

# 지상기준점을 이용한 TIN기반 기하보정방법에 관한 연구

## A Study on geometric correction using GCP

서지훈\* · 정수\*\* · 김경옥\*\*\*

Seo, Ji-Hun · Jeong, Soo · Kim, Kyoung-ok

### 要 旨

위성으로 취득되는 영상이 원천적으로 가지게 되는 기하적, 물리적인 왜곡을 제거하기 위해서는 보정 과정이 필요하다. 기하 보정 방법에는 시스템 기하보정과 지상기준점을 이용한 기하보정 방법이 있는데, 본 논문에서는 지상기준점을 이용한 보정 방법에 대해 기술하고 TIN 단위로 기하보정하는 방법을 제안한다. 영상과 지상기준점과의 수학적인 상관 관계를 이용하여 왜곡을 보정하는 방법으로서 평면 전체를 변환시키는 평면기하보정이 주로 사용되어 왔으나, 이것은 지형 변화가 큰 지역의 왜곡을 제대로 보정하지 못하는 단점이 있다. 본 논문에서는 이를 보완하기 위해 TIN단위의 기하보정 방법을 제안하고 평면기하보정 방법과 결과를 비교하며, 지상기준점과의 상관성을 분석한다.

### Abstract

The mainly used technique to rectify satellite images with distortion is to develop a mathematical relationship between the pixel coordinates on the image and the corresponding points on the ground. By defining the relationship between two coordinate systems, a polynomial model is designed and various linear transformations are used. These GCP based geometric correction has performed overall plane to plane mapping. In the overall plane mapping, overall structure of a scene is considered, but local variation is discarded. The highly variant height of region is resampled with distortion in the rectified image. To solve this problem, this paper proposed the TIN-based rectification on a satellite image. The TIN based rectification is good to correct local distortion, but insufficient to reflect overall structure of one scene. So, this paper shows the experimental result and the analysis of each rectification model. It also describes the relationship GCP distribution and rectification model. We can choose a geometric correction model as the structural characteristic of a satellite image and the acquired GCP distribution.

### 1. 서론

위성의 움직임의 변화와 영상 시스템의 내부적인

특성, 기하학적 함수(geodetic function)에 따른 오류  
등은 센서에 의해 취득된 장면(scene)을 영상으로 취  
득할 때 왜곡이 생기게 하는 요인이다(W.pilot,2001)[1].

\* 한국전자통신연구원 공간정보기술센터, E-mail : [imfri@etri.re.kr](mailto:imfri@etri.re.kr)

\*\* 한국전자통신연구원 공간정보기술센터, E-mail : [soo@etri.re.kr](mailto:soo@etri.re.kr)

\*\*\* 한국전자통신연구원 공간정보기술센터, E-mail : [kokimetri.re.kr](mailto:kokimetri.re.kr)

이렇게 취득된 위성 영상을 가공하여 응용할 때 왜곡을 보정할 필요가 있다. 왜곡을 처리하는 과정으로 보정의 원인을 체계적으로 분석한 결과를 사용하여 보정하는 시스템 보정처리와 지상기준점을 이용하여 보정하는 보정처리가 있다. 시스템 보정은 왜곡의 모든 원인을 정확히 분석하여 왜곡된 영상을 원상태로 역변환하는 것이므로 일단 역변환 체계를 구하기만 하면 같은 체계에 포함된 모든 영상의 왜곡을 쉽게 보정할 수 있다는 장점이 있다. 그러나 모든 왜곡의 원인을 분석하는 것이 쉽지 않고, 지형의 기록이 심한 경우 정밀한 보정이 어렵다는 단점이 있다. 지상기준점을 이용한 보정은 왜곡의 원인을 고려하지 않고 영상과 기준 지도 간의 맵핑(mapping) 관계를 수학적으로 정의하여 왜곡을 보정하는 처리 방법이다. 지상기준점을 이용한 기하보정은 왜곡의 원인을 모르거나 분석이 어려운 경우에도 사용할 수 있고, 정확한 지상기준점만 선택되면 시스템 보정보다 더 정확하게 영상을 보정할 수 있는 장점이 있다. 그러나 지상기준점의 선택에 따라 보정 결과가 크게 달라진다는 단점이 있다.

본 논문은 지상기준점을 이용하여 영상의 기하학적인 왜곡을 보정하는 방법을 살펴보고 각 변형 방법에 따른 결과 및 적용 범위 등을 살펴본다. 지상기준점을 이용한 기하보정은 평면 전체의 변환을 고려하는 평면기하보정이 주로 사용되었으나, 지형 변화가 크거나 다른 지역에 비해 변화율이 높은 지역의 왜곡을 제대로 보정하지 못하는 단점이 있다. 이를 보완하기 위해 TIN단위로 기하보정을 수행하는 방법을 제안하고 결과를 분석한다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. 2절에서 평면기하보정 방법을 설명하고, 3절에서 평면기하보정의 단점을 보완하기 위한 TIN 기반의 기하보정 방법을 소개한다. 4절에서 평면기하보정의 단점을 TIN기반 기하보정이 보완할 수 있는가의 판단을 위해 실험 결과를 수치적으로 분석하고 5절에서 결론 및 향후 과제를 소개한다.

## 2. 평면기하보정

평면기하보정은 지상기준점과 그것에 대응되는 영

상기준점 사이의 수학적인 함수 관계를 이용하여 영상의 왜곡을 보정하고 재생산(resampling)하는 방법이다. 지상기준점은 (X,Y) 평면 상의 점들로 간주하고, 그에 대응되는 영상의 기준점들은 (u,v) 평면상에 있다고 가정할 때, 두 좌표계간의 대응 관계를 변환식을 이용하여 표현할 수 있다. 기하보정을 위한 변환방법에는 affine, conformal, pseudo-affine, projective transformation 등의 선형적 변환 방법과 n차 다항식을 이용한 변환 방법이 있다(Pilot, 2001; Vorrawat, 1997; CSIRO, 2001; Lathrop, 1999; aizona univ., 2001)[1][2][3][4][5]. 각각의 변환방법과 특성들을 살펴보자. 먼저 Affine 변환은 다음과 같이 표현된다.

$$\begin{aligned} u &= a_1x + b_1y + c_1 \\ v &= a_2x + b_2y + c_2 \end{aligned} \quad (1)$$

식(1)에서 6개의 affine 파라미터를 구하기 위해 3쌍 이상의 지상기준점과 대응되는 영상기준점이 필요하다. Affine 변환보다 제약적인 conformal 변환은 4개의 파라미터로 변환 관계를 나타낸다. Conformal 변환은 식 (2)와 같이 표현되며 conformal 파라미터를 구하기 위하여 2쌍 이상의 지상기준점과 영상기준점이 필요하다.

$$\begin{aligned} u &= ax + by + c \\ v &= -bx + ay + d \end{aligned} \quad (2)$$

Affine 변환의 bilinear형태인 pseudo-affine 변환은 8개의 파라미터로 대응 관계를 나타내며, 식(3)과 같이 표현된다. Pseudo-affine 파라미터를 구하기 위해서는 4쌍 이상의 대응점들이 필요하다.

$$\begin{aligned} u &= a_1x + b_1y + c_1xy + d_1 \\ v &= a_2x + b_2y + c_2xy + d_2 \end{aligned} \quad (3)$$

위에서 설명한 변환 방법보다 상위의 변환 방법인 Projective 변환 방법은 지상기준점과 대응되는 영상기준점간의 관계를 비선형으로 나타내며 8개의 파라미터로 표현된다. Projective 변환 방법은 식(4)와 같다.

$$\begin{aligned} u &= (a_1x + b_1y + c_1)/(a_3x + b_3y + 1) \\ v &= (a_2x + b_2y + c_2)/(a_3x + b_3y + 1) \end{aligned} \quad (4)$$

Projective 변환을 선형식으로 유도하면 식(5)와 같이 표현되며 식(4)와 마찬가지로 8개의 파라미터를 사용한다.

$$\begin{aligned} u &= a_1x + b_1y + c_1 - a_3xu + b_3yu \\ v &= a_2x + b_2y + c_2 - a_3xv + b_3yv \end{aligned} \quad (5)$$

Projective 파라미터를 구하기 위해서는 4쌍이상의 지상기준점과 영상기준점이 필요하다. 마지막으로 평면기하보정의 가장 일반적인 방법은 지상기준점과 영상기준점들의 관계를 n차 다항식으로 정의하여 변환 계수를 구하는 것이다. n차 다항식은 식(6)과 같이 나타내며 n/2쌍 이상의 지상기준점과 영상기준점이 필요하다.

$$\begin{aligned} u &= c_1 + \sum_{j=0}^n \sum_{k=0}^{n-j} a_{jk} x^j y^k \\ v &= c_2 + \sum_{j=0}^n \sum_{k=0}^{n-j} b_{jk} x^j y^k \end{aligned} \quad (6)$$

1차 다항식의 경우 affine 변환과 동일하다.

### 3. TIN기반 기하보정

평면기하보정은 기상기준점과 영상에서 대응되는 기준점 사이의 관계를 수학적 함수로 표현하고 Least-square를 이용하여 변환 관계를 구한다. 이러한 평면전체의 변환 방법은 변화가 큰 국부적인 영역이 전체 변형에 영향을 미칠 수 있으며, 그 영역에서의 왜곡을 제대로 보정하지 못하는 결과를 초래한다. 이러한 단점을 보완하기 위해 지상기준점들을 이용하여 TIN을 구성하고 각 TIN에 대해 2절에서 설명한 변환 방법을 적용하면, TIN 단위의 평면기하보정이 된다. 각 TIN에서 얻을 수 있는 지상기준점과 영상 기준점은 3쌍이므로 7개 이상의 파라미터로 변환식을 구성하는 Pseudo-affine, Projective 변환과 2차 이상의 다항식 변환 방법은 적용할 수 없다. TIN 단위 기하보정의 개념은 그림 1에서 알 수 있듯이, 각 TIN마다 변형 파라미터를 계산하여 TIN 단위로 영상을 보정하고 재생성(resampling)하는 것이다.

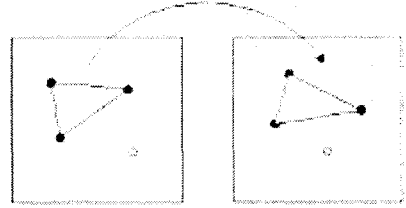


그림 1. TIN 단위의 기하보정

Delauney triangulation 방법을 이용하여 지상기준점들로 TIN을 구성하고 각 지상기준점에 대응되는 영상기준점들로 영상에서 삼각형 조각(patch)을 구성하면 TIN단위의 평면기하보정을 수행할 수 있다. 그림2는 논산 지역의 KOMPSAT영상이며, Affine 변환을 적용하여 TIN단위로 기하보정한 후 얻은 영상은 그림3이다. 그림4의 평면기하보정 결과 영상과 달리 TIN기반 기하보정은 TIN이 구성되지 않는 경계 바깥 부분에 대해서는 보정할 수 없다.

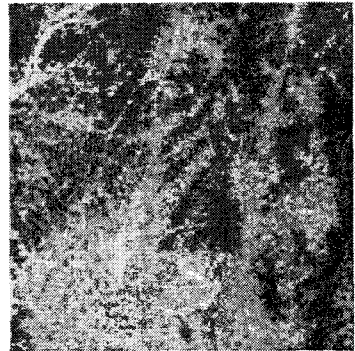


그림 2. KOMPSAT 입력 영상

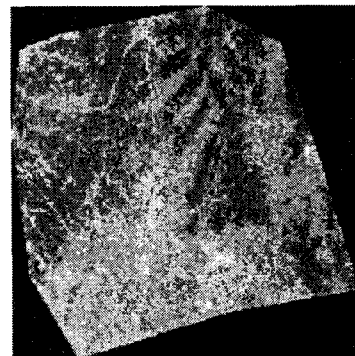


그림 3. TIN단위로 기하보정된 영상



그림 4. Affine 변환을 이용한 평면기하보정

TIN 단위 기하보정은 TIN 단위로 변형 파라미터를 계산하게 되므로 각 TIN의 경계선 불일치 문제가 발생할 수 있다. 그런데 TIN 단위로 영상을 재생산할 경우, 경계선 부분에 해당하는 영상 좌표들은 각 TIN에 대해 변환 좌표를 구했을 때 그 차이는 대부분 한 픽셀 이하가 되어 영상을 재생산할 때는 경계선 불일치 문제는 발생하지 않는다. 문제는 경계선에 해당하는 영상의 각 좌표의 공간 좌표를 계산할 때 발생하는데, 다음과 같은 해결책을 생각할 수 있다.

- 1) 선형 변형일 경우, 경계 부분 선형 벡터를 이용한 변형
- 2) 평균값 사용
- 3) 경계선을 공유하는 TIN에 대한 공통 파라미터 계산

우선, 선형 변환을 이용하여 TIN을 변형할 경우, 각 TIN의 경계선은 두 꼭지점의 선형 조합으로 표현되므로 선형 변형식을 적용하여 계산할 수 있다. 경계선 처리를 따로 해주게 되면 TIN에 변환 파라미터가 다르게 계산되어도 경계선 부분에서의 불일치 문제는 해결할 수 있다. 이 방법은 선형 변형에만 적용할 수 있는 단점이 있다. 가장 간단한 방법으로서 평균값을 사용하는 방법이 있다. 각 TIN에서 계산된 좌표의 평균값을 경계선 부분에 할당하는 방법으로, 이는 계산된 좌표의 차이가 아주 작다는 사실을 기반으로 한다. 경계선은 각 TIN의 두 꼭지점으로 이루어지므로 인접한 TIN에서 구해진 파라미터는 다르더라도 같은 선으로 변환이 되어 평균값을 취할 수 있다. 마지막으로 경계선을 공유하는 TIN들에 대해

공통 변형 파라미터를 구하여 경계선 부분에만 적용하는 방법이 있다. 이것은 경계선마다 파라미터를 구해야하는 단점이 있다. 세 방법 모두 결과상에서는 차이가 거의 없으며, 본 논문에서는 가장 간단한 방법인 평균값을 사용한다.

#### 4.결과 비교 및 분석

위성 영상은 복합적인 왜곡을 내포하고 있으므로, 지상기준점이 영상기준점에 맵핑되는 변환의 정도는 각 지상기준점마다 다르며, 지형의 기복이 심한 지역일수록 그 차이는 심화된다. 따라서 지상기준점과 영상기준점 쌍 전체에 대해 least-square를 적용하여 변환 파라미터를 구할 경우, 변화가 큰 부분은 보정이 원만하게 이루어질 수 없다. 그러나 지상기준점이 다양한 고도와 다양한 지역에 걸쳐 확보되지 않았다면, 그림3과 그림4과 같이 기하보정을 통해 재생성된 영상만으로 문제점의 보완 여부를 판단하기 힘들다. 따라서 우리는 TIN단위의 기하보정이 평면기하보정의 단점을 보완할 수 있는지 확인하기 위해 다음과 같이 수치적인 접근을 시도하였다. 평면기하보정과 TIN기반 기하보정의 각 경우에 대한 기준점 쌍들의 분산 및 파라미터 변화율을 계산하고, 두 경우 모두 Affine변환을 적용한다. 실험에 사용한 영상은 그림2이고, 입력된 지상기준점은 그림5와 같다. 그림6은 지상기준점과 영상기준점 쌍들의 Affine변환에 대한 분산(variance)을 나타낸 것이다. 총 분산(variance)은  $2.822582e-006$ 이며, 각 기준점들의 affine 평면기하보정에 대한 변화율은 근소한 차이를 보이거나 6번, 13번 기준점과 같이 튀는 기준점들이 있음을 알 수 있다. Affine 평면기하보정에 대한 기준점들의 변화 분포(variance)는 affine 파라미터의 신뢰도 및 정확도에 영향을 미치고, 분산이 클수록 평면기하보정을 적용하였을 때 에러가 커질 수 있음을 시사한다. 기준점들을 이용하여 얻어진 Affine 파라미터는 표1과 같다. 그림 7은 표1의 Affine 파라미터를 이용하여 영상 기준점의 공간 좌표를 계산하여 대응되는 지상 기준점과의 차이를 구한 것이다.

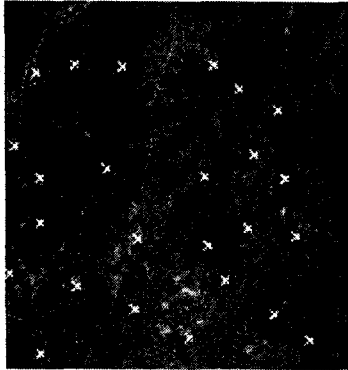


그림5. 지상기준점

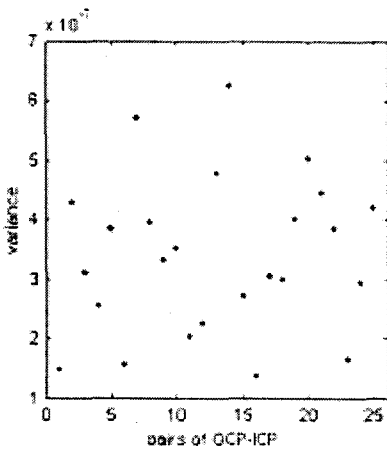


그림 6. Affine평면변환에 대한 기준점 쌍들의 분산

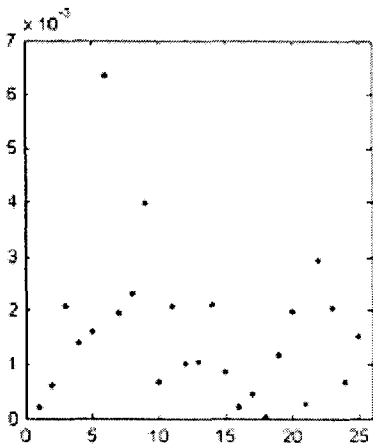


그림 7. 지상기준점과 Affine 변환으로 계산된 영상기준점의 공간좌표와의 차이

표1. Affine parameter

Parameter	Value
a1	1.062110e+00
b1	1.875999e-001
c1	5.128601e-002
a2	1.926786e-001
b2	-1.071895e+00
c2	4.784672e-002

그림7은 기준점 쌍의 변화율의 차이가 평면기하보정 방법의 신뢰도에 영향을 미치는 사실을 보여준다. 기준점 쌍이 affine 파라미터를 구하는데 필요한 개수보다 많으면 least-square를 통하여 통계적인 수치를 얻게 되는데, 기준점 쌍 간의 변화율의 차이가 크면 파라미터를 구하는데 영향을 미쳐, 보정된 영상의 좌표계는 여전히 왜곡을 포함한다. 따라서 변화율이 다른 기준점 쌍 전체로 파라미터를 구하지 않고, TIN 단위로 파라미터를 구하면 각 TIN에 대한 고유한 파라미터를 얻을 수 있다.

그림 8과 표 2는 그림 5의 지상기준점들로 TIN을 구성한 것을 각각 그림과 리스트로 보여준다. 각 TIN은 3개의 지상기준점으로 구성된다. 각 TIN에 대해 세 개의 지상기준점과 그에 대응되는 영상기준점으로 affine 파라미터를 계산하면 유일한 해를 얻고, 영상기준점으로 구성된 삼각형 조각(patch)은 대응되는 지상기준점들로 구성된 TIN의 좌표계와 동일한 좌표계로 변환된다. 그림 9~그림 14은 각 TIN에 대한 affine 파라미터를 계산하고 평면기하보정에서 얻은 affine 파라미터와 비교한 것이다. 각 그림에서 점으로 표시된 것은 각 TIN에 대한 파라미터이고, 선으로 표시된 것은 평면기하보정방법으로 얻은 affine 파라미터이다. 그림9는 파라미터 a1에 대해, 그림 10은 파라미터 b1, 그림 11은 파라미터a2, 그림 12는 파라미터 b2, 그림 13은 파라미터 c1, 그림 14는 파라미터 c2에 대해 각각 비교한 것이다.

표 2. TIN List

TIN ID	GCP ID	TIN ID	GCP ID	TIN ID	GCP ID	TIN ID	GCP ID
1	1 2 5	11	3 4 25	21	8 10 12	31	16 18 23
2	1 2 22	12	3 9 11	22	9 11 12	32	18 19 24
3	1 4 5	13	3 9 25	23	10 12 15	33	18 23 24
4	1 4 11	14	4 5 25	24	10 14 15	34	19 20 21
5	1 6 11	15	6 11 12	25	13 14 17	35	19 21 23
6	1 6 16	16	6 12 15	26	13 17 18	36	19 23 24
7	1 22 23	17	6 16 15	27	13 19 18	37	21 22 23
8	2 5 25	18	7 8 9	28	14 15 17		
9	2 21 22	19	7 8 10	29	14 15 17		
10	3 4 11	20	8 9 12	30	16 17 18		

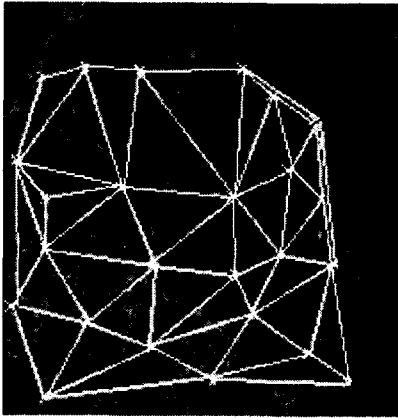


그림 8. 생성된 TIN

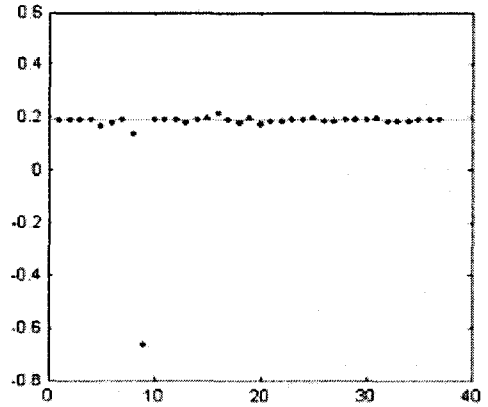


그림 10. 파라미터 b1

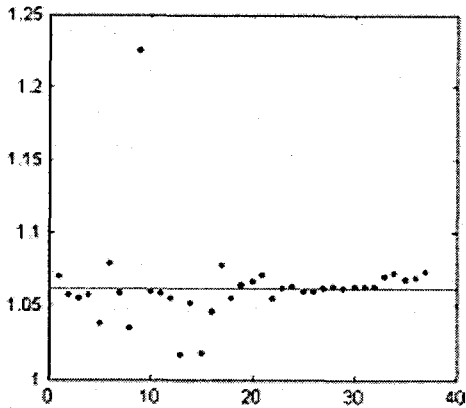


그림 9. 파라미터 a1

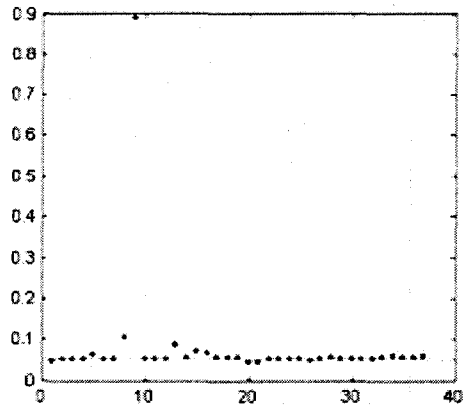


그림 11. 파라미터 c1

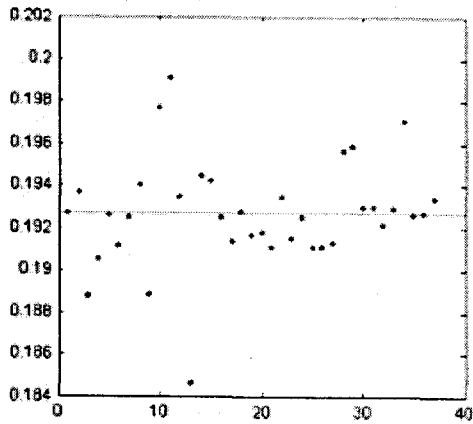


그림 12. 파라미터 a2

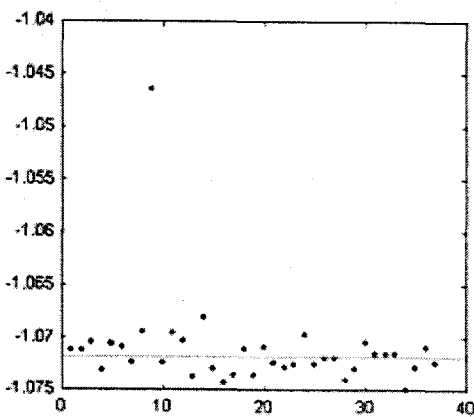


그림 13. 파라미터 b2

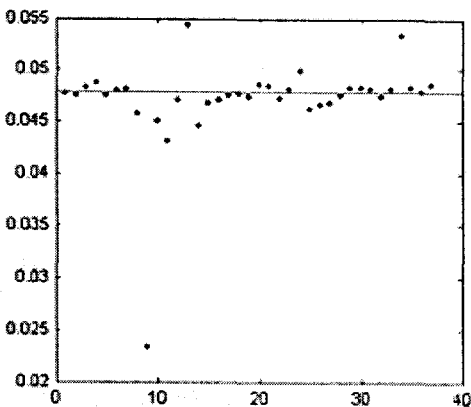


그림 14. 파라미터 c2

각 파라미터 분포에서 평면기하보정의 Affine 파라미터들과 가장 큰 차이를 보이는 TIN 9번은 2번, 21번, 22번의 지상기준점으로 구성된 것으로서, 평면기하보정 방법을 적용할 때 분산이 큰 점들이다. 그러나 25번 TIN과 같이 분산이 큰 또 다른 점들로 구성된 TIN의 affine 파라미터들보다 큰 오차를 지니는 것은 지상기준점의 높이 변화가 큰 지역이 하나의 TIN으로 구성되었기 때문이다. 이는 지형 변화가 큰 지역일수록 평면기하보정을 했을 때 에러가 커질 수 있음을 의미한다. 또한 TIN기반 기하보정은 TIN을 구성하는 방법에 따라 좌우될 수 있음을 시사한다.

## 5. 결론

지금까지 지상기준점을 이용하여 영상의 기하학적인 왜곡을 보정하는 방법에 대해 살펴보았다. 지상기준점과 그에 대응되는 영상기준점들의 맵핑 관계를 이용하여 보정된 영상을 재생성하는 것으로서 평면단위의 기하보정과 TIN단위의 기하보정 방법을 사용할 수 있다. 평면기하보정은 정확도가 떨어지는 기준점들의 맵핑 관계를 least-square 방법을 이용해서 파라미터를 쉽게 구할 수 있는 장점이 있으나, 지형 기복이 심하고, 지엽적으로 변화량이 큰 지역에 대해서는 제대로 보정할 수 없는 단점이 있다. 이를 보완하기 위해 지상기준점을 이용하여 TIN을 구성하고, TIN 단위로 기하보정을 수행하여 전체적으로 누적되는 에러를 줄일 수 있다. 그러나 TIN기반 기하보정은 TIN을 구성하는 방법에 따라 수행 효과가 달라질 수 있는 단점이 있다. 또한 기하보정은 지상기준점과 영상기준점사이의 맵핑의 정확도와 해상도의 영향을 받을 수 있으므로 향후 이러한 관점에 대한 연구가 지속적으로 필요하다.

## 참고문헌

1. [http://ceeserver.cce.cornell.edu/wdp2/cee615/Monograph/615\\_04\\_GeomCorrect\\_rev01.pdf](http://ceeserver.cce.cornell.edu/wdp2/cee615/Monograph/615_04_GeomCorrect_rev01.pdf)
2. V.Vorrawat, F.Cheevasuvit, K.Dejihan, S.Mitatha and A.Somboonkaew, "Geometric correction by

GPS", 18th Asian Conference on Remote Sensing, October 20-24, 1997

3. <http://www.ffp.csiro.au/nfm/mdp/bbproj/geoerect.htm>
4. [http://deathstar.rutgers.edu/courses/remsens/rem\\_sensing5/index.htm](http://deathstar.rutgers.edu/courses/remsens/rem_sensing5/index.htm)
5. <http://aria.arizona.edu/courses/tutorials/geom/html/geometric.html>

---

(2002년 8월 13일 원고접수)