

자동차 설계 프로젝트 과제 최종 보고서

과제명 : 사각프레임 탄산가스아크용접 조건에 따른
변형량 예측

설계프로젝트 수행 결과 보고서를 붙임과 같이 제출합니다.

2013.12.30

대구대학교 자동차공학과

제 출 문

본 보고서를 대구대학교 자동차공학과 설계프로젝트 과제
“사각프레임 탄산가스아크용접 조건에 따른 변형량 예측”의
결과 보고서로 제출합니다. (수행기간 : 2013년 9월 2일 ~
2013년 12월 30일까지)

2013.12.30

지도교수 :	김봉훈 교수님 (인)
대표학생 :	안지훈 (인)
참여인원 :	박진용 (인)
	이동엽 (인)
	석진욱 (인)
	소지섭 (인)
	홍석훈 (인)

목차

그림 목록.....	ii
표 목록.....	iv
요약문.....	v
1. 서론.....	1
1.1 산업 활용 배경.....	1
1.2 기존연구.....	1
1.3 연구 목표.....	4
1.4 이론적 배경.....	4
1) 용접에 영향을 주는 요인.....	4
2) 용접 변형.....	6
3) SYSWELD.....	8
2. 본론.....	10
2.1 SYSWELD해석방법.....	10
1) 매쉬설정.....	10
2) 경계조건.....	12
3) 예비실험 및 해석.....	15
2.2 실험장치 및 실험방법.....	21
3. 실험결과.....	26
3.1 실험오차분석.....	26
1) 냉각시간오차.....	26
2) 체관오차.....	26
3) 측정오차.....	27
3.2 결과분석.....	27
1) 용접순서.....	27
2) 입열량.....	28
3) 예열온도.....	30
4. 결론.....	31
5. 참고문헌.....	33
6. 부록.....	34
부록1. SYSWELD해석 절차.....	34
부록2. 자재 도면.....	54

그림 목록

Fig 1 선체 블록의 형태	1
Fig 2 전류, 전압, 속도변화와 용입관계	5
Fig 3 변형 형상	6
Fig 4 SYSWELD의 기본구조	8
Fig 5 연속 냉간곡선	9
Fig 6 매쉬 설정 조건	10
Fig 7 매쉬 설정 조건	10
Fig 8 매쉬 설정 조건	11
Fig 9 카티아 모델링형상	12
Fig 10 surface생성 형상	12
Fig 11 매쉬설정	13
Fig 12 3D형상	13
Fig 13 2D surface 재구성	14
Fig 14 매쉬 완성	14
Fig 15 용접조건 입력	15
Fig 16 용접순서에 따른 변형량	16
Fig 17 층간온도에 따른 변형량	17
Fig 18 예열에 따른 변형량	17
Fig 19 제작 공구	21
Fig 20 용접실행절차	23
Fig 21 사각프레임의 노드 지점	24
Fig 22 카티아 구현 과정	25
Fig 23 냉각시간에 따른 SYSWELD해석	26
Fig 24 제관오차	26
Fig 25 측정오차	27
Fig 26 입열량에 따른 변형량	29
Fig 27 예열온도에 따른 변형량	30
Fig. A-1 카티아 모델링	34
Fig. A-2 mash모드	34
Fig. A-3 igs파일 셋업	35
Fig. A-4 2D 서페이스	35
Fig. A-5 서페이스 생성	36
Fig. A-6 매쉬화면 로드	37
Fig. A-7 매쉬 설정모드	37
Fig. A-8 mash 스플라이트	38

Fig. A-9 매쉬 설정	38
Fig. A-10 매쉬 블록 구성	39
Fig. A-11 매쉬량 설정	39
Fig. A-12 완성된 mash	40
Fig. A-13 3D구현	40
Fig. A-14 불필요한 매쉬 줄이기	41
Fig. A-15 2D서페이스 생성	42
Fig. A-16 2D서페이스 재구성	42
Fig. A-17 2D 서페이스 매쉬 설정	43
Fig. A-18 서페이스 결속	43
Fig. A-19 2D 서페이스 매쉬 설정	44
Fig. A-20 결합 체크	44
Fig. A-21 결합되지 않은 노드	45
Fig. A-22 노드 결합 대기	45
Fig. A-23 결합된 노드 확인	46
Fig. A-24 단일 서페이스 저장	46
Fig. A-25 LOCAL모델 collector	47
Fig. A-26 PLATE모델 collector	47
Fig. A-27 BEAD지정	48
Fig. A-28 skin 설정	48
Fig. A-29 용접방향 설정	49
Fig. A-30 용접방향과 노드점 지정	49
Fig. A-31 Weding advisor	50
Fig. A-32 재질 선택	50
Fig. A-33 Welding advisor 데이터 입력	51
Fig. A-34 외부온도 설정	53
Fig. A-35 클램프 조건 설정	53
Fig. A-36 해석 시작	54
Fig. B-1 64 4.5T 치수 도면	54
Fig. B-2 6T 치수 도면	55
Fig. B-3 9T 치수 도면	55
Fig. B-4 지그 치수 도면	55

표 목 록

Table 1	예비실험 용접조건	20
Table 2	용접순서에 따른 변형량	27
Table 3	입열량에 따른 조건 값	28
Table 4	예열온도에 따른 조건 값	30
Table A-1	welding process 입력조건	52

최종보고 요약문

과 제 명	사각구조물의 탄산가스아크용접조건에 따른 변형량 예측
팀명	방사능
팀원	안지훈, 박진용, 이동엽, 석진욱, 소지섭, 홍석훈
과제기간	2013년 9 월 2일 ~ 2013 년 12월 13 일

1. 개발내용 및 목표

선박 건조에 있어 하부 프레임에 사각 구조물이 쓰인다. 용접자에 따라 용접방법은 상이하게 다르다. 그러므로 우리는 기본적인 용접에 있어 변형에 영향을 끼치는 변수를 찾고자 하며 그에 따른 용접순서 입열량 예열에 있어 시편에 미치는 영향을 예측하고 이를 입증하여 기초적인 자료를 제공하고자 한다.

2. 개념설계 및 상세설계

논문 조사나 표준규격을 통해 우리가 수집한 정보들을 이용하여 CO2 용접의 이론적인 면이나 비틀림 그리고 용접 조건을 설정하는데 있어 필요한 각장규격, 최적 입열량, 용입, 예열, 용접순서에 영향을 주는 예열, 용접속도, 용접와이어돌출길이의 영향, 전류 전압의 조건, 입열량, 보호가스의 영향등과 같은 조건들이 용접비틀림에 어떤 영향을 주는지에 대한 기본적인 정보를 제공하고 SYSWELD해석의 이론적인 정보를 제공할 것입니다.

3. 제작

1. 예비실험

예비실험을 통하여 우리가 하려는 실험의 타당성을 입증하고 입열량, 예열, 용접순서를 변수로 두어 최적의 용접조건을 설정

2. SYSWELD해석

예비실험을 통해 잡은 최적용접조건을 SYSWELD해석을 통해 유효성 검사.

3. tack용접

실용접을 실시하기 앞서 tack용접을 실시하여 실용접시 비틀림을 최소화될 수 있도록 tack용접을 실시(택용접 시 클램프로 사각구조물을 고정 한 상태에서 용접)

4. 냉간가압법

택용접된 사각프레임에서 발생한 비틀림에 대해 냉간가압법을 이용하여

비틀림교정

5. 실용접

예비실험을 통해 얻은 최적의 용접조건과 용접순서를 이용하여 본격적인 사각프레임 용접 실시(실용접시 클램프를 고정하지 않고 용접)

6. 측정

실용접된 사각프레임을 정반위에 올려놓고 앞 지점을 0점으로 잡고 측정을 실시정반의 밑 부분을 0으로 잡고 그 프레임위의 지점과의 거리를 측정하여 실제 사각프레임의 길이를 빼면 구조물의 변형량을 측정하고 3D카티아 구현을 위한 x,y,z축의 좌표를 기록

7. 3D카티아 구현

측정시 기록된 좌표를 x, y, z축으로 정리하여 카티아프로그램의 매크로를 이용하여 기록된 좌표를 넣어 각 지점을 Catia point로 Part Degin에서 구현

4. 세부 연구개발 내용 및 실적

- 1) 적정 각장 내에서 입열량의 차에 의해 변형량이 두드러진다.
- 2) 적정 각장 기준에 의하여 T에 따라 입열량이 감소함으로 변형이 줄어든다.
- 3) T두께에 대한 변형량은 4.5T가 63.83%로 가장 많이 변형 되었다.
- 4) 용접 순서 C1과 C2는 유효성 검사와 달리 근소한 차이를 보이므로 박판에서는 실효성이 없으며 C3의 용접순서는 변형량을 획기적으로 줄임으로 실효성을 입증하였다.
- 5) 초기 온도에 대한 변형의 변화는 근소한 차이를 보인다. 하지만 초기 온도가 높을수록 내부 stress의 관계를 확인하였다.

5. 기대효과

선박이나 대형 구조물에 쓰이는 대형 사각프레임은 큰 구조물 위주의 용접을 실시하기 때문에 구조물의 작은 비틀림은 무시할 수 없는 중요한 변수이다. 또한 용접작업자의 용접 습관이나 경험에 의해 용접 비드나 용입 등이 상의하게 다를 수 있다. 이처럼 용접방식과 용접 조건들에 따라 변형의 결과가 모두 다르다면 결과적으로 특정 방법은 다른 방법들보다 정도를 좋게 하거나 나쁘게 할 수 있다는 뜻이다. 따라서 우리는 입열량 용접순서 초기온도 등에 따라 모재에 작용하는 응력이나 변형량 등의 기초적인 실험 데이터를 제공함으로써 용접작업자들이 용이하게 작업할 수 있을 것으로 기대 된다.

1. 서론

1.1 산업 활용 배경

용접은 금속을 접합하는 가장 효율적인 방법이다. 용접은 입열과 냉각과정에서 수축 변형이 일어나 최종 완성된 모재의 치수와 설계 치수가 다르게 된다.

이러한 용접변형은 선박과 같은 대형 강구조물 건조 시 부재 및 블록간 단차, 구조물의 치수를 변화시켜 허용 변형량이 기준치를 초과하는 경우 발생한 오차를 교정하는데 많은 작업시간이 소요되어 비용 손실 및 생산성 저하의 원인이 된다.

이와 같은 문제의 해결을 위해서는 현장에서 작업되고 있는 용접구조물의 용접공정에 대한 이해를 필요로 하고 용접공정에 대한 이해를 바탕으로 용접변형의 예측이 필요하다. 선체블록의 형태는 Fig1에서 보여주는 바와 같이 주로 평판과 보강재가 결합된 형태이며 보강재의 결합위치에 따라 블록의 형태는 다양하게 나타난다. 각각의 소조립 부재는 주판과 보강재의 용접으로 이루어지며 소조립 부재들의 결합으로 이루어진 대조립 부재에서는 복합적인 용접변형이 발생한다. 이러한 용접에 의한 변형은 부재의 형상과 결합형태, 용접수행 순서 등의 영향을 받기 때문에 용접변형을 예측하는 일은 매우 어려운 일이다. 이에 조선산업에서는 용접변형을 최소화하기 위해 용접변형 제어기법을 확립하고자 꾸준한 연구가 진행되고 있다.



Fig 1 선체 블록의 형태

1.2 기존연구

한국기술교육대학교 논문집 제8권 1호에서 국정한, 성호현가 기술한 “용접입열량에 따른 탄산가스아크용접부의 기계적 특성에 관한 연구”¹⁾를 보면 탄산가스아크용접에서 용접 열 영향부에 발생하기 쉬운 용접균열과

결합에 대해서 용접전류, 전압, 용접속도 등이 미치는 특성에 관한 연구로서 예비실험을 통해 적정용접조건을 구한 후 SS400강에 용접한 결과를 바탕으로 각각에 대한 입열량을 변화시켰을 때 용접결합(스패터)의 발생정도를 알아보고 인장시험과 충격시험을 통하여 특성을 알아보고자 한다. 실험결과 용접입열량을 10KJ/cm, ~25 KJ/cm 변화를 주어서 용접한 결과 10KJ/cm 에서 가장 양호한 결과를 나타내었고 용접입열량이 증가함에 따라서 기계적특성은 감소하는 것을 알 수 있었다. 이 실험은 저희와 같은 SS400을 사용하였고 실험결과 10KJ/cm 에서 가장 양호한 결과를 나타냄을 확인 할 수 있었다. 저희가 직접구한 용접조건에서 입열량을 7.5~12KJ/cm로 큰 차이를 보이지 않으므로 충분히 실효성이 있음을 확인 할 수 있다.

박태원 외 3명이 한국자동차공학회에 발표한 “용접 순서의 변화에 따른 자동차용 프레임의 변형과 잔류 응력 분석”²⁾ 이 연구는 프레임에 있어서 용접에 의한 변형과 잔류응력에 대하여 실험과 해석을 통해 검증이 주목적으로 이루어져 있다. 여기서 우리가 필요한 부분은 바로 측정에서 쓰일 변형량과 변형률을 구하는 방법이 우리가 사각프레임을 측정하는 방법과 유사하다. 다른 점이 있다면 이 논문에서는 원통프레임 사다리 모양의 “교”형태를 지니고 있다. 횡방향 파이프의 좌측하거리의 거리변화를 측정함으로서 (용접전의 상하거리 - 용접후의 상하거리) 변형량 변형률을 구할 수 있다.

김은겸 외 2명이 대한 용접공학회에 발표한 “유한요소법을 이용한 탄산가스로 용접된 H형상 프레임의 열변형 해석”³⁾ 이 연구의 목적은 용접 변형은 형상 오차를 발생시키게 되는 면외변형, 치수 오차를 발생하는 면내변형으로 크게 두 가지로 구분하여 이를 변형량 시뮬레이션 해석 프로그램을 이용하여 얻은 해석결과를 실제 측정한 데이터와 비교함으로써 열변형량평가의 신뢰도를 향상시키는데 그 목적이 있다. 이 논문에서는 SYSWELD, visual mesh, Pam assembly등 이 3가지 프로그램을 이용하여 해석을 수행하였다. 이 논문과 우리가 하려는 연구와 비슷한 점은 공정변수(용접진행방식, 클램프 위치/해체시간, 냉각시간)에 따른 변형량 시뮬레이션 해석프로그램을 이용하여 얻은 해석결과를 실제 측정한 데이터와 비교하여 유효성을 입증하려는데 그 목적이 있고 CATIA를 이용하여 모델링한 형상을 SYSWELD로 받아옴으로서 사각프레임의 요소망을 생성하여 해석하는 점이 우리와 비슷하다. 하지만 이 논문에서는 예비실험을 통해 얻어진 용접 조건이 아닌 해석프로그램을 이용하여 용접조건을

잡고 그 뒤 실험을 통해 실험을 진행해나간다. 또한 한 가지 프레임에 하나의 용접조건만으로 실험을 진행해 나가기 때문에 조건의 다양성을 가지지 못한다. 이에 우리는 위에 공정변수에 예열, 용접순서, 입열량, 두께에 대한 변수를 두어 실험을 진행해 나갈 것이다.

추환수 외 1명이 대한용접접합학회에 발표한 “박판 필렛용접구조물의 좌굴변형에 관한 연구“⁴⁾이 논문의 주목적은 용접조건과 구속조건 냉각조건 및 용접순서에 따른 좌굴변형과 필렛용접에서의 변형형태와 변형량을 측정하여 특징을 구분하고 정량화 하는데 그 목적이 있다. 이 논문에서는 SS400박판을 사용하였고 용접기로는 펄스MAG용접기와 $\phi 1.2mm$ 의 솔리드 와이어를 사용하였다. 이 연구에서는 구속 유/무에서 용접속도에 따른 변형실험, 구속거리에 따른 변형 실험, 구속재의 열전도도에 따른 변형실험, 대칭법에 따른 변형실험을 통해 이 조건간의 상관관계를 연구하였다.

- 1) 용접속도가 증가할수록 용융효율이 증가하고 그에 따라 변형량이 감소하였다.
- 2) 비슷한 입열량이라 하더라도 구속간 거리가 가까울수록 변형량이 감소하고 열전달이 잘되는 구속재를 사용하면 변형량은 더욱 감소하였다.
- 3) 대칭법을 사용하였을 때 가장 작은 변형이 발생 정도의 결과가 나왔다. 우리는 이 논문에서 용접조건, 구속조건, 대칭법, 용접속도의 조건에 관한 논문내용을 우리의 이론적 배경으로 참고할 것이다.

김범헌 외 3명이 사단법인한국기계가공학회에 발표한 “가스성분 및 용접와이어의 변화에 따른 SS400소재의 탄산가스용접에서 용접부의 상태 변화 고찰“⁵⁾이 논문에서는 순 탄산가스, 순 Ar가스, 혼합가스를 사용하여 용접을 진행하며 용접전압에 변화를 주어 용접을 진행하여 연강(SS400) 소재에 대한 용접부의 상태 및 성분변화를 고찰하고자 한다. 이 연구에서 사용된 와이어의 종류는 솔리드와이어, 프럭스 코어 와이어를 사용하였고 동일조건으로 각 와이어는 $\phi 1.2mm$ 를 사용하였다. 실험조건으로 용접스피드와 가스성분비에 관한 비교, 다른 하나는 용접조건에 따른 실험을 비교하였다. 각 가스 성분비로는 아르곤 80% + 탄산가스 20%, 아르곤 75% + 탄산가스 25%, 아르곤 100%, 탄산가스 100%, 의 조건을 설정하였고 용접조건으로는 암페어 230, 용접속도35CPM으로 동일하며 전압이지만 27~33으로 조절하여 실험하였다.

이 결과로 가스성분비에 변화를 주어 용접할 경우 CO2 100%일 때 용

입이 가장 깊었으며 Ar 100%일 때 용입이 가장 낮을 것을 볼 수 있다. 용접변화를 주어 용접하였을 때 31V로 용접한 경우가 용입이 가장 깊었다. 우리는 이 논문의 결과를 우리의 예비실험에서 용접조건 설정하는 부분에서 참고할 것입니다.

1.3 연구 목표

용접에 의한 변형은 부재의 형상과 결합형태, 용접수행 순서 등의 영향을 받기 때문에 용접변형을 예측하는 일은 매우 어려운 일이라는 것을 알 수 있다. 따라서 많은 조선산업에서 용접변형을 최소화하기 위한 용접변형 제어기법을 확립하고자 현재에도 꾸준한 연구가 진행되고 있고 최근의 용접비틀림에 대한 논문들 또한 많이 발표가 되고 있지만 용접조건의 다양성이나 실험적검증, 용접순서에 관한 논문들이 많지 않아 실제 용접에 필요한 데이터가 부족하다. 이에 본 연구는 열변형에 따른 용접부의 변형률을 예측할 수 있는 해석프로그램 SYSWELD로 입열량, 용접순서, 두께 등 다양한 용접조건을 이용한 해석을 수행하고 직접적인 실험을 통하여 용접의 비틀림을 예측하고 검증하는데 그 목적이 있다.

1.4 이론적 배경

1) 용접에 영향을 주는 요인

용접조건으로는 전류범위에 따른 이행형태, 용입, 와이어 돌출길이, 용접 케이블 등을 들 수 있다. 전류범위에 따른 이행형태에서는 저전류 상태에서는 단락이행을 하고, 고전류 범위에서는 입상용적이행을 한다. 용입은 전류가 높아지면 용입이 깊어지고, 전압이 높아지면 용입이 얇아지며 비드폭이 증가한다. 용접속도를 높이면 용입이 얇고 비드폭이 작아지는 경향이 있다. 와이어돌출길이를 너무 길에 유지하면 아크가 불안정하고 스파터 발생이 많아지며 용입이 얇아질 뿐만 아니라 기공이 발생하기 쉽다. 반대로 와이어 돌출길이가 너무 낮에 유지되면 노즐이 방해되어 그루브 및 용융상태를 보기 어렵고 노즐에 스파터가 부착되어 차폐 효과가 저하되며 팁 및 노즐의 소모가 증가된다. 용접 케이블은 케이블의 길이가 길 경우 전압강하가 크게 되고, 실질적인 아크 전압은 낮게 되므로 동일 설정조건하에서는 양호한 용접이 될 수 없다. 또한, 케이블이 여러 겹으로 감긴다든지 특히 이것을 철판 위에 방치하면 아크가 불안정해짐으로 가능하면 평평하게 두고 철판 위에 놓지 않는다.

(1) 전류, 전압, 속도변화

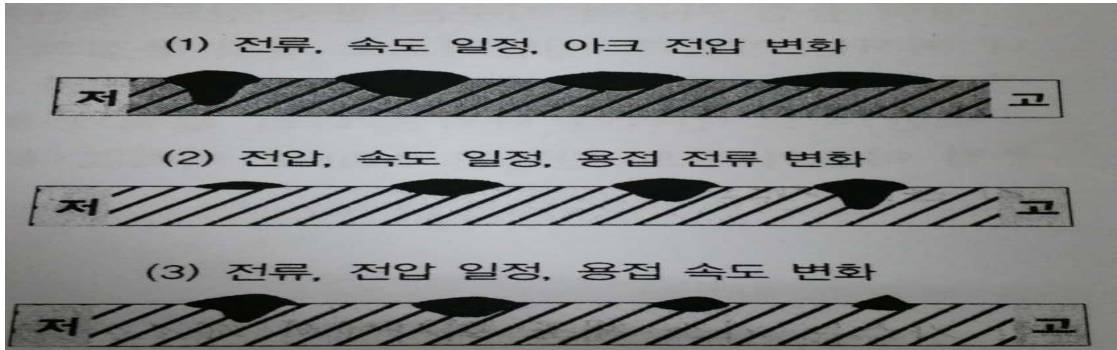


Fig 2 전류, 전압, 속도변화와 용입관계

Fig 2에서 보면 전류, 전압, 속도변화와 용입관계에서 볼 수 있듯이 동일 전류에서 아크 전압이 증가할수록 용입은 낮아지고 비드폭은 넓어지게 된다. 용접 전류는 용입을 결정하는 것으로 전류가 높게 되면 와이어 녹음이 빠르고 용착률 및 용입이 증가한다. 그리고 동일 조건에서 용접 속도가 증가하면 용입은 감소하는 것이 일반적이다.

(2) 보호가스

보호가스란 용접과정에서 공기와 용접부와 접촉을 차단하여 공기 중의 불순물이 용융금속 내에 섞여 들어가지 않도록 하기위한 가스를 말한다. 보호가스의 화학적, 물질적 성질에 따라서 보호 효율이 달라진다. 탄산가스 아크 용접에서는 이러한 보호가스로 순수한 탄산가스는 물론 탄산가스-산소, 탄산가스-아르곤가스, 탄산가스-산소-아르곤가스 등이 사용된다. 탄산가스-산소 아크 용접은 순수한 탄산가스 아크 용접에 비해 아크 열이 약간 강하고 용입이 우수하고, 슬래그 생성량이 약간 많으므로 비드 외관이 좋고, 또 용접속도가 약간 증가하는 이점이 있지만, 탄산가스와 산소의 용기 2개를 병용하여야 하는 불편이 있다. 탄산가스 아크 용접의 경우 보호가스의 순도와 가스의 유량에 따라 용접부의 성질에 대단히 큰 영향을 끼치게 된다.

(3) 와이어 돌출길이

와이어 돌출 길이는 일반적으로 팁 끝에서 모재까지의 거리를 말하지만 실질적으로는 팁은 노즐 끝에서 약간 들어가 있으므로 노즐 끝에서부터

돌출된 길이로 정하는 것이 좋다. 와이어 돌출길이가 길면 와이어 예열이 많아지므로 작업 속도와 용착 효율이 커지나 보호 효과가 나빠지고 용접 전류는 낮아진다. 그리고 용입은 얕아지고 비드 폭은 넓어진다. 반대로 와이어 돌출길이가 짧아지면 가스 보호 효과는 좋으나 노즐에 스패터부착이 많아지고 용접부의 외관도 나빠며, 작업설이 떨어지고 비드 폭은 좁으며 용입은 깊어진다.

1.5 용접 변형

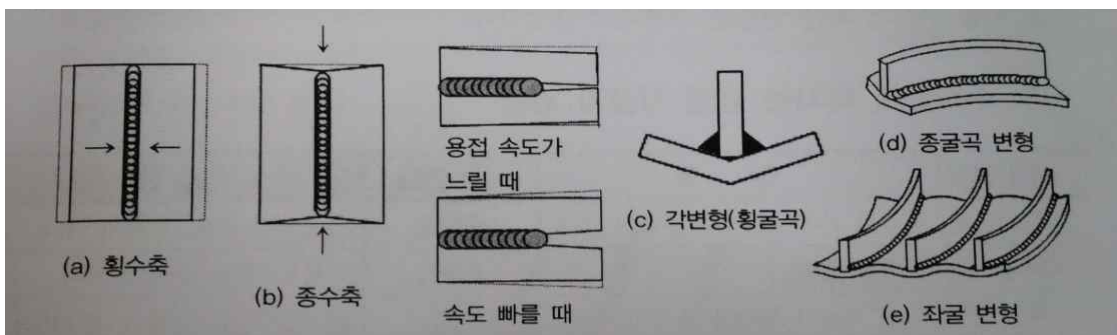


Fig 3 변형 형상

용접변형은 발생 형태에 따라 Fig 3 에 나타난 것과 같이 여러가지로 나뉜다. 또한 용접변형이 용접부의 치수 변화를 초래하는 양상에 따라 면내변형과 면외변형으로 구별하기도 하는데 이럴 경우 면내변형에는 종수축, 횡수축 및 회전변형이 포함되고 면외형에는 각변형, 증 굴힘변형 및 좌굴변형이 포함된다.

1) 횡수축 변형

Fig 3-(a)에서 보는 것과 같이 횡수축은 용접선과 직각 방향으로의 수축을 말한다. 일반적으로 면내 변형에서 가장 문제가 된다. 횡수축량은 용접부의 재료, 부재의 두께, 용접그루브형상 및 각도등의 영향을 받는다.

2) 종수축변형

Fig 3-(b)에서 보는 것과 같이 용접선 방향으로의 수축을 말한다. 용접부 횡단면이 용융부 단면적에 비해 상대적으로 클 경우 용융부 수축에 대한 주위의 구속도가 상당히 크기 때문에 대형 용접 구조물에서의 종수축량은 다른 용접 변형에 비해 일반적으로 아주 작다.

3) 회전변형

Fig 3-(c)에서 보는 것과 같이 맞대기 용접에서 용접되지 않은 부분의 흠이 용접의 진행에 따라 벌어지다가 좁아지는 변형을 말한다. 회전변형의 정도는 판 두께, 전류 및 용접속도에 따라 다르게 나타나고 용접의 속도가 빠르게 되면 벌어지고 느리면 좁아지는 경향이 있다. 그러나 적절한 가용접 및 엔드 탭등을 부착함으로써 상당량을 방지할 수 있다.

4) 각변형

Fig 3-(c)에서 보는 것과 같이 용접시의 온도 분포가 후판의 경우 판두께 방향으로 불균일하기 때문에 모재가 용접부를 중심으로 꺾여 굽혀지는 변형이다. 각 변형은 횡 수축의 작용점과 단면의 중립축이 일치하지 않음으로 인해 발생한다. 더 자세히 설명하면 용접선 직각방향으로의 횡수축이 단면의 두께방향으로 불균일하게 분포하기 때문에 각 변형이 생긴다.

5) 종굴곡 변형

Fig 3-(d)에서 보는 것과 같이 종굴곡 변형은 용접선과 같은 방향으로 완만한 곡선을 이루는 변형이다. 이는 용접선 또는 용융부의 중심이 용접부 단면의 중립축과 일치하지 않는 경우 용융부 수축에 따라 발생하는 수축력은 용접부 단면을 회전시키려는 모멘트를 일으키며 이로 인해 구조물에는 종굴곡변형이 발생한다. 따라서 용접선이 단면의 중립축과 일치하지 않는 구조형상에서는 입열량이 크면 클수록 또는 같은 입열량일지라도 용접선의 위치가 단면의 중립축으로 부터 멀어질수록 종 굴힘 변형량이 커질 수 있다.

6) 좌굴 변형

Fig 3-(e)에서 보는 것과 같이 박판 용접시 용접선에 대한 압축 열응력으로 인하여 일어나는 비틀림 변형이다. 좌굴 변형은 박판의 용접변형 중

가장 빈번히 발생하는 것이면서도 가장 예측하기 곤란하기 때문에 다른 용접 변형과는 달리 발생기구, 영향인자, 제어방법 등에 있어 아직 명확하지 않은 부분이 많이 있다.

7) 굽힘 변형을 줄이는 방법

- (1) 개선각도는 용접에 지장이 없는 범위에서 작게 한다.
- (2) 판두께가 얇은 경우 첫 패스 층의 개선깊이를 크게 한다.
- (3) 역변형을 주거나 구속 지그로 구속한 후 용접한다.
- (4) 뒤쪽에서 물에 적신 석면포 등으로 열을 식히면서 용접한다.
- (5) 후퇴법, 대칭법, 비석법등을 채택하여 용접한다.
- (6) 허용범위에서 봉의 지름이 큰 것으로 시공하여 패스 수를 줄인다.
- (7) X형 홈의 경우 홈의 형상을 상하 대칭보다 6:4 ~ 7:3정도로 비대칭용접한다.

3. SYSWELD

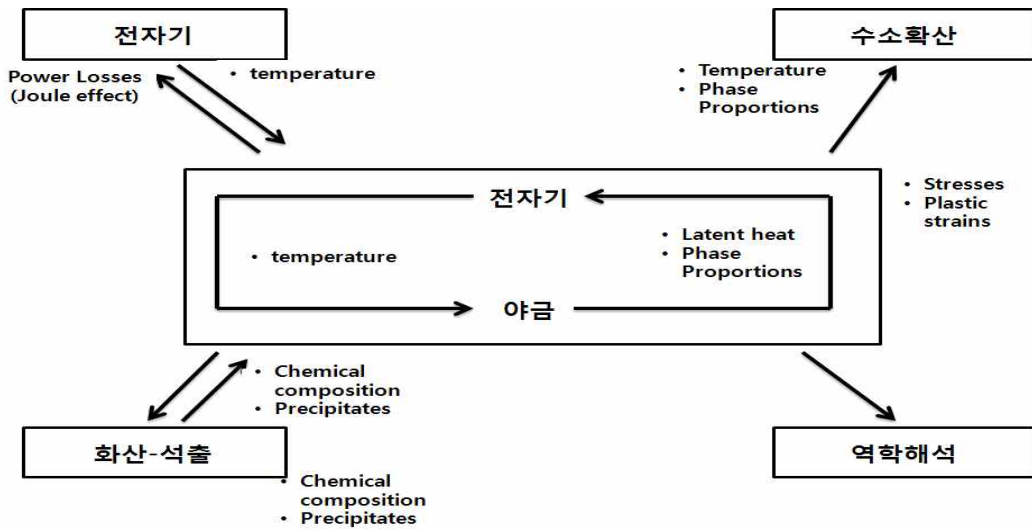


Fig 4 SYSWELD의 기본구조

Fig 4는 SYSWELD의 기본구조를 나타내었고 Electromagnetism모듈은 Spot Welding 및 induction Quenching등에 필요하며 Hydrogen Diffusion모듈은 용접 프로세서에서의 수소취성을 고려하고자 하는 경우 적용된다.

1) 열-야금학 해석

SYSWELD는 열전달과 야금학의 연성 해석을 수행한다. 상변태 현상이 온도 및 온도 변화율에 크게 의존하기 때문에 매우 중요하며 상변태시 발생하는 잠열효과는 온도분포에 영향을 미친다.

금속에 대한 상변태 구성식은 Jonson Mehl Avrami식과 Kois Tinen Marburger식을 사용하고 있다. 가열공정에 대한 상변태는 오스테나이트화 곡선으로부터 구할 수 있으며 냉각곡선은 연속냉각변태와 등온변태곡선으로부터 구할 수 있다. 연속냉각변태와 등온변태곡선은 Fig 5 참조

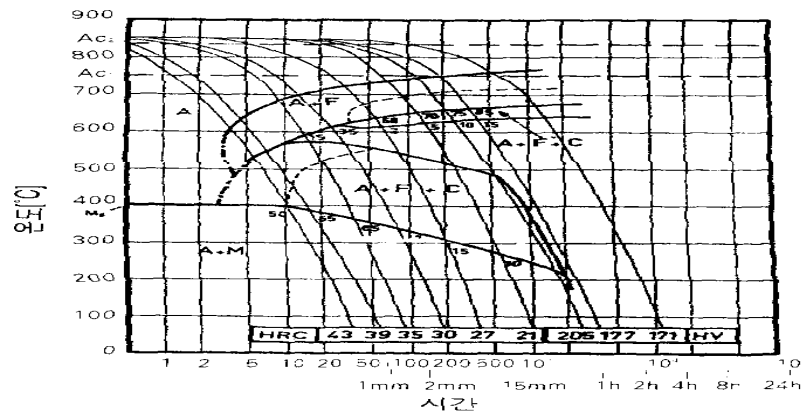


Fig 5 연속 냉각곡선

2) 역학해석

역학해석 역학모듈은 열-야금학 해석으로부터 얻은 온도분포와 상분포로부터 변형 및 잔류응력등의 역학해석을 수행 한다. 상변태는 이러한 해석에 중요한 영향을 미치는데 그 이유는 다음과 같다. 금속상변태는 고전적인 개념의 열변형 외에 체적변화가 수반되며, 재료 거동은 상에 크게 의존하고 변태 시 특별한 거동 즉, 변태 소성현상이 유발된다. SYSWELD 는 각 재료에 따라 탄소성거동과 점소성거동을 선택할 수 있다.

3) 전자기모듈

전자기 모듈은 Joule effect에 의한 전력손실을 계산할 수 있으며 동시에 전자기 물성에 의존하는 열을 계산하기 위하여 온도 방출이 고려될 수 있다. 이 모듈은 저항 점용접과 유도경화공정 등에 적용할 수 있다.

2. 본론

2.1 SYSWELD해석방법

1) 매쉬설정



Fig 6 매쉬 설정 조건

Fig 6은 9T두께의 우리가 실제 사용한 SYSWELD해석프로그램을 이용하여 설정한 매쉬간격에 대한 정보이다. 용접이 실시되는 부위(Welding center) 열영향부가 적게 받는 부분(Other)에 대한 정보이다. X축=3mm Y축=4.4mm Z축=3mm로 3면의 위치 정보를 이용하여 매쉬의 크기를 나타내었다. 초기의 매쉬 개수를 27만개에서 3만개정도로 줄임으로서 해석 시간을 단축시켰다. (Fig 6 매쉬 설정 조건 참조)

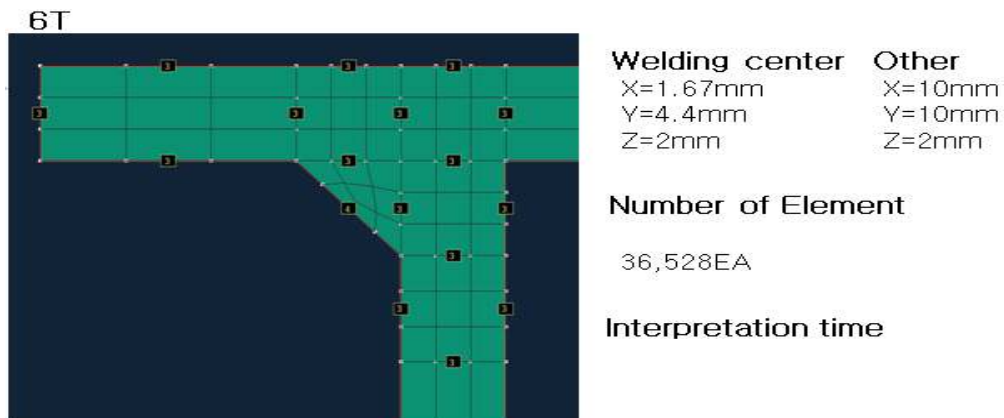


Fig 7 매쉬 설정 조건

Fig 7은 모재의 6T두께의 우리가 실제 사용한 SYSWELD해석프로그램을 이용하여 설정한 매쉬간격의 대한 정보이다. 용접이 실시되는 부위

(Welding center) 열영향부가 적게 받는 부분(Other)에 대한 정보이다. X축=1.67mm Y축=4.4mm Z축=2mm로 3면의 위치 정보를 이용하여 매쉬의 크기를 나타내었다. 초기의 매쉬 개수를 24만개에서 29000개로 줄임으로서 해석시간을 단축시켰다. (Fig 7 매쉬 설정 조건 참조)

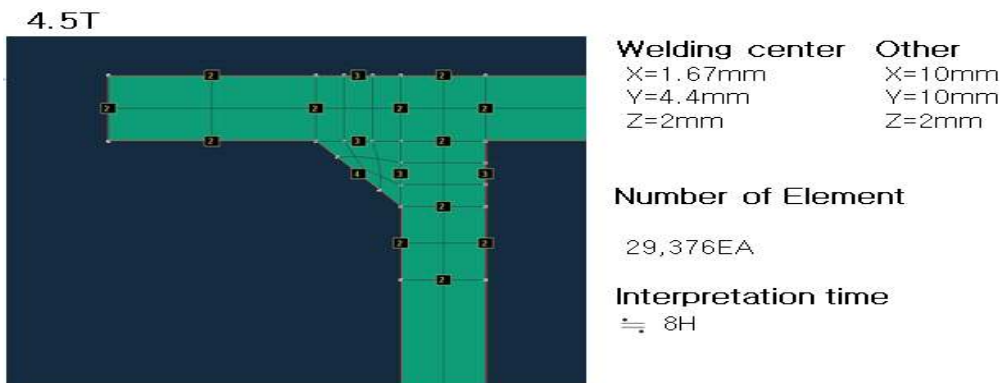


Fig 8 매쉬 설정 조건

Fig 8은 모재의 4.5T두께의 우리가 실제 사용한 SYSWELD해석프로그램을 이용하여 설정한 매쉬간격의 대한 정보이다. 용접이 실시되는 부위(Welding center) 열영향부가 적게 받는 부분(Other)에 대한 정보이다. X축=3mm Y축=4.4mm Z축=3mm로 3면의 위치 정보를 이용하여 매쉬의 크기를 나타내었다.

마지막으로Fig 6, 7, 8은 매쉬 설정은 용접 시 영향을 받는 부분(Welding center)와 영향을 많이 받지 않는 부분(other)로 나누어 매쉬를 설정하였다. 그 이유는 SYSWELD해석에 있어 많은 양의 매쉬로 시간이 오래 걸리고 최대한 매쉬를 줄여 해석시간은 줄이고 정확한 해석을 수행하기 위한 최소한의 매쉬로 용접의 영향을 받는 부분은 매쉬의 크기를 줄이고 용접의 영향을 많이 받지 않는 부분은 매쉬의 크기를 늘림으로서 초기에는 24만개 정도의 매쉬로 해석시간이 5~6일 걸리던 것과 비교해 매쉬를 3만개 정도로 줄임으로서 해석시간을 8시간으로 줄였다.

2. 경계조건

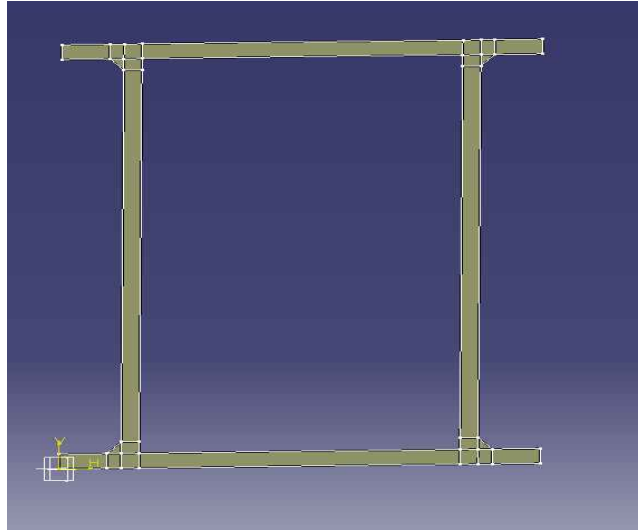


Fig 9 카티아 모델링형상

- 6) Fig 9은 SYSWELD에서 사용한 사각프레임 기본구조를 각 티에 각 각장에 맞도록 모델링 하여 SYSWELD호환을 위해 .igs 파일로 저장한다.

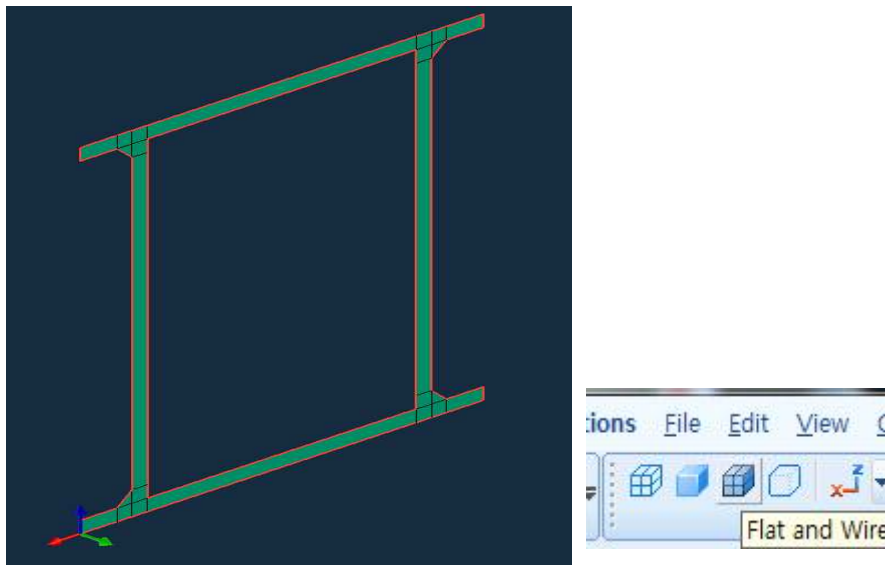


Fig 10 surface생성 형상

- 7) Fig 10은 SYSWELD상태바의 FLAT and Wire를 클릭하여 와이어 상태의 surface에 면을 만드는 장면이다.

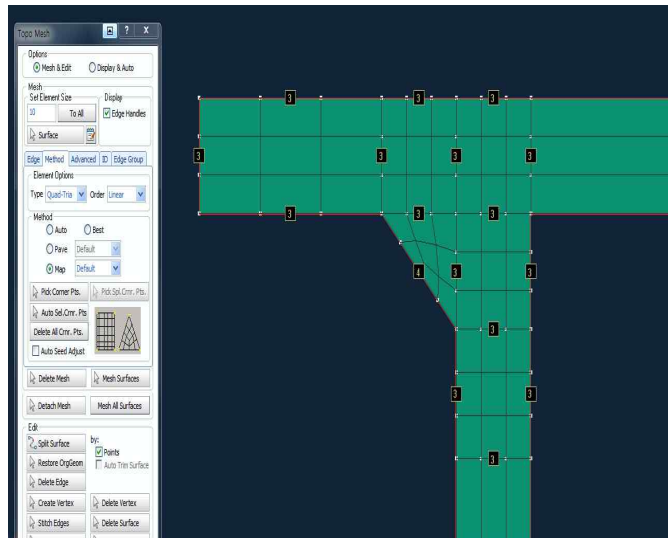


Fig 11 매쉬설정

- 8) Fig 11은 매쉬를 설정하는 장면이다. 이때 매쉬의 수가 너무 많아지면 해석에 필요한 시간이 배 이상 늘어남으로 중요한 부분을 미리 예측하고 그에 맞게 매쉬를 짜는 것이 중요하다. 이렇게 동일한 4면 을 같은 매쉬량으로 설정한다.

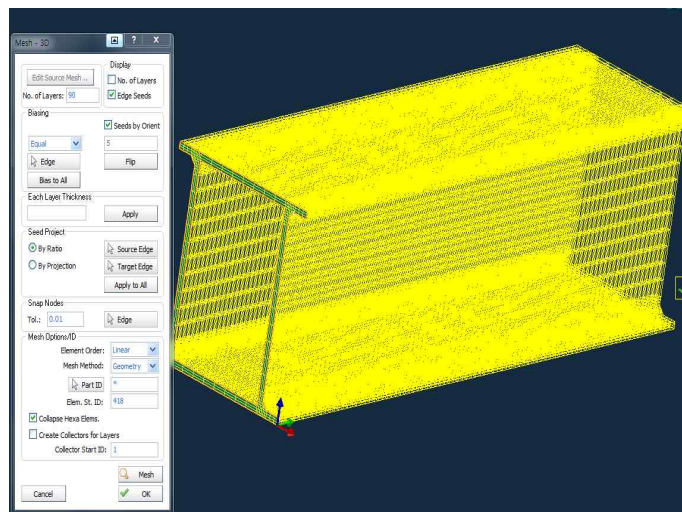


Fig 12 3D형상

- 9) Fig 12는 매쉬설정을 완료한 다음 sweep을 통하여 2D도면을 3D 형상으로 바꾸는 작업

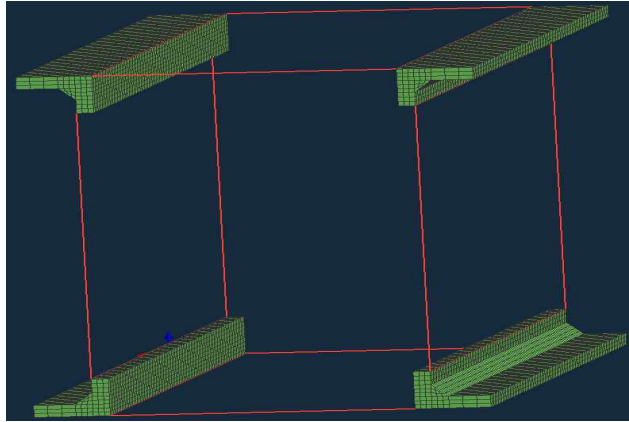


Fig 13 2D surface 재구성

- 10) Fig 13은 SYSWELD를 해석시간을 단축하기 위한 가장 중요한 작업이다. 3D 서페이스를 분할하여 2D 서페이스로 재구성하여 매쉬를 최대한 줄이기 위한 일환으로 서페이스를 분리하여 매쉬를 재설정함으로써 중요도가 없는 서페이스의 매쉬의 개수를 줄일 수 있으므로 해석 시간 단축에 많은 도움이 된다.

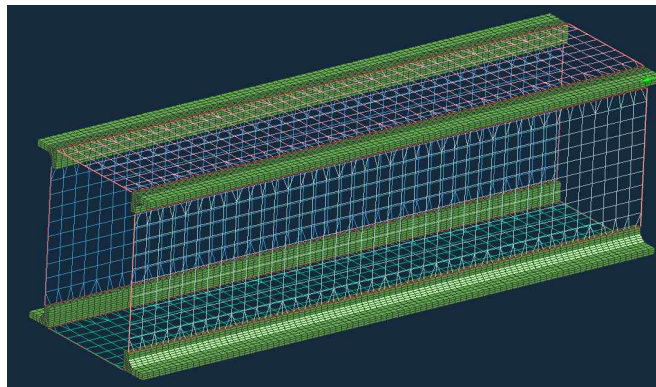


Fig 14 매쉬 완성

- 11) Fig 13에서 3D 서페이스를 2D서페이스로 변경하여 매쉬를 완성하면 위의 Fig 14와 같이 mesh를 재구성한 서페이스에 method를 이용한 매쉬가 완성된 모양



Fig 15 용접조건 입력

- 12) Fig 15는 우리가 해석할 사각프레임의 매쉬와 서페이스 구성이 끝난 다음 예비실험을 통해 얻은 용접조건을 Welding advisor에 적절하게 입력함으로써 해석을 수행한다. (상세한 SYSWELD해석 과정은 부록 1 참조)

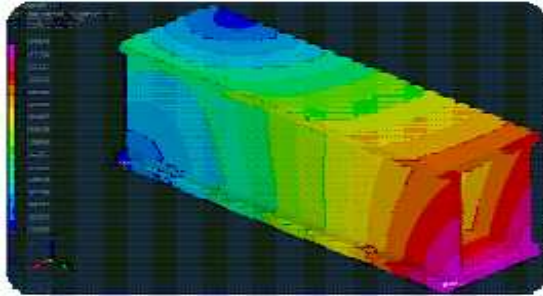
3. 예비해석

1) 용접순서

Fig 16은 동일 조건으로 용접 순서만 변경하여 여러 방법을 진행하여 얻은 SYSWELD해석 결과로 Fig 16 (A)의 변형량 4.08567mm, Fig 16 (B)의 변형량 1.8726mm, Fig 16 (C)의 변형량 1.1516mm, Fig 16 (D)의 변형량 1.9867mm의 변형량을 나타냈다. 이중 가장 유효성이 있다고 판단되는 C1, C2, C3를 선택하였다. 용접순서에 대한 자세한 설명은 Fig 20 용접실행절차를 참조. Fig 16 (C)의 경우 사각프레임을 반으로 나눠 용접을 하지만 용접 시 상대적으로 열에 의한 영향이 덜 받는 용접방식으로 1패스로 용접을 실시하고 그 용접부와 먼 곳에 용접함으로써 열에 의한 영향이 적어 변형이 가장 적게 일어났다.

9T_C1

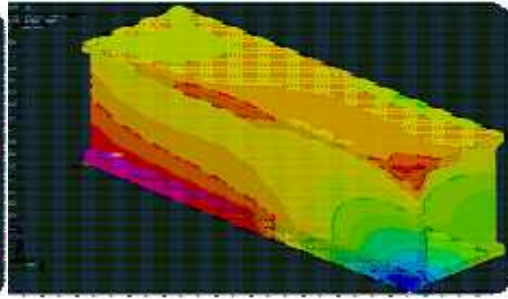
transformation 4.08567



(A)

9T_C2

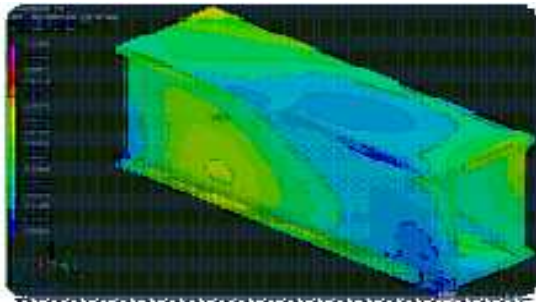
transformation 1.8726



(B)

9T_C3

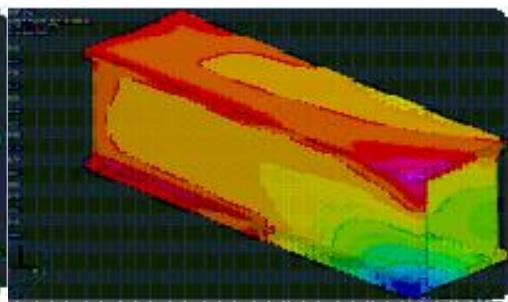
transformation 1.1516



(C)

9T_C4

transformation 1.9867



(D)

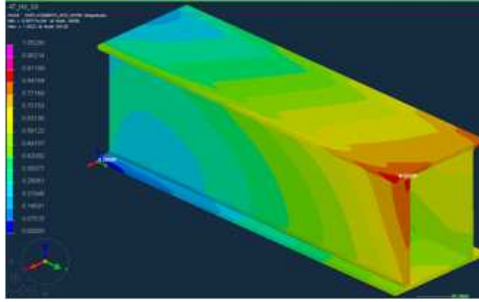
Fig 16 용접순서에 따른 변형량

2) 층간온도

Fig 17을 층간온도에 따른 변형량에 대한 SYSWELD 해석 결과로 용접 방법에 있어 층간온도에 따른 변형량의 유효성을 판정하기 위하여 변형이 가장 많이 생기는 조건인 상온에서 층간온도에 따른 변형량의 유효성을 검증하였다. 용접순서는 C3조건으로 실시하였으며 한 패스 용접 후 가열 되어진 시편을 20℃까지 재 냉각하여 다음 패스를 용접하는 방식으로 변형량을 최대화 하였으나 그 차이는 기존 용접 직후 다음 패스를 용접하는 방식과 0.1961mm의 근소한 차이를 보인다. 그러므로 작업의 용의성을 위하여 용접 직후 다음 패스를 용접하는 방식을 사용하기로 하였다. 하지만 이는 시편의 입열량과 크기가 작아 그 양의 차이가 비록 측정 오차 범위 안에 들어가지만 시편과 입열량이 확대되어진다면 고려하지 않을 수 없는 변수로써 작업자는 이에 유념해야 할 필요성이 있지만 그 범

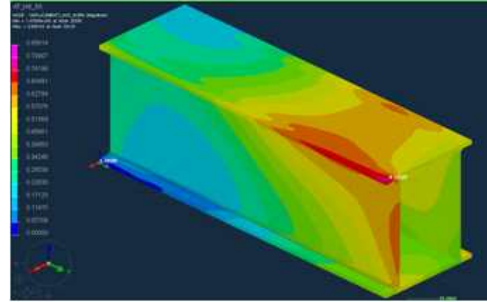
위가 미미하다 판단되어진다면 작업의 효율성과 생산성을 높이기 위해 무시 할 정도의 미미한 변형을 보이는 것으로 판단되었다.

-4.5T_C3_only temp 20°C
transformation 1.0523mm



(A)

- 4.5T_C3
transformation 0.8562mm



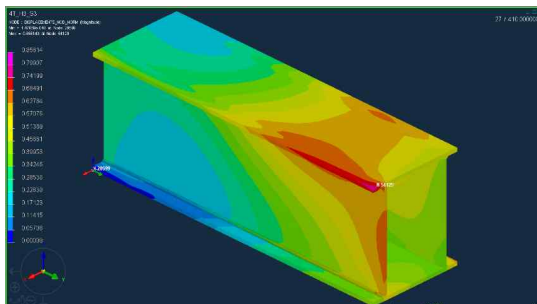
(B)

Fig 17 층간온도에 따른 변형량

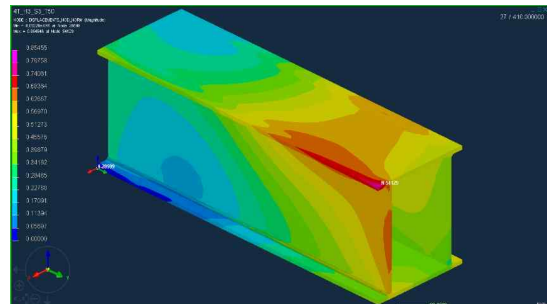
3) 예열온도

Fig 18 예열에 따른 변형량에 대한 SYSWELD 해석결과로 예열온도에 대한 SYSWELD 해석에 있어 “예열온도에 따라 변형량의 차이가 클 것이다.” 라고 예상하였지만 우리의 예상과는 다르게 Fig 18 (A)의 변형량은 0.85614mm, Fig 18 (B)의 변형량은 0.85455mm, Fig 18 (C)의 변형량은 0.85309mm로 변형량 부분에서 많이 차이를 보이지 않는다. 초기온도에 따른 데이터 분석에서 오차율 71.63%로 변형이 적은 경우 그 차이가 미미해 외부 온도의 영향을 적게 받는다. 그러나 20도 50도 80도 간의 변형량의 차이는 천분의 2차이로 100도 미만의 초기 예열은 그렇게 실효성이 유효하다 볼 수 없다.

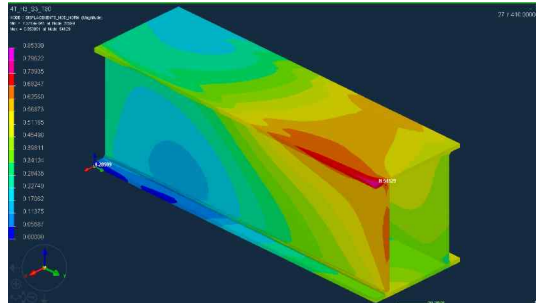
- 4.5T - H3 - C3 - temp 20°C
transformation 0.85614mm



- 4.5T - H3 - C3 - temp 50°C
transformation 0.85455mm



- 4.5T - H3 - C3 - temp 80°C
transformation 0.85309mm



(C)

Fig 18 예열에 따른 변형량

4) 예비 실험

용접 시 변형에 영향을 주는 각장의 크기에 따른 변형을 알아보기 위해서 적정용접조건으로 예비 실험을 실시하기 전에 용접조건에 대한 충분한 숙지가 필요하다. 박재덕, 경남대학교 산업대학원,[2013] [국내석사], CO2 용접에서 용접토치의 위치와 전압 변화에 따른 SS400 용접부에 미치는 영향⁶⁾의 논문에 의한 실험적 연구에 의해 용접조건으로 전류범위에 따른 이행형태, 용입, 와이어 돌출길이, 와이어관리, 용접케이블 등을 들 수 있고 전류범위에 따른 이행형태에서 저 전류 상태에서는 단락이행을 하고 고 전류 범위에서는 입상용적이행을 한다. 용입은 전류가 높아지면 용입이 깊어지고 전압이 높아지면 용입이 얇아져 비드 폭이 증가한다. 또한 용접속도를 높이면 용입이 얇고 비드 폭이 작아지는 경향이 있고 와이어 돌출길이를 너무 길게 유지하면 아크가 불안정하고 스페터발생이 많아지며 용입이 얇아질 뿐만 아니라 기공이 발생하기 쉽다. 반대로 와이어 돌출길이가 너무 낮게 유지되면 노즐이 방해되어 그르부 및 용융상태를 보기 어렵고 노즐 내에 스페터가 부착되어 보호효과가 저하된다는 결론을 얻었고 우리는 이 논문의 이론을 바탕으로 실험을 진행 하였다.

또한 각장의 적정 크기는 2006년 강도로교상세부 설계지침에 의한 적정 각장 조건식에 의해 설정하였다.

$$t_1 > z \geq \sqrt{2t_2} \quad (1)$$

여기서 t_1 : 얇은 쪽의 모재의 두께(mm)

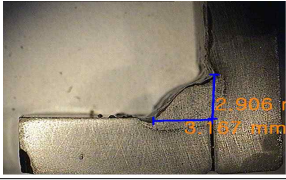
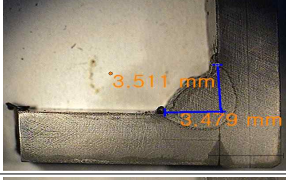
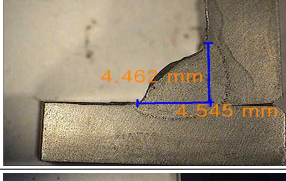
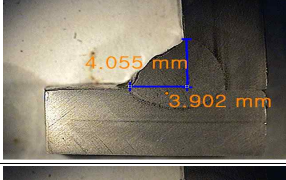
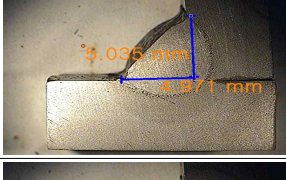
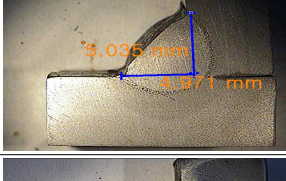
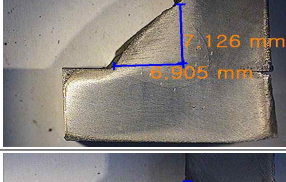
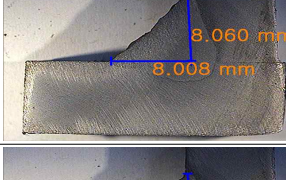
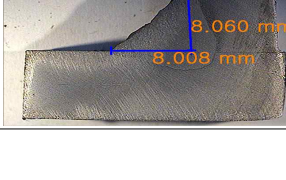
t_2 : 두꺼운 쪽의 모재의 두께(mm)

이 식에 의해 4.5T의 적정 각장은 3.5mm로 정하였고 6T는 5mm, 9T는 8mm로 적정 각장을 정하였고 위의 용접조건이론과 강도로교상세부 설계 지침의 정보를 유의하여 용접조건과 각장크기를 정하였고 이것을 토대로 우리는 용접 시 변형에 영향을 주는 각장의 크기에 따른 변형을 알아보기 위해서 적정용접조건으로 용접을 했을 때의 각장크기와 그리고 각장의 크기를 크게 하거나 작게 함으로서 각장크기에 따라 용접 변형이 어떤 차이를 보이는지 보기위해 실험을 실시하였다.

- ① 9T 시편에 용접전압 31V 전류 300A로 각장 7, 8, 9 mm 가 나오도록 이송속도를 조절하여 조건을 설정한다.
- ② 6T 시편에 용접전압 27V 전류 250A로 각장 4, 5, 6 mm 가 나오도록 이송속도를 조절하여 조건을 설정한다.
- ③ 4.5T 시편에 용접전압 23V 전류 200A로 각장 3, 3.5, 4.5 mm 가 오도록 이송속도를 조절하여 조건을 설정한다.

이 실험 결과를 토대로 Table 1과 같은 결과를 얻었으며 Table 1에 나와 있는 것과 같이 4.5T와 6T, 9T의 용접조건은 각각 볼테이지와 암페어조건은 동일하며 용접속도의 변화에 따라 적정 각장을 만들었고 4.5T의 조건으로는 200A 23V로 동일하며 각장이 3mm일 때 이송속도 10mm/s, 3.5mm일 때 9.1mm/s, 4.5mm일 때 5.9mm/s로 정하였고 6T의 조건으로는 250A 27V로 동일하며 각장이 4mm일 때 이송속도 5mm/s, 각장이 5mm일 때 3.7mm/s, 6mm일 때 2.5mm/s로 정하였고 9T의 조건으로는 300A 31V로 동일하며 각장이 7mm일 때 이송속도 5mm/s, 8mm일 때 3.7mm/s, 9mm일 때 2.5mm/s로 정하였다. 이렇게 정해진 용접조건을 입열량 구하는 공식 (전류 x 전압 ÷ 이송속도= J/mm)으로 모재에 작용하는 입열량을 구할 수 있고 구해진 입열량 값을 이용하여 입열량에 따른 사각프레임 SYSWELD변형해석을 수행할 것이며 입열량에 대한 자세한 SYSWELD해석은 Fig 26과 Table 3 참조

Table 1 예비시험 용접조건

두께	각장크기	사진	용접조건
4.5t	3mm		200A 23V 10mm/s
4.5t	3.5mm		200A 23V 9.1mm/s
4.5t	4.5mm		200A 23V 5.9mm/s
6t	4mm		250A 27V 5mm/s
6t	5mm		250A 27V 3.7mm/s
6t	6mm		250A 27V 2.5mm/s
9t	7mm		300A 31V 5mm/s
9t	8mm		300A 31V 3.7mm/s
9t	9mm		300A 31V 2.5mm/s

4. 실험장치 및 방법

1) 제작 공구



(A) 자동용접기



(B) 와이어 송급 머신



(C) 절단기



(D) 정반

Fig 19 제작 공구

Fig 19 (A)는 우리가 용접 시 사용한 탄소아크자동용접기이다. 아크의 발생 및 용접봉을 알맞게 공급하여 아크의 길이를 일정하게 유지하거나 용접봉의 이동 등을 자동적으로 하는 장치로서 일정한 전류와 전압 그리고 비드 형상을 만들 수 있다.

Fig 19 (B) 용접와이어 송급기는 탄소 아크용접 시 1.2φ 솔리드와이어를 알맞은 속도로 공급하여 주는 기계이다.

Fig 19 (C)는 절단기로 용접 시편을 자르거나 모재를 알맞은 크기로 절단해주는 기계이다.

Fig 19 (D)는 사각프레임의 냉간가압법 시 모재의 0점을 맞추기 위해 단면이 정확하게 다듬질된 평면을 가진 금속의 튼튼한 블록 또는 테이블로, 기계 부분품의 조립·검사 등에 사용한다.

2) 택용접 작업

택용접은 HDPE시방서에서 제시한 모재의 용접에 사용할 용접봉과 동일한 것을 사용해야 하며, 용접은 최소 길이 25mm이상이 되도록 하여야 한다. 또한 용접간의 거리는 200mm이상이 되도록 하여야 한다. 이게 부합한 조건으로 아래와 같은 순서로 시행한다.

실험에 있어 가장 필요했던 것은 아래보기 자세로 용접을 하므로 45° 각도로 모재를 유지해 주어야 하므로 이 조건을 만족하는 지그가 필요했고 그 결과로 W모양의 지그를 선택하였고 W모양의 지그를 용접다이 밑에 깔고 클램프를 이용하여 지그를 움직이지 않도록 고정시켰고 그 작업 과정은 아래와 같다.

먼저 W모양의 지그 위에 모재(4.5T, 6T, 9T) 한판을 왼쪽 면(45°)에 기대어 올리고 반대쪽 면에 모재에 맞는 두께의(4.5T, 6T, 9T) 판을 올려 L모양의 형상이 흔들리지 않도록 고정하고 그 위에 제작한 직사각형 모양의 지그를 올리고 W모양의 지그와 클램프를 이용해 고정 시킨다. 그리고 그 후 직사각형의 지그위에 모재를 올리고 모재와 지그를 클램프로 단단히 고정하고 택 용접을 실시하는데 택 용접의 간격은 50, 150, 250, 350(mm)간격으로 15~20(mm)정도의 택 용접을 실시하였으며 이는 택 용접은 HDPE시방서에서 제시한 조건과 일치하도록 실험을 실시하였고 이때 용접조건은 예비용접조건과 동일하게 시행한다. 용접조건에 대한 자세한 조건은 Table 1을 참조.

3) 실용접

앞서 설명했던 이론과 데이터를 이용하여 우리는 용접조건(용접순서, 입열량, 예열)을 이용하여 사각프레임 용접조건에 따른 변형에 대한 우리의

SYSWELD해석결과와 비교하여 실험적인 변형량을 알아보기 위해 실용 접을 실시하였다.

용접 순서는 변형이 많이 가는 순서와 최저 변형 순서와 최대 변형순서 그 중간용접 순서를 설정하였으며 최저 변형 용접조건으로는 용접열이 이음선을 따라 진행하면 그 용접 지점으로부터 열이 사방으로 확산하게 되고 용접지점보다 앞서 진행하게 되는 열은 아직 용접이 이루어 지지 않은 부분에 변형이 발생하게 된다. 따라서 용접 시 앞서 용접을 실시한 용접부와 최대한 멀리 떨어진 곳에 용접을 실시함으로써 전과열의 영향이 최소화되도록 멀리 떨어진 지점에 다음 용접을 실시하였고 가능한 용접 패스 수를 줄임으로서 모든 용접은 1패스로 실시하였다. 그 결과 Fig 20 (A)에서 S1→S2→S3→S4의 순서대로 시계방향으로 용접한 프레임의 변형량이 가장 크게 나왔고 이를 C1 그 다음으로는 Fig 20 (B)와 같이 사각프레임을 반으로 나뉘 안에서 부터 바깥쪽으로 S1→S5→S2→S6→S3→S7→S4→S8의 순서로 한 용접이 중간변형을 나타내었고 이 용접순서를 C2라 정하였다.

마지막으로 Fig 20(B)에서 S1→S7→S4→S6→S8→S2→S5→S3의 순서로 한 용접순서가 가장 적은 변형을 나타내었고 이를 C3라 한다. 이 용접순서에 따른 SYSWELD해석결과와 실험결과의 자세한 설명은 Table 3와 그에 대한 설명을 참조한다.

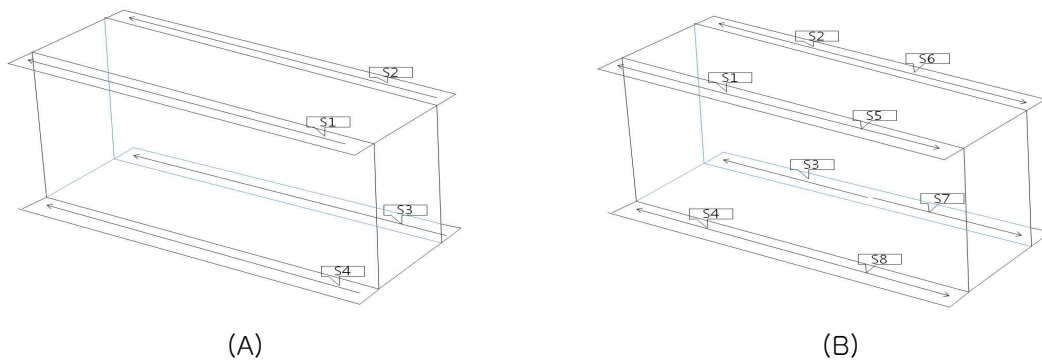


Fig 20 용접실행절차

다음 용접조건으로는 입열량에 관한 용접이다. 우리는 앞서 한국기술교육대학교 논문집 제8권 1호에서 국정한, 성호현가 기술한 용접입열량에 따른 탄산가스아크용접부의 기계적 특성에 관한 연구¹⁾와 추환수 외 1명이 대한용접접합학회에 발표한 “박판 필렛용접구조물의 좌굴변형에 관한

연구⁴⁾에서 용접속도가 증가할수록 용융효율이 증가하고 그에 따라 변형량이 감소하였고 비슷한 입열량이라 하더라도 구속간 거리가 가까울수록 변형량이 감소하고 열전달이 잘되는 구속재를 사용하면 변형량은 더욱 감소한다. 라는 결론을 얻었다. 또한 앞서 예비실험을 통해 얻은 용접조건으로 입열량에 대한 식(전류 x 전압 ÷ 이송속도= J/mm)으로 입열량을 구할 수 있다. 이를 바탕으로 입열량은 사각프레임변형에 어떤 영향을 주는지를 알아볼 것이며 입열량이 클수록 용접 변형이 많이 생길것이라 예상되며 이에 대한 자세한 설명은 Fig 2과 Table 3참조

마지막으로 용접예열은 용접변형을 방지하는 방법 중 가장 효과적인 방법이라 생각된다. 일반적으로 용접예열을 하는 목적은 주로 저온균열이 일어나기 쉬운 재료에 대하여 용접 전에 피용접물의 전체 또는 이음부 부근의 온도를 올리고 용접하여 용접부의 냉각 속도를 늦추어 열영향부의 경도를 낮추고 인성을 증가시킴과 동시에 수소의 방출을 용이하게 하여 저온균열을 방지하며 용접부의 기계적 성질을 향상시키고 경화조직의 석출을 방지시키며 변형과 잔류응력의 완화에도 큰 목적을 가진다. 용접예열을 함으로서 우리가 기대하는 효과는 용접부와 인접 모재의 수축응력이 감소되어 변형량이 다른 용접조건들 보다 감소될 것으로 예상된다. 이에 우리는 예열 조건을 20℃, 50℃, 80℃로 설정하여 예열온도에 따른 변형을 보고자 한다. 예열해석결과에 관한 자세한 설명은 Fig 27과 Table 4를 참조

4) 측정작업

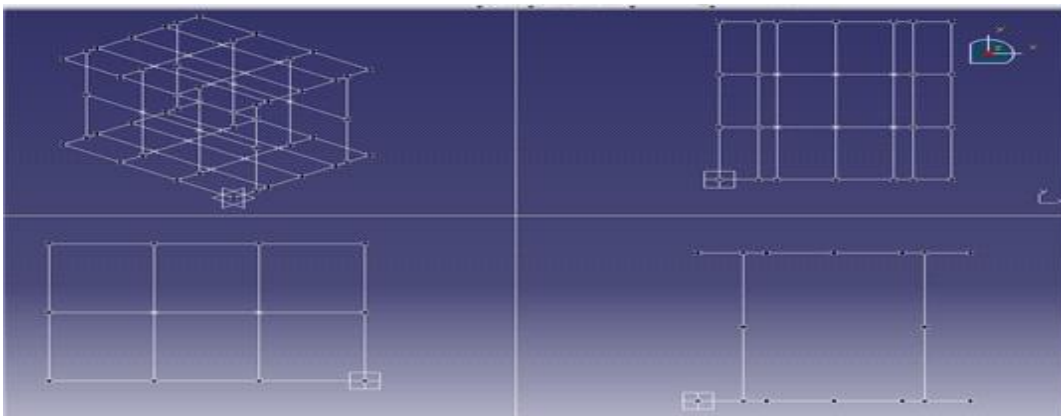


Fig 21 사각프레임의 노드 지점

Fig 21은 우리가 사각프레임 탄산가스 아크용접 시 우리가 설정한 조건(용접순서, 입열량, 예열)에 따라 얼마만큼의 변형이 발생하였는지 그리고

SYSWELD해석값과 실제 변형값에 대한 차이를 분석하기 위해 실시되는 작업이다.

먼저 사각프레임 용접과 측정에 앞서 먼저 Fig 21과 같이 적당한 간격으로 사각프레임에 점을 찍어 신속하게 측정이 가능하도록 상하판, 측면판에 측정 지점을 점으로 표시해둔다. 상하판은 30mm x 50mm간격으로 표시하고 측면판은 60mm x 50mm간격으로 표시한다. 이 과정이 완료되면 용접조로부터 용접의뢰를 하여 용접순서C1, C2, C3로 그리고 입열량, 예열 등의 조건으로 용접을 실시한다. 용접이 완료된 사각프레임을 정반에 올려 영점이 될 부분에 지그로 고정시킨 다음 화이트게이지의 돌림판을 이용하여 상하로 이동하면서 화이트게이지 지침이 처음에 미리 찍어둔 점과 접촉하였을 때 그 위치와 높이를 기록한다.

5) 카티아 구현

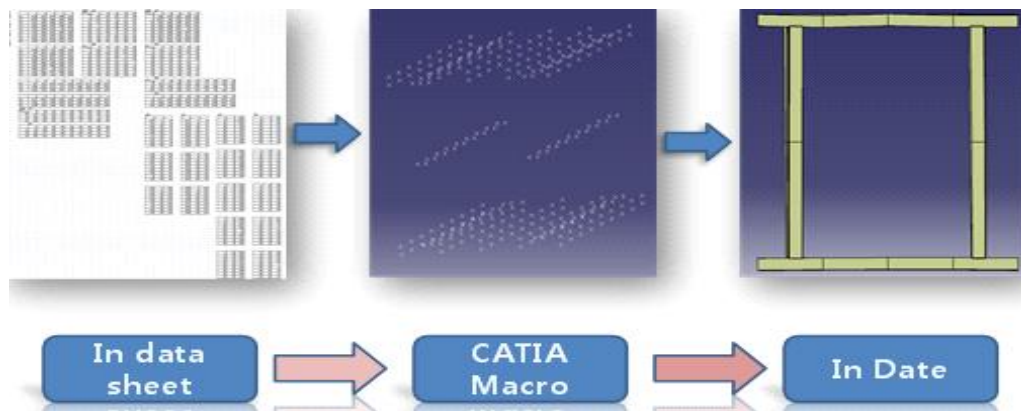


Fig 22 카티아 구현 과정

Fig 22은 측정된 데이터를 기초로 카티아 모델링작업을 실시하는 장면이며 앞서 우리가 해석한 SYSWELD해석과 실용접에 대한 측정 결과를 토대로 실험결과와 해석결과에 대한 변형량을 시각적으로 비교해 보기 위해 용접한 사각프레임에 대한 변형량 데이터를 카티아를 이용하여 시각적으로 구현하여 비교해보는 과정이다. 그에 대한 과정은 아래와 같다. 앞서 측정작업에서 실시하였던 측정데이터를 엑셀 파일을 이용해 각 점의 치수와 변형량 최대변형량 그리고 카티아 3D구현에 필요한 X, Y, Z축 좌표 등을 산출한다. 산출된 데이터를 카티아에서 GSD_PointSplineLoftFromExcel.xls라는 파일에 포함되어 있는 엑셀 좌표정보를 이용하여 X, Y, Z축 좌표데이터를 입력하고 카티아 내의 매크로기능을 이용하여 각각의 좌표 포인트를 카티아로 구현한다.

3. 실험결과

3.1 실험오차분석

1) 냉각시간에 의한 오차

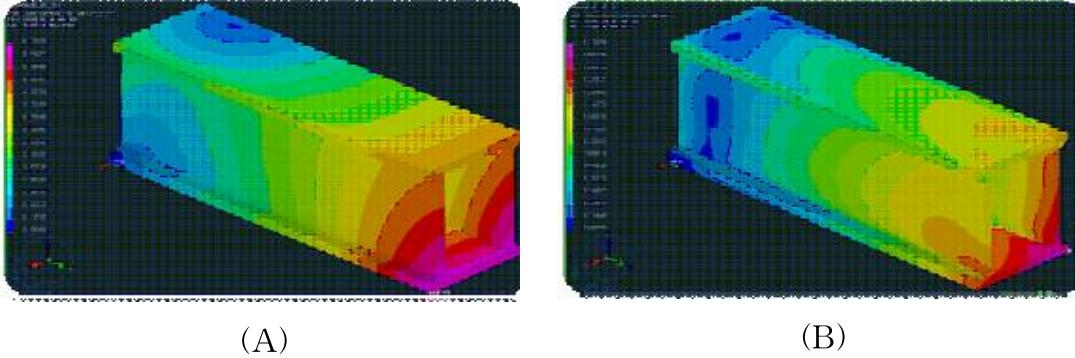


Fig 23 냉각시간에 따른 SYSWELD해석

Fig 23 그림은 조건은 9T-C1의 조건과 동일하게 용접하고 입열량을 1000 J/mm을 주고 냉각시간을 2045.5초를 주었을 때의 변형량을 나타낸 그림이다. Fig 23 (A)의 경우 변형량이 4.86에서 6.2257mm로 늘어났으며 Fig 23 (B)의 경우 냉각시간을 주었을 때는 6.23에서 1.7228mm로 줄어들었음을 알 수가 있다. 그 이유는 각 용접부에 가해지는 용접의 수축력이 서로 작용하여 식으면서 각 지점에 합력을 줄이면서 변형량이 줄어드는 것으로 보인다.

2) 제관 오차



Fig 24 제관오차

Fig 24는 제관오차에 관한 그림이다. 제관오차란 우리가 용접을 하기 전

용접할 지점을 정확하게 그에 맞는 치수를 띄우거나 맞추는 작업도중에 발생한 오차이다.

3) 측정 오차

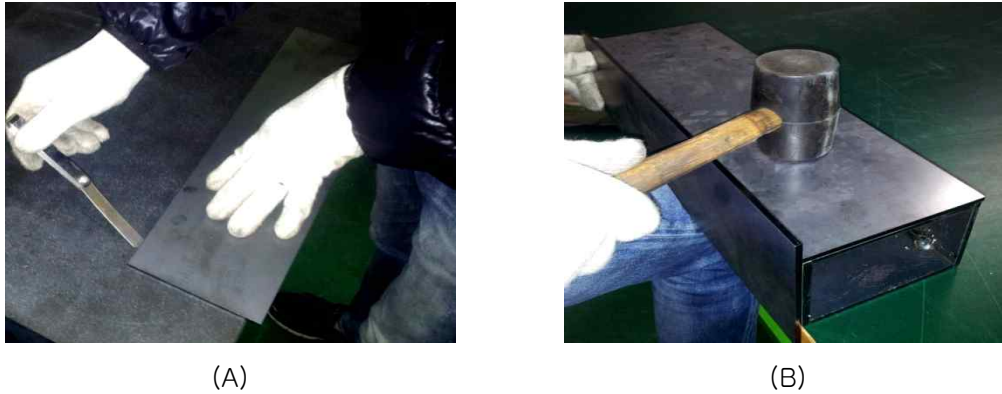


Fig 25 측정오차

Fig 25은 측정오차 택용접을 완료한 제품에 대해 측정 및 냉간가공법을 이용하여 오차율을 0에 가깝게 줄이기 위해 실시한 작업인데 여기서 우리는 오차율을 1/100정도로 잡아 교정을 실시하였는데 이 과정 중에 발생한 오차이다.

3.2 결과분석

1) 용접순서

Table 2 용접순서에 따른 변형량

	4.5T_3H_C1	4.5T_3H_C2	4.5T_3H_C3
입열량	442 J/mm	442 J/mm	442 J/mm
SYSWELD	1.9548mm	1.94399mm	0.85614mm
실험 데이터	1.34mm	1.02mm	0.52mm
오차율	68.55%	52.47%	60.74%

앞서 우리가 용접순서에 따른 최저 변형 용접조건으로 전파열의 영향을 최소화하기 위해 첫 용접 다음 두 번째 용접부는 전파열의 영향을 최소화할 수 있도록 멀리 떨어진 지점에 용접을 실시한다면 앞서 실시한 용접부에 열전파가 최소화 될 것이며 변형이 줄어들 것으로 예상하였고 실험 결

과 Fig 20(B)에서 S1→S7→S4→S6→S8→S2→S5→S3의 순서로 멀리 떨어진 부분에 용접을 함으로서 해석결과와 실험결과로도 변형의 차이가 제일 작게 나타났음을 볼 수 있다.

Table 2는 용접순서에 대한 SYSWELD 최대 변형 값과 실제 우리가 측정한 실험 최대 변형 값과의 상관관계를 나타낸 그래프이다. 용접조건은 입열량은 동일하지만 용접순서를 다르게 작업하여 C1, C2, C3 각각의 변형량에 대한 데이터이다. 4.5T_3H_C1은 SYSWELD값 1.9548mm 실험데이터 1.34mm / 4.5T_3H_C2은 SYSWELD값 1.94399mm 실험데이터값 1.02mm / 4.5T_3H_C3는 SYSWELD값 0.85614mm 실험데이터값 0.52mm 로 각각 68.55% 52.47% 60.74%의 오차율을 가진다. 앞서 우리가 용접순서에 따라서 해석값과 실험값의 비교 분석 결과 63.33%의 매칭결과를 보이므로 데이터적인 유효성이 인정된다.

2) 입열량

Table 3 입열량에 따른 조건 값

	4.5T_4.5H_C3	4.5T_3.5H_C3	4.5T_3H_C3
입열량	749.15 J/mm	485.7 J/mm	442 J/mm
SYSWELD	2.87255mm	2.06853mm	0.85614mm
실험 데이터	1.99mm	1.42mm	0.58mm
오차율	69.07%	68.74%	67.86%

	6T_6H_C3	6T_5H_C3	6T_4H_C3
입열량	1242 J/mm	1091.5 J/mm	889.3 J/mm
SYSWELD	3.39073mm	2.95485mm	2.55535mm
실험 데이터	2.37mm	2.13mm	1.78mm
오차율	69.97%	71.92%	69.31%

	9T_9H_C3	9T_8H_C3	9T_7H_C3
입열량	3720 J/mm	2513.5 J/mm	1860 J/mm
SYSWELD	5.71105mm	4.33612mm	3.46359mm
실험 데이터	4.13mm	2.99mm	2.44mm
오차율	72.22%	68.82%	70.30mm

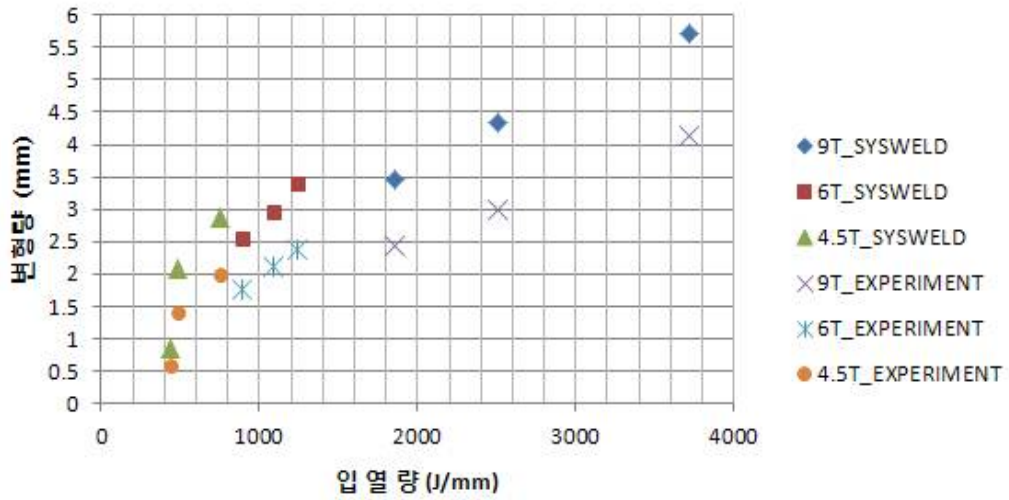


Fig 26 입열량에 따른 변형량

앞서 우리는 추환수 외 1명이 대한용접접합학회에 발표한 “박판 필렛용접구조물의 좌굴변형에 관한 연구⁴⁾에서 용접속도가 증가할수록 용융효율이 증가하고 그에 따라 변형량이 감소하였고 비슷한 입열량이라 하더라도 구속간 거리가 가까울수록 변형량이 감소하고 열전달이 잘되는 구속재를 사용하면 변형량은 더욱 감소한다. 라는 결론을 얻었고 입열량이 클수록 변형의 정도는 더 많이 발생할 것이라고 예상했었다. 입열량에 대한 실험결과 용접조건은 C3의 용접조건과 동일 시하고 실험을 진행하였을 때 결과로 Table 4와 Fig 26에서 나타나 있는 것과 같이 예비해석(SYSWELD)에서 시편의 크기가 4.5T이고 각장의 크기가 4.5mm일 때 변형량은 2.87255mm, 각장의 크기가 3.5mm일 때 2.06853mm, 각장의 크기가 3mm일 때 0.85614mm로 나왔고 6T의 경우 각장의 크기가 6mm일 때 변형량은 3.39073mm, 각장의 크기가 5mm일 때 2.95485mm, 각장이 4mm일 때 2.55535mm로 나왔다. 마지막으로 시편의 크기가 9T이고 각장의 크기가 9mm일 때 변형량은 5.71105mm, 각장의 크기가 8mm일 때 4.33612mm, 7mm일 때 3.46359mm로 나왔다. 실제 실험값은 시편의 크기가 4.5T이고 각장의 크기가 4.5mm일 때 변형량은 1.99mm, 각장의 크기가 3.5mm일 때 1.42mm, 각장의 크기가 3mm일 때 0.58mm로 나왔고 6T의 경우 각장의 크기가 6mm일 때 변형량은 2.37mm, 각장의 크기가 5mm일 때 2.13mm, 각장의 크기가 4mm일 때 1.78mm이다. 마지막으로 시편의 크기가 9T이고 각장의 크기가 9mm일 때 변형량은 4.13mm, 각장의

크기가 8mm일 때 2.99mm, 각장의 크기가 7mm일 때 2.44mm로 입열량이 증가할수록 변형량 또한 커지는 것을 볼 수 있고 해석값과 실험값을 비교해본결과 평균적으로 70%의 매칭결과를 보이므로 유효성이 인정된다. 나머지 오차의 이유는 냉각시간오차, 제관오차, 측정오차 등으로 생긴 오차일 것으로 예상된다.

3) 예열온도

Table 4 예열온도에 따른 조건 값

	4.5T_3H_C3_T20	4.5T_3H_C3_T50	4.5T_3H_C3_T80
입열량	442 J/mm	442 J/mm	442 J/mm
SYSWELD	0.85614mm	0.85455mm	0.85309mm
실험 데이터	0.65mm	0.61mm	0.58mm
오차율	75.92%	71.38%	67.99%

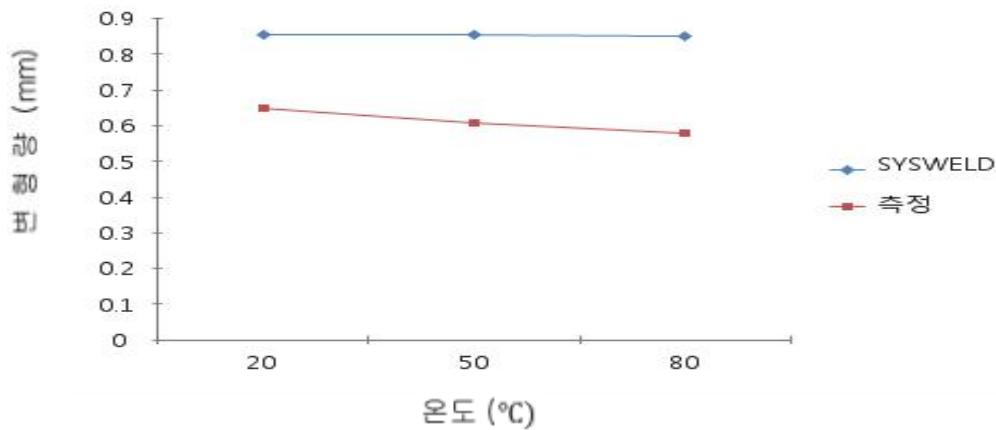


Fig 27 예열온도에 따른 변형량

용접예열은 용접변형을 방지하는 방법 중 가장 효과적인 방법이며 기계적 성질을 향상시킴으로서 우리가 기대하는 효과와 용접부와 인접 모재의 수축응력이 감소되어 변형량이 다른 용접조건들 보다 감소될 것이라고 예상했었다. 하지만 예열온도에 따른 변형량을 알아보기 위해 예열 온도를 제외한 용접순서, 입열량을 동일시하고 예열온도를 20°C, 50°C, 80°C로 나눠 예비해석(SYSWELD) 결과 20°C일 때 0.85614mm, 50°C일 때 0.85455mm, 80°C일 때 0.85309mm이고 실제 실험은 20°C일 때 0.65mm, 50°C일 때 0.61mm, 80°C일 때 0.58mm이다.

이에 대한 자세한 자료는 Fig 27과 Table 4는 예열온도에 대한 SYSWELD 최대 변형 값과 실제 우리가 측정한 실험 최대 변형 값과의 상관관계에서도 나타나 있는 것과 같이 우리의 예상과는 다르게 변형량 부분에서 많은 차이를 보이지 않았다. 그 원인으로는 각 온도에 따른 차이가 크지 않아 변형량에 차이를 보이지 않는 것으로 보인다.

3. 결론

사각 프레임 탄소가스 아크용접의 각장 기준 아래 용접 조건의 변화에 따라 시편의 형상 변형의 차이를 보기위해 용접순서, 입열량, 예열온도를 각각 독립 변수로 두어 실험을 진행 하였다. 각각의 독립변수에 유효성을 판단하기 위해 예비 실험과정을 거쳐 진행 하여 실험의 진행에 있어 그 타당성을 입증 후 본 실험을 진행하였다.

본 실험의 용접순서가 시편의 변형에 미치는 영향의 결과로서 SYSWELD 예측 결과인 C1과 C2, C3의 순서로 용접 하였을 때를 비교 하였을 때 유효한 변형이 발생 하였고 실제 실험을 통한 시편의 변형에서도 동일하게 유효한 변형이 발생하였다. C1과 C2의 용접 순서의 변화에 의한 변형은 비교적 적으나 C1과 C3의 용접순서의 변화에 의한 변형은 그 차이가 큼으로 실제 용접 시 용접 순서에 의하여 시편의 변형의 편차가 크다. 따라서 용접순서가 시편의 변형에 크게 영향을 미치는 것을 볼 수 있다.

입열량의 변화가 시편의 변형에 미치는 영향의 결과로서 SYSWELD 예측 결과 9T의 각장 9mm와 7mm의 변형의 차이는 유효하며 입열량이 많을수록 변형이 커졌으며 실제 실험을 통한 시편의 9T의 각장 9mm와 7mm의 변형의 차이 또한 유효한것을 확인하였다. 따라서 입열량이 높아질수록 그 변형 또한 커 졌으며 각4.5T와 9T의 최대 입열에 따른 변형의 차이는 유효함으로 시편의 두께에 따라 각장 기준을 충족시키기 위해 따른 입열량의 변화가 용접변형에 있어 지대하게 영향을 미치는 것을 볼 수 있다.

예열온도의 변화가 시편의 변형에 미치는 영향의 결과로서 예열온도를 20℃, 50℃, 80℃로 나눠 SYSWELD 예측 결과 20℃일 때 50℃일 때 80℃일 때 천분의 일의 차이로 미미하였으며 실제실험에 있어 20℃일 때 50℃일 때 백분의 일의 차이를 보였으며 80℃일 때 또한 백분의 일의 차이가

났다. 따라서 예열온도에 따른 변형은 측정 오차율과 근접하는 수치로 그 타당성을 입증하기에는 그 변화가 미미하였다. 그러나 추가적인 스트레스에 대한 분석에서 유의한 차이가 발생 하였으므로 내부 스트레스가 예열에 의해 영향을 미치는 것을 확인 할 수 있었다.

SYSWELD해석과 각 독립변수와의 오차율에 있어 용접순서에 따른 오차율과 입열량에 따른 오차율등 전체적인 SYSWELD 해석 값과 실험값의 오차율이 35%이하의 오차를 보임을 확인 할 수 있었다. 이를 통하여 용접 방법 설정에 SYSWELD 해석을 통하여 용접방법을 미리 예측하여 그 결과를 토대로 최적의 용접방법을 설정 할 수 있음을 확인 할 수 있었다. 결과 적으로 입열량의 차에 의해 변형이 두드러지는 것을 볼 수 있고 적정 각장 기준을 만족하기 위해서는 시편의 두께에 따라 입열량이 증가하거나 감소해야 하며 시편이 두꺼워 질수록 입열의 증가에 의해 시편의 변형 또한 증가하는 것을 볼 수 있다. 그러나 두께에 비에 의한 변형량은 4.5T가 가장 많은 변형 비율을 보였으며 용접자의 용접 순서 설정에 있어서도 그 차이가 변형에 영향을 미치는 것과 100도 미만의 예열온도에 따른 변형량은 미미함을 볼 수 있었다. 하지만 선박 또는 건설에 쓰이는 대형 사각 구조물들은 이러한 소규모 실험에 의해 증명 된 바 보다 시편의 두께에 증가에 의해 입열량이 증가함으로 그 변형은 더욱 커 질것이다. 산업현장의 용접 설계자나 실무자들의 적정 용접 기준안에서 용접 습관이나 경험에 의해 적정 각장 또는 용융깊이 용접 순서 등이 상의하게 다름으로 각 용접자의 용접 방법에 의해 시편의 변형 또한 상의하게 변형될 수 있기에 건설 또는 선박 쪽의 대형 구조물 용접시행자가 본 실험의 데이터를 통하여 용접 시 용접 조건에 따른 변형에 대한 기초적인 데이터를 제공함으로 실무자들의 용접 조건 설정에 있어 기초 자료로서 활용 될 것으로 기대되어진다.

참고문헌

- 1) 국정환, 성호현, "용접 입열량에 따른 탄산가스아크용접부의 기계적 특성" 한국기술교육대학교 논문집 제8권 1호.
- 2) 박태원, 김기주, 원시대, 한창평, "용접 순서의 변화에 따른 자동차용 Frame의 변형과 잔류 응력 분석" Transactions of KSAE, Vol. 21, No. 3, pp.50-57 (2013).
- 3) 김은검, 조원용, 고승기 "유한요소법을 이용한 CO2 용접된 H형상 프레임의 열변형 해석"대한 용접공학회.
- 4) 추환수, 조상명, "박판 필렛용접구조물의 좌굴변형에 관한 연구" journal of KWJS, Vol.27. No 3. June, 2009.
- 5) 김법현, 김원일, 최 창, 박용환, "가스성분 및 용접와이어의 변화에 따른 SS400소재의 CO2용접에서 용접부의 상태변화 고찰" Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 11, No. 5, pp. 129-136 (2012. 10).
- 6) 박태원, 김기주, 박창기, 배성진, "용접에 의한 Frame의 변형과 잔류응력 분석" 쌍용자동차 새시설계2팀.
- 7) 하운석, "대형 용접구조물의 탄소성 열변형 해석을 위한 용접부의 변형을 경계조건에 관한 연구" Ournal of KWJS Vol.29 No.4(2011) pp410-415.
- 8) 나현호, 김인수, 김지선, 이지혜, " 필렛용접 구조물의 용접조건 선정을 위한 실험적 연구" Journal of KWJS Vol.29 No.4(2011) pp403-409.
- 9) 박재덕, 경남대학교 산업대학원,[2013] [국내석사], CO2 용접에서 용접 토치의 위치와 전압 변화에 따른 SS400 용접부에 미치는 영향의 논문

1. 부록

1.1 SYSWELD해석 과정

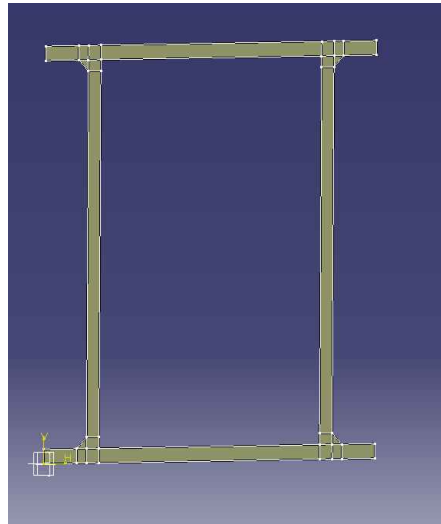


Fig. A-1 카티아 모델링

- 1) Fig. A-1 은 카티아를 이용하여 각 티에 각 각장에 맞도록 모델링을 실시하는 장면이다. 이때 카티아파일을 SYSWELD에서 호환하기 위해 .igs파일로 저장한다.

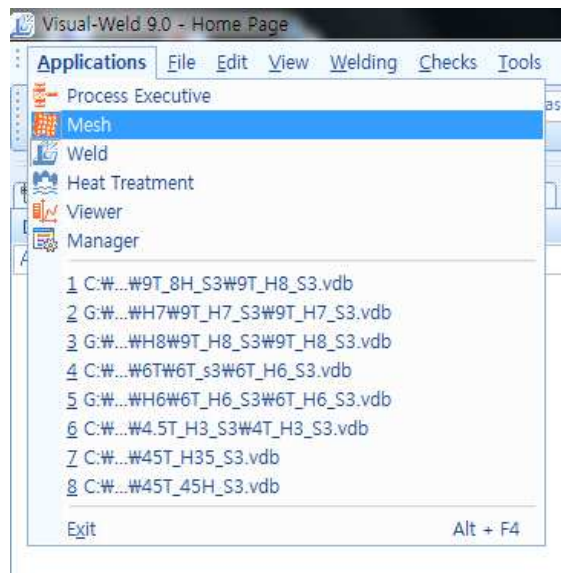


Fig. A-2 mash모드

2) Fig. A-2 는 SYSWELD프로그램의 weld를 실행 시키고 상태바를 이용하여 mesh모드로 들어가는 장면

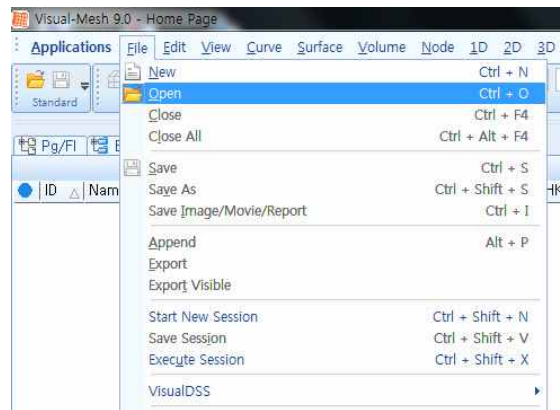


Fig. A-3 igs파일 셋업

3) Fig. A-3은 상태바에 file → open을 이용하여 igs파일로 디자인을 저장한 서페이스를 불러오는 장면.

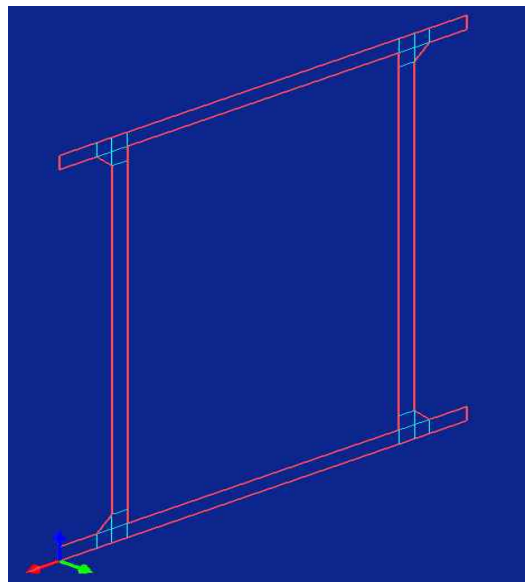


Fig. A-4 2D 서페이스

4) Fig. A-4은 카티아 igs파일을 SYSWEL이용하여 로드한 2D서페이스 화면.

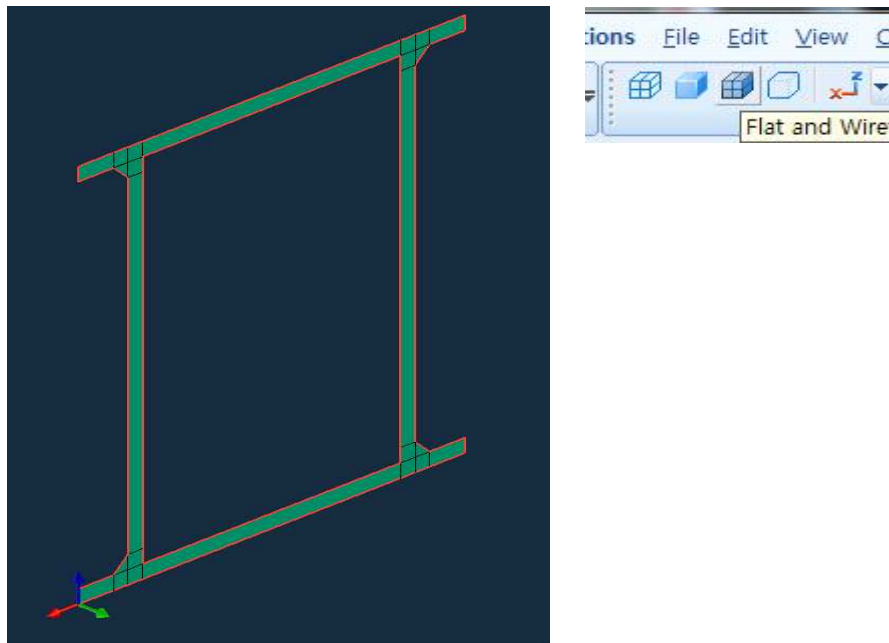


Fig. A-5 서페이스 생성

5) Fig. A-5는 SYSWELD의 상태바의 FLAT and Wire를 클릭하여 와 이 어 상태의 서페이스에 면을 생성한 장면

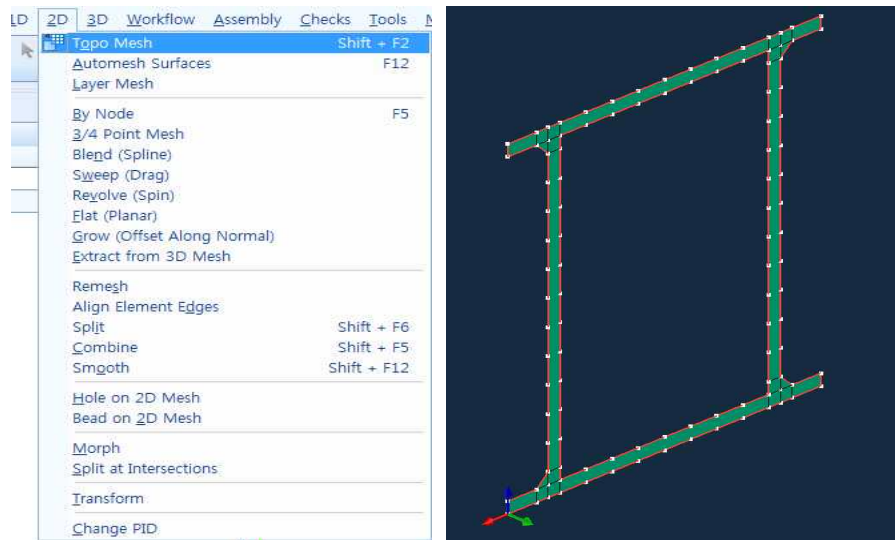


Fig. A-6 매쉬화면 로드

6) Fig. A-6은 SYSWELD상의 2D에서 톨매쉬를 선택하여 오른쪽 그림과 같은 매쉬화면으로 로드된 장면.

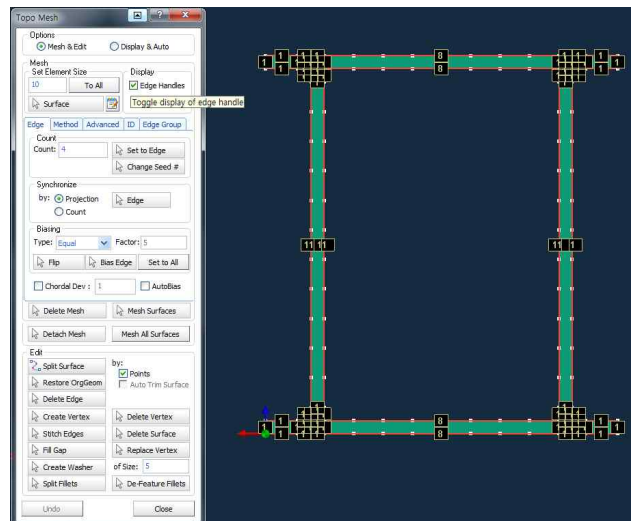


Fig. A-7 매쉬 설정모드

7) Fig. A-7는 Edge Handles 을 이용하여 오른쪽과 같은 매쉬 설정화면 으로 로드된 장면.

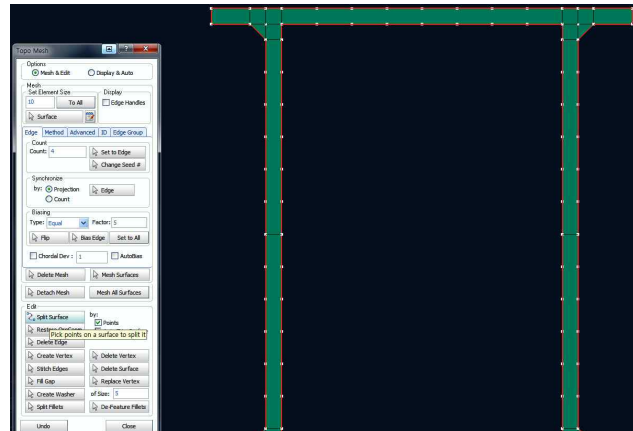


Fig. A-8 mash 스플라이트

- 8) Fig. A-8는 매쉬 부분의 용접 비드 주변부의 변화가 두드러질 것이 예 상되어 지기 때문에 주변부에 매쉬를 더 많이 넣어 좀 더 상세한 변 형을 보고자 동일한 크기의 매쉬를 나누기 위하여 split surface를 이 용하여 중간 Edge에 스플라이트를 한다.



Fig. A-9 매쉬 설정

- 9) Fig. A-9은 자를 이용하여 적절한 매쉬를 설정하기 위해 5mm 미만의 블록이 생기도록 매쉬를 조절하고 스플라이트를 한다.

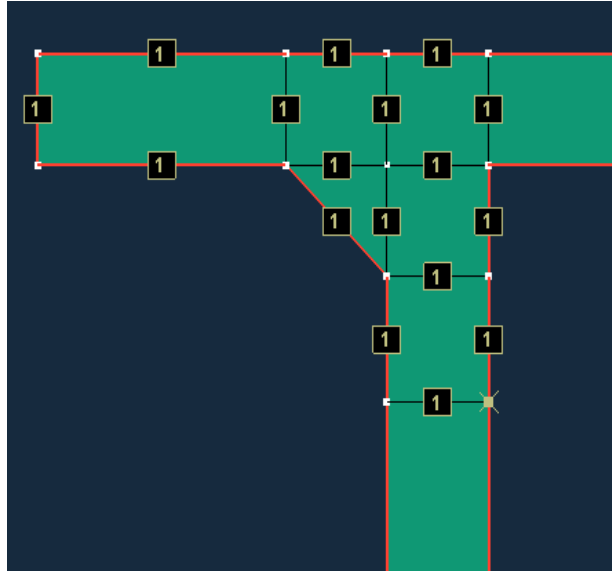


Fig. A-10 매쉬 블록 구성

10) Fig. A-10은 그림과 같이 스플라이트 한 구역이 블록이 생성된 모습



Fig. A-11 매쉬량 설정

11) top mesh의 method map을 설정하고 위와 같이 용접부에는 조금 더 조밀하게 점차 느슨하게 설정하였다. 매쉬의 수가 너무 많아지면 해석에 필요한 시간이 배 이상 늘어나 Fig. A-11에서 보이는 것과 같이 중요한 부분을 미리 예측하고 그에 맞게 매쉬를 짜는 것이 중요하다. 이렇게 동일한 4면을 같은 매쉬의 개수로 설정한다.

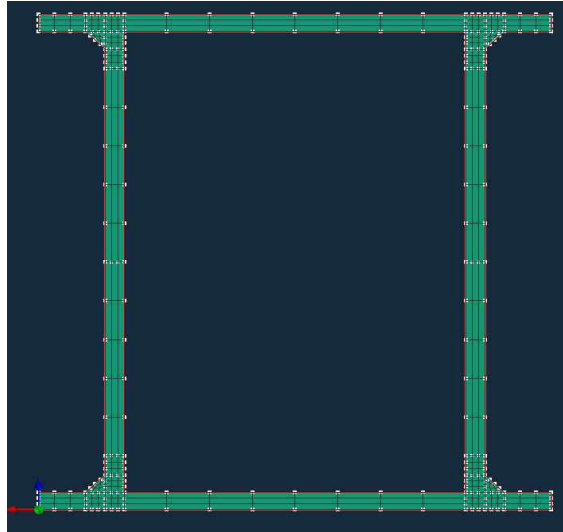
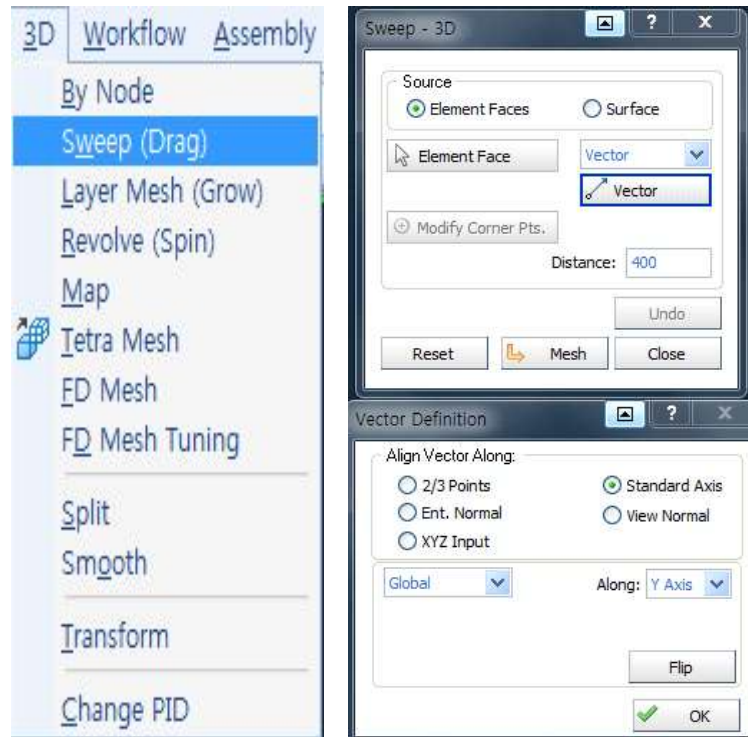


Fig. A-12 완성된 mesh

12) 완성된 mesh화면 (Fig. A-12)



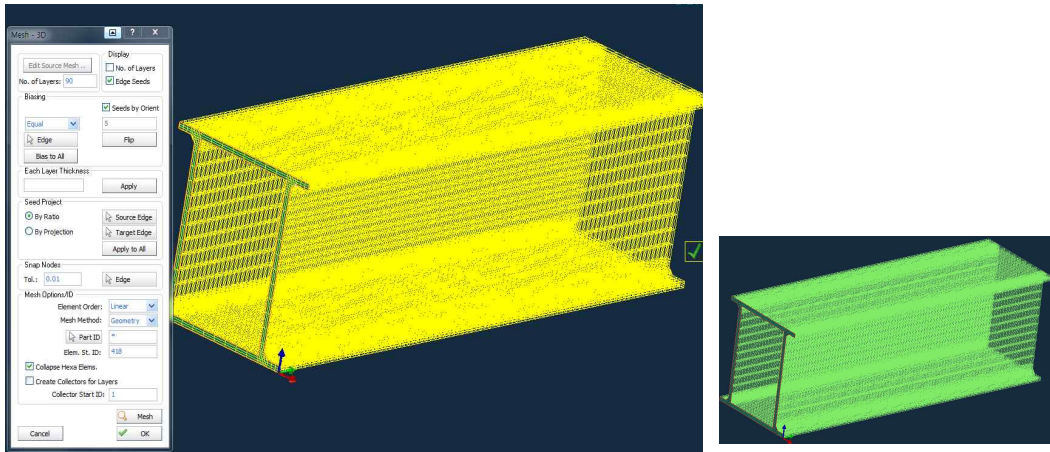


Fig. A-13 3D구현

13) sweep을 통하여 Fig. A-13과 같이 2D도면을 3D 형상으로 바꾸는 작업이 필요하다. 상태바에 3D→sweep(drag)를 선택하고 sweep창에 vector를 스탠다드로 설정하고 스윙할방향과 길이를 설정한다.

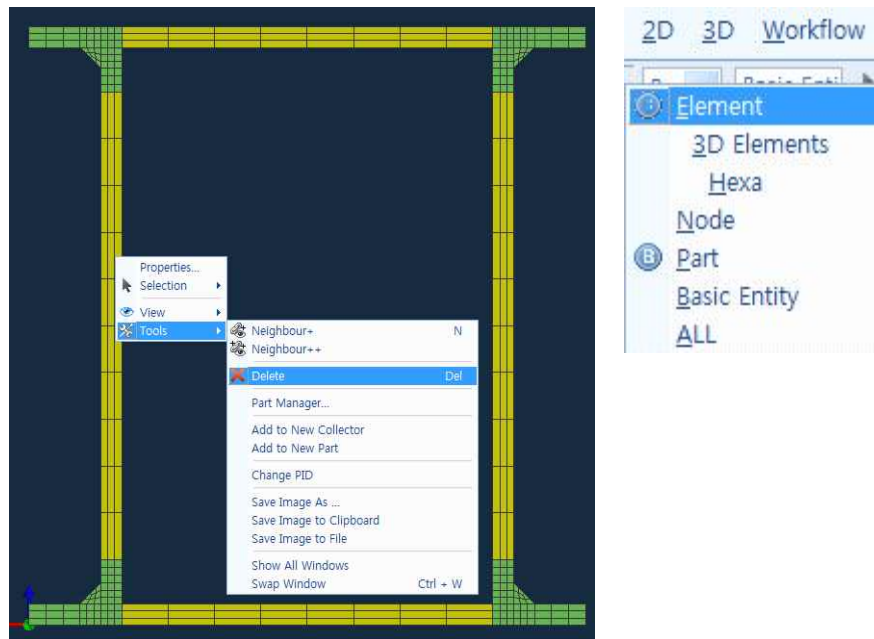


Fig. A-14 불필요한 매쉬 줄이기

14) Fig. A-14은 매쉬의 최소화를 위해 서페이스를 분리하여 매쉬를 재 설정해 필요치 않은 서페이스의 매쉬의 개수를 줄일 수 있다.

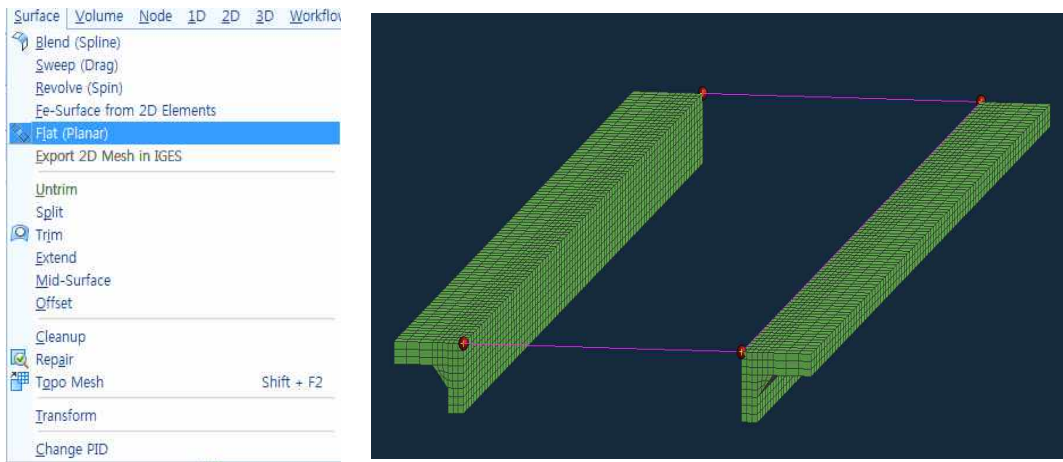


Fig. A-15 2D서페이스 생성

15) Fig. A-15는 Fig.41에서 분리한 서페이스를 상태바에 surface flat(planar)를 선택하여 원하는 공간에 노드를 찍음으로 2D 서페이스를 생성

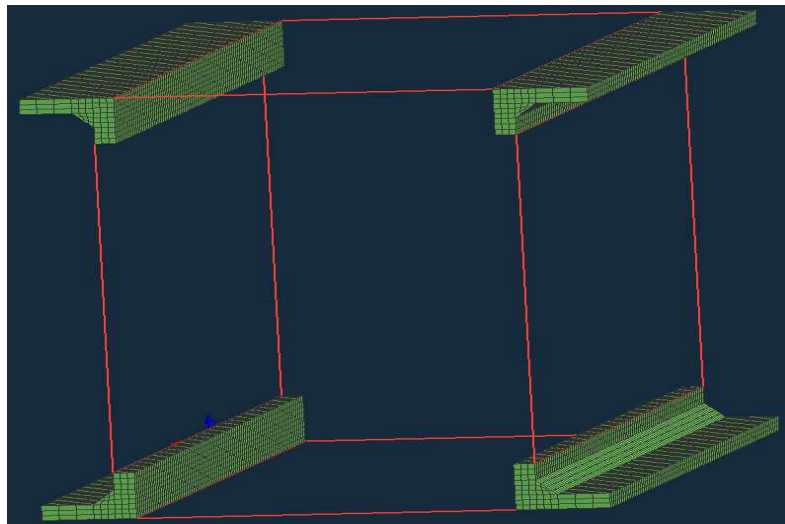


Fig. A-16 2D서페이스 재구성

16) Fig. A-16은 3D 서페이스를 분할하여 2D 서페이스로 재구성한 화면

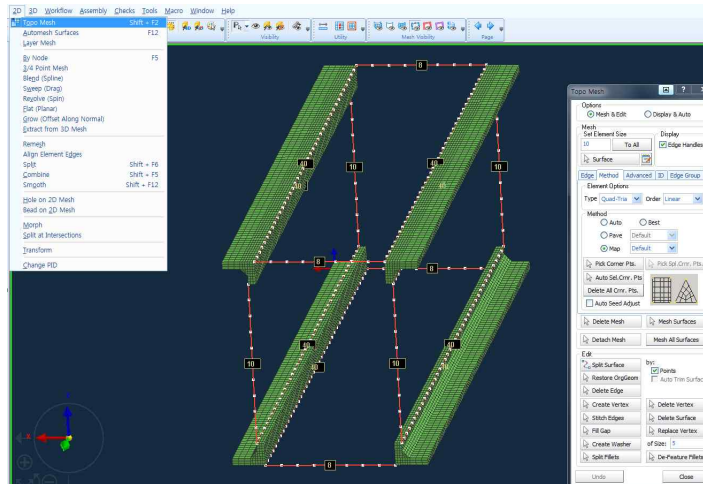


Fig. A-17 2D 서페이스 매쉬 설정

17) Fig. A-17는 Fig. A-16에서 재구성한 2D서페이스를 topo mesh를 이용하여 위에서 한 것과 같이 서페이스를 분할하여 매쉬를 설정한다.

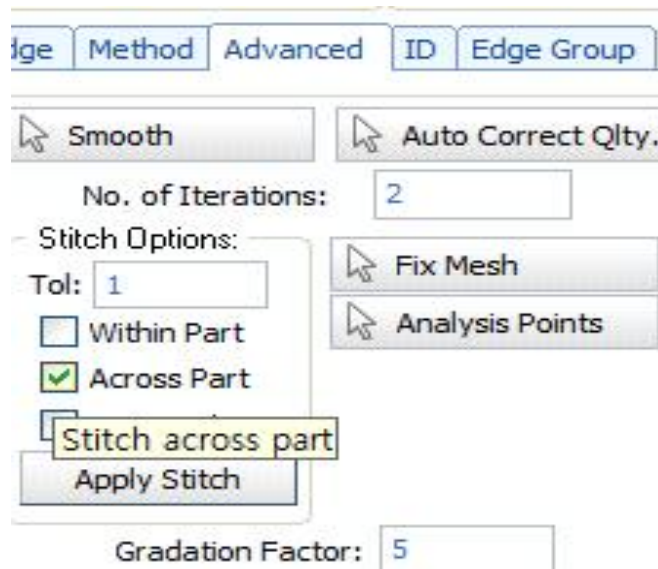


Fig. A-18 서페이스 결속

18) 재구성한 2D서페이스는 기존 서페이스와 결속이 되어 있다고 볼 수 없다. 따라서 Fig. A-18와 같이 SYSWELD의 기능 중 advanced의 across part를 이용하여 기존의 파트와 재구성한 파트를 서로 결속시킬 수 있다.

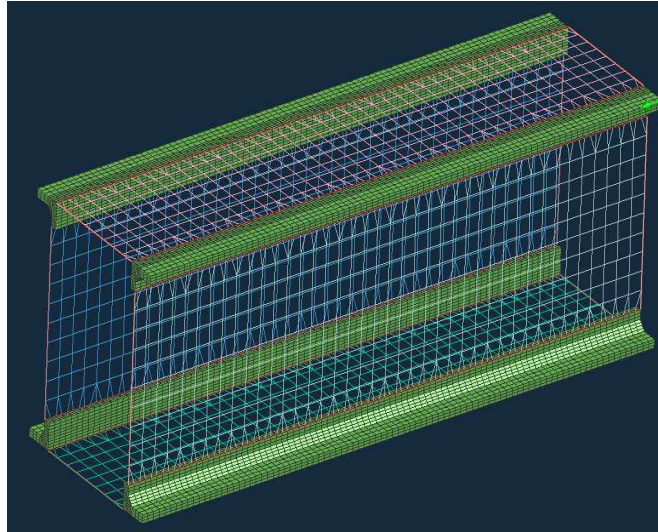


Fig. A-19 2D 서페이스 매쉬 설정

19) Fig. A-18의 과정을 거쳐 결속된 2D서페이스를 mesh를 재구성한 서페이스에 method를 이용하여 Fig. A-19과 같이 매쉬를 완성.

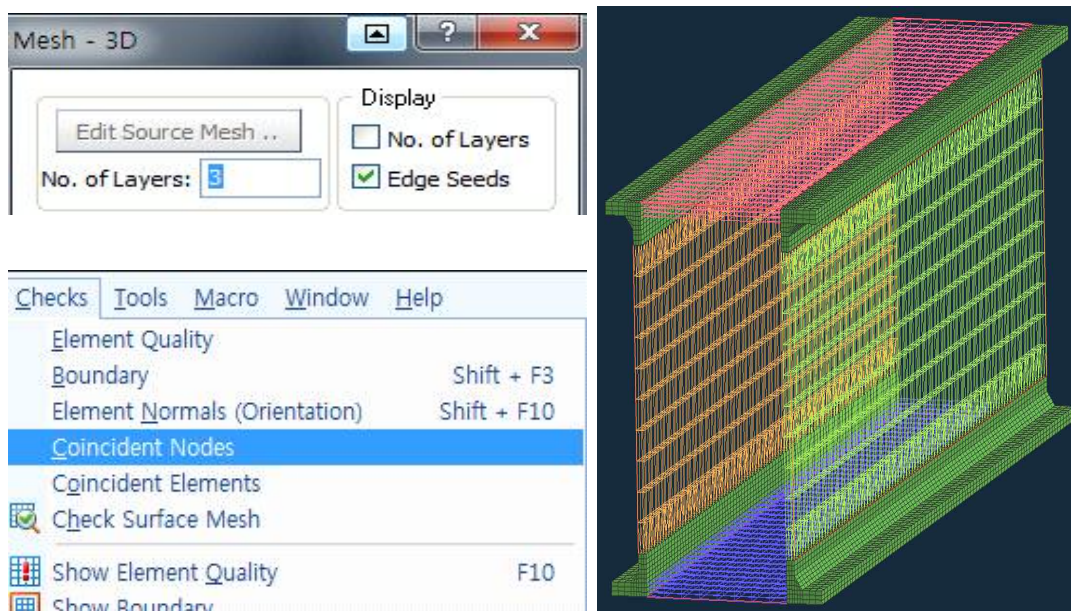


Fig. A-20 결합 체크

20) Fig. A-20의 모습은 완성되어진 서페이스에 결합이 잘 이루어졌는지 확인하기 위한 작업으로 상태바에 checks coincident nodes 즉 선들은 이어져 있는 것처럼 보이지만 노드들은 이어지지 않을 경우를 위하여 반드시 확인 절차를 거쳐야한다.

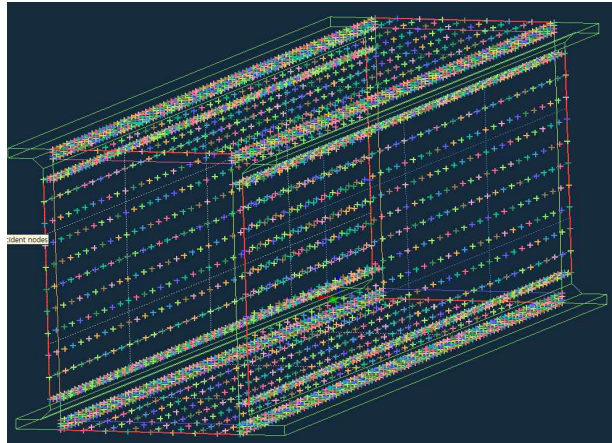


Fig. A-21 결합되지 않은 노드

21) 결합되어 지지 않은 노드들은 Fig. A-21과 같은 모습으로 표시된다.

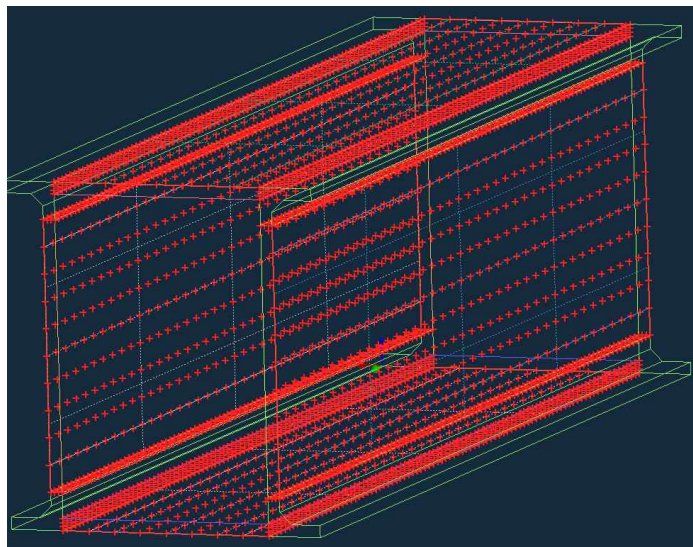


Fig. A-22 노드 결합 대기

22) coincide, all fuse all 을 누르면 노드들이 전부 선택되어지고 결합을 할지 결정여부를 Fig. A-22와 같은 모습으로 대기하게 된다.

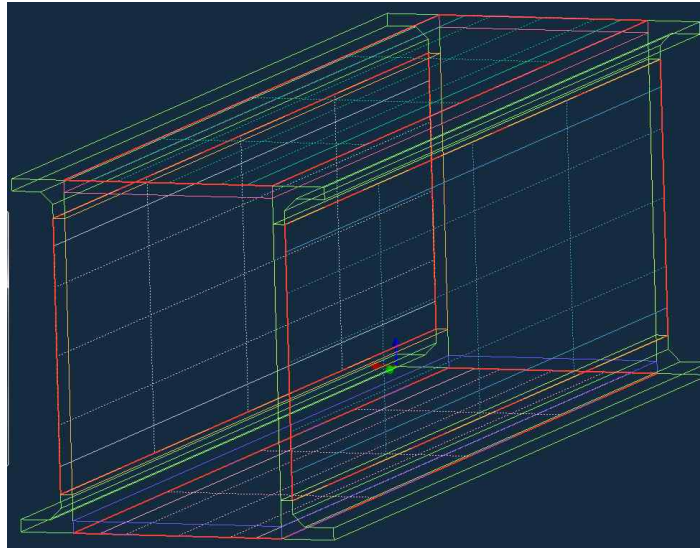


Fig. A-23 결합된 노드 확인

- 23) apply 한 후 다시 check 한 모습으로 연결되지 않은 노드점이 없이 Fig. A-23과 같은 모습으로 확인 할 수 있다.

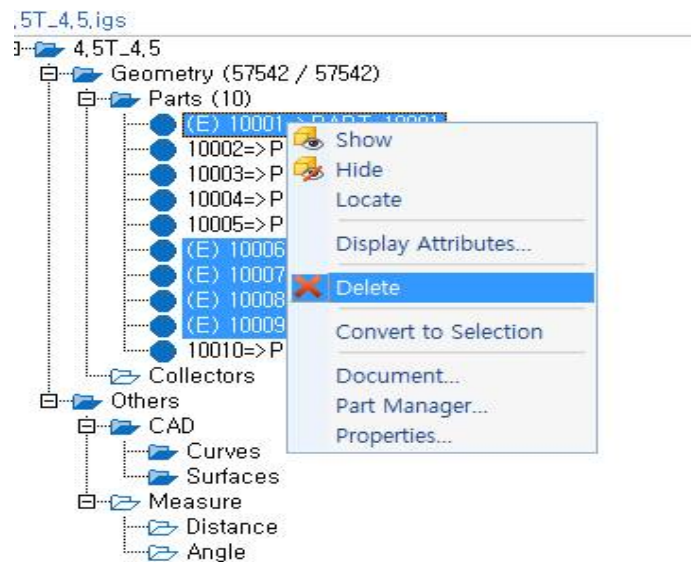


Fig. A-24 단일 서페이스 저장

- 24) Fig. A-24에서 보이는 작업 과정은 결합되지 않은 노드들의 체크를 완료한 서페이스를 element로 new part로 만든 뒤 불필요 한 2D서페이스 및 3D 서페이스를 삭제하여 단일 서페이스로 저장한다.

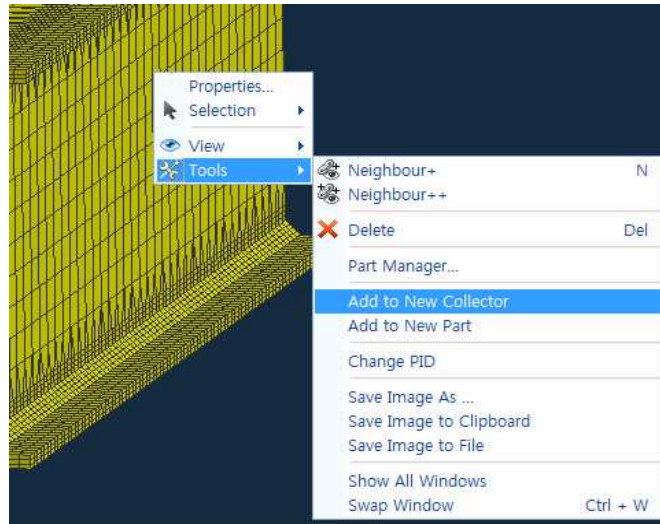


Fig. A-25 LOCAL모델 collector

25) Fig. A-25는 단일 서페이스로 파트를 저장한 것을 선택하여 add to new collector를 이용하여 LOCAL모델로 collector하는 장면

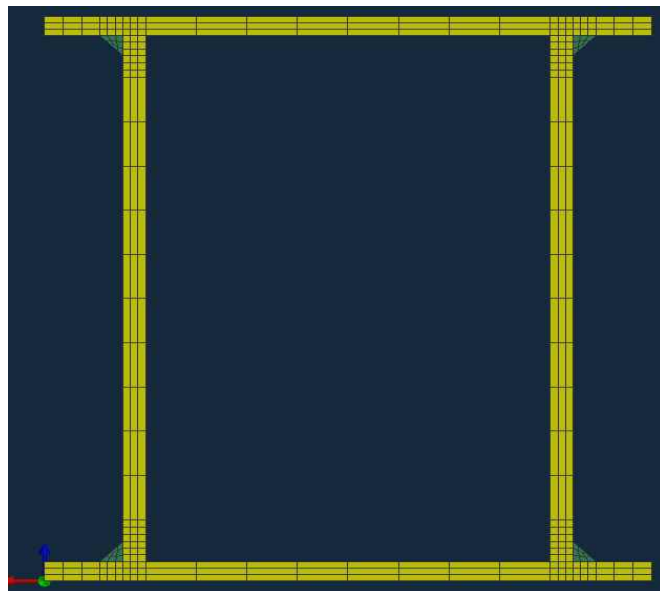


Fig. A-26 PLATE모델 collector

26) Fig. A-26의 장면은 비드 부분을 제외한 모델을 PLATE모델로 collector한 장면

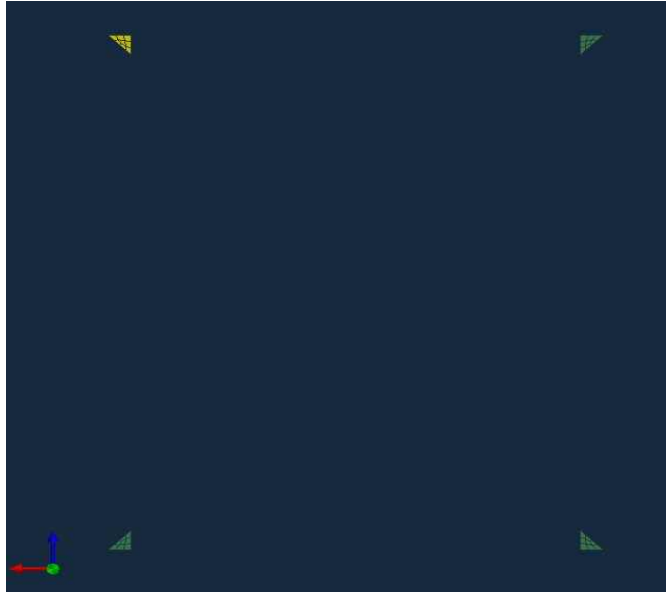


Fig. A-27 BEAD지정

27) Fig. A-27는 PLTAE로 지정한 모델을 select hide 한 후 각 비드를 시계방향으로 BEAD_1,2,3,4로 지정하는 장면

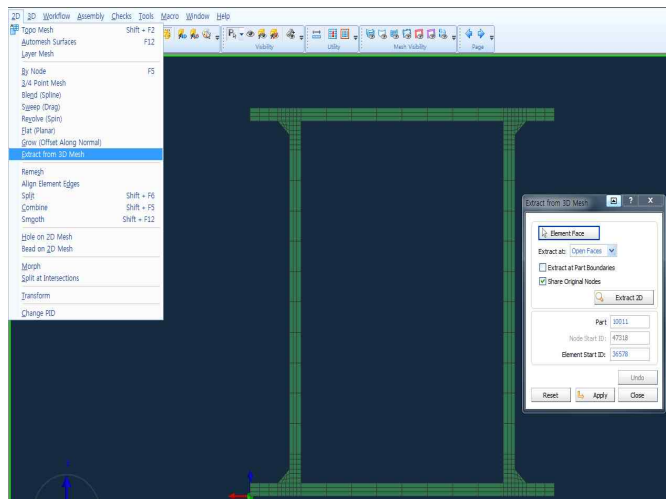


Fig. A-28 skin 설정

28) Fig. A-28는 상태바의 2DExtract from 3D mesh를 이용하여 SKIN을 설정하는 모습

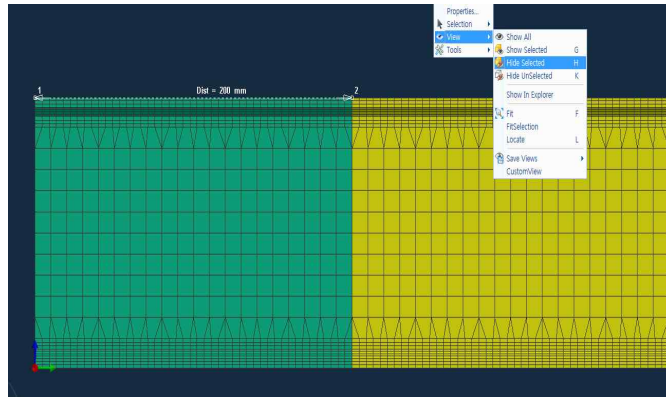


Fig. A-29 용접방향 설정

- 29) Fig. A-29은 용접 방향을 설정하기 위해 Weld로 넘어가서 차로 거리를 측정하고 절반을 선택하여 “숨김“한다.

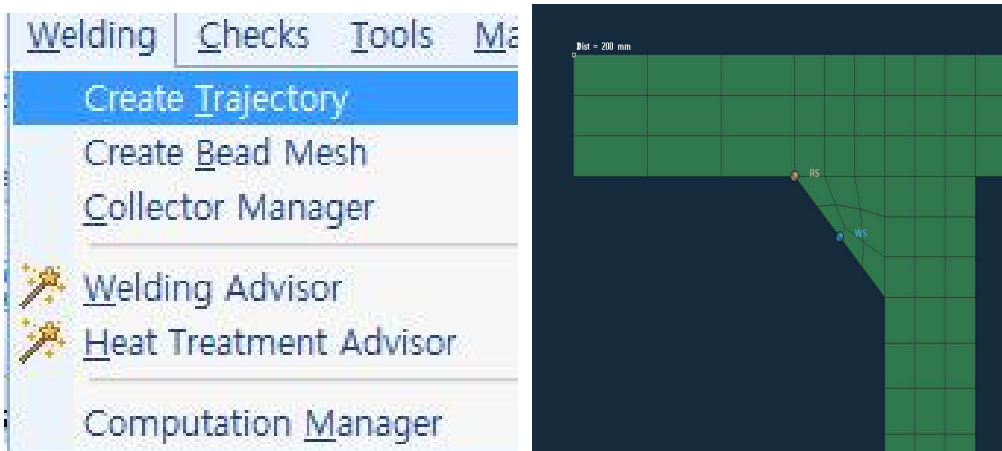


Fig. A-30 용접방향과 노드점 지정

- 30) 상태바의 welding→create trajectory를 이용하여 용접 방향과 비드를 노드점으로 지정하기 위해 Fig. A-30에서 SYSWELD메뉴를 이용

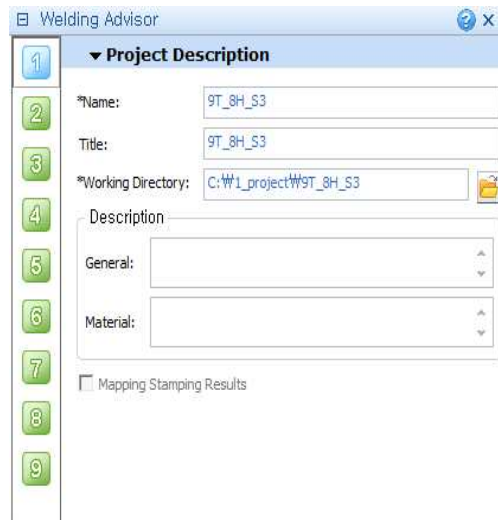


Fig. A-31 Weding advisor

31) Fig. A-31에서의 SYSWELD메뉴인 Welding advisor를 이용하여 파일 이 저장될 장소를 지정하고 파일의 이름을 입력한다.

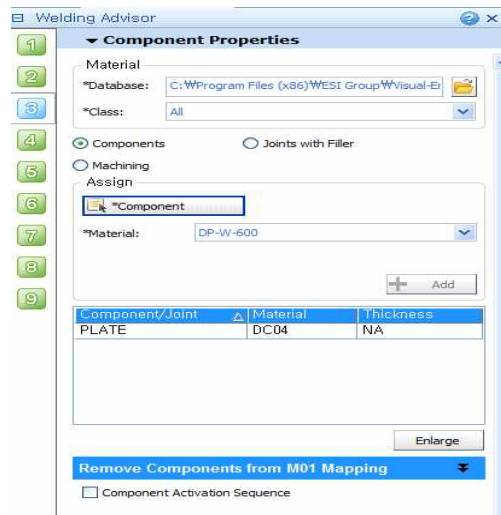


Fig. A-32 재질 선택

32) Fig. A-32는 SYSWELD메뉴인 component properties화면에서 plat의 재질을 설정한다. 우리는 우리시편과 제일 유사한 DC04를 선정하였다.

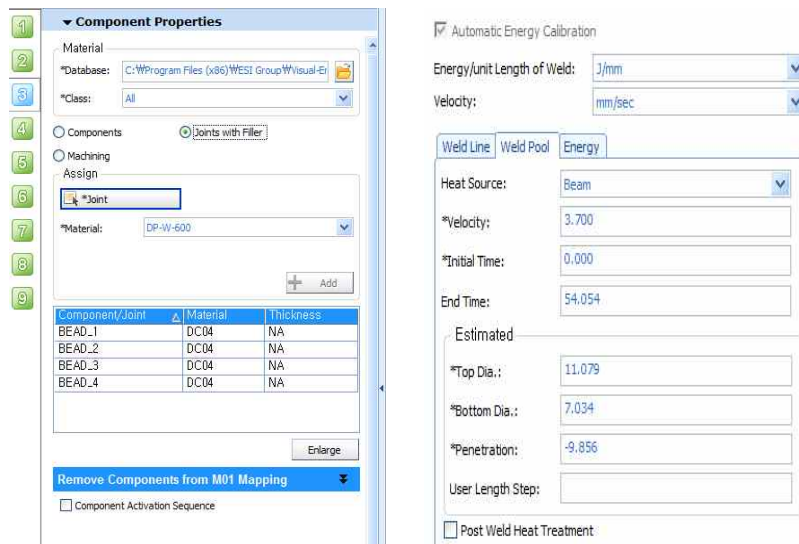


Fig. A-33 Welding advisor 데이터 입력

33) Fig. A-33은 welding process를 통하여 용접조건에 의한 각각의 데이터를 입력한다. 밑의 조건은 welding process에 입력해 넣은 각 조건들에 대한 정보이다. 각 입력조건을 Table A-1참고

Table A-1 welding process 입력조건

두께	각장크기	용입조건 (mm)		용접조건
4.5t	3	top	4.232	170A
		bottom	3.873	26V
		penetration	- 3.865	10mm/s
4.5t	3.5	top	4.765	200A
		bottom	3.38	26
		penetration	-3.9	9.1mm/s
4.5t	4.5	top	5.225	170A
		bottom	3.873	26V
		penetration	-3.934	5.9mm/s
6t	4	top	5.970	230A
		bottom	4.368	29V
		penetration	-4.368	7.5mm/s
6t	5	top	6.927	230A
		bottom	5.45	28V
		penetration	-6.116	5.9mm/s
6t	6	top	7.563	230A
		bottom	5.902	27V
		penetration	-6.329	5mm/s
9t	7	top	10.81	300A
		bottom	6.465	31V
		penetration	-9.651	5mm/s
9t	8	top	11.079	300A
		bottom	7.034	31V
		penetration	-9.856	3.7mm/s
9t	9	top	14.793	300A
		bottom	9.447	31V
		penetration	-9.965	2.5mm/s

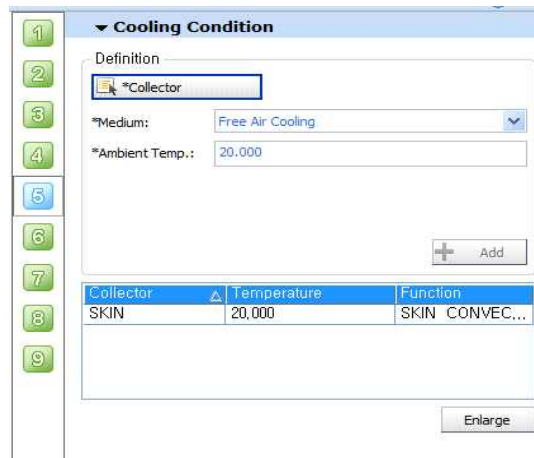


Fig. A-34 외부온도 설정

34) Fig. A-34의 cooling condition을 이용하여 스킨을 지정하고 외부온도를 설정하여 외부에 의한 용접열의 식음을 설정

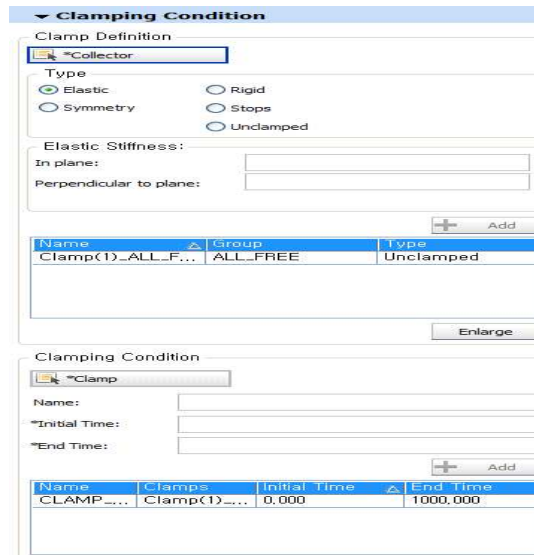


Fig. A-35 클램프 조건 설정

35) Fig. A-35와 같이 clamp condition을 이용하여 clamp에 대한 조건을 입력한다. 우리의 실험에서는 용접에 의한 비틀림을 보고자 하기에 클램프를 하지 않는 조건으로 설정하기 위하여 unclamp를 설정하였다.

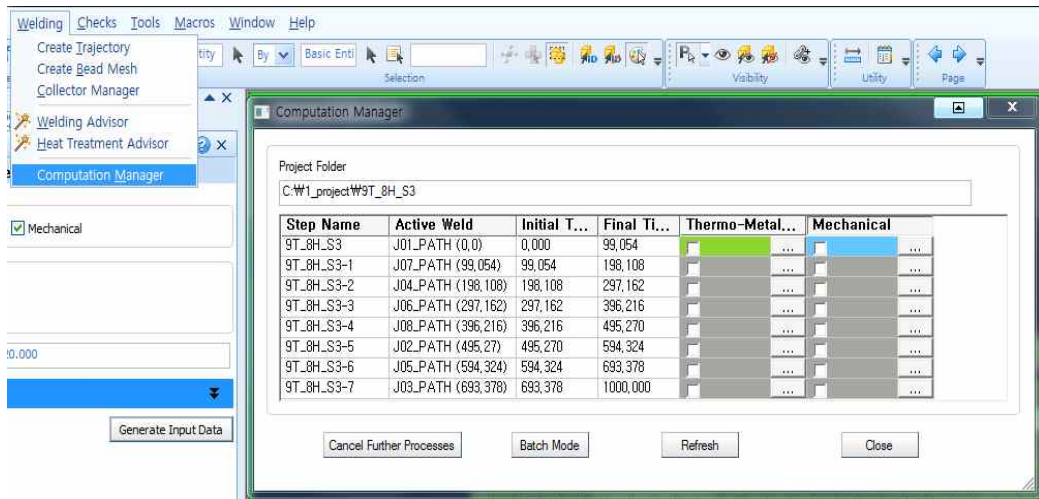


Fig. A-36 해석 시작

36) 상태바의 welding을 선택하여 computation manager를 통하여 모든 입력을 마친 Fig. A-36과 같이 해석설계를 해석할 수 있다.

1. 구조물 제관 형상

1) 4.5T 치수

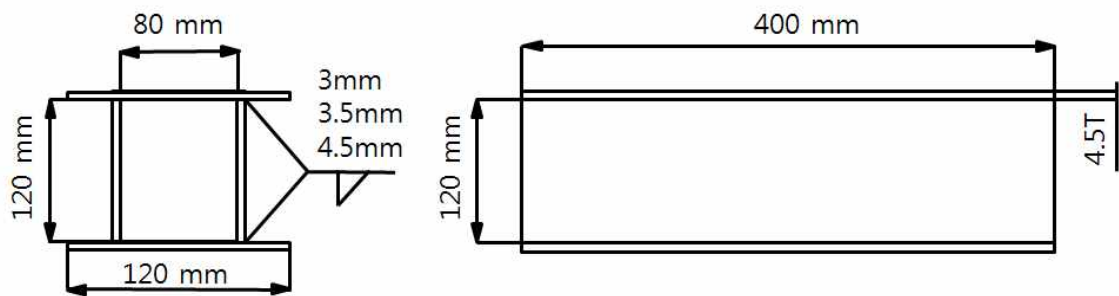


Fig. B-1 4.5T 치수 도면

2) 6T 치수

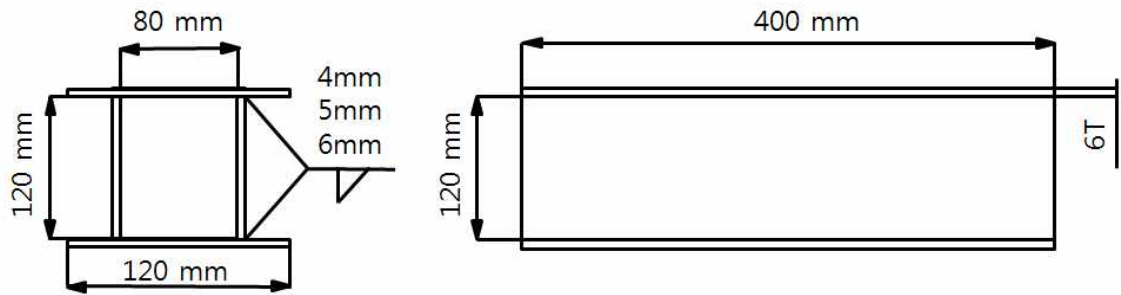


Fig. B-2 6T 치수 도면

3) 9T 치수

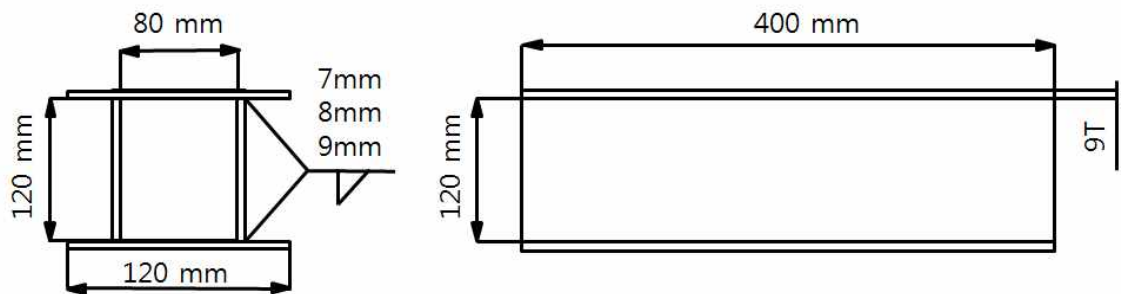


Fig. B-3 9T 치수 도면

4) 지그 도면 치수

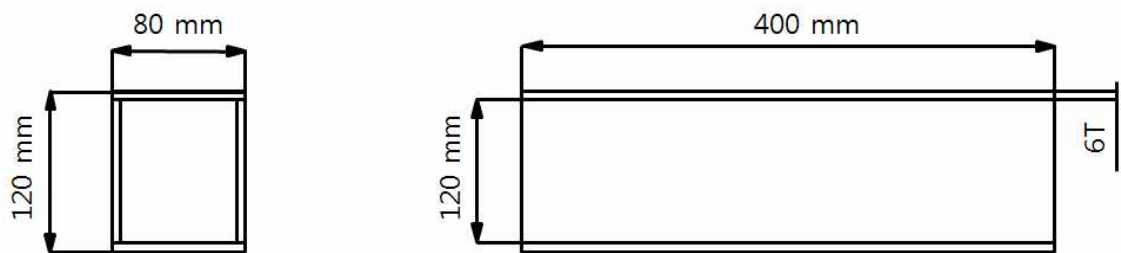


Fig. B-4 지그 치수 도면