

Ultrasonic Immersed Reflector Plate Method를 이용한 박판형 CFRP 소재의 결함탐지능에 관한 연구

이재옥 이세경

한국표준연구소

1986년 9월 5일 접수

Study on the Defect Detectability in Carbon Fiber Reinforced Plastic Sheet by the Ultrasonic Immersed Reflector Plate Method.

Jae Ok Lee Se Kyung Lee

ABSTRACT

The optimum ultrasonic test conditions for the thin carbon fiber reinforced plastic (CFRP) sheet were determined for the immersed reflector plate method. The effects of the water distance, the surface conditions of the specimen and transducer characteristics were studied.

For a reliable test the water distance between the transducer and the front surface of the specimen should be determined when the beam profile of the transducer appears in the bell-shape. The detectability of the defect was improved as the effective beam width of the ultrasonic transducer became narrow. The transducer should be properly chosen considering to the surface condition of the test material as well as the size and type of the defect to be detected. It was possible to detect the flat bottom hole whose diameter is as small as about 500 micrometer.

1. 서론

FRP 소재는 높은 강도, 경량 및 내식성 등의 장점을 지니고 있어 점차 사용이 증가하고 있다. 이들 소재는 고도의 발전이 요구되는 항공기, 석유화학 plant 의 저장용기 등과 같이 부하환경에서 많이 사용되고 있어 소재의 제조공정에서나 사용과정에서 엄격한 품질 및 안전관리가 필요하다. FRP 소

재의 제조 및 사용과정에서 발생하는 가장 유해한 결함은 delamination 이다. 부하환경에서 사용되는 구조물의 경우 임계 크기의 delamination 결함의 발생은 구조물 자체가 파손된 것으로 취급된다. 그러므로 제조 및 사용과정에서 임계 크기보다 작은 delamination 결함은 탐지되어야 하고 나아가 delamination 결함을 발생시킬 수 있는 미소 결함 까지도 탐지 되어야 한다.

FRP소재의 결함탐지를 위한 비파괴검사 방법은 다양하나 delamination 탐지에 가장 적합한 검사방법은 초음파검사방법이다.¹⁾ 초음파검사방법 적용시 일반적으로 재질, 두께, 구조 및 형상등과 같은 소재의 특징과 탐지대상이 되는 결함의 특징에 따라 탐상방법은 선정된다.

판재형 FRP소재의 경우, 연구보고된 탐상방법으로는 pulse echo method,²⁾ Buffer를 이용한 pulse echo method,³⁾ Buffer를 이용한 Through Transmission method⁴⁾ 및 Reflector를 이용한 Immersed Reflector Plate method⁵⁾ 등이 있으나 이들 방법은 주로 대상체의 재질 및 구조특성에 따른 결함의 발생 및 성장과정을 조사하기 위하여 결함의 상대적인 크기만을 비교측정하기 위한 목적으로 이용된 것이다.

본 연구에서는 0.9mm두께의 박판형 CFRP소재의 초음파 탐상방법으로 Immersed Reflector Plate method(IRP)를 적용하여 탐상조건에 따른 탐상결과 분석을 통하여 결함 탐지능 향상을 위한 최적의 탐상조건을 설정하고 탐지 가능한 최소결함의 절대 크기를 조사하였다. Immersed Reflector Plate method는 double transmission technique의 사용으로 미소결함까지 탐지 가능하며 대상체가 박판인 경우에도 표면 및 표면하의 결함탐지가 가능한 장점을 가지고 있다.

2. 實 驗

본 실험에 사용된 시편은 두께의 박판형 CFRP소재로써 구조는 $[0^\circ/\pm 45^\circ/90^\circ]$ S로 되어 있다. 이 시편에는 delamination 결함과 유사한 결함을 제작하기 위하여 드

릴링가공으로 원형평면결함을 만들고 시편이 수침될시 물이 원형평면결함면에 닿지 않도록 하기 위해 hole을 메웠다. 가공된 결함의 형태 및 크기는 Fig.1에 나타난 바와 같다.

본 실험에서 사용된 탐상장치는 수침용 초음파 탐상주사장치로서 장치의 개략도는 Fig. 2와 같다. 이 장치는 C-scan과 analog scan의 결함도시방식이 가능하도록 구성되어 있으며 초음파 빔의 집속형 탐촉자 사용이 가능하다. 본 실험에 사용된 탐촉자는 주파수 및 초점거리가 각각 5 MHz에 55 mm, 10 MHz에 55 mm와 10 MHz에 80 mm인 수침용 집속 초음파 탐촉자이다.

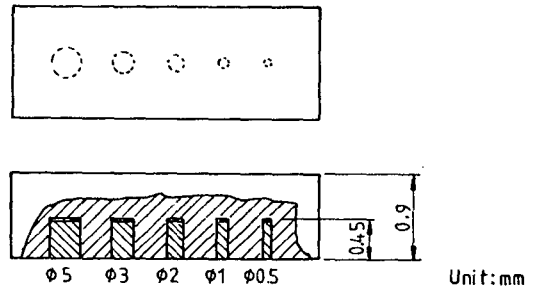


Fig. 1. Shape and dimensions of artificial defects in the CFRP specimen.

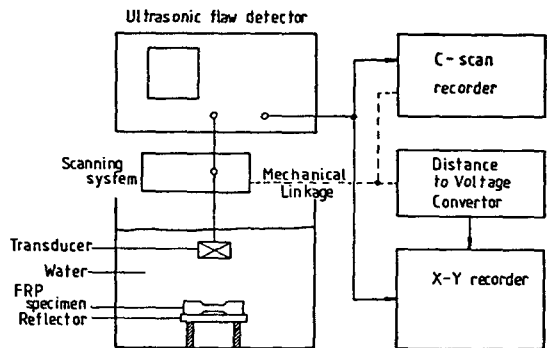
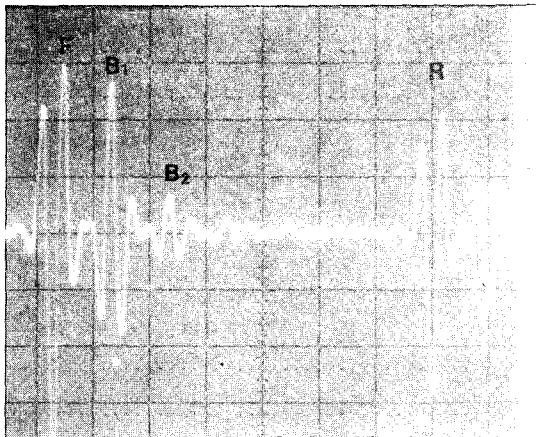


Fig. 2. Schematic diagram of the ultrasonic flaw detecting system.

0.9 mm 두께의 박판형 CFRP시편의 결함 탐지를 위해 사용된 탐상방법은 IRP method이다. 이 방법은 시편에서 반사되는 신호를 관찰하는 일반적인 pulse echo method와는 달리 시편을 통과한 초음파가 Fig.2의 reflector와 같은 반사체의 윗면에서 반사되어 되돌아온 초음파 신호를 관찰하여 결함을 탐지하는 방식이다. 본 실험에서 사용된 반사체는 물과의 음향임피던스의 차이가 크고 표면의 조도 및 편평도가 좋은 glass plate이다. Fig.3은 IRP method로 5 MHz, 55 mm focus 수침용 집속 탐촉자를 사용하여 CFRP시편과 glass reflector plate에서 반사되어 수신된 반사 신호를 RF display 방식으로 나타낸 것이다. 여기서 신호 R은 glass plate의 윗면 반사 신호로써 c-scan 및 analog scan 방식으로 결과 도출할때 gated signal로 사용된다.



F : Reflection signal from the top surface of the specimen
 B₁ : First reflection signal from the bottom surface of the specimen
 B₂ : Second reflection signal from the bottom surface of the specimen
 R : Reflection signal from the top surface of the reflector

Fig. 3. Typical RF signals for a 8 ply CFRP specimen.

즉 결함의 존재여부를 나타내 주는 대상 신호이다. c-scan으로 결함을 도출하기 위한 방법으로는 시편 내외부에 결함이 존재하지 않는 부위에서 R신호 크기를 측정하고 R신호크기의 일정 dB drop된 신호크기를 threshold level로 설정한 다음 이 threshold level보다 작은 크기의 신호만 도출되는 negative mode방법이 사용되었다.

3. 實驗結果 및 考察

1) 탐촉자와 시편과의 Water distance 설정
 IRP method로 CFRP시편의 결함탐상을 수행하기 전에 결정하여야 할 중요한 검사 조건중의 하나는 탐촉자와 시편간의 water distance이다. Fig.4는 0.7 mm 원형봉의 원주면을 반사면으로하여 water distance변화에 따른 신호의 크기를 도출한, 주파수 10 MHz, 55 mm f.인 수침용 집속 초음파 탐

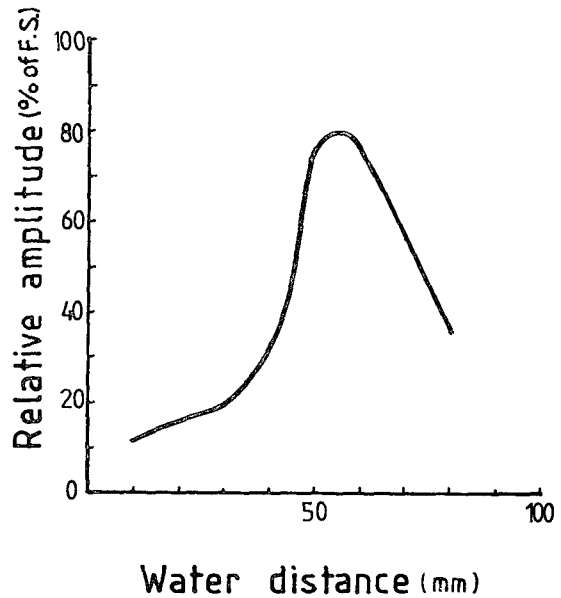


Fig. 4. Distance amplitude curve of 10MHz, 55mm f. transducer.

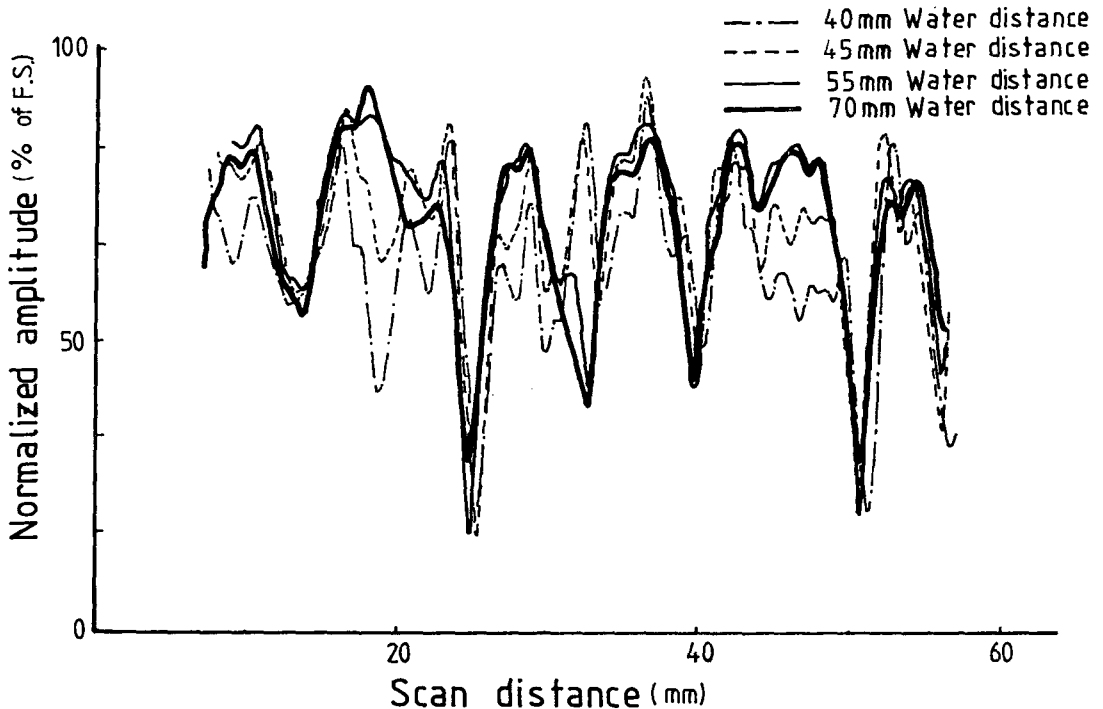


Fig. 5. Analog scan results of CFRP specimen for different water distance using 10MHz, 55mm f. transducer.

촉자의 거리 진폭 곡선이다. 이 결과로부터 탐촉자의 초점거리는 55mm임을 알 수 있으며 또한 water distance 55mm지점을 기준으로 근거리 음장과 원거리 음장으로 구분됨을 알 수 있다.

Fig.5는 근거리 음장영역의 40mm와 45mm, 초점거리인 55mm와 원거리 음장영역의 70mm의 water distance에서 IRP method로 시편을 주사탐상 하였을때 glass plate의 전면 반사신호를 analog scan으로 도시한 것이다. Fig.5에서 scan distance에 따른 신호크기를 55mm water distance를 기준으로 하여 40mm, 45mm, 70mm의 각 water distance 시와 비교해 보면 70mm의 경우는 55mm와 거의 같은 크기 및 양상을 나타내고 40mm와 45mm의 경우는 55mm와 다른 크기 양상을 나타냄을 알 수 있다.

이와 같은 현상을 조사하기 위하여 직경이 0.7mm인 원형봉의 원주면을 반사면으로 하여 water distance의 특정거리에서 10MHz, 55mm f. 탐촉자의 transverse beam profile을 조사하였다. 그 결과는 Fig.6에 나타나 있다. 이 결과로부터 초점거리와 원거리 음장영역에서의 beam profile은 빔 음압중심축을 기준으로 할때 좌우 대칭성을 가지며 peak가 하나인 반면 근거리 음장영역의 45mm 이하 water distance에서의 beam profile은 peak부에서 좌우 대칭성이 없으며 peak 또한 두개 이상임을 알 수 있다.

Fig. 5,6의 결과를 고찰해 보면 얇은 판재형 CFRP소재의 탐상방법으로 IRP method가 적용될때 water distance 변화에 따른 탐상결과는 각 water distance에서의 탐

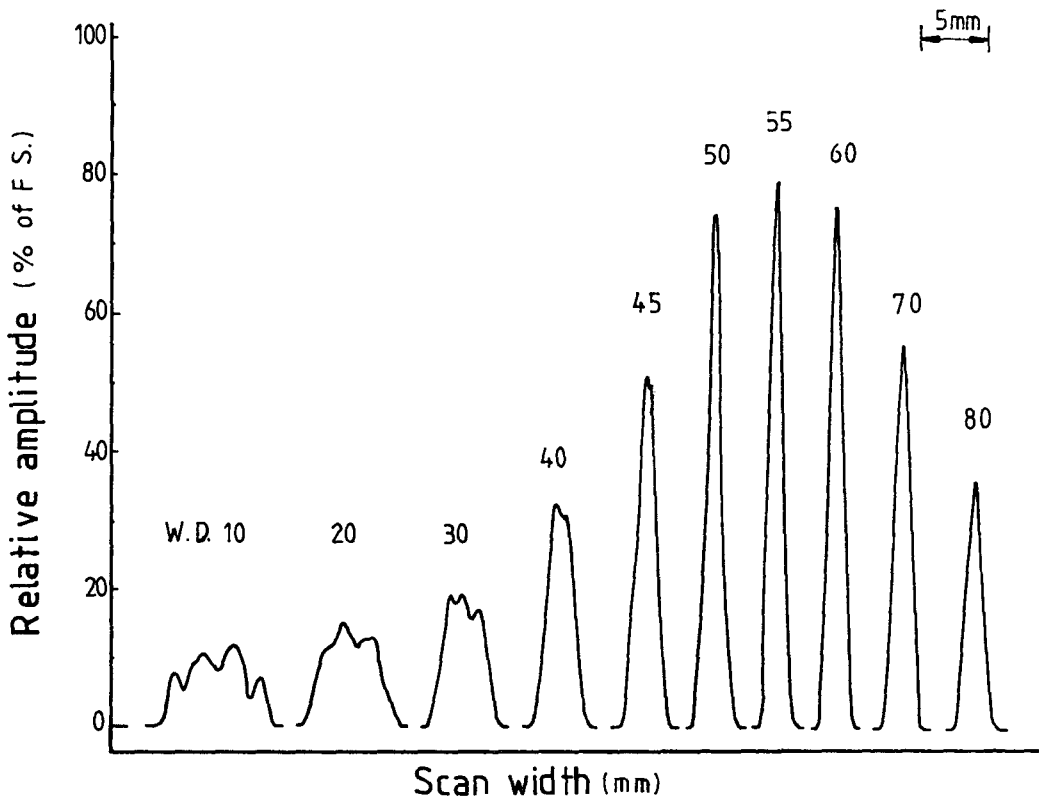


Fig. 6. Transverse beam profiles of a 10MHz, 55mm f. transducer for different water distance.

촉자의 beam profile의 모양 및 음압분포에 직접적으로 기인됨을 알 수 있다. 따라서 검사시의 water distance는 profile의 peak가 하나이고 beam profile상에서 빔의 음압이 좌우 대칭이 되는 water distance로 결정하여야 할 것이다.

2) 시편의 표면거칠기 및 편평도의 영향

CFRP시편의 초음파 c-scan 탐상시 gated signal의 threshold level 결정을 위하여 시편의 표면거칠기 및 편평도의 영향이 조사되어야 한다. Fig. 7,8은 시편을 길이 방향의 한 직선상으로 탐촉자를 주사시키면서 CFRP시편의 전면과 glass plate의 전면반사 신호를 analog scan으로 도시한 것이다. Fig.7과 Fig.8은 각각 주파수 5MHz,

촉점거리 55mm인 탐촉자와 주파수 10MHz, 촉점거리 80mm인 탐촉자를 사용하여 각각의 촉점거리 55mm와 80mm에서 analog scan 결과이다. Fig.7,8에서 나타난 바와 같이 10MHz 탐촉자의 경우는 5MHz 탐촉자보다 시편의 표면상태에 의해 CFRP시편의 전면 반사신호 뿐만 아니라 시편 내부 상태에 따른 glass plate의 전면 반사신호의 크기 또한 변화폭이 상당히 심함을 알 수 있다. 이와 같은 현상은 탐촉자의 주파수가 높아질수록 표면의 상태에 따른 반사지향성이 민감하게 작용되고 CFRP시편의 내부상태 또한 금속소재와는 달리 균질성이 좋지 않아 주파수에 크게 의존되기 때문으로 사

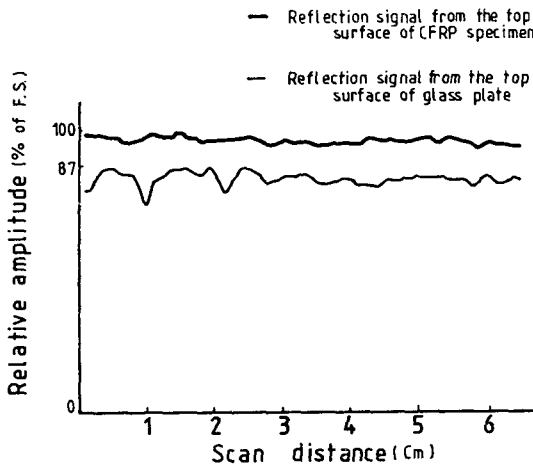


Fig. 7. Analog scan results for the top surfaces of CFRP specimen and the glass plate using a 5MHz, 55mm f. transducer.

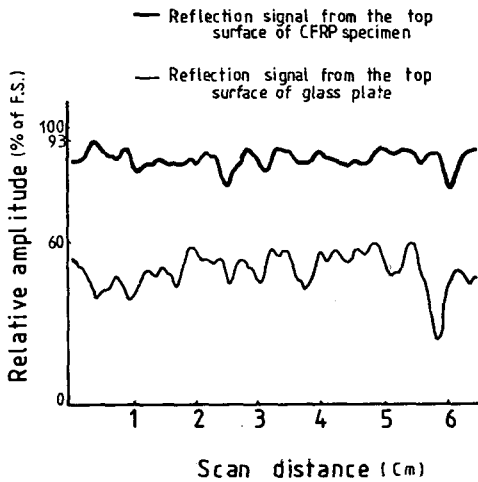


Fig. 8. Analog scan results for the top surfaces of CFRP specimen and the glass plate using a 10MHz, 80mm f. transducer.

3) 탐촉자 특성 및 threshold level 에 따른 결함 탐지능

박판형 CFRP 시편에서 IRP method 에 의한 탐상 시험시 선정조건인 탐촉자의 특성, 즉 주파수와 초점거리 및 c-scan 을 위한 threshold level 에 따른 결함의 탐지능 및 평면 분해능을 조사하였다. CFRP 시편에 가

공된 원형 평면 결함을 대상으로 탐촉자의 특성 및 threshold level 에 따른 c-scan 결과는 Fig.9,10,11 에 나타나 있다. Fig. 9 는 주파수 5 MHz , 초점거리 55 mm인 탐촉자, Fig.10 은 주파수 10 MHz , 초점거리 55 mm인 탐촉자, Fig.11 은 주파수 10MHz, 초점거리 80 mm인 탐촉자를 사용한 c-scan 결과로써 이때 water distance 는 각 탐촉자의 초점거리로하여 결함이 없는 건전부위에서 gated signal 의 크기를 80 %로 할때 각 threshold level 에서 c-scan 한 결과이다. 이들결과에서 나타난 바와 같이 threshold level 이 높아짐에 따라 결함의 c-scan

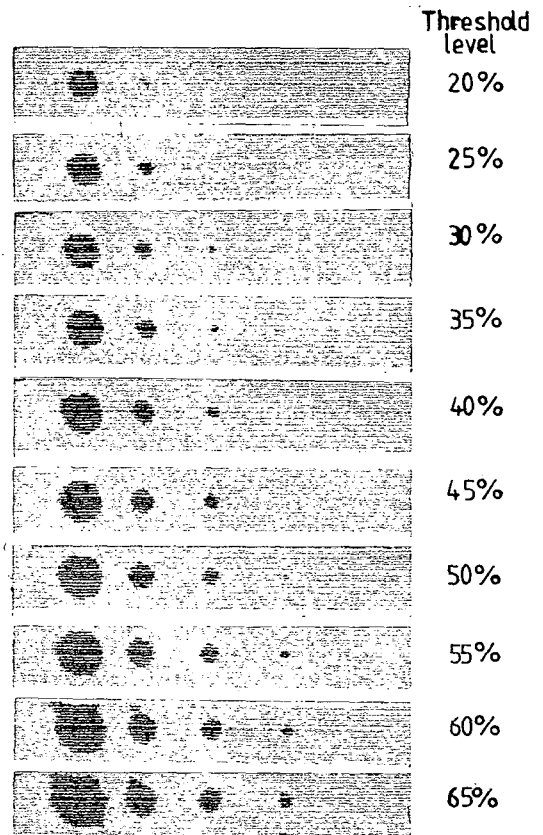


Fig. 9. The C-Scan images of CFRP specimen for different threshold levels using 5MHz, 55mm f. transducer.

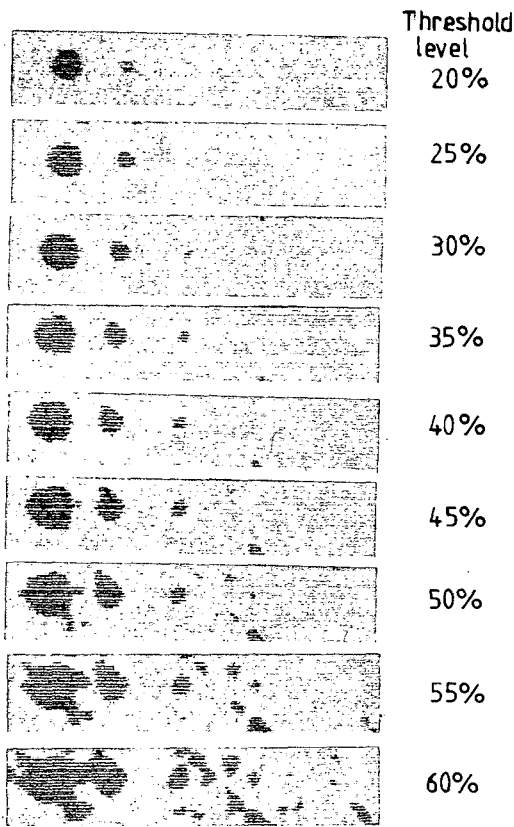


Fig. 10. Analog scan results for the top surfaces of CFRP specimen and the glass plate using a 10 MHz, 55 mm f. transducer.

image의 크기가 커지고 낮은 threshold level에서 나타나지 않는 작은 직경의 원형 평면결함과 원형평면 결함외의 새로운 결함이 도시되었음을 알 수 있다. 원형평면 결함외의 다른 새로운 결함은 10 MHz 탐촉자를 사용할 때만 도시되었다. 1 mm의 원형평면 결함은 5 MHz 55 mm 초점거리의 탐촉자와 10 MHz, 80 mm 초점거리의 탐촉자 경우 50% threshold 이상에서, 10 MHz, 55 mm 초점거리의 탐촉자 경우는 25% threshold 이상에서 탐지 가능하고 0.5 mm의 원형평면 결함의 경우는 10 MHz, 55 mm 초점거리의 탐촉자의 55% threshold 이상에서만 탐지 가능함을 알 수 있다. 도시된 결함의 image

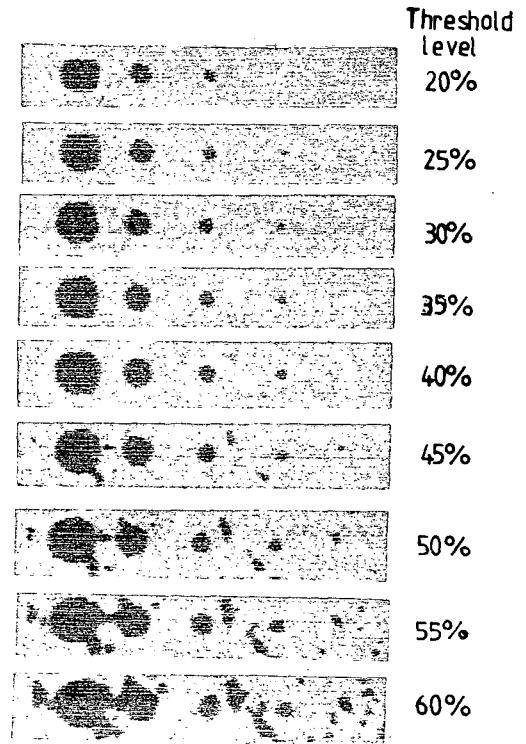


Fig. 11 Analog scan results for the top surfaces of CFRP specimen and the glass plate using using a 10 MHz, 80 mm f. transducer.

또한 10 MHz, 55 mm 초점거리의 탐촉자의 경우가 평면분해능이 가장 양호하였다. 이와 같이 결함의 탐지능 분해능은 사용된 탐촉자의 특성에 따라 상당한 차이를 가져온다.

Fig.12는 탐상에 사용된 각 탐촉자의 특성비교를 위하여 초점거리상에서 0.7 mm 원형봉의 원주면을 반사면으로하여 얻은 transverse beam profile을 나타낸 것이다. Fig.12로부터 beam profile의 최대점에서 6 dB 아래의 지점의 유효 빔 폭을 측정해본 결과 10 MHz, 55 mm 초점거리 탐촉자의 빔 폭은 1.1 mm로서 다른 탐촉자의 빔 폭보다 작음을 알 수 있었다.

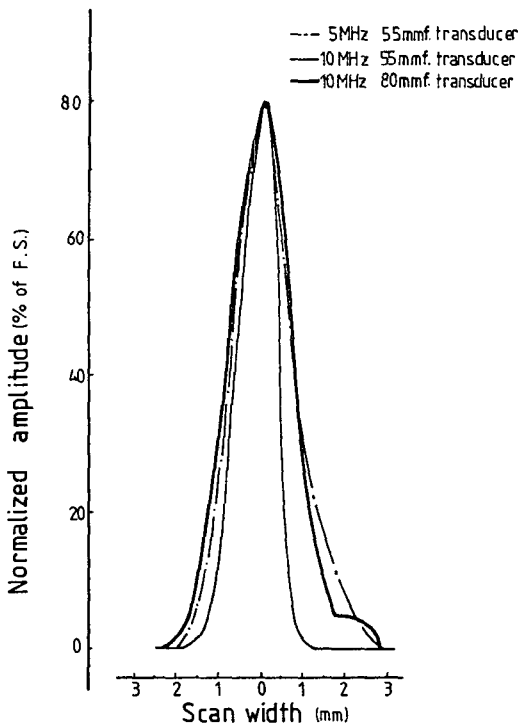


Fig. 12. Transverse beam profiles of 5MHz, 55mm f. 10MHz, 55mm f. and 10MHz, 80mm f. transducers at focal distances.

이상의 결과를 고찰해 볼때, 얇은 판재형의 CFRP 시편에서 IRP method로 탐상시험 할때 탐지능 및 평면 분해능은 탐촉자 빔폭에 의존됨을 알 수 있다.

4. 결 론

본 연구에서 사용된 0.9 mm 두께의 박판형 CFRP 소재의 탐상방법 연구 결과를 종합하면 다음과 같다.

- 1) IRP method 적용시 탐촉자와 시편 전면까지의 water distance는 빔 중심 축상에서 같은 원주상의 빔 음압이 같고 beam profile의 peak가 하나인 지점으로 선정하여야 신뢰성 있는 탐상결과를 얻을 수 있다.
- 2) 초음파탐촉자의 유효 빔 폭이 좁을수록

결함의 탐지능 및 평면분해능은 향상된다.

3) 시편 표면의 상태 및 찾고자하는 결함의 크기 및 종류에 따라 탐촉자는 달리 선정되어야 한다.

4) 박판형 CFRP 소재의 결함 탐상방법으로 IRP method를 본 시편에 적용할 경우 500 μm 크기의 결함까지 탐지 가능하였다.

5. 참고문헌

1. I. G. Scott and C. M. Scala, "A review of non-destructive testing of Composite materials", NDT International, April 1982, pp. 75 - 86.
2. I. M. Daniel, S. W. Schramm and T. Liber, "Fatigue Damage Monitoring in Composites by Ultrasonic Mapping", Material Evaluation, Vol. 39, August, 1981, pp. 834 - 839.
3. H. S. Saluja and Henneke, E. G., "Ultrasonic attenuation measurement of fatigue damage in graphite-epoxy composite laminates", Proc. of 12th Symp. on NDE, San Antonio, April 1979, pp. 260 - 268.
4. J. H. Williams, Jr., H. Yuce, and S. S. Lee, "Ultrasonic and Mechanical Characterizations of Fatigue States of Graphite Epoxy Composite Laminates", Materials Evaluation, Vol. 40, April 1982, pp. 560 - 565.
5. H. E. Gundtoft, "Ultrasonic Characterization of the Properties of Fiber Reinforced Material", Proc. of 11th World Conference on NDT 1985, pp. 1565 - 1572.