

최적의 타지키스탄 세계측지계 전환 방법 연구

연구 배경

세계측지계의 필요성

1. 세계측지계를 바탕으로 한 GPS 기술의 발달
2. 국가 간 공동사업 및 정보의 교류로 인해 하나의 통합된 기준계의 필요

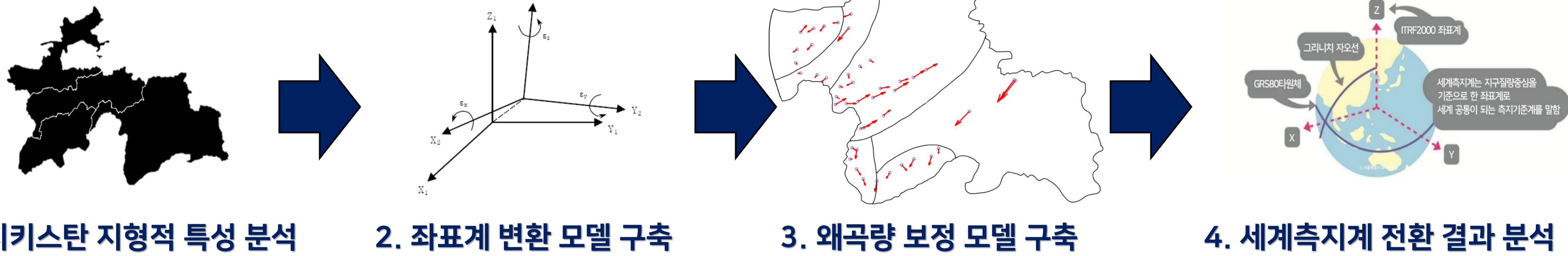
타지키스탄인 이유?

1. 공적 개발원조 ODA 사업을 통해 의뢰
2. 지형적 특성과 오래되고 낮은 밀도의 기준점 특성으로 연구 가치 존재
3. 새로운 공간정보 위치기준체계 구축 필요

연구 목적

타지키스탄의 지역측지계 좌표를 세계측지계 좌표로 전환하기 위한 절차와 방법을 정립하고 모사 자료를 이용하여 검증 및 분석

연구 과정



기준점 모사 자료 구축

세계측지계 좌표계 전환에 필요한 타지키스탄 지역측지계 좌표 데이터 미확보
-> 선행 연구를 바탕으로 타지키스탄 세계측지계 기준점 좌표를 지역측지계로 변환

WG584

GPS 측정 정밀도 2~3cm 반영

SK-42

Wild T1 정밀도 : 6"

| | |
|----------|-------------------------------|
| 광파거리 측정기 | 1m~60km |
| 관측가능거리 | 1m~60km |
| 측정정밀도 | (1~2) × 2 × 1ppm × D [거리] [m] |

국토의 93%가 산악지형으로 고도에 따른 측량 단점이 있을 것으로 추론
↓
Zone을 나누고 편향을 추가

- Zone1 = 편향 500m
- Zone2 = 편향 300m
- Zone3 = 편향 100m
- Zone4 = 편향 100m
- 세부 Zone 2개 = 10~30cm 범위의 편향

좌표 변환 모델 구축

1) Bursa-Wolf 변환

$$\begin{bmatrix} X_2 \\ Y_2 \\ Z_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{bmatrix} + (1 + \Delta S) \begin{bmatrix} 1 & \epsilon_x & -\epsilon_y \\ -\epsilon_x & 1 & \epsilon_z \\ \epsilon_y & -\epsilon_z & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_1 \\ Y_1 \\ Z_1 \end{bmatrix}$$

$X_1, Y_1, Z_1 = SK-42$ 좌표 (지역측지계)
 $X_2, Y_2, Z_2 = WG584$ 좌표 (세계측지계)
 $\Delta X, \Delta Y, \Delta Z =$ 원점 평행이동량
 $\epsilon_x, \epsilon_y, \epsilon_z =$ 축별 회전각도
 $\Delta S =$ 축척계수

2) Molodensky-badekas 변환

$$\begin{bmatrix} X_2 \\ Y_2 \\ Z_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} X_m \\ Y_m \\ Z_m \end{bmatrix} + (1 + \Delta S) \begin{bmatrix} 1 & \epsilon_x & -\epsilon_y \\ -\epsilon_x & 1 & \epsilon_z \\ \epsilon_y & -\epsilon_z & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_1 - X_m \\ Y_1 - Y_m \\ Z_1 - Z_m \end{bmatrix}$$

$X_1, Y_1, Z_1 = SK-42$ 좌표 (지역측지계)
 $X_m, Y_m, Z_m = WG584$ 좌표 (세계측지계)
 $\Delta X, \Delta Y, \Delta Z =$ 원점 평행이동량
 $\epsilon_x, \epsilon_y, \epsilon_z =$ 축별 회전각도
 $\Delta S =$ 축척계수
 $X_m, Y_m, Z_m =$ 좌표 변환 기준점 좌표

Bursa-Wolf 모델은 지구질량중심을 원점으로 하는 좌표계 변환 모델
Molodensky-Badekas 모델은 지역원점을 도입한 좌표계 변환 모델
따라서, 지역원점을 도입하여 좌표 변환 시 발생하는 국지적 한계 극복 가능

왜곡량 모델링

왜곡량 분포 확인

- 1. 비상사점 제거**
 $|\Delta X| > 3\sigma_x$ OR $|\Delta Y| > 3\sigma_y$
축별 왜곡량의 크기가 3σ 보다 작거나 큰 점 제거
↓
데이터의 품질 확보와 일관성을 유지
- 2. 편중성 제거**
고르게 분포되지 않은 데이터로 인한 불완전 왜곡 모델링 방지
↓
일정 거리 이내의 점들 제거
- 3. 회귀식에 의한 지역적 변화 제거**
점의 위치와 왜곡량 관계의 축별 왜곡량 경향을 분석
↓
선형회귀식을 통한 경향값 차이 계산
↓
잔여 왜곡량 (X축, Y축)
- 4. 해석학적 공분산 함수 결정**
잔여 왜곡량은 랜덤변수로 가정될 수 있음.
↓
원하는 점에서 잔여왜곡량의 공분산값을 결정하기 위해
↓
축별 잔여왜곡량에 대한 경험적 공분산 함수를 계산
- 5. 왜곡량 모델링 결과**
기준점들의 보정 전 왜곡량이 보정 후 0으로 수렴
↓
보정 모델이 잘 맞는지 확인
- 6. 최소제곱 콜로케이션**
안정의 점과 기준점의 거리를 계산
↓
거리에 해당하는 공분산 행렬 결정
↓
장애해결하는 왜곡 보정 계산
- 7. 최소제곱 콜로케이션에 의한 보정 결과**
최소제곱 콜로케이션에 의한 보정 전과 보정 후의 잔차를 계산
- 8. 역거리 가중치에 의한 보정 결과**
원하는 점에서의 최단거리 3점 선정
↓
역거리 가중치 내삽
↓
보정량 결정

연구 결과

Bursa-Wolf 변환 모델 결과

국가변환계수 (7파라미터)

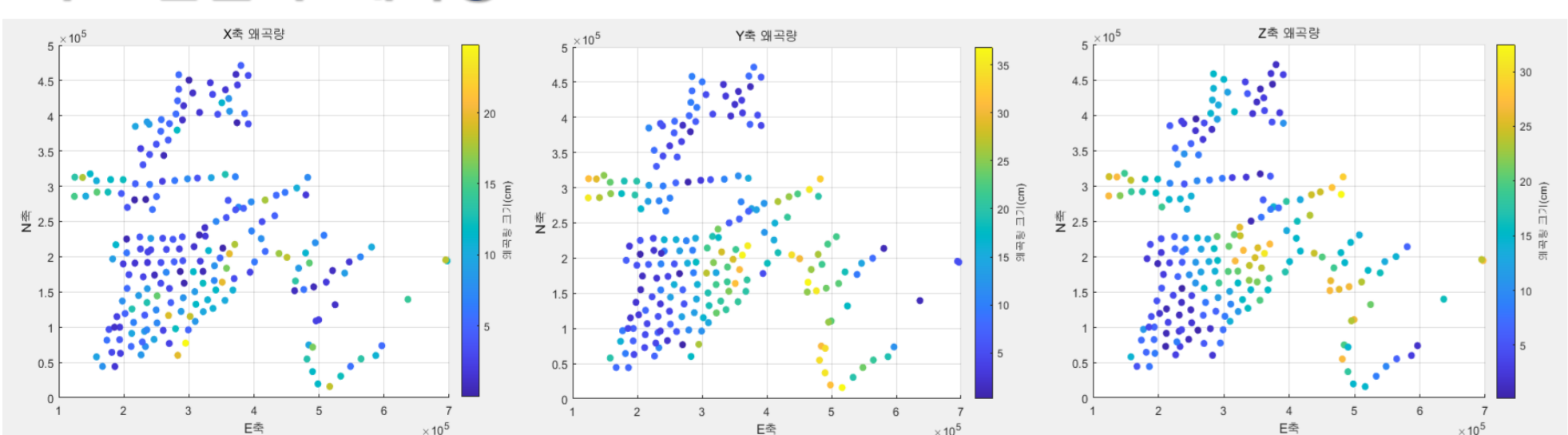
| dX(m) | dY(m) | dZ(m) | omg(°) | phi(°) | kap(°) | ds |
|--------|-----------|----------|----------|-----------|-----------|------------|
| 8.9184 | -137.2662 | -77.0259 | 0.017835 | -0.669445 | -0.401360 | -0.0000002 |

Molodensky-Badekas 변환 모델 결과

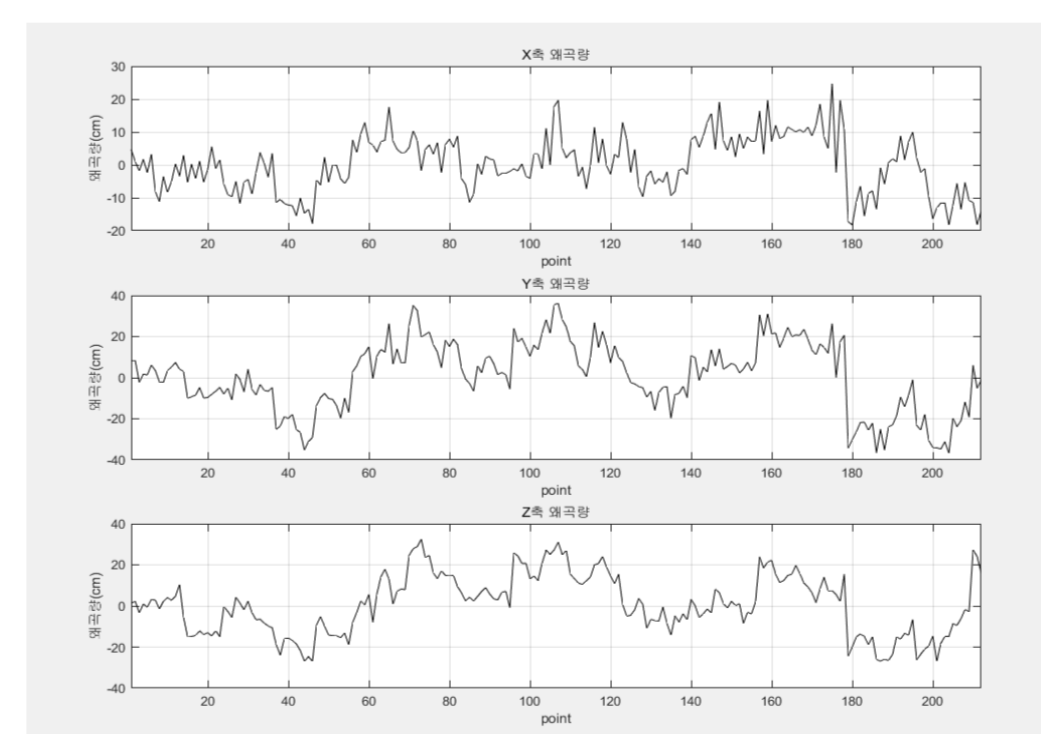
국가변환계수 (7파라미터)

| dX(m) | dY(m) | dZ(m) | omg(°) | phi(°) | kap(°) | ds |
|---------|-----------|----------|----------|-----------|-----------|------------|
| 12.2316 | -134.6919 | -84.0071 | 0.017835 | -0.669445 | -0.401360 | -0.0000002 |

좌표 변환 후 왜곡량



변환 좌표 잔차



Bursa-Wolf 변환 모델

| 평균 | X | Y | Z |
|-------|--------|--------|--------|
| 잔차(m) | 0.0693 | 0.1374 | 0.1191 |

Molodensky-Badekas 변환 모델

| 평균 | X | Y | Z |
|-------|--------|--------|--------|
| 잔차(m) | 0.0693 | 0.1374 | 0.1191 |

최소제곱콜로케이션 격자화를 통한 내삽 방법

| 평균 (m) | N축 | E축 |
|--------|--------|--------|
| 보정 전 | 0.0439 | 0.0425 |
| 보정 후 | 0.0369 | 0.0343 |

| 표준편차 (m) | N축 | E축 |
|----------|--------|--------|
| 보정 전 | 0.0287 | 0.0288 |
| 보정 후 | 0.0255 | 0.0327 |

역거리 가중치에 의한 내삽 방법

| 평균 (m) | N축 | E축 |
|--------|--------|--------|
| 보정 전 | 0.0447 | 0.0419 |
| 보정 후 | 0.0335 | 0.0303 |

| 표준편차 (m) | N축 | E축 |
|----------|--------|--------|
| 보정 전 | 0.0295 | 0.0289 |
| 보정 후 | 0.0263 | 0.0226 |

요약 및 결과

1. 기준점 모사 자료 구축
세계측지계로 주어진 212개의 기준점 좌표 데이터를 활용하여 타지키스탄의 특성을 고려한 기준점 모사 자료 제작
2. 좌표계 변환
Bursa-Wolf 모델과 Molodensky-Badekas 모델로 좌표계를 변환. 두 모델로 변환한 각 좌표의 잔차는 거의 동일하였으며, 잔차의 최대 크기는 대략 X축 25cm, Y축 36cm, Z축 33cm로 발생
2. 왜곡량 모델링
좌표 변환의 두 가지 모델로 변환한 좌표 사이에 차이 미스 → 왜곡량 모델링은 Molodensky-Badekas 모델을 통해 변환한 좌표 하나의 경우에만 적용
최소제곱 콜로케이션을 활용한 격자 내삽 방법으로 왜곡량 모델링을 하고 왜곡량을 보정한 결과, 보정 후 왜곡이 오히려 더 증가
↳ 최소제곱 콜로케이션 방법의 경우, 기준점 간의 평균 거리가 13km 정도로 공간적 상관관계가 드러나기에는 너무 멀기 때문에 보정 후 왜곡량 증가 현상이 발생
반면, 임의의 점에서 가장 가까운 기준점 3개를 이용하여 역거리 가중치 방법으로 보정량을 결정할 경우, 보정 후 왜곡량 감소

한계점 및 향후 과제

타지키스탄 좌표 변환의 한계

1. 공동점 개수의 부족
2. 실제 타지키스탄 기준점 자료를 모사 자료로 대체

향후 과제

1. 보다 많은 실제 공동점 자료로 좌표 변환 모델 구축
2. 적절한 왜곡 보정 방법 모색

