

토양수분 예측을 위한 수치지형 인자와 적정 격자 크기에 대한 연구

○한지영*/ 손민호**/ 김남원***/ 김상현****

1. 서론

토양수분의 공간적인 변화를 파악하는 연구는 강우의 침투, 강우사상 후의 토양수분의 재분포, 증발과 비포화대에서의 액체의 오염 수송을 예측하는데 매우 중요하다(Oi You Zhou 등, 2001). 특히 최근의 지하수 이용의 증가로 인하여 지하수원의 중요성이 대두되고 있으며, 지표의 오염물들이 토양의 비포화대를 통과하여 지하수원에 도달하기 때문에 토양의 비포화대에서 흐름을 해석하는 것은 필요(박재현 등, 1997)하고, 강우 사상 후 토양수분의 재분포를 추적하는 작업은 지표하에서 저류량과 지하수 재충전율을 산정하는데 있어 중요하다. 또한 유역의 유출량에 직접적인 영향을 끼치는 선행함수조건(AMC)를 설정하는데 있어 강우사상 이전의 토양수분 상태가 필요하다(운용남, 2000). 수문학적 순환에 중요한 상태변수인 토양수분의 변동성을 파악하기 위해서는 토양, 지형, 식생, 기후에 대한 이해가 필요하다.

국내 유역의 지형은 70% 이상이 산지로 이루어져 있어 토양수분을 예측하는데 있어 지형인자를 이용하는 것은 적합하다고 사료되어지며 유역의 고도 정보를 얻을 수 있는 수치고도모형을 사용시 토양수분 예측 인자들의 예측력에 관련하여 적절한 격자 크기의 결정이 필요하다고 본다.

따라서 본 연구에서는 토양수분을 예측하기 위하여 지형을 설명할 수 있는 수치지형 인자들인 경사도, 배수면적, 습윤지수, 윤곽구배, 등고선구배, 접선구배, 평균구배를 단방향 흐름 알고리즘, 다방향 흐름 알고리즘, DEMON 알고리즘에 대해 각각 계산하고 다른 격자 크기에 대해 각각의 값들을 산정하여 그 값들을 비교하여 본다.

2. 토양수분 매개변수

토양수분의 분포는 지형과 관련이 크다고 고려되어지며 지형과 관계되는 여러 매개변수들을 도입한다. 물의 흐름 경향과 관련되는 알고리즘으로써 경사가 가장 급한 방향으로만 기여한다고 가정한 단방향 흐름 알고리즘(SFD, Jenson and Domingue, 1988), 경사가 있는 모든 방향으로 흐름을 형성시키는 다방향 흐름 알고리즘(MFD, Quinn, 1991), 수치

* 부산대학교 공과대학 환경공학과 석사과정
** 부산대학교 공과대학 청정공학협동과정 석사과정
*** 한국건설기술연구원 선임연구원
**** 부산대학교 공과대학 환경공학과 조교수

고도모형으로부터 유도된 흐름 방향선을 따라 흐름을 분배하는 DEMON 흐름 알고리즘 (Costa-Cabral and Burges, 1994)을 고려할 수 있으며, 각각의 알고리즘에 대해 유역의 비탈진 정도를 표현하는 경사도와 습윤 정도를 나타내주는 배수면적을 고려하고 이 둘을 함께 고려하여 유역의 지형적 특성을 반영하고 국소지역의 포화정도를 표현하여 공간적 분포상태의 예측이 가능한 습윤지수(Beven and Kirby, 1979)를 도출할 수 있다. 경사도 s 는 finit differences 방법을 사용하여 다음과 같이 산출할 수 있다.

$$s = \sqrt{z_x^2 + z_y^2} \quad (1)$$

여기서 z_x, z_y 는 미분계수이고, 경사각은 β 는 $\arctan(s)$ 로 계산할 수 있고, 배수면적 (A)은 격자의 유출에 기여하는 총 면적으로 나타낼 수 있다. 습윤지수는 다음과 같이 계산할 수 있다.

여기서 a 는 상부사면 누가면적이고 $\tan \beta$ 는 국부경사를 나타낸다. 지형의 기복 (convex, concave)을 나타내주는 곡률반경의 역수인 지표곡률(Mitasova and Hofieka, 1993)등도 중요한 변수이다. 여기서 곡률은 흐름의 가속정도와 관련 있는 윤곽구배(Kp , Profile curvature), 흐름의 수렴정도와 관련 있는 등고선구배(Kc , contour curvature), 흐름의 수렴정도와 관련 있는 접선구배(Kt , tangential curvature) 그리고 평균구배(Km , mean curvature)으로 분류할 수 있다. 각각은 다음과 같이 산정될 수 있다.

$$Kp = \frac{z_{xx}z_x^2 + z_{xy}z_xz_y + z_{yy}z_y^2}{p^{1/2}q^{3/2}} \quad (2)$$

$$Kc = \frac{z_{xx}z_y^2 - z_{xy}z_xz_y + z_{yy}z_x^2}{p^{3/2}} \quad (3)$$

$$Kt = \frac{z_{xx}z_y^2 + z_{xy}z_xz_y + z_{yy}z_x^2}{p^{1/2}q^{3/2}} \quad (4)$$

$$Km = \frac{Kp + Kt}{2} \quad (5)$$

여기서 z_{xx}, z_{xy}, z_{yy} 는 이차 미분계수값이고, $p = z_x^2 + z_y^2$ 이고 $q = p + 1$ 이다. 윤곽구배는 내리막으로 갈수록 경사가 증가하면 음의 값을 가지고 경사가 감소하면 양의 값을 가지며, 산등성이와 같이 흐름이 발산하면 음의 값을 가지고 계곡과 같이 흐름이 수렴하면 양의 값을 가진다. 윤곽구배는 아랫방향으로 최대 경사 방향의 표면에 대한 곡률이고 등고선구배는 격자점에서 그려진 등고선의 곡률이고 접선구배는 흐름선에 대해 수직인 평면에 대해 교차면에 의해 형성된 선의 곡률이다.

3. 대상유역

본 연구에서 선정한 경기도 파주시 적성면 설마리에 위치한 설마천유역은 설마천은 임진강 하구에서 약 46km 상류인 경기도 파주시 적성면의 마지리와 설마리에 위치하고 있는 임진강의 제 1지류로서, 전체 유역면적 18.5km², 유로연장 11.3km인 하천이다. 설마천 시험유역의 지도상 위치는 동경 126°55'54''에서 126°54'57'', 북위 37°54'57''에서 37°56'3''로서 유역면적 8.5, 유로연장 5.8km, 유로경사 2%이다. 전형적인 급경사 산지 사

행하천이며 전형적인 곡류하천이다. 또한 여러 수문관측 기기 및 계측에 필요한 여러 자료들이 측정 중이며 이러한 자료는 본 연구를 수행하는데 필요한 정확도가 높은 자료를 제공하고 있으며 우리나라의 70%가 산간 지역이므로 적절하다고 판단되어진다. 또한 하천(계곡)의 발달이 잘 되었고 개발의 흔적이 타지역보다 적으므로 자연상태 그대로를 실험 모의 하기에 가장 이상적인 곳으로 판단되어 설마천 유역을 본 연구의 중심 지역으로 선정하게 되었다. 단지 설마천 시험유역에 대한 1/25,000 정밀 토양도를 확인한 결과 하천 주위를 따라서 일부분에 대한 조사만 되어 있을 뿐 전체적인 토양구분은 조사되어 있지 않아 인공 위성 자료를 이용하는 방법들이 고려되어 진다.

그림 1은 10m 격자로 설정된 설마천 유역의 수치지도모형(DEM, Digital Elevation Model)이다.

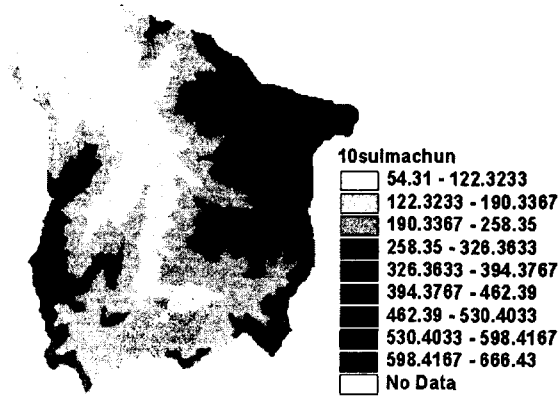
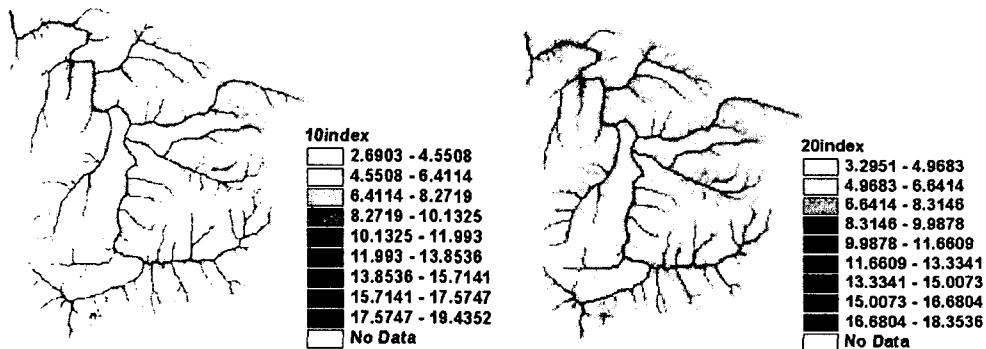


그림 1 설마천유역

5. 결 과

이번 연구에서 수문해석에 있어서 일반적으로 DEM의 격자 크기는 50m이하가 적절하다는 Beven(1995)에 따라 10m, 20m, 30m, 40m, 50m, 80m, 100m의 격자크기를 선정하여 고려하였다.

토양수분의 공간적인 분포와 관련되어지는 지형인자들인 경사도, 배수면적, 습윤지수, 윤곽구배, 등고선구배, 접선구배, 평균구배를 각각 격자의 크기에 대해 계산하였다.



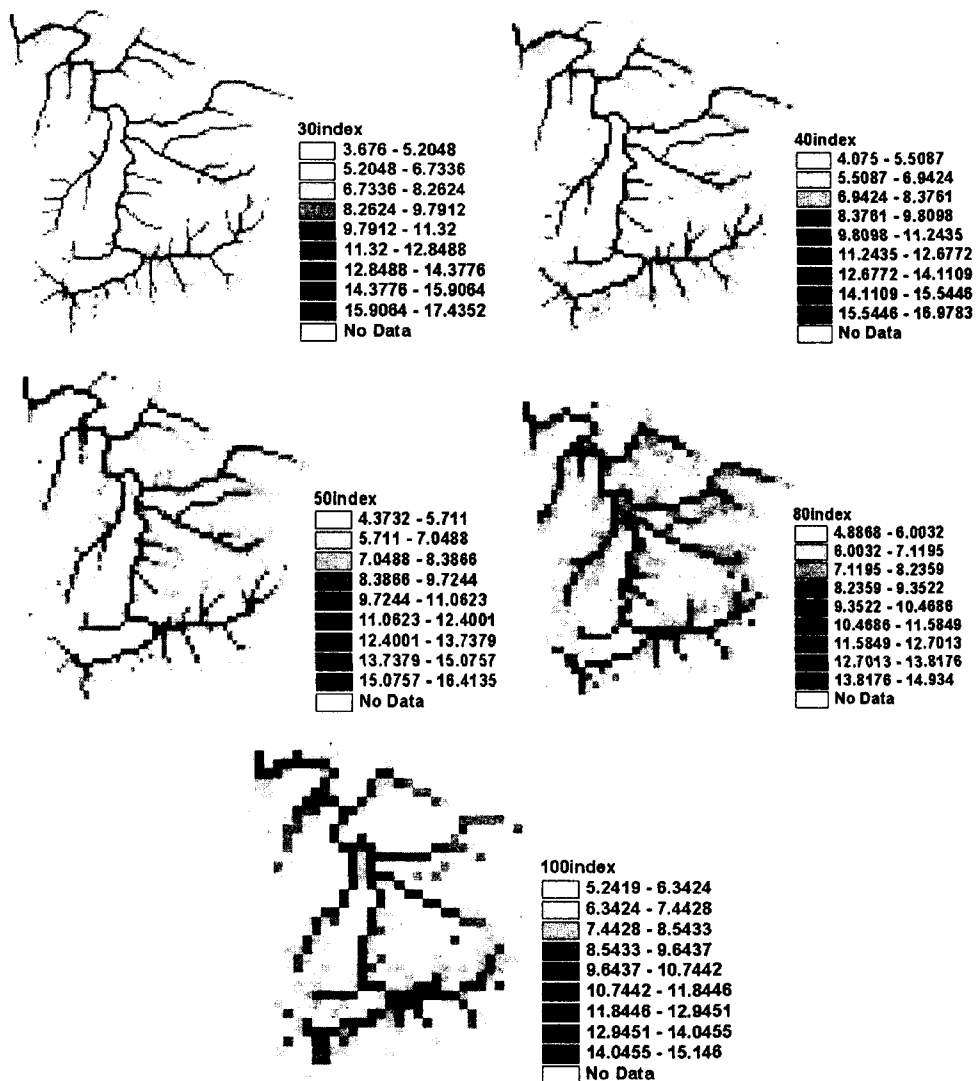


그림 2 각 격자 크기에 따른 습윤지수(DEMON 알고리즘)

그림 2는 10m, 20m, 30m 40m, 50m, 80m 그리고 100m 격자 크기에 따라 DEMON 알고리즘으로 계산한 습윤지수의 결과값들을 도시한 것이다.

각 변수들에 대한 평균을 낸 값을 살펴보면 전체적으로 격자크기가 크짐에 따라 증가함을 볼 수 있다. 단지 경사도는 격자의 크기가 크짐에 따라 평균값이 작아짐을 발견할 수 있는데 이는 경사도가 $\sqrt{z_x^2 + z_y^2}$ 로 계산되어 지는데 10m 격자와 100m 격자의 비교시 100m 격자 하나는 10m 격자 100개가 합쳐진 것이므로 높이가 평균되어진다. 따라서 x, y 좌표에 대한 고도의 미분계수값이 작아지게 되어 전체적으로 경사도가 작아진다. 습윤지수의 평균값이 커지면 보정 시 수리학적 전도도가 현저히 증가하는 현상을 보이기 때문에 DEM의 격자크기를 결정하는데 중요한 영향을 끼친다(Georges-Marie, 1997). 분산과 표준편차의 경우 격자 크기가 증가함으로써 평균과 유사한 경향을 보이고 있다. 평균

과 분산에 관련하여 다른 자료들에 대해 비교할 때 유용한 분산계수의 경우에는 감소하는 경향을 나타내고 있는데 평균값에 대해 표준편차의 값이 작아짐을 의미하므로 격자 크기가 커짐에 따라 오히려 분산정도는 작아짐을 의미한다. 격자 크기가 커짐으로써 격자값들이 점점 평균화되어가기 때문에 분산정도는 오히려 격자 크기가 작은 경우에 비해 더 작아짐을 알 수 있다. 대칭성에 대한 계수인 왜곡도는 전체적으로 감소함을 나타내고 있다. 이 계수 또한 격자 크기가 증가함에 따라 전체적으로 평균화되어가므로 왜곡되는 현상이 오히려 감소함을 보여준다. 자료 분포에 대한 대칭성의 지시자이므로 양의 값이나 음의 값을 가질 수 있고 그 값이 작다는 것은 자료의 빈도분포가 정규분포를 따라갈 것이라고 추측할 수 있다. 일반적으로 왜곡도는 연 최대 홍수량에 대해 양의 값을, 연 홍수량의 대수값은 음의 값을 가진다고 알려져 있다. 여기에서는 모두 양의 왜곡도를 가지며 등고선구배의 경우 80m와 100m 격자 크기에서 값작스런 변동을 볼 수 있다.

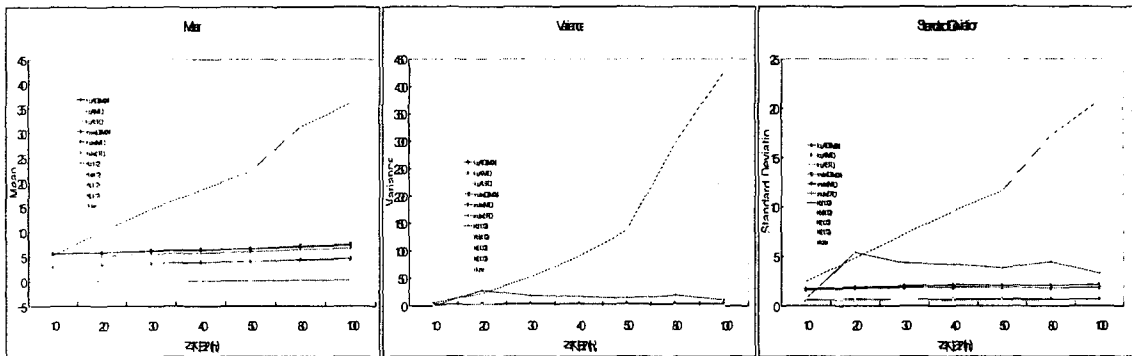


그림 9 평균

그림 10 분산

그림 11 표준편차

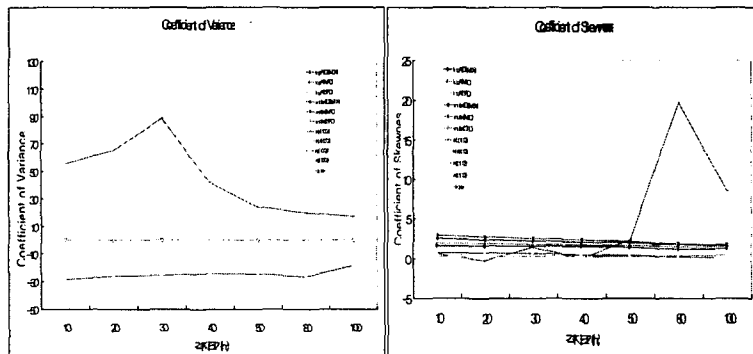


그림 12 분산계수

그림 13 왜곡도

4. 결론

토양수분의 공간적인 분포를 알아보기 위한 준비작업으로 토양수분과 관련되는 인자들에 대해 살펴 보았다. 대상구역은 다른 영향들보다는 지형의 영향이 매우 크기 때문에 지형과 관련되는 여러 인자들에 대하여 고찰하였다. 또한 이러한 인자들을 산출하기 위하여 기본적으로 DEM 자료가 필요한데 이때 DEM의 격자 크기에 따라 고도값이 달라지기 때문에 고려되어지는 지형 자체가 달라진다. 따라서 격자 크기가 변화함에 따라 지형

인자들의 변동성을 알아 보았다. 평균의 경우 증가함을 보이며 분산의 경우 그 값은 증가 하지만 평균값에 대비하여서는 오히려 작아지는 추세를 보인다. 그리고 왜곡도의 경우에도 격자 크기가 증가함에 따라 그 값이 감소함을 보였다.

5. 참고문헌

Beven, K.J, Lamb R., Quinn P., Rominowicz R. and Freer J. "TOPMODEL, Computer Model of Watershed Hydrology", Water resour. Publicaton, pp.625-668.

Costa-Cabral, M.C. and Burges, S.J. "Digital elevation model networks(DEMON): A model of flow over hillslopes for computation of contributing and dispersal areas." Water resour. Res., Vol.30, pp.1681-1692[1994].

David M. Wolock, Curits V. Price "Effects of digital elevation model map scale and data resolution on a topography-based watershed model" Water resour. Res., Vol.30, No11, pp.3041-3052.

Gallant, J.C. and Wilson, J.P. "TAPES-G: A grid-based terrain analysis program for the environmental sciences" Computers&Geoscience, Vol22, No7, pp.713-722[1996].

Georges-Marie Saulnier, Charles Obled and Keith Beven "Analytical ompensation between DTM grid resolution and effective values of saturated hydrated hydroaulic conductivity within the TOPMODEL framework" Hydrological Processes, Vol.11, pp.1331-1346[1997].

Nathabandu T. Kottegoda and Renzo Rosso "Statistics, Probability, and Reliability for Civil and Environmental Engineers" WCB McGrawHill, p.10-18.

김상현, 이지영 "개선된 지형지수산정 알고리즘의 적용에 관한 연구" 한국수자원학회 제 32권, 제4호, pp.489-499[1999].

박대룡, 조원철, 허준행, 배덕효 "TOPMODEL 매개변수 최적화와 수치고도모형의 적정 격자크기 결정" 2001년 한국수자원학회 학술발표논문집, pp.86-91[2001].

박재현, 윤성용, 김상중, 전우중호 "TDR(Time Domain Reflectometry)을 이용한 토양함수량의 측정" 한국수자원학회 제30권 제6호, pp.587-595[1997].

윤용남 "공업수문학" 청문각, pp.142-152[2000].

이학수, 김상현, 한지영, 김상현 "수치 지형인자를 활용한 토양수분분포 예측" 한국수자원학회 제34권 제4호, pp.391-401[2001].

한국건설기술연구원 "시험유역의 운영 및 수문특성 조사·연구" p.5-9[1998].