

용접구조물의 변형 최소화를 위한 최적 용접순서의 해석적 방법

하 윤 석*†

*삼성중공업 산업기술연구소 용접연구파트

Analytical Methodology Obtaining an Optimal Welding Sequence for Least Distortion of Welded Structure

Yunsok Ha*†

*Welding Research, Samsung Heavy Industries Co., LTD., Geoje 656-710, Korea

†Corresponding author : yunsok.ha@samsung.com

(Received May 8, 2013 ; Revised June 20, 2013 ; Accepted June 24, 2013)

Abstract

Several methodologies analyzing welding distortions of large shell structures like ship blocks have been developed and utilized in shipyards for a long times ago. In general, one of objects of thermal distortion analysis is to find welding sequence making least-deformation without any suppliance, and it can be solved easily and rapidly by EP strain-boundary method. But after assembly construction, there are usually more than 10 weldments in each process, and the number of sequence will follow the Factorial calculation. In this research, a method has been suggested to decide the best welding sequence by minimum analysis. Using this method, welding deformation could be reduced just analyzing some cases as many as the number of weldments. Experiments and Analysis of all cases were also done, and their best results are good agreements with prediction by suggested methodology.

Key Words : Ship block, Wedling distortion, Shell element, FEM, Sequence

1. 서 론

선박의 건조과정에 적용되는 생산기술 중 과거에는 경험으로 진행되던 많은 분야가 현재는 상당 부분 공학 적 시뮬레이션의 범위 내에 포함되어 합리화 및 최적화 의 과정을 거치고 있다. 대표적으로 용접 열변형 해석¹⁾, 블록 내부의 도장 건조 해석²⁾, 부식 방지를 위한 전자 기장 해석³⁾, 크랙 방지를 위한 수소화산 해석⁴⁾, 선체블 록의 크레인 이동 후 곡직부 잔존 효율 해석⁵⁾, 경도 파 악을 위한 상변태 해석⁶⁾, 계측값 변환을 위한 복사 해 석⁷⁾, 리프팅시 와이어 간섭파악을 위한 동적 해석⁸⁾ 등 학문적 배경으로는 재료역학, 유체유동, 전자기, 고체화 산, 소성학, 기구학, 금속상변태, 열전달 등을 배경으로 하고 있고, 도구적인 방법론으로는 대부분 FEM(유한 요소해석)이나 CFD(전산유체역학) 및 MBD(다물체 동역학)가 사용된다. 이 중에서 선박이나 해양구조물의

건조/생산 분야에서 역사가 가장 긴 것으로는 단연 용 접 열변형 해석 분야를 거론할 수 있다.

선박 건조 공정에서의 용접에 기인한 블록의 열변형 해석 분야는 해석 대상의 규모 확대와 처리 속도의 증 가에 관심을 두고 발전되어 왔다. 이는 열변형 해석이 기본적으로 연성해석(coupled analysis)인 관계로, 전 통적인 3D 요소를 사용한 열탄소성 해석법⁹⁾으로는 전 산 환경이 좋아진 현재에도 시편 단위의 분석에 수 시 간이 걸리기 때문이다. 현재의 선체구조 열변형 해석에 서의 가장 큰 공헌들을 열거하면 각 조선소의 3차원 전 산설계로 부터의 모델링 시스템 구축¹⁰⁾, 열변형 모델링 에 각(shell)요소 사용¹¹⁾, 등가하중법¹²⁾에서 시작된 변 형률 경계법^{13,15)}의 사용 등이 있다.

그런데 공학적으로는 재료역학과 열전달 및 금속 야 금학의 상당한 융합적 지식을 요구하는 열변형 분야의 해석 수준이 고도화되는 것이 실제의 선박건조 과정에 서 그에 비례하는 효과를 얻을 수 있느냐에 대한 질문

에는 회의적일 수 있다. 열변형 수치해석의 정량적 결과의 적용은 일반적으로 3가지로 이루어진다. 첫째, 소부재의 조립 시 웹(web)의 거동처럼 면내 용접변형만 있는 경우에 역설계¹⁴⁾를 할 수 있다. 둘째, 용접의 면의 변형이 예상되는 부재나 선체블록을 히팅이나 굽힘하중을 이용하여 역방향으로 선행화하는 역가공을 할 수 있다. 마지막으로 탑재 단계에서 탑재용접에 기인한 전체적인 뒤틀림을 고려하여, 중요한 정도에 맞추도록 세팅하는 역세팅을 들 수 있다. 그 외로는 설계단계에서부터 열변형을 고려하여 칼링(carling) 설치위치를 파악하는 도구로 쓸 수도 있다. 이 모든 과정들은 전제조건이 있으며, 시스템이나 추가 부재 등 해석 이외의 투자비용의 발생이 항시 일어난다. 특히 고도화된 해석의 결과가 보강재의 추가 등으로 대응하는 데 사용된다. 이는 중량 절감에도 반(反)할 뿐 아니라 매우 소극적인 활용이라고 볼 수 있다.

이에 본 연구에서는 해석의 결과가 추가적인 투자 없이도 정도품질에 이바지할 수 있는가를 먼저 고려하였다. 일반적인 선체블록은 중조립 이후에는 각 단계(중조립, 대조립, PE, 탑재)가 적어도 10곳 안팎의 용접부로 이루어져 있다. 용접부는 소성영역을 발생시키는 데다가 각 용접부는 모두 자신의 수축에 의한 전체 정도를 변화시킨다. 따라서 동일한 용접구조물이 있을 때 (가집된 상태에서) 그 용접 순서를 다르게 하면 변형의 크기도 달라질 수 있다는 것은 널리 알려진 사실이다. 각 용접순서마다 변형의 결과가 모두 다르다면, 결과적으로 특정 방법은 다른 방법들보다 정도를 좋게 하거나 나쁘게 할 수 있다는 뜻이고, 이것을 해석/분석할 방법이 있다면 실제 작업 시에는 추가 비용 없이 좋은 품질의 건조가 이루어질 수 있을 것이다. 물론 이것은 각 (shell)요소 모델링에서도 서로 다른 용접순서에서 다른 용접변형의 양상을 구현한 탄소성 변형을 경계법¹³⁾ 등으로 현재 구현이 가능하다. 그러나 현재 이 해석기술로 선체블록의 저변형 최적 용접순서를 도출하는 데는 좀 다른 관점에서 상당히 무리가 있다.

용접부가 2곳인 블록은 2가지 방법의 순서가 존재한다. 3곳 인 경우는 6가지이며, 이 계산은 순열(permutation)의 계산방법에 해당한다. Solver에서 초/분단위로 처리가 가능한 변형을 경계법이라도, 전후처리 과정에서 약한 시간씩의 준비 및 분석과정이 필요하므로, 실제 작업가능한 수준의 용접부는 24 (=4!) ~ 120 (=5!) 가지의 해석이 필요한 용접부 4~5곳의 블록이 한계일 것이다. 본 연구는 탄소성 변형을 경계법의 활용을 극대화하기 위하여, 변형을 줄이는 용접순서를 도출하려고 하는 바, 순서 도출에 필요한 순서를 파격적으로 줄

이지 않으면 해석방법론이 용접부가 많은 대형 블록에는 적용될 수 없는 점을 극복하는 것에 주안점을 두었다. 이에 기존의 열변형도 기반 탄소성 변형을 경계법을 검증하기 위한 동일블록 실험의 결과¹³⁾에 먼저 주목하였다.

2. 탄소성 변형을 경계법 검증 실험

열변형도에 기반한 탄소성 변형을 경계법에서의 해의 도출 과정은 Fig. 1¹³⁾에 묘사되어 있다. 이 그림은 고온 액적의 용접부가 냉각되면서 응력-변형도 곡선이 열변형도만큼 음의 방향으로 이동되며 강성이 회복될 때, 온도가 변하지 않고 있는 주변부와 응력 평형이 이뤄지는 과정에서 압축 잔류변형과 인장 잔류응력이 도출되는 과정을 보여주는 데 사용된다.

해석기구내에서 응력평형을 이루는 과정에서 용접구조물에 잔류하는 소성변형도(ϵ^P)는 그 다음 용접부의 수축해석시 영향을 주게 된다. 이 영향에 의한 용접순서별 해석결과들의 순서가 실제와 얼마나 부합되는지 확인을 위한 실험¹³⁾이 이미 소개된 바 있다.

이 실험의 목적은 변형을 경계법으로 도출된 각기 다른 순서에서의 최종 변형 결과가 실제 결과와 얼마나 부합하는지 확인하는 것이었다. 따라서 이 연구에서는 동일한 형상의 용접구조물 시편을 도출 가능한 모든 용접순서의 가지 수만큼 제작한 후, 마찬가지로의 해석과정을 거쳐서 변형의 결과가 좋은 순서대로 나열한 것이 실험과 해석 간에 같은 순서를 보이는 지를 확인하려고 하였다. 시편은 Fig. 2¹³⁾와 같이 주판에 4개의 보강구조가 필릿용접으로 구성하되, 보강구조간의 용접도 필릿으로 설계하였다. Fig. 3¹³⁾은 6가지의 가능한 용접순서를 보여주고 있고, Fig. 4¹³⁾는 이 실험에서의 저변형의 기준으로 삼은 지표가 표현되어 있다. 이후 사례연구에서 부연하겠지만, 무엇을 목적으로 삼느냐에 대하여 가장 좋은 용접순서는 당연히 바뀔 수 있다. 본 실험에서는 변위의 order가 가장 큰 면외변형만을 골라

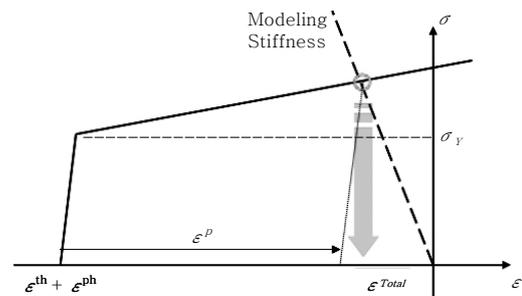


Fig. 1 EP analysis based on thermal strain versus elastic analysis (Ha, 2011)

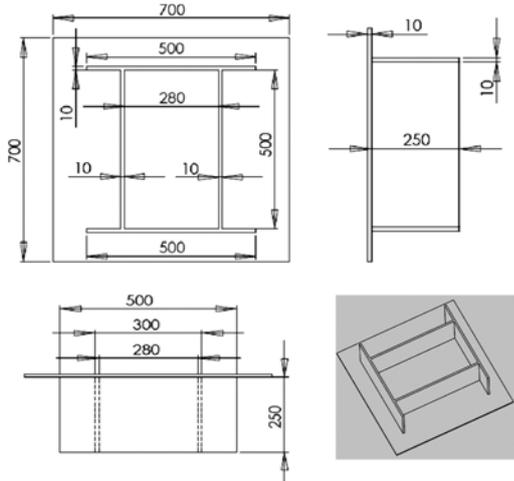


Fig. 2 Specimen design for verification of developed EP analysis (Ha, 2011)

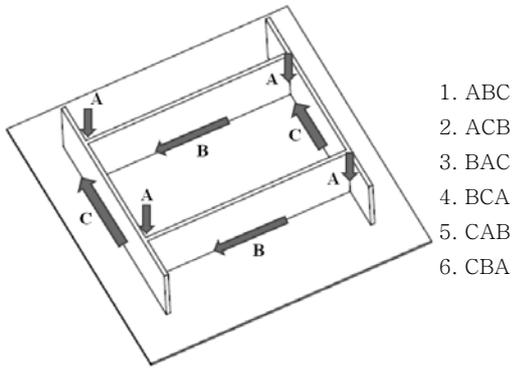


Fig. 3 Workable welding sequence diagram (Ha, 2011)

서 그 함으로 지표를 삼았다. 구조물이 상하좌우 대칭이므로 하나의 구조물에서 해당 지표값은 4개가 도출되므로 그 평균값을 사용하였고, 이렇게 함으로써 편차가 큰 용접실험의 한계를 조금이라도 극복하려고 하였다.

Table 1¹³⁾에 실험에서 드러난 저변형 순서와 해석에서 도출된 저변형 순서를 비교하였다. 각 순서의 이름은 Fig. 3에서 지칭된 용접부를 순서대로 그대로 서술하는 방식으로 지칭하여 직관적으로 각 경우의 용접순서를 인지할 수 있도록 하였다. 결과는 대략 두 가지 방향에서 고찰할 수 있다. 우선, 실험 결과는 순서별 변형량의 차이가 큰 편이나 해석 결과는 그 차이가 크지 않다. 그러나 6개 경우의 평균적인 결과는 어느 정도 유사한 것을 확인할 수 있다. 다음으로 순서에 대한 결과는 매우 고무적이다. 용접순서가 고려됨에 따라 구조물은 단계적으로 내부 잔류 응력 및 소성변형을 그리고 전체 구조물 강성이 조금씩 바뀌는 데 그 민감한 차이에 기인한 시편의 순서들 간의 변형 해석 결과는 실

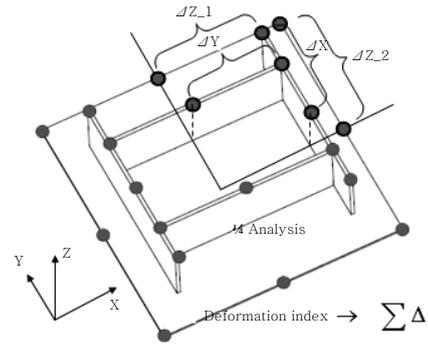


Fig. 4 Deformation index for comparison (Ha, 2011)

Table 1 Recommended welding sequence according to deformation index (mm) (Ha, 2011)

	Experiment		Analysis	
	1(best)	BAC	4.61	BAC
2	ABC	6.81	ABC	7.44
3	CBA	7.60	BCA	7.48
4	CAB	7.62	CBA	7.81
5	BCA	8.69	CAB	7.97
6(Worst)	ACB	9.98	ACB	8.00

험의 순서와 거의 일치한다. Table 1에서 음영처리된 BCA-경우를 제외한 나머지 5개간의 용접 저변형 순서는 해석결과와 실험결과간의 순서가 동일하다. 특히 가장 좋은 결과와 나쁜 결과에 대해서는 정확히 예측하였다.

기존의 연구에서 이루어진 실험-해석간의 비교에 추가적인 의미를 부여하면, 용접순서 변경에 의한 변형량의 최소와 최대의 차이는 실험에서 2배 이상까지 발생하였다는 것이다. 즉, 해석이 변형에 대한 정량적인 예측을 정확하게 하지 못했다고 하더라도, 작업의 순서를 결정하는 정성적인 결과는 매우 유용하게 쓰일 수 있다.

3. 후순위법

전(前)장에서 제시한 결과를 얻기 위해 3그룹의 용접부에 대하여 총 6번의 해석이 있었고, 각 해석은 (용접부가 3곳이므로) 3단계에 걸쳐 이루어진다. 결과를 고찰하면, 일단 가장 좋은 정도를 보인 용접 순서가 가장 나쁜 정도를 보인 순서의 정반대도 아닌 것을 확인할 수 있다. 즉, 어떠한 방법으로도 해석 숫자를 줄여서라도 최고 정도를 보이는 용접순서를 찾으려는 것은 쉽지 않아 보인다.

이에 본 연구는 현업에서의 오랜 경험규칙 한 가지를 적용하여 본 결과를 다시 고찰할 것이다. 조선소에서는

아주 높은 정도로 품질이 보장되어야 하는 부품에 대해서는, 여러 곳의 용접부에 대하여 변형을 가장 심하게 일으킬 것 같은 곳을 맨 마지막에 용접한다. 새로운 형상의 해양구조물들이 계속적으로 조립되는 야드에서 상기와 같은 짐작을 모두 옳게 한다는 것은 어려운 일이다. 다만 이렇게 작업하는 것은 다음과 같이 충분히 공학적으로 설명할 수는 있다.

용접전 모든 부재는 가접(tack)이 이루어진 상태에서 수행되지만, 가접보다는 용접이 완료된 후의 강성이 훨씬 강하기 때문에, 만일 변형에 영향이 큰 용접이 선행되면, 낮은 강성에서 구조물을 쉽게 뒤틀리게 할 것이다. 따라서, 본 연구에서는 마지막 단계의 용접이 가장 중요하다는 전제 아래 Table 1의 Analysis의 결과를 다시 고찰하였다. 일단, 가장 좋은 순서를 보인 앞선 두 경우는 'C'의 용접이 맨 마지막에 수행되었고, 가운데 두 경우는 'A' 용접이 마지막에 수행되었으며, 마지막 두 경우는 'B' 용접이 마지막에 수행되었다. 즉, 변형정도를 기준으로 한 용접순서간의 서열은 마지막 용접부가 무엇인가에 대하여 서로 섞이지 않고 그룹화가 가능하다.

이제 이 결과들을 다음과 같이 조합해 보려고 한다. 'C'가 마지막에 오는 것이 가장 좋았으므로 'C'를 마지막에 배치하고, 그 다음으로는 'A'였으므로 그 앞에 'A'를 수행하여, 마지막으로는 'B'였으므로 B를 그 앞에 배치하고 그 순서를 보면 BAC로 나열이 된다. 이 분석 결과는 해석해들의 집합에서 가장 좋은 결과를 준 것과 동일하다. 이 단락에서의 결론은 결국 두 가지로 귀결된다. 마지막 용접순서로 그 결과가 섞이지 않으므로, 마지막에 무엇을 용접하느냐 만으로 해석 수를 줄일 수 있다는 것과, 그 결과로 가장 좋은 순서를 만들 수 있다는 것이다.

상기의 실험의 경우는 A, B, C 각 용접부를 마지막에 해석하는 세 번의 해석으로 결과를 낼 수가 있다. 각 해석은 기존에는 용접부의 숫자만큼의 step이 필요하였으나, 이 경우엔 첫 번째 step에서는 마지막으로 가정한 용접을 제외한 전 용접의 동시 해석, 그리고 두 번째 step에서는 마지막 용접을 포함한 해석으로 진행할 수 있으므로, 용접부가 몇 곳이던 간에 단 2개의 step만이 필요하다. 용접부가 늘어나면 필요한 해석 수는 용접부의 수와 똑같이 증가하며, 한 해석에 필요한 step의 수는 증가하지 않고 2로 고정된다. 본 분석법의 효용은 Table 2와 같고, 본 연구에서는 이후 후순위법(Post Sequence Method)이라는 이름으로 이 방법론을 기술할 것이다.

Table 2 Needed analysis number by post sequence method

#. of weldline	3	5	8	10
#. of Sequence (Conventional analysis)	6 (3!)	120 (5!)	40,320 (8!)	3,628,800 (10!)
#. of step at each analysis (Conventional analysis)	3	5	8	10
#. of needed analysis (Suggested methodology)	3	5	8	10
#. of step at each analysis (Suggested methodology)	2	2	2	2

4. 사례연구

Fig. 5에 선박의 자세제어에 사용되는 Azimuth thruster의 정도를 확보하기 위한 본 연구의 적용결과를 도시하였다. 이 블록엔 8곳의 용접부가 존재하며, 선체와의 조립시 최소 밀링 가공을 위하여 상부의 평탄도가 매우 중요하다. 상부 원둘레의 30도 간격으로 용접 후 레벨 변화의 편차를 목적함수로 하여 도출된 저변형 최적순서의 결과가 Fig. 5에 도시되었다. 기술된 바와 같이 8곳의 용접부는 4만개 이상의 방법이 존재하지만, 후순위법에 의거 8번의 해석으로 결과를 도출할 수 있다. 수행이 필요한 각 8개의 해석은 3장에서 각술한대로 모두 2step만을 필요로 하고, 이 과정은 Table 3과 같이 정리하였다. 각 해석의 '1 step' 항을 관찰하면 각 용접부가 하나씩 빠진 것을 알 수 있다. '2 step'은 모든 용접부가 다 완료된 상태이므로 각 해석의 입력인자는 같아 보이나, 1step에서 빠진 용접부가 각 해석별로 모두 다르므로, 2step 수행 전 각 모델에 남은 소성변형도는 모두 다른 상태이다. 특히 2step은 1step에서

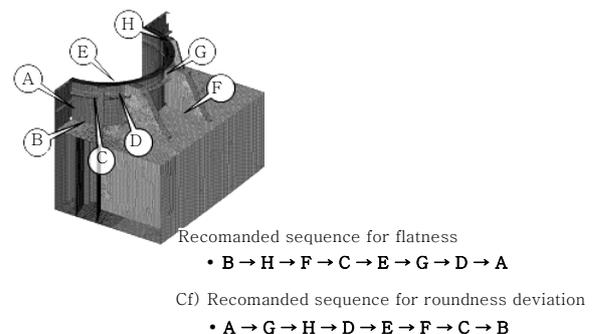


Fig. 5 Optimal welding sequence for flatness of welded structure

Table 3 Needed 8 analyses for azimuth example by post sequence method

Analysis	1 step	2 step	Flatness (mm)	Roundness deviation (mm)
1	BCDEFGH	ABCD EFGH	0.362	0.622
2	ACDEFGH		0.453	0.518
3	ABDEFGH		0.417	0.551
4	ABCEFGH		0.407	0.590
5	ABCDFGH		0.410	0.567
6	ABCDEGH		0.420	0.560
7	ABCDEFH		0.409	0.610
8	ABCDEFG		0.427	0.591

빠진 용접부만 처리하는 것이 아니라, 전 용접부를 해석 대상으로 삼고 있는데, 이는 에너지가 출입하는 열탄소성 해석과는 달리, 변형도 경계법 해석의 특징을 잘 보여주는 것이다.

평탄도를 나타낼 목적함수로는 상면의 레벨 결과의 최대값과 최소값의 차를 선정하였고, 이는 밀링 가공량을 최소로 하기 위한 것으로부터 직관적으로 설정한 것이다. 최적의 순서가 평탄도를 '0'으로 보장하는 것은 아니지만, 이러한 부재는 허용공차 내에 들어갈 때까지 고가의 밀링작업이 수반되어야 하므로, 차후의 가공비용을 최소화하게 된다. 본 연구에서 제시한 방법으로 도출된 순서대로 용접된 이 블록은 계측 결과가 매우 양호하여 밀링가공을 거치지 않고 선체에 탑재되었다.

조금 다른 관점에서의 본 연구결과와의 고찰을 위하여 목적함수를 진원도(roundness deviation)¹⁴⁾로 바꾸어서 해석을 진행한 결과도 Table 3 및 Fig. 5에 같이 도시되어 있다. 추천된 순서의 전후만 보면 저변형을 위한 용접순서가 대략 뒤바뀐 것을 확인할 수 있다. 즉, 저변형 용접순서라는 것은 특정 목적부에서의 변형을

감소시키기 위해 다른 곳에서는 일반적인 경우보다 더 큰 변형을 일으킬 수도 있다. 따라서, 본 연구결과는 선체 블록의 차단계 용접부의 정도나 가공비용 최소화 등 특수 목적을 수반하여 수행될 때 효과가 극대화될 것이다.

본 연구결과는 Fig. 6과 같이 조선소에 존재하는 전산설계도면에 user가 관심있는 용접부를 지정하면, 저변형 용접순서 도출을 위한 후순위법 해석이 필요한 해석의 set을 자동으로 만들어내는 자동화 시스템으로 구현되었다. Solver에서의 용접해석시간 단축이 방법론이나 H/W 등의 발달로 어느 정도에 이르게 되면, 전체 분석시간을 줄이는 데에 대한 체감은 전처리 과정을 단축하는 데에 있다.

5. 결 론

본 논문에서는 변형을 줄이는 용접순서를 해석적으로 찾는 방법을 연구하였다. 이 과정에서

- 1) 기존의 대형 각(shell)구조물에 적용되는 탄소성 변형도 경계법을 소개하였다.
- 2) 현장의 경험을 바탕으로 변형에 대한 후순위 용접의 중요성을 바탕으로 해석 수의 최소화를 꾀한 방법론을 제시하였다.
- 3) 제시한 방법은 동일 블록의 용접순서 변경 실험을 통하여 경향의 유사성을 입증하였다.
- 4) 본 연구결과가 이용된 선체블록 용접시의 사례를 들고, 목적함수에 따라 최적순서가 달라질 수 있음을 보였다.

참 고 문 헌

1. Ha, Y.S. : A Study on Weldment Boundary Condition for Elasto-Plastic Thermal Distortion Analysis of Large Welded Structures. Journal of KWJS, **29-4** (2011) 48-253
2. Song, Y.S., Seol, S.S., Yoon, K.W., Yang, M.S. Jeong, J.H. & Yoon, H.S. : A Study on the Prediction of Paint Dry Time at Ship Block's Inner Wall Placed in the Paint Dry Facility Adopting the Hot Air Supply System. Special Issue of the Society of Naval Architects of Korea, (2011), 75-81
3. Kang, J.G., Lee, C.H. & Shin, J.G. : Numerical analysis of induction heating for the application of line heating. Journal of the Society of Naval Architects of Korea, **37-3** (2000), 110-121
4. Oh, C.S. & Kim, Y.J. : Coupled Analysis of Hydrogen Transport Within ABAQUS. Journal of Mechanical Science and Technology, **33-6** (2011), 600-606
5. Ha, Y.S., Won, S.H. & Yi, M.S. : A Study for Remained Efficiency of Correction Heating after Block Lifting. Special Issue of the Society of Naval

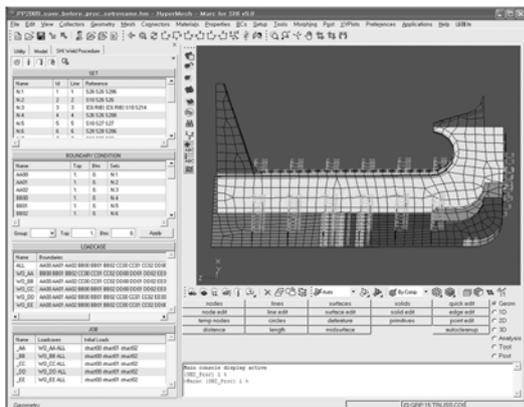


Fig. 6 Pre-processing system of post sequence method for finding low weld-distortion

- Architects of Korea, (2008), 118-125
6. Ha, Y.S. & Jang, C.D. : Developed Inherent Strain Method Considering Phase Transformation of Mild Steel in Line Heating. Journal of the Society of Naval Architects of Korea, **41-6** (2004), 65-74
 7. Ha, Y.S. & Yi, M.S. : A prediction of Out-of-Plane Deformation on a Deck Plate by Temperature Difference between Steel and Air. Journal of the Society of Naval Architects of Korea, **49-3** (2012), 222-226
 8. Hwang, J.H., Ahn, J.I., Lee, S.B. Kim, Y.H., Chung, J.S., Ham, S.H. & Lee, W.J. : Free Surface Procedure for Lifting Operation by Parallel Connected Floating Cranes using Synchronized Operation System and Its Applications to Lifting Operations of a Heavy Cargo. Special Issue of the Society of Naval Architects of Korea, (2009), 97-106
 9. Lee, J.H., Shin, J.G. & Kim, J.H. : Three Dimensional Thermal-Elastic Plastic Analysis of GMAW Considering the Melting of Weld Bead. Journal of the Society of Naval Architects of Korea, **39(1)** (2002), 49-60
 10. Heo, H.Y., Park, J.G., Ha, Y.S. & Jang, T.W. : Development of Automatic Computer-Aided Engineering System for Weld Distortion Analysis in Ship Production. 2007 Altair Korea Technical Conference, Seoul, Republic of Korea, 19 October 2007
 11. Jang, C.D. & Lee, C.H. A Study on the Prediction and Control of Welding Deformations of Ship Hull Blocks. Journal of the Society of Naval Architects of Korea, **37-2** (2000), 127-136
 12. Ha, Y.S. & Jang, C.D. : An Improved Inherent Strain Analysis for Plate Bending by Line Heating Considering Phase Transformation of Steel. International Journal of Offshore and Polar Engineering, **17(2)** (2007), 139-144
 13. Ha, Y.S. : Development of Thermal Distortion Analysis Method on Large Shell Structure Using Inherent Strain as Boundary Condition. Journal of the Society of Naval Architects of Korea, **45-1** (2008) 93-100
 14. Ha, Y.S. : Thermal Distortion Analysis by Incorel Over-layer at Circular Moonpool Structures. Journal of the Society of Naval Architects of Korea, **49-4** (2012), 304-311
 15. Ha, Y.S. : A Study on Weldment Boundary Condition for Elasto-Plastic Thermal Distortion Analysis of large Welded Structures. Journal of KWJS, **29-4** (2011), 48-53