



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2013년05월24일
(11) 등록번호 10-1267946
(24) 등록일자 2013년05월16일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

G01R 31/34 (2006.01)

(21) 출원번호 10-2011-0133516

(22) 출원일자 2011년12월13일

심사청구일자 2011년12월13일

(56) 선행기술조사문헌

JP09043105 A

JP10274558 A

JP2009109350 A

KR100969243 B1

(73) 특허권자

한국디지털콘트롤 주식회사

경기도 안양시 만안구 전파로 30, 801호 802호 (안양동, 유천팩토피아)

(72) 발명자

이용해

경기도 안양시 동안구 평촌동 932-6 꿈마을아파트 102-101

이재열

경기도 수원시 권선구 동수원로224번길 28, 에스띠보보 513호 (권선동)

(74) 대리인

홍성철

전체 청구항 수 : 총 2 항

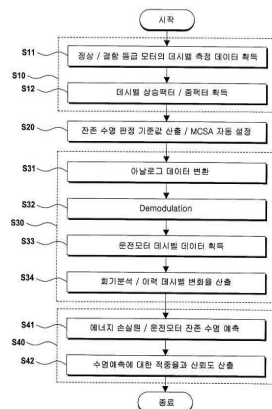
심사관 : 박근용

(54) 발명의 명칭 모터 수명예측방법

(57) 요약

본 발명은 모터의 수명을 예측하는 방법에 관한 것으로, 모터의 결함을 나타내는 결함주파수 라인별로 정상등급 모터의 데시벨 측정 데이터 및 결함등급 모터의 데시벨 측정 데이터를 획득하는 단계와, 상기 정상등급 모터의 데시벨 측정 데이터와 결함등급 모터의 데시벨 측정 데이터를 전달함수로 매핑하여 데시벨 상승팩터 및 줌팩터를 획득하는 단계와, 상기 데시벨 상승팩터 및 줌팩터를 운전 모터의 데시벨 데이터에 적용하는 매핑에 의해 운전 모터의 열화판정기준 설정치를 산출하여 모터전류신호분석시스템에 자동으로 설정하는 열화판정기준 설정단계와; 설정된 기간 이내에 적어도 2회 이상 측정되어 기록된 운전 모터 데시벨 데이터를 회기 분석하여 운전 모터의 이력 데시벨 변화율을 산출하고, 상기 운전 모터 데시벨 데이터와 상기 이력 데시벨 변화율 및 상기 열화판정기준 설정단계에서 산출된 열화판정기준 설정치로부터 운전 모터의 운전가능기간을 추정하는 운전모터 수명예측단계; 로 이루어지는 모터 수명예측방법이 제공된다.

대표도 - 도1



특허청구의 범위

청구항 1

회전 설비구성품의 결함을 나타내는 결함주파수 라인별로 정상등급 회전 설비구성품의 데시벨 측정 데이터 및 결함등급 회전 설비구성품의 데시벨 측정 데이터를 획득하는 단계와, 상기 정상등급 회전 설비구성품의 데시벨 측정 데이터와 결함등급 회전 설비구성품의 데시벨 측정 데이터를 전달함수로 매핑하여 데시벨 상승팩터 및 줌팩터를 획득하는 단계로 이루어지는 표준모델링단계와; 상기 데시벨 상승팩터 및 줌팩터를 회전 설비구성품 부하모델의 데시벨 데이터에 적용하는 매핑에 의해 회전 설비구성품의 잔존수명 판정기준값을 산출하여 모터전류 신호분석시스템에 자동으로 설정하는 부하모델링단계와; 회전 설비구성품의 전압 또는 전류신호를 분석가능한 범위의 아날로그 데이터로 변환하는 단계와, 전원주파수의 고조파 성분에 의해 변조된 주파수 성분들을 제거하는 신호복조 단계와, 주파수 변환을 수행하여 주파수 스펙트럼을 생성하여 회전 설비구성품 데시벨 데이터를 획득하는 단계와, 설정된 기간 이내에 적어도 3회 이상 측정되어 기록된 회전 설비구성품 데시벨 데이터를 회기 분석하여 회전 설비구성품의 이력 데시벨 변화율을 산출하는 단계로 이루어지는 개별모델링단계; 및 상기 회전 설비구성품 데시벨 데이터와 상기 이력 데시벨 변화율 및 상기 부하모델링단계에서 산출된 잔존수명 판정기준값으로부터 회전 설비구성품의 잔존수명을 예측하는 잔존수명예측단계; 로 이루어지는 것을 특징으로 하는 전동기 및 발전기의 구성품과 전동기에 연동된 부하기계 내의 회전하는 기기의 구성품의 수명 예측방법.

청구항 2

청구항 1에 있어서, 상기 잔존수명예측단계는 과거에 예측되었던 현재시점의 잔존수명과 현재시점에서 예측된 잔존수명을 비교하여 잔존수명 예측에 대한 적중율과 신뢰도를 산출하는 단계를 더 포함하여 이루어지는 것을 특징으로 하는 전동기 및 발전기의 구성품과 전동기에 연동된 부하기계 내의 회전하는 기기의 구성품의 수명 예측방법.

명세서

기술분야

[0001] 본 발명은 모터 수명예측방법에 관한 것으로, 특히 운전 모터 데시벨 데이터와 이를 회기 분석함으로써 산출되는 이력 데시벨 변화율 및 모터전류신호분석시스템에 설정되는 열화판정기준 설정치로부터 운전모터의 운전가능 시간을 추정하는 방법에 의해 수행되어 모터의 잔여수명을 정확하게 예측 가능하도록 개선된 모터 수명예측방법에 관한 것이다.

배경기술

[0002] 모터는 각종 공정설비를 구동하기 위한 핵심 부품에 해당하며, 모터의 결함은 공정설비의 중단으로 이어지게 되므로, 모터의 결함진단 및 잔여수명 예측은 매우 중요한 과제이다. 기존의 모터진단 시스템은 크게 두 가지 기법에 의해 모터의 결함 상태 및 잔여수명을 분석하고 있는데, 자속측정 기법과 모터전류신호분석 기법이 이에 해당한다. 자속측정 기법(Flux Measurement)은 모터의 고정자 권선에 3상 전압을 인가하여 형성되는 자계로 인한 자속에 의해 회전자자 슬롯(Slot)에 2차 유도전류가 흐르게 됨으로서 회전자자 회전을 하는 점을 이용한 분석기법에 해당하나, 자속을 측정하는 별도의 장치를 각 모터에 연결하여야 하는 문제를 안고 있다. 이에 반해 모터전류신호분석(MCSA; Motor Current Signature Analysis) 기법은 회전자자의 이상 결함, 즉, 로터바(Rotor Bar)의 파손이나 엔드링의 단절, 다이캐스팅(Diecasting) 결함 및 전류의 위상(Phase) 불량 등의 검출에 적용되는 분석법으로, 특히, 회전자자의 이상상태를 진단하는 기법중 가장 진보한 기술에 해당한다.

[0003] 이와 같은 모터전류신호분석에 의해 모터를 진단하고 수명을 예측함에 있어서도 모터의 고정자, 회전자, 베어링 등 각 구성품의 주파수 특성을 고려하여 수행하여야 함은 물론이며, 특히 섬유, 유체, 공작, 압연, 제지 등 다양한 산업 분류에 적용되는 모터의 부하기계측의 모델에 따라 동작이 달라지는 특성을 반영하는 것이 중요한 과제이다. 뿐만 아니라 정상상태의 모터와 결함이 발생된 모터간의 관계를 연결시키는 매핑을 수행하여 이를 적용함으로써 모터의 결함 정도를 진단하고 모터의 잔여수명을 정확하게 예측하여야 할 필요성이 있으나, 종래에는 이에 대한 대비가 부족한 실정이었다.

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0004] 본 발명은 상술한 바와 같은 종래 기술의 제반 문제점을 해소하고자 안출된 것으로, 모터전류신호분석시스템에 잔존수명 판정기준값을 자동으로 설정하여 회전 설비구성품 잔여 수명 판단에 대한 객관적 기준을 설정하고, 회전 설비구성품 데시벨 데이터와 이를 회기 분석하여 산출되는 이력 데시벨 변화율 및 자동 설정된 잔존수명 판정기준값으로부터 회전 설비구성품의 에너지 손실원인을 객관적으로 분석하고 잔여 수명을 정확하게 예측함으로써 회전 설비구성품의 이상이나 열화에 대한 계획 정비로 돌발사고를 억제하고 정비시간의 감소로 생산 기회를 극대화할 수 있도록 개선된 전동기 및 발전기의 구성품과 전동기에 연동된 부하기계 내의 회전하는 기기 구성품의 수명 예측방법을 제공하는 것을 목적으로 하는 것이다.

과제의 해결 수단

- [0005] 상기 과제를 해결하기 위한 본 발명의 전동기 및 발전기의 구성품과 전동기에 연동된 부하기계 내의 회전하는 기기의 구성품의 수명 예측방법은 회전 설비구성품의 결함을 나타내는 결함주파수 라인별로 정상등급 회전 설비구성품의 데시벨 측정 데이터 및 결함등급 회전 설비구성품의 데시벨 측정 데이터를 획득하는 단계와, 상기 정상등급 회전 설비구성품의 데시벨 측정 데이터와 결함등급 회전 설비구성품의 데시벨 측정 데이터를 전달함수로 매핑하여 데시벨 상승팩터 및 줍팩터를 획득하는 단계로 이루어지는 표준모델링단계와; 상기 데시벨 상승팩터 및 줍팩터를 회전 설비구성품 부하모델의 데시벨 데이터에 적용하는 매핑에 의해 회전 설비구성품의 잔존수명 판정기준값을 산출하여 모터전류신호분석시스템에 자동으로 설정하는 부하모델링단계와; 회전 설비구성품의 전압 또는 전류신호를 분석가능한 범위의 아날로그 데이터로 변환하는 단계와, 전원주파수의 고조파 성분에 의해 변조된 주파수 성분들을 제거하는 신호복조 단계와, 주파수 변환을 수행하여 주파수 스펙트럼을 생성하여 회전 설비구성품 데시벨 데이터를 획득하는 단계와, 설정된 기간 이내에 적어도 3회 이상 측정되어 기록된 회전 설비구성품 데시벨 데이터를 회기 분석하여 회전 설비구성품의 이력 데시벨 변화율을 산출하는 단계로 이루어지는 개별모델링단계; 및 상기 회전 설비구성품 데시벨 데이터와 상기 이력 데시벨 변화율 및 상기 부하모델링단계에서 산출된 잔존수명 판정기준값으로부터 회전 설비구성품의 잔존수명을 예측하는 잔존수명예측단계;로 이루어지는 것을 특징으로 한다. 상기 잔존수명예측단계는 과거에 예측되었던 현재시점의 잔존수명과 현재시점에서 예측된 잔존수명을 비교하여 잔존수명 예측에 대한 적중율과 신뢰도를 산출하는 단계를 더 포함하여 이루어지는 것이 바람직하다.

발명의 효과

- [0006] 본 발명의 전동기 및 발전기의 구성품과 전동기에 연동된 부하기계 내의 회전하는 기기의 구성품 수명예측방법에 따르면, 결함시험을 통한 표준모델링과 전달함수 유도를 통한 부하모델링으로 회전 설비구성품의 잔존수명 판정기준값을 자동으로 설정하여 회전 설비구성품 잔존수명 예측에 대한 객관적인 판정기준을 마련하고, 기여율을 갖는 회전 설비구성품 징후라인의 이력 데시벨 변화율을 산출하는 개별모델링을 수행하므로 회전 설비구성품의 에너지 손실원인을 객관적으로 분석하고 잔존수명을 정확하게 예측할 수 있다. 따라서 회전 설비구성품 잔존수명의 객관적 데이터로부터 계획정비를 수행함으로써 돌발사고를 억제하고 정비시간을 줄여 생산 기회를 최대화할 수 있다.

도면의 간단한 설명

- [0007] 도 1은 본 발명에 따른 전동기 및 발전기의 구성품과 전동기에 연동된 부하기계 내의 회전하는 기기의 구성품 수명예측방법의 순서도(Flow Chart).

도 2는 결함 주파수 라인에 대한 정상등급 모터 및 결함등급 모터에 대한 데시벨 측정 결과를 나타낸 그래프.

도 3은 본 발명에 따른 수명예측방법을 구성하는 표준모델링과 부하모델링단계를 설명하기 위한 도면.

도 4는 본 발명에 따른 전동기 및 발전기의 구성품과 전동기에 연동된 부하기계 내의 회전하는 기기의 구성품 수명예측방법을 설명하기 위한 개략도.

도 5a는 운전 모터의 데시벨 데이터의 변화를 나타낸 도면.

도 5b는 본 발명에 따른 전동기 및 발전기의 구성품과 전동기에 연동된 부하기계 내의 회전하는 기기의 구성품

수명 예측방법에 의해 모터 등의 잔여수명을 예측한 결과를 나타낸 도면.

도 6은 모터전류신호분석(MCSA) 기법에 의해 정의된 수식을 나타낸 도면.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0008] 이하, 첨부된 도면을 참조하여 본 발명의 전동기 및 발전기의 구성품과 전동기에 연동된 부하기계 내의 회전하는 기기 구성품의 수명 예측방법을 상세히 설명한다.
- [0009] 도 1은 본 발명에 따른 전동기 및 발전기의 구성품과 전동기에 연동된 부하기계 내의 회전하는 기기 구성품의 수명 예측방법의 순서도(Flow Chart)이다.
- [0010] 도 1을 참조하면, 본 발명의 전동기 및 발전기의 구성품과 전동기에 연동된 부하기계 내의 회전하는 기기 구성품의 수명 예측방법은 표준모델링단계(S10)와, 부하모델링단계(S20)와, 개별모델링단계(S30) 및 잔존수명 예측단계(S40)로 이루어진다.
- [0011] 이하에서는 회전 설비구성품으로서 모터의 잔존수명을 예측하는 것을 일 실시예로 하여 본 발명의 수명 예측방법을 설명한다.
- [0012] 우선, 표준모델링단계(S10)를 설명하면, 고정자 적층단락, 회전자 로터바, 축정렬 불평형이나 편심, 베어링 결함과 같은 모터의 부위별 결함을 나타내는 결함주파수 라인별로 정상등급 모터의 데시벨 측정 데이터 및 결함등급 모터의 데시벨 측정 데이터를 획득하는 단계(S11)를 수행한다.
- [0013] 결함주파수 라인은 모터의 각 부위별 결함의 정도에 따라 변화되어지는 특정 주파수 라인으로서, 결함주파수 라인 도출을 위해서는 우선 모터의 회전속도를 알아야 한다. 모터의 회전속도는 가속도 센서 또는 회전속도 센서를 이용하여 측정할 수도 있으나, 가속도 센서와 회전속도 센서를 이용하지 않고 모터전류신호분석(MCSA; Motor Current Signal Analysis)을 이용하여 모터 전류신호의 주파수 변환(FFT; Fourier Frequency Transform)을 수행하고, 주파수 변환에 의해 얻어진 주파수 스펙트럼 라인을 분석하는 기법에 의해 정밀하게 계측함이 보다 바람직하다.
- [0014] 모터의 회전속도가 검출되면, 검출된 모터의 회전속도와 모터전류신호분석(MCSA) 기법에 의해 정의된 수식으로 부터 모터의 각 부위별 결함 주파수 라인을 설정할 수 있다.
- [0015] 도 6은 모터전류신호분석(MCSA) 기법에 의해 정의된 수식을 나타낸 도면으로, 도 6에 나타난 모터의 각 부위별 결함 주파수 라인을 판단하는 24가지 수식을 통해 고정자와, 회전자, 샤프트, 또는 베어링과 같은 모터 구성품의 결함 주파수 라인을 구별할 수 있다. 이때, 모터전류신호분석(MCSA) 기법에 의해 정의된 수식은 미항공 우주국(NASA; National Aeronautics and Space Administration)의 기준에 따라 정하여진 것을 사용하는 것이 바람직하다.
- [0016] 이와 같이 결함주파수 라인을 설정한 상태에서, 정상상태인 정상등급 모터와 인위적 결함을 발생시킨 결함등급 모터를 이용하여, 결함을 나타내는 각 결함주파수 라인별로 정상등급 모터와 결함등급 모터의 데시벨을 측정하는 데이터를 획득한다(S11). 이때, 모터의 부위별로 모터의 상태를 몇 개의 등급으로 구분하고, 각 등급으로 구분된 모터의 데시벨을 측정하는 데이터를 획득하는 것이 바람직하다. 일 예로, 모터의 등급을 결함정도에 따라 정상등급인 A와, 결함등급인 B(12개월 이내에 조치필요), C(6개월 이내 조치필요), D(즉시 조치필요)의 총 네 등급으로 구분할 수 있으며, 이때, 모터의 조임 정도를 조정하는 등의 방법으로 각 부위별로 차등화하여 모터에 임의적 결함을 넣음으로서 여러 결함등급의 모터를 얻을 수 있다. 상기 모터의 부위별이라 함은 모터를 구성하는 각 구성품 및 모터와 연계되어 회전되는 회전체를 포함하며, 고정자(선간 절연, 권선간 절연, 권선 비대칭 점검)와 회전자(로터바 손상, 정적 편심, 동적 편심, 에어갭 불량 점검), 샤프트(축정렬, 밸런스 점검), 베어링(외륜, 내륜, 볼) 등이 이에 해당할 수 있다. 그러나 반드시 이에 한정되는 것은 아니며, 열거되지 않은 모터의 각 부위별 구성품을 포함한다.
- [0017] 도 2는 결함 주파수 라인에 대한 정상등급 모터 및 결함등급 모터에 대한 데시벨 측정 결과를 나타낸 그래프이다. 도 2에 도시된 바와 같이, 결함 주파수 177.5Hz에 대한 정상등급(A)의 모터 데시벨은 0.17~0.24(db)의 분포를 보이나, 결함등급(B,C,D)의 모터 데시벨은 각각 B등급 0.31~0.40(db), C등급 0.41~0.48(db), D등급 0.48~0.53(db)의 분포를 보이며, 결함의 정도가 커질수록 모터의 데시벨도 높아짐을 알 수 있다.
- [0018] 이와 같이 결함주파수 라인별로 회전 설비구성품 데시벨 측정 데이터를 획득하는 단계(S11)를 수행한 다음,
- [0019] 상기 정상등급 모터의 데시벨 측정 데이터와 결함등급 모터의 데시벨 측정 데이터를 전달함수로 매핑하여 데시

벨 상승팩터 및 줍팩터를 획득하는 단계(S12)를 수행한다. 이는 부하모델링단계(S20)에서 해당 모터의 표준모델과 부하모델의 관계를 전달함수로 매핑하여 운전모터의 잔존수명 예측에 대한 객관적 기준으로 적용되는 잔존수명 판정기준값을 정확하게 설정하기 위한 사전단계이다.

[0020] 앞서 설명한 바와 같이, 결합상태의 모터는 정상 모터에 비해 결합의 정도에 따라 데시벨(decibel)이 상승하게 되는데, 정상모터의 데시벨값과 결합모터의 상승된 데시벨값의 변화된 정도를 데시벨 상승팩터로 나타낼 수 있다. 또한 정상상태의 모터의 데시벨 편차와 비정상적인 결합상태의 모터의 데시벨 편차 역시 서로 다르게 나타나는데, 이와 같은 정상모터의 데시벨 편차와 결합모터의 데시벨 편차의 변화는 줍팩터로 나타낼 수 있게 된다.

[0021] 도 3은 본 발명에 따른 수명예측방법을 구성하는 표준모델링과 부하모델링단계를 설명하기 위한 도면이다. 도 3을 참조하여 보다 상세하게 설명하면, 우선, 정상/결합등급 모터의 데시벨 측정 데이터 획득단계(S11)에서 모터 등급별로 획득된 데시벨 측정 데이터의 평균과 표준편차를 구해서 모평균을 추정한다.

[0022] 데시벨 측정 데이터로부터 매핑팩터를 산출하는 과정을 설명하기 위해, 모터 등급을 A(정상),B(12개월내 조치필요),C(6개월내 조치필요),D(즉시 조치필요)의 총 네 등급으로 구분하였을 경우를 예로 들면, 먼저, 정상등급(A) 모터와 결합등급(B,C,D) 모터에 대하여 하기 수식1에 따라 하이데시벨값(HIGH VALUE)과 로우데시벨값(LOW VALUE)을 산출한다.

[0023] [수식1]

[0024] A등급 모터: $N_H(\text{HIGH VALUE}) = X_N + 2.58 * \sigma_N / \sqrt{n_N}$, $N_L(\text{LOW VALUE}) = X_N - 2.58 * \sigma_N / \sqrt{n_N}$ (X_N : A등급 모터 평균데시벨, σ_N : A등급 모터 표준편차, n_N : A등급 모터 표본수) (99% 신뢰도 추정)

[0025] B등급 모터: $B_H(\text{HIGH VALUE}) = X_B + 2.58 * \sigma_B / \sqrt{n_B}$, $B_L(\text{LOW VALUE}) = X_B - 2.58 * \sigma_B / \sqrt{n_B}$ (X_B : B등급 모터 평균데시벨, σ_B : B등급 모터 표준편차, n_B : B등급 모터 표본수) (99% 신뢰도 추정)

[0026] C등급 모터: $C_H(\text{HIGH VALUE}) = X_C + 2.58 * \sigma_C / \sqrt{n_C}$, $C_L(\text{LOW VALUE}) = X_C - 2.58 * \sigma_C / \sqrt{n_C}$ (X_C : C등급 모터 평균데시벨, σ_C : C등급 모터 표준편차, n_C : C등급 모터 표본수) (99% 신뢰도 추정)

[0027] D등급 모터: $D_H(\text{HIGH VALUE}) = X_D + 2.58 * \sigma_D / \sqrt{n_D}$, $D_L(\text{LOW VALUE}) = X_D - 2.58 * \sigma_D / \sqrt{n_D}$ (X_D : D등급 모터 평균데시벨, σ_D : D등급 모터 표준편차, n_D : D등급 모터 표본수) (99% 신뢰도 추정)

[0028] 또한, A등급 모터의 데시벨 데이터(P)로부터 A등급 모터의 셋포인트(SET POINT)를 산출하며, B,C,D등급 모터의 데시벨 데이터(Q)로부터 각 결합등급(B,C,D) 모터의 데드존(DEADZONE)을 수식2와 같이 산출한다. 이때, 데드존(DEADZONE)은 설정된 오프셋(Offset)을 기준으로 한 결합등급(B,C,D) 모터의 데시벨을 의미한다.

[0029] 이와 함께, 정상등급 모터의 데시벨 데이터(P)와 결합등급 모터의 데시벨 데이터(Q)간의 전달함수를 적용하여 줍팩터(ZOOM FACTOR)와 데시벨 상승팩터(DB FACTOR)를 산출한다.

[0030] [수식2]

[0031] A등급 모터: $N_{SP}(\text{SET POINT}) = \text{Med}(x)$

[0032] B등급 모터: $B_{DZ}(\text{DEADZONE}) = B_L + (B_H - B_L)/2$, $B_{ZM}(\text{ZOOM FACTOR}) = (B_H - B_L)/(N_H - N_L)$, $B_{DB}(\text{DB FACTOR}) = B_{DZ}/N_{SP}$

[0033] C등급 모터: $C_{DZ}(\text{DEADZONE}) = C_L + (C_H - C_L)/2$, $C_{ZM}(\text{ZOOM FACTOR}) = (C_H - C_L)/(N_H - N_L)$, $C_{DB}(\text{DB FACTOR}) = C_{DZ}/N_{SP}$

[0034] D등급 모터: $D_{DZ}(\text{DEADZONE}) = D_L + (D_H - D_L)/2$, $D_{ZM}(\text{ZOOM FACTOR}) = (D_H - D_L)/(N_H - N_L)$, $D_{DB}(\text{DB FACTOR}) = D_{DZ}/N_{SP}$

[0035] 여기서, A등급 모터의 셋포인트(SET POINT)를 메디안(Median) 값으로 산출하는 것은 정상모터의 주파수 라인 데시벨값의 정확도를 떨어뜨리는 오차 범위외의 데이터를 제외함으로서 정상모터의 셋포인트를 정확하게 설정하기 위함이다.

[0036] 이와 같이, 정상등급의 모터와 인위적 결합을 발생시킨 결합등급의 모터의 각각의 결합 주파수 라인에 대한 데시벨 분포로부터 매핑팩터(데시벨상승팩터, 줍팩터)를 산출할 수 있다(S12).

[0037] 정상등급 모터와 결합등급 모터의 데시벨 측정 데이터를 전달함수로 매핑하여 줍팩터(ZOOM FACTOR) 및 데시벨상승팩터(DB FACTOR)를 획득하는 단계(S12)를 수행한후,

- [0038] 상기 데시벨 상승팩터 및 줍팩터를 운전 모터의 데시벨 데이터(R)에 적용하는 매핑에 의해 운전 모터의 잔존수명 판정기준값을 산출하여 모터전류신호분석시스템에 자동으로 설정하는 부하모델링단계(S20)를 수행한다.
- [0039] 이를 위해, 운전 모터의 데시벨 데이터(R)로부터 아래의 수식3에 따라 운전 모터 부하모델의 하이데시벨값(HIGH VALUE)과, 로우데시벨값(LOW VALUE) 및 셋포인트(SET POINT)를 산출한다.
- [0040] [수식3]
- [0041] $R_H(\text{HIGH VALUE}) = \text{Max}(x_i) = X_R + 2.58 * \sigma_R / \sqrt{n_R}$,
- [0042] $R_L(\text{LOW VALUE}) = \text{Min}(x_i) = X_R - 2.58 * \sigma_R / \sqrt{n_R}$,
- [0043] $R_{SP}(\text{SET POINT}) = R_L + (R_H - R_L)/2$
- [0044] (X_R : 운전모터 평균데시벨, σ_R : 운전모터 표준편차, n_R : 운전모터 표본수) (99% 신뢰도 추정)
- [0045] 도 3을 참조하여 설명하면, 운전 모터의 등급간 경계값 설정을 위해 운전 모터의 데시벨 데이터(R)에 데시벨 상승팩터 및 줍팩터를 적용하는 매핑을 수행하여 각 결합등급(B,C,D)의 예측 데시벨 데이터(S)로 변환하며, 각 결합등급(B,C,D)의 예측 데시벨 데이터(S)로부터 운전 모터의 각 결합등급간 데시벨인 A-B등급간 경계값(rB), B-C등급간 경계값(rC), C-D등급간 경계값(rD)을 다음과 같은 수식4에 따라 산출한다.
- [0046] [수식4]
- [0047] A-B등급간 경계값: $rB = rB_{DZ} - (R_{SP} - R_L) * B_{ZM}$, $rB_{DZ} = R_{SP} * B_{DB}$
- [0048] B-C등급간 경계값: $rC = rC_{DZ} - (R_{SP} - R_L) * C_{ZM}$, $rC_{DZ} = R_{SP} * C_{DB}$,
- [0049] C-D등급간 경계값: $rD = rD_{DZ} - (R_{SP} - R_L) * D_{ZM}$, $rD_{DZ} = R_{SP} * D_{DB}$,
- [0050] rB_{DZ} , rC_{DZ} , rD_{DZ} 는 각각 운전 모터의 셋포인트(R_{SP})에 B,C,D등급 데시벨 상승팩터(B_{DB}, C_{DB}, D_{DB})를 적용하는 매핑에 의해 산출된 운전 모터의 B,C,D등급 예측 데시벨 셋포인트이다.
- [0051] rB , rC , rD 는 각각 A-B등급간 경계값, B-C등급간 경계값, C-D등급간 경계값으로, 이는 상기 B,C,D등급 예측 데시벨 셋포인트를 기준으로 B,C,D등급 줍팩터를 적용함으로써 산출된다.
- [0052] 즉, 각 등급별 예측 데시벨 편차는 운전 모터의 편차($R_{SP}-R_L$)에 B,C,D등급 줍팩터(B_{ZM}, C_{ZM}, D_{ZM})를 적용하는 매핑을 수행하여 산출하며, 각 등급간 경계값은 상기 B,C,D등급 예측 데시벨 셋포인트(rB_{DZ} , rC_{DZ} , rD_{DZ})에서 상기 각 등급별 예측 데시벨 편차를 빼는 과정에 의해 산출한다.
- [0053] 이와 같이 설정된 각 등급간 경계값을 산출함으로써 잔존수명 판정기준값을 산출하고, 산출된 잔존수명 판정기준값은 모터전류신호분석(MCSA) 시스템에 입력하여 판정모델을 자동으로 설정한다.
- [0054] 상기한 바와 같이 운전 모터 등의 잔여수명을 예측하기 위해 표준모델링단계(S10)와 부하모델링단계(S20)를 수행하여 모터의 모델(섬유/유체/공작/압연/제지), 운전부하모드(고위/중위/저위), 부하물질(공기/수소), 동력전달방식(직결/벨트/기어비율) 등에 따라 구분되는 다수의 개별 부하모델과 표준모델의 관계를 매핑할 수 있으며, 이로부터 판정모델(H)을 설정할 수 있게 된다.
- [0055] 다음으로, 개별모델링단계(S30)를 수행하여 운전 모터의 현재 상태 및 변화추세를 분석할 필요성이 있다. 개별모델링단계(S30)에서는 모터의 에너지 손실에 대한 원인과 잔여 수명 예측에 앞서 운전 모터의 데시벨 데이터를 획득하며, 설정된 기간 이내에 적어도 3회 이상 측정되어 기록된 운전 모터 데이터를 회기 분석하여 운전 모터의 이력 데시벨의 변화율을 산출하게 된다.
- [0056] 이를 위하여, 운전 모터의 전압 또는 전류신호를 분석가능한 범위의 아날로그 데이터로 변환하는 단계(S31)를 수행한다. 일례로, 전력 공급장치로부터 3상 동력리드선을 통해 분석대상인 전동기의 구성품이나 전동기에 연동된 부하기계 내의 회전하는 기기의 구성품 또는 발전기의 구성품(모터 등)으로 동력이 공급되는 경우, 3상 동력리드선(미도시)에 일반적으로 알려져 있는 변압기(Voltage Trasformer)나 변류기(Current Trasformer)를 설치하고, 이를 통해 모터 등의 아날로그 전압 또는 전류신호로 변환하도록 하며, 이어서 저역통과필터를 통해 상기 아날로그 전압 또는 전류신호의 고주파 신호를 제거함으로써 에일리어싱(Aliasing) 현상으로 인한 신호 왜곡을

방지하도록 한다(Anti-Aliasing).

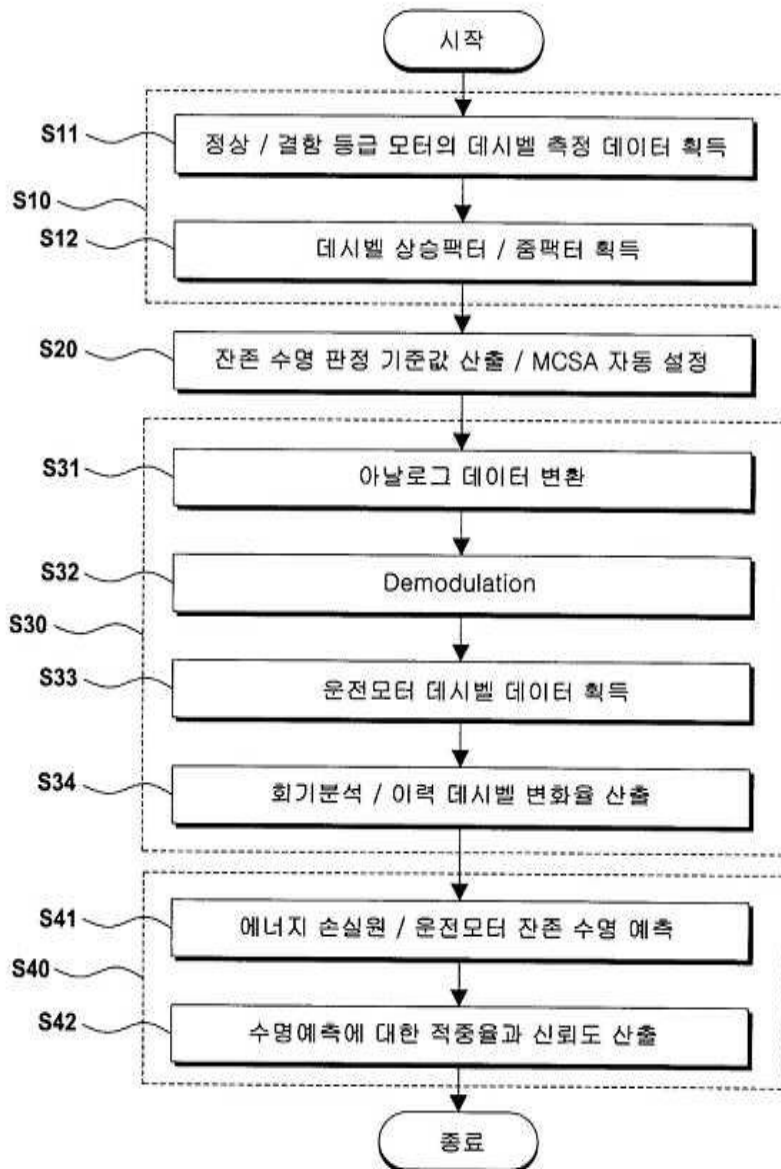
- [0057] 다음으로, DSA(Dynamic Signature Analysis)를 통해 모터의 전압 또는 전류신호를 분석하기에 앞서, 모터의 아날로그 전압 또는 전류신호를 A/D컨버터(Analog to Digital Converter)를 통해 컴퓨터로 분석가능한 디지털 신호로 변환시킴이 바람직하다.
- [0058] DSA를 통한 신호 분석시에는 우선, 도시되지 않은 제어부(Controller)의 제어명령에 따라 윈도우(Windowing) 작업을 수행한후, 정확한 주파수 변환이 수행될 수 있도록 신호복조(Demodulation) 단계(S32)를 수행하여 전원주파수의 고조파 성분에 의해 변조된 주파수 성분들을 제거하도록 한다. 이때, 노치 필터(Notch Filter)를 이용하여 특정 변조주파수를 제거함으로써 상기 신호복조(Demodulation) 단계를 수행할 수 있다.
- [0059] 이와 같이 신호를 복조한후, 주파수 변환(FFT; Fourier Frequency Transform)을 수행하여 주파수 스펙트럼을 생성하는 단계(S33)를 수행하며,
- [0060] 주파수 스펙트럼으로부터 결합주파수 라인별 모터 데시벨의 변화를 회기 분석함으로써 이력 데시벨 변화를 산출(S34)할 수 있게 된다.
- [0061] MCSA 수식을 통한 징후라인은 전류 징후라인(Current Signature Line)과 토크 징후라인(Torque Signature Line)으로 구별되어지는데, 전류 징후라인은 변조 전류 징후라인(Modulated Current Signature Line)과 복조 전류 징후라인(Demodulated Current Signature Line)으로 구분되고, 토크 징후라인은 복조 토크 징후라인(Demodulated Current Signature Line)으로 이루어진다.
- [0062] 즉, 변조 전류 스펙트럼(Modulated Current Spectrum)이나 복조 전류 스펙트럼(Demodulated Current Spectrum), 혹은 복조 토크 스펙트럼(Demodulated Torque Spectrum)과 같은 주파수 스펙트럼들은 24가지의 MCSA 수식을 통하여 각 구성품들의 특성을 나타내는 징후라인들로 별도로 구분되어질 수 있다.
- [0063] 축이나, 모터, 혹은 베어링 등에서 많은 징후라인들이 수식에 의해 나타나지만 실제로 영향을 미치는 비율에 따른 기여율을 산출할 수 있다. 즉, MCSA 수식으로 나열되는 모든 징후라인들이 회전 설비구성품의 수명 예측에 영향을 미치는 것은 아니므로 기여율(Contribution Rate)을 대입하여 회전 설비구성품의 징후라인들을 추출함이 바람직하다.
- [0064] 모터의 결함은 고정자(Stator), 회전자(Rotor), 축정렬(Alignment), 베어링(Bearing), 편심(Eccentricity)과 같이 MCSA에 의해 수식화 되는 결함과 토오크 분석에 의한 부하단으로 구분되어 진단한 부위와 결함 설정에 대한 세부 판정, 초과율, 계측값, 경계값, 결함원인을 보고하며 계측시의 전원 환경인 주파수(Frequency), 왜곡율(THD%), 전류(RMS), 위상각(Phase), 노이즈(Distortion+Noise), RMS값의 신호와 RMS값의 노이즈비인 시나드(SINAD; Signal to Noise And Distortion rate)가 함께 제공될 수 있다.
- [0065] 도 5a는 운전 모터의 데시벨 데이터의 변화를 나타낸 도면으로, 운전 모터의 데시벨은 시간이 경과함에 따라 증가되는 변화추세를 보이며, 이를 회기분석함으로써 운전 모터의 이력 데시벨 변화율을 산출할 수 있다.
- [0066] 다음으로, 상기 운전 모터 데시벨 데이터와 상기 이력 데시벨 변화율 및 상기 부하모델링단계에서 산출된 잔존수명 판정기준값으로부터 운전 모터의 운전가능기간을 추정하는 잔존수명 예측단계(S40)를 수행한다.
- [0067] 도 5b는 본 발명에 따른 전동기 및 발전기의 구성품과 전동기에 연동된 부하기계 내의 회전하는 기기의 구성품 수명 예측방법에 의해 모터의 잔여 수명을 예측한 결과를 나타낸 도면으로서, 도 2에 도시한 바와 같은 각 등급별 모터의 데시벨 데이터들로부터 표준모델링과 부하모델링을 설정하고, 최종적으로 실제 운전모터를 개별 모델링하여 잔존 수명을 예측한 결과를 나타낸 것이다. 도 5b의 도시와 같이, 결합주파수 라인에 해당하는 운전 모터의 현 시점의 실 계측 데시벨이 MCSA로 입력되면 MCSA에서는 운전 모터 데시벨 데이터를 회기 분석에 의해 이력 데시벨 변화율(ROC; Rate Of Change)을 산출하고, 산출된 이력 데시벨 변화율과 잔존수명 판정기준값으로부터 운전 모터의 운전 기간(M)을 자동으로 산출하여 출력하게 된다(S41).
- [0068] 또한, MCSA에서는 상기 운전 모터의 잔존수명과 함께, 수명 예측에 대한 적중율과 신뢰도를 산출하는 단계(S42)를 수행한다. 즉, 과거에 예측되었던 현재시점의 운전 모터 데시벨 및 잔존수명과 현재시점에서의 실계측 운전 모터 데시벨 및 잔존수명을 비교하며, 이로부터 과거의 시점에서 예측된 값들의 현재시점에서의 적중률을 알고리즘으로 검정한 백분율로 산출할 수 있다.
- [0069] 이와 함께, 운전 모터의 에너지 손실(Energy Loss)의 정도를 평가할 수 있으며, 모터의 구성품별 토크(Torque)와 전류의 그래프로부터 모터의 상태를 정확하게 진단할 수 있게 된다.

[0070] 이와 같이 본 발명은 실제 결합등급별 모터의 결합시험을 바탕으로 획득한 데시벨 데이터로부터 정상등급과 결합등급 모터간의 관계를 매핑하여 표준모델링을 설정하고, 이를 운전 모터에 적용하여 잔존수명 판정기준값을 산출하는 부하모델링을 수행하며, 이로부터 개별모델링에 따라 운전 모터의 이력 데시벨 변화율을 산출함으로써, 전동기 및 발전기의 구성품과 전동기에 연동된 부하기계 내의 회전하는 기기의 구성품의 잔존수명 예측과 에너지 손실원 분석을 정확하게 수행할 수 있으며, 따라서 회전 설비구성품 잔존 수명의 객관적 데이터로부터 계획정비를 수행함으로써 돌발사고를 억제하고 정비시간을 줄여 생산 기회를 최대화할 수 있게 되는 것이다.

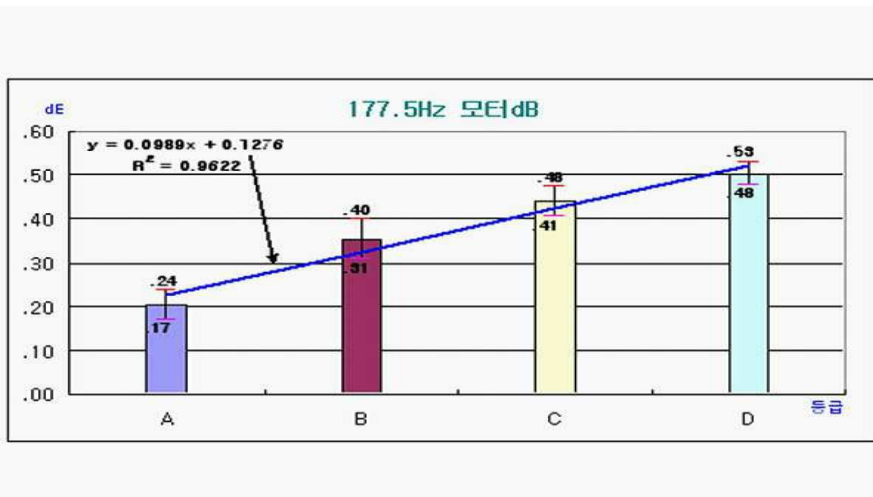
[0071] 이상에서는 본 발명의 전동기 및 발전기의 구성품과 전동기에 연동된 부하기계 내의 회전하는 기기의 구성품의 수명 예측방법을 통해 모터의 잔여 수명을 예측하는 것에 대하여 설명하였으나, 본 발명이 모터의 잔여 수명 예측에만 한정되어 적용 가능한 것은 아니며, 본 발명의 사상에서 벗어나지 않는 한 모터 외의 전동기 및 발전기의 구성품과, 전동기와 연동된 부하기계 내부의 회전하는 기기의 구성품의 이상 진단 및 제어에 적용하는 것도 본 발명의 보호범위에 속하는 것으로 보아야 한다.

도면

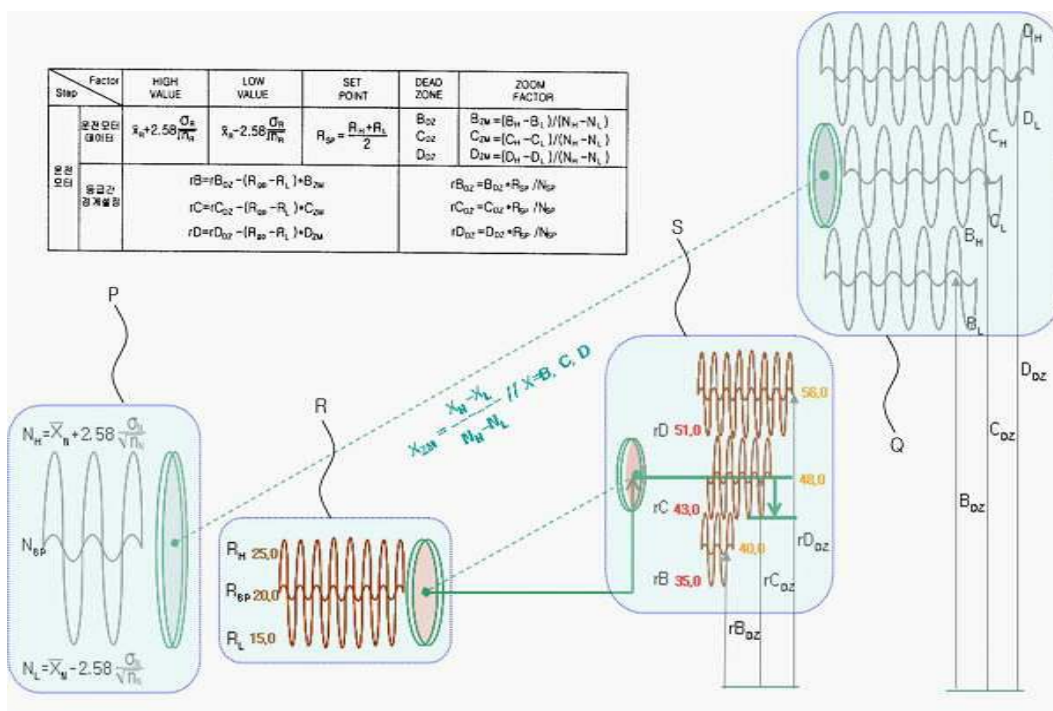
도면1



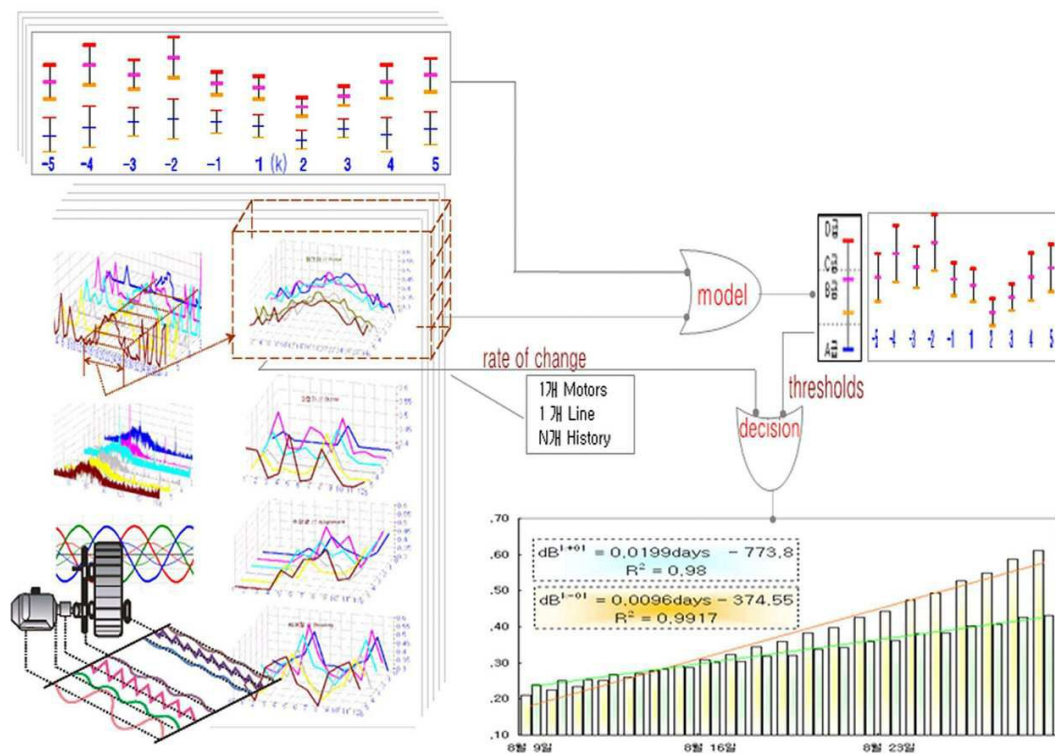
도면2



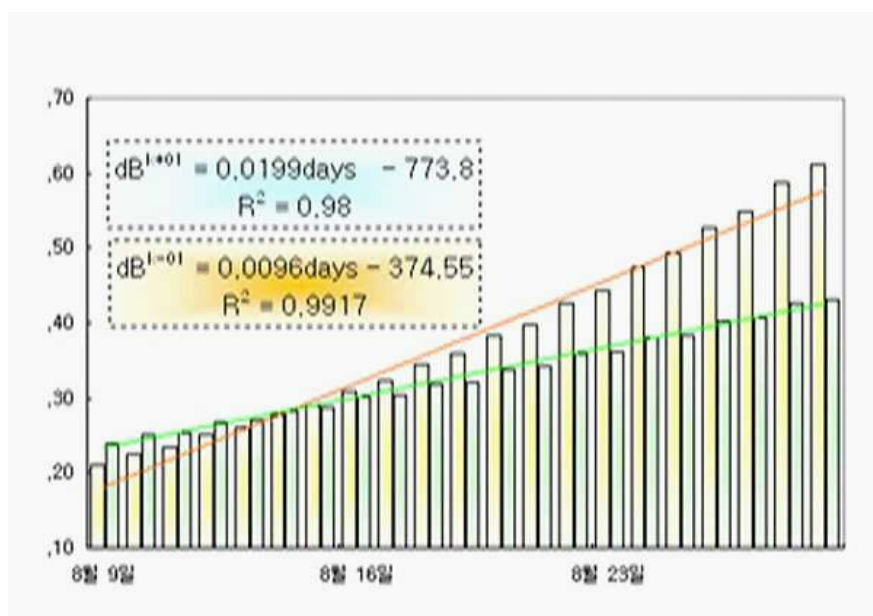
도면3



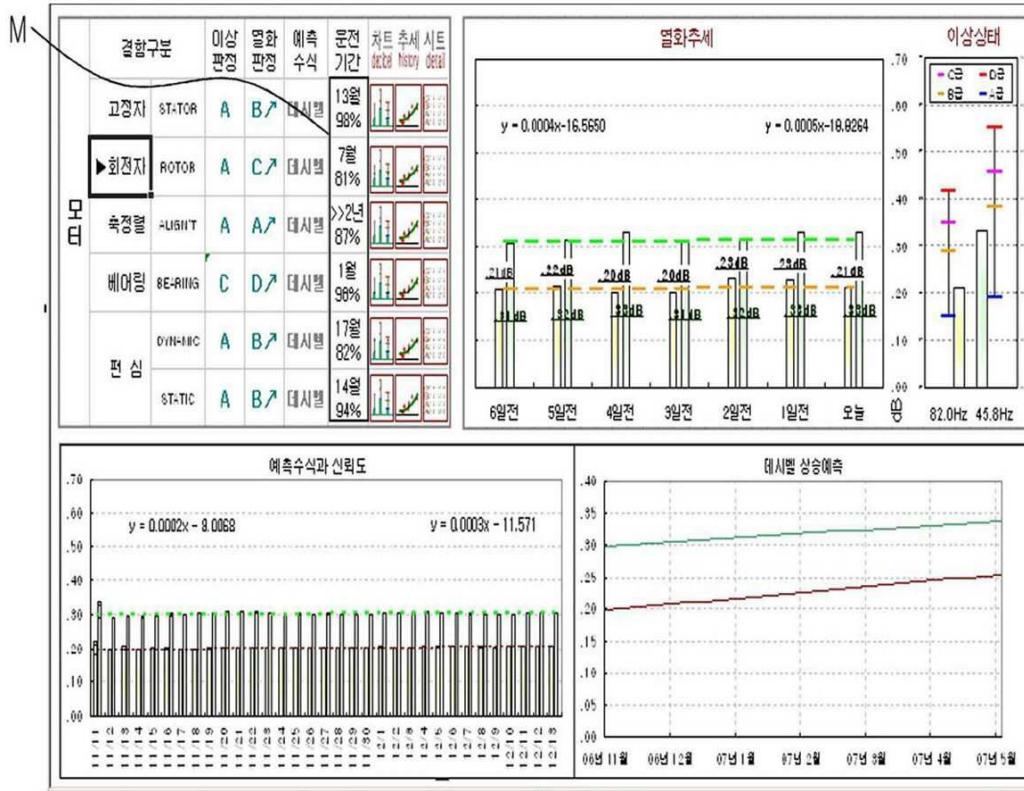
도면4



도면5a



도면5b



도면6

Signature(전류징후)		
-- 고정자 적층단락	$F_{ST} = F_{CL} \{ k / P (1 - s) \pm K \}$	01)
-- 회전자 로터바	$F_{rB} = F_{CL} \{ 1 \pm 2ks \}$	02)
	$F_{rB} = F_{CL} \{ k / P (1 - s) \pm s \}$	03)
-- 회전자 단락림	$F_{rB} = F_{CL} \pm PPF$	04)
	$F_{rB} = F_{CL} \pm kPPF$	05)
-- 축정렬 불평형	$F_{SA} = F_{CL} \pm kFr$	06)
-- 축정렬 정적편심	$sEs = Slots \times Fr \pm (K \times Fa)$	07)
	$sEb = Bars \times Fr \pm (K \times Fa)$	08)
-- 축정렬 동적편심	$dEs = sEs \pm Fr$	09)
	$dEb = sEb \pm Fr$	10)
-- 베어링 내륜	$F_{IN} = k \times Fr \times 60 \times if$	11)
-- 베어링 외륜	$F_{OT} = k \times Fr \times 60 \times of$	12)
-- 베어링 스피	$F_{SP} = k \times Fr \times 60 \times sf$	13)
-- 커플링 정렬	$F_{JC} = F_{CL} \{ 1 \pm k(1-s) / P \}$	14)
-- 에어갭 불평형	$F_{AG} = F_{CL} \pm kFr$	15)
	$F_{AG} = kFr$	16)
	$F_{AG} = F_{SY} \pm KFr$	17)
Torque(토크)		
-- 토크파형	Wave Form = $(V_{asias} + V_{bsibs} + V_{csics}) / 2\pi Fr$	18)
-- 운전토크	Operation = $(V_{ala} + V_{blb} + V_{clc}) / 2\pi Fr$	19)
-- 운전효율	Efficiency = $P_{out} / P_i = (P_i - P_{loss}) / P_i$	20)
-- 부하상태	// ++ 전압/전류/토크 간의	21)
-- 인버터상태	// 상관관계로 관련기기의	22)
-- 기동상태	// 상관관계로 관련기기의	23)
-- 리액터상태	// -- 상태를 분석할 수 있음	24)

* Legend

Fr (Revolution Frequency): 회전속도(초속)
 F_{SY} (Synchronous Frequency): 동기속도(초속)
 Fa: 전원주파수
 P(Pole): 모터극
 S(Slip Rate): 슬립율 $\{(F_{SY} - Fr) / F_{SY}\}$
 PPF(Pole Pass Frequency): 폴주파수 $\{(F_{SY} - Fr) \times P\}$