

입자계수기를 이용한 생물활성탄 공정의 효율평가

Evaluation of Biological Activated Carbon Using Particle Counter

김희근^{1*} · 류동춘² · 김현실² · 류병순² · 문성용³ · 김승현³ · 김원경¹

Kim, Hee gun^{1*} · Ryon, Dong choon² · Kim, Hyun sil² · Ryu, Byung soon² · Moon, Seong yong³ ·
Kim Seung Hyun³ · Kim, Won Kyong¹

1 삼보과학(주)

2 부산광역시덕산정수사업소

3 경남대학교 토목공학과

(2006년 7월 4일 논문 접수; 2006년 12월 13일 최종 수정논문 채택)

Abstract

For this study, an online particle counter was installed before and after the activated carbon filtration process of D water treatment plant where has advanced water treatment processes, produces average 900,000ton/day of drinking water and supply the produced drinking water to Busan citizens. We collected and analyzed particle count data for about 1 year. We inspected particle breakthrough in three out of sixteen filter processes operated at same conditions, i.e. 5th filter, 6th filter and 7th filter. According to the monitoring results, 6th and 7th filters showed similar results while 5th filter showed different results.

When compared seasonal effect, the particle count for dry season was below 10 particles/ml while the particle count for August when monthly average rainfall is over 200mm was much higher than for dry season. In January and August, there was a difference in breakthrough particle size. In January, small particles in 2~3um were mainly detected while in August 10um particles were mainly detected and the size distribution was 40% of total count.

Key words: On-line Particle counter, Particle count, biological activated carbon

주제어: 온라인 입자계수기, 입자계수, 생물 활성탄 공정

1. 서 론

낙동강 오염사고 발생 등 상수원에서 수질사고 발생과 함께 국민들의 먹는물에 대한 욕구가 증대되

고 있다. 이러한 기대 욕구에 의해 90년대 초반부터 시작된 오존과 입상활성탄 공정으로 대표되는 고도정수처리시설이 도입되었으며, 현재 운영중이거나 도입 중인 정수장의 수는 20개소를 넘었으며 맛있는 물공급을 목표로 향후 고도정수처리공정 도입은 지속적으

*Corresponding author Tel: +82-2-2665-8800, Fax: +82-2-2667-0034, E-mail: hegni@hanmail.net (Kim, H.G.)

로 증가할 것으로 판단된다.

국내에 도입된 대부분의 고도정수처리공정은 오존 + 활성탄 공정이 대부분을 차지하고 있으며, 이러한 공정은 국내의 다양한 수원에서 각종 오염물질, 자연 유기물질, 소독부산물 제어 및 맛·냄새 물질 제거 등에 대한 효과가 입증되었다.

그러나 국내에서 고도처리공정이 도입되어 운영된 지 약 10여년이 지난 상황이지만, 일부 정수장을 제외하고는 대부분 입상활성탄 공정의 운영에 있어 제거대상물질에 대한 명확한 선정과 그 처리목표가 설정되어 있지 않고, 그에 따라 공정의 최적화를 위한 모니터링도 부재한 상황이다. 또한 처리효율 분석 및 개선방안 등의 운영 노하우에 대한 정보가 부족한 상황이며, 신규 도입된 정수장에서 기존의 실패경험을 되풀이하는 경우가 많은 것으로 알려져 있다. 최근 이러한 문제를 극복하기 위해 고도정수처리공정의 관리에 다양한 측정 장비들이 도입되어 활용되고 있다. 이 중에서 탁도계는 입자상 물질의 제거에 대한 지표 또는 처리공정에서 입자제거 효율의 정량화를 위해 가장 광범위하게 사용되고 있다. 그러나 탁도는 물속에 존재하는 입자상 물질에 대한 총체적이고 간접적인 지표일 뿐, 수질변화를 민감하게 나타내지 못하고 특히, 여과 또는 활성탄 여과공정 이후의 저탁도 범위에서 측정한계를 가지는 단점이 있다.

최근에 탁도계의 단점을 극복하고 병원성 미생물의 유출을 감시하기 위해 정수공정에 입자계수기가 도입되고 있는 실정이다. 김 등(2005년) 여과공정에

입자계수기를 설치하여 운영한 연구에서 탁도 분석보다는 입자계수기의 민감도가 뛰어나 공정별 수질변화에 대한 정수처리 효율분석에 유용한 것으로 판단하였으며, 류 등(2005년)의 연구에서도 여과공정의 모니터링에 탁도계 보다는 다양한 자료를 제공하는 입자계수기가 더욱 효과적이라고 판단하였다.

본 연구는 낙동강 하류에 위치한 정수장 중 고도정수처리공정을 도입한 D 정수장의 활성탄여과공정에 입자계수기를 약 1년간 설치하여 복잡한 입자제거 메커니즘을 갖고 있는 여과공정에서의 입자제거 특성을 평가하였다. 입자크기 분포와 제거율을 측정하였으며, 활성탄 여과지에서 누출되는 입자의 크기분포를 통해 여과수질에 미치는 입자크기별 영향을 확인하고, 최종적으로는 여과지 운영의 최적화를 위한 기본 자료를 제공하고자 하였다.

2. 현황 및 연구방법

2.1. 현황

본 정수장의 공정은 취수-침사-응집-침전-여과-오존-활성탄-정수공정으로 구성되어 있으며, 시설용량은 1일 1,555,000톤이다. 현재 1일 평균 900,000톤의 수돗물을 생산하여 부산시민에게 공급하고 있다.

Table 1과 같이 낙동강 원수 수질은 장마철 집중호우로 인해 고탁도가 발생하여, 계절별 수질 변화가 심하고, 연중 Chl-a의 농도가 20ppb 이상의 높은 값을 나타내고 있으며, 조류의 과다번식으로 인해 pH

Table 1. 2004년 12월~2005년 11월까지의 낙동강 원수수질

월 \ 항목	수온 (°C)	탁도 (NTU)	pH	알칼리도 (mg/l)	용존산소 (mg/l)	전기전도도 (uS/cm)	KMnO ₄ 소비량 (mg/l)	클로로필a (ppb)	암모니아성 질소 (mg/l)
04 / 12	8.5	9.5	8.7	57.7	13.2	267	9.1	70.2	0.018
05 / 01	3.1	9.2	8.5	57.1	14.3	272	8.4	66.5	0.204
02	3.0	9.0	8.5	54.9	14.9	264	8.5	58.4	0.209
03	7.4	11.1	9.4	52.8	14.7	268	12.3	108.6	0.071
04	15.1	11.3	9.3	46.3	12.2	237	10.4	66.9	0.033
05	20.9	8.4	8.8	48.7	9.5	272	7.8	38.5	불검출
06	25.1	49.3	8.8	52.7	9.2	319	9.3	50.5	0.048
07	25.7	37.2	7.8	39.9	8.1	182	9.4	20.9	0.045
08	26.4	54.2	7.6	36.4	8.2	172	10.6	33.3	0.070
09	24.7	8.8	7.9	48.2	9.0	219	7.4	21.4	불검출
10	19.5	7.6	8.5	55.7	8.9	256	6.5	35.8	0.024
11	12.8	5.3	8.1	64.5	9.7	298	6.7	25.1	0.032

Table 2. 활성탄공정의 운전조건과 제원

구분	조건
지 수	16지
수류방식	고정식 하향류
탄층고	3.0m
공탑체류시간	16.5분
선속도	10.9m/hr
활성탄 종류	석탄계(칼콘)
하부집수장치	유공블록형
역세척조건	공기세척속도 0.83m³/(분 · m²), 시간 2분 역세척속도 0.4m³/(분 · m²), 시간 16분 7~4일(평시)

값이 매우 높게 나타났다. 이러한 문제는 수중에 냄새 물질을 유발하고 입자수를 증가시켜 고도정수처리 시설의 운영비 상승에 원인이 되고 있다.

활성탄 공정은 3개의 계통으로 나누어져 있으며, 이 중에서 연구대상공정인 계통(Ⅲ)의 활성탄공정의 운전조건은 Table 2에 정리한 바와 같이 활성탄 흡착지는 고정식 하향류 여과지 16개지로 구성되어 있으며, 하부집수장치는 유공블록형이다.

활성탄 여과시설의 공탑체류시간(EBCT: Empty Bed Contact Time)은 설계상 16.5분이지만 실제 15~25 분으로 운전되고 있으며, 역세척은 공기세척과 수류세척 병용으로 공기세척속도는 0.83m³/min · m², 수류세척속도는 0.4m³/min · m²의 고정식으로 설계되어 있다.

2.2. 연구방법

활성탄공정으로 유입되는 유입수는 후오존공정을 통과하여 탁도가 0.1NTU 이하로 비교적 안정된 물이 유입되며, 활성탄 16개지 중에서 5, 6, 7지 및 유입수에 입자계수기를 설치하여 분석하였다. 본 연구에 사용된 입자계수기는 1~100µm 범위의 PAMAS (독일)사의 센서를 사용하였으며, 샘플링시스템은 입자 측정시 발생하는 공기기포 제거장치가 설치된 WaterViewer(1×4M(삼보과학(주)))모델로써 이것은 4채널까지 연속분석이 가능하다.

2004년 12월에서 2005년 12월까지 활성탄 유입수 및 처리수의 입자계수 데이터를 분석하여 계절에 따른 활성탄 여과지의 상태를 파악하고 활성탄 유입수 및 처리수의 제거효율을 각 지별로 살펴보았다. 그리고 역세척 전·후의 입자거동을 살펴 입자계수기를

통한 역세척 시기 결정이 가능한지 파악하고자 하였다.

입자계수기는 연속운전 과정에서 활성탄공정유입수인 후오존처리수와 활성탄 5지, 6지, 7지 처리수의 입자수를 약 15분 단위로 연속 측정하였다. 측정 범위는 1~2, 2~3, 3~5, 5~10, 10~15, 15~20, 20~25, 25~50µm의 8구간을 적용하여 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 활성탄 여과지 입자 유출 특성

후오존처리수를 유입수로 하고 활성탄지 16지 중, 5, 6, 7지의 처리수를 2004년 12월부터 2005년 11월까지의 입자측정 결과를 월평균으로 Fig. 1에 나타내었다. 이를 보면 유입수의 입자경향이 계절적 특징없이 꾸준히 상승하고 있는 것을 볼 수 있다. 동일한 정수장에서 04년 9월부터 05년 6월까지의 모래여과지 유출수의 입자거동을 살펴본 류 등(2005)의 연구를 살펴보면 수온이 낮은 04년 12월에 2µm까지의 합이 200개/ml 이상으로 높게 나타났으며, 낙동강 하류에 조류가 번성하는 05년 4월부터 6월까지 100개/ml 이상의 높은 값을 나타내어 원수 특성 및 온도변화에 따른 모래여과지의 입자 유출 특성을 잘 나타내었다. 그러나 후오존공정을 통과한 결과는 04년 12월부터 05년 7월까지 계속적으로 증가하는 값을 나타내어 모래여과지 유출수 특성과는 상이한 결과를 나타내었다.

문 등(2001)은 여과공정 이후의 입자수 증가 현상에 대한 원인으로 펌프의 운전에 의해 발생하는 빠른 유속으로 입자의 파괴와 관과 펌프의 부압에 의한 용존성 기체를 원인으로 보았으며 오존주입으로 인한 미세기포의 발생으로 입자수의 증가를 확인한 바 있다.

활성탄지의 입자수 유출특성을 살펴보면 6지와 7지는 비슷한 경향을 나타낸 반면 5지의 경우 차이를 보이고 있어 같은 구조로 설계되고 동일한 조건에서 운영되고 있지만 운영되는 과정에서 활성탄 내부의 변화가 서로 다르게 일어남을 알 수 있다. 결과에 의하면 통합수 수질을 기준으로 활성탄지의 운영상황을 파악하여 전체적인 운영조건을 결정하고 있는 방식에서 각 지의 상태를 정확히 파악하여 각지마다 서로

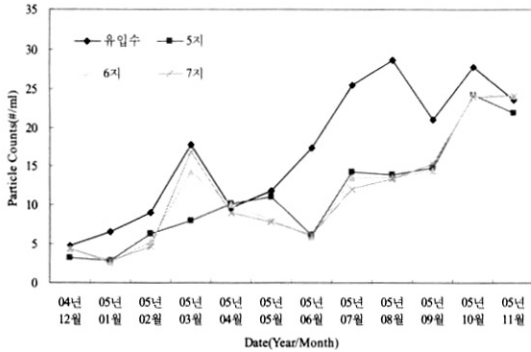


Fig. 1. 활성탄 여과지의 월별 입자 유출 현황.

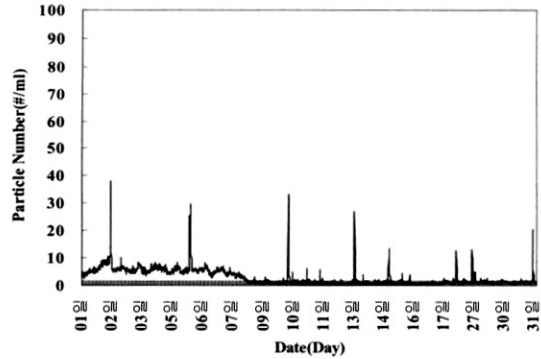


Fig. 3. 1월의 입자유출 현황.

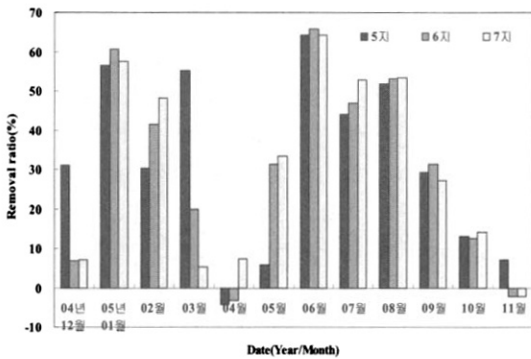


Fig. 2. 활성탄 여과지의 월별 입자 제거율.

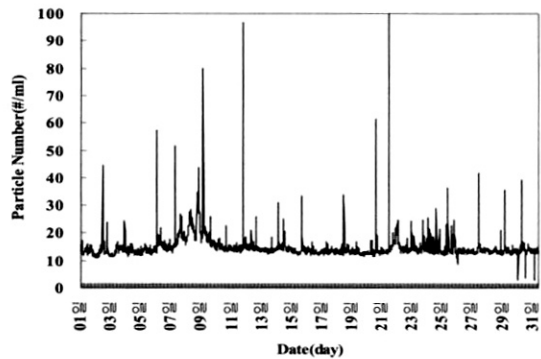


Fig. 4. 8월의 입자유출 현황.

다른 운영조건(역세척, 활성탄 재생시기등)을 적용하는 것이 합리적인 관리로 판단된다.

Fig. 2에는 오존처리수를 유입수로 하여 각각의 활성탄지에 대한 처리효율을 나타내었다. 이를 살펴보면 각지의 제거율이 서로 다르게 나타나 각지의 운영조건을 서로 달리하여야 할 것으로 판단되며 계절별로 보면 05년 4월과 05년 11월에 아주 낮은 제거율을 나타내고 있다. 특히 이시기에 제거율이 (-)값을 나타내는 경우도 발생하였다. 윤 등(2004)의 연구에서 갈수기인 5월에 활성탄처리수의 제거율이 (-)값으로 나와 본 연구와 비슷한 결과를 나타내었으며, 이때의 해결 방안으로 역세척 주기 조정의 필요성을 언급하였다.

3.2. 갈수기와 고탁도시의 입자 유출 특성

갈수기와 고탁도시의 활성탄지 운영 상황을 비교하기 위해 5지를 대상으로 2005년 해당 정수장이 위

치한 지역의 강수량이 가장 작았던 1월과 한 달간 약 200mm 이상의 비가 내린 8월의 데이터를 비교하여 Fig. 3과 Fig. 4에 각각 나타내었다.

1월의 경우 유출수의 입자수는 약 10개/ml 미만으로 검출된 반면 8월의 경우는 약 15개 이상으로 상대적으로 많은 입자수가 유출되었다. 이는 빈번한 강우로 입자상 물질의 유입이 많아져 활성탄지의 역세척 주기를 약 3일 간격으로 짧게 운영하여 활성탄지가 충분히 안정되지 못하여 입자 유출이 증가한 것으로 판단된다. 이에 반해 1월의 경우는 수질의 변화가 거의 없어 역세척 주기를 4~7일 간격으로 1월에 비해 길게 운영하여 여충이 충분히 안정되어 입자의 제거가 양호하게 이루어진 것으로 판단된다. 기계점검으로 1월 18일부터 1월 26일까지 장비가 운전되지 못하였다.

이러한 조건의 차이에 따라 유출되는 입자의 특성을 살펴보기 위하여 유출된 입자의 크기별 분포를 1

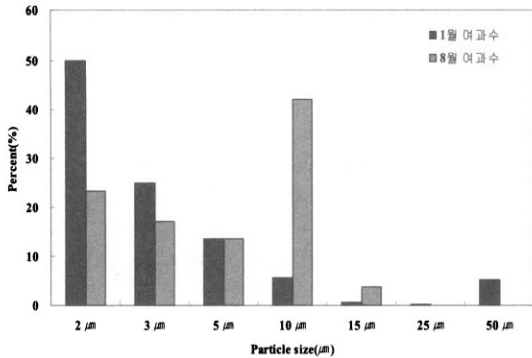


Fig. 5. 유출 입자의 크기 분포.

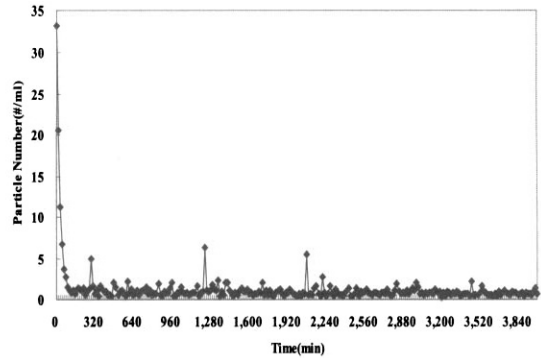


Fig. 6. 역세척에 따른 입자 유출 특성.

월과 8월로 나누어 비교하여 Fig. 5에 나타내었다. 1월의 경우는 2~3μm 크기의 작은 입자 유출이 대부분을 차지한 반면, 8월의 경우는 10μm 대의 입자가 약 40%로 높게 나타났다. 이는 1월에 비해 8월에 입자상 물질의 유입이 많은 것이 이유로 판단되며, 잦은 역세척으로 인해 여재가 충분히 안정될 시간을 가지지 못하여 여재의 공극이 커지고 여재의 부착 효율이 저하되어 큰 입자의 유출이 많이 발생한 것으로 생각된다. 또한 잦은 역세척(약 3일)으로 활성탄에 붙어 있던 미생물이 분리되어 유출되었을 가능성도 있을 것으로 사료된다. 10μm 대 입자는 최근 문제가 되고 있는 지아디아(8~12μm)의 크기에 포함되기 때문에 각별한 유의를 기울여야 할 것이다.

Fig. 6에 역세척 실시 후 활성탄지가 안정화되어 가는 과정에서 입자가 유출되는 경향을 살펴보기 위하여 역세척을 실시한 후 다음 역세척 사이의 입자유출 경향을 나타내었다.

역세척 후 30분 정도 경과한 후 입자수가 급격히 감소하여 안정적인 수준까지 도달하였다. 그러나 여과지가 안정화되고 288분, 1,232분 그리고 2,080분에 입자의 피크가 나타났다.

심 등(2001년)이 처리용량이 0.5m³/일인 Pilot-plant에서 중력식 급속모래 여과시스템에서 Kaolin과 토양현탁액을 혼합한 인공원수를 사용한 연구에서는 여과 개시 후 4분과 20분에 작은 입자의 피크가 나타났으며 그 이유는 첫 번째 피크는 역세척수에 남아있는 탁질의 누출단계(remnant stage)의 최고 피크로 여재가 교란되어 발생된 것이며, 두 번째 피크는 유입수 혼화 및 입자 안정화 단계의 최고 피크값으로 여

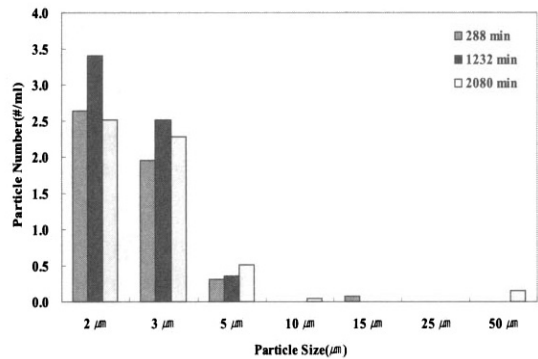


Fig. 7. 역세척 후의 입자 유출 특성.

재 위에 남아있던 역세척 잔존분과 유입수에 함유된 입자들이 혼합되어 발생하는 것으로 발표하였다. 심 등(2001)의 연구결과와 약간의 차이가 있지만 이것은 조제수를 사용한 Pilot-plant 실험과 실제 원수를 사용한 현장 공정의 차이로 판단된다.

Fig. 7은 역세척 후 288분, 1,232분, 2,080분에 나타난 유출 입자를 크기별로 살펴보았다. 유출된 입자는 2~3μm가 대부분을 차지하고 있어 여과지가 안정화되는 과정에서 미세입자의 관리가 중요할 것으로 판단된다.

4. 결 론

낙동강을 원수로 사용하는 D 정수장의 후오존 처리수와 활성탄 여과지에 입자계수기를 운영하여 수집된 약 1년간의 입자크기분포 자료를 수집 평가하여 활성탄 여과지 운전특성을 평가한 결과로부터 다음과

같은 결론을 얻었다.

1. 16지의 활성탄 여과지 중 5지, 6지, 7지의 유출 입자 특성을 파악한 결과 6지와 7지의 경우는 매우 유사한 경향을 나타낸 반면 5지의 경우는 차이를 나타내었다. 이는 활성탄지가 운영되는 과정에서 활성탄지의 내부형태가 변형되어 각지의 처리효율이 약간씩 차이가 나타나는 것으로 판단된다. 현재 16개지의 운영을 동일하게 적용하고 있는 방식에서 입자계수기의 데이터를 이용하여 각지의 운영에 차이를 두면 활성탄지의 관리가 더욱 효과적으로 이루어질 것으로 사료된다.

2. 갈수기인 경우 유출입자는 약 10개/ml로 나타났으며 한 달 강수량이 200mm 이상인 8월의 경우는 15개/ml 이상의 값을 나타내어 많은 차이를 나타내었다. 8월의 경우 원수에 포함된 입자상 물질을 활성탄 여과지 전 단계에서 효과적으로 처리하지 못한 결과이며, 또한 활성탄 여과지의 역세척 횟수가 평소보다 빈번하게 이루어져 활성탄 여과지가 충분히 숙성될 수 있는 시간적인 여유가 없어 유출되는 입자수가 증가한 것으로 판단된다.

3. 1월과 8월의 유출되는 입자를 크기별 분포로 살펴본 결과 1월의 경우 2~3 μ m 크기의 작은 입자가 대부분을 차지한 반면 8월의 경우는 10 μ m 크기가 40% 이상을 나타내어 서로 다른 경향을 나타내었다. 10 μ m대의 큰 입자가 유출된 8월의 경우는 미생물 유출

등에 큰 관심을 가져야 할 것이다.

참고문헌

1. 김자겸, John E. Tobiason (2003) 여과지에서의 입자의 부착과 탈착, 대한환경공학회 추계학술연구발표회.
2. 류동춘, 김희근, 김현실, 지용대, 류병순, 김원경 (2005), 입자계수기를 이용한 모래여과지의 모니터링, 대한상하수도학회·한국물환경학회 공동 춘계학술발표회 논문집.
3. 윤호석, 도화석, 권택규, 권종대, 김명신, 최철식 (2004) Particle counter를 이용한 생물활성탄 공정의 역세척주기 결정에 관한 연구, 대한상하수도학회·한국물환경학회 공동 추계학술발표회 논문집.
4. 윤호석, 권택규, 도화석, 권종대, 김명신, 천성호 (2005) M정수장 오존 접촉지 효율향상을 위한 운영개선 방안, 대한상하수도학회·한국물환경학회 공동 춘계학술발표회 논문집.
5. AWWA (1992) Operational control of coagulation and filtration processes, pp. 53-71.
6. S.Y. Moon, S.H. Lee and S.H. Kim (2005) Discussion of problems during the application of the on-line particle counter in water treatment processes, *Particle Separation*, pp. 93-106.
7. 심유섭, 유명진, 한이섭 (2001) 입자크기 분포특성을 이용한 여과공정의 평가, *대한환경공학회지*, 23(7), pp. 1103-1112.
8. 문성용, 김승현 (2005) 정수처리 공정에서의 연속식 입자계수기 적용성 검토에 관한 연구, *상하수도학회지*, 19(2), pp. 214-220.