

Analysis on the Operation Characteristics of Induction Motor Operated by Unbalanced Voltage

金宗謙* · 朴永鎮** · 鄭鍾浩*** · 李殷雄§
(Jong-Gyeum Kim · Youn-Jin Park · Jong-Ho · Eun-Woong Lee)

Abstract - Most of the loads in industrial power distribution systems are balanced and connected to three power systems. However, in the user power distribution systems, most of the loads are single & three phase and unbalanced, generating voltage unbalance. Rotating machines operating on an unbalanced voltage will draw a highly unbalanced current. As a result, the three-phase currents may differ considerably, thus resulting in an increased temperature rise in the machine.

This paper presents a scheme on steady states of a three-phase induction motor under unbalanced voltages. The three-phase voltages applied to the stator winding of the studied induction motor are controlled by respectively adjusting the magnitude and phase angle of each phase. The voltage unbalanced factor(VUF) of the three-phase source voltages can then be varied to examine the different values of VUF on machine's operation characteristics.

Key Words : Unbalanced Voltages, Induction Motor, EMTF, Power Quality, Torque Ripple

1. 서 론

전력에너지 사용이 증가함에 따라 부하기기의 효율적 관리와 안정적 운전을 위한 신뢰도 높은 전기품질 연구가 널리 진행되고 있다[1-4]. 전기품질은 대부분 전압에 관련된 것으로 시스템에 일시적으로 영향을 주는 전압새그나 스웰, 서지와 장기적으로 영향을 주는 정전이 있다. 그리고 시스템을 운전하는 동안 지속적으로 전원측이나 부하기기에서 발생하는 전압불평형이나 고조파도 전기품을 결정할 수 있는 중요한 요소이다.

단상과 3상, 선형과 비선형 부하를 함께 사용하는 수용가는 간선 및 분기선에 연결된 부하는 평형에 가깝게 설계하여 시설하지만, 설비 증설 등에 의해 불평형이 커지거나 운전조건에 따른 전압변동이 발생하면 기기에 나쁜 영향을 미칠 수 있다. 그래서 이런 영향을 줄이기 위한 연구가 진행되고 있다[1,2,4].

전압불평형은 유도전동기의 동작에 몇 배의 전류불평형을 초래하여 온도상승, 수명저하, 효율감소 및 출력감소 등의 심각한 영향을 미칠 수 있다[1,2].

따라서 본 논문에서는 전기품을 나타내는 전압의 크기

에 따른 전압불평형율이 3상 유도전동기의 특성에 미치는 영향을 해석하고자 한다.

2. 전압불평형이 유도전동기 동작특성에 미치는 영향

2.1 전압불평형의 정의

전압불평형의 원인은 3상 전원에 단상부하의 불균형 배분과 불평형 3상 부하 임피던스 연결이다. 또 평형의 3상 부하가 불평형 전원에 연결되면 유입 전류는 불평형이 된다. 따라서 3상에서 각상에 서로 다른 전압강하가 발생한다. 이와 같이 상간전압의 서로 다른 차이가 전압불평형이다.

전압불평형의 산출식은 다음과 같다[3,4,5]. 식 (1)은 정상분(V_1)에 대해 역상분(V_2)의 비율로서 정의하는 전압 불평형율(VUF:Voltage Unbalance Factor)이다.

$$VUF = \frac{V_2}{V_1} \times 100[\%] \quad (1)$$

3상 불평형 선간전압 V_{ab} , V_{bc} , V_{ca} 를 식 (2)와 같이 정상분 V_1 과 역상분 V_2 의 대칭성분으로 변환하면 불평형 조건하에서 유도전동기의 동작을 해석할 때 편리하다.

$$V_1 = \frac{V_{ab} + a \cdot V_{bc} + a^2 V_{ca}}{3}$$

$$V_2 = \frac{V_{ab} + a^2 \cdot V_{bc} + a V_{ca}}{3} \quad (2)$$

여기서 $a = 1 \angle 120^\circ$, $a^2 = 1 \angle 240^\circ$ 이다.

* 正會員 : 國立原州大 電氣科 副教授 · 工博

** 正會員 : 國立原州大 電氣科 副教授 · 工博

*** 正會員 : 忠南大 工大 博士課程修了

§ 終身會員 : 忠南大 工大 教授 · 工博

接受日字 : 2004年 2月 23日

最終完了 : 2004年 4月 19日

선간전압 불평형을(LVUR:Line voltage unbalance rate)은 식 (3)과 같다.

$$LVUR = \frac{\text{평균 선간전압 크기에서 최대전압편차}}{\text{평균선간전압}(V_{avg})} \times 100[\%] \quad (3)$$

여기서 $V_{avg} = \frac{V_{ab} + V_{bc} + V_{ca}}{3}$

식 (4)는 IEC의 선간전압에 대한 불평형율이다.

$$LVUR_{IEC} = \sqrt{\frac{1 - \sqrt{3 - 6\beta}}{1 + \sqrt{3 - 6\beta}}} \times 100[\%] \quad (4)$$

식 (4)에서 β 는 식 (5)로 계산한 것이다.

$$\beta = \frac{|V_{ab}|^4 + |V_{bc}|^4 + |V_{ca}|^4}{(|V_{ab}|^2 + |V_{bc}|^2 + |V_{ca}|^2)^2} \quad (5)$$

불평형을 식 (1), (3) 및 (4)로 계산한 결과는 표 1를 얻을 수 있다. 표 1에서 식 (3)은 다른 두 식 (1), (4)와는 약간의 차이를 나타내므로 본 논문에서는 사용하지 않았다. 실제 전압 크기만의 측정으로 불평형율을 산출할 경우 식 (4)가 사용된다.

표 1 전압 불평형율의 비교

Table 1 Comparison of voltage unbalance ratio

구분	V_a	V_b	V_c	Unbalance ratio[%]		
				VUF	LVUR	LVUR _{IEC}
balanced	127.0∠0°	127.0∠240°	127.0∠120°	0	0	0
1ph-uv	117.0∠0°	127.0∠240°	127.0∠120°	2.69	2.67	2.69
2ph-uv	117.0∠0°	122.0∠240°	127.0∠120°	2.37	2.04	2.37
3ph-uv	117∠0°	121∠240°	125∠120°	1.91	1.65	1.91
1ph-asym	127∠0°	127∠240°	127∠115°	2.91	2.55	2.91
2ph-asym	127∠0°	127∠238°	127∠118°	1.16	1.0	1.16
3ph-asym	127∠2°	127∠112°	127∠245°	6.73	6.27	6.73

전압불평형에 대한 국제규격(EN-50160 or IEC 1000-3-x series)은 10분간 측정할 경우 불평형율을 LV 및 MV에서는 2[%]이하, HV에서는 1[%]이하가 되도록 규정하고 있다.

2.2 불평형에 의한 전동기의 등가회로 및 동작특성

정상상태에서 유도전동기에 인가되는 상전압이 각각 V_a, V_b, V_c 일 경우 정상분, 역상분 및 영상분 전압은 식 (6)과 같다

$$\begin{pmatrix} V_0 \\ V_1 \\ V_2 \end{pmatrix} = \frac{1}{3} \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{pmatrix} \quad (6)$$

여기서 $a = \exp(j2\pi/3)$ 이다.

3상 불평형 전압이 전동기에 인가될 때는 역상분 및 영상분 전류의 존재로 효율 및 출력이 저하된다.

불평형에 의해 전동기에 인가되는 3상 순시전력 p_{in} 은 다음과 같이 임의의 직교 기준축 qdo 으로 표현 할 수 있다.

$$p_{in} = \frac{3}{2} (V_{qs}i_{qs} + V_{ds}i_{ds} + 2V_{cs}i_{cs} + v_{qr}i_{qr} + v_{dr}i_{dr} + 2v_{or}i_{or}) \quad (7)$$

그림 1 은 유도전동기의 동작특성을 해석하기 위해 d,q,0 축으로 변환한 등가회로로서 프라임(')은 고정자측을 기준으

로 변환한 것이다[6,7].

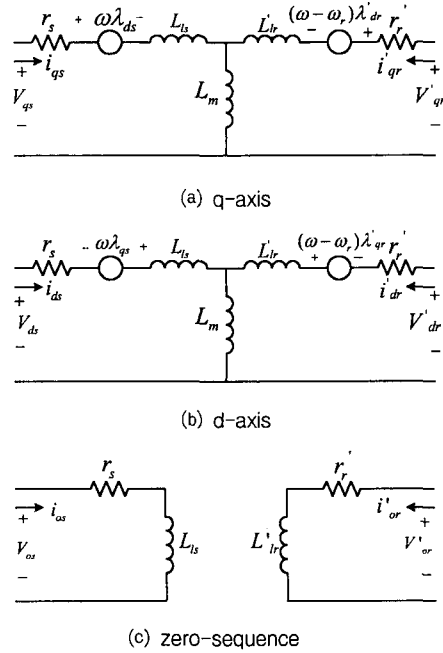


그림 1 기준축에서의 유도전동기의 등가회로
Fig 1. Equivalent circuit representation of an induction machine in the arbitrary reference frame

d-q축에서의 고정자 전압방정식은 식 (8)이고, 전류방정식은 식 (9)이다.

$$\begin{aligned} V_{qs} &= \frac{1}{3} (2V_{as} - V_{bs} - V_{cs}) \\ V_{ds} &= \frac{1}{\sqrt{3}} (V_{cs} - V_{bs}) \\ V_{os} &= \frac{1}{3} (V_{as} + V_{bs} + V_{cs}) \end{aligned} \quad (8)$$

$$\begin{aligned} i_{qs} &= \frac{1}{3} (2i_{as} - i_{bs} - i_{cs}) \\ i_{ds} &= \frac{1}{\sqrt{3}} (i_{cs} - i_{bs}) \\ i_{os} &= \frac{1}{3} (i_{as} + i_{bs} + i_{cs}) \end{aligned} \quad (9)$$

임의의 직교 qd 기준 프레임에서 유도전동기의 고정자와 회전자 전압방정식은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} V_{qs} &= r_s i_{qs} + \omega \lambda_{ds} + p \lambda_{qs} \\ V_{ds} &= r_s i_{ds} - \omega \lambda_{qs} + p \lambda_{ds} \\ V_{os} &= r_s i_{os} + p \lambda_{os} \end{aligned} \quad (10)$$

$$\begin{aligned} V_{qr} &= r_r' i_{qr} + (\omega - \omega_r) \lambda_{dr}' + p \lambda_{qr}' \\ V_{dr} &= r_r' i_{dr} - (\omega - \omega_r) \lambda_{qr}' + p \lambda_{dr}' \\ V_{or} &= r_r' i_{or} + p \lambda_{or}' \end{aligned} \quad (11)$$

식 (10), (11)에서 쇄교자속은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \lambda_{qr}' &= L_{lr}' i_{qr} + L_m (i_{qs} + i_{qr}') \\ \lambda_{dr}' &= L_{lr}' i_{dr} + L_m (i_{ds} + i_{dr}') \\ \lambda_{or}' &= L_{lr}' i_{or} \end{aligned} \quad (12)$$

$$\begin{aligned} \lambda_{qs} &= L_s i_{qs} + L_m (i_{qs} + i_{qr}) \\ \lambda_{ds} &= L_s i_{ds} + L_m (i_{ds} + i_{dr}) \\ \lambda_{os} &= L_s i_{os} \end{aligned} \quad (13)$$

따라서 식 (9), (12) 및 (13)에서 토크방정식은 식 (14)로 구해진다.

$$\begin{aligned} T_{em} &= \frac{3}{2} \frac{P}{2\omega_r} [\omega (\lambda_{ds} i_{qs} - \lambda_{qs} i_{ds}) + \\ & (\omega - \omega_r) (\lambda_{dr} i_{qr} - \lambda_{qr} i_{dr})] \\ &= \frac{3}{2} \frac{P}{2} (\lambda_{qr} i_{dr} - \lambda_{dr} i_{qr}) \\ &= \frac{3}{2} \frac{P}{2} (\lambda_{ds} i_{qs} - \lambda_{qs} i_{ds}) \\ &= \frac{3}{2} \frac{P}{2} L_m (i_{qr} i_{qs} - i_{dr} i_{ds}) \end{aligned} \quad (14)$$

불평형 전압 운전은 높은 전류불평형을 일으킬 수 있는데 유도전동기의 경우 전류불평형의 크기가 전압불평형의 5~10배 정도이고[45], 특히 ASD로 운전하는 유도전동기의 경우 15배를 초과할 수 있어 전동기 과열 등의 문제를 일으킬 수 있다. 유도전동기의 토크는 식 (13)과 같이 불평형율이 증가하면 정격 토크의 감소폭은 낮지만 토크 맥동분은 매우 크다[8].

$$T_u = T_b \times K \times \left[1 - \left(\frac{\%VUF}{100} \right)^2 \right] \quad (15)$$

여기서 T_u 와 T_b 는 각각 불평형 및 평형상태에서의 토크이고, K 는 상수로서 구속회전자 토크는 1이며 정동 토크는 2이다.

불평형 전압으로 운전을 할 경우 식 (16)처럼 발생하는 토크리플은 정격부하 토크를 기준으로 한 순시 토크의 최대치와 최소치의 차이의 퍼센트로 정의할 수 있다.

$$\text{Torque ripple} = \frac{T_{inst(max)} - T_{inst(min)}}{T_{rated}} \quad (16)$$

2.3 유도 전동기 해석 시스템의 구성 및 특성

전력시스템의 과도현상을 해석하기 위해 개발된 전자계과도해석 프로그램 EMTP는 비선형 부하를 포함한 시스템의 과도현상을 해석할 수 있다[9].

본 연구에서는 유도전동기의 동작특성을 해석하기 위해서 동기적으로 회전하는 기준 프레임의 d-q 축 이론을 적용하는 EMTP내 농형 회전자의 Universal Machine Model을 사용하였다. 구동 모델의 계산을 위한 인터페이스 모델로는 그림 2와 같이 전기적인 회로망(EN), 기계적인 시스템(MS), 제어시스템(TACS), 회전기기(UM)의 4 가지로 구성하였으며, 전기적인 인터페이스는 좌표변환을 통해 이루어지고, 기계적인 시스템은 회전 기기와 인터페이스 전에 전기적인 등가회로로 바꾸었다[9-10].

따라서 전동기 관련 데이터 입력시 모든 변수는 전기계로 변환되어야 한다. 이 프로그램으로 전동기와 발전기를 해석할 수 있는데 부하에 필요한 토크를 전기적인 변수로 변환할 경우 출력값은 전동기는 부(-)로, 발전기는 정(+)으로 나타난다[10,11].

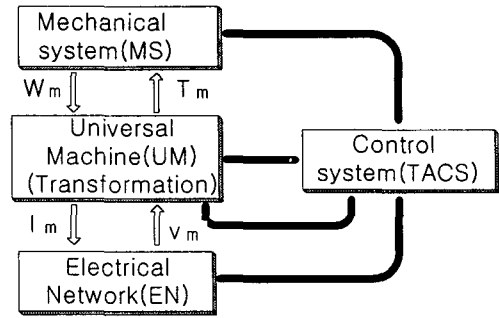


그림 2 UM 인터페이스 변수 개략도
Fig. 2. Diagram of UM interface variables

3. 특성 해석 및 결과 분석

해석모델로 그림 2의 전기품질변화에 따른 특성해석에 사용한 유도전동기의 사양은 표 2와 같다.

표 2 샘플 유도전동기 사양
Table 2 Specification of sample induction motor

parameter	220[V], 4p, 3HP 60Hz
stator resistance, r_s	0.435[Ω]
rotor resistance, r_r	0.816[Ω]
stator leakage inductance, L_{ls}	0.002[H]
rotor leakage inductance, L_{lr}	0.002[H]
mutual inductance, L_m	0.0603[H]
Inertia moment, J	0.089[kg · m ²]
Friction coefficient, B	0.0089[Nm · %]

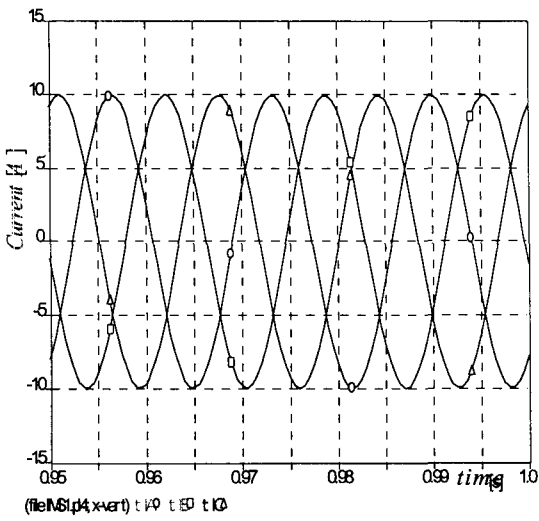
최근 수용가의 3상 4선식 380/220[V] 저압 배전 시스템의 구성과 비선형 부하의 사용증가는 전압불평형을 높이고 있다. 불평형의 비율은 각 상전압의 크기의 차이와 위상각에 따라 달라지지만 해석은 평형(balanced)의 경우와 불평형율 1, 3, 5[%]의 크기에 따라 모의하였다.

3.1 3상 전압조건에 따른 특성해석

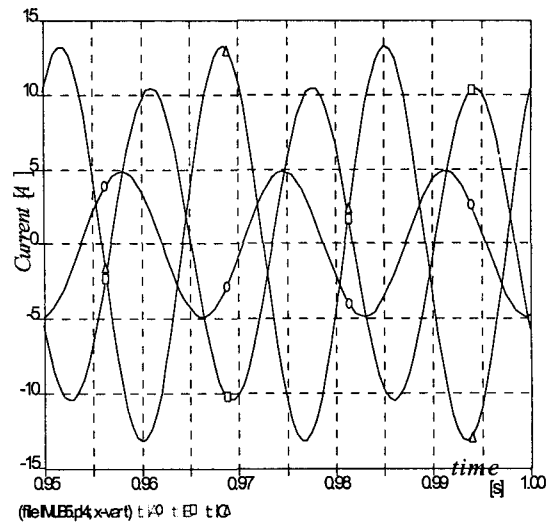
3상 전압조건에 따른 유도전동기의 전류, 자속의 동작특성은 그림 3~6과 같다. 해석에 사용된 전압불평형율은 표 3과 같이 전압의 크기에 따라 계산하였다.

표 3 전압크기에 따른 불평형율의 비교
Table 3 Comparison of unbalance ratio due to voltage amplitude

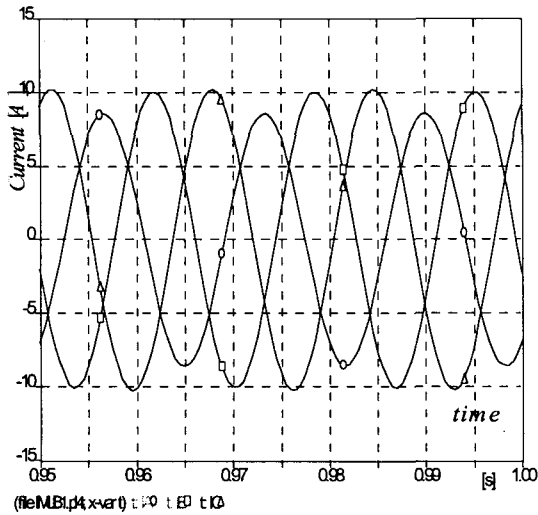
구분	V_a	V_b	V_c	Unbalance ratio[%]
Balanced(IMS1)	127.0 ∠ 0°	127.0 ∠ 240°	127.0 ∠ 120°	0
1ph-uv(IMUB1)	122.0 ∠ 0°	125.0 ∠ 240°	126.2 ∠ 120°	1
2ph-uv(IMUB3)	117.0 ∠ 0°	119.5 ∠ 240°	129.5 ∠ 120°	3
3ph-uv(IMUB5)	110.0 ∠ 0°	120.0 ∠ 240°	130.9 ∠ 120°	5



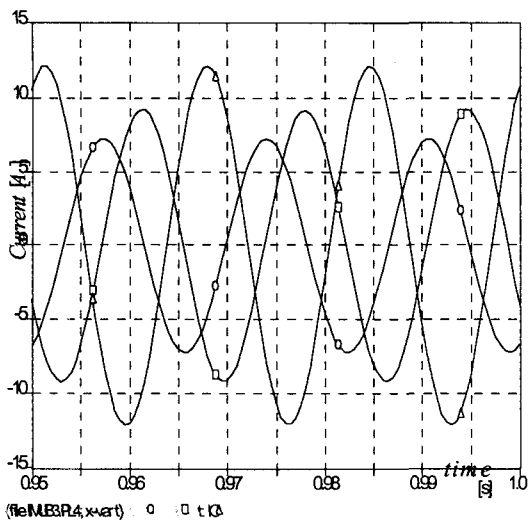
(a) 평형시



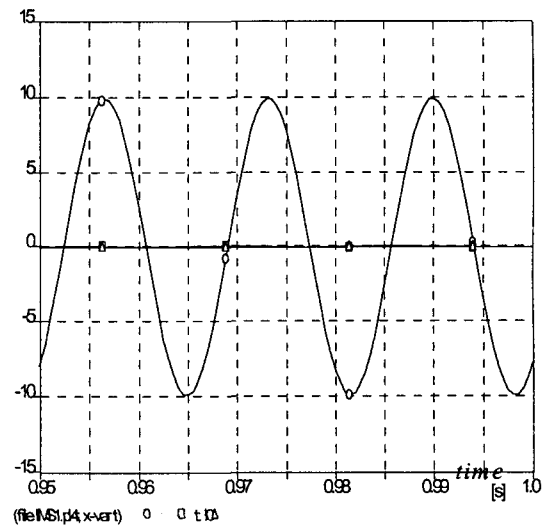
(d) 5% 불평형시



(b) 1% 불평형시



(c) 3% 불평형시



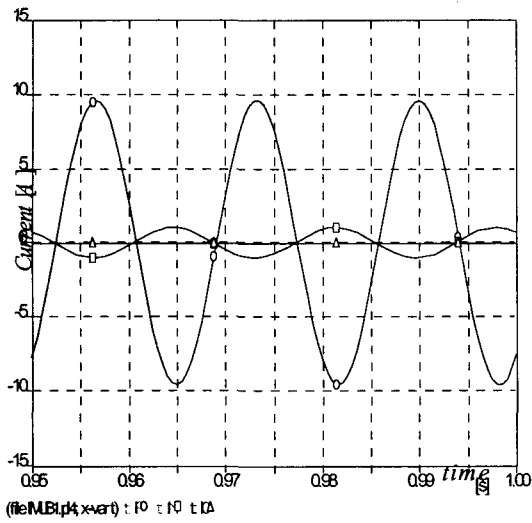
(a) 평형시

그림 3 고정자 3상 전류

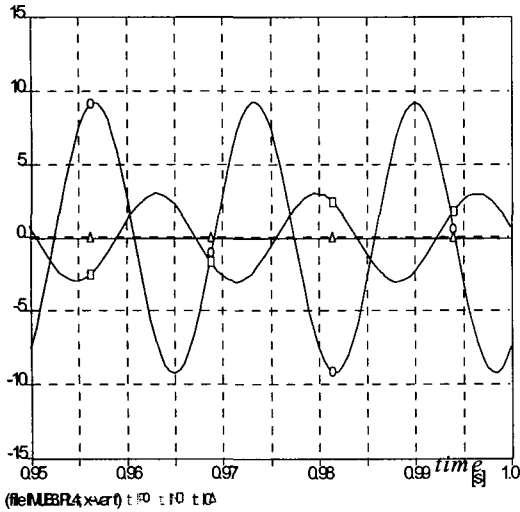
Fig 3. Stator 3-phase current

그림 3에서는 고정자에 인가되는 전류를 나타낸 것으로서 평형시는 3상의 전류크기가 일정하지만, 전압불평형율의 증가에 따라 A(○), B(□), C(△)상의 크기에 큰 편차가 높아짐을 알 수 있다. 3상 전류중에서 가장 높은 상의 전류는 권선의 온도에 가장 큰 영향을 미치는 동시에 민감한 장비에는 트립과 같은 성가신 동작을 발생시킬 수 있다.

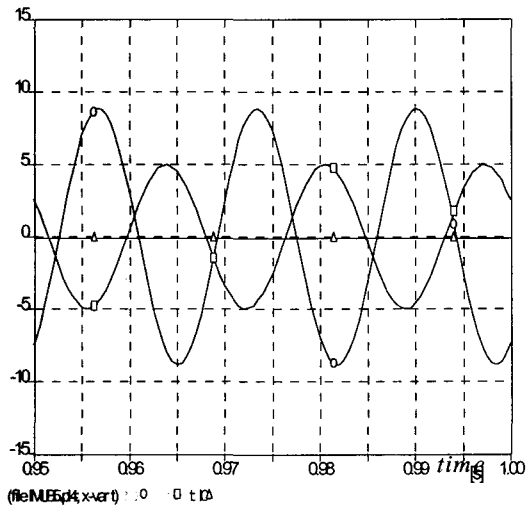
유도전동기에 불평형 전압이 인가될 경우 평형된 전압의 인가시 발생하는 회전방향과 반대로 회전하는 역상분 전압이 발생한다. 이 역상분 전압은 회전자의 회전방향과 반대로 회전하는 자속을 공극내에서 발생시키고, 높은 전류의 발생으로 권선온도를 상승시켜 절연을 손상시킬 수 있다.



(b) 1% 불평형시



(c) 3% 불평형시



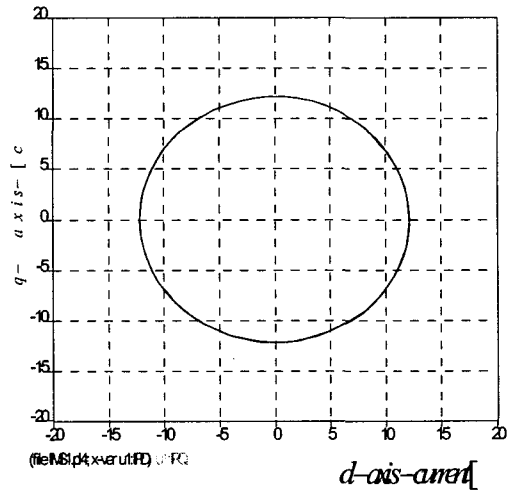
(d) 5% 불평형시

그림 4 정상/역상/영상분 전류
Fig 4. Pos/Neg/Zero sequence current

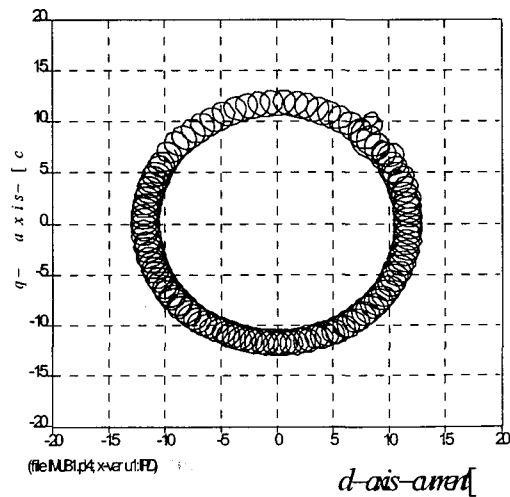
그림 4는 전압불평형율에 따라 고정자에 인가되는 전류의 크기를 대칭좌표법에 의해 정상분(IP:○), 역상분(IN:□), 영상분(IO:△)으로 나타냈다. 그림 4(a)에서 정상분과 역상분 전류의 시간분포는 평형된 전압이 고정자에 인가될 경우에 정상분은 존재하나, 역상분, 영상분은 3상 대칭전압분포 특성 때문에 나타나지 않는다. 그러나 그림 4(b), (c), (d)에서와 같이 전압 불평형율이 증가함에 따라 거의 일정한 정상분 전류에 비해 역상분 전류의 크기가 증가함을 알 수 있다.

그림 5과 6은 전압불평형율에 따라 각각 d-q축 전류와 자속계적을 나타낸 것이다. 그림 5에서 x축과 y축은 전류값이고 단위는 [A]이지만, 그림 6에서 x축과 y축은 자속값으로서 단위는 [Wb]이다.

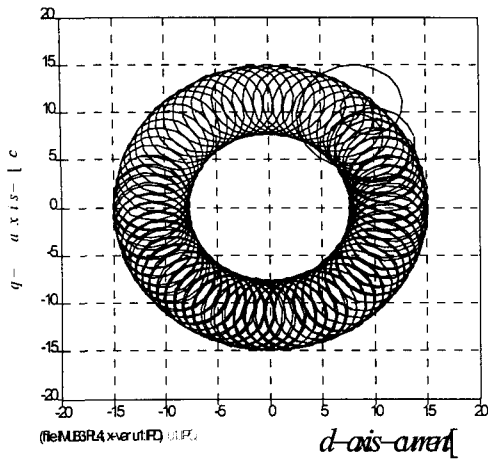
그림 5(a)에서 알 수 있듯이 고정자에 인가되는 전압이 평형일 경우 d-q축 전류계적은 리플성분이 존재하지 않는 깨끗한 원궤적을 그리지만, 그림 5(b), (c), (d)에서와 같이 전압 불평형율의 증가에 따라 높은 리플성분 전류의 영향으로 진폭이 큰 원궤적을 나타낸다. 이 결과 전동기는 큰 맥동성분 토크를 발생한다.



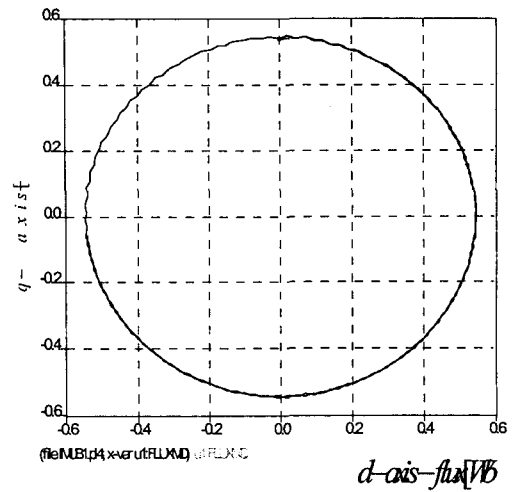
(a) 평형시



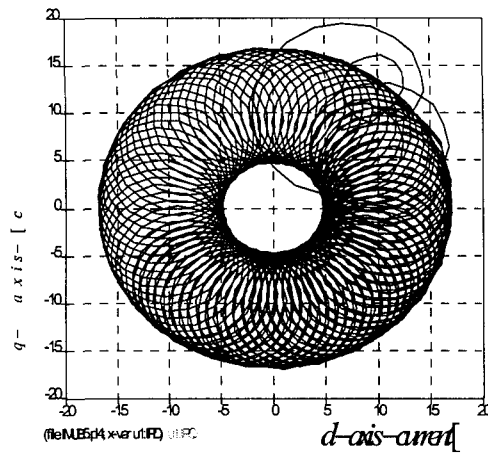
(b) 1% 불평형시



(c) 3% 불평형시



(b) 1% 불평형시

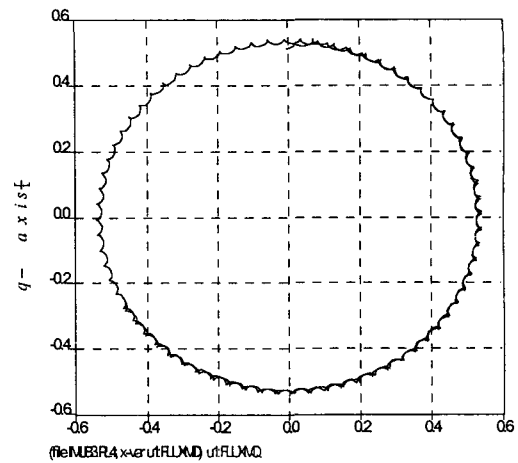


(d) 5% 불평형시

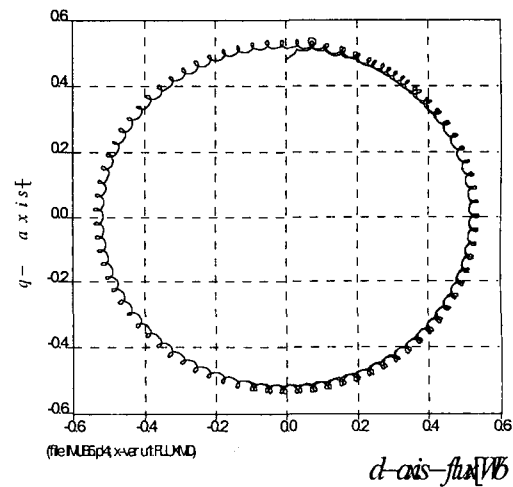
그림 5 d-q축 전류궤적

Fig 5. d-q axis current locus

그림 6은 전압불평형율에 따른 고정자의 d-q축 자속궤적을 나타낸 것이다. 평형시는 리플이 포함되지 않은 원궤적을 나타내지만, 불평형율의 증가로 리플성분이 증가된 형태의 원궤적을 나타낸다. 이와 같은 자속의 리플성분은 전동기의 토크곡선에 큰 영향을 줄 수 있다.



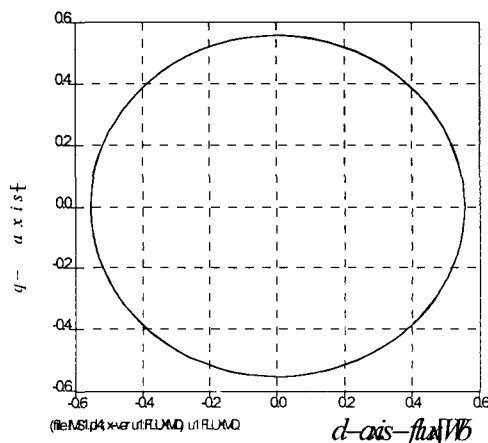
(c) 3% 불평형시



(d) 5% 불평형시

그림 6 d-q축 자속궤적

Fig 6. d-q axis flux locus

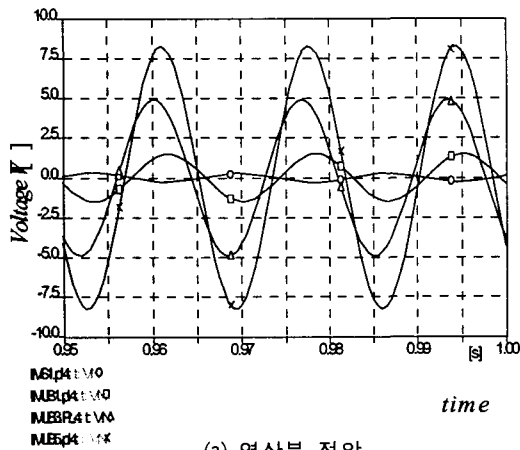


(a) 평형시

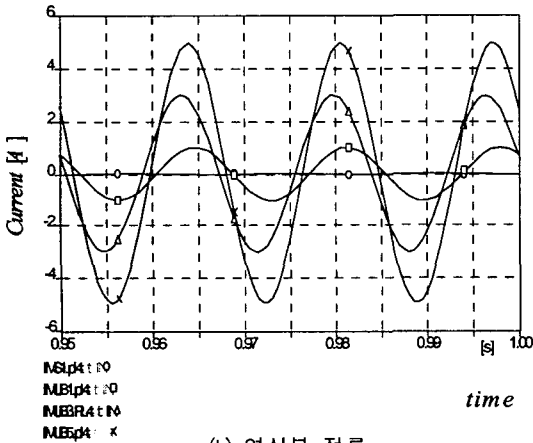
3.2 결과분석

앞에서는 불평형율에 따라 전류, 자속의 특성을 해석하였다. 실제 전압불평형에 의해 유도전동기를 운전할 경우 부하에 민감하게 영향을 주는 것으로서는 토크성분이다. 전압 불평형이 존재할 경우 정방향 성분에 비해 크지 않지만 역방향 성분의 토크가 발생한다.

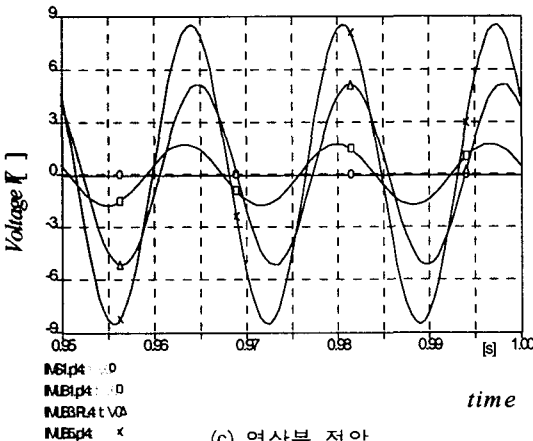
그림 7은 대칭 전압 불평형율에 따른 역상분 전압과 전류, 영상분 전압 및 토크 특성을 비교한 것이다. 그림 7에서 심볼은 각각 평형시(○), 불평형 1%(□), 3%(△), 5%(×)를 의미한다.



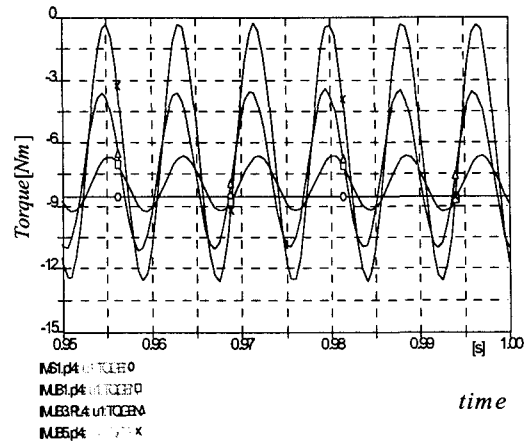
(a) 역상분 전압



(b) 역상분 전류



(c) 영상분 전압



(d) 토크

그림 7 전압불평형에 따른 역상분 전압, 전류 및 토크
Fig 7. Negative voltage, current & torque at voltage unbalance

그림 7(a), (b)는 대칭좌표법에 의해 역상분 성분을 나타낸 것으로서 불평형율의 증가에도 거의 일정한 정상분 전압 및 전류에 비해 역상분 전압과 전류값이 증가함을 확인할 수 있다. 그림 7(b)에서와 같이 불평형율의 증가로 고정자에 역상분 전류가 흐를 경우 전동기는 역 방향의 토크를 발생시키므로 전동기의 출력토크는 감소한다. 그림 7(c)는 영상분 전압을 나타낸 것으로서 평형시는 존재하지 않지만, 불평형율의 증가로 커짐을 확인할 수 있다. 그림 7(d)에서는 부(-) 값을 나타내지만 실제 출력값은 정(+)의 값을 의미한다.

그림 7(d)는 대칭전압 불평형에 따른 토크의 크기를 비교한 것으로서 불평형율이 증가할수록 토크 맥동이 커짐을 확인할 수 있다. 그림 7(d)에서 알 수 있듯이 불평형이 증가할수록 리플이 높아진다. 1[%]의 전압불평형일 경우에는 2.59[Nm]의 토크 리플이 발생하는 반면, 3[%] 및 5[%]의 전압불평형시의 토크 리플은 각각 7.47 및 12.21[Nm]가 된다. 평형 운전조건에 비해 1, 3 및 5[%]의 불평형시 토크 리플은 각자 30, 87 및 142[%]로 증가한다.

4. 결 론

본 논문에서는 산업현장에서 많은 전력을 소비하고 있는 전동력설비에서 전압 불평형율이 유도전동기의 동작특성에 미치는 영향을 해석하였다.

정상분에 대한 역상분의 비율인 전압 불평형율은 전동기에 불평형 전압이 인가될 경우 역상분에 의한 역방향 토크의 발생으로 출력저하로 이어지는 것을 정상분 및 역상분 전류와 자속벡터 궤적으로 표현하였다.

불평형율이 낮은 경우에는 역상분의 크기가 별로 큰 문제가 되지 않지만, 높아질수록 토크의 특성변화는 점점 커져 맥동분이 증가함을 확인할 수 있었다. 따라서 정밀한 속도 제어가 필요한 곳에서는 전압 불평형율이 최소화될 수 있도록 해야할 것이다.

감사의 글

본 연구는 2003년도 산업자원부 및 한국전력공사의 지원에 의하여 이루어진 연구로서, 관계부처에 감사 드립니다.

참 고 문 헌

- [1] 김종겸, "전기품질 변화에 따른 유도전동기의 동작특성 해석", 전기학회 논문지, 제 49P권, 2호, pp.15-21, 2000. 10
- [2] 김종겸, 이은웅, 정종호, "비대칭 전압불평형에 의한 유도전동기의 동작특성 해석", 대한전기학회 전기기기 및 에너지변환시스템학회 추계학술대회논문집, pp.110-112, 2003. 11
- [3] P. Pillay and M. Manyange, "Definitions of voltage unbalance", IEEE Power Eng. Rev. Mag., vol.5, pp.50-51, May 2001.
- [4] Ching-Yui Lee, "Effects of Unbalanced Voltage on the Operation Performance of a Three-Phase Induction Motor", IEEE Trans on EC, Vol.14, No.2, pp.202-208, Jun 1999.
- [5] 김종겸, 이은웅, "불평형 전압으로 운전시 비선형 부하에 나타나는 현상", 대한전기학회 논문지(B), 제 51권, 6호, pp. 285-291, 2002.6
- [6] David.R.Brown&E.P.Hamilton,, "Electro-mechanical Energy Conversion", Macmillan Publishing Company, 1996.
- [7] Chee-Mun Ong, Dynamic Simulation of Electric Machinery using Matlab/Simulink, Prentice-Hall, Inc, 1999.
- [8] NEMA MG-1-2003
- [9] Ned. Mohan, "Digital Simulation of Field-Oriented Control of Induction Motor Drives using EMTP", IEEE Trans on EC, vol.3, no.3, pp.667-673, Sep 1988.
- [10] H. K. Lauw, W.S. Meyer, "Universal Machine Modelling for the Representation of Rotating Electric Machinery in an Electromagnetic Transient Program", IEEE Trans on PAS, vol.101, no.6, pp.1342-1351, Jun 1982.
- [11] 김종겸, 이은웅, "전자계 과도해석 프로그램을 이용한 가변속 구동 시스템의 특성해석", 전기학회 논문지, 제 47권, 8호, pp.25-31, 1998. 8

저 자 소 개



김종겸(金宗謙)

1961년 10월 3일생. 1991년 충남대학교 대학원 졸업. 1996.2 동대학원 졸업 공학박사
1996년~현재 국립원주대학 전기과 부교수.
현재 당학회 B부문 및 본부 편집위원
Tel : 033-760-8423
E-mail : jgkim@sky.wonju.ac.kr



박영진(朴永鎭)

1959년 11월 19일생. 1982년 단국대학교 전기공학과 졸업. 1996년 단국대학교 대학원 전기공학과 졸업(공학박사). 1996년~현재 국립원주대학 전기과 부교수.
Tel : 033) 760-8424
E-mail : popspark@sky.wonju.ac.kr



정종호(鄭鍾浩)

1969년 6월 20일생. 1993년 충남대학교 공과대학 전기공학교육과 졸업. 1996년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학석사). 2000년 동 대학원 전기공학과 박사과정수료. 현재 경기기계공업고등학교 공동실습소 교사
Tel : 02-970-8922
E-mail : jeong-jh@hanmail.net



이은웅(李殷雄)

1944년 8월 14일생. 1971년한양대 전기공학과 졸업. 1983년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박사). 1982년~83년, 1984년~85년 캐나다 McGill 대학 방문교수. 1987년~현재 당학회 평의원. 1995년 당학회 편집위원장 및 전기기기연구회 간사장. 1995년~1997년 충남대 공대 학장, 산업대학원장('96~97), 1997년~2000년 당학회 부회장. 2004년 현재 당학회 회장, 현재 충남대 전기공학과 교수
Tel : 042-821-5652
E-mail : ewlee@cnu.ac.kr