



**(19) 대한민국특허청(KR)**  
**(12) 등록특허공보(B1)**

(45) 공고일자 2017년06월16일  
 (11) 등록번호 10-1748337  
 (24) 등록일자 2017년06월12일

- (51) 국제특허분류(Int. Cl.)  
 G01N 21/47 (2006.01) G01B 11/30 (2006.01)  
 G01B 5/28 (2006.01) G01N 21/55 (2014.01)  
 G05B 19/4093 (2006.01) G06T 7/00 (2017.01)  
 G06T 7/40 (2017.01)
- (52) CPC특허분류  
 G01N 21/47 (2013.01)  
 G01B 11/30 (2013.01)
- (21) 출원번호 10-2015-7023204
- (22) 출원일자(국제) 2013년03월29일  
 심사청구일자 2015년08월26일
- (85) 번역문제출일자 2015년08월26일
- (65) 공개번호 10-2015-0109483
- (43) 공개일자 2015년10월01일
- (86) 국제출원번호 PCT/JP2013/059729
- (87) 국제공개번호 WO 2014/155727  
 국제공개일자 2014년10월02일
- (56) 선행기술조사문헌  
 JP06201307 A\*  
 JP2011185659 A\*  
 JP2012084079 A\*  
 W02009012255 A2  
 \*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

- (73) 특허권자  
 마키노 밀링 머신 주식회사  
 일본, 도쿄 152-0031, 메구로-쿠, 나카네 2-초메, 3-19
- (72) 발명자  
 오다 미즈나리  
 일본국 243-0303 가나가와켄 아이코군 아이카와마치 나카즈 4023 마키노 밀링 머신 주식회사 내
- (74) 대리인  
 방해철, 김용인

전체 청구항 수 : 총 3 항

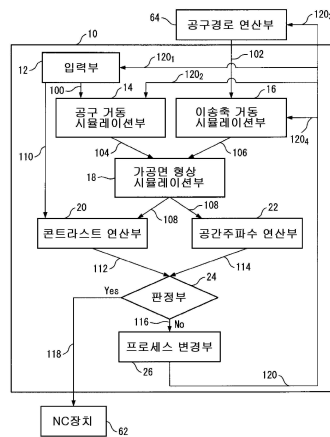
심사관 : 조병주

**(54) 발명의 명칭 워크의 가공면 평가방법, 제어장치 및 동작기계**

**(57) 요약**

사람(관찰자)의 눈(시각)이나 손가락(촉각)으로 실제로 어떻게 감지되는지를 평가기준으로 하여 워크의 가공면을 평가하고, 그 평가에 근거하여 워크를 가공하는 가공 프로세스를 변경하도록 하였다.

**대표도** - 도2



(52) CPC특허분류

*G01B 5/28* (2013.01)

*G01N 21/55* (2013.01)

*G05B 19/4093* (2013.01)

*G06T 7/0004* (2013.01)

*G06T 7/40* (2013.01)

*G06T 2207/30164* (2013.01)

---

## 명세서

### 청구범위

#### 청구항 1

가공한 워크의 가공면을 평가하는 가공면 평가방법에 있어서,  
 워크에 형성되는 가공면의 형상 및 커스프의 형상을 연산에 의하여 시뮬레이션하여 구하고,  
 구해진 가공면의 형상 및 커스프의 형상으로부터 상기 가공면의 반사광의 휘도를 구하며,  
 상기 반사광의 휘도로부터 상기 가공면의 콘트라스트를 구하고,  
 인접한 상기 커스프의 간격에 근거하여 공간주파수를 구하며,  
 상기 콘트라스트와 상기 공간주파수에 근거하여, 콘트라스트 감도 함수를 이용하여, 상기 가공면의 콘트라스트가 사람의 시각으로 감지 가능한지 아닌지를 판정함으로써 상기 워크의 가공면을 평가하는 것을 특징으로 한 가공면 평가방법.

#### 청구항 2

삭제

#### 청구항 3

삭제

#### 청구항 4

삭제

#### 청구항 5

삭제

#### 청구항 6

삭제

#### 청구항 7

공작기계의 이송축의 제어장치에 있어서,  
 워크에 형성되는 가공면의 형상 및 커스프의 형상을 연산에 의하여 시뮬레이션하는 가공면 형상 시뮬레이션부와,  
 구해진 가공면의 형상 및 커스프의 형상으로부터 상기 가공면의 반사광의 휘도를 연산하고, 그 휘도의 콘트라스트를 연산하는 콘트라스트 연산부와,  
 상기 가공면의 인접하는 커스프의 간격에 근거하여 공간주파수를 연산하는 공간주파수 연산부와,  
 상기 콘트라스트와 상기 공간주파수에 근거하여, 콘트라스트 감도 함수를 이용하여서, 상기 가공면의 콘트라스트가 사람의 시각으로 감지 가능한지 아닌지를 판정하는 판정부와,  
 상기 가공면의 콘트라스트가 사람의 시각으로 감지 가능한 경우, 그 가공면의 콘트라스트가 사람의 시각으로 감지 불가능하도록 가공 프로세스를 변경하는 가공 프로세스 변경부를 구비하는 것을 특징으로 한 제어장치.

#### 청구항 8

삭제

**청구항 9**

워크에 대하여 공구를 상대적으로 이동시키는 X축, Y축, Z축이 직교하는 적어도 3축의 이송축을 가진 공작기계  
에 있어서,  
상기 3축의 이송축을 구동하는 구동기구와,  
상기 구동기구를 제어하는 NC장치와,  
워크에 형성되는 가공면을 시뮬레이션하여, 그 가공면을 평가하는 평가장치를 구비하고,  
상기 평가장치가,  
워크에 형성되는 가공면의 형상 및 커스프의 형상을 연산에 의하여 시뮬레이션하는 가공면 형상  
시뮬레이션부와,  
구해진 가공면의 형상 및 커스프의 형상으로부터 상기 가공면의 반사광의 휘도를 연산하여, 그 휘도의 콘트라스트  
를 연산하는 콘트라스트 연산부와,  
상기 가공면의 인접하는 커스프의 간격에 근거하여 공간주파수를 연산하는 공간주파수 연산부와,  
상기 콘트라스트와 상기 공간주파수에 근거하여, 콘트라스트 감도 함수를 이용하여서, 상기 가공면의 콘트라스트  
가 사람의 시각으로 감지 가능한지 아닌지를 판정하는 판정부와,  
상기 가공면의 콘트라스트가 사람의 시각으로 감지 가능한 경우, 그 가공면의 콘트라스트가 사람의 시각으로 감  
지 불가능하도록 가공 프로세스를 변경하는 가공 프로세스 변경부를 구비하고, 그 변경된 가공 프로세스에 근거  
하여 상기 NC장치에 공구경로와 가공조건을 출력하는 것을 특징으로 한 공작기계.

**청구항 10**

삭제

**발명의 설명**

**기술 분야**

[0001] 본 발명은 공작기계에 의하여 가공된 워크의 표면 형상의 평가방법, 및 그 평가방법을 이용한 공작기계의 제어  
장치, 그리고 그 제어장치를 구비한 공작기계에 관한 것이다.

**배경 기술**

[0002] 공작기계로 워크를 가공하는 경우, 워크 가공면의 평가기준은, 통상적으로 가공된 워크 표면의 정밀도, 특히 표  
면 조도이다. 종래, 가공면의 표면 조도가 낮으면 낮을수록, 양호한 가공이라고 여겨지고 있다. 그렇지만, 근래  
에는 가공된 워크의 표면 조도가 사용자가 요구하는 허용 표면 조도보다 낮더라도, 관찰자가 가공면을 시인하였  
을 때에 가공면에 형성된 커스프(cusp)에 의한 줄무늬가 보이거나, 또는 관찰자가 손가락으로 만졌을 때에 표면  
에 까칠까칠한 느낌이 있기 때문에, 가공된 워크가 불합격이 되는 경우가 있다. 그 때문에, 단순히 표면 조도를  
측정하는 것만이 아니라, 워크의 가공면의 광택감이나 텍스처를 측정하는 기술도 제안되고 있다. 여기에서, 커  
스프란, 워크를 피크피드를 주어서 회전공구로 절삭가공하거나, 스프링 바이트로 스프링 가공하거나 할 때, 워  
크의 가공면에 발생하는 미소한 절삭 잔여물이나, 서보제어로 발생하는 공작기계의 진동에 의한 미소한 가공면  
의 요철을 말한다.

[0003] 예를 들어, 특허문헌 1에는, 디스플레이에 표시한 체크패턴을 피측정면에 투영하고, 반사상을 촬영장치에 의하  
여 촬영하며, 그 화상 데이터를 컴퓨터에 의하여, 경면도, 경면도의 편차, 광택도, 선명도, 굴곡 또는 형상 오  
차, 콘트라스트 및 백탁도 등의 복수의 측정항목을 순차 자동적으로 측정하고, 경면도를 포함하는 복수의 측정  
항목을 지표로 하여 표면성상을 평가하는 방법이 기재되어 있다. 또한, 특허문헌 1에는, 종래기술로서, 정반사  
한 수광량으로 광택도를 계측하는 경면광택도계를 이용한 표면성상을 측정하는 방법이 기재되어 있다.

[0004] 더욱이, 특허문헌 2에는, 형상 최대 높이(Rz)와, 형상 평균 파장(RSm) 표면 텍스처 파라미터를 조합하여, 표면  
텍스처를 측정하는 방법이 기재되어 있다.

- [0005] **선행기술문헌**
- [0006] (특허문헌)
- [0007] 특허문헌 1: 일본공개특허공보 2012-215486호
- [0008] 특허문헌 2: 일본공표특허공보 2003-500677호

**발명의 내용**

**해결하려는 과제**

- [0009] 특허문헌 1, 2에 기재된 발명에서는, 텍스처 패턴을 피측정면에 투영하고, 복수의 측정항목을 지표로 하여 표면 성상을 평가하고 있는데, 그렇게 하여 평가된 표면성상이, 사람(관찰자)의 눈(시각)이나 손가락(촉각)으로 실제로 어떻게 감지되는지 여전히 불분명하여, 평가방법으로서 불충분하다.
- [0010] 본 발명은, 이러한 종래기술의 문제를 해결하는 것을 목적으로 하고 있으며, 가공한 워크의 가공면의 품질을 실제로 관찰자가 사람의 감각으로 평가하도록 한 가공면의 평가방법, 그 평가방법을 이용한 제어장치 및 동작기계를 제공하는 것을 목적으로 하고 있다.

**과제의 해결 수단**

- [0011] 상술한 목적을 달성하기 위하여, 본 발명에 따르면, 가공한 워크의 가공면을 평가하는 가공면 평가방법에 있어서, 사람의 감각의 특성에 근거한 평가기준을 이용하여, 상기 워크의 가공면을 평가하도록 한 가공면 평가방법이 제공된다.
- [0012] 더욱이, 본 발명의 다른 특징에 따르면, 동작기계의 이송축의 제어장치에 있어서, 워크에 형성되는 가공면을 연산에 의하여 시뮬레이션하는 가공면 형상 시뮬레이션부와, 상기 가공면에 있어서의 반사광의 최대 휘도와 최소 휘도를 연산하고, 그 최대 휘도와 최소 휘도로부터 콘트라스트를 연산하는 콘트라스트 연산부와, 상기 가공면의 공간주파수를 연산하는 공간주파수 연산부와, 상기 콘트라스트와 상기 공간주파수에 근거하여, 콘트라스트 감도 함수를 이용하여, 상기 가공면의 콘트라스트가 사람의 시각으로 감지 가능한지 아닌지를 판정하는 판정부와, 상기 가공면의 콘트라스트가 사람의 시각으로 감지 가능한 경우에, 그 가공면의 콘트라스트가 사람의 시각으로 감지 불가능하도록 가공 프로세스를 변경하는 가공 프로세스 변경부를 구비하는 제어장치가 제공된다.
- [0013] 더욱이, 본 발명의 다른 특징에 따르면, 동작기계의 이송축의 제어장치에 있어서, 워크에 형성되는 가공면을 연산에 의하여 시뮬레이션한 가공면 형상 시뮬레이션부와, 상기 가공면 형상 시뮬레이션부에서 시뮬레이션된 가공면을 관찰자가 손가락으로 만졌을 때, 관찰자의 손가락에 전달되는 진동자극의 주파수를 연산하는 진동자극 주파수 연산부와, 상기 가공면 형상 시뮬레이션부에서 시뮬레이션된 가공면에 형성되는 커브의 정점 사이의 거리와, 관찰자의 손가락의 속도로부터 구해지는 관찰자의 손가락에 전달되는 진동자극의 진폭이, 상기 진동자극 주파수 연산부에서 연산된 진동자극의 주파수에 대하여, 사람의 촉각으로 감지 가능한지 아닌지를 판정하는 판정부와, 상기 진동자극의 진폭이 사람의 촉각으로 감지 가능한 경우, 진동자극의 진폭이 사람의 촉각으로 감지 불가능하도록 가공 프로세스를 변경하는 가공 프로세스 변경부를 구비하는 제어장치가 제공된다.
- [0014] 더욱이, 본 발명의 다른 특징에 따르면, 워크에 대하여 공구를 상대적으로 이동시키는 X축, Y축, Z축이 직교하는 적어도 3축의 이송축을 가진 동작기계에 있어서, 상기 3축의 이송축을 구동하는 구동기구와, 상기 구동기구를 제어하는 NC장치와, 워크에 형성되는 가공면을 시뮬레이션하여, 그 가공면을 평가하는 평가장치를 구비하며,
- [0015] 상기 평가장치가, 워크에 형성되는 가공면을 연산에 의하여 시뮬레이션하는 가공면 형상 시뮬레이션부와, 상기 가공면에 있어서의 반사광의 최대 휘도와 최소 휘도를 연산하고, 그 최대 휘도와 최소 휘도로부터 콘트라스트를 연산하는 콘트라스트 연산부와, 상기 가공면의 공간주파수를 연산하는 공간주파수 연산부와, 상기 콘트라스트와 상기 공간주파수에 근거하여, 콘트라스트 감도 함수를 이용하여, 상기 가공면의 콘트라스트가 사람의 시각으로 감지 가능한지 아닌지를 판정하는 판정부와, 상기 가공면의 콘트라스트가 사람의 시각으로 감지 가능한 경우, 그 가공면의 콘트라스트가 사람의 시각으로 감지 불가능하도록 가공 프로세스를 변경하는 가공 프로세스 변경부를 구비하며, 그 변경된 가공 프로세스에 근거하여, 상기 NC장치에 공구경로와 가공조건을 출력하도록 한 동작기계가 제공된다.
- [0016] 더욱이, 본 발명의 다른 특징에 따르면, 워크에 대하여 공구를 상대적으로 이동시키는 X축, Y축, Z축이 직교하는 적어도 3축의 이송축을 가진 동작기계에 있어서, 상기 3축의 이송축을 구동하는 구동기구와, 상기 구동기구

를 제어하는 NC장치와, 워크에 형성되는 가공면을 시뮬레이션하여, 그 가공면을 평가하는 평가장치를 구비하고, 상기 평가장치가, 워크에 형성되는 가공면을 연산에 의하여 시뮬레이션하는 가공면 형상 시뮬레이션부와, 상기 가공면 형상 시뮬레이션부에서 시뮬레이션된 가공면을 관찰자가 손가락으로 만졌을 때, 관찰자의 손가락에 전달되는 진동자극의 주파수를 연산하는 진동자극 주파수 연산부와, 상기 가공면 형상 시뮬레이션부에서 시뮬레이션된 가공면에 형성되는 커스프의 정점 사이의 거리로부터 관찰자의 손가락에 전달되는 진동자극의 진폭이, 상기 진동자극 주파수 연산부에서 연산된 진동자극의 주파수에 대하여, 사람의 촉각으로 감지 가능한지 아닌지를 판정하는 판정부와, 상기 진동자극의 진폭이 사람의 촉각으로 감지 가능한 경우, 진동자극의 진폭이 사람의 시각으로 감지 불가능하도록 가공 프로세스를 변경하는 가공 프로세스 변경부를 구비하며, 그 변경된 가공 프로세스에 근거하여, 상기 NC장치에 공구경로와 가공조건을 출력하도록 한 동작기계가 제공된다.

**발명의 효과**

본 발명에 따르면, 사람(관찰자)의 눈(시각)이나 손가락(촉각)으로 실제로 어떻게 감지되는지를 평가기준으로 하여 워크의 가공면을 평가하도록 하였으므로, 사람의 감각으로 평가하는 경우에 객관적인 평가가 가능하게 된다. 그리고, 사람의 감각으로 좋다고 평가되는 고객만족도가 높은 워크를 제작할 수 있다. 또한, 실제 가공 전에 시뮬레이션에 의하여 가공면 성상을 예측하고, 그 가공면 성상을 상기의 사람 감각의 평가기준으로 자동적으로 평가하여, 사람의 감각으로 감지 가능한 가공면의 불균일이 있다고 예측되는 경우에는, 감지 불가능하도록 가공 프로세스를 변경하도록 한 제어장치 및 그 제어장치를 이용한 동작기계가 제공되므로, 워크의 가공 불량을 삭감하여, 생산효율을 높일 수 있게 된다.

**도면의 간단한 설명**

- 도 1은 본 발명의 바람직한 실시형태에 의한 동작기계의 약시 블록도이다.
- 도 2는 본 발명의 제1 실시형태에 의한 가공면 평가장치의 블록도이다.
- 도 3은 콘트라스트를 설명하기 위한 약도이다.
- 도 4는 휘도비를 설명하기 위한 약도이다.
- 도 5는 콘트라스트 감도 함수를 설명하기 위한 차트이다.
- 도 6은 프로세스 변경방법을 설명하기 위한 약도이다.
- 도 7은 프로세스 변경의 일례를 나타내는 차트이다.
- 도 8은 프로세스 변경의 다른 예를 나타내는 차트이다.
- 도 9는 본 발명의 제2 실시형태에 의한 가공면 평가장치의 블록도이다.
- 도 10은 사람의 촉각의 주파수 임계값 특성을 설명하기 위한 차트이다.

**발명을 실시하기 위한 구체적인 내용**

이하, 첨부 도면을 참조하여 본 발명의 바람직한 실시형태를 설명한다.

도 1에 있어서, 동작기계(50)는, 가공기(60)와, 가공면 평가장치(10(30))를 구비하고 있다. 가공기(60)는, 공장의 바닥면 상에 고정되는 기초대로서의 베드(62), 그 베드(62)의 상면에 설치되어 상면에 워크(W)가 고정되는 테이블(64), 베드(62)에 고정된 워크(W)에 대면시킨 공구(T)를 선단부에 장착하는 주축(66)을 연직의 회전축선(O)을 중심으로 하여 회전 가능하게 지지하는 주축헤드(68), 주축헤드(68)를 베드(62)에 대하여 X축, Y축, Z축의 직교3축 방향으로 왕복 구동하는 구동기구(52), 구동기구(52)의 서보모터를 제어하는 NC장치(54), 공구경로를 연산, 생성하고, 생성된 공구경로에 관련된 데이터를 NC장치(54)로 공급하는 공구경로 연산장치(56), 공구경로 연산장치(56)와 NC장치(54) 사이에 설치되어 NC장치(54)로 공급되는 공구경로정보를 보정하는 가공면 평가장치(10(30))를 주요한 구성요소로서 구비하고 있다.

구동기구(52)는, 일례로서, X축, Y축, Z축 볼나사(미도시), 그 볼나사에 계합하는 너트(미도시) 및 X축, Y축, Z축 볼나사 각각의 일단부에 연결되어 X축, Y축, Z축 볼나사를 회전구동하는 서보모터로 구성되는 X축, Y축, Z축 구동모터(Mx, My, Mz)를 구비하고 있다. 또한, 동작기계(50)는 X축, Y축, Z축의 직교3축의 직선이송축에 더하여, 수평방향의 X축을 중심으로 한 회전이송축인 A축이나, 연직방향의 Z축을 중심으로 한 회전이송축인 C축

과 같은 1 또는 복수의 회전이송축을 포함하고 있어도 좋다. 그러한 경우에는, 구동기구(52)는, X축, Y축, Z축 구동모터(Mx, My, Mz)에 더하여, A축, C축과 같은 회전이송축용의 서보모터를 포함하고 있다.

[0023] 공구경로 연산장치(56)는, 예를 들어 LAN과 같은 컴퓨터 네트워크(70)를 통하여 CAD장치(58)에 접속된 CAM장치에 의하여 구성할 수 있으며, CAD장치(58)가 생성한 워크(W)의 형상 데이터에 근거하여 공구경로를 연산하고, 그 공구경로에 관련된 데이터를 가공면 평가장치(10(30))에 생성한다. 공구경로 연산장치(56)는, 가공기(60)의 기계제어장치(미도시) 또는 NC장치(54) 내의 제어 프로그램의 일부로서 조합하여도 좋다.

[0024] 도 2를 참조하면, 제1 실시형태에 의한 가공면 평가장치(10)는, 입력부(12), 공구 거동 시뮬레이션부(14), 이송축 거동 시뮬레이션부(16), 가공면 형상 시뮬레이션부(18), 콘트라스트 연산부(20), 공간주파수 연산부(22), 판정부(24), 프로세스 변경부(26)를 주요한 구성요소로서 구비하고 있다.

[0025] 입력부(12)에서는, 그 가공 프로세스에서 사용되는 워크를 위한 재료, 주축(66)의 회전속도, 이송속도, 사용하는 공구(T)의 공구직경, 공구길이 및 날수, 공구(T)의 워크(W) 내로의 삽입깊이, 피크피드양, 또는 이송축의 이송속도의 보정값 등의 가공조건에 관한 데이터(100)가 공구 거동 시뮬레이션부(14) 및 이송축 거동 시뮬레이션부(16)에 입력된다. 입력부(12)는, 예를 들어 NC장치(54) 또는 가공기(60)의 기계제어장치(미도시)에 부속하는 키보드(미도시)나 터치패널(미도시), 또는 공구경로 연산장치(56)와 함께 컴퓨터 네트워크에 접속된 서버에 저장된 데이터베이스(미도시)에 의하여 구성할 수 있다.

[0026] 공구 거동 시뮬레이션부(14)는, 입력부(12)로부터 입력된 가공조건(100)에 근거하여, 공구(T)의 쓰러짐이나 휘어짐, 절삭날 선단의 주회동작을 포함하는 공구(T)의 거동을 연산에 의하여 시뮬레이션한다. 시뮬레이션 결과인 공구(T)의 거동에 관련된 데이터(104)는, 후술하는 가공면 형상 시뮬레이션부(18)에 송출된다.

[0027] 이송축 거동 시뮬레이션부(16)는, 공구경로 연산장치(56)로부터의 공구경로 데이터(102) 및 입력부(12)로부터 입력된 가공조건(100)에 근거하여 X축, Y축, Z축의 직교3축의 직선이송축이나, A축, C축과 같은 회전이송축의 거동을 시뮬레이션한다. 시뮬레이션 결과인 X축, Y축, Z축의 직교3축의 직선이송축이나, A축, C축과 같은 회전이송축의 이송축의 거동에 관련된 데이터(106)는, 가공면 형상 시뮬레이션부(18)에 송출된다.

[0028] 가공면 형상 시뮬레이션부(18)에서는, 공구(T)의 거동에 관련된 데이터(104) 및 이송축의 거동에 관련된 데이터(106)에 근거하여, 그 가공 프로세스에 의하여 워크(W)의 표면으로부터의 칩의 제거가 시뮬레이션되고, 워크(W)에 형성되는 가공면의 형상, 특히 워크(W)의 가공면에 형성되는 커스프의 높이나, 인접하는 커스프의 간격, 커스프 측면의 경사각 등이 연산된다. 연산결과인 워크(W)의 가공면의 형상에 관련된 데이터(108)가, 콘트라스트 연산부(20) 및 공간주파수 연산부(22)로 송출된다.

[0029] 콘트라스트 연산부(20)에는, 입력부(12)로부터 워크(W)의 재료에 관한 데이터, 광원의 조도, 파장, 좌표 등의 광원에 관한 데이터, 및 상정되는 관찰자가 워크를 관찰할 때의 시선의 각도 등의 관찰자에 관한 데이터를 포함하는 데이터(110)가 입력된다. 또한, 워크(W)가, 예를 들어 사출성형기에서 이용하는 금형과 같은 경우에는, 워크(W)의 재료에 관한 데이터 대신에, 그 금형으로 성형되는 플라스틱 재료에 관한 데이터를 입력하는 것이 바람직하다. 콘트라스트 연산부(20)는, 가공면 형상 시뮬레이션부(18)로부터의 워크(W)의 가공면 형상에 관련된 데이터(108)와 입력부(12)로부터 입력되는 데이터(110)에 근거하여, 워크(W)의 표면에서의 반사광의 최대 휘도(Lmax) 및 최소 휘도(Lmin)를 연산하고, 워크(W)의 표면의 콘트라스트를 연산한다. 연산결과인 콘트라스트(m)는 판정부(24)로 송출된다.

[0030] 여기에서, 도 3을 참조하면, 콘트라스트(m)는 이하의 식으로부터 얻어진다.

[0031] 
$$m=(L_{max}-L_{min})/(L_{max}+L_{min})$$

[0032] 여기에서,

[0033] Lmax: 최대 휘도(cd/m<sup>2</sup>)

[0034] Lmin: 최소 휘도(cd/m<sup>2</sup>)

[0035] 이다.

[0036] 또한, 휘도(L)는, 이하의 식으로부터 얻어진다.

[0037] 
$$L=\beta(\theta_i, \theta_r) \cdot (\rho/\pi) \cdot E$$

[0038] 여기에서,



- [0039]  $\beta$ : 휘도비
- [0040]  $\theta_i$ : 입사각(deg)
- [0041]  $\theta_r$ : 반사각(deg)
- [0042]  $\rho$ : 반사율
- [0043] E: 광원(S)으로부터의 입사광의 조도(lx)
- [0044] 이다.
- [0045] 여기에서, 도 4를 참조하면, 휘도비( $\beta$ )는, 이점쇄선으로 나타내는 바와 같이 반사 방향에 상관없이 일정한 완전확산면의 휘도(Lpd)(선분(OP))에 대한, 파선으로 나타내는 실제 반사면에 있어서의 확산반사 중, 반사각( $\theta_r$ ) 방향의 시료면의 휘도(L)( $\theta_r$ )(선분(OS))의 비이다. 완전확산 반사면에서는, 반사 방향에 상관없이 휘도는 일정해지지만, 실제의 반사면에서는 반사각( $\theta_r$ )에 의존하여 휘도는 변화한다. 더욱이, 실제의 반사면에서는, 입사각( $\theta_i$ )이나 반사면의 재료에 의하여도 휘도는 변화한다. 그래서, 휘도비( $\beta$ )를 구하는 방법의 일례로서, 휘도계와 같은 측정장치를 이용하여, 다양한 재료에 대하여 입사각( $\theta_i$ )을 변화시키면서, 복수의 반사각( $\theta_r$ )에 대하여, 반사광선의 휘도를 미리 예측하여, 입사각( $\theta_i$ ) 및 반사각( $\theta_r$ )을 파라미터로 하여서, 휘도비( $\beta$ )를 워크(W)를 위한 다양한 재료에 관련지어, 콘트라스트 연산부(20)에 테이블(데이터 베이스) 또는 근사식으로서 저장할 수 있다.
- [0046] 콘트라스트 연산부(20)는, 입력부(12)로부터 입력된 데이터(110), 특히 워크(W)를 위한 재료, 워크(W)와 관찰자의 눈 사이의 거리, 관찰자의 시선의 각도, 및 가공면 형상 시뮬레이션부(18)로부터의 가공면에 관련된 데이터(108)에 근거하여, 가공면으로의 입사각( $\theta_i$ ), 가공면에서의 반사각( $\theta_r$ )을 연산하고, 워크(W)를 위한 재료, 입사각( $\theta_i$ ), 및 반사각( $\theta_r$ )을 파라미터로 하여, 테이블(데이터 베이스)을 참조함으로써, 휘도비( $\beta(\theta_i, \theta_r)$ )를 구하고, 그 휘도비( $\beta(\theta_i, \theta_r)$ )로부터 최대 휘도(Lmax)와, 최소 휘도(Lmin)를 구하며, 콘트라스트(m)를 구할 수 있다.
- [0047] 공간주파수 연산부(22)는, 가공면 형상 시뮬레이션부(18)로부터의 워크(W)의 가공면 형상에 관련된 데이터(108)에 근거하여 공간주파수( $\omega$ )를 연산한다. 여기에서, 다시 도 3을 참조하면, 공간주파수( $\omega$ )는, 관찰자의 눈( $E_o$ )에 투영되는 인접하는 커스프의 정점 사이의 각도인 시각( $\alpha$ )의 역수, 또는 시각( $\alpha=1^\circ$ )당 커스프 수로서 정의된다. 연산결과인 공간주파수( $\omega$ )는 판정부(24)로 송출된다. 한편, 최대 휘도(Lmax)와, 최소 휘도(Lmin)의 검색방법은, 시선과 가공면을 고정하고, 시각( $\alpha$ )을 확장하면서 휘도가 최대가 되는 곳을 찾아, 그때의 휘도를 최대 휘도(Lmax)로 하며, 그때의 시각( $\alpha$ )으로부터 반사측의 휘도를 최소 휘도(Lmin)로 한다.
- [0048] 판정부(24)는, 콘트라스트 연산부(20)로부터의 콘트라스트(m)와, 공간주파수 연산부(22)로부터의 공간주파수( $\omega$ )에 근거하여, 그 가공 프로세스로 가공된 워크(W)의 표면의 커스프가 줄무늬로서 눈에 인식되는지 아닌지를 콘트라스트 감도 함수를 이용하여 판정한다. 여기에서, 도 5를 참조하면, 사람의 시각은, 일반적으로 콘트라스트가 작아지면 휘도의 차이를 식별할 수 없게 된다. 이러한 휘도의 차이를 식별할 수 있는 최소의 콘트라스트는 일반적으로 콘트라스트 임계값이라고 하고, 또한 콘트라스트 임계값의 역수는 콘트라스트 감도라고 한다. 콘트라스트 감도는 공간주파수에 의하여 변화되고, 공간주파수에 대한 콘트라스트 감도의 변화를 일반적으로 콘트라스트 감도 곡선 또는 콘트라스트 감도 함수(Fcs)라고 한다. 콘트라스트 감도 함수(Fcs)는, 공간주파수 약 4cycle/degree에서 정점을 가지고, 공간주파수가 이보다 높거나 낮아도 콘트라스트 감도가 저하되는 것이 일반적으로 알려져 있다.
- [0049] 본 실시형태에서는, 판정부(24)는, 콘트라스트 연산부(20)로부터의 콘트라스트(m)와, 공간주파수 연산부(22)로부터의 공간주파수( $\omega$ )에 근거하여, 그 가공 프로세스에 의하여 형성되는 워크(W)의 가공면의 커스프 줄무늬의 콘트라스트가, 콘트라스트 감도 함수(Fcs)의 상측(줄무늬가 보이지 않음)이 되는지, 또는 하측(줄무늬가 보임)이 되는지를 판정한다. 콘트라스트 감도 함수(Fcs)는, 개인 개인이 다르지만, 미리 실험에 의하여 적당한 콘트라스트 감도 함수(Fcs)를 판정부(24)에 저장할 수 있다. 또는, 복수의 콘트라스트 감도 함수(Fcs)를 판정부(24)에 저장해 두고, 사용자가 적절히 선택할 수 있도록 하여도 좋다.
- [0050] 판정부(24)에 있어서, 콘트라스트 연산부(20)로부터의 콘트라스트(m) 및 공간주파수 연산부(22)로부터의 공간주파수( $\omega$ )가, 도 5에 있어서, 콘트라스트 감도 함수(Fcs)의 상측(줄무늬가 보이지 않음)이라고 판정된(Yes) 경우, 가공면 평가장치(10)는, 입력부(12)로부터 입력된 가공조건 및 공구경로 연산장치(64)가 생성한 공구경로에 관한 데이터(118)를 NC장치(62)에 송출한다.



- [0051] 판정부(24)에 있어서, 콘트라스트 연산부(20)로부터의 콘트라스트(m) 및 공간주파수 연산부(22)로부터의 공간주파수( $\omega$ )가, 도 5에 있어서, 콘트라스트 감도 함수(Fcs)의 하측(줄무늬가 보임)이라고 판정된(No) 경우, 가공면 평가장치(10)는, 후술하는 바와 같이, 워크(W)의 가공면의 표면 조도가 요구를 만족하는 범위에서, 커스프 줄무늬의 콘트라스트가 콘트라스트 감도 함수(Fcs)의 상측(줄무늬가 보이지 않음)이 되도록, 그 가공 프로세스를 변경하는 지령을 입력부(12)(지령(120<sub>1</sub>)), 공구 거동 시뮬레이션부(14)(지령(120<sub>2</sub>)), 공구경로 연산장치(64)(지령(120<sub>3</sub>)), 이송축 거동 시뮬레이션부(16)(지령(120<sub>4</sub>))의 적어도 1개로 송출한다. 여기에서, 가공 프로세스의 변경에는, 주축(66)의 회전속도, 이송축의 이송속도, 사용하는 공구(T)의 공구직경, 공구길이 및 날수, 공구(T)의 워크(W) 내로의 삽입깊이, 피크피드양, 또는 이송축의 이송속도의 보정값 등의 가공조건에 더하여, 주축(66)을 회전지지는 베어링의 베어링 강도, 공구경로 연산장치(56)가 생성하는 공구경로의 변경이 포함된다.
- [0052] 도 6을 참조하면, 공간주파수 연산부(22)로부터의 공간주파수( $\omega$ )가, 콘트라스트 감도 함수(Fcs)의 정점(P)을 부여하는 공간주파수( $\omega_p$ )보다 큰 경우(도 6의 점 A), 프로세스 변경부(26)는, 콘트라스트(m)를 작게 하는 방향(a1)이나, 또는 콘트라스트(m)를 작게 하는 동시에 공간주파수( $\omega$ )가 높아지는 방향(a2)으로 가공 프로세스를 변경한다. 반대로, 공간주파수 연산부(22)로부터의 공간주파수( $\omega$ )가, 콘트라스트 감도 함수(Fcs)의 정점(P)을 부여하는 공간주파수( $\omega_p$ )보다 작은 경우(도 6의 점 B), 프로세스 변경부(26)는 콘트라스트(m)를 작게 하는 방향(b1)이나, 또는 콘트라스트(m)를 작게 하는 동시에 공간주파수( $\omega$ )가 낮아지는 방향(b2)으로 가공 프로세스를 변경한다.
- [0053] 콘트라스트(m)를 작게 하는 방향(a1, b1)으로의 프로세스 변경은, 예를 들어 사용하는 공구(T)의 공구직경을 작게 하는 지령(120<sub>1</sub>)을 입력부(12)로 출력함으로써 행할 수 있다. 또는, 주축헤드(68)가 주축(66)을 회전지지는 베어링이, 자력을 이용한 자기베어링과 같은 경우, 그 자기베어링의 자력을 저하시키는 지령(120<sub>2</sub>)을 공구 거동 시뮬레이션으로 송출하여 베어링의 강성을 저하시킴으로써, 가공면 전체의 커스프를 크게 하여 국소적인 커스프를 눈에 띄지 않게 하여서, 콘트라스트(m)를 작게 할 수 있다. 또는, 도 7에 나타내는 바와 같이, 이송축의 가속도를 작게 하는 지령(120<sub>4</sub>)을 이송축 거동 시뮬레이션부(16)로 송출하여, 이송축의 가감속시의 위치 에러에 근거하는 커스프 높이를 저감하여서, 콘트라스트(m)를 작게 할 수 있다.
- [0054] 이송축이 반전될 때에 서보모터로 송출되는 속도지령으로의 보정 필터를 변경하는 지령(120<sub>4</sub>)을 이송축 거동 시뮬레이션부(16)로 송출하도록 하여도 좋다. 예를 들어, 도 8에 나타내는 바와 같이, 보정 필터를 작고 완만한 형태로 함으로써, 이송축의 사분면 전환시의 위치 에러의 절대값은 커지는데 워크(W)에 형성되는 가공면의 형상은 완만해져, 콘트라스트(m)가 작아지는 동시에 공간주파수( $\omega$ )가 변화한다(방향(a2, b2)).
- [0055] 이렇게 하여, 본 실시형태에서는, 가공면 평가장치(10)는, 관찰자의 시각에 의하여 워크(W)의 가공면에 줄무늬를 감지할 수 없게 될 때까지, 즉 판정부(24)에 의한 판정이 Yes가 될 때까지, 가공 프로세스의 수정을 반복한다. 이렇게 하여, 본 실시형태에서는, 워크(W)의 가공면에 형성되는 주로 커스프에 의한 줄무늬의 콘트라스트(m)와 공간주파수( $\omega$ )에 근거하여, 콘트라스트 감도 함수(Fcs)를 이용하여, 그 줄무늬가 관찰자의 시각에 의하여 감지할 수 있는지 없는지를 판단하고, 관찰자의 시각에 의하여 가공면에 줄무늬를 감지할 수 없게 될 때까지 가공 프로세스를 수정하도록 되어 있다.
- [0056] 다음으로, 도 9를 참조하여, 본 발명의 제2 실시형태를 설명한다. 제1 실시형태에서는, 사람의 감각에 근거하는 가공면의 평가기준으로서, 시각, 특히 콘트라스트 감도를 이용하였는데, 제2 실시형태에서는, 평가기준으로서, 촉각, 특히 촉각의 주파수 임계값 특성을 이용하고 있다. 한편, 도 9에 있어서, 도 2와 마찬가지로의 구성요소는 같은 참조부호로 지시되어 있다.
- [0057] 도 9를 참조하면, 제2 실시형태에 의한 가공면 평가장치(30)는, 제1 실시형태의 가공면 평가장치(10)의 콘트라스트 연산부(20) 및 공간주파수 연산부(22) 대신에, 진동자극 주파수 연산부(32)를 구비하고 있다. 제2 실시형태에서는, 진동자극 주파수 연산부(32)로는, 입력부(12)로부터 워크(W)의 가공면 상을 미끄러지는 관찰자의 손가락의 속도(가공면에 대한 상대속도)(130)가 입력되고, 가공면 형상 시뮬레이션부(18)로부터 가공면 형상에 관한 데이터(108), 특히 인접하는 커스프의 정점 사이의 거리가 입력된다.
- [0058] 진동자극 주파수 연산부(32)는, 관찰자의 손가락의 속도와, 인접하는 커스프의 정점 사이의 거리에 근거하여, 관찰자의 손가락에 전달되는 진동자극의 주파수를 연산하고, 연산결과인 진동자극의 주파수에 관련된 데이터를 판정부(34)에 송출한다. 판정부(34)에는, 또한 가공면 형상 시뮬레이션부(18)로부터 가공면의 형상에 관한 데이터(108), 특히 인접하는 커스프의 정점 사이의 거리가 송출된다.

[0059] 여기에서, 도 10을 참조하면, 사람의 촉각에는, 진동자극의 주파수가 높아지면, 작은 진동자극 진폭을 감지할 수 없게 되는 특성(촉각의 주파수 임계값 특성)이 있다는 것이 알려져 있다. 본 실시형태에서는, 판정부(34)는, 진동자극 주파수 연산부(32)로부터의 진동자극의 주파수와, 커스프의 정점 사이의 거리와 관찰자의 손가락의 속도로부터 구해지는 관찰자의 손가락에 전달되는 진동자극의 진폭에 근거하여, 그 가공 프로세스에 의하여 형성되는 워크(W)의 가공면의 커스프를 관찰자가 손가락으로 만져서 감지할 수 있는지 없는지를 판정한다.

[0060] 도 10에 나타내는 촉각의 주파수 임계값 특성을 나타내는 곡선 또는 함수(Fts)는, 개인 개인이 다르지만, 미리 실험에 의하여 적당한 주파수 임계값 함수(Fts)를 판정부(34)에 저장할 수 있다. 또는, 복수의 주파수 임계값 함수(Fts)를 판정부(24)에 저장해 두고, 사용자가 적절히 선택할 수 있도록 하여도 좋다.

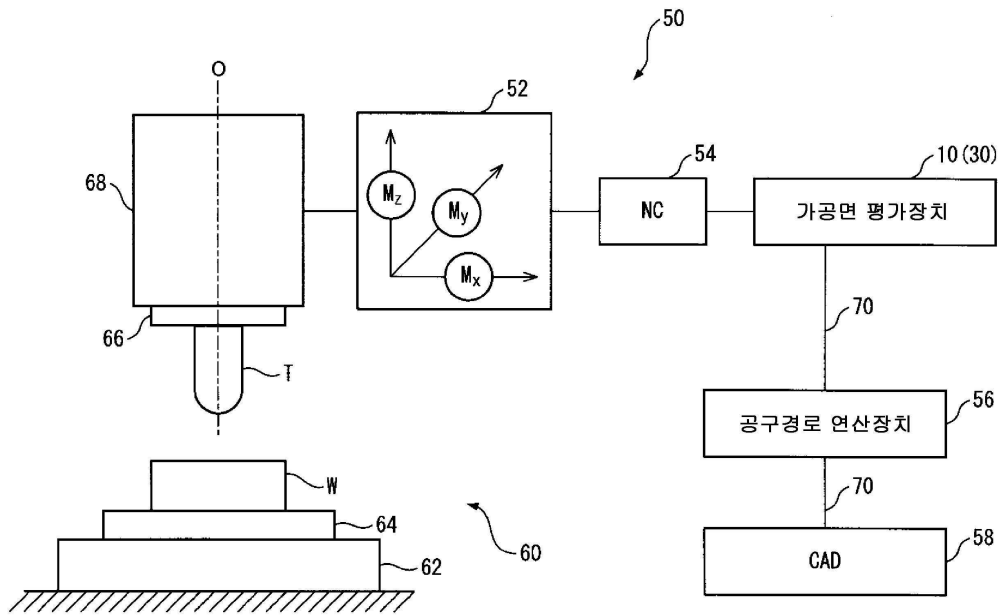
[0061] 이와 같이, 본 실시형태에서는, 판정부(34)는, 진동자극의 주파수와, 인접하는 커스프의 정점 사이의 거리에 근거하여, 그 가공 프로세스에 의하여 형성되는 워크(W)의 가공면의 커스프가, 촉각의 주파수 임계값 특성(Fts)의 하측(커스프를 느끼지 않음)이 되는지, 또는 상측(커스프를 느낌)이 되는지를 판정하고, 가공면 평가장치(30)는 제1 실시형태와 마찬가지로, 관찰자의 촉각에 의하여 워크(W)의 가공면에 형성되는 커스프를 감지할 수 없게 될 때까지, 즉 판정부(34)에 의한 판정이 Yes가 될 때까지, 가공 프로세스의 수정을 반복한다.

### 부호의 설명

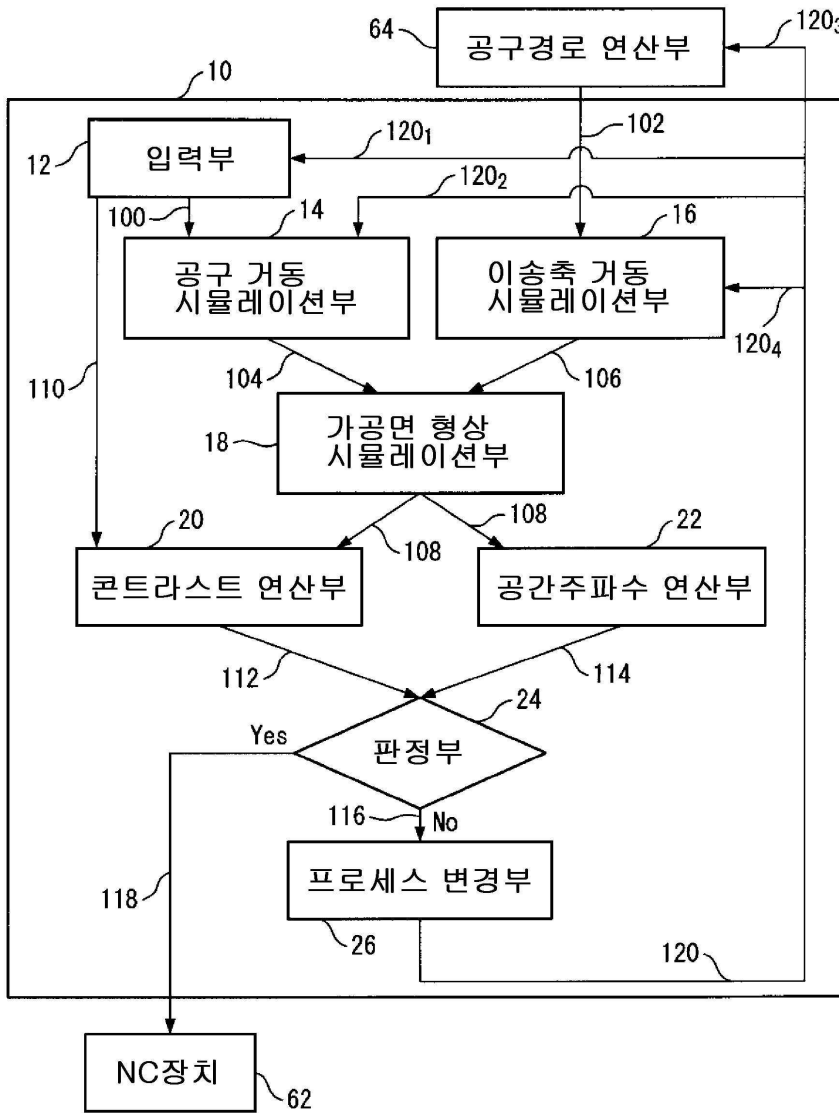
- [0062] 10: 가공면 평가장치  
 12: 입력부  
 14: 공구 거동 시뮬레이션부  
 16: 이송축 거동 시뮬레이션부  
 18: 가공면 형상 시뮬레이션부  
 20: 콘트라스트 연산부  
 22: 공간주파수 연산부  
 24: 판정부  
 26: 프로세스 변경부  
 30: 가공면 평가장치  
 32: 진동자극 주파수 연산부  
 34: 판정부  
 50: 공작기계  
 56: 공구경로 연산장치  
 62: 베드  
 64: 테이블  
 68: 주축헤드

도면

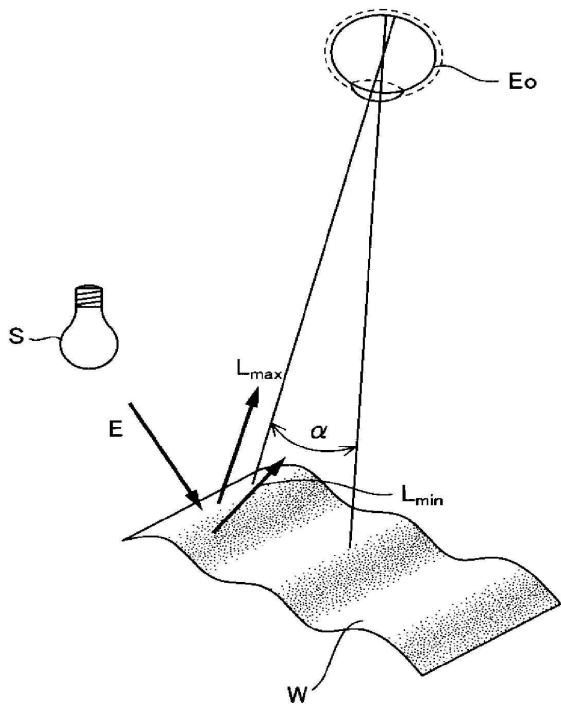
도면1



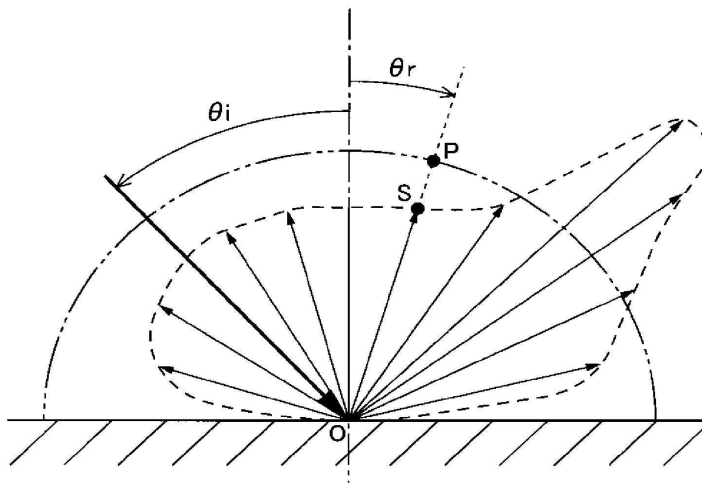
도면2



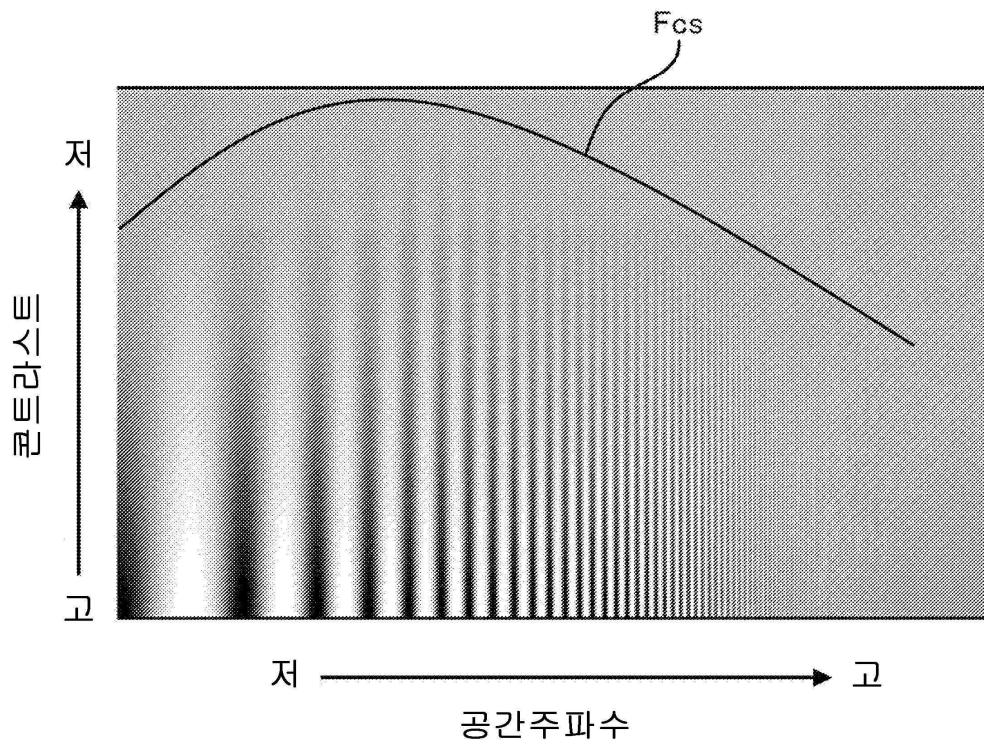
도면3



도면4

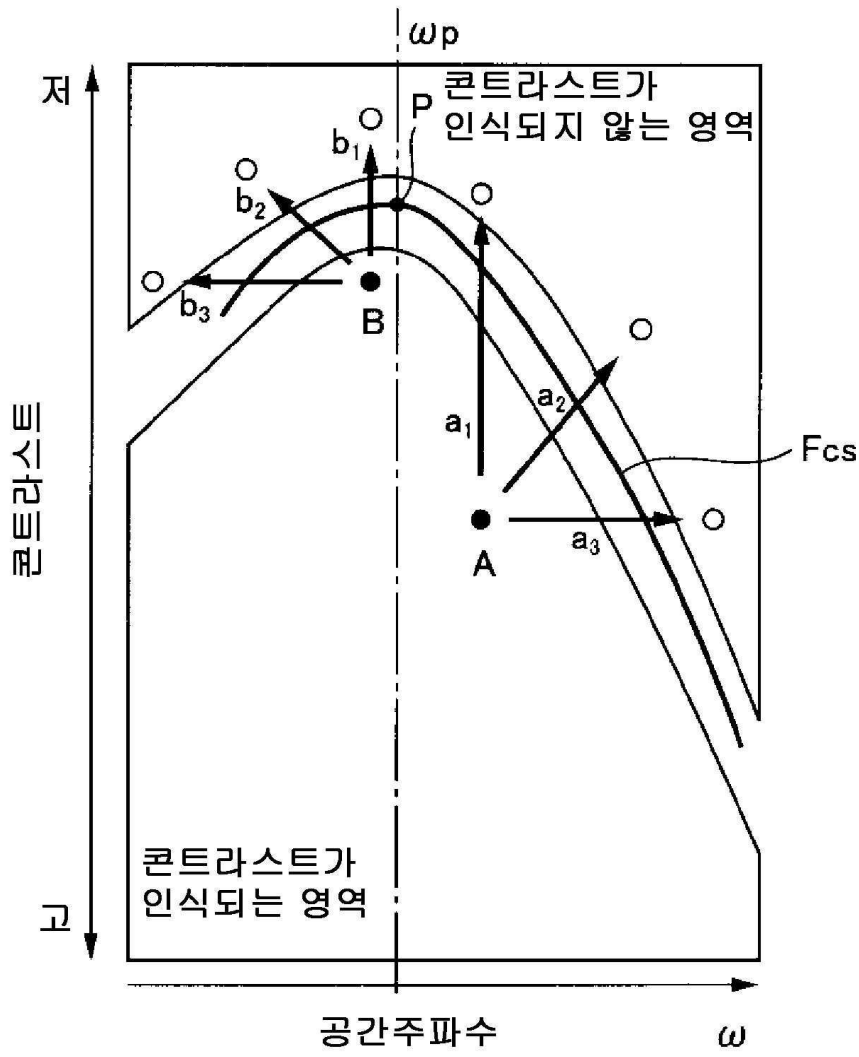


도면5

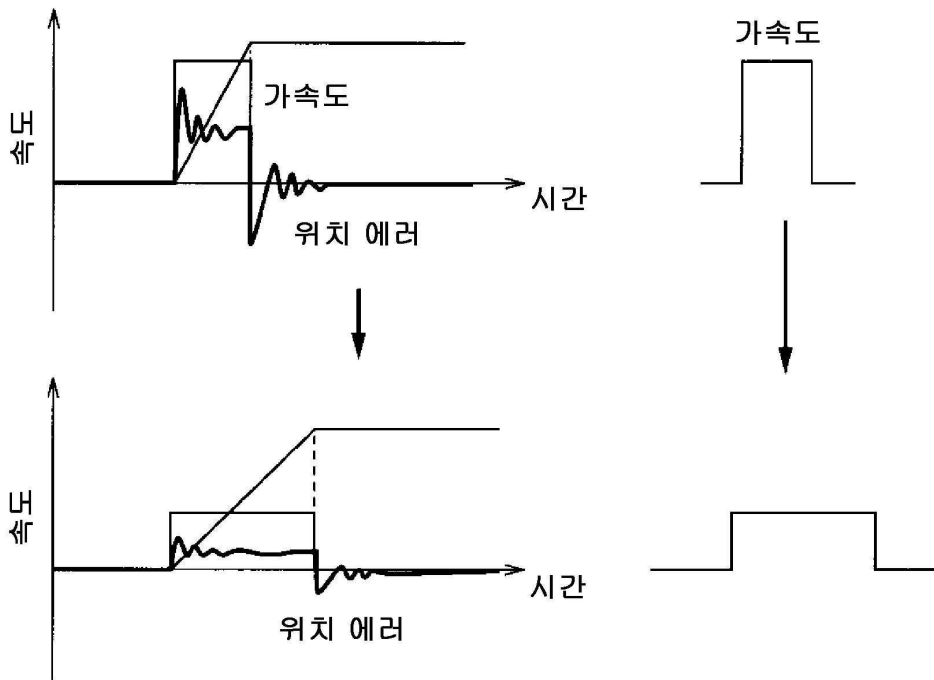




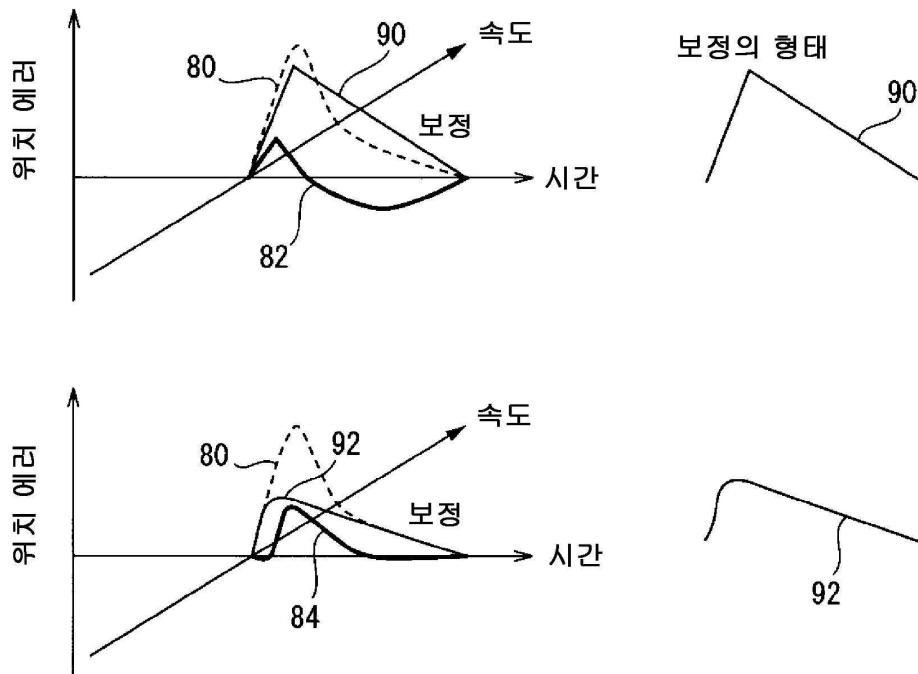
도면6



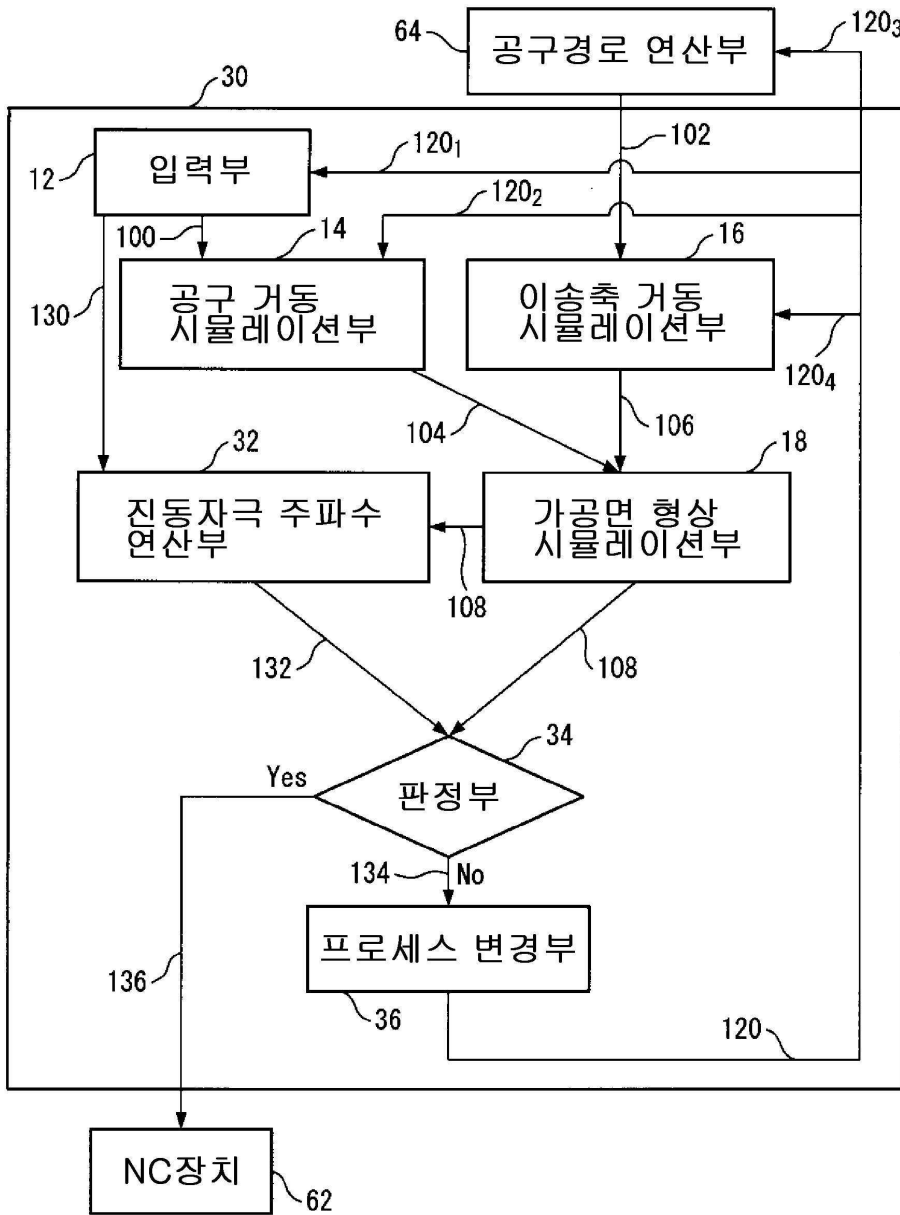
도면7



도면8



도면9



도면10

