

자유도 제약을 이용한 블록의 완성도 평가 연구

김찬석¹·신종계²·노재규^{3,†}
서울대학교 조선해양공학과¹
서울대학교 조선해양공학과 및 해양시스템공학연구소²
군산대학교 조선공학과³

A Research on Completeness Assessment of Blocks using DOF Restriction

Chan Suk Kim¹·Jong Gye Shin²·Jack you Noh^{3,†}
Dept. of Naval Architecture and Ocean Engineering, Seoul National University¹
Dept. of Naval Architecture and Ocean Engineering and Research Institute of Marine Systems Engineering, Seoul National University²
Dept. of Naval Architecture, Kunsan National University³

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Accurate block shape assessment is critical for ship manufacturing and a careful assessment of the shape of a fabricated block against the design shape is a core issue. However, in current fabrication practice, the shape of each block is evaluated manually using rigid body transformation. This manual evaluation process entirely depends on workers' experiences and knowledge and makes automation of block shape assessment difficult. In this paper we propose a computation method on the registration for shape assessment of a block during the fabrication process and for evaluation of its completion against the design shape. A conversion on matching method by adding DOF(degree of freedom) restriction is required to reach the goals. We test our method using a real block quality assessment data to demonstrate its applicability to real ship manufacturing process.

Keywords : Completeness assessment(완성도 평가), Block quality(블록 품질), Registration(정합)

1. 서론

현대의 선박 건조 공법은 블록공법이다. 블록공법은 블록을 제작한 후에 서로 연결하여 선박을 건조하는 방식이다. 따라서 선박의 품질은 블록 품질과 블록 연결 부분의 품질에 의해 결정된다. 블록의 품질을 관리하는 방법은 시기 별로 제작 시와 후로 나누어 볼 수 있다. 블록의 제작 시에는 용접 시에 역 변형을 미리 주어서 용접 후에 발생하는 변형을 방지하는 방법을 적용한다. 블록의 제작 후에는 용접으로 발생하는 변형을 교정하는 곡직작업과 자중에 의해 변형된 블록의 적치된 자세를 바꾸어 변형을 바로잡는 작업을 실시한다. 블록의 품질관리작업을 하더라도 블록에 잔류하는 변형이 존재하기 때문에 제작된 블록은 설계형상과 차이를 보이게 된다. 따라서 생산 설계 시에 블록의 생산오차를 허용 변형량의 형태로 정의한다. 하지만 제작 시에 발생하는 블록의 변형량은 여러 가지 변수로 인해 예측하는데 한계가 존재한다.

이러한 한계로 인해 생산현장에서는 측정 장비를 이용해 블록이 다른 블록과 연결되는 접합면에 몇 개의 생산정도 관리점(정

도관리점)을 지정하고 이를 측정하여 설계데이터와 비교하여 블록의 완성도를 평가를 실시한다. 본 논문에서 다루는 블록의 완성도 평가는 생산설계 단계에서 지정한 정도 관리점과 블록의 생산 후 계측한 점 사이의 차이를 계산하여 설계형상과 제작형상 사이에 오차를 확인하는 과정이다. 블록의 완성도 평가는 작업자가 측정점 중 가장 변형이 작게 발생했다고 여겨지는 점을 선택하여 선택된 점을 중심으로 Rigid Body Transformation(강체변환)을 수행하거나 한 개의 축을 선택하여 축 회전시켜 완성도를 평가한다. 이 때 전체의 데이터(모든 점)를 이용한 완성도 평가와 개별 대응점간의 완성도 평가를 실시한다.

이러한 블록의 완성도 평가 방법은 몇 가지 문제점이 있다. 평가자의 자의적 판단에 의해 완성도 평가의 기준이 되는 점이나 축을 선택하여 완성도를 평가하므로 평가결과에 대한 재현성을 기대하기 힘들고, 평가 결과에 대한 충분한 근거를 제시할 수 없다. 또 사용자가 원하는 일부 데이터에 대한 완성도 평가가 어렵다. 따라서 평가 과정의 재현이나 평가의 근거를 요구할 때는 대응할 수 있는 자료가 없다. 그러므로 재현성과 타당한 근거를 갖는 블록 완성도 평가방법에 대한 연구가 필요하다.

Shin, et al. (2010)은 블록이 조립되어 탑재하는 과정에서 크레인을 조종하여 블록 조립체의 자세를 탑재면에 맞추는 방법에 관한 연구를 수행했다. 이때 조립체의 탑재면간의 자세를 목적함수로 설정하고 유전자 알고리즘을 통해 최적화를 수행했다. Lee and Shin (2002)은 선체외판 곡면가공을 위한 곡면의 완성도 평가를 위해 가공곡면을 측정하여 설계곡면과의 유사성을 비교하는 연구를 수행했다. Park, et al. (2009)은 정합알고리즘을 응용하여 기준점이 있는 상태에 선체외판 곡면의 완성도를 평가하는 연구를 수행했다. Kim (2006)은 블록의 탑재 전에 탑재과정을 미리 확인하는 가상탑재에 관한 연구를 수행한 바가 있다.

선체외판 곡면의 완성도 평가와 조립 시 탑재물의 자세에 관한 많은 연구가 진행되었다. 반면 블록을 대상으로 한 완성도 평가 연구는 미비했다 볼 수 있다.

본 논문은 블록의 완성도 평가 방법에 대해 논의하고자 한다. 논문의 구성은 다음과 같다. 2장은 정합 알고리즘에 관한 내용, 3장은 블록의 정합알고리즘, 4장은 적용 예 및 결과 분석, 5장은 한계점, 6장은 결론으로 구성된다.

2. 정합 알고리즘

정합은 대체로 두 가지 개념으로 다루어지고 있다. 하나는 측정장비부터 획득한 여러 개의 점 군 사이의 서로 유사한 부분을 찾아 유사성을 보이는 부분을 합성하여 하나의 점 군으로 만드는 것과 다른 하나는 곡면 간, 점 군과 곡면간과 점 군과 점 군간 서로의 유사성을 평가하는 것이다. 본 논문에서 다루는 정합의 개념은 점 군간에 유사성을 평가하는 것이다.

정합의 절차는 원 데이터와 비교 데이터간의 대응관계를 찾고, 원 데이터와 비교 데이터간의 대응관계가 모두 정의되면, 원 데이터와 비교 데이터의 대응관계를 갖는 점 군들 각각에 무게중심(중양점)을 계산하게 된다. 중양점을 이용하여 원 데이터와 비교 데이터를 벡터화 한다. 벡터화된 두 개의 데이터를 곱해 Covariance Matrix(공분산행렬)을 만들고 Singular Value Decomposition 등의 수치기법을 사용하여 공분산행렬의 고유값과 고유벡터를 얻어서 변환행렬을 계산한다. 변환행렬을 이용해 비교 데이터를 강제변환 시키고 대응점간의 거리제곱의 합을 계산하여 사용자가 정의한 오차보다 작으며 계산을 종료하고, 크면 대응관계와 변환행렬을 다시 계산하고 강제변환을 실시한다. 정합은 원 데이터와 비교 데이터간의 대응관계를 계산하는 단계와 계산된 대응관계를 이용해 강제변환 행렬을 구하는 부분으로 구성된다.

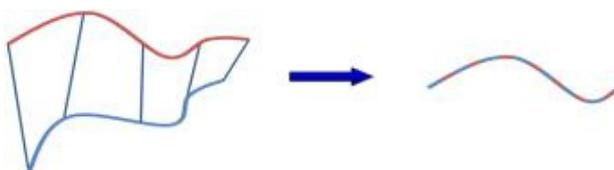


Fig. 1 Concept of matching

Fig. 1은 정합의 개념을 나타내고 두 곡선간에 가장 유사성을

보이는 점을 찾고, 유사성을 보이는 점들 간에 대응 관계를 이용해 강제변환 행렬을 구성하고 강제변환 시킨 결과이다. 빨간색으로 표시된 곡선은 원 데이터이고 파란색은 비교 데이터이다. 원 데이터와 비교 데이터간의 직선은 대응관계를 갖는 점을 연결한 선이다. Fig. 2는 정합에 사용되는 점 군을 표현한 것으로 정육면체로 표시된 데이터는 정합의 기준이 되는 원 데이터이고 십자로 표시된 데이터는 정합의 대상이 되는 비교 데이터이다. Fig. 3은 원 데이터와 비교 데이터 간에 대응관계를 설정하는 단계로 빨간 선은 서로 대응관계가 있는 점을 연결하는 선이다. Fig. 4는 원 데이터와 비교 데이터 간 대응관계를 이용해 비교 데이터를 강제변환 한 결과이다. 원 데이터와 비교 데이터가 겹쳐있는 것을 볼 수 있다.



Fig. 2 Design points(cube)and measurement points(cross)

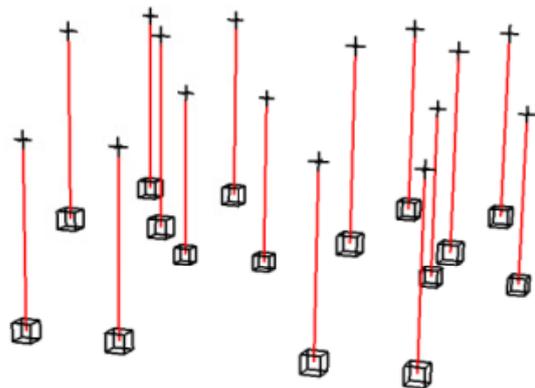


Fig. 3 Corresponding points

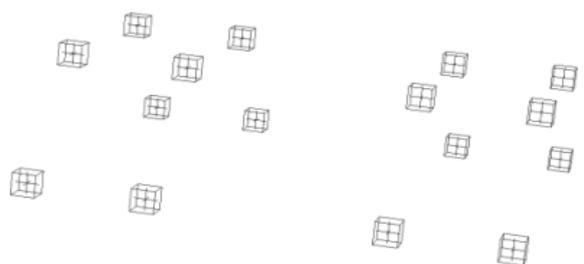


Fig. 4 Application of matching

Table 1은 정합 시에 가장 많이 사용되는 대응관계 계산방법을 정리한 것이다. Table 1에 정리한 방법 이외에도 다양한 대응관계 계산 방법이 존재한다. 최근에 연구된 결과 중에서 곡면 간에 유사성을 평가하는 경우 곡면이 고유하게 갖는 형상지문(곡률의 최대/최소점, 실루엣라인, umbilical point (Ko, 2003))을 활용해 대응관계를 계산한 연구도 있었다. 본 논문은 새로운 정합기법에 대한 개발을 다루지 않으므로 대응관계 계산법 중 기본적인 방법만 소개 한다. 대응관계 계산에 대한 자세한 내용은 Ko (2003)를 참고하기 바란다. Table 2는 대응관계를 이용해 강제변환 행렬을 계산하는 방법을 정리한 것이다.

Table 1 Classification of corresponding points

Method	Instruction
1	According to minimum distance between two corresponding points
2	According to minimum distance based on normal direction of the point
3	Split point group space and analysis data structure

Table 2 Classification of transfer matrix evaluation methods

Researcher	method
Horn (1987)	Transformation matrix used points relationship
Low (2004)	Transformation matrix used point-plane relationship
Thomas and Thomas (2003)	Optimization for transformation matrix elements

3. 블록의 완성도 평가를 위한 알고리즘

본 연구에 응용하고자 하는 정합은 점 공간 유사성을 평가하는 방법이다. 따라서 정합을 블록의 완성도 평가에 응용하기 전에 완성도 평가 맞게 수정하는 과정이 필요하다. 이를 위해 블록 완성도 평가에 쓰이는 데이터에 특성을 파악하고, 기존에 정합 방법이 수정되어야 하는 부분을 찾는다. 이상 확인된 내용을 활용해 새로운 블록의 완성도 평가 방법을 정립하고 이에 대한 구현 방안을 논의한다.

3.1 완성도 평가 데이터

블록의 완성도 평가 데이터는 설계점 데이터와 제작블록에서 설계점을 측정된 측정점 데이터로 구성된다. 측정점 데이터는 설계 데이터에서 측정된 것이므로 설계점과 측정점은 대응관계가 주어진 상태이다.

완성도 평가 데이터를 생산 관리의 측면에서 분류하면 블록 조립 시 다른 블록과 연결되는 부분과 그 외 부분으로 나눌 수 있다. 블록의 조립 시 다른 블록과 연결되는 부분을 생산현장에서

탐재면으로 정의하고 그 외 부분은 마진면이라 한다. 탐재면은 블록간의 연결 시에 절단과 같은 추가가공이 불가능하고, 마진면은 필요 따라 절단 등의 추가가공이 가능하다. 따라서 생산 시 탐재면은 매우 높은 생산품질이 요구된다. 탐재면은 높은 생산 품질을 갖고 동시에 제작 후 추가 가공을 할 수 없기 때문에 블록의 제작 후 완성도 평가 시 기준으로 활용할 수 있다.

3.2 블록의 완성도 평가를 위한 정합

본 논문에서는 평가과정에 대한 재현성과 평가근거를 갖는 평가 방법의 개발을 위해 평가 시 기준으로 쓰이는 점이나 축을 결정하는 과정과 결정된 점이나 축을 이용해 완성도를 평가하는 과정을 하나로 통합해 새로운 평가 방법을 개발했다. 개발된 평가 방법은 탐재면을 구성하는 모든 점을 이용해 평가 가능한 모든 경우의 조합을 만들고 모든 평가 조합에 대한 완성도 평가 작업을 실시하여 가장 작은 오차를 보이는 완성도 평가 결과를 출력하도록 했다. 완성도 평가 시 사용한 평가 목적함수는 기존의 정합방법과 동일한 대응점간의 거리 제곱의 합으로 정의했다.

앞서 논의한 평가과정은 전체 틀이고 기준 점이나 축의 결정 후 강제변환을 이용해 완성도를 평가하는 방법에 대한 개발이 필요하다. 이를 위해 기존의 평가방법의 특징을 살펴본 결과, 다음과 같은 특성을 찾을 수 있었다. 완성도 평가는 3차원 공간에서 진행되며 점 또는 축을 기준으로 한 강제변환을 이용해 완성도 평가를 진행 한다. 이러한 특징을 감안해 본 논문에서는 3차원 공간에서 구속조건이 없는 상태(6자유도)에서 자유도를 하나씩 제거하여 자유도가 줄어든 상태에서 적용 가능한 강제변환을 이용해 새로운 블록의 완성도 평가방법들을 정립했다.

그 결과 정립된 방법은 네 가지이다. 첫 번째는 대응관계를 이용해 변환행렬을 계산하여 측정점을 강제변환 시킨 후 완성도를 평가하는 방법으로 자유도는 6 이다. 두 번째는 탐재면상의 임의의 점을 기준으로 회전하여 가장 작은 오차를 계산하는 방법이고 자유도는 3 이다. 세 번째는 탐재면상에 임의의 두 점을 이용해 축을 만들고 축을 기준으로 축 회전과 축 이동을 하여 가장 작은 오차를 보이는 축 회전각과 이동량을 계산하는 방법이고 자유도는 2이다. 마지막은 탐재면상에 임의의 두 점을 이용해서 축을 만들고 축을 기준으로 축 회전 후 가장 작은 오차를 보이는 축과 회전각을 계산하는 방법이고 자유도는 1이다. 앞서 정의한 평가 방법 외에 자유도가 5,4,0인 평가 방법에 대해서도 고려할 수 있으나 이번 연구에서는 네 가지 평가방법을 중심으로 논의한다.

앞 절에서 언급한 바와 같이 블록의 완성도 평가에 사용하는 데이터는 이미 대응관계가 정의 되어 있으므로 정합을 적용할 때 설계점과 측정점 간의 대응관계를 찾는 과정이 생략된다. 따라서 첫 번째 평가방법은 정합과정에서 대응관계를 계산하는 부분을 제거해 구현할 수 했다. 두 번째 평가방법은 정합과정에서 대응관계를 계산하는 부분을 제거하고 대응점 좌표의 벡터화 때 기준으로 사용할 점을 강제회전 시 기준이 되는 점으로 교체하면 구현 될 수 있다. 반면 세 번째와 네 번째 방법은 축을 기준으로 회전과 이동을 하기 때문에 정합 알고리즘을 수정하는 것 만으로는 구현하기 어렵다. 따라서 본 논문에서는 세 번째와 네 번째 평가

방법을 정의역이 주어진 상태에서 목적함수(대응점간의 거리제곱의 합)를 최소화 하는 수치문제로 정의하고 반분법을 이용해 정의된 수치문제를 계산했다. 이때 세 번째와 네 번째에서 사용하는 정의역은 각각 기준 축을 중심으로 움직이는 최대/최소 이동량과 회전량이 되고, 기준 축을 중심으로 회전하는 최대/최소 회전량이 된다.

블록의 완성도 평가는 탑재면과 마진면 데이터가 동시에 존재하고, 탑재면의 완성도 평가가 블록의 탑재 시 중요하므로 앞에서 정립한 네 가지 평가방법(Table 3)을 전체 데이터와 탑재면 데이터에 동시에 적용했다. Table 3를 전체 데이터와 탑재면 데이터에 각각 적용하게 되면 Table 4와 같이 8가지 블록의 완성도 평가 방법을 정립 할 수 있었다.

Table 3 The evaluation method for redefined block completeness

Method	Basis	DOF(degree of freedom)
1	Gravity Point	6(3-axis rotatable and 3-direction movable)
2	Arbitrary Point	3(3-axis rotatable)
3	Rotation and movement of any axis	2(rotatable based on one axis and movable along the axis direction)
4	Any axis	1(rotatable based on one axis)

Table 4 Registration for assessment of block completeness

Method	Basis	Involved data
1	gravity center of all	All(6DOF) data(erection face + margin face)
2	Any point on erection face	All(3DOF) data(erection face + margin face)
3	Any two points on erection face	All(2DOF) data(erection face + margin face)
4	Any two points on erection face	All(1DOF) data(erection face + margin face)
5	Gravity center of erection face	Erection face(6DOF)
6	Any point on erection face	Erection face (3DOF)
7	Any two points on erection face	Erection face (2DOF)
8	Any two points on erection face	Erection face (1DOF)

4. 적용 예 및 결과 분석



Fig. 5 Erection face of block

Table 5 Completeness evaluation result data 1

Method	Total Error	Max Error
1	83.29043	5.86299
2	92.54842	7.31163
3	96.1368	7.76849
4	96.87693	7.84825
5	142.114689	9.49974
6	99.56224	7.40878
7	116.163	7.16734
8	147.69306	10.1785

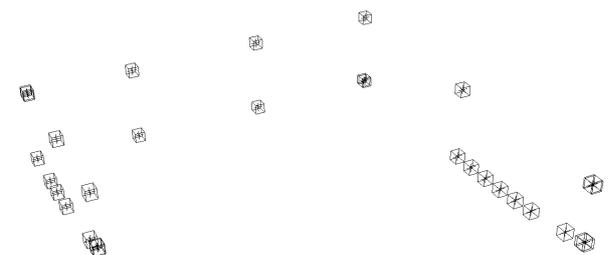


Fig. 6 Completeness evaluation data 1

Table 6 Completeness evaluation result example 2

Method	Total Error	Max Error
1	203.771	8.01676
2	211.2911	8.60058
3	209.331	8.52468
4	217.973	9.37907
5	317.5711	16.2503
6	244.1391	9.75038
7	315.206	15.9227
8	368.9274	18.0021

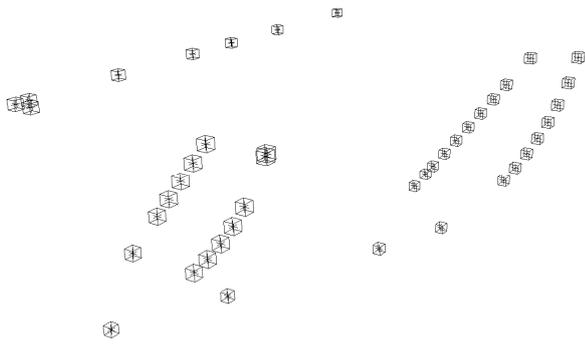


Fig. 7 Completeness evaluation data 2

Table 7 Completeness evaluation result data 3

Method	Total Error	Max Error
1	95.39304	6.45061
2	104.47973	7.43303
3	96.4162	6.72727
4	100.867832	7.5908
5	122.31808	12.1737
6	117.37795	10.4336
7	117.606	11.5439
8	115.56357	11.2155

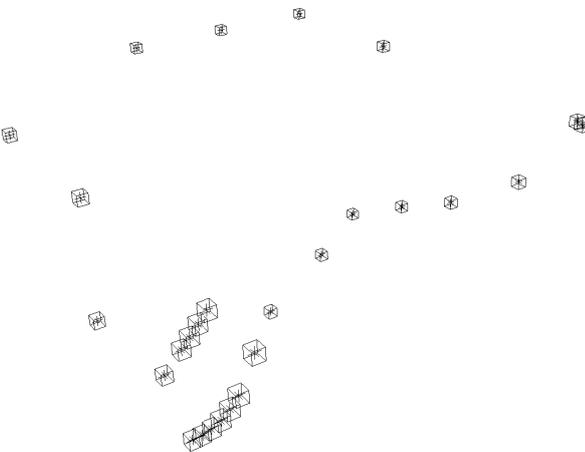


Fig. 8 Completeness evaluation data 3

비교 계산을 위해 실제 블록의 완성도 평가에서 사용된 데이터를 사용했다. 그리고 개발된 방법의 신뢰성을 확인하기 위해 블록 완성도 평가를 통과한 블록데이터를 이용했다. Fig. 5은 블록 완성도 평가의 대상인 블록과 블록의 탑재면이다. Fig. 6~Fig. 8은 본 논문에서 사용한 완성도 평가데이터를 가시화 한 것으로 육면체는 설계점이고 십자가는 측정점이다. Table 5~ Table 7은 Table 4에서 정리한 블록의 완성도 평가 방법을 이용해 블록의 완성도를 평가한 결과이다. Total error는 전체 점에서 측정된 목적함수의 값의 합을 의미하고 Max error는 전체 점에서 측정된 목적함수의 값 중 가장 큰 것을 의미한다.

블록 완성도 평가를 위한 알고리즘의 적용 전에 자유도에 따른 완성도 평가 결과를 예상해 보면 자유도가 큰 평가방법이 완성도 평가 오차가 작고 자유도가 줄어들수록 완성도 평가 오차가 클 것이라 예상할 수 있다. 블록 완성도 평가의 기준이 되는 점이나 축은 오차가 없지만 이를 제외한 부분에서는 생산오차가 더 커지므로 총량적인 측면에서는 더 큰 오차를 보일 수 있기 때문이다.

전체 데이터(탑재면+마진면)를 이용한 블록의 완성도 평가 결과(Table 5~Table 7)를 보면 자유도가 가장 큰 방법1(자유도 6)이 가장 작은 생산오차를 보이고 있다. 그러나 완성도 평가 데이터1(Fig. 6)을 제외한 나머지 데이터의 경우 평가전에 추정된 경향과 다른 결과를 보이고 있다. 이러한 경향을 보이는 원인을 보면 방법2는 한 개의 기준점이 정해지면 회전하는 자유도만 있고 이동할 수 있는 자유도가 없기 때문에 줄일 수 있는 평가오차는 제한적일 수 있다. 즉 대응관계를 이용해 계산한 강제변환 행렬을 사용해 줄일 수 있는 완성도 평가 오차는 어떤 점을 기준점으로 선택 하는가에 따라 결정된다고 볼 수 있다. 반면 방법 3의 경우 기준 축이 정의되면 축 방향으로 회전 자유도와 이동 자유도가 동시에 있기 때문에 방법2와 같이 회전 자유도만 있는 방법보다 줄일 수 있는 평가오차는 더 클 수 있다.

자유도 6인 평가 방법1를 제외한 평가 방법들 중에 자유도가 가장 큰 평가방법이 가장 작은 오차를 보일 것으로 예상할 수 있지만 완성도 평가에서 사용하는 자유도의 종류(이동, 회전)에 따라 완성도 평가의 결과가 달라질 수 있음을 의미한다.

전체 데이터를 대상으로 한 블록 완성도 평가 결과를 생산품질의 관리에 측면에서 보면 방법1은 가장 작은 오차를 보이고 있지만 어떤 점이나 축에서도 일치하지 않기 때문에 생산품질관리의 측면에서 갖는 의미는 부족할 수 있다. 동일하게 방법3도 축의 방향은 일치하지만 축 방향을 따라서 움직일 수 있으므로 생산품질관리 측면에서 갖는 의미 있는 결과라고 하기에는 부족하다. 정리하면 방법1,3은 생산품질의 참고자료로서 의미가 있고, 방법 2,4가 생산품질 평가 결과로 의미가 있다.

탑재면 데이터를 사용해 강제변환 행렬을 계산하고 다시 계산된 강제변환 행렬을 사용해 전체데이터에 대한 완성도 평가하는 방법(5~8)에 경우 강제변환 행렬을 계산하는 영역이 탑재면으로 제한되므로 전체 데이터를 사용해 강제변환 행렬을 계산하는 평가방법과는 차이가 있다. 큰 차이는 완성도 평가 오차총합의 크기와 최대 평가 오차를 보이는 점의 위치이다. 이러한 차이는 강제변환 행렬을 계산하는 대상이 탑재면 데이터이므로 나머지 데이터가 평가오차의 계산 시 영향을 줄 수 없기 때문이다. 그 결과 방법(1~4)보다 평가 오차의 합이 크고 최대오차를 보이는 점 위치하는 영역 또한 특정영역(마진면)에만 나타난다.

완성도 평가 방법(5~8)의 평가 결과를 보면 모든 데이터에서 방법 5는 가장 작은 오차총합을 보여야 하지만 완성도 평가 데이터에 따라 최소 오차총합을 보이는 평가방법이 다르다. 이러한 특성은 탑재면상의 점은 관리가 엄격하게 되지만 그 무게중심점을 계산하면 탑재면을 이루는 점들이 갖는 미소한 생산오차가 누적되어 완성도 평가 오차계산결과에 나타난다고 볼 수 있다. 따라서 탑재면에 대한 생산 관리가 비교적 잘된 블록에 경우는 탑

재면의 무게중심을 이용한 완성도 평가방법보다는 탑재면의 임의의 한 점이나 한 축을 일치 시키는 완성도 평가방법이 더 작은 평가오차를 보이는 것으로 생각할 수 있다.

5. 결론

기존의 블록완성도를 평가하는 방법의 문제점을 정리했고, 이를 통해 새로운 블록완성도 평가방법의 개발방향을 모색했다. 그 결과 재현성과 평가 논리를 갖춘 새로운 블록 완성도 평가 방법을 제안하였다. 본 연구가 기여한 부분은 두 가지 이다. 첫 번째는 재현성과 평가논리가 있는 새로운 블록완성도 평가방법을 제안한 것이다. 두 번째는 블록완성도 평가를 위한 방법의 다양화다. 현재의 블록완성도 평가방법은 전체오차나 지정된 점의 오차만 확인할 수 있었다. 따라서 특정영역(임의로 지정된 점으로 이루어진 부분)에 대한 오차를 확인하는 것에는 한계가 있었다. 본 연구에서는 특정영역(탑재면)에 대한 생산오차를 계산하여 비교함으로써 영역오차를 이용한 새로운 평가 방법의 가능성을 보였다.

향후 연구로는 보다 다양한 완성도 평가방법을 추가하여 완성도 평가자가 원하는 다양한 관점의 평가결과를 출력해 줄 필요가 있다. 또 많은 데이터를 수집하여 본 논문에서 정립한 평가 방법에 대한 적용과 평가 결과에 대한 비교가 필요하다. 마지막으로 설계 정보에 일부 점 정보만 사용해 블록의 완성도를 평가하는 것이 아니라 설계 데이터 자체를 활용해 완성도를 평가는 기법에 대한 연구가 필요하다.

후 기

본 연구는 지식경제부 산업원천기술개발사업 시뮬레이션 기반의 선박 및 해양플랜트 생산기술 개발과제 (10035331)와 DSME-서울대 해양공학 산·학 협력 센터 선상가열 시뮬레이터 개발 연구(II)의 지원을 받아 수행하였습니다.

References

Horn, B.K.P., 1987. Closed-form Solution of Absolute Orientation using Unit Quaternions. *Journal of Optical Society of America*, 4(4), pp.629-624.

Kim, D.E., 2006. *Study on Virtual Assembly System for Ship Blocks Based on 3D Measurement*. Ph.D. Department of Naval Architecture and Ocean Engineering, Pusan National University.

Ko, K.H., 2003. *Algorithms for Three-Dimensional Free-Form Object Matching*. Ph.D. Department of Ocean Engineering, Massachusetts Institute of Technology.

Lee, J.M. & Shin, J.G., 2002. A Development of Measurement and Comparison Technique for Large Curved Hull Pieces. *Journal of the Society of Naval Architects of Korea*, 39(2), pp.28-33.

Low, K.L., 2004. *Linear Least-Squares Optimization for Point-to-Plane ICP Surface Registration*, Technical Report TR04-004. Carolina: Department of Computer Science, University of North Carolina at Chapel Hill.

Park, J.S. Shin, J.G. Hyun, C.M. Doh, Y.C. & Ko, K.H., 2009. Application of localization for the Fabrication of Large Curved Plates in Shipbuilding. *Computer-Aided Design*, 41(12), pp.907-917.

Shin, S.C. Lee, J.C. & Kim, S.Y., 2010. Study on Erection Block Positioning Using Genetic Algorithm. *International Journal of Ocean Engineering and Technology*, 20(1), pp.76-81.

Thomas, M.T. & Thomas, R.K., 2003. Newton Method for Parametric Surface Registration. *Part I. Theory*. *Computer Aided Design*, 35(1), pp.107-114.



김 찬 석

신 종 계

노 재 규