



폴리에틸렌 가스배관 전기용착부 위상배열초음파검사 현장사례 연구

†길성희 · 권정락 · 박교식

한국가스안전공사 가스안전연구개발원 제품연구실
(2006년 6월 12일 접수, 2006년 6월 24일 채택)

Study for Field Inspection of Phase-Array Ultrasonic for Electro-fusion Joints of Polyethylene Gas Pipes

†Kil Seong-hee · Kwon Jeong-rock · Park Kyo-shik

Dept. of Gas Safety R&D Center, Korea Gas Safety Corporation
(Received 12 June 2006, Accepted 24 June 2006)

요 약

폴리에틸렌(PE) 배관 전기용착부에 대하여 위상배열초음파기술을 이용하여 전기용착부에 대한 비파괴 검사를 실시하였다. 사례 1은 직경 300 mm의 PE배관 전기용착부에 대하여 3.5 MHz 배열초음파 센서를 이용하여 건전성 평가를 실시하였으며 사례 2는 직경 350 mm 3개의 새들용착부에 대하여 건전성을 평가하였고 사례 3은 400 mm 전기용착부에 대하여 3.5 MHz 배열초음파 센서를 가지고 비파괴검사를 실시하였다. 그리고 검사한 결과를 절단시험 결과와 비교하였다. 사례 4는 도시가스의 공급압력이 300 kPa인 400 mm PE배관 전기용착부를 탐상하고 그 결과를 살펴보았다.

Abstract – We developed the ultrasonic phased array technique for obtaining ultrasonic images of electrofusion joints of polyethylene piping. And we inspected 4 cases at fields with this technique. First case is for the 300 mm diameter polyethylene electrofusion joint by using 3.5 MHz phased array sensor, second is for the 350 mm diameter saddle electrofusion joint, third is for the 400 mm diameter electrofusion joints and the last one is for the 400 mm diameter piping joints which will be used at 300 kPa supplying pressure.

Key words : Polyethylene(PE), Electrofusion(EF), Ultrasonic phased array technique, Non-destructive

I. 서 론

대구경 폴리에틸렌(PE) 배관의 경우 현장에서 용착 시 양쪽 배관의 정렬 불량, 배관과 이음관의 정원도 차이에 의한 간극 불균일 등의 이유로 인하여 용착 후에 용착부의 건전성 여부가 의심되는 경우가 많다. 특히 관경 300 mm 이상의 대구경 PE배관 전기용착 시에는 용착 조건을 규정대로 준수하여 시공한 경우에도 불구하고 인디케이터가 돌출되지 않는 경우도 종종 발견된다. 현재는 이러한 경우에 용착부에 대한 직접적인 비파괴검사기술이 없어서 외관 검사로서 비드형상, 인디케이터(Indicator) 돌출여부 또는 용착기로부터 출력된 데이터 등을 이용한 간접적인 검사를 통하여 건전성을 평가하고 있으나 이러한 검사로는

용착성능이나 내부 용착결함에 대한 정보를 얻을 수 없다.

따라서 한국가스안전공사 가스안전연구개발원에서는 PE배관 전기용착부에 대하여 위상배열초음파를 이용한 용착부 비파괴검사기술[1]을 개발(Fig. 1)하였다. 검사 원리는 이음관 표면에 센서를 부착하고 초음파를 발진시키면 초음파가 이음관 내의 일정간격으로 배열된 열선에서 반사하게 되는데 이러한 특징은 초음파영상에서 일정간격으로 배열된 열선의 신호로 나타나고 용착이 잘되면 열선들 사이로 초음파가 잘 투과하여 초음파영상에서는 용착경계면의 신호가 보이지 않으며 용착이 잘 안되면 많은 초음파가 용착경계면에 위치한 비용착 부위나 기포 등 불연속면에서 반사신호가 나타나게 된다.

위상배열초음파 센서는 Fig. 1의 (c)와 같이 3.5, 5.0, 7.5 MHz 3종류가 있다. 중심 주파수가 3.5 MHz인 센

†주저자:kiljudy@kgs.or.kr

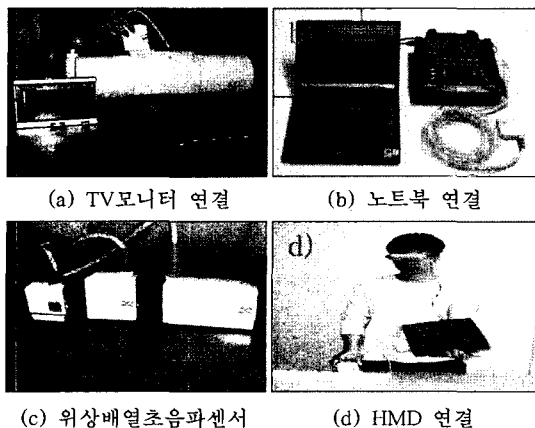


Fig. 1. 위상배열초음파검사장치(AIM33) 모습.

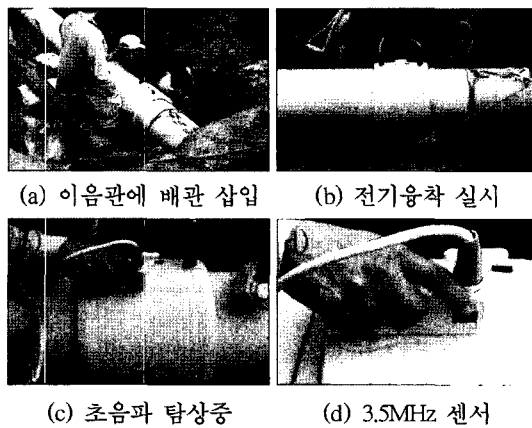


Fig. 2. 위상배열초음파 탐상.

서의 경우에는 상대적으로 저주파이므로 파장이 길어서 초음파가 멀리 전달된다는 이점이 있어서 두꺼운 시험편을 검사할 때 유용하다. 반면 상대적으로 고주파인 7.5 MHz 센서는 파장이 짧아서 해상도가 높아 결함 검출능이 우수한데 상대적으로 얇은 시험편을 검사할 때 매우 효과적이다.

현재 우리공사 연구개발원에서는 이 검사기술을 현장에 적용하기 위하여 도시가스를 대상으로 시범운영을 실시하고 있으며 본 논문은 검사한 사례를 중심으로 그 결과를 기술한 것이다.

II. 사례 개요

2.1. 사례 1

첫 번째로 신축아파트 도시가스 시공 현장에서 직경 300 mm의 PE배관 전기용착부에 대하여 3.5 MHz 배열 초음파 센서를 가지고 위상배열초음파검사장치인 AIM33을 이용하여 건전성 평가를 실시하였다(Fig. 2). 이때 가스공급압력은 100 kPa 이하이다. 비파괴탐상은 전기용착과 냉각 과정을 완료한 후 전기용착기가 정상 용착으로 판단한 이음관의 용착부에 대하여 검사를 실시하였다. 먼저 이음관 표면에 위상배열초음파 센서를 접촉시킨 후 Fig. 3과 같이 전기용착 이음관에서 가스가 들어오는 방향에서 나가는 방향으로 각 방향의 단자부를 기준으로 시계 방향으로 탐상을 실시하였다. 이음관의 검사 방법은 0, 90, 180, 270도를 기준으로 하여 검사하였으며 각각의 기준점에서 결함으로 인지되는 경우에는 연속해서 검사하였다. 검사 결과는 실시간으로 모니터를 통해 출력되는 2차원 단면 영상을 통해 확인하였다.

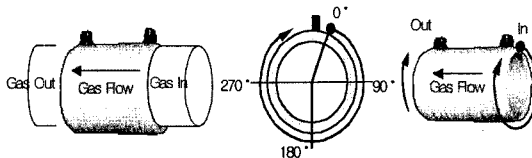


Fig. 3. 초음파 센서로 비파괴 검사를 실시한 방향과 순서.

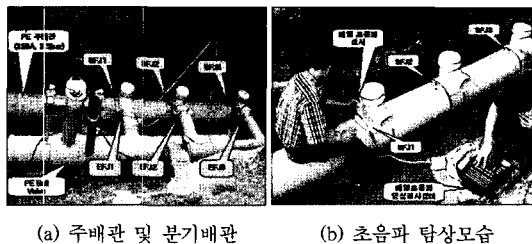


Fig. 4. 새들용착부 초음파 탐상.

2.2. 사례 2

아파트에 도시가스를 공급하기 위하여 기존에 매설되어 있는 PE배관망으로부터 분기 작업 시, 분기배관 연결을 위해 시공한 Fig. 4와 같은 3개의 새들 용착부에 대하여 3.5 MHz 배열초음파 센서를 가지고 Fig. 4(b)와 같이 용착부 표면에 센서를 접촉시키면서 비파괴탐상을 실시하였다. 검사방법은 위의 사례 1과 같은 방법으로 용착부 전체에 대하여 검사를 실시하였으며, 이때 주배관의 직경은 350 mm이며 가스공급압력은 350 kPa이다.

2.3. 사례 3

신축 아파트에 도시가스를 공급하기 위하여 직경 400 mm PE배관을 버트용착 및 전기용착 방법을 이용

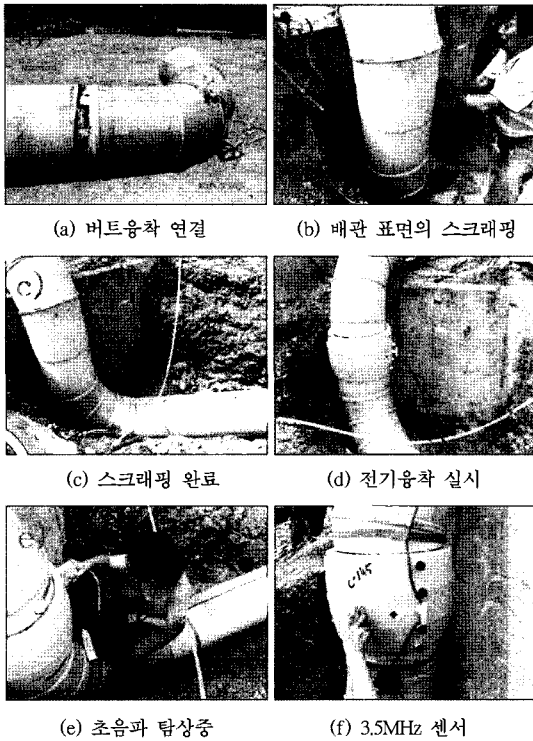


Fig. 5. 전기용착 단계 및 초음파탐상.

하여 Fig. 5와 같이 배관을 연결하였다. (a)와 같이 버트용착 방법으로 배관을 연결하다가 전기용착 전에 양호한 용착을 위하여 (b)와 같이 배관 표면을 일정한 깊이로 깎아 내고[2] 이음관에 배관을 삽입하여 (d)와 같이 전기용착을 실시하게 된다. 냉각이 완료된 후 전기용착부에 대해서 역시 3.5 MHz 배열초음파 센서를 가지고 용착부 전체에 대하여 탐상을 실시하였으며 이때 가스공급압력은 250 kPa이다.

2.4. 사례 4

폐가스와 도시가스를 함께 운송하는 배관망으로써 폐가스에 의한 부식 손상이 발생할 가능성이 높기 때문에 강관 대신에 직경 400 mm PE관을 사용하여 시공하였다. 배관망 중간에 이음관을 사용하여 배관망을 연결하였으며 가스공급압력은 300 kPa이다. 1차 전기용착 시공 후에 육안검사를 통해 용착불량으로 판명된 이음관들을 절단하고 다시 2차로 재용착을 실시하였다[3]. 용착불량으로 판단한 이유는 육안검사시 인디케이터가 돌출되지 않았으며 용착부에서 용융물 흘러내림 등의 현상이 발생하였기 때문이다. 그런데 2차 재용착 후에 검사원이 육안검사를 통해 다시 용착불량으로

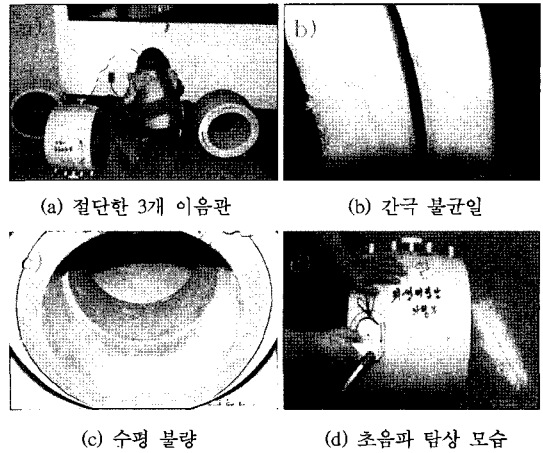


Fig. 6. 이음관의 육안검사 및 초음파탐상.

판정을 내리자 시공자가 이의를 제기하여 결국 비파괴 검사를 통하여 용착 상태를 검사하게 되었다.

2.4.1. 절단한 이음관

1차 시공후 용착불량으로 판명되어 절단한 Fig. 6의 이음관에 대하여 육안검사 후 초음파 탐상을 실시하였다. 육안검사 실시 결과를 살펴보면 (b)와 같은 배관과 이음관의 간극이 불균일하여 간극이 좁은 부분은 용착이 잘된 반면에 간극이 넓은 부분은 용착이 완전하지 못하였으며 (c)와 같이 이음관에 배관을 삽입할 때 양쪽 배관이 수평하게 삽입이 되어야 하는데 수평하게 배관이 삽입되지 않아 정상적으로 용착이 실시되지 않았다. 또한 전기용착중에 이음관과 배관에 열이 가해지면 폴리에틸렌 팽창에 의해 인디케이터가 돌출하게 되는데 (d)와 같이 인디케이터가 돌출되지 않은 것을 확인할 수 있었다.

2.4.2. 재시공한 전기용착 이음관

초기 1개의 이음관을 사용하여 전기용착을 실시한 후 용착불량으로 판명이 되어 재시공을 하고자 할 때는 다음 Fig. 7과 같이 2개의 이음관을 이용하여 다시 전기용착을 실시해야 한다. 즉 절단한 이음관 길이를 1개 이음관만으로 채울 수 없기 때문에 부득이하게 2개

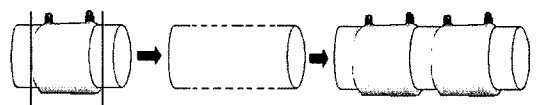


Fig. 7. 용착불량시 재시공을 할 경우.

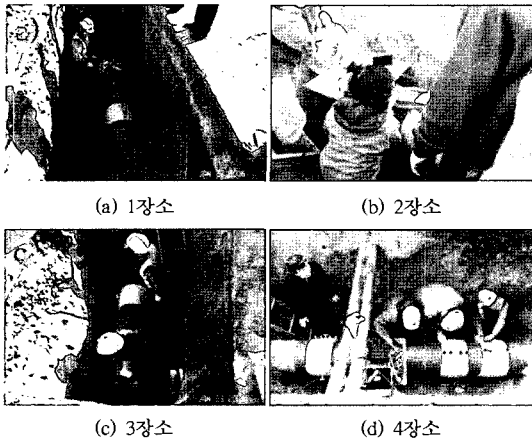


Fig. 8. 각 시공현장 모습.

의 이음관을 사용하여 전기용착을 실시하게 되는 것이다.

위의 Fig. 8은 2차로 재용착을 실시한 전기용착 시공 현장 4곳의 총 9개 이음관이 설치된 모습이다. 9개 이음관의 용착부에 대해서도 동일한 3.5 MHz 초음파센서를 이용하여 탐상을 실시하였다.

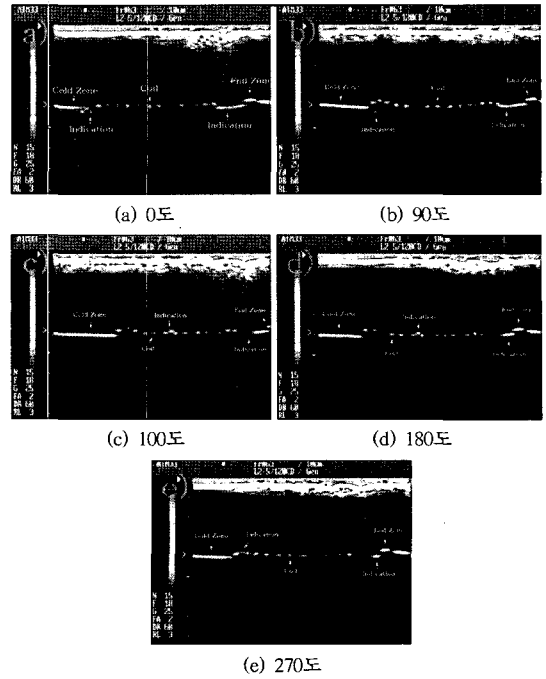


Fig. 9. 입구측 각 검사각도에서의 탐상결과.

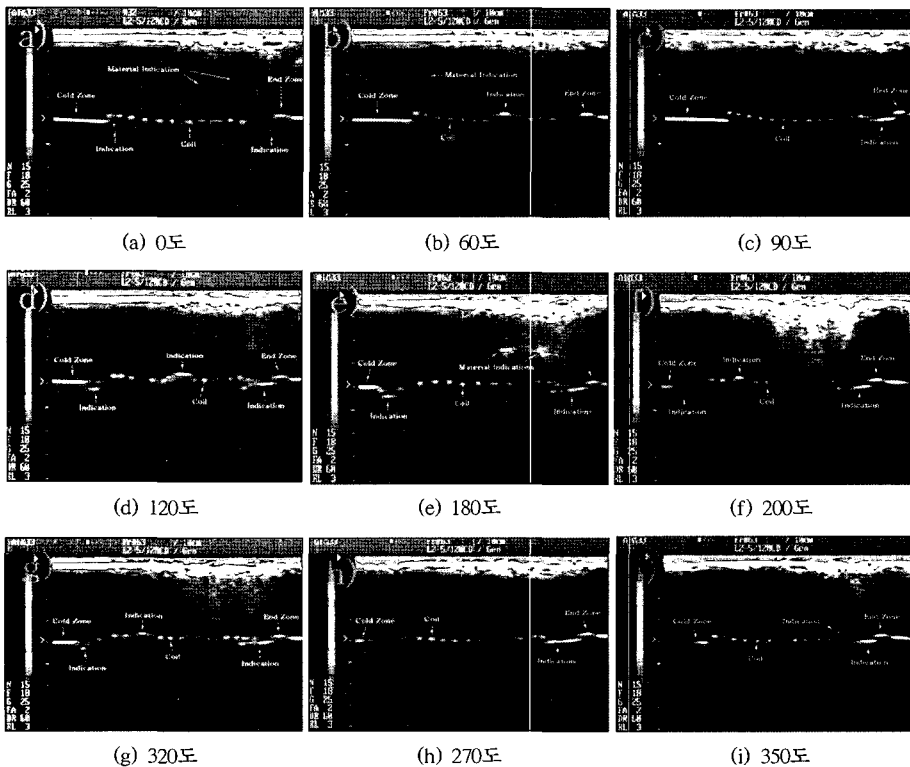


Fig. 10. 출구측 각 검사각도에서의 탐상결과.

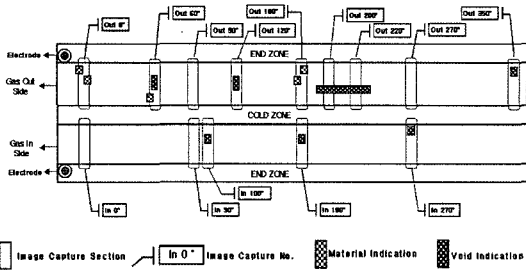


Fig. 11. 검사 도면.

III. 초음파탐상 결과

3.1. 사례 1

300 mm 이음관에 대하여 5 MHz 배열초음파 센서를 가지고 용착부를 탐상한 결과 가스 입구측 이음관 용착부의 100, 180, 270도 부분에 작은 공극이 발견되었으며 출구측 이음관 용착부의 60, 120, 350도 부분에서 단일 공극으로 보이는 결함이 발견되었고, 200도에서 220도까지 연속 공극으로 보이는 결함이 발견되었다. 또한 0, 60, 180도 부분에서는 재료상의 결함으로 보이는 영상이 관찰되었다.

따라서 이를 종합하여 Fig. 11과 같이 이음관의 평면영 도면으로 작성해 보았다.

3.2. 사례 2

Fig. 4의 3개 새들용착부에 대한 초음파 탐상을 실시한 결과 새들용착부 1, 2, 3 모두 열선 주위에 아무런 결함이 없는 것으로 보아 용착이 양호하게 되었을 것으로 판단하였다.

3.3. 사례 3

전기용착부의 초음파 탐상 결과 측정된 초음파영상 결과들로부터 일부는 용착이 양호한 것으로 판단되나 몇몇 부분은 단일 공극으로 추정되는 결함들이 존재함을 확인할 수 있었다.

용착 단면의 육안 검사를 위하여 이음관 부분을 절단하고 용착부를 다음 Fig. 14와 같이 4부분으로 절단하여 단면을 관찰하였다. 육안 검사 결과 초음파 탐상 결과와 동일하게 용착부에 단일 공극이 형성되었음을 확인할 수 있었으며 그 결과를 다음 Fig. 15에 나타내었다.

용착 단면을 절단하여 육안검사를 실시한 결과 약 8 mm의 가공 즉 열선 폭이 80 mm일 때 열선 폭의 약 10% 크기의 결함이 발생하였음을 확인하였다.

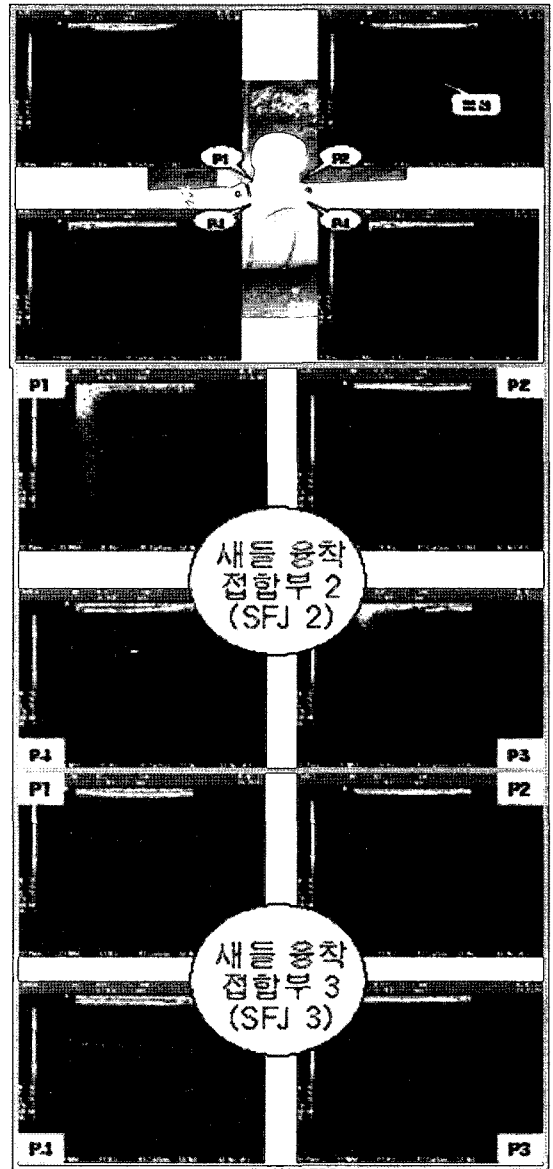
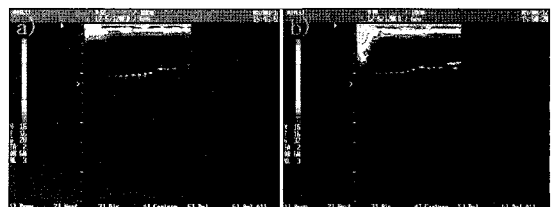
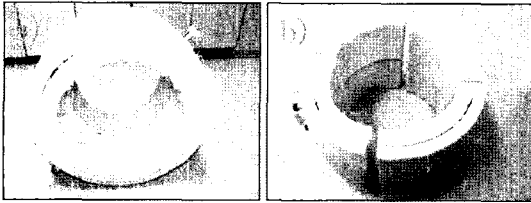


Fig. 12. 새들 용착부 1, 2, 3의 탐상 결과.



(a) 단일 공극 (b) 연속된 단일 공극

Fig. 13. 공극 결함을 지시하는 영상 결과.



(a) 전기융착 이음관 (b) 절단한 이음관 모습

Fig. 14. 융착부 단면 관찰을 위한 이음관 절단.

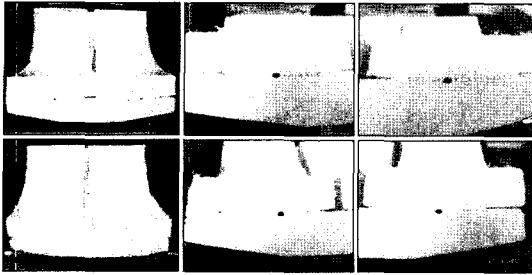
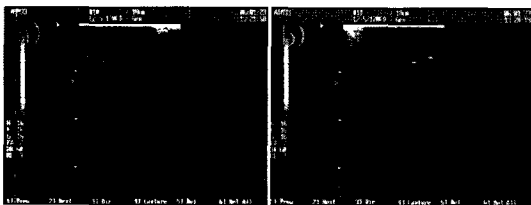


Fig. 15. 융착 단면에 발생한 단일 공극 모습.

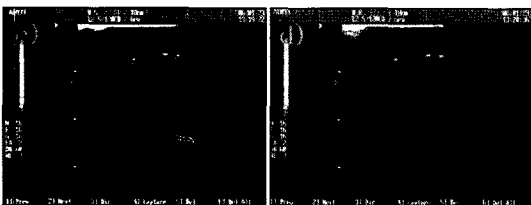
3.4. 사례 4

3.4.1. 제 1장소

2개 이음관에 대하여 초음파 탐사를 실시한 결과 열선 아래에 일정 길이의 융착이 안된 부분 즉 1.5 cm 이상의 융합결합을 확인할 수 있었다. 이는 ASTM F1055[4]에서 규정하고 있는 즉 결합크기가 융착부 길이의 20% 초과할 경우 융착 불량으로 판단하는데 이를 기준으로 할 경우 융착 불량으로 판단할 수 있다. 또한 약 1.0 cm 이상의 단일 공극도 열선 부위에 발생



(a) 융합결합 (b) 융합결합



(c) 공극 (d) 공극

Fig. 16. 제 1장소 이음관의 탐상 결과.

하였으며 ASTM F1055에서 규정하고 있는 단일 공극의 크기가 융착부 길이의 10%를 초과할 경우 융착 불량으로 판단한다는 기준을 고려할 때 융착 불량으로 판단할 수 있다. 이러한 열선과 열선 사이에서 발견되는 공극은 가스의 공급으로 배관에 일정한 내압이 작용할 경우 향후 융합결합으로 점점 성장하여 일정 시간 이후에는 이음관의 배관의 융착부가 분리될 가능성이 있을 것으로 판단된다.

3.4.2. 제 3장소

이음관에 삽입한 곡관을 육안검사했을 때 삽입 불량 상태를 확인하였다 즉 PE관과 이음관을 수평으로 연결하지 않고 전기융착을 실시한 것으로 추정된다.

삽입불량된 배관과 이음관의 융착부에 대하여 초음파 검사를 실시한 결과 열선 아래에 약 1.5 cm 이상의 융합결합이 콜드존에 연결되어 발생하였다. 또한 열선도 불규칙한 배열을 보이는 등 전반적으로 융착 상태가 양호하지 않은 것으로 추정된다.



(a) 삽입불량 배관 및 이음관 (b) 초음파 검사

Fig. 17. 제 3장소의 초음파검사 모습.

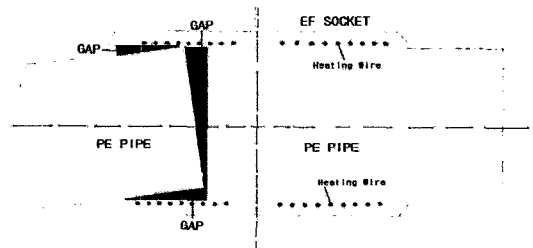
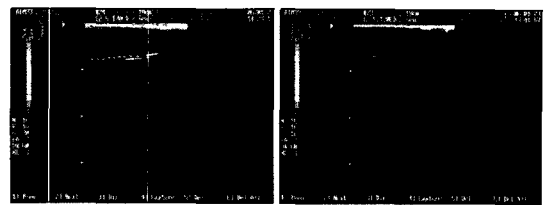


Fig. 18. 삽입불량된 배관의 개요도.



(a) 융합결합 (b) 불규칙한 열선배열

Fig. 19. 제 3 장소 이음관의 융착부.

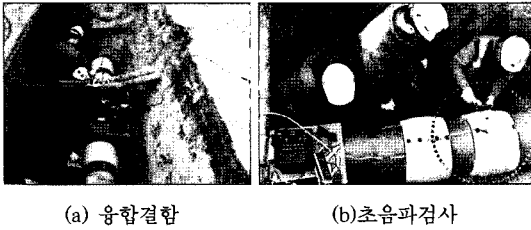


Fig. 20. 제 4장소의 이음관 초음파검사 모습.

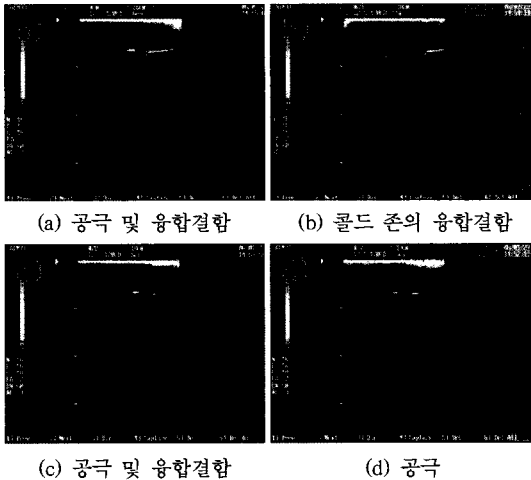


Fig. 21. 제 4장소 이음관의 초음파탐상 결과.

3.4.3. 제 4장소

제 4장소의 3개 이음관에 대하여 다음 Fig. 20과 같이 초음파검사를 실시하였다.

검사 결과 Fig. 20에 빨간색 점선으로 표시한 이음관에서 가장 큰 결함이 발생하였음을 확인할 수 있었다. 열선의 총 길이가 8.0 cm일 때 열선 아래에 약 5.0 cm 이상의 융착이 안된 부분 즉 융합결함이 발생하였으며 또한 열선 주위에 약 1.5 cm 이상의 공극을 확인하였다.

VII. 결 론

PE배관의 안전성은 융착부 성능에 의존하기 때문에 융착부의 건전성을 평가하기 위하여 위상배열초음파 기술을 이용하여 탐상을 실시하였다. 측정된 초음파 영상 결과들로부터 공극 및 융합불량 등의 결함이 발생한 것으로 판단되는 융착부와 정상 융착으로 판단되는 영상 결과들을 얻을 수 있었다. 또한 배관을 이음관에 삽입할 때 배관이 수평으로 삽입되지 않은 삽입불량의 형태를 육안 검사를 통해서 확인할 수 있었으며 초음파검사를 실시한 결과에서도 동일한 결과를 얻을 수 있었다.

따라서 위상배열초음파검사기술은 전기융착부에 대한 비파괴검사방법 중 현장에서 사용하기 용이한 검사 방법임을 본 연구를 통하여 확인할 수 있었다. 즉, 실시간으로 2차원 단면 영상을 통하여 융착부 결함을 검사할 수 있었으며 정확한 결함 크기를 탐상할 수 있었다. 또한 이 결과를 절단시험 후에 비교해보니 정확하게 일치함을 확인하였다.

참고문헌

- [1] 길성희, 권정락, “폴리에틸렌(PE)배관의 전기융착(Electronic Fusion) 접합부에 대한 검사기술의 실용화”, 한국가스안전공사 연구보고서, (2003)
- [2] KGS 지침, “전기융착 표준시공기준”, 한국가스안전공사 도시가스시공기준
- [3] 노동훈, “폴리에틸렌 배관의 시공표준화에 관한 연구”, 한국가스안전공사 가스안전기술연구센터, (1998)
- [4] ASTM F 1055-98, “Standard Specification for Electrofusion Type Polyethylene for Outside Diameter Controlled Polyethylene Pipe and Tubing”