

상수리나무 가지의 분해 및 분해과정에 따른 영양염류 변화

문 형 태*

공주대학교 자연과학대학 생명과학과

적 요: 상수리나무 가지의 분해율과 분해과정에 따른 영양염류의 변화를 33개월 동안 조사하였다. 33개월 경과 후 가지의 잔존물은 B₁(직경<1cm), B₂(1cm≤직경<2cm), B₃(3cm≤직경<4cm)가 각각 44.5%, 58.5%, 55.3%이었다. B₁, B₂, B₃의 분해 상수는 각각 0.294/yr, 0.195 /yr, 0.215/yr이었다. 분해 과정에 따른 질소 함량은 모든 직경급에서 증가하는 경향을 보였다. 33개월 경과 후 질소 잔존물은 B₁, B₂, B₃가 각각 101.2%, 91.9%, 104.4%이었다. 인 함량은 B₁과 B₂에서 분해가 진행됨에 따라 초기 함량보다 증가하였고, 분해 과정중 인의 부동화 기간은 없었으며, 33개월 경과 후 인 잔존물은 B₁, B₂, B₃가 각각 57.2%, 74.4%, 53.9%이었다. 칼륨 함량은 분해가 진행됨에 따라 초기 값보다 현저하게 감소하였으며, 33 개월 경과 후 잔존물은 B₁, B₂, B₃가 각각 7.7%, 17.1%, 17.2%로 다른 영양염류에 비해 낮았다. 칼슘 함량은 B₁을 제외하고 분해 기간동안 그 값이 증가하였으며, 33개월 경과 후 잔존물은 B₁, B₂, B₃가 각각 58.5%, 47.8%, 75.2%이었다. 마그네슘은 가지의 직경이 작을수록 초기 함량이 높았으며, 33 개월 경과 후 잔존물은 B₁, B₂, B₃에서 각각 44.3%, 57.9%, 47.7%이었다.

검색어: 가지, 분해상수, 분해율, 상수리나무, 영양염류, 잔존물

서 론

유기물 분해를 통한 영양염류 방출은 식물 생장에 필요한 영양염류 공급원이기 때문에 생태계의 구조와 기능을 결정하는 중요한 요인이 되며(Berg and Agren 1984, Berg and Theander 1984, Kelly and Beauchamp 1987), 분해과정은 그 지역의 기후, 지형적 특성, 기질의 화학적 특성, 분해 생물과의 상호작용 등 여러 가지 복합요인의 영향을 받는다(Swift *et al.* 1979). 삼림생태계에서 고사한 목질부는 많은 생물에게 서식처를 제공하며, 부니질 먹이사슬을 통한 에너지 흐름과 물질순환을 주도하고, 토양의 물리·화학적 특성에 영향을 주는 등 생태학적으로 매우 중요한 역할을 수행한다(Harmon *et al.* 1986). 일반적으로 고사한 목질부에는 고사한 줄기와 다양한 직경의 가지, 그리고 고사한 뿌리가 포함된다.

목질부는 낙엽에 비해 영양염류 함량이 낮고 분해가 느리기 때문에 단기적 면에서는 삼림생태계의 에너지 유전이나 영양염류 순환에 크게 주목받지 못하였으나 장기적인 면에서 고사목은 생태계의 에너지흐름과 영양염류 순환에 중요한 역할을 하고 있다(Larsen *et al.* 1978, Triska and Cromack 1980).

국내에서는 많은 연구자들이 삼림생태계에서 낙엽의 생산, 분해, 그리고 분해 과정에 따른 영양염류의 동태를 조사한 바 있지만(Kim and Chang 1965, Park and Lee 1980, Chang and Chung 1986, Mun and Kim 1992, Mun and Joo 1994), 그 대상이 낙엽에 국한되어 있고, 가지나 뿌리와 같은 목질부의 분해율에 대한 연구는 많지 않은 실정이다. 임상에는 다양한 종류의 목질부가 이

입되고 있으며, 특히 고사한 가지의 형태로 이입되는 양이 많기 때문에 삼림생태계의 물질순환을 파악하기 위해서는 이들 목질부의 이입량, 분해율 및 분해과정에 따른 영양염류의 동태가 파악되어야 한다(Laiho and Prescott 1999).

본 연구는 활엽수종인 상수리나무를 대상으로 다양한 직경의 가지의 분해율과 분해과정에 따른 영양염류의 변화를 조사하여 삼림생태계의 물질순환을 파악하기 위한 기초자료를 얻는 데 그 목적이 있다.

재료 및 방법

조사지 개황

본 연구의 조사지소는 충남 공주에 있는 상수리나무림(*Quercus auctissima* forest)으로 고도 150 m, 경사 5~10°의 동사면에 위치하고 있다. 이 지역은 분수역으로 분수역의 하부에 두 개의 저수지가 형성되어 있다. 이 저수지는 1998년까지 공주시 일부 지역의 상수원수로 이용되어 왔기 때문에 1920년대부터 일반인의 출입이 부분적으로 통제되어 식생 보존이 매우 양호한 상태이다. 조사지소의 상수리나무 수령은 30~40년, 교목의 평균 흉고직경은 15.3 cm, 평균수고는 16.7 m 그리고 임목밀도는 2,100 그루/ha이었다. 초본층은 매우 빈약하였으며, 피도는 담쟁이덩굴이 우점하는 일부 지역을 제외하면 10% 정도이었다. 임상은 연중 3~5 cm의 낙엽층으로 덮여 있었다. 조사기간 중 연평균 기온은 2000년, 2001년, 2002년에 각각 12.4°C, 12.7°C, 12.2°C 이었고, 연간 강수량은 각각 1,521 mm, 753 mm, 1,544 mm이었으며, 강우량은 하절기에 집중되었다.

* Corresponding author; Phone: 82-41-850-8499, e-mail: htmun@kongju.ac.kr

분해샘플 제작

1999년 11월에 상수리나무림에서 가지를 채취하였다. 다양한 직경의 가지를 나무로부터 잘라내어 15cm 길이로 잘라 80℃ 건조기에서 5일 동안 건조시킨 후 직경 < 1 cm(B₁), 1 cm ≤ 직경 < 2 cm(B₂), 3 cm ≤ 직경 < 4 cm(B₃)로 구분하였다. 각 직경급의 가지 일정량을 칭량하여 철사로 묶고 무게를 기록한 알루미늄판을 부착하였다. 분해율 측정을 위한 각 직경별 가지 샘플은 각각 45~50개씩을 제작하였다. 1999년 12월에 가지 샘플을 상수리나무림의 임상에 흩어 놓고 낙엽으로 덮어두었다.

분해샘플의 수거 및 처리

분해샘플 수거는 설치 후 1개월, 그리고 3개월 후에 수거하였고, 그 이후에는 15개월이 지날 때까지 매 3개월마다 수거하였다. 15개월 이후부터는 6개월마다 수거하였다. 수거할 때에는 각 직경급 가지 샘플을 각각 3 개씩 수거하였다. 수거한 샘플은 겉에 묻은 이물질을 제거하고 80℃ 건조기에서 향량이 될 때까지 건조시킨 후 칭량하였으며, 칭량이 끝난 샘플은 마쇄하여 영양염류 분석에 사용하였다. 잔존률은 수거시 남아있는 잔존량을 처음 무게에 대한 %로 표시하였으며, 분해율(k)은 Brinson 등 (1981)의 공식을 이용하여 계산하였다.

$$-k = \ln(X / X_0) / t$$

X₀는 가지의 처음 무게, X는 수거 시 남아있는 무게, t는 시간이다.

영양염류 분석

마쇄한 샘플을 밀폐시켜 보관한 후 질소, 인, 칼륨, 칼슘 그리고 마그네슘을 분석하였다. 샘플을 block digester를 이용하여 분해한 후 질소와 인은 Flow Injection Analyzer(QuikChem 8000, FIA)로, 치환성 양이온은 원자흡수분광광도계(Perkin-Elmer 3110)로 정량하였다(Allen et al. 1974). 분해과정에 따른 상수리나무 가지의 각 영양염류 초기값에 대한 영양염류 잔존률은 Kelly와 Beauchamp (1987)에 따라 계산하였다.

결과 및 고찰

분해율

가지는 시간이 지남에 따라 거의 일정하게 분해되었다. 33개월 경과 후 가지의 직경별 잔존률은 B₁, B₂, B₃가 각각 44.5%, 58.5%, 55.3%로 B₂의 분해율이 가장 낮았다(Fig. 1). 샘플 수거의 시기별로 구분해 3월부터 9월, 그리고 9월부터 다음해 3월까지를 하절기와 동절기로 나누어 비교해 보면 동절기보다 하절기의 무게 감소가 더 큰 것을 확인할 수 있었다. 이와 같이 하절기에 분해가 더욱 활발한 것은 하절기의 많은 강수량과 높은 온도에 의해 분해 동물과 균류의 활동이 활발하였기 때문인 것으로 판단된다. B₁의 경우 처음 6개월까지는 분해가 느렸지만 그 이

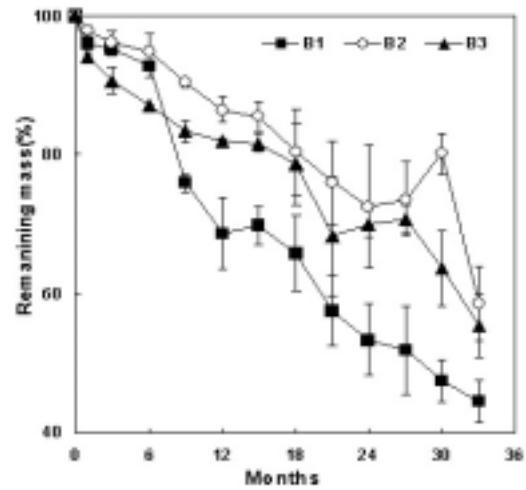


Fig. 1. Mean percent remaining weight in the decomposing branches of *Q. acutissima*. B₁< 1 cm, 1 cm ≤ B₂< 2 cm, 3 cm ≤ B₃< 4 cm. Bars indicate SD.

후 다른 직경급에 비해 분해가 빠른 것으로 나타났다. 이것은 B₁이 상대적으로 목질화가 약하기 때문인 것으로 판단된다. B₁, B₂, B₃의 분해 상수는 각각 0.294/yr, 0.195/yr, 0.215/yr이었다.

Mun과 Joo(1994)는 상수리나무와 리기다소나무 낙엽의 분해율을 조사한 연구에서, 12개월 경과한 낙엽 잔존률이 각각 43.5%와 58.0%, 21개월 경과 후 잔존률이 각각 22.2%와 33.2%인 것으로 보고한 바 있고, Gholz 등(1985)은 소나무(*P. elliotii*) 낙엽의 분해를 조사한 결과 24개월 후 약 30%가 분해된 것으로 보고한 바 있다. Yoo(1991)는 24개월 경과한 곰솔 낙엽의 잔존률이 29%임을 보고하였다. 본 연구의 가지 분해율은 낙엽의 분해율에 비해 현저히 낮음을 알 수 있다. 이러한 차이는 가지와 잎의 구조적 차이, 분해자의 차이 그리고 질소함량의 차이 때문으로 판단된다. Davis와 van der Valk(1978), Berg 등(1982)은 낙엽의 영양염류 함량과 분해율 사이에 정의 상관성이 있음을 보고한 바 있고, Mun 등(2000)은 갈대의 분해를 조사한 연구에서 질소함량이 높은 잎과 지하경이 질소함량이 낮은 줄기에 비해 분해율이 높다고 보고한 바 있다. Mun과 Pyo(1994)는 상수리나무 낙엽의 초기 질소함량이 12.5 mg/g이라 보고한 바 있는데, 이는 본 연구의 상수리나무 가지의 평균 질소함량 4.99 mg/g에 비해 높은 값이었다. 분해율이 낮은 가지는 장기적으로 삼림생태계의 영양염류 공급원으로 이용될 수 있음을 시사한다.

분해 과정에 따른 영양염류의 변화

질소: 상수리나무 가지의 단위 무게 당 질소 함량은 분해가 진행됨에 따라 증가하는 경향을 나타냈다(Fig. 2A). 상수리나무 가지의 초기 질소 함량은 B₁, B₂, B₃가 각각 5.40 mg/g, 5.15 mg/g, 4.40 mg/g이며, 33개월 경과 후에는 그 값이 각각 12.37 mg/g, 10.83 mg/g, 6.50 mg/g으로 B₁는 초기값에 비해 228%가 증가한 것으로 나타났다.

상수리나무 가지의 질소 잔존률은 B₂에서는 계속 무기화가 진행되었지만, B₁, B₃에서는 부동화 시기를 거쳤으며, 33 개월 경과 후 B₁, B₂, B₃의 질소 잔존률은 각각 101.2%, 91.9%, 104.4% 이었다(Fig. 2B).

인: B₃에서는 초기 인 함량이 0.38 mg/g에서 33개월 경과 후 0.37 mg/g으로 큰 변화가 없었으나, B₁과 B₂에서는 초기 함량보다 증가하는 것으로 나타났다. B₁의 초기 인 함량은 0.52 mg/g에서 33개월이 지난 후 0.66 mg/g으로 증가하였고, B₂에서도 초기의 0.47 mg/g에서 33개월 경과후에는 0.60 mg/g으로 증가하였다(Fig. 3A).

상수리나무 가지의 분해 과정중 인은 부동화 기간이 없이 무기화가 진행되어 33개월 경과후 인 잔존률은 B₁, B₂, B₃에서 각각 57.2%, 74.4%, 53.9%이었다(Fig. 3B).

칼륨: 분해가 진행됨에 따라 가지의 칼륨 함량은 초기 값보다 현저하게 감소하였다. B₁, B₂, B₃의 초기 칼륨 함량은 각각 3.23 mg/g, 1.91 mg/g, 1.37 mg/g으로 직경이 작을수록 초기 칼륨 함량이 높았으며, 33개월 경과후 각각 0.54 mg/g, 0.56 mg/g, 0.43 mg/g으로 감소하였다(Fig. 4A). 가지의 칼륨 잔존률은 B₃가 초기 부동화 기간이 있었지만 33개월이 경과하였을 때 B₁, B₂, B₃가 각각 7.4%, 17.1%, 17.2%로 다른 영양염류에 비해 잔존률이 낮은 것을 알 수 있었다(Fig. 4B).

Lee(1998)는 상수리나무 줄기의 분해 과정에서 칼륨이 분해 초기에 초기값에 비해 크게 증가한 후 서서히 감소하여 54개월

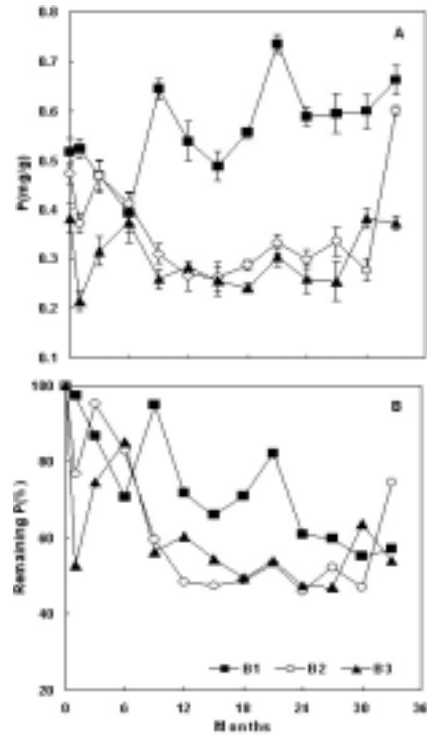


Fig. 3. Changes of P concentration(A) and % remaining P(B) in the decomposing branches of *Q. acutissima*. Legends are the same as in Fig. 1. Bars indicate SD.

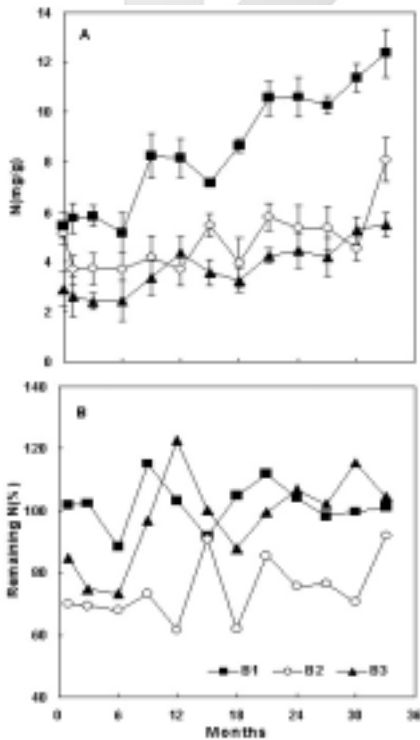


Fig. 2. Changes of N concentration(A) and % remaining N(B) in the decomposing branches of *Q. acutissima*. Legends are the same as in Fig. 1. Bars indicate SD.

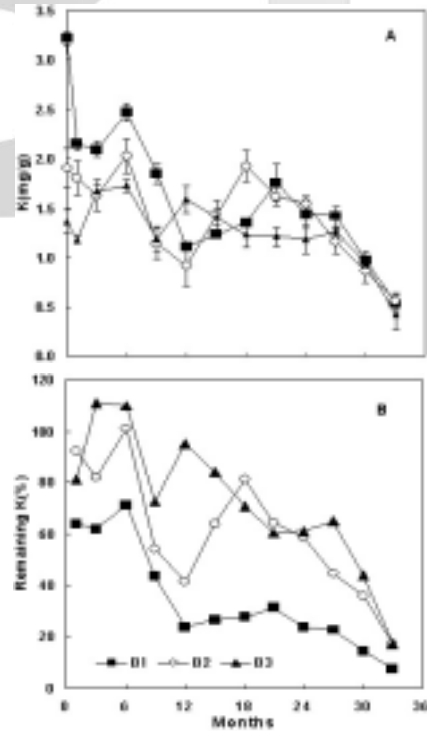


Fig. 4. Changes of K concentration(A) and % remaining K(B) in the decomposing branches of *Q. acutissima*. Legends are the same as in Fig. 1. Bars indicate SD.

이 경과한 샘플에서는 거의 초기 함량과 유사하다고 보고하였으며, 분해 초기에 부동화 현상이 나타났고, 중기 이후에는 초기보다 낮아지는 무기화 현상을 보여 54개월이 경과한 목질부의 칼륨 잔존률이 20.2%라 보고한 바 있다.

칼슘: 가지의 칼슘 함량은 분해 초기에는 감소하다가 그 이후 증가하는 것으로 나타났다(Fig. 5A). 칼슘 함량의 초기값은 B₁, B₂, B₃에서 각각 10.6 mg/g, 8.7 mg/g, 7.9 mg/g이었으나 33개월경과 후 각각 14.0 mg/g, 11.0 mg/g, 10.7 mg/g으로 증가하였다. 분해 과정 중 가지의 칼슘 잔존률은 B₂에서는 전 기간에 걸쳐 무기화 현상이 뚜렷하게 나타났고, B₁에서는 6개월경과 시, 그리고 B₃에서는 15개월 경과시 부동화 현상이 나타났으나, 이후 무기화 과정을 거쳤다. 33개월 경과후 가지의 칼슘 잔존률은 B₁, B₂, B₃에서 각각 58.5%, 47.8%, 75.2%이었다(Fig. 5B).

마그네슘: 상수리나무 가지의 마그네슘은 직경이 작을수록 초기 함량이 높았다. B₂와 B₃의 초기 함량이 각각 0.72 mg/g, 0.52 mg/g이었는데 B₁은 1.24 mg/g이었으며, 분해 과정 동안에도 다른 직경급보다 높은 값을 유지하였다(Fig. 6A). 33개월 경과후 B₁과 B₂에서는 각각 1.23 mg/g, 0.71 mg/g으로 초기 함량과 큰 차이가 없었으나, B₃에서는 0.70 mg/g으로 초기 함량보다 증가하였다.

마그네슘 잔존률은 B₃에서 12개월과 15개월에 각각 124.9%,

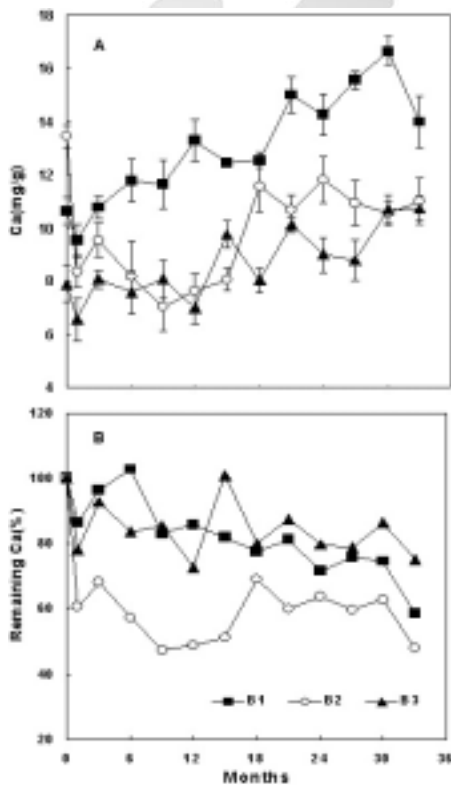


Fig. 5. Changes of Ca concentration(A) and % remaining Ca(B) in the decomposing branches of *Q. acutissima*. Legends are the same as in Fig. 1. Bars indicate SD.

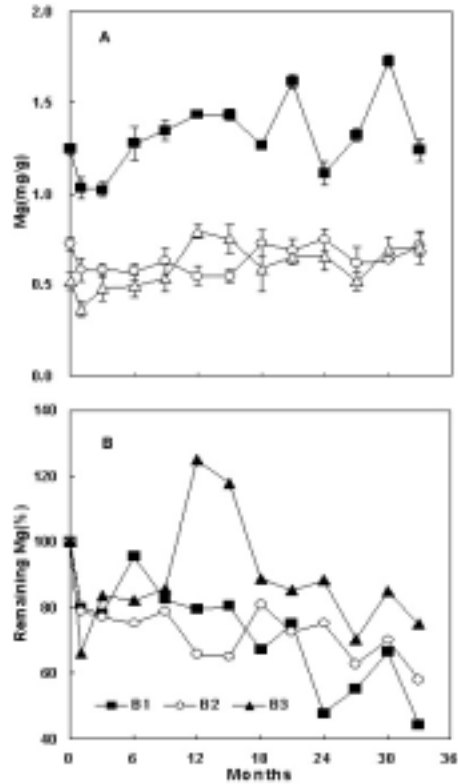


Fig. 6. Changes of Mg concentration(A) and % remaining Mg(B) in the decomposing branches of *Q. acutissima*. Legends are the same as in Fig. 1. Bars indicate SD.

117.8%로 초기값보다 높았으나 15개월 이후부터는 감소하여 무기화 현상을 보였다(Fig. 6B). B₁과 B₂에서는 부동화 기간 없이 분해 초기부터 무기화가 진행되었다.

Lee(1998)는 상수리나무 목질부의 마그네슘 함량이 분해 초기에는 초기 함량과 유사하였으나, 이후 다소 증가하였고, 수피는 전 실험기간에서 초기 함량과 큰 차이를 보이지 않았다고 보고한 바 있다. 가지의 마그네슘 초기 함량은 칼륨과 칼슘에 비해 그 값이 현저히 낮았다.

인용문헌

Allen, S.E., H.M. Grimshaw, J.A. Parkinson and C. Quarmby. 1974. Chemical analysis of ecological materials. Blackwell. Oxford.
 Berg, B, B. Wessen, G.Ekbohm. 1982. Nitrogen level and decomposition in Scots pine needle litter. Oikos 38: 291-296.
 Berg, B. and G. Agren. 1984. Decomposition of needle litter and its organic chemical components: theory and field experiments. Long-term decomposition in a Scots pine forest III. Can. J. Bot. 62: 2880-2888.
 Berg, B. and O. Theander. 1984. Dynamics of some nitrogen fraction in decomposition Scots pine needle litter. Pedobiologia

- 27: 264-267.
- Brinson, M.M. 1977. Decomposition and nutrient exchange of litter an alluvial swamp forest. *Ecology* 58: 601-609.
- Chang, N.K. and M.A. Chung. 1986. A study on the production and decomposition of litters along altitude of Mt. Dokyoo. *Korean J. Ecol.* 9: 185-192.
- Davis, C.B. and A.G. van der Valk. 1978. The decomposition of standing and fallen litter of *Typha glauca* and *Scirpus fluviatilis*. *Can. J. Bot.* 56: 662-675.
- Ghloz, H.L., C.S. Perry, W.P. Cropper, Jr. and L.C. Hendry. 1985. Litterfall, decomposition and nitrogen and phosphorus dynamics in a chronosequence of slash pine(*Pinus elliottii*) plantation. *Forest Sci.* 31: 463-478.
- Harmon, M.E., J.F. Franklin, F.J. Swanson, P. Sollins, S.V. Gregory, J.D. Lattin, N.H. Anderson, S.P. Cline, N.G. Aumen, J.R. Sedell, G.W. Lienkaemper, K. Cromack, Jr. and K.W. Cummins. 1986. Ecology of coarse woody debris in temperate ecosystems. *Adv. Ecol. Res.* 15: 133-302.
- Kelly, J.M. and J.J. Beauchamp. 1987. Mass loss and Nutrient changes in decomposing upland oak and mesic-mixed hardwood leaf litter. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 51: 1616-1622.
- Kim, C.M. and N.K. Chang. 1965. The decomposition rate of litter affecting the amount of mineral nutrients of forest soil in the Korea. *Bull. Ecology Soc. Am. Sep.* 14 p.
- Laiho, R. and C.E. Prescott. 1999. The contribution of coarse woody debris to carbon, nitrogen, and phosphorus cycles in three Rocky Mountain coniferous forests. *Can. J. For. Res.* 29: 1592-1603.
- Larsen, M.J., M.F. Jurgensen and A.F. Harvey. 1978. N₂ fixation associated with wood decayed by some common fungi in western Montana. *Can. J. For. Res.* 8: 341-345.
- Lee, J.Y. 1998. Decay rate and nutrients dynamics during wood decomposition. M.S. Thesis, Kongju National University. 32p.
- Mun, H.T. and J.H. Kim. 1992. Litterfall, decomposition, and nutrients dynamics of litter in red pine (*Pinus densiflora*) and chine thuja (*Thuja orientalis*) stands in the limestone area. *Korean J. Ecol.* 15: 147-155.
- Mun, H.T. and H.T. Joo. 1994. Litter production and decomposition in the *Quercus acutissima* and *Pinus rigida* forests. *Korean J. Ecol.* 17: 345-353.
- Mun, H.T. and J.H. Pyo. 1994. Dynamics of nutrients constituents during litter decomposition. *Korean J. Ecol.* 17: 501-511
- Mun, H.T., J. Namgung and J.H. Kim. 2000. Mass loss and change of nutrients during the decomposition of *Phragmites communis*. *Korean J. Ecol.* 23: 157-161.
- Park, B.K. and I.S. Lee. 1980. Effects of habitat and nutrient content of leaves on the litter decomposition of *Larix kaempferi* and *Quercus serrata* at Kwangnung. *Korean J. Bot.* 26: 45-48.
- Swift, M.J., O.W. Heal and J.M. Anderson. 1979. Decomposition in terrestrial ecosystems. *Studies in Ecology. Vol. 5.* Univ. of California Press, Berkley and Los Angeles. 372p.
- Triska, F.J. and K. Cromack. 1980. The role of wood debris in forests and streams. *In Fresh perspectives from ecosystem analysis. Proceedings 40th Biology Collection(1979) I.* R.H. Waring. (ed.). Oregon State Univ. Press. Corvallis. pp. 171-190.
- Yoo, Z.S. 1991. Weight loss and nutrient dynamics during litter decomposition of *Pinus thunbergii* and *Castanea crenata*. M.S. Thesis, Kongju National University.

(2004년 2월 23일 접수; 2004년 3월 15일 채택)

Decay Rate and Nutrients Dynamics during Decomposition of Oak Branches

Mun, Hyeong-Tae

Department of Biology, Kongju National University, Kongju 314-701, Korea

ABSTRACT : Decay rate and nutrient dynamics during decomposition of oak (*Quercus acutissima*) branches were investigated for 33-months in Kongju, Korea. After 33-months, remaining weight of B₁, B₂ and B₃ was 44.5%, 58.5% and 55.37%, respectively. Decomposition constant (*k*) for B₁, B₂ and B₃ was 0.294/yr, 0.195/yr, 0.215/yr, respectively. N concentration in decomposing oak branches increased in all diameter classes. After 33-months, remaining N in B₁, B₂ and B₃ was 101.2%, 91.9%, 104.4%, respectively. P concentration in decomposing oak branches increased in B₁ and B₂, and there was no immobilization period. After 33-months, remaining P in B₁, B₂ and B₃ was 57.2%, 74.4%, 53.9%, respectively. K concentration in decomposing oak branches decreased significantly. Remaining K in B₁, B₂ and B₃ was 7.7%, 17.1% and 17.2%, respectively, which was significantly lower than other nutrients. Ca concentration in decomposing oak branches increased in B₂ and B₃. After 33-months, remaining Ca in B₁, B₂ and B₃ was 58.5%, 47.8% and 75.2%, respectively. Initial concentration of Mg in oak branch was higher in smaller diameter class. After 33-months, remaining Mg in B₁, B₂ and B₃ was 44.3%, 57.9% and 47.7%, respectively.

Key words : Branches, Decay rate, Decomposition constant, Nutrients, *Quercus acutissima*, Remaining rate

K C I