

## 수치사진측량시스템 환경에서의 수치지도의 수정 및 갱신 Update and Revision of Digital Map in Digital Photogrammetric Workstation

이현직\* · 정 수\*\* · 이승호\*\*\*  
Lee, Hyun-Jikp Jeong Soop Lee, Seung-Ho

### 요 旨

최근에 우리나라에서는 국가기본도의 수치지도를 국가지리정보체계(NGIS)사업을 통해 국가적 사업으로서 제작하였다. 제작된 수치지도는 종이지도와 마찬가지로 지형의 변화를 반영하고 높은 품질을 유지하기 위해서 향후에 주기적으로 갱신되어야 한다. 이를 위해서는 수치지도의 특성에 따른 수정 및 갱신 방법이 요구된다. 수치사진측량은 그 결과가 수치형태로 직접 얻어진다는 점에서 수치지도 제작에 매우 적절한 방법으로 평가되고 있다. 그러나 수치사진측량시스템이 아직은 상용화의 초기단계에 있으므로 이를 기존의 지도제작이나 지도의 수정 및 갱신에 적용하기 위해서는 보다 많은 평가가 이루어져야 한다. 본 연구에서는 수치사진측량시스템 환경 하에서 수치지도를 시험적으로 제작하고 이를 기존의 해석사진측량의 결과와 비교, 분석함으로써 기존에 제작된 수치지도를 수치사진측량에 의해 수정 및 갱신하는 방안을 제시하고자 하였다.

### ABSTRACT

Recently, the digital map of national basemap has been made through NGIS(National Geographic Information System) project in Korea. The digital map should have to be corrected or updated to cope with the changes in topography in future. For that, the efficient method correspond with digital map should be presented. Digital photogrammetric system has been considered as an efficient method for digital mapping because it provides the results in digital form, but the system is not fully tested because the commercial system is in early stage. This study aims to present the way to correct or update digital map using the digital photogrammetric system. Digital mapping in the environment of digitalphotogrammetric system was executed and the results were analyzed and compared with those from analytical plotter.

### 1. 서 론

국가 경쟁력 확보를 목적으로 1995년도부터 범국가적으로 추진되어 온 국가지리정보체계(National Geographic Information System ; NGIS) 구축사업의 한 과제로서 수행된 국가기본도 수치지도제작은 1998년 말에 1차 사업이 완료됨에 따라 현재 그 성과가 국가기관과 민간에 제공되고 있다.<sup>1,2)</sup>

정보화 사회에 있어서 국가기본도에 대한 수치지도자료는 필수적인 사회간접자본으로 평가되고 있으며 지형

공간정보시스템(Geo-spatial Information System)과 같은 분야에서 다양하고 창의적인 응용을 통해 고부가가치를 창출할 수 있다.

대규모 토목공사는 물론 각종 개발로 인하여 지형에 변화가 오게 되면 지형도의 일부나 또는 상당 부분을 수정할 필요가 있으므로, 국가기본도는 일정기간을 주기로 수정 또는 갱신될 필요가 있다.

종래의 방법대로 기존의 종이형태의 지형도를 수정 및 갱신한 후에 이를 수동 입력하여 수치지도를 수정 및 갱신하는 방법은 현재까지 수치지도제작 성과와 활용 결과를 비추어 볼 때 바람직하지 않은 것으로 평가되고 있으며, 향후에는 수치지도의 용도와 특성을 고려한 수정 및 갱신 방법이 필요할 것이다. 또한, 향후에 종이지도가 수치지도의 출력물로서 대체될 가능성도 예측되고 있으

\*상지대학교 이공대학 토목공학과 조교수

\*\*연세대학교 공과대학 부설 산업기술연구소 전문연구원

\*\*\*미래대학 지적공학과 시간강사

로 수치지도 자체에서 직접적으로 수정 및 갱신을 수행할 필요성이 있다.

현재, 종이형태의 국가기본도 제작은 항공사진측량에 의한 해석도화를 이용하여 왔으며, 국가기본도 수치지도의 수정 및 갱신에 있어서도 해석도화기(analytical plotter)에 의해 수치도화하는 방법이 현실적으로 가장 적합한 방법으로 인식되고 있다.

그러나, 해석도화를 위해서는 고가의 해석도화기와 숙련된 도화사가 필요하므로 수치지도의 부분적인 수정과 갱신에 있어서는 여타의 방법을 적용함으로써 경제성이나 효율성을 확보할 필요성이 있다.<sup>3,5)</sup>

본 연구에서는 최근 사진측량 분야에서 널리 보급되고 있는 수치사진측량시스템(Digital Photogrammetric Workstation System ; DPWS)을 이용하여 수치적 환경 내에서 직접적으로 국가기본도 수치지도자료를 수정 및 갱신하기 위한 연구를 수행하였다. 이를 위하여 수치사진측량시스템 환경 내에서 직접 수치지도를 제작하고 단계별 고찰을 통해 수정 및 갱신을 위한 작업과정을 도출하고, 그 작업성과를 기존의 해석도화기의 경우와 비교함으로써 타당성을 평가하였다.

본 연구에서 이용된 자료는 1:1,000 지형도 제작에 활용되는 1:5,000 축척의 항공사진이었으며, 본 연구에서도 1:1,000 축척의 도화과정을 통하여 연구를 수행하였다.

## 2. 기본이론

### 2.1 수치지도의 기본이론

#### 2.1.1 수치지도의 특징

수치지도는 일반적으로 평면좌표계에서의 좌표값(x, y)의 조합과 두 좌표를 연결한 선분을 사용하여 지도의 모든 도형을 표현한다. 예컨대 도로와 하천 등 직선을 표현할 때에는 출발점과 종점의 좌표값이 필요하고, 원을 표현하는 경우에는 중심점의 좌표값과 반경의 길이, 혹은 그 원이 통과하는 3점의 좌표값이 필요하다. 이러한 벡터형 도형정보는 좌표값과 선분이 수치조합으로 표현된다. 이들 도형정보는 일정한 형식으로 기록함으로써 데이터베이스화가 가능하다. 도형정보의 형식은 GIS용 소프트웨어마다 독자적으로 작성되고 있으나, 대부분의 GIS 및 CAD소프트웨어는 정보의 호환성 등 때문에 단순한 구조를 갖는 정보 교환 형식을 가지고 있어서 다른 형식 간의 정보 교환이 비교적 단순하게 이루어진다.<sup>6)</sup>

현재까지 제작된 국가기본도의 수치지도는 국토 지형자료 데이터베이스의 구축을 용이하게 하고 자료의 호환성을 확보하기 위해 수치지도작성 작업규칙에 근거하여 도엽코드, 레이아웃코드 및 지형코드로 구분하는 표준코드를 바탕으로 제작하고 있다.<sup>7)</sup>

#### 2.1.2 수치지도의 제작과정

수치지도의 제작과정은 항공사진에 의한 제작과 기존 지도입력에 의한 제작으로 크게 분류될 수 있는데, 일반적으로 대규모 지역에 대해 신규 제작되는 경우에는 주로 항공사진측량 기법에 의한 방법과 현지 보완측량 또는 현지조사를 병행하는 방법이 가장 경제적인 방법으로 인식되고 있다.

일반적으로 수치지도 구축 방법은 그림 1과 같이 구성될 수 있다.<sup>8)</sup> 그러나 그림 1과 같은 절차를 모두 수행하여 수치지도를 제작할 경우에는 막대한 비용과 시간이 소요되므로 편의상 단계별로 기존의 자료를 이용하거나 간략화하는 방법을 적용하게 되며, 이는 제작방법의 주안점에 따라 몇 가지 방법으로 분류할 수 있다.

#### (1) 해석도화에 의한 수치지도 제작

해석도화에 의한 수치지도 제작은 그림 1에서 점선으로 표현된 해석도화와 전산편집 절차에 주안점을 두고 시행되며 도화결과는 수치 데이터로 저장된다. 해석도화

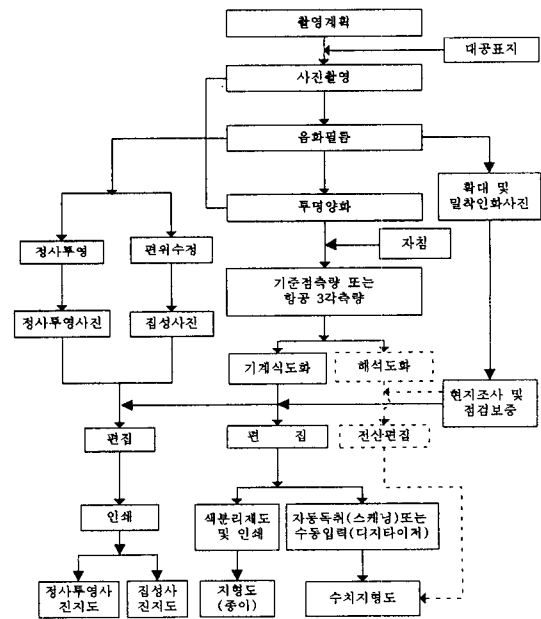


그림 1. 일반적인 수치지도 제작 과정

방법에서는 기준점 측량이 실시되며, 도화 결과가 수치 형태로 저장되므로 수정도화와 같이 도화결과를 다시 수치화 하는 중간과정이 생략되기 때문에 최종적인 편집과정이 용이하고, 중간과정에서의 오차 발생 확률이 작아서 데이터의 정확도와 신뢰성을 확보할 수 있지만, 작업 시간 및 비용이 비교적 많이 드는 것이 단점이 있다.

### (2) 기존 지도의 입력에 의한 수치지도 제작

기존 지도의 입력에 의한 수치지도의 제작은 종이지도를 수동입력기를 이용하여 수동입력하거나 자동독취기를 이용하여 자동입력하는 방법으로 제작된다. 현재 수치지도 제작과정에서는 자동독취기와 수동입력기가 동시에 사용되고 있다.

수동입력은 수동입력기에 지도를 부착한 후 수작업으로 입력하는 방법이다. 장비 가격이 저렴하고 전문 기술이 필요치 않아 가장 쉽게 접근할 수 있는 방법이다. 소량의 수치지도에 이용될 수 있으나 대량의 수치지도를 제작할 경우에는 시간이 많이 소요되기 때문에 자동독취기를 이용한 입력이 더 경제적이다.

자동입력은 컴퓨터의 도형인식 능력을 이용하여 자동독취기에 의해 자동으로 입력하는 방법이다. 일괄처리가 가능하기 때문에 대량의 지도를 입력하는데 이용된다. 자동독취기의 정밀도는 센서 소자에 의해 감지되는 지도 요소의 크기에 의한다. 자동독취기로 얻은 자료는 레스터 자료이므로 벡터변화 알고리즘으로 수치지도화 한다.

### (3) 수정도화에 의한 수치지도 제작

수정도화 방법은 항공사진을 이용하여 기계식 도화기를 통해 변화된 지역에 대해서 부분적인 갱신을 실시하고, 기존도면의 정보와 병합하는 방법으로서 최근에 촬영된 항공사진과 기존에 제작된 도화 원도를 비교하여 변화된 지역에 대해서만 수정도화 원도를 제작하고 이를 수치화 함으로써 궁극적으로 수치화된 기존 도화원도와 병합을 통해 수치지도화하는 방법이다. 또한 이 방법은 현재까지 수행된 거의 모든 경우에 있어서 기준점 측량이 생략되고 기존에 측량된 성과를 이용하여 표정을 실시함으로써 비용 및 시간을 절감하는 효과를 거두었으나, 기준점 측량을 실시하였을 경우에 비해 상대적으로 정확도가 다소 떨어지는 결과를 초래하기도 하였다.

우리나라에서, 1/5,000 축척의 경우에는 NGIS 구축 계획 당시 한정된 예산으로 최단시일 내에 수치화를 시행하고자 하였기 때문에 작업량과 비용이 적게드는 수정도화방식을 채택하였고 1/1,000의 경우에는 활용하고자

하는 기존도면의 정보내용이 노후화되어 갱신율이 높고, 최종 결과물이 각 지자체에서 현황도면으로 활용된다는 측면에서 정확성을 고려하여 해석도화 방식에 의해서 제작되었다. 한편 1/25,000의 경우에는 대상지역 대부분이 산악지역이고, 포함되는 정보의 정확도 수준이 비교적 낮은 점을 고려하여 기존도면을 입력하여 수치화하였다.

## 2.2 수치사진측량

수치사진측량(Digital Photogrammetry)은 수치영상을 기본 자료로 이용한다는 점에서 종래의 사진측량과 구분된다. 필름형태의 자료 대신 수치영상을 이용한다는 것은 단순히 매체가 바뀐다는 의미를 넘어서서 컴퓨터에 의한 자동화의 가능성을 부여하게 된다.

수치사진측량은 1980년대부터 본격적으로 시작되어, 기계적 도화기와 해석도화기 이후 제 3세대 사진측량 방법으로 인식되고 있으며, 상업적 목적으로 개발된 시스템은 1990년대 이후에 와서야 소개 및 보급되기 시작했다.

수치사진측량시스템은 수치사진측량기법에 의해 사진측량과정을 자동화하는 것을 목적으로 한다. 그러나 수치사진측량은 현재까지도 개발단계에 있으며 사진측량과정의 전자동화를 최종목적으로 하여, 다양한 이론과 장비들이 연구, 개발되고 있는 중이므로, 아직까지 완전 자동화가 구현된 수치사진측량시스템의 개발은 이루어지지 않고 있다.

현재까지 대부분의 상용 수치사진측량시스템은 특수한 부가장치에 의해 컴퓨터의 모니터 상에서 입체시를 구현하고, 해석도화기에서 기계적으로 제어되었던 좌표관측을 소프트웨어적으로 처리함으로써 기존 해석도화기의 기능을 컴퓨터 환경 내에 구현한 형태이다. 더불어 부분적인 자동화 기능들이 추가되었다. 특히, 자동영상정합에 의한 등고선의 자동추출, 자동 수치정사투영영상 생성 등은 기존의 해석도화기에서는 제공되지 않던 새로운 기능들이다.<sup>9)</sup>

현재 보급되고 있는 상용 수치사진측량시스템을 이용하여 수치도면을 제작하는 경우에는 궁극적으로 완전자동화는 불가능하며 해석도화기에 의한 도면 제작과 마찬가지로 작업자의 수작업에 의존하여 제작이 이루어져야 한다. 그럼에도 불구하고 수치사진측량에 의한 도면제작은 기존 해석도화기에 의한 방법에 비해 다양한 장점이 있다. 수치영상을 이용하므로 자료의 변형이 없음을 물

론, 소프트웨어적으로 좌표가 관측되므로 기계적 마모가 없다는 것과 2인 이상이 동시에 입체영상을 관측할 수 있으므로 성과의 품질을 보다 객관적으로 평가할 수 있다는 점과 수치영상을 배경으로 하여 도화가 수행되므로 오류나 누락이 즉시 확인될 수 있다는 점등은 수치사진 측량의 대표적 장점들이다.

### 2.3 수치사진측량을 이용한 수치지도의 수정 및 갱신

수치사진측량은 수치형태의 영상자료를 수치환경에서 처리하여 직접적으로 수치도면을 제작하므로 수치지도의 제작이나 수정 및 갱신에 효율적인 것으로 평가되고 있다.

수치사진측량에 의해 기존에 제작된 수치지도를 수정 및 갱신할 경우에는 해석도화기에 의한 방법보다 높은 효율성을 제공할 수 있다. 기존에 제작된 수치지도에서 절점(vertex)의 좌표가 3차원 값으로 저장되어 있다면, 수치사진측량에서는 표정작업이 끝난 후에 기존의 수치지도를 3차원으로 입체영상에 중첩시킬 수 있다. 따라서 입체상태에서 대상물과 수치지도의 형상의 중첩되어 나타나게 되므로 기존의 수치지도와 새로 촬영된 항공사진 사이에서의 변화된 요소를 쉽게 판독할 수 있다. 또한 입체영상과 중첩된 상태에서 기존의 수치지도를 직접적으로 수정 및 갱신할 수 있으므로 작업과정이 매우 신속하고 편리하다.

본 연구에서는 수치사진측량에 의한 수치지도의 수정

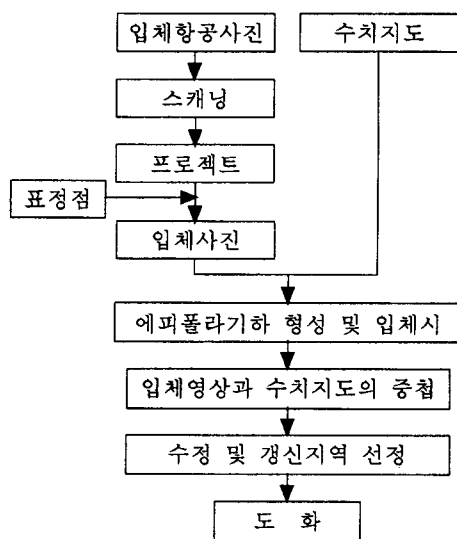


그림 2. 수치사진측량에 의한 수치지도의 수정 및 갱신 과정

및 갱신과정을 그림 2와 같이 설정하였다. 그림 2에 나타난 바와 같이 수치사진측량에 의한 수치지도의 수정 및 갱신 과정에서 입력자료는 입체항공사진, 표정점, 수정 및 갱신 대상 수치지도가 된다. 입체항공사진은 수정 및 갱신될 수치지도의 도화작업에 상응하는 사진축척으로 촬영되어 있어야 한다.

표정점은 지상기준점이나 항공삼각점이 이용된다. 실제로 지상기준점을 취득하는 데에는 많은 비용이 소요되므로 블록단위의 항공사진을 촬영한 후 미리 항공삼각측량을 실시하여 항공삼각점으로써 표정점을 취득하는 것이 경제적이다. 항공삼각측량은 해석도화기는 물론 수치사진측량시스템에서도 수행할 수 있다.

항공사진을 스캐닝하기 위해서는 생성될 수치영상의 해상도와 수치영상의 크기를 고려해야 한다. 수치영상의 해상도는 수치사진측량 정확도를 좌우하므로 가급적 높은 해상도를 유지하는 것이 바람직하다. 그러나 해상도가 증가함에 따라 수치영상의 크기도 기하급수적으로 비례하므로 막대한 자료처리 용량과 시간이 요구되게 된다.

일반적으로 대부분의 수치사진측량시스템은 작업수행 초기단계에서 프로젝트를 구성하여 각종 정보와 파라미터를 입력하도록 되어 있다. 프로젝트 설정에 필요한 정보는 대부분이 사진촬영계획 단계와 수치영상의 취득단계에서 설정된 값들이 된다.

입체사진의 표정과정은 수치영상을 이용하고, 프로그램에 의해 좌표를 관측한다는 점을 제외하면 개념적으로 해석도화기에서 수행되는 것과 매우 유사하나, 해석도화기에 비해 자동화가 용이하다.

입체사진의 표정이 수행된 후에는 표정결과를 기준으로 영상재배열에 의해 에피폴라 기하상태를 구현하므로써 입체영상의 종시차를 소거하고 입체시를 상태를 구현한다.

한 쌍의 입체영상에 대한 입체시가 구현된 후에는 기존의 수치지도를 입체영상에 3차원으로 중첩시킬 수 있다. 이 경우에, 수치지도의 모든 절점(vertex)의 좌표값은 평면좌표 뿐만 아니라 표고좌표로도 입력되어 있어야 한다. 우리나라 수치지도의 경우에는 등고선을 제외하고는 2차원 정위치 편집파일로 수치지도를 제작하므로 현재까지는 입체영상과 수치지도의 중첩이 원활하지 않다.

입체영상과 수치지도가 중첩된 상태를 입체시로 관측하게 되면 수치지도에 나타난 내용과 입체영상과의 차를 손쉽게 판독할 수 있다.

선정된 수정 및 갱신 요소들은 기존의 수치지도의 내용을 수정하는 방법과 새로운 요소를 추가하거나 사라진 요소를 삭제하여 갱신하는 방법을 적용할 수 있다. 이러한 작업들은 수치사진측량시스템의 벡터자료 편집기능에 의존하게 된다.

### 3. 관측 및 관측값 해석

#### 3.1 입체항공사진과 수치영상 취득

본 연구에서 이용한 항공사진은 연구 대상지에 대해 1998년 3월 1일에 촬영된 항공사진으로서, 블록을 구성하여 촬영된 자료 중에서 대상지역에 대한 한 쌍의 입체사진을 선정하여 연구에 이용하였다.

입체사진의 중복도는 약 69%이며, 촬영축척은 약 1:5,000으로서 1:1,000 지형도의 제작이 가능한 자료이다. 촬영에 이용한 항공사진측량용 사진기는 Wild사의 RC30으로서 초점거리 152.85 mm, 구경 40 mm의 광각렌즈를 장착하였다.

촬영된 필름은 밀착인화하여 투명양화로 제작되었으며, 이를 자동독취기에 의해 수치화함으로써 수치영상을 제작하였다.

본 연구에서는 이용한 자동독취기는 독일의 Carl Zeiss사의 PhotoScanner로서 사용 소프트웨어는 Intergraph PhotoScan TD이다. 이 자동독취기는 최소영상소 크기가 7  $\mu\text{m}$ (약 3,600 dpi)이고 최대영상소 크기는 224  $\mu\text{m}$ (약 110 dpi)인 수치사진측량작업용 전문 자동독취기이다. Photoscan TD는 항공사진 등의 필름형태로 되어 있는 영상 자료를 수치(Digital)영상으로 바꾸어주는 기능을 수행하며, 7, 14, 21, 28, 56, 112, 224  $\mu\text{m}$  등의 다양한 정밀도의 작업 선택이 가능하다. 본 연구에서는 작업할 영상의 저장 용량, 운반, 영상소 크기의 문제 등을 고려하여 14, 21, 28, 56, 112  $\mu\text{m}$ 의 5단계에 대한 영상소 크기에 대하여 실험하였다.

본 연구에서 수치화된 입체영상은 그림 3 같다.

#### 3.2 표정점 선정

항공사진측량에서 표정작업을 수행하기 위해서는 지상 기준점이 필요하다. 본 연구에서 이용된 항공사진은 본래 항공삼각측량을 실시할 계획 하에 블록 촬영되었으므로 입체사진 내에 표정을 수행하기에 충분한 지상기준점이 포함되어 있지 않다. 따라서, 대상영역 내에서 항공삼

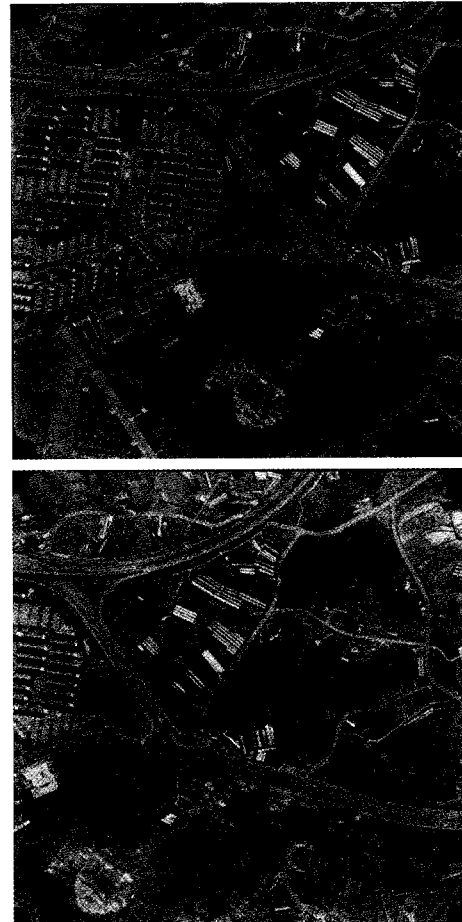


그림 3. 본 연구에 사용된 입체항공사진

각측량에 의해 지상좌표가 결정된 항공삼각점을 표정점으로 이용하여 수치사진측량시스템 내에서 표정작업을 수행하였다. 일반적으로 기계식 및 해석식 도화기에 의해 도화작업을 수행하는 경우에도, 항공삼각측량이 실시된 후에 모델단위로 접합점을 항공삼각점으로 설정하여 표정작업을 재수행한 후 도화를 실시하는 관례를 감안해 볼 때, 본 연구에서의 방법은 기존의 기계식 및 해석식 도화기에 의한 도화작업과정과 유사하게 실시되었다고 볼 수 있다.

#### 3.3 수치사진측량 시스템을 이용한 수치지도제작

본 연구에서의 관측값 처리는 상용 수치사진측량시스템인 Intergraph사의 ImageStationZ에서 수행되었다. 관측값 처리는 프로젝트 생성 단계, 표정 단계, 도화 단계를

거쳐 수행되었으며 각 단계별 처리 결과는 다음과 같다.

### 3.3.1 프로젝트 설정

본 연구에서 이용한 수치사진측량시스템인 ImageStationZ에서는 프로젝트 생성 모듈인 ISPM을 이용하여 사진측량의 수행에 필요한 각종 프로젝트 관련 정보 및 매개변수들을 프로젝트 생성 시에 입력하여야 한다. 이중 조정의 정확도 및 정밀도 평가를 목적으로 입력하는 사진좌표의 관측정확도 10  $\mu\text{m}$ 를 기준으로 초기값 설정되어 있다. 이는 해석도화기의 사진좌표관측 정확도를 기준으로 설정한 것으로 판단된다. 본 연구에서는 수치영상의 해상도를 기준으로 사진좌표 관측정확도 기준을 입력하였다.

ImageStationZ에서는 기본적인 프로젝트 설정 이외에도 사진기, 사진, 모델, 스트립 등에 관련된 각종 정보를 설정해 주어야 한다. 사진기의 경우는 다양한 측량용 사진기에 대한 다양한 검정정보를 처리할 수 있도록 구성되어 있으며, 본 연구에서는 RC30 사진기의 검정표를 이용하여 필요한 정보를 입력할 수 있었다.

사진에 관련된 정보의 입력 시에는 사진 번호에 해당하는 수치영상파일을 연결시켜주어야 하며, 이때는 ImageStationZ에서는 Intergraph 사의 표준 영상형식인 COT 형식만이 연결 가능하므로, 항공사진을 자동독취할 때 이용하였던 TIFF형식을 함께 제공되는 영상처리모듈을 통하여 COT 형식으로 변환시켜야 한다.

### 3.3.2 입체사진의 표정

사진측량에서 도화작업을 수행하기 위해서는 입체사진이 완전히 표정되어 있어야 한다. 수치사진측량에 있어서도 도화작업을 위한 입체사진의 표정은 내부표정, 상호표정, 절대표정의 단계로 수행된다. 해석사진측량과 마찬가지로 수치사진측량의 경우에서도 관측된 사진좌표를

입력값으로 하여 각 단계별 표정요소들이 조정계산 된다.

수치사진측량의 경우에는 수치영상을 이용하므로 사진좌표의 관측을 자동화할 수 있다. 그럼에도 불구하고 사진좌표관측의 자동화는 현재까지 최적화되어 있지 않으므로 현재의 상용 수치사진측량시스템에서는 보조적 수단으로서만 제공되고 있다. 본 연구에서 이용한 수치사진측량시스템인 ImageStationZ에서도 자동화기능은 거의 구현되어 있지 않으며 컴퓨터가 예측하는 점 부근에서 작업자가 수동으로 점의 위치를 결정하는 반자동 방식으로 표정작업이 이루어지고 있다.

본 연구에서는 Carl Zeiss사의 PhotoScan 자동독취기에 의해 영상소 크기 14  $\mu\text{m}$ , 21  $\mu\text{m}$ , 28  $\mu\text{m}$ , 56  $\mu\text{m}$ , 112  $\mu\text{m}$ 의 5 단계로 자동독취된 각각의 수치영상에 대해 내부표정, 상호표정, 절대표정을 적용함으로써 각 표정단계와 수치영상의 영상소 크기의 관계를 고찰하였다.

#### (1) 내부표정

RC30 사진기의 경우에는 사진의 네 모서리 및 네 변의 중심부에 총 8개의 지표를 갖고 있으나 모서리 부분의 네 점만을 이용하여 내부표정을 수행하는 것이 일반적이다.

본 연구에서도 네 모서리 점의 영상좌표만을 관측하여 내부표정을 실시하였다. 내부표정 수행 시에 첫 사진의 지표 위치는 두 점을 관측한 후부터는 어느 정도 프로그램에 의해 예측이 되었으며 첫 사진에 대한 지표관측 결과를 기준으로 하여 다음 사진부터는 자동적으로 지표의 위치를 관측할 수 있었다.

각 영상소 크기별 내부표정 수행결과 영상좌표로부터 사진좌표로의 변환 매개변수는 표 1에 나타나 있다.

영상소 크기에 따른 수치사진측량시스템(ImageStationn Z)을 이용한 내부표정의 정확도는 수치사진측량시스템에

표 1. 각 영상소 크기별 내부표정 결과

영상소 크기 변환매개 변수	14 $\mu\text{m}$		21 $\mu\text{m}$		28 $\mu\text{m}$		56 $\mu\text{m}$		112 $\mu\text{m}$	
	좌측사진	우측사진	좌측사진	우측사진	좌측사진	우측사진	좌측사진	우측사진	좌측사진	우측사진
$a_0$	71.415	71.453	47.634	47.635	35.726	35.727	17.863	17.864	8.932	8.933
$a_1$	-0.456	-0.163	-0.304	-0.110	-0.228	-0.082	-0.114	-0.041	-0.057	-0.020
$a_2$	9199.653	8961.724	6134.297	5975.688	4600.578	4481.654	2300.143	2240.690	1150.950	1121.075
$b_0$	-0.456	-0.166	-0.305	-0.111	-0.228	-0.083	-0.114	-0.043	-0.058	-0.020
$b_1$	-71.448	-71.449	-47.631	-47.632	-35.724	-35.724	-17.863	-17.862	-8.931	-8.931
$b_2$	8850.419	8841.142	5900.131	5893.989	4425.031	4420.458	2213.077	2210.702	1106.382	1105.398

표 2. 각 영상소 크기별 내부표정 정확도

영상소 크기	14 $\mu\text{m}$		21 $\mu\text{m}$		28 $\mu\text{m}$		56 $\mu\text{m}$		112 $\mu\text{m}$	
	좌측사진	우측사진	좌측사진	우측사진	좌측사진	우측사진	좌측사진	우측사진	좌측사진	우측사진
단위경중을에 대한 표준편차( $\mu\text{m}$ )	5.920	9.792	4.679	8.227	6.076	7.638	11.897	8.791	13.663	7.213

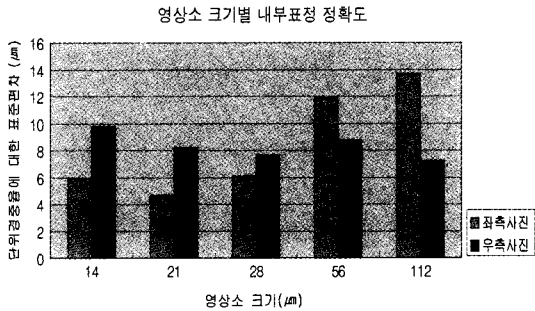


그림 4. 각 영상소별 내부표정 정확도 관측결과

표 3. 각 영상소 크기별 상호표정요소

영상소 크기	14 $\mu\text{m}$	21 $\mu\text{m}$	28 $\mu\text{m}$	56 $\mu\text{m}$	112 $\mu\text{m}$
X0(m)	69.821	69.824	69.817	69.834	69.774
Y0(m)	8.197	8.171	8.392	7.972	8.421
Z0(m)	152.470	152.470	152.438	152.432	152.473
$\omega(^{\circ})$	0.117	0.127	0.051	0.186	0.045
$\Phi(^{\circ})$	0.002	-0.009	0.063	0.017	-0.072
K( $^{\circ}$ )	0.596	0.597	0.612	0.563	0.614

의해 계산된 표준편차를 이용하여 분석하였다. 수치사진 측량시스템을 이용한 내부표정 정확도는 표 2 및 그림 4와 같이 나타났다. 그림 4를 보면 내부표정의 정확도는 영상소의 크기 변화에 크게 영향을 받지 않는 것으로 판단된다. 이는 수치사진측량시스템에서 부영상소 단위의 좌표관측이 가능하며 또한, 사진지표와 같이 정형화되고 규칙적인 형태의 대상물의 경우 식별이 용이하여 영상소 크기가 좌표관측의 정밀도에 크게 영향을 미치지 않기 때문인 것으로 판단된다.

(2) 상호표정

상호표정 시에도 공액점에 대한 위치가 프로젝트 설정시에 사용자가 입력한 접합점의 배치형태를 기초로 프로그램에 의해 예측되어 사용자에게 제시되었으며, 관측

표 4. 각 영상소 크기별 종시차 평균값

영상소 크기	14 $\mu\text{m}$	21 $\mu\text{m}$	28 $\mu\text{m}$	56 $\mu\text{m}$	112 $\mu\text{m}$
1번점	1.3	5.3	5.8	6.8	8.0
2번점	0.8	3.0	3.3	3.6	4.5
3번점	2.3	8.8	9.7	11.3	13.3
4번점	1.3	5.1	5.6	6.4	7.7
5번점	1.0	3.7	4.0	4.6	5.4
6번점	0.6	2.5	2.7	3.2	3.8
평균	1.22	4.73	5.18	5.98	7.11

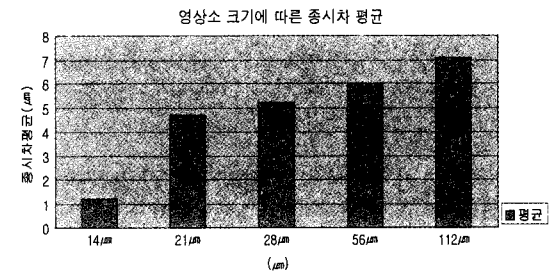


그림 5. 각 영상소 크기별 상호표정 정확도 관측결과

점 수가 증가할수록 공액적 위치 예측의 정밀도가 높아진다. 본 연구에서는 모델 당 6점의 Von Grüber 점을 공액점으로 설정하여 상호표정요소를 설정하였다.

표 3과 4에는 상호표정에 의해 구해진 상호표정요소와, 그 표정요소에 대한 접합점에서의 종시차(Y-시차)가 영상소 크기별로 나타나 있다. 또한, 그림 5에는 각 영상소 크기별 접합점의 종시차에 대한 평균값이 그래프로 나타나 있다. 그림 5의 그래프를 분석해 보면 영상소 크기가 저하됨에 따라 상호표정 결과에 대한 종시차도 증가하는 것을 알 수 있다. 특히, 영상소 크기 14  $\mu\text{m}$ 와 영상소 크기 21  $\mu\text{m}$ 사이에서 그 증가가 두드러졌다.

종시차의 크기는 영상소 크기의 1/2에서 허용이 된다는 사실을 감안하면 모든 영상소 크기에서 기준 정확도를 만족함을 알 수 있으나, 통상적으로 해석도화기에 경

표 5. 각 영상소 크기별 절대표정 수행에 따른 외부표정 요소 결과

영상소 크기	외부표정요소	외부표정요소					
		Xo(m)	Yo(m)	Zo(m)	$\omega(^{\circ})$	$\Phi(^{\circ})$	K(^{\circ})
14 $\mu\text{m}$	좌측사진	198927.492	435202.184	883.271	0.083	-1.560	-117.969
	우측사진	198791.308	434852.510	876.995	0.027	-1.674	-117.372
21 $\mu\text{m}$	좌측사진	198926.671	435201.957	883.430	0.097	-1.615	-117.967
	우측사진	198790.646	434852.213	876.919	0.049	-1.720	-117.373
28 $\mu\text{m}$	좌측사진	198926.533	435202.291	883.247	0.072	-1.621	-117.974
	우측사진	198790.274	434852.722	876.835	0.011	-1.734	-117.386
56 $\mu\text{m}$	좌측사진	198929.046	435202.181	884.891	0.170	-1.545	-118.042
	우측사진	198792.632	434852.365	878.073	0.091	-1.655	-117.440
112 $\mu\text{m}$	좌측사진	198931.294	435204.957	883.375	-0.012	-1.426	-118.030
	우측사진	198795.522	434853.850	877.727	0.028	-1.498	-117.404

표 6. 각 영상소 크기별 절대표정 정확도 (표정점의 3차원 위치결정 잔차) (단위:m)

영상소 크기	좌표		
	X	Y	Z
14( $\mu\text{m}$ )	0.111	0.054	0.136
21( $\mu\text{m}$ )	0.090	0.053	0.135
28( $\mu\text{m}$ )	0.157	0.147	0.386
56( $\mu\text{m}$ )	2.803	2.719	0.653
112( $\mu\text{m}$ )	2.787	2.724	1.130

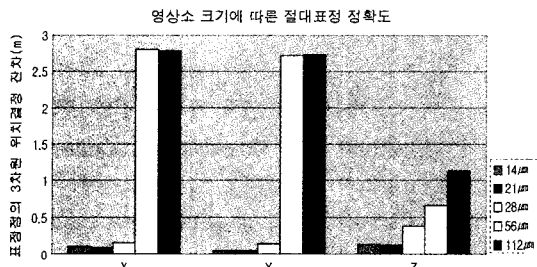


그림 6. 각 영상소 크기별 절대표정 정확도 관측결과

우에 있어서는 5  $\mu\text{m}$  이하의 중시차가 허용된다는 것에 비추어 볼 때 영상소 크기 21  $\mu\text{m}$ 의 경우까지가 해상도 화기에 상응하는 결과를 나타내고 있음을 알 수 있다.

(3) 절대표정

3.2에서 서술한 바와 같이 항공삼각점을 표정점으로 설정하여 절대표정을 수행한 결과 표 5와 같이 영상소 크기별로 외부표정요소를 결정할 수 있었다. 외부표정요소만으로는 영상소 크기별 절대표정의 정확도를 평가할 수

없으므로 표 6에 나타난 바와 같이 각 영상소 크기별 외부표정요소를 이용한 표정점의 3차원 위치결정의 잔차로써 정확도를 평가할 수 있다.

영상소 크기에 따른 절대표정 정확도 관측도 표 6과 그림 6에서 보듯이 영상소 크기가 저하될수록 절대위치결정의 잔차가 증가하는 것을 알 수 있었다. 그림 4에 나타난 바와 같이 평면위치 성분인 X, Y의 경우에 있어서는 영상소 크기 28  $\mu\text{m}$ 와 56  $\mu\text{m}$ 사이에서 표정점의 잔차가 급격히 증가하는 것을 알 수 있고, Z값의 경우는 21  $\mu\text{m}$ 와 28  $\mu\text{m}$ 사이에서 잔차가 급격히 증가함을 알 수 있다. 국립지리원의 수치지도작성내규에 의하면 1:1,000 수치지도의 정확도규정은 평면위치의 경우 0.2 m, 높이 위치의 경우 0.15 m 이하이어야 하므로 본 연구의 경우 영상소 크기 21  $\mu\text{m}$ 의 경우까지가 최적의 결과를 나타낼 수 있다. 해상도 화기의 경우 좌표관측의 정확도가 10  $\mu\text{m}$  이내임을 감안 할 때 수치영상의 영상소 크기는 10  $\mu\text{m}$  이내 인 것이 최적일 것으로 예상하였으나 실제의 경우에 있어서는 약 2배인 21  $\mu\text{m}$ 까지도 적합한 것으로 나타났다. 이는 수치도화기의 부영상소 단위의 관측 기능에 의해 해상도 이하로 영상좌표를 관측할 수 있기 때문인 것으로 판단된다. 향후의 도화작업은 영상소 크기 21  $\mu\text{m}$ 인 수치영상을 적용하여 연구를 수행하였다.

3.3.3 도화결과와의 위치정확도 비교

본 연구에서 제작된 수치사진측량시스템에 의한 도화작업 결과를 고층빌딩지역, 밀집가옥지역, 가로시설물(가로시설물은 가로수와 가로등으로 2종류의 시설물에 대해서 비교), 도로, 고도값에 대하여 부분적으로 대상지역을



표 7. 고층빌딩 지역의 상대적오차 비교

(단위:m)

점 번호	1	2	3	4	5	6	7	8	9
해석-수치	0.2491	0.2109	0.0628	0.2008	0.2554	0.0136	0.2105	0.1260	0.1462
점 번호	10	11	12	13	14	15	16	평균제곱근오차	
해석-수치	0.0745	0.3584	0.2273	0.2540	0.1263	0.1579	0.1512	±0.2019	

선정하여 해석도화기에 의한 도화작업 결과와 비교하였다. 고층빌딩지역의 경우는 형태가 명확하여 도화가 매우 용이한 지역인데 반하여 밀집가옥지역은 도화사의 자의적 판단이 개입될 여지가 큰 지역이라고 할 수 있다. 또한 가로시설물은 그 위치는 명확하게 판독되지만, 위치기준의 설정이 명확하지 못할 수 있는 반면에 도로는 위치와 위치기준이 매우 명확하다. 이 경우에 본 연구에서 비교자료로 이용한 해석도화작업 결과에는 고도값이 포함되어 있지 않았으므로 고도값에 대해 별도로 결과비교를 수행하였다. 이 경우에는 해석도화결과에 나타난 도로상의 표고점을 기준으로 비교하였다.

비교한 그림 중 실선으로 표시된 부분은 해석도화기로 도화된 결과이고, 점선으로 표시된 부분은 수치사진측량 시스템을 이용하여 도화한 결과이다.

(1) 고층빌딩지역

본 연구대상지역에서 고층빌딩지역은 대부분이 아파트이기 때문에 수치사진측량시스템으로 도화한 지역 중 아파트 지역을 해석도화기에 의한 결과와 비교해 보았다. 아파트 지역은 고도가 높기 때문에 입체사진에서 과고값이 훨씬 크게 나타나고, 높이로 인한 사각지대가 발생하여 아파트 하단 경계를 도화하기가 곤란하므로 아파트

옥상부분을 기준으로 도화하였다. 이 중 일부지역(아파트 4개동)을 선정하여 해석도화 결과와의 상대적 오차를 비교한 결과 표 7과 같이 나타났다. 또한, 그림 7, 8, 9에는 수치사진측량 시스템과 해석도화기의 도화결과를 중첩하여 나타내었다.

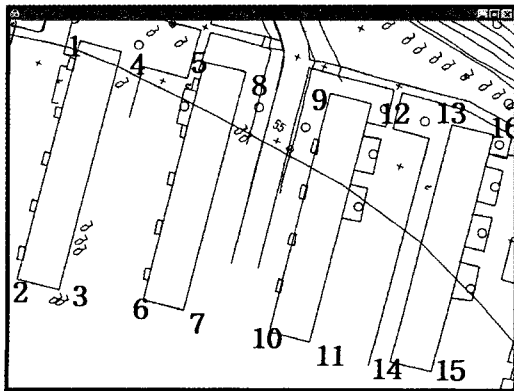


그림 7. 고층빌딩지역 도화 결과비교 A

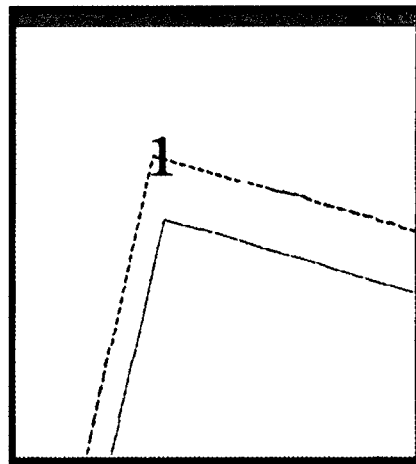


그림 8. 고층빌딩지역 도화결과 비교 B

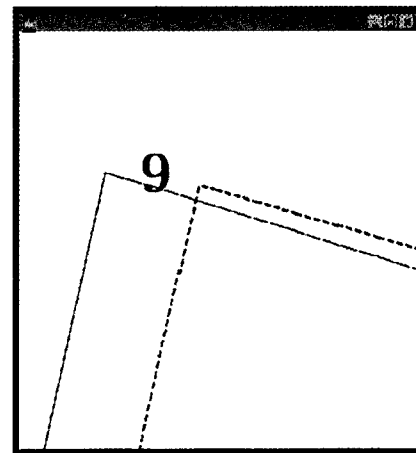


그림 9. 고층빌딩지역 도화결과 비교 C

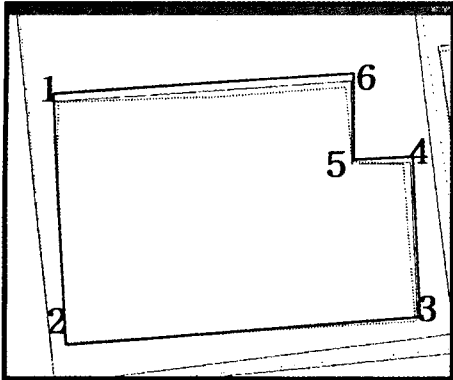


그림 10. 밀집가옥 비교 A

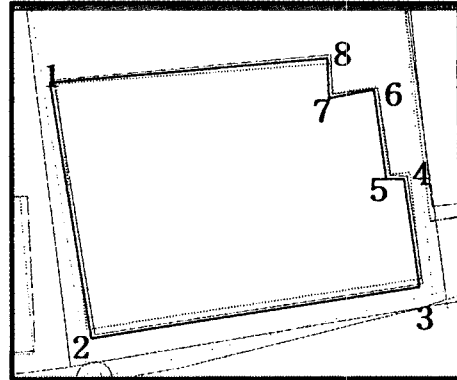


그림 12. 밀집가옥비교 C

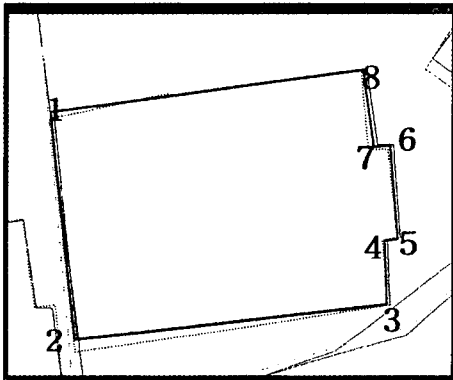


그림 11. 밀집가옥비교 B

(2) 밀집가옥지역

밀집가옥지역에서 가옥 세 채를 대상으로 건물의 모서리마다 수치사진측량시스템과 해석도화기와의 비교하였으나 도화시 건물경계부분의 명확한 판독에 어려움이 있었다. 해석도화기와의 비교 결과는 그림 10, 11, 12에 나타나 있고, 상대오차의 비교는 표 8, 9, 10에 나타나 있다.

(3) 시설물

시설물의 비교는 먼저 도로시설물을 두 분류로 나누어 비교했다. 첫 번째는 대로변에 있는 가로수 일곱 그루에 대한 상대적 위치오차의 분석이며, 두 번째는 대로변에

표 8. 밀집가옥지역 A의 상대적오차 비교

							(단위:m)
점 번호	1	2	3	4	5	6	평균제곱근오차
해석-수치	0.2214	0.0719	0.1523	0.3150	0.1282	0.3573	±0.2533

표 9. 밀집가옥지역 B의 상대적오차 비교

									(단위:m)
점 번호	1	2	3	4	5	6	7	8	평균제곱근오차
해석-수치	0.2111	0.4049	0.2261	0.1992	0.0768	0.0569	0.0472	0.3788	±0.2547

표 10. 밀집가옥지역 C의 상대적오차 비교

									(단위:m)
점 번호	1	2	3	4	5	6	7	8	평균제곱근오차
해석-수치	0.3764	0.6069	0.0792	0.2251	0.4412	0.3090	0.4456	0.2471	±0.3994

표 11. 도로시설물(가로수)지역의 상대적오차 비교

									(단위:m)
점 번호	1	2	3	4	5	6	7	평균제곱근 오차	
해석-수치	0.2872	0.1176	0.1967	0.3670	0.1720	0.4295	0.2295	±0.2990	

표 12. 도로시설물(가로등)지역의 상대적오차 비교

(단위:m)

점 번호	1	2	3	4	5	6	평균제곱근오차
해석-수치	0.0237	0.3487	0.2469	0.1226	0.2181	0.1761	±0.2353

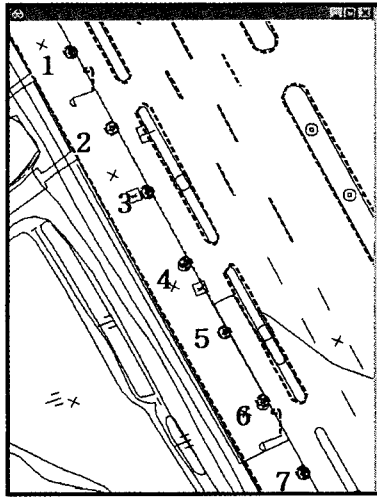


그림 13. 도로시설물 비교 A

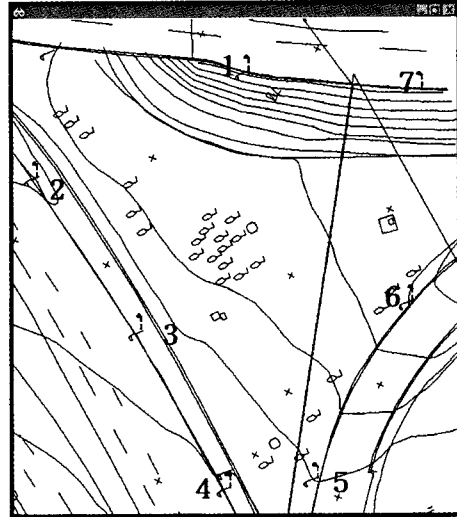


그림 15. 도로시설물 비교 C

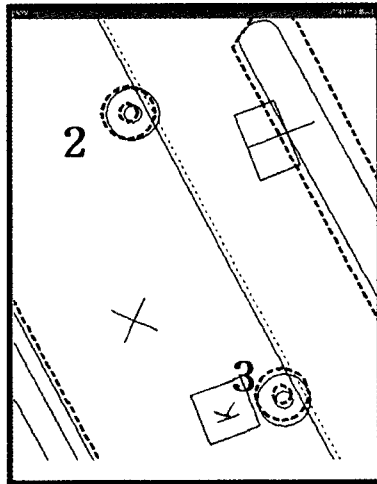


그림 14. 도로시설물 비교 B

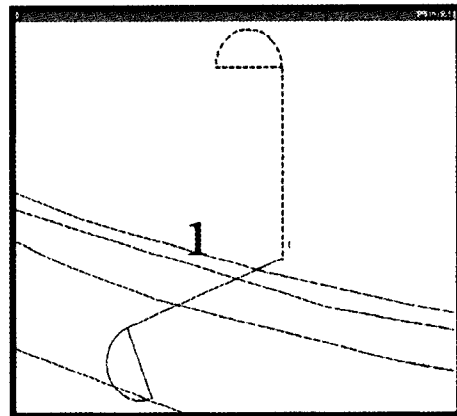


그림 16. 도로시설물 비교 D

있는 가로등 여섯 개에 대한 상대적 위치오차의 분석이다. 두 시설물의 분석은 인공지물인 가로등이 상대적 정확도가 가로수에 비해 뛰어난 것으로 분석되었으며 그 결과는 표 11, 12에 나타나 있고, 비교한 결과는 그림 13, 14, 15, 16, 17에 자세히 나타나 있다.

(4) 도로지역

도로 지역은 본 연구에서 가장 높은 상대정확도를 나타낸 지역으로 12지점에서 위치정확도를 비교한 결과 평균 14 cm 정도의 위치정확도를 보였다. 도로지역의 상대정확도 분석결과는 표 13과 같고 중첩 분석 결과는 그림 18, 19, 20, 21, 22에 자세히 나타나 있다.

(5) 고도값

고도값의 비교는 해석도화기로 도화한 표고점 위에 수

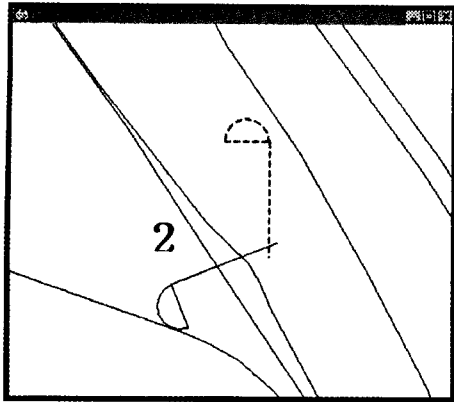


그림 17. 도로시설물 비교 E

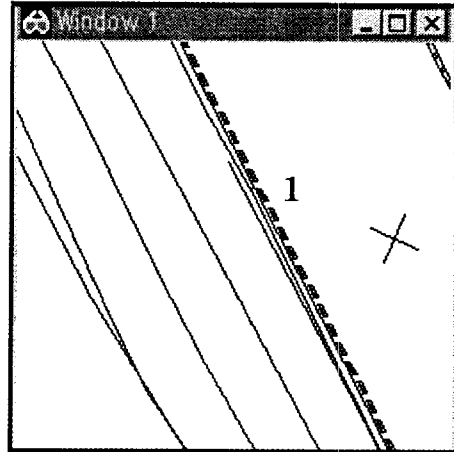


그림 19. 도로비교 B

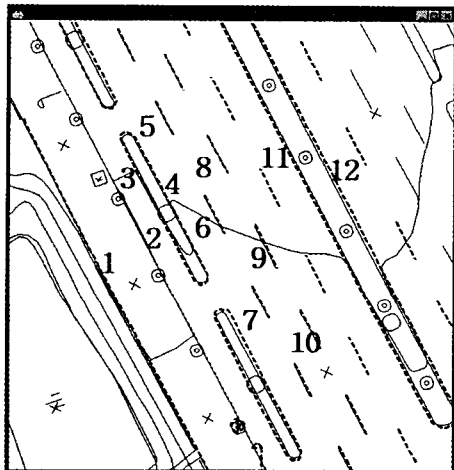


그림 18. 도로 비교 A

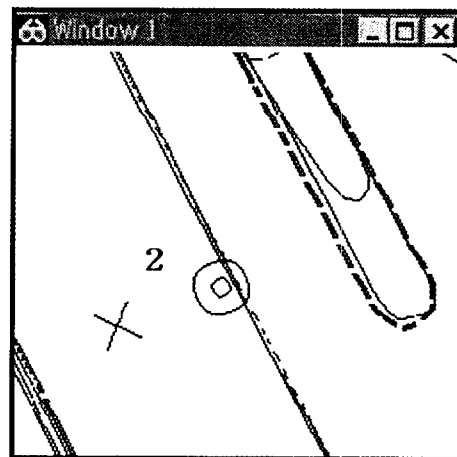


그림 20. 도로비교 c

치사진측량시스템의 부점을 안착(on ground) 시켜 해석도화기의 표고수치화 수치사진측량시스템의 Z값을 읽는 것으로 고도값의 상대적 정확도를 비교해 보았다. 비교 분석 결과는 표 14와 같다.

### 3.4 비교고찰

표 15에는 3.3절에서 분류한 8 개의 대상지역에 대한

수치도화결과와 해석도화결과와 비교한 위치정확도 값이 나타나 있다. 국립지리원의 도화규정을 적용한다면, 해석도화 결과를 기준으로 한 경우, 3개의 대상지역이 국립지리원의 수치지도작성 작업내규의 제 10조 1:1,000 수치지도 정확도 규정 중 수치도화 표준편차 기준인 평면  $\pm 0.20$  m, 표고  $\pm 0.15$  m에 만족했고, 4개의

표 13. 도로지역의 상대적오차 비교

(단위:m)

점 번호	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	평균계 곱근 오차
	도로 외곽선	인도	도로 분리대	도로 분리대	차선	차선	차선	차선	차선	차선	중앙분리 대 화단	중앙분리 대 화단	
해석-수치	0.1052	0.1230	0.2064	0.0522	0.0621	0.1174	0.1200	0.0650	0.2070	0.1422	0.1566	0.3564	$\pm 0.1712$

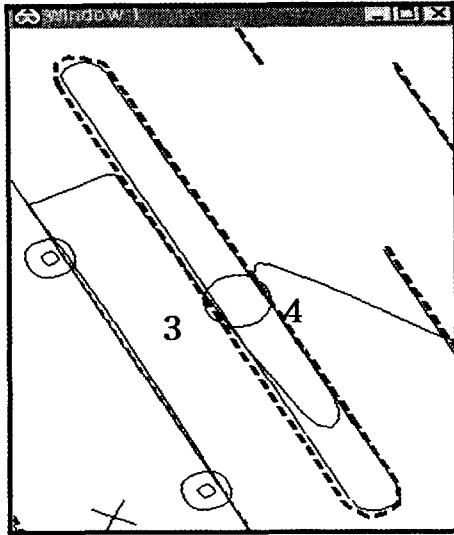


그림 21. 도로비교 D

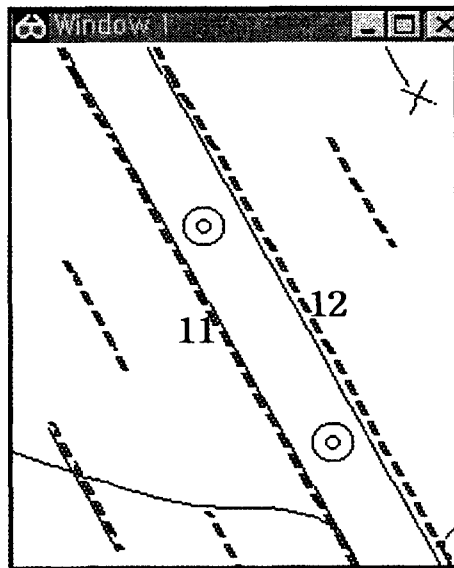


그림 22. 도로비교 E

표 14. 도로위 표고값의 상대적오차 비교 (단위:m)

점 번호	1	2	3	4	5	평균제곱근 오차
해석·수치	0.07	0.06	0.08	0.02	0.19	±0.1134

대상지역은 다소 크게 나타났다. 하지만 국립지리원의 수치지도작성 작업내규 제10조의 1:1,000 수치지도 정확도 규정 중 수치도화 최대오차인 평면 ±0.4 m, 표고 ±

표 15. 수치사진측량시스템을 이용한 도화결과

비교대상지역	평균제곱근오차	비고
고층빌딩지역	±0.2019	평면위치
밀집가옥지역_A	±0.2533	평면위치
밀집가옥지역_B	±0.2547	평면위치
밀집가옥지역_C	±0.3994	평면위치
시설물(가로수)	±0.2990	평면위치
시설물(가로등)	±0.2353	평면위치
도로지역	±0.1712	평면위치
고도값	±0.1134	표고

0.30 m 내에는 6개의 대상지역이 최대오차한계를 만족함으로 적용결과가 안정적임을 알 수 있었고 수치사진측량시스템을 이용한 수치도화가 수치지도의 수정 및 갱신에 적용 가능함을 알 수 있었다.

수치사진측량을 이용한 위치정확도 비교에서 정확도가 가장 높은 부분은 고도값으로 평균제곱근오차가 ±0.1134 m로 나타났고, 위치정확도가 가장 낮은 부분은 밀집가옥지역 C로서 평균제곱근오차는 ±0.3994 m로 나타났다. 고도값의 평균제곱근오차가 가장 낮은 것으로 보아 수치사진측량의 부점과 해석도화기의 부점의 안착(on ground)이 정밀하다는 것을 알 수 있었고, 시설물 지역 중 평균제곱근오차가 가장 낮은 지역은 도로 지역, 그 다음으로 고층빌딩지역, 시설물(가로등), 밀집가옥A, 밀집가옥B, 시설물(가로수), 밀집가옥 C지역 순으로 나타났다. 이 결과로 시설물 중 판독이 정확히 가능한 지역의 평균제곱근오차가 낮고, 밀집가옥지역처럼 도화사의 자의적 판단을 요하는 부분(건물의 몸체를 묘사하는 경우 처마는 건물로 인정하지 않음)이 많은 지역에는 평균제곱근 오차가 높은 것으로 나타났다. 시설물의 경우에도 인공적인 시설인 가로등은 평균제곱근오차가 0.2353m로 자연시설물이 가로수의 평균제곱근오차 ±0.2990m보다 낮은 것으로 나타남을 알 수 있었다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 최근 사진측량 분야에서 널리 보급되고 있는 수치사진측량시스템을 이용하여 수치지도를 수정 및 갱신하는 경우에 있어서 수치항공사진의 최적해상도를 도출하고자 하였으며, 수치사진측량 시스템에 의해 도화작업과 등고선 추출작업을 수행하고 그 결과를 해석도

화에 의한 결과와 비교, 분석함으로써 향후 국가기본도 수치지도의 수정 및 갱신에 있어서 수치사진측량시스템의 활용성을 제시하고자 하였으며, 본 연구의 수행에서 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 향후 국가기본도 수치지도의 수정 및 갱신에 기여하고자 수치사진측량시스템에 의한 수치지도의 수정 및 갱신의 작업과정을 제시하였다.

2. 1:1,000수치지도 제작을 위한 1:5,000항공사진 자동독취시에는 영상소 크기 21  $\mu\text{m}$ (약 1,200 dpi)의 수치영상을 적용하여 수치사진측량시스템에서 표정을 수행할 경우에 해석도화시의 좌표관측 정확도 10  $\mu\text{m}$  상응하는 표정정확도를 얻을 수 있었으며, 이는 수치사진측량시스템의 부영상소 단위의 관측기능에 의한 것으로 판단된다.

3. 수치사진측량에 의한 도화결과와 해석사진측량에 의한 도화결과를 고층빌딩지역, 밀집가옥지역, 시설물, 도로, 고도값에 대하여 부분적으로 대상지역을 선정하여 비교한 결과 고도값, 도로, 고층빌딩지역에서는 비교적 두 결과가 잘 일치하는 것으로 나타났다. 따라서 이러한 지역의 경우는 수치사진측량방법으로 기존의 해석도화기에 의한 작업을 충분히 대체할 수 있다는 것을 알 수 있다.

## 참고문헌

1. 국립지리원, 수치지도 위치 정확도에 관한 연구, 국립지리원, 1998, pp. 19-20.
2. 이현직, 최석근, 신동빈, 박경열, “국가기본도 수치지도 제작 데이터베이스의 품질 확보에 관한 연구”, 한국측지학회지, 1997, pp. 117-118.
3. 국립지리원, 사진측량에 의한 수치지도의 수정, 국립지리원, 1998, pp. 17-19.
4. 최석근, 이현직, “국가기본도의 수치지도제작에 관한 연구”, 경북실업전문대학 산업개발연구소, 제2집, 1996, pp. 101-103.
5. 이현직, “NGIS 구축을 위한 국가기본도 DIGITAL MAPPING에 관한 연구”, 상지대학교 논문집, 1998, pp. 302-304.
6. Egenhofer, M, J.and J. R. Haguire, Geographical Information System-Principles and Applications, Longman Scientific & Technical, Vol. a, 1991, pp. 227-237.
7. 신동빈, “수치지도 자료기반의 신뢰성 향상에 관한 연구”, 박사학위논문, 연세대학교, 1998, pp. 13-15.
8. 국립지리원, 수치지도 활용상 문제점 종합분석, 국립지리원, 1998, pp. 26-27.
9. I.M.S International Systemap Corp, The Fundamentals of Digital Photogrammetry, 1997.