

實驗的 踏壓處理에 의한 林床環境變化(I)¹

禹保命² · 吳求均² · 尹豪重²

Experimental Trampling Effects on Forest Floor Environment(I)¹

Bo-Myeong Woo² · Koo-Kyoon Oh² · Ho-Joong Youn²

要 約

實驗的 踏壓處理를 통하여 踏壓強度 및 踏壓頻도가 林床에서의 土壤硬度 및 林床植生에 미치는 影響의 程度를 밝히는 것을 目的으로, 京畿道 水原市 所在 상수리나무림 未踏壓地에 23個 實驗區(0.3×5.0m)를 設置하여 4週동안 踏壓處理를 한 후 土壤硬度 및 植生變化를 調査하였다. 土壤硬度增加率은 踏壓強度가 增加함에 따라 減少했으며, 4週동안 400回 踏壓時 11.32kg·cm⁻² (23.8mm)의 土壤硬도를 나타내 식물뿌리생육에 支障을 줄 程度로 土壤硬化가 나타났다. 그리고 踏壓量은 同一할지라도 오랜시간에 걸쳐 分散될 수록 土壤이 더 심하게 硬化되었다. 200回以下의 踏壓強度에서는 踏壓頻度間에 土壤硬度가 다르게 나타나지 않았으나 400回以上 踏壓強度에서는 踏壓頻度中 隔日型(16X)이 가장 심한 土壤硬化를 나타냈다. 한편, 踏壓強度가 增加할수록 林床植生の 相對被도가 相對密度보다 敏感하게 減少했다. 踏壓頻度 隔日型(16X) 踏壓이 가장 심한 植生變化를 나타냈으며, 200回 踏壓強度에서 踏壓頻度間 植生變化가 다르게 나타나서 土壤硬度變化와 相異하였다.

ABSTRACT

This study was conducted to examine the effects of trampling intensity and frequency on the change of forest bed soil and vegetation by experimental trampling. 23 experimental lanes(0.3 × 5.0m) were established at non-trampled *Quercus acutissima* stand in Suweon, Gyunggi-Do, Korea. And soil compaction and ground vegetation were examined during and after 4 weeks trampling.

Increasing in trampling intensity resulted in decreasing increment rate of soil compaction and after 400 passes of trampling, soil hardness showed 11.32kg·cm⁻², (23.8mm) which affected root growth badly. At the same trampling intensity, soil compaction was high where trampling was spread over a longer period of time. The difference of soil compaction by trampling frequency was not significant below 200 passes, but 16X(every other day trampling) type resulted in the highest soil compaction over 400 passes of trampling intensity.

The relative coverage of vegetation was more severely decreased than the relative density by

¹ 接受 1988年 1月 9日 Received on January 9, 1988.

² 서울大學校 農科大學 College of Agriculture, Seoul Nat'l Univ., Suweon, Korea.

trampling. 16X type of trampling frequency resulted in most severe vegetational change and difference among trampling frequencies showed significance in case of 200 passes, contrasting to soil compaction.

Key words : soil compaction ; ground vegetation ; trampling intensity ; trampling frequency.

緒 論

人口增加 및 生活水準向上 등으로 國立公園 等 自然公園 및 森林에서 野外 레크레이션 활동이 급격히 增加하면서 自然毀損이 深化되고 있다. 이러한 自然破壞는 대부분 利用客들의 과도한 踏壓에 의해 表土가 硬化·浸蝕되고 地被植生이 枯死되면서 시작된다. 따라서 有限한 自然資源을 지속적으로 保全하면서 利用하기 위해서는 生態의 收容力을 초과하지 않도록 利用調節을 해야 한다. 그러나 森林地에서의 生態의 收容力은 踏壓強度, 踏壓時期 및 期間, 植生型, 地形, 傾斜, 土性, 土壤水分 等에 따라서 각 각 다르기 때문에 이 分野의 많은 研究가 철실히 요구되고 있다.

實驗的 踏壓處理에 관한 研究는 대부분 植生變化를 主關心對象으로 수행되고 있으나 植生型 및 實驗方法이 相異하여 踏壓量과 植生變化間 相關關係를 一般化 하기에는 아직 많은 문제점이 있다. Bell & Bliss²⁾, Boorman & Fuller⁴⁾, Boomsma & Ploeg³⁾, Cole⁷⁾, Hylgaard & Liddle¹²⁾, Falin'ski⁹⁾, Kellomäki & Saastamoinen¹³⁾, Landals & Scotter^{15,16)}, Nagy & Scotter¹⁹⁾, Singer²²⁾, Weaver & Dale²³⁾ 등은 踏壓에 따른 植生變化研究에서 植生의 相對被度는 200-400回 踏壓水準에서 50% 以下로 減少하였으나 植生型別로 差異를 나타냈으며 특히 草地가 踏壓에 강한 耐性을 나타낸다고 보고 했다.

Saunders et al.²¹⁾, Kuss¹⁴⁾는 踏壓時의 着用신발 종류에 따른 植生變化의 差異는 없다고 보고 했으며 Boorman & Fuller⁴⁾, Rogova²⁰⁾, Hylgaard & Liddle¹²⁾ 등은 踏壓頻도에 따른 植生變化는 낮은 踏壓強度에서 集中踏壓보다 큰 식생변화를 나타냈다고 보고 했다. Landals & Scotter^{15,16)}, Nagy & Scotter¹⁹⁾, Singer²²⁾ 등은 같은 踏壓強度에서 踏壓이 오랜기간동안 分散될수록 더 크다고 보고 했다. Bayfield¹⁾, Cambel & Scotter⁵⁾, Douglas et al.⁸⁾ 등은 踏壓處理後 植生回復은 踏壓頻도와는 有意한 相關關係가 없다고 보고 했으며 Holmes & Dobson¹¹⁾, Nagy & Scotter¹⁹⁾ 등은 초여름보다 樹木이 건조해지는 늦여름에 踏壓被害가 더 심하다고 보고했다. Leney¹⁷⁾, Liddle¹⁸⁾은 정지상태보다 움직일 때 踏壓者의 垂植圧이 더 크며, 움직일 때

의 垂植圧은 $57\text{kg} \cdot \text{cm}^{-2}$ 이었다고 보고했으며 Chappell⁶⁾은 踏壓量增加에 따라 土壤內 微生物의 個體數가 현저히 減少했다고 보고했다. 國內에서는 李等^{26,27)}, 徐等²⁵⁾, 白等²⁴⁾이 踏壓地에서의 植生과 土壤硬度變化를 보고했으며 實驗的 踏壓處理를 통한 研究報告는 없었다.

이에 본 研究는 踏壓強度(踏壓量) 및 踏壓頻도에 따른 林床變化를 究明하여 森林地의 生態의 收容力推定을 爲한 基礎資料를 提供하기 위하여 遂行되었다.

材料 및 方法

1987年 9月 7日부터 同年 10月 4日까지 4週동안 水原市 서울대학교 農科大學 寄宿舍 東便, 상수리나무 林分에 그림 1과 같이 23個의 實驗區(0.3×5.0m)를 設置하고 踏壓強度 및 頻도를 다르게 하여 人爲的 踏壓處理를 實施했다.

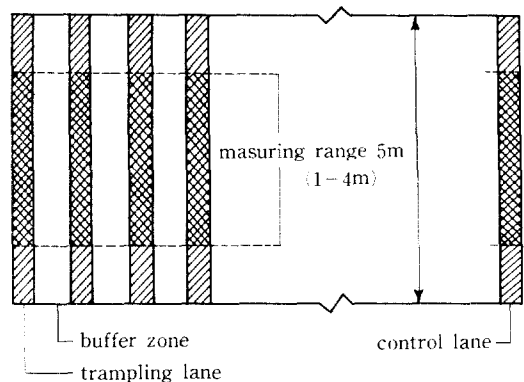


Fig. 1. Layout of experimental plot.

平均 67.9kg 의 비슷한 몸무게를 갖는 7名의 踏壓者가 表1과 같이 서로 相異한 踏壓強度 및 頻도로 設計된 22個 實驗區에 대해 28日동안 踏壓을 實施했다.

踏壓者의 步行習慣에 따른 誤差를 除去하기 위하여 實驗區 양 끝으로부터 1.0m까지를 除外한 1.0-4.0m 區間에서 測定하였다. 土壤硬度調査는 踏壓處理前과 每週末에 山中式 土壤硬度計로 各 實驗區마다 10個 地點에서 土壤硬度를 測定하여 平均値를 使用하였으며, 植生調査는 樹高 2.0m以下의 樹木을 實驗前, 2週後, 4週後에 每木調査하였으며, 4週後 植生調査는 10月 14日 實施했다.

Table 1. Trampling intensity and frequency of 23 experimental lanes.

Unit : pass

	Trampling intensity								
	1200	800	400	200	100	50	25	10	0
Trampling frequency	300×(4X)	200×(4X)	100×(4X)	50×(4X)	100×(1X)	50×(1X)	25×(1X)	10×(1X)	control
	150×(8X)	100×(8X)	50×(8X)	25×(8X)	5×(20X)	5×(10X)			
	75×(16X)	50×(16X)	25×(16X)	15×(13X)					
	43×(28X)	30×(27X)	15×(27X)	10×(20X)					

結果 및 考察

1. 實驗地 概況

試驗地의 位置는 北緯 37°15'30", 東經 127°00'10" 이고 水原測候所에서 지난 10년간(1977-1986) 測定한 年平均降雨量은 1183.6mm, 年平均溫度는 11.1°C, 土性은 砂質壤土, 吸濕度는 3.33%이었으며, 傾斜는 약 2%이었다. 現 優點種은 상수리나무이고 (사진 1), 下層樹冠에서는 상수리나무, 벗나무, 노린재나무, 노박당굴 등이 優勢하게 分布하고 있다. 上層樹冠의 被度는 약



Photo 1. Vegetational physiognomy of experimental site.

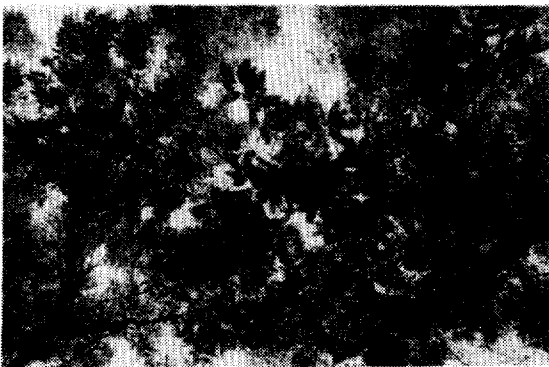


Photo 2. Crown coverage of over-story trees.

80%(사진 2)이었으며 中層樹冠發達은 20%미만을 보여 微微했으나 下層樹冠被度는 약 60%를 나타냈고 土壤硬度는 0.48kg·cm⁻² (4.8mm)을 나타내 人間の 간섭이 없었던 것으로 보인다. 한편, 實驗期間동안 降雨量은 9月 21日 0.2mm, 9月 25日 1.2mm, 10月 7日 7.8mm 이었다.

2. 土壤硬度變化

그림 2는 22個 實驗區의 여러가지 踏圧強度 및 踏圧頻度別 土壤硬度變化를 나타내고 있다. 4週後 踏圧強度別 平均土壤硬度는 10回 踏圧에서 2.42kg·cm⁻² (13.5mm), 25回에서 5.58kg·cm⁻² (25.8mm), 50回에서 5.68kg·cm⁻² (19.3mm), 100回에서 4.85kg·cm⁻² (18.3mm), 200回에서 5.90kg·cm⁻² (19.7mm), 400回에서 11.32kg·cm⁻² (23.8mm), 800回에서 16.18kg·cm⁻² (25.8mm), 1200回에서 13.85kg·cm⁻² (25.0mm)를 보임으로써 一定期間동안 踏圧強度가 增加함에 따라 土壤硬度는 增加하는 傾向을 나타냈으며, 1200回에서의 낮은 土壤硬度는 測定前 내린 降雨量때문으로 思料된다. 同一實驗區에서 時間이 經過함에 따라서, 踏圧量이 增加함에 따른 土壤硬度增加率은 踏圧強度가 커질수록 더 높았다.

그리고 踏圧強度와 踏圧時間關係에서 2週間 600回 踏圧後 6.78kg·cm⁻², 3週間 600回 踏圧後 8.25kg·cm⁻²의 平均土壤硬度를 나타냈고, 2週間 400回 踏圧後 6.68kg·cm⁻², 4週間 400回 踏圧後 11.32kg·cm⁻²의 平均土壤硬度를 나타냄으로써, 同一한 踏圧量인 境遇 踏圧이 오랜기간 分散될수록 土壤硬度가 增加하는 結果를 가져왔다.

同一한 期間동안 踏圧強度 즉, 總踏圧量이 같은 경우 土壤硬度에 미치는 踏圧頻度間 差異를 보면, 200回 以下の 낮은 踏圧強度에서는 踏圧頻度間 差異는 一定하지 않아서 Rogova²⁰⁾, Hylgaard & Liddle²¹⁾, Boorman & Fuller⁴⁾의 研究結果와 相異하였으며, 400回 以上の 踏圧強度에서도 16X(16번/4週)의 踏圧頻度에서 土壤硬度가 4X(4번/4週), 8X(8번/4週), 20-28X(20-28번/4週)

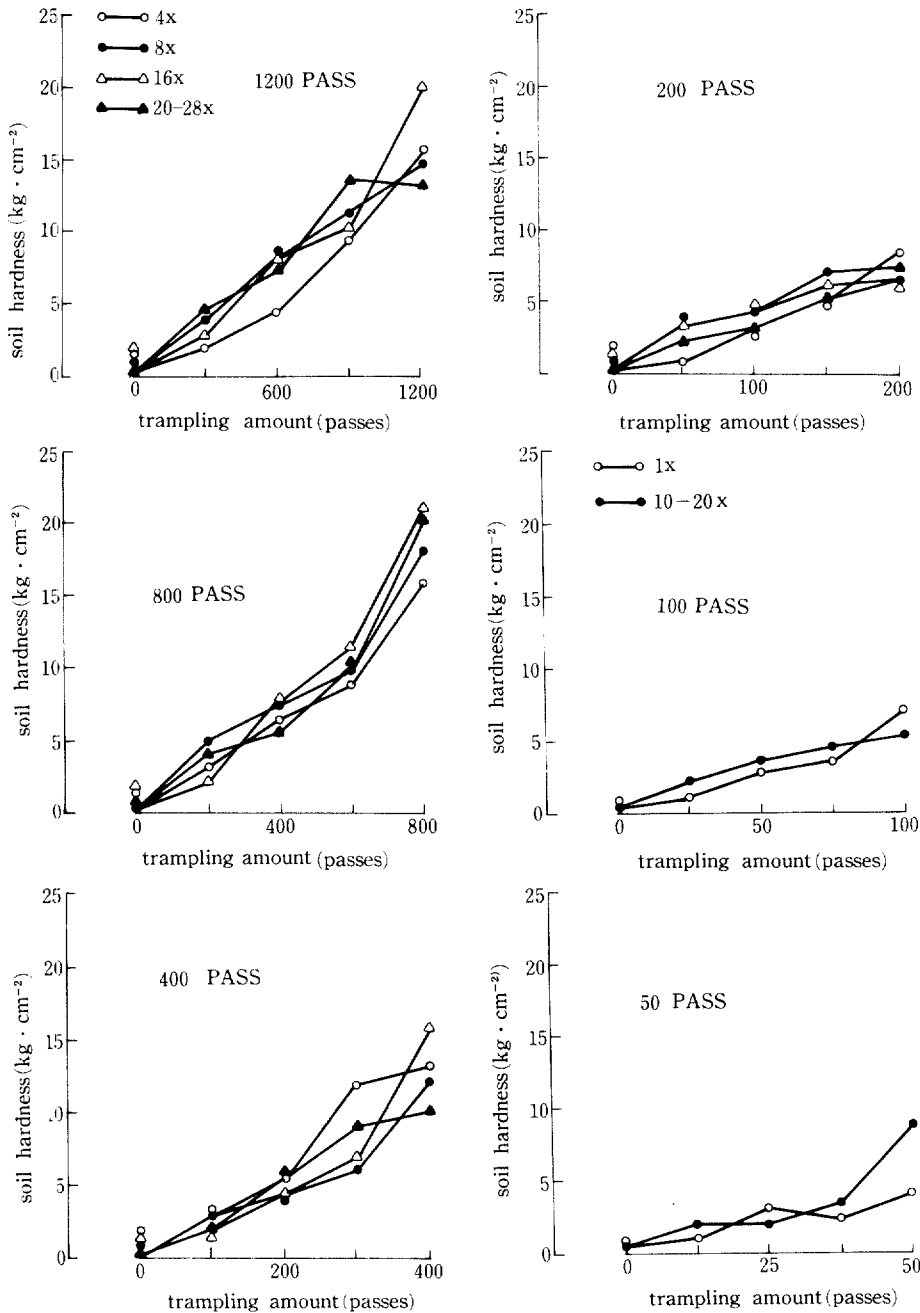


Fig. 2. Trampling intensity and frequency vs. soil hardness during 4 weeks.

보다 높게 나타나 以前 研究結果^{15,19,22})와 약간 相異하였다.

그림 3은 4週後 200回, 400回, 800回, 1200回의 踏壓強度 즉, 4X, 8X, 16X, 20-28X의 4가지 踏壓頻度에서의 土壤硬度를 나타내고 있다. 踏壓前 23個 調査區의 平均土壤硬度는 0.45kg · cm⁻², 200回 踏壓時 5.18-6.38 kg · cm⁻², 400回 踏壓時 9.09-14.22kg · cm⁻², 800回

踏壓時 13.04-18.29kg · cm⁻², 1200回 踏壓時 11.59-17.95kg · cm⁻²의 土壤硬度를 나타냄으로써, 踏壓強度增加에 따른 土壤硬化는 踏壓強度 400回까지는 매우 높게 增加하다가 800回에서 완만히 增加했으며, 1200回에서는 오히려 약간 낮아졌다. 이와같이 낮은 踏壓強度에서 土壤硬度가 예민하게 增加하고 踏壓強度가 높아질수록 土壤硬化增加率이 둔화되는것은 外國의 先行研究^{4,7}

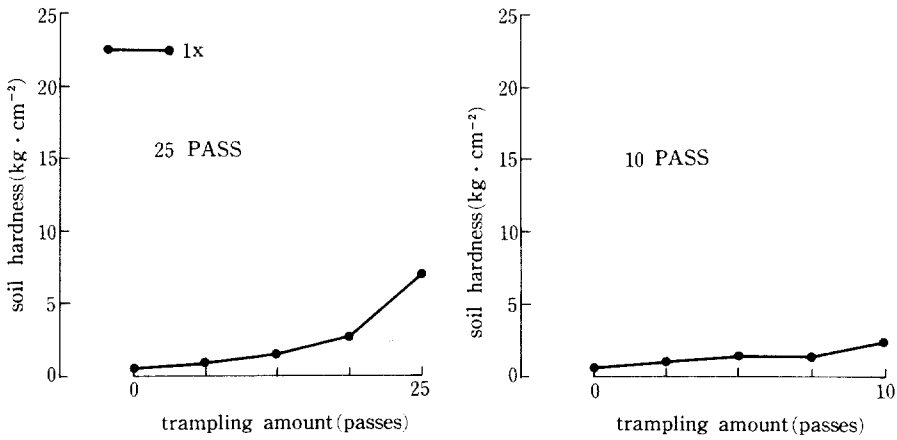


Fig. 2. Continued.

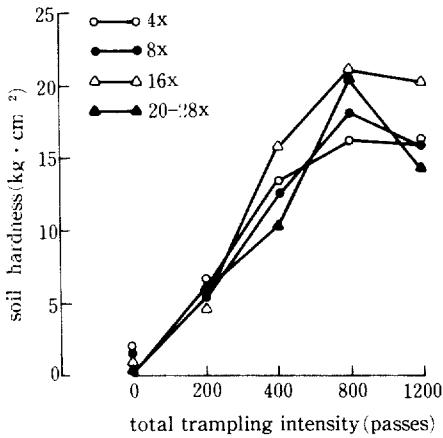


Fig. 3. Total trampling intensity and frequency vs. soil hardness after 4 weeks.

들과一致하였다. 그러나 1200回 踏压의 土壤硬度가 800回의 境遇보다 약간 낮은 것은 局地的 地形差異로 인한 土壤水分때문으로 思料된다.

3. 植生變化

踏压處理前 23個 實驗區 總 34.5m²에서 14種 224個體의 下層植生이 出現하였으나 4週間의 處理後에는 7種 68個體만 살아 남았다. 寫眞 3-6은 1200回 踏压强度 實驗區의 處理前, 1週後(300回), 2週後(600回), 4週後(1200回)의 植生變化를 보여주고 있으며, 寫眞 7, 8, 9, 10은 400回, 50回 踏压强度 實驗區에서 各各 2週後, 4週後 植生變化를 보여주고 있다.

그림 4와 5는 200回, 400回, 800回, 1200回의 踏压强度로 4週間 踏压處理後 林床植生의 相對密度 및 相對被度變化를 나타내고 있다.

그림 4에서, 4週間 踏压後 各 踏压强度別 相對密度는

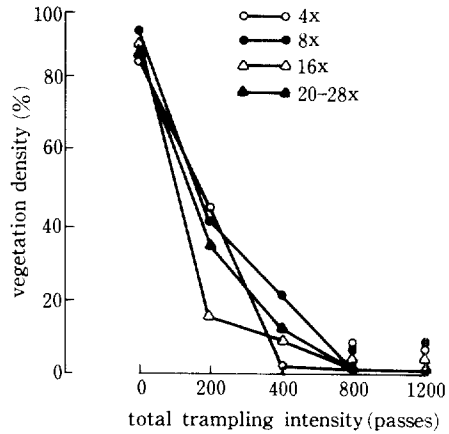


Fig. 4. Total trampling intensity and frequency vs. vegetation density after 4 weeks.

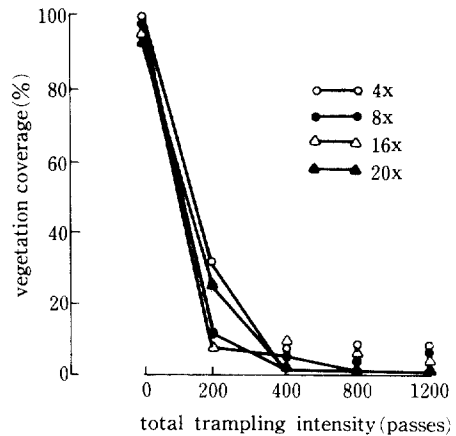


Fig. 5. Total trampling intensity and frequency vs. vegetation coverage after 4 weeks.

200回 踏压實驗區에서 14-45%, 400回에서 0-20%, 800回 以上에서는 0%를 보임으로써 400回 踏压까지 相



Photo 3. Before trampling of 1200 pass lane

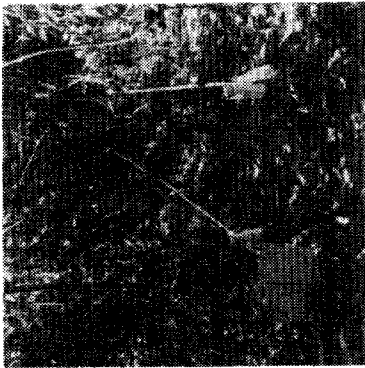


Photo 4. 1 week later (300 pass) of 1200 pass lane



Photo 5. 2 weeks later (600 pass) of 1200 pass lane.



Photo 6. 4 weeks later (1200 pass) of 1200 pass lane



Photo 7. 2 weeks later (200 pass) of 400 pass lane

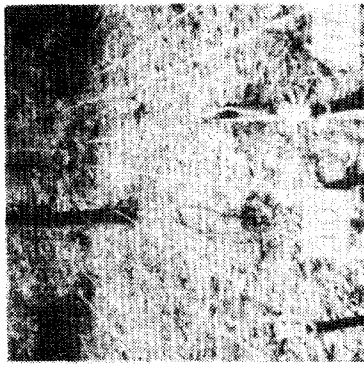


Photo 8. 4 weeks later (400 pass) of 400 pass lane

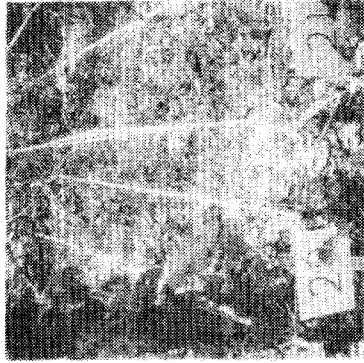


Photo 9. 2 weeks later (25 pass) of 50 pass lane

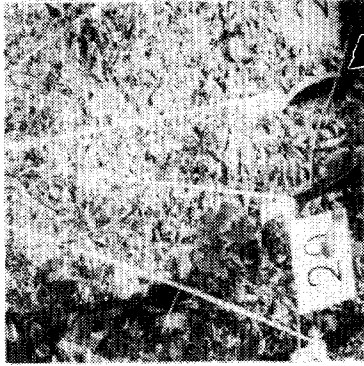


Photo 10. 4 weeks later (50 pass) of 50 pass lane

對密度는 급격히 減少하였으나 400回以上부터는 相對密度 減少率이 둔해졌으며 800回以上은 거의 變化가 없음을 나타내고 있다.

그림 5에서의 4週間 踏压後 各 踏压强度別 相對被度 變化에 의하면, 200回 踏压實驗區에서 5-18%, 400回에서 1-2%, 800回以上에서는 0%의 相對被度を 보임으로써 200回 踏压强度에서 심각한 피해를 나타내고 있다. 以上の 結果에서 踏压에 의한 植生變化는 相對被도가 相對密度보다 相對的으로 敏感하였다.

同一踏压强度에서 踏压頻度別 植生變化에 있어서는, 16X 즉, 隔日제로 踏压處理한 境遇가 4X, 8X, 20-28 X 보다 심각한 踏压被害를 나타냈으며 특히, 낮은 踏压强度 200回에서 有意한 差異를 나타냈다. 그러나 踏压强度가 800回以上 및 100回以下에서는 踏压頻度間 差異가 有意하지 않았다. 本 研究에서 낮은 踏压强度에서 오랜 시간동안 分散된 踏压頻度에서 植生被害가 심각한 結果는 Hylgaard and Liddle¹²⁾, Singer²²⁾, Landals & Scotter¹⁵⁾, Nagy and Scotter¹⁹⁾, Cole⁷⁾ 等の 研究結果와 部分的으로 一致하고 있으나, 가장 分散된 踏压에서의 植生被害가 相對的으로 낮고, 100回미만의 踏压强度에서 踏压頻度間 差異가 有意성이 없는 것은 先行研究들과 一致하지 않았다.

結 論

傾斜가 없는 未踏压地인 수aturi나무林分에 實驗區를 設置하고 踏压强度 및 踏压頻度を 다르게 하여 4週동안 人爲的으로 踏压處理한 후 土壤硬度和 林床植生 變化를 調査한 結果는 다음과 같다.

1. 踏压强度가 增加할수록 土壤硬도 增加率은 減少했으며, 400回 踏压에서 土壤硬도가 $11.32\text{kg} \cdot \text{cm}^{-2}$ (23.8mm)을 나타냄으로써 식물뿌리생육이 어려울 程度로²³⁾ 土壤이 硬化됨을 나타냈다.
2. 同一한 踏压强度에서 踏压이 오랜기간 分散될 수록 土壤硬도가 增加하였다.
3. 同一한 期間 및 踏压强度에서 踏压頻度間 土壤硬도變化에서는 200回 以下の 낮은 踏压强度에서는 差異가 有意하지 않았으며, 400回 以上の 踏压强度에서는 16X(隔日)型 踏压이 가장 높은 土壤硬도를 나타냈다.
4. 踏压强度가 增加할 수록 林床植生の 相對被도가 相對密度보다 민감하게 減少했으며, 4週間 400回 踏压에서 相對密度는 0~20%, 200回 踏压에서 相對被도는 5~18% 까지 감소하는 傾向을 나타냈다.
5. 同一한 期間 및 踏压强度에서 踏压頻度間 植生變

化에서는 16X(隔日)型 踏压이 가장 심각한 植生變化를 나타냈으며 특히 200回的 낮은 踏压强度에서 有意한 差異를 나타냄으로써 土壤硬도變化와 相異하였다.

引 用 文 獻

1. Bayfield, N.G. 1979. Recovery of four mountane heath communities on Cairngorm, Scotland, from disturbance by trampling. *Biol. Conserv.* 15 : 165-197.
2. Bell, K.L. and L.C. Bliss. 1973. Alpine disturbance studies : Olympic National Park, U.S.A. *Biol. Conserv.* 5 : 25-32.
3. Boomsma, J.J. and S.W.F. vander Ploeg. 1976. Effect of three-year experimental trampling on a dune valley. Part 1: effect of trampling during one season. working pap. 68, *Inst. Environ. Stud., Free Univ., Amsterdam, Neth.*, 34 p.
4. Boorman, L.A. and R.M. Fuller. 1977. Studies on the impact of path on the dune vegetation at Winterton, Norfolk, England. *Biol. Conserv.* 12 : 203-216.
5. Campbell, S.E. and G.W. Scotter. 1975. Subalpine revegetation and disturbance studies, Mount Revelstoke National Park. Edmonton, AB : Canadian Wildlife Service. 99 p.
6. Chappell, H.G., J.F. Ainsworth, R.A.D. Cameron and M.Redfern. 1971. The effect of trampling on a chalk grassland ecosystem. *J. Appl. Ecol.* 8 : 869-882.
7. Cole, D.N. 1985. Recreational trampling effects on six habitat types in western Montana. *USDA, For. Serv. Res. Pap. INT-350*, 44p.
8. Douglas, G.W. and J.A.S. Nagy and G.W. Scotter. 1975. Effects of human and horse trampling on natural vegetation, Waterton Lakes National Park. Edmonton, AB : Canadian Wildlife Service. 129 p.
9. Falin'ski, J.B. 1975. Die Reaktion der Waldboden vegetation auf Trittwirkung in Lichte experimenteller Forschungen. *Phytocologia* 2 : 451-465.
10. Hartley, E.A. 1976. Man's effects on the stability of alpine and subalpine vegetation in

- Glacier National Park, Montana. Durham, NC : Duke University, Ph. D. Dissertation. 258 p.
11. Holmes, D.O. and H.E.M. Dobson. 1976. Ecological carrying capacity research : Yosemite National Park. Part I. The effects of human trampling and urine on subalpine vegetation, a survey of past and present backcountry use and the ecological carrying capacity of wilderness. PB-270-955. Springfield, VA : U.S.D.C. Nat. Tech. Inf. Serv. 247 p.
 12. Hylgaard, T. and M.J. Liddle. 1981. The effect of human trampling on a sand ecosystem dominated by *Empetrum nigrum*. J. Appl. Ecol. 18 : 559-569.
 13. Kellomäki, Seppo and Varpu-Leena. Saastamoinen. 1975. Trampling tolerance of forest vegetation. Acta Forestalia Fennica. 147 : 5-19.
 14. Kuss, F.R. 1983. Hiking boot impact on woodland trails. J. Soil and water Conserv. 38 : 119-121.
 15. Landals, M. and G.W. Scotter. 1973. Visitor impact on meadows near Lake O'Hara, Yoho National Park. Edmonton, AB : Canadian Wildlife Service. 184 p.
 16. Landals, M. and G.W. Scotter. 1974. An ecological assessment of the Summit Area, Mount Revelstoke National Park. Edmonton, AB : Canadian Wildlife Service. 179 p.
 17. Leney, F.M. 1974. The ecological effects of public pressure on picnic sites. J. the Sports Turf Res. Ins. 50 : 47-51.
 18. Liddle, M.J. 1975. A selective review of the ecological effects of human trampling on natural ecosystems. Biol. Conserv. 7 : 17-36.
 19. Nagy, J.A.S. and G.W. Scotter. 1974. A quantitative assessment of the effects of human and horse trampling on natural areas, Waterton Lakes National Park. Edmonton, AB : Canadian Wildlife Service. 145 p.
 20. Rogova, T.V. 1976. Influence of trampling on vegetation of forest meadow and whortleberry-moss-pine forest cenoses. Soviet Journal of Ecology. 7 : 356-359.
 21. Saunders, D.R., G.E. Howard and B.A. Stanley-Saunders. 1980. Effect of different boot sole configurations on forest soils. Extension/Research Paper RPA 1980-3. Clemson, SC : Clemson Univ. Department of Recreation and Park Administration. 11 p.
 22. Singer, S.W. 1971. Vegetation response to single and repeated walking stresses in an alpine ecosystem. New Brunswick, NJ : Rutgers University, M.S. thesis. 69 p.
 23. Weaver, J. and D. Dale. 1978. Trampling effect of hikers, motorcycles, and horses in meadows and forests. J. Appl. Ecol. 15 : 451-457.
 24. 백창규, 성현경, 이돈구. 1984. 토양의 답압정도가 리기다소나무 생장에 미치는 효과--서울대학교 농과대학 연습림 부근에서-. 서울대학교 농과대학 연습림 연구보고 20 : 59-62.
 25. 서민환, 이돈구. 1987. 북한산국립공원 등산로주변에서 답압이 식생환경에 미치는 영향. 한국임학회지 76(2) : 127-137.
 26. 이경재, 안준수. 1986. 금오산지역에서의 레크레이션 행위가 토양 및 식생에 미치는 영향. 한국임학회지 74 : 37-46.
 27. 이경재, 오구균, 권영선. 1987. 선정릉의 적정수용능력추정 및 관리방안(I)-토양환경 및 식생분석-, 한국조경학회지 14(3) : 33-46.
 28. 日本材料學會, 1976. 科面安定工法, 鹿島出版會. 東京. 346 pp.