

월악산 소나무림의 낙엽생산과 낙엽을 통한 영양염류 이입량

남 궁 정 · 문 형 태*

공주대학교 자연과학대학 생명과학과

Litterfall and Nutrient Input via Litterfall in *Pinus densiflora* Forest at Mt. Worak National Park

Jeong Namgung and Hyeong-Tae Mun*

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

Abstract - Litter production, nutrient concentration of each component of litterfall and amount of nutrients input to forest floor via litterfall were investigated for three years from May 2005 through April 2008 in *Pinus densiflora* forest at Mt. Worak National Park. Amount of litterfall in 2005, 2006, 2007 were 3.070, 3.066, 3.099 ton ha⁻¹ yr⁻¹, respectively. Average amount of litterfall for three years was 3.078 ± 0.018 ton ha⁻¹ yr⁻¹. Average percentage of leaf litter, branch and bark, reproductive organ and the miscellaneous for three years were 61.9, 10.4, 5.2, 22.5%, respectively. Average amount of N, P, K, Ca and Mg returned to forest floor via litterfall for three years in this *P. densiflora* forest were 18.014, 0.878, 4.240, 7.349 and 2.172 kg ha⁻¹ yr⁻¹, respectively.

Key words : litterfall, litter production, nutrient concentration, nutrient input, *Pinus densiflora*

서 론

산림생태계는 1차생산과 영양염류 순환을 통해 유지된다. 산림토양은 식물생장에 필요한 영양염류와 물을 제공하고, 식물 뿌리가 뺏을 수 있는 기질 역할을 하여 식물을 물리적으로 지지하는 기능도 가지고 있다(Kimmins 1987). 토양의 영양염류는 1차적으로 토양광물의 풍화에서 비롯되지만 성숙한 산림생태계의 경우에는 토양 유기물의 분해를 통해 방출되는 영양염류가 생태계의 유지에 큰 비중을 차지하는 것으로 알려져 있다(Daubenmire 1974; Barbour *et al.* 1987; Mun *et al.* 2007).

토양 유기물질은 낙엽의 분해를 통해 공급되기 때문에 낙엽생산은 산림생태계 유지에 기본적인 과정이라고

할 수 있다. 또한 낙엽생산은 산림생태계의 영양염류 순환이나 에너지 흐름의 핵심적인 부분을 차지한다(Bray and Gorham 1964; Wiegert and Monk 1972). 산림생태계 토양의 유기물질은 지상부와 지하부의 죽은 생물량에서 비롯된다. 이들은 분해자와 부니질식자들의 에너지원이 된다(Barbour *et al.* 1987; Baker *et al.* 2001). 또한 낙엽의 분해를 통해 영양염류가 식물이 흡수할 수 있는 가용성 상태로 전환되기 때문에 낙엽 분해율은 산림의 1차생산을 조절하는 중요한 요인이 된다(Cole and Rapp 1981; Meentemeyer *et al.* 1982; Blanco *et al.* 2008).

환경부의 국가장기생태연구사업의 일환으로 국내 주요 산림생태계의 1차생산과 영양염류 순환이 장기간에 걸쳐 조사되고 있으며, 본인 등은 월악산 국립공원에 발달되어 있는 소나무림, 굴참나무림 그리고 신갈나무림을 대상으로 1차생산과 영양염류 순환을 조사하고 있다. 본 연구의 목적은 월악산 국립공원에 발달되어 있는 소나

*Corresponding author: Hyeong-Tae Mun, Tel. Fax. E-mail.

무림의 영양염류 순환을 파악하기 위한 일환으로 조사 대상 소나무림의 낙엽생산량과 낙엽생산을 통해 임상에 이입되는 영양염류의 양을 파악하기 위한 것이다. 이를 위해 2005년 5월부터 2008년 4월까지 3년 동안의 낙엽생산량을 조사하고 낙엽의 영양염류 함량을 분석하여 연간 낙엽을 통해 임상에 이입되는 영양염류의 양을 정량하였다.

재료 및 방법

1. 조사지 개황

월악산국립공원은 소백산과 속리산 사이에 위치하며 (N 36° 47' ~ 36° 55', E 128° 4' ~ 128° 12'), 경상북도와 충청북도에 걸쳐 있다. 조사지소인 소나무림은 월악산 송계계곡의 남서사면에 위치하며 (N 36° 51' 17", E 128° 64' 41"), 해발고도는 약 380 m이었다. 2005년 4월에 조사지소에 10×20 m 영구방형구를 설치하고 흉고직경 2.5 cm 이상을 대상으로 매목조사를 실시하였다. 임목밀도는 1,300 그루 ha⁻¹이었으며, 평균 흉고직경은 14.6±5.98 cm, 평균수고는 9.8±2.98 m이었다. 관목층에는 관목상 굴참나무 (*Quercus variabilis*), 쇠물푸레 (*Fraxinus sieboldiana*), 땅비짜리 (*Indigofera kirilowii*) 등이 낮은 빈도로 분포하고 있었으며, 초본층에는 고사리 (*Pteridium aquilinum*)와 역새 (*Miscanthus sinensis*)가 주로 분포하였다. 조사지소로부터 약 30 km 떨어져 있는 제천측후소의 자료에 의하면 1970년부터 2005년까지 30년 동안의 연평균 기온과 강수량은 각각 10.1°C와 1,349.8 mm이었다.

2. 낙엽생산량

낙엽생산량 조사를 위해 2005년 4월에 영구방형구 외부에 입구의 넓이가 0.5 m²인 원형 littertrap 5개를 임의로 설치하였다. 이미 떨어진 낙엽들이 바람에 날려 littertrap 속으로 이입되는 것을 막기 위해 littertrap의 입구의 높이가 지상에서 1 m 이상이 되도록 설치하였다. 2004년 5월부터 2008년 4월까지 3년 동안 매월 littertrap 속에 들어있는 낙엽을 수거하여 실험실에서 잎, 가지, 생식기관, 기타 등으로 구분하여 80°C 건조기에서 향량이 **될** 때까지 건조시킨 후 평량하였다. 평량이 끝난 샘플은 **다** 썰하여 영양염류 분석에 이용하였다.

3. 영양염류 분석

낙엽 각 구성원의 영양염류 함량 분석은 3반복으로

실시하였다. 전질소와 인은 낙엽샘플을 block digester에서 분해한 후 (Allen *et al.* 1974) Flow Injection Analyzer (Lachat: QuickChem 8000)로 정량하였다. 칼륨, 칼슘, 마그네슘은 Kjeldahl 플라스크를 이용하여 습식분해한 후 Atomic Absorption Spectrophotometer (Perkin-Elmer 3110)로 정량하였다 (Allen *et al.* 1974). 낙엽을 통해 연간 임상에 이입되는 각 영양염류의 총량은 매월 낙엽생산량에 각 영양염류의 함량을 곱하여 계산하였다.

결과 및 고찰

1. 낙엽생산량

조사지역 소나무군락의 낙엽생산은 연 중 계속되었으나 가을인 10월과 11월에 낙엽생산량이 가장 많았다 (Fig. 1). 낙엽생산량의 월별 패턴은 3년 동안에 큰 차이가 없었다. 4월과 5월에는 생식기관의 양이 상대적으로 증가하였다. 시작년도의 5월부터 다음 해 4월까지의 연간 낙엽생산량은 2005년, 2006년, 2007년에 각각 3.070, 3.066, 3.099 ton ha⁻¹ yr⁻¹로 큰 차이를 보이지 않았으며, 3년 동안의 평균 낙엽생산량은 3.078±0.018 ton ha⁻¹ yr⁻¹이었다.

본 소나무군락에서 3년 동안의 평균 낙엽생산량은 3.078 ton ha⁻¹ yr⁻¹이었으며, 이 값은 Kim (2006)이 소나무림에서 보고한 470 g m⁻² yr⁻¹에 비해 적었으며, Mun and Kim (1992)이 보고한 값보다 적었다. 소나무군락의 지역에 따른 낙엽생산량의 차이는 조사지소 임목의 수령과 밀도에 기인하는 것으로 판단된다 (Gholz *et al.* 1985). 그러나 본 조사지역의 낙엽생산량은 Berg and Laskowski (2006)가 아시아 온대지역 침엽수림의 낙엽생산량 범위로 발표한 910~4,990 kg ha⁻¹ yr⁻¹ 범위에 속한다. 낙엽생산량에 영향을 주는 요인으로는 기후요인, 국지적으로 영향을 줄 수 있는 토양의 영양염류, 그리고 기저면적이나 수관층 피도와 같은 임분의 특성 등으로 구분된다 (Berg and Laskowski 2006). 토양의 영양염류는 국지적이나 지소 차원에서 식물의 생장에 영향을 주어 낙엽 생산량에 차이가 있을 수 있으며, 임분 특성에 해당되는 기저면적, 수관층 피도, 수령 등은 지소의 발달과 관련이 있다 (Barnes *et al.* 1998; Berg and Laskowski 2006; Mun *et al.* 2007). 대부분의 산림군락에서 생산된 낙엽의 구성원 중 잎이 차지하는 비율이 가장 큰 것으로 보고되고 있다 (Berg and Laskowski 2006). 낙엽은 그 구성원에 따라 영양염류의 함량과 분해율에 많은 차이가 있는 것으로 보고되어 있다 (Mun *et al.* 2007).

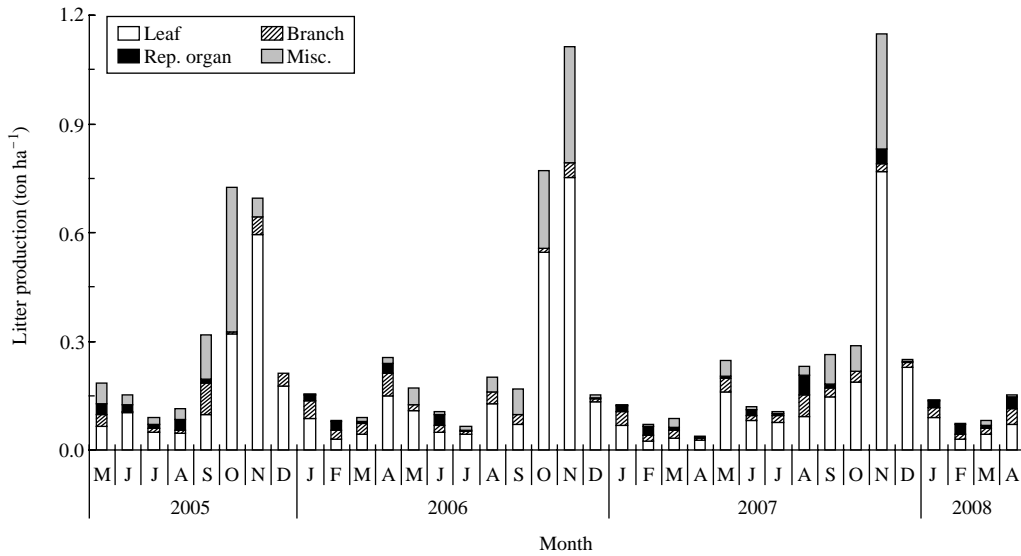


Fig. 1. Seasonal changes of each component of litterfall in *P. densiflora* forest for 3 years at Mt. Worak National Park. Misc. and Rep. organ indicate miscellaneous and reproductive organ, respectively.

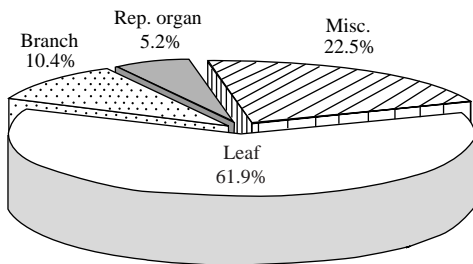


Fig. 2. Pie graphs showing the average percentage of each component of litterfall for 3 years in *Pinus densiflora* forest at Mt. Worak National Park. Misc. and Rep. organ indicate miscellaneous and reproductive organ, respectively.

2005년, 2006년 그리고 2007년의 생산된 낙엽의 구성원 별 비율을 보면 침엽이 각각 57.4, 64.7, 63.7%이었으며, 가지의 비율은 12.8, 7.9, 10.3%, 생식기관의 비율은 각각 5.6, 2.8, 7.2%로 나타났다. 조사지소에서 연간 생산된 낙엽구성원 별 비율의 3년 동안 평균치는 침엽, 가지, 생식기관, 기타가 각각 61.9, 10.4, 5.2, 22.5%이었다 (Fig. 2).

2. 낙엽의 영양염류 함량

조사지소에서 낙엽 구성원의 영양염류 함량 월 변화를 Fig. 3에 정리하였다. 소나무 낙엽의 영양염류 함량은 활엽수종인 굴참나무나 신갈나무에 비해 그 값이 낮은 것으로 보고되어 있다 (Mun *et al.* 2007). 소나무 침엽의 질소함량의 변화 패턴은 매년 유사한 것으로 나타났다. 2005년에는 6월, 2006년에는 5월 그리고 2007년에는 4

“함” 아닌지요?

월에 질소함량이 최대를 보인 후 감소하는 것으로 나타났다. 기타에 속하는 활엽 관목의 낙엽 질소함량이 소나무에 비해 높은 것으로 조사되었다. 낙엽 구성원의 인 함량은 생식기관에서 높은 것으로 나타났다. 칼륨 함량은 침엽과 기타에서 높게 나타났다. 칼슘의 경우 생식기관에서의 값이 가장 낮았으며, 가지의 칼슘 함량이 침엽에 비해 높게 나타났다. 낙엽 구성원의 마그네슘 함량은 가지와 생식기관에서 낮았으며, 활엽 관목의 낙엽인 기타에서 가을에 그 값이 높은 것으로 나타났다.

“염” 아닌지요?

3. 낙엽을 통한 영양염류 이입량

낙엽을 통해 임상에 이입되는 영양염류의 양을 Table 1에 종합하였다. 질소의 연간 이입량은 2005, 2006, 2007년에 각각 18.958, 15.934, 19.149 kg ha⁻¹ yr⁻¹이었으며, 본 조사지소에서는 연간 평균 18.014 kg ha⁻¹ yr⁻¹의 질소가 낙엽을 통해 임상에 이입되었다. 인 이입량은 2005, 2006, 2007년에 각각 1.013, 0.643, 0.977 kg ha⁻¹ yr⁻¹이었으며, 3년 동안 평균 0.878 ha⁻¹ yr⁻¹의 인이 임상에 이입되었다. 칼륨과 칼슘 그리고 마그네슘의 연평균 이입량은 각각 4.240, 7.349, 2.172 kg ha⁻¹ yr⁻¹으로 조사되었다.

산림생태계의 낙엽분해와 분해과정에 따른 영양염류의 동태는 생태계의 기능을 파악하는 데 매우 중요하다. Mun *et al.* (2007)은 산림생태계의 유형에 따라 생산되는 낙엽의 양이 다르고, 낙엽의 영양염류 함량에도 차이가 있으며, 이들 낙엽의 종류에 따라 분해율이 다르다고 보고한 바 있다 (Nangung *et al.* 2008). 생산된 낙엽은 분해

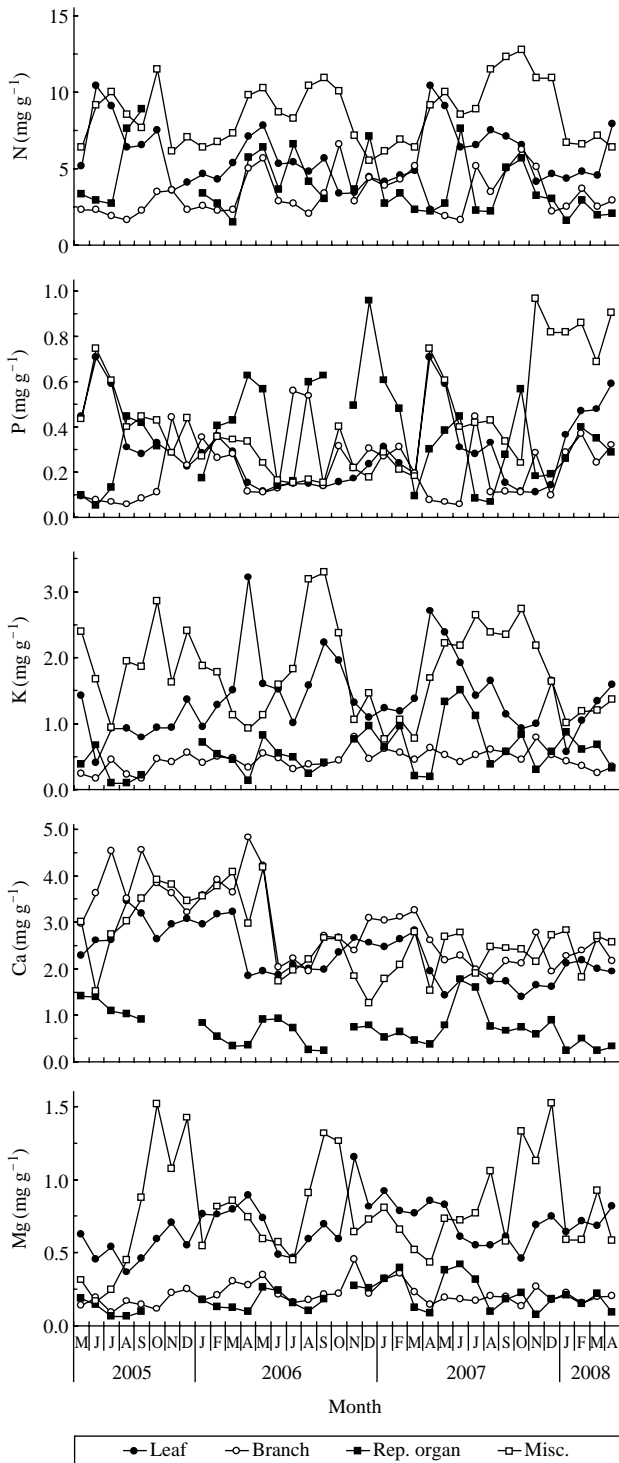


Fig. 3. Seasonal changes of N, P, K, Ca and Mg concentration of each component of litterfall in *Pinus densiflora* forest at Mt. Worak National Park. Misc. and Rep. organ indicate miscellaneous and reproductive organ, respectively.

과정을 통해 영양염류가 산림토양에 유입되어 다시 식물생장에 사용된다. 그 결과 산림의 유형에 따라 토양의

Table 1. Amount of nutrient ($\text{kg ha}^{-1} \text{yr}^{-1}$) input to forest floor via litterfall for three years in the *Pinus densiflora* forest of the study area

Nutrient	Components of litterfall				Total	
	Leaf	Branch	Rep. organ	Others		
N	2005	9.840	1.136	0.782	7.200	18.958
	2006	8.209	0.882	0.301	6.542	15.934
	2007	10.943	1.127	0.666	6.412	19.149
	Average	9.664	1.048	0.583	6.718	18.014
P	2005	0.557	0.081	0.054	0.320	1.013
	2006	0.351	0.064	0.032	0.197	0.643
	2007	0.443	0.063	0.052	0.420	0.977
	Average	0.450	0.069	0.046	0.312	0.878
K	2005	2.056	0.136	0.061	1.747	4.000
	2006	3.080	0.130	0.059	1.335	4.603
	2007	2.535	0.157	0.125	1.299	4.117
	Average	2.557	0.141	0.082	1.460	4.240
Ca	2005	4.924	1.560	0.158	2.660	9.302
	2006	4.777	0.659	0.061	1.759	7.257
	2007	3.306	0.696	0.146	1.340	5.487
	Average	4.336	0.971	0.122	1.920	7.349
Mg	2005	1.138	0.080	0.021	0.836	2.075
	2006	1.674	0.068	0.025	0.667	2.434
	2007	1.317	0.062	0.034	0.594	2.006
	Average	1.376	0.070	0.027	0.699	2.172

영양염류 함량에 차이가 있다(Choi *et al.* 2006). 본 조사 지소에서는 소나무 낙엽의 분해과정과 분해에 따른 영양염류의 동태, 그리고 토양의 영양염류에 관한 연구가 현재 진행되고 있으며, 이들 연구결과를 종합하면 소나무림의 영양염류 내부순환을 파악할 수 있을 것으로 사료된다.

적 요

월악산 국립공원 내의 소나무군락에서 2005년 5월부터 2008년 4월까지 3년 동안 월별 낙엽의 생산량과 낙엽을 통해 임상에 이입되는 영양염류의 양을 조사하였다. 2005, 2006, 2007년의 낙엽생산량은 각각 3.070, 3.066, 3.099 $\text{ton ha}^{-1} \text{yr}^{-1}$ 이었으며, 3년 동안의 평균 낙엽생산량은 $3.078 \pm 0.018 \text{ ton ha}^{-1} \text{yr}^{-1}$ 이었다. 낙엽 구성원 중 침엽, 가지 및 수피, 생식기관 그리고 기타가 차지하는 비율은 각각 61.9, 10.4, 5.2, 22.5%으로 침엽이 차지하는 비율이 가장 컸다. 조사지소에서 3년 동안 낙엽을 통해 임상에 이입되는 질소, 인, 칼륨, 칼슘 그리고 마그네슘의 평균 양은 18.014, 0.878, 4.240, 7.349 그리고 2.172 $\text{kg ha}^{-1} \text{yr}^{-1}$ 이었다.

사 사

본 연구는 환경부의 “국가장기생태연구사업”의 지원에 의하여 수행되었음.

참 고 문 헌

- Allen SE, HM Grimshaw, JA Parkinson and C Quarmby. 1974. Chemical Analysis of Ecological Materials. Blackwell, Oxford.
- Baker TT III, BG Lockaby, WH Conner, CE Meier, JA Stanturf and MK Burke. 2001. Leaf litter decomposition and nutrient dynamics in four southern forested floodplain communities. Soil Sci. Soc. Amer. J. 65:1334-1347.
- Barbour MG, JH Burk and WD Pitts. 1987. Terrestrial Plant Ecology. The Benjamin/Cummings, Menlo Park, California. p. 634.
- Barnes BV, DR Zak, SR Denton and SH Spurr. 1998. Forest Ecology. John Wiley & Sons Inc., New York. 774 p.
- Berg B and R Laskowski. 2006. Litter Decomposition: A Guide to Carbon and Nutrient Turnover. Elsevier, New York. 421 pp.
- Blanco JA, JB Imbert and FJ Castillo. 2008. Nutrient return via litterfall in two constricting *Pinus sylvestris* forests in the Pyrenees under different thinning intensities. Forest Ecology and Management 256:1840-1852.
- Bray JR and E Gorham. 1964. Litter production in forests of the world. In: Graff JB (ed). *Advances in Ecological Research*. Vol. 2. Academic Press, New York. pp. 101-157.
- Choi HJ, IY Jeon, CH Shin and Mun HT. 2006. Soil properties of *Quercus variabilis* forest on Youngha valley in Mt. Worak National Park. J. Ecol. Field Biol. 29:439-443.
- Cole DW and M Rapp. 1981. Elemental cycling in forest ecosystems. pp.341-409. In *Dynamic Properties of Forest Ecosystems* (Reide DE ed.). International Biological Programme 23. Cambridge University Press, Cambridge.
- Daubenmire RF. 1974. *Plant and Environment*. 3rd ed., New York, Wiley.
- Gholz HL, CS Perry, WP Cropper and LC Hendry. 1985. Litterfall, decomposition, and nitrogen and phosphorus dynamics in a chronosequence of Slash pine (*Pinus elliottii*) plantations. Forest Sci. 31:463-478.
- Kim C. 2006. Soil carbon cycling and soil CO₂ flux in a red pine (*Pinus densiflora*) stand. J. Ecol. Field Biol. 29:23-27.
- Kimmins JP. 1987. *Forest Ecology*. Macmillan Publishing Company, New York.
- Meentemeyer V, EO Box and RT Thompson. 1982. World patterns and amounts of terrestrial litter production. BioScience 32:125-128.
- Mun HT and JH KimH. 1992. Litterfall, decomposition, and nutrient dynamics of litter in red pine (*Pinus densiflora*) and Chines thuja (*Thuja orientalis*) stands in the limestone area. Korean J. Ecology 15:147-155.
- Mun HT, SJ Kim and CH Shin. 2007. Litter production and nutrient contents of litterfall in oak and pine forests at Mt. Worak National Park. J. Ecol. Fiel. Biol. 30:63-68.
- Namgung J, AR Han and HT Mun. 2008. Weight loss and nutrient dynamics during leaf litter decomposition of *Quercus variabilis* and *Pinus densiflora* at Mt. Worak National Park. J. Ecol. Fiel. Biol. 31:291-295.
- Wiegert RG and CD Monk. 1972. Litter production and energy accumulation in three plantations of longleaf pine (*Pinus palustris* Mill.). Ecology 53:949-953.

Manuscript Received: May 2, 2009
Revision Accepted: July 26, 2009
Responsible Editor: Youngil Youn

참고문헌의 붉은부분 투고규정에 맞게 수정해 주세요!