

第 431 回雑誌会

(Jul. 9, 2025)

(1) Enhanced ballasted flocculation process using magnetite-based ballast materials and a vortex flash mixer for drinking water treatment in response to both flood and dry seasons

Lee, W. and Kim, J.

Chemical Engineering Journal, **474**, 145589, (2023).

Reviewed by R. Hirashima

バラスト凝集沈殿法は高濁度水を高速に処理できる手法として注目されており、バラスト材 (BM) の比重を大きくすることで沈降速度の高速化が可能となる。しかし、既存の攪拌機では比重の大きな BM を十分に攪拌することは困難である。そこで本研究では、高い攪拌強度を持つボルテックスフラッシュミキサー (VFM) を使用して、比重の大きな合成マグネタイト系 BM を用いたバラスト凝集法の性能を評価した。実験は韓国の浄水場に設置した容量 300 m³/d のパイロットスケールプラント (平均流入濁度: 10 NTU) で実施した。BM となる合成マグネタイトは、塩化第二鉄六水和物 (FeCl₃ · 6H₂O) と塩化第一鉄四水和物 (FeCl₂ · 4H₂O) を用いて共沈法で作成した。浄水場の原水に、NaOH を用いて pH7-9 に調整し、無機凝集剤としてポリ塩化アルミニウム (PAC) を 30~80 mg/L の範囲で注入した。また、BM の注入量は 100~2,000 mg/L の範囲で変化させ、VFM による攪拌は G 値 450-1,050 /s の条件で行った。各条件における処理能力は、処理水濁度とフロックの沈降速度で比較検討した。さらに、2020 年の 1 月から 12 月にわたって、長期運転試験を実施し、処理水質の長期安定性を評価した。

凝集沈殿試験の結果、PAC の最適注入量は 50 mg/L、最適 pH 範囲は 7.75-8.50 となり、最適条件における濁度除去率は 93%以上になった。BM の最適注入量は 1000 mg/L であり、処理水濁度は 1.3 NTU、沈降速度は 2.5 cm/s となった。また、濁度除去率と沈降速度は、G 値が 900 /s に達するまで増加した。450 /s と 900 /s の G 値を比較すると、沈降速度は 4~5 倍に増加した。G 値 450 /s で約 1,785 μm であったバラストフロックの粒径は、900 /s において約 855 μm に縮小し、有効密度が増加したことから、G 値を上昇させることによって、さらに高密度なバラストフロックの形成が促進されたと考えられる。12 か月の長期運転試験では、流入水温の低い 12 月から 2 月にかけて処理水濁度は増加し (3~5 NTU)、流入水温の高い 5 月から 9 月において処理水濁度は低下した (1 NTU)。これは、水温が低下することによって水の粘性が上昇し、凝集剤の分散特性が低下したためであると考えられる。以上のことから、VFM を使用した高比重 BM による凝集沈殿法では、適切な水温管理を行うことによって、水処理施設の小規模化に貢献できることが示された。

(2) Maximum desorption of perfluoroalkyl substances adsorbed on granular activated carbon used in full-scale drinking water treatment plants

Nakazawa, Y., Kosaka, K., Asami, M. and Matsui, Y.

Water Research, **254**, 121396, (2024).

Reviewed by H. Yoshida

粒状活性炭（GAC）は、PFAS の効果的な除去方法として飲料水処理施設（DWTP）で広く用いられている。しかしながら、吸着処理後の GAC から PFAS が脱着することで処理水の PFAS 濃度が上昇する現象が確認されている。そこで本研究は、実際の現場で使用されている GAC を使用し、PFAS の脱着可能性を明らかにすることを目的とした。GAC 試料は、表層水を取水源とする DWTP（DWTP-K）において 4 か月使用された GAC フィルターの表層から 1.5 m まで 0.5 m 間隔で GAC を採取した。使用済 GAC は粉碎後、複数の溶媒（ジクロロメタン、アセトン、メタノール、硫酸ナトリウム溶液、次亜塩素酸ナトリウム溶液）を用いた溶媒超音波処理法と高速溶媒抽出法を行い、最適な抽出条件の検討、ならびにフィルター深度ごとの GAC への PFAS 吸着量の評価を行った。さらに、DWTP-K の流入水と同様のイオン組成に調整した PFAS を含まない水に、使用済 GAC を 0~1,000 mg/L になるように添加し、振とう期間を 4 か月に設定し、1 か月ごとに脱着水を採取した。各試料水は 0.45 μm フィルターでろ過後、SPE-UHPLC-MS/MS 法によって分析した。また、GAC フィルターの使用開始日から終了日までの流入水と処理水の PFAS 濃度を 1 か月間隔でモニタリングし、使用済 GAC への PFAS 負荷量を算出し、PFAS 脱着量/PFAS 負荷量を PFAS 脱着率として評価した。

使用済 GAC からの PFAS の抽出に最適な条件を検討した結果、最も有効な抽出法はメタノール/溶媒超音波処理法であった。また、DWTP-K では GAC フィルターの深度によって吸着される PFAS の種類が異なり、表層ほど長鎖 PFAS が多く、深度が深くなるにつれて短鎖 PFAS が多く吸着していた。これは、短鎖 PFAS は疎水性が低く、初めに上層で吸着した後に脱着され、より深い層に移動したことを示唆している。脱着水の PFAS 濃度を分析した結果、疎水性が低く（Log Dow 値：-1~1）、スルホン基を持つ PFAS は脱着しやすく、特に疎水性の低い PFBS の脱着率は 120% となった。これに対して、疎水性が高く（Log Dow 値：1~4）、カルボキシ基を持つ PFAS は脱着しにくく、疎水性の高い PFNA の脱着率は 20% となった。さらに、Log Dow 値がゼロに近い PFAS は、周囲の液相の PFAS 濃度が低下すると容易に脱着した。このことから、DWTP において PFAS 濃度の低い水が流入した際に疎水性が低い PFAS は GAC から容易に脱着されることが示唆された。以上の結果から、DWTP で用いる GAC フィルターには吸着の不可逆性を向上させる対策が求められる。