Journal of Radiation Industry 9(3) : 131~135(2015)

방사성추적자를 이용한 수직교반형 소화조의 유동 특성 측정

문진호[1] · 박장근[1] · 강문후[2] · 정성희[1,*]

[1]한국원자력연구원 동위원소이용연구부
[2](주)우진 기술연구소

Measurement of Flow Characteristics of Digester Installed Tray Motioned Mixer by Using Radiotracer

Jinho Moon[1], Jang Guen Park[1], Munhu Kang[2] and Sung-Hee Jung[1,*]

[1]*Radioisotope Research Division, Korea Atomic Energy Research Institute, Daejeon 34057, Korea*
[2]*Woojin Research and Development Center, Gunwi, Gyeongsangbuk-do 39023, Korea*

Abstract - The flow characteristics of fluid were measured using radioactive tracer in pilot scale digester with tray motion mixer. In consideration of the detection volume of the detector and the size of the digester, 20 detectors were installed in the digester. The radioactive tracer eluted 8 mCi of ^{68}Ga from ^{68}Ge/^{68}Ga generator was injected into the digester bottom. After radiotracer injection, the flow pattern was measured on the basis of the initial movement of the tracer until its diffusion completely. Most of tracer moved to the wall along the bottom of the digester, and then rose along the wall. The other tracer moved up along the mixer, and then moved to the wall direction along the surface.

Key words : Radiotracer, Digester with tray motion mixer, Flow pattern

서 론

혐기성 소화는 산소가 존재하지 않는 혐기성 조건에서 미생물에 의해 유기물을 분해하여, 하수슬러지의 안정화와 부피를 감소시키는 공정이다. 특히 소화과정에서 발생하는 메탄을 주성분으로 하는 소화가스는 소화조의 가온이나 소각로의 보조열원으로 이용할 수 있으며, 최근에는 소화가스 발전 등에도 이용되고 있다(김 등 2007). 소화조 효율을 향상시킬 수 있는 방법으로 슬러지 농축, 소화조 가온, 슬러지 가용화, 소화조 교반 등의 방법이 있다. 이 중 교반은 투입 슬러지와 소화 슬러지와의 혼합, 탱크 내 온도의 균일화 및 스컴 발생에 의한 유효용량의 감소를 방지하는 공정으로 소화효율 향상에 직접적인 영향을 끼친다(이 등 2011). 교반방식은 혼합방식에 따라 크게 가스교반방식과 기계교반방식으로 분류할 수 있다. 가스교반방식은 소화과정에서 발생하는 소화가스를 소화조 하부에 장착된 블로워를 사용하여 내부를 순환시키는 방법으로 소음이 심하고, 기계식 대비 동력소비가 높은 단점이 있다. 기계교반방식의 대표적인 방법인 회전식 교반은 내부 임펠러의 회전운동을 통하여 내부를 순환시키는 방법으로 초기 시설비가 높다는 단점이 있다. 이와 같은 단점을 보완하기 위하여 대구환경공단과 (주)우진의 공동연구를 통하여 저동력, 고효율의 수직형 교반기를 개발하였다(대구환경시설공단과 (주)우진 2010).

수직형 교반은 임펠러의 수직왕복운동을 통하여 유동을 발생시키는 방법으로 기존 교방방식 대비 소비전력의 최대 90% 이상 절감할 수 있는 에너지효율이 높은 새로운 방식

* Corresponding author: Sung-Hee Jung, Tel. +82-42-868-8057, Fax. +82-42-862-6980, E-mail. shjung3@kaeri.re.kr

의 교반법이다. 교반정도의 적정 여부를 판단하는 상하부의 슬러지 농도와 온도의 편차는 측정하였지만 실제 내부 유체의 유동은 염료 및 ABS입자를 투입하여 유동을 가시화하는 방법으로 유동 특성을 추정할 뿐이었다. 일반적으로 유동 특성은 전산유체역학모델의 수치해석, 입자영상유속계 등의 방법으로 측정하지만 새로운 형태의 교반법에 대한 수치해석 결과의 검증이 부족하고, 거대한 소화조의 크기 때문에 레이저 산란에 의한 입자 영상의 획득이 쉽지 않아 유동 패턴을 검증할 수 없었다.

방사성추적자 기술의 경우 방사성동위원소에서 방출되는 감마선의 높은 투과력과 방사선 검출기의 예민한 검출능력을 바탕으로 공정진단에 널리 쓰이고 있다. 특히 소화조의 운전효율 및 부동층 산정(정 등 1999), 수처리시설 내 침전조의 유동특성 연구(Kim *et al*. 2005), 석유화학공정 내 촉매재생기 유동특성 연구(문 등 2011) 등 기존의 유동측정방법을 적용할 수 없는 조건에서 방사성추적자의 적용 사례가 보고되고 있다. 본 연구에서는 파일럿 규모 소화조를 대상으로 방사성추적자를 이용하여 내부 유체의 유동 특성을 측정하였다. 이를 위하여 소화조 내부에 다수의 방사선 검출기를 설치하고, 내부에 방사성추적자를 주입하여 이의 초기 거동을 측정하는 방법으로 추정 유동패턴을 검증하였다.

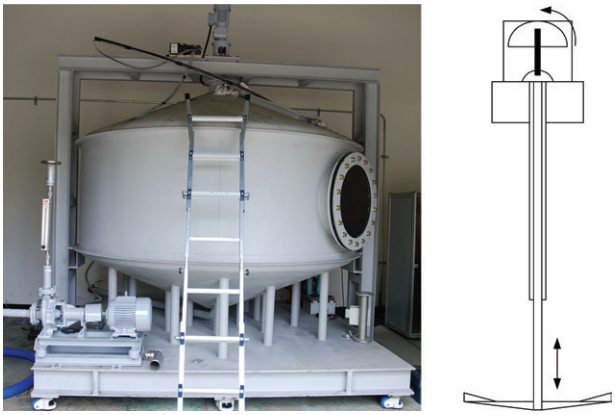

Fig. 1. Pilot scale digester and tray motion mixer.

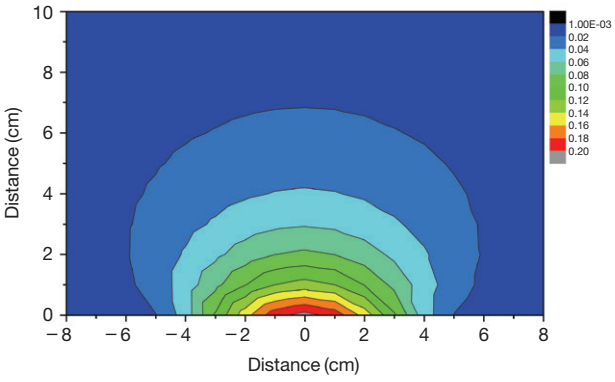

Fig. 2. Detection probability of radiotracer depending on distance.

재료 및 방법

1. 실험 대상

하수처리시설에 사용되는 혐기성 소화조 1/10 크기의 파일럿 규모 소화조를 대상으로 내부 유체의 유동특성을 측정하였다. 직경 2.7 m, 높이 2 m의 실린더형 소화조 내부는 물이 채워져 있으며, 물의 입출력이 없는 배치타입 설비이다. 또한 소화조 상부에 기존의 회전식 교반기가 아닌 수직왕복형 교반기가 설치되어 있는 것이 특징이다(Fig. 1).

2. 검출기 배치

방사선계측방법을 선택하기 위하여 소화조 내부에 위치하는 방사성동위원소(방출에너지 0.5 MeV)를 대상으로 소화조 외부에 설치된 검출기에서의 거리에 따른 검출확률을 몬테칼로 전산모사를 통하여 산정하였으며, Fig. 2에 나타내었다. 검출기로부터 약 7 cm 떨어진 지점에서의 검출확률이 2% 정도이며, 검출확률이 1% 이상인 영역까지 확대하더라도 20 cm에 불과하다. 따라서 소화조 외벽에 방사선 검출기를 설치할 경우 소화조 중심부의 유동은 알 수 없다.

하지만 내부에 검출기를 설치할 경우 유체의 유동을 일부 방해하겠지만 소화조 전체에 대한 유동 패턴을 파악할 수 있는 장점이 있다. 또한 교반기 운동방향을 z축이라 할 때, x-y평면에서 검출기가 차지하는 면적은 전체 소화조의 1%도 되지 않아 유동의 방해는 크지 않을 것으로 보인다. 소화조 내부 검출기 설치를 위하여 지그를 제작하고, 방수형 2인치 NaI 검출기 20개를 교반기에 대칭이 되도록 Fig. 3과 같이 설치하였다. 검출기 사이의 간격은 검출유효체적을 감안하여 약 40 cm로 유지하였다.

3. 방사성추적자 및 주입방법

실험에 사용된 방사성추적자로는 ^{68}Ga이 안전관리 규정에 따라 사용되었으며, 그 특성을 Table 1에 요약하였다.

^{68}Ge/^{68}Ga generator에서 ^{68}Ga 8.5 mCi (10 mL)를 용출하여 Fig. 4와 같이 튜브와 주사기를 이용하여 소화조 바닥면에 설치된 콘(cone) 상부에 주입하였다. 대용량 주사기를 사용하여 공기를 밀어 넣는 방식으로 튜브 끝단에서 기포가 나올 때까지 완전히 주입하였다. 또한 튜브 속에 방사성물질이 남아 있더라도 물에 의하여 차폐되므로 검출기 신호에는 영향을 주지 않는다. 방사성추적자의 주입은 교반기가 정지된 상태로 진행되었으며, 주입 완료 후 교반기를 182회 min^{-1}의 속도로 작동시켰다.

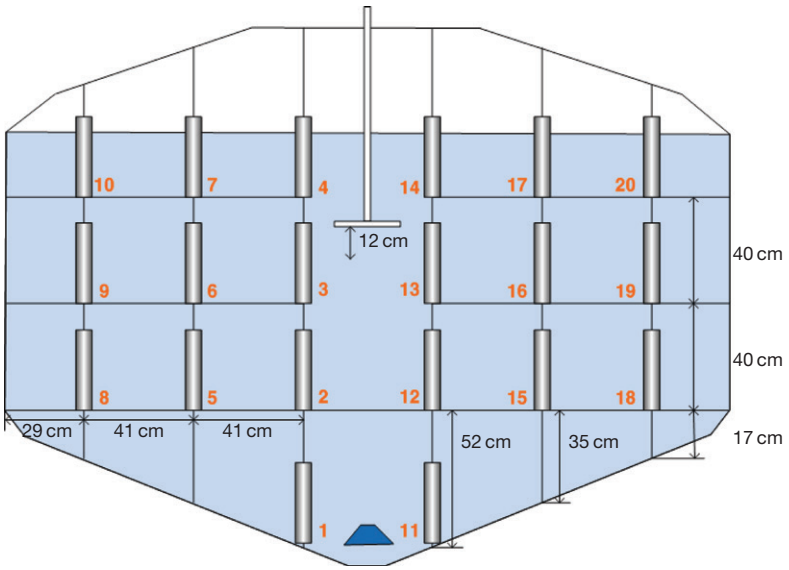

Fig. 3. Schematic of detector installation.

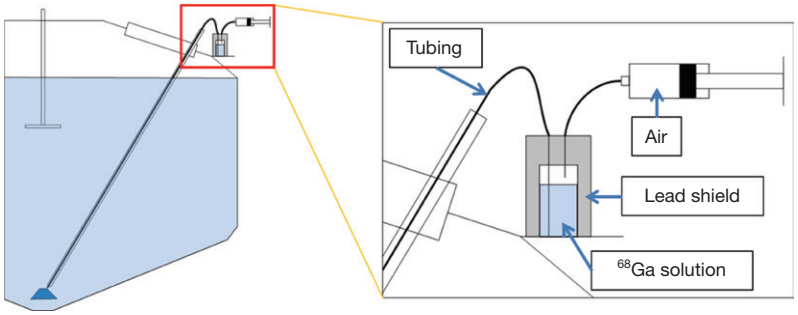

Fig. 4. Injection method of radiotracer.

Table 1. Characteristics of radiotracer

Radioisotope	^{68}Ga
Form	Ga^{3+}ion in 0.05 M HCl
Half life	67.6 min
Dose	8.5 mCi
Rhm	1.763×10^{-4} mSv·m^2 (hr·MBq)$^{-1}$
Energy (MeV)	0.511 (176.4%), 1.077 (3%), 1.883 (0.138%)

결 과

방사성추적자의 주입에 따른 각 검출기의 계측 신호를 Fig. 5에 나타내었다. 대칭적으로 설치된 검출기들의 신호가 비슷한 패턴을 보여주므로 한쪽(검출기 1~10)의 검출기 신호를 분석하였다. 방사성추적자 주입 후 확산되기 전까지 추적자의 초기 거동을 바탕으로 유동패턴을 측정하였다.

방사성추적자는 Fig. 6에 보인 바와 같이 665초에 주입하기 시작하여 690초에 완료하였으며, 720초부터 교반기가 작동되었다. 방사성추적자 주입 직후 1번과 2번 검출기의 계측

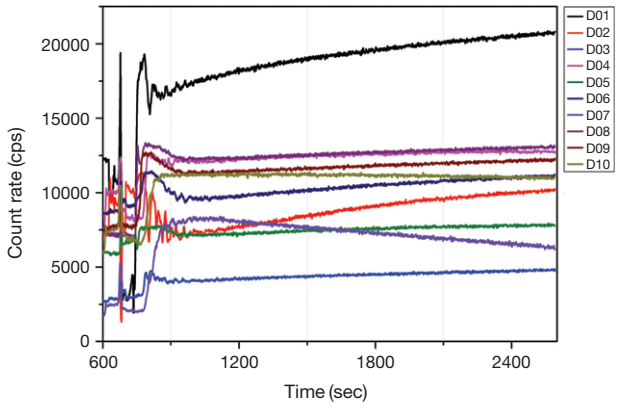

Fig. 5. Detection signal after radiotracer injection (D01~10).

신호가 갑자기 감소하는 등 이상신호가 발견되는데, 이는 초기 고 방사능의 방사성추적자 주입에 의한 검출기의 계측 한계를 넘어섰기 때문이다. Fig. 7에 점선으로 나타낸 바와 같이 실제 계측신호는 훨씬 높은 값을 가질 것으로 추정된다.

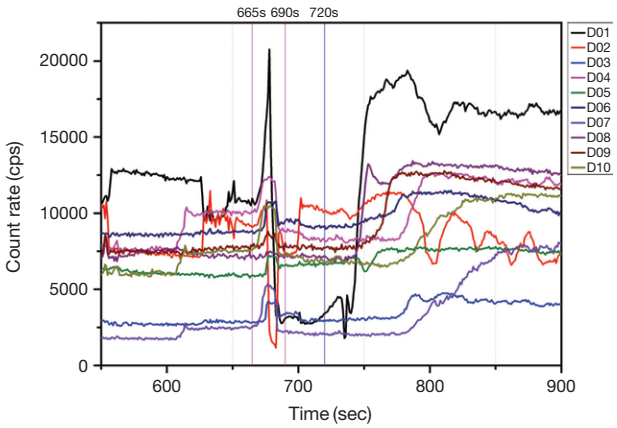

Fig. 6. Early movement of radiotracer (D01∼10).

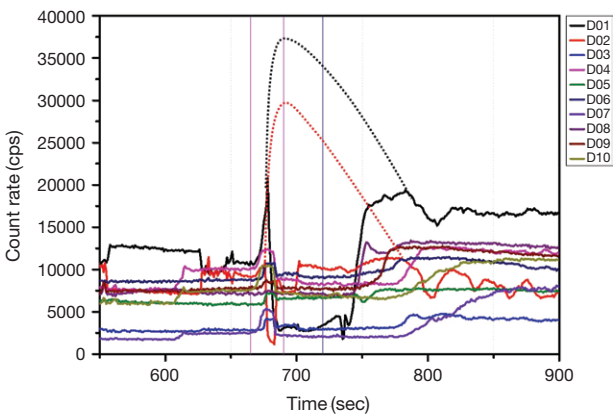

Fig. 7. Corrected detection signal.

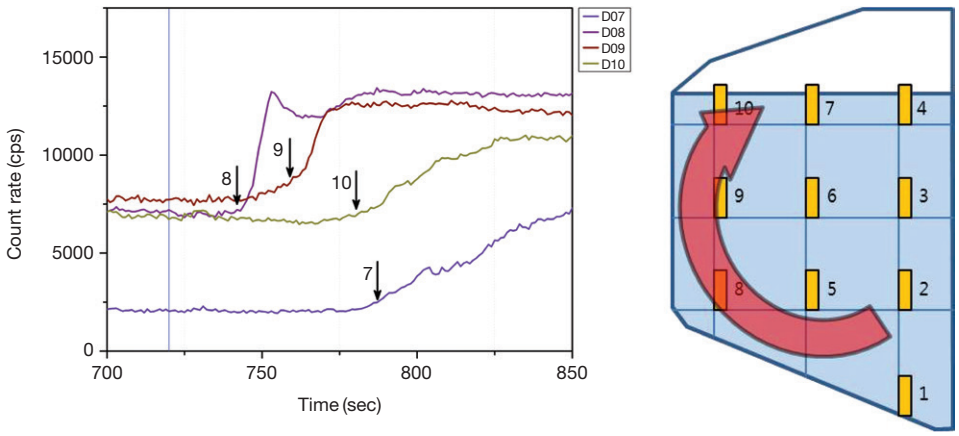

Fig. 8. Detection signal and flow pattern of flow (I-1).

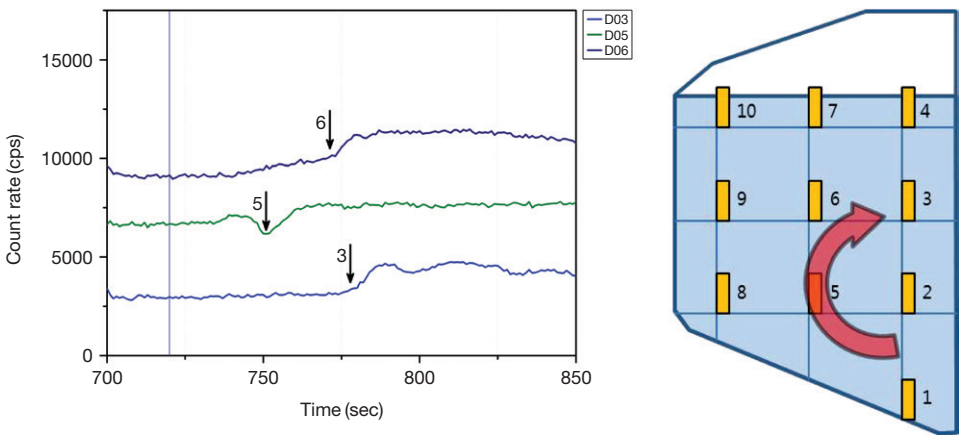

Fig. 9. Detection signal and flow pattern of flow (I-2).

방사성추적자 계측 순서를 바탕으로 유동을 추정하였으며, 크게 두 가지 유동이 관찰되었다. Fig. 8과 같이 1, 2번 검출기 위치에서 시작하여 8→9→10→7 순서로 움직이는 유동이 측정되었다. 바닥을 따라 외벽방향으로 이동 후 벽을 따라 상승하는 유동이며, 계측신호가 큰 것으로 보아 주입된 방사성추적자의 대부분이 이 유동(I-1)을 따라 이동하였다.

또한 Fig. 9와 같이 검출기 5→6→3 순서로 움직이는 유

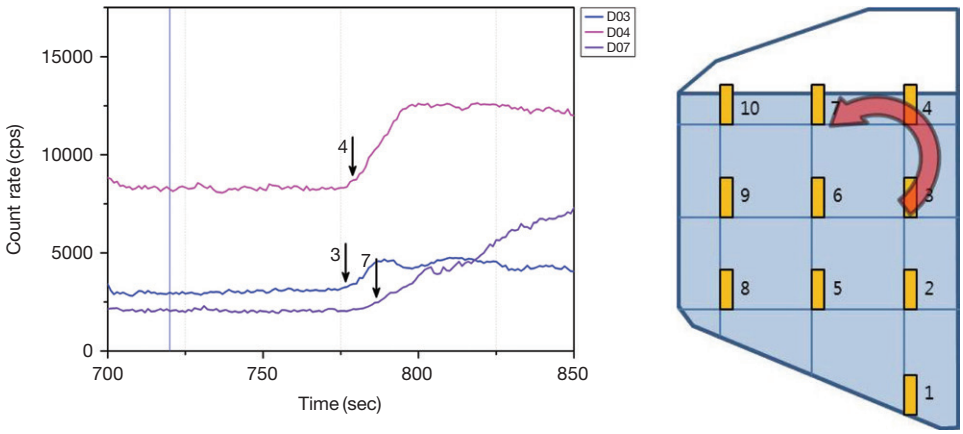

Fig. 10. Detection signal and flow pattern of flow (II).

동이 유동(I-1)과 동시에 관측되었다. 계측값의 변동 폭이 작은 것으로 보아 유동(I-1)을 따라 움직이는 방사성추적자의 일부가 작은 회전반경으로 이동한 것으로 유동(I-1)의 부수적인 유동(I-2)으로 보인다.

마지막으로 검출기 3→4→7 순서로 움직이는 유동이 Fig. 10과 같이 측정되었다. 이는 유동(I-2)의 후속 흐름으로 유동(I-2)를 따라 이동한 방사성추적자의 일부가 교반기를 따라 상승한 후 표면을 따라 소화조 벽방향으로 이동한 것으로 보인다.

고 찰

본 연구에서는 내부에 설치된 검출기로 인하여 유체의 유동을 교란시킨 점과 추적자의 공간적 분포를 가시화 및 정량적 분석을 하지 못한 한계가 있었다. 향후 유체거동 특성에 대한 고차원적인 정량적 분석을 위하여 lab scale 소화조를 대상으로 단일광자방출단층촬영기법 및 방사성입자 궤적탐지기술을 사용하여 유동을 가시화하고, 정량적 분석 및 scale-up factor를 도출하는 연구가 필요하다.

결 론

본 연구에서는 방사성추적자를 이용하여 수직교반형 소화조 내 유체의 유동 특성을 측정하였다. 소화조 내 유체는 소화조 바닥을 따라 외벽방향으로 이동 후 벽을 따라 상승하는 유동과, 교반기를 따라 상승 후 표면을 따라 외벽방향으로 이동하는 유동이 측정되었다. 방사성추적자를 이용한 유동탐지기술은 감마선의 높은 투과도로 투명하지 않은 실험 대상에서도 적용 가능한 장점이 있으며, 수치해석이 아닌 실계측을 통하여 유동 패턴을 획득하였다는 데에 의의가 있다.

사 사

이 논문은 미래창조과학부의 지원을 받아 “연구로 동위원소 활용 융합기술개발 및 생산기술 선진화 사업”과제에서 수행된 연구이다.

참 고 문 헌

김승민, 민경섭, 표갑두, 장정석. 2007. 하수처리장 혐기성소화조 가동에 따른 콘크리트 중성화 사례. 대구환경시설공단. 1-7.

대구환경시설공단, (주)우진 부설 기술연구소. 2010. 혐기성소화조 교반 설비 개발을 위한 공동연구 결과보고서. 대구환경시설공단. 1-10.

문진호, 김종범, 박장근, 정성희. 2011. 방사성동위원소를 이용한 정유설비 내 촉매유동 특성 및 수직밀도 분포 측정. 방사선산업학회지. **5**(4):317-323.

이기영, 이상협, 조영무, 최기석. 2011. 소화조 효율개선 및 에너지 자원화사업 타당성 평가. 경기개발연구원. 18-21.

정성희, 진준하, 이면주. 1999. 방사성동위원소 추적자를 이용한 슬럿지 소화조 성능 진단. 대한환경공학회지. **21**(12): 2295-2303.

Kim HS, Shin MS, Jang DS, Jung SH and Jin JH. 2005. Study of flow characteristics in a secondary clarifier by numerical simulation and radioisotope tracer technique. *Applied Radiation and Isotopes* **63**:519-526.

Received: 5 August 2015
Revised: 16 August 2015
Revision accepted: 25 August 2015