

파이프 용착기의 구조해석 및 설계변경

이종선^{1*}

¹대진대학교 컴퓨터응용기계설계공학과

Structural Analysis and Design Change of Pipe Butt Welding Machine

Jong-Sun Lee^{1*}

¹Computer Aided Mechanical Design Engineering, Daejin University

요약 본 논문의 목적은 현재 도기가스, 상하수도 및 화학배관 파이프 등의 플라스틱 배관 공사에서 사용되는 파이프 용착기를 3차원 설계하고 용착 시 발생하는 문제점을 해결하기 위하여 구조해석에 의한 검증작업을 거쳐 구조를 개선한다. 현장에서 파이프 용착 작업 시 용착기 크래프에 크랙이 발생하므로 이를 개선하기 위하여 용착기의 구조를 변경하는 설계지를 제시함으로써 작업의 효율성을 높이고 기술경쟁력을 향상시킨다.

Abstract In this paper, structural analysis was conducted by ANSYS code for three dimensional finite element method to the pipe butt welding machine. Based on this numerical structural analysis, stress, strain and total deformation were obtained and the design change of the pipe butt welding machine was made along with improved productivity and shorten design period.

Key Words : Pipe butt welding machine, Structural analysis, Fusion, Simulation, Total deformation

1. 서론

현재 우리는 도심에서 아스팔트 위를 걸어 다니는데 그 아스팔트 아래의 땅 속에는 무수히 많은 배관들이 거미줄처럼 매설되어 있다. 그 수많은 배관들로 인하여 각종 사고가 일어나고 있으므로 우리는 그러한 사고들을 예방하기 위하여 배관 공사시의 안전을 생각한다. 일반적인 배관 연결방법으로는 용착(fusion)이 있다. 용착이란 모재 자체를 용융시켜서 용융상태에서 접합하는 것을 말한다.

타 재질을 사용하지 않고 모재를 용융접합 한다는 면에서 용접봉을 사용하여 접합하는 일반 용접과 다르다. 시공 안전성은 연결 부위와 같은 가장 약한 부분에 의해서 좌우되므로 연결 절차는 용착과정에서 반드시 지켜야 한다. 용착면의 안전성을 좌우하는 세 가지 요소는 히터

온도, 가열시간, 용착압력과 같은 용착 조건들이다.

용착의 종류는 크게 열용착과 전기용착으로 구분하고 열용착은 용착 방법에 따라 맞대기 용착(butt fusion), 소켓 용착(socket fusion), 새들 용착(saddle fusion)으로 구분한다.

열용착은 상, 하 지그에 고정된 용착물을 재질의 용융 온도보다 약간 높은 온도로 가열된 열판에서 가열, 연화, 용융 시킨 후 용착부위가 충분히 녹았을때 열판을 제거하고 상호 가압한 후 균을 때까지 냉각하는 것을 말하며 전기 용착은 전기 용착 시트 내부로 삽입된 열선에 전기를 공급, 열선의 발열에 의해 이음관과 파이프를 용융 접합하는 방식을 말한다.

열판의 경우에는 히터 컨트롤러가 장착되어 열판의 온도를 일정온도 이상으로 올라가지 않도록 제어한다.

파이프 용착기 제조회사에서 현재 생산되는 용착기는

이 논문은 2010년도 대진대학교 학술연구비 지원에 의한 것임.

*교신저자 : 이종선(jongsun@daejin.ac.kr)

접수일 10년 10월 01일

수정일 10년 10월 25일

게재확정일 10년 11월 19일

열융착용으로 관(pipe) 또는 이음관(fittings)의 단면 사이에 면치기를 넣어서 단면을 깔끔하게 정리한 후 평면 열판을 넣어서 이음관의 단면을 용융시킨 후에 삽입된 열판을 제거하고 용융부위를 맞대어 유압으로 압력을 가하여 접합하는 방식이다.

용착기는 현재 도시가스, 상수도 및 화학배관 파이프 등의 플라스틱 배관 공사에 가장 신뢰도 있는 접합 방식으로 널리 사용된다.

현재 업체에서 생산중인 파이프 용착기는 배관 공사 현장에서 용착 작업 시 파이프를 조이는 상황에서 용착기와 파이프의 엇맞음과 무리한 조임 등으로 인해 용착기의 크래프에 크랙이 발생하는 현상이 일어나고 이는 작업 중단으로 이어지고 있다. 이러한 현상은 사용자의 부주의도 있지만 크래프의 재질에도 문제가 있다고 판단된다. 이와 같은 문제점을 해결하기 위하여 현재 생산하고 있는 파이프 용착기를 3차원 자동설계 프로그램인 SolidWorks[1]를 활용하여 설계된 파이프 용착기에 대하여 구조해석[4-7]을 수행하여 용착기의 응력, 변형률, 최대 변형량 등을 구하였다.

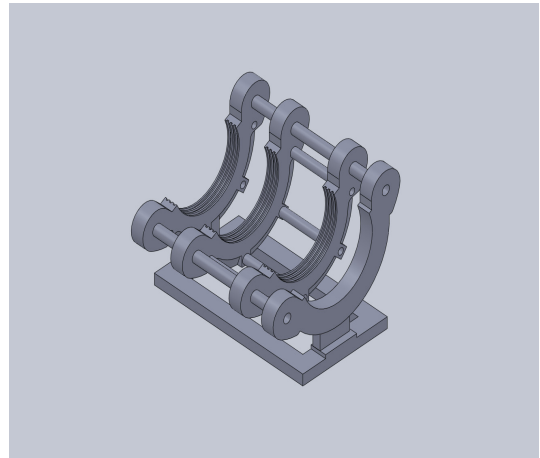
본 해석과 설계를 통하여 업체에서는 가공 시간을 단축하고, 재료비 절감과 생산성 향상이 예상되는 신제품 생산을 계획하고 있다.

2. 파이프 용착기의 모델링

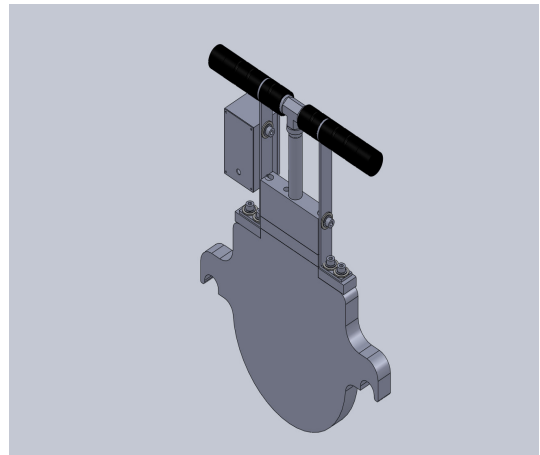
파이프 용착기를 3차원 자동설계 프로그램인 SolidWorks를 사용하여 모델링하였다. 용착기의 크래프 부분, 열판, 면치기, 열판과 면치기를 모델링하였으며 원활한 해석을 위하여 간략화 시키고, 불필요한 부분은 제거하였다.

그림 1은 용착기 크래프의 형상을 모델링한 결과이고, 그림 2와 그림 3은 각각 열판, 면치기를 모델링한 결과이다.

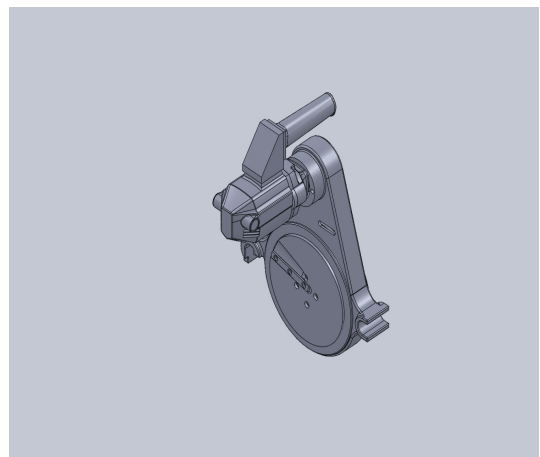
그림 4는 용착기 크래프의 실물 사진이며 그림 5는 열판, 면치기와 크래프가 배치되어있는 용착기의 전체 형상이다. 흔히 파이프 배관 작업현장에서 볼 수 있는 파이프 용착기의 구조라 할 수 있다.



[그림 1] 용착기 크래프의 형상



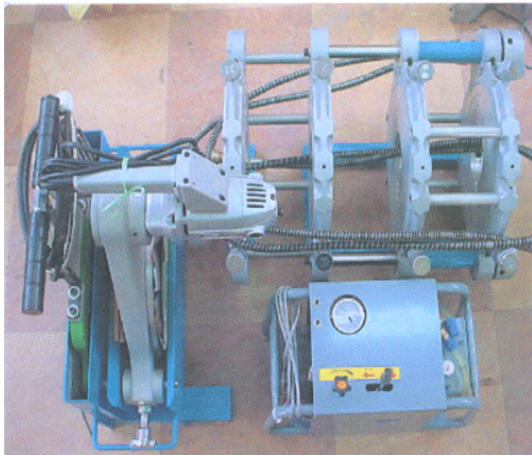
[그림 2] 열판의 형상



[그림 3] 면치기의 형상



[그림 4] 용착기 크래프



[그림 5] 용착기의 전체 형상

3. 파이프 용착기의 구조해석

3.1 재료 물성치

본 해석에서는 용착기의 크래프에 크랙이 일어나는 원인을 알기 위해서 용착기 크래프만을 해석에 사용하였다. 용착작업 시에 함께 사용되어지는 열판과 면치기는 해석에서 제외시켰다. 용착기 크래프에 사용된 재질은 구조용강(structural steel)과 알루미늄 합금(aluminium alloy)으로서 물성치는 표 1, 표 2와 같다.[8]

[표 1] 구조용 강 의 물성치

Structural	
Young's Modulus	2.e+011 Pa
Poisson's Ratio	0.3
Density	7850. kg/m ³
Thermal Expansion	1.2e-005 1/°C
Tensile Yield Strength	2.5e+008 Pa
Compressive Yield Strength	2.5e+008 Pa
Tensile Ultimate Strength	4.6e+008 Pa
Compressive Ultimate Strength	0. Pa
Thermal	
Thermal Conductivity	60.5 W/m·°C
Specific Heat	434. J/kg·°C
Electromagnetics	
Relative Permeability	10000
Resistivity	1.7e-007 Ohm·m

[표 2] 알루미늄 합금의 물성치

Structural	
Young's Modulus	7.2e+010 Pa
Poisson's Ratio	0.33
Density	2770. kg/m ³
Thermal Expansion	2.3e-005 1/°C
Thermal	
Thermal Conductivity	0. W/m·°C
Specific Heat	875. J/kg·°C
Electromagnetics	
Relative Permeability	1.
Resistivity	5.7e-008 Ohm·m

3.2 메쉬(Mesh)의 형성

표 3은 해석 모델인 파이프 용착기의 메쉬(mesh)에 대한 세부사항이다.

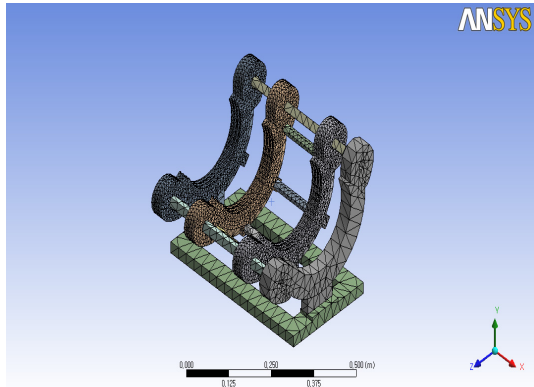
그림 6은 파이프 용착기의 모델 형상과 유한요소해석 메쉬 형상을 나타내고 있으며 8,268개의 절점과 25,627개의 요소로 구성되어 있다.

이 해석에서는 용착기의 중요 요소인 크래프의 크랙여부가 가장 중요하므로 크래프 부분은 조밀하게 메쉬로 나누어 해석하고 나머지 부분은 원활한 해석을 위하여 간단하게 메쉬를 나누어 해석하였다.

[표 3] 사용된 메쉬

Object Name	Mesh
State	Solved
Defaults	
Physics Preference	Mechanical
Relevance	0
Advanced	
Relevance Center	Coarse
Element Size	Default

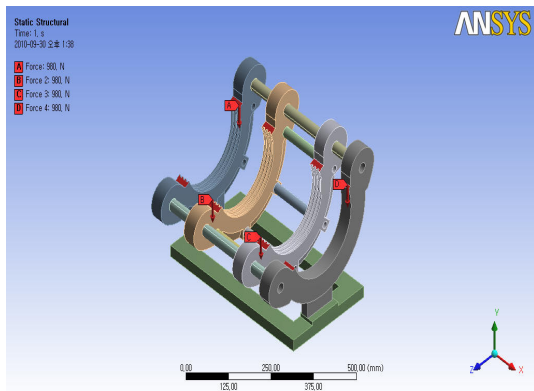
Shape Checking	Electromagnetics
Solid Element Midside Nodes	Dropped
Straight Sided Elements	
Initial Size Seed	Active Assembly
Smoothing	Low
Transition	Fast
Statistics	
Nodes	8268
Elements	25627



[그림 6] 파이프 용착기의 메쉬 형상

3.3 경계조건과 하중조건

파이프 용착기에 파이프를 고정시키기 위해서는 두 개씩 한 쌍의 크램프 간의 결합이 되어야 하는데 이 결합과정에서 크랙이 일어나므로 크램프 간의 결합부위에 하중을 주어 해석하였으며 용착기의 밀면은 고정이므로 Fix 조건을 주었다. 또한 용착기 크램프 부분의 구조적 특성과 응력분포를 알아보기 위해 실제 현장작업의 하중보다 과도한 100kg, 즉 980N의 하중을 각 크램프의 연결부위 8곳에 주어 해석하였다. 그림 7은 하중조건을 나타낸다.



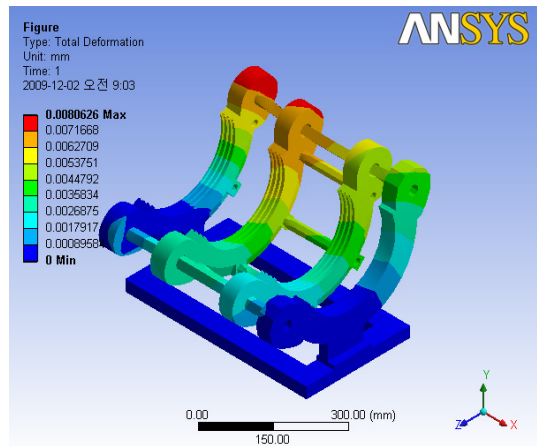
[그림 7] 하중조건

3.4 파이프 용착기의 해석결과

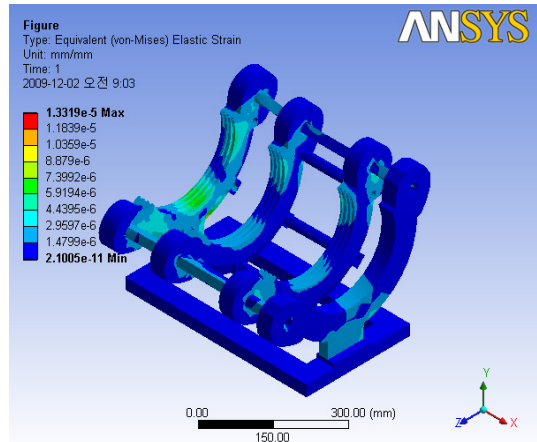
경계조건과 하중조건을 이용하여 파이프 용착기의 구조해석을 위한요소해석 코드인 ANSYS를 활용하여 수행한 결과 전체 변형량(total deformation), 변형률(Strain), 응력(Stress) 값을 구할 수 있었다.

그림 8은 전체 변형량의 결과를 나타낸 모습이고, 그림 9는 변형률, 그림 10은 응력의 결과를 나타내고 있다. 표 4는 구조해석의 최종결과를 나타내고 있다.

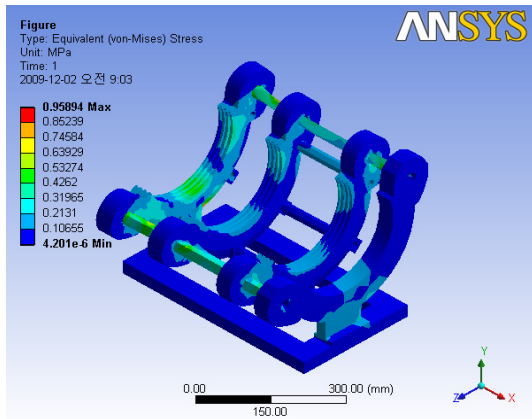
100Kg 즉, 980N의 힘을 주었을 때의 해석결과로서 응력의 최대값은 675120Pa, 변형률의 최대값은 1.7115e-007m 이다.



[그림 8] 파이프 용착기의 전체 변형량



[그림 9] 파이프 용착기의 변형률



[그림 10] 파이프 용착기의 응력

[표 4] 해석결과

Object Name	Total Deformation	Equivalent Elastic Strain	Equivalent Stress
State	Solved		
Scope			
Geometry	All Bodies		
Definition			
Type	Total Deformation	Equivalent (von-Mises) Elastic Strain	Equivalent (von-Mises) Stress
Display Time	End Time		
Results			
Minimum	0 m	0m/m	0Pa
Maximum	1.7115e-07 m	9.3767e-006 m/m	6.7512e+005 Pa
Minimum Occurs On	Part 4		
Maximum Occurs On	Part 4	Part 10	
Information			
Time	1. s		
Load Step	1		
Substep	1		
Iteration Number	1		

4. 결론

현장에서 작업 시 배관용 파이프를 용착하기 위하여 파이프를 용착기의 크램프에 고정시킬 때 크램프에 크랙이 발생하는 이유를 규명하기 위하여 용착기에 대한 구조해석을 3차원 유한요소해석코드인 ANSYS를 사용하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었으며, 이 해석결과를 신

제품 개발 시 설계변경에 반영하였다.

- (1) 구조해석을 위하여 크램프에 하중을 주었을 때 해석결과로서 최대응력은 675120Pa, 최대 변형률은 1.7115e-007m 이다.
- (2) 해석결과 변형량과 응력의 분포는 크램프가 맞닿는 부분에서 집중되었으며 특히 크램프의 연결부위에 집중적으로 나타났다. 이는 실제 작업시에도 크랙이 발생하는 부위이므로 연결부위에 대한 설계변경이 필요하다.
- (3) 해석 시 현장의 작업환경보다 과도한 하중을 적용하였지만 소재의 항복점보다 낮은 응력을 나타내어 안전성에는 문제가 없다는 것을 알 수 있다.

참고문헌

- [1] Solidworks User's Manual Revision 3.0, SolidWorks Co., 2006.
- [2] ANSYS User's Manual Ver.11.0, ANSYS Inc., 2008.
- [3] (주)태성에스엔이 FEA사업부, "ANSYS Workbench", 시그마프레스, 2007.
- [4] William Weaver, Jr. and R. Johnston, "Finite Elements for Structural Analysis". PRENTICE HALL, INC. 1993.
- [5] 이종선, "트레드밀 롤러의 구조/진동해석", 한국공작기계학회논문집, 제14권, 제2호, pp. 62-68, 2005.
- [6] 이종선, "노르딕 기구의 진동해석", 한국산학기술학회논문지, 제7권, 제5호, pp.766-770, 2006.
- [7] 이종선, "초미립자 살포기의 설계 및 구조개선", 한국산학기술학회논문지, 제11권, 제1호, pp.43-48, 2010.
- [8] James shakelford and William Alexander, "Material Science and Engineering Hand Book", CRC Press, 1994.

이 종 선(Jong-Sun Lee)

[종신회원]



- 1982년 2월 : 국민대학교 기계설계학과 (공학사)
- 1984년 2월 : 국민대학교 기계공학과 (공학석사)
- 1996년 2월 : 국민대학교 기계설계학과(공학박사)
- 1996년 3월 ~ 현재 : 대전대학교 컴퓨터응용기계설계공학과 교수

<관심분야>
최적설계, 생산공학