

항공 LiDAR 데이터를 활용한 CFD 모델 입력자료 품질 향상에 대한 기초연구

A Basic Study on Enhancement of Input data Quality for the CFD Model Using Airborne LiDAR data

박 명 하* 안 승 만** 최 윤 수*** 정 인 훈**** 전 병 국*****
 Myeong Ha Park Seung Man An Yun Soo Choi In Hun Jeong Byeong-Kuk Jeon

요 약 최근 CFD 기술 발전과 보편화를 통해 소규모 지역에서의 수치기상모의 영향평가와 설계반영 기법이 단계계획과 엔지니어링 설계에 반영되는 추세이지만 수치지도에서의 건물이나 지물 높이정보 부재와 그에 따른 입력방법의 부정확성 등으로 인해 수치기상모의 결과의 신뢰성이 저하되어, 산업 현장에서 실험적 연구로만 진행될 뿐 일반 업무로는 확대되고 있지 않는 실정이다. 따라서 본 연구는 현재 대 도시를 중심으로 구축되고 있는 항공 LiDAR 기술을 통해 수집된 데이터들로부터 수치기상모의에 필요한 기본 입력 자료를 자동 추출 및 구축하여 수치기상모의에 활용하고자 기존의 수치지도 및 현장조사 자료를 기반으로 하는 수치모의와 비교한 결과, 모의 범위 및 해상도가 증가할수록 초기입력자료(.in)의 생산효율성이 증가하였으며, 자료의 품질 및 해상도 또한 향상된 결과를 얻을 수 있었다. 이를 통해 향후, 도시 재개발로 인해 발생하는 입체적인 도시의 물리적 구조 변화를 항공 LiDAR 데이터를 이용함으로써 환경변화에측을 위한 수치모의에 빠르게 이용할 수 있을 것이다.

키워드 : LiDAR, CFD Model, 초기입력자료, ENVI-met

Abstract The recent development of CFD techniques are being involved with Environmental Impact Assessment and Environmental DesignroThey are being applied to the Site Planning and Engineering Design works as a new trendroHowever, CFD laboratory works are not extended to the field works in Industrial Project due to inaccuracy of the data input process that is cause by absence of regional height informationsroHence, in this study, we promote to build a new initial input data processing steps and algorithms for CFD Model generation. ENVI-met model is very popular, efficient, and freely downloadable CFD model. Light Detection And Ranging (LiDAR) are well known state of art technology and dataset proving a reliable accuracy for CFD. We use LiDAR data as a input source for CFD input producing process and algorithm development and evaluation. CFD initial input data generation process and results derived from am development and set is very useful and efficient for rapid CFD input data producing and maklmore reliable CFD Model forec st for atmospheric and climatic analysis for planning and design engineering industry.

Keywords : LiDAR, CFD, Model Enhancement, Initial Input data, ENVI-met

1. 서 론

지식정보화 사회에서 국가공간자료에 대한 정보

DB의 구축은 국토의 효율적 관리뿐만 아니라 공간과 관련된 각종 의사결정과 다양한 응용분야 활용 등이 가능하므로 국가정보화의 핵심 사업이 되고 있다.

† 이 논문은 공간정보 전문인력 양성사업의 지원을 받아 수행된 연구임.

* 아세아항공측 상무·공학석사· survmh@hanmail.net
 ** 건국대학교 신기술융합학과 연구교수 seungman_an@konkuk.ac.kr(교신저자)
 *** 서울시립대학교 공간정보공학과 교수 choiys@uos.ac.kr
 **** 서울시립대학교 일반대학원 공간정보공학과 박사과정 easystudio@uos.ac.kr
 ***** 서울시립대학교 도시과학대학 도시공학과 박사수료·국토해양부 한강홍수통제소 소장 bkjeon@korea.kr

그러나 이러한 국가공간정보에 대한 구축은 다양한 수요자를 만족시켜야 하기 때문에 국가에서 구축하는 정보의 개념이 특정 활용분야를 목표로 하기보다는 국가공간자료의 기반 구축이라는 개념으로 바뀌고 있다. 즉 다양한 사용자가 공통으로 이용할 수 있는 공간정보 활용의 기반을 조성하여 이를 근간으로 각종 응용이 가능해질 수 있어야 한다[9]. 이러한 요구는 미기상 모의를 위한 공간정보의 활용 부분에서도 동일하게 적용된다.

최근에는 소규모 지역의 수치기상모의를 통한 영향평가 및 설계반영 기법이 계산유체역학(Computational Fluid Dynamics, 이하CFD) 모델링 기술을 통한 도시의 친환경성 확보 및 지속가능한 개발 및 도심재생 부분 등 다양한 분야에서 기여하고 있으며[14], 건설사들의 공동주택단지 종합환경분석 시스템 등에서도 적용되고 있다.

본 연구의 목적은 항공 LiDAR 데이터 및 수치표면자료 처리 기술을 이용하여 미기상 수치모의에 사용되는 입력 자료를 생성함으로써 미기상 CFD 모의에 있어 초기입력자료(in) 품질 및 모의 결과의 정확도를 향상시키는 것에 있으며, 본 연구의 내용적 범위는 항공 LiDAR 점군(Cloud Points)자료를 이용해 지면(ground), 교목식생(tree), 및 건물(building)을 분류하고, 분류된 점군자료를 격자화하여 CFD 모델 입력 자료를 제작하는 부분, 모델링을 통해 생성된 CFD 결과의 품질 개선 효과에 대해 기존의 수치지도 및 현장조사 자료를 기반으로 하는 수치모의 결과와 비교하여 품질 및 정확도에 대해 검증하는 부분을 포함한다.

공간적 범위로써는 최근 대규모 단지 개발이 이뤄진 서울시 은평구 일대를 대상으로 하였으며 항공 LiDAR 데이터 취득이 가능하고 단지 건설로 인해 미기상 변화가 있을 것으로 예상되는 두 지구를 선택하여 연구를 실시하였다.

2. 도시기후 분석 이론

2.1. CFD 모델

CFD 모델은 물리적인 사실성을 목적으로 입체적인 공간에서의 유체의 유동을 계산하는 모델로 엔지니어링 및 컴퓨터 그래픽 등 다양한 분야에서 활용되고 있다.

이 중 도시기후 부분에서 활용되고 있는 CFD 모

델은 전체적인 도시공간의 입체적인 특성 대신 영역에 위치한 구조물의 영향을 개별적으로 고려하여 확산에 대해 해석한다. 대기 물리기반 모델링은 입자의 운동, 강체 시뮬레이션, 비정형 물체 운동, 유체 유동을 표현하며 미분 방정식으로 표현된 운동 방정식을 수치적분을 이용하여 객체의 새로운 상태를 지속적으로 계산한다.

도시 내 수목 및 구조물들로 둘러싸인 입체 공간에서 공기유 유동을 설명하는 CFD 모델에 자주 사용되는 대표적인 지배방정식은 1823년 나비에(Navier)가 유체의 움직임을 표현하기 위해 고안한 질량과 운동량을 보존하는 나비에-스토크스 방정식으로 식 (1) 과 식 (2)로 표현된다. 유동장 내에서 온도변화가 크지 않고 유속이 유속에 비해서 낮을 때, 공기의 압축성 효과는 극히 미미하므로 유동방정식을 적용할 수 있다.

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x} + f_x + \nu \left(\frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2} \right) u \quad (1)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial y} + f_y + \nu \left(\frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2} \right) v \quad (2)$$

$$\frac{\partial w}{\partial t} + u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial z} + f_z + \nu \left(\frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2} \right) w \quad (3)$$

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (4)$$

u, v, w 는 3차원 직각좌표계(x,y,z) 3축 방향의 속도성분이며, ρ 는 밀도 P 는 압력이다. $f(f_x, f_y, f_z)$ 는 압력과 중력 및 유체의 점성력을 제외한 힘으로 유동장 내 물체표면에 분포된 델타함수 힘 및 코리올리 힘이다. ν 는 유체 동점성계수이며, 식(4)는 비압축성 조건을 설명한다.

기류의 흐름에 따라 수동적으로 확산되는 물질 전달방정식, 곧 대기오염물질에 적용되는 확산방정식은 다음과 같다.

$$\frac{\partial C}{\partial t} + u \frac{\partial C}{\partial x} + v \frac{\partial C}{\partial y} + w \frac{\partial C}{\partial z} = \frac{D}{\rho} \left(\frac{\partial^2 C}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 C}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 C}{\partial z^2} \right) + \frac{S_c}{\rho} \quad (5)$$

C 는 임의의 시간과 장소에서의 대기오염물질 농도, D 는 확산계수, S_c 는 단위체적당 오염물질 방출량이다.

CFD 모델링은 유동방정식 (1)~(4)와 농도방정식 (5)에 의해 설명된다. 또한 CFD 모델 분할은 유한차분법(FDM)을 통해 재구성 할 수 있으며, LES

(Large Eddy Simulation) 모델이 격자 크기 이하의 난류성분을 모델링하기 위해 적용된다.

도시 내에서의 대기 유동 연구에 있어 CFD 모델은 유의한 해석결과를 산출할 수 있다.

그러나 CFD모델을 이용하여 개별 구조물의 영향을 고려하고 도시 전역에 대한 확산을 모델링하기 위해서는 수치모델의 해상도(격자간격)가 매우 조밀해야 하므로 상당한 수준의 컴퓨터 계산 부하가 요구된다. 따라서 도시를 대상으로 하는 확산 모델링에서는 계산 부하를 적정한 수준 이하로 유지하는 것이 필요하다.

2.2. ENVI-met을 이용한 도시기후 분석

ENVI-met 모델은 독일 Bochum 대학 지리연구소의 Michle Bruse(1998)에 의해 개발된 지표-식물-대기의 상호작용을 모의하는 수치모델로 미세규모의 물리적 환경변화(건축, 도로변 가로수 식재, 중정의 지면포장 등) 및 도시나 지구 단위 규모의 미기후 변화를 예측할 수 있다[14]. 특히 도시환경에서의 상호작용을 모의하는 3차원 비-정역학 모델로 1m~50m의 수평 분해능과 최대 10초의 시간 간격에 따라 24~48시간 프레임으로 모의 할 수 있어 각각의 건물, 지표면, 그리고 식물 사이의 미세규모의 상호작용을 분석할 수 있다.

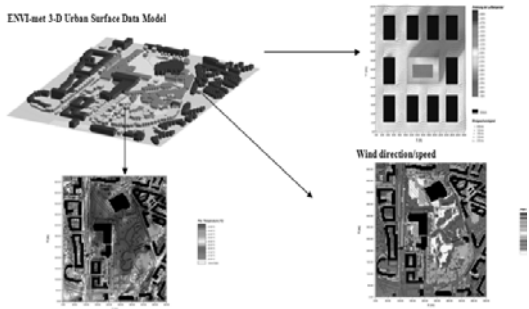


그림 1. ENVI-met 모델링

모델의 계산은 다음 과정들을 포함한다.

- 건물과 식생에 의한 그늘, 반사, 그리고 재복사에 따른 장파 및 단파 복사 플럭스
- 모든 식물의 물리학적 변수들의 모사를 포함하는 증발산 및 현열 플럭스
- 각 격자점과 벽면에 대한 지표와 벽면 온도
- 물과 토양 내부의 열 교환

- 평균복사온도나 PMV 등 생명기상학적 변수들의 계산

3. 데이터 처리

3.1. 항공 LiDAR 데이터의 지면분류

항공 LiDAR 데이터의 분류는 필요에 따라 여러 가지로 구분하여 분류할 수 있으나 수치기상모의를 위한 초기입력자료(.in)로서 사용되어지기 위해서는 수치모델의 분류기준에 맞추어 분류항목을 결정하고 이를 통해 모델링 결과의 신뢰도를 높일 수 있는 격자정보를 추출할 수 있도록 분류 기준을 정하고 이를 기반으로 항공 LiDAR 지면 분류를 수행하여야 한다. 국내에서는 일반적으로 표 1과 같이 지형을 기반으로 5개 이상의 클래스로 분류한다.

표 1. 국내 항공 LiDAR 지면분류 클래스

클래스	설명
Default	Default 클래스는 분류를 하지 않은 것으로 여기에는 LiDAR의 초기 자료를 모두 포함하고 있어 오류 값과 같은 필요하지 않은 값들도 포함하고 있다. 이 클래스로부터 다른 모든 클래스를 분류하게 된다.
Ground	Ground 클래스는 실제의 지형자료로서 본 연구에서 필요로하는 자료를 포함하게 된다. 즉 식생, 건물, 오류 값 등을 모두 제외한 순수한 지형자료 클래스이다.
High vegetation	지표면 위에 나타나는 모든 것을 포함하는 식생에 관한 클래스로 주로 식생의 맨 위층에 대한 값을 포함한다.
Low vegetation	수목 아래에 있는 관목등 낮은 식생에 관한 높이 값을 포함하는 클래스
Building	건물 클래스로 분류하고자 하는 지역의 특성에 따라 건물의 크기나 형태에 따라 파라미터 값을 설정하여 해당하는 LiDAR 자료 분류

지표면 분류의 흐름은 그림 2에서 보는 바와 같이 지면분류가 수행되지 않은 자료로부터 지표면 분류를 수행한 후 지표면 높이를 기준으로, 초목, 관목, 교목으로 분류하며 교목층과 건물의 구분은 LiDAR 데이터의 형상적, 분광적 특성을 이용하여 분류를 수행한다.

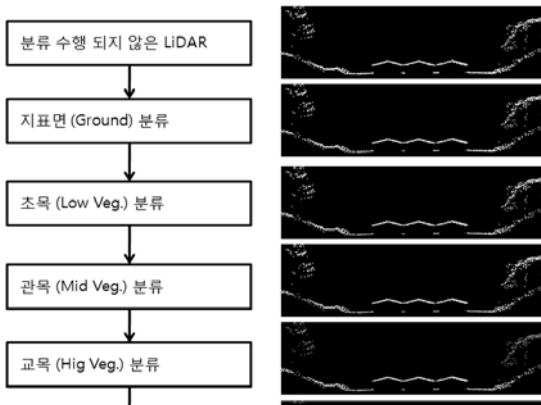


그림 2. 항공 LiDAR를 이용한 지표면 분류 흐름

항공 LiDAR 데이터를 이용한 고정밀 초기입력자료 생성 및 수치기상모의 결과 분석을 위해 비상업적으로 사용되고 있는 ENVI-met v. 3.1 BETA 4 버전 프로그램을 이용하였고, 항공 LiDAR 데이터 지표면 분류를 위해 TerraSolid社의 TerraScan 및 TerraModel 프로그램을 이용하였다.

3.2 수치기상 모델링

수치기상 모델링을 위해 ENVI-met 웹사이트에서 공개하고 있는 ENVI-met v. 3.1 BETA 4 버전을 다운받아 활용하였다. ENVI-met 프로그램에서 제공하고 있는 데이터베이스는 (1)Soil.DAT/Profiles.dat, (2)Sources.dat, (3)Plants.dat 세 가지 부분으로 나누어지며, 본 연구에서는 LiDAR 지표면 분류를 통해 얻어지는 결과를 Plant.dat의 분류 클래스에 맞추어 대상지에의 수목 식생 유형을 표 2와 같이 설정하였다. Plant 데이터베이스는 local과 global 데이터베이스로 구분되어 지역적인 수종을 모수화(parameterization)하여 적용할 수 있으나 현재 국내에서는 별도의 모수화 결과가 도출되지 않아 Plant.dat의 식생 분류 클래스 데이터베이스를 그대로 적용하였다.

식생 자료가 국지적인 특성에 맞추기 어렵고 대표적인 초목, 관목, 교목의 특성을 대표할 수 있는 지표 클래스만을 이용하더라도 항공 LiDAR 데이터를 이용한 모델 향상에 기여할 것으로 보고(1)지표면으로부터 높이 차 분류기준으로 0.5m 이하를 초목(gb), 0.5~2m를 관목(h), 2m이상을 교목(DM) 항목으로 설정하고 지면분류를 수행하였다(그림 3-a/b).

표 2. ENVI-met 수치모델의 식생 데이터베이스

ID	Cx	TY	Name	Description
xx	C3	3	Grass	Grass 50 cm aver. dense
so	C3	3	soja	soja 90. soja 63cm
lg	C3	3	luzerne	luzerne 18cm
MO	C3	1	Tree	Tree 20m aver. dense. no distinct crown layer
DO	C3	1	Tree	Tree 20 m dense., no distinct crown layer
DM	C3	1	Tree	Tree 20 m dense., distinct crown layer
dm	C3	1	Tree	Tree 20 m dense., distinct crown layer
ds	C3	1	Tree	Tree 10 m dense.,distinct crown layer
sm	C3	1	Tree	Tree 20 m very dense, distinct crown layer
sk	C3	1	Tree	Tree 15 m very dense, distinct crown layer
H2	C3	1	Hedge	Hedge dense, 2m
T1	C3	1	Tree	Tree 10 m very dense, leafless base
g	C3	3	Grass	Grass 50 cm aver. dense
bs	C3	1	Tree	Tree 20 m dense.,distinct crown layer
sc	C3	1	Tree	Tree 20 m very dense, free stem crown layer
w	C3	1	Forst	Forst 20 m dense., no distinct crown layer
ll	C3	1	Tree	Tree, light 15 m
l2	C3	1	Tree	Tree, light 20 m
h	C3	1	Hedge	Hedge dense, 2m
m	C4	3	Maize	Maize, 1.5 m
c	C3	3	Corn	Corn, 1.5 m
gb	C3	3	Grass	Grass 50 cm aver. dense
gz	C3	3	Grass	Grass 50 cm aver. dense
T2	C3	1	Tree	Tree 15 m very dense, leafless base
Tb	C3	1	Tree	Tree 15 m very dense
ee	C3	1	Tree	Tree 20m aver. dense, no distinct crown layer
TH	C3	1	Tree	Tree 15m dense, distinct crown layer, Christer

LiDAR 지면 분류 결과를 ENVI-met 모델의 초기입력자료(.in)로 생성하기 위한 격자화 및 등록은 점군의 상층부 특성을 우선 반영하여야 하므로 교목(DM), 관목(h), 초목(gb)으로 우선순위를 주어 등록하였으며 마지막으로 이를 지표면의 특성을 반영하는 초기입력자료(.in) 형태로 저장하였다(그림 3-c).

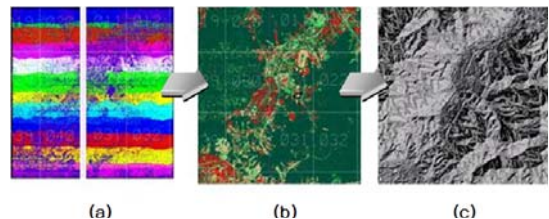


그림 3. 항공 LiDAR 지면분류를 통한 ENVI-met 초기입력자료 생성

(a) Raw-LiDAR, (b) Classified-LiDAR, (c) Input data(.in)

ENVI-met 수치모델링 흐름은 그림 4에서 보는 바와 같이 새 프로젝트를 열어(F1) 모델의 공간적인 범위 및 경도·위도 상에서의 위치를 정의(F2)한 후 건물, 수목, 토양 등 입력자료 생성 및 편집환경을 통해 초기입력자료(.in)를 생산하고(F3), 모델링에 필요한 외부변수를 정의(F4)한 후 수치모델링을 실행(F5)하여 수치모델링 결과들을 여러 변수 및 2차원적인 단면으로 시각화(F6)하여 분석하였다.

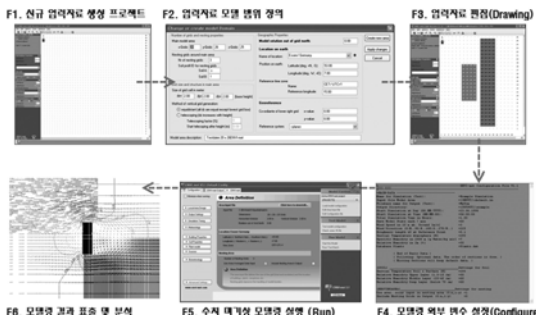


그림 4. ENVI-met 수치미기상 모델링 작업 흐름

ENVI-met 초기입력자료(.in) 생산은 LiDAR 데이터 지표면 분류 결과자료로부터 좌상단과 우하단의 도메인 범위 및 격자해상도를 결정해야 한다. 본 연구에서는 표 3과 같이 두 개의 상세지 연구지역(대상지 A, 대상지 B)을 두어 모델을 구성하였다.

대상지 A는 K 아파트 단지 일대로 2008년에는 공사 중인 나대지였으나 2009년에는 아파트가 시공 중인 단계로 항공 LiDAR에 의해 3차원 점군 자료가 취득되어졌다. 나대지에서 건물이 들어섬으로 인해서 발생하는 미기상 변화를 비교 고찰하고자 선정하였으며, 대상지 B는 H아파트 단지 일대로 이미 조성된 상태에서 단지 내 E 초등학교의 건설단계(2008년)와 시공완료 후(2009년)의 미기상 변화를 비교 고찰하고자 선정하였다.

표 3. ENVI-met 초기입력자료 생성 범위

초기입력자료(.in)	대상지 A	대상지 B
Left top X	192510	192930
Left top Y	460570	459360
Right bottom X	192970	193810
Right bottom Y	460010	459180
Array	74*113	90*90
cell size	5m	2m

초기입력 자료(.in) 생성을 위해 항공 LiDAR 데이터로부터 헤더 정보 및 포인트 정보를 읽고 설정된 행렬 격자 안의 포인트 점들을 리스트로 저장하였다. 격자 리스트로 등록된 그라운드 포인트 값들을 평균하여 격자의 높이로 등록하며 점군이 없는 격자의 높이는 주변 격자의 값들을 평균한 값으로 채워지며 등록하였다.

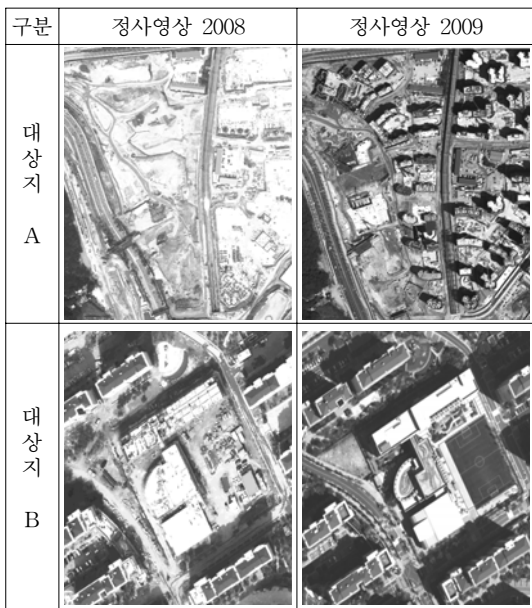


그림 5. 정사영상사진 (대상지 A/B)

표 4. 2008년과 2009년 ENVI-met 수치모의를 위한 초기입력 구성

초기 구성(configure) 항목	모델 초기입력 구성	비고
총 시뮬레이션 시간	24.00	Hour
시작 시간	06:00:00	
시뮬레이션 날짜	21.03.2010	일.월.년
지상 10m에서의 풍속	3.0	(m/sec)
풍향	270	(Degree)
표면 거칠기	0.1	
초기 대기 온도	283	(K)
2500m에서의 절대습도	7	(g/Kg)
2m에서의 상대습도	50	(%)

항공 LiDAR를 이용한 초기입력자료 생성 및 수치모의 결과의 향상을 평가하기 위해 짧은 기간의

차이를 보이는 2008년과 2009년 LiDAR 데이터를 통해 비교군으로 형성하고 초기입력자료(.in)를 생성하였으며 기존의 연구수행 결과로부터 도출된 결과를 비교 및 분석하였다.

이와 함께 도출된 초기입력자료를 이용하여 은평뉴타운 일대를 동일한 모델 초기입력환경 구성(.cf)을 적용하여 바람변화를 모의하고 비교 및 분석하였다. 2008년과 2009년 Envi-met 수치모의를 위한 초기입력 구성은 다음과 같다. 시작시간은 2010년 3월 21일로 하였으며 모의 기간은 24시간으로 서풍 3.0 m/sec를 기준으로 일변화를 보고자 하였다.

4. 초기입력자료(.in) 생성 및 비교

4.1. 항공 LiDAR 지면 초기입력자료(.in) 생성

그림 6은 은평구 뉴타운 H아파트 단지의 항공 LiDAR 자료를 이용한 초기입력자료(.in) 생성 단계별 결과를 보여주고 있다. 이러한 초기자료 입력 과정을 통하여 도시 재개발로 인해 발생하는 입체적인 도시의 물리적인 구조 변화를 항공 LiDAR 데이터를 이용함으로써 환경변화 예측을 위한 수치모의에 빠르게 이용할 수 있을 것이다.



그림 6. 은평구 뉴타운 항공 LiDAR 데이터를 이용한 지면분류 및 초기입력자료 생성

그림 7은 항공 LiDAR 지면분류 결과와 ENVI-met 초기입력 결과를 단면을 통해 검토한 결과이다. A-A' 와 B-B' 단면을 통해 항공 LiDAR 단면과 초기입력자료(.in) 건물 지붕의 형상 묘사가 잘 수행되어 있음을 알 수 있다. ENVI-met 모델에서 건물의 높이 값은 정수형으로 처리됨으로 소수점 이하의 높이정보 처리는 가까운 정수형으로 처리된다.

현재 ENVI-met v. 3.1에서는 100 * 100 * 30, 180 * 180 * 30, 및 250 * 250 * 30 입방체에 대한 모델링을 지원하고 있다. 세밀한 지표면의 묘사

를 위해서는 격자의 간격(해상도)이 조밀해지게 되며 그 결과 모델 범위(domain)는 작아지게 된다. 따라서 관심지역의 범위에 따라 모델 격자의 해상도는 제약을 받을 수 있다.

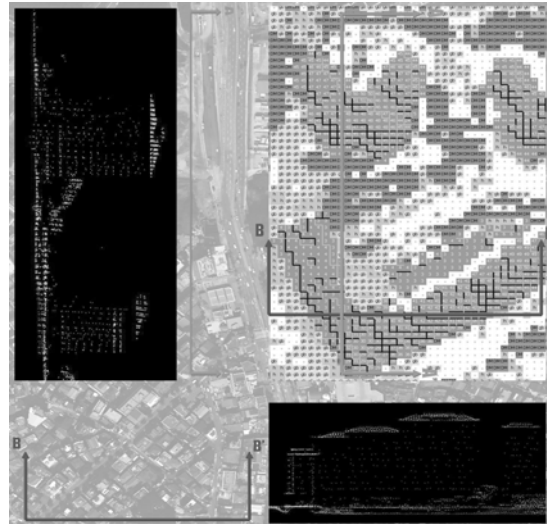


그림 7. 입력자료(.in) 및 항공 LiDAR 단면의 비교

한편, 격자의 해상도는 묘사하고자 하는 지표면(ground surface)의 피복을 형상적으로 설명하거나 바람장의 변화를 물리적으로 설명하는데 중요한 변수이다. 그림 8은 동일한 지역을 대상으로 격자의 해상도를 2m, 5m, 10m로 나누어 ENVI-met 초기입력자료를 생성한 결과이다.

동일한 범위의 자료를 이용해 자료 생성단계에서 할당 격자의 크기 변화에 따른 모델의 크기와 모델링 시간 변화를 비교한 결과 자료의 모델 해상도의 크기가 5배 증가하게 되면 초기입력자료의 크기는 제곱에 비례하여 증가하였으며 이에 따른 모델링 시간 역시 제곱에 비례하여 증가하였다.

표 5. ENVI-met 초기입력자료 격자 크기에 따른 비교

격자 간격(해상도)	2m	5m	10m
범위	500m*500m	500m*500m	500m*500m
위치(Lat/Lon)	37.66/127.33	37.66/127.33	37.66/127.33
수치모델	238*245*47	96*98*19	48*49*10
초기입력자료 크기	351,634 바이트	57,632 바이트	15,103 바이트
자료 크기 비율	100%	16.3%	4.3%

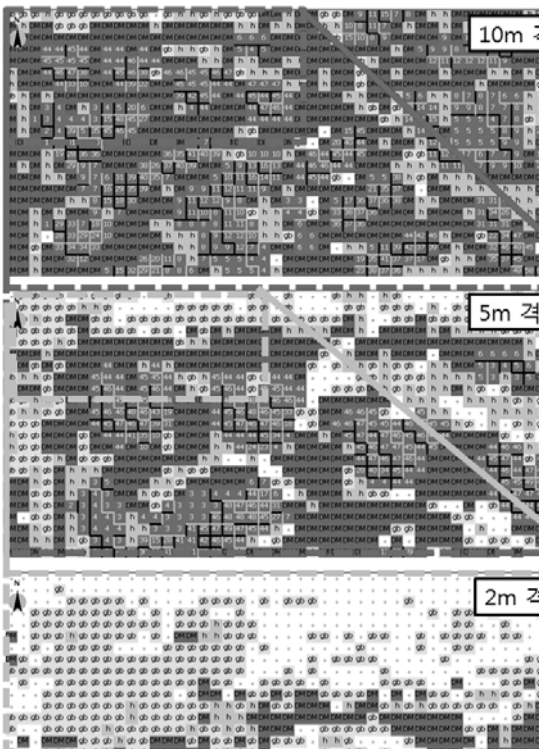


그림 8. 격자의 크기에 따른 지표면 묘사 비교

결과적으로 계획된 시간 내에 원하는 수치모의 결과를 얻기 위해서는 수치모의 목적과 모델링 자료의 내용을 종합적으로 고려하여 모델링 범위 및 격자간격을 설계하고 초기입력자료(.in)를 생성해야만 한다.

4.2. 항공 LiDAR 기반 초기입력자료(.in) 비교

본 연구에서는 대상지 A와 대상지 B에 대한 2008년과 2009년 지면분류를 수행하여 다음과 같은 결과를 도출하였다.

지표면으로부터의 2m 이하의 초분층 및 저목층의 분류과정에서 항공 LiDAR 지면분류 오류가 초기입력자료(.in)의 격자 할당에 영향을 미침을 확인하였으나, 수치 모델링을 위한 초기입력자료 생성에 중요한 관심 대상인 건물 및 교목의 분류 결과는 양호하였으며 특히 건물 지붕면의 형상이 초기입력자료(.in)에 상세하게 묘사되는 것으로 나타났다.

더불어 초기입력자료 생성 시간도 기존의 목측이나 측량자료를 이용하는 방법에 비해 비약적으로 향상되어 넓은 범위의 모델링이나 고해상도의 수치미기상 모델링을 신속히 수행할 수 있다.

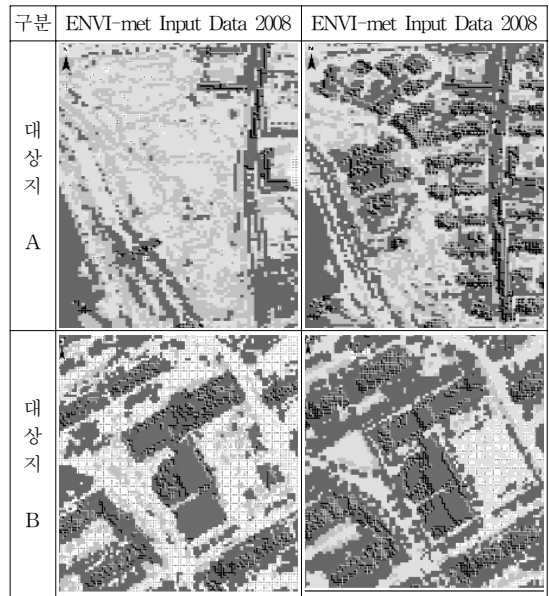


그림 9. 대상지 A/B의 초기입력자료(.in) 생성 결과

4.3. 항공 LiDAR 기반 수치 모델링(ENVI-met)

대상지 A 와 대상지 B에 대한 2008년과 2009년 지면분류를 수행하여 다음과 같은 결과를 도출하였다. 지면에서의 불확실성을 줄이고 교목 및 건물에 의한 영향만을 검토하기 위해 표고 10m에서의 풍향 및 온도 자료를 검토하여 보았다.

2008년 대상지 A의 수치미기상모델에서는 서풍 모의에서 항공 LiDAR 데이터로부터 추출된 교목 수관층을 피해 바람통로를 형성하여 일부 풍향 및 풍속 변화가 나타나지만 전반적으로 바람방향이 유지되는 것을 확인할 수 있다(그림 10).

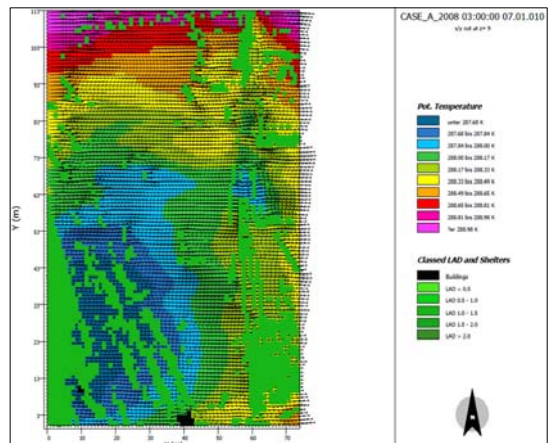


그림 10. 2008년 대상지 A 구역 풍속 분포(10m 높이)

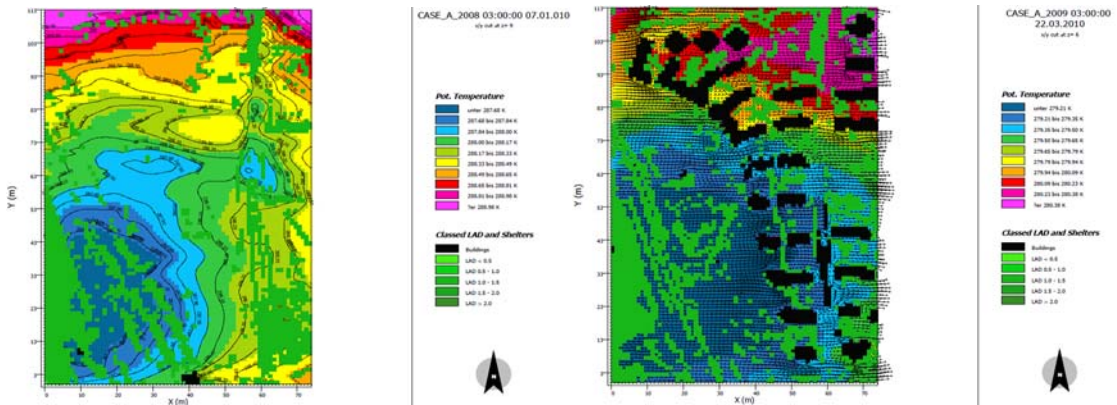


그림 11. 2008년 대상지 A 구역 (a)온도 분포, (b)풍속분포(10m높이)

그림 11-a는 2008년 대상지 A의 수치 대기모델을 통해서 나타난 온도분포로 시간변화에 따른 온도변화를 볼 수 있으며 항공 LiDAR 데이터로부터 추출된 교목층이 있는 공간에서 바람에 의한 냉각 효과나 나타남을 확인할 수 있다.

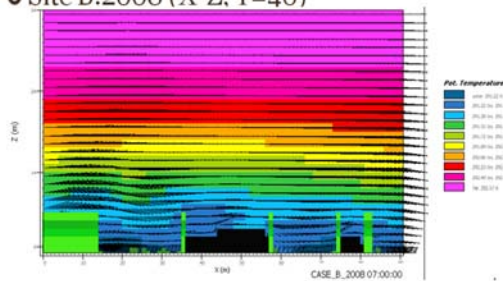
또한 그림 11-b에서는 2009년 대상지 A에 K아파트 단지가 조성되면서 고층건물에 의한 바람 변화를 보여주고 있다. 서풍 모의에서 아파트 단지의 배치에 의해 단지가 들어서기 이전(2008)과 달리 바람 통로가 분산되고 항공 LiDAR 데이터로부터 추출된 건축물들의 회랑에 따라 바람의 세기 및 분포가 달

라졌음을 확인할 수 있다.

단지 내의 건축물들이 바람막이와 바람통로를 형성하는 요소로서 중요한 영향을 미침을 볼 수 있다.

그림 12는 대상지 B를 대상으로 2008년 건물 시공 당시와 2009년 시공 완료 후의 대기모델링 수행결과를 A-A' 단면을 통해 비교하고 있다. 수목의 배치와 건물 옥상의 형상 변화로 인해 2009년 수치모델의 온도 분포 및 바람의 흐름이 2008년 수치모델보다 복잡하고 수직적인 순환이 보다 발달하였음을 확인하였으며, 2009년 대상지 B 지역의 입자의 흐름에 대한 전 궤적을 시각화하여 검토해보면 학교 건물의 지붕 형상이 복잡해진 결과가 수치모델링을 통해서 정체 및 부분적인 와류 현상으로 나타나고 있음을 확인할 수 있었다.

Site B:2008 (X-Z, Y=40)



Site B:2009 (X-Z, Y=40)

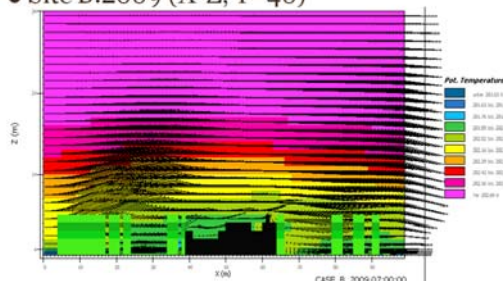


그림 12. 대상지 B의 ENVI-met 모델링 결과

Wind

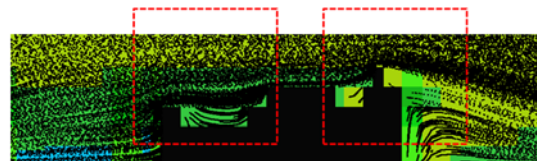


그림 13. 2009년 대상지 B 수치모델 입자흐름 경로 시각화

결과적으로 항공 LiDAR 데이터를 이용한 초기입력자료(.in) 생성 및 수치모델링 방법은 기존의 초기입력자료 생성방법을 이용한 수치모델링 방법에 비해 상세한 건물의 형상을 입력할 수 있어 정확한 모델 입력자료의 격자 위치를 결정할 수 있고, 현재의 모델 한계로 1m 단위로 라운딩 되어 표현되지만

정확한 높이 정보를 제공할 수 있으며 다양한 해상도를 항공 LiDAR 데이터를 통해 제공할 수 있어 모델의 해상도 결정에 유리하다.

이러한 ENVI-met 입력자료의 개선을 통해 결과적으로 모델링 프로세스와, 결과의 정확도 및 품질을 개선하였고, 효율적으로 프로젝트를 수행할 수 있다.

항공 LiDAR 데이터를 이용한 지면분류 결과로부터 초기입력자료(in) 생성 및 수치모의 및 분석을 통한 활용성 검토에서 사용된 항공 LiDAR 자료의 특성 및 수치모델링 과정에서 보완되어야 할 문제점들이 대두되었다.

본 연구에서 초기입력자료(in) 생성은 항공 LiDAR 데이터에 근거하기 때문에 항공 LiDAR의 촬영 및 전 처리에 따른 정확도와 분류 정확도가 초기입력자료 생성에 중요한 요인이 된다.

그러나 본 연구에서 사용되어진 항공 LiDAR 데이터를 통해서 나타나는 항공 LiDAR 데이터의 위치정확도가 지표면으로 분류된 결과로부터 50cm 이내에서 심각한 오류분류가 나타나며 2m 이내까지 오류분류가 나타남을 확인할 수 있었다. 이러한 오류분류의 주요 원인은 항공 LiDAR 촬영 전 보정 오류 및 전 처리 단계에서의 가장자리 자료를 활용함으로써 나타난 결과이다.

보통 1km 내외의 저고도에서 주사되는 항공 LiDAR 점들은 연직각으로부터 가장자리로 갈수록 정확도가 불량하며 이런 이유로 기기의 정확도를 6개월마다 보정하게 되어 있지만 시간이 흐를수록 기체의 흔들림 때문에 정확도가 저하되므로 최외각의 자료 일부는 제거하는 과정이 항공 LiDAR 전 처리 과정에서 수행되어야 한다.

그러나 이 경우 점밀도가 국토지리정보원 항공레이저측량 작업규정(2.0 pt/m²)이하로 낮아지는 이유로 전처리에서 필터링하지 않는 경우가 있어 지표면의 자동분류 정확도를 저해하는 요소로 작용하고 있다. 이러한 이유로 촬영코스의 가장자리에서 지표면 분류에 영향을 주는 높이 위치 오차가 발생하고 파란 영역에서 보듯이 오류분류 결과가 나타난다.

가장자리를 잘라내고 사용하기 위해서는 항공 LiDAR 작업의 전 처리 단계를 다시 수행하여야 하며 GPS/INS자료가 필요하고 결과적으로 항공 LiDAR 촬영을 수행한 기관에서 처리하여야 하므로 향후 성과관리에 있어 지면 분류 정확도 이외의 활

용을 고려한 검수 방법이 마련될 필요가 있다. 이러한 문제 이외에 도시의 복잡한 구조적 특성과 LiDAR 자동분류 알고리즘의 제약으로 도심 지역에서 자동분류방법을 통한 2m 이하 수목의 분류정확도는 매우 낮다. 그러나 이러한 이유로 2m 이하의 지면 점들을 사용하지 않게 되면 2m 내외의 저목층 및 아교목층 식생의 분류가 모호해지므로 주의가 필요하다.

결과적으로 도시기후의 수치 미기상 모델링을 위해서는 도시공간에서의 항공 LiDAR 데이터의 분류 알고리즘이 개선되어야 하고 다양한 멀티센서와의 융합을 통해 분류 능력을 향상시켜야 할 필요가 있다. 현재로서는 건물과 2m 이상의 교목층만을 이용해 수치 미기상 모델링을 수행하는 것이 바람직하다.

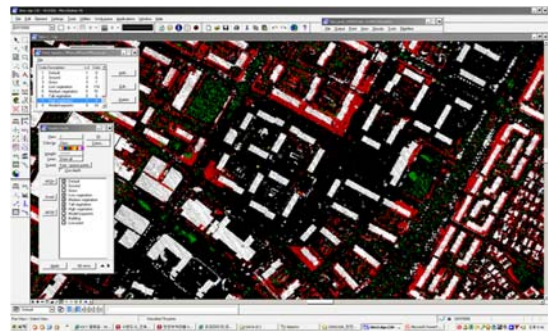


그림 14. 2m 이하의 지물들을 제거한 지면분류 결과

항공 LiDAR 데이터를 이용한 수치모델링의 신뢰성을 향상시키기 위해서는 오분류 원인인 누락 및 수행에 의한 오류를 처리해야 한다.

수치미기상모델링 과정에서는 항공 LiDAR 데이터의 오미션(omission)에 대한 보정이 커미션(commission)에 대한 보정이 보다 처리가 효율적이므로 전략적인 지면분류 설계가 적용되어야 한다.

더불어, 지면으로부터 불확실하게 나타나는 점군을 걸러낼 높이를 정하는 방법이 중요해지며 남겨진 점군들을 통해 격자에 할당하는 과정에서 분류 결과에 대한 검사 및 수정이 필요하다.

본 연구에서는 커미션(commission) 오류분류를 줄이기 위해 건물로 분류된 점군에 우선권을 주어 항공 LiDAR 오류분류로 인해 지붕위에 나무가 올라가는 것을 줄였으나 일부 오류분류 레이어는 직

접 제거하였다.

이런 현상은 대부분 평탄하지 않는 지붕의 구조나 장애물들로 인해서 나타나며 모델링 결과에 큰 영향을 미친다.

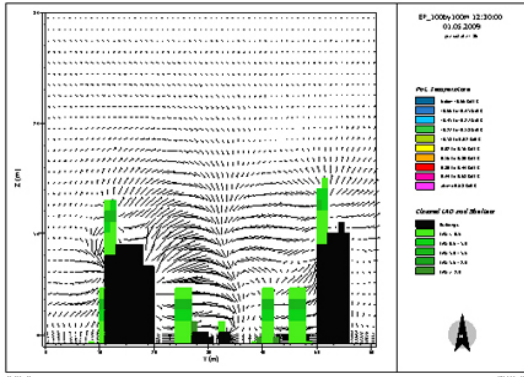


그림 15. 초기입력자료(in) 생성 오류를 적용함으로써 나타나는 수치모델링 오류

그림 15는 초기입력자료(in) 생성 오류를 적용함으로써 나타나는 수치모델링 오류를 보여주는 것으로 항공 LiDAR 데이터를 이용함으로써 초기입력자료 생성에서 건물 위의 수목 할당의 영향이 전체 수치모델링에 미치는 영향을 보여주는 한 사례이다.

건물위의 교목이 올라와 있는 것으로 초기입력자료(in)가 생성됨으로서 바람장 및 온도 분포의 수치모의에 의도하지 않았던 결과를 도출하였다.

결과적으로 ENVI-met 모델링을 위해 초기입력자료(in) 생성을 진행했지만 ENVI-met Input 파일(.in) 편집환경을 통해 마지막으로 편집과정을 거쳐 수치미기상 모델링을 수행하였다. 항공 LiDAR를 이용한 모델링에서 단기간에 자료처리를 통한 수치모델링 결과를 얻기 위해서는 항공 LiDAR 자동분류 알고리즘 개선을 통해 커미션(commission) 오류분류를 최소화하고 초기입력자료 생성과정에서 오류분류를 자동 소거하며, 마지막으로 ENVI-met Input 자료 편집 환경을 통한 오류 수정을 통해서 수치모델링 결과의 신뢰성을 높이는 것이 바람직하다.

마지막으로, 본 연구에서는 관측자료의 미확보로 인해서 항공LiDAR 측량 기반 미기상 CFD 모의수행 결과가 수치기상모의에 미치는 영향에 대한 정량적인 분석이 수행되지 않았다. 추후 관측 자료를

활용할 수 있는 부지를 대상으로 관련 연구가 수행됨으로서 정량적인 분석을 수행할 필요가 있다.

현재 사용되고 있는 수치기상모델로는 국립기상연구소에서 개발한 CFD_NIMR_SNU 미기상 수치모의 모델[11]을 포함하여, 독일에서 개발된 WinMISKAM 등 다양한 수치모델이 미기상 연구에 활용되고 있다. 그러나 자료의 변수가 다양하고 3차원적인 레이저(X-Y-Z) 및 시간 레이어의 한 단면만을 추출하여 모델 전체의 경향을 판단하기에는 시간 및 경험이 필요하여 이러한 문제를 해결할 수 있는 시각화 연구가 필요하다.

5. 결론 및 제언

본 연구는 항공 LiDAR 측량 기반 자료 및 수치표면자료 분류 기술을 이용하여 미기상 CFD 모의에 있어 초기입력자료(.in)의 품질 및 모의 결과를 향상시키고자 하였으며 다음과 같은 결론을 도출하였다.

첫째, 항공 LiDAR 데이터를 기반으로 하는 CFD 모의는 기존의 수치지도 및 현장조사 자료를 기반으로 하는 수치모의 결과에 비하여 모의 범위 및 해상도가 증가할수록 초기입력자료(.in)의 생산효율성이 증가하였고 자료의 품질 및 정확도도 향상되었다.

둘째, 항공 LiDAR 데이터 기반 초기입력자료(.in)를 이용한 수치모델링 수행 결과 기존 방법을 통한 연구결과 사례와 비교할 때 건물 및 단지 구성에 따른 풍향 및 온도 변화를 잘 묘사하고 있었으며 특히 입면 분석에서 지붕면의 형상을 정확하게 반영하여 향상된 모의결과를 보여주었다.

셋째, 초기입력자료(.in) 제작에 사용된 항공 LiDAR 데이터의 지표면 분류 결과 중 표고 50cm 이내에서 심각한 오류분류가 나타나며 2m 이내까지 오류분류가 나타났으며, 이러한 오류분류 원인은 항공 LiDAR 보정 오류 및 전 처리 단계에서의 가장자리 데이터를 활용함으로써 나타난 결과로 향후 항공 LiDAR를 이용한 자료 구축에 있어 다양한 사용자를 고려한 정확도 및 품질관리가 필요하다.

참 고 문 헌

[1] A. Farid, D.G. Goodrich, R. Bryant, S. Sorooshian,

2008, "Using airborne lidar to predict Leaf Area Index in cottonwood trees and refine riparian water-use estimates", *Journal of Arid Environment* 72, pp. 1-15.

[2] A. Lee, R. Lucas, C. Brack, 2004, "Qualifying vertical forest stand structure using small footprint LiDAR to assess potential stand dynamics", *Proceedings of the ISPRS working group VIII/2*, pp. 214-217.

[3] Chun-Yi Hsiao, Yi-Hsing Tseng, 2007, "Estimation of urban tree canopy volume using airborne LiDAR data and remote sensing imagery : A case study on NCKU Campus", *Proceedings of ACRS 2007*.

[4] Cynthia Ann Nelson et. al., 2002, "Review of the Federal interagency process used to select the new Wind Chill Temperature(WCT) Index", 18th International Conference on IIPS.

[5] Don Lekie et., al., 2009, "Combined high-density lidar and multispectral imagery for individual tree crown analysis", *Can. J. Remote Sensing* 29(5), pp. 633-649.

[6] I. Korpela et., al., 2007, "SINGLE-TREE FOREST INVENTORY USING LIDAR AND AERIAL IMAGES FOR 3D TREETOP POSITIONING, SPECIES RECOGNITION, HEIGHT AND CROWN WIDTH ESTIMATION, IAPRS Volume XXXVI, Part 3 / W52, pp. 227-233

[7] Sorin C. Popescu, R. H. Wynne, J. A. Scrivani, 2004, "Fusion of small-footprint LiDAR and multispectral data to estimate Plot-level volume and biomass in deciduous and pine forest in Virginia", *USA, Forest Science* 50(4), pp. 551-565.

[8] Y. Nakai, F. Hosoi, K. Omasa, 2009, "Estimating carbon stocks of coniferous woody canopy trees using airborne LiDAR and passive optical sensor", *Proceedings of the ISPRS working group VIII/2*, pp. 289-292.

[9] 강영욱, 1998, "서울시 수치지정사사진제작 및 활용 방안 연구", 서울시정개발연구원.

[10] 강준묵, 윤희천, 이창복, 박준규, 2006, "GPS에 의한 LiDAR DEM의 정확도 평가", *한국측량학회지* 제24권 제5호, pp. 443-451.

[11] 구해정, 김규량, 최영진, 조경미, 2009, "도시 내 초고층 건물 주변의 상세 흐름 해석", *한국기상학회 추계학술발표회*, p. 424.

[12] 김운수, 김학열, 2001, "서울시 기상특성을 고려한 도시계획기법 연구(II)", *시정연 2001-R-14*, pp. 62-85.

[13] 김중권, 정용호, 김대욱, 류진원, 차재규, 2008, "Envi-Met 모델을 이용한 공동주택단지의 미기후 환경 개선방향에 관한 연구", *한국주거학회 춘계학술발표대회 논문집*, pp. 297-303.

[14] 김지현, 권종욱, 1998, "미기후를 고려한 고층 건물의 계획에 관한 연구", *대한건축학회 학술발표대회 논문집 제18권 제2호*.

[15] 성철웅, 이성규, 박창후, 이호준, 김유성, 2010, "항공 라이다 데이터를 이용한 동적 가변 윈도우 기반 지형분류 기법", *한국공간정보학회지* 제18권, 제5호, pp. 13-26.

[16] 안승만, 엄정희, 김규량, 최영진, 2008, "도시기후 모델링을 위한 지표면 공간정보 DB 구축방향", *한국기상학회 추계학술발표회*, pp. 394-395.

[17] 안승만, 이영균, 위광재, 윤홍식, 성효현, 최영진, 2009, "LiDAR 및 Meshup을 이용한 풍력발전단지 분석 기초연구", *대한토목학회 추계학술발표회*, p. 195.

[18] 정성은, 이우균, 광두안, 최현아, 2008, "LiDAR의 높이 및 밀도 정보를 이용한 도시지역의 3D기반 분류", *한국공간정보학회지*, 제16권 제3호, pp. 373-383.

논문접수 : 2011.11.24
 수정일 : 2011.12.28
 심사완료 : 2012.02.21



박 명 하

2011년 서울시립대학교 도시과학대학원
공학석사
현재 아세아항공 상무
관심분야는 측량 및 측지, 항공영상



안 승 만

2002년 성균관대학교 조경학박사
2011년~현재 건국대 신기술융합학과
연구교수
관심분야는 GIS, 원격탐사



최 윤 수

1992년 성균관대학교 대학원 공학박사
1994년 측량 및 지형공간정보기술사
2008년~현재 한국공간정보학회 부회장
2001년~현재 서울시립대학교 공간정
보공학과 정교수

관심분야는 공간정보 정책, LBS, 원격탐사, 품질인증,
지적



정 인 훈

2006년 청주대학교 건축공학 공학사
2009년 청주대학교 대학원 건축공학
공학석사(건축계획)
2011년~현재 서울시립대학교 대학원
공간정보공학과 박사과정

관심분야는 BIM, 3D GIS, 건설IT융합, 도시계획,
Indoor LBS



전 병 국

현재 국토해양부 한강홍수통제소 소장
관심분야는 GIS를 이용한 수자원 관
리, 수질관리, 방재