

Registration 오차감소를 위한 3 차원 비접촉식 측정용 Fixture 개발

김연술*, 진영주*, 이희관**, 양균의#

Development of Fixture for Reducing Errors in Registration of 3D Laser Measuring System

Yeun Sul Kim*, Young Ju Jin*, Hi Koan Lee** and Gyun Eui Yang#

ABSTRACT

This paper presents a method to reduce errors in registration, which is used in transformation coordinate system of the multiple measuring data. In general, the ICP algorithms and feature-based approaches are used for registration. In order to measure wrap-around object, it is necessary to change the scanning direction or set-up of the object. A fixture is made to reduce registration errors caused by inaccurate center point of tooling balls, providing the more accurate registration method. And, the motorized fixture controls rotation and tilting to get precise the measuring data and registration. The proposed motorized fixture and registration method have advantages in accurate registration and precise measurement, compared with the conventional methods.

Key Words : Reverse engineering (역공학), Registration (레지스트레이션), ICP algorithms, Feature-based approaches (특징형상 기반 방법), Motorized fixture (전동 고정구)

1. 서론

RE(Reverse Engineering)는 제품을 측정하여 얻어진 정보로부터 그 형상을 복원하는 기술이며 제품의 설계변경, 검사, 가공, 해석 등의 여러 분야에서 이용되고 있다.¹ 또한 디지털 매뉴팩처링을 위한 하나의 방법으로 사용되어 공정과 제품의 품질향상을 가능하게 한다.² 제조업 이외의 의료, 게임, CG(Computer Graphics)와 애니메이션, 문화재 보존, GIS(Geographic Information System) 등과 같은 분야

에서도 그 사용이 증가되고 있다. RE는 보통 다음과 같은 단계를 거친다.¹ 첫째, 측정장비를 이용하여 측정대상물을 측정한다. 두 번째, 측정된 각각의 점 군을 전처리 한다. 이것은 측정된 점 군에 포함된 노이즈를 제거하는 공정과 필터링, 스무딩 공정을 포함하며, 이후 레지스트레이션(registration) 과정을 거쳐 각각의 점 군을 하나의 점 군으로 완성하게 한다. 다음으로, 영역을 분할하고 곡면모델링을 통해 CAD모델을 완성한다.

RE를 통해 얻어진 CAD데이터의 정밀도는 측

접수일: 2005년 2월 1일; 게재승인일: 2005년 8월 9일

* 전북대학교 대학원 기계공학과

** 전북대학교 자동차부품 금형기술혁신센터

교신저자: 전북대학교 기계항공시스템공학부

E-mail geyang@chonbuk.ac.kr Tel. (063) 270-2322

정과 전처리 과정에서 보다 정확한 점 군을 얻음으로써 향상된다. 또한 점 군으로부터 곡면을 생성하는 과정에서 측정물 형상에 대한 기하학적 정보를 이용하여 곡면 모델의 정밀도를 향상시킬 수 있다.³ 접촉식 측정시스템을 사용하면 보다 정확한 점 군을 얻을 수 있지만, 측정속도 측면에서 비효율적이며 측정물 표면의 경도(hardness)에 따라 그 사용이 제한되는 단점을 가진다. 이러한 이유로 접촉식과 비접촉식 측정기의 장점만을 이용하는 통합시스템 개발에 대한 여러 연구가 있다. Shen⁴ 등은 CMM(Coordinate Measuring Machine), 자동 프로브(probe)와 3차원 비전 시스템을 통합하여 빠른 시간에 고정밀 데이터를 얻을 수 있는 시스템을 제안하였다. 이것은 CAD데이터가 없는 경우에 비전센서를 통해 얻어진 3차원 데이터를 이용하여 대상물의 특징형상을 자동으로 추출한다. 추출된 특징형상 정보는 CMM 측정에 필요한 측정위치 및 방향정보를 얻는데 이용된다. 또한 비전 시스템을 이용하여 측정물의 localization 문제를 자동으로 해결하여 측정효율을 높였고, 측정속도에 있어서도 많은 향상이 있었다. 하지만 비전센서의 정밀도가 접촉식 프로브 보다 현저하게 낮기 때문에 측정물 localization의 정밀도 확보가 어렵고, 여러 방향에서 측정하지 않고서는 가림 현상으로 인하여 모든 특징형상을 찾기가 어렵다. 또한, Nashman⁵ 등은 비전 시스템과 CMM을 통합하여 측정효율을 높이고자 하였다. 우선 비전 시스템을 이용하여 대상물의 특징형상을 추출하고, 이로부터 CMM 측정계획을 수립하도록 하였다. 이 연구에서는 CMM의 제어, 데이터 획득 등 측정에 필요한 제어 시스템을 구축하였다. Son⁶ 등은 CMM과 레이저 스캐너의 장점만을 동시에 이용하는 통합시스템 구축에 관하여 연구하였다. 이 방식은 자유곡면과 primitives를 동시에 포함하고 있는 경우에 유리한 방식이다. 먼저 자유곡면과 primitives를 판별하고, 자유곡면인 경우에는 레이저 스캐너를 사용하여 빠르게 측정하고, primitives인 경우에는 CMM을 사용하여 빠르고 정밀하게 측정한다. 목적에 적합한 장비를 사용함으로써 최종적인 곡면생성 및 error map의 생성을 좀더 효율적으로 할 수 있도록 하였다. 하지만, 이러한 통합시스템은 접촉식과 비접촉식 장비를 모두 보유해야 하는 어려움을 갖고 있으며, 최종적으로는 모든 측정데이터를 하나의 좌표계로 변환하는 레지스트레이션 문제를 고려해야만 한다.

따라서 본 연구는 비접촉식 측정기에 사용하여 여러 방향에서 측정된 데이터를 하나의 좌표계로 변환하는 레지스트레이션을 용이하게 하며 그 결과로 정밀도가 향상될 수 있는 방법을 제안하며, 이 방법을 적용시킨 측정용 fixture를 개발하였다.

2. Registration

형상 측정을 위해 3D 측정기(CMM)를 사용하는 경우에는 측정물의 일부 형상(평면)을 이용하여 국부 좌표계(local coordinate system)를 설정한 후 측정한다. 하지만, 프로브의 접근이 불가능한 경우, 프로브를 회전 또는 틸트(tilt)하여 측정할 수 있으나 이것도 불가능한 경우에는 측정물의 자세를 변경하여 다른 국부 좌표계를 설정하여 측정해야 한다. 또한, 대부분의 비접촉식 측정기도 측정원리 및 측정물 형상에 기인하는 가림현상 때문에 측정물 전체 형상을 한번에 측정할 수 없다. 이렇듯, 3D 형상 전체를 측정하기 위해서는 여러 개의 국부 좌표계가 필요하며, 각각의 국부 좌표계를 기준으로 얻어진 점 군으로 3D 형상 전체를 표현하기 위해서는 각 국부 좌표계를 하나의 좌표계로 일치시키는 좌표변환과정이 필요하다. 이와 같이 3D 변환행렬을 구하고 이것을 이용해 각 국부 좌표계를 일치시키는 과정을 레지스트레이션(registration) 이라고 한다.

3차원 측정데이터의 레지스트레이션 방법에는 반복적 방법과 특징형상을 이용한 방법이 있다. 반복적 방법의 대표적인 ICP(Iterative Closet Point) 방법은 주어진 여러 개의 기준점들 간의 거리에 대한 오차가 최소화 되도록 반복적으로 변환행렬을 찾는 방법이다.^{7,8} 반면에, 특징형상을 이용한 방법은 측정물에 존재하는 특징형상을 이용하여 변환행렬을 계산하고 특징형상이 존재하지 않는 측정물은 임의의 특징형상을 부착하여 측정된 후 이것을 변환행렬 계산에 이용한다.⁹

측정물에 임의의 특징형상을 부착하는 경우에 많이 사용되는 형상은 구(tooling ball)이다. 이것은 어느 방향에서 측정되더라도 동일한 형상을 가지며, 일부분만 측정되더라도 구의 중심을 쉽게 구할 수 있기 때문이다. 서로 다른 방향에서 측정된 점 군을 레지스트레이션 하기 위해서는 각 점 군에 최소한 동일한 3개의 점이 필요하며, 툴링볼의 중심을 여기에 이용한다. 이 경우 3개의 점으로 국

부 좌표계를 설정하는 과정은 다음과 같다. 먼저 3개의 점 중 하나를 좌표계의 기준점으로 한 후, 3개의 점이 이루는 평면의 법선방향과 기준점에 이웃하는 두 점 중 한 점과 기준점에 의해서 결정되는 방향으로 x-y 평면을 결정한다. 위의 과정을 통해 얻어진 각 점 군의 국부 좌표계를 일치시키는 변환행렬을 계산하고 이것에 의해 하나의 점 군을 변환하면 레지스트레이션이 완료된다. 이상의 과정을 도식적으로 표현하면 Fig. 1과 같다. 그림에서 알 수 있듯이 레지스트레이션 후 기준점을 제외한 나머지 두 점은 일치하지 않는다. 그 이유는 서로 다른 방향에서 측정된 3점(툴링볼 중심)의 상대적 위치가 동일하지 않기 때문이다. 또한 점 3개 중 어느 것을 기준점으로 선택하느냐에 따라 여섯 가지 경우의 수가 존재하며, 이것은 각기 다른 결과를 갖는다. 복잡한 3D 형상인 경우에는 부착해야 할 툴링볼의 개수와 부착위치까지 고려해야 하는 어려움을 갖고있다.

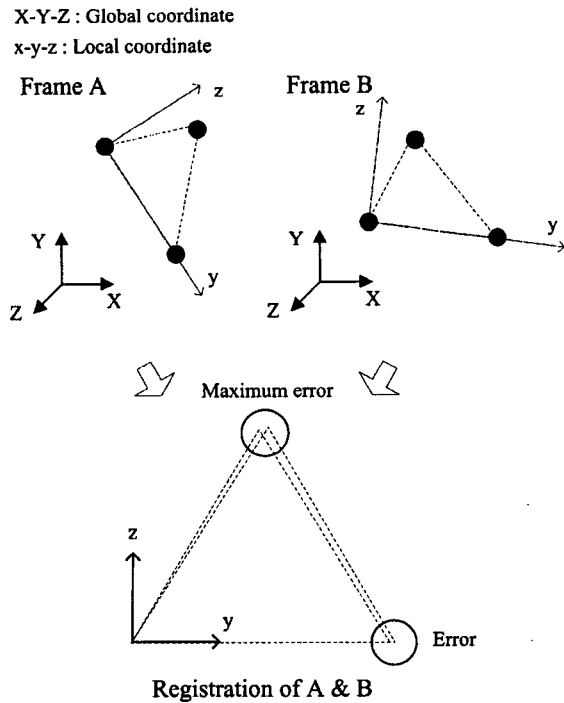


Fig. 1 Registration with tooling balls

3. Fixture 설계 및 제작

3.1 Fixture 설계

3D 형상 데이터의 레지스트레이션을 위한 ICP 알고리즘이나 툴링볼을 이용하는 방법은 각각의 장점을 가지고 있으나, 정확하게 레지스트레이션 하는 데는 한계를 갖고 있다. 툴링볼을 이용하는 경우에는 서로 다른 방향에서 측정된 여러 개의 툴링볼 사이의 정보가 차이를 갖게 되고 이로 인하여 정확한 레지스트레이션 결과를 얻기가 매우 어렵다.

따라서 본 논문에서는 이러한 문제점을 해결하기 위해서 고정된 원점을 갖는 국부 좌표계를 이용하여 여러 방향에서의 측정을 용이하게 하고, 이를 이용하여 레지스트레이션 하는 방법을 제시한다. 이 방법은 기존 레지스트레이션에 사용되던 특징형상(툴링볼)을 사용하지 않는 방법으로 Fig. 2와 같이 측정기의 글로벌 좌표계 안에 측정자세가 변화하더라도 원점의 절대 위치가 변하지 않는 국부 좌표계를 지정하고 이를 이용하는 것이다. 서로 다른 방향에서 측정할 때, 프로브와 측정물 사이의 관계는 이 국부 좌표계를 기준으로 하는 회전각으로 규정되며 이 회전각을 이용하여 레지스트레이션 한다. 측정물 전체형상을 측정 할 때, 이 국부 좌표계를 이용한 자세변화는 프로브와 측정물 어느것에 적용해도 가능하다. 본 논문에서는 측정물에 적용시켜 전동 fixture를 설계 제작하여 그 결과를 평가하였다.

Fig. 2(a)와 같이 전동 fixture는 구형상을 포함하고 있다. 구의 중심은 국부 좌표계의 원점이 되며, 전동 fixture의 구동 시에도 그 위치는 변화하지 않도록 스와시 플레이트(swash plate)를 이용하여 설계하였다. 측정시스템의 글로벌 좌표계(X-Y-Z)와 전동 fixture의 국부 좌표계(x-y-z) 사이의 관계는 Fig. 2(a)의 frame 1에서와 같이 각 축의 방향이 일치하도록 하였다. 측정 자세는 Fig. 2(a)의 frame 2와 3처럼 전동 fixture의 x축과 y축의 회전으로 변경된다. 회전각은 마이크로프로세서를 통해서 제어되며, 측정된 점 군의 레지스트레이션에 사용되는 변환행렬의 계산은 제어된 수치로부터 계산된 정확한 회전각이 이용된다. 본 논문에서 제시하는 전동 fixture가 갖는 이러한 특징은 기존 레지스트레이션 방법에 비하여 레지스트레이션 오차를 감소시킬 수 있는 역할을 하게 되며, 결국은

높은 정밀도를 갖는 3D 형상의 측정데이터를 얻을 수 있게 한다. Fig. 2(b)와 같이 나타낼 수 있는 레지스트레이션 오차는 전동 fixture의 제작 정밀도를 높임과 동시에 고정밀 구동 시스템을 사용하여 회전각을 구동하고 제어함으로써 감소시킬 수 있다.

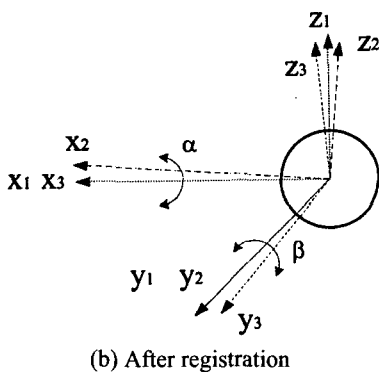
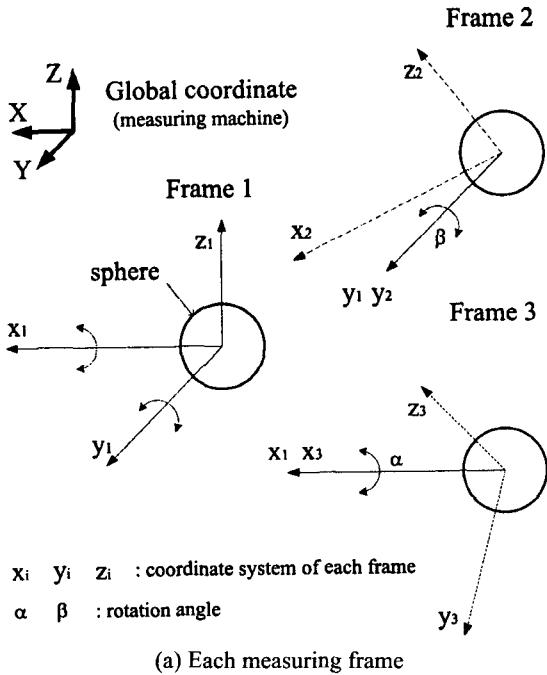


Fig. 2 The relation between coordinate system of measuring machine and electric fixture

3.2 Fixture 제작

3D 형상의 측정이 용이하며, 기존 레지스트레이션 방법에 비하여 고정밀도의 결과를 얻을 수

있도록 설계된 전동 fixture를 다음과 같이 제작하였다. 본 논문에서 제작된 전동 fixture는 스와시 플레이트(swash plate), 링 케이지(ring cage), 서보모터(servo motor), 혼(horn) 등 30여 개의 부품으로 구성되어있고, X, Y축을 기준으로 회전할 수 있는 2 자유도를 갖는다. 스와시 플레이트가 갖는 특징을 이용하여 국부 좌표계 원점의 위치변화를 최소화 하였다. 한 축에 대한 회전에 두 개의 서보모터를 사용하였으며, 주 제어기를 이용하여 회전각을 조정하였다. Fig. 3은 전동 fixture의 3D 디지털 목업(digital mock-up)을 보여준다.

Fixture 제어에 사용된 마이크로 프로세서는 서보모터의 PWM제어를 위해 2개 이상의 10-bit PWM, 10-bit ADC, 네트워크 직렬 통신을 위한 UART, 그리고 20msec 샘플링 타임을 위한 타이머가 내장 되어 있고, ISP(In-System Programmable flash memory)기능이 있어 개발 환경이 간편하고 처리 속도가 빠른 RISC 방식의 AVR을 사용하였다. 네트워크 구성은 EMI 노이즈를 고려하여 노이즈에 강인하면서 전송거리가 긴 RS-485를 사용하였고 모터 드라이버는 단락 회로 보호 기능, 과전압 보호 기능 및 1.5A의 전류 허용 용량을 가지는 Toshiba사의 TA8050P를 사용하였다. 제어기는 PID 제어기로 설계하였고, 모터 구동 방식은 PWM 구동 방식을 채택하였다. Fig. 4는 제어기의 블록 다이어그램이다.

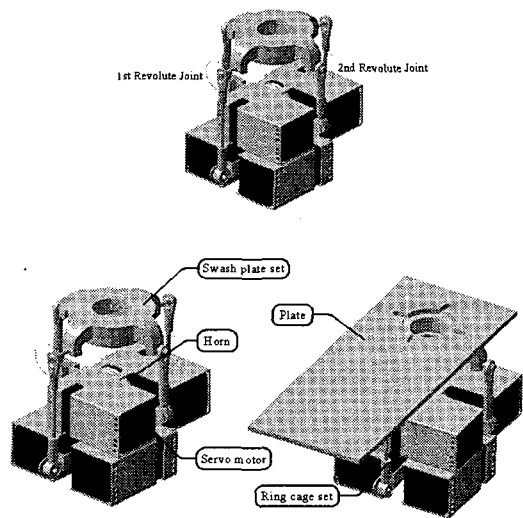


Fig. 3 3D digital mock-up of electric fixture

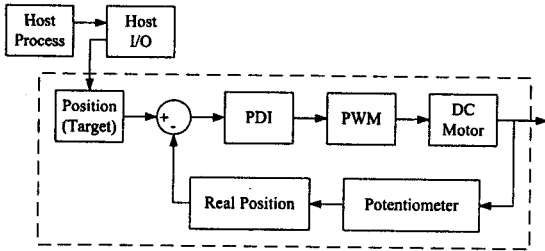


Fig. 4 Block diagram of main control

4. Fixture 를 이용한 측정

4.1 측정방법

제작된 전동 fixture가 갖고 있는 국부 좌표계와 측정시스템의 좌표계 사이의 관계를 정확하게 이용하기 위해서 먼저 fixture의 두 회전축(x, y)과 측정 시스템의 X, Y축을 일치시키고, fixture의 스와시 플레이트에 조립되어있는 구(sphere)의 중심을 국부 좌표계의 원점으로 설정해야 한다. 그런 다음 fixture 위에 측정물을 셋업하여 측정한다.

고정된 원점을 갖는 국부 좌표계를 이용한 측정 및 레지스트레이션 방법을 평가하기 위해 제작된 전동 fixture를 다음과 같이 평가하였다. 평가에 사용된 형상은 평면과 구 형상을 이용하였고, 레지스트레이션 결과는 기존의 여러 방법과 비교하였다. 다음은 비교된 기존의 여러 가지 방법들이다.

- Case 1(T1 ~ T6) : 툴링볼을 이용한 경우로 프로브는 고정되고 측정물의 자세를 변화시켜 측정한 경우
- Case 2(A) : 툴링볼을 이용한 경우로 측정물은 고정되고 프로브의 측정방향을 변경하여 측정한 경우
- Case 3(B) : 특정한형상으로 원통형상을 이용하였으며 측정물의 자세를 변화시키는 수동 fixture를 사용한 경우
- Case 4(C) : 제안된 국부 좌표계를 이용한 전동 fixture를 사용한 경우

Case 1은 툴링볼을 이용한 경우로, 앞서 설명된 것처럼 3개의 동일한 툴링볼의 측정점이 각 점 군에 존재하여야 하며, 이 경우 여섯 가지 레지스트레이션 결과가 존재한다. 여섯 가지 경우(T1 ~ T6) 모두를 비교하였다. Case 2 역시 툴링볼을 이용하는 것으로 측정물은 고정되고 측정기의 측정방향을

변경하여 측정하는 방법이다. Case 3은 구 형상인 툴링볼 대신 원통형상을 이용한 경우로 원통의 중심축을 이용하여 레지스트레이션 하는 경우이다. 이 경우에는 case 1과 같이 측정방향은 고정되고 측정물의 자세를 변경하여 측정하였다. Case 4는 본 논문에서 제안한 국부 좌표계를 이용할 수 있도록 개발 제작된 전동 fixture를 사용한 경우이다. Fig. 5는 전동 fixture가 사용되는 모습을 보여준다.

측정시스템은 Surveyor DS-4060(Laser Design Inc.)을 사용하였고, 프로브는 670nm의 파장을 갖는 laser diode type을 사용하였다. 이것의 측정정밀도는 0.025mm이며, 측정된 점 군의 처리는 상용 소프트웨어인 Surfacer를 사용하였다.¹⁰

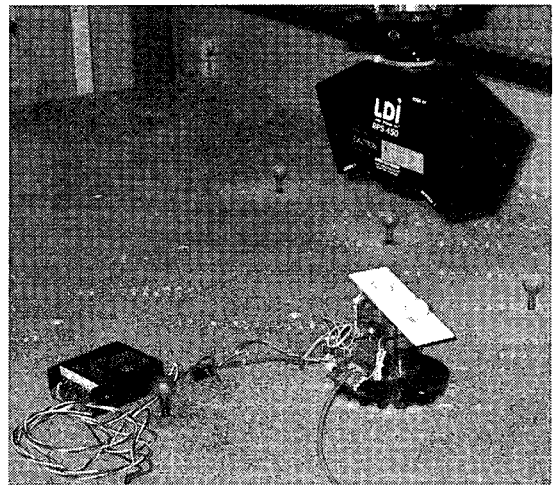
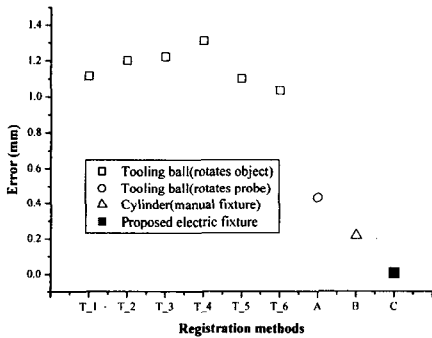


Fig. 5 Digitizing specimen(sphere) on electric fixture

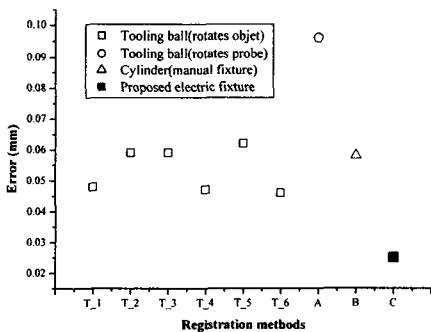
4.2 측정결과

Fig. 6은 각각의 레지스트레이션 결과를 보여준다. 오차를 평가하기 위해 사용된 형상은 평면과 구 형상이며, 각각 다른 방향에서 측정된 점 군을 각 형상으로 fitting한 후, 레지스트레이션 하여 그 오차를 산출하고 평가하였다. Fig. 6(a)와 (b)는 각각의 레지스트레이션 방법마다 X축을 기준으로 측정물과 프로브를 회전하여 측정한 후 각각의 방법으로 레지스트레이션된 결과이며, 오차 평가에 사용된 형상은 각각 평면과 구 형상이다. Fig. 6(c)와 (d)는 Y축을 기준으로 측정자세를 바꾸어 측정하였고, 각각의 방법으로 레지스트레이션된 결과이며, 측정형상은 각각 평면과 구 형상이다. 툴링

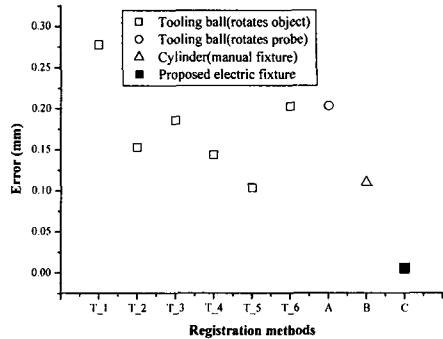
볼을 이용한 여섯 가지 경우(case 1)와 case 2의 레지스트레이션 결과는 Fig. 6에서와 같이 0.04~0.25mm 사이에서 불규칙적인 오차를 보였고, 원통형상을 특징형상으로 사용한 case 3(B)의 경우는 case 1과 2에 비하여 다소 적은 오차를 보였다. 이러한 결과는 툴링볼과 원통형상의 측정 점 군으로부터 정확하고 동일한 중심과 중심축을 얻을 수 없기 때문이다. 이에 비하여, 본 논문에서 제시된 고정된 원점을 갖는 국부 좌표계를 이용한 경우(case 4)에는 기존 방법에 비하여 레지스트레이션 오차가 현저히 감소함을 확인할 수 있었다. 제안된 방법에서 나타나는 오차는 제작된 전동 fixture와 이를 제어하는 서보모터가 갖는 오차라고 판단된다.



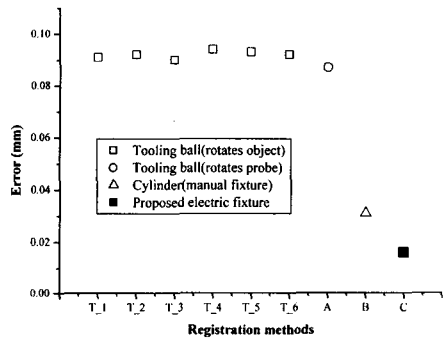
(a) Error after rotating about X-axis (specimen: plane)



(b) Error after rotating about X-axis (specimen: sphere)



(c) Error after rotating about Y-axis (specimen: plane)



(d) Error after rotating about Y-axis (specimen: sphere)

Fig. 6 Errors on registration methods

5. 결론

RE 및 CAI(Computer Aided Inspection)에 사용하기 위한 점 군을 얻기 위해서 서로 다른 방향에서 측정이 용이하며, 측정된 각 점 군을 정밀하게 레지스트레이션 할 수 있도록 본 논문에서 제시한 고정된 원점을 갖는 국부 좌표계를 이용하는 방법을 전동 fixture에 적용한 결과 기존의 방법에 비하여 정밀한 레지스트레이션 결과를 얻을 수 있었다.

특징형상을 이용하는 레지스트레이션 방법 중 툴링볼을 이용하는 경우는 측정물에 부착된 툴링볼 사이의 상대적인 위치에 따라 레지스트레이션 오차에 차이가 나타남을 알 수 있다. 이것은 툴링볼의 측정 점 군으로부터 정확한 중심점을 얻는

다는 것이 매우 어렵기 때문이다. 특징형상으로 원통형상을 사용한 경우에는 툴링볼을 사용한 경우에 비하여 더 나은 레지스트레이션 결과를 얻을 수 있음을 보였지만, 역시 툴링볼을 사용하는 경우와 마찬가지로 정확한 중심축을 얻는데 어려움으로 인해 결과가 양호하지 않음을 알 수 있었다.

고정된 원점을 갖는 국부 좌표계를 설정하고, 이 좌표계를 기준으로 서로 다른 측정방향에서 측정된 점 군 사이의 위치관계를 규정하고 이를 이용하여 레지스트레이션 하는 것이 정밀한 결과를 얻을 수 있음을 확인하였다.

후 기

본 연구는 산업자원부의 지역혁신 인력양성사업의 연구결과로 수행되었음.

참고문헌

1. Varady, T., Martin, Ralph R. and Cox, J., "Reverse engineering of geometric models - an introduction," Computer Aided Design, Vol. 29, No. 04, pp. 255-268, 1997.
2. Lee, H. K., Kim, H. C. and Yang, G. E., "A Study on Digital Process of Injection Mold in Reverse Engineering," J of the KSPE, Vol. 19, No. 06, pp. 160-165, 2002.
3. Kim, Y. S., Lee, H. K., Huang, J. C., Kong, Y. S. and Yang, G. E., "A Study on Improvement of Accuracy using Geometry Information in Reverse Engineering of Injection Molding Parts," J of the KSPE, Vol. 19, No. 10, pp. 99-106, 2002.
4. Shen, J. Huang and Menq, C., "Multiple-Sensor Integration for Rapid and High-Precision Coordinate Metrology," Proceeding of the IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics, pp. 908-915, 1999.
5. Nashman, M., Rippey, W., Hong, T. H. and Herman, M., "An Integrated Vision Touch-Probe System for Dimensional Inspection Tasks," NIST Report, 1995.
6. Son, S. B., Park, H. P. and Lee, K. H., "A Framework for the Integrated Measuring System," Fall Conference Proceeding of the KSPE, pp. 436-439, 1999.
7. Besl, P. J. and McKay, N. D., "A method for registration of 3D shapes," IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. 14, pp. 239-256, 1992.
8. Hong, H. K. and Cho, K. H., "A Study on the Automatic Registration of Multiple Range Image Obtained by the 3D Scanner around the Object," Transactions of the Society of CAD/CAM Engineers, Vol. 05, No. 03, pp. 285-292, 2000.
9. Hong, S. K., Kim, Y. S., Lee, H. K., Kim, H. C. and Yang, G. E., "A Study on Reducing Errors in Scanning Object and Registration using a Laser Scanner," J of the KSPE, Vol. 20, No. 9, pp. 197-204, 2003.
10. Surfacar User's Guide, Version 7.0, Imageware, Inc., 1997.