(12) 특허협력조약에 의하여 공개된 국제출원

(19) 세계지식재산권기구
국제사무국

(43) 국제공개일
2017 년 10 월 5 일 (05.10.2017)

WIPO | PCT

(10) 국제공개번호
WO 2017/171352 A2

(51) 국제특허분류:
B23Q 11/00 (2006.01) *B23Q 17/09* (2006.01)
B23Q 15/18 (2006.01) *G05B 19/404* (2006.01)

(21) 국제출원번호: PCT/KR2017/003319

(22) 국제출원일: 2017 년 3 월 28 일 (28.03.2017)

(25) 출원언어: 한국어

(26) 공개언어: 한국어

(30) 우선권정보:
10-2016-0037091 2016 년 3 월 28 일 (28.03.2016) KR

(71) 출원인: **두산공작기계 주식회사 (DOOSAN MACHINE TOOLS CO., LTD.)** [KR/KR]; 51537 경상남도 창원시 성산구 정동로 162 번길 40, Gyeongsangnam-do (KR).

(72) 발명자: **김기홍 (KIM, Ki Hong)**; 51018 경상남도 김해시 율하 1 로 130, 901 동 704 호, Gyeongsangnam-do (KR).

(74) 대리인: **윤여광 (YOON, Yu Kwang)** 등; 03737 서울시 서대문구 충정로 7, 구세군빌딩 15 층, 위더피플법률사무소, Seoul (KR).

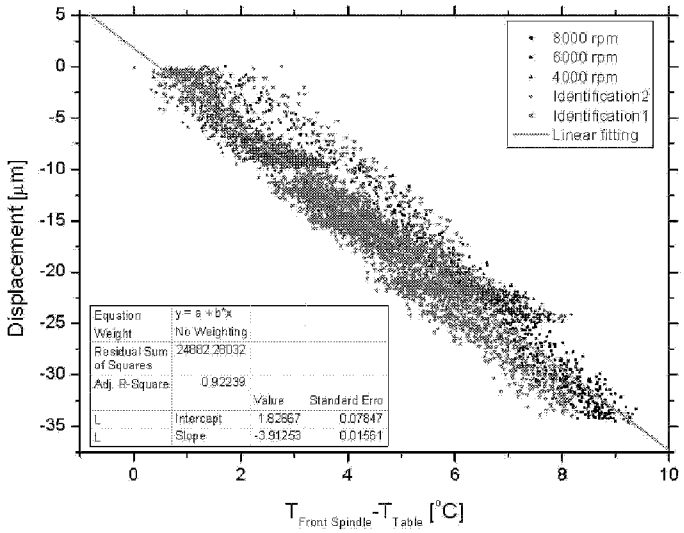
(81) 지정국 (별도의 표시가 없는 한, 가능한 모든 종류의 국내 권리의 보호를 위하여): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, 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, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 유라시아 (AM, AZ, BY, KG, KZ, 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, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

[다음 쪽 계속]

(54) **Title**: APPARATUS AND METHOD FOR AUTOMATICALLY CONVERTING THERMAL DISPLACEMENT COMPENSATION PARAMETERS OF MACHINE TOOL

(54) **발명의 명칭** : 공작기계의 열변위 보정 파라메터 자동 변환 장치 및 변환 방법



(57) **Abstract**: The present invention relates to an apparatus and a method for automatically converting thermal displacement compensation parameters of a machine tool, wherein, according to operation states of a machine tool or various types of machine tools, compensation parameters of a thermal displacement compensation equation for a machine tool are automatically converted in real time such that the same can be optimized for a current thermal displacement status of the machine tool, on the basis of thermal displacement data of the machine tool, calculated by measuring z-direction or y-direction displacement data of the tool end of a reference tool, measured by a tool measurement unit, or the processed portion of a machined material, and temperature data measured by a temperature measurement unit. Therefore, the present invention can improve the machining accuracy of a machine tool by minimizing machining errors due to thermal displacement.

(57) **요약서**:

[다음 쪽 계속]

WO 2017/171352 A2

공개:

— 국제조사보고서 없이 공개하며 보고서 접수 후 이를 별도 공개함 (규칙 48.2(g))

본 발명은 공작기계의 작동상태나 다양한 공작기계의 종류에 따라 공구측정유닛에 의해 측정된 기준공구의 공구 끝단의 Z 방향 또는 Y 방향의 변위데이터 또는 가공된 소재의 가공부를 측정하여 산출된 공작기계의 열변위 데이터와, 온도측정유닛에 의해 측정된 온도 데이터에 의해 실시간으로 현재 공작기계의 열변위 상태에 최적화될 수 있도록 공작기계의 열변위 보정식의 보정 파라메터를 자동으로 변환하여 열변위에 따른 가공오차를 최소화하여 공작기계의 가공정밀도를 향상시킬 수 있는 공작기계의 열변위 보정 파라메터 자동 변환 장치 및 변환 방법에 관한 것이다.

명세서

발명의 명칭: 공작기계의 열변위 보정 파라메터 자동 변환 장치 및 변환 방법

기술분야

[1] 본 발명은 공구측정유닛에 의해 측정된 기준공구의 공구 끝단의 Z방향 또는 Y방향의 변위 데이터 또는 가공된 소재의 가공부를 측정하여 산출된 공작기계의 열변위 데이터와, 온도측정유닛에 의해 측정된 온도 데이터에 의해 실시간으로 공작기계의 열변위 보정식의 보정 파라메터를 자동으로 변환하여 가공정밀도를 향상시킬 수 있는 공작기계의 열변위 보정 파라메터 자동 변환 장치 및 변환 방법에 관한 것이다.

[2]

배경기술

[3] 터닝센터, 머시닝센터, 문형머시닝센터, 스위스 턴, 방전 가공기, 수평형 NC 보링머신, CNC 선반 등을 비롯한 다양한 종류의 공작기계는 다양한 산업 현장에서 해당 작업의 용도에 맞게 널리 사용되고 있다.

[4] 도 1에 도시된 것처럼, 일반적으로 현재 사용되고 있는 다양한 종류의 공작기계는 수치제어(numerical control, NC) 또는 CNC(computerized numerical control) 기술이 적용되는 조작반(9)을 구비하며, 이러한 조작반(9)은 다양한 기능스위치(또는 조작버튼)와 작동상태를 사용자에게 시각적으로 보여주기 위한 모니터를 구비하고 있다.

[5] 또한, 도 1에 도시된 것처럼 일반적으로 공작기계(1)의 주축(2), 주축(2)을 구동하는 주축모터(3), 주축(2)을 지지하는 컬럼(4), 공작물(W)이 위치되는 테이블(5), 베드(6), 주축(2)의 일부에 장착되는 공구는 대부분 금속으로 형성된다.

[6] 오늘날의 공작기계는 생산성 향상을 위해 고속으로 운전하여 많은 제품을 가공하여야만 한다. 또한, 오늘날에 공작기계는 각종 장비의 소형화 추세에 따라 고정밀도로 공작물을 가공할 것이 요구된다.

[7] 공작물을 가공정밀도를 향상하기 위해서는 기하학적인 오차, 열변형에 따른 오차를 최소화하여야 한다.

[8] 공작물의 가공오차는 일차적으로 공작기계를 구성하고 있는 각 구성요소들의 조립 상태나 기하학적인 상태에 의해 발생하는 위치 오차, 각변위 오차, 진직도 및 직각도 등에 의해 영향을 받는다.

[9] 공작기계를 형성하는 대부분의 구성요소들은 금속으로 형성되기 때문에 공작기계의 생산성 향상을 위해 공작기계를 고속으로 장시간 운전하게 되면 공작물의 가공중에 공구와 공작물의 마찰에 의해 발생하는 절삭열, 주축의 고속회전에 의해 발생하는 주축 마찰열, 이송축의 반복적인 이송에 따라

이송축에서 발생하는 마찰열, 절삭유의 순환에 따라 발생하는 대류열, 공작기계 주변의 주위 열 등에 열변형이 발생하게 된다.

[10] 이러한 열변형은 공작물의 가공오차에 훨씬 많은 영향을 미치게 된다.

[11] 따라서, 공작기계의 가공정밀도를 향상하기 위해서는 공작기계의 열변형에 따른 가공오차를 최소화할 필요가 있다.

[12] 종래 공작기계의 열변형 오차 보정장치는 열변형에 따른 가공오차를 최소화하기 위해 표본으로 추출된 1~2대의 공작기계의 주축의 상단부와 하단부에 2개의 온도온도측정유닛을 장착하고, 도 2에 도시된 것처럼 이러한 온도온도측정유닛 데이터와 열변위 오차 데이터 간의 관계를 선형화하여 열변위 보정 파라메터를 도출하고, 이러한 고정된 열변위 보정 파라메터가 적용된 열변위 보정량 계산식을 이용하여 열변위 보정량을 산출하였다.

[13] 즉, 종래 공작기계의 열변형 오차 보정장치는 장비 호기(장비의 종류)간의 온도변화에 따른 열변위 오차의 특성을 고려하지 않고 대표 호기에서 추출된 고정된 열변위 보정 파라메터가 적용된 열변위 보정량 계산식에 의해 열변위 보정량을 계산하여 열변위 보정량을 산출함에 따라 장비 호기별로 정확한 열변위 오차 보정이 되지 않고, 가공정밀도가 감소하는 문제점이 있었다.

[14] 더욱이, 같은 장비 내에서도 사용기간이나 사용상태에 따라 새로운 고정된 열변위 보정 파라메터를 산출하기 위해 공작기계를 정지하고 이를 다시 산출해야 함에 따라 생산 효율이 감소되는 문제점이 있었다.

[15]

발명의 상세한 설명

기술적 과제

[16] 본 발명은 상기와 같은 문제점을 해결하기 위한 것으로, 본 발명의 목적은 작동상태나 다양한 공작기계의 종류에 따라 공구측정유닛에 의해 측정되거나 가공된 소재의 가공부로부터 산출되는 공작기계의 열변위 데이터와, 온도측정유닛에 의해 측정된 온도 데이터에 의해 실시간으로 현재 공작기계의 열변위 상태에 최적화될 수 있도록 공작기계의 열변위 보정식의 보정 파라메터를 자동으로 변환하여 열변위에 따른 가공오차를 최소화하여 공작기계의 가공정밀도를 향상시키는 것을 목적으로 한다.

[17]

과제 해결 수단

[18] 상기 목적을 달성하기 위해서 본 발명은, 조작반 및 공작물의 가공을 위한 공구가 장착되는 주축을 구비하는 공작기계에 있어서, X축, Y축, 또는 Z축의 열변위 보정을 위한 기본 데이터를 저장하는 기본 열변위 보정 데이터 저장부; 기준공구의 공구 끝단의 Z방향 또는 Y방향의 변위를 측정할 수 있는 공구측정유닛; 상기 공작기계의 복수지점에 설치되는 복수의 온도측정유닛; 상기 공구측정유닛에 의해 측정된 기준공구의 공구 끝단의 Z방향 또는 Y방향의

변위 데이터를 저장하는 기준공구 데이터 저장부; 상기 복수의 온도측정유닛에서 측정된 온도 데이터를 저장하는 온도 데이터 저장부; 및 상기 복수의 온도 측정유닛 갯수에 따른 온도데이터 행렬들의 평균값과 공구 끝단의 Z방향 또는 Y방향의 변위의 변화량으로써 열변위 보정 파라메터를 산출하는 제어부;를 포함하는 공작기계의 열변위 보정 파라메터 자동 변환 장치를 제공한다.

[19] 또한, 상기 공구측정유닛에 의해 측정되는 기준공구의 측정대상을 선택할 수 있는 기준공구 측정 대상 선택부; 및 열변위 보정 파라메터 자동 변환 기능 설정부;를 더 포함하되, 상기 기준공구 측정 대상 선택부에서 상기 공구측정유닛에 의해 측정되는 기준공구의 측정대상이 길이인 경우에는 Z축의 열변위 보정 파라메터가 자동으로 변환되고, 상기 기준공구 측정 대상 선택부에서 상기 공구측정유닛에 의해 측정되는 기준공구의 측정대상이 직경인 경우에는 X축 또는 Y축의 열변위 보정 파라메터가 자동으로 변환될 수 있다.

[20] 또한, 상기 제어부는 상기 기본 열변위 보정 데이터 저장부에 저장된 기준공구의 공구 끝단의 Z방향 또는 Y방향의 변위 값과 상기 기준공구 데이터 저장부에 저장된 기준공구의 공구 끝단의 Z방향 또는 Y방향의 변위 값이 일치하는지 여부를 판단하는 기준공구의 공구 끝단의 Z방향 또는 Y방향의 변위 변화 판단부; 상기 기준공구의 공구 끝단의 Z방향 또는 Y방향의 변위 변화 판단부의 판단 결과, 기준공구의 공구 끝단의 Z방향 또는 Y방향의 변위이 변화된 경우 변경된 기준공구의 공구 끝단의 Z방향 또는 Y방향의 변위 값과 온도에 따라 열변위 보정 파라메터를 계산하는 보정 파라메터 계산부; 상기 보정 파라메터 계산부에서 계산된 보정 파라메터를 저장하는 보정 파라메터 저장부; 상기 보정 파라메터 저장부에 저장된 보정 파라메터로 상기 기본 열변위 보정 데이터 저장부에 저장된 상기 X축, Y축, 또는 Z축의 열변위 보정식의 보정 파라메터를 변환하는 보정 파라메터 변환부; 및 상기 보정 파라메터 변환부에 의해 변환된 보정 파라메터를 적용한 열변위 보정식에 의해 열변위 보정량을 계산하는 열변위 보정량 계산부;를 포함할 수 있다.

[21] 또한, 상기 보정 파라메터 계산부는, 하기의 식(5)로써 계산될 수 있다.

[22]
$$\begin{pmatrix} \Delta_1 \\ \Delta_2 \\ \cdots \\ \Delta_n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} b_{11}\ b_{12}\ \cdots\cdots\ b_{1n} \\ b_{21}\ b_{22}\ \cdots\cdots\ b_{2n} \\ \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \\ b_{n1}\ b_{n2}\ \cdots\cdots\ b_{nn} \end{pmatrix}^{-1} \begin{pmatrix} -K_1 \\ -K_2 \\ \cdots \\ -K_n \end{pmatrix} \quad \text{---------- 식(5)}$$

[23] 여기서, △n: n번째 온도 센서에 대한 보정 파라메터 변화량(오차량), b_{hn} : h번째 공구측정 순서에서 측정된 n번째 온도 센서의 온도데이터, Kn : n번째 공구 측정순서에서 측정된 기준공구의 공구 끝단의 Z방향 또는 Y방향의 변위 변화량을 나타낸다.

[24] 또한, 상기 h번째 공구측정 순서에서 n번째 온도 데이터에 대한 행렬은 총측정(온도 센서데이터와 기준공구 변화량을 측정하는)횟수 m과 상기 복수의 온도측정 유닛의 개수 n에 해당하는 온도데이터 조합인 mCn을 구하고, 이러한 복수의 온도데이터 행렬의 디터미넌트를 계산하고, 계산된 복수의 온도데이터 행렬의 디터미넌트 값의 절대값 중 0이거나, 절대값 중 작은 값을 순서대로 한 개 이상 제거할 수 있다.

[25] 또한, 상기에서 제거되지 않은 절대값이 큰 디터미넌트에 해당하는 온도데이터 행렬을 상기 식(5)에 대입하여 보정 파라메터 행렬을 구하고, 이러한 보정 파라메터 행렬의 상관관계 분석을 통해 상관관계가 작은 보정 파라메터 행렬을 제외시키고, 선택된 보정 파라메터 행렬을 산술평균 또는 가중평균해서 최종적인 열변위 보정 파라메터를 산출할 수 있다.

[26] 또한, 열변위 보정량 계산부는 하기의 식(6)으로써 계산될 수 있다.

[27] $(a_1+\triangle_1)(t_1-T_1)+(a_2+\triangle_2)(t_2-T_2)+\cdots+(a_n+\triangle n)(t_n-T_n)$=열변위 보정량 - 식(6)

[28] 여기서, a_n : n번째 보정 파라메터, △n: n번째 온도 데이터에 대한 보정 파라메터 변화량, t_n : n번째 온도데이터이고, T_n : n번째 온도 오프셋을 나타낸다.

[29] 한편, 실시예는 열변위 보정 파라메터 자동 변환 기능 설정부에서 열변위 보정 파라메터 자동 변환 기능을 선택하는 단계; 기본 열변위 보정 데이터 저장부에 X축, Y축, 또는 Z축의 열변위 보정을 위한 기본 데이터를 저장하는 단계; 기준공구 측정 대상 선택부에서 공구측정유닛에 의해 측정되는 기준공구의 측정대상인 공구 끝단의 Z방향 또는 Y방향의 변위을 선택하는 단계; 기준공구 데이터 저장부에 상기 공구측정유닛에 의해 측정된 기준공구의 공구 끝단의 Z방향 또는 Y방향의 변위 데이터를 저장하는 단계; 온도측정유닛에 의해 온도를 측정하는 단계; 온도 데이터 저장부에 상기 온도측정유닛에서 측정된 온도 데이터를 저장하는 단계; 기준공구의 공구 끝단의 Z방향 또는 Y방향의 변위 변화 판단부에서 상기 기본 열변위 보정 데이터 저장부에 저장된 이전의 기준공구의 공구 끝단의 Z방향 또는 Y방향의 변위 값과 상기 기준공구 데이터 저장부에 저장된 현재 기준공구의 공구 끝단의 Z방향 또는 Y방향의 변위 값이 일치하는지 여부를 판단하는 단계; 기준공구의 공구 끝단의 Z방향 또는 Y방향의 변위이 변화된 경우에, 상기 복수의 온도 측정유닛 갯수에 따른 온도데이터 행렬들의 평균값과 기준공구의 공구 끝단의 Z방향 또는 Y방향의 변위 변화량에 따라 열변위 보정 파라메터를 계산하는 단계; 보정 파라메터 저장부에 상기 보정 파라메터 계산부에서 계산된 열변위 보정 파라메터를 저장하는 단계; 및 보정 파라메터 변환부에서 상기 보정 파라메터 저장부에 저장된 열변위 보정 파라메터로 상기 기본 열변위 보정 데이터 저장부에 저장된 상기 X축, Y축, 또는 Z축의 열변위 보정식의 열변위 보정 파라메터를 변환하는 단계;로 이루어지는 것을 특징으로 하는 공작기계의 열변위 보정 파라메터 자동 변환 방법을 제공할 수 있다.

[30] 또한, 상기 열변위 보정 파라메터를 계산하는 단계는 복수의 온도측정 유닛의

갯수에 해당하는 온도데이터 조합인 mCn을 구하고, 이러한 복수의 온도데이터 행렬의 디터미넌트를 계산하고, 계산된 복수의 온도데이터 행렬의 디터미넌트 값의 절대값 중 0이거나, 절대값 중 작은 값을 순서대로 한 개 이상 제거하고, 하기의 식(5)에 의해 상기에서 선택된 복수의 온도데이터 행렬의 디터미넌트 값을 대입하여 보정 파라메터 행렬을 구하고,

[31]

$$\begin{pmatrix} \Delta_1 \\ \Delta_2 \\ \cdots \\ \Delta_n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} b_{11}\ b_{12}\ \cdots\cdots\ b_{1n} \\ b_{21}\ b_{22}\ \cdots\cdots\ b_{2n} \\ \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \\ b_{n1}\ b_{n2}\ \cdots\cdots\ b_{nn} \end{pmatrix}^{-1} \begin{pmatrix} -K_1 \\ -K_2 \\ \cdots \\ -K_n \end{pmatrix} \quad \text{---------- 식(5)}$$

[32] 이러한 보정 파라메터 행렬의 상관관계 분석을 통해 상관관계가 작은 보정 파라메터 행렬 중 기설정된 갯수만큼의 보정 파라메터 행렬을 제외시키고, 선택된 보정 파라메터 행렬을 산술평균 또는 가중평균해서 최종적인 열변위 보정 파라메터를 산출할 수 있다.

[33] 또한, 상기 X축, Y축, 또는 Z축의 열변위 보정식의 보정 파라메터를 변환하는 단계 이후에, 열변위 보정량 계산부에서 상기 보정 파라메터 변환부에 의해 변환된 보정 파라메터를 적용하여 X축, Y축, 또는 Z축의 열변위 보정량을 계산하는 단계;를 더 포함할 수 있다.

[34] 한편, 본 발명의 다른 실시예에 따르면, 조작반 및 공작물의 가공을 위한 공구가 장착되는 주축을 구비하는 공작기계에 있어서, X축, Y축, 또는 Z축의 열변위 보정을 위한 기본 데이터를 저장하는 기본 열변위 보정 데이터 저장부; 주축에 클램핑되어 가공된 소재의 가공부의 깊이 또는 폭을 측정하는 인디게이터; 상기 공작기계의 복수지점에 설치되는 복수의 온도측정유닛; 상기 인디게이터에 의해 측정된 가공부로부터 공작기계의 열변위 데이터를 산출하고 산출된 데이터를 저장하는 기준공구 데이터 산출 및 저장부; 상기 복수의 온도측정유닛에서 측정된 온도 데이터를 저장하는 온도 데이터 저장부; 및 상기 복수의 온도 측정유닛 갯수에 따른 온도데이터 행렬들의 평균값과 기준공구의 공구 끝단의 Z방향 또는 Y방향의 변위 변화량으로써 열변위 보정 파라메터를 산출하는 제어부;를 포함하는 공작기계의 열변위 보정 파라메터 자동 변환 장치를 제공할 수 있다.

[35] 또한, 상기 제어부는 상기 기본 열변위 보정 데이터 저장부에 저장된 기준공구의 공구 끝단의 Z방향 또는 Y방향의 변위 값과 상기 기준공구 데이터 산출 및 저장부에 저장된 기준공구의 공구 끝단의 Z방향 또는 Y방향의 변위 값이 일치하는지 여부를 판단하는 기준공구의 공구 끝단의 Z방향 또는 Y방향의 변위 변화 판단부; 상기 기준공구의 공구 끝단의 Z방향 또는 Y방향의 변위 변화 판단부의 판단 결과, 기준공구의 공구 끝단의 Z방향 또는 Y방향의 변위가 변화된 경우 변경된 기준공구의 공구 끝단의 Z방향 또는 Y방향의 변위 값과

온도에 따라 열변위 보정 파라메터를 계산하는 보정 파라메터 계산부; 상기 보정 파라메터 계산부에서 계산된 보정 파라메터를 저장하는 보정 파라메터 저장부; 상기 보정 파라메터 저장부에 저장된 보정 파라메터로 상기 기본 열변위 보정 데이터 저장부에 저장된 상기 X축, Y축, 또는 Z축의 열변위 보정식의 보정 파라메터를 변환하는 보정 파라메터 변환부; 및 상기 보정 파라메터 변환부에 의해 변환된 보정 파라메터를 적용한 열변위 보정식에 의해 열변위 보정량을 계산하는 열변위 보정량 계산부;를 포함할 수 있다.

[36] 또한, 상기 보정 파라메터 계산부는,

[37]
$$\begin{pmatrix} \Delta_1 \\ \Delta_2 \\ \cdots \\ \Delta_n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} b_{11}\ b_{12}\ \cdots\ b_{1n} \\ b_{21}\ b_{22}\ \cdots\ b_{2n} \\ \cdots\cdots\cdots\cdots \\ b_{n1}\ b_{n2}\ \cdots\ b_{nn} \end{pmatrix}^{-1} \begin{pmatrix} -K_1 \\ -K_2 \\ \cdots \\ -K_n \end{pmatrix} \quad \text{---------- 식(5)}$$

[38] △n: n번째 온도 센서에 대한 보정 파라메터 변화량(오차량)

[39] b_{hn} : h번째 공구측정 순서에서 측정된 n번째 온도 센서의 온도 데이터

[40] Kn : n번째 공구 측정 순서에서 측정된 기준공구의 공구 끝단의 Z방향 또는 Y방향의 변위 변화량

[41] 상기 식(5)로 계산될 수 있다.

[42] 또한, 상기 h번째 공구측정 순서에서 n번째 온도 데이터에 대한 행렬은,총측정(온도센서데이터와 기준공구 변화량을 측정하는) 횟수 m과, 상기 복수의 온도측정 유닛의 개수 n에 해당하는 온도데이터 조합인 mCn을 구하고,이러한 복수의 온도데이터 행렬의 디터미넌트를 계산하고, 계산된 복수의 온도데이터 행렬의 디터미넌트 값의 절대값 중 0이거나, 절대값 중 작은 값을 순서대로 한 개 이상 제거하되, 상기에서 제거되지 않은 절대값이 큰 디터미넌트에 해당하는 온도데이터 행렬을 상기 식(5)에 대입하여 보정 파라메터 행렬을 구하고, 이러한 보정 파라메터 행렬의 상관관계 분석을 통해 상관관계가 작은 보정 파라메터 행렬을 제외시키고, 선택된 보정 파라메터 행렬을 산술평균 또는 가중평균해서 최종적인 열변위 보정 파라메터를 산출할 수 있다.

[43] 또한, 열변위 보정량 계산부는,

[44] (a1+△1)(t1-T1)+(a2+△2)(t2-T2)+..+(an+△n)(tn-Tn)=열변위 보정량 - 식(6)

[45] an : n번째 보정 파라메터

[46] △n: n번째 온도 데이터에 대한 보정 파라메터 변화량

[47] tn : n번째 온도데이터

[48] Tn : n번째 온도 오프셋

[49] 상기 식(6)으로 계산될 수 있다.

[50]

발명의 효과

[51] 본 발명에 의한 공작기계의 열변위 보정 파라메터 자동 변환 장치 및 변환 방법은 현재 공작기계의 가공상태나 공작기계의 다양한 종류에 따라 정확한 열변위 오차 보정이 가능하여 가공 정밀도를 향상시킬 수 있는 효과가 있다.

[52] 또한, 본 발명에 의한 공작기계의 열변위 보정 파라메터 자동 변환 장치 및 변환 방법은 동일한 장비 내에서 장비 상태에 따라 열변위 보정 파라메터를 실시간으로 변환하고, 다양한 종류의 공작기계에 적용될 수 있어, 열변위 보정 파라메터를 산출하기 위해 소요되는 시간과 비용을 절감할 수 있는 효과가 있다.

[53] 더욱이, 본 발명에 의한 공작기계의 열변위 보정 파라메터 자동 변환 장치 및 변환 방법은 열변위 보정 파라메터 산출에 시간을 최소화하여 공작기계의 가공시간을 극대화시켜 공작기계의 생산효율을 증가시킬 수 있는 효과가 있다.

[54]

도면의 간단한 설명

[55] 도 1은 종래 공작기계의 열변위를 보정하기 위한 장치 및 조작반.

[56] 도 2는 종래 공작기계에서 열변위를 보정하기 위한 열변위 보정식을 도출하기 위한 그래프.

[57] 도 3은 본 발명의 실시예에 따른 공작기계의 열변위 보정 파라메터 자동 변환 장치의 블록도.

[58] 도 4는 본 발명의 실시예에 따른 열변위 보정 파라메터를 자동으로 변환하기 위해 보정 파라메터가 계산되는 조작반의 화면을 도시한 도면.

[59] 도 5는 본 발명의 실시예에 따른 도 4 이전의 단계를 수행하기 위한 조작반의 화면을 도시한 도면.

[60] 도 6은 본 발명의 실시예에 따른 공작기계의 열변위 보정 파라메터 자동 변환 방법의 플로우 차트.

[61] 도 7은 도 6에 도시된 단계 S80을 구체화한 플로우 차트.

[62] 도 8은 본 발명의 실시예에 따른 열변위 보정 파라메터를 적용하였을 때 예측되는 성능 그래프.

[63] 도 9는 본 발명의 다른 실시예에 따른 공작기계의 열변위 보정 파라메터 자동 변환 장치의 블록도.

[64] 도 10은 본 발명의 다른 실시예에 따른 가공된 소재의 가공부를 측정하는 것을 개략적으로 도시한 도면.

[65] 도 11은 본 발명의 다른 실시예에 따른 공작기계의 열변위 보정 파라메터 자동 변환 방법의 플로우 차트.

[66]

발명의 실시를 위한 형태

[67] 이하, 본 발명의 바람직한 실시예는 첨부된 도면을 참조하여 상세하게 설명한다.

[68] 특별한 정의가 없는 한 본 명세서의 모든 용어는 당업자가 이해하는 용어의 일반적인 의미와 동일하고, 만약 본 명세서에서 사용된 용어가 당해 용어의 일반적인 의미와 충돌하는 경우에는 본 명세서에 사용된 정의에 따른다.

[69] 다만, 이하에 기술될 발명은 본 발명의 실시예를 설명하기 위한 것일 뿐 본 발명의 권리범위를 한정하기 위한 것은 아니며, 명세서 전반에 걸쳐서 동일하게 사용된 참조번호들은 동일한 구성요소들을 나타낸다.

[70] 도 3은 본 발명의 실시예에 따른 공작기계의 열변위 보정 파라메터 자동 변환 장치의 블록도, 도 4는 본 발명의 실시예에 따른 열변위 보정 파라메터를 자동으로 변환하기 위해 보정 파라메터가 계산되는 조작반의 화면을 도시한 도면, 도 5는 본 발명의 실시예에 따른 도 4 이전의 단계를 수행하기 위한 조작반의 화면을 도시한 도면, 도 6은 본 발명의 실시예에 따른 공작기계의 열변위 보정 파라메터 자동 변환 방법의 플로우 차트, 도 7은 도 6에 도시된 단계 S80을 구체화한 플로우 차트이며, 도 8은 본 발명의 실시예에 따른 열변위 보정 파라메터를 적용하였을 때 예측되는 성능 그래프이다.

[71] 또한, 도 9는 본 발명의 다른 실시예에 따른 공작기계의 열변위 보정 파라메터 자동 변환 장치의 블록도, 도 10은 본 발명의 다른 실시예에 따른 가공된 소재의 가공부를 측정하는 것을 개략적으로 도시한 도면이며, 도 11은 본 발명의 다른 실시예에 따른 공작기계의 열변위 보정 파라메터 자동 변환 방법의 플로우 차트이다.

[72]

[73] 도 3을 참고하여 실시예에 따른 공작기계의 열변위 보정 파라메터 자동 변환 장치(100)를 설명한다.

[74] 본 발명의 실시예에 따른 공작기계의 열변위 보정 파라메터 자동 변환 장치(100)는 기본 열변위 보정 데이터 저장부(20), 공구측정유닛(30), 온도측정유닛(40), 기준공구 데이터 저장부(50), 온도 데이터 저장부(60), 및 제어부(70)를 포함할 수 있다.

[75] 또한, 본 발명의 실시예에 따른 공작기계의 열변위 보정 파라메터 자동 변환 장치(100)는 기준공구 측정 대상 선택부(10)와 열변위 보정 파라메터 자동 변환 기능 설정부(80)를 더 포함할 수 있다.

[76] 반드시 이에 한정되는 것은 아니지만, 본 발명의 실시예에 따르면, 상기 열변위 보정 파라메터 자동 변환 기능 설정부(80)는 조작반(9)의 일부에 스위치 또는 버튼 형태로 설치될 수 있다.

[77] 상기 열변위 보정 파라메터 자동 변환 기능 설정부(80)에서 열변위 보정 파라메터 자동 변환 기능을 선택하지 않은 경우에는 본 발명에 의한 열변위 보정 파라메터 자동 변환 장치 기능이 작동하지 않을 수 있다.

[78] 상기 기준 열변위 보정 데이터 저장부(20)는 X축, Y축, 또는 Z축의 열변위 보정을 위한 기본 데이터를 저장할 수 있다.

[79]

[80] 상기 기본 열변위 보정 데이터 저장부(20)에는 공작물의 가공에 따른 열변위가 발생하기 전의 표준상태에서 기준공구의 길이와 직경에 대한 데이터, 온도 오프셋(T_n) 데이터, 기본 열변위 보정량 파라메터(a_n), 기본 열변위 보정량 계산식이 저장된다.

[81] 상기한 기본 열변위 보정량 계산식은 상술한 바와 같이 하기 식(1)로 구할 수 있다.

[82] 열변위 보정량 = $(a_1)(t_1-T_1)+(a_2)(t_2-T_2)+\cdots+(a_n)(t_n-T_n)$ ------ 식(1)

[83] a_n : n번째 보정 파라메터

[84] t_n : n번째 온도데이터

[85] T_n : n번째 온도 오프셋

[86]

[87] 반드시 이에 한정되는 것은 아니지만, 본 발명의 실시예에 따르면, 상기 기준공구 측정 대상 선택부(10)는 조작반(9)의 일부에 스위치 또는 버튼 형태로 설치될 수 있다.

[88] 여기서, 상기 기준공구 측정 대상 선택부(10)는 공구측정유닛(30)에 의해 측정되는 기준공구의 측정대상을 선택하게 된다.

[89] 또한, 상기 기준공구 측정 대상 선택부(10)는 공구측정유닛(30)으로 기준공구의 길이를 측정할 것인지, 기준공구의 직경을 측정할 것인지를 결정하게 하는 기능을 수행할 수 있다.

[90] 따라서, 상기 기준공구 측정 대상 선택부(10)에서 공구측정유닛(30)에 의해 측정되는 기준공구의 측정대상이 길이인 경우에는 Z축의 열변위 보정 파라메터가 자동으로 변환되고, 상기 기준공구 측정 대상 선택부(10)에서 공구측정유닛(30)에 의해 측정되는 기준공구의 측정대상이 직경인 경우에는 X축 또는 Y축의 열변위 보정 파라메터가 자동으로 변환되게 된다.

[91] 상기 기준공구 측정 대상 선택부(10)에서 기준공구의 측정대상이 선택되면, 공구측정유닛(30)이 기준공구의 공구 끝단의 Z방향 또는 Y방향의 변위를 측정한다.

[92] 여기서, 상기 공구 끝단의 Z방향 또는 Y방향의 변위는 기준공구의 길이 또는 직경의 변위량일 수 있다.

[93] 이러한 공구측정유닛(30)은 가공공간의 확보를 위해 분리된 부품형태인 것이 바람직하나, 필요에 따라 공작기계(1)의 일부에 고정 설치될 수도 있다.

[94]

[95] 한편, 본 발명의 다른 실시예에 따르면, 상기와 같이 기준공구 측정 대상 선택부(10)와 공구측정유닛(30)에 의해 직접 기준 공구를 측정하지 아니하고, 가공된 소재로부터 공작기계의 열변위 상태 변화값을 산출할 수도 있다.

[96] 도 9 및 도 10을 참조하면, 본 발명의 다른 실시예에 따른 공작기계는 상기 기준공구 측정 대상 선택부(10)와 공구측정유닛(30) 대신에 인디게이터(31) 및 공작기계 열변위 데이터 산출 및 저장부(51)를 포함할 수 있다.

[97] 상기 인디게이터(31)는 주축(2, 도 1 참조)에 클램핑 될 수 있으며, 가공된 소재(5)의 가공부(5a)의 깊이 또는 넓이를 측정할 수 있다. 이러한 인디게이터(31)는 주축에 클램핑되어 이동되므로, 가공부(5a)를 측정할 때 각각의 가공영역의 좌표 또한 검출할 수 있다.

[98] 상기 인디게이터(31)에 의해 산출된 가공부(5a)의 가공 영역 정보는 상기 공작기계의 열변위 데이터 산출 및 저장부(51)에 전달되어 각 좌표별 공작기계의 열변위에 따른 변화량이 산출되어 저장될 수 있다.

[99]

[100] 상기 온도측정유닛(40)은 공작기계(1) 일부에 설치될 수 있다. 설치되는 온도측정유닛은 필요에 따라 공작기계의 복수지점인 주축의 상단과 하단, 컬럼, 주축 모터, 테이블, 베드 등에 복수개로 설치될 수 있다.

[101] 반드시 이에 한정되는 것은 아니지만 본 발명의 실시예에 따르면 이러한 온도측정유닛(40)은 온도온도측정유닛와 온도측정유닛 인터페이스 유닛으로 형성될 수 있다.

[102] 상기 기준공구 데이터 저장부(50)는 조작반(9)의 일부(보다 구체적으로는 수치제어장치(NC)의 내부 메모리의 일부)에 설치되고, 공구측정유닛(30)에 의해 측정된 기준공구의 공구 끝단의 Z방향 또는 Y방향의 변위 데이터를 저장할 수 있다.

[103] 상기 온도 데이터 저장부(60)는 조작반(9)의 일부(보다 구체적으로는 수치제어장치(NC)의 내부 메모리의 일부)에 설치되고, 복수의 온도측정유닛(40)에서 측정된 온도 데이터를 저장할 수 있다.

[104] 또한, 본 발명의 다른 실시예에 따라 가공된 소재(5)로부터 공작기계의 열변위가 산출된 경우에도 상기 인디게이터(31)가 주축(2)에 의해 이동되므로 항상 그 기준위치에 대해 일정하도록 열변위 보정 파라메터가 계산될 수 있다.

[105]

[106] 상기 제어부(70)는 조작반(9)의 일부에 설치될 수 있다.

[107] 열변위가 있는 상태에서, 상기 기준공구 측정 대상 선택부(10)에서 선택된 기준공구의 길이와 직경 데이터를 이용하여 열변위 보정 파라미터를 다시 계산하고 변경할 경우에는 열변위가 있는 상태에서 기준공구 위치가 기준위치가 되기 때문에, 기준공구의 공구 끝단의 Z방향 또는 Y방향의 변위가 항상 그 기준위치에 대해 일정하도록 열변위 보정 파라메터가 계산된다.

[108] 상기 제어부(70)는 기준공구의 공구 끝단의 Z방향 또는 Y방향의 변위 변화 판단부(71), 보정 파라메터 계산부(72), 보정 파라메터 저장부(73), 보정 파라메터 변환부(74), 및 열변위 보정량 계산부(75)를 포함할 수 있다.

[109] 상기 기준공구의 공구 끝단의 Z방향 또는 Y방향의 변위 변화 판단부(71)는 상기 기본 열변위 보정 데이터 저장부(20)에 저장된 열변위가 발생하기 전의 기준공구의 공구 끝단의 Z방향 또는 Y방향의 변위 값과 기준공구 데이터 저장부(50)에 저장된 현재 기준공구의 공구 끝단의 Z방향 또는 Y방향의 변위

값이 일치하는지 여부를 판단할 수 있다.

[110] 상기 공구측정유닛(30)에 의해 측정된 현재의 기준공구의 공구 끝단의 Z방향 또는 Y방향의 변위 값이 가공 전의 기준공구의 공구 끝단의 Z방향 또는 Y방향의 변위 값과 일치하지 않고 변화가 있다면, 상기 기본 열변위 보정 데이터 저장부(20)에 저장된 기본 열변위 보정량 파라메터에 오차 혹은 변화가 있다고 가정할 수 있다.

[111] 즉, 이러한 경우 열변위 보정 오차가 발생하였다고 가정할 수 있다.

[112] 상기와 같이, 기준공구의 공구 끝단의 Z방향 또는 Y방향의 변위 값이 변화가 있는 경우에, 실시예데 따른 열변위 보정 파라메터 자동 변환 장치(100)는 변경된 기준공구의 공구 끝단의 Z방향 또는 Y방향의 변위 값과 온도데이터에 따라 열변위 보정 파라메터를 계산하고, 이처럼 변경된 열변위 보정 파라메터를 적용한 열변위 보정량 계산식에 의해 열변위 오차 보정량을 계산하여 열변위 보정을 수행하기 때문에 정확한 열변위 오차 보정이 가능하게 된다.

[113] 즉, 현재 상태에서의 공작기계의 열변위 오차 보정을 위해서는 하기 식(2)와 같이 변경된 열변위 보정 파라메터를 적용한 열변위 보정량 계산식이 적용되어야 한다.

[114] $(a_1+\triangle_1)(t_1-T_1)+(a_2+\triangle_2)(t_2-T_2)+\cdots+(a_n+\triangle n)(t_n-T_n)=$ 열변위 보정량 - K_n ---- 식(2)

[115] a_n : n번째 보정 파라메터

[116] △n: n번째 온도 데이터에 대한 보정 파라메터 변화량

[117] t_n : n번째 온도데이터

[118] T_n : n번째 온도 오프셋

[119] K_n : n번째 기준공구의 공구 끝단의 Z방향 또는 Y방향의 변위 변화량

[120] 상기 식(1)에서 식(2)를 빼면 식(3)을 도출할 수 있다.

[121] $\triangle_1(t_1-T_1)+\triangle_2(t_2-T_2)+\cdots+\triangle n(t_n-T_n)= -K_n$ ------ 식(3)

[122] △n: n번째 온도 데이터에 대한 보정 파라메터 변화량

[123] t_n : n번째 온도데이터

[124] T_n : n번째 온도 오프셋

[125] K_n : n번째 기준공구의 공구 끝단의 Z방향 또는 Y방향의 변위 변화량

[126] 상기 식(3)에서 (t_n-T_n)을 b_{hn}(h번째 공구측정 순서에서 n번째 온도 데이터에 대한 행렬)으로 하면 하기 식(4)와 같은 행력식을 도출할 수 있다.

[127]
$$\begin{pmatrix} b_{11} & b_{12} & \cdots & b_{1n} \\ b_{21} & b_{22} & \cdots & b_{2n} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ b_{n1} & b_{n2} & \cdots & b_{nn} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \Delta_1 \\ \Delta_2 \\ \cdots \\ \Delta_n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -K_1 \\ -K_2 \\ \cdots \\ -K_n \end{pmatrix} \quad \text{--------- 식(4)}$$

[128] △n: n번째 온도 데이터에 대한 보정 파라메터 변화량

[129] b_{hn} : h번째 공구측정 순서에서 n번째 온도 데이터에 대한 행렬

[130] Kn : n번째 기준공구의 공구 끝단의 Z방향 또는 Y방향의 변위 변화량

[131] 식(4)에서 b_{hn} 항을 우변으로 이항하면 하기 식(5)를 도출할 수 있다.

[132]
$$\begin{pmatrix} \Delta_1 \\ \Delta_2 \\ \cdots \\ \Delta_n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} b_{11}\ b_{12}\ \cdots\cdots\ b_{1n} \\ b_{21}\ b_{22}\ \cdots\cdots\ b_{2n} \\ \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \\ b_{n1}\ b_{n2}\ \cdots\cdots\ b_{nn} \end{pmatrix}^{-1} \begin{pmatrix} -K_1 \\ -K_2 \\ \cdots \\ -K_n \end{pmatrix} \quad \text{---------- 식(5)}$$

[133] △n: n번째 온도 센서에 대한 보정 파라메터 변화량(오차량)

[134] b_{hn} : h번째 공구측정 순서에서 측정된 n번째 온도 센서의 온도 데이터

[135] Kn : n번째 공구 측정 순서에서 측정된 기준공구의 공구 끝단의 Z방향 또는 Y방향의 변위 변화량

[136] 온도 센서마다 대응되는 보정 파라메터가 한 개씩 존재하므로, n개의 온도 센서가 장착된 경우에는 보정 파라메터의 개수도 n개이며, 이 n개의 보정 파라메터의 변화량(식(5)의 △n 행렬)을 구하기 위해서는 n x n의 온도 데이터 행렬(식(5)의 bnn 행렬) 및 n x 1의 공구 끝단의 Z방향 또는 Y방향의 변위 변화량 행렬(식(5)의 - Kn 행렬)이 필요하다.

[137] 즉, n개의 온도 센서가 장착된 장비의 경우 n개의 보정 파라메터에 대한 변화량(오차량)을 계산하기 위해 n번의 공구측정이 필요하다.

[138] 하지만, n개의 측정데이터(공구 및 온도데이터)만을 이용하여 보정 파라메터 변화량(오차량)을 계산할 경우 측정 데이터 간에 독립성이 떨어져 계산결과에 문제가 발생할 수 있다.

[139] 이는 n개의 해를 구하기 위해서는 n개의 선형 독립적인 방정식이 필요한데 그것보다 적은 방정식이 주어진 경우와 비슷하다고 볼 수 있다.

[140] 즉, n개의 측정데이터를 이용하여 상기 식(5)와 같은 행렬식을 만들 경우 행렬의 행간에 선형 독립성이 떨어져 식(5)의 계산에 필요한 bnn 행렬의 역행렬을 구하기 어려울 수 있다.

[141] 따라서, n을 초과하는 m번의 공구측정을 수행하고 그 중에서 독립성이 우수한 n개의 측정데이터를 선택하여 상기 식(5)에 나온 행렬을 구성해야 한다.

[142] 만일, n을 초과하는 m번의 공구측정을 수행한 경우 상기 식(5)의 온도데이터 행렬인 bnn 행렬은 m x n이 되며, 이 m개의 행 중에서 선형 독립성이 우수한 n개의 행을 선택하여 n x n의 bnn 행렬을 만들어 식(5)를 계산하여야 한다.

[143] 일단 m개의 측정 데이터로부터 n개를 골라낼 때 가능한 경우의 수는 조합 mCn을 통해 구할 수 있다. 즉, m개의 측정데이터로부터 n개를 선택하여 mCn개의 n x n 행렬(상기 식(5)의 bnn 행렬)을 만들 수 있다.

[144] 요컨대, 상기 h번째 공구측정 순서에서 n번째 온도 데이터에 대한 행렬은 총측정(온도 센서데이터와 기준공구 변화량을 측정하는)횟수 m과 상기 복수의 온도측정 유닛의 개갯수 n에 해당하는 온도데이터 조합인 mCn을 구하고, 이러한

복수의 온도데이터 행렬의 디터미넌트를 계산하고, 계산된 복수의 온도데이터 행렬의 디터미넌트 값의 절대값 중 0이거나, 절대값 중 작은 값을 순서대로 한 개 이상 제거할 수 있다.

[145] 이러한 mCn개의 n x n 행렬(bnn 행렬)을 중에서 행간의 선형독립성이 우수한 행렬을 골라내기 위해 각 행렬의 디터미넌트 절대값을 구하고, 그 중 디터미넌트 절대값이 큰 p개의 n x n 행렬을 상기 식(5)에 대입하여 각각의 보정 파라메터의 변화량(식(5)의 △n 행렬)을 계산한다.

[146] 계산된 p개의 △n 행렬간에 상관관계 분석(correlation analysis)을 수행하고, 그 중 상관관계가 떨어지는 △n 행렬은 버리는 상관관계 분석을 통한 필터링(filtering by correlation analysis) 절차를 수행한다.

[147] 상관관계 분석을 통한 필터링 후에 해당 bnn 행렬의 디터미넌트 절대값을 웨이팅 팩터(weighting factor)로 사용하여, 계산된 q개(q≤p)의 △n 행렬에 대한 가중 평균을 구하고 그것을 최종적인 보정 파라메터의 변화량(식(5)의 △n 행렬)으로 사용하여 하기 식(6)에 적용한다.

[148] 이렇게 공작기계의 열변위 오차를 정확하게 보정하여, 가공정밀도를 향상하기 위해 하는 보정 파라메터 계산부(72)는 변경된 기준공구의 공구 끝단의 Z방향 또는 Y방향의 변위 값과 온도측정유닛(40)에 의해 측정된 현재의 온도에 따라 변경된 열변위 보정 파라메터를 상기 식(5)로 계산하게 된다.

[149] 보정 파라메터 저장부(73)에 식(5)에 따라 보정 파라메터 계산부(72)에서 계산된 보정 파라메터가 저장된다.

[150] 보정 파라메터 변환부(74)는 보정 파라메터 저장부(73)에 저장된 보정 파라메터로 기본 열변위 보정 데이터 저장부(20)에 저장된 상기 X축, Y축, 또는 Z축의 열변위 보정식의 보정 파라메터를 변환한다.

[151] 열변위 보정량 계산부(75)는 보정 파라메터 변환부(74)에 의해 변환된 보정 파라메터를 적용한 하기 식(6)에 의한 열변위 보정식에 의해 X축, Y축, 또는 Z축의 열변위 보정량을 계산한다.

[152] $(a_1+\triangle_1)(t_1-T_1)+(a_2+\triangle_2)(t_2-T_2)+\cdots+(a_n+\triangle n)(t_n-T_n)$=열변위 보정량 - 식(6)

[153] a_n: n번째 보정 파라메터

[154] △n: n번째 온도 데이터에 대한 보정 파라메터 변화량

[155] t_n : n번째 온도데이터

[156] T_n : n번째 온도 오프셋

[157] 즉, 열변위 보정량 계산부(75)는 하기 식(6)에 의해 실시간으로 공작기계의 현재 온도상태 등이 반영된 열변위 보정량을 산출하여 공작기계의 가공정밀도를 향상시킬 수 있다.

[158] 도 4를 참조하여, 본 발명의 열변위 보정 파라메터 자동 변환 장치를 적용하여 Z축 보정을 할 경우에 열변위 보정 파라메터 자동 변환 및 Z축의 열변위 보정량을 설명한다.

[159] 도 4에서, du(detection unit)는 NC(numerical control) 또는 CNC(computerized

numerical control)의 위치분해능으로서 보정단위를 의미하고, 본 발명의 바람직한 일 실시예에서는 0.1㎛로 설정하였다.

[160] 도 4에서, 1번째에 H1 온도측정유닛는 주축의 헤드바디에 장착된 온도측정유닛으로 도 4에서 26℃(t_1)이고, S2는 베드에 장착된 온도측정유닛으로 도 4에서 24.3℃(t_2)이다. 도 4에서 온도 오프셋(T_1, T_2)는 모두 20℃이다. 도 4에서 slope로 표시된 보정 파라메터(본 실시예에서 보정 파라메터의 단위는 du/℃이다)인 a_1은 83, a_2는 -83이다. 또한, Z축의 변경된 열변위 보정 파라메터를 구하는 것으로 기준공구 길이 측정변화량이 도 4에서 +5(5㎛)이다.

[161] 이를 식(1)에 대입하면

[162] Z축 보정량=$(a_1)(t_1-T_1)+(a_2)(t_2-T_2)$=83(26-20)-83(24.3-20)=141.1du=14.1㎛이 된다. 그러나 실제 기준공구 길이 측정 변화량이 5㎛이므로 실제 Z축 보정량은 9.1㎛가 되어야 한다.

[163] 또한, 공구측정유닛(30)과 온도측정유닛(40)에서 2번째로 측정한 데이터에 따라 t_1 30℃이고, t_2가 26℃이며, T_1, T_2의 온도오프셋이 모두 20℃이고, .a_1은 83, a_2는 -83이며, 기준공구 길이 측정변화량 -3(3㎛)이라고 가정하고, 이를 다시 식(1)에 대입하면,

[164] Z축 보정량=$(a_1)(t_1-T_1)+(a_2)(t_2-T_2)$=83(30-20)-83(26-20)=332du=33.2㎛이 된다. 그러나 실제 기준공구 길이 측정 변화량이 -3㎛이므로 실제 Z축 보정량은 36.2㎛가 되어야 한다.

[165] 따라서, 현재 공작기계의 상태에 따라 열변위 보정 파라메터를 변환하지 않은 경우에는 정확한 열변위 오차 보정이 이루어질 수 없고, 이에 따라 가공정밀도가 향상될 수 없다.

[166] 실시간으로 공작기계의 현재상태 등이 반영된 열변위 보정량 파라메터를 산출하기 위해 상기 예에서 계산된 값을 식(5)에 대입하면

[167] $$\begin{pmatrix}\Delta_1\\ \Delta_2\end{pmatrix}=\begin{pmatrix}6 & 4.3\\ 10 & 6\end{pmatrix}^{-1}\begin{pmatrix}-50\\ 30\end{pmatrix}=\begin{pmatrix}-0.857 & 0.614\\ 1.429 & -0.857\end{pmatrix}\begin{pmatrix}-50\\ 30\end{pmatrix}=\begin{pmatrix}61.286\\ -97.143\end{pmatrix}$$ 이 된다.

[168] 상기에서 계산된 △n(n번째 온도 데이터에 대한 보정 파라메터 변화량)을 반영하여 Z축 보정량을 계산하면 아래와 같이 기준공구 길이 변화량이 반영된 최종 보정량을 얻을 수 있다. 이를 통해 기준공구가 항상 동일한 길이로 측정되는(즉, 열변위 보정 파라메터의 오차가 제거되는) 방향으로 열변위 보정 파라메터가 조정되었음을 알 수 있다.

[169] (83+61.286)(26-20)+(-83-97.143)(24.3-20) = 91.1du = 9.1㎛

[170] (83+61.286)(30-20)+(-83-97.143)(26-20) =362du = 36.2㎛

[171] 즉, 식(3)과 동일한 결과를 도출할 수 있게 된다.

[172] 이러한 도 4에 따른 상술한 열변위 보정량을 계산하기에 앞서, 실시예에 따른 보정 파라메터 계산부(72)는 다음과 같은 계산과정을 더 포함하여 더욱 정밀한

보정 파라메터를 계산할 수 있다.

[173] 도 5를 참조하면, 상기 보정 파라메터 계산부(72)는 일단 트라이얼(Trial) 횟수로부터 사용되는 온도측정유닛의 갯수에 해당하는 조합인 mCn을 구한다.

[174] 즉, 도 5에 따르면 온도측정유닛의 갯수가 5개이고, 따라서 계산에 필요한 온도 행렬은 5x5 이므로, 실질적인 트라이얼 번호 1 내지 8로부터 5개의 수를 순서에 상관없이 뽑을 경우 가능한 트라이얼 번호 조합은 (1,2,3,4,5)~(4,5,6,7,8)이 된다.

[175] 이렇게 구해진 모든 트라이얼 번호 조합에 해당하는 온도 데이터 행렬의 디터미넌트(determinant)를 계산한다.

[176] 이 후, 이렇게 계산된 모든 디터미넌트 값의 절대값을 큰 것부터 내림차순으로 정렬한다. 왜냐하면, 디터미넌트 절대값이 낮다는 것은 행렬의 온도데이터 행(row)간의 독립성(linear independency)이 상대적으로 낮다는 것을 의미하기 때문이다. 독립성이 낮으면 역행렬 계산시 노이즈의 영향을 크게 받게 되고 보정 파라메터의 계산치가 커지게 되어 정밀한 보정성이 낮아지게 되기 때문이다.

[177] 이 후, 상기 정렬된 디터미넌트 값 중 절대값이 0이 아니면서 상대적으로 큰 상위 몇 개의 온도데이터 행렬(예를 들어, 1등부터 5등까지)과 공구길이 변화량 행렬(도 5에서 Y-ERR, Z-ERR 값에 대한 행렬)을 이용하여 상기한 식 (5)로써 열변위 보정 파라메터 행렬을 계산한다. 이러한 값은 도 5에 "calculated y/z-axis thermal compensation parameters"의 아래에 계산되어 도시되고 있다.

[178] 이 후, 계산된 보정 파라메터 행렬들 간의 상관관계(correlation) 분석을 통해 상관관계가 작은 행렬은 이 후 단계에서 제외시킨다.

[179] 이 후, 상관관계가 큰 보정 파라메터 행렬 간에 산술평균 또는 가중평균으로써 해당 장비에 최적화된 최종 열변위 보정 파라메터 행렬을 구하고, 이에 따라 보정을 통한 가공을 수행할 수 있다.

[180] 한편, 상기 최종 열변위 보정 파라메터에 따른 예측 보정값은 도 8과 같이 그래프로서 사용자에게 조작반(9)의 화면에 제공할 수도 있다.

[181] 또한, 이러한 도 4에 도시된 조작반(9)의 화면에서는 다음과 같은 기능을 수행할 수 있는 버튼 또는 터치 영역이 구현될 수 있다.

[182] 백업(Backup) 버튼으로서, 현재 산출되어 있는 열변위 보정 파라메터를 메모리에 백업시키도록 하는 버튼이다.

[183] 시작(start) 버튼으로서, 모든 축의 열변위 보정량을 0으로 만드는 버튼이다. 즉, 보정에 의한 이송오차가 특정값에 영향을 미치지 않고 순수한 구조물의 열변형에 의한 오차만 측정하기 위함이다.

[184] 터닝(turning) 버튼으로서, 이는 상기 도 5와 관련하여 설명한 최종 열변위 보정량을 산출하기 위해 시작하는 버튼이다.

[185] 프로그램셋팅(PRMSET) 버튼으로서, 새롭게 최종 계산된 보정 파라메터를 열변위 보정기능 내부에 저장하여 반영시키고, 이력화면에 표시하게 하는 버튼이다.

[186] 원복(restore) 버튼으로서, 백업 버튼에 의해 백업된 종전 열변위 파라메터를

원복시키는 버튼이다.

[187] 히스토리(history) 버튼으로서, 보정 파라메터 티닝 이력화면으로 전환하는 버튼이다.

[188]

[189] 도 6을 참조하여 본 발명의 실시예에 의한 공작기계의 열변위 보정 파라메터 자동 변환 방법을 설명한다.

[190] 본 발명에 의한 공작기계의 열변위 보정 파라메터 자동 변환 방법은 열변위 보정 파라메터 자동 변환 기능 선택하는 단계(S10), 기본 데이터 저장 단계(S20), 기준공구 측정 대상 선택 단계(S30), 기준공구 데이터 저장 단계(S40), 온도측정단계(S50), 온도 데이터 저장 단계(S60), 현재 기준공구의 공구 끝단의 Z방향 또는 Y방향의 변위 변화 여부 판단 단계(S70), 열변위 보정 파라메터 계산 단계(S80), 보정된 열변위 보정 파라메터 저장 단계(S90), 및 열변위 보정식의 보정 파라메터를 변환하는 단계(S100)를 포함할 수 있다.

[191] 또한, 도 6에 도시된 것처럼, 본 발명의 실시예에 따르면, 공작기계의 열변위 보정 파라메터 자동 변환 방법은 열변위 보정량을 계산하는 단계(S110)를 더 포함할 수 있다.

[192] 열변위 보정 파라메터 자동 변환 기능 설정부(80)에서 열변위 보정 파라메터 자동 변환 기능을 선택한다(S10). 이를 선택하지 않으면 본 발명에 의한 열변위 보정 파라메터 자동 변환 방법이 실행되지 않는다.

[193] 이 후, 기본 열변위 보정 데이터 저장부(20)에 X축, Y축, 또는 Z축의 열변위 보정을 위한 기본 데이터를 저장한다(S20).

[194] 이 후, 기준공구 측정 대상 선택부(10)에서 공구측정유닛(30)에 의해 측정되는 기준공구의 측정대상인 공구 끝단의 Z방향 또는 Y방향의 변위를 선택한다(S30).

[195] 이 후, 기준공구 데이터 저장부(50)에 공구측정유닛(30)에 의해 측정된 기준공구의 공구 끝단의 Z방향 또는 Y방향의 변위 데이터를 저장한다(S40).

[196] 이 후, 온도측정유닛(40)에 의해 온도를 측정한다(S50).

[197] 이 후, 온도 데이터 저장부(60)에 온도측정유닛(40)에서 측정된 온도 데이터를 저장한다(S60).

[198] 이 후, 기준공구의 공구 끝단의 Z방향 또는 Y방향의 변위 변화 판단부(71)에서 기본 열변위 보정 데이터 저장부(20)에 저장된 이전의 기준공구의 공구 끝단의 Z방향 또는 Y방향의 변위 값과 기준공구 데이터 저장부(40)에 저장된 현재 기준공구의 공구 끝단의 Z방향 또는 Y방향의 변위 값이 일치하는지 여부를 판단한다(S70). 만약 양 값이 서로 다른 경우에는 열변위 오차가 발생하여 열변위 보정 파라메터를 변경할 필요가 있게 된다.

[199] 이 후, 기준공구의 공구 끝단의 Z방향 또는 Y방향의 변위가 변화된 경우에 보정 파라메터 계산부(72)에서 변경된 기준공구의 공구 끝단의 Z방향 또는 Y방향의 변위 값과 온도에 따라 상술한 식(5)에 따라 열변위 보정 파라메터를 계산한다(S80).

[200] 이 후, 보정 파라메터 저장부(73)에 보정 파라메터 계산부(72)에서 계산된 열변위 보정 파라메터를 저장한다(S90).

[201] 이 후, 보정 파라메터 변환부(74)에서 보정 파라메터 저장부(73)에 저장된 열변위 보정 파라메터로 기본 열변위 보정 데이터 저장부(20)에 저장된 X축, Y축, 또는 Z축의 열변위 보정식의 열변위 보정 파라메터를 변환하게 된다(S100).

[202] 이 후, 열변위 보정량 계산부(75)에서 보정 파라메터 변환부(74)에 의해 변환된 보정 파라메터를 적용하여 상술한 식 (6)에 의해 X축, Y축, 또는 Z축의 열변위 보정량을 계산한다(S110).

[203] 이에 따라, 실시간으로 공작기계의 현재 온도상태 등이 반영된 열변위 보정량을 산출하여 공작기계의 가공정밀도를 향상시킬 수 있다.

[204] 한편, 본 발명의 다른 실시예에 따르면, 도 11에 도시된 것과 같이, 상기한 도 6의 설명에서 기준공구 측정 대상 선택 단계(S30) 및 기준공구 데이터 저장 단계(S40)가 가공된 소재(5)의 가공부(5a) 측정 단계(S31) 및 공작기계의 열변위 데이터 산출 및 저장 단계(S41)로 갈음될 수 있다.

[205]

[206] 한편, 상기 열변위 보정 파라메터 계산 단계(80)는 하기와 같은 구체적인 순서를 더 포함할 수 있다.

[207] 도 7을 참조하면, 단계 S70에서 기준공구의 공구 끝단의 Z방향 또는 Y방향의 변위가 변화된 경우를 판단하였다면, 단계 S50에서 사용된 온도온도측정유닛의 갯수에 해당하는 최소 트라이얼 값을 만족할 때까지 온도 값을 산출한다(S81).

[208] 이 후, 각각의 트라이얼 횟수 및 온도데이터를 룩업테이블로 저장한다(S82).

[209] 이 후, 상기 룩업테이블에서 온도데이터에 해당하는 최소한의 트라이얼 횟수를 검색한다(S83). 즉, 온도온도측정유닛가 5개면 총 5x5 의 행렬이 필요하므로, 최소 5개의 트라이얼 횟수가 요하게 된다.

[210] 이 후, 화면에 필요한 최소한의 트라이얼 횟수를 표시한다(S84). 이러한 절차는 생략 가능할 수도 있다.

[211] 이 후, 이렇게 구해진 모든 트라이얼 번호 조합에 해당하는 온도 데이터 행렬의 디터미넌트(determinant)를 계산한다(S85).

[212] 이 후, 이렇게 계산된 모든 디터미넌트 값의 절대값을 큰 것부터 내림차순으로 정렬하고, 작은 값을 제거한다(S86).

[213] 이 후, 상기 정렬된 디터미넌트 값 중 절대값이 0이 아니면서 상대적으로 큰 상위 몇 개의 온도데이터 행렬(예를 들어, 1등부터 5등까지)과 공구길이 변화량 행렬(도 5에서 Y-ERR, Z-ERR 값에 대한 행렬)을 이용하여 상기한 식 (5)로써 열변위 보정 파라메터 행렬을 계산한다(S87).

[214] 이 후, 계산된 보정 파라메터 행렬들 간의 상관관계(correlation) 분석을 통해 상관관계가 작은 행렬은 이 후 단계에서 제외시킨다(S88).

[215] 이 후, 상관관계가 큰 보정 파라메터 행렬 간에 산술평균 또는 가중평균으로써 해당 장비에 최적화된 최종 열변위 보정 파라메터 행렬을 구하고, 이에 따라

보정을 통한 가공을 수행할 수 있다(S89).

[216]

[217] 이상, 상기 설명에 의해 당업자라면 본 발명의 기술적 사상을 일탈하지 아니하는 범위에서 다양한 변경 및 수정이 가능함을 알 수 있을 것이며, 본 발명의 기술적 범위는 실시예에 기재된 내용으로 한정되는 것이 아니라 특허청구범위 및 그와 균등한 범위에 의하여 정해져야 한다.

청구범위

[청구항 1] 조작반 및 공작물의 가공을 위한 공구가 장착되는 주축을 구비하는 공작기계에 있어서,
X축, Y축, 또는 Z축의 열변위 보정을 위한 기본 데이터를 저장하는 기본 열변위 보정 데이터 저장부;
기준공구의 공구 끝단의 Z방향 또는 Y방향의 변위를 측정할 수 있는 공구측정유닛;
상기 공작기계의 복수지점에 설치되는 복수의 온도측정유닛;
상기 공구측정유닛에 의해 측정된 기준공구의 공구 끝단의 Z방향 또는 Y방향의 변위 데이터를 저장하는 기준공구 데이터 저장부;
상기 복수의 온도측정유닛에서 측정된 온도 데이터를 저장하는 온도 데이터 저장부; 및
상기 복수의 온도 측정유닛 갯수에 따른 온도데이터 행렬들의 평균값과 기준공구의 공구 끝단의 Z방향 또는 Y방향의 변위 변화량으로써 열변위 보정 파라메터를 산출하는 제어부;를 포함하는 공작기계의 열변위 보정 파라메터 자동 변환 장치.

[청구항 2] 제1항에 있어서,
상기 공구측정유닛에 의해 측정되는 기준공구의 측정대상을 선택할 수 있는 기준공구 측정 대상 선택부; 및
열변위 보정 파라메터 자동 변환 기능 설정부;를 더 포함하되,
상기 기준공구 측정 대상 선택부에서 상기 공구측정유닛에 의해 측정되는 기준공구의 측정대상이 길이인 경우에는 Z축의 열변위 보정 파라메터가 자동으로 변환되고,
상기 기준공구 측정 대상 선택부에서 상기 공구측정유닛에 의해 측정되는 기준공구의 측정대상이 직경인 경우에는 X축 또는 Y축의 열변위 보정 파라메터가 자동으로 변환되는 것을 특징으로 하는 공작기계의 열변위 보정 파라메터 자동 변환 장치.

[청구항 3] 제1항에 있어서,
상기 제어부는,
상기 기본 열변위 보정 데이터 저장부에 저장된 기준공구의 공구 끝단의 Z방향 또는 Y방향의 변위 값과 상기 기준공구 데이터 저장부에 저장된 기준공구의 공구 끝단의 Z방향 또는 Y방향의 변위 값이 일치하는지 여부를 판단하는 기준공구의 공구 끝단의 Z방향 또는 Y방향의 변위 변화 판단부;
상기 기준공구의 공구 끝단의 Z방향 또는 Y방향의 변위 변화 판단부의 판단 결과, 기준공구의 공구 끝단의 Z방향 또는 Y방향의 변위가 변화된 경우 변경된 기준공구의 공구 끝단의 Z방향 또는 Y방향의 변위 값과

온도에 따라 열변위 보정 파라메터를 계산하는 보정 파라메터 계산부;
상기 보정 파라메터 계산부에서 계산된 보정 파라메터를 저장하는 보정 파라메터 저장부;
상기 보정 파라메터 저장부에 저장된 보정 파라메터로 상기 기본 열변위 보정 데이터 저장부에 저장된 상기 X축, Y축, 또는 Z축의 열변위 보정식의 보정 파라메터를 변환하는 보정 파라메터 변환부; 및
상기 보정 파라메터 변환부에 의해 변환된 보정 파라메터를 적용한 열변위 보정식에 의해 열변위 보정량을 계산하는 열변위 보정량 계산부;를 포함하는 것을 특징으로 하는 공작기계의 열변위 보정 파라메터 자동 변환 장치.

[청구항 4] 제3항에 있어서,
상기 보정 파라메터 계산부는,

$$\begin{pmatrix} \Delta_1 \\ \Delta_2 \\ \cdots \\ \Delta_n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} b_{11}\ b_{12}\ \cdots\cdots\ b_{1n} \\ b_{21}\ b_{22}\ \cdots\cdots\ b_{2n} \\ \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \\ b_{n1}\ b_{n2}\ \cdots\cdots\ b_{nn} \end{pmatrix}^{-1} \begin{pmatrix} -K_1 \\ -K_2 \\ \cdots \\ -K_n \end{pmatrix} \quad \text{---------- 식(5)}$$

△n: n번째 온도 센서에 대한 보정 파라메터 변화량(오차량)
b_{hn} : h번째 공구측정 순서에서 측정된 n번째 온도 센서의 온도 데이터
Kn : n번째 공구 측정 순서에서 측정된 기준공구의 공구 끝단의 Z방향 또는 Y방향의 변위 변화량
상기 식(5)로 계산되는 것을 특징으로 하는 공작기계의 열변위 보정 파라메터 자동 변환 장치.

[청구항 5] 제4항에 있어서,
상기 h번째 공구측정 순서에서 n번째 온도 데이터에 대한 행렬은,
총 측정(온도센서데이터와 기준공구 변화량을 측정하는) 횟수 m과, 상기 복수의 온도측정 유닛의 개수 n에 해당하는 온도데이터 조합인 mCn을 구하고,
이러한 복수의 온도데이터 행렬의 디터미넌트를 계산하고,
계산된 복수의 온도데이터 행렬의 디터미넌트 값의 절대값 중 0이거나, 절대값 중 작은 값을 순서대로 한 개 이상 제거한 것인 것을 특징으로 하는 공작기계의 열변위 보정 파라메터 자동 변환 장치.

[청구항 6] 제5항에 있어서,
상기에서 제거되지 않은 절대값이 큰 디터미넌트에 해당하는 온도데이터 행렬을 상기 식(5)에 대입하여 보정 파라메터 행렬을 구하고,
이러한 보정 파라메터 행렬의 상관관계 분석을 통해 상관관계가 작은 보정 파라메터 행렬 중 기설정된 갯수만큼의 보정 파라메터 행렬을

제외시키고,
선택된 보정 파라메터 행렬을 산술평균 또는 가중평균해서 최종적인 열변위 보정 파라메터를 산출하는 것을 특징으로 하는 공작기계의 열변위 보정 파라메터 자동 변환 장치.

[청구항 7] 제3항에 있어서,
열변위 보정량 계산부는,
$(a_1+\triangle_1)(t_1-T_1)+(a_2+\triangle_2)(t_2-T_2)+\cdots+(a_n+\triangle n)(t_n-T_n)$=열변위 보정량 - 식(6)
a_n : n번째 보정 파라메터
△n: n번째 온도 데이터에 대한 보정 파라메터 변화량
t_n : n번째 온도데이터
T_n : n번째 온도 오프셋
상기 식(6)으로 계산되는 것을 특징으로 하는 공작기계의 열변위 보정 파라메터 자동 변환 장치.

[청구항 8] 열변위 보정 파라메터 자동 변환 기능 설정부에서 열변위 보정 파라메터 자동 변환 기능을 선택하는 단계;
기본 열변위 보정 데이터 저장부에 X축, Y축, 또는 Z축의 열변위 보정을 위한 기본 데이터를 저장하는 단계;
기준공구 측정 대상 선택부에서 공구측정유닛에 의해 측정되는 기준공구의 측정대상인 공구 끝단의 Z방향 또는 Y방향의 변위를 선택하는 단계;
기준공구 데이터 저장부에 상기 공구측정유닛에 의해 측정된 기준공구의 공구 끝단의 Z방향 또는 Y방향의 변위 데이터를 저장하는 단계;
온도측정유닛에 의해 온도를 측정하는 단계;
온도 데이터 저장부에 상기 온도측정유닛에서 측정된 온도 데이터를 저장하는 단계;
기준공구의 공구 끝단의 Z방향 또는 Y방향의 변위 변화 판단부에서 상기 기본 열변위 보정 데이터 저장부에 저장된 이전의 기준공구의 공구 끝단의 Z방향 또는 Y방향의 변위 값과 상기 기준공구 데이터 저장부에 저장된 현재 기준공구의 공구 끝단의 Z방향 또는 Y방향의 변위 값이 일치하는지 여부를 판단하는 단계;
기준공구의 공구 끝단의 Z방향 또는 Y방향의 변위가 변화된 경우에, 상기 복수의 온도 측정유닛 갯수에 따른 온도데이터 행렬들의 평균값과 공구 끝단의 Z방향 또는 Y방향의 변위 변화량에 따라 열변위 보정 파라메터를 계산하는 단계;
보정 파라메터 저장부에 상기 보정 파라메터 계산부에서 계산된 열변위 보정 파라메터를 저장하는 단계; 및
보정 파라메터 변환부에서 상기 보정 파라메터 저장부에 저장된 열변위 보정 파라메터로 상기 기본 열변위 보정 데이터 저장부에 저장된 상기

X축, Y축, 또는 Z축의 열변위 보정식의 열변위 보정 파라메터를 변환하는 단계;로 이루어지는 것을 특징으로 하는 공작기계의 열변위 보정 파라메터 자동 변환 방법.

[청구항 9] 제8항에 있어서,

상기 열변위 보정 파라메터를 계산하는 단계는,

복수의 온도측정 유닛의 갯수에 해당하는 온도데이터 조합인 mCn을 구하고,

이러한 복수의 온도데이터 행렬의 디터미넌트를 계산하고,

계산된 복수의 온도데이터 행렬의 디터미넌트 값의 절대값 중 0이거나, 절대값 중 작은 값을 순서대로 한 개 이상 제거하고,

하기의 식(5)에 의해 상기에서 선택된 복수의 온도데이터 행렬의 디터미넌트 값을 대입하여 보정 파라메터 행렬을 구하고,

$$\begin{pmatrix} \Delta_1 \\ \Delta_2 \\ \cdots \\ \Delta_n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} b_{11}\ b_{12}\ \cdots\cdots\ b_{1n} \\ b_{21}\ b_{22}\ \cdots\cdots\ b_{2n} \\ \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \\ b_{n1}\ b_{n2}\ \cdots\cdots\ b_{nn} \end{pmatrix}^{-1} \begin{pmatrix} -K_1 \\ -K_2 \\ \cdots \\ -K_n \end{pmatrix} \quad \text{---------- 식(5)}$$

이러한 보정 파라메터 행렬의 상관관계 분석을 통해 상관관계가 작은 보정 파라메터 행렬 중 기설정된 갯수만큼의 보정 파라메터 행렬을 제외시키고,

선택된 보정 파라메터 행렬을 산술평균 또는 가중평균해서 최종적인 열변위 보정 파라메터를 산출하는 것을 특징으로 하는 열변위 보정 파라메터 자동 변환 방법.

[청구항 10] 제8항에 있어서,

상기 X축, Y축, 또는 Z축의 열변위 보정식의 보정 파라메터를 변환하는 단계 이후에,

열변위 보정량 계산부에서 상기 보정 파라메터 변환부에 의해 변환된 보정 파라메터를 적용하여 X축, Y축, 또는 Z축의 열변위 보정량을 계산하는 단계;를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 공작기계의 열변위 보정 파라메터 자동 변환 방법.

[청구항 11] 조작반 및 공작물의 가공을 위한 공구가 장착되는 주축을 구비하는 공작기계에 있어서,

X축, Y축, 또는 Z축의 열변위 보정을 위한 기본 데이터를 저장하는 기본 열변위 보정 데이터 저장부;

주축에 클램핑되어 가공된 소재의 가공부의 깊이 또는 폭을 측정하는 인디게이터;

상기 공작기계의 복수지점에 설치되는 복수의 온도측정유닛;

상기 인디게이터에 의해 측정된 가공부로부터 공작기계의 열변위 데이터를 산출하고 산출된 데이터를 저장하는 공작기계의 열변위 데이터 산출 및 저장부;

상기 복수의 온도측정유닛에서 측정된 온도 데이터를 저장하는 온도 데이터 저장부; 및

상기 복수의 온도 측정유닛 갯수에 따른 온도데이터 행렬들의 평균값과 공작기계의 열변위 데이터로써 열변위 보정 파라메터를 산출하는 제어부;를 포함하는 공작기계의 열변위 보정 파라메터 자동 변환 장치.

[청구항 12] 제11항에 있어서,

상기 제어부는,

상기 기본 열변위 보정 데이터 저장부에 저장된 기준공구의 공구 끝단의 Z방향 또는 Y방향의 변위 값과 상기 공작기계의 열변위 산출 및 저장부에 저장된 기준공구의 공구 끝단의 Z방향 또는 Y방향의 변위 값이 일치하는지 여부를 판단하는 기준공구의 공구 끝단의 Z방향 또는 Y방향의 변위 변화 판단부;

상기 기준공구의 공구 끝단의 Z방향 또는 Y방향의 변위 변화 판단부의 판단 결과, 기준공구의 공구 끝단의 Z방향 또는 Y방향의 변위가 변화된 경우 변경된 기준공구의 공구 끝단의 Z방향 또는 Y방향의 변위 값과 온도에 따라 열변위 보정 파라메터를 계산하는 보정 파라메터 계산부;

상기 보정 파라메터 계산부에서 계산된 보정 파라메터를 저장하는 보정 파라메터 저장부;

상기 보정 파라메터 저장부에 저장된 보정 파라메터로 상기 기본 열변위 보정 데이터 저장부에 저장된 상기 X축, Y축, 또는 Z축의 열변위 보정식의 보정 파라메터를 변환하는 보정 파라메터 변환부; 및

상기 보정 파라메터 변환부에 의해 변환된 보정 파라메터를 적용한 열변위 보정식에 의해 열변위 보정량을 계산하는 열변위 보정량 계산부;를 포함하는 것을 특징으로 하는 공작기계의 열변위 보정 파라메터 자동 변환 장치.

[청구항 13] 제12항에 있어서,

상기 보정 파라메터 계산부는,

$$\begin{pmatrix} \Delta_1 \\ \Delta_2 \\ \cdots \\ \Delta_n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} b_{11}\ b_{12}\ \cdots\cdots\ b_{1n} \\ b_{21}\ b_{22}\ \cdots\cdots\ b_{2n} \\ \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \\ b_{n1}\ b_{n2}\ \cdots\cdots\ b_{nn} \end{pmatrix}^{-1} \begin{pmatrix} -K_1 \\ -K_2 \\ \cdots \\ -K_n \end{pmatrix} \quad \text{---------- 식(5)}$$

△n: n번째 온도 센서에 대한 보정 파라메터 변화량(오차량)

b_{hn} : h번째 공구측정 순서에서 측정된 n번째 온도 센서의 온도 데이터

Kn : n번째 공구 측정 순서에서 측정된 기준공구의 공구 끝단의 Z방향 또는 Y방향의 변위 변화량

상기 식(5)로 계산되는 것을 특징으로 하는 공작기계의 열변위 보정 파라메터 자동 변환 장치.

[청구항 14] 제13항에 있어서,

상기 h번째 공구측정 순서에서 n번째 온도 데이터에 대한 행렬은,

총측정(온도센서데이터와 기준공구 변화량을 측정하는) 횟수 m과 상기 복수의 온도측정 유닛의 개수 n에 해당하는 온도데이터 조합인 mCn을 구하고,

이러한 복수의 온도데이터 행렬의 디터미넌트를 계산하고,

계산된 복수의 온도데이터 행렬의 디터미넌트 값의 절대값 중 0이거나, 절대값 중 작은 값을 순서대로 한 개 이상 제거하되,

상기에서 제거되지 않은 절대값이 큰 디터미넌트에 해당하는 온도데이터 행렬을 상기 식(5)에 대입하여 보정 파라메터 행렬을 구하고,

이러한 보정 파라메터 행렬의 상관관계 분석을 통해 상관관계가 작은 보정 파라메터 행렬 중 기설정된 갯수만큼의 보정 파라메터 행렬을 제외시키고,

선택된 보정 파라메터 행렬을 산술평균 또는 가중평균해서 최종적인 열변위 보정 파라메터를 산출하는 것을 특징으로 하는 공작기계의 열변위 보정 파라메터 자동 변환 장치.

[청구항 15] 제12항에 있어서,

열변위 보정량 계산부는,

$(a_1+\triangle_1)(t_1-T_1)+(a_2+\triangle_2)(t_2-T_2)+\cdots+(a_n+\triangle n)(t_n-T_n)$=열변위 보정량 - 식(6)

a_n : n번째 보정 파라메터

△n: n번째 온도 데이터에 대한 보정 파라메터 변화량

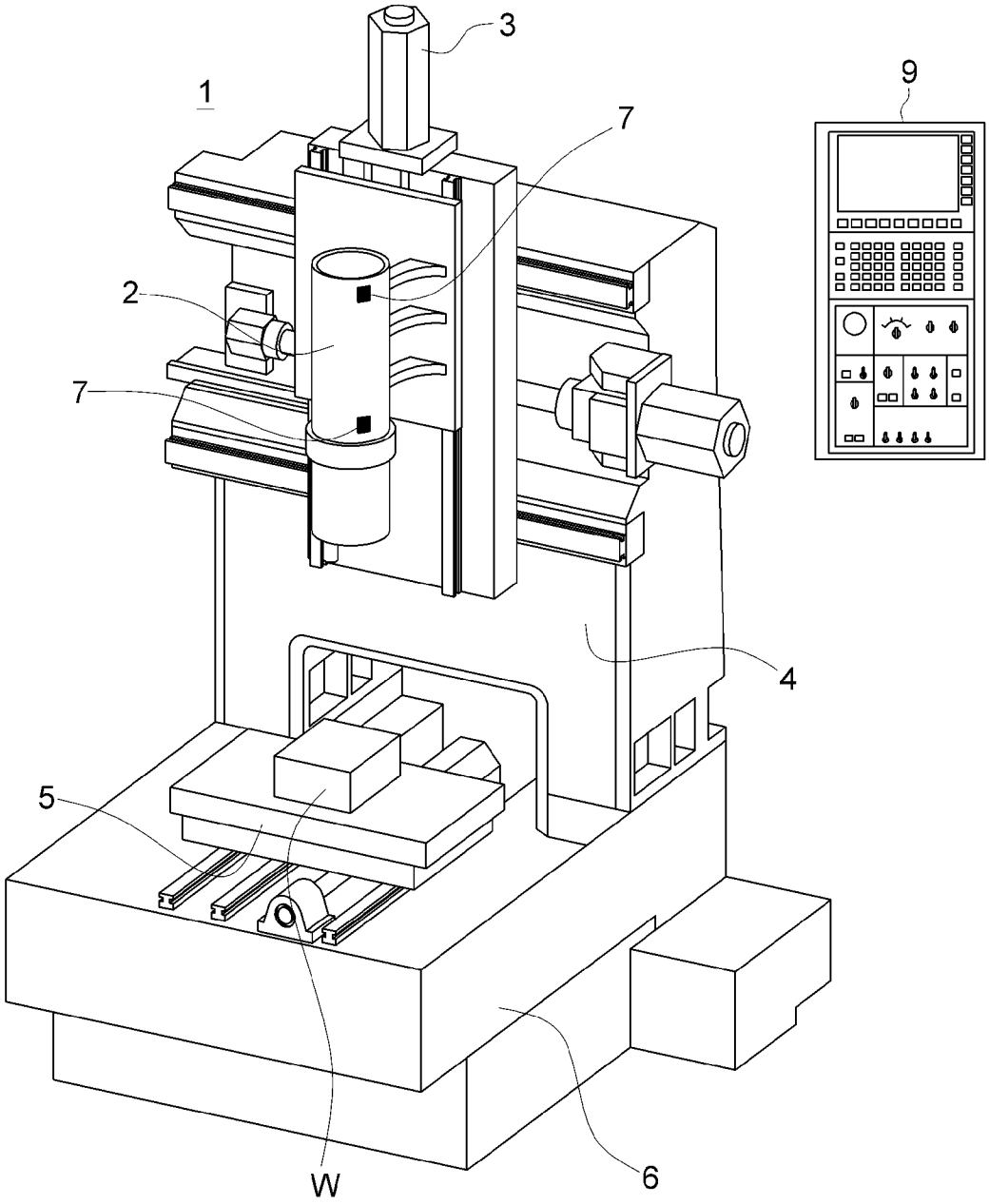
t_n : n번째 온도데이터

T_n : n번째 온도 오프셋

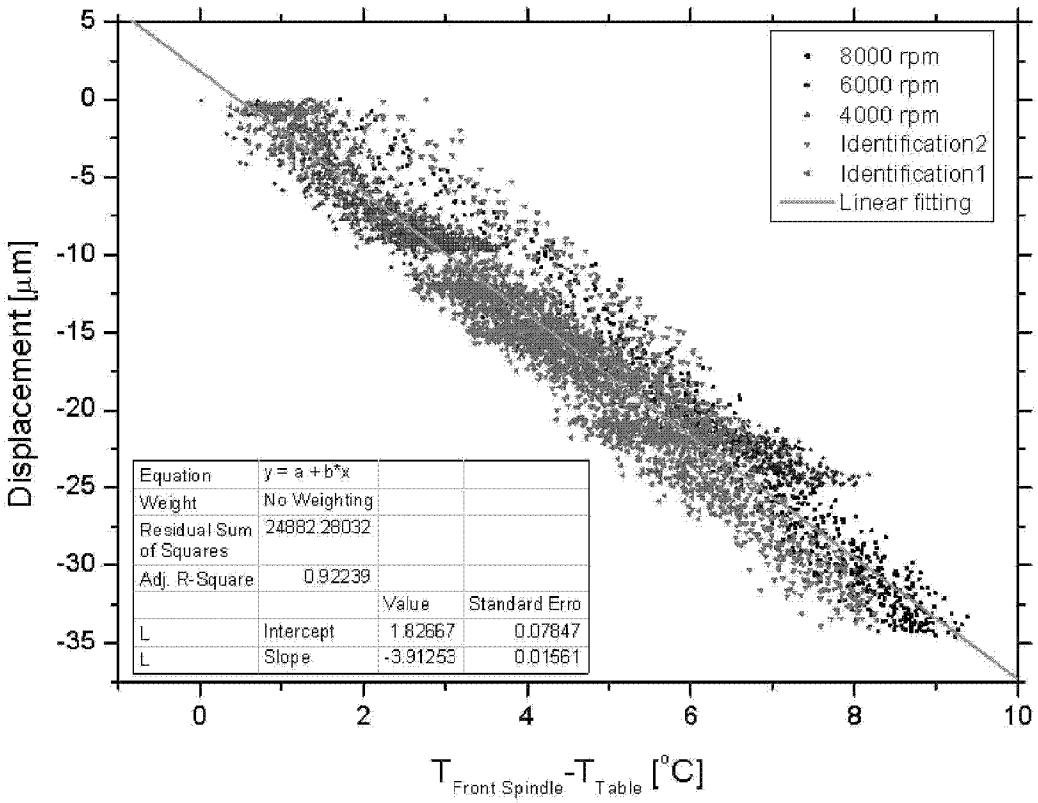
상기 식(6)으로 계산되는 것을 특징으로 하는 공작기계의 열변위 보정 파라메터 자동 변환 장치.

WO 2017/171352 PCT/KR2017/003319

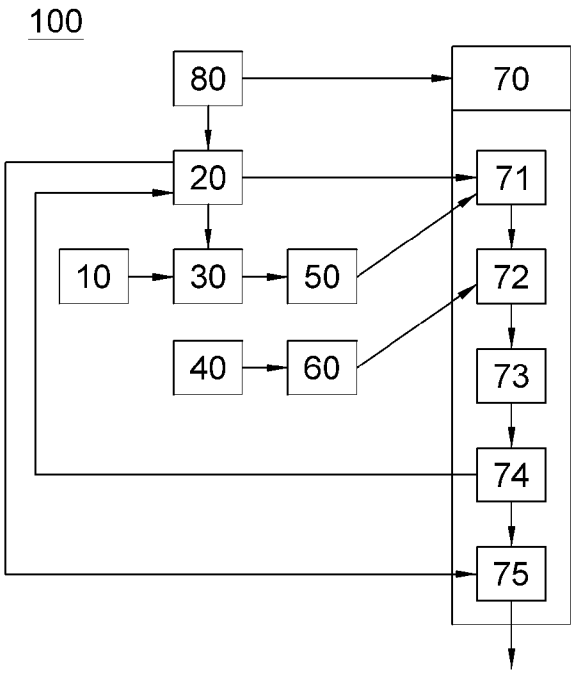
[도1]



[도2]

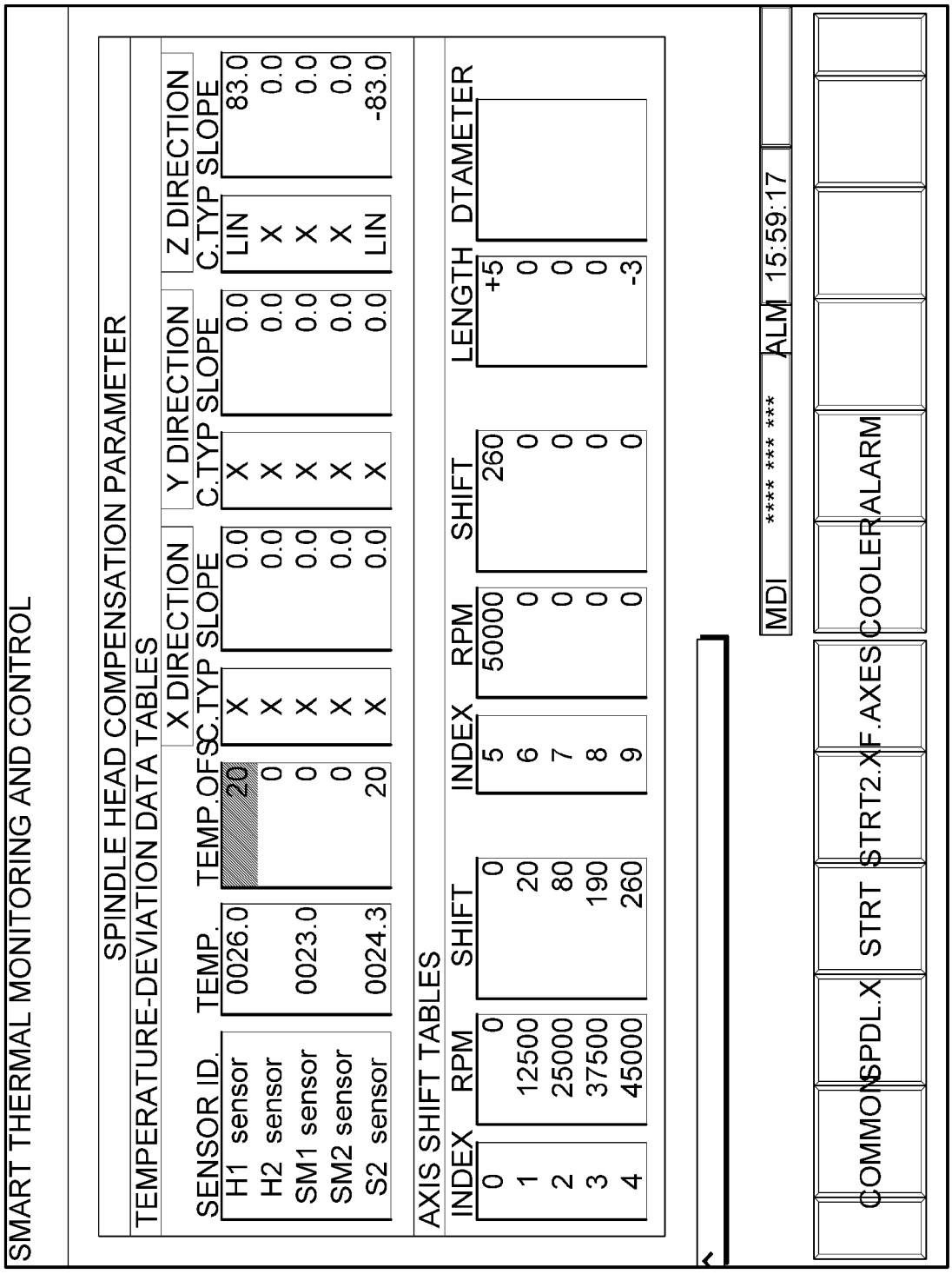


[도3]

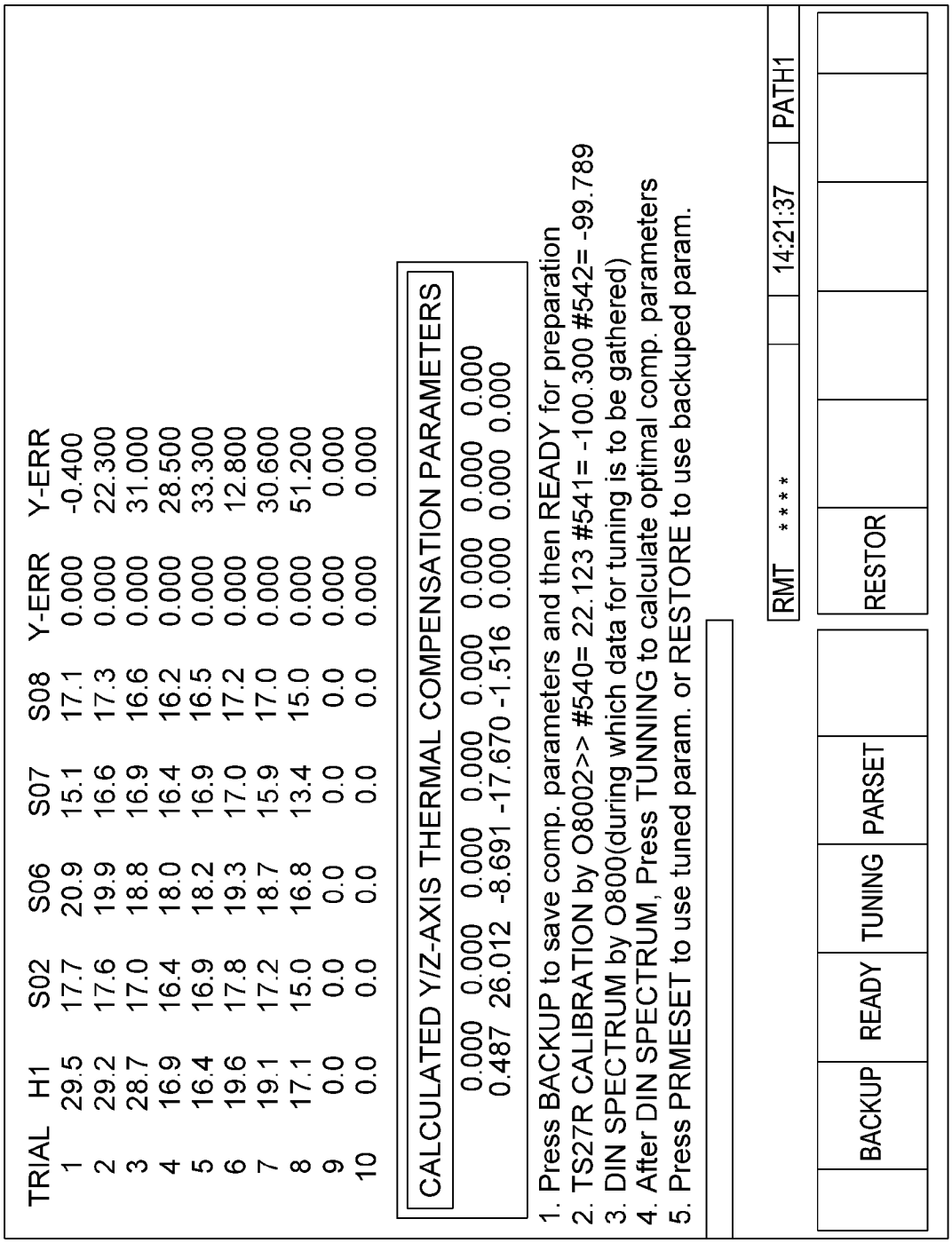


X축, Y축 또는 Z축 열변위 보정

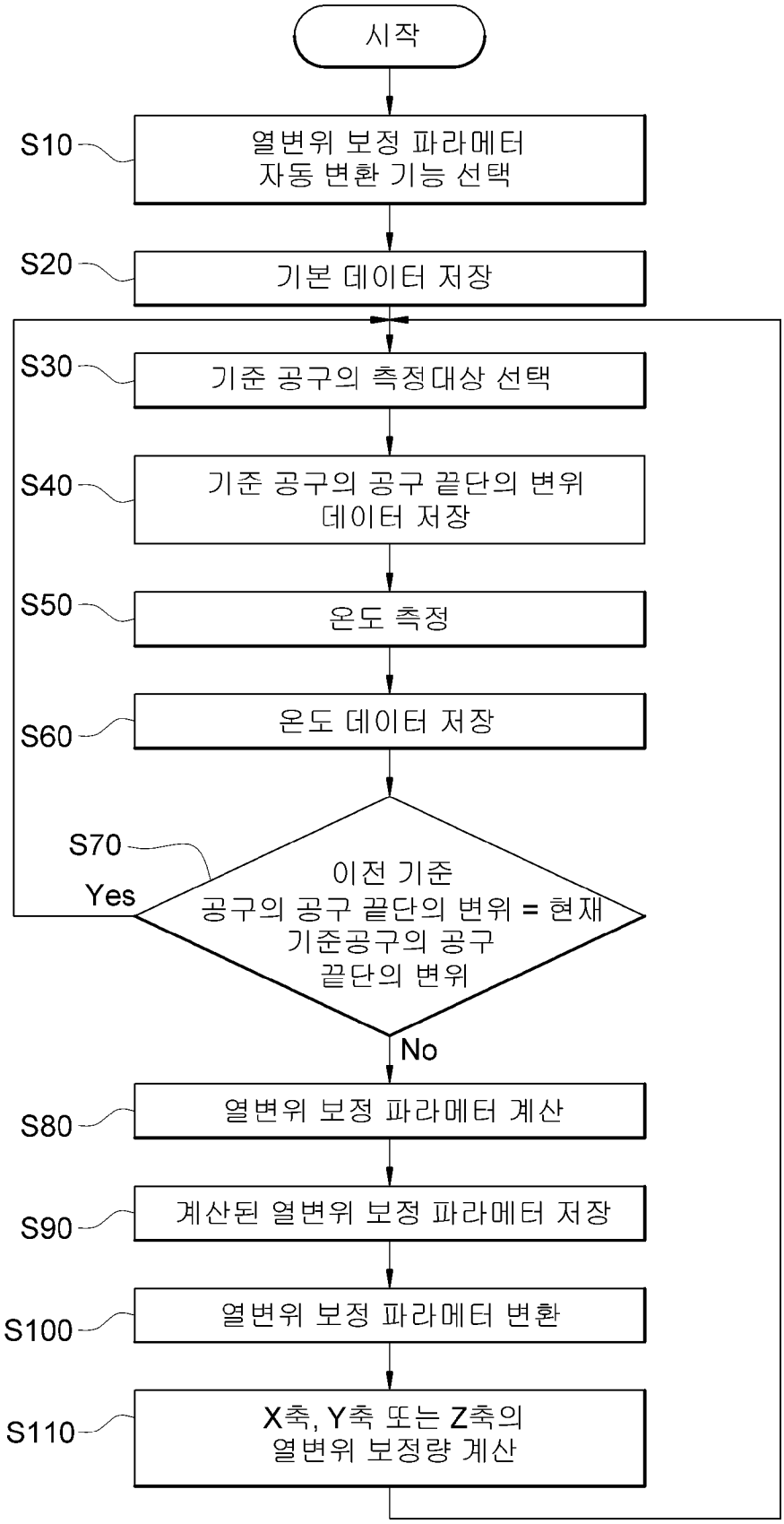
[도4]


SMART THERMAL MONITORING AND CONTROL
SPINDLE HEAD COMPENSATION PARAMETER
TEMPERATURE-DEVIATION DATA TABLES
SENSOR ID.
TEMP.
TEMP.OFS
X DIRECTION
C.TYP
SLOPE
Y DIRECTION
C.TYP
SLOPE
Z DIRECTION
C.TYP
SLOPE
H1 sensor 0026.0 20 X 0.0 X 0.0 LIN 83.0
H2 sensor 0 X 0.0 X 0.0 X 0.0
SM1 sensor 0023.0 0 X 0.0 X 0.0 X 0.0
SM2 sensor 0 X 0.0 X 0.0 X 0.0
S2 sensor 0024.3 20 X 0.0 X 0.0 LIN -83.0
AXIS SHIFT TABLES
INDEX
RPM
SHIFT
INDEX
RPM
SHIFT
LENGTH
DTAMETER
0 0 0 5 50000 260 +5
1 12500 20 6 0 0 0
2 25000 80 7 0 0 0
3 37500 190 8 0 0 0
4 45000 260 9 0 0 -3
MDI **** *** *** ALM 15:59:17
COMMON
SPDL.X
STRT
STRT2.XF.AXES
COOLER
ALARM

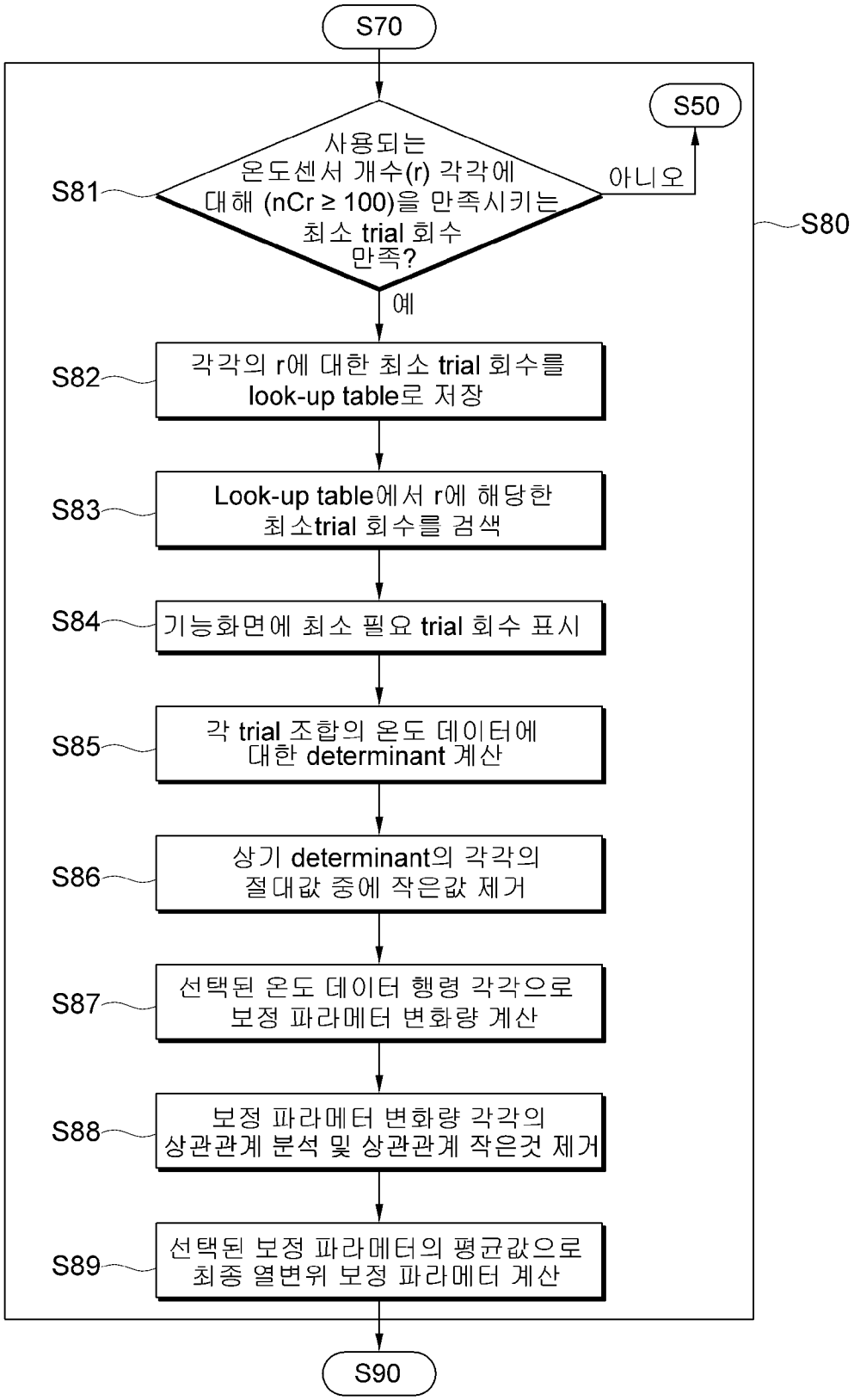
[도5]


TRIAL H1 S02 S06 S07 S08 Y-ERR Y-ERR
1 29.5 17.7 20.9 15.1 17.1 0.000 -0.400
2 29.2 17.6 19.9 16.6 17.3 0.000 22.300
3 28.7 17.0 18.8 16.9 16.6 0.000 31.000
4 16.9 16.4 18.0 16.4 16.2 0.000 28.500
5 16.4 16.9 18.2 16.9 16.5 0.000 33.300
6 19.6 17.8 19.3 17.0 17.2 0.000 12.800
7 19.1 17.2 18.7 15.9 17.0 0.000 30.600
8 17.1 15.0 16.8 13.4 15.0 0.000 51.200
9 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.000 0.000
10 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.000 0.000
CALCULATED Y/Z-AXIS THERMAL COMPENSATION PARAMETERS
0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000
0.487 26.012 -8.691 -17.670 -1.516 0.000 0.000 0.000
1. Press BACKUP to save comp. parameters and then READY for preparation
2. TS27R CALIBRATION by O8002>> #540= 22.123 #541= -100.300 #542= -99.789
3. DIN SPECTRUM by O800(during which data for tuning is to be gathered)
4. After DIN SPECTRUM, Press TUNNING to calculate optimal comp. parameters
5. Press PRMESET to use tuned param. or RESTORE to use backuped param.
RMT **** 14:21:37 PATH1
BACKUP READY TUNING PARSET RESTOR

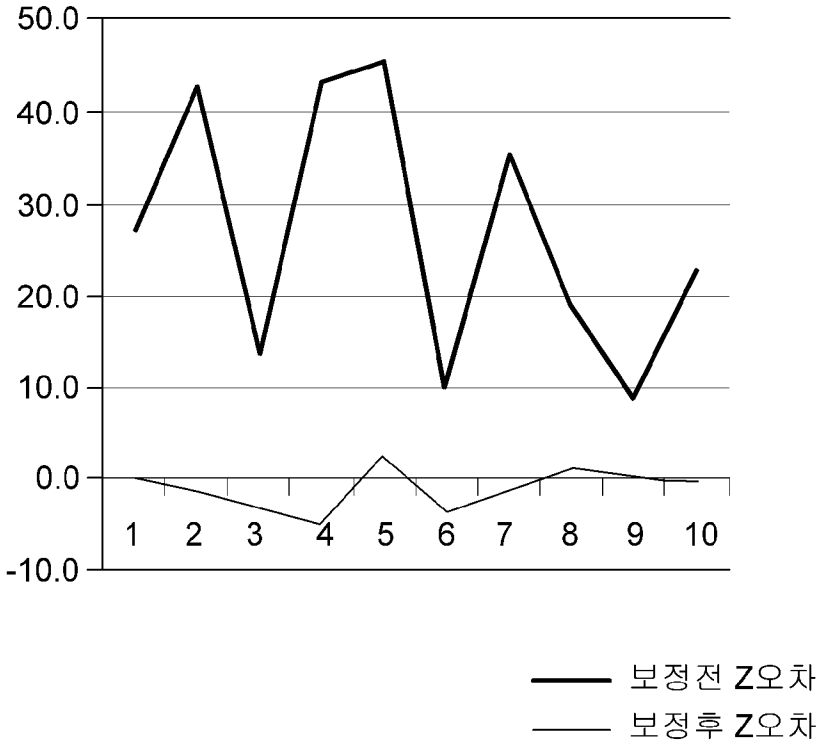
[도6]


시작
S10
열변위 보정 파라메터
자동 변환 기능 선택
S20
기본 데이터 저장
S30
기준 공구의 측정대상 선택
S40
기준 공구의 공구 끝단의 변위
데이터 저장
S50
온도 측정
S60
온도 데이터 저장
S70
이전 기준
공구의 공구 끝단의 변위 = 현재
기준공구의 공구
끝단의 변위
Yes
No
S80
열변위 보정 파라메터 계산
S90
계산된 열변위 보정 파라메터 저장
S100
열변위 보정 파라메터 변환
S110
X축, Y축 또는 Z축의
열변위 보정량 계산

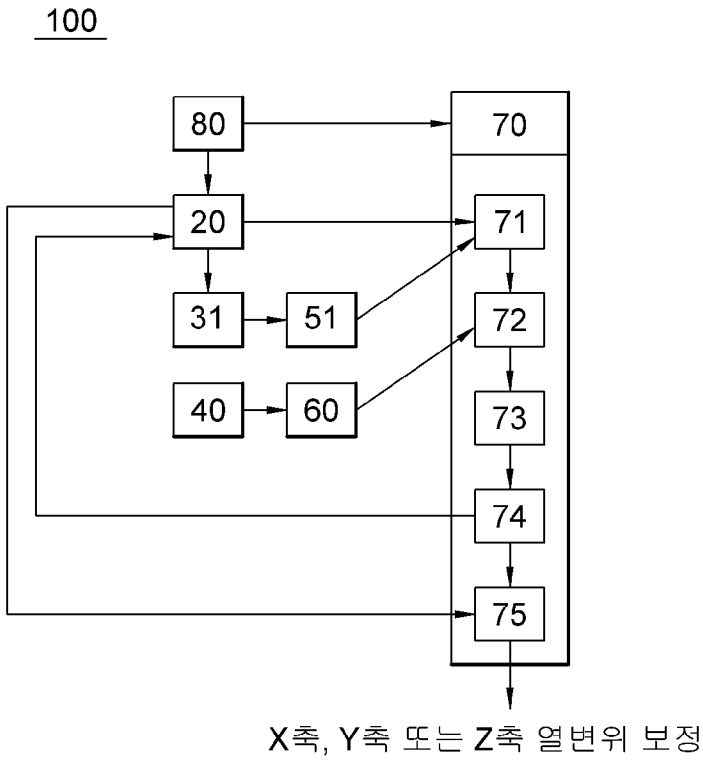
[도7]


S70
S50
사용되는
온도센서 개수(r) 각각에
대해 (nCr ≥ 100)을 만족시키는
최소 trial 회수
만족?
S81
아니오
S80
예
S82
각각의 r에 대한 최소 trial 회수를
look-up table로 저장
S83
Look-up table에서 r에 해당한
최소trial 회수를 검색
S84
기능화면에 최소 필요 trial 회수 표시
S85
각 trial 조합의 온도 데이터에
대한 determinant 계산
S86
상기 determinant의 각각의
절대값 중에 작은값 제거
S87
선택된 온도 데이터 행렬 각각으로
보정 파라메터 변화량 계산
S88
보정 파라메터 변화량 각각의
상관관계 분석 및 상관관계 작은것 제거
S89
선택된 보정 파라메터의 평균값으로
최종 열변위 보정 파라메터 계산
S90

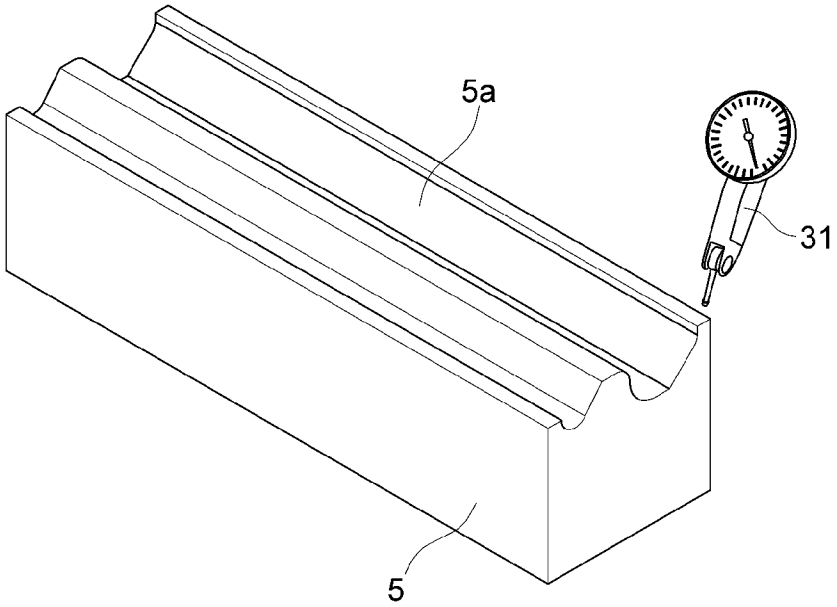
[도8]


50.0
40.0
30.0
20.0
10.0
0.0
-10.0
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
보정전 Z오차
보정후 Z오차

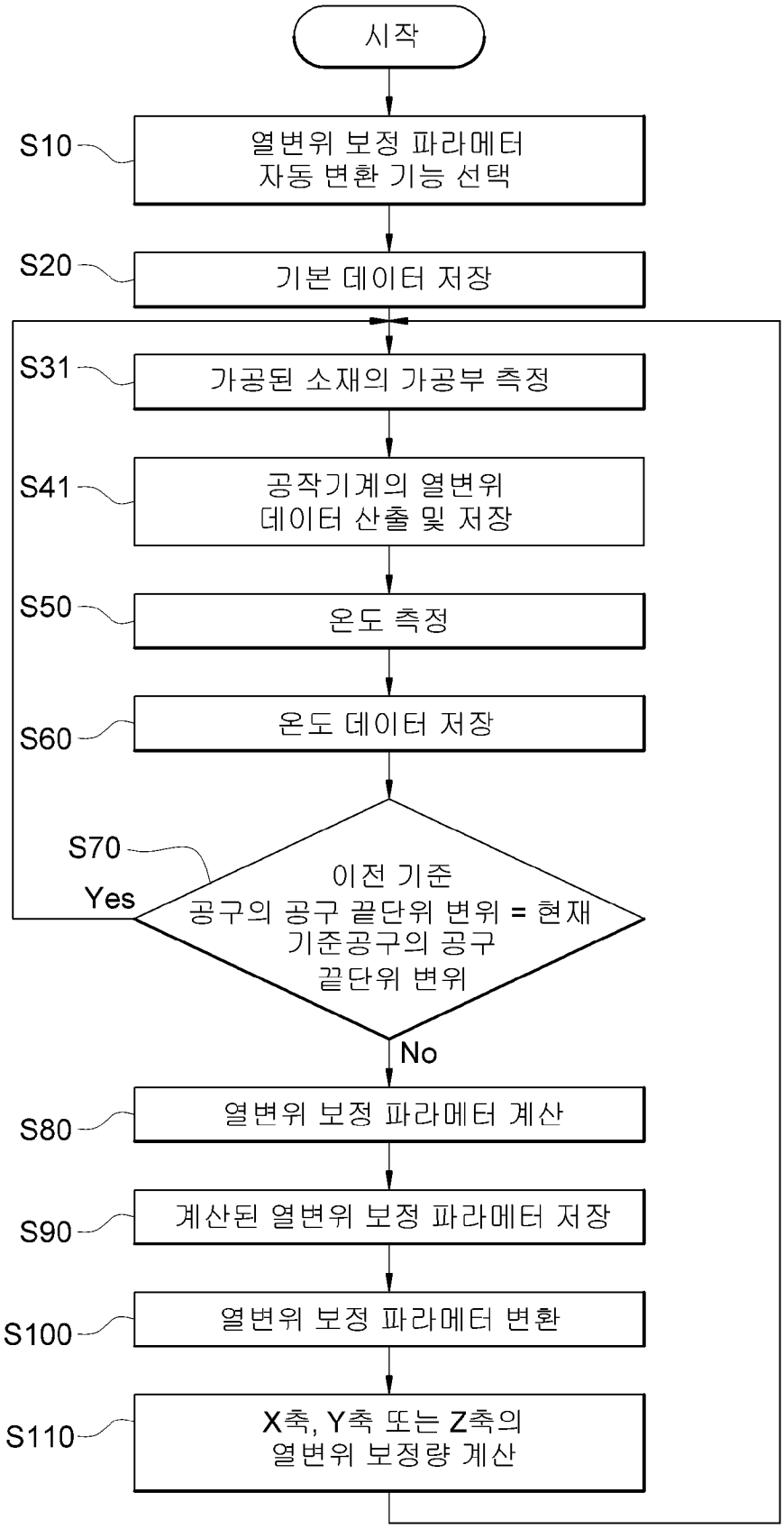
[도9]


100
80
20
31
51
40
60
70
71
72
73
74
75
X축, Y축 또는 Z축 열변위 보정

[도10]



[도11]


시작
S10
열변위 보정 파라메터
자동 변환 기능 선택
S20
기본 데이터 저장
S31
가공된 소재의 가공부 측정
S41
공작기계의 열변위
데이터 산출 및 저장
S50
온도 측정
S60
온도 데이터 저장
S70
이전 기준
공구의 공구 끝단위 변위 = 현재
기준공구의 공구
끝단위 변위
Yes
No
S80
열변위 보정 파라메터 계산
S90
계산된 열변위 보정 파라메터 저장
S100
열변위 보정 파라메터 변환
S110
X축, Y축 또는 Z축의
열변위 보정량 계산