

# 다차원공간정보를 이용한 실감정사영상 제작 방안

## Producing True Orthophoto Using Multi-Dimensional Spatial Information

이현직<sup>1)</sup>

Lee, Hyun Jik

### Abstract

Recently, it is appearing that new paradigm of urban planning that ubiquitous concept such as the u-City, uECO-City is introduced while is rising necessity about third dimensional geo-spatial information of high quality for urban area. Orthophoto can manufacture by expense and time that is less easily than digital map using personal computer even if is not highly technician and according as position relation between manmade feature and natural feature is equal, can get information of distance, angle, horizontal and vertical position coordinate of topographic, area etc.. directly through orthophoto. Also, visual effect is good that orthophoto is expressed by image and interpretation is easy to detailed part of topographic. Manufacture and practical use are consisting in various field, for it is having advantage that can recognize information effectively than digital map. Therefore, this study presents a way of generating a detailed DSM for producing a true-orthophoto of the urban area, and this study also presents a way to produce an optimum true-orthophoto for an urban area by investigating through experiment the optimum variable for the geometric and radiometric correction of the orthophoto. This study also examined the potentials of the thesis by building a 3-dimensional city model of the model region with the above thesis on optimum generating method.

Keywords : Detail DSM, True ortho-image, 3D City-Model

### 초 록

최근 u-City, uECO-City와 같은 유비쿼터스(ubiquitous) 개념이 도입된 도시계획의 새로운 패러다임이 등장하면서 도심지역에 대한 고품질의 3차원 지형공간정보에 대한 필요성이 대두되고 있다. 정사영상(orthophoto)은 고도의 전문기술자가 아니더라도 개인용 컴퓨터를 이용하여 수치지도에 비해 손쉽게 적은 비용과 시간으로도 제작할 수 있으며, 지형지물의 상호위치관계가 지형도와 동일함에 따라 정사사진을 통해 직접적으로 거리, 각도 지형지물의 수평 및 수직위치좌표, 면적 등의 정보를 얻을 수 있다. 그리고 영상으로 표현됨으로 시각적 효과가 양호함으로 지형의 세세한 부분까지도 판독이 용이하여 수치지도에 비해 효과적으로 정보를 인식할 수 있는 장점을 가지고 있어 다양한 분야에서 제작 및 활용이 이루어지고 있다. 이에 본 연구에서는 도심지역의 실감정사 사진 제작을 위한 정밀 DSM 생성 방안을 제시하고, 정사사진의 기하학적 보정과 방사적 보정시 최적 변수값을 실험을 통해 규명함으로써, 도심지역의 최적 실감정사사진 제작 방안을 제시하였다. 또한 정립된 최적 생성 방안으로 생성된 실감정사영상 및 정밀 DSM을 이용해 3차원 도시모델을 제작하여 활용성을 검토하였다.

핵심어 : 정밀DSM, 실감정사사진, 3차원 도시모델

## 1. 서 론

21세기 IT기술의 발전으로 다양하고 방대한 정보가 양산되고, 시시각각 변화하고 있다. 그 중에서 지형공간정

보에 대한 변화는 다른 정보에 비해 매우 민감하다. 특히 전체 인구의 70%이상이 거주하고 있는 도심지역은 지형공간정보의 유동성이 높은 대표적인 영역으로 신속하고 정확하게 지형공간정보를 취득하고, 가공, 편집하는 방안

1) 정회원 · 상지대학교 건설시스템공학과 교수(E-mail:hjikle@sangji.ac.kr)

에 대한 지속적인 연구가 수행되어 왔다.

최근 u-City, uECO-City와 같은 유비쿼터스(ubiquitous) 개념이 도입된 도시계획의 새로운 패러다임이 등장하면서 도심지역에 대한 고품질의 3차원 지형공간정보에 대한 필요성이 대두되고 있다.

정사영상(orthophoto)은 고도의 전문기술자가 아니더라도 개인용 컴퓨터를 이용하여 수치지도에 비해 손쉽게 적은 비용과 시간으로도 제작할 수 있으며, 지형지물의 상호위차관계가 지형도와 동일함에 따라 정사사진을 통해 직접적으로 거리, 각도 지형지물의 수평 및 수직위차좌표, 면적 등의 정보를 얻을 수 있다. 그리고 영상으로

표현됨으로 시각적 효과가 양호하기 때문에 지형의 세세한 부분까지도 판독이 용이하여 수치지도에 비해 효과적으로 정보를 인식할 수 있는 장점을 가지고 있어 다양한 분야에서 제작 및 활용이 이루어지고 있다.

최근 국토해양부 및 국토지리정보원에서는 기존의 수치지도와 같은 벡터 자료로만 구축되던 지형공간정보구축사업에 벗어나 0.3m급 정사영상, 1×1m급 고정밀 DEM(digital elevation model) 등의 3차원 래스터 자료를 구축하는 다차원공간정보구축사업과 도심지역을 대상으로 기존의 벡터 자료와 정사영상 및 DEM, 3차원 모델링 기법을 이용하여 3차원 국토공간정보구축사업을 추진하고 있다.

정사영상의 제작은 원영상의 표정요소와 수치표면모델(DSM : digital surface model)을 이용하여 원영상의 왜곡과 기복변위를 제거함으로써 제작되기 때문에 DSM의 정확도가 정사영상의 정확도에 많은 영향을 미치게 된다. DSM의 생성 및 취득 방법에는 기존의 수치지도의 등고선을 이용하여 생성하는 방법과 수치사진측량기법을 이용하여 자동 또는 반자동으로 추출하는 방법, 해석 또는 수치도화기를 이용하여 3차원 도화를 통해 취득하는 방법 등이 있다.

3차원 도화 방법을 이용할 경우 도심지역에 대한 정확한 DSM을 얻을 수 있지만, 많은 비용과 시간이 소모되며, 수치사진측량기법을 이용한 자동 또는 반자동 추출 방법과 기존 수치지도의 등고선을 이용하는 방법은 지형의 변화가 적은 지역에서는 비교적 정확하지만, 변화가 급격한 지형지물에 대하여 정확한 DSM을 생성하지 못한다. 특히 도심지역의 경우 건물이나 인공지물에 대한 정보를 별도로 생성해야하는 문제점을 안고 있다.

또한 정밀 DSM을 이용하여 정사영상을 제작하더라도

절벽이나 계곡과 같은 급격한 높이변화를 보이는 자연지물과 교량, 제방, 고가도로, 건물 등과 같은 인공지물로 인한 폐색영역(occlusion area)과 폐색에 의해 발생하는 이중 도면화(double mapping)의 기하학적인 문제가 발생한다.

그래서 일반적으로 DEM을 이용하여 교량, 제방, 고가도로, 건물 등과 같은 인공지물을 제외한 자연지형에 대한 기복변위가 제거된 정사영상을 제작하여 왔다.

그러나 최근 항공측량장비 및 기술의 발전으로 항공 LiDAR, 디지털항공사진영상, GPS/INS를 이용한 다중센싱기법을 이용하여 고품질의 영상 및 3차원 공간정보의 획득이 가능하게 되면서 정밀한 DSM의 생성이 가능하게 되었을 뿐만 아니라 정사영상 제작에 관한 국내·외의 다양한 연구가 수행되어 정사영상의 폐색 및 이중 도면화 문제를 보정할 수 있는 방안 및 알고리즘이 정립되고, 이를 채용한 상용프로그램 등이 개발됨에 따라 도심지역에 대한 대축척, 고해상도의 실감정사영상(true orthophoto)의 제작이 가능하게 되었다.

따라서 본 연구에서는 다차원공간정보인 항공 LiDAR 데이터, 디지털항공사진, GPS/INS 데이터를 활용하여 도심지역의 대축척, 고정밀의 실감정사영상 제작 방안 및 작업 공정을 제시하고, 실감정사영상과 정밀 DSM을 이용한 3차원 도시모델을 제작하여 활용성 분석을 수행하였다.

## 2. 연구방법 및 범위

도심지역의 대축척, 고정밀의 실감정사영상 제작 방안 및 작업 공정을 제시하고, 실감정사영상을 이용한 3차원 도시모델을 제작하여 다음과 같은 방법으로 연구를 수행하였다.

본 연구의 내용은 크게 세 가지로 나눌 수 있다. 첫 번째는 실감정사사진 제작에 가장 중요한 요소인 정밀 DSM 생성 방안을 제시하는 것으로 기존 DSM 제작 방법과 항공 LiDAR 데이터를 이용한 방법을 비교하여 최적 생성 방안을 제시하였다.

두 번째는 영상의 왜곡 및 기복변위를 제거하기 위한 방안을 제시하기 위하여 기하학적 보정 기법, 방사적 보정 기법으로 나누어 실감정사영상 생성 방안을 정립하였다. 기하학적인 보정 방안은 수치미분편위수정 기법에 따른 정사영상의 생성 능력을 분석하여 최적 방안을 제시하

였고, 방사학적 보정은 폐색영역에 대한 보정 및 모자이크 처리에 대하여 실험을 통해 방안을 정립하였다.

세 번째는 본 논문을 통해 제작된 정밀 DSM 및 실감정사영을 이용하여 3차원 도시모델을 제작하여 활용성을 분석하였다. 그림 1은 본 연구의 주요연구과정을 나타낸 것이다.

### 3. 실감정사영상 제작 방안 정립

#### 3.1 정밀 DSM 제작 방안

##### 3.3.1 대상지역 선정 및 실험 방법

정밀 DSM 제작을 위한 대상지역은 고층 아파트가 밀집되어 있는 도심지역으로 대전광역시 서구 일원(1:5,000 수치지도 36710056~57)을 연구대상지로 선정하였다. 그림 2는 실험 대상지역을 나타낸 것이다.

실험에 사용된 자료는 2005년 4월에 캐나다 Optech사의 ALTM 30/70으로 취득된 1평방미터당 3~6점의 LiDAR 데이터를 사용하였다. 또한 LiDAR 데이터와 동시에 취득한 디지털항공사진과 GPS/INS 데이터 및 대상지역의 1:1,000 수치지도 12도엽을 이용하였다.

DSM 생성을 위한 실험 방법은 수치사진측량기법을 이용한 자동 DSM 추출 방법과 LiDAR 데이터를 이용한 방법, LiDAR 데이터로부터 3차원 벡터를 추출하는 방법, 수치사진측량의 3차원도화데이터와 LiDAR 데이터를 함께 이용한 방법으로 총 네 가지의 Case로 나누어 수행하였다.

#### 3.1.2 정밀 DSM 제작 실험

##### ① DSM 제작 실험 Case 1

Case 1은 LiDAR 데이터와 동시에 취득된 디지털항공사진영상과 GPS/INS 데이터를 이용하여 Direct Georeferencing 방식에 의해 표정해석을 수행한 후 영상정합기법을 이용하여 1×1m 격자 포인트를 자동 추출하여 TIN방식으로 DSM을 생성하였다. DSM 자동 추출은 영역기준정합기법을 적용한 미국 Intergraph사의 Photogrammetry 5.0의 DSM 자동 추출 모듈인 ISDC를 이용하였다. 그림 3은 Case 1의 DSM 생성과정을 나타낸 것이다.

##### ② DSM 제작 실험 Case 2

Case 2는 LiDAR 데이터로부터 전처리 과정에서 분류된 순수지표면과 건물 포인트를 이용하여 DSM을 생성하였다. 순수지표면 포인트는 1×1m로 격자 간격으로 필터

표 1. 정밀 DSM 생성 실험 Case

실험 Case	방법론	활용자료			지형 모델
		디지털 영상	LiDAR	GPS/INS	
Case1	수치사진측량	○		○	DEM
Case2	LiDAR		○		DSM
Case3			○		DSM
Case4	수치사진측량 +LiDAR	○	○	○	DSM

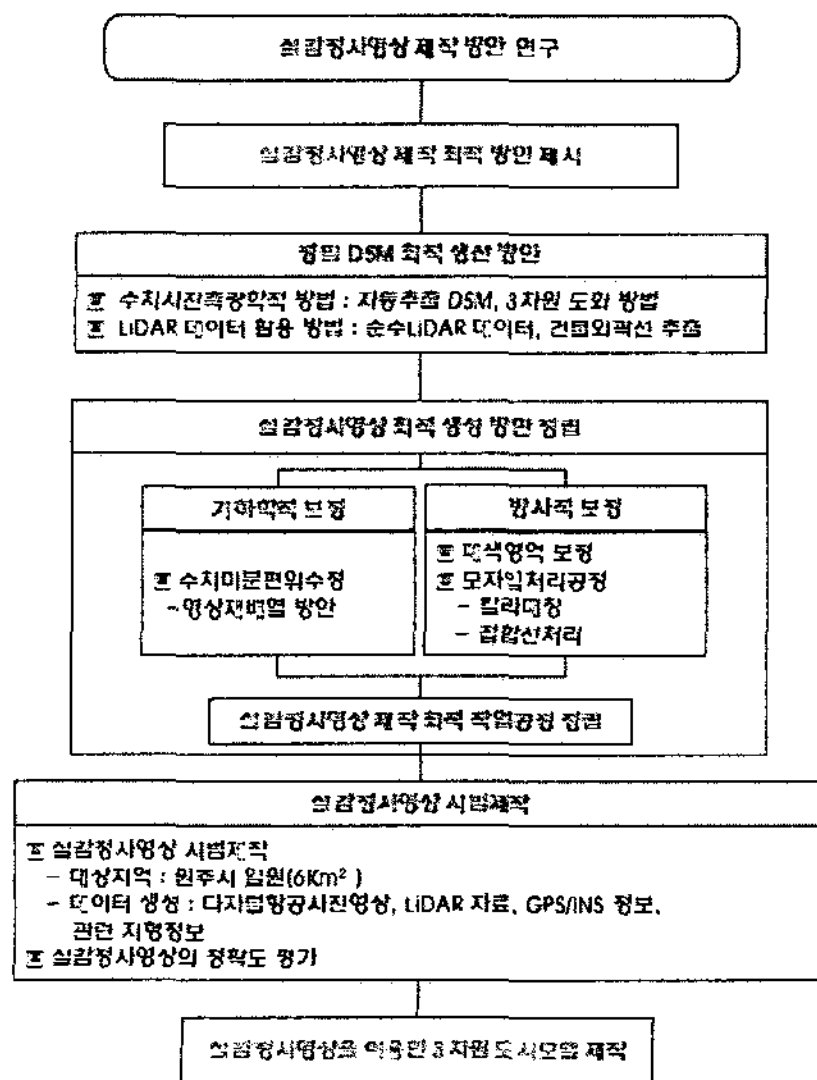


그림 1. 본 연구의 주요연구과정

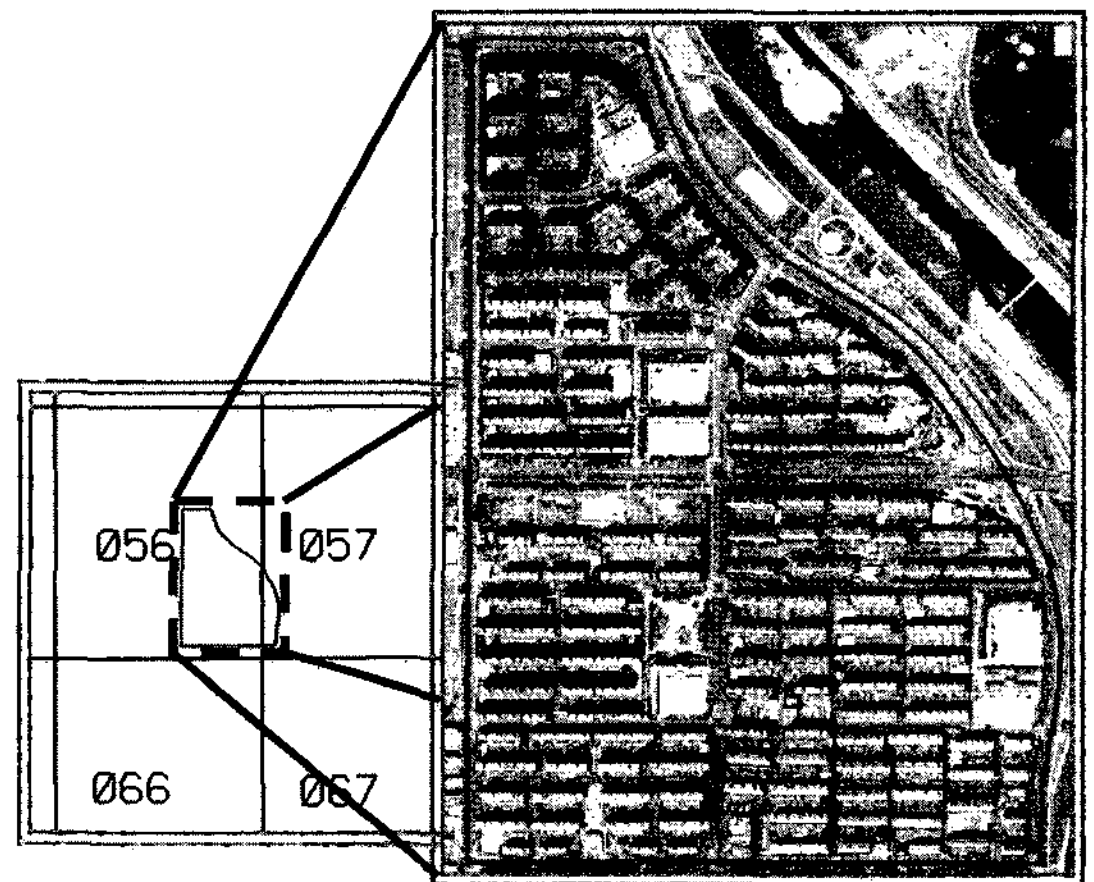


그림 2. 정밀 DSM 제작 실험 대상지역

링을 수행하고, 건물 포인트와 병합하여 TIN 방식으로 생성하였다. 그림 5은 Case 1의 DSM 생성과정을 나타낸 것이다.

### ③ DSM 제작 실험 Case 3

Case 3은 LiDAR 데이터의 건물 포인트를 이용하여 3차원 벡터를 제작하여 DBM을 생성하고, LiDAR 순수지표면 포인트를 이용하여 DEM을 생성한 후 DBM과 DEM을 합성하여 DSM을 생성하였다.

DBM의 제작은 LiDAR로부터 3차원 건물 벡터의 추출한 후 3차원 건물 벡터를 이용해 DBM을 생성한다. 그림 8은 3차원 건물 벡터를 추출 하는 과정을 나타낸 것으로 첫 단계로 건물영역의 확장범위, 건물의 최소면적, 수렴각을 조건값으로 하여 외곽선을 추출한 모습이다. 최초 외곽선은 매우 불규칙하고 방향 또한 상이하다. 또한 불필요한 외곽선도 생성된다. 두 번째 단계는 첫 단계에서 불필요한 외곽선을 삭제하고 주변 상황에 맞추어 방향을 정해주어 불규칙한 모양을 정형화시켜 실제 건물의 지붕

면과 외곽선을 일치시켜준다. 세 번째 단계에서는 생성된 외곽선을 순수지표면까지 수직으로 내려 건물의 3차원 벡터를 생성하였다.

### ④ DSM 제작 실험 Case 4

Case 4는 Case 3과 같은 방식으로 3차원 도화를 수행하여 제작된 건물 벡터를 이용하여 DBM을 생성하고, LiDAR 데이터의 순수지표면 포인트를 이용하여 DEM을 생성한 후 DBM과 DEM을 합성하여 DSM을 생성하였다. 그림 10은 DSM 생성과정을 나타낸 것이다.

3차원 도화 데이터를 생성하기 위해서 모든 구조물에 대하여 라인과 라인스트링 형태로 데이터를 생성하였고, 도화의 형태 분류로는 크게 박스형 건물, 피라미드형 건물, 돔형 건물, 원통형 건물, 콘형 건물, 기타 건물로 나누어 작업하였다.

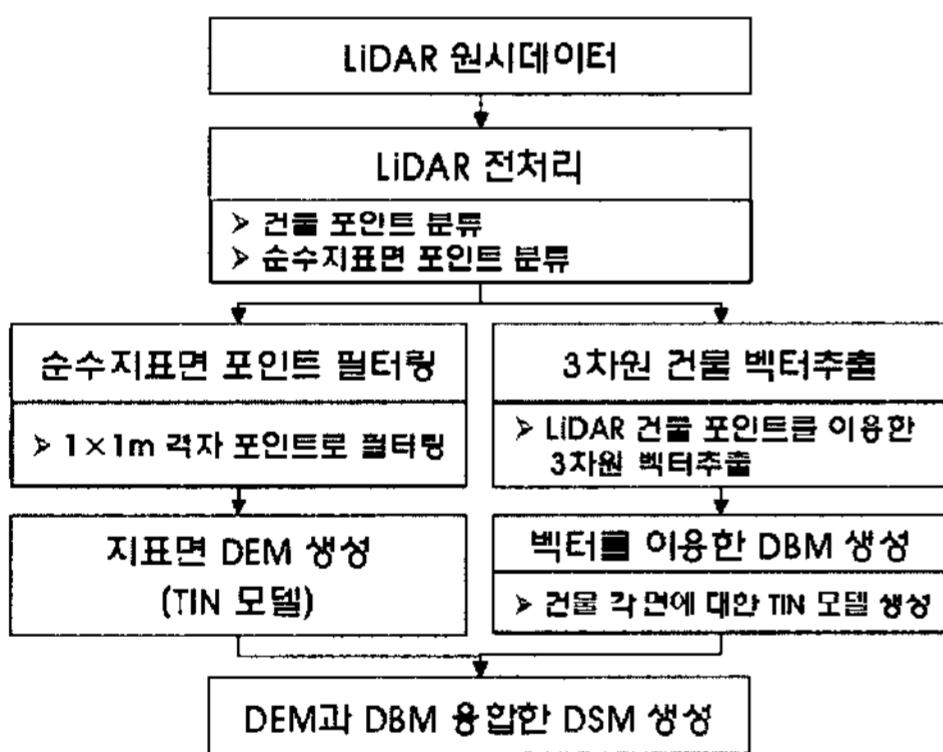


그림 7. Case 3 생성과정

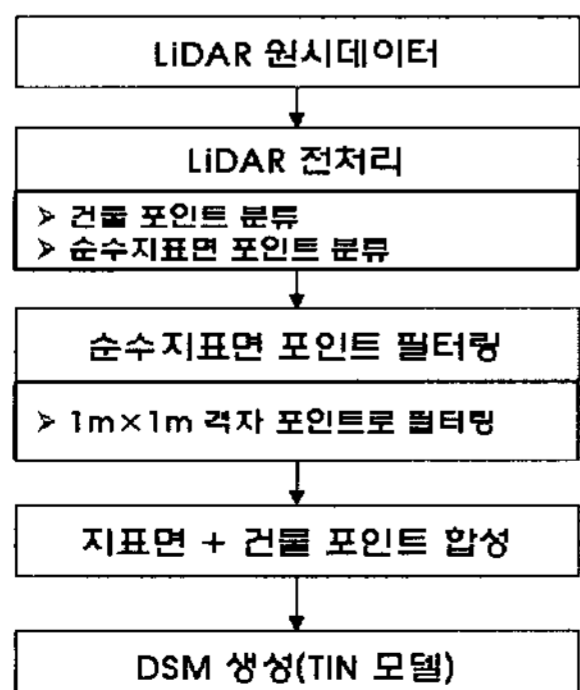


그림 5. Case 2 DSM 생성 과정

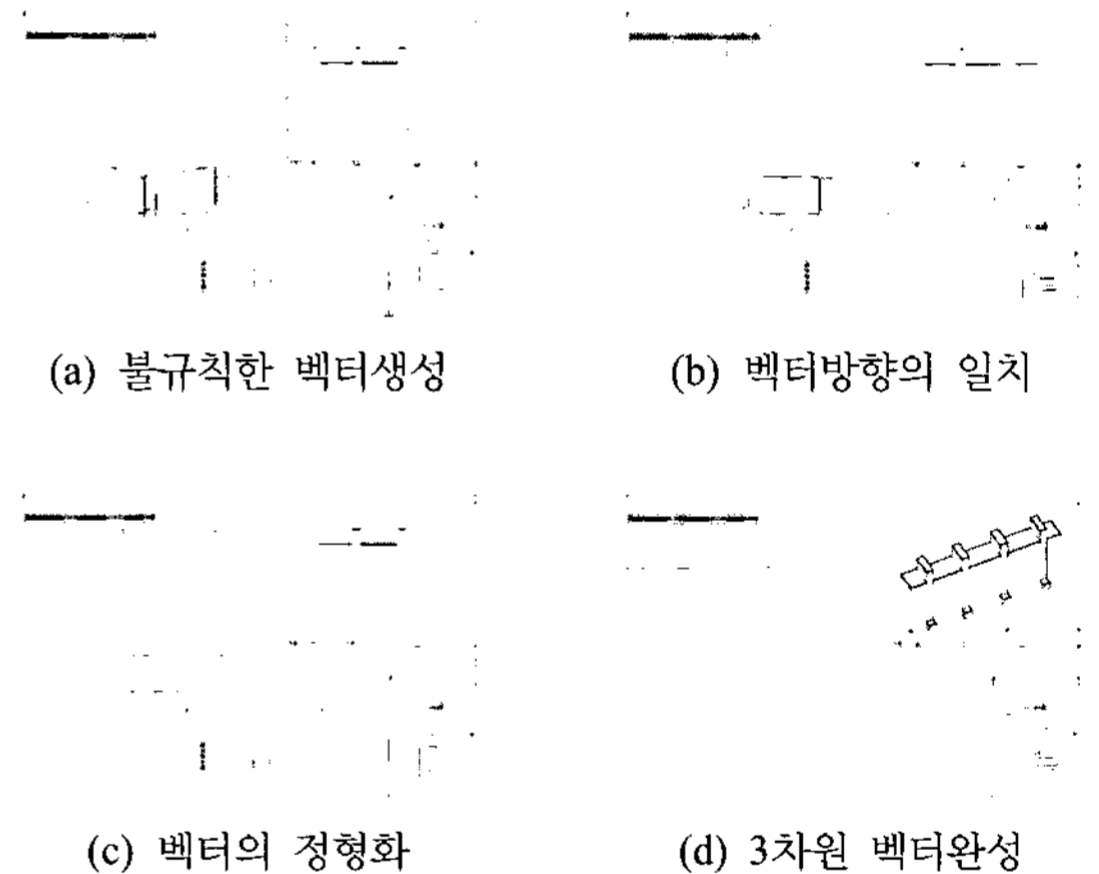


그림 8. 3차원 건물 벡터 추출

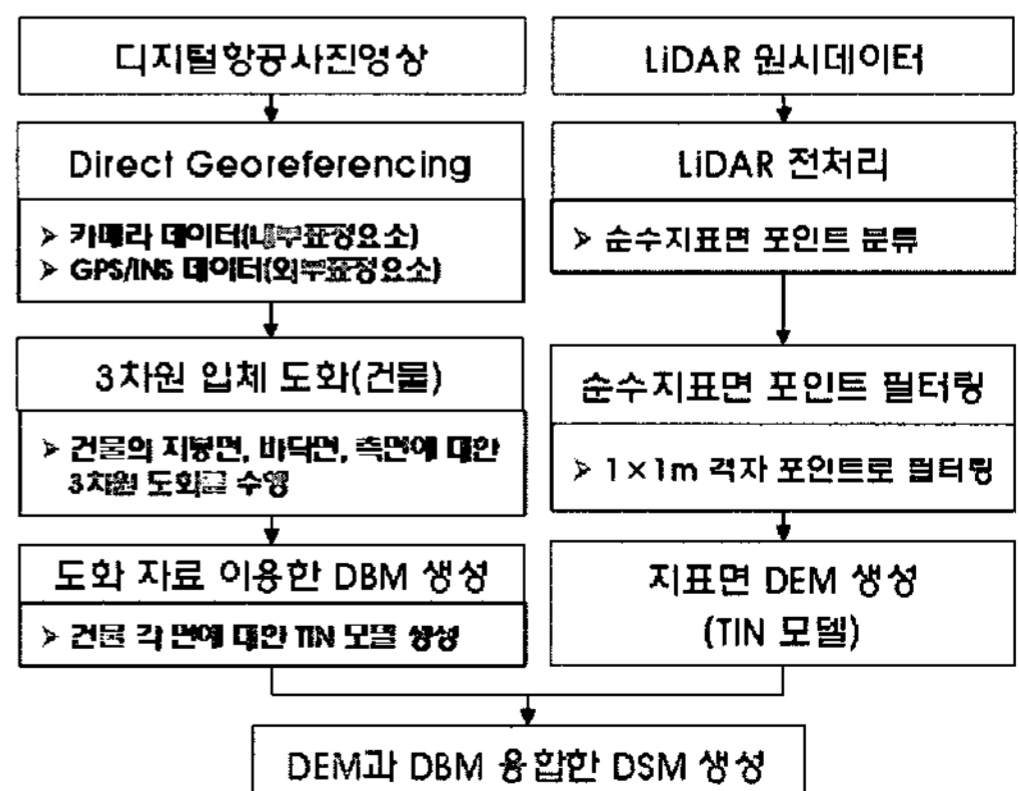


그림 10. Case 4 DSM 생성 과정

### 3.1.3 각 Case별 DSM 정확도 분석

실험을 통해 제작된 각 DSM의 정확도 검증은 DSM의 가시 분석과 각 DSM 별로 정사사진을 제작하고 건물에 대하여 1:1,000 수치지도를 기준으로 상대적인 위치오차를 분석하였다. 정사사진은 공일차보간법을 이용하여 영상재배열 간격은 4화소로 수치미분편위수정을 수행하여 제작하였다.

#### ① 시각적 분석

표 2는 각 Case 별 DEM의 시각적 분석을 수행한 결과이다. Case 1의 DSM의 시각적 분석을 수행한 결과 건물의 외형을 정확하게 표현하지 못하고, 불규칙하게 표현되었다. 정사사진은 부정확한 DSM으로 인하여 기하학적 왜곡이 발생하였는데, 1:1,000 수치지도의 건물과 상당히 다른 형태인 것을 확인할 수 있었다.

Case 2의 건물은 전체적인 외형은 유사하나, 톱니모양으로 울퉁불퉁하게 표현되었다. 정사영상은 기복변위가 제거되어 이중매핑현상이 발생한 것을 확인 할 수 있다. 또한 수치지도의 건물과 형상이 유사하나, DSM의 영향으로 건물의 외곽선이 불규칙하였다.

Case 3의 건물은 비교적 정확하게 표현되어 있으나, 단

순한 BOX형태로 표현되어 있으며, 정사영상은 기복변위가 제거되어 이중매핑현상이 발생한 것을 확인 할 수 있고, 수치지도와 유사하게 편위수정이 이루어졌으며, 옥탑 부분 역시 기복변위가 수정되었다.




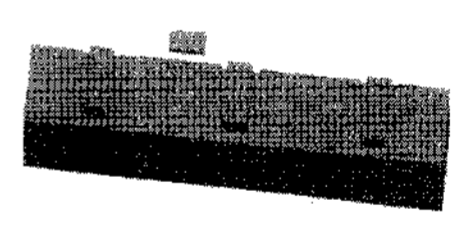
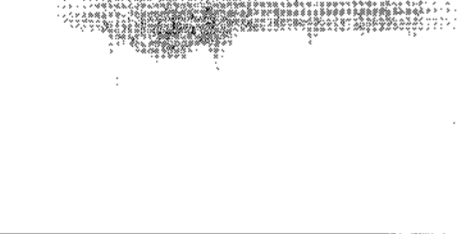




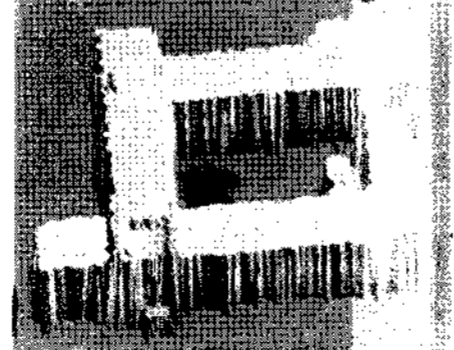
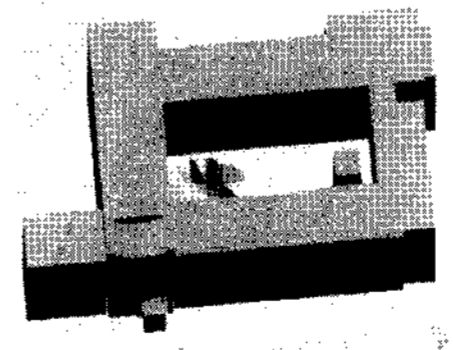
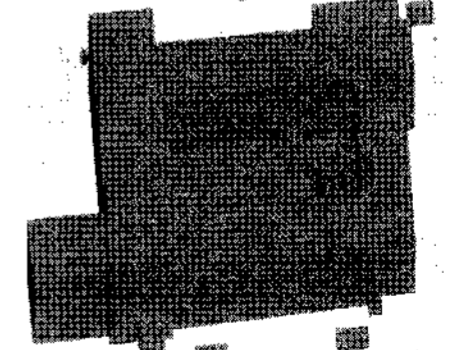
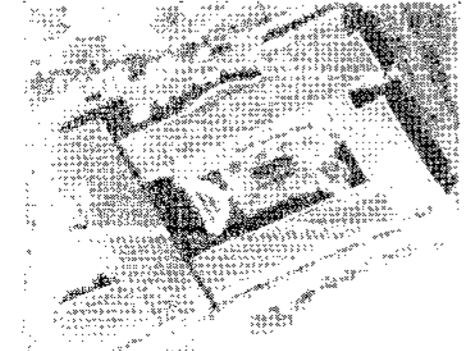
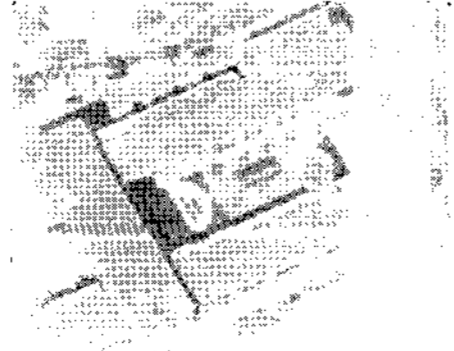
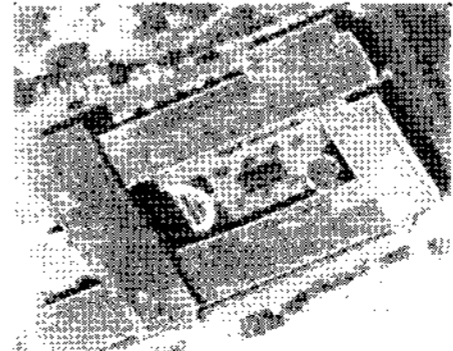
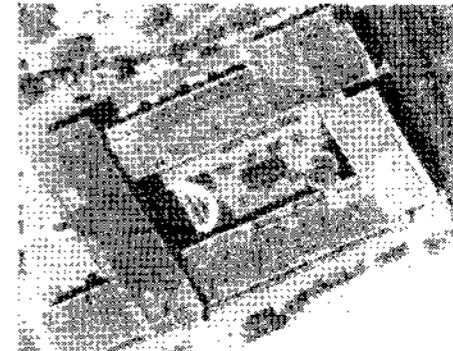
Case 4는 건물을 정확하게 표현하였고, 정사영상은 기복변위가 제거되어 이중매핑현상이 발생한 것을 확인 할 수 있었다. 또한 직접 도화 방법으로 복잡한 건물을 세부적으로 묘사가 가능하여 정사영상도 수치지도와 일치함을 알 수 있다.

#### ② 위치 정확도 분석

정밀 DSM의 위치오차 분석은 DSM 자체를 가지고 분석하는데 제약이 많아 각 DSM별로 제작된 정사사진을 이용하여 건물에 대한 32개 점의 상좌표와 1:1,000 수치지도의 건물 Layer와 상대적인 위치오차를 분석하였다.

위치오차 분석 결과 Case 1의 평균위치오차가  $dx=0.489m$ ,  $dy=2.354$ , 거리오차는  $2.436m$ 으로 가장 큰 위치오차를 보였으며, Case 4는  $dx=0.231m$ ,  $dy=0.419$ , 거리오차는  $0.518m$ 로 가장 적은 위치오차를 보였다. 그림 12는 각 Case별 DSM의 위치오차를 분석한 결과를 도식화한 것으로 Case 1에서 오차의 기복이 많은 것을 알 수 있었

표 2. 각 Case별 DSM의 시각적 분석

구분	Case 1	Case 2	Case 3	Case 4	비고
DSM					
정사 영상					
DSM					
정사 영상					

으며, Case 4의 오차에 기록이 가장 적은 것으로 나타났다. 측점 13~15에서 Case 2, 3의 오차가 증가한 것으로 나타났는데, 원인은 건물의 모서리와 작은 굴곡 부분에서 DSM의 표현이 세밀하지 않아 발생한 오차로 판단된다. 위치오차 분석 결과 전적으로 가시 분석의 결과와 동일한 것으로 나타났다.

DSM의 정확도 분석 결과 Case 3, Case 4가 가장 양호한 결과를 나타냈으며, 본 연구에서는 Case 3을 정밀 DSM 최적 생성 방안으로 선정하였다.

### 3.2 실감정사사진 제작 방안

#### 3.2.1 대상지역 선정 및 실험 방법

실감정사영상 제작 방안 정립을 위한 실험 대상지역은 아파트 및 고층건물이 밀집된 원주시 단구동 일원의 약 6.15km<sup>2</sup>(1:5,000 수치지도 37712068, 69, 78, 79중 일부)를 대상지역으로 선정하였다. 그림 13은 대상지역을 나타낸 것이다.

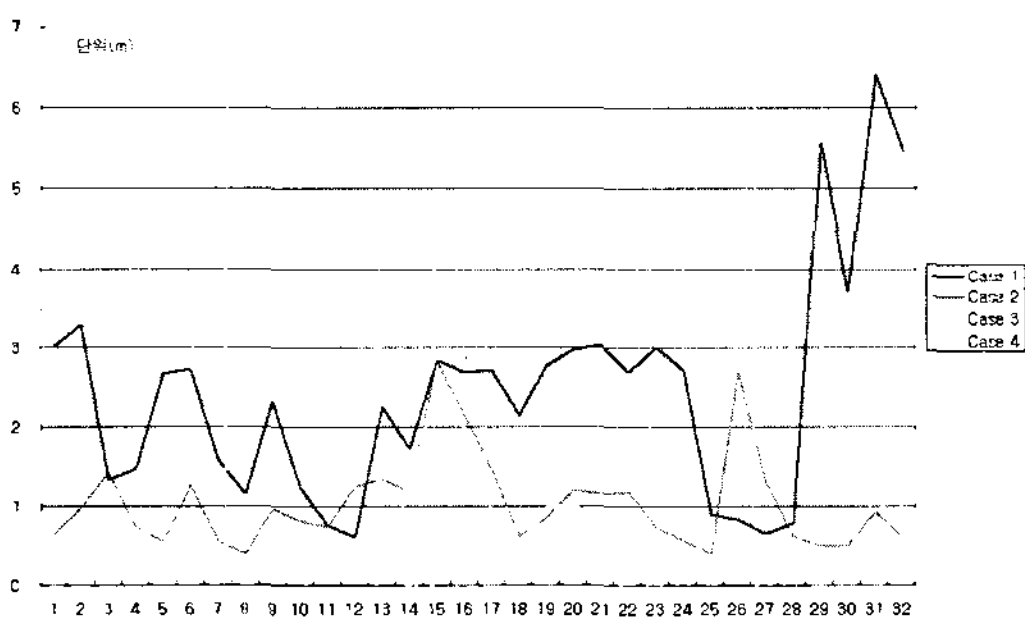


그림 12. 각 Case 별 위치오차 분석 결과

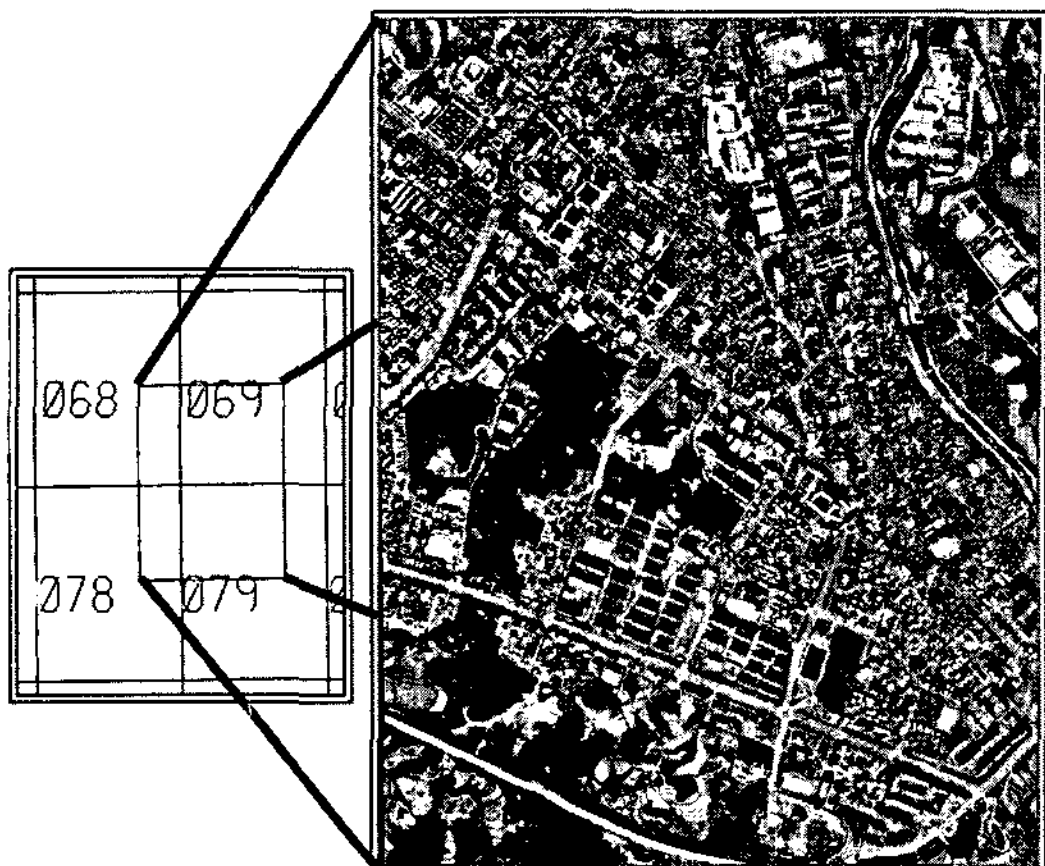


그림 13. 실감정사영상 제작 대상지역

실감정사사진 최적 제작 방안 정립을 위해서 기하학적 보정과 방사적 보정으로 나누어 실험을 수행하였다. 기하학적 보정은 기록변위 및 왜곡을 제거하기 위한 수치미분편위수정시 영상재배열의 보간법 및 화소 간격에 따른 수행능력에 대한 평가를 수행하였으며, 방사적 보정에서는 이중 도면화로 발생하는 폐색영역에 대한 처리 방안 및 모자이크 영상 제작을 위한 접합선(seamline)처리, 접합 지역의 영상 처리 방안에 대한 실험을 수행하였다.

#### 3.2.2 표정해석 및 정밀 DSM 생성

실험에는 2006년 10월 촬영된 디지털항공사진과 이와 동시에 취득된 LiDAR 데이터, GPS/INS 데이터 및 대상지역의 2005년 제작된 1:1,000 수치지도 25도엽을 이용하였다. LiDAR 데이터는 캐나다 Optech사의 ALTM 30/70 으로 취득하된 1m<sup>2</sup>당 3~6점의 데이터이며, 디지털항공사진 영상은 Rollei AIC카메라로 촬영된 영상이다.

##### ① 디지털항공영상 표정해석

대상지역의 디지털항공사진에 대한 표정해석은 Direct Georeferencing 방식의 표정해석을 수행하였다. 대상지역의 디지털항공사진은 63매로 7개의 스트립, 56개의 모터를 한 블록으로 구성하였으며, 표정 해석 정확도는  $\sigma = 3.25\mu\text{m}$ 로 양호하였다.

##### ② 정밀 DSM 생성

대상지역의 DSM 생성은 앞절의 정밀 DSM 생성 실험을 통해 제안된 Case 3 방법을 이용하여 DSM을 생성하였다. DSM 생성을 위해 우선 전처리 과정을 거쳐 건물과 순수지표면을 분류하고, 분류된 건물포인트를 이용하여 3차원 건물 벡터를 추출하여 DBM을 생성하고, 순수지표

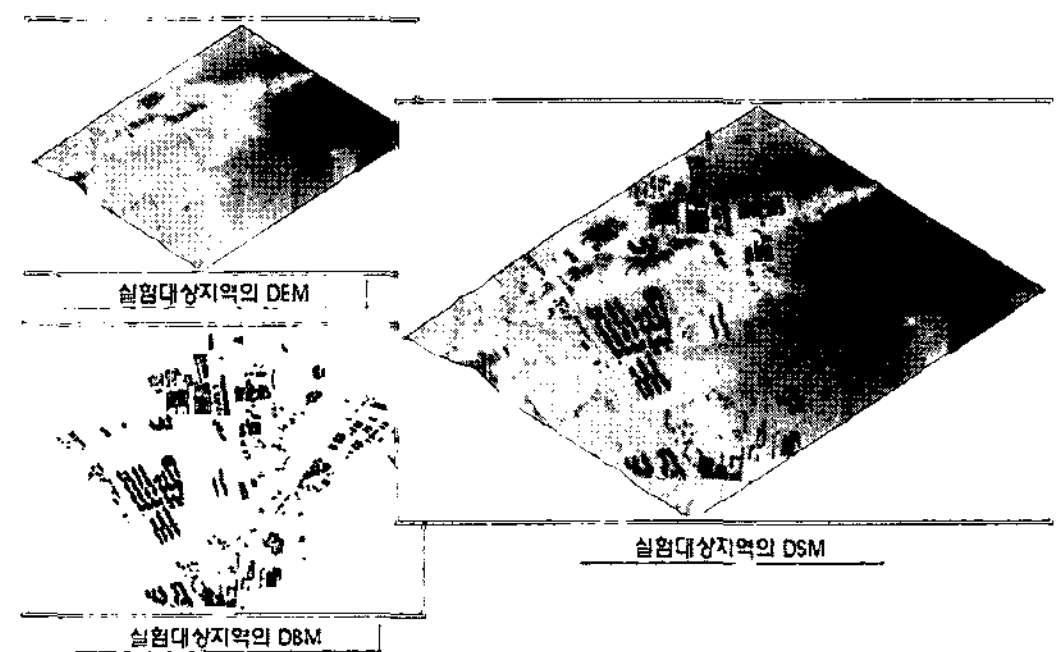


그림 14. 대상지역의 정밀 DSM

면을 이용하여 1×1m 격자 DEM을 생성한 후 병합하여 대상지역의 DSM을 생성하였다. 그림 15는 대상지역의 DBM, DEM 및 DSM을 나타낸 것이다.

### 3.2.3 기하학적 보정 방안

대상물의 높이에 따라 발생하는 기복변위를 보정하는 수치미분편위수정은 직접법과 간접법이 있으며, 일반적으로 항공사진에는 간접법이 이용된다. 간접법은 영상의 광선이 수치지형모델상에 재투영되는 영상재배열 과정을 통해 수행되기 때문에 영상재배열 보간법 및 화소 간격에 따라 정사사진의 정확도가 좌우된다.

따라서, 이번 실험은 영상재배열 보간법으로 가장 많이 사용되는 최근린보간법, 공일차보간법, 공삼차보간법을 이용하여 영상재배열 화소 간격을 2화소, 4화소, 8화소, 16화소 32화소별로 정사사진을 생성하였을 때의 수행능력(제작 시간)에 관한 평가와 정확도를 분석하여 최적의 방안을 제시하고자 하였다. 수행능력 평가는 1656 × 1582 화소 크기의 정사사진을 제작하는데 영상재배열 보간법 및 영상화소간격별 소요시간을 분석하였으며, 정확도 분석은 가시적 분석과 1:1,000 수치지도를 기준으로 상대적인 위치오차를 분석하였다.

표 3은 각 보간법 및 화소간격에 따른 소요시간과

1:1,000 수치지도와 중첩하여 정사영상을 가시적으로 분석한 결과로 최대 제작 시간은 화소 간격이 2화소일 때 9분 45초였으며, 최소 제작 시간은 32화소일 때 17초로 나타났다. 보간법별로 제작 시간의 차이는 1~10초로 거의 없었으며, 화소 간격에 반비례하게 제작 시간의 소요가 많은 것으로 분석되었다.

제작된 정사사진의 가시적인 분석을 수행한 결과, 32화소로 제작된 정사사진은 제작 소요시간은 17초로 매우 빠르나 기복변위의 보정이 제대로 이루어지지 않아 건물이 일그러져 보이며, 건물 외곽에 대한 경계의 구분 자체가 어렵다.

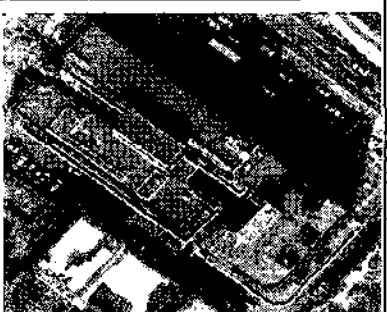









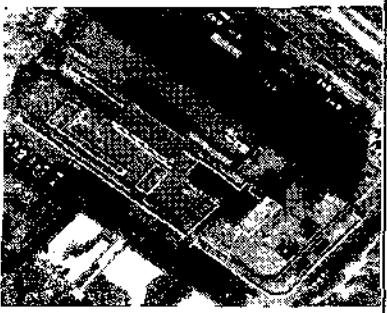
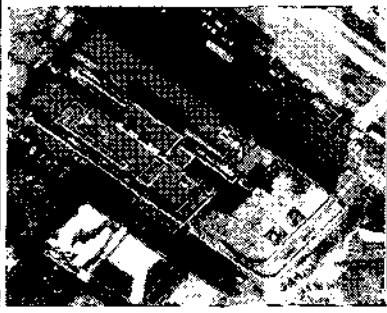
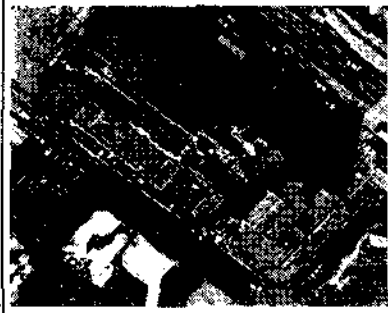

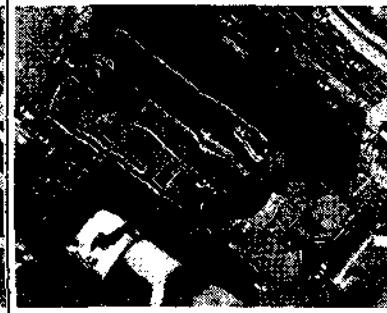
16화소로 제작된 정사사진은 32화소에 비해 건물의 왜곡 발생이 적으나, 이중 도면화 현상을 찾아볼 수 없었다.

8화소의 경우 건물 외형은 32, 16화소에 비해 전반적으로 고르고 이중 도면화 현상이 나타났지만, 모서리부분의 왜곡이 남아 있으며, 이중 도면화 구역의 구분이 모호한 곳이 부분적으로 나타났다.

4화소는 8화소에 비해 약 2배 이상의 제작 시간이 소요되었으며, 전반적으로 기복변위가 제거되어 이중 도면화가 발생하였다. 경계의 구분도 명확하였다. 그러나 건물 외곽선이 고르지 못하고 울퉁불퉁한 모습을 나타내었다.

2화소는 제작 시간이 가장 길었으며, 건물의 기복변위

표 3. 영상재배열 보간법 및 영사소 간격별 정사사진 제작 소요 시간 분석 및 가시적 분석

보간법 \ 화소		2화소	4화소	8화소	16화소	32화소
최근린 보간법	정사 사진					
	제작시간	9분 45초	2분 39초	53초	24초	17초
공일차 보간법	정사 사진					
	제작시간	9분 35초	2분 41초	53초	26초	17초
공삼차 보간법	정사 사진					
	제작시간	9분 39초	2분 43초	54초	25초	18초

가 거의 완벽하게 제거되어 건물의 외형이 정형화 되었으며, 이중 도면화 영역의 구분이 명확하였다. 이와 같은 현상은 모든 보간법에서도 거의 동일하게 발생하였다.

그림 15는 21개 건물에 대하여 각 영상재배열 보간법 및 화소별로 1:1,000 수치지도를 기준으로 상대적인 평균 위치오차를 분석한 결과를 나타낸 것으로, 가시적 분석 결과와 마찬가지로 정사사진의 위치오차는 보간 방법보다는 화소 간격에 따라 수평위치오차의 영향이 큰 것으로 나타났다.

영상재배열의 화소 간격이 2~4화소에서는 보간법에 의한 정확도 차이가 거의 없었으며, 공일차보간법의 결과가 가장 양호한 것으로 나타났다.

기하학적 보정 방안 제시를 위해 영상재배열 및 화소 간격에 대한 수행능력 및 정확도 분석을 수행한 결과 수치미분편위수정 시 영상재배열 보간법은 공일차보간법으로, 화소 간격은 2화소의 화소 간격이 가장 바람직하나, 4화소도 정확도가 양호함으로 4화소 이하로 수행하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

### 3.2.4 방사학적 보정 방안

#### ① 폐색영역 보정 방안

정사사진 제작의 수치미분편위수정 과정에서 기복변위에 의해서 왜곡된 구조물의 영상이 나타나는 이중 도면화의 영역을 폐색영역이라 한다. 사진은 중심투영으로 얻어지기 때문에 지형에 경사와 기복이 있고 주점에서 거리가 멀어질수록, 대상물의 비고가 높을수록 폐색영역 범위가 커지게 되는 특성이 있어 이에 따른 폐색영역에 대한 설정 및 보정 방안이 요구된다.

폐색영역은 태양에 의한 어떤 물체의 그림자영역으로 어떤 시점에서는 보이지 않는 영역으로 정의할 수 있다. 그림 16에서 건물의 폐색영역은 점  $P_0, P_1, P_2, P'_0, P'_1, P'_2$ 로 이루어진 영역으로 정의할 수 있다.  $P'_i$ 는 기복변위 ( $\Delta R_i$ )와  $P_i$ , 투영중심(C)을 이용하여 계산할 수 있다.

DSM으로 건물의 절점인  $P_0, P_1, P_2$ 과 투영중심(C)을 잇는 직선 방정식을 구성하고, 직선의 기울기가 최대, 최소가 되는 절점을 결정하여 절점의 시작점과 끝점을 결정한다. 그리고 각 절점의 기복변위량을 계산하고, 기복변위량에 따라 새로운 절점  $P'_0, P'_1, P'_2$ 를 결정한 후 건물의  $P_0, P_1, P_2$ 와 새로운 절점  $P'_0, P'_1, P'_2$ 를 연결하여 폴리곤을 형성함으로써 폐색영역을 설정할 수 있다. 그림 17은 이중도면화가 발생한 정사영상에 폐색영역을 설정

한 모습을 나타낸 것이다.

폐색영역에 대한 설정이 이루어지게 되면 설정 영역에 대한 보정을 수행하게 되는데, 일반적으로 두 가지 보정 방법으로 나눌 수 있다. 첫 번째 방법은 설정된 폐색영역의 화소 밝기값 또는 칼라값을 조정하여 단색으로 표현하는 blank area 방법이고, 두 번째 방법은 인접 정사사진을 이용하는 방법으로 설정된 폐색영역의 영역만큼의 영상을 인접 정사사진으로부터 절취하여 원영상에 접합하는 adjacent fill기법이다.

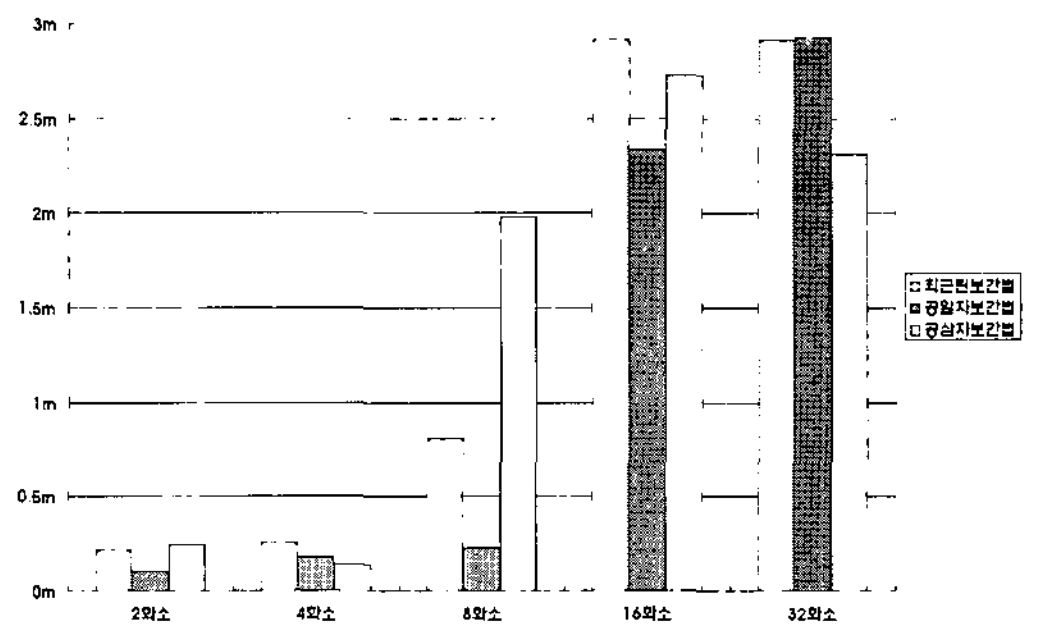


그림 15. 영상재배열 보간법 및 영상소 간격별 위치오차 분석

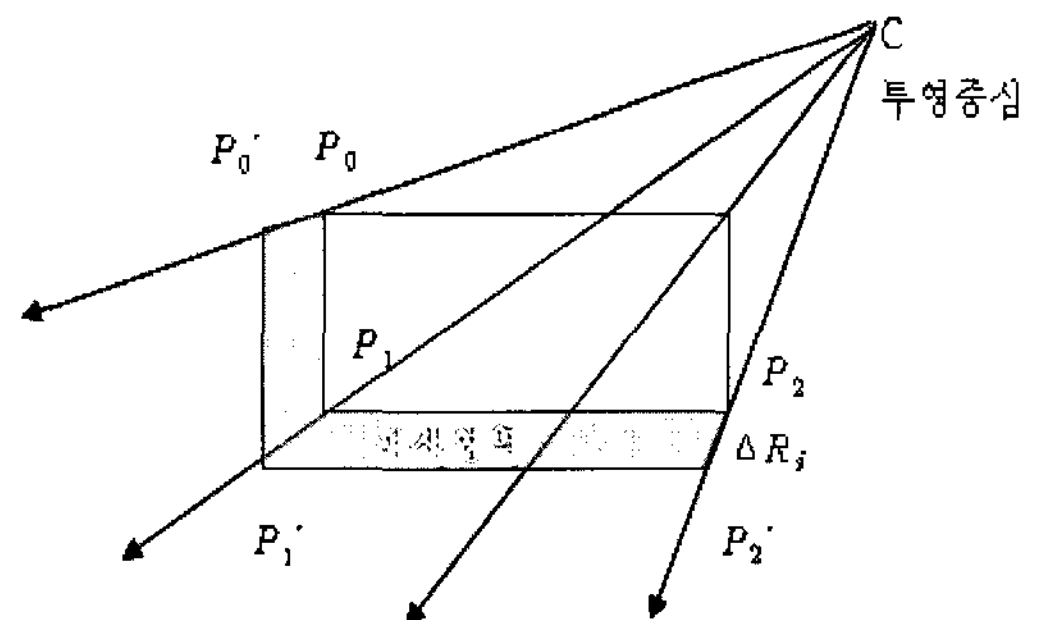


그림 16. 폐색영역 설정 방법

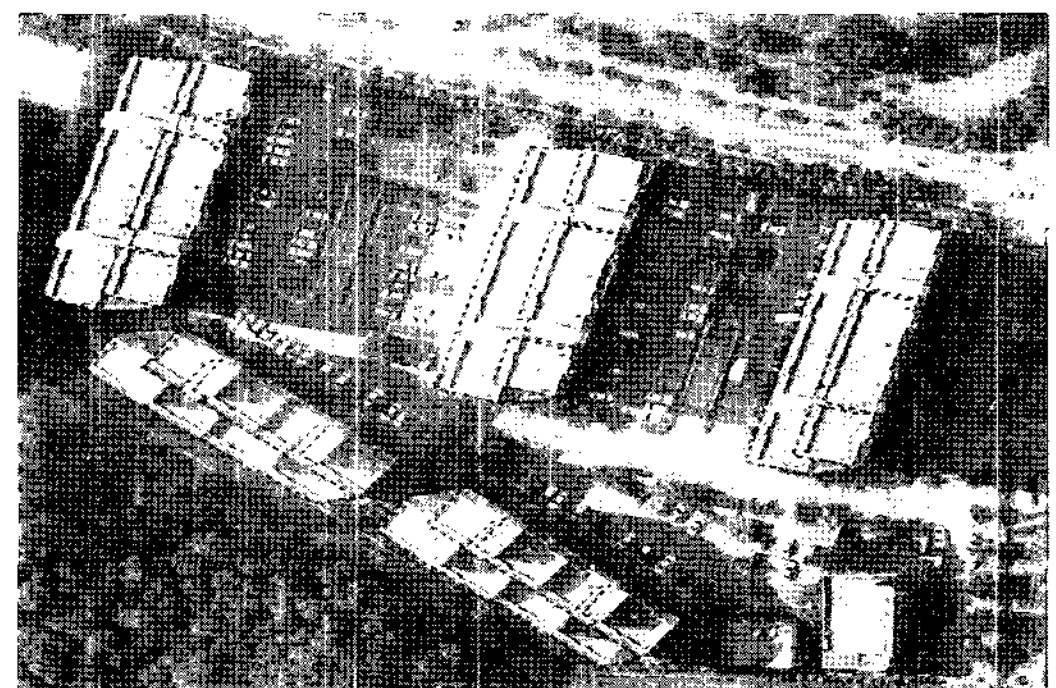


그림 17. 정사사진의 폐색영역 설정



그림 18은 폐색영역에 대한 보정을 수행한 정사사진으로, 그림 (a)는 폐색영역의 화소의 밝기값을 0으로 설정한 영상이고, 그림 (b)는 adjacent fill기법을 이용하여 인접 정사사진으로부터 폐색영역의 영상을 절취하여 접합한 영상이다. 그림에서 보는 바와 같이 화소를 조정된 영상에 비해 인접 정사사진을 이용한 방식이 가시적인 효과가 뛰어난 것을 확인할 수 있다.

② 모자이크 처리 방안

모자이크 작업은 인접한 정사사진을 결합해서 하나의 큰 정사사진을 제작하는 작업을 의미한다. 모자이크 작업을 수행하는 과정은 접합선(seamline)을 생성하고, 생성된 접합선을 이용하여 각 정사사진을 재단한 후 접합하여 모자이크 사진의 제작이 이루어진다. 그러나 모자이크 영상의 생성시 접합경계에 인접 영상간의 밝기값 및 칼라값 또는 지형지물의 영향 등으로 이질감이 존재하게 된다. 따라서 이에 대한 보정 방안이 요구된다.

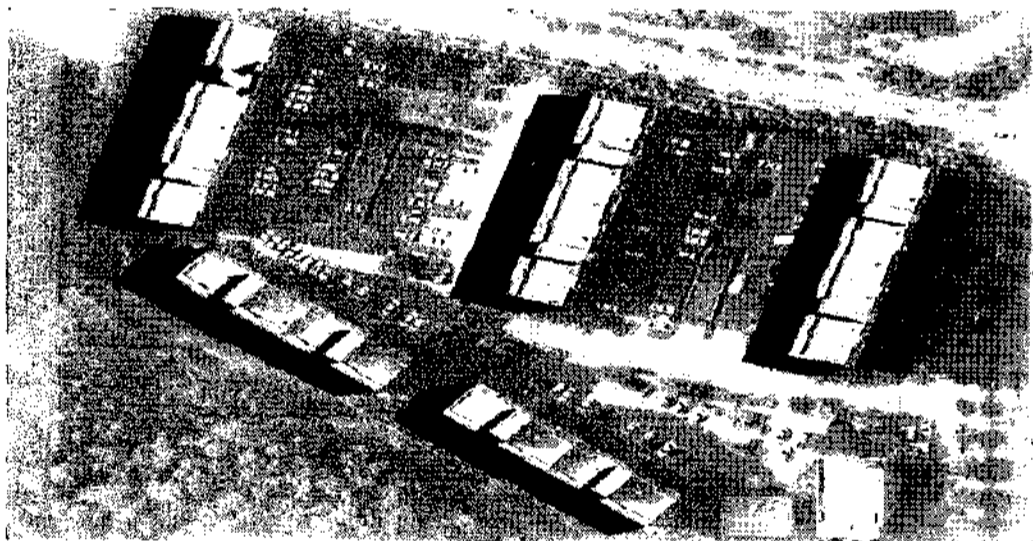
가. 접합선 생성 및 처리 방안

접합선을 생성하는 방법은 영상 매칭 기법을 이용한 자동 생성 방안과 수동으로 생성하는 방안이 있다. 일반적으로 소규모의 지역과 고해상도 정사영상을 제작할 때에는 수동으로 접합선을 생성하고, 대규모 지역 또는 저해상도 정사영상을 제작할 경우에는 자동 생성 방안을 이용한다.

그림 19 (a)에서처럼 고해상도 정사영상 제작시에 수동으로 생성하는 이유는 건물이나 교량의 기울림으로 인하여 접합 영상간의 이질감과 불부합이 발생하기 때문이다. 그러나 그림 19 (b)에서 보는바와 같이 실감정사사진을 제작할 경우 건물이나 교량 등의 기복변위가 제거되어 자동으로 접합선을 생성하여 모자이크 영상을 제작하더라도 이질감이나 불부합의 문제가 해결된 것을 확인할 수 있다.

나. 칼라매칭

칼라매칭은 모자이크 영상 생성시 기준 영상으로부터 인접된 정사사진에 대한 화소의 밝기값 및 칼라값을 조정

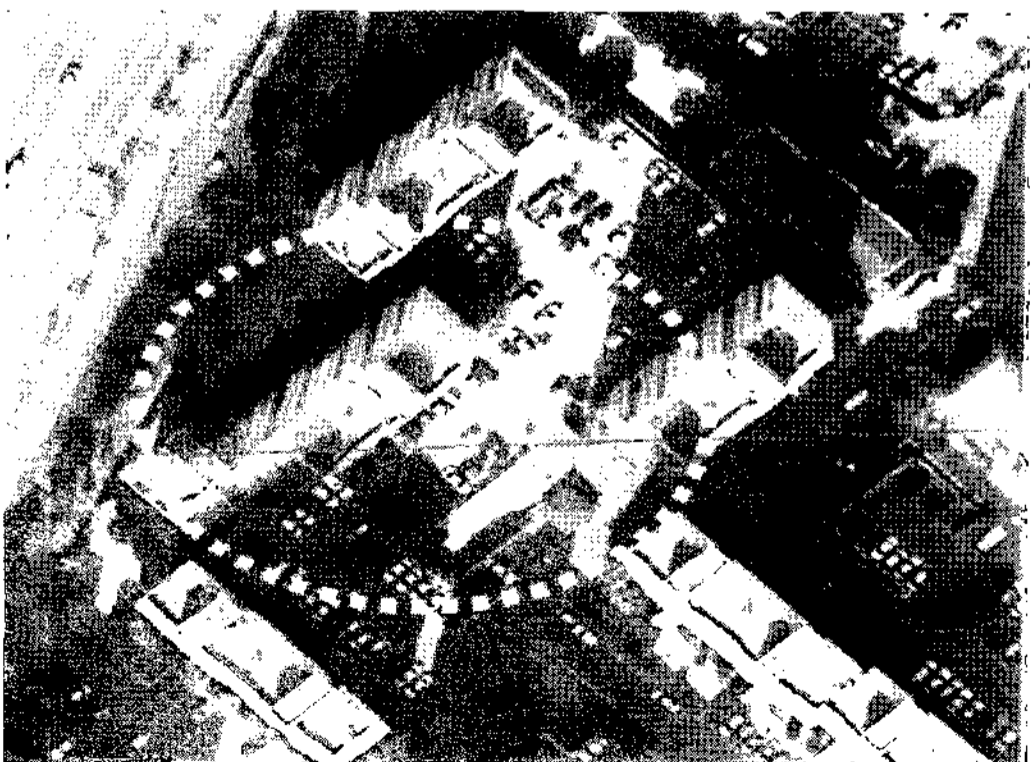


(a) blank area 방법

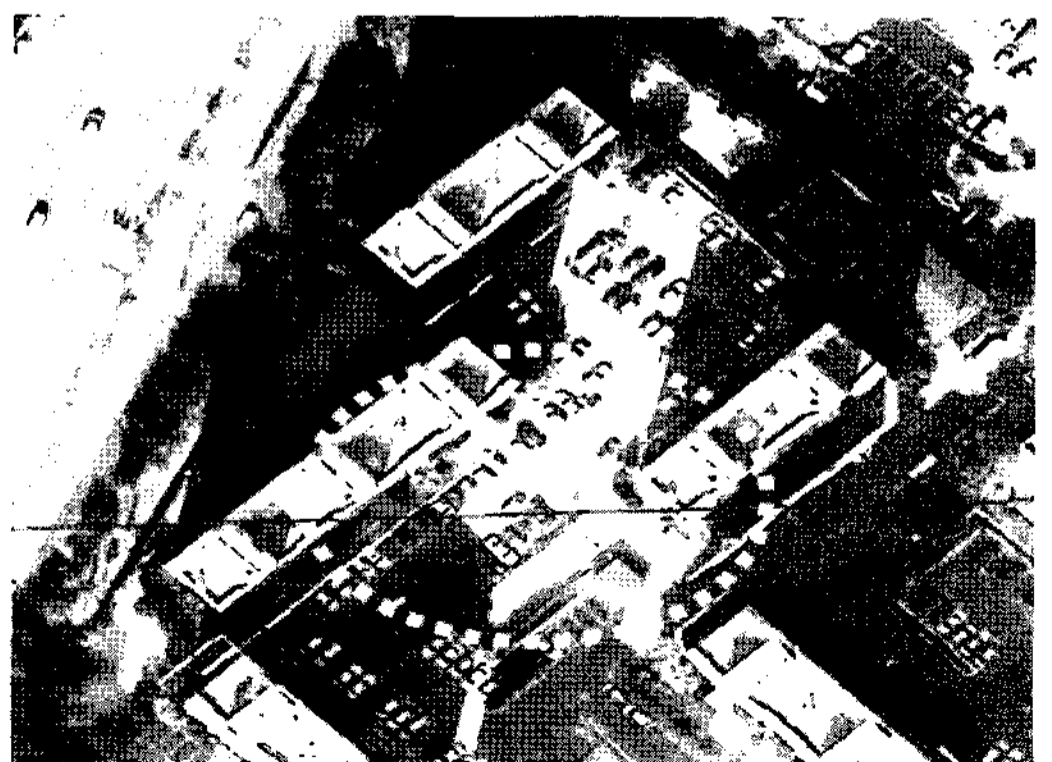


(b) adjacent fill기법

그림 18. 폐색영역 보정 방안



(a) 보통정사영상의 모자이크 영상과 접합선



(b) 실감정사영상의 모자이크 영상과 접합선

그림 19. 보통 및 실감정사영상의 접합선 비교

하여 모자이크 영상의 전체적인 이질감을 제거하는 과정으로 Dodging과 Tone Matching으로 분류된다. Dodging은 각각 제작된 정사사진영상의 Color 명도를 Balancing하기 위한 방사적 영상 처리 작업으로 모자이크 영상 제작 전에 수행이 이루어지게 된다.

Tone Matching은 모자이크 영상 제작 시 이루어지며 기준 영상으로부터 인접된 정사사진의 색조를 조정하는 작업이다. 본 연구에서는 표 4와 같이 Dodging과 Tone Matching의 수행 유무에 따라 생성된 모자이크 영상을 가시적으로 분석하여 최적 방안을 제시하였다.

그림 20은 칼라매칭 실험 결과를 나타낸 것이다. 그림 (a) Case 1은 Dodging과 Tone Matching을 수행하지 않은 영상으로 접합선을 따라 영상의 이질감이 나타났으며, 전체적으로 색감의 차이가 발생하였다. 그림 (b)의 Case 2는 Dodging만을 수행한 영상으로 접합선을 따라 영상의 이질감과 영상 전반에 걸쳐 색감의 차이는 여전히 발생하였으나, 전체적인 영상의 선명도는 양호하였다. 그림 (c)의 Case 3는 Tone Matching만을 수행한 영상으로 영상 색감의 차이는 감소하였으나, 영상의 선명도에 차이가 나타났다. 그림 (d)의 Case 4는 Dodging과 Tone Matching을 모두 수행한 영상으로 접합선을 따라 인접 영상의 경계면 색감이 자연스러우며, 전체적인 영상의 선명도가 양호하였다. 모자이크 영상 제작 시 Dodging과 Tone Matching을 함께 수행하여야 영상의 색감과 선명도로 인한 이질감을 감소시키고, 자연스러운 영상을 제작할 수 있을 것으로 판단된다.

### 3.2.5 실감정사영상 품질 평가

실감정사사진의 품질 평가는 기존의 보통정사사진과 실감정사사진의 위치오차분석과 가시적 분석으로 나누어 수행하였다. 위치오차 분석은 대상지역의 1:1000 수치지도(2005. 10월 생성)를 기준으로 도심지역 건물의 외곽 모서리 부분 28개의 점을 선정하여 보통정사사진과 실감

정사사진간의 수평위치의 평균오차를 분석하였으며, 기복변위의 수정을 위한 폐색 영역 보정 및 방사적 보정에 따라 나타나는 양상을 가시적으로 분석하였다.

그림 21은 보통정사사진과 실감정사사진의 1:1,000 수치지도를 기준으로 건물 지붕면에 대한 상대적인 위치오차를 분석한 결과를 나타낸 것으로 보통정사사진의 평균 위치오차는 2.98m로 나타났으며, 실감정사사진은 0.65m로 나타났다. 보통정사사진은 건물의 기복변위가 제거되지 않아 건물의 기울림이 남아 있어 위치오차가 크게 발생하였으며, 실감정사사진의 경우 건물에 대한 기복변위가 제거되어 위치오차가 적은 것으로 나타났다.

그림 22는 실감정사사진 시범 제작 대상지역의 보통정사사진과 실감정사사진의 가시적인 분석을 30층 이상의 초고층건물지역, 20층 이상의 고층건물지역, 5층 미만의 저층건물지역으로 나누어 비교한 것이다. 초고층건물지

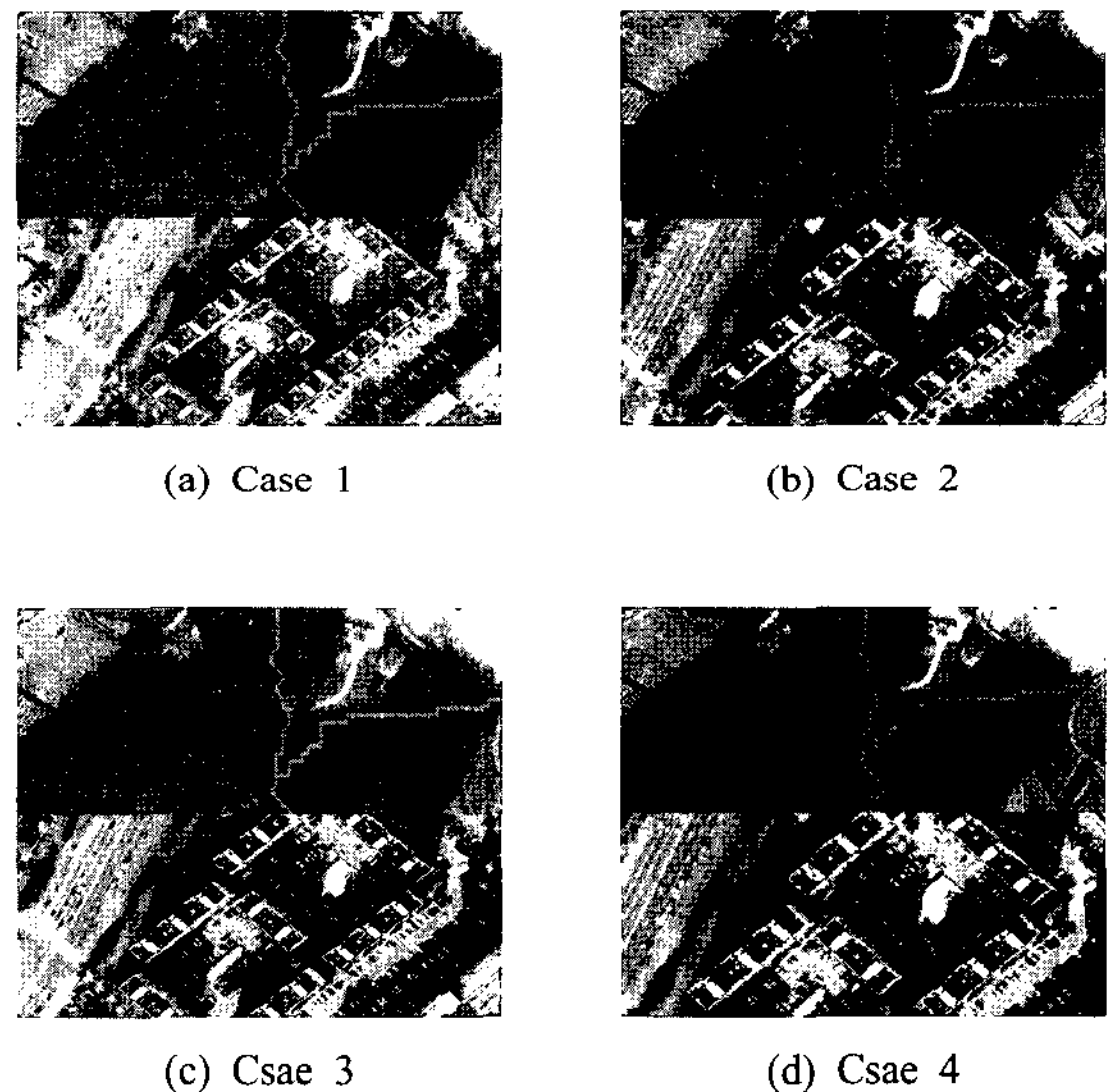


그림 20. 칼라매칭 실험 결과

표 4. 칼라매칭 실험 Case

Case	방법	Dodging	Tone Matching
Case 1		-	-
Case 2		○	-
Case 3		-	○
Case 4		○	○

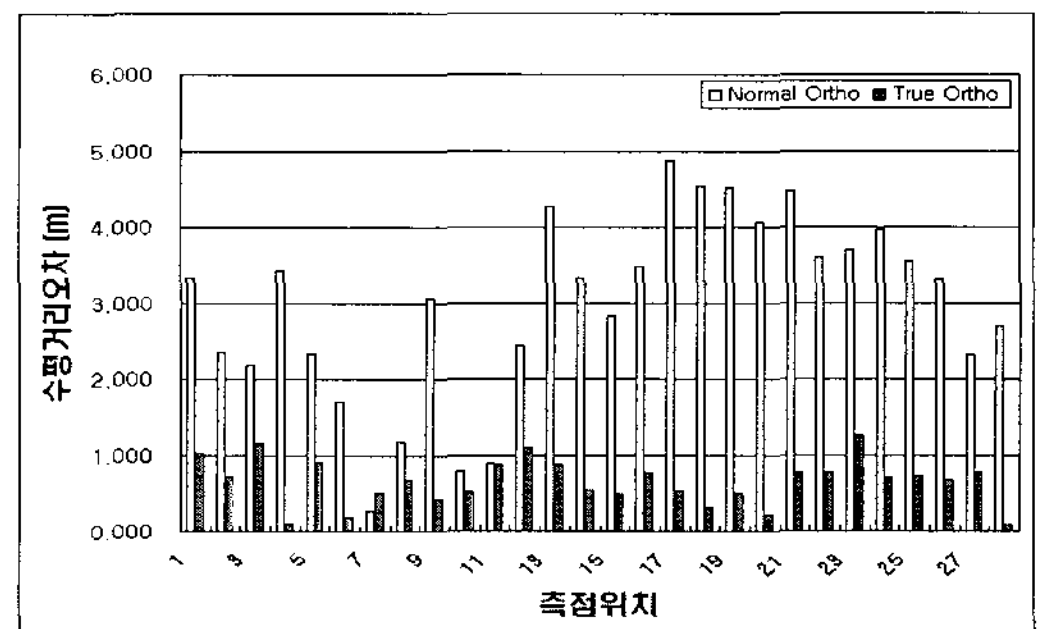
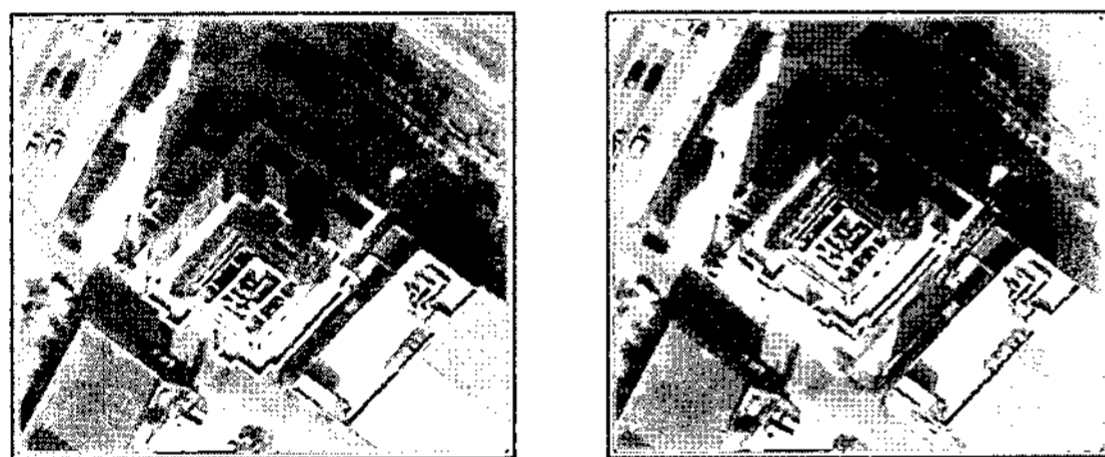


그림 21. 보통정사사진 및 실감정사사진의 위치오차 분석

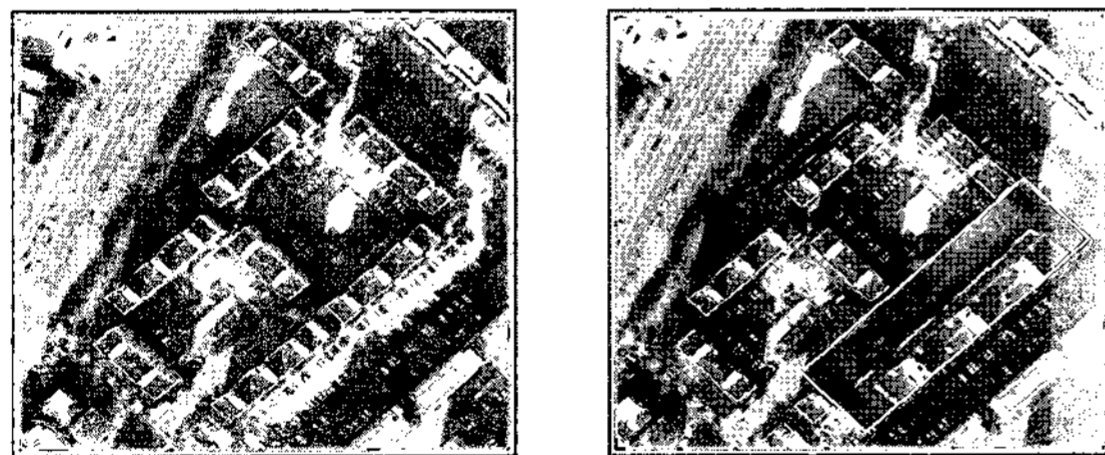
역은 기복변위의 보정 결과가 양호하게 나타났으며, 고층 건물지역인 아파트 단지에서는 대부분의 기복변위가 양호하게 보정되었으나, 간혹 표정 정확도의 문제로 인해 그림(b)에서 점선으로 표시된 부분과 같이 폐색영역의 보정이 제대로 이루어지지 않아 건물의 잔상이 생성되었다. 이와 같은 오류는 육안 검수를 통해 영상을 보정하였다. 저층 주거밀집 지역에서는 건물의 간격이 조밀하여 폐색영역 보정에 사용될 중복 영상이 없는 경우가 존재하며, 폐색영역에 대한 영상은 blank로 처리가 이루어졌다.

#### 4. 실감정사영상을 이용한 3차원 도시모델 제작

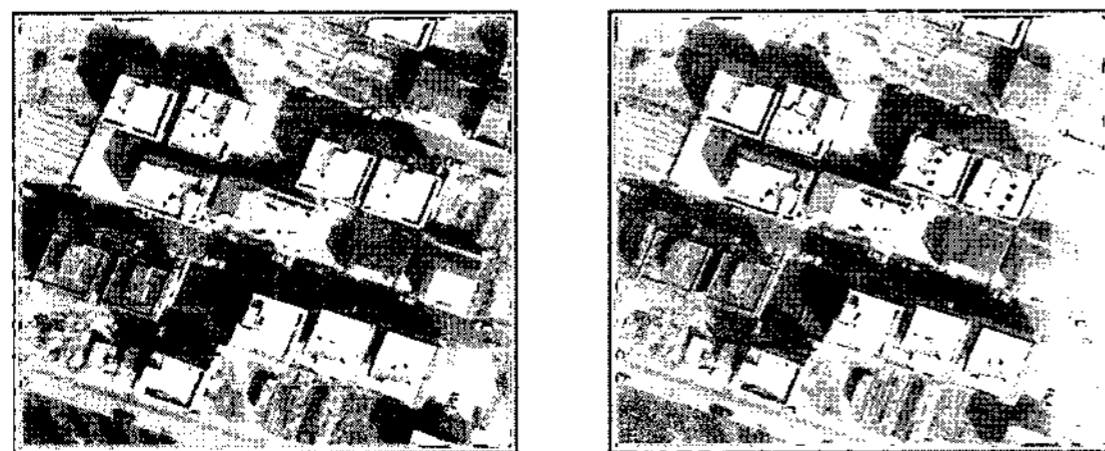
3차원 도시 모델링 제작은 실감정사사진 시범 제작 지역에서 고층건물과 고밀도 저층지역이 상존하는 일부 지



i) 보통정사사진                      ii) 실감정사사진  
(a) 초고층건물지역(30층)



i) 보통정사사진                      ii) 실감정사사진  
(b) 고층건물지역(20층)



i) 보통정사사진                      ii) 실감정사사진  
(c) 저층건물지역(5층미만)

그림 22. 보통정사사진과 실감정사사진 가시적 분석

역(약 0.51km<sup>2</sup>)을 대상으로 기존의 다차원공간정보에서 제공하는 지형모델인 DEM, DSM과 보통정사사진, 본 연구에서 정립한 실험 process를 토대로 생성된 최적 DSM과 실감정사사진을 이용한 3차원 모델링을 수행하여 가시적인 형상을 분석하였다. 표 5는 3차원 도시 모델링 제작 Case를 나타낸 것이다.

3차원 도시 모델링 제작에 사용된 원시 DEM, 원시 DSM, 최적 DSM을 나타낸 것으로, 원시 DEM은 LiDAR 데이터의 순수지표면으로 제작하였고, 원시 DSM은 LiDAR 데이터의 불량 포인트를 제외한 모든 포인트를 이용하여 제작하였다. 최적 DSM은 정밀 DSM 최적 생성 방안에서 제시된 DSM이다.

그림 23은 보통정사사진과 원시 DEM을 이용하여 제작된 3차원 도시 모델로 지표면만으로 제작된 지형모델을 이용하여 지형을 제외한 건물과 같은 다른 지형지물에 대한 형상이 없으며, 보통정사사진을 이용하여 건물의 위치가 부정확하기 때문에 3차원 도시 모델로 적합하지 않다.

그림 24는 보통정사사진과 원시 DSM으로 제작된 도시 모델로 지표면 위의 모든 지형지물의 형상이 3차원으로 표현되었지만, LiDAR 데이터를 그대로 이용하여 제작된 지형 모델이기 때문에 건물과 같은 정형화된 대상물에 대한 표현이 부정확하게 이루어져 있어 도시정보를 제공하기 위한 3차원 도시 모델로 활용이 어렵다.

그림 25는 보통정사사진과 최적 DSM으로 제작된 도시 모델로, 지형뿐 아니라 건물의 형상을 정확하게 표현하고 있으나, 보통정사사진을 사용하여 건물의 기울임에 의하여 영상과 지형모델의 건물과 정확하게 일치하지 않는다.

그림 26은 실감정사사진과 원시 DSM을 이용하여 제작된 도시 모델로 Case 2와 마찬가지로 원시 DSM으로 제작이 이루어져 3차원 형상의 표현이 부정확하여, 3차원 도시 모델로 활용이 어렵다.

표 17. 3차원 도시 모델링 제작 Case

제작 Case	정사사진		지형모델		
	보통	건물	원시 DEM	원시 DSM	최적 DSM
Case 1	○		○		
Case 2	○			○	
Case 3	○				○
Case 4		○		○	
Case 5		○			○

그림 27은 실감정사사진과 최적 DSM으로 제작된 도시 모델로 Case 3과 같이 지형뿐 아니라 건물의 형상을 정확하게 표현하고 있으며, 실감정사영상을 사용하여 정사사진의 건물과 지형모델의 건물과도 정확하게 일치한다.

3차원 도시모델 제작을 수행한 결과 Case 3와 Case 5가 가시적인 효과가 높은 것으로 판단되며, 도심지에 대한 정보를 표현하는데 있어 정사사진의 정확도도 중요한 요소이지만, 정확한 지형모델의 제작이 보다 중요한 요소로 판단된다.

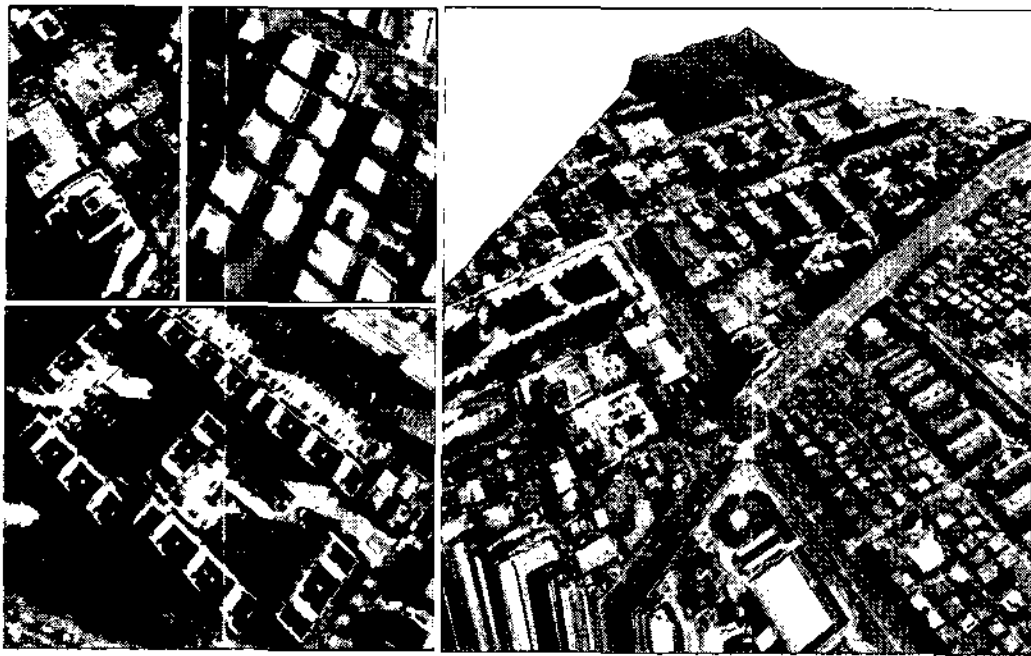


그림 23. Case 1의 3차원 도시 모델

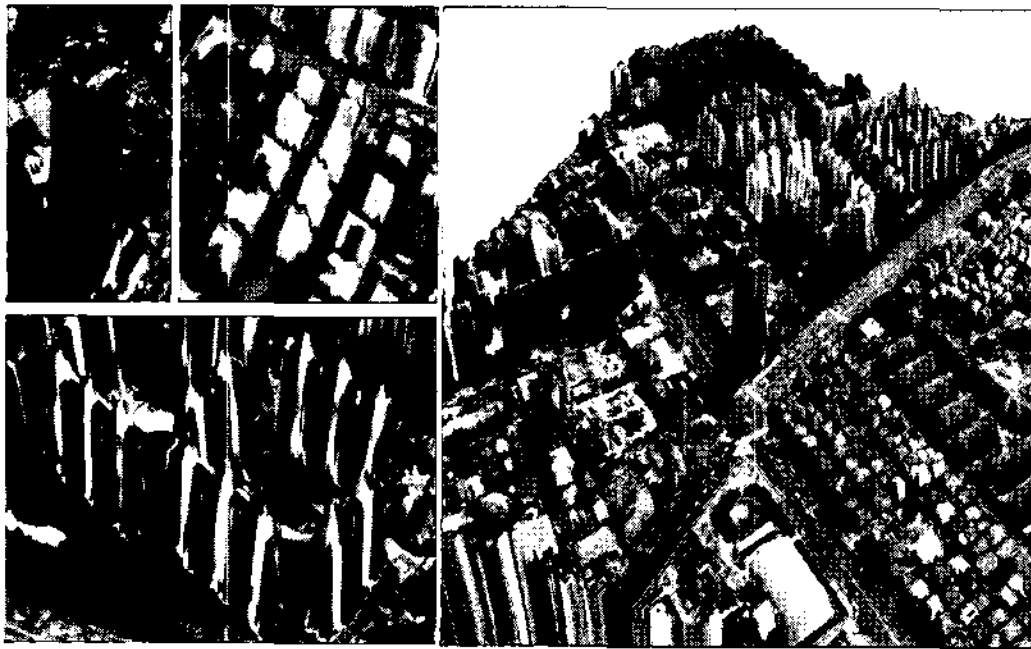


그림 24. Case 2의 3차원 도시 모델

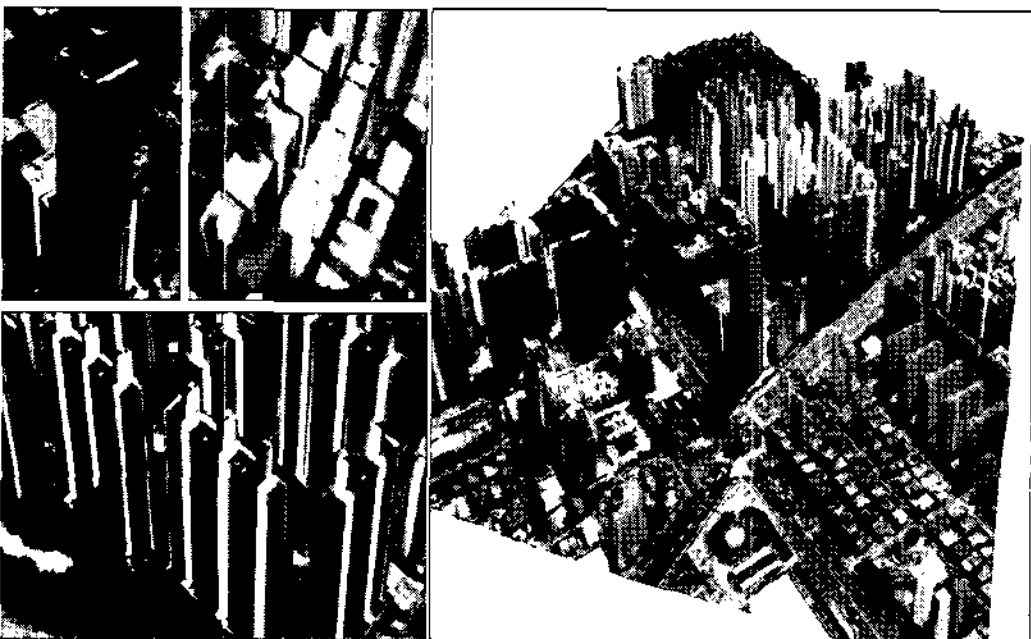


그림 25. Case 3의 3차원 도시 모델

## 5. 결 론

본 연구에서는 항공 LiDAR 데이터, 디지털항공사진, GPS/INS 데이터를 활용하여 도심지역의 대축척, 고정밀의 실감정사영상 제작 방안 및 작업 공정을 제시하고, 실감정사영상과 정밀 DSM을 이용한 3차원 도시모델을 제작하여 활용성 분석을 수행한 연구로 다음과 같은 결론을 얻었다.

첫째, LiDAR 데이터를 통해 3차원 건물벡터를 추출한 후 DSM을 생성한 CASE 3가 정사사진의 가시분석과 수평위치 정확도가 가장 양호한 것으로 나타나 실감정사영상의 제작에 적합한 것으로 판단된다

둘째, 실감정사영상의 제작을 위해서는 영상재배열 보간법은 공일차보간법을 사용하고 화소간격은 4픽셀 이하로 하는 것이 적합할 것으로 판단된다.

셋째, 폐색영역내 픽셀들의 변환 보정시 밝기값을 '0'으로 설정하여 blank area로 처리했을 때보다 adjacent fill기법으로 중첩된 인접영상의 화소로 보정하였을 때가 가시적 효과가 우수하였다.

넷째, 칼라매칭시 전처리과정으로 Dodging처리후 TONE 매칭을 하는 것이 모자이크 처리과정의 접합부의 이질감을

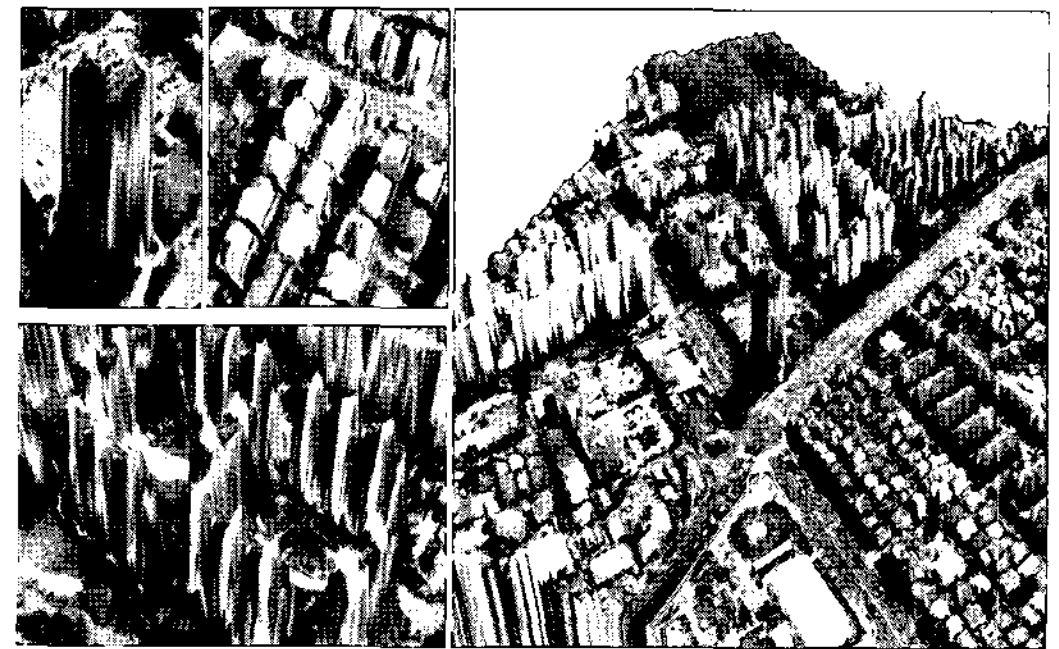


그림 26. Case 4의 3차원 도시 모델

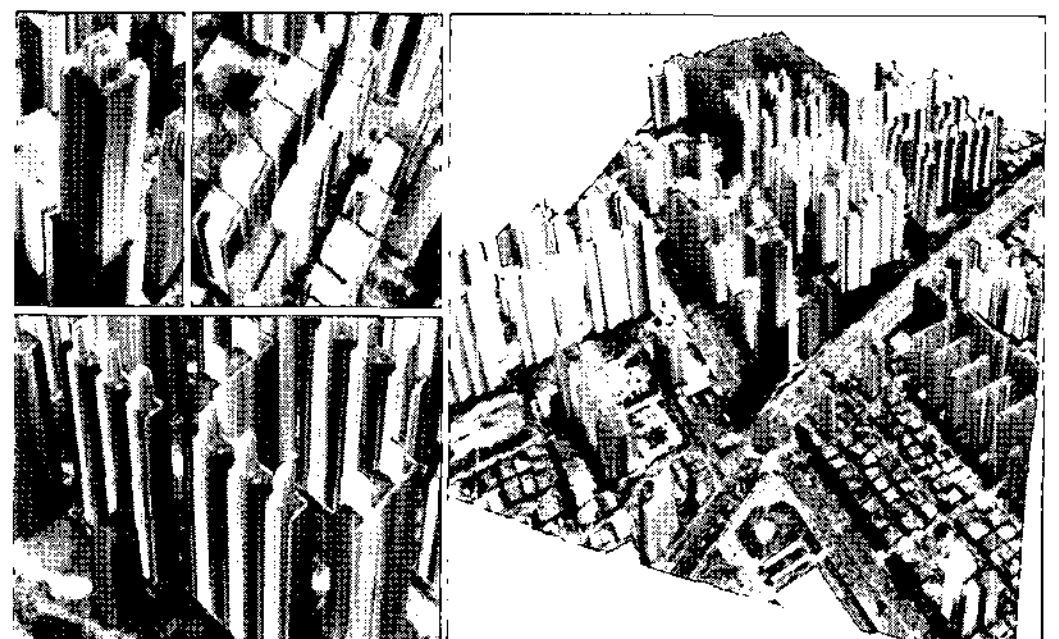


그림 27. Case 5의 3차원 도시 모델

감소시킬 수 있었다.

다섯째, 본 연구를 통해 구축된 최적 정밀 DSM과 실감 정사영상을 통해 3차원 도시모델링 가능성을 타진 할 수 있었으며, 3차원 도시모델이에 대한 추가적인 연구가 수행되어야 한다.

실감정사사진의 제작에 있어 다양한 제작 기법 및 자동화 방안에 대한 지속적인 연구가 요구된다.

## 감사의 글

본 연구는 2007년 상지대학교 교수 연구년제 지원에 의한 것이며, 이에 감사드립니다.

## 참고문헌

국토지리정보원, 2007, 다차원공간정보 활용기술 개발연구.

김형태, 심용운, 박승룡, 김용일, 2002, LiDAR 데이터를 이용한 수치정사사진의 제작. 한국측량학회지. 20-2. 33-39  
서울시, 2002, 2001년 항공사진 이미지데이터구축 사업용역 연구보고서.

유복모, 2002, 디지털측량공학 (제2판). 박영사

유환희, 송영선, 성재열, 1999, 대축척 정사투영영상 생성을 위한 건물폐색보정, 한국측량학회논문집, 19 3-2. 305-312

이강원, 이재원, 강인구, 2003, GPS/INS에 의한 Direct Georeferencing의 실무적용 연구, 대한토목학회지, pp. 3053-3062

이현직, 박은관, 김홍섭, 2005, LiDAR 데이터를 이용한 3차원 건물제작, 상지대학교 부설 방재연구소 방재연구논문집, 제5권 제1호, pp. 73~82

이현직, 유지호, 2007, 항공레이저측량 데이터를 이용한 3차원 수치지도제작 및 정확도 향상 방안, 대한토목학회논문집, 제27권 3D호 pp. 359~368.

이현직, 유지호, 구대성, 강인구, 2008, 3차원 도시모델 생성을 위한 고해상도 실감정사사진 제작 방안, 한국측량학회 춘계 학술대회 논문집, pp. 401~405.

Changjae Kim, Mwafag Ghanma, Ayman Habib, Integration of Photogrammetric and LIDAR Data for Realistic 3D Model Generation

Jiann-Yeou Rau, Nai-yu Chen, Liang-Chien Chen, 2000, Hidden Compensation and Shadow Enhancement for True Orthophoto Generation.

Martin Schlüter, 1998, MULTI-IMAGE MATCHING IN OBJECT SPACE ON THE BASIS OF A GENERAL 3-D SURFACE MODEL INSTEAD OF COMMON 2.5-D SURFACE MODELS AND ITS APPLICATION FOR URBAN SCENES, ISPRS Commission IV Symposium. 32-4. 545-552

Schenk T., 2001, Modeling and Analyzing Systematic Errors in Airborne Laser Scanners, Technical Notes in Photogrammetry No. 19

Wolfgang Schickler, Anthony Thorpe, OPERATIONAL PROCEDURE FOR AUTOMATIC TRUE ORTHOPHOTO GENERATION. Analytical Surveys Inc.

Yevgeniy P.Kuzmin, Sergey A.Korytnik, Orrin Long, POLYGON-BASED TRUE ORTHOPHOTO GENERATION

---

(접수일 2008. 5. 6, 심사일 2008. 6. 3, 심사완료일 2008. 6. 21)