

목재의 탄화기구에 관한 고찰(II)

권성민, 은동진, 김남훈*
(강원대학교 산림과학대학 임산공학과)

1. 서론

목재를 가열하면 100℃ 전후에서 수분이 증발하고, 200℃ 부근에서 열분해가 시작되어 일산화탄소, 수소, 메탄 등의 가스가 발생한다. 목재성분의 탄화과정은 처음에는 헤미셀룰로오스가 분해되고(220~260℃), 리그닌의 일부가 천천히 분해되기 시작하며(280~500℃), 그 후 셀룰로오스가 급격히 분해되고(240~350℃) 최후로 리그닌이 분해된다. 한편, 가스 배출구가 있는 용기 내에서 공기의 공급을 차단하고 가열하면 연소되지 않고, 훈소(燻燒)되면서 각종 구성원소가 서로 결합하여 여러 가지 화합물을 만든다. 이들은 다시 복분해(複分解)에 의하여 복잡한 화합물로 변화되어 휘산되고 최후에는 목탄(木炭)만 남게 된다. 목탄은 탄화과정과 소화방식에 따라 크게 농·임·축산업 및 산업용으로 쓰이는 흑탄(黑炭)과 공예용 및 일상생활 등에 광범위하게 이용되고 있는 백탄(白炭)으로 구분할 수 있다.

현재까지 목탄에 관한 연구는 비교적 많이 수행되어 왔으나 목재에서 목탄으로의 변화 과정에 대한 연구는 아직 상당히 미흡한 실정이다. 저자 등(Kim and Hanna, 2004, 2006)은 굴참나무를 이용하여 400~1000℃로 탄화 후 목재 세포의 변화를 보고하였으며, 또한 굴참나무의 탄화온도에 따른 세포벽 구조 및 결정구조의 변화를 조사하여 목재에서 목탄으로의 이행은 300~340℃ 부분임을 보고한 바 있다(권 과 김, 2005a, 2005b, 2005c).

따라서 본 연구에서는 떡갈나무를 이용하여 310~350℃의 온도조건으로 탄화하여 목재에서 목탄으로의 변화과정을 조사·검토하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 공시재료

본 연구에서는 목탄의 주요 원료 수종 중 하나인 떡갈나무(*Quercus dentata* THUNB)를 강원대학교 학술림에서 채취하여 사용하였다. 시험체는 R방향 20mm, T방향 20mm, L방향 40mm의 치수로 제작하였다. 공시목의 흉고직경, 수령 및 물리적 특성은 Table 1과 같다.

Table 1. Characteristics of sample tree

Species	DBH (cm)	Age	Moisture Content (%)		Green density(Wg/Vg) (g/cm ³)		Locality
			Sapwood	Heartwood	Sapwood	Heartwood	
<i>Quercus dentata</i>	20.3	41	61.1	54.2	1.12	1.18	Kangwon National University Experiment Forests

2.2. 실험방법

2.2.1. 탄화방법

탄화는 고온 전기 탄화로 Supertherm(Model :HT 16/16)을 이용하여 310, 320, 330, 340, 350℃의 온도에서 실시하였다. 탄화방법은 목표온도까지 도달시간 30분, 목표 온도 유지시간 10분으로 탄화시켰다. 또한 탄화로 내부는 탄화기간 내 시료의 산화를 방지하기 위하여 질소가스를 주입(8kg/cm³) 시켰다. 그 후 미리 준비해 놓은 모래에 묻어 냉각을 실시하였다.

2.2.2. 조재부 도관의 직경 변화

탄화에 의한 목재의 세포변화를 관찰하기 위해 탄화 후 비교적 구분이 용이한 조재부 도관을 측정대상으로 하였다. 사진촬영은 Measuring microscope (MM-40)를 사용하였으며, 방향별 치수는 화상분석기(Smile View, i Solution)를 이용하여 각각 9~10개씩 측정하여 평균치를 사용하였다.

2.2.3. 중량감소율 및 부피감소율 측정

부피감소율의 측정은 시료의 표면에 파라핀을 도포하여 침지법으로 측정하였다.

2.2.4. 목탄의 주사전자현미경 관찰

주사전자현미경 관찰용 시료는 R방향 10mm, T방향 10mm, L방향 5mm의 치수로 제작하여, 강원대학교 창강제지연구소에 설치되어 있는 주사전자현미경(JEOL, JSM-5510)으로 15~20kV의 가속 전압하에서 실시하였다.

2.2.5. X선 회절 실험

X선 회절시료는 R방향 1mm, T방향 10mm, L방향 20mm의 치수로 제작하였다. X선 회절장치는 강원대학교 창강제지연구소에 설치된 RIGAKU社의 DMAX 2100V를 사용하였다. X선은 Ni filter로 단색화한 CuK α 선을 사용하였으며, 조건은 40kV, 40mA였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 제조된 목탄의 거시적 구조

Fig. 1은 떡갈나무를 각 온도에서 탄화시킨 후의 사진이다. 시험체의 부피는 탄화 온도가 높아질수록 감소하는 경향을 보여주었고, 방사방향으로 할렬이 발생하였다.

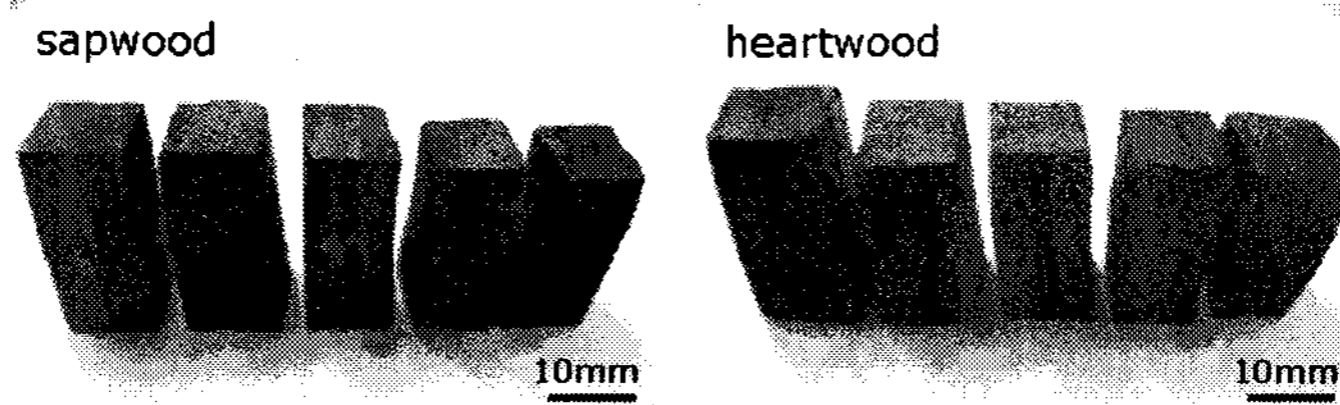


Fig. 1 Carbonized woods of *Quercus dentata* at different temperatures (from left to right: 310, 320, 330, 340, 350°C).

3.2. 조재부 도관직경의 변화

각 탄화 온도에 의한 떡갈나무 조재부 도관 직경의 변화는 Fig. 2, 3에 보여주었다. 목재의 도관은 탄화온도가 증가하면서 직경은 수축하였으며 접선방향이 방사방향보다 매우 크게 수축하였다.

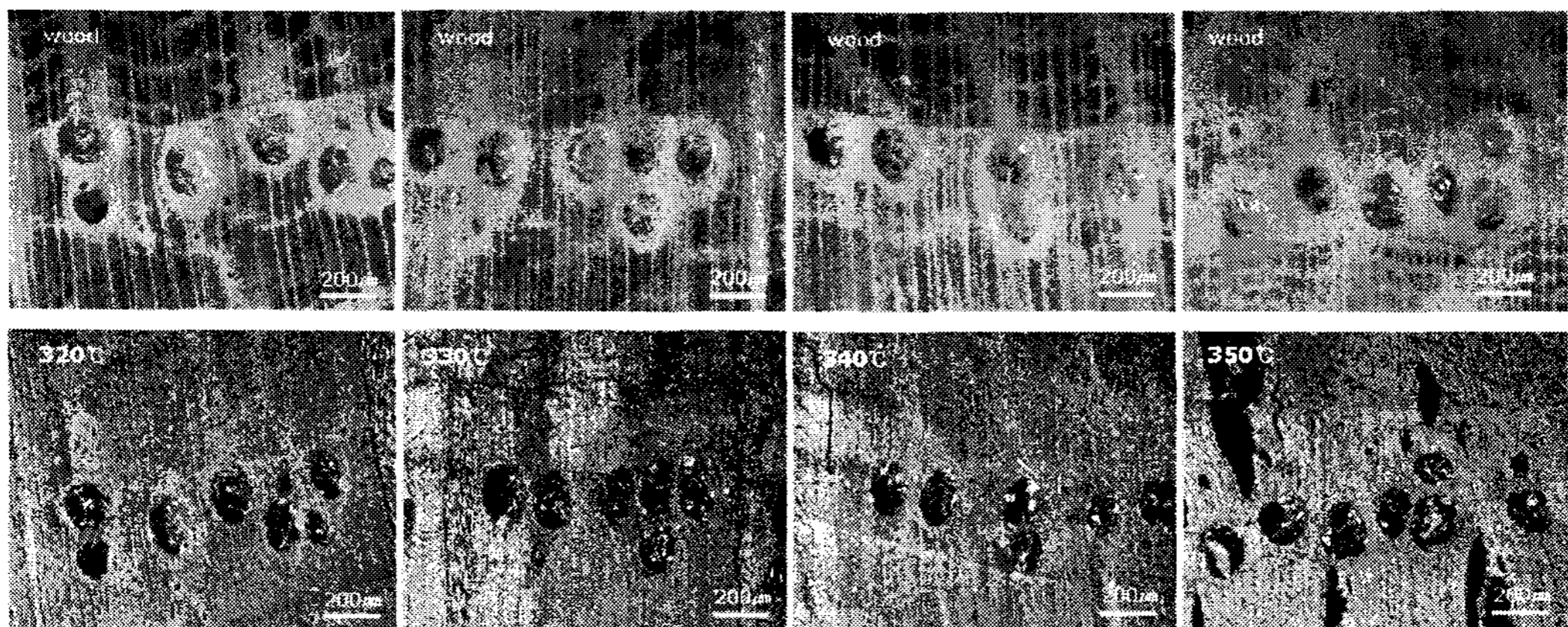


Fig. 2 *Quercus dentata* wood(up) and the carbonized wood(down) at different temperatures.

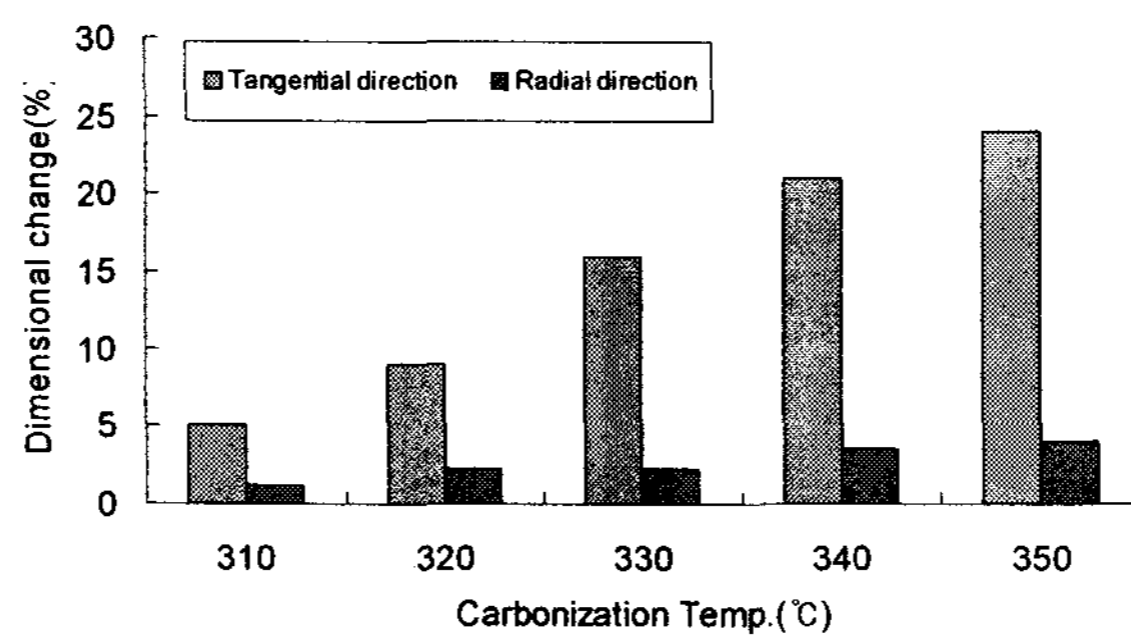


Fig. 3 Change of vessel diameter during carbonization at different temperatures.

3.3. 목탄의 중량감소율 및 부피감소율

Fig. 4는 각 탄화온도에 따른 목탄의 중량감소율을 나타낸 것으로서 전체적으로 탄화온도가 증가하면서 중량이 감소되었다. 특히 탄화온도 330~340°C에서 목탄의 중량 감소율이 급격히 증가하는 경향이 나타났다. 이러한 이유는 목재 세포벽의 주요 구성물질인 셀룰로오스 및 헤미셀룰로오스가 330~340°C사이에서 급격하게 열분해 되기 때문으로 추정된다. 또한 변재부에서 심재부보다 다소 높은 중량 감소율이 관찰되었으나 큰 차이를 보이지는 않았다.

Fig. 5는 각 탄화온도에 따른 목탄의 부피감소율을 나타낸 것으로서 전체적으로 탄화온도가 증가하면서 부피가 감소되었다. 변재가 심재보다 부피감소율이 더 크게 증가하였다.

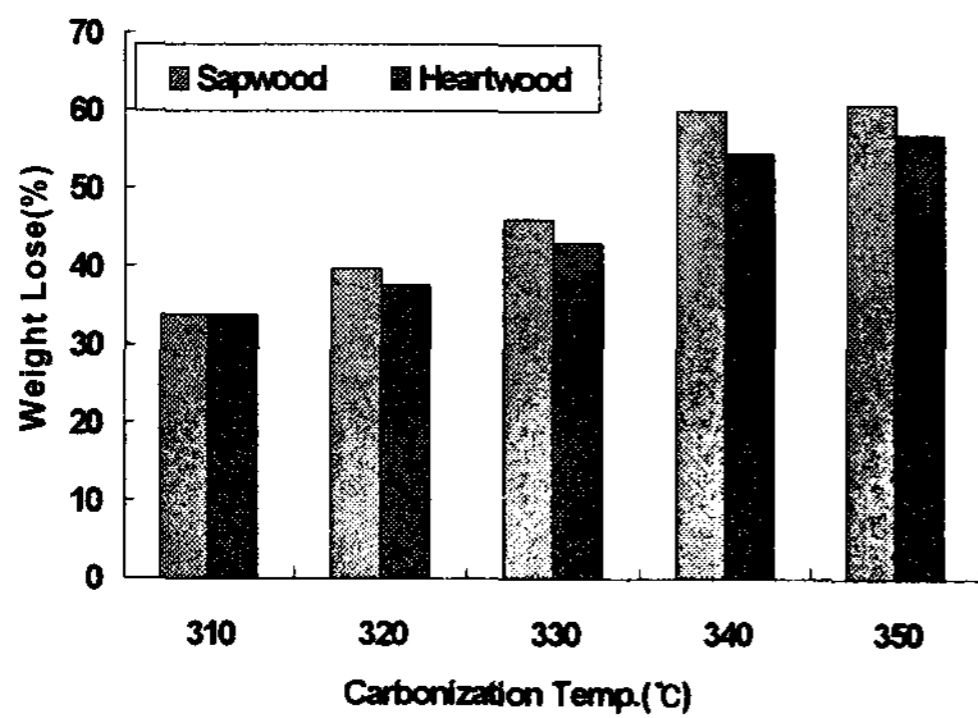


Fig. 4 Change of weight loss during carbonization at different temperatures.

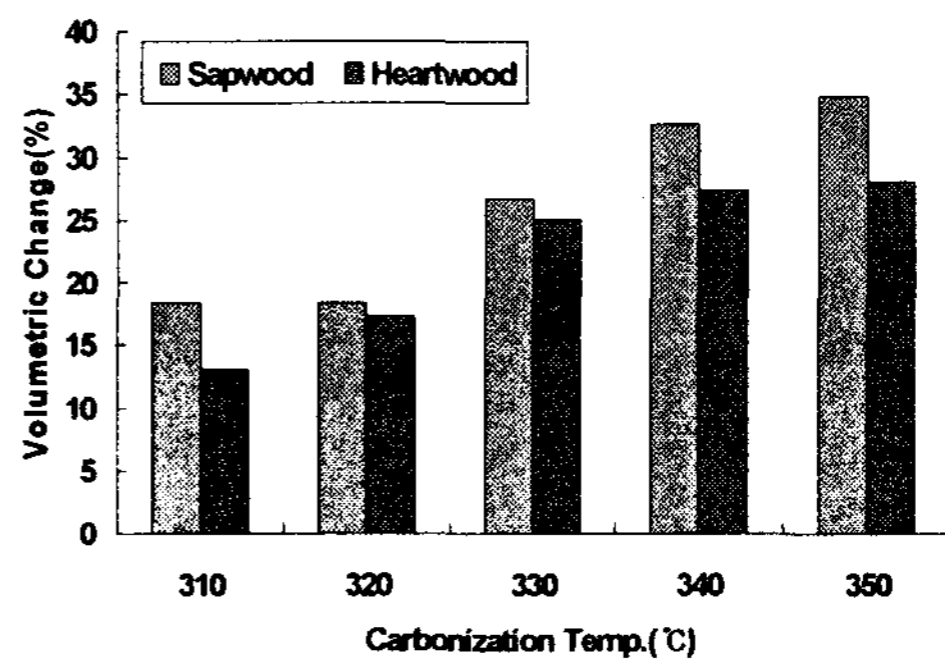
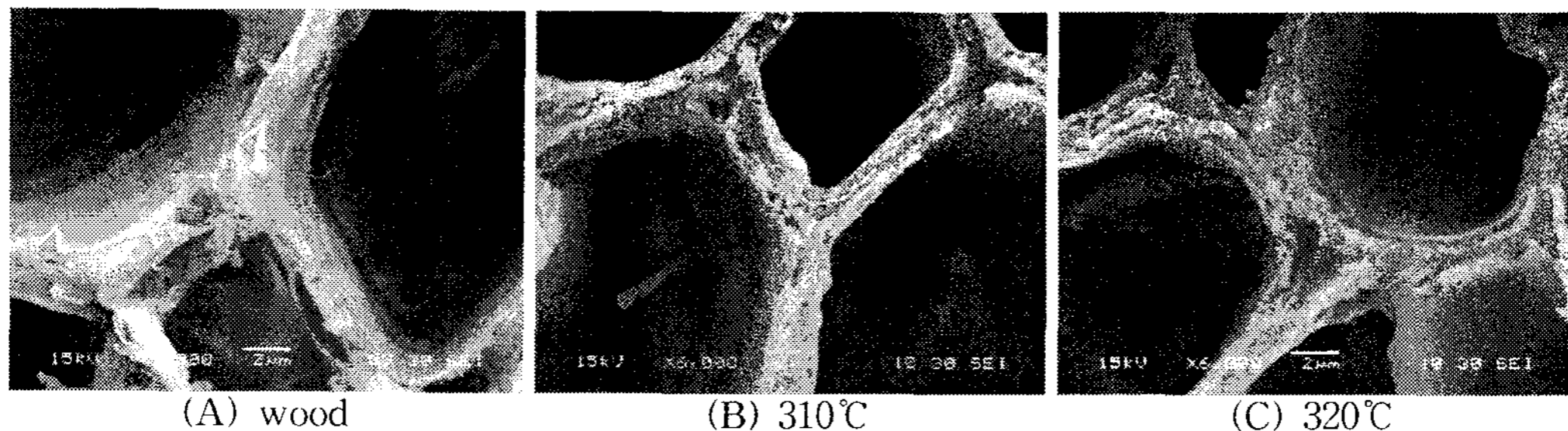


Fig. 5 Change of volumetric shrinkage during carbonization at different temperatures.

3.4. 탄화된 목탄의 SEM관찰

Fig. 6은 각 온도에서 탄화된 떡갈나무의 사진으로서 310°C와 320°C의 경우에는 세포간층과 1차벽, 2차벽이 모두 관찰이 되어 목재 세포벽의 흔적을 발견할 수 있었다. 탄화온도가 증가되면 점차 세포벽이 얇아지는 경향이 있었고, 탄화온도 330°C이상에서 세포벽이 매끄러운 비결정형으로 관찰되었다. 따라서 목재에서 목탄으로의 이행은 320~330°C 부분으로 생각되어졌다.



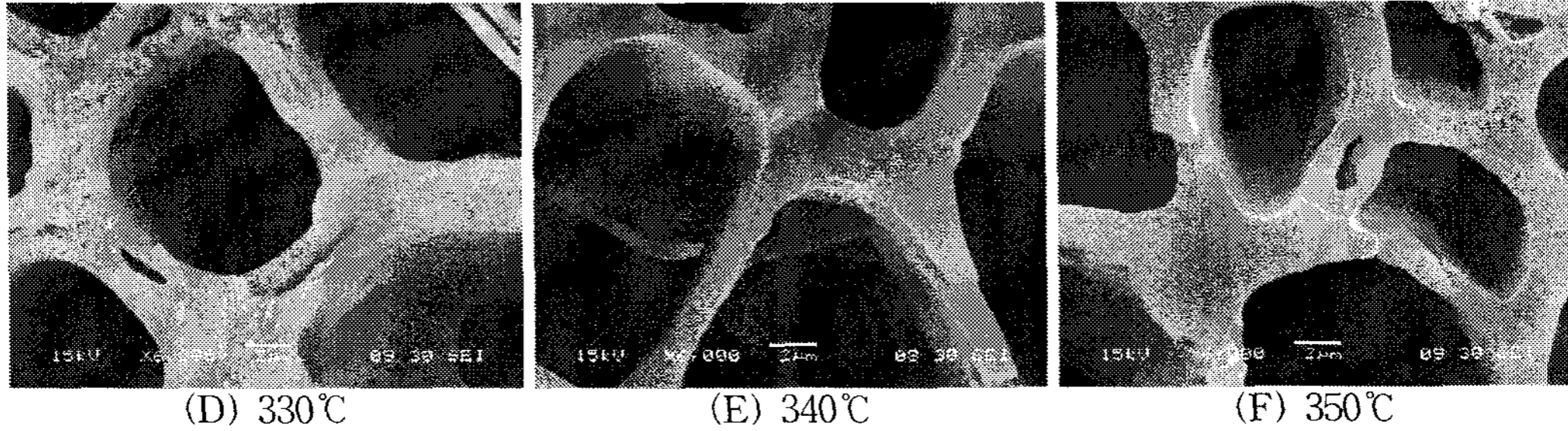


Fig. 6 Transverse surfaces of *Quercus dentata* charred at different temperatures.

3.5. 탄화온도에 따른 결정성 변화

Fig. 7은 각 온도에서 탄화시킨 떡갈나무 탄화목재의 X선 회절강도 곡선이다. 탄화온도 320°C까지는 목재의 결정구조가 변화하지 않은 상태로 남아있었으나 330°C에서는 $2\theta = 14.7^\circ$ 와 $2\theta = 16.2^\circ$ 에서 각각 나타나는 (110), (110)의 회절강도가 배향성을 잃으며 붕괴되어가는 것을 보여주었다. 또한 340°C에서 제조된 목탄은 목재 셀룰로오스 결정의 구조가 거의 비결정형으로 변화된 것을 알 수 있었으며, 350°C 이상에서는 완전히 비결정화된 것이 관찰되었다.

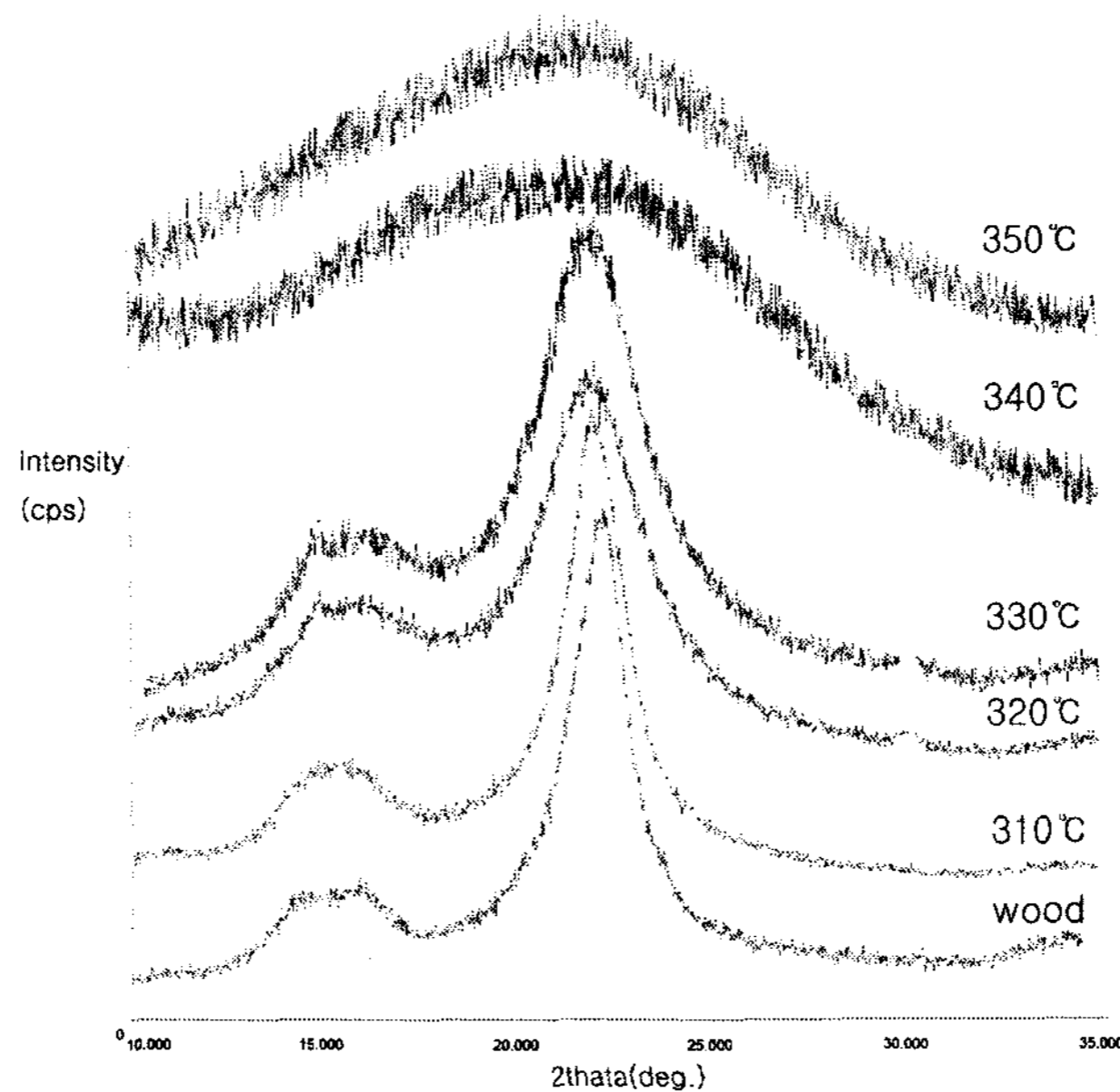


Fig. 7 Equatorial X-ray diffractograms of tangential surfaces of *Quercus dentata* charred at different temperatures.

4. 결 론

- 거시적으로 관찰한 결과 탄화온도가 높아질수록 시험체의 부피는 수축하였고, 방사 방향으로 할렬이 발생하였다.
- 목재의 도관은 탄화 시 방사방향보다 접선방향으로 매우 크게 수축하였다.
- 탄화온도가 증가함에 따라 목탄의 중량감소율 및 부피감소율은 증가되었다.
- 탄화온도 310~320℃의 경우, 목섬유나 도관 주위의 미세세포들이 탄화되지 않은 세포벽 형태를 보여주었다. 탄화온도 330℃ 이상에서는 세포벽층이 얇고 매끄러운 비결정형인 목탄의 세포벽 형태가 관찰되었다.
- 탄화온도 320℃까지는 목재 셀룰로오스의 결정성이 남아있었으나 330℃ 이상에서는 비결정성으로 변화되고 있는 것이 관찰되었다.

5. 참고문헌

- 권성민, 김남훈. 2005a. 목재의 탄화기구 해석(Ⅱ). 2005학술발표논문집. 한국목재공학회. pp. 51~55.
- 권성민, 김남훈. 2005b. 목재의 탄화기구 해석(Ⅲ). 2005학술발표논문집. 한국목재공학회. pp. 272~275.
- 권성민, 김남훈. 2005c. 목재 탄화기구에 관한 고찰. 2005학술발표논문집. 한국임산에너지학회. pp. 15~21.
- Kim, N. H. Robert B. Hanna. 2004. Anatomical characteristics of *Quercus variabilis* charcoal prepared at different temperatures. 2004춘계학술발표논문집. 한국목재공학회. pp. 230~234.
- Kim, N. H. and R. B. Hanna. 2006. Morphological characteristics of *Quercus variabilis* charcoal prepared at different temperatures. Wood Sci Technol. (in press).