

우리나라 수치표고모델 구축방안

A Proposal for Korea DEM Standard and Generation Plan

이창경* · 조규전** · 한상득***

要 旨

DEM을 구축하는 여러 방법 중 항공레이저측량을 이용하여 DEM을 구축하면 정확도 및 품질이 우수하고, 현시성 있는 DEM을 얻을 수 있다. 이에, 본 연구에서는 기존의 DEM구축방법과 신기술에 의한 DEM 구축방법을 품질 및 경제적 면에서 비교·평가하여 우리나라 국가 DEM의 구축방안을 제안하는데 그 목적이 있으며, 이를 위하여 DEM의 소요정확도 파악, 지형(또는 사용목적)별 적절한 격자간격 도출, DEM 구축방법별 경제성을 분석하고 추진일정을 제안하였다.

1. DEM의 正確度

1.1 正確度 規定

한 지점의 표고 정확도는 그 추정값과 공인된 참표고(true elevation)와의 차이를 나타내며, 그 차이의 크기에 따라 보통 “높다”, 또는, “낮다”로 평가된다. 때때로, 국가 기준망에 의해 그 지점 표고의 참값을 추정 할 수도 있지만, 대개는 참값을 알 수 없다.

우리나라 종이지도의 표고에 대한 정확도규정은 등고선 간격의 1/2보다 작도록 규정되어 있다. 그러나, 이 규정은 도면축척이 고정된 종이지도를 사진측량에 의해 제작한 경우를 기준한 것으로, 수치공간자료(특히, DEM)에 그대로 적용하는 데는 문제가 있다. 왜냐하면, 새로운 공간자료 획득 정확도가 과거의 사진측량과 다르고, 이 자료로부터 그린 지도의 도면축척을 임의로 변경하여 사용할 수 있기 때문이다. 외국의 경우도 우리와 비슷하게 지도와 공간자료가 변천하여 왔으므로 수치공간자료의 정확도표준에 대한 입장은 같다고 볼 수 있다. 여기서는 미국의 공간자료 정확도표준을 사례분석하여 우리나라 DEM의 정확도표준을 정하는데 참고하고자 한다.

미국의 the National Standard for Spatial Data Accuracy(NSSDA)를 보면, 수치공간자료에서 여러 지점 표고의 정확도는 우선 평균제곱근오차(root-mean-squares error, RMSE)로 표현한다. RMSE는 측정 표고와 공인 참 표고(또는 측정 표고보다 높은 정확도로 구한 표고)의 차이의 제곱의 합을 평균하여 그 제곱근을 취한 값이다. 또한, 표고 RMSE는 규정된 신뢰수준(보통 95%)의 오차로 변환되어 표고정확도로 불리며, 이를 고시하고 있다. 한편, 지금까지 정확도를 나타내는 값

* 군산대학교 토목환경공학과 부교수

** 경기대학교 토목공학과 교수

*** 국립지리원 항측과장

에 ± 부호를 붙여 사용하여 왔으나, 이것은 오용된 것으로, 말하는 사람이나 듣는 사람 모두에게 다른 의미로 인식되므로, 더 이상 사용하지 않기로 한다(Maune, 2001).

1.2 美國의 標高正確度 標準

미국의 정확도 표준은 기준점망 표준과 지도 표준으로 구분된다. 지도정확도 표준은 사진측량에 의해 종이에 등고선 지형도를 제작하던 시기인 1947년에 Bureau of Budget에서 National Map Accuracy Standards(NMAS)를 제정하였고, 수치지형자료가 활성화된 1990년에 ASPRS에서 ASPRS Accuracy Standards for Large-Scale Maps를 제정하였으며, 1998년에는 the Federal Geographic Data Committee(FGDC)에서 Geospatial Positioning Accuracy Standards를 공표하였는데 그 Part 3 부분에 the National Standard for Spatial Data Accuracy(NSSDA)가 포함되어 있다. 다음은 미국의 시대별 지도정확도 표준에 명시된 표고정확도 표준 변천사항이다.

1) NMAS 표고정확도(1947년)

모든 축척의 종이 지형도에 적용하는 표고정확도는 현저한 지점의 기준면상 표고를 그 지도에서 구한 값과 보다 높은 정확도의 측량으로 구한 값과의 차이(오차)로 검사하며, 검사한 지점 중 90% 이상의 지점이 그 지도의 등고선 간격의 $\frac{1}{2}$ 보다 큰 오차를 가져서는 안 된다. 이 표고정확도 표준은 DEM 구축이전에 설정된 것으로, 평면오차를 종이 지형도상의 거리로 표기하였으며, 지형도에서 표고를 검사할 때는 외견상의 표고오차가 그 지형도의 수평위치오차의 보정으로 줄어 들 수 있다.

2) ASPRS 표고정확도(1990년)

종이 지형도의 표고정확도는 현저한 지점에 대한 기준면상 표고의 RMSE로 정의한다. Class 1 지도의 허용표고정확도는 현저한 지점의 표고에 대하여는 그 지도의 등고선 간격의 $\frac{1}{3}$ 이며, 점표고에 대하여는 그 지도의 등고선 간격의 $\frac{1}{6}$ 이다. 이때 검사지점의 최확표고를 구하기 위한 표고측량의 RMSE는 검사하려는 지형도 등고선 간격의 $\frac{1}{20}$ 보다 작아야 한다. 이때에 수평위치허용오차의 2배 범위에서 수평위치를 보정할 수 있다. 이 표준은 DEM 구축이후에 규정된 것임에도 불구하고, 종이지형도를 대상으로 하고있다., 단, 오차는 지도상 거리가 아닌 지상거리로 나타내며, 지도에 고르게 분포한 20점 이상의 지점을 검사하여야 하고, RMSE보다 3배 이상의 오차는 과대오차로 간주한다.

3) FGDC 표고정확도(1998년)

1998년에 미국의 FGDC에서 National Spatial Data Infrastructure(NSDI)를 지원하기 위해 새로운 지리공간위치 정확도표준(Geospatial Positioning Accuracy Stands)를 공표하였다. 이 표준은 Part 1: 정확도 고시방법, Part 2: 측지망 표준, Part 3: 공간자료 정확도 국가표준으로 구성되어 있으며, 본 보고서에서는 DEM과 밀접히 관련된 Part 3에 대한 규정은 아래와 같다.

① Part 3: 공간자료 정확도 국가표준(NSSDA)

NSSDA는 높은 정확도를 확보하고 있는 측지망 기준점을 기준하여 종이지도 및 수치공간자료 상 점의 위치정확도 통계값 및 그 검사방법에 대한 표준이다. NSSDA는 위치정확도 추정에 RMSE를 사용하며, 95% 신뢰수준의 오차를 지상거리로 고시한다.

■ 정확도 검사 지침

표고정확도는 공간자료에 포함된 현저한 지점의 표고를 이하는 별도로 높은 정확도로 측정된 그 지점 표고와 비교하여 검사한다. 이때에 최소한 20점이 비교되어야하며, 검사점은 공간자료의 범위와 오차분포를 고려하여 고르게 분포되어야 한다. 20점을 검사하면 95% 신뢰수준에서 1점이 허용표고오차(표고정확도)를 초과하는 것이 허용된다.

■ 표고 정확도

표고정확도도 표고측정값에 대한 평균제곱근오차로부터 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$RMSE_z = \sqrt{\sum (z_{dataI} - z_{checkI})^2 / n}$$

$$\text{표고정확도}(Accuracy_z) = 1.9600 \times RMSE_z$$

4) ASPRS와 FGDC 표고정확도 표준의 비교

ASPRS 지도정확도표준에서도 NMAS와 마찬가지로 지도의 표고정확도를 등고선간격에 관련시켜 규정해 왔다. ASPRS에서는 지도상 현저한 지점의 표고를 대상으로한 정확도 검사일때는 그 RMSE를 그 지도의 등고선 간격의 1/3로 규정하였고, 점표고에 대한 검사일때는 그 RMSE를 그 지도의 등고선 간격의 1/6로 규정하고 있다. 고시된 정확도는 측지망, 자료편집, 지상좌표계산에 발생한 모든 오차를 포함하고 있다. 반면에, 과거의 NMAS나 ASPRS90 표준에서는 허용수평오차로 인한 표고편위를 인정하였으나, FGDC의 NSSDA에서는 이를 인정하지 않는다.

ASPRS 표고정확도와 FGDC의 NSSDA의 표고정확도를 비교하면 지형도의 등고선 간격과 현저한 지점(또는 점표고)에 대한 RMSE z 의 관계를 다음과 같이 유추할 수 있다.

$$\text{종이지도 등고선 간격} = (3 \sim 6) \times RMSE_z$$

2. 示範構築 DEM 正確度 分析

2.1 구축방법별 정확도

본 연구에서 수치표고모델 시범구축에 사용한 방법은 기존 방법으로 수치지도이용법, 해석사진측량법, 수치사진측량법이고, 신기술로는 항공레이저측량법이다. 이와 같은 방법에 의해 구축된 DEM의 정확도를 분석하기 위하여 시범구축지역 중 시야가 양호하고 지대가 평평한 지점에 27점의 검사점을 설치하여, 그 평면위치와 표고를 DGPS 방식으로 측정하였다.

일반적으로 오차는 평면위치오차와 표고오차로 구분하여 분석한다. DEM에서는 아직까지 그 해상도(격자간격)가 지상의 특정위치를 표시할 수 있을 만큼 조밀하지 못하기 때문에 평면위치오차는 표고오차에 포함시켜 평가하고 있다.

DEM의 오차분석통계량은 지금까지 RMSE에 의존하여 왔으며, RMSE는 오차가 정규분포를 이룬다는 가정에 기초하고 있다. 본 연구에서는 과대오차가 포함되어 있을 수도 있는 DEM의 표고정확도 평가에 RMSE를 보완한 95%오차 개념을 도입하였다. 95%오차는 RMSE에 1.96의 계수를 곱한 오차로 관측한 DEM의 표고오차 중의 95%가 이 범위내에 있다는 의미로 해석되며, 이를 DEM의 표고정확도라 부른다. 본 연구에서는 선행 DEM연구와 오차를 비교분석하기 위하여 우선 RMSE에 근거하여 DEM의 표고오차를 평가한다.

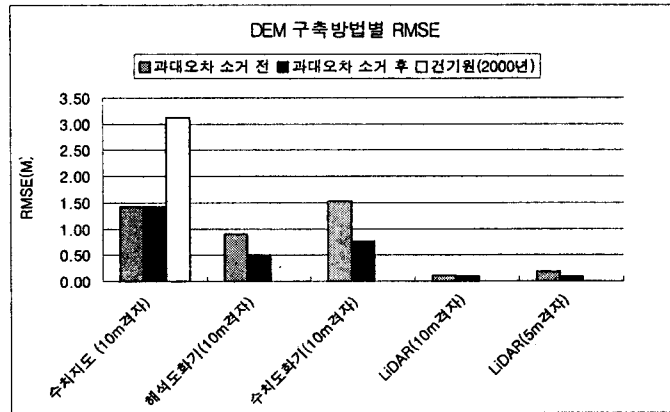
DEM의 표고오차를 검사점을 이용하여 분석할 때에는 GPS에 의해 관측된 검사점의 표고를 참값으로 보고, 시범구축한 DEM으로부터 이 지점에 대한 표고를 보간법으로 역산하여, 그 차이를 오차로 간주한다. 즉, 표고오차 = 검사점 표고(DEM 격자점으로부터 보간) - 검사점 표고(GPS측량) 이다.

본 연구의 DEM시험구축에서는 수치지도 1: 5,000 지역은 수치지도, 해석도화기, 수치도화기로는 격자간격 10m, LiDAR로는 격자간격 5m의 규칙격자형 DEM을 구축하였고, 수치지도 1:1,000 지역에 대하여는 모든 방법에서 격자간격 1m의 규칙격자형 DEM을 구축하였다.

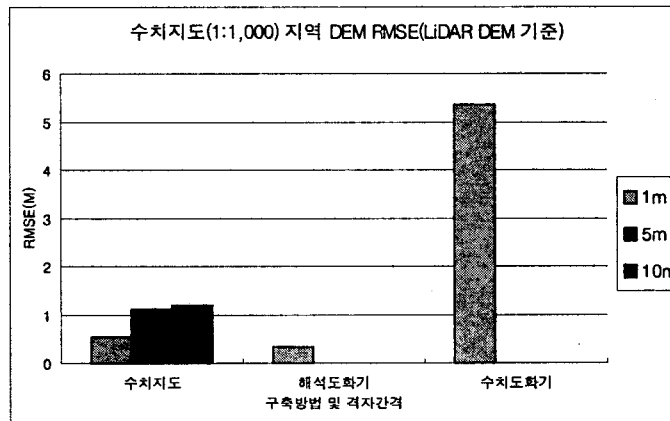
먼저 격자간격 10m로 각 방법별로 구축한 DEM에 대해 앞에서 기술한 RMSE를 구하여, 이 오차분석 결과와 지난 전기원 선행연구시 시범구축 DEM RMSE오차를 함께 도시한 그래프가 <그림 1> 이다. 각 구축방법별 DEM의 RMSE는 수치지도로부터 구축한 DEM이 1.4m - 3.1m, 해석도화기로 구축한 DEM이 0.5m - 0.8m, 수치도화기로 구축한 DEM이 0.8m - 1.5m, LiDAR로 구축한 DEM은 0.1m 내외를 보였다. 수치지도로부터 구축한 DEM이 선행연구에 비해 RMSE가 월등히 작게 나온 것은 이번 시범구축에서는 수치지도 원도를 사용한다 있는 것으로 사료된다. 반면에 LiDAR로 구축한 DEM은 격자간격 10m인 경우나 격자간격 5m인 경우나 RMSE가 비슷하게 나왔는데, 이는 검사점을 평평한 개활지에 설치하였기 때문에 격자간격에 무관하게 좋은 결과를 보였다고 생각된다. 본 시험구축에서 LiDAR로 구축한 DEM의 표고정확도를 구하면 $1.96 \times 0.1m = 0.2m$ 이다.

앞의 격자간격 10m의 오차분석에서 LiDAR로 구축한 DEM의 정확도가 다른 방법에 비해 월등히 우수하였으므로, 이를 근거로 LiDAR로 구축한 DEM을 참값으로 보고, 수치지도, 해석사진측량, 수치사진측량으로 구축한 격자간격 1m의 DEM의 표고오차로부터 RMSE를 구하고 이를 도시한 그래프가 <그림 2>이다. 즉, 표고오차 = DEM 격자점 표고(구축방법별, 지형별) - DEM 격자점(LiDAR 측량)이다.

수치지도로 구축한 DEM의 RMSE가 0.6m, 해석도화기로 구축한 DEM의 RMSE가 0.4m, 수치도화기로 구축한 DEM의 RMSE가 5.4m로 나타났다. 수치도화기로 구축한 DEM의 RMSE가 큰 것은 이 지역이 도심지라 수치도화기로 구한 DEM은 지표면의 표고가 아닌 건물상면의 표고를 구하였기 때문이라 사료된다.



< 그림 1 > DEM(격자간격 10m) 구축방법별 RMSE(GPS검사점 기준)

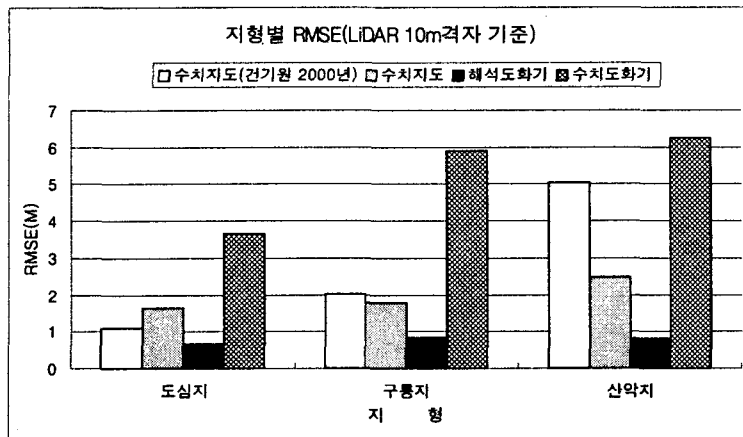


< 그림 2 > 수치지도(1:1,000) 지역 DEM의 구축방법별 오차(LIDAR 기준)

2.2 지형별 정확도

시험구축된 DEM의 오차가 지형에 따라 차이를 보이는지 알아보기 위하여, 시험지역 내에서 도시지역, 구릉지, 산악지라 볼 수 있는 500m×500m 구획을 선별하였다. 이들 지형별 선정지역이 협소하여 이 구획 안에 검사점이 한 두점 밖에 배치되어 있지 않아 검사점에 의한 구축방법별 RMSE는 구할 수 없었다. 따라서, 앞에서 1:1,000수치지도구역에 대한 구축방법별 RMSE를 구하였던 것처럼, LiDAR에 의해 구축된 DEM(격자간격 10m)을 참값으로 보고, 기존구축방법으로 구축한 DEM에 대한 오차를 구하고 이로부터 RMSE, 표준편차, 비대칭도 등의 통계량을 계산하였다. <그림 3>은 이와 같이 구한 구축방법별 RMSE를 도시한 그래프이다.

해석도화기에 의해 구한 DEM은 도시지역, 구릉지, 산악지를 가리지 않고 1.0m 이하의 양호한 오차를 보인 반면, 수치지화기는 지형에 불문하고 3m 이상의 오차를 보였다. 수치지도로 구축된 DEM은 도시지역에서 1.8m, 산악지에서 2.3m의 RMSE를 보였다.



< 그림 3 > 도시지역, 구릉지역, 산악지역 구분

3. 國家 DEM의 規格檢討

3.1 目標 解像度

1) 사용목적

우리나라 DEM의 사용목적은 규칙격자형 DEM을 위성영상보정, 지형도 제작, 토목공사용 기본설계, 지질, 수문, 기상 등의 지구과학연구, 방재, 환경, 자원탐사 등의 지형모델링에 활용하는 것으로 가정하고 이에 적합한 격자간격을 추정하여 보자.

위성영상보정용 DEM의 격자간격은 위성영상의 해상도와 같거나 보다 조밀하면 무방하다. 우리나라에서 많이 사용하는 위성영상과 그 지상해상도는 Landsat TM : 30m, SPOT : 10m, 아리랑 위성 EOC : 6.6m, IKONOS : 1m 등이 있어, 격자간격은 30m에서 1m사이가 될 것이다. 고해상도를 지향하여 나날이 발전하는 위성영상분야의 추세를 감안할 때, IKONOS 위성의 해상력에는 못 미치더라도, 우리나라 아리랑 위성의 EOC 영상 해상력에 상응하는 DEM의 격자간격은 10m 에서 5m 사이가 될 것이다.

위성영상으로 지형지물을 구분할 수 있는 해상력은 적어도 나타내고자하는 지형지물 크기의 1/2로 알려져 있다(Maunine, 2001). 따라서, DEM에 의해 토목설계나 방재에 있어서 폭 20m 고속도로를 구분할 수 있는 우리나라의 격자간격은 10m이고, 폭 10m의 왕복 2차선 국도를 구분할 수 있는 격자간격은 5m, 폭 6m의 소방도로를 구분할 수 있는 격자간격은 3m 이다. 즉, 토목설계, 도로관리, 방재목적의 DEM 격자간격은 10m 내지 3m 사이가 될 것이다.

2) 구축기술

수치지도로부터 보간에 의하여 DEM을 제작할 경우에 해상력에 수반된 정확도의 향상을 고려하지 않는다면 격자간격을 무한히 조밀하게 만들 수 있다. 그러나, 국립지리원(1999) 및 건기원(2000) DEM 연구에서 1:5,000 수치지도를 이용한 DEM 구축의 적절한 격자간격은 10m로 제한한 바 있다. 신기술인 LiDAR에 있어서도 원시 표고점의 밀도를 조절하여 격자간격을 1m 이하까지도 구축 가능하며, 그 표

고 정확도는 0.15m 이내이다. 해석 도화기의 경우는 사진축척이 1:5,000인 경우 최소 격자간격은 1m로 보는 것이 타당하며, 이때의 기계적인 표고정확도는 0.3m이나, 삼림지대의 표고오차는 이를 상회한다. 수치도화기와 위성 영상인 경우는 영상 1픽셀의 지상크기가 이로부터 제작 가능한 DEM 격자크기의 한계값이다. 사진축척 1:20,000 항공사진을 이용하여 수치도화기로 제작한 본 연구의 DEM 오차는 5m-6m이었다. 반면에, 지상 해상력 1m인 IKONOS 위성영상으로 5m 격자간격의 DEM 시험제작에서의 표고 RMSE는 1.7m이었다(허민, 2001). 즉, DEM의 격자간격은 원천자료 및 구축방법에 영향을 받으나, 격자간격에 무관하게 높은 정확도가 유지되는 LiDAR로 제작한 DEM이 선호되고 있다.

3.2 目標 正確度

1) 사용목적

격자간격과 정확도는 지형과 관련이 깊어 일률적으로 단정하기 어려우나, 미국 지도정확도표준 NMAS와 NSSDA의 관계로부터 우리나라의 1/5,000(등고선 간격 5m) 지형도의 등고선 제작에 적합한 표고오차(RMSE z)는 $5m / 3.2898 = 1.5198m$ 이다. 그러나 NMAS는 DEM이 구축되기 이전에 규정된 종이 지형도만을 고려한 표준이다. ASPRS(1990년) 규정도 종이지형도를 대상으로 하고 있으나, 측량 및 지형도제작 기술이 NMAS때보다 현재와 가까운 1990년대의 표준이며, NSSDA와 유사한 표고정확도 검사방법을 채택하고 있으므로, 이때의 표준을 기준으로 지형도의 등고선간격과 표고점에 대한 RMSE z 를 비교함이 타당성이 있다. 즉, 우리나라의 1/5,000(등고선 간격 5m) 지형도의 등고선 제작에 적합한 표고오차(RMSE z)는 지도상의 현저한 지점의 표고를 검사하는 경우는 $5m / 3 = 1.67m$ 이고, 표고점의 표고를 검사하는 경우는 $5m / 6 = 0.83m$ 이다. ASPRS 규정은 표고정확도 검사시 수평위치오차로 인한 표고오차의 보정을 인정하고 있으며, 우리나라 DEM 구축시 검사점을 미리 정하고, 이 지점의 표고를 GPS 측량과 같은 높은 정확도를 측량하여 최확값을 구하게 될 것을 감안하면, 우리나라 1/5,000 지형도의 등고선 간격 5m에 상당하는 DEM의 RMSE는 0.83 ~ 1.67m 범위가 적당하다. 같은 논리로, 우리나라 1/25,000 지형도의 등고선 간격 10m에 상당하는 DEM의 RMSE z 는 1.67m ~ 3.33m 범위가 적당하다.

2) 구축기술

DEM의 표고오차는 구축방법뿐만 아니라 DEM의 격자간격에 따라서도 영향을 받는다. 앞 절에서 수치지도, 해석도화기, 수치도화기, LiDAR에 의해 격자간격 10m의 DEM을 구축하고 검사점을 이용한 RMSE를 구한 결과 모두 1.5m 이하의 우수한 정확도를 보였다. 반면에, LiDAR DEM을 기준으로 수치지도, 해석도화기, 수치도화기를 이용한 DEM의 오차는 <그림 3> 과 같았다. 이 결과와 우리나라 수치지도 작업규정, 미국의 사례를 근거로 하여 각 구축방법별 DEM 표고 RMSE를 추정하면 <표 1>과 같다. 즉, 우리나라 1:5,000수치지도 등고선(간격 5m) 작도에 사용할 수 있는 DEM 구축방법은 수치지도 1:1,000이나, 해석도화기, LiDAR에 의해 구축한 DEM이 적절하다.

< 표 1 > DEM구축방법 및 지형별 정확도

원천자료	원천자료 규격	지형	RMSE	근거
수치지도	축척 1:1,000 등고선간격: 1m	도심지	1.89m	건교부, 2001년 보고서, <표4-4>, 격자크기 10m
			1.12m	본 보고서 <그림 6-4>, 격자크기 5m
	축척 1:5,000 등고선간격 5m	도심지	1.65m	본 보고서 <그림 6-6>, 격자크기 5m, 10m
		농경지	1.79m	본 보고서 <그림 6-6>, 격자크기 5m, 10m
			1.87m	건교부, 2001년 보고서, <표3-14>, 격자크기 10m
		산악지	2.47m	본 보고서 <그림 6-6>, 격자크기 5m, 10m
		5.06m**	건교부, 2001년 보고서, <표3-9>, 격자크기 10m	
해석 도화기	사진축척 1:5,000 *	도심지	0.33m	본 보고서 <그림 6-4>, 격자크기 1m
		농경지		
		산악지		
	사진축척 1:20,000 **	도심지	0.68m	본 보고서 <그림 6-6>, 격자크기 10m
		농경지	0.83m	본 보고서 <그림 6-6>, 격자크기 10m
		산악지	0.81m	본 보고서 <그림 6-6>, 격자크기 10m
수치 도화기	사진축척 1:5,000	도심지	5.37m	본 보고서 <그림 6-4>, 격자크기 1m
	사진축척 1:20,000	도심지	3.63m	본 보고서 <그림 6-6>, 격자크기 10m
		농경지	5.91m	본 보고서 <그림 6-6>, 격자크기 10m
		산악지	6.25m	본 보고서 <그림 6-6>, 격자크기 10m
신 기술	LIDAR	전체 지형	0.15m	FEMA 고시값

3.3 우리나라 DEM構築 所要費用檢討

현재 기술로 가능한 DEM 구축방법은 매우 다양하다. 그 중 현실적으로 접근 가능한 방법을 선택하여 본 연구를 수행한 결과 다음과 같이 작업방법별 소요비용을 산출할 수 있었다(<표 2>).

또한, 전국을 서울특별시를 포함한 6대 광역시권역 15,000km²에 대하여는 5m 간격의 DEM을 제작하고 기타 농경지 및 산악지역 70,000km²에 대하여는 10m 간격의 DEM을 제작할 경우 작업방법별 소요비용과 경제적 효과를 분석하면 다음 <표 3>과 같다.

<표 2> 작업방법별 소요비용 비교

작업단위 : 1/5,000 1도엽(6.2 km²)

작업방법	DEM 규격		비고
	5m DEM	10m DEM	
항공레이저측량	5,690천 원	2,276천 원	1,000 km ² 을 기준으로 산출
항공사진해석도화	11,247천 원	2,962천 원	항공사진촬영, 기준점측량비용 200,000원 가산
항공사진수치지도화	3,320천 원	3,196천 원	항공사진 촬영, 기준점측량 필름 스캐닝비 220,000원 가산
수치지도이용	151천 원	139천 원	1/5,000 수치지도활용

<표 3> 전국대상 사업추진시 작업방법별 소요비용

작업방법	항공레이저측량	항공사진 해석도화	항공사진 수치도화	수치지도 이용
소요비용	310억	610억	439억	19억

3.4. 綜合 分析

위에서 정확도와 격자간격을 중심으로 우리나라 DEM의 규격을 검토하고, 구축기술, 대상면적, 정확도에 따른 경제성을 분석한 내용을 정리하면 우리나라 전역을 대상으로 도시지역에 격자간격 5m(RMSE $z = 0.83m \sim 1.67m$), 기타지역에 격자간격 10m(RMSE $z = 1.67m \sim 3.33m$)의 DEM을 구축할 때의 정확도 및 경제성에 근거한 최적구축방안은 다음과 같다.

수치지도의 경우에는 도시지역에 포함되는 농경지와 구릉지에 대한 1: 1,000 수치지도가 없는 지역이 있다. 산악지역에서는 10m DEM을 제작하기에 충분한 RMSE z 를 얻기 힘들다. 해석도화기에 의한 방법은 정확도 면이나 기술적인 면에서 모두 가능하나 비용 및 소요시간이 과다하다. 수치도화방법에 의한 DEM구축은 경제성은 중간이나 소요정확도를 확보할 수 없다. 따라서, 현시점에서는 LiDAR에 의한 DEM구축이 가장 정확하고 경제적인 우리나라 전역을 대상으로 한 DEM 구축방법으로 사료된다.

<표 4> 5m DEM제작시 정확도 및 경제성분석(목표 RMSE 0.83-1.67m)

구축방법	원천자료	원천자료 구비상황	RMSE		경제성		종합판정
수치지도	축척 1:1,000	○ ×	1.12m	○	양호 불량	○ ×	×
	축척 1:5,000	○	1.65m - 1.87m	×	양호	○	×
해석도화기	사진축척 1:5,000	△	0.33m	○	과다	×	×
	사진축척 1:20,000	○	0.68m - 0.83m	○	과다	×	×
수치도화기	사진축척 1:5,000	△	5.37m	×	중간	○	×
	사진축척 1:20,000	○	3.63m - 5.91m	×	중간	○	×
LiDAR		×	0.15m	○	중간	○	○

<표 5> 10m DEM제작시 정확도 및 경제성분석(목표 RMSE 1.67-3.33mm)

구축방법	원천자료	원천자료 구비상황	RMSE		경제성		종합판정
수치지도	축척 1:1,000	×			불량	×	×
	축척 1:5,000	○	2.47m - 5.06m	×	양호	○	×
해석도화기	사진축척 1:5,000	×			과다	×	×
	사진축척 1:20,000	○	0.81m	○	과다	×	×
수치도화기	사진축척 1:5,000	×			중간	△	×
	사진축척 1:20,000	○	6.25m	×	중간	△	×
LiDAR		×	0.15m	○	중간	△	○

4. DEM構築 推進計劃(案)

4.1 DEM構築 推進日程

DEM 구축사업은 날로 증가하고 있는 수요에 능동적으로 대처하며, 이를 활용한 경제적 효과를 극대화하기 위하여 5m 간격의 DEM은 2002년부터 2004년까지 3년 이내에 우선 제작하되 초기년도인 2002년은 소규모로 시행하여 현재까지 나타나지 않은 문제점을 도출하고 해결방안을 강구한 뒤 2003년부터 대규모로 시행하는 것으로 하고 10m DEM은 5m DEM에 비하여 상대적으로 우선순위를 이루어 2003년부터 2004년까지 3년에 걸쳐 완성하는 것으로 한다.

4.2 所要豫算

초기년도인 2002년은 투입비용을 최소화하여 향후 발생할 문제점들을 충분히 도출하고 해결방안을 강구하는 것으로 하며 2003년부터 단계별로 증가하는 예산을 책정하는 것이 효율적이라 판단된다.

<표 6> 연도별 DEM구축 추진일정

구분	총사업량	년 도				비고
		2002	2003	2004	2005	
5m 간격 DEM구축	15,000km ²	1,000km ²	7,000km ²	7,000km ²	42,000km ²	
10m 간격 DEM구축	70,000km ²	-	10,000km ²	18,000km ²		
	85,000km ²	1,000km ²	17,000km ²	25,000km ²	42,000km ²	

<표 7> 연도별 소요예산

구분	총사업비	년 도				비고
		2002	2003	2004	2005	
5m 간격 DEM구축	108억	8억	50억	50억	121억	
10m 간격 DEM구축	202억		29억	52억		
계	310억	8억	79억	102억	121억	

5. 結 論

본 연구의 결과로 우리나라 DEM의 소요정확도 파악, 지형(또는 사용목적)별 격자간격 도출, DEM 구축방법별 경제성 및 생산성의 평가, 적정한 DEM구축 방법 및 추진계획에 대한 결론은 다음과 같다.

1. 수치고도모델(DEM)에 관한 선행사업조사 및 설문조사결과 우리나라 수치표고모델은 지형분석, 위성영상보정, 지도제작, 토목설계, 전파모델링, 방재 및 환경분야에서 시급히 필요하며, 이들이 다수가 필요로 하는 데이터 모델은 규칙격자형, 격자간격은 5m-10m 이었으며, 수치지도로부터 보간에 의해 구축하는 방법을 가장 많이 추천하였다.

2. 본 연구의 기술부분에서 DEM 기존구축방법인 수치지도, 해석사진측량, 수치사진측량과 신기술로서

항공레이저측량(LiDAR)에 의한 격자간격 5m 내지 10m의 규칙격자형 DEM을 시범구축하고, 그 정확도를 분석한 결과 LiDAR에 의해 구축된 DEM의 RMSE는 0.1m로 우수하였다.

3. 미국의 지도제작 및 DEM의 정확도와의 관계규정에 따르면, 우리나라 1:5,000수치지도의 5m 간격 등고선에 필요한 DEM의 정확도는 RMSE 0.83m ~ 1.67m에 상당하며, 본 연구 및 우리나라 선행연구에서 이와 같은 정확도를 갖는 격자간격 5m 내지 10m의 규칙격자형 DEM의 구축방법은 해석사진측량 방법과 항공레이저측량(LiDAR)이 해당된다. 한편, 본 연구의 DEM구축 경제성 분석에 의하면 해석사진측량에 의한 5m 내지 10m 격자간격의 DEM구축은 LiDAR에 비해 1:5,000 수치지도 1도엽당 최소 1.6배 비용이 더 들어가는 것으로 조사되었다.

4. LiDAR가 정확도, 경제성, 데이터의 최신성 및 부가가치면에서 가장 우수한 DEM구축방법으로 판명되었기에 우리나라 수치표고모델구축방법으로 LiDAR가 타당하다.

5. 필요 및 활용성, 설문조사, 구축비용, 구축시간을 고려할 때 전국을 도시지역과 기타지역으로 구분하여, 도시지역은 격자간격 5m, 기타지역은 격자간격 10m의 규칙격자형 DEM을 구축함이 적합하다.

6. DEM구축은 그 활용 및 경제적 효과를 극대화하기 위하여 5m 간격의 DEM은 2002년부터 2005년까지 4년 이내에 제작하되, 1차 년도인 2002년은 소규모로 시행하여 현재까지 나타나지 않은 문제점을 도출하여 해결방안을 강구한 뒤 2003년부터 본격적으로 시행하고 10m DEM은 5m DEM에 비하여 상대적으로 우선순위를 주어 2003년부터 2005년까지 3년에 걸쳐 완성하는 구축일정계획을 권고한다.

< 参 考 文 献 >

건설교통부, 2001, "한국지형에 적합한 수치표고모형 구축방안 연구".

국립지리원, 1999, "국가고도자료구축연구(II)".

정보통신부, 한국전산원, 국토연구원, 2000, "공간영상정보시스템구축 시범사업 완료보고서"

국립지리원, 2000, "항공레이저측량을 이용한 수치표고자료 제작기술".

환경부 환경정책평가연구원, 1999, "인공위성영상자료를 이용한 토지피복분류"

Maunine, David F., 2001, " Digital Elevation Model technologies and Applications: The DEM Users Manual", ASPRS.

USGS, 1987, "Digital Elevation Models - Data Users Guide"

Weibel & Heller, 1991, "Digital terrain Modelling", In Geographic Information Systems: Principles and Applications, edited by D. Maguire et al., England: Longman Scientific, Vol. 1, 269-297.