

IDT형 Lamb 파 센서에 의한 판상의 균열 검출

Detection of a Crack on a Plate by IDT Type Lamb Wave Sensors

김 준 호*, 노 용 래*
(Junho Kim*, Yongrae Roh*)

*경북대학교 기계공학과
(접수일자: 2010년 10월 5일; 채택일자: 2010년 10월 27일)

본 논문에서는 판 형상의 구조물에 발생한 균열의 형상과 개수 등을 진단할 수 있는 Inter-Digital Transducer (IDT)형 Lamb 파 센서를 제안하고 그 타당성을 실험적으로 검증하였다. IDT형 Lamb 파 센서는 기존의 패치형 압전 센서보다 작동 주파수의 조절이 용이하고, finger의 형상에 의해 지향성을 조절할 수 있다는 등의 장점이 있다. 본 논문에서는 무지향성을 가지는 환상형 IDT형 센서와 높은 지향성을 가지는 사각형 IDT형 센서를 설계, 제작하고, 이들에 의해 알루미늄 판을 전파하는 Lamb 파의 전파시간과 진폭의 변화를 측정, 분석하여 판 내에 발생한 균열의 길이, 개수 및 각도를 평가하고, 제안한 IDT 센서의 효용성을 고찰하였다.

핵심용어: 압전 센서, IDT, 균열, Lamb 파, 판

투고분야: 초음파 및 탄성파 분야 (4.4)

In this paper, an Inter-Digital Transducer (IDT) type Lamb wave sensor is proposed to estimate the geometry and number of cracks on a plate structure, and its validity is checked through experiments. This IDT type sensor is more readily controllable than conventional patch type piezoelectric sensors to modify its operation frequency and directionality by altering its finger patterns. In this work, omni-directional annular IDT and highly directional rectangular IDT sensors are designed and fabricated. The IDT sensors are used to diagnose the length, number and orientation of cracks on an aluminum plate by measuring the amplitude and time of flight of Lamb waves. The results are analyzed to discuss the efficacy of the IDT sensors.

Keywords: Piezoelectric Sensor, IDT, Crack, Lamb Wave, Plate

ASK subject classification: Ultrasonic and Elastic Waves (4.4)

I. 서론

구조물의 광범위한 손상부에 대한 탐지 기법으로 초음파 검사법이 널리 사용되어져 왔다. 특히 Lamb 파를 이용한 검사는 Worlton이 구조물 손상 탐지에 적용하기 시작하여 1980년 이후부터 현재까지 많은 연구자들에 의해 연구되어 왔다 [1-4]. 그 이유는 Lamb 파가 넓은 범위에서 판의 전두께 방향으로 진행하며, 비교적 에너지 손실 없이 원거리를 전파할 수 있기 때문이다. 기존의 연구들에서 Lamb 파를 송수신 하는 트랜스듀서로는 여러 가지 종류가 있으나, 잘 알려진 작동 원리와 적용의 편리성으

로 인해 PZT와 같은 압전 세라믹을 이용한 벌크파 발신용 초음파 트랜스듀서와 패치 센서가 널리 사용되어져 왔다. 그러나 이들 소자들은 대부분 압전 재료 자체의 공진 특성을 그대로 이용한다는 점에서 한번 제작되고 나면 중심 주파수나 빔 패턴 등의 특성을 변화시키기가 어렵다는 문제들이 있다. 본 저자들의 선행 연구에서도 판상의 균열을 검출함에 있어서 Lamb 파를 수신하는 압전 패치 센서의 무지향성으로 인해 측정 신호에 잡음이 쉽사리 섞이는 등의 문제가 확인된 바 있다 [5]. 따라서 본 연구에서는 기존 압전 패치 센서가 가지고 있는 문제점을 보완하여 사용자가 원하는 수신 지향성이나 중심 주파수 등의 특성을 조절하기 용이한 빗살 구조의 Inter-Digital Transducer (IDT)형 Lamb 파 센서를 제안하고, 그 적용성을 평가하고자 하였다.

IDT는 탄성표면파 소자에서 표면파를 발신, 수신하는 트랜스듀서로서, 탄성표면파 소자는 전자 통신 분야에서의 필터같은 신호처리 소자와 각종 물리, 화학 센서로 오랫동안 널리 사용되어져 왔다 [6, 7]. 일반적인 IDT는 전극에 해당하는 다수의 finger들이 빗살 (comb) 형태로 교차되는 구조를 가지며, 주어진 압전 기판에 대해서 finger의 개수와 폭, 그리고 finger간의 간격 등을 변화시킴으로써 발생하는 파형 및 주파수 특성을 쉽게 조절할 수 있고, 나아가 IDT의 형상을 조절함으로써 신호 수신 지향성을 설정하기가 용이하다는 장점을 가진다 [8]. 이러한 이유로 IDT형 센서를 이용하여 구조물 손상유무를 진단하려는 연구가 시도된 바 있으며 [9-11], 이 결과들은 IDT에 의한 Lamb 파의 발생 가능성을 확인시켜준 바 있다. 따라서 본 연구에서는 이러한 IDT형 센서를 이용하여 알루미늄 판 내에 존재하는 다양한 균열의 형상을 진단하는 실험을 수행하여, 판상 결함을 진단함에 있어서 IDT형 센서의 효용성을 분석하였다. 또한 기존의 연구 사례에서는 여러 개의 사각형 IDT 트랜스듀서를 사용하여 균열에서 반사되는 파의 시간차만을 측정함으로써 그에 따른 균열의 진전과정을 연구한 것에 비해서, 본 연구에서는 단일 IDT형 센서를 이용하여 판 내에 발생한 균열의 길이, 개수 및 각도와 같은 다양한 기하학적 변수에 따른 Lamb 파의 전파 시간과 진폭의 변화를 동시에 평가함으로써, 보다 정확한 결함 진단이 가능하도록 하였다.

본 연구에서 제안하고 평가한 IDT는 크게 두 가지 종류이다. 첫 째는 탄성표면파 필터에 사용되는 것과 같은 일반적인 사각형 IDT로서 finger에 수직되는 전면 방향에 대해 높은 지향성을 가지는 것이고, 또 다른 종류는 통상의 IDT와 같은 빗살 전극을 가지되 원형 구조를 이룸으로써 무지향적인 방향성을 가지는 환상형 IDT이다. 일반적인 디스크 형태의 패치 센서는 수신 방향성이 무지향성인데, 환상형 IDT형 센서는 패치 센서와 동일한 방향성을 구현함으로써 사각형 IDT형 센서가 가지는 높은 지향성의 영향을 비교, 분석하기 위한 것이다. 실험에서는 알루미늄 판에 벌크 초음파 트랜스듀서를 송신자로 사용하여 Lamb 파를 발생시키고, 수신자로 이상의 두 가지 형태의 IDT형 센서를 이용하여 균열 형상에 대한 Lamb 파의 반응을 각각 측정하고, 그 결과를 비교하였다.

II. IDT형 센서

본 연구에서 판상의 균열의 형상을 계측하기 위한 센서들의 중심 주파수는 750 kHz로 설정하였다. 두께 1mm의

알루미늄 판에서의 기본 Lamb 파 모드에 대한 분산 곡선에서 기본 비대칭 전파 모드인 A_0 는 전파 속도가 낮으며 주파수의 변화에 따라 군속도의 값이 거의 일정한 값을 유지하는 반면, 기본 대칭 전파 모드인 S_0 는 주파수의 변화에 따라 군속도 값이 상대적으로 더 급격히 변화하는 경향을 보인다 [5]. 또한, 알루미늄 판의 구조는 IDT형 센서가 판의 상부에만 설치된 비대칭 상태이므로 A_0 모드를 수신하기에 더 용이한 형태이다. 따라서 본 연구에서는 분산특성이 작고 속도가 느린 A_0 모드만을 고려하여 실험 및 해석을 수행하였다.

먼저 직경 25 mm, 두께 0.5 mm인 원형 PZT 소자의 표면에 IDT 전극을 형성하기위하여 그림 1, 2와 같은 구조를 가지는 스틸 재질의 마스크를 제작하였다. 사각형 IDT의 구경에 해당하는 finger의 길이를 3.75 파장 (λ)이 되도록 하고 총 4 파장에 해당하는 finger 개수를 설치함으로써 충분히 높은 지향성을 가지도록 하여, finger에 수직된 횡방향으로 입사되는 파만 감지할 수 있도록 하였다. 그림 2의 환상형 IDT형 센서는 반경 방향으로 입사되는 파를 감지할 수 있으므로 결국 무지향성을 가진다. IDT 구조에서 finger와 finger간의 간격은 중심 주파수에서의 파장 (λ)의 1/2에 해당하며, 각 finger의 폭은 파장 (λ)의 1/4의 값을 가진다. 실험에 사용되는 PZT소자는 직경이 제한적일 수밖에 없으므로, 제한된 크기의 PZT소자 표면위에 파장의 길이에 결정적인 영향을 미치는 finger의 폭 및 간격을 적절히 배치하고, 마스크를 제작하기 용이하도록 하기위해서 중심주파수를 750 kHz로 설정하였다. 750 kHz에서의 A_0 모드 Lamb 파의 전파 속도는 3000 m/s이고 이때의 λ 는 4 mm가 되므로, 그에 따라 finger들의 규격을 그림 1, 2와 같이 결정하였다. 제작된 마스크를 이용하여 원형 PZT 소자 표면에 실버페이스트 재질의 전극을 스크린 프린팅으로 증착한 다음, 전극 소결 후 분극처리를 하여 압전 특성을 부가하였다.

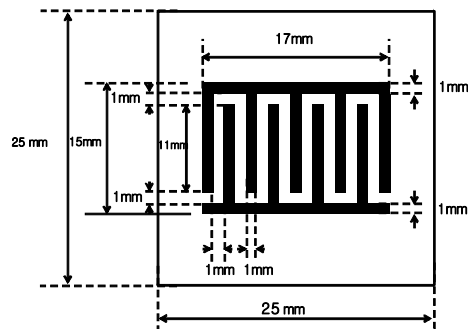


그림 1. 사각형 IDT 패턴
Fig. 1. Pattern of the rectangular IDT.

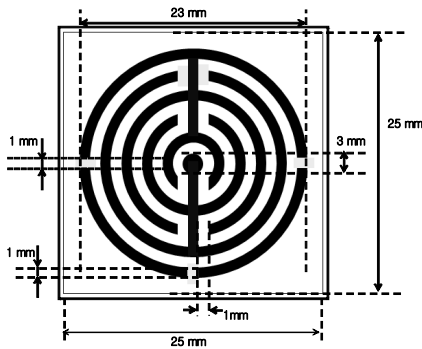


그림 2. 환상형 IDT 패턴
Fig. 2. Pattern of the annular IDT.

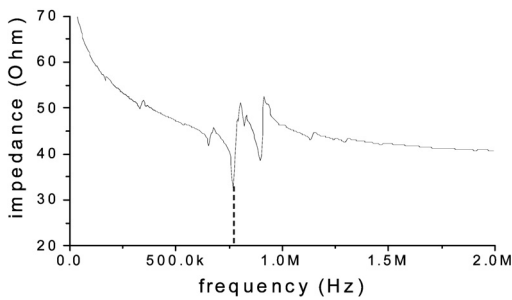


그림 3. 사각형 IDT형 센서의 임피던스 스펙트럼
Fig. 3. Impedance spectrum of the rectangular IDT type sensor.

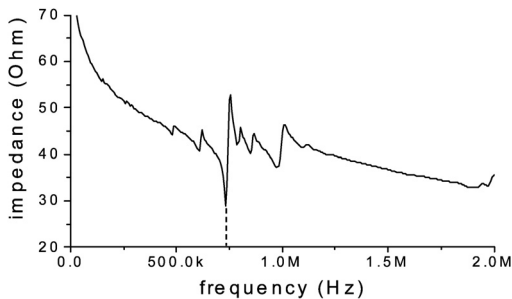


그림 4. 환상형 IDT형 센서의 임피던스 스펙트럼
Fig. 4. Impedance spectrum of the annular IDT type sensor.

제작된 각각의 IDT형 센서를 임피던스 분석기 (HP4194A)로 측정된 결과는 그림 3, 4에 나타내었으며, 설계된 대로 750 kHz에서 공진 특성을 보이고 있다. 그림에서 설계된 공진 모드 주변의 작은 모드들은 원형 PZT 소자의 경방향 진동 모드와 IDT 증착 과정에서 전극의 불균일성에 기인한 규격 오차에 의한 것으로 추정된다.

III. 실험 과정

본 연구에서 제안하는 IDT형 센서에 의한 판상의 균열 검출 장치의 구조는 그림 5와 같다. 길이 50 cm, 폭 20 cm,

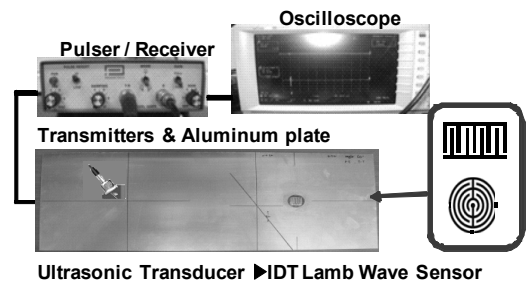


그림 5. 실험 장치 구성도
Fig. 5. Configuration of the experimentation setup.

두께 1 mm 인 알루미늄 판에 송신자로는 웨지가 부착된 벌크 초음파 트랜스듀서를 사용하고, 수신자로는 그림에 보인 바와 같이 사각형 및 환상형 IDT형 센서를 사용하였다. 실험의 목적은 두 가지 종류의 IDT형 센서를 사용하여 Lamb 파에 미치는 판상의 균열의 길이, 개수 및 각도의 영향을 측정하는 것이다.

사각형 IDT형 센서의 경우 기본적으로 그 구조상 finger에 수직된 방향으로 오는 파만 감지를 하므로, 벌크 초음파 트랜스듀서로부터 발신된 Lamb 파 중 IDT의 finger 폭에 해당하는 수신 빔폭 내에 드는 직선 경로를 전파한 성분만 감지가 되고, 따라서 이 직선 경로 상에 균열이 존재할 경우에만 수신 신호에 그 영향이 나타나게 된다. 반면에 환상형 IDT형 센서의 경우에는 특정한 지향성이 없으므로, 벌크 초음파 트랜스듀서에 의해 발신된 Lamb 파가 IDT 센서로 직진하지 않고 임의의 경로를 따라 전파하더라도 모두 환상형 IDT 의해 감지가 된다. 즉, 송신자와 수신자 사이의 알루미늄 판 전체에 걸쳐 발생된 균열에 반응을 할 것이다.

그림 6은 IDT형 센서에 의해 균열의 길이를 판별하기 위한 실험 시나리오이다. 균열은 수신자 센서의 중심에서 5 cm, 10 cm 이격된 지점에 위치하고, 각 위치에서 판의 폭 방향으로 균열의 길이를 1 cm씩 변화시키면서 균열의 길이에 따른 Lamb 파의 변화를 측정하였다. 그림 7은 균열의 개수를 판별하기 위한 실험 방안으로서, 수신자에서 5 cm 떨어진 위치에서 균열 개수를 1 cm 간격으로 1, 2 그리고 3개로 늘렸을 때 균열의 개수에 따른 Lamb 파의 변화를 측정하였다. 그림 8은 균열의 각도를 판별하기 위한 실험 방안으로서, 수신자에서 5 cm 떨어진 위치에서 균열의 각도를 60°, 70°, 80° 그리고 90°로 변화시키면서 그에 따른 Lamb 파의 변화를 측정하였다. 위의 3가지 실험에서 송신자와 수신자 중심까지의 거리는 24.5 cm이다. 균열은 폭이 1 mm인 쇠틀을 사용하여 생성시켰다. 실험에서는 송신자인 초음파 트랜스듀서와 IDT

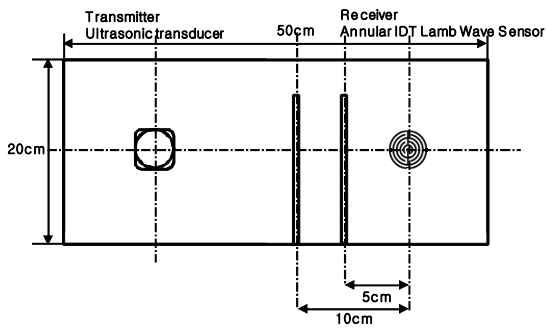


그림 6. 균열 길이 측정 실험 개념도
Fig. 6. Measurement scheme of crack length.

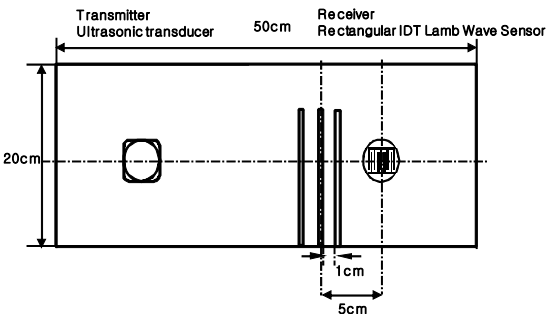


그림 7. 균열 개수 측정 실험 개념도
Fig. 7. Measurement scheme of the number of cracks.

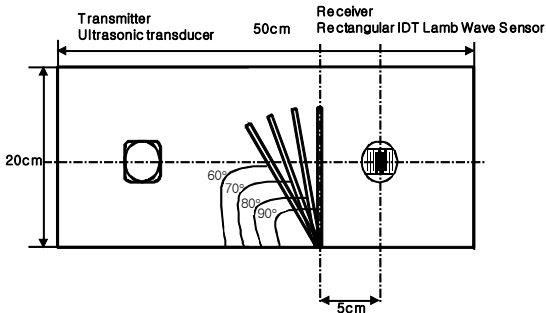


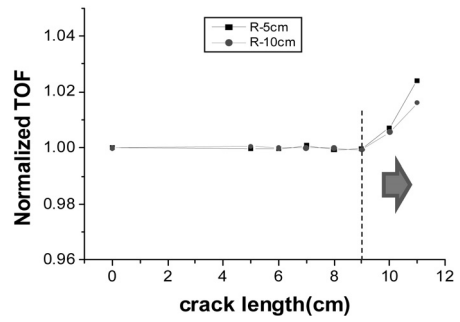
그림 8. 균열 각도 측정 실험 개념도
Fig. 8. Measurement scheme of crack angle.

형 센서간의 through-transmission TOF (time of flight) 와 진폭 변화를 측정하였다. 초기 알루미늄 판에 대한 측정치에 비해서 측정된 Lamb 파 신호에 변화가 나타난다면 전파경로 상에 균열이 존재함을 나타내므로, 그에 따라 알루미늄 판상에서 균열의 길이, 개수 및 각도를 판단 할 수 있다.

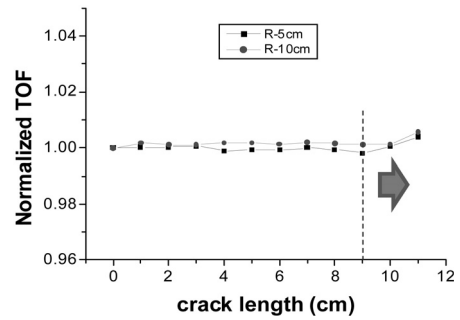
IV. 실험 결과

4.1. 균열 길이에 따른 신호

균열의 길이에 따른 손상 시나리오는 그림 6과 같고, 균열의 길이가 증가됨에 따라 측정된 결과를 그림 9에



(a)



(b)

그림 9. 균열 길이에 따른 TOF 변화: (a) 환상형 IDT형 센서, (b) 사각형 IDT형 센서

Fig. 9. Variation of TOF in accordance with crack length: (a) annular IDT type sensor, (b) rectangular IDT type sensor.

정리하였다. 그림에서 R-5 cm는 균열이 수신자 센서 중심에서 5 cm 떨어진 지점에 위치하는 경우이며, R-10 cm는 균열이 수신자 센서 중심에서 10 cm 떨어진 지점에 위치하는 경우이다. 먼저 균열의 길이에 따른 환상형 IDT형 센서에 의한 TOF를 보면 균열의 길이가 알루미늄 판의 중심선인 10 cm 지점을 넘기 전에는 큰 변화가 없고, 균열의 길이가 중심선을 넘은 후에는 계속적으로 TOF가 증가되는 현상을 보인다. 반면에 사각형 IDT형 센서에 의한 TOF는 균열의 길이가 IDT형 센서 빔폭 내에 들기 전인 9 cm 이내일 때에는 거의 일정한 한 값을 보이고, 균열의 길이가 IDT형 센서 빔폭 내에 드는 10 cm - 11 cm에서는 TOF가 증가하며, 빔폭을 완전히 지나는 균열의 길이에 대해서는 신호가 나타나지 않았다. 그 이유는 사각형 IDT형 센서는 중심선을 따라서만 높은 지향성이 있으므로, 균열이 중심선을 넘어 송신자로부터 직진하는 Lamb 파를 가로막아서 파의 전파 방향이 중심선에서 벗어나는 경우에는 감지를 못하게 되기 때문이다. 반면에 환상형 IDT형 센서는 무지향성 특성으로 균열에 의해 파의 전파 방향이 굴절되더라도 감지를 해낼 수 있다 [5]. 균열의 길이가 판의 중심선에 도달한 경우에 환상형 IDT형 센서는 길이에 따라 측정된 TOF에 확연한 차이를 보

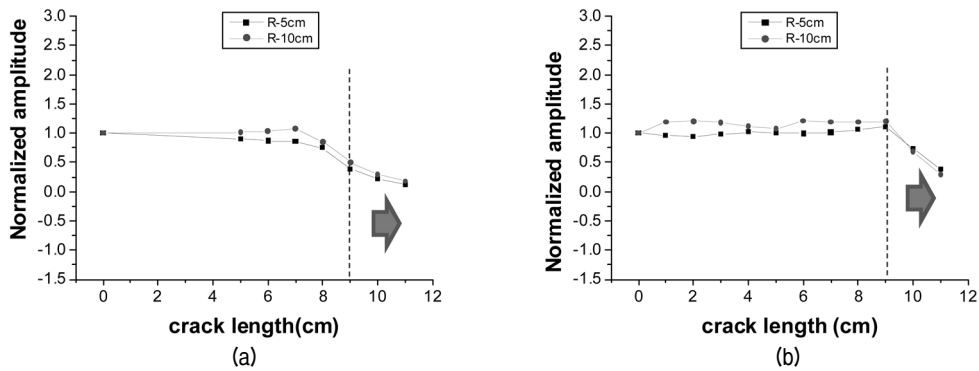


그림 10. 균열의 길이에 따른 진폭 변화: (a) 환상형 IDT형 센서, (b) 사각형 IDT형 센서
 Fig. 10. Variation of amplitude in accordance with crack lengths: (a) annular IDT type sensor, (b) rectangular IDT type sensor.

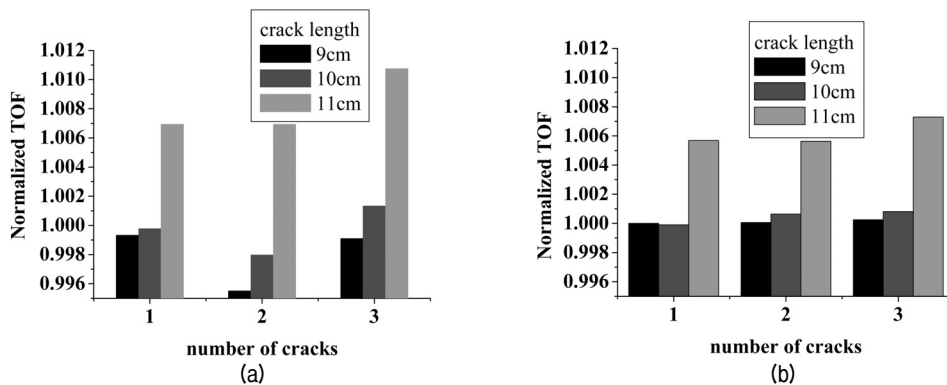


그림 11. 균열 개수에 따른 TOF 변화: (a) 환상형 IDT형 센서, (b) 사각형 IDT형 센서
 Fig. 11. Variation of TOF in accordance with the number of cracks: (a) annular IDT type sensor, (b) rectangular IDT type sensor.

이나, 사각형 IDT형 센서는 상대적으로 그 차이가 작게 나타났다. 이러한 결과는 사각형 IDT형 센서가 판의 중심선을 따라 가지는 높은 지향성으로 인해 중심선 상의 균열의 유무는 민감하게 감지할 수 있으나, 빔 폭을 넘는 길이의 균열 진단에는 한계가 있음을 보여준다.

균열의 길이에 따른 Lamb 파의 진폭 변화 측정 결과인 그림 10에 따르면, 환상형 IDT형 센서에 의해 측정된 신호의 진폭은 균열이 중심선을 넘기 전에도 판의 가장자리에서 반사되는 파에 의해 어느 정도 영향을 받다가, 균열이 중심선을 넘은 후에는 진폭이 지속적으로 감소하는 경향을 보인다. 반면에 사각형 IDT형 센서에 의해 측정된 신호의 진폭은 균열의 길이가 센서의 빔폭 내에 들기 전인 9 cm 이내에서는 뚜렷한 변화를 보이지 않다가, 균열이 빔폭 내에 드는 10 cm - 11 cm 에서는 급격히 감소하다가, 빔폭을 완전히 지나는 균열의 길이에 대해서는 신호가 나타나지 않았다. 이 역시 사각형 IDT형 센서의 높은 지향성으로 인해 빔폭을 벗어나는 균열에 대해서는 반응을 하지 않기 때문이다. 그리고 빔폭 내에 드는 길이의 균열에 대해서는 사각형 IDT형 센서에 의한 신호가 환상

형 IDT형 센서에 의해 측정된 것보다 진폭 변화가 더 크게 나타났다. 이상의 결과로부터, 사각형 IDT형 센서는 빔폭 내에 드는 전파 경로 상에 존재하는 균열에 대해서만 선택적으로 환상형 IDT형 센서에 비해 높은 감도를 가지며 진단한다고 할 수 있다.

4.2. 균열 개수에 따른 신호

환상형 IDT형 센서와 사각형 IDT형 센서에 의한 균열의 개수 진단 시나리오는 그림 7과 같다. 먼저 수신자 센서 중심에서 5 cm 이격된 지점에서 첫 번째 균열을 생성하고, 다음으로는 첫 번째 균열의 좌우로 1 cm 떨어진 지점에 균열을 추가로 한 개씩 순차적으로 생성하였다. 그림 11에서 균열의 개수에 따라 환상형 IDT형 센서에 의해 측정된 through - transmission 신호의 TOF 변화를 보면 전체적으로는 균열의 개수가 늘어남에 따라 수신된 신호의 TOF가 증가하는 경향을 보인다. 따라서 이 결과에 의해 환상형 IDT형 센서를 이용하면 균열의 개수를 진단할 수 있다고 할 수 있다. 단, 환상형 IDT형 센서의 경우 무지향성 특성이 있기 때문에 판의 가장자리에서

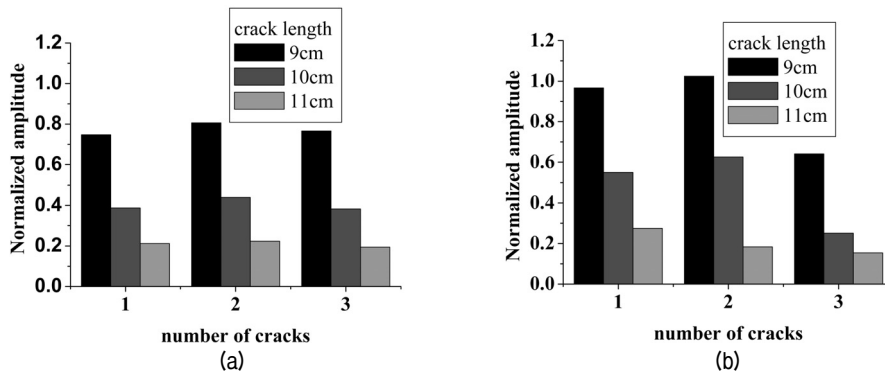


그림 12. 균열 개수에 따른 진폭 변화: (a) 환상형 IDT형 센서, (b) 사각형 IDT형 센서
 Fig. 12. Variation of amplitude in accordance with the number of cracks: (a) annular IDT type sensor, (b) rectangular IDT type sensor.

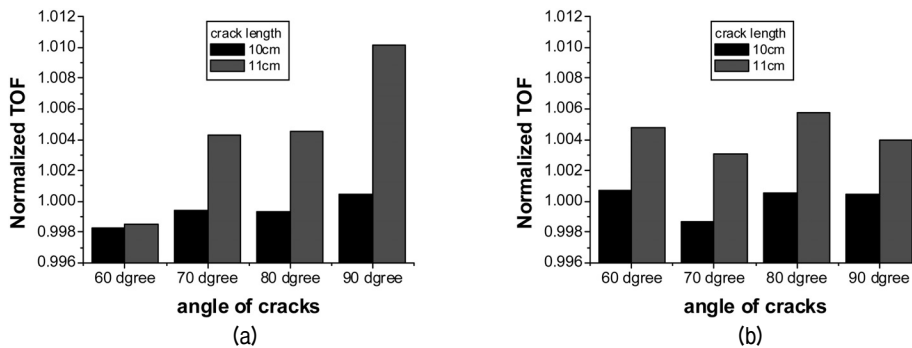


그림 13. 균열 각도에 따른 TOF 변화: (a) 환상형 IDT형 센서, (b) 사각형 IDT형 센서
 Fig. 13. Variation of TOF in accordance with crack angles: (a) annular IDT type sensor, (b) rectangular IDT type sensor.

반사되어 수신되는 신호의 영향으로 측정에 실험 오차가 상대적으로 큰 편이었는데, 이러한 어려움은 본 저자들의 선행 연구에서도 확인되었던 현상이며, 동시에 본 연구에서 지향성을 조절할 수 있는 IDT형 센서를 개발하게 된 동기이기도 하다 [5]. 사각형 IDT형 센서에 의해 측정된 신호의 TOF는 환상형 IDT형 센서와 비슷하게 균열의 개수에 따라 증가하는 것으로 나타났다. 하지만 사각형 IDT형 센서는 높은 지향성으로 인해 환상형 IDT형 센서에 비해 주변에서 들어오는 반사파의 영향을 훨씬 덜 받음으로 인해 측정 신호가 더 깨끗하고 안정된 결과를 보였다.

그림 12에서는 균열 개수에 따라 수신된 신호의 진폭을 나타내었다. 먼저 환상형 IDT형 센서의 전체적인 through-transmission 신호의 진폭은 균열의 개수가 늘어남에 따라 거의 일정한 경향을 보인다. 이는 환상형 IDT형 센서의 무지향적 특성으로 인하여 균열의 개수와는 크게 상관없이 첫 번째 균열의 틈에 의해 반사되는 신호가 수신되기 때문이다. 반면에 사각형 IDT형 센서의 경우 균열의 개수가 늘어날수록 전반적으로 수신된 신호의 진폭이

감소하는 경향을 나타낸다. 이는 Lamb 파가 센서의 빔폭 내에 들더라도 균열의 개수가 증가함에 따라 좀 더 많은 산란을 일으키기 때문인 것으로 판단된다.

이상으로 환상형과 사각형 IDT형 센서 둘 다 균열의 개수에 따라 TOF는 증가하고, 진폭은 감소하는 경향을 나타내었다.

4.3. 균열 각도에 따른 신호

균열의 각도에 따른 환상형 및 사각형 IDT형 센서의 손상 시나리오는 그림 8과 같다. 수신자 센서중심으로부터 5 cm 떨어진 지점에서 기울어진 각도가 각각 60°, 70°, 80°, 90°인 균열들을 생성하고, 그에 따른 Lamb 파의 TOF와 진폭을 측정하였다. 그림 13에서 균열의 각도에 따른 환상형 IDT형 센서에 의해 측정된 신호의 TOF 변화를 보면, 각도가 60°에서 90°로 커짐에 따라 균열 틈의 위치가 변화하게 되고, 이 변화된 균열 틈에서 회절되는 신호들이 수신되어 결과적으로 각도가 커질수록 TOF는 점차 증가하는 경향을 나타내었다. 반면 사각형 IDT형 센서에 의해 측정된 신호의 TOF는 균열의 각도에 따라 뚜렷한

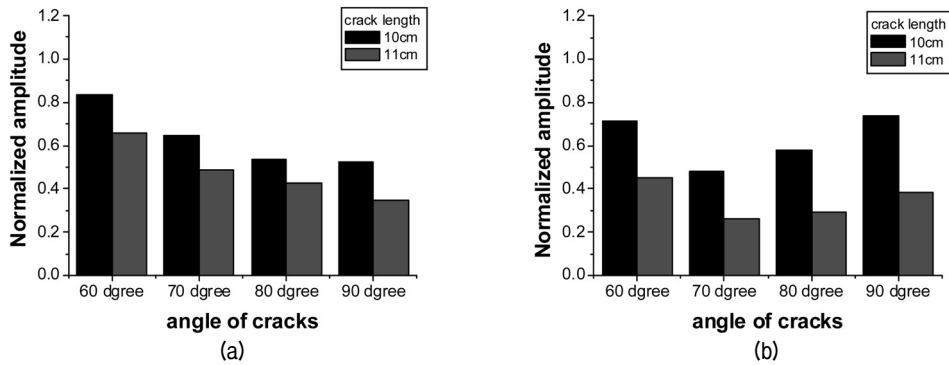


그림 14. 균열 각도에 따른 진폭 변화: (a) 환상형 IDT형 센서 (b) 사각형 IDT형 센서
 Fig. 14. Variation of amplitude in accordance with crack angles: (a) annular IDT type sensor, (b) rectangular IDT type sensor.

변화 경향을 보이지 않는 것으로 나타났다. 수신자인 사각형 IDT형 센서는 높은 지향성으로 인해 팁에 의해 판의 가장자리 쪽으로 회절된 파의 영향은 거의 받지 않고 단지 센서로 직진하는 성분만 감지하므로, 균열의 기울어진 각도에 따라 균열 팁의 위치가 변하더라도 팁이 빔폭 내에 존재하는 한 수신된 직진파의 TOF는 거의 일정한 것으로 나타났다.

그림 14에서는 균열의 각도 변화에 따른 진폭의 변화를 나타내고 있다. 먼저 환상형 IDT형 센서의 경우, 균열의 각도가 점차 커짐에 따라 진폭이 감소하는 경향을 나타내었다. 각도에 따라 위치가 변하는 균열 팁에 의해 Lamb 파가 회절되는 정도가 달라지고, 이에 따라 센서에 의해 받아들인 신호의 진폭 또한 변하는 것으로 나타났다. 반면 사각형 IDT형 센서에 의해 측정된 신호의 진폭은 균열의 각도에 따라 일관된 변화 경향을 나타내지 않고 있다. 이는 위의 TOF 측정 때와 마찬가지로 사각형 IDT형 센서는 단지 센서로 직진하는 파만 감지하므로, 균열의 기울어진 각도에 따라 균열 팁의 위치가 변하더라도 팁이 빔폭 내에 존재하는 한 수신된 직진파의 특성에 별다른 영향을 미치지 않기 때문인 것으로 판단된다. 이상의 결과로부터 균열이 기울어진 각도를 진단하는 데에는 사각형 IDT형 센서보다 무지향성을 가지는 환상형 IDT형 센서가 더 유리하다고 할 수 있다.

V. 결론

본 연구에서는 기존에 Lamb 파를 이용한 초음파 진단 센서로 널리 사용되고 있는 PZT 패치센서가 가지는 한 번 제작되고 나면 중심 주파수나 빔 패턴 등의 특성을 변화시키기가 어렵다는 문제를 해결하기 위한 방안으로 IDT형 센서를 제안하고, 구체적으로 환상형과 사각형 두

가지 IDT형 센서들에 대해 판상 균열 형상의 진단 가능성을 분석하였다. 실험 결과로부터 환상형 IDT형 센서는 무지향성 특성을 가짐으로 인해 전체적으로 선행 연구에서 채택했던 패치형 PZT 센서와 유사한 특성을 보이는 것으로 확인되었고 [5], 사각형 IDT형 센서는 높은 지향성을 가짐으로 인해 IDT finger 폭에 해당하는 빔폭 내에 존재하는 균열에 대해서는 길이와 개수를 측정하는 데에 환상형 IDT형 센서보다 더 유리한 것으로 나타났다.

결론적으로 본 연구에서 평가한 두 가지 IDT형 센서 중 환상형 IDT형 센서는 기존의 패치형 PZT 센서와 유사하게 송신자와 수신자 사이의 알루미늄 판 전체에 걸쳐 발생된 균열에 대해 진단하는 용도로 사용하기에 적합하고, 특히 균열이 기울어진 각도를 진단하기에 좋은 특성을 나타내었다. 반면에 사각형 IDT형 센서는 빔폭과 부착 위치를 조절함으로써 판상에 결함 발생이 의심되는 부위 혹은 취약 방향에 대한 균열의 길이와 개수 등을 고감도도 진단하는 용도로 유용하게 사용될 수 있을 것으로 기대된다. 그리고, 두 가지 IDT형 센서는 모두 주어진 압전 소자에 대해서 finger의 개수와 폭, 그리고 finger간의 간격 등을 변화시킴으로써 발생하는 파형 및 주파수를 쉽게 조절할 수 있고, 나아가 IDT의 형상을 조절함으로써 신호 수신 지향성을 설정하기가 용이하다는 장점을 가짐으로 인해 기존 패치형 PZT 센서의 단점을 보완할 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 Smart Infra-Structure Technology Center (SISTeC)과 한국과학재단 (KOSEF)의 지원을 받아 수행하였습니다.

참고 문헌

1. D. C. Worlton, "Experimental confirmation of Lamb Waves at megacycle frequency," *Journal of Applied Physics*, vol. 32, pp. 967-971, 1961.
2. J. S. Popovics, "Recent developments in NDT and SHM in United State," *Non-Destructive Testing in Civil Engineering Nantes*, 2009.
3. A. Lh mery, "Impulse-response method to predict echo responses from defects in solids. Part I. Theory," *Journal of the Acoustical Society of America*, vol. 98, pp. 2197-2208, 1995.
4. Z. Su, L. Ye and Y. Lu, "Guided Lamb waves for identification of damage in composite structures: A review," *Journal of Sound and Vibration*, vol. 295, pp. 753-780, 2006.
5. 김병수, 권혁상, 김진욱, 노용래, "압전센서를 이용한 구조물 국부/광역 손상 진단 시스템," *한국음향학회지*, 28권, 4호, 308-317쪽, 2009.
6. D. Supriyo, *Surface Acoustic Wave Devices*, Prentice-Hall, 1986.
7. R. S. Muller, R. T. Howe, S. D. Senturia, R. L. Smith, and R. M. White, *Microsensors*, IEEE Press, New York, 1991.
8. O. Tigli, M. E. Zaghoul and Fello, "Design, Modeling, and Characterization of a Novel Circular Surface Acoustic Wave Device," *IEEE Sensors Journal*, vol. 8, 2008.
9. M. Veidt, T. Liu and S. Kitipornchai, "Modeling of Lamb waves in composite laminated plates excited by interdigital transducers," *NDT&E international*, vol. 35, pp. 437-447, 2002.
10. J. L. Rose, S. P. Pelts and M. J. Quarry, "A comb transducer model for guided wave NDE," *Ultrasonics*, vol. 36, pp. 163-169, 1998.
11. E. Hong, S. V. Krishnaswamy, C. B. Freidhoff and S. Trolier-McKinstry, "Micromachined piezoelectric diaphragms actuated by ring shaped interdigitated transducer electrodes," *Sensors and Actuators*, pp. 520-526, 2005.

저자 약력

• 김 준 호 (Junho Kim)



2009년 2월: 안동대학교 기계공학과 졸업 (공학사)
2009년 3월 ~ 현재: 경북대학교 기계공학과 석사
과정

• 노 용 래 (Yongrae Roh)

한국음향학회지 제26권 제2호 참조