

산불유형과 회복정도에 따른 낙엽생산량과 임상으로 이입되는 영양염류 함량^{1a}

김정섭² · 양금철^{2*}

Comparison of Litter Production and Nutrient returned to Forest Floor according to Forest Fire Type and Recovery^{1a}

Jung-Sup Kim², Keum-Chul Yang^{2*}

요 약

본 연구에서는 2007년 7월부터 2010년 10월까지 4년 동안 강원도 삼척시에서 산불유형과 산불의 피해로부터 회복정도에 따른 낙엽생산량과 낙엽에 의해 임상으로 이입되는 영양염류 함량을 비교하였다. 산불대조구, 수관화 발생 조사구(C-1, C-3), 지표화 발생 조사구(G-2)에서 4년간 평균 낙엽생산량은 각각 7.74 ± 2.56 , 1.17 ± 0.67 , 2.97 ± 0.44 , $2.92 \pm 0.42 \text{ ton} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{yr}^{-1}$ 로 나타났다. 낙엽 생산을 통해 임상으로 이입되는 4년간 평균 총질소, 총인, 칼륨, 칼슘과 마그네슘의 양은 산불대조구에서 각각 22.20 ± 12.43 , 1.16 ± 0.46 , 2.68 ± 1.44 , 16.22 ± 4.69 , $1.36 \pm 0.32 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{yr}^{-1}$ 로 가장 높은 값을 보였으며, 수관화 발생 조사구(C-1)에서는 각각 3.73 ± 2.31 , 0.10 ± 0.09 , 0.27 ± 0.20 , 2.75 ± 2.58 , $0.24 \pm 0.27 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{yr}^{-1}$ 로 가장 낮은 결과를 보였다. 총질소, 총인, 칼륨, 칼슘 및 마그네슘의 5개의 영양염류를 합산하여 보면 낙엽에 의해 임상으로 이입되는 영양염류의 함량은 산불대조구 > 수관화 발생 조사구(C-3), 지표화 발생 조사구(G-2) > 수관화 발생 조사구(C-1) 순으로 나타났다.

주요어: 수관화, 지표화, 낙엽

ABSTRACT

This study has compared the different types of forest fire sites and the unburned site at Samcheuk-si Gangwon-do by assessing the amount of litter production, nutrient concentration returned to forest floor from July 2007 through October 2010. The research showed that the average amounts of litterfall produced in the unburned site, the crown fire site(C-1), the crown fire site(C-3) and the ground fire site(G-2) were 7.74 ± 2.56 , 1.17 ± 0.67 , 2.97 ± 0.44 and $2.92 \pm 0.42 \text{ ton} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{yr}^{-1}$, respectively. In the unburned site, the average amounts of total nitrogen(T-N), total phosphorus(T-P), potassium(K), calcium(Ca) and magnesium(Mg) returned to the forest floor were 22.20 ± 12.43 , 1.16 ± 0.46 , 2.68 ± 1.44 , 16.22 ± 4.69 and $1.36 \pm 0.32 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{yr}^{-1}$, respectively whereas those in the crown fire site(C-1) were 3.73 ± 2.31 , 0.10 ± 0.09 , 0.27 ± 0.20 , 2.75 ± 2.58 and $0.24 \pm 0.27 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{yr}^{-1}$, respectively. This study showed that the nutrient content returned to forest floor was higher in the following order: unburned site(Un) > crown fire site(C-3) > ground fire site(G-2) > crown fire

1 접수 2011년 8월 31일, 수정(1차: 2011년 12월 20일, 2차: 2012년 1월 10일), 게재확정 2012년 1월 11일

Received 31 August 2011; Revised(1st: 20 December 2011, 2nd: 10 January 2012); Accepted 11 January 2012

2 공주대학교 건설환경공학부 Division of Civil and Environmental Engineering, Kongju Nat'l Univ., Cheonan(330-717), Korea
a 이 논문은 환경부의 “국가장기생태연구사업”과 “공주대학교 산학협력단”의 지원에 의하여 수행되었음.

* 교신저자 Corresponding author(yangkc@kongju.ac.kr)

site(C-1).

KEY WORDS: CROWN FIRE, GROUND FIRE, LITTERFALL

서론

오늘날 벌목에 의한 교란은 현저히 낮아진 반면, 산불은 산림에 여전히 위협적인 요소로서 임목축적량이 커짐에 따라 오히려 대형화되는 추세이다. 특히 대형 산불은 동해안 지역에서 집중적으로 발생하고 있다. 2000년 동해안 지역(고성, 동해, 강릉, 삼척, 울진)을 따라 동시다발적으로 산불이 발생해 전국이래 최대의 산불피해(23,794 ha)가 발생하였다. 이는 전 산림 면적의 약 0.36% 정도로서, 여의도 면적의 80배에 해당되는 것이다(Choung *et al.*, 2004). 산불의 피해는 일차적으로는 생물량의 감소 등 구조적 변화를 야기하지만, 이차적으로 물질의 순환 등 생태계의 기능에 치명적인 영향을 미친다. 또한, 식물군집과 토양의 이화학적 성질에 영향을 미치는데, 이들 영향은 산불의 강도와 지속기간, 토양의 수분함량, 산불이 발생하는 시기, 산불 후 강우의 강도 등에 따라 많은 차이가 있다(Chandler *et al.*, 1983). 또한 그 규모에 따라 산림 내에 다양한 규모의 공간을 형성하며, 지상부의 생물체와 유기물질을 제거시켜 비생물 환경요인의 변화를 유발시킨다(Mun and Choung, 1996). 산림은 식물의 광합성을 통해 대기 중의 이산화탄소를 식생에 저장하고, 낙엽의 형태로 토양에 유기물을 유입시키는데, 이것이 분해되는 과정에서 영양염류의 유입도 함께 일어난다(Gallardo *et al.*, 1998; Poing *et al.*, 2005). 식물은 뿌리를 통해 토양의 영양염류와 수분을 흡수하는 한편 낙엽생산이나 뿌리에서의 분비물을 통해 토양의 이화학적 성질에 영향을 주고 있다. 식생의 물질생산은 토양의 화학적 성질에 따라 크게 영향을 받으며, 역으로 산림의 물질생산의 차이가 토양환경에 영향을 미친다(Kim *et al.*, 1996). 국내에서는 Namgung and Mun(2009)이 월악산 소나무림에서의 낙엽생산과 낙엽에 의한 영양염류 이입량을 조사하였으며, Lee *et al.*(2006)은 계방산 장기생태조사지의 신갈나무림에서 낙엽생산량과 낙엽 분해에 따른 양분 동태를, Kim and

Chang(1989)이 관악산의 리기다소나무 식재림에서 연간 낙엽생산량과 1년 동안의 분해량을, Kwak and Kim(1992)은 강원도 평창군에 있는 신갈나무림에서 연간 낙엽생산량을, Mun and Kim(1992)은 석회암지역에서 있는 소나무림과 측백나무림에서의 낙엽생산과 분해를 조사한 바 있다. 그러나 산불피해지에서의 낙엽생산과 낙엽에 의한 영양염류 이입량을 정량적으로 파악한 연구는 미비한 실정이다.

따라서, 본 연구에서는 동해안 산불 피해지 중 삼척지역을 대상으로 하여 산불 유형과 회복 정도에 따른 낙엽생산량과 낙엽생산을 통해 임상에 이입되는 영양염류의 양을 파악하여 산불 후 양분 동태에 대한 자료를 축적하는데 목적이 있다.

재료 및 방법

1. 조사지 선정 및 식생구조

연구대상지는 2000년 4월 고성을 기점으로 발생한 동해안 산불 지역 중 산불 전에 70%이상을 우점 분포하는 삼척시의 소나무림의 수관화 및 지표화 산불지역과 산불이 나지 않은 소나무림을 대조구 지역으로 2001년도에 20 x 20 m의 연구방형구를 설치하였고, 이후 2007년에 각각의 조사구는 산불유형과 피해정도 및 산불 후 재생정도의 조합에 따라 4개 유형으로 재구분하여 연구방형구 중 가장 대표성을 띠고 균질한 지소에 10m×10m크기의 산불대조구(Unburned site)와 지표화 발생 조사구(G-2, Ground fire), 5m×5m 크기의 수관화 발생 조사구(C-1, C-3, Crown fire)를 설치하였다(Figure 1, Table 1). G-2는 지표화 발생 후 식피의 자연재생정도가 1/3 ~ 2/3이고 C-1은 수관화 발생 후 식피의 재생정도가 1/3이하이고 C-3는 식피의 재생정도가 2/3이상을 의미한다. 각 조사구에서 2007년 7월부터 2010년 10월까지 4년 동안 기저직경 1 cm 이상의 모든 목본에 대해 번호를 부착

Table 1. Characteristics of the permanent research plots established in 2007 following the east coast fires in 2000

Plot	Degree of Damage	Degree of Recovery ¹⁾	Location
Unburned	Unburned	-	Yang-ri, Geundeok-myeon, Samcheuk-si, Gangwon-do
C-1	Crown Fire	1	Imwon-ri, Wondeok-up, Samcheuk-si, Gangwon-do
C-3	Crown Fire	3	
G-2	Ground Fire	2	

¹⁾ Natural recovery degree of vegetation cover(class 1: < 1/3, class 2: 1/3 ~ 2/3, class 3: > 2/3)

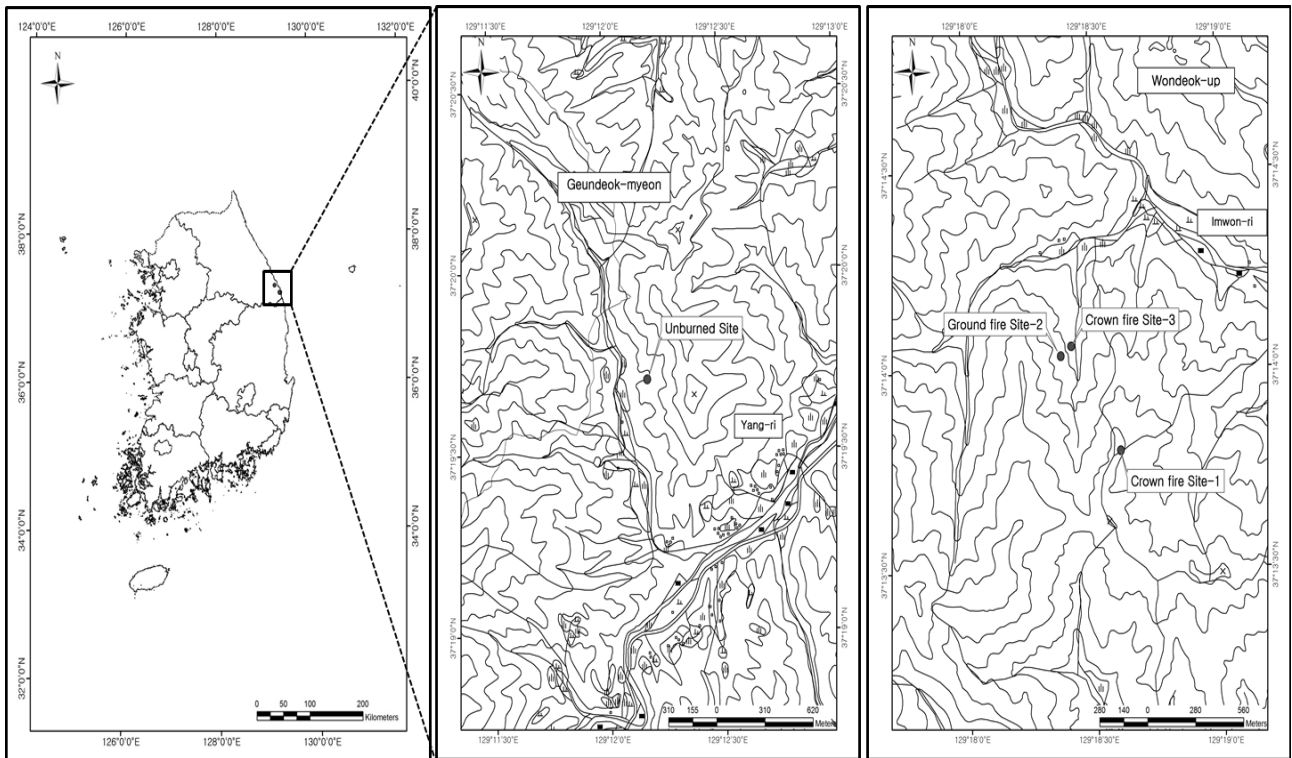


Figure 1. A map showing the study sites

Table 2. Number and configuration of plant at the permanent plots

Plot	No. of plant individual	Species	Species density(100m ²)
Unburned	Trees	10 Pd	10
	Shrubs	39 Qd, Cac, Qm, Qs, Rm	39
C-1	Shrubs	15 Qm, Lb, Qs	60
C-3	Shrubs	92 Qm, Rt, Qv, Fs, Lb, Lc, Qs, Rm	368
G-2	Trees	5 Pd	5
	Shrubs	78 Qm, Fs, Lb, Lc, Rs, Rm	78

Pd: *Pinus densiflora*, Qd: *Quercus dentata*, Cac: *Castanea crenata* var. *dulcis*, Qm: *Quercus mongolica*, Qs: *Quercus serrata*, Rm: *Rhododendron mucronulatum* var. *ciliatum*, Lb: *Lespedeza bicolor*, Rt: *Rhus trichocarpa*, Qv: *Quercus variabilis*, Lc: *Lespedeza crbotrya*, Rs: *Rhododendron schlippenbachii*, Fs: *Fraxinus sieboldiana*

하여 교목수종은 흉고직경(DBH)과 수고를 측정하고 관목수종은 기저로부터 10 cm 높이에서 직경과 수고를 측정하였다. 산불대조구의 교목은 소나무가 우점하며 평균흉고직경 26.06 ± 7.18 cm, 평균수고 15.46 ± 0.47 m이었고 관목수종의 밀도는 39개체/100m²로 졸참나무와 신갈나무가 우점하여 분포하였다. 수관화 발생 조사구(C-1)의 관목수종은 60개체/100m²로 신갈나무가 우점하며, 수관화 발생 조사구(C-3)는 368개체/100m²로 쇠물푸레와 신갈나무가 우점하고 지표화 발생 조사구(G-2)의 교목은 소나무가 우점하며 평균흉고직경 20.36 ± 6.33 cm, 평균수고 10.6 ± 0.95 m이

었고 관목은 78개체/100m²로 쇠물푸레와 신갈나무가 우점하였다(Figure 2, Table 2).

2. 낙엽생산량 측정

산불대조구(Unburned), 지표화 발생 조사구(G-2), 수관화 발생 조사구(C-3)에 입구의 넓이가 0.25 m²인 원형 Litter trap을 각 3개씩, 수관화 발생 조사구(C-1)에는 2개를 설치하였다. 2007년부터 2010년까지 매 4월, 7월, 10월에 Litter trap에 이입되는 낙엽을 회수하여 기관별(잎, 가지, 생식기

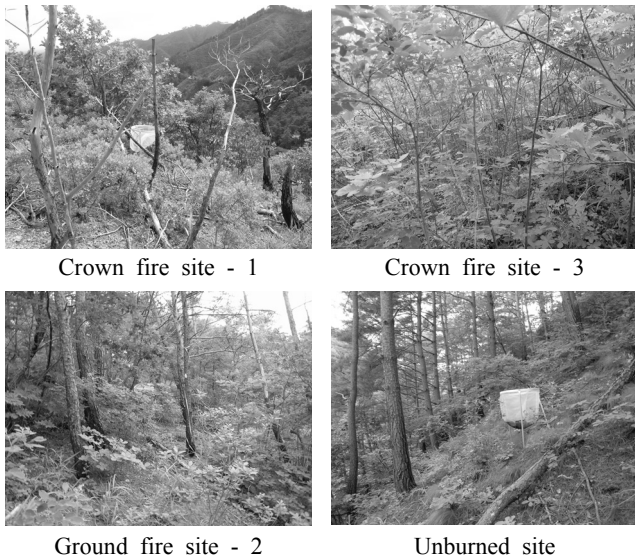


Figure 2. Three classes of vegetation cover at post-fire regenerating stands

관, 기타)로 분류, 60°C건조기에서 함량이 될 때까지 건조시킨 후 낙엽생산량을 측정하였다.

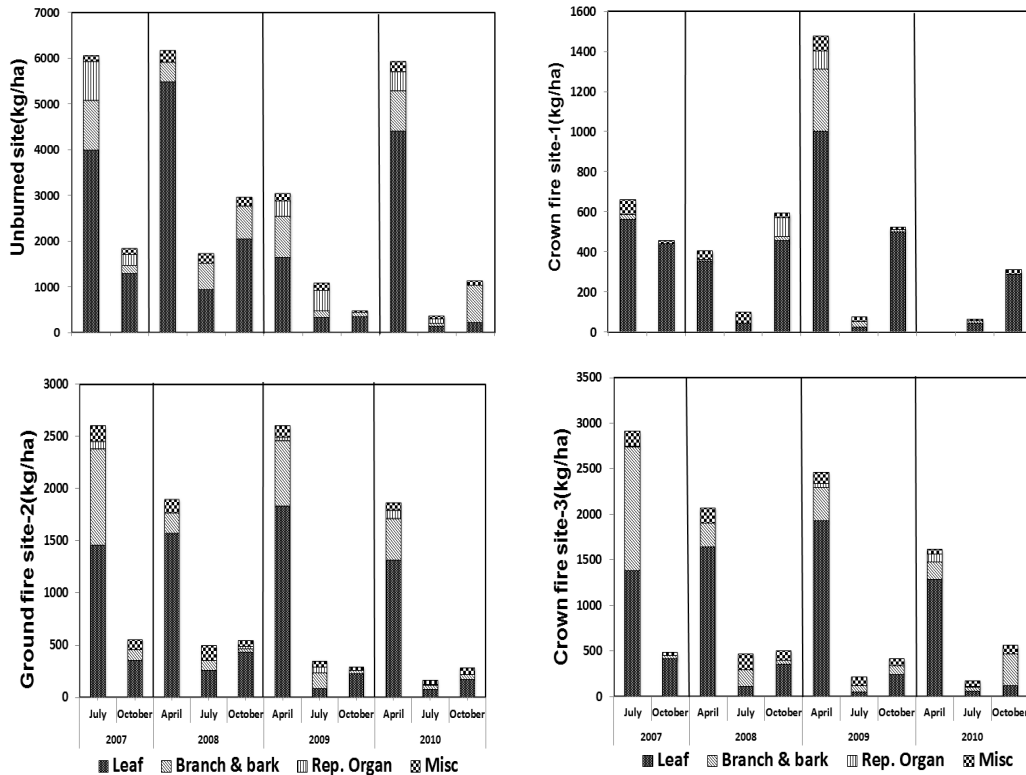


Figure 3. Seasonal changes of each component of litterfall for 4 years at study sites. Misc. and Rep. organ indicate miscellaneous and reproductive organ, respectively

3. 낙엽의 영양염류 분석

매년 4월, 7월, 10월에 각 조사구에서 Litter trap에 이입되는 낙엽을 수거하여 기관별(잎, 가지, 생식기관, 기타)로 분류, 60°C건조기에서 함량이 될 때까지 건조시킨 후 마쇄하여 영양염류(총질소, 총인, 칼륨, 칼슘, 마그네슘) 분석에 이용하였으며, 3반복으로 실시하였다. 총 질소는 Micro-Kjeldal법(Allen *et al.*, 1974)으로, 총인, 칼륨, 칼슘, 마그네슘은 Microwave-digestion 법(Model : MARS Xpress)으로 전처리(USEPA, 1990) 후 ICP / AES(Model : ICP-7510)로 분석하였다(Allen *et al.*, 1974). 낙엽에 의해 임상으로 이입되는 영양염류의 함량은 낙엽생산량과 낙엽의 영양염류 함량의 곱으로 계산하였다.

결과 및 고찰

1. 낙엽 생산량

각 조사구에서 매년 분기별로 측정된 낙엽생산량을 Figure 3에 종합하여 나타내었다. 낙엽생산량은 4월에 가장

많았으며, 이는 전년도 10월부터 이입되는 낙엽을 4월에 회수하여 측정하였기 때문으로 판단되며 낙엽생산량의 월별 패턴은 4년 동안에 큰 차이가 없었다. 4년간 평균 낙엽생산량은 산불대조구에서 $7,735.1 \pm 2,557.3 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{yr}^{-1}$ 로 가장 높게 나타났으며, 이는 Namsung and Mun(2009)이 월악산 소나무림에서 발표한 낙엽생산량 $3,100 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{yr}^{-1}$ 와 Lee(2011)가 발표한 남산의 소나무군락에서 $5,971 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{yr}^{-1}$ 보다 높게 나타났다. Namsung and Mun(2009)이 발표한 월악산 소나무림의 경우 임목의 밀도가 $1300 \text{ 그루}\cdot\text{ha}^{-1}$, 평균흉고직경이 $14.6 \pm 5.98 \text{ cm}$ 이었으나 본 연구에서는 산불대조구의 경우 임목의 밀도 $4900 \text{ 그루}\cdot\text{ha}^{-1}$, 평균흉고직경

$26.06 \pm 7.18 \text{ cm}$ 로 임목의 밀도와 흉고직경이 높은 값을 보였다. 이는 Gholz *et al.*(1985)이 군락의 지역에 따른 낙엽 생산량은 임목 수령과 밀도에 따라 기인하여 결정된다고 하는 결과와 일치하는 연구결과를 보였다. 산불피해지에서는 관목의 밀도가 높은 수관화 발생 조사구(C-3)에서 $2,965.7 \pm 438.2 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{yr}^{-1}$, 교목이 남아있는 지표화 발생 조사구(G-2)에서 $2,918.3 \pm 418.4 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{yr}^{-1}$ 로 비슷한 값으로 조사되었다. 산불피해가 가장 심한 수관화 발생 조사구(C-1)에서 $1,166.6 \pm 667.9 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{yr}^{-1}$ 로 가장 낮게 나타났다. 수관화 발생 조사구(C-1)의 2009년 4월의 낙엽생산량이 높은 값을 가진 이유는 2008년 10월과 2009년 4월 사이에

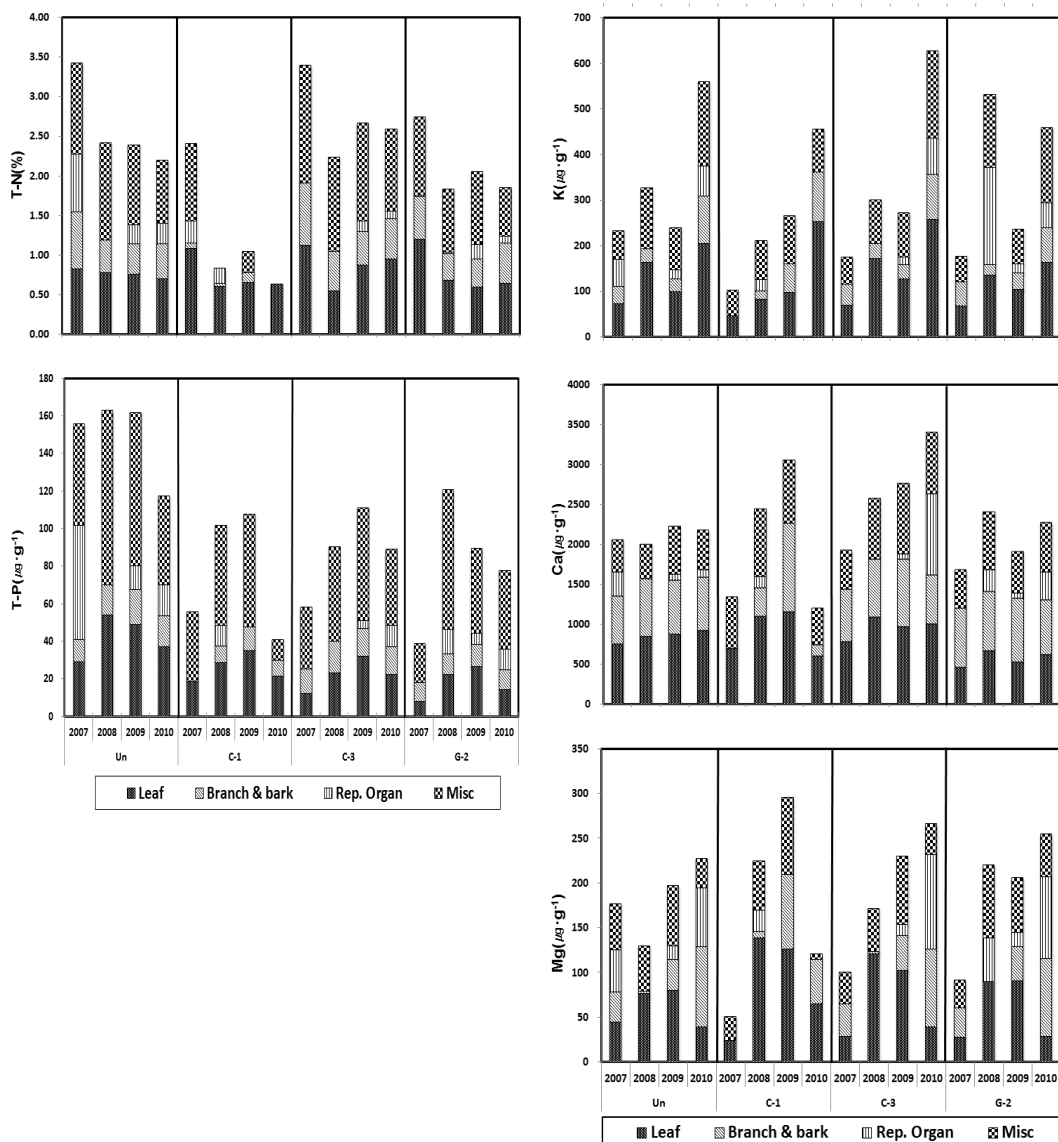


Figure 4. Nutrient concentration of each component of litterfall at study sites. Misc. and Rep. organ indicate miscellaneous and reproductive organ, respectively

기상현상(강한 바람)으로 인해 신갈나무 관목림만으로 구성 되어 조사구에서 많은 양의 신갈나무 생잎이 littertrap으로 이입하여 생긴 결과이며 산불대조구의 2009년 10월의 낙엽생산량이 저조한 이유는 3개중 1개의 littertrap파손되어 나타나는 결과로 판단된다. 또한 수관화 발생 조사구(C-1)의 2010년 4월 낙엽생산량은 littertrap 파손되어 측정하지 못했고 바로 설치하여 이후의 낙엽생산량을 측정하였다.

2. 낙엽의 영양염류 함량

각 조사구에서 낙엽의 영양염류 함량 변화를 Figure 4에 정리하였다. 총질소의 경우 지표화 발생 조사구(G-2)에서 가장 높게, 수관화 발생 조사구(C-3)와 산불대조구는 비슷한 수준으로 나타났다. 산불피해가 가장 심한 수관화 발생 조사구(C-1)에서 가장 낮게 나타났다. 총인의 경우 산불대조구에서 가장 높게, 산불피해지에서는 비슷한 수준의 값을 나타내었다. 칼륨, 칼슘, 마그네슘의 경우 산불피해지와 산불대조구가 비슷한 수준의 값을 나타내었다. 수관화 발생 조사구(C-1)의 경우 산불로 전소된 후 신갈나무 관목림이 일부 재생되어 분포하여 litterfall의 양이 적고 2007년 4월

과 2010년 4월의 litterfall양이 측정되지 않아 2007년도 총인 및 마그네슘과 2010년의 총인의 값이 다른 년도에 비해 편차를 가지고 있는 것으로 판단된다.

3. 낙엽에 의해 입상으로 이입되는 영양염류 함량

각 조사구에서 낙엽에 의해 입상으로 이입되는 영양염류 함량 변화를 Table 3에 정리하였다. 낙엽에 의해 입상으로 이입되는 영양염류의 함량은 낙엽생산량과 낙엽의 영양염류 함량의 곱으로 계산하였다. 각 조사구에서의 4년간 평균 총질소의 이입량은 산불대조구(Unburned)에서 22.20 ± 12.43 , 수관화 발생 조사구(C-1) 3.73 ± 2.31 , 수관화 발생 조사구(C-3) 10.10 ± 6.97 , 지표화 발생 조사구(G-2) $8.04 \pm 6.40 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{yr}^{-1}$, 총인의 이입량은 Unburned 1.16 ± 0.46 , C-1 0.10 ± 0.09 , C-3 0.26 ± 0.07 , G-2 $0.24 \pm 0.11 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{yr}^{-1}$, 칼륨의 이입량은 Unburned 2.68 ± 1.44 , C-1 0.27 ± 0.20 , C-3 0.96 ± 0.37 , G-2 $0.99 \pm 0.37 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{yr}^{-1}$, 칼슘의 이입량은 Unburned 16.22 ± 4.69 , C-1 2.75 ± 2.58 , C-3 7.73 ± 0.85 , G-2 $5.98 \pm 0.87 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{yr}^{-1}$, 마그네슘의 이입량은 Unburned 1.36 ± 0.32 , C-1 0.24 ± 0.27 , C-3 0.55

Table 3. Amount of nutrient returned to forest floor through litterfall during experiment($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{yr}^{-1}$)

Nutrient	Year	Site			
		Unburned	C-1	C-3	G-2
T-N	2007	37.55	6.46	20.47	17.58
	2008	26.53	2.23	7.17	5.47
	2009	9.61	4.78	7.29	5.31
	2010	15.10	1.45	5.49	3.81
	Average	22.20 ± 12.43	3.73 ± 2.31	10.10 ± 6.97	8.04 ± 6.40
T-P	2007	1.23	0.06	0.20	0.12
	2008	1.77	0.11	0.27	0.35
	2009	0.75	0.22	0.34	0.29
	2010	0.88	0.02	0.21	0.18
	Average	1.16 ± 0.46	0.10 ± 0.09	0.26 ± 0.07	0.24 ± 0.11
K	2007	1.85	0.11	0.60	0.56
	2008	3.57	0.23	0.91	1.57
	2009	1.12	0.55	0.84	0.77
	2010	4.19	0.17	1.48	1.07
	Average	2.68 ± 1.44	0.27 ± 0.20	0.96 ± 0.37	0.99 ± 0.44
Ca	2007	16.34	1.50	6.54	5.31
	2008	21.87	2.69	7.83	7.11
	2009	10.39	6.36	8.54	6.21
	2010	16.30	0.45	8.01	5.28
	Average	16.22 ± 4.69	2.75 ± 2.58	7.73 ± 0.85	5.98 ± 0.87
Mg	2007	1.40	0.06	0.34	0.29
	2008	1.42	0.25	0.52	0.65
	2009	0.92	0.61	0.71	0.67
	2010	1.70	0.05	0.63	0.59
	Average	1.36 ± 0.32	0.24 ± 0.27	0.55 ± 0.16	0.55 ± 0.18

± 0.16 , G-2 $0.55 \pm 0.18 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{yr}^{-1}$ 로 조사되었다. 이는 월악산 소나무림에서(Jeon 2007) 질소, 인, 칼륨, 칼슘, 마그네슘의 이입량을 각각 16.8, 1.1, 4.2, 9.8, 2.2 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{yr}^{-1}$ 로, Lee *et al.*(2006)은 계방산 장기생태조사지의 신갈나무림에서 각각 26.9, 0.9, 12.6, 43.4, 9.7 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{yr}^{-1}$ 로, Kim *et al.*(2003)은 광릉 장기생태조사지의 졸참나무림에서 각각 20.5, 1.0, 11.8, 34.0, 6.0 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{yr}^{-1}$ 을 보였는데 산불대조구와 비슷한 결과를 보였고, 낙엽생산량이 적은 산불피해지에서는 낮은 결과치를 나타내었다. 조사결과 산불유형 및 대조구의 식생구성수종, 수종밀도, 낙엽생산량, 낙엽 내 영양염류 함량을 차이를 보였고 산불에 피해가 없는 대조구에서 가장 높은 수치를 보였다. 이는 삼림생태계의 유형에 따라 생산되는 낙엽의 양과 낙엽의 영양염류 함량에도 차이가 있다고 보고한 결과(Mun *et al.*, 2007)와 유사한 결과를 보였다.

삼림생태계에서의 낙엽생산 및 낙엽에 의해 임상으로 이입되는 영양염류의 동태는 생태계의 기능을 파악하는데 매우 중요하고 그 중에서도 산불 피해 후 산불유형과 재생정도에 따른 장기간에 걸친 물질생산과 영양염류 분포는 산불 피해 후 토양의 영양염류의 축적을 통한 식생의 자연재생과 토양의 복원기작의 기초자료로 활용할 수 있을 것이다.

인용문헌

- Allen, S.E., H.M. Grimshaw, J.A. Parkinson and C. Quarmby(1974) Chemical analysis of ecological materials. Blackwell, Oxford, 565pp.
- Chandler, C., P. Cheney, P. Thomas, L. Trabaud and D. Williams(1983) Fire in forestry. Vol. I. Forest fire behavior and effects. John Wiley & Sons, New York, 450pp.
- Choung, Y., B.C. Lee, J.H. Cho, K.S. Lee, I.S. Jang, S.H. Kim, S.K. Hong, H.C. Jung and H.L. Choung(2004) Forest responses to the large-scale east coast fires in Korea. Ecological Research 19(1): 43-54.
- Gallardo, J.F., A. Martin, G. Moreno and I. Santa Resinia(1998) Nutrients cycling in deciduous forest ecosystems of the Sierra de Gata mountains: nutrient supplies to the soil through both litter and throughfall. Ann. Sci. For. 55:771-395.
- Gholz, H.L., C.S. Perry, W.P. Cropper and L.C. Hendry(1985) Litterfall, decomposition, and nitrogen and phosphorus dynamics in a chronosequence of Slash pine(*Pinus elliotii*) plantations. Forest Sci. 31: 463-478.
- Jeon, I.Y.(2007) Organic carbon and nutrient distribution in *Pinus densiflora* forest at Mt. Worak National Park. M. thesis, Univ. of Kongju, Chungnam, Korea, 42pp. (in Korean)
- Kim, C.S., J.H. Lim and J.H. Shin(2003) Nutrient dynamics in litter-fall and decomposing leaf litter at the Kwangneung deciduous broad-leaved natural forest. Kor Jour Agri For Meteorol 5(2): 87-93. (in Korean with English abstract)
- Kim, J.G. and N.K. Chang(1989) Litter production and decomposition in the *Pinus rigida* plantation in Mt. Kwan-ak. Korean J. Ecol. 12: 9-20. (in Korean with English abstract)
- Kim, J.S., Y. Son, J.H. Lim and Z.S. Kim(1996) Aboveground biomass, N and P distribution, and litterfall in *Pinus rigida* and *Larix leptolepis* plantations. Jour. Korean For. Soc. 85: 416-425. (in Korean with English abstract)
- Kwak Y.S. and J.H. Kim(1992) Secular changes of density, litter-fall, phytomass and primary productivity in mongolian oak (*Quercus mongolica*) forest. Korean J Ecol 15: 19-33.
- Lee, I.K., J.H. Lim, C.S. Kim and Y.K. Kim(2006) Nutrient dynamics in decomposing leaf litter and litter production at the Long-Term Ecological Research Site in Mt. Gyeongbansan. J. Ecol. Field Biol. 29(6): 585-591. (in Korean with English abstract)
- Lee, S.K.(2011) Production and litter decomposition and organic carbon distribution in *Pinus densiflora* and *Quercus mongolica* and *Robinia pseudoacacia* forests at Mt. Nam. M. thesis. Univ. of Kongju, Chungnam, Korea, 92pp. (in Korean)
- Mun, H.T, S.J. Kim and C.H. Shin(2007) Litter production and nutrient contents of litterfall in oak and pine forests at Mt. Worak National Park. J. Ecol. Field Biol. 30: 63-68.
- Mun, H.T. and J.H. Kim(1992) Litterfall, decomposition, and nutrients dynamics of litter in red pine(*Pinus densiflora*) and Chinese thuja(*Thuja orientalis*) stands in the limestone area. Korean J. Ecol. 15: 145-455.
- Mun, H.T. and Y.S. Choung(1996) Effects of forest fire on soil nutrients in pine forests in Kosong, Kangwon Province. Korean J. Eco. 19(5): 375-383. (in Korean with English abstract)
- Namgung, J. and H.T. Mun(2009) Litterfall and nutrient input via litterfall in *Pinus densiflora* forest at Mt. Worak National Park. Korean J. Environ. Biol. 27(3): 261-265. (in Korean with English abstract)
- Poing, S., M. Rio de, C. Isabel and G. Montero(2005) Litter fall in Mediterranean *Pinus pinaster* Ait. stands under different thinning regimes. For. Eco. Manage. 206: 175-190.
- USEPA(1990) Microwave assisted acid digestion of sediments, sludges, soils and oils. SW-846 Method 3051.