

3D 기반의 기상측정 운영시스템 개발

윤길상#, 최진화*, 조명우**, 김찬우***

The Development of 3D based On-Machine Measurement Operating System

Gil-Sang Yoon#, Jin-Hwa Choi*, Myeong-Woo Cho** and Chan-Woo Kim***

ABSTRACT

This paper proposed efficient manufacturing system using the OMM (on-machine measurement) system. The OMM system is software based 3D modeler for inspection on machine and it is interfaced tool machine with RS232C. The software is composed of two inspection modules that one is touch probe operating module and the other is laser displacement sensor operating module. The module for touch probe has need of inspection feature that extracted it from CAD data. Touch probe moves to workpiece by three operating modes as follows: manual, general and automatic mode. The operating module of laser displacement sensor is used inspection for profile and very small hole. An advantage of this inspection method is to be able to execute on-line inspection during machining or after it. The efficiency of proposed system which can predict and definite the machining errors of each process is verified, so the developed system is applied to inspect the mold-base(cavity, core).

Key Words : OMM(기상측정, On-Machine Measurement), Touch Trigger Probe(터치 트리거 프로브), LASER displacement sensor(레이저 변위 센서), CAI(컴퓨터 기반 측정, Computer Aided Inspection)

1. 서론

일반적으로 기계 가공의 생산시스템은 설계, 가공, 측정의 공정으로 이루어져 있다. 이러한 기존의 공정은 서로간의 연계시스템의 구축으로 생산시스템의 효율성을 극대화 시키고자 노력하고 있다. CAD/CAM 의 연계 구축은 산업현장에 보급되어 정착화 되었으며, 측정과 다른 생산 공정을 연계시킨 CAD/CAI (computer aided inspection) 또는 CAD/CAM/CAI 의 연계 시스템에 관한 연구가 진

행되고 있다.^{1,2,3} 또한 다른 연계시스템의 연구로는 CAD/CAM/CAI 에 대한 각 공정의 형상을 정의하고, 이를 기반으로 측정계획(CAIP, computer aided inspection planning)을 수립하여 측정을 수행할 수 있는 시스템에 관한 연구와 공정의 개념을 도입하여 가공과 측정을 통합한 공정계획(CAPP, computer aided process planning) 수립에 관한 연구가 진행되고 있다.^{4,5} 기존 생산시스템에서의 측정은 off-line 의 개념으로 인식하여 이를 별도의 시스템 개념으로 연구되어 왔으나, 현재의 산업현장에서는 생산

접수일 : 2003년 8월 7일, 게재승인일 : 2004년 4월 9일
* 교신저자: 한국생산기술연구원(KITECH)
seviaygs@kitech.re.kr Tel. (032) 5707-174
* 인하대학교 기계공학과 대학원
** 인하대학교 기계공학부
*** ㈜CADNET

공정의 단축과 현재 가공물이 각 공정에서 발생하는 오차를 확인할 수 있는 시스템의 구축에 대한 관심이 늘어나고 있으며, 이를 위해 가공과 측정을 하나의 시스템에서 병행할 수 있는 On-line 시스템에 관한 요구가 지속적으로 늘어나고 있다. 상용화된 측정 방식중에 기상측정(OMM, on-machine measurement)은 이러한 요구에 적합한 시스템으로 인식되고 있지만, 기상측정이 기존의 off-line 측정 방식들에 비해 비교적 정밀도가 낮은 면에서 부정적인 면을 가지고 있다. 기상측정은 공작기계상에서 측정을 수행하기 때문에 공작기계의 오차와 모든 측정기가 가지고 있는 측정오차를 포함하고 있지만, 이러한 오차들 가운데 공작기계의 오차 보정에 관한 연구가 수행되어 왔으며, 이를 자유곡면의 측정에도 활용한 연구들이 있다.^{6,7} 본 연구에서는 생산시스템을 보다 효율성을 증대시킬 수 있는 방법으로 가공과 측정을 동시에 수행/운영할 수 있는 3D 기반의 기상측정 시스템을 개발하였다. 개발된 기상측정 시스템은 접촉식 터치 프로브를 운영할 수 있는 측정모듈과 레이저 변위센서를 운영할 수 있는 모듈로 이루어져 있고, 이들은 측정 대상물에 대해 상호 보완적인 연계 시스템으로 구축되었다. 또한 제안된 시스템은 기존의 off-line 측정 방식이 아닌 on-line 측정방식을 채택하고 있어 측정에 소요되는 시간을 대폭 줄일 수 있으며, 사용자에게 현재 공정에서 발생하는 오차를 공정이 완료된 후 측정을 수행하여 직접 확인할 수 있어 전체 공정에 대한 오차의 발생 정도를 확인할 수 있는 장점을 가지고 있다. 개발된 시스템은 측정 대상물의 측정 결과가 3 차원 측정기와 비교하여 $\pm 0.010\text{mm}$ 오차를 보유하고 있어도 무방한 대상물에 대해 기상측정 시스템의 구현이 가능하다고 판단되며, 이를 검증하기 위해 실제 금형을 선정하여 가공과 측정을 수행하였다.

2. 기상측정 운영 시스템

2.1 형상에 따른 측정방식 선택

본 연구에서 개발한 기상측정 운영시스템은 크게 접촉식 터치 센서(touch trigger sensor)를 운영할 수 있는 측정 모듈과 비접촉식 측정방식인 레이저

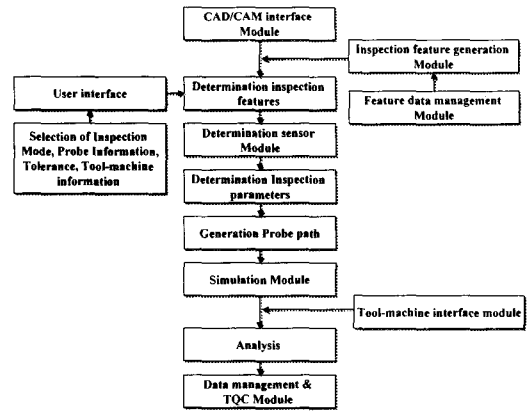


Fig.1 The developed OMM operating system structure

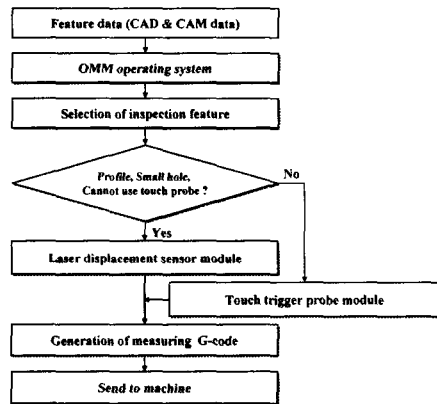


Fig.2 The algorithm for sensor selection

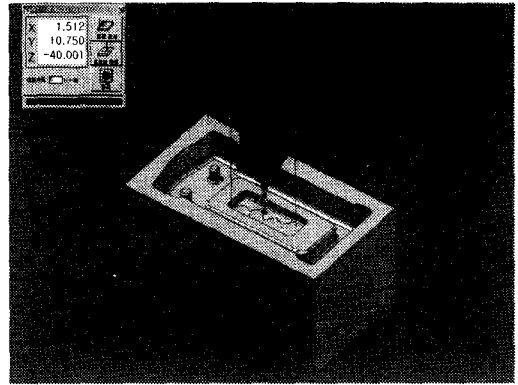
변위센서(laser displacement sensor)를 운영할 수 있는 측정모듈로 구성되어 있다. Fig.1 은 기상측정 운영시스템의 기본적인 구조이다. CAD/CAM 의 형상정보를 이용하여 측정형상을 추출하고, 사용자가 측정하고자 하는 형상을 정의하면, 측정 모듈 을 결정하게 된다. 결정된 측정 모듈에 따라 운영시스템은 측정경로, 측정점, 측정위치를 산출하고 충돌여부를 검사한다. 측정 변수가 결정되면 G-code 를 생성하고 이를 모의 측정할 수 있다. 모든 측정 단계가 완료되면 사용자에게 측정 수행여부를 확인한 후 공작기계에 이를 전송하고 측정을 수행하게 된다. 측정모듈의 선택은 일반적인 형상의 경우 사용자가 임의로 선택하여 측정을 수행할 수 있지만, Fig.2 와 같이 접

촉식 측정방법으로 측정이 어려운 미세 구멍이나 프로파일 영역은 레이저를 이용하여 측정한다. 그러나, 접촉식 측정기는 공작기계의 공구교환 기능을 이용하여 가공중인 형상에 대해 On-line 측정에 어려움이 없지만, 레이저 변위센서는 전원 공급라인이 있기 때문에 수동으로 공구교환을 해야하는 불편함이 있다. 측정형상(inspection feature)은 CAD/CAM 형상 데이터를 이용하여 추출하며, 면(surface) 기반의 형상 데이터이다.⁸ 접촉식 측정기의 측정모드는 수동, 일반,자동모드로 구성되어 있으며, 이처럼 측정모드가 다양한 것은 측정을 보다 효율적으로 수행하기 위해서이다.

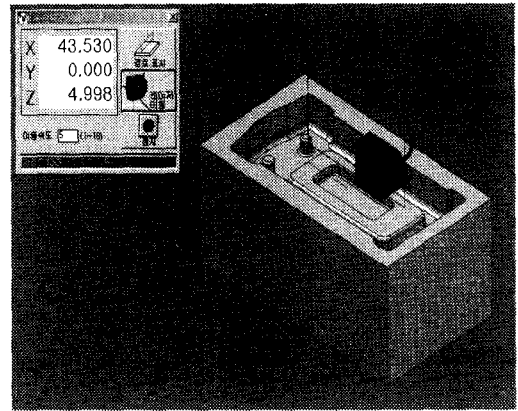
2.2 기상측정 운영 프로그램

본 연구에서 개발한 기상측정 운영시스템은 CAD/CAM 인터페이스, 공작기계 인터페이스, 접촉식 측정기 운용, 레이저 변위센서 운용, 전송/수신, 공차관리, 모의 측정, 가공/측정, 해석결과로 구성되어 있다. 개발 소프트웨어는 AutoDesk inventor API(application program interface)와 Visual C++를 이용하였다. CAD/CAM 형상 데이터의 연계는 측정변수를 결정할 때 기상측정 운영시스템에서 사용자에게 보다 시각적인 효과와 측정위치를 보다 효율적으로 결정할 수 있도록 하기 위한 것이며, 기존의 3 차원 측정기에서 운영되어 왔던 2D 방식에서 벗어나 3D 로 구현되었다. 공작기계와의 인터페이스는 RS232C 를 이용하였으며, 데이터 송

수신에 대한 효율성을 높이기 위해 송신과 수신 의 별도의 통신포트를 사용하였다. 측정기의 운영은 뷰어에서 측정형상과 위치를 사용자가 선택 및 지정할 수 있도록 하였으며, 공차는 CAD 데이터에서 형상에 대한 공차 정보가 있을 경우, 운영시스템에서 공차에 대한 관리를 할 수 있지만 그렇지 않은 경우 직접 기상측정 운영시스템에 입력하여야 한다. 이는 해석결과에 공차에 대한 만족여부를 사용자에게 제시하기 때문이다. 모의 측정은 각 측정기의 운영 프로그램에서 결정된 측정변수를 이용하여 측정기의 이동과 측정위치, 측정점의 수, 그리고 G-code 를 나타내주며, CAM 데이터를 운영시스템에 부여해 줄 경우, 모의가공도 수행할 수 있다. 또한 가공을 수행할 경우, 공구흔적(cusp)을 고려한 측정변수 결정이 가능하다. 측정 해석 결과의 오차는 CAD 데이터와 측정결과 값과의 차이를 나타내며, 공차가 있을 경우 허용 공차를



(a) Touch probe module



(b) Laser sensor module

Fig.3 The OMM program

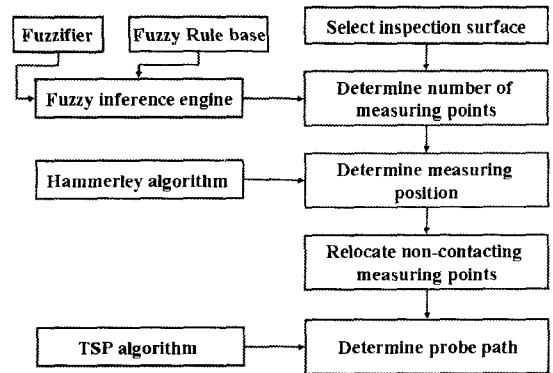


Fig.4 The algorithm of inspection parameters

만족하고 있는지 사용자에게 제시한다.

2.3 접촉식 측정기 운영 모듈

접촉식 측정기의 운영은 측정모드, 측정변수 결정, G-code 생성 그리고 모의 측정으로 구성되어 있다.(Fig.3(a)) 측정모드는 2.1 에서 서술한 바와 같이 수동, 일반, 자동모드를 가지고 있다. 수동모드인 경우 사용자가 측정하고자 하는 측정 위치를 직접 입력하여 측정을 수행하는 모드이다. 이는 기존의 접촉식 측정기의 일반적인 운영방식이다. 일반모드는 3D 의 일반적인 가공형상을 측정할 수 있는 모드로, 수동 모드처럼 사용자가 측정 위치를 지정하는 것과는 달리 3D 형상을 지정하여 측정변수(측정위치, 측정점 수, 측정 경로)를 결정하는 모드이다. 자동측정은 3D 형상 정보를 CAD/CAM 데이터에서 추출하여 2D 기반의 형상 정보로 변환된 측정형상을 이용하여 측정하는 방식으로, 측정변수의 결정은 변수를 결정하는 각 알고리즘에서 결정한다. 자동측정이 형상정의를 2D 면 정보로 변환하여 측정을 수행하는 것은 CAD/CAM 의 형상 정보가 측정하기에는 불편하기 때문이다. 이는 해석결과가 평면도, 직진도등 단일형상(single geometry) 평가에 6 개항목, 직각도, 원통도 등 두개 이상의 측정형상으로 구성된 형상(integrated geometry)은 평가 항목이 4 개로 구성되어 있어, 기존 3D 기반의 형상 해석결과를 단일형상에 적용하기에 어려움이 있다.

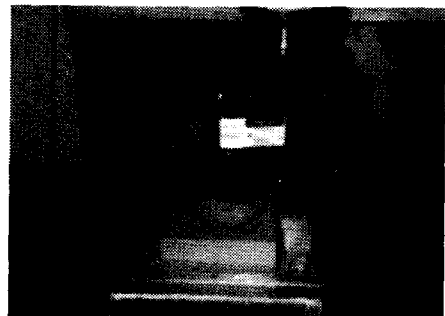
2.4 측정변수 결정

접촉식 측정기를 이용하여 측정을 수행할 경우 측정점의 위치, 수, 그리고 경로를 결정해야 한다. Fig.4 는 측정변수를 결정하는 알고리즘을 도시한 것이다. 측정점의 수는 퍼지시스템을 위치는 Hamersley's method, 측정경로는 TSP method 를 적용하였다.⁸ 측정점의 수는 측정 형상의 면적, 사용되는 공작기계의 정밀도, 허용 측정 오차를 정의해야 한다. 입력변수 가운데 사용자가 정의해야 하는 것은 공작기계의 정밀도와 허용 측정오차이다. 적용한 Hamersley's method 는 기존의 격자형 측정 방식에 비해 같은 측정 정밀도에 요구되는 측정점이 적기 때문에 제안된 시스템에 적용하였다.

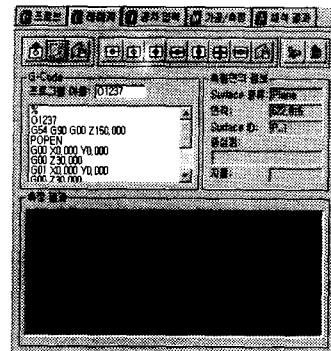
2.5 레이저 변위센서 운영 모듈

기존의 기상측정의 경우 접촉식 측정기가 일반

적이거나 본 연구에서는 비접촉식 측정기인 레이저 측정기를 병행하여 운영할 수 있는 방식을 추가하였다. 그러나 언급한 바와 같이 레이저를 이용한 측정기는 공작기계의 공구교환기능(ATC, automatic tool changer)를 이용할 수 없다. 그렇지만 수동으로 교환이 가능하도록 Fig.5(a)와 같이 공구홀더에 고정물(fixture)을 제작하였다. 본 모듈은 미세구멍이나 프로파일 측정을 하기 위한 것으로 운영모듈은 Fig.3(b)와 같고 측정기의 이동 및 결과 데이터의 창은 Fig.5(b)와 같다. 레이저를 이용한 측정방식은 특정한 위치 정보를 얻기 위해 적용한 측정 모듈이 아니기 때문에 사용자는 격자형태의 측정 경로를 입력하여 형상에 대한 정보를 얻을 수 있다. Fig.6(a)는 레이저를 이용하여 프로파일 측정을 수행한 결과이며, Fig.6(b)는 프로파일을 이용하여 에지 검출을 수행한것이다. 또한 직경 2mm 의 구멍에 대한 측정을 수행하였는데 측정결과를 Fig.7 에 도시하였다. 측정결과 원통도는 0.12750 으로 나타났다.



(a) Laser sensor



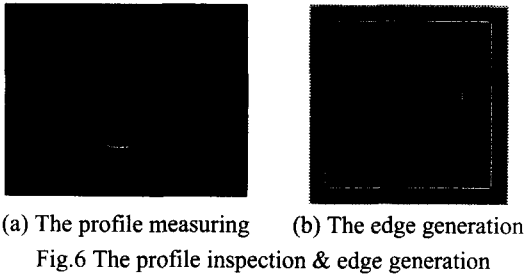


Fig.6 The profile inspection & edge generation

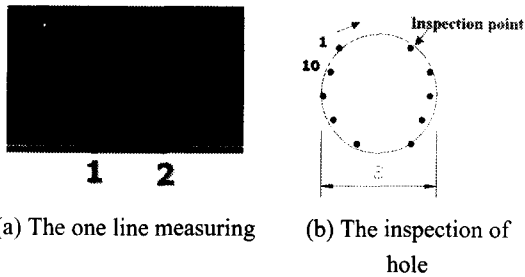


Fig.7 The Laser inspection of $\phi 2\text{mm}$ hole

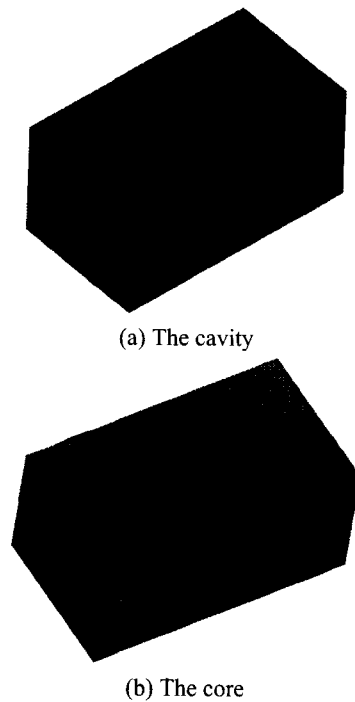


Fig.9 The manufactured molds(cavity, core)

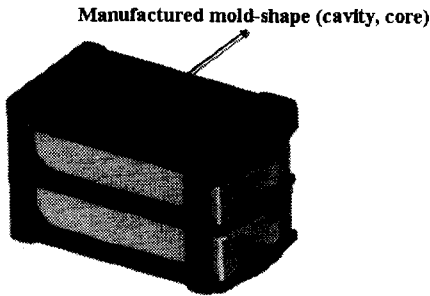


Fig.8 The workpiece

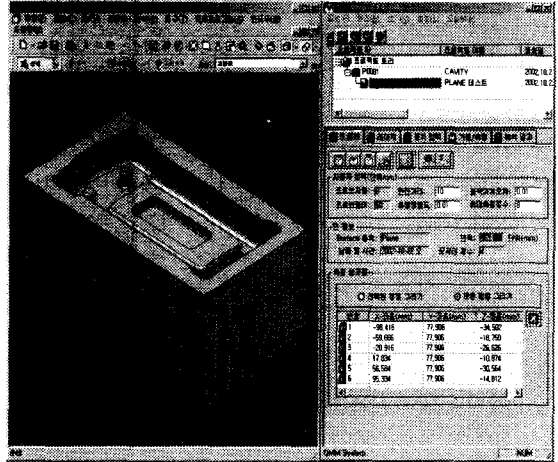
3. Simulation & 실험

본 연구에서는 개발된 기상측정 운영시스템을 적용하고자 Fig. 8 에 나타난 것과 같은 대상물을 선정하여 금형을 제작 하였다. 제작한 사출용 금형(400× 225× 190mm)은 Fig. 9 와 같으며, cavity 와 core 한 쌍으로 이루어져 있다. 재질은 SUS420 이다. 사용한 3 축 공작기계는 SIRIUS-3(FANUC 18-MC, 화천기공)이며, 기상측정의 정밀도를 보완하기 위해 공작기계의 각 축(x, y, z)에 linear scale(FUTABA)를 설치 운용하였다. 기상측정 운용에 사용된 측정기로 접촉식 터치 프로브는 MP700 (RENISHAW), 레이저 변위센서는 최대 측정거리가 100mm 인 LK2100(KEYENCE)를 사용하였다.

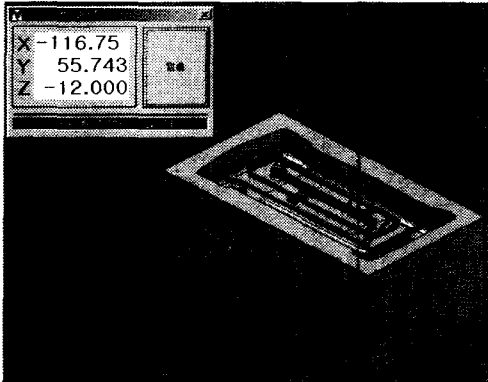
측정오차를 줄이기 위해 가공과 측정공정 작업을 수행하기 이전에 공작기계의 오차를 측정하여, 이를 기상측정 운용시스템에 입력, 측정결과에 공작기계의 기하학적 오차를 보정 가능케 하였다. 금형(cavity)을 제작하기 이전에 Fig.10(a)과 같이 공구경로를 개발된 시스템에서 확인한 후, 대상물을 가공하였다. (Fig.10(b)) 가공은 황삭, 중삭, 잔삭, 정삭 단계로 가공하였으며, 측정 작업은 중삭, 잔삭, 정삭 단계 이후에서 각각 수행하여 각 공정에 대한 오차를 확인하였다.

Fig.11(a)는 개발된 시스템의 CAD 데이터와 인터페이스 모듈을 이용하여 형상을 확인한 후, Fig.11(b)와 같이 측정변수를 결정하였다. 측정변수를 결정한 후 사용자가 요구하는 측정위치와 프로브의 이동에서 발생하는 충돌여부를 검사하기 위해 모의 측정을 수행하였다.(Fig.12 (a)) 모의 측정을 수행한 결과 측정기의 이동 경로의 충돌이 없어 측정위치와 경로를 전송하였으며, 접촉식 측정기의 프로브와 대상물과의 안전거리는 3mm 로 적용하였다. 기상측정은 중삭, 잔삭 그리고 정삭 공정이 완료된 후 수행하였다. Fig.12(b)는 결정된 조건에 의해 기상측정을 수행하고 있는 것을 나타낸

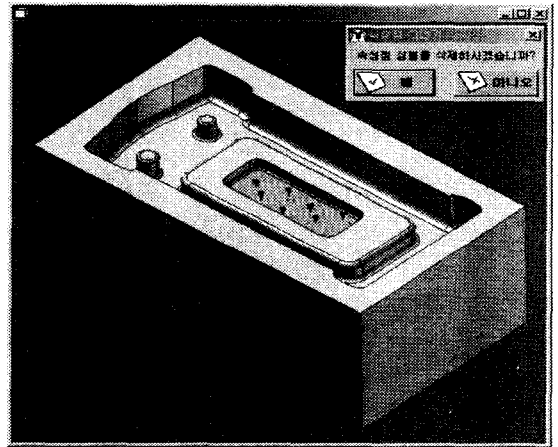
것이다. 기상측정을 수행한 후, 제안된 시스템의 측정 정밀도를 비교 판정 하기 위해 Fig.13 과 같이 3 차원 측정기(CMM)로 대상 금형을 측정하여, 개발된 기상측정 시스템에서 얻은 측정결과와 비교 분석 하였다. 본 시스템을 이용하여 대상물을 측정할 결과는 Table 1 과 같다. 측정형상에 대한 결정은 cavity 와 core 의 결합을 고려하여 선정된 것으로 금형 전문가의 지식을 활용하였다. 설계된 데이터와 기상측정 시스템을 이용하여 얻은 측정 결과와의 최대오차는 0.0129mm 이며, 최소 오차는 0.001mm 의 결과를 얻을 수 있었고, 3 차원 측정기와 기상측정에서 각각 얻은 측정 결과를 비교한 결과 최대 0.009mm, 최소 0.001mm 의 오차가 발생하였다. 개발된 기상측정 시스템을 이용하여 0.009mm 정도의 오차가 발생한 것을 고려할 때 제안된 시스템이 비교적 신뢰성 있는 데이터를 얻을 수 있다고 판단된다.



(a) The installed CAD data

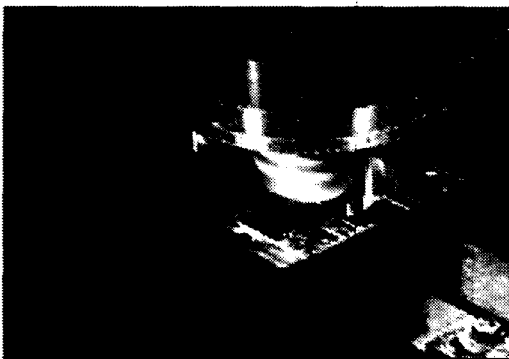


(a) The tool-path simulation



(b) The determination inspection parameters

Fig.11 The pre-inspection process about cavity



(b) The machining

Fig.10 The tool simulation & machining



(a) The simulation of inspection



(b) The inspection using developed OMM system

Fig.12 The simulation & inspection

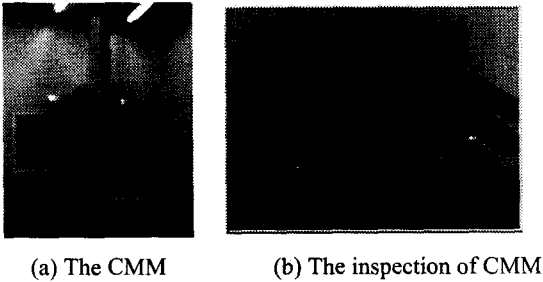


Fig.13 The inspection using CMM (Sheffield)

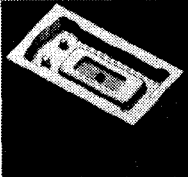
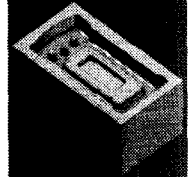
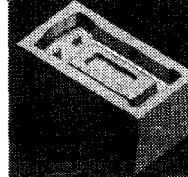
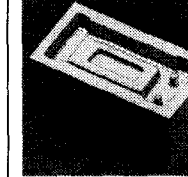
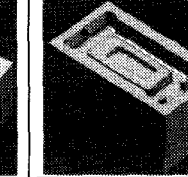

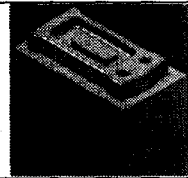
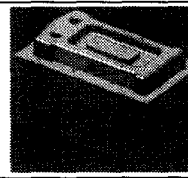
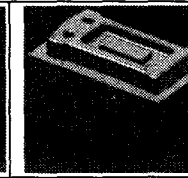
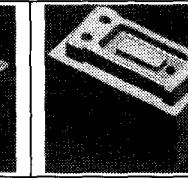
4. 결 론

본 연구에서는 공작기계상에서 측정을 수행할 수 있는 3D 기반의 기상측정 운영 시스템을 개발

하였다. CAD/CAM 를 이용하여 모의 측정과 실험을 통하여 비교적 신뢰성 있는 데이터를 얻을 수 있으며, 이를 On-line 생산공정에 적용 가능성을 검증하였다. 기상측정은 가공과 측정을 병행하여 수행할 수 있다는 면에서 전체적인 생산시스템을 단축시켜 생산성을 높이는데 도움이 될 수 있는 것으로 판단된다. 본 연구의 결론을 다음과 같이 요약 할 수 있다.

- (1) 접촉식, 비접촉식 센서를 이용한 기상측정 운영 시스템을 개발하였다.
- (2) 개발한 시스템을 대상물에 적용하여 측정 한 결과 기존의 3 차원 측정기와 비교하여 최대오차 0.009mm 의 신뢰성 있는 데이터를 얻을 수 있었다.

Table 1 Inspection results using OMM/CMM (mm)

Cavity inspection results					
Feature					
CAD	-40.000	-50.000	77.908	-77.908	175.487
OMM	-39.997	-50.008	77.849	-77.953	175.486
CMM	-40.006	-50.011	77.850	-77.944	175.484
Error (-)	0.003	0.008	0.059	0.045	0.001
Error (-)	0.009	0.003	0.001	0.009	0.002
Core inspection results					
Feature					
CAD	38.000	-76.408	76.408	-173.787	23.000
OMM	37.998	-76.326	76.537	-173.837	22.989
CMM	38.006	-76.332	76.528	-173.841	22.996
Error (-)	0.002	0.082	0.129	0.050	0.011
Error (-)	0.008	0.006	0.009	0.004	0.007

- (3) CAD/CAM 형상을 이용한 측정시스템을 구현하였다.
- (4) CAD/CAM/CAI 통합 공정의 시스템 구현에 대한 기반 기술을 제공하였다.
- (5) 향후, 기상측정의 정밀도를 보다 향상시킬 수 있는 시스템에 대한 연구가 필요하다.
- (6) 접촉식, 비접촉식 센서를 이용한 기상측정 운영 시스템을 개발하였다.
- (7) 개발한 시스템을 대상물에 적용하여 측정된 결과 기존의 3 차원 측정기와 비교하여 최대오차 0.009mm 의 신뢰성 있는 데이터를 얻을 수 있었다.
- (8) CAD/CAM 형상을 이용한 측정시스템을 구현하였다.
- (9) CAD/CAM/CAI 통합 공정의 시스템 구현에 대한 기반 기술을 제공하였다.
- (10) 향후, 기상측정의 정밀도를 보다 향상시킬 수 있는 시스템에 대한 연구가 필요하다.
- (11) 기상측정에 적용 가능한 측정기와 측정방식에 대한 지속적인 연구가 필요하다.

참고문헌

1. Cho, M. W., Lee, S. H., Seo, T. I., "On-Machine Measurement of Sculptured Surface Based on CAD/CAM/CAI Integration: I. Measurement Error Modeling," *Journal of the Korean Society of Precision Engineering*, Vol.16, No.10, pp. 109-118, 1999.
2. Jeong, S. W., Yoon, G. S., Cho, M. W., "A study on the Development of a Feature Based Inspection Planning System for On-Machine Measurement process," *KSPE conference*, pp. 654-658, 2002.
3. Cho, M. W., Kim, J. S., Seo, T. I., Cho, J. H., "On-Machine Measurement of Sculptured Surface Based on CAD/CAM/CAI Integration: II. Inspection Planning Strategy," *Journal of the Korean Society of Precision Engineering*, Vol.16, No.12, pp. 109-118, 1999.
4. Yoon, G. S., Cho, M. W., Lee, H. H., "A feature based Computer Aided Inspection Planning system," *KSMTE conference*, pp.353-358, 2002.
5. Yoon, G. S., Choi, J. H., Cho, M. W., Lee, H. H., Seo, T. I., "Development of integrated Rule-based CAPP system for Mold Manufacturing and Inspection," *Journal of the Korean Society of Precision Engineering conference*, pp.1235-1238, 2003.
6. Lee, S. W., Park, H. J., Chu, C. N., "Development of Computer Aided Measurement and Compensation system for Linear Pitch Error Correction in CNC Machine Tools Implementing a New Optimal Correction Algorithm," *Journal of the Korean Society of Precision Engineering*, Vol. 15, No. 1, 1998.
7. Chung, S. C., "CAD/CAM Integration of On-The-Machine Measuring and Inspection System for Free-formed Surfaces," *Proceedings of American Society for Precision Engineering*, No.20, pp.267-270, 1999.
8. Yoon, G. S., Kwon, Y. H., Jeong, S. W., Cho, M. W., "Development of OMM Module for PC-NC system," *Journal of the Korean Society of Precision Engineering*, Vol. 20, No. 8, 2003.
9. Shah, J. J., Mäntylä, M. and Nau, D. D., "Advances in Feature - Based Manufacturing," Amsterdam, Netherlands: Elsevier Science B.V. 1994.
10. Ming, Chang, Paul, P. Lin., "On-line free form surface measurement via a fuzzy-logic controlled scanning probe," *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, Vol. 39, pp.537-552, 1999.
11. Nam, W. S., Chung, S. C., "System Synthesis for On-the-Machine Measuring and Inspection of Freeform Surface," *Journal of the Korean Society of Precision Engineering*, Vol. 15, No. 12, pp. 81-88, 1998.
12. Song, C. K., Park, J. H., Kim, S. W., "Automatic Measurement of 3-Dimensional Profile of Free-Formed Surfaces by using Touch-Trigger Probe," *KSME*, Vol.17, No.2, pp.1202-1207, 1993.
13. Takeuchi, Y., Shimizu, H., Mukai, I., "Automatic measurement of 3-dimensional coordinate measuring machine by means of CAD and image data," *Annals of the CIRP*, Vol.39, No.1, pp.565-568, 1990.