

자기조직화 특성지도 이론을 이용한 비점오염원 유출특성 분석

Analysis of Non-Point Pollution Discharge Characteristics using Self-Organizing Feature Map Theory

박성천*, 진영훈**, 김용구***, 김상돈****, 허유정*****

Sung-Chun Park, Young-Hoon Jin, Yong-Gu Kim, Sang-Done Kim, Yu-Jeong Huh

요 지

오염원이 집중되는 도시지역에서의 비점오염원에 대한 관리대책은 점오염원에 비하여 미비한 실정이다. 따라서 도시 지역의 비점오염원 부하량의 합리적인 조사, 비점오염물질 저감을 위한 관리기술 개발과 아울러 정책의 개발 등이 필요하며, 도시지역에서의 장기적인 비점오염물질 유출에 관한 모니터링을 통한 비점오염물질 원단위 조사가 절실히 요구되고 있는 실정이다.

따라서 본 연구에서는 상업 및 위락시설지역의 비점오염원 유출특성을 분석하기 위해 2008년 4월부터 2009년 10월까지 실측에 의해 측정된 강우량과 유출량 자료를 이용하여 비점오염원 유출특성을 분석하였다. 또한 본 연구에서는 자기조직화 특성지도(Self-Organizing Feature Map: SOFM) 이론을 적용하여 측정된 유출 및 수질자료에 대해 패턴분류를 수행하여 분할구역별 자료의 특성분석을 통해 초기강우 특성이 구분되어짐을 확인 할 수 있었다. 그러나 현재 축적된 자료에 대한 양적인 한계로 인해 명확한 구분이 이루어지지 않는 항목도 있었으나, 향후 지속적인 모니터링을 통해 충분한 자료가 축적될 경우 초기강우 기준을 위한 새로운 접근방법으로 제시될 수 있을 것으로 기대된다.

핵심용어 : 비점오염원, 초기강우 현상, 패턴분류, 자기조직화지도(Self-Organizing Map) 이론

1. 서론

오늘날의 도시는 고도의 산업화와 더불어 인구의 도시집중 현상 및 도시화로 인하여 대부분의 수질개선을 위한 정책이 점오염원의 처리에 편중되어 추진되어왔다. 그러나 20세기 중반이후 토지이용의 고도화에 따른 비점오염원의 증가로 인해 점오염원의 처리만으로 해당 수계의 목표수질을 달성할 수 없다는 사실이 인식되면서 단일 수계내에서 오염총량관리제를 지역에 따라 단계적으로 시행하고 있다. 오염총량관리제도에 의하면 배출농도규제만으로 오염부하의 양적증가를 통제할 수 없어 수질개선에 한계가 있으므로 점오염원의 규제와 더불어 비점오염원의 관리에도 중점을 두어야한다.

비점오염원은 대부분이 강우 시에 유출되고 오염원의 경로가 명확하지 않으므로 오염원을 정량화하기에는 수많은 노력과 비용이 소요된다. 강우 시 유출되는 비점오염원의 영향은 삶의 질이 향상되고, 경제활동수준이 증가하고, 토지이용이 고밀도로 이용될수록 상대적으로 높아지고 있는 특성을 보이나 국내에서는 현재까지도 비점오염원에 대한 기초자료 확보가 미흡한 실정이다. 따라서 강우-유출수 처리용량 산정 등 비점오염원의 최적관리방안을 위해서는 토지피복별로 발생하는 오염물질의 특성파악 및 초기강우 기준이 제시되어야한다. 이와 같이 비점오염원 유출 연구에 있어서 매우 중요한 요소인 초기강우 기준을 제안하기 위해 본 연구에서는 패턴분류 성능을 지닌 SOM 이론을 적용하여 본 연구의 시험구역에서 측정된 유출량 및 수

* 정회원 · 동신대학교 토목공학과 교수 · E-mail : psc@dsu.ac.kr

** 정회원 · 동신대학교 공업기술연구소 연구교수 · E-mail : nmdrjin@gmail.com

*** 정회원 · 동신대학교 토목공학과 연구원 · E-mail : kyg8987@paran.com

**** 비회원 · 영산강물환경연구소 연구사 · E-mail : mmskd@me.go.kr

***** 비회원 · 영산강물환경연구소 연구사 · E-mail : h5219322@me.go.kr

질자료에 대한 패턴을 구분하여 분할구역별 자료의 특성분석을 통해 초기강우 기준을 제안하고자 한다.

2. 시험구역선정 및 모니터링 방법

본 연구를 위한 시험구역 선정은 측정의 용이성, 구역면적, 우수관 계통, 장기적 관측의 안전성 등의 평가 항목 및 평가기준을 작성하여 도상작업에 의해 후보지를 선정하고 현지 답사를 통해 시험유역을 선정하였다. 이와 같은 과정에 의해 선정된 본 연구의 위락시설지역 시험유역은 광주광역시 광산구 쌍암공원으로 선정하였고, 전체면적은 28,332.72 m²이며, 투수면적은 26,819.66 m², 불투수면적은 1,513.06 m²이다. 상업지역 시험유역은 광주광역시 서구 치평동 상무지구 내 먹자골목으로 대부분이 불투수층으로 일부 주차장 부지의 투수면적이 존재한다. 시험유역 전체면적은 12,586.08 m²이며, 투수면적은 1,887.09m², 불투수면적은 10,698.06m²이다. 본 연구에서 비점오염원 유출특성분석을 위한 자료는 강우-유출 및 BOD 수질자료이다. 강우자료는 KDC-S13-R1-5의 전도 mass 방식의 우량계를 이용하였고, 유출량 자료는 비만관식 전자식 유량계/Flo-Tote 3을 이용하여 실측에 의한 자료를 이용하여 분석하였다.



(a) 위락시설지역 현황도

(b) 상업지역 현황도

Fig. 1. 시험구역 현황도

3. 결과 및 고찰

3.1 SOM 모형의 적용

본 연구에서는 위락시설지역 및 상업지역에 대해 유량에 대한 수질의 변동 특성을 분석하기 위하여 SOM이론을 적용하였다. SOM의 적용은 Fig. 2의 SOM 적용 흐름도와 같고, 모형의 입력자료는 Event별 측정자료에 대해 순위를 부여하고, 실측에 의한 유출량 및 수질자료는 위락시설지역의 84개 자료, 상업지역의 93개 자료를 이용하여 입력자료를 구축하였다.

본 분석에서 측정자료에 대한 순위부여의 의미는 1~4번은 유출이 시작하여 15분 간격으로 채수한 시료를 나타낸 것이고, 5~7번은 유출이 시작하여 1시간이 지난 후 30분 간격으로 측정된 시료이며, 8번 이후는 유출 시작 후 2시간 30분이 지난 후 1시간 간격으로 측정된 시료를 나타낸다.

선택된 자료의 정규화 과정을 거친 후 SOM 훈련을 위해 지도크기를 결정하는데 기존의 연구에서는 지도를 구성하는 단위구조의 총 수(M)의 결정은 Garcia 등(2003)에 의해 연구 보고된 식인 $M = 5\sqrt{N}$ 식을 이용하였다. 여기서 M은 지도를 구성하는 단위구조(unit)의 총 수이며, N은 훈련 자료의 수이다. 본 연구에서 수집된 자료에 대해 SOM 적용을 위한 지도의 구성은 상업지역은 12×4의 Map 구조, 위락시설지역은 9×5로 결정하였다.

3.2 적용결과

위락지역 및 상업지역의 Map 구조로 결정된 지도구조에 대해 각각의 입력자료를 K-means 알고리즘 방법을 적용하여 구분된 분할영역을 Fig. 3에 도시하였다. 그 결과 위락시설지역과 상업지역의 유출 및 BOD 농도 자료가 모두 4개의 분할영역으로 구분되었다.

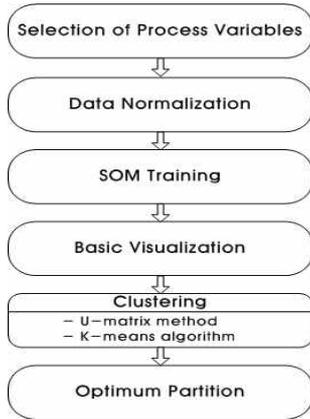
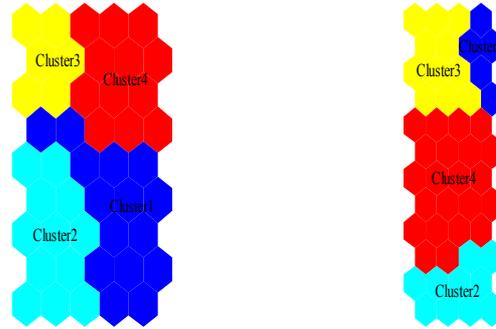


Fig. 2. SOM 흐름도



(a) 위락시설지역

(b) 상업지역

Fig. 3. K-means algorithm results

유출량 및 수질자료에 대한 패턴을 구분하여 분할구역별 자료의 특성분석을 위해 Table 1과 Table 2에 결과를 도시하였다.

Table 1. 위락시설지역의 분할구역별 특성

위락 시설 지역	구분	자료번호	유량	BOD	구분	자료번호	유량	BOD
	최소	1.00	0.16	8.19	최소	2.00	0.02	25.27
	최대	6.00	22.45	34.57	최대	11.00	22.73	53.55
	평균	2.97	4.85	17.40	평균	7.15	5.48	40.26
	중앙값	3.00	1.71	14.28	중앙값	7.00	5.09	42.40
	표준편차	1.60	6.27	7.70	표준편차	2.39	5.17	8.66
	자료개수	30	30	30	자료개수	20	20	20
	Cluster1				Cluster2			
구분	자료번호	유량	BOD	구분	자료번호	유량	BOD	
최소	4.00	25.10	3.07	최소	7.00	0.26	3.07	
최대	10.00	76.22	35.59	최대	16.00	11.21	24.40	
평균	7.25	48.24	17.81	평균	11.14	3.70	11.06	
중앙값	7.50	50.39	17.70	중앙값	11.00	1.62	10.10	
표준편차	1.83	16.93	7.76	표준편차	2.36	3.69	4.82	
자료개수	12	12	12	자료개수	22	22	22	
Cluster3				Cluster4				

위락시설지역의 분할구역별 특성을 살펴보면 Cluster1은 유량의 범위는 0.16~22.45 l/sec, BOD 농도의 범위는 8.19~34.75 mg/L로 구분되었고, 자료순번으로 유출이 발생한지 1시간 이전의 자료들로 구성되어 있다. Cluster2의 경우는 유량의 범위는 0.02~22.73 l/sec, BOD 농도의 범위는 25.27~53.55 mg/L로 가장 큰 BOD 농도의 분포를 보이고 있다. Cluster3의 경우는 유량의 범위는 25.10~76.22 l/sec, BOD 농도의 범위는 3.07~35.59 mg/L로 자료순번은 4~10번으로 평균 7번째 샘플링 한 시료로 구성되어 있다.

Cluster4의 경우는 유량의 범위는 0.26~11.21 ℓ /sec, BOD 농도의 범위는 3.07~24.40 mg/L로 구분되었다. 이와 같은 결과로 유량과 BOD농도 변화의 양상을 유추해 보면 Cluster1→Cluster2→Cluster3→Cluster4의 양상으로 확연히 구분되어진다.

Table 2. 상업지역의 분할구역별 특성

상업지역	구분	자료번호	유량	BOD	구분	자료번호	유량	BOD
	최소	3.00	17.02	2.05	최소	1.00	0.04	32.76
	최대	13.00	40.95	44.02	최대	6.00	2.96	142.25
	평균	8.67	26.70	15.12	평균	1.88	0.99	63.75
	중앙값	10.00	22.64	6.76	중앙값	1.50	0.44	57.14
	표준편차	3.82	9.74	15.20	표준편차	1.27	1.00	28.71
	자료개수	6	6	6	자료개수	16	16	16
	Cluster1				Cluster2			
	구분	자료번호	유량	BOD	구분	자료번호	유량	BOD
	최소	8.00	0.03	5.32	최소	2.00	0.02	3.07
최대	15.00	10.34	45.85	최대	9.00	4.82	46.37	
평균	10.96	2.22	19.86	평균	5.47	1.25	21.20	
중앙값	11.00	1.40	18.68	중앙값	5.00	0.44	20.72	
표준편차	1.70	2.43	10.68	표준편차	1.92	1.48	12.71	
자료개수	26	26	26	자료개수	45	45	45	
Cluster3				Cluster4				

상업지역의 분할구역별 특성을 살펴보면 Cluster1은 유량의 범위는 17.02~40.95 ℓ /sec, BOD 농도의 범위는 2.05~44.05 mg/L로 구분되었고, 자료번호로 구분해보면 평균 8번 이후의 유출 시작 후 2시간 30분이 지난 후 1시간 간격으로 측정된 자료들로 구성되어 있다. Cluster2의 경우는 유량의 범위는 0.04~2.96 ℓ /sec, BOD 농도의 범위는 32.76~142.25 mg/L로 초기유출 현상이 강한 자료들로 구분되어졌다. Cluster3의 경우는 유량의 범위는 0.03~10.34 ℓ /sec, BOD 농도의 범위는 5.32~45.85 mg/L로 자료순번은 8~15번으로 주로 후반기에 샘플링 한 시료로 구성되어 있다. Cluster4의 경우는 유량의 범위는 0.02~4.82 ℓ /sec, BOD 농도의 범위는 3.07~46.37 mg/L로 자료순번은 2~9번으로 범위로 평균 5번째 측정된 시료로 구성되었다. 이와 같은 결과로 유량과 수질농도 변화의 양상을 유추해 보면 Cluster2→Cluster4→Cluster1→Cluster3의 양상으로 확연히 구분되어진다.

4. 결론

본 연구에서는 SOM 이론을 도입하여 위락시설지역 및 상업지역에 대해 측정된 유출 및 수질자료에 대해 패턴분류를 수행하여 분할구역별 자료의 특성분석을 통해 초기강우 특성 및 유량의 변화에 대한 수질농도 변화 분포가 확연히 구분되어짐을 확인 할 수 있었다. 그러나 현재 측정된 자료수의 한계로 인해 명확한 구분이 이루어지지 않는 항목도 있었으나 향후 지속적인 모니터링을 통해 충분한 자료가 축적되면 초기강우 기준을 위한 새로운 접근방법으로 제시될 수 있을 것으로 기대된다.

감사의 글

본 연구는 영산강·섬진강수계 환경기초조사사업의 주요비점오염원 유출 장기모니터링(상업지역, 위락시설지역 모니터링 분야) 사업에 의하여 수행되었습니다. 연구지원에 감사드립니다.

참고 문헌

1. 김용구(2006). 자기조직화 이론을 적용한 강우-유출 예측모형 개발. 박사학위논문, 동신대학교.
2. 김구범(2006). 포장지역에서 유출되는 비점오염물질의 EMCs 및 초기강우 기준 산정, 공주대학교 대학원, 석사학위논문.
4. 박성천, 진영훈, 김용구(2006). “강우-유출 예측모형 개발을 위한 자기조직화 이론의 적용.” 대한토목학회 논문집, 대한토목학회, 제26권, 제4B호, pp. 389-398
6. 김용구, 진영훈, 박성천, 정천리(2008). “나주지점의 강우-유출 해석을 위한 최적의 SOM 구조 결정” 한국수자원학회 논문집, 한국수자원학회, 제41권, 제10호, pp. 995-1007
7. 신창민, 최지용, 박철휘(2004), 도시지역에서의 토지이용별 비점오염물질 유출특성, 대한환경공학회 논문집.
7. 이종태, 강태호(1996), 도시 배수구역의 유출 특성인자 분석, 대한토목학회 학술발표회 논문집
8. Garcia, H. L. and Gonzalez, I. M.(2004) Self-organizing map and clustering for wastewater treatment monitoring, Engineering Applications of Artificial Intelligence, Vol. 17, pp. 215-225.
9. Hsu, K. L., Gupta, H. V., Gao, X., Soroochian, S. and Imam, B.(2002). "Self-organizing linear output map(SOLO): An artificial neural network suitable for hydrologic modeling and analysis." Water Resources Research, Vol. 38, No. 12, pp. 38-1-38-17.