원전사고대비 공기부상공정(DAF)의 최적 운전인자 도출

이지훈*, 김승은, 박지은, 조항래, 박승철
한국수력원자력(주) 중앙연구원, 대전광역시 유성구 유성대로 1312번길 70
*jihoon@khnp.co.kr

1. 서 론

일본 후쿠시마 원전 사고 이후 원전의 중대 사고 시 발생하는 액체 방사성폐기물의 효율적인 처리 기술의 개발이 요구되고 있다. 원전 운영시와는 달리 중대사고나 원전비상시에 발생하는 방사성폐액은 고농도의 방사성 핵종성분을 포함하고 있을 뿐 아니라, 오일이나 고탁도 유발물질 등 운영시 액체폐기물 처리계통(LRS)에서 처리하기 어려운 성분들을 다량 함유할 수 있을 것으로 예상된다. 이러한 오일이나 고탁도 물질의 처리에 적합한 공정으로서 공기 부상공정(DAF)을 고려하고 있다. 본 논문에서는 원전사고시 발생이 예상되는 폐액의 특성을 고려하여 공기부상공정을 적용시 최적의 운전인자를 도출하고자 하였다.

2. 본 론

2.1 공기부상공정(DAF) 장치 설계

DAF는 운전조 내에서 침전 및 부상을 이용하여 유분, algae 그리고 입자성 물질을 제거하는 것이 주요 기능이다. 교반장치를 설치하여 응집제 주입에 따른 응집효율을 증대시켰고, 다량의 공기를 미세한 기포로 주입할 수 있게 설계하여 오염물질이 공기와 함께 부상될 수 있도록 하였다. 부상된 오염물질은 상부에 설치된 스키머에 의해 제거되며, 제거된 오염물질은 별도로 저장된다. DAF공정의 처리용량은 150 L/hr이며 응집을 위한 혼화조, 응집조 및 가압부상조 등으로 구성되어 있다.

Table 1. Design parameter of DAF(Dissolved Air Floatation) system

Component	Design Specification
Influent tank	Capacity : 1 ㎥ (1 ton)
Influent pump	Flow rate : 3 L/min
Pressurized pump	Flow rate : 4 L/min
Chemical injection pump	Flow rate : 150 ml/min
Compressor	Flow rate : 10 L/min (2 HP, 8 kg/㎠)
Mixing reactor	Capacity : 25 L, Agitator : 0~120 rpm
Coagulation reactor	Capacity : 50 L, Agitator(0~60 rpm)
Pressurized flotation reactor	Capacity : 120 L

Table 1에 공기부상공정의 설계사항에 대해 기술하였으며 Fig. 1에 제작된 DAF 공정의 제작도면을 제시하였다.

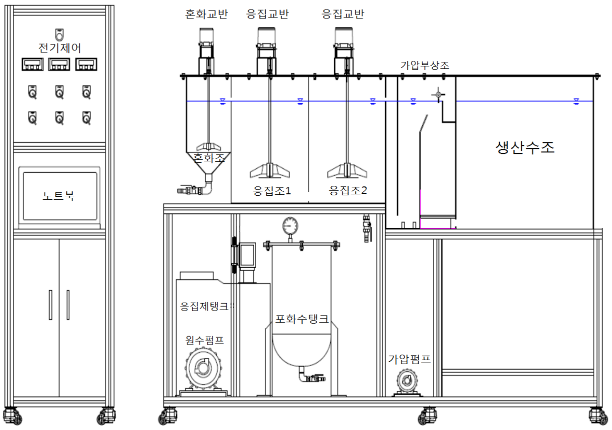

Fig. 1. DAF(Dissolved Air Flotation) system.

2.2 실험 방법

가. 모의폐액 제조

모의폐액은 중대사고 시 발생 폐액으로 예상되는 농도로 결정하였다. DAF 운전을 위한 모의폐액은 카올린 1,000 ppm(약 1,700 NTU), 붕산 4,000 ppm, Na_3PO_4 6,700 ppm의 농도와 원자력 발전소에서 사용하는 대표적인 free oil인 터빈유와 dissolved oil인 수용성 절삭유를 9:1로 혼합하여 100 ppm의 oil를 만들어서 실험을 수행하였다.

나. 실험 방법

공정 운전 인자로는 주입 공기의 압력 및 유량, 응집을 위한 pH, 각 반응조의 교반기 및 스키머 교반 속도, 응집제 주입량 등을 고려하였다. $FeCl_3$ 응집제를 폐액 250 ml당 2 ml씩 주입하고, 폐액의 pH를 11이상으로 조절하여 DAF 운전인자 도출 시험을 수행하였다. 혼화조에 원수 탱크에서 유입되는 폐액과 응집제를 넣고 교반기의 교반 속도를 달리하며 혼화조의 높이에 따른 pH변화를 측정하였다. 응집조에서는 교반속도에 따라 응집조 높이별 탁도의 변화를 측정하였다. 공기부상조에서는 공기부상압력에 따라 공기부상조의 높이별로 탁도의 변화를 측정하였다.

3. 실험 결과

3.1 혼화조 최적 교반속도 도출

혼화조는 DAF에서 처리할 원수와 응집제가 섞이는 장소로 짧은 시간에 응집제가 원수와 균일하게 섞여야 한다. Fig. 2에 혼화조 교반기 속도에 따른 pH 변화를 나타냈다. 원수의 pH는 11이고 응집제의 pH는 3.1이다. 혼화조 내의 pH가 균일하다는 사실은 원수와 응집제가 균일하게 되어 응집 효과가 최대로 되었다는 것을 나타낸다. 혼화조에서는 원수와 응집제가 빠르게 섞일 수 있도록 하기 위하여 급속 교반을 실시한다. Fig. 2에서 교반 속도가 30 rpm과 50 rpm에서는 혼화조 상층부의 pH가 낮고 중층과 하층부는 높다. 교반 속도가 100 rpm 이상에서는 혼화조 내부의 pH가 균일하게 됨을 알 수 있다. 혼화조의 pH가 균일할 때 응집제의 응집 효과가 증가하게 된다.

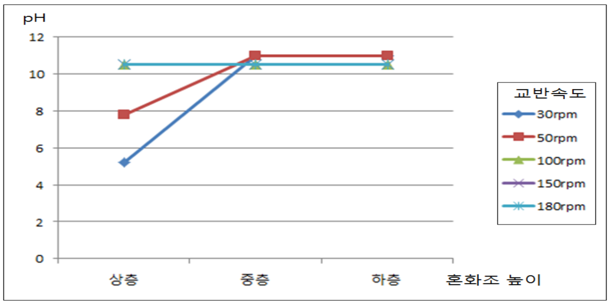

Fig. 2. pH change on mixing rate according to water level in mixing reactor.

3.2 응집조 최적 교반속도 도출

응집조는 혼화조에서 원수와 응집제가 균일하게 섞인 폐액에 대하여 Floc을 형성 시키는 기능을 한다. 응집조의 교반 속도는 혼화조의 교반 속도와 반대로 완속으로 교반하여 형성되는 Floc이 깨어지지 않게 한다. 이러한 응집조의 교반 속도에 따른 탁도의 관계를 Fig. 3에 나타냈다. 교반 속도가 25 rpm이상에서는 응집조 상층부 및 중층부의 탁도가 증가하게 되는데 이는 형성된 Floc이 깨어져서 탁도가 증가된 것으로 판단된다.

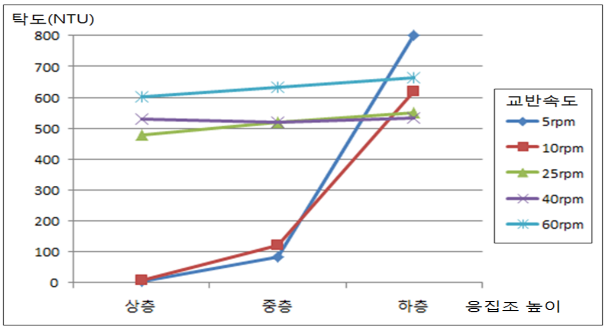

Fig. 3. Turbidity change on mixing rate according to water level in coagulation tank.

응집조 교반 속도가 10 rpm이하로 되면 응집조 내Floc이 형성되어 상층부나, 증층부의 탁도가 감소되는 것을 보여주고 있다.

3.3 최적 가압 부상 압력 도출

가압 탱크는 Compressor에 의하여 흡입된 공기를 물에 강제적으로 혼합시키는 역할을 하며 가압부상조에서 해압을 시키면 Micro Bubble이 형성되어 Floc을 부상시킨다. 가압 탱크의 압력이 낮으면 물에 공기가 섞이지 않아 해압시 Micro Bubble 생성이 적게 되어 가압부상조내에서 Floc 부상을 충분히 하지 못하게 된다. Fig. 4에서 가압 탱크 압력이 6 bar이상일 때 상층부의 탁도가 높음을 알 수 있다. 가압 탱크 압력이 낮으면 가압부상조에서 형성된 Floc들이 물 표면으로 부상되지 못하고 가압부상조 바닥에 침전되어 가압부상조 하부의 탁도가 높게 된다.

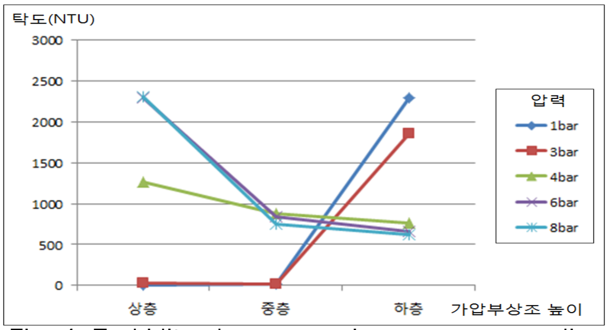

Fig. 4. Turbidity change on air pressure according to water level in air flotation tank.

4. 결 론

원자력발전소의 사고 시 오일이나 탁도물질이 다량 함유된 폐액 처리에 적합한 전처리공정으로서 공기부상공정(DAF)을 선정하고, 혼화조, 응집조의 교반속도 및 가압부상압력등의 운전인자를 도출하였다. 시험 결과, 혼화조에서는 교반속도가 100 rpm이상일 때 내부 pH가 균일하여 응집제의 응집효과가 증가했다. 응집조에서는 교반 속도가 10 rpm이하에서 Floc이 잘 형성되어 침강되었다. 가압부상조에서는 가압탱크 압력이 6 bar이상에서 상층부로 탁도성분이 잘 부상됨을 알수 있었다. 본 연구결과는 향후 중대사고를 대비한 파일럿 규모의 이동식 모듈형 처리공정의 제작시 설계자료로 활용될 것이다.

5. 참고문헌

[1] 박철홍, 이동형 DAF시스템의 운용과 활용에 관한 연구, 석사학위논문, 2009.

[2] C. Robert Reiss, et. al, Pretreatment and Design Considerations for Large-Scale Seawater Facilities, 2008.