

※ 편집매뉴얼 참조 :

‘스타일 이름’ 적용

폰트/글자크기/행간/자간/여백

국가 지오이드 모델 개발

※ 속표지는 최종 확정된 파일로 교체

제 출 문

국토지리정보원장 귀하

본 보고서를 「국가 지오이드 모델 개발 연구」 과제의 최종보고서로 제출합니다.

2020. 4

사단법인 ○○○○학회 회장 홍길동

※ 연구진은 홀수면에서 시작

참여연구진

홍길동	○○대학교	연구책임자
홍길동	○○대학교	연구원
홍길동	○○대학교	연구원
홍길동	○○대학교	연구원
홍길동	○○대학교	연구원
홍길동	○○대학교	연구원
홍길동	○○대학교	연구원
홍길동	○○대학교	연구원

‘연구진’ 적용
나눔스퀘어라운드 Regular/
11pt/200%/0%

자문위원

홍길동	○○대학교	교 수
홍길동	○○대학교	교 수
홍길동	○○대학교	교 수
홍길동	○○협회	수석연구원
홍길동	○○항업	연구소장

국토지리정보원

홍길동	국토측량과	과장
홍길동	국토측량과	시설사무관
홍길동	국토측량과	주무관

‘요약’ 적용

나눔스퀘어라운드 Light/11.5pt/180%/−6%/왼쪽, 오른쪽 8pt

사원의 주도로 구축되었으나, 오차를 내포하고 있는 것으로 알려져 있다. 따라서 2011년 육지·해양 통합 지오이드 모델 개발 연구에서는 최신의 범지구중력장모델과 중력자료, 지형자료를 융합하여 육지와 해양을 아우르는 단일의 지오이드 모델을 구축하기 위한 세부계획을 수립하였다. 본 연구는 상기 과제에서 계획한 1차년도 연구로서, 국가 지오이드 모델 개발을 위해 가용한 중력자료와 지형자료, GPS/Leveling 자료에 대한 수집 및 신뢰도 분석을 수행하고 육지 부분에 대한 지오이드 모델을 구축하였다. 또한, 수준측량작업규정에는 연육교 등 직접 수준측량이 불가능한 지역에서 도해(하) 수준측량을 할 수 있다고 규정하고 있으나, 실제 그 활용도가 낮으므로 도해(하) 수준측량을 시범적으로 실시하여 수준망 단절지역에서의 높이 결정 시 활용할 수 있는지 분석하였다.

‘요약타이틀’ 적용

나눔스퀘어라운드 Bold/13pt/180%/−5%/왼쪽, 오른쪽 8pt

육상 중력자료 통합 재처리 및 품질검증

2008년 이후 국토지리정보원에서는 통합기준점, 수준점, 삼각점에서 고품질의 중력자료를 획득하였다. 중력자료는 지오이드 모델 구축 시 가장 중요한 기반자료로서, 신뢰할 수 있는 중력자료를 구축하는 것은 지오이드 모델의 정밀도를 확보와 직접적으로 연관된다. 특히, 일관성있는 중력자료를 구축하는 것이 중요한데, 상기 사업을 통해 획득된 중력자료들의 경우 기관별로 별도의 보정 방법 또는 모델을 적용하여 지구별로 차이가 발생하므로 통합기준점 중력자료 전반에 대한 망조정을 수행하였다. 그 결과 측량이 잘못 수행된 일부 측정과 대구지구를 제외한 통합기준점의 정밀도는 약 0.03mGal 수준으로 매우 우수하다는 결론이 도출되었다. 또한, 기존 연구를 통해 망조정이 이미 수행된 수준점 성과와 비교하였을 때도 차이의 평균과 표준편차가 각각 0.018mGal, 0.053mGal로 적어 상호 자료의 통합 활용이 가능함을 확인하였다. 마지막으로 통합기준점, 수준점, 삼각점 자료에 대한 이상점 확인 결과 수준점 3점과 삼각점 1점에서 이상점이 확인되어 총 4점은 지오이드 구축 시 제외하였다.

위성고도계 자료를 기준으로 선상중력자료 통합·처리

해양의 중력자료는 국립해양조사원의 선상중력자료와 위성고도계 자료를 활용할 수 있으나 선상중력자료 역시 육상 중력자료와 같이 지구별로 처리되어 연속성이 결여된다는 문제점이 있다. 따라서 국립해양조사원에서는 선상 중력자료에 대한 통합 재처리 연구를 수행 중이며 상기 연구가 종료되는 시점까지 해양에서의 자료를 대체할 위성고도계 자료를 선정하는 것이 필요하다. 따라서 2011년 연구를 통해 통합 재처리가 완료된 서해지

Ⅰ 요약 Ⅰ

구를 대상으로 위성고도계 자료와 비교하여 선상중력자료에 대한 신뢰도 검증과 더불어 위성고도계 자료에 대한 신뢰도 검증을 실시하였다. 그 결과 우리나라에서 활용할 위성고도계자료로서 DTU10을 선정하였다.

기존 GPS/Leveling 자료통합 및 품질검증

GPS/Leveling 자료는 지오이드 모델의 정밀도 검증 및 합성 지오이드 모델 검증 시 필수 자료이다. 기존의 연구에서 활용한 자료를 살펴보면 자료 획득 정보, 처리 방법 등에 대한 정보가 누락되어 있다는 문제점이 있다. 따라서 국가 지오이드 모델 구축 및 검증 시에는 통합기준점과 상시관측소 자료만을 이용하기로 하였다. 단, 상기 자료에도 이상점이 포함되어 있을 수 있으므로 지오이드 모델과 비교하여 이상점을 검출 및 제거하였으며, 최종 재구성된 자료는 통합기준점 1,032점과 상시관측소 38점이다.

전국 5m 수치지표고자료 정확도 분석

기존의 연구에서는 우리나라 지오이드 모델 구축 시 자료의 연속성 확보를 위해 SRTM을 이용하였다. 그러나 2011년 국토지리정보원에서 5m 해상도의 연속적인 수치지표고자료를 구축함에 따라 우리나라 지형을 적절히 반영하는 자료로 이를 활용하는 것이 바람직하다는 의견이 제시되었다. 따라서 SRTM과 국토지리정보원의 자료를 비교하여 신뢰도 검증을 수행하고, 두 자료를 활용하였을 때 지오이드에 미치는 영향을 확인하였다. 그 결과 우리나라 내에서 높이 차이가 약 10m 수준이고, 산악 및 북한과의 경계지역에서 자료 차이가 지오이드에 미치는 영향이 10cm 이상이므로 향후 국가 지오이드 모델 구축 시에는 국토지리정보원의 수치지표고자료를 이용하기로 결정하였다.

각종 중력자료의 최적융합 알고리즘 개발

우리나라에서 지오이드 모델 구축 시 가용한 중력자료로는 육상, 항공, 선상 및 위성고도계 자료가 있으나 센서 및 측정 방법 등의 차이로 정밀도가 상이하다. 중력자료의 융합에 따라 지오이드 모델이 달라질 수 있으므로 본 연구에서는 중력 자료를 최적으로 융합하기 위한 방법으로 1) 자료의 정밀도를 고려하여 가중치를 부여하는 방법, 2) 가중치를 동일하게 부여하는 방법, 3) 지역적으로 정밀도를 다르게 부여하는 방법과 4) 지역별로 자료를 선택적으로 사용하는 방법을 제시하였다.

일부 산악지역을 포함한 육지부분 지오포이드 모델 개발

중력, 지형, GPS/Leveling 자료에 대한 검증 후 재구성된 자료를 기반으로 육지 부분에 대한 지오포이드 모델을 구축하였다. 지오포이드 모델은 FFT 기법에 의해 계산되었으며, 항공중력자료와의 융합을 위해 하향연속 과정이 수행되었다. 그 결과 육지부분에서 구축된 우리나라 중력지오포이드 모델은 약 5cm, 합성지오포이드는 약 3cm 수준의 정밀도를 갖는 것으로 나타났다. 또한, 지오포이드를 현장에서 활용할 수 있는지 분석하기 위해 15km 기선거리에 대해 정밀도를 분석한 결과 합성 지오포이드 모델의 상대정밀도를 2.6cm로 계산되었다.

수준망 연결 장애 및 단절지역에 대한 정밀 수준측량 기술개발 및 DB 구축 방안

「수준측량작업규정(국토지리정보원 고시 제2009-601호)」에는 직접수준측량으로 소정의 정확도를 확보할 수 없는 단절지역에서 도해(하)수준측량(교호수준측량, 틸팅나사법, 경위의법)을 실시할 수 있도록 규정하고 있다. 이례함에도 1974년 이후 연차사업으로 시행되어 온 1등 및 2등 수준측량에서는 도해(하)수준측량 실적이 없었다. 본 연구는 수준망 단절지역 해소방안으로 도해(하)수준측량을 활용하기위한 시험연구이다. 먼저, 수준망 단절지역에서 직접수준측량을 시행하고 그 오차를 분석하여 직접수준측량이 불가함을 확인하였다. 「수준측량작업규정」에 규정된 틸팅나사법과 경위의법을 검증하기위한 시험지역을 선정하고, 직접수준측량하여 임시 도해(하)수준점의 표고를 먼저 구하였다. 이어 1km 와 2.6km 구간 시험지역에서 틸팅나사법을 적용하여 실측하고, 1km, 2.6km, 4.2km구간에서 경위의법으로 실측하여 그 측량결과를 분석하고, 수준측량작업규정의 도해(하)수준측량 적용성, 정확도 등을 평가하였다. 이를 근거로 수준망 단절지역 정밀수준측량방안, 도해(하) 수준측량 DB구축방안 및 품셈(안)을 제안하였다.

'12년도 측지측량 관련사업 편람 작성

2012년도 국토지리정보원에서 수행한 용역 및 연구사업에 대한 현황을 정리하고 이를 보고서로 작성하였다.

제1장 연구개요	1
1. 연구의 배경 및 목적	3
2. 연구 내용	4
제2장 육상 중력자료 통합 재처리	7
1. 통합기준점 중력자료 통합 재처리	9
1.1 통합기준점 중력자료	10
1.2 통합기준점 중력자료 재처리 방안	13
1.3 통합기준점 중력자료 재처리 결과	18
2. 망조정 완료된 수준점 중력성과와	20
2.1 수준점 중력성과	20
2.2 통합기준점과 수준점 중력성과의 비교 및 연결 처리	30
3. 전체 중력성과 이상점 검출 및 각종 오차 제거방안 마련	32
3.1 전체 중력성과의 이상점 검출 방안	32
3.2 전체 중력성과의 이상점 검출 및 제거	35
제3장 위성고도계 자료를 기준으로 선상중력자료 통합처리	41
1. 우리나라 주변의 위성고도계 자료 확보	43
2. 해양조사원 선상 중력자료 확보 및 처리방법 검증	45
2.1 국립해양조사원 선상 중력자료	45
2.2 국립해양조사원 선상 중력자료의 처리방법	47
2.3 국립해양조사원 선상 중력자료의 검증	49
3. 위성고도계 기반 선상 중력자료 통합	53
4. 해양조사원 선상 중력자료 확보 및 처리방법 검증	53
5. 위성고도계 기반 선상 중력자료 통합	54
6. 우리나라 주변의 위성고도계 자료 확보	54

I 목차

제4장 기존 GPS/Leveling 자료통합 및 품질검증	55
1. 우리나라 가용 GPS/Leveling 자료 확보	57
2. GPS/Leveling 자료 품질검증 및 이상점 검출, 각종 오차 제거방안 마련	60
2.1 품질검증 및 이상점 검출, 각종 오차 제거방안	60
2.2 GPS/Leveling 자료 품질검증 및 이상점 검출	61
제5장 전국 5m 수치표고자료를 이용한 지형효과 분석	65
1. 국토지리정보원 5m 수치표고자료 정확도 분석	67
2. 국토지리정보원 5m 수치표고자료 기반 지형효과 분석	69
2.1 지형효과 계산	69
2.2 지오이드에 미치는 효과	76
제6장 각종 중력자료의 최적융합 알고리즘 개발	77
1. 중력자료의 차이 분석 (취득시기, 플랫폼, 측량 및 처리방법)	79
1.1 취득시기	79
1.2 플랫폼 (센서)	81
1.3 측량 및 처리방법	83
2. 지오이드 모델 계산에 적합한 기반자료 선정	86
3. 각종 중력자료의 최적 융합 알고리즘 개발	88
3.1 중력자료 최적 융합 필요성	88
3.2 중력자료 최적 융합 방안	89
제7장 일부 산악지역을 포함한 육지부분 지오이드 모델 개발	93
1. 주요 지오이드 모델 구축 알고리즘 비교·분석	95
2. 최신 중력자료를 활용한 지오이드 모델 개발	100
2.1 대상자료	100
2.2 지오이드 계산	102

<표 2-1> 통합기준점 분포	18
<표 2-2> 통합기준점 지구별 중력자료 및 이상점	20
<표 2-3> 지구별 망조정 결과 및 이상점	20
<표 2-4> 통합기준점 절대중력값	21
<표 2-5> 통합기준점 중력이상값	22
<표 2-6> 중력보조점 성과 비교	24
<표 2-7> 지구별 절대중력값 차이	24
<표 2-8> 백령도 통합기준점 성과 비교 (기계값, 절대중력값)	24
<표 2-9> 울릉도 통합기준점 성과 비교 (기계값, 절대중력값)	25
<표 2-10> 소흑산도 통합기준점 성과 비교 (기계값, 절대중력값)	25
<표 2-11> 서울지구 절대중력값 차이 (이상점 제거 전/후)	31
<표 2-12> 통합기준점 중력성과 검증	35
<표 2-13> EGM08과의 차이가 50mGal 이상인 점	37
<표 2-14> 육상 중력자료와 EGM08의 차이	38
<표 2-15> 항공 중력자료와 육상 중력자료의 차이	44
<표 3-1> DNSC08과 DTU10 중력이상값 비교	46
<표 3-2> 서해에서 취득한 중력자료	50
<표 3-3> 위성고도계 자료의 비교 (DTU10 - DNSC08)	52
<표 3-4> 선상 중력자료와 위성고도계 자료의 비교	67
<표 5-1> 지형자료 정확도 분석 (국토지리정보원 지형자료 vs SRTM)	68
<표 5-2> 지형자료 정확도 분석 (국토지리정보원 지형자료 vs SRTM)	72
<표 5-3> 지형효과 계산 및 비교	74
<표 5-4> 잔여중력이상값 비교	76
<표 5-5> 지형자료가 지오이드에 미치는 효과	80
<표 6-1> 우리나라 육상, 항공, 선상 중력자료 분포	81
<표 6-2> 육상 중력계 모델 및 사양	82
<표 6-3> 항공 / 선상 중력계 모델 및 사양	89
<표 6-4> 각 중력자료 융합에 따른 정밀도 및 적합도	

‘목차-표그림’ 적용
나눔스퀘어라운드 Light/12pt/180%/-5%/
왼쪽 15pt, 오른쪽 15pt

Ⅰ 그림목차 Ⅰ

<그림 1-1> 연구의 배경 및 목적	3
<그림 1-2> 연구의 범위	5
<그림 2-1> 통합기준점 (수원시청)	10
<그림 2-2> 전국 통합기준점 도상 선점배치도	11
<그림 2-3> 통합기준점 분포	12
<그림 2-4> 중력자료 재처리 과정	13
<그림 2-5> 통합기준점 절대중력값	20
<그림 2-6> 통합기준점 중력이상값	20
<그림 2-7> 통합기준점 측정별 정밀도	21
<그림 2-8> 지구별 절대중력값 차이	22
<그림 2-9> 2009/2010년 수준점 중력측량 계획도	27
<그림 2-10> 수준점 중력자료 처리 과정	28
<그림 2-11> 수준점 통합망조정 RMS 분포도	29
<그림 2-12> 통합기준점 중력성과 검증	31
<그림 2-13> 통합기준점·수준점 중력자료와 항공 중력자료의 비교	33
<그림 2-14> 항공 중력자료와 육상 중력자료의 차이	38
<그림 2-15> 육상 중력이상값과 고도와의 상관관계	39
<그림 3-1> DTU10 위성고도계 자료 중력이상값	43
<그림 3-2> 국립해양조사원 선상 중력자료	45
<그림 3-3> 선상 중력자료 자료처리 순서도	47
<그림 3-4> 서해안 중력이상도	48
<그림 3-5> 위성고도계 자료의 비교 (DTU10 - DNSC08)	50
<그림 3-6> 선상 중력자료와 위성고도계 자료의 비교	51
<그림 4-1> 기존 GPS/Leveling 자료 분포	59
<그림 4-2> 국토지리정보원 GPS/Leveling 자료 분포	59
<그림 4-3> GPS/Leveling 자료 이상점 제거 방안	63
<그림 5-1> 지형효과 계산 / 분석	71
<그림 5-2> 지형자료가 지오이드에 미치는 효과	76

<그림 6-1> 상대중력 측량방법	83
<그림 6-2> 육상 중력자료 처리 과정	83
<그림 6-3> 항공 중력 측정원리	84
<그림 6-4> 선상 중력자료 처리 과정	85
<그림 6-5> 항공 중력자료 처리 과정	85
<그림 6-6> 각 중력자료가 지오이드에 미치는 영향	88
<그림 6-7> 중력자료 최적 융합 알고리즘	91
<그림 7-1> 지오이드 개발 과정	95
<그림 7-2> 지오이드 모델 개발 기반 자료	101
<그림 7-3> 중력 및 합성 지오이드 모델 계산 과정	103
<그림 7-4> 중력자료의 가중치 부여	105
<그림 7-5> 우리나라 중력 지오이드 모델	109
<그림 7-6> 지오이드 모델의 절대 정밀도 및 상대 정밀도	112
<그림 7-7> 중력 지오이드와 통합기준점 GPS/Leveling 자료의 차이	113
<그림 7-8> 중력 지오이드와 상시관측소 GPS/Leveling 자료의 차이	113
<그림 7-9> 합성 지오이드와 통합기준점 GPS/Leveling 자료의 차이(적합도) ..	114

※ 장간지와 본문내용도 홀수면에서 시작

국가 지오이드 모델 개발

'장숫자' 적용
나눔스퀘어라운드 Bold/18pt/120%/0%

제1장

연구개요

'간지제목' 적용
나눔스퀘어라운드 ExtraBold/24pt/120%/0%

1. 연구의 배경 목적
2. 연구 내용

'간지내용' 적용
나눔스퀘어/14pt/140%/-5%

※ 본문 :

본문 순서는 장, 1, 가, 1), 가). (1), (가), ① 순으로 하고 내용에 맞는 스타일을 적용

‘1.’ 적용

Kopub돋움체 Bold/15pt/250%/~5%

‘가.’ 적용

Kopub돋움체 Bold/14pt/250%/0%/왼쪽 10pt

‘1)’ 적용

Kopub바탕체 Bold/13pt/250%/0%/왼쪽 10pt

‘가)’ 적용

Kopub돋움체 Medium/12pt/250%/0%/왼쪽 10pt

‘(1)’ 적용

Kopub돋움체 Light/11pt/250%/0%/왼쪽 10pt

‘(가)’ 적용

Kopub바탕체 Medium/11pt/250%/0%/왼쪽 10pt

‘①’ 적용

Kopub바탕체 Light/11pt/200%/0%/왼쪽 10pt

‘장숫자’ 적용
나눔스퀘어라운드 Bold/
18pt/120%/0%

제1장

연구개요

‘장제목’ 적용
나눔스퀘어라운드 ExtraBold/20pt/160%/–5%/왼쪽 10pt

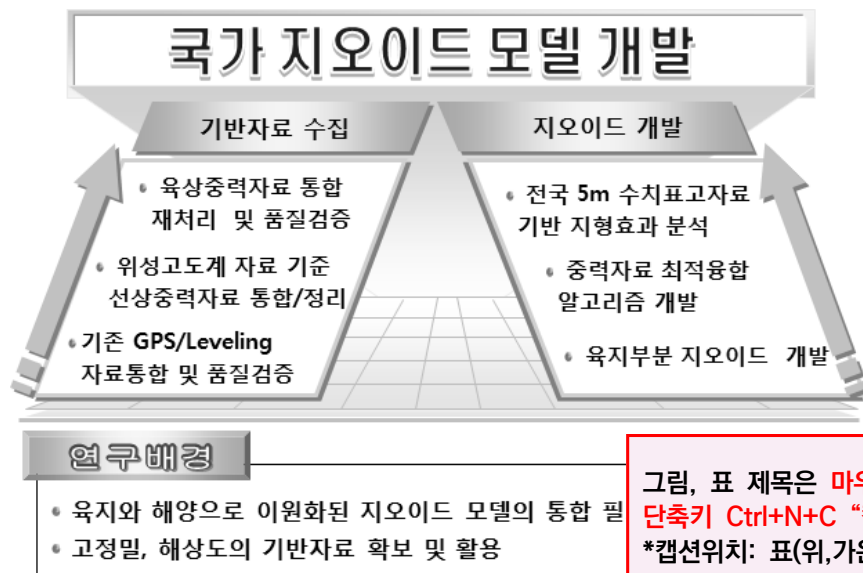
1. 연구의 배경 및 목적

‘1.’ 적용
Kopub돋움체 Bold/15pt/250%/0%

국토지리정보원과 국립해양조사원에서는 상이한 중력자료와 안구각주요 권유하여 도판각주요 지오이드 모델을 구축하여 왔으나 각각 연안 및 산악지역에서 오차 발생이 있어 있다. 2011년 「육지·해양 통합 지오이드 모델 구축 방안 연구」를 통해 지오이드 모델의 문제점을 인식하고, 새롭게 획득한 고품질, 고해상도 중력자료와 해양을 아우르는 단일의 지오이드 모델을 구축하기 위한 연구 계획이 수립되었다.

본 연구는 국가 지오이드 모델을 개발하기 위한 1차년도 연구 내용으로, 1) 선상 중력자료 및 GPS/Leveling 자료를 통합하고 신뢰할 수 있는 지오이드 모델을 개발하는 것을 최종 목표로 한다. 이를 위해 1) 선상 중력자료의 품질검증, 2) 위성고도계 자료를 기준으로 선상 중력자료와의 통합, 3) GPS/Leveling 자료통합 및 품질검증, 4) 각종 중력자료의 최적화, 5) 수치지표고자료(이하 지형자료)를 이용한 지형효과 분석, 6) 일부 산악지역의 지오이드 모델 개발로 구성되어 있다 (그림 1-1).

‘본문’ 적용
Kopub바탕체 Light/11pt/190%/–2%/가운데
들여쓰기 10pt/아래 5pt



<그림 1-1> 연구의 배경 및 목적

그림, 표 제목은 마우스 우클릭 또는 단축키 Ctrl+N+C “캡션넣기”
*캡션위치: 표(위,가운데), 그림(아래,가운데)

‘그림_표_제목’ 적용
나눔스퀘어 Bold/10.5pt/160%/–7%

2. 연구 내용

본 연구는 2012년 6월 12일부터 12월 8일까지 진행되었으며, 연구의 주요 내용은 다음과 같다(그림 1-2).

□ 육상 중력자료 통합 재처리 및 품질검증

‘본문-네모’ 적용

Kopub돋움체 Medium/11pt/180%/-6%/아래 5pt

- 통합기준점 중력자료 통합 재처리
- 망조정 완료된 수준점 중력성과와 연결 처리
- 전체 중력성과 이상점 검출 및 각종 오차 제거방안 마련

□ 위성고도계 자료를 기준으로 선상 중력자료 통합·정리

- 우리나라 주변의 위성고도계 자료 확보
- 해양조사원 선상 중력자료 확보 및 처리
- 위성고도계 기반 선상 중력자료 통합

‘본문-점’ 적용

Kopub돋움체 Light/11pt/180%/-6%/왼쪽 10pt, 위 2pt

□ 기존 GPS/Leveling 자료통합 및 품질검증

- 우리나라의 가용 GPS/Leveling자료 확보
- GPS/Leveling자료 품질검증 및 이상점 검출, 각종 오차 제거방안 마련

□ 각종 중력자료의 최적 융합 알고리즘 개발

- 중력자료의 취득시기, 플랫폼, 측량방법, 처리방법 등에 따른 차이 비교
- 지오이드 모델 계산에 적합한 기반자료 선정
- 각종 중력자료의 최적 융합 알고리즘 개발

□ 전국 5m 수치표고자료를 이용한 지형효과 분석

- 국토지리정보원 5m 수치표고자료 정확도 분석
- 국토지리정보원 5m 수치표고자료 기반 지형효과 분석

제2장

육상 중력자료 통합 재처리 및 품질검증

1. 통합기준점 중력자료 통합 재처리
2. 망조정 완료된 수준점 중력성과와 연결 처리
3. 전체 중력성과 이상점 검출 및 각종 오차 제거방안 마련

1. 통합기준점 중력자료 통합 재처리

2008년부터 국토지리정보원에서는 「통합기준점 측량사업(2008~2011년)」, 수준점 중력측량사업(2009~2010년)」 및 「삼각점 중력측량사업 (2011년~현재)」을 통하여 많은 육상 중력자료를 획득하여 오고 있으며, 획득된 중력자료의 정밀도는 약 0.05mGal 수준으로 매우 우수하다 (국토지리정보원, 2008b, 2009c, 2010a, 2010b). 특히, 작업 시 인접지구의 측점 중 5~6점 이상을 공통점으로 측량하여 지구 간 성과를 비교함으로써 중력자료 전반에 대한 신뢰도를 검증할 수 있게 하였다.

지구별로 측량 및 자료처리가 적절히 수행된 경우 인접지구 간의 성과 차이는 0.1mGal 이내의 차이를 나타내게 된다. 그러나 통합기준점 지구별 성과를 살펴보면 0.1mGal 이상의 차이를 나타내는 점들이 다수 존재하는데, 이는 크게 두 가지 원인에 기인한 것으로 판단된다.

첫째, 측량 시 기계가 안정화 되지 못하거나 동일한 측점임에도 좌표를 잘못 기입 및 적용하여 성과가 잘못 계산되었기 때문이다. 이러한 경우는 20mGal 이상의 차이를 나타내므로 어느 점이 잘못 측량 또는 계산되었는지 확인이 필요하다.

둘째, 중력자료 처리 시 적용한 모델 및 방법론이 상이하기 때문이다. 예를 들어, 2008년 경기 지구의 경우는 조석보정모델로 Longman(1959), 드리프트 보정 방법은 시점과 종점을 이용한 단순 보정법을 적용한 반면, 충청2지구의 경우는 조석보정모델로 Tamura(1982), 드리프트보정 방법은 Datum-free constraints를 이용하였다. 또한, 지구조석효과와 대기효과는 일부 지구에 서만 반영하였고, 중력이상값 계산 시 GRS 1980 타원체가 아닌 1964 타원체를 기준으로 계산한 경우도 있었다. 조석보정 모델의 경우 우리나라 내에서는 Longman과 Tamura 모델 중 어느 모델을 적용하여도 차이가 없으나, 드리프트 보정 방법의 경우 시·종점을 기준으로 한 단순보정법은 한 점에만 의존한다는 위험성 때문에 모든 관측점들을 이용하여 중력계의 드리프트를 추정하여야 한다는 연구 결과가 도출된 바 있다 (국토지리정보원, 2010b). 또한, 지구조석효과와 대기효과는 고려 유무에 따라 약 0.03mGal과 약 0.8mGal의 차이가 발생한다.

가. 통합기준점 중력자료

‘가.’ 적용

Kopub돋움체 Bold/14pt/250%/0%/왼쪽 10pt

기존의 우리나라 기준점은 수평, 수직, 중력 등으로 나뉘어 관리되어 왔으며, 건설 개발 등에 의해 많은 점들이 망실·파손되는 등 유지관리에 어려움이 있었다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 2008년 7월 국토지리정보원에서는 「통합 전자기준점 구축을 위한 기초연구」를 통해 새로운 국가 기준점으로서 ‘통합기준점’을 제안하였다(국토지리정보원, 2008b). 다용도로 활용 가능하고 망실·파손이 되지 않는 기준점 체계를 구축하여, 나날이 증대되는 공간정보의 수요를 만족하고 실시간 정보 제공의 기틀을 마련하는 것이 연구의 목적이다.

통합기준점은 측량, 지적, 수로분야의 업무를 통합하고, 다양한 공간정보를 하나의 기준점에서 제공할 수 있다는 기능적 의미를 포함하는 명칭이다. 그림 2-1은 2008년 7월에 설치된 U0001 통합기준점으로 수원시청 내 본관 앞 원형중앙 화단에 위치하고 있다.

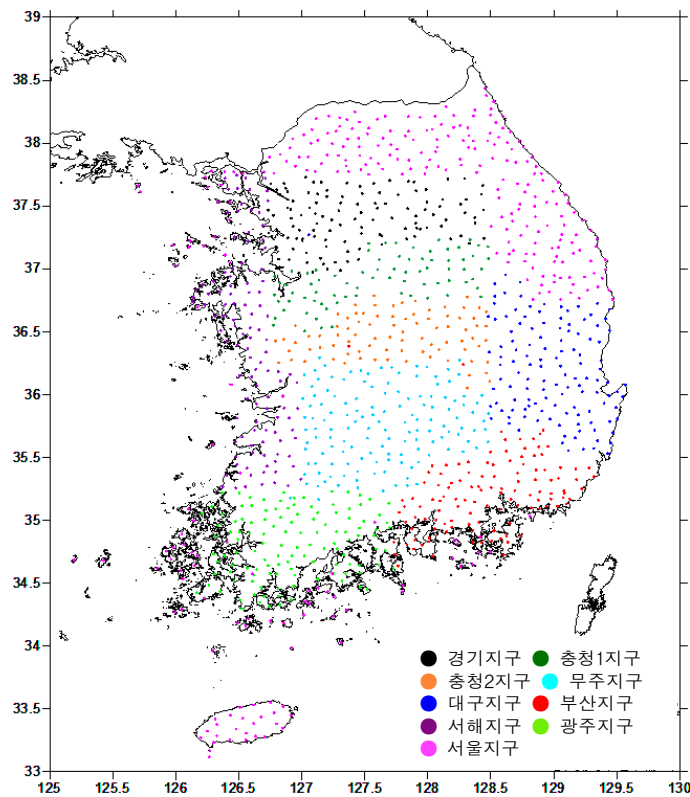


<그림 2-1> 통합기준점 (수원시청)

통합기준점은 그림 2-2에서와 같이 우리나라 전역에 약 10km 간격으로 1,200점이 계획되었다. 이 때, 통합기준점 간격을 10km로 정한 이유는 위치 정확도를 1~2cm 수준으로 확보할 수 있으며, 우리나라 지형 및 중력값의 변화 관측 시 5km의 공간해상도 유지가 가능하기 때문이다. 또한 항공사진측량에 있어 지상기준점의 역할을 수행할 수 있도록 1:5000 지도 제작 시 최소 10점이 포함되도록 하기 위함이다.

「통합 전자기준점 구축을 위한 기초연구」의 결과를 토대로 2008년 11월 경기 및 충청 지역에
서 시작하여 2010년까지 약 10km의 간격으로 총 1,196점의 통합 기준점이 구축되었다. 통합기
준점에서는 GPS, 수준, 중력측량을 실시하여 정밀한 3차원 위치 및 중력 정보를 얻을 수 있다.

다음 그림 2-3과 표 2-1은 지구별 통합기준점의 분포 및 통계를 나타낸 것이다.



<그림 2-3> 통합기준점 분포

<표 2-1> 통합기준점 분포

년도	지구명	점의 수
2008	경기	111
	충청1	79
	충청2	88
2009	무주	138
	대구	119
	부산	114
	서해	111
	광주	129
2010	서울	307
총 계		1,196

나. 통합기준점 중력자료 재처리 방안

앞서 중력자료 재처리 방안에서 검토한 바와 같이 통합기준점 중력자료의 재처리 과정은 지구별 처리와 통합 재처리 순서로 진행된다. 본 연구에서는 지구별 성과의 신뢰도를 1차적으로 분석 및 제시하고, 문제 있는 지구를 제거한 후 통합 재처리한 결과를 제시하였다. 이 때, 통합기준점 중력자료의 원시 중력자료와 위치 성과는 지구별로 국토지리정보원에 납품된 성과를 기준으로 하였다 (표 2-2).

<표 2-2> 통합기준점 지구별 중력자료 및 위치 성과 출처

지구명	관측자료	
경기(2008)	중력측량계산부	
충청1(2008)	기계 원시자료	<div> <p>‘표 머리’ 적용 Kopub돋움체 Medium/10pt/130%/0%</p> <p>* 표머리 음영색상</p>  <p>* 표-선 굵기: 0.12mm</p> </div>
충청2(2008)	중력측량기록부	
광주(2008)	기계 원시자료	
대구(2008)	기계 원시자료	
무주(2008)	기계 원시자료	
부산(2008)	중력측량계산부	
서해(2008)	기계 원시자료	
서울(2010)	중력관측기록부	

1) 지구별 재처리 결과

‘1)’ 적용
Kopub바탕체 Bold/13pt/250%/0%/왼쪽 10pt

지구별 자료를 살펴본 결과, 충청2지구, 무주지구, 부산지구 및 광주지구에서 일별 드리프트 보정 후에도 동일한 관측점에서 1mGal 이상의 차이를 나타내는 점들이 존재하였다 (표 2-3). 따라서 이러한 점들을 이상점으로 제거하였으며, 광주지구 중 측점에 오기가 있는 점은 이를 정정 후 이용하였다. 그 결과 9개 지구 중 대구지구를 제외한 8개 지구는 약 0.03mGal 수준의 정밀도를 갖는 것으로 나타났다.

반면 대구지구는 두 대의 중력계를 이용하여 측량하였는데, 측량 시작 후 3일간 동일하게 측량한 점들의 기계값 차이가 점차 증가하는 것으로 나타났다. 각 기계를 기반으로 산출된 성과는 0.031mGal, 0.017mGal로 정밀도가 우수하나, 공통점을 기준으로 두 작업을 병합하여 처리한 경우 두 기계 간 일관성이 없어 망조정이 불가능한 것으로 확인되었다. 특히, 수원 절대중력점을 기준으로 대구 중력보조점의 성과를 산출하였을 때 두 기계에서 모두 고시 성과와 1mGal 이상의 차이를 나타내므로 두 기계로부터 각각 산출되는 성과도 신뢰할 수 없는 것으로 판단되었다. 따라서 대구지구는 통합 망조정 시 제외하였다.

<표 2-3> 지구별 망조정 결과 및 이상점

년도	지구명	정밀도	이상점
2008	경기	0.028	
	충청1	0.038	
	충청2	0.032	일별 1mGal 이상 : bas92, bas21, U0582 일별 6mGal 이상 : U0566
2009	무주	0.022	9월 19일-25일 공통점 간 일관성 결여 : 정밀도 낮은 19일 U0788 삭제
	부산	0.031	8월 27일 절대중력점 간 측점에 편이 존재하여 부산-수원 간 관측치 삭제
	서해	0.034	
	광주	0.030	통합기준점 측정명 오기 수정 : U1011, U0943 일별 4mGal 이상 : U1091
2010	서울	0.023	

2) 통합 재처리 결과

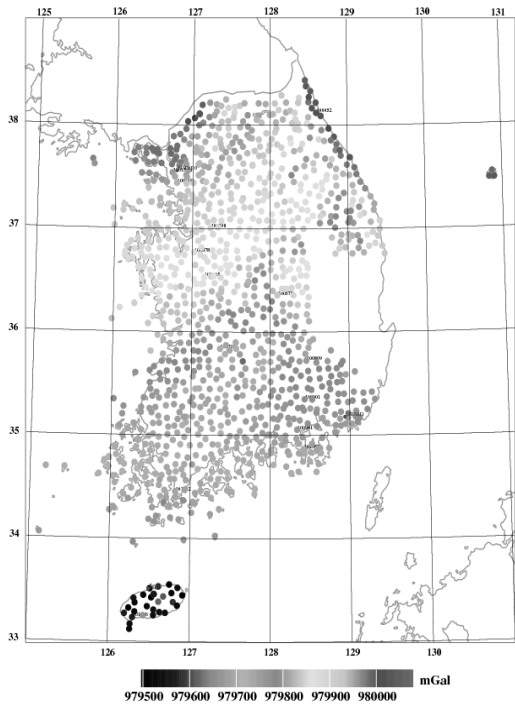
통합기준점은 획득된 자료의 신뢰도를 평가하기 위해 인접 지구의 점 일부를 공통점으로 선정하여 측량하였다. 따라서 일부 통합 기준점은 두 개 지구 이상에서 중력 측량이 시행되어 동일한 점임에도 두 개 이상의 중력값을 가지게 되었다. 이와 같이 인접 지구 간 여러 번 측정된 통합기준점 성과를 단일의 값으로 결정하기 위해 통합기준점 중력자료의 재처리를 수행하였다. 앞서 연도별, 지구별로 통합기준점 중력 자료를 재처리한 결과 대구지구를 제외하고는 양질의 자료가 획득되었음을 확인하였다. 따라서 각 지구별 중력자료를 통합하여 단일의 중력망을 구성하는 것이 바람직하다.

통합 재처리는 앞서 지구별 성과에서 검출된 이상점과 대구지구를 제외한 성과만을 대상으로 하였으며, 추가적으로 인접 지구 간 성과에서 일관성이 없는 점들을 제거하였다. 통합 망조정 시 이상점으로 제거된 점들은 다음과 같다. 먼저, 광주 중력 보조점은 수원 중력보조점을 고정하여 산출된 성과와 고시 성과 간 차이가 2mGal 이상이므로 광주지구 성과에서 제외하였다. 광주지구와 서해지구의 공통점인 U0848, U0938 점은 성과 차이가 각각 5mGal, 2mGal 이상인데, 측정 당시 광주 지구의 신뢰도가 낮다고 판단되었기에 두 점 모두 광주지구에서의 성과를 제외하였다. 서울지구의 U0965, U0966, U0975점은 부산 및 광주지구와의 공통점인데 성과 차이가 200mGal 이상으로 나타났으며, 이는 서울지구의 위치 성과가 잘못 입력된 것으로 확인되어 서울지구에서의 성과를 제외하였다.

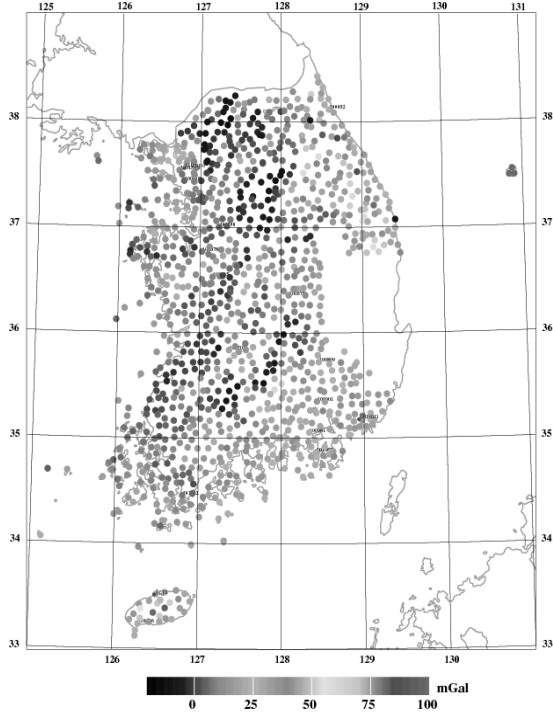
이상점을 제거 한 후 수원 중력보조점을 고정하여 망조정을 수행하였으며, 망조정에 사용된 총 관측치

수는 2,987점, 미지수는 절대중력점 및 보조점을 포함하여 총 1,538점이다. 최종 통합기준점 중력 성과의 정밀도는 0.029mGal로 산출되었으며, 절대중력값은 979459.01~980077.18mGal, 평균 979819.73mGal, 표준편차 96.55mGal의 통계량을 나타낸다(그림 2-5; 표 2-4). 또한, 표준중력 및 고도 보정 후의 중력이상값은 -14.55~155.29mGal의 분포를 보이며, 강원 산간 지역에서 중력이상값이 양의 방향으로 크게 나타나는 것을 확인할 수 있다(그림 2-6, 표 2-5).

[부록 1]은 통합기준점 성과를 정리한 것이다.



<그림 2-5> 통합기준점 절대중력값



<그림 2-6> 통합기준점 중력이상값

<표 2-4> 통합기준점 절대중력값 (unit : mGal)

범위	평균	표준편차
979459.01~980077.18	979819.73	96.55

<표 2-5> 통합기준점 중력이상값 (unit : mGal)

범위	평균	표준편차
-14.55~155.29	15.26	16.35

그림 2-7은 측점별 정밀도를 나타낸 것이며, 표 2-6은 통합 망조정 시 이상점으로 제거한 점들을 해당 지구에 맞추어 명시한 것이다. 통합 재처리 결과의 신뢰도를 확인하기 위해 수원 중력 보조점 외 5점의 절대중력점 또는 중력보조점(수원 절대 중력점, 대전/부산/서울산업대학교/광주 중력보조점) 성과를 고시 성과와 비교하였다. 그 결과 통합 재처리 후 산정된 성과와 고시 성과의 차이는 최대 0.05mGal, 평균 -0.02mGal, 표준편차 0.02mGal로 통합 망조정 성과를 신뢰할 수 있다는 결론을 도출하였다.

참고문헌

- 국토지리정보원 (2008a), 통합기준점측량 사업계획
- 국토지리정보원 (2008b), 통합 전자기준점 구축을 위한 기초 연구
- 국토지리정보원 (2009a), GNSS에 의한 수직기준의 재정립을 위한 연구
- 국토지리정보원 (2009b), 국토지리정보원 고시 제 2009-600호 (국토지리정보원 고시 제 2009-600호)
- 국토지리정보원 (2009c), 중력측량(경북지구) 설계설명서_공고
- 국토지리정보원 (2010a), 중력측량(통영/서울/광주/공주/경주지구) 설계설명서_공고
- 국토지리정보원 (2010b), 지구물리측량 연구사업
- 국토지리정보원 (2011a), 전국 연속수치지도 DB 갱신사업
- 국토지리정보원 (2011b), 정표고 기반 통합측지망 구축에 관한 연구
- 국토지리정보원 (2011c), 육지·해양 지오이드 통합모델 구축방안 연구
- 국립해양조사원 (1996~2010), 국가해양기본조사 자료처리 용역
- 국립해양조사원 (2011), 국가해양기본조사 통합자료 분석 및 도면제작
- 국토해양부 (2009), 국토해양부 보도자료(국토원, 전국토에 대한 중력 정보 구축)
- 국토해양부 (2010), 국가기준망 관리혁신 기술개발 완료보고서, 건설교통기술연구개발사업 지능형국토정보기술혁신사업 R&D / 07국토정보C02, 한국건설교통기술평가원.
- 민경덕, 서정희, 권병두 (1986), 응용지구물리측량학, 우성문화사
- 윤홍식, 이동하 (2005), Least Square Collocation에 의한 GPS/Levelling의 정확도 개선, 한국측량학회, 한국측량학회, 제 32권, 4호, pp385~392.
- 이석배(2000), 중력학적 방법 및 위성측지 방법에 의한 지오이드 모델링에 관한 연구, 한국측량학회지, 한국측량학회, 제18권, 4호, pp. 359-367.
- 이지선, 권재현, 금영민, 문지영(2011), 최신 중력자료의 획득을 통한 우리나라 지오이드 모델 업데이트, 한국측량학회지, 한국측량학회, 제29권, 1호, pp. 531-537.
- Akyilmax, O., Ayan, TL., Özlüdemir, T., (2003), Geoid surface approximation by using Adaptive Network Based Fuzzy Inference Systems, AVN, pp. 308-315.
- Andersen, O. B., Knudsen, P., (2010), The DTU10 mean sea surface and mean dynamic topograph-Improvements in the Arctic and coastal zone, OSTST.

‘참고문헌’ 적용
Kopub바탕체 Light/
11pt/170%/-6%/
내어쓰기 22pt, 아래 5pt

- Brown, M. J., Featherstone, W. E., Gu, G., Johnston, G. M (2011), AUSGeoid09 : a more direct and more accurate model for converting ellipsoidal heights to AHD heights, *Journal of Spatial Science*, Vol. 56, No. 1., pp27-37.
- Forsberg, R., Tscherning C.C, Kundsén P (2003), An overview Manual of the GRAVSOF, Kort & Matrikelstyrelse.
- Heiskanen, W.A, Moritz, H. (1967), *Physical Geodesy*, W.H. Freeman and Co., San Francisco.
- Kuroishi, Y., Ando, H., Fukuda, Y., 2002, A new hybrid geoid model for Japan, GSIGEO2000, *Journal of Geodesy*, Vol. 76, pp428-436.
- Longman. I. M. (1959), Formulas for Computing the Tidal Accelerations Due to the Moon and the Sun, *Journal of Geophysical Research*, Vol. 64, pp. 235-12355.
- Negeri, S. P. U. P., Topografi, S. P. U., Seksyen, S. K, (2005), Malaysia GEOID model (MyGEOID) Guideline, JABATAN UKUR DAN PEMETAAN MALAYSIA.
- NRCan (2011), www.nrcan.gc.ca
- Olesen, V. A., (2002), Improved airborne scalar gravimetry for regional gravity field mapping and geoid determination, Ph.D. thesis, University of Copenhagen.
- Pavlis N. K. (2006), Global Gravitational Modeling : An Overviews Considering Current and Future Dedicated Gravity Mapping Mission, IGeS Geoid School 2006.
- Roman, D. R., Wang, Y. M., Saleh, J., Li, X., 2011, Final National Models for the United States : Development of GEOID09
- Sideris, M (2008), Geoid determination by FFT techniques, IGeS Geoid School 2008.
- Tamura. Y. (1982), A computer program for calculating the tide-generating force, Intl. Latitude Observatory of Mizusawa, Vol 16, pp1-20.
- Torge, W. (1989), *Gravimetry*, Walter de Gruyter, Berlin· New York.
- Tscherning, C. C. (2005), Geoid determination by least-squares collocation using GRAVSOF, University of Copenhagen.

부록

부록 1. 통합기준점 중력성과

no.	위도 (deg.)	경도 (deg.)	표고 (m)	절대중력값 (mGal)	FA (mGal)	GA (mGal)	지구명
1	37.26298	127.02846	46.02	979917.20	3.75	-1.40	경기
2	38.28944	128.14547	423.64	979924.27	37.44	-9.97	서울
3	38.43514	128.45253	5.42	980054.36	25.70	25.09	서울
4	38.37733	128.46481	23.05	980038.55	20.42	17.84	서울
5	38.26450	128.37411	584.29	979899.87	64.77	-0.61	서울
7	38.32986	128.52294	3.64	980042.99	23.05	22.64	서울
8	38.19481	127.11492	96.88	979992.83	13.52	2.68	서울
9	38.21581	127.21400	188.51	979959.46	6.57	-14.52	서울
10	38.10600	127.08106	57.81	979996.45	12.89	6.43	서울
11	38.07669	127.20486	126.19	979965.77	5.88	-8.24	서울
12	38.06706	127.01544	33.35	980002.41	14.72	10.99	서울
13	38.02256	127.12597	93.16	979966.95	1.62	-8.80	서울
14	38.20117	127.30181	167.22	979948.71	-9.46	-28.17	서울
15	38.24958	127.42100	209.13	979943.04	-6.46	-29.86	서울
16	38.13350	127.30156	159.31	979946.67	-7.99	-25.81	서울
17	38.16753	127.45522	399.80	979898.01	14.54	-30.20	서울
18	38.09542	127.27333	136.65	979951.19	-7.12	-22.41	서울
19	38.03306	127.36603	142.40	979937.37	-13.69	-29.63	서울
20	38.18628	127.35931	203.43	979938.20	-7.49	-30.25	서울
21	38.11408	127.39922	433.75	979885.49	17.19	-31.35	서울
22	38.04044	127.45194	692.35	979829.01	46.92	-30.55	서울
23	38.18900	127.59986	302.50	979923.76	8.39	-25.46	서울
24	38.21292	127.66186	234.05	979947.21	8.62	-17.57	서울
25	38.12003	127.53150	395.65	979893.88	13.30	-30.97	서울
26	38.09733	127.70408	111.87	979961.49	-4.63	-17.15	서울
27	38.07350	127.52125	286.54	979913.46	3.31	-28.75	서울
28	38.03769	127.64544	116.09	979953.27	-6.31	-19.30	서울
29	38.21203	127.84769	269.15	979951.59	23.91	-6.20	서울
30	38.20550	127.93919	247.02	979947.49	13.56	-14.09	서울
31	38.09386	127.84856	176.78	979953.00	7.21	-12.57	서울
32	38.10044	127.99208	187.50	979944.57	1.50	-19.48	서울

no.	위도 (deg.)	경도 (deg.)	표고 (m)	절대중력값 (mGal)	FA (mGal)	GA (mGal)	지구명
33	38.05428	127.82092	214.11	979940.97	10.17	-13.79	서울
34	38.02658	127.88472	214.62	979935.85	7.64	-16.38	서울
35	38.21156	128.05883	334.97	979928.89	21.56	-15.93	서울
36	38.21969	128.20611	289.01	979945.07	22.84	-9.50	서울
37	38.10886	128.03508	225.23	979941.45	9.28	-15.93	서울
38	38.12458	128.20450	234.04	979946.59	15.77	-10.42	서울
39	38.02789	128.07344	200.97	979943.62	11.08	-11.41	서울
40	38.05642	128.16283	203.14	979942.49	8.11	-14.62	서울
41	38.21683	128.36361	375.69	979929.97	34.73	-7.31	서울
42	38.22303	128.49692	177.94	979981.15	24.36	4.45	서울
43	38.14056	128.25769	275.13	979936.06	16.51	-14.27	서울
44	38.12006	128.31761	400.56	979902.94	23.87	-20.95	서울
45	38.05825	128.32514	467.65	979890.41	37.46	-14.87	서울
46	38.07708	128.49325	237.21	979941.82	16.15	-10.40	서울
47	38.01972	128.28100	278.87	979922.10	14.30	-16.90	서울
48	38.01711	128.36072	278.76	979901.12	-6.48	-37.67	서울
49	38.01853	128.47467	677.37	979855.90	71.12	-4.67	서울
50	38.21817	128.59200	6.89	980032.30	23.18	22.41	서울
51	38.16469	128.54133	93.34	979999.46	21.71	11.27	서울
52	38.11897	128.59681	42.48	980016.47	27.05	22.29	서울
53	38.08922	128.65628	4.33	980028.83	30.25	29.77	서울
54	37.97603	124.71622	30.73	979989.91	9.41	5.97	서울
55	37.95828	124.66014	10.10	979994.86	9.55	8.42	서울
56	37.83253	124.69403	43.88	979983.08	19.21	14.30	서울
57	37.77383	124.75119	32.28	979992.30	30.00	26.39	서울
58	37.77794	126.28431	37.13	979973.08	11.91	7.75	서울
59	37.77350	126.38853	36.64	979973.12	12.19	8.09	서울
60	37.76956	126.46125	7.74	979985.81	16.30	15.43	서울
61	37.88933	126.74358	14.02	979977.68	-0.39	-1.96	서울
62	37.77067	126.69975	19.31	979986.59	20.56	18.40	서울
63	37.75867	126.53117	14.36	979985.61	19.10	17.49	서울
64	37.96178	126.90697	21.16	979982.15	-0.06	-2.43	서울
65	37.90967	126.82828	16.59	979977.85	-1.20	-3.06	서울
66	37.85644	126.87911	62.77	979966.81	6.67	-0.35	서울
67	37.88728	126.97922	107.22	979945.77	-3.36	-15.36	서울
68	37.75983	126.77911	19.05	979983.72	18.55	16.42	서울
69	37.81739	126.94889	128.36	979949.83	13.35	-1.02	서울

*는 본래 대구지구 관측점이나 인접지구 성과에 포함되어 있어 최종성과를 산출한 점임.

Abstract

National Geoid Model

‘영문제목’ 적용

Kopub돋움체 Bold/13pt/160%/0%/
아래 20pt

Kwon Jae Hyun·Choi Seok Geun

‘영문저자’ 적용

Kopub바탕체 Light/11pt/170%/0%/
아래 20pt

The existing Geoid model of Korea was built under the leadership of the National Geographic Information Institute and the National Oceanographic Research Institute, but the base data and algorithms are different, which is known to imply large errors in mountains and inland areas. Thus, in 2011, a detailed plan was established to build a single geoid model encompassing land and ocean by merging the latest global gravity field models, gravitational data, and topographical data. This study is a first-year study planned in the above task, and the collection and reliability analysis of available gravitational data, topographical data, and GPS/Leveling data were carried out for the development of the national geoid model, and the geoid model was established for the land part.

‘영문요약’ 적용

Kopub바탕체 Light/11pt/170%/-6%/
아래 5pt

In addition, the Regulations for Level Measurement can be measured in areas where it is not possible, such as a bridge, but the level of the diagram (bottom) can be used on a trial basis to determine the height in areas where the level network is disconnected.

The existing Geoid model of Korea was built under the leadership of the National Geographic Information Institute and the National Oceanographic Research Institute, but the base data and algorithms are different, which is known to imply large errors in mountains and inland areas. Thus, in 2011, a detailed plan was established to build a single geoid model encompassing land and ocean by merging the latest global gravity field models, gravitational data, and topographical data.

This study is a first-year study planned in the above task, and the collection and reliability analysis of available gravitational data, topographical data, and GPS/Leveling data were carried out for the development of the national geoid model, and the geoid model was established for the land part.

주 의 사 항

1. 본 보고서는 국토교통부 국토지리정보원의 수탁을 받아 사단법인 ○○○○학회에서 수행한 보고서입니다.
2. 본 내용을 대외적으로 게재, 인용할 때에는 반드시 국토교통부 국토지리정보원의 사전 허락을 받기 바라며, 무단 복제는 절대 금합니다.

국가 지오이드 모델 개발 연구

인쇄·2020년 4월

발행·2020년 4월

발행자·홍 길 동

발행처·국토교통부 국토지리정보원

주소·경기도 수원시 영통구 월드컵로 92(원천동)

전화·031-210-2700

FAX·031-210-2644