

## 우리나라産 참나무과 4樹種의 Collapse에 관한 研究 \*1

朴 鍾 壽 · 金 洙 昌 \*2

## Studies on the Collapse of four domestic Fagaceae Species \*1

Jong-Su Park · Su-Chang Kim \*2

### ABSTRACT

The collapse of four domestic Fagaceae species was observed in relation with their moisture content (MC), basic density, P (Percent of moisture content saturation of the wood) and Q (Percent of cell cavity volume containing water) and the variation of collapse phenomenon in the cross section of stem was also investigated.

The results were summarized as follows :

The values of collapse in each species were great in order of *Quercus dentata*, *Quercus variabilis*, *Quercus aliena* and *Quercus mongolica* and the values were higher in heartwood than in sapwood in all of specimen.

MC, basic density, P and Q were important factors which affected on the occurrence of collapse and the collapse phenomenon was decreased from pith to bark.

**Keywords :** collapse, moisture content, basic density, percent of moisture content saturation of the wood, percent of cell cavity volume containing water

### 1. 緒 論

Collapse는 纖維飽和點 以上에서 乾燥하는 동안에 木材에서 발생하는 收縮의 한 형태이다. 人工乾燥를 할 때 발생하는 異常收縮, 內部割裂, 表面割裂 등의 공통적인 원인은 세포의 collapse現狀 때문이다. 이와같이 collapse는 중요한 건조결함을 유발시키는 것임에도 불구하고 지금까지는 주로 纖維飽和點 以下에 있어서의 細胞壁 收縮, 즉 結合水에 의한 收縮에 관한 연구가 주로 수행되어져 왔다.

그러나 수종, 또는 건조조건에 따라서는 섬유포 화점 이상에서도 건조에 따른 이상수축을 나타내는 것이 있다. 이와같이 이상수축을 야기시키는 collapse현상을 Tiemann의 理論<sup>1)</sup>에 의하여 살펴보면 細胞內腔이 완전히 自由水로 飽水되어 있고, 건조동안에 벽공의 크기가 물의 인장력이 세포내강에 발생할 수 있도록 충분히 작아야 한다고 보고하고 있다.

Terazawa와 Hayashi<sup>3)</sup>는 collapse가 발생하기 쉬운 재의 조건으로 세포가 포수상태로 되어 있고, 壁孔의 氣密性이 좋아야 한다고 보고하였다. 그

\*1. 接受 1993年 6月 23日 Received June 23, 1993

\*2. 강원대학교 임과대학 College of Forestry, Kangweon National University, Chuncheon 200-701, Korea

러나 판재 전체가 반드시 이와같은 조건을 만족하지 않아도 특정의 조직이나 세포집단 등이 이 조건을 만족하면 판재의 collapse나 이상수축이 관찰되며, 또한 약간 고온에서 건조할때나 前處理로서 蒸煮 또는 煮沸處理를 실시한 후, 건조를 할 때에 이상수축이 일어나는 수종이 있다고 하였다. 이와같은 현상은 침엽수재에서는 그다지 볼 수 없으며, 활엽수재에서 많이 관찰할 수 있으며 변재는 심재보다 세포의 collapse가 발생하기 쉽다고 보고하였다.

또한, 含水率과 密度는 collapse의 量을 결정하는 중요한 인자이나 collapse와 이들의 상호관계는 아직 분명히 연구되어 있지는 않다.

Chafe<sup>2)</sup>는 함수율이 높을수록 collapse는 증가하였으며, 밀도가 증가함에 따라 collapse는 감소하였다고 보고하였고, Terazawa와 Hayashi<sup>3)</sup>는 Balsa wood와 같이 輕軟한 수종에서는 collapse를 볼 수 없으나 자비처리하여 함수율을 높이면 건조 후에 심한 collapse가 발생한다고 보고하였고, 일본산 참나무 및 너도밤나무 수종에서는 함수율 60~70%에서 collapse가 잘 발생한다고 하였다. Kaumann<sup>4)</sup>은 80%이하의 초기함수율에서도 심한 collapse가 발생한다고 하였으며, Eucalyptus regnans에서는 collapse가 일반적으로 함수율 약 100~200%에서 시작되며 중간밀도 정도의 활엽수재에서 가장 잘 발생한다고 연구보고 하였다. 또한 Greenhill<sup>5)</sup>은 collapse발달의 중요한 인자로는 높은 초기함수율을 들 수 있다고 보고하였다. Hillis<sup>6)</sup>는 Eucalyptus의 연구에서 기본밀도 약 650 Kg/m<sup>3</sup>에 이르기 까지 collapse가 발생하고, 그 이상에서는 발생하지 않는다고 보고하였다. Chafe<sup>2)</sup>, Chudnoff<sup>7)</sup>, Chalk와 Bigg<sup>8)</sup>는 함수율,

밀도 및 collapse와의 상호관계를 보다 더 究明하기 위하여 계산된 P(최대함수율에 대한 생재함수율의 비율)값을 이용하여 함수율과 P의 관계를 究明하였고, Barnacle 등<sup>9)</sup>은 Eucalyptus viminalis는 변재부가 함수율은 낮지만 P값은 높다고 연구보고 하였다.

또한, Chafe<sup>2)</sup>, Bisset와 Ellwood<sup>10)</sup>, Cuevas<sup>11)</sup>는 collapse는 변재부에서 심재부로 移行하면서 증가하다가 수심부근에서 급격히 감소한다고 연구보고 하였다.

따라서 본 실험에서는 有用 潤葉樹種으로서 우리나라 활엽수의 중요한 수종들인 참나무과 4수종(신갈나무, 굴참나무, 갈참나무, 떡갈나무)들에 대하여 collapse와 木材의 含水率, 密度 및 P, Q와의 相互關聯性, 그리고 수간內에서 collapse현상의 放射方向的 變異 등에 관하여 研究 調査 하였다.

## 2. 材料 및 方法

### 2.1 供試木 및 試片製作

본 연구를 실시하기 위하여 채취된 공시목은 신갈나무(*Quercus mongolica*), 굴참나무(*Quercus variabilis*), 갈참나무(*Quercus aliena*), 떡갈나무(*Quercus dentata*)로써 생육상태가 양호한 것을 1株씩 선정하여 채취하였으며 공시목의 概要는 Table 1과 같다. 공시편 제작은 각 수종별로 胸高部位에서 채취한 것을 약 7cm 두께의 圓板을 제작하여 연륜이 비교적 안정된 부위에서 변, 심재별로 구분하여 수심에서 수피쪽으로, 즉 방사방향으로 2cm 간격으로 시편을 절단하여 본 연구의 공시편(1cm × 1cm × 1cm)을 수종당 20개씩 제작하였다.

Table 1. Characteristics of examined materials.

Scientific name	Korean name	D.B.H (cm)	Tree age	Locality
<i>Quercus mongolica</i> Fischer	신갈나무	28	35	163 Dukduweon Chuncheongun, Kangweon
<i>Quercus variabilis</i> Blume	굴참나무	29	41	163 Dukduweon Chuncheongun, Kangweon
<i>Quercus aliena</i> Blume	갈참나무	27	35	Bongmyung Chuncheongun, Kangweon
<i>Quercus dentata</i> Thunb	떡갈나무	21	33	Bongmyung Chuncheongun, Kangweon

## 2. 2 實驗方法

제작된 시편을 1주일간 증류수에 침적시켜 생재 상태일때의 시편들의 무게와 용적을 측정 한 후, 건조기에 넣어 103≥2℃로 恒量에 달할 때까지 건조한 다음, 전건증량과 전건용적을 측정하였다.

이 시편들은 다시 還流冷却裝置를 이용하여 100℃에서 1시간 동안 reconditioning한 후, 시편들의 용적을 측정하고, 다시 이 시편들을 건조기에 넣어 103≥2℃로 恒量에 달할 때까지 건조한 다음, 시편들을 데시케이터에 넣고 일정시간 경과 후 전건용적을 측정하였다.

Collapse는 reconditioning 處理前과 reconditioning 處理後의 용적수축율의 차이로 계산하였다.

한편, collapse는 다음과 같이 계산에 의하여도 算定하고, 실험에 의하여 측정된 collapse와도 비교 검토하였다.

$$Cc = av - Sc$$

Cc : 計算에 의한 collapse (%)

av : Reconditioning前의 容積收縮率 (%)

Sc : Stamm에 의한 容積收縮率으로써 다음과 같이 구하였다.

$$Sc = \rho f$$

$\rho$ : 比重

f : 纖維飽和點

Collapse와 含水率과의 關係를 檢討하기 위하여 最大含水率에 대한 生材含水率의 比 (Percent of moisture content saturation of the wood, P)와 自由水가 浸水될수 있는 公극율 (Percent of cell cavity volume containing water, Q)을 다음과 같이 計算하였다.

$$P = \frac{M}{Mm} \times 100 (\%)$$

M : 生材含水率 (Green moisture content)

Mm : 最大含水率 (Maximum moisture content)

$$Mm = 100 \left( \frac{1000}{D} - 0.65 \right)$$

D : 基本密度 (Basic density)

$$Q = \frac{(M - 28)D}{1000 - 0.93D}$$

M : 含水率 (Green moisture content)

D : 基本密度 (Basic density)

## 3. 結果 및 考察

### 3. 1 樹種別 Collapse

上記와 같은 방법으로 측정된 collapse 값을 수

종별로 정리한 결과는 Table 2와 같다.

Table 2. Range of collapse by species.

Species	Range of collapse (%)	Averages of collapse (%)
<i>Quercus mongolica</i>	2.2- 5.7	3.5
<i>Quercus variabilis</i>	3.4-12.3	7.4
<i>Quercus aliena</i>	3.8- 9.0	6.2
<i>Quercus dentata</i>	4.4. - 9.5	7.5

이 結果에 의하면 떡갈나무는 4.4~9.5%로 가장 크고, 신갈나무는 2.2~5.7%로 가장 작게 나타났으며 그 크기의 순서는 떡갈나무 > 굴참나무 > 갈참나무 > 신갈나무의 순이었다.

Terazawa와 Hayashi<sup>3)</sup>는, collapse는 벽공부의 氣密性이 좋고, 세포가 飽水狀態이며 低密度의 경우 잘 발생한다고 하였고, 또한 목재를 구성하고 있는 조직중에서 가장 collapse가 발생하기 쉬운 세포는 세포벽이 얇은 放射組織이라고 보고 하였다.

본 실험결과 collapse는 수종에 따라 약간의 차이가 발생되고 있으며 이와같은 원인은 수종의 조직구조와 함수율 및 밀도 등에 따라 다른것으로 생각되고 있다. 즉 본 실험의 떡갈나무와 굴참나무는 廣放射組織이고 P(최대함수율에 대한 생재함수율의 비)와 Q(세포내강에서 자유수가 침수될수 있는 공극율)값이 크기 때문에 collapse가 가장 많이 발생된 것으로 생각되어 진다.

다음에 임목의 생리적 기능이 다른 心材部와 邊材部로 구분하여 조사정리한 결과는 Table 3과 같다.

Table 3. Range of collapse by species.

Species	Collapse (%)		H/S
	Sapwood	Heartwood	
<i>Quercus mongolica</i>	2.6	5.2	2.0
<i>Quercus variabilis</i>	3.7	10.6	2.9
<i>Quercus aliena</i>	4.2	7.6	1.8
<i>Quercus dentata</i>	4.8	9.1	1.9

일반적으로 collapse는 유세포에 잘 발생하지만 경우에 따라서는 fiber나 fiber tracheid에서도 발생하고 도관요소에는 거의 발생하지 않는 것으로 알려져 있다. Terazawa와 Hayashi<sup>3)</sup>는 도관은 氣密性이 나쁘기 때문에 세포의 collapse에는 직접 관여하지 않지만 주위의 세포가 심하게 collapse

되는 경우에는 2차적으로 변형한다고 하였다. 또한 변재는 심재보다 擴散係數가 크므로 세포의 collapse는 거의 발생하지 않고 심재의 도관내에 많은 tyloses를 갖는 수종은 확산계수가 작아 건조에 장시간을 요하므로 세포가 collapse되기 쉽다고 보고하였다. 따라서 collapse가 발생하기 쉬운 수종의 대부분은 tyloses가 도관부에서 확인되므로 tyloses와 collapse사이에는 상호 관련성이 높다고 보고하였다.

본 실험결과 모든 공시수종의 collapse의 측정치는 변재부보다는 심재부가 크다는 것을 알수 있으며, 그 중에서도 굴참나무의 경우는 양자의 차이가 더욱 뚜렷함을 보여주고 있다. 수종간의 차이의 이유는 본 실험에서는 究明할 수 없지만 변, 심재간의 차이는 4수종 모두 심재부 도관에 tyloses가 발달되어 있기 때문에 심재부가 변재부보다 collapse의 발생량이 크다고 생각되어 진다.

### 3. 2 含水率과 Collapse와의 關係

함수율과 collapse와의 관계를 조사 정리한 결과는 Fig. 1과 같다. 이 결과에 의하면 굴참나무를 제외한 신갈나무, 갈참나무 및 떡갈나무 3수종은 함수율이 증가함에 따라 collapse는 점차 감소되는 경향을 나타내고 있다. 이 결과는 Chafe<sup>2)</sup>의 함수율이 증가함에 따라 collapse도 증가한다는 보고와

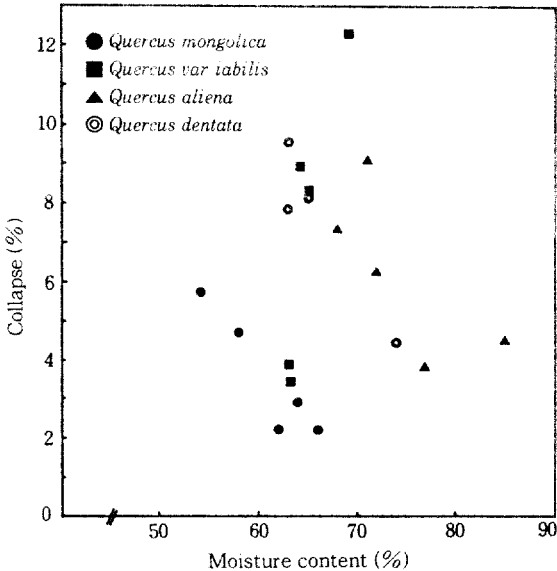


Fig 1. The relationship between moisture content and collapse.

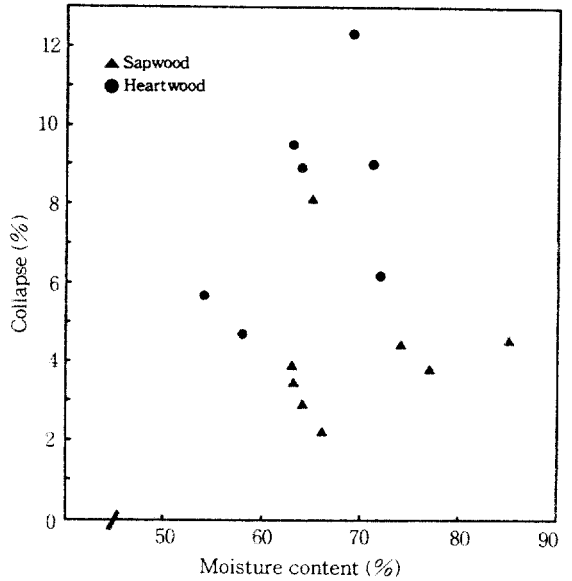


Fig 2. The relationship between Moisture content and collapse in sapwood and heartwood.

상반된다. 한편, 이 관계를 변재부와 심재부로 구분하여 정리하여 보면 Fig. 2와 같이 변, 심재부 모두 함수율이 증가함에 따라 collapse도 증가되고 있으며 변재부보다 심재부에서 그 경향이 더욱 뚜렷하다. 이 결과는 Chafe<sup>2)</sup>의 보고와 일치하였다. 이와같은 원인은 Terazawa와 Hayashi<sup>3)</sup>의 연구보고와 같이 심재부는 수분의 통도성이 나쁘고, 도관에 tyloses가 확인되므로 비록 함수율은 낮지만 collapse는 변재보다 더 심하게 발생하는 것이라고 생각된다.

이상의 결과에서 함수율이 collapse의 발생에 기여하는 정확한 메카니즘은 밝힐수 없지만 목재내에 수분은 collapse를 발생시키는 중요한 인자의 하나로 생각된다.

### 3. 3 密度와 Collapse와의 關係

밀도 collapse와의 관계를 조사 정리한 결과는 Fig. 3과 같다. 이 결과에 의하면 신갈나무, 갈참나무 및 떡갈나무 3수종은 밀도가 증가함에 따라 collapse는 점차 증가되는 경향을 나타내고 있으나 굴참나무는 뚜렷한 경향을 나타내지 않고 있다. 또한 이 관계를 변재와 심재부로 구분하여 정리하여 보면 Fig. 4와 같이 변재부는 밀도가 증가함에 따라 collapse는 다소 감소하고 있으나 심재부에서는

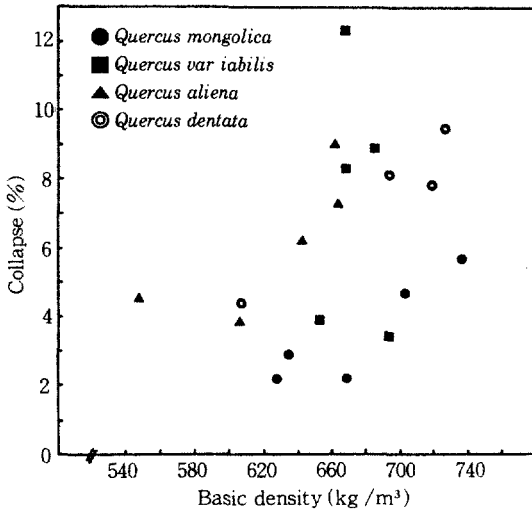


Fig 3. The relationship between basic density and collapse.

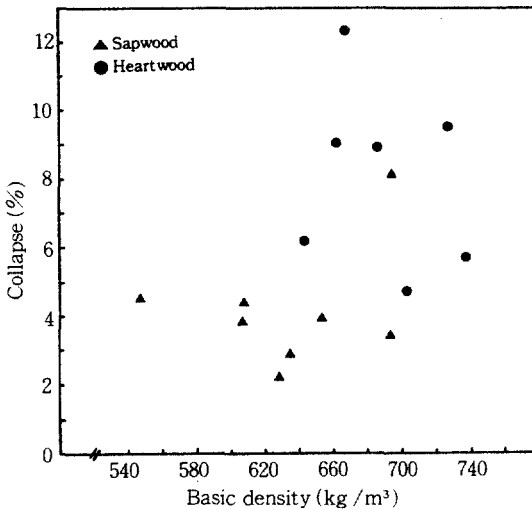


Fig 4. The relationship between basic density and collapse in sapwood and heartwood.

일정한 경향을 나타내고 있지 않다.

Chafe<sup>2)</sup>는 밀도가 증가함에 따라 collapse는 감소한다고 보고하였으며, Terazawa와 Hayahi<sup>3)</sup>는 밀도와 collapse와의 관계에 있어서 저밀도재는 고밀도재보다 세포벽이 얇고 세포내강이 크므로 collapse가 발생되기 쉽다고 보고하였다.

이상의 결과에서 밀도는 collapse 발생에 영향을 미치는 중요한 인자의 하나로 생각되어진다.

### 3. 4 P와 Collapse의 關係

P(Percent of moisture content saturation of the wood)는 최대함수율에 대한 생재함수율의 비율이다. 본 실험 결과 계산된 P의 값은 Table 4와 같다.

Table 4. P and collapse of sapwood and heartwood.

Species	P (%)		Collapse (%)	
	Sapwood	Heartwood	Sapwood	Heartwood
<i>Quercus mongolica</i>	70	75	2.6	5.2
<i>Quercus variabilis</i>	76	80	3.7	10.6
<i>Quercus aliena</i>	75	81	4.2	7.6
<i>Quercus dentata</i>	78	86	4.8	9.1

이 결과에 의하면 계산된 P의 값은 신갈나무는 변재부 70%, 심재부 75%로 가장 낮고 떡갈나무는 변재부 78%, 심재부 86%로 가장 높았다.

P와 collapse와의 관계를 조사정리한 결과는 Fig. 5와 같다. 이 결과에 의하면 모든 공시수종은 P값이 증가함에 따라 collapse도 비례적으로 증가되는 경향을 나타내고 있다. 한편, 이 관계를 변재와 심재부로 구분하여 정리하여 보면 Fig. 6과 같이 변, 심재부 모두 P값이 증가함에 따라 collapse도 증가되고

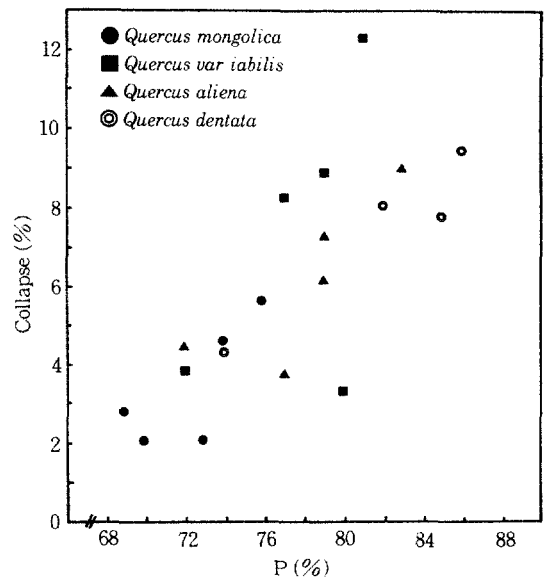


Fig 5. The relationship between P and collapse.

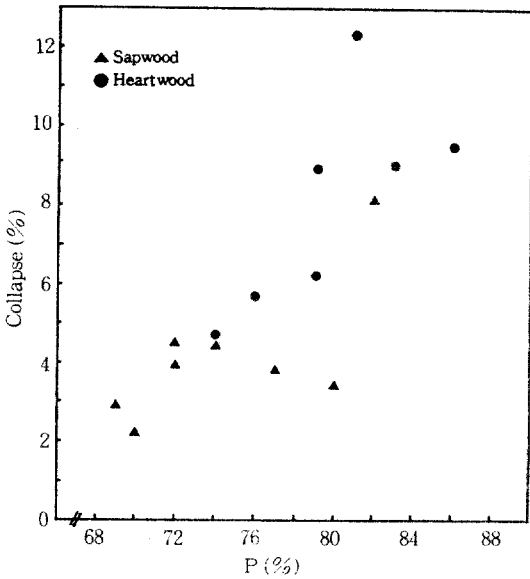


Fig 6. The relationship between P and collapse in sapwood and heart.

있고 변재부에서 보다 심재부에서 그 경향이 더욱 뚜렷하다. 또한 갈참나무를 제외한 모든 수종이 변재부보다 심재부에서 함수율은 낮지만 P값은 심재부가 높았으며 P값이 클수록 collapse양도 증가함을 나타냈다.

Chalk와 Bigg<sup>21)</sup>는 수간내 함수율 분포를 규명하기 위해 P값을 사용하였고, Chafe<sup>22)</sup>는 함수율, 밀도 및 collapse와의 상호 관련성을 보다 자세히 알아보기 위하여 이론적으로 P값을 계산하여 P값이 증가할수록 collapse양도 증가한다고 보고하였는데 본 결과와 잘 일치하였다. 또한, Terazawa와 Hayashi<sup>31)</sup>는 저밀도재의 생재함수율은 높지만 포수상태의 함수율로까지 되어 있지 않는 경우가 많아 참오동나무(春材部), balsa wood와 같이 輕軟한 수종에서는 collapse를 관찰할수 없으나 증자처리하여 함수율을 높이면 건조후에 심한 collapse가 발생한다고 보고하였다.

### 3. 5 Q와 Collapse의 關係

Q(Percent of cell cavity volume containing water)는 세포내강에 자유수가 침수될수 있는 공극율을 나타낸다. 본 실험 결과 계산된 Q값은 Table 5와 같다.

Table 5. Q and collapse of sapwood and heartwood.

Species	Q (%)		Collapse (%)	
	Sapwood	Heartwood	Sapwood	Heartwood
<i>Quercus mongolica</i>	57	61	2.6	5.2
<i>Quercus variabilis</i>	63	70	3.7	10.6
<i>Quercus aliena</i>	66	72	4.2	7.6
<i>Quercus dentata</i>	68	77	4.8	9.1

이 결과에 의하면 Q값은 신갈나무 59%(변재부 57%, 심재부 67%)로 가장 적고, 떡갈나무 73%(변재부 68%, 심재부 77%)로 가장 크게 나타났다.

Q와 collapse와의 관계는 Fig. 7과 같이 모든 공시 수종이 Q값이 증가함에 따라 collapse도 비례적으로 증가하는 경향을 나타내고 있다. 또한 이 관계를 변재와 심재부로 구분하여 정리하여 보면 Fig. 8과 같이 변, 심재부 모두 Q값이 증가함에 collapse도 증가되고 있으나 변재부에서 보다는 심재부에서 그 경향이 더욱 뚜렷하다.

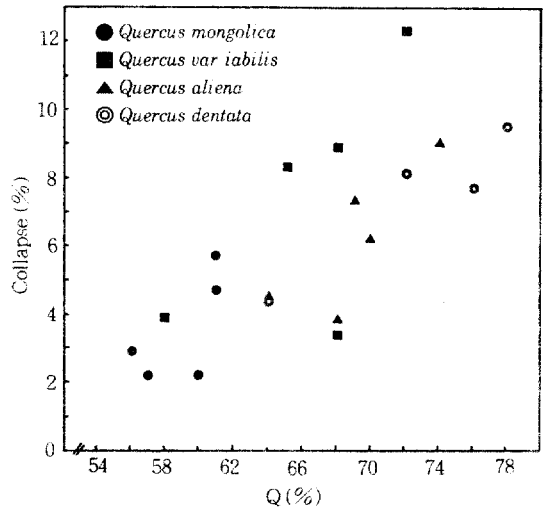


Fig 7. The relationship between Q and collapse.

Tiemann의 理論<sup>11)</sup>에 의하면 세포가 collapse되기 위한 조건으로 세포내강의 자유수의 총만을 들 수 있으므로, Q를 구함으로써 자유수를 함유하고 있는 세포내강의 용적을 알 수 있다. Chafe<sup>22)</sup>는 Q와

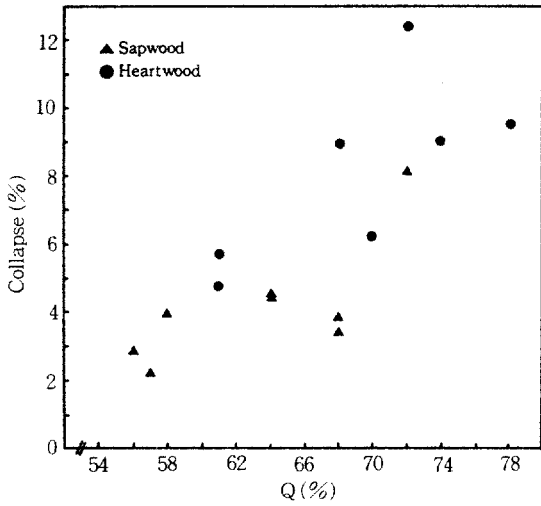


Fig 8. The relationship between Q and collapse in sapwood and heartwood.

collapse와의 관계에 있어서 Q값이 증가함에 따라 collapse도 증가한다고 보고하였는데 이는 본 실험 결과와 잘 일치 하였다.

이상의 결과에서 계산된 P, Q 및 collapse사이에는 상호관련성이 높다고 생각되므로 P와 Q는 collapse를 발생시키는 중요한 인자의 하나로 생각되어진다.

### 3.6 放射方向의 變異와 Collapse

Reconditioning 전의 용적수축( $\alpha v$ )과 reconditioning 후의 용적수축( $R\alpha$ )의 차가 본 실험 결과 측정된 collapse(C) 값이다. 그리고 reconditioning 전의 용적수축( $\alpha v$ )과 계산된 용적수축( $Sc$ )의 차가 계산된 collapse( $Cc$ )이다.

방사방향으로 거리증가(髓로부터 樹皮방향)에 따른 용적수축과 collapse의 관계를 조사 정리한 결과는 Fig. 9와 같다.

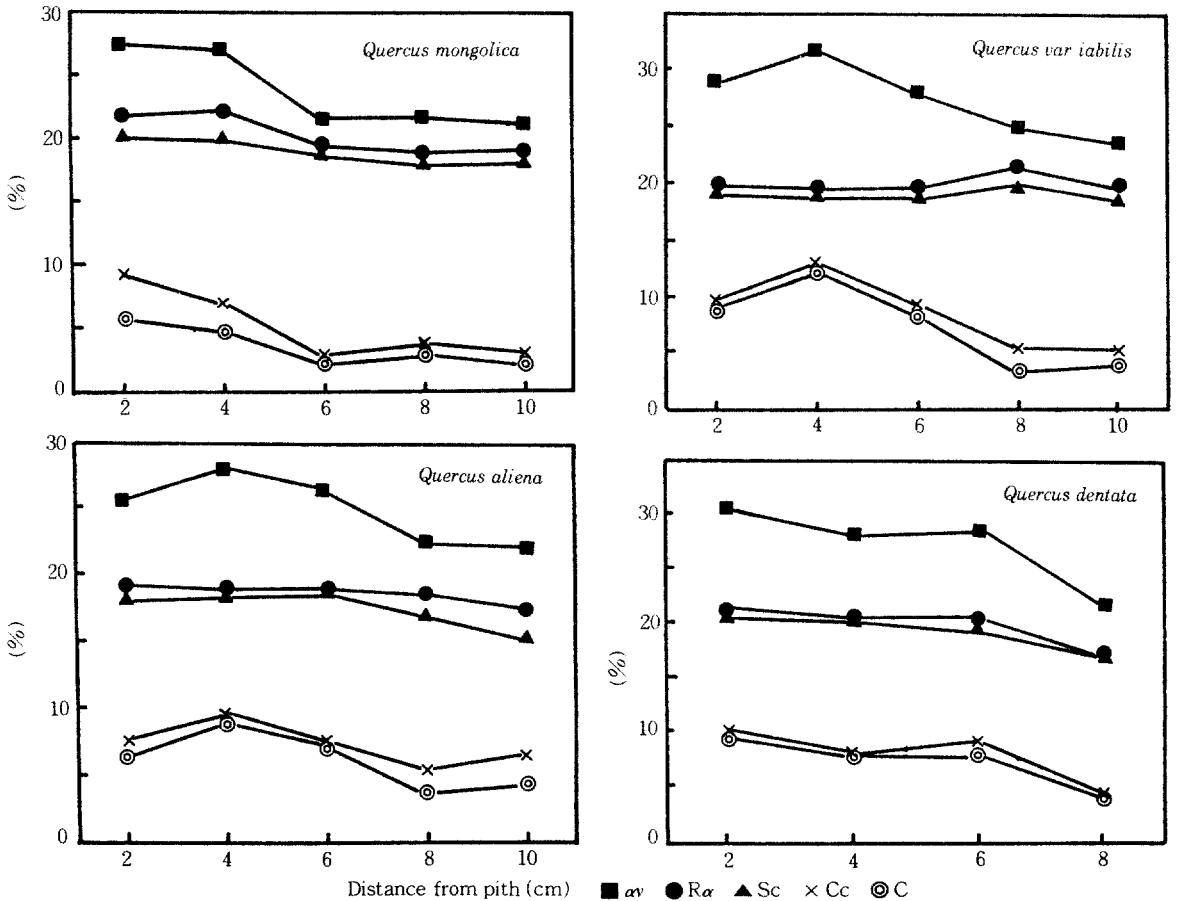


Fig 9. The relationship between variables and collapse.

이 결과에 의하면  $\alpha v$ 는 모든 수종에서 방사방향으로 거리증가에 따라 감소하고 있으며  $R\alpha$ 는 변, 심재부에서 거의 차이없이 일정한 값을 나타냈다. 이에 따른 collapse의 방사방향 변이는 심재부에서 변재부로 감소하고 있으며, Stamm의 理論<sup>12)</sup>에 의하여 구한 이론적 collapse(Cc)는 실측치의 collapse(C)보다 다소 높으며, 방사방향 변이는 실측치의 collapse와 비슷한 경향을 보여주고 있다.

이와같은 현상은 Terazawa와 Hayashi<sup>3)</sup>의 연구보고와 같이 reconditioning전의 용적수축은 변, 심재별로 수축율의 차가 발생하지만 reconditioning후의 용적수축은 심재부의 氣密性이 좋아지므로 변, 심재부에서 거의 차이가 없는 것으로 생각되어진다.

#### 4. 結 論

우리나라産 참나무科 4樹種(신갈나무, 굴참나무, 갈참나무, 떡갈나무)의 collapse와木材의 含水率, 密度 및 P, Q와의 相互關聯性, 그리고 수간內에서 collapse現狀의 放射方向의 變異 등에 관하여 研究 調査한 結果는 다음과 같다.

樹種別 collapse값은 떡갈나무 > 굴참나무 > 갈참나무 > 신갈나무의 順이었고, 모든 공시수종의 collapse값은 邊材部보다는 心材部가 크게 나타났다.

含水率, 密度 및 P와 Q는 collapse 발생에 영향을 미치는 중요한 인자들임을 본 실험결과 알수 있었다. 또한, collapse는 放射方向(髓로부터 樹皮)으로 減少하는 傾向을 나타내었다.

#### 參 考 文 獻

1. Tiemann, H. D. 1951. Principles of kiln drying. Lumber World Rev. Jan. 15 and Sep. 25
2. Chafe, S. C. 1985. The distribution and interrelation of collapse, volumetric shrinkage, moisture content and density in trees of *Eucalyptus regnans* F. Muell. *Wood Sci. Technol.* 19 : 329~345
3. Terazawa, S. and K. Hayashi. 1974. Studies on cell-collapse of water saturated

- balsa wood. I. Relation of shrinkage process and moisture distribution to cell-collapse mechanism. *J. Jpn. Wood Res. Soc.* 1: 205~209
4. Kaumann, W. G. 1964. Cell collapse in wood. CSIRO Aust. Div. Forest Prod. Reprint No. 566. CSIRO Transl. *Holz Roh-Werkstoff* 22 : 183-196, 465~472
5. Greenhill, W. L. 1938. Collapse and its removal. Some recent investigation with *Eucalyptus regnans*. CSIRO Aust. Div. Forest Prod. Tech. Pap. 24 : 1~32
6. Hillis, W. E. 1978. Wood quality and utilization. In Hillis, W. E. and A. G. Brown, (Eds.), *Eucalypts for wood production*, Melbourne : CSIRO. 259~289
7. Chudnoff, M. 1953. The effect of zinc chloride on some shrinkage properties of *E. camaldulensis* wood. *Ilanoth* 2 : 5~16
8. Chalk, L. and J. M. Bigg. 1956. The distribution of moisture in the living stem of sitka spruce and douglas fir. *Forestry* 29 : 5~21
9. Barnacle, J. E., F. J. Christen, and L. E. Cuevas. 1967. Air-drying behaviour of poles and posts of *Eucalyptus viminalis*. CSIRO Div. *Forest Prod. Technol. Pap.* No. 48 : 1~28
10. Bisset, I. J. W. and E. L. Ellwood. 1951. The relation of differential collapse and shrinkage to wood anatomy in *Eucalyptus regnans* F. V. M. and *Eucalyptus gigante* Hook. F. *Aust. J. Appl. Sci.* 2 : 175~183
11. Cuevas, L. E. 1969. Shrinkage and collapse studies on *Eucalyptus viminalis*. *J. Inst. Wood. Sci.* 23 : 29~28
12. Stamm, A. J. 1952. Surface properties of cellulosic materials. In Wise, L. E. and E. C. John. (Eds.). *Wood chemistry*. Vol. 2, 2nd ed., New York. Reinhold : 691~814.