

본 연구는 1995년도 교육부 학술연구진흥 재단 지원에 의한 연구임을 밝힙니다.

CNC 공작기계 선형피치오차의 최적 보정알고리즘을 구현 하는 자동 측정 및 보정 시스템의 개발

이 석 원*, 박 희 재**, 주 종 남**

Development of Computer Aided Measurement and Compensation System for Linear Pitch Error Correction in CNC Machine Tools
Implementing a New Optimal Correction Algorithm

S.W.Lee*, H.J.Pahk**, C.N.Chu**

ABSTRACT

Linear displacement accuracy is one of the most important factors that determine machine tool accuracy. The laser interferometer has been usually recommended for the measurement of linear displacement accuracy. In this paper, microcomputer aided measurement and compensation system has been developed for the pitch error in a CNC machine tool. For accurate pitch error calculation, the analysis code for the pitch error has been also implemented according to the international standards(ISO). The PC based automatic compensation system for the pitch error is also implemented. A new algorithm for calculating optimum value for pitch error compensation is proposed, minimizing the deviation at each target points. The development system has been applied to a practical CNC machining center and the performance has been demonstrated.

Key Words : Pitch error(피치오차), Compensation(보정), Laser interferometer(레이저 간섭계), Linear feed error(선형이송오차), Correction factor(보정배율), Optimal correction algorithm(최적 보정알고리즘)

1. 서 론

CNC 공작기계로 공작물을 가공함에 있어 그 가공오차의 크기는 공작물의 품질과 직결된다. 따라서 가공오차를 줄이는 것은 매우 중요한 일이며 여러가지 방향에서 많은 연구가 진행되어 왔다. 가공오차가 발생하는 데에는 여러 원인이 있을 수 있는데 그 중 공작기계의 선형이송정밀도

는 가공오차를 발생시키는 가장 주요한 원인 중 하나이다. 따라서 공작기계의 선형 이송오차를 평가하고 그 원인을 찾아서 보정하여 이송정밀도를 향상시키는 것은 공작물 가공 정밀도 향상에 필수적이다. 선형 이송정밀도에 영향을 주는 인자로는 CNC 서보계의 오차, 이송 테이블에 장착된 불스크류의 가공, 조립정밀도 및 아베옵셋 (Abbe offset)에 기인하는 피치오차와 백래시(back-

* 서울대학교, 대학원 기계설계학과
** 서울대학교, 기계설계학과

lash) 등을 들 수 있으며 이들 각 인자에 대한 평가 및 보정에 관한 연구가 많이 있었다. 그러나 위의 선행연구자들의 연구는 레이저 간섭계와 컴퓨터 등을 이용한 측정 및 보정 시스템의 구현에 초점이 맞추어져 있다. Robert. J 는 길이 측정을 위한 레이저 빔의 특성에 대해서 연구하였고⁽¹⁾, Schellekens는 상용화된 레이저의 정밀도를 자세하게 조사하였고⁽²⁾, Wuerz는 휴렛팩커드(Heward-Packard)사의 상용화된 레이저 간섭계를 소개하였고⁽³⁾. Siddall은 기존의 레이저 간섭계에서 광학치구만을 교정하여 정밀도를 4배까지 올리는 시스템을 소개하였다⁽⁴⁾. 그리고 Sommargren은 기존의 레이저 간섭계의 시스템 보다 훨씬 더 빠르고, 정밀한 시스템을 소개하였다⁽⁵⁾.

공작기계의 위치오차(Positioning Error)에 대한 연구도 많이 있었다. 공작기계의 측정기준의 제안이 있었고⁽⁶⁾, 그 후에 오랜동안 토의를 걸쳐서 표준을 제정하였다⁽⁷⁾. 그리고 측정모드에 따라서 오차의 측정값이 다르게 나타나는 경우에 대한 연구도 있었다⁽⁸⁾. 그러나 공작기계의 콘트롤러와 관련된 최적보정파라미터의 산출, 기존 보정파라미터와의 연관관계등에 대한 연구는 결여되었다. 본 논문에서는 컴퓨터와 레이저 간섭계를 이용한 선형이송오차의 자동측정 및 평가 그리고 자동보정시스템을 구현하였다. 또한, 공작기계의 CNC콘트롤러가 기존의 보정파라미터를 가지고 있는 경우에도 초기화, 재시동등의 과정없이 직접적으로 보정을 정확하게 수행할 수 있는 알고리즘을 개발되었다. 수작업에 의한 보정파라미터 입력의 문제점은 효율성면에서 뿐만 아니라 피치오차 데이터에서 보정파라미터로의 변환과정에서 일률적인 반올림, 버림등을 하고 있다는 점에서 보정후에도 오차가 잔존할 가능성

이 문제점이 되어 왔다. 따라서 본 논문에서는 각 측정지점에서의 보정후의 피치오차가 최소가 되도록 보정을 수행하는 피치오차 보정알고리즘을 개발하였다. 또한 보정을 위해서는 보정값의 한계가 정수 ±7사이에 존재해야하고 이보다 큰 값을 보정하는 경우는 배율을 조정하여 보정을 한다. 하지만 오차의 형태에 따라서 배율을 달리 할 필요가 있으며 실제로 예상대는 잔류오차량을 통하여 배율을 결정하는 것이 최적이라 하겠다. 보정후의 오차를 최소로하는 것으로 배율에 대한 요소가 첨가되어서 배율에 대한 최적의 조건도 고려해야 한다. 본 연구에서는 최소 평균오차를 가지는 오차 보정알고리즘을 개발하였다. 개발된 알고리즘과 시스템은 모의 실험과 실제 CNC머시닝 센터의 적용을 통해서 타당성과 효율성을 입증하였다.

2. 피치오차 측정장치의 구성 및 오차 평가 이론

2.1 피치오차 측정 및 보정 시스템의 구성

본 연구에서 개발된 공작기계 선형피치오차의 측정 및 보정 시스템의 구성은 Fig. 1과 같다.

컴퓨터와 연계된 레이저 간섭계를 상용 CNC 수평형 머시닝 센터에 장착하고 피치오차 측정을 수행하였다. Fig. 1은 상용의 CNC 수직형 머시닝 센터와 레이저 옵틱스, 컴퓨터, 주변기기등의 배치도이며 수직형 머시닝 센터는 현재 공작기계 업체에서 많이 사용하고 있는 FANUC 시리즈의 콘트롤러를 장착하고 있다. 이 콘트롤러는 상용 DNC 네트워크를 통해서 PC와 맞물려 있어서 머신코드 입출력, 파라미터 입출력을 DNC 네트워크를 통해서 수행할 수 있도록 구성된다. 그리고 본 연구에서는 선형 피

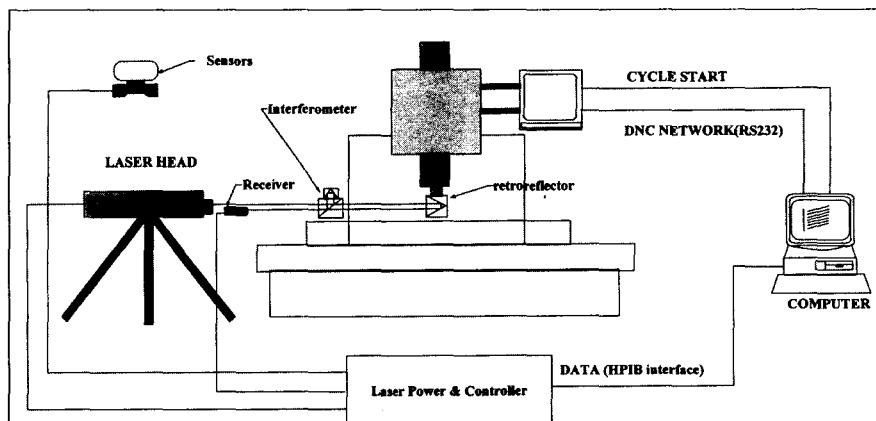


Fig. 1 Schematic system setup

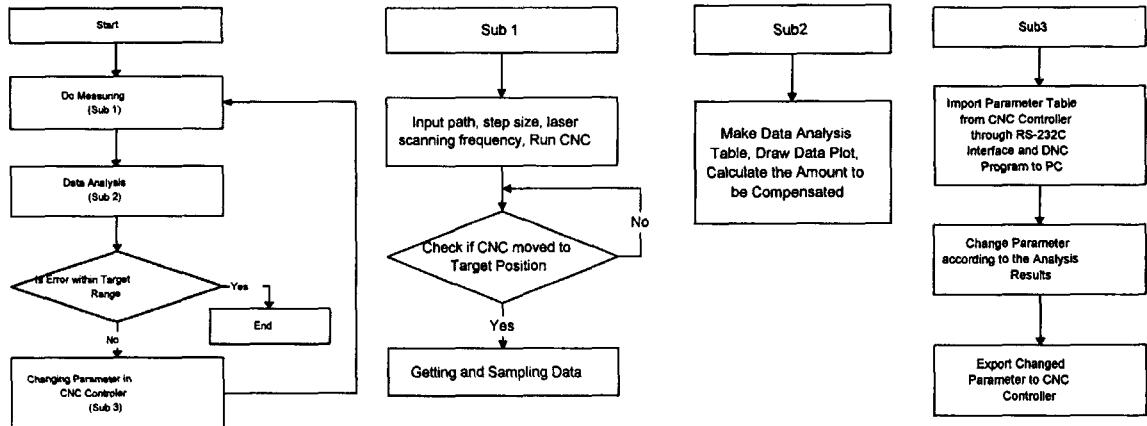


Fig. 2 Flow chart of the developed system

최초의 자동측정, 오차 평가, 보정이 일괄적으로 이루어지는 시스템이 개발되었으며, Fig. 2는 개발된 측정 및 보정시스템의 블록선도를 보이고 있다.

2.1.2 피치오차 측정

Fig.1과 같이 장비를 배치하고 CNC 콘트롤러에 (ISO 230-2) 규격⁽⁷⁾에 따른 이송 경로를 지정한 NC 코드를 입력한다. 모든 장비를 가동 가능하게 초기화한 다음 실험하고자 하는 축의 절대원점으로 테이블을 이송시키고 그 지점을 레이저 간섭계의 리셋 포인트(위치 0)로 리셋한다. 테이블을 움직이면서 정해진 기준에 따라 위치 데이터를 얻는다. 레이저 간섭계에 대한 모든 조작은 HPIB 인터페이스를 통해 PC에서 프로그램을 수행함으로써 이루어지게 한다⁽⁹⁾. 실험중에 외부 조건이나 각종 변수(초기값)에 대한 것을 기록하고 PC에서 미리 작성한 프로그램으로 해당하는 측정 조건에 따라 데이터를 처리하여 오태에 대한 분석 및 평가를 실시한다. 온도, 습도, 압력 등 조건들은 레이저 간섭계에 부착하는 센서를 통해 얻거나 기타 측정센서를 통하여 얻고, 이에 따른 레이저의 파장 보정을 수행한다⁽¹⁰⁾.

2.2 자동측정 알고리즘

공작기계의 피치오차 측정값을 얻는 과정은 우선 레이저 간섭계를 부착하고 공작기계를 NC 코드에 따라서 지정한 절대 위치로 움직여 가게 하고 그 위치에서 정지시켜서 레이저 간섭계로 읽은 값과 지정된 절대위치값과의 차이를 오차측정값으로 얻는다. 이 때, 레이저 간섭계는

단지 연속데이터를 받아들일 뿐이므로 수작업으로 공작 기계 이송이 정지되었을 때 신호를 주어 정지된 점의 측정값만을 얻어야 한다. 이것은 작업자에게는 매우 비효율적인 일이며 계속해서 측정과정을 지켜보아야 하는 번거로움이 따른다. 따라서 본 연구에서는 측정 프로그램에 각 측정값의 차이를 비교해서 연속적인 몇 개의 측정값의 차이가 거의 나타나지 않을 때만 데이터를 얻게 하는 알고리즘을 삽입하여 자동으로 측정 데이터가 얻어지는 자동측정알고리즘을 개발하였다.

2.3 ISO 선형 이송오차 평가 이론

공작기계 이송오차에 대한 평가는 ISO(e.g.⁽⁷⁾) 등을 비롯한 많은 제 규격에서 정의되고 있으며, 본 연구에서는 ISO에서 사용하고 있는 평가방법을 따랐으며, 구체적인 방법들은 다음과 같다. 공작기계가 공칭위치 N_j 위치에 있고, 레이저등에 의해서 계측된 참값은 T_j 라고 하면 공칭위치 N_j 에서의 공작기계 이송오차, X_j 는

$$X_j = T_j - N_j, j = 1, 2, 3, \dots \quad (1)$$

가 된다

한편, 이송오차 X_j 는 공작기계의 이송방향에 따라서 $X_j \uparrow$, $X_j \downarrow$ 로 분류되며 여기서 위쪽 화살표는 정방향, 아래쪽 화살표는 역방향을 의미한다. 그리고 동일한 N_j 공청 위치에 대해서도 i회의 반복측정을 수행하게 되어 i회째 반복해서 측정한 N_j 지점에서의 이송오차, $X_{ij} \uparrow$ ($X_{ij} \downarrow$)는 다음과 같이 정의된다.

$$\begin{aligned} X_{ij} \uparrow &= T_{ij} \uparrow - N_j \\ X_{ij} \downarrow &= T_{ij} \downarrow - N_j \end{aligned}$$

여기서 $T_{ij} \uparrow$, $T_{ij} \downarrow$ 는 N_j 공칭위치에서 레이저등으로 측정된 정방향, 역방향의 i번째 반복측정치가 된다. 따라서 N_j 위치에서 정방향 평균위치오차 $\bar{X}_j \uparrow$, 역방향 평균위치오차 $\bar{X}_j \downarrow$ 는 다음과 같다.

$$\bar{X}_j \uparrow = \sum_{i=1}^n X_{ij} \uparrow / n \quad (4)$$

$$\bar{X}_j \downarrow = \sum_{i=1}^n X_{ij} \downarrow / n \quad (5)$$

여기서 n은 각 공칭위치에서의 반복측정 횟수를 의미한다.

또한, N_j 위치에서 반복측정으로부터 얻어지는 정방향 및 역방향의 표준편차 $s_j \uparrow$, $s_j \downarrow$ 는

$$s_j \uparrow = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_{ij} \uparrow / n - \bar{X}_j \uparrow)^2} \quad (6)$$

$$s_j \downarrow = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_{ij} \downarrow / n - \bar{X}_j \downarrow)^2} \quad (7)$$

이 되고, N_j 위치에서 정방향과 역방향의 위치오차의 차이로 정의되는 반전오차 R_j 는

$$R_j = \bar{X}_j \uparrow - \bar{X}_j \downarrow \quad (8)$$

가 된다.

그리고 한방향의 반복정밀도를 설명하는 한방향 반복정밀도(Unidirectional Repeatability) UR은

$$UR = \max(6s_j \uparrow, 6s_j \downarrow) \quad (9)$$

로 되며 양방향 반복정밀도(Bidirectional Repeatability), BR는

$$BR = \max(3s_j \uparrow + 3s_j \downarrow + |R_j|, 6s_j \uparrow, 6s_j \downarrow) \quad (10)$$

로 표현된다. 그리고 축의 이송정밀도(Accuracy of axis)는 위치와 이송방향에 무관하게 다음과 같이 정의된다. 즉 축의 이송정밀도, Accuracy는

$$\begin{aligned} Accuracy &= \max(\bar{X}_j \uparrow \pm 3s_j \uparrow, \bar{X}_j \downarrow \pm 3s_j \downarrow) \\ &- \min(\bar{X}_j \uparrow \pm 3s_j \uparrow, \bar{X}_j \downarrow \pm 3s_j \downarrow) \quad (11) \end{aligned}$$

가 된다.

3. 선형이송오차 자동 보정시스템

3.1 자동 보정시스템 개요

먼저 위에서 설명한 자동측정 알고리즘을 이용하여 얻어진 선형 이송오차에 대한 실험결과를 바탕으로 전체구간의 이송오차 보정을 실시하였다. 보정은 CNC 콘트롤러의 보정파라미터를 계산된 오차값에 맞추어 바꾸어 주는 방식으로 수행하였다.

이러한 일련의 과정들을 신속하게 하기 위하여 프로그램을 작성하여 자동오차측정 및 보정 시스템을 구축하였는데 이는 ISO 230-2의 규격으로 전체 오차를 원하는 경로, 구간 간격 등의 선택사항을 입력하고 공작기계를 가동하면 자동으로 측정위치에 가서 샘플링(sampling)하여 데이터를 획득하여 각종 분석치를 산출한 후에, 보정량을 계산하여 파라미터를 변경해주는 일련의 과정을 PC가 자동적으로 하게 하는 것을 말한다.

3.2 선형피치오차 보정량 계산

3.2.1 보정량 계산 알고리즘

레이저간섭계에 의해서 측정된 선형피치오차 데이터는 앞 절에서 설명한 방법에 의해서 오차평가가 되며, 상용 CNC 콘트롤러의 피치오차보정기능을 통해서 보정되게 된다. 본 연구에서는 선형피치오차 보정량을 계산하는 알고리즘을 다음과 같이 제안한다. X_j 를 N_j 공칭위치에서의 오차량이라 할 때, N_j 공칭위치에서의 선형피치오차증분보정량 C_j 는 다음과 같다.

$$C_j = round(X_j - \sum_{i=1}^{j-1} C_i), j = 2, 3, 4, \dots, N \quad (12)$$

$$C_1 = round(X_1)$$

여기서 round()는 인접한 정수로의 반올림을 의미하며 식(12)에 의해서 구해진 선형피치오차 증분량 C_j 는 이상적인 상태에서는 각 공칭위치에서 $\pm 1/2$ BLU(Basic Length Unit) 이내의 오차로 보정이 가능하다.

3.2.2 기존 보정파라미터를 가진 공작기계에 대한 보정량 계산 알고리즘

현장에서 사용되고 있는 대부분의 공작기계는 일반적인 보정파라미터로 보정된 상태에서 사용되며, 선형피치오차 보정이 필요한 경우에는 기존의 보정파라미터들을 리셋 내지는 영(0)으로 초기화한 후 선형피치오차의 측정과 보정을 수행하는 것이 일반적인 관행이었다. 본 연구에서는 기존 보정파라미터를 초기화시키지 않고, 보정파라미터를 가진 공작기계에 대한 보정량 계산 알고리즘을 다음과 같이 제안한다.

N_j 공칭위치에서의 기존 보정량을 D_j , 레이저 간섭계에 대해서 측정된 참값을 T_j 라 하면 N_j 위치에서 측정된 오차 X'_j 은 참값 T_j 와 기존 보정량으로 보정된 위치 공칭값 N'_j 의 차이가 되며 이때 N'_j 는 N_j 와 그 위치에서의 보정 $\sum_{i=1}^j D_i$ 의 합으로 표시된다. 즉,

$$\begin{aligned} X'_j &= T_j - N'_j \\ &= T_j - (N_j + \sum_{i=1}^j D_i) \\ &= T_j - N_j - \sum_{i=1}^j D_i \\ &= X_j - \sum_{i=1}^j D_i \end{aligned} \quad (13)$$

여기서 T_j 와 N_j 의 차이로 정의되는 X_j 는 N_j 위치에서의 실제 오차량을 의미한다. 따라서 식(12), (13)으로부터 실제 오차 X_j 에 대응하는 새로운 오차 보정량 C'_j 는

$$\begin{aligned} C'_j &= round(X_j - \sum_{i=1}^{j-1} D_i) \\ &= round(X'_j + \sum_{i=1}^j D_i - \sum_{i=1}^{j-1} C'_i) \\ &= round(X'_j + \sum_{i=1}^{j-1} (D_i - C'_i)) + D_j, \quad j = 2, 3, \dots, N \\ C'_1 &= round(X'_1 + D_1) \end{aligned} \quad (14)$$

이 된다.

따라서 식 (14)에서부터

$$\begin{aligned} C'_j - D_j &= round(X'_j - \sum_{i=1}^{j-1} (C'_i - D_i)) \quad j = 2, 3, \dots, N \\ C'_1 - D_1 &= round(X'_1) \end{aligned} \quad (15)$$

를 얻을 수 있다.

그리고, 식(15)에서 $C'_j - D_j$ 는 새로운 보정량과 기존 보정량과의 차이로써 ΔC_j 라고 하면 식(15)는

$$\Delta D_j = round(X'_1 - \sum_{i=1}^{j-1} \Delta C_i) \quad j = 2, 3, \dots, N \quad (16)$$

$$\Delta C_1 = C'_1 - D_1 = round(X'_1)$$

따라서 식(16)으로부터 기존의 보정량에 부가적으로 더해지는 보정량 ΔC_j 를 구할 수 있으며, 보정량 C_j 는 기존의 보정량 D_j 에 ΔC_j 를 더해서 구할 수 있다. 즉,

$$C_j = D_j + \Delta C_j, \quad j = 1, 2, 3, \dots, N \quad (17)$$

3.3 보정배율(Scale factor)을 고려한 오차보정량의 산출

대부분의 공작기계용 상용콘트롤러(e.g. ⁽¹²⁾)의 피치오차 보정파라미터는 기본단위 ±7(BLU) 내에서만 보정을 허용하며, 보정량의 절대값이 이보다 커질 때는 전체적으로 보정 배율을 올려 잡아서 보정을 하도록 되어 있다. 즉, 식(12) 또는 (17)에 의해서 구한 보정파라미터 C_j 에 따른 보정배율은 다음과 같다.

$$m = trunc(\max|C_j|7) + 1, \quad j = 1, 2, 3, \dots, N \quad (18)$$

이 되고 배율에 의해서 조정된 보정파라미터 C'_j 는

$$C'_j = round(C_j / m), \quad j = 1, 2, 3, \dots, N \quad (19)$$

로부터 구한다.

여기서 $trunc()$ 는 $truncation$ 함수를 의미한다.

3.4 최소평균오차를 가지는 오차보정량계산 알고리즘

3.3절에서 언급한 보정배율을 고려한 오차보정치계산은 오차보정량의 절대값이 7단위보다 큰 경우를 보정할 수 있는 반면 최소기본단위는 배율만큼 커지게 되어 보정 후의 분해능이 떨어지게 되는 단점을 가지게 된다. 따라서 공작기계의 전체이송구간에서 평균오차가 최소를 가지게 하여 보정 후의 분해능이 떨어지지 않게 하는 오차보정이 필요하다. 본 연구에서는 오차보정량의 절대값이 7단위보다 큰 경우 보정배율을 올리지 않고 보정 후 전체

구간에서의 평균오차를 최소로 하게 하는 오차보정 알고리즘을 제안한다. 이는 각 공칭위치점에서 기본단위의 7배를 초과하는 오차량을 그 바로 앞 지점(N_{j-1})에서 1/2을 선보정하고 나머지 1/2은 공칭위치(N_j)에서 잔류오차로 남겨 두는 방법으로서 구체적인 알고리즘은 다음과 같다.

- ① 식(12) 또는 (17)에 의해서 보정량 C_j ($j=1, 2, \dots, N$)를 계산한다.
- ② 보정배율 m 을 식(18)에 의해서 구한다. 만일 $m=1$ 이면 보정량은 C_j 가 되고 알고리즘을 구현한다.
- ③ $j = N$ 으로 둔다. 여기서 N 은 전체 보정구간의 갯수를 의미한다.
- ④ $C'_j = \text{round}(C_j/m)$ 을 구한다.
- ⑤ $C''_j = \text{round}(C_j/m-1)$ 을 구한다.
- ⑥ $C''_j \geq 7$ 이면

$$\Delta_j = \text{round} \left[\frac{C_j - 7 * (m-1)}{2} \right] \quad (20)$$

을 계산하고 $C''_j = 7$ 으로 둔다.

- ⑦ $C''_j \leq -7$ 이면

$$\Delta_j = \text{round} \left[\frac{C_j - 7 * (m-1)}{2} \right] \quad (21)$$

을 계산하고 $C''_j = -7$ 으로 둔다.

- ⑧ $-7 < C''_j < 7$ 이면 $\Delta_j = 0$ 으로 둔다.
- ⑨ $C_j - 1''$ 을 $C_j - 1'' = C_j - 1'' + \Delta_j$ (22)로 조정한다.
- ⑩ $j=j-1$ 로 감소시킨다.
- ⑪ $j=1$ 일 때까지 ⑩를 반복한다.
- ⑫ 보정배율을 보정 후의 평균잔류오차(mean residual error), δ_1 을 다음식에 의해서 구한다.

$$\delta_1 = \sum_{j=1}^N \left| T_j - [X_j + \sum_{i=1}^j C'_i * (m)] \right| / N \quad (23)$$

- ⑬ 식(20), (21), (22)에 의한 보정후의 평균 잔류 오차(mean residual error) δ_2 를 다음식에 의해서 구 한다.

$$\delta_2 = \sum_{j=1}^N \left| T_j - [X_j + \sum_{i=1}^j C''_i * (m-1)] \right| / N \quad (24)$$

- ⑭ $\delta_1 \geq \delta_2$ 이면 식(22)에 의한 C''_j 를 최적 보정값으로 한다.
- ⑮ $\delta_1 < \delta_2$ 이면 식(19)에 의한 C'_j 를 최적 보정값으로 한다.

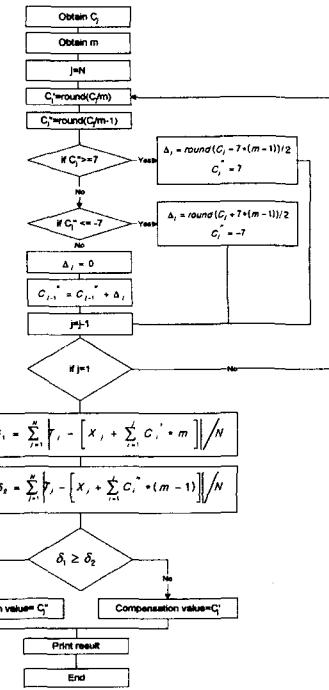


Fig. 3 Flow chart for algorithm of optimum compensation value calculation

Fig.3 은 이상의 최적 오차 보정량을 계산하는 알고리즘의 흐름도를 보인다.

4. 모의 실험을 통한 보정 알고리즘의 비교

제안된 보정알고리즘의 타당성을 검토하기 위해 두 가지 경우의 선형피치오차 모의 실험데이터를 준비해서 위의 보정알고리즘을 적용하였다. Fig.4 (a)는 첫번째 모의 선형피치오차 실험데이터로서 최대 +7 μm , 최소 -7 μm 를 가지는 피치오차 데이터이다. 이 선형피치오차 데이터에 식(19)(기존의 보정량)와 식(20)~(22)(새로운 보정량)에 의한 보정을 수행하였다. 보정 후의 잔류오차를 계산하였으며 Fig.4 (b)에서 점선은 식(19)에 의한 보정 후의 잔류오차를, 실선은 식(20)~(22)에 의한 보정 후의 잔류오차를 보이고 있다.

Fig.4 (c)는 두번째 모의 실험데이터로서 최대 +5 μm , 최소 -5 μm 를 가지는 위치오차 데이터이며, 식(19)과 식(20)~(22)에 의한 보정을 수행하였다. Fig.4 (d)는 보정 후의 잔류오차를 나타내고 있으며, 점선은 식(19)에 의한 보정 후의 잔류오차를, 실선은 식(20)~

(22)에 의한 보정 후의 잔류오차를 보이고 있다. Table 1은 두가지의 모의 실험데이터에 대해서 각 방법에 의한 보정 후의 평균 잔류오차를 보이고 있다. Table 1로부터 첫 번째 피치오차 데이터는 기존의 보정(식(19))에 의한 보

정이, 두번째 피치오차데이터는 새로운 보정(식(20)~(22))에 의한 보정이 최소평균잔류오차를 줄을 알 수 있다. 따라서 제안된 알고리즘의 타당성이 입증되었다.

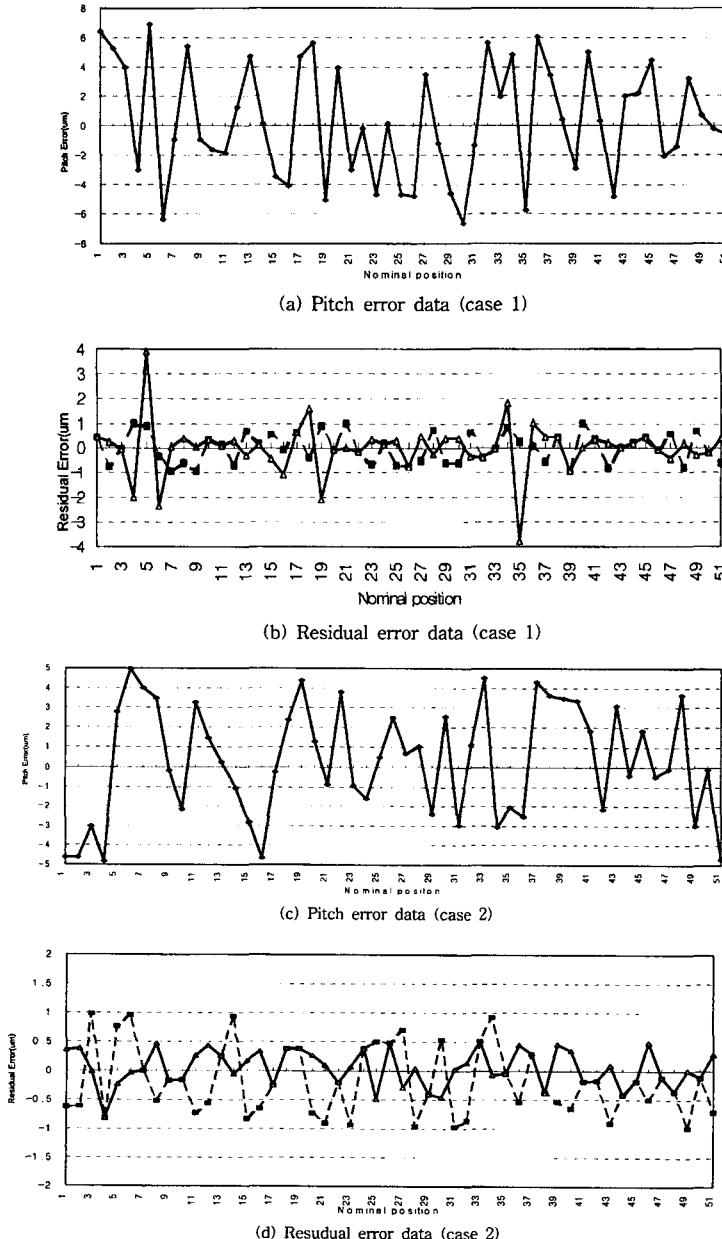


Fig. 4 Two cases of numerical simulation for compensation algorithm

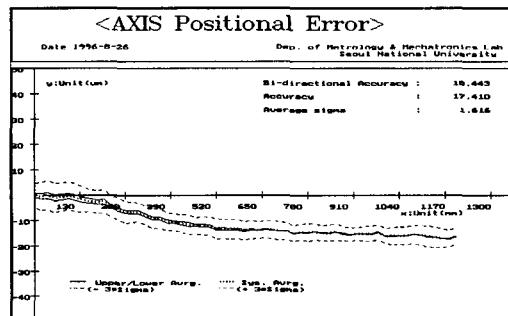
Table 1. Comparison of mean residual error for case 1 and case 2

	Case 1		Case 2	
	기존의 보정	새로운 보정	기존의 보정	새로운 보정
Mean positional error	0.0845	0.147	0.086	0.044

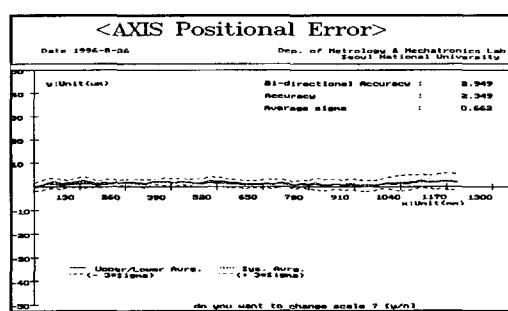
5. 개발된 보정시스템의 실제 적용

개발된 피치오차 보정시스템이 수평형 머시닝센터 ($1250\text{mm} \times 1000\text{mm} \times 1150\text{mm}$)에 적용되었다. X, Y, Z축에 대한 선형피치오차가 레이저 측정기에 의해 20mm 간격으로 측정되었으며, 측정데이터에 의한 피치오차보정은 X, Y, Z축에 대해서 60개, 48개, 54개의 보정파라미터를 입력하여 보정을 수행하였다.

Fig.5,6,7은 각 축의 보정전과 후의 선형피치오차를 보이고 있다. 선형피치오차가 보정전의 값에 비해 보정후에 크게 감소함으로서 피치오차 보정성능이 입증되었다. Table 2는 X축의 경우의 보정전후의 보정파라미터의 값을 보이고 있다.



(a) X-axis pitch error (Before compensation)

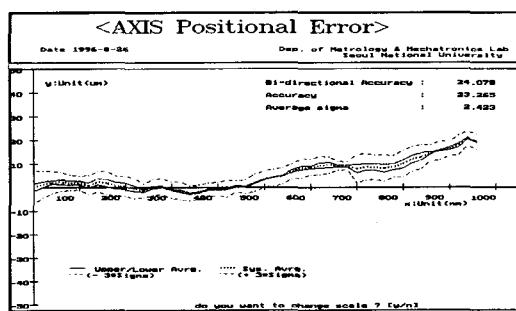


(b) X-axis pitch error (After compensation)

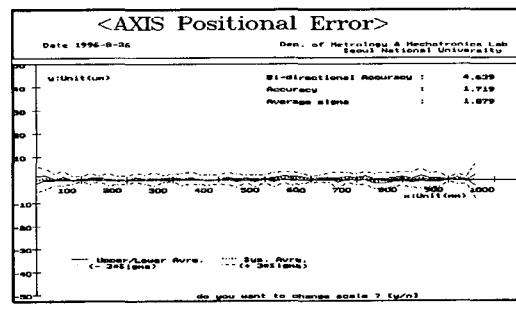
Fig. 5 X-axis pitch error

Table 2. NC parameter for pitch error compensation

Initial NC parameter	Changed parameter
N10150P0	N10150P0
N10151P0	N10151P0
N10152P0	N10152P-2
N10153P0	N10153P-1
N10154P0	N10154P-1
N10155P0	N10155P-1
N10156P0	N10156P-1
N10157P0	N10157P-1
N10158P0	N10158P-1
N10159P0	N10159P-2
N10160P0	N10160P-1
N10161P0	N10161P-1
N10162P0	N10162P-2
N10163P0	N10163P-1
N10164P0	N10164P-2
N10165P0	N10165P0
N10166P0	N10166P-1
N10167P0	N10167P-1
N10168P0	N10168P0
N10169P0	N10169P-1
N10170P0	N10170P0
N10171P1	N10171P0
N10172P0	N10172P0
N10173P0	N10173P-1
N10174P0	N10174P-1
N10175P0	N10175P0
N10176P-1	N10176P-1
N10177P0	N10177P-1
N10178P0	N10178P-1
N10179P0	N10179P0
N10180P0	N10180P0

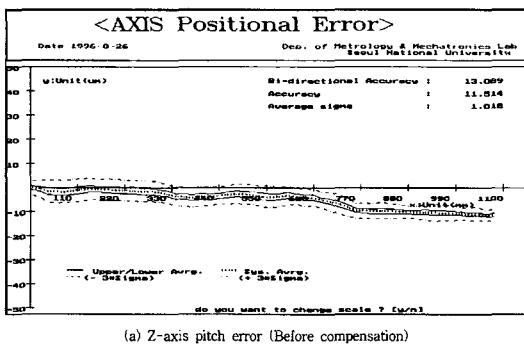


(a) Y-axis pitch error (Before compensation)



(b) Y-axis pitch error (After compensation)

Fig. 6 Y-axis pitch error



(a) Z-axis pitch error (Before compensation)

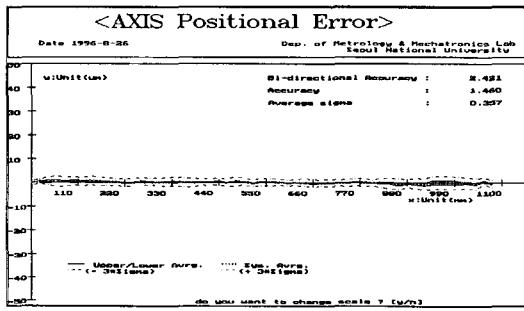


Fig. 7 Z-axis pitch error

6. 결 론

CNC 공작기계의 선형피치오차를 측정하고 보정하는 시스템을 개발하였으며, 결론은 다음과 같다.

- (1) 컴퓨터와 인터페이스된 환경에서 오차측정과 오차보정이 자동적으로 수행되는 시스템이 개발되었다.
- (2) 측정된 선형피치오차에 대해서 정밀하게 오차보정량을 계산하는 알고리즘이 제안되었다.
- (3) 기존의 보정파라미터를 가지는 공작기계 콘트롤러에 대해서도 초기화 작업없이 정확하게 보정량을 계산하는 알고리즘을 제안하였다.
- (4) 보정배율을 고려한 오차보정량 계산 모듈을 구현하였으며 최소평균오차를 가지는 통합오차보정 알고리즘이 제안되었다. 이는 모의실험을 통해서 타당성이 입증되었다.
- (5) 개발된 선형피치오차측정 및 보정시스템은 현장의 CNC 공작기계에 적용하여 매우 짧은 시간에 정밀한 측정과 보정을 수행할 수 있음을 보였다.

참 고 문 헌

1. Robert J.Hocken, Howard P.Layer, Russell D.Young, "Lasers for Dimensional Measurement", CIRP, Vol.28, pp.303-306, 1979.
2. P.H.J.Schellekens, J.Koning, P.C.Veenstra, "Accuracy of Commercially Available Laser Measurement Systems", CIRP, Vol.31, pp.427-429, 1982.
3. L.J.Wuerz and R.C.Quenelle, "Laser interferometer system for metrology and machine tool applications", PRECISION ENGINEERING, Vol.5 No3, pp.111-114, 1983.
4. G.J.Siddall and R.R.Baldwin, "Developments in laser interferometry for position sensing", PRECISION ENGINEERING, Vol.6 No4, pp.175-180, 1984.
5. G.E.Sommargren, "A new laser measurement system for precision metrology", PRECISION ENGINEERING, Vol.9 No4, pp.179-184, 1987.
6. CIRP STC, Mex Working Party on 3DU, "A proposal for defining and specifying the dimensional uncertainty of multi-axis measuring machines", CIRP, Vol.27, pp.623-630, 1978.
7. ISO 230/2 1988E), Acceptance Code for Machine Tool , ISO 규격집
8. W.Knapp, A.Wirtz, "Accuracy of Length Measurement and Positioning: Statical Measurement and Contouring Mode", CIRP, Vol.37, pp.511-514, 1988.
9. HPIB User's Programming Guide, Hewlett Packard, 1990.
10. HP 5527A Laser Positional Transducer Designer's Guide, Hewlett Packard, No. E039-1/7, Manual Part No. 05517-90018, 1990.
11. 변정민, "CNC 공작기계의 선형이송오차 보정시스템 개발에 관한 연구", 석사학위논문, 서울대학교 기계설계학과, 1995.
12. FANUC Series 15-MC Operator's Manual, B-62080E/03, FANUC LTD, 1992.