

# 블록조립시 변형제어에 관한 연구

이주성  
울산대학교 수송시스템공학부

## Study on the Weld-Induced Deformation Control of Panel Blocks

Joo-Sung LEE  
School of Transportation Engineering, University of Ulsan, 680-749, Korea

**KEY WORDS:** Butt weld, Fillet Weld, Methods for deformation control, Simulator, Weld-induced deformation

**ABSTRACT:** This paper is concerned with the simulator to estimate deformation due to welding of panel blocks. An efficient computer program system has been developed which can be applied both to estimation of weld-induced deformation under the given welding conditions and to reflection of effect when methods for deformation control are applied. This paper briefly describes the background of the present simulator and shows some results applying the simulator to estimation of weld-induced deformation. In addition results when methods for deformation control are applied are also included.

### 1. 서 론

선박건조과정에서 용접변형은 피할 수 없는 것이지만 후공정에서 작업시 취부작업 등에 소요되는 시간과 노력을 감소시키기 위해서는 현공정에서 유발되는 용접변형의 크기를 가능한 감소시키고 부재들 사이의 이음선을 따라서 발생하는 용접변형이 균일한 것이 되도록 하는 변형제어방법의 마련과 적용이 필요하다. 이러한 용접변형 제어를 위한 방법을 고안하기 위해서는 용접으로 발생하는 변형을 예측할 수 있는 Simulator의 개발이 선행되어야 할 것이다. 본 논문에서는 용접변형의 제어와 관련하여 평블록 조립시 Butt 용접과 Fillet 용접으로 발생하는 용접변형을 효율적이고 정도 높게 예측할 수 있는 시뮬레이터의 개발이 연구의 주된 내용이다. 이 논문에서는 기 개발된 용접변형예측 시뮬레이터[1]를 확장해서 현재 현장에서 적용이 가능한 구속이나 Carling의 부착 등 변형제어방법의 적용효과를 반영할 수 있도록 개발하였다. 여기에서는 개발한 시뮬레이터에 대한 소개 및 적용 예를 다루었다.

### 2. 용접변형 간이에측모델

용접변형은 기본적으로 판재가 놓여있는 면내에서 발생하는 변형인 면내변형과 그 면에서 벗어나는 방향으로의 변형인 면외변형으로 대분되는데, 대체로 아래와 같이 구분한다[1].

a) 용접선에 수직방향으로 발생하는 횡수축

- b) 횡방향으로의 각변형
- c) 용접선을 중심으로 평면내의 회전을 포함한 각변형
- b) 용접선에 평행한 방향으로 발생하는 종수축
- e) 용접선을 따라 판에 수직하게 발생하는 종굽힘변형
- f) 수축 시 작용하는 압축응력으로 인한 좌굴변형

현장에서 발생하는 변형의 형태를 살펴보면 이러한 변형형태가 서로 복합적으로 작용을 해서 발생한다. 본 논문에서는 위의 변형형태 중 변형결과에 비교적 큰 영향을 주는 a), b), c) 세 경우를 고려하였다. 이에 대한 간이에측모델은 참고문헌 [1]과 [2]의 것을 사용하였고, Fillet 용접의 각변형에 대한 간이에측모델은 용접선의 길이방향으로 각변형의 변화를 고려할 수 있는 참고문헌[3]에서 제안한 식을 사용하였다.

### 3. 용접변형예측 시뮬레이터의 개요

본 연구에서 개발한 시뮬레이터평 블록 조립시 Butt 용접과 Fillet 용접으로 발생하는 변형을 예측하는 것으로서

- Data input module
- Butt weld simulation module
- Fillet weld simulation module
- Graphic representation module

와 같이 다음과 같이 4개의 프로그램 모듈로 구성되어 있다. 이러한 프로그램 모듈들은 프로그램 모듈 관리 시스템에 의해

관리되며, Window 95 환경에서 GUI의 개념을 이용해서 해당되는 기능을 시연할 수 있도록 개발하였다. Simulation을 위해 필요한 Data는

- 판의 크기와 두께 등 기하학적 형상을 정의하는 Data
- 보강재의 개수와 Butt weld line의 개수
- Fillet weld와 Butt weld의 용접조건
- Butt weld line의 시작점과 끝점

등이다.

Simulation은 Butt weld simulation과 Fillet weld simulation으로 구분되며, 변형의 결과를 도출하기 위해 유한요소법을 적용해서 3차원 구조해석을 수행한다. 이때 필요한 요소분할에 대한 Data, 하중조건, 경계조건 등 유한요소 Data는 Butt 용접선의 위치와 개수 그리고 용접조건과 판의 기하학적 특성을 나타내는 정보로부터 자동적으로 생성될 수 있도록 개발하였다.

## 4. 시뮬레이터의 적용

### 4.1 대상 평 블록

개발한 시뮬레이터의 적용 예를 보여주기 위한 대상 평 블록을 Fig.1에 보였고, 기본 Data는 아래와 같다.

- overall dimension :  $L \times B \times t = 2250 \times 5400 \times 14$  mm
- no. of butt joint lines = 2
- no. of stiffeners = 6
- stiffener space = 800 mm

본 시뮬레이터에서는 Butt 용접의 개선형태로서 판의 두께에 따라 적용되는 여러 개선형태를 고려할 수 있도록 되어 있는데, 이 모델에 대해서는 I 개선형태로 하였다.

### 4.2 Simulation 예

#### [1] Butt weld simulation

Fig.1에 보인 대상 평 블록에 대해 주어진 용접조건에 따라 Butt weld simulation을 수행한 결과를 Fig.2에 표시하였다. Fig.2에서 보듯이 Butt joint line 근처에서 요철형태의 변형형상을 보이고 있는데 이는 면내 회전변형의 작용 때문이다.

#### [2] Fillet weld simulation

Fillet weld simulation에서는 Butt 용접으로 인한 변형의 영향을 고려하기 위해 Butt weld simulation 결과를 이용해서 Fillet weld simulation을 시행하기 전에 이를 위한 유한요소모델의 각 절점에서 Butt weld로 인한 변형량을 계산해야 한다. 이때 Fillet weld simulation과 Butt weld simulation을 위한 유한요소의 분할결과가 다르므로, 따라서 Fillet weld simulation을 위한 절점 위치가 Butt weld simulation을 위한 절점 위치와 일반적으로 다르다. 따라서 여기에서는 Fillet weld simulation

을 위한 절점에서의 초기변위를 그 절점 부근에 있는 Butt weld simulation을 위한 절점들의 변위를 기본 Data로 해서 Surface interpolation으로 추정하였다. 그 결과를 Fig.3에 표시하였다. 전반적으로 Butt weld로 인한 변형형태를 잘 나타내고 있다. Fig.4는 Fillet weld simulation의 결과를 표시한 것이다. 본 모델의 경우 Fig.1에서 변②④에 연하여 비교적 큰 각변형이 발생됨을 볼 수 있다. 용접선에 수직방향으로의 수축량의 평균은 약 4.5mm 정도인데 이는 주로 Butt 용접에 의한 것이다.

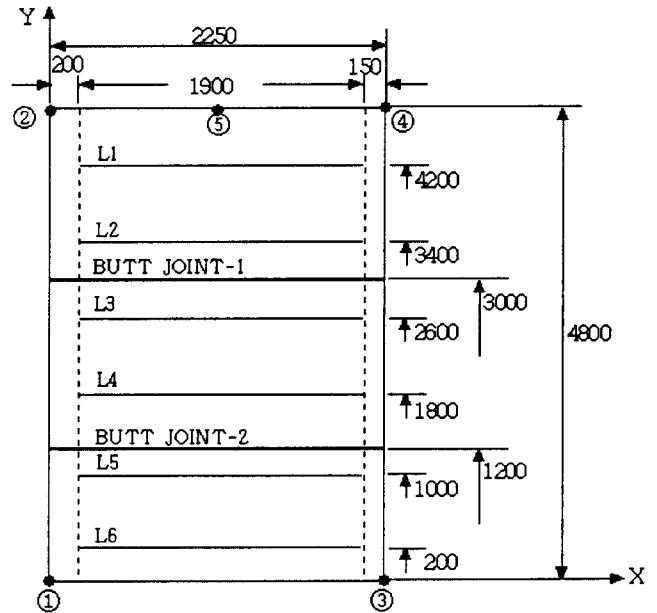


Fig.1 Panel block model (unit : mm)

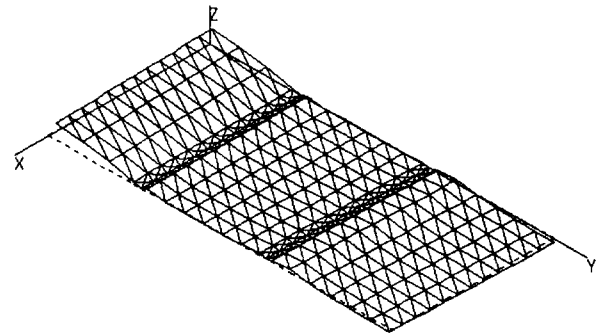


Fig.2 Result of butt weld simulation

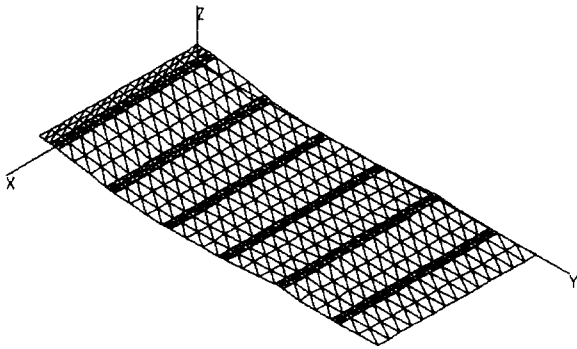


Fig.3 Initial deformation due to butt weld simulation for fillet weld simulation

<MAXIMUM FIVE DEFLECTIONS>  
 A = 3.90 mm at ( 1266., 4800.)  
 B = 3.77 mm at ( 964., 4800.)  
 C = 3.48 mm at ( 1507., 4800.)  
 D = 3.40 mm at ( 843., 4800.)  
 E = 3.21 mm at ( 1266., 713.)

<SHRINKAGE>  
 4.178 mm at x= 0  
 4.661 mm at x= 2250.

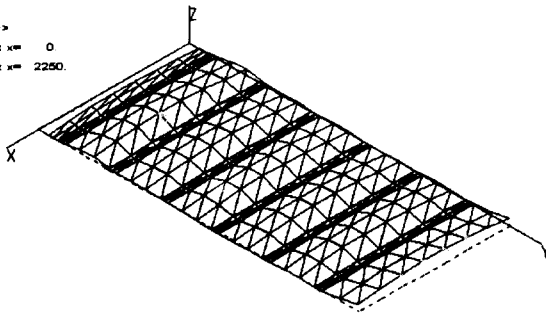


Fig.4 Result of fillet weld simulation : overall view

### 4.3 변형제어방법의 적용

여기에서는 Fig.4의 결과를 참고해서 변형을 감소시키기 위한 변형제어방법을 적용했을 때 그 효과가 어떻게 나타나는가를 보기 위해 Fig.1에 보인 모델에 대해 변형제어방법으로서 구속을 하는 경우와 Carling을 부착하는 경우에 대해 그 효과를 살펴보았다.

#### [1] 구속하는 경우

본 연구에서 개발한 시뮬레이터에서는 변형의 구속방법으로 단순구속과 완전구속을 적용할 수 있다. 단순구속은 각변형에 대해서만 구속하는 경우이고 완전구속은 각변형 뿐만 아니라 수축에 대해서도 어느 정도 구속의 효과를 줄 수 있는 구속방법을 의미한다. Fig.4에서 보는 바와 같이 변②④에 연하여 발생하는 각변형량을 감소시키기 위해 Fig.1의 점①~⑤을 완전히 구속해 보았고, 그 결과를 Fig.5에 표시하였다. 점⑤는 점②와 ④의 중간위치이다. Fig.4과 비교해서 수축량은 약 70%, 각변형량은 약 20% 감소되어 상당한 변형감소의 효과를

볼 수 있다. 구속을 하지 않은 경우 큰 각변형이 발생한 변②④에 연하여 각변형의 감소에 상당한 효과가 있음을 알 수 있다. 동일한 변에서 변형이 균일하지 않은 것은 구속점을 더 추가하면 변형의 수준이 낮으면서 이음선에 연하여 균일한 변형 상태를 얻을 수 있을 것이다.

#### [2] Carling을 부착한 경우

현재 현장에서 변형감소방법으로 많이 적용하는 것으로 Carling을 부착한 후 용접을 하게 된다. Carling의 형태는 연속형과 Snip 형으로 구분된다. Carling을 부착한 효과를 보기 위해 변①③에서 300mm 떨어진 위치에 70×10mm FB 연속형 Carling을 부착하고, 또한 변②④에서 300mm 떨어진 위치에 100×10mm FB Snip 형 Carling을 부착한 경우를 다루었다. Simulation 결과는 Fig.6에 표시하였다. Fig.4와 비교해 보면 수축량의 감소에는 큰 효과가 없으며 각변형의 감소에는 어느 정도 효과를 볼 수 있으나 그 감소효과는 크지 않은 것으로 언어졌다. 특히 Snip 형 Carling은 각변형의 감소에 거의 영향을 주지 않는 것으로 보인다. 반면 연속형 Carling을 부착하면 각변형 감소에 어느 정도 효과를 볼 수 있는데, 이는 Carling이 보강재의 역할을 하기 때문이다.

<MAXIMUM FIVE DEFLECTIONS>  
 A = 2.98 mm at ( 964., 1513.)  
 B = 2.87 mm at ( 843., 1513.)  
 C = 2.95 mm at ( 1266., 1513.)  
 D = 2.87 mm at ( 1266., 713.)  
 E = 2.65 mm at ( 964., 713.)

<SHRINKAGE>  
 0.78 mm at x= 0  
 1.661 mm at x= 2250.

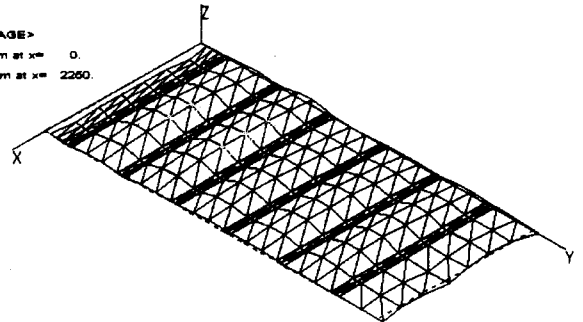


Fig.5 Deformed shape when corner point ① to ⑤ in Fig.1 are fully restrained

## 참고문헌

- [1] Masubuchi, K. : Analysis of Welded Structures - Chap.7 Distortion in Weldments, Pergamon Press, 1980
- [2] Kim, S.I., Lee, J.S. et al, "A Study of the Accuracy Control of Block Assembly in Shipbuilding - simulation of residual deformation due to fillet welding", Proc. ICCAS'97, Yokohama, Japan, Oct. 1997, pp.367-381
- [3] 이주성, "평블록의 용접변형 제어", 한국해양공학회 춘계논문발표회 논문집, 2000, pp.205-209

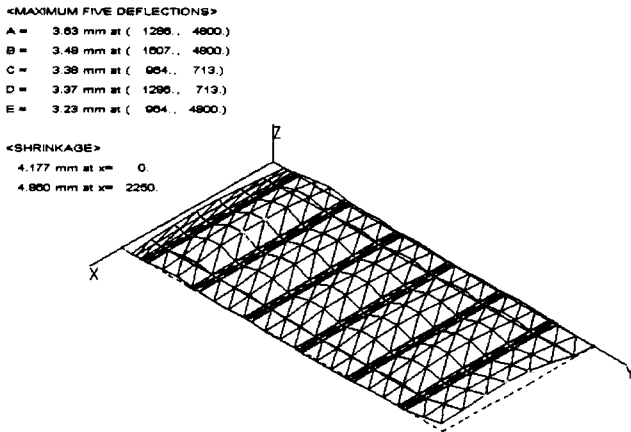


Fig.6 Deformed shape when carlings are attached at x=300 and 1950mm

## 5. 결론

본 논문에서는 평 블록의 용접변형 예측을 위해 개발한 시뮬레이터의 전반적인 내용을 기술하였으며, 이를 용접변형예측과 변형제어방법을 적용한 효과의 추정에 적용하였다. 본 연구에서 개발한 용접변형예측 시뮬레이터는 Data의 입력이나 결과의 확인을 Graphic Tool을 이용해서 사용의 편의성을 제고하여 개발하였다. 본 연구에서 수행한 주요 내용은 다음과 같다.

- 1) 평블록의 용접변형예측을 위한 실용적인 시뮬레이터의 개발
- 2) 구속이나 Carling의 부착 등 변형제어방법의 효과를 반영할 수 있도록 Simulator 개발
- 3) 사용의 편의성을 제공해서 Window 95 환경에서 운영될 수 있는 운영 시스템의 개발

본 연구에서 개발한 시뮬레이터를 실제 평 블록 모델에 적용하고 보완한다면 보다 실용적인 시스템으로 개발될 것이고, 이어서 곡 블록의 변형예측을 위한 시스템으로 확대개발할 예정이다.