

ORIGINAL ARTICLE

산지습지의 수문지형분석 방법론의 개발

장은세 · 이은형 · 김상현*

부산대학교 환경공학과

Development of Digital Terrain Analysis for an Identification of Wetland Area at Mountainous Watershed

Eun-Se Jang, Eun-Hyung Lee, Sang-Hyun Kim*

Dept. of Environmental Engineering, Pusan National University, Busan 46241, Korea

Abstract

In this study, a digital terrain analysis had been performed for a mountainous watershed having wetlands. In order to consider the impact for wetland in the flow determination algorithm, the Laplace equation is implemented into the upslope accounting algorithm of wetness computation scheme. The computational algorithm of wetland to spatial contribution of downslope area and wetness was also developed to evaluate spatially distributed runoff due to the presence of wetland. Developed schemes were applied to Wangpichun watershed located Chuncuk mountain at Ulzingun, South Korea. Both spatial distribution of wetness and its histogram indicate that the developed scheme provides feasible consideration of wetland impact in spatial hydrologic analysis. The impact of wetland to downslope propagation pattern is also useful to evaluate spatially distributed runoff distribution.

Key words : Mountainous wetland, Digital terrain analysis, Wetness, Hydrological analysis

1. 서 론

습지는 다양한 생명체에게 서식처를 제공하고, 완벽한 생산과 소비의 균형을 갖추고 다양한 생명체를 키우는 하나의 완벽한 생태계이다. 이러한 습지는 물과 유기물의 순환과정에 중요 역할을 하고, 유기물과 무기물을 변환시키고 수질을 정화하는 역할을 한다(Mitsch and Gosselink, 2000). 습지(Wetland)의 정의는 습지보전법상 담수, 기수 또는 염수가 영구적 또는 일시적으로 그 표면을 덮고 있는 지역으로 규정되어 있다(습지보전법 1장 2조). 습지 중 내륙이나 연안에 존재 하지 않고 산지에 나

타나는 모든 습지를 환경부에서는 산지습지라 정의하고 있다. 국내에서는 산지습지에 대한 명확한 정의가 되어 있지는 않지만 습지 내 수분의 공급원이 하천을 통한 지표수가 아니라 강수와 지하수에 의존하고 있다는 점에서 하천습지와 구분된다(Gu and Seo, 2007). Omernik (1987)은 생태지역을 부분적으로 습지 생태계 수문학에 있어서 지역적 변화를 초래하는 주요한 요인을 지표면의 형태로 구분하였다. 습지는 지형의 침강에서만 생겨날 수 있는 호수와는 달리 폭넓은 다양성의 지형적 환경에서 생겨난다(Winter, 1988). 국내의 경우 산지습지가 형성되는 사면은 지하수면의 노출과 더불어 기반암과 토양

Received 30 September, 2015; Revised 6 November, 2015;

Accepted 9 November, 2015

*Corresponding author : Sang-Hyun Kim, Department of Environmental Engineering, Pusan National University, Busan 46241, Korea
Phone: +82-51-510-2479
Email: kimsangh@pusan.ac.kr

© The Korean Environmental Sciences Society. All rights reserved.

© This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

층의 풍화 및 불투수층 혹은 난투수층의 존재 등으로 설명될 수 있다(Moon, 2005). 이중 가장 중요한 것은 토양의 습윤상태이며 지형적 특성, 토양의 투수성, 토지 피복상태에 따라 형성 여부가 결정된다(Choi et al., 2009). 이와 관련된 국내의 습지 연구는 주로 지형학적인 특성과 분류 그리고 생태학적 분야에 집중되어 왔다(Gu and Seo, 2007). 생태학 농학 분야에서도 습지지역의 식생구조, 생태적 특성을 밝히는 연구와(Kim et al., 2009) 토양환경과 생지 화학적(Biogeochemical) 특성을 조사하는(Lee et al., 2009) 연구가 진행되어 왔고, 대부분의 산지습지의 연구로는 습지의 현장조사를 바탕으로 습지 유형의 특성과 형성과정을 설명하는 연구가 대부분이다. 그러나 국내의 경우 산지습지의 특성상 규모가 작고 고립되어 있고, 산발적으로 분포하기 때문에 산지습지의 수문학적 지형분석연구는 거의 없는 실정이다.

지형분석에서 수문학적 요인(수문학적 연결성, 유출 기여면적 등)은 수문해석을 위해 중요한 요소이다. 그러나 지형분석 자체를 수치적으로 수행하는 과정에서 습지를 구별하고 습지의 특성을 분석한 사례는 존재하지 않는다. 특히 기존의 수치지형분석 방법만으로 습윤도를 계산하고 습지를 구분하고 특성화하기엔 습지 자체의 분포특성이 복합적이어서 방법론적인 추가개발이 필요하다. 이 논문에서는 산지습지가 갖는 공간적인 분포 특성을 수치지형 방법론에 접목하여 수문 수치지형분석에서 습지를 구분하고 이를 흐름 분석에 접목하여 구체화할 수 있는 방법론을 제시하였다. 구체적으로는 산지습지의

수문학적인 상부사면 기여면적의 변화를 계산하고 습윤 지수를 계산함에 있어서 기존의 수치지형해석 모형에 습지의 분포특성을 구현할 수 있는 지하수면의 공간분포를 계산하는 Laplace 방정식을 결합하여 알고리즘화 하는 연구를 수행하였다. 개발된 알고리즘을 산지 습지에 적용하고 이의 계산 결과가 유출 반응에 미치는 영향을 분석하는 연구를 수행하였다.

2. 연구지역 및 수치지형자료

2.1. 연구지역

대상 지역은 북쪽의 천축산, 동쪽의 대령산 그리고 왕피천 유역과 함께 생태, 경관 보전 지역으로 지정되어 보호 받고 있는 울진군 근남면 및 서면 일대 102.841 km²에 위치한 천축산 일대로 선정하였다. 산지에 산발적으로 발생하는 산지 습지의 특징에 맞게 총 4개의 지점으로 나누어 조사를 진행하였다. 습지의 위치 및 규모를 위한 경계 설정은 GPS를 이용한 좌표 조사를 통해 수행하였다(Table 1.) 4번 습지의 경우 습지 유역이 두 부분으로 나뉘어 존재하였기 때문에 천축산 임도를 기준으로 하여 상부(4-1)와 하부(4-2)로 나누어 조사를 수행하였다.

2.2. 수치지형자료

산지습지 연구를 위한 자료는 국토지리정보원에서 제공하는 기준 좌표계의 1:5,000 수치지형도를 이용하여 지형분석을 실시하였다. 천축산 습지의 DEM은 수치지형도에서 추출한 등고선과 고도점을 디지털이징하여 확

Table 1. Location and area of wetlands in the study area

	GPS coordinate	Elev.(m)	Area(m ²)
No. 1	N36°55 ' 18.96 " E129°16 ' 47.45 "	455	3,825.04
No. 2	N36°55 ' 32.95 " E129°17 ' 28.54 "	558	3,103.54
No. 3	N36°55 ' 40.48 " E129°18 ' 06.33 "	532	3,465.06
No. 4-1	N36°55 ' 29.45 " E129°18 ' 17.59 "	465	3,783.91
No. 4-2	N36°55 ' 29.45 " E129°18 ' 17.59 "	465	2,807.77

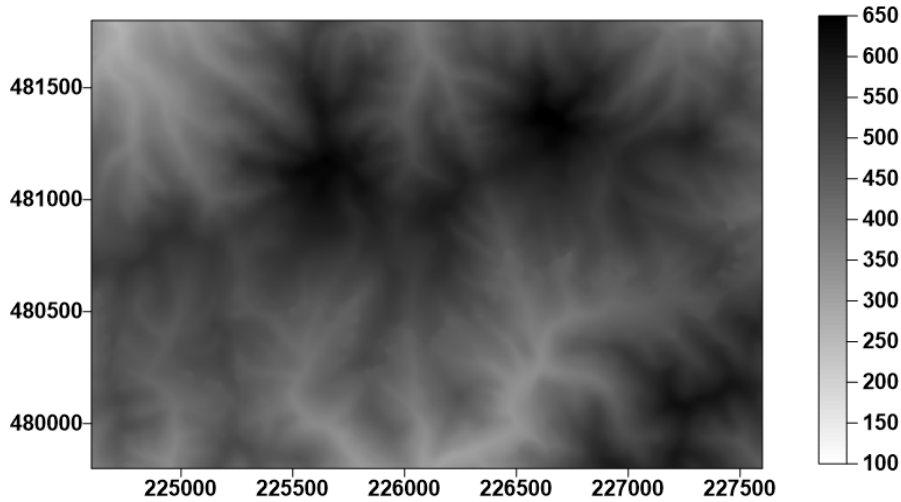


Fig. 1. Digital elevation model for study area.

보하였다. 등고선은 주곡선과 계곡선을 추출하였고 고도 점은 표고점, 삼각점, 수준점을 추출하였다. 확보된 DEM은 연구지역 범위의 고도정보에 대한 입력 오류 등을 확인한 후 공간 보간과 격자지형정보전환을 통해 수정하여 5m 해상도의 수치고도 분포도를 구축하였다. 그림 1은 대상 지역의 수치지형모형을 보여주고 있다.

2.3. 습지자료의 공간분포

대상유역내 습지의 공간분포를 확보하기 위해서 위성 영상자료를 사용하고 GPS를 사용하여 대상 습지를 방문하여 경계지점에 대한 자료를 확보하였다. 이들 자료를 수치지형모형에 투영하여 대상 습지의 경계자료를 확보하였고, 습지 지역을 수치지도상에서 추출하는 작업을 완료하였다. 제작된 수치 자료는 수치지형모형 연구에 사용된 자료와 같은 해상도로 구성되어 있다.

3. 방법론

3.1. 수문 습윤 지수(Hydrologic Wetness Index)

습윤 지수는 국부경사도에 대한 상부사면 기여면적의 비로서 일차원적인 흐름을 고려하는 Darcy법칙에 따르면 다음과 같다.

$$q = -K_s \frac{dh}{ds} \quad (1)$$

여기서, q 는 비유량[L³/TL²]을 의미하고, K_s 는 포화 투수계수[L/T]이고, h 는 수두[L]을 의미한다.

지하수면의 경사가 지표면의 경사와 같다는 가정을 (O'Loughlin, 1986)을 도입하면 식 (1)은 다음과 같이 나타난다.

$$q = K_s \tan \beta \quad (2)$$

여기서, $\tan \beta$ 는 불투수층의 경사이고, 공극률을 고려한 지표하 흐름의 평균선형유속은 다음과 같이 계산된다.

$$v = \frac{q}{n} = \frac{K_s \tan \beta}{n} \quad (3)$$

여기서, n 은 토양공극률이다.

입의의 상류단 지점(a)과 하류단 지점사이(b)의 물의 통과시간은 다음과 같이 나타난다.

$$t = \int_b^a \frac{ds}{v} = \int_b^a \frac{n}{K_s \tan \beta} ds \quad (4)$$

여기서 s 는 a와 b사이의 거리이다.

만약 강우 등으로 인한 충전률이 r 로 일정하다면 단위 폭당 유입량과 지표하 흐름의 깊이 h 는 다음과 같이 나타

난다.

$$q = ra(t) \tag{5}$$

$$h(t) = \frac{q}{K_s \tan \beta} \tag{6}$$

여기서 $a(t)$ 는 상부사면기여면적이다 (Beven and Kirkby, 1979; O'Loughlin, 1986). 상부사면기여면적은 사면의 상부사면에 존재하는 모든 면적이 해당 격자로 집중되는 것을 의미하므로 수문학적으로는 공간적인 흐름의 발생에 대한 상대적인 포화도를 의미한다.

민약 충전율을 일정하다고 가정하고 상부사면 기여면적이 정상상태가정을 대입하면 식 (6)은 다음과 같이 나타난다.

$$h = \frac{a}{K_s \tan \beta} \tag{7}$$

3.2. 습윤지수의 계산

사면에서의 지하수의 흐름이 지형의 영향에 의해 주로적으로 결정된다는 가정은 다양한 수문모형에서 일반적으로 적용되고 있으며, Beven and Kirkby(1979)에 의해 제안된 습윤 지수는 $\ln(a/\tan)$ 로써 유출 등의 수문 현상을 모의하는데 사용되어 왔다. 습윤지수는 포화성향

성 혹은 수문학적 상사성을 수치지형모형에서 구현하는 수문학적인 지수로서 TOPMODEL, THALES, TOPOG 등의 많은 분포형 수문 모형에서 활용되고 있다. $\ln(a/\tan)$ 지수에서 a 는 상부사면 기여면적으로 각 격자가 받을 수 있는 잠재 흐름량[m²]을 나타내며 \tan 는 국부 경사도를 나타낸다. 흐름의 방향을 결정하고 분배하는 방법에 따라 단방향 흐름분배 알고리즘(O'Callaghan and Mark, 1984), 다방향 흐름분배 알고리즘(Quinn et al., 1991), DEMON 알고리즘(Costa-Cabral and Burges, 1994), D ∞ (Tarboton, 1997) 그리고 MD ∞ (Seibert and Mcg-lynn 2007) 등이 있다.

3.2.1. 단방향 흐름분배 알고리즘(Single Flow Direction; SFD)

모형의 격자들 중에 어느 한 격자에서 그 격자가 흐름을 기여할 수 있는 이웃 격자 8개 중 가장 경사가 급한 격자로 흐름 전체를 배분하여 준다는 가정은 O'Callaghan and Mark(1984)에 의해 고안된 단방향 흐름분배 알고리즘으로 구체화되었다. 수치고도 알고리즘의 지형지수 산정 절차는 DEM을 이용한 일반적인 지형학적 수문해석 과정과 유사하다. 이는 대부분의 수문해석용 프로그램이 단방향 흐름추적 알고리즘에 기반을 두기 때문이다. 그림 2의 (b)는 SFD 알고리즘에서 흐름방향의 결정방법을 나타내고 있다.

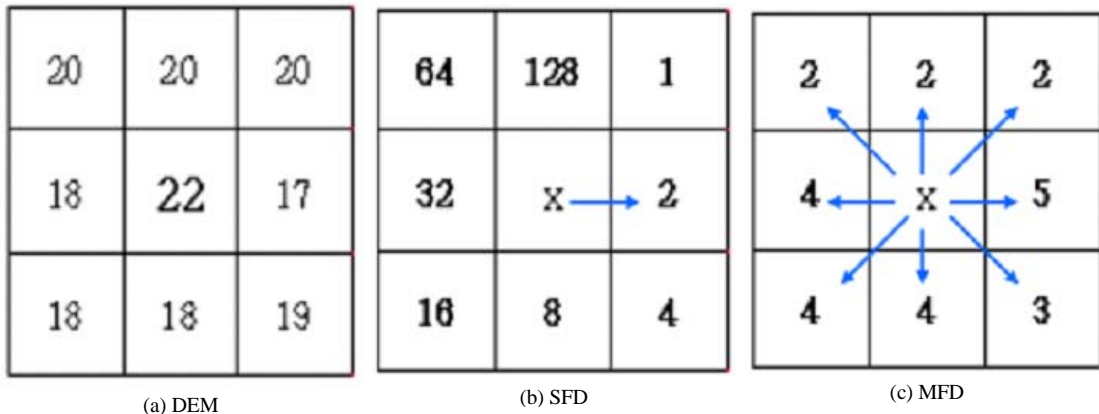


Fig. 2. DEM where, numbers in cells are elevations (a), numbers in cell indicate direction as power of 2 in Single Flow Direction(SFD) (b), numbers in cell directions for flow generation, Multiple Flow Direction(MFD) (c) (→:Flow Direction).

3.2.2. 다방향 흐름분배 알고리즘(Multiple Flow Direction; MFD)

이웃 격자 8개 중 고도가 낮은 모든 주위격자들로 경사도에 비례하게 흐름을 분산시키는 구조는 Quinn 등 (1991)에 의해 고안된 다방향 흐름분배 알고리즘 (Multiple Flow Direction Algorithm, MFD)으로 구체화 되었고, SFD 알고리즘의 단점인 1차원적 흐름경로 표현의 한계를 극복하기 위하여 알고리즘이다. 그림 2의 (c)는 MFD 알고리즘에서의 흐름방향 결정을 나타내며 식(8)에 의하여 하류단으로의 흐름분배율을 결정한다.

$$f_i = \frac{L_i S_i}{\sum (L_i S_i)} \quad (8)$$

여기서, f_i 는 대상격자에서 i 격자방향으로의 흐름분배율, S_i 는 i 격자지점에서의 지표면 경사, L_i 는 i 격자에 대한 유효등고선 길이[L]로서, 흐름경로를 따른 흐름 폭에 해당한다. MFD 알고리즘은 산의 봉우리와 같이 흐름이 분산되는 지형에 적합하지만, 계곡과 같이 경사가 급한 지형에는 SFD 알고리즘에 비하여 적용성이 낮은 것으로 알려져 있다.

3.3. 습지처리 알고리즘

산지에 분포하는 습지는 다른 지역에 비해서 높은 습윤도를 보이고 이에 적합한 식생분포가 구별되는 특징이 있다. 이로 인한 구별되는 투수성으로 습지 내의 지하수위가 지표면과 동일하거나 지표면보다 약간 높은 경향을 보인다. 실제로, 연구대상유역의 모든 산지습지는 이러한 특색을 보이고 있다. 이는 습지 내에서의 물의 분포는 지형분포에 의한 습윤도보다 습지의 높은 투수성과 습지로의 물의 수렴성에 바탕을 둔 해석이 필요하다는 것을 의미한다. 이 연구에서는 이와 같은 요소를 고려하기 위해서 Darcy의 법칙에서 기인한 연속방정식을 수치지형 분석에 연계하여 적용하는 방법을 고안하였다. Lapalce 방정식과 Darcy 방정식을 혼합하면 다음과 같은 식 (9)가 나타난다.

$$\frac{\partial}{\partial x}(-K_x \frac{\partial h}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y}(-K_y \frac{\partial h}{\partial y}) + \frac{\partial}{\partial z}(-K_z \frac{\partial h}{\partial z}) = 0 \quad (9)$$

식 (9)에서 수평 방향의 투수계수 또는 수리전도도가 연직 방향보다 높다는 가정을 도입하고 수치지형분석과 같은 정상상태를 가정하면 흐름의 깊이 h 가 상부사면기여면적, a 으로 대체될 수 있다. 이는 동일한 강우 강도의 강우가 대상 유역 전반에 발생하였을시 습지로 물이 수렴되는 상태를 상부사면 기여면적이 상사성을 가지고 나타낼 수 있음을 의미한다. 이는 습지 격자 안에서 다음과 같은 적용이 가능해지는 것을 의미한다.

$$a_{i,j} = (a_{i-1,j} + a_{i+1,j} + a_{i,j-1} + a_{i,j+1})/4 \quad (10)$$

식 (10)을 반복적으로 적용하여 습지내의 기여 사면적이 균일하게 될 때까지 계산을 진행한다. 이와 같은 습지 격자에 대한 적용은 습지내의 습윤도에 대한 고려를 하게 되어 상부사면 기여면적과 습윤도를 동일하게 만들어서, 기존의 수치지형분석법에서 습지의 효과를 구현하는 계산을 수행하게 된다.

3.4. 산지 습지의 유출기여산정

산지습지의 상대적으로 높은 습윤도의 특성은 강우 유출 발생시 하경사 방향으로 흐름의 분포 특성이 다른 격자와 구분하여 나타난다. 이와 같은 특성을 수치지형 분석에서 공간적인 고려를 수행하기 위해서는 3.3절에 기술된 방법과 구별된 분석이 필요하다. 이를 위해서 분석에서 습지로 계산된 상부사면 기여면적을 습지격자에 부여하고 다른 격자에는 실제 면적보다 작은 단위격자의 기여면적을 부여하여 추가적으로 계산을 수행하는 방식을 고려할 수 있다. 이는 습지의 수문반응에 기여하는 효과를 분리해서 보여주는 방식으로 습지에서 발생하는 유출이 하경사 방향으로 발달되는 것을 공간적으로 나타낸다.

4. 결과

4.1. 수치지형분석

이 연구에서는 수치지형분석을 위한 격자의 크기를 가능한 최대 해상도인 5 m 격자크기를 선정하여 습윤지수를 각 습지별로 계산하였다. 그림 3은 수치지형지도에 다방향 흐름(Multiple Flow Direction)알고리즘을 적용하여 계산한 습윤 지수의 공간적 분포 결과이다. 이는 능

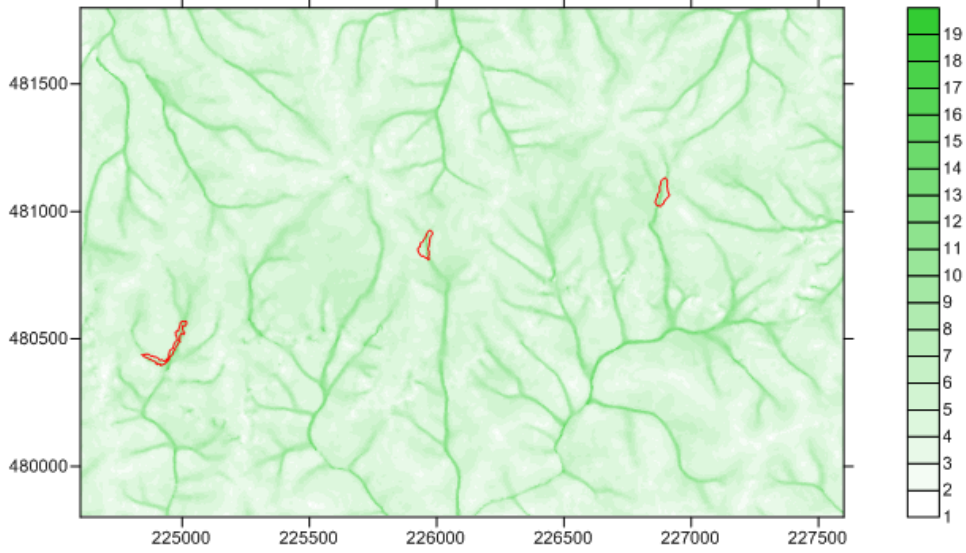


Fig. 3. Wetness index before wetland treatment (Scale bar: $\ln(a/\tan B)$).

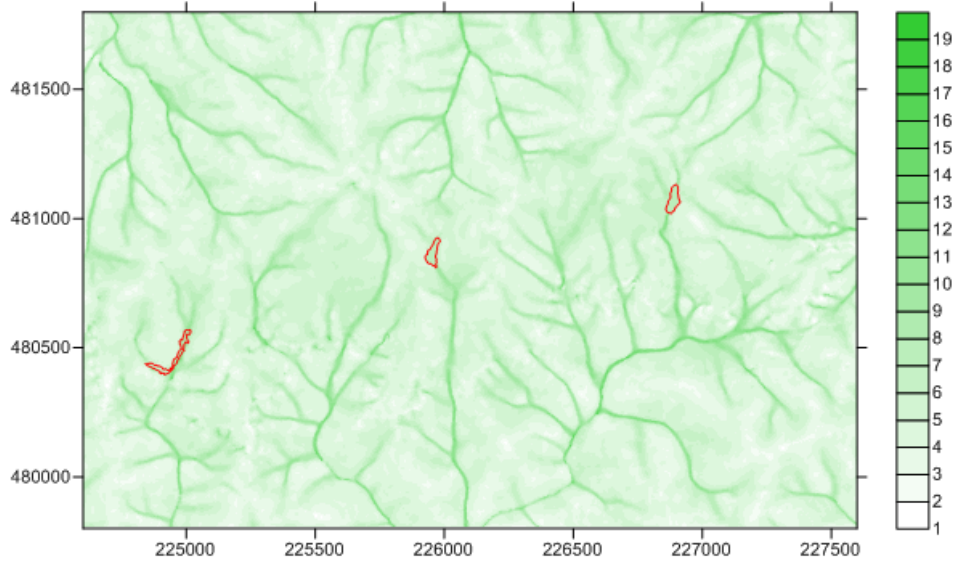


Fig. 4. Wetness index through application of Laplace equation (Scale bar: $\ln(a/\tan B)$).

선에서는 흐름의 발산을 계곡부분에서는 흐름의 수렴을 보이는 전형적인 산지 수문 분포를 보이고 있다. 그러나 습지 내에서도 미소한 지형의 차이로 이와 같은 흐름의 수렴과 발산이 보이는 그림 3을 확대하여 습지에서 보여 준 그림 5는 상이한 습윤도를 가진 지역이 습지 내에 존

재함을 보여주는데, 이와 같은 기존의 수치지형 분석이 습지의 습윤도를 표현하기에는 미흡하다는 것을 보여준다. 그림 4는 식(10)을 수치지형분석에 적용하여 습지 내 습윤도를 Lapalce 방정식을 이용하여 균일하게 재처리 하여 연구지역 전체에 대한 습윤지수의 분포를 나타낸

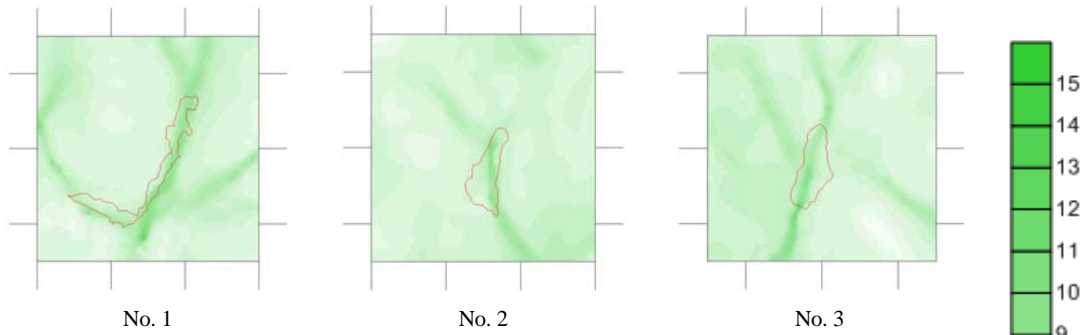


Fig. 5. Wetness index for each wetland before wetland treatment (Scale bar: $\ln(a/\tan B)$).

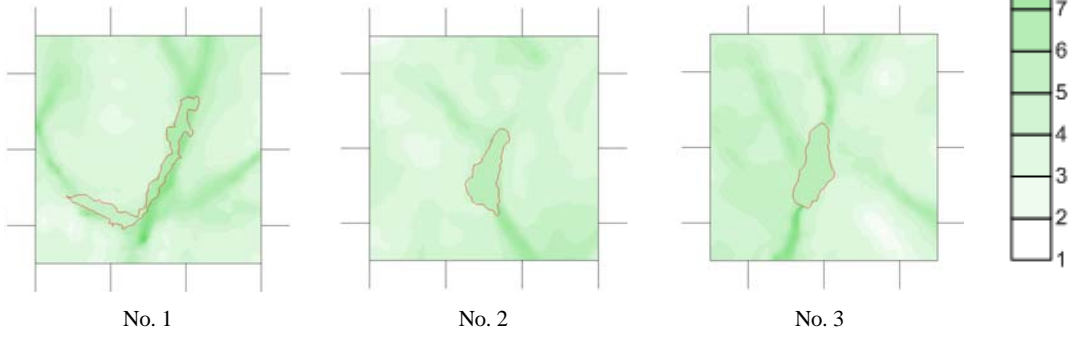


Fig. 6. Wetness index for each wetland through application of laplace equation (Scale bar: $\ln(a/\tan B)$).

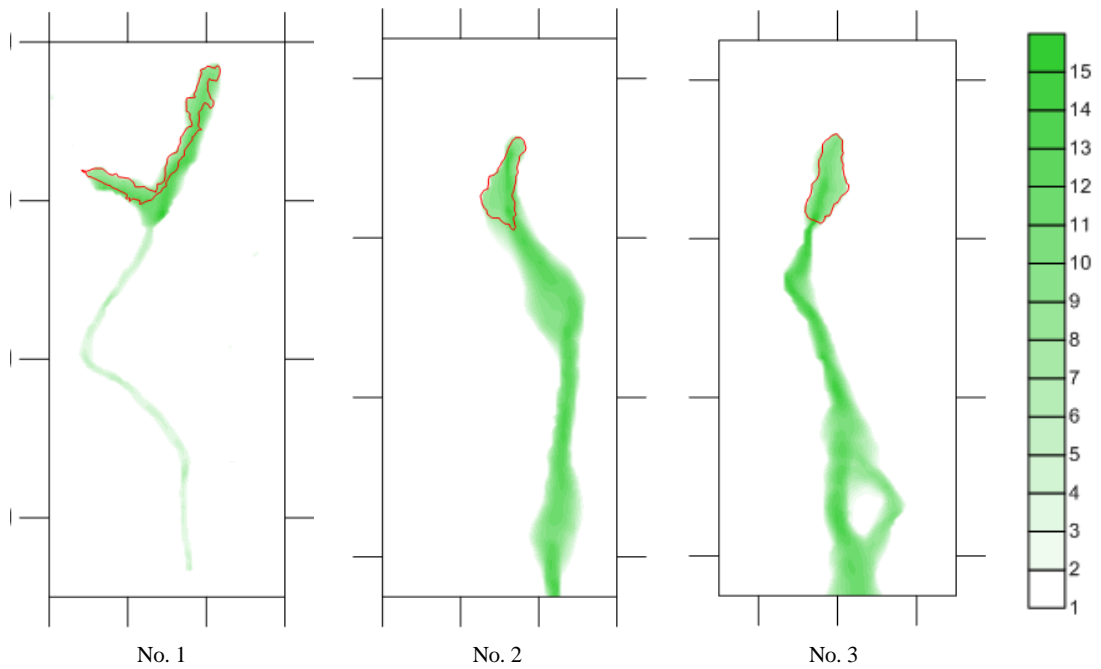


Fig. 7. Wetness index for downslope runoff contribution (Scale bar: $\ln(a/\tan B)$).

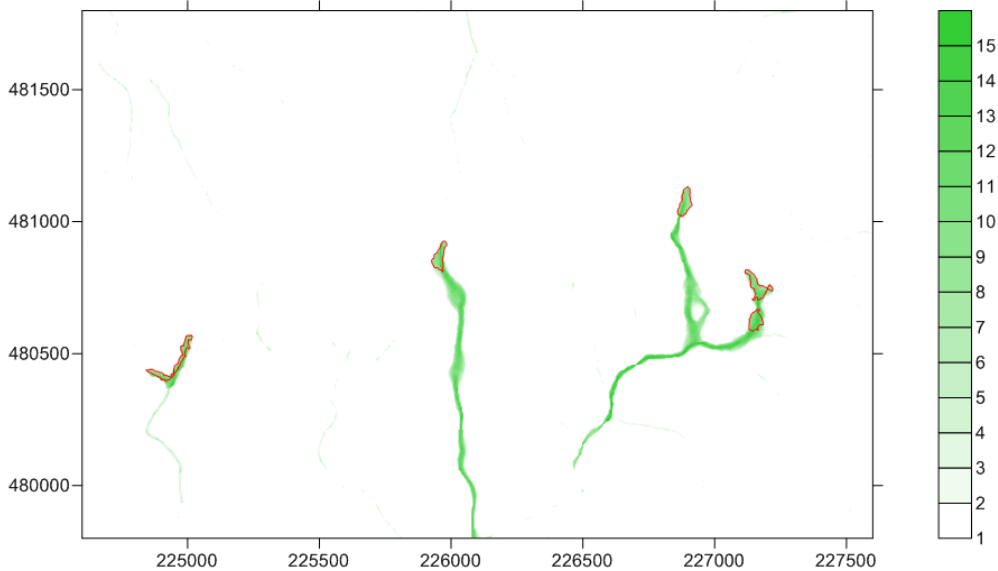


Fig. 8. Wetness index for downslope runoff contribution (Scale bar: $\ln(a/\tan B)$).

것이다. 이를 확대한 그림 6에서 습지내의 습윤도가 균질해짐을 확인 할 수 있다.

그림 7은 이와 같이 처리된 습지에만 기여 사면적을 높게 부여하고 다른 격자에는 무시할만한 기여 사면적을 부여하여 전체적인 수치지형분석을 다시 수행한 경우이다. 이 결과는 산지습지에서 유출이 발생할 경우 하부사면으로 이송되는 유출의 공간적인 분포를 보여주는 것이다. 각각의 습지는 지정학적인 위치에 따라서 하천으로 지속적으로 유입되는 경우와 이들 습지가 다른 지역적인 오목한 지형지대에 영향을 주어서 하부사면에 습윤도가 집중될 수 있는 경우로 나누어진다는 것을 알 수 있다.

4.2. 습지별 히스토그램 분석

기존의 DEM 지형 분석과 습지처리 알고리즘을 이용한 지형 분석을 통해 도출된 기여면적 데이터에 대한 히스토그램 분석을 수행하였다. 1번 습지와 2번 습지의 히스토그램을 비교한 결과 (그림 9, 그림 10), 특정 범위에서 일반적인 지형 분석의 빈도를 뛰어 넘는 것을 확인할 수 있다. 1번 습지의 경우 850-900의 범위, 2번 습지의 경우 3400-3600의 범위에서 기존의 지형분석 보다 높은 값을 나타낸다. 3번 습지는 7200-7600, 4번 습지의 경우 850-900의 범위에서 기존 분석보다 높은 값을 나타낸다.

기존의 지형 분석과 습지 처리 알고리즘 지형 분석의 빈도 차이는 습지 셀을 알고리즘을 통해 일정 값으로 지정하였기 때문에 발생한 것이다. 따라서 히스토그램에서 확인할 수 있는 빈도의 차는 알고리즘을 통해 처리된 습지 셀들을 의미한다.

그림 11과 그림 12는 기존의 DEM 지형 분석과 습지처리 알고리즘을 이용한 지형 분석을 통해 도출된 습윤지수를 도식화한 것이다. 1번 습지의 경우 8.8-9.6의 범위, 7.2-8.0의 범위에서 기존의 DEM 지형 분석에 비해 높은 값을 갖는 것을 알 수 있다. 1번 습지의 경우 알고리즘을 통해 습지 셀을 7.2-9.6사이의 값으로 처리하였다. 2번 습지의 경우 7.8-8.4의 범위에서 기존 DEM 지형 분석에 비해 더 높은 값이 발생하는 것을 통해 7.8-8.4의 값으로 습지 셀을 처리하였다. 3번과 4번 셀 또한 8.4-9.1의 범위에서 기존의 지형 분석보다 높은 값을 형성하였다. 그림 9와 그림 10의 기여 면적과 같이 기존 DEM 분석의 빈도와 차이는 알고리즘을 통해 습지 셀을 처리한 결과를 의미하며 처리된 습지 셀이 증가된 범위내의 값으로 변경된 것을 확인할 수 있다. 습윤지수는 유역내의 습윤정도를 나타내는 것으로 그림 9와 그림 10의 구분되는 습윤빈도가 습지의 효과를 표시하는 것이다.

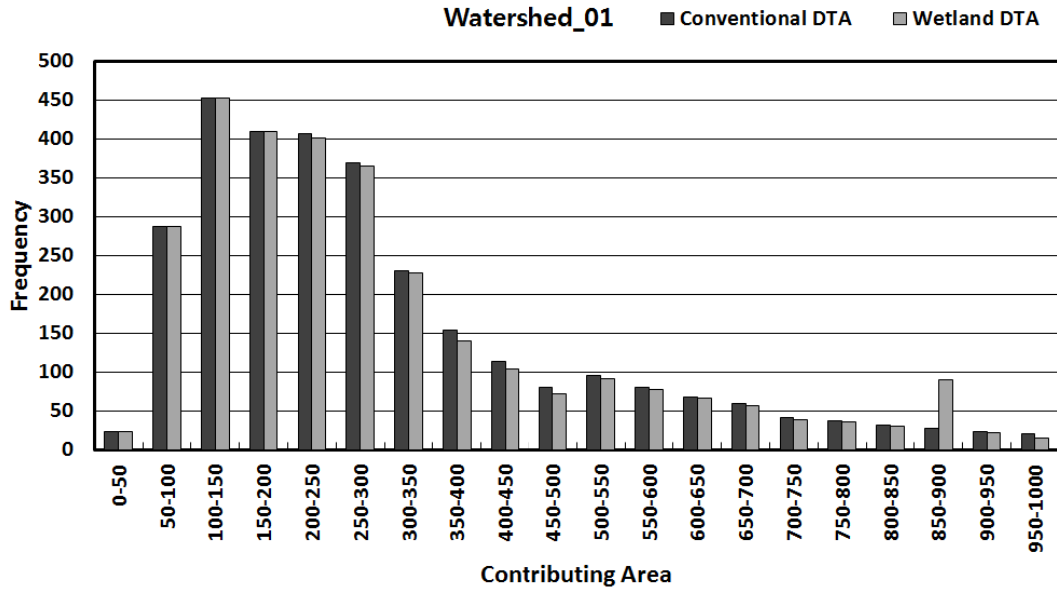


Fig. 9. Histograms for upslope area of wetland area including watershed_1.

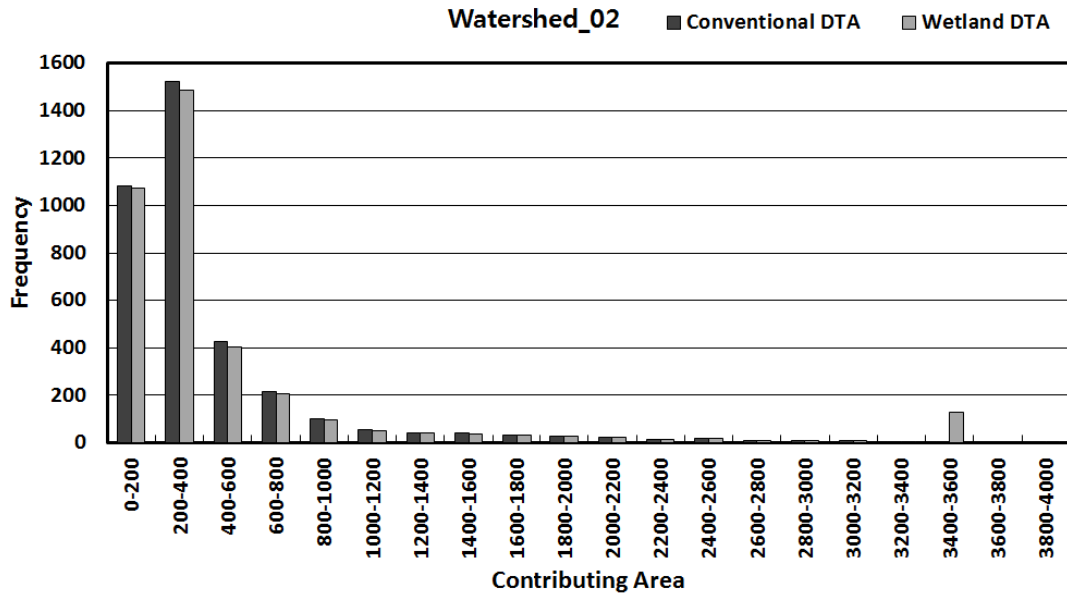


Fig. 10. Histograms for upslope area of wetland area including watershed_2.

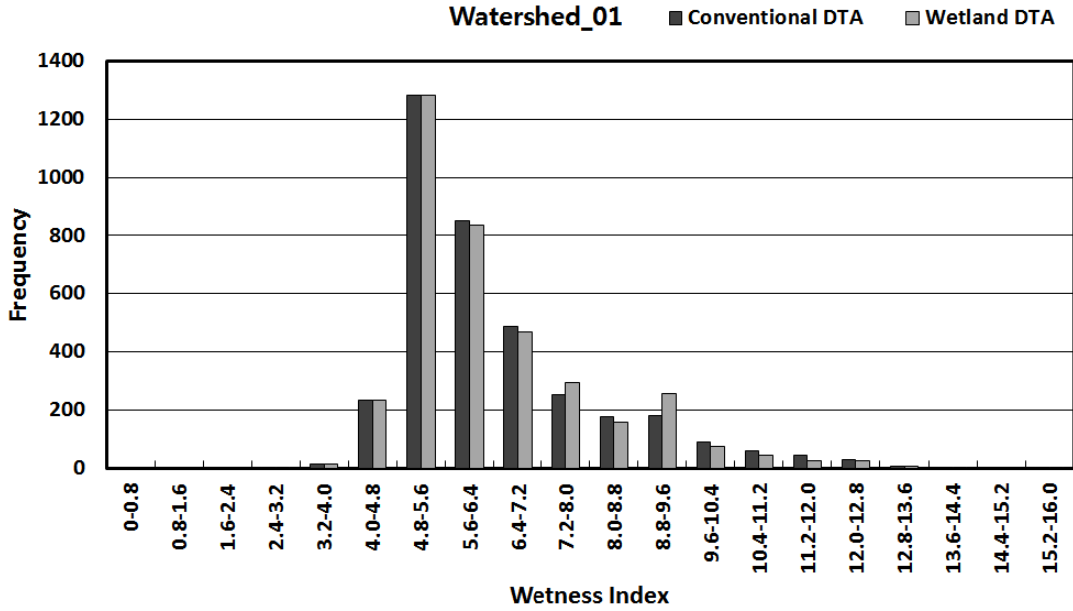


Fig. 11. Histograms for wetness index of wetland area including watershed_1.

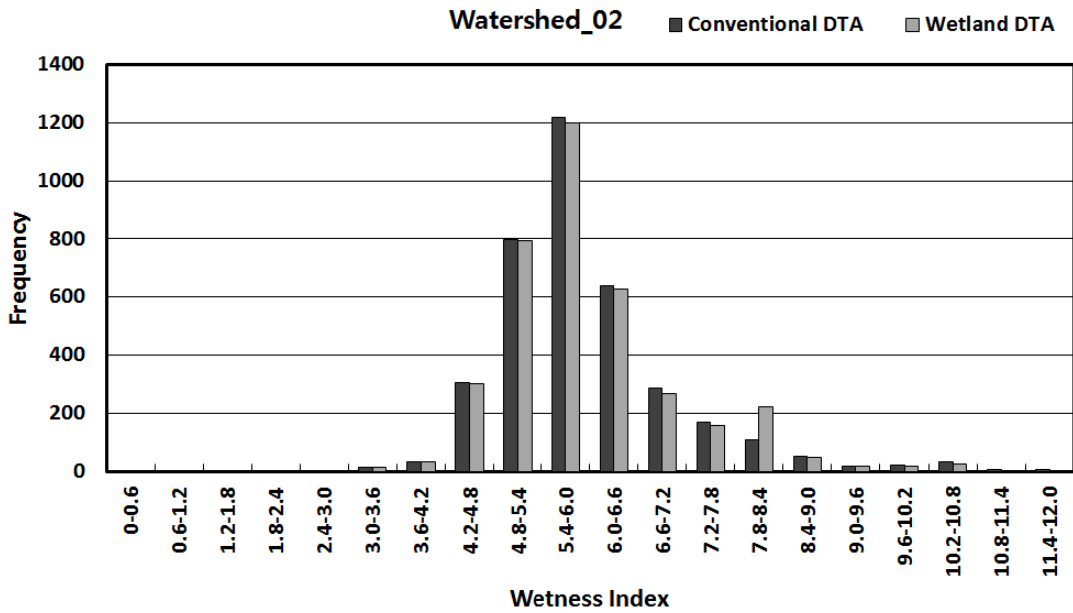


Fig. 12. Histograms for wetness index of wetland area including watershed_2.

5. 결론

이 연구에서는 경상북도 울진군 천축산 일대의 산지 습지를 DEM의 자료를 사용하여 수문 수치지형분석을 수행하였다. 기존의 연구에서 이루어진 습윤도의 공간분석과정에서 산지습지의 효과를 적절하게 반영하기 못하는 문제를 해결하기 위해서, 습지 내 지하수위가 지표면과 동일하거나 지표면보다 높게 나타나는 경향을 고려하여 Darcy의 법칙에 기인한 Laplace방정식을 수치 지형분석에 적용하는 방법을 개발하였다. 이는 습지 내 습윤도를 동일하게 처리하는 수문지형분석 방법론을 개발한 것으로, 이를 통하여 기존 수치지형분석법에서 구현되지 못한 습지의 효과를 구현하는 계산을 수행하였다. 습지 처리 알고리즘을 통해 처리한 결과를 기존의 DEM 분석 결과와 히스토그램 분석을 비교한 결과, 알고리즘을 통해 처리된 습지 셀 숫자만큼 일정 범위에서 알고리즘 처리한 데이터의 빈도가 기존의 DEM 분석 데이터에 비해 상대적으로 높게 나타나는 것을 확인할 수 있었다. 이는 산지 습지에서 적용할 수 없었던 기존의 지형분석의 문제점을 해결 할 수 있음을 의미한다.

감사의 글

이 논문은 부산대학교 기본연구지원사업(2년)과 BK21사업으로 연구되었습니다.

REFERENCE

- Beven, K. J., Kirkby, M. J., 1979, A physically based variable contributing area model of basin hydrology, *Hydrol. Sci. Bul.*, 24, 43-69.
- Choi, B. G., Moon, S. K., Na, Y. W., 2009, A Study on Extraction of Potential Mountainous Wetland Using Analytic Hierarchy Process, *Journal of Korean Society for Geo-Spatial Information System Conference*, 332-335.
- Costa-Cabral, M. C., Burges, S. J., 1994, DEMON (Digital Elevation Model Networks): A Model of Flow Over Hillslopes for Computation of Contributing and Dispersal Areas. *Water Resources Research*, 30(6), 1681-1692.
- Kim, J. G., 2009, Ecological Characteristics of Sphagnum fens in Mt. Odae: I. *Sowhangbyungsan-neup*, *Journal of Korean Wetlands Society*, 11(1), 15-27.
- Ku, C. Y., SEO, J. C., 2007, The Study on the Extraction of the Potential Mountainous Wetlands Using Geographic Information and Satellite image, *Journal of Korean Geomorphological Association*, 14(1), 53-65.
- Mitsch, J. W., Gosselink, G. G., 2000, *Wetlands Third Edition*, John Wiley & Sons, Canada.
- Moon, H. S., 2005, The Developmental Stages of the Circumstances and Characteristics in Wetland, *Journal of Korean Geomorphological Association*, 12(4), 55-67.
- O'Callaghan, J. F., Mark, D. M., 1984, The extraction of drainage networks from digital elevation data. *Computer Vision, Graphics and Image Processing*, 28, 323-344.
- O'Loughlin, E. M., 1986, Prediction of surface saturation zones in natural catchments by topographic analysis. *Water Resour. Res.*, 22, 794-804.
- Omernik, J. M., 1987, Ecoregions of the conterminous United States. *Annals of the Association of American Geographers* 77, 118-125.
- Quinn, P., Beven, K., Chevallier, P., Planchon, O., 1991, The prediction of hillslope flow paths for distributed hydrological modeling using digital terrain models, *Hydrol. Processes*, 5, 59-79.
- Seibert, J., McGlynn, B. L., 2007, A new triangluar multiple flow direction algorithm for computing upslope areas from gridded digital elevation models, *Water Resour. Res.*, 43, Art. No. W04501.
- Tarboton, D. G., 1997, A new method for the determination of flow directions and upslope areas in grid digital elevation models. *Water Resources Research*, 33, 309-319.
- Winter, T. C., 1988, Conceptual Framework for Assessment of Cumulative Impacts on the Hydrology of Non-tidal Wetlands. *Environmental Management* 12, 605-620.
- Yi, Y. M., Kang, D. S., Sung, K. J., 2009, Germination Experiments using natural Wetland Soil for introducing non-emergent Plants into a Constructed Wetland, *Journal of Korean Wetlands Society*, 11(1), 39-48.
- 습지보전법, 2014, 법률 제12525호, 환경법전.