

고성토 도로의 건설이 바람장에 미치는 영향에 관한 연구

임익현[†] · 서성규^{*} · 김상채^{**}

한려대학교 토목환경공학과

^{*}전남대학교 환경시스템공학과

^{**}목포대학교 환경교육과

A Study on the Effects of the Wind Field in the Construction of High Embankment Road

Ik-Hyoun Lim[†] · Seong-Gyu Seo^{*} · Sang-Chai Kim^{**}

Department of Civil and Environmental Engineering, Hanlyo University

Department of Environmental System Engineering, Chonnam National University

Department of Environmental Education, Mokpo National University

Abstract

Recently, Inhabitants nearby the high embankment road have requested a civil complaint on the environmental deteriorations and economic harms. This study was carried out numerical simulation using the 3-D microclimate model 'Envi-met' in order to investigate the variations of a flow field and a temperature field at the road sections with a high embankment and a bridge. About the simulation of flow field, the wind field has changed due to the disturbance of airflow by a high embankment road considerably. And the wind velocity decreased in the whole of simulation space widely. But, the wind velocity and wind direction sited loose to the section of a bridge, relatively. These results indicate that the numerical simulation can provide useful information to minimize the disasters, such as traffic accidents and various micro-climatic environments in the transportation projects.

Keywords : Numerical simulation, Envi-met, Wind field

1. 서론

최근 신규도로의 투자건수가 감소하고 있으나 도로건설에서 소요되는 비용은 급격히 증가되는 현상을 나타내고 있는데 이러한 원인은 국민들의 생활수준 향상과 더불어 안전하고 품질 높은 도로 건설의 요구로 이를 반영한 도로시설의 고급화와 주행성능, 경관 및 자연환경의 조화와 환경상 영향 등의 최소화

가 원인이 되고 있다.

우리나라와 같이 산지가 발달되고 평지와 연결되는 복합적인 지형조건에서는 평야지와 산지를 도로로 연결시 급격한 구배가 발생하므로 평야부에서 높은 성토구간이 발생하는 일반적인 건설 특성을 나타낸다. 이러한 고성토 도로가 협곡의 전면에 위치한 평야부를 통과하는 경우 주변마을에서 성토도로의 건설로 인해 조망권 침해와 도로의 단절 등으

로 생활환경의 직·간접적 피해가 발생하게 된다. 또한, 고성토 도로는 상대적으로 주변 농지의 표고가 낮아지는 효과로 일조권 방해와 공기흐름 차단 등의 영향을 미치게 되므로 농작물의 수확량 감소 등의 경제적 피해와 주변 지역의 열환경적 변화로 생활환경에 영향을 미치게 된다¹⁾. 따라서 최근 고성토 도로 구간의 인근에 거주하는 주민들이 도로가 생활환경에 미치는 영향과 경제적인 피해를 최소화 해 줄 것을 요구하는 민원이 급격히 증가하는 실정이다.

건물 및 인공 구조물은 공기흐름의 변동을 유발시켜 국지적인 대기 순환에 영향을 미치게 되어 미기후와 오염물질 확산 등에서 변화를 가져오게 된다. 따라서 산곡풍이 주기적으로 나타나는 협곡과 인접한 고성토 도로는 인공 구조물에 의해 공기의 흐름을 변화시켜 주변 환경이 악화로 인한 재해발생의 가능성이 존재한다.

건물 및 인공구조물 주변의 유동 현상에 관한 연구는 오염물질 확산과 관련하여 활발하게 진행되고 있다. 도로 협곡에서의 흐름 및 오염물질 분산에 대한 연구²⁻⁴⁾, 고층 건물과 아파트에 의한 기류변형과 열환경 변화에 관한 연구⁵⁻⁷⁾, 자동차 배기가스와 같은 도심지 대기오염물질 분산에 관한 연구⁸⁾가 수행되었다. 이러한 연구들은 주로 야외실험, 풍동실험, 수치실험 및 이론적인 접근 방법을 통해 이루어져 왔는데 이 중에서 풍동실험이나 야외실험은 실제 상황에서 흐름과 특성을 파악하므로 가장 현실적이고 실제 모습을 잘 파악할 수 있으나 연구과정에서 비용의 투입이 높다. 이에 비해 연구비용이 낮고 다양한 주변 조건과 변수의 적용과 결과의 다양한 분석이 가능한 수치모형을 이용한 유동특성에 대한 연구가 꾸준히 발전되고 있다^{1,3)}.

본 연구에서는 미기상 수치모형(Envi-met 3.1)을 이용하여 산곡풍 발생이 우세한 협곡의 전면부에 고성토 도로가 건설되는 경우 기류의 흐름에서 어떠한 영향이 미치는지 살

펴보고 바람장의 변화 요인에 대하여 고찰하였다.

2. 자료 및 방법

2.1. Envi-met 모델

본 연구에서 바람장의 수치해석을 위해 독일 Bochum대학의 Bruse에 의해 개발되고, 2010년에 최종 개선된 Envi-met 3.1 미기후 모델을 사용하였다. 이 수치모델은 “환경 기상” 시뮬레이션 프로그램으로 지면, 건물, 식생, 대기의 상호작용에 관한 미세규모(Microscale)의 단위로 국지 기상변화를 예측하는 모델이다.⁹⁾ 해상도는 수평규모로 수십 m~수km 정도로 개개의 건축물과 구조물, 지형, 식생, 지면 표현이 가능하며, 비압축, 비발산가정하에서 3차원 바람장의 계산 등의 수행할 수 있다. 따라서 Envi-met 모델은 대기모형, 식생모형, 토양모형, 그리고 지면과 건축물에 관한 식으로 좁은 영역의 상세한 기상정보를 도출하는 장점이 있다¹⁰⁾.

Envi-met 모델은 미기상 예측모델로서 여러 연구에서 다양한 분야의 수치해석에 사용되었다 정은 Envi-met 모델을 사용하여 개발로 인한 지형변화가 국지 바람장에 어떻게 영향을 미치는지 수치모의하였고¹⁰⁻¹¹⁾, 아파트단지 환기경로 파악을 위한 도구로 사용하였다. 박은 고층 건물에 의한 열환경변화를 Envi-met 모델로 수치모의하였다⁷⁾. 국외에서는 Bruse와 Fler가 Envi-met 모델을 이용하여 지표면 식생대기와의 상호작용에 관한 시뮬레이션을 하였고¹²⁾, Ali-Toudert와 Mayer는 도시협곡의 외형비와 solar orientation이 열전도(outdoor thermal comfort)에 미치는 영향에 대한 수치모의를 한 바 있다¹³⁾.

Envi-met 모델은 Windows운영체제에서 사용이 가능하고 프로그램은 홈페이지에서 무료로 제공되고 있으며, 수치모의 결과는 LEONARDO라는 자체의 결과해석 및 분석 전

용 프로그램을 이용하거나 ASCII형태로도 나타낼 수 있다.

2.2. 연구 대상지역

본 연구의 대상지역은 전라북도 임실군 덕치면 일중리 인근에 소재한 회문산과 성미산 협곡에 인접한 평야지에 고성토 도로와 교량의 설치가 계획된 공간영역으로 선정하였다.

연구 대상지역에서 신설 도로는 Fig. 1과 같이 북쪽 산지에서 귀림천을 통과하는 교량 구간과 평야부 농경지에 건설되는 고성토 구간으로 구분할 수 있다. 고성토 도로(성토높이 16~18 m)는 평야부에서 북쪽에서 남쪽 방향으로 가로질러 통과하고, 도로의 서측에는 회문산과 성미산 협곡의 입구가 위치하며, 동측은 평야부가 개방된 지형적 특성을 나타내고 있다. 또한, 협곡에서 시작된 귀림천이 남서쪽에서 북동방향으로 유하하고 있다.

주거지역은 회문산과 성미산 협곡의 입구에 일중마을이 위치하고, 동측의 농경지가 넓게 펼쳐진 평야부에는 소규모 건축물과 신촌마을 등이 산재되어 있다.



Fig. 1. Study area and surroundings.

2.3. 대상지역 기상현황

본 연구에서는 고성토 도로의 건설로 인한 공기의 유동특성에 대한 수치모사를 위해서

연구 대상지역이 소재한 임실군의 기상관측 자료를 분석하여 Envi-met의 기상자료로 구성하였다.

미기상 수치모형에 입력되는 기상자료는 Table 1에 제시된 바와 같이 2006년 임실관측소의 관측자료, 고도에 따른 풍속변화는 Decan의 Power law Eq.을 사용하였으며, wind profile exponent는 0.15(안정도 D, 시골지역)을 적용하였다. 풍향은 산곡풍이 우세한 기상조건을 반영하여 고성토 도로에 의한 미기후 변화의 예측을 위하여 바람이 NNW에서 ENE방향으로 도로와 직교하는 풍향을 적용하였다.

Table 1. Input data of meteorological conditions

Items	Wind speed (m/s)	Temperature (°C)	Relative humidity (%)	Wind direction
Weather Conditions	1.81	11.3	71.2	NNW

2.4. 수치모델링 영역

고성토 도로에 의한 주변지역에서 대기의 유동특성과 바람장의 영향을 분석하기 위하여 Fig. 2와 같이 수치모사 공간을 구성하였다. 수치모사 공간은 x방향으로 800 m, y방향으로 800 m를 설정하였고, x방향으로 80개(격자 간격 10 m) y방향으로 80개(격자 간격 10 m)의 격자로 구성하였다. 연직방향(z방향)은 20개의 층으로 설정, 격자 간격은 10 m로서 telescoping 옵션을 선택하여 상층으로 갈수록 5%씩 고도를 증가시켜 394 m까지를 모델링 영역을 구성하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 수치모사 결과의 분석방법

본 연구에서 수치모사 도로는 산지와 평야지의 연결을 위하여 평야부에 고성토 도로(최

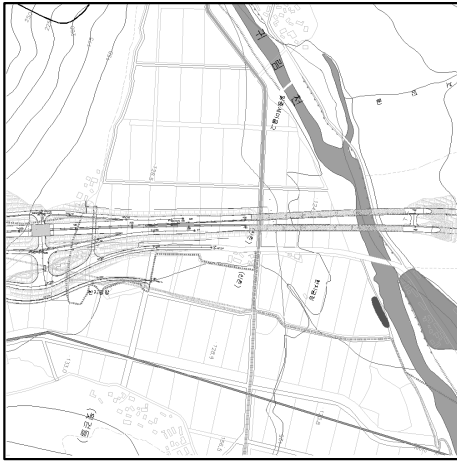


Fig. 2. Modeling domain of numerical simulation.

대 16~18 m)와 하천부(귀림천)에 교량으로 구조물 설치를 계획하고 있다. 본 연구에서도 건설에 따른 대기 유동과 바람장에 미치는 영향, 고성과와 교량 구간에서 바람장의 비교분석을 위하여 수치모사 공간을 x 축에 수직 및 수평 방향으로 각각 200 m, 400 m, 600 m로 분할하여 y - z 단면과 x - z 단면에서 바람장 및 유동특성을 분석하였다. 또한, 도로 건설로 인한 고도별 바람장의 영향을 분석하기 위해 수치모사 공간에서 x - y 단면의 고도별 바람장 변화 특성을 분석하였다.

본 연구에서 수치모사 결과의 분석을 위하여 설정된 분석공간은 Fig. 3에 나타내었다.

3.2. x - y 단면의 바람장 분석 결과

도로건설 전·후에 바람장 공간분포의 수치모사 결과로서 Fig. 4는 도로 건설전 30 m 고도(z)의 x - y 단면, Fig. 5는 도로 건설후 30 m 고도(z)에서 x - y 단면에서 공기의 유동특성을 나타낸 것이다. 건설전 평야부는 풍속이 높게 나타나지만 건설후에 고성토 도로와 인공 구조물(다리교각)의 설치로 기류가 통과하지 못하고 도로 풍상측과 풍하측에서 공기의 흐름이 방해되어 급격한 바람장의 변화가 나타났다.



Fig. 3. Analysis section of the results of numerical simulation.

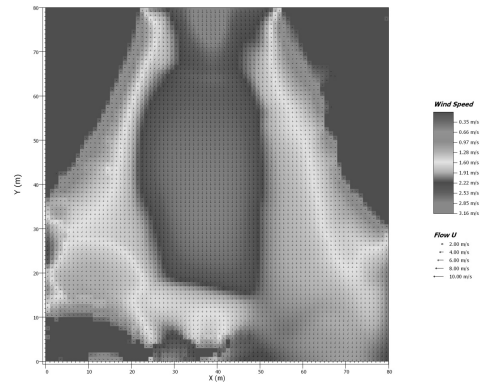


Fig. 4. Distribution of wind field of x - y section(before, $z=30$ m).

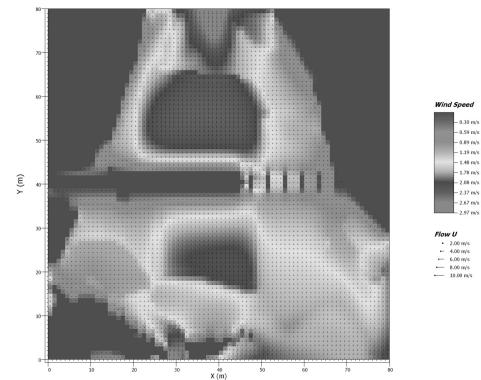


Fig. 5. Distribution of wind field in x - y section(after, $z=30$ m).

Fig. 6은 도로 건설전 40 m 고도(z)에서 x-y단면, Fig. 7은 건설후 40 m 고도(z)에서 x-y단면의 공기 유동특성을 나타낸 것이다. 건설전에 평야부는 풍속이 높게 나타났지만 건설후에는 고도 40 m가 도로 상단의 높이로서 고성토 도로와 교량 구조물로 인해 공기가 통과하지 못하여 도로 및 교량의 풍상측과 풍하측의 공기 유동이 방해되어 바람장의 급격한 변화가 나타났다.

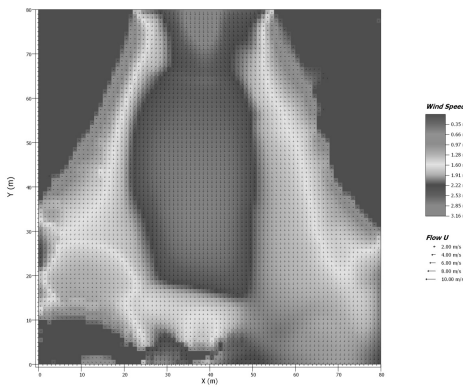


Fig. 6. Distribution of wind field of x-y section(before, z=40m).

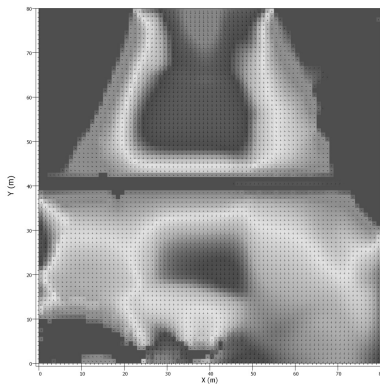


Fig. 7. Distribution of wind field in x-y section(after, z=40m).

Fig. 8은 도로 건설전 50 m 고도(z)의 x-y 단면, Fig. 9는 건설후에 50 m 고도(z)의 x-y 단면에서 유동특성을 나타낸 것으로 건설전

은 중앙의 평야부에서 풍속이 높게 나타났다. 건설후에 고도 50 m는 도로 상단에서 10 m 높이로서 고도 40 m와 비교하여 인공 구조물에 의한 공기 유동 방해가 감소되어 풍속은 건설전보다 낮지만 도로상단과 풍상측에서 회복되는 변화특성을 나타내었다.

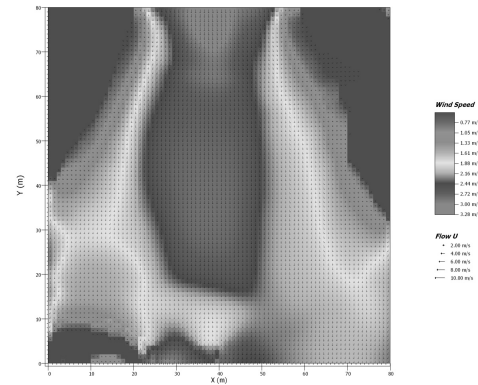


Fig. 8. Distribution of wind field of x-y section(before, z=50m).

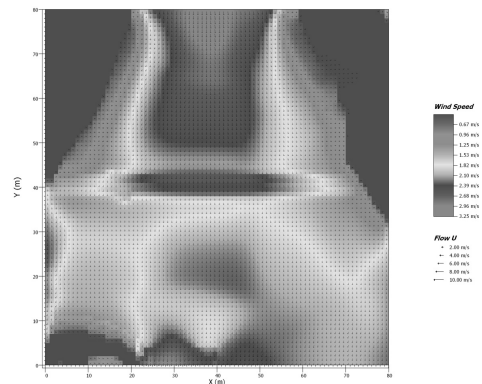


Fig. 9. Distribution of wind field in x-y section(after, z=50m).

Table 2는 전체 수치모사 공간에서 도로건설 전·후에 풍속의 변화특성을 분석한 결과이다. 분석결과, 고성토 도로의 건설은 전체 수치모사 공간에서 평균 풍속을 0.37 m/s (21.39%) 감소시켜 도로 설치로 인한 인공구조물 주변에서 바람장의 급격한 변화와 풍속

Table 2. Difference of wind speed of before and after road construction

Items	Total Area
	Ave. Wind Speed(m/s)
Before Road Construction	1.73
After Road Construction	1.36
Variation Volume	-0.37
Variation Ratio(%)	-21.39

이 감소되는 변화특성을 나타내었다. 따라서 깊은 협곡과 인접한 평야부에 고성토 도로를 건설하는 경우, 도로와 인접한 지역에서 바람장의 변화가 크게 나타나며 풍속도 감소하는 것으로 예측되었다. 또한, 도로와 다소 이격된 지역에서도 간접적 영향으로 풍속의 감소가 나타나 인접지역 뿐만 아니라 주변지역의 기류 변화에도 영향을 미치는 것으로 판단된다.

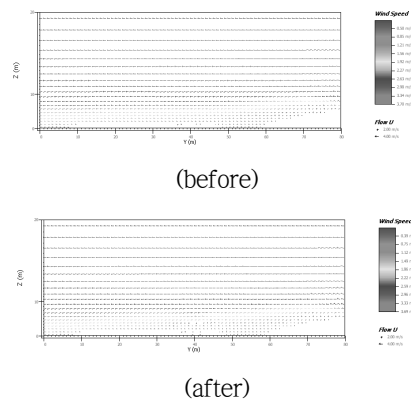
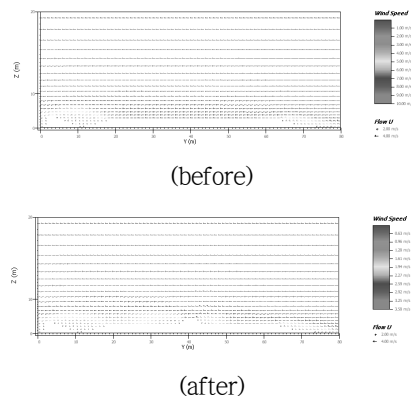
3.3. y-z단면의 바람장 분석 결과

Fig. 10~Fig. 12는 각각 건설도로와 평행한 x축 방향의 200 m, 400 m, 600 m 구간에서 도로의 건설 전·후에 y-z단면에서 바람장 분포를 나타낸 것이다.

고성토가 발생되는 200 m와 400 m 구간에서 y-z 단면의 바람장은 풍상측에 상승기류 형성과 풍속의 감소, 풍하측에 하향기류 형성과 풍속이 감소되는 유동특성을 나타내었다. 고성토 도로의 상단부는 고도(z)가 증가함에 따라 풍속도 증가하는 특성과 성토 구조물에 의한 바람장에 영향이 고도(z) 300 m 이상까지 미치는 것으로 나타났다.

교량이 설치되는 600 m 구간에서 y-z 단면의 바람장은 고성토 도로구간에 비해 교량 설치로 공기의 흐름이 원활하여 바람장에 미치는 영향이 크지 않아 풍속의 감소가 작게 나타났다.

따라서 협곡과 인접한 평야지에 도로를 건설하는 경우 노선 주변의 특성과 차량의 안전운행 등을 고려하여 고성토 발생을 최소화

**Fig. 10.** Distribution of wind field of y-z section(x=600m).**Fig. 11.** Distribution of wind field of y-z section(x=400m).

하거나 바람장에 미치는 영향이 작은 교량 등으로 설계하는 것이 미기상 환경변화와 교

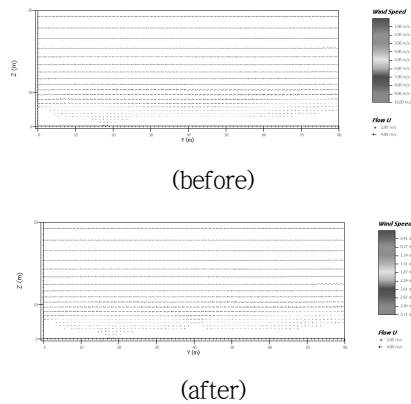


Fig. 12. Distribution of wind field of y-z section(x=200m).

통사고 등의 재해 발생 가능성을 최소화할 수 있을 것으로 판단된다.

3.4. x-z단면의 바람장 분석 결과

Fig. 13~Fig. 15는 각각 도로와 수직한 y축 방향의 200 m, 400 m, 600 m 구간에서 도로 건설 전·후에 x-z단면의 풍속 분포를 나타낸 것이다.

도로의 풍상측에 위치한 200 m 구간에서 x-z 단면의 바람장은 도로의 설치에 풍상측의 평야부에서 상승기류의 형성과 흐름 방해

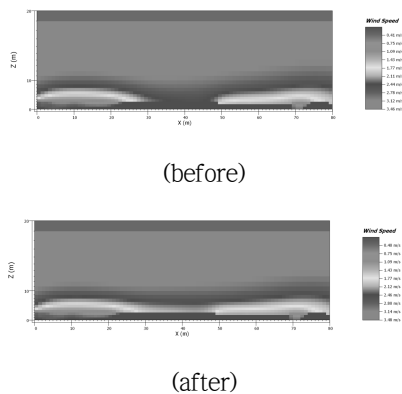


Fig. 13. Distribution of wind speed in x-z section(x=200m).

로 풍속이 감소되는 유동특성을 나타내었다.

도로의 중앙부가 위치한 400 m 구간에서 x-z 단면의 바람장은 풍상측 상승기류의 유동이 빨라져 풍속이 전체적으로 증가되었고, 교량부에서는 기류의 유동변화 특성이 작게 나타났다.

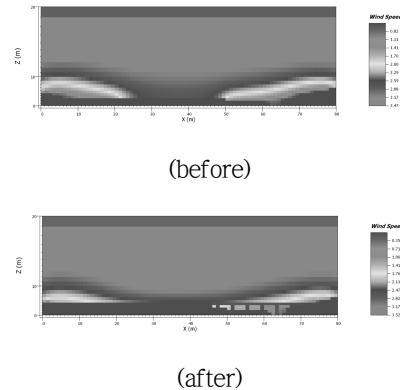


Fig. 14. Distribution of wind speed in x-z section(x=400m).

도로의 풍하측에 위치한 600 m 구간에서 x-z 단면의 바람장은 풍속은 다소 감소하나 바람장에 미치는 영향은 크지 않은 것으로 나타났다.

따라서 고성토 도로의 건설은 풍상측에서 풍속이 감소시키며, 도로 상단부는 풍속을 다

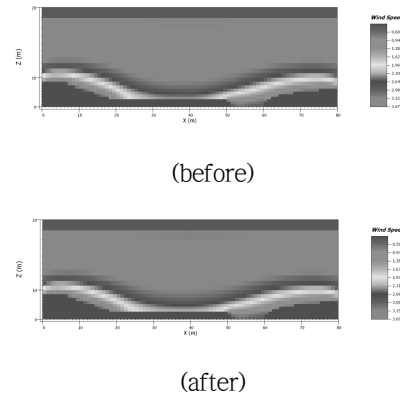


Fig. 15. Distribution of wind speed in x-z section(x=600m).

소 증가시키는 특성을 나타내었고, 풍하측과 교량 설치구간은 영향이 크지 않은 것으로 분석되었다.

4. 결 론

본 연구에서는 전북 임실군 덕치면 일주리에 소재한 회문산과 성미산 협곡과 인접된 평야지에 고성토 도로와 교량 설치가 계획된 지역을 중심으로 미기상 수치모델인 Envi-met을 이용하여 기류의 유동특성의 변화에 대하여 수치모사를 수행하였다. 일반적으로 깊은 협곡에서 산곡풍이 우세한 기상조건을 반영하기 위하여 도로와 직교하는 NNW측에서 ENE방향으로 바람이 진행하는 풍향을 적용하였다. 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

바람장 분석 결과, 고성토 도로가 통과하는 지역은 기류의 흐름 방해와 변동특성으로 풍상측과 풍하측에서 바람장의 급격한 변화를 나타내었다. 전체 수치해석 공간에서 평균 풍속은 0.37 m/s(21.39%) 감소되는 것으로 나타났다. 고성토 도로의 풍상측은 상승기류의 형성과 풍속 감소, 풍하측은 하향기류의 형성과 풍속 감소의 특성을 나타내었다. 도로의 상단부는 고도(z)가 증가함에 따라 풍속이 증가되고 300 m 이상까지 성토의 영향을 미치는 것으로 나타났다. 그러나 교량이 건설된 구간은 풍향에 영향도 크지 않고, 풍속의 감소도 상대적으로 낮게 나타났다. 따라서 협곡과 인접한 평야지에 도로를 건설하는 경우 노선 주변의 특성과 차량의 안전운행 등을 고려하여 고성토 발생을 최소화하거나 바람장 변화에 영향이 작은 교량 등으로 설계하는 것이 미기상 환경변화와 교통사고 등의 재해 발생을 최소화할 수 있을 것으로 판단된다.

본 연구에서는 미기상모델인 Envi-met을 이용하여 협곡과 인접하여 고성토 도로가 건설되는 지역에서의 바람장과 온도장을 수치모사하고 그 특성을 분석해 보았다. 이와 유

사하게 도로의 건설 분야에서 여러 입지환경과 구조물 설치 등에 대하여 수치모사를 수행할 수 있고, 이를 통해 미기상 변화의 특성과 교통사고의 발생요인 등을 파악함으로써 재난발생 가능성을 최소화하는데 유용한 정보를 제공할 수 있을 것으로 판단된다.

References

1. 임은하, 한종일, 엄원근(1996), 유압류의 시어와 외관비가 빌딩 주위 바람장에 미치는 영향에 관한 3차원 수치실험, 한국기상학회지, 32(2), pp. 303-312.
2. 김재진, 박종진(2005), CFD 모형을 이용한 도시 도로 협곡에서의 흐름 체계 분류, 한국대기환경학회지, 21(5), pp. 525-535.
3. 김재진, 백종진(2005), CFD 모형을 이용한 도시 지역 흐름 및 스칼라 분산 연구, 한국기상학회지, 41(5), pp. 733-749.
4. 박승부, 백종진(2007), CFD 모형을 이용한 3차원 비대칭 도로 협곡에서의 흐름 및 오염물질 분산 연구, 한국대기환경학회지, 16(4), pp. 467-477.
5. 정우식(2007), 아파트단지 환기경로 파악을 위한 주풍향별 방람장 분석, 한국환경과학회지, 16(4), pp. 467-477.
6. 장은숙(2005), 아파트 단지내의 열섬효과가 대기오염물질 확산에 미치는 영향 해석을 위한 열유동장 수치모의, 한국환경과학회지, 14(6), pp. 577-582.
7. 박명희, 김해동(2006), 고층건물에 의한 기류변형과 열환경 변화에 관한 수치모의, 한국지구과학회 추계학술발표회, pp. 208-214.
8. 전영남, 송형운(2004), 도심지 빌딩주변의 자동차 배기가스 분산에 대한 수치모델링, 대한환경공학회지, 26(5), pp. 619-622.
9. <http://www.envi-met.com>
10. 정우식, 박종길, 이화운(2006), 개발에 따

른 지형변화가 국지 바람장에 미치는 영향 분석 -Envi-met 모형을 이용한 수치모의-. 한국대기환경학회지, 22(6), pp. 888-903.

11. 정우식, 박종길, 이화운, 김은별(2006), 강풍조건에서 국지규모 지형 변화에 따른 풍하측 바람장 변화, 한국기상학회지, 16(3), pp. 169-185.
12. Bruse M. and H. Fleer(1998), Simulating surface-plant-air interactions inside urban environments with a three dimensional numerical model, Atmos. Environ., 13(3), pp. 373-384.
13. Ali-Toudent F. and H. Mayer(2006), Numerical study on the effect of aspect ratio and orientation of an urban street canyon on outdoor thermal comfort in hot and dry climate, Building and environment, 41(2), pp. 94-108.