

圓周狀슬라이스의 오-븐건조법에 의한 함수율의 圓盤내 방사방향분포 추이 평가 (II)*¹ - 주요 국산 침엽수재를 중심으로 -

이 남 호*^{2†} · Chengyuan Li*² · 최 준 호*³ · 황 의 도*² · 진 영 문*⁴

Determination of Trend of a Radial Distribution of Moisture Content within a Log Cross Section by Oven-Drying of Circumferential Slices(II)*¹ - For some of domestic softwoods -

Nam-Ho Lee*^{2†} · Chengyuan Li*² · Jun-Ho Choi*³ · Ui-Do Hwang*² · Young-Moon Jin*⁴

요 약

본 연구는 주요 국산 침엽수재 원반에서 채취한 두께 3 mm의 圓周狀슬라이스를 오-븐에서 급속 건조하면서 각 원반내 함수율의 방사방향 분포추이를 조사하기 위하여 수행하였다.

소나무의 경우 건조가 진행됨에 따라 변재부는 매우 급속한 건조속도로 함수율이 감소한 반면, 심재부는 건조속도가 느려 오히려 생재함수율이 높은 변재부가 심재부보다 먼저 섬유포화점에 도달하였으나, 이러한 분포 상태가 장시간 지속되지는 않았다. 낙엽송의 경우 변재부의 생재함수율이 심재부보다 약 3배 가량 높은 분포를 보였으며, 이러한 수분경사 패턴은 평균함수율 약 20%일때 까지 지속되었다. 은행나무의 경우 변재영역 내에서는 매우 고른 생재함수율 분포를 보였으며, 건조가 진행되면서도 어느 정도의 진폭은 존재하였지만 비교적 균일한 함수율 분포를 보였다. 삼나무의 경우 심재부는 생재함수율이 매우 낮아 건조 초기부터 수축이 개시되지만 높은 함수율을 나타내고 있는 변재부에 의해 수축이 억제되므로써 심재영역 또는 이행재 영역에 인장응력이 형성될 것으로 판단된다. 편백나무 변재의 생재함수율은 심재보다 훨씬 낮아 침엽수재의 일반적인 함

*¹ 접수 2003년 7월 14일, 채택 2003년 8월 15일

본 논문은 농림부에서 시행한 농림기술개발사업에 의해서 수행된 과제의 일부임.

*² 전북대학교 농업생명과학대학 (농업과학기술연구소) College of Agriculture and Life Science, Chonbuk National University (Institute of Agricultural Science & Technology), Chonju, Chonbuk 561-756, Korea

*³ 대봉실업(주) Daebong Corp., Baseok-dong, Seo-gu, Incheon, Korea

*⁴ 원광대학교 생명자원과학대학 College of Life Science and Natural Resources, Wonkwang University, Iksan, Chonbuk 570-749, Korea

† 주저자(corresponding author) : 이남호(e-mail: enamho@chonbuk.ac.kr)

수율 분포와는 정반대의 분포를 나타내었으며, 이러한 함수율 분포패턴은 평균함수율 약 21%까지도 지속되었다. 측백나무의 경우 변재부의 생재함수율이 심재부보다 약 2배 정도 더 높은 분포를 보였으나, 건조가 진행되면서 이러한 분포는 빠른 속도로 약화되었다.

ABSTRACT

This study was carried out to investigate a radial distribution of moisture contents (MCs) within a log cross section (LC) during oven-drying of 3 mm-thick circumferential slices cut from several domestic softwoods LCs.

For Korean red pine, drying rate of sapwood slices during oven-drying represented much higher values than that of heartwood slices, and so sapwood with higher green MC early reached below fiber saturation point (FSP) rather than heartwood did. However, this distribution of moistures did not last for long duration. For Japanese larch, green MC of sapwood was approximately three times higher than that of heartwood. This similar distribution in MC was lasted until about 20% average MC. The MC was around uniform throughout the sapwood of Ginkgo when green and during oven-drying, although it was somewhat fluctuated. For Japanese cedar, the heartwood with so low moistures around FSP would begin to shrink from the beginning stage of drying, but the sapwood above hygroscopic MC prevents the heartwood from shrinking, and consequently, the heartwood or the transition wood goes into tension stress. The results for Japanese cypress showed that the green MCs of the sapwoods were much lower than those for heartwoods, and then this trend was continued until about 20% in average MC. For Chinese thuja, the green MCs of sapwoods were about 2 times as high as those of heartwood, but this along the radial gradient in MC rapidly became gentle during oven-drying.

Keywords: radial distribution of moisture content, log cross section of softwoods, sapwood, heartwood, circumferential slices, oven - drying, drying rate, hygroscopic range

1. 서 론

前報(이 등, 2003)에서 우리나라 주요 활엽수재 원반을 대상으로 圓盤(Log cross section)내 함수율의 방사방향 분포 추이를 圓周狀 슬라이스(circumferential slices)의 오-븐건조법에 의하여 조사·보고한 바 있다. 본 연구는 前報의 제 2報로써 주요 국산 침엽수재 원반을 대상으로 조사한 결과를 정리한 것이다.

건조중 동일 원반내에서 어떤 영역은 이미 섬유포 화점에 도달하여 수축하려하나 아직 섬유포화점 이상인 인접영역에 의해서 수축이 억제된다면 저함수

율 부위에 인장응력이 형성되고, 이것이 목재의 횡인장강도를 초과할 경우 할렬이 발생할 수 있다(이 등, 2001). 또한 이러한 할렬들은 건조후기에 이르러 이방성수축응력에 의해서 V형 크랙으로까지 진전될 수도 있다(Kang et al, 2001; 이 등, 2001). 따라서 원반건조중 경계할렬이나 V형 크랙에 의한 손상을 억제하기 위해서는 동일 원반내에서 영역간에 수분경사를 완만하게 유지하는 것이 대단히 중요하다.

일반적으로 침엽수재는 변재의 함수율이 심재의 함수율보다 월등히 높은 함수율 분포를 보이지만(이 등, 1997; 정 등, 1999) 투과성은 심재부가 변재

부보다 불량한 편이어서 동일 원반내에서 반드시 심재부가 먼저 섬유유화점에 도달한다고 단정지을 수는 없다(Kang et al., 2001). 즉 원반내 부위별 생재 함수율이나 투과성 등에 관한 자료를 알고 있다 할지라도 각 부위간 수분경사의 발생추이를 예측하는 것은 어려운 과제이다. 또한 실제 원반건조중에 방사방향 함수율분포를 조사하는 작업은 시간이 오래 걸리고 불편할 뿐 아니라, 많은 재료의 손실을 감수해야하는 문제점이 있다.

이에 본 연구에서는 주요 국산 침엽수재 원반으로부터 두께 3 mm의 圓周狀슬라이스를 채취한 후 오-븐에서 급속 건조하면서 각 원주상 슬라이스들의 함수율 감소경과를 조사하였고, 이로부터 동일 원반내 함수율의 방사방향 분포추이와 각 슬라이스들의 건조속도를 평가하므로써 각 수종의 심재할렬 발생등급 지표와 경계할렬 발생등급 지표를 결정하는 자료를 제공코저 하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 공시재료

주요 국산 침엽수재중에서 소나무(Korean red pine), 일본 잎갈나무(Japanese larch), 은행나무(Ginkgo), 삼나무(Japanese cedar), 편백나무(Japanese cypress) 및 측백나무(Chinese thuja) 등 6수종을 공시수종으로 선정하여, 각 수종별로 생재원목 1본씩을 시중 목장에서 구입하였다. 각 원목의 중앙부위에서 두께(섬유방향) 30 mm의 원반 2매씩을 각각 채취하여 건조중 함수율분포 및 건조곡선 조사용으로 사용하였다. 채취된 각 원반은 시험에 사용되기 직전까지 비닐에 밀봉하여 약 -5°C의 저온고에 보관하였다. 각 수종별 생재비중은 소나무 0.43, 일본 잎갈나무 0.45, 은행나무 0.36, 삼나무 0.44, 편백나무 0.28, 측백나무 0.35이었다.

2.2. 원주슬라이싱과 오-븐건조

시험용 원반은 목공용 락톱과 특별히 고안된 보조

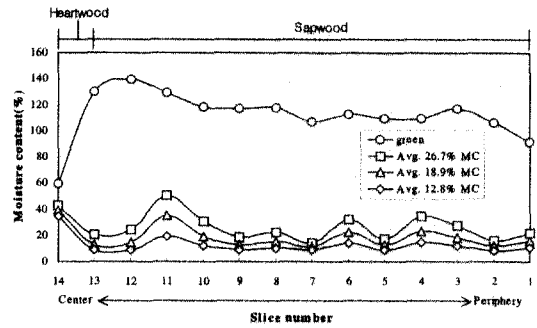


Fig. 1. A radial distribution of moisture contents in Korean red pine during oven-drying circumferential slices.

틀(최 등, 2001)을 이용하여 두께(방사방향 길이) 3 mm 내외의 원주상 슬라이스로 가공한 후 각 슬라이스의 생재무게를 평량하였으며, 각 슬라이스들은 강제송풍형 오-븐에서 건조되어지면서, 적절한 시간 간격으로 건조중무게가 평량되어졌다. 동일 원반의 슬라이스들만이 동일 오-븐에서 건조되어졌으며, 모든 수종 공히 초기에는 40°C에서 건조하기 시작하여 건조중 무게 감소를 보아가며 5°C씩 온도를 상승시키되, 건조말기에 최고 50°C까지 상승시켰다. 이 이후 모든 슬라이스들은 103±2°C의 조건에서 전건시켜 전건무게를 평량하였고, 이것으로부터 각 슬라이스들의 건조중 함수율과 동일 원반내 함수율의 방사방향분포 등이 평가되어졌다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 소나무 원반의 방사방향 함수율 분포

Fig. 1은 오-븐건조중 소나무 원반내 함수율의 방사방향 분포경과를 건조시간 단계별로 나타낸 것이고, Fig. 2는 Fig. 1을 변재 및 심재 슬라이스들의 평균함수율로 구분하여 작성한 건조곡선이다.

생재함수율의 경우 변재부 슬라이스는 평균 115.8%인 반면에 심재슬라이스는 59.7%에 불과하였다. 그러나 건조가 진행됨에 따라 변재부는 매우 급속한 건조속도로 함수율이 감소하였으나 심재부는 건조속

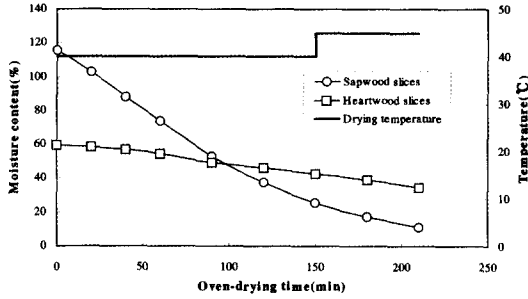


Fig. 2. Oven-drying curves of circumferential slices for Korean red pine.

도가 느려 오히려 변재부가 심재부보다 먼저 섬유포 화점에 도달하였고, 11번 슬라이스의 경우 변재임에도 불구하고 섬유포화점 도달시기가 심재와 유사하였다. 그러나, 이러한 함수율 분포가 오래 동안 지속되지는 않아 경계할렬의 발생위험은 그다지 크지 않은 것으로 보이나, 심재부위의 투과성 불량으로 심재할렬이 발생할 소지는 있는 것으로 평가되었다. 따라서 소나무 원반건조시 심재부와 심재 경계선 주위 약 1 cm 내의 영역의 수분증발 속도를 다소 지연시키는 것이 심재할렬 예방에 바람직할 것으로 판단된다.

3.2. 일본 잎갈나무 원반의 방사방향 함수율 분포

변재 슬라이스의 평균 생재함수율은 126.3%로 심재슬라이스의 39.5% 보다 약 3배 가량 높은 분포를 보였으며, 이러한 수분경사는 평균함수율 약 20%일 때 까지도 계속되었다. 따라서 건조중기 이후 심재와 변재의 경계선인 7번 슬라이스 주위에 인장응력이 형성되므로써 경계할렬이 발생할 가능성이 높다. 이 경우 심재부의 건조속도를 지연시킬 필요가 있는 것으로 판단된다. 또한 심변재 경계선과 외주선의 중간영역인 3번 슬라이스를 중심으로 인접부위간에도 상당한 수분경사가 형성되고 있는 점을 주목할 필요가 있다. 즉 건조 전에 박피처리를 할 경우 외주선으로부터 약 1 cm 영역까지를 제거한다면 건조수율 증진에 기여할 수 있을 것으로 생각된다. (Fig. 3

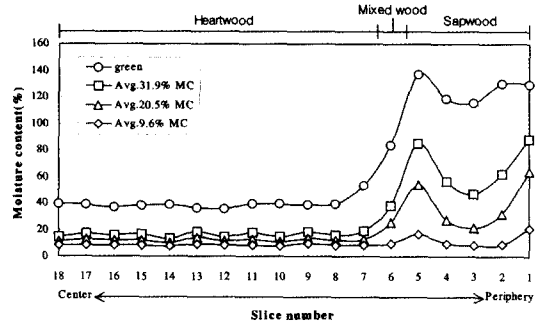


Fig. 3. A radial distribution of moisture contents in Japanese larch during oven-drying circumferential slices.

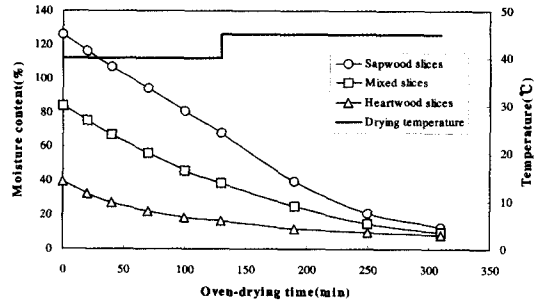


Fig. 4. Oven-drying curves of circumferential slices for Japanese larch.

~Fig. 4)

3.3. 은행나무 원반의 방사방향 함수율 분포

은행나무의 경우 심재영역이 매우 작아 심재슬라이스를 얻는 것이 불가능하였다. 변재영역 내에서는 매우 고른 생재함수율 분포를 보였으며, 건조가 진행되면서도 어느 정도의 진폭은 존재하였지만 비교적 균일한 함수율 분포를 보였다. 다만 16번 슬라이스를 임계점으로 내측으로 향할수록 함수율이 낮아지는 경향을 보였으나 경계할렬을 유발시킬 수준은 아닌 것으로 판단된다. (Fig. 5~Fig. 6)

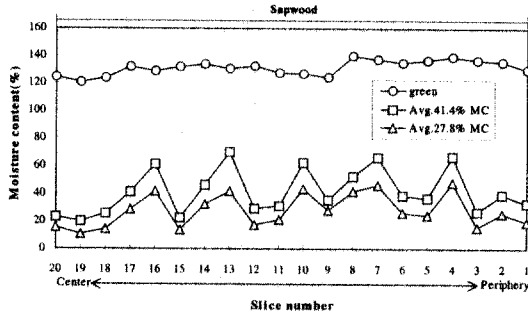


Fig. 5. A radial distribution of moisture contents in Ginkgo during oven-drying circumferential slices.

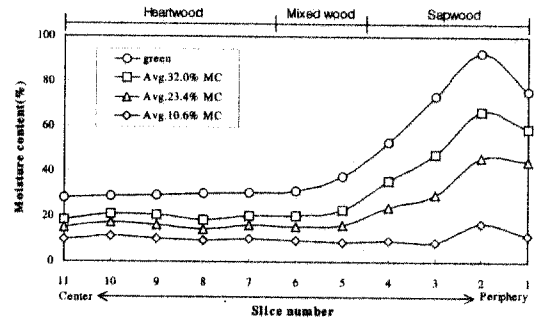


Fig. 7. A radial distribution of moisture contents in Japanese cedar during oven-drying circumferential slices.

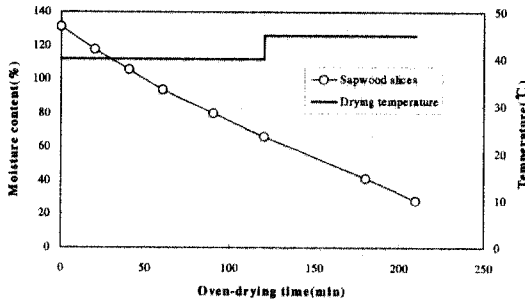


Fig. 6. Oven-drying curves of circumferential slices for Ginkgo.

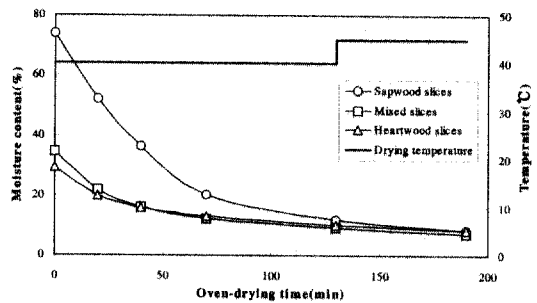


Fig. 8. Oven-drying curves of circumferential slices for Japanese cedar.

3.4. 삼나무 원반의 방사방향 함수율 분포

심재부는 생재함수율이 29.6%로써 건조가 시작되면서부터 수축이 개시되지만 평균 73.8%의 고함수율을 나타내고 있는 변재부에 의해 수축이 억제되므로써 건조 초기부터 심재영역 또는 이행재 영역에 인장응력이 형성될 것으로 예측되었다. 특히 이러한 함수율 분포가 평균함수율 약 10%일 때 까지도 지속되므로써 경계할렬의 발생 가능성이 매우 높은 것으로 판단되며, 이의 예방책으로써 심재부의 수분증발속도를 적절하게 지연시키는 처리를 고려해 볼 수 있다. (Fig. 7~Fig. 8)

3.5. 편백나무 원반의 방사방향 함수율 분포

생재함수율의 경우 변재슬라이스는 평균 29.7%를 보인 반면, 심재슬라이스는 평균 55.2%를 나타내어 침엽수재의 일반적인 함수율 분포와는 정반대의 분포를 나타내었다. 더구나 변재부보다 투과성이 불량할 것으로 추측되는 심재부가 함수율마저도 더 높게 나타나므로써 생재 상태와 같은 함수율 분포패턴이 평균함수율 약 21%까지도 지속되는 것으로 조사되었다. 이것은 건조중 변재영역에 상당한 크기의 인장응력이 형성될 수 있음을 시사하는 것으로써 할렬이 발생할 위험이 높은 것으로 평가되었다. 따라서 건조전에 원반의 변재부를 통한 수분증발을 적절하

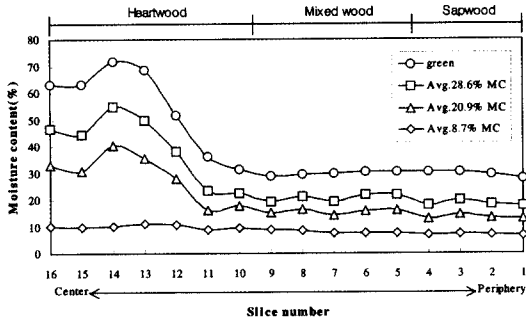


Fig. 9. A radial distribution of moisture contents in Japanese cypress during oven-drying circumferential slices.

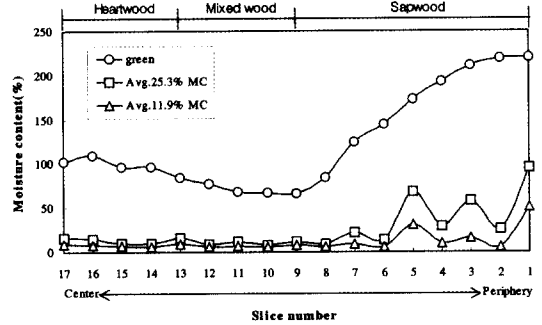


Fig. 11. A radial distribution of moisture contents in Chinese thuja during oven-drying circumferential slices.

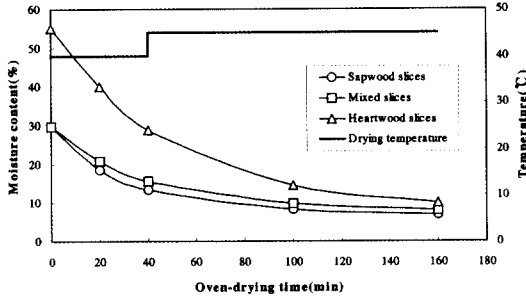


Fig. 10. Oven-drying curves of circumferential slices for Japanese cypress.

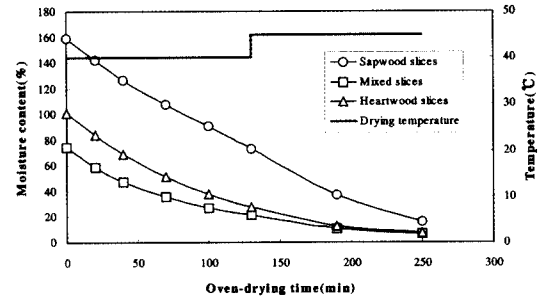


Fig. 12. Oven-drying curves of circumferential slices for Chinese thuja.

게 지연시키는 것이 바람직할 것으로 판단된다. (Fig. 9~Fig. 10)

필요가 있으며, 보다 상세한 검토작업이 이루어 질 필요가 있을 것으로 판단된다. (Fig. 11~Fig. 12)

3.6. 측백나무 원반의 방사방향 함수율 분포

변재슬라이스의 생재함수율은 평균 159.2%, 그리고 심재슬라이스는 평균 74.4%로 약 2배 이상의 함수율 차이를 나타내었으나, 변재부의 건조속도가 심재부와 비교하여 매우 빠르므로써 심변재간 수분경사는 건조가 진행되면서 점점 완만해 지는 양상을 보였다. 그렇지만 변재영역내 6번 슬라이스를 임계점으로 외주측과 내측간에 일정 크기의 수분경사가 건조말기까지도 지속되고 있는 점에 주의를 기울일

4. 결론

본 연구는 주요 국산 침엽수재 원반에서 채취한 두께 3 mm의 圓周狀슬라이스를 오-븐에서 급속건조 하면서 각 원반내 함수율의 방사방향 분포추이를 조사·분석한 결과는 다음과 같다.

소나무의 경우 건조가 진행됨에 따라 변재부는 매우 급속한 건조속도로 함수율이 감소한 반면, 심재부는 건조속도가 느려 오히려 생재함수율이 높은 변재부가 심재부보다 먼저 섬유포화점에 도달하였으나, 이러한 분포상태가 장시간 지속되지는 않았다.

낙엽송의 경우 변재부의 생재함수율이 심재부보다 약 3배 가량 높은 분포를 보였으며, 이러한 수분경사 패턴은 평균함수율 약 20%일때 까지 지속되었다.

은행나무의 경우 변재영역 내에서는 매우 높은 생재함수율 분포를 보였으며, 건조가 진행되면서도 어느 정도의 진폭은 존재하였지만 비교적 균일한 함수율 분포를 보였다.

삼나무의 경우 심재부는 생재함수율이 매우 낮아 건조 초기부터 수축이 개시되지만 높은 함수율을 나타내고 있는 변재부에 의해 수축이 억제되므로써 심재영역 또는 이행계 영역에 인장응력이 형성될 것으로 예측되며, 특히 이러한 함수율 분포가 평균함수율 약 10%일때 까지도 지속되므로써 경계할렬의 발생 가능성이 매우 높은 것으로 판단된다.

편백나무 변재의 생재함수율은 심재보다 훨씬 낮아 침엽수재의 일반적인 함수율 분포와는 정반대의 분포를 나타내었으며, 이러한 함수율 분포패턴은 평균함수율 약 21%까지도 지속되었다.

측백나무의 경우 변재부의 생재함수율이 심재부보다 약 2배 정도 더 높은 분포를 보였으나, 건조가 진행되면서 이러한 분포는 빠른 속도로 약화되었다.

참 고 문 헌

1. Kang, W., N. H. Lee, and J. H. Choi. 2001. A radial distribution of moistures and tangential strains within a larch log cross section during radio-frequency/vacuum drying. Proceedings of the 7th International IUFRO Wood Drying Conference 2001. Tsukuba, Japan: 376~381.
2. 이남호 등. 1997. 지리산지역 목공예제조업체의 국제경쟁력 제고를 위한 특성화기술 개발. 농림부 연구보고서: pp. 33~85.
3. 이남호 등. 2001. 국산 저급원목의 원판을 활용한 목공예기념품류의 건조지표 및 디자인컨셉 개발. 농림부 연구보고서: pp. 34~48.
4. 이남호, Chengyuan Li, 최준호. 2003. 원주상 슬라이스의 오-분건조법에 의한 함수율의 원반내 방사방향 분포 추이 평가 (I) -주요 국산 활엽수재를 중심으로-. 목재공학 31(1): 10~15.
5. 정희석 등. 1999. 주요 침엽수 구조용 제재와 특수용재의 가열판 압착식 진공건조기술 개발. 농림부 연구보고서: pp. 149~173.
6. 최준호, 이남호. 2002. 원주슬라이스법에 의한 원반내 접선방향 변형율의 방사방향분포 평가. 석사학위논문. 전북대학교 대학원: pp. 47~48