

# 圓周狀슬라이스의 오-분건조법에 의한 함수율의 圓盤內 방사방향 분포 추이 평가(I)\*<sup>1</sup>

- 주요 국산 활엽수재를 중심으로 -

李南浩\*<sup>2†</sup> · 李成元\*<sup>2</sup> · 崔竣湫\*<sup>3</sup>

## Determination of Trend of a Radial Distribution of Moisture Content within a Log Cross Section by Oven-Drying of Circumferential Slices\*<sup>1</sup>

- For some of domestic hardwoods -

Nam-Ho Lee\*<sup>2</sup> · Chengyuan Li\*<sup>2</sup> · Jun-Ho Choi\*<sup>3</sup>

### 요 약

본 연구는 주요 국산 활엽수재 원반에서 채취한 圓周狀슬라이스를 오-분에서 급속건조하면서 각 원반내 함수율의 방사방향 분포추이를 조사하기 위하여 수행하였다.

느티나무의 경우 변재부 또는 심변재경계부가 이미 섬유포화점 이하의 함수율에 도달하였으나, 최내측슬라이스는 아직도 약 40% 정도의 높은 함수율을 나타내었다. 벚나무의 경우 최내측 슬라이스와 바로 인접한 슬라이스 간의 수분경사가 건조시간이 경과하면서 더욱 심해지는 경향을 보였다. 음나무 원반에서는 생재상태에서는 심재부의 함수율이 변재부보다 약 23% 정도 더 높은 분포를 보였으며, 이러한 분포유형이 평균함수율 약 15%일 때까지도 지속되었다. 참중나무의 경우 쏙건조기간에 걸쳐 외주측의 심변재혼합 슬라이스들과 최내측 슬라이스의 함수율이 나머지 부위의 함수율보다 낮은 값을 나타내었다.

### ABSTRACT

This study was carried out to investigate a radial distribution of moisture contents(MCs) within a log cross

\*<sup>1</sup> 접수 2002년 2월 15일, 채택 2002년 5월 25일

본 논문은 농림부에서 시행한 농림기술개발사업에 의해서 수행된 과제의 일부임.

\*<sup>2</sup> 전북대학교 농과대학(농업과학기술연구소) College of Agriculture, Chonbuk National University(Institute of Agricultural Science & Technology), Chonju 561-756, Korea

\*<sup>3</sup> 대봉실업(주) Daebong Corp., Hanhee Bldg., #242-11, Youmchang-Dong, Kangseo-Ku, Seoul, Korea

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

section(LC) during oven-drying of circumferential slices cut from some of domestic hardwoods LCs. For zelkova, the slices from sapwood and from transition part already reached to below hygroscopic range at 30% in average MC, whereas the innermost slice represented about 40% MC.

A moisture gradient between the innermost slice and the adjacent slice from a cherry LC became severer with drying times. For castor aralia, the green MC for heartwood slices was approximately 23% higher than that for sapwood slices, and the similar moisture gradient still lasted until average 15% MC during oven-drying. For Chinese mahogany, the MCs of the mixed slices and the innermost slice were lower than those of the slices cut from the other parts during all over drying stage.

**Keywords:** radial distribution of moisture content, log cross section, circumferential slices, domestic hardwood

## 1. 서 론

圓盤(Log cross section)에는 관행적인 판재나 각 재류와는 달리 미성숙재와 성숙재, 심재와 변재 또는 이상재와 정상재 등이 완전한 형태로 共存하는 경우가 거의 대부분이다. 이들 대립되는 두 영역간에는 생재함수율, 투과성, 수축율 등 여러 가지 물리적 특성이 상이하여 (Shupe 등, 1995a and 1995b) 건조 중 수축이 개시되는 시점이나 절대 수축량 등이 다를 수 있고, 이 경우 두 영역은 상호 수축을 제약하므로써 건조응력이 유도될 수 있다(Kang 등, 2001). 특히 생재함수율의 높고 낮음, 그리고 투과성의 좋고 나쁨이나 그 정도의 차 등에 따라 수없이 다양한 조합의 수분경사 패턴이 만들어질 수 있기 때문에 원반건조 중에 방사방향으로의 수분경사, 무엇보다도 별개의 영역간 수분경사를 제어한다는 것은 간단하지 않다. 예를 들어 동일 원반 내에서 변재부의 생재함수율이 심재부에 비하여 훨씬 높다 할지라도, 타이로시스(tyloses) 등으로 인해 심재부의 투과성이 매우 불량하다면 오히려 변재부가 심재부보다 먼저 섬유포화점에 도달할 수 있으며, 또 심재부의 투과성이 적절하게 좋지 않아 심재부와 변재부가 동시에 섬유포화점에 도달할 수도 있다. 이 경우 건조 전에 변재부 표면을 통한 수분증발을 지연시키는 처리는 적절하지 못한 결과를 초래하게 될 것이다.

즉 원반내 부위별 생재함수율이나 투과성 등에 관한 자료를 알고 있다 할지라도 각 부위간 수분경사의 발생추이를 예측하는 것은 어려운 과제이다. 또한 실

제 원반건조 중에 방사방향 함수율분포를 조사하는 작업은 시간이 오래 걸리고, 불편할 뿐 아니라, 많은 재료의 손실을 감수해야 하는 문제점이 있다. 이에 본 연구는 주요 국산 활엽수재 원반을 대상으로 圓周狀슬라이스(Kang 등, 2001; 최 등 2001)를 채취한 후 40~50℃의 오-븐에서 급속건조하면서 각 원주상슬라이스들(circumferential slices)의 함수율 감소경과를 조사하여 동일 원반 내 함수율의 방사방향 분포추이를 평가하여 제공하고자 하였다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1. 공시재료

주요 국산 활엽수재 중에서 느티나무(zelkova: *Zelkova serrata*), 뽕나무(cherry: *Prunus serrulata* var. *spontanea*), 아까시나무(locust: *Robinia pseudoacacia*), 음나무(castor aralia: *Kalopanax pictum*), 참중나무(Chinese mahogany: *Cedrela sinensis*) 등 5수종을 공시수종으로 선정하여, 각 수종별로 생재원목 1본씩을 시중 원목상에서 구입하였다. 음나무 원목의 중앙부위에서는 두께 45 mm(섬유방향 길이)의 원반 2매를, 그리고 나머지 수종의 원목들에서는 두께 30 mm의 원반 2매씩을 각각 채취하여 건조 중 함수율분포 및 건조곡선 조사용으로 사용하였다. 채취된 각 원반은 시험에 사용되기 직전까지 비닐에 밀봉하여 약 -5℃의 저온고에 보관하였다. 시험에 사용된

각 수종별 원반의 수 부위, 이행재 부위 및 외주부위의 생재비 증에 관한 평균값은 느티나무 0.67, 벗나무 0.56, 아까시나무 0.67, 음나무 0.56, 참중나무 0.58 이었다.

## 2.2. 원주슬라이싱과 오-븐건조

시험용 원반은 목공용 락톱과 특별히 고안된 치구(최 등, 2001 and 2002)을 이용하여 두께(방사방향 길이) 3 mm 내외의 원주상 슬라이스로 가공한 후 각 슬라이스의 생재무게를 칭량하였으며, 각 슬라이스들은 강제송풍형 오-븐에서 건조되지면서, 적절한 시간간격으로 건조 중 무게가 칭량되어 졌다. 동일 원반의 슬라이스들만이 동일 오-븐에서 건조되어졌으며, 모든 수종 공히 초기에는 40℃에서 건조하기 시작하여 건조 중 무게 감소가 매우 느릴 경우 온도를 5℃씩 상승시키되, 느티나무와 음나무는 최고 45℃까지, 그리고 나머지 수종의 경우에는 최고 50℃까지 상승시켰다. 이 이후 모든 슬라이스들은 103±2℃의 조건에서 전건시켜 전건무게를 칭량하였고, 이것으로부터 각 슬라이스들의 건조 중 함수율과 동일 원반내 함수율의 방사방향분포 등이 평가되어졌다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1. 느티나무 원반의 방사방향 함수율 분포

Fig. 1은 오-븐건조 중 느티나무 원반내 함수율의 방사방향 분포경과를 건조시간의 함수로써 나타낸 것이고, Fig. 2는 Fig. 1을 변재슬라이스, 심변재혼합슬라이스 및 심재슬라이스들의 평균함수율들로 분류하여 작성한 건조곡선이다.

생재함수율의 경우 수피측의 변재부와 심변재경계부에서는 46.6~48.5% 범위의 거의 균일한 값을 나타내었고, 수(pith) 부근의 심재부쪽에 근접할수록 함수율은 서서히 증가하여 최내측 슬라이스의 경우 67.2%를 나타내어 변재부와외의 함수율 차이가 약

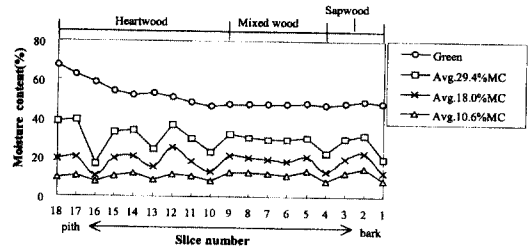


Fig. 1. Radial distribution of moisture content during oven-drying circumferential slices cut from zelkova.

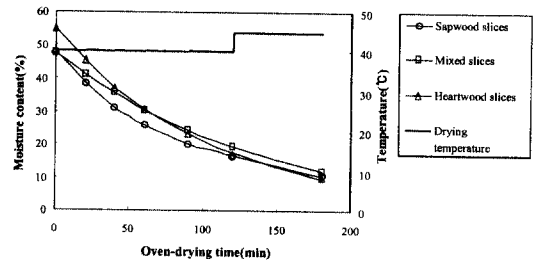


Fig. 2. Oven-drying curves of circumferential slices cut from zelkova.

20% 가량되었다. 이러한 방사방향 수분경사는 평균 함수율 약 30%일 때까지도 지속되어 변재부 또는 심변재 경계부의 경우 모두 섬유포화점 이하의 함수율에 도달하였으나, 최내측슬라이스는 아직도 약 40% 정도의 높은 함수율을 보여, 건조 중 변재부에 인장응력이 형성될 가능성이 높은 것으로 평가되었다. 함수율 30%까지 도달하는데 소요되는 시간을 내삽법으로 구한 결과(Fig. 2), 변재부는 48.5분 정도 소요된 반면에 인접한 심변재혼합슬라이스와 심재슬라이스의 경우 약 61분 정도 소요된 결과에서도 변재부에 인장응력이 형성될 것으로 예측된다. 따라서 느티나무 원반건조시 변재부의 건조속도를 어느 정도 지연시키거나 또는 심재부의 건조속도를 촉진시키는 대책을 강구하는 것이 경계할렬(Kang 등, 2001)을 예방하는데 유리할 것으로 판단된다. 건조중기 이후에는 전 횡단면에 걸쳐 비교적 균일한 함수율분포를 보였으나, 4번, 10번, 13번, 16번 슬라이스와 최외주측 슬라이스 등의 함수율이 인접부위 보다 매우 낮은 분포를 나타내어, 건조 중 상당한 주의가 요망된다. 특히 건조중

圓周狀슬라이스의 오-븐건조법에 의한 함수율의 圓盤內 방사방향 분포 추이 평가(I)

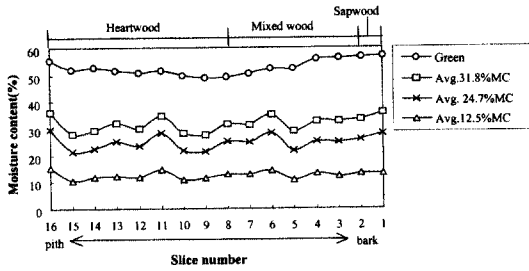


Fig. 3. Radial distribution of moisture content during oven-drying circumferential slices cut from cherry.

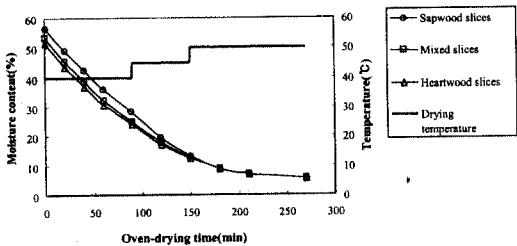


Fig. 4. Oven-drying curves of circumferential slices cut from cherry.

기 이후 최외주축에서 형성된 수분경사는 異方性수축 응력(Kubler, 1975; Lee 등, 1998 and 2000)이 중첩되면서 V형크랙을 초래할 수 있으므로, 원반건조시 건조 전에 박피하는 것은 바람직하지 않을 것으로 판단된다.

### 3.2. 벗나무 원반의 방사방향 함수율분포

오-븐건조 중 벗나무 원반내 함수율의 방사방향 분포경과와 변재슬라이스, 심변재혼합슬라이스 및 심재슬라이스들의 평균함수율의 건조곡선들을 Fig. 3과 Fig. 4에 각각 나타내었다.

생재함수율의 경우 변재율이 높은 외주축 및 수 부위의 함수율이 약 55%로서 다른 부위보다 약 5~6% 정도 더 높은 분포를 보였으며, 건조말기의 평균함수율 12.5%까지 유사한 분포양상이 지속되었다. 특히 최내축 슬라이스와 바로 인접한 슬라이스간의 수분경사는 건조시간이 경과하면서 더욱 심해지는 경향을 보였다. 이것은 수 부위의 투과성이 인접한 심재보다

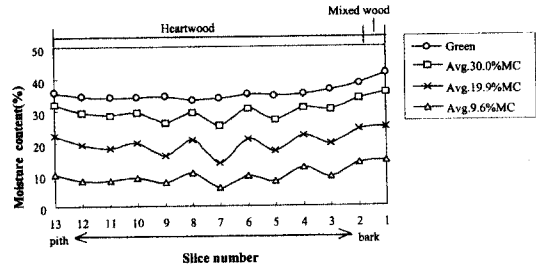


Fig. 5. Radial distribution of moisture content during oven-drying cut from locust.

불량하기 때문인 것으로 판단된다. 따라서 벗나무의 경우 원반건조 중 수 부위에서 발생하는 할렬을 예방할 목적으로 이 부위를 엔드래핑(end-wrapping) 또는 엔드커버링(end-covering)할 경우(이 등, 1991; Lee 등, 2000), 처리부 주변에서 접선방향 인장응력이 유도되면서 할렬이 발생할 가능성이 높다. 이것은 Fig. 4에서 건조초기 심재슬라이스의 건조곡선의 기울기, 즉 건조속도가 변재슬라이스와 심변재혼합슬라이스의 경우와 비교하여 결코 낮지 않은 점에서도 알 수 있다. 필요하다면 5번 슬라이스에서 15번 슬라이스에 이르는 횡단면을 통한 수분증발을 약간 지연시키는 처리를 실시할 경우 원반건조중 할렬예방에 도움이 될 수 있을 것으로 사료되어 이를 검토할 필요가 있다.

### 3.3. 아까시나무 원반의 방사방향 함수율분포

오-븐건조 중 아까시나무 원반내 함수율의 방사방향 분포경과를 Fig. 5에 나타내었다.

건조가 진행되면서 어느 정도의 함수율 진폭이 발생하였지만, 전 횡단면에 걸쳐 함수율 단계에 관계없이 비교적 고른 함수율분포를 보였다. 그러나 아까시나무의 경우 수간의 형상이 불규칙한 경우가 많고, 또 원주상 원목이라 할지라도 심재부의 外緣線이 동심원을 이루지 않을 뿐 아니라, 변재율이 매우 낮은 수종적 특성 때문에 원주슬라이싱으로는 순수한 변재슬라이스를 얻는 것이 쉽지 않다. 이로 말미암아 본 연구에서도 변재부의 건조특성을 파악하지 못하였으나,

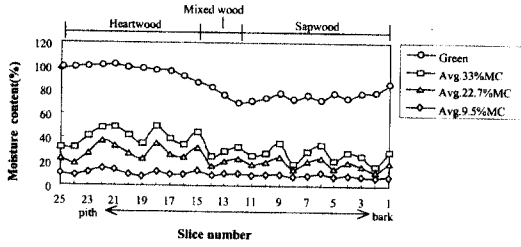


Fig. 6. Radial distribution of moisture content during oven-drying circumferential slices cut from castor aralia.

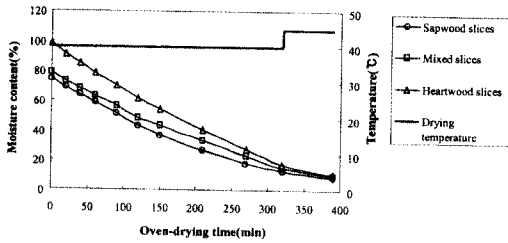


Fig. 7. Oven-drying curves of circumferential slices cut from castor aralia.

미발표 연구결과들(이 등, 미발표)에 의하면 변재부가 내측의 심재부보다 먼저 섬유포화점에 도달하면서 건조중기 이후 변재부에 인장응력이 형성되고, 이로 말미암아 심재와 변재의 경계선상에 경계할렬이 다수 발생하는 것으로 나타났다. 따라서 아까시나무의 경우 건조전에 먼저 변재부를 제거해버리고 원반건조를 실시하는 것이 건조수율 증진에 효과적일 것으로 생각된다.

### 3.4. 음나무 원반의 방사방향 함수율분포

생재상태에서는 변재부가 평균 75.4%의 함수율을 나타낸 반면에 심재부는 약 23%정도 급격하게 증가하여 평균 98.4%의 함수율을 나타내었다(Fig. 6과 Fig. 7). 평균함수율 약 15%일 때까지도 심재부와 변재부의 경계선상에서는 약 5~10% 가량의 함수율 차가 존재하여 원반건조시 변재부에 접선방향 인장응력이 형성될 소지가 매우 높다(Fig. 6). 뿐만 아니라 최내측의 24번 및 25번 슬라이스와 바로 인접한 외측슬라이스 간에도 건조가 진행되면서 상당히 급격한 수

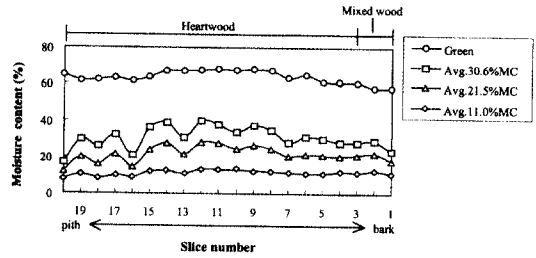


Fig. 8. Radial distribution of moisture content during oven-drying circumferential slices cut from Chinese mahogany.

분경사가 형성되어 이 부위 역시 할렬의 발생가능성이 높은 것으로 판단된다. 따라서 음나무 원반의 경우 별도의 처리를 실시하지 않고 건조할 경우 몇몇 경계영역에서 할렬이 매우 심하게 발생할 것으로 예측되어 적절한 전처리법 개발이 요구된다.

### 3.5. 참중나무 원반의 방사방향 함수율 분포

Fig. 8은 오-본건조 중 참중나무 원반내 함수율의 방사방향 분포경과를 건조시간의 함수로써 나타낸 것이다.

생재함수율의 경우 외주측의 심변재혼합슬라이스는 평균 58.7%를, 그리고 내부의 인접한 심재슬라이스들은 평균 64.6%로서 심재부의 함수율이 변재부보다 다소 높은 것으로 나타났다. 특히 참중나무의 경우도 아까시나무와 같이 변재율이 매우 낮아 완전한 변재슬라이스를 얻을 수 없었으나, 무박피 상태의 원반을 가정해 볼 경우 심재와 변재간의 함수율 차이는 이 보다 더 클 것으로 생각된다. 평균함수율 11%인 경우를 제외한 전 건조기간에 걸쳐 외주측의 심변재혼합 슬라이스들과 최내측 슬라이스의 함수율이 나머지 부위의 함수율보다 낮은 값을 나타내었다. 특히 평균함수율 30.6% 때부터 섬유포화점 이하의 부위와 섬유포화점 이상인 부위가 동일 원반내에 공존하므로써 수 부위와 심변재 경계영역 부위에서 할렬이 발생할 가능성이 있는 것으로 확인되었다. 따라서 참중나무 원반의 경우 변재율이 매우 낮은 점을 고려하여 원반건조 전에 변재부를 제거하고, 동시에 수 부위의 건

조속도를 지연시키는 처리를 실시하는 것이 건조결함 예방에 유리할 것으로 판단된다. 최 등(2002)은 참중나무 원반의 고주파진공건조 중 접선방향 변형율과 할렬발생의 분포를 조사하여 원반 중심으로부터 0.7 diameter의 부위가 건조특성의 차이를 보이는 임계점인 것으로 보고한 바 있다.

#### 4. 결 론

주요 국산 활엽수재 원반을 대상으로 圓周狀슬라이스를 오-븐에서 급속건조하면서 각 원주상슬라이스들(circumferential slices)의 함수율 감소경과를 조사하여 동일 원반내 함수율의 방사방향 분포추이를 조사한 결과는 다음과 같다.

느티나무의 경우 수피층의 변재부 및 심변재경계부의 생재함수율은 심재부보다 약 20% 가량 낮았으며, 이러한 수분경사는 평균함수율 약 30%일 때까지 지속되어 변재부 또는 심변재경계부의 경우 모두 섬유포화점 이하의 함수율에 도달하였으나, 최내측슬라이스는 아직도 약 40% 정도의 높은 함수율을 보여, 건조중 변재부에 인장응력이 형성될 가능성이 높은 것으로 평가되었다.

벗나무의 경우 최내측 슬라이스와 바로 인접한 슬라이스간의 수분경사가 건조시간이 경과하면서 더욱 심해지는 경향을 보였다.

읍나무의 경우 생재상태에서는 심재부의 함수율이 변재부보다 약 23% 정도 더 높은 분포를 보였으며, 평균함수율 약 15%일 때까지도 심재부와 변재부의 경계선상에는 약 5~10% 가량의 함수율 차가 존재하여 원반건조시 변재부에 접선방향 인장응력이 형성될 소지가 매우 높았다. 또한 최내측부의 슬라이스와 바로 인접한 외측슬라이스 간에도 건조가 진행되면서 상당히 급격한 수분경사가 형성되었다.

참중나무의 경우 평균함수율 11%인 경우를 제외한 전 건조기간에 걸쳐 외주층의 심변재혼합 슬라이스들과 최내측 슬라이스의 함수율이 나머지 부위의 함수율보다 낮은 값을 나타내었다. 특히 평균함수율 30.6% 때부터 섬유포화점 이하의 부위와 섬유포화점 이상인 부위가 동일 원반내에 공존하므로써 수 부위와 심변

재 경계영역 부위에서 할렬이 발생할 가능성이 있는 것으로 확인되었다.

#### 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. Kubler, H. 1975. Study on drying tree cross sections. *Wood Science* 7(3): 173~181.
3. Lee, N. H., K. Hayashi, and H. S. Jung. 1998. Effect of radio-frequency /vacuum drying and mechanical press-drying on shrinkage and checking of walnut log cross sections. *Forest Prod. J.* 48(5): 73~79.
4. Lee, N. H. and K. Hayashi. 2000. Effect of end-covering and low pressure steam explosion treatment on drying rate and checking during radio-frequency/vacuum drying of Japanese cedar log cross sections. *Forest Prod. J.* 50(2): 73~78.
5. Shupe, T. E., E. T. Choong, and M. D. Gibson. 1995a. Differences in moisture content and shrinkage between outerwood, middlewood, and corewood of two yellow poplar trees. *Forest Prod. J.* 45(9): 85~90.
6. Shupe, T. E., E. T. Choong, and M. D. Gibson. 1995b. Differences in moisture content and shrinkage between outerwood, middlewood, and corewood of a single cottonwood tree. *Forest Prod. J.* 45(10): 89~92.
7. 이남호, 정희석. 1991. 한지 엔드래핑처리 원판의 감압건조응력 분포모형 및 엔드래핑스의 건조결함 예방효과. 목재공학 19(1): 31~63.
8. 이남호, 최준호, 황의도. 심변재혼합원반과 심재원반의 고주파진공건조중 방사방향 함수율분포 비교.(투고예정).
9. 최준호, 이남호. 2001. 원주슬라이스법에 의한 원반내 접선방향 건조응력의 방사방향분포 평가. 2001년도 한국목재공학회 추계학술발표대회, 대구, 한국: 134~137.
10. 최준호, 이남호. 2002. 원주슬라이스법에 의한 원반내 접선방향 변형율의 방사방향분포 평가. 석사학위논문. 전북대학교 대학원: 6~16, 47~48.