Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society
Vol. 15, No. 7 pp. 4595-4600, 2014

http://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2014.15.7.4595
ISSN 1975-4701 / eISSN 2288-4688

GPS/Leveling을 이용한 정밀 지역 지오이드 구축

박준규[1], 안종순[2*]
[1]서일대학교 토목과, [2]충남대학교 대학원 토목공학과

Construction of Precise Local Geoid using GPS/Leveling

Joon-Kyu Park[1], Jong-Soon Ahn[2*]
[1]**Department of Civil Engineering, Seoil University**
[2]**Department of Civil Engineering, Chungnam National University**

요 약 지오이드는 수직기준면으로서의 큰 의미를 지니며, GPS측량이 활성화되고 있는 현시점에서 GPS를 이용한 표고측정을 가능케 하는 중요한 요소가 되고 있다. 이에 본 연구에서는 대전광역시를 대상으로 신설된 복합기준점에 대한 GPS 및 수준측량을 수행하고 GPS/Leveling을 통해 각 기준점들의 평면위치, 표고 및 지오이드고를 산출하여 정밀 지역 지오이드를 구축하였다. 또한 사이트 캘리브레이션을 통해 GPS 수준측량의 가능성을 평가하였다. 연구를 통해 약 1.5km 간격의 정밀 지역 지오이드를 구축하였으며, GPS 수준측량을 통해 직접 수준측량 성과와 평균 2cm 이내 편차로 표고를 산정함으로써 GPS 수준측량의 가능성을 제시하였다. 연구결과를 바탕으로 지속적인 연구를 통해 광역 정밀 지오이드 모델이 개발된다면 표고를 요구하는 측량업무의 간소화 및 효율성의 극대화가 가능할 것이다.

Abstract A geoid has great meaning as a vertical reference plane, and at this point when GPS measurement is vitalized, it is an important factor that makes level measurements with GPS possible. This study carried out GPS and leveling of newly created complex control points targeting Daejeon. The geoid for the precise area was built by calculating the plane location, elevation and the geoid of each reference point using GPS/Leveling. In addition, this study evaluated the potential of GPS leveling throughout the site calibration. The geoid for the precise area intervals of approximately 1.5km throughout the study was determined. The results highlight the possibility of leveling by estimating direct leveling performance and mean altitude deviation by less than 2cm. Based on the results, if a geoid model for the precise and wide area can be developed throughout ongoing research, survey tasks that require elevation can be streamlined and the efficiency maximized.

Key Words : Accuracy Evaluation, GPS/Leveling, Precise Local Geoid

1. 서론

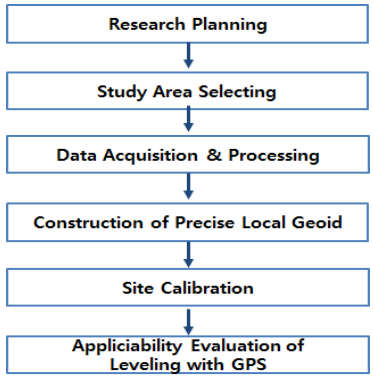
GPS 측량은 측위위성으로부터 데이터를 수신하여 관측점의 3차원 위치를 결정하는 것으로 3차원 좌표는 위성을 추적하기 위하여 채택된 지구중심타원체 WGS84(World Geodetic System 1984)에 준거하고 있어 일반적으로 지역적 준거타원체와는 일치하지 않는다. 따라서 다른 형태의 측지 기준에 기준한 공간데이터들을 상호 연관시키기 위한 변환이 필요하며, 일반적으로 3개 변환 파라미터(3 Parameter)와 7개 변환 파라미터(7 Parameter) 등에 의한 3차원 상사변환을 사용한다[1]. 이때, 주목해야 할 점이 좌표변환에 의한 좌표값들은 타원체를 기준으로 한 것으로 지역적인 측지망의 평면좌표와는 일치하지만 표고는 등포텐셜면인 지오이드에 준거하고 있지 않으므로 표고값은 일치하지 않는 것이다. 표고는 평균해수면에 가장 근사한 중력 등포텐셜면으로 정의

본 논문은 2014년도 서일대학교 학술연구비에 의해 연구되었음. 논문 작성을 위해 자료를 제공해주신 대전광역시에 감사드립니다.
*Corresponding Author : Jong-Soon Ahn(Chungnam National Univ.)
Tel: +82-10-6403-4772 email: ajs44@korea.kr
Received April 3, 2014 Revised May 21, 2014 Accepted July 10, 2014

되는 지오이드고를 기준으로 하여 측정되며, GPS에 의하여 측정되는 타원체고는 지오이드에 대하여 수학적으로 가장 근사한 가상의 면인 지구중심타원체를 기준으로 측정된다. 따라서 GPS에 의한 표고의 결정은 지오이드고가 결정되지 않은 지역에서는 적용할 수 없으며, GPS/Leveling의 실용화를 위해서는 정밀한 지오이드의 결정이 필요하다. 정밀한 지오이드의 결정이 이루어져 위성기준면의 준거타원체와 지오이드간의 이격을 알면, GPS측량으로부터 얻은 높이를 우리나라 표고기준면의 표고로 변환할 수 있다. 이러한 이유로 최근 학계나 관련 연구기관에서 지속적으로 지오이드모델에 대한 연구가 시도되고 있으며, 보다 정확한 지오이드고를 고려한 측지망의 계산에 노력을 기울이고 있다[2].

정확한 지오이드 모델링을 위해 고차항의 개선된 지구중력장 모델의 개발과 새로운 지오이드 결정 이론 및 방법론에 대한 연구가 꾸준히 수행되어왔다. 국외의 경우, NASA의 고다드 우주비행센터(GSFC; Goddard Space Flight Center), NIMA(National Imagery and Mapping Agency), 그리고 오하이오 주립대학(OSU)이 협력하여 1996년에 발표한 최대차수 360의 포텐셜 계수 모델인 EGM96에 대한 연구를 수행하였으며[3], 이는 세계에서 가장 많이 이용되고 대표적인 중력장 모델중 하나이다.

국내의 경우, GPS/Leveling을 이용하여 우리나라 지역별 기하학적 지오이드고를 산출하고 기지점 고정수에 따른 표고 오차 분석 및 기존에 구축된 지오이드모델로부터의 지오이드고와 비교분석을 수행한 연구가 수행되었으며, 지상 및 항공중력자료의 분포 및 특성을 고려하여 보다 정밀한 지오이드 결정을 위한 최적의 매개변수 결정에 대한 연구가 이루어졌다[4-9]. GPS로부터 획득된 타원체고와 수준측량으로부터 획득된 정표고의 차이가 바로 지오이드고이기 때문에 정밀한 지역 지오이드 모델 개발의 기초자료 구축을 위해 GPS/Leveling 자료를 활용할 수 있다. 이에 본 연구에서는 대전광역시를 대상으로 신설된 복합기준점에 대한 GPS 및 수준측량을 수행하고 GPS/Leveling을 통해 각 기준점들의 평면위치, 표고 및 지오이드고를 산출하여 정밀 지역 지오이드를 구축한다. 또한 사이트 캘리브레이션을 이용하여 GPS 수준측량의 가능성을 평가하였다. Fig. 1은 연구 흐름도를 나타낸다.



[Fig. 1] Study flow chart

2. 정밀 지역 지오이드 구축

본 연구에서는 대전광역시를 대상으로 신설된 300여 점의 복합기준점에 대한 GPS 및 수준측량을 수행하였다. GPS/Leveling 데이터를 통해 지오이드고를 산출하여 정밀 지역 지오이드를 구축하고, GPS 및 수준측량을 통해 얻어진 정밀한 평면위치 및 표고를 이용한 사이트 캘리브레이션을 수행하여 GPS를 이용한 수준측량에 적용하였다.

2.1 연구대상지

대전광역시는 원점 체계가 서로 다른 기준점들 간의 성과 불일치를 해결하고, 새로운 기준점 관리 체계 정립을 위해 기준점 간의 좌표계 일원화 추진의 일환으로 세계측지계 기준의 수평 및 수직위치를 제공할 수 있는 복합기준점을 신설하였다. 본 연구에서는 2011년~2013년에 신설된 310점의 복합기준점을 대상으로 GPS측량 및 수준측량을 실시하였다.

2.2 데이터 취득 및 처리

본 연구에서는 연구대상지 복합기준점을 대상으로 국토해양부가 설정한 원점, 정확도 분류, 가이드라인, 그리고 측량기법을 준수하여 GPS측량을 수행하였으며, 관측기간은 2011년 11월 15일부터 11월 28일, 2012년 7월 26일부터 8월 7일, 2013년 6월 24일부터 8월 29일까지이며, 각 측점당 3시간씩 정지측량 방법으로 성능검사를 필한 GPS 수신기를 이용한 관측을 수행하였다. 연구대상지역에 대한 수준측량은 310개의 복합기준점을 대상으로 2급

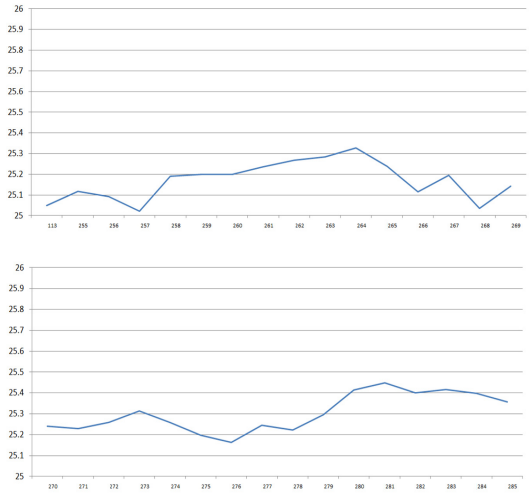
정확도의 직접수준측량을 수행하였다. Fig. 2는 GPS 측량을 나타낸다.

[Fig. 2] GPS surveying

관측된 GPS 데이터에 대한 처리는 기선해석 단계와 망조정 단계를 통해 관측점의 3차원 위치를 결정하게 된다. 데이터 처리에 이용한 프로그램은 TBC(Trimble Bussiness Center)를 이용하였다. 자료처리에 앞서 위성수, 위성 고도, DOP 항목에 대해 GPS 관측 데이터에 대한 점검을 선행하였다. 자료처리 절차는 RINEX파일의 점검, 기선해석, 해석된 기선데이터 통계수치분석, 불량위성과 관측시간대 편집, 기선재처리, 망조정 수행 및 결과분석, 측점의 3차원 절대좌표를 차례로 결정하였다. 기선해석은 현장관측에 수반되는 장애와 계산이 제대로 되었는가 등을 평가하는 과정으로 최종적으로 획득하고자 하는 관측점에 대한 위치를 결정하는 것은 아니다. 따라서 기선해석이 완료된 후 각 기선벡터와 공분산을 이용하여 망조정하는 단계를 거쳐 최종위치를 결정하였다.

2.3 GPS/Leveling에 의한 지오이드고 산정

GPS/Leveling은 일반적으로 정밀한 직접 수준측량에 의하여 표고가 결정된 수준점을 기준으로 수행되기 때문에 그 지점에 대한 정밀한 타원체고가 계산된다면 매우 높은 정밀도의 지오이드고를 산출할 수 있다. 현재 GPS를 통하여 수 cm 이내의 정밀도로 타원체고를 결정할 수 있기 때문에 이를 통한 지오이드고 산정이 가능하다. 본 연구에서는 복합기준점을 대상으로 수행된 GPS/Leveling 자료에서 지오이드고를 계산하였다. 위도 및 경도는 GRS80 타원체 기준이며, 표고는 수준측량 결과이며, Fig. 3은 지오이드고 그래프를 나타낸다.



[Fig. 3] Graph of geoidal height

GPS/Leveling에 의해 계산된 지오이드고는 25.02m~25.81m의 분포를 나타내었다. 연구대상지인 대전광역시는 동서로 약 13km, 남북으로 약 26km이며, 면적은 469km^2 이다. 기존 EGM2008 모델의 경우, 격자 간격 약 5km 정도로 지오이드고를 제공하지만 연구를 통해 산정된 지오이드고를 이용한다면 약 1.5km 격자 간격으로 지오이드고를 제공하기 때문에 더욱 정밀한 지역 지오이드 구축이 가능하다.

2.4 GPS/Leveling에 의한 지오이드고 산정

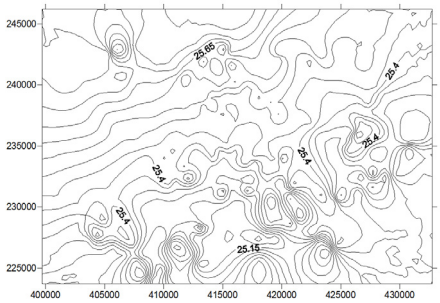
본 연구에서는 GPS/Leveling에 의해 계산된 지오이드고를 이용하여 정밀 지역 지오이드를 구축하였다. 지역 지오이드 구축을 위해 GRS80 타원체 상의 경위도 좌표를 평면직각 좌표로 변환하였으며, 각 위치에 대한 지오이드고를 이용하였다. Table 1은 복합기준점의 평면직각 좌표 및 지오이드고를 나타낸다.

[Table 1] Rectangular plane coordinate and geoidal height

ID	N(m)	E(m)	Geoid Height(m)
113	419516.371	227502.132	25.05
123	417703.093	236063.496	25.436
127	414969.272	231223.895	25.4125
127	414969.272	231223.895	25.4125
137	412167.882	232315.717	25.5411
137	412167.882	232315.717	25.5411
144	414297.105	233241.986	25.28
155	425677.927	234646.437	25.4534

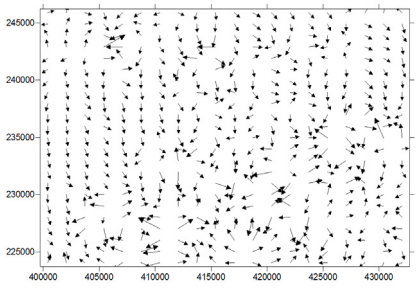
156	426275.78	235974.799	25.5538
156	426007.7	236179.505	25.27
157	426549.037	237134.272	25.4667
158	428300.637	236026.539	25.4138
159	427807.081	236729.188	25.4351
160	427731.453	232747.149	25.4038
⋮	⋮	⋮	⋮
457	423187.508	242631.369	25.613

연구를 통해 연구대상지 복합기준점의 평면 직각좌표와 지오이드고를 이용하여 정밀 지역지오이드를 구축하였다. 불규칙한 2차원 평면직각좌표를 규칙적인 간격의 그리드 데이터로 변환하기 위해 Surfer를 사용하였다. 그리드 생성을 위해 "Northing", "Easting", "Elevation"으로 정의된 데이터를 이용하여 연구대상지의 정밀 지역지오이드를 생성하였다. 지역 지오이드의 데이터 간격은 약 1.5km로 기존 EGM08 지오이드 모델보다 4배정도 정밀한 지역 지오이드를 생성할 수 있었다. Fig. 4는 지역 지오이드의 contour map을 나타낸다.



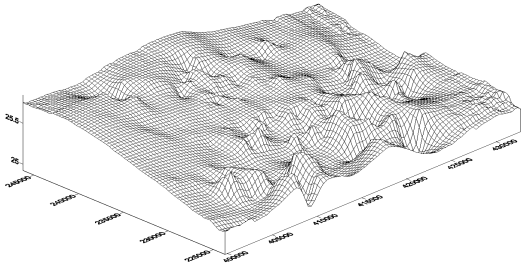
[Fig. 4] Contour map of local geoid

연구대상지의 지오이드고는 약 25m 정도이며, 가장 높은 지역과 낮은 지역의 차이는 0.9m정도를 나타내었다. 생성된 정밀 지역 지오이드의 형상을 파악하기 위해 이를 벡터로 도시하였다. Fig. 5는 지역 지오이드 벡터를 나타낸다.

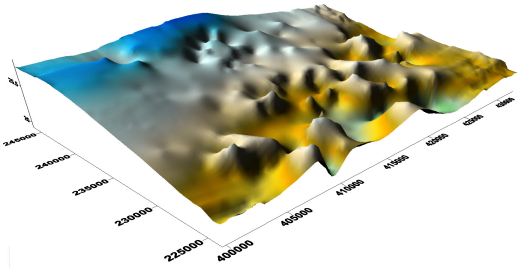


[Fig. 5] Local geoid vector

연구대상지의 지오이드는 북쪽이 높고 남쪽으로 갈수록 낮은 양상을 보였으며, 중력이상과 같은 특이한 형상이 나타나지는 않았다. 생성된 정밀 지역 지오이드를 3차원으로 나타내기 위해 contour map을 보간하여 mesh를 생성하고 지오이드고에 따라 표면을 매핑하였다. Fig. 6은 mesh이며, Fig. 7은 지오이드고의 표면 매핑 결과를 나타낸다.



[Fig. 6] Mesh



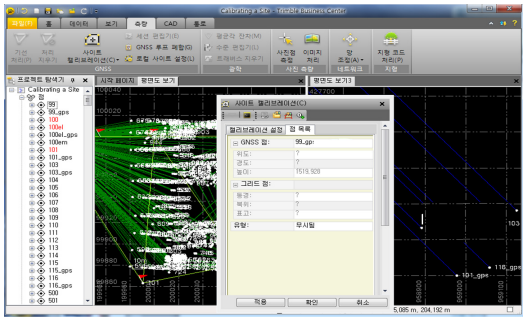
[Fig. 7] Surface mapping of geoidal height

3. GPS 수준측량

본 연구에서는 GPS/Leveling 데이터를 이용한 사이트 캘리브레이션을 통해 GPS 수준측량을 수행하고 직접수준측량 결과와 비교를 통해 정확도를 분석함으로써 GPS 수준측량의 가능성을 평가하였다.

사이트 캘리브레이션은 일반적으로 값을 알고 있는 특정 지점으로부터 미지점의 값을 추정하는 방법이다. GPS 사이트 캘리브레이션은 GPS를 통해 얻을 수 있는 위도, 경도 및 타원체고 성과를 로컬 그리드 좌표의 N, E, H로 변환하기 위해 매개 변수를 계산하는 과정이다. Datum 변환, Map projection to local grid, 수평 및 수직 조정의 과정으로 이루어진다. 수평 조정은 최소 제곱조정으로 2D Helmert 변환을 수행하게 되며, 최소 3점 이상의 성과를 알고있는 기준점이 필요하다. 수직 조정은

성과를 알고 있는 기준점으로부터 가상의 경사평면을 생성하여 표고를 계산하게 된다. 3점의 기준점이 있다면 경사평면의 정의가 가능하며, 4점 이상의 기준점 성과가 있다면 캘리브레이션 결과의 잔차를 알 수 있다. 사이트 캘리브레이션은 TBC를 이용하여 복합기준점을 대상으로 수행하였으며, 복합기준점에 대한 GPS 수준측량을 수행하였다. Fig. 8은 사이트 캘리브레이션 화면을 나타낸다.

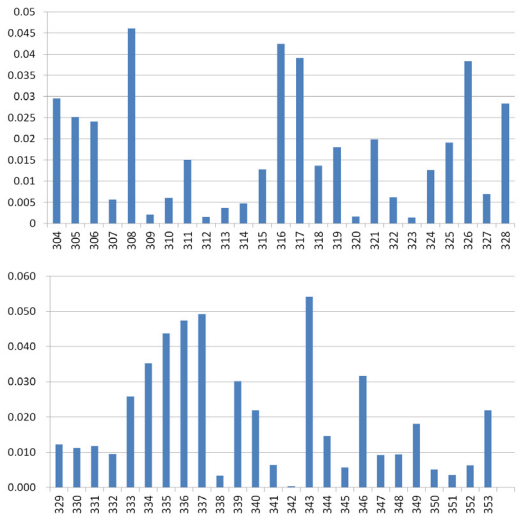


[Fig. 8] Site calibration

사이트 캘리브레이션을 위한 기준점으로 복합기준점 중 50개소의 직접수준측량 성과를 이용하였으며, 50개소의 복합기준점에 대한 GPS 수준측량을 수행하였다. Table 2는 GPS 수준측량과 직접 수준측량의 비교이며, Fig. 9는 GPS 수준측량의 정확도를 나타낸다.

[Table 2] Comparison of leveling with GPS and direct leveling

ID	Direct Leveling(m)	Leveling with GPS(m)	Deviation(m)
304	212.4450	212.4745	-0.030
305	154.4129	154.3877	0.025
306	126.9234	126.9474	-0.024
307	187.5409	187.5465	-0.006
308	174.0067	174.0528	-0.046
309	100.3691	100.3712	-0.002
310	92.0836	92.0896	-0.006
311	86.3383	86.3232	0.015
312	105.6208	105.6223	-0.002
313	91.0060	91.0096	-0.004
314	79.0313	79.0360	-0.005
315	122.9453	122.9581	-0.013
316	559.5431	559.5856	-0.042
317	290.6006	290.6397	-0.039
318	64.1294	64.1157	0.014
319	69.5440	69.5620	-0.018
320	237.3824	237.3807	0.002
321	168.9177	168.8979	0.020
322	56.0175	56.0114	0.006
⋮	⋮	⋮	⋮
353	37.4828	37.5047	-0.022



[Fig. 9] Accuracy of leveling with GPS

사이트 캘리브레이션을 통한 GPS 수준측량은 직접수준측량 성과와 최대 5.0cm, 평균 2cm 정도의 편차를 나타내었다. 이는 정밀 지역 지오이드를 이용한 GPS 수준측량의 가능성을 제시하는 것이다. 향후, 연구결과를 바탕으로 광역적인 지오이드 모델이 개발된다면 표고를 요구하는 측량업무의 간소화 및 효율성의 극대화가 가능할 것이다.

4. 결론

본 연구는 대전광역시를 대상으로 신설된 복합기준점에 대한 GPS측량 및 수준측량을 수행하고, GPS/Leveling을 통해 각 기준점들의 평면위치, 표고 및 지오이드고를 산출하여 정밀 지역 지오이드를 구축하였다. 또한 GPS 수준측량을 수행하여 수준측량에 GPS의 활용 가능성을 평가하였다. 연구를 통해 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. GPS/Leveling 기법을 통해 신설된 300여 개소 복합기준점의 3차원 GRS80, 평면직각좌표 및 표고 성과를 산출하였으며, 이를 기반으로 약 1.5km 간격의 정밀 지역 지오이드를 구축하였다.
2. 사이트 캘리브레이션을 통한 GPS 수준측량을 수행하여 직접 수준측량 성과와 평균 2cm 이내 편차로 표고를 산정함으로써 GPS 수준측량의 가능성을 제시하였다.

3. 향후, 지속적인 연구를 통해 광역 정밀 지오이드 모델이 개발된다면 표고를 요구하는 측량업무의 간소화 및 효율성의 극대화가 가능할 것이다.

References

[1] D. W. Kwon, H. S. Yun, J. H. Choi, “Coordinate Transformation between Korean Geodetic System and WGS-84 by 7 Parameter Coordinate Transformation Method“, Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography, Vol.31, No.3, pp. 117-124, 1995.

[2] Kavzoglu, T., Saka, M. H., “Modelling local GPS/leveling geoid undulations using artificial neural networks”, Journal of Geodesy, Vol. 78, No. 9, pp. 520-527, 2005.
DOI: http://dx.doi.org/10.1007/s00190-004-0420-3

[3] Lemoine, F. G., Smith, D. S., Torrence, M. H., Williamson, R. G., Cox, C. M., Rachlin, K. E., Ming, Y. M., Kenyon, S. C., Salman, R., Trimmer, R., Rapp, R. H. and Nerem, R. S, “The Development of the NASA GSFC and NIMA Joint Geopotential Model”, International Symposium on Gravity, Geoid and Marine Geodesy, pp. 461-469, 1996.

[4] Y. S. Choi, B. U. Park, K. S. Choi, J. S. Kim, “Precise Geoid Calculation Using Shipborne Gravity Data of the Mid-Yellow Sea Around KOREA”, Korean Society of Geodesy, Photogrammetry and Cartography, Vol.20, No.4, pp. 383-388, 2002.

[5] H. Anh, I. Koo, "Localization of primary user for cognitive radios based on estimation of path-loss exponent", The Journal of The Institute of Internet, Broadcasting and Communication, Vol. 13, No. 5, pp. 55-63, 2013.

[6] J. Oh, "A Study on the Relative Positioning Technology based on Range Difference and Root Selection", The Journal of The Institute of Internet, Broadcasting and Communication, Vol. 13, No. 5, pp. 85-91, 2013.

[7] K. Kim, D. Nam, "Web Service for Traffic Information Using Focus+Context Visualization Technique", The Journal of The Institute of Internet, Broadcasting and Communication, Vol. 14, No. 2, pp. 101-106, 2014.

[8] J. Oh, "Optimum Design of the Microphone Sensor Array for 3D TDOA Positioning System", The Journal of The Institute of Internet, Broadcasting and Communication, Vol. 14, No. 1, pp. 31-36, 2014.

[9] J. Oh, "A Study on Relative Positioning based on Acoustic Signal of Smart phone", The Journal of The Institute of Internet, Broadcasting and Communication, Vol. 13, No. 1, pp. 229-234, 2013.

박 준 규(Joon-Kyu Park) **[종신회원]**

- 2001년 2월 : 충남대학교 공과대학 토목공학과 (공학사)
- 2003년 2월 : 충남대학교 대학원 토목공학과 (공학석사)
- 2008년 8월 : 충남대학교 대학원 토목공학과 (공학박사)
- 2011년 3월 ~ 현재 : 서일대학교 토목과 조교수

<관심분야>
지형공간정보공학

안 종 순(Jong-Soon Ahn) **[정회원]**

- 1997년 2월 : 한밭대학교 건설환경조형대학 도시공학과 (공학사)
- 2004년 2월 : 한밭대학교 대학원 도시공학과 (공학석사)
- 2010년 3월 ~ 현재 : 충남대학교 대학원 토목공학과 (박사수료)

<관심분야>
GPS, 지형공간정보공학, 지적학