

# 목재 건조기술 동향\*1

## — 건조 스케줄, 공정제어, 에너지 사용 및 Post Drying —

鄭 希 錫 \*2

### Trends of Wood Drying Technology\*1

#### — Drying Schedule, Process Control, Energy Use and Post Drying —

Hee-Suk Jung \*2

#### 1. 건조스케줄

##### 1.1 관행열기 건조스케줄

Hanover 등은 Southern pine의 갈색변색을 최소화시키기 위한 건조스케줄을 작성하였고, white pine의 갈색변색을 비롯한 건조결합들을 예방할 목적으로 많은 스케줄들이 Wengert에 의해서 개발되었다. Chen 등은 건조스케줄의 조건변경 정도를 정량화하기 위해 Bramhall의 「건조저항」의 개념을 도입하여 incense-cedar 연필 촉목의 건조스케줄을 개발하였다.

Gorvad 등은 일정한 건조조건이 유지되는 기간동안 소요시간을 근거한 중량인자와 건조조건(건습구온도)의 관계를 수학적으로 표시한 건조곤란지수(severity index)를 개발하는 과정을 연구하였다. 이 지수는 건조결합의 종류, 판재의 등급 및 수종 등의 영향을 받는다. 또한 참나무와 호도나무의 건조에 관한 연구와 참나무재의 건조속도 촉진에 관한 연구도 수행되었다.

대부분의 활엽수 스케줄들은 함수율스케줄이고, Fell 등은 건조실내에 잔적된 건조재의 함수율을 정확하게 추정하기 위한 시험재의 수에 대해서도 연구하였다. Nassif는 건조조건을 시간에 따라 연속적으로 변화시키는 연속변화스

케줄을 개발하였는데, 판재의 평균함수율이 30% 이상일 때는 건·습구온도의 증가율을 적게 하고 30% 이하에서 그 증가율을 크게 하는 것이 원칙이다. Wengert는 건조속도를 관측하여 건조재의 품등을 향상시키는 활엽수재 건조개념을 도입하는데, 몇가지 수종과 두께에 대한 건조속도 안전성을 제시하였다.

##### 1.2 강도유지 건조스케줄

몇몇 소재의 제품은 건조후에 가능한 한 최대의 강도를 유지하는 것이 필요하다. Wengert는 건조스케줄이 재목의 강도에 어떻게 영향을 미치는가, 즉 강도손실에 미치는 영향에 관한 이론적 접근을 시도하였고, Holmes는 건조중 재온 측정방법을 연구하였으며, Gerhards는 Southern pine, 美松 및 백합나무 2×5ft재를 고온건조 할 경우 그것이 강도에 미치는 영향은 크지 않다는 사실을 보고하였다.

##### 1.3 CCA 처리재 건조스케줄

대부분의 연구는 CCA처리한 Southern pine의 강도가 처리후 건조에 의해서 어떻게 영향받는가에 대하여 집중되어 왔다.

최종함수율 측정방법과 더불어 표면할렬 및 횡단면할렬의 측정에 관하여 기술되고, 길이방향 응력(인장세트-길이방향 표면경화)와 생장

\*1. 接受 1990年 10月 30日 Received October 30, 1990.

\*2. 서울대학교 農科大學 College of Agriculture, Seoul National University, Suwon 441-744, Korea

용력 포함)의 새로운 측정 기술이 예시되었으

Siemon은 Caribbean Pine에 미치는 영향을 조사하여 건조재의 강도 저하를 최소화 하기 위해 150°F 온도에서 재 건조 하는 것이 바람직하다고 제안하였다.

Lewis는 제습건조가 건조재의 강도손실을 최소화하는데 가장 적합한 재 건조 방법이라고 주장하였다.

#### 1.4 多濕心材 및 박테리아 감염재의 건조 스케줄

다습심재는 정상적인 함수율보다 훨씬 높은 함수상태인 것으로서 건조속도가 느리고 찌그러짐의 발생이 용이하다. Ward는 전기저항식 함수율계를 이용하여 다습심재를 추적하는 방법에 대해 연구한 바 있고, Arganbright 등은 다습심재가 시험용 건조실의 부식에 미치는 영향을 조사하였다.

박테리아 감염재가 건조기작에 미치는 영향은 많이 연구되어 왔다. 이에 관한 연구는 Ward를 비롯한 다른 연구자들에 의해 주로 red oak재를 대상으로 이루어졌다. 박테리아감염재는 일반적으로 건조속도가 느리고, 불쾌한 냄새가 나며, 초기함수율이 매우 높고(참나무의 경우 정상재 75% 인데 비해, 감염재는 100% 이상), 취성재(윤활, 초기할렬, 내부할렬 등의 발생 용이)인 특징이 있다. 또 건조 후 절삭성이 불량하고, 고습의 장소에서 계속 냄새가 나는 단점도 있다. 냄새, 고함수율, 윤활 등을 제외하고는 박테리아 감염 여부를 판단할 수 있는 방법이 없다. 표준건조스케줄은 일반적으로 박테리아 감염재에 대해서 너무 강한 스케줄이다.

Kersavage 등은 red oak의 박테리아 감염재의 문제가 더욱 심각하고, 현존하는 스케줄들은 부적합하다고 주장한 바 있다.

#### 1.5 이쿼라이징처리와 콘디쇼닝처리

이쿼라이징처리시 건조실내 평형함수율은 목표함수율보다 2% 낮게 설정하는 것이 표준이지만, McMillen 등은 에너지 절약의 측면에서 목표함수율보다 3% 낮게 설정하는 것이 합리적

라고 제안한 바 있으며, Lamb는 이러한 제안을 이용하여 여러 종류의 건조온도에서 이쿼라이징 조건들을 설정코져 시도한 바 있다. Stumbo는 건조 중 건조용력의 형성을 표면경화로 조사하는 방법을 제시하였고, Lamb은 건조용력을 완화시키기 위한 건조조건을 조사하였으며, Maeglin 등은 온도가 섬유방향 건조용력 완화에 미치는 영향에서 고도의 유의성은 없다고 보고하였다.

## 2. 공정제어

### 2.1 함수율계측에 의한 제어

건조재 품등을 향상시키고자하는 노력의 일환으로 함수율계측에 대한 관심이 고조되어 왔다. Steinhagen은 건조실내에서 함수율을 측정할 수 있는 계기의 개발은 경제적인 측면에서 상당한 가능성을 지닌 것으로 전망하였다.

오늘날 가장 널리 이용되고 있는 함수율 계측법은 저항식수분계의 탐침을 건조재에 삽입하여 측정하는 것으로서 이에 관한 기본적인 연구는 수 년전에 수행되었다. Heimerdinger 등은 저항식수분계에 의한 계측장치와 그 성능에 대해 상술한 바 있다. Lessard 등은 탐침의 삽입 깊이를 다르게 하여 수분경사를 조사하여 건조용력경사를 추정한 바 있고, Forrer는 여러가지 다른 함수율 측정방법으로 건조중 수분경사를 조사할 수 있는 탐침을 개발하였다. James 등은 초음파가 전달되는 시간을 측정하여 함수율을 계측하는 음향장치를 평가 분석하였고, 또 James 등은 전기용량식 함수율 계측장치에 관해서 연구한 바 있다.

### 2.2 음향방사파에 의한 제어

1980년이래 음향방사파(AE)를 건조에 접목시키고자하는 연구가 활발히 수행되어 왔다. AE는 스트레인에너지를 방출에 의해 발생된 목재의 탄성파로서 목재가 건조함에 따라 미세할렬, 또는 거대할렬(macro checks)이 발생한 부위에 응력이 집중될 때 스트레인에너지를 방출

이 이루어진다. AE는 하나 또는 여러개의 압전형 변환기를 목재에 부착하여 탐지한다. 주로 AE에 관한 초기단계의 연구에서는 수종, 시험편의 크기, 건조조건(온도와 상대습도) 등이 AE의 신호에 미치는 영향 등이 조사되었다. Skaar 등은 건조공정에서 AE의 개발이용 가능성을 주장하였고, Honeycutt 등은 AE 발생을에 근거한 컴퓨터자동제어시스템의 개발을 성공적으로 수행한 바 있다.

또한 Noguchi 등도 이를 개발한 바 있다. 미국에서는 아직 AE를 이용한 건조제어장치가 산업적으로 이용되고 있는 실정은 아니지만 이에 관한 연구는 계속되고 있다.

### 2.3 기타 장비 및 제어장치

건조공정을 컴퓨터모델화하는 수학적 기본에 대한 몇가지 상세한 연구가 소개되었다. Forrer는 최근 이용할 수 있는 몇가지 제어선택사항을 제시하였고, Breckenridge는 보다 개선된 건조실 제어에 의한 유리한 점을 발표한 바 있다. 또한 Cochrum 등은 건조공정에 있어서 컴퓨터 이용의 잠재적인 가능성을 논의하였다. Mackay는 캐나다 서부지역의 건조실 자동화공정을 소개하였고, 이외에도 자동화에 관한 많은 연구가 시도되고 있다. Little 등은 함수율을 결정하는 입력자료로서 건조조건을 변경시켜야할 때 하중무게를 기준한 제어장치를 개발하였다.

Green은 공기압축작용식 기록장치/제어장치의 문제 해결을 위한 방법을 소개하고 실제 기록장치를 사용한 차트 실례를 입증용으로 제시하였다. Carter는 제어장치 자동화의 결과로 건조제에 손상을 줄 수 있는 가능성을 분석하기 위하여 건습구 차트를 이용할 수 있는 공정을 고찰하였으며, Bai 등은 건조과정을 모니터링하는데 내부온도를 사용하는 것이 가능함을 보고하였고, Panow 등은 slash pine의 고온건조 완료시점을 시험재의 내부 온도의 모니터링으로 결정될 수 있음을 보고하였다.

## 3. 에너지사용

목재건조시 에너지소비는 대개 총경비의 50~70%를 점유하고 있다. 따라서 에너지가 어디에 사용되고, 또 어느 정도 절약될 수 있는지에 대한 연구가 많이 시도되었다.

Taylor는 Southern pine의 관행건조와 고온건조시 에너지소비량 비교 연구에서 실험실 규모의 건조를 통해 고온건조가 12~15% 정도 에너지가 절약됨을 구명하였다. 그 후 Rosen에 의하여 확인되었으며, 또한 Kinninmonth 등도 radiata pine 건조실험으로 확인하였다. 기타 에너지 연구로는 열전도 손실과 일반적인 에너지 소비 연구 등이 발표되었다. Erickson 등은 실험실 규모의 건조실을 이용하여 관행의 증기와 제습했을 때의 에너지 소비량을 측정하였고, Breiner 등은 수종의 서부 침엽수를 대상으로 산업용 규모의 건조실을 이용하여 에너지 소비를 모니터링하는 연구를 실시하였다.

건조실에서 에너지 소비를 감소시키는 에너지 절약 방법으로서 Rosen은 회수가능 에너지로서 건구온도는 200°~400°F 범위, 습구온도는 100°~212°F 범위를 제안하였으며, Miller는 증기 재압축 방식을 이용한 에너지 소비의 감소 가능성을 검토하였다. 또한 Masters 등은 통상 공기중으로 배출되어 없어지는 에너지를 회수하기 위하여 steam-jet thermocompressor를 이용하였다.

에너지 절약을 위한 기타 실용적인 방법들이 보고된 바 있는데, Little은 따뜻한 기후에 의한 외부의 고습도가 에너지 소비 정도에 미치는 영향을 조사하였고, Simpson 등은 에너지 소비에 대한 목재 두께의 영향을 연구하였으며, Carter는 공기순환 속도의 개선을 통하여 건조실 가동과 에너지 소비에 대한 효과를 구명하였다.

## 4. Post drying

### 4.1 건조후의 품질개선기술

목재가격 상승 및 총제조원가에 비례한 목재가치의 상승으로 많은 관심이 건조품질에 집중

되고 있다. 활엽수재 건조에서 품질 저하는 목재의 생재가치를 20% 정도 저하시키며, 침엽수 건조시에는 4개 중 1개꼴로 품질 저하가 이루어지고 있다.

최종합수율 측정방법과 더불어 표면할렬과 횡단면할렬의 측정에 관한하여 기술되고 길이 방향 응력의 새로운 측정기술이 예시되었으며, 가구재료로 재재이용될 목재에 필요한 복잡한 품질분석 방법도 개발되고 있다. 또한 Rosen 등은 건조곡선과 평형함수율 계산에 이용될 수 있고, 특히 휴대용 컴퓨터에 적합한 5가지 컴퓨터 프로그램을 개발하였다.

Culpepper 등은 건조실 사방에 위치시킨 시편의 최종합수율이 건조실 전체의 함수율 변이성에 관계되는 품질조정 프로그램을 침엽수에 대하여 개발하고, 이 프로그램에 의한 정보는 건조실내 변이성의 원인을 구명하므로써 건조실 문제를 해결하는데 사용될 수 있도록 하였다. 이외에도 Southern pine을 대상으로 한 특수한 품질개선 프로그램들이 개발되었으며, Arganbright는 post-drying 방법을 소개하고 품질 손실을 최소화하기 위해 건조스케줄이 어떻게 수정될 수 있는지를 설명하였다.

#### 4.2 최종합수율의 측정방법

침엽수재의 함수율은 목표함수율을 확인하기 위하여 건조 후(등급분류시)에 흔히 측정되며 직시형 전기수분측정기(in-line meters)가 널리 사용되고 있다.

Wagner는 직시형 수분측정기의 장점을 설명하고 적당한 계기조정 방법을 제안하였으며, 이러한 수분측정기의 사용방법이 James에 의해 약술되었고, Breiner 등에 의해 평가되었다. 또한 James 등은 전기식 수분측정기로 보다 신뢰성있는 함수율 추정값을 구하기 위하여 여러 개의 잔적으로부터 건조재의 함수율과 수분 경사를 측정하였으며, 새로운 직류콘덕턴스형 수분측정기가 Forrer 등에 의해 소개되었다. 그 후 수중-온도 보정표가 계속 수정되고 재발표되었다. Choo 등도 저항식 수분측정기용 함수율

보정자료를 제공하였으며, 새로운 교류수분측정기가 Beall 등에 의해 개발되었다. 활엽수재를 대상으로 최종합수율의 정규분포를 얻을 수 있는 샘플링 방법이 Wengert 등에 의해 제공되었다.

회전쟁반이 부착되어 있어 낮은 전력에서 작동되는 가정용 전자오븐을 사용하여 목재시편을 신속하게 건조할 수 있는 기술이 소개되었는데, 이 방법으로 시편이 20분 이내로 건조될 수 있다.

#### 4.3 저목

건조재 저목에 대한 상세한 기술을 수록한 설명서가 Rietz에 의해 발간 되었고, 과거의 연구 결과들이 저목을 위한 실용적인 안내서로서 요약되었으며, 그외의 실용적인 자료들이 Wengert에 의해 제공되었는데, 그는 평형함수율을 조정하기 위하여 새벽 저온보다 몇도 이상이 되도록 저목실을 가열해주는 방법을 착안하였다.

#### 4.4 품등저하

건조손실(할렬, 변형, 부후)의 조절에 대하여 과거 10년동안 관심이 고조되어 왔으며, 이러한 관심은 주로 과거의 연구경향을 품질손실의 조절 및 제한쪽으로 전환시키는 데 집중되었다. 이에 대하여 많은 연구들이 활엽수를 대상으로 발표되었으며, Clay는 표면경화에 관련된 문제를 설명하였고, Lamb는 품등저하의 순수 원가를 평가하였으며, Quenell은 건조가 어떻게 절삭에 영향을 미치는지를 연구하였다. Southern pine 재의 건조품질 저하에 대한 McConnell의 연구에서 그는 건조실 공기순환과 가열방식의 영향을 설명하였으며, 비틀림을 줄이기 위한 건조후의 증자처리에 대한 연구가 발표되었고, ponderosa pine의 품질저하도 조사되었다.

서부 활엽수재의 회색변색, 잔목변색, 기타 화학적 변색을 포함한 활엽수의 변색 방지에 대한 연구가 Amburgey 등에 의해 수행되었는데, 5~10%의 중아황산나트륨 용액이 일부 서부산 활엽수재의 회색변색을 방지하는데 유효하다고 보고하였다. 세균성 청변의 방지기술을 보고한

George는 화학적 방지 가능성과 화학약품 사용에 관련된 정부 규정에 대하여 검토하였으며, Wengert는 청변의 원인과 약제 침지에 대한 지침을 제시하였다.

Southern pine의 갈색색은 Hanover 등에 의해 연구되었는데, 그들은 sodium azide는 Southern pine에 효과가 없었고, 저온건조(180°F 이하)가 이러한 변색을 억제하는 주요 인자라고 결론지었다.