

초음파의 통과시간을 이용한 목재 결점부위의 평가*¹

박 준 철*² · 홍 순 일*^{2†}

Determination of Localized Defects in Wood by the Transfer Time of Ultrasonic Waves*¹

Jun-Chul Park*² · Soon-Il Hong*^{2†}

요 약

초음파 시험기를 이용하여 목재의 파단형상이 초음파의 속도에 미치는 영향과 송수신단자의 위치 변화를 통한 효율적인 결점부위 탐색방법을 검토하였다. 파단의 방향에 따른 초음파 속도는 송수신 단자와 평행방향의 파단에서는 영향을 미치지 않고 수직방향 파단에서만 영향을 주었다. 이는 초음파의 진행 경로에 결점부위가 위치하지 않을시 결점을 파악하지 못하는 단점을 보였다. 또한, 초음파의 진행방향과 수직으로 파단이 되었다더라도 초음파가 진행되는 직선상에 파단부위가 존재하는 경우에만 파단여부를 확인할 수 있었다. 결점부위 판별 방법은 송수신 단자를 시편 양끝부분에 서로 엇갈리게(한쪽은 상단부에 반대편은 하단부에 위치) 위치시켰을 때 파단 존재여부가 확인되었다. 일정구간의 파단을 확인한 후 두 송수신 단자를 폭 방향으로 마주보게 위치시켜 구간별로 이동시키며 탐색하면 결점부위가 정밀하게 판별되었다.

ABSTRACT

The effect of rupture on the speed of ultrasonic wave was investigated with the PUNDIT and the effective detecting method of defects, moving transmitter and receiver. The speed of ultrasonic wave according to the course of rupture was not affected by transmitter and receiver and in the course of parallel rupture, but only in the course of vertical rupture. When rupture was not located on the ultrasonic wave progressing course, rupture was not detected. However, if rup-

*¹ 접수 2007년 10월 10일, 채택 2008년 1월 5일

*² 강원대학교 산림환경과학대학 임산공학과. Department of Wood Science & Engineering, College of Forest & Environmental Sciences, Kangwon National University, Chunchon 200-701, Korea

† 주저자(corresponding author) : 홍순일(e-mail: hongsi@kangwon.ac.kr)

ture was formed perpendicularly to the ultrasonic wave progressing course but located on the ultrasonic wave progressing direction, rupture can be detected. Also, the rupture can be detected, when one transmitter and receiver was placed at top and the other at bottom. After detecting rupture in a part, rupture was determined accurately, placing and moving two transmitters and receivers at width.

Keywords: ultrasonic waves, non-destructive evaluation, defects in wood

1. 서 론

초음파의 특징은 지향성이 좋으며 주어진 매질에서 속도가 일정하며, 매질이 달라지면 속도가 달라지는 특성이 있다. 또한, 진행거리가 비교적 길고 온도변화에 따른 속도가 일정한 장점 때문에 비파괴검사에 많이 활용되고 있다. 목재의 경우도 전파 속도를 이용한 재질 평가 및 재의 부후가 응력파의 속도에 미치는 영향에 대해 많은 연구가 행하여지고 있으며 전파 속도에 영향을 미치는 많은 인자 및 목재의 이방성으로 인해 많은 검토가 요구되고 있다.

미국의 Ross 등(1991)은 생재 상태에서 응력파를 이용한 방법과 횡강도 시험을 통하여 함수율에 따른 영계수를 비교하였다. 실험결과 함수율 25% 이상에서는 함수율 증가에 따라 영계수가 감소하는 경향을 보였다고 하였으며 비파괴방법과 횡강도시험이 같은 결과를 보였다. 또한, Wang 등은 원목상태에서의 비파괴시험 후 제재과정을 통하여 원목과 제재목의 영계수를 비교하는 방법으로 원목상태에서 제재목의 재질을 평가할 수 있다고 하였다(2001, 2002). 단판적층재 제조 시는 초음파 전파장치를 이용하여 단판을 등급 구분하여 신뢰성이 높은 제품을 생산하고 있으며, 합판에 있어서는 비접촉형 초음파 시험장치를 이용하여 불량품을 구별하고 있다. 응력파의 전파 시간은 가벼운 충격 및 초음파 발생 장치에 의한 응답 주파수에 의해 측정되어지고 있다. 이와 같이 응력파의 전파 속도를 이용한 재질 평가 및 재의 부후가 응력파의 속도에 미치는 영향에 대해 많은 연구가 행하여지고 있다. Ross (1998)는 200년 된 미해군 함선의 부후부분을 응력파를 이용하여 탐색하였으며 Schad (1996)는 응력파, CT 단층촬영, 임

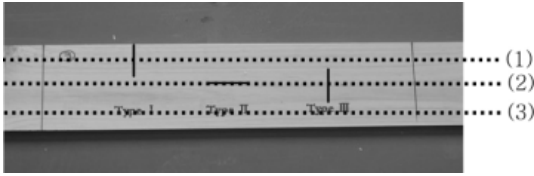
펄스 레이더 등 여러 가지 비파괴 방법을 통하여 각 방법들의 신뢰성을 평가하였다. 국내에서는 비파괴 관련 연구로 이 등(2003)은 Hankinson 식을 적용하여 무결점재의 목리 경사각에 따른 초음파의 전달시간을 예측하였다. 김 등(2003)과 손 등(2004)은 초음파를 이용하여 목재의 열화를 평가하였고 김 등(2006)은 목재의 밀도 측정에 X선 CT를 이용하였다. 그러나, 비파괴 방법에 의한 실용적인 결점부위 탐지 및 초음파 전달 경로 구명은 실대재 목재 및 목질재료에 있어서 아직 많은 연구가 필요한 분야이다.

본 실험은 초음파 시험기인 Pundit (Portable Ultrasonic Non-destructive Digital Indicating Tester)를 이용하여 파괴시험을 통해 파단부위를 포함하고 있는 목재 및 목질재료의 파단 위치에 따른 속도의 변화를 측정하였고 통직재와 아치형 집성재의 파단 부위의 깊이 및 길이방향에 따른 속도 변화를 이용하여 목재 파단부위의 정확한 위치 탐색을 검토하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 공시재료

본 연구에서는 길이 370 cm, 폭 12 cm, 두께 1 cm, 길이 150 cm, 폭 10 cm, 두께 2 cm의 소나무재 (*Pinus densiflora* S. et Z.)와 길이 150 cm, 폭 4 cm, 높이 10 cm의 낙엽송재 (*Larix kaempferi* Carr.)를 사용하였다. 또한, 길이 210 cm, 폭 4 cm, 두께 0.6 cm의 라미나로 7층 적층하여 반경 50 cm로 제작한 아치형 집성재를 사용하였다.



Type I : Vertical fault at edge of wood.
 Type II : Horizontal fault at center of wood.
 Type III : Vertical fault at center of wood.

Fig. 1. Photograph of faults.

2.2. 실험방법

측정에 사용된 초음파 시험기는 Pundit Plus (CNS Farnell사 : 영국)로 Tx (Transducer : 송신) 단자에서 발생한 초음파가 Rx (Receiver : 수신) 단자에 감지되는 시간을 측정하는 장비이다. 본 실험에서는 주파수 54 kHz의 초음파를 이용하여 1 μ s 단위로 통과시간을 측정하였다.

2.2.1. 결점 부위에 따른 초음파 통과속도 측정

길이 150 cm, 폭 10 cm, 두께 2 cm인 소나무 제재판을 사용하였다. 목재 내에 용이가 출현하지 않은 무결점 부분의 초음파 통과속도를 측정한 후(Control) 직소톱으로 길이 약 5 cm의 인위적인 결점을 주어 무결점 상태의 통과속도와 결점 후의 통과속도를 비교하였다. 결점부위 측정은 Fig. 1과 같이 3 cm 간격으로 재폭의 2 cm 위치(1)와 중앙 위치(2), 8 cm 위치(3)에서 측정하였다. 인위적인 파단의 형태는 3가지 Type으로 주었다. Type I은 재의 한쪽 끝에서부터 섬유 수직방향으로 결점을 내었으며 Type II는 중앙부위에 수평방향, Type III는 중앙부위에 수직방향으로 결점을 주었다.

2.2.2. 파단부위에 따른 초음파 통과속도 측정

길이 150 cm, 폭 4 cm, 높이 10 cm의 낙엽송 통직재를 인위적으로 인장응력부위에 파단을 준 후 앞선 2.2.1과 같이 8 cm 위치(A), 중앙위치(B), 2 cm 위치(C)에서 측정하였다. 측정방법은 한쪽 끝에 Tx 단자를 위치시킨 후 Rx 단자를 10 cm씩 이동시켜 거리를 증가시키며 측정하였다(Fig. 2).

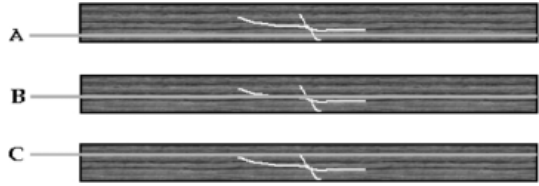
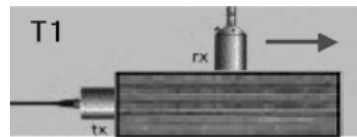


Fig. 2. Transducer positions in measuring the speed of ultrasonic wave.

2.2.3. 파단부위의 초음파 통과속도 측정

길이 150 cm, 폭 4 cm, 높이 10 cm의 낙엽송 통직재와 두께 0.6 cm의 제재판으로 반경 50 cm로 제작된 두께 4.2 cm의 7층 아치형 집성재를 사용하여 파괴실험 후 파단부위의 초음파 통과속도를 측정하였다. 측정방법은 Tx 단자와 Rx 단자의 위치를 달리하여 아래와 같이 4가지 방법으로 초음파의 통과 속도를 측정하였다.

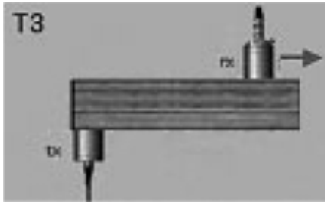
T1 : 시편의 횡단면에 송신단자(Tx)를 고정시키고 수신단자(Rx)를 폭 4 cm인 중앙면에 길이방향으로 10 cm씩 이동시키며 측정



T2 : 송신단자를 시편의 폭 방향 끝부분에 고정시키고 수신단자를 길이방향으로 이동시키며 측정



T3 : 송신단자를 시편의 폭 방향 끝부분에 고정시키고 수신단자를 반대쪽 면에서 10 cm씩 이동시키며 측정



T4 : 송신단자와 수신단자를 서로 마주보게 위치시켜 측정위치를 동시에 이동시키며 측정

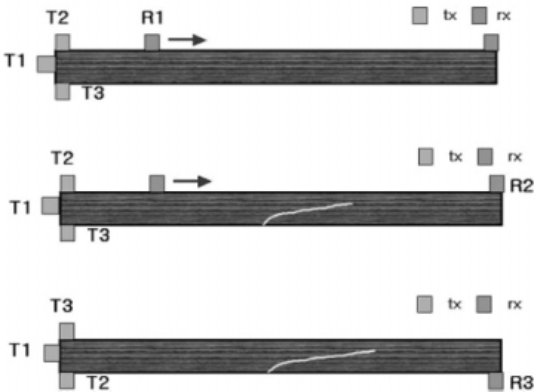
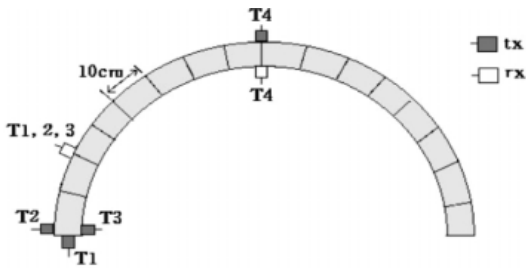
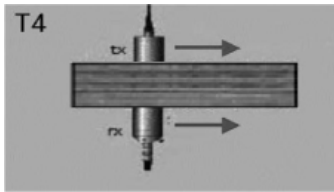


Fig. 3. Transducer positions in measuring the speed of ultrasonic wave.

실험은 파단 전 각 구간별로 통과속도를 측정하였다(R1). 파괴실험 후 동일구간에서 수신단자를 압축 응력부위에서 R1과 동일 구간의 통과속도를 측정하였다(R2). 또한 동일구간에서 수신단자를 인장 응력 부위에 위치시켜 R1과 동일구간의 통과속도를 측정하여 비교하였다(R3). 파괴 실험은 통직재의 경우 지점간 거리를 120 cm로 중앙집중하중을 가하여 인장응력을 받는 부분에 파단을 주었으며 아치재는 양끝을 고정하고 중앙부위에 하중을 가하여 파단을 주었다(Fig. 3).

T1R1 (T2R1, T3R1, T4R1) : 파단 전 T1 (T2, T3, T4)방법으로 측정

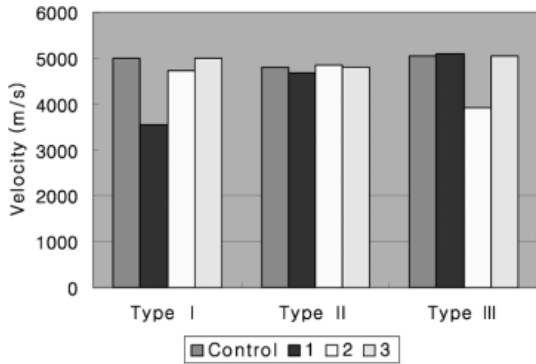
T1R2 (T2R2, T3R2) : 파괴 실험 후 압축 응력부위에서 T1 (T2, T3)방법으로 측정

T1R3 (T2R3, T3R3, T4R3) : 파괴 실험 후 인장 응력부위에서 T1 (T2, T3)방법으로 측정

3. 결과 및 고찰

3.1. 결점부위와 초음파 통과속도의 관계

한쪽 끝에 수직으로 결점이 있는 Type I의 경우 결점이 있는 1번 위치에서는 속도가 감소하는 것을 알 수 있으나 2, 3번 위치에서 측정 시에는 결점의 영향을 받지 않았다. 중앙 부분에 섬유방향에 수평으로 결점이 있는 Type II는 모든 부분에서 초음파의 속도가 감소하지 않았다(Fig. 4). 이는 수평 결점의 경우 초음파 진행이 직접적으로 결점부의 영향을 받지 않는 것을 알 수 있었다. 결점이 중앙부분에 수직으로 일어난 Type III 역시 결점이 있는 중앙부위의 2번 측정 시에만 속도가 감소하고 양끝의 1, 3번에서는 속도의 감소를 볼 수 없었다.



Type I : Vertical rupture at edge of wood.
 Type II : Horizontal rupture at center of wood.
 Type III : Vertical rupture at center of wood.

Fig. 4. Relationship between the speeds of ultrasonic wave and position of transducers.

3.2. 파단부위와 초음파 통과속도의 관계

Fig. 5는 측정위치에 따른 초음파의 통과속도를 비교한 것이다. 목재의 파단면 중 파단된 인장부에서 측정된 A의 경우 파단이 시작되는 0.7 m 구간 이후부터 통과속도가 감소하는 것을 알 수 있다. 파단이 진행된 중간 B부분에서 측정된 결과도 A와 같이 0.7 m 이후 속도가 감소한 것을 알 수 있었다. 하지만, 파단이 진행되지 않은 C 부분에서 측정된 결과 파단 전과 후의 속도의 차이가 크지 않았다. 실험결과 초음파의 진행구간에 파단이 존재하지 않으면 파단여부를 알 수 없었다.

3.3. 측정방법에 따른 파단부위 판별

Fig. 6은 측정위치를 달리하여 측정된 초음파의 통과속도를 나타낸 그래프이다. 한쪽 측면에 송신단자를 위치시켜서 측정된 T1방식의 경우 T1R2는 파단 전의 T1R1과 같은 속도를 보여 파단을 판별할 수 없었으며 인장응력을 받아 파단된 면에서 측정된 T1R3에서 파단이 시작된 0.7 m 이후부터 속도가 감소하여 파단을 판별할 수 있었다. 송신단자와 수신단자를 동일선상에서 측정하는 T2방식의 경우 T2R2

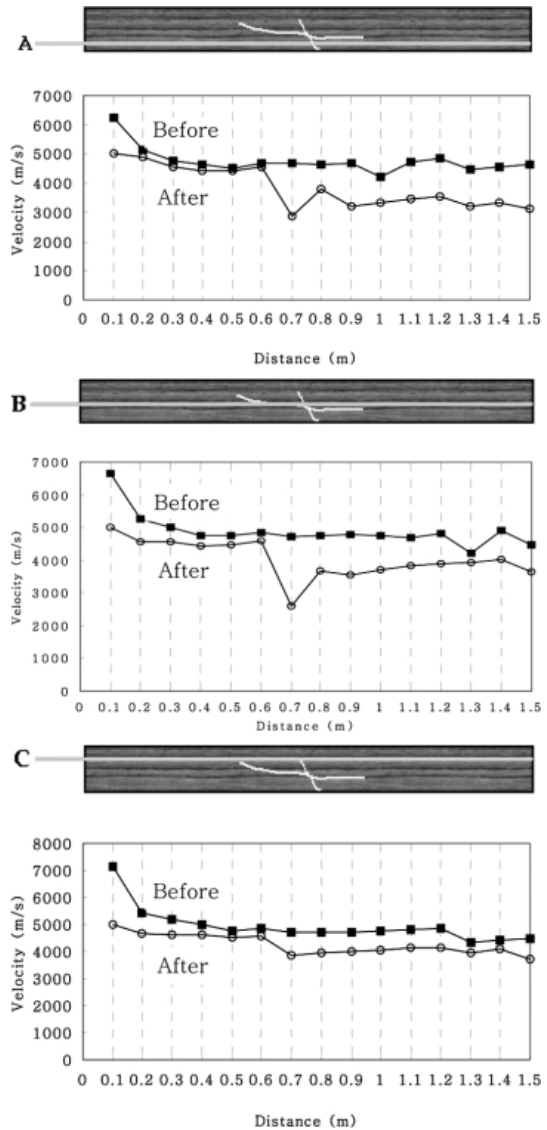


Fig. 5. Relationship between the speeds of ultrasonic wave and distance of transducers (A: detected on the bottom, B: detected on the center, C: detected on the top).

는 파단을 전혀 판별하지 않았으며 T2R3에서도 0.7 m 이후부터 측정이 가능하였다. 송신단자와 수신단자를 대각선에 위치시켜 측정하는 T3의 경우는

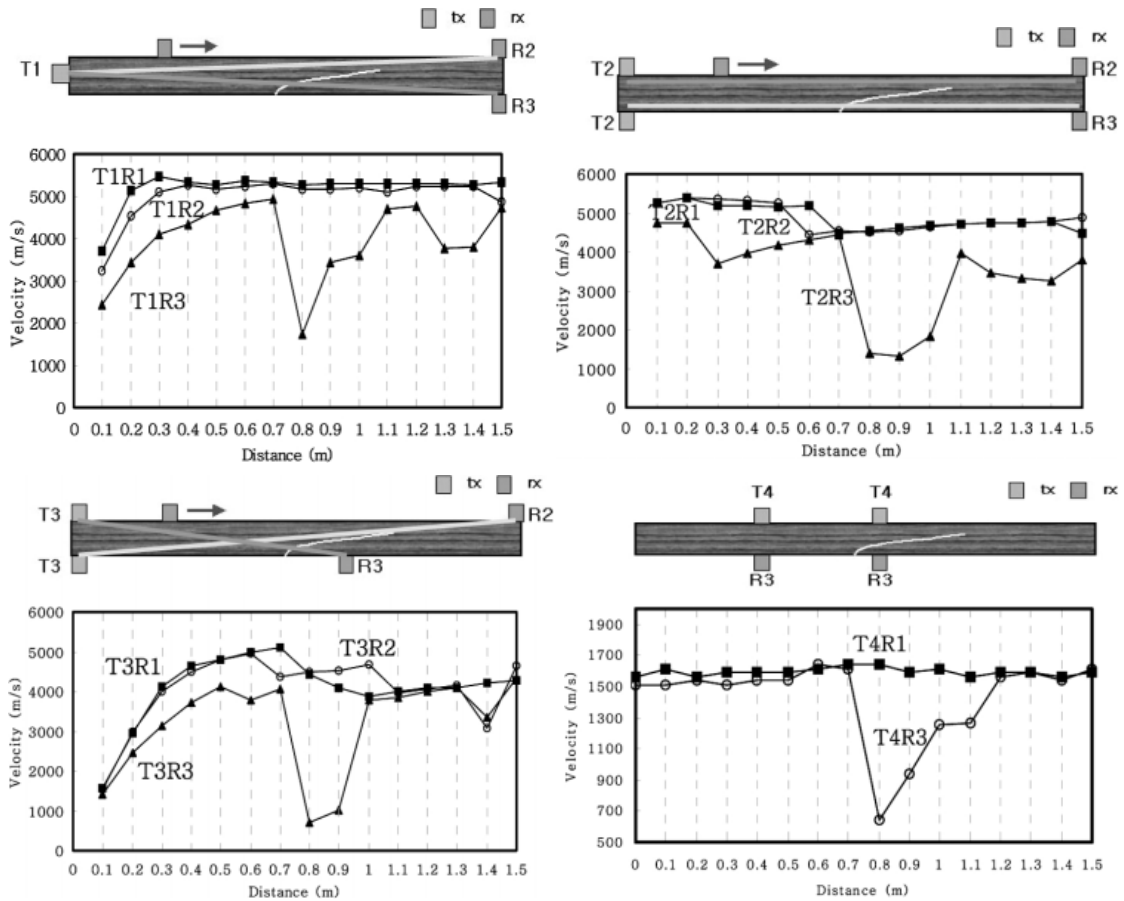


Fig. 6. Relationship between the speeds of ultrasonic wave and distance of transducers.

T3R1, T3R2, T3R3 모두 파단을 판별할 수 있었다. T3R2의 경우 단자 사이에 파단부위를 지나는 1.4 m 부분에서 파단부위를 판별할 수 있었으며 T3R3에서는 0.7 m 이후 파단을 판별할 수 있었다. 송신단자와 수신단자를 마주보게 위치시켜 측정하는 T4 방식은 파단이 일어난 0.7 m부터 1 m 구간에서만 T4R3의 속도가 낮게 측정되어 정확한 파단부위를 알 수 있었다. 실험결과 T1과 T2 방법으로는 인장응력으로 인해 파단된 R3 위치에서만 파단여부를 알 수 있었으나 대각선으로 측정하는 T3의 경우 T1과 T2보다 측정범위가 큰 것을 알 수 있었다.

3.4. 파단 형상과 초음파 통과속도의 관계

3.4.1. 수직파단

Fig. 7의 A는 수직 파단이 일어난 시료를 측정된 결과이다. T1R2의 측정결과 1.2 m 위치에서 약간 감소하였으나 결점에 무관하게 거의 일정한 속도를 나타내고 있다. T2R2 측정결과 파단이 있는 것을 판별하지 못하였으며 1.2 m 위치에서 약간 감소하였다. T3R2 측정결과 0.4, 0.8 m 위치의 파단과 1.2 m 위치에서 속도가 현저히 감소하며 모든 결점이 판별되었고 저하된 속도가 마지막 측정까지 증가하지 않고 파단으로 저하된 속도를 유지하였다. T4R2 측정

초음파의 통과시간을 이용한 목재 결점부위의 평가

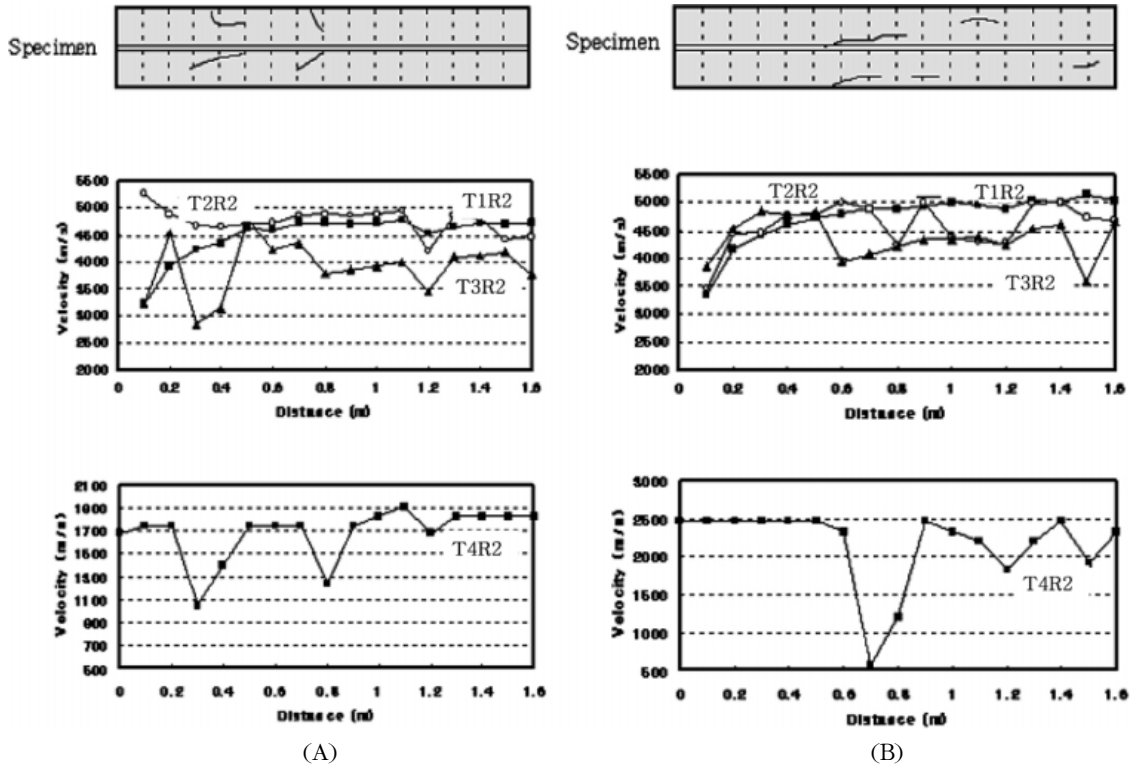


Fig. 7. Relationship between the speeds of ultrasonic wave and distance of transducers.

결과 파단이 일어난 0.4, 0.8, 1.2 m 위치에서의 속도가 현저히 감소하는 것으로 결점부위를 판별할 수 있었다(Fig. 7A).

3.4.2. 수평파단

Fig. 7의 B는 수평 파단이 일어난 시료를 측정 한 결과이다. T1R2의 측정결과 결점에 영향을 받지 않고 거의 일정한 속도를 나타내었다. T2R2는 파단이 시작되는 0.6 m에서는 결점을 판별하지 못하다가 0.8 m에 결점을 나타내었다. 또한, 1 m와 1.2 m 사이의 파단은 판별해 내었으나, 파단이 없는 부위에서는 파단부위를 포함하지만 파단여부를 판별하지 못하였다. T3R2의 경우 파단이 시작되는 0.6 m부터 거의 모든 위치에서 낮은 속도를 나타내었으며 파단 시점 이후에는 낮은 속도를 유지하며 결점을 포함함을 나타내었다. T4 측정결과 파단이 심한 0.7, 0.8 m

위치에서 현저히 속도가 감소하였으며, 1.2, 1.6 m에서도 파단을 판별해 내었다(Fig. 7B).

4. 결론

초음파는 방향성을 가지고 있어 송신단자와 수신단자의 직선상으로 파장이 전달되지만 진행방향에 파단이 있을 경우 최단거리인 직선상으로 전달되지 않고 다른 경로를 통해 전달된다. 파단 형상에 따라 두 단자 사이에 파단부위가 존재하여도 초음파의 진행방향에 수직방향으로 있어야 판별이 가능하였고 파단이 초음파의 진행방향과 평행하게 일어난 경우는 전혀 파단 여부를 판별해 낼 수 없었다. 또한, 초음파의 진행방향과 수직으로 파단이 되었더라도 초음파가 진행되는 직선상에 파단부위가 존재하는 경우에만 파단여부를 확인할 수 있었다. 초음파 시험

기 Pundit plus로 비파괴 검사 시 표면 부위에 발생한 크랙(crack)은 표면파의 전달시간이 크랙 발생 부위 전에서는 수신단자의 이동 거리에 따라 비례적으로 증가되나 크랙 부위에서는 표면파가 전달되지 못하고 크랙 끝단에서 회절되며 전달된다. 이와 같이 표면에 노출된 파단부위의 측정에는 T2 방법이 유리하지만 표면에 노출되지 않은 부위의 파단은 T2 방법으로 탐지되지 않고 송신단자와 수신단자의 측정 각도에 따라 파단 검색이 가능함을 본 실험을 통해 확인할 수 있었다.

최적의 검사방법으로 가장 탐지범위가 넓은 T3 방법으로 결점부위의 유무를 확인한 후 결점부위가 존재할 때 T4 방법으로 정확한 결점위치를 탐지하는 것이 가장 효율적이라고 사료되며 통직재뿐만 아니라 곡면을 가지고 있는 아치형 집성재의 경우도 초음파의 통과 속도를 통한 결점 판별이 가능함을 확인할 수 있었다.

참 고 문 헌

1. 김광모, 이상준, 이진제. 2006. 현장 적용이 가능한 X선 CT 시스템 개발 I - X선 촬영법을 이용한 목재의 밀도 측정-. 목재공학. 34(1): 15~22.
2. 김광모, 이상준, 이진제. 2006. 현장 적용이 가능한 X선 CT 시스템 개발 II - 밀도분포를 이용한 목재의 CT 영상 구성-. 목재공학. 34(1): 23~31.
3. 김광철, 배문성, 이진제. 2003. 노출 환경에 따른 목조 고축물 기둥의 열화 차이. 목재공학. 31(2): 58~68.
4. 손동원, 이동흡. 2004. 비파괴 방법을 이용한 목재의 부후 탐지. 목재공학. 32(4): 74~81.
5. 이진제, 김광모, 배문성. 2003. 목재 내 초음파 전달 경로 구명. 목재공학. 31(2): 31~37.
6. Ross, R. J., J. C. Ward, and A. TenWolds. 1992. Identifying bacterially infected oak by stress wave nondestructive evaluation. Res. Pap. FPL-RP-512. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory. p. 6.
7. Ross, R. J., K. A. McDonald, D. W. Green, and K. C. Schad. 1997. Relationship between log and lumber modulus of elasticity. Forest Prod. J. 47(2): 89~92.
8. Ross, R. J., L. A. Soltis, and P. Otton. 1998. Role of nondestructive evaluation in the inspection and repair of the *USS Constitution*. Journal of Preservation Technology. 27(2): 145~152.
9. Ross, R. J. and R. F. Pellerin. 1991. NDE of green material with stress waves: preliminary results using dimension lumber. Forest Prod. J. 41(6): 57~59.
10. Schad, K. C., D. L. Schmoldt, and R. J. Ross. 1996. Nondestructive methods for detecting defects in softwood logs. Res. Pap. FPL-RP-546. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory. p. 13.
11. Wang, X., R. J. Ross, J. R. Erickson, J. W. Forsman, E. A. Geske, and M. A. Wehr. 2002. Nondestructive evaluation techniques for assessing modulus of elasticity and stiffness of small-diameter logs. Forest Prod. J. 52(2): 79~85.
12. Wang, X., R. J. Ross, J. R. Erickson, J. W. Forsman, G. D. McGinnis, and R. D. De Groot. 2001. Nondestructive evaluation of potential quality of creosote-treated piles removed from service. Forest Prod. J. 51(2): 63~68.
13. Wang, X., R. J. Ross, M. McClellan, R. J. Bardour, J. R. Erickson, J. W. Forsman, and G. D. McGinnis. 2001. Nondestructive evaluation of standing trees with a stress wave method. Wood and Fiber Science. 33(4): 522~533.