

지표화 산불피해지의 수종별 임목 고사율 비교분석

Comparative Analysis of Mortality in Species of Trees after Surface Forest Fire

이시영* · 안상현**

Lee, Si-Young · An, Sang-Hyun

Abstract

we studied and analyzed a tree mortality of 7 species(*Pinus koraiensis* etc) in surface forest fire area. In this results, the order of tree mortality was *Cryptomeria japonica*>*Pinus koraiensis*>*Pinus densiflora*>*Pinus thunbergii*>*Larix leptolepis*>*Pinus rigida*>*Quercus*. More damaged crown was higher tree mortality and more d.b.h was less tree mortality. Especially, oak trees in which a damage rate of crown was less 30% almost survived.

Keywords : Surface forest fire, Species, Stem damage, Crown damage, Mortality

요 지

본 연구는 지표화 산불피해지에서 우리나라에 가장 많이 분포하는 소나무, 잣나무, 낙엽송, 리기다소나무, 해송, 삼나무, 참나무류 등 7개 수종의 임목고사율을 조사 분석하였다. 조사결과 임목고사율은 삼나무>잣나무>소나무>해송>낙엽송>리기다소나무>참나무류 순이었다. 또한, 수간피해율이 높을수록 고사율이 높게 나타났고, 흉고직경이 클수록 고사율은 낮은 경향이였다. 특히 참나무류의 경우 수간 및 수관피해율이 30%이하에서는 거의 생존하는 것으로 나타났다.

핵심용어 : 지표화 산불피해지, 수종, 수간피해, 수관피해, 고사율

1. 서 론

산불이 발생하면 임목은 산불의 강도에 따라 그 피해 정도가 달라진다. 지표화(地表火)가 일어나는 경우에는 관목층의 일부, 초본층의 대부분과 임상(林床)의 낙엽과 낙지 등의 지표물만 타며 교목의 경우에는 화염의 높이나 바람의 방향, 풍속 등의 영향으로 줄기의 어느 정도 높이까지 화상이나 그늘음이 형성된다. 화상을 입는 주 방향은 산불이 진행되는 반대방향이며 이를 편면연소(片面燃燒)라고 한다(임아화재대책연구회, 1984). Peterson(1988)는 Douglas fir의 산불 발생 후의 생존율에 대한 조사에서, 산불발생 후 2년이 경과하면 수목의 생존과 고사의 수준을 알 수 있다고 하였으며, 수목의 직경, 수피두께, 수관의 비율, 불자국의 높이 등을 이용하여 생존율의 회귀식을 개발한 바 있다. 또한, Andrews 등(1989)은 미국서부의 처방화입 지역 43개소에서 Douglas fir 등 침엽수 7개 수종에 대하여 그늘음 높이, 수고, 수관비율, 수피두께와 임목 피해율과의 상관관계를 분석하여 산불피해지 관리 측면에서의 기초자료를 제공하였고, 津田(1987)은 수피, 잎 등의 연소성에 관한 연구에서 수피의 내화성은 코르크층이 발달되어 있는 상수리나무가 가장 크다고 하였다.

따라서 본 연구는 산불피해지에서의 수종별 수간 및 수관 피해율과 임목고사율과의 관계를 조사하여 수종별 산불피해 특성을 구명코자 수행하였다.

2. 연구방법

지표화 산불피해지에서의 수종별 임목고사율을 구명하기 위하여 전국 36개 지역의 산불피해지에서 임의로 10m×10m 크기의 3개 plots를 설정한 후 피해임목에 대하여 수고, 흉고직경, 수간피해율, 수관피해율 및 임목고사율을 조사한(표 1) 후 표 2와 같이 분석항목 및 변인 그룹을 설정하고 임목고사율과의 관계를 SAS 통계분석 프로그램을 이용하여 분석하였다. 또한, 그림 1은 산불연소 후의 수간 및 수관피해 상태를 나타낸 것이다.

3. 결과 및 고찰

3.1 수고별 임목고사율

산불피해지에서 수고에 따른 수종별 임목 고사율은 그림 2와 같이 소나무의 경우 수고 10m 이하가 91%, 11m이상이 23%로 평균 81%, 해송의 경우는 10m 이하 75%, 11m이상

*정회원 · 강원대학교 방재전문대학원 조교수(E-mail: lsy925@kangwon.ac.kr)

**충북대학교 정보산업공학과(교신저자)

표 1. 산불피해 조사지역의 일반적 특성

조사지	수종	조사위치	경사 (°)	평균수고 (m)	평균흉고직경 (cm)	plot내 평균입목고사율 (%)	
1	경기1	잣나무	산북부	25	9.7	15.3	100
2	경기2	잣나무	산정부	32	8.3	11.9	100
3	경기3	신갈, 떡갈, 소나무	산록부	35	10.3	16	50
4	경기4	소나무, 상수리	산북부	32	11.5	19.1	92
5	강원1	소나무	산북부	21	8.7	20	100
6	강원2	소나무	능선부	25	7.7	14	50
7	강원3	소나무	산정부	29	9.2	17	100
8	강원4	소나무	평지	0	12	19	0
9	강원5	소나무	평지	0	12	22	0
10	강원6	소나무	산록부	27	12	21	12
11	강원7	소나무, 신갈, 상수리	산록부	28	6	8	5
12	강원8	소나무, 신갈나무, 상수리	산록부	29	6	12	65
13	강원9	소나무, 신갈, 졸참	산정부	5	8	11	21
14	강원10	소나무, 신갈, 졸참	산정부	21	5	11	100
15	강원11	소나무	산정부	26	4	6	100
16	강원12	소나무	산록부	26	7	16	20
17	충북1	상수리	산북부	13	12	15	11
18	충북2	리기다, 소나무	산북부	19	11	13	100
19	충남1	소나무	산복능선부	5	5	7	100
20	충남2	소나무, 신갈나무	산북부	28	6	10	68
21	충남3	소나무, 리기다	산북부	30	5	10	71
22	경북1	해송	능선부	38	4	13	0
23	경북2	해송	산록부	17	9	12	76
24	경북3	소나무	산정하단부	22	8	10	80
25	경북4	해송	산록하단부	12	6	13	0
26	경남1	소나무, 신갈나무	산북부	18	4.5	12	100
27	경남2	소나무, 신갈나무	능선부	7	4	10	76
28	경남3	소나무, 상수리, 굴참나무	산록부	32	6	12	38
29	경남4	소나무, 신갈나무	산정부	21	6	10	100
30	전남1	해송, 굴참	능선부	5	7	9	94
31	전남2	해송, 오리	산북부	15	13	14	92
32	전남3	해송, 노간주	능선부	25	7	12	72
33	전남4	해송	능선부	26	10	13	100
34	제주1	해송	하단부	17	11	16	5
35	제주2	삼나무	하단부	20	12	13	100
36	제주3	삼나무	평지	0	14	22	100

표 2. SAS통계분석을 위한 분석항목 및 변인그룹

분석항목	변인 그룹
수고(H)	H1: 수고 10 m 미만 H2: 수고 10 m 이상
흉고직경(D)	D1: 흉고 16 cm 이하 D2: 흉고 18 cm 이상
수간 피해율	피해도 판정기준 전체 수고에 대한 최대 편면연소 부위 높이 비율(%)
	피해도 구분 S1: 수간피해율 30% 미만 S2: 수간피해율 30% 이상 60%이하 S2: 수간피해율 61% 이상인 그룹
수관 피해율	피해도 판정기준 전체 수관넓이에 대한 고사된 수관면 적의 비율(%)
	피해도 구분 S1: 수관피해율 30% 미만 S2: 수관피해율 30% 이상 60%이하 S2: 수관피해율 61% 이상인 그룹

53%로 평균 70%, 잣나무 의 경우는 10 m 이하 93%, 11 m 이상 100%로 평균 93%, 리기다소나무의 경우는 10 m 이하가 70%, 11 m 이상은 고사율이 없어 평균 59%, 그리고 낙엽송의 경우는 10 m 이하의 피해목이 없어 고사율을 측정할 수 없었으나 11 m 이상은 60%가 고사하였고, 삼나무의 경우는 10 m 이하 100%, 11 m 이상 100%로 전체입목이 고사하고, 참나무류의 경우는 10 m 이하 28%, 11 m 이상은 피해입목이 없어 평균 고사율은 20%를 나타냈다. 따라서 전체적으로 수고별 평균 입목 고사율은 수고 10 m 이하가 76%, 11 m 이상이 48%로서 수고가 클수록 입목고사율은 낮은 경향이거나 그림 3과 같이 유의성(p = 0.1870)은 없었다.

또한, 수종별 고사율이 낮은 순서는 그림 4와 같이 참나무류가 20%로서 가장 적었으며, 그 다음이 리기다소나무 59%, 낙엽송 63%, 해송 70%, 소나무 81%, 잣나무 93%, 삼나무



그림 1. 산불연소 후의 수간 및 수관피해 상태(2005, 양양 산불피해지)

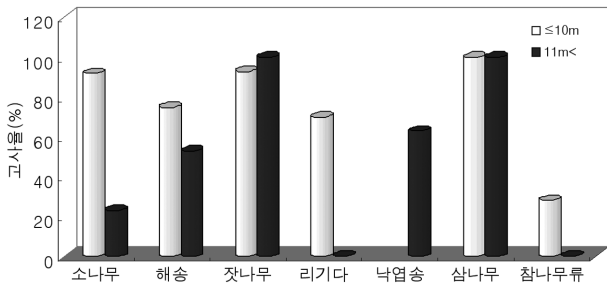


그림 2. 수고별 임목고사율

100%로서 참나무류의 임목고사율이 가장 적게 나타났다.

수종별 내화성의 경우 소나무 등 침엽수류의 경우에는 지표화가 일어나는 정도만으로도 열해를 받아 고사하는 등 산불에 대한 내화성이 매우 약한 반면, 활엽수류의 경우에는 내화성이 강해 살아남는 임목이 많았다. 이는 수피의 두께, 줄기내 통도조직의 형태적 특성 뿐만아니라 수종별 수엽의 테레펜류 함량과 관계가 깊다. 즉 테레펜류 함량이 많은 삼나무(1.1%) > 잣나무(0.78%) > 해송(0.59%) > 소나무(0.37%)

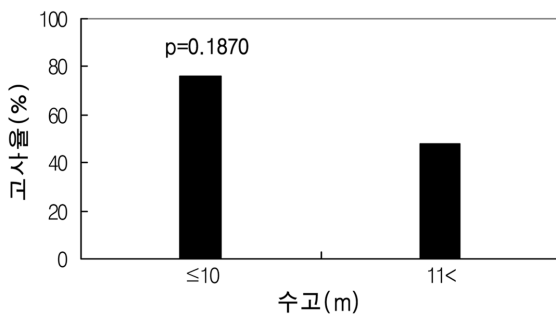


그림 3. 수고에 따른 임목 평균고사율

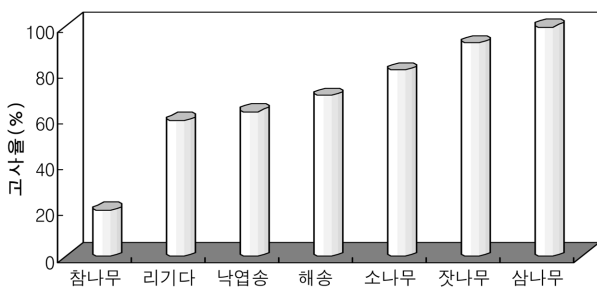


그림 4. 수종별 임목고사율

> 리기다(0.23%) > 활엽수(0.25%) 이하 순으로 산불에 약한 경향을 나타내고 있다.

3.2 수간피해율과 임목고사율

수종별 수간피해율별 임목고사율은 그림 5와 같이 소나무의 경우 수간의 그으름 높이가 30%이하에서 55%, 31~60%에서 72%, 61%이상에서는 100%였고, 해송의 경우는 30%이하에서 39%, 31~60%에서 94%, 61%이상에서 98%, 잣나무의 경우는 30%이하에서 80%, 31~60%에서 100%, 61%이상에서 100%, 리기다소나무는 30%이하에서 57%, 31~60%에서 75%, 61%이상에서 58%, 낙엽송의 경우는 30%이하에서 30%, 31~60%에서 88%, 61%이상에서 100%, 삼나무는 30%이하에서 100%, 31~60%에서 100%, 61%이상에서 100%, 참나무류는 30%이하에서 2%, 31~60%에서 20%, 61%이상에서 88%로 나타나 수간피해율별 전체 임목의 평균 임목고사율은 수간의 그으름 높이가 30%이하에서 52%, 31~60%에서 78%, 61%이상에서 92%가 고사되는 경향으로 수간피해율이 높을 수록 임목고사율이 높게 나타났으며, 그림 6와 같이 5% 수준에서 유의성($p=0.0361$)이 있었다. 특히, 참나무류의 경우 수간피해율이 30%이하에서는 거의 생존하는 것으로 나타났다.

3.3 수관피해율과 임목고사율

수종별 수관피해율별 임목고사율은 그림 7과 같이 소나무의 경우 수관피해가 30%이하에서 68%, 31~60%에서 83%, 61%이상에서 92%, 해송의 경우 30%이하에서 37%, 31~60%에서 100%, 61%이상에서 98%, 잣나무의 경우 30%이하에서 82%, 31~60%에서 100%, 61%이상에서 100%, 리기다소나

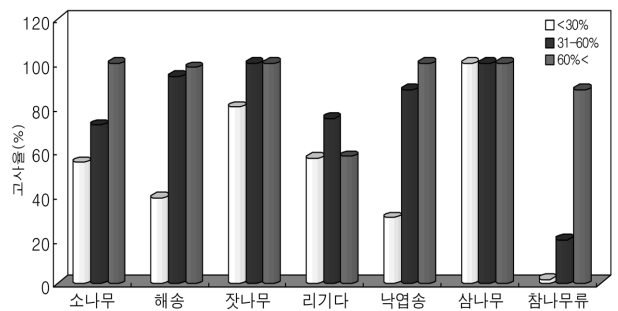


그림 5. 수간피해율과 임목고사율

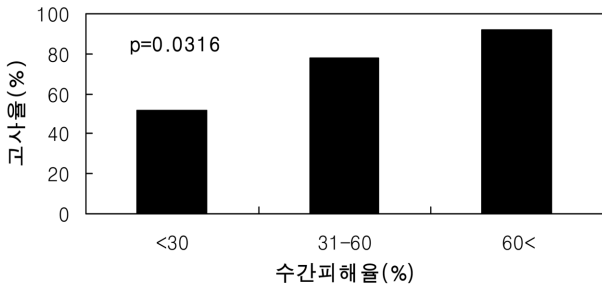


그림 6. 수간피해율에 따른 임목 평균고사율

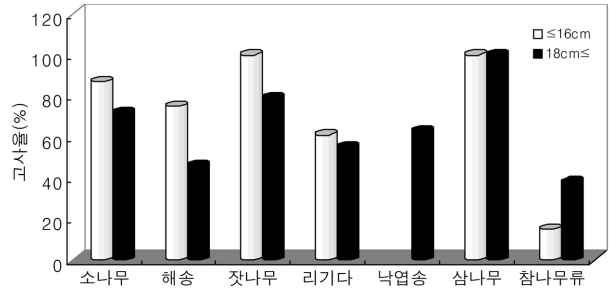


그림 9. 흉고직경별 임목고사율

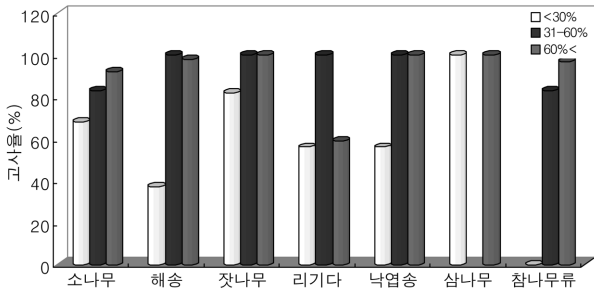


그림 7. 수관피해율과 임목고사율

무의 경우 30%이하에서 56%, 31~60%에서 100%, 61% 이상에서 59%, 낙엽송의 경우 30%이하에서 56%, 31~60%에서 100%, 61%이상에서 100%, 삼나무의 경우 30%이하에서 100%, 61%이상에서 100%, 참나무류는 30%이하에서 고사율이 없었고, 31~60%에서 83%, 61%이상에서 97%를 나타냈다. 따라서 수관피해율별 평균 임목고사율은 수관피해가 30% 이하에서 57%, 31~60%에서 94%, 61%이상에서 92%를 나타내어 수관피해도가 30%이상에서는 대부분 고사하는 경향이 있었으며, 그림 8과 같이 고도의 유의성(p=0.0086)이 있었다. 특히 참나무류는 수관피해율이 30%이하인 경우에서 고사율이 없어 내화력이 강한 수종으로 나타났다.

3.4 흉고직경별 임목고사율

수종별 흉고직경별 임목고사율은 그림 9과 같이 소나무의 경우 16 cm 이하가 87%, 18 cm 이상이 72%, 해송의 경우 16 cm 이하 75%, 18 cm 이상 46%, 잣나무 16 cm 이하 100%, 18 cm 이상 79%, 리기다 16 cm 이하 61%, 18 cm 이상 55%, 낙엽송의 경우는 조사지내에 16cm 이하의 피해임목이 없어 조사가 불가능하였으나, 18 cm 이상에서는 65%, 삼나무의 경

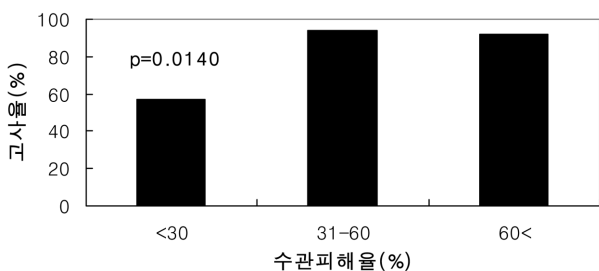


그림 8. 수관피해율에 따른 임목 평균고사율

우는 16 cm 이하 100%, 18 cm 이상에서는 100%, 참나무류의 경우는 16 cm 이하에서 15%, 18 cm 이상이 38%의 임목 고사율을 나타내었다. 따라서 전체적인 흉고직경별 평균 임목고사율은 16 cm 이하에서 73%, 18 cm 이상에서는 65%로서 흉고직경이 클수록 임목고사율이 낮은 경향이나, 그림 10과 같이 유의성(p=0.5879)은 없었다.

3.5 수간피해율과 수관피해율과의 관계

소나무 등 7개 피해 수종에 대한 수간피해율과 수관피해율의 관계를 분석한 결과 그림 11과 같이 수간피해율이 20% 일 때 수관피해율은 6%이고, 40%일 때에는 12%, 60%일 때 50%, 80%일 때 57%, 100%일 때에는 100%의 수관피해율을 나타냈다. 다만, 수간피해율이 20% 미만 일 때에는 수관피해에 영향을 미치지 않는 경향이었고, 수간피해율과 임목고사율의 관계식인 $Y = 1.2X - 20.7$ ($R^2 = 0.68$, $X =$ 수간피해율)을 도출하였다.

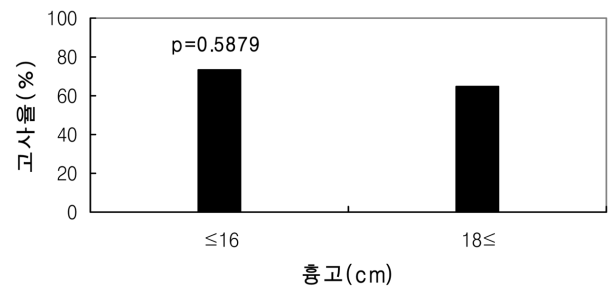


그림 10. 흉고직경에 따른 임목 평균고사율

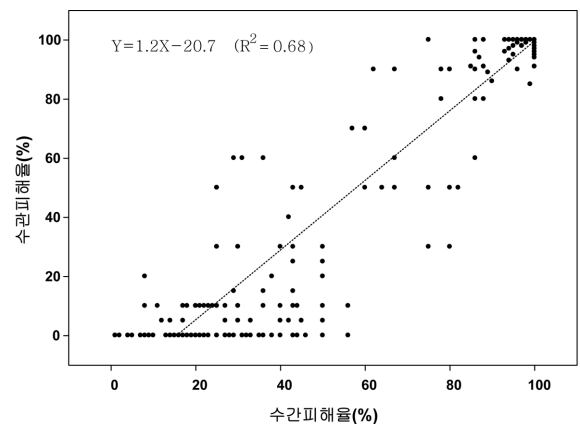


그림 11. 수간피해율과 수관피해율과의 관계

4. 결 론

본 연구는 경북 영덕 등 36지역의 지표화 산불피해지에서 수종별 수간 및 수관피해율에 의한 임목고사율을 조사하여 수종별 산불피해특성을 구명코자 수행하였으며, 본 연구를 통하여 얻어진 결과는 다음과 같다.

- 1) 산불피해를 받은 소나무등 7개 수종의 임목고사율을 조사한 결과 굴참나무, 상수리나무 등 참나무류가 20%로서 가장 적었으며, 리기다소나무 59%, 낙엽송 63%, 해송 70%, 소나무 81%, 잣나무 93%, 삼나무 100%로서 참나무류의 임목고사율이 가장 낮게 나타났다. 따라서 수종별 임목고사율은 삼나무>잣나무>소나무>해송>낙엽송>리기다소나무>참나무류 순이었다.
- 2) 수고별 평균 임목고사율은 수고 10 m이하가 76%, 11 m이상이 48%로서 수고가 클수록 임목고사율은 낮은 경향이나 유의성($p=0.1870$)은 없었다.
- 3) 수간피해율별 평균 임목고사율은 수간의 그으름 높이 30%이하에서 52%, 31~60%에서 78%, 61%이상에서 92%가 고사되는 경향으로 수간피해율이 높을수록 고사율이 높게 나타났으며, 5% 수준에서 유의성($p = 0.0361$)이 있었다. 특히, 참나무류의 경우 수간피해율이 30%이하에서는 거의 생존하는 것으로 나타났다.
- 4) 수관피해율별 평균 임목고사율은 수관피해가 30%이하에서 57%, 31~60%에서 94%, 61%이상에서 92%를 나타내어 수관피해도가 30%이상에서는 대부분 고사하는 경향이었으며, 고도의 유의성($p = 0.0086$)이 있었다. 특히 참나무류는 수관피해율이 30%이하인 경우에도 고사율이 없어 내화력이 강한 수종으로 나타났다.
- 5) 흉고직경별 평균 임목고사율은 16 cm 이하가 73%, 18 cm 이상이 65%로서 흉고직경이 클수록 임목고사율이 낮은 경향이나, 유의성($p = 0.5879$)은 없었다.
- 6) 수간피해율과 임목고사율의 관계를 분석한 결과

$Y = 1.2X - 20.7 (R^2 = 0.68, X = \text{수간피해율})$ 의 회귀식을 도출하였으며, 수간피해율이 20% 미만 일 때에는 수관피해율에 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다.

- 7) 굴참나무, 상수리나무 등 참나무류는 소나무 등 침엽수류 보다 산불에 강한 내화수종으로 판명되었으며, 소나무 등 침엽수림의 경우도 가지치기와 간벌 등 숲가꾸기에 의해 임목생장을 촉진시킨다면 산불피해를 적게 받아 임목고사율은 매우 저감 될 것으로 판단된다.

참고문헌

- 채희문 (2003) 산림미세연료에 의한 초기 산불확산에 관한 연구, 박사학위논문. 강원대학교.
- 日本 消防庁 消防研究所 (1988) 林野火災に對する研究. Vol. 21, pp. 1-126.
- 日本 林野火災對策研究會 (1983) 林野火災實務手引書. pp. 1-130.
- 日本 森林保存研究會 (1983) 森林災害の見方, pp. 13-97.
- Brown, J. K. and DeByle, N. V. (1987) Fire damage, mortality, and Suckering in aspen. *Can. J. For. Res.* Vol. 17, pp. 1100-1109.
- George R. Fahnestock and Robert C. Hare. (1964) Heating of tree Trunks in Surface fire. *Journal of forest.* Vol. 62, pp. 799-805.
- Peterson, D. L. and Arbaugh, M. J. (1989) Estimating postfire survival of Douglas-fire in the Cascade Range. *Can. J. For. Res.* Vol. 19, pp. 530-533.
- Robert C. H. (1965) Contribution of bark to fire resistance of Southern Tree. *Journal of Forestry*, pp. 248-251.
- Storey, T.G and Merkel, E. P. (1960) Mortality in A Longleaf-Slash Pine Stand Following a Winter Wildfire. *Journal of forestry.* Vol. 58, pp. 206-210.
- Tunstall B. R., Walker J. and Gill A. M. (1975) Temperature Distribution Around synthetic Tree During Grass Fire. *For. Sci.* Vol. 22, pp. 269-276.

- ◎ 논문접수일 : 09년 2월 26일
- ◎ 심사의뢰일 : 09년 3월 03일
- ◎ 심사완료일 : 09년 4월 03일