



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2022-0048643
(43) 공개일자 2022년04월20일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G06F 30/28 (2020.01) G06F 113/08 (2020.01)
(52) CPC특허분류
G06F 30/28 (2020.01)
G06F 2113/08 (2020.01)
(21) 출원번호 10-2020-0131762
(22) 출원일자 2020년10월13일
심사청구일자 2020년10월13일

(71) 출원인
부경대학교 산학협력단
부산광역시 남구 용소로 45, 부경대학교내 (대연동)
(72) 발명자
김재진
부산광역시 남구 용소로 45, 충무관 4313호(대연동)
박수진
부산광역시 남구 용소로 45, 충무관 4313호(대연동)
(74) 대리인
남진필, 박종수, 차상윤

전체 청구항 수 : 총 8 항

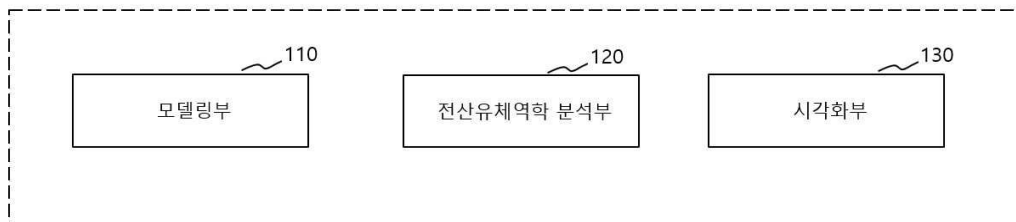
(54) 발명의 명칭 전산유체역학(Computational Fluid Dynamics) 모델을 이용한 체승 도시 협곡의 단계별 3차원 바람장 분석 시스템 및 이를 이용한 분석 방법

(57) 요약

본 발명은 전산유체역학(CFD) 모델을 이용한 체승 도시 협곡의 단계별 3차원 바람장 분석 시스템 및 이를 이용한 분석 방법에 관한 것으로, 본 발명에 따른 전산유체역학(CFD) 모델을 이용한 체승 도시 협곡의 단계별 3차원 바람장 분석 시스템은 도로의 폭, 건물의 폭, 건물 외관비 및 건물 길이비를 설정하여 분석 대상 체승 도시 협곡을 (뒷면에 계속)

대표도 - 도1

100



모델링하는 모델링부, 상기 모델링된 체승 도시 협곡에 바람 유입 조건을 설정하고, 전산유체역학 모델(CFD)을 통해 상기 모델링된 체승 도시 협곡의 바람장을 분석하는 전산유체역학 분석부 및 상기 모델링된 체승 도시 협곡을 가상 공간 상에 3차원으로 시각화하고, 상기 시각화된 체승 도시 협곡에 상기 분석된 바람장을 부가하여 시각화하는 시각화부를 포함하되, 상기 전산유체역학 분석부는 상기 체승 도시 협곡 내에서 협곡내 형성된 소용돌이의 발달 단계에 따라 발달 단계(Development Stage)와 성숙 단계(Mature Stage)로 구분되는 3차원 흐름 특성을 분석한다.

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1365003155
과제번호	KMI2018-06610
부처명	기상청
과제관리(전문)기관명	한국기상산업기술원
연구사업명	기상·지진See-At 기술개발연구(R&D)
연구과제명	종관기상관측소 지상관측환경 평가시스템 구축
기 여 율	1/1
과제수행기관명	부경대학교산학협력단
연구기간	2020.01.01 ~ 2020.12.31

명세서

청구범위

청구항 1

도로의 폭, 건물의 폭, 건물 외관비 및 건물 길이비를 설정하여 분석 대상 체승 도시 협곡을 모델링하는 모델링부;

상기 모델링된 체승 도시 협곡에 바람 유입 조건을 설정하고, 전산유체역학 모델(CFD)을 통해 상기 모델링된 체승 도시 협곡의 바람장을 분석하는 전산유체역학 분석부; 및

상기 모델링된 체승 도시 협곡을 가상 공간 상에 3차원으로 시각화하고, 상기 시각화된 체승 도시 협곡에 상기 분석된 바람장을 부가하여 시각화하는 시각화부를 포함하되,

상기 전산유체역학 분석부는

상기 체승 도시 협곡 내에서 협곡내 형성된 소용돌이의 발달 단계에 따라 발달 단계(Development Stage)와 성숙 단계(Mature Stage)로 구분되는 3차원 흐름 특성을 분석하는 전산유체역학(Computational Fluid Dynamics; CFD) 모델을 이용한 체승 도시 협곡의 단계별 3차원 바람장 분석 시스템.

청구항 2

제1항에 있어서, 상기 모델링부는

건물 외관비와 건물 길이비를 설정하여 상기 체승 도시 협곡의 길이와 깊이를 조정하는 전산유체역학 모델을 이용한 체승 도시 협곡의 단계별 3차원 바람장 분석 시스템.

청구항 3

제2항에 있어서, 상기 모델링부는

상기 건물 외관비와 건물 길이비를 다르게 설정한 복수의 체승 도시 협곡을 모델링하는 전산유체역학 모델을 이용한 체승 도시 협곡의 단계별 3차원 바람장 분석 시스템.

청구항 4

제1항에 있어서, 상기 전산유체역학 분석부는

상기 체승 도시 협곡 중심에서의 바람 유선장(Streamline)과 협곡 내에서 무차원화된 평균 소용돌이도(Normalized Vorticity)를 분석하는 전산유체역학 모델을 이용한 체승 도시 협곡의 단계별 3차원 바람장 분석 시스템.

청구항 5

제4항에 있어서, 상기 전산유체역학 분석부는

상기 체승 도시 협곡의 건물 길이비(L_c/S)를 달리하여 상기 협곡 중심과 협곡의 양쪽 측면 가장자리에서의 연직 유선장과 연직 속도장을 분석하는 전산유체역학 모델을 이용한 체승 도시 협곡의 단계별 3차원 바람장 분석 시스템.

청구항 6

제4항에 있어서, 상기 전산유체역학 분석부는

상기 체승 도시 협곡의 건물 길이비(L_c/S)를 달리하여 상기 협곡 내 소용돌이와 재순환 영역을 분석하는 전산유체역학 모델을 이용한 체승 도시 협곡의 단계별 3차원 바람장 분석 시스템.

청구항 7

제1항에 있어서, 상기 전산유체역학 분석부는

상기 체승 도시 협곡 내에서 바람 흐름의 정체 지점(Stagnation-point Height)과 최대 하강류(Maximum Downdraft)를 분석하는 전산유체역학 모델을 이용한 체승 도시 협곡의 단계별 3차원 바람장 분석 시스템.

청구항 8

모델링부가 도로의 폭, 건물의 폭, 건물 외관비 및 건물 길이비를 설정하여 분석 대상 체승 도시 협곡을 모델링하는 단계;

전산유체역학 분석부가 상기 모델링된 체승 도시 협곡에 바람 유입 조건을 설정하고, 전산유체역학 모델(CFD)을 통해 상기 모델링된 체승 도시 협곡의 바람장을 분석하는 단계; 및

시각화부가 상기 모델링된 체승 도시 협곡을 가상 공간 상에 3차원으로 시각화하고, 상기 시각화된 체승 도시 협곡에 상기 분석된 바람장을 부가하여 시각화하는 단계를 포함하되,

상기 체승 도시 협곡의 바람장을 분석하는 단계는 상기 전산유체역학 분석부가 상기 체승 도시 협곡 내에서 협곡내 형성된 소용돌이의 발달 단계에 따라 발달 단계(Development Stage)와 성숙 단계(Mature Stage)로 구분되는 3차원 흐름 특성을 분석하는 단계를 포함하는 전산유체역학 모델을 이용한 모델을 이용한 체승 도시 협곡의 단계별 3차원 바람장 분석 방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001]

본 발명은 전산유체역학(Computational Fluid Dynamics; CFD) 모델을 전산유체역학(CFD) 모델을 이용한 체승 도시 협곡의 단계별 3차원 바람장 분석 시스템 및 이를 이용한 분석 방법에 관한 것으로, 더욱 상세하게는 체승 도시 협곡의 3차원 흐름 특성을 분석하는 전산유체역학(CFD) 모델을 이용한 체승 도시 협곡의 단계별 3차원 바람장 분석 시스템 및 이를 이용한 분석 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002]

도시 협곡(Street Canyon)은 도시 지역의 대표적인 지형 특성 중 하나로 이는 도로의 양쪽 측면에 위치한 건물에 의해 형성된다. 도시 협곡에서의 유체(예를 들어, 바람)의 흐름과 오염 물질의 확산 특성은 주변 기상 조건뿐만 아니라 도시 협곡의 기하학적 조건에 의해 영향을 받는다. 체승 도시 협곡(Step-Up Street Canyon)은 풍상(Upwind)측의 건물 높이가 풍하(Downwind)측의 건물 높이보다 낮은 도시 협곡으로, 건물이 밀집해 있는 도시 지역에서 흔히 볼 수 있는 건물 군 형태이다. 풍상측과 풍하측 양쪽 건물의 높이가 동일한 도시 협곡의 경우, 주변 기상 조건이 유체(예를 들어, 바람)의 흐름에 미치는 영향은 풍동 실험과 수치 모델을 이용하여 광범위하게 조사되어왔다. 그러나, 체승 도시 협곡에 관한 연구는 제한적으로 진행되어왔다. 예를 들어, 선행 연구들은 풍동 실험과 수치 모델을 이용하여, 1)풍상측과 풍하측 양쪽 건물의 높이가 동일한 도시 협곡과 2)체승 도시 협곡의 2차원 유체 흐름과 오염물질의 확산 특성을 비교하였다. Addepalli and Pardyjak(2013)은 입자 이미지 측정 기법(PIV)을 사용하여 풍동 실험을 통해 체승 도시 협곡의 외관비에 따른 유체 흐름 패턴을 조사하였고, 주요 흐름 패턴(건물 지붕 위의 재순환과 도시 협곡내 소용돌이)이 풍상측과 풍하측 건물 높이의 비율에 의존적이라는 것을 발견하였다. 그러나 이들 선행 연구들은 체승 도시 협곡에서의 유체의 흐름과 오염물질의 확산에 대한 이해와 통찰에 기여하였으나, 협곡 중심에 대한 2차원 흐름만을 파악하여 현실적인 3차원 흐름 특성은 제시하지

못하는 문제가 있었다.

선행기술문헌

특허문헌

[0003] (특허문헌 0001) 대한민국 등록특허공보 10-1269277(2013.05.23) 3쪽 내지 8쪽

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0004] 본 발명은 체승 도시 협곡의 건물 외관비 변화에 따른 3차원 흐름 특성을 분석하고 이를 도식화할 수 있는 전산 유체역학 모델을 이용한 체승 도시 협곡의 단계별 3차원 바람장 분석 시스템 및 이를 이용한 분석 방법을 제공한다.
- [0005] 본 발명은 건물 정보에 의한 도시 지역 모델링과 초기 기상 자료 입력을 통해 체승 도시 협곡내 유체의 상세한 흐름을 모델링할 수 있는 전산유체역학 모델을 이용한 체승 도시 협곡의 단계별 3차원 바람장 분석 시스템 및 이를 이용한 분석 방법을 제공한다.
- [0006] 본 발명은 도시 계획 시 해당 도시 지역의 유체의 흐름 특성을 사전에 파악할 수 있는 전산유체역학 모델을 이용한 체승 도시 협곡의 단계별 3차원 바람장 분석 시스템 및 이를 이용한 분석 방법을 제공한다.

과제의 해결 수단

- [0007] 본 발명에 따른 전산유체역학 모델을 이용한 체승 도시 협곡의 단계별 3차원 바람장 분석 시스템은 도로의 폭, 건물의 폭, 건물 외관비 및 건물 길이를 설정하여 분석 대상 체승 도시 협곡을 모델링하는 모델링부, 상기 모델링된 체승 도시 협곡에 바람 유입 조건을 설정하고, 전산유체역학 모델(CFD)을 통해 상기 모델링된 체승 도시 협곡의 바람장을 분석하는 전산유체역학 분석부 및 상기 모델링된 체승 도시 협곡을 가상 공간 상에 3차원으로 시각화하고, 상기 시각화된 체승 도시 협곡에 상기 분석된 바람장을 부가하여 시각화하는 시각화부를 포함하되, 상기 전산유체역학 분석부는 상기 체승 도시 협곡 내에서 협곡내 형성된 소용돌이의 발달 단계에 따라 발달 단계(Development Stage)와 성숙 단계(Mature Stage)로 구분되는 3차원 흐름 특성을 분석한다.
- [0008] 일 실시예에서, 상기 모델링부는 건물 외관비와 건물 길이를 설정하여 상기 체승 도시 협곡의 길이와 깊이를 조정할 수 있다.
- [0009] 일 실시예에서, 상기 모델링부는 상기 건물 외관비와 건물 길이를 다르게 설정한 복수의 체승 도시 협곡을 모델링할 수 있다.
- [0010] 일 실시예에서, 상기 전산유체역학 분석부는 상기 체승 도시 협곡 중심에서의 바람 유선장(Streamline)과 협곡 내에서 무차원화된 평균 소용돌이도(Normalized Vorticity)를 분석할 수 있다.
- [0011] 일 실시예에서, 상기 전산유체역학 분석부는 상기 체승 도시 협곡의 건물 길이비(L_c/S)를 달리하여 상기 협곡 중심과 협곡의 양쪽 측면 가장자리에서의 연직 유선장과 연직 속도장을 분석할 수 있다.
- [0012] 일 실시예에서, 상기 전산유체역학 분석부는 상기 체승 도시 협곡의 건물 길이비(L_c/S)를 달리하여 상기 협곡 내 소용돌이와 재순환 영역을 분석할 수 있다.
- [0013] 일 실시예에서, 상기 전산유체역학 분석부는 상기 체승 도시 협곡 내에서 협곡내 형성된 소용돌이의 발달 단계에 따라 발달 단계(Development Stage)와 성숙 단계(Mature Stage)로 흐름 특성을 분석할 수 있다.
- [0014] 일 실시예에서, 상기 전산유체역학 분석부는 상기 체승 도시 협곡 내에서 바람 흐름의 정체 지점(Stagnation-point Height)과 최대 하강류(Maximum Downdraft)를 분석할 수 있다.
- [0015] 본 발명에 따른 전산유체역학 모델을 이용한 체승 도시 협곡의 단계별 3차원 바람장 분석 방법은 모델링부가 도로의 폭, 건물의 폭, 건물 외관비 및 건물 길이를 설정하여 분석 대상 체승 도시 협곡을 모델링하는 단계, 전산유체역학 분석부가 상기 모델링된 체승 도시 협곡에 바람 유입 조건을 설정하고, 전산유체역학 모델(CFD)을

통해 상기 모델링된 체승 도시 협곡의 바람장을 분석하는 단계 및 시각화부가 상기 모델링된 체승 도시 협곡을 가상 공간 상에 3차원으로 시각화하고, 상기 시각화된 체승 도시 협곡에 상기 분석된 바람장을 부가하여 시각화하는 단계를 포함하되, 상기 체승 도시 협곡의 바람장을 분석하는 단계는 상기 전산유체역학 분석부가 상기 체승 도시 협곡 내에서 협곡내 형성된 소용돌이의 발달 단계에 따라 발달 단계(Development Stage)와 성숙 단계(Mature Stage)로 구분되는 3차원 흐름 특성을 분석하는 단계를 포함한다.

발명의 효과

- [0016] 이상에서 설명한 바와 같이, 본 발명에 따른 전산유체역학 모델을 이용한 체승 도시 협곡의 단계별 3차원 바람장 분석 시스템 및 이를 이용한 분석 방법은 체승 도시 협곡의 건물 외관비 변화에 따른 3차원 흐름 특성을 분석하고 이를 도식화할 수 있다.
- [0017] 본 발명에 따른 전산유체역학 모델을 이용한 체승 도시 협곡의 단계별 3차원 바람장 분석 시스템 및 이를 이용한 분석 방법은 건물 정보에 의한 도시 지역 모델링과 초기 기상 자료 입력을 통해 체승 도시 협곡내 유체의 상세한 흐름을 모델링할 수 있다.
- [0018] 본 발명에 따른 전산유체역학 모델을 이용한 체승 도시 협곡의 단계별 3차원 바람장 분석 시스템 및 이를 이용한 분석 방법은 도시 계획 시 해당 도시 지역의 유체의 흐름 특성을 사전에 파악할 수 있다.

도면의 간단한 설명

- [0019] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 전산유체역학 모델을 이용한 체승 도시 협곡의 단계별 3차원 바람장 분석 시스템을 나타내는 도면
- 도 2는 바람장을 분석하기 위해 모의한 영역을 나타낸 도면
- 도 3은 Addepalli and Pardyjak (2013)의 결과와 비교하기 위하여 도 1의 시스템을 통해 모의한 유선장과 연직 속도장을 나타낸 도면
- 도 4는 얇은 체승 도시 협곡의 건물 길이비(L_c/S)에 따른 협곡 중심과 협곡의 양쪽 측면 가장자리에서의 연직 유선장과 연직 속도장을 나타낸 도면
- 도 5는 깊은 체승 도시 협곡의 건물 길이비(L_c/S)에 따른 협곡 중심과 협곡의 양쪽 측면 가장자리에서의 연직 유선장과 연직 속도장을 나타낸 도면
- 도 6은 체승 도시 협곡의 건물 길이비(L_c/S)에 따른 흐름 단계를 도식화하여 나타낸 도면
- 도 7은 건물 길이비(L_c/S)에 따른 체승 도시 협곡의 소용돌이와 재순환 영역을 나타낸 도면
- 도 8은 건물의 길이비(L_c/S)가 1인 경우의 고도에 따른 바람 벡터장과 연직 속도장을 나타낸 도면
- 도 9는 건물 길이비(L_c/S)에 따른 체승 도시 협곡의 소용돌이와 재순환 영역을 나타낸 도면
- 도 10은 건물 길이비(L_c/S)가 4인 경우의 고도에 따른 바람 벡터장과 연직 속도장을 나타낸 도면
- 도 11은 건물 길이비(L_c/S)가 1과 4인 경우 깊은 체승 도시 협곡의 바람 벡터장과 V 성분 속도장을 나타낸 도면
- 도 12는 체승 도시 협곡의 건물 길이비(L_c/S) 변화에 따른 체승 도시 협곡 내의 무차원화된 평균 소용돌이도를 나타낸 도면
- 도 13은 체승 도시 협곡의 건물 길이비(L_c/S)에 따른 협곡 내 유체 속도 성분(velocity component)의 크기를 나타낸 도면
- 도 14는 본 발명의 일 실시예에 따른 전산유체역학 모델을 이용한 체승 도시 협곡의 단계별 3차원 바람장 분석 방법을 설명하는 흐름도

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0020] 이하, 본 발명에 따른 전산유체역학 모델을 이용한 체승 도시 협곡의 단계별 3차원 바람장 분석 시스템 및 이를

이용한 분석 방법을 실시하기 위한 구체적인 내용을 설명하면 다음과 같다.

- [0021] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 전산유체역학 모델을 이용한 체승 도시 협곡의 단계별 3차원 바람장 분석 시스템을 나타내는 도면이다.
- [0022] 도 1을 참조하면, 전산유체역학 모델을 이용한 체승 도시 협곡의 단계별 3차원 바람장 분석 시스템(100)은 모델링부(110), 전산유체역학 분석부(120) 및 시각화부(130)를 포함한다.
- [0023] 전산유체역학 모델을 이용한 체승 도시 협곡의 단계별 3차원 바람장 분석 시스템(100)은 체승 도시 협곡의 건물 외관비 변화에 따른 바람장의 3차원 흐름 특성을 분석하고 이를 도식화할 수 있다. 일 실시예에서, 전산유체역학 모델을 이용한 체승 도시 협곡의 단계별 3차원 바람장 분석 시스템(100)은 컴퓨팅 장치(예를 들어, 컴퓨터, PC, 랩탑, 태블릿 등)에서 실행되는 프로그램으로 구현될 수 있다. 다른 실시예에서, 전산유체역학 모델을 이용한 체승 도시 협곡의 단계별 3차원 바람장 분석 시스템(100)은 하드웨어 모듈로 구현될 수도 있다.
- [0024] 모델링부(110)는 도로의 폭, 건물의 폭, 건물 외관비 및 건물 길이비를 설정하여 분석 대상 체승 도시 협곡(Step-Up Street Canyon)을 모델링한다. 모델링부(110)는 도로의 폭, 건물의 폭, 건물 외관비 및 건물 길이비를 입력받아 분석 대상 체승 도시 협곡을 모델링할 수 있다.
- [0025] 도 2는 바람장을 분석하기 위해 모의한 영역을 나타낸 도면이다. 일 실시예에서, 도 2는 모델링부(110)에 의해 모델링된 체승 도시 협곡의 일 예를 나타내는 도면이다.
- [0026] 도 2를 참조하면, 도시 협곡(street canyon)의 폭(또는, 도시 협곡 내 도로의 폭)은 32m로 설정되고($S=32\text{ m}$), 바람 방향의 건물 길이(along-wind building length) (또는, 건물의 폭)는 32m로 설정될 수 있다($L_a=32\text{m}$). 풍하 측 건물의 높이(downwind building height)는 96m로 설정되고($H_d=96\text{ m}$), 풍상 측 건물의 높이(upwind building height)는 32m 또는 57.6m로 설정될 수 있다($H_u=32\text{m or } 57.6\text{m}$). 협곡 방향의 건물 길이(along-canyon lengths of the buildings)(L_c)는 16에서 128까지 16m 단위로 변경하며 설정될 수 있다.
- [0027] 건물 외관비(building-height aspect ratios)는 0.33과 0.6($H_u/H_d=0.33\text{ and } 0.60$) 가운데 하나로 설정되어 모델링될 수 있다. 건물외관비가 0.33인 경우에는 얇은 체승 도시 협곡(shallow street canyons)으로 정의되며, 건물 외관비가 0.6인 경우에는 깊은 체승 도시 협곡(deep street canyons)으로 정의된다. 건물 길이비(building-length aspect ratios)는 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0, 3.5, 4.0 가운데 하나로 설정되어 모델링될 수 있다($L_c/S=0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0, 3.5, \text{ 및 } 4.0$).
- [0028] 도 2의 체승 도시 협곡은 균일 격자계(uniform grid system)에서 모델링되었으며, 격자는 x, y, z 방향으로 각각 3.2m 간격이다. 체승 도시 협곡은 x 축으로는 180개의 격자, z 축으로는 90개의 격자, y 축으로는 105-140개의 격자를 포함하는 공간에 모델링된다.
- [0029] 도 2에서 모의된 영역 및 모델링된 체승 도시 협곡의 각 수치는 일 실시예이며, 구현예에 따라 다양한 형태로 모델링될 수 있다. 예를 들어, 바람장 분석이 필요한 실제 도시의 체승 도시 협곡의 도로의 폭, 건물의 폭, 건물 외관비 및 건물 길이비를 측량하고, 모델링부(110)에 해당 수치들을 입력하여 실제 도시의 체승 도시 협곡을 모델링할 수 있다. 또는, 도시 계획에 따라 변하게 될 예상 도시의 체승 도시 협곡을 모델링할 수 있다. 모델링부(110)는 건물 외관비 또는 건물 길이비 변화에 따른 체승 도시 협곡을 모델링하고, 전산유체역학 분석부(120)는 건물 외관비 또는 건물 길이비 변화에 따라 모델링된 체승 도시 협곡의 바람장을 분석한다.
- [0030] 전산유체역학 분석부(120)는 모델링부(110)에서 모델링된 체승 도시 협곡에 바람 유입 조건을 설정하고, 모델링된 체승 도시 협곡의 바람장을 전산유체역학 모델(Computational Fluid Dynamics; CFD)을 통해 분석한다.
- [0031] 바람 유입 조건은 하기와 같이 설정될 수 있다. 모델링된 체승 도시 협곡에 유입되는 흐름은 초기 바람 속도(initial conditions for velocity) (U, V, W), 난류 운동 에너지(turbulence kinetic energy) (k) 및 소실율(dissipation rate) (ϵ)로 설정될 수 있다.
- [0032] 초기 바람 속도는 하기 수학적 식 1로 설정되고, 난류 운동 에너지는 하기 수학적 식 2로 설정되고, 소실율은 하기 수학적 식 3으로 설정될 수 있다.

[0033] [수학식 1]

$$U(z) = U_d \left(z/H_d \right)^\alpha,$$

$$V(z) = 0,$$

$$W(z) = 0,$$

[0034]

[0035] [수학식 2]

$$k(z) = \frac{1}{C_\mu^{1/2}} U_*^2 \left(1 - \frac{z}{\delta} \right)^2,$$

[0036]

[0037] [수학식 3]

$$\epsilon(z) = \frac{C_\mu^{3/4} k^{3/2}}{\kappa z}.$$

[0038]

[0039] 여기에서, α 는 power-law 지수(power-law exponent)이며 0.21로 설정될 수 있다. U_* 는 마찰 속도(friction velocity)로 0.26 m s^{-1} 로 설정될 수 있으며, δ 는 경계층 깊이(boundary-layer depth)로 1000 m로 설정될 수 있다. κ 는 폰 카르만 상수(von Kármán constant)로 0.4로 설정될 수 있으며, C_μ 는 실증 계수(empirical constant)로 0.09로 설정될 수 있다. RNG k- ϵ 난류 스킴(turbulence scheme)

[0040] 에서, U_d 는 평균 유동방향 바람 속도(mean streamwise wind speed)로 z 축의 $z=H_d$ 높이에서 4.32 m s^{-1} 로 설정될 수 있다. 이러한 경우, 풍하 측 빌딩(downwind building)에서의 레이놀즈 수(Reynolds number)는 2.77×10^7 이 될 수 있다. 레이놀즈 수는 유체가 유선류나 층류처럼 정상류인지 또는 난류처럼 약간의 요동을 가지지만 평균적으로는 정상류인지를 나타내는 수로 유체의 점성력과 관성력의 비로 나타나는 무차원의 수이다. 레이놀즈 수가 약 2,000보다 작으면 층류로 분류되고 2,000보다 커지면 난류로 분류된다.

[0041] 일 실시예에서, 전산유체역학 분석부(120)는 RANS(Reynolds-Averaged Navier-Stokes Equation) 모델 기반의 전산유체역학(Computational Fluid Dynamics; CFD) 모델을 이용하여, 체승 도시 협곡의 바람장을 분석할 수 있다.

[0042] RANS 모델 기반의 CFD 모델의 지배 방정식 계는 유한 체적법(Finite Volume Method)과 SIMPLE(Semi-Implicit Method for Pressure-Linked Equation) 알고리즘을 사용하여 엇갈림 격자계(Staggered Grid System)에서 풀이되며, 재규격화군(Renormalization Group; RNG) 이론에 근거한 k- ϵ 난류 스킴을 기반으로 바람장을 분석한다. 예를 들어, 전산유체역학 분석부(120)는 RANS 모델 기반의 CFD 모델을 통해 체승 도시 협곡 중심에서의 바람 유선장(Streamline), 협곡 내에서 무차원화된 평균 소용돌이도(Normalized Vorticity), 연직 유선장, 연직 속도장, 협곡 내 소용돌이와 재순환 영역, 바람 흐름의 정체 지점(Stagnation-point Height) 및 최대 하강류(Maximum Downdraft) 등을 분석할 수 있다. 일 실시예에서, 전산유체역학 분석부(120)는 0.5s 시간 간격(time step)으로 3600초 동안 바람장을 분석하도록 설정될 수 있다.

[0043] 시각화부(130)는 모델링된 체승 도시 협곡을 가상 공간 상에 3차원으로 시각화하고, 시각화된 체승 도시 협곡에 전산유체역학 분석부(120)에서 분석된 바람장을 부가하여 시각화한다.

[0044] 이하에서는, 도 1의 전산유체역학 모델을 이용한 체승 도시 협곡의 단계별 3차원 바람장 분석 시스템을 통해 시

각화된 예를 나타내는 도면을 이용하여 설명하기로 한다.

[0045] 도 3은 Addepalli and Pardyjak (2013)의 결과와 비교하기 위하여 도 1의 시스템을 통해 모의한 연직 유선장과 연직 속도장을 나타낸 도면이다.

[0046] 도 3을 참조하면, 도 3은 건물 외관비(building-height aspect ratios)(H_b/H_d)와 건물 길이비(building-length aspect ratios) (L_c/S)를 달리하며, 체승 도시 협곡의 바람장을 분석한 결과를 시각화한 도면을 나타낸다.

[0047] (a)에서 (d)는 건물 외관비(H_b/H_d)가 0.33인 얇은 체승 도시 협곡(shallow street canyons)의 건물 길이비(L_c/S)를 달리하여($L_c/S=1.0, 2.0, 3.0$ 및 4.0) 분석한 유선장과 연직 속도장을 나타낸 도면이며, (e)에서 (g)는 건물 외관비(H_b/H_d)가 0.6인 깊은 체승 도시 협곡(deep street canyons)의 건물 길이비(L_c/S)를 달리하여($L_c/S=1.0, 2.0, 3.0$ 및 4.0) 분석한 유선장과 연직 속도장을 나타낸 도면이다.

[0048] 도 3을 참조하면, 얇은 체승 도시 협곡에서는 시계 방향의 1차 소용돌이가 형성되고, 깊은 체승 도시 협곡에서는 1차 소용돌이가 형성되며 건물의 길이가 긴 경우에는 풍하측 건물의 하층에서 반시계방향의 2차 소용돌이가 형성되는 것을 확인할 수 있다. 이러한 특징들은 Addepalli and Pardyjak (2013)의 결과에서도 유사하게 나타나며, 체승 도시 협곡에서의 소용돌이와 건물 옥상에서의 재순환 영역 등 전반적인 흐름 특성도 본 발명의 모델 결과와 유사하게 나타난다.

[0049] 하기 표 1은 체승 도시 협곡 바람장 분석 시스템(100)을 통해 체승 도시 협곡의 바람장을 시뮬레이션하여, 체승 도시 협곡내 최대 하강류(maximum downdraft)(W/U_d)와 풍하측 건물 주변에서의 정체 지점 높이(stagnation-point height)(z/S)를 분석한 결과이다. 하기 표 1에서 measured는 Addepalli and Pardyjak(2013)에서 측정한 최대 하강류와 풍하측 건물 주변에서의 정체 지점의 높이를 나타낸 것이고, simulated는 체승 도시 협곡 바람장 분석 시스템(100)을 통해 시뮬레이션한 결과로 최대 하강류와 풍하측 건물 주변에서의 정체 지점의 높이를 나타낸 것이다. 하기 표 1을 보면, 체승 도시 협곡 바람장 분석 시스템(100)을 통해 시뮬레이션한 결과가 Addepalli and Pardyjak (2013)의 결과와 유사하게 모의된 것을 확인할 수 있다.

[0050] [표 1]

L_c/S	shallow street canyon ($H_b/H_d=0.33$)				deep street canyon ($H_b/H_d=0.6$)			
	maximum downdraft (W/U_d)		stagnation-point height (z/S)		maximum downdraft (W/U_d)		stagnation-point height (z/S)	
	measured	simulated	measured	simulated	measured	simulated	measured	simulated
0.5		-0.44		2.4		-0.48		2.6
1.0	-0.56	-0.56	2.4	2.3	-0.81	-0.61	2.6	2.6
1.5		-0.62		2.3		-0.71		2.6
2.0	-0.68	-0.62	2.4	2.3	-1.02	-0.76	2.6	2.6
2.5		-0.60		2.3		-0.75		2.6
3.0	-0.66	-0.57	2.3	2.2	-0.71	-0.75	2.6	2.6
3.5		-0.53		2.2		-0.72		2.6
4.0	-0.61	-0.51	2.3	2.2	-0.68	-0.72	2.6	2.6

[0051]

[0052] 도 4는 얇은 체승 도시 협곡의 건물 길이비(L_c/S)에 따른 협곡 중심과 협곡의 양쪽 측면 가장자리에서의 연직 유선장과 연직 속도장을 나타낸 도면이다. 도 4를 참조하면, 도 4는 얇은 체승 도시 협곡의 바람장을 분석한 결과를 시각화한 도면을 나타낸다.

[0053] 도 4에 도시된 바와 같이, 얇은 체승 도시 협곡 중심에서는 풍상측 건물 부근에서 소용돌이의 중심이 형성된다. 협곡의 가장자리로 갈수록 소용돌이의 중심이 협곡의 중앙으로 형성되며, 협곡의 양쪽 가장자리까지 소용돌이가 유지됨을 확인할 수 있다.

[0054] 도 5는 깊은 체승 도시 협곡의 건물 길이비(L_c/S)에 따른 협곡 중심과 협곡의 양쪽 측면 가장자리에서의 연직 유선장과 연직 속도장을 나타낸 도면이다. 도 5를 참조하면, 도 5는 깊은 체승 도시 협곡의 바람장을 분석한 결과를 시각화한 도면을 나타낸다.

[0055] 도 5에 도시된 바와 같이, 건물의 길이비(L_c/S)가 2보다 작은 경우에는 깊은 체승 협곡 내에서 하나의 소용돌이

가 형성되며, 소용돌이의 중심은 협곡의 하층에 위치한다. 건물의 길이비(L_c/S)가 2보다 큰 경우, 깊은 체승 도시 협곡 내에는 두 개의 소용돌이가 형성된다. 1차 소용돌이의 중심은 협곡의 중층에 형성되고 2차 소용돌이는 풍하측 건물 부근의 하층에 형성된다.

[0056] 도 6은 체승 도시 협곡의 건물 길이비(L_c/S)에 따른 흐름 단계를 도식화하여 나타낸 도면이다. 협곡 방향의 건물 길이 변화에 따른 체승 도시 협곡 내 유체의 흐름은 협곡 내 소용돌이의 형태와 운동량 변화에 따라 흐름의 발달 단계(Development Stage)와 성숙 단계(Maturity Stage)로 구분될 수 있다.

[0057] 도 6의 (a)(얕은 체승 도시 협곡)와 (c)(깊은 체승 도시 협곡)에 도시된 바와 같이, 흐름의 발달 단계에서 유체의 유입 흐름은 풍상측 건물 옥상과 측면을 따라 협곡 내로 유입되는데, 이때 협곡 경계에서의 유입 흐름이 지배적이다. 건물의 길이비(L_c/S)가 증가할수록 정체 지점(Stagnation Point)으로부터의 하강기류는 강해지고, 협곡 내부로의 운동량이 증가하여 소용돌이도(Vorticity)는 증가한다. 도 6의 (b)(얕은 체승 도시 협곡)와 (d)(깊은 체승 도시 협곡)에 도시된 바와 같이, 흐름의 성숙단계에서 체승 도시 협곡 내 1차 소용돌이는 안정되고, 협곡의 측면 경계에서는 협곡 외부로의 흐름만 발생하여, 운동량 손실이 발생한다. 건물이 길이비(L_c/S)가 증가할수록 협곡 상층부에서의 운동량 이동은 감소되어 협곡내 소용돌이도는 감소한다.

[0058] 도 7은 건물 길이비(L_c/S)에 따른 체승 도시 협곡의 소용돌이와 재순환 영역을 나타낸 도면이다.

[0059] 도 7에 도시된 바와 같이, 얕은 체승 도시 협곡에서는 건물의 길이비(L_c/S)가 2보다 작은 경우에는 건물의 길이비가 증가할수록 협곡내의 소용돌이가 발달한다. 깊은 체승 도시 협곡에서는 건물의 길이비가 1보다 큰 경우에 풍하측 건물의 바닥 부근에서 2차 소용돌이가 형성된다. 또한, 건물의 옥상에는 재순환 영역이 형성되며, 풍하측 건물의 양쪽 측면에는 이중 에디 순환이 형성된다.

[0060] 도 8은 건물의 길이비(L_c/S)가 1인 경우의 고도에 따른 바람 벡터장과 연직 속도장을 나타낸 도면이다.

[0061] 도 8의 (a), (c), (e)에 도시된 바와 같이, 얕은 도시 협곡에서는 협곡 내 형성된 소용돌이에 의해 바닥 부근에서 역류와 협곡 외부로의 흐름이 나타난다. 협곡의 중층과 상층에서는 협곡 내부로 유입되는 흐름이 나타난다. 도 8의 (b), (d), (f)에 도시된 바와 같이, 깊은 도시 협곡에서는 풍하측 건물 바닥부근의 2차 순환 소용돌이의 크기를 제외하고 얕은 도시 협곡에서의 흐름과 거의 동일하다.

[0062] 도 9는 건물 길이비(L_c/S)에 따른 체승 도시 협곡의 소용돌이와 재순환 영역을 나타낸 도면이다.

[0063] 도 9에 도시된 바와 같이, 건물 길이비(L_c/S)가 2보다 큰 경우, 건물의 옥상의 재순환 영역과 풍하측 건물의 양쪽 측면의 이중 에디 순환은 건물 길이비(L_c/S)가 2보다 작은 경우와 비교하여 유사하게 나타난다. 협곡내 소용돌이의 경우, 건물 길이비(L_c/S)가 증가함에 따라 소용돌이의 길이는 길어지지만 소용돌이의 형태는 유지된다. 건물 길이비(L_c/S)가 2보다 큰 경우, 풍하측 건물 바닥 부근의 2차 순환 소용돌이가 모두 형성된다.

[0064] 도 10은 건물 길이비(L_c/S)가 4인 경우의 고도에 따른 바람 벡터장과 연직 속도장을 나타낸 도면이다.

[0065] 도 10에 도시된 바와 같이, 건물 길이비(L_c/S)가 2보다 작은 경우와 비교하여, 얕은 도시 협곡의 경우 유체의 흐름은 전반적으로 강화되고 외부로의 흐름만 발생한다. 이에 따라 건물 양쪽 측면에 형성된 이중 에디 순환도 크게 형성된다.

[0066] 도 11은 건물 길이비(L_c/S)가 1과 4인 경우 깊은 체승 도시 협곡의 바람 벡터장과 V 성분 속도장을 나타낸 도면이다.

[0067] 도 11에 도시된 바와 같이, 건물 길이비(L_c/S)가 1인 경우에는 협곡 내로 유입되는 흐름이 존재하며, 소용돌이가 협곡 외부까지 뻗어있는 형태를 나타낸다. 건물 길이비(L_c/S)가 4인 경우에는 협곡 외부로 유출되는 흐름만 발생한다.

[0068] 도 12는 체승 도시 협곡의 건물 길이비(L_c/S) 변화에 따른 체승 도시 협곡 내의 무차원화된 평균 소용돌이도(Normalized Vorticity)를 나타낸 도면이다.

[0069] 도 12에 도시된 바와 같이, 흐름의 발달 단계에서는 협곡의 상층과 측면으로부터 유입되는 흐름의 영향을 받아

협곡내 운동량이 증가하고, 협곡내 와도(Vorticity)가 증가한다. 흐름의 성숙 단계에서는 협곡내 소용돌이가 안정되고, 협곡내로 유입되는 운동량이 손실되어 협곡내 와도(Vorticity)가 감소한다. 이러한 특징은 Addepalli and Pardyjak (2013)의 결과에서도 동일하게 나타난다.

- [0070] 도 13은 체승 도시 협곡의 건물 길이비(L_c/S)에 따른 협곡 내 유체 속도 성분(velocity component)의 크기를 나타낸 도면이다.
- [0071] 도 13의 (a)와 (b)에 도시된 바와 같이, 협곡 외부로의 흐름을 제외하고 건물 길이비(L_c/S)가 2인 경우를 기준으로 협곡내 성분 속도의 변화가 나타난다.
- [0072] 도 13을 참조하면, 건물 길이비(L_c/S)가 2보다 작은 경우, 유입류의 영향을 가장 크게 받는 협곡의 상층에서부터 유입되는 흐름과 협곡 외부로 유출되는 흐름은 증가하고, 협곡 상층으로부터 유입되는 흐름이 지배적이기 때문에 협곡내 운동량이 증가하여 협곡내 소용돌이도는 증가한다.
- [0073] 건물 길이비(L_c/S)가 2보다 큰 경우, 협곡 상층으로부터 유입되는 흐름은 감소하고 협곡 외부로 유출되는 흐름은 강화되기 때문에, 협곡내 운동량이 감소하여 협곡내 소용돌이도는 감소한다.
- [0074] 도 14는 본 발명의 일 실시예에 따른 전산유체역학 모델을 이용한 체승 도시 협곡의 단계별 3차원 바람장 분석 방법을 설명하는 흐름도이다.
- [0075] 도 14를 참조하면, 모델링부(110)는 도로의 폭, 건물의 폭, 건물 외관비 및 건물 길이비를 설정하여 분석 대상 체승 도시 협곡을 모델링한다(단계 S1410).
- [0076] 전산유체역학 분석부(120)는 모델링부(110)에서 모델링된 체승 도시 협곡에 바람 유입 조건을 설정하고, 전산유체역학 모델(CFD)을 통해 모델링된 체승 도시 협곡의 바람장을 분석한다(단계 S1420).
- [0077] 모델링된 체승 도시 협곡에 유입되는 바람은 초기 바람 속도(initial conditions for velocity) (U, V, W), 난류 운동 에너지(turbulence kinetic energy) (k) 및 소실율(dissipation rate) (ϵ)로 설정될 수 있다.
- [0078] 전산유체역학 분석부(120)는 RANS(Reynolds-Averaged Navier-Stokes Equation) 모델 기반의 전산유체역학(Computational Fluid Dynamics; CFD) 모델을 이용하여, 체승 도시 협곡의 바람장을 분석할 수 있다.
- [0079] RANS 모델 기반의 CFD 모델의 지배 방정식 계는 유한 체적법(Finite Volume Method)과 SIMPLE(Semi-Implicit Method for Pressure-Linked Equation) 알고리즘을 사용하여 엇갈림 격자계(Staggered Grid System)에서 풀이되며, 재규격화군(Renormalization Group; RNG) 이론에 근거한 $k-\epsilon$ 난류 스킴을 기반으로 바람장을 분석한다. 예를 들어, 전산유체역학 분석부(120)는 RANS 모델 기반의 CFD 모델을 통해 체승 도시 협곡 중심에서의 바람 유선장(Streamline), 협곡 내에서 무차원화된 평균 소용돌이도(Normalized Vorticity), 연직 유선장, 연직 속도장, 협곡 내 소용돌이와 재순환 영역, 바람 흐름의 정체 지점(Stagnation-point Height) 및 최대 하강류(Maximum Downdraft) 등을 분석할 수 있다.
- [0080] 시각화부(130)는 모델링된 체승 도시 협곡을 가상 공간 상에 3차원으로 시각화하고, 시각화된 체승 도시 협곡에 분석된 바람장을 부가하여 시각화한다(단계 S1430).
- [0081] 일 실시예에서, 전산유체역학 모델을 이용한 체승 도시 협곡의 단계별 3차원 바람장 분석 방법을 이용하여 실제 도시 지역의 바람장을 분석할 수 있다. 예를 들어, 도 1의 분석 시스템은 실제 도시 지역의 바람장을 분석하여 시각화하는 지역 분석부를 더 포함할 수 있다. 분석 시스템은 특정 지역의 건물, 도로 등의 수치를 포함하여 공간 정보가 포함된 지도 정보를 입력받고, 해당 지역 내 체승 도시 협곡 지역과 각 체승 도시 협곡 지역의 도로의 폭, 건물의 폭, 건물 외관비 및 건물 길이비 등을 산출해 낼 수 있다. 실제 도시 지역에 포함된 건물 등의 수치가 균일하지 않은 경우, 산출된 체승 도시 협곡 지역의 건물들의 평균 수치를 이용하여 도로의 폭, 건물의 폭, 건물 외관비 및 건물 길이비 등을 산출해 낼 수 있다.
- [0082] 일 실시예에서, 분석 시스템은 해당 지역의 계절에 따른 바람 방향 통계를 이용하여, 해당 지역 내 계절 별로 달라질 수 있는 체승 도시 협곡 지역을 산출해 낼 수 있다.
- [0083] 분석 시스템은 각 체승 도시 협곡 지역에 대해 사용자에게 의해 입력된 바람 유입 조건을 설정하여 도 3 내지 도 11과 같이 시각화된 분석 이미지를 해당 지역의 지도 이미지에 부가하여 디스플레이할 수 있다. 또는, 각 체승 도시 협곡 지역에 대해 해당 지역의 바람 유입 조건 통계를 이용하여 시각화된 분석 이미지를 해당 지역의 지도 이미지에 부가하여 디스플레이할 수도 있다.

[0084] 도 1 내지 도 14를 통해 설명된 전산유체역학(CFD) 모델을 이용한 체승 도시 협곡 바람장 분석 시스템 및 이를 이용한 분석 방법은 컴퓨터에 의해 실행 가능한 명령어를 포함하는 기록 매체의 형태로도 구현될 수도 있다.

[0085] 이상 본 발명의 실시예로 설명하였으나 본 발명의 기술적 사상이 상기 실시예로 한정되는 것은 아니며, 본 발명의 기술적 사상을 벗어나지 않는 범주에서 다양한 전산유체역학(CFD) 모델을 이용한 체승 도시 협곡 바람장 분석 시스템 및 이를 이용한 분석 방법으로 구현할 수 있다.

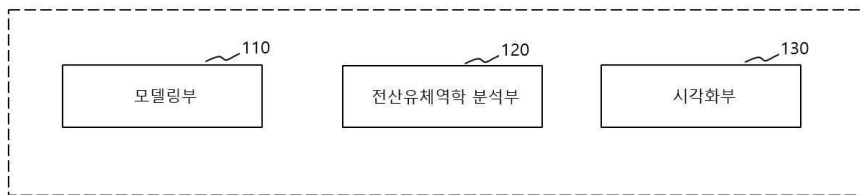
부호의 설명

[0086] 110 : 모델링부
120 : 전산유체역학 분석부
130 : 시각화부

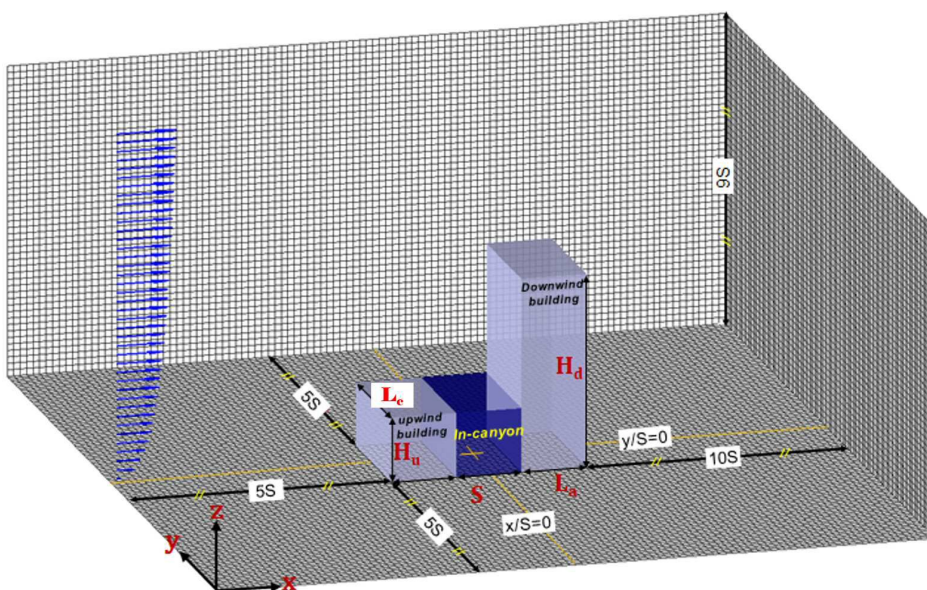
도면

도면1

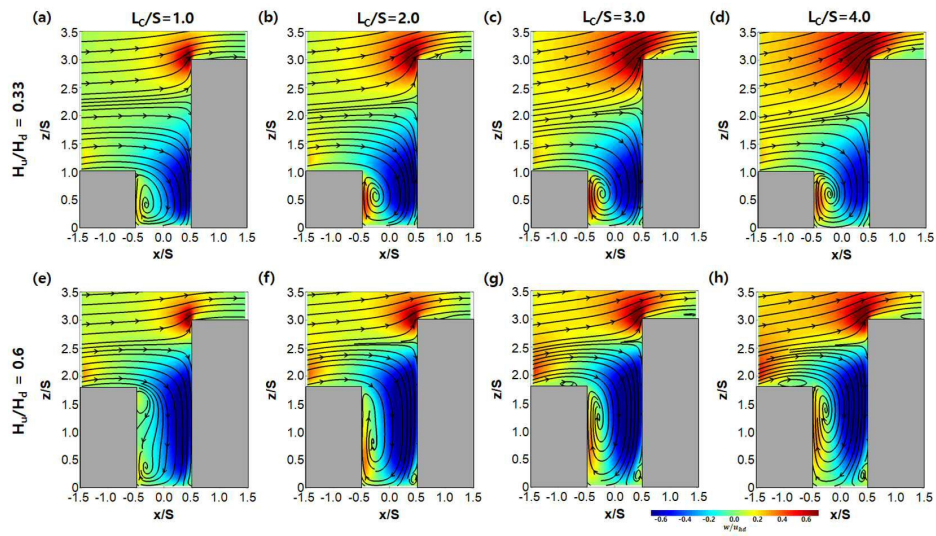
100



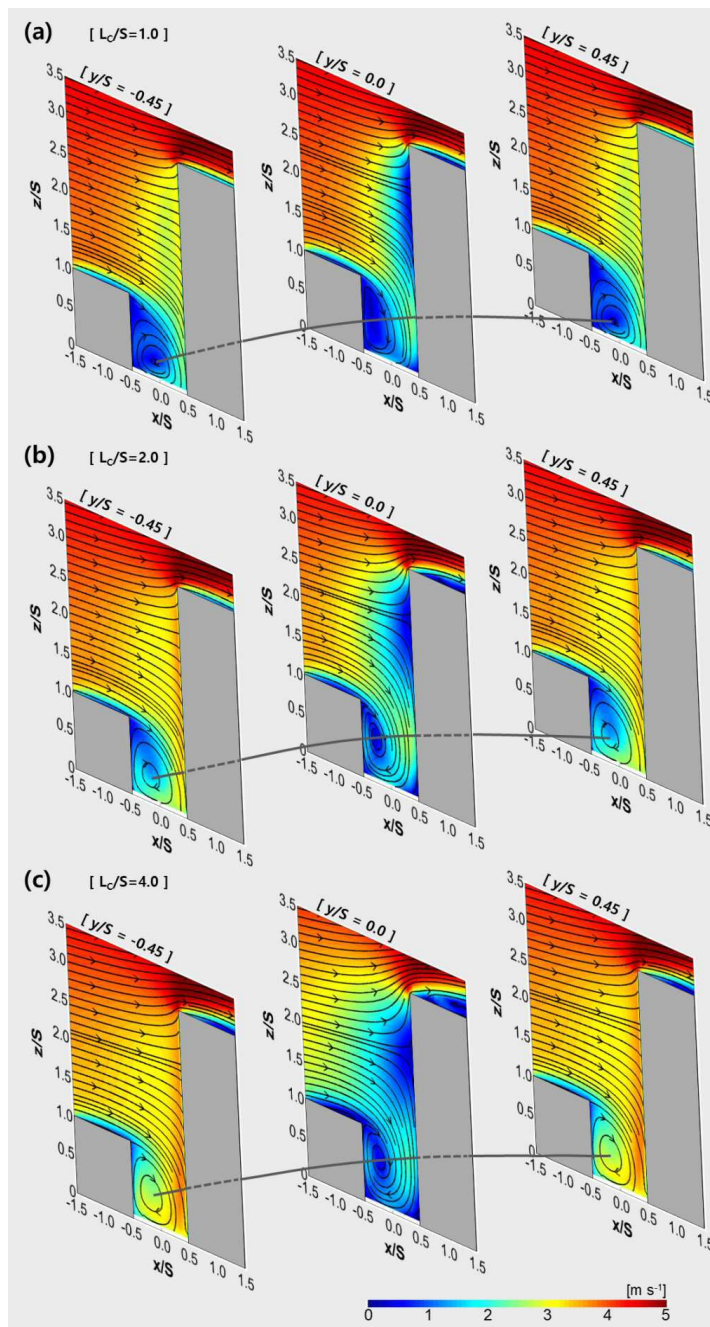
도면2



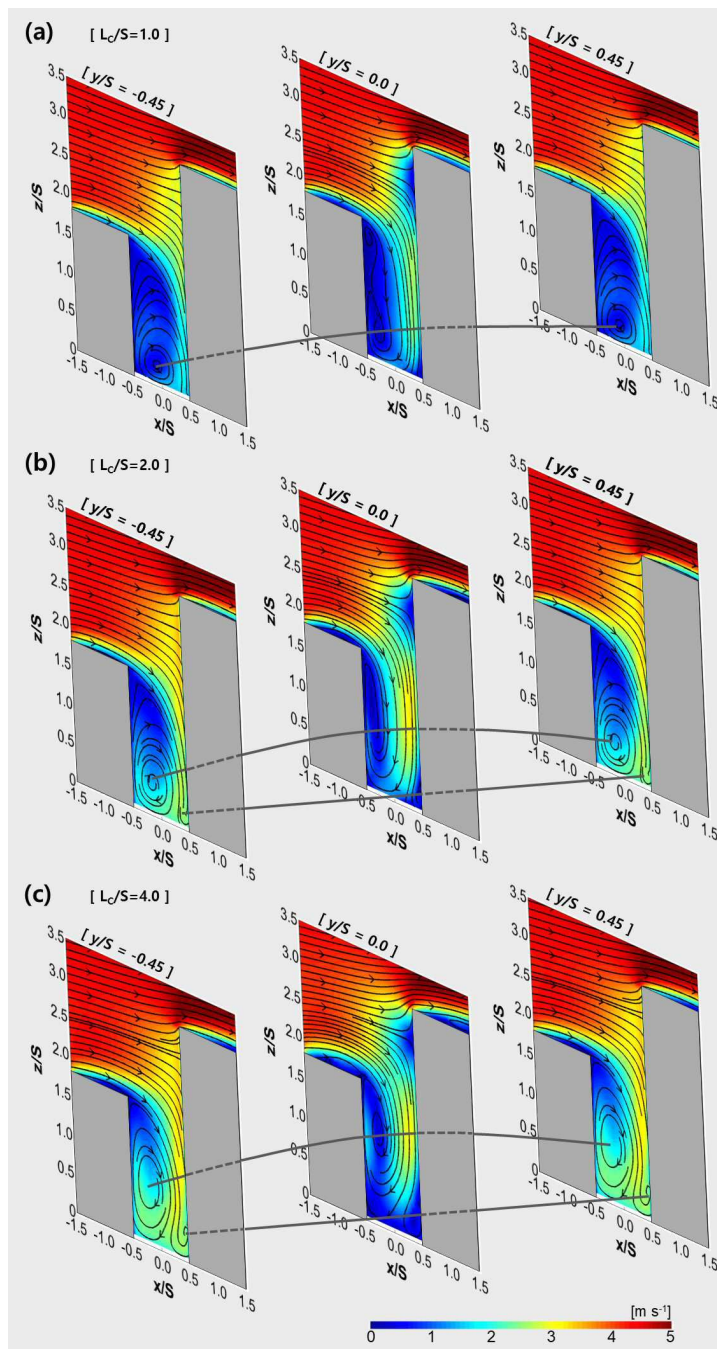
도면3



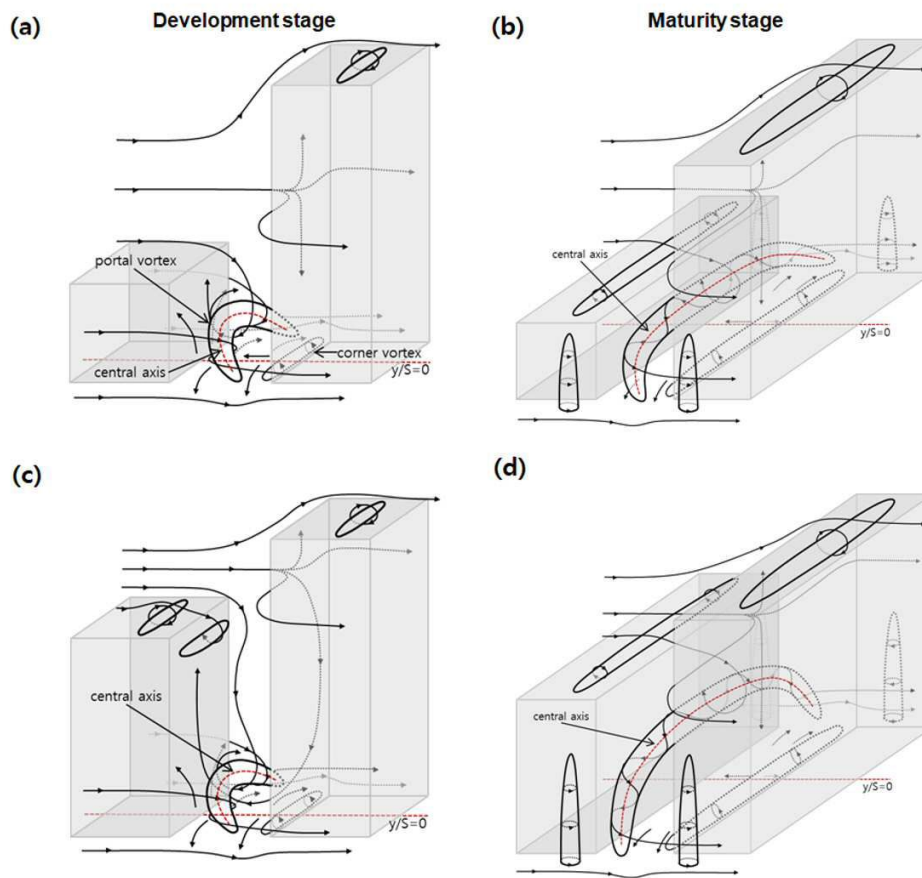
도면4



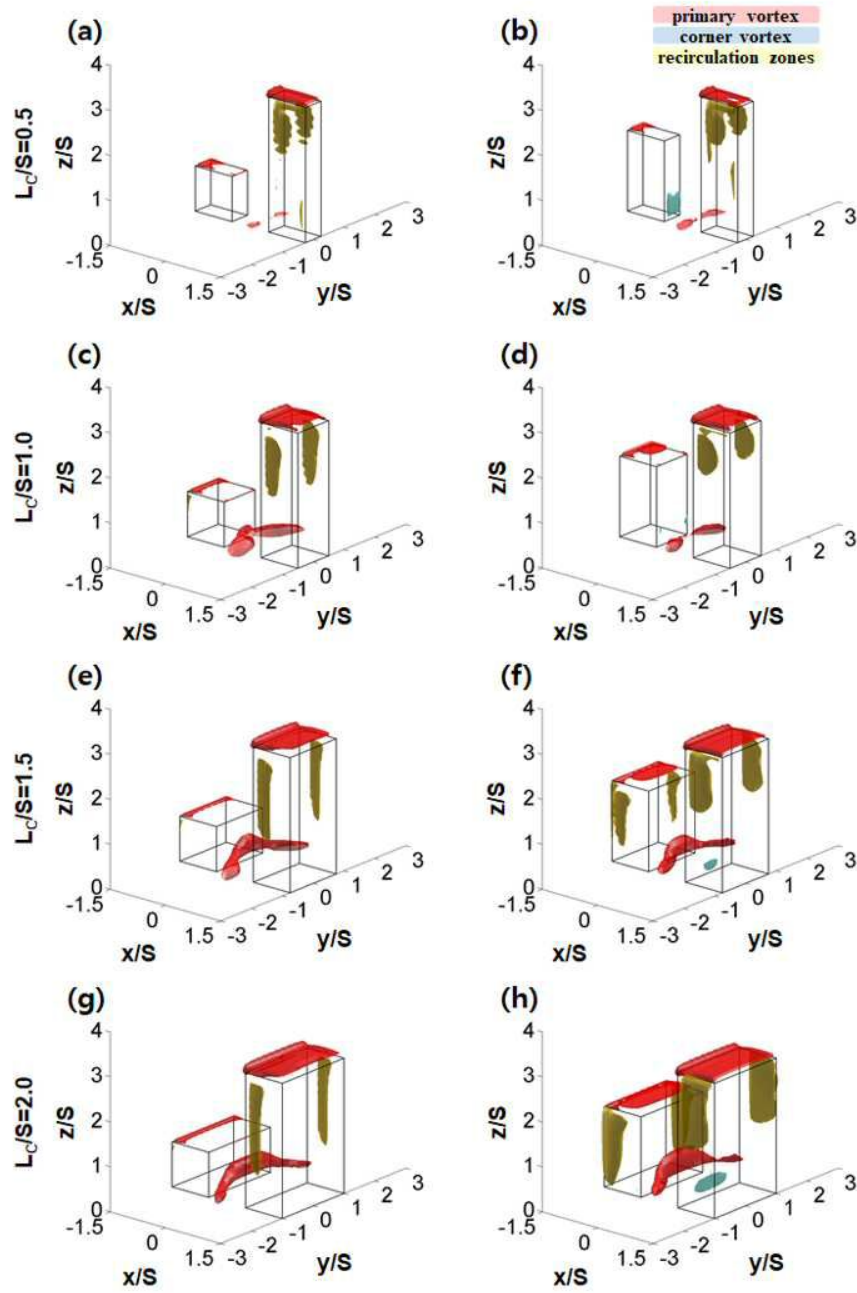
도면5



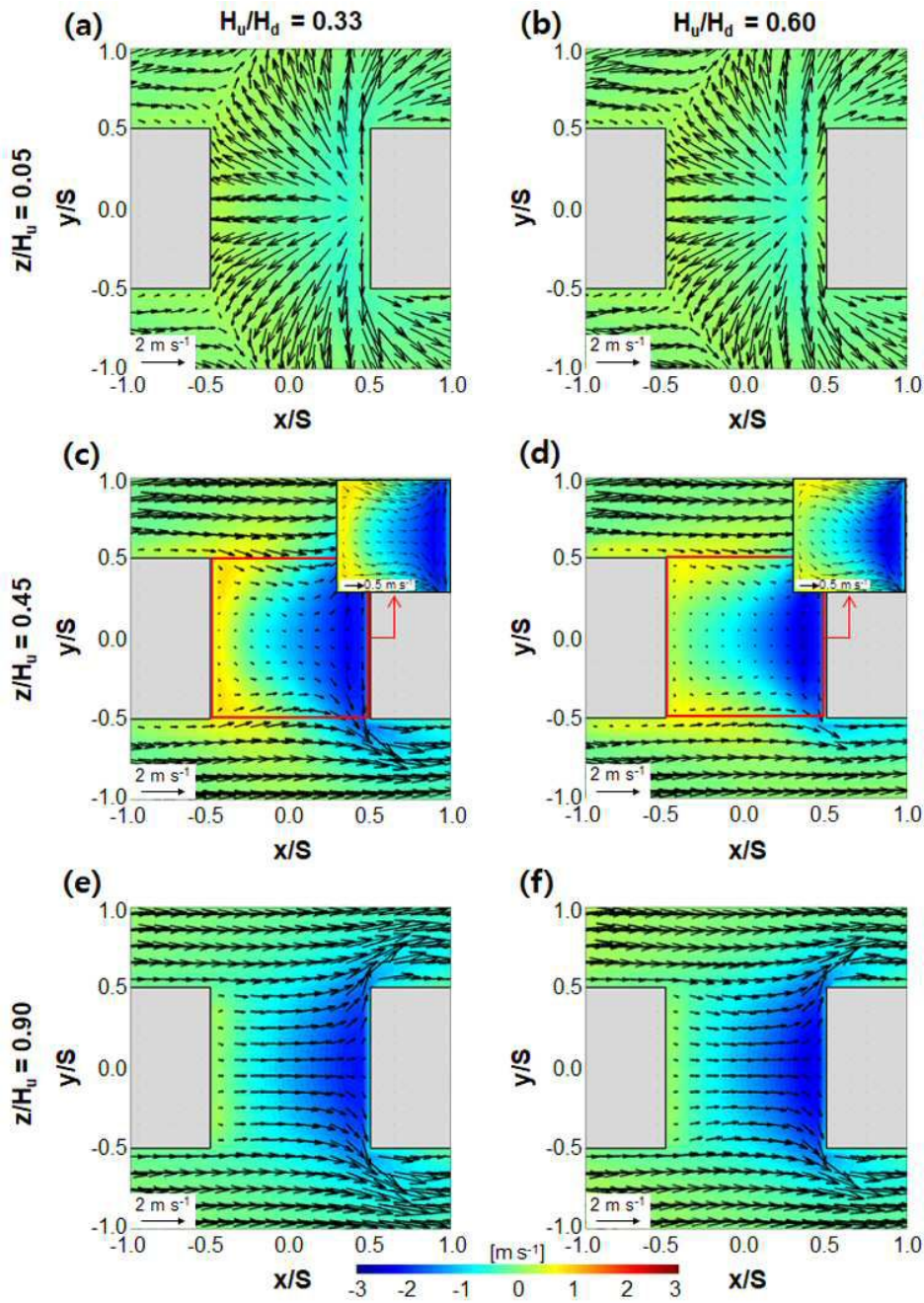
도면6



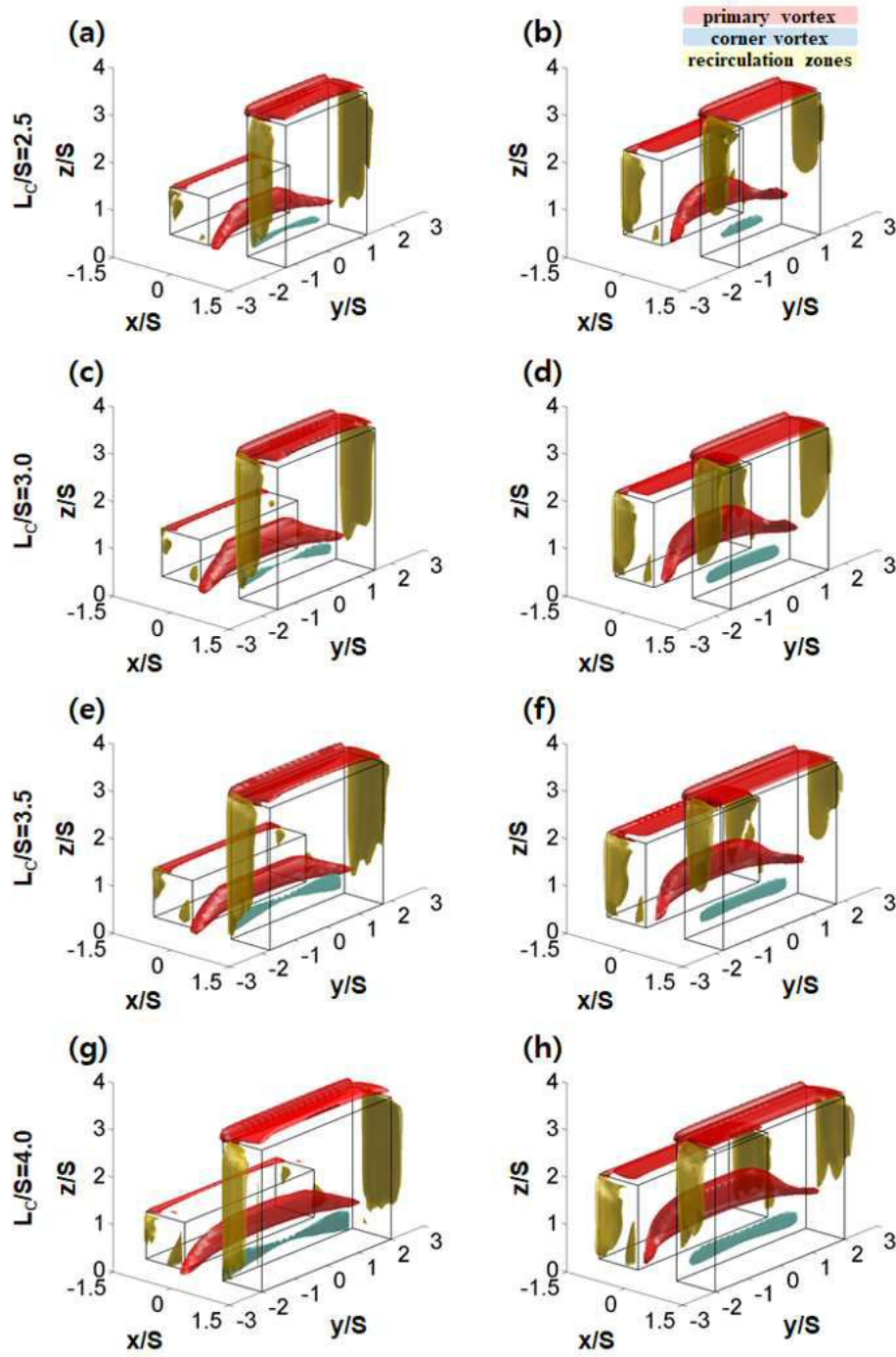
도면7



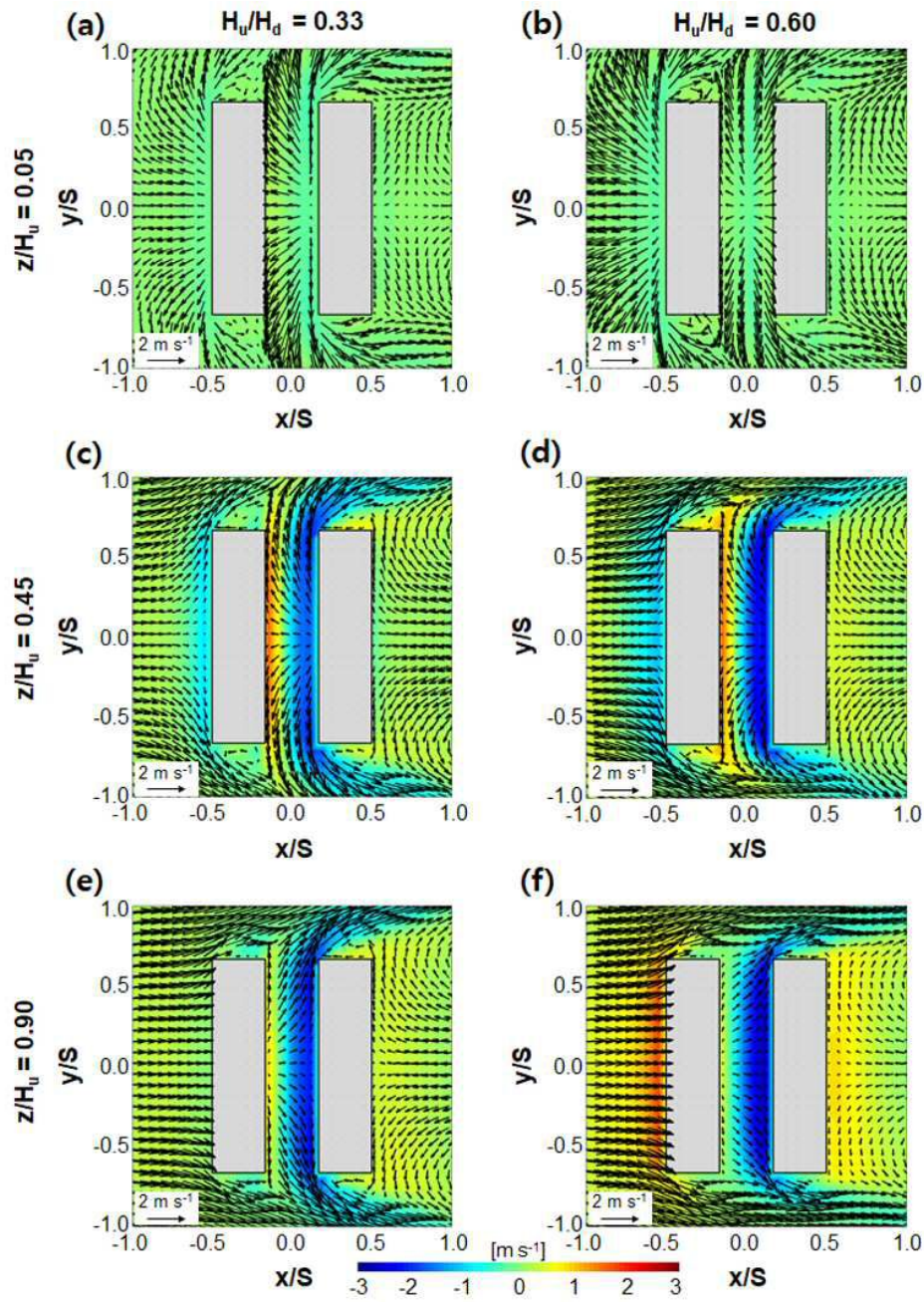
도면8



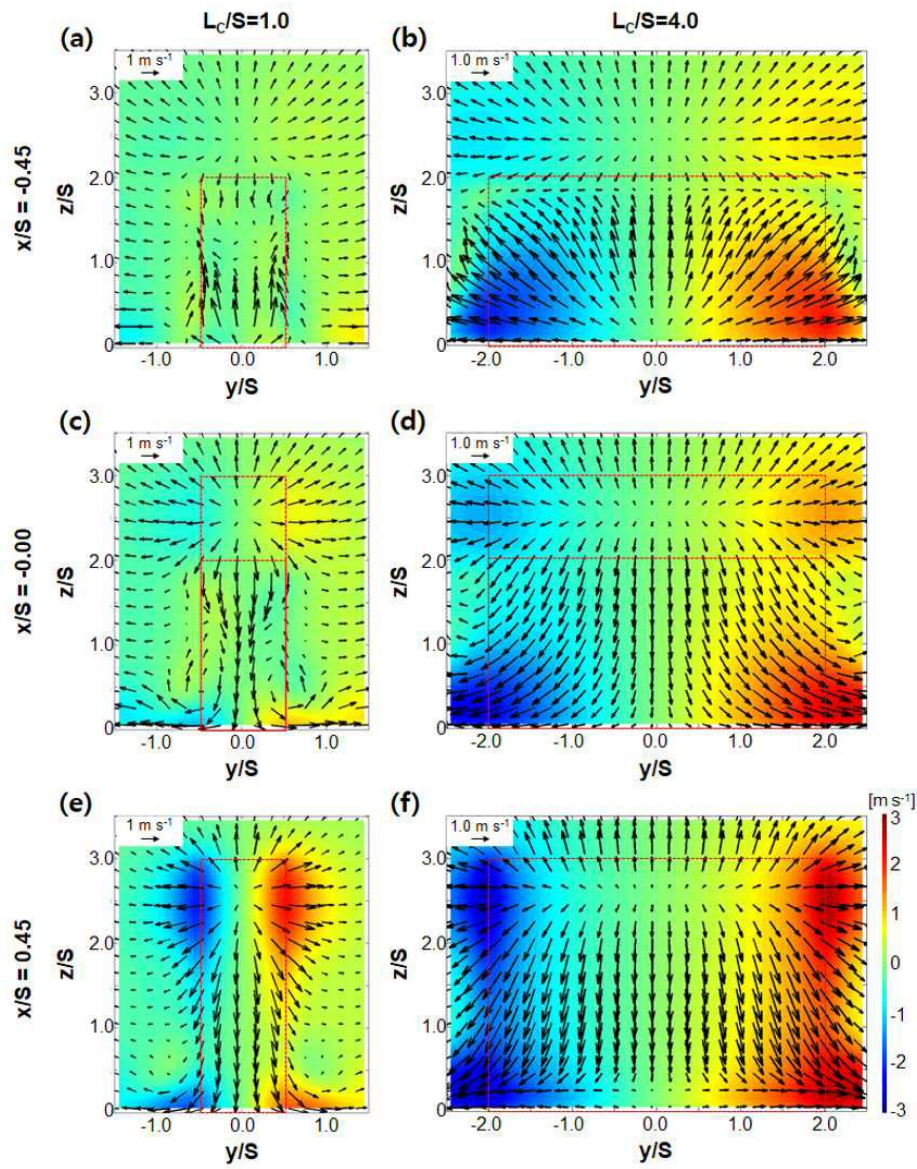
도면9



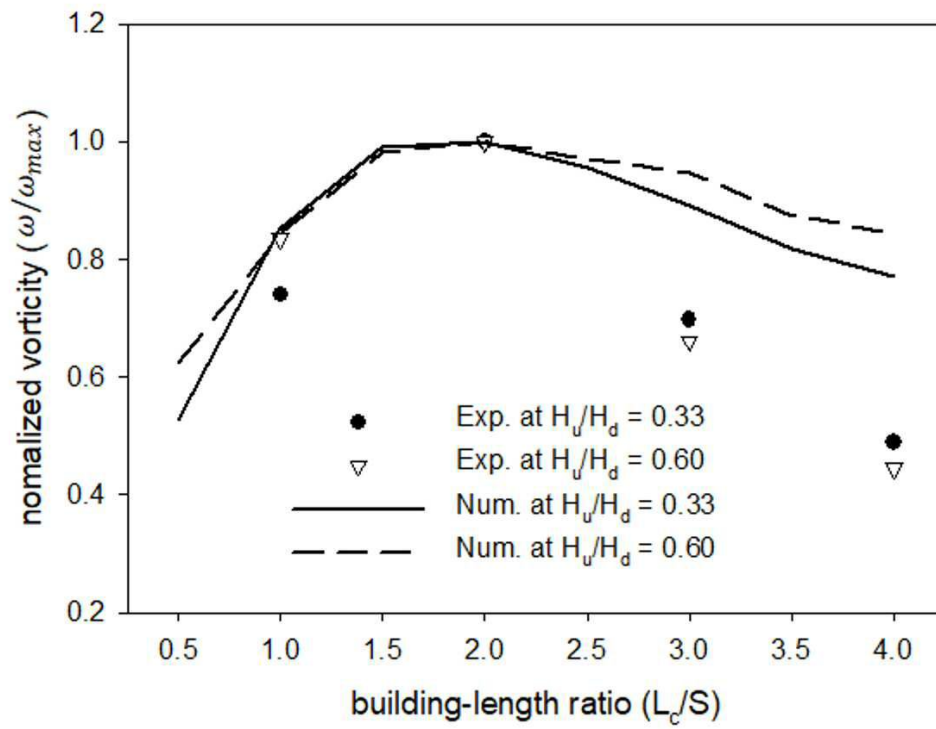
도면10



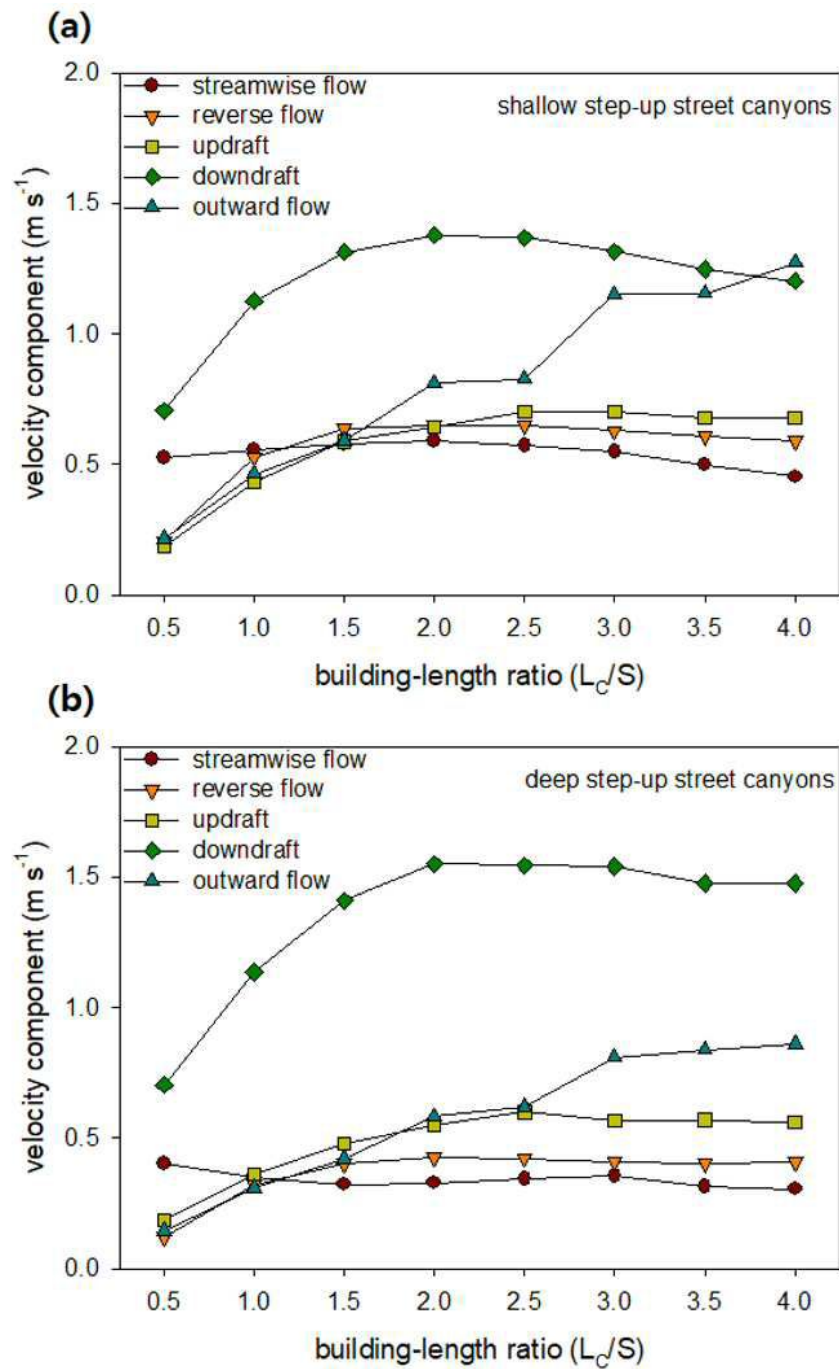
도면11



도면12



도면13



도면14

