

근접수치사진측량으로 수리모형해석에 적용 시 최적보간법 평가

Evaluation of the Optimum Interpolation for Creating Hydraulic Model from Close Range Digital Photogrammetry

최 현¹⁾

Choi, Hyun

Abstract

The Development of CCD has contributed to great advancement in mapping technology with giving benefits to research community of photogrammetry. The purpose of this paper is to find the best selection of interpolation method for creating a terrain model form close range digital photogrammetry. T-test as a kind of statistical analysis was conducted to analyze the similarity of hydraulic model with close range digital photogrammetry and trigonometric leveling. Also, many interpolation methods such as inverse distance, kriging, nearest neighbor and TIN about the hydraulic model interpolation were conducted to compare the results for computer to display actual terrain an optimum interpolation of the digital elevation model form close range digital photogrammetry. The results revealed that kriging and TIN interpolation were efficient methods to judge the hazard interpolation law by analyzing geometric similarity of hydraulic model against hydraulic model application.

Keywords : CCD, Hydraulic Model, Close Range Digital Photogrammetry, Interpolation, T-test, Digital Elevation Model

요 지

CCD의 개발은 사진측량에 많은 발전을 이루었다. 본 연구는 근접수치사진측량으로 수리모형해석 시 지형보간 최적분석기법에 관한 연구이다. 먼저 근접수치사진측량과 삼각수준측량으로 수리모형의 상사성을 분석하기 위해 통계분석의 일종인 T-검정을 실시하였다. 그리고 수치사진측량으로 분석한 수리모형해석을 컴퓨터로 실제지형과 비슷한 형상을 가지는 수치표고모형을 만들기 위해 역거리, 크리깅, 최근린, 불규칙삼각망 보간법 중에서 수리모형 적용에 적합한 최적 보간법을 제시하였다. 수리모형에 대한 기하학적 상사분석을 위해 보간법을 적용 결과, 크리깅 보간법과 불규칙삼각망 보간법이 효율적인 것으로 판단되었다.

핵심용어 : CCD, 수리 모형, 근접수치사진측량, 보간법, T-검정, 수치표고모형

1. 서 론

근접수치사진측량의 개발은 수치지도 작성과 지형 및 모형의 3차원 해석분야에 많은 연구가 가능하였다(Konecny, 1981; Clarke, 1994). 이재원(2003)은 근거리 수치사진측량을 이용한 국부지형모형의 생성에 관한 연구로 휴대가 간편하고 수치영상의 자체 저장능력을 가진 디지털 카메라를 이용하여 촬영조건의 다양한 변화에 따른 위치오차를 분석하며, 광속 조절을 통하여 높은 정확도의 부화소 좌표를 획득하여 3차원 모니터링을 위한 기초 자료와 근거리 수치사진측량기법의 국부지역모형생성의 활용방안을 모색하였다. 서동주(2003)는 도로정보수집을 위해 수치사진측량을 이용하였으며, 김진수(2004)는 수치사진측량기법을 이용한 토량환산계수 산정에 관한 연구로 불규

라를 이용하여 촬영조건의 다양한 변화에 따른 위치오차를 분석하며, 광속 조절을 통하여 높은 정확도의 부화소 좌표를 획득하여 3차원 모니터링을 위한 기초 자료와 근거리 수치사진측량기법의 국부지역모형생성의 활용방안을 모색하였다. 서동주(2003)는 도로정보수집을 위해 수치사진측량을 이용하였으며, 김진수(2004)는 수치사진측량기법을 이용한 토량환산계수 산정에 관한 연구로 불규

1) 정회원 · 부산대학교 생산기술연구소 특별연구원(E-mail:xhyun@pusan.ac.kr)

칙한 굴착부분의 체적측정을 정밀수치사진측량기법을 적용하여 현장시험의 신뢰성이 높고 토량환산계수 산정을 위한 합리적인 설계방법을 제시하였다. 정성혁(2005)은 산업사진측량 기법에 의한 교량 강박스 거더에 대한 정밀 측정을 실시하여 교량용 강 박스 거더의 정확한 형상을 측정함으로써 교량 가조립 시물레이션을 위한 기초자료의 제공가능성을 보여주었다. 이와 같이 수치사진측량은 수치영상(digital image)을 이용하여 GIS는 물론 지형공간에 관련된 각종 정보시스템에서 필요한 다양한 형태의 정보를 수치형태로 직접 획득할 수 있는 시스템으로서 종래에 항공사진을 이용하여 지도를 제작하는 것과는 달리 근접수치사진측량의 활용에 많은 연구가 이루어졌다.

수리모의 실험이란 각종 수문현상을 실험으로 수리학적으로 발생하는 문제점을 해결하는 것으로 수치해석과는 달리 원형(原型)의 복잡한 경계조건을 비교적 단순하게 할 수 있고, 각종 상황을 비교 검토할 수 있다. 그러나 수리모형은 제작 후 지형기록에 대한 검증은 매우 중요한 요소 중의 하나임에도 불구하고 기술상의 문제로 인하여 검증이 쉽게 이루어지지 못하고 있을 뿐만 아니라 잘못 제작된 모형으로 부정확한 결과를 나타내고 있다. 수리해석의 정확한 값을 획득하기 위해서는 하천 경사뿐만 아니라 불규칙한 지형 형상과 최대한 상사성을 가지는 검측이 필요하였다.

본 연구에서는 신속하게 디지털 카메라로 수리모형의 영상입력을 통한 수치화와 아울러 T-검정을 통해 상사모형의 유의도 분석을 실시하고 보간법에 따른 수리모형의 형상을 분석하고자 한다. 먼저 근접수치사진측량과 삼각수준측량으로 수리모형의 상사성을 분석하기 위해 통계 분석의 일종인 T-검정을 실시하였다. 그리고 수치사진측량으로 분석한 수리모형해석을 컴퓨터로 실제지형과 비슷한 형상을 가지는 수치표고모형을 만들기 위해 역거리, 크리깅, 최근린, 불규칙삼각망 보간법 중에서 수리모형 적용에 적합한 최적 보간법을 제시하고자 한다.

2. 기본이론

2.1 보간법

보간법(Interpolation)은 주변의 이미 알고 있는 값을 이용하여 미지점을 예측하는 것이다(Simon W. Houilding 2000). 벡터방식에서는 불규칙 삼각망(Triangle Irregular Network)과 같은 기법에 의하여 보간이 이루어질 수도 있

다. 보간은 알려진 점들을 이용하여 만들어진 선형식에 의하여 만들어질 수도 있고 다항식의 회귀분석이나 푸리에(fourier) 급수, 스플라인(spline), 이동평균(moving average), 크리깅(kriging) 방법 등에 의하여 될 수도 있다. 보간의 정확도는 알려진 점들의 정확도, 수, 분포상태 등에 좌우되며 사용된 수학적 모형 또는 기능이나 방정식 역시 중요한 요인이 된다. 보간법에서 예측되는 현상은 사용되는 수학적 모형 또는 기능이나 방정식 역시 중요한 요인이 된다. 보간법은 수학적 모형에 의하여 매우 정확하게 예측된다는 가정하며 모형에 의하여 미지의 값이 계산된다. 따라서 합리적인 결과 예측을 위해서 적절한 모형의 사용이 매우 중요하다. 실제 지형과 유사한 수리학적 모형이 사용될 때 가장 바람직한 결과를 기대할 수 있으며, 복잡한 모형을 적용할수록 제반 처리 비용이 많이 든다. 많은 유형의 수학적 모형이 보간법에 사용된다. 표고의 계산을 위하여 사용되는 경우와 같은 일반적인 것으로는 주변의 값을 평균하여 취하는 것으로 평균값 방식이나 거리의 역으로 비례하여 가까운 것일수록 많은 영향이 미치게 하는 가중치 방식 등이 있다. 또한 크리깅 보간법과 같이 예측될 주변의 알려진 값들의 성향을 고려하는 복잡한 방식도 있다.

1) 역거리 보간법

역거리 보간법(IDW ; Inverse Distance Weighted)은 각각의 셀에 근접한 데이터의 평균값으로부터 셀의 값을 예측한다. 셀의 중앙에 가까운 데이터에 더 큰 영향을 미친다. 이 방법은 샘플지점으로부터 거리의 영향으로 값이 감소되는 것을 의미한다. 결국 예측 값은 측정값과 가까이 위치한 경우에는 크게 영향을 받고, 멀리 있는 경우에는 영향을 덜 받게 된다. 이와 같은 관계는 식 (1)과 같다.

$$Z(s) = \frac{\sum_{i=1}^n Z(S_i) d_i^{-p}}{\sum_{i=1}^n d_i^{-p}} \quad (1)$$

여기서 Z(s) : 예측지점의 값

Z(s_i) : i번째 측정지점의 값

d_i : i번째 측정지점과 예측지점의 거리

n : 측정지점의 개수

p : 경중률의 최적치

역거리 보간법은 최적치의 값이 커질수록 예측지점과 멀리 있는 지점의 영향이 작아지며, 이 값이 작아질수록 영향이 비슷해지며 p가 0일 때는 거리의 영향을 전혀 받지 않는다. 보편적으로 p는 2를 사용하는데, 이것은 다른 값을 사용했을 때보다 예측에러가 작기 때문이다. 하지만 분석마다 조건이 다르기 때문에 p값을 달리하여 분석을 수행해야한다.

2) 크리깅 보간법

크리깅 보간법(Kriging Interpolation)은 광산분야에서 사용하기 위하여 프랑스의 수학자 George Matheron(1963) 과 남아프리카 공화국의 광산기술자로 일하던 Krige에 의해 고안되었다. 이 보간법에서 샘플지점사이의 거리 및 방향은 공간상의 상호관계를 반영하여 추측하게 되며, 이것은 지표면의 편차(variation)를 설명하는데 이용된다. 적절한 분석을 위해서는 샘플수의 지정, 샘플지점의 관심 반경, 반변이도(semivariogram)를 결정해야한다. 크리깅 보간법에서 데이터의 경중된 합을 구하기 위해 일반적으로 사용되는 공식은 식 (2)와 같다.

$$Z(s) = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(s_i) \quad (2)$$

여기서 $Z(s_i)$: i번째 지점에서 측정된 값
 λ_i : i번째 지점의 측정된 값의 경중률
 s_i : 예측지점
 n : 측정지점의 개수

대부분의 경우에 표준편차는 크기만을 갖는 스칼라 값으로 정의되어진다. 그러나 크기 및 방향을 갖는 벡터의 반변이도는 식 (3)과 같이 정의된다.

$$\gamma(h) = \frac{1}{2} \times \frac{\sum z(s_i) - z(s_i + h)^2}{N} \quad (3)$$

여기서 $\gamma(h)$: 반변이도
 $z(s_i)$: s_i 지점에서의 측정치
 $z(s_i+h)$: s_i 지점에서 거리 h만큼 떨어진 지점의 측정값
 N : 측정 개수

3) 최근린 내삽법

최근린 내삽법(Nearest Neighbor)은 원래 고도와 좌표

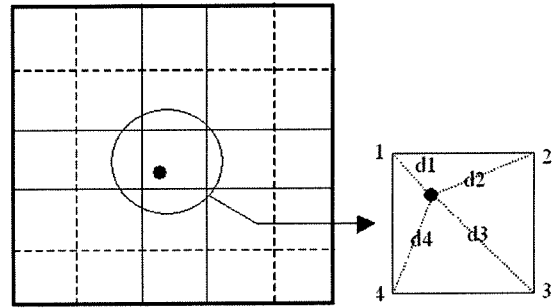


그림 1. 최근린 내삽법

가 변환된 영상이 겹칠 때 가장 가까운 화소를 좌표가 변환된 높이로 정하는 방법이다. 식 (4)로 정의되며 그림 1과 같이 최근린 내삽법의 장점은 처리속도가 빠르고, 원 영상에 화소의 DN(Digital Number)을 그대로 유지하고 있어서 후에 분류 작업이 가능하다. 반면 좌표가 변환된 영상을 보면 화소가 한개 정도 어긋나 있어 부드럽게 보이지 않고 거칠어 보인다는 단점이 있다.

$$Z(X, Y) = Z/\min(d1, d2, d3, d4) \quad (4)$$

여기서 $d_i(i=1,2,3,4)$: 최근린내삽 이전의 격자에서 변환 격자까지 거리

4) 불규칙삼각망 보간법

불규칙삼각망 보간법(Triangulated Irregular Network Interpolation)은 지표면을 3차원 공간위에 3점으로 정의한 삼각형의 조합이다. 위상구조가 다른 자료를 이용하여 각 면의 경사도와 경사의 방향등을 쉽게 측정할 수 있으며 복잡한 지형을 섬세하게 표현하므로 지형분석에서 많이 이용된다.

2.2 T-검정

T-검정은 두 모집단의 평균의 차이 유무를 판단하는 통계적 검정 방법으로, '두 모집단의 평균 간의 차이는 없다'라는 귀무가설과 '두 모집단의 평균 간에는 차이가 있다'라는 대립가설 중에 하나를 선택하는 통계적 검정 방법이다. 두 집단의 평균을 비교하는 분석방법은 크게 Z-검정과 T-검정으로 구분되는데 Z-검정은 모집단의 분산을 알고 있는 경우에 사용된다. 그러나 모집단의 분산을 알고 있는 경우는 거의 없기 때문에 T-검정을 사용하게 된다. T-검정에는 독립표본과 대응표본으로 나누는데, 독

립표본 T-검정은 두 집단의 차이를 알아보기 위해 사용되는 분석방법이다. 대응표본 T-검정은 독립표본 T-검정과 달리 동일한 집단에 있어 두 집단의 평균차이가 통계적으로 유의미한지를 파악할 때 사용되며 이때 독립변수는 두 개의 집단이어야 하며 종속 변수는 반드시 등간 척도 이상이어야 한다.

3. 수리모형의 수치화

3.1 연구대상지역 및 방법

연구대상지역은 그림 2에 나타난 바와 같이 부산광역시 기장군 장안읍 좌광천의 좌일교 지점에서부터 좌광철도교까지이며 하천지형을 축소시킨 수리모형에 대한 촬영을 하였다.

수리모형은 그림 3에서 보는 바와 같이 3차원 수리모형 연구실에서 기존에 제작된 것으로 폭은 약 1.4m 길이는 약 3.1m로 10개의 기준점 타깃과 200개의 원형타깃을 부착하여, 기준점을 측량을 실시 후 200개의 원형타깃으로 카메라 촬영 위치 및 방향을 대칭으로 하여 일정부분을 중복도를 주고 촬영하여 10장의 영상을 취득하였다. 수치영상의 촬영방향이 3차원 공간에서 대략 60°~90°의 각도를 이루고, 각 수치영상에 대상점이 최소 7개 이상 골고루 분포할 수 있도록 중복하여 수리모형을 촬영하였다. 다음으로 근접수치사진측량의 정확성을 검증하기 위해 Total Station으로 측량하였다. 그림 3은 연구대상지역

의 수리모형을 나타내고 있다.

본 연구에서는 Rollei metric 카메라를 이용하여 3차원 지형정보를 취득하여 수리모형을 분석하였다. 먼저 축소 모형에 대하여 근접수치사진측량을 실시한 후, 영상좌표를 사진좌표로 변환 시키고, CDW(Close-range Digital Workstation) 프로그램을 이용하여 공액점들의 좌표와 공선조건식을 통한 촬영점의 위치를 결정하는 후방교회법(resection)과정과 이를 통한 관측점의 3차원 위치를 결정하는 전방교회법(intersection)과정의 다중정합표점과 광속조정법을 통해 3차원 좌표 및 외부표점 매개변수를 결정하였다. 정확도 검증을 위해서 그 결과를 보간기법별로 적용하여 수리모형의 3차원 형상을 시각화하였다. 또한 근접수치사진측량의 정확도 검증을 위해 Sokkia에서 제작된 장비를 이용하여 삼각수준측량결과와 비교 검토하였다(그림 4).

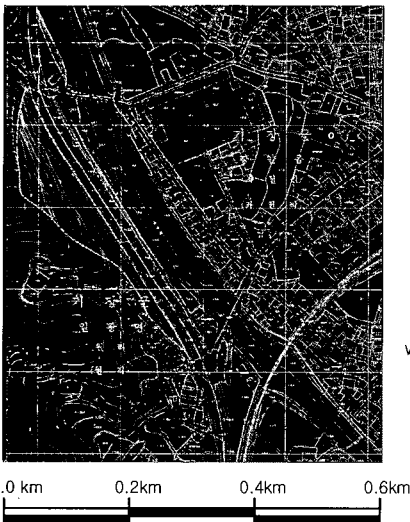


그림 2. 연구 대상지역

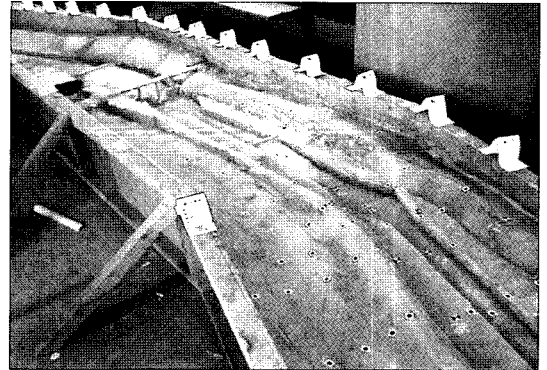


그림 3. 연구대상지역의 수리모형

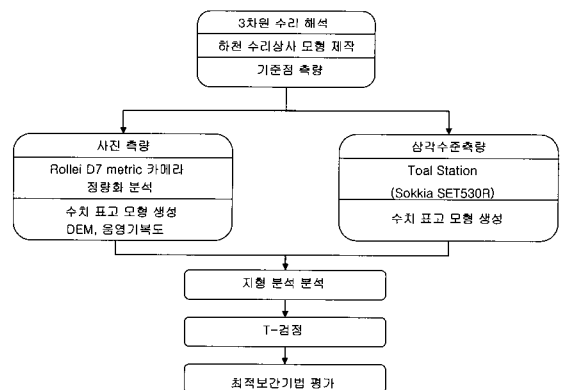


그림 4. 연구방법

3.2 수치사진측량 시스템

그림 5는 수리모형을 해석하기 위해 사용된 Rollei d7 카메라의 형상 및 제원을 나타내며 해상도는 100만화소이다. 수치사진측량에서 기초적으로 중요한 부분이 카메라 렌즈의 검증이다. 카메라의 렌즈는 제작할 때에 상황에 따라 제원들이 근소한 차이로 값이 변화하고, 시간이 지남에 따라 변화하므로 촬영 전에 반드시 카메라의 보정이 필요하다. 카메라의 보정은 Rollei Fototechnic(1998)의 값을 사용하였다. 여기서 cK는 검정된 초점거리이며, xH, yH는 주점좌표, A1, A2는 방사대칭 왜곡 매개변수, R0는 방사왜곡이 0일 때 주점까지의 반지름을 나타낸다. 주점거리는 -7.584mm이며, 기본 영상화소의 좌표는 X방향으로 0.32892mm, Y방향으로는 0.08383mm이다. 그리고 방사왜곡의 매개변수는 $A1 = -2.264 \times 10^{-3}$, $A2 = 4.490 \times 10^{-5}$ 이며, 렌즈의 중심에서 방사왜곡이 영이 되는 지점이 3.0mm로 나타났다.

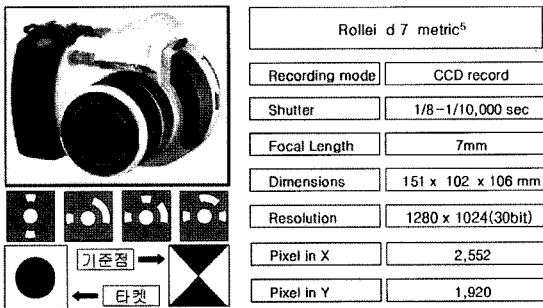


그림 5. Rollei d7카메라 및 제원

표 1. Total Station의 제원

모델		SET 530R	
광학 제원	배율	30 x	
	분해력	3"	
	시계	1°30'	
	최단 초점 거리	1.3m	
거리 측정	측정범위	무타깃	100m이상
		반사 시트 타깃	500m
		반사프리즘	6,000m
	정도	$\pm\{3+2\text{ppm} \times D\}$ mm	
각측정	각 표시	1"/5"	
	정도	5"	

4. 자료 처리 및 결과 분석

4.1 기준점 측량

본 연구에서는 수치영상처리 시스템의 광속조정법에서 얻어진 지상좌표의 정확도를 분석하기 위해 상사모형에 대해서 삼각수준측량방법으로 기준점에 대한 측량을 실시하여 상대좌표 기준점 측량 성과를 얻었다. 실험대상지역에서 사용된 기준점은 10점으로 각 기준점에 대하여 3차원 좌표를 최소 5"까지 읽을 수 있는 Total Station으로 정밀하게 관측하였다. 기준점 측량에 사용된 Total Station은 SOKKIA사에서 제조한 장비를 사용하였으며, 그림 6의 (a)는 수리모형의 관측기준점 위치, (b)는 관측장비인 SOKKIA 530R의 제원을 설명한 것이다. 표 1은 SOKKIA 530R의 장비 제원을 나타내며 관측결과 좌표는 표 2에서 나타낸다.

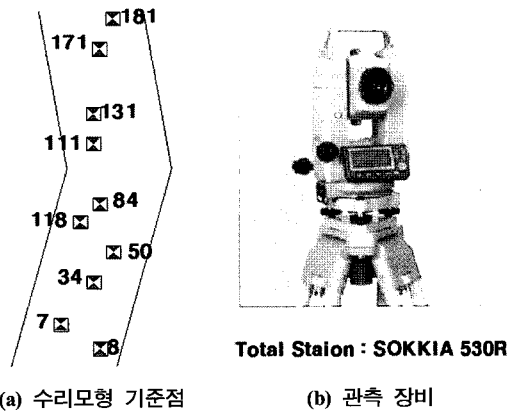


그림 6. 수리모형 기준점과 관측 장비

표 2. 기준점 측량 결과 [3D Coordinate]

수리모형 기준점	X(m)	Y(m)	Z(m)
7	10.279	10.790	9.838
8	10.000	10.825	9.727
34	9.993	10.385	9.736
50	9.780	10.248	9.849
84	9.883	9.838	9.780
111	9.973	9.360	9.751
118	10.069	9.883	9.743
131	9.925	9.092	9.776
171	9.801	8.221	9.797
181	9.578	7.990	9.833

4.2 수리모형의 근접수치사진측량

본 연구에서는 수리모형을 전체적으로 재현하기 위해 카메라의 촬영 위치 및 방향을 대칭으로 하였으며 그림 7과 같이 각각의 지점에서 촬영한 수치영상의 촬영방향은 3차원 공간에서 대략 60-90°의 각도가 이루어지게 10장의 영상을 촬영하였다. 근접수치사진측량은 미세한 흔들림에도 큰 오차가 발생하므로 카메라 흔들림 방지를 위해 삼각대를 세워 옮겨가며 촬영하였으며 각 수치영상에 대상점이 최소 7개 이상 골고루 분포할 수 있도록 중복하여 수리모형을 촬영하였다.

수리모형의 정확도를 높이기 위해 그림 8과 같이 굴곡이 심한 부분은 직선부분에 비해 조밀하게 타깃을 설치하였다.

수리모형에 대한 근접수치사진측량 후 수치영상자료처

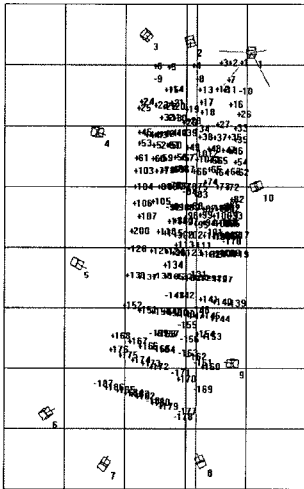


그림 7. 근접수치사진측량을 위한 카메라 위치와 측점

리를 위해 CDW 프로그램을 이용해서 처리하였다. 보정된 내부표정요소와 촬영시 기록된 카메라의 개략적인 위치를 입력한 후 10장의 영상에 있어서 표정점 200개의 상좌표를 측정된 후 중복 측정된 상좌표는 공선조건을 기초로 한 다중영상표정에서 후방교회법과 전방교회법을 동시에 수행하고, 광속조정법에 의해 대상점의 3차원 좌표 및 외부표정 매개변수를 결정하였다. 표 3은 각 영상에 대한 외부표정요소를 나타내고 있다.

그림 9는 수리모형에 대한 지상좌표 200점 중 근접수치사진측량과 삼각수준측량결과에 따른 편차가 많은 12점은 제외한 188점을 취척하여 삼각수준측량성과를 CAD (Computer Aided Design)화면에서 나타난 3차원 등고선도와 평면도이다. Total Station을 기준으로 측정된 원형 타깃에 대한 평균제곱근오차를 비교분석한 결과 X에서 1.90mm, Y에서 2.03mm 그리고 Z는 5.15mm정도의 차이를 나타내었다.

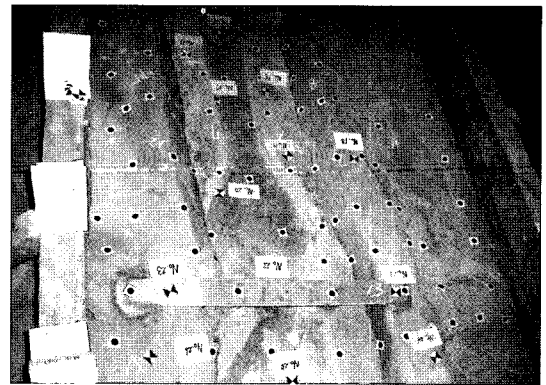


그림 8. 타깃 설치

표 3. 외부표정요소

No	X(m)	Y(m)	Z(m)	Axis	Tilt	Swing
1	2.472	11.053	1.099	-72° 08' 56"	173° 56' 17"	-28° 51' 47"
2	1.939	11.156	1.153	-74° 24' 53"	207° 11' 00"	-9° 11' 03"
3	1.548	11.205	1.259	-71° 10' 19"	234° 22' 12"	-20° 24' 28"
4	1.120	10.359	1.058	-61° 07' 41"	277° 16' 06"	-21° 06' 46"
5	0.946	9.211	1.069	-54° 25' 53"	270° 19' 10"	-1° 53' 36"
6	0.672	7.877	1.080	-53° 09' 21"	-66° 37' 54"	-12° 31' 19"
7	1.189	7.4298	1.270	-57° 37' 19"	-33° 05' 36"	4° 28' 45"
8	2.039	7.452	1.000	-56° 53' 05"	27° 32' 35"	2° 43' 38"
9	2.320	8.317	0.988	-62° 46' 10"	86° 22' 08"	-13° 05' 53"
10	2.526	9.884	0.977	-61° 26' 45"	112° 59' 00"	-12° 09' 56"

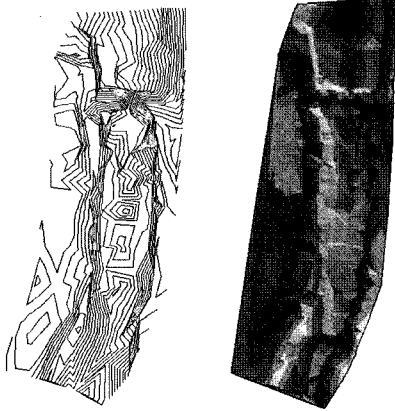


그림 9. 연구대상지역의 등고선도와 수치표고모형

4.3 유의도 분석

3차원수리상사모형 제작 시 근접수치사진측량과 삼각수준측량의 상사성 분석을 위해 통계분석의 일종인 T-검정에 대한 분석을 실시하였다. T-검정이란 두 집단의 평균차이를 검증하는 통계분석기법으로 상사분석에 많이 이용된다(최현, 2005). 표 4는 근접수치사진측량과 삼각

수준 측량의 결과에 대한 편차의 일부분을 나타낸 것이며 표 5는 근접수치사진측량과 삼각수준측량의 유의도 분석을 위해 고도에 따른 최대, 최소, 평균 그리고 표준편차를 분석한 것이다. 표준 편차는 통계분석 결과에 대한 분포를 나타내는 도수 특성치로 유의도 분석에서 통계분석에서 중요한 분석중의 하나이다. 삼각수준측량의 표준편차는 0.499mm 근접수치사진측량의 표준편차는 0.489mm로 나타났다.

표 6에서 수치데이터획득 방식에 따른 X에 대한 T-검정 결과는 0.005, Y는 0.152, Z는 0.474로 $p > 0.05$ 이므로 수치데이터 획득방식에 따른 상사모형에 대한 상사성은 통계적으로 유의미한 차이를 보이지 않았다. 따라서

표 5. 고도에 따른 표준편차 비교 (단위 : mm)

	삼각수준측량	근접수치사진측량
최소값	74.0	73.0
최대값	95.0	93.0
평균	86.2	85.9
표준편차	0.499	0.489

표 4. 근접수치사진측량과 삼각수준 측량 비교

측점	근접수치사진측량			삼각수준 측량			편차		
	x	y	z	x	y	z	x	y	z
1	-0.032	-9.727	0.732	-0.042	-9.719	0.728	0.009	-0.008	0.005
2	0.171	-10.596	0.864	0.167	-10.600	0.850	0.004	0.003	0.014
3	0.132	-10.602	0.804	0.138	-10.601	0.807	-0.006	-0.001	-0.004
4	0.167	-10.443	0.854	0.169	-10.433	0.851	-0.001	-0.011	0.003
5	0.132	-10.451	0.800	0.121	-10.449	0.780	0.011	-0.003	0.020
6	0.162	-10.336	0.849	0.162	-10.373	0.839	0.000	0.037	0.010
7	0.125	-10.338	0.794	0.125	-10.364	0.792	0.000	0.026	0.002
8	0.139	-10.268	0.818	0.137	-10.290	0.808	0.001	0.022	0.010
9	0.159	-10.207	0.844	0.160	-10.243	0.839	0.000	0.036	0.005
10	0.118	-10.206	0.789	0.116	-10.242	0.786	0.002	0.036	0.004
11	-0.200	-10.315	0.787	-0.200	-10.345	0.781	0.000	0.030	0.007
~	~	~	~	~	~	~	~	~	~
182	0.266	-9.076	0.848	0.256	-9.059	0.803	0.010	-0.016	0.045
183	-0.384	-8.965	0.822	-0.398	-8.951	0.799	0.014	-0.014	0.023
184	-0.262	-8.967	0.802	-0.282	-8.967	0.778	0.020	0.000	0.024
185	-0.044	-8.957	0.730	-0.065	-8.950	0.694	0.021	-0.007	0.036
186	0.196	-8.930	0.809	0.196	-8.922	0.778	-0.001	-0.008	0.032
187	0.280	-8.930	0.863	0.276	-8.908	0.825	0.004	-0.022	0.038
188	0.381	-8.932	0.909	0.370	-8.918	0.861	0.012	-0.015	0.049

표 6. T-검정에 의한 유의도 분석 결과

좌 표	T-검정 (df= 374)	P	95% 신뢰 구간		
			최저	최고	
x	사진측량	0.005	0.996	-0.058	0.058
	삼각수준			-0.058	0.058
y	사진측량	0.152	0.880	-0.152	0.177
	삼각수준			-0.152	0.177
z	사진측량	0.474	0.636	-0.007	0.011
	삼각수준			-0.007	0.011

여기서) T : 분산분석, df : 자유도, P : 유의도 (P > 0.05)

유의도 분석 X, Y, Z 좌표에 대하여 P > 0.05로 유의미한 결과를 가지지 않으므로 큰 차이가 없으므로 나타났으며 3차원수리상사모형을 정확한 방향으로 보완해 가는데 활용이 가능할 것으로 판단된다.

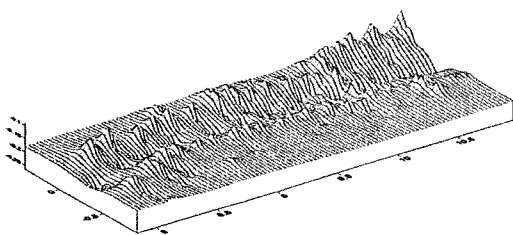
4.4 보간 기법에 따른 수리모형 해석

수치사진측량으로 분석한 수리모형을 컴퓨터로 실제지형과 비슷한 형상을 가지는 정성적 분석을 위해서 수치표고모형에 대한 보간이 필요하다. 수치표고모형에 대한 보간법은 역거리 보간법, 크리깅 보간법, 최근린 내삽 보간법, 불규칙삼각망 보간법으로 분석하였으며 그림 10은 보간법에 따라 생성된 수리모형을 수치표고모형으로 나타낸 것이며 그림 11은 수치표고모형에서 보간법에 따라

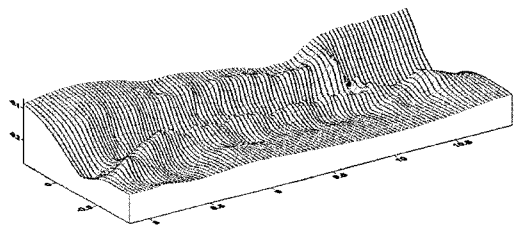
생성된 방향도를 나타낸 것이다.

역거리 보간법은 절대적인 위치의 값을 계산할 때 관측 거리보다 가까운 점을 추정점으로 하고 영향을 미치는 범위 내 기준점 사이의 지형학적 관계 요소로 거리역수에 대한 가중치를 적용한 후 경중를 고려하여 보간한다. 그림 10(a)에서 불연속 경사면은 연속 경사면과 동일한 결과를 이루어낼 수 없으며, 거리가 너무 멀거나 너무 가까운 값은 전체적 평균을 구할 때 상당한 영향을 주므로 지역적으로 세밀하지 못했다. 또한 그림 11(a)는 역거리 보간에 의한 방향 벡터분석 결과를 나타내는데 하류에서는 수리모형과 다른 역방향성이 발생함을 알 수가 있었다.

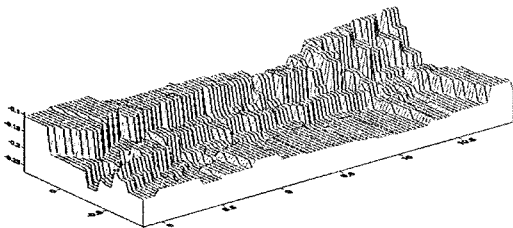
크리깅 보간법은 원래 지질 통계학적 분야에서 널리 이용되었던 기법으로 현재는 지형정보 분야에 폭넓게 활용되고 있다. 이 방법은 관측점이 불규칙한 경우에 등고선이나, 곡면의 보간 등에 유용하다. 자료특성은 분산도분석에 따라 나타내므로 적절한 분산도 모형이 설정되어 있으면 보다 실제지형과 유사하게 보간이 가능하다. 대상영역에서 관측 자료가 급작스럽게 변하거나 변동이 심하여 국부적인 형태를 나타내고자 할 경우 이용되며, 따라서 관측점이 희소하여 자세한 자료가 없으며 보간 영향은 크지 않은 것으로 나타났다. 그림 10(b)는 크리깅 보간법을 적용한 수리모형을 수치표고모형으로 나타낸 것으로 역거리보간법과 최근린 보간법과는 다르게 경사면이 연속적임을 알 수가 있었다. 그리고 그림 11(b)에서 벡터분석



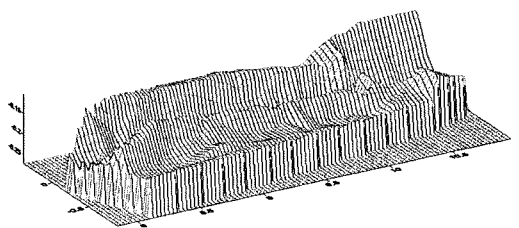
(a) 역거리 보간법



(b) 크리깅 보간법



(c) 최근린 내삽 보간법



(d) 불규칙삼각망 보간법

그림 10. 보간법에 따른 수치표고모형

결과 실제 수리모형과 비슷한 방향을 가지고 있음을 알 수가 있었다.

최근린 보간법은 절점에 대한 값을 각각 격자 결정점에 부여하는 방법으로 자료가 이미 격자 위에 있는 경우라면 격자과일로 변환할 때에 유용하며, 자료가 조금 떨어진 상태로 격자 상에 있는 경우에는 자료상의 공백을 보간하는데 효과적이다. 표면이 지역적으로 서로가 연속적이면서 공간적으로 가까운 거리에 위치한 지역 점들은 상관관계를 가지고 있다. 그러나 그림 10(c)에서 보는바와 같이 불규칙적인 표면에 넓게 분포된 점들은 독립적인 경향을 보이고 있을 뿐만 아니라 그림 11(a)와 같이 불규칙한 방향성을 가지고 있었다.

불규칙삼각망 보간법은 수치모형이 가지는 자료의 중복을 줄일 수 있으며, 지형공간정보체계와 자동지도제작, 그리고 등고선 처리 프로그램과 같은 여러 분야에서 많이 사용되고 있는 방법이다. 고도 행렬과 달리 불규칙삼각망은 기복의 변화가 작은 지역에서 절점의 수를 적게 하고, 기복의 변화가 심한 지역에서는 절점의 수를 증가시킴으로써 자료량을 조절한다. 그림 10(d)는 불규칙삼각망으로 보간한 수리모형으로 그림 10(b)와 유사한 형상을 가지고 있었으며 그림 11(d)의 방향분석은 그림 11(b)와 비슷한 방향성을 가지고 있었으며 불규칙 삼각망 보간법이 유로형상이 더 비슷하게 나타났다.

4.5 고찰

현재 수리모형 제작의 일반적인 과정은 지형도는 하천 경계에 대한 정보만 있기 때문에 지형도와 하천정보 획득을 위해서 현장측량을 동시에 실시한 후 취득된 좌표를 기준으로 이형축척으로 제작하여 실제 지형과 유사하게 제작되고 있다. 모형제작 후 검증은 수준측량을 실시하기 때문에 수리학에 있어서는 복잡한 수리현상을 나타내기 어려울 뿐만 아니라 지형학적 모든 요소를 포함시킬 수 없다. 수리모형과 실제지형의 상사성에는 기하학적 상사성, 운동학적 상사성, 역학적 상사성이 있으며 세 가지가 일치되면 모형과 원형은 수리학적으로 완전한 상사성이 성립되고, 모형에서의 측정치는 일정한 환산율을 곱하면 원형의 값으로 환산할 수 있게 된다. 일반적으로 수리모형 해석에서 보통 사용하는 방법은 현상 중에서 가장 영향이 큰 것만을 고려하여 수식을 만들고 비교적 영향이 작은 것은 무시하며, 수리실험으로 이론식을 수정하고 실제에 가깝도록 정도를 높이는 것이 일반화 되어 있다. 수리모형에 대한 근접수치사진측량을 적용한다면 수리모형에서 발생하는 기하학적 현상을 쉽게 관찰할 수 있을 뿐만 아니라 수리모형의 정확도를 분석함과 동시에 수리실험을 보다 과학적이고 합리적인 상사모형의 제작이 가능할 것으로 판단된다. 따라서 수리모형 제작 시 그림 12와 같은 공정으로 제작한다면 정확도에 관한 분석이 가능할 뿐만 아니라 수리실험 시 보다 정확한 결과를 가져올 것이다.

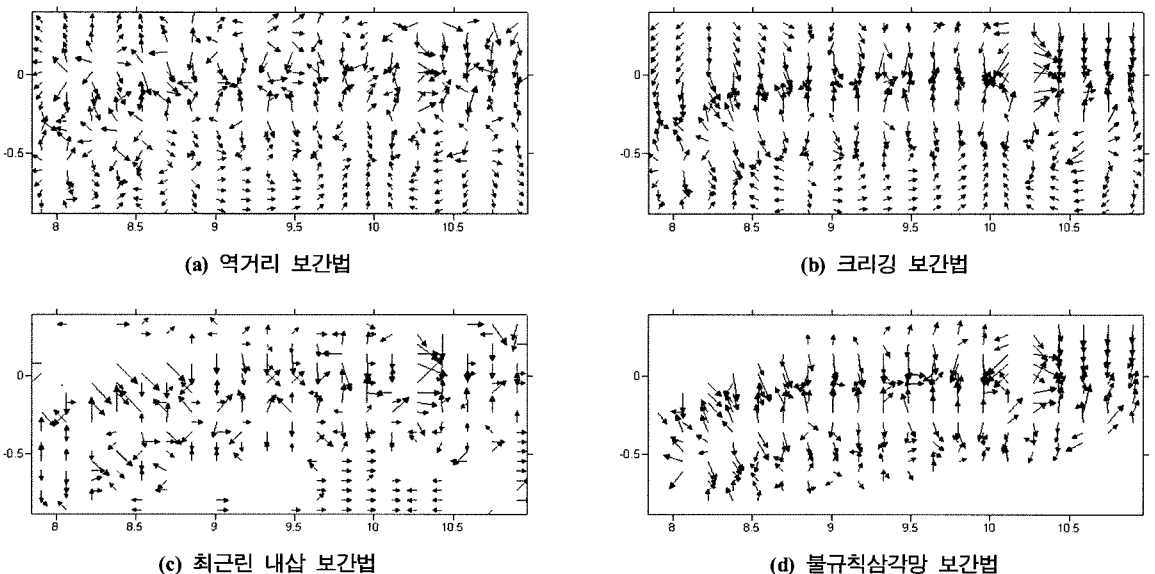


그림 11. 보간법에 따른 방향도

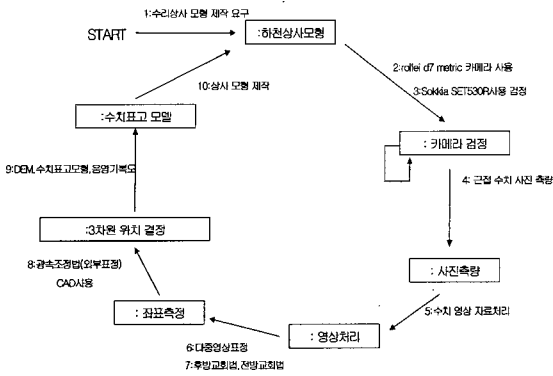


그림 12. 수리모형의 상사분석을 위한 최적 분석 방안

5. 결 론

본 연구는 근접수치사진측량으로 수리모형해석 시 지형보간 최적기법분석에 관한 연구로 다음과 같은 결론을 얻었다.

첫째, 수리모형에서 기하학적 정보제공이 가능한 수치사진측량분석으로 대상물에 대한 정량화된 지형형상의 분석이 가능하였으며 정밀 측정 및 시각적인 분석의 극대화가 가능하였다.

둘째, 수리모형에서 근접수치사진측량과 삼각수준측량의 유의도 분석결과 X, Y, Z 좌표에 대하여 $P > 0.05$ 로 유의미한 효과가 없으므로 큰 차이가 없는 것으로 나타났으며 수리모형을 정확한 방향으로 보완해 가는데 활용 가능할 것으로 판단된다.

셋째, 수리모형에 대한 기하학적 상사성 분석을 위해

역거리, 크리깅, 최근린, 불규칙삼각망 보간법을 적용한 결과 불규칙삼각망 보간법이 가장 효율적일 것으로 판단된다.

참고문헌

- 이재원, 홍순현, 김정희, 정공운 (2003), 근거리 수치사진측량을 이용한 국부지형모형의 생성, 한국측량학회지, 제 21권, 제 2호, 한국측량학회, pp. 147-154.
- 김진수, 서동주, 이종출 (2004), 수치영상을 이용한 교통사고차량 변형해석, 대한토목학회논문집, 제 24권, 제 1D호, 대한토목학회, pp. 9-105.
- 서동주 (2003), 수치사진측량에 의한 도로정보체계 개발, 박사학위논문, 부경대학교, pp. 11-41.
- 정성현, 박찬홍, 이재기 (2004), 산업사진측량에 의한 자동차의 외형정밀측정, 한국측량학회지, 제 22권, 제 2호, 한국측량학회, pp. 179-186.
- 최현, 강인준, 홍순현 (2005), 3차원수리상사모형 해석을 위한 근접수치사진측량의 적용에 관한 연구, 대한토목학회논문집, 제 25권, 제 3D호, 대한토목학회, pp. 495-501.
- Clarke, T.A. (1994), An Analysis of the Properties of target Used in Digital Close Range Photogrammetric Measurement, *SPIE VideoMetricIII*, Vol. 2350, pp. 251-262.
- Konecny, G. (1981), Development of Photogrammetric Instrumentation and Its Future, *Finish Society of Photogrammetry, 50th Anniversary Publication*, pp. 21-48.
- Matheron, G. (1963), Principles of geostatistics. *Economic Geology and the Bulletin of the Society of Economic Geologists*, Volume 58, pp. 1246-1266.
- Rollei Fototechnic GmbH (1998), *Rolleiflex 6006 User's Manual*, Rollei, pp. 1-7.
- Simon W. Houlding (2000), *Practical Geostatistics Modeling and Spatial Analysis*, Springer, pp. 52-56.

(접수일 2005. 7. 15, 심사일 2005. 8. 1, 심사완료일 2005. 9. 1)