

# PVA를 이용한 산업용 모터 고장진단 모니터링 시스템의 가시성을 높이는 방법

고영진\* · 강인원\*\*

\*순천제일대학교 전기자동차학과 · \*\*청암대학교 소방안전관리과

## Method for High-visibility of Online Monitoring and Fault Diagnosis System for Industrial Motor using PVA

Yeong-Jin Goh\* · In-Won Kang\*\*

\*Department of Electrical and Automation Engineering, Suncheon Jeil College

\*\*Department of Fire safety and Management, Cheongam College

### Abstract

Industrial Motors diagnostic equipment is highly dependent on the automation system, so if there are defects in the automation equipment, it can only rely on the operator's intuitive judgment. To help with intuitive judgment, Park's Vector Approach(PVA) represents the current signal as a pattern of circles, so it can tell if a fault occurs when the circle is distorted. However, the failure to judge the degree of distortion of the circle pattern is the basis of the fault, so it will face difficulties. In this paper, in order to compare the faults of PVA, the period of d-axis current of PVA pulsation was mastered, so that two phase differences occurred in the same signal source. Through experiments, it is confirmed that this is a 90 degree cross formation of PVA, which is convenient for judging from the vision that there is no fault, thus helping the operator to make intuitive judgment.

**Keywords :** Industrial Motor, PVA Pattern, Online Monitoring, Fault Diagnosis, High-visibility

### 1. 서론

산업용 모터는 전기에너지를 기계에너지로 전환함으로써 대다수의 산업용 장비를 작동시키는데 활용되고 있다 [1-2]. 산업용 모터가 고장이나 이상동작이 발생하였을 시 막대한 손실과 인명피해를 유발하기 때문에 기기의 안전진단 및 주기적인 정비가 반드시 필요하다[3]. 영국안전보건청(HSE, The Health & Safety Executive)에서 발표한 자료에 따르면 산업별 안전시스템으로 인한 사고 중 잘못된 안전기능이 44%, 잘못된 설계와 운영 및 유지가 30%, 잘못된 설치 및 시운전이 36%로 조사되었다[4]. 2018년에 발생한 태안화력발전소의 인명피해 또한 컨베이어벨트의 모터 안전장치에 있어서 잘못된 안전기능과 운영 및 유지로 발생되었다[5]. 이처럼 잘못된 안전기능

이 발생하는 원인은 각각의 진단장치에서 정상상태와 고장상태를 판단할 수 있는 모호한 상황에 의해 제어시스템이 정상적으로 작동하지 못하는 점에 있다. 또한 오퍼레이터의 입장에서 각각의 안전 및 고장진단 장치들의 이상유무 판단에 있어서 개인의 노하우에 의존성이 높다는 문제가 있어 더욱 시각적으로 표현할 필요가 있다.

한편, 산업용 모터의 안전진단을 위해서 과거에는 진동, 소음센서를 활용되었으나, 시스템에 결속시켜야 하는 부담과 고가의 센서라는 점이 부담을 가져왔다[6].

이러한 문제로 센서를 사용하지 않는 MESA(Motor Electrical Signature Analysis)가 연구되었으며, 모터의 전압 혹은 전류신호만을 이용하여 진단을 수행하였다[7].

모터 진단은 정지시킨 후 분리하여 진단하는 오프라인 진단 방법과 구동하고 있는 상태에서 진단하는 온라인 진단

<sup>†</sup>본 연구는 국토해양부 지원에 의하여 연구되었음.

<sup>†</sup>Corresponding Author: Goh, Yeong-Jin, 17 Suncheon Jeil College, Suncheon-si, Jeollanam-do, MP : 010-7749-8733,  
E-mail: zerojin@suncheon.ac.kr

Received: February 17, 2020; Revision: March 12, 2020; Accepted: March 16, 2020

단으로 나뉜다. 오프라인 진단은 역상성분분석, 절연저항측정방법 등을 이용하며, 온라인진단은 DFT(Discrete Fourier Transform)와 PVA(Park's Vector Approach), EPVA(Extended Park's Vector Approach), 고조파분석 방법 등을 이용한다[8].

오프라인 진단 방법은 구속 상태 혹은 무부하 상태에서 진단하기 때문에 정확한 고장을 판별할 수 있는 장점은 있으나, 회전하고 있는 상태에서 고장이 발생하였을 시 진단이 어렵다는 문제점이 있어 온라인 고장진단에 대해 중요성이 대두되었다.

온라인 고장진단은 회전하고 있는 상태에서 모니터링이 가능해야 하며, 오퍼레이터에게 고장유무를 쉽게 확인할 수 있도록 가독성을 높이는 것이 중요하다.

온라인 고장진단 방법 중 DFT는 오랫동안 이용되는 방법이나, 모니터링 시스템에서 복잡한 구조를 가지며 가독성이 떨어지는 문제점이 있다[9]. 이를 해결하고자 3상의 전류신호원을 2상으로 바꿔 원의 패턴으로 표시하는 PVA가 연구되었으며, 전문적 지식을 함양하지 않더라도 고장이 발생할 경우 원이 왜곡됨을 보임에 따라 고장이 발생하였다는 것을 알 수 있다[10].

하지만, 산업용 모터는 대다수 유도전동기로 구성되어 있으며, 유도전동기는 효율이 좋지 못함에 따라 정상상태에서도 원이 왜곡되는 모양이 보여 시각적으로 판단하기에는 어려움이 따른다[11]. 이에 EPVA가 연구되었으며 2상 전류신호를 제공할 시켜 더욱 가독성을 높이도록 하였으나, 정상상태와 고장상태를 판별하기에는 어려움이 따른다. 이 외에 고조파를 이용하는 방법은 모니터링 시스템의 가독성을 배제하고 자동진단에 목적으로 연구되었으며, 이 방법은 자동화시스템에 의존성이 높다는 문제점이 있다[12].

최근에는 AI 기술의 접목으로 진단기술이 발달하였으나, 이 또한 자동화시스템에 의존성이 높으며, 시스템에 문제가 발생하였을 시 전체 시스템에 큰 문제점이 발생한다는 문제점을 가지고 있다[13].

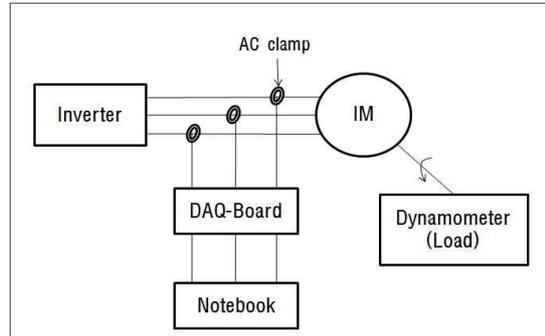
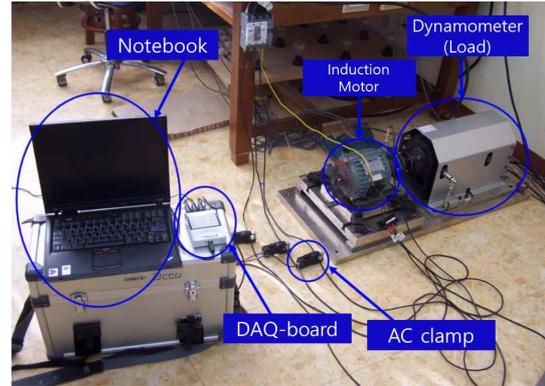
이처럼 온라인상태의 모니터링 장치는 현장 오퍼레이터들이 이해하기 쉽게 가독성을 가진 모니터링이 필요하다.

기존의 PVA방법은 원의 패턴이 하나의 형태로 나타나는 문제점이 있어 이상유무를 판단하는데 어려움이 따른다. 가독성을 높이기 위해서는 회전하고 있는 상태에 대한 2개의 비교데이터 또는 비교할 수 있는 패턴이 존재할 시 시각적으로 판단하는데 도움이 될 수 있다.

이에 본 논문에서는 측정되고 있는 전류 신호원을 2개의 PVA 패턴으로 나타내는 방법을 제안하였으며, 이를 통해 산업용 모터의 진단 및 안전 모니터링 시스템에 가독성을 높이도록 하였다.

## 2. 실험환경 및 조건

### 2.1 실험환경



[Figure 1] Experimental Device Configuration

본 논문의 실험환경은 [Figure 1]과 같이 Fluke사 i5s AC Current Clamp를 각 상에 연결하였으며, NI-USB9215A의 DAQ보드로 데이터를 수집하도록 하였다. 사용된 산업용 모터는 <Table 1>과 같은 사양을 갖는 1[HP], 3상 유도전동기를 사용하였다.

실험방법으로는 정격속도 1690[rpm]에서 정상상태, 고장상태별 60초 당 10회 측정하여 데이터를 수집하였다.

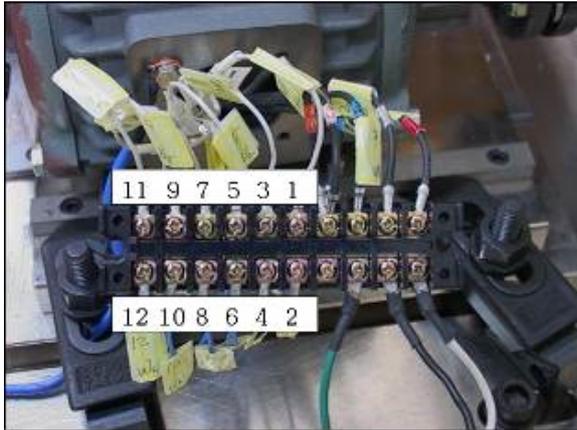
이때 측정된 샘플링 속도는 10[Ks/s], 샘플링 수는 10[Ks], 샘플링 주기는 1[sec]로 하였다.

<Table 1> Motor Specifications

Description	Value
Power	0.75 [KW] (1 [HP])
Input Voltage	220 [V]/380 [V]
Full Load Current	3.8 [A]/2.2 [A]
Supply Frequency	60 [Hz]
Number of Pole	4
Number of Rotor Slot	44
Number of Stator Slot	36
Full Load Torque	0.43 [kg.m]
Rated Speed	1690 [rpm]

## 2.2 실험조건

비교하고자하는 고장상태의 조건은 고정자 고장으로 하였으며, 고정자 권선단락 고장을 인위적으로 구성하기 위해 다음 [Figure 2]와 같이 산업용 모터의 권선을 외부 탭에 연결하여 주도록 하였다.



[Figure 2] External Tab of the Turn-Short

다음 <Table 2>는 [Figure 2]의 탭 연결에 따른 권선 단락을 나타내고 있다.

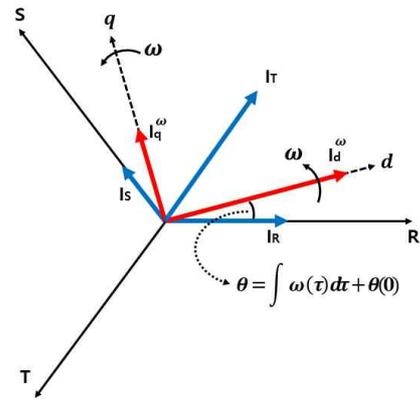
<Table 2> Motor Specifications

No.	Turn Short
1-3	2 turn
1-3-5	4 turn
1-3-5-7	6 turn
1-3-5-7-9	8 turn
1-3-5-7-9-11	10 turn

<Table 2>와 같이 [Figure 2]의 1번과 3번을 연결할 시 2개의 고정자 권선을 단락, 1-3-5의 연결은 4개의 고정자 권선단락하는 것을 나타내며, 탭의 연결이 늘어날 수록 고정자 권선단락이 커지며, 심각한 고장으로 늘어나는 것을 의미한다.

## 3. PVA

산업용 모터의 진단은 AC 3상 전압, 전류를 직접 분석하기에는 어려움이 따르기 때문에 이를 쉽게 해석하기 위해 3상을 2상으로 d-q 변환하여 PVA를 통한 해석을 하도록 한다. 여기서 d-q 변환이란 3상의 전류 혹은 전압을 d축과 q축으로 사영하는 것이다.



[Figure 3] D-Q Transformation

이를 수행하기 위해 먼저 [Figure 3]과 같이 3상 전류를 2상 d-q 좌표변환 할 경우, 다음 식(1)과 (2)를 구할 수 있다.

$$I_d^w = k [I_R \cos \theta + I_S \cos(-\frac{2\pi}{3}) + I_T \cos(-\frac{4\pi}{3})] \quad (1)$$

$$I_q^w = k [I_R \sin \theta + I_S \sin(-\frac{2\pi}{3}) + I_T \sin(-\frac{4\pi}{3})] \quad (2)$$

위 식에서  $I_R, I_S, I_T$ 는 R, S, T상의 각 전류를 나타내며,  $I_d^w$ 는 2상으로 변환된 d축 전류,  $I_q^w$ 는 q축 전류의 미하며, k는 변환계수이며, 일반적으로  $2/3$ 이다. 이때 변환된 두 상의 축은 회전할 수 있기 때문에 회전각도  $\theta$ 를 고려하여 행렬식으로 나타내면 다음 식 (3)과 같다.

$$\begin{bmatrix} I_d^w \\ I_q^w \end{bmatrix} = \frac{2}{3} \begin{bmatrix} \cos \theta & \cos(\theta - \frac{2\pi}{3}) & \cos(\theta - \frac{4\pi}{3}) \\ -\sin \theta & -\sin(\theta - \frac{2\pi}{3}) & -\sin(\theta - \frac{4\pi}{3}) \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_R \\ I_S \\ I_T \end{bmatrix} \quad (3)$$

3상변수를 회전하지 않는 상태인  $\theta=0$ 으로 d축을 R축에 고정 시켜 둘 경우, 다음 식 (4)와 같이 행렬식을 구할 수 있다. 이때 구해진 값을 Clarke 변환이라고 한다.

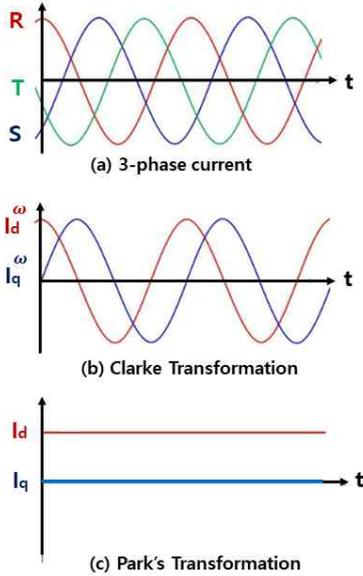
$$\begin{bmatrix} I_d^w \\ I_q^w \end{bmatrix} = \frac{2}{3} \begin{bmatrix} 1 & -\frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_R \\ I_S \\ I_T \end{bmatrix} \quad (4)$$

Clarke 변환에서 회전각속도  $\omega$ 에 맞춰 회전시키기 위해서는 다음 식 (5)를 고려한다.

$$\begin{bmatrix} I_d \\ I_q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta & \sin \theta \\ -\sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_d^w \\ I_q^w \end{bmatrix} \quad (5)$$

식(5)에서  $I_d, I_q$ 는 회전각속도  $\omega$ 를 고려한 d축 전류와 q축 전류를 의미한다. 이 과정을 거친 변환을 Park's 변환이라고 일컫는다.

다음 [Figure 4]는 위의 과정을 통해 얻어진 주파수의 변화를 나타내고 있다.

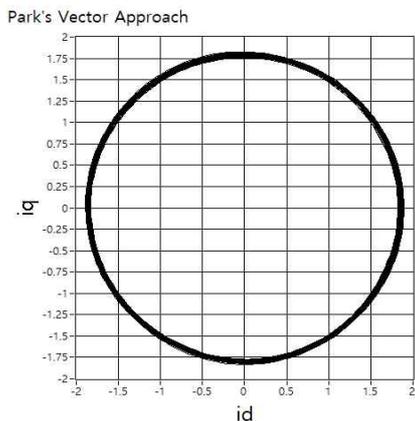


[Figure 4] d-q Transformation

[Figure 4]에서 (a)는 3상 입력전류, (b)는 식 (4)에 의해 변환된 Clarke 변환의 파형, (c)는 식 (5)에 의해 변환된 Park's 변환의 파형을 나타내고 있다.

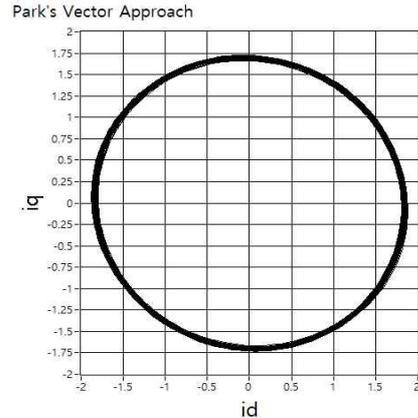
[Figure 4]의 (c)에서 확인할 수 있듯이 Park's 변환은 이상적일 경우 시간변화에 따라 DC성분으로 출력됨을 알 수 있다. 하지만, 산업용 모터를 거쳐 측정된 전류는 노이즈를 가지고 있으며, 입력전원에서 고조파를 가지고 있기 때문에 Park's 변환의  $I_d$ 는 맥동을 하게 된다.

이때, Park's 변환을 Id와 Iq를 X-Y좌표계로 나타낼 경우, [Figure 5]와 같이 원의 패턴을 나타내게 되며, 이를 Park's Vector Approach(PVA)라고 한다.



[Figure 5] PVA's Circle Pattern (Steady State)

[Figure 5]에서 호의 라인이 굵게 나온 이유는 실제 노이즈 및 고조파로  $I_d$ 의 맥동으로 발생하는 현상이며, 이상적일 경우는 하나의 라인으로 나타나게 된다.

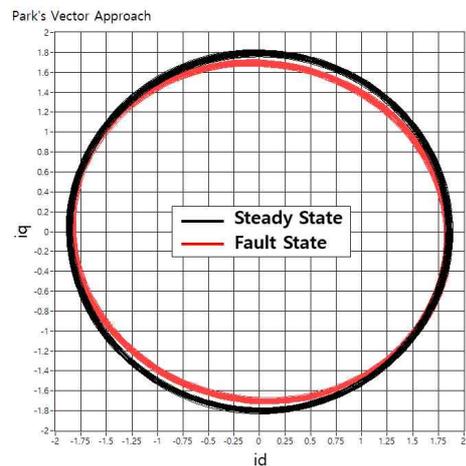


[Figure 6] PVA's Circle Pattern (Fault State)

한편, PVA 원의 패턴은 고장이 발생하였을 시, [Figure 6]과 같이 원은 왜곡됨에 따라 타원의 형태를 띄게 된다. 통상, PVA를 이용한 진단방법에 있어서 원의 왜곡을 구하는 방법이 활용되고 있으며, 모니터링을 통하여 원의 왜곡을 확인하는 방법이 채택되고 있다.

하지만, 자동화시스템의 문제가 있을 경우, 모니터링에 의존해야 하는 경우가 발생하게 된다. 이때, [Figure 6]의 모양이 타원이라는 것을 결정하기에는 오퍼레이터들에게 부담을 가져오게 된다.

타원임을 확인하는 방법은 다음 [Figure 7]과 같이 정상상태의 원과 중첩시킴으로써 비교하는 경우가 오퍼레이터에게 도움을 줄 수 있으나, 고장이 발생된 시스템에 정상 시스템을 결합시켜 봐야 하는 문제점과 동일한 부담을 연결해야 하는 부담이 생긴다.



[Figure 7] Comparison of steady state and fault state of the PVA pattern

이러한 이유로 모니터링 시스템에 고장을 비교 및 판단할 수 있는 구조로 구성하여 가시성을 높일 필요가 있다.

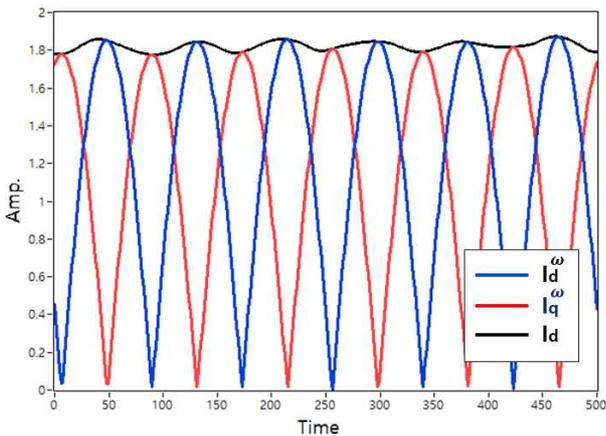
이에 본 논문에서는 기존의 PVA를 이용한 모니터링 시스템에서 시스템의 변화를 주지 않도록 하며, 하나의 시스템에서 PVA 패턴을 비교할 수 있는 방법을 제안하였으며, 가시성을 높이도록 하였다.

#### 4. Clarke 변환과 PVA의 관계

PVA 패턴의  $I_d$  전류는 다음 [Figure 8]과 같이 Clarke 변환의  $I_d^w$ 와  $I_q^w$ 의 실효값 합의 절대값을 적용한 DC성분으로 볼 수 있다.

[Figure 8]은 설명을 돕기 위해 정상상태의 파형을 절대값 처리하여 표현하였다. 여기서 파란라인은  $I_d^w$ 를 절대 처리한 결과, 빨간라인은  $I_q^w$ 를 절대 처리한 결과를 나타내며, 검정라인은 PVA에 의한  $I_d$ 를 나타내며, 실제 산업용 모터의 정상상태에서 측정된 결과이다.

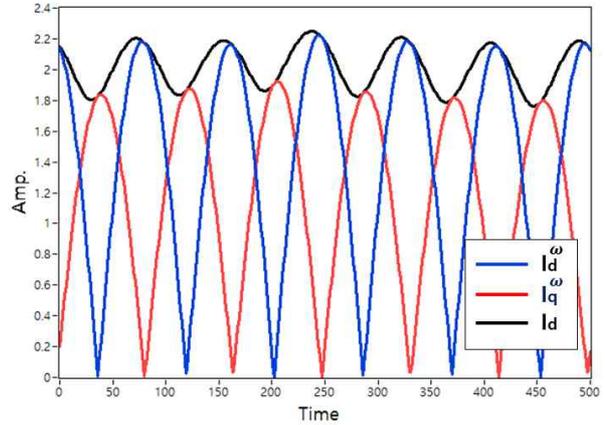
이상적일 경우,  $I_d^w$ 와  $I_q^w$ 는 평형상태이기 때문에  $I_d$ 는 DC성분으로 표현되나, 동손과 철손 등의 문제로  $I_d^w$ 와  $I_q^w$ 의 진폭이 틀어짐에 따라  $I_d$  또한 [Figure 8]과 같이 맥동하게 된다.



[Figure 8] Relationship between Clarke transformation and  $I_d$  (Steady State)

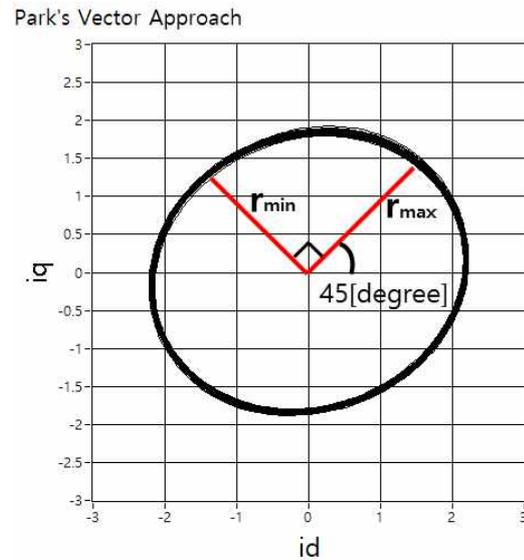
다음 [Figure 9]는 산업용 모터에 심각한 고장이 발생하였을 때  $I_d^w$ ,  $I_q^w$ ,  $I_d$ 에 대한 파형을 나타낸다.

그림에서 확인할 수 있듯이 고장이 발생함에 따라  $I_q^w$ 의 진폭은 차이가 없으나,  $I_d^w$ 의 진폭이 정상상태보다 커지는 것을 알 수 있으며, 이에 따라  $I_d$ 의 맥동의 폭 또한 증가함을 알 수 있다.



[Figure 9] Relationship between Clarke transformation and  $I_d$  (Fault State)

$I_d^w$ 와  $I_q^w$ 가  $\pi/2$ 의 위상차를 가지고 있고,  $I_d^w$ 의 진폭은 변화하나,  $I_q^w$ 의 진폭은 변하지 않기 때문에  $I_d$ 를 이용한 PVA 패턴에 있어서 위상각  $\pi/4$ 의 위치에서 원의 최대폭을,  $3\pi/4$ 의 위치에서 최소폭을 가지게 됨을 알 수 있으며, 하나의 원 패턴으로 나타내게 된다.



[Figure 10] Maximum and minimum values of the PVA pattern

[Figure 10]은 PVA 패턴에서 최대값  $r_{max}$ 와 최소값  $r_{min}$ 의 위치를 나타내고 있다. 이 최대값과 최소값을 비율로 나타낼 경우, 원의 왜곡율이 나타나며, 이를 통해 자동 진단 시스템으로 활용이 가능하다.

하지만, 앞에서 언급한 것과 같이 자동시스템의 문제로 PVA 패턴만으로 판별할 경우 패턴의 왜곡이 심각한지를 파악하기에는 어려움이 따른다.

## 5. 가시성을 위한 PVA 패턴생성 방법

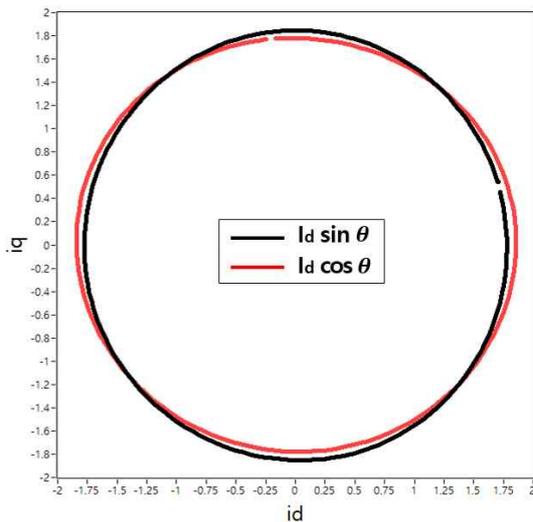
기존의 PVA 패턴은 이상신호가 발생되었을 때 변하는  $I_d$ 와 변하지 않는  $I_q$ 를 XY좌표계로 표현하였기 때문에 하나의 패턴이 왜곡됨으로 나타나게 된다. 즉,  $I_d$ 에 의존성이 높으며, 패턴변화에 주된 인자가 된다.

이상적인 경우  $I_d$ 는 DC성분을 출력하지만, 실제 전동기에서는 맥동을 하고 있으며, 이것은  $I_q$ 에 의해 일정한 주기를 가지고 있음을 [Figure 9]에서 확인할 수 있다. 이 주기는  $I_d''$ 와  $I_q''$ 가  $\pi/2$ 를 가지고 있기 때문에  $\pi$ 가 한 주기가 됨을 알 수 있다.

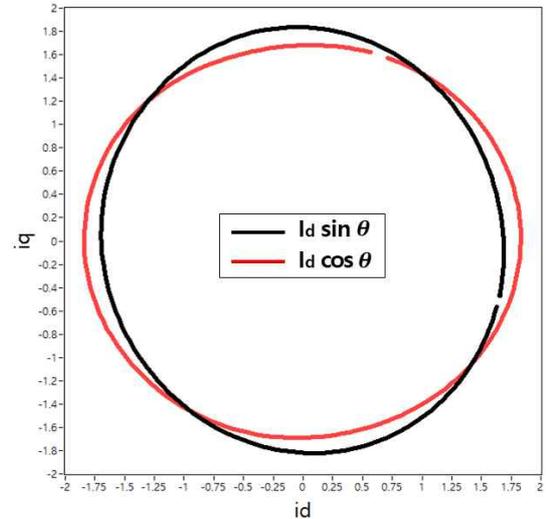
이처럼 측정되고 있는  $I_d$ 는 일정한 주기를 가지고 있고  $I_d$ 와  $I_q$ 는 종속관계를 가지고 있어  $I_q$ 에 의해 회전 각속도를 알 수 있다. 이 두 가지 정보를 알 수 있다는 것은 리사주 패턴과 같이 원의 모양으로 나타낼 수 있다는 것을 의미한다. 즉, 측정되고 있는  $I_d$ 의 정보를 잃지 않은 채, 분석을 위해 시스템 상 위상각의 변화를 주더라도 측정결과에 차이가 없게 된다.

이에 앞에서 언급하였듯이 하나의 측정값에서 두 개의 파형을 교차시켜 나타내기 위해 90도의 위상 차이를 둘 경우,  $\sin\theta$ 와  $\cos\theta$ 가 반각형태로 가짐에 따라 원의 왜곡을 가지적으로 나타낼 수 있다. 이때, 기존의 PVA 패턴에서  $r_{max}$ 의 경우,  $\pi/4$ 위치와  $5\pi/4$ 에 표시되나, 제안한 방법의  $r_{max}$ 는  $\pi/8$ 위치와  $3\pi/8$ 위치에 표시된다.

다음 [Figure 11]은 위 내용을 토대로 정상상태를, [Figure 12]는 제안하는 방법을 적용한 [Figure 6]과 동일한 고장조건에서의 패턴을 나타낸다.



[Figure 11] PVA pattern for high-visibility (Steady State)



[Figure 12] PVA pattern for high-visibility (Fault State)

[Figure 11]에서 이상적인 정상상태일 경우, 제안하는 방법을 적용하면 DC성분을 변환시키기 때문에 하나의 원으로만 표현이 되게 된다. 하지만, 산업용 모터의 동손, 철손 등의 손실들로 인해 실제 구동에서는 미미한 맥동이 발생함에 따라 [Figure 11]과 같이 원의 왜곡이 미미하게 발생하게 된다. 그러나 원의 왜곡이 미미함에 따라 사용하는 고장이라 판단내리기에는 어려움이 따른다.

[Figure 6]에서 확인할 수 있듯이 기존의 PVA 패턴은 원의 왜곡이 발생하였으나 사용자는 쉽사리 판단하기 어려운 왜곡정도를 보이고 있다. 그에 반해 같은 고장조건으로 제안한 방법을 적용한 [Figure 12]를 확인하여 보면 [Figure 6]보다 가시성이 뛰어난 것을 확인할 수 있다. 또한, 정상상태인 [Figure 11]과 달리 원의 왜곡이 크게 발생함을 시각적으로 파악하기 쉽다.

## 6. 결론

본 논문에서는 기존의 PVA를 이용한 산업용 모터의 고장진단 모니터링 시스템의 출력되는 PVA 패턴에 대해 가시성을 높이도록 하였다.

최근 산업용 모터의 진단 장치의 경우 자동화 시스템에 의존성이 높아 시스템의 오류가 발생하였을 시 오퍼레이터의 직관적 판단에 의존할 수밖에 없다. 특히 PVA 패턴의 경우, 사용자가 고장을 쉽게 판별할 수 있도록 원의 모양으로 나타내어 원이 왜곡 될 경우 고장이 발생하였다는 것을 암시하도록 연구되었으나 직관적 판단에 비교할 대상이 없어 사용자에게 혼란을 가져온다. 이 패턴은 정상상태와 비교를 위해서는 다른 시스템을 구성하여 병렬연결로 확인해야 하는 어려움이 따른다.

이에 본 논문에서는 출력되고 있는 하나의 파형에서 일정 주기성을 확인하고 동일 회전 각속도 하에 기본 정보를 잃어버리지 않은 채 위상각을 변화하여주는 방법을 제안하였다. 그 결과, 정상상태일 경우 일정 거의 원에 가까운 패턴을 가지고 있기 때문에 두 개의 패턴은 차이가 없어 보이나, 고장이 난 상태에서는 하나의 패턴이 왜곡됨에 따라 다른 패턴과 위상각 차이로 틀어져 고장이 났다는 것을 쉽게 시각적으로 판단할 수 있었다.

## 7. References

- [1] J. Y. Jeoung, Y. J. Bae(2013), "A Case Study of Quality Improvement practice in Cooling Fan Motor Manufacturing." *Journal of Korea Safety Management and Science*, 15(4):279-288.
- [2] S. Im, S. Jeong(2015), "A study on the implementation of closed-loop system using the stepper motor back-EMF." *Journal of Korea Safety Management and Science*, 17(3):363-370.
- [3] Y. Jung(2015), "Research for Environmentally Friendly Exhaust Fan BLDC Motor Controller." *Journal of Korea Safety Management and Science*, 17(4):403-410.
- [4] HSE. (2003), *Out of control: Why control systems go wrong and how to prevent failure*, Sudbury: HSE books.
- [5] Wikipedia(2018), TAEAN thermoelectric power plant. <https://ko.wikipedia.org/wiki/>.
- [6] A. Glowacz(2015), "Recognition of acoustic signals of induction motor using FFT, SMOFS-10 and LSVM." *Eksplatacja i Niezawodnosc - Maintenance and Reliability*, 17(4):569-574.
- [7] H. Henao, G. A. Capolino, et al(2014), "Trends in Fault Diagnosis for Electrical Machines: A Review of Diagnostic Techniques." *Industrial Electronics Magazine*, 8(2):31-42.
- [8] C. Yang(2019), "Electrical monitoring for reliable detection of stator core lamination and rotor faults diagnosis in 3-phase induction motor." *Industrial Electronics Magazine*, Doctoral Dissertation, University of Korea.
- [9] M. H. Song, K. N. Park, D. G. Han, T. H. Lee, H. J. Woo(2007), "The Development of Portable Rotor Bar Fault Diagnosis System for Three Phase Small Induction Motors Using LabVIEW." *The Transactions of the Korean Institute of Electrical Engineers*, 56(1):51-55.
- [10] A. J. M. Cardoso, S. M. A. Cruz, D. S. B. Fonseca (1999), "Inter turn stator winding fault diagnosis in three phase induction motors, by Park's Vector Approach." *IEEE Transactions on Energy Conversion*, 14(3):595-598.
- [11] Y. J. Goh, K. M. Kim(2019), "Diagnosis of Stator Fault by Inter-Turn Short Circuit for 3-Phase Induction Motor." *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 797:609-618.
- [12] Y. J. Goh, O. Kim(2019), "Linear Method for Diagnosis of Inter-Turn Short Circuits in 3-Phase Induction Motors." *Applied Sciences*, 9(22):1-20.
- [13] H. Henao, G. A. Capolino, et al(2014), "Trends in Fault Diagnosis for Electrical Machines: A Review of Diagnostic Techniques." *IEEE Industrial Electronics Magazine*, 8(2):31-42.

## 저자 소개



### 고영진

전남대학교 전기및반도체공학과 공학사, 공학석사, 공학박사 학위를 취득하였다. 현재 순천제일대학교 전기자동화과 교수로 재직중이다. 관심분야 : 모터 고장 및 예측진단, 신호처리, 패턴인식 등



### 강인원

서울과학기술대학교 안전공학과 공학사 및 공학석사, 조선대학교 산업안전공학과 공학박사 현재 청암대학교 소방안전관리과 교수로 재직중. 관심분야 : 산업안전공학 및 재난 안전관리, 공정위험성평가 등