지에 의한 금전적인 손해가 발생하게 된다.

이에 최근에는 설비의 상태에 따라 정비를 계획하고 실행하는 상태 기반 정비(condition-based maintenance, CBM) 또는 예상 고장시점 계산을 통한 예측정비(predictive maintenance, PdM) 등의 연구 개발이 수행되고 있으며<sup>(1-3)</sup> 이를 위한 방안 중 하나로 AHI(asset health index)을 연구 및 개발하여 CBM 및 PdM을 위해 적용하는 방법을 제시할 수 있다.

AHI는 설비를 단순한 도구가 아닌 자산으로 인식하여 건강 지표를 산출하여 설비에 CBM 또는 PdM을 적용할 수 있게 하는 개념으로<sup>(4-5)</sup> 대형 회전설비에 장착된 센서 및 IoT 기술을 활용하여 실시간으로 취득되는 정보(data)를 기반으로 설비의 상태를 평가하고, 나아가 데이터 경향을 예지하여 유지 보수 일정(정비 주기)을 선정하기 위한 정보를 제공한다. 설비에 대해 활용된 자산의 상태를 측정하는 척도로 사용되며, 건전성 및 중요도 평가는 발전소 설비의 효율적인 자산관리를 위해 매우 중요한 역할을 한다.

발전소의 설비에 대해 AHI를 적용한다면 해당 설비에 대한 상태를 점수로 수치화하여 설비의 상태가 좋고 나쁨을 직관적으로 판단할 수 있다.

다만, 이 AHI는 현재 설비를 구성하는 각 인덱스에 대한 가중치를 선정하는 과정에서 정량화된 기준이 없기 때문에 설비 담당자의 경험에 의존적인 방법으로 설정되고 있다. 이로 인해 전문가의 부재 시 가중치를 설정하는데에 어려움이 있으며, 동종설비라 하더라도 설치 환경, 구동 조건에 따라 진동 변화나 안정성이 달라지기 때문에 다양한 환경 및 설비에 대해 효율적으로 가중치를 선정하기 위한 방안이 필요하다.

또한, 설비의 인덱스가 많을수록 이들을 종합하여 산출되는 상위점수, 예를 들어 실시간 운전상태를 한눈에 알 수 있도록 여러 인덱스의 점수를 하나로 종합한 운전 AHI 점수에서 각 인덱스의 상태정보가 희석되어 점수가 낮은 인덱스의 존재 여부를 알기 어렵게 된다. 인덱스의 점수가 낮을수록 상태가 위험한 상태를 뜻하며, 이때 각 인덱스는 고장에 대해 무시하기 힘든 영향을 끼치므로 낮은 점수를 가진 인덱스일수록 존재 여부를 명확히 확인할 수 있어야 한다. 다시 말해 현재 AHI 점수를 통해 설비의 상태를 한눈에 확인하는데에 한계가 있으며, 이로 인해 일부 인덱스의 상태가 악화되는 경우 이를 인식 하는데에

어려움이 있어 문제 발생 시 대처가 늦어진다.

현재 개발 중인 AHI는 직관적으로 설비의 전체적인 상태를 확인하는 것에 목적을 두고 있으며, 앞서 기술한 가중치 선정 방법으로는 한계가 있기 때문에 최적의 가중치를 정량화할 수 있는 기술의 개발이 중요하다.

이 연구에서는 다수의 인덱스를 포함하고, 가중치를 고려하여 산출되는 운전 AHI 점수를 통해 설비의 상태를 한눈에 확인하는 AHI 점수 산출 시스템의 강화를 목적으로 운전 AHI 점수 산출 과정에서 문제가 발생한 인덱스의 유무를 확인하는 데에 적절하게 적용할 수 있는 가중치를 선정하는 기술을 개발하기 위해 GA(genetic algorithm)<sup>(6-8)</sup>을 이용하여 가중치에 대한 최적화를 수행해보는 기초 연구를 수행하였다.

## 2. Asset Health Index

### 2.1 Index 선정

연구 대상으로는 모 발전소의 터빈 실시간 운전 데이터를 사용하여 AHI 점수를 평가하였으며, 실시간 감시 항목인 메인 스팀 압력, 배기 스팀 압력, 케이싱 내 외부 온도, 구동 속도, 베어링 온도, 베어링 진동, 개폐 상태, 구동 상태, 발전 효율 등 다양한 항목 중 AHI 점수 산출을 위한 Criteria 기준을 확보할 수 있는 베어링 진동, 베어링 온도, 스팀 온도, 케이싱 온도, 블레이드 온도 데이터를 인덱스로 선정하였다. 각 인덱스의 상세정보는 Table 1에 표기하였다.

Table 1 Information of indices

Index number	Index label
1 ~ 6	Turbine bearing shaft vibration No.1 ~ 3 (X,Y)
7 ~ 9	Main steam temperature (MSV IN) A, B, C
10 ~ 12	HP exhaust steam temperature (A, B, C)
13 ~ 15	LP turbine exhaust casing temperature (A, B, C)
16 ~ 21	Turbine bearing metal temperature No.1 ~ 3 (X,Y)
22 ~ 23	Turbine thrust bearing (front) metal temperature
24 ~ 25	Turbine thrust bearing (rear) metal temperature
26 ~ 28	LP stationary blade temperature (A, B, C)

### 2.2 AHI 점수 산출

AHI 점수는 각 인덱스에 대한 인덱스 점수를 산출하고, 이들을 토대로 운전정보 인덱스의 전체 정보를 담은 운전 AHI 점수를 산출하는 과정을 거친다.

이 과정에서 설비의 구성요소 중 실시간 감시 항목에 대해 종합적으로 계산하여 설비의 전체 상태와 구성요소의 문제 발생 유무를 판단할 수 있게 한다. 이는 Fig. 1과 같은 과정으로 진행되며, 각 부품부터 전체 설비까지 단계적으로 계산된다. Index score 산출 시 사용되는 기준값은 제조사로부터 제공받은 기준을 적용하였으며, 이는 국제규격(ISO)보다 더 엄격하게 설정되기 때문에 안정성을 고려할 때에는 더욱 유리하다. 데이터의 value를 점수로 전환 시 기준으로 설정된 standard(criteria) 값 이하는 5점, standard(criteria) 값 이상, alarm 값 이하는 5 점~3점, alarm 값 이상, trip 값 이하는 3 점~1점으로 계산되며, trip 값을 초과하는 value에 대해서는 1점으로 고정된다.

2.1장에서 설명한 각각의 인덱스에 대해 가중치를 부여하여 식 (1)과 같이 운전 AHI 점수를 산출하였다.

$$OA = \frac{\sum_{n=1}^k (wf_n * IS_n)}{\sum_{n=1}^k wf_n} \tag{1}$$

앞서 기술한 대로 각 인덱스의 가중치가 동일하게 적용될 경우 인덱스의 개수가 많을수록, 낮은 점수의 인덱스 개수가 적을수록 상태가 악화된 인덱스의 존재 유무를 알기 어렵기 때문에 GA를 통한 가중치의 최적화를 진행하였다.

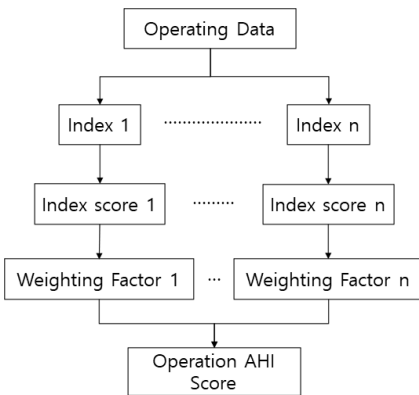


Fig. 1 Flowchart of calculate AHI score

### 3. 실험 방안

#### 3.1 결함 Data 모사

GA를 이용한 최적화를 하기 위해 우선적으로 최적화 할 대상 데이터가 필요하지만 실질적으로 고장이 발생한 인덱스의 데이터를 확보하는데에 어려움이 있어 모 발전소의 터빈 데이터에 대해 고장을 모사한 fake-data를 만들었다.

Case 1~5는 수명 곡선과 같은 경향을 나타낼 수 있도록 비선형적으로 점수가 감소하여 마지막 순간 인덱스 점수가 alarm의 기준인 3점이 되는 값을 가지도록 비선형 함수를 곱하여 피로에 의한 점진적인 상태 열화를 모사하였으며<sup>(9-10)</sup>, 인덱스를 종류별로 나누어 Case 1~2는 bearing 진동 관련 인덱스의 열화, Case 3은 steam 온도의 상승, Case 4는 bearing의 진동 및 온도 관련 인덱스의 열화, Case 5는 서로 다른 종류의 인덱스 열화를 모사하였으며, Case 6~8은 갑작스러운 고장에 의한 급격한 열화를 모사하였다. 모사 형태를 다시 정리하면 다음과 같다.

Case 1~3은 수명곡선(bathub-curve)을 참고하여 가진 데이터 시계열 내에 열화를 가정하였으며, Case 4는 진동과 온도의 상관관계에 따라 함께 열화되는 상황을 가정하였다. Case 5는 turbine 계통 외에 다른 연결부의 결함 발생이나 고장에 의해 인덱스의 변화가 생긴 경우를 가정하였고 Case 6~8은 실제 고장 사례 기반으로 보고서 분석을 통해서 모사된 결과이며, 세부 내용은 대외비이다.

Fig. 2는 점진적 열화를 모사한 데이터의 예시이며,

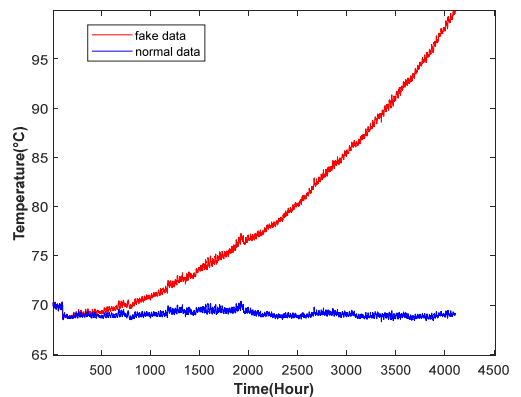


Fig. 2 Example of fake-data

인덱스 20번에 해당하는 베어링 온도 데이터를 이용하였다. 해당 인덱스는 alarm 기준이 100 °C로 설정되어 있기 때문에 약 4000시간(=약 6개월) 이후 100 °C에 도달하도록 하였다. 결함을 모사한 인덱스는 Table 2에 Case별로 구분하였다.

Fig. 3은 Fig. 2에 나타난 것과 같이 점진적 열화를 모사한 인덱스가 포함되었을 때 기존 방식으로 산출한 운전 AHI 점수이며, 그림에서 확인할 수 있듯이 하나의 인덱스에 큰 변화가 있더라도 인덱스 점수를 종합한 운전 AHI 점수의 변화는 작게 나타나기 때문에 고위험군으로 평가된 인덱스를 판단하기 어렵다.

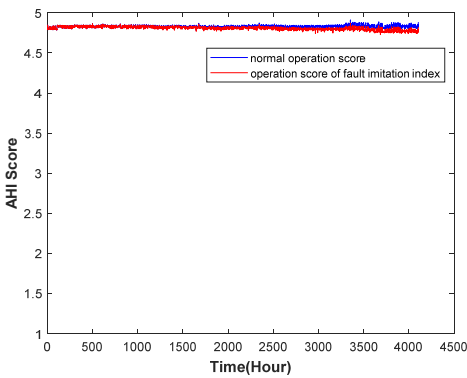


Fig. 3 Example of operation score

Table 2 Fault index by cases

Case number	Fault imitation index number	Fault label
1	6	Bearing point #1 Vertical vibration (a gradual increase vibration)
2	3, 4	Bearing point #1 Vertical & horizontal vibration (a gradual increase vibration)
3	7, 8, 9	3 point steam temperature (a gradual increase temperature)
4	3, 4, 18, 19	Case 2 + Case 3
5	6, 20, 21, 24, 25	Irrelevant index abnormal
6	1	Bearing point #1 Vertical vibration (a short-time increase vibration)
7	3, 4	Bearing point #1 Vertical & horizontal vibration (a short-time increase vibration)
8	7, 8, 9	3 point steam temperature (a short-time increase vibration)

### 3.2 Genetic Algorithm

최적화는 운전 AHI 점수에 대해 열화가 가정된 인덱스의 영향을 높게 설정하기 위해 각 인덱스의 가중치를 조절하도록 해당 결함 모사 인덱스 점수들의 평균과 전체 운전 AHI 점수의 차이를 목적함수로 설정하였다.

최적화 조건은 총 10 000세대, 교차확률 70 %, 세대당 개체 수 500, 선택 개체 수 50, 돌연변이 확률은 세대에 따라 지수적으로 감소하도록 설정하였고, 제한조건으로 각 변수의 범위를 0.01에서 1까지로 설정하였다.

### 3.3 적용 방향

점수가 낮은 인덱스의 가중치를 조절하기 위해 최적화를 적용함으로써 각 인덱스 평가의 상위 단계인 운전 AHI 점수를 이용한 설비상태 감시의 정확성을 높일 수 있다.

발전설비의 경우 하나의 설비를 감시하는 인덱스의 개수가 다양하며, 각 인덱스의 상관관계가 정립되어 있지않기 때문에 하나의 인덱스라도 이상이 발생할 경우 설비의 긴급정지를 수행한다. 그리하여, 다양한 인덱스의 정보를 통합하여 설비의 비정상적인 운전 또는 고장상태를 하나의 종합적인 지표(점수)로 감시 및 관리를 수행할 수 있는 기술이다.

한 가지 이상의 인덱스(상태)에서 문제가 발생할 때, 통합적으로 설비의 상태를 파악하고 조치하여 이를 통해 설비의 종류나 유형에 상관없이 더 안정적인 운영 및 유지보수가 가능하도록 적용할 수 있다.

## 4. 결 과

Figs. 4 ~ 11은 Case 1 ~ 8 사례에 대한 GA를 이용한 각 인덱스의 가중치를 최적화한 결과로 붉은색 선은 모든 인덱스의 가중치를 동일하게 1로 설정했을 때, 기존 방식으로 산출된 운전 AHI 점수, 연두색 선은 결함을 모사한 인덱스에 대해서만 산출된 인덱스 AHI 점수, 푸른색 선은 최적화된 전체 운전 AHI 점수이다. 결과 값은 Table 3에 정리하였으며, 결함을 가정한 인덱스의 가중치, 그 외 인덱스에 대한 가중치의 범위 순으로 나타내었다.

점진적인 결함을 모사한 Case 중 Case 1 ~ 3의 경우 해당하는 인덱스의 점진적인 점수 감소를 운전 AHI 점수 단계에서 쉽게 확인할 수 있으나, 데이터 자체가 일정하지 않고 불안정할수록 해당 인덱스의

가중치가 증가함에 따라 운전 AHI 점수 산출 시 많은 영향을 끼치게 되어 마찬가지로 불안정한 상태로 나타나는 것을 확인했다. 추가로 Case 1~2의 초반 부분은 5점 기준 이상이기 때문에 실질적인 상태는 5점

보다 높다고 할 수 있으며 이에 따라 지속적으로 감소하는 점수에 대해 적용시켰을 때 급격한 기울기 변화가 나타나는 것을 알 수 있다.

Case 4~5의 경우 기대했던 만큼의 유의미한 결과

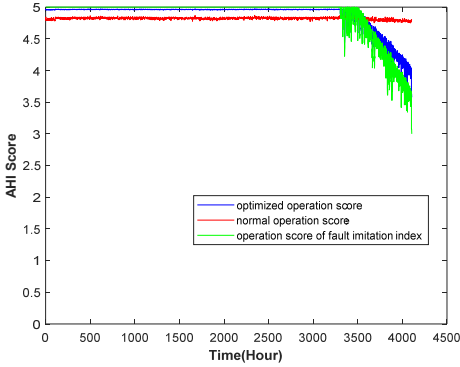


Fig. 4 Case 1 optimization result (GA)

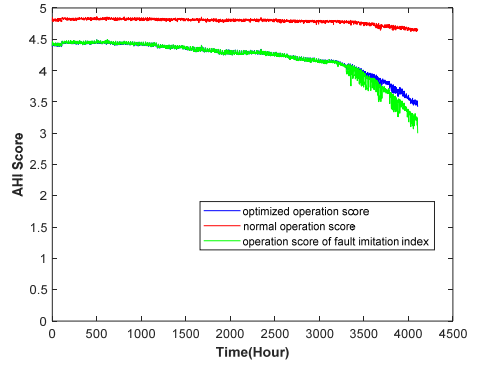


Fig. 7 Case 4 optimization result (GA)

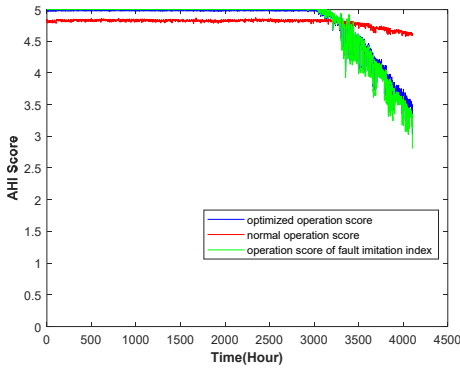


Fig. 5 Case 2 optimization result (GA)

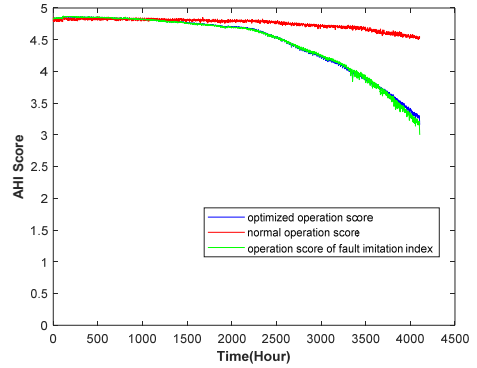


Fig. 8 Case 5 optimization result (GA)

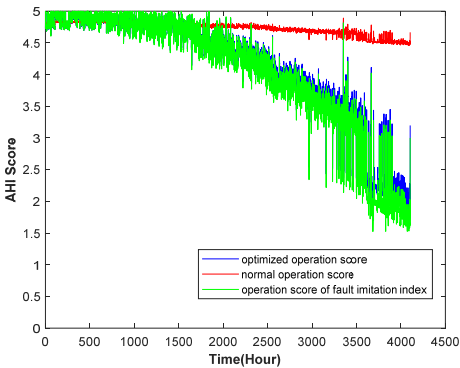


Fig. 6 Case 3 optimization result (GA)

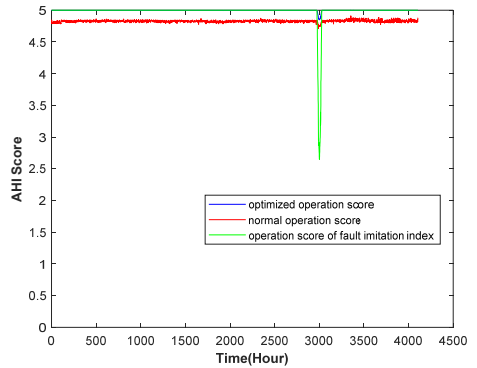


Fig. 9 Case 6 optimization result (GA)

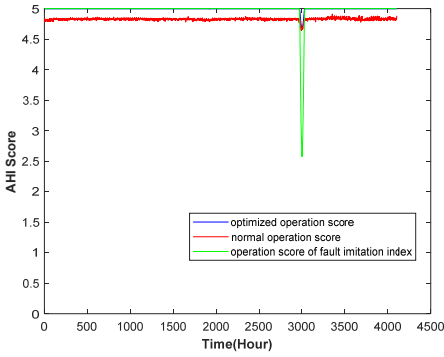


Fig. 10 Case 7 optimization result (GA)

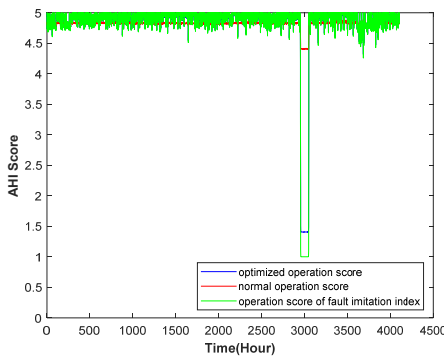


Fig. 11 Case 8 optimization result (GA)

Table 3 Result of optimization

Case number	Fault imitation index number	Weighting factor	
		Fault index	Remaining index
1	6	0.9855	0.01~0.03
2	3, 4	0.8413, 0.9952	0.01~0.03
3	7, 8, 9	0.9458, 0.7658, 0.9913	0.01~0.03
4	3, 4, 18, 19	0.2994, 0.8326, 0.9894, 0.88	0.01~0.03
5	6, 20, 21, 24, 25	0.3719, 0.8577, 0.6932, 0.969, 0.8848	0.01~0.03
6	1	1	0.01~1
7	3, 4	0.9961, 0.999	0.01~1
8	7, 8, 9	0.97, 0.9139, 0.9971	0.01~1

를 확인할 수 있었으며, 운전 AHI 점수 산출시 안정적으로 결함을 모사한 인덱스의 경향이 나타났다.

Case 6 ~ 8의 급격한 점수 변화에는 운전 AHI 점수 산출시 결함을 모사한 인덱스의 개수와 관계가 불명확한 결과가 나타났으며, 제대로 최적화가 되지 않은 것을 알 수 있다. 이는 목적함수 계산 단계에서 데이터 전체 길이에 대한 평균 수치를 사용하므로 최적화 대상 데이터로 긴 시간의 데이터를 사용할수록 목적함수에 부적합하게 작용하기 때문으로 예상되며, 데이터를 일정 시간마다 나누어 여러 개의 데이터로 분할하여 최적화할 경우 해결 가능할 것으로 판단된다.

### 5. 결 론

이 연구는 AHI를 통한 대형 회전 설비의 상태 감시 과정에서 GA를 이용한 효율적인 가중치 설정 방법을 제안하며, 결함을 모사한 데이터에 GA를 이용하여 이상이 발생한 인덱스의 유무를 직관적으로 파악할 수 있는 운전 AHI 점수를 산출할 수 있도록 가중치를 최적화 하였다.

Case 1 ~ 5와 같이 점진적으로 점수가 감소하는 경향에 대해서는 문제가 발생한 인덱스의 유무를 파악하려는 목적에 대해 눈에 띄는 성능향상을 보이지만, 그 외의 경우에 대해서는 부족한 상태이다. 이는 최적화 대상 데이터를 여러 범위로 나누어 최적화 할 경우 해결 가능할 것으로 판단된다. 또한 해당 방법을 통하여 이후 실시간으로 취득되는 데이터에 대한 최적화도 가능할 것으로 여겨진다.

### 후 기

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

### References

(1) Kim, H. J., Ahn, B. H., Cheong, D. Y., Park, S. H., Park, K. R., Son, J. D. and Choi, B. G., 2021, Asset Health Index for Improving Reliability of Large Pumps in Power Generation Facilities, Transactions of

the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Vol. 31, No. 3, pp. 260~269.

(2) Vanraj, Goyal, D., Saini, A., Dhami, S. S. and Pabla, B. S., 2016, Intelligent Predictive Maintenance of Dynamic Systems using Condition Monitoring and Signal Processing Techniques — A Review, International Conference on Advances in Computing, Communication, & Automation (Spring), pp. 1~6.

(3) Bettig, B. P. and Han, R. P., 1998, Predictive Maintenance using the Rotor Dynamic Model of a Hydraulic Turbine-generator Rotor, Journal of Vibration and Acoustics, Vol. 120, No. 2, pp. 441~448.

(4) Hjartarson, T. and Otal, S., 2006, Predicting Future Asset Condition based on Current Health Index and Maintenance Level, Proceedings of 11th International Conference on Transmission & Distribution Construction, Operation and Live-line Maintenance.

(5) Hjartarson, T., Khan, I. and Godfrey, M., 2004, Health Indices for Substation Asset Condition Assessment, EDIST Conference Markham.

(6) Davis, L., 1991, Handbook of Genetic Algorithms, Van Nostrand Reinhold, New York, USA.

(7) Goldberg, D. E., 1989, Genetic Algorithms in Search, Optimization & Machine Learning, Addison Wesley, New York, USA.

(8) Cheng, S. T. and Chang, T. Y., 2012, A Cyber Physical System Model using Genetic Algorithm for Actuators Control, Proceedings of 2012 2nd International Conference on Consumer Electronics, Communications and Networks (CECNet), pp. 2269~2272.

(9) Anders, G. J. and Endrenyi, J., 2004, Using Life Curves in the Management of Equipment Maintenance, Proceedings of Probabilistic Methods Applied to Power Systems (PMAPS).

(10) Choi, W. S., Song, G. W., Kim, B. S., Hyun, J. S. and Heo, J. S., 2010, Development and Application of Life Assessment Guidelines for Fossil Fuel Power Plant Facilities in Korea, Transactions of the Korean Society of Mechanical Engineers (A), Vol. 34, No. 9, pp. 1265~1272.



**Young-Bin moon** 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 rotor and machine fault analysis.



**Deok-yeong Cheong** is unified Doctor'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 rotor and machine fault analysis.



**Tea-Hong Min** is unified Master's and Doctor'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 rotor and machine fault analysis.



**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. 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.