

## 곰솔 해안방재림의 형상비를 고려한 밀도 관리의 필요성과 방안

김석우<sup>1</sup> · 전근우<sup>1\*</sup> · 박기형<sup>2</sup> · 임영협<sup>1</sup> · 윤주웅<sup>3</sup> · 권세명<sup>4</sup> · 윤호중<sup>2</sup> · 이진호<sup>5</sup> · 寺本行芳<sup>6</sup> · 江崎次夫<sup>7</sup>

<sup>1</sup>강원대학교 산림과학부, <sup>2</sup>국립산림과학원 산림보전부,  
<sup>3</sup>강원대학교 산림환경시스템학과, <sup>4</sup>북경임업대학교 수도보전학원,  
<sup>5</sup>(특)사방협회 강원지부, <sup>6</sup>가고시마대학 농학부, <sup>7</sup>에히메대학 농학부

### The Necessity and Method of Stand Density Control Considering the Shape Ratio of *Pinus thunbergii* Coastal Disaster Prevention Forests in South Korea

Suk-Woo Kim<sup>1</sup>, Kun-Woo Chun<sup>1\*</sup>, Ki-Hyung Park<sup>2</sup>, Young-Hyup Lim<sup>1</sup>, Ju-Ung Yun<sup>3</sup>,  
Se-Myoung Kwon<sup>4</sup>, Ho-Joong Youn<sup>2</sup>, Jin-Ho Lee<sup>5</sup>, Yuki Yoshi Teramoto<sup>6</sup> and Tsugio Ezaki<sup>7</sup>

<sup>1</sup>Division of Forest Science, Kangwon National University, Chuncheon 24341, Korea  
<sup>2</sup>Department of Forest Conservation, Korea Forest Research Institute, Seoul 02455, Korea  
<sup>3</sup>Department of Forestry and Environmental Systems, Kangwon National University, Chuncheon 24341, Korea  
<sup>4</sup>School of Soil and Water Conservation, Beijing Forestry University, Beijing, China  
<sup>5</sup>Gangwon Branch of Korean Association of Soil and Water Conservation, Chuncheon 24270, Korea  
<sup>6</sup>Faculty of Agriculture, Kagoshima University, Kagoshima 890-0065, Japan  
<sup>7</sup>Faculty of Agriculture, Ehime University, Matsuyama 790-8566, Japan

**요약:** 이 연구는 우리나라 서·남·동해안 및 제주도 총 123개소의 곰솔 해안방재림 실태조사 결과와 국내·외 사례와의 비교를 토대로 형상비를 고려한 밀도 관리의 필요성과 방안을 검토하기 위하여 실시하였다. 곰솔의 형상비(수고/흉고직경)는 서·남·동해안에서 임목밀도와 정적 상관관계를 보이며, 서해안은 평균 66.32로 남해안 49.57, 동해안 48.19 및 제주도 48.29에 비하여 현저히 높은 것으로 나타났다. 특히 서해안은 형상비 70이상인 곰솔 임분이 전체 개소수의 50%를 차지하여, 국내·외 사례와 비교할 때 방재기능의 저하가 우려되었다. 임목밀도는 동해안을 제외한 대부분 지역에서 우리나라 산림청 및 일본 삼림종합연구소의 기준보다 현저히 높은 과밀상태를 보여 밀도조절이 필요한 것으로 판단되었다. 우리나라 해안지역 곰솔의 성장 추정식에 의하면 해안방재림의 기능 저하를 방지하기 위하여 형상비가 급증하는 14년생 이하의 유령림에 대한 밀도관리가 중요한 것으로 시사되었다. 특히 곰솔림의 1차 속아베기는 형상비 70을 초과하는 8년생 임분이 되기 전에 실시해야 할 것으로 판단되었다. 우리나라와 일본의 곰솔 밀도기준을 비교한 결과, 목재생산을 목표로 한 국내의 곰솔 밀도기준에 비하여 형상비를 고려한 일본의 기준은 방재기능이 비교적 취약한 흉고직경 20 cm이하의 유령림에 대해서는 보다 높은 임목밀도를 요구하는 것으로 나타났다. 현재 우리나라에는 곰솔 해안방재림의 적정 밀도기준이 없기 때문에 현지조사 결과를 토대로 방재기능에 중점을 두고 설정된 일본의 기준이 유효하게 활용될 수 있다고 판단되었다.

**Abstract:** This study examined methods for stand density control by using shape ratio (tree height/DBH) and its application for effective management of *Pinus thunbergii* coastal disaster prevention forests. We analyzed the present conditions (height, DBH, and density) of *P. thunbergii* coastal disaster prevention forests at 123 study sites on Jeju Island and west, south, and east coasts of South Korea and compared them with results from previous studies. The average shape ratio for *P. thunbergii* showed positive correlations with stand density and was significantly higher on the west coast (66.32) than on the south (49.57) and east (48.19) coasts and Jeju Island (48.29). Stands with shape ratio higher than 70 accounted for 50% of the total study sites on the west coast, indicating a decrease in their disaster prevention function compared to that of other previous studies. The stand density in most coastal areas, except the east coast, was significantly higher than the standards recommended by the Korea Forest Service and the Forestry and Forest Products Research Institute of Japan, indicating the need for stand density control. According to the growth estimation equation for *P. thunbergii* in

\*Corresponding author  
E-mail: kwchun@kangwon.ac.kr

the coastal area of South Korea, density control is required for young stands less than 14 years old, which show drastic increase in the shape ratio, to conserve their disaster prevention function. Particularly, the first thinning of *P. thunbergii* forests should be implemented before the stand age of 8 years that a shape ratio exceeds 70. For disaster-prone young stands ( $\leq 20$  cm DBH) of *P. thunbergii*, the stand density was higher in the standard of Japan considering shape ratio than in that of Korea aiming timber production. Hence, the standard guidelines employed in Japan, which assign higher importance to disaster prevention function based on field surveys, can be applied effectively for controlling the stand density of *P. thunbergii* coastal forests in South Korea, to improve their disaster prevention function.

**Key words:** stand density control, shape ratio, *Pinus thunbergii*, coastal disaster prevention forests

## 서론

삼면이 바다로 둘러싸인 우리나라는 육지면적 대비 해안선 길이의 비율이 117%로 일본 87%, 영국 57% 및 뉴질랜드 56% 등의 외국에 비해 매우 높다(Korea Institute of Ocean Science & Technology, 2015). 따라서 해안재해 저감을 위한 건전한 해안환경의 조성 및 관리는 국토보전 뿐만 아니라 해안지역 주민의 생명과 재산 보호에도 직·간접적으로 기여한다. 우리나라 동해안 지역은 일본 앞바다의 해저지진에 따른 쓰나미 피해 위험성이 지속적으로 제기되어 왔으며(Chun et al., 2005; Korea Forest Service, 2007a), 실제로 1983년과 1993년에 일본 아키타현과 홋카이도 부근에서 발생한 해저지진의 영향으로 강원도 삼척 임원항에서 두 차례의 쓰나미 피해가 발생한 바 있다(Korea Forest Service, 2007a). 또한 2003년 14호 태풍 매미 및 2006년 10월 동해안에 내습한 너울성 파도로 폭풍해일 피해가 발생하였고(Lee and Kim, 2014), 최근에는 우리나라 주변 해역에서 해저지진 빈도가 증가한 것으로 보고되고 있다(Park and Cho, 2012). 이러한 상황에서 더 이상 우리나라도 지진해일 안전지대에 있다고는 할 수 없으며, 체계적인 대책 마련이 요구되고 있다.

이에 산림청에서는 해방 이후 모래날림·염해 방지를 위해 해안사방의 일환으로 해안림 조성을 추진하였고, 2004년 인도네시아 대규모 지진해일 피해를 계기로 2006년부터는 쓰나미 피해저감에 중점을 둔 독립 사업으로서 해안방재림 조성사업을 실시해 오고 있다(Korea Forest Service, 2012). 특히 최근 해안방재림의 다면적 기능(Korea Forest Service, 2007a)과 함께 국내·외 연구를 통한 방풍(Im et al., 2009) 및 쓰나미 피해저감 효과(Chun et al., 2005; Kathiresan and Rajendran, 2005; Ohira et al., 2012; Lee and Kim, 2014)가 알려지면서 해안방재림의 기능과 가치에 대한 인식은 한층 고조되고 있는 상황이다.

우리나라 해안방재림의 주요 우점수종은 곰솔이다(Kim, 2004; Korea Forest Research Institute, 2012b; 2013c). 곰솔은 내염성과 내조성이 강하여 해안지대에서도 생육이 양호하기 때문에(Lee, 1980; Kim, 2010) 방풍림으로서

의 공익적 기능을 기대할 수 있다(Chung et al., 1993; Kim et al., 2012a). Choi et al.(2014)은 태풍 블라벤에 의한 제주도 지역 해안림의 피해조사를 통하여 곰솔을 조풍피해가 약했던 수종 중 하나로 언급하고 방풍림으로 적합하다고 하였다. 이러한 이유로 해안방재림의 신규 조성은 척박한 해안환경에 잘 적응하는 곰솔을 중심으로 추진되어 왔다. 곰솔림을 대상으로 많은 연구도 진행되어, 분포(Kim and Kil, 1983), 생장특성(Cho, 1988; Park and Chung, 1999; Park et al., 2009; Kim et al., 2012b; Park et al., 2013) 및 임분구조(Lee, 1988; Kim, 2004; Kim and Choi, 2007; Cheon et al., 2012; Park et al., 2013; Kim et al., 2014) 등에 관한 연구가 실시되어 왔다. 이러한 연구들은 모두 생태학적 측면에서 접근한 것으로, 해안방재림 본연의 목적인 방풍·모래날림 방지 등과 같은 방재기능이나 이를 증진하기 위한 시업체계 또는 관리방안 등에 대하여 구체적으로 검토한 사례는 거의 없다.

우리나라 해안방재림의 교목층은 대부분 곰솔 단순림을 이루고 있다(Korea Forest Research Institute, 2012b; 2013c). 따라서 소나무재선충병이나 솔껍질깍지벌레에 의한 피해가 확산될 경우 방재기능의 상실로 이어질 수 있기 때문에 체계적인 시업·관리를 통한 임분환경의 개선이 필요하다(Park et al., 2008). 또한 해안방재림의 임목밀도가 높을 경우는 쓰나미 내습 시 오히려 수목에 의한 피해를 가중시킬 수 있으므로(Laso Bayas et al., 2011) 적절한 밀도조절이 중요하다. 밀도조절은 건전한 임분뿐만 아니라 교란임지에 대해서도 가장 기본적인 관리방안이다(Korea Forest Research Institute, 2013a). 이와 유사한 배경을 바탕으로 최근 일본 삼림총합연구소에서는 지금까지의 실태조사와 연구성과를 집대성하여 곰솔 해안림의 관리지침(Forestry and Forest Products Research Institute, 2011)을 발간하였다. 이 지침에는 해안림의 방재기능 증진을 위한 건전한 수형(형상비) 및 밀도 관리방안, 나아가 복층림으로 유도하기 위한 활엽수 도입방법 등이 구체적으로 제시되어 있다. 그러나 현재 우리나라에서는 해안방재림을 지속적으로 조성하고 있지만 사후관리는 미흡한 실정이며, 관련 지침 또한 마련되어 있지 않다(Korea Forest Service, 2012). 해안방재림의 전반적인 실태를 파

악하고 개선방향을 제시하는 것은 해안재해 저감을 위한 해안방재림의 기능 증진에 있어 반드시 선결되어야 할 과제이다.

따라서 이 연구에서는 우리나라 서·남·동해안 및 제주도의 해안방재림 실태조사 결과를 토대로 임목밀도와 형상비 및 흉고직경의 관계를 분석하고, 국내·외 사례에 기초하여 해안방재림의 밀도관리 필요성을 고찰하였다. 또한 분석된 자료를 국내의 곰솔 잔존본수 기준(Korea Forest Service, 2000) 및 일본의 밀도관리 지침(Forestry and Forest Products Research Institute, 2011)과 비교함으로써 형상비를 고려한 해안방재림의 밀도관리 방안에 대하여 검토하였다.

## 연구방법

### 1. 연구대상지

이 연구에서는 항공사진 관독과 사전답사를 통하여 확인된 배후에 주택, 농경지 등의 보호대상시설이 있는 해빈림과 해애림(Korea Forest Service, 2007a; Chun, 2011)을 해안방재림으로 정의하고, 이 중 곰솔 단순림을 대상으로 선정하였다. 연구대상지는 서·남·동해의 연안지역과 경기도·충청남도·경상남도·전라남도·제주도의 일부 도서지역을 포함한 총 123개소이며(Figure 1), 해안별 분포현황은 Table 1과 같다.

### 2. 조사 및 분석방법

해안방재림의 현지조사는 국립산림과학원 일반연구사업 「해안방재림 조성·복원 및 종합관리기술 개발」의 일환으로, 서·남·동해의 연안지역에서 2012년 6월부터 10월까지, 도서지역에서 2013년 4월부터 10월까지 실시되었다. 본 연구진이 수행한 동해안과 경기도·충청남도 도

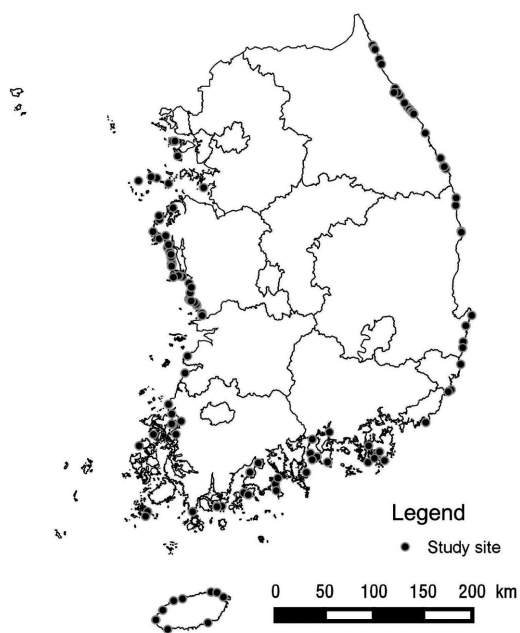


Figure 1. Location map of study sites.

서지역 46개소의 식생조사는 연구사업의 지침(Korea Forest Research Institute, 2012a; 2013b)에 따라 각 조사지별로 20 m × 20 m(일부 조사지는 현지여건에 따라 10 m × 10 m로 설정) 크기의 방형구 3개(총 138개 방형구)를 설정하여 실시하였다. 조사 시에는 방형구 내의 모든 곰솔을 대상으로 직경테이프와 수고측정봉을 이용하여 각각 흉고직경과 수고를 정확하게 측정하였다. 이 외의 대상지 77개소(총 231개 방형구)에 있어서 흉고직경과 수고 데이터는 이 연구와 동일한 과제를 수행하여 발간된 자료집(Korea Forest Research Institute, 2012b; 2013c)을 통하여 수집하였다.

현지조사를 통하여 각 조사지역별로 3개 방형구에서 측

Table 1. Number of study sites in each coastal area.

Area	Site	Number
West Coast	· Incheon: Muui, Ongjin	7
	· Gyeonggi-do: Hwaseong	1
	· Chungcheongnam-do: Seosan, Seocheon, Boryeong, Taean	32
	· Jeollabuk-do: Buan, Gochang	2
	· Jeollanam-do: Hampyeong, Yeonggwang, Muan	6
South Coast	· Jeollanam-do: Goheung, Yeosu, Wando, Shinan, Jindo	17
	· Gyeongsangnam-do: Sacheon, Geoje, Namhae, Tongyeong	13
	· Busan	1
East Coast	· Gangwon-do: Goseong, Sokcho, Yangyang, Gangneung, Donghae, Samcheok	23
	· Gyeongsangbuk-do: Ulsan, Pohang, Gyeongju	9
	· Ulsan	3
Jeju	· Jeju, Seogwipo	9
Total		123

정된 곱솔의 개체 수, 흉고직경 및 수고는 산술평균하여 대푯값으로 하였고, 이 외에 자료집을 통하여 수집된 데이터는 그대로 이용하였다. 개체 수는 ha 당 본수, 즉 임목밀도로 환산하였고, 흉고직경에 대한 수고의 비를 계산하여 형상비로 하였다.

한편 데이터 분석에 있어서 모든 통계처리는 IBM SPSS Statistics(ver. 21.0, SPSS Inc., USA) 프로그램을 이용하여 실시하였다.

## 결 과

### 1. 형상비

곱솔의 형상비는 제주도를 제외한 서·남·동해안에서 모두 임목밀도가 증가함에 따라 증가하는 경향을 보였으며, 특히 서해안에 생육하는 곱솔의 형상비가 동일한 임목밀도 대비 가장 크게 나타나 전체 개소수의 50%가 70 이상으로 확인되었다(Figure 2). 서해안 지역에 생육하는 곱솔의 평균 형상비는 66.32로, 다른 지역(남해안 49.57, 동해안 48.19 및 제주도 48.29)에 비하여 현저하게 높았으며, 그 차이는 통계적으로 유의하였다(Figure 3).

### 2. 임목밀도

해안방재림의 생육상황을 파악하기 위하여 해안별 임목밀도와 흉고직경과의 관계를 Korea Forest Service(2000)에서 제시한 곱솔의 평균 흉고직경급별 슈아베기 후 잔존본수 기준표와 비교한 결과는 Figure 4와 같다. 산림청 기준표에는 흉고직경 24 cm의 범위까지만 제시되어 있기 때문에, 이 논문에서는 임목밀도와 흉고직경과의 관계에 대한 회귀선을 도출하여 비교하였다. 그 결과, 동해안은 비교적 산림청 기준의 회귀선 상에 위치하며 변동폭이 작았지만, 서·남해안과 제주도는 회귀선과 잘 부합하지 않고 변동폭 또한 컸으며, 임목밀도가 높게 나타나 대부분 과

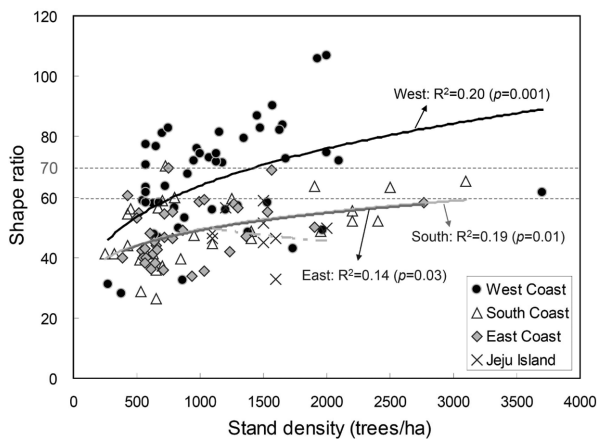


Figure 2. Relationship between shape ratio and stand density for each coastal area.

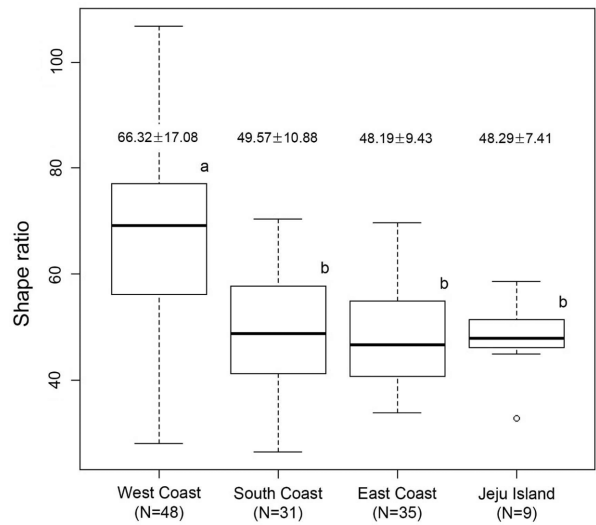


Figure 3. Box-and-whisker plots of shape ratio for each coastal area. For the box plots, thick solid lines indicate the median value and box ends are the upper and lower quartiles. The whiskers represent the maximum and minimum values excluding outliers (defined as values outside 1.5 times the interquartile range) and open circles are outliers. Significant differences (ANOVA and Scheffe post-hoc test,  $p < 0.05$ ) are indicated with contrasting letters (a, b) above the box. Values above each box indicate the mean  $\pm$  standard deviations.

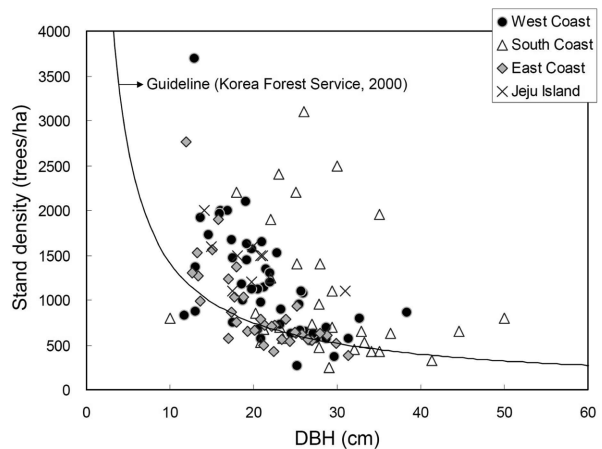


Figure 4. Relationship between stand density and DBH for each coastal area and its comparison with the standard guideline of Korea Forest Service.

밀상태인 것으로 판단되었다.

## 고 찰

### 1. 형상비를 고려한 임목밀도 관리의 필요성

수목의 형상비는 임분의 육성·관리에 있어 건전성을 나타내는 지표로서(Japan Forestry Technology Association, 1998), 국내·외에서 해안방재림의 기능 발휘와 관련한 주요 인자로 인식되어 왔다(Oda, 1992; Park et al., 2009; Sakamoto et al., 2010; Korea Forest Research Institute,

2013a). 일반적으로 수목의 형상비가 높으면 풍·설해에 취약한 것으로 알려져 있다(Cremer et al., 1983; Japan Forestry Technology Association, 1998; Kato, 2009). 일본에서의 피해조사 결과에 따르면 형상비가 60 또는 70 이상일 경우 풍·설해의 위험성이 높은 것으로 보고되고 있으며(Oda, 1992; Japan Forestry Technology Association, 1998; Kunisaki, 2005), 이를 토대로 해안방재림에 요구되는 이상적인 형상비의 기준을 60 또는 70 이하로 설정하고 있다(Oda, 1992; Harada and Kawata, 2005; Sakamoto et al., 2010; Forestry and Forest Products Research Institute, 2011). 독일 가문비나무 숲의 사례에서도 풍·설해 임분의 형상비는 83, 미피해 임분은 63을 나타낸 것으로 보고되고 있다(Korea Forest Service, 2000). 국내의 경우, 최근 Korea Forest Research Institute(2013a)의 보고에 따르면 인위적 교란, 태풍, 산불 및 병충해 등에 의한 피해목의 경우 직경급이 작고 형상비가 높은 형태를 보인다고 하였다. 비록 이러한 보고가 다양한 피해요인에 의한 결과이고, 비교적 유령 임분이기 때문에 외부 교란에 약하여 발생한 결과로 볼 수도 있지만, 향후 우리나라 해안림에 있어서 방제기능 강화를 위하여 수형을 고려한 밀도 관리의 필요성은 강조할 만한 사례라고 판단된다.

다만 곰솔 임분은 해안별로 성장패턴이 다르며(Park et al., 2013; Kim et al., 2014), 특히 동일한 해안권역 내에서도 다양하고 복잡한 임분구조를 보인다(Korea Forest Research Institute, 2013a). 또한 최근의 실태조사 결과(Korea Forest Service, 2012)에 따르면 2006년 이후 해안방재림 조성 당시의 식재본수도 해안권역 또는 연도별로 상이하여, 큰 나무심기 위주로 식재한 곳은 10,000본/ha의 기준에 미치지 못하는 경우도 있는 것으로 보고되고 있다. 따라서 이러한 상황에서 현재 우리나라 해안방재림의 임목 형상비, 밀도 및 흉고직경 등 이들의 상호관계가 지역적 차이인지, 혹은 관리미흡에 따른 인위적인 영향인지에 대하여 논하기에는 다소 한계가 있다. 그러나 임목밀도와 정의 상관관계에 있는 형상비의 경우, 남·동해안 및 제주도의 평균치가 48~50으로 비교적 일정한 데 비하여 서해안은 이를 상회하는 66을 보인다는 점(Figure 2, 3), 그리고 목재생산을 목표로 한 Korea Forest Service(2000)의 잔존본수 기준표와 비교했을 때 동해안을 제외한 서·남해안 및 제주도 해안림의 대부분이 과밀상태에 있다는 점(Figure 4)은 해안방재림의 임목밀도 관리의 필요성을 시사한다. Park et al.(2009)은 임목밀도가 낮을수록 수관폭이 크고 형상비 60 이하인 임분이 많으며, 이는 곧 수목의 생육상황이 건전함을 의미한다고 언급하고, 방풍림으로서의 기능 증진을 위한 적절한 숲아베기의 필요성을 강조하였다.

한편 Park and Chung(1999)은 우리나라 서·남·동해

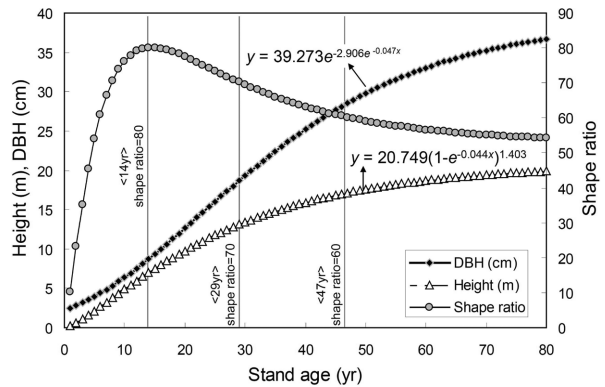


Figure 5. Changes in height, DBH and shape ratio by stand age for *Pinus thunbergii*.

안에서 울폐도가 비교적 완전하고 임분 내 공간이 없는 곰솔림을 조사하여 임령에 따른 직경 및 수고성장 추정식을 제안하였다. 이 식에 의하면 곰솔 임분의 형상비는 임령이 증가함에 따라 14년까지는 급격히 증가하여 14·15년생은 수고 7 m·흉고직경 9 cm로 최대인 80이 된다. 그러나 이후 점차 감소하여 29년생은 수고 13 m·흉고직경 19 cm로 형상비 70, 47년생은 수고 17 m·흉고직경 29 cm로 형상비 60이 될 것으로 추정된다(Figure 5). 따라서 해안방재림의 풍·설해에 따른 기능 저하를 방지하기 위해서는 형상비가 급증하는 14년생 이하의 곰솔 유령림에 대한 밀도관리가 중요하다. 특히 1차 숲아베기는 형상비 70을 초과하는 8년생 임분이 되기 전에 실시할 필요가 있다고 판단된다. 다만 이론과는 달리 서해안의 경우처럼 동일한 임목밀도 조건에서도 형상비가 80을 훨씬 상회하는 임분도 있다는 점(Figure 2)이나 자연도태를 고려한다면 지역별 성장특성에 맞는 숲아베기의 적절한 시기와 강도 기준에 대한 검토가 이루어져야 할 것이다.

## 2. 형상비를 고려한 임목밀도 관리 방안

수목의 형상비와 관련한 인자 중 흉고직경은 특히 임목 밀도와 밀접한 관계가 있으며(Japan Forestry Technology Association, 1998; Bae, 1999), 이 연구에서도 동일한 결과가 확인되었다(Figure 6). 이러한 이유에서 국내·외에서 제시하고 있는 적정 잔존본수나 임목밀도 기준은 흉고 직경을 근거로 하고 있다고 볼 수 있다. 수목의 직경성장 또는 재적생장에 미치는 숲아베기의 효과는 잘 알려져 있는데, Korea Forest Service(2007b)의 보고에 따르면 숲아베기 시행지역의 임분이 미시행지역에 비하여 동일 수고 대비 흉고직경이 큰 것으로 나타나고 있다. 따라서 해안방재림의 기능 발휘를 위한 건전한 수형(형상비 60 이하)으로 유도하기 위해서는 결국 직경생장을 촉진할 수 있는 적절한 숲아베기 시업이 중요하다.

현재 우리나라의 해안방재림은 숲아베기 시업이 필요

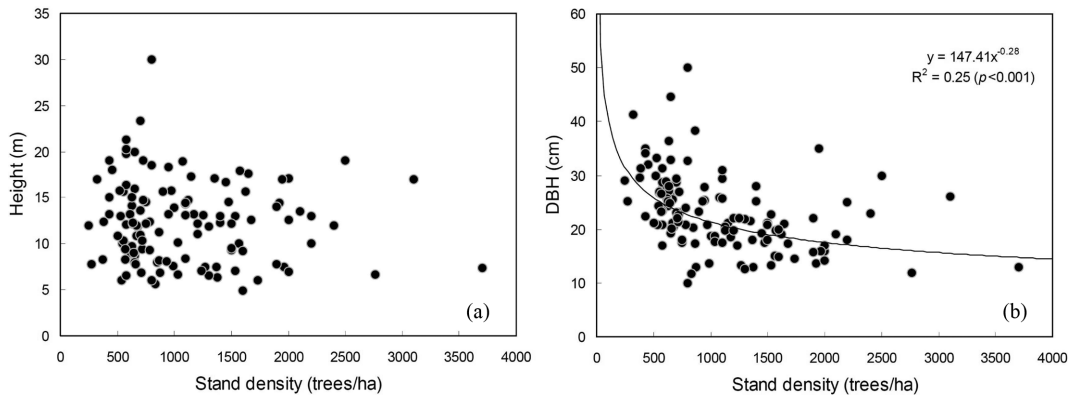


Figure 6. Relationships between height (a) and DBH (b) of tree and stand density.

한 시기로 판단된다. 형상비로만 본다면 남·동해안 및 제주도 지역에 비하여 서해안 지역이 현저히 높기 때문에 풍·설해에 따른 기능 저하가 다소 우려된다(Figure 2, 3). 그러나 Korea Forest Service(2000)의 잔존분수 기준표와 비교하면 동해안 일부 지역을 제외한 대부분의 지역이 과밀상태를 보이고 있다(Figure 4). 다만 국내 잔존분수 기준은 수확표에 근거한 목재생산을 목표로 하고 있기 때문에(Korea Forest Service, 2000) 해안방재림의 밀도 관리에 적용하는 데에는 합리적인 척도인지에 대한 충분한 검토는 필요하다고 판단된다.

일본의 경우, 곰솔 해안림에서 경험적으로 얻어진 상대

밀도 조건표를 이용하여 과밀상태를 판정한 후 형상비를 고려한 목표분수 기준에 의하여 임목밀도를 조절하고 있다(Forestry and Forest Products Research Institute, 2011). 조건표는 평균 흉고직경 또는 수고의 상위 5~20% 값인 임관고와 임목밀도로부터 상대밀도(어떤 임분의 임목밀도와 그 임분과 같은 흉고직경의 임분이 가질 수 있는 최대밀도와와의 비율)를 확인하게 되어 있으며, Table 2와 같다. 상대밀도가 60% 미만일 경우 밀도조절의 필요는 없지만, 60~69%(Table 2의 옅은 회색 부분)는 과밀이 우려되는 상황이고 70% 이상(Table 2의 짙은 회색 부분)일 경우는 과밀임분으로 취급한다. 이후 과밀임분의 밀도조절

Table 2. Quick reference of relative density corresponding to DBH or canopy height in Japan(Forestry and Forest Products Research Institute, 2011).

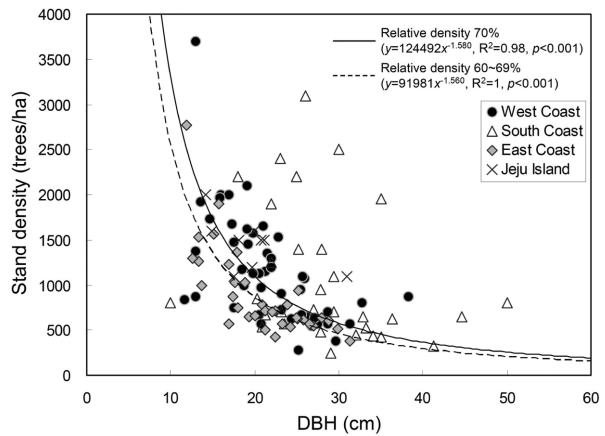
DBH (cm)	Canopy height (m)	Relative density(%)												
24	16.8											80		
23	16.1										94	75		
22	15.4										88	70		
21	14.7										80	64		
20	14.0									95	76	61		
19	13.3									87	69	56		
18	12.6							96		80	64	51		
17	11.9							88		74	59	47		
16	11.2							79		66	53	42		
15	10.5							95		71	60	48	38	
14	9.8							84		63	53	42	34	
13	9.1							95		76	57	48	38	30
12	8.4							83		67	50	42	33	27
11	7.7							88		73	59	44	37	29
10	7.0							88		75	63	50	38	31
9	6.3							74		64	53	42	32	26
8	5.6							80		62	53	44	36	27
7	4.9							86		64	50	43	36	29
6	4.2							86		69	51	40	36	29
5	3.5							85		64	51	38	30	29
4	2.8							60		45	36	27	21	
Stand density(trees/ha)		10,000	7,500	6,000	4,500	3,500	3,000	2,500	2,000	1,500	1,250	1,000	800	

**Table 3. Standard guideline of the target stand density corresponding to DBH or canopy height in Japan(Forestry and Forest Products Research Institute, 2011).**

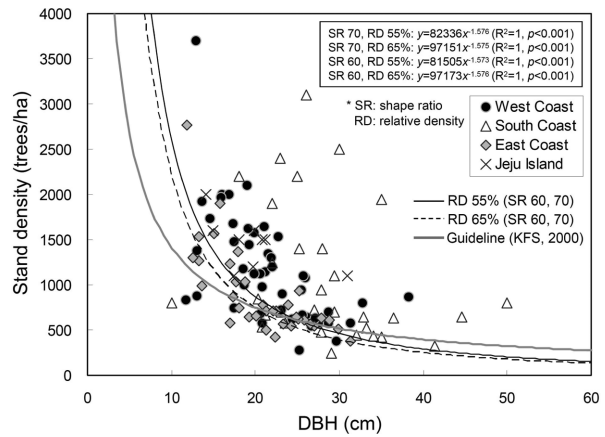
Canopy height m	Shape ratio 70						Shape ratio 60					
	DBH		Number of trees		DBH		Number of trees		DBH		Number of trees	
			Relative density				Relative density				Relative density	
	cm	cm	trees/ha	trees/ha	cm	cm	trees/ha	trees/ha	cm	cm	trees/ha	trees/ha
3.0	4.3	8,300	9,800	5.0	6,500	7,700						
3.5	5.0	6,500	7,700	5.8	5,100	6,000						
4.0	5.7	5,300	6,200	6.7	4,100	4,900						
4.5	6.4	4,400	5,200	7.5	3,400	4,100						
5.0	7.1	3,700	4,400	8.3	2,900	3,400						
5.5	7.9	3,200	3,800	9.2	2,500	3,000						
6.0	8.6	2,800	3,300	10.0	2,200	2,600						
6.5	9.3	2,400	2,900	10.8	1,920	2,300						
7.0	10.0	2,200	2,600	11.7	1,710	2,000						
7.5	10.7	2,000	2,300	12.5	1,530	1,810						
8.0	11.4	1,770	2,100	13.3	1,390	1,640						
8.5	12.1	1,610	1,900	14.2	1,260	1,490						
9.0	12.9	1,470	1,740	15.0	1,150	1,360						
9.5	13.6	1,350	1,590	15.8	1,060	1,250						
10.0	14.3	1,240	1,470	16.7	980	1,150						
10.5	15.0	1,150	1,360	17.5	900	1,070						
11.0	15.7	1,070	1,270	18.3	840	990						
11.5	16.4	1,000	1,180	19.2	780	930						
12.0	17.1	930	1,100	20.0	730	870						
12.5	17.9	880	1,040	20.8	690	810						
13.0	18.6	820	970	21.7	650	760						
13.5	19.3	780	920	22.5	610	720						
14.0	20.0	730	870	23.3	570	680						
14.5	20.7	690	820	24.2	540	640						
15.0	21.4	660	780	25.0	520	610						
15.5	22.1	620	740	25.8	490	580						
16.0	22.9	590	700	26.7	470	550						
16.5	23.6	570	670	27.5	440	520						
17.0	24.3	540	640	28.3	420	500						
17.5	25.0	520	610	29.2	400	480						
18.0	25.7	490	580	30.0	390	460						

은 상대밀도 55~65%를 목표로 통상 형상비 60 또는 70을 기준으로 실시한다(Forestry and Forest Products Research Institute, 2011; Table 3). 여기서 상대밀도의 목표치는 임분이 밀폐되는 상대밀도가 50~55%, 수고 대비 지하고의 비율이 60% 이상인 개체가 급증하는 상대밀도가 65~75%였다는 Oda(1992)의 연구결과에 근거를 두고 있다.

이 연구에서 조사된 우리나라 해안방재림의 현황자료를 일본의 기준표 Table 2, 3과 비교하면 각각 Figure 7, 8과 같다. Table 2, 3에는 평균 흉고직경과 임관의 높이가 제시되어 있지만, 이 연구에서는 국내 기준표를 고려하여 흉고직경만을 사용하였다. 또한 비교를 용이하게 하기 위하여 각각의 표를 분석한 후 회귀선을 도출하였다. Figure 7에 흉고직경과 임목밀도와와의 관계에 있어서 상대밀도 60~69%의 회귀선은 파선, 70% 이상의 관계에 대한 회귀선은 실선으로 나타내었다. 이에 따르면 우리나라의 서해안, 남해안 및 제주도 지역은 역시 매우 과밀한 상태로 조



**Figure 7. Relationship between stand density and DBH in South Korea and its comparison with quick reference of Japan.**



**Figure 8. Relationship between stand density and DBH in South Korea and its comparison with the target density of Japan.**

속한 밀도 조절이 필요한 것으로 판단된다. Figure 8은 일본의 상대밀도 55% 또는 65%를 목표로 할 경우 형상비 60·70을 기준으로 한 흉고직경별 목표본수(Table 3)의 회귀선과 비교한 것이다. 일본의 흉고직경별 목표본수는 국내 잔존본수 기준에 비하여 흉고직경 20 cm까지는 임목 밀도가 다소 높지만, 이후에는 비교적 유사한 경향을 보이고 있다. 이는 방재기능이 비교적 취약한 유령림에 대해서는 일본의 기준이 보다 높은 임목밀도를 요구하는 것으로 해석할 수 있다. 따라서 현지조사 결과를 토대로 방재기능 발휘에 목표를 둔 일본의 기준을 국내에 적용하는 방안에 대하여 검토해 볼 필요가 있다고 판단된다.

일본의 지침이 비록 속아베기에 따른 효과, 즉 생육환경 및 방재기능의 변화에 대해서는 아직 파악되지 않은 상황이며(Oda, 1992), 우리나라와는 곰솔의 생육과 관련한 환경조건이 다를 수는 있다. 그러나 그 동안의 연구성과를 바탕으로 하고 있기 때문에 구체적인 검토사례와 적정 기준이 없는 국내에 유용한 참고자료는 될 수 있다고

판단된다. 향후 이를 토대로 국내 해안별 곶솔의 생육특성에 맞게 수정·보완해 나가야 할 것이다.

## 결론

이 연구에서는 우리나라 서·남·동해안과 제주도를 포함한 총 123개소의 곶솔 해안방재림 생육상황 조사결과를 토대로 기능 증진을 위한 밀도관리의 필요성과 함께 일본의 사례를 중심으로 한 밀도관리 방안에 대하여 검토하였다. 그 결과, 곶솔의 형상비는 임목밀도와 정의 상관을 보이며 서해안이 다른 지역보다 현저히 높았지만, 임목밀도는 우리나라와 일본의 기준과 비교한 결과 동해안을 제외한 대부분의 지역에서 과밀상태인 것으로 나타나, 해안방재림의 기능 증진을 위한 적절한 밀도관리의 필요성이 있는 것으로 나타났다. 현재 국내에 해안방재림의 관리와 관련한 지침은 산림청의 잔존본수 기준표 외에는 없는 상황으로, 이는 목재생산을 목표로 하고 있으며, 특히 해안방재림의 관리를 위한 적용성에 대한 검토도 충분히 이루어지지 않은 상황이다. 따라서 그 동안의 연구성과를 토대로 한 일본의 지침은 국내 해안방재림 관리에 있어 유용한 참고자료가 될 것으로 기대되며, 향후 이를 토대로 실례를 쌓아 국내 실정에 맞게 지속적으로 보완해 나가야 할 것으로 판단되었다.

현재 국토여건 상 해안방재림 신규조성을 위한 부지 확보 등의 어려움이 있는 상황에서, 신규 조성뿐만 아니라 기존 조성된 해안방재림을 효율적으로 관리하여 해안별 특성에 맞게 기능발휘가 최대가 될 수 있도록 하는 것 역시 중요하다고 판단된다. 비록 국내에 검토사례가 없어 구체적인 방안까지 제시하지는 못하였지만, 이 연구가 해안방재림 관리의 필요성과 관리방안 마련에 있어 학계의 관련 연구 및 정부의 정책 추진을 위한 공감대 형성에 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

## 감사의 글

이 연구는 국립산림과학원 연구사업 「해안방재림 효과 분석 및 조성기술 개발(과제번호: FE0401-2012-02)」 과 한국연구재단 기본연구지원사업(과제번호: 2013R1A1A2011515)의 지원에 의하여 수행되었습니다. 심사단계에서 좋은 의견을 주신 심사위원 여러분께 감사의 말씀 드립니다.

## References

Bae, S.W. 1999. Decision method of the number of trees for major tree species in a mixed broadleaved forest. *Monthly Forestry Research Information* 104: 40-42. (in Korean)  
Cheon, K.I., Jung, S.C., Youn, H.J., Byeon, J.G., and Joo, S.H.

2012. Community structure of *Pinus thunbergii* stand in the eastern coast of Gyeongsangbuk-do. *Journal of Agriculture & Life Science* 46: 57-68. (in Korean with English abstract)  
Cho, H.D. 1988. Studies on a plan for afforestation at Tong-ri beach resort(II): analysis of crown amounts and soil properties in the disaster damage preventive forests of *Pinus thunbergii* P<sub>ARL.</sub>, the valuation on soil properties for planting and planning for afforestation. *Journal of Korean Forest Society* 77: 303-314. (in Korean with English abstract)  
Choi, K.H., Choi, G., and Kim, Y. 2014. Salty wind damages in windbreak forests of Jeju Island by typhoon Bolaven. *Journal of the Korean Geographical Society* 49: 18-31. (in Korean with English abstract)  
Chun, K.W., Kim, S.W., Kim, K.N., Nakashima, Y., and Ezaki, T. 2005. Coastal forest construction and non-structural measures for preventing tsunami damage. *Journal of Korean Forest Society* 94: 197-204. (in Korean with English abstract)  
Chun, K.W. 2011. *Erosion Control Engineering*. Hyangmun Publishing Co., Ltd. Seoul, Korea. pp. 426. (in Korean)  
Chung, Y.G., Park, N.C., and Son, Y.M. 1993. The selection of the suitable site for forest tree(*Pinus thunbergii*). *Journal of Korean Forest Society* 82: 420-430. (in Korean with English abstract)  
Cremer, K.W., Cater, P.R., and Minko, G. 1983. Snow damage in Australian pine plantations. *Australian Forestry* 46: 53-66.  
Forestry and Forest Products Research Institute(Japan). 2011. Guidelines and fundamental concepts for the management of *pinus thunbergii* coastal forests: control of the number of trees and utilization of invading broadleaved trees. Tsukuba, Japan. pp. 55. (in Japanese)  
Harada, K. and Kawata, Y. 2005. Discussion on the utilization of coastal forests for the tsunami reduction effect. *Annual Journal of Coastal Engineering, Japan Society of Civil Engineers* 52: 276-280. (in Japanese)  
Im, S., Lee, S.H., Kim, D., and Hong, Y. 2009. Numerical simulation of the wind speed reduction by coastal forest belts. *Journal of the Korea Society of Environmental Restoration Technology* 12: 98-105. (in Korean with English abstract)  
Japan Forestry Technology Association. 1998. Fifty methods to investigate forest. Tokyo Shoseki Co., Ltd. Tokyo, Japan. pp. 239. (in Japanese)  
Kathiresan, K. and Rajendran, N. 2005. Coastal mangrove forests mitigated tsunami. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 65: 601-606.  
Kato, A. 2009. Characteristics for Sugi (*Cryptomeria japonica* D. Don) stands and trees with high snow accretion damage risk in Toyama Prefecture. *Forest Resources and Mathematical Modeling* 8: 45-61. (in Japanese with English abstract)  
Kim, C.B., Park, K.H., Lee, C.W., Youn, H.J., and Kim, K. 2014. A comparison on the forest type of coastal disaster prevention forest between the coastal areas in Korea.



- Journal of Korean Forest Society 103: 564-573. (in Korean with English abstract)
- Kim, D.G. 2010. Native tree species of tolerance to saline soil and salt spray drift at the coastal forests in the West-Sea, Korea. Korean Journal of Environment and Ecology 24: 209-221. (in Korean with English abstract)
- Kim, H.J., Jeong, S.H., Hwang, C.H., Kim, H., Choi, S.M., and Lee, S.H. 2012a. Vegetation structure and management plan for windbreak forests along the West Coast in Korea. Journal of Agriculture & Life Science 46: 71-81. (in Korean with English abstract)
- Kim, H.P., Lee, H.H., and Lee, J.H. 2012b. Studies on the characteristics of growth of *Pinus thunbergii* planted in a coastal sand zone. Journal of Korean Forest Society 101: 656-662. (in Korean with English abstract)
- Kim, I.S. 2004. Flora and stand structure of coastal forest on the East-coast in Gangwon-do. Master's Thesis. Kangwon National University. pp. 96. (in Korean with English abstract)
- Kim, J.U., and Kil, B.S. 1983. A study on the distribution of *Pinus thunbergii* in the Korean Peninsula. Korean Journal of Ecology 6: 45-54. (in Korean with English abstract)
- Kim, S.H. and Choi, S.H. 2007. The structure and ecological characteristics of coastal forest in Busan Metropolitan City. Korean Journal of Environment and Ecology 21: 67-73. (in Korean with English abstract)
- Korea Forest Research Institute. 2012a. The research of site condition, soil, associated growth status in coastal forest and the development of non-structural measures manual. Contract research report of KFRI. Seoul, Korea. pp. 450. (in Korean)
- Korea Forest Research Institute. 2012b. Actual condition of coastal disaster prevention forest in Korea. Research material no. 483. Seoul, Korea. pp. 261. (in Korean)
- Korea Forest Research Institute. 2013a. Japanese black pine (*Pinus thunbergii*) and stand management in southern forest region of Korea. Research material no. 509. Seoul, Korea. pp. 97. (in Korean)
- Korea Forest Research Institute. 2013b. Investigation on the site condition, soil and vegetation of coastal prevention forests in the island areas of Gyeonggi and Chungcheong regions. Contract research report of KFRI. Seoul, Korea. pp. 113. (in Korean)
- Korea Forest Research Institute. 2013c. Actual condition of coastal disaster prevention forest in Korea(II): island area. Research material no. 516. Seoul, Korea. pp. 123. (in Korean)
- Korea Forest Service. 2000. Forest & Forestry Technique(II): forest creation. Dajeon, Korea. pp. 509. (in Korean)
- Korea Forest Service. 2007a. Actual condition investigation and policy direction of coastal disaster prevention forest. Research and service report of Korea Forest Service. Dajeon, Korea. pp. 329. (in Korean)
- Korea Forest Service. 2007b. Effect of the leaving of thinning slash on forest disaster. Research and service report of Korea Forest Service. Dajeon, Korea. pp. 224. (in Korean)
- Korea Forest Service. 2012. Actual condition investigation and management plan of coastal disaster prevention forest. Research and service report of Korea Forest Service. Dajeon, Korea. pp. 237. (in Korean)
- Korea Institute of Ocean Science & Technology. Ocean science classroom. [http://www.kordi.re.kr/chongseo/vol1/vol1\\_09.jsp](http://www.kordi.re.kr/chongseo/vol1/vol1_09.jsp) (2015. 3. 3)
- Kunisaki, T. 2005. Pattern of snow accretion damage in an old Sugi(*Cryptomeria japonica* D. Don) plantation at the base of Mt. Iwate, Northern Japan. Journal of the Japanese Forest Society 87: 426-429. (in Japanese with English abstract)
- Laso Bayas, J.C., Maroh, C., Dercon, G., Dewi, S., Piepho, H.P., Joshi, L., van Noordwijk, M., and Cadisch, G. 2011. Influence of coastal vegetation on the 2004 tsunami wave impact in west Aceh. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America 108: 18612-18617.
- Lee, J.S. 1980. Ecological study on the exploitation of salt-tolerant and sea windy-hardness landscape trees: with special reference to the southern areas of Korea. Journal of the Korean Institute of Landscape Architecture 8: 13-19. (in Korean with English abstract)
- Lee, K.Y. 1988. Ecological study of the *Pinus thunbergii* forest on the southern seacoast of Korea. Journal of Korean Forest Society 77: 83-91. (in Korean with English abstract)
- Lee, S.D. and Kim, M.J. 2014. Effects of disaster prevention of a coastal forest considering wave attenuation ability. Journal of the Korean Society of Hazard Mitigation 14: 381-388. (in Korean with English abstract)
- Oda, T. 1992. Tending, density management and regeneration techniques. pp. 395-408. In: Murai, H., Ishikawa, M., Endo, J., and Tadaki, R. (Eds.) The coastal forest in Japan: its multiple functions and use. Soft Science, Inc. Tokyo, Japan. (in Japanese)
- Ohira, W., Honda, K., and Harada, K. 2012. Reduction of tsunami inundation by coastal forests in Yogyakarta, Indonesia: A numerical study. Natural Hazards and Earth System Sciences 12: 85-95.
- Park, C.M., Kim, S.W., and Park, S.H. 2009. Study on growth characteristics of *Pinus thunbergii* windbreak forests around Goosipo Beach, Gochang-gun. Korean Journal of Environment and Ecology 23: 365-375. (in Korean with English abstract)
- Park, J.H., Lee, K.S., Yoo, B.O., Kang, Y.J., Ryu, S.B., Jung, S.Y., and Bae, E.J. 2013. Vegetation structure and growth characteristics of *Pinus thunbergii* stands in Korea. Journal of Agriculture & Life Science 47: 135-145. (in Korean with English abstract)
- Park, K.W. and Cho, Y.S. 2012. Hazard map with probable maximum tsunamis. Journal of the Korean Society of Hazard Mitigation 12: 263-270. (in Korean with English abstract)

abstract)

- Park, M.S. and Chung, Y.G. 1999. Estimation of diameter and height growth in *Pinus thunbergii* stands using linear and nonlinear growth functions. *Journal of Korean Forest Society* 88: 47-54. (in Korean with English abstract)
- Park, M.S., Lee, S.T., Park, J.Y., Shin, H.C., Lee, K.J., Jeon, K.S., and Park, N.C. 2008. Stand dynamics and growth characteristics of *Pinus thunbergii* by regions. *Proceedings of the 2008 Annual Meeting of the Korean Forest*

Society: 206-209. (in Korean)

- Sakamoto, T., Hagino, H., Noguchi, H., Shimada, K., and Goto, Y. 2010. Is forwarding the stem density of *Pinus thunbergii* coastal forests to self-thinning proper silvicultural management? *Journal of the Japanese Society of Coastal Forest* 9: 79-84. (in Japanese with English abstract)

---

(Received: March 26, 2015; Accepted: June 6, 2015)