



- (51) 국제특허분류: **G01R 31/34** (2006.01) **G01R 19/12** (2006.01)
G01R 31/06 (2006.01)

(21) 국제출원번호: PCT/KR2012/001016

(22) 국제출원일: 2012년 2월 10일 (10.02.2012)

(25) 출원언어: 한국어

(26) 공개언어: 한국어

(30) 우선권정보: 10-2011-0090805 2011년 9월 7일 (07.09.2011) KR

(71) 출원인 (US 을(를) 제외한 모든 지정국에 대하여): **고려대학교 산학협력단 (KOREA UNIVERSITY RESEARCH AND BUSINESS FOUNDATION)** [KR/KR]; 136-713 서울시 성북구 안암동 5가1 고려대학교, Seoul (KR).

(72) 발명자: **김**

(75) 발명자/출원인 (US 에 한하여): **이상빈 (LEE, Sang-Bin)** [KR/KR]; 135-010 서울시 강남구 논현동 105 동원아파트 5동 1105호, Seoul (KR). **홍종만 (HONG, Jong-Man)** [KR/KR]; 631-150 경상남도 창원시 마산합포구 완월동 대동한마을 아파트 810호, Gyeongsangnam-do (KR). **크리스티안크랄 (CHRISTIAN, Kral)** [AT/AT]; A-1210 오스트리아 빈 기핀가체 2, Wien (AT). **안톤하우머 (ANTON, Haumer)** [AT/AT]; A-1210 오스트리아 빈 기핀가체 2, Wien (AT).

(74) 대리인: **송경근 (SONG, Kyeong-Keun)**; 137-878 서울시 서초구 서초동 1621-25 웰스빌딩 3층, Seoul (KR).

(81) 지정국 (별도의 표시가 없는 한, 가능한 모든 종류의 국내 권리의 보호를 위하여): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

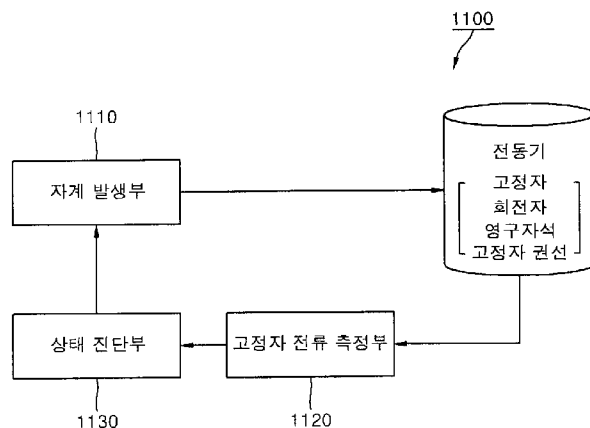
(84) 지정국 (별도의 표시가 없는 한, 가능한 모든 종류의 역내 권리의 보호를 위하여): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 유라시아 (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), 유럽 (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

[다음 쪽 계속]

(54) Title: APPARATUS AND METHOD FOR DIAGNOSING STATES OF PERMANENT MAGNET SYNCHRONOUS MACHINES, AND RECORDING MEDIUM HAVING A PROGRAM RECORDED THEREON FOR EXECUTING A DIAGNOSIS METHOD

(54) 발명의 명칭 : 영구 자석 동기 전동기의 상태 진단 장치, 진단 방법, 및 진단 방법을 실행시키기 위한 프로그램을 기록한 기록 매체

【도 11】



- 1100 ... Machine
 - Stator
 - Rotor
 - Permanent magnet
 - Stator winding
- 1110 ... Magnetic field generating unit
- 1120 ... Stator current measuring unit
- 1130 ... State diagnosing unit

(57) Abstract: Disclosed are an apparatus and method for diagnosing states of permanent magnet synchronous machines. A magnetic field generating unit generates a plurality of magnetic fields, in which DC magnetic fields overlap with AC magnetic fields, toward a pole of a permanent magnet when a rotor is in a stopped state. A stator current measuring unit measures a current that flows in a stator winding in response to each of the generated magnetic fields. A state diagnosing unit diagnoses the demagnetized state of the permanent magnet and the eccentric state of the rotor on the basis of the change transition of differential inductance for the polar component value of the permanent magnet of the measured currents that flow in the stator winding in response to each of the generated magnetic fields, wherein the differential inductance is defined as the change of the polar component value of the permanent magnet for the flux linkage measured from AC magnetic field components, relative to the change of the polar component value of the permanent magnet for currents caused by AC magnetic field components included in the generated magnetic fields. According to the present invention, it is possible to easily diagnose the demagnetized state of the permanent magnet and the eccentric state of the rotor of a permanent magnet synchronous machine without disassembling the machine and without separate expensive equipment.

(57) 요약서:

[다음 쪽 계속]

**공개:**

— 국제조사보고서와 함께 (조약 제 21 조(3))

영구 자석 동기 전동기의 상태 진단 장치 및 방법이 개시된다. 자계 발생부는 회전자가 정지상태에 있을 때 영구 자석의 극 방향으로 직류 자계와 교류 자계가 중첩된 복수의 자계를 발생한다. 고정자 전류 측정부는 발생된 자계 각각에 대응하여 고정자 권선에 흐르는 전류를 측정한다. 상태 진단부는 발생된 자계 각각에 대응하여 측정된 고정자 권선에 흐르는 전류의 영구 자석의 극 방향 성분값에 대한 디퍼런셜 인덕턴스의 변화 추이를 기초로 영구 자석의 감자 상태와 회전자의 편심 상태를 진단하며, 디퍼런셜 인덕턴스는 발생된 자계에 포함되어 있는 교류 자계 성분에 의한 전류의 영구 자석의 극 방향 성분값의 변화량에 대한 교류 자계 성분으로부터 측정된 쇄교 자속(flux linkage)의 영구 자석의 극 방향 성분값의 변화량으로 정의된다. 본 발명에 따르면, 전동기를 분해하지 않으면서도 고가의 별도 장비 없이 용이하게 영구 자석 동기 전동기의 영구 자석의 감자 상태와 회전자의 편심 상태를 진단할 수 있다.

【명세서】**【발명의 명칭】**

영구 자석 동기 전동기의 상태 진단 장치, 진단 방법, 및 진단 방법을 실행시키기 위한 프로그램을 기록한 기록 매체

【기술분야】

본 발명은 영구 자석 동기 전동기의 상태 진단 장치, 진단 방법, 및 진단 방법을 실행시키기 위한 프로그램을 기록한 기록 매체에 관한 것으로, 보다 상세하게는 영구 자석 동기 전동기 내의 영구 자석의 감자 및 편심 상태를 진단하는 장치, 진단 방법, 및 진단 방법을 실행시키기 위한 프로그램을 기록한 기록 매체에 관한 것이다.

【배경기술】

영구 자석 동기 전동기(Permanent Magnet Synchronous Machines : PMSM)는 높은 효율성, 높은 전력 밀도 및 제어의 용이성으로 인해 전기 자동차 풍력 발전기, 전차, 추진 시스템 등에 널리 사용되고 있다. 영구 자석(Permanent Magnet : PM) 회전자는 모터 구동 시스템의 성능, 효율 및 신뢰성을 결정하는 PMSM에서 가장 중요한 부품 중 하나이다. 최근, 영구 자석의 감자, 회전자의 편심, 그리고 베어링의 파손이 PMSM 고장의 주요한 근본 원인임이 밝혀졌으며, 이러한 고장의 검출을 위해 집중적인 연구가 수행되어 왔다. 이러한 고장은 제조 시의 결함, 동작 중의 스트레스, 그리고 오작동으로 인해 발생할 수 있으며, 모터 성능과 효율의 심각한 저하를 가져올 수 있다. 따라서 모터의 최적 성능을 위해 회전자의 상태와 모터를 구동하는 전체 과정을 주기적으로 점검하는 것이 중요하다.

회복불가능한 부분적 또는 전체적인 감자는 영구 자석에 가해지는 열적, 전기적, 기계적 및 환경적인 스트레스에 기인하여 발생할 수 있는 문제이다. 회복불가능한 감자의 주요한 근본 원인은 '동작점 효과'로서, 이는 감자 곡선에서 온도 종속적인 감소와 접극자 기자력(magneto-motive force : mmf)의 감소에 기인한 성능(부하) 곡선의 천이의 효과가 결합된 결과이다. 만약 동작점(감자 곡선과 성능 곡선의 교차점)이 감자 곡선의 변곡점 아래로 떨어지면 자석은 영구적으로 감자된다. 또한 증가된 온도 및/또는 부식/산화에 기인한 자성 물질에서의 금속특성의 변화가 회복불가능한 감자를 초래할 수 있다. 높은 에너지 밀도와 합리적인 가격으로 잘 알려진 NdFeB 자석은 높은 성능, 높은 에너지 밀도의 PMSM을 제조할 수 있기에 널리 사용되고 있다. 그러나 NdFeB 자석은 낮은 온도 특성(낮은 동작 온도와 높은 온도 계수), 낮은 부식 저항성(환경에 포함되어 있는 습기 또는 염소 하에서) 및

낮은 기계적 강성(부식, 조각 또는 금으로 인한 파손)에 기인한 회복불가능한 감자에 민감하다.

또한 모터의 동작 중 또는 제조 단계에서의 불량으로 인해 공극 편심이 발생할 수 있으며, 본래의 편심 정도는 공극의 5~10 % 이내로 요구된다. 정적 편심(Static Eccentricity : SE)은 최소 방사 공극의 위치가 고정되어 있는 상태이다. 이는 고정자 코어의 난형 또는 고정자 코어의 부정확한 위치에 의해 발생하며, 일반적으로 그 정도는 시간이 경과해도 변하지 않는다. 동적 편심(Dynamic Eccentricity : DE)은 최소 방사 공극이 회전자와 함께 회전하는 상태이다. 이는 낡은 베어링, 굵은 축, 회전자의 비대칭적인 열적 팽창 또는 높은 수준의 정적 편심에 의해 발생한다. 편심은 진동, 소름, 베어링 파손 및/또는 회전자의 편향을 낳게 되는 불균형한 자기적 인력을 야기한다. 비록 SE의 정도는 시간의 홀러도 변하지 않지만, DE의 정도는 증가되어 영구 자석, 코어 또는 권선에 심각한 손상을 가할 수 있는 회전자와 고정자의 접촉을 야기한다. 따라서 지난 5~6년 동안 PMSM 구동 시스템의 성능, 신뢰성 및 효율을 개선하기 위해 영구 자석의 감자와 편심 오류를 검출하는 기술의 개발에 많은 연구가 이루어져 왔다.

모터 전류 특성 분석(Motor Current Signature Analysis : MCSA)은 센서없이 연속적이고 모터 파라미터와 온도에 독립적인 온라인 감시를 제공하기에 가장 적극적으로 연구되는 PMSM의 회전자 고장 검출 방법이다. 회전자의 회전 속도 주파수 성분은 수학식 1과 같이 표현되며, 부분적인 영구 자석의 감자, SE, DE, 오정렬 또는 회전자/부하의 불균형을 포함하는 회전자 이상에 대한 척도로서 제시된다.

【수학식 1】

$$f_{rf} = f_s \cdot \left(1 \pm \frac{k}{p}\right)$$

여기서, f_{rf} 와 f_s 는 각각 회전자 이상과 기본 주파수 성분이고, k 는 정수이며, p 는 극쌍의 개수이다.

비록 MCSA가 앞서 언급한 많은 이점이 있지만, 실제 활용시 구현에 있어서 많은 제약이 존재한다. 많은 PMSM 적용 제품들에 있어서, 모터는 속도와 부하가 연속적으로 변하는 정상 상태하에서 동작하므로, 정확하게 수학식 1의 결과를 얻기 어렵다. 시간-주파수 분석 기법은 신뢰성있는 검출을 위해 연구되어 왔다. 그러나 이 또한 계산 강도와 하드웨어 사양으로 인한 비용이 증가하여 저가의 구동 제품에 적용하기 어렵다. 수학식 1에서 전류 성분을 유도하는 자속 패턴의 비대칭성이 존재하기 때문에, 통상적으로 나타나는 균일하거나 대칭적인 감자는 검출할 수 없다.

MCSA의 따른 치명적인 제한사항은 진동하는 부하 토크(예를 들면, 왕복 압축기)가 수학적 1과 같은 동일한 주파수 성분에서 부엽을 낳는다는 것이다. 이는 이상에 기인한 크기보다 더 크며, 이들을 분리할 수 있는 실질적인 수단이 존재하지 않는다.

평균 PM 강도에 비례하는 회전자 자속 λ_{dr} 또는 토크 상수 k_t 의 모델 기반 추정 기법 역시 감자 검출을 위해 연구되어 왔다. 그러나 회전자 자속 λ_{dr} 과 토크 상수 k_t 역시 온도의 증가에 따라 감소하며(특히, 세라믹과 NdFeB 자석에 대해), 코어의 자기포화에 따라 변한다. 게다가 회전자 자속 λ_{dr} 또는 토크 상수 k_t 추정은 모델의 정확도와 파라미터에 크게 의존한다. 따라서 비선형 교차 자화 효과, 자기포화 및 회전자 온도 변화에 기인한 모델에서의 변동이 고려되어야 하며, 이는 상당히 어렵기 때문에 회전자 자속 λ_{dr} 또는 토크 상수 k_t 가 작거나 국부적인 영구 자석의 결함에 민감하게 된다. 결과적으로 회전자 자속 λ_{dr} 또는 토크 상수 k_t 추정은 공극 편심에 민감한 지시자로 제공되기 어렵다.

영구 자석의 품질 또는 DE에 대한 전통적인 오프라인 테스트는 시각 검사, 가우스 미터, 다이얼 테스트 표시자 측정 등이다. 이들은 회전자의 표면에서 직접적으로 측정 결과를 얻기 때문에 회전자 품질에 대한 정확한 결과를 제공할 수 있다. 그러나 이들은 모터를 해체하여야 하고, 특정한 측정 장비 또는 설정이 필요하다. 영구 자석의 평균 강도는 또한 일정한 속도로 회전하는 회전자에 대해 역 기전력(electro-motive force : emf) 전압을 측정하여 간접적으로 추정될 수 있다. 이러한 오프라인 테스트 역시 영구 자석의 온도에 종속적이며, 회전자를 일정한 속도로 회전시키기 위한 외부 수단이 필요하기 때문에 편리하지 않다.

한편, 일본공개특허공보 제2009-22091호에는 무부하 운전 상태에서 전동기로부터 검출한 영구 자석에 의한 유발 전압 또는 전동기로부터 검출한 전류로부터 산출한 유발 전압이 정상적인 영구 자석에 대한 감소자 한계 곡선보다 낮으면 영구 자석이 감자된 것으로 판단하는 기술 구성이 개시되어 있다. 또한 한국공개특허공보 제2011-68446호에는 동기발전기로부터 측정한 고정자 전압을 정상성분 전압과 역상성분 전압으로 분해하고, 정상성분 전압 대비 역상성분 전압의 비율을 계산한 후 정상적인 영구 자석에 대해 얻어진 비율과 비교하여 영구 자석의 감자여부를 판단하는 기술 구성이 개시되어 있다. 또한 한국공개특허공보 제2010-45718호에는 전동기가 정지한 상태에서 회전자의 회전축을 관통하면서 방향이 다른 복수의 자계를 발생하고, 각각의 자계에 대해 고정자 권선에서 측정된 전류와 정상적인 회전자에 대해 고정자 권선에서 측정된 전류를 비교하여 영구 자석의 감자 상태를 진단하는

기술 구성이 개시되어 있다. 그러나 이들 선행기술들 중에서 한국공개특허공보들에 기재된 선행기술들은 영구 자석의 감자 상태만을 검출하는 구성만을 개시하고 있고, 감자 상태의 검출 기법에 있어서 본 발명과 상이하다. 또한 일본공개특허공보에 기재된 선행기술은 정지 상태가 아닌 무부하 운전 상태에서 영구 자석의 감자여부와 편심여부를 측정하고 있어 회전자를 일정한 속도로 회전시키기 위한 외부 수단이 필요하다는 단점이 있다.

【발명의 상세한 설명】

【기술적 과제】

본 발명은 상술한 종래 기술의 문제점을 해결하기 위해 안출된 것으로서, 본 발명이 이루고자 하는 기술적 과제는 전동기를 분해하지 않으면서도 고가의 별도 장비 없이 용이하게 영구 자석 동기 전동기의 감자 상태와 편심 상태를 진단할 수 있는 장치 및 방법을 제공하는 데 있다.

또한 본 발명이 이루고자 하는 다른 기술적 과제는 전동기를 분해하지 않으면서도 고가의 별도 장비 없이 용이하게 영구 자석 동기 전동기의 감자 상태와 편심 상태를 진단할 수 있는 방법을 컴퓨터에서 실행시키기 위한 프로그램을 기록한 기록 매체를 제공하는 데 있다.

【기술적 해결방법】

상기의 기술적 과제를 달성하기 위한, 본 발명에 따른 영구 자석 동기 전동기의 상태 진단 장치는, 회전자가 정지상태에 있을 때 영구 자석의 극 방향으로 직류 자계와 교류 자계가 중첩된 복수의 자계를 발생하는 자계 발생부; 상기 발생된 자계 각각에 대응하여 고정자 권선에 흐르는 전류를 측정하는 고정자 전류 측정부; 및 상기 발생된 자계 각각에 대응하여 측정된 상기 고정자 권선에 흐르는 전류의 상기 영구 자석의 극 방향 성분값에 대한 디퍼런셜 인덕턴스의 변화 추이를 기초로 상기 영구 자석의 감자 상태와 상기 회전자의 편심 상태를 진단하는 상태 진단부를 구비하며, 상기 디퍼런셜 인덕턴스는 상기 발생된 자계에 포함되어 있는 교류 자계 성분에 의한 전류의 상기 영구 자석의 극 방향 성분값의 변화량에 대한 상기 교류 자계 성분으로부터 측정된 쇄교 자속(flux linkage)의 상기 영구 자석의 극 방향 성분값의 변화량으로 정의된다.

상기의 다른 기술적 과제를 달성하기 위한, 본 발명에 따른 영구 자석 동기 전동기의 상태 진단 방법은, (a) 회전자가 정지상태에 있을 때 영구 자석의 극 방향으로 직류 자계와 교류 자계가 중첩된 복수의 자계를 발생하는 단계; (b) 상기 발생된 자계 각각에 대응하여 고정자 권선에 흐르는 전류를 측정하는 단계; 및 (c)

상기 발생된 자계 각각에 대응하여 측정된 상기 고정자 권선에 흐르는 전류의 상기 영구 자석의 극 방향 성분값에 대한 디퍼런셜 인덕턴스의 변화 추이를 기초로 상기 영구 자석의 감자 상태와 상기 회전자의 편심 상태를 진단하는 단계;를 가지며, 상기 디퍼런셜 인덕턴스는 상기 발생된 자계에 포함되어 있는 교류 자계 성분으로 인한 전류의 상기 영구 자석의 극 방향 성분값의 변화량에 대한 상기 교류 자계 성분으로부터 측정된 쇄교 자속(flux linkage)의 상기 영구 자석의 극 방향 성분값의 변화량으로 정의된다.

【유리한 효과】

본 발명에 따른 영구 자석 동기 전동기의 상태 진단 장치, 진단 방법, 및 진단 방법을 실행시키기 위한 프로그램을 기록한 기록 매체에 의하면, 전동기를 분해하지 않으면서도 고가의 별도 장비없이 용이하게 영구 자석 동기 전동기 내의 영구 자석의 감자 상태와 회전자의 편심 상태를 진단할 수 있다. 또한 영구 자석 동기 전동기를 구동하기 위한 인버터의 전류 센서와 컨트롤러 등 기존의 하드웨어 자원을 그대로 이용하므로, 별도의 하드웨어를 추가할 필요가 없다는 이점이 있다. 또한 시간이 오래 걸리고 큰 비용을 치러야 하는 기존의 진단 방법에 비해 신속하고 간편하게 영구 자석의 감자 상태와 편심 상태를 진단할 수 있다. 또한 기존의 MCSA 기법, 모델 기반 또는 역 기전력 기반 영구 자석 동기 전동기의 회전자 고장 검출 방법에 비해 높은 민감도와 신뢰도를 가지며, 비용이 적게 소요된다.

【도면의 간단한 설명】

도 1은 본 발명에 따른 영구 자석 동기 전동기의 상태 진단 장치 및 방법에 있어서 상태 진단 기법을 설명하기 위한 도면,

도 2는 정상적인 상태의 여기되지 않은 영구 자석 동기 전동기의 자계 밀도 분포를 도시한 도면,

도 3은 영구 자석을 구성하는 d축 방향의 자계 경로, d축 방향의 고정자 권선, 공극, 및 고정자, 그리고 회전자 코어에 대한 등가의 자기 회로 모델을 도시한 도면,

도 4는 영구 자석의 자기 저항-기자력 특성(영구 자석의 감자 곡선)과 영구 자석 외부의 자기 회로(투자 곡선)를 도시한 도면,

도 5는 기자력의 소스로 모델링된 영구 자석과 고정자 권선에 대한 d축 자속 경로의 기자력 특성을 도시한 도면,

도 6은 d축 쇄교 자속과 전류 관계 및 d축 인덕턴스와 디퍼런셜 인덕턴스 곡선을 도시한 도면,

도 7은 d축 쇠교 자속과 전류 관계 및 영구 자석 감자에 따른 d축 디퍼런셜 인덕턴스 곡선을 도시한 도면,

도 8은 영구 자석 감자와 편심에 따른 직류 전류대 d축 디퍼런셜 인덕턴스의 변화를 도시한 도면,

도 9는 편심을 가진 모터에 대해 고정자 전류를 인가하지 않은 상태에서 영구 자석에 기인한 자속 밀도의 DC 정자기 FE 시뮬레이션 결과를 도시한 도면,

도 10은 공극 편심에 대한 d축 쇠교 자속과 전류 곡선 및 디퍼런셜 인덕턴스 곡선을 도시한 도면,

도 11은 본 발명에 따른 영구 자석 동기 전동기의 상태 진단 장치의 바람직한 실시예의 구성을 도시한 도면,

도 12는 본 발명에 따른 영구 자석 동기 전동기의 상태 진단 방법에 대한 일 실시예의 수행과정을 도시한 흐름도,

도 13은 실험에 사용된 모터 회전자와 영구 자석의 구성, 그리고 부분적인 감자를 실험하기 위해 파손한 영구 자석에 대한 사진,

도 14는 50 %의 동적 편심(샘플 G)을 넣기 위해 축과 키 배열에 대한 기구적인 설계도,

도 15는 동적 편심 상태를 넣기 위한 실험 설정을 도시한 도면,

도 16은 영구 자석 감자에 대한 실험 결과를 도시한 도면,

도 17은 감자된 영구 자석 샘플 A~D에 대해 $I_d=5$ A에서 측정된 X_d' 와 X_d' 의 % 변화를 도시한 도면,

도 18은 공극 편심에 대한 실험 결과를 도시한 도면, 그리고,

도 19는 편심 회전자 샘플 E~G에 대해 $I_d=4$ A에서 측정된 X_d' 와 X_d' 의 % 변화를 도시한 도면이다.

【발명의 실시를 위한 형태】

이하에서, 첨부된 도면들을 참조하여 본 발명에 따른 영구 자석 동기 전동기의 상태 진단 장치, 진단 방법, 및 진단 방법을 실행시키기 위한 프로그램을 기록한 기록 매체의 바람직한 실시예에 대해 상세하게 설명한다.

도 1은 본 발명에 따른 영구 자석 동기 전동기의 상태 진단 장치 및 방법에 있어서 상태 진단 기법을 설명하기 위한 도면이다.

도 1을 참조하면, 영구 자석의 감자 상태와 공극 편심을 검출하고 분류하기 위해, 모터가 정지상태에 있을 때마다 인버터(100)를 이용하여 영구 자석 동기 전동기(110)에 신호를 인가한다. 인버터(100)는 등가의 디퍼런셜 인덕턴스 L_d' 를 얻

기 위해 d축 방향의 직류 자계에 부가된 작은 교류 자계를 영구 자석 동기 전동기 (110)에 인가하도록 동작한다.

도 2는 정상적인 상태의 여기되지 않은 영구 자석 동기 전동기의 자계 밀도 분포를 도시한 도면이다.

도 2를 참조하면, d축의 자성 특성을 파악하기 위해 4극 내부 영구 자석 동기 전동기에 대한 직류 정자기 유한 요소(Finite Element : FE) 시뮬레이션을 수행하였다. 고정자 여기없는 영구 자석 동기 전동기의 자계 분포는 정지 상태에서 회전자에 나타나며, 최소 자기 저항 경로(minimum reluctance path) 중의 하나로 배열된다. 영구 자석을 구성하는 d축 방향의 자계 경로, d축 방향의 고정자 권선, 공극, 및 고정자, 그리고 회전자 코어는 도 3에 도시된 등가의 자기 회로 모델로 표현될 수 있다. 도 3에서, F , R , Φ 및 N 은 각각 기자력, 자기 저항, 자속 및 등가의 권선수를 나타내며, 아래 첨자 pm, g, g 및 l은 각각 영구 자석, 공극, 코어 및 부하를 의미한다. 자성 물질이 공기와 유사한 비투자율을 가지고 있기 때문에, 영구 자석은 일반적으로 내부 전원 자기 저항을 가진 자속 종속적인 기자력으로 모델링된다.

도 4에는 영구 자석의 자기 저항-기자력 특성(영구 자석의 감자 곡선)과 영구 자석 외부의 자기 회로(투자 곡선)가 도시되어 있다.

도 4를 참조하면, 자기 저항과 기자력에 대한 동작점은 감자 곡선과 투자도 곡선의 교차지점으로 결정되며, 여기되지 않은 상태에서(즉, $i_d=0$) 개방 회로 동작점은 (F_m , Φ_m)에 위치한다. 도 3에서 알 수 있듯이, d축 고정자 전류($i_d \neq 0$)는 추가적인 기자력을 낳게 된다. 이는 도 4에 도시된 바와 같이 감자 곡선이 천이된 것으로 등가화될 수 있으며, 결과적으로 동작점을 변경시키게 된다. 한편 도 5에 도시된 바와 같이 기자력의 소스로서 영구 자석과 권선을 살펴보고 전체 자기 투자도의 부분으로서 R_{pm} 을 포함하면 분석이 단순화될 수 있다. 기자력 곡선은 수직선을 형성하며, 값은 영구 자석과 권선 기자력들의 합이다. 투자도 곡선은 영구 자석, 공극 및 코어의 투자도의 결합된 효과를 포함하며, 투자도 곡선의 기울기는 인덕턴스와 비례한다. d축 방향의 자기 회로의 동작점은 도 4에 도시된 바와 유사하게 감자 곡선과 투자도 곡선의 교차지점으로 결정된다. 도 3 내지 도 5로부터 d축 방향으로 자속을 생성하는 양 전류($i_d > 0$)는 기자력과 자속을 증가시키고, 인덕턴스(투자도 곡선의 기울기)를 감소시킨다.

도 5에 도시된 d축 자속에 대한 기자력 곡선은 도 6에 도시된 바와 같이 N 을

곱하거나 나눔으로써 쇠교 자속(flux linkage) λ_d 에 대한 전류 i_d 곡선으로 다시 그려질 수 있다. 선형 영역에서 λ_d-i_d 곡선은 코일의 인덕턴스와 동일하며, 제작성된 곡선은 다음의 수학식 2와 같이 영구 자석 동기 전동기의 d축 방향의 자속 방정식으로 표현된다.

【수학식 2】

$$\lambda_d = L_d \cdot i_d + \lambda_m$$

여기서, λ_m 은 $i_d=0(N\Phi_m)$ 일 때 코일의 쇠교 자속이다.

$i_d=0$ 인 영구 자석으로 인해 기자력과 자속이 d축 방향으로 자속 경로가 형성되기 때문에, λ_d 축은 $\lambda-i$ 곡선의 원점(도 6에서 0)을 지나지 않는다. 그리고 λ_d 축은 $i_d=0$ 일 때 λ_d 가 λ_m 과 동일한 지점인 개방 회로 동작점 a에서 교차하며, 원점을 향하는 등가의 i_d 는 영구 자석의 기자력을 N으로 나눈 값에 대응된다. 수학식 2로부터 d축의 인덕턴스 L_d 는 개방 회로 동작점 a에 대해 다음의 수학식과 같이 λ_d 의 증가량과 d축 전류 i_d 의 비로 정의된다.

【수학식 3】

$$L_d = \frac{(\lambda_d - \lambda_m)}{i_d}$$

이는 도 6의 우측에 도시된 L_d 곡선(점 b")에서 알 수 있으며, 포화로 인해 L_d 가 약간 감소한다. 한편 본 발명에서 이상 모니터링을 위해 채용하는 값인 d축 디퍼런셜 인덕턴스 L_d' (즉, 영구 자석의 극 방향 성분값에 대한 디퍼런셜 인덕턴스)는 L_d 와 차이가 있다. d축 디퍼런셜 인덕턴스 L_d' 는 $\lambda-i$ 곡선상의 각 점에서 $\lambda-i$ 곡선의 기울기로 정의되며, 다음의 수학식으로 표현된다.

【수학식 4】

$$L_d' = \frac{d\lambda_d}{di_d}$$

포화 상태에서 L_d' 의 감소는 $\lambda-i$ 곡선의 미분이기 때문에 L_d 의 감소와 비교할 때 보다 중요하다.

동작점의 d축 디퍼런셜 인덕턴스는 d축 방향으로 교류 고정자 자계를 가하

고, 고정자 전압과 전류의 기본 성분으로부터 임피던스의 리액티브 성분을 계산함으로써 얻어질 수 있다. 교류 자계의 크기가 지나치게 크지 않으면, 인덕턴스는 $\lambda - i$ 곡선의 동작점에서 L_d' 와 동일한 것으로 간주될 수 있으며, 동작점은 일반적으로 최적의 성능을 위해 선형 영역에서 곡선의 변곡점 전에 위치하도록 설계된다. 만약 고정자 교류 자계가 a축 방향으로 고정자 직류 자계에 부가되면, 직류 자계는 동작점을 천이시키며, 대응되는 점에서 L_d' 의 값은 교류 성분으로부터 얻어질 수 있다. 일례로, 가해진 직류 전류 성분이 I_d 와 동일하면, 도 6의 동작점은 점 a로부터 점 b로 이동하고, 교류 성분으로부터 얻어지는 L_d' 의 값은 포화로 인해 $L_{d,a}'$ 로부터 $L_{d,b}'$ 로 감소한다. 점 b'에서 d축 디퍼런셜 인덕턴스 L_d' 값의 감소는 점 b"에서 인덕턴스 L_d 에 대응하는 값의 감소와 비교할 때 매우 크다.

상술한 바와 같은 L_d' 의 계산을 위해, d축을 기준으로 θ 의 각도로 가해진 고정자 자계는 θ 와 $\theta+180^\circ$ 사이를 맥동하는 피크를 가진 교류 자계와 θ 에서 고정된 직류 자계를 포함한다. θ 에서 교류 자계와 직류 자계가 합해진 자계의 벡터는 다음의 수학적식과 같이 세 개의 위상 전압 참조 집합을 가진 사인 델타 펄스 폭 변조(sine-delta PWM)를 가지고 얻어질 수 있다.

【수학적식 6】

$$\begin{aligned} v_{as}^*(\theta, \omega t) &= V_{dc} \cos(\theta) + V_{ac} \cos(\theta) \cdot \sin(\omega t), \\ v_{bs}^*(\theta, \omega t) &= V_{dc} \cos(\theta - 2\pi/3) + V_{ac} \cos(\theta - 2\pi/3) \cdot \sin(\omega t), \\ v_{cs}^*(\theta, \omega t) &= V_{dc} \cos(\theta + 2\pi/3) + V_{ac} \cos(\theta + 2\pi/3) \cdot \sin(\omega t) \end{aligned}$$

여기서, V_{dc} 와 V_{ac} 는 각각 직류와 교류 성분의 전압 크기이고, ω 는 여기 주파수이다.

가해진 자계는 직류 자계가 회전자 위치의 회전자를 정렬하기 때문에 장치에 토크를 유발하지 않으며, 교류 자계는 반대 방향으로 동일한 크기의 토크를 낳는다. d 축 각도(θ)는 회전자 돌출 및/또는 포화를 기초로 초기 회전자 위치 추정 방법에 의해 용이하게 추정될 수 있다. d 축 방향(θ)으로의 기준 전압과 전류 벡터는 수학적식 6과 i_{as} , i_{bs} 및 i_{cs} 전류 측정으로부터 다음의 수학적식에 의해 계산될 수 있다.

【수학식 7】

$$\begin{aligned} v_d^*(\omega t) &= k \cdot [\cos(\theta)\cos(\theta-2\pi/3)\cos(\theta+2\pi/3)] \cdot v_{abcs}^* \\ i_d(\omega t) &= k \cdot [\cos(\theta)\cos(\theta-2\pi/3)\cos(\theta+2\pi/3)] \cdot i_{abcs} \end{aligned}$$

여기서, k 는 $2/3$ 이고, v_{abcs}^* 와 i_{abcs} 는 각각 고정자 기준 전압과 전류 매트릭스를 의미한다.

등가 L_d' 는 다음의 수학식에 의해 기준 전압 V_d 와 전류 벡터 I_d 의 위상 기본 성분으로부터 추출될 수 있다.

【수학식 8】

$$Z_{d,eq} = \overrightarrow{V_d} / \overrightarrow{I_d} = R_s + j\omega L_d'$$

앞서 설명한 이유들 중 하나로 인한 부분적인 또는 균일한 영구 자석 감자는 영구 자석의 기자력(F_{pm})을 약하게 한다. 이는 Φ_m 또는 λ_m 의 약화를 초래하며, 도 7에 도시된 바와 같이 도 6의 λ_d 축을 왼쪽으로 이동시킨 것과 같이 표현될 수 있다. 개방 회로 동작점은 기자력과 λ_d 의 감소와 함께 원점을 향해 선형 영역(도 7에서 점 a로부터 점 d)에서 아래로 이동된다. 동작점들이 선형 영역(점 a와 점 d에서 $\lambda-i$ 곡선의 기울기는 $L_{d,a}' \approx L_{d,d}'$ 로 유사)에 존재하기에 L_d' 의 값은 감자와 함께 크게 변하지 않는다. 정상적인 모터와 비교할 때 감자된 영구 자석을 가진 모터의 코어를 포화시키기 위해 높은 직류 자계 성분이 요구된다. 도 6에 도시된 정상적인 영구 자석에 대해, I_d 의 직류 전류에 대응하는 직류 자계가 측정되면 코어가 포화되기 때문에 $L_{d,a}'$ 의 값은 $L_{d,b}'$ 로 감소한다. 그러나 L_d' 는 여전히 도 7에 도시된 감자된 영구 자석을 가진 경우에 대한 동일한 직류 자계 여기(I_d)와 동일($L_{d,c}' \approx L_{d,d}'$)하다. 따라서 L_d' 는 동일한 여기 상태($I_d > 0$)하에서 측정될 수 있다.

만약 L_d' 가 I_d 의 함수로 표현되면, 도 8에 도시된 바와 같이 I_d 의 증가와 함께 코어가 포화되기 시작함에 따라 L_d' 가 감소하기 시작한다. 코어가 과포화 영역에 도달함에 따라, L_d' 는 낮은 값으로 수렴한다. 감자된 회전자를 가진 영구 자석 동기 전동기에 있어서, 코어를 포화시키기 위해 큰 I_d 가 필요하기 때문에 정상적인 영구 자석을 가진 모터에 대한 $L_d'-I_d$ 곡선이 오른쪽으로 이동한다. 따라서 감자된 영구

자석에 대한 L_d' 의 값은 가해진 직류 자계 성분 또는 I_d 의 일정한 범위로 증가한다. 이때 최대 검출 민감도에 대한 직류 자계의 최적 값은 모터의 설계에 의존한다. 이러한 값은 L_d' 변화량의 절대값 $|\Delta L_d'|$ 으로부터 결정될 수 있으며, 이는 FE 분석 또는 실험으로부터 얻어질 수 있다. 이는 유도 전동기와 달리 영구 자석 동기 전동기는 일반적으로 제품 적용에 대해 함께 설계되므로, 영구 자석 동기 전동기의 특성이 인버터에 의해 잘 알려져 있어 얻기 어렵지 않다. 민감한 검출을 위해 필요한 직류 자계는 $|\Delta L_d'|$ 가 최대값이므로, 도 8에 도시된 예에 대한 $I_{d, \text{dem}}$ 에 대응하는 자계이다. 교류 성분은 L_d' 를 추출하기 위해 사용되므로, V_{ac} 는 일관성있는 실험 결과를 위해 전류 측정에 있어서 충분한 해상도를 제공할 수 있을 정도로 충분히 커야 한다.

자속 패턴이 편심에 따라 변화하는 상태를 관찰하기 위해, 편심을 가진 여기되지 않은 영구 자석 동기 전동기에 대해 직류 정자기 FE 분석을 수행하였다. 회전자는 정지 상태에 있으며, 도 9에 도시된 바와 같이 편심 방향은 자기적 인력이 최대인 영구 자석의 중심을 향하는 것으로 가정한다. 도 9와 도 3을 참조하면, 상부 자기 회로의 고정자 코어 내의 자속은 자기 저항이 감소하기에 증가하는 반면, 하부 자기 회로 내의 자속은 자기 저항의 증가로 인해 감소한다. 도 10에 도시된 바와 같이, 이는 다중 극 쌍(p) 모터(본 실시예의 경우 $p=2$)에 대해 정상적인 모터의 투자도 곡선으로부터 반대 방향에 있는 자기 회로에 대한 투자도 곡선의 이동으로 표현될 수 있다(점 e_{up} 과 점 e_{low} 에서 동작점들). 만약 편심이 존재하면, 투자도 곡선의 기울기가 큰 공극과 함께 감소하기 때문에 하부의 자기 회로의 L_d' 의 값 $L_{d,e, \text{low}}'$ 가 감소한다. 상부의 자기 회로에 대해, 투자도 곡선의 기울기는 감소된 공극과 함께 증가하나, 동작점은 자속의 증가로 인해 포화 영역으로 돌입한다. 이는 도 10에 도시된 바와 같이 L_d' ($L_{d,e, \text{up}}'$)의 감소를 낳게 된다. λ 가 하부의 과포화와 동일하기 때문에, 두 개의 자기 회로에 대한 투자도 곡선들은 큰 직류 전류 성분을 가진 유사한 값으로 수렴한다. $L_{d,e, \text{low}}'$ 와 $L_{d,e, \text{up}}'$ 모두 감소하기 때문에 편심을 가진 모터의 L_d' 값인 $L_{d,e}'$ 는 동심 모터의 L_d' 값인 $L_{d,a}'$ 로부터 감소한다. 따라서 L_d' 가 동일한 여기 상태에서 측정되면, L_d' 값의 감소는 편심의 지표로 사용될 수 있다.

만약 편심 모터에 대해 $L_{d,e}'$ 에 대한 I_d 의 그래프를 작성하면, $I_d=0$ 에서 $L_{d,e}'$ 는 $L_{d,a}'$ 보다 낮으며, I_d 가 증가함에 따라 동심 모터보다 급격하게 증가한다. 도 10

으로부터 $L_{d,e}'$ 의 급격한 감소는 상부 자기 회로의 코어가 포화됨에 따라 $L_{d,e,up}'$ 값이 감소함에 기인하는 것으로 예상할 수 있다. $|\Delta L_d'|$ 의 그래프를 살펴보면, 감자의 경우와 같이 모터 설계에 종속적인 편심에 대한 최대 검출 민감도를 위한 직류 자계의 최적값이 존재함을 알 수 있다. 도 8에 도시된 예의 경우에, 검출 민감도에 요구되는 직류 자계는 $|\Delta L_d'|$ 의 최대인 $I_{d,ecc}$ 에 해당한다. $I_d=0$ 에서 L_d' 의 값은 d축 ($V_{dc}=0$)에서 교류 자계 여기를 가지고 측정할 수 있다. 편심 검출의 민감도는 도 8에 도시된 바와 같이 동작점을 이동시키는 본 발명에 의해 향상될 수 있다.

영구 자석 동기 전동기의 감자와 편심을 파악하기 위해 사전에 설정된 수준의 직류 자계 또는 I_d 에 대해 측정된 L_d' 의 변화는 정상적인 영구 자석에 대한 $L_{d,a}'$ 값과 비교된다. 만약 영구 자석이 감자되면 L_d' 의 값이 증가하고, 회전자가 편심되면 L_d' 의 값이 감소하여, 영구 자석 동기 전동기 회전자의 고장에 대한 명백한 검출과 분류를 가능하게 한다.

또한 영구 자석은 영구 자석 온도 T_{PM} 의 변동에 따라 회복할 수 있는 감자를 겪는다. 이때 영구 자석 재료에 따른 Φ_r 에 대해 온도 계수($^{\circ}\text{C}$ 증가 당 % 변화) 범위는 $0.02\%/^{\circ}\text{C}$ 와 $-0.02\%/^{\circ}\text{C}$ 사이이다. 따라서 자속 크기에 의존하여 회전자의 고장을 검출하는 모든 기법들은 T_{PM} 의 변화에 영향을 받으며, 이는 신뢰성있는 측정을 위해 고려되어야 한다. 본 발명에서 회복할 수 없는 감자에 기인한 L_d' 의 변화와 T_{PM} 에 종속적인 감자는 지표에 있어서 λ_d 축의 이동과 동작점의 이동에 기인하기 때문에 서로 구별될 수 없다. T_{PM} 을 간접적으로 측정하는 하나의 방법은 고정자 온도 T_s 의 양호한 지표인 고정자 저항 R_s 에 대한 추정에 의한 것이다. R_s 의 추정은 인버터를 사용하여 정지 상태에 있는 모터에 직류 성분을 가한 이후에 전압과 전류의 직류 성분으로부터 용이하게 얻어질 수 있다. 만약 모터가 대기 온도로 낮아진 이후 모터의 기동 전에 테스트를 수행하면, R_s 추정 값(T_s)은 T_{PM} 을 나타낸다. 유사한 T_{PM} 에서 얻어진 L_d' 측정값은 정지 상태의 테스트이기 때문에 온도에 민감하지 않은 신뢰성있는 영구 자석 회전자의 상태 추정에 대한 변화 추이가 될 수 있다. 편심 검출을 위한 또 다른 접근은 도 8에 도시된 L_d' 곡선의 형태를 관찰하는 것이다. 곡선은 T_{PM} 에 따라 왼쪽 또는 오른쪽으로 이동할 수 있지만, 형태는 변하지 않기에 T_{PM}

에 독립적인 편심 검출이 가능하다.

$L_{d,a}$ '의 정상적인 값은 영구 자석 및/또는 코어 재료 또는 제조 결함 또는 불일치 등의 개별적인 변동으로 인해 동일한 설계의 모터에 대해 변할 수 있다. 따라서 개별적인 모터에 대해 $L_{d,a}$ '의 정상적인 값을 측정하여 저장하고, 신뢰성있는 측정을 위해 시간의 흐름에 따라 관찰하는 것이 바람직하다.

도 11은 본 발명에 따른 영구 자석 동기 전동기의 상태 진단 장치의 구성을 도시한 도면이다.

도 11을 참조하면, 본 발명에 따른 영구 자석 동기 전동기의 상태 진단 장치(1100)는 자계 발생부(1110), 고정자 전류 측정부(1120) 및 상태 진단부(1130)를 구비한다.

자계 발생부(1110)는 영구 자석 동기 전동기의 회전자가 정지 상태에 있을 때 영구 자석의 극 방향(즉, S극에서 N극 쪽)으로 직류 자계와 교류 자계가 중첩된 자계를 발생한다. 이러한 자계 발생부(1110)는 도 1에 도시된 바와 같은 인버터(100)에 의해 구현될 수 있다. 이때 자계 발생부(1110)에 의해 영구 자석 동기 전동기로 인가된 전류(i_a , i_b , i_c)에 의해 발생된 자계가 영구 자석의 극 방향과 일치하지 않고 일정한 각도(즉, 도 1에서 회전자의 극 방향인 d축과 자계의 발생 방향 사이의 각도 θ)를 이루는 경우가 발생한다. 이러한 d 축 각도 θ 는 회전자 돌출 및/또는 포화를 기초로 본 발명이 속하는 기술분야에서 널리 알려진 초기 회전자 위치 추정 방법에 의해 용이하게 추정될 수 있다. 그리고 d 축 방향으로의 자계 성분은 수학식 7에 의해 얻어질 수 있다. 이때 자계 발생부(1110)는 일정한 범위 내에서 직류 자계의 크기를 변화시키며, 이에 의해 코어의 포화 정도가 변화된다. 예를 들어, 영구 자석 동기 전동기에 영구 자석의 극 방향으로 직류 전류를 흘려 직류 자계를 증가시키면, 영구 자석의 자계와 고정자 권선에서 발생한 자계가 중첩되어 코어가 포화되고 이에 따라 디퍼런셜 인덕턴스가 감소한다. 만약 영구 자석 동기 전동기의 영구 자석이 감자되면, 정상 상태의 영구 자석보다 큰 직류 자계를 인가해야 코어가 포화되기 시작한다. 따라서 감자된 영구 자석에 대해서는 보다 큰 직류 전류를 전류를 인가해야 코어가 포화되어 디퍼런셜 인덕턴스가 감소하기 시작한다.

고정자 전류 측정부(1120)는 발생된 자계 각각에 대응하여 고정자 권선에 흐르는 전류를 측정한다. 따라서 고정자 전류 측정부(1120)는 자계 발생부(1110)에 의해 발생되어 영구 자석 동기 전동기에 인가된 직류 자계의 크기별로 각각 고정자

권선에 흐르는 전류를 측정하여 출력한다.

상태 진단부(1130)는 발생된 자계 각각에 대해 측정된 고정자 권선의 전류값들의 영구 자석의 극 방향 성분과 교류 자계 성분으로부터 측정된 영구 자석의 극 방향 전류 i_d 와 영구 자석의 극방향 쇄교 자속 λ_d 을 기초로 수학식 4에 의해 산출된 d축 디퍼런셜 인덕턴스 L_d' 의 변화 추이를 기초로 영구 자석의 감자 상태와 편심 상태를 진단한다. 이때 상태 진단부(1130)는 영구 자석의 감자 상태를 진단하기 위해 먼저 교류 자계 성분으로부터 측정된 전류와 쇄교 자속을 기초로 수학식 4에 의해 d축 디퍼런셜 인덕턴스를 산출한다. 다음으로 상태 진단부(1130)는 산출된 d축 디퍼런셜 인덕턴스를 정상적인 영구 자석에 대해 사전에 측정되어 저장되어 있는 기준 디퍼런셜 인덕턴스와 비교하여 영구 자석의 감자 상태와 편심 상태를 진단한다.

만약 고정자 전류 측정부(1120)에 의해 측정된 고정자 권선에 흐르는 서로 다른 크기의 직류 전류값과 이에 대응하여 산출된 d축 디퍼런셜 인덕턴스가 정상적인 영구 자석에 대해 동일한 상황에서 산출된 기준 디퍼런셜 인덕턴스보다 크면, 상태 진단부(1130)는 영구 자석이 감자된 것으로 판단한다. 또한 영구 자석 동기 전동기에 인가된 서로 다른 크기의 직류 전류값과 이에 대응하여 산출된 d축 디퍼런셜 인덕턴스가 정상적인 영구 자석에 대해 동일한 상황에서 산출된 기준 디퍼런셜 인덕턴스보다 작으면, 상태 진단부(1130)는 편심이 발생한 것으로 판단한다. 이때 영구 자석 동기 전동기에 인가되는 직류 전류값들은 감자와 편심을 각각 가장 민감하게 진단할 수 있는 값으로 설정되는 것이 바람직하다. 따라서 도 8에 도시된 바와 같이 감자 상태를 진단할 때와 편심 상태를 진단할 때 각각 인덕턴스의 차이가 가장 크게 되는 $I_{d, dem}$ 과 $I_{d, ecc}$ 을 직류 전류값으로 결정하는 것이 바람직하다.

한편 상태 진단부(1130)는 직류 전류 대 디퍼런셜 인덕턴스 그래프의 기울기를 기초로 편심 상태를 진단할 수 있다. 즉, 도 8에 도시된 바와 같이, 영구 자석 동기 전동기의 고정자 권선으로부터 측정된 서로 다른 크기의 직류 전류값에 대해 이에 대응하여 산출된 디퍼런셜 인덕턴스의 변화비(즉, 직류 전류 대 디퍼런셜 인덕턴스 그래프의 기울기)가 정상적인 영구 자석에 대해 동일한 상황에서 산출된 기준 디퍼런셜 인덕턴스의 변화비와 다르면, 상태 진단부(1130)는 회전자가 편심된 것으로 판단한다.

도 12는 본 발명에 따른 영구 자석 동기 전동기의 상태 진단 방법에 대한 일 실시예의 수행과정을 도시한 흐름도이다.

도 12를 참조하면, 영구 자석 동기 전동기의 회전자가 정지상태에 있을 때 자계 발생부(1110)는 영구 자석의 극 방향(즉, S극에서 N극 쪽)으로 직류 자계와 교류 자계가 중첩된 복수의 자계를 발생한다(S1200). 이때 자계 발생부(1110)에 의해 발생된 복수의 자계는 직류 자계의 크기가 사전에 설정된 범위 내에서 서로 다르게 설정된다. 다음으로 고정자 전류 측정부(1120)는 발생된 자계 각각에 대응하여 고정자 권선에 흐르는 전류를 측정한다(S1210). 다음으로 감자 상태 진단부(1130)는 발생된 자계 각각에 대해 측정된 고정자 권선의 전류값들과 교류 자계 성분으로부터 측정된 전류 i_d 와 쇄교 자속 λ_d 을 기초로 수학식 4에 의해 산출된 d축 디퍼런셜 인덕턴스 L_d' 의 변화 추이를 기초로 영구 자석의 감자 상태와 편심 상태를 진단한다(S1220).

본 발명에 따른 효과를 검증하기 위해 도 13의 (a)에 도시된 바와 같은 4극 7.5 kW NdFeB 자석을 내장한 영구 자석 동기 전동기에 대해 실험을 수행했다. d축 방향으로 직류와 교류 자계가 결합된 자계로 모터를 구동하기 위해 IGBT 인버터를 제어하기 위해 상용의 DSP를 사용하였다. 그리고 V_{dc} 의 값을 I_d 가 -1 A에서 7 A(또는 10 A) 사이에서 변화도록 설정하고, 직류 자계의 크기에 따른 d축 디퍼런셜 인덕턴스 L_d' 에 대한 검출 민감도의 변화 추이를 확인하기 위해 I_d 의 크기를 1 A 단위로 증가시켰다. 교류 자계로부터 측정된 전압 v 와 전류 i 로부터 L_d' 를 계산하기 위해 교류 주파수를 50 Hz로 하였고, 교류 전류의 크기가 각각의 I_d 크기에 대해 2 A의 피크 투 피크를 가지도록 V_{ac} 를 설정하였다. L_d' 의 일관성은 2 A의 피크 투 피크보다 큰 교류 전류 크기에서 개선되지 않는다. 엄격한 균일 감자를 가진 모터 샘플(샘플 B)과 부분적으로 깨진 영구 자석(샘플 C, D)으로 테스트를 수행하였고, 균일하고 부분적인 감자하에서 본 발명의 검출 민감도를 평가하기 위해 정상적인 회전자와 비교하였다. 샘플 A와 B에 대해 30000 RPM에서 역 기전력 전압 측정 결과에 따르면, 샘플 B의 역 기전력 상수는 균일한 감자로 인해 31.2 % 감소되었다. 부분적으로 감자된 샘플을 얻기 위해, 도 13의 (b)와 (c)에 도시된 바와 같이 끝로 자석의 7.2 %와 10.4 %를 고의로 깨트렸다.

0.65 mm 공극에 대해 0 %, 25 % 및 50 % DE 상태를 얻기 위해 도 13의 (a)에 도시된 바와 같은 회전자 코어에 적합한 특별한 축 어셈블리를 제작했다. 원래 축의 외부 크기를 축소하고, 네 개의 홈을 제조하여 축과 회전자 코어 사이의 간격이 다른 높이의 키를 사용하여 편심을 제어하기 위해 조절될 수 있도록 하였다. 도 14

에는 위쪽으로 50 %의 DE를 가지는 경우에 대한 기계적인 구성이 도시되어 있다. 그리고 도 15에는 제작된 축, 0 %, 25 % 및 50 %의 편심을 위한 세 개의 키, 그리고 회전자 코어 어셈블리의 사진이 도시되어 있다. 도 9에 도시된 FE 시뮬레이션에서 알 수 있듯이, 자기적 인력이 최대인 자석의 중심에 DE의 방향이 정렬되도록 한 상태에서 실험적인 측정이 수행되었다.

도 16의 (a)에는 건강하고 감자된 영구 자석 샘플들(A~D)의 X_d' 에 대한 측정 결과가 I_d 의 함수로 도시되어 있다. 만약 직류 자계 성분이 특정한 범위에 있으면, X_d' 는 샘플 B~D에 대한 감자 정도에 따라 증가함을 명백하게 알 수 있다. 부분적으로 감자된 샘플 C와 D의 경우에, 코어를 포화시키기 위해 높은 기자력이 요구되기 때문에 X_d' 곡선이 우측으로 이동한다. 샘플 B의 경우에, 엄격한 균일 감자로 인해 d축으로 인가된 직류 자계의 범위 내에서 곡선의 선형 영역만 관찰된다. 이러한 샘플에 있어서 코어 포화에 기인한 X_d' 의 감소는 매우 큰 I_d 값에서만 관찰될 수 있다. 동작점이 선형 영역에서 변곡점보다 훨씬 아래에 있기 때문에 $I_d=0$ 에서 샘플 B의 X_d' 값은 샘플 A, C 및 D보다 크다.

도 16의 (b)에는 높은 민감도를 위한 최적의 여기 조건을 파악하기 위해 부분적으로 감자된 샘플과 정상적인 샘플의 X_d' 값들 사이의 차이 $\Delta X_d'$ 가 도시되어 있다. 도 16의 (b)를 참조하면, 샘플 C와 D에 대해 $\Delta X_d'$ 는 초기에 I_d 와 함께 증가하나, 곡선이 유사한 값으로 수렴하기 때문에 코어가 과포화에 도달함에 따라 감소하기 시작한다. $\Delta X_d'$ 의 값은 $I_d=5$ A일 때 가장 크며, 이는 감자 검출에 대한 민감도가 최대임을 의미한다. 샘플 B의 경우에 있어서 중요한 영구 자석의 감자는 모델 기반 검출 기법 또는 역 기전력 기반 검출 기법에 의해 용이하게 검출될 수 있다. 그러나 샘플 C와 D의 경우와 같이 작은 크기의 부분적인 감자는 검출되기 어렵다. 만약 5 A의 직류 여기가 사용되면, 도 17에 도시된 바와 같이 X_d' 는 1.8 %와 2.6 %의 부분적인 감자에 대해 각각 6.2 %와 12.6 %만큼 증가한다. 이로부터 본 발명에 따른 진단 장치 및 방법이 감자된 영구 자석에 있어서 비선형 포화 효과로 인해 X_d' 의 증가가 증폭되는 자기 포화를 이용하기 때문에 작은 양의 부분적인 감자에 매우 민감함을 알 수 있다. 이는 고장 지표가 자석의 세기에 비례하는 기존의 기법과 비교할 때 민감도에 있어서 상당한 개량이라 할 수 있다.

도 18의 (a)와 (b)에는 각각 편심 샘플 E~G에 대한 X_d' 의 측정값과 $\Delta X_d'$ 가

I_d 의 함수로 도시되어 있다. 도 18을 참조하면, X_d' 는 DE(샘플 F, G)의 크기가 증가함에 따라 증가함을 알 수 있다. X_d' 곡선은 I_d 의 특정한 범위에서 아래쪽으로 이동하며, 이는 주로 편심이 공극이 감소되는 코어의 부분을 포화시켜 코어의 해당 부분에서 X_d' 를 감소시키기 때문이다. 샘플 A와 E에 대한 X_d' 곡선은 재료의 개별적인 변화 및/또는 제조의 비이상적인 상황으로 인해 약간 차이가 있음을 주목할 필요가 있다. 따라서 X_d' 의 변화는 동일한 환경과 사전에 설정된 여기 조건 하에서 개별적인 모터의 정상적인 값에 대해 검사되어야 한다. 도 18의 (b)로부터 $\Delta X_d'$ 는 초기에 증가하고, 코어가 포화됨에 따라 감소하여 0으로 수렴됨을 알 수 있다. 연구에서 편심에 대한 가장 높은 검출 민감도는 $\Delta X_d'$ 가 가장 큰 $I_d=4 \text{ A}(I_{d, ecc})$ 에서 얻어진다. $I_d=4 \text{ A}$ 에서 $\Delta X_d'$ 의 감소는 $I_d=0 \text{ A}$ 일 때보다 매우 높으며, 이에 의해 본 발명에 따른 진단 장치 및 방법은 기존의 기법에 비해 높은 민감도를 가진다. 도 19에는 샘플 F와 G에 대해 $I_{d, ecc}=4 \text{ A}$ 에서 측정된 X_d' 의 증가가 도시되어 있다. % 감소는 25 %와 50 %의 편심에 대해 각각 5.8 %와 14.5 %만큼 높다. 감자의 경우와 마찬가지로, 본 발명에 따른 진단 장치 및 방법은 비선형 자기 포화가 편심 회전자에 대해 X_d' 의 감소를 증폭시키기 때문에 편심에 매우 민감하다. 이는 기본 성분에 대한 고장 성분의 % 크기가 -60 dB이하인(이는 기본 성분의 0.1 % 이하임) 기존의 MCSA에 비해 실질적인 개선이라 할 수 있다.

본 발명은 또한 컴퓨터로 읽을 수 있는 기록매체에 컴퓨터가 읽을 수 있는 코드로서 구현하는 것이 가능하다. 컴퓨터가 읽을 수 있는 기록매체는 컴퓨터 시스템에 의하여 읽혀질 수 있는 데이터가 저장되는 모든 종류의 기록장치를 포함한다. 컴퓨터가 읽을 수 있는 기록매체의 예로는 ROM, RAM, CD-ROM, 자기 테이프, 플로피 디스크, 광데이터 저장장치 등이 있으며, 또한 캐리어 웨이브(예를 들어 인터넷을 통한 전송)의 형태로 구현되는 것도 포함한다. 또한 컴퓨터가 읽을 수 있는 기록매체는 네트워크로 연결된 컴퓨터 시스템에 분산되어 분산방식으로 컴퓨터가 읽을 수 있는 코드가 저장되고 실행될 수 있다.

이상에서 본 발명의 바람직한 실시예에 대해 도시하고 설명하였으나, 본 발명은 상술한 특징의 바람직한 실시예에 한정되지 아니하며, 청구범위에서 청구하는 본 발명의 요지를 벗어남이 없이 당해 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 누구든지 다양한 변형 실시가 가능한 것은 물론이고, 그와 같은 변경은 청구범위 기재의 범위 내에 있게 된다.

【청구의 범위】

【청구항 1】

회전자가 정지상태에 있을 때 영구 자석의 극 방향으로 직류 자계와 교류 자계가 중첩된 복수의 자계를 발생하는 자계 발생부;

상기 발생된 자계 각각에 대응하여 고정자 권선에 흐르는 전류를 측정하는 고정자 전류 측정부; 및

상기 발생된 자계 각각에 대응하여 측정된 상기 고정자 권선에 흐르는 전류의 상기 영구 자석의 극 방향 성분값에 대한 디퍼런셜 인덕턴스의 변화 추이를 기초로 상기 영구 자석의 감자 상태와 상기 회전자의 편심 상태를 진단하는 상태 진단부;를 포함하며,

상기 디퍼런셜 인덕턴스는 상기 발생된 자계에 포함되어 있는 교류 자계 성분에 의한 전류의 상기 영구 자석의 극 방향 성분값의 변화량에 대한 상기 교류 자계 성분으로부터 측정된 쇄교 자속(flux linkage)의 상기 영구 자석의 극 방향 성분값의 변화량으로 정의되는 것을 특징으로 하는 영구 자석 동기 전동기의 상태 진단 장치.

【청구항 2】

제 1항에 있어서,

상기 상태 진단부는 상기 발생된 자계를 기초로 산출한 디퍼런셜 인덕턴스가 상기 영구 자석이 정상인 상태에서 산출하여 보유하고 있는 기준 디퍼런셜 인덕턴스보다 크면 상기 영구 자석이 감자된 것으로 진단하고, 상기 발생된 자계를 기초로 산출한 디퍼런셜 인덕턴스가 상기 영구 자석이 정상인 상태에서 산출하여 보유하고 있는 기준 디퍼런셜 인덕턴스보다 작으면 상기 회전자가 편심된 것으로 진단하는 것을 특징으로 하는 영구 자석 동기 전동기의 상태 진단 장치.

【청구항 3】

(a) 회전자가 정지상태에 있을 때 영구 자석의 극 방향으로 직류 자계와 교류 자계가 중첩된 복수의 자계를 발생하는 단계;

(b) 상기 발생된 자계 각각에 대응하여 고정자 권선에 흐르는 전류를 측정하는 단계; 및

(c) 상기 발생된 자계 각각에 대응하여 측정된 상기 고정자 권선에 흐르는 전류의 상기 영구 자석의 극 방향 성분값에 대한 디퍼런셜 인덕턴스의 변화 추이를 기초로 상기 영구 자석의 감자 상태와 상기 회전자의 편심 상태를 진단하는 단계;를 포함하며,

상기 디퍼런셜 인덕턴스는 상기 발생된 자계에 포함되어 있는 교류 자계 성분
에 의한 전류의 상기 영구 자석의 극 방향 성분값의 변화량에 대한 상기 교류 자
계 성분으로부터 측정된 쇄교 자속(flux linkage)의 상기 영구 자석의 극 방향 성
분값의 변화량으로 정의되는 것을 특징으로 하는 영구 자석 동기 전동기의 상태 진
단 방법.

【청구항 4】

제 3항에 있어서,

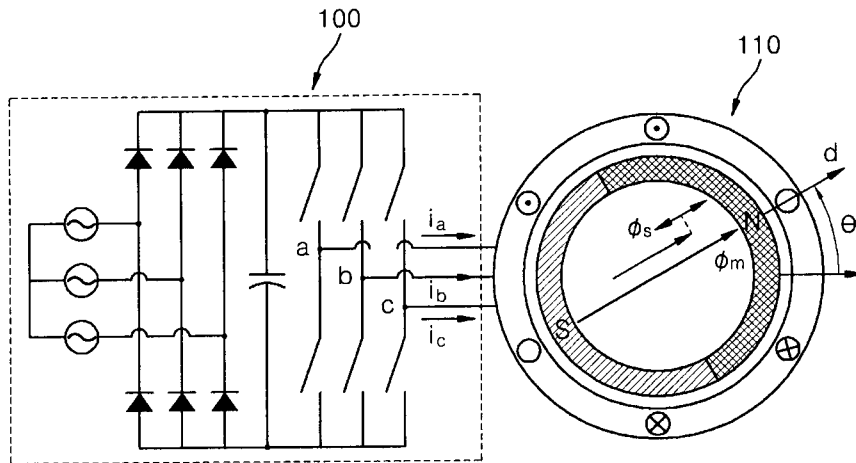
상기 (c)단계에서, 상기 발생된 자계를 기초로 산출한 디퍼런셜 인덕턴스가
상기 영구 자석이 정상인 상태에서 산출하여 보유하고 있는 기준 디퍼런셜 인덕턴
스보다 크면 상기 영구 자석이 감자된 것으로 진단하고, 상기 발생된 자계를 기초
로 산출한 디퍼런셜 인덕턴스가 상기 영구 자석이 정상인 상태에서 산출하여 보유
하고 있는 기준 디퍼런셜 인덕턴스보다 작으면 상기 회전자가 편심된 것으로 진단
하는 것을 특징으로 하는 영구 자석 동기 전동기의 상태 진단 방법.

【청구항 5】

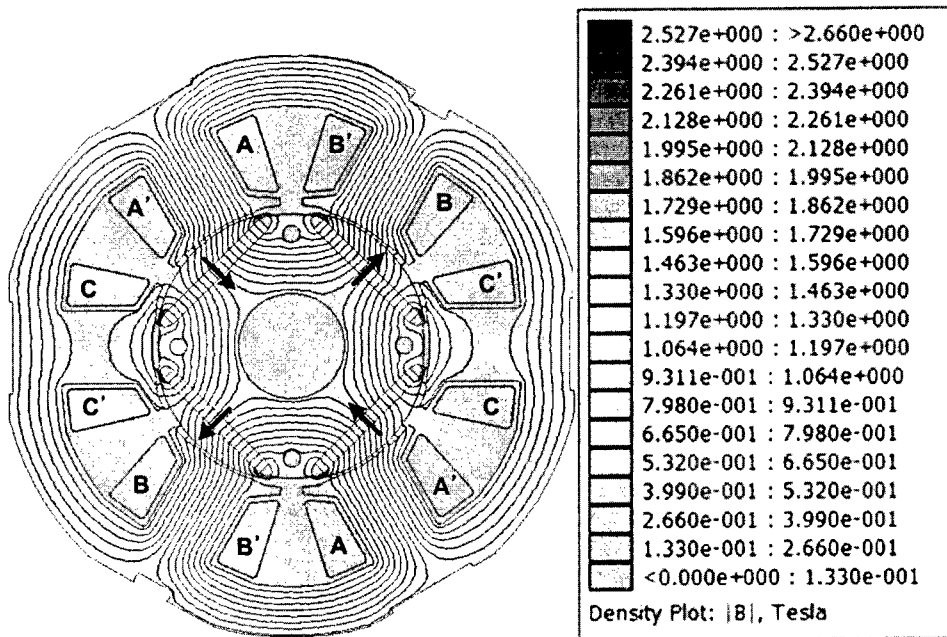
제 3항에 기재된 영구 자석 동기 전동기의 상태 진단 방법을 컴퓨터에서 실
행시키기 위한 프로그램을 기록한 컴퓨터로 읽을 수 있는 기록 매체.

【도면】

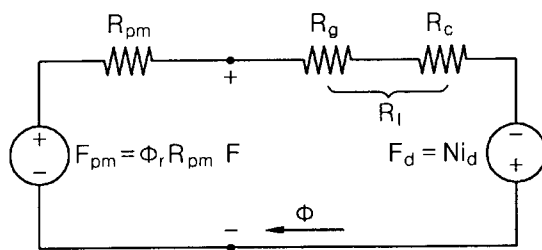
【도 1】



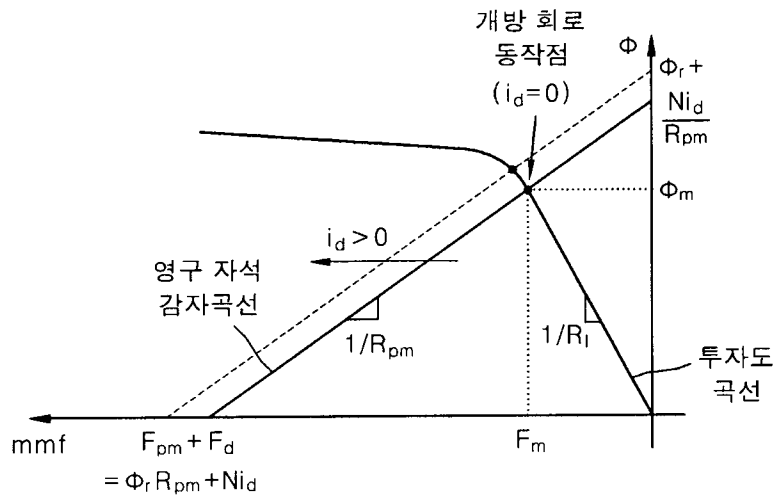
【도 2】



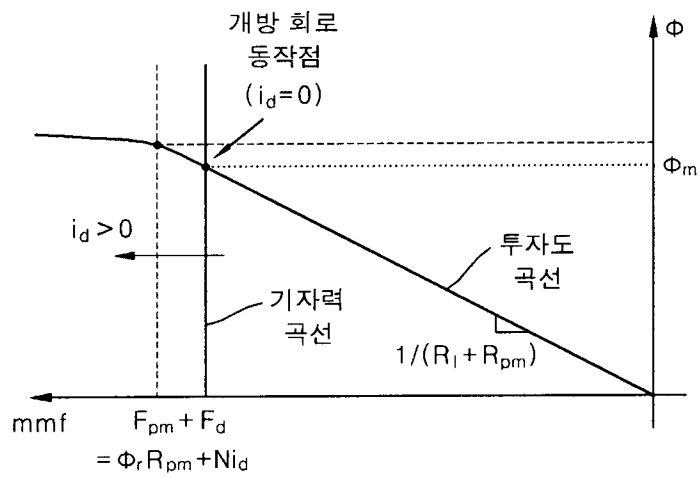
【도 3】



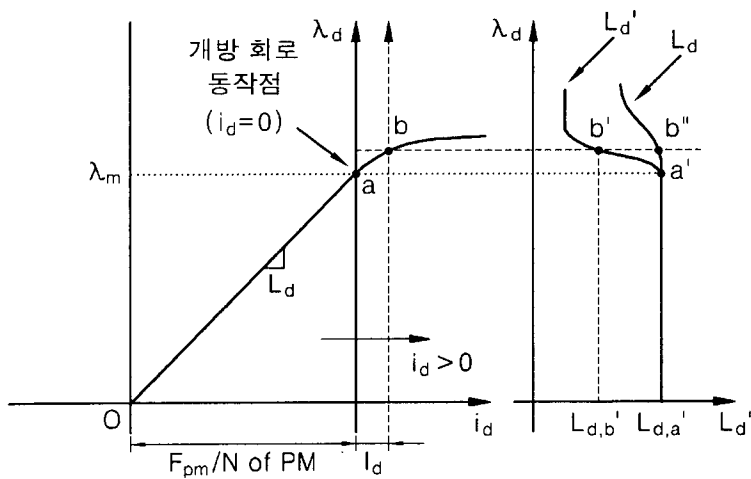
【도 4】



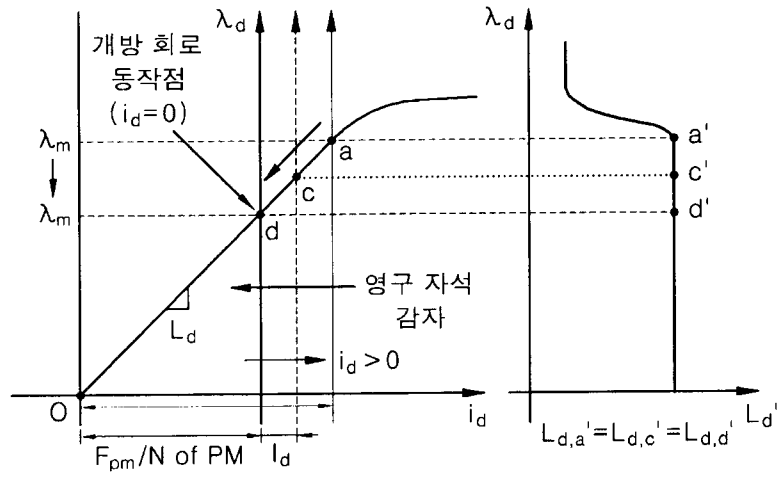
【도 5】



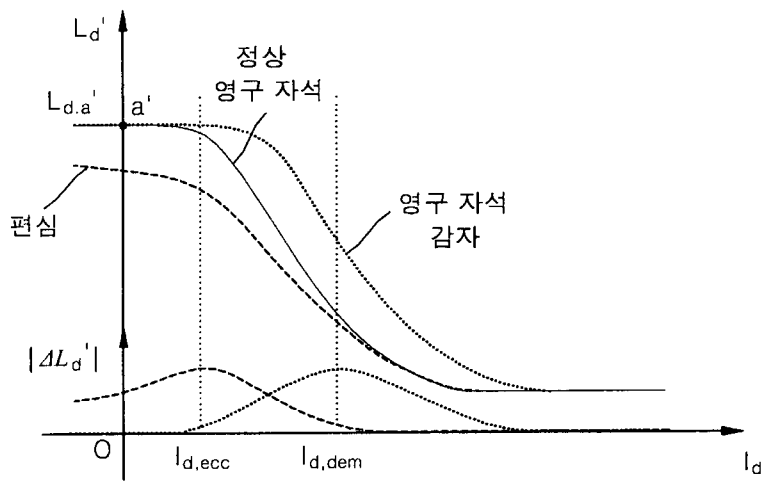
【도 6】



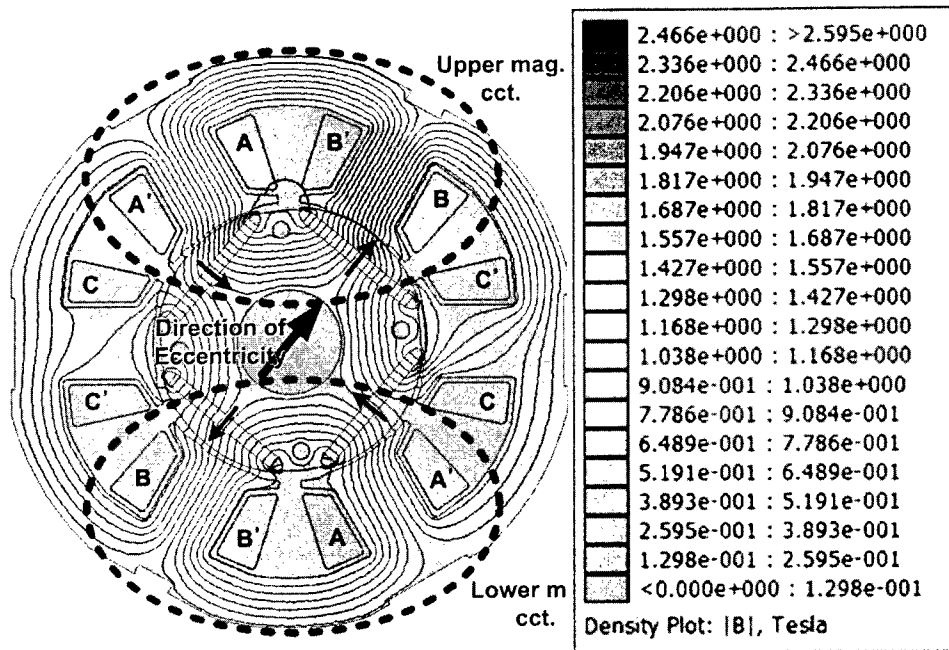
【도 7】



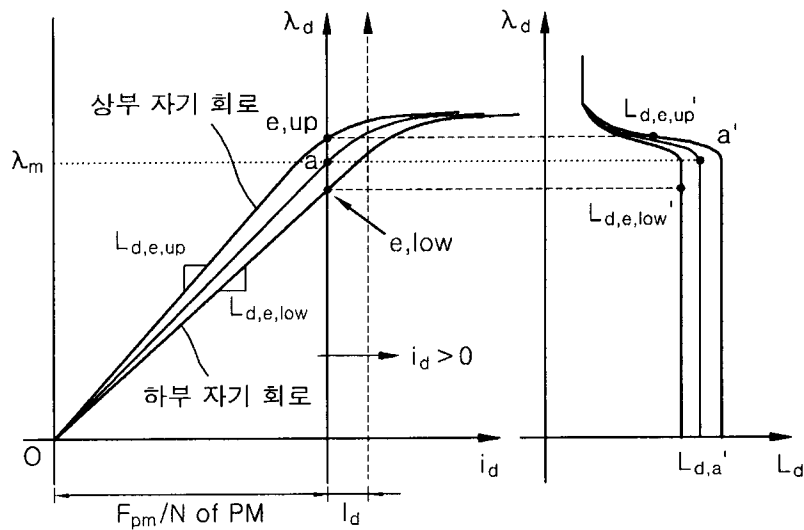
【도 8】



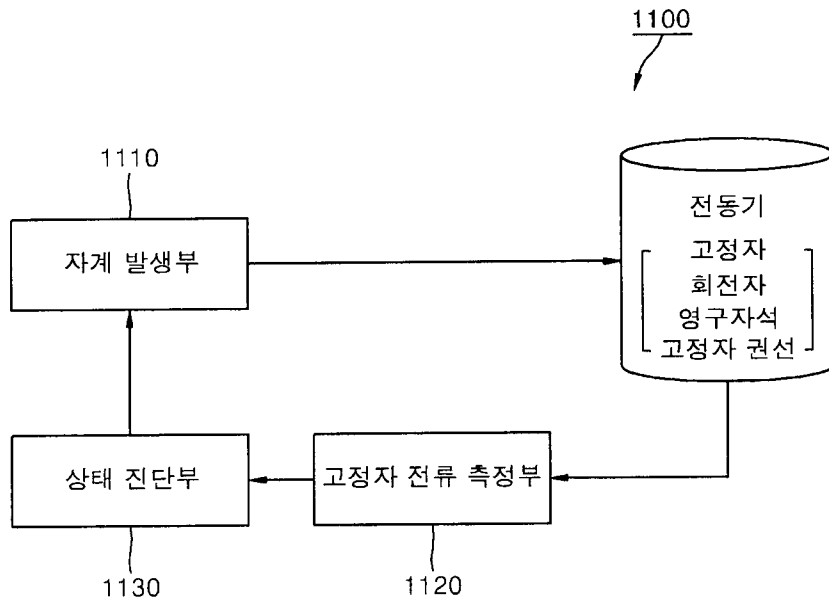
【도 9】



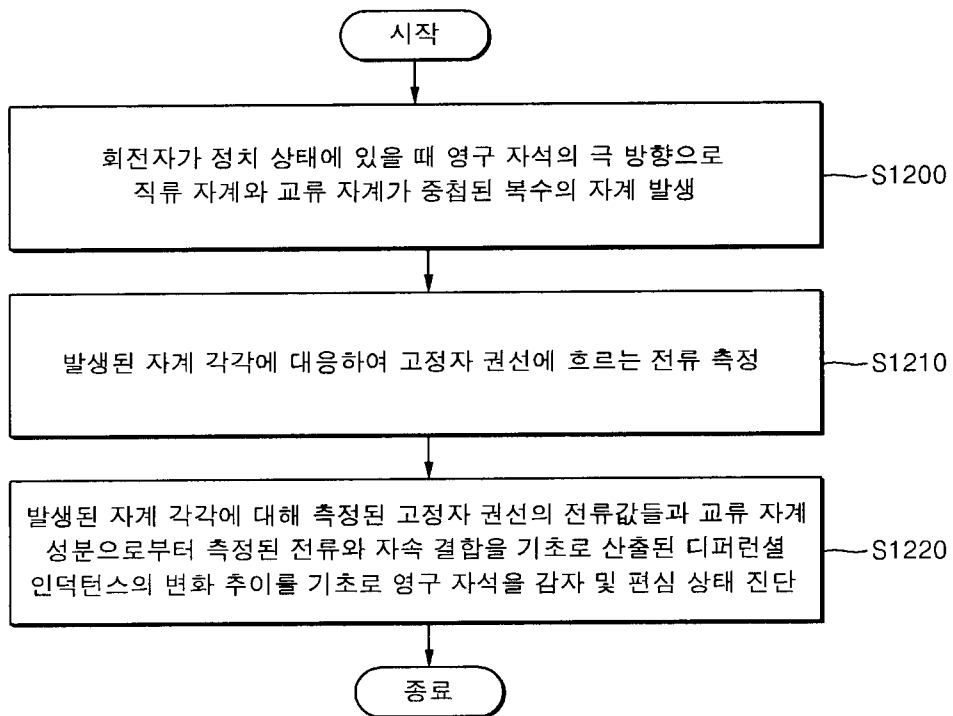
【도 10】



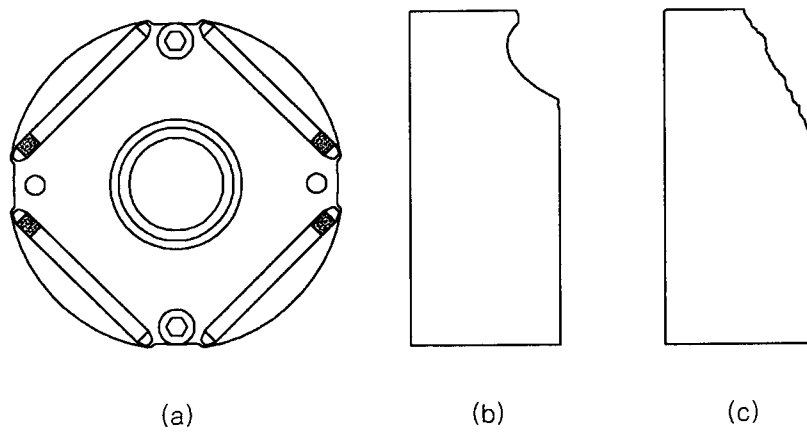
【도 11】



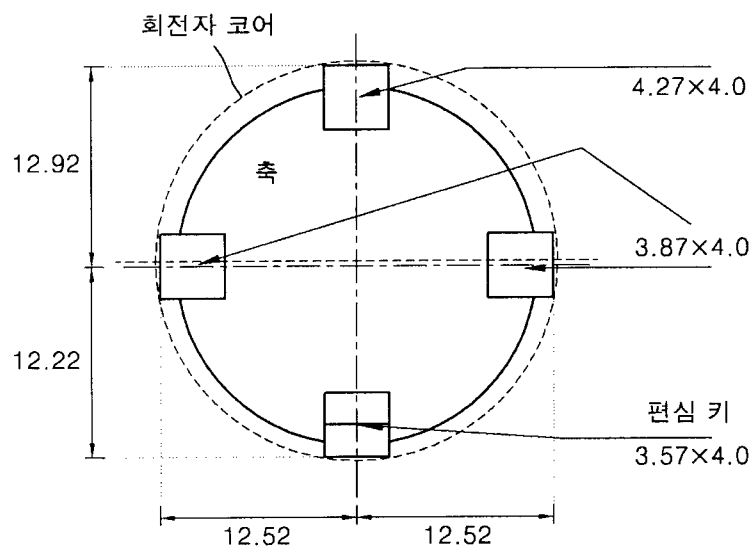
【도 12】



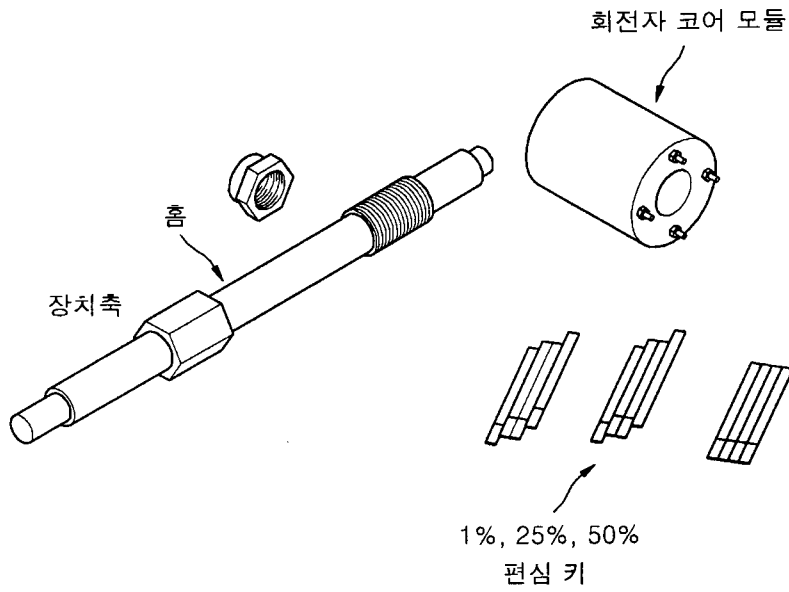
【도 13】



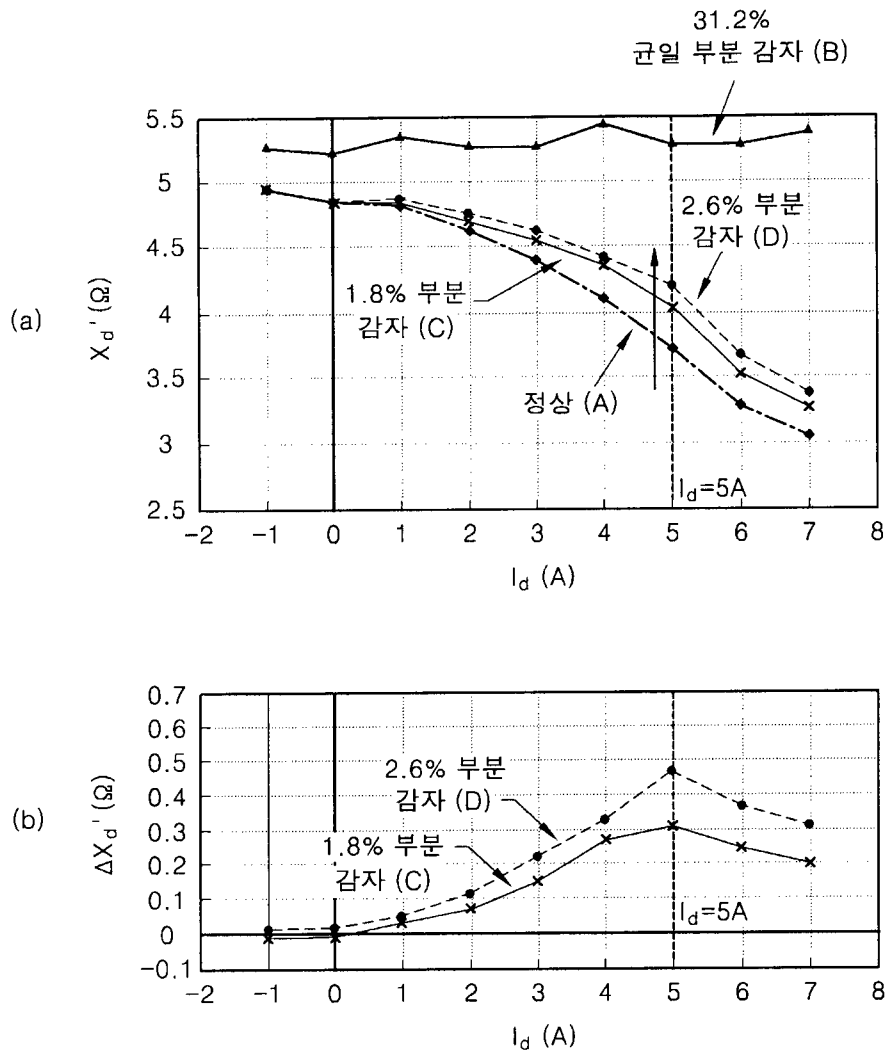
【도 14】



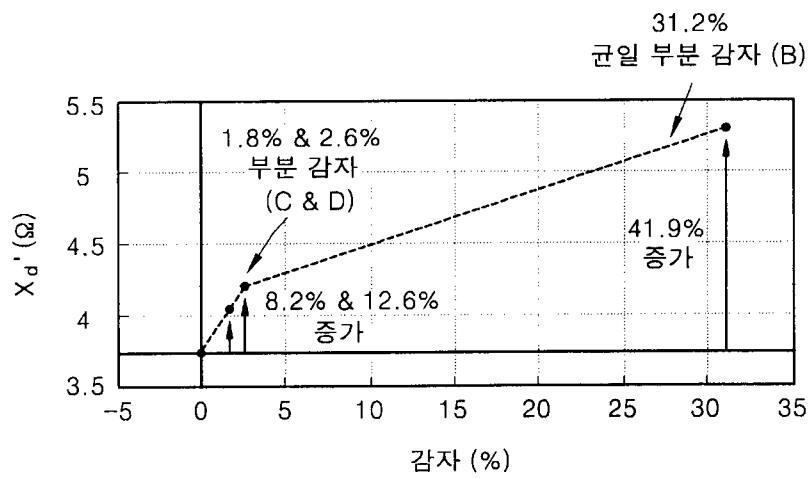
【도 15】



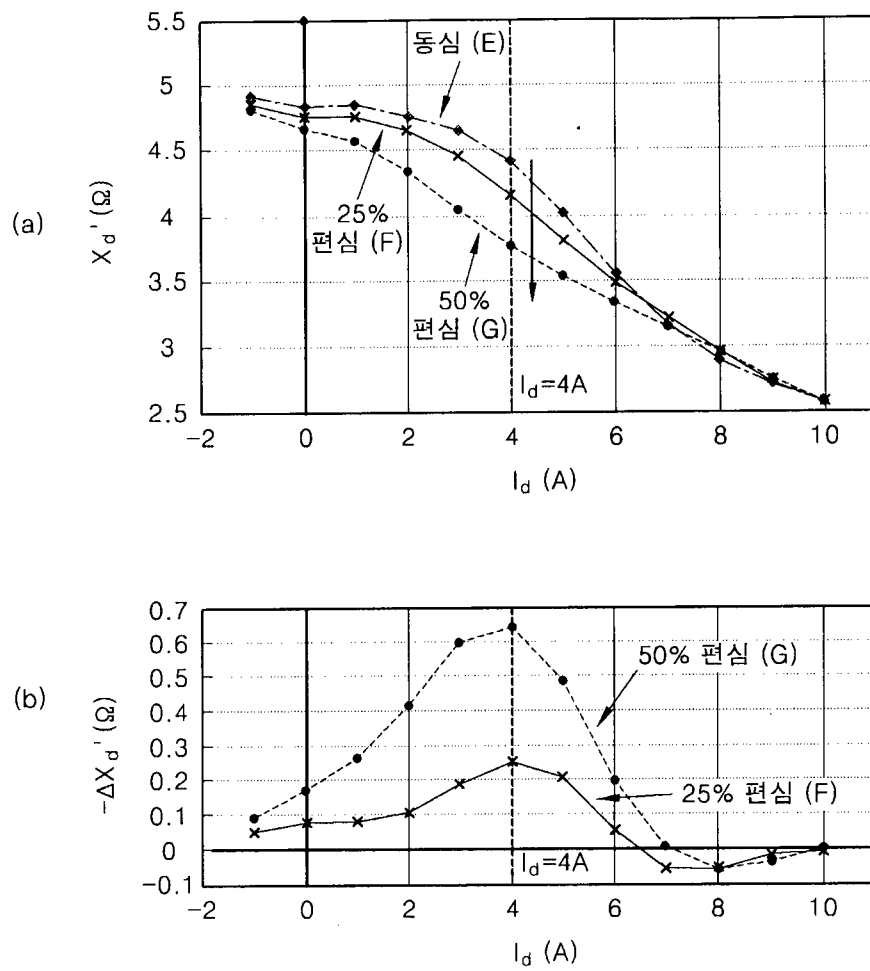
【도 16】



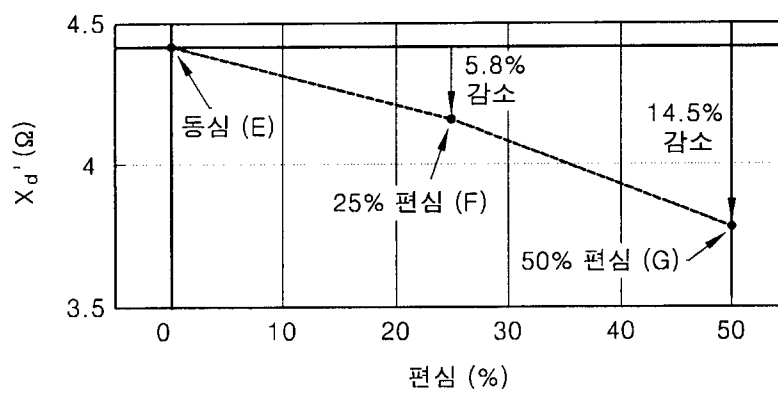
【도 17】



【도 18】



【도 19】



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/KR2012/001016**A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER****G01R 31/34(2006.01)i, G01R 31/06(2006.01)i, G01R 19/12(2006.01)i**

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

G01R 31/34; G01R 31/06; G01R 33/02; H02P 21/14; F25B 49/00; F25B 1/00

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Korean Utility models and applications for Utility models: IPC as above

Japanese Utility models and applications for Utility models: IPC as above

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

eKOMPASS (KIPO internal) & Keywords: motor, permanent magnet, flux, alternating current, magnetic field, rotor, direct current, wiring, stator, inductance, differential inductance, potato, eccentric, direction, overlapping, linkage

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	KR 10-2010-0045718 A (KOREA UNIVERSITY RESEARCH AND BUSINESS FOUNDATION) 04 May 2010 See abstract, paragraphs [0032]-[0080], claims 1,13, and figures 2-8.	1-5
A	US 2010-0060210 A1 (JINGBO LIU et al.) 11 March 2010 See abstract, paragraphs [0038]-[0054], and figures 1,3,4.	1-5
A	US 2005-0247073 A1 (TAKESHI HIKAWA et al.) 10 November 2005 See abstract, paragraphs [0010]-[0066], and figures 1,8,14,15.	1-5
A	KR 10-2008-0032761 A (POSCON CORPORATION) 16 April 2008 See abstract, paragraphs [0011]-[0036], and figures 1-3.	1-5

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.☒ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

18 SEPTEMBER 2012 (18.09.2012)

Date of mailing of the international search report

19 SEPTEMBER 2012 (19.09.2012)

Name and mailing address of the ISA/KR

Korean Intellectual Property Office
Government Complex-Daejeon, 139 Seonsa-ro, Daejeon 302-701,
Republic of Korea

Facsimile No. 82-42-472-7140

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/KR2012/001016

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member	Publication date
KR 10-2010-0045718 A	04.05.2010	NONE	
US 2010-0060210 A1	11.03.2010	NONE	
US 2005-0247073 A1	10.11.2005	AU 2003-252681 A1	16.02.2004
		AU 2003-252681 A1	16.02.2004
		AU 2003-252681 B2	14.08.2008
		AU 2003-252681 B2	14.08.2008
		AU 2008-202872 A1	24.07.2008
		AU 2008-202872 A1	24.07.2008
		AU 2008-202872 B2	10.02.2011
		AU 2008-202873 A1	24.07.2008
		AU 2008-202873 A1	24.07.2008
		AU 2008-202873 B2	10.02.2011
		CN 100436823 C0	26.11.2008
		CN 1671964 A	21.09.2005
		CN 1671964 C0	26.11.2008
		EP 1541869 A1	15.06.2005
		EP 1541869 A4	07.04.2010
		EP 2312159 A2	20.04.2011
		EP 2312160 A2	20.04.2011
		JP 04-023249 B2	19.12.2007
		JP 2004-060457 A	26.02.2004
		JP 2004-201425 A	15.07.2004
		KR 10-0618262 B1	01.09.2006
		KR 10-0618262 B1	01.09.2006
		KR20050018989A	28.02.2005
		US 7392158 B2	24.06.2008
		WO 2004-011807 A1	05.02.2004
KR 10-2008-0032761 A	16.04.2008	NONE	

A. 발명이 속하는 기술분류(국제특허분류(IPC)) <i>G01R 31/34(2006.01)i, G01R 31/06(2006.01)i, G01R 19/12(2006.01)i</i>		
B. 조사된 분야 조사된 최소문헌(국제특허분류를 기재) G01R 31/34; G01R 31/06; G01R 33/02; H02P 21/14; F25B 49/00; F25B 1/00 조사된 기술분야에 속하는 최소문헌 이외의 문헌 한국등록실용신안공보 및 한국공개실용신안공보: 조사된 최소문헌란에 기재된 IPC 일본등록실용신안공보 및 일본공개실용신안공보: 조사된 최소문헌란에 기재된 IPC 국제조사에 이용된 전산 데이터베이스(데이터베이스의 명칭 및 검색어(해당하는 경우)) eKOMPASS(특허청 내부 검색시스템) & 키워드: 전동기, 영구자석, 자속, 교류, 자계, 회전자, 직류, 권선, 고정자, 인덕턴스, 디퍼 런셜 인덕턴스, 감자, 편심, 방향, 중첩, 쇄교		
C. 관련 문헌		
카테고리*	인용문헌명 및 관련 구절(해당하는 경우)의 기재	관련 청구항
A	KR 10-2010-0045718 A (고려대학교 산학협력단) 2010.05.04 요약, 문단번호 [0032]-[0080], 청구항 1,13, 및 도면 2-8 참조.	1-5
A	US 2010-0060210 A1 (JINGBO LIU et al.) 2010.03.11 요약, 문단번호 [0038]-[0054], 및 도면 1,3,4 참조.	1-5
A	US 2005-0247073 A1 (TAKESHI HIKAWA et al.) 2005.11.10 요약, 문단번호 [0010]-[0066], 및 도면 1,8,14,15 참조.	1-5
A	KR 10-2008-0032761 A (주식회사 포스콘) 2008.04.16 요약, 문단번호 [0011]-[0036], 및 도면 1-3 참조.	1-5
☐ 추가 문헌이 C(계속)에 기재되어 있습니다. ☒ 대응특허에 관한 별지를 참조하십시오.		
* 인용된 문헌의 특별 카테고리: “A” 특별히 관련이 없는 것으로 보이는 일반적인 기술수준을 정의한 문헌 “E” 국제출원일보다 빠른 출원일 또는 우선일을 가지나 국제출원일 이후에 공개된 선출원 또는 특허 문헌 “L” 우선권 주장에 의문을 제기하는 문헌 또는 다른 인용문헌의 공개일 또는 다른 특별한 이유(이유를 명시)를 밝히기 위하여 인용된 문헌 “O” 구두 개시, 사용, 전시 또는 기타 수단을 언급하고 있는 문헌 “P” 우선일 이후에 공개되었으나 국제출원일 이전에 공개된 문헌 “T” 국제출원일 또는 우선일 후에 공개된 문헌으로, 출원과 상충하지 않으며 발명의 기초가 되는 원리나 이론을 이해하기 위해 인용된 문헌 “X” 특별한 관련이 있는 문헌. 해당 문헌 하나만으로 청구된 발명의 신규성 또는 진보성이 없는 것으로 본다. “Y” 특별한 관련이 있는 문헌. 해당 문헌이 하나 이상의 다른 문헌과 조합하는 경우로 그 조합이 당업자에게 자명한 경우 청구된 발명은 진보성이 없는 것으로 본다. “&” 동일한 대응특허문헌에 속하는 문헌		
국제조사의 실제 완료일 2012년 09월 18일 (18.09.2012)		국제조사보고서 발송일 2012년 09월 19일 (19.09.2012)
ISA/KR의 명칭 및 우편주소 대한민국 특허청 (302-701) 대전광역시 서구 청사로 189, 4동 (둔산동, 정부대전청사) 팩스 번호 82-42-472-7140		심사관 박근용 전화번호 82-42-481-8508

국제조사보고서에서 인용된 특허문헌	공개일	대응특허문헌	공개일
KR 10-2010-0045718 A	2010.05.04	없음	
US 2010-0060210 A1	2010.03.11	없음	
US 2005-0247073 A1	2005.11.10	AU 2003-252681 A1	2004.02.16
		AU 2003-252681 A1	2004.02.16
		AU 2003-252681 B2	2008.08.14
		AU 2003-252681 B2	2008.08.14
		AU 2008-202872 A1	2008.07.24
		AU 2008-202872 A1	2008.07.24
		AU 2008-202872 B2	2011.02.10
		AU 2008-202873 A1	2008.07.24
		AU 2008-202873 A1	2008.07.24
		AU 2008-202873 B2	2011.02.10
		CN 100436823 C0	2008.11.26
		CN 1671964 A	2005.09.21
		CN 1671964 C0	2008.11.26
		EP 1541869 A1	2005.06.15
		EP 1541869 A4	2010.04.07
		EP 2312159 A2	2011.04.20
		EP 2312160 A2	2011.04.20
		JP 04-023249 B2	2007.12.19
		JP 2004-060457 A	2004.02.26
		JP 2004-201425 A	2004.07.15
		KR 10-0618262 B1	2006.09.01
		KR 10-0618262 B1	2006.09.01
		KR20050018989A	2005.02.28
		US 7392158 B2	2008.06.24
		WO 2004-011807 A1	2004.02.05
KR 10-2008-0032761 A	2008.04.16	없음	