

# 木材 乾燥中 内部水分傾斜에 關한 研究\*<sup>1</sup>

姜 琥 陽\*<sup>2</sup>

## A Study on Internal Moisture Gradients of Wood\*<sup>1</sup>

Ho-Yang Kang\*<sup>2</sup>

### SUMMARY

Internal moisture gradients of 3cm-thick radiata pine (*Pinus radiata*) sapwood and meranti (*Shorea* spp.) heartwood were determined by using slicing method during drying and were predicted by Hart's Sorption Simulation. The shapes of internal moisture gradients, moisture contents and drying rates, which were obtained by the slicing method, were compared with those predicted by Sorption Simulation.

After the 2nd fitting attempts, the differences between the gravimetric drying rates and the drying rates predicted by Sorption Simulation were less than 0.021%/hr for radiata pine and 0.043%/hr for meranti. The shapes of the internal moisture gradients predicted by Sorption Simulation were in good agreement with those obtained by the slicing method. It could be concluded that Sorption Simulation be an excellent tool to predict internal moisture gradients of wood.

### 1. 緒 論

건조 중에 발생하는 목재결함은 대부분 수분율 변화에 따른 목재의 수축팽윤 때문에 발생한다. 목재는 습윤성물질로서 수분율이 변함에 따라 거의 직선적으로 수축 또는 팽창하기 때문에 건조중에는 목재의 表層과 內層의 수분율 차이에 의한 응력차가 발생하여 할열 또는 틀어짐이 일어난다. 따라서 건조 중 목재内部의 수분傾斜 변화를 탐지할 수 있다면 언제 응력

차가 발생하며 또 언제 이 응력차이가 表面할열 또는 内部할열로 발전할지를 사전에 인지하여 이를 미연에 방지할 수 있는 건조조건을 사용할 수 있다.

오래전 Hart(1965)는 목재내 수분傾斜의 모형을 목재의 투과성에 따라 세 가지로 구분하였다. 투과성이 좋은 수종의 表面수분율은 건조 초기 섬유포화점에 위치하고 内部경사는 포물선을 나타내나 투과성이 보통인 수종의 表面수분율은 平衡수분율을 나타내고 内部경사는

\*1. 접수 1991년 2월 20일 Received February 20, 1991.

\*2. 충남대학교 농과대학 College of Agriculture, Chungnam National University, Daejeon 305-764, Korea.

sine 곡선을 나타낸다고 설명하고, white oak와 같이 透過性이 나쁜 수종은 表層水分傾斜와 內層水分傾斜가 달라 表層에서는 水分傾斜가 완만하나 內層에서는 급격하다고 설명하였다. 木材內部の 水分傾斜가 어떤 형태로 나타나는가 하는 것은 수분계를 이용하여 목재의 含水率을 잴 때에 매우 중요하다. 어떠한 경우든지 목재내 水分傾斜를 완전히 제거할 수가 없으므로, 목재의 平均含水率을 재려면 어느 깊이까지 수분계의 침을 넣어야 하는지를 알려면 먼저 水分傾斜의 형태를 알아야 한다.

건조 중 內部水分傾斜를 알기 위하여 여러 분야의 연구와 실용화가 진행되어 왔다. 건조실에 쌓아 놓은 잔적내의 시험재에 전기침을 꽂아 놓고 이를 전선으로 연결하여 건조중 건조실 외부에서 시험재의 含水率을 재는 방법은 오래전부터 사용되어 왔다(Hilderbrand, 1970). 그러나 이러한 방법으로는 목재내 水分傾斜를 잴 수는 없었으며 단지 平均含水率만을 아는데 그쳤다.

또 목재의 含水率이 줄어들면 그만큼 목재의 온도가 건구온도에 가까워지는 원리를 응용하여 열전쌍(thermocouple)을 이용하여 목재의 온도를 재서 內部水分傾斜를 예측하는 실험이 시행되었다(Bai and Garrahan, 1984). 이 방법의 장점은 열전쌍의 접점이 매우 작아 목재내 여러 지점에 삽입하기 편리하다는 것이다. 그러나 이 방법은 含水率을 직접 재는 것이 아니기 때문에 어느 정도의 오차를 감수해야 한다.

최근 personal computer의 발달로 이를 이용한 계측기가 많이 개발되었는데 목재건조분야의 계측기도 예외는 아니다. Forrer(1984)는 microprocessor를 이용하여 목재내 여러 층의 含水率과 온도를 주기적으로 잴 수 있는 계기를 만들었으며 후에는 이를 더 발전시켜 온도 보정을 자동적으로 할 수 있으며 IBM PC 등의 일반 personal computer를 연결시켜 사용할 수 있도록 개발하였다(Forrer and Vermaas,

1987). Resch 등(1989)은 이 계기를 이용하여 2인치 두께 미송의 內部水分傾斜를 건조조건 동안 재어 다른 방법으로 얻은 결과와 비교하여 대형건조실에서 이 계기가 효과적으로 이용될 수 있음을 보였다.

위의 여러가지 방법들은 목재의 電氣的性質을 이용하여 간편하게 內部水分傾斜를 잴 수는 있으나 여러가지 요인으로 인하여 아직까지는 정확도에 의문이 있다. 지금까지 알려진, 가장 정확하게 內部水分傾斜를 측정하는 방법으로는 슬라이스법(slice method)이 있는데 Harris(1989)등은 이 방법을 이용하여 5/4인치 red oak판재의 증기전처리효과를 조사하여 그 결과 증기전처리한 판재의 內部水分傾斜는 전처리를 하지 않은 판재보다 훨씬 완만하다고 발표하였다. 그 이유로 Harris등은 증기전처리와 전처리후 냉각기간 동안에 판재중심의 수분이 외부로 이동했기 때문이라고 설명하였다.

그밖에 內部水分傾斜를 측정하는 방법으로는 간접적이기는 하지만 컴퓨터 시뮬레이션을 이용하는 방법이 있다. 건조 중에 일어나는 제반현상이 대부분 밝혀졌기 때문에 이를 이용하여 목재의 平均含水率 변화만 알고 있으면 목재 內部水分傾斜를 예측해 낼 수 있다. 이 목적에 알맞은 것이 Hart의 Sorption Simulation(Hart, 1988)인데 이를 이용하면 內部水分傾斜뿐만 아니라 건조 중에 목재내에서 일어나는 모든 현상을 수치화하여 알 수 있다.

본 연구에서는 건조중 목재시편의 內部水分傾斜를 슬라이스법으로 일정한 시간마다 조사하여 그 결과를 Hart의 Sorption Simulation을 이용하여 예측한 결과와 비교하여 예측치의 正確度를 조사하고자 하였다.

## 2. 材料 및 實驗方法

### 2.1 內部水分傾斜

供試板材는 3개월 전에 生材狀態로 구입하여

실내에서 습수율 25%까지 건조시킨 두께 3cm의 radiata pine(*Pinus radiata*) 변재와 meranti(*Shorea spp.*) 판재를 폭14cm, 길이60cm로 절단하여 樹種별로 4개씩 만들었다. 供試板材는 모두 무늬결판재(축단판재)였으며 무결점판재로 만들었다. 樹種별 4개의 供試板材는 두개씩 두 그룹으로 나누어 한 그룹은 内部水分傾斜를 제거 위한 슬라이스 供試板材로 다른 그룹은 시간별 습수율변화를 제거 위한 습수율 供試板材로 사용하였다.

供試板材를 만들고 남은 판재에서 비중시편과 평형습수율시편을 만들었다. 비중시편은 섬유방향으로 2.5cm 잘라서 樹種별로 10개씩, 평형습수율시편은 섬유방향으로 1cm 잘라서 樹種별로 8개씩 만들었다.

각 供試板材는 양면대패 후 윗면과 아랫면을 제외한 4면을 에나멜흑색페인트로 3회 도장하여 건조시 수분이동은 윗면과 아랫면으로만 일어나도록 하였다. 양면대패 후 供試板材의 평균 두께는 radiata pine이 2.9cm, meranti가 2.95cm였다.

供試板材를 건조온도 50℃, 습구온도 27.4℃에 맞춰진 항온항습기에 넣기 전에 다음에 설명할 건조 중 슬라이스실험법에 따라 섬유방향으로 2.5cm의 슬라이스시편을 떼어내어 기건상태의 내부수분경사를 측정하였다. 슬라이스시편을 떼어내어 노출된 횡단면은 즉시 에나멜도장을 하여 이곳을 통한 수분이동을 최소화 하였다.

항온항습기에 넣은 供試板材는 습수율감소에 따라 적당한 시간마다 꺼내어 습수율 供試板材는 무게를 재고, 슬라이스 供試板材에서는 그림1과 같이 횡단면에서 10cm 떨어진 곳에서 섬유방향으로 2.5cm의 슬라이스시편을 떼어 내었다. 이 슬라이스시편을 같은 두께의 5개 슬라이스로 microtome을 이용하여 절단하고 각 슬라이스의 무게를 재었다. 무게를 잰 후 슬라이스를 103±2℃의 오븐에 넣고 건조하여 전건 무게를 구한 다음 각 슬라이스의 습수율을 계

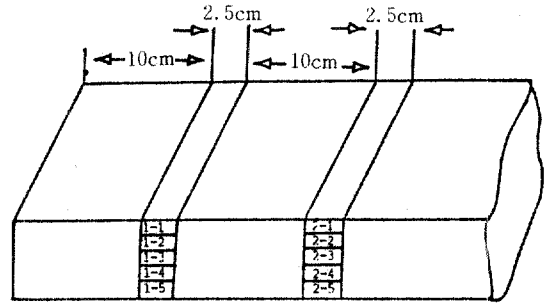


Fig.1. Schematic diagram of slice specimen cuttings.

산하였다.

각 樹種의 생재비중은 비중시편을 증류수에 1개월 간 침침시킨 후 침지법을 이용하여 부피를 구하여 계산하였다.

일정 조건 하에서 목재의 平衡습수율은 樹種에 따라 다르기 때문에 平衡습수율시편을 이용하여 항온항습기의 樹種별 실제 평형습수율을 재었다. 평형습수율을 실험 시작 전에 供試板材 주위에 배치하였다가 실험이 끝난 직후 전건시험법으로 습수율을 측정하여 각 樹種의 평형습수율을 구하였다.

본 실험에서는 모든 무게는 정밀도 0.01g, 최대무게 3kg의 Mettler PJ3000 Digital 전자저울로 재었다. 본 실험에 사용된 항온항습기는 영국 FISON사의 Environmental Equipment로 0℃~100℃의 건조온도 작동범위와 45%~95%의 상대습도 작동범위를 가지고 있다.

## 2.2 表面移動係數

건조시 목재내부의 수분은 목재표면을 통하여 주위로 확산하는데 일정한 풍속일때 최대 건조속도는 항상 일정한 값을 가진다고 할 수 있다. 단위시간당 단위면적을 통하여 이동할 수 있는 最大水分의 양을 전건습구온도차로 나는 것을 表面移動係數(surface transfer coefficient)라고 하는데 이 값은 건조초기 목재내부에서 목재표면으로 이동하는 수분의 양이 충분할 때 표면에서 증발되는 최대수분의 양을 나타내는

것으로 항울건조기간 동안 증발되는 수분의 양을 계산하는데 쓰이는데 Sorption Simulation에서는 중요한 입력자료 중의 하나이다.

表面移動係數는 지금까지 발표된 식을 이용하여 계산하거나 소나무나 포플라 등 건조가 잘되는 樹種의 변재를 포수시켜 일정한 조건 하에서 건조시키면서 항울건조속도를 재어서 구할 수 있다(Hart, 1988). 表面移動係數는 樹種과는 상관없이 풍속에 따라 변화하여 온도의 영향을 약간 받는다. 본 연구에서 사용된 항온항습기의 表面移動係數는 아래와 같이 구하였다.

길이 15cm, 폭 8cm, 두께 3cm의 radiata pine시편 10개를 잘라 마구리와 옆면을 예나멜

흑색페인트로 3회 도장한 후 물에 담가 3개월간 포수시켰다. 포수시편은 급속한 건조를 막기위해 건구온도 30℃, 습구온도 16℃에 맞춘 恒温恒濕器에 넣고 1~2시간 간격으로 무게를 재어 항울건조속도를 계산하였다. 시간당 줄어든 무게(g/hr)로 계산된 항울건조속도를 (시편의 한면의 면적×2×건습구온도차)로 나누어서 表面移動係數를 구하였다.

### 2.3. Sorption Simulation 입력자료

Sorption Simulation의 입력자료는 표 1, 2와 같다. 입력자료작성에 필요한 요령은 사용자 메뉴얼(Hart, 1988)에 자세히 설명이 되어

Table 1. Print-out of the radiata pine input data which Sorption Simulation provides.

ID	DESCR	2KILSOR.DATA GRADIENT SLICE METHOD PINE 1/29/91 T=HOURS				
STT	WID	NPAS	IRFLOW	FANTIM	FANTST	
(IN)	(FT)	( )	( )	(T)	(T)	
1.0000	2.0000	1	1	.0000E+00	.5000E+05	
SG	A	N	TW	TWDLT	TDL	
( )	(CM)	( )	(F)	(F)	(%MC)	
.38000	1.45000	30	68.00000	5.00000	500.00000	
DZT	TZD	RAE				
(CMS/T)	(F)	( )				
.9086E-02	121.85634	.25900				
FZ	AND CZ	FZ	AND CZ	FZ	AND CZ	
( )	(%MC)	( )	(%MC)	( )	(%MC)	
.9901	4.2500	.9884	6.2100	1.1538	8.8600	
2.7283	12.6100	.0000	.0000	.0000	.0000	
RVPZH	EMCZH	RVPZL	EMCZL	TZEMC	B	
( )	(%MC)	( )	(%MC)	(F)	(PSI)	
.80000	15.16505	.40000	6.76505	80.00000	14.70000	
IWRT	WRT	FINIS	JJ	NSBC	NCLM(I)	
( )	(T OR %MC)	(%MC)	( )	( )	( )	
1	100.00000	.50000	20000	4	1 61014	18222630
TDBS(I)	TWBS(I)	NSD(I)	TEST(I)	QRATES(I)	TBQS(I)	AIRSP(I)
(F)	(F)	( )	(T OR %MC)	(G/CMS T F)	(F)	(FT/T)
122.0000	89.0000	-1	15.9900	.1482E-02	86.0000	.8980E+04
122.0000	89.0000	-1	13.8400	.1482E-02	86.0000	.8980E+04
122.0000	89.0000	-1	11.3700	.1482E-02	86.0000	.8980E+04
122.0000	89.0000	-1	9.5400	.1482E-02	86.0000	.8980E+40
122.0000	89.0000	-1	8.180	.1482E-02	86.0000	.8980E+04
122.0000	89.0000	-1	6.6600	.1482E-02	86.0000	.8980E+04
122.0000	89.0000	-1	5.7500	.1482E-02	86.0000	.8980E+04
122.0000	89.0000	-1	5.2000	.1482E-02	86.0000	.8980E+04
122.0000	89.0000	-1	4.2500	.1482E-02	86.0000	.8980E+04
C(J)	C(J)	C(J)	C(J)	C(J)	C(J)	C(J)
(%MC)	(%MC)	(%MC)	(%MC)	(%MC)	(%MC)	(%MC)
25.5600	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000

CBARP=25.56

NPAS, IRFLOW, FANTIM, FANTST, NSBC ARE IGNORED BY KILSOR.

Table 2. Print-out of the meranti input data which Sorption Simulation provides.

ID	DESCR					
2KILSOR DATA GRADIENT SLICE METHOD LAUAM 1/29/91 T=HOURS						
STT	WID	NPAS	IRFLOW	FANTIM	FANTST	
(IN)	(FT)	( )	( )	(T)	(T)	
1.0000	2.0000	1	1	.0000E+00	.5000E+05	
SG	A	N	TW	TWDLT	TDL	
( )	(CM)	( )	(F)	(F)	( %MC)	
.51000	1.47500	30	68.00000	5.00000	500.00000	
DZT	TZD	RAE				
(CMS/T)	(F)	( )				
.5963E-02	121.83313	.49100				
FZ	AND CZ	FZ	AND CZ	FZ	AND CZ	
( )	( %MC)	( )	( %MC)	( )	( %MC)	
.9993	6.5000	.9989	9.1700	1.1278	13.7900	
2.1848	17.0700	.0000	.0000	.0000	.0000	
RVPZH	EMCZH	RVPZL	EMCZL	TZEMC	B	
( )	( %MC)	( )	( %MC)	(F)	(PSI)	
.80000	17.41505	.40000	9.01505	80.00000	14.70000	
IWRT	WRT	FINIS	JJ	NSBC	NCLM(I)	
( )	(T OR %MC)	( %MC)	( )	( )	( )	
1	100.00000	.50000	20000	4	1 61014	18222630
TDBS(I)	TWBS(I)	NSD(I)	TEST(I)	QRATES(I)	TBQS(I)	AIRSP(I)
(F)	(F)	( )	(T OR %MC)	(G/CMS T F)	(F)	(FT/T)
122.0000	89.0000	-1	19.2800	.1482E-02	86.0000	.8980E+04
122.0000	89.0000	-1	17.9800	.1482E-02	86.0000	.8980E+04
122.0000	89.0000	-1	16.1600	.1482E-02	86.0000	.8980E+04
122.0000	89.0000	-1	14.5200	.1482E-02	86.0000	.8980E+04
122.0000	89.0000	-1	13.0500	.1482E-02	86.0000	.8980E+04
122.0000	89.0000	-1	11.0100	.1482E-02	86.0000	.8980E+04
122.0000	89.0000	-1	9.6500	.1482E-02	86.0000	.8980E+04
122.0000	89.0000	-1	8.6900	.1482E-02	86.0000	.8980E+04
122.0000	89.0000	-1	6.5000	.1482E-02	86.0000	.8980E+04
C(J)	C(J)	C(J)	C(J)	C(J)	C(J)	C(J)
( %MC)	( %MC)	( %MC)	( %MC)	( %MC)	( %MC)	( %MC)
24.1500	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000

CBARP=24.15

NPAS, IRFLOW, FANTIM, FANTST, NSBC ARE IGNORED BY KILSOR.

있으므로 중복을 피하고 중요한 것만 설명하면 다음과 같다.

항온항습기내에 바람이 供試板材의 길이 방향으로 불도록 배치하였기 때문에 잔적의 폭 (WID)이 供試板材의 길이인 2피트(Sorption Simulation에 표시된 단위대로 표기)이고 잔목의 두께(STT)는 1인치 (2.54cm)였다. 목재의 비중(SG)은 radiata pine이 0.38, meranti가 0.51이고 판재의 1/2두께(A)는 radiata pine이 1.45cm, meranti가 1.475cm였다. 항온항습기에 넣기 전 목재의 온도(TW)는 실내온도 68F (20℃)와 같다고 가정하였다.

평형습수률 근처에서의 擴散係數(D\$T)와

그때의 온도(T\$D)는 radiata pine이 0.9036×10<sup>-2</sup>cm<sup>2</sup>/hr, 121.8°F이고 meranti는 0.5963×10<sup>-2</sup> cm<sup>2</sup>/hr, 121.8°F인데 이 값들은 Sorption Simulaiton중에 하나인 KILDIF를 이용하여 구한 것이다. 擴散係數와 온도의 相關係數 (RAE)는 相關係數와 비중의 관계식(Kang, 1988)에서 구한 것으로 radiata pine은 0.259, meranti는 0.491이었다.

그밖에 含水率(C\$)에서의 擴散係數比(F\$)는 擴散係數와 含水率의 관계를 나타내는 것으로 KILDIF를 이용하여 구한 것이다. 풍속 (AIRSP)은 보유하고 있던 열선풍속계의 고장으로 인하여 직접 재지 못하고 아래의 Stevens

식(1956)을 가지고 表面移動係數(QRATES)를 이용하여 풍속을 계산하였다. Stevens식의 타당성은 이미 입증된 바 있다(Kang, 1988).

$$QRATES \times 10^4 = 9.08 + 0.0383V$$

QRATES : 表面移動係數(g/cm<sup>2</sup> hr F)

V : 풍속(ft/min)

### 3. 結果 및 考察

樹種별 각 10개 시편의 부피를 증류수 침지법으로 구하여 계산한 平均 生材比重(전건무게/생재부피 기준)은 radiata pine이 0.38±0.01이고 meranti가 0.51±0.01이었다. 또 樹種별 각 8개의 平均含水率 시편으로 젖 恒온항습기 내의 平衡含水率은 radiata pine이 1.9±0.1%이고 meranti가 1.8±0.1%으로 두 시편 사이의 平衡含水率차이는 거의 없었으나 Dry Kiln operator's Manual(Hardwood Research Council, 1988)에 나타난 값, 3.4%과 비교하면 낮은 數值를 나타냈다. 그러나 平均含水率 시편의 무게가 10g 미만으로 가볍기 때문에 생기는 測定誤差를 감안한다면 참고문헌의 값과 그리 큰 차이가 난다고 할 수 없다.

飽水試片을 이용하여 계산한 10개 시편의 측정시간별 表面移動係數는 그림2에 나타난 것과 같다. 건조초기에 3회 측정된 건조속도를 이용하여 계산한 表面移動係數인데 시간이 지남에 따라 表面移動係數의 감소를 보이는 이유는 시간이 지남에 따라 恒率乾燥期間을 거쳐 減率乾燥期間으로 변화하기 때문이다. 본 연구에서는 5시간 이후에 젖 값을 뺀 처음 세그룹의 평균치(그림 2의 가운데 직선)를 平均 表面移動係數로 사용하였다. 처음 두 그룹의 값만이 진정한 항온건조기간에 측정된 것으로 보이나 세번째 그룹까지 포함한 이유는 飽水된 시편은 표면에 물방울을 가지고 있기 때문에 이 물방울이 먼저 증발하므로써 건조시작 직후의 높은 건조속도를 보이므로 처음 두 그룹만의 평균치

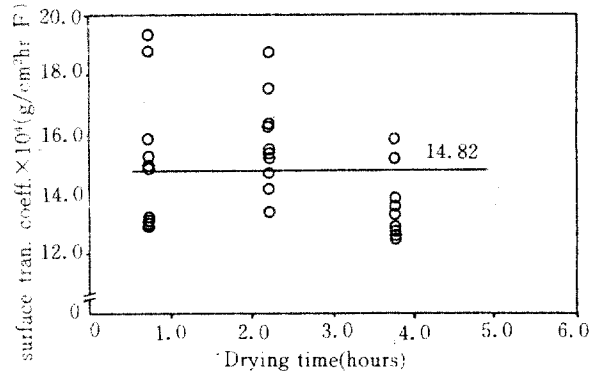


Fig.2. Surface transfer coefficients vs. drying time. Surface transfer coefficients were calculated from the constant drying rates, which were obtained at the first three measurements. DRYING TIME-(hours)

를 平均表面移動係數로 정했을 경우 실제보다 높은 값을 나타낼 수가 있기 때문이었다. 이렇게 구한 平均表面移動係數는 (1.482±0.194) × 10<sup>-5</sup>g/cm<sup>2</sup>hr F로 이값을 가지고 Stevens식을 이용하여 계산한 풍속은 150feet/min였다.

Sorption Simulation은 實際乾燥速度를 入力乾燥速度로 하여 구한 出力乾燥速度와 實際乾燥速度를 비교하여 出力乾燥速度가 가능한 實際乾燥速度에 접근하도록 入力乾燥速度를 변화시키는 작업을 할 수 있게 만들어져 있다. 이러한 작업은 시행착오에 의해 행해지는데 경우에 따라서는 처음 시행에 出力乾燥速度와 實際乾燥速度가 거의 일치할 수도 있으나 대부분 2~3회의 시행착오를 거쳐야 한다.

그림3과 4는 樹種별 供試板材의 平均 건조속도와 Sorption Simulation에 의한 出力乾燥速度를 한 그래프에 그린 것인데 2차 시행에 의한 出力乾燥速度가 實際乾燥速度에 매우 근접함을 보여주고 있다. 그림에는 나타나 있지 않으나 3차 시행 까지 실시해본 결과 3차 시행에 의한 出力乾燥速度가 2차 시행에 의한 것보다 實際乾燥速度와 더 큰 차이를 나타내었다.

그림 3과 4 모두 實際乾燥速度와 出力乾燥速度가 낮은 含水率에서는 잘 일치함을 보여주고

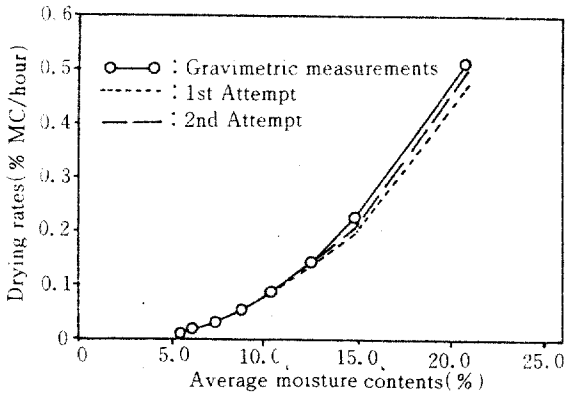


Fig.3. Drying rate curves of radiata pine, obtained by gravimetric measurements (solid line) and by Sorption Simulation fittings (dotted lines). The second attempted curve(long dotted line) is better fitted to the gravimetric than is the first(short dotted line).

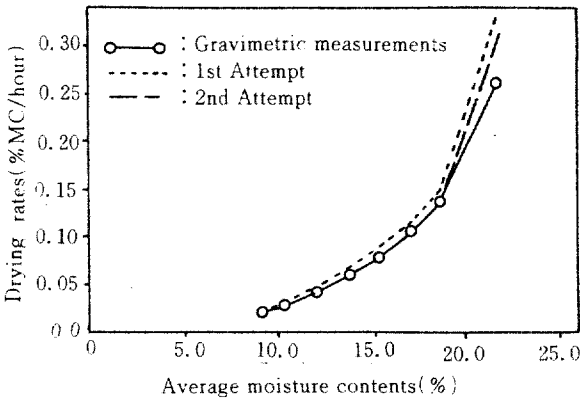


Fig.4. Drying rate curves of meranti, obtained by gravimetric measurements(solid line) and by Sorption Simulation fittings(dotted lines). The second attempted curve(long dotted line) is better fitted to the gravimetric than is the first(short dotted line).

있으나 높은 습수율에서는 약간의 차이를 나타내고 있다. 그러나 그 차이는 radiata pine에서는 0.021%/hr를, meranti에서의 0.043%/hr를 넘지 않았다. 出力乾燥速度가 낮은 습수율에서 實際乾燥速度와 잘 일치하는 이유 중의 하나는 Sorption Simulation에서는 높은 습수율에서 일어나는 모세관현상에 의한 水分移動을 무시

하고 모든 內部水分移動은 擴散에 의한다고 가정한 때문이라고 할 수 있다.

그림 3과 4에서 實際乾燥速度와 出力乾燥速度를 비교한 것과 마찬가지로 그림5와 6에서도 시간별 습수율변화를 비교하였다. 2차 시행후 출력습수율은 같은 시간에서의 실제 습수율과 거의 일치함을 보였다. 습수율차이는 두 樹種 모두 0.3%이내로 그 차이는 매우 미미하였다.

스라이스법과 Sorption Simulation에 의해 얻은 內部水分傾斜圖는 그림7과 8에 표시되어 있다. 원과 선으로 연결된 것이 스라이스법으로 측정된 내부습수율이고 원으로 표시된 지점이 각 스라이스의 습수율이며 실선, 점선, 점선과 점 등의 표시선에 따라서 같은 시간에 측

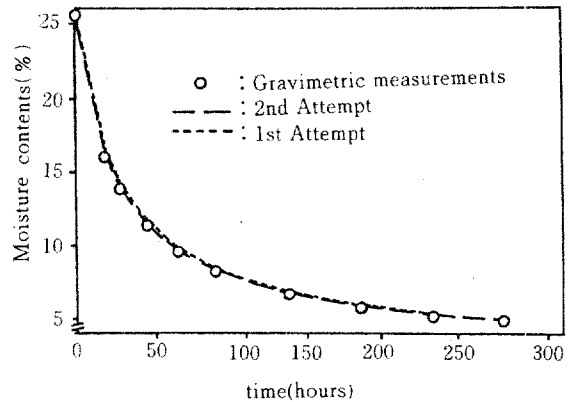


Fig.5. Drying curves of radiata pine, obtained by gravimetric measurements(solid line) and by Sorption Simulation fittings(dotted lines). The second attempted curve(long dotted line) is better fitted to the gravimetric than is the first (short dotted line).

정 또는 Sorption Simulation에 의해 예측된 한쌍의 경사도를 나타낸다.

透過성이 좋은 radiata pine이나 透過성이 보통인 meranti모두 內部水分傾斜도는 포물선 또는 sine곡선을 나타내므로서 Hart(1965)가 제시한 경사도모형을 뒷받침해 준다. 건조시작 전 스라이스법으로 內部水分傾斜를 낸 결과 그림 7과 8에 표시된 바와 같이 염려했던 것 만큼

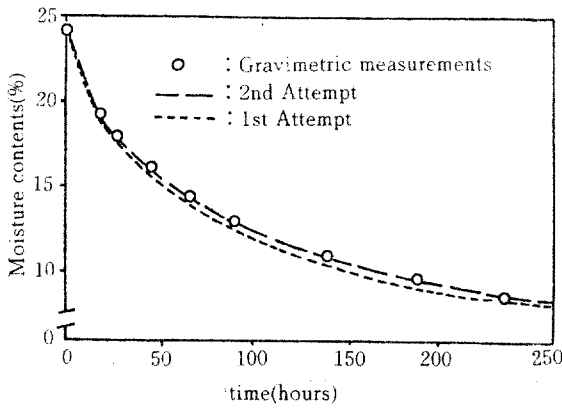


Fig. 6. Drying curves of meranti, obtained by gravimetric measurements(solid line) and by Sorption Simulation fittings(dotted lines). The second attempted a curve(long dotted line) is better fitted to the gravimetric than is the first(short dotted line).

Simulation에서는 편이상 균일한 초기내부含水率을 가정하였다. 이러한 가정에도 불구하고 건조초기를 제외하고는 Sorption Simulation 내부경사도의 형태가 슬라이스법의 것과 일치하였다.

슬라이스법과 Sorption Simulation에서 구한含水率이 차이를 나타내는 것을 그림7과 8에서 볼 수 있다. 특히 건조초기에 그 차이가 큰데 크기는 3~5%의 차이를 보이고 있으며 meranti가 radiata pine보다 심한 것을 알 수 있다. 그 이유는 두 가지로 볼 수 있는데 첫째는含水率供試板材와 슬라이스供試板材의含水率차 때문이고, 둘째는 슬라이스 제작 한다음 무게를 달 때 까지 슬라이스가 주위환경에 노출되어含水率 변화를 일으켰기 때문이다.

Sorption Simulation의 입력자료로써含水率供試板材의 평균건조속도를 사용하였는데 습

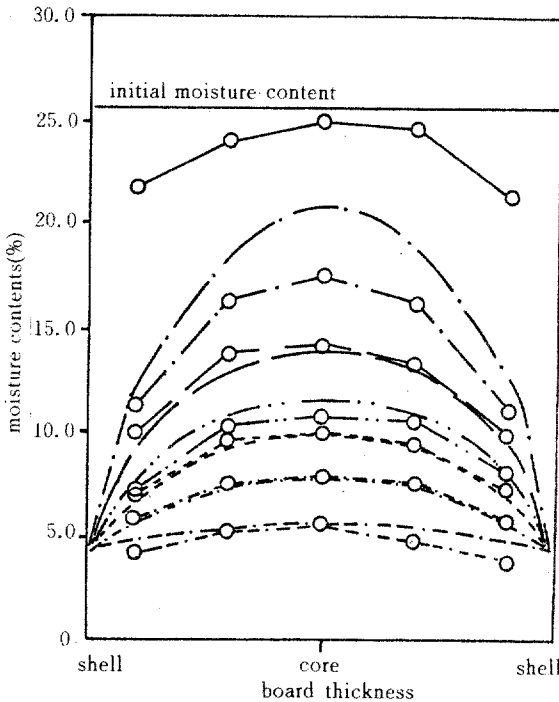


Fig. 7. Internal moisture gradients of radiata pine across board thicknesses, measured by slice method(lines and circles) and predicted by Sorption Simulation(lines only).

内部水分傾斜가 크지는 않았으나 균일한含水率을 나타내지는 않았다. 그러나 Sorption

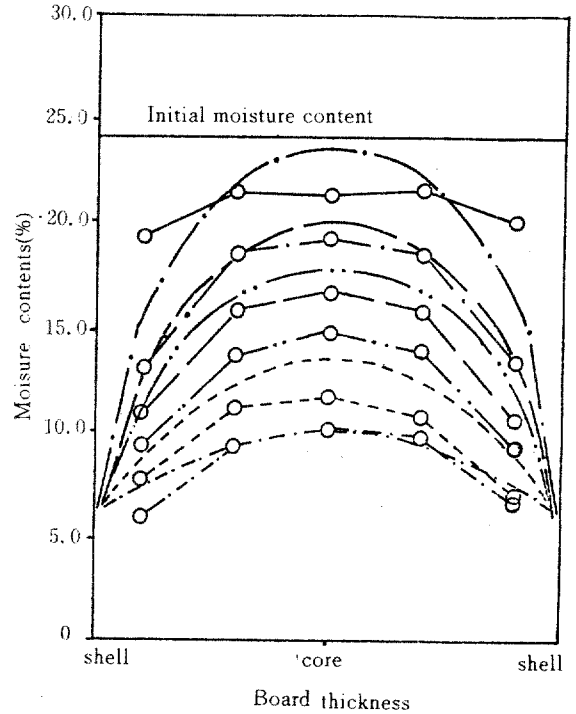


Fig. 8. Internal moisture gradients of meranti across board thicknesses, measured by slice method(lines and circles) and predicted by Sorption Simulation(lines only).



水率供試板材의 含水率이 슬라이스供試板材의 含水率보다 약 1~2% 정도 높았다. 따라서 microtome으로 슬라이스를 절단한 후 무게를 달 때까지 짧은 시간이지만 주위환경에 노출되어 수분손실이 있었고 예상할 수 있다. 이때 일어난 含水率변화는 높은 含水率의 슬라이스일 수록 더 심해 그림7과 8에서 보는 바와 같이 표층보다 내층의 슬라이스 含水率이 Sorption Simulation의 含水率과 더 큰 차이를 보였다. 또 이 차이는 meranti가 radiata pine보다 더 크게 나타났는데 그 이유는 전자가 후자보다 透過性이 낮기 때문에 동일한 평균함수율에서 전자의 내층함수율이 후자의 내층함수율보다 높았기 때문이라고 생각된다. 슬라이스 含水率과 Sorption simulation의 含水率차는 含水率이 감소할수록 줄어들어 건조말기에는 별 차이를 나타내지 않았다.

#### 4. 結 論

건조 중 內材內部水分傾斜는 乾燥缺陷과 밀접한 관계를 가지고 있어 효율적인 건조를 위해서는 木材內部水分傾斜의 變化를 아는 것이 중요하다. 水分傾斜를 재는 방법에는 여러가지가 있으나 최근에 computer program을 이용하여 水分傾斜를 예측할 수 있는 방법이 개발되었다.

본 연구에서는 두께 3cm의 radiata pine (*Pinus radiata*)변재와 meranti(*Shorea spp.*) 심재를 향온향습기에서 건조하면서 슬라이스 방법으로 건조 중 內部水分傾斜를 측정하였으며 이 결과를 Hart의 Sorption Simulation으로 예측한 內部水分傾斜와 비교하였다. 그 결과는 다음과 같다.

1. Sorption Simulation을 2차 시행한 후 출력 乾燥速度와 실제乾燥速度의 차이는 radiata pine이 0.021%/hr를, meranti가 0.043%/hr를 넘지 않을 정도로 일치하였으며 전체

건조시간 含水率差異는 두 樹種 모두 0.3% 이내로 그 차이가 적었다.

2. 실험을 통하여 측정한 향온향습기의 平均表面移動係數는  $(1.482 \pm 0.194) \times 10^{-3} \text{g/cm}^2 \text{hr F}$ 였다.
3. 투과성이 좋은 radiata pine이나 투과성이 보통인 meranti 모두 내부 水分傾斜圖는 포물선 또는 sine곡선을 나타냈다.
4. 含水率 差異는 있었으나 Sorption Simulation으로 구한 내부 水分傾斜圖와 슬라이스 방법으로 구한 傾斜圖는 거의 일치하였다. 특히 낮은 함수율에서는 좋은 일치를 보였다. 함수율차이는 슬라이스 무게측정 도중 발생한 수분손실에 기인한 것으로 생각된다.
5. 따라서 Sorption Simulation은 건조 중 內部水分傾斜預測에 유용하게 쓰일 수 있으나 높은 함수율(섬유포화점이상)에서 발생하는 오차에 대한 補完策이 마련되어야 할 것이다.

#### 參 考 文 獻

1. Bai, G.L. and P. Garrahan. 1984. The temperature and moisture content in lumber during preheating and drying. Wood Sci. Tech. 18: 121-135.
2. Brunner, R. and K.P. Heine. 1985. Computer controlled drying. April 22-26, 1985. CSIR conference center, Pretoria, Rep. of Southern Africa.
3. Forrer, J.B. 1984. An electronic system for monitoring gradients of drying wood. Forest Prod. J. 34(7/8):34-38.
4. Forrer, J.B. and H.F. Vermass. 1987. Development of an improved moisture meter for wood. Forest Prod. J. 37(2): 67-71.
5. Hardwood Research Council. 1988. Drying Kiln Operator's Manual. USDA Forest Ser. Forest Products Lab., Madi-

- son, W.I.
6. Harris, R.A., J.G. Schroeder and S.C. Addis. 1989. Steaming of red oak prior to kiln-drying: effects on moisture movemnet, *Forest Prod. J.* 39(11/12):70-72.
  7. Hart, C.A. 1965. The Drying of Wood. Technical Report No.27. School of Forestry, North Carolina State Univ., Raleigh, North Carolina: pp24.
  8. Hart, C.A. 1988. A User's Manual For A Family of Simulations of Moisture Sorption. Dept of Wood and paper Science, School of Forest Resources, North Carolina State Univ., Raleigh.
  9. Hilderbrand, R. 1970. Kiln drying of sawn timber. maschinenbau GmbH, 7446 Oberboihingen/Wuertt., 744 Nuertingen, Germany.
  10. Holmes, S. and C.J. Kozlik. 1989. Collapse and moisture distirbution in pre-steamed and kiln-dried incense-ceder squares. *Forest Prod. J.* 39(2):14-16.
  11. Holmes, S. and J.B. Forrer. 1989. Lumber moisture content and temperature changes with kiln conditions. *Forest Prod. J.* 39(4) :67-70.
  12. James, W.L. et al. 1984. Moisture levels and gradients in commercial softwood dimension lumber shortly after kiln-drying. *Forest Prod. J.* 34(11/12):59-64.
  13. Kang, Ho-Yang. 1988. Effect of Temperature on Unsteady-State Moisture diffusion Through Wood. Unpublished Ph.D Dissertation. Dept. of Wood and Paper Science, North Carolina State Univ., Raleigh, NC.
  14. Litter, R.L. 1985. Microcomputer monitoring and control of a lumber dry kiln. Symposium of Forest Products Research International Achievement and the Future. April 22-26. 1985. CSIR conference center, Pretoria. Rep. of Souther Africa.
  15. Resch, H., H. kang and M.L. Hoag. 1989. Drying douglas-fir lumber: a computer simulation. *Wood and Fiber* 21(3):207-218.
  16. Troughton, G.E. and M.R. Clarke. 1987. Development of a new method to measure moisture content in unseasoned veneer and lumber. *Forest Prod. J.* 37(1): 13-19.