

하천 합류부에서의 수질계측결과를 활용한 2차원 공간분포 해석

이창현* · 박재곤** · 김경동*** · 류시완**** · 김동수***** · 김영도*****

Lee, Chang Hyun* · Park, Jae Gon** · Kim, Kyung Dong*** · Ryu, Si Wan**** · Kim, Dong Su***** · Kim, Young Do*****

Two-dimensional Spatial Distribution Analysis Using Water Quality Measurement Results at River Junctions

ABSTRACT

High-resolution data are needed to understand water body mixing patterns at river junctions. In particular, in river analysis, hydrological and water quality characteristics are used as basic data for aquatic ecological health, so observation through continuous monitoring is necessary. In addition, since measurement is carried out through a one-dimensional and fixed measurement method in existing monitoring systems, a hydrological and water quality characteristics investigation of an entire river, except for in the immediate vicinity of the measurement point, is not undertaken. In order to obtain high-resolution measurement data, a measurer has to consider multiple factors, and the area or time that can be measured is limited. Although the resolution might be lowered, an appropriate interpolation method must be selected in order to acquire a wide range of data. Therefore, in this study, a high-elevation measurement method at a river junction was introduced, and the interpolation method according to the measurement results was compared. The overall hydraulic and water quality information of the river was indicated through the visualization of the prediction and interpolation method in the low-resolution measurement result. By comparing each interpolation method, Inverse Distance Weighting, Natural Neighbor, and Kriging techniques were applied in river mapping to improve the precision of river mapping through visualized data and quantitative evaluation. It is thought that this study will offer a new method for measuring rivers through spatial interpolation.

Key words : Kriging technique, Monitoring, River analysis, Spatial interpolation

초 록

하천합류부에서 수체혼합양상을 파악하기 위해서는 고해상도의 자료가 필요하다. 특히 하천분석에 있어 수리·수질 특성은 수생태 건강성에 대한 기초자료로 사용되기 때문에 지속적 모니터링을 통해 관측이 필요한시점이다. 또한 현재 기존의 모니터링 체계에서도 1차원적인 고정적인 측정방법을 통해 측정이 진행되기 때문에 측정지점 주변의 제외한 하천 전체의 수리·수질 특성조사가 이루어지지 않고 있다. 그에 따른 고해상도의 측정자료를 얻기 위해서는 측정자가 부담을 많이 가지며, 측정할 수 있는 영역이나 시간적으로 제한적이다. 해상도는 낮추되 광범위한 데이터를 취득하기 위해서는 적절한 보간법이 선정되어야 한다. 따라서 본 연구에서는 하천합류부에서의 고해상도 측정방법을 소개하고 계측결과에 따른 보간법 비교하였다. 이를 이용한 저해상도 측정결과에서의 예측과 보간법에 대한 시각화를 통해 하천의 전체적인 수리·수질정보를 표기하였다. 각각의 보간법을 비교함으로써 하천 매핑에 있어 IDW, Natural Neighbor, Kriging 기법을 적용하여 시각화된 자료와 정량적 평가를 통해 하천매핑의 정밀성을 향상시켰다. 본연구를 통해 공간보간을 통한 하천의 측정의 새로운 방안제시가 될것이라 사료된다.

검색어 : 모니터링, 하천분석, 공간보간, Kriging기법

* 명지대학교 토목환경공학과 박사과정 (Myongji University · lch5435@naver.com)

** 한국수자원조사기술원 연구원 (Korea Institute of Hydrological Survey Inc. · ion0808@naver.com)

*** 정회원 · 단국대학교 토목공학과 박사과정 (Dankook University · rlarudehd323@naver.com)

**** 종신회원 · 창원대학교 토목공학과 교수 (Changwon National University · siwan@changwon.ac.kr)

***** 정회원 · 단국대학교 토목공학과 교수 (Dankook University · dongsu-kim@dankook.ac.kr)

***** 종신회원 · 교신저자 · 명지대학교 토목환경공학과 교수 (Corresponding Author · Myongji University · ydkim@mju.ac.kr)

Received February 3, 2022/ revised February 28, 2022/ accepted March 8, 2022

1. 서론

최근 녹조 발생, 탁수, 빈산소 등 다양한 수환경 이슈가 지속적으로 발생하고 이에 따른 사회적 이해와 합의를 위한 객관적, 과학적 자료가 부족한 실정이다. 또한 많은 수환경 이슈들이 1차원에서 다차원에 걸쳐져 있지만 대다수의 관측체계가 1차원에 머물러 있음을 확인할 수 있었다. 이러한 문제점을 해결하기 위해서는 좀 더 고도화된 관측이 필요하다(Park et al., 2008; Song et al., 2015). 수환경 이슈나 기존 모니터링 체계에서도 고정적인 측정방법을 통해 진행이 되기 때문에 하천 전체의 수리, 수질특성 조사가 이루어지지 않고 있다.

현재 국가에서 운영 중인 측정망 같은 경우 측정지점에 대한 고정적 측정을 통해 자료를 제공하고 있다. 지점측정에 대한 1차원적 자료는 광범위한 측정공간에 대해 대표성을 나타내기 어렵다. 즉, 각 측정지점에 대한 자료는 고정적인(1차원) 측정 자료를 제공하고 있기에 인근하천의 전체적인 수질이나 유량을 대표지점이라 판단하기 어렵다. 이런 1차원 지점측정망 조차도 수질측정소나 유량측정소등 공간적으로 일치하지 않은 곳에서 측정이 되고 있다. 이러한 이유로 복잡한 수질분석을 하기에는 고도화된 관측 및 측정방법을 통해 하천분석이 이루어져야한다(Baek et al., 2018).

고도화 관측을 통한 하천분석을 진행하여야하는 이유으로써 하천 측정에 필요한 수질, 수리특성은 국내외적으로 2차원 자료를 많이 이용하고 있으며, 수리수질 특성들은 수생태 건강성에 대한 기초자료로 사용이 되고 있다.

특히 하천합류부는 두 하천이 만나 형성되는 지역으로 합류부 구간의 혼합매커니즘을 통해 수리적, 수질적 혼합거동을 이해하는 것이 중요하다. 지류의 다양한 유입조건에 따라 분류와의 수체혼합이 공간적으로 어떻게 변화되는지를 분석하는 것이 주요 쟁점이라 할 수 있는데, 많은 연구사례들이 두 수체가 혼합되는 구간에 축선(line)에 국한하여 많이 분석하고 있었다. 이에 본 연구에서는 수표면 자료를 평면적(polygon) 공간보간을 통해 분석하고자 하였다.

또한 계측자료 취득에 있어 기존의 하천정보 취득법은 도삽법, 보트, 도량법등 접촉식 취득법이 많이 이루어지고 있으며, 이 과정에서 현장관측 시 많은 인력과 시간이 요구되며 측정방법과 측정시간에 따른 오차가 발생된다. 간편하고 정밀한 하천정보 취득법이 개선되고 요구되고 있다. 그나마 ADCP같은 경우 하천의 유속, 수심측정이 진행되고 있고, 하천의 횡단면 측정을 통한 2차원 분석이 주로 이루어지고 있다. 최근 환경부에서는 통합모니터링 체계를 새롭게 구축하고자 하고 있고, 하천 및 호소의 수체가동 및 혼합을 통한 사공간적 매핑을 하는 기술을 요구하고 있다. 그에 따른 공간분포 연구동향과 수질계측 관련 연구동향을 조사해 보았다.

공간분포 관련한 연구동향을 조사해본 결과 IDW와 Kriging 기

법에 대한 비교를 통해 단순 방법론적 비교가 주로 이루어졌고, 2차원 매핑을 통한 수리량 취득에 대한 연구는 미비한 실정 이었다. 수질관련 연구동향으로는 다양한 분석요인에 따른 연구가 진행되었지만 채수(Lee and Kim, 2014) 혹은 국가 수질측정망자료를 통한 분석이 주를 이루었고, 2차원적인 하천 수질농도에 대한 분석은 미비하였다. 이처럼 수리나 수질에 있어 2차원 데이터 공간 보간은 국내외적으로 미비한 실정였고, 공간분포에 따른 관련 연구동향 역시도 공간분포에 따른 변동 패턴 분석에 한계점을 대부분 지적하였으며(Lee and Ju, 2019), 이에 대한 보간법의 정량화를 진행하는것에 대한 한계가 분명 존재하였다. 특히나 모델 기반의 예측 보간이 주로 연구가 되었으며, 실제 계측결과를 이용한 분석은 채수나 수질측정망과 같은 1차원적 분석 자료를 많이 이용하여 보간을 진행한 것을 확인할 수 있었다. 그리고 측량이나 건축등 다양한 공학 분야(Lee et al., 2009)에서 많이 이용되고 있지만 특히 수공학 분야에서의 적용사례는 극히 드물다는 것을 확인할 수 있었다. 그에 따라 공간분포 분석을 통해 학술적 연구가 필요한 시점이다(Koo et al., 2004; Lee et al., 2005).

대상지역의 계측자료를 공간보간을 위해서 보간법 설정하였다. 보간법의 경우 일반적으로 다각형법(polygon method), 역거리 가중치법(Inverse Distance Weighting)등의 방법들을 많이 사용하고 있다(Kim et al., 2010). 그러나 이러한 결정론적 방법의 경우 단순히 거리를 인자로 사용하고 있고 지형통계적 특성을 반영하기에 어려움이 있다. 그에 반면 Kriging기법의 경우 베리오그램을 통해 가중치를 정량화하고 수학적 함수와 거리, 방향의 공간적 자기상관을 고려한 공간통계학적 공간보간법이다(Lee et al., 2011). 이에 따른 유사도를 나타내어 공간 보간에 대한 신뢰도와 유사도를 향상시킨다는 장점이 있다. 보간법을 구분할 때, 결정론적 방법(Deterministic Methodes)와 지형 통계적 방법(Geostatistical Methods)로 구분할 수 있다. 여기서 결정론적 방법이란 확률 이론을 사용하지 않고, 측정값을 결과에 대해 표면을 결정하는 수학적 공식에 기초하여 해당위치의 값을 할당해주는 방법이고, 지형통계적 방법이란 상관관계에 따라 측정된 지점간의 통계적 관계를 통해 예측표면을 생성하는 방법을 말한다. 이때 결정론적 방법에는 역거리가중법, Natural Neighbor, Spline, Trend의 방법이 있으며, 지형통계적 방법으로는 Kriging기법이 있다. 이처럼 공간보간에는 다양한 보간법이 있으면, 주로 사용되는 보간법으로는 역거리 가중법(Inverse Distance Weighting : IDW), Kriging, 최근린(Natural Neighbor), 스플라인(Spline)등이 있다. 환경 분야에서 사용되는 많은 데이터는 공간상 연속적으로 분포하는 특성을 갖는다. 여기서 공간상 분포한다는 것은 공간상의 모든 지점에서 그 값이 존재한다는 의미로 해석이 된다(Cho and Jeoung, 2006).

본 연구에서는 실 하천에서의 계측자료를 취득하여 IDW,

Kriging, Netural Neighbor을 비교 하고자 하였다. 계측경로와 측정결과에 따른 공간 보간을 진행하여 하천합류부에서의 공간법 비교를 통해 하천합류부의 대한 기초자료로 기여하고자 실험을 진행하였다.

2. 연구방법

2.1 이론적 배경을 통한 공간보간 기법 선정

공간분포에 대한 보간을 진행하기에 앞서, 공간적인 연속성이나 혹은 상관(Spatial Correlation)을 정량화 할 수 있는가를 나타내는 것이 가장 중요하다 특히 자료에서의 일정한 거리와 방향에 존재한 모든 자료의 짝을 연관지어 상관관계를 나타내어 그에 다른 거리를 파악함으로써 그에 대한 상관성을 나타내는 것을 가장 우선시하고 중요하게 판단한다(Hwang et al., 2006). 그로인한 변동도(Variogram)을 파악한다. 인접한 공간의 두 점사이의 값이 떨어져 있는 두 점사이의 값에 비해 더욱 유사할 것이라고 생각할 수 있다. 특히 이러한 상황을 정량적으로 파악하기 위해서는 확인된 값(계측결과)들이 임의의 공간에서 무작위 값을 갖는다고 하면 통계학적으로 표현되는 기대치나 분산과 같은 개념이 도입되어야 한다. 특히 자료값 사이에 베리오그램은 거리에 관한 함수로 표현되어지므로 결국 가중치를 부여함에 있어 가장 중요한 인자는 자료점간의 분리거리(Separation distance)라 할 수 있다. 여기서 베리오그램이란 사전적으로 지구통계학적 관측된 값의 공간적 분포 특성을 규정하는 함수로 실제 관측 자료를 이용하여 작성하는 실험적 베리오그램과 실험적 베리오그램에 가장 근접하는 이론적 곡선을 완성시키는 베리오그램 모델링과정으로 나뉘게 된다. 이때 베리오그램은 공간 보간의 내삽을 할 때, 가장 기초가 되는 행위으로써 분리거리에 따른 관측치의 비유사성을 이용한 내삽방법을 Kriging 이라고 할 수 있다. 베리오그램을 해야 하는 이유으로써 가까이에 있는 자료값 간의 공간 상관성이 높기 때문에 분리거리가 작은 근거리에서의 패턴분석이 주로 이뤄지는데 이때 분리거리와 실험

적 베리오그램에 따라 베리오그램의 모델을 설정할 수 있다. 이를 토대로 공분산값을 유도하여 각 측정지점의 가중치를 도출하면 가중치평균을 통해 Kriging을 진행한다. 예를 들어 표(Table 1)와 같이 데이터가 생성되었을 때, case (z2,z3)의 분리거리가 0.5이고 이론적 베리오그램 모델 값이 3.5, 전체 Sill이 5.0일 때, 공분산은 1.5의 결과를 얻을 수 있다.

이를 통해 총 Sill에서의 베리오그램값의 차를 통해 공분산(유사도)가 얼마인지를 계산할 수 있다.

$$z_0 = \frac{\sum_i \lambda_i z_i}{\sum_i \lambda_i} \tag{1}$$

위 식에서 z_0 는 미지값, λ_i 는 가중치, z_i 관측치로 가중평균을 하는 내삽치를 뜻한다. 본 논문에서는 각각의 보간법에 대해 동일한 계측값을 이용하여 공간보간을 하여 대상지역인 황강합류부에서의 수질 수표면 자료를 이용하여 2차원 공간보간에 대한 결과를 토대로 하천에서의 공간보간 적용성을 검토하고자 하였다.

2.2 대상구역

본 연구의 대상지역은 창녕군 이방면 장천리에 위치한 합천창녕보 하류방향 200 m지점으로부터 낙동강 제1지류인 황강 합류부를 지나 적포교 상류 약 300 m지점까지로 선정하였다. 대상지역에는 황강이 합류하고 대상구간의 하상변동이 심한 복잡한 지형특성을 지니고 있다(Fig. 1).

대부분의 하천은 여러개의 지류로 구성되어 있으며 특히 분류와 지류가 합류되는 합류부에서의 혼합양상은 장기적으로 수질, 혼합 특성에 영향을 미쳐 합류부 하류 구간의 수질특성에 영향을 주며, 하천 합류부에서의 혼합양상을 파악하기 위해서는 서로 다른 수체의 일정 구간을 포함하는 합류 구간에 대한 고해상도의 계측이 필요하다.

Table 1. Covariance Derivation Matrix

Data	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5
D1	case (0.2, 2.7)	case (0.2, 3.0)	case (0.2, 3.5)	case (0.2, 4.2)	case (0.2, 5.0)
D2	case (0.5, 2.7)	case (0.5, 3.0)	case (0.5, 3.5)	case (0.5, 4.2)	case (0.5, 5.0)
D3	case (0.8, 2.7)	case (0.8, 3.0)	case (0.8, 3.5)	case (0.8, 4.2)	case (0.8, 5.0)
D4	case (1.2, 2.7)	case (1.2, 3.0)	case (1.2, 3.5)	case (1.2, 4.2)	case (1.2, 5.0)
D5	case (1.5, 2.7)	case (1.5, 3.0)	case (1.5, 3.5)	case (1.5, 4.2)	case (1.5, 5.0)

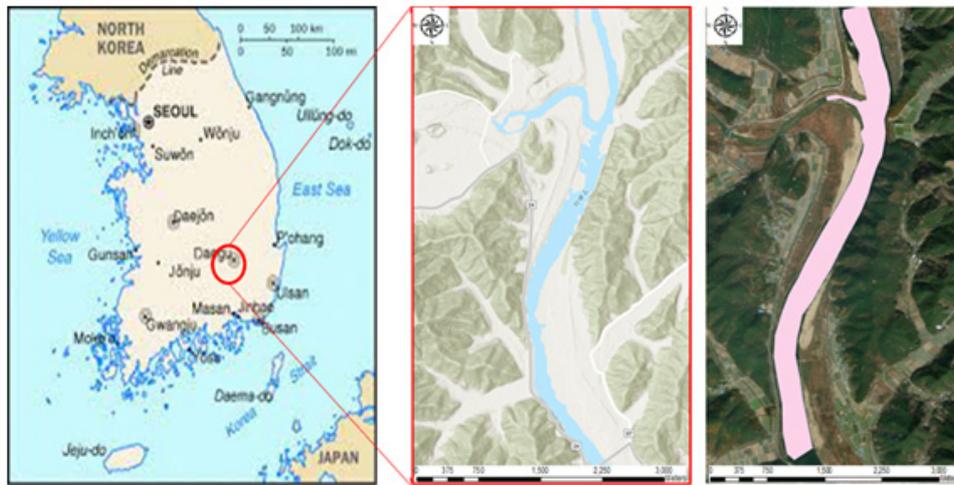


Fig. 1. Research Target Area

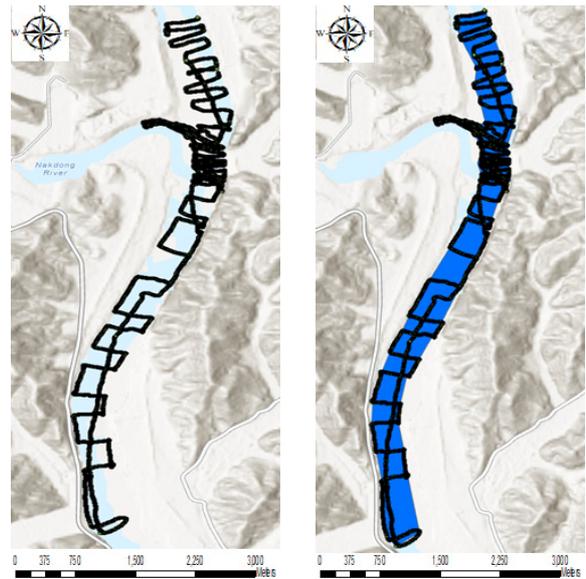


Fig. 2. Measuring Equipment ADCP, YSI-EXO

2.3 계측자료 취득 방법 및 계측경로

대상지역에서의 계측자료 취득은 수리·수질자료를 취득하였다. 먼저 본 자료는 낙동강유역청 ‘낙동강 중·하류 지표지류(금호강, 황강) 합류부 혼합거동 조사 및 분석’(Ryu, 2021) 3차년도 측정자료를 활용하였으며, 계측자료를 취득할 때 사용된 계측기는 ADCP (Acoustic Doppler Current Profilers)와 YSI-EXO2 Sonde (Fig. 2)를 사용하여 측정하였다. ADCP로는 이동측정을 통해 유속장과 수심, 좌표정보를 취득하였고, YSI-EXO로는 직독식 항목인 pH, 전기전도도 (Electrical conductivity), 용존산소(Dissolved oxygen), 수온을 측정하였다. 이때 하천흐름방향으로 횡단면을 지그재그로 이동식 측정을 진행하여 2차원 횡단면 자료를 취득하였다(Fig. 3).

또한 횡단면 이동 중 배를 멈추어 고정식 방법을 이용하여 하천의 연직방향 데이터를 상하방향으로 움직이며 측정 자료를 취득하였다. 이렇듯 복합모니터링을 통해 하천의 전체적인 데이터를 취득할 수 있었다. 하지만 본 논문에서는 2차원 고해상도의 수표면 자료를 이용하였다. 이러한 고해상도의 자료를 얻기 위해서는 측정자가 부담을 많이 가지며, 측정할 수 있는 영역이나 시간적으로 제한적이다. 그에 따라 해상도는 낮추되 광범위한 데이터를 취득하기 위해서는 적절한 보간법을 선정하고자 하였다.



(a) NakdongRiver-HwangRiver measurement route (b) Spatial Interpolation Range

Fig. 3. Measurement Equipment and Measurement Path and Interpolation Range

2.4 공간보간 방법론

공간보간의 Tool은 esri사의 ‘ArcGIS Pro’를 이용하여 IDW, Natural Neighbor, Kriging기법을 적용하여 나타내었다. 먼저 각 레이어를 생성하기에 앞서 조건을 설정하였다. Output자료의 cell size를 모두 3을 설정하였고, 출력된 추출물은 셀 크기와 투영방법을 각각 입력값 최대, 단위변환으로 설정하여 기존에 설정한 대상범위에 맞게 마스크를 출력하여 추출하였다. Natural Neighbor기법의 경우 설정된 조건을 부여하고 추출된 자료에서 설정한 범위로 바로 추출할 수 없기 때문에 ‘Extract by Mask’ 기능을 이용하여 설정된 범위로 추출하였다. ‘Geostatistical Wizard’ 분석의 Empirical Bayesian Kriging 분석을 통해 보간을 실시하였으며, 앞서 설명했던 베리오그램 모델을 수치 해석적 최적화를 통해 계속결과에 대한 모델을 선정하여 공간 보간을 실시하였다.

Kriging기법의 공간보간 진행시 최적 보간 모델을 선정을 하였다. 모델의 선정 방식은 각각의 모델의 베리오그램중 신뢰도(Root-Mean-Squar)값이 가장 ‘1’에 수렴하는 수치를 보이는 선형 모델을 선정을 하였다. 여기서 Root-Mean-Squar란 측정된 평균값과 제공평균된 측정값이 얼마나 수렴하는가를 나타내는 수치이다.

그에 따라 먼저 고해상도의 자료를 이용하여 그 자료중 일부 측정결과를 추출하여 저해상도 자료로 축소화를 진행하였다. 이는 고해상도자료와 비교함으로써 어떠한 시공간적 제약조건에서 앞서 설명했던 고해상도 자료를 취득하지 못했을 때, 어떤 보간법이 하천 합류부의 공간특성을 잘 나타내는지에 대한 비교를 진행할 수 있다.

또한 공간적 배열과 베리오그램을 기반으로 영역의 각 위치에 대한 예측을 좀 더 정교하게 수행하기 때문에 시각화자료를 나타내었을 때, 다른 보간법들에 비하여 Performance가 상세히 나타나는 것을 확인할 수 있었다.

3. 적용 결과

각 보간법에 대한 정량적 평가를 위해 전체 전기전도도 계속결과로부터 70 %의 학습데이터와 30 %의 검증데이터를(Fig. 4) 이용하여 각각의 항목에 대한 R^2 값과 RMSE값의 비교를 통해 분석하였다. 분석결과 Fig. 5와 같이 나타났다. R^2 에서는 Kriging 기법이 0.9751로 가장 높게 나타났으며, Natural Neighbor 기법에서 0.6836으로 가장 낮은 값을 보였다. RMSE 값에서도 역시 Kriging 기법이 14.5로 가장 검증값에서 차이가 적은 것으로 나타났다. 그에 따른 결과는 Table 2에 나타내었다.

수질 항목들의 계속결과에 대한 시각화를 진행하기에 먼저 전기전도도에 대한 공간 보간을 진행하였다. 전기전도도를 선택하여 먼저 자료를 보여준 사유는 대상구간의 황강의 전기전도도는 약 $130 \mu\text{s}/\text{cm}$ 의 수치를 나타내었고 낙동강 본류의 전기전도도 수치는 약 $280 \mu\text{s}/\text{cm}$ 정도의 수치를 나타내었다. 이는 서로 다른 수체를 보기에 적절한 항목으로 두수체가 분류가 되어지는 결과를 나타낸다. 이후 전기전도도 보간시 히스토그램을 참고하여 값을 동일하게 설정하여 시각화 하였다. 이론적 설명부분에서 언급하였듯, Kriging기법은 데이터의 종속성 또는 상관관계에서 공간정보를 사용하여 거리를 계산한다. 즉 신뢰도를 기반으로 모델링하여 예측된 보간법이다. 또한 IDW나 Natural Neighbor보간법과 비교했을 때, 주변측정값(계측값)에서 두 보간법 모두 가중치 중 거리와 방향성 중 하나만을 형성하지만 Kriging기법은 가중치를 거리와 방향에 모두 중점을 두기 때문에 좀 더 정교하다는 것을 알 수 있다. 하천의 경우 횡 방향과 종 방향의 특성은 매우 다른 특성을 나타내고 있으며, 종 방향으로는 동일한 패턴을 보이나 횡 방향으로 는 각 위치에 따른 특성이 다르게 나타나기 때문에 IDW나 Natural Neighbor와 같은 거리에 상관성과 가중치를 두는 보간법은 계속결

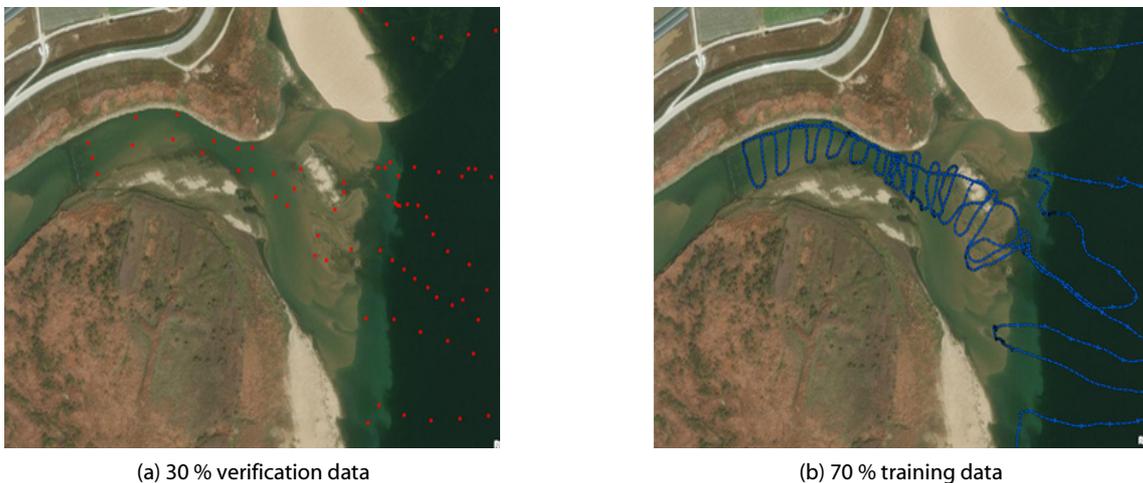


Fig. 4. Verification of Measurement Data

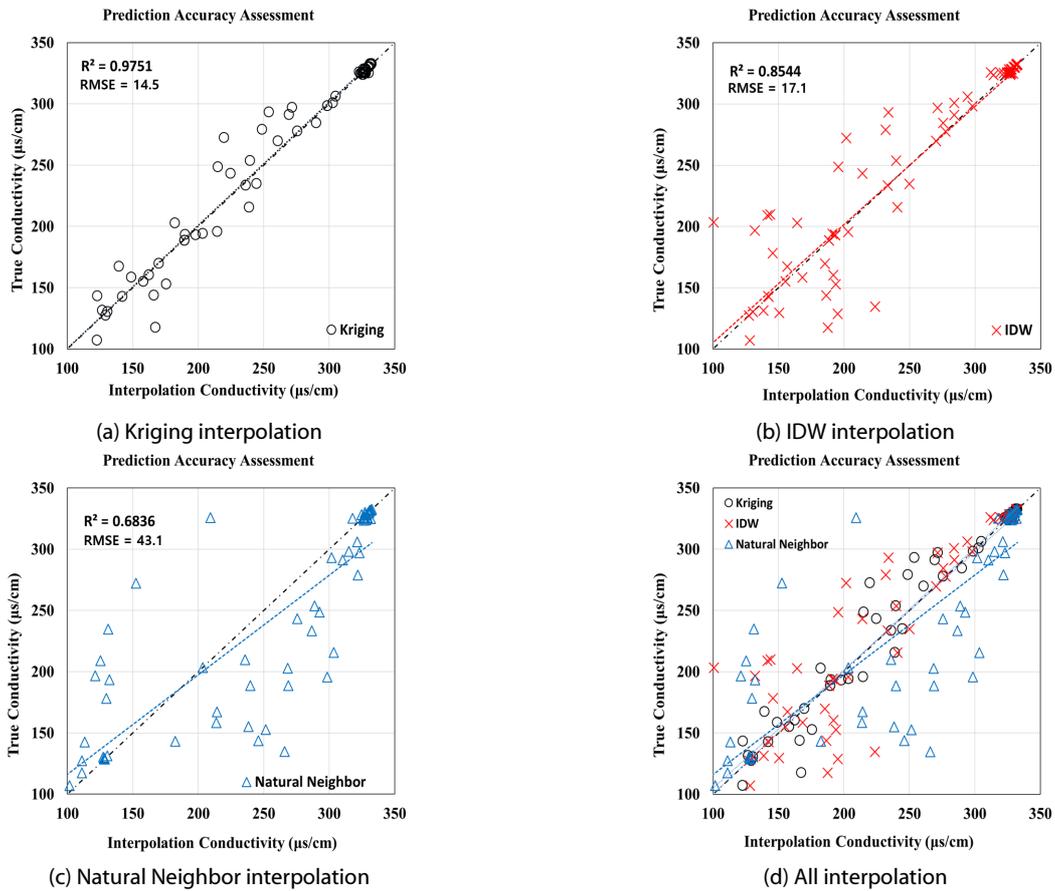


Fig. 5. Quantitative Comparison of Each Interpolation Method

Table 2. RMSE, R^2 for Each Interpolation Method for Conductivity

Kriging method		IDW method		Natural Neighbor method	
R^2	RMSE	R^2	RMSE	R^2	RMSE
0.9751	14.5	0.8544	17.1	0.6836	43.1

과에서 정밀성을 떨어트린다. 또한 IDW는 단순거리를 기반으로 하는 간단한 알고리즘을 사용하기 때문에 시각화 자료에서 보았듯, 수표면 자료의 매끄럽지 못하고 들쭉날쭉한 모양을 보이는 IDW의 경우 데이터의 불연속적 기울기로 인해 발생하는 현상으로 볼 수 있다(Fig. 6). 또한 Natural Neighbor기법의 경우 비례영역에 대한 보간을 진행하기 때문에 점과 점사이의 결과가 등근형식의 보간이 된 것을 볼 수 있다. 이는 방향에 대한 가중치를 두고 보간을 하는 Natural Neighbor기법의 한계를 나타낸다. 그에 반면 Kriging기법은 데이터의 공간적 특성을 보고 개발한 베리오그램에서 가중치를 계산하여 예측하기 때문에 연속적인 표면에서 공간적 배열과 베리오그램을 기반으로 영역의 각 위치에 대해 예측이 좀 더 정교하다.

이처럼 이론적, 시각적, 정량적 결과를 바탕으로 Kriging기법의

예측신뢰도가 높다는 것을 확인할 수 있다. 이런 결과를 통해서 서로 다른 두 수체가 혼합되는 흐름이 있는 하천에서 더욱이 Kriging기법을 사용해야하는 것을 나타낸다.

앞서 설명한 황강의 전기전도도의 결과를 바탕으로 측정된 직독식 항목에 대한 공간 보간을 Kriging 기법으로 나타내었다(Fig. 7). 보간법에서의 Kriging기법을 통해 각 직독식 항목을 시각화시켰을 때, 황강의 흐름이 수질정보를 통해 어떻게 흐름이 생기는지를 항목의 시각화 자료로 확인할 수 있었다(Figs. 6 and 7).

이때, 다른 항목보다 전기전도도의 값에서의 보간한 자료를 보면 더욱 뚜렷한 혼합양상을 볼 수 있다. 이를 통해 전기전도도를 활용한다면 하천의 흐름특성에서 혼합정도나 본류와 지류간의 분석을 통해 횡, 종 방향으로의 수질농도를 전체적으로 확인할 수 있다. 이런 2차원자료의 활용방안으로 측정 및 감시기술의 중요한

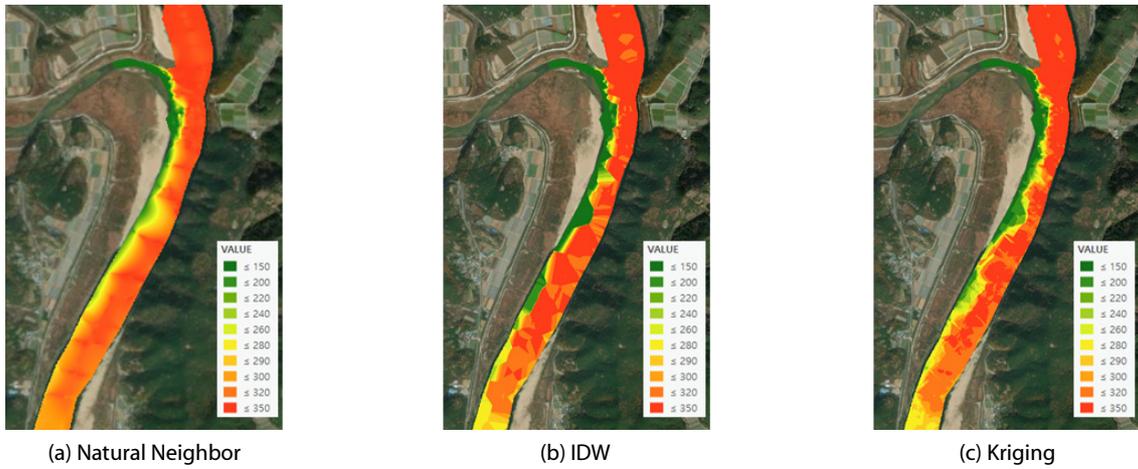


Fig. 6. Visualization of Each Interpolation Method

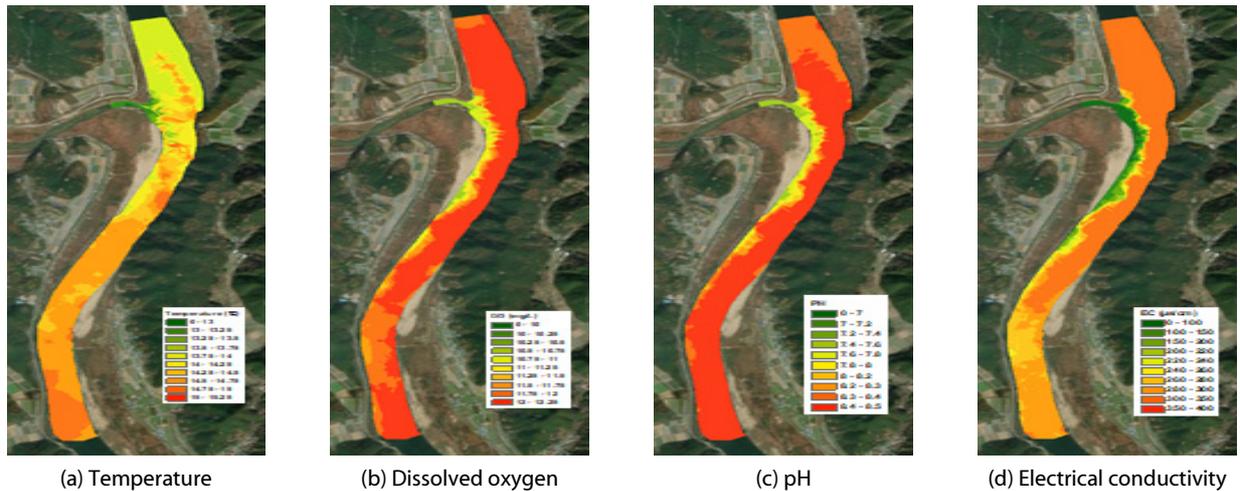


Fig. 7. Water Quality Item Kriging Result

자료로 사용이 되며 이 자료들은 유해물질 저감기술, 평가예측기술의 기초자료로 사용할 수 있다. 또한 수생태계 환경진단을 함으로써 2차원 분석을 통한 부유성, 침전성 유해화학물질을 추정하고 호소 내 녹조 고 위험군에 대한 성층 분석등 다양한 수생태 건강성진단기술을 확보할 수 있다.

다만 본 연구의 결과에서 수질자료의 해상도를 나타내기 때문에 물리적인 현상을 나타내었을 때 정확히 표현해내지 못할 수 있다. 특히 합류부에서의 흐름특성의 경우는 하천의 등방성과 비등방성을 고려해야 하지만 위 논문에서는 수질계측자료만을 이용하여 공간 보간을 진행했기 때문에 수리적 영향을 보인다면 결과가 달라질 수 있다. 하지만 이러한 공간보간법을 이용하여 하천의 수질자료의 전체적인 표현을 하였을 때 하천이나 호소, 저수지에서 효율적인 관리를 위한 수질관측 및 수환경 분야 기술발전에 기여를 할 수 있고, 종합적인 하천정보를 제공을 통해 하천관리

효율성을 극대화할 수 있다는 기대효과를 볼 수 있다.

4. 결론

본 연구는 낙동강-황강의 합류부의 수질 계측결과를 이용하여 각 보간법의 비교를 토대로 자료를 시각화하고 그에 따른 이론과 매핑결과를 나열하였다. 계측장비는 ADCP와 YSI-EXO를 사용하여 계측결과를 취득하였고, 그에 따라 IDW, Natural Neighbor, Kriging의 보간법을 각각 정량적으로 비교하여 나타내었다. 하천의 흐름특성에 따라 공간 보간을 실시할 때, 표면상 다른 기법에 대한 비교를 통해 Kriging기법이 가장 우수한 성능을 나타내었다. 또한 Kriging기법을 적용할 때, 이론적 베리오그램의 최적화를 통해 시각화자료를 표현하였을 때 가장 예측값에 대한 ‘유사도가 높다’라는 결과를 얻을 수 있었다.

본 연구에서는 하천흐름 특성을 고려한 공간 보간을 통해 하천의 전체적인 수리·수질에 대한 매핑을 함으로써 모니터링자료를 이용하여 직독식 항목을 통해 수질인자를 확인하고 하천의 전체적인 흐름이 어떻게 되는지 기초자료 및 하천설계에 기여할 수 있을 것으로 판단하였다.

본 연구를 통해 서로 다른 성질의 수체가 혼합되는 양상을 시각적으로 확인할 수 있으며 이에 따른 수표면, 단면자료를 활용한다면 하천의 해석이 가능한 것으로 판단하였다. 또한 하천경로 설정에도 추후 연구에서 고려해야할 연구요소로 파악하였다.

2차원 측정 자료를 이용한 분석의 경우 측정된 단면자료만 분석을 하여 단면적 자료를 표출할 수 있지만 3차원 보간 자료를 이용한다면 하천의 전체적인 스캔을 통해 좀 더 상세한 혼합거동 분석이 가능할 것으로 사료된다.

향후연구에서는 수표면 자료의 하천의 흐름방향에 대한 2차원(x, y축) 결과뿐 아니라 연직측정을 통한 3차원(z축)의 자료를 이용하여 하상구조와 DEM자료를 결합한 3차원 공간 보간을 진행할 예정이다. 또한 하천전체의 수질에 대한 보간법 비교를 통해 하천의 전체적인 혼합양상이 어떻게 변화되고 어떠한 수생태 이슈가 발견되는지에 대한 자료 활용 연구를 진행할 예정이다.

감사의 글

본 연구는 환경부 수생태 건강성 확보기술개발사업의 연구비지원(2021003030005)에 의하여 수행되었으며, 이와 같은 지원에 감사드립니다.

References

- Baek, S. J., Seong, C. Y., Choe, S. H., Park, Y. S. and Kim, M. S. (2018). "Mobile water quality monitoring system using ion-selective-electrodes." *Journal of the Institute of Electronics and Information Engineers*, Vol. 55, No. 2, pp. 29-38 (in Korean).
- Cho, H. L. and Jeoung, J. C. (2006). "A study on spatial and temporal distribution characteristics of coastal water quality using GIS." *Journal of Korea Spatial Information Society*, Vol. 14, No. 2, pp. 223-234 (in Korean).
- Hwang, K. S., Park, D. S. and Jung, W. S. (2006). "Spatial reservoir temperature monitoring using thermal line sensor." *Proceedings of the Korea Water Resources Association Conference*, pp. 1002-1006 (in Korean).
- Kim, D. H., Ryu, D. W., Choi, Y. M. and Lee, W. J. (2010). "Application of kriging and inverse distance weighting method for the estimation of geo-layer of songdo area in Incheon." *Journal of the Korean Geotechnical Society*, Vol. 26, No. 1, pp. 5-19 (in Korean).
- Koo, H. D., Chung, D. K. and Yoo, H. H. (2004). "Analysis of 3D data structuring and processing techniques for 3D GIS, Korean society of surveying." *Geodesy, Photogrammetry and Cartography*, pp. 375-382 (in Korean).
- Lee, H. E., Lee, C. J., Kim, Y. J. and Kim, W. (2009). "Analysis of vertical velocity distribution in natural rivers with ADCPs." *Proceedings of the Korea Water Resources Association Conference*, pp. 1865-1869 (in Korean).
- Lee, H. S., Chung, S. W., Choi, J. K., Oh, D. G. and Heo, T. Y. (2011). "Analysis of spatial water quality variation in daechung reservoir." *Journal of Korean Society on Water Environment*, Vol. 27, No. 5, 2011, pp. 699-709 (in Korean).
- Lee, J. H. and Kim, Y. H. (2014). "Location suitability assessment on marine afforestation using habitat evaluation procedure (HEP) and 3D kriging: A case study on Jeju, Korea." *Journal of the Economic Geographical Society of Korea*, Vol. 17, No. 4. pp. 771-785 (in Korean).
- Lee, J. O., Park, U. Y., Yang, Y. B. and Kim, Y. S. (2005). "3D modelling shape embodiment and efficiency analysis of reservoir that using RTK-GPS and E/S." *Journal of Korean Society for Geospatial Information Science*, Vol. 13, No. 1, pp. 11-179 (in Korean).
- Lee, S. O. and Ju, S. S. (2019). "Suggestion of the necessity of 3D numerical analysis model guidelines." *Water and the Future, Korea Water Resources Association*, Vol. 52, No. 1, pp. 74-80 (in Korean).
- Park, Y. W., Cho, K. A. and Cho, C. (2008). "Seasonal variation of water temperature and dissolved oxygen in the youngsan reservoir." *Journal of Korean Society on Water Environment*, Vol. 24, No. 1, pp. 44-53 (in Korean).
- Ryu, S. W. (2021). *Investigation and analysis of mixing behavior at the confluence of the representative tributaries in the middle and lower reach of nakdong river [Year 3]*, Nakdong River Basin Environment Office, Chang-won University.
- Song, E. S., Cho, K. A. and Sin, Y. S. (2015). "Exploring the dynamics of dissolved oxygen and vertical density structure of water column in the Youngsan lake." *Journal of Environmental Science International*, Vol. 24, No. 2, pp. 163-174 (in Korean).