

대형 곡면 부재의 계측 및 비교기술 개발

이종무*, 신종계**

A Development of Measurement and Comparison Technique for Large Curved Hull Pieces

Lee, Jong Moo* and Shin, Jong Gye**

요 약

조선소에서 사용되는 선각 외판 부재는 선박 한 척을 건조하는데 사용되는 부재의 수가 매우 많고, 각 가공 외판 부재는 상대적으로 크기가 크고 각각 상이한 부재 형상을 가지고 있다는 특징이 있다. 또한 이 중에서, 선체의 외판 곡 부재를 가공할 때는 각 부재의 초기 형상과 가공 목적형상에 대한 정보를 가지고 냉간, 열간 가공을 통하여 설계된 형상으로 가공을 수행하여야 한다. 이때, 최초 가공 시 및 추가 가공 중에 부재의 형상을 확인하여 주어진 정도에 부합할 때까지 가공을 수행하여야 하며, 이와 같은 특징 때문에 선체 외판 부재의 가공 시에는 수시로 가공중인 부재의 형상 및 가공정도를 확인하여야 하는 과정, 즉 시간을 최소화하면서 효율적으로 가공형상을 확인하는 대형곡면 계측 기술과, 곡면 비교 기술이 필요하게 된다. 본 논문에서는, 이러한 가공환경 하에서 적용 가능성이 있는 효율적인 계측, 비교를 위한 S/W, H/W 통합 시스템 구축을 수행하였다.

※Keywords: free-surface measurement(곡면 측정), data segmentation(데이터 영역화), surface modeling(곡면 모델링), surface comparison(곡면 비교)

Abstract

The characteristics of hull-pieces are large quantity, comparatively large piece-size, and different each shape. For the more, in the forming process (including Line-Heating Process) of curved hull pieces, shape checking processes including initial shape measurement and forming shape measurement of the each pieces are needed to achieve a given accuracy. So, the forming process of large curved hull pieces needs efficient measurement and comparison technique to check the shape and ensure the forming-accuracy. In this paper, we try to

접수일자: 2001년 10월 23일, 승인일자: 2002년 2월 8일

* 학생회원, 서울대학교 조선해양공학과 박사과정(E-mail: x909@snu.ac.kr)

** 정회원, 서울대학교 조선해양공학과 부교수(E-mail: jgshin@snu.ac.kr)

construct integrated S/W, H/W system for efficient measurement and comparison of large curved hull pieces, which can apply to above forming environment.

1. 개요

조선소에서 선박을 건조하는 데 사용되는 부재는 일반 기계 및 자동차 분야에서 사용되는 것과 비교하여, 치수가 크고 수량이 많으며, 매 건조 선박마다 다양한 형상의 부재가 사용된다는 특징이 있다. 특히 선체의 선수부와 선미부의 복잡한 형상을 이루고 있는 곡 블록의 가공에서는, 여러 번의 가공과정을 거쳐 목적형상을 만족하는 최종부재를 생산해야 하므로, 가공중인 판의 정보를 얻어내는 과정이 수시로 수행되어야 한다.

현재로는 가공 도중 목형(Template)을 이용하여 작업자가 판의 가공 정도를 확인하고 있으나, 곡면 가공 공정 자동화 도입을 고려할 경우 기존방법을 사용하여, 측정 및 추가가공 정보 도출을 위한 곡면 비교과정 수행하는데 여러 가지 한계가 있으므로 일정영역이 아닌 판 전체 영역을 측정하고 이 측정 데이터를 이용하여 CAD 데이터화 된 비교곡면을 생성하는 작업과 비교 곡면을 이용하여 목적 곡면과의 차이를 계산하는 과정이 필요하다. 또한 이러한 곡면 부재 측정과정은 설계로부터 생산에 이르는 전 과정에서 곡면 데이터를 활용, 관리할 수 있다는 측면에서도 의의를 가진다.

M.Yang/E. Lee(1999)은 데이터 영역화 과정에서, 매개변수 2 차 곡면을 구성하여 곡면의 곡률의 변화를 이용하여 경계를 탐색하고 경계곡선을 탐색하여 유효영역 데이터를 결정하였다. 이 경우 데이터의 영역화와 경계 곡선을 구성하는데 소비되는 계산시간이 크고, 대형 곡면 부재의 측정에서 얻어진 계측데이터의 경우에는, 곡률이 불안정하게 분포될 가능성이 크기 때문에 본 논문에서는 계산의 효율성 및 추가 모델링에 대한 부담을 덜기 위해, 데이터로부터 직접 경계를 찾아내는 방법을 (Step-edge Direct Detection) 제안하였다.

곡면 비교에 관해서는, X. Huang/P. Gu/R. Zernicke(1996)이, 국부좌표가 다른 두개의 곡면을 Pseudo Transformation matrix 와 최근점 탐색 알

고리즘을 이용하여 비교 하는 방법을 제안하였는데, 이는 크기와 형상이 비교적 많이 차이가 큰 두 개의 곡면을 비교하는데 있어, 초기 대응영역의 탐색에 소비되는 시간을 효과적으로 효과적으로 줄여준다는 장점을 가지고 있다. 그러나, 이 방법은 형상의 유사성을 비교할 수 있는 기준은 되지만, 크기나 형상의 차이가 있는 두 곡면을 비교하는데 있어서 정량적인 비교를 할 수 없으므로 본 논문에서는 Pseudo- Transformation matrix 를 이용하여, 초기 대응영역을 결정하고, 중앙 격자 점을 일치시킨 비율불변 좌표변환 관계를 제시하여 두개의 곡면 형상차가 크거나 크기가 다를 경우에 대한 비교 방법을 제안 하였다.

본 논문에서는 시간을 최소화 하는 측정 및 곡면 모델링, 비교 기술을 개발하는데 그 목표가 있으며, 일반적으로 쓰이는 정밀 CAD 역공학 (Reverse Engineering) 기술을 이용하여 조선소 곡면 가공 시에 적합한 효율적인 측정, 모델링, 비교 기술로 적용하였다는데 그 의의가 있다.

2 계측 및 데이터 획득

2.1 계측 환경

계측 환경은 조선소에서 곡면 가공 시의 실제 작업환경과 유사한 환경을 선정하였다. 계측되는 곡면 부재는 기저면에서 일정 거리 차를 두고 지그(jig) 또는 반목으로 고정되어있으며, 기저면은 비교적 평평한 환경으로 설정하였다. 계측 장비인 레이저 센서는 3 축 구동 장치에 고정되어 있으며, 회전헤드(rotating-head)를 이용하여 추가적인 1 개의 자유도(y 축 회전)를 얻는다. 계측 시 3 축 구동장치는 완전히 정지되며 회전헤드를 이용 계측을 수행하며, 이로써 작업환경에서의 진동 및 소음의 영향을 최소화 할 수 있게 하였다. 계측곡면은 급격한 곡률의 변화가 없고, 기저면과 일정 간격이 유지되며, 계측도중 움직이거나 형상의 변화가 없음을 가정하며, 계측곡면의 모서리는 볼록 또는 직

선의 형상이며, 계측곡면의 영역 안에 공동이 (hole) 존재하지 않는다고 가정한다.

2.2 계측 장비 및 방법

측정에 사용되는 레이저 계측기는, Fig. 2 에서와 같이 3 축으로 구동 되는 기구부에 부착되어 있으며, 기구부가 적절한 측정위치로 이용한뒤 Panning-head 를 이용하여 Line Scanning 을 가능케 하였다. 이로써 계측선(scan-line) 하나를 얻는데 드는 시간을 최소화 하였고, 계측 조건을 적절히 변화시키면서 계측 점들을 보다 빠른 시간에 얻을 수 있다(스캔간격 30mm, 초당 1200 개의 계측데이터, 2300×1100(mm²) 부채의 유효 데이터 25086 개를 얻는 시간 약 6 분 27 초).

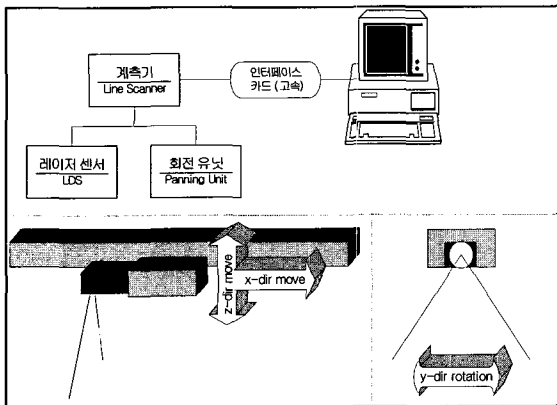


Fig.1 Measurement system using LDS with panning unit

2.3 계단 경계 검출

본 논문에서 데이터의 영역화 (유효 영역 데이터 와 경계 곡선 검출과정)은 데이터로부터 직접 수행하였으며, 초기 오차를 제거하고, 스캔 라인 별 경계를 검출한 후 영역 외 스캔 라인을 제거하는 순서로 되어있다. 이 과정에서 유효 영역의 경계에 해당하는 데이터들로 경계 곡선을 근사하여 경계 데이터를 얻는다.

3 측정 모델 생성

3.1 단면곡선을 통한 곡면 Skinning

곡면 skinning 은 B-spline 근사방법에 의해 얻어진 다중의 단면 곡선들(multiple section curves)을 이용하여 곡면을 구성하는 방법을 말한다. 각 단면 곡선들은 근사적인 방법(Cubic B-spline Approximation)에 의해 u 방향의 같은 조정점 수를 가진 곡선으로 구성된다(1).

$$C(t_i) = \sum_{k=0}^n d_k N_{k,p}(t_i) \quad (i=0, \dots, m) \quad (1)$$

이때, 각 단면 곡선들은 매개변수 u 방향의 근사 과정을 거쳤으며, 각각 공통 노트 벡터(common knot vector)와 같은 차수(same degree) 하에 정의된 곡선이다. common knot vector 를 만족시키기 위해 각 단면 곡선들은 같은 수의 조정점(control point) 으로 근사 되었고, 각 곡선은 균일 노트순서(uniform knot sequence)를 가진다. B-spline 곡선 근사는 조정점 탐색과 매개변수 보정의 반복과정에 의해 수행된다. 이렇게 구성된 곡선의 조정점 배열들(Control Polygons of Each Scan-line)은 v 방향으로의 노트 벡터를 정의하여 (2), 3 차 B-spline 보간법(B-spline interpolation)을 이용해 융합 된다.

$$\begin{aligned} \bar{V}_0 = \dots = \bar{V}_{p-1} = 0, \quad \bar{V}_{m-p+1} = \dots = \bar{V}_m = 1 \\ \bar{V}_{j+p-1} = \frac{1}{p-1} \sum_{i=j}^{j+p-1} V_i \quad (j=1, \dots, n-p+1) \end{aligned} \quad (2)$$

본 논문에서 사용되는 계측 법에 의하면, 곡면을 각 계측선 단위로 측정하기 때문에, Skinning 에 의한 곡면구성이 용이하며, 입력 데이터를 바로 이용할 수 있고, 근사적 방법이 아닌 3 차 B-spline 보간법을 이용하여 근사 단면곡선을 융합하게 되므로 계산시간이 빠르다는 장점이 있다. 계측 조건을 적절히 선택하면, B-spline 곡면 근사에 의한 모델링 결과와 큰 차이를 보이지 않는다는 특성이 있으므로, 곡면 모델링 시 선택적으로 적용할 수 있도록 하였다.

3.2 계측 데이터를 이용한 bi-cubic B-spline 곡면 근사법

곡면 근사(surface approximation)는 앞서 제시한 곡선 근사(curve approximation)과정과 비슷한

과정을 거쳐 수행된다. 그러나, 곡면의 근사과정에 서는, 입력 데이터가 일정한 배열형식이 없는 분산된 점 군으로(scattered data set) 구성된 경우에 복잡한 매개 변수화 과정을 거쳐 곡면을 생성하게 된다.

주어진 측정 데이터로부터 B-spline 곡면을 생성하기 위해 4 개의 경계곡선은 중요한 역할을 한다.

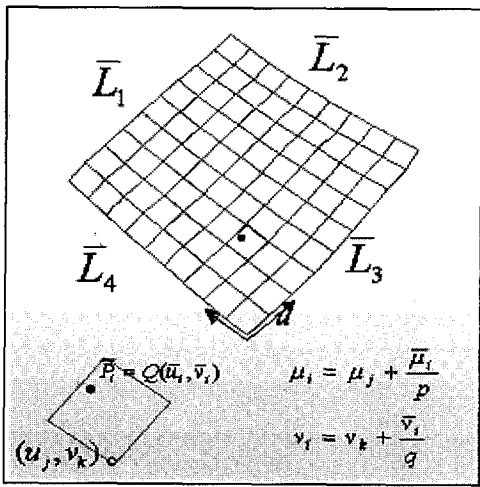


Fig.2 Parameterization with scattered data

매개 변수화 과정에서 4 개의 경계곡선은 경계 내부 점에 대한 충분한 정보를 가지고 있어야 하며, 이는 linear Gordon-Coon's interpolation 에 의해 수행되는 내부 점의 매개 변수화 과정에 결정적인 영향을 미치기 때문이다. 4 개의 경계 곡선과 경계 내부 점을 가지고, 앞서 서술하였던 B-spline curve 근사방법과 유사한 방법으로, 실제 데이터와 근사데이터 사이의 에러의 최소 제곱 법을 이용한 정규 방정식을(3) 세우고,

$$\sum_{s=0}^N P_s N_{pk}(\mu_s) N_{qk}(v_s) = \sum_{s=0}^N \sum_{i=0}^m \sum_{j=0}^n d_{ij} N_{ik}(\mu_s) N_{jk}(v_s) N_{pk}(\mu_s) N_{qk}(v_s) \quad (3)$$

$p = (0, \dots, m) \quad q = (0, \dots, n)$

4 곡면 비교

4.1 초기 대응 영역 결정

X. Huang/P Gu/R Zernicke(1996)은,국부 좌표가 다른 두개의 곡면을 Pseudo Transformation matrix 와 최근점 탐색 알고리즘을 이용하여 비교하는 방법을 제안하였다. 이는 형상과 크기가 매우 유사한 두개의 곡면을 비교하는 방법으로써, 각 각의 곡면이 독립적인 국부 좌표를 갖는 상황에서, 데이터 격자를 구성하고 그 두개의 격자사이의 변환 관계를 직접 구함으로써, 비교면상의 데이터가 목적곡면상의 어느 위치에 있는 가를 판별 하고, 형상과 크기가 비슷한 두개의 곡면을 정성적으로 비교할 수 있는 효과적인 방법이다. 그러나, 두개의 형상차나 크기차가 클 경우에는 축 회전과 평행 이동 요소 외에 크기변화에 관련되는 scale factor 가 변환관계에 포함되기 때문에, 두개의 곡면을 정량적으로 비교할 수 없다는 한계가 있다.

그러므로, 본 논문에서는 Pseudo-Transformation Matrix(4)를 이용하여, 초기 유사 대응영역을 탐색하고, 그 영역 안에서 좌표비율이 변하지 않는(scale factor 포함하지 않은) 비율 불변 좌표이동 관계를 구하여, 최종 곡면 비교를 수행하는 방법을 제안하였다.

매개변수 보정 과정을 반복 수행하여 매개 변수 B-spline Surface 근사를 수행한다.

$$T^{-1} = (r_U^* r_U^{*T}) (r_U r_U^T)^{-1}$$

where, $\begin{cases} r_U^* = \text{homogeneous vector array of compared surface} \\ r_U = \text{homogeneous vector array of object surface} \end{cases} \quad (4)$

목적곡면상의 최근 대응점 탐색은 다음의 두개의 비선형 연립방정식을 풀어서 계산한다.

4.2 초기 대응영역에서 비율불변 좌표이동 관계를 이용한 곡면 비교

앞서의 과정에 의해 결정된 초기 유사영역은 비교곡면과 가장 유사한 영역의 목적곡면상의 대응 점을 결정하는 과정이다. 이 초기 대응영역에서 비교곡면과 목적곡면사이의 크기불변 좌표 이동 관

계를 적절히 정의해 주면, 최종적으로 가장 유사한 영역에서의 각 대응점들(비교곡면-목적곡면) 사이의 정량적인 비교가 가능하게 된다.

먼저 평행이동관계는 비교면의 격자중앙과 목적면상의 유사 대응면의 격자 중앙을 일치하는 관계로 정의한다. 그리고 회전이동관계는 비교곡면과 목적곡면상의 유사 대응면의 격자중앙에서의 국부 좌표를 정의하고, 그 둘 간의 방향 코사인을 구하여 정의한다.

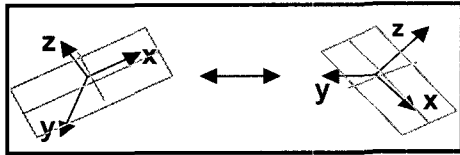


Fig.3 Fixed-scale transformation relationship

5 실험 결과 및 결론

먼저, 계측 데이터의 신뢰도를 측정하기 위해, 일정 사이즈의 평판을 계측하고 모델링 하여, 같은 크기의 평판 CAD 모델과 비교를 수행 하였다.

계산에 사용되는 시스템은 PII-400/128M 이다.

평판의 크기는 약 $900 \times 600(mm^2)$ 이며, 한 개의 스캔 라인에서의 데이터 평균 간격은 약 14mm 정도이며, 121 개(11×11)의 격자 수에 대해 비교를 수행하였다. 계측, 모델링 및 비교에 소요되는 총 소요 시간은 약 4분 12초 정도 이며 대응 격자들의 평균 거리차는 0.9634mm 이다.

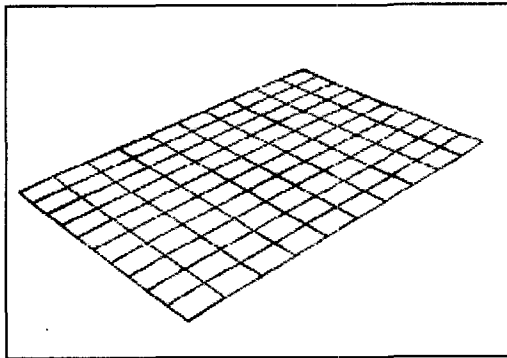


Fig.4 Comparison result of flat-plate test

다음은 같은 곡면을 Skinning 을 통해 모델링 된 곡면과 B-spline 근사를 통해 모델링된 결과를 비교해 보았다. 곡판의 크기는 $2100 \times 1100(mm^2)$ 이고 같은 판에 대한 동일 계측 조건이며, 총 소요시간은 10 분 25 초 정도 이다. 결과는 121 개의 격자에서 평균 1.9505mm 정도의 거리차를 보였다.

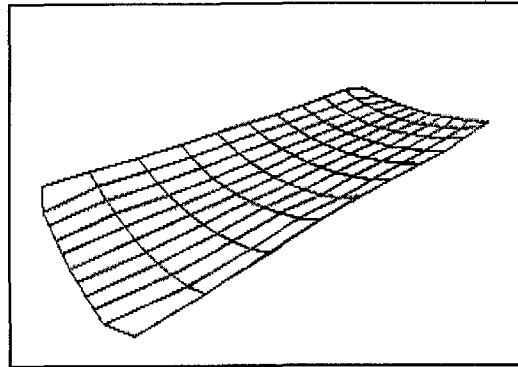


Fig.5 Comparison result of modeling test

다음은 크기 및 형상차가 있는 두 곡면 을 비교하여 본 논문에서 제안한 방법의 적용성을 검증해 보았다. 두 곡면의 크기는 두 곡면 모두 B-spline 근사곡면으로 모델링 되었고, 121 개의 격자 수에서 비교를 수행하였다. 총 소요시간은 약 10 분 7 초 이다.

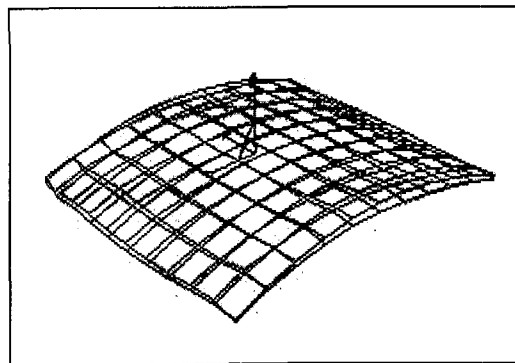


Fig.6 Comparison result of test

위의 결과에서, 형상차와 크기차가 큰 두 모델 이더라도, 초기 유사영역이 결정된 상황 하에서, 적절한 비율 불변 좌표 이동 관계를 정의해 주면,

Table1 The features of two-model

	비교곡면(측정)	목적곡면(CAD)
크기 (mm ²)	600×600	2000×1000
형상	완만한 실린더	말안장(saddle)
모델링 시간	51 초	3 초

비교가 가능함을 알 수 있다. 이 외에도 같은 모델을 서로 다른 계측 조건하에서 계측하여 그 차이를 비교해 보았으며, 이로써 크기에 따른 적절한 계측 조건을 설정할 수 있는 가능성을 테스트 해보았다.

이런 여러가지의 실험결과, 약 2100×1100(mm²) 크기의 곡면을 측정하고 모델링 하여 목적곡면과 비교를 하는데 드는 시간은 약 10 분 정도였으며, 이 결과는 대량 다형상의 수시 계측이 필요한 선체외판 대형부재의 측정 및 비교 과정에 적용 가능성을 보여준다.

본 논문에서 구현된 계측 및 비교시스템은 비교적 단순한 형상과 실험실에서 가능한 크기의 곡면 부재에 대한 실험만을 수행하였으므로, 여러 가지 형상 및 크기에 대한 최적 계측조건과 모델링 방법의 적용성을 제시해야 하며, 계측방법 상의 특징 때문에 경계영역의 데이터 손실이 일어나므로 경계 영역에서의 세부 계측과정 추가 등의 보완점이 논의되어야 한다. 또한, 추가 가공정보가 될 수 있는 실제적인 기준의 확보도 필요하다

참 고 문 헌

- Farin, G. "Curves and Surfaces for Computer Aided Geometric Design", Academic Press, forth edition.

- Hoschek, J., Lasser, D. 1993 "Fundamentals of Computer Aided Geometric Design", A K Peters.
- Piegl, L., Tiller, W. 1995 " The NURBS Book", Springer.
- Lipschutz, M. M. 1969 " Theory and Problems of Differential Geometry", McGraw-Hill.
- Rumbough, J. et. al. 1991 "Object-Oriented Modeling and Design", Prentice-Hall.
- Huang, X. Gu, P. and Zernicke, R 1996 "Localization and comparison of two free-form surfaces", Computer-Aided Design, Vol. 28, No.12, pp. 1017-1022.
- Park, H., Kim, K., and Lee, S. 2000 "A method for approximate NURBS curve compatibility based on multiple curve refitting", Computer-Aided Design. Vol. 32, pp. 237-252.
- Yang, M., Lee, E. 1999 "Segmentation of measured point data using a parametric quadratic surface approximation", Computer-Aided Design, Vol. 31, pp. 449-457.
- Kase, K. et.al. 1999 "Shape error evaluation method of free-form surfaces", Computer-Aided Design, Vol. 31, pp. 405-505.



< 이 종 무 >



< 신 종 계 >