

서해안 곰솔림에서의 리지나뿌리썩음병 발생 및 확산 유형

이승규* · 김경희 · 김연태¹ · 박주용 · 이상현국립산림과학원 산림병해충과, ¹충청남도 산림환경연구소Occurrence of Rhizina Root Rot in a Black Pine (*Pinus thunbergii*) Forest Located at the Western Coastal Area in Korea and Its Spreading PatternsSeung Kyu Lee*, Kyung Hee Kim, Yeon Tae Kim¹, Ju Yong Park and Sang Hyun Lee

Division of Forest Insect and Disease Pest, Korea Forest Research Institute, Seoul 30-712, Korea

¹Institute of Forest Protection & Management, Gongju 314-922, Korea

(Received on November 10, 2005)

At the survey of June, 2002, total 294 dead trees were found in 20 ha of Black pine (*Pinus thunbergii*) forest located in the western coastal region of Korean peninsula. The dead trees were scattered over the 27 place as groups of about ten trees each. As a result of the field survey on the relationship between the conditions of dead trees and the occurrence of fruiting bodies of *Rhizina undulata* around the dead and/or dying trees, from June 2002 to August 2004 in the four plots, the occurrence of infected trees was observed as a shape of an irregular concentric circle from the first infected tree and *R. undulata* was found mainly around the dead tree. Because there was no observation of any other insects and pathogens which would kill trees, the cause of tree death in groups was considered owing to *R. undulata*. From the analysis of the physical and chemical properties of the soil collected from the damaged areas, the pH of soil was between 4.6 and 5.8 and the contents of soil nutrients were very low. Any "fire" trace was not found at all the 27 damaged places in the area, Taean, Chungcheongnam-Do, which are generally known as an important factor to initiate development of the disease. Therefore, further examination is needed to verify precisely about other environmental factors related with the group dying of the Black pines in this area beside "fire".

Keywords : Fire, *Pinus thunbergii*, Rhizina root rot, *Rhizina undulata*

소나무류에서 리지나뿌리썩음병을 일으키는 병원균은 *Rhizina undulata*(자낭균류, 자실체는 파상땅해파리버섯)이며, 세계적으로 소나무류 이외에 전나무, 가문비나무, 낙엽송, 솔송나무 등 침엽수를 무리지어 고사시키는 것으로 보고되어 있다(Germmen, 1971; Ginns, 1968; Sato 등, 1974; Sinclair 등, 1987; Thompson, 1973; Weir, 1915; 이와 김, 1990). 병원균의 포자가 발아하는 데에는 일시적으로 40~60°C의 고온이 필요하기 때문에 이 병해는 모닥불이나 산불이 발생하였던 입지에서 자주 발생하는 것으로 알려져 있다(김 등, 2004; Sato 등, 1974; 이와 김, 1990). 또한 Horikoshi 등(1986)은 산불이 발생한 소나무림에서는 파상땅해파리버섯(*R. undulata*), *Tephroclybe anthracophila*,

Pholiota carbonaria), *Hygrocybe cantharellus*의 순서로 버섯이 발생한다고 하였다.

우리나라에서는 이 등(1982)이 1981년 경주 남산에서 모닥불 자리를 중심으로 소나무와 곰솔이 무리를 지어 죽는 원인이 파상땅해파리버섯에 의한 것임을 밝히면서 병명을 '리지나뿌리썩음병'이라고 기재하였다. 1987년에는 강릉시의 소나무 해안림에서 리지나뿌리썩음병에 의하여 나무가 무리지어 죽는 현상이 발견된 바 있다. 동해안지역에서 국지적으로 발생하는 리지나뿌리썩음병에 대한 연구에서 이와 김(1990)은 이곳에서 발생한 리지나뿌리썩음병은 쓰레기 소각, 모닥불 등 인위적인 '불'의 유입에 의한 것이며, 병원균 자낭포자의 발아온도 등 생리적 특성을 보고하였다.

2002년 충청남도 태안군 달산 3리 해안가에 인접한 곰솔림에서 나무가 무리지어 고사하는 것이 발견되었다. 현

*Corresponding author

Phone)+82-2-961-2625, Fax) +82-2-961-2595

E-mail) leesk77@foa.go.kr

재까지 우리나라의 서해안 지역에서 리지나뿌리썩음병에 대한 발생보고가 없었으나, 본 연구에서는 이들 나무고사가 리지나뿌리썩음병에 의한 것이라는 것과 함께 피해 확산 유형과 피해지 토양의 이화학적 특성에 대한 조사결과를 보고하고자 한다.

조사구 개황 및 피해조사. 본 연구의 대상지는 충청남도 태안군 남면 달산3리에 위치한 약 20 ha의 곰솔림이며, 서해와 인접한 해안가 송림이다(Fig. 1A). 하층식생은 아까시나무가 지상고 1 m 정도 내외의 관목상태로 우점하고 있다. 이곳에서 나무가 무리지어 죽어 있는 것이 발견된 것은 2002년 6월이었으나, 죽은 나무의 침엽 부착 상태 및 2차 천공성 해충류의 줄기 침입 상태를 기준으로 피해가 2001년부터 발생하기 시작한 것으로 조사되었다. 죽은 나무의 땅가부근 및 나무 주변에서는 리지나뿌리썩음병균인 파상땅해파리버섯(*Rhizina undulata*)이 다량으로 발생하고 있었다.

2002년 6월 평균 10여 그루씩 무리지어 27개소에서 고사목이 발생하였으며, 전체 고사목 수는 294그루이었다(Fig. 1B). 피해발생과 진전과정을 보다 체계적으로 파악하기 위하여 27개소의 피해장소 중 4개소를 고정조사구로 선정하였다. 2002년 6월부터 2004년 12월까지 4개 고정조사구에서 죽은 나무와 병원균의 자실체인 파상땅해파리버섯(Fig. 3)의 발생상황을 년 2회 5-6개월마다 조사하였다. 리지나뿌리썩음병의 발생과 관련지을 수 있는 쓰레기 조각이나 모닥불 등 '불'이 발생하였던 흔적은 발견되지 않았다.

피해발생 특성. 2002년 6월부터 2004년 12월까지 피해목 침엽의 부착정도 및 고사유무 및 죽은 나무와 파상

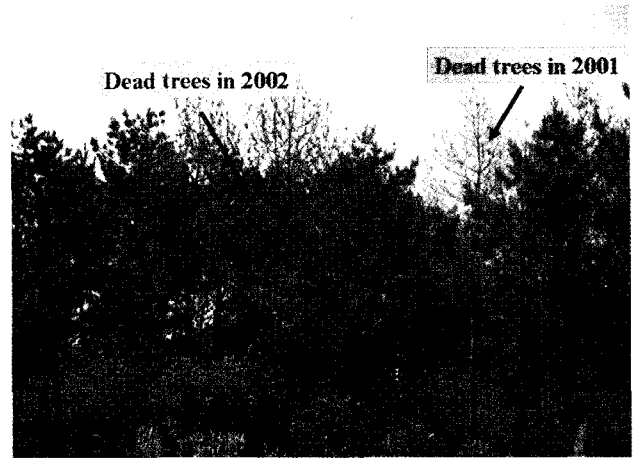


Fig. 2. Dead trees of Black pine (*Pinus thunbergii*) in the western coastal region of Korea.

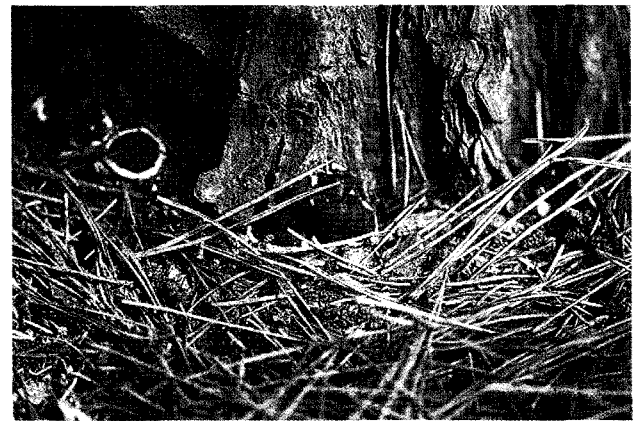


Fig. 3. Fruiting bodies of *Rhizina undulata* occurred around the dead trees.

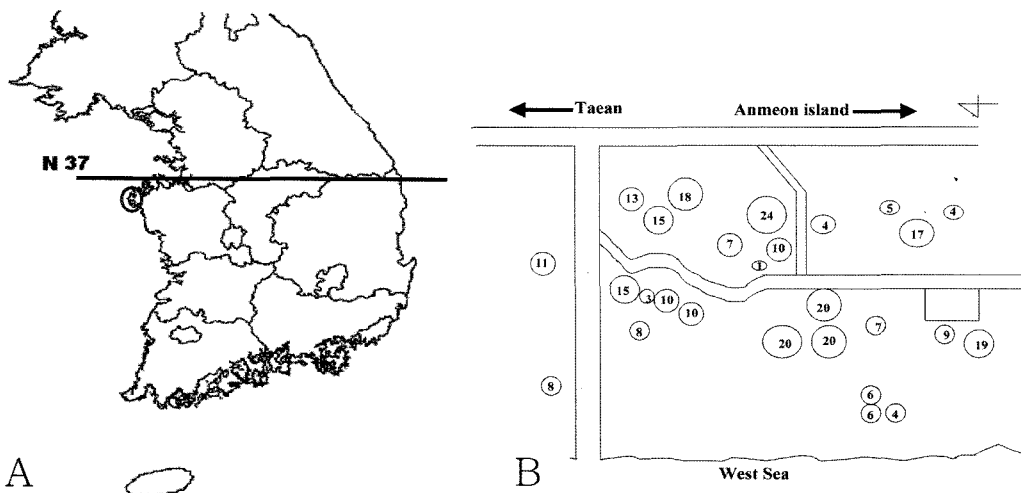


Fig. 1. The red circle of Map A indicates the region that *Rhizina* root rot occurred in the western coastal region of Korea (Dalsan 3Ri, Tae-an-Gun, Chungcheongnam-Do) and map B shows the distribution of *Pinus thunbergii* killed in groups by *Rhizina undulata* (Numbers in circles mean numbers of dead trees found during June 2002).

Table 1. Numbers of dead trees killed by *Rhizina undulata* and their DBH in the four plots of a Black pine forest in the western coastal area of Korea from 2001 to 2004

Plot	No. of dead trees				DBH ^a in average (cm)
	2001	2002	2003	2004	
A	7	9	33	1	14.9
B	5	10	10	0	17.1
C	3	1	13	2	26.3
D	5	13	16	5	13.0
Total	20	33	72	8	17.8

^aDiameter at the Breast Height.

땅해파리버섯의 위치를 조사한 결과, 4개 고정조사구에서 4년간 죽은 나무의 수는 모두 134그루이었고, 고사한 나무들의 평균 흉고직경은 17.6 cm(4~45.3 cm, 조사목 수=197)이었으며(Table 1), 죽은 나무와 살아 있는 나무의 흉고직경 차이는 발견할 수 없었다(자료 미제시). 그러므로 일단 피해가 발생하기 시작하면 토양 내 병원균의 균사는 나무의 크기와는 관계없이 나무의 땅속 뿌리를 침해하여 고사시키고 있는 것으로 생각된다.

4개 조사구에서 발생한 고사목은 조사구에 따라 다소 불규칙적이지만 전체적으로는 동심원을 이루면서 최초 발생지로부터 외곽으로 매년 확산하는 뚜렷한 경향을 나타냈다(Fig. 4). 외곽으로의 확산유형은 조사구에 따라 달랐으며, 조사구 A의 경우, 2001년 발생 후 2002년에는 4개

방향 중 2개의 양쪽 방향으로, 2003년에는 다시 3개 방향으로 확산하였으나 2004년에는 단지 한 그루의 고사목만이 발생하였다. 반면 조사구 B의 경우에는, 고사목의 발생분포가 불규칙하여 매년 특정방향으로만 확산하는 경향을 보였으며, 2004년에는 피해가 발생하지 않았다. 조사구 C에서는 2001년 최초 발생 후 2003년에는 한 그루의 고사목만이 발생하였으나 2004년에는 피해가 한 쪽 방향으로 비교적 넓은 범위로 확산하였고, 2004년에는 다시 한정된 장소에서만 피해가 발생하였다. 조사구 D의 경우에는 2001년 최초 발생 후, 2002년에는 거의 동심원을 그리면서 고르게 외곽으로 확산하였으나 2004년에는 한 쪽 방향을 제외한 3개 방향에서만 피해가 발생하였다. 병원균의 자실체인 파상땅해파리버섯의 발생 또한 각 조사구 모두에서 조사년도에 따라 차이가 있었지만 전체적으로는 죽은 나무의 땅가부근과 주변에서 발생하면서도 당해년도 고사목이 발생한 장소보다는 좀 더 외곽에서 발생하는 경향이 뚜렷하였다(Fig. 4). 그러므로 리지나뿌리썩음병균의 균사가 최초 발생지로부터 외곽으로 불규칙적인 동심원(균환)을 그리면서 계속 확산하여 나무를 죽게 하는 것으로 판단되었다.

동일 조사구내에서도 위치 및 년도에 따라 리지나뿌리썩음병의 발생(죽은 나무 및 자실체 발생)에 많은 차이가 있었다(Fig. 4). 조사구 A와 D의 경우 4년간 계속하여 주로 한쪽 방향으로만 고사목 및 자실체가 발생하였던 반면, 조사구 B와 C의 경우는 어느 정도 불규칙한 발생양

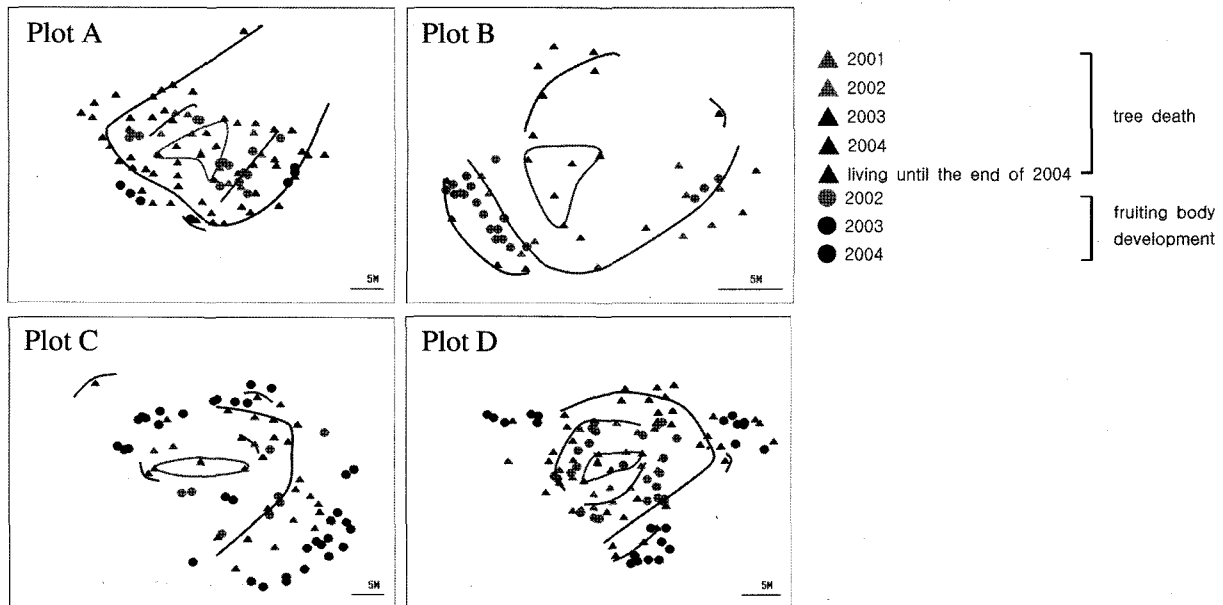


Fig. 4. Occurrence of black pines (*Pinus thunbergii*) killed by *Rhizina undulata* and fruiting bodies of the fungus, annually surveyed at the four plots of a black pine forest in the western coastal region of Korea from 2001 to 2004.

상을 보였다. 리지나뿌리썩음병균이 토양서식성 균류임을 감안한다면 균사의 진행 및 멈춤과 관련이 있는 요인이 무엇인지는 매우 흥미로운 것이며, 이 점은 리지나뿌리썩음병의 방제연구에 있어 중요한 부분이 아닐 수 없다. 현재까지 리지나뿌리썩음병의 발생소장에 미치는 제반 환경적 유인 및 관련 인자의 상호관련성에 대하여 거의 보고된 바 없다.

태안 달산리 피해지내 피해목의 군상 고사현상은 이와 김(1990)이 강원도 강릉시의 동해안 소나무림에서 보고한 것과 유사하였으며, 외국에서도 적지 않은 사례가 보고된 바 있다(Germmen, 1971; Ginns, 1968; Sato 등, 1974; Sinclair 등, 1987; Weir, 1915; 이 등, 1982). 리지나뿌리썩음병의 발생과 관련하여 포자의 발아온도는 중요한 유인인자의 하나로써 인정되고 있으며, 모닥불, 쓰레기 조각 등이 포자의 발아에 영향을 미칠 수 있는 대표적인 예라고 할 수 있다(이와 김, 1990; Sato 등, 1974). 그러나 태안 달산 3리 피해지역에서 병발생 유인인자로서 모닥불 등 “불”의 사용흔적은 발견할 수 없었다. 그러므로 모래토양인 태안지역 피해지에서 “불” 이외에 리지나뿌리썩음병의 발생과 관련되는 환경적 유인인자에 대한 정밀한 검토가 필요할 것으로 생각된다.

토양의 이화학적 성질. 피해지 토양의 이화학적 성질을 조사하기 위하여 27개 피해지 중 8개 피해지에서 깊이 5~10 cm의 토양을 토양코어(φ5 cm×H5 cm)로 1점씩 채취하였으며, 토양시료는 2002년 6월에 채집하였다. 채취된 토양은 국립산림과학원 토양분석실에서 분석하였는데, 입도분석은 Hydro-meter법, 산도는 pH-meter법, 유기물은 Tyurin법, 전질소는 켈달법, 유효인산(P₂O₅)은 비색법, 양이온치환용량(C.E.C)은 Brown법, 치환성양이온 중 K⁺와 Na⁺는 Flame-photometer법, 그리고 Ca²⁺와 Mg²⁺는

iCP 측정법으로 각각 측정하였다.

충청남도 태안지역은 일반적으로 적색계 갈색산림토양(rB)이 나타나는 지역으로 알려져 있다. 리지나뿌리썩음병이 발생한 태안군 남면 달산3리의 피해지 토양은 풍화가 거칠게 이루어진 모래 토양으로 점토성분이 0.64~2.9% 정도밖에 포함되어 있지 않으면서 모래성분이 91.4~98.5%를 차지하는 전형적인 사토(sand soil)이다(Table 2). 일반적으로 리지나뿌리썩음병균은 산성토양에서 잘 자라는 것으로 보고되어 있으며(Sato 등, 1974; 이와 김, 1990; 김 등, 2003), 8개 피해지에서 측정된 토양산도는 평균 5.28로 약산성이었다(Table 2). 태안 피해지 토양의 양료수준은 대단히 낮은 수준이었으며, 유기물함량은 0.10~0.92%, 전질소량은 0.015~0.021%, 유효인산은 토양시료의 채집 위치에 따라 다소 편차가 심하여 6.04~17.47 mg/kg, 양이온치환능력은 2.86~5.28 cmol+/kg로 조사되었다(Table 2). 이러한 태안 피해지 토양의 양료 수준은 비록 지역에 따라 다르고 분석방법에 따른 편차를 인정한다고 하더라도 우리나라 산림토양에서 보고된 수준(이 등, 1997; 김과 문, 1999; 박 등, 1999)과 비교하였을 때 대단히 낮은 것이다.

박 등(1999)은 지리산지역의 산불지에 대한 산불 전과 후의 토양미생물의 변동에 관한 연구에서 지하 10 cm 이상의 깊이에 분포하는 미생물들의 밀도는 전혀 감소되지 않았으며, 산불 발생 2개월만에 미생물 밀도가 대부분 크게 증가하여 산불이 발생하지 않은 인근 지역과 비슷한 수준으로 회복하였다고 보고하면서 산불 후 토양미생물의 회복은 토양산도 이외의 다양하고 복합적 요인에 의하여 좌우될 것이라고 하였다. 지역에 따라 다소 차이가 있으나, 산악지역 산림의 경우에는 산불 발생 후 급격히 감소하였던 토양양료가 2~6개월 후에는 산불 전의 수준으로 회복되면서 이와 함께 토양미생물의 종류 및 밀도

Table 2. Physical and chemical properties of the soils collected from the eight sites in which Rhizina root rot occurred in the western coastal region of Korea

Site	Physical property (%)				pH	O.M ^a (%)	T-N ^b (%)	Avail. P ₂ O ₅ ^c (mg/kg)	C.E.C ^d (cmol ⁺ / kg)	Exchangeable (cmol ⁺ /kg)			
	Sand	silt	clay	texture						K	Na	Ca ²⁺	Mg ²⁺
1	98.22	0.17	1.61	S ^e	5.23	0.26	0.018	34.31	3.08	0.32	0.14	0.64	0.52
2	98.64	0.08	1.28	S	5.33	0.10	0.015	16.89	2.86	0.19	0.12	0.58	0.33
3	98.80	0.24	0.96	S	5.44	0.49	0.021	6.95	3.08	0.13	0.11	0.31	0.12
4	98.94	0.22	0.84	S	5.47	0.33	0.021	9.59	2.86	0.24	0.11	0.69	0.69
5	94.12	3.63	2.25	S	5.79	0.92	0.009	6.04	2.64	0.16	0.11	0.23	0.12
6	92.20	4.91	2.89	S	4.63	0.39	0.086	17.47	5.28	0.24	0.11	0.76	0.52
7	91.42	5.69	2.89	S	5.57	0.34	0.018	8.32	2.86	0.22	0.12	0.70	0.37
8	98.46	0.90	0.64	S	4.80	0.70	0.037	12.25	3.74	0.19	0.11	0.43	0.53

^aO.M, organic matters; ^bT-N, total nitrogen; ^cAvail. P₂O₅, available phosphate; ^dC.E.C, cation exchange capacity; ^eS, Sand soil.

도 회복되는 것으로 알려져 있다(김 등, 2004; 김과 오, 2001; 이 등, 1997; 박 등, 1999).

한편, 2000년에는 강원도 동해안 일대 약 24,000 ha에 이르는 산림에 대형산불이 발생하여 엄청난 피해가 발생하였다. 산불발생 직후 지표온도의 상승으로 인한 자극으로 휴면포자가 발아하면서 리지나뿌리썩음병균의 자실체가 대규모로 발생하여 생존하고 있는 나무 뿐 만아니라 이식한 소나무 묘목에까지 이 병에 의해 치명적인 피해가 나타날 것으로 예상되었다(김 등, 2004). 실제로 산불 후 리지나뿌리썩음병균의 자실체가 만연한 시기에 이식한 소나무 용기묘의 고사율이 리지나뿌리썩음병균의 자실체가 거의 소멸된 산불 15개월 후에 이식한 경우보다 3~4배나 높았으며, 산불발생 15개월 후에는 병원균 자실체의 발생량도 급격히 감소한 것으로 밝혀졌다(김 등, 2004). 이러한 연구결과로 볼 때, 산악지 산림에서 산불이 발생한 경우에는 비록 리지나뿌리썩음병이 일시적으로 발생하더라도 시간이 경과함에 따라 리지나뿌리썩음병에 의한 피해도 발생하지 않게 되는데, 이것은 유실된 토양양분의 회복에 따른 토양미생물의 복원과도 상당한 관련이 있을 것으로 해석되고 있다(김 등, 2004).

본 연구를 수행한 충청남도 태안군 남면 달산3리의 해안가 주변 곰솔림의 경우에는 산악지 산림에서와는 다르게 인위적인 '불'의 유입이 없는 상태에서 리지나뿌리썩음병이 매년 발생하고 있으며 피해지속기간도 현재까지 약 5년에 이르고 있다. 모래토양 소나무림에서의 리지나뿌리썩음병에 의한 피해지속을 미치는 토양양분수준 및 토양미생물의 영향에 대하여는 거의 연구된 바 없으며, 앞으로 이 부분에 대한 연구는 리지나뿌리썩음병 발생기작에 대한 이해와 함께 효과적인 방제방법의 개발을 위해서도 필요할 것으로 생각된다.

요 약

2002년 6월에 서해안의 태안군 남면 달산3리에 위치한 약 20 ha의 곰솔림내 27개소에서 각 개소당 평균 10나무씩 무리를 지어 함께 294그루가 고사한 상태로 발견되었다. 2002년 6월부터 2004년 8월까지 4개 고정조사구에서 죽거나 죽어가고 있는 나무의 상태와 피해지에서 발생하고 있는 파상땅해파리버섯의 위치를 조사한 결과, 1) 피해목이 최초 고사목 발생장소로부터 불규칙 동심원을 이루면서 확산양상을 보이고 있으며, 2) 파상땅해파리버섯이 죽은 나무의 주변에서 집중적으로 발생하고, 3) 나무를 고사시킬 수 있는 해충이나 병원체가 발견되지 않아

이 지역에서의 나무집단고사는 리지나뿌리썩음병원균(*Rhizina undulata*)에 의한 것으로 판단되었다. 피해지 토양의 이화학적 특성에 대한 조사결과, 피해지 토양의 pH는 4.6~5.79이었으며, 토양양분수준도 대단히 낮은 상태이었다. 태안 피해지에서는 리지나뿌리썩음병 발생의 중요한 유인인자로 알려져 있는 모닥불 등 '불'을 사용한 흔적이 발견되지 않았으므로 본 병해 발생과 관련된 다양한 환경적 유인에 대한 정밀검토가 필요할 것으로 사료된다.

참고문헌

- Germmen, J. 1971. *Rhizina undulata*. A review of research in the Netherlands. *Eur. J. For. Path.* 1: 1-6.
- Ginns, J. H. 1968. *Rhizina undulata* pathogenic on Douglas fir seedlings in western north America. *Pl. Dis. Rept.* 52: 579-580.
- Horikoshi, T., Tateishi, T. and Takahashi, F. 1986. Changes of fungus flora after fires in *Pinus densiflora* forest. *Trans. Mycol. Soc. Japan* 27: 283-295.
- 김종갑, 오기철. 2001. 침엽수와 활엽수 산림에서 산불 후 토양 화학적 및 토양미생물학적 특성 변화. *한국생태학회지* 24(1): 1-7.
- 김경희 등. 2004. 산불지역의 침엽수고사에 관여하는 리지나뿌리썩음병의 효과적 인 방제기술 개발. 농림부. 112 pp.
- 김선화, 문경애. 1999. 솔잎혹파리 방제사업이 토양의 이화학적 특성, 낙엽의 분해 그리고 토양미생물 활성에 미치는 영향. *환경관리학회지* 5: 153-161.
- 이상용, 김완규. 1990. 소나무 리지나뿌리썩음병 관한 연구 - *Rhizina undulata* 의 생리적 특성 및 병원성. *한국임학회지* 79: 322-329.
- 이원규, 김춘식, 차순형, 김영걸, 변재경, 구교상, 박재욱. 1997. 산불이 산림토양의 이화학적 성질에 미치는 영향. *Korean J. Ecol.* 20: 157-162.
- 이창근, 여운홍, 김교수, 김경희. 1982. 잣나무잎녹병 등 수목병해 3종에 관한 연구. *임시연보* 29: 253-262.
- 박동진, 육연수, 김종진, 이상화, 김창진. 1999. 산불 발생 후 토양미생물의 밀 도변화. *미생물학회지* 35: 78-81.
- Sato, K., Yokozawa, Y. and Shoji, T. 1974. Studies on *Rhizina* root rot causing group dying of pine trees. *Bull. Gov. For. Exp. Sta.* 268: 13-48.
- Sinclair, W. A., Lyon, H. H. and Johnson, W. T. 1987. Diseases of trees and shrubs. Cornell University Press 574 pp.
- Thompson, J. H. and T. A. Tattar. 1973. *Rhizina undulata* associated with disease of 80-year-old red spruce in Vermont. *Pl. Dis. Rept.* 57: 394-396.
- Weir, J. R. 1915. Observation on *Rhizina inflata*. *J. Agr. Res.* 4: 93-95.