

복합고장을 가지는 농형유도전동기의 모델링과 웨이블릿 분해를 이용한 고장진단

Fault Modeling and Diagnosis using Wavelet Decomposition in Squirrel-Cage Induction Motor Under Mixed Fault Condition

김연태 · 배현 · 박진수 · 김성신

Yountae Kim, Hyeon Bae, Jinsu Park, and Sungshin Kim

부산대학교 전기공학과

요 약

유도전동기는 산업시스템에 있어서 필수적인 요소이기 때문에 유지 관리, 모니터링 시스템, 고장 진단 등의 다양한 분야에 서 많은 연구가 행해지고 있다. 유도전동기의 운전 중 하나의 고장이 발생한 경우 이것은 전동기의 다른 부분에 영향을 미 치거나 또 다른 고장을 유발시키는 원인이 된다. 따라서 개별적인 고장뿐만 아니라 결합된 형태의 고장을 검출하고 진단하 는 것은 유용한 방법이다. 본 논문에서는 전압불평형 고장과 회전자바 고장이 발생한 경우, 그리고 두 고장이 동시에 복합 적으로 발생한 경우를 모델링하고 이에 대해 고장을 웨이블릿 분해를 이용하여 진단하였다. 제안된 고장 검출 및 진단 알 고리즘은 농형유도전동기의 고정자 전류를 이용하였으며 매트랩 시뮬링크를 사용하여 시뮬레이션 하였다.

키워드 : 농형유도전동기, 고장진단, 모델링, 웨이블릿

Abstract

Induction motors are critical components in industrial process. So there are many research in the condition based maintenance, online monitoring system, and fault detection. This paper presents a scheme on the detection and diagnosis of the three-phase squirrel induction motor under unbalanced voltage, broken rotor bar, and a combination of these two faults. Actually one fault happen in operation, it influence other component in motor or cause another faults. Accordingly it is useful to diagnose and detect a combination fault in induction motor as well as each fault. The proposed fault detection and diagnosis algorithm is based on the stator currents from the squirrel induction motor and simulated with the aid of Matlab Simulink.

Key Words : Induction motor, Fault diagnosis, Modelling, Wavelet

1. 서 론

산업 현장에서 많이 사용되고 있는 유도전동기의 갑작스 런 고장은 전동기 자체의 교환 및 수리의 비용 문제보다 기 계설비의 생산 중단에 따른 막대한 경제적인 손실과 생산의 효율성에 직접 영향을 미치기 때문에 지속적인 모니터링과 유지 및 고장진단이 필수적이다.

유도전동기를 모니터링 하는 방법은 센서 등을 이용하여 파라미터 등을 계측하여 전기적, 기계적 결함을 모니터링 하는 직접적인 방법과 유도전동기의 정상상태와 결합상태를 모 델링한 후 시뮬레이션 하여 정상 및 결합 전동기의 데이터를 생성 하여 분석하는 간접적인 모니터링 방법이 있다. 유도전 동기를 직접적으로 모니터링 하는 방법은 고장 신호를 실시 간으로 모니터링 하여 분석 및 진단 할 수 있는 장점이 있는 반면 전동기에 센서 등을 부착해서 모니터링 장비를 구축해

야하고 유도전동기의 다양한 고장 신호를 얻기 위해서 다수 의 모니터링 시스템을 설치해야하는 단점이 있다. 반면 시뮬 레이션을 통한 간접적인 유도전동기의 모니터링은 실제의 유 도전동기의 데이터를 획득하지 못한다는 문제점이 있지만, 모니터링 장비의 구축이 필요 없을 뿐만 아니라 다양한 변수 들을 설정함으로써 실제 전동기로는 하기 힘든 여러 가지 실 험을 할 수 있어서 유도전동기의 고장 진단 연구에 많이 사 용되고 있다. 특히 산업 현장에서 운전 중인 유도전동기의 고장을 보면 한 부분의 고장이 발생할 경우 그 고장이 다른 부분으로 파급되어 다른 구성부분의 고장 원인이 되며 복합 적인 고장이 발생하는 경우도 많으므로 두 가지 이상의 고장 이 동시에 발생할 경우를 가정하여 시뮬레이션 한 후 이를 고장진단 하는 것은 그 필요성이 크다고 할 수 있다. 이러한 이유로 본 논문은, 두 가지의 복합적인 고장을 재현하였다. 그리고 재현된 복합고장 전동기를 진단할 수 있는 방법으로 평균 필터링, 동기화 그리고 웨이블릿 분해 등의 전처리 기 법 그리고 뉴럴네트워크를 이용한 진단기법을 소개한다.

접수일자 : 2006년 10월 9일

완료일자 : 2006년 11월 30일

감사의 글 : 이 논문은 교육인적자원부 지방연구중심대 학육성사업(차세대물류IT기술연구사업단)의 지원에 의하 여 연구되었음.

2. 농형유도전동기의 고장 시뮬레이션

2.1 전압불평형 고장의 시뮬레이션

유도전동기의 안정적인 운전과 부하기기의 효율적 관리를 위하여 안정적인 공급은 필수적인 요소이다. 하지만 부하의 변동과 주위 환경적 요소에 의하여 전동기의 안정된 운전을 확실히 보장하기 힘든 경우가 많다. 전압불평형이 발생하는 경우 정상적인 고정자 전류의 상순과는 반대의 역상 전류가 발생하므로 고정자 전류 각 상의 전류 크기가 변하게 된다. 예를 들어 인가전압 3상 전원 중 a상의 전압 강하로 전압 불평형이 일어난 경우 고정자 전류의 a, b, c 상의 전류 크기가 모두 변하므로 이를 모두 측정해서 진단을 하여야 한다. 구성된 농형 유도전동기 시뮬레이션에서 전압불평형 고장을 일으키기 위하여 아래의 식(1)의 3상 중 한상에 전압 강하를 줌으로써 전압불평형 고장을 시뮬레이션 하였다.

$$V_{sA} = \sqrt{2}(E - E_0)\cos\omega t \quad (1)$$

$$V_{sB} = \sqrt{2}E\cos(\omega t - \frac{2}{3}\pi)$$

$$V_{sC} = \sqrt{2}E\cos(\omega t + \frac{2}{3}\pi)$$

E : 정격전압

본 연구에서 실험한 전압강하의 경우 a상에 고장을 인가 했으며 그 크기는 아래 표 2.1에서 볼 수 있듯이 1~5%의 전류 불평형을 인가하였다. 5% 이상의 전압불평형은 이미 전동기의 정상적인 동작이 힘든 상태이기 때문에 제외 하였다[9].

표 2.1 인가전압 각각의 상에서 전압 강하크기.

전압 위상	전압강하
a phase voltage fault	4.6 Volt (1%)
	13.8 Volt (3%)
	23 Volt (5%)

2.2 회전자바 고장의 시뮬레이션

회전자바의 고장은 주로 높은 온도와 운전 중의 과중한 기계적 부하와 제조 과정에서 결함 때문에 자기된다. 이러한 회전자바 고장의 시작은 높은 온도 때문에 야기된 높은 저항값에서 기동과 회전자바에 있는 작은 크랙과 구멍 때문에 시작된다. 회전자바의 고장은 식(2)와 같이 회전자바의 총 수와 회전자바의 위치를 반영해야하지만 이러한 과정은 수학적으로 해석하기가 복잡하고 난해하다.

$$R_r = \frac{(2N_s)^2}{Z_r/3} \left[R_b + \frac{2}{Z_r(2\sin\frac{\theta}{2})^2} R_e \right] \quad (2)$$

R_r : 회전자바의 등가저항

R_b : 회전자바의 저항

R_e : 엔드링의 저항

Z_r : 회전자바의 수

N_s : 고정자 권선의 턴수

따라서 본 연구에서는 회전자바의 임피던스는 회전자바에 한정되고 슬립은 정격속도에 근접해있다는 가정을 하고 회전

자 엔드링의 저항적 기여를 무시하여 식(2)를 식(3)과 같이 간략화 할 수 있다.

$$R_r \cong \frac{(2N_s)^2}{Z_r/3} R_b \quad (3)$$

n 개의 회전자바가 부러진 경우 회전자 저항은 아래의 식(4)와 같이 된다.

$$R_{rf} \cong \frac{(2N_s)^2}{Z_r/3-n} R_b \quad (4)$$

R_{rf} = n 개의 회전자바가 고장난 경우 회전자 저항

따라서 정상일 경우와 n 개의 회전자바가 고장 난 경우 저항값의 변화를 구하면 식(5)와 같이 된다.

$$\Delta R = R_{rf} - R_r = \frac{n}{Z_r/3-n} R_r \quad (5)$$

ΔR : 저항가변값
 R_{rf} : 고장난 회전자 저항
 R_r : 회전자 저항

시뮬레이션에서 회전자바 고장을 위해 추가해야하는 저항값은 아래의 표2.2와 같다.

표 2.2 회전자바 고장을 위한 추가 저항값.

고장난 회전자바의 수	ΔR_r
n=1	0.1547
n=2	0.3610
n=3	0.6498

2.3 전압불평형과 회전자바의 고장의 시뮬레이션

전압불평형과 회전자바의 결함이 동시에 발생한 경우의 고장 시뮬레이션은 표2.3과 같이 한 상에서의 전원전압이 1%, 3%, 5%의 전압강하가 일어난 경우에 저항값의 변화를 줌으로써 전압불평형과 회전자바의 동시 고장을 발생시켰다.

표 2.3 전압불평형과 회전자바 고장이 동시에 일어난 경우의 각 값의 변화.

1% 전압 강하		3% 전압 강하		5% 전압 강하	
BN	ΔR_r	BN	ΔR_r	BN	ΔR_r
n=1	0.1547	n=1	0.1547	n=1	0.1547
n=2	0.3610	n=2	0.3610	n=2	0.3610
n=3	0.6498	n=3	0.6498	n=3	0.6498

* BN : 고장난 회전자바의 수

Matlab simulink를 이용한 시뮬레이션은 아래의 그림2.1과 같다. 고장 시뮬레이션에 사용된 전동기는 5[Hp] 1750[rpm] 460V 4극의 농형유도전동기를 대상으로 하였다.

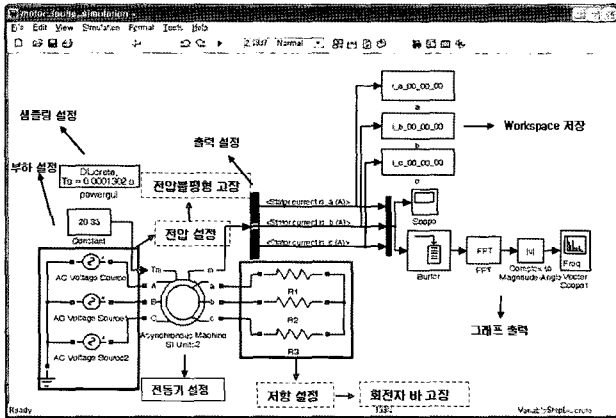


그림 2.1 Simulink를 이용한 고장 시뮬레이션.

3. 유도전동기의 고장진단

본 논문에서 제안하는 고장진단 방법은 그림 3.1과 같다. 크게 전처리, 고장유무 판별, 그리고 뉴럴네트워크를 이용한 고장진단 방법을 제안한다.

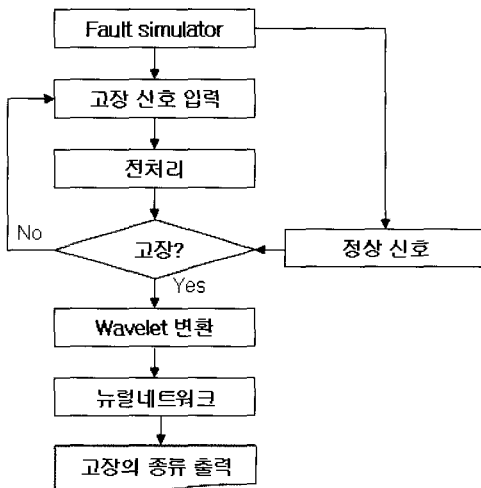


그림 3.1 고장진단 과정.

3.1 전처리 기법

본 논문에서 고장진단을 위해 만들어낸 시뮬레이션 데이터는 유도전동기 시뮬레이터의 a상 전류신호를 계측하여 이용하였다. a상 전류신호의 계측방법과 신호의 특성은 다음 표 3.1에 나타내었다.

표 3.1 a상 전류의 계측방법과 신호특성.

1회 계측 샘플 수	16,384개 (1주기 128개)
계측시간	2.3937초
샘플링 주파수	7.680 kHz
노이즈	0.5~5% (normal distributed random noise)

계측전류는 1750rpm을 가지는 전동기의 한 주기가 128개의 샘플이 되도록 샘플링 주파수를 정하였으며, 총 계측 시간은 1회당 2.3937초이다. 또 한 실제 계측 노이즈를 반영하기 위해 0.5~5%의 백색잡음을 포함시켰다.

전처리 방법은 그림 3.2에 나타내었다. 우선 화이트 노이즈를 어느 정도 감소시키기 위해서 총 16,384개의 샘플을 128개의 샘플로 나눠 각각을 합하여 평균을 내는 평균 필터링 기법을 적용한다. 평균 필터링을 거친 128개의 샘플로 이루어진 한주기 신호의 위상을 그림과 같은 위치로 동기화시킨다.

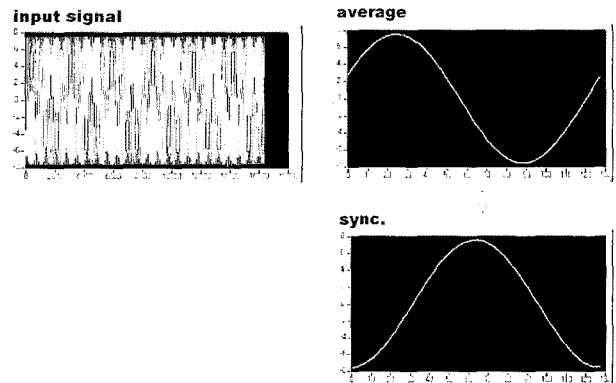


그림 3.2 입력 신호의 전처리 과정.

이렇게 동기화된 입력신호는 그림 3.3과 같이 입력신호와 똑같은 과정을 거친 고장과 노이즈성분이 포함되지 않은 정상신호와 빼기 연산을 적용하여, 미약신호를 생성하게 된다.

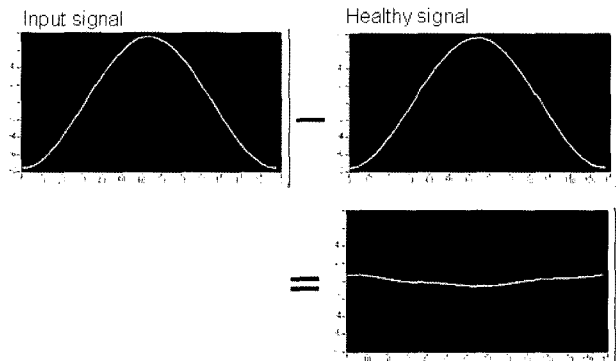


그림 3.3 미약신호의 생성.

이렇게 생성된 미약신호는 입력신호에서 정상동작으로 나타나는 전류패턴이 지워진 상태로 고장의 정보가 더욱 강조된 신호라고 볼 수 있으며, 본 논문의 고장진단에 사용되게 된다.

3.2 고장 유무 판별

만약 입력신호가 정상상태 전동기의 전류라면, 평균필터를 통해 백색잡음의 많은 부분이 감소되고 정상상태의 전류를 빼었기 때문에 미약신호는 매우 작은 값을 가질 것이다. 그러나 반대로 입력된 신호가 고장을 가지는 경우 이약신호는 고장에 따른 특정한 패턴을 가지게 되며, 이러한 이유로 문턱 값을 설정하여 미약신호의 최대 최소 값 범위가 그 문턱 값 이하가 되면 해당 입력신호는 정상이라고 간주 할 수 있

다. 본 고장진단 방법은 이러한 특성을 이용하여 고장의 진단 이전에 고장의 유무를 먼저 판별하게 된다.

표 3.2는 각 고장에 따른 최대 최소 값 범위를 나타내고 있다. 표에서 알 수 있듯이 고장이 없는 즉 정상인 경우 다른 고장이 포함된 경우보다 훨씬 작은 값을 가짐을 알 수 있다. 이를 이용하여 본 연구에서 제안한 사양의 전동기에서는 0.2[A]를 문턱 값으로 이용하였다. 그러나 이러한 문턱 값은 전동기의 사양이 바뀌거나 전동기의 상태에 따라 달라질 수 있다.

표 3.2 각 고장별 미약신호의 최대최소 값 범위.

	*단위 [A]			
	전압 강하없음	전압 1%강하	전압 3%강하	전압 5%강하
회전자바 파손없음	0.000326	0.6053	0.7772	1.3968
회전자바 파손 1개	0.8985	0.7045	0.2588	0.5922
회전자바 파손 2개	1.2860	1.1250	0.7195	0.6951
회전자바 파손 3개	1.8144	1.7148	1.5676	1.1504

3.3 웨이블릿 분해와 템플릿 매칭을 이용한 고장진단

3.2절의 단계에서 입력신호가 고장을 가지게 되면 전처리된 입력신호인 미약신호는 고장의 특성을 가지게 된다. 이러한 미약신호가 가지는 특징정보를 더욱 부각시키기 위해서 본 연구에서는 웨이블릿 분해의 전처리 단계를 한번더 거치게 된다. 웨이블릿 분해는 필터의 개념이 들어간 분해방법으로 본 논문에서는 미약신호의 고장 특성을 강조하기 위해 'Haar' 웨이블릿을 이용하여 분해하였으며, 고주파 성분을 주로 가지는 첫 번째 detail 계수를 사용하여 고장진단을 하였다. 이러한 일련의 과정은 그림 3.3에 나타내었다.

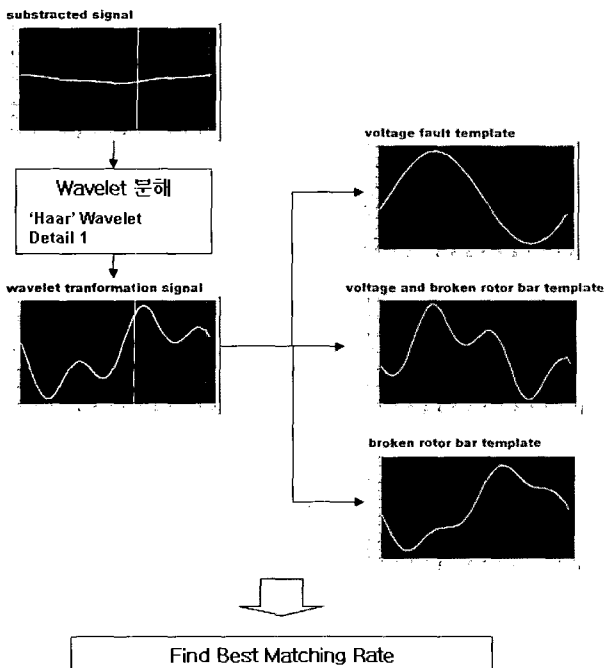


그림 3.3 웨이블릿 분해를 통한 템플릿 매칭.

여기서 사용되는 템플릿은 전압 불평형, 회전자바 파손, 그리고 두 고장의 복합의 경우 이렇게 세 가지를 준비하였다. 전압 불평형의 경우 1, 3, 5%세가지 경우 각각의 고장신호의 미약신호를 구하여 평균한 결과이며, 회전자바와 복합 고장 역시 모든 경우의 미약신호와 웨이블릿 분해를 한 후 평균을 낸 결과이다.

이렇게 준비된 각 고장의 템플릿과 웨이블릿 분해된 입력신호의 상관관계 계수를 각각 구하여 최고 높은 상관관계 계수를 가지는 템플릿의 고장을 입력신호를 발생시킨 전동기의 현재 고장 상태로 출력을 하게 된다.

4. 실험결과 및 고찰

4.1 전압 불평형 고장진단 결과

본 연구에서 전압 불평형의 경우 a상에 전압강하를 주었으며 1, 3, 5%의 전압을 낮추고 노이즈를 0~5%까지 포함하여 실험 하여 결과를 구하였다. 표 4.1은 실험을 위해 준비한 전류 신호를 나타내고 있다.

표 4.1 전압불평형 고장진단을 위한 입력신호와 진단결과.

SNR	전압 강하	횟수	템플릿 매칭을 이용한 진단율 (전압불평형 템플릿과 가장 높은 매칭율을 가진 경우)
0%	1%	5회	100% (15회/15회)
	3%	5회	
	5%	5회	
0.5%	1%	5회	100% (15회/15회)
	3%	5회	
	5%	5회	
1%	1%	5회	100% (15회/15회)
	3%	5회	
	5%	5회	
3%	1%	5회	100% (15회/15회)
	3%	5회	
	5%	5회	
5%	1%	5회	100% (15회/15회)
	3%	5회	
	5%	5회	

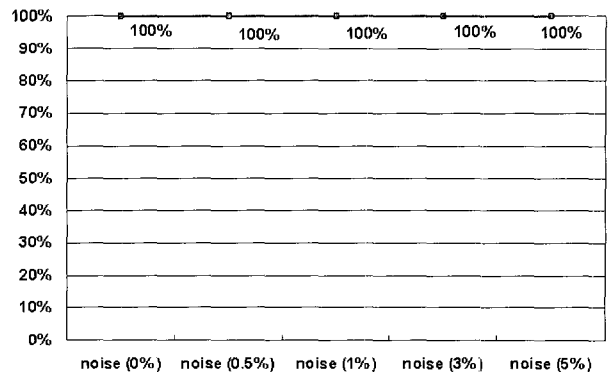


그림 4.1 전압불평형 고장 진단결과.

그림 4.1에서 알 수 있듯이 전압 불평형의 경우는 노이즈 크기와 전압강하 정도에 구분 없이 모두 진단 가능함을 알 수 있다.

4.2 회전자바 파손 고장진단 결과

회전자바 파손의 경우 연속된 회전자바 1~3개의 파손을 시뮬레이션 하여 입력신호를 생성하였다. 그리고 4.1결과 같이 노이즈를 0~5%까지 포함하여 실험 하여 결과를 구하였다. 표 4.2는 실험을 위해 준비한 전류 신호를 나타내고 있다.

표 4.2 회전자바 파손 고장진단을 위한 입력신호와 진단결과.

SNR	파손 개수	횟수	템플릿 매치를 이용한 진단율 (전압불평형 템플릿과 가장 높은 매칭율을 가진 경우)
0%	1개	5회	100% (15회/15회)
	2개	5회	
	3개	5회	
0.5%	1개	5회	100% (15회/15회)
	2개	5회	
	3개	5회	
1%	1개	5회	93.33% (14회/15회)
	2개	5회	
	3개	5회	
3%	1개	5회	80% (12회/15회)
	2개	5회	
	3개	5회	
5%	1개	5회	66.67% (10회/15회)
	3개	5회	
	5%	5회	

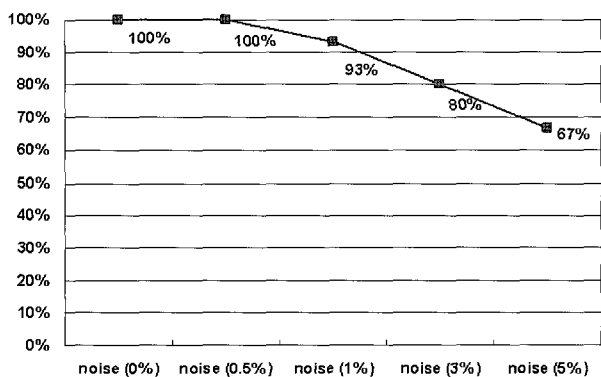


그림 4.2 회전자바 파손 고장 진단결과.

그림 4.2의 진단 결과를 보면, 노이즈가 0.5%를 넘어가면서 진단율이 떨어짐을 볼 수 있다. 이는 전압 불평형의 경우와는 상대적으로 회전자바 고장의 경우는 고장으로 인해 생기는 전류신호의 특성이 고주파 성분을 가지게 되어 고주파 성분을 가지는 노이즈와 섞이게 되어 노이즈 성분이 상대적으로 커지게 되면, 진단율이 떨어지게 되는 결과를 얻게되었다. 그러나 실제 전동기에서 전류를 계측할 경우 5%의 노이

즈가 흘러들어오는 경우는 거의 볼 수 없기 때문에 5%를 제외한 80%이상의 진단성능은 충분히 진단에 활용 할 수 있는 결과라고 생각할 수 있겠다.

4.3 복합고장을 가지는 전동기의 고장진단 결과

본 절에서는 전압불평형과 회전자바가 동시에 나타났을 경우를 시뮬레이션 하여 입력신호로 사용하였다. 앞의 두 절에 사용된 입력신호의 조합으로 경우의 수가 나오게되어 총 9가지의 고장의 정도별 경우가 생기게 된다. 이들 경우에 앞 절과 같은 노이즈를 섞어 진단을 위한 입력신호를 만들었으며 이들 입력신호는 다음 표 4.3과 같다.

표 4.3 복합고장 진단을 위한 입력신호와 진단결과.

SNR	파손 개수	전압 강하	횟수	템플릿 매치를 이용한 진단율 (전압불평형 템플릿과 가장 높은 매칭율을 가진 경우)		
0%	1개	1%	5회	62% (31회/50회)		
		3%	5회			
		5%	5회			
	2개	1%	5회			
		3%	5회			
		5%	5회			
		3개	1%		5회	
			3%		5회	
			5%		5회	
0.5%	1개	1%	5회	50% (25회/50회)		
		3%	5회			
		5%	5회			
	2개	1%	5회			
		3%	5회			
		5%	5회			
		3개	1%		5회	
			3%		5회	
			5%		5회	
	1%	1개	1%		5회	50% (25회/50회)
			3%		5회	
			5%		5회	
2개		1%	5회			
		3%	5회			
		5%	5회			
		3개	1%	5회		
			3%	5회		
			5%	5회		
3%		1개	1%	5회	48% (24회/50회)	
			3%	5회		
			5%	5회		
	2개	1%	5회			
		3%	5회			
		5%	5회			
		3개	1%	5회		
			3%	5회		
			5%	5회		
	5%	1개	1%	5회		46% (23회/50회)
			3%	5회		
			5%	5회		
3개		1%	5회			
		3%	5회			
		5%	5회			
		5%	1%	5회		
			3%	5회		
			5%	5회		

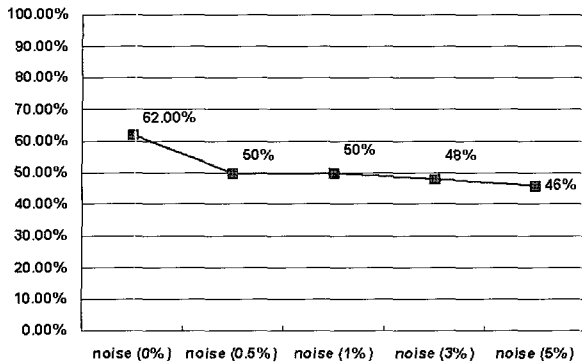


그림 4.3 복합고장 진단결과.

그림 4.3의 진단 결과를 보면 전체적으로 60%이하의 진단율을 보이고 있다. 복합고장의 경우 고장진단 결과 중 잘못된 진단결과는 대부분 전압 불평형의 경우로 오진되었다. 이는 상대적으로 전류신호에 나타난 회전자바의 고장특성이 전압 불평형의 고장 특성보다 작게 나타나는 결과로 볼 수 있다. 비록 다른 경우 보다 상대적으로 낮은 진단 결과를 보이지만, 다른 어플리케이션의 경우와는 다르게 고장진단은 우선 고장유무 판별 이후 관리자에게 고장의 종류에 대한 의사결정 지원의 성격이 높기 때문에 높은 정확성이 꼭 필요한건 아니라고 볼 수 있으며, 50~60%대의 진단결과도 충분히 진단을 위해 사용 할 수 있는 결과라고 볼 수 있다.

4. 결 론

본 연구에서는 농형유도전동기에 있어서 전압불평형 고장과 회전자바 고장이 동시에 발생한 경우를 모델링 한 후 시뮬레이션하여 고장데이터를 생성하고 생성된 데이터를 이용하여 전압불평형 고장과 회전자바 고장을 각각 진단하였으며 또한 두 고장이 동시에 발생한 경우를 고장진단 하였다. 각각의 고장 진단 뿐 만 아니라 두 고장이 동시에 발생한 경우도 제안된 고장 진단 방법이 유용함을 보여주고 있다.

참 고 문 헌

[1] B. Lina, B. S. Payne, A. D. Ball, S. D. Iwnicki, "Simulation fault detection of three-phase induction motors," *Mathematics and Computers in Simulation*, pp.1-15, 2002.

[2] 이상철, "Simulink를 이용한 유도전동기 모의실험," RIST 연구논문, 제12권 제4호, 1998.

[3] 최중우, "Matlab을 이용한 유도전동기 제어 시뮬레이션," *전력전자학회지*, 제9권 제4호, 2004.

[4] Mohamed 띠 Hachemi Benbouzid, "A review of Induction Motors Signature Analysis as a Medium for Faults Detection," *IEEE Transaction on Industrial Electronics*, Vol.47, No.5, October 2000.

[5] 이흥희, 이현영, "모델 기반 유도전동기 고장진단에 관한 연구," *전력전자기술대회 논문집*, pp.644~647, 2003.

[6] G.G.Acosta, C.J.Verucchi,E.R.Gelso, "A current monitoring system for diagnosing electrical failures in induction motors," *Mechanical Systems and Signal Processing*, Vol. 20, pp. 953-965, 2006.

[7] 정병훈, 신대철, "전류분석을 이용한 유도 전동기의 결합분석 알고리즘 개발," *한국소음진동공학회 논문집*, 제14권 제8호, pp. 675-683, 2004.

[8] 신현익, 이성환, 우천희, 강신준, 김학배, 우광방, "클러스터링 기법과 퍼지 Fault Tree를 이용한 유도전동기 고장 검출 및 진단에 관한 연구," *대한전자공학회 학술발표회 논문집*, pp. 173-176, 1997.

[9] 김종겸, 박영진, 정종호, 이은용, "불평형 전압 운전시 유도전동기의 동작특성 해석," *Trans. KIEE*, Vol. 53Bm, No 6, 2004.

[10] Alberto Bellini, Fiorenzo Filippetti, Giovanni Faranceschini, Carla Tassoni, "Quantitative Evaluation of Induction Motor Broken Bars By Means of Electrical Signature Analysis," *IEEE Transactions on Industry Application*, Vol. 37, No. 5, 2001.

저 자 소 개



김연태 (Yuntae Kim)

2003년 : 부산대학교 전자전기통신공학부 졸업

2005년 : 동대학원 전기공학과 졸업 (공학석사)

2005년~현재 : 동대학원 전기공학과 박사 과정

관심분야 : 신호처리, 영상처리, 고장진단, 지능제어
E-mail : dream0561@pusan.ac.kr



배현(Hyeon Bae)

2001년 : 부산대학교 전기공학과 졸업 (공학석사)

2005년 : 부산대학교 전기공학과 졸업 (공학박사)

관심분야 : 지능제어, 공정자동화, 데이터 마이닝
E-mail : baehyeon@pusan.ac.kr



박진수(Jinsu Park)

2004년 : 부경대학교 전기공학과 졸업
2005년~현재 : 부산대학교 대학원 전기공
학 과 석사과정

관심분야 : 지능제어, 공정자동화, 데이터 마이닝
E-mail : soblessed@dreamwiz.com



김성신(Sungshin Kim)

1986년 : 연세대학교 전기공학과 졸업
(공학석사)
1996년 : Georgia Institute of Technology,
전기공학과 졸업(공학박사)
1998년~현재 : 부산대학교 전기공학과
부교수

관심분야 : 지능 시스템, 데이터 마이닝
Phone : +82-51-510-2374
Fax : +82-51-513-0212
E-mail : sskim@pusan.ac.kr