

# 방사성 동위원소 추적자를 이용한 침전지내 플럭의 이동경로 추적실험

○최계운\*, 이무욱\*, 김정현\*\*, 진준하\*\*\*, 이면주\*\*\*

## 1. 서론

그동안 국내에서의 정수장 효율향상에 관한 효율향상에 관한 연구들은 주로 혼화지나 응집지의 교반강도를 조정하거나, 응집약품의 교체나 여과지 교체등을 통하여 이루어져 왔으며, 침전지내에서의 효율향상에 관하여는 상당히 소홀해 왔었다. 그러나 국내의 침전지는 외국에 비하여 체류시간이 긴 편이며, 웨어부하율도 큰 편이다. 국내 상수도 시설기준에 의하면 웨어부하율은  $500 \text{ m}^3/\text{day}/\text{m}$  이하로 하도록 되어 있고 실제 적용에는  $350 \sim 400 \text{ m}^3/\text{day}/\text{m}$  정도가 바람직하다고 제안하고 있다. 또한, 기존 실험(Pilot plant) 결과를 분석해보면 유입유량에 따라 웨어 상단으로의 플럭 상승량이 증가하고, 계절 및 낮과 밤의 실험 결과가 상이하게 나타나고 있으며, finger형과 횡방향 유출웨이에 의하여도 실험 결과가 다르게 나타나고 있는 것을 감안할 때, 이에 대한 종합적인 검토가 필요한 실정이다. 아울러, 밀도류, 단락류에 대한 언급은 있으나 구체적 정의가 모호하며 수온(density) 차이에 의하여 발생하는 것으로 알려져 있으나, 어느 정도의 수온차가 있을 때 발생하는지, 설계시에 밀도류, 단락류를 방지하도록 설계하여야 된다고 되어 있으나 어떠한 방법에 의하여 설계할 때 이와같은 흐름을 방지할 수 있는지에 관하여 구체적인 검토가 필요하다.

그 동안의 침전지내 효율특성은 주로 탁도계를 이용한 탁도제거 효율을 측정하여 이루어져 있었다. 그러나, 탁도만을 측정하는 경우 침전지내에서의 수류의 이동경로나 이동속도변화, 플럭의 침강속도변화나 침강현상을 제대로 구현 할 수가 없다. 따라서, 본 연구에서는 방사성 동위원소를 사용하여 침전지내 흐름의 빠르기를 측정하고 아울러 탄화시킨 동위원소를 사용하여 플럭의 이동경로를 추적하였다.

## 2. 침전지내 유속 분포 실험

### 2.1 실험장치 및 방법

본 실험에 사용된 장치는 한국수자원공사의 대청정수장내 Pilot Plant를 이용하였고, 그림 1에서 보는바와 같이 원수공급조, 혼화지, 응집지, 침전지로 구성되어 있다.

실험시 유량은  $1.4 \text{ m}^3/\text{hr}$  ( $33.6 \text{ m}^3/\text{day}$ )을 사용하였고, 응집약품은 PACS를 사용하였으며, 급속 혼화에서의 응집강도는  $G = 347 / \text{sec}$ 로, 응집지에서의 응집강도는 1단, 2단, 3단에서 각각  $G = 80 / \text{sec}$ ,  $G = 60 / \text{sec}$ ,  $G = 40 / \text{sec}$ 이었다.

---

\* : 인천대학교 토목공학과

\*\* : 한국수자원공사 수자원연구소

\*\*\* : 한국원자력연구소

그림 1에서 보는 바와 같이 동위원소 추적자를 원수공급조와 혼화지 사이에서 투여하고, 침전지 유입부분에서 흐름방향으로 3cm의 위치에 DETECTOR 5개를 수심방향으로 설치하고 MRT (Mean Residence Time, sec)를 측정하고 침전지 유입부분에서 흐름방향으로 130cm, 250cm의 위치로 5개의 DETECTOR를 이동시킨 후, 각 위치에서 MRT를 측정하였다.

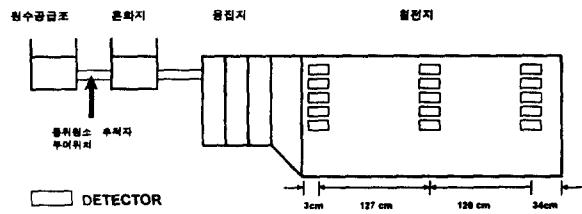


그림 1 방사성 동위원소 실험을 위한 실험장치

## 2.2 실험 결과

동위원소의 추적을 통하여 측정한 침전지내에서의 평균도달시간(MRT)을 표 1에 나타내었다.

표 1 침전지내에서의 평균 도달 시간(MRT)

Detector	수면으로부터의 거리(cm)	평균도달시간(MRT, sec)		
		3cm	130cm	250cm
D1	5	1720	2794	3720
D2	15	1771	3114	3768
D3	25	1799	3392	3934
D4	35	1829	3625	4165
D5	45	1889	3915	4652

측정된 MRT를 이용하여 침전지내의 도달시간을 그림 2에 나타내었다. 그림 2에 나타난 바와 같이 상단의 수류의 이동속도가 하단에 비하여 훨씬 크게 나타나고 있다. 즉 침전지내 평균체류시간이 수면으로부터 침전지 바닥방향으로 갈수록 증가하는 경향을 나타내고 있다.

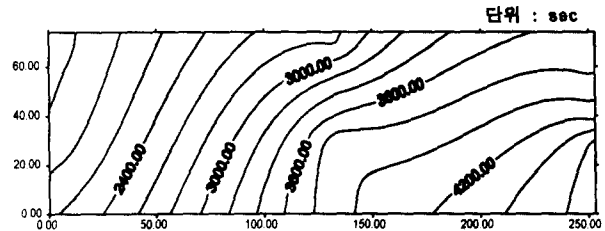


그림 2 침전지내에서의 도달시간 변화 분포도

## 3. 침전지내 플럭의 이동경로 추적 실험

### 3.1 실험장치 및 방법

실험조건은 침전지내 유속분포실험과 마찬가지로 응집약품은 PACS를 사용하였고, 동일한 혼화도를 사용하여 실험을 실시하였다.

그림 3에서 보는 바와 같이 동위원소 추적자를 원수공급조와 혼화지 사이에서 투여하고, DETECTOR를 흐름방향으로 8개 위치로 이동시켜 가면서 MRT를 측정하였다. 침전지 유입부분에서 흐름방향으로 3cm의 위치에 DETECTOR 5개를 수심방향으로 설치하고 MRT(Mean Residence Time, sec)를 측정후 침전지 유입부분에서 흐름방향으로 50cm, 90cm, 130cm, 170cm, 210cm, 250cm, 276cm의 위치로 5개의 DETECTOR를 이동 시켜가면서, 각 위치에서 MRT를 측정하였다. 또한, 유량을 0.8 m<sup>3</sup>/hr, 1.44 m<sup>3</sup>/hr, 2.0 m<sup>3</sup>/hr로 변화시켜가면서 실험을 실시하였다.

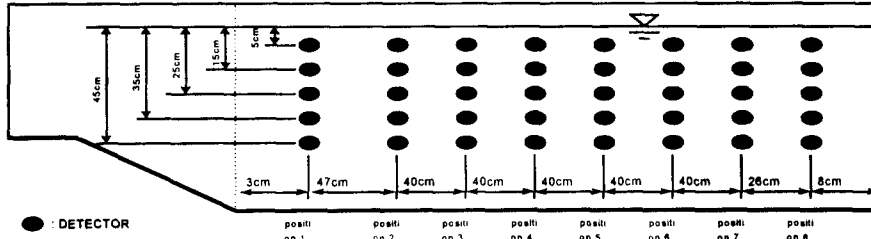


그림 3 침전지내에 방사성 동위원소 측정을 위한 DETECTOR 설치 위치

### 3.2 실험결과

유량이 1.44m<sup>3</sup>/hr일 때의 첫 번째(흐름방향 3cm), 네 번째(흐름방향 130cm,) 일곱 번째(흐름방향 250cm)위치에서 측정된 MRT를 그림 4부터 그림 6에 나타내었다. 그림 4에서 보면 첫 번째 위치에서의 각 DETECTOR의 MRT분포를 보이고 있는데, 각 곡선의 최대치를 나타내는 부분에서의 시간과 MRT를 이용하게 된다. 그림 4에서 DETECTOR 1의 MRT가 최대치를 보이는 시간은 1150sec이고 측정된 MRT는 256 CPS이다.

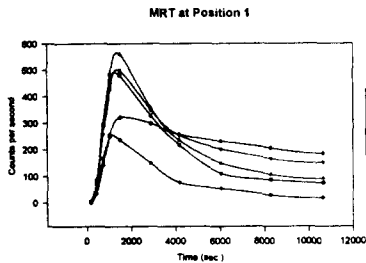


그림 4 흐름방향으로 3cm 위치에서의 측정된 MRT

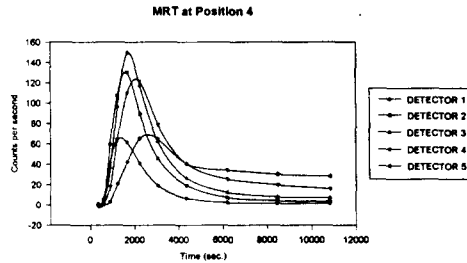


그림 5 흐름방향으로 130cm 위치에서의 측정된 MRT

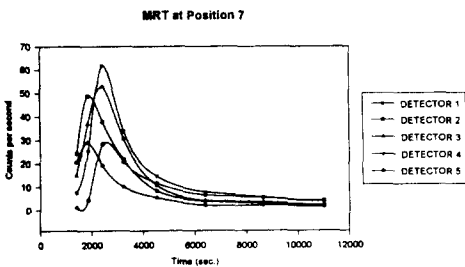


그림 6 흐름방향으로 250cm 위치에서의 측정된 MRT

또한 DETECTOR 2, 3, 4, 5의 MRT가 최대치를 보이는 시간은 각각 1270sec, 1360sec, 1390sec, 1640sec이고 측정된 MRT는 각각 491CPS, 564CPS, 502CPS, 322CPS 이었다.

각각의 유량에서 깊이에 따른 MRT를 그림 7부터 9에 나타내었다. 그림 7은 유량이 0.8 ton/hr일 때의 MRT를 보여주고 있는데, 수면아래 5cm와 수면아래 45cm에서의 그래프와 수면아래 15cm, 25cm, 35cm에서의 그래프가 분리되어 있는 듯한 경향을 보이고 있어 수면근처와 중간 깊이 이하에서 보다 중간 깊이에서 보다 많은 플럭이 집중되고 있는 현상을 보이고 있다. 또한 5번 지점 전에서 깊이에 관계없이 대부분의 플럭이 침강되고 있는 것으로 나타나고 있다. 그림 8은 유량이 1.44 ton/hr일 때의 MRT를 보여주고 있는데, 이 때에는 6번 지점 전에서 대부분의 플럭이 침강되고 있는 것으로 나타나고 있으며 유량이 0.8 ton/hr일 때와 마찬가지로 중간 깊이에 플럭이 집중되고 있는 경향을 보이고 있다. 그림 9는 유량이 2.0 ton/hr일

때의 MRT를 보여주고 있는데, 7번 지점까지 그래프를 그려야 대부분의 플럭이 침강되는 형태를 보여주고 있으며, 유량 0.8 ton/hr, 1.44 ton/hr일 때 마찬가지로 중간 깊이에 플럭이 집중되고 있는 경향을 나타내고 있으나, 수면 아래 45cm 깊이에서도 많은 플럭이 있는 것으로 보인다. 각 유량에 따라 같은 지점에서 검출된 동위원소의 양이 다르게 나타나고 있는데, 동위원소를 투여할 때 투여되는 동위원소의 양이 다르므로 인해서 측정된 동위원소의 양이 다소 차이가 나기는 하지만 실험 결과에는 큰 영향을 미치지 않는 것으로 보인다.

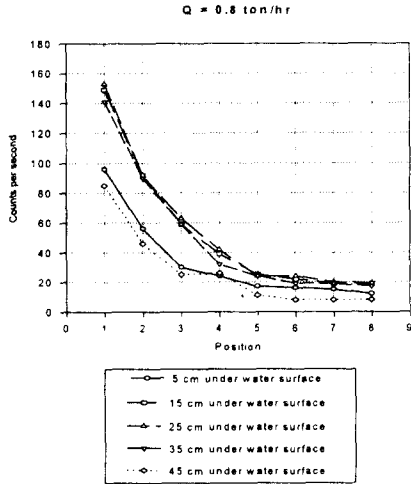


그림 7 유량이 0.8 ton/hr일때의 각 측정위치에서의 MRT

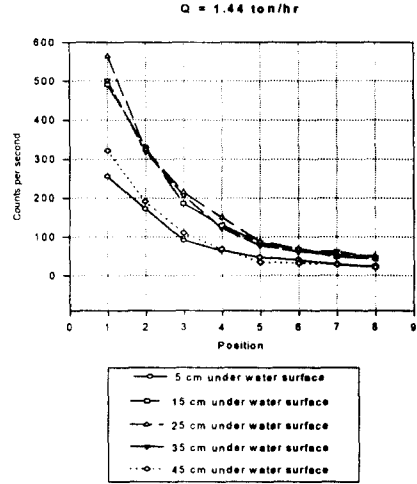


그림 8 유량이 1.44 ton/hr일때의 각 측정위치에서의 MRT

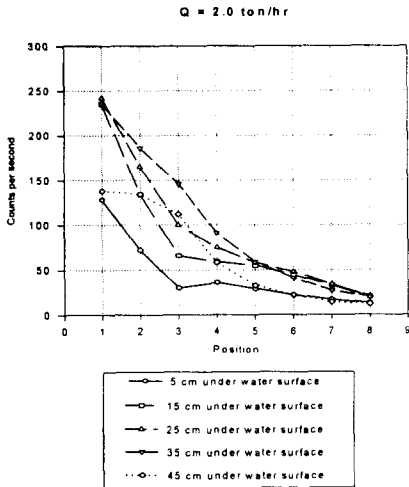


그림 9 유량이 2.0 ton/hr일때의 각 측정위치에서의 MRT

각 지점에서 측정된 MRT를 이용하여 Contour를 유량(0.8 m<sup>3</sup>/hr, 1.44 m<sup>3</sup>/hr, 2.0 m<sup>3</sup>/hr)에 따라 그림 10부터 12에 나타내었다. 유량별로 투여된 방사성 동위원소의 양이 서로 다르기 때문에 투여된 방사성 동위원소에 대한 각 지점에서 측정된 MRT의 비로서 나타내었다. x로 표시된 부분이 DETECTOR의 위치이며, 침전지 바닥에서 29cm에 설치된 DETECTOR 5이하의 Contour는 실제 측정된 MRT는 없으나 침전지 전체에 대한 MRT를 나타내기 위해서 편의상 나타낸 것이다. 그림 10에서 그림 12를 모두 살펴보면 유입부에서의 분포가 수심방향으로 선형적인 분포를 보일 것으로 생각되었으나 DETECTOR 3번지점을 정점으로 해서 2번지점과 4번지점, 1번지점과 5번지점이 비슷한 분포를 보이고 있다.

유량이 0.8 m<sup>3</sup>/hr일 때 MRT분포를 나타내고 있는 그림 10을 살펴보면 유입부분에서 170cm 이내에서 약 96%의 플럭이 침강된 것으로 나타나고 있으며, 5개의 DETECTOR중에서 수면 바로 아래인 1번지점과 중간 수심인 5번지점보다는 수심의 중반 위쪽인 2번지점, 3번지점, 4번지점에 플럭이 집중되는 모습을 보이다가 유입부분에서 170cm가 지나면서

집중되는 현상이 없어지고 있다. 유량이 1.44 m<sup>3</sup>/hr일 때 MRT분포를 나타내고 있는 그림 11을 살펴보면 유입부분에서 170cm 부근에서 약 96%의 플럭이 침강된 것으로 나타나고 있으며 유량이 0.8 m<sup>3</sup>/hr일 때와는 달리 170cm를 지난 지점에서 미약하지만 계속해서 DETECTOR 2, 3, 4번지점에 집중되는 현상을 보이고 있다. 유량이 2.0 m<sup>3</sup>/hr일 때 MRT분포를 나타내고 있는 그림 12를 살펴보면 유량이 0.8 m<sup>3</sup>/hr과 1.44 m<sup>3</sup>/hr과는 달리 유입부분에서 210cm 부근에서 약 96%의 플럭이 침강된 것으로 나타나고 있으며 DETECTOR 2, 3, 4번지점에 집중되는 현상이 침전지 끝까지 나타나고 있다.

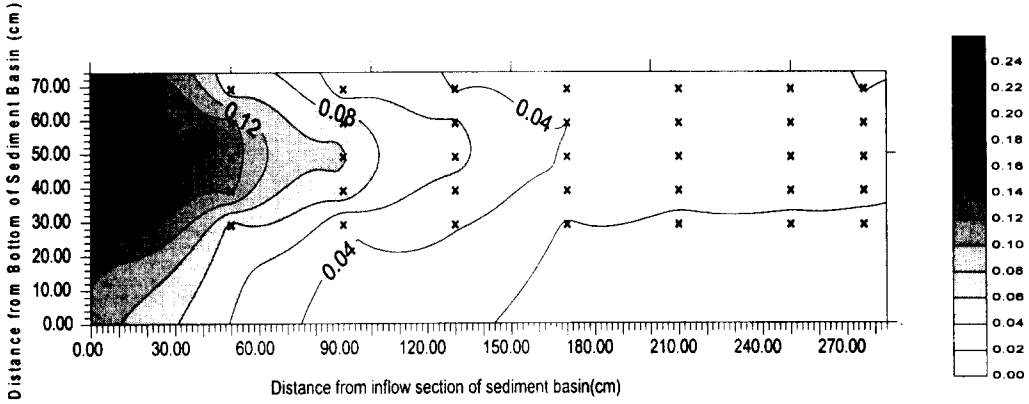


그림 10 유량이 0.8 m<sup>3</sup>/hr일때의 침전지내의 MRT Contour

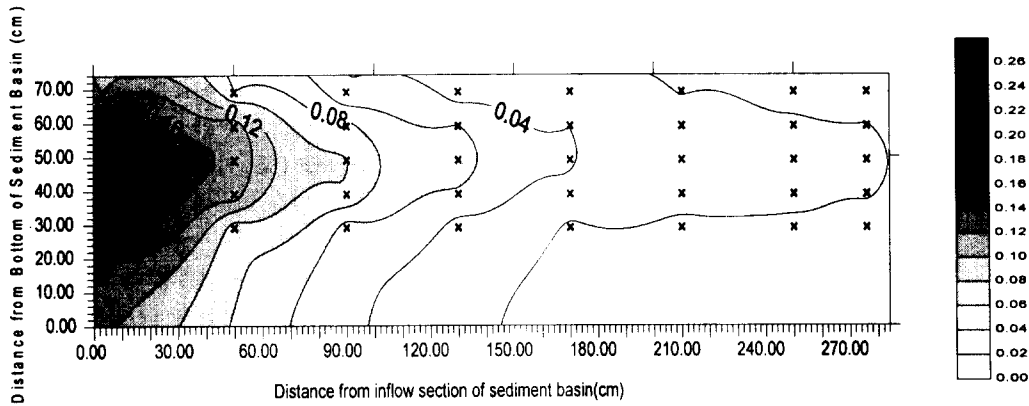


그림 11 유량이 1.44 m<sup>3</sup>/hr일때의 침전지내의 MRT Contour

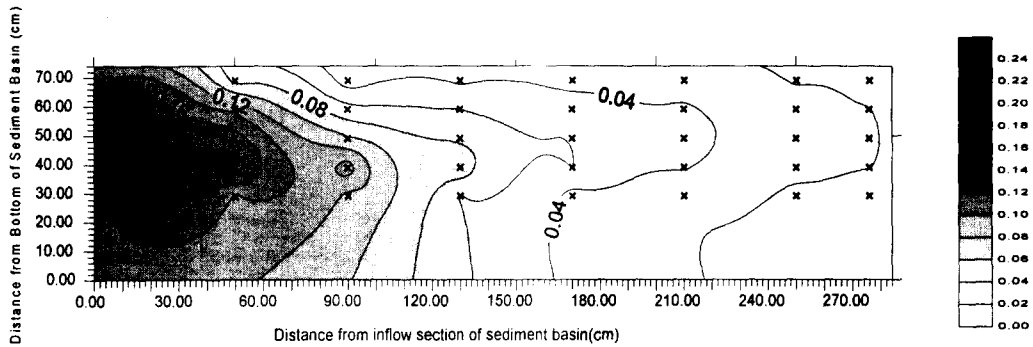


그림 12 유량이 2.0 m<sup>3</sup>/hr일때의 침전지내의 MRT Contour

#### 4. 결론

방사성 동위원소 추적자를 이용한 침전지내 플럭의 이동경로를 분석하기 위한 실험을 한 결과 침전지내의 유속분포는 수면으로부터 침전지 바닥방향으로 갈수록 감소하는 경향을 나타내고 있다.

유량이 증가함에 따라 플럭의 이동속도도 증가하는 양상을 보이고 있으며, 유량이 어느 정도 이상되면 일단 침강되던 플럭이 재상승하는 현상이 나타났다. 이와 같은 현상을 이용하여 침전지 유출웨어 부분의 적정 부하율을 결정할 수 있으며, 침전지 유입부분에서 130cm정도 떨어진 곳부터 검출되는 동위원소의 양이 크게 차이가 나지 않는 것을 감안할 때 유출웨어를 상당부분 앞으로 이동시킬수 있으며 이 경우 finger형 유출웨어가 적절한 것으로 판단되고 있다. 또한, 이와같은 동위원소의 추적을 통하여 플럭의 침전제거 효율도 쉽게 판단할 수 있는 장점이 있다.

#### 감사의 글

본 연구는 G-7환경공학기술개발사업의 지원과제로 수행되었으며 연구비 지원에 깊은 감사를 드립니다.

#### 5. 참고 문헌

- AWWA, (1990), "Water Quality and Treatment", A Handbook of Community Water Supplies, 4th edition, McGraw Hill INC.
- James M. Montgomery, (1985). "Water Treatment Principles and Design", Consulting Engineers INC., 1985
- Hudson H. E. Jr., (1972), "Density Considerations in Sedimentation", Journal of AWWA, Vol. 64, No. 6, pp. 382-385.
- 최계운, 박창호, (1972). "침전지 유출웨어 형태에 따른 침전효율 비교", 수자원기술정보, 제10호, 한국수자원공사.
- 한국수자원공사, (1992), "정수처리 능력 향상에 관한 연구", 한국수자원공사.