

LNG PE배관 전기용착부 비파괴검사기술

Non Destructive Technology for LNG Polyethylene Electrofusion Joints

*김성희, *김용지, 조영도

*S. H. Kil(kiljudy@kgs.or.kr), *W. J. Kim, Y.D.Jo

한국가스안전공사 가스안전연구원

Key words : Polyethylene electrofusion joint, Phase-Array, NDT

1. 서론

대구경 폴리에틸렌 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 300mm 이상의 대구경 폴리에틸렌의 전기용착 시에는 용착 조건을 규정대로 준수하여 시공한 경우에도 불구하고 인디케이터가 돌출되지 않는 경우도 종종 발견된다. 그 이유는 대구경 배관의 경우 현장에 야적했을 때 자중 등의 이유로 정원이 변형되는데 이렇게 변형된 상태로 이음관에 삽입하게 되면 한쪽은 간극이 넓고 한쪽은 간극이 좁은 상태로 용착이 된다. 간극이 넓은 부분은 용착에 필요한 전류가 상대적으로 넓은 면적을 용융시키기 때문에 덜 용융된 상태에서 용착이 될 가능성이 있고 간극이 좁은 부분은 좁은 면적에 전류가 작용하기 때문에 과도한 용착이 일어날 가능성이 높게 된다. 현재는 이러한 경우에 용착부에 대한 직접적인 비파괴검사기술이 없어서 기밀시험 등을 이용한 간접적인 검사를 통하여 건전성을 평가하고 있으나 이러한 외관검사로는 용착 성능이나 내부 용착 결함에 대한 정확한 정보를 얻을 수 없다.

2. 위상배열의 개념

한국가스안전공사에서는 위상배열의 개념을 이용하여 폴리에틸렌 배관 전기용착부에 대한 비파괴검사기술을 개발하였다. 위상배열기법을 이용하면 발생하는 초음파의 빔을 자유롭게 조절할 수 있어 재래식 방법으로는 얻을 수 없는 결함의 영상을 획득할 수 있을 뿐만 아니라, 검사자의 주관적 판단이 개입될 수 있는 여지를 줄여 검사의 객관적 신뢰도를 크게 높일 수 있다. 또한, 재래식 초음파 탐상 검사할 경우 그 결과 해석이 매우 까다로운 즉 형상이 복잡한 구조물의 검사도 본 기술을 적용하면 가능하게 된다.

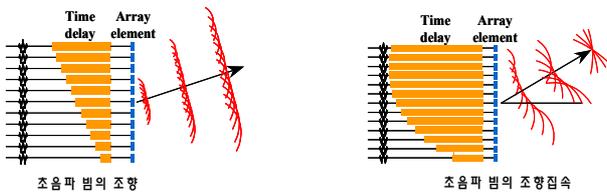


그림 1. 위상배열 초음파 빔의 조향과 집속

3. 검사 원리

초음파를 이용하여 이음관을 검사하는 원리는 투과와 반사의 초음파 특성을 이용한 것이다. 본 연구에서는 이러한 원리를 이용하여 제작한 위상배열 초음파 탐상장치로 시험편을 검사하고자 한다. 초음파가 폴리에틸렌 이음관을 검사하는 원리를 그림 2에 설명하였다. 이음관에서 초음파는 일정간격으로 배열된 열선에서 반사되는데 이러한 특징은 초음파영상에서 일정간격으로 배열된 열선의 신호로 나타나고, 용착이 잘 되면 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.

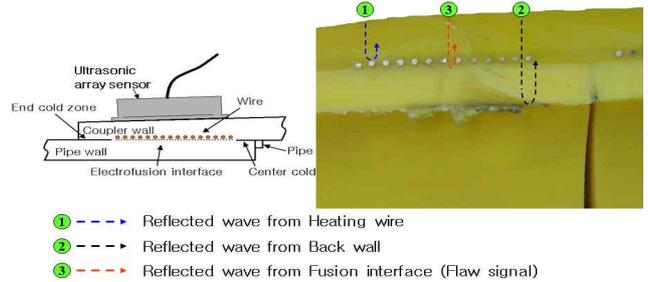


그림 2. 초음파 검사 원리

4. 센서 설계

그림 3과 같은 기하학적 구조를 가진 배열탐촉자의 경우 초음파 송수신시에 빔의 집속과 조향을 위해 식 1에 나타난 빔포밍 법칙을 사용한다. 이는 초음파 수신 시에 배열탐촉자의 중심에 위치한 미소센서가 t_0 시간에 활성화되었다고 가정하고 있으며, 이때 시편내의 원하는 지점으로 초음파 빔을 조향하고 집속하기 위해 임의의 n 번째 미소센서가 활성화되어야 할 시간을 $T[n]$ 으로 나타낸 것이다. 또한 초음파의 수신신호 처리과정에서 각 미소센서로부터 수신된 신호에 $T[n]$ 의 지연시간을 적용하여 합성하면 수신집속을 할 수 있다.

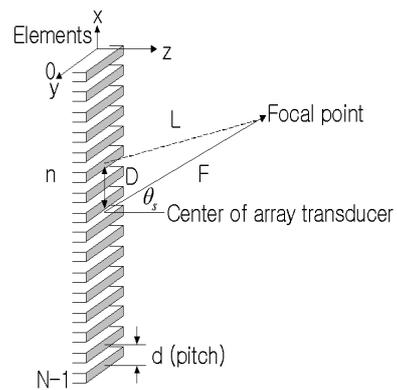


그림 3. 배열 탐촉자 도면

$$D = \frac{2n - N + 1}{2} d$$

$$L = \sqrt{F^2 + D^2 - 2FD \sin \theta_s} \quad \text{식 1}$$

$$T[n] = \frac{F - L}{C} + t_0$$

그리고 시편 내에서 초음파를 집속하고자 하는 위치가 변하면 $T[n]$ 도 새롭게 계산되어야 한다. 본 연구에서는 θ_s 가 0이 되는 경우 즉, 초음파 빔의 조향은 하지 않고 집속만하여 주사함으로써 사각형 모양의 선형배열 영상을 구축하였다. 기본적으로 한 장의 초음파 영상은 초당 수십 또는 수백 번의 초음파 송수신을 통해 획득된 여러 개의 주사선들(scan lines)이 모여 형성된다. 본 연구에서는 하나의 주사선을 만들기 위해 송수신시에는 배열

탐촉자로부터 거리에 따라 영역을 분할하는 분할영역집속(zone based focusing)법과 수신 시에는 동적집속(Dynamic Focusing)법을 사용하였다. 하나의 주사선을 획득하기 위해 하나의 배열탐촉자로 송신(Tx)집속을 하고 수신(Rx)집속을 하는 순차적인 과정을 거친다. 즉 이 과정에서는 2개의 분할된 영역에 각각 한번씩 초음파를 송신집속을 하고 한번의 송신에 대해 여러 번 수신집속을 하는 동적수신집속을 한다. 한번 송신에 대해 각각의 미소 초음파 센서가 수신한 신호는 하나이지만 수신집속점의 위치에 따라 식 1에서 제시된 $T[n]$ 과 t_0 은 수신집속점의 수만큼 변화된 값을 가지게 된다. 그래서 한번 수신된 신호를 이용하여 여러 개의 수신집속점에 대해 신호처리를 함으로 동적수신집속이 가능하다. 그림 4에 보인 것과 같이 초음파 빔을 조향하지 아니하고 집속만 하는 경우에는 배열탐촉자 전단면에 수직한 방향으로 초음파를 양방향 송수신 집속하여 주사선을 획득할 수 있다. 그리고 미소 초음파센서의 배열이 선형적으로 구성된 선형배열 탐촉자(Linear Transducer), linear scan 배열탐촉자의 경우에 주사선을 센서의 배열방향으로 이동시키면서 획득하고 이를 조합하면 배열탐촉자의 하단의 2차원 단면을 영상화하는 선형주사영상(linear scan image)을 만들 수 있다.

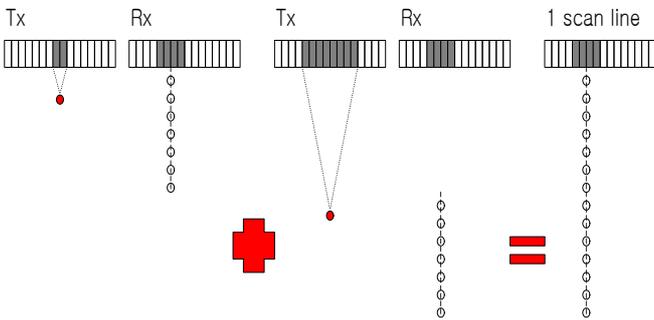


그림 4. linear scan 배열 탐촉자를 이용하여 송신과 수신 집속의 개념도

이러한 설계개념을 적용하여 96elements를 가지는 3.5, 5.0, 7.5MHz 3종류의 폴리에틸렌배관 전기융착부 검사용 위상배열 초음파 센서를 제작하였다. 중심 주파수가 3.5MHz인 센서의 경우에는 상대적으로 저주파이므로 파장이 길어서 초음파가 멀리 전달된다는 이점이 있어서 두꺼운 시험편을 검사할 때 유용하다. 반면 상대적으로 고주파인 7.5MHz 센서는 파장이 짧아서 해상도가 높아 결함 검출능이 우수한데 상대적으로 얇은 시험편을 검사할 때 매우 효과적이다.

4. 비파괴검사결과

폴리에틸렌 이음관의 전기융착부 용착 성능 검사를 위하여 실험실에서 용착 상태가 양호한 용착접합부를 제작하고 명함지 및 운모판을 이용하여 인위적으로 결함을 형성하여 용착을 실시하였다. 접합 상태를 검사하기 위한 100A, 150A 각각의 폴리에틸렌 이음관 10개씩을 제작하고 그리고 나서 각각의 용착접합부 상태를 육안으로 검사하고 초음파 영상 장비로도 검사하였다. 그 결과는 본 절의 비파괴 탐상 및 파괴 시험을 통한 결과의 검증에 나타내었다. 먼저 불량 용착접합부와 비교를 위하여 결함이 없는 양호한 용착접합부를 제작하였다. 그림 5의 왼쪽은 결함이 없는 양호한 용착부의 사진으로 실험실에서 전기 융착한 100A 폴리에틸렌 이음관이다. 열선 바로 밑의 용착부를 살펴보면 어떠한 결함도 없이 용착이 양호하게 되었음을 확인할 수 있다. 그림 5의 오른쪽은 100A 폴리에틸렌 이음관을 전기 융착을 할 때 중이나 운모판을 넣어 인공 결함을 만든 용착부로서 열선 바로 밑에 약 2cm 정도의 용착이 안 된 부분이 있음을 눈으로도 확인할 수 있다.

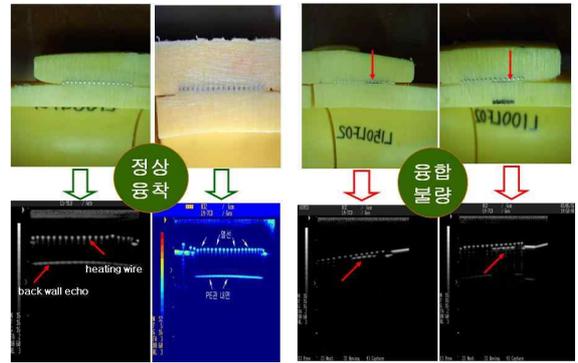


그림 5. 정상용착 및 융합불량의 초음파영상 모습

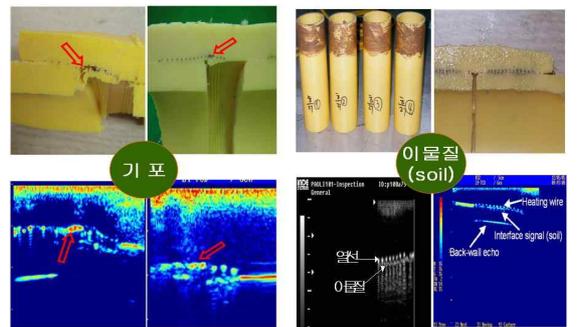


그림 6. 기포 및 이물질의 초음파영상 모습

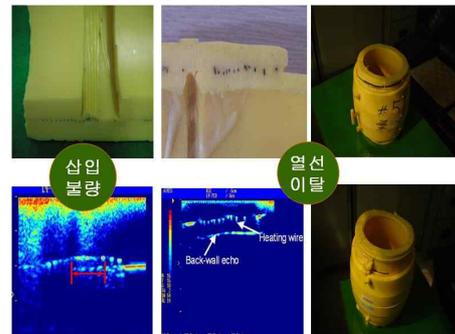


그림 7. 삼입불량 및 열선이탈의 초음파영상 모습

5. 결론

위상배열 초음파를 이용하여 폴리에틸렌 이음관의 전기융착부에 대한 비파괴검사를 실시한 결과 위상배열 초음파는 결함 검출이 가능한 검사방법임을 본 연구를 통하여 확인할 수 있었다. 또한 검사결과가 실시간으로 2차원 단면 영상으로 지원되기 때문에 현장에서 검사원들이 쉽게 검사할 수 있는 방법이라고 판단된다.

후기

본 연구는 국토해양부 가스플랜트 사업단의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

1. 길성희, 권정락, 노동훈, "폴리에틸렌 배관 전기융착부 단기성능 평가를 위한 융합불량 영향 평가", Journal of Energy Engineering, Vol.14, No.2, pp.153~158(2005)
2. 길성희, 권정락, "폴리에틸렌 배관의 전기융착부 비파괴검사기술에 관한 연구", Journal of the Korean Institute of Gas, Vol.8, No.3, pp.31~36(2004)