

## 慣行熱氣乾燥와 高温乾燥 針葉樹材의 含水率 測定法에 의한 平衡含水率 比較\*1

鄭希錫\*2 · 윌리엄 비 스미스\*3

## Comparison of Equilibrium Moisture Contents for Conventional Kiln Dried- and High Temperature Dried Softwood Lumber by Moisture Content Determination\*1

Hee-Suk Jung\*2 · William B. Smith\*3

### ABSTRACT

The adsorption of water vapor and equilibrium moisture content(EMC) of the specimens for four softwood species dried by conventional- and high temperature method and equilibrated to 15% of the target EMC condition at 25°C were determined by oven drying method and with moisture meters. The amount of adsorption for high temperature dried red pine was significantly higher than that of conventional kiln dried wood, while those of eastern white pine, eastern hemlock and Norway spruce were not significantly different between drying methods. EMCs of these four species determined by oven drying method and with capacitive-admittance moisture meter were not significantly different between drying methods. EMC of high temperature dried red pine determined with resistance moisture meter was significantly higher than that of conventional kiln dried wood. But EMCs of other species did not show significant difference between drying methods. EMCs of conventional and high-temperature dried wood determined with electronic moisture meters, especially in the case of the capacitive-admittance moisture meter measurement, were lower than that determined by oven drying method.

*Keywords* : Equilibrium moisture content, drying methods, moisture content determination, oven drying method, resistance moisture meter, capacitive-admittance moisture meter

\*1 接受 1994년 8월 16일 Received August 16, 1994

本 研究는 뉴욕 州立大의 REMCO 프로그램의 研究費에 의하여 遂行되었음.

\*2 서울大學校 農業生命科學大學 College of Agriculture and Life Sciences, Seoul National University, Suwon 441-744, Korea.

\*3 뉴욕 州立大學校 環境 및 林學大學 College of Environmental Science and Forestry, State University of New York, Syracuse, New York 13210-2778, USA.

## 1. 緒 論

목재 함수율은 목재성질을 변화시키고 木製品의 성능에도 영향을 끼치기 때문에 목재의 수분관리는 매우 중요하다. 대부분의 목재는 용도에 따라 천연건조하거나 인공건조하여 사용하고 있는데, 屋內用 목재는 주로 관행 열기건조하거나 가끔 고온건조를 실시하여 이용되고 있다. 어떠한 건조방법에 의해서든지 사용장소에 알맞은 평형함수율까지 건조하여야 한다. 목재의 평형함수율은 온도와 습도 등 외부조건 뿐만 아니라 목재 주성분의 구성비, 추출물의 종류와 함량 등 목재 자체조건과 전처리 등 목재 내력에 의해서도 영향을 받는 것으로 알려져 있다. 목재의 평형함수율은 수증간에 있어서 건조방법이라든가, 또한 동일한 건조방법에 의한 건조제일지라도 함수율 측정법에 따라서 어떠한 차이가 있는지 구명할 필요가 있다.

함수율 측정법은 주로 전진법과 전기적 성질을 이용한 전자(기)수분계 (electronic moisture meter)에 의해 측정되고 있다. 전진법은 함수율을 정확하게 측정할 수 있는 표준 측정법이지만, 시험편을 절취하여 전진하여야만 가능하기 때문에 현장에서 즉시 측정할 수 없는 단점이 있다. 반면에 목재 수분계는 현장에서 즉시 측정 가능하나 정확도가 떨어지는 단점이 있다. 목재 수분계는 금속제의 편전극을 이용하는 저항식 수분계의 경우 함수율이 목재의 화학성분과 온도의 영향을 크게 받고, 표면 전극을 이용하는 유전율 수분계(dielectric meter)의 경우 함수율이 비중의 영향을 크게 받는 단점이 있다. 목재 수분계는 주로 천연건조재와 열기건조재를 대상으로 하여 제조되었고, 측정된 함수율은 수종별로 어느 정도의 오차가 있기 마련이다. 건조에너지 절약과 건조시간 단축을 위하여 침엽수재의 고온 건조의 인식이 높아지고 있는 바, 기이 보급되어 사용되고 있는 각종 목재 수분계의 보정계수가 여러 수종의 고온건조재에 대해서도 얼마나 정확한지에 대하여 관심이 되고 있다. 목재의 정확한 함수율을 알아낸다는 것은 목재의 품질관리 측면에서 가공자 뿐만 아니라 건조자에게도 매우 중요한 일이다.

목재의 흡습에 대하여 Choong(1969)은 추출물 함량이 클수록 흡습성이 감소함을 보고하였다. 목재의 가열처리 등 목재 내력이 함수율에 미치는 영향 등에 대하여 Stamm(1964)은 목재가 고온처리되면 흡습성이 큰 헤미셀룰로오스의 분해로 인하여 흡습성이 감소한다고 보고하였고, Salamon

(1966, 1972)은 웨스턴 헵록의 천연건조재, 관행열기건조재와 고온건조재의 평형함수율과 서부산 침엽수에 대한 저항식 수분계의 보정계수에 관하여 보고하였다. James(1968, 1988)는 특정 수종과 온도에 대해 목재수분계의 보정계수를 개발하였고, Skaar(1988)는 목재가 건조되었거나 약제가 주입되면 흡습성과 전기전도 특성에 영향하며, 수분계의 특징, 장점과 제약점 등을 밝혔다. Garrahan(1988)은 Black spruce, Jack pine과 Balsam fir를 건조 온도 115.6°C에서 고온건조한 목재를 저항식 수분계로 측정된 결과, 수종에 따라 함수율이 상이함을 보고하였으며, Milota와 Quarles(1990)는 Douglas fir와 Lodgepole pine 고온건조재의 함수율은 관행 열기건조재의 것보다 약간 낮다고 보고하였다. Smith(1992)는 Red cedar의 심재와 변재의 함수율을 전진법, 증류법과 저항식수분계 등으로 측정하여 정확성 여부를 밝혔다. Smith와 Jung(1993)은 침엽수 건조재의 목재 수분계와 전진법에 의한 함수율의 관계를 보고하였다.

본 연구는 침엽수 고온건조재의 수분관리와 수분계에 의한 함수율 측정의 정밀도를 알기 위하여 Red pine 외 침엽수 3 수종의 관행 열기건조재와 고온건조재의 흡습기간별 함수율, 함수율 측정법, 즉, 전진법, 저항식 수분계와 용량식 수분계로 측정된 함수율간에 차이가 어느정도인가를 알기 위하여 실시하였다.

## 2. 材料 및 方法

### 2.1 공시 수종과 제재

공시 수종은 레드 파인(Red pine), 이스턴 화이트 파인(Eastern white pine), 이스턴 헵록(Eastern hemlock)과 노르웨이 스프루스(Norway spruce)이고, 이들 수종의 생재 원목에서 두께 5.08cm, 폭 10.16cm, 길이 2.44m(2"×4"×8') 크기로 제재하여 공시하였다.

### 2.2 열기건조와 고온건조

공시 제재의 열기건조는 Simpson, W. T. (1991)의 말기온도가 82.2°C(180°F)인 USDA Dry Kiln Operator's Manual Schedule T<sub>10-B</sub>를 적용하여 12일간 건조하였고, 고온 건조는 건조 온도 115.6°C(240°F)에서 1일간 건조하였다.

### 2.3 시험편의 조습처리와 흡습량

공시 수종의 열기건조재와 고온건조재의 시험편

은 두께 2.54cm, 폭 5.08cm, 길이 10.16cm(1'×2'×4')크기인 무결점이고 통직 목리를 갖는 것 7개씩 제작하였다. 모든 시험편은 먼저 건구 온도 25℃와 습구 온도 16.4℃ 정도 유지되는 실험실에서 항량에 도달시킨 다음, 건구 온도 25℃와 습구 온도 22.1℃ 조건에서 목표 평형함수율 15% 유지되는 항온항습기에 함께 넣어 조습처리 하였는데, 조습 처리기간은 항량에 도달된 것이 확인될 때까지 10 일간이었으며, 조습처리 중에 24시간 간격으로 정밀도 0.01g인 저시 천칭으로 무게를 측정하고, 전 흡습기간 중 흡습량은 평형함수율과 초기함수율의 차이로 구하였다. 이들 시험편의 전건법에 의한 초기 함수율과 생재비중은 표 1과 같다.

## 2. 4 평형함수율 측정

조습처리 중 시험편의 함수율은 24시간 간격으로 전건법에 의해 측정하였고, 조습처리후의 평형 함수율은 전건법과 실온 25℃ 유지되는 항온실에서 저항식 수분계 및 용량식(capacitive-admittance) 수분계로 측정하였다.

### 2. 4. 1 저항식 수분계

사용한 저항식 수분계는 Delmhorst RDM-1S 수분계이고 표준수종은 더그러스 피이다. 재온이 25℃인 시험편에 절연 2핀 전극을 목재 속에 깊이 게이지(depth gauge)를 사용하여 약 6.4mm 박아서 평형함수율을 측정하였으며, 시험편 당 측정부위는 표면과 뒷면에서 각각 2 부위씩 4회 측정하여

평균하였다.

### 2. 4. 2 용량식 수분계

사용한 용량식 수분계는 Wagner L-100이고 표준수종은 더그러스 피이며, 시험편을 부도체 위에 놓고 시험편의 표면과 뒷면에서 각 1회씩 평형함수율을 측정하여 평균하였다.

## 3. 結果 및 考察

### 3. 1 흡습기간별 함수율

레드 파인 외 3 수종의 열기건조재와 고온건조재의 흡습기간별 함수율 곡선은 그림 1과 같고, 전 흡습기간 중 흡습량은 표 2와 같다. 그림 1에서 나타난 바와 같이, 모든 수종의 건조재 함수율은 흡습 개시 후 1일 동안 매우 증가하였고, 그 이후 각 수종의 함수율은 레드 파인과 이스턴 화이트 파인의 경우 4~5일 간, 이스턴 헴록과 노르웨이 스프루스의 경우 5~6일 간은 완만히 증가하다가, 그 이후는 서서히 안정되는 경향을 나타내었다.

열기건조재와 고온건조재간의 함수율 비교에서 레드 파인과 이스턴 화이트 파인의 고온 건조재의 함수율은 열기건조재의 것에 비해 흡습 5일 동안에 적었으나 그 이후부터 컸었다. 이스턴 헴록과 노르웨이 스프루스의 고온건조재의 함수율은 열기건조재의 것보다 전 흡습기간 중에 적은 경향을 나타내고 있었는데, 함수율 곡선은 건조재의 종류에 따라 수종간에 약간의 차이를 나타내고 있었다. 전 흡습기간 중 최종 흡습량은 레드 파인의 고온건조재가 열기건조재보다 유의적으로 컸었고, 다른 수종의

Table 1. Initial moisture content and specific gravity of specimens used.

Species	Drying method	Initial MC(%)	Specific gravity <sup>*1</sup>
Red pine	CKD <sup>*2</sup>	7.0(0.35) <sup>**</sup>	0.35(0.02)
	HTD <sup>*3</sup>	6.5(0.26)	0.34(0.01)
Eastern white pine	CKD	6.6(0.62)	0.34(0.05)
	HTD	6.2(0.19)	0.35(0.03)
Eastern hemlock	CKD	7.4(0.26)	0.39(0.02)
	HTD	7.1(0.36)	0.36(0.01)
Norway spruce	CKD	7.4(0.20)	0.36(0.02)
	HTD	7.0(0.20)	0.35(0.01)

\*1 Based on green volume and oven dry weight.

\*2 Conventional kiln drying.

\*3 High temperature drying.

\*4 The values in round brackets refer to standard deviation.

Table 2. Moisture content differential between EMC and initial MC( $\Delta$ MC).

Species	Drying method	$\Delta$ MC	t value <sup>*1</sup>
Red pine	CKD	5.2(0.26) <sup>*2</sup>	-8.473 <sup>**</sup>
	HTD	5.9(0.21)	
Eastern white pine	CKD	5.5(0.77)	-0.995
	HTD	5.9(0.63)	
Eastern hemlock	CKD	6.7(0.60)	0.602
	HTD	6.5(0.62)	
Norway spruce	CKD	5.7(0.43)	-1.665
	HTD	6.0(0.42)	

\*1  $t(6, 0.05) = -2.447$ ,  $t(6, 0.01) = -3.707$

\*2 The values in round brackets refer to standard deviation.

Abbreviation defined in Table 1.

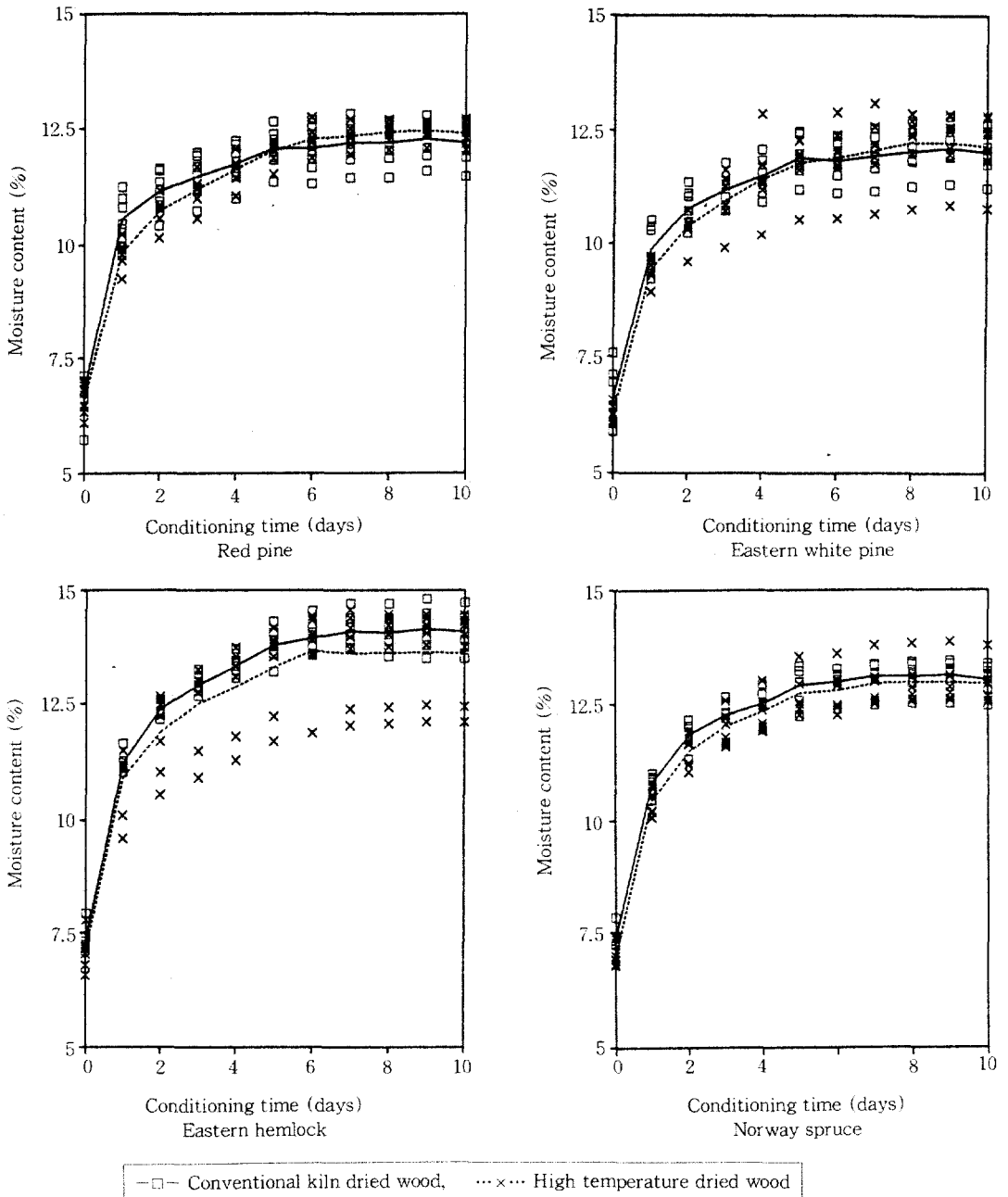


Fig. 1. Relationship between conditioning time and moisture content.

경우 건조 방법 간에 차이가 없었다.

Wengert와 Mitchell(1979)은 가열에 의한 흡습성의 감소 정도는 일차적으로 수종과 고온건조 스케줄, 부수적으로 추출물의 함량과 초기함수율의 영향을 받는다고 보고하였으며, Mitchell

(1981)은 밀봉된 bomb에서 가열된 Loblolly pine의 흡습성은 더그러스 퍼의 것보다 더 감소하였고, 흡습성의 감소는 가열온도와 가열 시간에 비례한다고 보고한 바 있는데, 본 연구에서 레드 파인의 고온건조제는 흡습량이 증가하였고, 다른 수종의

고온건조제는 흡습의 영향을 받지 않은 것으로 나타났다.

### 3. 2 평형함수율

레드 파인 외 3 수종의 열기건조제와 고온건조제의 조습처리 완료 후 함수율 측정법별로 측정된 평형함수율은 표 3과 같다. 전건법으로 측정된 고온건조제의 평형함수율 값은 열기건조제의 것보다 레드 파인과 이스턴 화이트 파인의 경우 약간 컸었고, 이스턴 햐룩과 노르웨이 스프루스의 경우 약간 적었지만 양자간에 유의적인 차이는 나타나지 않았다. 저항식 수분계로 측정된 고온건조제의 평형함수율 값은 열기건조제의 것보다 레드 파인의 경우 유의적으로 컸었다. 그렇지만 이스턴 화이트 파인과 노르웨이 스프루스의 경우 약간 컸었고, 이스턴 햐룩의 경우 약간 적었으나, 양자간에 통계적으로 유의적인 차이가 나타나지 않았다. 용량식 수분계로 측정된 고온건조제의 평형함수율 값은 열기건조제의 것보다 이스턴 화이트 파인을 제외한 모든 수종의 경우 적었지만, 양자간에 통계적으로 유의적인 차이가 나타나지 않았다.

세 가지 함수율 측정법중에서 평형함수율은 전건법으로 구한 경우가 가장 컸었고, 다음은 저항식 수분계로 구한 함수율이었으며, 용량식 수분계로

구한 값이 가장 적었다. 수종별 평형함수율은 모든 측정법에서 이스턴 햐룩이 가장 컸었고, 다음은 노르웨이 스프루스, 레드 파인, 이스턴 화이트 파인 순이었다. 열기건조제와 고온건조제의 함수율 측정법에 따라 함수율의 크기가 일치하는 경향을 보이는 수종은 이스턴 화이트 파인과 이스턴 햐룩이었고, 레드 파인은 전건법과 저항식 수분계에 의한 값은 일치하였으나, 용량식 수분계의 경우 전자들과 다른 경향을 나타내는가 하면, 노르웨이 스프루스의 경우 전건법과 용량식 수분계 간에 일치하였으나, 저항식 수분계의 경우 전자들과 다른 경향을 나타내었다.

이상과 같이 동일한 평형함수율 조건에 있어서도 고온건조제와 열기건조제의 평형함수율은 수종간에 상이하였고, 건조방법간에 있어서 대부분은 일치하였으나 일부는 상이하였으며, 함수율 측정법간에 있어서 상당한 차이가 있음을 알 수 있었다.

본 연구 결과는 Salamon(1966)의 웨스턴 햐룩에 관한 연구와 Milota와 Quarles(1990)가 더그러스 파와 lodgepole pine의 고온건조제의 평형함수율은 열기건조제의 것보다 적다는 보고 등과 일치하지 않았으나, Garrahan(1988)이 Black spruce, Jack pine과 Balsam fir의 고온건조제의 저항식 수분계로 측정된 함수율은 수종에 따라 상이하다는 보고 내용과 부합되고 있다. 이와 같이 목재 수분계에 의한 함수율이 연구자에 따라 상이한 결과로 보고되는 것은 목재의 비저항과 유전율이 수종과 온도에 따라 상이하기 때문이다. 특히 저항식 수분계는 비저항이 함수율 뿐만 아니라, 목재의 화학성분의 영향을 받게 되고, 용량식 수분계도 함수율 뿐만 아니라 밀도의 영향을 받게 되는 바, 목재 수분계로 함수율을 측정할 경우 전건법에 의한 함수율과 차이가 있기 때문에 양자간에 측정오차를 줄이기 위해서 사용자는 목재 수분계의 특징과 수종별 목재 특성을 파악한 후 함수율을 측정해야 한다.

## 4. 結 論

흡습기간별 함수율은 수종별로 약간의 차이를 나타내고 있었고, 전 흡습기간 중 레드 파인의 고온건조제의 흡습량은 열기건조제의 것보다 유의적으로 컸으며, 이스턴 화이트 파인, 이스턴 햐룩과 노르웨이 스프루스의 경우 양자간의 유의적인 차이가 없었다.

고온건조제와 열기건조제간의 평형함수율은 전건법과 용량식 수분계로 측정된 경우 양자간에 유

Table 3. Equilibrium moisture content of conventional kiln dried- and high temperature dried wood by moisture content determination.

Species	Determination of MC	Conventional kiln dried wood	High temp. dried wood	t-value*1
Red pine	OD*3	12.2(0.40)*2	12.4(0.20)	-1.043
	RMM*4	10.3(0.20)	10.7(0.20)	-5.701**
	CAMM*5	6.8(0.80)	6.5(0.50)	0.655
Eastern white pine	OD	12.0(0.43)	12.2(0.70)	-0.378
	RMM	11.2(0.70)	11.4(0.90)	-0.541
	CAMM	6.8(0.70)	7.1(0.60)	-1.238
Eastern hemlock	OD	14.1(0.37)	13.6(0.90)	1.124
	RMM	12.4(0.60)	11.4(0.80)	2.291
	CAMM	8.6(0.40)	7.9(0.60)	1.934
Norway spruce	OD	13.0(0.29)	12.9(0.40)	0.633
	RMM	10.5(0.30)	11.1(0.50)	-2.406
	CAMM	7.3(0.70)	7.1(0.80)	0.493

\*1 and \*2 are presented in Table 2.

\*3 Oven drying method.

\*4 Resistance moisture meter.

\*5 Capacitive-admittance moisture meter.

의적인 차이가 없었다. 저항식 수분계로 측정할 레드 파인의 고온건조재의 평형함수율은 열기건조재의 것보다 컸으나, 다른 수종의 경우 양자간 유의적인 차이가 없었다. 함수율 측정법 중에서 전건법에 의한 함수율이 가장 컸었고, 다음은 저항식 수분계로 구한 값이고 용량식 수분계로 구한 값이 가장 적었다. 동일한 평형함수율 조건에서도 고온건조재와 열기건조재 간의 평형함수율은 수종간에 있어서 상이하었고, 건조방법간에 있어서 일부는 상이하였으며, 함수율 측정법 간에 있어서 큰 차이가 있었다.

## 謝 辭

본 연구를 수행할 수 있도록 연구용 재료와 기기를 제공해 주시고 협력해 주신 미국 뉴욕주립대학교 환경 및 임학 대학 Helmut Resch 연구처장, 목제품 공학과 Leonard A. Smith 과장, 그리고 동학과의 박사과정에 재학중인 박정환 조교의 조력에 대해서도 감사의 뜻을 표합니다.

## 參 考 文 獻

1. Choong, E. T. 1969. Effect of extractives on shrinkage and other hygroscopic properties of ten southern pine woods. *Wood & Fiber* 1:124~133
2. Garrahan, P. 1988. Moisture meter correction factors for high temperature dried dimension lumber. *Proceedings Western Dry Kiln Association*:17~23
3. James, W. L. 1968. Effect of temperature on readings of electronic moisture meters. *Forest Prod. J.* 18(10):23~31
4. \_\_\_\_\_. 1988. Electronic moisture meters for wood. General Technical Report FPC-GTR-6. USDA Forest Service, Forest Prod. Lab:17
5. Milota, M. R. and S. L. Quarles, 1990.

The influence of kiln temperature on the performance of handheld moisture meters. *Forest Prod. J.* 40(11):35~38

6. Mitchell, P. H. 1981. Effect of heat treatment on selected properties of small clear specimens of *Pinus taeda* L. and *Pseudotsuga menziesii*(Mirb) Franco. Ph. D. Thesis, Virginia Polytech Inst State Univ. : 172
7. Pfaff, F. and P. Garrahan. 1986. New temperature correction factors for the portable resistance-type moisture meter. *Forest Prod. J.* 36(3):28~30
8. Salamon, M. 1966. Effect of drying severity on properties of western hemlock. *Forest Prod. J.* 16(1):39~46
9. \_\_\_\_\_. 1972. Resistance moisture meter correction factors for western softwood species. *Forest Prod. J.* 22(12):46~47
10. Simpson, W. T. 1991. Dry Kiln Operator's Manual. Agric. Handbook 188. USDA, Forest Service, Forest Prod. Lab.
11. Skaar, C. 1988. Wood-Water Relations. Springer-Verlag. New York
12. Smith, W. B. 1992. Determining moisture content in eastern redcedar. *Forest Prod. J.* 42(7/8):67~69
13. Smith, W. B. and H. S. Jung. 1993. Effect of high-temperature drying on moisture content determination with electronic meters. *Proceeding of the 44th Western Dry Kiln Association*:31~38
14. Stamm, A. J. 1964. Wood and Cellulose Science. New York:Ronald Press
15. Wengert, E. M. and P. H. Mitchell. 1979. Phychrometric relationships and equilibrium moisture content of wood at temperature below 212°F (100°C). *Proceedings of Wood Moisture Content-Temperature and Humidity Relationships*. VPI & SU