

## 해안림의 방풍 효과에 영향을 미치는 설치 파라미터 분석

신 증 현,<sup>1</sup> 장 세 명,<sup>\*2</sup> 박 기 형,<sup>3</sup> 윤 호 중<sup>3</sup>

<sup>1</sup>군산대학교 일반대학원 기계공학과

<sup>2</sup>군산대학교 기계자동차조선해양공학부

<sup>3</sup>국립산림과학원 산림방재연구과

### INSTALLATION PARAMETERS EFFECTING ON THE WIND PROOF OF A COASTAL FOREST

J.H. Shin,<sup>1</sup> S.M. Chang,<sup>\*2</sup> K.H. Park<sup>3</sup> and H.J. Youn<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Dept. of Mechanical Engineering, Kunsan National University

<sup>2</sup>School of Mechanical, Automotive, Naval Architecture, and Ocean Eng., Kunsan National University

<sup>3</sup>Div. of Forest Disaster Management, National Forest Research Institute

*The objective of this research lies in the effect of installation parameters influencing on the wind proof performance of the coastal forest for damage prevention. The dissipation ratio of incident wind power is developed as an assessment index to make a lumped parameter study possible. From the real field data of East, West, and South Sea bounded on the Korean peninsula, single and double storied forests were modeled in three-dimensional shape with computer aided design, and so was done the artificial structures such as wind break, sand accumulating fence, and sand dune, etc With a commercial code ANSYS-CFX, the computational result from the comparison of dissipation ratio between single and double storied forest shows the effect of composition, and also the installation effect is investigated for artificial structures with optimal dimension of distance.*

**Key Words :** 전산유체역학(CFD), 해안 방재림(Coastal Forest for Damage Prevention), 방풍책(Wind Break), 퇴사울(Sand Accumulating Fence), 해안사구(Sand Dune), 소산률(Dissipation Ratio)

### 1. 서 론

일본에서는 2000년대 들어 지진으로 인한 해일(쓰나미) 피해가 급증하면서 해안 방재림의 중요성이 부각되어 일본 동부 연안지역에 활발히 조성하고 있을 뿐만 아니라 다양한 연구가 진행되고 있다[1]. 특히 지진해일 시뮬레이션 프로그램을 지속적으로 개발하여 약 200 m의 해안림의 폭을 조성하는 것이 피해를 70%이상 감소시킬 수 있다는 연구 결과를 도출해 낸 바 있다[2]. 이렇듯, 일본에서는 다양한 연구들을 토대로 해안방재림을 조성, 관리하고 있으며, 나아가 지진해일 방재효과를 극대화 할 수 있는 적정 임목 식재모델을 개발하고 있다[3]. 우리나라에서도 일본과의 상황은 다르지만, 충남 서천군 다사리나 경남 남해군 미조리에서와 같이 전통적으로

해안림을 방풍, 방사, 방염 등의 목적으로 조성 및 이용해 왔다.

현재 국내의 해안림에 대한 연구 현황을 살펴보면 1980년대부터 2000년대 직전까지는 해안림의 임분구조와 식생분포 [4,5], 해안사구의 식생조사와 현존량 파악[6], GIS 및 위성자료를 이용한 해안 환경림 조사[7] 등 주로 해안림과 해안사구지의 식생에 대한 일부 기초적인 현황 조사 연구가 주로 진행되어 왔으며, 최근에 이르러서야 방재림 내부 수목의 3차원 모델링과 전산유체역학 기법을 이용한 연구 결과들이 도출되고 있다[8-11]. 이러한 연구 결과는 추후 해안 방풍림의 조성을 위한 기초 자료 및 해석 방법으로 사용될 수 있다.

본 연구에서는, 해안림의 방풍 효과에 영향을 미치는 부가 파라미터들 중 처음 조성한 숲을 자연 상태로 자라게 나뉜 단층림과 인공적으로 수형, 수고가 다른 수목으로 구성된 나무들을 2 ~ 3층의 구조로 조성한 복층림 효과 비교, 숲 내부에 관목 식재하는 경우, 그리고 방풍림 앞에서 방풍책과 해안사구, 퇴사울의 최적 설치 조건을 알아보기 위해 해안사구의 높이, 방풍책과 숲의 거리에 따른 소산률을 비교해 보았다.

Received: May 19, 2015, Revised: June 18, 2015,

Accepted: June 18, 2015.

\* Corresponding author, E-mail: smchang@kunsan.ac.kr

DOI <http://dx.doi.org/10.6112/ksfce.2015.20.2.052>

© KSCFE 2015

본 연구를 통하여 산림 분야에 대한 연구에 CFD 기법을 사용할 때 큰 영역의 유동공간에서 관심영역을 설정하여 소산률을 도출해 내는 방법, 해안림과 방풍책의 거리에 따른 방풍 효과를 분석하여 최고의 방풍효과를 내는 방풍책과 숲의 거리 등을 분석하고자 한다.

## 2. 연구 방법

### 2.1 지배방정식, 난류모델

#### 2.1.1 지배방정식, 난류모델

본 연구에서는 지배방정식으로 3차원 비압축성 Navier-Stokes 방정식을 사용한다.

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \mathbf{V}) = 0 \tag{1}$$

$$\frac{\partial(\rho \mathbf{V})}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \mathbf{V} \otimes \mathbf{V}) = -\nabla p + \mu \nabla^2 \mathbf{V} \tag{2}$$

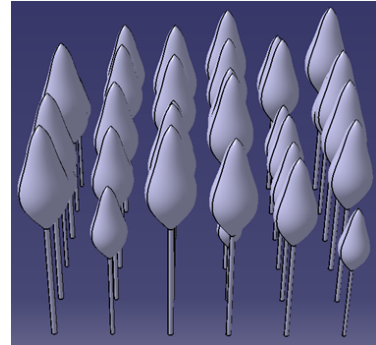
여기에서,  $\mathbf{V}$ 는 속도벡터,  $p$ 는 압력,  $\rho$ 는 공기의 밀도,  $\mu$ 는 점성 계수를 나타낸다. 이 외의 계산 영역의 길이 스케일이 300 m에 이르는 거대 규모이므로, 난류효과에 대한 고려가 포함되어야 하며, 본 연구에서는 특히 후류 유동장의 정확도에 장점을 가진  $k-\omega$  SST 난류 모델을 사용하였다.

#### 2.1.2 바람에너지의 소산률 평가

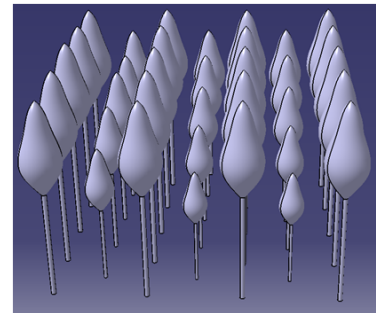
본 연구에서는 방재림의 효율을 손쉽게 나타낼 수 있도록 집중 파라미터(lumped parameter)를 사용하기로 한다. 방재림의 역할은 바람장의 운동 에너지를 점성 마찰, 경계층 박리, 난류 등의 유체 물리 현상에 의해 소산시키는데 있으므로, 숲에 입사 및 방출되는 유동장의 운동 동력(kinetic power,  $L_k$ ), 즉 시간당 에너지를 고려한다. 이 파라미터가 클수록 숲에 의해 빼앗기는 운동에너지가 더 커지므로 방재림 본연의 목적에 더 가까이 접근했다고 추정한다.

$$L_k = \dot{m} e_k = \frac{1}{2} \rho \int_A V^2 (\mathbf{V} \cdot \mathbf{n}) dA \tag{3}$$

여기에서  $\dot{m}$ 는 질량 유량(mass flow rate),  $e_k$ 는 단위 질량당 에너지,  $A$ 는 제어 표면(control surface), 그리고  $\mathbf{n}$ 은 수직인 단위 벡터를 의미한다. 입구에서 식 (3)에 의해 계산되는 시간당 운동 에너지 대비 숲 끝단 100 m 후류 지점에서의 운동 동력의 감쇠량 비를 추적하면 방재림의 효율을 나타내는 지표로 사용할 수 있다[9].



(a) Single storied forests



(b) Double storied forests

Fig. 1 Forests modeling

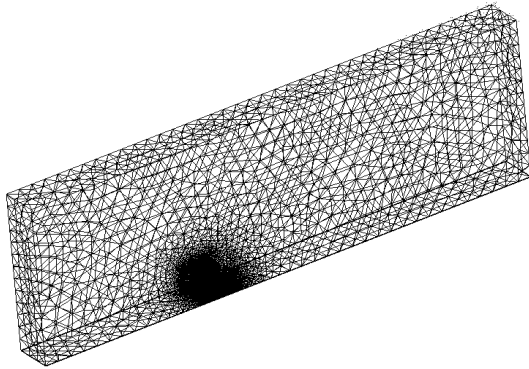
### 2.2 산림 형상의 모델링

#### 2.2.1 단층림과 복층림의 모델링

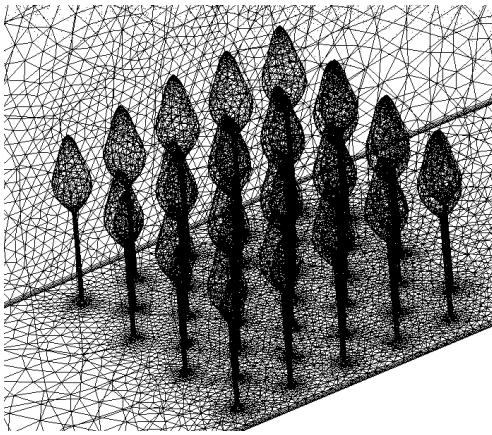
단층림과 복층림은 대상지의 야장을 바탕으로 실제 나무의 수고 데이터를 바탕으로 모델링 하였다. 나무의 형상은 실제 야장의 나무들의 데이터들을 취합하여 만든 임목 평균 모델을 사용하였다[9]. 두 숲은 20 m × 20 m 영역에 조성하였으며, 단층림은 Fig. 1(a)와 같이 다양한 수고를 가진 나무를 무작위로 배치하였다. 실제 복층림은 기존에 자라고 있는 나무들 사이에 수고가 작은 나무들을 인공적으로 조성한다. 각 해안별로 한 영급의 데이터 중 수고 별로 나무를 분류하여 Fig. 1(b)와 같이 높은 수고를 가진 나무들 사이에 작은 수고를 가진 나무(최대 수고의 49 ~ 79%)를 배치하였다. 여기서 영급이란 나무의 연령을 10년 단위로 표시한 것으로 본 연구에서는 4영급(31 ~ 40년), 5영급(41 ~ 50년)의 나무의 데이터를 사용하였다.

#### 2.2.2 경계조건, 격자생성

유동공간은 300 m × 22 m × 100 m의 크기이며, 숲은 입구에서 100 m 떨어진 지점에 위치시켰다. 입구 경계조건으로서 8 m/s의 바람이 들어오며, 통상 난류 강도(turbulence intensity) 5% 내외의 입사류 조건과 평균 수고를 고려한 난류



(a) Full view



(b) Internal view

Fig. 2 Grid system

길이(turbulence length) 조건을 준다. 지표면과 나무의 표면에서는 점착 조건(no-slip condition)을 적용한다. 양쪽 옆면은 대칭 경계조건(symmetric condition), 윗면은 개방조건(open condition)을 적용한다. 계산영역에 대한 격자는 Fig. 2와 같이 약 200만개의 격자를 사용하였으며, 공간 내부의 숲 주변과 숲 후방에 대하여 조밀한 격자를 형성 시켜 계산의 정확도를 높이하고자 하였다.

거대 규모의 자연을 대상으로 하는 계산에서는 일반적으로 벽면 첫 번째 격자의  $y^+$ 를 적정하게 조작하는데 어려움을 겪는다. Reference[12]에서 규격화된 벽 함수(scaled wall function)를 사용하면,

$$y^+ = \max\left(\frac{\rho}{\mu} \Delta y C_\mu^{1/4} \sqrt{k}, 11.06\right) \quad (4)$$

여기에서  $\Delta y$ 는 실제 격자의 크기이고,  $C_\mu$ 와  $k$ 는 각각 난류 모델의 계수와 난류 운동 에너지를 의미한다. 식 (4)에서

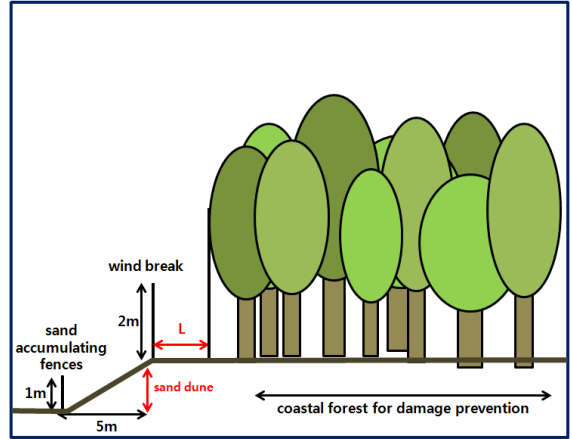


Fig. 3 Sectional view of coast

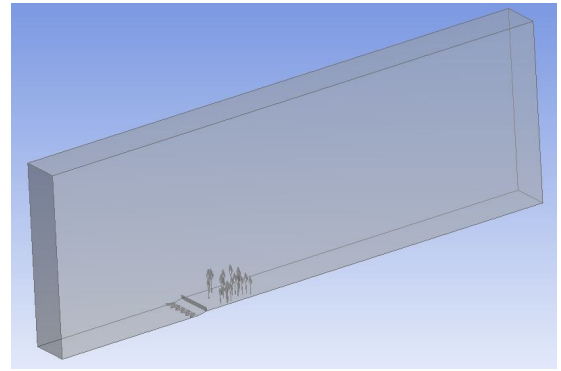


Fig. 4 Coast modeling

$y^+ < 11.06$ 인 영역은 벽 함수에 의해 복원되므로,  $y^+ \approx 10$ 이 경제적인 격자 규모임을 알 수 있다. 본 연구에서 벽면 경계에서의  $y^+$ 는 6.898 이하의 격자 규모를 사용하고 있다.

후류 격자에서도 이러한  $y^+$  값이 유지되었으며, 거대 규모의 계산이므로 격자의 질을 향상시키는 데에는 한계가 있지만, 경계층의 두께 등 주요 물리 현상을 잡아내는 데 충분한 격자 규모라고 판단된다.

## 2.3 해안 구조물의 모델링

### 2.3.1 해안 모델링

실제 해안에는 퇴사울(sand accumulating fence)과 해안사구(sand dune), 방풍책(wind break) 등이 설치되어 있고 그 뒤에 방재림을 조성하게 된다. 인공 구조물이 방재림과 함께 설치되어 있을 때 조성효과를 더욱 증가시킬 수 있는지 알아보기 위해 해안 단면도 Fig. 3를 이용하여 Fig. 4와 같이 해안을 모델링 하였다.

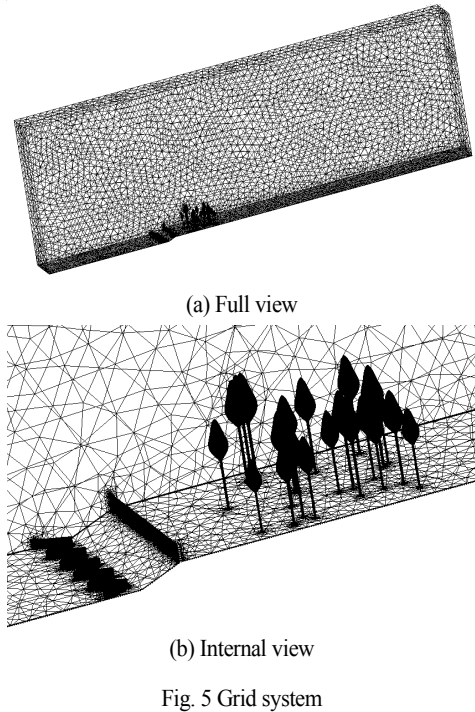


Fig. 5 Grid system

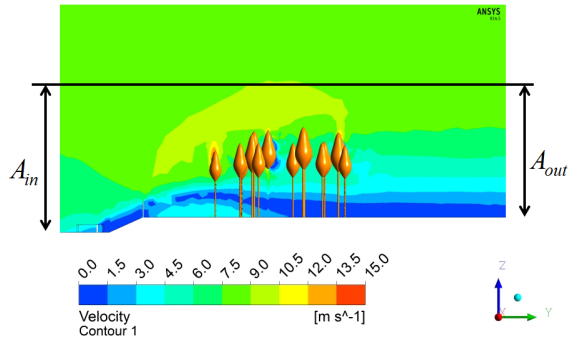


Fig. 6 Interested region

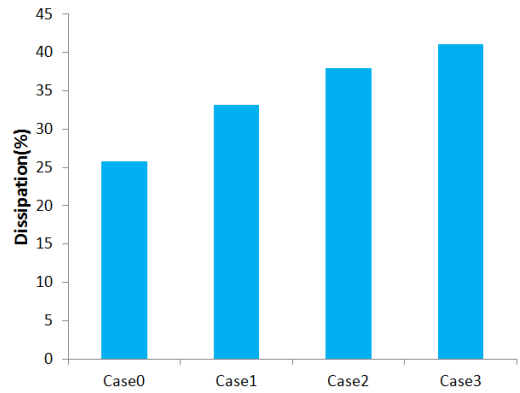


Fig. 7 Dissipation rate from the interested region

2.3.2 경계조건 및 격자 생성

경계조건은 2.2절과 같은 조건을 사용하였으며, 격자는 Fig. 5와 같은 3차원 유동 공간과 4면체(tetrahedral) 비정렬 격자계를 형성한다. 격자는 약 240만개이며 계산의 정확도를 높이기 위하여 유동의 변화가 많은 나무와 방풍책, 퇴사울 주변에 조밀한 격자를 생성하였다. Table 1의 Case 0은 퇴사울과 해안사구, 방풍책이 없는 기본 숲으로 모델링 하였고 Case 1~3은 퇴사울의 높이를 0, 1, 2 m로 증가시켜가며 모델링 하였다.

2.3.3 관심영역의 설정

계산 영역과는 별도로 소산률을 제대로 비교 되는 관심영역을 설정하였다. Fig. 6에서  $A_{out}$ 의 높이를 25 m로 지정하였는데, 이는 나무의 최대 수고의 약 1.5배, 아파트 10층 정도의 높이로 방재림이 제 역할을 수행 할 수 있는 최고 높이라고 판단하였다. 즉, 계산은 원방의 개방 경계조건의 영향을 최소화하기 위해 높이 100 m까지의 유동 공간에서 실시하지만,

Table 1 Dimensions of structural installation

	Sand accumulating fences	Wind break	Sand dune height(m)
Case 0	×	×	0
Case 1	○	○	0
Case 2	○	○	1
Case 3	○	○	2

외부 대기 유입 등의 효과를 배제하기 위하여 식 (3)에 의한 평가는 관심 영역 내의 제어 체적에 관하여 계산한다.

Fig. 7은 관심영역을 지정하여 소산률을 계산한 결과이다. 인공 구조물들을 설치하기 전의 소산률 25.7%보다 퇴사울과 방풍책을 설치했을 때 소산률이 33.1%로 증가하고, 해안 사구를 조성 했을 때 각각 37.9%(1 m), 41.0%(2 m)로 증가하는 것을 알 수 있다. 이러한 인공구조물을 어느 위치에 설치해야 효과가 더 좋을지 알아보기 위해 Fig. 3에서 L의 거리를 0 ~ 5까지 1 m 간격으로 변경 해 가며 소산률을 비교 계산 하였다.

3. 결과 및 토의

3.1 단층림과 복층림의 방풍 효과 비교

Fig. 8은 각 해안(coast)을 E(east), W(west), S(south)로 분류하고 각 해안의 야장데이터를 수집하여 영급(age level)별로 구분하고, 단층림(single storied forests)과 복층림(double storied forests)을 D와 S로 표기하여 구분하였다. 소산률을 비교해본

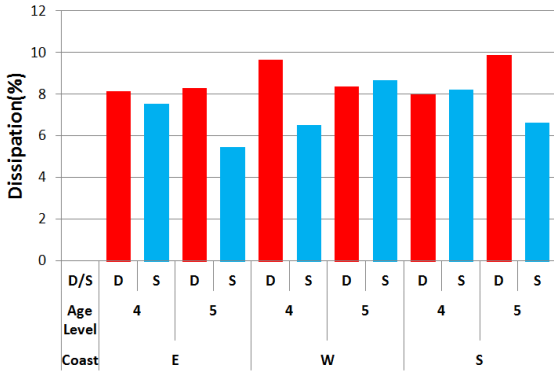


Fig. 8 Comparison of single and double storied forests

결과이다. 서해안 5영급과 남해안 4영급을 제외한 모든 부분에서 단층림 보다는 복층림의 소산률이 높게 나왔다. 서해안의 5영급과 남해안의 4영급에서 단층림과 복층림의 소산률이 근소하게 역전된 이유는 숲에 식재되어 있는 최고목과 최저목의 수고차이가 크지 않고, 숲의 단위 면적당 나무의 식재량이 많아서 실제 표면 형상에 거의 차이가 없었기 때문이다.

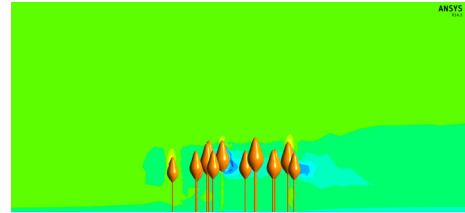
그러나 단층림과 복층림을 조성하는 노력의 차이에 비하여 실제 소산률 차이는 2% 이내에 불과하므로, 경제적인 관점에서 서도 그 실효성이 진지하게 고려되어야 할 것이다.

### 3.2 해안 구조물에 의한 속도장 변화 비교

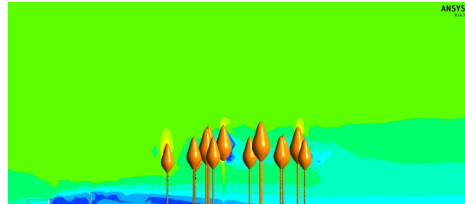
먼저 Table 1과 같은 Case 0-3 유형을 정리하고, 각각의 계산 결과를 Fig. 9에 비교 하였다. Fig. 9(a)와 (b)를 비교해 보면 방풍책 등의 인공 구조물이 설치되었을 때, 이들을 지나면서 바람의 속도가 1차적으로 감소되고, 숲을 지나면서 한 번 더 감소되면서 숲 후방에서 저속영역이 더욱 넓어진 것을 볼 수 있다. 또한 Fig. 9(b)-(d)를 비교해 보면, 해안사구를 높이 조성할수록 1차적인 풍속의 감소가 커지면서 숲 후방의 저속영역이 더욱 넓어지는 것을 볼 수 있다. 저속 영역이 넓어진다는 것은 바람에너지가 더 많이 감소하는 것을 의미한다.

토사울이나 방풍책, 또는 해안 사구와 같은 인공 구조물을 조성하였을 경우, 그 높이는 비록 낮지만 해안과 바람장 사이의 경계층(boundary layer)에 훨씬 더 효과적으로 작용하는 것으로 보인다.

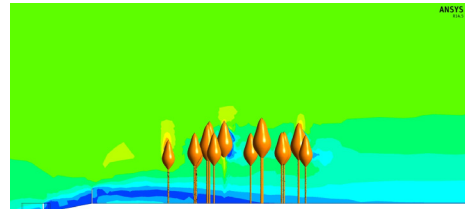
일반적으로 교목(arbor)의 경우 수간(trunk)보다는 수관(crown)의 부피가 크므로, 훨씬 더 방풍 효과가 있다. 유동의 입장에서 수관에 가로막혀 속도가 줄면서 임목 뒤에서 유동 박리(flow separation)을 일으킨다. 인공 구조물에 의해 유동 경계층이 두꺼워지는 경우, 경계층의 바깥 경계를 타고 올라간 유동의 가속 효과에 의해 훨씬 더 강한 바람이 숲에 모아진다. Fig. 9(a)와 (d)를 비교하면, 숲의 입사류 풍속이 2 m/s



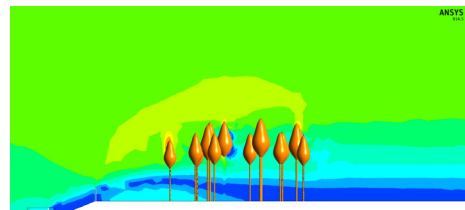
(a) Case 0



(b) Case 1



(c) Case 2



(d) Case 3

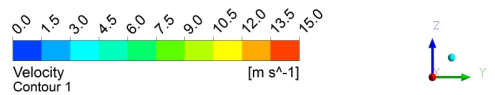


Fig. 9 Velocity contour for Case 0~3

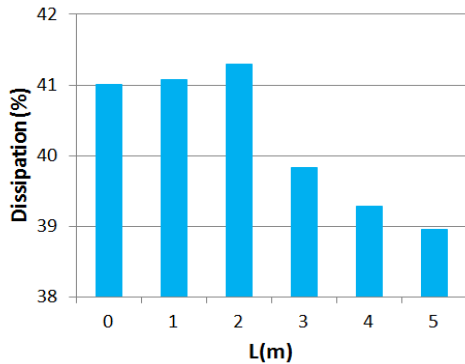


Fig. 10 Distance between windbreak and forest vs. dissipation ratio

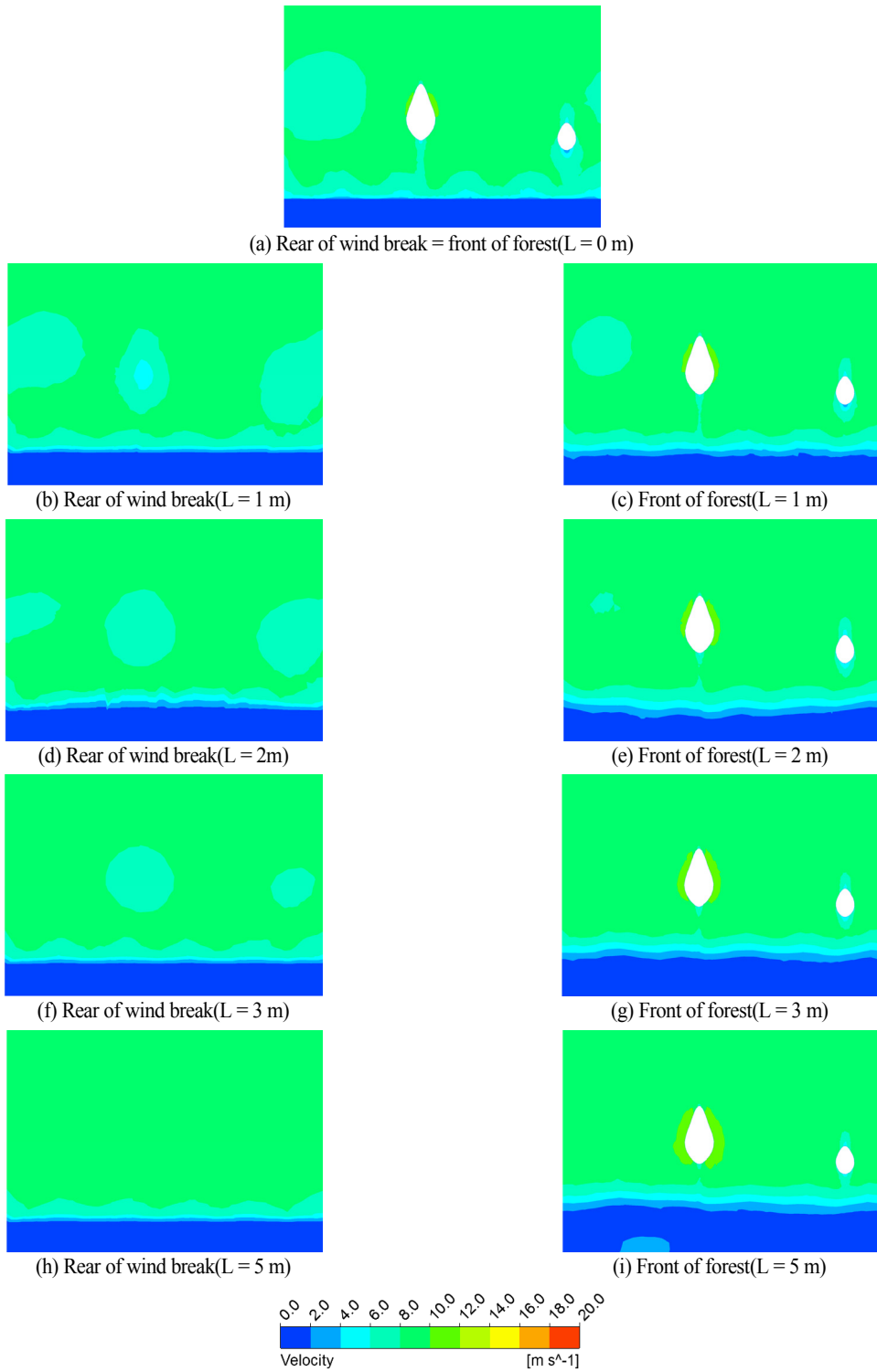


Fig. 11 Velocity contour(rear of wind break and front of forest)

(기존 입사 풍속의 25%) 가량 증가해 있는 것을 알 수 있다. 반면 유동 박리에 의한 후류 속도는 Fig. 9(a)가 가장 크고, Fig. 9(d)가 가장 감속되어 있음을 알 수 있다. 따라서 인공 구조물은 해안림의 효과를 현저하게 증대시킬 수 있다.

### 3.3 방풍책과 숲의 최적 거리

Fig. 10은 방풍책과 숲의 거리에 따른 소산률을 비교한 결과이다. 방풍책과 숲과의 거리  $L$ (Fig. 3참조)이 0 ~ 2 m에서는 1 m씩 멀어 질수록 0.07%, 0.21%로 소산률이 증가하다가, 거리  $L$ 이 3 m로 멀어지면서 1.46%가 감소하고 그 이후로 0.55%, 0.33%씩 감소하는 추세를 보였다.

Fig. 10의 결과를 살펴보면, 방풍책 뒤와 숲이 시작되는 지점의 거리( $L$ )가 2 m가 되었을 때, 소산률이 최대가 되는 사실을 확인 할 수 있다. 따라서 이 점이 공학적인 최적점(optimal point)이라고 할 수 있다. 이러한 차이가 왜 발생하는지 유동장을 분석해 보기로 한다.

### 3.4 방풍책 뒤와 숲 앞의 속도장 비교

Fig. 11(a)-(i)에서는 방풍책 위치와 숲이 시작되는 지점에서 유동 속도장의 단면을 가시화하였다. 둘 사이의 거리  $L$ 이 1 ~ 3 m일 때 방풍책 바로 뒤에서 주로 임목의 수관에 의해 속도가 저하되는 부분인 하늘색 원들이 발생하기 시작하고(Fig. 11(b),(d),(f) 참조), 반면  $L$ 이 5 m일 때에는 유동이 방해받지 않고 매끄럽게 흘러가면서 가장 높은 평균 속도를 보인다(Fig. 11(h)). 나무 주위를 흐르는 유동은 장애물의 영향으로 통과 속도가 증가하는데, 5 m일 때 가장 연두색 가속 영역이 넓다(Fig. 11(a),(c),(e),(g),(i)의 비교).

결론적으로 방풍책과 숲 사이에서 속도장 분포는  $L$ 이 0 m일 때 가장 느리고, 5 m일 때 가장 빠르다. 따라서 숲에 입사하는 유동의 속도는, 거리 간격이 커질수록 더 커지게 된다. 따라서 숲 후류의 속도가 거의 비슷하다면, 간격이 가장 큰 경우 입사 속도가 크기 때문에 소산률도 제일 크다고 볼 수 있다.

Fig. 11의 결과를 분석했을 때,  $L$ 이 3 ~ 5 m로 거리가 멀어질수록 소산률이 감소하는 경향은 숲에 대한 입사 속도의 증가로 설명할 수 있지만,  $L$ 이 0 ~ 2 m일 때 왜 소산률이 거리가 커짐에 따라 증가하는지는 찾아내지 못했다. 따라서 속도장의 유선과 와도를 추가로 분석하였다.

### 3.5 방풍책 후류 유선의 비교

Fig. 12를 보면 입구에서 들어오는 유동이 방풍책을 지나면서 발생하는 유동 박리에 의해 와류가 형성되는 것을 알 수 있다. 방풍책 뒤에서 발생한 와류가 수간 부분을 지나면서 발생하는 와류가 합쳐지면서 더 큰 와류 영역이 생성된다.

Fig. 12(a)  $L$ 이 0 m일 때 파란색 영역이 가장 넓고 와류 중

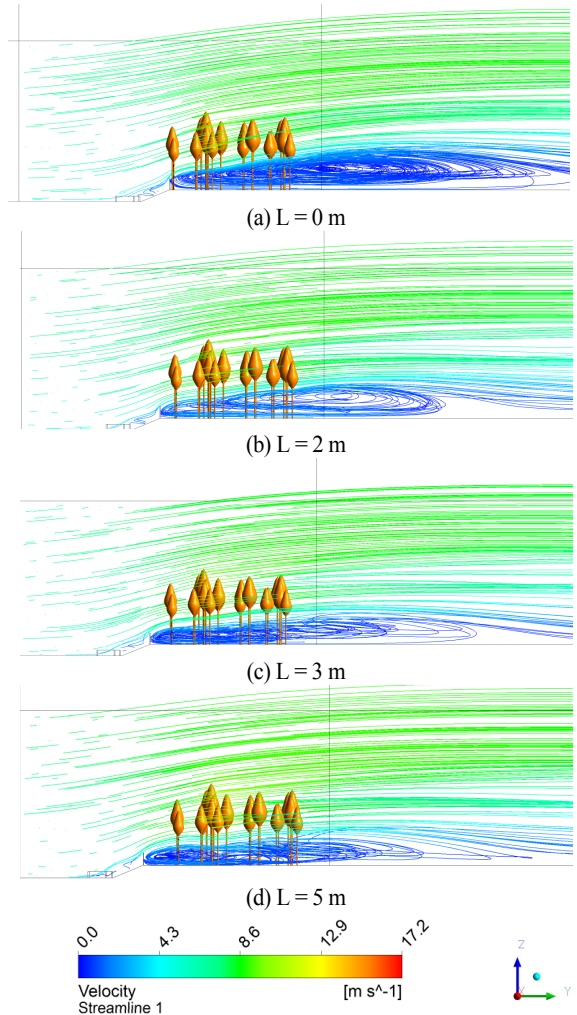


Fig. 12 Velocity and streamline

심이 가장 뚜렷하게 보인다. 즉, 유동 박리에 의해 형성된 와동이 바람장의 에너지를 상당 부분 흡수한다는 것을 알 수 있다.

입사 유동 속도가 가장 빠른 Fig. 12(d)의 경우, 와동 핵(vortex core)은 다소 Fig. 12(b)보다 커졌지만, 와류가 경계층 내부에 납작하게 찌그러져 가는 것을 관찰할 수 있다. 난류에 의한 효과가 추가되면서, 와동의 크기나 세기만으로 에너지의 소산을 예측 및 설명하기란 어렵다.

### 3.6 방풍책 후류의 와도 비교

Fig. 13(a)-(f)에서 거리  $L$ 이 길어질수록 숲 후방에서의 와류의 강도, 즉 와도(vorticity)가 점점 커지는데  $L$ 이 2 m일 때 가장 크고, 난류로 가면서 와류들이 서로 부딪쳐 깨지므로 강

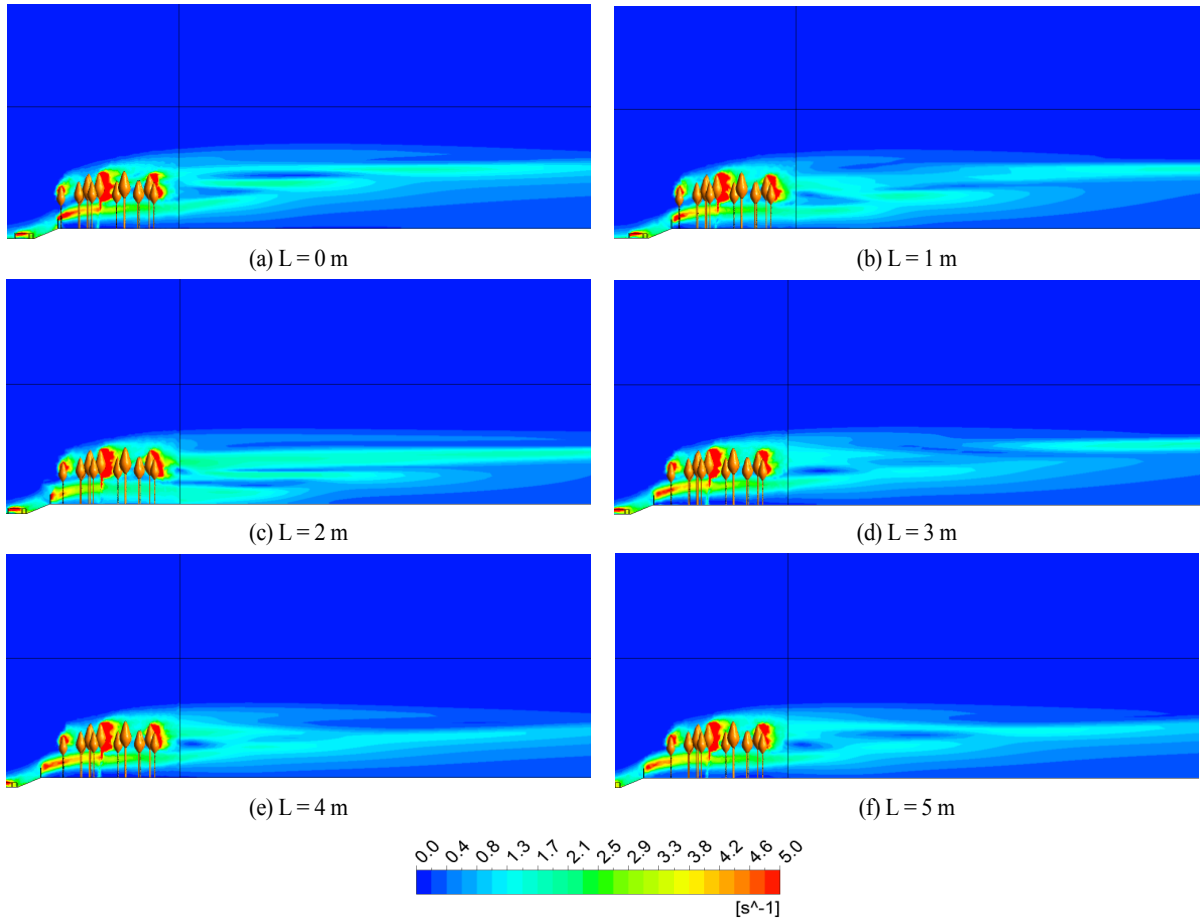


Fig. 13 Velocity curl, or vorticity

도가 약해지는 것을 알 수 있다. 와도는 이미 해석된 속도장으로부터 다음과 같이 계산된다.

$$\xi = |\text{curl } \mathbf{V}| = |\nabla \times \mathbf{V}| \quad (5)$$

숲의 후류(wake)에서 와도가 높은 영역은 Fig. 13(c)에서 녹색 계통으로 나타난다. 이 영역은 L이 2 m일 때 가장 넓고, 이외에서는 이보다 작게 나타난다. 와류는 직진하는 유동장에 대해 장애 요인이므로 Fig. 13(c)에서 가장 큰 소산, 또는 가장 큰 와도가 일어남을 이해할 수 있다. Fig. 14은 숲 후방 180 m 일정 지점에서 와도를 서로 비교한 그림이다. 와도가 L = 2 m에서 가장 큰 값을 갖는 것으로 알 수 있다.

이상의 분석으로부터, 와도를 측정하는 것이 거대 규모의 난류 유동장에서 나타나는 후류의 소산을 예측하거나 평가하는데 있어 가장 효과적이라는 사실을 알 수 있었다. 유동 속도장은 단순히 소산이 일어나고 있는 현상만을 보여주고, 유

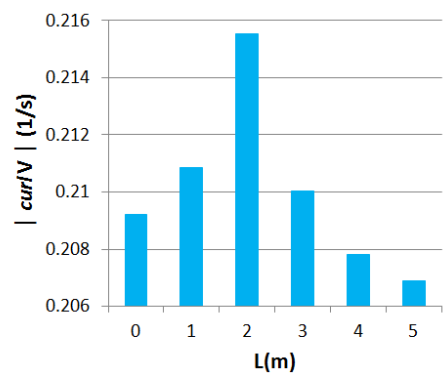


Fig. 14 L vs. velocity curl

선은 와류의 크기나 난류에 의한 변형 정도를 보여주지만, 와도는 소산의 강도와 비례하는 수치를 보여준다. 이것은 유동 에너지의 소산이 장애물에 의한 속도장의 변형에 의해 주로



일어나며, 변형된 속도장은 공간에 대한 미분을 해보았을 때 가장 극적으로 드러난다는 사실에 근거한다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 해안 방재림의 실제 야장 데이터를 이용하여 부가적으로 방재림의 효과를 증대시킬 수 있는 복층림과, 인공 구조물인 방풍책과 퇴사울, 해안 사구를 계산 영역에 모델링 하였다. 방재림의 효과 중 방풍 효과를 바람에너지 소산을 계산을 통하여 평가하였고, 개방 경계조건의 영향을 최소화하기 위한 높이 25 m의 유동 공간에서 실시하였다. 즉, 외부 대기 유입 등의 효과를 배제하기 위하여 소산률은 관심 영역 내의 제어 체적을 설정 하여 계산하였다.

복층림을 조성하면 소산률이 증가하지만 그 증가 폭이 2% 내로 매우 미미하며 추가적으로 수관부의 투과율을 고려한다면 그 증가 폭이 더 낮을 것으로 예상된다. 인공 구조물을 조성하는 것이 방재림의 효과를 증가시킬 수 있다는 것을 알 수 있었다. 또한 그 인공 구조물의 효과를 증가시킬 수 있는 최적의 거리를 제시하여, 실제 야장에 각 인공 구조물을 설치할 때 참고할 수 있는 데이터들을 확보할 수 있었다.

이러한 해안 구조물의 거리에 따른 계산 결과는 최적의 거리만 찾아낸 것이 아니라 그 속에 들어있는 유동 물리를 분석한 것으로, 이를 바탕으로 바람의 에너지를 최대한 소산시키는 공학설계 기법을 구축한다면 추후 풍력발전단지 최적화 등에 응용할 수 있을 것으로 기대한다.

#### 후 기

본 연구는 국립산림과학원의 2014년도 ‘해안 방재림 조성 효과 분석용 수치모델 개발’ 과제의 지원으로 수행되었습니다. 또한 KETEP 에너지인력양성사업(No.20144030200590)의 지원을 받았습니다. 저자들은 이에 감사드립니다.

#### References

- [1] 2005, Chun, K.W., Kim, S.W., Kim, K.N., Nakashima, Y. and Ezaki, T., "Coastal Forest Construction and Non-Structural Measures for Preventing Tsunami Damage-In Case of Japan," *Journal of Korean Forestry Society*, Vol.94, No.3, pp.197-204.
- [2] 2003, Harada, K. and Imamura, F., "Evolution of Tsunami Reduction by Control Forest and possibility of Its Use for Mitigation," *JSCE*, Vol.50, pp.341-345.
- [3] 2005, Harada, K. and Imamura, F., "Effects of Coastal Forest on Tsunami Hazard Mitigation - a Preliminary Investigation, In: Tsunamis: Casr Studies and Recent Developments," *Advances in Natural and Technological Hazards Research*, Vol.23, pp.279-292.
- [4] 1986, Choi, M.G., "Relationship between Tree Species Distribution and Soil Salt Concentration in East Coastal Forest = Characteristics of Salt Tolerance in Tree Species (I)," *Journal of Korean Forestry Society*, Vol.73, No.1, pp.1-8.
- [5] 1998, Jung, Y.G. and Kim, J.W., "Coastal Sand Dune Vegetation in Kyungpook Province," *Journal of Ecology and Environment*, Vol.21, No.3, pp.257-262.
- [6] 1983, Lee, W.C., "Floristic Composition and Standing Crop of the Sand Dune on the Southern Coast = Ecological Studies on the Coastal Plants in Korea," *Journal of Ecology and Environment*, Vol.6, No.3, pp.177-186.
- [7] 2000, Park, Y.J. and Kim, W.N., "Investigation of Environmental Forest in Coastal Zone by Using Landsat TM Data," *Gangneung National University East Coastal Research 2000 International Symposium*, pp.46-54.
- [8] 2012, Park, T.W., Chang, S.M. and Lee, B.D., "Benchmark Tests for CFD Codes for the Analysis of Wind Field in the Forest," *Journal of Computational Fluids Engineering*, Vol.17, No.2, pp.11-14.
- [9] 2013, Park, T.W., Chang, S.M., Kim, S.R., Lee, Y.J. and Youn, H.J., "Analysis on the Composition Effect of Forest for Damage Prevention Using CFD," *Journal of Computational Fluids Engineering*, Vol.18, No.1, pp.69-76.
- [10] 2014, Lee, S.D. and Kim, M.J., "Effects of Disaster Prevention of a Coastal Forest Considering Wave Attenuation Ability," *Journal of Korean Society of Hazard Mitigation*, Vol.14, No.5, pp.381-388.
- [11] 2015, Shin, J.H., Chang, S.M., Jang, M.N., Lee, Y.J. and Youn, H.J., "Quantitative Analysis on the Decrease of Wind Energy from the Composition Effect of the Coastal Forest for Damage Prevention - the Correlation of Dissipation Ratio to Stand Density -," *Journal of Korean Society of Hazard Mitigation*, Vol.15, No.1, pp.361~368.
- [12] 2013, ANSYS Inc., ANSYS-CFX Solver Theory Guide R15.0, Canonsburg, PA, United States.