

# 3상 유도전동기의 화재위험성

글 최기욱 KPPA 화재조사센터 과장



## 1. 머리말

3상 유도전동기는 교류전동기의 종류 중 하나이며, 고정자(固定子)에 3상 교류전압을 인가하여 유도된 자속으로 회전자(回轉子)에 와전류를 생성시켜 회전력을 발생시키는 전동기다. 3상 유도전동기는 단상 유도전동기에 비해 작은 크기에도 큰 힘을 발생시킬 수 있어 산업현장의 펌프, 공기압축기 등 다양한 종류의 설비들에 사용되고 있다.

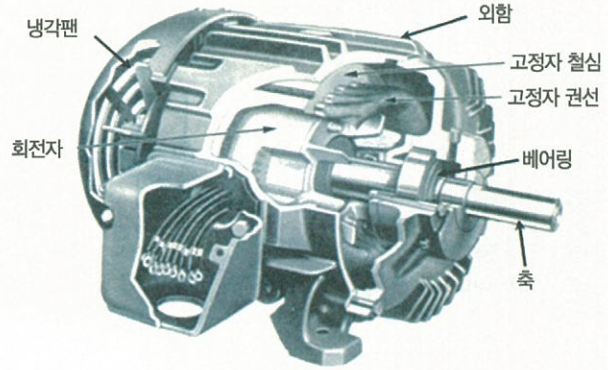
3상 유도전동기는 구조가 간단하고 튼튼하며, 다른 모터들에 비해 가격이 상대적으로 저렴하여 많은 산업현장에서 사용되고 있으나, 전원선이 단선되거나 체결이 풀리게 되어 3상 중 2상의 전원만 인가되는 경우 화재위험이 발생된다. 이 글에서는 3상 유도전동기가 설치된 공기압축기 전원선의 결상에 의한 화재위험성을 연구하고, 그에 따른 발화특성 및 연소형상 등에 대한 화재위험성을 도출하고자 하였다.

## 2. 3상유도전동기의 구조 및 원리

### 가. 구조

3상 유도전동기는 크게 고정자와 회전자로 구성된다. 고정자는 고정자 권선과 고정자 철심으로 구성

되며, 회전기의 주요 정지부분으로 얇은 규소강판을 성층하여 만든 고정자철심의 홈 속에 전류를 통하는 고정자권선을 설치하여 3상 교류전류를 통전함으로써 회전자계를 생성하는 부분이다. 회전자는 고정자 권선에서 생성된 회전자계에 의해 기전력이 유도되고, 유도된 기전력에 의한 맴돌이 전류와 고정자 회전자계의 상호작용에 의해 회전하는 도체이며, 철심에 권선을 삽입한 권선형과 철심에 단락봉을 삽입한 농형으로 구분된다. [그림 1]은 3상 유도전동기의 구조도를 나타낸 것이다.



[그림 1] 3상 유도전동기의 구조도

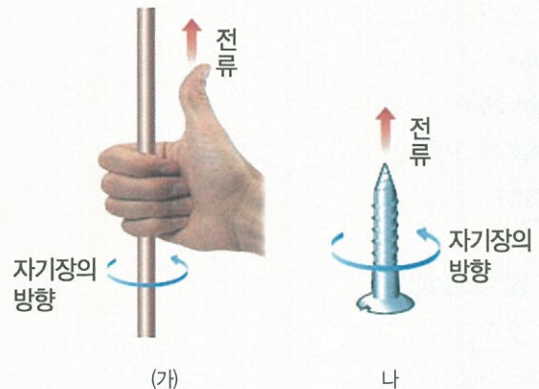
#### 나. 회전원리

전동기가 회전하기 위해서는 반드시 자기장을 만들 수 있는 자석과 이 자기장에서 전류를 흘리며 자유롭게 회전할 수 있는 구조를 가진 도체가 있어야 한다. 3상 유도전동기는 전동기 내부에 자석이 설치되는 대신 3상 전원을 사용하여 회전자계를 만들어 내고, 회전자계에 의해 회전자가 회전하는 원리를 이용한 것이다. 3상 유도전동기의 회전원리에 적용되는 이론은 아래와 같다.

##### (1) 전자유도원리

##### (가) 앙페르의 오른손 법칙(오른나사 법칙)

전류의 방향과 자기장의 방향을 오른나사를 이용하여 설명하는 법칙으로 오른나사를 돌렸을 때 나사의 진행 방향이 전류의 방향이고, 나사의 회전 방향이 자기장의 방향이 된다. [그림 2]의 (가)와 같이 직선 전류에 의한 자기장의 방향은 오른손 검지손가락이 전류의 방향을 향하게 할 때 나머지 네 손가락을 감아쥐는 방향이다. 이것은 [그림 2]의 (나)와 같이 오른나사의 진행 방향을 전류의 방향으로 할 때 나사가 회전하는 방향과 같다. 직선 전류에 의한 자기장의 세기는 전류의 세기에 비례하고, 도선으로부터의 거리에 반비례하는 특징이 있다.

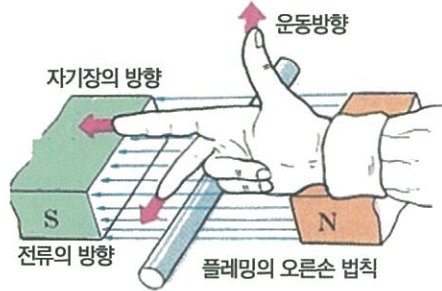


[그림 2] 앙페르의 오른손 법칙



(나) 플레밍의 오른손 법칙

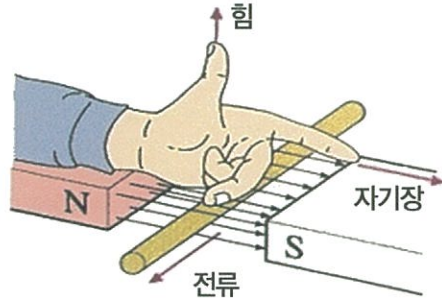
자기장 내에 있는 도체를 자속과 직각 방향으로 움직여 회전시키면서 자속을 끊으면 전자유도현상에 의해 유도기전력이 발생하여 도체에 전류가 흐른다는 이론이며, [그림 3]에서 보는 것과 같이 오른손의 엄지손가락은 도체의 운동방향(전자력의 방향), 검지손가락은 자기장(자기력의 방향)의 방향, 중지손가락은 전류의 방향을 나타낸다.



[그림 3] 플레밍의 오른손 법칙

(다) 플레밍의 왼손 법칙

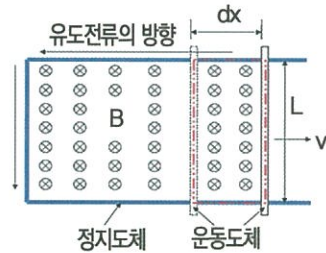
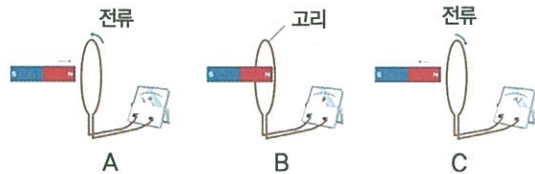
자기장 속에 있는 도선에 전류가 흐를 때 이 도선은 자기장의 방향과 도체에 흐르는 전류의 방향과 수직인 방향으로 힘을 받는다는 이론이며, [그림 4]에서 보는 것과 같이 오른손의 엄지손가락은 도체의 운동방향(전자력의 방향), 검지손가락은 자기장(자기력의 방향)의 방향, 중지손가락은 전류의 방향을 나타낸다.



[그림 4] 플레밍의 왼손 법칙

(라) 페러데이 법칙

자기장 내에서 운동하는 도체에 전자유도현상에 의해 유도기전력이 생성된다는 이론이며, 전자기유도에 의해 회로 내에 유도되는 기전력의 크기는 회로를 관통하는 자기력선속의 시간적 변화율에 비례한다.



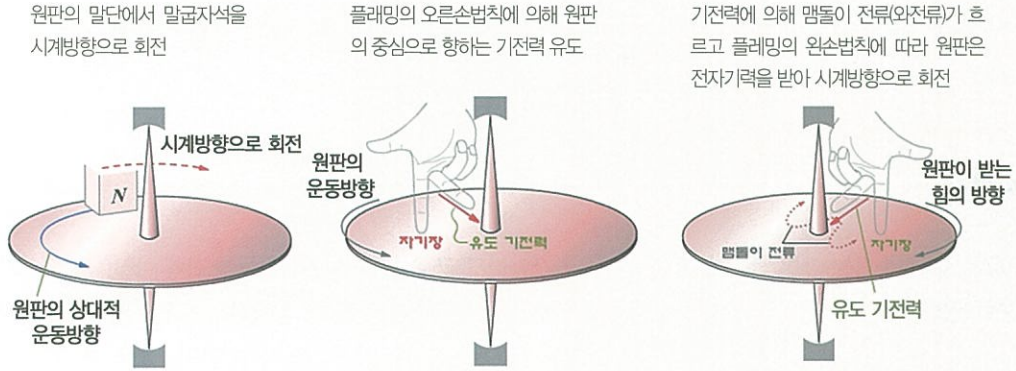
[그림 5] 페러데이 법칙

(2) 아라고의 원판

유도전동기의 회전원리는 프랑스의 물리학자 아라고(1786~1853)의 실험에서 발전하였다. [그림 6]

과 같이 회전 가능한 도체 원판 위에서 자석의 N극을 시계방향으로 회전시키면 상대적으로 원판은 자기장 사이를 반시계 방향으로 움직이는 효과가 발생된다. 이때 플레밍의 오른손 법칙에 따라 원판의 중심으로 향하는 기전력이 유도된다. 이 기전력에 의해 맴돌이 전류가 흐르고, 플레밍의 왼손 법칙에 따라 원판은 전자

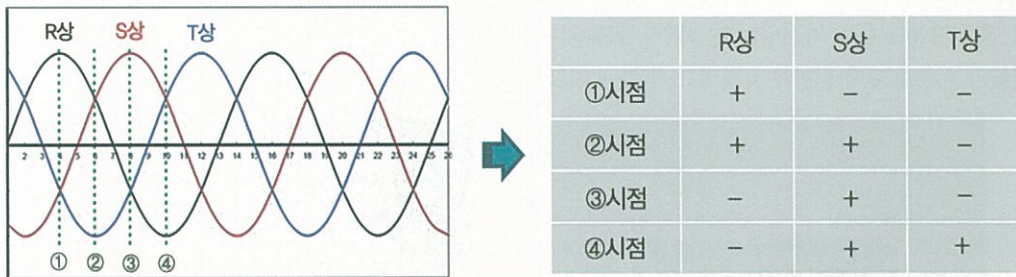
력을 받아 시계방향으로 회전하게 된다. 즉, 원판은 자석이 회전하는 방향과 같은 방향으로 움직이게 된다. [그림 6]은 아라고 원판의 회전원리를 나타낸 것이다.



[그림 6] 아라고 원판의 회전원리

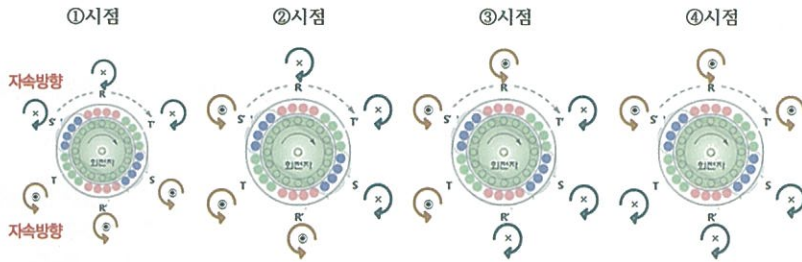
(3) 3상 유도전동기의 회전원리

3상 유도전동기는 아라고 원판의 회전원리에서 보는 것과 같이 회전하는 자계를 이용하는 것으로, 자석을 회전시키는 대신 고정자에 코일을 감아 회전자계를 만들어 회전자에 와전류를 발생시키고, 회전자에서 발생된 와전류와 고정자에서 생성된 회전자계의 상호작용에 의해 회전자가 회전하는 원리를 이용한 것이다. [그림 7]에서 보는 것과 같이 120°의 위상차를 갖는 3상 교류전원에서 90°위상마다 4개의 시점(①시점, ②시점, ③시점, ④시점)에서 각 상의 부호가 계속 변하는 것을 알 수 있으며, [그림 8]에서는 고정자의 주위에 생성된 회전자계가 우측으로 이동하는 것을 알 수 있다. 즉, 고정자에 권선을 결선시킨 상태에서 3상 전원의 공급으로 회전자계를 생성시켜 자석을 회전시키는 것과 같은 효과를 발생시키고, 발생된 회전자계에 의해 회전자에 와전류가 흐르게 되며, 회전자계와 와전류의 상호작용에 의해 회전자에 전자력(회전력)을 발생시켜 구동하게 된다.



[그림 7] 각 시점별 3상 교류전원의 극성





[그림 8] 고정자의 권선에 생성된 회전자계

### 3. 실험

3상 유도전동기는 다른 전동기에 비해 구조가 간단하고 고장이 적으며, 부속품들 간에 마찰이 없어 많은 산업현장에서 사용되고 있다. 하지만 3상 유도전동기는 3상 전원 중 1상이 결상되는 경우 기동상태로 유지되는 결과가 초래되어 전원선 및 권선에 기동전류가 흐르게 되며, 이런 상황이 지속되는 경우 과전류에 의한 화재위험이 발생하게 된다. 본 실험은 3상 유도전동기가 설치된 공기압축기를 사용하여 3상 전원 중에 1상이 결상되는 경우 발생하는 발화현상을 관찰한 것이다.

#### 가. 실험방법

3상 유도전동기의 결상에 의한 발화 실험은 아래의 순서대로 실시하였다.

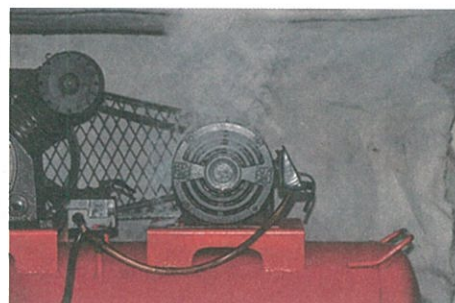
- (1) 3상 유도전동기가 설치된 공기압축기의 정상운전
- (2) 정지압력에 도달되면 3상 유도전동기가 정지
- (3) 3상 전원 중 1상의 결상 발생(3상 전원 중 1상의 전원선 단선)
- (4) 압축공기 누설에 의한 3상 유도전동기의 재기동 시도
- (5) 과도한 기동전류로 인해 고정자 코일의 절연파괴에 의한 발화

#### 나. 실험결과

본 실험에서는 운전 중 1상의 전원이 결상됨에 따라 3상 유도전동기의 고정자에 회전자계가 생성되지 않고, 회전자에도 유도 기전력이 발생되지 않게 되어 기동상태로 지속되며, 그에 따라 고정자 권선에 과도한 전류가 흐르게 되어 절연이 파괴되고, 발화에 이르는 현상을 관찰할 수 있었다.



[그림 9] 1상 결상에 의한 3상 유도전동기의 상황



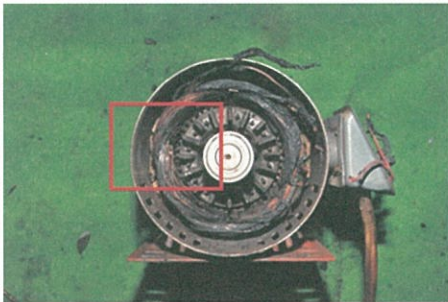
[그림 10] 3상 유도전동기 권선의 열분해 상황



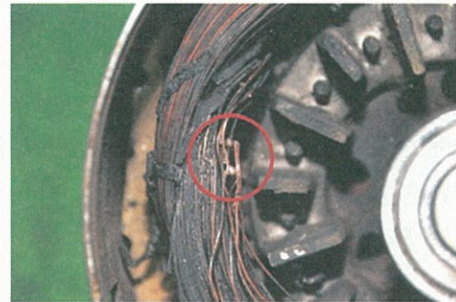
[그림 11] 3상 유도전동기의 착화상황



[그림 12] 공기압축기의 연소 후 상황



[그림 13] 3상 유도전동기 내부의 연소상황



[그림 14] [그림 13]의 □표지부분, 고정자 권선의 연소상황(○표지 부분은 아크흔)

#### 4. 맺음말

본 실험을 통해 3상 전원 중 1상이 결상 또는 단선되는 경우 3상 유도전동기의 고정자 권선에 흐르는 과전류에 의해 발화되는 것을 확인 할 수 있었으며, 다음과 같은 결론을 도출할 수 있었다.

- 가. 3상 유도전동기가 결상에 의해 연소되는 경우 권선의 층간단락 현상이 발생한다.
- 나. 3상 유도전동기가 결상에 의해 연소되는 경우 3개의 권선군 중 2개의 권선군이 심하게 연소되는 특징이 있다.
- 다. 3상 유도전동기 화재조사 시 3상 전원선이 적절히 체결되어 있는지 또는 단선되어 있는지 확인할 필요가 있으며,
- 라. 3상 전원선의 체결이 풀려있거나 단선되어 있는 경우 발화원인을 권선의 층간단락이 아닌 3상 전원의 결상으로 규명할 필요가 있다. ☹