영상데이타베이스 구축을 위한 항공사진의 품질확보방안

이현직* · 이승호* · 구대성*** · 용민***

1. 서 론

항공사진(aerial photo)정보는 도시현황 파악이나 무허가 건축물 판독 등의 정성적인 용도 뿐만 아니라 국가기본도(national basemap)나 각종 주제도(thematic map)제작을 위한 기초자료로 정량적인 자료처리과정을 통해 보다 정확하고 체계적인 지형자료를 제공하는 주요 정보로 인식되고 있다.

그러나, 기존의 방대한 항공사진자료는 보관장소 및 조건의 한계에 의해 hard copy상태의 필름이나 사진형태로 장기간 보존하여 시간경과에 따라 반드시 수반되는 매질의 변형 등 각종 정확도 저해요인이 발생됨은 물론, 향후 자료처리에 필수적인 촬영정보(사진주점표정도, 촬영기록부, 대공표지점조서, 촬영코스별검사표 등)에 대한 체계적인 관리가 이루어지지 않아 중요정보의 지속적인 활용에 제약이 있는 실정이다.

현재 항공사진 정보를 관리하는 세계적인 추세는 시간경과에 따른 자료변형이 없고 다양한 자료활용의 욕구를 충족시키기 위해 hardcopy상태의 항공사진자료를 수치화하여 softcopy형태의 항공사진영상 데이터베이스로 구축하고 있으며, 이를 활용하여 DEM 추출, 정사투영영상 및 정사사진지도제작, 모자이크영상제작, 3차원 모델링 등 2차 영상해석 및 처리에 의한 다양한 결과물을 생성하는 등 광범위한 분야에서 활용되고 있다.

따라서, 항공사진정보의 체계적인 관리 및 활용도를 극대화하기 위해서는 필름형태인 기존의 항공사진을 수치화(scanning)하는 과정에서의 품질 확보방안에 관한 연구가 반드시 수행되어야 할 것이다.

본 연구에서는 항공사진 전용 자동독취기의 정확도 검증방안을 정립함으로써 항공사진영상 데이터베이스의 정형적인 검수와 품질확보에 기여하고자 하였고, 또한 자동독취에 관한 최적화 방안을 제시하고 이를 실험으로 입증함으로써 항공사진정보의 활용성과 신뢰도를 극대화 하고자 하였다.

항공사진 전용 자동독취기에 정확도 검증은 표준 PLATE를 제작하여 영상매칭을 통한 자동상좌표측정 및 오차분석 프로그램을 개발하여 항공사진영상 데이터베이스 구축과정에 이용되는 자동독취기에 대한 실험을 수행하였다.

수치사진측량을 이용하여 항공사진영상 데이터베이스를 구축할 경우 선행되어질 항공사진의 최적해상도 결정을 위해 자동내부표정을 통하여 최적 해상도를 결정함은 물론 2차적으로 표정해석을 통한 최적해상도까지 검증 하고자 하였다.

2. 항공사진 데이터베이스 구축현황과 기본 이론

2.1 국내현황

항공사진의 촬영은 크게 국가기관, 지방자치단체, 정부투자기관에 의해서 주로 활용되고 있다.

국가기관인 국립지리원의 항공사진 촬영은 국가기본도인 지형도와 수치지형도의 제작 및 수정과 더

* 상지대학교 토목공학과 조교수
** 미래대학교 지적토목과 강사
*** 상지대학교 토목공학과 석사과정

불어 변모하는 국토현황의 기록·보존을 목적으로 실시하고 있으며, 4~5년 주기로 전국을 구역별로 구분하여 촬영하고 있다.

항공사진측량은 국토이용의 고도화 및 생활환경의 개선 등에 관한 각종 사업계획의 수립과 국토의 효율적 이용을 위한 국가시책에 부응하기 위하여 1974년부터 1/5,000지형도 제작에 착수하여 1998년을 기준으로 휴전선 지역을 제외한 15,992도엽을 제작하여 보급하고 있다. 또한 1995년부터는 국가지리정보체계(NGIS)구축 기본계획에 따라 항공사진을 촬영하여 1998년까지 78개시의 1/1,000 수치지형도 16,200도엽을 제작할 예정이었으나 2000년 7월 현재 66개시 12,480도엽을 제작하였다. 1966년 이후 2000년까지 항공사진의 촬영은 모두 흑백필름으로서 지도제작 및 각종 조사사업 등에 이용되고 있다.

국내항공사진의 촬영기관과 보유사진의 매수, 활용업무에 관한 자세한 사항은 <표1>에 나타나 있다.

표 1. 국내 항공사진의 활용현황

구 분	관리기관	관리조직	기 간	보유사진매수	활용업무	비 고
정부기관	국립지리원	항측과	'66-현재	18만매	국가기본도제작	
지자체	서울시	주택국 주택지개발과	'71-현재	10만매	단속업무,보상업무	
	부산시	도시계획국 지적과	'72-현재	10만매	단속업무, 소송관련업무, 보상업무,국공유지매각업무	
	대구시	도시건설국 지적과	'73-현재	5만6천매	단속업무, 보상업무, 국세, 양도소득세부과(국세청요청시)	
	인천시	도시계획국 지적과	'86-현재	26,235매	단속업무,보상업무	
	대전시	도시주택국 지적과	'91-현재	2,000매	단속업무,보상업무	
	경남	건설도시국 도시계획과	'75-현재	6만8700매	개발제한구역관리업무, 단속업무,보상업무	'76, '81년 보관 곤란으로 파기

2.2 기본이론

2.2.1 자동독취기의 오차 요소

1) 자동독취기 오차

자동독취기에 의해 제작된 수치영상은 기계적인 오차를 포함하게 된다. 자동독취기상에서 독취할 필름을 이동시키거나 또는 센서를 이동시키는 가이드 레일(guide rail)이 불완전할 경우에는 대상물과 센서 사이에서 직교성(orthogonality)을 유지하지 못하게 되며, 그 결과 포인팅오차(pointing error)를 유발시키게 된다.

또한, 가이드 레일이 불완전한 경우에는 센서와 대상물 사이의 거리가 변화하게 되므로 축척오차(scaling error)와 초점오차(focusing error)가 발생하게 된다. 자동독취 과정에서 센서나 대상물을 이동시키는 데는 서보모터가 이용된다. 서보모터가 기준속도 보다 고속이나 저속으로 작동되는 경우에는 이동오차(motion error)가 발생될 수 있으며 이는 일반적으로 서보모터시스템 내에서 보정된다.

자동독취기의 시준오차, 축척오차, 초점오차, 이동오차 등은 기하학적 오차(geometric error)를 발생시키게 되고, 불균일한 영상소의 배열을 만들게 된다. 자동독취기 내의 조명이 고르지 못한 경우나 센서에 줄무늬가 존재하는 등의 방사오차(radiometric error)가 발생할 경우에 기하학적 오차는 더욱 뚜렷이 나타나게 된다.

자동독취기의 검증 및 보정 후에도 자동독취기내의 오차는 존재하게 된다. 잔존하는 오차는 사

진좌표를 기준으로 수 μm 의 크기로 나타나게 되며, 이를 나타내는 데에는 평균제곱근(root mean square; RMS)오차를 이용한다.

또한, 광학적인 해상도인 영상소의 크기(pixel size; Ps)를 기준단위로 하여 잔존오차를 나타내기도 한다. 일반적으로 자동독취기의 평균제곱근오차(root mean square error; RMSE)가 0.33Ps 이하인 경우에는 매우 양호한 것으로 간주한다.

수치사진측량에서 자동독취기의 오차는 기계적 정확도로서 평가되는 유일한 오차가 된다.

자동독취기의 오차는 영상공간 내에서만 발생하게 된다. 수치영상에 포함된 자동독취기 오차의 절대값을 0.33 Ps라고 하면 사진좌표(x', y')의 관측오차는 식(1)과 같이 계산될 수 있다.

$$(x', y') \text{ 오차} = \sqrt{(\pm 0.33Ps^2) + (\pm 0.33Ps^2)}$$

$$= \pm 0.47Ps \qquad (1)$$

만약 자동독취기오차를 평균제곱근오차로 나타낸다면, 영상공간에서의 최대오차는 평균제곱근오차의 3배인 1.41Ps가 될 수 있다. 즉, 자동독취기의 평균제곱근 오차가 0.33Ps인 경우 ±0.47 ~ ±1.41Ps 범위의 상좌표 오차가 발생될 수 있다.

2) 포인팅오차

수치사진측량시스템을 이용하는 작업자는 일반적으로 0.25Ps내에서 점의 위치를 결정할 수 있으며, 이 경우 포인팅오차는 식(2)와 같이 된다.

$$\text{포인팅오차} = \sqrt{(\pm 0.25Ps^2) + (\pm 0.25Ps^2)}$$

$$= \pm 0.35Ps \qquad (2)$$

시준능력은 작업자가 선택한 영상의 확대비에 영향을 받는다. 확대비를 크게 하면 시준능력이 향상되나 반면에 작업 속도가 저하된다. 이는 기계식 및 해석적 사진측량에 있어서도 유사한 문제를 발생시킨다.

3) 합성오차와 모델오차

수치사진측량에서 영상좌표 관측오차는 주로 자동독취기오차와 포인팅오차가 합성되어 나타난다. 만약 자동독취기의 평균제곱근오차가 0.33Ps이고 포인팅오차가 0.25Ps라면 영상좌표 관측오차는 식(3)과 같다.

영상좌표 관측오차

$$= \sqrt{\text{자동독취기 오차}^2 + \text{포인팅오차}^2}$$

$$= \sqrt{(\pm 0.47Ps^2) + (\pm 0.35Ps^2)} \qquad (3)$$

$$= \pm 0.52Ps\,RMS \simeq \pm 0.6\,RMS$$

2) 영상좌표 측정

항공사진측량용 카메라를 이용하여 취득된 영상은 주점을 원점으로 하기 때문에 본 연구에서도 동일하게 원점을 선정하여 가로 방향을 X축, 세로 방향을 Y축으로 하는 영상소 단위의 직교 영상좌표계를 설정하였다.

따라서, 취득되어지는 모든 상좌표는 NO. 606 즉 6번째 행의 6번째 열에 해당하는 검사점(check point)의 상좌표(0.000, 0.000)을 기준으로하여 표현된다.

검사점의 형상은 그림 1과 같으며, 중심의 좌표는 일단 탐색창내의 영상을 반전시킨 다음 모든 영상소를 더해 가장 큰 곳을 중심으로 한다. 이때 좌표는 탐색창의 좌측상단을 전체영상의 중심으로부터 계산한 다음 다시 검사점의 중심영상소를 계산한다.

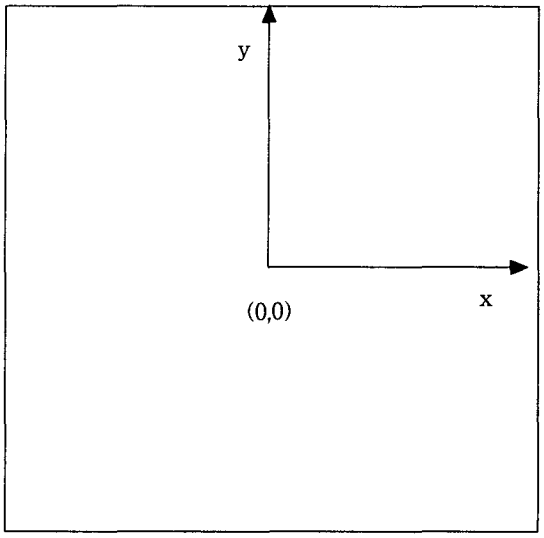

그림 1. 영상좌표계

3. 관측 및 관측값 해석

항공사진영상의 데이터베이스 구축을 위해서는 수치영상을 기본 자료로 이용하게 되므로 수치영상의 품질과 정확도는 데이터베이스화된 항공사진 영상의 정확도를 좌우하는 가장 큰 요소이다. 그럼에도 불구하고 현재까지는 수치사진측량 환경의 작업 수행시 자동독취기의 정확도검증이나, 수치영상의 최적해상도에 관한 실험은 이루어지지 않아 수치영상의 품질확보나 정확도에 관한 명확한 기준의 설정에 많은 어려움이 있는 실정이다.

3.1 실험자료의 수집 및 특성

연구 대상지역은 경상남도, 부산, 울산과 서울시 일원으로 각 실험 조건에 대하여 동일 대상지역을 선택하여 실험하려 하였으나 실험의 모든 조건을 충족시키는 항공사진이 없는 관계로 최대한 동일대상지역으로 선정한 곳이 부산과 울산 일원이다. 본 연구는 항공사진전용 자동독취기의 정확도 검증과 항공사진 자동독취기에 대한 최적해상도 결정이라는 두가지 주제에 관하여 연구하였으며 주요연구과정은 그림 2, 그림 3과 같다. 연구에 사용된 항공사진의 자료목록은 표 2와 같고, 항공사진 축척별 견본사진은 그림 4와 같다.

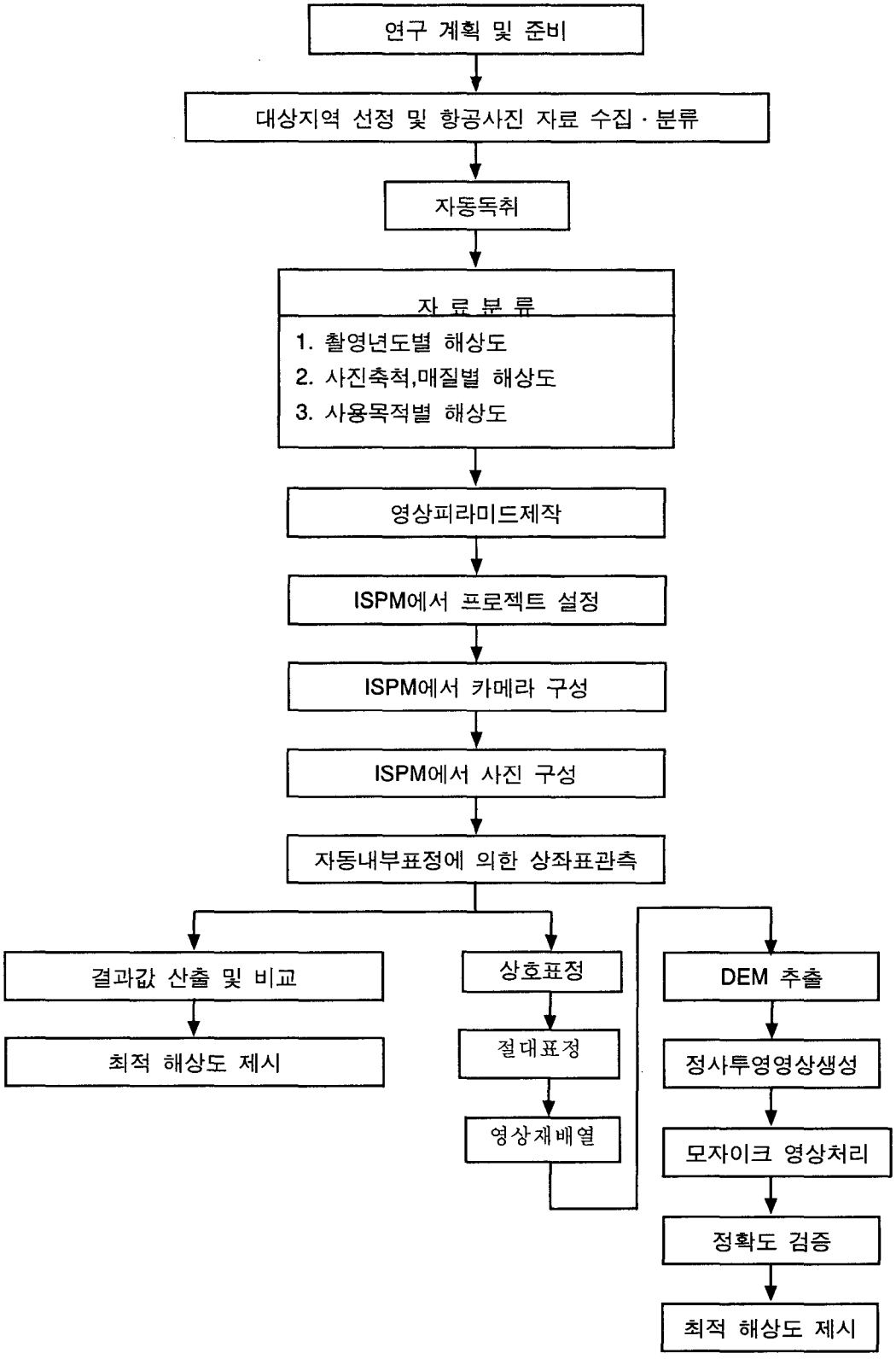

그림 2. 항공사진 자동독취기에 대한 최적해상도 결정을 위한 주요 연구과정

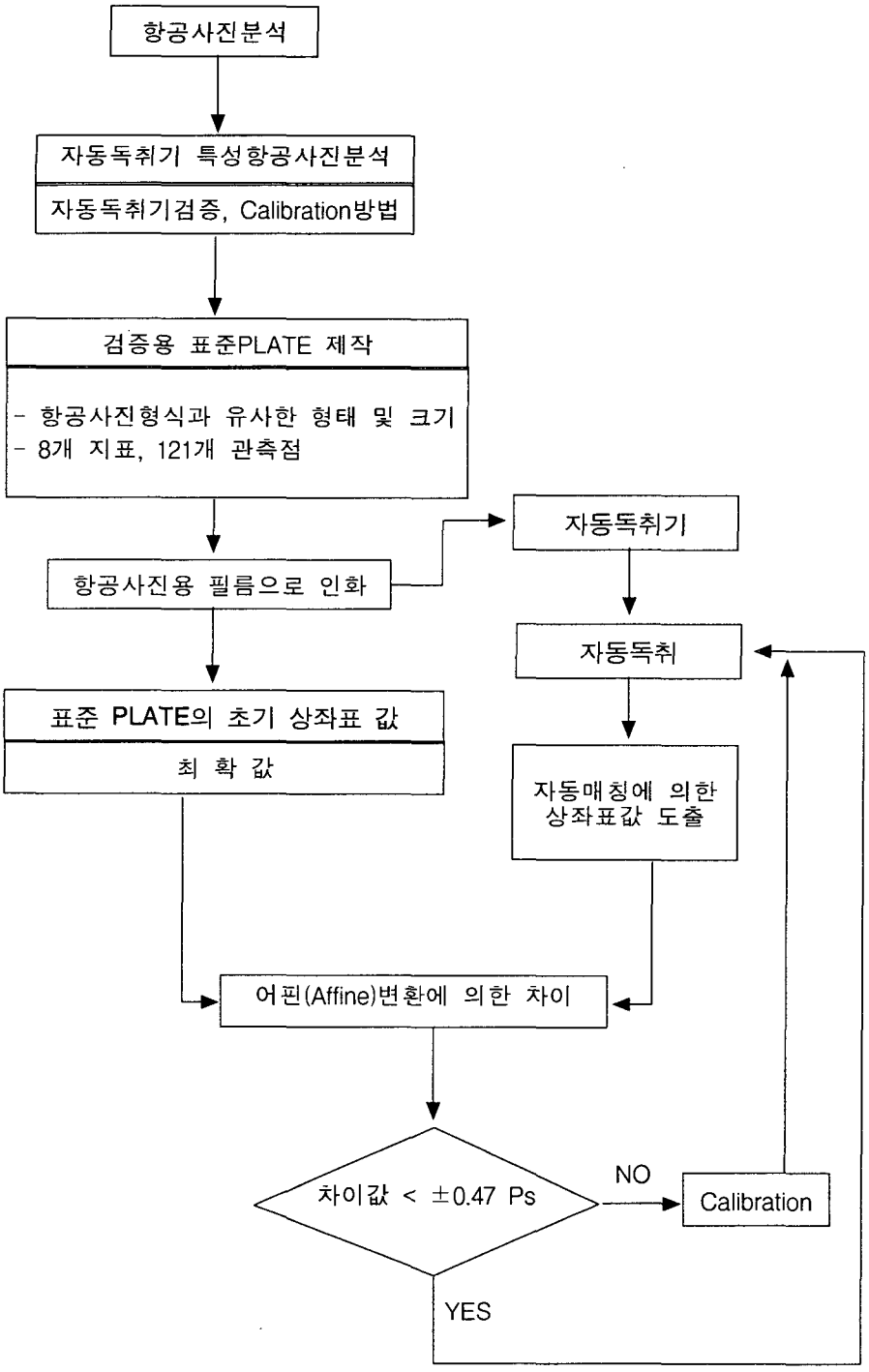

그림 3. 항공사진 전용 자동독취기의 정확도 검증을 위한 주요 연구과정

표 2. 실험에 이용된 자료 목록

축 척	년도	지 역	Camera Type	사용목적
1:5,000	72	서울	Zeiss RMK A 15/23	판독
1:5,000	82	서울	WILD RC5/RC8	판독
1:5,000	2000	서울	WILD RC 20	판독
1:7,000	91	서울	Zeiss RMK A 15/23	판독
1:10,000	87	전남, 서남해안	WILD RC 10	지도제작
1:20,000	82	대구, 부산	WILD RC5/RC8	지도제작
1:20,000	87	경상	WILD RC5/RC8	지도제작
1:20,000	93	부산	WILD RC10	지도제작
1:20,000	96	창원	WILD RC20	지도제작
1:37,500	67	한화, 부산	WILD RC5/RC8	지도제작
1:37,500	85	울산	WILD RC5/RC8	지도제작

그림 4. 실험에 사용된 항공사진(1:7,000 서울 91년촬영 사진 NO 19)

연구에 사용된 항공사진 자료를 항공사진전용 자동독취기를 이용하여 수치영상화 하였다. 실험에 사용된 자동독취기는 독일의 Carl Zeiss사의 PhotoScan TD 이며, 항공사진의 자동독취는 Photoscan TD가 지원하는 최대영상소인 7μm(약3,600dpi)를 시작으로 7의 배수로 14μm, 21μm, 28μm, 56μm, 112μm, 224μm(약110dpi)의 7가지 해상도로 독취를 하였으며, 이중 실험에 이용된 영상은 메모리 문제가 발생되는 7μm 및 객관적으로 실험에 이용하기 어려운 224μm 영상소 크기를 제외한 5가지(14, 21, 28, 56, 112μm) 해상도의 영상이다.

자동독취된 영상의 파일포맷은 수치화되는 영상에 손실이 가지 않도록 하기위해 무손실 TIFF파일형식을 이용하였다.

본 연구에서 자동내부표정의 상좌표오차분석을 위해 이용한 기준값은 해석도화기의 상좌표해석시 상좌표 정확도 한계인 10㎛를 사용하였다.

3.2 수치사진측량시스템의 설정

본 연구에서의 관측값 처리는 상용 수치사진측량시스템인 Intergraph사의 ImageStationZ에서 수행되었다. 관측값 처리는 프로젝트 생성 단계, 표정 단계, DEM추출 단계, 정사사진제작 단계, 수치지도와 중첩 단계를 거쳐 처리 하였다.

본 연구에서 이용한 수치사진측량시스템(ImageStation Z)은 프로젝트 생성 모듈인 ISPM(Image Station Photogrammetric Manager)을 이용하여 사진측량의 수행에 필요한 각종 프로젝트 관련 정보 및 매개변수들을 프로젝트 생성 시에 입력하여야 한다.

ImageStationZ에서는 기본적인 프로젝트 설정 이외에도 측량용 사진기, 사진, 모델 등에 관련된 각종 정보를 설정해 주어야 한다. 본 연구에서 이용한 항공사진측량용 카메라는 Wild RC5/RC8, RC10, RC20와 Zeiss RMK A 15/23 등 각기 다른 4대이며, 각 항공사진마다 해당하는 카메라의 검증자료를 이용하여 필요한 정보를 입력하였다. Intergraph ImageStation Z의 경우 다양한 측량용 사진기에 대한 다양한 검증정보를 처리할 수 있도록 구성되어 있다.

사진의 구성은 사진 번호에 해당하는 수치영상파일을 연결시켜주어야 한다. 수치화된 항공사진영상을 ImageStation Z에서 원활히 활용하기 위해서는 파일 내에서 영상피라미드가 구성되어 있어야 한다. 영상 피라미드는 프로젝트 생성 모듈인 ISPM에서 제공하는 기능인 Overview Utility를 이용하여 수행될 수 있다.

자동내부표정작업은 ImageStaion Z 모듈 중 ISDM 모듈에서 수행하는 과정으로 일반적으로 항공사진의 경우는 사진의 네 모서리 및 네 변의 중심부에 위치한 총 8개의 지표중 모서리 부분의 4점만을 이용하여 내부표정을 수행하지만, 본 연구에서는 성과물의 신뢰도를 향상시키기 위해 카메라 검증자료에 수록된 8개 지표 모두를 이용하여 자동내부표정을 수행하였다. 하지만 카메라 검증자료(Calibration Data)에 4개의 지표에 대해서만 자료가 있는 경우는 수록된 4개의 지표만을 이용하여 내부표정을 수행할 수밖에 없었다.

자동내부내부표정 수행시 첫 사진의 지표 위치는 두 점을 관측한 후부터 자동관측이 이루어지며, 첫 사진에 대한 지표관측 결과를 기준으로 하여 다음 사진부터는 자동적으로 지표의 위치를 관측하였다.

3.3 항공사진 자동독취에 대한 최적 해상도 결정

3.3.1 자동내부표정을 통한 항공사진영상의 최적 해상도 결정

본 연구에서 이용한 항공사진 자료는 약 10년 단위로 촬영된 항공사진을 수치사진측량시스템을 이용하여, 자동내부표정작업을 수행하여 상좌표 정확도를 분석하였다. 본 연구에서 이용한 상좌표의 정확도 한계는 일반적인 해석도화기의 상좌표한계인 $\pm 10\mu m$를 이용하였다.

본 실험을 통하여 수치화 된 1:5,000 항공사진영상을 이용하여 자동내부표정을 수행한 결과 항공사진영상의 정확도(단위경중률에 대한 표준편차로 이하 표준편차로 표시)는 표 3과 같다.

표 3. 자동내부표정을 수행한 1:5,000 항공사진의 정확도 (단위:㎛)

해상도 / 촬영년도	14μm	21μm	28μm	56μm	112μm
72서울	8.94	10.64	10.43	18.03	31.84
82서울	6.90	8.90	8.34	21.76	46.74
91서울	4.531	6.635	8.107	21.013	측정불가

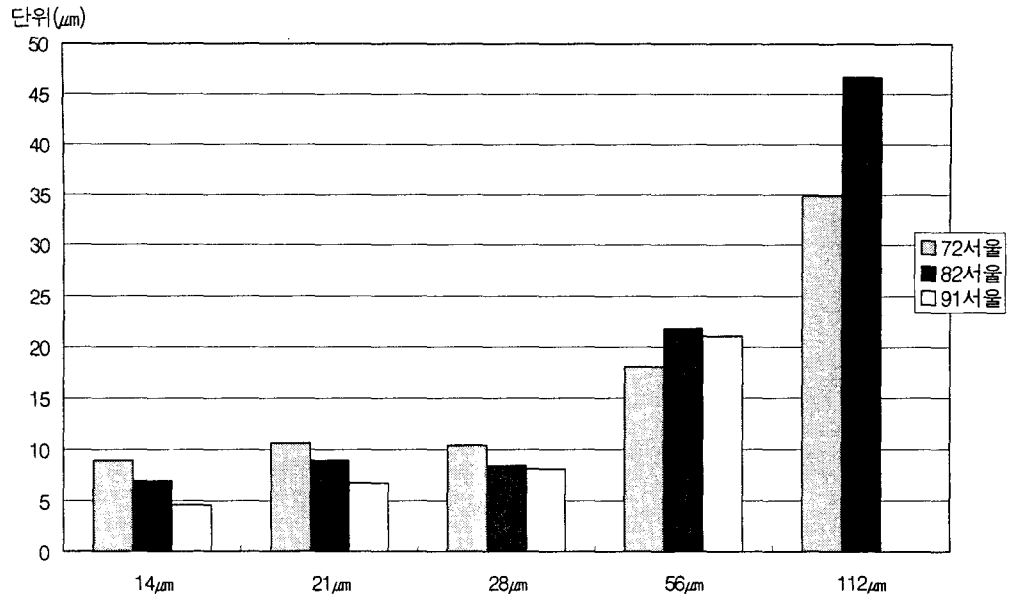

그림 5. 촬영년도별 항공사진 자동내부표정의 상좌표 정확도(1:5,000)

영상소별 해상도에 따른 촬영년도별 상좌표 정확도 분석은 표 3에서와 같은 값을 나타냈으나 이값은 3장이상의 항공사진에 대한 실험의 평균값(이하모두 같은 유형)이다. 1:5,000 항공사진의 경우 그림 5에서 나타난 바와 같이 영상소크기 14㎛는 촬영년도에 관계없이 10㎛이하의 상좌표오차를 나타내었으며, 21㎛, 28㎛의 경우 촬영년도가 10~20년 사이인 1991년, 1982년 항공사진은 상좌표오차가 10㎛ 이하로 나타났으나, 촬영년도가 30년전인 1972년 촬영한 항공사진의 경우 상좌표오차가 10㎛보다 높게 나타났다.

또한, 1:20,000 항공사진영상을 이용하여 자동내부표정을 수행한 경우 자동내부표정 단계를 거친 항공사진영상의 상좌표 정확도는 표 4와 같다.

표 4. 자동내부표정을 수행한 1:20,000 항공사진의 정확도 (단위:㎛)

해상도촬영 / 년도	14㎛	21㎛	28㎛	56㎛	112㎛
75부산	10.986	14.206	17.342	33.981	95.081
82대구부산	10.041	13.832	15.939	28.146	62.929
87경상	9.974	10.29	14.747	25.533	60.315
93부산	8.017	9.491	13.848	21.748	62.812
96창원	7.511	8.619	12.223	24.755	53.769

1:20,000 항공사진의 촬영년도별 최적해상도 분석은 표 4에서 구한 결과 값을 이용하였으며, 분석 결과 영상소크기 14㎛로 자동독취한 경우는 1:5,000항공사진과 마찬가지로 촬영년도에 관계없이 모두 상좌표오차가 10㎛ 정도로 본 연구에서 설정한 해석도화기의 상좌표한계내의 정확도를 나타냈다. 영상소크기 14㎛에서 촬영년도별 상좌표 정확도는 그림 6과 같다.

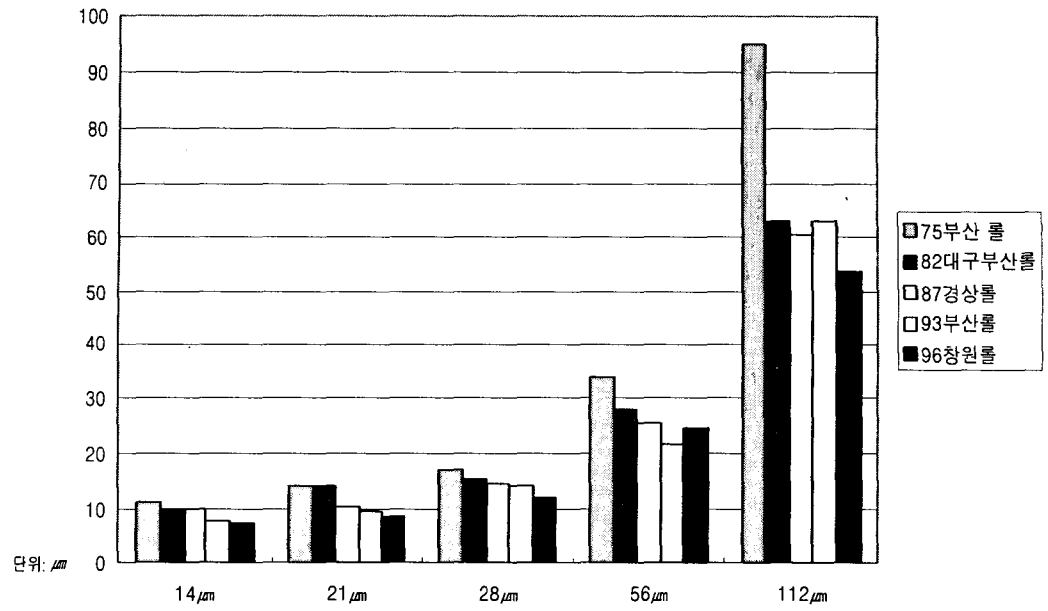

그림 6. 1:20,000 항공사진의 해상도별 상좌표 정확도

영상소크기 21㎛로 자동독취한 경우도 그림 6에 나타나 바와 같이 항공사진 촬영 후 15년 이내의 항공사진만이 10㎛이내의 상좌표 정확도를 나타내 15년 이상된 항공사진을 자동독취할 경우 14㎛ 정도의 영상소크기로 자동독취 해야 할 것으로 판단된다.

영상소크기 28㎛, 56㎛, 112㎛에 에서는 표 4에서 나타난 바와 같이 모두가 해석도화기의 상좌표 정확도 한계인 ±10㎛ 상회하여 추후 자료의 지속적인 활용을 위한 표정과정이나 2차제품의 신뢰도에 영향을 미칠 것으로 판단된다.

1:37,500 항공사진을 이용한 촬영년도별 최적해상도 실험에서는 실험에 이용된 항공사진 모두가 촬영한지 15년 이상된 노후 사진으로 영상소크기 14㎛로 자동독취한 경우에도 상좌표 오차는 10㎛가 넘게 나타났다.

영상소크기 14㎛와 21㎛로 자동독취한 경우는 그림 7에서 나타난 바와 같이 1985년 촬영된 항공사진 영상에서는 10~15㎛정도의 상좌표 오차를 나타내었으며, 이는 본 연구에서 설정한 상좌표 정확도 한계인 ±10㎛을 만족시키지는 못하지만 1:37,500 항공사진의 경우 주 사용목적이 1:20,000 지형도 제작에 활용됨에 따라 1:5,000과 1:20,000 항공사진의 상좌표오차와는 다른 기준을 적용해야 할 것으로 판단된다.

표 5. 자동내부표정을 수행한 1:37,500 항공사진의 정확도 (단위:㎛)

해상도 \ 촬영년도	14㎛	21㎛	28㎛	56㎛	112㎛
67한화부산	13.442	14.958	20.157	측정불가	61.579
82대구부산	11.401	13.666	18.573	26.835	56.423

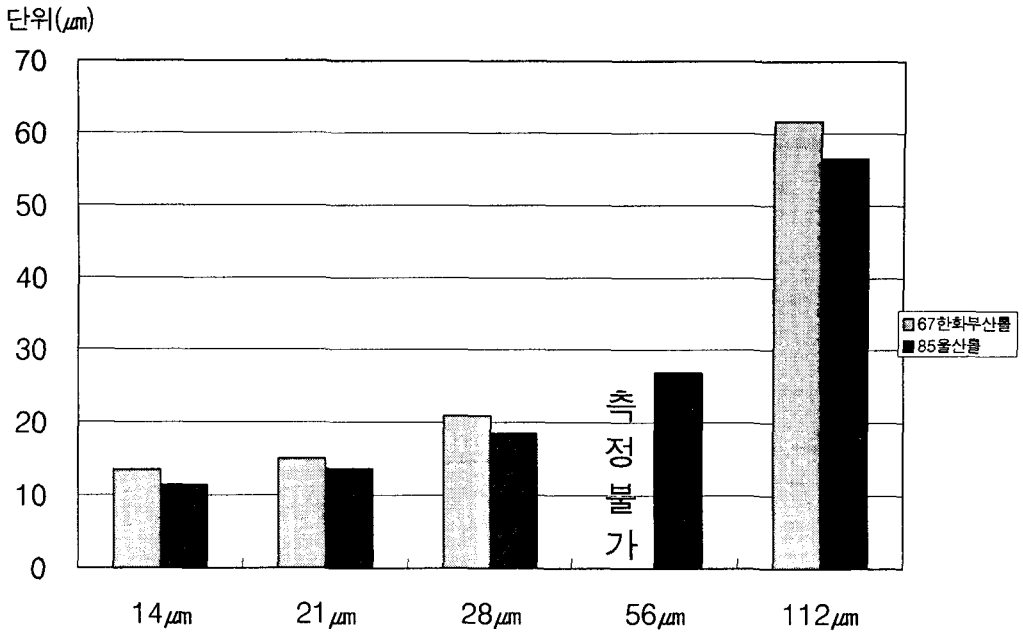

그림 7. 1:37,500 항공사진의 해상도별 상좌표 정확도

3.3.2 표정해석을 통한 항공사진영상 최적 해상도 검증

대축척 사진을 판독 목적으로 이용하고자 하는 경우에는 3.3.1에서와 같이 자동독취 해상도는 25~28 ㎛(약 100dpi)의 해상도로 독취하는 것이 이용목적에 부합할 것으로 판단되지만, 지도제작 및 2차제품 제작을 목적으로 항공사진을 자동독취 한 경우에는 자동내부표정작업 이후 상호표정과 절대표정작업을 수행하여야 한다. 본 실험에서는 1:5,000 과천 지역의 항공사진을 이용하여 상호표정과 절대표정을 수행하였다.

본 연구에서는 모델 당 6점의 Von Grüber 점을 공액점으로 설정하여 상호표정요소를 설정하였다. 수치사진측량시스템을 이용한 상호표정과정은 그림 9와 같으며, 상호표정결과는 표 6과 같다.

표 6. 각 해상도별 종시차 평균값 (단위:㎛)

해상도 / 점번호		14㎛	21㎛	28㎛	56㎛	112㎛
종시차	1번점	1.30	5.30	5.80	6.80	8.00
	2번점	0.80	3.00	3.30	3.60	4.50
	3번점	2.30	8.80	9.70	11.30	13.30
	4번점	1.30	5.10	5.60	6.40	7.70
	5번점	1.00	3.70	4.00	4.60	5.40
	6번점	0.60	2.50	2.70	3.20	3.80
평균		1.22	4.73	5.18	5.98	7.11

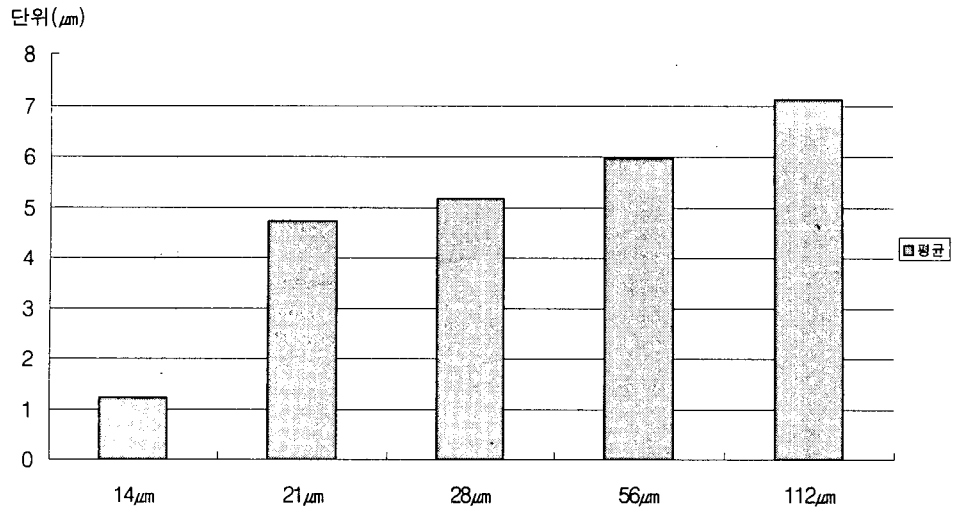

그림 8. 각 해상도별 상호표정 정확도

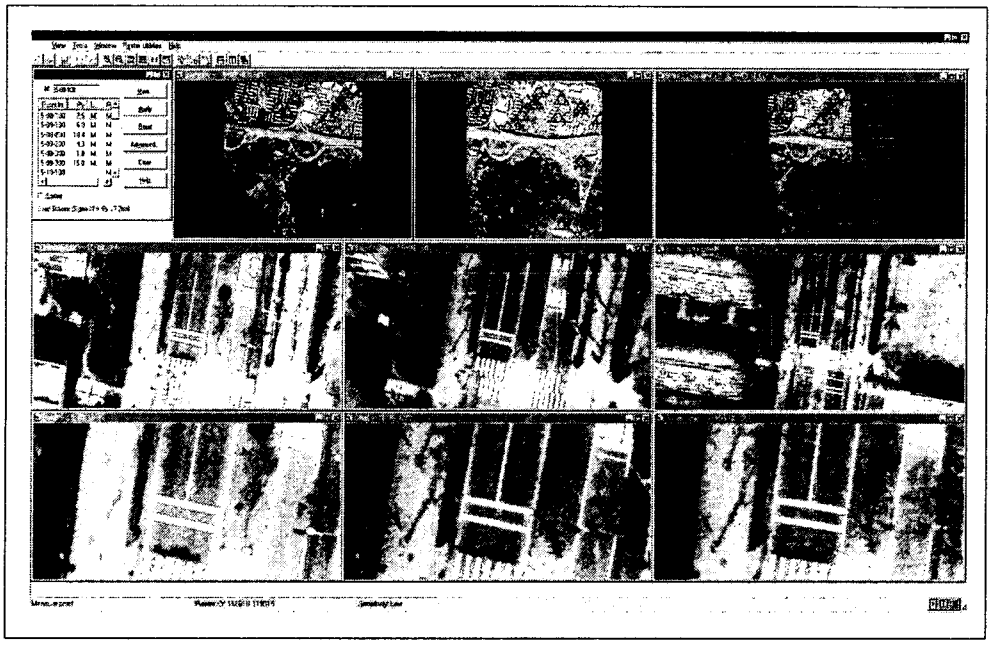

그림 9. 수치사진측량시스템을 이용한 상호표정 과정

표 6에는 상호표정에 의해 구해진 상호표정요소와 그 표정요소에 대한 접합점에서의 종시차(Y-시차)가 각 해상도별로 나타나 있다.

그림 8에 나타난 바와 같이 자동독취된 항공사진의 해상도가 저하됨에 따라 상호표정에 대한 종시차도 증가하는 것을 알 수 있었으며 특히, 영상소 크기 14㎛와 영상소 크기 21㎛사이에서 그 증가가 두드러 졌다.

그러나, 종시차의 크기는 영상소 크기의 1/2에서 허용이 된다는 사실을 감안하면 모든 영상소 크기에서 기준 정확도를 만족함을 알 수 있다. 통상적으로 해석도화기에 경우에 있어서는 5㎛이하의 종시차가 허용된다는 것을 감안하면 영상소 크기 28㎛의 경우까지가 해석도화기에 상응하는 결과를 나타내고 있음을 알 수 있다.

절대표정작업도 표정에 대한 위치가 프로젝트 설정시에 사용자가 입력한 지상 기준점을 기초로 프로그램에 의해 예측되어 사용자에게 제시되었으며, 관측점 수가 증가할수록 표정점 위치 예측의 정밀도가 높아진다. 본 연구에서 사용된 절대표정점은 12점을 사용하였다.

표 7. 각 해상도별 절대표정 정확도 (단위:m)

좌표 / 영상소 크기	X	Y	Z
14(㎛)	0.111	0.054	0.136
21(㎛)	0.090	0.053	0.135
28(㎛)	0.157	0.147	0.386
56(㎛)	2.803	2.719	0.653
112(㎛)	2.787	2.724	1.130

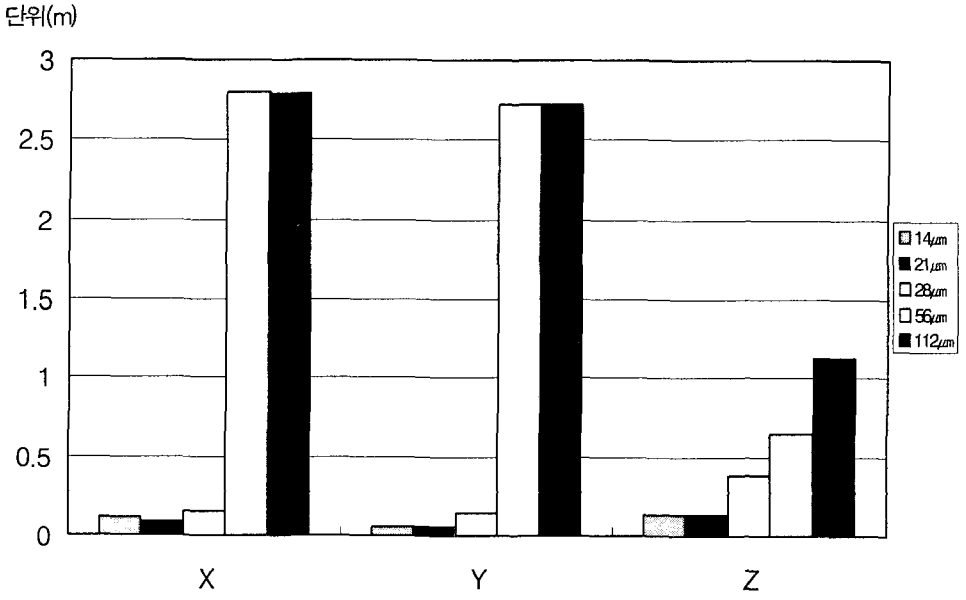

그림 10. 각 해상도별 절대표정 정확도

해상도별 절대표정 정확도는 표 7과 그림 10에서 보듯이 해상도가 저하될수록 3차원 절대좌표의 오차가 증가함을 알 수 있었다. 그림 10에 나타난 바와 같이 평면위치 성분인 X, Y좌표의 경우에는 1영상소 크기 28㎛와 56㎛사이에서 정확도가 급격히 저하되었으며, Z좌표의 경우는 1영상소 크기가 21㎛와 28㎛사이에서 급격한 정확도 저하를 나타냄을 알 수 있었다.

국립지리원의 수치지도작성내규에 의하면 1:1,000 수치지도의 위치정확도 규정은 평면위치의 경우 0.2m, 높이위치의 경우 0.15m이하로 설정되어 있으며, 본 연구 의 경우 1영상소 크기 20~21㎛(약 1200dpi)의 경우까지가 1:1,000 수치지도의 위치정확도 한계 이내의 절대좌표 정확도를 나타내어 과정을 통해 결정한 최적해상도가 타당함을 알 수 있었다.

3.3.3 최적해상도 항공사진영상의 활용 타당성 분석

본 연구에서는 2차 제품제작에 따른 최적해상도의 타당성을 파악하기 위해 표정분석을 수행한 항공

사진영상을 이용하여 DEM추출, 정사투영영상 및 모자이크 영상을 제작하였다.

절대표정을 수행한 항공사진영상을 이용하여 2차제품을 제작하려면 영상재배열 과정을 거쳐야 한다. 영상재배열(resampling)은 수치영상의 기하학적 변환을 위해 수행된다. 원래의 수치영상과 변환된 수치영상의 관계에 있어서 영상소의 중심이 정확히 일치하지 않으므로 영상소를 일대일 대응관계로 재배열할 경우에는 영상의 왜곡이 발생하게 된다.

따라서, 일반적인 방법에 있어서 인접영상의 밝기값(grey level)들을 이용하여 보간에 의한 방법으로 영상을 재배열하게 되며, 이 과정을 거치면 DEM(Digital Elevation Model)을 생성할 수 있다.

DEM이 추출되면 추출된 DEM을 이용하여 수치미분편위수정을 통해 정사투영영상을 제작할 수 있다. 그림 11는 본 실험을 통해 제작된 정사투영영상이다. 이렇게 해서 만들어진 정사투영영상을 합성하여 모자이크 영상을 제작한다.

본 연구에서는 제작된 모자이크 영상의 위치정확도 평가를 위해 동일대상지역에 대해 기 제작된 수치지도와 중첩시켜 도로지역 15곳과 일반주택지역 15곳을 임의로 선정하여 수치지도와 정사투영영상간의 위치정확도 분석하였다. 표 9은 도로와 일반주택 각 15곳에 대한 위치정확도의 오차량을 나타낸다.

두 자료간의 위치정확도 분석에서 도로지역의 평균오차는 0.231m 로 나타났으며, 일반주택 지역의 경우는 평균오차 1.722m로 나타났다.

표 8. 수치지도와 모자이크 영상의 중첩을 통한 상대적 정확도 확인 (단위 : m)

임의의 관측점	도로	건물
1	0.1579	3.1810
2	0.0507	2.5592
3	0.0782	2.0183
4	0.1961	0.2684
5	0.2704	0.7852
6	0.1491	1.6238
7	0.1330	0.8169
8	0.1482	1.7579
9	0.0999	1.7216
10	0.0810	0.5585
11	0.2366	1.1682
12	0.5848	1.1594
13	0.5707	0.4538
14	0.4746	1.7239
15	0.2380	2.4842
평균	0.2313	1.7218

이와같은 도로와 건물레이어의 위치정확도 분석을 통해 항공사진영상을 이용하여 정사투영영상을 제작할 경우 지면에 있는 시설물 레이어 보다는 지면에서 떨어져 있는 시설물 레이어의 경우 위치오차가 커짐을 알 수 있었다.

그러나, 이상과 같은 정사투영영상의 위치정확도 분석은 표본지역을 선정하여 2모델의 정사투영영상을 제작하여 기존의 제작된 수치지도와 위치오차를 분석한 결과로 절대좌표의 분석을 위해서는 현장실

측자료와의 분석이 수행되어야 한다.

이상과 같은 지도제작 목적의 최적해상도(약 1200dpi : 20-21 μm)로 자동독취된 항공사진영상의 활용성을 검증하기 위해 상호표정 및 절대표정으로 구성되는 표정정확도 분석과 이를 이용한 DEM추출, 정사투영영상 및 모자이크영상을 생성한 결과, 본 연구에서 결정한 최적해상도가 유용함을 알 수 있었다.

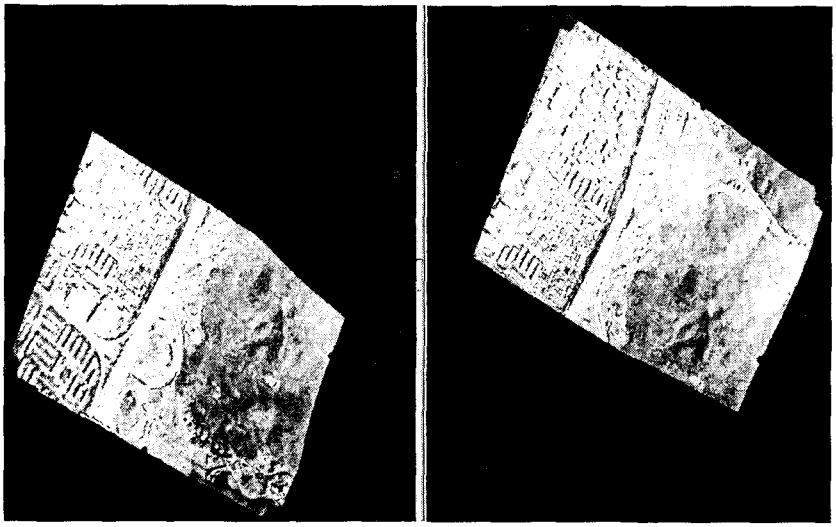

그림 11. ImageStationZ를 이용하여 제작한 2모델의 정사투영영상

그림 12. 모자이크 영상과 수치지도의 중첩

3.4 항공사진 전용 자동독취기의 정확도 검증

3.4.1 표준 PLATE 제작

자동독취한 영상의 변위를 파악하기 위하여 항공사진과 동일한 형태의 표준PLATE를 제작하였다. 제작된 표준 PLATE의 규격은 254mm×254mm 이며 그림 13과 같이 각각 224mm안에 모든 검사점이 들어 올 수 있도록 구성하였다.

표준 PLATE는 총 8개의 지표와 가로 11, 세로 11 개로 총 121개의 검사점이 배치되어 있으며, 자동

독취된 표준 PLATE 영상으로부터 검사점 관측을 자동으로 수행하기 위해서는 자동으로 검색이 가능한 내부좌표계를 설정하였다. 그리고 표준PLATE 제작시 NO.606번을 기준원점(0.000, 0.000)으로 설정하고 가로, 세로 방향으로 각각 2cm 간격으로 배열해 내부좌표를 부여했다.

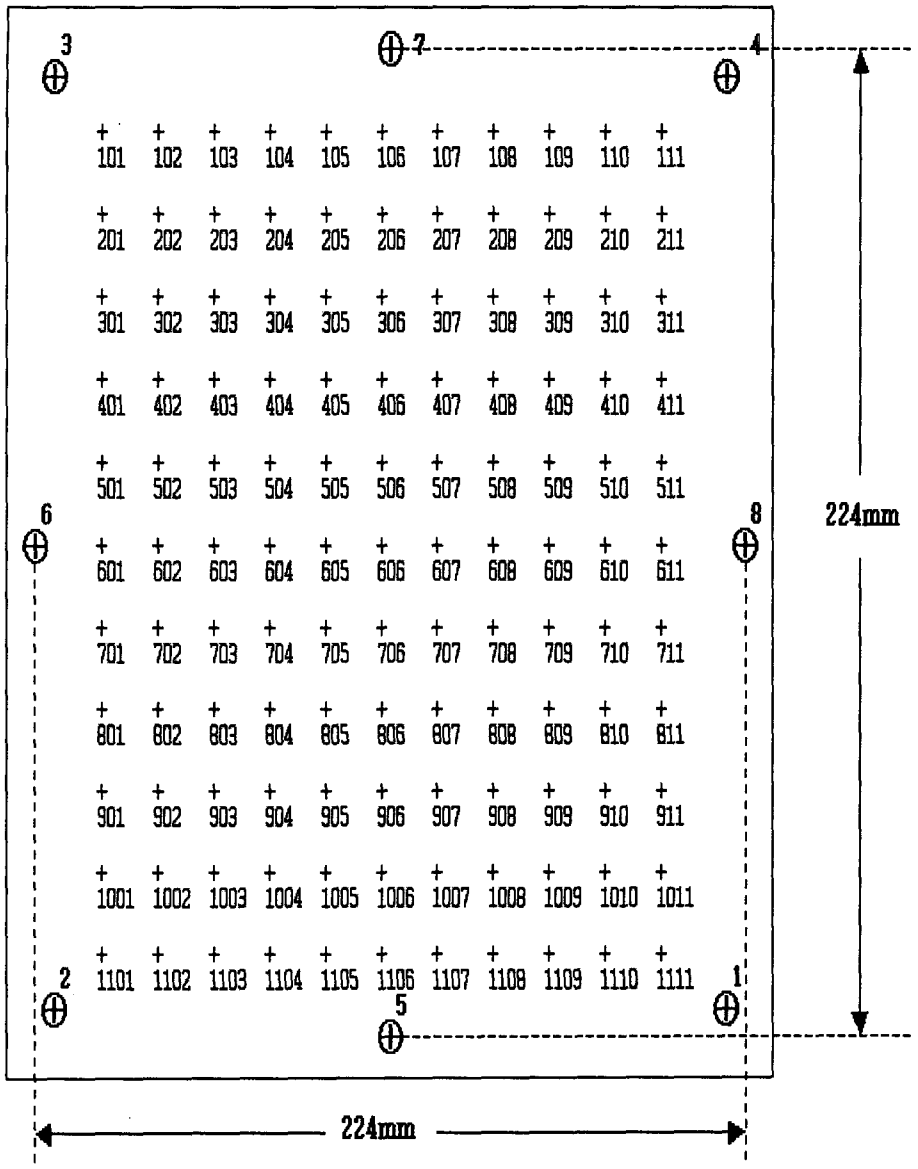

그림 13. 제작된 표준 PLATE의 형상

3.4.2 영상좌표 분석

1) 영상좌표 탐색 및 변환 프로그램

본 연구에서는 자동독취된 영상좌표의 자동관측과 오차분석을 위해 그림 14와 같은 영상좌표 자동관측 및 오차분석 프로그램을 개발하였다.

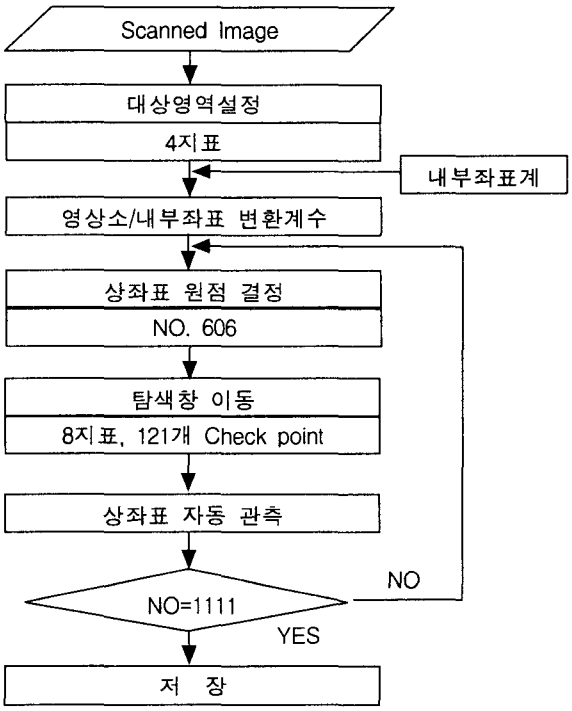

그림 14. 영상좌표좌동관측 FLOWCHART

2) 자동독취기 정확도 검증 과정

본 연구에서는 표준PLATE의 상좌표 독취값중 초기독취값을 검증에 필요한 최확값으로 지정하였으며, 이후 1 ROLL(약 300-500장)의 항공사진이 독취된 후 자동독취된 표준 PLATE의 상좌표와 영상좌표 오차를 분석함으로써 자동독취기의 정확도를 검증하고 자동독취기 검증(CALIBRATION)여부를 결정하였다.

본 연구에서 이용된 자동독취기는 Photoscan TD로 초기값 데이터를 대상으로 실험결과를 정리하였다. 자동독취된 영상내에 있는 지표 1, 2, 3, 4를 마우스로 선정하여 주면 미리 설정된 내부좌표계의 1, 2, 3, 4번 좌표와 연계하여 영상소와 좌표거리의 축척변환 계수를 계산하고, 계산된 축척변화계수를 이용하여 자동독취된 영상에서 탐색창으로 원점의 위치를 찾는다. 자동으로 찾아진 원점은 좌표(0.000, 0.000)로 설정되고 나머지 모든 검사점들에 대하여 상좌표를 구하도록 하였다. 그림 15은 위의 내용을 기본으로 하여 얻어진 영상좌표변환 결과이다.

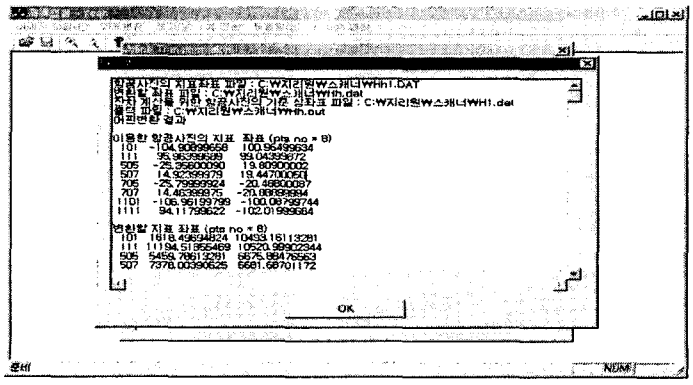

그림 15. 영상좌표변환 결과

그림 15에서 수행한 결과물은 PhotoScan TD를 이용한 첫 결과로써 차후에 1 ROLL(약 300-500장)의 항공사진을 자동독취한 후 표준 PLATE를 재 독취하여 자동독취기의 정확도 검증을 위한 초기값으로 이용된다. 따라서, Photoscan TD의 후속작업에서 나타나는 X, Y의 표준편차 값은 첫 번째 실험결과와 오차량을 분석하여 허용오차 이내에 있는지의 여부를 판단하였다.

3) 표준PLATE의 영상좌표 최확값 결정

좌표변환 프로그램에 의해 처리된 자료는 어핀변환된 영상좌표값과 영상좌표의 잔차 및 위치오차값으로 구분할 수 있다. 표 9는 어핀변환된 영상좌표의 잔차 및 위치오차값을 나타낸다.

표 9. 어핀변환 된 영상좌표 잔차 및 위치오차 (단위:mm)

번호	delta X	delta Y	delta XY	번호	delta X	delta Y	delta XY
101	0.092	-0.002	0.092	607	-0.033	0.003	0.034
102	0.102	0.005	0.102	608	0.062	-0.050	0.080
103	-0.038	0.046	0.060	609	-0.040	-0.019	0.045
104	-0.038	-0.008	0.039	610	0.132	-0.084	0.157
105	0.049	-0.048	0.069	611	0.032	-0.080	0.086
106	-0.078	-0.047	0.091	701	0.048	-0.062	0.079
107	0.002	-0.051	0.051	702	0.117	-0.077	0.140
108	0.034	-0.039	0.052	703	0.077	-0.037	0.085
109	0.002	0.038	0.038	704	0.051	-0.081	0.096
110	-0.041	0.047	0.062	705	0.019	0.007	0.021
111	-0.108	0.015	0.109	706	0.002	-0.018	0.018
201	0.109	-0.063	0.126	707	-0.003	-0.031	0.031
202	0.056	-0.080	0.098	708	0.028	-0.033	0.043
203	0.018	0.035	0.040	709	-0.032	-0.076	0.083
204	0.005	-0.206	0.206	710	0.025	-0.098	0.102
205	0.040	-0.145	0.151	711	0.030	-0.116	0.120
206	-0.106	-0.155	0.188	801	0.017	-0.069	0.071
207	-0.043	-0.151	0.157	802	0.107	-0.093	0.142
208	0.108	-0.025	0.111	803	0.088	-0.070	0.112
209	0.013	0.041	0.043	804	0.038	-0.034	0.052
210	0.000	-0.014	0.014	805	0.021	-0.091	0.094
211	-0.076	0.033	0.083	806	-0.026	-0.142	0.144
301	0.121	-0.063	0.137	807	0.076	-0.121	0.143
302	0.040	-0.042	0.058	808	0.023	-0.055	0.060
303	0.031	-0.036	0.048	809	0.041	-0.039	0.057
304	0.008	0.023	0.024	810	0.070	-0.079	0.106
305	0.088	0.024	0.092	811	0.028	-0.045	0.053
306	-0.140	0.025	0.143	901	-0.028	-0.135	0.138
307	0.004	-0.078	0.079	902	0.010	-0.181	0.181
'308	0.153	-0.150	0.214	903	0.033	-0.177	0.180
309	0.031	-0.177	0.179	904	0.149	-0.153	0.214
310	0.003	-0.179	0.179	905	-0.009	-0.087	0.088
311	-0.034	-0.136	0.141	906	-0.149	0.045	0.156
401	0.049	-0.042	0.064	907	0.065	0.016	0.067
402	0.060	-0.077	0.098	908	-0.019	0.0160	0.025
403	0.043	-0.040	0.059	909	0.007	-0.034	0.035
404	0.038	-0.050	0.063	910	0.025	-0.058	0.063
405	0.082	-0.106	0.134	911	0.101	-0.071	0.123
406	-0.031	-0.131	0.134	1001	-0.063	0.033	0.072
407	0.013	-0.071	0.072	1002	0.009	-0.021	0.023

408	0.040	-0.039	0.056	1003	0.003	0.022	0.038
409	0.084	-0.077	0.114	1004	0.112	-0.020	0.115
410	0.095	-0.085	0.127	1005	-0.033	-0.148	0.152
411	0.006	-0.064	0.064	1006	-0.121	-0.167	0.206
501	0.048	-0.108	0.118	1007	0.007	-0.152	0.152
502	0.043	-0.096	0.106	1008	-0.027	-0.206	0.208
503	-0.023	-0.058	0.063	1009	-0.007	0.035	0.035
504	0.041	-0.034	0.054	1010	0.027	-0.074	0.079
505	0.006	-0.014	0.015	1011	0.077	-0.058	0.097
506	0.004	-0.018	0.018	1101	-0.110	0.015	0.111
507	0.008	0.007	0.011	1102	-0.042	0.054	0.068
508	0.037	-0.086	0.094	1103	0.002	0.048	0.048
509	0.068	-0.032	0.076	1104	0.030	-0.042	0.052
510	0.111	-0.067	0.129	1105	-0.011	-0.051	0.052
511	0.019	-0.069	0.071	1106	-0.100	-0.054	0.114
601	0.058	-0.085	0.103	1107	0.026	-0.049	0.056
602	0.149	-0.073	0.167	1108	-0.068	-0.005	0.068
603	-0.028	-0.020	0.034	1109	-0.062	0.045	0.077
604	0.059	-0.043	0.073	1110	0.079	0.003	0.079
605	-0.025	-0.005	0.025	1111	0.094	0.000	0.094
606	0.041	0.008	0.042				

4) 자동독취기별 영상좌표 오차분석

본 연구에서 이용한 자동독취기의 영상좌표 값을 PhotoScan TD와 동일한 방법으로 실험을 수행하여 얻은 결과는 표 10과 같다.

표 10. 자동독취기별 영상좌표 오차분석 (단위: ㎛)

항목 \ 독취기명		Photoscan TD (i)		Photoscan TD (ii)	
		X	Y	X	Y
초기값		59	84	64	81
1차	관측값	52	77	63	81
	오차	7	7	1	0
2차	관측값	56	85	62	85
	오차	3	1	2	4
3차	관측값	59	83	61	85
	오차	0	1	3	4
4차	관측값	55	85	60	47
	오차	4	1	4	34
5차	관측값			60	48
	오차			4	33

자동독취기의 이상유무를 판정하는 기준은 식 (1)에서 기술한 바와 같이 일반적인 자동독취기 오차한계인 자동독취된 1 영상소크기(Ps : 20-21 μm)의 $\pm$0.47Ps($\pm$9.87 μm)를 적용하였으며, 두 영상좌표의 편차가 기준이내이면 자동독취기가 이상이 없는 것으로 판정하여 검증과정없이 계속적인 항공사진 자동독취를 수행하도록 하였으며, 영상좌표의 편차가 0.47Ps이상이면 영상좌표 관측 및 변환 프로그램에서 결정된 자료를 활용하여 이용된 자동독취기의 검증을 수행하도록 하였다.

본 연구 결과 약 1500매에서 2500매 정도의 항공사진을 자동독취하였을때 자동독취기의 오차한계인 $\pm$9.87 μm 이내 영상좌표 오차를 나타내었으며 다만, Photo Scan TD (ii)의 경우는 3차까지의 실험에서는 두 영상좌표의 편차량이 10㎛이내로 나타나고 있었으나 4차, 5차 관측값에서 Y방향으로 높은 영상좌표 오차가 나타냄을 확인할 수 있었다.

이와같은 현상이 나타난 이유는 3차실험후 4차 표준 PLATE의 독취전에 자동독취기의 가이드레일 이상에 의해 소프트웨어적인 검증을 수행한 결과로 Y좌표의 변환이 이루어져 발생된 것으로 판단된다. 하지만 이후 5차 실험 결과와 4차 실험 결과를 비교해 보았을 때 Y좌표에서 1㎛의 오차량이 발생하였다. 그러므로 오차한계 0.47Ps 적용에 아무런 문제가 없을 것으로 해석되었다.

이상과 같이 항공사진영상 데이터베이스 구축시 가장 중요한 오차요인인 자동독취기의 정확도 검증 실험을 수행한 결과, 본 연구에서 정립한 검증 PROCESS가 자동독취기의 정확도 검증에 유용함을 알 수 있었다.

4. 결 론

본 연구에서 항공사진 영상의 활용분야에 따른 최적 해상도를 제시하고자 수치사진측량시스템을 이용하여 자동내부표정작업을 수행하고 그 결과를 분석함으로서 항공사진영상의 DataBase구축시 필요한 최적해상도를 제시하였으며, 본 연구의 수행을 통해 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 항공사진영상 데이터베이스 구축시 가장 큰 오차요인인 자동독취기의 정확도 검증을 위한 방법 및 처리과정을 정립할 수 있었다.

2. 자동독취기의 정확도 한계는 ±9.87㎛로 현재까지의 실험에서는 본 연구에서 이용된 사진측량전용 자동독취기가 정확도 한계내의 영상좌표 오차를 나타내어 자동독취기의 검증이 필요하지 않음을 알 수 있었다.

3. 본 연구에서 정립된 자동독취기 정확도 검증 과정을 실제 항공사진영상 데이터베이스 구축에 활용할 경우 항공사진영상 정보의 품질 확보에 기여할 수 있음을 알 수 있었다.

4. 자동내부표정을 통한 항공사진영상의 최적해상도 결정 시험 결과 무허가 건물의 관리나 단속 작업을 수행할 경우 수치영상의 영상소크기는 24~25㎛(1000dpi)가 적정한 해상도로 나타났다.

5.. 표정해석을 통한 항공사진영상의 최적해상도 실험결과 지도제작 및 2차제품 생성을 목적으로 하는 경우는 20~21㎛(1200dpi) 해상도가 적정 한 것으로 나타났다.

6. 최적해상도로 결정된 항공사진영상을 활용 하여 2차제품인 DEM과 정사투영 영상 및 모자이크 영상을 제작하여 기 제작된 수치지도와 상대오차를 분석해 본 결과 안정적인 정확도를 나타냄으로 본 연구의 타당성을 입증 할 수 있었다.

5. 참 고 문 헌

1) Vosselman, George, "On the Use of tree search Method in Digital Photogrammetry", '94 Muntch, ISPRS, Commission III, Delft University of Technology, Delft. The Netherland, 1994.

2) Ebner H. ,and Heipke, C. "Integration of Digital Image Matching and Object Surface Reconstruction",International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Kyoto,

Vol.27, part B2, 1998.

3) I.S.M INTERATIONAL SYSTEMAP CORP, THE Fundamentals of Digital Photogrammetry, 1997.

4) 이현직, 손덕재, "국가기본도 수치지도제작 과정에서 입출력장비에 따른 위치정확도 분석", 한국측지학회지, 1998.

5) 이현직, 정수, 이승호, "수치사진측량시스템 환경에서의 수치지도의 수정 및 갱신" 한국 측지학회지 논문집, 제17권, 제4호, 1999.

6) 이승호, "수치지도의 수정 및 갱신을 위한 수치사진측량의 활용",석사학위논문, 상지대학교 산업대학원, 1999.

7) 국립지리원, 수치지도 정확도제고를 위한 수정/갱신 방안에 관한 연구, 국립지리원, 1999.

8) 국립지리원, 수치지도작성작업규칙, 1995.

9) 국립지리원, 수치지도작성작업내규, 국립지리원, 1995.

10) 국립지리원, 항공사진 활용도 제고방안에 관한 연구, 국립지리원, 2000