

인접 Tunnel간 Canopy 설치에 따른 오염 물질 재유입 연구

김영섭, 김정욱, 이창우
동아대학교 지구환경공학부

1. 서론

비교적 가까운 거리에 건설된 인접터널간의 오염물질 재유입은 터널 환기의 주요 문제이며 사이 공간에 canopy를 설치하는 경우에는 더욱 심각한 문제를 야기할 가능성이 있다. canopy는 설해, 도로결빙 방지를 위한 방재목적으로 또는 시계조절을 통한 운전자의 안전을 위하여 설치되고 있으며 국내에서도 최근 들어 이에 대한 검토가 이루어지고 있다.

본 연구에서는 인접 터널 사이 canopy 설치에 따른 오염물질 재유입 가능성을 CFD분석을 통하여 연구함을 목적으로 하였다.

2. 시뮬레이션 분석

2.1 대상터널

본 연구에서는 50m의 거리를 두고 건설된 2개 터널을 대상으로 하였으며 주요 제원은 Table 1과 같다.

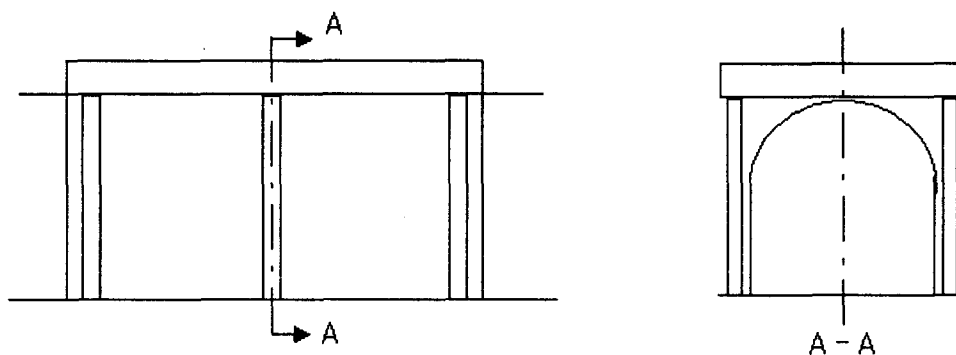


Figure 1. Canopy 형태

Table 1. 시뮬레이션 대상터널 제원

구분		특성	비고
터널	터널 1	길이 500m	단면적 70m ²
	터널 2	길이 500m	
제트 팬	대수	2대/터널	터널 1과 터널 2에 각각 2대씩 설치
	위치	160m,320m,710m,870m	
	Thrust	1320N	
canopy	형태	Figure.1과 같이 10×8m 직사각형단면 폭1m pillar 3개	터널 1과 터널 2를 직접 연결
	길이	50m	

2.2 시뮬레이션 방법

Innovative Research사의 SOLVENT를 이용한 CFD 시뮬레이션은 canopy가 설치된 경우와 설치하지 않은 경우를 대상으로 하여 canopy 구간에서의 풍속 및 오염물질 농도 분포를 3-D 분석하였다. 첫 번째 터널 출구로부터의 오염물질 배출을 시뮬레이션하기 위하여 첫 번째 터널 240m 지점에 5x1x1m 크기의 gas generator를 바닥으로부터 3.5m 위치에 설치하여 smoke를 방출하였다. 터널 출구 단면상에서의 농도 및 풍속 분포는 실제 터널 단면상의 분포형태와 최대한 유사한 형태를 보이도록 배출량 및 단면상의 위치 조절을 하였다.

2.3 시뮬레이션 결과

2.3.1 전 구간 풍속 분포

2가지 경우의 터널 전체 축방향 풍속분포의 시뮬레이션 결과를 도시하면 Figure 2 및 3과 같다. 첫 번째 터널의 경우에는 canopy의 설치 여부에 관계없이 거의 유사한 풍속 분포를 보이나 두 번째 터널에서는 canopy를 설치하지 않은 경우의 풍속이 상대적으로 약간 크게 나타나고 있다. 이와 같은 현상은 터널 전반부에 뚜렷하게 나타나고 있다.

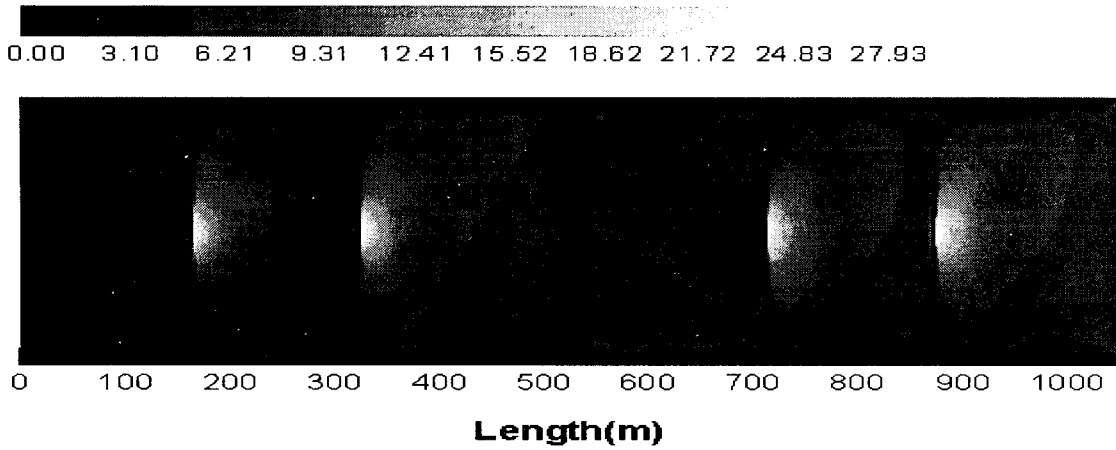


Figure 2. Canopy가 설치된 경우 전구간 축방향 풍속분포

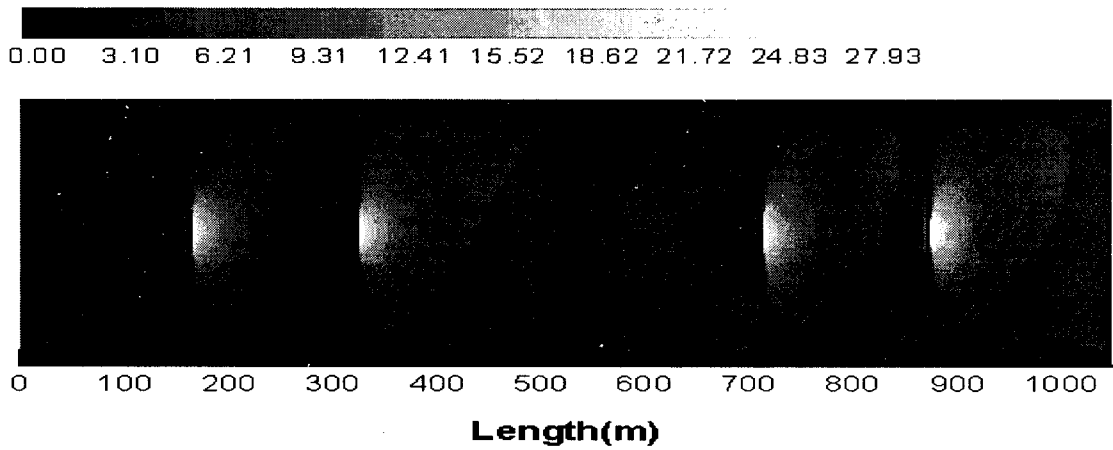
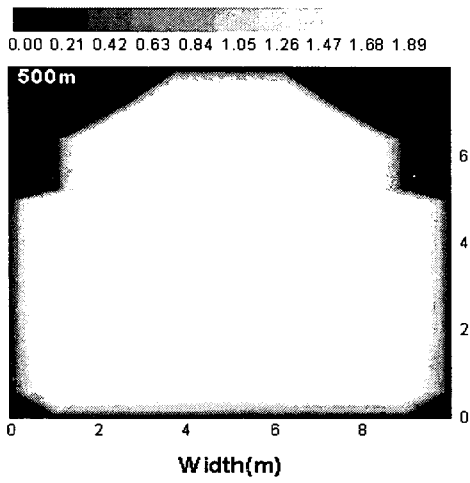


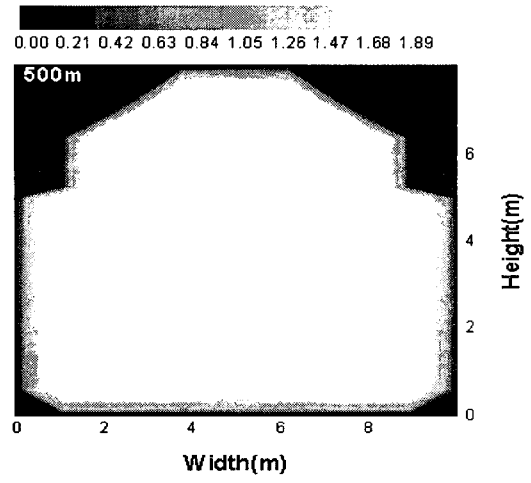
Figure 3. Canopy가 설치되지 않은 경우 전구간 축방향 풍속분포

2.3.2 거리별 단면상 풍속 분석

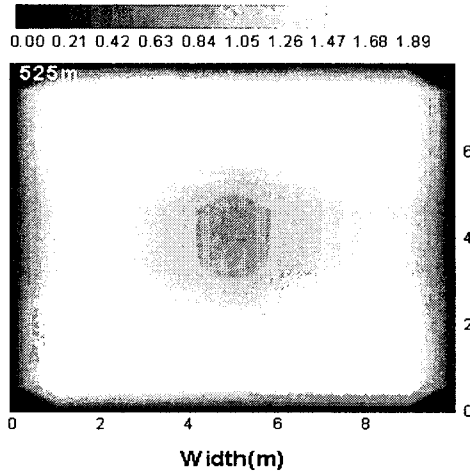
canopy 구간 500, 525, 540, 550 m 지점의 단면상에서의 풍속 분포는 Figure 4와 같으며 각 단면에서의 평균 풍속 값을 계산한 결과를 Table 2에 정리하였다. 보는 바와 같이 canopy를 설치하지 않은 경우의 평균풍속이 출구로부터의 제트류의 특징에 따라 전반부에서는 상대적으로 크게 나타나는 반면, 두 번째 터널에 가까워질수록 외부로의 유출로 인하여 평균풍속이 낮아지고 있음을 알 수 있다. 이는 단면상의 풍속 벡터를 나타낸 Figure 5에 분명히 나타나고 있다.



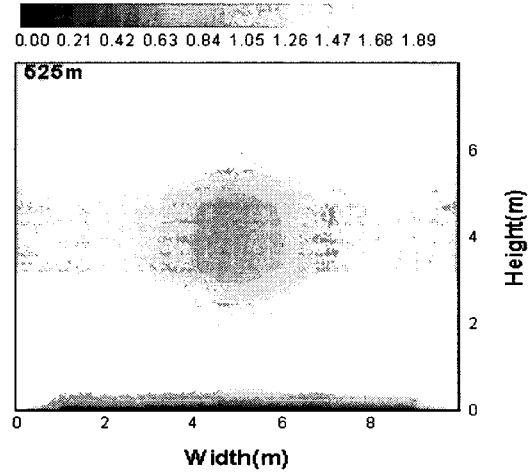
a. 500m 지점(with canopy)



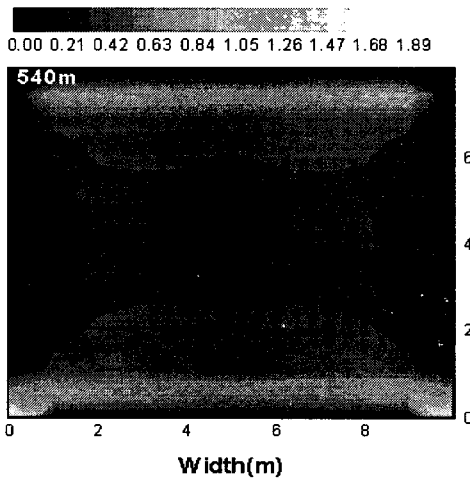
b. 500m 지점(without canopy)



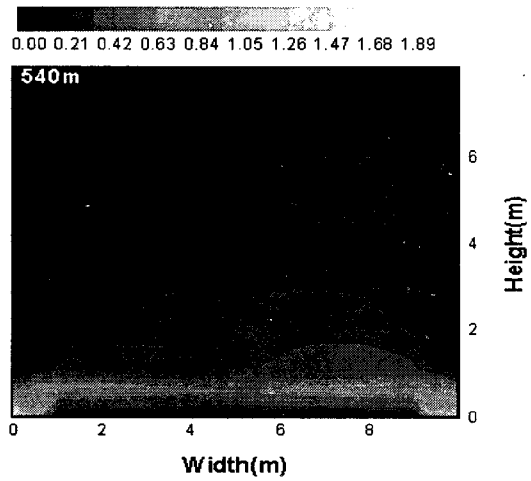
c. 525m 지점(with canopy)



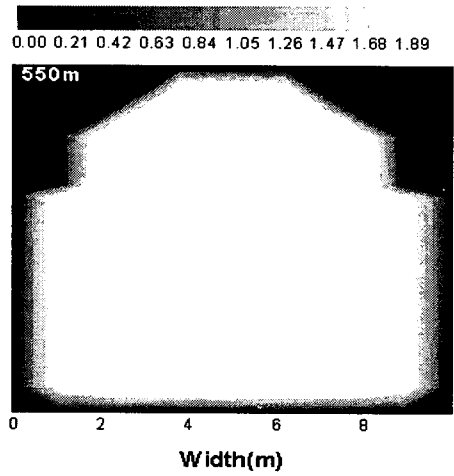
d. 525m 지점 (without canopy)



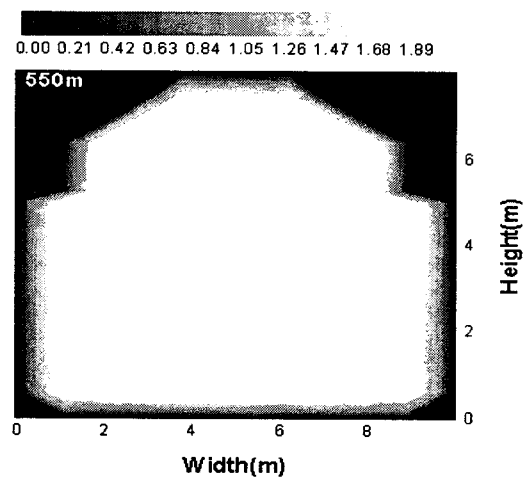
e. 540m 지점(with canopy)



f. 540m 지점(without canopy)



g. 550m 지점(with canopy)

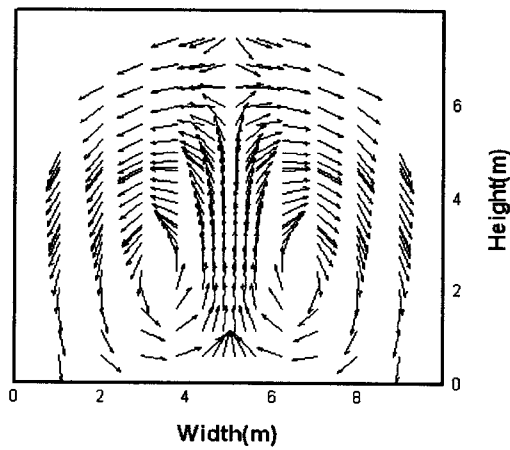


h. 550m 지점(without canopy)

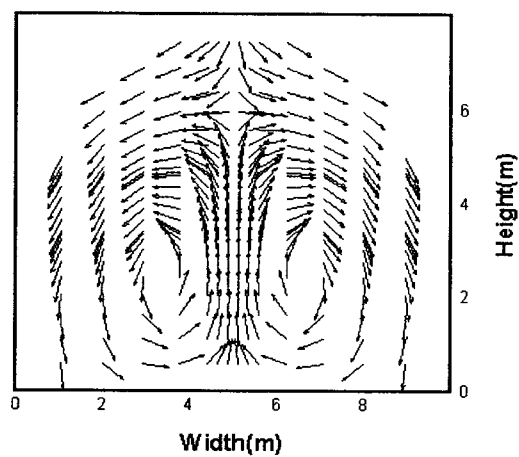
Figure 4. 단면상의 풍속분포

Table 2. 거리별 단면상 평균풍속

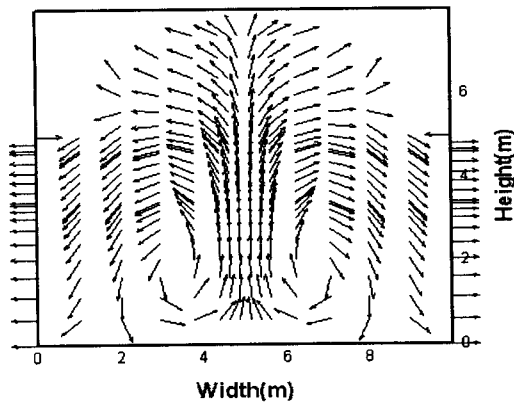
지점(m)	단면상 평균풍속(m/s)	
	with canopy	without canopy
500	2.08	2.09
525	1.16	1.41
540	0.27	0.17



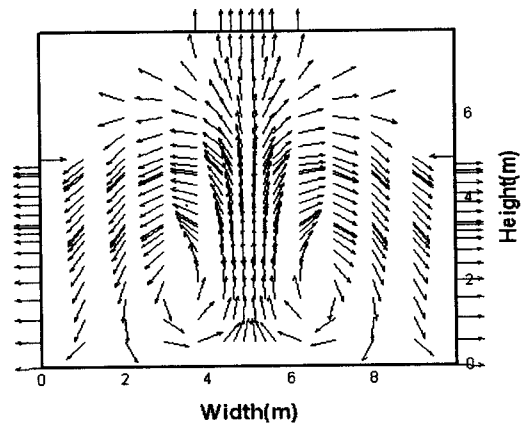
a. 490m 지점(with canopy)



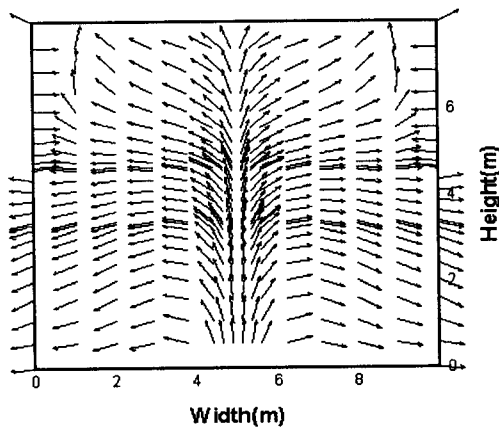
b. 490m 지점(without canopy)



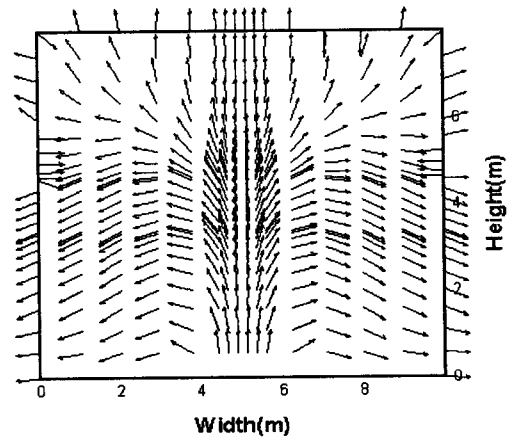
c. 500m 지점(with canopy)



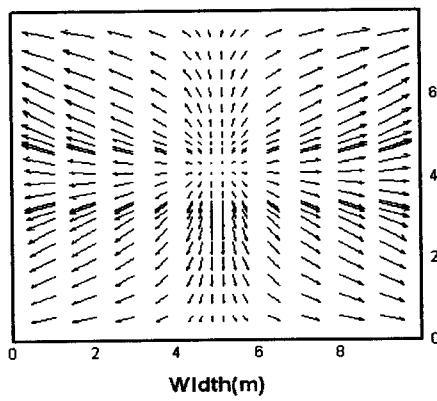
d. 500m 지점(without canopy)



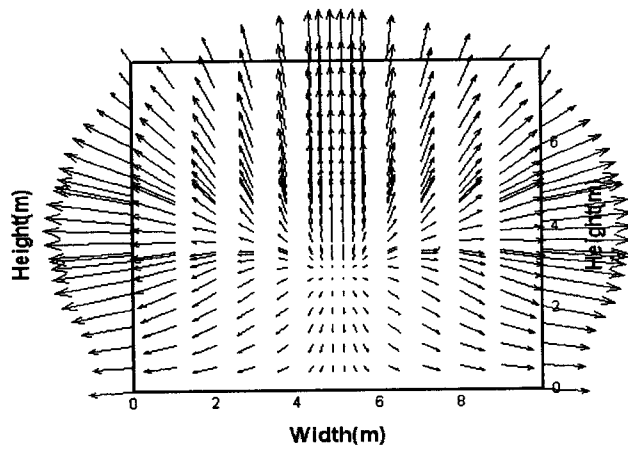
e. 510m 지점(with canopy)



f. 510m 지점(without canopy)



g. 525m 지점(with canopy)



h. 525m 지점(without canopy)

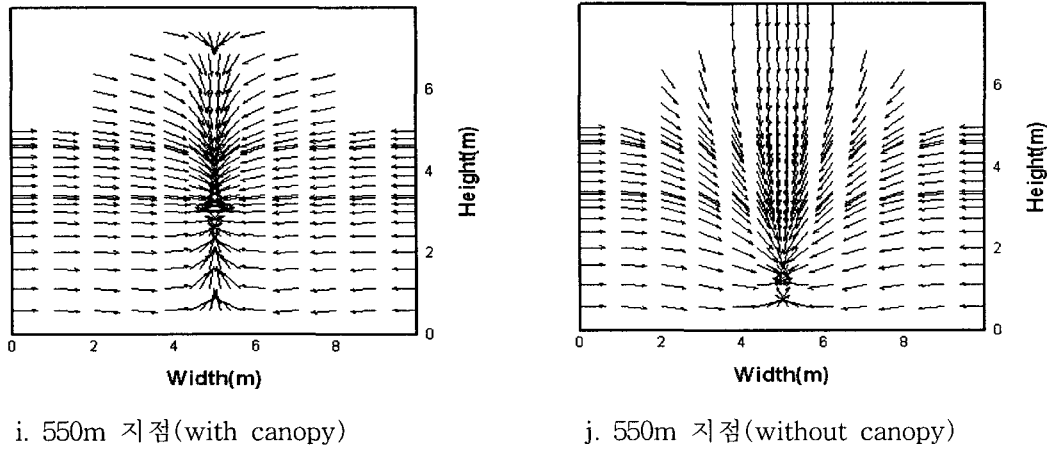


Figure 5. 단면상의 풍속 벡터분포

2.3.3 오염물질 농도 분포

터널 전 구간에서의 농도 분포와 단면상 평균 농도 분포값을 Figure 6과 7에 도시하였으며 canopy 구간에서의 거리별 단면상의 농도분포는 Figure 8에, 그리고 단면상 평균 농도값은 Table 3에 각각 정리하였다. 전 구간에서의 농도분포는 거의 유사한 형태를 보이고 있으나 canopy 구간에서의 농도 분포는 Table 3에 나타난 바와 같이 풍속 분포와 동일한 특징을 보이고 있다. 즉 canopy 구간의 전반부에서는 풍속이 상대적으로 빠른 canopy를 설치하지 않은 경우의 농도가 상대적으로 크나 후반부인 두 번째 터널에 인접한 지점에서는 반대로 작아짐을 알 수 있다.

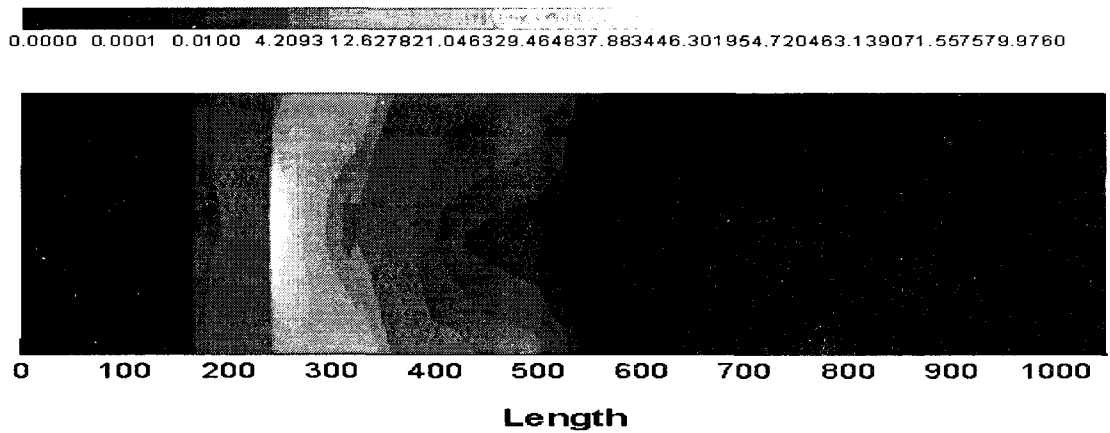


Figure 6. canopy가 있는 경우의 전구간 농도 분포

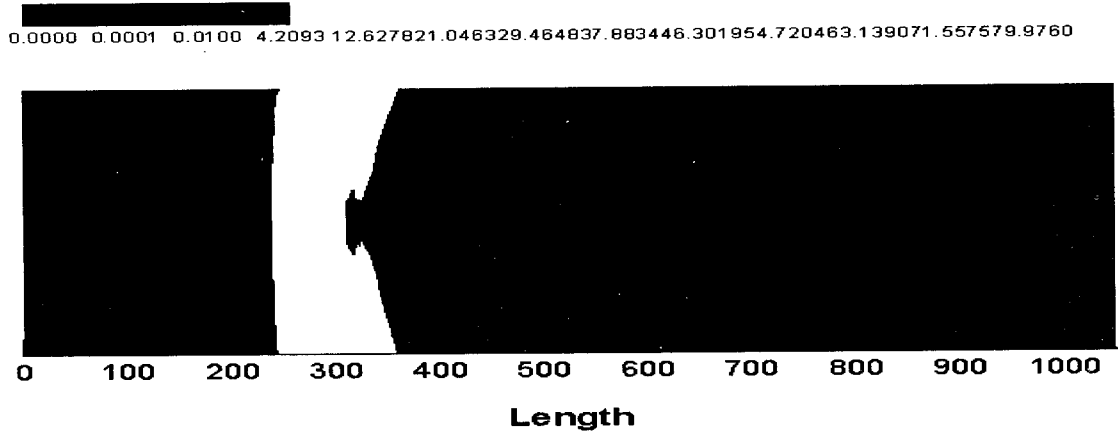
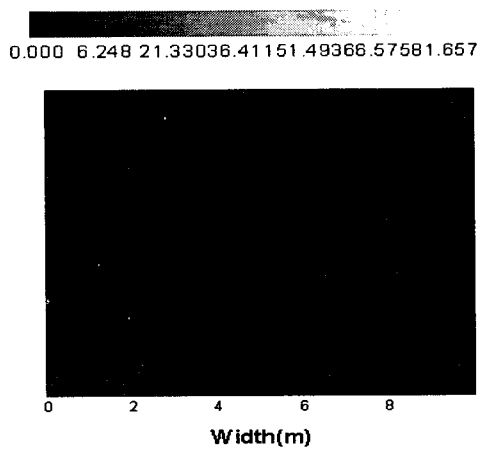
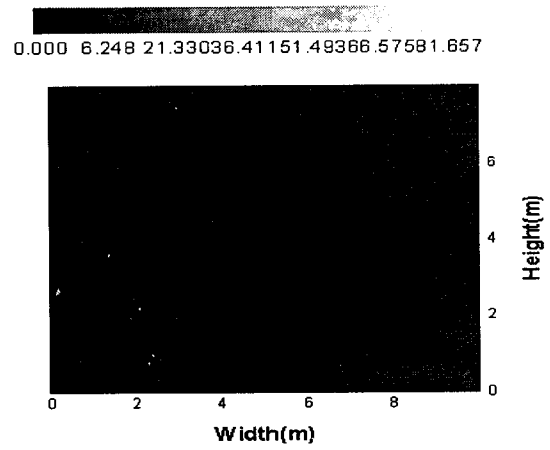


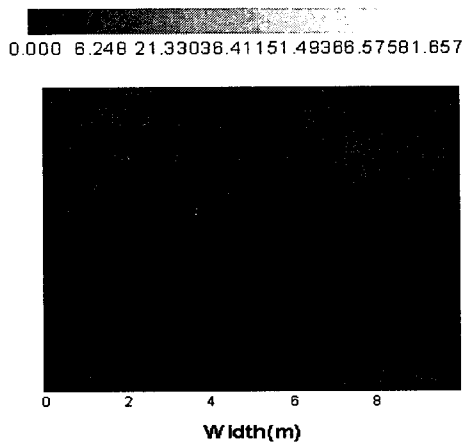
Figure 7. canopy가 없는 경우의 전구간 농도 분포



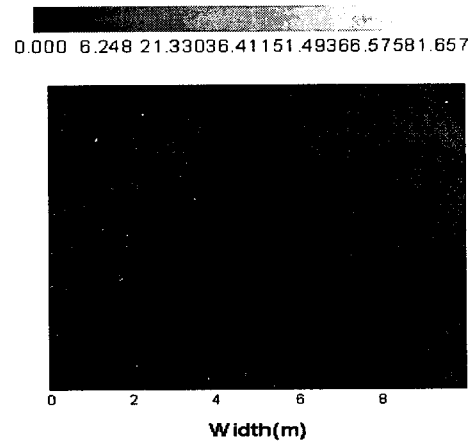
a. 490m 지점(with canopy)



b. 490m 지점(without canopy)

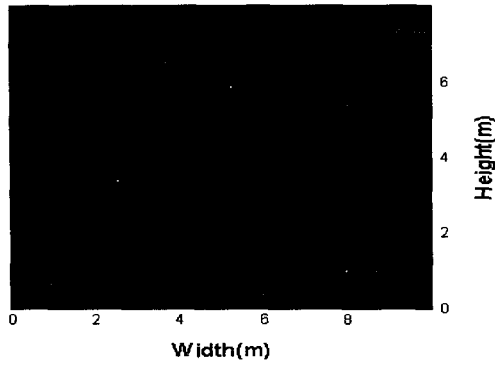


c. 500m 지점 (with canopy)



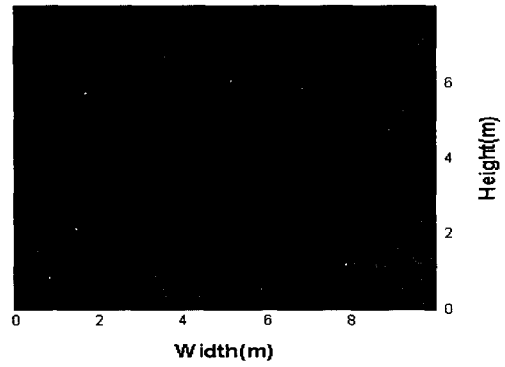
d. 500m 지점(without canopy)

0.000 6.248 21.33036.41151.49366.57581.657



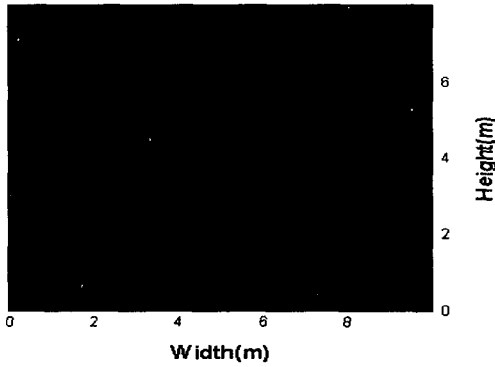
e. 525m 지점(with canopy)

0.000 6.248 21.33036.41151.49366.57581.657



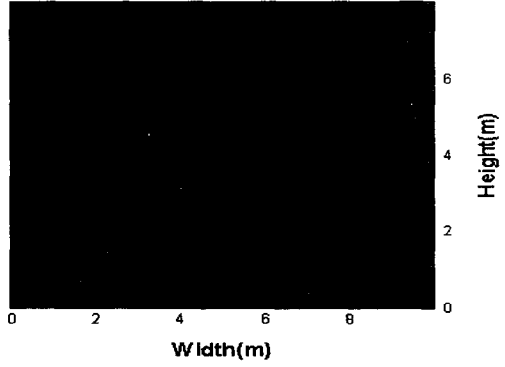
f. 525m 지점(without canopy)

0.000 6.248 21.33036.41151.49366.57581.657



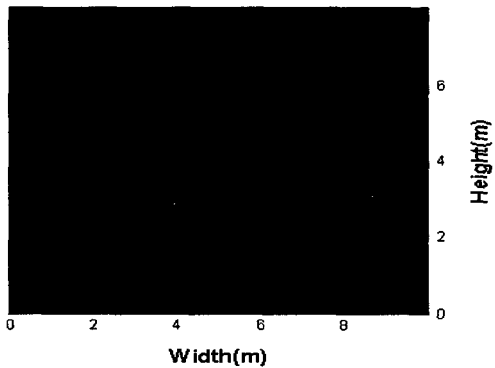
g. 550m 지점(with canopy)

0.000 6.248 21.33036.41151.49366.57581.657



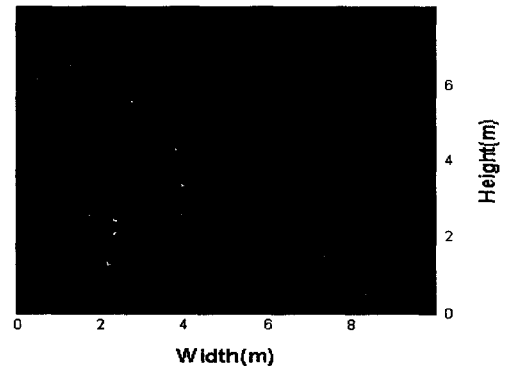
h. 550m 지점(without canopy)

0.000 6.248 21.33036.41151.49366.57581.657



i. 560m 지점(with canopy)

0.000 6.248 21.33036.41151.49366.57581.657



j. 550m 지점(without canopy)

Figure 8. 거리별 단면상 농도 분포

Table 3. 거리별 단면상 평균농도

지점(m)	단면상 농도 평균	
	with canopy	without canopy
490	0.0089	0.0093
500	0.0067	0.0069
525	0.0001	0.001
550	0.00001	0
560	0	0

2.3.4 재유입율 분석

첫 번째 터널로부터 배출되는 오염물질 중 두 번째 터널로 재유입되는 오염물질의 상대적 비율로 정의되는 재유입율(Interference rate, IR)은 다음과 같이 수식화 할 수 있다.

$$IR = C_2/C_1$$

C_2 =2번째 터널 입구부분 평균농도

C_1 =1번째 터널 출구부분 평균농도

기준 지점을 490m와 500m, 즉, 첫 번째 터널의 출구 -10m지점과 출구를 기준으로 하여 계산한 재유입율은 Table 4와 같다. canopy가 없는 경우에는 재유입이 0이며 이는 터널 사이 50m 구간을 통해 첫 번째 터널에서 발생한 오염물질이 canopy 구간에서 거의 모두 확산되고 있음을 나타낸다. canopy를 설치한 경우에는 약 0.11~0.14 % 정도의 재유입율을 보이나 본 연구 대상 터널의 경우에는 우려할 수준은 아닌 것으로 판단된다.

Table 4. Canopy 설치에 따른 재유입율 비교

기준지점(m)	비교지점(m)	오염물질 재유입율(%)	
		with canopy	without canopy
490	550	0.11	0
	560	0	0
500	550	0.14	0
	560	0	0

3. 결론

인접터널간에 설치한 canopy에 의한 오염물질 재유입 가능성을 CFD 분석한 결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 본 연구 대상 터널의 경우 전구간 풍속 분포는 유사하나 두 번째 터널의 전반부 풍속은 canopy를 설치하지 않은 경우가 상대적으로 약간 크게 나타나고 있다. canopy 구간의 경우에는 전반부의 풍속은 canopy를 설치하지 않은 경우가 상대적으로 크게 나타나나 전반적인 풍속 벡터가 외부로 향하고 있는 후반부에서는 외부 유출에 의해 작게 나타나고 있다.
- (2) 오염물질 농도 분포 분석 결과는 풍속 분포와 동일한 특징을 보이고 있다. canopy 구간의 전반부에서는 canopy를 설치하지 않은 경우가 상대적으로 크게 나타나며 후반부에서는 반대로 작아지고 있다.
- (3) canopy를 설치한 경우의 재유입율은 0.11~0.14 %의 범위를 보이나 canopy를 설치하지 않은 경우의 0%에 비하여서는 높은 수준으로 나타나고 있다.

재유입율은 터널의 환기설비 종류 및 용량 결정에 중요한 변수이다. 국내 현장에서의 방재 및 운전자 안전을 목적으로 한 canopy 설치의 본격적인 거론에 앞서 이에 대한 면밀한 분석이 필요하다고 사료된다.

참 고 문 헌

1. A. Mizuno, T. Satoh, Y. Hattori, K. Yamamoto, and T Kanoh, 2000, "Interference of contaminated air in successive tunnels linked by a snow shed", Proc 10th Int Symp on the Aerodynamics and Ventilation of Vehicle Tunnels, Boston, USA
2. Innovative Research, 2000, User's manual for SOLVENT
3. 서기윤, 김정욱, 이창우, 2001, "인접터널간 canopy 설치에 따른 환기효과 분석연구", 자원 공학회 2001 춘계학술발표회
4. 이창우, 2001, 광주 우회도로 터널 환기 시뮬레이션 분석, 설계보고서