

初期 褐色腐朽에 따른 라디에타소나무의 力學的 性質 減少*1

김규혁·지우근·나종범*2

Reduction in Mechanical Properties of Radiata Pine Wood Associated with Incipient Brown-Rot Decay*1

Gyu-Hyeok Kim · Woo-Kuen Jee · Jong-Bum Ra*2

ABSTRACT

This study was performed to evaluate the reduction in bending properties of radiata pine sapwood associated with incipient brown-rot decay. Decayed bending specimens by *Tyromyces palustris* and *Gloeophyllum trabeum* for various periods were tested destructively.

Brown-rot decay by *T. palustris* and *G. trabeum* caused serious reduction in bending properties at very early stages of decay, with about 30 percent decrease in bending strength observed for only 1~2 percent weight loss. In general, the reduction in bending properties caused by *T. palustris* was somewhat greater than that by *G. trabeum*. Work to maximum load was reduced most severely and rapidly from the onset of decay, while modulus of elasticity showed a much more moderate rate of reduction. Modulus of rupture was affected by decay to a greater extent than was modulus of elasticity. Since a relatively strong correlation between weight loss and bending strength was observed, the residual strength of decayed wood can be predicted by weight loss due to decay.

The results of this study indicate that very early stages of brown-rot decay reduce the bending strength significantly. Thus, it is recommended that all load-bearing members in wooden structures, especially those that are periodically wetted, should be inspected regularly to prevent a sudden failure, even though there are no definite signs of decay.

Keywords: incipient decay, bending properties, brown-rot decay, *Tyromyces palustris*, *Gloeophyllum trabeum*, radiata pine

*1 접수 1995년 11월 28일 Received November 28, 1995

본 연구는 94년도 한국과학재단 연구비(과제번호: 941-0600-021-1) 지원에 의한 결과의 일부임.

*2 고려대학교 자연자원대학 College of Natural Resources, Korea University, Seoul 136-701, Korea

1. 緒 論

腐朽菌의 加害에 따른 목재의 力學的 性質 감소 정도는 부후균의 종류, 즉 褐色부후균과 白色부후균에 따라 상이하다. 백색부후균의 가해를 받은 목재는 부후의 정도를 나타내는 重量減少率과 腐朽材의 역학적 성질 감소율간에 거의 正相關의 관계가 존재한다. 그러나 非接地面에 사용되는 침엽수재를 주로 가해하는 갈색부후균에 의해 가해진 부후재의 경우는 부후의 肉眼탐지가 거의 불가능한 중량감소를 10퍼센트 미만의 初期腐朽 단계에서부터 목재의 제반 역학적 성질들이 심각하게 저하된다 (Wilcox, 1978). 이는 잘 알려진 대로 갈색부후균이 백색부후균에서는 발견되지 않는 $[Fe^{++}-H_2O_2]$ 의 非酵素的 세포벽 구성성분의 분해체계를 보유하고 또한 藤酸의 생성에 의한 헤미셀룰로스의 酸加水分解가 발생하기 때문인데, 樹種과 갈색부후균의 조합에 따라서 양자간의 관계가 조금씩은 상이하지만 단지 2퍼센트의 중량감소율에서도 최대 50퍼센트까지의 휨강도 감소가 보고되어 있다 (Cartwright *et al.*, 1931; Mulholland, 1954; Mizumoto, 1966). 이렇게 초기 갈색부후는 목재의 역학적 성질을 크게 감소시키나 육안진단이 곤란한 관계로, 갈색부후균의 초기 가해를 받고 있는 목재를 健全材로 잘못 판정하여 적절한 조치를 취하지 않으면 예상치 못한 부후재의 갑작스런 파괴에 따른 안전사고가 발생할 위험이 크다. 따라서 구조용으로 이미 사용되고 있거나 또는 앞으로 사용 전망이 있는 침엽수재를 대상으로 초기 갈색부후에 의한 제반 역학적 성질의 감소정도를 정확히 평가하는 것은 매우 중요하다고 본다. 국내에서는 아직 이에 대한 연구가 수행된 적이 없으나, 앞으로 木造住宅 보급 등에 의한 木構造物의 사용이 증가할 것에 대비하여 構造部材로 사용할 수 있는 국산 및 수입 침엽수재를 대상으로 한 이러한 연구는 반드시 필요하다고 사료된다. 초기 갈색부후에 따른 목재의 심각한 역학적 성질 감소 문제는 그 중요성은 크게 인정되면서도 중요한 몇 수종에 대한 연구들 (Cartwright *et al.*, 1931; Mulholland, 1954; Kennedy, 1958; Mizumoto, 1966; Toole, 1971; Smith & Graham, 1983; Winandy & Morrell, 1993; Kim *et al.*, 1994)을 제외하고는 집중적으로 수행되지 못한 게 사실이다. 갈색부후에 의한 중량감소율과 역학적 성질의 감소율간의 관계는 수종/부후균의 조합에 따라서 상이하기 때문에 외국의 경우에도 어떤 수종이 새로이 구조용 목재로 사용될 경우에 이에 대한 연구가 실시되었듯이, 우리의 경우에도 현재 사용량이 급

증하고 있는 라디에타소나무를 대상으로 한 연구가 필요하다.

본 연구는 중량감소율 10퍼센트 미만의 초기 갈색부후에 의한 라디에타소나무의 휨성질 감소 정도를 평가한 후, 중량감소율로 나타내어지는 부후도와 휨성질 감소율간의 관계를 정립하여 부후도에 따른 휨성질의 감소 정도 예측이 가능한지를 구명하기 위하여 실시되었다.

2. 材料 및 方法

2.1 韌性質 試驗片의 準備

市中 목재상에서 라디에타소나무 (*Pinus radiata* D. Don.) 제재목을 구입하여 치수가 2.5(폭)×2.5(두께)×38cm(길이)인 小型 無缺點 휨성질 시험편을 총 162개를 제조한 후, 이들 시험편들을 실내에서 氣乾시켜 함수율이 12퍼센트 내외가 되도록 조정하였다. 실내 조습이 끝난 시험편들의 치수를 digital caliper를 이용하여 측정된 후에 시험편들을 40℃에서 3일, 60℃에서 2일, 80℃에서 1일, 그리고 나서 100℃에서 시험편의 중량감소가 없을 때까지 건조시킨 후에 시험편의 전건중량을 측정하고 시험편의 길이(수축)방향으로의 응력과 전달시간을 sonic stress-wave timer (Metriguard Inc., Model 239A)를 사용하여 측정하였다. 측정된 응력과 전달시간과 시험편의 밀도(전건중량/기건체적)에 의해 각 시험편의 응력과 탄성계수를 산출하고, 각 그룹의 응력과 탄성계수의 분포가 비슷하게 되도록 총 162개의 시험편을 18개씩의 시험편을 갖는 9개의 그룹(하나의 대조구와 8개의 부후그룹: 8개의 부후그룹중 절반은 *Tyromyces palustris*에 의한 부후그룹이고 나머지 절반은 *Gloeophyllum trabeum*에 의한 부후그룹)으로 분리하였다.

2.2 腐朽菌의 接種 및 培養

減壓法에 의해 시험편 내로 물을 주입시켜 시험편의 함수율을 약 70퍼센트 선으로 상승시킨 후에 대조구를 비롯한 모든 시험편들을 aluminum foil로 완전 밀봉하여 121℃ 온도와 1.05kg/cm² 압력하에서 60분간 고압 멸균부에서 멸균처리하고, 부후그룹에 속하는 시험편들은 MEA배지(2.5% malt extract+1.5% agar)를 바닥에 깔고 있는 멸균된 아크릴 상자 내로 옮겼다. 이때 배지와 시험편 사이에 약 5mm 직경의 멸균된 유리관을 놓아서 시험편과 배지의 직접적인 접촉을 예방하였다. 그 후 액상배지(2% malt extract+0.5% yeast extract)에서 진탕배양된 두 종류의 갈색부후균(*T. palustris*와

G. trabeum)의 菌絲體 slurry를 아크릴 상자내의 시험편 위에 고르게 뿌려줌에 의해 균접종을 실시하였다. 균접종이 끝난 후에 시험편들을 담은 상자들은 27℃ 온도의 항온기 내에 배양하면서 부후균 별로 4개 부후그룹 시험편들의 평균 중량감소율이 3, 6, 9, 그리고 12퍼센트 선이 될 때까지 강제부후를 시도하였다. 참고로 배양중에 정기적으로 無菌箱 내에서 아크릴 상자를 열어서 滅菌水를 부후 중인 시험편 위에 소량 분무해 주면서 상자내의 공기를 교체하여 부후균의 생육에 필요한 수분과 산소의 결핍문제를 해결하였음을 밝혀둔다. 부후중인 시험편의 표면에 균사가 완전 활착된 시점과 균사의 생육상태를 고려하면서 상기한 중량감소율들에 도달했으리라 예상되는 시점에서 강제부후가 중지되었는데, *T. palustris*의 경우는 부후 40, 60, 100, 130일후, 그리고 *G. trabeum*의 경우는 70, 110, 150, 170일 후에 부후를 중지시켰다. 그러나 일정 기간 부후된 시험편들의 중량감소율을 측정한 결과, 동일 부후그룹 내에서도 시험편간의 중량감소율 변이가 너무 크게 나타나서, 마지막 그룹의 부후가 완료된 후에 각 부후균 별로 측정된 중량감소율에 의해 모든 부후 시험편들을 다시 4그룹으로 재분리하였다.

2.3 疇試驗

부후된 시험편의 표면에 부착된 균사체를 완전하게 제거하고 실내에서 시험편의 함수율이 12퍼센트 내외가 될 때까지 건조시켰다. 그리고 나서 40℃에서 3일, 60℃에서 2일, 80℃에서 1일, 그리고 100℃에서 시험편의 중량감소가 없을 때까지 건조시킨 후에 시험편의 전건중량을 측정하였다. 이렇게 측정된 부후 시험편의 전건중량과 부후전 시험편의 전건중량을 사용하여 시험편의 중량감소율을 계산하였다.

疇시험은 ASTM D-143 (ASTM, 1982)에 제시된 방식에 의하여 Instron 만능강도 시험기를 이용하여 실시하였는데, 이때 하중속도는 1.25mm/분을 사용하였다. 각 시험편으로부터 얻어진 하중-변형 곡선으로부터, 휨탄성계수(MOE), 휨강도(MOR), 파괴시까지의 최대일량(WML)을 계산하였다.

2.4 資料分析

측정된 3종류의 휨성질(MOE, MOR, WML)에 대하여 대조구와 부후그룹간의 有意性을 검정하여 통계학적으로 有意성이 인정되는 휨성질의 차이를 최초로 나타내는 중량감소율, 즉 부후 정도를 파악하였다. 그리고 중량감소율에 의해 제반 휨성질의 감소 정도를 예측할 수

있는 최적 model을 單純 및 多衆 回歸分析에 의해 설정하였다. 휨강도의 경우는 휨강도를 통계학적으로 有意성 있게 영향하는 相關變數(covariates)를 결정하기 위하여 휨강도와와의 상관성이 우수한 것으로 익히 알려진 시험편들의 부후전 응력과 탄성계수에 대하여 조사하였다. 조사 결과, 이들은 예상했던 대로 휨강도를 영향하는 것으로 나타나서 휨강도에 대한 자료분석은 共分散分析(analysis of covariance)에 의해 실시하였다. 응력과 탄성계수를 상관변수로 하여 새로이 산출된 수정 평균치간의 비교는 最少 平方平均分離法(least square mean separation method)에 의하였다. 비중 및 함수율은 그 자체가 부후에 의해 영향을 받기 때문에 휨강도를 영향하는 상관계수로서 평가하지 않았다. 본 연구의 자료분석에 사용된 모든 통계처리는 SAS(Statistical Analysis System) 통계 패키지에 의하였다(SAS Institute, 1988).

3. 結果 및 考察

3.1 初期 褐色腐朽에 따른 라디에타소나무의 力學的 性質 減少

갈색부후에 의한 휨성질의 감소 정도는 휨탄성계수, 휨강도, 파괴시까지 최대일량 順으로 크게 나타났는데 (Table 1), 이는 에너지관련 성질인 파괴시까지 최대일량이 부후에 가장 예민하게 반응하는 반면에 탄성계수가 부후에 가장 덜 민감하지 않음을 의미한다. 이러한 부후에 대한 휨성질 감소의 예민도는 지금까지 알려진 연구 결과들과 일치하였다(Wilcox, 1978).

부후가 진행됨에 따라서 휨강도 감소율이 휨탄성계수 감소율보다 크게 나타났는데, 갈색부후균에 의한 초기부후가 침엽수재의 휨성질에 미치는 영향을 연구한 Mulholland(1954), Winandy와 Morrell(1993), Kim 등(1994)도 같은 결과를 보고하였다. 반면에 Cartwright 등(1931)은 탄성계수 감소율이 휨강도 감소율보다 조금 높은 것으로 보고하였다. 이와 같이 부후에 따른 휨강도와 휨탄성계수 감소율 중 어느 것이 큰지에 대한 결과가 연구자들간에 상이한 이유는 이들이 연구에 사용된 갈색부후균의 종류와 침엽수 수종이 서로 상이하였기 때문이라 사료된다. 참고로 Wilcox(1978)는 어떤 주어진 부후도에서 부후에 의한 제반 역학적 성질들의 감소율은 수종과 부후균의 종류 조합에 따라 상이함을 지적한 바가 있다.

부후단계에 따른 휨성질의 감소율은 부후초기, 즉 極初期 부후단계에서는 급격하게 나타나나, 일단 극초기 단

Table 1. Changes in bending properties of radiata pine sapwood beams decayed by two brown-rot fungi after various incubation periods¹.

Fungus	Weight loss (%)	MOR(kg/cm ²)		MOE(kg/cm ²)		WML(kg · mm)		Adjusted MOR ² (kg/cm ²)
		Mean	%CV	Mean	%CV	Mean	%CV	
<i>Tyromyces palustris</i>	0.00	988.4 A ³	17.8	101.142 A	22.1	1,527.0 A	18.2	920.1 A
	1.44	676.9 B	17.6	81.287 B	24.2	842.4 B	26.2	664.7 B
		(-31.6) ⁴		(-19.6)		(-44.8)		(-27.8)
	2.56	582.9 C	13.9	72.245 BC	20.8	589.2 C	19.9	582.3 B
		(-41.0)		(-28.4)		(-61.4)		(-36.7)
	4.33	471.9 D	10.5	67.927 C	15.7	333.8 C	24.1	500.0 C
		(-52.3)		(-32.8)		(-78.1)		(-45.7)
	9.73	317.7 E	22.7	62.145 C	22.8	193.8 D	26.2	397.9 D
		(-67.9)		(-38.6)		(-87.3)		(-56.8)
<i>Gloeophyllum trabeum</i>	0.00	988.4 A	17.8	101.142 A	22.1	1,527.0 A	18.2	920.1 A
	0.89	754.6 AB	19.6	92.180 B	23.9	844.0 B	26.0	711.2 B
		(-23.7)		(-8.9)		(-44.7)		(-22.7)
	1.99	677.1 B	14.5	86.259 B	22.6	755.7 B	22.3	679.1 B
		(-31.5)		(-14.7)		(-50.5)		(-26.2)
	6.48	441.2 C	15.7	78.553 C	27.6	570.7 C	26.4	480.1 C
		(-55.4)		(-22.3)		(-62.6)		(-47.8)
	11.66	357.1 D	15.8	66.850 D	26.4	378.8 D	28.7	461.1 C
		(-63.9)		(-33.9)		(-75.2)		(-49.9)

*1 MOR is modulus of rupture, MOE modulus of elasticity, WML work to maximum load, and %CV coefficient of variation.

*2 Adjusted mean MOR using analysis of covariance with stress wave elasticity as the covariate.

*3 Groups not followed by a common letter are significantly different one from another at the 95 percent significance level.

*4 Values in parenthesis are percent difference from control.

계에서 급격한 역학적 성질의 저하가 발생된 이후로는 그 감소 정도가 완만해졌다. Wilcox(1978)에 의하면 에너지 관련 성질인 強韌性(toughness)과 충격 휨강도, 그리고 휨성질은 다른 강도적 성질들(압축, 인장, 전단강도)과 달리 부후 초기단계부터 급속한 감소를 보인다고 했는데, 본 연구에서도 동일한 결과가 관찰되었다. 본 연구에서는 두 종류의 부후균에 의한 휨강도의 감소를 보면 중량감소를 1퍼센트와 10퍼센트 전후에서 강도감소가 중량감소에 비하여 약 20배와 6배로 크게 나타났는데, 이는 갈색부후의 경우에 중량감소보다 강도감소가 훨씬 크다는 사실을 입증해주고, 또한 Green 등(1991)이 지적한대로 중량감소에 비하여 강도감소에 의한 부후도 측정이 더 정확하다는 것을 확인시켜준다. 그러나 Winandy와 Morrell(1993)은 부후의 진행에 따른 휨강도 감소율이 중량감소율보다 약 4~5배 크나 양자간의 관계는 직선관계로써 부후에 따라 휨강도가 직선적으로 감소한다

고 하였다.

부후균의 종류에 관계없이 중량감소율 1~2퍼센트 선부터 부후재의 휨성질은 대조구의 휨성질과 비교할 때 통계학적으로 유의성($\alpha < 0.05$)이 있는 차이가 인정되어서 극초기 갈색부후에 의한 휨성질 감소가 심각함을 알 수 있다. 초기부후가 목재의 역학적 성질에 미치는 영향에 대한 總說에서 Wilcox(1978)는 5~10퍼센트 중량감소에서 갈색부후재의 휨 파괴시까지의 최대일량은 50~70퍼센트, 그리고 휨강도와 탄성계수는 60~70퍼센트 정도 감소한다고 하였는데, 본 연구의 결과도 휨탄성계수를 제외하고는 이와 비슷하였다. 그리고 Mizumoto(1966)는 *G. trabeum*에 의한 12퍼센트의 중량감소에서 소나무(*Pinus densiflora*) 변재 시험편의 휨강도가 70퍼센트 감소한다고 보고하였는데, 이러한 감소율은 본 연구의 *G. trabeum*에 의한 부후 결과와 비슷하였다. 또한 Winandy와 Morrell(1993)도 중량감소율이 11.5퍼센트로 *G. tra-*

Table 2. Result of regression analyses for the prediction of bending properties using weight loss¹.

Fungus	Bending property	Regression equation	Correlation coefficient	Standard error of estimate
Simple regression				
<i>Tyromyces palustris</i>	MOR	708.48-42.62(%WL)	0.86	155
	MOE	83,922-2,821.23(%WL)	0.49	19,628
	WML	821.83-70.49(%WL)	0.79	332
<i>Gloeophyllum trabeum</i>	MOR	747.74-36.49(%WL)	0.87	151
	MOE	95,037-2,690.89(%WL)	0.61	17,933
	WML	809.07-32.85(%WL)	0.62	346
Multiple regression				
<i>Tyromyces palustris</i>	MOR	834.82-114.45(%WL)+6.18(%WL) ²	0.90	116
	MOE	97,777-10,698(%WL)+677.68(%WL) ²	0.55	18,263
	WML	1,177.15-272.48(%WL)+17.38(%WL) ²	0.91	197
<i>Gloeophyllum trabeum</i>	MOR	905.50-65.27(%WL)+1.92(%WL) ²	0.91	129
	MOE	98,460-2,901.80(%WL)+14.10(%WL) ²	0.61	18,044
	WML	902.03-79.15(%WL)+3.10(%WL) ²	0.72	296

*1 MOR is modulus of rupture. MOE modulus of elasticity. WML work to maximum load. and WL weight loss.

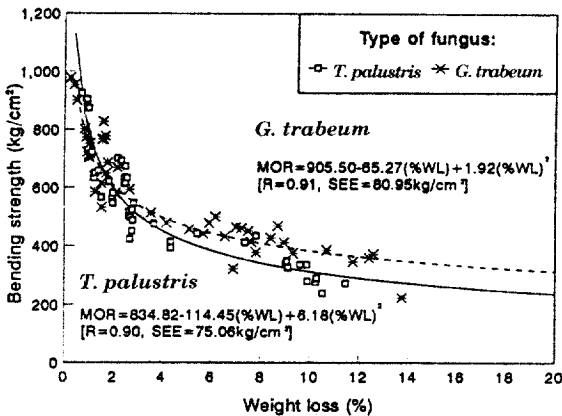


Fig 1. Regression of bending strength(MOR) on percent weight loss of radiata pine sapwood beams decayed by two brown-rot fungi.

beum에 의해 부후된 Douglas-fir 심재의 휨 강도, 휨 탄성계수, 파괴시까지 최대 일량 감소율이 각각 43.5, 16.2, 70.5퍼센트라고 보고하였는데, 이 역시 본 연구의 *G. trabeum*에 의한 부후 결과와 비슷하였다.

일반적으로 비슷한 부후도에서 *T. palustris*에 의한 휨 성질의 감소 정도가 *G. trabeum*에 의한 감소 정도보다 크게 나타났는데, 두 종류의 부후균간에 이러한 휨성질 감소 정도의 차이는 3가 철이온을 2가 철이온으로 환원

시키고 또한 직접 헤미셀룰로스의 산가수분해에 참여하는 수산(exogenous oxalic acid) 분비량의 차이 때문이 아닌가 사료해본다. 갈색부후균에 의한 셀룰로오스의 비효소적 산화분해는 $[H^2O^2-Fe^{++}]$ 와 $[H^2O^2-Fe^{+}]$ 체계에 의하는데 후자가 전자에 비하여 셀룰로오스의 가해속도가 빠르다(Schmidt, 1980). 따라서 수산의 분비가 많은 경우는 3가 철이온의 2가 철이온으로의 환원량이 많아지기 때문에 세포벽 구성성분의 비효소적 가해가 신속하게 발생되면서 셀룰로오스의 解重合(depolymerization)에 의한 중합도 저하가 심할 뿐 아니라 수산에 의한 헤미셀룰로스의 산가수분해 증가로 인해 비슷한 부후도에서도 강도 감소의 차이가 발생하리라 본다.

초기부후에 따른 휨성질의 감소를 중량감소율에 의해 예측할 수 있는지 여부를 판정하기 위하여 실시된 부후재의 중량감소율(X)과 휨성질(Y)간에 실시된 회귀분석 결과를 Table 2에 보여주는데, 단순 직선회귀보다는 이차식 회귀에 의한 양자간의 상관이 약간 우수하게 나타났다. 중량감소율과의 상관은 휨강도가 가장 우수하였고, 다음으로 파괴시까지 최대일량과 휨탄성계수의 순이었다. 특히 Fig. 1에서 볼 수 있듯이 중량감소율과 구조부재의 荷重 支持能力과 직접적으로 관련되는 휨강도간의 관계가 아주 양호하게 나타나서 초기 부후재의 휨강도를 중량감소율로부터 성공적으로 예측할 수 있다고 말할 수 있다.

4. 結 論

초기 갈색부후에 의한 라디에타소나무 변재의 휨성질 감소를 평가하고, 중량감소율에 의한 휨성질 감소 정도를 예측하기 위해 수행된 본 연구의 결과로부터 다음과 같은 결론들을 내릴 수 있다.

1. 부후균의 종류에 관계없이 극초기 부후상태인 중량 감소율 1~2퍼센트 수준에서 30 퍼센트 전후의 심각한 휨 강도의 감소가 관찰되었다.
2. 부후에 의한 휨 성질의 감소는 파괴시까지의 최대 일량, 휨 강도, 탄성계수 순으로 크게 나타났으며, 부후의 진행에 따른 휨 성질의 감소는 부후 초기에는 급격하게 나타났으나, 그 감소정도가 점차 완만해졌다.
3. 일반적으로 *Tyromyces palustris*에 의한 휨 성질의 감소 정도가 *Gloeophyllum trabeum*에 의한 감소 정도보다 약간 높게 나타났다.
4. 중량감소율과의 상관은 부후균의 종류에 관계없이 휨 강도, 파괴시까지 최대일량, 휨 탄성계수의 순으로 우수하였다. 특히 초기 부후재의 휨 강도는 중량감소율과 아주 우수한 상관을 보여서 부후재의 휨 강도를 중량감소율에 의해 성공적으로 예측할 수가 있었다.

參 考 文 獻

1. American Society for Testing and Materials. 1982. Standard methods for testing small clear specimens of timber. ASTM D-143. ASTM. Philadelphia, PA
2. Cartwright, K.St.G., W.P.K. Findlay, C.J. Chaplin, and W.G. Campbell. 1931. The effect of progressive decay by *Trametes serialis* Fr. on the mechanical strength of the wood of Sitka spruce. Forest Prod. Res. Bull. No. 11. BRE, Garston, UK.
3. Green III, F., M.J. Larsen, J.E. Winandy, and T.L. Highley. 1991. Role of oxalic acid

- in incipient brown rot decay. *Materials & Organismen* 26(3) : 193~213
4. Kennedy, R.W. 1958. Strength retention in wood decayed to small weight losses. *Forest Prod. J.* 8(10) : 308~314
5. Kim, G.H., H.M. Barnes, and D.E. Lyon. 1994. Effect of decay on the mechanical properties of full-sized lumber. *Holzforschung* 48(2) : 145~149
6. Mulholland, J.R. 1954. Changes in weight and strength of Sitka spruce associated with decay by a brown-rot fungus *Poria monticola*. *J. Forest Prod. Soc.* 4(1) : 410~416
7. Mizumoto, S. 1966. The effect of decay caused by *Gloeophyllum trabeum* on the strength properties of Japanese red pine sapwood. *J. Japan Forest Soc.* 48(1) : 7~11
8. Toole, E.R. 1971. Reduction in crushing strength and weight associated with decay by rot fungi. *Wood Sci.* 3(3) : 172~178
9. SAS Institute. 1988. Statistical Analysis System(SAS), User's Manual. Cary, NC.
10. Schmidt, C.J. 1980. The role of oxalic acid in the nonenzymatic decomposition of cellulose. Unpublished Master Thesis, Institute of Wood Research, Michigan Tech. Univ., Houghton, MI.
11. Smith, S.M. and R.D. Graham. 1983. Relationship between early decay and radial compression strength of Douglas-fir. *Forest Prod. J.* 33(6) : 49~52
12. Wilcox, W.W. 1978. Review of literature on the effects of early stages of decay on wood strength. *Wood & Fiber Sci.* 9(4) : 252~257
13. Winandy, J.E. and J.J. Morrell. 1993. Relationship between incipient decay, strength, and chemical composition of Douglas-fir heartwood. *Wood & Fiber Sci.* 25(3) : 278~288