

PE 이중벽관의 맞대기 용착 용접 강도 향상에 관한 연구

안주선* · 이경원* · 김재성* · 이보영**†

*한국항공대학교 항공우주 및 기계공학부

**한국항공대학교 항공우주 및 기계공학과

Studies on the Improvement of Butt Welding Characteristic of Polyethylene Pipes

Ju-seon An*, Kyng-won Lee*, Jae-sung Kim* and Bo-young Lee**†

*Dept. of Aerospace and Mechanical Engineering, Korea Aerospace University, Koyang 412-791, Korea

**Aerospace and Mechanical Engineering, Korea Aerospace University, Koyang 412-791, Korea

†Corresponding author : bylee@kau.ac.kr

(Received July 26, 2010 ; Revised September 6, 2010 ; Accepted January 4, 2011)

Abstract

Waste water is disposed to sewage disposal plant by underground PE double wall pipes. Various processes have been introduced to join PE pipes, but most of these methods have many disadvantages such as costs, lack of reliability and difficulties in joining, etc. Recently butt welding has been paid much attention to joint PE pipes as this process has many advantages such as cost, safety and reliability. In this study, newly developed heat plate, a patent-pending heat plate with a groove, was used to butt-weld PE double wall pipes with different misalignment gaps to simulate real underground conditions, and the butt welding temperature of PE pipe was determined by thermal analysis (Thermal Gravimetric Analysis, Differential Scanning Calorimetry and Dynamic Mechanical Analysis). The resulting joining characteristics of double wall pipes were compared with those from a conventional heat plate, in terms of stiffness, flattening and leakage tests. The results from the stiffness and flattening test showed that there were no big differences between the butt-welded joints made from these two plates. From the leakage test, although PE pipes welded with a conventional heat plate did leak below the required test conditions (10 min. at 0.75kgf/cm²), the pipes welded with a patent-pending grooved heat plate did not show any leakage even at a pressure 1.5 times higher than the required conditions. It was noted that by utilizing a grooved heat plate more complete fusion at the pipe joints could be obtained, which in turn induced a high quality joints.

Key Words : PE pipes, Butt welding, Thermal analysis

1. 서 론

PE(Polyethylene)는 저온에서도 유연성을 잃지 않고 충격에 강하며, 각종 화학적 환경에도 잘 견디어 국내 하수관거에 대부분 적용되어 사용 하고 있다. 현재 국내에서 사용되고 있는 PE 하수관의 종류에는 PE 이중벽관, PE 이중벽 합성수지관, 일반용 PE관, 흡관 등이 있으며, 3중관 벽관의 사용도 시도되고 있다. 하지만, PE 하수관을 적합하게 연결하여 누수를 방지하고

하수관 모재와 같은 수명을 유지 할 수 있는 이음방법이 현재까지 개발되지 못하고 있는 실정이다. 따라서 하수관 이음부에서 누수가 발생하여, 하수 처리 시설까지 제대로 도달하지 못하고, 토양으로 바로 유입되어 환경이 오염되는 문제를 야기하고 있다^{1,2)}.

일반적으로 하수관거로 많이 사용되고 있는 PE 이중벽관의 이음종류는 열 수축 슬리브, 슬리브 소켓, 전기 용착법 등이 있으나, 이들 방법은 고가이고 시공이 어려우며, 외력에 따른 이음 강도의 신뢰성이 떨어지는 단점을 가지고 있다. 따라서 최근에는 이러한 단점을

보완하기 위하여 열판을 이용한 맞대기 용착법이 많은 주목을 받고 있다³⁾. 하지만, 국내외에서 현재 사용되고 있는 열판의 표면은 단지 평편하게 제작되어 있으므로, 용착시 발생하는 하수관의 단차로 인해 접합부의 강도와 수밀성 등을 확보하기 어려운 한계를 가지고 있다. PE는 용점 이상의 온도에서는 기화되기 시작하여, 모재가 가지는 화학적 특성이 바뀔 우려가 있다^{5,6)}.

이에 본 연구에서는 접합부의 안정성과 신뢰성을 향상시키기 위하여 새로운 형태의 열판을 개발하고자 하였으며, PE 하수관의 열분석을 통하여 적절한 접합 온도 조건을 제시하고자 한다.

2. 실험 방법

2.1 PE 열분석

열판의 가열 온도는 DSC(Differential Scanning Calorimeter), TGA(Thermogravimetric Analysis), DMA(Dynamic Mechanical Analysis)를 통하여 선정하였다.

DSC는 Perkin Elmer(미국)사의 Perin-1을 사용하였으며, 20 ~ 200°C의 범위에서 승온 온도와 냉각 온도는 20°C/min로 실시하였다. TGA는 TA-Instrument 사(미국)의 SDT Q600 장비를 사용하였으며, 승온 온도는 25 ~ 800°C 범위에서 10°C/min으로 실시되었다. DMA는 TA Instrument 사(미국)의 Q600 V20.9를 사용하였으며, -40 ~ 90°C의 온도 범위에서 3 point bending mode로 하중이 1Hz로 인가되었다.

2.2 열판설계 및 접합

PE 이중벽관의 맞대기 용착법에서 열판은 접합부의 품질을 결정하는 가장 중요한 장비이다. 열판의 형상에 따라 접합부의 형상과 강도 및 수밀성이 달라질 수 있다. 따라서 PE 이중벽관의 용접성 향상을 위하여 열판을 제작하였으며, 실험을 통하여 용접성을 평가하였다. Fig. 1은 기존열판(conventional heat plate)과 A-type과 B-type으로 개발된 열판의 개략도이다. 용접성의 평가는 용착 용접부 단면 형상을 비교하였으며, 인장강도 시험과 내압 시험을 실시하였다. 본 연구에 사용된 관경 200mm PE 이중벽관의 물성과 개발된 열판을 각각 Table 1과 Fig. 1에 나타내었다. PE 이중

Table 1 Properties of polyethylene

Density (g/cm ³)	Specific heat (cal/°C/g)	Tensile strength(MPa)	Young's modulus(MPa)
0.942~	0.56	22	50~100

Table 2 Welding condition

Temperature	Pressure	Heating time
230°C	1.5kgf/cm ²	20s

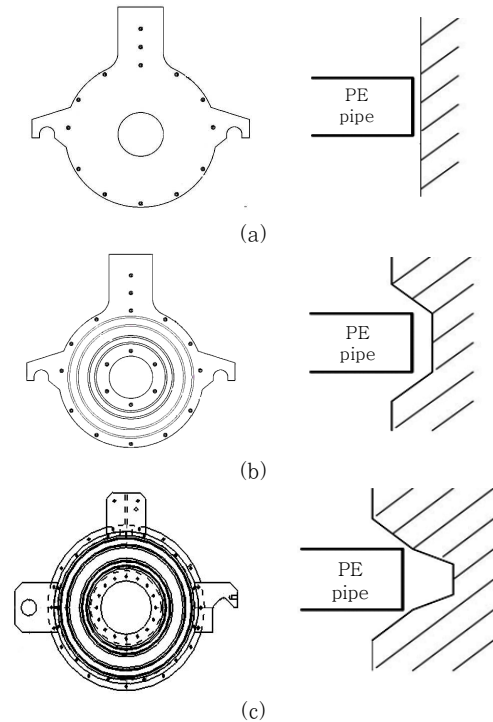


Fig. 1 Schematics of (a) Conventional heat plate (b) A-type heat plate, (c) B-type heat plate

벽관의 맞대기 용착에는 온도, 압력, 가열시간 3가지의 변수가 있는데, 본 연구에서 이용한 접합조건은 열분석과 기초 실험을 통하여 선정하였다.

기존에 사용되고 있는 열판의 표면은 평편하여 PE가 용융되면서 옆으로 퍼져 나가게 된다. 따라서 PE 이중벽관의 공(空) 부분의 불충분한 용융물로 인하여, 접합부의 강도와 수밀성 등을 확보할 수 없었다. 기존 열판의 한계점을 극복하기 위하여 새로운 디자인의 열판을 고안 하였다.

A-type 열판은 홈(groove)이 있어서, PE 이중벽관의 용융 시에 용융물이 옆으로 퍼져 나가는것을 방지하였으며, B-type의 열판에는 홈(groove)이 있는 부분에 용착 시에 용융물이 잔재될 수 있는 공간을 확보시키기 위하여 Fig. 1- (c)처럼 홈을 한층 더 가공하여 설계 하였다⁷⁾.

2.3 단면형상과 단차를 고려한 접합

PE 이중벽관은 Fig. 2와 같이 생산 특성에 의해 밀

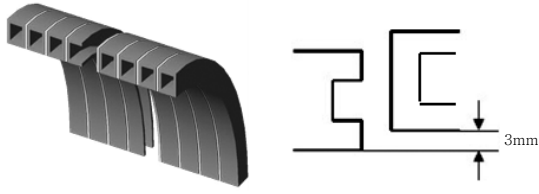


Fig. 2 Cross-section shape of PE double wall pipe: case 2

Table 3 Cross-section shape of PE double wall pipe

case	Cross-section of PE pipe
1	<p>S - S</p>
2	<p>N - S</p>
3	<p>N - N</p>

(密)하고 공(空)한 형태가 스크류 모양으로 제작된다. 따라서 배관을 절단하여 용착 할 때, 두 배관이 만나는 부분은 Table 3과 같이 밀(密, Solid)-밀(密)(case1), 밀(密)-공(空, Non-solid) (case2), 공(空)-공(空)(case3)한, 세 경우의 접합이 이루어지게 된다. 또한, 현장에서 맞대기 용착 용접 시공 중에 지형 및 시공 현장의 환경에 따라 단차가 발생하게 된다. 따라서 본 연구에서는 0mm, 3mm, 5mm의 단차와 PE 이중벽관의 접합 단면을 고려하여 세 가지 형태의 열판으로 접합을 실시하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 열분석(Thermal analysis)

Fig. 3는 PE를 상온에서 200℃으로 승온 후, 다시 200℃에서 상온으로 냉각하면서 나타나는 온도에 따른 열적 흐름(heat flow)을 나타낸 DSC 그래프이다. 승온(heating) 그래프에서 114.5℃에서 액상으로 변화하면서 흡열반응이 나타나기 시작하고, 131.2℃에서 가장 높은 열량이 주입되게 된다. 이는 결정형 고분자의 마지막 결정이 완전히 흩어지는 용점 온도(melting temperature)라고 판단된다. 반대로, 용점 온도이상에서 고분자는 무정형 상태로 존재하다가 온도가 일정한

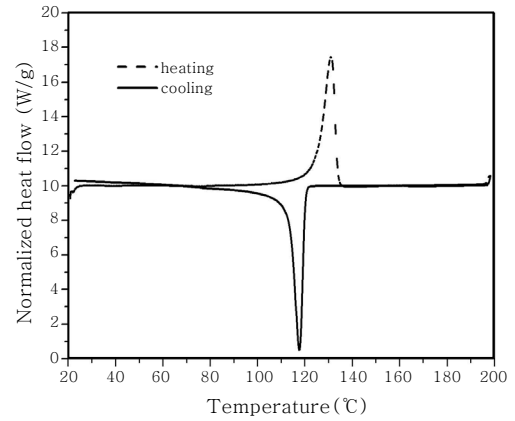


Fig. 3 DSC result from PE pipe

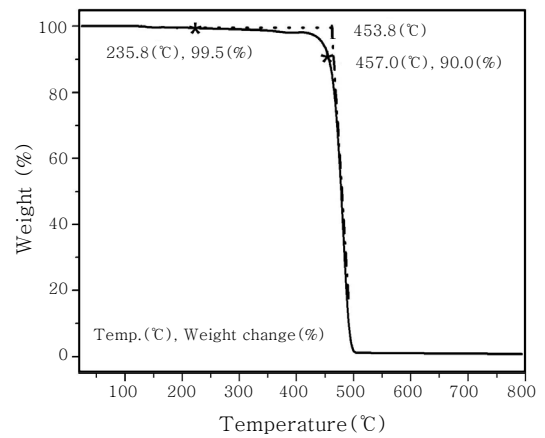


Fig. 4 TGA result from PE pipe

속도로 내려가면 결정화 온도부근에서 결정이 생기고, 발열을 하게 된다. Fig. 3의 냉각(cooling) 곡선에서 용융된 PE는 발열량이 최대점인 117.5℃에서 결정화 된다고 판단된다.

Fig. 4는 단일단계 반응에서 보이는 온도-무게 변화량 곡선을 보여준다. 이 반응에서 분해시작 온도는 T_i 와 끝나는 온도 T_f 로 구성된다. T_i 는 무게변화가 감지되기 시작하는 온도이며, T_f 는 무게 변화가 완결되는 온도이다. 본 실험에서 TGA 장비 저울의 허용오차를 고려하여 열분해가 시작되는 온도(T_i)로 235.8℃로 관찰되었으며, 발생하는 열분해 생성물은 탄소, 탄화 산화물 등이 흙(fume)의 형태로 발생된다. 따라서 열분해 시작온도 T_i (235.8℃)에서 PE 하수관의 화학특성 변화가 예측된다.

Fig. 5은 DMA의 탄성계수(Storage Modulus, E'), 손실탄성계수(Loss Modulus, E'') 그리고 탄성계수에 대한 손실계수의 비인 $\tan\delta$ 를 나타낸 것이다. PE의 저장 탄성률은 온도의 증가에 따라 감소하는 경향을 보이며, -25℃부터 탄성률의 분산(dispersion) 특성을 보

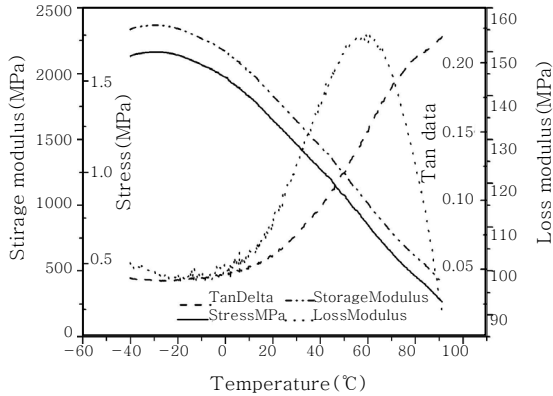


Fig. 5 DMA result from PE pipe

인다. 또한 저장 탄성율의 분산이 발생하는 시점부터 하중에 대한 에너지 흡수가 발생하기 때문에 온도 증가에 손실 탄성률 곡선은 증가하게 되고 60°C에서 최대 값이 나타난다. $\tan\delta$ 값이 작을수록 고분자 유체의 탄성이 커짐을 의미한다. $\tan\delta$ 은 저장 탄성계수가 감소하는 온도(-25°C)부터 증가한다. 이는 PE가 유리 전이 온도(glass transition temperature : T_g)에서 용융온도까지 탄성과 점성이 동시에 나타나는 거동을 하게 되는데, 온도가 증가할수록 점성 영향이 커진다는 것을 의미한다. 따라서 PE가 가열 될 경우에 열 영향부는 열판형상을 따라 점성 변형하게 된다⁷⁾.

DSC에 의해 PE 용융을 위한 열판의 최소온도는 114.5°C이며, PE 열분해로 인한 화학 성분의 변화를 방지하기 위한 열판 최대 온도는 235.8°C로 판단된다. 또한 접합 전에 생기는 두 하수관의 단차는 개발된 열판으로 가열시, 열영향부의 점성에 의한 변형으로 단차가 줄어들며 접합될 것이라 판단된다. 본 연구에서 PE 이중벽관의 용착 용접은 공정속도를 고려하여 230.0°C 열판 온도에서 수행하였다. 열판의 온도는 열판의 내면과 외면에 열전대를 부착하여 측정하였으며, Labview 프로그램을 활용하여 열판 온도가 일정하게 유지할 수 있도록 제어하였다.

3.2 접합부의 단면 비교

하수관의 단차를 3mm로 유지하고 단면 형상 case1, case2, case3에 대하여 세 가지의 열판으로 접합을 실시한 후, 절단하여 단면을 비교. 이루어진 것을 알 수 있다. B-type의 경우 기존의 접합과는 달리 공(空)-공(空) 접합을 구분하기 힘들 정도로 PE pipe의 접합 전 부분이 아주 밀(密)하게 접합 되어 있었다. 3mm의 단차의 경우, 가열된 A-type, B-type 열판 흡의 경사면

Table 4 Comparison of welded joints (misalignment : 3mm)

case	Conventional heat plate	A-type heat plate	B-type heat plate
1			
2			
3			

Table 5 Results of leakage test (Cross-section shape : case 1)

단차 (mm)	Conventional heat plate	A-type heat plate	B-type heat plate
0	No leakage	No leakage	No leakage
3	Leakage at 0.5kgf/cm ²	No leakage	No leakage
5	Leakage at 0.5kgf/cm ²	No leakage	No leakage

에 의해 PE 배관이 나란히 정렬되도록 유도되고, 열영향부의 점성 거동에 의해 단차가 줄어들며 접합된 형상이 나타난다. 하지만, 기존 열판의 경우에는 단차가 유지된 접합부 형상을 보이고 있다^{9,10)}.

3.3 수압 시험(Leakage test)

접합된 배관을 1m 길이로 절단 후 내면을 견고하게 밀폐시키고, 허용 압력 하에서 누수발생 여부를 확인하였다. 한국 산업 규격에서는 0.75 kgf/cm² 에서 10분간을 버티면 합격한 것으로 정하고 있다. 따라서 본 연구 실험에서는 0.75 kgf/cm² 에서 10분간 누수가 발생하지 않는다면 합격으로 간주하고 실험을 진행하였다¹⁰⁾.

새로 개발된 A-type과 B-type 열판을 이용하여 접합한 경우 0, 3, 5mm의 단차가 있음에도 불구하고 누수가 발생하는 배관이 없었다. 하지만 기존의 평편한 열판을 사용한 경우에는 3mm단차부터 0.5 kgf/cm² 에서부터 누수가 발생하기 시작 하였다. 이는 개발된 A-type과 B-type 열판이 접합에 있어서 우수한 특성을 가지고 있다고 판단된다. 기존의 평편한 열판을 사용한 경우 국부적으로 녹거나 혹은 압력에 의해 용적이 밖으로 밀리면서 누수가 발생한 것으로 판단된다.

Table 6 Results of tensile test (Misalignment : 0mm)

case	Conventional heat plate (MPa)	A-type heat plate (MPa)	B-type heat plate (MPa)
1	9.6	21.8	21.8
2	9.4	17.6	20.6
3	7.3	12.5	18.9

3.4 인장시험 결과

PE 이중벽관을 접합한 후 접합부의 건전성을 판단하기 위하여 인장시험을 실시하였다. 배관의 시험 속도는 10mm/min±20%로 실시하였고 그 결과를 Table 6에 나타내었다¹¹⁾.

A-type과 B-type의 열판을 이용한 접합부의 인장강도는 기존 열판을 이용한 접합부 인장강도의 1.5~2.5배 정도로 측정되었다. 개발된 열판의 경우 흠을 따라 잔재된 용융물에 기인하여 접합부의 길이와 단면적이 증가하기 때문에 기존 열판을 이용한 접합부보다 높은 인장 강도를 유지한 것으로 판단된다. 단면 형태가 case3로 접합된 경우에 A-type 열판을 이용한 시험편은 접합부에서 파단이 일어났으나, B-type을 이용한 시험편은 HAZ에서 파단이 발생 하였다.

4. 결 론

본 연구에서는 PE 이중벽관을 이음기술 중 열판을 이용한 맞대기 용착법에 대해 수행하였다. PE 하수관 접합부의 신뢰성을 높이고자 열분석을 이용한 열판의 온도를 제시하였으며, 시공 상 발생하는 PE 이중 벽관의 단차와 단면 형상 등의 실험을 통하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1) PE 열분석을 통하여 열분해 현상이 나타나지 않는 접합 온도를 114.5 ~ 235.8℃ 구간으로 판단하였으며, 빠른 용접 공정을 고려하여 열판온도를 230.0℃로 선정하였다.

2) 기존열판과 개발된 A-type, B-type 열판을 이용하여 PE 이중벽관을 접합한 후 접합부의 단면을 비교한 결과 개발된 열판에서 용융물이 충분히 잔재하고, 단차가 줄어든 접합이 이루어졌다. 하지만 기존 열판은 단차가 차가 유지된 접합부 형상이 나타났다. 그 원인은 DMA 분석을 통하여 PE 이중벽관의 HAZ가 열판 경사를 따라 점성변형 한 것으로 판단된다.

3) 내압시험 결과 기존열판의 경우 단차가 존재하면, 0.5 kgf/cm² 에서부터 누수가 발생하지만, 개발된 열판 들에는 누수가 발생하지 않았다.

4) 인장시험을 실시한 결과 기존의 열판보다 A-type, B-type 열판을 이용한 접합부가 약1.5~2.5배에 가까운 인장강도를 얻을 수 있었다. A-type과 B-type열판의 접합부는 배관 단면 형상이 case1 때는 동일한 인장강도 값이 나타나지만, case3 경우에는 B-type의 열판을 이용한 접합부가 더 큰 인장 강도가 얻어진다.

후 기

본 연구는 교육과학기술부의 지원에 의한 국가지정연구실 (No.M20604005402-06B0400-40210) 사업의 일환으로 수행되었기에 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. T.K. Kim, S.M Yang, H.Y Lee : A Study on Flange Coupling Design of Polyethylene Corrugated Steel Pipe, Journal of Mechanical Science and Technology, **31-3** (2007), 403-408
2. Y.S. Lee : A study on the PE pipe fusion welding test standard and strength, SNUT, 2002
3. M. Ezrin : Plastics Failure Guide-Cause and Prevention, Hanser, Munshen, 1996
4. Takahiro Tsukame, Yasushi Ehara, Yasuko Shimizu, Michio Kutusuzawa, Hideki Saitoh and Yoshio Shibasaki : Characterization of micro-structure of polyethylenes by differential scanning calorimetry, Thermochimica Acta, **299** (1997), 27-32
5. Bernhard Wunderlich : Thermal Analysis of Polymeric Materials. Springer, 2005
6. K.Y. Kim, H. K. Kang, C. Lee, B.H. R : A Study on Thermal Degradation of Acrylonitrile Butadiene Rubber, Journal of the Korean Society of Safety, **18-4** (2003), 57-63
7. K.S. Cho : Viscoelastic Measurement and Structure of polymeric Materials, Polymer Science and Technology, **19-2**(2008)
8. H.K. Jin, J.S. Kim, B.Y. Lee : Development of Heat Plate on Butt Welding for PE pipes. Autumn conference of KWJS (2006), 292-294 (in Korean)
9. KSM 3407 : Polyethylene pipe for general purpose
10. KSM 3408 : Polyethylene pipe for water works purpose
11. KSM 3006 : Determination of tensile properties of plastics