

폴리에틸렌 배관 버트용착부 열용융거리 측정에 대한 연구

길성희 · 김영구 · 조영도 · 이연재[†]

한국가스안전공사 가스안전연구원

(2016년 11월 23일 접수, 2016년 12월 13일 수정, 2016년 12월 15일 채택)

A study for detection of melt flow zone about polyethylene butt fusion joints

Seonghee Kil · Younggu Kim · NYoungdo Jo · Yeonjae Lee[†]

Korea Gas Safety Corporation R&D Center

(Received 23 November 2016, Revised 13 December 2016, Accepted 15 December 2016)

요 약

폴리에틸렌(Polyethylene) 배관은 가요성이 좋고 부식이 되지 않는 등의 장점으로 가스배관 뿐만 아니라 원자력 발전소의 배수관, 석유화학 및 정유사 공정배관 등으로 그 사용범위가 점차 확대되고 있다. 그러나 폴리에틸렌 배관의 연결부를 직접적으로 검사할 수 있는 검사방법이 개발되지 않아서 사용범위를 확대하는데 제한을 받고 있다. 폴리에틸렌 배관의 연결방법은 전기용착 방법과 버트용착 방법으로 구분할 수 있는데 이 중에서 가장 많이 사용하는 방법은 버트용착이다. 버트용착은 배관과 배관을 열판에 맞게 하고 일정한 온도 및 압력을 가한 후 열판을 제거하고 용융된 배관의 말단부를 서로 연결하는 방법으로서 별도의 연결구가 필요하지 않아 가장 많이 사용하고 있는 연결방법이다. 버트용착 시에 열판으로부터 열이 용융된 후 압력을 가하면 용융부는 비드를 형성하는 부분과 연결부를 형성하는 부분으로 분리되고 냉각과정을 거쳐 버트용착부가 된다. 본 연구는 연결부를 형성하는 부분에서 열판으로부터 열이 전파되어 용융된 거리를 측정하고 이 결과를 연결부에 대한 건전성 평가 방법 중의 하나로 제시하고자 한다. 외경 225mm, 두께 20.5mm의 중밀도 폴리에틸렌 가스용 1호관의 초음파 속도를 측정하고 결과 2,200m/s였다. 열용융 거리를 측정하기 위하여 열판으로부터 열이 전파되어 폴리에틸렌을 가열하는 시간을 0%~130%까지 변화시켜 시험편을 제작하였다. 또한 정상적인 가열시간(100%의 가열)을 제공하고 스크레핑 처리를 하지 않은 시험편과 토양을 삽입한 시험편 그리고 자갈을 삽입한 시험편과 비닐류를 삽입한 시험편을 제작하였다. 총 20개의 시험편에 대한 열용융 거리를 측정하기 위하여 3.5MHz 및 5.0MHz 센서를 이용하였으며 1개의 시험편에 대하여 총 3곳에서 초음파 탐상을 실시하였다. 열용융 신호를 명확하게 구분하기 위하여 모든 탐상 결과에 대하여 동일한 post image processing을 수행하였고 이미지 레벨, contrast, sharpen 및 threshold를 적용하였으며 결과 탐상은 가장 직관적으로 파악할 수 있는 gray scale로 표현하였다. 탐상 결과 가열시간이 짧은 시험편일수록 용착이 이루어지지 않아 멀티플 에코가 반사되는 영역이 증가하였으며 이 부분을 최대한 배제할 수 있는 위치에서 데이터를 획득하였다. 정상적인 가열시간의 80%인 168초의 시간을 가한 시험편부터 열용융 거리에 대한 반사신호가 뚜렷이 구분되었으며 이 시험편부터 거리 측정을 실시하였다. 가열시간이 정상가열시간의 7%인 15초의 가열시간을 가한 시험편부터 더 낮은 가열시간을 가한 시험편의 경우 용착이 이루어지지 않아서 3곳 모두 데이터 영상을 획득할 수 없었다. 위 실험 결과로 위상배열초음파를 통해 폴리에틸렌 배관 버트용착부에서 열이 용융되어 전파된 거리 측정이 가능함을 확인하였으며 또한 열이 용융되어 전파된 거리 측정을 통해 정상적인 용착과 불완전 용착을 구분할 수 있음을 확인할 수 있었다.

주요어 : 폴리에틸렌, 버트용착부, 위상배열초음파, 열용융거리 측정, 가열시간

Abstract - Polyethylene pipes has useful benefits which are anti-corrosive and flexible material, so it is used to gas pipes but also class 3 water pipes of nuclear power plant, process pipes of petrochemical plant and chemical plant. So the usage of polyethylene pipes is widely increased. But it has been limited for the usage of polyethylene, because it can not be directly detected to fusion joints by using non

[†]To whom corresponding should be addressed.
Tel : 043-750-1442 E-mail : lyj@kgs.or.kr

destructive evaluation. Polyethylene pipes are connected by two methods, one is butt fusion and the other is electrofusion. Butt fusion is widely used to connecting the pipes. It is proposed to method for determining the reliability of joints in this study that is detection of the melt flow zone at fusion joints. In this study, middle density polyethylene is used, outside diameter of the test specimen is 225mm and thickness is 20.5mm. Speed of ultrasonic of this test specimen is 2,200m/s. Test specimens were fabricated by varying the heating time which means from 0% to 130% applying time through heating plate to polyethylene for detecting melt flow zone. Also 4 additional test specimens were made, one was made that not scrapping attached surface of pipes but applying 100% of the proper heating time and the others were made to include of soil, gravel and vinly tape paper at fusion joints, that were also applied 100% of proper heating time. Ultrasonic testing to measure the melt flow zone of 20 test specimens was conducted by using 3.5MHz and 5.0MHz ultrasonic probes and melt flow zone measuring was conducted to three times at different point to one specimen. To differentiate the melt flow zone signal, post image processing was equally conducted to all test results and image levels, contrast, sharpen, threshold were adopted to all test results and the test results were displayed gray scale.

From the results, for the shorter heating times the reflection area of multiple echo have been increased, so the data was obtained from the position where it can be eliminated as much as possible. At 80% of proper heating time(168 sec.), the signal of melt flow zone was obtained clearly, so measuring could be conducted. From 7% of proper heating time(15 sec.) to shorter heating times. we could not obtain the signal because test specimen was not fused. From the result, we can verify that measuring of melt flow zone by using phased array ultrasonic imaging method is possible. And we can verify to complete and incomplete butt fusion by measuring the melt flow zone.

Key words : polyethylene, phased array ultrasonic, melt flow zone detection, butt fusion, heating time

1. 서론

폴리에틸렌 배관의 버트용착 공정은 첫 번째로 클램프에 배관을 장착하고 용착되는 배관 단면에 면취를 실시하고 육안으로 양 배관 말단부의 정렬 상태를 확인하고 견인압력을 측정한다. 여기서 견인압력은 용착기에 배관을 고정하고 실린더 압력을 증가시켜 배관이 구동되는 시점의 압력으로 배관의 중량 및 마찰력 등에 따라 달라진다. 두 번째로 일정한 압력을 가하여 비드를 형성하게 하는 가압용융 공정 이후에 실질적으로 용착에 필요한 부위를 용융시키는 가열유지 공정을 실시하게 된다. 즉 열판 온도를 200~235℃로 일정하게 유지하고 압력을 0.01~0.05MPa로 거의 견인압력에 가깝게 유지한다. 압력이 높을 때는 용융된 것이 외부로 밀려나와 용착에 필요한 용융부피가 형성되지 않으며 시간이 길 때에는 배관 내면 부위까지 유연해지므로 배관의 변형이나 처짐 현상이 발생할 수 있다. 그리고 용융부위 용착을 위해 관의 표면이 냉각되기 전에 신속히(관경별로 최소 5초에서 최대 16

초 이내) 열판을 제거한다. 열판을 제거한 후 압착이 신속하게 이루어지지 않으면 냉각 피막이 형성되어 용융부위의 용착이 이루어지지 않게 된다. 세번째로 일정한 압력(가압용융압력과 동일 압력)을 가하여 용융부위를 접합시키는 압착공정을 실시하고 이후 접합된 부위가 안정적으로 될 때까지 가열부위를 냉각시키는 공정이 진행된다. 냉각과정 동안 일정한 압력(가압용융압력)이 가해져야하며, 냉각이 끝날 때까지 클램프에 물려있는 상태로 유지되어야 한다.

이러한 버트용착 공정이 불충분하게 진행된 경우에 용융이 불완전하게 일어나 용착부에 형태를 갖지 않는 않지만 용착부에 접합력이 낮은 결함이 발생할 가능성이 있다. 이런 경우를 콜드퓨전 등으로 부르며 이러한 콜드퓨전을 탐상하기 위한 방법을 요구하고 있다. 따라서 이 연구에서는 버트용착부에 불완전하게 용착이 발생한 경우 이를 위상배열초음파를 이용하여 탐상하고 완전용착과 불완전용착의 차이를 확인할 수 있는 방법으로 열이 용융한 거리 측정방법을 제안하고자 한다.

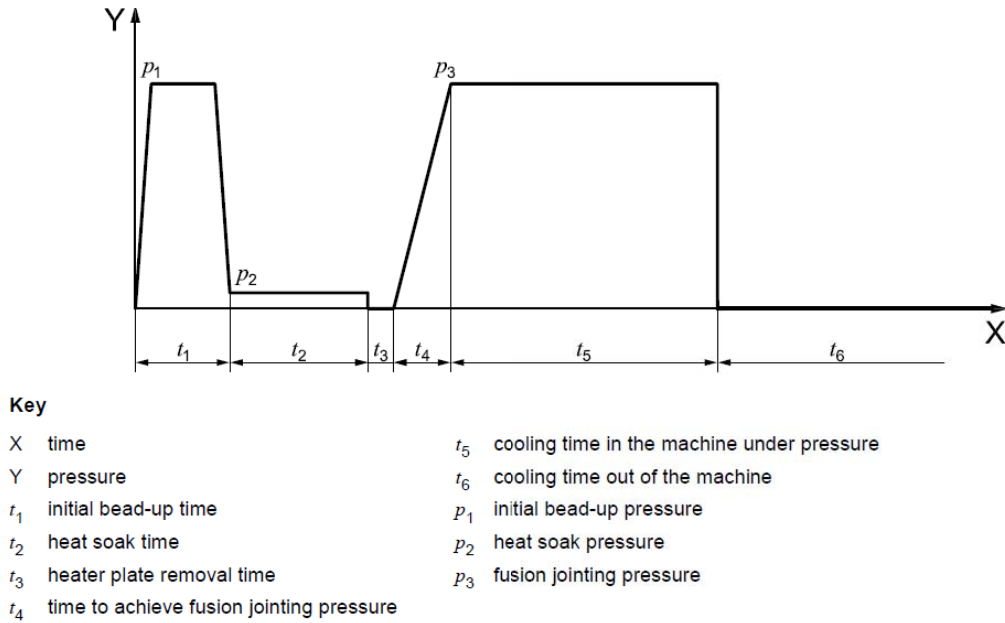


Fig. 1. Butt fusion process

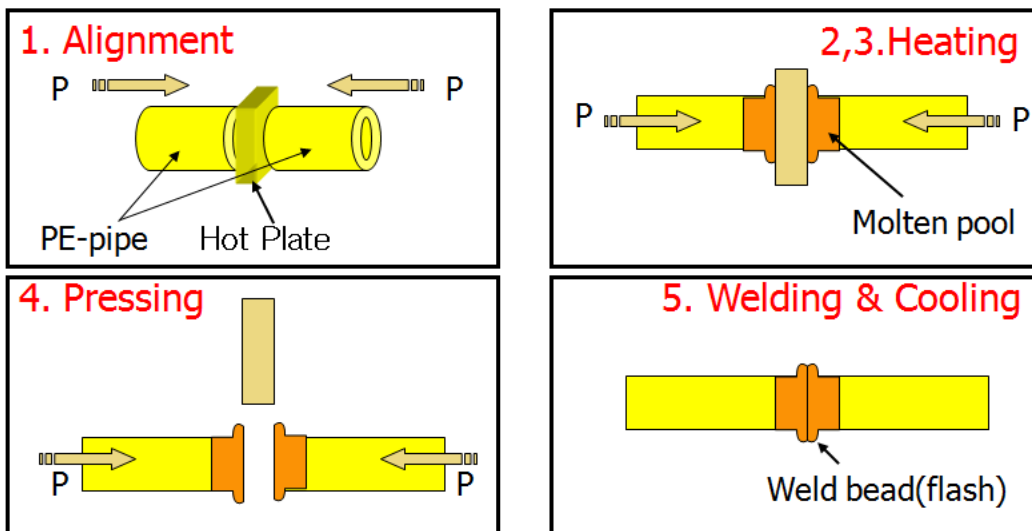


Fig. 2. Process of butt fusion joint

2. 본 론

2-1. 시험편 제작

외경 225mm, 두께 20.5mm, 길이 250mm 의 배관으로서 0.939g/cm³ 중밀도 폴리에틸렌 배관을 이용하여 ISO21307의 단일저압용착(Single low pressure fusion jointing procedure) 방법으로 버트용착을 실시하였다. 버트용착 공정중에 면취, 가압용융 등의 다른 조건은 정상적으로 유지하고 가열시간(t_4)만 정상적인

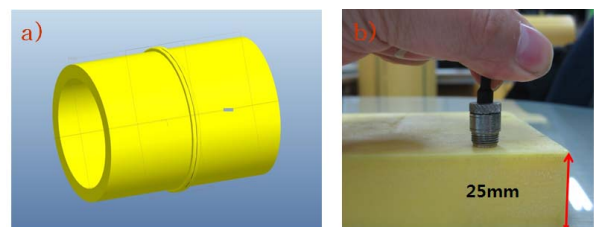
가열시간의 0% ~ 130%까지 가열시간을 변화시켜 총 16개의 시험편을 제작하였다. 그리고 면취를 하지 않고 정상적인 가열시간을 공급한 시험편을 1개 제작하였으며 흠, 자갈, 비닐 테이프 등의 인위결함을 삽입한 시험편을 추가로 3개 제작하였다. 총 20개의 시험편이 제작되었으며 이 시험편 각각에 대하여 위상배열초음파 기법으로 열이 용융된 거리 측정이 가능하지 그리고 가능하다면 열이 용융된 거리가 얼마인지를 측정하고자 하였다.

Table 1. Test specimens

No.	Specimen condition	Applied time
1	정상적인 가열시간의 130% 공급	273
2	정상적인 가열시간의 120% 공급	252
3	정상적인 가열시간의 110% 공급	231
4	정상적인 가열시간의 100% 공급	210
5	정상적인 가열시간의 90% 공급	189
6	정상적인 가열시간의 80% 공급	168
7	정상적인 가열시간의 70% 공급	147
8	정상적인 가열시간의 60% 공급	126
9	정상적인 가열시간의 50% 공급	105
10	정상적인 가열시간의 40% 공급	84
11	정상적인 가열시간의 30% 공급	63
12	정상적인 가열시간의 20% 공급	42
13	정상적인 가열시간의 10% 공급	21
14	정상적인 가열시간의 7% 공급	15
15	정상적인 가열시간의 5% 공급	10
16	정상적인 가열시간의 0% 공급	4
17	면취 안하고 정상적인 가열시간 공급	210
18	용착부에 흠 삽입 후 정상적인 가열시간 공급	210
19	용착부에 자갈 삽입 후 정상적인 가열시간 공급	210
20	용착부에 비닐 테이프 삽입 후 정상적인 가열시간 공급	210



a) butt fusion machine b) after butt fusion
c) butt fusion system d) setting into the clamp

Fig. 3. Pictures of test specimen

a) polyethylene pipe (OD 225mm) b) ultrasonic velocity measuring(2,200m/s)

Fig. 4. Pre test step for non destructive evaluation of polyethylene pipes

2-2. 위상배열초음파를 이용한 열용융거리 탐상

용착부의 열용융거리 측정은 위상배열 초음파 시스템 AIM33에 3.5MHz센서와 5MHz 센서를 이용하여 수행하였다. 각 용착부를 절단 후 120도 간격으로 3곳에서 3.5MHz 센서를 이용하여 영상을 취득하였다. 파

이프 절단기에 의해 절단된 파이프의 단면은 단차가 발생하며, 해당 부위에서 영상을 취득하기 어렵기 때문에 단차가 발생한 부분의 좌측면을 기준으로 약 120도 간격으로 영상을 획득하였다. 3곳에서 획득한

영상은 나란히 보여지도록 좌측부터 position 1, position 2, position 3로 나타내었다. 절단부가 고르지 못한 부분에서는 여러번 데이터를 획득하여 가장 좋은 영상을 사용하였다. 열용융거리 측정을 위한 신

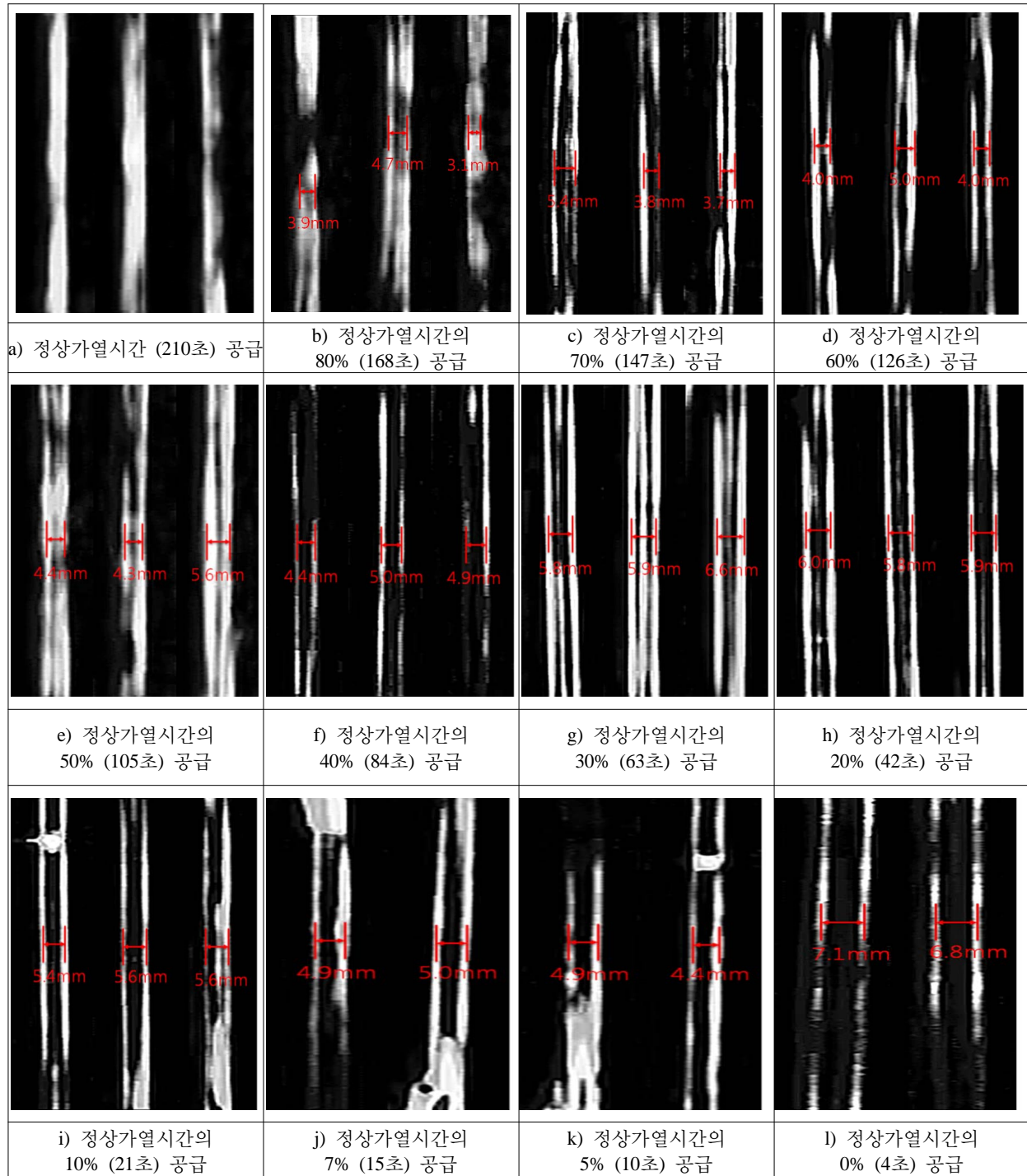
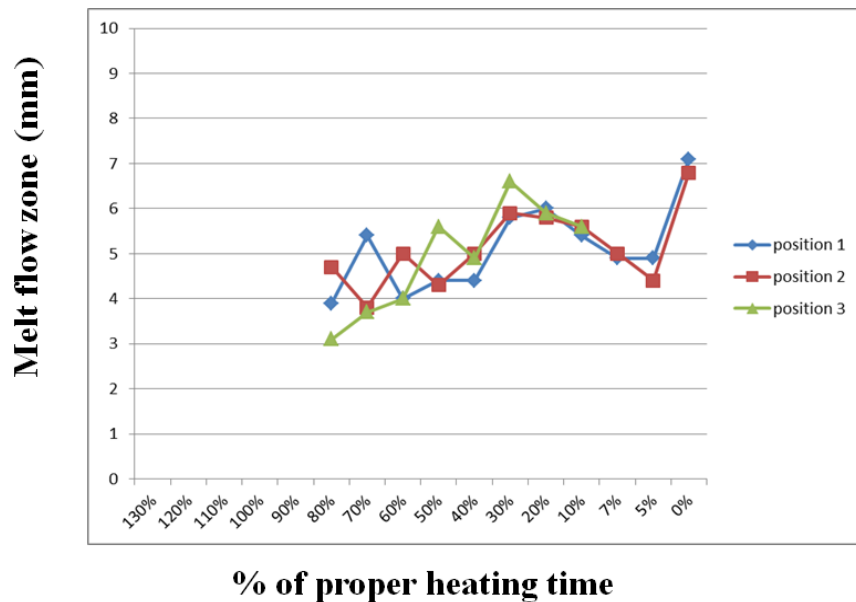


Fig. 4. Indication of melt flow zone detected by using phased array ultrasonic waves for test specimen changed heating time from 0% to 100% of proper heating times

Table 2. The result of measuring of melt flow zone

(단위 : mm)

No.	Specimen condition	P1	P2	P3	Ave.
6	정상적인 가열시간의 80% 공급 (168초)	3.9	4.7	3.1	3.9
7	정상적인 가열시간의 70% 공급 (147초)	5.4	3.8	3.7	4.3
8	정상적인 가열시간의 60% 공급 (126초)	4.0	5.0	4.0	4.3
9	정상적인 가열시간의 50% 공급 (105초)	4.4	4.3	5.6	4.8
10	정상적인 가열시간의 40% 공급 (84초)	4.4	5.0	4.9	4.8
11	정상적인 가열시간의 30% 공급 (63초)	5.8	5.9	6.6	6.1
12	정상적인 가열시간의 20% 공급 (42초)	6.0	5.8	5.9	5.9
13	정상적인 가열시간의 10% 공급 (21초)	5.4	5.6	5.6	5.5
14	정상적인 가열시간의 7% 공급 (15초)	4.9	5.0	-	5.0
15	정상적인 가열시간의 5% 공급 (10초)	4.9	4.4	-	4.7
16	정상적인 가열시간의 0% 공급 (4초)	7.1	6.8	-	7.0

**Fig. 5.** The result of measuring for melt flow zone of test specimen between 0% and 80% of proper heating times

호를 명확하게 구분하기 위해 모든 영상에 대해서 동일한 post image processing을 수행하였고, 이미지 레벨, contrast, sharpen 및 threshold를 적용하였다. 결과 영상은 다양한 color map을 적용해 본 후 가장 직관적으로 파악할 수 있었던 gray scale로 표현하였다. 테스트 결과에 대해서 열 영향부 간의 거리 측정을 수행하였고, 열 영향부가 명확하게 나타나지 않은 영상의

경우에는 데이터를 취합하지 않았다. 가열 시간이 짧은 시험편으로 갈수록 용착이 이루어지지 않아 멀티플 echo가 반사되는 영역이 증가하여, 이러한 부분을 최대한 배제할 수 있는 위치에서 데이터를 획득하였고, 정상 가열시간의 7% 이하의 가열시간을 공급한 시험편들은 용착이 이루어지지 않았기 때문에 열용융 거리 측정을 수행할 수 없었다.

2-3. 위상배열초음파를 이용한 열용융거리 측정

가열시간에 따라 열판으로부터 전파된 열이 폴리에틸렌 배관으로 이동한 거리를 측정하여 다음 Table 2에 나타내었다. 거리 측정은 열이 용융된 거리가 명확하게 측정 가능한 시험편에 대하여 측정 결과를 제시하였고 측정 오차를 줄이기 위하여 3곳 이상 측정을 하여 최종적으로 열이 용융된 거리를 평균 값으로 제시하였다.

가열시간이 증가할수록 열판으로부터 폴리에틸렌 배관으로 열용융이 많아지므로 용착부를 형성하기 위한 열용융이 많아진다. 이 결과로 열용융부 거리가 증가하지만 열판을 제거하고 정상적인 압력으로 양쪽 배관 말단부를 가압할 경우 용융부는 외면 비드를 형성하며 외부로 빠져 나가게 된다. 따라서 가열유지 공정 및 냉각 공정이 완료된 후에 열판으로부터 열이 용융된 거리를 측정하는 경우 가열시간이 증가할수록 열판으로부터 열이 전파되어 진행된 거리는 상대적으로 감소하게 된다.

3. 결론

본 연구는 위상배열초음파를 이용하여 버트용착 공정에 열판으로부터 열이 폴리에틸렌 배관으로 전파되어 이동한 거리를 측정하는 것이 가능함을 확인하였으며 또한 열이 용융된 거리 측정 결과를 통해 완전 용착과 불완전용착에 대한 검증이 가능함을 확인할 수 있었다. 폴리에틸렌 수지가 열판으로부터 불충분하게 열을 받은 경우 충분한 용융 압력을 형성하지 못하여 불완전 용착이 발생하게 되는데 이 경우에 열용융거리 측정을 통해 불완전 용착 확인이 가능함을 제시하였다. 정상적인 버트용착 공정 즉 가열시간의 100%를 공급한 시험편의 경우 열판을 제거하고 양쪽 배관의 말단부를 일정한 압력으로 압착한 경우 용융부가 외면 비드를 형성하면서 실제 배관의 용착부를 형성하게 되는 열용융 거리가 좁아서 측정에 어려움이 있었으나 측정이 가능함을 확인할 수 있었다. 향후 위상배열초음파 센서의 주파수를 변동시켜 측정하면 본 연구에서 측정할 열이 용융된 거리에 대한 반사 신호를 더 뚜렷하게 측정할 수 있을 것으로 판단된다.

References

1. Seonghee Kil, Keebong Yoon, 2012, Inspection results of damaged polyethylene electrofusion joints using ultrasonic imaging method, Plastic Pipes XVI Conference, Barcelona, Spain
2. Seonghee Kil, Youngdo Jo, 2009, The case study of phase array ultrasonic for polyethylene pipeline in the electrofusion joints, the 12th international conference pressure vessel technology, September, Jeju, Korea
3. CEN/TR 15134, Non-destructive testing - Automated ultrasonic examination - Selection and application of systems
4. ISO 13588, Non-destructive testing of welds - Ultrasonic testing- Use of automated phased array technology
5. Bird C, Caravaca D and Raude A, 2006, The inspection of cold welds in electrofusion joints, Plastics Pipes XIII conference, October, Washington DC, USA
6. Huan Sheng Lai, Seonghee Kil, Keebong Yoon, 2015, Effects of defect size on failure of butt fusion welded MDPE pipe under tension, J. Mech. Sci. Technol. 29 (5) pp. 1973-1980.
7. Seonghee Kil, Bungduck Kim, Jeongrack Kwon, Keebong Yoon, 2013, Non destructive testing of damaged thermoplastic pipes electrofusion joints using phased array ultrasonic, KIGAS, Vol. 17, No. 5, pp.64-68
8. Seonghee Kil and Keebong Yoon, 2014, Non destructive evaluation of improper fusion for polyethylene heat fusion socket joints, Plastic Pipes XVII Conference, Chicago, USA.