

포인트 레이저 센서를 이용한 구면좌표계식 3차원 형상측정시스템 개발

맹희영*, 성봉현†

Development of 3D Measuring System using Spherical Coordinate Mechanism by Point Laser Sensor

Heeyoung MAENG*, Bong-Hyun SUNG†

Abstract

Laser scanner are getting used for inspection and reverse engineering in industry such as motors, electronic products, dies and molds. However, due to the lack of efficient scanning technique, the tasks become limited to the low accuracy purpose.

The main reasons for this limitation for usefulness are caused from the optical drawback, such as irregular reflection, scanning direction normal to measuring surface, the influence of surface integrity, and other optical disturbances. To overcome these drawback of laser scanner, this study propose the mechanism to reduce the optical trouble by using the 2 kinds of rotational movement axis and by composing the spherical coordinate to scanning the surface keeping normal direction consistently.

So, it could be designed and interfaced the measuring device to realize that mechanism, and then it could acquise the accurate 3D form cloud data. Also, these data are compared with the standard master ball and the data acquised from the touch point sensor, to evaluate the accuracy and stability of measurement and to demonstrate the implementation of an dental tooth purpose system,

Key Words: 3D Measuring System, Laser Point Sensor, Spherical Form Accuracy, Mechanism.

1. 서론

최근 역공학 및 여러 관련 공학 분야에서 3차원 형상 측정용 레이저 측정 장비가 많이 발달되어 가고 있다. 레이저 측정 장비는 비접촉식 측정 특성으로 인해 측정 속도와 안정성, 장비의 가격성 측면에서 매우 뛰어난 장점을 갖고 있으며 점차 그 수요가 증가하고 있다.

그렇지만 레이저 응용 측정은 광학식 측정의 특성상 정밀도를 높이는 데에 한계가 있다.

레이저 스캐너는 일반적으로 DOF(Depth of field), Occlusion 등의 광학적 특성으로 인해 측정방향, 측정 회수 및 측정 경로에 있어서 제약을 갖게되며, 이러한 단점은 주로 레이저 빔의 난반사와 피측정면 표면의 특성, 표면을 바라보는 측정각에 따른 오차의 발생 등에 의하여 기인된다. 그 때문에 복잡한 형상이나 표면이 불규칙한 매질을 측정하는 데에는 진직성과 반복정밀도가 떨어진다.

따라서 수작업으로 측정을 수행할 경우, 많은 시행 착오를 거치게 되며, 이로 인하여 시간과 비용의 낭비를 초

* 발표자, 서울산업대학교 기계설계자동화공학부 maeng@snut.ac.kr

주소: 139-743 서울시 노원구 공릉동 172번지

† 서울산업대학교 대학원

래됨은 물론 측정면의 형상정밀도를 보증하기가 힘들다. 그러므로 이를 해결하기 위해서는 이러한 단점들을 최소화시킬 수 있는 측정 기구와 운동 메카니즘이 필요하며, 실제 시스템에 적용하기 위한 셋업 및 동작 자유도의 변환 문제가 해결되어야 한다.

본 연구는 포인트 레이저 센서를 사용하면서 가능하면 측정 표면에 법선방향으로 측정할 수 있는 기구를 제안하였다. 피측정물을 정밀하게 회전시키면서 포인트 레이저를 구면좌표계식 기구로 안내할 수 있는 운동 메카니즘을 고안하여 포인트 레이저가 가능하면 난반사를 최소화할 수 유도하였으며, 관련되는 좌표 변환 알고리즘과 제어장치, 데이터 수집 장치 등을 설계하고 제작하여 그 적용 가능성을 평가하였다.

2. 구면좌표계식 측정기구와 원리

반도체 레이저 센서를 이용한 변위측정 원리를 바탕으로 본 연구에서 추구하는 레이저 측정 기구는 Fig. 1에서 보이는 바와 같이 구면좌표계방식을 기구적으로 표현하여 가장 간단하게 측정할 수 있는 구조로 구성하였다.

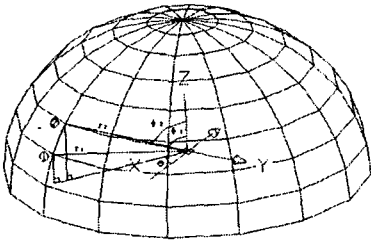


Fig. 1 Measurement method using spherical coordinate mechanism

구면좌표계(Spherical Coordinate)방식으로 측정된 데이터를 직교좌표계(Cartesian Coordinate)로 변환하는 과정은 두개의 각도와 한 개의 반지름으로 이루어지기 때문에 이를 파라미터화하기 어렵다. 따라서 본 연구에서는 삼각 메쉬 형태의 STL(stereolithography interface format) 형식으로 데이터를 변환하기 위해 다음과 같은 과정으로 알고리즘을 구성하였다.

$$P(\theta, \bar{R}, Z) = (\theta, R\cos\phi, R\sin\phi) \quad (1)$$

측정 데이터의 각도 θ 는 일정한 값으로 변하므로 측정 데

이터를 θ 별로 나열할 수 있다. 측정각을 α 라고 할 때, 측정 데이터는 다음과 같이 분류된다.

$$P(\theta_i) = \{P_0, P_1, P_2, \dots, P_{n-1}\}; 0 \leq i \leq \frac{360}{\alpha} \quad (2)$$

단, 식(2)에서 각도별 리스트의 수 n 은 일정하지 않으며, 계산의 편의상 360° 는 측정각 α 의 정수배이다. 원통 좌표계로 표현된 측정 데이터를 사각 메쉬 형태의 점 데이터로 매핑시키기 위해서는 우선 측정 데이터의 X-Y 평면상의 범위를 구할 필요가 있다. 이렇게 구해진 최대, 최소값을 사각 메쉬 간격으로 등분할하여 메쉬를 구성한다. 이러한 방식으로 원점을 중심으로 사각 메쉬가 결정되며, X-Y 좌표는 자동적으로 구해진다. 따라서 매핑시 필요한 것은 각각의 점 데이터에 대한 Z값을 결정해주는 것이다. Fig. 1의 측정원에서 메쉬상의 한 점 P 에 이르는 X-Y 평면상의 각도를 β 라고 하면, 각도별 리스트에서 β 에 인접한 두개의 인접 리스트 $P(\theta_{n-1})$ 과 $P(\theta_{n+1})$ 을 구할 수 있다. 또한 원점에서 한점 P 에 이르는 거리를 R_0 라고 할 때, 각 리스트상에서 거리 R_0 에 인접한 원통 좌표계상의 두점을 각각 구할 수 있다

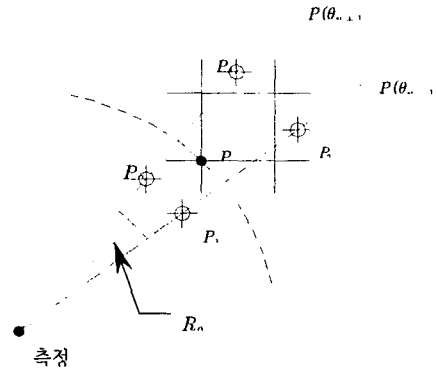


Fig. 2 A point P in mesh nearing P_1, P_2, P_3, P_4

Fig. 2에서 점선은 측정원점을 중심으로 하고, 메쉬상의 한점 P 까지의 거리 R_0 를 반지름으로 하는 가상원이다. 리스트 $P(\theta_{n-1})$ 에서 가상원과 교차하는 점을 P_A , 리스트 $P(\theta_{n+1})$ 에서 가상원과 교차하는 점을 P_B 라고 하면, 점 P 의 Z값은 P_A 와 P_B 의 Z값의 비례식으로 구할 수 있다

점 P_A 의 Z값을 Z_A 라고 하면, P_1 과 P_2 에 대한 비례 관계를 적용하여 아래와 같은 식으로 Z_A 를 구할 수 있다.

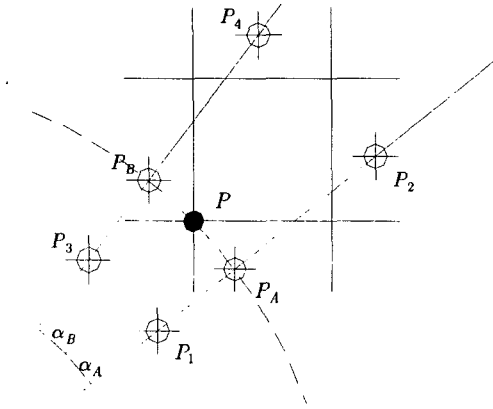


Fig. 3 Point P_A, P_B in imagination circle

$$(L_2 - L_1) : (R_0 - L_1) = (Z_2 - Z_1) : (Z_A - Z_1)$$

$$Z_A = Z_1 + (Z_2 - Z_1) \frac{(R_0 - L_1)}{(L_2 - L_1)} \quad (3)$$

점 P_B 의 Z값을 Z_B 라고 하면, P_3 와 P_4 에 대한 비례 관계를 적용하여 위와 같은 방식으로 동일하게 구할 수 있다.

$$(L_4 - L_3) : (R_0 - L_3) = (Z_4 - Z_3) : (Z_B - Z_3)$$

$$Z_B = Z_3 + (Z_4 - Z_3) \frac{(R_0 - L_3)}{(L_4 - L_3)} \quad (4)$$

Fig. 3에서 측정원점과 점 P 가 이루는 벡터와 $P(\theta_{n-1}), P(\theta_{n+1})$ 리스트가 이루는 각도를 각각 α_A, α_B 라고 하면, 점 P 의 Z값은 아래와 같은 식으로 구할 수 있다.

측정각도를 α_{step} 라 할 때, $\alpha_{step} = \alpha_A + \alpha_B$ 를 만족한다.

$$(Z_B - Z_A) : (Z_P - Z_A) = \alpha_{step} : \alpha_A$$

$$Z_P = (Z_B - Z_A) \frac{\alpha_A}{\alpha_{step}} + Z_A$$

3. 측정 시스템의 구성 및 설계

본 연구의 측정 시스템은 Fig. 4에서 보는 바와 같이 크게 측정물을 회전시켜주는 회전 테이블, 측정하는 장비가 부착되어있는 측정 회전부, 그리고 그것을 제어하는 제어부로 구성되어 있다.

3.1 기구 장치

기구장치는 Fig. 5와 같이 3축으로 구성되어 있으며, 구동은 5상 스텝핑 모터와 직접 물려 있거나 타이밍벨트와 벨트풀리로 이루어져 있다.

전체크기는 420×290×400 이고, A: 측정테이블/회전테이블, B: 측정부, C: Z축 이송부로 구성되었다.

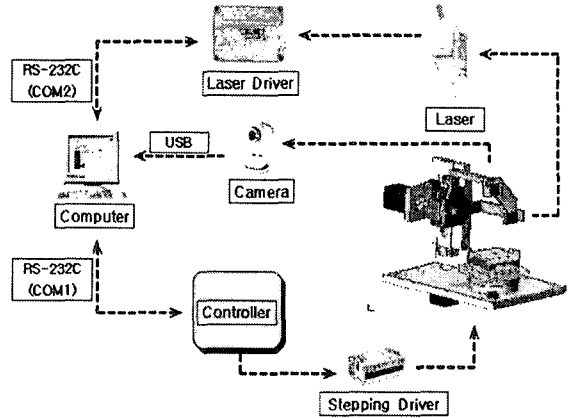


Fig. 4 3D feature in the spherical coordinate system using point laser sensor

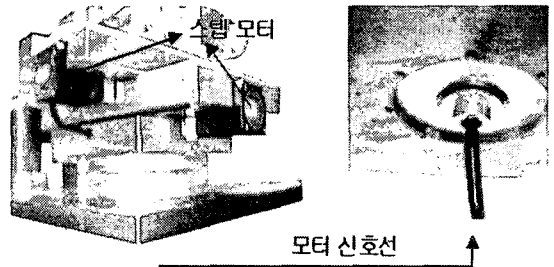


Fig. 5 Rotary Table Organization Picture of the early Model

(1) 측정/회전 테이블

측정 테이블은 자동형과 수동형으로 나누어져 있다. 수동형은 두개의 더브테일(dovetail)이 90°도 차이로 엇갈려 포개져 있는 상태이고, 각각 X축과 Y축의 미세조정 나사를 부착하여 초기화 셋팅시 사용된다.

자동형은 초기 개발 모델에 적용한 것으로 X, Y축에 스텝핑모터를 이용하여 자동으로 스테이지를 이동하도록 만들어져 있다. 회전시 신호선의 꼬임현상을 방지하기 위해 슬립링(slip ring : 브러쉬 접촉식)을 사용하여 신호를 전달하였다. 회전축 구동의 구성 요소로는 타이밍 벨트와 벨트 풀리의 조합으로 이루어져 있으며, 구동축과 벨트풀리의 감속비는 4:1로 하였다.

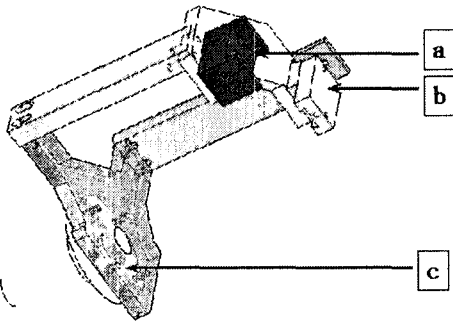


Fig. 6 Measurement Part Attaching Camera and Laser Sensor

(2) 측정부

측정부는 각각 USB카메라와 레이저센서 장착 부분으로 되어 있으며, 레이저센서의 측정범위인 40~50mm내에서 셋팅되어 있고, 레이저 센서부분은 수동으로 거리조절 가능하다. 카메라 부분은 고정되어 있어 회전부의 중심과 정확히 일치되어 있다. 각축에 사용된 stepping motor는 Autronics의 5상 스텝핑 모터 A3K-S545와 A16K-M569를 사용하였다. 레이저센서는 독일 MEL사의 M7시리즈 M7L10을 사용하였다. 이 제품은 컨트롤 드라이버 자체의 크기가 작고 측정을 안정성이 좋은 특징이 있다.

(3) 인터페이스

PC Control 기본으로 Fig. 7에서 보는 바와 같이

- a: 측정물 Display 부분
- b: Micom Control 부분
- c: Laser Data 출력 부분
- d: Data 구면좌표계 형식으로 표현부

등으로 구성하였다. Display부분에서 회전축의 중심을 보여줌으로써 초보자도 쉽게 측정부의 중심과 회전테이블의 중심을 일치시킬 수 있도록 하였으며, 수동모드는 측정에 앞서 정밀도에 필요한 기본적인 셋팅을 할 수 있게 되어 있고, 측정준비가 완료된 이후에 자동모드 스위치를 눌러 측정을 시작하게 프로그램 되어 있다.

3.2 제어기(controller)의 구성

제어기는 크게 레이저 제어기와 기구 제어기로 나눌 수 있다. 레이저 제어기는 MEL사에서 직접 생산한 전용 제어기를 사용하였고, 기구 제어기는 ATmega128L를 직접 제

작하여 사용하였다.

측정물 회전부와 레이저 회전부의 연결은 5상스텝핑모터 드라이버와 마이크로 스텝 모터 드라이버로 하여 1회전할 때 측정부가 0.0625° 회전하게 설정 하였다. Fig. 8은 제어부분의 구성 다이어그램을 보여주고 있다.

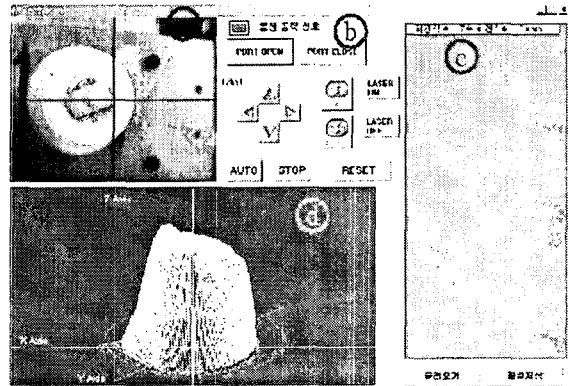


Fig. 7 PC interface program

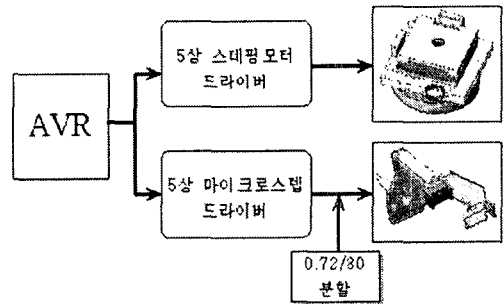


Fig. 8 Micom controller block diagram

3.3 측정 테이블의 정밀도 셋팅 및 측정

기구적인 조립이 복잡한 만큼 기구적인 오차도 산재되어 있다. 초기 조립시부터 조립공차를 계속 줄여가면서 조립을 해야만 나중에 정밀한 제품이 나올 수 있기 때문에 Fig. 9와 같이 세팅하였다.

그리고 Fig. 10은 마스터 볼을 이용한 측정부 회전 정밀도를 검사하는 모습을 보여 주고 있다.

시스템 초기 셋팅중에서 측정부의 일치여부를 체크하기 위해서 마스터 볼의 원주를 측정함으로써 측정부의 처짐이나 레이저 변위센서의 평행도를 검사하였다.

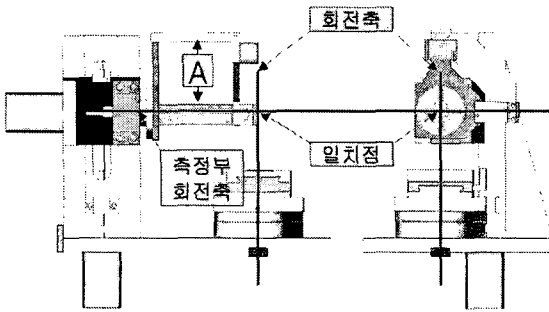


Fig. 9 System default setting

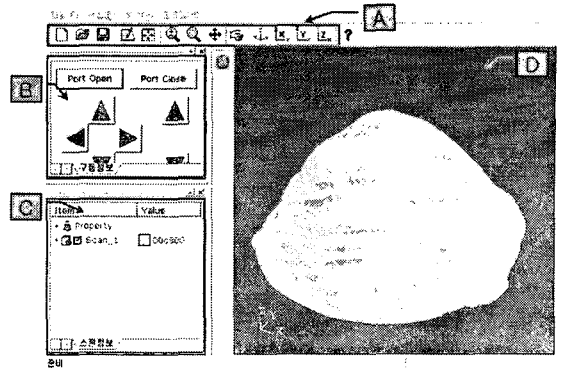


Fig. 11 System process template

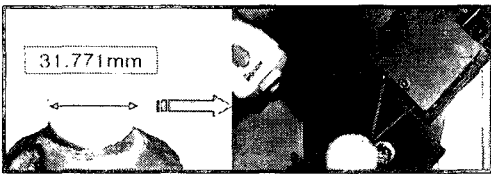
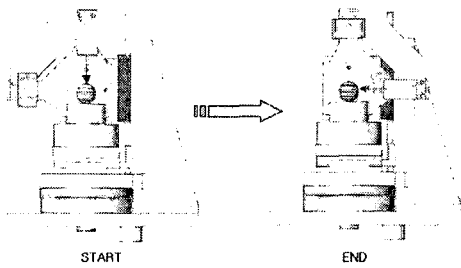


Fig. 10 Test of setting condition



Fig. 12 Final CAD surface for tooth model

4. 적용 실험 및 고찰

개발된 측정시스템의 운전은 Fig. 11에서 보이는 바와 같이 (*.dat) 형식으로 저장된 측정 데이터를 CAD 형상화 할 수 있는 (*.scn) 파일로 변환해 주는 과정을 거쳐서(소프트웨어상에서 구면좌표계 방식을 원통좌표계 형식으로 변환), 최종적으로는 형상화된 데이터를 보간, 필터링, 트리밍 등의 변환과정을 거쳐 데이터의 신뢰성을 높이는 부분으로 구성되어 있는 바, Fig. 12는 인공치아 모델에 대해서 전반적인 이들 과정을 거쳐 최종으로 만들어진 모델이다.

본 연구에서는 시스템의 신뢰성을 평가하는 방법으로, 첫 번째로는 마스터볼을 측정한 데이터를 CAD로 형상화 시켜보았다. 측정결과는 Fig. 13과 같이 0.02mm의 형상공차 이내에서 아주 우수한 것을 알 수 있었다.(버그 부 제외)

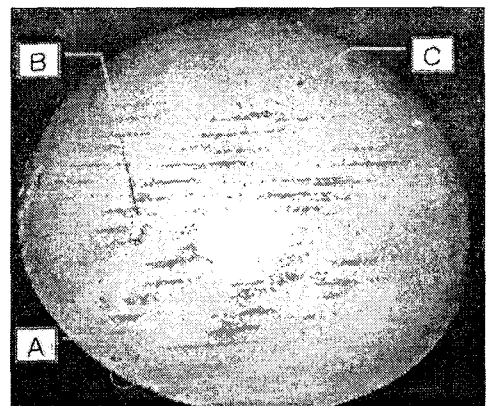


Fig. 13. Measurement result form for the master ball testpiece

시스템의 개발과정에서는 2가지의 중요한 문제해결 단계가 있었는데, 첫번째는 난반사에 의한 데이터의 튀는 현상과, 두 번째는 회전축의 사용으로 인한 데이터의 땀눌이 현상이 발생하는 것이었다. 전자의 경우에는 스텝모터의 떨림의 대한 기구부의 진동 현상과 외부의 빛, 그리고 레이저의 난반사를 최소한으로 억제하여 해결하였고, 후자의 경우에는 측정 시작점을 측면이 아닌 중앙에서 시작하도록 개선하고 측면에서 끝나는 형식으로 수정하여 해결하였다. 이에 따라 안정화된 형상으로 발전되는 모양은 Fig. 14과 같다.

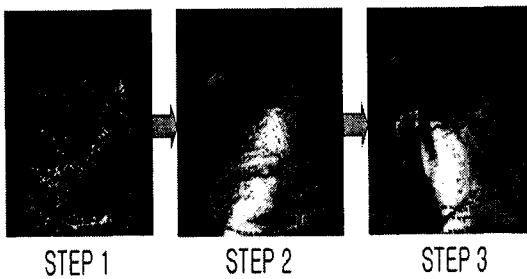


Fig. 14 Advancing steps of form accuracy

한편 시스템이 안정된 이후에는 측정 정밀도의 평가를 위하여 레이저 변위 센서의 데이터를 분석을 해 보았는데, 어금니 형상과 송곳니 형상의 2개의 모델에 대한 시뮬레이션을 실시하였다. Fig. 15는 이들 모델에 대한 레이저센서의 방향각에 따른 코너부의 형상정밀도의 변화를 검토한 예를 보여 주고 있다.

5. 결론

본 연구를 통하여 구면좌표계식 스캐너의 측정 메카니즘의 우수성이 규명되었고, 측정 실험과정에서 발생되었던 문제점을 무난히 해결함으로써 본 측정 시스템에서는 표면 상태가 악조건인 피측정면에 대해서도 0.05mm 이하의 형상정밀도를 보증하는 측정 시스템을 개발할 수 있었다.

구면좌표계식의 특성상 마스터 볼을 측정된 결과에 있어서는 0.02mm 이내의 뛰어난 형상정밀도를 만족할 수 있었으며, 어금니와 송곳니의 2가지 인공치아 모델에 대한 실험에 있어서도 레이저의 설치각과 기구의 진동 및 틸팅을 억제함으로써 날카로운 에지에서의 공차 소모를 포함하여 0.05mm 수준의 형상정밀도와 반복정밀도를 만족시키는 시스템의 개발이 가능하였다.

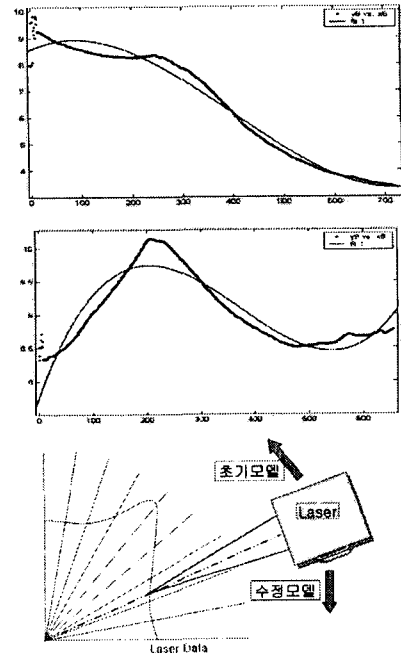


Fig. 15 Data transformation diagram following real angle change(Back Tooth)

참고문헌

- [1] 손석배, 박현풍, 이관행, 레이저 스캐너를 이용한 자유곡면의 자동측정시스템 개발, 한국정밀공학회 2000년도 춘계학술대회, 2000.
- [2] Son S. B. and Park H. P. and Lee K. H. , "Development of an automated measuring system for freeform surfaces using a laser scanner", Department of Mechatronics, K-JIST , 2000
- [3] 유희욱, 박강, "3차원 치아모델 스캐너의 측정방향 자동교시 알고리즘", 명지대학교 대학원 석사학위 논문, 2001
- [4] 박현구, "슬릿광을 이용한 3차원 자유곡면 형상의 비접촉식 자동 측정 및 검사", 한국과학기술원 석사학위논문, 1999.
- [5] Funtowicz, F, Zussman, E and Meltzer, M, "Optimal Scanning of Freeform Surfaces Using a Laser-Stripe", Israel-Korea Geometric Modeling Conference, Tel-Aviv, Israel, 1998
- [6] 한국표준협회, "KS 3차원 좌표 측정기의 정밀도 시험방법" KS B 5542 , 1998.