

## 비파괴 시험방법을 이용한 원목 내부결함 예측 및 분류의 計量化에 관한 연구 (I)\*<sup>1</sup>

— 원목의 횡단방향을 중심으로 —

朴 憲 · 姜 垠 和 · 全 星 鎮 · 尹 景 燮\*<sup>2</sup>

## Study on Mensurability of Internal Defect Prediction and of Classification of Log by NDE(Non-Destructive Evaluation)(I)\*<sup>1</sup>

— Focused on Cross Direction of Log —

Heon Park · Eun-Chang Gang · Sung-Jin Chun · Kyung-Seob Yoon\*<sup>2</sup>

### ABSTRACT

This study was to measure the properties of logs and classify them by non-destructive methods. The purpose of this experiment was focused at mensurability of logs by non-destructive methods. The non-destructive instrument, Stress-Wave Timer 239A which was made by Metriguard in U.S.A., was used. The stress wave velocities of log's cross direction were measured and compared with three different methods; 1. with hammer, 2. with hammer and D.B.H. meter, 3. with manufactured instrument.

Number of used logs were seven logs, which were classified by naked eye into six groups: very severe rot, severe rot, mild rot & knot, mild rot & check, mild rot, sound log, and in diameter were into three groups; large(57.4cm), medium(36~41.2cm), small(28.9cm) log.

The results, which were classified by mensurability with non-destructive methods, were followed:

1. The stress wave velocities were very different between rot and sound log. So it meant the possibility of mensurability of logs by non-destructive method even if high standard error.
2. The stress wave velocities decreased with checks more than with rots, which meant the checks affected speeds more.
3. The stress wave velocities increased with knot.
4. The velocities with manufactured instrument showed lower standard error, so more accurate results than other methods. Especially the required labour decreased from 3~4 to 2 persons.
5. Finally, the mensurability showed more accurate results and made the classification of logs sci-

\*1 접수 1994년 12월 31일 Received December 31, 1994

본 연구는 1993년도 교육부 지급 학술진흥재단 자유공모(지방대육성) 학술 연구비에 의하여 수행되었음

\*2 건국대학교 자연과학대학 College of Natural Science, Konkuk University, Chungju 322, Korea

**Keywords** : Non-destructive, mensurability, rot, stress-wave time

## 1. 서 론

목재수요는 생활수준과 밀접한 관계가 있어서 최근 우리나라도 생활수준의 향상으로 목재수요가 현저히 증가됨을 볼 수 있다. 우리나라의 원목 수요량은 1980년 5,785천 $m^3$ 에서 1990년 9,121천 $m^3$ 으로 10년사이 57.7%가 증가되었고, 앞으로 그 수요량은 더욱 증가될 추세이다(조사통계연보, 1992). 그런데, 우리나라의 원목 수요량 중 대부분은 외국 수입목에서 충당하고 있으며, 1990년의 경우 총 수요량의 88%인 8,285천 $m^3$ 를 수입하였다. 이를 금액으로 환산하여 보면 1990년 총수입액 약 61조원 중 약 8,600억원으로 1.4%를 차지한다. 한편, 국민들에게 많은 수입액으로 인식되어 있는 원유는 그 수입액 약 5조 6,000억원으로서 총수입액 중 9.1%를 차지하고 있다(입업통계요람, 1991).

위의 자료에서 볼 때 원목 수입액은 그 액수에 있어서 원유 수입액보다 적으나 1985년부터 1990년까지의 총수입액과 원목수입액, 총수입액과 원유 수입액의 상관관계를 비교 조사하여 본 결과, 전자가 0.96으로서 후자의 0.75보다 크게 나타나 총 수입액의 증가에 따라 원목 수입의 증가가 원유 수입액보다 더 큰 것을 알 수 있다. 따라서 이러한 추세를 감안할 때 미래의 원목수입은 수입품 중 보다 큰 비중을 차지할 것으로 기대된다.

우리나라의 목재 수입은 목재 수입회사에서 원목 또는 제재목으로 수입하고 있다. 그 중 원목은 주로 송백류와 남양재를 수입하고 있으며, 제재목은 미국 등지에서 제재회사로부터 여러가지 수종을 수입하고 있다. 수입된 원목은 1978년 1월 28일 산림청고시 제3호로 발표된 '수입원목의 검량기준고시'로 남양재에 대하여 Brereton방법에 따라 검량을 실시하여 주로 그 양에 대해서 조사하고, 목재의 질적인 내용은 勸木者의 육안적 분류에 의해 검사하고 있다.

이와 같이 목재의 질적인 면을 勸木者의 육안적 분류에 의한 방법에 의존한다는 것은 목재분류는 어느정도 가능하나, 이를 구매자 및 그의 사람에게 정확하게 전달하기 어려운 점이 있다. 더욱이, 이러한 수준으로 분류된 수입 원목은 국내의 제재

회사, 합판회사 등에도 그대로 판매되어 사용되므로 자원의 효과적인 관리측면을 고려해 보아야 하겠다.

일단 수입된 원목은 국내 荷役시 결함 상태를 파악하나 그 방법이 단순한 검척방법에 지나지 않고 원목의 방역 역시 수입시 일정한 과정에 불과한 것으로 조사에서 나타났다. 이러한 원목이 원목의 제재 또는 단판 절삭시 취약심재, 내부할렬, 내부부후 등이 권목자의 예측과는 다르게 나타날 경우 경제적 및 자원관리 측면에서 손실을 일으킬 수 있을 것으로 판단된다. 그러므로 수입시에 비파괴 방법을 사용하여 원목의 현상태(강도, 부후 등 제질적인 상태)를 計量化(mensurability)한다면 원목을 정확하게 분류하여 수입할 수 있을 뿐만 아니라, 수입된 원목도 그 계량수치에 따라 용도별로 분류, 적절히 이용하게 되어 자원의 효과적인 이용을 가져올 것으로 판단된다.

이는 나아가서 국제적으로는 천연자원의 이용성 향상으로 자원보호 역할을 하게 되고 국내적으로는 수입목에 의존하고 있는 우리나라의 외화 소비량을 절감하는 효과를 가져올 것으로 생각된다.

이러한 점에 착안하여 본 연구에서는 비파괴시험방법(Nondestructive Evaluation : NDE)을 원목의 분류의 계량화에 이용하고자 하였으며, 이 방법은 구미 등에서 제재목의 강도 분류방법으로 다양하게 이용되고 있고, 특히 미국에서는 제재회사 중 일부에서 제재목을 MSR(Machine Stress Rating)방법으로 분류하여 그 강도를 목재에 표기하여 판매하고 있다(McDonald, 1991).

본 연구에서는 NDE방법으로 원목의 Dynamic-E를 조사하고 이를 원목의 분류에 적용하여 그 효율성을 연구하고자 하였으며, 또한 이를 위하여 원목의 응력과 측정에 적합한 장치를 개발하여 그 효율성에 관하여 조사하였다. NDE방법을 통한 원목의 분류의 계량화가 가능하게 되면 이를 勸木者의 육안적 경험과 함께 원목 및 제재목의 식별에 이용하여 보다 우수한 목재를 수입할 수 있어서 외화 절감효과를 얻을 수 있을 것이다.

목재는 해부학적 특성에 따라 재질에 많은 변화가 있고, 더욱이 목재가 해부학적 결점(부후, 취약

심재, 내부할렬, 썩음, 그밖의 성장결함)을 갖고 있는 경우 그 재질이 더욱 다르기 때문에 이를 사용 전 분류하여 수치로 나타낸다면 목재 이용상 생산율과 품질을 향상시킬 수 있다.

따라서 본 연구에서는 비파괴 시험방법(Nondestructive Evaluation; NDE)중 응력파의 전달 소요시간을 측정하여 원목의 Dynamic E를 조사하여 비파괴로 원목 사용前 사전 강도계량화를 시도하였다. 즉 Stress wave를 이용, 음파의 출발점과 도착점 사이의 시간을 측정하여 다음과 같은 공식으로 계산, Dynamic E를 측정하였다(Pellerin, 1978).

$$E = V^2 D \text{ ----- (1)}$$

이 공식에서 V는 시간을 기초로한 속도이고 D는 밀도이며, E는 Dynamic-E를 뜻한다. 이러한 방법을 기초로 한 강도 측정법은 목재강도의 계량화에 매우 간편하며, 효율적으로 목재성질을 파악할 수 있어 미국에서는 제재목의 강도 분류에 이용되고 있다.

NDE방법은 여러가지가 있으나 미국에서 실제 개발하여 응용되고 있는 것은 Stress-Wave Timer, MSR, Vibrational approach 등 음파의 성질을 기초 원리로 이용한 다양한 기기가 개발되어 있으며, 일본도 이에 대한 연구를 실시하여 발표한 바 있다(Sobue *et al*, 1992).

본 연구에서는 미국의 Metriguard社 제품인 Stress-Wave Timer를 이용하여 수입 원목의 재질을 조사 계량화하여 비교하고 나아가 수입 원목의 재질 식별에 NDE방법의 이용 가능성에 대하여 연구하였다. 또한 본 연구팀은 Stress-Wave

Timer를 원목에 적용하기에 용이한 장치를 개발하여 이의 응용효과를 조사하였다.

## 2. 재료 및 방법

### 2. 1. 재료

공시원목은 국내 인천에 소재를 둔 H원목회사로부터 알래스카산 미송을 26본 구입하여 함수율은 생재상태로 유지하고 길이는 2m 40cm를 기준으로 절단하였다. 또, 구입한 원목을 수피를 제거하고 직경에 따라 3가지로 구분하였고, 육안 및 구입시 원목자의 구별기준에 따라 부후정도를 Table 1과 같이 분류하여 7개 원목을 공시원목으로 하였다.

본 연구에서는 비파괴 방법으로 음파 속도에 따른 원목의 부후상태를 구분하고자 미국 Metriguard사가 제작한 모델 Stress Wave Timer 239A를 이용하여 음파 속도를 측정하고, 그 속도로 원목의 재질을 구분하였다. 원목의 음파속도 측정은 방향별로는 횡단방향과 길이방향 2가지로 하였으며, 또한 제재 전과 제재 후를 비교하여 실험을 실시하였으나 지면관계로 본 보고서에서는 원목의 횡단방향에 대해서 1차 보고하였다.

### 2. 2. 방법

#### 2.2.1 원목의 Stress Wave Time(SWT) 측정

##### 2.2.1.1 횡단방향의 SWT 측정

각 시편을 30cm 간격으로 타점의 위치를 설정하고 Fig. 1과 같이 횡단 방향의 SWT를 측정하여 음파 통과속도를 산출하는 근거로 하였다. 이때, 반복 실험을 위하여 인원을 무작위로 25명 선정하여 10반복으로 하였으며, 측정방법은 1), 2), 3)

Table 1. Classification of log sample (by naked eye).

No. of sample	Diameter (mean:cm)	Rot & check
1	Large(57.4)	severe rot
2	Medium(38.4)	mild rot & knot
3	Medium(39.0)	sound
4	Medium(40.9)	mild rot & check
5	Medium(41.2)	mild rot
6	Medium(36.0)	very severe rot
7	Small(28.9)	sound

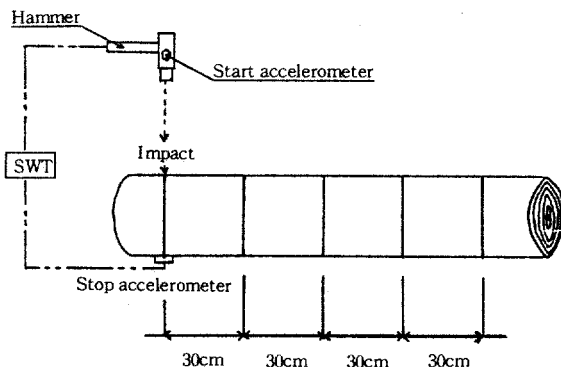


Fig. 1. Cross direction's SWT measurement of each sample.

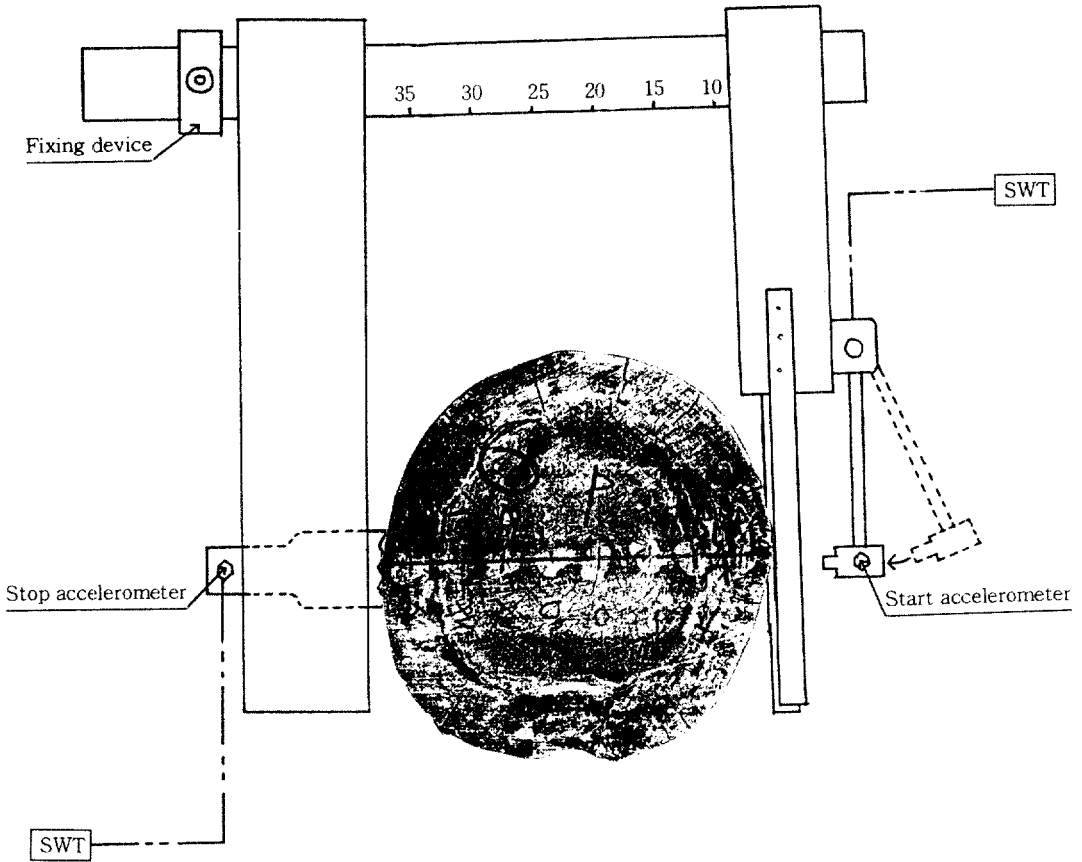


Fig. 2. View of Lab-manufactured instrument.

과 같이 SWT를 조사했다.

- 1) Stop 부분을 30cm 간격으로 위치를 정하고 그 반대쪽에 목측으로 타점위치를 결정하여 SWT를 측정하는 방법.
- 2) 윤척을 이용하여 impact부분과 stop부분에 30cm 간격으로 타점 위치를 표시하고 SWT를 측정하는 방법.
- 3) 제작기기를 이용하여 타점위치를 결정하여 SWT를 측정하는 방법.

상기와 같이 3가지 방법으로 측정한 것은 측정자에 따른 실험상의 오차가 발생하는 것을 줄이고자 하는 것이 그 목적이었다.

본 시험방법은 현장에서 직접 사용하는 경우에 대한 것이기 때문에 실내에서 실험하는 것과는 다르게 측정장치설치, 측정자의 위치와 자세, 측정자의 심리상태에 따라 오차가 발생할 수도 있다고 생각하여 3가지 방법으로 측정을 시도하였다. 즉, 첫 번째 시도된 방법은 측정자가 목측으로 위치를 선

정하는 경우이고, 두번째는 윤척을 이용하는 경우이며, 세번째는 본 실험실에서 제작한 장치를 가지고 측정하는 경우였다.

즉, 상기방법 중 1), 2)방법은 Metriguard社 제품인 hammer만을 이용하여 Fig. 1과 같이 원목의 횡단방향을 타격하고 그 응력파가 횡단하는데 소요하는 시간을 조사하였다. 1)의 방법은 impact위치와 stop위치를 순수히 목측으로 가장 짧은 거리라고 생각되는 부분을 30cm 간격으로 hammer로 타격하였으며, 2)의 방법은 윤척을 이용하여 가장 짧은 거리의 impact위치와 stop위치를 30cm 간격으로 미리 그 폭을 재고 위치를 표시한 후, hammer로 타격하여 응력파의 소요시간을 조사하였다. 3)의 방법은 타법과 타점의 개인차를 최소화하여 보다 정확한 음파 속도를 얻기위해 본 실험실에서 제작한 기기를 이용하여 횡단 방향의 SWT를 측정하고자 하였다. 제작한 기기는 Fig. 2와 같은 타격장치로서, 타격시 타점위치 변동을 줄이고 타격

자의 개인 차이를 감소시켜 측정치의 오차를 줄이고자 하였다. 이 장치는 거의 동일한 지점 및 동일한 타격세기로 타격하는 것을 목적으로 제작되었으며, 동시에 원목의 직경을 측정할 수 있도록 하였다. 응력파 시험시 타격세기가 일정수준 이상이어야 안정된 값을 얻을 수 있어서 예비실험 결과 타격하는 사람에 따라 그 타격세기를 어느정도 해야할지 타격자가 결정하는데 어려운 점이 있었으며, 타점지점 역시 가장 짧은 직선위치를 선정하는 것이 필요하였고 동시에 원목 직경을 측정할 수 있는 장치가 요구되어 Fig. 2와 같은 장치를 고안하여 제작, 실험에 응용하였다.

### 2. 3. 자료분석

본 실험에서 측정된 각 지점의 SWT, 즉 음파 횡단 시간을 다음의 식을 이용하여 속도로 변환하였다.

$$V = d/t \times 10^4$$

V : 속도(단위:m/sec)

d : 직경(단위:cm)

t : Stress Wave Time(단위: sec)

본 비파괴 시험방법에서 실험대상 원목의 Dynamic E값은 서론에서 언급한 바와 같이  $E=V^2D$ , 즉  $V^2=E/D$ 이므로 Dynamic E값이 속도의 제곱에 비례하는 점을 이용하여 이를 강도적 성질 분석치로 사용하였다. 이러한 계산방법을 선택한 이유는 밀도인 D의 측정이 각 부위별로 다르고 그 시편 채취 및 밀도 측정이 곤란하므로 이를 자료화하는데 어려움이 있어서 이와 같은 방법을 택하였다.

속도로 환산한 자료는 통계package Lotus 1-2-3과 SAS를 이용하여 분석하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3. 1. 공시목 횡단방향의 응력파 속도비교

본 연구에서의 비파괴시험 방법은 응력파의 전달 소요 시간을 측정하여 속도를 계산하고 이를 목재의 강도 計量化 기준으로 삼았다.

(1)식에서 Dynamic E와 응력파의 속도의 제곱이 비례관계에 있으므로 원목 및 제재목의 강도를 응력파의 속도 비교로 대체하였다.

즉, 응력파의 속도가 빠른 목재의 원목의 Dynamic E가 높은 것으로 분류하였다.

#### 3. 1. 1 3가지 측정방법에 따른 원목의 횡단 방향의 응력파 속도비교

본 연구는 앞에서 언급된 바와 같이 현장에서 사용하는 측정방법에 관한 실험인 관계로 측정장치의 설치, 측정자의 위치와 자세, 측정자의 심리상태에 따른 오차를 줄이기 위하여 3가지 방법으로 측정을 시도하였다. 3가지 측정방법간의 정확도를 비교하기 위하여 각 7공시목의 7군데 타점마다 25명의 인원으로 10반복해서 나타난 각 타점 측정치의 표준편차를 구하고, 이들의 범위와 평균값을 계산하여 Table 2에 제시하였다.

Table 2에서 보면, 육안으로 타점을 결정하여 측정한 값이 표준편차가 가장 높게 나타났으며, 그 보다는 약간 낮지만 윤척으로 위치 선정한 후 측정한 값도 거의 비슷한 수준이었다. 이 두 값이 비슷한 수준으로 나타났다는 것은 hammer를 사용하여 응력파를 측정하는 경우에는 육안 만으로 타격위치를 선정하더라도 무리가 없음을 의미하는 것이다. 그러

Table 2. Range and average of standard error of three measured methods.

Method	Mean & Range
Eye measurement	mean : 62.90 range : 27.28~122.28
D.B.H meter	mean : 59.40 range : 18.95~124.09
Manufactured instrument	mean : 22.66 range : 3.03~55.12

나, 세번째 방법인 제작장치를 이용하여 측정한 경우는 표준편차 평균값이 앞의 두가지 방법에 비해 높이하로 낮아져서 정확 도가 훨씬 높아졌음을 알 수 있었다. 또한 이 장치를 이용할 경우 속도 계산시에 필요한 원목 직경 길이를 다시 측정할 필요가 없는 잇점이 있고, 이 장치를 이용하지 않을 때 소요 인원이 3~4명 이었으나, 이 제작장치를 이용할 경우 2~3명의 인원이 필요하여 인력동원면에서도 크게 유리함을 알 수 있었다.

#### 3. 1. 2 정상재와 부후목간의 횡단방향 응력파 속도 비교

본 실험에서 사용한 원목은 육안으로 구분된 건전목과 부후목, 그리고 직경에 따라 구분한 대중,

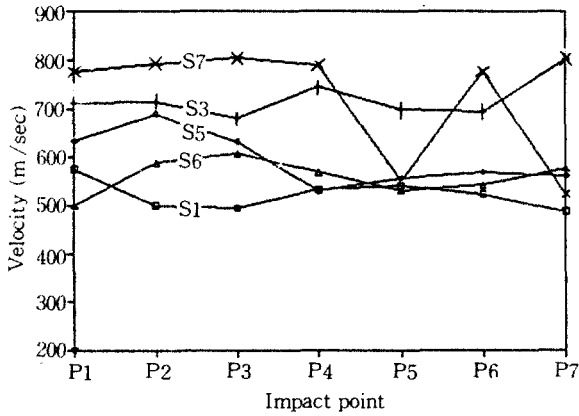


Fig. 3. Comparison of sound log's stress wave velocities with rot log's.

소를 뚜렷하게 구분할 수 있는 원목을 선정하여 공시목으로 하였다. 이들 원목 중 정상재와 부후목을 통과하는 응력파의 속도를 비교한 결과 Fig. 3의 그래프와 같았다.

그래프에서 3번과 7번은 정상목으로 구별되었으나 응력파에 의한 결과를 보면 차이가 있음을 알 수 있다. 또한, 두 정상목은 부후목인 1번, 5번, 6번보다 응력파 속도가 빠르게 나타나 정상목과 부후목의 속도차이가 나서 2가지 공시목의 구분이 가능함을 알 수 있다. 정상재 중 7번 공시목의 타점 5번과 7번이 유난히 낮은 값을 보인 것은 그곳의 표면상태가 원목운반시에 운반기기로 인한 흠집이 있는 곳이었기 때문이었다.

부후목인 1번, 5번, 6번 공시목은 각각의 부후상태가 1번 공시목은 '심함', 5번 공시목은 '약간 부후', 6번 공시목은 '매우 심함' 등 세가지로 육안적 분류가 된 것이었다. 본 그래프에서 5번 공시목의 타점 1,2,3번은 비교적 높은 응력파 속도를 보이고 있어 1번, 6번 공시목과 구별되나, 4번 이하는 비슷한 수준을 보이고 있어 타점 4번 이하는 그 부후정도가 비슷함을 알 수 있다. 따라서 단순한 육안적 분류와는 다르게 응력파에 의한 방법은 내부결함 상태를 정확하게 표현할 수 있는 장점이 있다.

심재가 완전히 부후되어 '매우 심한 부후'로 분류된 6번 공시목은 심재부위는 완전히 부후되었으나 변재는 극히 정상적 상태였기 때문에 Fig. 4에서와 같이 응력파가 직선으로 나아가는 속도보다는 극히 정상적인 상태였던 변재부위로 통과하는 속도가 빨라서, 부후 상태는 '약간부후'로 분류되었으나 부후정도가 넓게 퍼져 있었던 1번 공시목의 속도보다 높

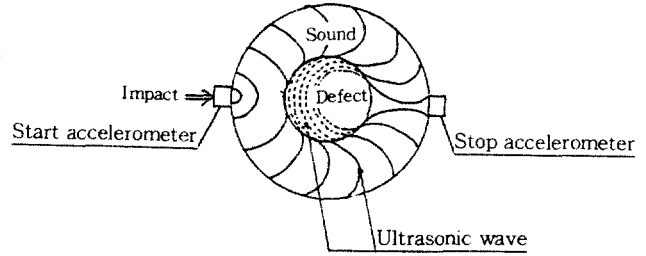


Fig. 4. Schematic diagram of stress wave route in heartwood-rotten log.

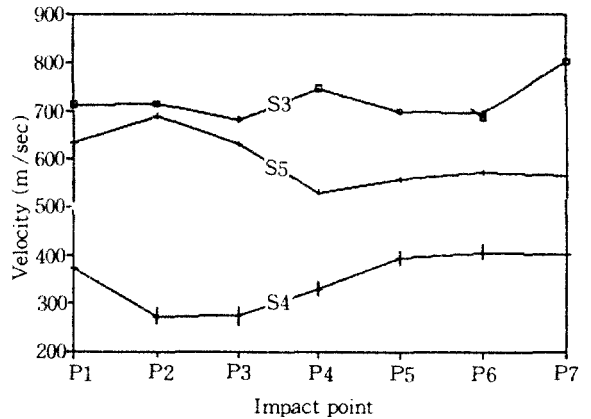


Fig. 5. Comparison of sound and rot log's stress wave velocities with that of log including check.

은 값을 나타내었다. 따라서, 단순한 육안적 분류로 부후상태를 구분하는 것과 응력파를 이용한 방법과는 차이가 있음을 알 수 있다.

결국 본 실험에서 사전에 같은 정상목이라고 육안으로 판정한 3번, 7번 정상목이나 부후상태에 따라 육안으로 분류한 1번, 5번, 6번 공시목에서 나타난 결과를 보면, 육안적 분류는 보는 사람의 관점에 따라 차이가 날 수 있으나, 응력파 속도에 의한 計量化 方法은 객관적이며, 수치화된 분류를 할 수 있는 것이 큰 장점이며, 따라서 보다 과학적이라 하겠다.

### 3.1.3 정상재와 활렬목의 횡단방향 응력파 속도 비교

본 실험에서 사용한 원목중 Table 1의 4번 공시목은 육안 분류시 약간 부후 및 활렬이 있는 원목이었다. 이 원목의 응력파 속도를 조사하여 3번 건전목과 5번 약간부후목의 결과와 비교하여 Fig.

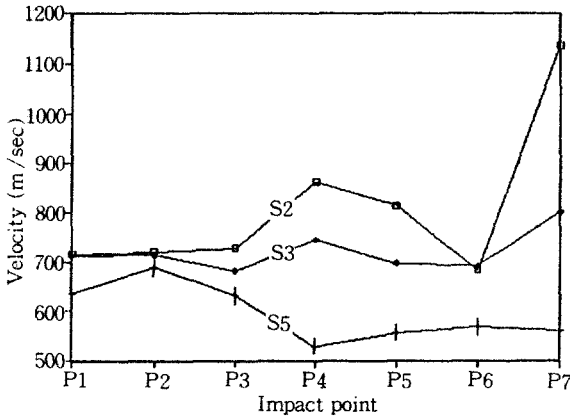


Fig. 6. Comparison of sound and rot log's stress wave velocities with that of log including knot.

5의 그래프에 나타내었다.

그래프 상에서 보면, 4번 공시목은 같은 "약간 부후목"으로 분류된 5번 공시목에 비해서 현격하게 응력과 속도가 떨어지는 것을 알 수 있었다. 이것은 할렬에 의한 공극의 발생이 응력과 전달속도에 미치는 영향이 부후의 영향보다 훨씬 크다는 것을 의미하는 것이다.

### 3.1.4 정상재와 웅이목의 횡단방향 응력과 속도 비교

본 실험에서 사용한 원목중 2번 원목은 약간부후로 구분되었으나 웅이가 많은 원목이었다. 이 원목의 응력과 속도를 조사하여 3번 건전목과 5번 약간 부후목의 결과와 비교하여 Fig. 6의 그래프에 나타내었다.

그래프에 나타난 결과를 보면, 부후되었으나 웅이가 많은 2번 웅이목의 응력과 속도가 건전목인 3번 공시목보다 빠르게 나타나 높은 값을 보였다. 특히, 타점 7번의 경우 웅이가 외부에 노출되어 있는 곳으로 그 측정값이 다른 곳에 비해 높게 나타났다.

응력과 속도를 이용한 목재 분류방법에서 유의할 점은 웅이가 응력과 속도에 +요인으로 작용하며, 그 영향력도 매우 크다는 것이다. 따라서 웅이의 多少, 大小 등이 응력과 속도에 미치는 영향에 관한 연구가 필요하다.

## 4. 결 론

본 연구에서는 수입원목의 재질을 비파괴 시험

방법인 응력과 속도를 이용 計量化하여, 분류할 수 있는가에 대하여 실험을 실시하였다. 즉, 원목의 부후 및 할렬, 건전목의 상태를 육안적 방법으로 사전 분류하고 응력파를 이용한 비파괴 시험방법을 통한 수치화된 결과와 비교하여 원목분류의 계량화를 시도하고자 하였다.

사용한 비파괴 시험기기로는 미국의 Metriguard社 제품인 Stress-Wave Timer 239A를 이용하였다. 측정방법은 원목의 횡단방향으로 타격하고 그 응력파의 소요시간을 조사하였다. 타격위치 설정을 정확하게 하기 위하여 측정장치를 고안 제작한 후, 1)목측에 의한 방법 2)운척을 이용하는 방법 3)제작장치를 이용하는 방법등 3가지 방법으로 응력과 소요시간을 조사하고 그 정확도를 상호 비교하였다.

본 실험에서 사용한 원목은 2m 40cm 크기로 7개를 공시목으로 하였으며, 부후상태 및 할렬에 따라 건전, 약간부후, 약간부후와 웅이, 약간부후와 할렬, 심한부후, 매우 심한부후 등 6가지로 구분하였고, 직경은 대, 중, 소 3가지로 하여 구분하였다. 실험을 실시한 결과는 응력파의 원목 횡단방향의 통과속도를 조사하여 이를 計量化하여 재질분류의 가능성을 조사하였다.

그 결과는 다음과 같다.

1. 응력과 소요속도가 건전과 부후상태에 따라 다르게 나타나고, 그 차이가 뚜렷하여 비록 측정치의 표준편차 값이 큰 편이나 원목분류의 계량화가 가능함을 알 수 있었다.
2. 응력파는 부후에 의해서도 영향을 받지만 할렬이 많은 목재는 응력과 통과시에 할렬공극의 영향이 더 큰 것으로 나타났다.
3. 웅이가 많은 목재에서는 그 속도가 증가되는 것으로 나타나 응력파에 의한 원목의 분류에 고려해야할 점으로 생각된다.
4. 건전목의 경우는 직경의 대소에 관계없이 응력과 통과속도가 부후목에 비해서 빠른 것으로 나타났다.
5. 3가지 타격위치 설정방법 중 제작장치를 이용한 방법이 7가지 공시목 공히 측정치의 표준편차 값이 낮아 그 정확도가 높게 나타났으며, 특히 제작장치 이용시 소요인원의 수를 필요인원 3~4명이었던 것을 최소 2명까지 줄일 수 있었다.
6. 결론적으로, 본 실험 결과 원목자가 분류한 내용을 비파괴에 의한 계량화 수치가 더욱 정확

한 정보를 제공하고 있어 원목 분류의 과학적 관리가 가능함을 알 수 있었다.

## 참 고 문 헌

1. Gerhards, C. C. 1978. Comparison of two non-destructive instruments for measuring pulse transit time in wood. *Wood Sci.* 11(1):13~16
2. Gerhards, C. C. 1981. Effect of cross grain on stress waves in lumber. USAD. Forest Serv. Res. Pap. FPL 368
3. Kim, G. H., H. M. Barnes and D. E. Lyon. 1991. Decay detection using pilodyn and ultrasonic techniques. *Wood Protection* 1(2): 61~68
4. Breeze, J. E. and R. H. Nilberg. 1971. Predicting by sonic measurements the strength of logs and poles having internal decay. *Forest Prod. J.* 21(5):39~43
5. Hoyle Jr, R. J. & R. F. Pellerin. 1978. Stress-Wave inspection of a wood structure, Proceedings of the Fourth Nondestructive Testing of Wood Symposium. WSU. Pullman, WA.
6. Goodman, J. R., M. D. Vanderbilt, M. E. Criswell and J. Bodig. 1979. Research on probability-based design of wood transmission structures. American wood-preservers' association
7. McDonald, K. A. 1978. Lumber defect detection by ultrasonics. USAD. Forest Serv. Res. Pap. FPL 311
8. Nanami, N., N. Nakamura, T. Arima and M. Okuma. 1992. The method of measurement and the propagation path of the waves. Measuring the properties of standing trees with stress-wave 1. *Mokuzai Gakkaishi* 38(8) : 739~746
9. Nanami, N., N. Nakamura, T. Arima and M. Okuma. 1992. Application of the method to standing trees. Measuring the properties of standing trees with stress-wave 2. *Mokuzai Gakkaishi* 38(8):747~752
10. Mallory, N. P., K. D. Anderson and R. C. DeGroot. 1987. An Acoustio- Ultrasonic Method for evaluating decayed wood, Proceedings of Sixth Nondestructive Testing of Wood Symposium. WSU. Pullman, WA. : 167~189
11. Sobue, N. and A. Katoh. 1992. Simultaneous determination of orthotropic elastic constants of standard full-size plywoods by vibration method. *Mokuzai Gakkaishi* 38(10) :895~902
12. Falk, R. H., M. P. Mallory and K. A. McDonald. 1990. Nondestructive testing of wood products and structures: state-of-the-art and reseach needs. USAD. Forest Serv. FPL
13. Kaiserlik, J. H. and R. F. Pellerin. 1977. Stress-Wave attenuation as an indicator of lumber strength. *Forest Prod. J.* 27(6):39~43
14. Pellerin, R. F. 1978. Nondestructive testing of wood -- a possible method for timber piling. Proceedings of the Fourth Nondestructive Testing of Wood Symposium. WSU. Vancouver, WA. :169~174
15. Pellerin, R. F. 1991. Eighth Symposium on the Nondestructive Testing of Wood. Vancouver, Wash.
16. Szymani, R. and K. A. McDonald. 1981. Defect detection in lumber: state of the art. *Forest Prod. J.* 31(11):34~44
17. Galligan, W. L. and R. W. Courteau. 1965. Measurement of elasticity of lumber with longitudinal stress-waves and the piezoelectric effect of wood, Proceeding of the Second Symposium on the Nondestructive Testing of Wood. WSU, Pullman, WA. :223~244
18. 산림청. 1991. 6. 주요 임산물 수입 실적. 임업 통계요람 21:318~319
19. 한국은행. 1992. 53. 주요 상품별 수입. 조사 통계연보 46:102~103