

스위칭에 의한 전동기 씨지전압 분포

김종겸
원주전문대 전기과

이은웅, 조현길
충남대학교 전기공학과

백두현
한국수자원공사

The Analysis of Surge distribution for motor by Switching

Jong-Gyeum Kim
Dept. of Electric
Wonju National Junior college

Eun-Woong Lee, Hyun-Gil Cho
Dept. of Electrical Engineering
Chungnam National University

Du-Hyun Baek
Korea Water Resources
Corporation Research Center

ABSTRACT

The electrical stress, which is generated by switching devices, has been affected by various kinds of factors such as surge impedance, motor capacity, surge wavefront and so forth.

In this study, the surge phenomenon delivered into motor winding in switching was analyzed with actual system.

1. 서론

고압 전동기는 사용 중 고정자 권선에 여러 가지 종류의 스트레스를 받게 된다. 일반적으로 이를 스트레스는 전기적, 기계적 및 열적인 것이다.[1]

이들 중 스위칭 씨지에 의한 전기적인 스트레스는 급준도 파형을 가지고 있어 전동기 고정자 권선에 열화를 촉진시켜 절연 파괴로 이어지는 수가 있다. 스위칭은 전동기의 기동과 정지를 위해 부하로부터 전원을 분리할 경우에 필연적이지만, 가능한 그 영향을 줄이기 위해서는 정확한 해석이 필요하다. 예전에 스위칭 씨지의 해석은 실제 시스템의 전체 모델을 고려한 해석이 관관하여 부분적인 모델을 사용한 해석이 이루어졌다. 따라서 본 연구에서는 스위칭 씨지에 의한 전기적인 영향을 전체 시스템의 모델을 고려하여 전동기 입구단과 전동기 내부에서의 변화를 해석하였다.

2. 기본적인 해석

2.1 해석 시스템

그림 1은 현장에서 널리 사용되고 있는 고압 유도 전동기의 개략적인 시스템을 나타내고 있다. 그림 2는 전동기 자체의 씨지 분포를 해석하기 위한 해석 모델이다. 그림 1에서의 전동기 정격은 표 1과 같고, 입력 전원은 1[pu] 정현전압이 인가되는 것으로 한다.

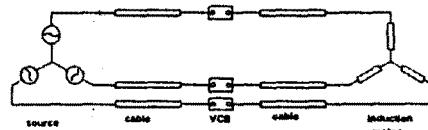


Fig. 1. The basic circuit for switching surge calculation

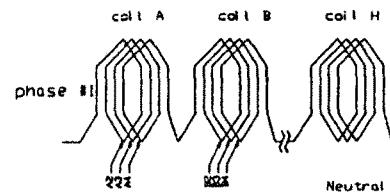


Fig. 2. The analysis model for stator of Induction motor

Table 1
The details of electrical machine for analysis

Type	Squirrel-cage Induction
Voltage	6.6kV
Rating	1.640kW
Poles	2
Winding connection	unearthed
Turns per coil	8
Permittivity assumed	3.7

2.2 기본 이론

스위칭 동작으로 발생하는 씨지전압의 크기를 전동기 입구단과 전동기 내부에서의 분포를 계산하는 데에 여러 가지 방법이 사용되지만, 무손실, 왜형이 없는 선로에 기초를 두고 해석하는 파동방정식인 Dommei법을 사용하여 각 절점에서의 스위칭 씨지분포를 해석하였

다.

스위칭 셰이의 해석시에 전원, 차단기, 전동기 및 케이블의 파라미터를 입력하여야 하는데 전원측의 L과 C는 전원측의 단락 용량과 감쇄 주파수 사이의 상호 관계를 이용하여 산출하고, 케이블 모델은 집중정수와 분포정수선으로 구할 수 있지만 계산의 정도를 위해 분포정수선으로 계산한다. 이 파라미터의 도입시에는 식 (1) 과 같은 시간 간격을 가져야 한다.

$$\Delta t < \frac{L}{10} \sim \frac{L}{20} \quad (1)$$

여기서 L 는 전파 정수이다.

차단기는 산업 현장에서 많은 이용되는 전공차단기 를 고려하였다. 전동기 권선의 써지해석에서 선-단 코일은 일련의 직렬인티턴스와 병렬 캐페시턴스를 가지는 것으로서 다중도체 전송선 방정식으로 해석한다.[2,3]

써지가 고정자 권선의 각 턴의 슬롯과 오비행 부분에 진행될 때, 고정자 코일은 이들이 직렬접속 되어진 파라미터로 변형할 수 있다.

고정자 권선의 구조를 전자계 해석 프로그램을 사용하여 해석하기 위해서는 지중 케이블 모델용으로 변환 해야 한다.

이와 같은 입력 자료의 변형이 끝난 다음 해당 절점에서 써지 분포를 알아보기 위해서는 식 (2) 와 같은 다중도체 전송선 방정식을 이용하는데 이 식은 상호 결합이 되어 있으므로 비결합요소로 바꾸어야 한다.[4]

$$\left[\frac{d^2 V_p}{dx^2} \right] = [Z_p][Y_p][V_p] = [P][V_p] \quad (2)$$

여기서 V_p 는 상전압 열벡터. $[P] = [Z_p][Y_p]$, $[Z_p]$ 와 $[Y_p]$ 는 상영역에서 임피던스와 어드미턴스 매트릭스.

식 (2) 의 해는 상영역에서의 전압 $[T_v]$ 을 대응하는 비결합 모드 요소 $[V_m]$ 로 변형함으로써 식 (2)는 식 (3) 과 같이 된다.

$$\left[\frac{d^2 V_m}{dx^2} \right] = [T_v^{-1}][P][T_v][V_m] = [\gamma^2][V_m] \quad (3)$$

여기서 γ^2 와 γ 는 각자 고유치의 대칭행렬과 대칭모드의 전파 상수이다.

따라서 원하는 결과는 식(3)을 식(4)와 같이 다시 상영역으로 역변환 하면 된다.

$$[V] = [T_v] \epsilon^{-\gamma x} [T_v]^{-1}[V_m] + [T_v] \epsilon^{-\gamma x} [T_v]^{-1}[V_i] \quad (4)$$

여기서 V_m , V_i 는 각자 송신단과 수신단의 전압이다.

3. 계산 결과

이 연구에서는 차단기의 투입후 생겨난 스위칭 과도는 전동기 고정자 권선의 절연내력에 상당한 영향을

줄 수 있는 크기의 써지전압을 발생시킨다. 그림 3 은 스위치가 닫힌 후 시간의 함수로서 전동기 단자에서의 써지전압의 크기를 나타낸 것이다.

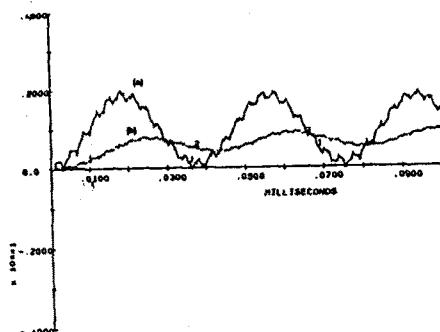


Fig. 3: The waveform at motor terminal after the switch is closed on Fig. 1

그림 3 (a) 에서 2[pu] 정도가 되는 단자전압이 발생하는 것은 전동기와 전원측 사이에서의 써지임피던스에 의한 것이다.

같은 그림에서 (b) 는 선-단 코일의 구배환화의 영향으로 매우 높은 파동장을 가짐을 알 수 있다. 이 결과로부터 스위칭에서 전동기 단자에 나타나는 써지전압은 고정자 권선의 첫번째 코일에 가장 큰 영향을 미치는 것을 알 수 있다. 그래서 스위칭으로부터 전동기의 전기적인 스트레스를 줄이기 위해서는 전동기의 첫번째 코일에 보호 대책을 마련할 필요가 있다.

또한 첫번째 코일 내부에서도 전압의 변화를 알아보는 것도 중요한 의미를 가질 수 있다. 그림 4 는 첫번째 코일의 턴 사이에서의 전압 변화를 나타낸 것이다.

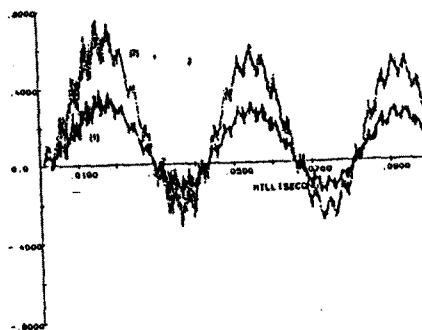


Fig. 4: The interturn waveform of the first coil

전압 분포의 계산 결과 선-단 코일의 시작점,(1), 보다도 내부 끝단, (2), 에서 더 큰 영향을 받는다는 것을 알 수 있었다.

그림 5 (a), (b) 및 (c) 는 써지흡수기의 영향을 검토한 결과다. 첫번째 그림 (a) 는 보호장치를 가지지 않은 경우의 결과이고, 두번째는 피크값의 저감과 파두값 도달시간의 연장효과를 가짐을 알 수 있다. 세번째 결과는 두번째 결과보다 더 좋은 효과를 가짐을 알 수 있다. 이를 결과로 부터 저항은 피크값을 낮추고 캐페시턴스는 파두장에서 파미장에 도달하는 시간을 늘려준다는 것을 알 수 있다.

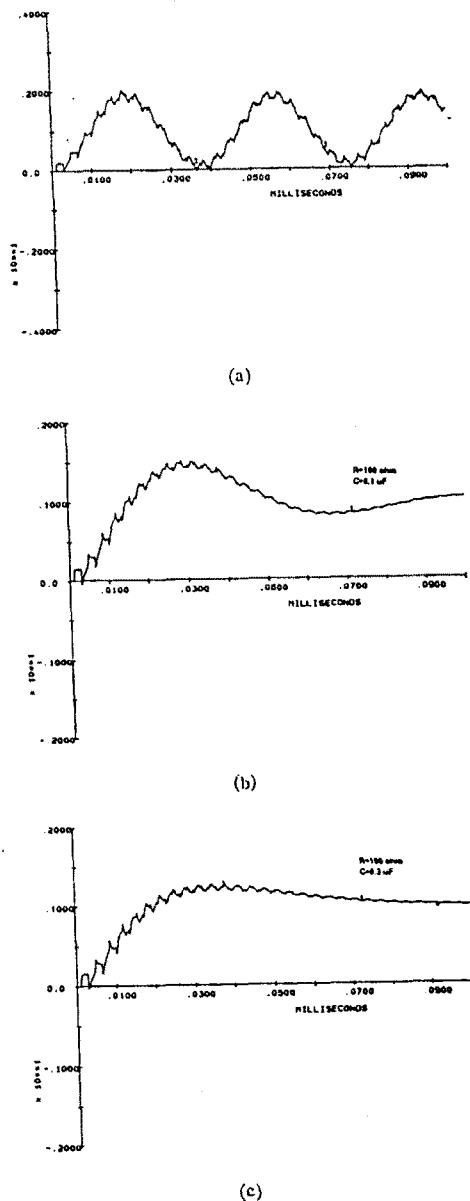


Fig. 5. The waveform with protective devices

4. 결론

전동기 단자와 전동기 권선 내부에서 써지전압의 분포와 크기를 해석하였다.

써지전압의 해석시 부분적인 모델이 아닌 실제적으로 전체적인 모델을 고려하여 해석하였다. 전동기 단자에 보호 장치의 설치가 스위칭으로 발생하는 금준파의 크기 저감과 진행을 완화한다는 것을 알았다.

References

- [1] E.W.Lee, J.G.Kim, "Analysis of Electrical Stress in Induction Motor Winding Caused by Steep-fronted Switching Surge", KIEE Trans., Vol.44, No.8, pp. 994~1000, 1995
- [2] J.G.Kim, E.W.Lee, "Analysis of the steep-fronted surge stress in Induction Motor Winding using EMTP", Advanced Computational and Design Techniques in Applied Electromagnetic System(ISEM in seoul), pp. 529~532, 1994
- [3] J.L.Guardado and K.J.Cornick, "A computer model for calculation steep-fronted surge distribution in machine windings", IEEE Trans. on EC, Vol.4, No.1, pp.95~101, 1989.
- [4] L.M.Wedepohl, "Application of matrix methods to the solution of travelling-wave phenomena in polyphase systems", Proc IEE, Vol.110, No.12, pp. 2200~2212, 1963.