

## 초전도 자기분리에 의한 제지폐수의 정수

하동우, 김태형, 권준모, 손명환, 백승규, 오상수, 하홍수, 고락길, 김호섭, 김영훈\*, 하태욱\*\*  
한국전기연구원, \*안동대학교, \*\*대구과학대학

### Purification of wastewater from paper factory by superconducting magnetic separator

Dong-woo Ha, Tae-Hyung Kim, Jun-Mo Kwon<sup>1</sup>, Myung-Hwan Sohn, Seung-Kyu Baik, Sang-soo Oh, Hong-soo Ha, Rock-kil Ko, Ho-sup Kim, Young-Hun Kim<sup>\*</sup>, and Tae-Wook Ha<sup>\*\*</sup>  
Korea Electrotechnology Research Institute, <sup>\*</sup>Andong National Univ., <sup>\*\*</sup>Taegu Science College

**Abstract :** Paper factories use a large amount of water and same amount of wastewater is generated. It is important to purify and recycle the wastewater because of water shortages and water pollution. The existing water treatment facilities like precipitation process need large-scale equipment and wide space to purify the wastewater of paper factory. High gradient magnetic separation (HGMS) system has the merits to purify rapidly because of large voids at filter and to occupy small space.

In this paper, two types of superconducting magnets were used for HGMS systems. Cryo-cooled Bi-2223 superconducting magnet system with 70 mm room temperature bore and 200 mm of height was prepared. Cryo-cooled Nb-Ti superconducting magnet with 100 mm room temperature bore and 600 mm of height was used for magnetic separator. Magnetic filters were designed by the analysis of magnetic field distribution at superconducting magnets. The various magnetic seeding reactions were investigated to increase the reactivity of coagulation. The effects of magnetic separation of wastewater were investigated as variation of magnetic field strength and flow rate of wastewater.

**Key Words :** Magnetic separation, Cryo-cooled superconducting magnet, Paper factory, Wastewater

### 1. 서 론

제지산업은 다량의 용수를 사용하면서 또한 많은 양의 폐수를 배출하고 있다. 기존의 폐수처리 공정에서는 침전 처리를 위한 큰 공간과 오랜 시간이 요구되어 처리비용이 비교적 많이 드는 단점이 있다. 이러한 기존 기술의 문제점을 보완할 수 있는 새로운 고도처리가 가능한 초전도 마그네트를 이용한 자기분리 기술을 적용하고자 하였다.

자기분리의 기본 원리는 강력한 자기력에 의하여 액체에 포함된 자성입자를 분리해내는 것으로 자성입자들이 자계의 힘에 의하여 잡아당겨지고 포획됨으로서 제거되는 것이다. 자기분리용 전자석으로는 아주 이상적으로 이러한 초전도마그네트와 체(sieve)형 자기필터를 결합시키면 아주 높은 고구배의 자장(HGMS: High Gradient Magnetic Separation)을 발생 시킬 수 있다. 초전도마그네트를 이용하면 대공간에 전력손실 없이 고자장을 발생시킬 수 있기 때문에 미립자를 효과적으로 고속으로 분리하는 것이 가능해지며 또한 상자성 미세입자까지도 처리할 수 있다. 본 연구에서는 주로 유기물로 구성된 제지폐수의 부유물을 자성체와의 응집반응에 의해 플록을 형성하여 자성플록의 자기분리 효과를 연구하였다. 응집반응 공정에 따른 자성플록의 형성 정도를 조사하였으며 자기분리 후 폐수의 탁도, COD 등의 특성을 분석하였다.

### 2. 고온초전도 자석

폭 4.3 mm, 두께 0.28 mm의 Bi-2223 고온초전도 선재

를 사용하여 더블 팬케익 타입의 고온초전도 코일을 8개 적층하여 자석을 제작하였다. Bi-2223 고온초전도 선재의 임계전류 값은 77K의 온도에서 145A 이상을 나타내었다. 1개의 코일은 151 턴으로 권선되었으며 내경은 110 mm, 외경은 195 mm, 그리고 전체 코일에 사용된 선재 길이는 1.14 km 였다. 극저온 냉동기를 포함한 전체 무게는 83 kg, 상온 보아 직경은 70 mm, 자석의 높이는 200 mm 이다. 고온초전도 자석은 40K의 온도에서 2 T의 자장을 발생시킬 수 있도록 설계하였다. 그림 1에 2 T 급 전도냉각형 고온초전도 자석의 외형을 나타내었다.

### 3. 자기분리 실험

제지폐수는 주로 유기물로 구성되어 있어 자성을 띄지 않는다. 그래서 불순물 입자들이 엉켜 플록(floc)을 형성하여 침전시키는 응집반응에 마그네타이트( $Fe_3O_4$ ) 자성체

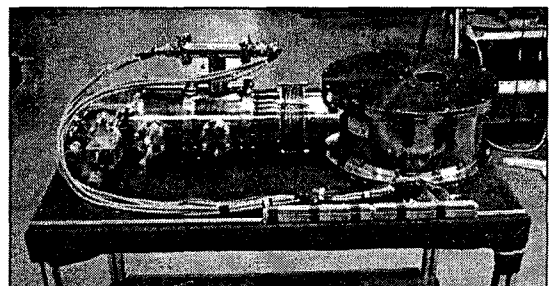


그림 1. 2 T 급 전도냉각형 고온초전도 자석.

의 입자와 응집제를 함께 넣어 응집공정에서 자성플록을 형성하도록 하였다.

그림 2는 전도냉각형 고온초전도 자석을 이용한 자기 분리 장치를 나타내고 있다. 이 장치의 주요 용도는 제지폐수의 자화응집 반응 정도를 측정하기 위한 것으로 솔레노이드 자석 내에 자기필터 묶음을 장착하여 폐수를 자기 분리한 후 다음 작업을 위해 세척하는 배치타입으로 제작하였다.

그림 3은 제지폐수에 응집제 알룸의 양에 따른 자기 분리 후의 탁도의 변화를 나타내고 있다. 제지폐수의 재활용을 위해서는 처리수의 탁도가 낮아야 하는데, 본 실험을 통해서 탁도의 개선 효과가 확연히 드러남을 눈으로 확인할 수 있었으며 초기의 탁도 350 NTU 값에서 자기 분리 후 약 50 NTU 수준으로 까지 낮아짐을 알 수 있었다.

그림 4에서는 제지폐수의 자성체의 입자 크기와 유속에 따른 자기 분리 후의 탁도의 변화를 나타내고 있다. 마그네타이트 입자의 크기가 클수록 자기 분리 효과는 우수하였으며, 자기 분리 공정 동안 폐수의 유속이 느릴수록 정수 효과가 우수하다는 것을 알 수 있었다.

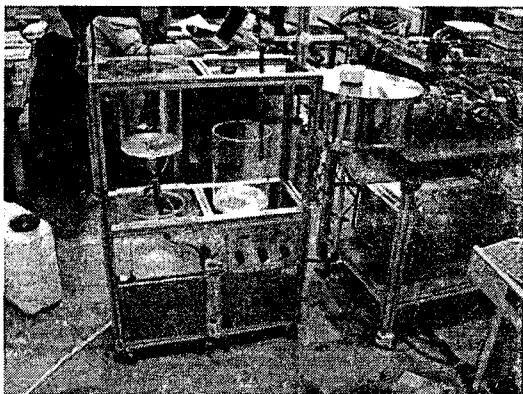


그림 2. 전도냉각형 고온초전도 자석을 이용한 배치타입의 자기 분리 장치 외형.

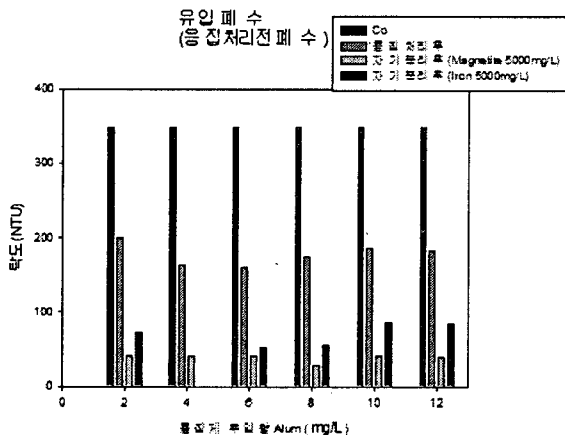


그림 3. 제지폐수의 응집제 알룸의 양에 따른 초전도 자기 분리 후의 처리수에서의 탁도 변화.

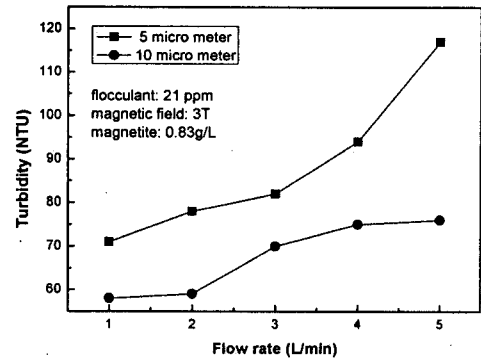


그림 4. 제지폐수의 자성체의 입자 크기와 유속에 따른 자기 분리 후의 탁도의 변화.

#### 4. 결론

최대 3T의 자장을 발생시킬 수 있는 전도냉각형 고온 초전도 자석을 이용하여 초전도 자기 분리 장치를 제작하였다.

유기를 부유물로 구성된 제지폐수의 자기 분리를 위하여 마그네타이트의 입자를 자성체로 사용하여 자화응집반응에 대해 조사하여 83%의 탁도 개선을 확인하였다.

자성체 입자의 크기가 5 μm보다 10 μm의 경우 더 우수한 자기 분리 효과를 나타내었으며 유속이 느릴수록 폐수의 정수 효과가 향상되었다.

#### 감사의 글

본 연구는 한국전기연구원의 기본연구사업의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

#### 참고 문헌

- [1] Y. Kakihaara, T. Fukunishi, S. Takeda, S. Nishijima and A. Nakahira, J. IEEE Trans. Appli. Supercond., Vol. 14, No. 2, p. 1565, 2004.
- [2] S. Nishijima and S. Takeda, J. IEEE Trans. Appli. Supercond., Vol. 16, No. 2, p. 1142, 2006.
- [3] S. Nishijima and S. Takeda, J. IEEE Trans. Appli. Supercond., Vol. 17, No. 2, p. 2311, 2007.