

캠 형상 전용 측정기 제어 및 해석 S/W 개발

최동우(경남대학교 대학원 컴퓨터공학과), 강재관(경남대학교 기계자동화공학부)

Control and data analysis of a measuring machine for cams

D. W. Choi(Com. Sci. Eng. Dept., Kyungnam Univ.), J. G. Kang(Mech. Eng. Dept., Kyungnam Univ.)

ABSTRACT

In this paper, a control and data analysis S/W of a dedicated measuring machine for cams is developed. A rotary encoder is employed to measure the angular displacement of the motor, and a linear scale does the linear displacement of the probe. The design and measuring data are interpolated by cubic spline curves respectively to compute the error which is defined by the maximum distance between two curves. Further, optimization module to find the exact error is also developed to remove the error occurred due initial measuring position. The developed system takes only 6 minutes to measure the cam and to analyze the measuring data while the CMM takes about 1 hours even with a skilled operator.

Key Words : Cam(캠), Measurement(측정), CMM(3차원 측정기)

1. 서론

우리나라 선박 건조량은 현재 세계 제1위이며 이에 따라 선박 엔진의 수요가 매우 크다. 선박 엔진에서 캠은 엔진의 포켓 밸브를 열고 닫는 기능을

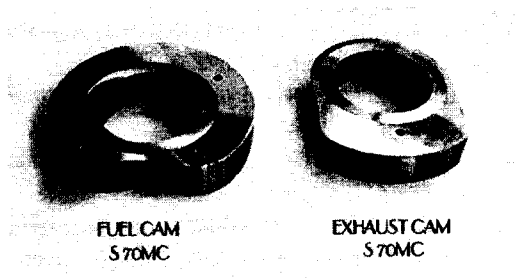


Fig. 1 선박엔진용 캠의 종류

담당하며 Fig. 1과 같이 크게 배기용 캠과 흡기용 캠 두 종류로 구성된다.

특히 선박 엔진용 캠은 자동차 또는 산업용 기계에서 사용되는 캠에 비해 대형이지만 엔진의 효율과 성능에 직접적인 영향을 미치는 중요한 부품인 특성 때문에 높은 가공 정밀도를 요구한다.

캠 제조 공정은 외경 선삭 및 면삭 그리고 열처리를 거친 후 연삭 가공을 통하여 최종 형상을 얻게 된다. 가공을 마친 후에는 최종 형상에 대한 정밀도를 측정하게 되는데 일반적으로 3차원 측정기(Coordinate Measuring Machine)를 사용하여 측정한다. 그러나 3차원 측정기는 범용 장비이기 때문에 고가이며 전문화된 인력이 필요하고 측정시간이 많이 소요되는 문제점이 있다. 따라서 형상 측정 및 측정 데이터의 분석을 단축시키기 위하여 Fig. 2와 같은 간단한 구조의 캠 형상 전용 측정기를 사용하기도 한다.

전용 측정기는 캠을 회전시키는 구동부와 물러를 장착한 리니어 스케일로 구성되는데 캠이 1회전되는 동안 캠 프로파일 치수를 측정하게 된다. 캠 설계 데이터가 캠의 외곽 형상 치수가 아닌 캠 상을 구동하는 물러 중심 값으로 정의되기 때문에 물러 사이즈와 같은 크기의 물러를 측정기 선단에 부착하여 중심 값을 읽으면 캠의 설계 데이터와의 비교가 가능해진다. 이와 같은 원리로 캠 전용 측정기는 3차원 측정기에 비해 측정 시간 및 분석이 매우 빠르다. 이에 따라 본 연구에서는 회전 구동 모터와 리니어 스케일로 구성되는 캠 전용 측정기를

제어하는 S/W와 측정데이터로부터 가공 정밀도를 계산하는 S/W를 개발한다.



Fig.2 캠 전용 측정기

2. 제어 및 측정데이터 해석

2.1 측정기 제어

캠 전용 측정기의 제어를 위해서는 캠을 회전시키는 구동 모터에 로터리 엔코더를 부착하여 회전각도를 측정한다. 리니어 스케일 역시 일종의 엔코더이기 때문에 전용 엔코드 보드를 사용하여 동일한 방법으로 펄스를 카운트하여 변위량을 측정한다. 시작점을 기준으로 129,600의 분해능을 가진 로터리 엔코더로부터 계산된 회전각도가 설정한 각도 값이 되면 리니어 스케일 값을 읽어 측정치를 저장한다.

Fig.3은 측정시스템의 구성도를 나타내고 Fig.4는 구동모터의 엔코더와 리니어스케일로부터 데이터를 읽어 각도에 따른 측정값을 저장하는 흐름도이다.

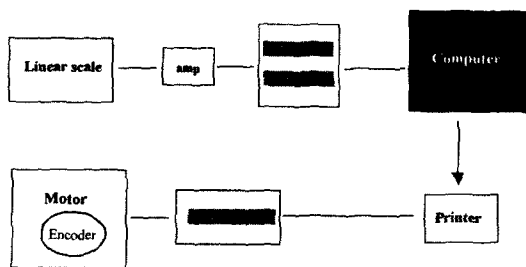


Fig.3 측정시스템 구성도

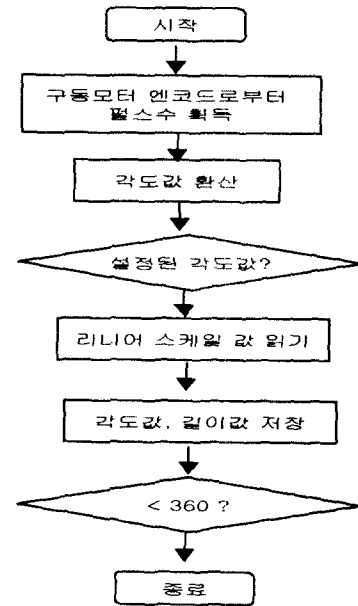


Fig.4 측정데이터 수집 흐름도

2.2 측정 데이터 해석

캠 형상에서 오차는 Fig.5와 같이 캠 형상의 법선 방향으로 정의된다[2]. 즉 캠 형상의 경우 오차는 설계점에서의 측정값과 설계점과의 거리가 아닌 점에 유의하여야 한다. 따라서 샘플링을 통하여 롤러 중심점으로 얻어진 측정값으로부터 각 설계점에서의 오차는 설계점에서의 법선벡터와 측정점을 연결하는 스플라인 곡선과의 교점의 거리로 계산된다. 이를 위해서는 설계데이터 및 측정 데이터를 보간하는 스플라인 곡선을 먼저 정의하여야 한다. 이를 정리하면 다음과 같다.

- ① 설계 데이터를 스플라인 곡선보간한다.
- ② 측정데이터를 스플라인 곡선보간한다.
- ③ 임의의 설계점에서 법선벡터를 계산한다.
- ④ 법선벡터를 포함하는 직선과 측정데이터 스플라인 곡선과의 교점을 찾아 오차를 계산한다.
- ⑤ 이 과정을 전 설계점에 대하여 반복 수행하여 최대 최소오차를 계산한다.

(1) 스플라인 곡선식

n 개의 측정점으로 정의되는 3차 스플라인 곡선식에서 구간 i 의 곡선의 방정식은 식(1)과 같다 [1].

$$r_i(u) = UCS_i; (i=1, 2, \dots, n-1) \quad (1)$$

$$U = [1 \ u \ u^2 \ u^3], \quad C = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ -3 & 3 & -2 & -1 \\ 2 & -2 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

단 $S_i = [P_i \ P_{i+1} \ w_i t_i \ t_{i+1}]$

이 때 chord length spline을 구하기 위해서는 스플라인 식을 정의하는 360×360 의 정방행렬에 대한 역행렬을 구하여야 한다. 그러나 이 행렬은 3각 대각행렬(tridiagonal matrix)이므로 토마스법[3]을 이용하면 빠르게 해를 계산할 수 있다.

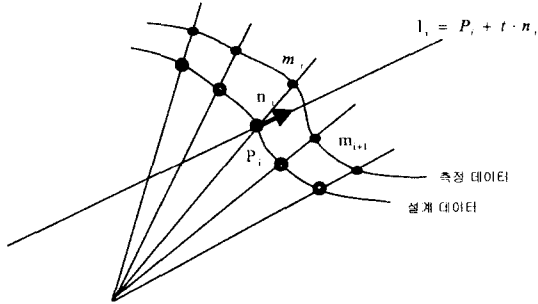


Fig.5 설계데이터와 측정데이터

(2) 법선벡터 계산

스플라인 식으로 주어졌을 때 각 점에서의 법선벡터는 스플라인을 정의하는 접선벡터 t_i 로부터 계산한다. 단위 법선벡터를 n_i 라고 할 때 법선벡터를 포함하는 직선의 벡터 방정식은 다음과 같이 계산된다.

$$l_i = P_i + n_i \quad (2)$$

(3) 교점이 발생하는 세그먼트의 선택

스플라인 식은 각 측정점들 간의 세그먼트 식으로 표현되므로 직선(2)과 스플라인과의 교점을 계산하기 위해서는 먼저 교점이 발생하는 스플라인 세그먼트를 찾는 것이 필요하다. 임의의 설계점을 원점으로 두 측정점(m_i, m_{i+1})과의 벡터를 각각 a, b 라고 했을 때 다음의 식(3)을 만족할 경우 두 측정점으로 정의되는 스플라인 세그먼트와 식(2)의 직선간에는 교점이 발생한다.

$$(a \cdot n)(b \cdot n) < 0 \quad (3)$$

선택된 스플라인 세그먼트와 식(2)의 직선과의 교점은 3차 방정식 근의 해를 이용하여 계산한다.

(4) 정밀도 계산

캠 형상 정밀도는 표1과 같이 각 측정점 사이에 다음의 조건을 만족하여야 한다.

표 1. 허용오차 범위

Permissible errors				
Angle	360°	15°	3°	1°
Error	0.4	0.35	0.09	0.05
Unit	mm			

즉 각 측정점 간의 최대 최소 오차는 0.05이하, 3점 간의 최대 최소 오차는 0.09, 임의의 15점사이의 최대 최소 오차는 0.35, 360개의 측정점사이의 최대 최소 오차 크기는 0.4이하이어야 한다.

(5) 최적화

그런데 전용 측정기는 그 구동 원리 특성상 초기 원점을 정확히 맞추기가 어렵기 때문에 측정된 값에 초기 셋팅 오차가 포함되어 있다. 따라서 정밀도를 계산하기 위해서는 측정 데이터와 설계 데이터와의 오차가 최소가 될 수 있도록 측정데이터를 최적화시키는 과정이 요구된다.

이는 초기 측정 데이터를 CW, CCW 방향으로 일정한 각도 회전하면서 앞서 설명한 방법으로 전체 오차를 계산하는 과정을 반복하면서 최소오차 값을 갖는 위치를 찾아낸다. 최적화는 사용자가 최소 회전 각도를 입력하도록 하는 것과 병행하여 수동으로 1도, 0.1도, 0.01도 간격의 CW, CCW 방향으로 탐색할 수 있는 기능도 삽입하도록 한다.

3. 구현 예

Fig.6은 구동모터의 엔코더와 리니어스케일을 제어하여 캠 형상 데이터를 측정하는 화면이다. Fig.7은 표1의 기준에 따라 측정점 간의 허용오차를 만족하는지를 체크한 결과이다. 즉 1°, 3°, 15°, 360° 간격으로 최대 오차를 계산하고 표1의 허용오차를 넘어서는 경우 표식을 하도록 하였다. Fig.8은 측정치를 설계데이터와 비교하여 표시한 모습이다. 특히 최적화 전의 최대 오차는 1.26이었으나 최적화 후에는 0.12로 줄어드는 경우도 있었다.

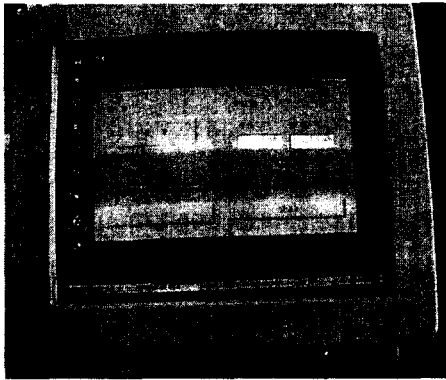


Fig.6 측정기 제어 S/W 화면

ANGLE	HR(0.001)	MC(0.001)	DR(0.01mm)	1(R.05)	2(R.00)	15(R.25)	(R.4)
0	201.0000	201.0100	0.0100	0.0070	0.0000	0.0000	0.1070
1	201.2170	201.2160	-0.0010	0.0112	0.0102	0.0000	0.1070
2	201.8000	201.8700	-0.0070	0.0001	0.0110	0.0000	0.1070
3	200.0000	200.0000	-0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.1070
4	200.5000	200.5700	-0.0700	0.0000	0.0000	0.0000	0.1070
5	200.5000	200.5000	-0.0000	0.0270	0.0270	0.0000	0.1070
6	200.5000	200.5000	-0.0000	0.0270	0.0270	0.0000	0.1070
7	210.5550	210.5400	-0.0150	0.0000	0.0000	0.0000	0.1070
8	210.5000	210.5000	-0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.1070
9	210.6420	210.6210	-0.0210	0.0000	0.0000	0.0000	0.1070
10	210.6000	210.6000	-0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.1070
11	210.7200	210.7100	-0.0100	0.0000	0.0000	0.0000	0.1070
12	220.7000	220.7000	-0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.1070
13	220.8000	220.8000	-0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.1070
14	220.8000	220.8000	-0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.1070
15	220.8000	220.8000	-0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.1070
16	220.8000	220.8000	-0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.1070
17	220.9000	220.9000	-0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.1070
18	220.9000	220.9000	-0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.1070
19	220.9000	220.9000	-0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.1070
20	220.9000	220.9000	-0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.1070
21	220.9000	220.9000	-0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.1070
22	220.9000	220.9000	-0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.1070
23	220.9000	220.9000	-0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.1070
24	220.9000	220.9000	-0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.1070
25	220.9000	220.9000	-0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.1070
26	220.9000	220.9000	-0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.1070

Fig.7 측정 분석 결과

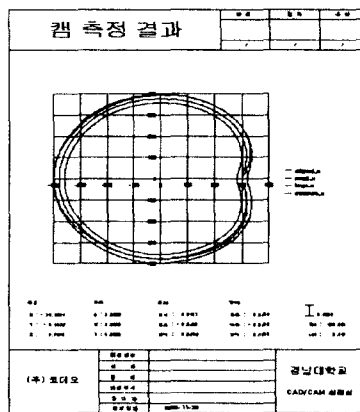


Fig. 8 측정 결과표

4. 결과

본 연구에서는 선박 엔진용 캠 전용 측정기의

구조를 이용한 제어 S/W 및 측정 데이터 해석 방법에 대하여 논의하였다. 3차원 측정기를 사용하였을 경우에는 1시간 이상 소요되는 측정 및 분석이 캠 전용 측정기를 사용할 경우 6분 정도 소요되었다. 또한 3차원 측정기의 경우 고가의 장비 및 전문 인력이 요구되지만 전용 측정기의 경우 장비 가격도 저렴하고 비 숙련자의 경우에도 간단하게 측정 및 분석을 할 수가 있다.

그러나 측정기가 최적화된 환경에 위치하지 못하여 측정데이터에 노이즈가 삽입되는 경우가 발생하였다. 따라서 측정 노이즈를 제거할 수 있는 필터링 방법 등이 향후 논의될 것이다.

참고문헌

1. 최병규 외 4인, "CAD/CAM 시스템과 CNC 절삭가공", scitech, 2000.
2. 주상윤, 조정만, "선박엔진용 캠의 연삭가공을 위한 CAM소프트웨어 개발", 2001 춘계대한산업공학회/경영과학회 논문집, 2001
3. 이현일, 박정희역, "C로 쓴 수치해석", 대영사, 2000