

개발에 따른 지형변화가 국지 바람장에 미치는 영향 분석 - Envi-met 모형을 이용한 수치모의 -

An Analysis on Influence of Geographical Variation Induced by Development Affecting to the Local Scale Wind Environment - Numerical Simulation using the Envi-met Model -

정 우 식* · 박 종 길¹⁾ · 이 화 운²⁾

인제대학교 대기환경정보공학과/대기환경정보연구센터

¹⁾인제대학교 환경공학부/대기환경정보연구센터

²⁾부산대학교 대기과학과

(2006년 6월 2일 접수, 2006년 10월 2일 채택)

Woo-Sik Jung*, Jong-Kil Park¹⁾ and Hwa Woon Lee²⁾

*Department of Atmospheric Environment Information Engineering /
Atmospheric Environment Information Research Center, Inje University*

¹⁾*Department of Environment Sciences Engineering /
Atmospheric Environment Information Research Center, Inje University*

²⁾*Department of Atmospheric Sciences, Pusan National University*

(Received 2 June 2006, accepted 2 October 2006)

Abstract

This study analyze the change of wind pattern and intensity according to the transform of surface conditions, such as land use and height of terrain, over the leeward region. In order to do this, we have employed 'Envi-met' microscale atmospheric numerical model. When the same wind condition is considered, the wind speed of base case having natural surface condition of Chunsudae shows the weakest strength among different cases such as the 'bare case' and the '20 m case' which the plants is removed and the height of terrain is flatted as 20 m above the sea level over the Chunsudae, respectively. The weakening of wind speed is a maximum of 4~8 m/s when the inflow wind speed is 55 m/s.

Key words : Wind speed, Envi-met, Surface condition, Gust wind

1. 서 론

1960년대에 접어들면서 우리나라는 경제개발을 국정의 제1목표로 설정하고 이를 추진되면서 많은

*Corresponding author.
Tel : +82-(0)55-320-3932, E-mail : wsjung1@inje.ac.kr

부문에서 일자리 창출과 이로 인한 사회적 인프라가 점차적으로 확대될 수 있었다. 하지만 이러한 경제개발이 가져다준 여러 가지 혜택과 더불어 점차적으로 여러 가지 문제점들도 함께 나타나게 되었다. 그 중에서도 도시지역으로 인구의 집중현상은 더 많은 문제점을 야기하게 되었다. 인구의 집중현상은 이것에 연계되는 사회적 직, 간접적 비용의 증가, 부대시설의 확보를 위한 공간적 부족이라는 여러 문제점들이 함께 나타나게 된다. 인구의 집중으로 인해 도시지역은 점차로 확대되어 왔고 이러한 도시지역의 확대는 주거 및 부대시설 등의 건설을 위해 1차적으로 도시지역 내에서의 공간적 확충을 위한 개발이 수행되었고 점차로 도시지역 내에서의 가용공간의 부족으로 인해 어쩔 수 없이 도시외곽지역으로까지 지역개발이 나타나고 있다.

십 수 년 전의 과거와 달리 현재 우리나라는 지방자치제도의 실시에 따라 더욱 민주적 국가 운영이 가능하게 되었다는 점에서 큰 발전이 있다고 할 수 있으나 반대로, 중앙정보의 조정 능력 약화로 인해 부분별적 개발 사업에 대한 관리, 감독이 부실해지고 지역민들의 인기에 영합하는 지역개발사업이 남발될 수 있다는 측면의 문제점도 발생할 수 있다. 즉, 여러 개발 사업은 필연적으로 주변 환경의 변화를 가져올 수 있음에도 불구하고 지역적으로 계획, 수행되는 개발 사업은 대부분이 중, 소규모로 이루어지고 한정된 지역의 관심사가 되기 때문에 이들 개발 사업에 의해 유발될 수 있는 여러 환경문제들에 대한 과학적 예측 및 진단이 여러 가지 측면에서 제대로 수행되지 못하고 있다는 점이다.

국내외의 여러 연구 결과들(Hegerl *et al.*, 2006; 오성남 등, 2004; Shindell *et al.*, 2003; Rühlemann *et al.*, 1999)을 보면 꾸준하고 지속적으로 지구 대기환경의 변화를 경고하고 있다. 즉, 지구온난화로 인한 기후변화, 이로 인한 생태계의 변화, 결국은 인간생활의 변화와 큰 피해를 경고하고 있다. 우리나라도 뚜렷한 사계절의 구분이 갈수록 모호해져 봄, 가을이 없어지고 여름, 겨울만 있는 것처럼 느껴지고 여름철에 발생하는 태풍들의 규모가 갈수록 커지고 강해져서 이로 인한 피해가 점점 거대해지고 있는 등은 우리가 몸으로 느끼고 눈으로 볼 수 있는 자연변화이다. 점차 우리가 살고 있는 지역에서도 환경의 변화가 느껴지고 있는 것이다. 이러한 상황에서 무분별한 지역

적 개발은 해당 지역에서의 환경문제를 더욱 가속화할 수 있게 되므로 자연환경의 변화에 대한 국가적 대책과 더불어 지역에서 할 수 있는 대책마련이 시급하다 할 수 있다. 즉, 지역적 중, 소규모의 개발 사업에 수반되는 환경변화가 어떠한 문제를 발생시킬 수 있는지를 평가하는 과정이 필수적이라 할 수 있는 것이다.

따라서 현재와 같이 지역적 환경변화에 대한 인식과 객관적 연구 필요성이 부족한 상황에서 무분별한 지역개발이 어느 정도 변화를 나타낼 수 있는지에 대하여 과학적으로 살펴보고자 한다. 이를 위해 본 연구에서는 지역개발에 의해 발생할 수 있는 기상현상의 변화를 구체적으로 살펴보고자 한다.

2. 연구 대상 지역

본 연구에서는 부산광역시 강서구 천성동에 형성되어 있는 천수대의 지면조건변화에 따른 풍하지역 바람장 변화를 살펴보고자 하였다. 본 연구에서는 가덕도 일원에 영형을 미친 태풍에 대한 조사와 미기상 대기유동장 수치모형을 이용하여 태풍이 내습할 때의 바람조건에서 천수대 지면조건변화에 따른 바람장의 변화를 살펴보았다.

본 연구의 대상은 그림 1에서 보는 바와 같이 가덕도 서쪽 연안의 중앙부에 위치한 지역으로 마을을 위치한 천수만은 남쪽과 북쪽에 돌출된 지형에 의해 둘러싸여 있는 지형, 지세를 보이고 있다. 이곳 천수대는 부산광역시 가덕도 주민들에 의해 예로부터 가덕 7경이라 불리는 경관이 우수한 지역 중 한 곳으로 인식되고 있다. 이곳 천수대는 중심부의 해발고도가 52m인 구릉형의 지형형태를 보이고 있으며 천수대 전반에 걸쳐 약 15~20m의 식생이 우거진 지면조건을 형성하고 있다.

개발적으로 살펴볼 때 비교적 완만한 경사의 지형과 천수만 안쪽의 해안을 따라 주거 지역이 분포하고 있음을 잘 볼 수 있다.

3. 가덕도에 영향을 미치는 태풍분석

지난 11년 동안(1994~2004년) 가덕도에 영향을

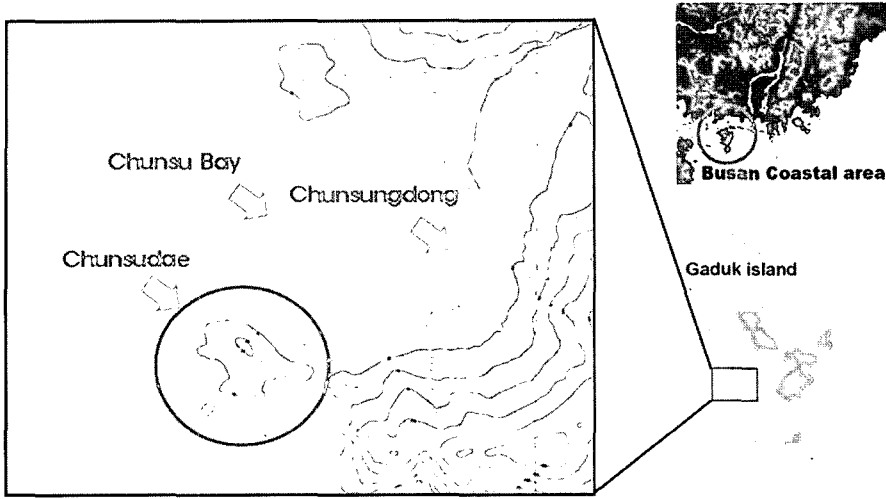


Fig. 1. Geographical condition around Chunsudae.

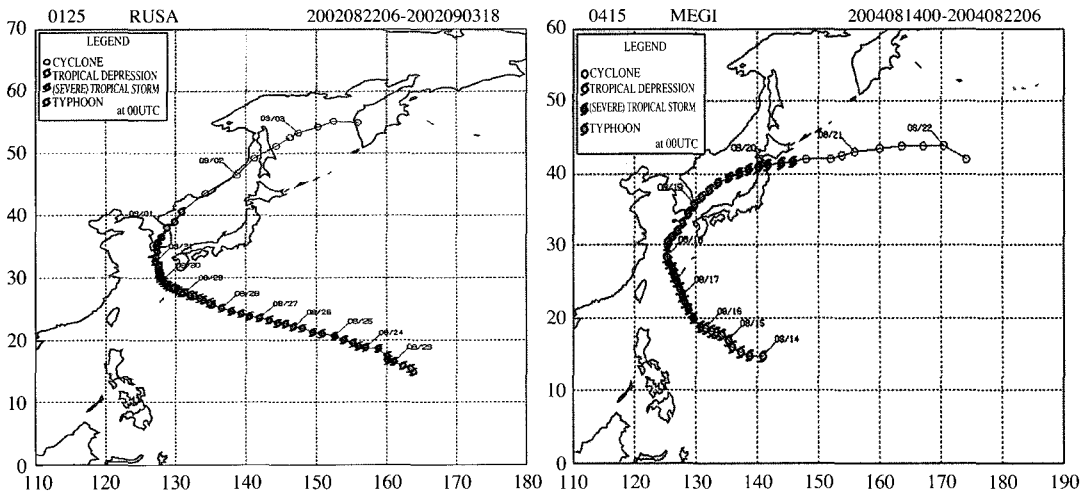


Fig. 2. The passage of RUSA (0215) and MEGI (0415).

미친 태풍 중, 가덕도에서 최대순간풍속이 17 m/s 이상으로 나타난 태풍은 표 1과 같다. 이 중에서 2002년 태풍 RUSA가 44.5 m/s, 2004년 태풍 MEGI가 42.1 m/s의 최대순간풍속을 기록하였다. 그림 2는 가덕도에서 가장 강한 순간최대풍속을 기록하였던 태풍 ‘루사(RUSA)’와 ‘매기(MEGI)’의 진행 경로를 참고적으로 제시한 것이다. 그림을 보면 알 수 있듯이 우리나라의 동남지역에 영향을 미치는 태풍의 일

상적 경로는 크게 다르지 않다. 이들 두 경우 외에도 일상적 태풍 진행경로는 유사하게 나타난다.

이러한 경로적 일반성과 천성동 마을과 천수대의 지리적 위치관계로 볼 때 천수대 일대에서의 지형변화가 천성동 일대에 어떠한 영향을 미치는지를 살펴 보는데 있어서 가장 적절한 풍향각을 천수대를 거쳐 오는 240°로 설정하였다.

Table 1. Number of Typhoons affecting at Gaduk island (1994 ~ 2004).

No.	ID	Name of Typhoon	Landing day	Instant Max. wind speed (m/s)
1	9429	SETH	10/11	24.4
2	9503	FAYE	7/23	35.5
3	9711	TINA	8/8	22.7
4	9719	OLIWA	9/16	21.2
5	9809	YANNI	9/30	20.1
6	9908	PAUL	8/7	18.7
7	9910	SAM	8/25	18.1
8	9918	BART	9/24	17.5
9	0006	BOLAVEN	7/30	20
10	0014	SAOMAI	9/14	38.2
11	0102	CHEBI	6/24	26.6
12	0205	RAMMASUN	7/5	23.4
13	0209	FENGSHEN	7/26	23.5
14	0215	RUSA	8/31	44.5
15	0306	SOUDELOR	6/19	23.9
16	0314	MAEMI	9/12	28.6
17	0406	DIANMU	6/21	20.9
18	0415	MEGI	8/8	42.1
19	0416	CHABA	8/30	24.7
20	0418	SONGDA	9/7	27.4
21	0423	TOKAGE	10/20	17.2

4. 연구방법 및 결과 고찰

4.1 미기상 수치모델 (Envi-met)의 개요

일반적으로 대기유동장 해석에 많이 사용되는 수치모형은 여러 가지 (RAMS, MM5, WRF, ARPS 등)가 있으며 이들 수치모형을 이용하여 국지적 규모의 대기순환계 중요성과 그 특징을 상세히 살펴본 연구들도 많이 있다 (정우식과 이화운, 2003; 이화운 등, 2000). 하지만 이들 일반적 대기유동장 수치모형은 계산격자간격 측면을 포함한 몇 가지 제한적 요인에 의해 수평규모가 수백 m ~ 수 km인 영역에서의 공간적으로 상세한 (격자간격 수 m ~ 수십 m) 기상정보 도출에 어려움이 있다. 따라서 이러한 공간적 규모에서의 정확한 기상정보의 산출에 있어서는 다른 방안을 대안으로 활용하여야만 한다.

본 연구에 사용된 Envi-met 모델은 독일 Bochum 대학의 Bruse (1998)에 의해 개발되었고, 2004년에 최종 개선된 모델이다. Envi-met 모델의 장점은 도시 지역에 있어서의 지면, 건물, 식생, 그리고 대기의 상호작용에 관한 미세규모 모델로서 뚜렷한 미세규모 기상의 패턴을 만들어낸다는 점과 딱딱한 건물의 벽

면체 뿐만 아니라 숲과 같은 부드러운 모형도 모사할 수는 있다는 점이다.

Envi-met 모델의 구성은 대기모델, 식생모델, 토양모델, 그리고 지면과 건축물에 관한 식으로 이루어져 있는데 이러한 구성적 특성은 공간적으로 넓은 영역보다 좁은 영역에서의 상세한 기상정보를 도출하는데 장점을 가지고 있다. 즉, Envi-met 모델은 미기상에 영향을 미칠 수 있는 물리적 과정에 대한 고려를 구체적으로 하고 있다. 대기모델의 경우, 공기의 평균 흐름, 난류과정, 복사과정 등을 구체적으로 고려하여 계산할 수 있으며 토양모델은 지면으로부터 2 m 깊이까지 14개 층으로 구성되어 있다. 또한 식생모델에는 열과 수증기의 난류흐름, 기공저항, 잎의 에너지 평형식, 식생/토양 물수지 등이 계산될 수 있도록 구성되어 있다. 더불어 지표면과 건축물에 대해서도 이들에 관계된 복사속, 난류속, 열속 등이 자세하게 고려되어 있다 (Bruse 1998; Liu, 1996; Asaeda and Ca, 1993; Tjernstrom, 1989; Wilson, 1988; Barden, 1982; Yamada, 1982; Clapp and Hornberger, 1978; Deardorff, 1978; Mellor and Yamada, 1975; Launder and Spalding, 1974).

Envi-met 모델은 기존의 대기유동장 모형과는 다른 사용 환경적 특징을 가지고 있다. 기본적으로 Microsoft PC 운용체제에서 사용이 가능하게 되어 있으며 화면상으로 연구대상 지역의 3차원 공간적 구조 (전체영역, 격자간격 등) 및 지표면 특성 (토지이용도, 식생의 고려 등), 그리고 지형적 조건 (해륙의 분포, 지형 경사, 건축물의 배치 및 구성)을 바로 확인하여 화면상에서 쉽게 수정 및 보완과정을 처리할 수 있는 편리함이 있다. 또한 계산 결과는 형식 (format) 전환없이 바로 '레오나르도 (LEONARDO version 3.5Beta)'라는 결과표출 전용 프로그램을 통해 여러 가지 물리량에 대한 계산 결과를 가시화하여 확인할 수 있다. 이와 더불어 ASCII 형태로 여러 가지 물리량에 관한 시, 공간적 결과를 도출할 수 있다. 이는 사용자의 연구목적에 따라 결과 파일의 전환 및 재처리 작업에 있어 유용하게 활용될 수 있다.

4.2 모델링 설정영역과 타당성 검토

4.2.1 모델링 영역

본 연구에서는 천수대의 지형 변화에 따라 천수대

와 천수만 해상을 포함한 천성동 마을 일대에서의 태풍 내습시 바람의 변화를 예측하기 위해 다음과 같은 조건으로 계산 영역을 설정하였다.

계산 영역은 수평방향으로 격자간격 40 m로 하여 동서방향(x방향)으로 50격자, 남북방향(y방향)으로는 40격자로 구성하여 동서, 남북으로 각각 2,000 m와 1,600 m의 범위로 설정하였고 연직방향(z방향)으로는 지표부근에서의 상세한 계산을 위해 지표부근에서는 조밀한 격자간격을 가지고 상층으로 갈수록 넓어지도록(telescoping 방식, 20%)하여 25개 층의 950 m로 설정하였다. 지표부근에서의 조밀한 연직격자간격을 구성하여 지표부근에서의 복잡 다양한 물리량들의 정확한 계산을 수행하도록 하였다.

본 연구에서 설정한 Envi-met 모형의 기본적 구성 조건은 다음의 표 2와 같다.

바람장 예측을 위한 지형 및 식생 입력 자료는 그림 3과 같이 구성하였다. 그림 3은 자연 상태의 천수대를 나타낸 것이다.

4. 2. 2 모델 결과의 타당성 검토

여기서는 실제 연구 대상영역의 지형을 고려해 수치 모의한 Envi-met 모형의 계산 결과와 관측값과의 비교를 통해서 모델 계산결과에 대한 타당성을 살펴 보았다. 이를 위해 본 연구에서는 천성동 해안마을

Table 2. Configurations of Envi-met model.

Dynamics		Non-hydrostatic
Spatial structure	50 grids × 40 grids × 25 layers	
Resolution	Horizontal	40 m
	Vertical	2 m, telescoping 20%
Output interval	5 minutes	



Fig. 3. Surface boundary outlines of Envi-met.

건물 옥상에 설치한 자동기상관측장비(Automatic Weather Station, 이하 AWS)에서 관측된 기상자료를 이용하였다.

AWS는 10분 간격으로 관측을 수행하였다. 또한 천성동 해안마을의 3개 지점에서 이동식 기상관측장비를 이용하여 AWS와 병행 관측을 수행하였다. 그림 4는 관측이 수행된 위치를 나타낸 그림이다. 이동식 기상관측과 AWS 관측이 시작된 2005년 11월 16일은 우리나라가 전반적으로 일중 북서풍이 우세한 날이었다.

표 3은 관측 기간 동안 이동식 기상관측장비와 AWS에서 관측된 풍향, 풍속과 수치모형을 통해 계산된 풍향, 풍속을 비교한 것이다. 표에서 보는 바와 같이 주어진 풍향과 풍속과 비교해 본 연구에서 분석에 사용하는 Envi-met 모델 계산결과 값이 관측값과 잘 일치하고 있음을 알 수 있다.

이들의 결과를 통해서 천수대를 포함한 천성동 마

Table 3. Comparison of observed with calculated WS and WD.

		16 November, 2005				17 November, 2005		
		1400 LST				0000 LST	0900 LST	1800 LST
		P1	P2	P3	AWS	AWS	AWS	AWS
WS (m/s)	OBS	3.1	3.6	3.6	4.6	1.9	1.1	2.1
	CAL	3.8	3.7	3.7	4.4	1.9	1.2	2.2
WD (degree)	OBS	290	280	280	285	55	93	23
	CAL	284	281	283	286	57	94	23

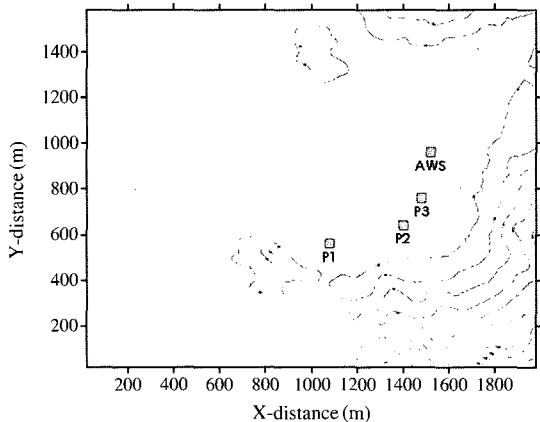


Fig. 4. Position of meteorological sites.

을 및 앞바다에서의 바람장의 진단과 예측에 있어 본 연구에서 사용한 모델 결과값이 신뢰성 있는 정보를 제공할 것이라는 판단을 할 수 있다.

따라서 이후 지면조건별, 풍향별, 풍속별 천성동 해안마을 일원과 마을 앞바다에서의 풍속을 분석할 때, 본 연구에서 사용하는 수치모형의 결과값에 충분한 타당성을 부여할 수 있다고 하겠다.

4.3 천수대의 지면조건 변화에 따른 풍향 변화 분석

4.3.1 수치실험 설계

기본적으로 천수대의 지면조건 변화는 천수대에서 절토와 벌목이 수행되기 전의 자연 상태 지형 및 식

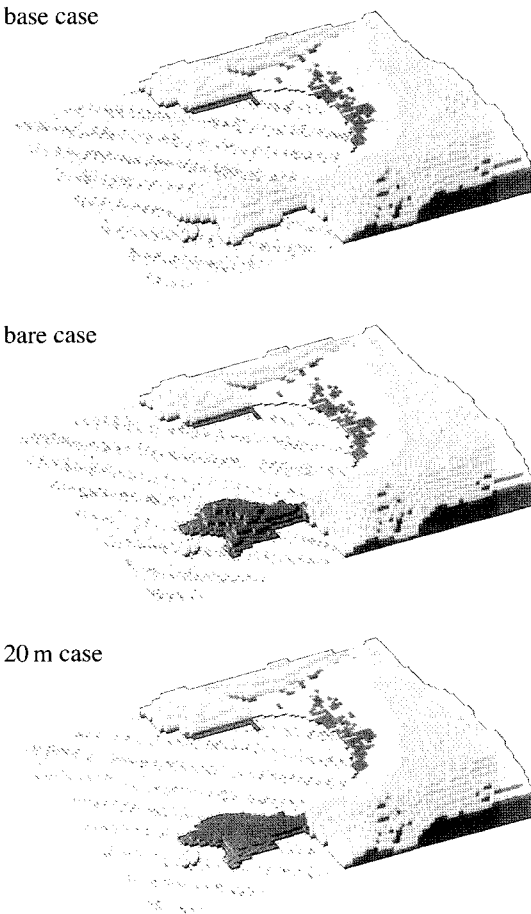


Fig. 5. Variations of surface boundary condition over the Chunsudae.

생을 고려한 조건(base case)과 천수대의 지형은 변화시키지 않고 지형위에 있는 수목 등의 식생을 제거하였을 때의 조건(bare case), 마지막으로 천수대에서 고도 20 m 이상의 지형은 모두 절토하여 평지로 조성하고 식생도 제거된 경우의 조건(20 m case) 등, 모두 3가지의 지형조건(그림 5)에 대한 바람장의 특성과 변화 정도를 분석하였다. 또한, 풍속에 따른 천수대의 영향을 살펴보기 위해 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55 m/s인 7가지 경우의 풍속에 대한 바람장의 변화를 살펴보았다.

마지막으로 풍향에 따른 천수대의 영향을 살펴보기 위하여 본 연구에서는, 바람이 240° 방향에서 불어오는 경우의 풍향에 대하여 지면조건별, 풍속별 바람장의 변화를 살펴보았다(그림 6). 여기서 고려한 풍향인 240°는 천수대를 거쳐 오는 바람에 의해 마을이 영향을 받는 ‘대표 풍향각’으로 설정한 풍향이다. 이는 본 연구의 최종목적이 마을의 서남쪽에 위치하고 있는 천수대에서의 지면조건변화가 마을에 어떠한 영향을 미치는지를 살펴보는 것이므로 천수대가 위치하고 있는 방향의 중심인 240°를 대표 풍향각으로 설정하고 연구를 진행하고자 한 것이다. 즉, 240° 방향의 서남 방향에서 오는 풍향은 주거 밀집지역인 마을의 중앙부를 향한다. 앞서 최근 몇 년간 가덕도에 영향을 미친 태풍의 진행경로를 참고해 볼 때 240° 풍향이 가장 적절한 풍향각으로 볼 수 있다.

4.3.2 바람장 변화

여기서는 240°의 풍향각을 가지는 바람이 천수대

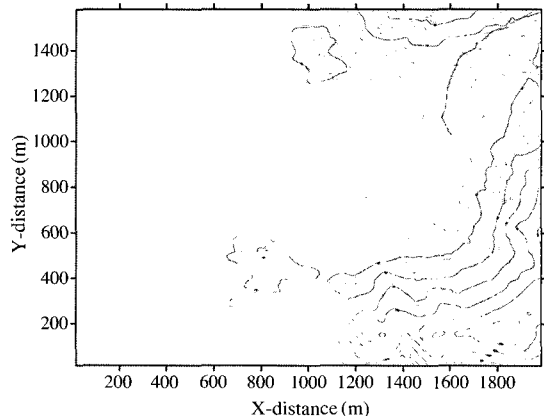


Fig. 6. Input prevailing wind direction.

를 지나 천성동 해안마을을 향해 불어오는 경우에 각각의 지면조건에서의 풍속별 바람장 결과를 제시하고 분석하였다.

본 연구에서는 지형조건별 (3가지 case), 풍속별 (7가지 case) 각각의 모델링을 수행하여 세부적으로 총 21가지 경우의 수치모델링이 수행되었다. 또한 높이에 따른 풍향, 풍속 분포와 조건에 따른 풍속편차 등을 파악하기 위하여 고도 3 m와 20 m에서의 모델링 결과를 분석하였다. 본문에서는 가장 강한 풍속인 55 m/s에 대해서 결과를 제시하였으며 다른 경우의 결과는 도표로 정리하여 마을 앞과 앞바다에서의 최대, 최소 풍속 분석으로 나타내었다.

1) base case 모델링 결과

240°의 풍향과 55 m/s의 풍속을 가진 바람이 자연 상태의 천수대를 향해 불어올 때의 결과는 다음과 같다.

그림 7(a)는 해발고도 3 m에서의 바람장을 나타낸 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 천수대 후면의 풍하측에서는 주변의 일반적 풍계와 전혀 다른 형태의 풍향을 보이고 있음을 알 수 있고 이 영향으로 천성동 마을의 남쪽 일대에는 서풍계열의 바람과 북서계열의 바람이 형성됨을 볼 수 있다. 그러나 마을의 위쪽과 중앙부에는 주어진 풍계와 유사한 남서계열의 바람이 불어오는 것을 알 수 있다. 또한 마을의 북북서 방향에 형성되어 있는 골을 따라서 바람이 수렴되어 불어가는 것을 볼 수 있다.

그림 7(b)는 해발고도 20 m에서의 바람장을 나타낸 것이다. 해발고도 3 m에서의 바람장과 큰 차이는 보이지 않는다. 하지만 마을의 북서방향에 위치한 골에서는 지형의 형태를 따라 바람이 나타나고 있음을 볼 수 있다. 해발고도 20 m의 결과에서는 천수대와 내륙이 연결되는 지역을 넘어가는 바람을 볼 수 있는데, 이는 이 지역의 해발고도가 20 m보다 다소 낮은 지형고도를 가지기 때문이다.

2) bare case 모델링 결과

여기서는 천수대의 천수대에 형성되어 있는 높이 15~20 m의 수목들을 모두 제거한 조건에서의 결과를 분석하였다. 그림 8은 식생이 제거된 bare case에서의 해발고도 3 m와 20 m 바람장을 base case의 결과와 함께 나타낸 것이다. 그림에서 붉은색 화살표는 base case의 결과이고 검은색 화살표는 bare case의

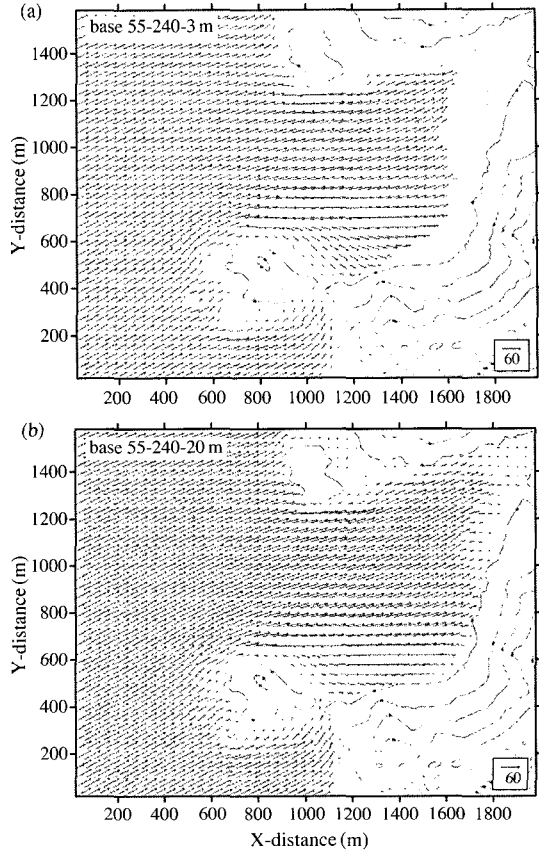


Fig. 7. Distributions of wind pattern in base case of 55 m/s inflow ((a) 3 m and (b) 20 m asl).

결과이다. 천수대 북동쪽 해상을 보면 base case에서는 북서계열의 바람을 나타내고 있지만 bare case는 서풍계열의 바람이 불고 있음을 알 수 있다. 또한 천수대의 남쪽 해상에서도 풍향과 풍속에 있어서 차이가 나타나고 있음을 볼 수 있다. 화살표의 크기가 풍속을 나타내는 것인데, 그림에서 보면 큰 차이가 없는 것처럼 보이지만 그림의 오른쪽 하단부에 있는 단위벡터의 크기를 고려해 볼 때 벡터 크기에 있어 작은 차이도 보이는 것보다는 큰 차이를 나타내는 것이다.

이러한 풍향과 풍속의 차이는 식생의 영향에 의한 것이라 볼 수 있다. 즉, 자연 상태의 천수대에 존재하는 고도 15~20 m의 수목이 천수대를 향해 불어오는 바람에 대해 방풍림의 역할을 하고 있는 것이다. 일반적으로 방풍림의 효과는 전방으로 수목고도의

5~7배, 풍향측으로는 30~35배 정도거리까지 영향을 미치는 것으로 알려져 있다(www.sanrimji.com). 물론 방풍림의 영향거리는 수목의 고도, 종류, 조림밀도 등에 따라서 다르게 나타나게 되지만 수목의 존재에 의한 풍속의 감소는 잘 알려져 있는 사실이다. 이러한 풍속 감소의 원인은 결국 식생이 바람에 대해 마찰작용을 하여 나타나는 것이다. 자연 상태의 천수대에 형성되어 있는 수목에 의해 천수대 부근으로 올수록 풍속의 감소는 크게 나타나게 되고 이것은 대기의 중, 상층과 지면사이에서의 풍속경도를 크게 만들어 공간적 풍속차에 의한 와류를 형성하게 되는 것이다. 따라서 그림에서 나타난 바와 같이 천수대 부근에서는 주변일대의 풍향과 상당히 다른 풍향각을 가지는 바람이 나타나게 되는 것이다. 하지만 천수대에 수목을 모두 제거한 경우에는 바람에 대한

천수대에서의 마찰효과가 약해져 중, 상층 및 천수대 해안 부근에서의 풍속경도가 작아지게 되고 따라서 풍향의 변위 및 풍속의 변화가 크게 나타나지 않는 것이다. 이러한 풍향변위와 풍속편차 경향은 해발고도 20m(그림 8b)에서도 유사하게 나타났다.

3) 20 m case 모델링 결과

이상에서는 천수대의 식생 유무에 의한 천성동 일원에서의 바람변화를 살펴보았다. 여기서는 천수대의 지형절토에 의한 영향이 천수대의 풍하층에 위치한 천성동 일원에서의 바람장에 어떠한 변화를 야기하는지를 분석하고자 한다. 이를 위해 본 연구에서는 천수대의 해발고도가 20m 이상의 지형을 모두 절토하여 평활화한 경우를 지형조건으로 설정하였다. 이러한 이유는 2005년 천수대를 통과하는 교량건설공사의 계획상에 천수대를 휴게소로 활용하고자 20m 이상의 지형은 절토하여 휴게소 검 승터를 건립하는

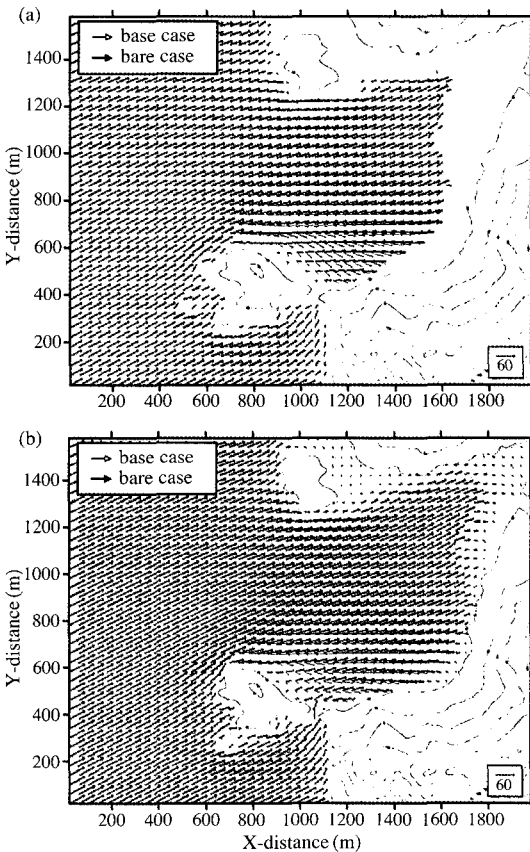


Fig. 8. Comparison of wind vectors of base with bare case ((a) 3 m and (b) 20 m asl).

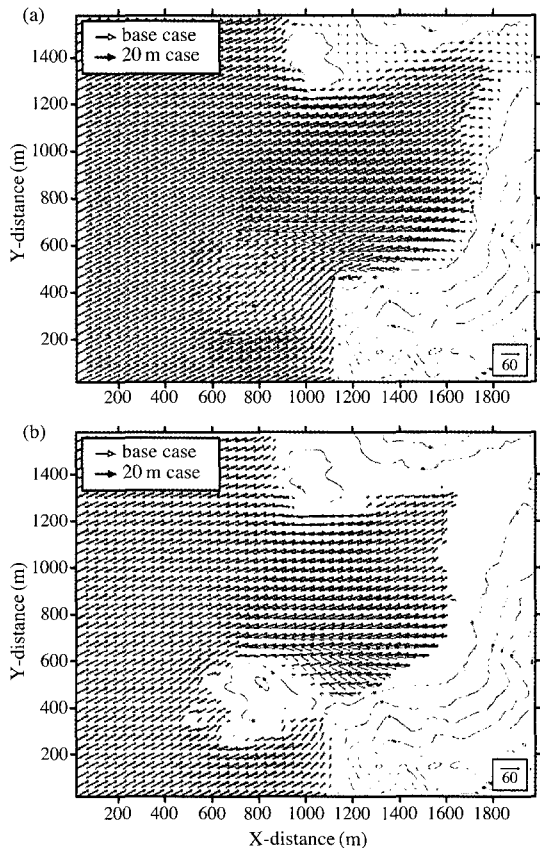


Fig. 9. Same as Figure 8 except for 20 m case.

기본계획이 설정된 바가 있었기 때문이다. 이때 천성동 마을 주민들에 의해 강풍피해 가능성에 대한 민원사례가 있었기에 이를 본 연구에서의 사례조건으로 설정한 것이다.

그림 9는 해발고도 3 m와 20 m에서의 바람장을 base case의 결과와 함께 나타낸 그림이다. 앞서 bare case와 마찬가지로 천수대 주변으로 비교적 큰 바람장의 차이가 나타나고 있다. 즉, 천수대의 북동해상과 남쪽연안에서 차이가 나타나고 있는데 240° 풍향을 가지는 유입바람에 대해 천수대의 풍하측인 천수대 북동해상에서 뚜렷한 변화가 나타나고 있다. 이는 기본적으로는 bare case에서 설명한 바와 유사하게 천수대에 있는 지면 부근의 식생분포가 지면과 육지의 마찰을 강화시켜 풍속감소가 나타나고 이로 인한 주변과의 풍속편차가 와류 흐름을 형성하게 되어 풍향변위가 동반되는 것이다. 하지만 20 m case의 결과를 자세히 살펴보면 천수대 북동쪽 해상에서 bare case에 비해 좀 더 북쪽으로 향하는 경향이 보여진다. 이러한 이유는 식생에 의한 마찰효과 뿐만 아니라 바람이 건너야 할 천수대 지형적 형태에 의한 역학적 조건 차이가 있기 때문이다. 자연 상태에서의 천수대는 20 m case에 비해 높은 해발고도를 가지는 지형적 조건과 천수대 전반에 걸쳐 분포하고 있는 수목의 영향으로 전체 해발고도가 거의 70여m에 이른다. 따라서 자연 상태의 천수대를 향해 불어오는 바람에 대해서는 높은 천수대의 형태조건이 강한 장애효과를 유발하게 되지만 해발고도 20 m 이상의 지형이 제거되어 지형적 장애효과가 많이 약화된 20 m case에서는 유입바람의 남풍성분(v)가 훨씬 크게 작용하게 된다. 따라서 바람장 그림에서 나타난 바와 같이 base case의 바람에 비해 20 m case의 바람이 좀 더 북쪽으로 향하는 경향을 보이는 것이다. 고도 20 m에서의 결과를 보면 더욱 뚜렷하게 알 수 있다. base case의 경우에는 천수대 중심부에서 바람이 나타나고 있지 않다. 즉, 20 m 이상의 해발고도에서는 바람이 모두 넘어가거나 돌아가지만 20 m case에서의 고도 20 m 바람은 천수대를 지나 북동방향으로 향하는 것이 뚜렷하게 나타나고 있다.

4) 풍속별 최대, 최소지점 분석

여기서는 풍속별로 마을과 마을 앞바다에서의 최대 풍속에 관련된 결과를 분석하였다. 그림 10은 모

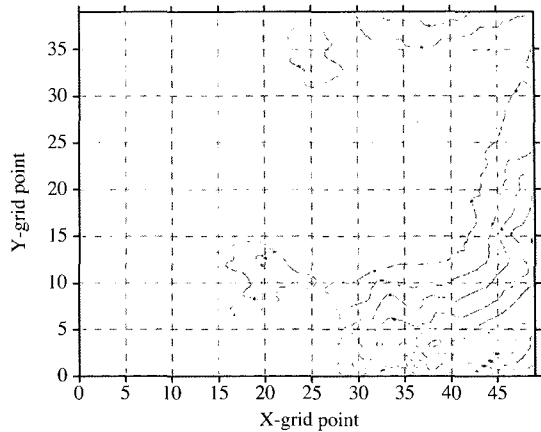


Fig. 10. Mesh structure of calculation domain.

델 계산 영역의 격자도를 나타낸 그림이다.

표 4는 마을 일대에서 지형조건별, 풍속별 최대, 최소지점과 그 지점에서의 풍속을 나타낸 것이다. 일단, 지형조건과 무관하게 3 경우 모두 풍속 강화에 따라 최대, 최소풍속이 증가하였다. 그러나 지형조건별로 구체적으로 분석해 보면, 자연 상태의 천수대를 고려한 경우인 base case가 전반적으로 다른 두 경우보다 약한 풍속이 나타났다. 즉, 식생을 제거한 경우와 해발고도를 낮춘 경우보다 낮은 최대풍속과 최소풍속이 나타나고 있다. 20 m 고도로 절토한 경우의 풍속은 전체적으로 동일한 기상조건에서 base case보다 다소 강한 최대, 최소 풍속을 나타내었다. 마지막으로 식생을 모두 제거한 bare case에서 가장 강한 최대, 최소 풍속을 나타내었다. 이와 더불어 bare case와 20 m case를 보면 대체적으로 bare case에서의 풍속이 약간 강하게 나타나고 있음을 알 수 있다. 이것은 월류(越流)의 풍하지역 풍속강화로 보이지만 차후의 연구를 통해 좀 더 상세히 분석하고자 한다.

표를 자세히 보면 동일한 지형조건에서는 풍속에 따라 최대와 최소풍속 지점이 거의 유사하다. 즉, base case에서는 전 풍속대에 걸쳐 최대풍속 지점이 마을의 북쪽일대에서 나타나고 있으며 최소풍속은 마을 중앙부에서 나타나고 있다. 하지만 다른 두 경우에는 최대풍속이 마을 중앙부 해안부근에서 나타났으며 최소풍속은 base case와 거의 동일한 지점에서 나타났다. 이 표에서는 최대, 최소풍속 및 해당 지점만 나타내었으므로 다른 정보는 알 수 없지만

Table 4. Maximum and minimum wind speed and its positions around residence.

Inflow ws	240°		Base case				Bare case				20 m case			
	Max.		Min.		Max.		Min.		Max.		Min.			
	Coord.	ws (m/s)	Coord.	ws (m/s)	Coord.	ws (m/s)	Coord.	ws (m/s)	Coord.	ws (m/s)	Coord.	ws (m/s)		
25 m/s	38,31	23.82	40,22	12.03	37,18	24.81	40,21	19.72	37,18	24.10	40,21	19.17		
30 m/s	37,30	26.60	40,21	17.82	37,18	28.02	40,21	22.19	37,18	27.26	40,21	21.53		
35 m/s	37,30	29.63	40,21	22.97	37,18	31.54	40,21	24.93	37,18	30.79	40,21	24.16		
40 m/s	37,30	33.44	40,21	25.93	37,18	35.79	40,21	28.29	37,18	35.18	40,21	27.45		
45 m/s	37,30	39.71	40,21	27.78	37,18	41.67	40,21	33.47	37,18	41.50	40,21	32.68		
50 m/s	37,30	45.56	40,21	34.73	37,18	47.13	40,21	38.16	37,18	46.34	40,21	37.65		
55 m/s	37,30	47.43	40,21	36.35	37,18	49.55	40,21	39.75	36,16	48.93	40,21	39.21		

Table 5. Same as Table 4 except for coastal sea.

Inflow ws	240°		Base case				Bare case				20 m case			
	Max.		Min.		Max.		Min.		Max.		Min.			
	Coord.	ws (m/s)	Coord.	ws (m/s)	Coord.	ws (m/s)	Coord.	ws (m/s)	Coord.	ws (m/s)	Coord.	ws (m/s)		
25 m/s	30,30	28.70	23,14	7.23	32,18	29.2	24,13	10.17	30,16	29.71	24,13	14.41		
30 m/s	30,30	32.18	23,14	8.19	32,18	32.81	24,13	11.25	31,16	33.58	24,13	16.03		
35 m/s	30,30	35.83	23,14	9.16	32,18	36.65	24,13	12.44	31,16	36.52	23,14	18.10		
40 m/s	30,30	40.36	23,14	10.23	32,19	41.34	24,13	13.79	31,17	42.81	23,14	20.19		
45 m/s	30,30	46.89	23,14	11.23	32,20	47.76	24,13	15.82	31,18	49.31	23,14	23.38		
50 m/s	30,30	50.27	23,14	12.30	32,21	51.12	24,13	17.75	31,19	52.76	23,14	26.36		
55 m/s	30,30	52.99	23,14	13.54	32,30	53.83	24,13	18.18	32,17	54.93	23,14	27.88		

각 경우별로 풍속의 수평분포장을 분석해 보면 base case의 최대풍속지점에서의 풍속은 다른 두 경우에서도 거의 유사한 값을 나타내었다. 그러나 다른 두 경우인 bare case와 20 m case에서는 이 지점보다 마을 중앙부에서 더 큰 풍속이 나타났기 때문에 이 표에서는 bare case와 20 m case의 최대풍속지점이 마을 중앙부로 결정된 것이다. 이는 앞에서 설명한 식생에 의한 마찰작용과 천수대 지형고도에 의한 바람 저감효과에 의한 것이다. 즉, base case에서는 천수대의 식생에 의한 풍속저감효과가 천수대 뒤편 풍하층에 나타났기 때문에 연장선상에 위치한 마을 중앙부에서의 풍속 또한 다소 약화된 것이고 다른 두 경우에는 천수대 후면에서의 풍속저감 효과가 상대적으로 약하여 마을 중앙부로 향하는 풍속의 감소가 적어 base case보다 강한 풍속으로 나타났기 때문이다.

표 5는 표 4와 동일한 기상조건에서 마을이 아닌 천수만을 포함하는 앞바다에서 최대풍속과 최소풍속, 그리고 해당지점에 대한 분석 결과를 나타낸 것

이다. 이 둘의 결과를 보면 유사한 경향을 보이고 있다. 즉, 3가지 지형조건 모두에서 풍속 증가에 따른 최대풍속과 최소풍속이 증가하는 것을 잘 알 수 있고 지형조건별 최대풍속이 나타나는 지점이 base case는 북쪽 해안부근에서 나타나지만 bare case와 20 m case에서는 마을의 경우와 마찬가지로 마을 중앙부 앞바다 일대에서 나타나고 있다. 즉, 마을과 마찬가지로 바다에서도 최대풍속지점이 base case에 비해 남쪽의 마을 중앙부 앞바다에서 나타나고 있는 것이다. 이러한 이유에 대해서는 위에서 설명한 바와 동일하게 설명할 수 있다.

5) 지면조건별 풍속편차 분포

여기서는 동일한 기상조건에서 지형조건에 따른 풍속변화의 정도를 구체적으로 분석해 보았다.

그림 11은 해발고도 3 m와 20 m에서 base case 풍속과 bare case의 풍속편차분포를 나타낸 것이다. 그림에서 나타난 값은 각 격자점별로 base case의 풍속

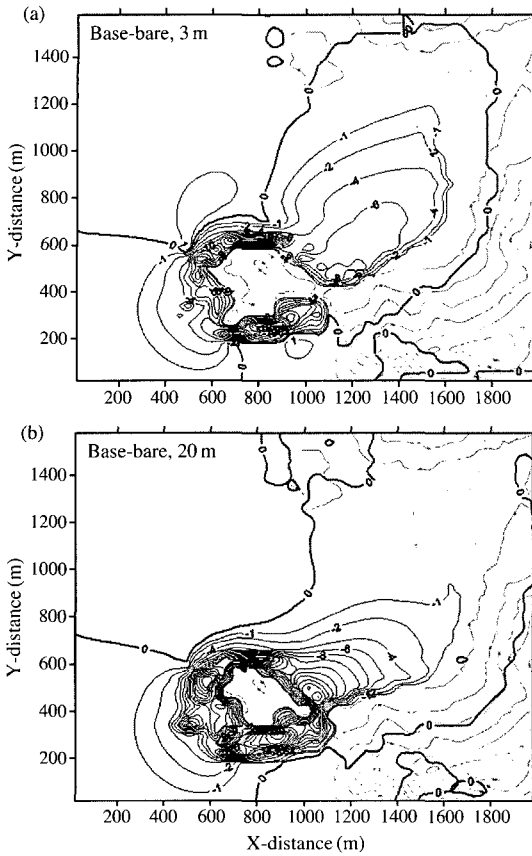


Fig. 11. Difference of wind speed of base and bare case ((a) 3 m, (b) 20 m asl).

에서 bare case의 풍속을 뺀 풍속차이를 나타낸 것이다. 그림을 보면 천수대 북서해상과 동쪽 고지대의 육상을 제외하고는 거의 모든 영역에서 음의 값을 가지고 있음을 알 수 있다. 즉, 일부 영역을 제외하고 대부분의 영역에서 식생을 제거한 bare case의 풍속이 강하다는 것을 나타내고 있는 것이다.

해발고도 3 m에서의 분석결과인 그림 11(a)를 보면 천수대의 북쪽해안과 남쪽해안에서 가장 큰 풍속 변화가 있음을 볼 수 있는데 지면조건변화에 의해 최대 20 m/s 정도 풍속차이가 나타나고 있다. 그러나 이 같은 풍속차이가 나타나는 지점이 인간이 거의 살고 있지 않은 비거주 지역이므로 풍속변화에 의한 인적피해는 크게 우려하지 않아도 된다. 하지만 유입 바람의 풍하측인 천수대 북동방향의 넓은 해상과 연안마을에서의 풍속변화는 상당히 중요한 의미를 가

진다.

그림을 보면 유입풍향 240°를 가지는 바람이 천수대를 향해 불어올 때 천수대의 지면조건변화에 따라 천수대 후면인 북동쪽 해상에서는 4~8 m/s 정도의 풍속차이가 나타나고 있으며 연안마을 부근에서는 최대 약 5 m/s 정도 풍속차이가 나타나고 있다. 즉, 유입풍속 대비 최대 약 9~16% 정도 풍속의 증가가 나타날 수 있게 되는 것이다. 또한 이 정도의 풍속변화가 좀 더 내륙에 있는 마을일대보다 해안에 가까운 연안마을과 마을 바로 앞의 해상에서 큰 풍속변화가 나타나고 있기 때문에, 결과적으로 천수대의 식생제거에 따른 풍속의 증가가 직접적으로 인간 거주 지역인 연안마을과 마을에 바로 인접한 해상에서 나타나서 여러 가지 우려할만한 피해를 예상할 수 있게 된다. 즉, 천수대를 향해 불어오는 강풍이 연안 마을을 향해 불어오는 남서계열의 풍향각을 가지는 경우, 천수대에서 마을에 대해 방풍림 역할을 하는 자연 상태의 수목이 제거되면 천수대의 풍하측에 있는 주민 거주 지역인 천성동 마을 일대에서 일정 정도의 풍속증가가 나타나게 될 것으로 판단된다.

이러한 전반적인 풍속차이의 수평분포는 고도 20 m의 결과(그림 11b)에서도 유사한 경향을 보이고 있다.

다음은 base case의 풍속에서 천수대를 절토한 20 m case의 풍속을 뺀 풍속편차를 분석하였다. 분석방법은 앞의 경우와 동일하다. 그림 12를 보면 앞의 그림 11과 큰 차이를 보이지는 않는다. 즉, 연구대상영역 대부분에서 음의 값이 나타나고 있는데, 이 역시 천수대의 지형을 절토한 20 m case의 풍속이 자연 상태의 천수대에서 나타나는 풍속에 비해 큰 값을 가진다는 것을 의미한다. 하지만 천수대 풍하측인 북동해상과 연안마을 일대를 보면 전반적으로 그림 11에 비해 풍속편차를 나타낸 각각의 등치선이 좀 더 북쪽으로 넓게 확장되어 있는 것을 알 수 있다. 또한 그림 11에 비해 풍속편차도 좀 더 큰 값을 가지고 있음을 알 수 있다. 이는 앞서 설명한 바와 같이 천수대 절토에 따른 유입바람의 천수대 월류(越流)에 의해 바람의 남풍성분(v)가 크게 작용하게 되고 이러한 바람성분의 강화로 인해 천수대 북동후면으로 풍속변화 영역이 넓게 나타난 것과 밀접한 관계가 있다고 하겠다. 또한 20 m case는 천수대 절토 뿐만 아니라 천수대의 수목이 모두 제거된 지면조건을 고

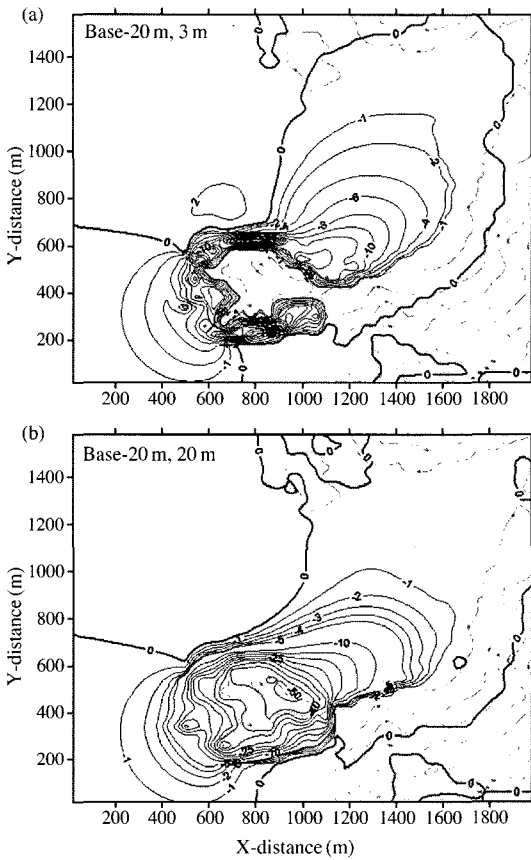


Fig. 12. Same as Figure 11 except for 20 m case.

러한 경우이므로 수목에 의한 방풍림 효과도 제거되어 있다. 따라서 천수대 절토에 의한 남풍성분의 증가, 천수대 수목 제거에 의한 방풍림 효과의 약화에 의해 자연 상태의 천수대를 고려한 경우에 비해 더 큰 풍속을 나타낸 것이고 더불어 식생만 제거된 bare case에 비해서도 더 강한 풍속을 보이게 되는 것이다. 이로 인해 그림 12에 나타난 바와 같이 천수대 북동 방향으로 풍속편차 등치선이 넓게 확장되어 나타난 것이고 풍속편차도 그림 11의 경우보다 더 크게 나타나고 있는 것이다.

6) 고도에 따른 풍속 분포

여기서는 연구대상영역 내에 위치한 10곳의 지점을 대상으로 지면(해면)에서 고도 200 m까지 풍속의 연직분포 특성을 분석하였다. 그림 13은 연직 풍속 분석 지점을 나타낸 것이다.

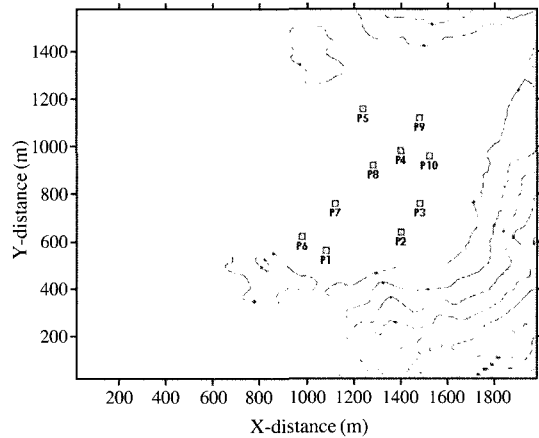


Fig. 13. Sites for analysis of vertical wind speed.

그림 14는 각각의 비교지점에서의 지형조건별 연직 풍속분포를 나타낸 그림이다. 지점 1과 지점 6은 주어진 풍향 240°에 대해 천수대 바로 뒤쪽 풍하측 지점들이다. 그림에서 보는 바와 같이 두 지점 모두에서 지형조건별로 큰 풍속차이를 보이고 있음을 잘 알 수 있다. 앞에서 설명한 바와 같이 자연 상태의 천수대인 경우에서 가장 약한 풍속을 보이고 있고 식생을 제거한 천수대의 경우가 좀 더 강한 풍속을 보이고 있는 것을 자세히 살펴볼 수 있다. 앞서 풍속편차 분석에서도 구체적으로 살펴보았듯이 해발고도 3 m, 10 m, 그리고 20 m 모두에서 base case보다 bare case와 20 m case에서 강한 풍속을 보였던 분석과 동일한 결과를 제시하고 있다.

지점 7과 지점 8은 지점 1과 지점 6보다 좀 더 풍하측에 위치한 곳으로서 지점 1과 6에 비해 풍속의 차이는 작지만 여전히 천수대의 자연 상태를 고려한 base case의 풍속이 가장 약하게 나타나고 있음을 알 수 있다. 지점 5와 지점 9는 앞서 풍속편차를 나타낸 그림에서도 보았듯이 풍속의 차이가 작게 나타나고 있음을 알 수 있다. 이 또한 앞에서 보았던 풍속편차도에서 분석하였듯이 천수대 뒤쪽의 풍하측 방향으로 멀리 갈수록 풍속편차가 작아졌던 결과와 일치하는 결과이다.

지점 4와 지점 10은 마을 중앙부 육상과 해상에 위치한 지점이다. 그림에서 보는 바와 같이 base case에서 가장 약한 풍속을 보이고 있음을 잘 알 수 있다.

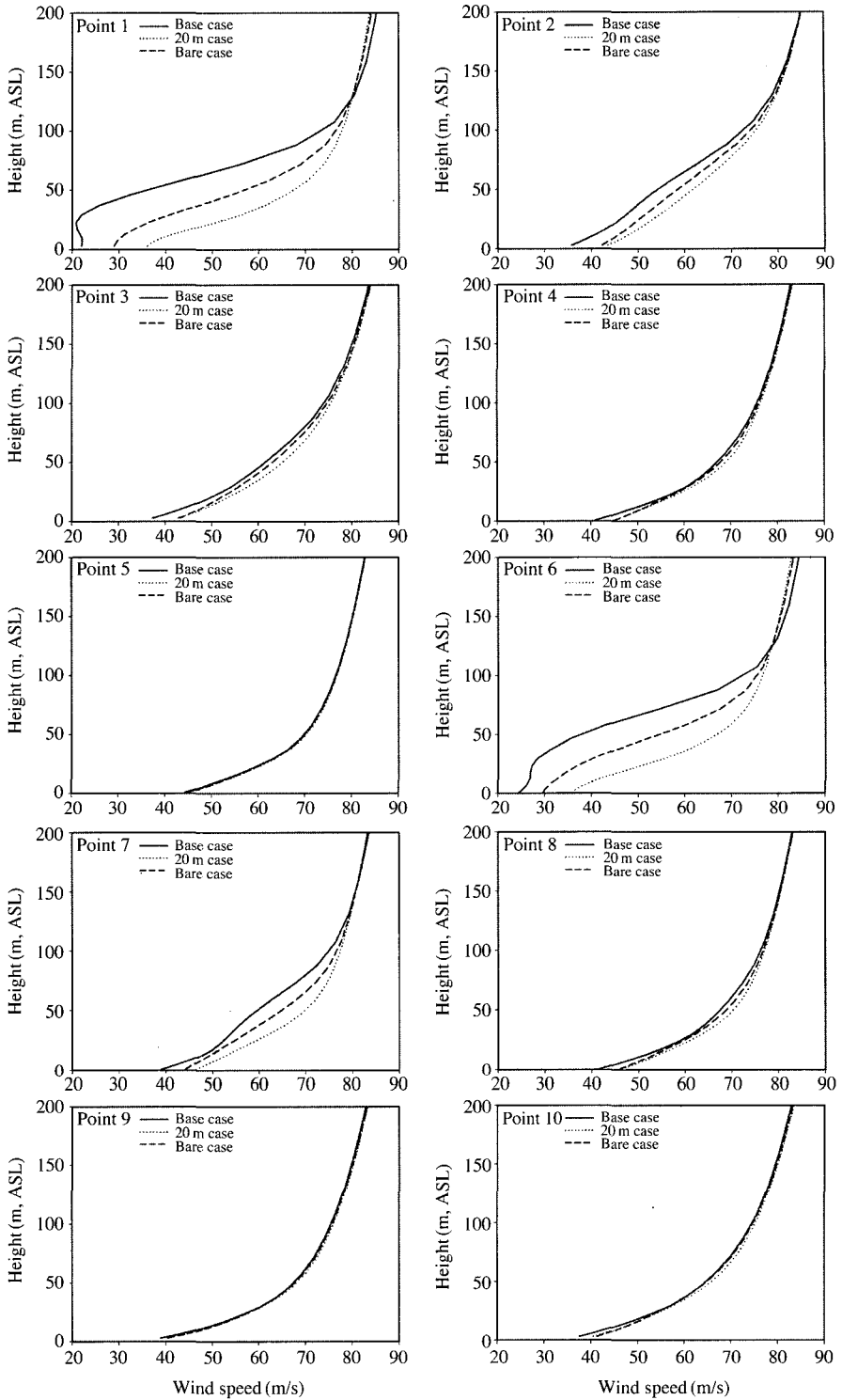


Fig. 14. Distributions of vertical wind speed in each case.

지점 2와 지점 3은 앞서 풍속편차에서 가장 중요한 결과를 나타내었던 영역에 위치한 곳으로서 마을 중앙부 남쪽의 해안 부근의 지점이다. 그림에서 볼 수 있듯이 두 지점 모두 약 5m/s 정도의 풍속차이를 보이고 있다. 이는 앞서 풍속편차 분석에서 보았던 마을 중앙부 남쪽 육상과 해상에서의 분석된 4~6 m/s 정도의 풍속편차와 거의 일치하는 결과이다.

이상의 내용을 바탕으로 볼 때 천성동 마을을 향해 240° 풍향의 바람이 55 m/s의 풍속으로 천수대를 거쳐 불어오는 경우에, 천수대의 지형변화(절토)와 식생변화(벌목)는 천수대의 풍하층에 위치한 해상과 천성동 마을 일대에 풍속 강화 현상을 일으킬 것으로 판단된다.

4. 4 돌풍계수를 고려한 풍속변화 분석

태풍에 동반되는 돌풍(gust wind)은 강한 난류흐름으로서 매우 짧은 시간규모에서 해석해야 정확한 추정이 가능한데 이는 현재의 수치모델 기술로서는 거의 불가능하다. 이것은 수치모형으로부터 추정된 풍속은 어디까지나 평균 풍속장을 의미하는 것이지 최대순간풍속, 즉 돌풍 풍속이 아니기 때문이다.

일반적으로 평균풍속 관측 자료나 기상수치모델결과가 있을 경우, 돌풍은 다음 식으로 계산된다(Zhou and Kareen, 2001).

$$V_{max}(T)=G(T)V_{mean}$$

여기서 V_{max} 는 돌풍, V_{mean} 은 평균풍속, G는 돌풍계수(gust factor), 그리고 T는 풍속평균시간(averaging time)이다.

돌풍계수의 정량적 판단은 현재의 과학기술로도 어려운 일이므로 현장에서 정밀한 관측을 통해 생산된 자료를 분석하고 가공하여 직접 도출하는 것이 가장 좋은 방법이지만 본 연구대상지역에서는 태풍이 통과하는 기간에 관측된 기상자료가 충분하지 못하여 돌풍계수의 직접적인 도출은 거의 불가능하다. 따라서 본 연구에서는 ‘부산항 컨테이너 크레인 태풍피해 원인조사 용역(2003)’ 연구에서 제시한 돌풍계수를 대안으로 사용하였다. 하지만 돌풍계수의 경우, 해당 지역 주변의 지형적, 지리적 특성에 의해 무척 다양하고 특징적인 계수값이 결정되므로 이전의 연구들에서 제시된 돌풍계수의 도입에 있어 상당히 신중한 검토과정을 거쳐야 한다.

이 보고서에 따르면 부산항만으로 유입되는 바람이 지형의 영향을 받지 않고 불어오는 경우에는 낮은 돌풍계수(1.3~1.4)를 나타내지만 풍향에 따라서 유입바람이 지형을 거쳐서 불어오는 경우에는 돌풍계수가 높게(1.7~2.1) 나타나게 되어 결국 만(bay) 내에 위치하고 있고 주변의 지형적 영향을 받는 신감만 부두에서의 돌풍계수는 1.7~2.1 범위라고 추정하였으며, 이와 같은 결과는 선행 연구(Zhou and Kareen, 2001)에서 제시한 결과와의 비교를 통해 최종적으로 신감만 부두의 돌풍계수를 미국토목학회(American society of Civil Engineers, ASCE)에서 제시한 하중계수와 하중조합 기준인 ASCE- 7-98 code의 Exposure B 등급값인 ‘1.75’로 결정한 바 있다. 이 보고서에서 제시하고 있는 신감만 부두의 돌풍계수 산정에 있어 고려된 이 지역의 지형적, 지리적 조건을 보면 태풍 매미가 불어올 때의 풍향 조건이, 신감만 부두의 풍상층에 위치하고 있는 돌출지형을 거쳐오는 풍향이었고 이들 돌출지형과 신감만 부두 사이 영역에는 다시 만의 형태를 지닌 해상이 위치하고 있어 결국은 이들 돌출지형의 풍하층에 신감만 부두가 위치하고 있는 조건이었다. 즉, 태풍 매미에 의해 신감만 부두로 불어오는 바람은 이들 돌출지형을 거쳐 와야만 하는 조건에 있었다.

이와 같은 지형적, 지리적 조건은 본 연구 관심지역인 천수대를 포함한 천성동 일대의 지형적, 지리적 조건과 상당히 유사하다. 즉, 마을을 중심으로 남서방향에 만의 형태를 가진 해상이 위치하고 있고 이들 해상을 건너 천수대의 지형이 돌출되어 있는 형태를 보이고 있다. 또한 본 연구에서는 태풍급의 바람이 불 때, 전체 풍향에 대해서가 아니라 천수대를 거쳐 마을에 도달하는 바람(240° 풍향)이 천수대의 지면변화에 따라서 어떻게 변화할 것인가를 보는 것이 주요 관심이다. 따라서 이상의 조건을 비교해 보면 태풍 매미가 불 때 신감만 부두의 돌풍계수 조건과 240° 풍향의 바람이 불어올 때의 천성동 마을에서의 돌풍계수 조건(바람이 지형을 거쳐 불어오는 조건)이 거의 유사하다고 볼 수 있으므로, 본 연구에서는 건축물이나 구조물에 직접적인 영향을 미치는 최대순간풍속(gust)을 예측하기 위해 관심영역인 천성동 마을에서의 돌풍계수는 Exposure B 등급의 ‘1.75’로 결정하였다. 표 6은 돌풍계수 1.75를 적용하여 마을에서의 유입풍속별 순간최대풍속이 나타나는 위치와

Table 6. Instant maximum and minimum wind speed and its positions around residence.

Inflow ws	240°		Base case				Bare case				20 m case			
			Max.		Min.		Max.		Min.		Max.		Min.	
	Coord.	ws (m/s)	Coord.	ws (m/s)	Coord.	ws (m/s)	Coord.	ws (m/s)	Coord.	ws (m/s)	Coord.	ws (m/s)	Coord.	ws (m/s)
25 m/s	38,31	41.68	40,22	21.05	37,18	43.41	40,21	34.51	37,18	42.17	40,21	33.54		
30 m/s	37,30	46.55	40,21	31.18	37,18	49.03	40,21	38.83	37,18	47.70	40,21	37.67		
35 m/s	37,30	51.85	40,21	40.19	37,18	55.19	40,21	43.62	37,18	53.88	40,21	42.28		
40 m/s	37,30	58.52	40,21	45.37	37,18	62.63	40,21	49.50	37,18	61.56	40,21	48.03		
45 m/s	37,30	69.49	40,21	48.61	37,18	72.92	40,21	58.57	37,18	72.62	40,21	57.19		
50 m/s	37,30	79.73	40,21	60.77	37,18	82.47	40,21	66.78	37,18	81.09	40,21	65.88		
55 m/s	37,30	83.00	40,21	63.61	37,18	86.71	40,21	69.56	36,16	85.62	40,21	68.61		

풍속값을 나타낸 것이다.

이러한 내용을 바탕으로 앞서 분석했던 풍속편차를 분석해 보면 마을 중앙부와 남쪽 해안 인근의 육상과 해상에서 나타났던 4~8 m/s의 풍속차이는 돌풍계수 '1.75'를 적용하여 최대순간풍속(gust)으로는 7~14 m/s의 풍속차이를 나타낼 수 있게 된다.

5. 요약 및 결론

본 연구에서는 천수대의 지면조건 변화에 따른 풍환경의 변화를 분석하기 위해 미기상 수치모델인 Envi-met 모델을 이용하여 연구하였으며, 분석하고자 하는 지면조건은 모두 3 경우로 구성하였다.

base case는 천수대의 지면조건이 자연 상태를 유지하고 있는 것으로 한 경우이다. 즉, 해발고도 52 m의 지형고도와 형태를 자연적 상태로 유지하며 천수대 지표에 고도 15~20 m의 수목이 존재하고 있는 경우로 하였다. bare case는 천수대의 지형고도와 형태는 자연적 상태로 유지하지만 천수대 지표에 있는 수목 등의 식생을 모두 제거한 경우이다. 나머지 경우인 20 m case는 해발고도 20 m 이상의 지형은 모두 절토하여 천수대를 평활화한 경우의 지면조건을 가정한 경우이다.

다음으로는, 천수대의 지형이 천성동 마을에 영향을 미칠 수 있는 유입풍향을 240° 경우로 설정하여 구체적인 분석을 진행하였다. 마지막으로 천수대를 향해 불어 들어가는 유입풍속을 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55 m/s의 7가지 경우에 대한 변화를 살펴보았다.

이상의 기상학적, 지형적 조건 변화에 따라서 바람

장과 풍속분포를 수치 모의하여 분석하였고 대표적으로 가장 강한 풍속인 55 m/s의 바람이 부는 경우를 대상으로 구체적으로 살펴본 결과, 동일한 풍향과 풍속의 기상조건을 고려한 경우, 자연 상태의 천수대를 고려한 경우(base case)가 식생을 제거한 경우(bare case)와 천수대를 절토한 경우(20 m case)에 비해 전반적으로 풍속이 약하게 예측되었다. 이는 천수대에 있는 수목 등의 식생을 제거하거나 20 m 고도의 평활지로 절토하는 경우에 천성동 마을에 부는 바람이 강해진다는 것을 의미한다. 즉, 55 m/s의 풍속이 불 때, 자연 상태의 천수대에 비해 식생을 제거한 천수대나 20 m 고도로 절토한 천수대일 때 마을 중앙부와 남쪽지역에서 약 4~8 m/s 정도 풍속이 강화될 것으로 예상되었다.

여러 강풍에 의한 피해는 지속적으로 불어온 강풍의 평균적인 풍압도 영향을 주지만 결정적인 손실은 이들 평균적 강풍에 의해 약해진 구조물들이, 순간적으로 발생하는 최대순간풍속을 가지는 돌풍에 의해서 나타난다는 점이다. 이처럼 순간적으로 나타날 수 있는 최대순간풍속을 산정하기 위해 선행연구를 참고하여 천성동 마을의 돌풍계수 1.75를 적용한 결과, 자연 상태의 천수대에 비해 식생을 제거한 경우나 20 m로 절토한 경우에 약 7~14 m/s 정도 강한 최대순간풍속이 나타날 수 있을 것으로 예상되었다.

참 고 문 헌

오성남, 김연희, 현명숙(2004) 한국의 기후변화 도시화 영향, 1973-2002, 한국기상학회지, 40(6), 725-740.

- 이화운, 김유근, 정우식 (2000) 연안부근 복잡지형의 대기유동장 수치실험 II - 부산광역시지역에 대한 국지순환모형의 적용 -, 한국대기환경학회지, 16(2), 151-158.
- 정우식, 이화운 (2003) 해풍시작에 영향을 미치는 지형성 강풍현상에 대한 수치실험, 한국지구과학회지, 24(4), 325-336.
- 한국컨테이너부두공단 (2003) 부산항 컨테이너크레인 태풍 피해 원인조사 용역 보고서.
- Asaeda, T. and V.T. Ca (1993) The subsurface transport of heat and moisture and its effect on the environment - a numerical model, *Boundary Layer Meteorology*, 65, 159-179.
- Barden, H. (1982) Simulations modell fur den Wasser-, Energie- und Stoffhaushalt in Pflanzenbeständen, Report, Inst. Met. Univ. Hanover, 23.
- Bruse, M. (1998) Development of a microscale model for the calculation of surface temperatures in structured terrain, MSc Thesis, Inst. Geo. Univ. Bochum.
- Clapp, R.B. and G. Hornberger (1978) Empirical equations for some soil hydraulic properties, *Water Resource Research*, 14, 601-604.
- Deardorff, J.W. (1978) Efficient prediction of ground surface temperature and moisture with inclusion of a layer of vegetation, *Journal of Geophysics Research*, 83, 1889-1903.
- Hegerl, G.C., T.J. Crowley, W.T. Hyde, and D.J. Frame (2006) Sensitivity of ancient Lake Ohrid to local anthropogenic impacts and global warming, *Nature*, 440(7087), 1029-1032.
- Lauder, B.E. and D.B. Spalding (1974) The numerical computation of turbulent flows, *Comparative Methods in Applied Mechanical Engineering*, 3, 269-289.
- Liu, J. (1996) E-modelling of turbulent air flow downwind of a model forest edge, *Boundary Layer Meteorology*, 77, 21-44.
- Mellor, G.L. and T. Yamada (1975) A simulation of the Wangara atmospheric boundary layer data, *Journal of Atmospheric Science*, 32, 2309-2329.
- Rühlemann, C., S. Mulltza, P.J. Müller, G. Wefer, and R. Zahn (1999) Warming of the tropical Atlantic Ocean and slowdown of thermohaline circulation during the last deglaciation, *Nature*, 402(6761), 511-514.
- Shindell, D.T., G.A. Schmidt, R.L. Miller, and M.E. Mann (2003) Volcanic and solar forcing of climate change during the preindustrial era, *Journal of Climate*, 16(24), 4094-4107.
- Tjernstrom, M. (1989) Some tests with a surface energy balance scheme including a bulk parameterization for vegetation in a mesoscale model, *Boundary Layer Meteorology*, 48, 33-68.
- Wilson, J.D. (1988) A second order closure model for flow through vegetation, *Boundary Layer Meteorology*, 42, 371-392.
- Yamada, T. (1982) A numerical model study of turbulent airflow in and above a forest canopy, *Journal of the Meteorology Society Japan*, 60, 439-454.
- Zhou, Y. and A. Kareen (2001) Definition of wind profile in ASCE 7, *Journal of Structure Engineering*, 128(8), 1081-1086.