

# 초음파 비파괴시험법을 이용한 데크재의 현장평가<sup>1</sup>

오 세 창<sup>2,†</sup>

## Ultrasonic Nondestructive On-Site Evaluation of Decks in-Service<sup>1</sup>

Sei-Chang Oh<sup>2,†</sup>

### 요 약

설치된 데크재에 대한 성능을 평가하기 위하여 초음파 비파괴시험법을 사용하였다. 먼저 3종류의 데크재에 대해 트랜스듀서의 배치에 따른 직접법과 간접법간의 측정방법간의 차이를 검증하였으며 두 번째로 설치된 데크재의 사용시간의 경과에 따른 초음파속도를 측정·비교하였다. 마지막으로 데크재의 사용수명을 파악하기 위하여 사용시간의 경과에 따른 초음파속도의 변화를 조사하였다. 시험결과 직접법과 간접법간의 측정방법간의 차이는 없는 것으로 나타났으며 직접법에 대한 간접법의 비율은 1.02와 1.05로 각각 나타났다. 설치된 데크재에서 시간의 경과에 따라 초음파 속도는 감소하였으며 이들 간의 관계는 선형으로 나타났다. 시험결과로부터 초음파 비파괴시험법은 설치된 데크재의 유지보수에 관한 효율적인 수단이 될 수 있을 것으로 생각된다.

### ABSTRACT

The ultrasonic nondestructive test (NDT) was applied to deck in-service to inspect and evaluate the performance of decking materials using ultrasonic pulse velocity. First, the measuring method between direct and indirect method according to transducer arrangement was studied. Second, the ultrasonic pulse velocity of decks in-service was compared with the passage of time. Finally, the change of ultrasonic pulse velocity was evaluated to expect service life of decking materials. The results of comparison between direct and indirect method was statistically insignificant and the ratio of direct to indirect method was 1.02. 1.05 respectively. The ultrasonic pulse velocity of decks in-service was decreased as the passage of time and the linear relationship in the ultrasonic pulse velocity to passage of time was found. From the results, The ultrasonic NDT will be helpful as an efficient method of on-site management of decks in-service.

**Keywords :** ultrasonic nondestructive test, ultrasonic pulse velocity, decking material

<sup>1</sup> Date Received April 3, 2015, Date Accepted May 13, 2015

<sup>2</sup> 대구대학교 생명환경대학 산림자원학과, Department of Forest Resources, Daegu University, Kyongsan, 712-714, Korea

<sup>†</sup> 교신저자(Corresponding author) : 오세창(e-mail: osc@daegu.ac.kr)

## 1. 서 론

목재의 사용은 그 유래가 오래되었으며 건축용재에서부터 내장재, 야외시설재 등으로 그 사용범위가 무척이나 넓어지고 있다. 이는 목재만이 갖고 있는 특성, 즉 지속가능하고 친환경적이며 뛰어난 내구성 및 높은 비강도 등으로 인한 것이다. 최근에는 국내에서도 목조주택을 비롯하여 일반 조경용 데크재에도 많은 양의 목재 및 목질계 재료가 사용되고 있다. 데크재는 조경시설 등의 바닥 상판 등에 사용하는 야외시설재로 환경 친화적 목적과 미관상의 목적으로 많이 사용하고 있다. 데크재로는 방부목에서부터 시작하여 목재-플라스틱복합재(wood plastic composite: WPC), 방킬라이, 이페 등의 열대산 활엽수재, 최근에는 열처리 목재 등이 사용되고 있으며, 현재 데크재의 시장규모는 소득 증대에 따른 사회 편의시설 확충사업이 관급 자재시장 중심으로 급성장세를 불러일으켰고 업계 추정자료에 따르면 데크재의 시장 규모는 2013년 현재 2,700억원 정도로 추산되고 있다(http://www.fnnews.com/news 2013). 데크재 중 여전히 방부목이 가장 많이 사용되고 있고 열대산 활엽수재, WPC가 차례로 많이 사용되어 왔으나, 현재 공원이나 산책로 등 관급 조경공사에서는 점차 WPC와 열대산 활엽수재가 방부목을 대체해 나가고 있는 추세에 있다. 현장에서 천연목이라 불리는 열대산 활엽수재가 데크재로 주목을 받는 이유는 이 재료의 강도가 뛰어나고 별도의 방부처리가 필요 없으며, 내구성이 뛰어나 유지관리적인 측면에서 유리한 점을 갖고 있기 때문이다.

많이 사용되고 있는 데크재의 유지관리에는 기존 데크재를 보수하여 사용하기 보다는 교체를 선호하고 있다. 이는 데크재 관리는 전적으로 육안에 의존하는 검사 방법을 사용하고 있어서 부재의 실제 성능과 상관없이 외관적 특징에만 의존하게 됨으로써 부재의 성능을 과소평가하여 재료의 효율성을 저하시킬 뿐만 아니라(Son과 Lee 2004) 부재의 외부에는 거의 손상이 없으나 부재 내부는 곤충 또는 미생물에 의해 목재 내부의 세포가 완전히 파괴된 경우도 있는데 이 경우 단순히 육안으로는 피해를 파악할

수 없으며 심한 경우 그 부재의 안전성도 의심스러울 수밖에 없다(Kim 등 2005). 이런 상황에서 데크재의 소비가 늘고 있는 만큼 데크재의 정확한 시공, 적절한 유지보수와 관리가 무엇보다 중요하다(http://www.woodkorea.co.kr/news/article 2014) 이에 따라 설치된 데크재에 대한 유지관리 작업에서 가장 기초적인 부분은 데크재의 성능평가이다. 육안에 의한 검사는 많은 오류를 범할 수 있는 가능성이 높기 때문에 객관적인 성능검증방법이 필요하며 이 검증을 통해 데크재의 교체유무 및 적절한 유지관리 방안이 도입되어야 할 것이다.

성능검증을 위한 비파괴 시험법 중 초음파 시험법은 목재에 손상을 주지 않고, 장비의 구성이 비교적 간단하며 현존하는 구조물의 성능시험과 열화탐지에 많이 사용되고 있다. 초음파 비파괴시험에서 보통 두 개의 트랜스듀서가 재료를 가운데 두고 서로 마주보도록 하여 펄스속도를 직접 측정하는 방식(direct method)이 많이 사용되고 있으나, 보통 데크재는 지면부에 접하여 설치되고 양단이 지지부재로 막혀 있어서 이 방법을 적용하기에는 많은 어려움이 있다. 따라서 이 같은 경우 표면에 나란히 트랜스듀서를 위치시키고 펄스속도를 측정하는 간접방식을 적용하는데(Naik 등 2004) 이는 실제적인 경우 적절한 방법이기 때문이다(Lourenco 등 2007). 이 두 방법 간에 상관관계에 대한 연구는 콘크리트구조물에 대해 시작되어 목재에 대해 일부 수행되었지만(Machado 등 2009; Teder 등 2011) 특히 설치된 시설물에 대해 경시변화에 따른 초음파속도의 변화에 대한 연구는 매우 드문 실정이다. 따라서 본 연구에서는 최근 5년간 데크재가 많이 설치된 대구광역시 동구를 대상으로 설치된 데크재에 대하여 초음파를 사용한 비파괴 시험법을 적용하여 재료결함의 탐지 가능성과 경시변화에 따른 변화를 추적하여 데크재의 유지관리 방안에 필요한 기초자료를 제시하고자 하였다.

**Table 1.** Site location and decking materials

Site	Location	Path Length	Materials	Year
	Address			
A	40, Ayang-ro Dong-gu, Daegu	80 m	Ipe <sup>1)</sup>	2014
B	41-49, Ayang-ro Dong-gu, Daegu	580 m	Merbau <sup>1)</sup>	2013
C	Hyo-mok-ro 7 Dong-gu, Daegu	250 m	WPC <sup>2)</sup>	2012
D	Hyo-mok-ro 6-73 Dong-gu, Daegu	340 m	WPC <sup>2)</sup>	2012
E	1626 Yul-ha dong, Dong-gu, Daegu	80 m	Ipe <sup>1)</sup>	2010

1) Tropical hardwood 2) Wood Plastic Composite

**Table 2.** Characteristics of materials used in this study

Wood Species	Dimension (mm)	No. of test pieces
Merbau ( <i>Intsia spp</i> )	19 mm × 90 × 3300 mm	10
Ipe ( <i>Handroanthus spp</i> )	19 mm × 90 × 3300 mm	10
Bankirai ( <i>Shorea atrinervosa</i> )	19 mm × 90 × 3300 mm	10

## 2. 재료 및 방법

### 2.1. 조사지 선정

본 연구에서 선정된 조사지는 최근 5년간 대구광역시 동구에서 시행한 데크재 설치 지역을 대상으로 선정하였다. Fig. 1과 같이 총 5곳을 선정하였으며 예상과는 달리 방부목으로 시공된 곳은 한 곳도 없어서 본 연구에서는 제외하였다.

### 2.2. 실험방법

#### 2.2.1. 실험재료

데크재에 대한 초음파 비파괴시험을 위해 현재 많이 사용되고 있는 세 종류의 열대산 데크재를 전문 업체로부터 구입하여 시험재료로 하였으며 그 상세 내역은 Table 2와 같다.

직접법과 간접법 간의 비교시험을 위하여 준비된 데크재에 대하여 길이를 900 mm로 재단하여 최종 시험재로 하였다. 준비된 시험편의 함수율은 접촉식 전기 수분계를 사용하여 함수율을 측정하였으며 측정된 시험편들의 평균 함수율은 15.4%였다.



A: 40, Ayang-ro Dong-gu., B: 41-49, Ayang-ro Dong-gu, C: Hyo-mok-ro 7 Dong-gu, D: Hyo-mok-ro 6-73 Dong-gu, E: 1626 Yul-ha dong, Dong-gu

**Fig. 1.** Site location of decks in-service in Dong-gu, Daegu.

#### 2.2.2. 직접법과 간접법에 의한 초음파 비파괴 시험

준비한 시험편에 대해 Swiss Proceq사의 초음파시험기(Pundit Lab Plus)를 사용하여 직접법의 경우 Fig. 2의 a와 같이 양 단면에 트랜스듀서를 설치하고 초음파속도를 측정하였으며 간접적인 방법의 경우

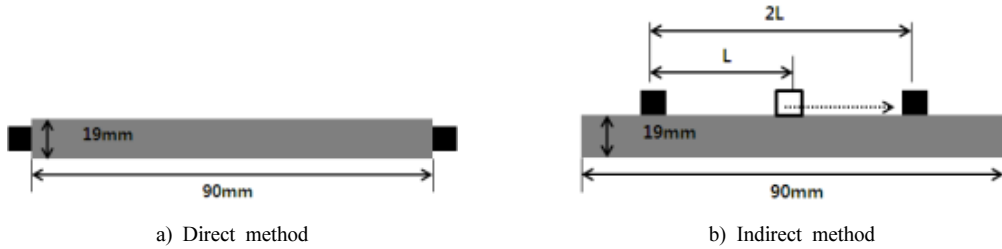


Fig. 2. Pulse velocity measurement configurations ( $L = 230$  mm).



a) Site view (Yul-ha, Dong Gu)



b) Indirect test of decks in-service

Fig. 3. Site configuration and test set up for ultrasonic NDT.

Fig. 2의 b처럼 먼저 거리  $L$  (230 mm)의 위치에 트랜스듀서를 설치하고 초음파 속도를 측정한다. 다음 이어 왼쪽 트랜스듀서는 고정된 채 오른쪽 트랜스듀서를 옮겨 두 배의 거리에 해당하는 지점  $2L$  (460 mm)에 트랜스듀서를 설치하고 초음파 속도를 측정하여 평균속도를 구하였다. 사용된 트랜스듀서의 주파수는 54 kHz이며 측정된 두 방법 간의 차이는 t-테스트를 통하여 그 차이 유무를 검증하였다.

### 2.2.3. 설치된 데크재에 대한 초음파 비파괴 시험

대구시 동구의 지정된 5개의 위치에서 초음파 비파괴시험을 간접적인 방법을 택하여 초음파 전달속도를 측정하였다. 각 지역에 설치된 데크재에 대하여 매 10 m 간격으로, 길이가 짧은 곳은 매 1 m 간격으로 측정하였으며, 추후 유지 관리에 필요한 데이터를 얻기 위해 측정 지점을 표시한 다음 시험을 진행하

였다. 측정 시 최초길이  $L$ 은 230 mm,  $2L$ 은 460 mm로 하여 Fig. 3과 같이 측정하였다. 육안에 의해 결함이 파악된 곳에서는 측정간격과는 상관없이 비파괴시험을 실시하여 그 경향을 파악하고자 하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1. 직접법과 간접법에 의한 초음파 비파괴 시험의 비교

직접법과 간접법에 의한 초음파 비파괴시험 결과는 Table 3에 나타내었다.

측정된 값으로부터 살펴보면 직접법은 간접법보다 높은 초음파 속도를 나타내었으며, 간접법에 대한 직접법의 비율은 Merbau재에서는 1.05, Ipe와 Bankirai 재에서는 1.02로 각각 나타났다. t-test에 의한 통계

**Table 3.** Test results of ultrasonic test using direct and indirect method

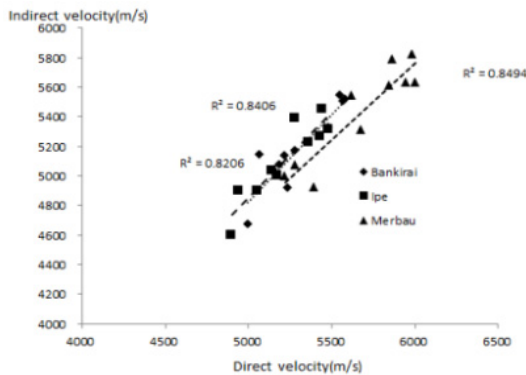
Wood Species	Ultrasonic pulse velocity (m/sec)		V <sub>D</sub> /V <sub>I</sub>	p value of t-test
	Direct method (V <sub>D</sub> )	Indirect method (V <sub>I</sub> )		
Merbau	5,682 (0.051)*	5,436 (0.061)	1.05	0.096
Ipe	5,221 (0.040)	5,106 (0.052)	1.02	0.299
Bankirai	5,317 (0.040)	5,200 (0.053)	1.02	0.301

\* coefficient of variation (COV)

**Table 4.** Test results of ultrasonic test using indirect method in decks in-service (unit; m/s)

Site	A	B	C	D	E
Average <sup>1)</sup>	4,213	3,024	1,181	1,179	2,000
COV <sup>2)</sup>	0.12	0.20	0.22	0.18	0.13
Max	5,128	4,115	1,600	1,6003	2,353
Min <sup>3)</sup>	196	1,242	85	806	117

1) The data on damaged decks are not included 2) coefficient of variation 3) The minimum values represent damaged decking materials



R<sup>2</sup> = 0.85 (Merbau), R<sup>2</sup> = 0.84 (Ipe) R<sup>2</sup> = 0.82 (Bankirai)

**Fig. 4.** Correlation between direct method and indirect method in ultrasonic NDT test.

분석결과 직접법과 간접법 사이에는 5% 유의수준에서 차이가 없는 걸로 나타나 데크재처럼 직접법에 의해 측정이 힘든 경우 간접법에 의한 측정법도 재료의 성능을 평가하는데 유효할 것으로 판단된다. 간접법에 의한 측정은 일반적으로 콘크리트 구조에 적용되며 PUNDIT LAB<sup>+</sup> 메뉴얼에 따르면 간접법은 직접법보다 초음파속도가 낮게 나타나며 이에 대한 보정계수로 1.05를 제시하고 있는데, 목재에 대한

본 연구에서도 유사한 같은 결과를 얻어 추후 직접법에 의해 측정이 어려운 경우 간접법에 의한 측정을 시행하고 직접법에 대한 보정계수로 활용이 가능할 것으로 생각된다. 또 두 측정법간의 상관관계를 분석한 결과 Fig. 4에서 보듯이 상관계수가 0.82-0.85 정도로 나타나 높은 상관관계를 보여주었으며 이는 마리타임 소나무, 유럽가문비나무, 백참나무에 대한 Machado 등(2009)의 연구에서 두 방법 간의 상관계수가 0.90인 결과와 비교하여 유사한 결과로 사료된다.

### 3.2. 설치된 데크재의 초음파 비파괴시험에 따른 특성

설치된 데크재에 대한 현장에서의 초음파 비파괴 시험에 따른 속도의 측정결과는 다음 Table 4와 같다. 표에서 보듯이 가장 최근(2014)에 시공한 A지역의 Ipe 데크재에서 같은 재료를 사용하여 2010년에 시공한 한 E지역의 데크재보다 높은 초음파속도를 나타내었으며 그 비율은 E 지역의 데크재의 성능은 A지역 대비 47% 정도를 측정되어 4년간 상당량의 감소추세를 나타내었다. 같은 시기에 조성된 C, D 지구에서 WPC 데크재의 초음파 전달속도는 같은 것

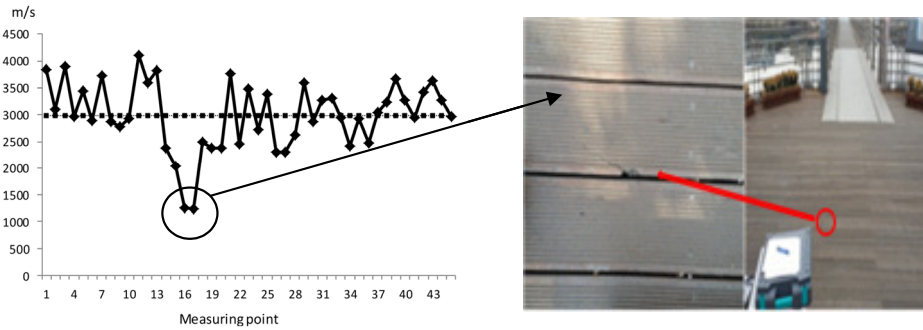


Fig. 5. Ultrasonic velocity and detection of damaged deck materials in Site B (dotted line: average).

으로 조사되었으며, 가까운 시기에 열대산 데크재가 시공된 B 지구(2013년)와 비교해 볼 때 열대산 데크재가 WPC 데크재가 보다 2.56배 정도 높게 나타났는데 이는 목재와 WPC 재에 대한 비교실험(Nazafi 등 2008)에서도 약 2.5배 정도의 차이를 나타내었다고 보고한 바, 본 연구에서도 유사한 경향이 나타났다.

Table 4에서 측정된 값 중에서 가장 낮은 속도를 나타내는 경우 이 부분은 육안적으로도 결함이 심한 부위로 판명되었으며 A 지구에서 초음파 평균전달속도가 4213 m/s인데 비해 결함이 눈에 띄게 큰 데크재에서는 196 m/s에 불과해 초음파 전달속도측정시 측정값이 한 자릿수 이상 차이가 나거나 C 지구에서처럼 할렬이 있는 경우는 없는 부위보다 초음파 전달속도가 40%에 불과해 이들 부분은 결함부위로 나타났기 때문에 이들 자료를 활용하면 눈에 보이지 않는 결함부위를 탐색하는데 간접법에 의한 초음파 측정법이 유효할 것으로 생각된다. 이에 대한 것은 Fig. 5에 나타내었다.

### 3.3. 경시변화에 따른 데크재의 초음파전달속도

설치연도에 따른 열대산 활엽수 데크재의 초음파 전달속도를 비교한 결과는 Table 5와 같다. 표에서 보듯이 Ipe 재의 경우 2015년 당해 연도를 100으로 하였을 때 2014년에는 80%, 2010년에는 39% 정도로 나타나 시간의 경과에 따른 초음파전달속도의 차이

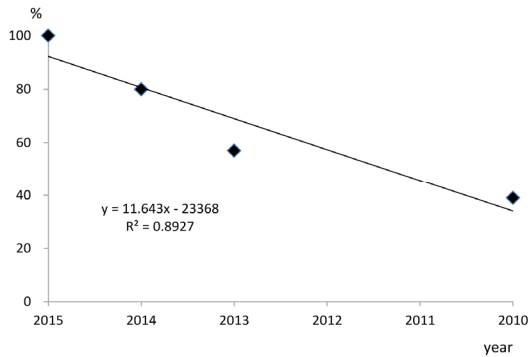
가 현저하게 나타났다, Merbau 재의 경우에는 2015년 대비 2013년에는 57%에 이르는 것으로 나타났다. Bankirai 재의 경우는 해당지역에 설치된 곳이 없어서 비교대상에서 제외하였다.

두 수종에 대한 데이터로부터 시간경과 따른 초음파전달속도의 감소경향을 회귀분석으로 분석한 결과 상관계수가 0.89 정도로 높게 나타났으며 이 관계로부터 시간경과에 따른 초음파전달속도의 예측이 어느 정도 가능하다고 판단된다. 특히 조사된 결과로부터 열대산 데크재에서 초음파 전달속도가 1500 m/s 이하로 나타나는 경우 Fig. 5에서와 같이 표면에서 큰 할렬이 관찰되어 교체여부를 심사숙고해야 할 것으로 조사되었다. Rodriguez 등(2001)은 부후되지 않은 목재의 초음파 속도는 1,900 m/s 이상이며, 1500-1900 m/s 사이의 속도에서는 부후가 시작되는 단계, 1,500 m/s 이하에서는 부후된 목재의 초음파속도라고 분류하였으며 고밀도재의 경우 전건재는 3,000 m/s 이상의 속도를 나타낸다고 한 바, Ipe 재의 경우 설치된 지 5년이 경과한 후에는 2,000 m/s의 속도를 나타내어 이들과 비교해보면 본 연구에서의 결과는 어느 정도 부후여부 정도를 유추해 볼 수 있는 사례로 판단된다. 또한 Lee 등(2013)은 서까래재의 내부결함을 탐지하는데 초음파 간접시험법을 적용하여 목재의 부후정도를 판단할 수 실험식을 제안하여 그 상관관계를 구명한 바 있다. 향후 표면속도와 더불어 설치된 데크재에 대해 초음파 전달속도와 내부 결함 및 강도와 강성과의 관계를 추가적으로 조사하여 데이터베이스

**Table 5.** Comparison of ultrasonic velocity according to passage of time (unit; m/s)

Species	2015	2014	2013	2010
Ipe	5,106 (100) <sup>1)</sup>	4,123 (80)	- <sup>2)</sup>	2,000 (39)
Merbau	5,436 (100)	-	3,104 (57)	-
Bankirai	5,317	-	-	-

1) percentage to 2015 data, 2) not available



**Fig. 6.** Ultrasonic velocity of decking materials according to the passage of time (year).

화 하면 데크재의 관리적인 측면에서 교체시기와 교체유무를 판단할 수 있는 객관적인 근거자료의 제시가 가능하므로 데크재의 유지·운영 면에서 매우 효율적인 수단이 될 것으로 생각된다.

#### 4. 결 론

설치된 데크재에 대해 초음파 비파괴 시험을 실시하고 얻어진 결론은 다음과 같다.

1. 초음파속도 측정법에서 직접법은 간접법보다 높은 초음파 속도를 나타내었으며, 간접법에 대한 직접법의 비율은 Merbau 재에서는 1.05, Ipe와 Bankirai 재에서는 1.02로 각각 나타났으며 두 방법간의 차이는 통계학적으로 차이가 없는 것으로 나타났다.
2. 설치된 데크재에 대한 현장에서의 초음파전달

속도를 측정결과 가장 최근에 시공한 지역의 데크재에서 같은 재료를 사용하여 2010년에 시공한 한 지역의 데크재보다 높은 초음파속도를 나타내었다. WPC 데크재의 초음파 전달속도는 열대산 데크재의 속도보다 보다 40% 정도 낮게 나타났다.

3. 시간경과 따른 초음파 전달속도의 경향을 회귀 분석으로 분석한 결과 상관계수가 0.89 정도로 높게 나타났으며 이 관계로부터 시간경과에 따른 초음파 전달속도의 예측이 어느 정도 가능하다고 판단된다.

#### 사 사

본 논문은 2013년도 대구대학교 학술연구비 지원에 의해 수행되었다. 조사연구에 도움을 준 황재현, 서동교 군에게 감사드린다.

#### REFERENCES

- Kim, G.M., Lee, I.C., Lee, J.J. 2005. Detection of internal wood decay using Ultrasonic CT. Proceedings of Korea Wood Science and Technology 2005: 74-78.
- Lee, S.J., Lee, S.D., Pang, S.J., Kim, C.K., Kim, K.M., Kim, K.B., Lee, J.J. 2013. Indirect detection of internal defects in wooden rafter with ultrasound. Journal of Korean Wood Science & Technology 41(2): 164-172
- Linan, C.R., Hita, R.P., Cozar, G. 2001. Study, diag-

- nosis and rehabilitation of the wooden slabs of two palace houses in Seville. *in* 3er Seminario Internacional sobre construcciones Históricas: 811-820. Portugal.
- Lourenco, P.B., Feio, A.O., Machado, J.S. Chestnut wood in compression perpendicular to the grain: Non-destructive correlations for test results in new and old wood. *Construction and Building Materials* 21: 1617-1627.
- Machado, J.S., Palma, P., Simoes, S. 2009. Ultrasonic indirect method for evaluating clear wood strength and stiffness. *in* NDTCE '09 Non-Destructive Testing in Civil Engineering, Nante, France.
- Naik, T.R., Malhotra, V.M., Popvics, J.S. 2004. The ultrasonic pulse velocity method. *in* Handbook on Nondestructive Testing of Concrete 2nd edition. Ch. 8. CRC Press, LLC.
- Najafi, S.K., Ebrahimi, G., Behjati, S. 2008. Nondestructive evaluation of wood plastic composite using ultrasonic technique. *Proceedings of DEFEKTOSKOPIE, Brno 2008*: 87-94.
- Proceq. SA. 2014. Pundit lab operating instructions.
- Son, D.W., Lee, D.H. 2004. Wood decay detection by . *Journal of the Korea Wood Science and Technology* 32(4): 74-81.
- Teder, M., Pilt, K., Miljan, M., Lainurm, M., Kruuda, R. 2011, Overview of some non destructive method for In Situ assessment of structural timber. 3rd International Conference Civil Engineering 2011 *Proceedings II Materials and structures*.