

장보고 과학기지 주변 상세 대기환경 연구



부경대학교

제 출 문

극지연구소장 귀하

본 보고서를 “장보고 과학기지 주변 상세 지형/지물을 고려한 3차원 바람장 수치적 재현 연구” 과제의 위탁연구 “장보고 과학기지 주변 상세 대기환경 연구” 과제의 최종보고서로 제출합니다.



(본과제) 총괄연구책임자 : 김 백 민

위탁연구기관명 : 부 경 대 학 교

위탁연구책임자 : 김 재 진

위탁참여연구원 : 최 원 식

“ : 박 수 진

“ : 강 건

“ : 권 아 름

“ : 김 은 령

“ : 왕 장 운

“ : 이 한 경

요 약 문

I. 제 목

장보고 과학기지 주변 상세 대기환경 연구

II. 연구개발의 목적 및 필요성

장보고 과학기지 주변의 3차원 바람장 특성을 분석하고 수치 모델을 이용하여 장보고 과학기지 건설이 주변 관측환경에 미치는 영향을 분석

III. 연구개발의 내용

장보고 과학기지 주변에 대한 상세 흐름 분석을 위하여 관측자료 분석 및 전산유체역학(computational fluids dynamics, CFD) 모델을 이용한 수치모의 실험을 수행하였다. 기지 건설에 따른 AWS 관측에 미치는 영향을 분석하기 위하여 기지 건설 전(2010년 1월 ~ 2011년 10월)과 기지 건설 후(2013년 1월 ~ 2015년 2월)자료로 구분하여 바람장미도 및 풍향별 풍속 빈도를 조사하였다. 수치모의 실험의 도메인 구축을 위해 CAD(computer aided design) 자료를 이용하여 3차원 지표 경계 입력 자료 구축하였고 장보고 과학기지 건설 전·후에 대하여 상세흐름을 분석하기 위해 CFD모형을 이용하여 16방위(북, 북북동, 북동, 동북동, 동, 동남동, 남동, 남남동, 남, 남남서, 남서, 서남서, 서, 서북서, 북서, 북북서)에 유입풍향에 대한 수치모의 실험을 수행하였다. 또한, 장보고 과학기지에 영향을 미치는 활강풍의 속도를 감소시키기 위해 방풍벽(Wind Fence) 설치를 고안하였고 방풍벽의 공극률(0%, 50%, 67%, 75%)과 과학기지에서부터의 거리(2H, 4H, 6H, 8H, H = 방풍벽의 높이)를 변화시키는 실험을 수행하였다.

IV. 연구결과

AWS 관측지점이 건물이 풍하측(동쪽)에 위치하게 되는 서풍계열의 바람에 경우, 기지 건설에 의한 영향이 크게 나타났다[기지 건설 전과 비교 - 최대 76.7%(서북서풍)]. 방풍벽과 기지사이의 거리가 짧을수록 기지 주변에서의 풍속저감 효과가 컸고, 공극률이 50%~67%인 경우에 큰 풍속저감 효과가 나타났다.

V. 연구개발결과의 활용계획

현재의 AWS 지점이 활강풍의 관측에 대하여 가지는 적합성 평가 및 위치 이전에 대한 가이드라인과 기지의 시설물과 대원들의 안전을 위한 방풍벽 설치 시, 풍속 저감을 위한 효과적인 방풍벽(거리 및 공극률)을 제시하고자 한다.

S U M M A R Y

I. Title

A study on the detailed atmospheric environment around the Jang-Bogo Antarctic Research Station

II. Purpose and Necessity of R&D

To analyze the three dimensional flow characteristics around the Jang-Bogo Antarctic Research station and the effects of the station construction on the surrounding observation environment using a computational fluid dynamics (CFD) model

III. Contents and Extent of R&D

The effects of the construction of the Jang-Bogo Antarctic Research Station on flows in the Terra Nova Bay, Antarctic were numerically investigated using a CFD model. Computer aided design (CAD) data was used to construct topography and buildings around Jang-Bogo Antarctic Research Station in the CFD model. The surface wind data observed at the automatic weather station (AWS) were analyzed. Sixteen inflow wind directions were considered to simulate the detailed flows around the research station before the construction. Then, the numerical simulations were performed again in the presence of buildings around the research station. By comparing the simulation results after the construction with those before the construction, the effects of the construction of the research Station on the flow characteristics were analyzed. The effects of wind fences on the reduction of wind speeds around the research station were also investigated. For this, we changed systematically the distance between the fences and the research station ($2H \sim 8H$ with the increment of $2H$, H is fence of height) and porosity of fences (0%, 50%, 67% and 75%).

IV. R&D Results

In the affiliated westerly cases, the AWS was located at the downwind side of the research station and the effect of the construction were maximized (in the west-north-westerly case, the maximum decrease in wind speed was about 76.7%

compared to the wind speeds before the construction). In the case that the distance between the wind fence and the research station was shortest, the wind speed decrease was maximized. When the fence distance was fixed, the wind speed decrease was largest in the cases with the porosity of 50 ~ 60%.

V. Application Plans of R&D Results

The results are expected to give guidelines in evaluating the suitability of the AWS location and recommending more proper location at which the AWS should be installed as a representative observation site around the Jang-Bogo Antarctic Research Station. Also, the results can provide guidelines for the construction of the wind fences to protect researcher and properties in the research station from the strong katabatic winds.



목 차

제 1 장 서론

상세 규모의 흐름 분석이 가능한 전산유체역학 모델을 이용하여, 지형과 지물을 고려한 장보고 과학기지 주변의 3차원 바람장 특성을 분석하고 장보고 과학기지의 건설이 주변 상세대기에 미치는 영향 조사

제 2 장 국내외 기술개발 현황

부경대학교 연구팀은 상세 규모 흐름 및 확산 분석이 가능한 전산유체역학(Computational Fluid Dynamics, CFD) 모델을 개발하고 개선해왔다. 이 모델은 3차원, 비정수, 비회전, 비압축 대기흐름 계를 고려한 것으로 표준 k-ε 난류 종결 방법, RNG (Renormalization Group) k-ε 난류 종결 방법을 포함하고 있으며, 최근 개선 과정을 통하여, 건물 등과 같은 장애물 주위의 흐름과 확산을 수치 모의하는데 우수한 성능을 보이는 것으로 평가되고 있다. 이 모델은 실내 대기 흐름과 대기질 평가, 건물 규모의 흐름장에 대하여 정확한 대기 환경 평가 수행이 가능하다.

제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과

장보고 과학기지가 위치한 테라노바 만(Terra Nova Bay) 주변에 대한 상세 흐름 분석을 위하여 관측자료 분석 및 CFD(Computational Fluids Dynamics) 모델을 이용한 수치모의 실험을 수행하였다. 장보고 과학기지 주변의 풍환경 특성을 조사하기 위하여 2010년 1월부터 2015년 2월 동안의 AWS 관측(1시간 평균)자료를 분석하였으며, 기지 건설에 따른 AWS 관측에 미치는 영향을 분석하기 위하여 기지 건설 전(2010년 1월 ~ 2011년 10월)과 기지 건설 후(2013년 1월 ~ 2015년 2월)자료로 구분하여 바람장 미도 및 풍향별 풍속 빈도를 조사하였다. 수치모의 실험의 도메인 구축을 위해 CAD(Computer Aided Design) 자료를 이용하여 3차원 지표 경계 입력 자료 구축하였고 이를 바탕으로, 장보고 과학기지 건설 전·후에 대하여 상세흐름을 분석하기 위해 CFD모델을 사용하여 유입풍향을 16방위(북, 북북동, 북동, 동북동, 동, 동남동, 남동, 남남동, 남, 남남서, 남서, 서남서, 서, 서북서, 북서, 북북서)에 대해 수치 모의 실험을 수행하였다. 실험 결과, AWS 관측지점에 대하여 건물이 풍상측(서쪽)에 위치하게 되는 서풍계열의 바람에 경우, 기지 건물에 의한 영향이 크게 나타났다[기지 건설 전과 비교 - 최대 76.7%(서북서풍) 감소]. 또한, 장보고 과학기지에 미치는 활강풍으로부터의 인명과 시설물 피해를 저감하기 위해 방풍벽(Wind Fence) 설치를 고안하였고 방풍벽의 공극률(0%, 50%, 67%, 75%)과 과학기지에서부터의 거리(2H, 4H, 6H, 8H, H=방풍벽의 높이)를 변화시키는 실험을 수행하였다.

제 4장 연구개발목표 달성도 및 대외기여도

AWS 관측 자료 및 CFD 모델 시뮬레이션을 통하여 장보고 과학기지의 주변 상세지표 바람장 모의 및 AWS 지점 등에 대한 풍향·풍속 특성 연구를 수행하였고 과학기지 건설 전·후에 대한 분석 및 모의를 통하여 기지의 건설이 주변 바람 관측환경에 미치는 영향을 조사하였다.

제 5 장 연구개발결과의 활용계획

활강풍 연구에 있어서 AWS지점의 적합성 및 위치이전의 가이드라인 제시가 가능하며, 방풍벽 설치에 관한 연구는 극지 기지의 대원들의 활동에 큰 위협 요소가 될 수 있으므로 인명과 시설물 피해를 저감할 수 있는 방안이 될 수 있고 장보고 과학기지와 유사한 환경에 위치한 남극 세종 과학기지 및 북극 다산 기지에도 적용이 가능할 것으로 판단된다.

제 6 장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보

네덜란드의 로젠버그 운하에서 통행하는 선박들의 안전을 위하여 고안한 방풍벽을 참조

제 7 장 참고문헌

그림참조 - 구글어스 (earth.google.com)

Versteeg, H. K., and W. Malalasekera, 1995: *An Introduction to Computational Fluid Dynamics: The Finite Volume Method*. Longman, Malaysia, 257pp.

Patankar, S.-V., 1980: *Numerical Heat Transfer and Fluid Flow*.

Castro, I.-P., and D.-D. Apsley, 1997: Flow and dispersion over topography: a comparison between numerical and laboratory data for two dimensional flow. *Atmospheric Environment.*, **31**, 839-850.



1. 대상지역, 기상 자료 분석 및 실험 설계

1.1. 대상 지역 개요

그림 1은 남극 장보고 과학기지 주변 지역에 대한 위성사진이다. 남극 장보고 과학기지는 동남극 북빅토리아랜드(Northern Victoria Land) 테라노바만(Terra Nova Bay) 연안, 남위 74° 37.4', 동경 164 ° 13.7'에 위치하며 본관동이 위치한 지점의 해발고도는 25 m이다. 검은색 사각형으로 표시한 영역은 장보고 과학기지가 포함된 750 m × 750 m 영역의 대상지역을 나타낸다. 장보고 과학기지의 북서 방향으로 산이 존재하며 남쪽과 동쪽 방향에는 바다가 존재한다. 기지의 북서 방향에 존재하는 산의 최고 높이는 700 m이다.



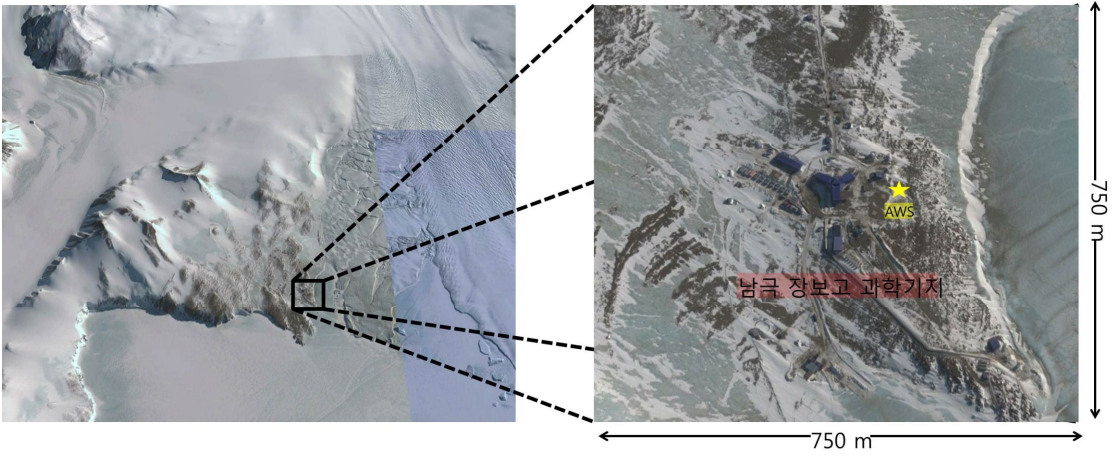


그림 1. 남극 장보고 과학기지 주변 지역에 대한 위성사진 (출처:Google Earth)



1.2. 장보고 과학기지 주변 지역의 기상관측자료 분석

장보고 과학기지 주변의 기상 특성(풍향, 풍속 및 기온)을 파악하기 위하여, 장보고 과학기지에 위치한 AWS에서 관측을 시작한 2010년부터 2015년 2월까지 관측한 1시간 평균 자료를 분석하였다. 그림 1의 두 번째 그림은 장보고 과학기지와 그 주변의 AWS 관측기기가 위치한 지점이다. 장보고 과학기지 건설 전의 기상 특성을 파악하기 위하여, 지상관측을 시작한 2010년부터 2011년 10월까지 AWS 관측결과를 분석하였고, 장보고 과학기지 건설 후의 기상 특성을 파악하기 위하여, 2013년 1월부터 2015년 2월까지의 관측결과를 분석하였다. AWS 관측지점은 장보고 과학기지 본관동 으로부터 동쪽으로 약 120 m 떨어진 지점(남위 74°37'26.79", 동경 164°13'59.96")에 위치하고, 해발고도는 11 m 이다. AWS 관측지점에서 얻은 관측결과를 계절별 바람환경 특성을 분석하기 위하여 관측기간 전체, 계절별 평균 풍속에 대한 바람장미도를 작성하였다. 또한, 고도별 바람환경 특성을 분석하기 위하여 AWS 관측기기에 설치된 1.9 m 와 5.5 m에서 관측된 각각의 자료를 사용하였고 계절별 바람환경 특성을 분석하기 위하여 12월부터 2월까지를 하계로 가정하고 6월부터 8월까지를 동계로 가정하였다.

1.2.1. 장보고 과학기지 건설 전 AWS 자료 분석

그림 2는 장보고 과학기지 건설 전의 기간(2010년 2월 ~ 2011년 10월)동안 관측한 장보고 과학기지 AWS에 대한 바람장미도를 나타낸다. 장보고 과학기지 AWS에서 기지 건설 전의 기간(2010년 2월 ~ 2011년 10월)동안의 풍향별 발생 빈도는 서풍과 북풍계열의 바람이 우세하게 나타났으며, 5.5 m에서 서풍(21.68%), 서북서풍(13.93%), 북풍(12.72%), 북북서풍(11.95%) 순으로 높은 빈도가 나타났고 1.9 m에서 서풍(18.48%), 서북서풍(14.71%), 북북서풍(14.54%), 북풍(12.66%) 순으로 높은 빈도가 나타났다. 이는 장보고 과학기지가 AWS 지점의 북쪽과 서쪽에 존재하는 산사면에서 불어오는 활강풍의 영향으로 판단되며, 5.5 m에서 관측한 결과와 1.9 m에서 관측한 결과의 풍속차이가 작은 것으로 보아 지표면에 덮힌 눈과 얼음의 영향으로 마찰효과가 크지 않은 것으로 판단된다. 5.5 m의 높이에서 관측한 자료를 계절별로 분석한 결과, 서풍이 여름, 겨울에 대하여 각각 19.42%, 23.66%로 가장 높은 빈도를 나타냈다. 여름철에 서풍 다음으로 높은 빈도를 보인 풍향은 북북동풍(13.30%)과 북동풍(11.98%)로 나타났으며, 겨울철에는 서북서풍(17.69%)과 북풍(14.06%)로 나타났다. 기지 건설 전의 기간(2010년 2월 ~ 2011년 10월)동안 관측된 풍속에서 풍향별 풍속의 빈도는 1.6~3.3 m s⁻¹의 바람(38.28%)이 가장 높게 나타났다(그림 3a). 1.6~3.3 m s⁻¹의 바람은 여름철과 겨울철에 각각 37.94%, 38.66%로 가장 높은 빈도를 나타냈다(그림 3 c 와 e). 여름철 8.0 m s⁻¹이상의 강한바람(19.01%)은 겨울철(25.08%)에 비해 적게 발생하였다. 기간별 풍속에 대하여 풍향빈도를 자세히 분석한 결과, 기지 건설 전의 전체기간(2010년 2월 ~ 2011년 10월)동안 8.0 m s⁻¹이상의 바람이 서풍(12.1%)에 대하여 가장 높은 빈도를 나타냈고 여름철은 1.6~3.3 m s⁻¹의 바람에서 북북동풍(9.47%), 겨울철은 8.0 m s⁻¹이상의 바람이 서풍(14.56%)이 우세하게 나타났다. 동일한 기간에 대하여 1.9 m의 높이에서 관측한 자료를 계절별로 분석한 결과, 여름철과 겨울철에 대하여 서풍이 각각 15.74%, 19.75%로 가장 높은 빈도를 나타냈다. 여름철에 서풍 다음의 높은 빈도를 보인 풍향으로는 북북동풍(13.45%), 북북서풍(12.32%)로 나타났으며, 겨울철에는 서북서풍(18.89%), 북북서풍(16.69%)로 나타났다. 전체기간에 관측된 풍속에서 1.6~3.3 m s⁻¹의 바람(40.66%)이 가장 빈번하게 나타났으며(그림 3b), 1.6~3.3 m s⁻¹의 바람은 여름철과 겨울철에

각각 39.46%, 41.99%로 가장 높은 빈도를 나타냈다. 여름철 8.0 m s⁻¹이상의 강한바람 (12.81%)은 겨울철(21.86%) 보다 적게 나타나 5.5 m 관측 자료와 유사한 경향을 보였다. 기간 별 풍속에 대한 풍향빈도는 전체기간 동안 8.0 m s⁻¹이상의 서풍이 8.63%로 가장 높은 빈도를 보였고, 여름철은 1.6~3.3 m s⁻¹의 북북동풍(9.32%), 겨울철에는 8.0 m s⁻¹이상의 서풍 (11.37%)이 높은 빈도를 나타냈다.

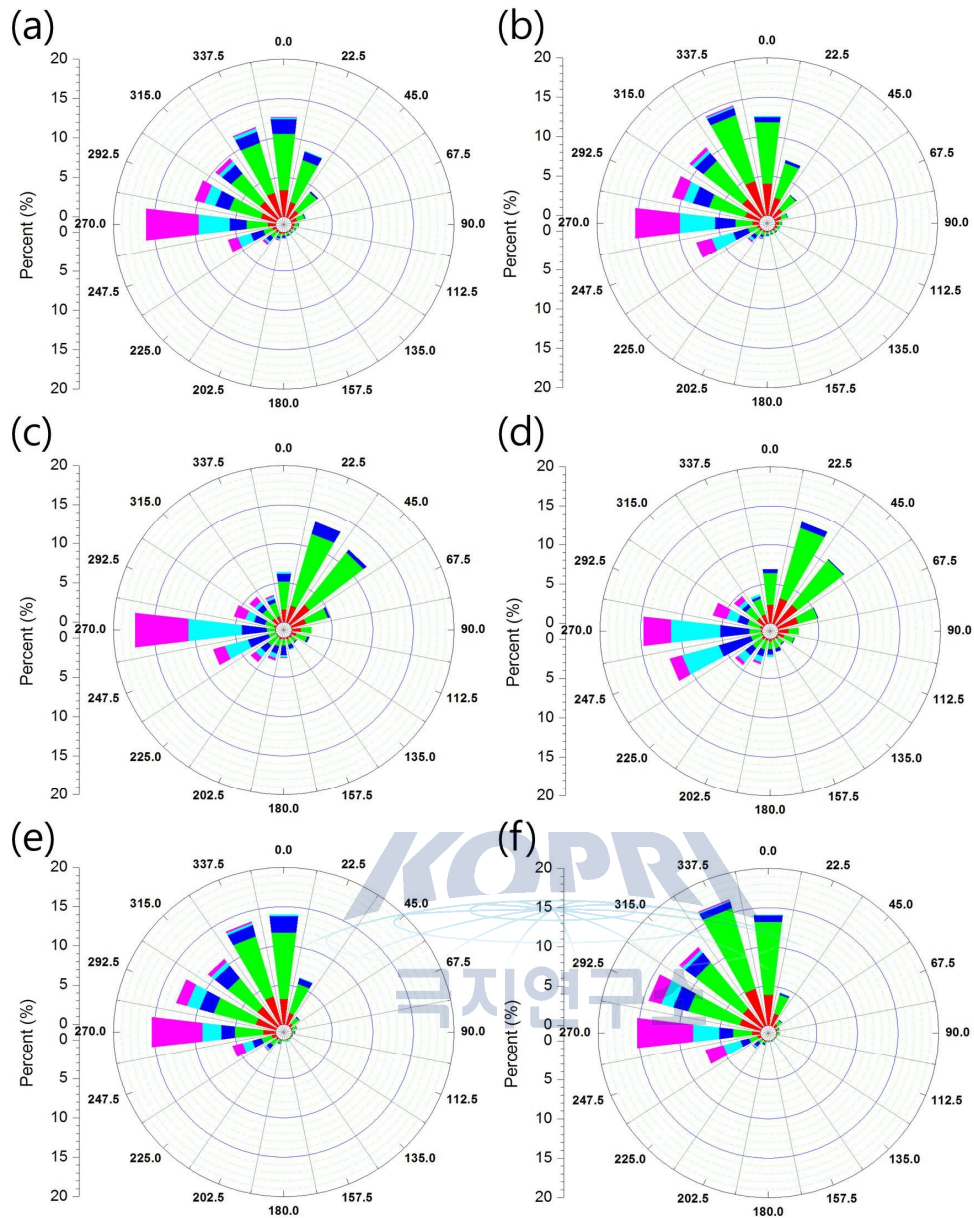
장보고 과학기지 AWS에서 동일한 기간(2010년 2월 ~ 2011년 10월)에 대하여 관측한 평균 기온을 분석한 결과, 전체 기간의 평균기온은 5.5 m와 1.9m에서 각각 -15.59℃와 -16.34℃이다. 여름철의 경우, 평균기온은 5.5 m와 1.9m에서 각각 -3.21℃, -3.26℃이고 겨울철의 경우에는 각각 -20.99℃와 -22.04℃로 계절별 평균기온차가 약 18.8℃로 크게 나타났다(표 1).



표 1. 장보고 과학기지 AWS에서 (2010년 2월 ~ 2011년 10월)간 관측한 평균 기온(℃)

	전체 기간	여름 (12월, 1월, 2월)	겨울 (6월, 7월, 8월)
5.5 m에서 관측 (℃)	-15.59	-3.21	-20.99
1.9 m에서 관측 (℃)	-16.34	-3.26	-22.04





풍속 범위

- 0.2 ~ 1.5 m s⁻¹
- 1.5 ~ 3.3 m s⁻¹
- 3.3 ~ 5.4 m s⁻¹
- 5.4 ~ 7.9 m s⁻¹
- 7.9 ~ 10.7 m s⁻¹
- 10.7 ~ m s⁻¹

그림 2. 장보고 과학기지 AWS(건설 전)에서 대상기간(2010년 2월~2011년 10월 31일) 동안 분석한 (a) 전 기간(5.5 m), (b) 전 기간(1.9 m), (c) 여름철(5.5 m), (d) 여름철(1.9 m), (e) 겨울철(5.5 m), (f) 겨울철(1.9 m)의 바람장미도

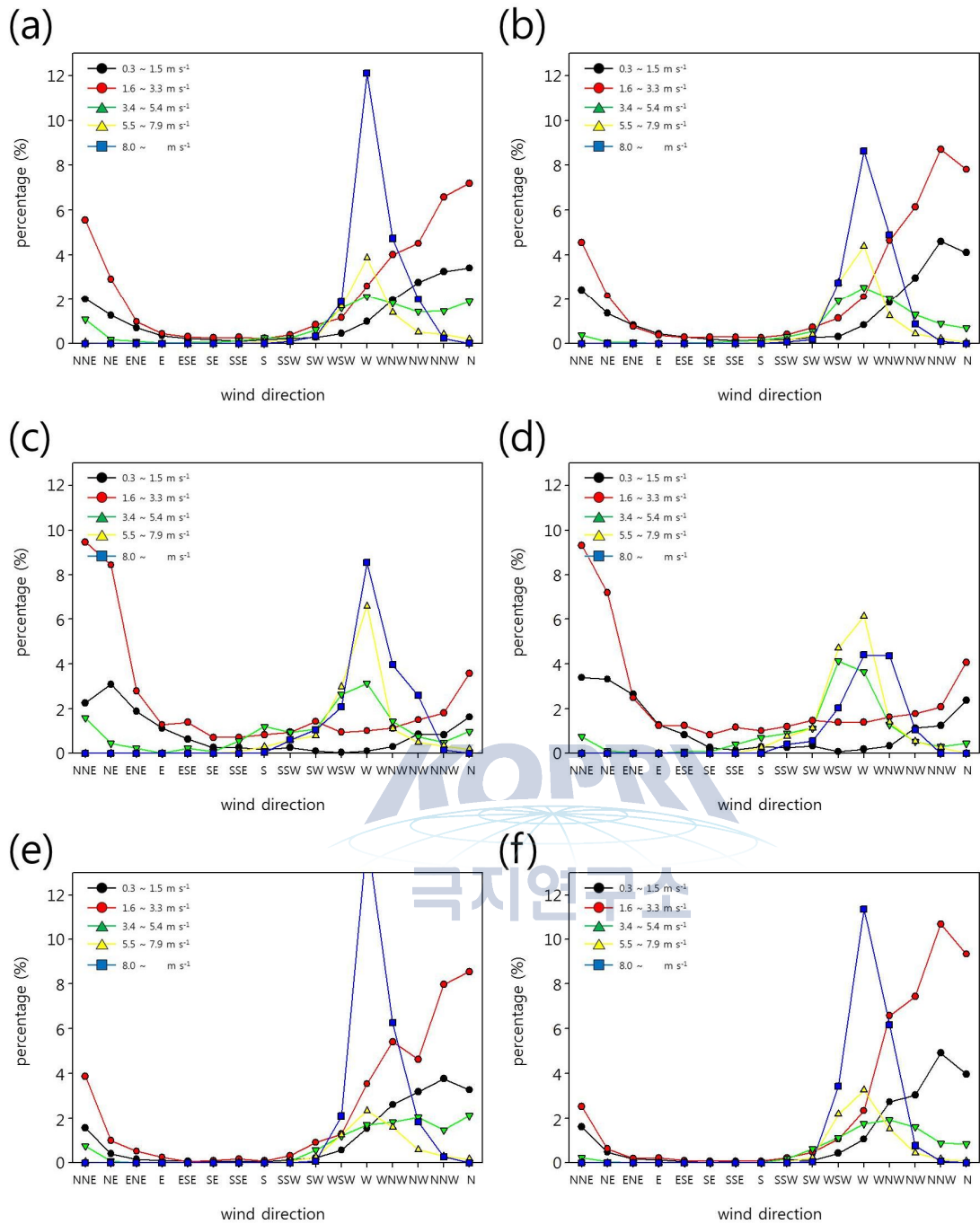


그림 3. 장보고 과학기지 AWS(건설 전)에서 대상기간(2010년 2월~2011년 10월 31일) 동안 분석한(a) 전 기간(5.5 m), (b) 전 기간(1.9 m), (c) 여름철(5.5 m), (d) 여름철(1.9 m), (e) 겨울철(5.5 m), (f) 겨울철(1.9 m)의 풍향별 풍속 발생 빈도

1.2.2. 장보고 과학기지 건설 후 AWS 자료 분석

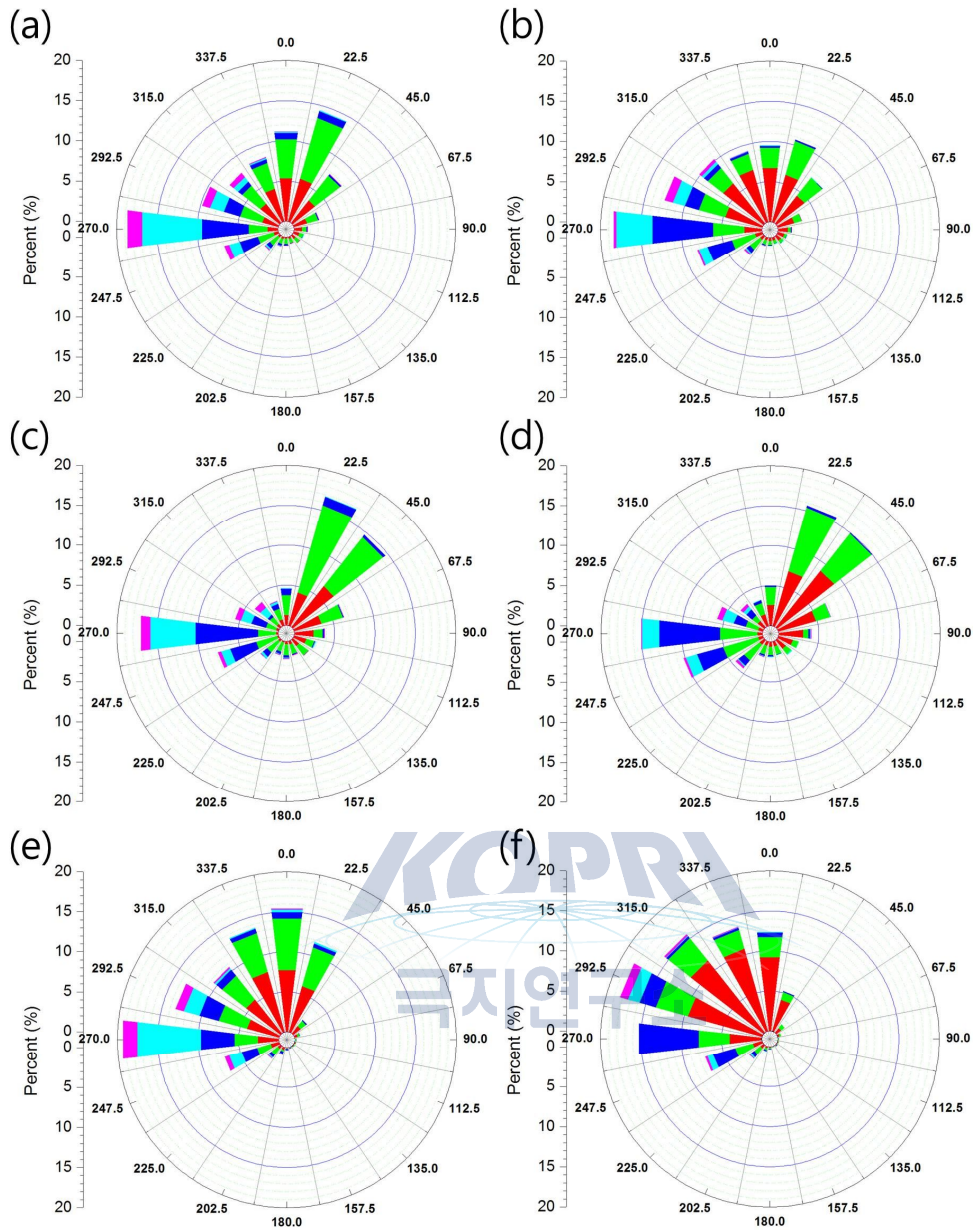
그림 4는 장보고 과학기지 건설 후 기간(2013년 1월 ~ 2015년 2월)동안 관측한 장보고 과학기지 AWS에 대한 바람장미도를 나타낸다. 장보고 과학기지 AWS에서 기지 건설 후 기간(2013년 1월 ~ 2015년 2월)동안의 풍향별 발생 빈도는 서풍과 북풍계열의 바람이 우세하게 나타났으며, 5.5 m에서 서풍(18.87%), 북북동풍(14.38%), 북풍(11.24%), 서북서(10.44%) 순으로 높은 빈도가 나타났고 1.9 m에서 서풍(18.48%), 서북서풍(12.92%), 북북동풍(10.65%), 북서풍(10.29%) 순으로 높은 빈도가 나타났다(그림 4 a와 b). 기지 건설 전의 관측 자료와 마찬가지로 5.5 m에서 관측한 자료와 1.9 m에서 관측한 자료의 풍향과 풍속의 차이가 작은 것으로 보아 지표면에 덮힌 눈과 얼음의 영향으로 마찰효과가 작은 것으로 판단된다. 5.5 m의 높이에서 관측한 자료를 계절별로 분석한 결과, 서풍이 여름, 겨울에 대하여 각각 17.26%, 19.59%로 가장 높은 빈도를 나타냈다. 여름철에 서풍 다음으로 높은 빈도를 보인 풍향이 북북동풍(16.79%)과 북동풍(14.62%)으로 나타났고 겨울철에는 북풍(15.47%)과 서북서풍(14.23%)으로 나타났다(그림 4 c와 e). 기지 건설 후 기간(2013년 1월 ~ 2015년 2월)동안 관측된 풍속에서 1.6~3.3 m s⁻¹의 바람(36.5%)의 빈도가 가장 높게 나타났다(그림 5a). 1.6~3.3 m s⁻¹의 바람은 여름철에 42.5%으로 가장 높은 빈도를 나타냈고 겨울철에는 0.3~1.5 m s⁻¹의 바람이 37.6%로 가장 높은 빈도가 나타났다(그림 5c 와e). 여름철 8.0 m s⁻¹이상의 바람(5.26%)은 겨울철(5.73%)에 비해 다소 적게 발생하였으나 이전하기 전의 AWS에서 관측된 결과와 비교하여 크게 줄었다. 기간별로 풍속세기에 대하여 풍향빈도를 자세히 분석하였다. 전체기간 동안 1.6~3.3 m s⁻¹의 북북동풍에 대하여 7.86%로 높은 빈도를 보였고, 여름철 또한 1.6~3.3 m s⁻¹의 북북동풍(11.35%)이, 겨울철은 8.0 m s⁻¹이상의 서풍(7.94%)이 주로 나타났다. 1.9 m의 높이에서 관측된 자료를 계절별로 분석한 결과, 여름철에는 북북동풍(15.66%)이 가장 높은 빈도를 나타냈고 겨울철에는 서풍(21.36%)이 가장 높은 빈도를 나타냈다. 여름철에 북북동풍 다음으로 높은 빈도를 보인 풍향으로는 서풍(15.12%), 서북서풍(10.16%)으로 나타났고 겨울철에는 서북서풍(18.75%), 북서풍(15.94%)으로 나타났다. 전체기간에 관측된 풍속에서 1.6~3.3 m s⁻¹의 바람(44.92%)이 가장 많이 나타났으며(그림 5b), 1.6~3.3 m s⁻¹의 바람은 여름철(39.47%)에 가장 높은 빈도를 나타냈고, 겨울철에는 0.3~1.5 m s⁻¹의 바람(52.15%)이 가장 높은 빈도가 나타났다. 여름철 8.0 m s⁻¹이상의 바람(1.88%)은 겨울철(2.96%) 보다 적게 나타났다. 기간별 풍속세기에 대한 풍향 빈도는 전체기간 동안 8.0 m s⁻¹이상의 서풍(7.45%)이 가장 높은 빈도를 보였고, 여름철은 0.3~1.5 m s⁻¹의 북동풍(9.01%), 겨울철에는 0.3~1.5 m s⁻¹의 북서풍(11.45%)이 높은 빈도를 나타냈다.

장보고 과학기지 AWS에서 동일 기간에 대하여 관측한 평균 기온을 분석한 결과, 전체 기간동안의 평균기온은 5.5 m와 1.9m에서 각각 -12.96℃와 -13.32℃이다. 여름철의 경우, 평균기온은 5.5 m와 1.9m에서 각각 -2.61℃, -2.44℃이고 겨울철의 경우에는 각각 -22.66℃와 -23.48℃로 계절별 평균기온차가 20.5℃로 과학기지 건설 전의 AWS의 관측 치보다 크게 나타났다(표 2).

표 2. 장보고 과학기지 AWS에서 (2013년 1월 ~ 2015년 2월)간 관측한 평균 기온(℃)

	전체 기간	여름 (12월, 1월, 2월)	겨울 (6월, 7월, 8월)
5.5 m에서 관측 (℃)	-12.96	-2.61	-22.66
1.9 m에서 관측 (℃)	-13.32	-2.44	-23.48





풍속 범위

- 0.2 ~ 1.5 m s⁻¹
- 1.5 ~ 3.3 m s⁻¹
- 3.3 ~ 5.4 m s⁻¹
- 5.4 ~ 7.9 m s⁻¹
- 7.9 ~ 10.7 m s⁻¹
- 10.7 ~ m s⁻¹

그림 4. 장보고 과학기지 AWS(건설 후)에서 대상기간(2013년 1월~2015년 2월 15일) 동안 분석한 (a) 전 기간(5.5 m), (b) 전 기간(1.9 m), (c) 여름철(5.5 m), (d) 여름철(1.9 m), (e) 겨울철(5.5 m), (f) 겨울철(1.9 m)의 바람장미도

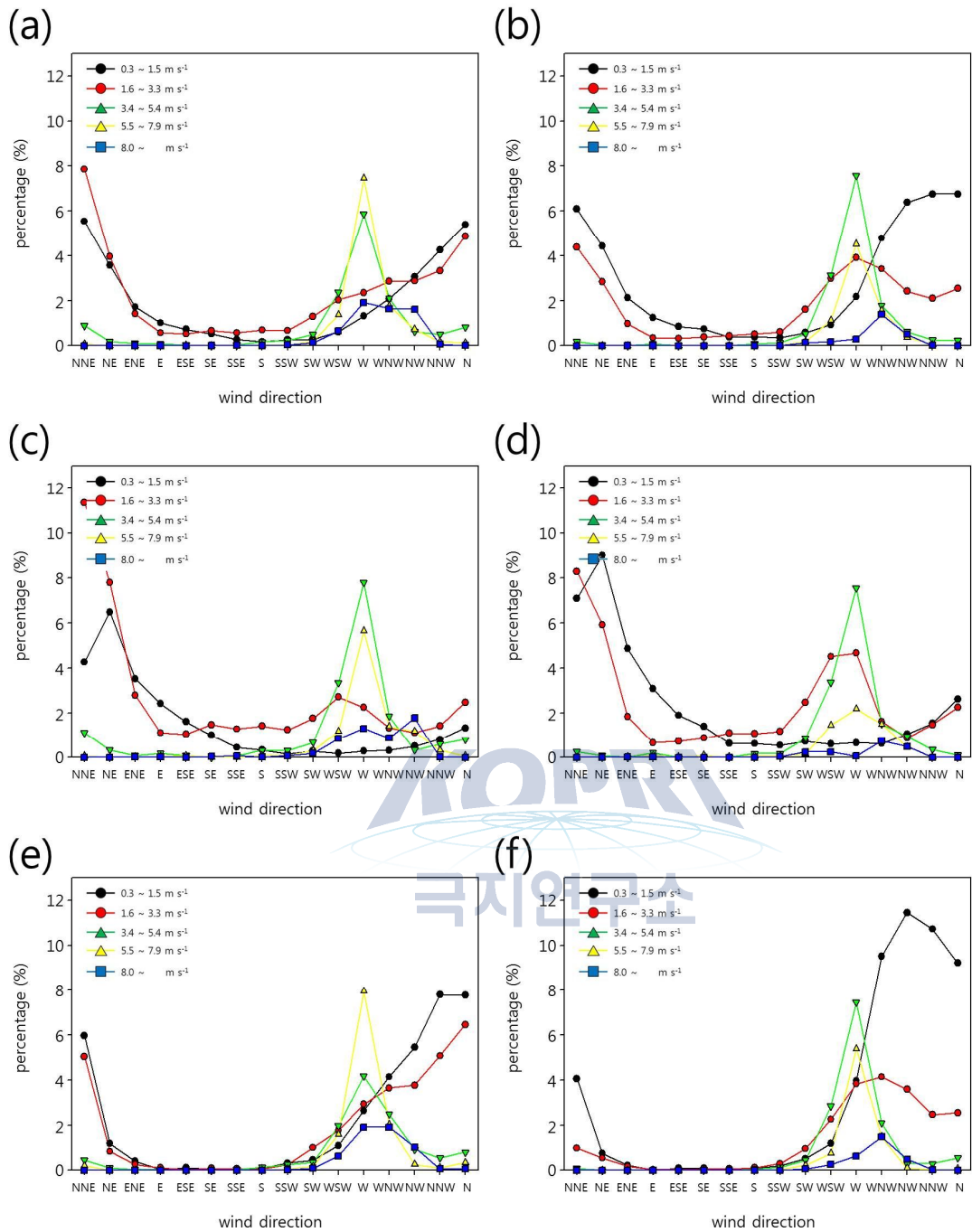


그림 5. 장보고 과학기지 AWS(건설 후)에서 대상기간(2013년 1월~2015년 2월 15일) 동안 분석한 (a) 전 기간(5.5 m), (b) 전 기간(1.9 m), (c) 여름철(5.5 m), (d) 여름철(1.9 m), (e) 겨울철(5.5 m), (f) 겨울철(1.9 m)의 풍향별 풍속 발생 빈도

1.3. 수치 실험 설계

본 연구에서는 CAD(Computer Aided Design)자료를 통한 1:50000 축척의 수치지도를 이용하여, 지형과 건물에 대한 3차원 지표 경계 입력 자료를 구축하였다. CAD자료로부터 대상 지역의 등고선, 해안선 자료를 추출하고 등고선 자료에 대한 내삽법을 이용하여 모든 수평 격자점에 대한 높이 자료를 구축하고 생성된 등고선과 건물 높이를 자료를 중첩하여 대상 지역의 3차원 지표 경계 입력 자료를 생성한다(그림 6). 그림 7 a는 극지연구소로 제공 받은 수치 지도를 이용하여 생성한 10 km × 10 km 지표 경계 입력 자료이며, 장보고 과학기지 주변의 상세 흐름의 고해상도 모의를 위하여 기지 주변 1000 m × 1000 m 지표 경계 입력 자료를 이용하였다(그림 7 b). 그림 8는 장보고 과학기지 건설 전에 대한 1000 m × 1000 m 지표 경계 입력 자료를 나타낸다. 그림 1의 위성사진과 비교하여 장보고 과학기지 주변의 산악지형과 해안선을 잘 구현하였고 정확하게 구분되었음을 알 수 있다. 또한, 3차원 지표 경계 입력 자료의 경우에도 산악지형의 높이 및 경사를 잘 구현하고 있음을 알 수 있다(그림 7 a). 그림 9는 장보고 과학기지 건설 후에 대한 1000 m × 1000 m 지표 경계 입력 자료를 나타낸다.

본 연구에서는 3차원, 비정수, 비회전, 비압축 대기 흐름계를 고려한 전산유체역학(Computational Fluids Dynamics, CFD) 모델을 사용하였다. 이 CFD 모델은 벽면 경계에서의 난류 경계층 효과를 잘 반영하도록 벽면 함수(Wall function)를 사용하였고(Versteeg and Malalasekera, 1995), 난류 모수화는 RNG $\kappa-\epsilon$ 난류 종결 방법을 사용하였다. 지배 방정식 계는 유한 체적법(Finite volume method), 엇갈림 격자계(Staggered grid system), Patankar (1980)가 제안한 SIMPLE (Semi-Implicit Method for Pressure-Linked Equation) 알고리즘을 이용하여 수치해를 구한다. 초고해상도 미세규모 수치모의를 위하여, 모델 격자수($x \times y \times z$)는 $200 \times 200 \times 100$ 개이고, 격자 크기는 $x \times y \times z$ 방향에 대하여 $5 \text{ m} \times 5 \text{ m} \times 2.5 \text{ m}$ 이다. 전체 계산 영역 크기는 $x \times y \times z$ 방향으로 각각 $1000 \text{ m} \times 1000 \text{ m} \times 250 \text{ m}$ 이다. CFD 모델의 유입 경계 조건은 Castro and Apsley (1997)가 제시한 연직 분포를 이용하였다. 바람(U, V, W), 난류 운동 에너지(κ), 그리고 난류 운동 에너지 소멸율(ϵ)에 대한 초기 조건은 다음과 같다.

$$U(z) = \frac{U_*}{\kappa} \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) \cos\theta \quad (1)$$

$$V(z) = \frac{U_*}{\kappa} \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) \sin\theta \quad (2)$$

$$W(z) = \frac{U_*}{\kappa} \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) \tan\alpha \quad (3)$$

$$\kappa(z) = \frac{U_*^2}{\frac{1}{c_\mu^2}} \left(1 - \frac{z}{\delta}\right)^2 \quad (4)$$

$$\varepsilon(z) = \frac{c_\mu^{3/4} k^{3/2}}{\kappa z} \quad (5)$$

여기서, U_* , z_0 , δ , κ , θ , α 는 각각 마찰 속도, 거칠기 길이(= 0.05 m), 경계층 두께(= 1,000 m), von Karman 상수(= 0.4), 풍향, 고도각(= -6°)을 의미한다. 유입류 풍속은 장보고 과학기지 AWS(이전 후) 에서 관측한 최근 2년 동안의 평균 풍속(=3.16 m s⁻¹)을 사용하였다. 풍향의 경우, 미세 흐름장과 대기 확산장 분석을 위하여 16방위 풍향(북, 북북동, 북동, 동북동, 동, 동남동, 남동, 남남동, 남, 남남서, 남서, 서남서, 서, 서북서, 북서, 북북서)을 고려하였다. 수치 실험은 시간 간격을 0.5초로 하여 총 3600초 동안 수행되었다. 또한, 장보고 과학기지에 미치는 활강풍의 풍속을 저감시키기 위하여, 여러 가지 형태의 방풍벽을 설치하는 시뮬레이션을 수행하였다. 방풍벽의 위치는 바람장미 분석을 통하여 얻는 결과를 고려하여, 장보고 과학기지의 북쪽에서부터 서쪽까지 설치하는 것으로 가정하였다(그림 10). 본 실험을 통하여 겨울철에 기지에 미치는 활강풍의 영향을 효과적으로 줄이며, 방풍벽의 설치에 소요되는 예산과 제원의 낭비를 최소화하기 위한 방풍벽을 제안하고자 한다.



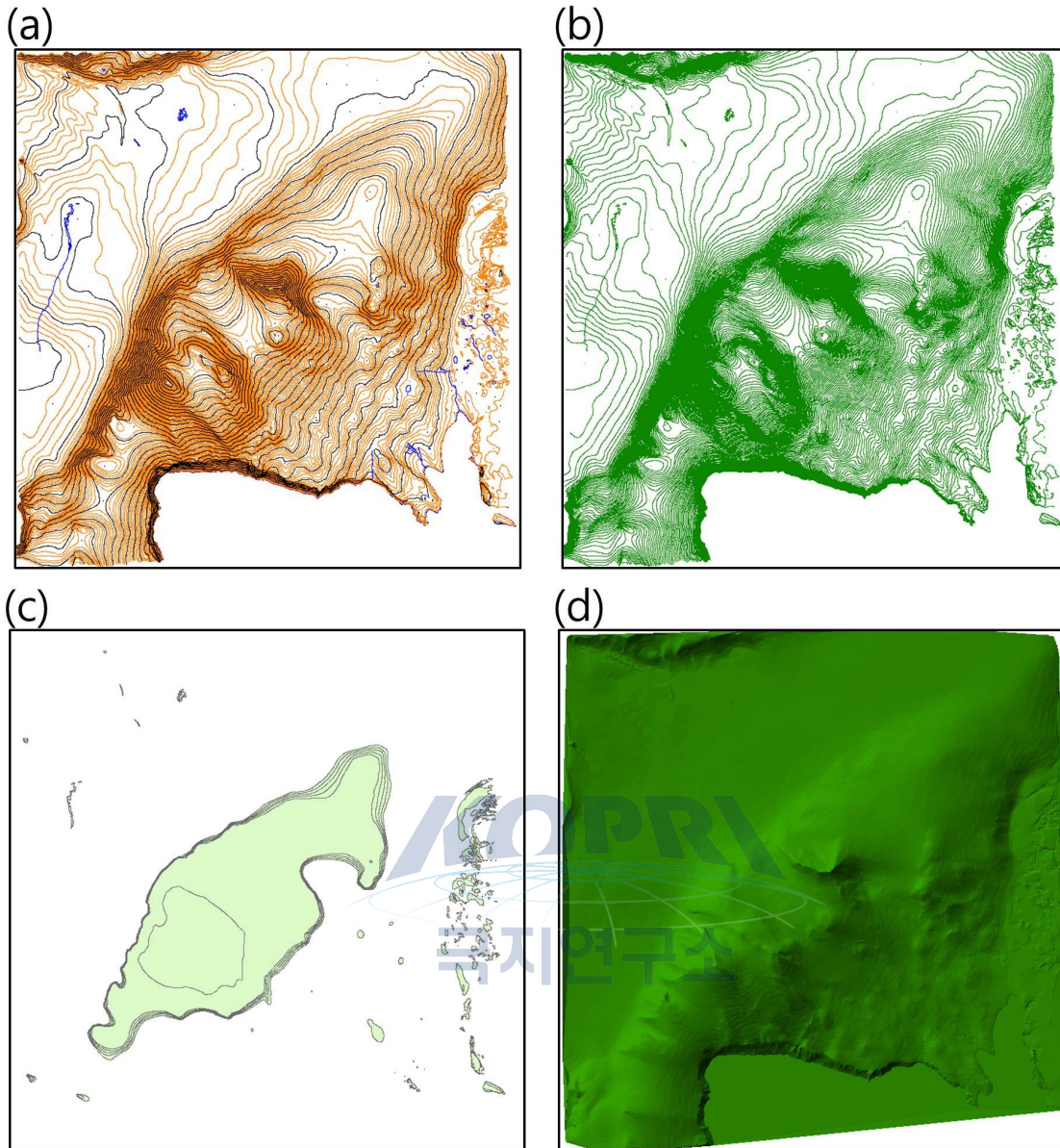
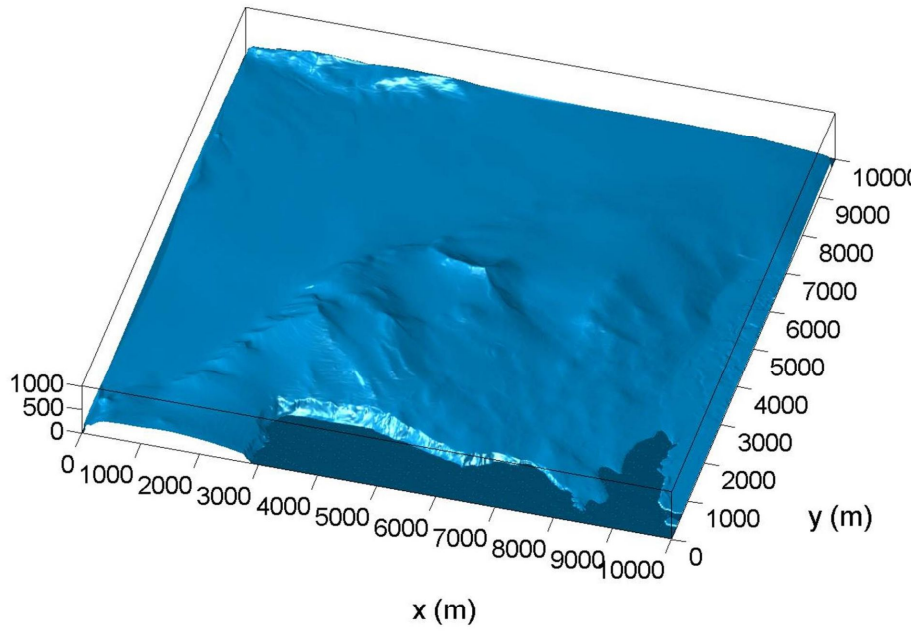


그림 6. 대상 지역에 대한 (a) 수치 지도, (b) Polyline 자료, (c) Polygon 자료, (d) 지표 경계 입력 자료

(a)



(b)

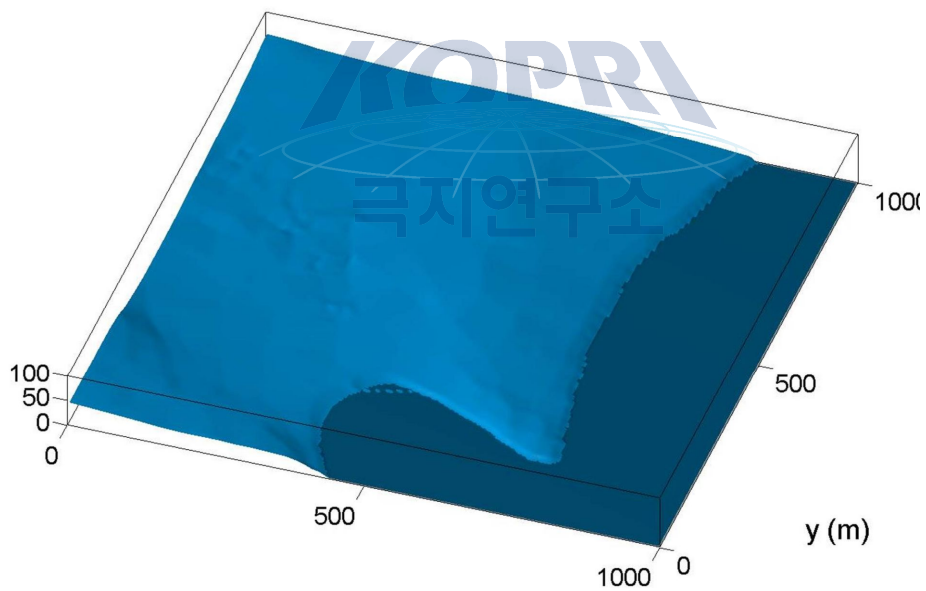
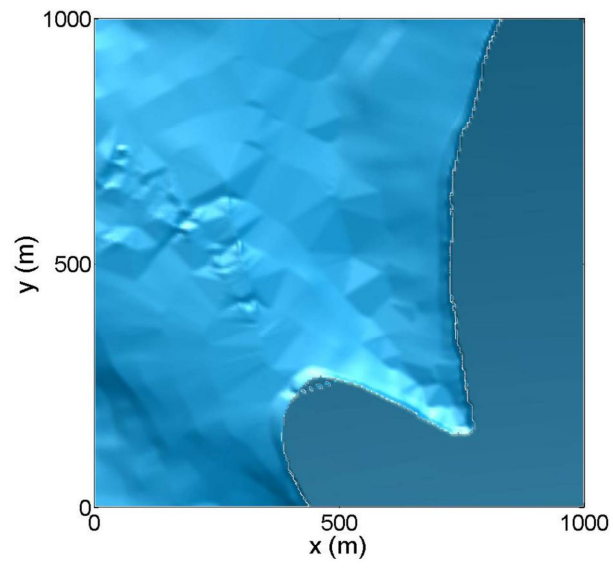


그림 7. 대상 지역 주변 (a) 10 km × 10 km 지표 경계 입력 자료, (b) 1 km × 1 km 지표 경계 입력 자료

(a)



(b)

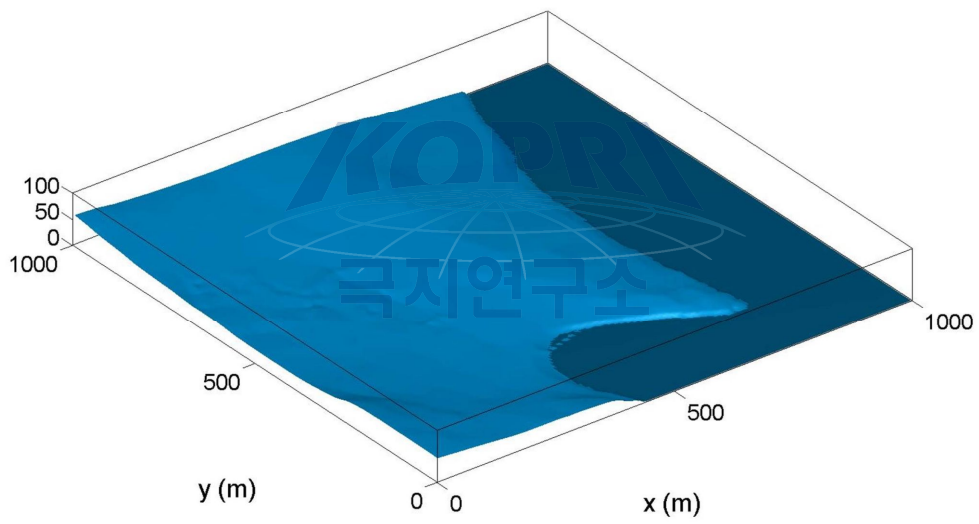
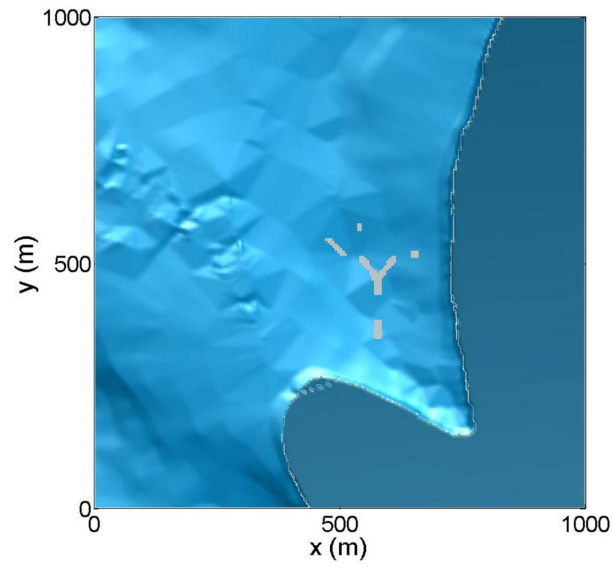


그림 8. 장보고 과학기지 건설 전에 대한 (a) 2차원과 (b) 3차원 지표 경계 입력 자료

(a)



(b)

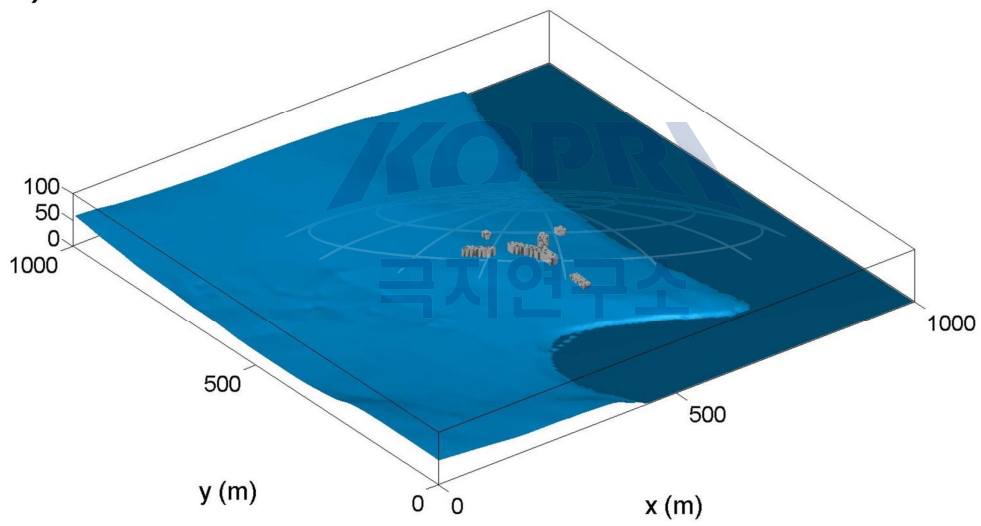
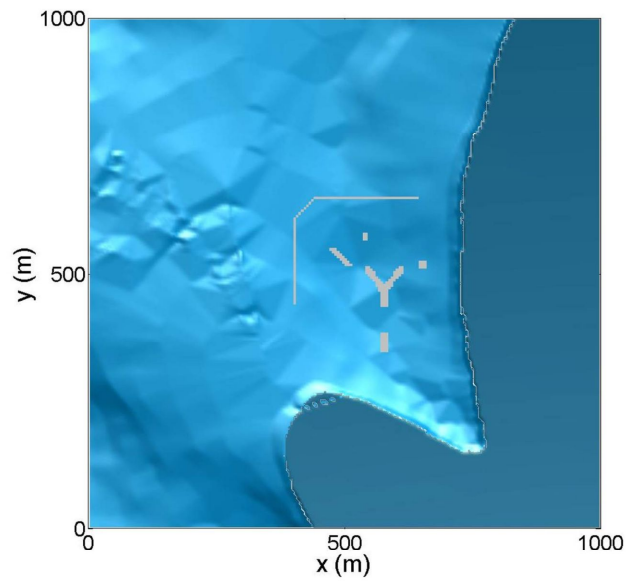


그림 9. 장보고 과학기지 건설 후에 대한 (a) 2차원과 (b) 3차원 지표 경계 입력 자료

(a)



(b)

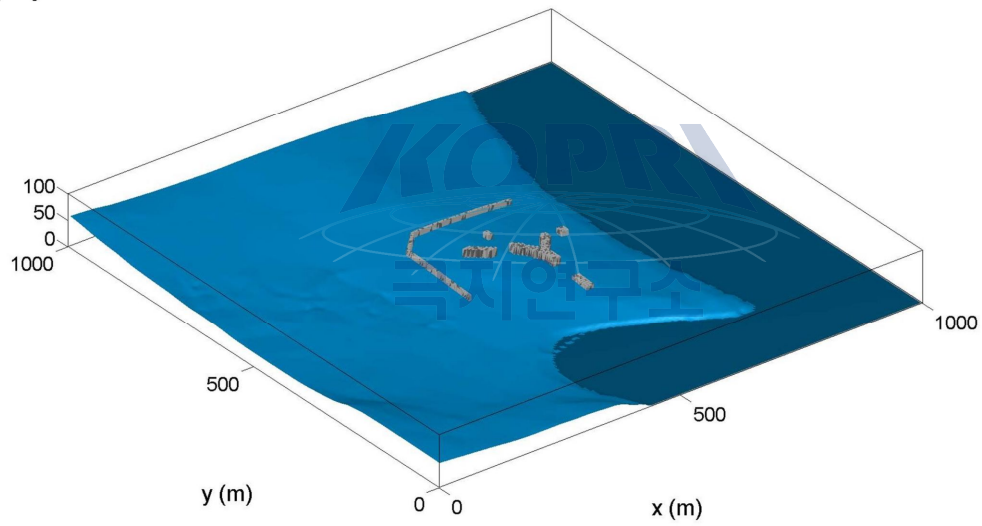


그림 10. 방풍벽 설치 후에 대한 (a) 2차원과 (b) 3차원 지표 경계 입력 자료

2. 장보고 과학기지에 의한 풍속 저감과 흐름 변화 조사

2.1. 미세 흐름 분석

2.1.1 장보고 과학기지 건설 전·후 AWS 관측지점(지상 5.5 m)에 대한 풍속 분석

장보고 과학기지 건설이 AWS 관측지점에 미치는 영향을 정량적으로 분석하기 위해 16방위 풍향(북, 북북동, 북동, 동북동, 동, 동남동, 남동, 남남동, 남, 남남서, 남서, 서남서, 서, 서북서, 북서, 북북서)에 대하여 수치 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션의 유입 풍속은 기지 건설 후 AWS 관측자료($z = 5.5 \text{ m}$)의 평균 풍속($=3.16 \text{ m s}^{-1}$)으로 가정하였다. 장보고 과학기지 건설 전, 대부분의 풍향에서 3.5 m s^{-1} 이상의 풍속이 나타났다. 기지 건설 후 북서풍을 제외한 모든 풍향에서 기지 건설 전에 대하여 풍속이 약해졌다(그림 11). 장보고 과학기지 건설 전·후에 대하여, 북풍이 부는 경우에 가장 강한 풍속(건설 전 : 4.74 m s^{-1} , 건설 후 : 4.68 m s^{-1})이 나타났고, 서북서풍이 부는 경우에 가장 약한 풍속(건설 전 : 3.31 m s^{-1} , 건설 후 : 0.77 m s^{-1})이 나타났다. AWS 관측자료를 분석한 결과, 높은 빈도를 나타내는 서풍(18.87%), 북북동풍(14.38%), 북풍(11.24%)에 대하여, 장보고 과학기지 건설 전의 풍속은 각각 3.59 m s^{-1} , 4.41 m s^{-1} , 4.74 m s^{-1} 이고, 장보고 과학기지 건설 후의 풍속은 각각 1.06 m s^{-1} , 4.07 m s^{-1} , 4.68 m s^{-1} 이다. 장보고 과학기지 건설 전·후의 풍속차는 서북서풍이 부는 경우에 가장 크게 나타났으며, 서풍 계열의 다른 바람들에서도 풍속의 약화가 다소 크게 나타났다(그림12). 16방위에 대한 AWS에서의 풍속차는 0.46 m s^{-1} 로 장보고 과학기지 건설 후의 풍속이 감소하였다. 이를 통하여 기지의 건설이 장보고 과학기지 AWS의 관측에 영향을 미치고 그 중에서 서풍 계열의 바람에 큰 영향이 나타남을 알 수 있다.

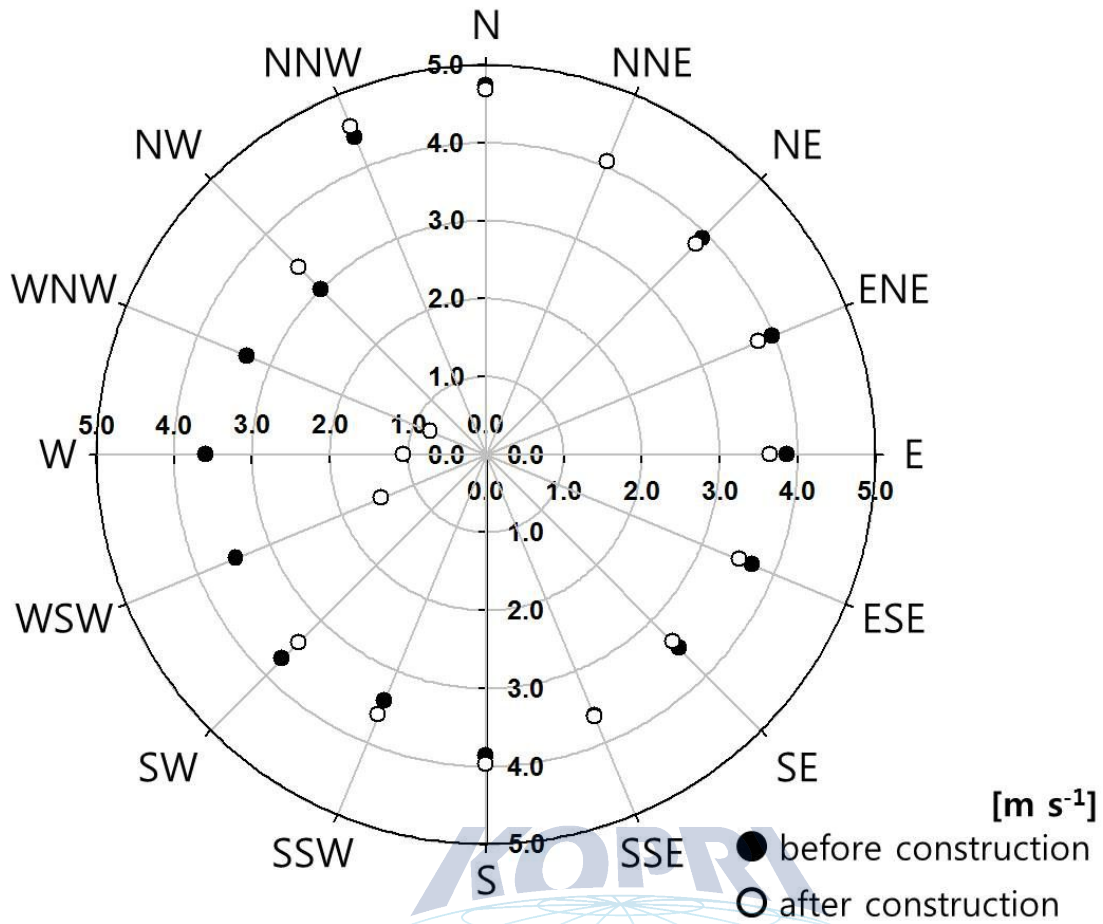


그림 11. 장보고 과학기지 건설 전·후 AWS 관측지점($z = 5.0$ m)에 대한 풍속

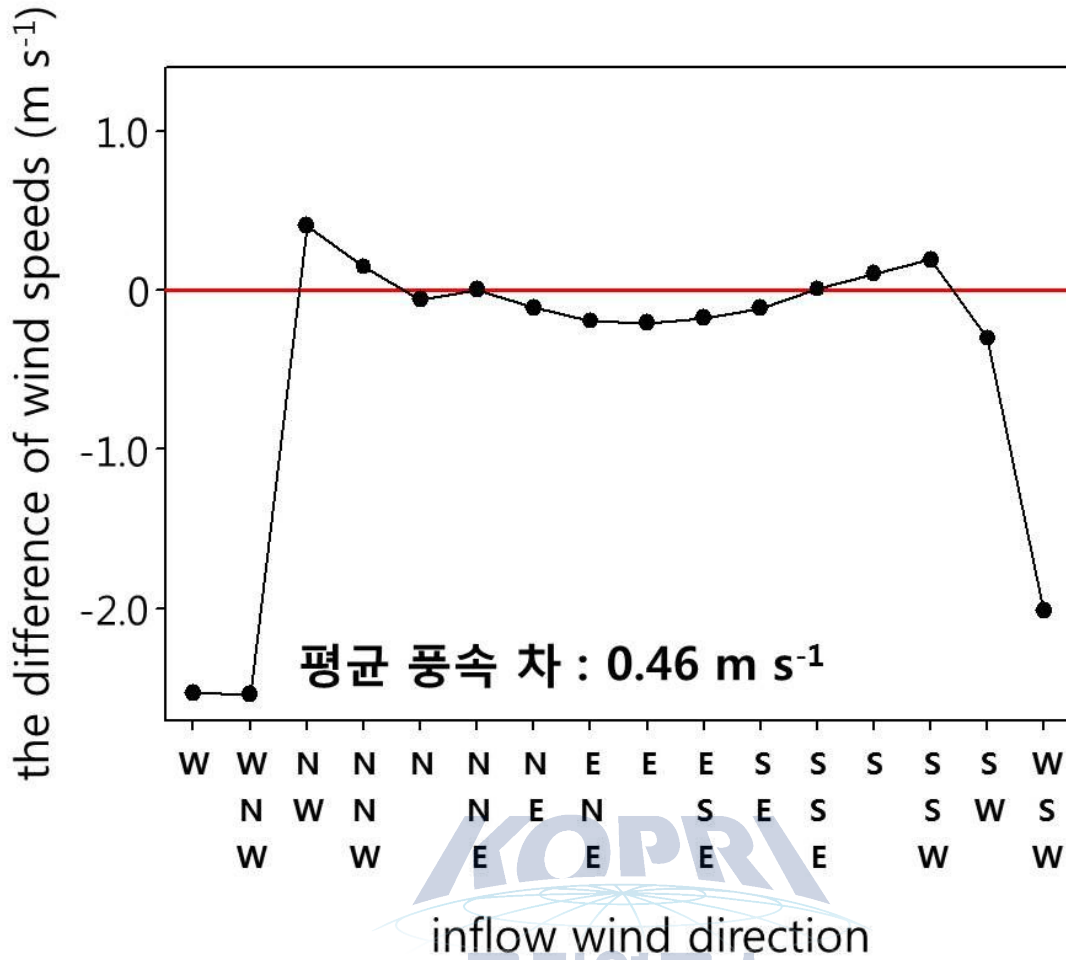
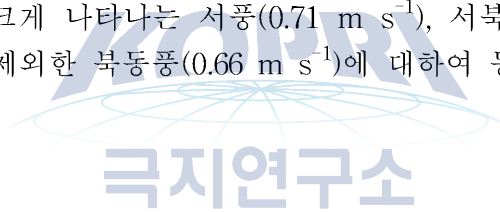


그림 12. 장보고 과학기지 건설 전·후에 대한 AWS 관측지점($z = 5.0 \text{ m}$)에서의 풍속 차이

2.1.2 장보고 과학기지 건설 전·후 기지 주변 지표 풍속 분석

장보고 과학기지 건설이 기지 주변 지표에 미치는 영향을 정량적으로 조사하기 위하여, 16방위 풍향(북, 북북동, 북동, 동북동, 동, 동남동, 남동, 남남동, 남, 남남서, 남서, 서남서, 서, 서북서, 북서, 북북서)에 대하여 수치 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션의 유입 풍속은 기지 건설 후 AWS 관측자료(5.5 m)의 평균 풍속(3.16 m s^{-1})으로 가정하였다. 그림 13은 장보고 과학기지 건설 전과 후에 대하여 장보고 과학기지 주변에서의 평균 지표 풍속을 나타낸다. 장보고 과학기지 건설 전·후에 대하여, 북풍이 부는 경우에 가장 강한 풍속(건설 전 : 2.90 m s^{-1} , 건설 후 : 2.31 m s^{-1})이 나타났고, 남남서풍이 부는 경우에 가장 약한 풍속(건설 전 : 1.96 m s^{-1} , 건설 후 : 1.57 m s^{-1})이 나타났다. AWS 관측자료를 통한 결과에서 높은 빈도를 나타내는 서풍(18.87%), 북북동풍(14.38%), 북풍(11.24%)에 대하여, 장보고 과학기지 건설 전의 풍속은 각각 2.45 m s^{-1} , 2.31 m s^{-1} , 2.90 m s^{-1} 이고 장보고 과학기지 건설 후의 풍속은 각각 1.74 m s^{-1} , 1.76 m s^{-1} , 2.31 m s^{-1} 이다. 장보고 과학기지 건설 전과 건설 후의 지표 풍속차는 서풍이 부는 경우(0.71 m s^{-1})에 가장 크게 나타났다(그림14). 16방위에 대한 지표 풍속차는 0.56 m s^{-1} 로 장보고 과학기지 건설 후의 풍속이 다소 감소하였다.

본 연구에서는 미세 흐름장 분석에 대하여, 강풍에 의한 피해가 심할 것으로 예상되는 겨울철의 풍향 빈도가 높은(기지 건설 후 AWS 관측자료) 서풍(18.87%), 북북동풍(14.38%), 북풍(11.24%), 서북서풍(10.44%)에 대한 분석을 수행하였다. 또한, 장보고 과학기지 건설 전·후에 대한 지표 풍속차가 가장 크게 나타나는 서풍(0.71 m s^{-1}), 서북서풍(0.69 m s^{-1}), 북동풍(0.66 m s^{-1})중 중복되는 풍향을 제외한 북동풍(0.66 m s^{-1})에 대하여 동일하게 분석을 수행하였다.



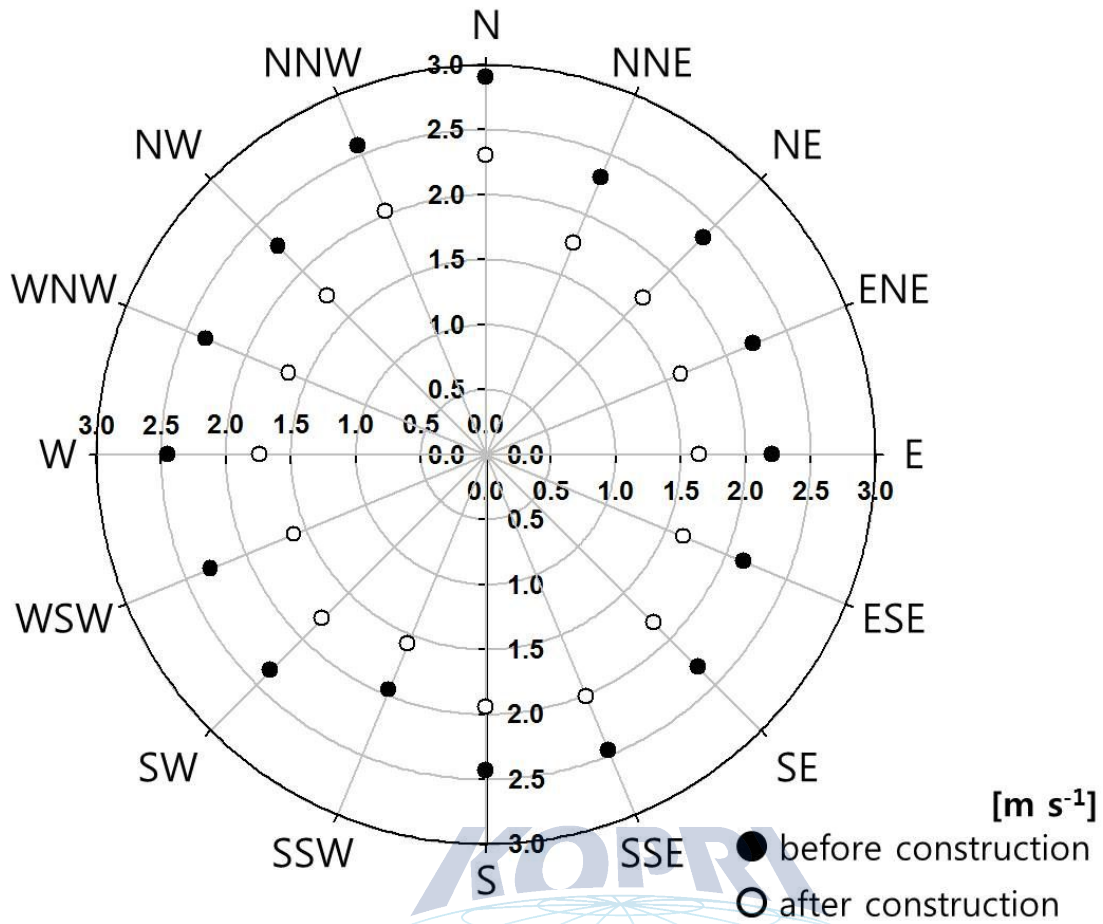


그림 13. 장보고 과학기지 건설 전·후에 대한 기지 주변 지표($z = 1.25$ m)의 평균 풍속

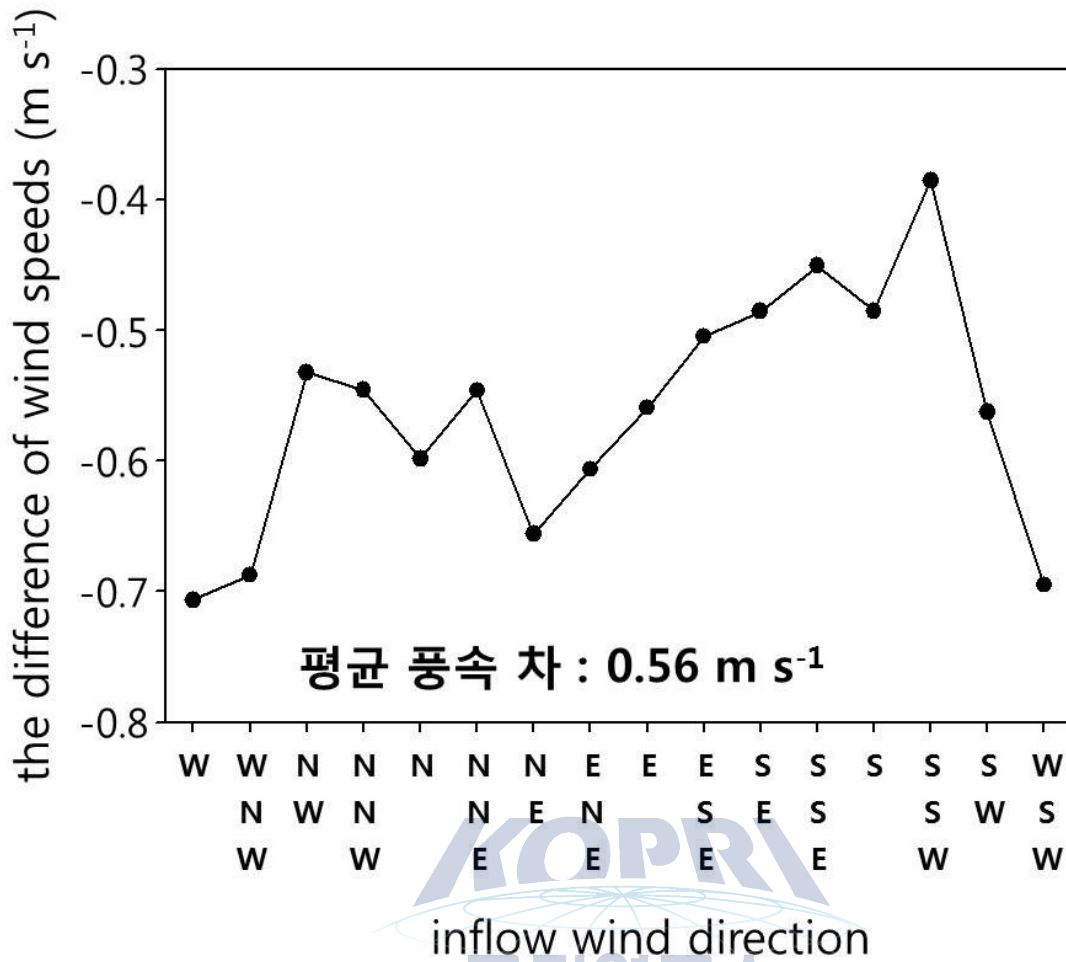


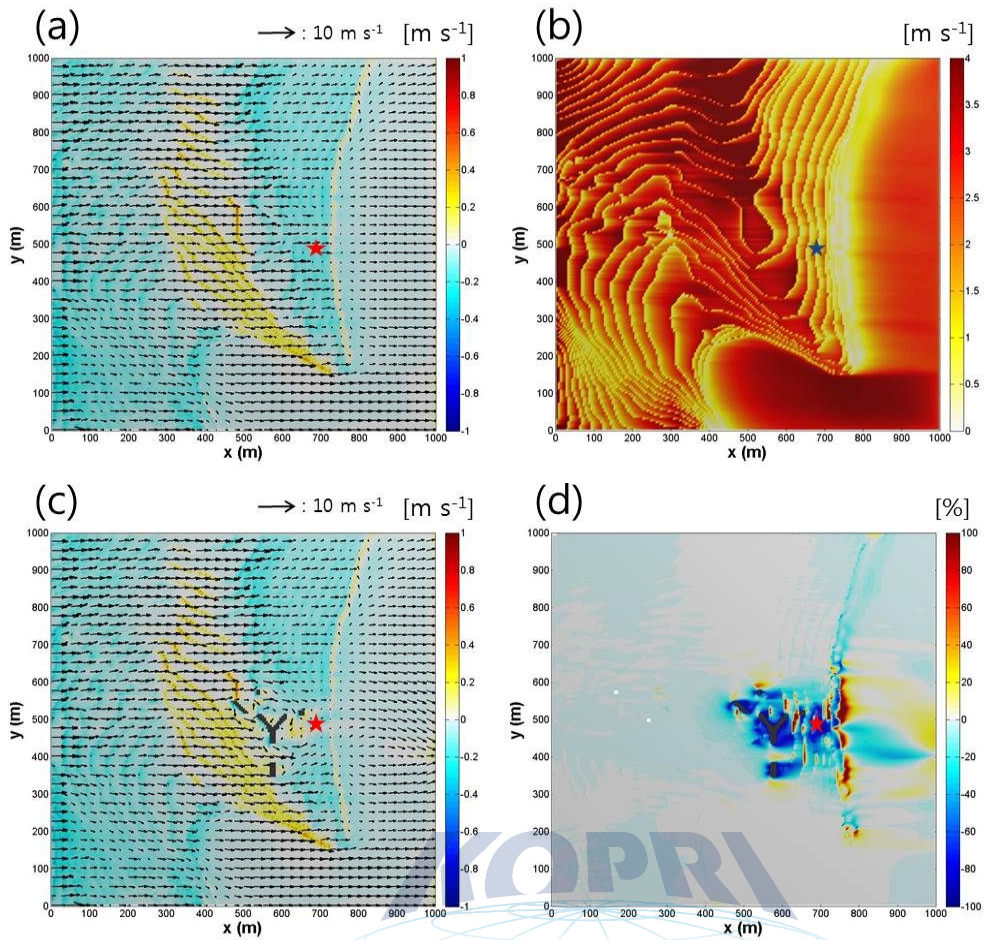
그림 14. 장보고 과학기지 건설 전·후에 대한 기지 주변 지표($z = 1.25 \text{ m}$)의 평균 풍속차

2.2. 미세 흐름 분석

2.2.1. 서풍

그림 15은 서풍이 부는 경우, 장보고 과학기지 주변의 지표 바람 벡터장, 연직 속도, 지표 풍속, 지표 풍속차를 나타낸다. 기지 건설 전의 경우 기지의 서쪽과 북서쪽에 위치한 산사면에 의해 하강류가 발생하며, 산사면을 타고 오면서 기지 서쪽의 사면에서 상승류가 발생한다. 사면을 넘은 흐름은 지표 마찰에 의해 풍속이 약해진다. 기지가 위치한 지표에서는 풍속이 약하나, 기지를 지나 해안선을 지나면서 다시 풍속이 회복된다(그림 15. b). 기지 주변에서의 지표 평균 풍속은 약 2 m s^{-1} 이며 해안선에서 0.5 m s^{-1} 이하로 약화된다. 장보고 과학기지 건설 후 흐름은 기지를 주변을 돌아가는 흐름이 발생하여 건설 전에 비하여 복잡한 흐름이 나타나고 본관동 동쪽면과 상층대기관측동 사이에 흐름이 수렴되는 지역이 생겨 풍속이 증가하는 지역이 나타난다. 건물에 의한 효과로 기지 주변의 평균 풍속은 27.7% 감소하였고, 건물의 풍하측에 위치한 현재 AWS 관측기기가 위치한 지점은 건물에 의한 차단 효과로 인하여 기지 건설 전에 대하여, 풍속이 70.4% 감소하였다.





극지연구소 ★ : AWS

그림 15. 서풍이 부는 경우, 장보고 과학기지 건설 전의 (a) 지표 바람 벡터장과 연직속도 (b) 수평속도, 장보고 과학기지 건설 후의 (c) 지표 바람 벡터장과 연직속도, (d) 건설 전과 건설 후에 대한 장보고 과학기지 지역의 수평 속도차

2.2.2. 북북동풍

그림 16은 북북동풍이 부는 경우의 장보고 과학기지 주변의 지표 바람 벡터장, 연직 속도, 지표 풍속, 지표 풍속차를 나타낸다. 기지 건설 전의 경우, 기지의 동쪽에 위치한 경사면에 의해 상승류와 지면을 따라 흐름이 발생하며 사면을 넘은 흐름은 기지의 서쪽 사면에서 하강류로 나타난다. 기지의 서쪽에 위치한 사면을 넘어가면서 수평 풍속이 약해지고 남서쪽에서 사면을 타고 상승류가 나타난다. 기지 주변에서 약 3.0 m s^{-1} 의 북풍이 나타난다. 장보고 과학기지 건설 후의 흐름은 기지를 중심으로 돌아가는 흐름이 발생하여 정비동과 본관동 사이, 본관동과 상층대기관측동 사이에서 수렴되는 흐름에 의해 풍속이 증가하는 지역이 나타났다. 건물에 의한 마찰로 인하여 기지 주변의 풍속은 13.3% 감소하였으며, 기지 남서쪽에 건물에 의한 재순환으로 인해 풍속이 강해지는 지역이 발생했다. AWS 지점에서의 풍속은 거의 변화가 나타나지 않았다(0.007%).



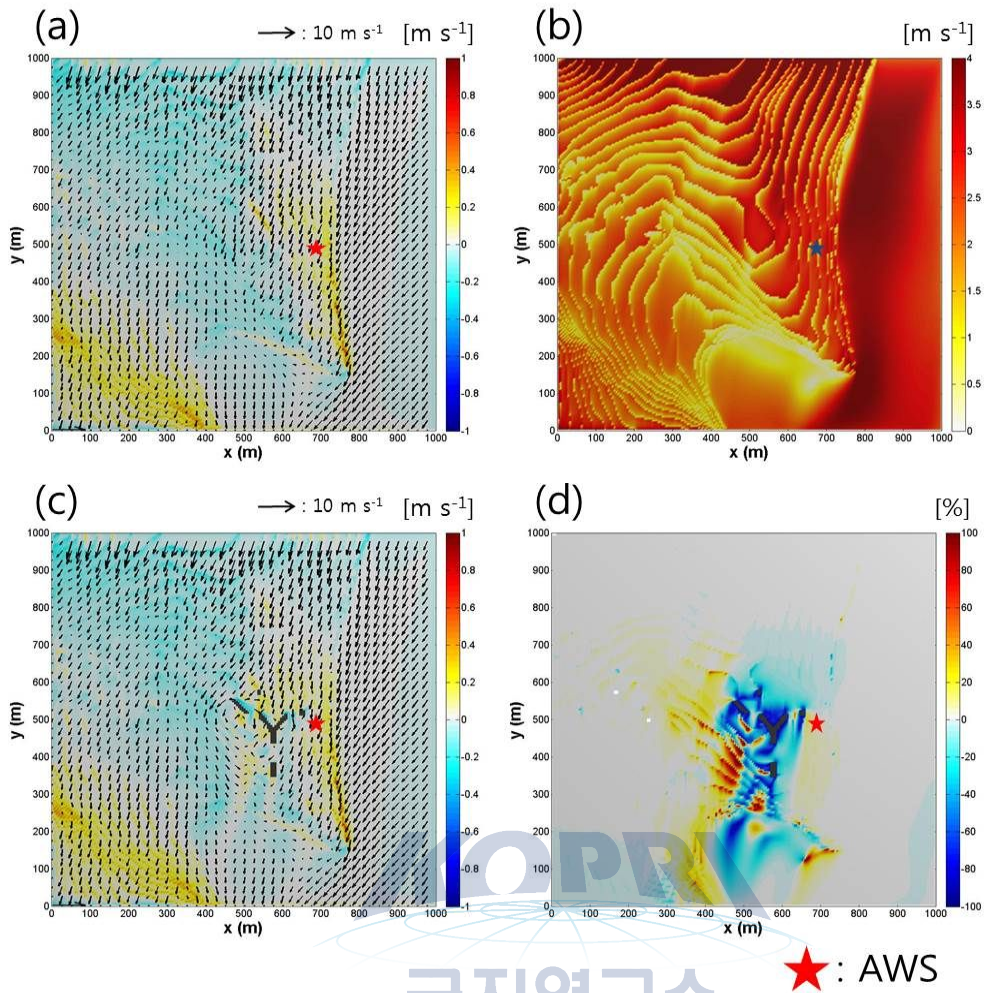
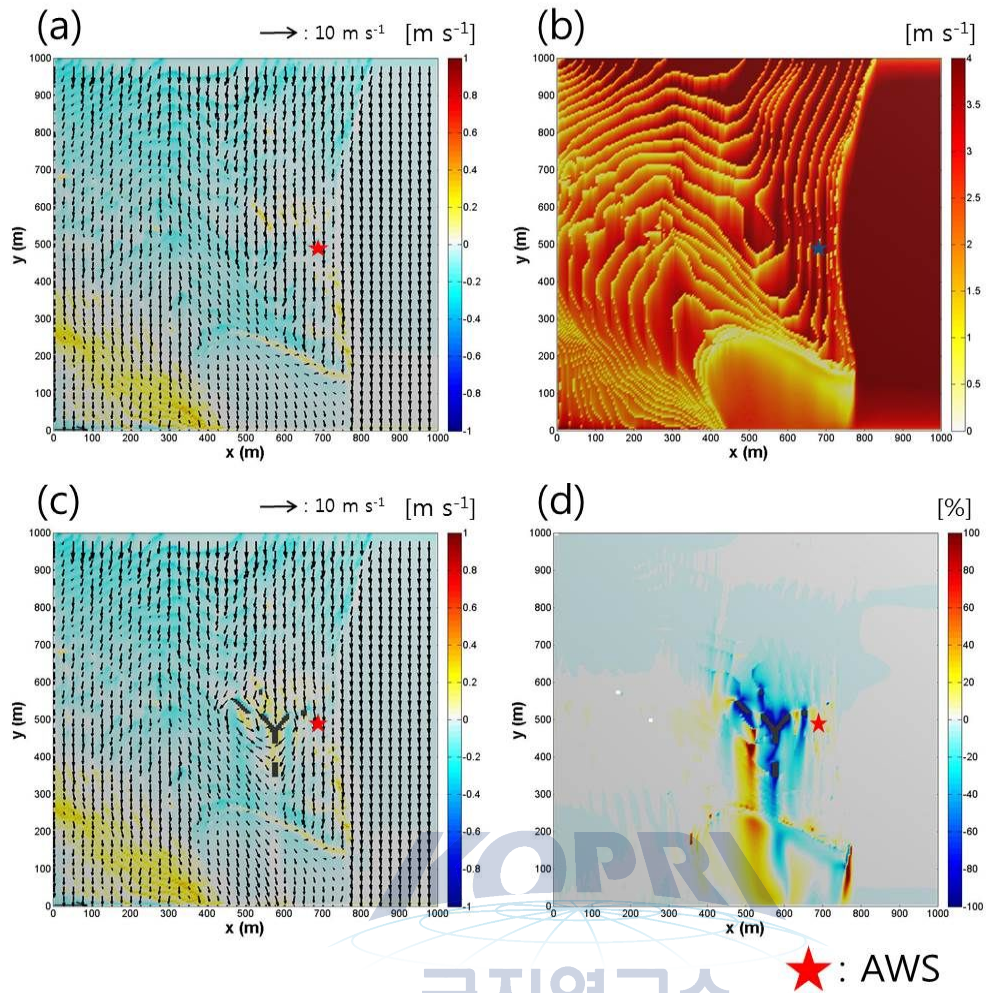


그림 16. 북북동풍이 부는 경우, 장보고 과학기지 건설 전의 (a) 지표 바람 벡터장과 연직속도 (b) 수평속도, 장보고 과학기지 건설 후의 (c) 지표 바람 벡터장과 연직속도, (d) 건설 전과 건설 후에 대한 장보고 과학기지 지역의 수평 속도차

2.2.3. 북풍

그림 17은 북풍이 부는 경우의 장보고 과학기지 주변의 지표 바람 벡터장, 연직 속도, 지표 풍속, 지표 풍속차를 나타낸다. 기지 건설 전의 경우 기지의 북쪽에 위치한 사면을 따라 하강류가 발생하며, 지면과 해안선을 따라 나란한 흐름이 나타난다. 북북동풍과 유사하게 기지 서쪽 지역에서 수평 풍속이 약해지고, 기지 주변에서 약 3.0 m s^{-1} 의 북풍이 나타난다. 장보고 과학기지 건설 후의 흐름은 기지를 중심으로 돌아가는 흐름이 발생하며 정비동과 본관동 사이, 본관동과 상층대기관측동 사이에서 수렴되는 흐름에 의해 풍속이 증가하는 지역이 나타난다. 건물에 의한 마찰효과로 기지 주변의 풍속은 14.0% 감소하였고, 기지 풍하측에 위치하는 본관동 남쪽 부근에서 풍속이 다소 감소하였다.





극지연구소 ★ : AWS

그림 17. 북풍이 부는 경우, 장보고 과학기지 건설 전의 (a) 지표 바람 벡터장과 연직속도 (b) 수평속도, 장보고 과학기지 건설 후의 (c) 지표 바람 벡터장과 연직속도, (d) 건설 전과 건설 후에 대한 장보고 과학기지 지역의 수평 속도차

2.2.4. 서북서풍

그림 18은 서북서풍이 부는 경우의 장보고 과학기지 주변의 지표 바람 벡터장, 연직 속도, 지표 풍속, 지표 풍속차를 나타낸다. 기지 건설 전의 경우, 북서쪽에 위치한 산사면을 따라 하강류가 나타나고 기지 서쪽 사면에서 상승류가 나타난다. 사면을 넘은 흐름은 지형의 영향으로 기지부근에서는 서풍의 하강류로 나타나게 된다. 지표면의 마찰에 의해 기지부근에서 약 2.0 m s^{-1} 의 풍속이 나타나고 해안선을 지나면서 다시 풍속을 회복한다(b). 장보고 과학기지 건설 후의 흐름은 기지에 의해 왜곡된 흐름이 나타나며, 본관동 남쪽과 발전동 사이에 흐름이 수렴하는 곳이 나타나 풍속이 증가한다. 건물에 의한 마찰 효과로 기지 주변의 평균 풍속은 32.8% 감소하고 건물의 풍하측에 위치한 AWS 관측지점은 건물에 의한 차단 효과로 인하여 기지 건설 전에 대하여, 풍속이 76.7% 감소하였다.



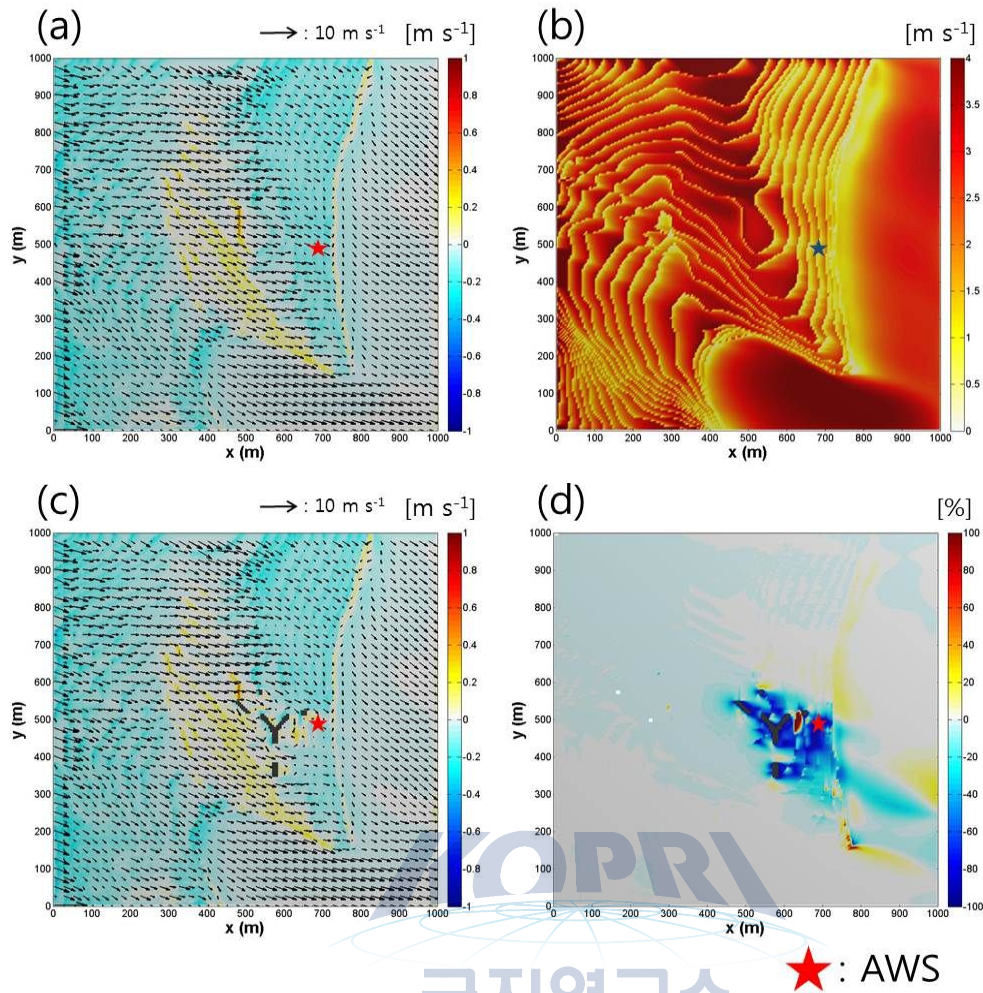


그림 18. 서북서풍이 부는 경우, 장보고 과학기지 건설 전의 (a) 지표 바람 벡터장과 연직속도 (b) 수평속도, 장보고 과학기지 건설 후의 (c) 지표 바람 벡터장과 연직속도, (d) 건설 전과 건설 후에 대한 장보고 과학기지 지역의 수평 속도차

2.2.5. 북동풍

그림 19은 북동풍이 부는 경우의 장보고 과학기지 주변의 지표 바람 벡터장, 연직 속도, 지표 풍속, 지표 풍속차를 나타낸다. 기지 건설 전의 경우, 해안 방향에서 불어오는 북동풍의 영향을 받는다. 북동풍의 흐름은 기지주변에서 약 3.0 m s^{-1} 의 풍속이 나타나며, 기지를 지나 흐름은 기지 서쪽에 위치한 지역에서 약화된다. 장보고 과학기지 건설 후의 흐름은 기지를 중심으로 돌아가는 흐름이 나타나며, 정비동과 본관동 서쪽면 사이에서 흐름이 수렴하는 곳이 나타나 풍속이 증가한다. 건물에 의한 마찰효과로 기지 주변의 풍속은 29.6% 감소하였고 AWS지점에서의 풍속은 2.8% 감소하였다. 또한, 풍하측에 위치하는 본관동과 정비동의 남서쪽 지역의 풍속이 다소 감소하였다.



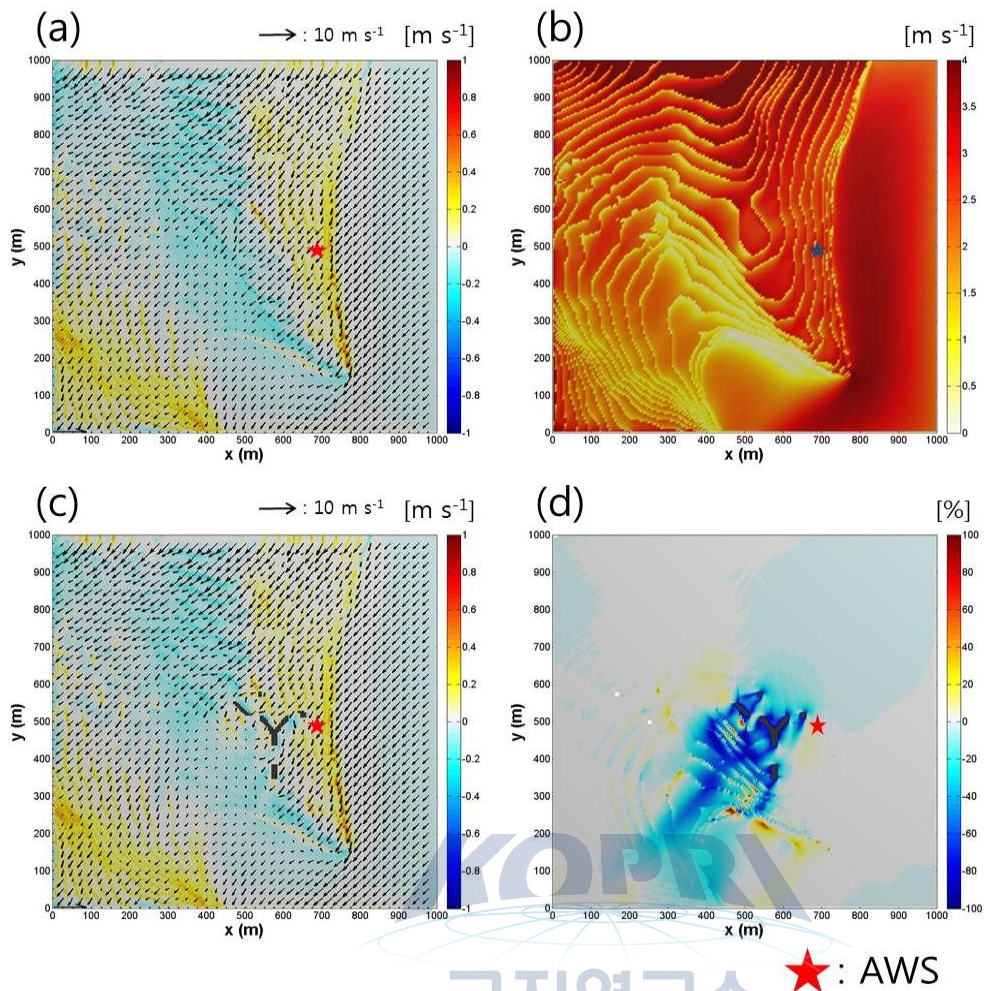


그림 19. 북동풍이 부는 경우, 장보고 과학기지 건설 전의 (a) 지표 바람 벡터장과 연직속도 (b) 수평속도, 장보고 과학기지 건설 후의 (c) 지표 바람 벡터장과 연직속도, (d) 건설 전과 건설 후에 대한 장보고 과학기지 지역의 수평 속도차

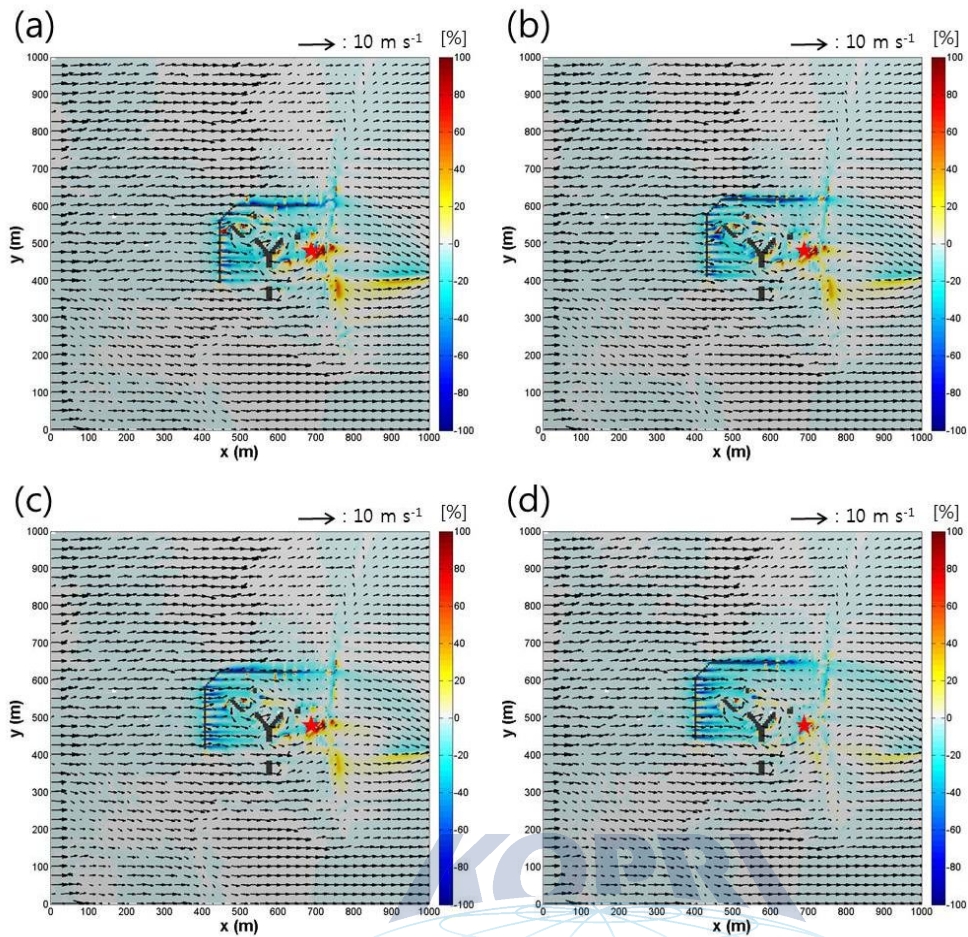
3. 방풍벽 설치에 의한 장보고 과학기지 주변 풍속 저감 효과 및 AWS 관측에 미치는 영향

방풍벽 설치가 장보고 과학기지 주변 풍속 저감과 AWS 관측환경에 미치는 영향을 조사하기 위하여 장보고 과학기지 건설 전·후의 전체기간 동안 발생 빈도가 높은 풍향(서풍, 북북동풍, 북풍, 서북서풍)을 선정하여 방풍벽 설치 시뮬레이션을 수행하였다. 기지와 방풍벽 사이의 거리에 따른 효과를 조사하기 위하여 방풍벽의 높이인 10 m(H)를 기준으로 2H부터 8H까지 2H 간격으로 증가시키는 실험을 수행하였다. 그리고 각각의 거리별로 설치한 방풍벽에 대하여 방풍벽 밀도에 의한 효과를 조사하기 위하여 방풍벽의 밀도를 25%, 33%, 50%, 100%로 변화 시키는 실험을 수행하였다.

3.1. 서풍

3.1.1 방풍벽 밀도(공극률 75%) - 25%

그림 20은 서풍이 부는 경우, 방풍벽 밀도가 25%일 때의 지표 바람 벡터장(surface wind field), 지표 풍속차를 나타낸다. 밀도가 25%인 방풍벽을 설치한 경우와 방풍벽을 설치하지 않은 경우를 비교하였을 때, 지표에서의 흐름의 방향은 크게 변하지 않았으나 방풍벽 후면에서 흐름은 약해지는 경향이 나타났다. 기지의 풍하측(동쪽)에서 부분적으로 흐름이 강해지는 영역도 나타났다. 기지와 방풍벽 사이의 거리가 2H 일 때, 기지주변에서의 지표($z = 1.25$ m) 평균풍속은 4.8% 감소하였고 AWS가 있는 지점($z = 5$ m)의 풍속은 19.3% 감소하였다. 같은 방풍벽 밀도이고 기지와 방풍벽의 사이가 4H 인 경우, 기지주변에서의 지표($z = 1.25$ m) 평균 풍속은 4.0% 감소하였고 AWS가 있는 지점($z = 5$ m)의 풍속은 13.2% 감소하였다. 기지와 방풍벽의 사이가 6H 인 경우, 기지주변에서의 지표($z = 1.25$ m) 평균풍속은 2.58% 감소하였고 AWS가 있는 지점($z = 5$ m)의 풍속은 11.2% 감소하였다. 기지와 방풍벽 사이의 거리가 8H인 경우에는 AWS가 있는 지점($z = 5$ m)에서 오히려 풍속의 증가(3.6%)가 나타났다.



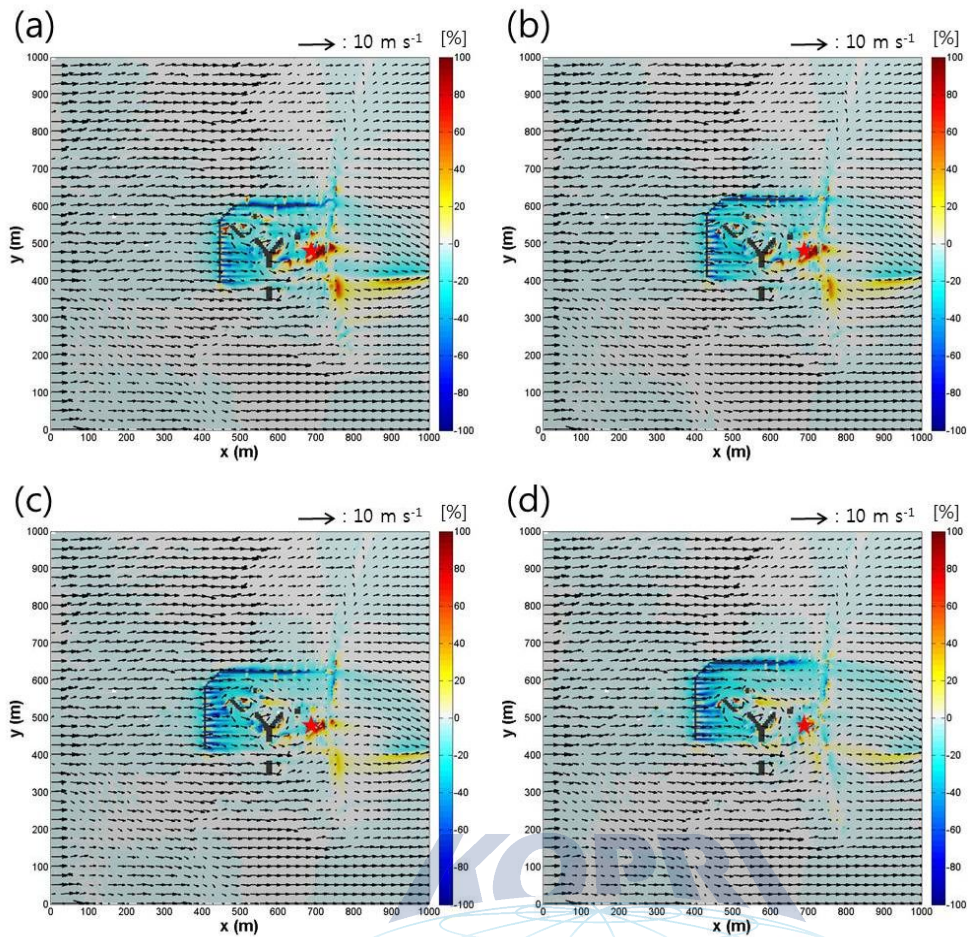
극지연구소 ★ : AWS

그림 20. 서풍이 부는 경우, 기지와 방풍벽 사이의 거리가 (a) 2H, (b) 4H, (c) 6H, (d) 8H 일 때, 방풍벽 설치 전에 대한 밀도가 25% 방풍벽 설치 후의 풍속 증가율

3.1.2 방풍벽 밀도(공극률 67%) - 33%

그림 21은 서풍이 부는 경우, 방풍벽 밀도가 33%일 때의 지표 바람 벡터장(surface wind field), 지표 풍속차를 나타낸다. 밀도가 33%인 방풍벽이 존재하는 경우와 방풍이 존재하지 않는 경우를 비교하였을 때, 기지의 서쪽에서 유입되는 흐름이 많이 약화되었고 본관동의 풍하측과 기지 동쪽의 해안선 부근에 상대적으로 흐름이 강해지는 지역이 나타난다. 또한 방풍벽 밀도 25%의 실험과 마찬가지로 방풍벽 후면에서 흐름의 약화를 볼 수 있다. 기지와 방풍벽 사이의 거리가 2H 일 때, 기지주변에서의 지표($z = 1.25 \text{ m}$) 평균 풍속은 7.91% 감소하였고 AWS가 있는 지점($z = 5 \text{ m}$)의 풍속은 23.5% 감소하였다. 같은 방풍벽 밀도이고 기지와 방풍벽의 사이가 4H 인 경우, 기지주변에서의 지표($z = 1.25 \text{ m}$) 평균풍속은 6.37% 감소하였고 AWS가 있는 지점($z = 5 \text{ m}$)의 풍속은 15.9% 감소하였다. 기지와 방풍벽의 사이가 6H 인 경우, 기지주변에서의 지표($z = 1.25 \text{ m}$) 평균풍속은 4.0% 감소하였고 AWS가 있는 지점($z = 5 \text{ m}$)의 풍속은 5.3% 감소하였다. 기지와 방풍벽 사이의 거리가 8H인 경우에는 AWS가 있는 지점($z = 5 \text{ m}$)에서 오히려 풍속이 증가(7.2%) 함이 나타났다.





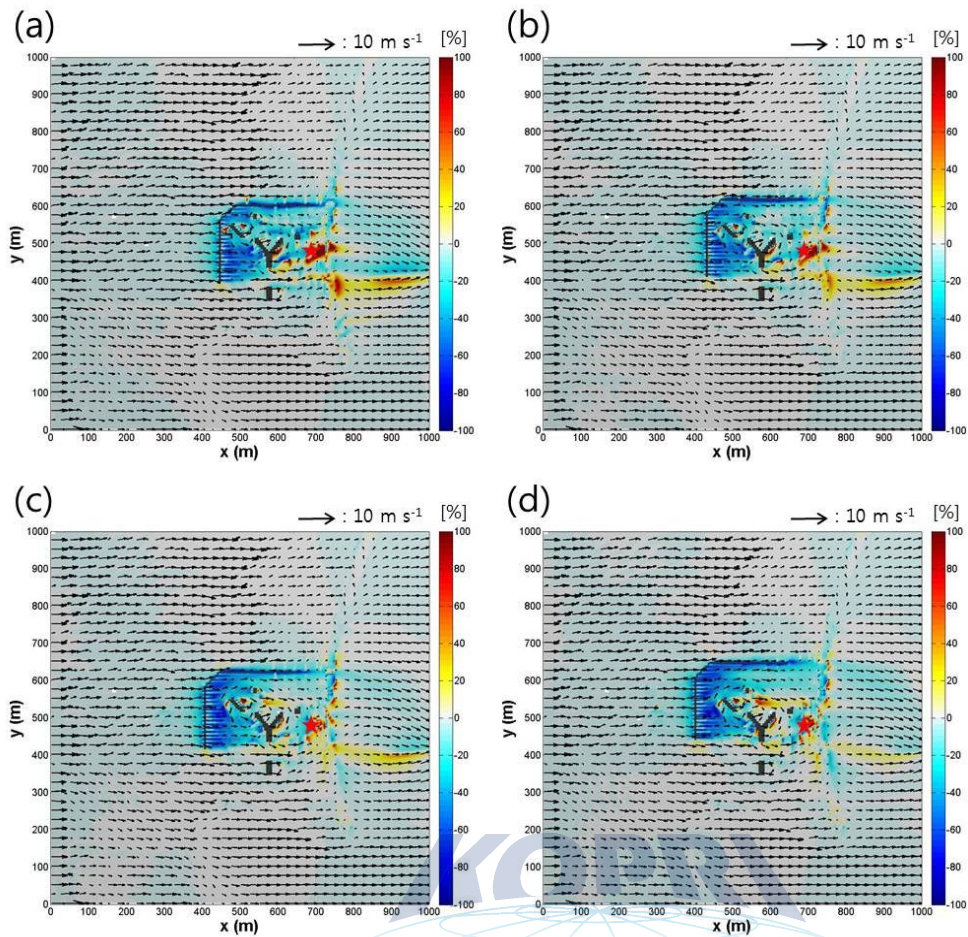
극지연구소 ★ : AWS

그림 21. 서풍이 부는 경우, 기지와 방풍벽 사이의 거리가 (a) 2H, (b) 4H, (c) 6H, (d) 8H 일 때, 방풍벽 설치 전에 대한 밀도가 33% 방풍벽 설치 후의 풍속 증가율

3.1.3 방풍벽 밀도(공극률 50%) - 50%

그림 22는 서풍이 부는 경우, 방풍벽 밀도가 50%일 때의 지표 바람 벡터장(surface wind field), 지표 풍속차를 나타낸다. 밀도가 50%인 방풍벽이 존재하는 경우와 방풍이 존재하지 않는 경우를 비교하였을 때, 서쪽에서 기지로 유입되는 흐름이 많이 약화된 것을 알 수 있으나, 본관동의 풍하측과 기지 동쪽의 해안선 부근에 상대적으로 흐름이 강해지는 지역이 나타난다. 기지와 방풍벽 사이의 거리가 2H 일 때, 기지주변에서의 지표($z = 1.25 \text{ m}$) 평균 풍속은 11.06% 감소하였고 AWS가 있는 지점($z = 5 \text{ m}$)의 풍속은 16.6% 감소하였다. 같은 방풍벽 밀도이고 기지와 방풍벽의 사이가 4H 인 경우, 기지주변에서의 지표($z = 1.25 \text{ m}$) 평균풍속은 8.96% 감소하였고 AWS가 있는 지점($z = 5 \text{ m}$)의 풍속은 7.6% 감소하였다. 기지와 방풍벽의 사이가 6H 인 경우, 기지주변에서의 지표($z = 1.25 \text{ m}$) 평균풍속은 5.06% 감소하였으나 AWS가 있는 지점($z = 5 \text{ m}$)의 풍속은 8.7% 증가하였다. 기지와 방풍벽 사이의 거리가 8H인 경우에는 AWS가 있는 지점($z = 5 \text{ m}$)에서 다소 크게 풍속이 증가(20.6%) 하였으나 기지주변의 지표($z = 1.25 \text{ m}$) 평균풍속은 1.28% 감소하여 방풍벽의 풍속 저감 효과가 적은 것으로 나타났다.





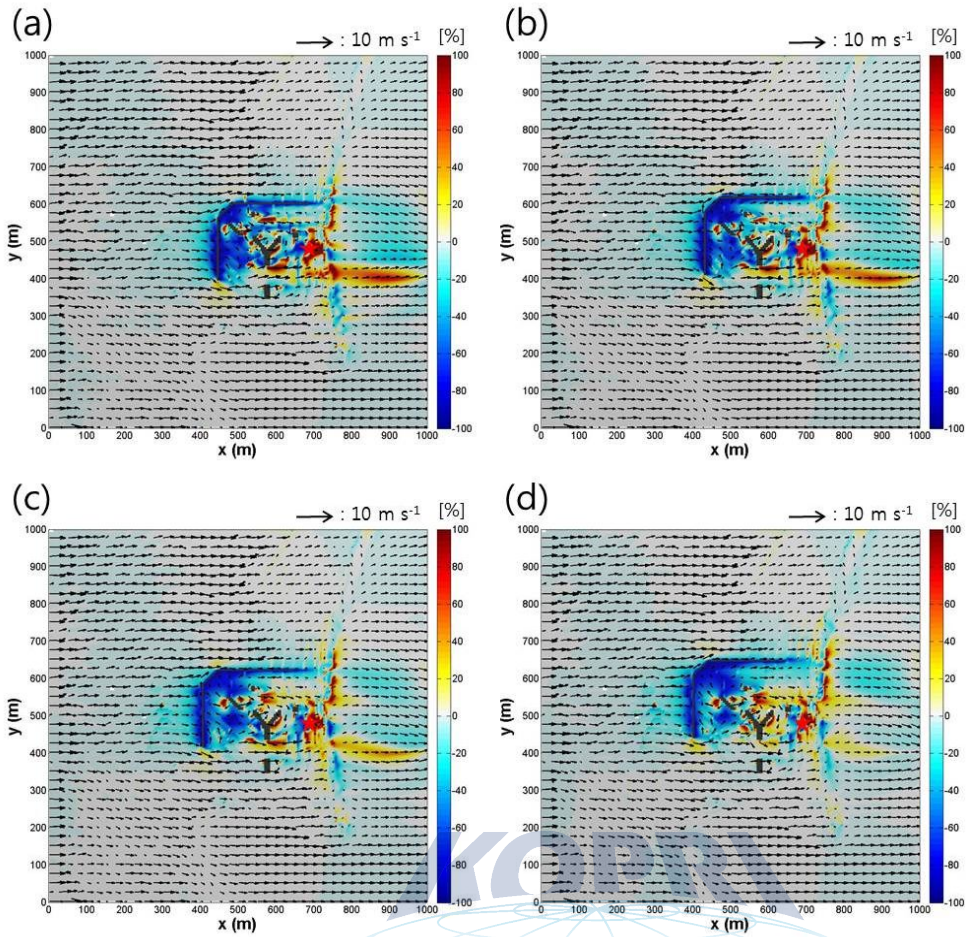
극지연구소 ★ : AWS

그림 22. 서풍이 부는 경우, 기지와 방풍벽 사이의 거리가 (a) 2H, (b) 4H, (c) 6H, (d) 8H 일 때, 방풍벽 설치 전에 대한 밀도가 50% 방풍벽 설치 후의 풍속 증가율

3.1.4 방풍벽 밀도(공극률 0%) - 100%

그림 23은 서풍이 부는 경우, 방풍벽 밀도가 100%일 때의 지표 바람 벡터장(surface wind field), 지표 풍속차를 나타낸다. 밀도가 100%인 방풍벽이 존재하는 경우와 방풍이 존재하지 않는 경우를 비교하였을 때, 방풍벽과 바로 인접한 후면에서는 풍속이 크게 약화되었으나 기지 주변에서는 방풍벽에 의한 재순환 지역이 발생하여 풍속이 증가하는 지역이 넓게 나타났다. 기지와 방풍벽 사이의 거리가 2H 일 때, 기지주변에서의 지표($z = 1.25$ m) 평균 풍속은 3.73% 감소하였으나, AWS가 있는 지점($z = 5$ m)의 풍속은 41.1% 증가하였다. 동일한 방풍벽이고 기지와 방풍벽의 사이가 4H 인 경우, 기지주변에서의 지표($z = 1.25$ m) 평균풍속은 2.36% 감소하였고 AWS가 있는 지점($z = 5$ m)의 풍속은 58.2% 증가하였다. 기지와 방풍벽의 사이가 6H 인 경우에는 기지주변에서의 지표($z = 1.25$ m) 평균풍속은 0.16% 증가하며, AWS가 있는 지점($z = 5$ m)의 풍속은 51.7% 증가하여 방풍벽에 의한 역효과가 발생하는 것으로 나타났다. 기지와 방풍벽 사이의 거리가 8H인 경우에도 AWS가 있는 지점($z = 5$ m)에서 크게 풍속이 증가하였고(54%) 기지주변 지표($z = 1.25$ m) 평균풍속 또한 5.11% 증가하였다. 그러므로 방풍벽을 모두 채우는 경우는 방풍벽에 의한 풍속 저감효과가 다른 방풍벽의 실험에 비해 현저히 떨어지며, AWS 관측에도 큰 영향을 미치지 않으므로 효과적이지 않은 것으로 고려된다.





극지연구소 ★ : AWS

그림 23. 서풍이 부는 경우, 기지와 방풍벽 사이의 거리가 (a) 2H, (b) 4H, (c) 6H, (d) 8H 일 때, 방풍벽 설치 전에 대한 밀도가 100% 방풍벽 설치 후의 풍속 증가율

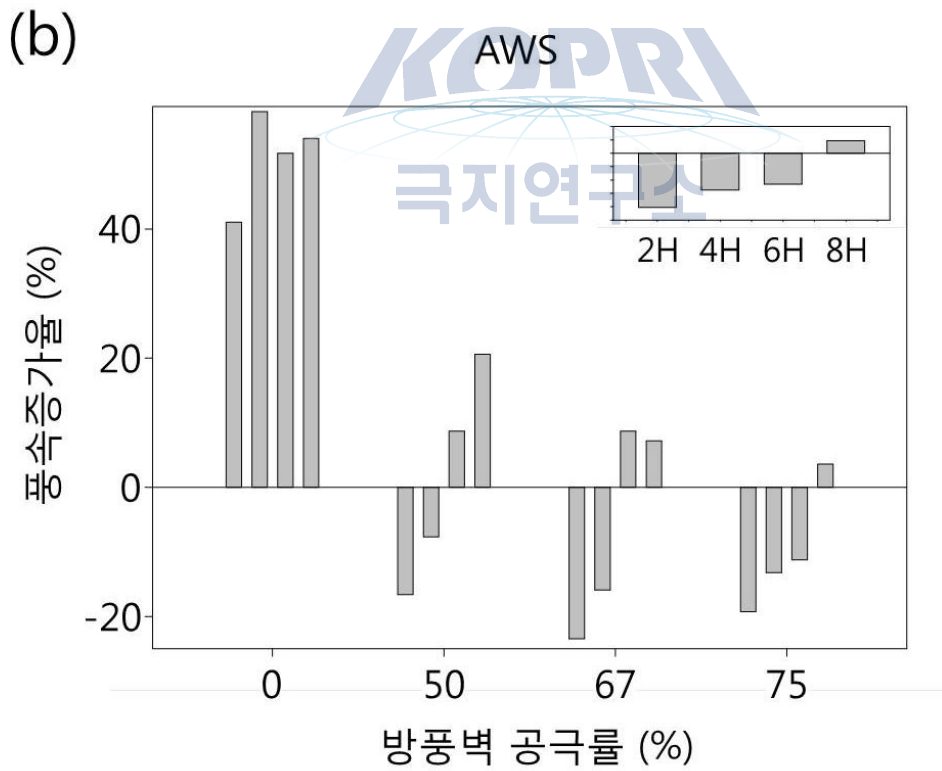
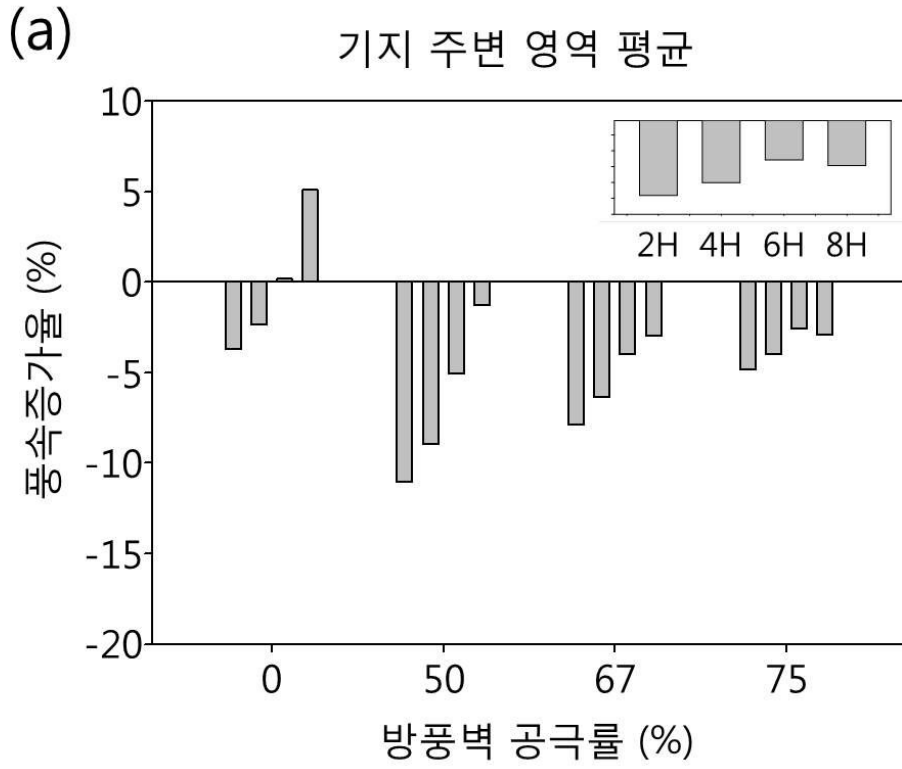
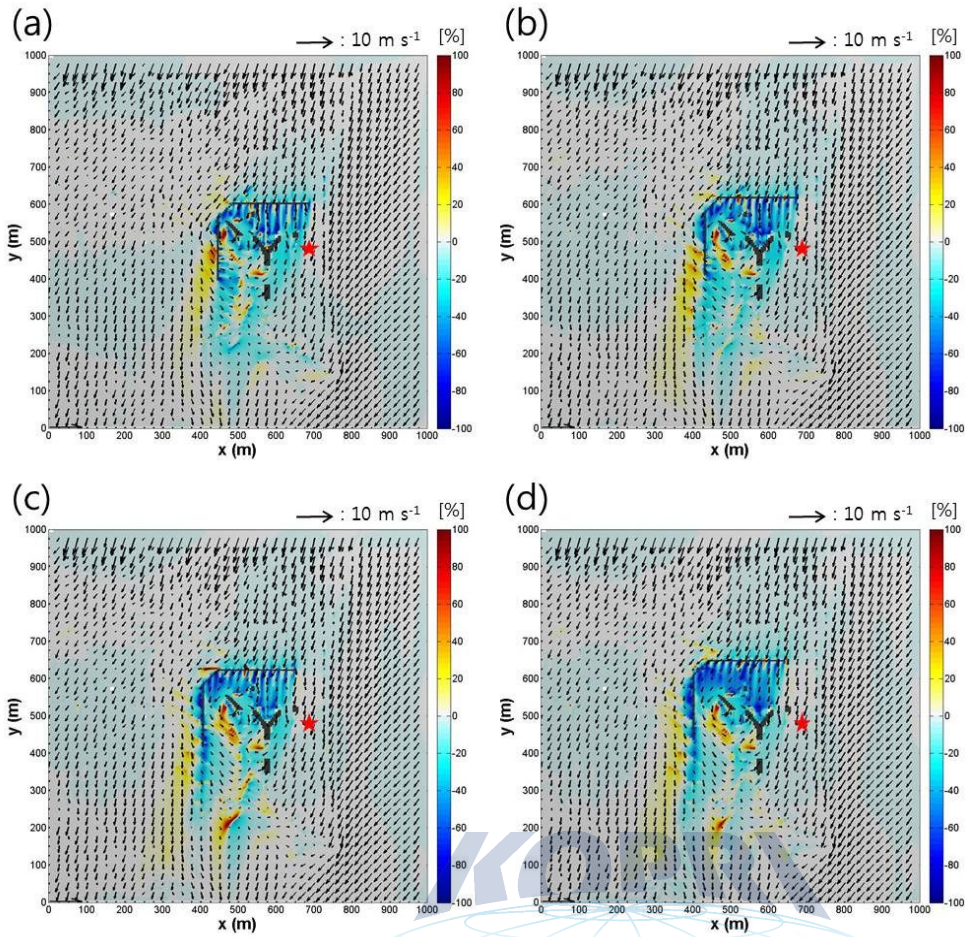


그림 24. 서풍이 부는 경우, (a) 기지주변 지표와 (b) AWS(지상 5 m)에서의 방풍벽 설치 전에 대한 방풍벽 설치 후의 풍속 증가율

3.2. 북북동풍

3.2.1 방풍벽 밀도(공극률 75%) - 25%

그림 25는 북북동풍이 부는 경우, 방풍벽 밀도가 25%일 때의 지표 바람 벡터장 (surface wind field), 지표 풍속차를 나타낸다. 방풍벽이 존재하지 않는 경우에 기지의 북쪽 사면에서 기지로 북동풍이 유입되었지만 방풍벽이 존재하는 경우에 방풍벽 사이를 지나면서 북풍으로 유입되게 된다. 그리고 방풍벽 후면에서 흐름이 약해져 기지 주변에서 풍속이 낮아진 것을 확연하게 나타냈다. 하지만 기지의 서쪽을 둘러싸고 있는 방풍벽 주변으로 흐름이 강화되는 지역이 나타났으며, 본관동 남쪽과 발전동 사이에 흐름이 강해지는 곳이 부분적으로 나타났다. 기지와 방풍벽 사이의 거리가 2H 일 때, 기지주변에서의 지표($z = 1.25$ m) 평균풍속은 12.7% 감소하였고 AWS가 있는 지점($z = 5$ m)의 풍속은 0.5% 증가하였다. 같은 방풍벽 밀도이고 기지와 방풍벽의 사이가 4H 인 경우, 기지주변에서의 지표($z = 1.25$ m) 평균풍속은 11.79% 감소하였고 AWS가 있는 지점($z = 5$ m)의 풍속은 0.1% 감소하였다. 기지와 방풍벽의 사이가 6H 인 경우, 기지주변에서의 지표($z = 1.25$ m) 평균풍속은 7.62% 감소하였고 AWS가 있는 지점($z = 5$ m)의 풍속은 0.006% 감소하였다. 기지와 방풍벽 사이의 거리가 8H인 경우에는 AWS가 있는 지점($z = 5$ m)에서 풍속이 0.001% 증가하여 거의 영향이 미치지 않았고 기지 주변 지표($z = 1.25$ m) 평균풍속은 7.53% 감소하여 서풍이 부는 경우에 비해 AWS 관측에 미치는 영향이 작은 것으로 나타났다.



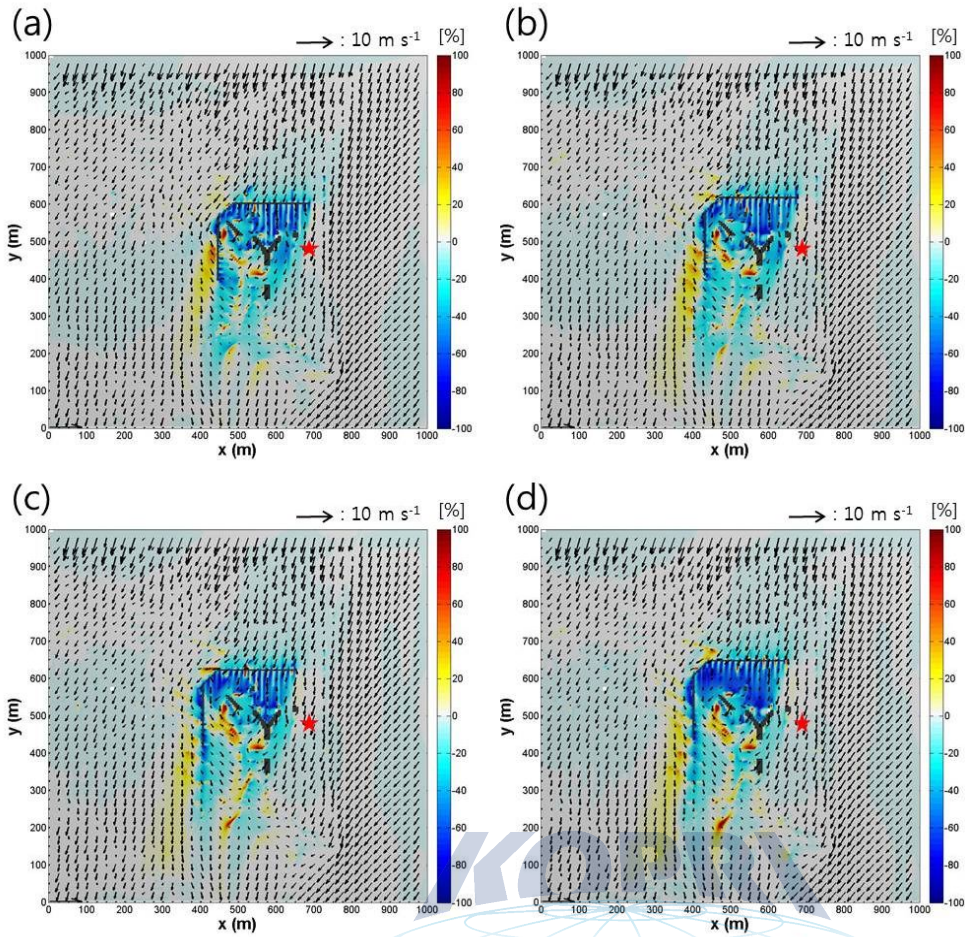
극지연구소★ : AWS

그림 25. 북북동풍이 부는 경우, 기지와 방풍벽 사이의 거리가 (a) 2H, (b) 4H, (c) 6H, (d) 8H 일 때, 방풍벽 설치 전에 대한 밀도가 25% 방풍벽 설치 후의 풍속 증가율

3.2.2 방풍벽 밀도(공극률 67%) - 33%

그림 26은 북북동풍이 부는 경우, 방풍벽 밀도가 33%일 때의 지표 바람 벡터장 (surface wind field), 지표 풍속차를 나타낸다. 흐름의 방향과 풍속의 약화가 나타나는 지역은 밀도 25%의 방풍벽의 실험결과와 유사하다. 방풍벽이 없는 실험에 비하여 북쪽에서 유입되는 흐름이 약화되는 것을 알 수 있으며, 기지의 서쪽에 위치하는 방풍벽 외각으로 흐름이 강해지는 지역과 본관동 남서, 남쪽 부근에 흐름이 강하게 나타나는 지역이 발생한다. 기지와 방풍벽 사이의 거리가 2H 일 때, 기지주변에서의 지표($z = 1.25 \text{ m}$) 평균풍속은 16.08% 감소하였고 AWS가 있는 지점($z = 5 \text{ m}$)의 풍속은 0.6% 증가하였다. 같은 방풍벽 밀도이고 기지와 방풍벽의 사이가 4H 인 경우, 기지주변에서의 지표($z = 1.25 \text{ m}$) 평균풍속은 13.3% 감소하였고 AWS가 있는 지점($z = 5 \text{ m}$)의 풍속은 0.48% 증가하였다. 기지와 방풍벽의 사이가 6H 인 경우, 기지주변에서의 지표($z = 1.25 \text{ m}$) 평균풍속은 9.28% 감소하였고 AWS가 있는 지점($z = 5 \text{ m}$)의 풍속은 0.14% 감소하였다. 기지와 방풍벽 사이의 거리가 8H인 경우에는 AWS가 있는 지점($z = 5 \text{ m}$)에서 풍속의 변화가 거의 나타나지 않았으나 기지주변 지표($z = 1.25 \text{ m}$) 평균풍속은 8.44% 감소하여 거리가 멀어짐에 따라 기지주변에서의 풍속 저감효과가 감소하는 것을 볼 수 있다(그림 29).





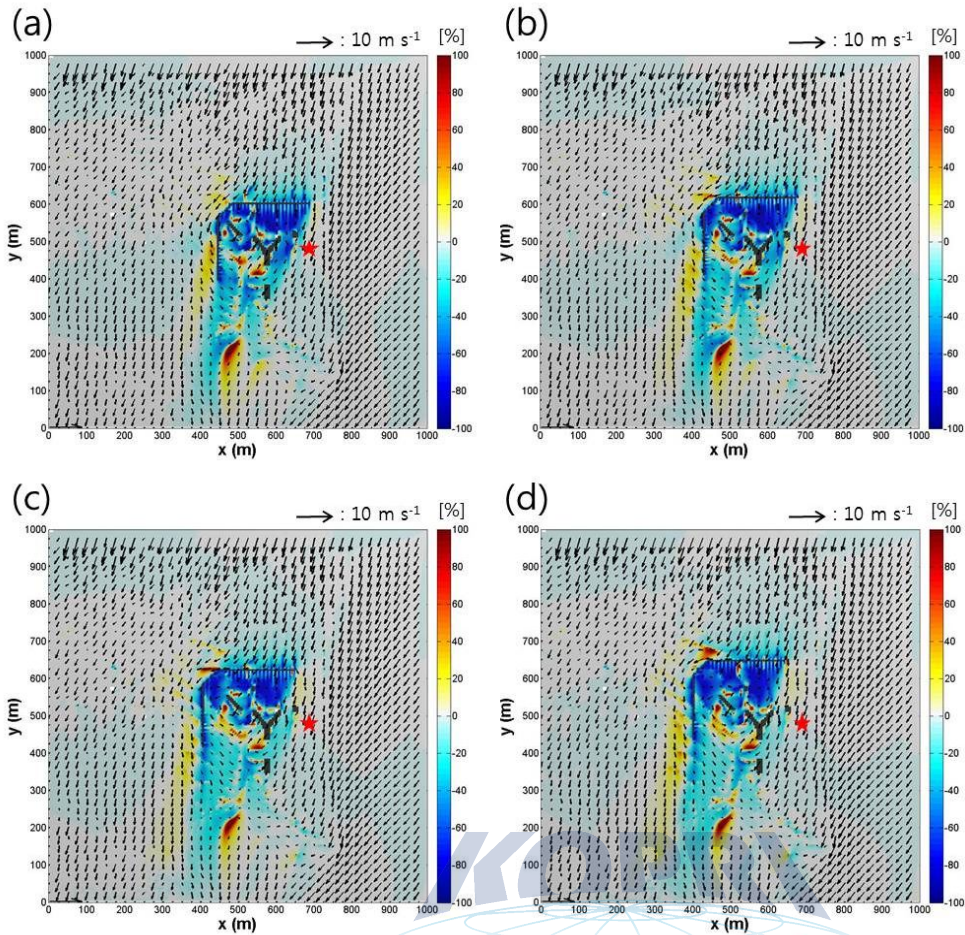
극지연구소★ : AWS

그림 26. 북북동풍이 부는 경우, 기지와 방풍벽 사이의 거리가 (a) 2H, (b) 4H, (c) 6H, (d) 8H 일 때, 방풍벽 설치 전에 대한 밀도가 33% 방풍벽 설치 후의 풍속 증가율

3.2.3 방풍벽 밀도(공극률 50%) - 50%

그림 27은 북북동풍이 부는 경우, 방풍벽 밀도가 50%일 때의 지표 바람 벡터장 (surface wind field), 지표 풍속차를 나타낸다. 흐름의 방향과 풍속의 약화가 나타나는 지역은 밀도 25%과 33%의 방풍벽의 실험결과와 유사하다. 이전의 두 가지 방풍벽 실험(25%, 33%)들과 비교하였을 때, 방풍벽 후면에서의 풍속 감소가 확연하게 나타난다(그림). 기지와 방풍벽 사이의 거리가 2H 일 때, 기지주변에서의 지표($z = 1.25 \text{ m}$) 평균풍속은 18.52% 감소하였고 AWS가 있는 지점($z = 5 \text{ m}$)의 풍속은 1.7% 증가하였다. 같은 방풍벽 밀도이고 기지와 방풍벽의 사이가 4H 인 경우, 기지주변에서의 지표($z = 1.25 \text{ m}$) 평균풍속은 14.47% 감소하였고 AWS가 있는 지점($z = 5 \text{ m}$)의 풍속은 1.4% 증가하였다. 기지와 방풍벽의 사이가 6H 인 경우, 기지주변에서의 지표($z = 1.25 \text{ m}$) 평균풍속은 9.8% 감소하였고 AWS가 있는 지점($z = 5 \text{ m}$)의 풍속은 1.1% 감소하였다. 기지와 방풍벽 사이의 거리가 8H인 경우에는 AWS가 있는 지점($z = 5 \text{ m}$)에서 풍속이 0.1% 증가하였고, 기지주변 지표($z = 1.25 \text{ m}$) 평균풍속은 6.81% 감소하여 거리가 멀어짐에 따라 기지주변에서의 풍속 저감효과가 감소하는 것을 알 수 있다(그림 29).





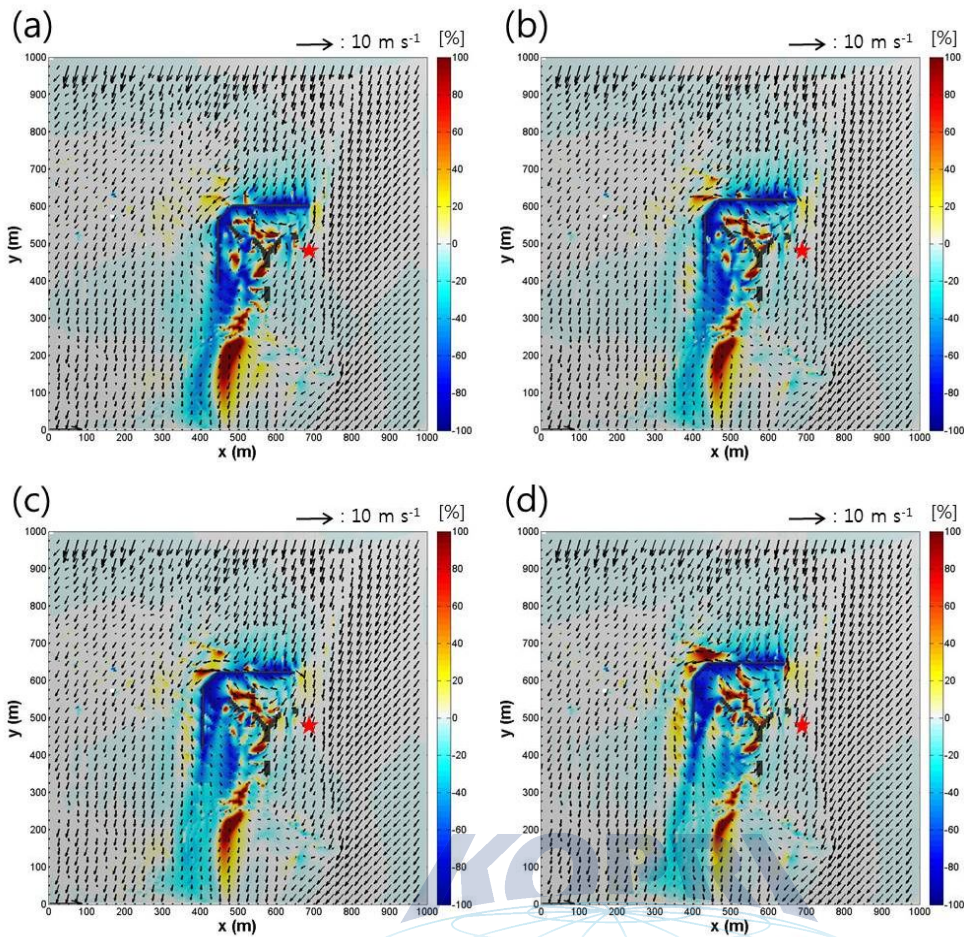
극지연구소★ : AWS

그림 27. 북북동풍이 부는 경우, 기지와 방풍벽 사이의 거리가 (a) 2H, (b) 4H, (c) 6H, (d) 8H 일 때, 방풍벽 설치 전에 대한 밀도가 50% 방풍벽 설치 후의 풍속 증가율

3.2.4 방풍벽 밀도(공극률 0%) - 100%

그림 28은 북북동풍이 부는 경우, 방풍벽 밀도가 100%일 때의 지표 바람 벡터장 (surface wind field), 지표 풍속차를 나타낸다. 밀도가 100%인 방풍벽이 존재하는 경우와 방풍이 존재하지 않는 경우를 비교하였을 때, 방풍벽과 바로 인접한 후면에서는 풍속이 크게 약화되었으나 기지 주변에서는 방풍벽에 의한 재순환 지역이 발생하여 풍속이 증가하는 지역이 넓게 나타났다(그림). 기지와 방풍벽 사이의 거리가 2H 일 때, 기지주변에서의 지표($z = 1.25$ m) 평균 풍속은 8.38% 감소하였으나, AWS가 있는 지점($z = 5$ m)의 풍속은 2.5% 증가하였다. 동일한 방풍벽이고 기지와 방풍벽의 사이가 4H 인 경우, 기지주변에서의 지표($z = 1.25$ m) 평균 풍속은 5.42% 감소하였고 AWS가 있는 지점($z = 5$ m)의 풍속은 1.8% 증가하였다. 기지와 방풍벽의 사이가 6H 인 경우에는 기지주변에서의 지표($z = 1.25$ m) 평균풍속은 2.4% 증가하며, AWS가 있는 지점($z = 5$ m)의 풍속은 1.8% 증가하여 방풍벽에 의한 풍속 저감 효과가 다른 방풍벽에 비하여 현저히 낮은 것을 알 수 있다. 하지만 방풍벽에 의한 AWS 관측 영향은 북북동풍에 대하여 매우 적었다.





극지연구소 ★ : AWS

그림 28. 북북동풍이 부는 경우, 기지와 방풍벽 사이의 거리가 (a) 2H, (b) 4H, (c) 6H, (d) 8H 일 때, 방풍벽 설치 전에 대한 밀도가 100% 방풍벽 설치 후의 풍속 증가율

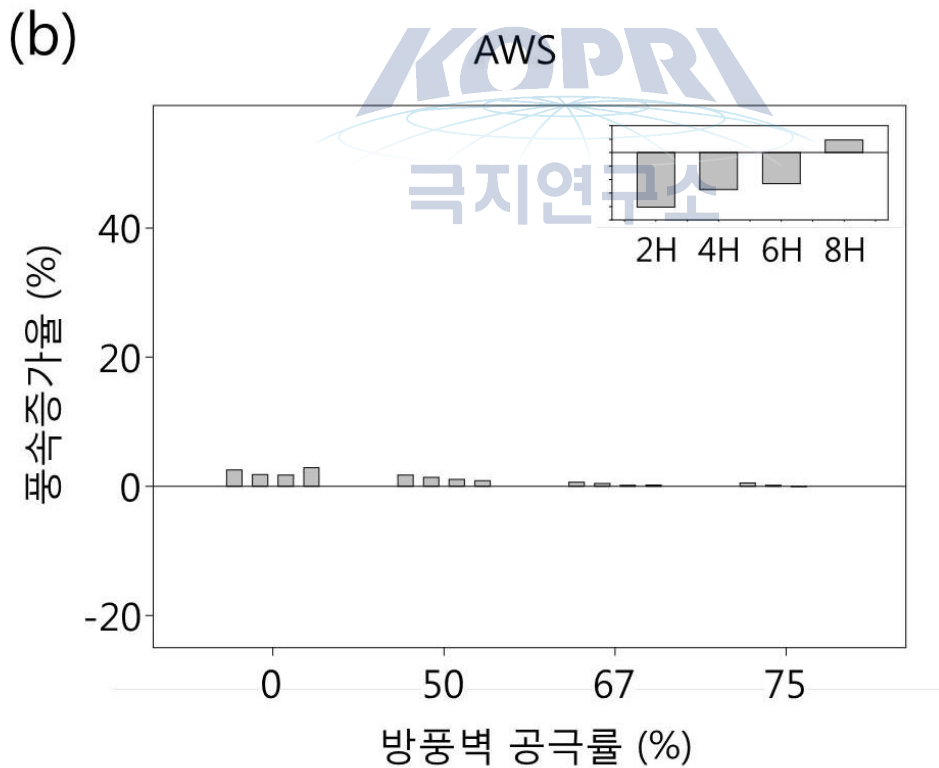
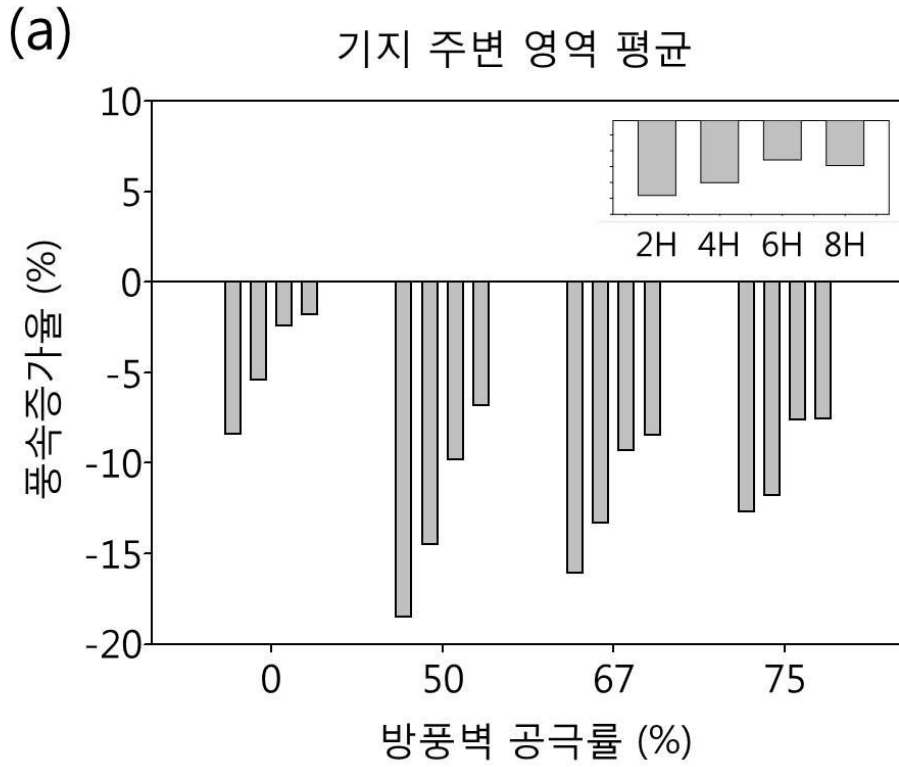
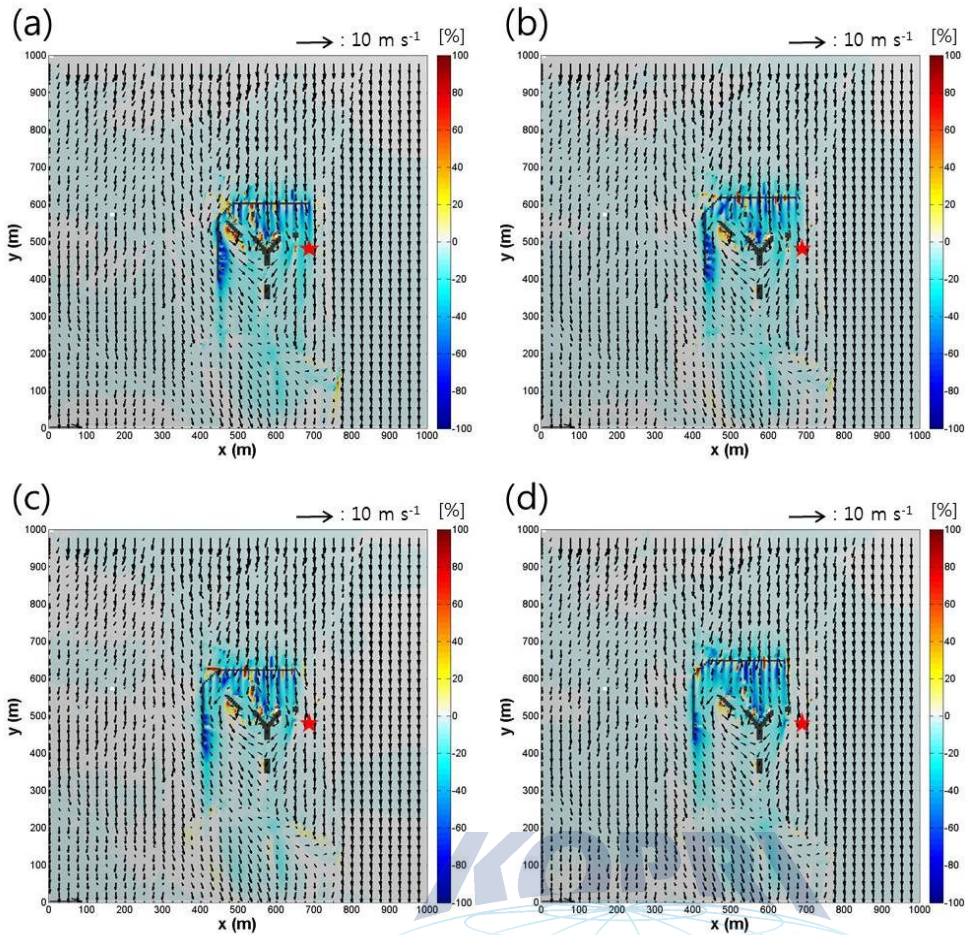


그림 29. 북북동풍이 부는 경우, (a) 기지주변 지표와 (b) AWS(지상 5 m)에서의 방풍벽 설치 전에 대한 방풍벽 설치 후의 풍속 증가율

3.3. 북풍

3.3.1 방풍벽 밀도(공극률 75%) - 25%

그림 30은 북풍이 부는 경우, 방풍벽 밀도가 25%일 때의 지표 바람 벡터장(surface wind field), 지표 풍속차를 나타낸다. 흐름이 유입되는 방향은 방풍벽 건설 전과 방풍벽 건설 후, 모두 북풍으로 유사하게 나타났다. 방풍벽을 설치한 경우에서 그렇지 않은 경우와 비교하였을 때, 본관동 풍상측에 부분적으로 지표($z = 1.25$ m) 풍속이 강해지는 지역이 나타났다. 그리고 정비동의 풍하측과 상층대기 관측동의 풍하측에 흐름이 강해지는 지역이 나타났다. 그 외의 기지 주변에서는 흐름이 약화된 것을 볼 수 있다. 기지와 방풍벽 사이의 거리가 $2H$ 일 때, 기지주변에서의 지표($z = 1.25$ m) 평균풍속은 10.57% 감소하였고 AWS가 있는 지점($z = 5$ m)의 풍속은 1.8% 감소하였다. 같은 방풍벽 밀도이고 기지와 방풍벽의 사이가 $4H$ 인 경우, 기지주변에서의 지표($z = 1.25$ m) 평균풍속은 7.74% 감소하였고 AWS가 있는 지점($z = 5$ m)의 풍속은 0.5% 감소하였다. 기지와 방풍벽의 사이가 $6H$ 인 경우, 기지주변에서의 지표($z = 1.25$ m) 평균풍속은 4.9% 감소하였고 AWS가 있는 지점($z = 5$ m)의 풍속은 0.006% 감소하였다. 기지와 방풍벽 사이의 거리가 $8H$ 인 경우에는 AWS가 있는 지점($z = 5$ m)에서 풍속이 0.4% 감소하였고, 기지주변 지표($z = 1.25$ m) 평균풍속은 5.59% 감소하여 거리가 멀어짐에 따라 기지주변에서의 풍속 저감효과가 감소하는 것을 알 수 있다. 또한, 지표 평균 풍속의 감소효과에 비하여 AWS에 미치는 영향은 매우 작다(그림 34).



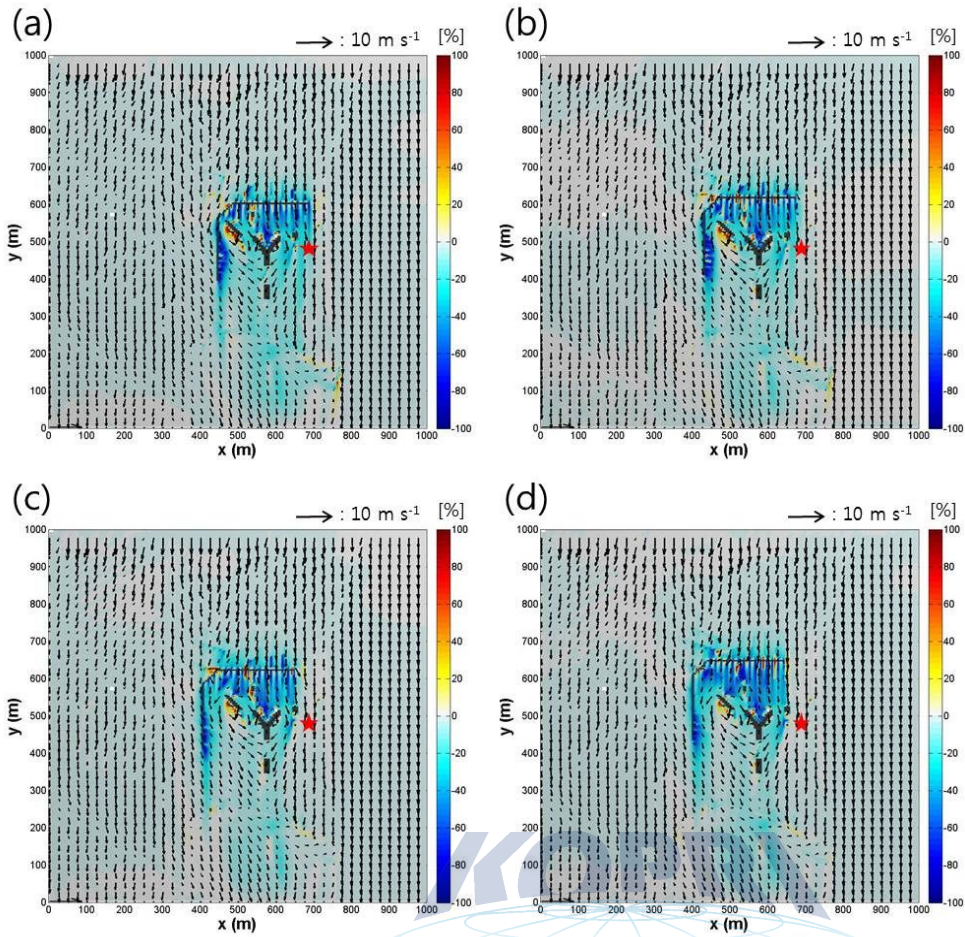
극지연구소★ : AWS

그림 30. 북풍이 부는 경우, 기지와 방풍벽 사이의 거리가 (a) 2H, (b) 4H, (c) 6H, (d) 8H 일 때, 방풍벽 설치 전에 대한 밀도가 25% 방풍벽 설치 후의 풍속 증가율

3.3.2 방풍벽 밀도(공극률 67%) - 33%

그림 31은 북풍이 부는 경우, 방풍벽 밀도가 33%일 때의 지표 바람 벡터장(surface wind field), 지표 풍속차를 나타낸다. 밀도 33%의 방풍벽을 설치한 시뮬레이션 결과, 유입되는 흐름의 방향과 특성은 방풍벽 밀도 25%의 실험과 유사하게 나타난다(그림). 방풍벽의 밀도가 높아져, 방풍벽 후면에서의 평균 흐름은 약해진다. 기지와 방풍벽 사이의 거리가 2H 일 때, 기지 주변에서의 지표($z = 1.25$ m) 평균풍속은 13.72% 감소하였고 AWS가 있는 지점($z = 5$ m)의 풍속은 1.7% 감소하였다. 같은 방풍벽 밀도이고 기지와 방풍벽의 사이가 4H 인 경우, 기지 주변에서의 지표($z = 1.25$ m) 평균풍속은 9.38% 감소하였고 AWS가 있는 지점($z = 5$ m)의 풍속은 0.3% 감소하였다. 기지와 방풍벽의 사이가 6H 인 경우, 기지 주변에서의 지표($z = 1.25$ m) 평균풍속은 7.62% 감소하였고 AWS가 있는 지점($z = 5$ m)의 풍속은 0.5% 감소하였다. 기지와 방풍벽 사이의 거리가 8H인 경우에는 AWS가 있는 지점($z = 5$ m)에서 풍속이 0.7% 감소하였고, 기지 주변 지표($z = 1.25$ m) 풍속은 7.68% 감소하여 방풍벽과 기지 사이의 거리가 멀어질수록 지표($z = 1.25$ m) 평균 풍속의 감소효과가 낮아짐을 알 수 있다. 지표 평균 풍속의 감소효과에 비하여 AWS에 미치는 영향은 매우 작다(그림 34).





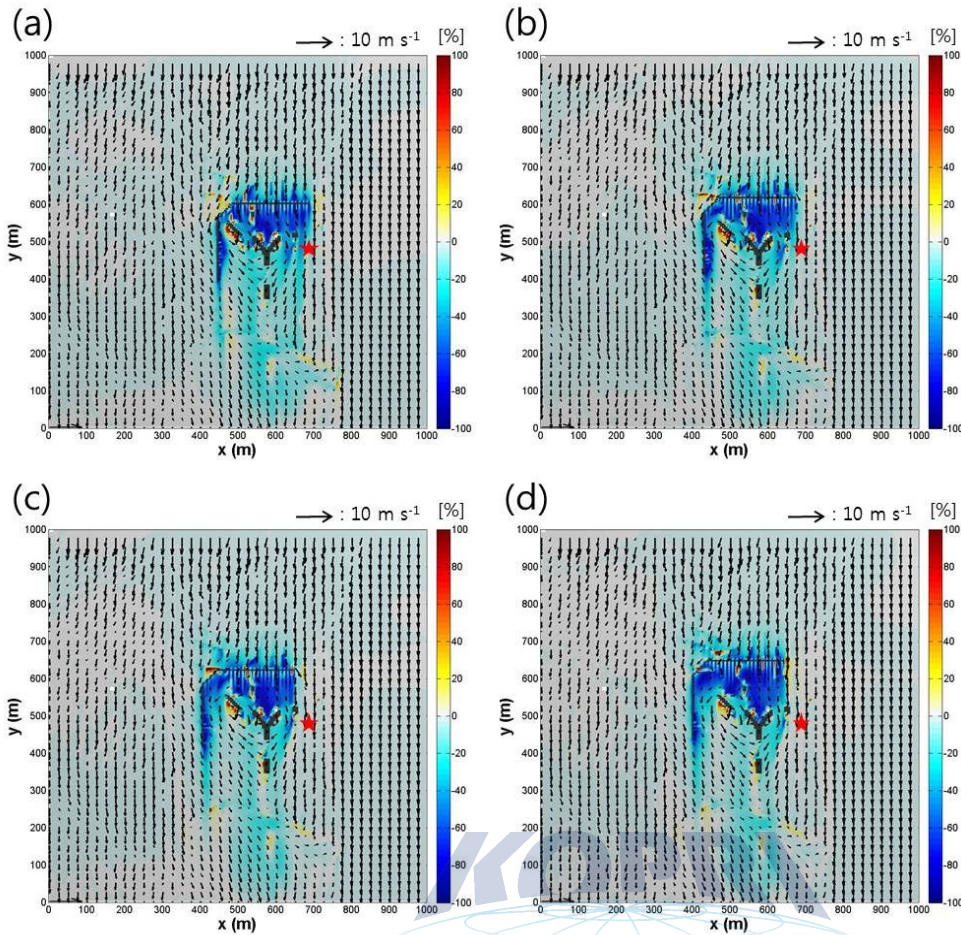
극지연구소★ : AWS

그림 31. 북풍이 부는 경우, 기지와 방풍벽 사이의 거리가 (a) 2H, (b) 4H, (c) 6H, (d) 8H 일 때, 방풍벽 설치 전에 대한 밀도가 33% 방풍벽 설치 후의 풍속 증가율

3.3.3 방풍벽 밀도(공극률 50%) - 50%

그림 32는 북풍이 부는 경우, 방풍벽 밀도가 50%일 때의 지표 바람 벡터장(surface wind field), 지표 풍속차를 나타낸다. 흐름의 방향과 풍속의 약화가 나타나는 지역은 밀도 25%과 33%의 방풍벽의 실험결과와 유사하다. 이전의 두 가지 방풍벽 실험(25%, 33%)들과 비교하였을 때, 방풍벽 후면에서의 풍속 감소가 확연하게 나타난다(그림). 기지와 방풍벽 사이의 거리가 2H 일 때, 기지주변에서의 지표($z = 1.25$ m) 평균풍속은 17.98% 감소하였고 AWS가 있는 지점($z = 5$ m)의 풍속은 7.8% 감소하였다. 같은 방풍벽 밀도이고 기지와 방풍벽의 사이가 4H 인 경우, 기지주변에서의 지표($z = 1.25$ m) 평균풍속은 12.78% 감소하였고 AWS가 있는 지점($z = 5$ m)의 풍속은 0.9% 감소하였다. 기지와 방풍벽의 사이가 6H 인 경우, 기지주변에서의 지표($z = 1.25$ m) 평균풍속은 11.01% 감소하였고 AWS가 있는 지점($z = 5$ m)의 풍속은 0.6% 감소하였다. 기지와 방풍벽 사이의 거리가 8H인 경우에는 AWS가 있는 지점($z = 5$ m)에서 풍속이 0.8% 감소하였고 기지주변 지표($z = 1.25$ m) 평균풍속은 9.76% 감소하여 거리가 멀어짐에 따라 기지주변에서의 풍속 저감효과가 감소하는 것을 볼 수 있다(그림 34).





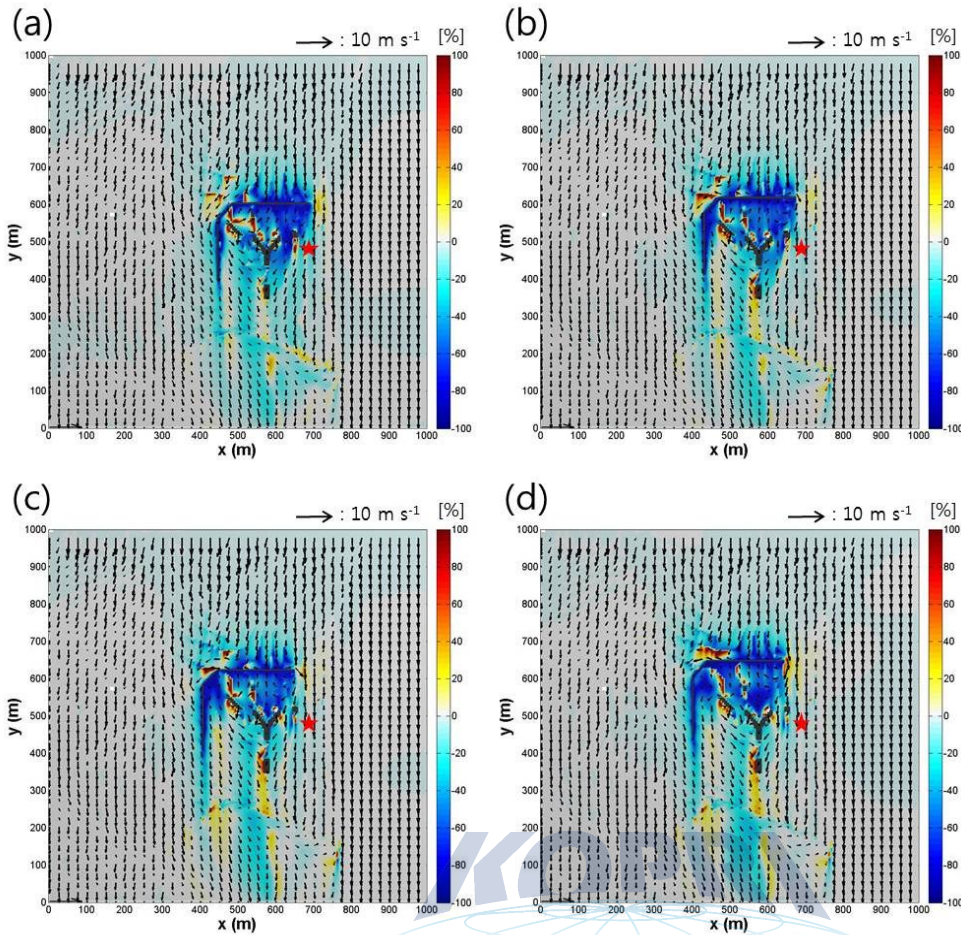
극지연구소★ : AWS

그림 32. 북풍이 부는 경우, 기지와 방풍벽 사이의 거리가 (a) 2H, (b) 4H, (c) 6H, (d) 8H 일 때, 방풍벽 설치 전에 대한 밀도가 50% 방풍벽 설치 후의 풍속 증가율

3.3.4 방풍벽 밀도(공극률 0%) - 100%

그림 33은 북풍이 부는 경우, 방풍벽 밀도가 100%일 때의 지표 바람 벡터장(surface wind field), 지표 풍속차를 나타낸다. 밀도가 100%인 방풍벽이 존재하는 경우와 방풍이 존재하지 않는 경우를 비교하였을 때, 유입류가 북풍인 실험에서 다른 풍향들의 실험과 비교하였을 때, 재순환에 의한 풍속이 강해지는 지역의 면적이 작게 나타났다. 기지와 방풍벽 사이의 거리가 2H 일 때, 기지주변에서의 지표($z = 1.25$ m) 평균풍속은 15% 감소하였고 AWS가 있는 지점($z = 5$ m)의 풍속은 4.1% 감소하였다. 같은 방풍벽 밀도이고 기지와 방풍벽의 사이가 4H 인 경우, 기지주변에서의 지표($z = 1.25$ m) 평균풍속은 10.83% 감소하였고 AWS가 있는 지점($z = 5$ m)의 풍속은 2.9% 감소하였다. 기지와 방풍벽의 사이가 6H 인 경우, 기지주변에서의 지표($z = 1.25$ m) 평균풍속은 9.16% 감소하였고 AWS가 있는 지점($z = 5$ m)의 풍속은 1.8% 감소하였다. 기지와 방풍벽 사이의 거리가 8H인 경우에는 AWS가 있는 지점($z = 5$ m)에서 풍속이 2.5% 감소하였고 기지주변 지표($z = 1.25$ m) 풍속은 8.15% 감소하였다. 이를 통해, 밀도 50%의 방풍벽 실험에 비하여 풍속 저감 효과는 작으며, AWS 관측에 미치는 영향은 더 큰 것을 알 수 있다(그림 34).





극지연구소 ★ : AWS

그림 33. 북풍이 부는 경우, 기지와 방풍벽 사이의 거리가 (a) 2H, (b) 4H, (c) 6H, (d) 8H 일 때, 방풍벽 설치 전에 대한 밀도가 100% 방풍벽 설치 후의 풍속 증가율

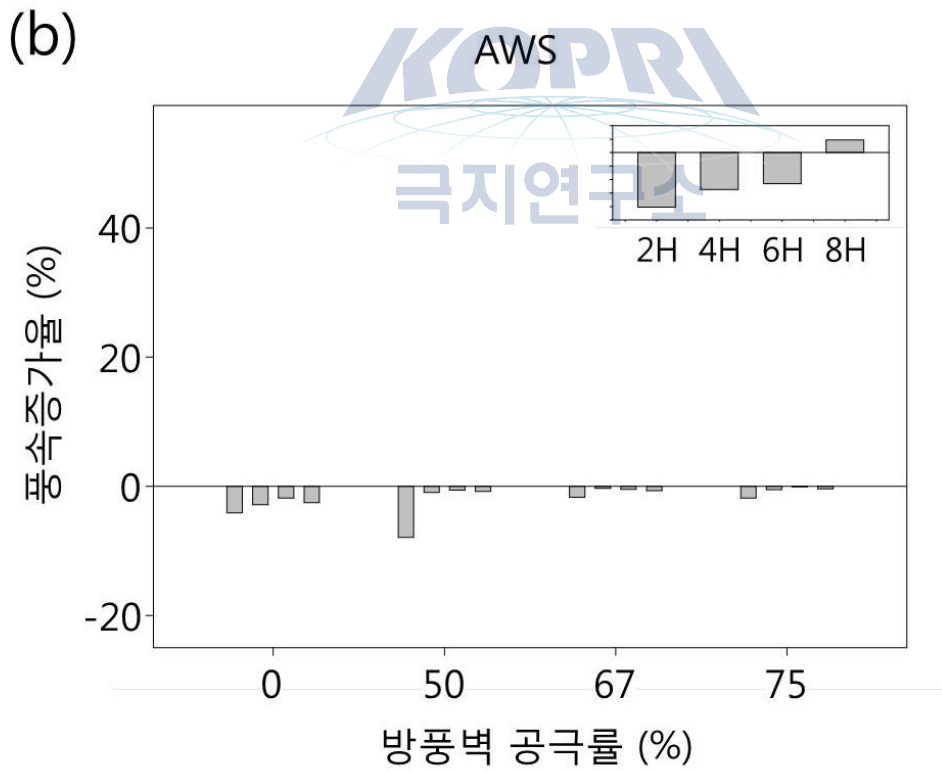
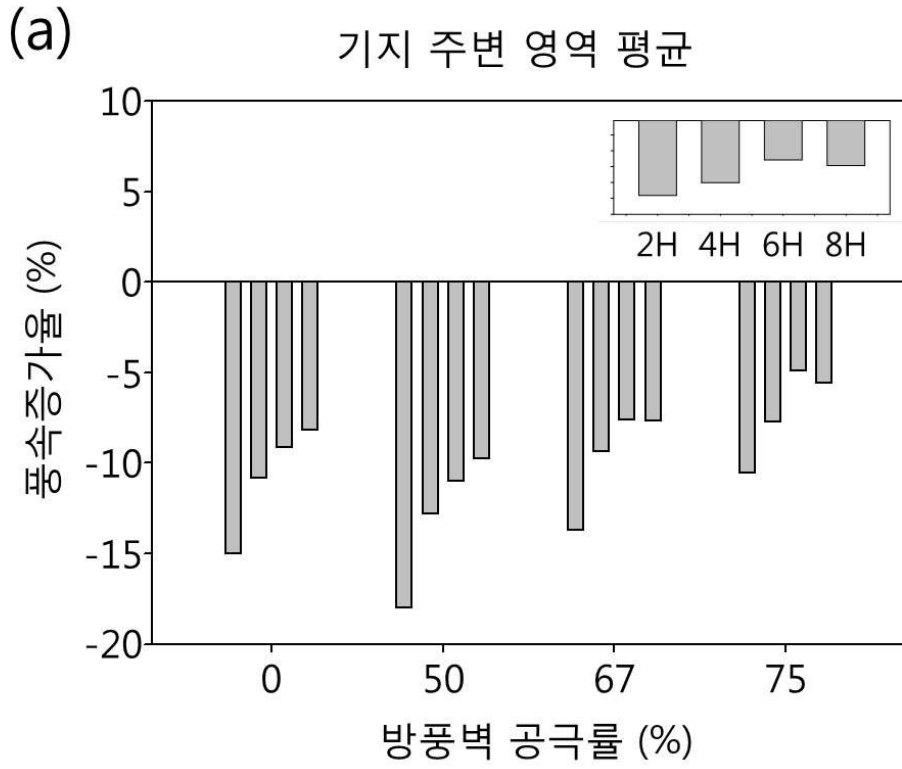


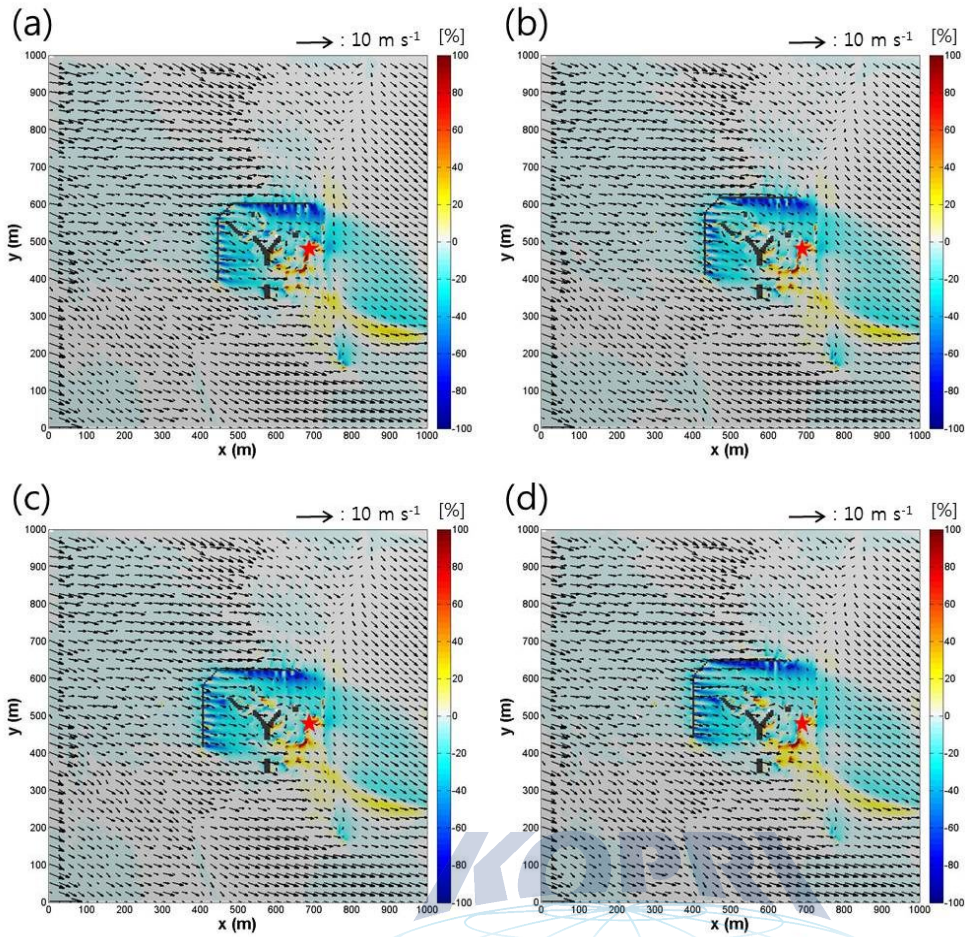
그림 34. 북풍이 부는 경우, (a) 기지주변 지표와 (b) AWS(지상 5 m)에서의 방풍벽 설치 전에 대한 방풍벽 설치 후의 풍속 증가율

3.4. 서북서풍

3.4.1 방풍벽 밀도(공극률 75%) - 25%

그림 35는 서북서풍이 부는 경우, 방풍벽 밀도가 25%일 때의 지표 바람 벡터장 (surface wind field), 지표 풍속차를 나타낸다. 밀도가 25%인 방풍벽을 설치한 실험 결과에서 기지의 북쪽을 둘러싸고 있는 방풍벽을 통과한 흐름이 북쪽에서 유입되는 것이 나타났다. 방풍벽 후면에서 흐름이 약해짐이 나타났고, 이와 반대로 풍하측에 위치는 기지의 남서쪽 지역에서는 흐름이 강해지는 지역이 나타났다. 기지와 방풍벽 사이의 거리가 2H 일 때, 기지주변에서의 지표($z = 1.25$ m) 평균풍속은 9.13% 감소하였고 AWS가 있는 지점($z = 5$ m)의 풍속은 23.1% 감소하였다. 같은 방풍벽 밀도이고 기지와 방풍벽의 사이가 4H 인 경우, 기지주변에서의 지표 ($z = 1.25$ m) 평균풍속은 7.65% 감소하였고 AWS가 있는 지점($z = 5$ m)의 풍속은 15.4% 감소하였다. 기지와 방풍벽의 사이가 6H 인 경우, 기지주변에서의 지표($z = 1.25$ m) 평균풍속은 6.42% 감소하였고 AWS가 있는 지점($z = 5$ m)의 풍속은 11.4% 감소하였다. 기지와 방풍벽 사이의 거리가 8H인 경우에는 AWS가 있는 지점($z = 5$ m)에서 3.1% 풍속이 감소하고 기지주변 지표($z = 1.25$ m) 평균 풍속은 3.85% 감소함으로써 기지와 방풍벽사이의 거리에 증가함에 따라 풍속 저감효과가 적어지는 것이 나타났다.





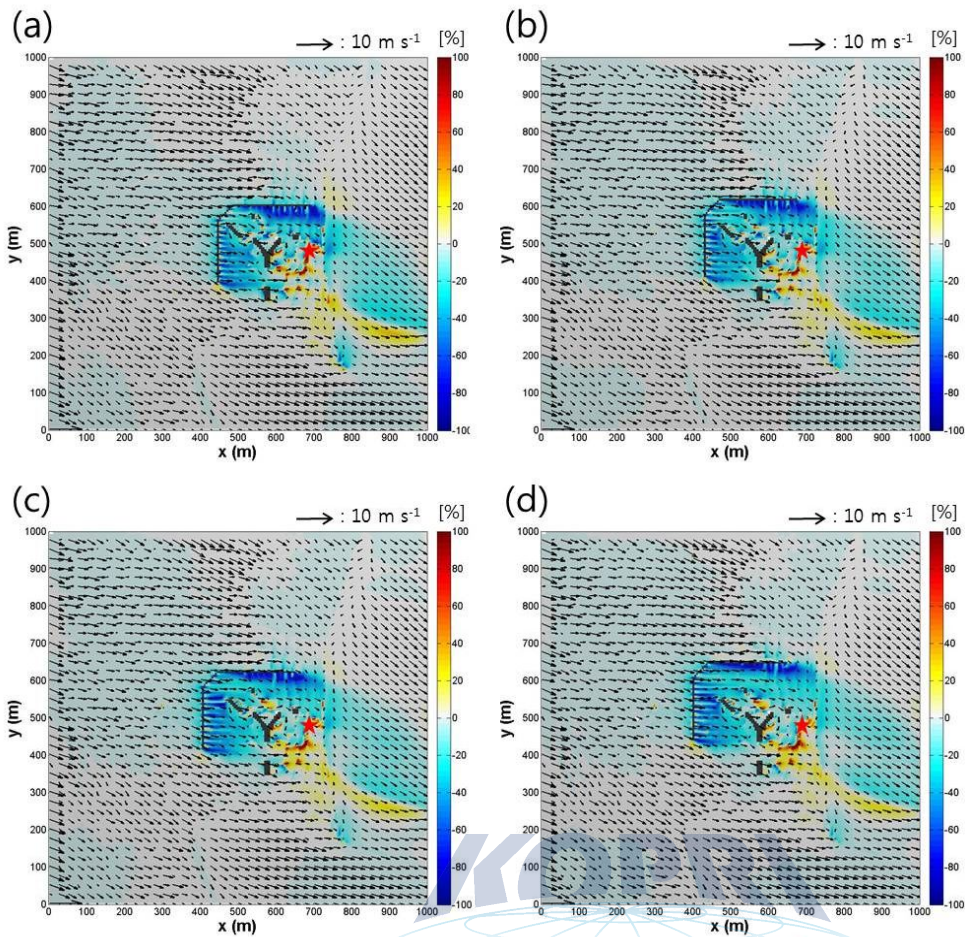
극지연구소 ★ : AWS

그림 35. 서북서풍이 부는 경우, 기지와 방풍벽 사이의 거리가 (a) 2H, (b) 4H, (c) 6H, (d) 8H 일 때, 방풍벽 설치 전에 대한 밀도가 25% 방풍벽 설치 후의 풍속 증가율

3.4.2 방풍벽 밀도(공극률 67%) - 33%

그림 36은 서북서풍이 부는 경우, 방풍벽 밀도가 33%일 때의 지표 바람 벡터장 (surface wind field), 지표 풍속차를 나타낸다. 밀도가 33%인 방풍벽이 존재하는 경우와 방풍이 존재하지 않는 경우를 비교하였을 때, 흐름의 특성은 방풍벽 밀도 25%의 실험과 유사하게 나타났고, 마찬가지로 방풍벽 후면에서 흐름의 약화를 볼 수 있다. 기지와 방풍벽 사이의 거리가 2H 일 때, 기지주변에서의 지표($z = 1.25$ m) 평균 풍속은 11.95% 감소하였고 AWS가 있는 지점($z = 5$ m)의 풍속은 26.3% 감소하였다. 같은 방풍벽 밀도이고 기지와 방풍벽의 사이가 4H 인 경우, 기지주변에서의 지표($z = 1.25$ m) 평균풍속은 10.26% 감소하였고 AWS가 있는 지점($z = 5$ m)의 풍속은 20.2% 감소하였다. 기지와 방풍벽의 사이가 6H 인 경우, 기지주변에서의 지표($z = 1.25$ m) 평균풍속은 7.79% 감소하였고 AWS가 있는 지점($z = 5$ m)의 풍속은 9.3% 감소하였다. 기지와 방풍벽 사이의 거리가 8H인 경우에는 AWS가 있는 지점($z = 5$ m)에서 풍속이 2.1% 감소하였고 기지주변 지표($z = 1.25$ m) 평균 풍속은 0.88% 감소함으로써 기지와 방풍벽사이의 거리가 증가함에 따라 풍속 저감효과가 작아지고 이와 더불어, AWS 관측에 미치는 영향 또한 작아지는 것을 알 수 있다.





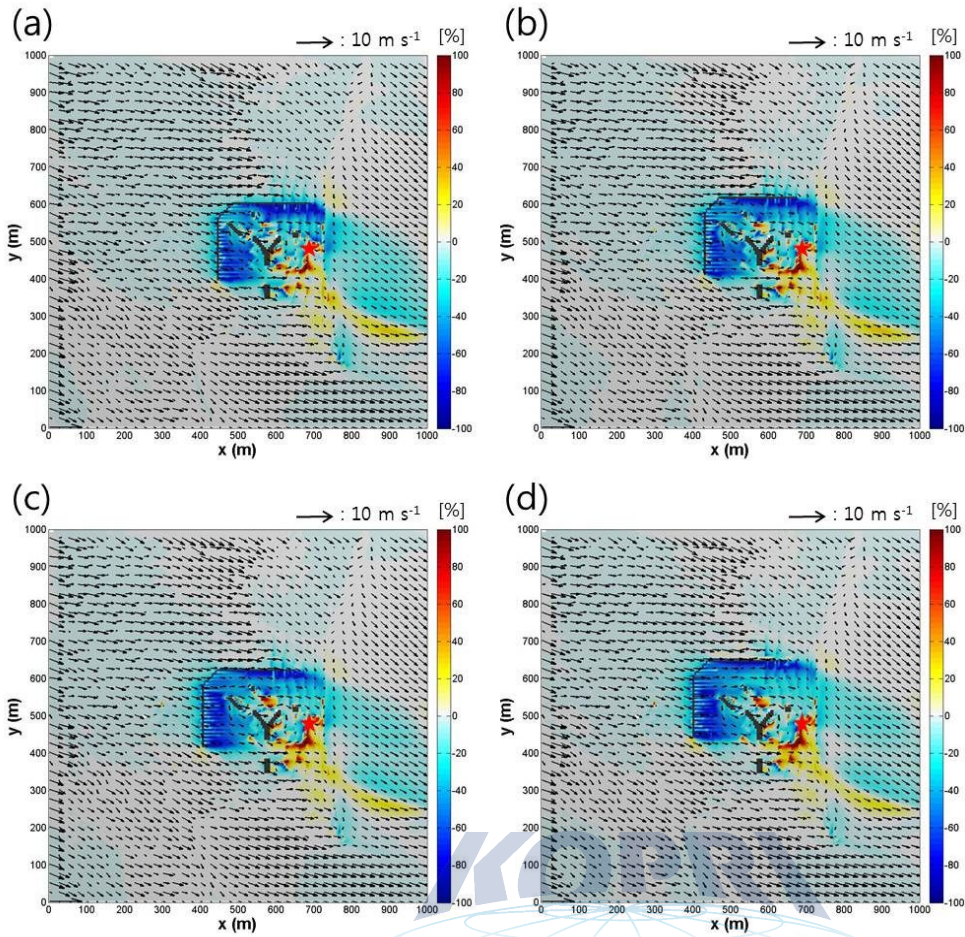
극지연구소 ★ : AWS

그림 36. 서북서풍이 부는 경우, 기지와 방풍벽 사이의 거리가 (a) 2H, (b) 4H, (c) 6H, (d) 8H 일 때, 방풍벽 설치 전에 대한 밀도가 33% 방풍벽 설치 후의 풍속 증가율

3.4.3 방풍벽 밀도(공극률 50%) - 50%

그림 37은 서북서풍이 부는 경우, 방풍벽 밀도가 50%일 때의 지표 바람 벡터장 (surface wind field), 지표 풍속차를 나타낸다. 밀도가 50%인 방풍벽이 존재하는 경우와 방풍이 존재하지 않는 경우를 비교하였을 때, 서쪽에서 기지로 유입되는 흐름이 많이 약화된 것을 알 수 있으나, 기지의 풍하측과 기지 동쪽의 해안선 부근에 상대적으로 흐름이 강해지는 지역이 나타난다(그림). 기지와 방풍벽 사이의 거리가 2H 일 때, 기지주변에서의 지표($z = 1.25$ m) 평균 풍속은 15.04% 감소하였고 AWS가 있는 지점($z = 5$ m)의 풍속은 17.8% 감소하였다. 같은 방풍벽 밀도이고 기지와 방풍벽의 사이가 4H 인 경우, 기지주변에서의 지표($z = 1.25$ m) 평균 풍속은 9.34% 감소하였고 AWS가 있는 지점($z = 5$ m)의 풍속은 6.8% 감소하였다. 기지와 방풍벽의 사이가 6H 인 경우, 기지주변에서의 지표($z = 1.25$ m) 평균 풍속은 5.83% 감소하였으나 AWS가 있는 지점($z = 5$ m)의 풍속은 2.4% 증가하였다. 기지와 방풍벽 사이의 거리가 8H 인 경우에는 AWS가 있는 지점($z = 5$ m)에서 풍속이 12.4% 증가하였고 기지주변의 지표 풍속은 2.4% 감소하였다.



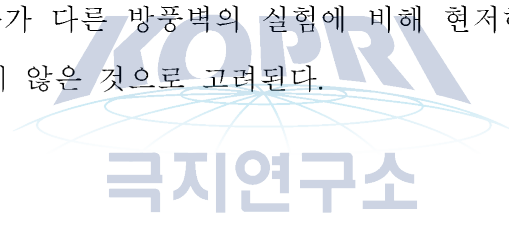


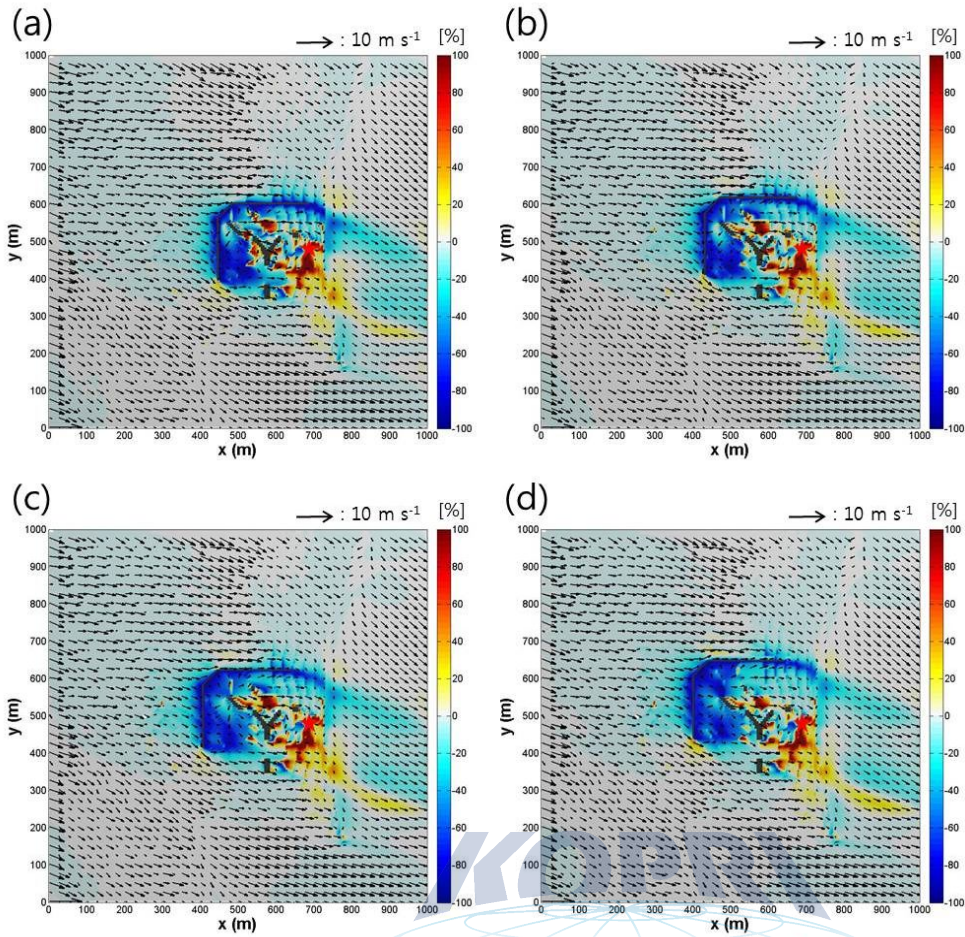
극지연구소 ★ : AWS

그림 37. 서북서풍이 부는 경우, 기지와 방풍벽 사이의 거리가 (a) 2H, (b) 4H, (c) 6H, (d) 8H 일 때, 방풍벽 설치 전에 대한 밀도가 50% 방풍벽 설치 후의 풍속 증가율

3.4.4 방풍벽 밀도(공극률 0%) - 100%

그림 38은 서북서풍이 부는 경우, 방풍벽 밀도가 100%일 때의 지표 바람 벡터장 (surface wind field), 지표 풍속차를 나타낸다. 밀도가 100%인 방풍벽이 존재하는 경우와 방풍이 존재하지 않는 경우를 비교하였을 때, 방풍벽과 바로 인접한 후면에서는 풍속이 크게 약화되었으나 기지 주변에서는 방풍벽에 의한 재순환 지역이 발생하여 풍속이 증가하는 지역이 넓게 나타났다(그림). 기지와 방풍벽 사이의 거리가 2H 일 때, 기지주변에서의 지표($z = 1.25$ m) 평균 풍속은 5.47% 증가하였고 AWS가 있는 지점($z = 5$ m)의 풍속은 26.4% 증가하였다. 동일한 방풍벽이고 기지와 방풍벽의 사이가 4H 인 경우, 기지주변에서의 지표($z = 1.25$ m) 평균 풍속은 8.62% 증가하였고 AWS가 있는 지점($z = 5$ m)의 풍속은 15.2% 증가하였다. 기지와 방풍벽의 사이가 6H 인 경우에는 기지주변에서의 지표($z = 1.25$ m) 평균 풍속은 7.60% 증가하였고 AWS가 있는 지점($z = 5$ m)의 풍속은 19.4% 증가하여 방풍벽에 설치 후에 오히려 기지 주변에서 풍속이 증가하는 역효과가 발생하는 것으로 나타났다. 기지와 방풍벽 사이의 거리가 8H인 경우에도 AWS가 있는 지점($z = 5$ m)에서 크게 풍속이 증가하였고(24.3%) 기지주변 지표($z = 1.25$ m) 평균 풍속 또한 6.70% 증가하였다. 그러므로 방풍벽을 모두 채우는 경우는 방풍벽에 의한 풍속 저감효과가 다른 방풍벽의 실험에 비해 현저히 낮으며, AWS 관측에도 큰 영향을 미치지 않으므로 효과적이지 않은 것으로 고려된다.





극지연구소 ★ : AWS

그림 38. 서북서풍이 부는 경우, 기지와 방풍벽 사이의 거리가 (a) 2H, (b) 4H, (c) 6H, (d) 8H 일 때, 방풍벽 설치 전에 대한 밀도가 100% 방풍벽 설치 후의 풍속 증가율

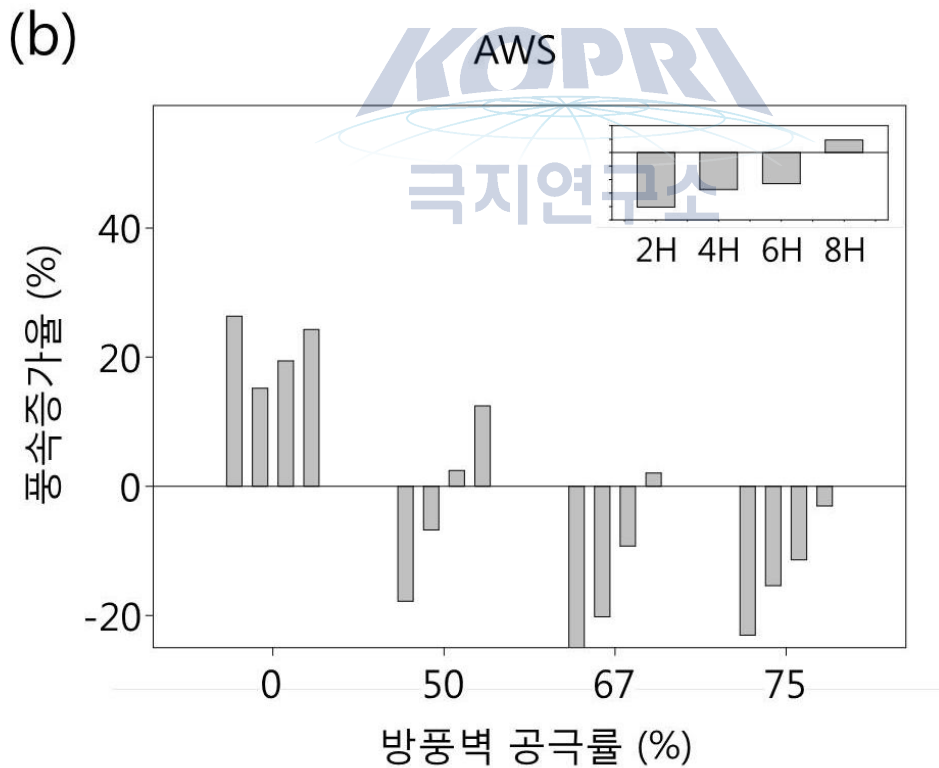
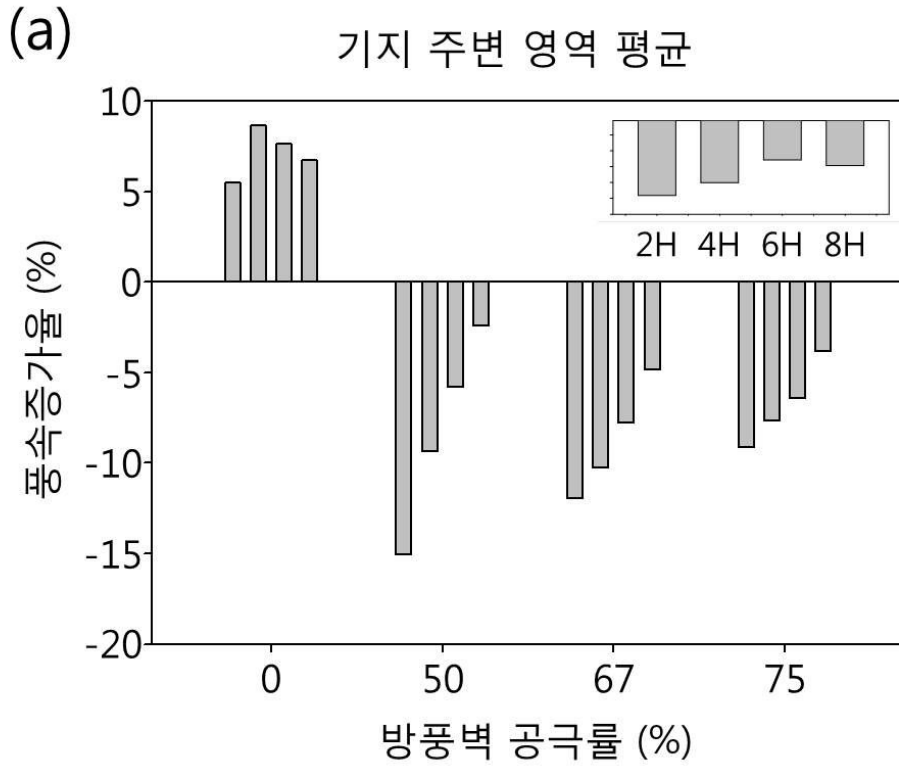


그림 39. 서북서풍이 부는 경우, (a) 기지주변 지표와 (b) AWS(지상 5 m)에서의 방풍벽 설치 전에 대한 방풍벽 설치 후의 풍속 증가율

주 의

1. 이 보고서는 극지연구소 위탁과제 연구결과보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표할 때에는 반드시 극지연구소에서 위탁연구과제로 수행한 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안됩니다.