



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2020년02월20일
(11) 등록번호 10-2062461
(24) 등록일자 2019년12월27일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H02K 1/27 (2006.01) H02K 16/02 (2006.01)
H02K 21/22 (2014.01) H02K 49/10 (2006.01)
(52) CPC특허분류
H02K 1/278 (2013.01)
H02K 16/02 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2018-0088510
(22) 출원일자 2018년07월30일
심사청구일자 2018년07월30일
(56) 선행기술조사문헌
JP2009535012 A*
*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자
한국교통대학교산학협력단
충청북도 충주시 대소원면 대학로 50
(72) 발명자
박찬배
경기도 의왕시 포일세거리로 73, 포일숲속마을아파트 408-1103
이형우
서울특별시 강남구 역삼로 531, 청우빌딩 4층
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
특허법인 아이퍼스

전체 청구항 수 : 총 3 항

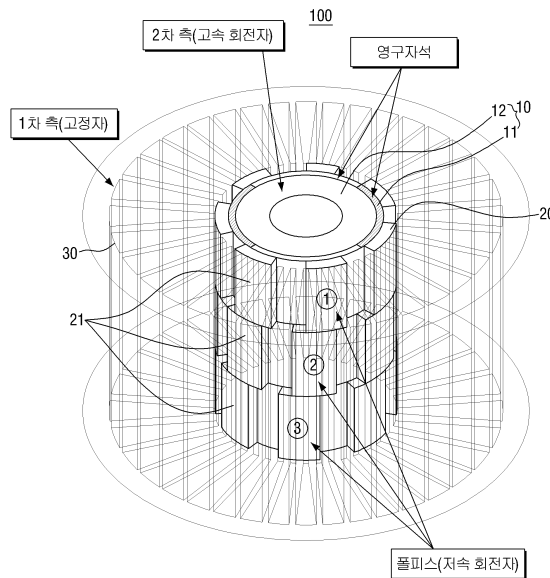
심사관 : 정재현

(54) 발명의 명칭 **마그네틱 기어드 동기전동기의 코깅토크 저감을 위한 스큐각 도출 방법**

(57) 요약

본 발명은 마그네틱 기어드 동기전동기에 있어서 코깅토크 저감을 위하여 2차측 저속회전자인 풀피스에 적용할 최적 스큐각과 코깅토크의 peak to peak값을 수식적으로 쉽게 산출해낼 수 있는 새로운 스큐각 도출법에 관한 것이다. 보다 상세하게는 2중 회전자를 갖는 마그네틱 기어드 동기전동기에 있어서, 영구자석과 자성체로 구성된 (뒷면에 계속)

대표도 - 도3



내측회전자; 및 자성재료로 구성된 폴피스를 갖는 외측회전자를 포함하고, 상기 폴피스는 축 길이방향으로 분할된 복수의 스텝스큐로 구성되며, 상기 자성재료로 구성된 외측회전자의 폴피스를 축길이방향으로 스텝스큐를 적용하였을 때, 상기 스텝스큐의 스큐각은 하기의 수학적 2에 의해 도출되는 것을 특징으로 하는 폴피스에 스큐구조를 갖는 코강토크 저감형 마그네틱 기어드 동기전동기에 대한 것이다.

[수학적 2]

$$\theta_{skew} = \frac{360}{LCM(N_p, N_{pp})} \times \frac{1}{S}$$

$$= \frac{360}{LCM\left\{N_p, \left(\frac{N_s/m}{2} + \frac{N_p}{2}\right)\right\}} \times \frac{1}{S}$$

상기 수학적 2에서, θ_{skew} 는 마그네틱 기어드 동기전동기의 최적 스큐각, N_{pp} 는 폴피스의 개수, m 은 상수, N_p 는 회전자 극수, N_s 는 슬롯수, LCM은 최소공배수이다.

(52) CPC특허분류

H02K 21/22 (2013.01)
H02K 49/102 (2013.01)
H02K 2201/06 (2013.01)

(72) 발명자

조익현

경기도 부천시 조마루로285번길 47, 919동 203호

정거철

경기도 수원시 장안구 화산로 263, 신일아파트
104-701

지우영

인천광역시 서구 청라에메랄드로 30, 청라 자이아
파트 107-2003

오형석

경기도 군포시 용호2로54번길 11, 304동 2201(당동, 주공아파트)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 NRF-2016R1D1A1B03932224

부처명 과학기술정보통신부

연구관리전문기관 한국연구재단

연구사업명 이공분야기초연구사업

연구과제명 전기자동차 구동용 마그네틱 기어 일체형 동기전동기 설계 기법 연구

기여율 1/2

주관기관 한국교통대학교 산학협력단

연구기간 2016.11.01 ~ 2019.10.31

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 19CTAP-C151867-01

부처명 국토교통부

연구관리전문기관 국토교통과학기술진흥원

연구사업명 국토교통기술촉진연구사업

연구과제명 철도차량용 무기어 추진시스템 구현을 위한 2중 회전자 구조 동기전동기(DR-PMSM)핵심기술

개발

기여율 1/2

주관기관 한국교통대학교 산학협력단

연구기간 2019.04.15 ~ 2020.12.31

명세서

청구범위

청구항 1

2중 회전자를 갖는 마그네틱 기어드 동기전동기에 있어서,

영구자석과 자성체로 구성된 내측회전자; 및

자성체로 구성된 폴피스를 갖는 외측회전자를 포함하고, 상기 폴피스는 축 길이방향으로 분할된 복수의 스텝 스큐로 구성되고,

상기 자성체로 구성된 외측회전자의 폴피스를 축길이방향으로 스텝스큐를 적용하였을 때, 상기 스텝 스큐의 스큐각은 하기의 수학식 2에 의해 도출되는 것을 특징으로 하는 폴피스에 스큐구조를 갖는 코깅토크 저감형 마그네틱 기어드 동기전동기:

[수학식 2]

$$\theta_{skew} = \frac{360}{LCM(N_p, N_{pp})} \times \frac{1}{S}$$

$$= \frac{360}{LCM\left\{N_p, \left(\frac{N_s/m}{2} + \frac{N_p}{2}\right)\right\}} \times \frac{1}{S}$$

상기 수학식 2에서, θ_{skew} 는 마그네틱 기어드 동기전동기의 최적 스큐각, N_{pp} 는 폴피스의 개수, m 은 상수, N_p 는 회전자 극수, N_s 는 슬롯수, LCM은 최소공배수이다.

청구항 2

삭제

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 자성체로 구성된 외측회전자의 폴피스를 축길이방향으로 스텝스큐를 적용하였을 때, 코깅토크 함수는 하기의 수학식 4로 도출되는 것을 특징으로 하는 폴피스에 스큐구조를 갖는 코깅토크 저감형 마그네틱 기어드 동기전동기:

[수학식 4]

$$T_{Total-cog} = \frac{1}{3} \left[\begin{array}{l} A \cos \left\{ 2\pi \times \frac{LCM(N_p, N_{pp})}{360} \theta \right\} \\ + A \cos \left\{ 2\pi \times \frac{LCM(N_p, N_{pp})}{360} (\theta + \theta_{skew}) \right\} \\ + A \cos \left\{ 2\pi \times \frac{LCM(N_p, N_{pp})}{360} (\theta - \theta_{skew}) \right\} \end{array} \right]$$

$$= A \cos \left(2\pi \times \frac{LCM(N_p, N_{pp})}{360} \theta \right) \left\{ 1 + 2 \cos \left(2\pi \times \frac{LCM(N_p, N_{pp})}{360} \theta_{skew} \right) \right\}$$

상기 수학식 4에서, $T_{Total-cog}$ 는 코깅토크 함수, A는 진폭이다.

청구항 4

제 3항에 있어서,

상기 자성재료로 구성된 외측회전자의 폴피스를 축길이방향으로 스텝스큐를 적용하였을 때, 코깅토크의 peak to peak 값은 하기의 수학식 5로 도출되는 것을 특징으로 하는 폴피스에 스큐구조를 갖는 코깅토크 저감형 마그네틱 기어드 동기전동기:

[수학식 5]

$$T_{pk2pk} = 2A \left| 1 + 2 \cos \left(2\pi \times \frac{LCM(N_p, N_{pp})}{360} \theta_{skew} \right) \right|$$

상기 수학식 5에서, T_{pk2pk} 는 마그네틱 기어드 동기전동기의 코깅토크 함수의 peak to peak값이다.

발명의 설명

기술분야

[0001] 본 발명은 마그네틱 기어드 동기전동기에 있어서 코깅토크 저감을 위하여 2차측 저속회전자인 폴피스에 적용할 최적 스큐각과 코깅토크의 peak to peak값을 수식적으로 쉽게 산출해낼 수 있는 새로운 스큐각 도출법에 관한 것이다.

배경기술

[0002] 일반적으로 영구자석형 동기전동기에 있어서, 코깅 토크는 영구자석이 포함된 회전자와 고정자 사이의 공극의 불균일에 의한 자기 에너지의 불균일(자기저항(틸터턴스)의 차이)로 인해 발생하는 것으로써, 코깅토크가 커지게 되면 영구자석형 동기전동기의 구동 시 소음과 진동이 커지는 단점이 존재한다. 따라서 영구자석형 동기전동기의 구동 특성 향상을 위하여 코깅토크 저감 기술은 반드시 필요하며 마그네틱 기어드 동기전동기에도 동일하게 적용되는 사항이다.

[0003] 도 1은 스큐 구조가 적용되지 않은 코깅토크 저감형 마그네틱 기어드 동기전동기(1)이다. 기본적으로 마그네틱 기어드 동기전동기(1)는 도 1에 도시된 바와 같이 마그네틱 기어와 동기전동기가 물리적으로 결합된 구조로써, 기어비가 감속비일 경우 내전형, 외전형 모두 고속 회전자(영구자석(11)이 포함됨)(10)와 저속 회전자(20)(자성 재료로 구성된 폴피스)로 구성되며, 회전자계를 만드는 1차 측 고정자(30)와 2차 측 고속 회전자(10)로 구성되

어 있다.

- [0004] 폴피스(저속 회전자)(21)는 1차 측 고정자(30)와 2차 측 고속 회전자(10) 사이의 공극에 위치되어 있으며, 공극에서의 자계를 변조시키는 역할을 하며, 고속 회전자와 같이 같은 방향의 토크를 발생시킨다. 폴피스(저속 회전자)의 속도와 토크는 기어비에 따라 상이하며, 감속비일 때에는 저속/고회전력(고토크)의 특성을 갖는다.
- [0005] 따라서 자동차, 철도차량 등 감속비를 갖는 추진시스템에 적용할 시 폴피스(저속 회전자)가 휠에 직접 연결되어 구동하게 되며, 폴피스(저속 회전자)의 재질은 steel, iron과 같은 강자성체를 사용한다. 일반적으로 영구자석형 동기전동기의 경우 코깅토크 저감을 위하여 영구자석이 포함되어 있는 2차측 고속 회전자에 스큐를 적용한다.
- [0006] 이 방법은 오랫동안 연구가 진행되어왔으며 수식을 통해 최적의 스큐각과 코깅토크를 쉽게 도출해낼 수 있다. 하지만 마그네틱 기어드 동기전동기의 경우, 영구자석이 포함되어 있는 2차측 고속회전자에 스큐를 줄 경우 제작 공정에 있어 복잡성을 유발시킬 수 있는 단점이 있기 때문에 저속 회전자인 폴피스에 스큐를 적용하는 방식이 유리하다.
- [0007] 일반적으로, 자동차 또는 철도차량 추진을 위한 견인전동기에 적용이 되는 영구자석형 동기전동기의 경우 대용량의 시스템이므로 3상 교류전원이 공급되는 1차측 고정자의 슬롯 구조는 오픈 구조를 갖게 되며, 이로 인해 공극의 불균일이 커지게 되어 큰 코깅토크가 수반되게 된다. 이는 마그네틱 기어드 동기전동기에서도 동일하게 나타나는 현상이다.
- [0008] 도 2는 영구자석이 포함된 회전자에 스큐를 적용한 모델을 도시한 것이다. 도 2에 도시된 바와 같이, 이러한 문제를 해결하기 위해 영구자석이 포함된 회전자에 축 길이 방향으로 영구자석을 일정 개수로 분할하여 스텝 스큐를 주는 방법이 가장 보편적인 방법이지만, 2차측 회전자 코어 및 영구자석을 스텝으로 분할하면 제작 공정의 어려움이 수반될 수 있는 단점이 있다. 추가적으로 2차측 회전자에 포함된 영구자석에 스큐를 주게 되면 코깅토크와 함께 운전 토크도 같이 줄어들게 되기 때문에 적정 스큐각의 선택이 필요하게 된다.
- [0009] 일반적인 영구자석형 동기전동기의 회전자에 스텝으로 스큐를 적용할 경우 코깅토크 값이 가장 최저가 되는 최적의 스큐각과 그에 대한 코깅토크 peak to peak값을 산출해내는 도출 방법이 존재한다. 하지만 마그네틱 기어드 동기전동기의 경우, 각기 다른 속도로 회전하는 2개의 회전자가 존재하며, 저속으로 회전하는 폴피스에 스텝으로 스큐를 적용함에 있어서 수학적 수식으로 최적 스큐각을 산정하고, 이때 발생하는 코깅토크 peak to peak 값을 예측할 수 있는 계산식에 대한 연구가 없었다.

선행기술문헌

특허문헌

- [0010] (특허문헌 0001) 한국등록특허 제10-1426169호
- (특허문헌 0002) 한국등록특허 제10-1525222호
- (특허문헌 0003) 한국등록특허 제10-1600835호

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0011] 따라서 본 발명은 상기와 같은 종래의 문제점을 해결하기 위하여 안출된 것으로서, 본 발명의 실시예에 따르면 마그네틱 기어드 동기전동기의 발생 토크 저하를 최소화하면서 구조적으로도 간단하게 코깅 토크를 줄일 수 있는 방법으로써 폴피스에 스큐를 적용하는 방식을 제공하는데 그 목적이 있다.
- [0012] 본 발명의 실시예에 따르면, 마그네틱 기어드의 폴피스에 축 길이방향으로 스텝 스큐를 적용한 모델에 대해 최적의 스큐각을 도출하는 방법을 제공하는데 그 목적이 있다.
- [0013] 그리고, 본 발명의 일 실시예에 따르면, 마그네틱 기어드 동기전동기에 대하여, 저속으로 회전하는 폴피스에 스텝으로 스큐를 적용함에 있어서 수학적 수식으로 최적 스큐각을 산정하고, 이때 발생하는 코깅토크 peak to peak값을 예측할 수 있는 방법을 도출하는데 그 목적이 있다.

[0014] 한편, 본 발명에서 이루고자 하는 기술적 과제들은 이상에서 언급한 기술적 과제들로 제한되지 않으며, 언급하지 않은 또 다른 기술적 과제들은 아래의 기재로부터 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 명확하게 이해될 수 있을 것이다.

과제의 해결 수단

[0015] 본 발명의 목적은, 2중 회전자를 갖는 마그네틱 기어드 동기전동기에 있어서, 영구자석과 자성체로 구성된 내측 회전자; 및 자성체로 구성된 폴피스를 갖는 외측회전자를 포함하고, 상기 폴피스는 축 길이방향으로 분할된 복수의 스텝스큐로 구성되는 것을 특징으로 하는 폴피스에 스큐구조를 갖는 코깅토크 저감형 마그네틱 기어드 동기전동기로서 달성될 수 있다.

[0016] 그리고 자성체로 구성된 외측회전자의 폴피스를 축길이방향으로 스텝스큐를 적용하였을 때, 상기 스텝 스큐의 스큐각은 하기의 수학적 식 2에 의해 도출되는 것을 특징으로 할 수 있다.

[0017] [수학적 식 2]

$$\theta_{skew} = \frac{360}{LCM(N_p, N_{pp})} \times \frac{1}{S}$$

$$= \frac{360}{LCM\left\{N_p, \left(\frac{N_s}{2} + \frac{N_p}{2}\right)\right\}} \times \frac{1}{S}$$

[0018] :

[0019] 상기 수학적 식 2에서, θ_{skew} 는 마그네틱 기어드 동기전동기의 최적 스큐각, N_{pp} 는 폴피스의 개수, m 은 상수, N_p 는 회전자 극수, N_s 는 슬롯수, LCM은 최소공배수이다.

[0020] 그리고 상기 자성체로 구성된 외측회전자의 폴피스를 축길이방향으로 스텝스큐를 적용하였을 때, 코깅토크 함수는 하기의 수학적 식 4로 도출되는 것을 특징으로 하는 폴피스에 스큐구조를 갖는 코깅토크 저감형 마그네틱 기어드 동기전동기:

[0021] [수학적 식 4]

$$T_{Total-cog} = \frac{1}{3} \left[\begin{array}{l} A \cos \left\{ 2\pi \times \frac{LCM(N_p, N_{pp})}{360} \theta \right\} \\ + A \cos \left\{ 2\pi \times \frac{LCM(N_p, N_{pp})}{360} (\theta + \theta_{skew}) \right\} \\ + A \cos \left\{ 2\pi \times \frac{LCM(N_p, N_{pp})}{360} (\theta - \theta_{skew}) \right\} \end{array} \right]$$

$$= A \cos \left(2\pi \times \frac{LCM(N_p, N_{pp})}{360} \theta \right) \left\{ 1 + 2 \cos \left(2\pi \times \frac{LCM(N_p, N_{pp})}{360} \theta_{skew} \right) \right\}$$

[0022] :

[0023] 상기 수학적 식 4에서, $T_{Total-cog}$ 는 코깅토크 함수, A 는 진폭이다.

[0025] 상기 자성체로 구성된 외측회전자의 폴피스를 축길이방향으로 스텝스큐를 적용하였을 때, 코깅토크의 peak to peak 값은 하기의 수학적 식 5로 도출되는 것을 특징으로 할 수 있다.

[0026] [수학식 5]

$$T_{pk2pk} = 2A \left| 1 + 2 \cos \left(2\pi \times \frac{LCM(N_p, N_{pp})}{360} \right) \theta_{slew} \right|$$

[0027]

[0028] 상기 수학식 5에서, T_{pk2pk} 는 마그네틱 기어드 동기전동기의 코깅토크 함수의 peak to peak값이다.

발명의 효과

[0029] 본 발명의 실시예에 따르면, 마그네틱 기어드 동기전동기에 있어서, 영구자석이 포함된 내측 회전자가 아닌, 자성재료로 구성된 외측 회전자의 폴피스에 스텝 스쿠 구조를 적용한 마그네틱 기어드 동기전동기의 스쿠각 도출법을 제시할 수 있고, 제시된 수식을 통하여 마그네틱 기어드 동기전동기의 폴피스 스쿠 구조에 관한 최적의 스쿠 각도를 예측할 수 있으며, 폴피스 스쿠각에 따른 코깅토크의 peak to peak 값을 예측할 수 있고, 본 발명의 실시예에서 제시하는 수학적 수식을 이용하면 마그네틱 기어드 동기전동기의 코깅토크값을 보다 쉽고 빠르게 예측하는 것이 가능한 효과를 갖는다.

[0030] 한편, 본 발명에서 얻을 수 있는 효과는 이상에서 언급한 효과들로 제한되지 않으며, 언급하지 않은 또 다른 효과들은 아래의 기재로부터 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 명확하게 이해될 수 있을 것이다.

도면의 간단한 설명

[0031] 본 명세서에 첨부되는 다음의 도면들은 본 발명의 바람직한 일실시예를 예시하는 것이며, 발명의 상세한 설명과 함께 본 발명의 기술적 사상을 더욱 이해시키는 역할을 하는 것이므로, 본 발명은 그러한 도면에 기재된 사항에만 한정되어 해석되어서는 아니 된다.

- 도 1은 스쿠 구조가 적용되지 않은 코깅토크 저감형 마그네틱 기어드 동기전동기,
- 도 2는 영구자석이 포함된 회전자에 스쿠를 적용한 모델,
- 도 3은 본 발명의 실시예에 따른 폴피스에 스쿠구조를 갖는 코깅토크 저감형 마그네틱 기어드 동기전동기의 사시도,
- 도 4는 본 발명의 실시예에 따른 마그네틱 기어드 동기전동기의 내외측 회전자의 단면도,
- 도 5는 본 발명의 실시예에 따른 마그네틱 기어드 동기전동기의 내외측 회전자의 사시도,
- 도 6은 본 발명의 실험예에 따른 마그네틱 기어드 동기전동기의 스쿠각에 따른 외측회전자의 코깅토크의 peak to peak값 변화 특성 그래프(4극 30슬롯),
- 도 6은 본 발명의 실험예에 따른 마그네틱 기어드 동기전동기의 스쿠각에 따른 외측회전자의 코깅토크의 peak to peak값 변화 특성 그래프(4극 42슬롯)를 도시한 것이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0032] 이상의 본 발명의 목적들, 다른 목적들, 특징들 및 이점들은 첨부된 도면과 관련된 이하의 바람직한 실시예들을 통해서 쉽게 이해될 것이다. 그러나 본 발명은 여기서 설명되는 실시예들에 한정되지 않고 다른 형태로 구체화될 수도 있다. 오히려, 여기서 소개되는 실시예들은 개시된 내용이 철저하고 완전해질 수 있도록 그리고 통상의 기술자에게 본 발명의 사상이 충분히 전달될 수 있도록 하기 위해 제공되는 것이다.

[0033] 본 명세서에서, 어떤 구성요소가 다른 구성요소 상에 있다고 언급되는 경우에 그것은 다른 구성요소 상에 직접 형성될 수 있거나 또는 그들 사이에 제 3의 구성요소가 개재될 수도 있다는 것을 의미한다. 또한 도면들에 있어서, 구성요소들의 두께는 기술적 내용의 효과적인 설명을 위해 과장된 것이다.

[0034] 본 명세서에서 기술하는 실시예들은 본 발명의 이상적인 예시도인 단면도 및/또는 평면도들을 참고하여 설명될 것이다. 도면들에 있어서, 막 및 영역들의 두께는 기술적 내용의 효과적인 설명을 위해 과장된 것이다. 따라서 제조 기술 및/또는 허용 오차 등에 의해 예시도의 형태가 변형될 수 있다. 따라서 본 발명의 실시예들은 도시된 특정 형태로 제한되는 것이 아니라 제조 공정에 따라 생성되는 형태의 변화도 포함하는 것이다. 예를 들면, 직

각으로 도시된 영역은 라운드지거나 소정 곡률을 가지는 형태일 수 있다. 따라서 도면에서 예시된 영역들은 속성을 가지며, 도면에서 예시된 영역들의 모양은 소자의 영역의 특정 형태를 예시하기 위한 것이며 발명의 범주를 제한하기 위한 것이 아니다. 본 명세서의 다양한 실시예들에서 제1, 제2 등의 용어가 다양한 구성요소들을 기술하기 위해서 사용되었지만, 이들 구성요소들이 이 같은 용어들에 의해서 한정되어서는 안 된다. 이들 용어들은 단지 어느 구성요소를 다른 구성요소와 구별시키기 위해서 사용되었을 뿐이다. 여기에 설명되고 예시되는 실시예들은 그것의 상보적인 실시예들도 포함한다.

[0035] 본 명세서에서 사용된 용어는 실시예들을 설명하기 위한 것이며 본 발명을 제한하고자 하는 것은 아니다. 본 명세서에서, 단수형은 문구에서 특별히 언급하지 않는 한 복수형도 포함한다. 명세서에서 사용되는 '포함한다(comprises)' 및/또는 '포함하는(comprising)'은 언급된 구성요소는 하나 이상의 다른 구성요소의 존재 또는 추가를 배제하지 않는다.

[0036] 아래의 특정 실시예들을 기술하는데 있어서, 여러 가지의 특정적인 내용들은 발명을 더 구체적으로 설명하고 이해를 돕기 위해 작성되었다. 하지만 본 발명을 이해할 수 있을 정도로 이 분야의 지식을 갖고 있는 독자는 이러한 여러 가지의 특정적인 내용들이 없어도 사용될 수 있다는 것을 인지할 수 있다. 어떤 경우에는, 발명을 기술하는 데 있어서 흔히 알려졌으면서 발명과 크게 관련 없는 부분들은 본 발명을 설명하는데 있어 별 이유 없이 혼돈이 오는 것을 막기 위해 기술하지 않음을 미리 언급해 둔다.

[0038] 이하에서는 본 발명의 실시예에 따른 폴피스에 스큐구조를 갖는 코깅토크 저감형 마그네틱 기어드 동기전동기(100)의 구성 및 기능에 대해 설명하도록 한다. 도 3은 본 발명의 실시예에 따른 폴피스에 스큐구조를 갖는 코깅토크 저감형 마그네틱 기어드 동기전동기의 사시도를 도시한 것이다. 그리고 도 4는 본 발명의 실시예에 따른 마그네틱 기어드 동기전동기의 내외측 회전자의 단면도를 도시한 것이다. 또한, 도 5는 본 발명의 실시예에 따른 마그네틱 기어드 동기전동기의 내외측 회전자의 사시도를 도시한 것이다.

[0039] 앞서 언급한 도 1은 2차측 내측 회전자와 외측 회전자에 스큐 구조가 적용되지 않은 마그네틱 기어드 동기전동기를 보여주며, 이러한 구조를 갖는 마그네틱 기어드 동기전동기의 경우는 코깅토크를 줄이는데 한계가 있다. 따라서 본 발명의 실시예에서는 코깅토크를 저감하기 위해서 2차측 저속 회전자 폴피스(21)에 스텝 스큐를 적용한 도 3의 구조를 채택하였다.

[0040] 도 4는 마그네틱 기어드 동기전동기(100)의 2차측 영구자석(11)과 자성체(12)로 구성된 내측 회전자 및 외측 회전자(20)의 폴피스(21)의 단면도를 보여주며, 저속회전자 폴피스(21)를 축 길이 방향으로 3분할하여 스큐를 적용한 구조로써, 공극에서 자속의 분포를 균등하게 만들어 코깅토크의 저감이 가능한 구조이다.

[0041] 도 4에 도시된 바와 같이, 폴피스(21) 부분을 축 방향으로 3등분하여 가운데 폴피스(2)의 0° 를 기준으로 축 방향의 ①, ③번의 폴피스(21)를 도 4와 같이 θ, -θ로 중심축을 기준으로 비틀어 주는 구조이다. 여기서 폴피스(21)는 축 길이 방향으로 3분할 이상도 가능하다.

[0042] 일반적인 동기전동기의 코깅토크 최적 스큐각 식은 이하의 수학식 1과 같다.

[0043] [수학식 1]

$$\theta_{0-skew} = \frac{360}{LCM(N_p, N_s)} \times \frac{1}{S}$$

[0044] [0045] (θ_{0-skew} : 기존 동기전동기의 최적 스큐각, N_p : 회전자 극수, N_s : 슬롯 수, LCM : 최소공배수, S : 회전자(영구자석)의 축 길이 방향으로 분할 수, $\frac{360}{LCM(N_p, N_s)}$: 코깅토크의 1주기)

[0046] 코깅토크는 동기전동기의 경우 영구자석이 포함된 회전자와 슬롯이 포함된 고정자 사이 공극에서 자기저항(틸러턴스)의 차이로 인해 발생한다.

[0047] 하지만, 마그네틱 기어드 동기전동기(100)의 경우 폴피스(21)로 구성된 저속 회전자(20)가 영구자석(11)이 포함된 고속 회전자(10)와 고정자(30) 슬롯 사이에 위치하기 때문에 전반적으로 공극 길이가 기존 동기전동기에 비해 매우 크다.

[0048] 따라서 공극에서의 자기저항(틸러턴스)의 불균일성이 기존 동기전동기와 달리 고정자(30)와 폴피스(21) 사이의 외측 공극에서 보다 폴피스(21)와 영구자석(11)이 포함된 고속 회전자(10) 사이의 내측 공극에서 크게 나타나기

때문에, 기존 동기전동기의 최적 스큐각 도출 수식에서 고정자(30)의 슬롯 수에 의한 영향은 고려하지 않아도 무방함을 확인할 수 있다.

[0049] 따라서 본 발명의 실시예에서는 마그네틱 기어드 동기전동기(100)의 2차측 저속회전자(20)의 폴피스(21)와 고속회전자(10)의 영구자석(11) 사이의 공극에서의 자기저항차를 이용하여 최적의 폴피스 스큐각을 도출해낼 수 있는 이하의 수학적 2를 제안한다.

[0050] [수학적 2]

$$\theta_{skew} = \frac{360}{LCM(N_p, N_{pp})} \times \frac{1}{S}$$

$$= \frac{360}{LCM\left\{N_p, \left(\frac{N_s/m}{2} + \frac{N_p}{2}\right)\right\}} \times \frac{1}{S}$$

[0051]

[0052] 수학적 2에서, θ_{skew} 는 마그네틱 기어드 동기전동기의 최적 스큐각, N_{pp} 는 폴피스의 개수, m 은 상수, N_p 는 회전자 극수, N_s 는 슬롯수, LCM은 최소공배수이다.

[0053] 마그네틱 기어드 동기전동기(100)의 폴피스(21) 개수는 고정자(30) 극 쌍수와 회전자 극 쌍수의 합으로 나타낼 수 있으며, 고정자(30) 극수는 슬롯수에 상수를 나눈 것과 같다.

[0054] 일반적인 코깅토크의 식을 시간에 따른 코사인함수로서 표현할 수 있으며, 이를 각도의 함수로 변환하면 다음의 수학적 3과 같다.

[0055] [수학적 3]

$$T_{cog} = A \cos \omega t$$

$$= A \cos(2\pi ft)$$

$$= A \cos\left(2\pi \frac{1}{T} t\right)$$

$$= A \cos\left\{2\pi \times \frac{LCM(N_p, N_{pp})}{360} \omega t\right\}$$

$$= A \cos\left\{2\pi \times \frac{LCM(N_p, N_{pp})}{360} \theta\right\}$$

[0056]

[0057] (T_{cog} : 코깅토크 함수, ω : 각속도, t : 시간, T : 주기, θ : 위상각)

[0058] 이 때, 도 3의 폴피스 ②를 중심으로 폴피스 ①과 폴피스 ③이 각각 폴피스 ②를 기준으로 $-\theta_{skew}$, θ_{skew} 만큼 스큐각이 이동했다고 가정했을 때, 마그네틱 기어드 동기전동기(100)의 스큐각에 따른 코깅토크는 폴피스 ②, ①과 ③ 각각의 코깅토크 식의 합의 평균으로써 다음의 수학적 4와 같이 계산할 수 있다.

[0059] [수학식 4]

$$T_{Total-cog} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} A \cos \left\{ 2\pi \times \frac{LCM(N_p, N_{pp})}{360} \theta \right\} \\ + A \cos \left\{ 2\pi \times \frac{LCM(N_p, N_{pp})}{360} (\theta + \theta_{skew}) \right\} \\ + A \cos \left\{ 2\pi \times \frac{LCM(N_p, N_{pp})}{360} (\theta - \theta_{skew}) \right\} \end{bmatrix}$$

$$= A \cos \left(2\pi \times \frac{LCM(N_p, N_{pp})}{360} \theta \right) \left\{ 1 + 2 \cos \left(2\pi \times \frac{LCM(N_p, N_{pp})}{360} \theta_{skew} \right) \right\}$$

[0060]

[0061] 상기 수학식 4에서, $T_{Total-cog}$ 는 코깅토크 함수, A 는 진폭이다.

[0062] 위 수학식 4는 θ 와 θ_{skew} 가 변수인 일차방정식이며, 스큐각 θ_{skew} 일 때의 코깅토크 함수를 의미한다. 스큐각

θ_{skew} 가 주어진다면, 코깅토크 함수가 결정되기 때문에 위 수학식 4에서의 $A \left\{ 1 + 2 \cos \left(2\pi \times \frac{LCM(N_p, N_{pp})}{360} \theta_{skew} \right) \right\}$ 을 상수 취급할 수 있다.

[0063] 그러므로 위 식의 코깅토크 함수는 완전한 정현파로 가정하였기 때문에 위상각 인 지점에서 코깅토크 값이 최소 또는 최대가 되는 지점이다. 따라서, 마그네틱 기어드 동기전동기(100)의 스큐각에 따른 코깅토크의 최대 peak to peak값은 다음의 수학식 5와 같다.

[0064] [수학식 5]

$$T_{pk2pk} = 2A \left| 1 + 2 \cos \left(2\pi \times \frac{LCM(N_p, N_{pp})}{360} \theta_{skew} \right) \right|$$

[0065]

[0066] 상기 수학식 5에서, T_{pk2pk} 는 마그네틱 기어드 동기전동기의 코깅토크 함수의 peak값이다.

[0068] 이하에서는 앞서 언급한 본 발명의 실시예에 따른 폴피스에 스큐구조를 갖는 코깅토크 저감형 마그네틱 기어드 동기전동기의 실험예에 대해 설명하도록 한다. 도 6은 본 발명의 실험예에 따른 마그네틱 기어드 동기전동기의 스큐각에 따른 외측회전자의 코깅토크의 peak to peak값 변화 특성 그래프(4극 30슬롯)를 도시한 것이고, 도 7은 본 발명의 실험예에 따른 마그네틱 기어드 동기전동기의 스큐각에 따른 외측회전자의 코깅토크의 peak to peak값 변화 특성 그래프(4극 42슬롯)를 도시한 것이다.

[0069] 앞서 언급한 식들에 대한 검토를 위해 표면부착 영구자석형(Surface Permanent Magnet, 이하 SPM) 타입의 4극 30슬롯과 4극 42슬롯의 마그네틱 기어드 동기전동기의 코깅토크를 분석하였다.

[0070] 도 6은 4극 30슬롯 모델에서의 스큐각 변화에 따른 코깅토크의 peak to peak값을 수치해석적 방법(Finite Element Method, 이하 FEM)과 수학적 수식으로 얻어낸 결과를 나타낸 그래프이며, 도 7은 4극 42슬롯 모델에서의 스큐각 변화에 따른 코깅토크의 peak to peak값을 FEM과 수학적 수식으로 얻어낸 결과를 나타낸 그래프이다.

[0071] 도 6 및 도 7의 그래프에서 나타난 것과 같이, 본 발명에 따른 실시예에서 제시한 수학적 수식에 의한 스큐각 변화에 따른 코깅토크 예측값은 FEM을 이용하여 얻은 결과와 유사함을 확인할 수 있으며, 이를 토대로 마그네틱 기어드 동기전동기의 폴피스 스큐각 변화에 따른 코깅토크의 peak to peak 값을 거의 유사하게 추측할 수 있으며, 코깅토크의 peak to peak 값이 가장 작아지는 최적의 스큐각을 도출해낼 수 있음을 알 수 있다.

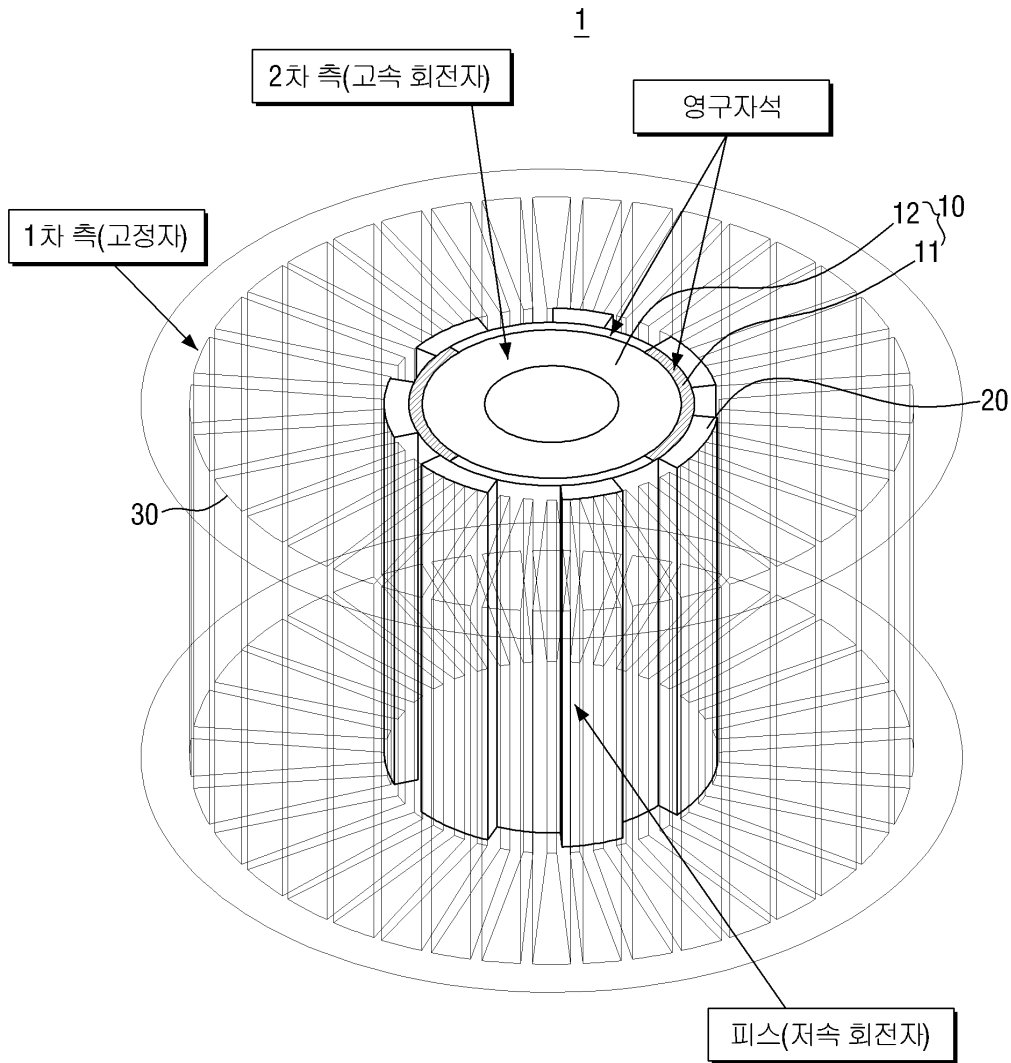
[0073] 또한, 상기와 같이 설명된 장치 및 방법은 상기 설명된 실시예들의 구성과 방법이 한정되게 적용될 수 있는 것이 아니라, 상기 실시예들은 다양한 변형이 이루어질 수 있도록 각 실시예들의 전부 또는 일부가 선택적으로 조합되어 구성될 수도 있다.

부호의 설명

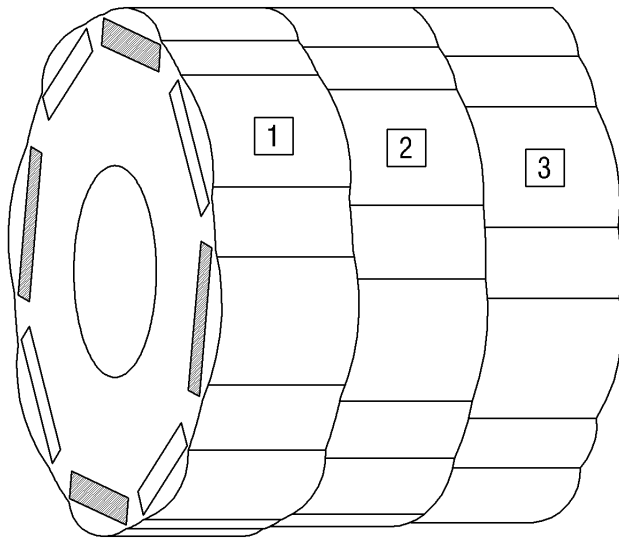
- [0074] 1: 종래 마그네틱 기어드 동기전동기
 10: 내측회전자
 11: 영구자석
 12: 자성체
 20: 외측회전자
 21: 폴피스
 30: 고정자
 100: 폴피스에 스큐구조를 갖는 코강토크 저감형 마그네틱 기어드 동기전동기

도면

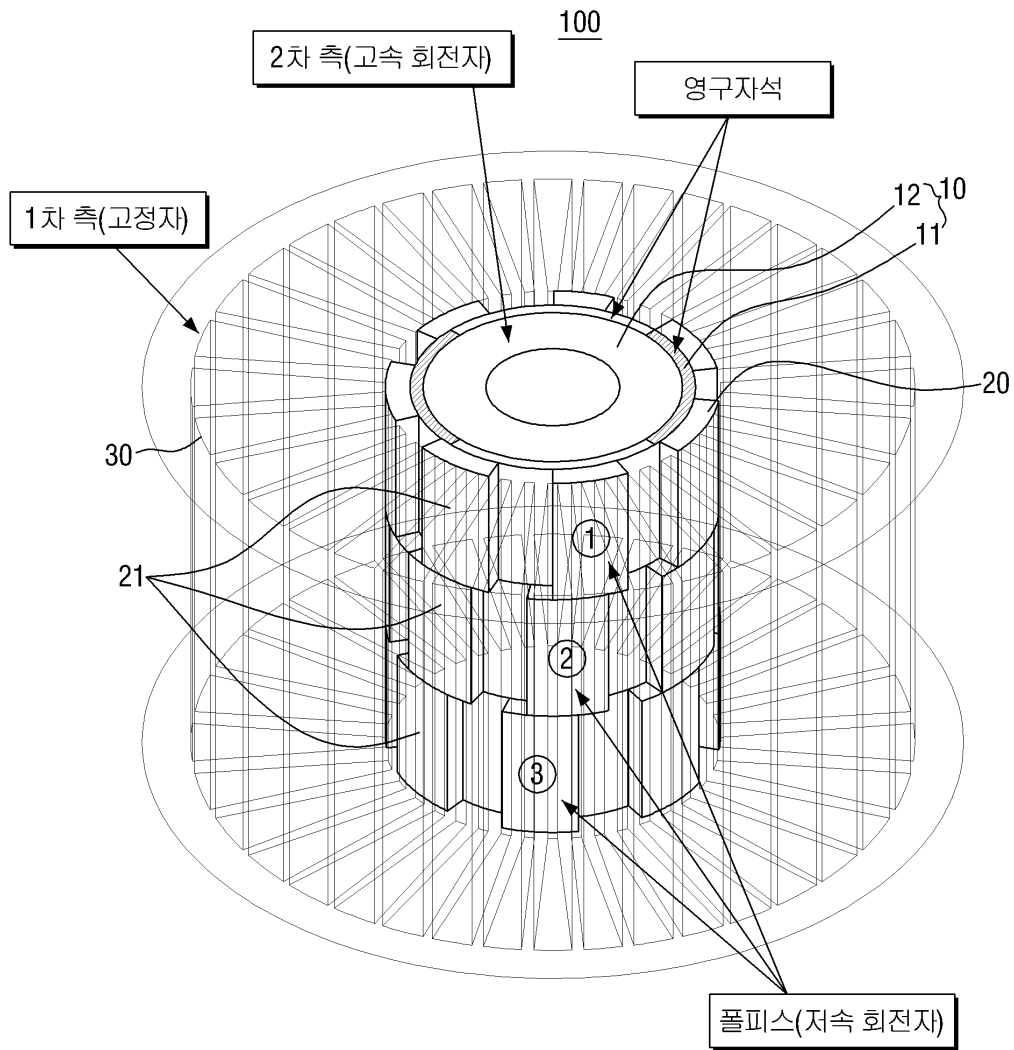
도면1



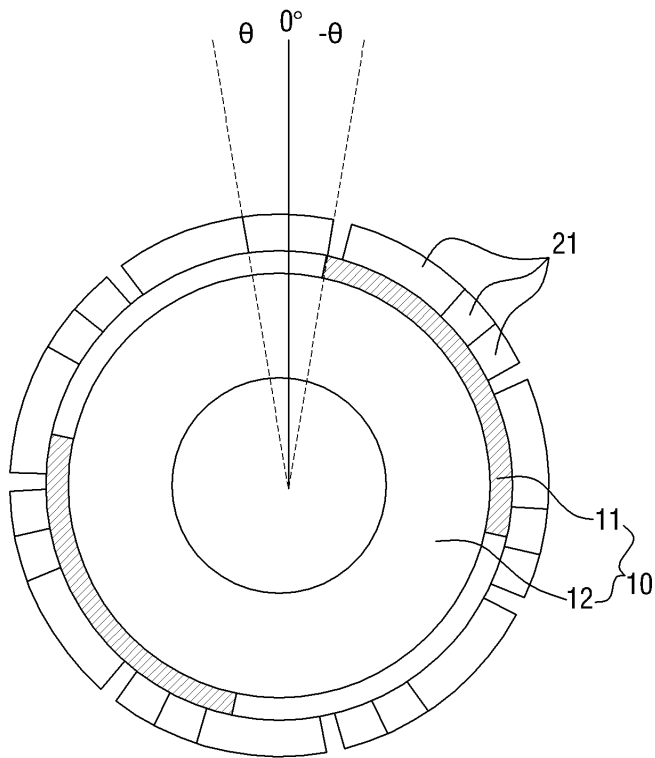
도면2



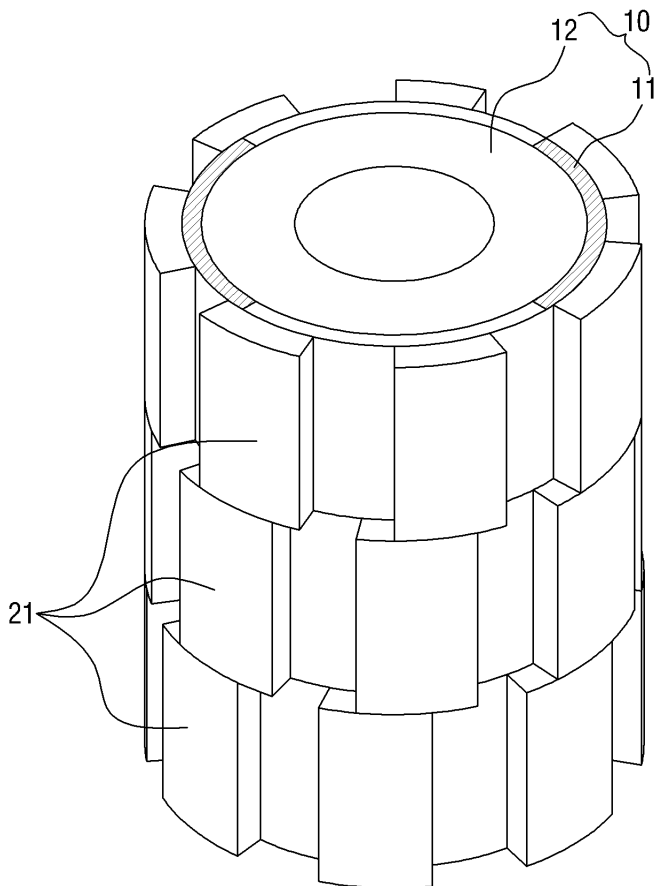
도면3



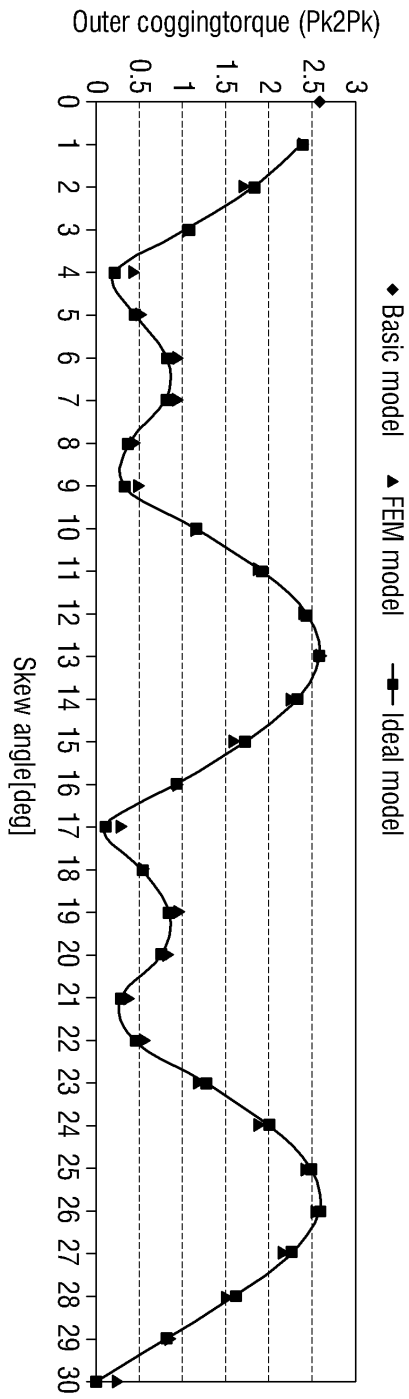
도면4



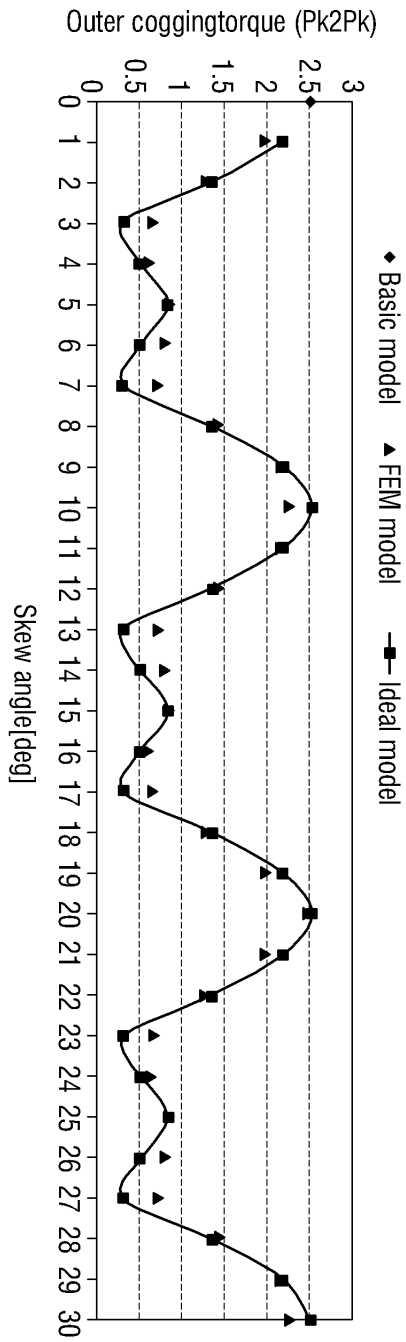
도면5



도면6



도면7



【심사관 직권보정사항】

【직권보정 1】

【보정항목】 청구범위

【보정세부항목】 제3항

【변경전】

제2항에 있어서,

【변경후】

제1항에 있어서,