

전도성 플라스틱 발열체의 실시간 특성인식이 가능한 지능형 플라스틱 이음관 용착기 개발

Development of Intelligent Electrofusion Welding Machine with Real-time Recognition of Conductive Plastic Heater Characteristics

김 대 영* · 이 건 영†
(Dae Young Kim · Keon Young Yi)

Abstract - This study deals with the development of an electrofusion welding machine that is capable of joining plastic pipes using a recently developed electrofusion fitting. This fitting has built-in conductive plastics that are used to weld the joint together as a heating element. In order to explain the mechanism of the new machine, 1) the resistance characteristics of the heating element were explained, 2) the method of electric welding that uses the electrofusion fitting was described, and 3) the method of power supply based on controlling the firing angle was explained. A control system for an intelligent electrofusion welding machine was proposed. This system has the ability to recognize the diameter of an electrofusion fitting using a lookup-table based on the difference of resistance curves according to fitting types, and it is able to weld the fittings regardless of the ambient temperature. A new algorithm was developed to control the power of electric welding through the recognition of feature points from the resistance curve of the heating element. In order to evaluate the performance of the developed welding machine, tests involving the welding of 16 mm- and 20 mm-type fittings were carried out. Examining the welding results, we concluded that the proposed welding machine will offer high productivity and reliability in the field of electrofusion welding.

Key Words : Electrofusion welding machine, Electrofusion joining process, Conductive plastic heater, Fitting, PE pipe

1. 서 론

본 논문은 PE 파이프(polyethylene pipe)와 전도성 플라스틱 발열체가 내장된 이음부속을 접합할 수 있는 새로운 장치인 “전도성 플라스틱 발열체 이음관용 용착기”를 개발하는데 목적을 둔다. 플라스틱 이음은 크게 기계적 결합(mechanical joining), 접착제 이음(adhesive bonding), 용착(welding)으로 분류 된다[1][2]. 이 중 용착은 ISO 472[3]에 기술되어 있는 바와 같이, 일반적으로 열에 의해 연화된 재질의 면을 접합하는 것이며, 본 연구에서 개발된 용착기의 접합방식인 전기용착 또한 이 범주에 속한다.

PE 파이프와 이음부속(fitting)은 열용착이나 기계식 체결에 의해 서로 연결된다. 열용착에는 Butt, Saddle, Socket 용착과 같은 전통적인 방식이 있다. 이 방식은 가열 도구로 PE 파이프와 이음부속의 계면을 녹여야 하므로 절차가 복잡하고 시공이 불편하다. 기계식 체결은 시공이 상대적으로 간편하고 저렴하지만 기밀성과 내구성이 낮아 가스배관용으로는 사용하지 못 하였다. 이에 반하여 전용 이음부속의 내장된 코일에 전류를 흘리면 코일로부터 발생된 열이 전도성

고분자에 의해 전달되어 용착되는 전기용착 방식은[4][5] 기밀성이 뛰어나지만 전용 이음부속의 가격이 비싸 가스 배관 용 외에 일반적인 용도로 사용하지 못 하였다.

최근에는 기존 전기용착 방식의 한계를 극복하기 위해, 전기용착의 기밀성과 내구성을 유지하면서 시공은 간편하고 비용은 기계식 체결과 동등한 수준인 신개념의 전기용착법이 개발되었다[6][7][8][9]. 이 용착법은 고분자 소재에 도전성 카본블랙(carbon black)을 혼합한 전도성 플라스틱(이하 탄소발열체)이 내장된 이음부속에 전류를 흘려 이음부속과 PE 파이프의 계면을 용융시켜 접합하는 방식이다. 여기서 전도성플라스틱은 전기에너지를 열에너지로 변환하는 탄소 발열체로써, 종래의 전기용착에서의 코일 역할을 대신한다.

탄소발열체의 형상은 이음부속 구경에 의해 결정되므로, 이음부속 구경에 따라 발열체의 전기·물리적 특성 또한 달라진다. 그러므로 이음부속 구경에 부합되지 않는 전력량을 공급하면 과소용착 혹은 과용착이 되어 원하는 수준의 밀봉이 되지 않는다. 또한 동일한 구경의 이음부속이라도 외기 온도(특히 계절에 따른 온도 차)나 시료간의 편차 때문에 동일한 형태의 전력을 공급해도 균일한 용착 정도를 보장할 수 없다. 따라서 개발된 탄소발열체 이음부속을 이용한 전기용착법을 배관현장에 적용하기 위해서는 탄소발열체의 현장 특성에 맞는 지능형 용착기의 개발이 요구되었다. 뿐만 아니라, 배관 현장에서는 다양한 구경의 이음부속을 사용하기도 하는데, 이 경우 작업자가 바코드 리더나 수동으로 이음관의 구경을 용착기에 입력하는 것이 일반적이다. 이 또한 제어장치의 원가상승이나 작업자의 정보입력 오류나 입

† Corresponding Author : Dept. of Electrical Engineering,
Kwangwoon University, Korea

E-mail : keonyi@kw.ac.kr

* Dept. of Electrical Engineering, Kwangwoon University,
Korea

Received : June 14, 2014; Accepted : July 2, 2014

력에 따른 용착 불량 등의 문제가 발생할 수 있다.

이와 같은 문제를 해결하기 위해 탄소발열체의 형상 및 외기온도에 따른 저항곡선의 차이를 이용하여 이음관의 구경을 자동으로 인식하며, 저항곡선에서 특징점을 인식하여 적절한 전력을 공급하는 지능형 용착전력 제어 알고리즘을 제안한다.

다음 장에서는 새로 개발된 용착기에 대한 세부설명에 앞서 신 개념의 이음부속과 전기용착법의 이해를 돕기 위해 탄소발열체의 저항특성과 전기용착에 대해 기술한다. 또한 제안한 구경 자동인식 알고리즘과 용착전력 제어 알고리즘에 관한 설명은 3장에서 상세히 다룬다. 제시한 제어기의 성능시험 결과는 4장에서 논의되며, 마지막 장에서는 이 연구의 결론을 내린다.

2. 탄소발열체를 이용한 새로운 전기용착법

본 논문에서 다루는 신 개념의 전기용착은 이음부속에 탄소발열체를 내장시킨 후, 이 발열체에 연결된 전극에 전류를 흘려 탄소발열체에서 발생하는 열로 모재의 경계면을 용융시키는 방법이다. 이 장에서는 이음부속의 구조와 용착법, 그리고 탄소발열체의 저항특성 변화에 대하여 알아보았다.

2.1 탄소발열체 이음부속의 전기용착

소켓 조립형 이음부속은 그림 1과 같이 발열체(heater)와 소켓(socket), 이음부속 마개(cap), 그리고 전극(terminal)으로 구성된다. 이음부속에 PE 파이프를 집어넣고 캡을 돌려 잠그면 소켓과 캡 사이의 나사산에 의해 이음부속과 PE 파이프는 기구적으로 체결된다. 이후에 전극 양단(Terminal A, A')에 전압을 인가하여 일정시간 전류를 흘려주면, 발열체에서 발생하는 열의 의해 PE 파이프 외면과 소켓의 내면이 용융된다. 그리고 전압을 차단하면 PE 파이프와 소켓은 차츰 냉각되어 PE 파이프와 이음부속이 용착 된다.

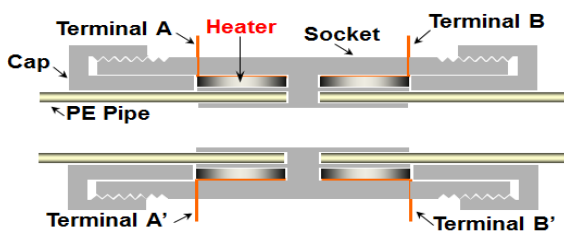


그림 1 전기용착용 이음부속의 모식도
Fig. 1 Mimetic diagram of an electrofusion fitting

용착이 진행되는 동안 용융을 위한 온도, 용융 부위에 가하는 압력, 용융에 소요되는 시간은 용착 결과에 중요한 영향을 미친다. 앞서 설명한 용착 과정에서 압력은 이음부속 마개의 잠김으로 인해 탄소발열체의 용융에 따른 팽창에 의해 결정되므로, 용착 정도를 판단할 수 있는 핵심 요소는 발열체의 온도, 용융시간이다. 제안하는 용착기는 발열체의 온도와 용융시간을 실시간으로 제어해 원하는 용착 결과를 이끌어 낸다. 발열체의 온도를 제어할 때 용착기는 생산성 향상을 위하여 용착전력 제어 알고리즘을 이용해 가능한 짧

은 동안 용착 과정을 완료해 배관의 작업시간을 줄인다.

그림 2는 본 연구에 이용된 16 mm 규격의 이음부속의 실물이다. (a)는 발열체로써 전류를 흘릴 수 있도록 철심으로 만든 2개의 단자가 연결되어 있다. (b)는 소켓이며 (c)는 PE 파이프와 소켓이 결합된 모습이다. (d)는 이음부속과 PE 파이프가 전기용착된 후 이음부속의 종단면이다.

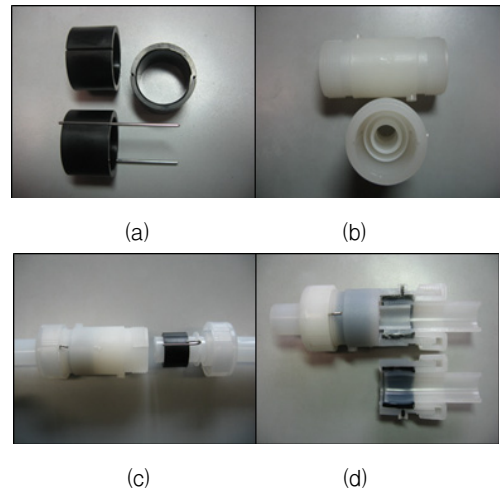


그림 2 전기용착용 이음부속과 PE 파이프의 사진
Fig. 2 Photographs of an electrofusion fitting and a PE pipe

2.2 탄소발열체의 저항특성

탄소발열체로 사용된 전도성 플라스틱은 고분자 소재에 카본블랙을 전도성 필러로써 과량 첨가하여 전기전도도를 높인 것이다[8][9].

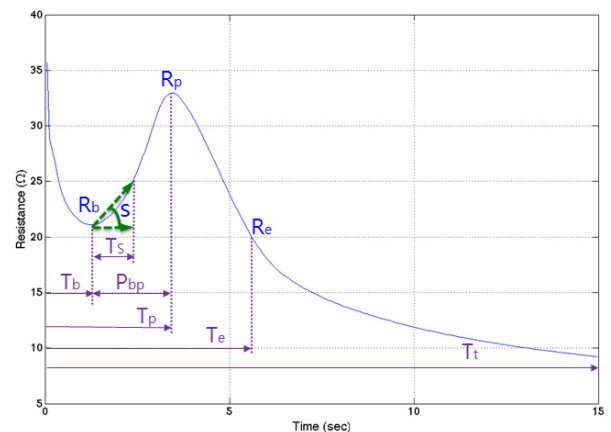


그림 3 탄소발열체의 저항곡선
Fig. 3 Resistance curve of a heating element

그림 3은 이음부속에 전류를 흘릴 때 나타나는 시간에 대한 탄소발열체의 전기저항곡선이다. 전류가 흐르기 시작하면 저항값은 감소하다가 기저저항(R_b)이 나타나는 기저시간(T_b)를 기점으로 급격히 증가하기 시작한다. 이후에 탄소발

열체의 발열온도가 올라가면서 저항값은 급격히 감소하다 일정 시점부터 완만한 감소 추세를 보인다. 이 곡선에서 가장 큰 저항값을 피크저항(R_p)이라 하고 이 시점을 피크시간(T_p)이라 한다. 피크저항의 특정 비율(융착 정도를 결정하는 요인중에 하나로 이음부속의 재질이나 구경에 따라 다름)이 되는 저항값을 진입저항(R_e)이라 하고 이 시점을 진입시간(T_e)라 한다. R_e 는 R_p 의 60%로 설정하였다. 인식구간(P_{bp})은 이음부속의 구경을 인식하는 구간이고, 기울기(S)는 기울기 측정시간(T_s) 동안 저항값의 변화량이다. 전기융착이 진행되는 전체 시간을 전체 융착 시간(T_t)라 한다.

이와 같은 특징점들은 재료의 형상이나 외기 온도에 따라 변하게 되는데, 외기온도가 낮으면 피크시간이 길어진다. 또한 탄소발열체의 구경이 커지면 발열체의 용융시간도 길어지며, 이로 인해 저항값 변화의 기울기 또한 완만해진다. 이에 대한 세부 논의는 다음 장에서 다룬다.

3. 탄소발열체 이음부속용 융착기

제안하는 융착기는 점호각 제어방식의 전력제어를 포함하여 융착의 전체 과정을 수행하는 제어시스템으로, 그림 4와 같이 마이크로컨트롤러 기반의 전기융착 회로로써 교류 구동부, 전류 센서(CT Sensor), 전력 측정 IC, 션트 저항 등으로 구성된다. 여기서 마이크로 컨트롤러는 ATMEL社의 ATMEGA1280이며 전력측정 IC는 Analog Device社의 ADE7763를 이용하였다.

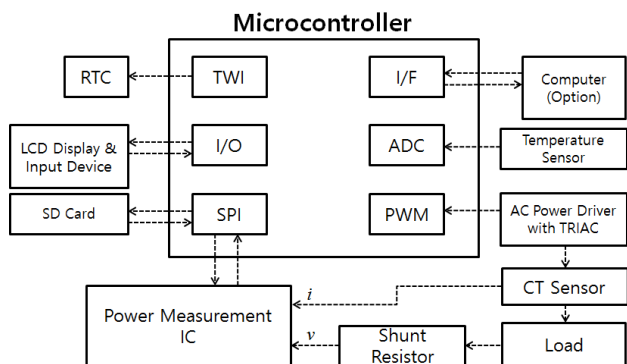


그림 4 마이크로컨트롤러 기반의 전기 융착기 회로의 블록 다이어그램

Fig. 4 Block diagram of the microcontroller based electrofusion control box circuit

교류 구동부는 TRIAC을 구동하며 목표 전압에 따라 생성되는 PWM(Pulse Width Modulation)신호에 의해 점호각 제어 방식으로 이음부속(load)에 목표 전압을 인가한다. 전력 측정 IC는 전류센서의 출력전압을 통해 이음부속에 흐르는 전류를 측정하고, 션트저항을 이용해 신호 레벨을 낮춘 전압파형으로부터 전압과 제로크로싱(zero-crossing)을 검출한다. 마이크로컨트롤러는 제어기로써 전력제어를 포함한 전체 융착 과정을 컴퓨터 없이 단독으로 제어한다. 그림 5는 전기융착 제어기와 이음부속이 리드선(lead wire)으로 연결되어 융착을 위한 준비 상태의 그림이다.

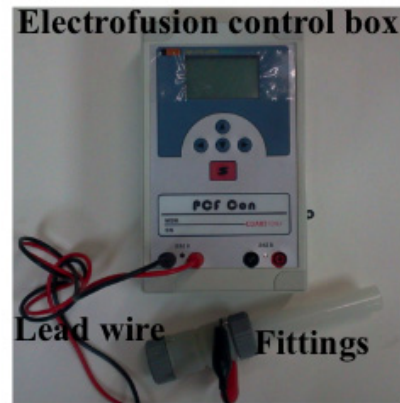


그림 5 전기융착 제어기와 리드선, 그리고 이음부속

Fig. 5 Electrofusion control box and leads with clamps and fittings

3.1 점호각 제어 방식의 전력제어

전력제어는 TRIAC을 이용한 단상 펄스 폭 변조 점호각 제어 방식을 이용한다. 이 방식은 인버터 방식에 비해 정밀한 출력을 얻을 수 없지만 15A 이상의 전류를 제어함에도 회로가 간단하여 휴대가 가능한 소형의 융착기를 낮은 원가에 제작할 수 있는 장점이 있다.

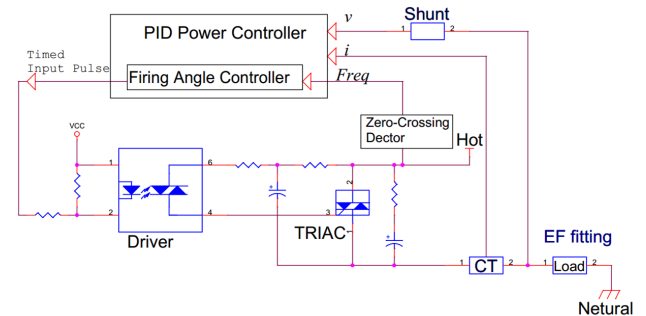


그림 6 제안된 점호각 제어기 기반의 융착기의 전력 공급에 대한 제어 블록 다이어그램

Fig. 6 Control block diagram of proposed electrofusion welding machine's power supply, based on the firing angle controller

그림 6은 융착기의 전력제어 장치의 구조로 TRIAC 구동부, TRIAC, 스너버 회로, 점호각 제어기, PID 전력 제어기로 구성되었다. TRIAC 구동부는 Opto-isolator가 내장되어 직류 로직부와 교류 구동부를 전기적으로 절연하면서 TRIAC을 구동한다. PID 전력 제어기는 매 순간(t)의 출력 전압과 전류로부터 출력전력과 전기저항을 계산하고, PID 전력 제어기에 의해 계산된 지령 전력치를 이용해 다음 시점($t+1$)의 출력 전압을 계산한다. 출력 전압이 결정되면 그림 7과 같이 점호각 제어기는 제로크로싱을 이용해 위상을 동기화하여 출력 전압을 펄스형태로 변환하여 TRIAC 구동부에 입력한다. 이때 교류전류는 점호각 제어에 따라 TRIAC을 통해 이음부속의 탄소발열체에 흐른다.

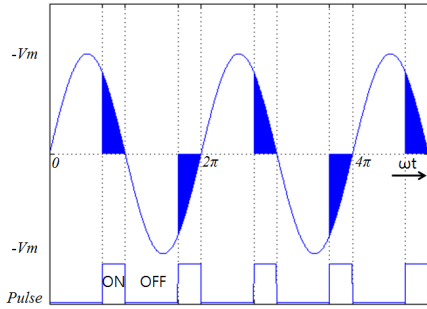


그림 7 점호각 제어기의 전압파형
Fig. 7 Voltage waveform of the firing angle controller

3.2 록업테이블 기반의 구경 자동인식 알고리즘

이음부속에 인가되는 전력, 외기온도, 압력이 동일하다면 탄소발열체의 저항곡선은 탄소발열체의 양에 의해 주로 결정된다. 이음부속의 구경에 따라 탄소발열체의 양이 달라지며 저항곡선도 달라진다. 따라서 이음부속의 구경은 탄소발열체의 저항곡선의 특성 차이를 이용해 구분할 수 있다.

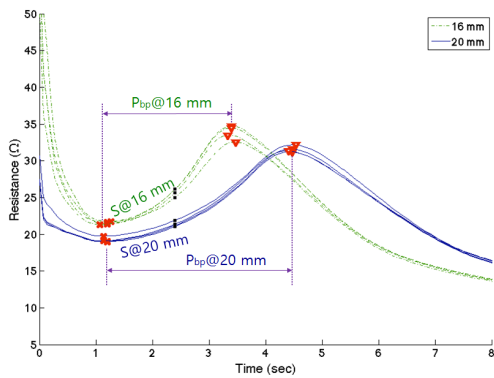


그림 8 이음부속 구경에 따른 발열체의 전기저항 특성 비교 (20°C)
Fig. 8 Comparison of the electrical resistance characteristics of the heater according to the diameter of the electrofusion fitting (at 20 °C)

그림 8은 외기온도 20 °C에서 16 mm, 20 mm 구경의 이음부속 시료 4개씩을 각각 용착할 때 나타는 저항곡선이다. 기울기 S는 16 mm와 20 mm끼리는 확연히 구별되며, 같은 구경끼리는 비슷한 값을 나타낸다. 또한 Tb에서 Tp까지의 구간인 인식구간 Pbp도 16 mm와 20 mm 끼리 확연히 구별되며, 같은 구경끼리는 비슷한 값을 나타낸다. 이 결과를 바탕으로 이음부속 구경의 자동인식은 탄소발열체의 저항곡선에서 기울기 S와 인식구간 Pbp를 이용한다. 기울기 S는 구경 종류를 최초로 인식하는데 이용되고, 인식구간 Pbp는 인식된 구경이 맞는지 2차 검증하는데 이용된다. 기울기 S의 이점은 조기에 구경 인식이 가능하여 구경에 따라 필요한 전력을 이른 시점에 공급할 수 있어 용착 시간을 단축 할 수 있다는 것이다. 기울기 S를 이용해 이미 구경을 인식했음에도 인식구간 Pbp로 재차 확인 하는 것은 이음부속 불량, 온도와 압력과 같은 외부요인에 의한 오인식을 검출하기 위함이다.

표 1 기울기 S와 인식구간 Pbp 록업테이블
Table 1 Lookup table of the slope S and the period Pbp

구경	기준		인식구간 Pbp	
	최소	최대	최소	최대
16 mm	2.7	4.1	1.7	2.7
20 mm	1.0	2.4	2.8	3.8

이음부속의 구경을 자동 인식하는 과정은 Ts 끝나는 시점에 계산된 기울기 S로 록업테이블에서 구경을 검색하고, Tp 시점에 계산된 인식구간 Pbp가 정상 범위내인지 록업테이블에서 확인한다. 이때 인식구간 Pbp가 정상 범위가 아니라면 용착기는 용착을 중단한다. 록업테이블은 사전실험을 통해 외기온도 20 °C를 기준으로 상한과 하한을 구했으며 결과는 표 1과 같다.

3.3 용착전력 제어 알고리즘

동일한 구경의 이음부속이라도 탄소발열체 양의 편차, 접촉저항, 외기온도, 이음마개 압력 등에 따라 저항곡선은 영향을 받는다. 따라서 확립적으로 시간에 의해서만 이음부속에 공급되는 전력의 입력을 제어하면 균일한 용착 정도를 보장할 수 없다. 더욱이 짧은 시간 내에 용착이 완료되면 더욱 그렇다. 이를 개선하기 위해 저항곡선에서 Rb, Rp, Re 과 같은 특징점을 이용해 용착기의 용착전력을 5단계로 분류하여 제어하는 알고리즘을 제안한다. 각 제어단계마다 이음부속 구경에 따라 설정된 전력량을 이음부속에 공급하며 각 단계의 세부내용은 그림 9를 기준으로 다음과 같이 정리하였다.

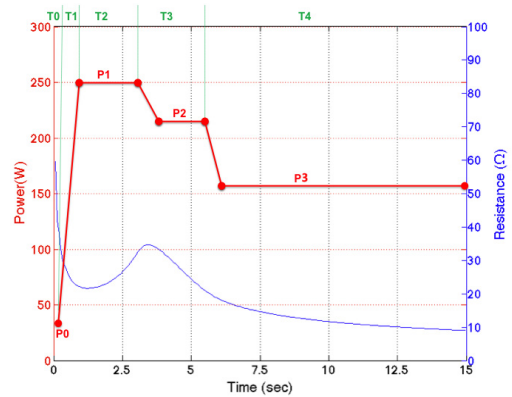


그림 9 제안된 전력 제어 단계
Fig. 9 Proposed power control step

초기화 단계(T0)는 용착을 위한 준비 작업으로 시스템을 초기화하고 자기점검을 실시한다. 초기화는 용착기의 입력 전원으로 사용되는 교류전원의 주파수와 전압을 측정해 저장하고 각종 제어변수를 초기화하는 것이다. 자기점검은 P0 전력을 이음부속에 인가해 이음부속의 전기저항을 측정함으로써 이음부속이 시스템에 전기적으로 잘 연결되었는지 확인하는 과정이다. 예열 단계(T1)에서는 P0에서 P1 전력까지 램프형태로 공급전력을 끌어 올린다. 인식 단계(T2)에 들어서면 P1 전력을 인가하고, 이 동안 “구경 자동인식 알고리

증“을 수행한다. 가열 단계(T3)는 이음부속 구경에 따라 본격적으로 이음부속에 전력공급이 이뤄지는 구간으로 저항값이 Re가 되는 Te까지 진행된다. 보온단계(T4)는 T3가 끝나는 시점부터 Tt까지 이음부속 구경에 따라 설정된 P3 전력을 공급하는 과정이다. 이때 P2 전력에서 P3 전력에 이를 때까지 램프형태로 출력전력을 낮추고 P3 전력에 이르면 그 전력을 유지한다.

4. 성능시험

본 장에서는 개발된 용착기의 성능을 평가한다. 3장에서 제안한 기울기 S와 인식구간 Pbp 록업테이블 기반의 이음부속 구경의 자동인식 알고리즘을 시험한다. 용착기가 탄소발열체의 저항곡선의 특징점을 이용해 용착전력 제어단계를 제대로 수행하는지 시험하고 용착 결과를 평가한다.

4.1 이음부속의 구경 자동인식 시험

이 시험은 20 °C 챔버 안에서 개발된 용착기로 16 mm와 20 mm 규격의 이음부속과 PE 파이프를 용착하면서 기울기 S와 인식구간 Pbp를 측정한다. 표 2는 시료 4개에 대한 각각의 기울기 S와 인식구간 Pbp, 그리고 자동인식(AR) 결과 값이다. 측정된 기울기 S와 인식구간 Pbp 값은 록업테이블 기준으로 정상 수치이며, 제안한 이음부속 구경의 자동인식이 성공적으로 수행되었음을 나타낸다.

표 2 이음부속 구경의 자동인식 시험결과

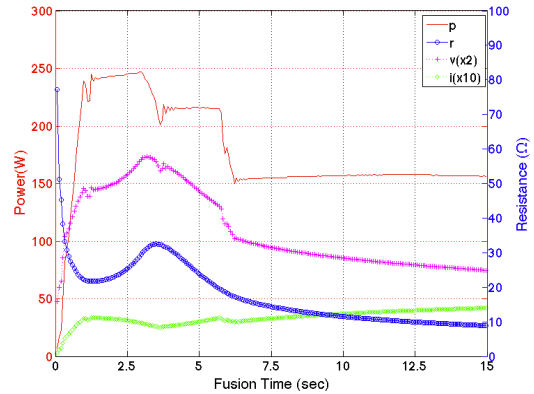
Table 2 Test results of the automatic recognition of the electrofusion fitting diameter

	16 mm			20 mm		
	S	Pbp	AR	S	Pbp	AR
#1	3.565	2.134	OK	1.732	3.268	OK
#2	2.884	2.201	OK	1.799	3.402	OK
#3	3.723	2.201	OK	1.704	3.268	OK
#4	3.628	2.218	OK	1.807	3.302	OK

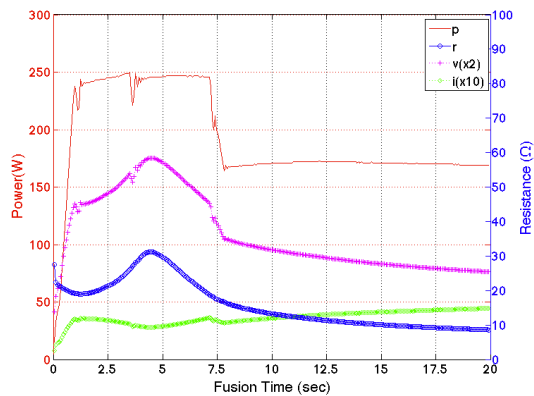
4.2 용착전력 제어 시험과 용착 박리 시험

이 시험은 전력, 저항, 전압, 전류 값을 측정하여 용착전력 제어성능을 시험하고 외관검사를 포함한 용착 박리 시험을 통해 용착 결과를 평가한다. 그림 10은 용착기로 이음부속과 PE 파이프를 용착할 때 측정되는 전력, 저항, 전압, 전류 그래프이고 전압, 전류 그래프는 전력 축을 기준으로 하며 배율을 곱해서 표시했다. (a)는 16 mm 구경의 이음부속 시료의 용착 그래프이고, (b)는 20 mm 구경의 이음부속 시료의 용착 그래프이다. 그림 10(a), (b)의 그래프를 보면 용착기는 T0 단계에서는 P0 전력을 공급하고 T1 단계에서는 P1 전력까지 단계적으로 전력을 올려 공급하였다.

T2 단계에서는 이음부속 구경을 자동으로 인식하였다. 이 이음부속 구경 인식 이후에 T3 단계에서는 이음부속 구경에 맞게 16 mm에는 220 W를 20mm에는 250 W의 P2 전력이 공급되었다. 저항값이 Re가 되는 시점부터 T4 단계로 진



(a) 16 mm 구경의 이음부속 용착시 시간에 대한 전력(p), 저항(r), 전압(v), 전류(i) 그래프



(b) 20 mm 구경의 이음부속 용착시 시간에 대한 전력 (p), 저항(r), 전압(v), 전류(i) 그래프

그림 10 전기용착 하는 동안 측정 결과

Fig. 10 Measured results during the electrofusion joining process

입하여 P3 전력을 공급하고 용착은 종료되었다. 이 용착 그래프는 저항곡선의 특성을 이용하여 용착전력 제어가 정상적으로 수행됨을 나타낸다.

표 3 이음부속의 전기용착의 시험결과

Table 3 Test results of the electrofusion joining process for electrofusion fittings

	16 mm				20 mm			
	Rb	Rp	Proc	Weld	Rb	Rp	Proc	Weld
#1	21.410	33.480	OK	OK	18.990	31.220	OK	OK
#2	21.750	32.530	OK	OK	19.050	31.600	OK	OK
#3	21.660	34.720	OK	OK	19.730	32.160	OK	OK
#4	21.330	34.430	OK	OK	19.090	31.330	OK	OK

표 3은 16 mm와 20 mm 구경의 각 시료에 대해 기저저항 Rb, 피크저항 Rp, 용착전력 제어 과정(Proc), 박리시험을 포함한 용착결과(Weld)를 정리한 것으로, 8개 시료 모두가 정상 용착 되었음을 나타낸다.

그림 11과 같이 용착이 완료된 이음부속을 절단하여 횡단면을 확인하는 외관검사를 수행하였고, 그 결과 4개 시료 모두 이음부속 내면과 PE 파이프의 외면의 경계면이 틈 없이 밀봉되어 균일한 용착 정도를 보였다. 외관검사가 끝난 시료에 대해서는 ISO 13955[10] 기준에 의해 용착 박리 시험을 진행하였고, 4개 시료 모두 시험을 통과하였다.

이 박리 시험은 용착된 이음부속을 절단한 후 PE 파이프의 길이 방향으로 쪼갠 시편을 만들어, 이 시편을 바이트를 이용해 내면이 맞닿을 때까지 압축시킬 때 계면이 분리되는 길이가 발열체의 길이의 1/3 이하이면 통과이다. 이 결과로 16 mm, 20 mm 구경의 이음부속에 대해서 개발된 용착기의 용착 성능이 입증되었다.



(a) 16 mm (b) 20 mm

그림 11 전기용착 후 이음부속의 단면 사진
Fig. 11 Photograph of a cross section of the electrofusion fittings after the electrofusion joining process

5. 결 론

본 논문에서는 탄소발열체가 내장된 이음부속을 이음하는 용착기를 제안하였다. 제시된 용착기의 개발에 필요한 탄소발열체의 저항특성, 이음부속의 전기용착에 대해 기술하였고, 점호각 제어방식의 전력제어를 포함한 제어 시스템을 구성하여 실제 용착이 가능한 장치를 개발하였다. 탄소발열체의 저항곡선에서 기울기 S와 인식구간 Pbp 특성을 이용한 이음부속 구경의 자동 인식 알고리즘을 제안하였고, 저항곡선의 특징점을 실시간으로 인식해 용착기의 전력을 제어함으로 균일한 용착 정도를 얻는 알고리즘을 제안하였다. 시험을 통하여 제시된 용착기의 성능이 확인되었고 탄소발열체 이음부속용 용착기가 배관현장에 적용가능함을 보여주었다.

감사의 글

이 논문은 2011년도 산학연공동기술개발사업(중소기업청)의 재원으로 KIST의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2011-0269)."

References

[1] V. K. Stokes, "Joining methods for plastics and plastic composites: An overview," Polym Eng Sci, vol. 29, no. 19, pp. 1310 - 1324, 1989.
 [2] D. Grewell and A. Benatar, "Welding of Plastics: Fundamentals and New Developments," IPP, vol. 22, no. 1, pp. 43-60, Mar. 2007.

[3] ISO 472:1999, Plastics-Vocabulary. International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland, 1999.
 [4] Plastics Pipe Institute, Handbook of Polyethylene Pipe, pp. 327 - 357, 2006.
 [5] M. J. Troughton, Handbook of Plastics Joining: A Practical Guide, William Andrew, 2008.
 [6] Y. S. Kwak, "Electric fusion piping materials with screw pressing device," Sep. 2010.
 [7] Y. S. Kwak, "Piping apparatus for electrofusion welding using a conductive plastic cylinder," Jan. 2010.
 [8] H. Kim, Y. K. and Goark, Y. S., "A study on the development of electric fusion fittings using conductive carbon compound," Proceedings of the KIEAE vol. 11 no. 2, pp. 51-58. 2011.
 [9] H. Kim, J. Park, S.-H. Kang, J.-S. Kim, G.-Y. Lee, H.-J. Je, and Y.-S. Goark, "A study on the development of Plastic Conductor Fusion fittings using conductive carbon compound," The Society of Air-Conditioning And Refrigerating Engineers Of Korea Conf., pp. 686 - 689, Jun. 2013.
 [10] ISO 13955:1997, Plastics pipe and fittings - Crushing decohesion test for polyethylene (PE) electrofusion assemblies, International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland, 1997.

저 자 소 개



김 대 영 (金大寧)

1982년 12월 3일 생. 2006년 조선대 제어계측공학과 졸업. 2009년 광운대 전기공학과 졸업(석사). 2011년 동 대학원 전기공학과 박사과정 수료. 현재 삼성메디슨 주식회사 선임 연구원 근무
 Tel : (02)940-5142
 E-mail : dykim@earth.kw.ac.kr



이 건 영 (李健寧)

1959년 8월 2일 생. 1982년 한양대 전기공학과 졸업. 1984년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1993년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학). 1996년~현재 광운대 전기공학교 교수
 Tel : (02)940-5142
 E-mail : keonyi@kw.ac.kr