

설악산 전나무림에 나타난 흩 패임과 둔덕에 관한 기초조사

전 상 규 · 윤 영 일*

공주대학교 산림자원학과

Initial Survey on Pit and Mound in Fir Forests in Soraksan Mountain

Sang-Gye Jeon and Young-Il Youn*

Department of Forest resource, Kongju Nat'l University, Yesan 340-802, Korea

Abstract - Pits and mounds created by windthrow have significant impacts on forest ecosystem. In order to establish initial data base, 80 pits and mounds were sampled and surveyed in 5 fir forests in Nae-Sorak Mountain. Characteristics and forms were surveyed and frequency of tree species appearance were surveyed as well. 4.9% of surveyed area (0.4 ha) was pits and mounds in E1 and E2 areas except old areas where survey was done by estimation. E3 area showed the highest proportion, 11.7% of 0.1 ha of sampling area.

Key words : natural disturbance, forest microtopography, uprooting of trees

서 론

원시림 혹은 자연림(윤 2002; 장과 윤 2003)에 나타나는 교란 중에 풍도는 산림생태계를 변화시키는 중요한 요인의 하나이다(Scherzinger 1996; Barnes *et al.* 1998; Clinton and Baker 2002). 풍도(Blowdown)란 수목이 뿌리째 뽑히거나(Uprooting), 바람으로 수목이 넘어지면서 임내 미기후, 미세지형, 임분 자체, 수목개체에 미친 결과, 그리고 후에 나타나는 토양변화 모두를 뜻한다(Mitchell *et al.* 2001; Clinton and Baker 2002). 풍도로 나타나는 각종 현상 중에서 수목이 뿌리째 뽑히면 흩 패임과 둔덕(pit and mound; 이하 PM으로 약함)을 만들게 되고,

이것은 산림의 미세지형과 토양성질을 변화시켜(Greenberg and McNab 1977) 산림생태계에 중요한 영향을 미친다. 산림 전체면적과 비교하면 PM이 차지하는 면적이 상대적으로 적더라도 산림생태계의 종과 구조를 결정하는 열쇠 역할을 할 수 있다(Clinton and Baker 2002).

PM의 크기는 뿌리가 뒤집히면서 나타나는 형태와 흩의 퇴적과 침식이 진행되면서 흩 패임에 들어오는 퇴적물의 양에 의해 결정되며, 시간이 지나면서 변화된다(Barnes *et al.* 1998). 이외에도 흩 둔덕은 경사가 약하고 영양분이 매우 풍부하여 수목은 대개 이부분에 다시 나타난다.¹⁾

이에 반해 흩 패임에 수목유입이 어려운 이유는 낙엽층이 깊어 활착이 어렵고, 모암층 노출으로 척박하며 고인 물이 장기간 남기 때문이다(Barnes *et al.* 1998).

산림생태계 연구에 중요한 분야인 PM에 관한 연구는 외국에서는 활발히 진행되고 있으나 우리나라에는 아직까지 수행된 적이 없고 관련 자료도 없다. 본 연구의 주목표는 PM에 관한 우리나라 고유의 자료를 수집하는 것이다.

* Corresponding author: Young-Il Youn, Tel. 041-330-1303, Fax. 041-330-1308, E-mail. ylyoun@kongju.ac.kr

¹⁾Peterson and Pickett (1990)은 허리케인에 의하여 형성된 미국북동부 지역의 산림에서는 흩 패임(pit)에 가장 많은 수종이 나타난다고 보고하였다. 그러나 대부분의 저자는 흩 둔덕(mound)에서 갱신이 주로 일어나는 것으로 보고하였다(예: Goodlett 1954; Lyford and Maclean 1966; Barnes *et al.* 1998; Scherzinger 1996).

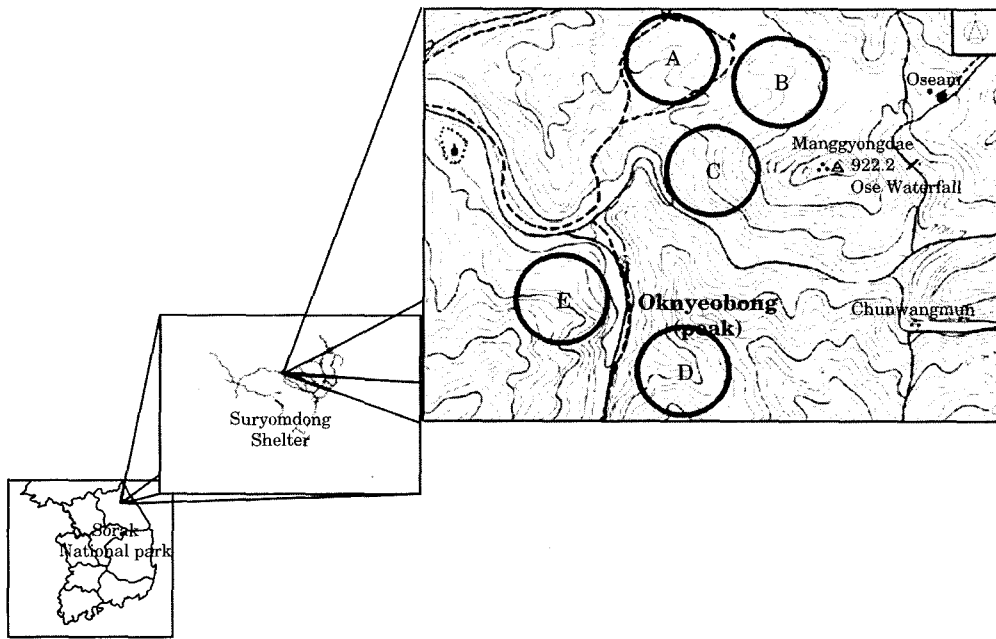


Fig. 1. The location of the investigated sites. (Mt. Sorak National Park)

조사지역 및 조사방법

조사지역은 설악산국립공원 내설악 해발 600~700m의 5개 지역(Fig. 1)으로, 위치는 동경 128° 22' 30"~128° 28' 30", 북위 38° 07' 30"~38° 10' 30"이고 경사는 30~40°이며 암석이 많이 노출되어 있다. 이 지역은 과거 30년 내에 벌채나 산불은 없었고, 전나무 우점지대이며 활엽수로는 까치박달나무와 피나무, 서어나무, 음나무, 신갈나무, 쪽동백나무 등이 있다. 관목층에는 철쭉, 진달래, 조릿대가 자란다. 연평균 기온은 12.1°C이고, 7월과 8월에는 22~24°C이며, 연평균강수량은 1,342.4 mm로, 7~9월 사이에 200~300 mm의 강수량을 보인다(기상청 1971~2000).

조사는 2002년 5월부터 2003년 11월까지 수행되었으며 총 80개의 PM을 조사하였다. 조사 항목으로는 쓰러진 나무의 방향, PM의 형태, 깊이, 폭, 길이, 고사목의 직경, 임분 경사, 낙엽층의 두께, 수종출현의 유무이다. Koop가 정리한 4가지 유형(Scherzinger 1996)을 기본으로 했으며, 기타 수치자료는 Clinton and Baker(2002)의 조사방법을 따랐다. 5개 조사 지역 중에서 PM의 분포가 가장 높은 E 지역을 40m×50m 규모의 2개 소구역(E1, E2)과 가로 20m×세로 50m 범위에서 1개 소구역(E3)을 선정, PM의 면적을 측정하였으며 특히 E3 지역은 PM의 면적과 대략 3단계로 나눈 생성시기만 측정하였다.

결과 및 고찰

1. 흙 패임과 둔덕(PM)의 특징

Table 1, 2는 오세암 근처 계곡부 능선(A지역)을 Clinton과 Baker(2002)의 조사방법을 참고로 해서 PM의 특성을 조사해 나타낸 표이다. 이 지역은 풍도로 인한 고

Table 1. Characteristics of pits in A plot

No. of pit	Depth (cm)	Width (cm)	Length (cm)	Dead tree DBH (cm)	Dead tree species	Stand slope
1	60	220	106	20	<i>Quercus mongolica</i>	35°
2	65	70	90	19	?	40°
3	50	420	160	22	<i>Carpinus cordata</i>	"
4	30	320	170	26	<i>Quercus mongolica</i>	35°

Table 2. Characteristics of mounds in A plot

No. of mound	Height (cm)	Width (cm)	Thickness (cm)	Tree-fall direction	Fallen leaves layer (cm)
1	65	170	60	N→S	50
2	?	?	?	N→SW	0
3	95	360	65	E→W	0
4	65	300	180	"	15

Table 3. Characteristics of pits in B plot

No. of pit	Depth (cm)	Width (cm)	Length (cm)	Dead tree DBH (cm)	Dead tree species	Stand slope
1	30	270	180	?	?	30°
2	?	?	?	34	<i>Carpinus cordata</i>	"
3	50	210	100	?	?	"
4	55	210	80	34 / 18	?	35°
5	90	370	230	?	?	30°
6	70	370	140	?	?	"
7	63	320	150	?	?	"
8	55	170	90	28 / 15	<i>Maackia amurensis</i>	20°
9	55	155	100	12 / 15	"	"
10	80	400	220	?	?	"
11	20	170	110	?	?	"
12	50	210	120	16	?	25°

Table 4. Characteristics of mounds in B plot

No. of mound	Height (cm)	Width (cm)	Thickness (cm)	Tree-fall direction	Fallen leaves -layer (cm)
1	?	?	?	South → North	13
2	?	?	?	"	0
3	40	160	70	"	10
4	56	170	75	"	20
5	60	30	80	"	10
6	100	270	120	"	10
7	?	?	?	"	5
8	65	240	110	"	10
9	80	140	85	"	16
10	70	280	200	"	5
11	?	?	?	"	3
12	150	180	220	"	10

사목도 많고 암반도 여러 곳에 노출되어 있으나, 다른 4개 조사 지역보다 상대적으로 PM의 수는 적었다. 또한 임분 경사가 35~40°의 계곡부로 흙 둔덕이 쓸려 내려가 뿌리에 흙이 없고, 모암만 남은 PM도 조사되었다. PM4의 경우 쓰러진 고사목 뿌리가 분해 되어 형태를 알아볼 수 없었다.

만경대 아래(B지역)의 PM의 특징은 Table 3, 4와 같다. 이 지역은 풍도로 인한 고사목이 많으며, 조릿대가 넓게 우점한다. 경사 20~35°의 계곡부로 다른 지역보다 진행형을 비롯한 다양한 PM 유형이 보이며 나무가 쓰러진 방향이 동일한 특징을 가지고 있다.

가야동 계곡 입구 계곡사면(C지역)의 조사결과는 Table 5, 6과 같다. 경사 25°~40°의 계곡사면으로 암석 지대이며 분해 된 고사목들이 다수 존재한다. 대부분 PM은 경사지에 분포하여 측정하기가 매우 곤란하였는데, 특

Table 5. Characteristics of pits in C plot

No. of pits	Depth (cm)	Width (cm)	Length (cm)	Dead tree DBH (cm)	Dead tree species
1	30	110	55	18	?
2	?	(?)150	(?)100	?	?
3	?	?	?	?	<i>Carpinus laxiflora</i>
4	?	?	?	?	<i>Tilia amurensis</i>
5	59	215	125	?	?
6	50	316	106	*	<i>Tilia amurensis</i> , <i>Prunus sargentii</i> <i>Betula schidtii</i>
7	?	?	?	?	<i>Betula schidtii</i> , <i>Pinus densiflora</i>
8	46	314	182	38	?
9	40	192	85	?	?
10	20	206	107	?	?
11	?	?	?	45	?

*No 6 Dead tree DBH : *Tilia amurensis* (part¹-34 cm, part²-20 cm, part³-19 cm) ; *Prunus sargentii* (part³-23 cm, part²-18 cm, part³-25 cm) ; *Betula schidtii* 45 cm

Table 6. Characteristics of mounds in C plot

No. of mounds	Height (cm)	Width (cm)	Thickness (cm)	Tree-fall direction	Fallen leaves -layer (cm)
1	50	90	50	E → W	30
2	(?)60	(?)180	(?)90	?	
3	?	?	?	?	
4	?	?	?	?	
5	50	200	200	(?)E → W	19
6	81	312	312	E → W	
7	?	?	?	"	8
8	46	256	256	"	9
9	37	163	163	(?) "	3
10	?	?	?	(?) "	
11	?	?	?	NW → SW	

히 Table 5의 2번째 흙 패임은 경사지에 낙엽과 흙, 돌이 채워져 추정을 하였다. 6번째 흙 둔덕은 진행형이었으며, 7번째 PM의 경우, 역시 진행형이며 절벽에 위치한 관계로 고사목의 직경측정은 할 수가 없었다. Table 6의 10번째 흙 둔덕은 계곡 아래로 흙이 쓸려 내려가 측정이 불가능하였다. 조사된 PM의 수는 총 11개였으며, 고사목 흉고직경은 18~45 cm (평균 34 cm)이고, 고사목 종수는 5종이었다.

용아장 능선 옥너봉 아래(D)지역은 (Table 7, 8) 전나무 우점지대로 경사 30~35°의 계곡부에 PM이 산재해 있으나 그 수는 많지 않았다. 6번째 PM의 경우, 강한 바람에 의해 쓰러지던 나무가 주위에 서 있던 다른 나무와 부딪혀서 뿌리째 뽑혀지는 간접적 손상이 나타났으며 7번째

Table 7. Characteristics of pits in D plot

No. of pits	Depth (cm)	Width (cm)	Length (cm)	Dead tree DBH (cm)	Dead tree species
1	15	420	260	16	?
2	?	200	150	?	?
3	10	300	260	?	?
4	?	290	250	?	?
5	60	295	170	48	?
6	52	160	160	37	?
7	40	145	145	46	?

Table 8. Characteristics of mounds in D plot

No. of mounds	Height (cm)	Width (cm)	Thickness (cm)	Tree-fall direction	Fallen leaves -layer (cm)
1	15	370	230	ENE → WNW	20
2	?	120	90	"	12
3	20	280	220	"	20
4	?	300	150	"	12
5	49	170	120	NE → SW	13
6	70	110	60	SE → NW	15
7	15	175	75	NE → SW	5

Table 9. Characteristics of pits in E1 plot

No. of pits	Depth (cm)	Width (cm)	Length (cm)	Dead tree DBH (cm)	Dead tree species
1	45	200	60	?	?
2	60	280	145	?	?
3	50	"	115	?	?
4	?	?	?	48/40	<i>Pinus densiflora</i> <i>Tilia amurensis</i>
5	64	250	196	?	?
6	65	266	120	?	?
7	?	?	?	?	?
8	?	?	?	19	<i>Maackia amurensis</i>
9	35(?)	160(?)	115(?)	38	?
10	40(?)	210(?)	110(?)	?	?
11	38(?)	180(?)	115(?)	?	?
12	44	250	100	?	?
13	40	340	140	40	<i>Abies holophylla</i>
14	?	?	?	50	?
15	55	290	210	?	?

PM의 경우, 진행형의 특징이 관찰되었다. 조사된 PM의 수는 총 7개였으며, 고사목 흉고직경은 16~48 cm (평균 37 cm)이고, 고사목은 분해가 심하여 수종을 판단하기가 어려웠다.

수렴동 계곡 전면 능선지역(E)을 조사결과는 Table 9,

Table 10. Characteristics of mounds in E1 plot

No. of mounds	Height (cm)	Width (cm)	Thickness (cm)	Tree-fall direction	Fallen leaves -layer (cm)
1	70	180	110	N → SE	8
2	85	210	165	N → S	20
3	40	195	120	S → N	7
4	?	?	?	"	?
5	50	210	155	N → S	16
6	"	250	145	S → N	13
7	?	?	?	"	10
8	?	?	?	SW → NE	5
9	60(?)	215(?)	90(?)	"	15
10	35(?)	180(?)	"	S → N	7
11	35(?)	200(?)	75(?)	"	8
12	68	210	190	"	7
13	85	290	120	"	"
14	55	200	"	SW → NE	?
15	70	270	170	S → N	10

Table 11. Characteristics of pits in E2 plot

No. of pits	Depth (cm)	Width (cm)	Length (cm)	Dead tree DBH (cm)	Dead tree species
1	40	315	130	95	<i>Abies holophylla</i>
2	20	170	115	33	"
3	50	400	220	60	"
4	40	290	140	33	?
5	90	380	230	75	<i>Abies holophylla</i>
6	45	280	100	45	"
7	70	480	190	55	"
8	70	440	180	58	"
9	35(?)	350	190(?)	?	?
10	?	?	?	29	?
11	?	?	?	33	?

10, 11, 12와 같다. 이 지역은 다른 조사 지역보다 PM 수가 많아 세 지역으로 나누어 조사하였다(E1, E2, E3). 특히 E3 지역의 경우 타 조사 소구역과는 다른 방법으로 조사를 실시하였다.

E1 지역은 경사 25~45°의 능선으로 PM의 수가 다른 조사 지역에 비해 상대적으로 많고, PM의 규모도 큰 편이었다. 4번 PM(Table 9)의 경우 능선부에 있던 소나무와 피나무가 함께 쓰러지는 진행형이며, 8번 PM은 뿌리째 뽑혀져 넘어지다가 다른 수목에 걸려서 그 상태로 고사하면서 생겼는데 토양침식으로 PM 측정은 할 수가 없었다. 그리고 11번 PM(Table 10)은 수목이 뿌리째 뽑혀져 쓰러진 후 많은 시간이 경과하여 뿌리 이외의 수간부는 분해 되어 흔적이 없었다.

Table 12. Characteristics of mounds in E2 plot

No. of mounds	Height (cm)	Width (cm)	Thickness (cm)	Tree-fall direction	Fallen leaves-layer (cm)
1	140	320	220	SW → NE	12
2	125	190	100	S → N	6
3	270	440	290	SW → NE	5
4	110	220	150	S → N	3
5	215	360	265	"	5
6	130	310	220	"	10
7	205	320	290	"	11
8	200	435	310	"	5
9	120(?)	345	270(?)	"	"
10	?	?	?	"	?
11	?	?	?	NE → SW	?

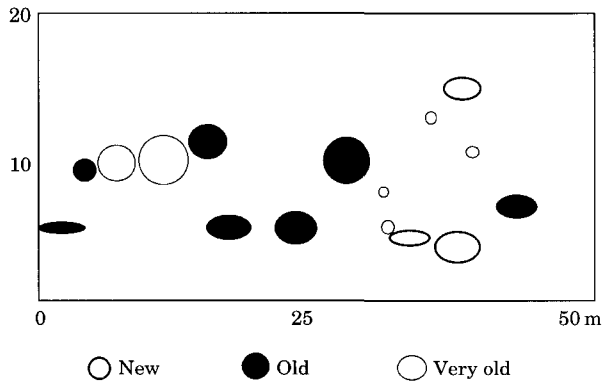


Fig. 2. Map of the spatial distribution of pits and mounds in E3 plot.

E3 지역은 PM의 분포가 높은 E 지역 중에서도 가장 많은 PM이 조사된 지역으로 좀 더 다양한 자료를 얻기 위하여 지금까지 실시하였던 조사 방법과 다르게 생성 시기에 따라 3가지로 분류하여 조사를 실시하였다(Fig. 2).

위와는 달리 Fig. 3, 4는 E1, E2 plot의 그림으로 PM을 흙둔덕과 흙패임으로 분리하여 나타내었으며 추정이 확실한 PM의 경우 간단한 타원형으로 표현하였다. 조사 지역 중 PM 분포가 높은 E1, E2 지역은 추정을 제외한 PM의 경우 조사 면적 0.4 ha에서 4.9%를 차지하였으며, 분포가 가장 높은 E3 지역의 경우 조사 면적 0.1 ha에서 11.7%를 차지하였다.

2. 흙 패임과 흙 둔덕의 유형

PM의 형태를 유형별로 분류한 연구는 Koop(1982)가 4가지 유형별로 분석한 방법과 Ulanova(2000)가 토양단면을 시간에 경과에 따라 분석한 방법이 있는데, 본 연구에서는 Koop가 분석한 방법을 참조하였다(Fig. 5).

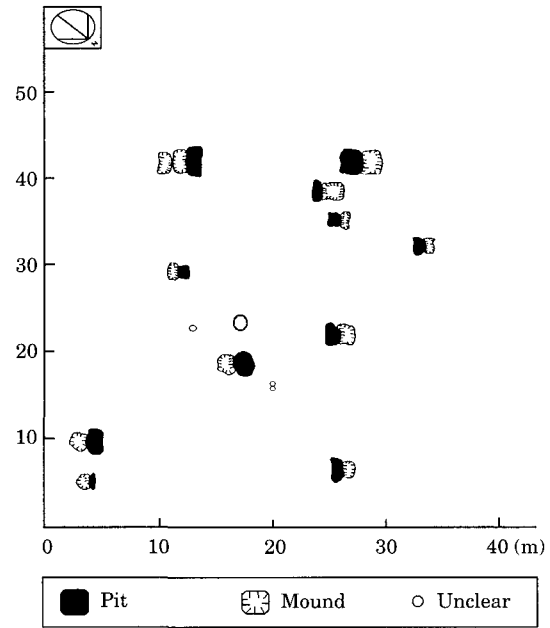


Fig. 3. Map of the spatial distribution of pits and mounds in E1 plot.

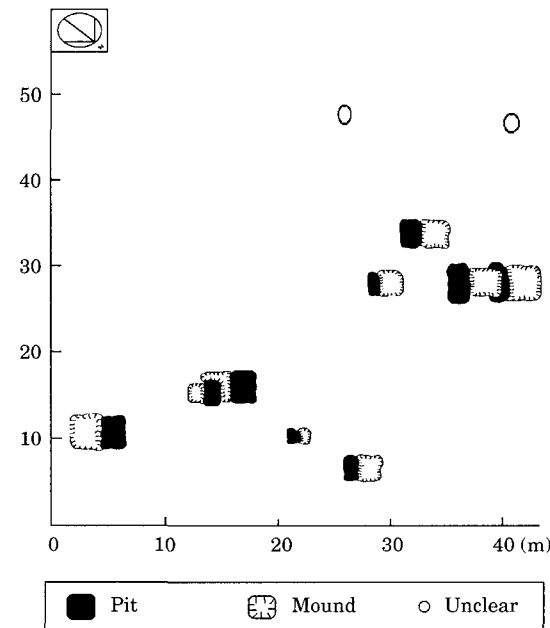


Fig. 4. Map of the spatial distribution of pits and mounds in E2 plot.

A 지역에는 유형1과 2만 나타났는데, 아마도 다른 지역에 비해 뿌리째 뽑힘 현상이 가장 최근에 나타난 것으로 판단된다. B 지역에는 유형 모두를 볼 수 있었고, 진행형도 나타났다. C 지역도 유형1을 제외한 전 유형이 분포하며, 진행형도 보였다(진행형2). D 지역은 유형2를 제외한

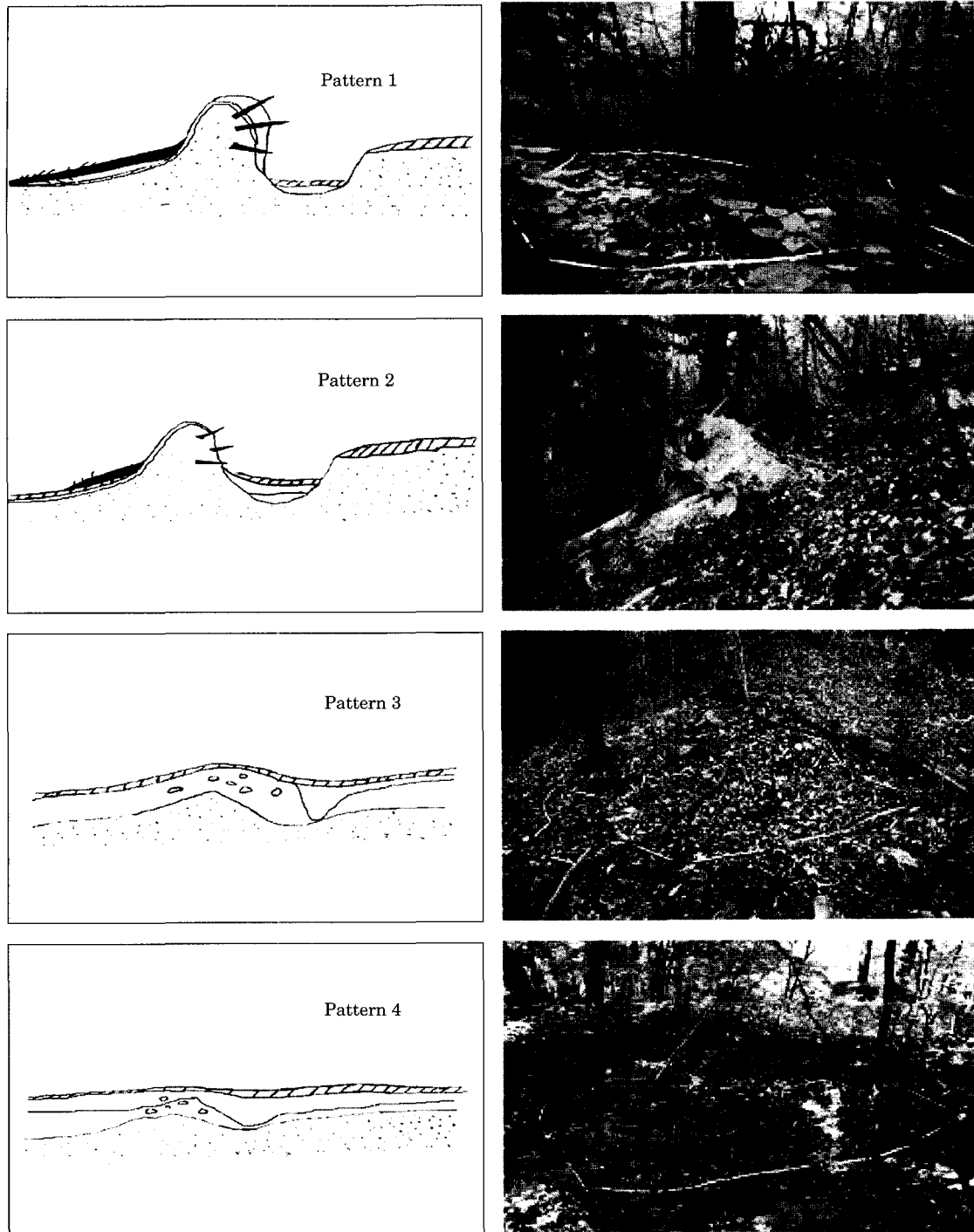


Fig. 5. Patterns of pit and mound (A quotation from Koop 1982)

다른 유형이 분포되어 있었다. E 지역은 조사 대상이 많아 3개 지역으로 나누어 조사하였으며, 특히 유형1이 많이 분포되어 있었다. PM이 오래되어 전반적으로 유형분류가 힘든 E3 지역은 20개 모두가 유형3, 4을 보여 유형3으로 추정하였다(Table 13).

3. 식생출현의 유무

모든 PM에서 흙둔덕에서만 수종이 출현했으며 분간이 어려운 E지역(특히 E3지역)을 제외한다면 흙패임에서는 수종의 천연갱신은 발견되지 않았다(Table 14).

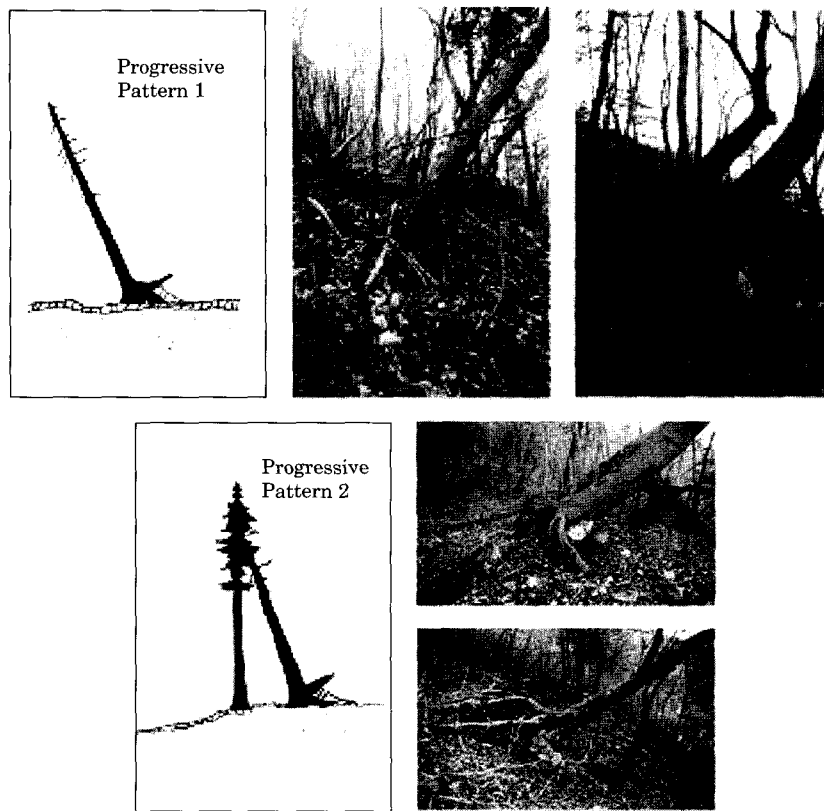


Fig. 6. Progressive patterns of pit and mound

Table 13. Distribution of pattern in the investigated sites

Plot	Pattern							Total
	I	II	III	IV	Progressive pattern I	Progressive pattern II	Presumption impossibility	
A	3	1						4
B	2	1	4	4	1			12
C		2	4	1	1	1	2	11
D	2		2	2	1			7
E1	4		5	5	1			15
E2	10			1				11
E3				20	*			20
Total	21	4	35	13	4	1	2	80

토론 및 결론

이미 오래 된 여러 PM은 형태가 확실하지 않아 측정 시 애로사항이 있었으며, 경사가 심한 지역은 접근이 어려워 조사하기 힘들었다. 이런 경우 조사에서 제외시켰는데 이것은 실제로는 훨씬 많은 PM이 존재함을 의미한다.

유형 분류에도 많은 어려움이 있었다. 단순히 외형만으로 분류를 하지 않고, 토양을 절개하여 토양층의 교란과

Table 14. Vegetation responses in the investigated sites

Plot	Pit	Mound	Total numbers of tree species
A	none	yes	1
B	none	yes	7
C	none	yes	3
D	none	yes	3
E	?	yes	8

병행 조사하면 정확하게 유형을 분류할 수 있었으나, 조사가 국립공원이라는 제한 때문에 Koop의 유형분류(Scherzinger 1996)를 참고로 판단하여 아쉬움이 남았다. 또한 유형 분류 시 유형4는 생성 후 시간이 많이 지나 하층 식생에 덮혀 있는데다 침식과 퇴적으로 찾기가 매우 힘들었으며, 유형3과의 구분에도 어려움이 있었다. 수종출현은 Goodlett(1954)나 Lyford and Maclean(1966)의 보고처럼 흙둔덕에만 나타났다.

면적조사는 명백한 PM에 국한시켜 PM이 차지하는 면적이 전체면적에 비해 외국사례(Barnes et al. 1998)와 달리 매우 작았다. 만약에 이미 희미해진 PM을 모두 포함시키면 그 면적은 훨씬 크리라 추정된다.

참 고 문 헌

- 기상청. 1979-2000. 기상연보
- 윤영일. 2002. 설악산 전나무 고목림의 자연성 판단을 위한 기초연구. *환경생물*. 20 : 287-293.
- 장동원, 윤영일. 2003. 내설악 전나무 고목림에 존재하는 고사목에 관한 기본자료조사
- Barnes BV, DR Zak, SR Denton and SH Spurr. 1998. *Forest Ecology*. 4th ed. Wiley, New York. 250-254.
- Clinton BD and CR Baker. 2000. Catastrophic windthrow in the southern Appalachians: characteristics of pits and mounds and initial vegetation responses. *For. Ecol. Man.* 126 : 51-60.
- Goodlet JC. 1954 Vegetation adjacent to the border of the Wisconsin drift in Potter County, Pennsylvania. *Harvard For. Bull.* 25 (Re-cited from Clinton and Baker, 2000)
- Greenberg CH and WH McNab. 1997. Forest disturbance in hurricane-related downbursts in the Appalachian mountains of North Carolina. *For. Ecol. Man.* 104 : 179-191.
- Koop H. 1982. Waldverjungung, Sukzessionsmosaik und kleinstandörtliche Differenzierung infolge spontaner Waldentwicklung. In: Dierschke: *Struktur und Dynamik von Waldern. Berichte internationalen Symposium. Internationalen Verein der Vegetationskunde. Cramer/Vaduz* : 235-274
- Lyford WH and DW MacLean. 1966. Mound and pit microrelief in relation to soil disturbance in New Brunswick Canada. *Harvard For. Pap.* 15 : I-18., (Re-cited from Clinton and Baker, 2000)
- Mitchell SJ, T Hailemariam and Y Kulis. 2001. Empirical modeling of cutblock edge windthrow risk on Vancouver Island, Canada, using stand level information. *For. Ecol. Mn.* 154 : 117-130.
- Scherzinger W. 1996. *Naturschutz im Wald*. Ulmer, 447pp
- Ulanova NG. 2000. The effects of windthrow on forests at different spatial scales: a review. *For. Ecol. Man.* 135 : 155-167

Manuscript Received: March 10, 2004

Revision Accepted: May 1, 2004

Responsible Editorial Member: Saywa Kim
(Yongin Univ.)