

경남 밀양지역에서 지구통계기법을 이용한 최적의 지하수위 분포도 작성

김태형, 정상용, 강동환, 이민희, 권해우*, 유인걸*, 유영준*

부산광역시 남구 대연 3동 599-1 부경대학교 환경, 해양대학 환경지질과학과 · *대한광업진흥공사
piezometer@daum.net

<요약문>

경남 밀양지역의 대수층별 지하수위 분포 특성을 파악하기 위하여 2002년 봄에 총 503개 지하수공을 대상으로 지하수위를 측정하였다. 조사된 자료는 수치가 낮은 지점들에 집중되어 있어 정규분포를 이루지 않으나, 대수변환 된 자료는 정규분포를 나타내었다. 표고와 천층 및 심층 지하수위의 회귀 분석을 실시한 결과, 모두 정(+)의 상관관계가 높은 것으로 나타났다. 베리오그램 분석이나 교차 베리오그램 분석 결과, 원시 자료보다 대수변환 된 자료가 반베리오그램이나 교차 반베리오그램의 적합선에 더 잘 맞는 것으로 나타났다. 교차 타당성 분석 결과, 천층 지하수위에 대한 정규크리깅 및 코크리깅 모델링에서 원시 자료가 대수변환 된 자료보다 추정치에 더 가깝게 나타났고, 심층 지하수위에 대한 정규크리깅 및 코크리깅 모델링에서는 원시 자료보다 대수변환 된 자료가 추정치에 더 가깝게 나타났다. 정규크리깅이나 코크리깅을 이용하여 작성된 대수층별 지하수위 등고선도에서 등고선의 분포는 대체로 비슷하지만, 코크리깅에 의해 작성된 지하수위 등고선도가 정규크리깅에 의한 지하수위 등고선도보다 더 정밀한 것으로 나타났다. 이것은 원시 자료뿐만 아니라 대수변환 된 자료를 이용한 지하수위 등고선도에서도 같은 결과가 도출되었다.

주제어 : 천층 지하수위, 심층 지하수위, 대수변환, 정규크리깅, 코크리깅

1. 서 론

연구지역인 밀양지역의 대수층별 지하수위 분포 특성을 파악하기 위하여 2002년 봄에 총 503개 지하수공(천층 지하수공 158공, 심층 지하수공 345공)을 대상으로 지하수위를 측정하였다. 측정된 천층 및 심층 지하수위 자료를 이용하여 일반통계 분석을 실시하였는데, 지하수위 자료가 수치가 낮은 값들로 집중되어 있어 정규분포를 이루지 않기 때문에 지하수위 자료를 대수변환(natural-log transformation) 하였다. 이후 대수층별 원시(raw) 지하수위 자료와 대수변환 된 지하수위 자료에 대하여 모두 지구통계기법을 적용하였다. 지형의 표고와 대수층별 지하수위에 대하여 회귀 분석을 실시하였고, 최선의 선형 불편 추정자로서 불편의 조건과 최소의 추정분산을 갖는 강력한 지구통계학적 추정 방법인 정규크리깅(ordinary kriging)과 코크리깅(cokriging)을 이용하여 천층 및 심층의 지하수위 등고선도를 작성하였다. 정규크리깅과 코크리깅을 적용하기 위해서 먼저 공간상에 분포하는 임의의 두 자료간의 차이의 분산인 베리오그램과 교차베리오그램을 이용하여 자료의 공간상 분포특성과 연속성을 파악하였고, 선정된 베리오그램 모델이나 교차 베리오그램 모델의 적합성을 판정하기 위해 교차 타당성 분석(cross validation analysis)을 실시하였다. 본 연구의 목적은 밀

양시 전역에서 조사된 천층 및 심층 지하수위 자료를 이용하여 다양한 등고선도를 작성하여 최적의 지하수위 분포도 작성을 위한 지구통계기법을 연구하는데 있다.

2. 본 론

2.1. 지형 및 지질

연구지역은 행정구역상 경상남도 밀양시 전역으로 1개시, 2개읍, 9개면으로 밀양시, 삼랑진읍, 하남읍, 부북면, 상동면, 산외면, 산내면, 단장면, 상남면, 초동면, 무안면, 청도면이 포함된다. 전체면적은 798.98km²이며, 동서간 연장은 38km, 남북간 연장은 24.5km이다. 지리좌표는 북위 35°20′에서 35°38′ 사이에 있고, 동경 128°34′에서 129°1′ 사이에 위치한다(밀양시 통계연보, 2002). 지형은 동, 북, 서측이 고지대의 산계를 형성, 지형적·수리적 분수령으로 작용하고, 남측단을 따라 동류하는 낙동강으로 능선, 계곡 및 작은 수계들이 남향하면서 발달하고 있다. 중심부인 밀양시 남측으로 평야가 넓게 분포하고 있다. 수계는 연구지역 중앙으로 밀양강이 남류하고 서측단에 청도천이 또한 남류하여 조사지역 남단부에 걸쳐 동으로 유하하는 낙동강에 유입되므로 연구지역의 수리적 경계로 작용한다. 또한 산내면에서 발원한 동천이 산외면을 거쳐 사행하여 단장천, 밀양강과 합류한다.

연구지역 지질구조의 주 방향은 N40E로 밀양단층이 연구지역 밖 동편 양산단층의 방향과 평행한 방향성이 우세하다. 경상계 화산암류(주산안산암)가 연구지역 전역에 걸쳐 분포하며, 상동면, 산외면, 단장면 일대에 불국사 관입암류가 일부 분포하여 주로 험준한 산계를 형성, 연구지역 기저지질인 진동층은 무안면 서측에 일부 존재한다. 그밖에 화산활동에 의한 응회암류들이 주로 연구지역 서측에 분포하며 반상석리를 포함한 유동구조나 유리질 조직을 보이기도 한다. 관입의 영향이 없는 연구지역 남측에서는 구릉성 저지대를 형성하고 있다(농림부·농어촌진흥공사, 1998).

2.2. 일반통계 분석

연구지역의 지하수위 조사 자료들에 대한 일반통계 분석 결과, 천층 지하수공의 표고는 3.00~218.00m의 범위이고, 평균 표고는 31.23m이다. 심층 지하수공의 표고는 2.00~382.00m의 범위이며, 평균 표고는 50.20m로 나타났다. 천층 지하수위는 0.11~216.56m 범위이고, 평균 지하수위는 28.85m이다. 심층 지하수위는 0.07~375.86m의 범위이며, 평균 지하수위는 44.70m로 나타났다. 천층 및 심층 지하수공 모두가 대부분 표고가 낮은 지역의 자료수가 많은 것을 알 수 있다. 조사된 자료가 수치가 낮은 값들에게 집중되어 있어 정규분포를 이루지 않아 정규분포를 이루기 위해서 조사된 자료를 대수 변환 하였고, 대수변환 된 자료는 정규분포와 유사한 형태의 분포를 이루고 있음을 알 수 있었다.

2.3. 회귀 분석

표고와 천층 및 심층 지하수위의 회귀 분석을 실시한 결과, 표고와 천층 지하수위 상관계수는 0.999, 표고와 심층 지하수위 상관계수는 0.998로 나타났는데, 표고와 대수층별 지하수위가 거의 1.000에 가깝다. 따라서 표고와 대수층별 지하수위는 모두 정(+)의 상관관계가 높은 것으로 나타났다. 표고와 천층 지하수위는 결정계수는 0.999, 표고와 심층 지하수위 결정계수는 0.996이다.

2.4. 지구통계학적 분석

크리깅에 의한 추정치를 구하기 위해서는 자료간의 공분산값이 요구되는데, 이는 자료의 베리오그램 모델로부터 얻어진다. 공간상에 분포하는 표본자료의 특성은 베리오그램에 의해서 나타내며, 베리오그램은 공간상에 분포하는 임의의 두 자료 값의 차이의 분산으로 구해진다(Matheron, 1963). 연구지역의 대수층별 지하

수위의 공간상 분포특성을 파악하고 크리깅 기법을 이용하기 위한 최적의 모델을 선정하기 위해 베리오그램 분석(variogram analysis)을 실시하였다. 표고와 천층 지하수위 자료에서는 지수형모델(exponential model)이 적합한 것으로, 심층 지하수위 자료에서는 구상형모델(spherical model)이 적합한 것으로 선정되었다. 대수층별 지하수위 자료가 대수변환 된 자료에 대해서는 천층 지하수위 자료는 지수형모델이, 심층 지하수위 자료는 구상형모델이 적합한 것으로 선정되었다. 베리오그램 분석 결과, 원시 지하수위 자료보다 대수변환 된 지하수위 자료가 반베리오그램의 적합선(best-fit line)에 잘 맞는 것으로 나타났다.

표고와 대수층별 지하수위 대한 교차 베리오그램 분석(cross variogram analysis) 결과, 천층 지하수위와 표고의 교차 베리오그램은 지수형모델이 적합하며, 자료가 대수변환 된 천층 지하수위와 표고의 교차 베리오그램도 지수형모델이 적합한 것으로 선정되었다. 심층 지하수위와 표고의 교차 베리오그램은 구상형모델이 적합한 것으로 선정되었으며, 자료가 대수변환 된 심층 지하수위와 표고의 교차 베리오그램도 역시 구상형모델이 적합한 것으로 선정되었다. 원시 지하수위와 표고 자료보다 대수변환 된 지하수위와 표고 자료가 교차 반베리오그램의 적합선에 잘 맞는 것으로 나타났다.

교차 타당성 분석은 어떤 표본자료에 대해서 선정된 베리오그램 모델이나 교차 베리오그램 모델의 적합성을 판정하기 위해 실시한다. 교차 타당성 분석 결과, 천층 지하수위에 대한 정규크리깅 및 코크리깅 모델링에서 원시 자료가 대수변환 된 자료보다 추정치에 더 가깝게 나타났고, 심층 지하수위에 대한 정규크리깅 및 코크리깅 모델링에서는 원시 자료보다 대수변환 된 자료가 추정치에 더 가깝게 나타났다. 선정된 베리오그램 모델들이나 교차 베리오그램 모델들이 적합하게 선정되었음을 알 수 있었다.

연구지역에서 정규크리깅에 의한 천층 및 심층 지하수위 등고선도는 Fig. 1의 원시 지하수위 등고선도 보다 Fig. 2의 원시 지하수위 자료가 대수변환 된 지하수위 등고선도에서 지하수위의 추정치가 대체로 낮게 나옴을 알 수 있었다. Fig. 3과 Fig. 4를 비교해보면 천층 지하수위의 표고와 지하수위 자료를 동시에 이용하는 코크리깅에 의해 작성된 천층 지하수위의 등고선도는 Fig. 3(a)에서 보면, 원시 지하수위 자료가 좀 더 정밀한 지하수위 등고선 형태를 보였다. 심층 지하수위의 표고와 지하수위를 동시에 이용하는 코크리깅에 의해 작성된 심층 지하수위의 등고선도 역시 Fig. 3(b)에서 보면, 원시 심층 지하수위 자료가 좀 더 정밀한 지하수위 등고선 형태를 보였고, 표고가 높은 지역에서 지하수위 추정치도 높게 나옴을 알 수 있었다. 결론적으로 정규크리깅이나 코크리깅을 이용하여 작성된 대수층별 지하수위 등고선도에서 등고선의 분포는 대체로 비슷하지만, 코크리깅에 의해 작성된 지하수위 등고선도가 정규크리깅에 의한 지하수위 등고선도보다 더 정밀한 것으로 나타났다. 이것은 원시 자료뿐만 아니라 대수변환 된 자료를 이용한 지하수위 등고선도에서도 같은 결과가 도출되었다. 그리고 대수변환 된 자료가 정규분포를 이루지만, 지하수위 등고선도에서는 원시 자료를 이용하여 작성된 지하수위 등고선도가 대수변환 된 자료를 이용한 지하수위 등고선도 보다 연구지역의 실제 현장에 더 가깝게 나타났다.

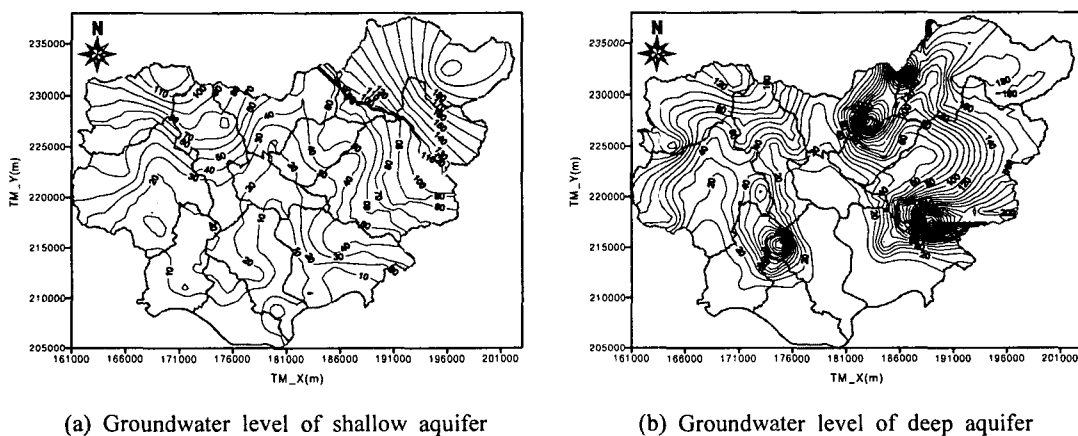
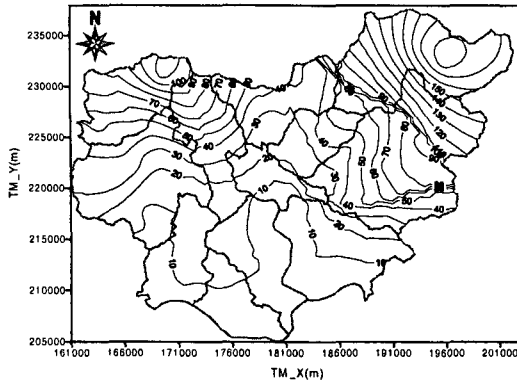
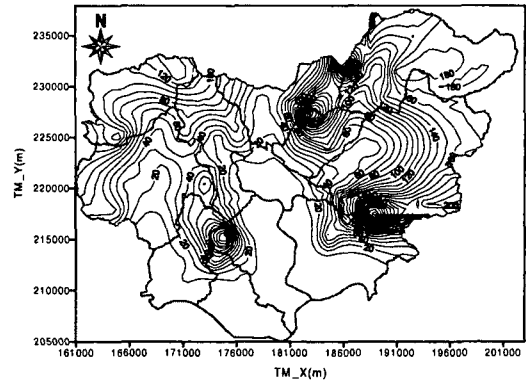


Fig. 1. Contour maps of the original groundwater level using ordinary kriging.

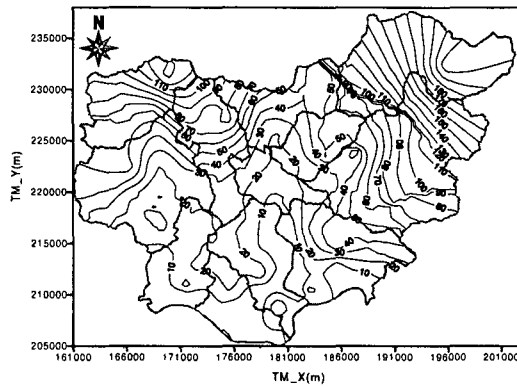


(a) Groundwater level of shallow aquifer

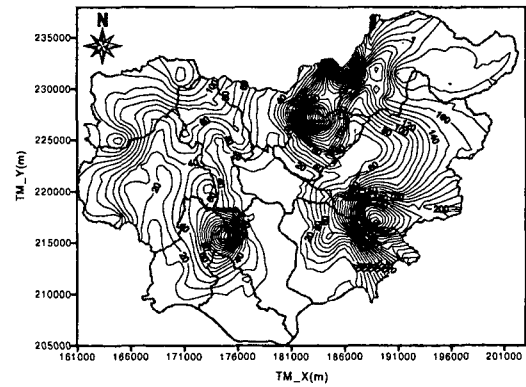


(b) Groundwater level of deep aquifer

Fig. 2. Contour maps of the natural-log transformed groundwater level using ordinary kriging.

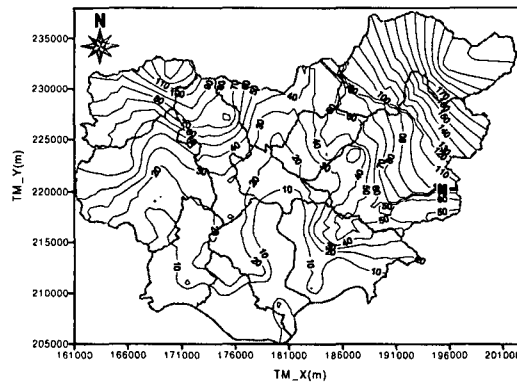


(a) Groundwater level of shallow aquifer

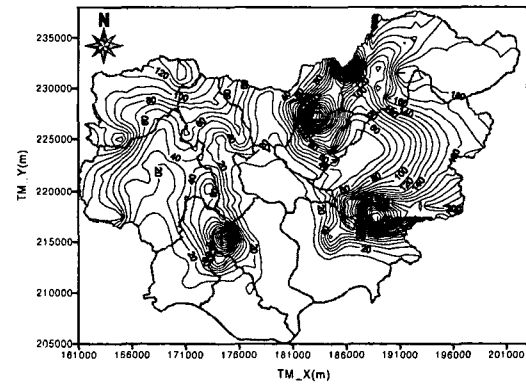


(b) Groundwater level of deep aquifer

Fig. 3. Contour maps of the original groundwater level using cokriging.



(a) Groundwater level of shallow aquifer



(b) Groundwater level of deep aquifer

Fig. 4. Contour maps of the natural-log transformed groundwater level using cokriging.

3. 결론

연구지역인 밀양지역의 대수층별 지하수위 분포 특성을 파악하기 위하여 2002년 봄에 총 503개 지하

수공(천층 지하수공 158공, 심층 지하수공 345공)을 대상으로 지하수위를 측정하였다. 지하수위 자료를 이용해 대수층별 지하수위 등치선도를 작성하였고, 작성된 지하수위 등고선도 분석 결과, 정규크리깅이나 코크리깅을 이용하여 작성된 대수층별 지하수위 등고선도에서 등고선의 분포는 대체로 비슷하지만, 코크리깅에 의해 작성된 지하수위 등고선도가 정규크리깅에 의한 지하수위 등고선도보다 더 정밀한 것으로 나타났다. 이것은 원시 자료뿐만 아니라 대수변환 된 자료를 이용한 지하수위 등고선도에서도 같은 결과가 도출되었다. 대수변환 된 지하수위 자료가 정규분포를 이루고, 교차 타당성 분석 결과에서도 대수변환 된 심층 지하수위가 추정치에 더 가깝게 나타났지만, 정규크리깅이나 코크리깅을 이용하여 작성된 지하수위 등고선도에서는 원시 자료를 이용하여 작성된 지하수위 등고선도가 대수변환 된 자료를 이용한 지하수위 등고선도 보다 연구지역의 실제 현장에 더 가깝게 나타났다.

4. 사 사

본 연구는 2002~2003년도 대한광업진흥공사 학술연구용역비의 지원을 받았습니다.

5. 참고문헌

1. 건설교통부·대한광업진흥공사, 2002, 밀양지역 지하수위/수질관측 조사 보고서, 180p.
2. 농림부·농어촌진흥공사, 1998, 밀양시광역수맥조사보고서, 142p.
3. 심병완, 정상용, 강동환, 김규범, 박희영, 2000, 영산강·섬진강 유역의 지하수 데이터베이스 자료에 대한 지구통계학적 분석, 지질공학, 10(2), p.131-142.
4. 정상용, 유인걸, 유명재, 권해우, 허선희, 1999, 불균질·이방성 대수층의 지하수 유동분석에 지구통계기법의 응용, 지질공학, 9(2), p.147-159.
5. Journel, A. G., and C. H. Huijbregts, 1978, Mining Geostatistics, Academic Press, 600p.
6. Matheron, G., 1963, Principles of Geostatistics, Economic Geology, 58, p.1246-1266.
7. Robertson, G. P., 2000, GS⁺: Geostatistics for the Environmental Sciences, Gamma Design Software, Plainwell, Michigan, U.S.A.