

# Drifter를 이용한 저수지 수리거동 조사 (용담댐을 중심으로)

이요상\* · 고덕구 · 채효석 · 한경민

(K-water 연구원)

Observation of Reservoir Current Using Drifter (The Case Study of Yongdam Reservoir). Lee, Yosang\*, Deok-koo Koh, Hyo-sok Chae and Kyung-Min Han (K-water Institute, Daejeon 305-730, Korea)

The current of the water body is very important information for the water quality management on reservoirs. It is applied to hydraulics and water quality model for simulation. In this regard, the current characteristic of water body is the basic information that can be used to predict various conditions. However, it is very slow flowing and is affected by the reservoir operations and external factors. As such, an accurate measurement of the current is a difficult problem. In order to measure the water current, we constructed a drifter. According to the result of flow survey at Yongdam reservoir, 5 m and 10 m depth layer flow was investigated from the upstream to the downstream, during a flood period. Maximum flow rate of 5 m depth is 13.8 cm sec<sup>-1</sup> and 10 m depth shows 4 cm sec<sup>-1</sup>, respectively. But 2 m depth shows a backward flow and maximum flow rate is 4 cm sec<sup>-1</sup>. Density currents flow plays the role of back flow in reservoirs. Flow velocity in the reservoir was measured in the range of 1~2 cm sec<sup>-1</sup>, at normal flow season, and the flow direction were different for each survey. This phenomenon occurs because the reservoir volume is very large, compared to the inflow and outflow volume.

**Key words :** current, reservoir, drifter, flow velocity

## 서 론

### 1. 목적

저수지에서 수체의 이동특성 조사는 홍수기 탁수관리나 평수기 수질관리를 위해 매우 중요한 정보이며, 최근 수리 및 수질모형 발달에 따라 다양한 자료를 수집하여 모형의 정밀도를 높이고 있는 관점에서 그 중요성은 더

욱 커지고 있다. 그러나 저수지 수체는 흐름이 매우 느리고 저수지 운영에 따른 변화에 영향을 받으며, 바람 등 외부요인에도 영향을 받게 되므로 정확한 측정이 어려운 문제가 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해서는 실시간 관측장비와 같은 첨단기술을 이용하여 장기간 조사를 실시하면 많은 문제점을 해결할 수 있다. 해양에서는 오래 전부터 부이(Drifter)를 이용하여 기상요소와 해양요소 등 다양한 항목을 대상으로 관측을 수행하여 왔다. 그러

\* Corresponding author: Tel: 042) 870-7421, Fax: 042) 870-7419, E-mail: yslee@kwater.or.kr

나 내륙에서는 대부분의 요소를 육상에서 측정하기 때문에 해상에서와 같이 집적된 측정장비가 장착된 부이를 사용할 필요가 없다.

본 연구는 내륙의 대규모 저수지에서 수체의 흐름특성 측정만을 목적으로 하였다. 저수지 수체 거동 관측에 사용된 부이는 실시간 관측이 가능한 장치이며, 개발된 부이를 이용하여 저수지 위치 별, 수심 별, 시기 별 등 다양한 조건에서 조사를 실시하여 정확한 실측자료를 제공함으로써 수질관리 및 수질모의 등 다양한 목적에 활용할 수 있도록 하고자 한다.

## 2. 연구동향

Drifter를 이용한 수체거동 조사는 해외에서 많은 조사 자료가 발표되고 있으며 전자장비와 통신의 발달로 첨단 장비로 개발되어 사용되고 있다. Crawford 등은 numerical tidal model을 개발하기 위해 1 m폭의 drogue가 있는 실린더형 5 m 길이의 drifter와 3 m폭의 drogue가 있는 실린더형 10 m 길이를 이용하여 캐나다의 Dixon하구에서 2~20일 동안 수체 거동을 측정하였다. 하구에서의 수체 흐름은 조류에 영향을 받아 흐름방향이 많이 바뀌나 하구폭이 넓어 장시간 측정이 가능하였다. 연구를 통해 비용 절감형 조사 방법과 넓은 지역을 조사할 수 있는 기법을 제시하였다(Crawford *et al.*, 1998). Thomson 등은 인공위성을 이용한 GPS를 활용하여 약 2년에 걸쳐 북태평양에서 해류의 이동을 조사 함으로서 쿠릴열도 부근에서 시작하여 미국의 하와이를 지나는 지점까지 해류의 장거리 이동을 조사하였다(Richard *et al.*, 1997). Perez 등은 수심이 낮고 폐쇄된 만에서 GPS-based, Radio-tracked, surface-drifter를 사용하여 수체의 거동을 조사하였다. 텍사스만과 하구에서 조사된 결과에 의하면 값싼 장비를 사용한 경우에는 자료의 수집이 잘되지 않은 것으로 나타났다으며, 장비에 대한 자세한 설명과 부품가격, 부품사양 등에 대하여 보고하였다(John *et al.*, 2003). Schmidt 등은 0.5 m 길이의 drifter를 사용하여 수심 1~2 m 정도 근해의 해류 거동을 조사하였다. Drifter는 실시간으로 0.1 Hz를 사용하는 GPS와 바닥에 장착된 acoustic current meter로부터 자료를 수집하였다(Schmidt *et al.*, 2003). William 등은 하천용 drifter를 이용한 조사결과를 보고하였다. 하천용은 물에 잠기는 부분이 50 cm도 안되게 짧게 제작하였으며, 미국 워싱턴주의 Skagit river에서 집단적으로 20개의 하천용 drifter를 흘려 보내면서 하천의 거동을 조사하였다(William *et al.*, 2003).

내륙 저수지에서 수체거동을 조사한 경우는 일본 Lake

Biwa에서 발표되었다. Lake Biwa에서는 30년 이상 수체의 거동을 조사하였으며, 두 가지 관측기술을 적용하였는데 하나는 buoy-tracking이고, 다른 하나는 continuous current metering이다. 1979년과 1986년에 발표된 자료에 의하면 비와호의 수체흐름 속도는 0.1 내지 0.2 m sec<sup>-1</sup> 정도로 관측되었고, 최대 0.4 m sec<sup>-1</sup>로 관측되었다고 발표하였다. 또한 Lake Biwa는 수체가 커서 시계방향 또는 반시계 방향으로 수체가 거동하는 궤적을 뚜렷하게 추적하였다(Seisuo *et al.*, 1995). 국내에서는 drifter를 이용한 저수지 수체 거동 조사는 아직 없었으나, 본 논문을 통해 대표적으로 용담댐을 대상으로 추진한 조사결과를 보고하고자 한다.

## 재료 및 방법

### 1. 조사 장비

저수지 수체의 거동을 조사하기 위해서는 크게 수체거동정보 생산부이 시스템과 수집서버 및 데이터베이스 서버로 구성된 시스템이 필요하다. 수체거동정보 생산부이 시스템은 Fig. 1에 표시된 Buoy system이며, 물위에 떠 있으면서 위치정보를 송수신하는 부이와 조사 대상수심을 결정하는 Drogue로 구성되어 있다. Fig. 1(b)에서 부이와 Drogue간에 연결된 줄의 길이(L)를 조절 하므로써 조사 수심을 결정할 수 있다.

현장 조사 시에는 부이에 장착되어 있는 GPS를 통해 현재의 위치가 매번 정해진 시간 간격마다 본체 내부의 메모리에 저장되며, 조사자가 설정한 시간간격으로 위치정보를 수신국으로 전송하도록 Fig. 1과 같이 구성되어 있다. 수체이동 부이의 데이터 수신은 CDMA에서 송신된 데이터를 자체적으로 수집하여 데이터형태로 변환한 뒤 실시간으로 표출하고 저장한다. 본 시스템은 최대 10개의 부이를 동시에 추적 및 모니터링 할 수 있다.

### 2. 대상지 선정 및 조사 방법

저수지에서 수체의 이동특성을 조사하기 위해 용담댐을 대상으로 선정하였다. 대상 댐 저수지는 전주권의 용수공급과 하류 홍수피해를 방지하기 위하여 금강 상류에 건설된 다목적댐으로서 진안군, 장수군, 무주군의 일부가 유역에 포함되어 있으며, 유역면적 930 km<sup>2</sup>, 저수면적 36.2 km<sup>2</sup>의 규모로 5개의 주요 유입하천이 있으며, 2곳의 취수탑을 통해 매일 일정량의 방류를 실시한다.

저수지 수체 거동특성 조사는 시기별로 나누어 조사하

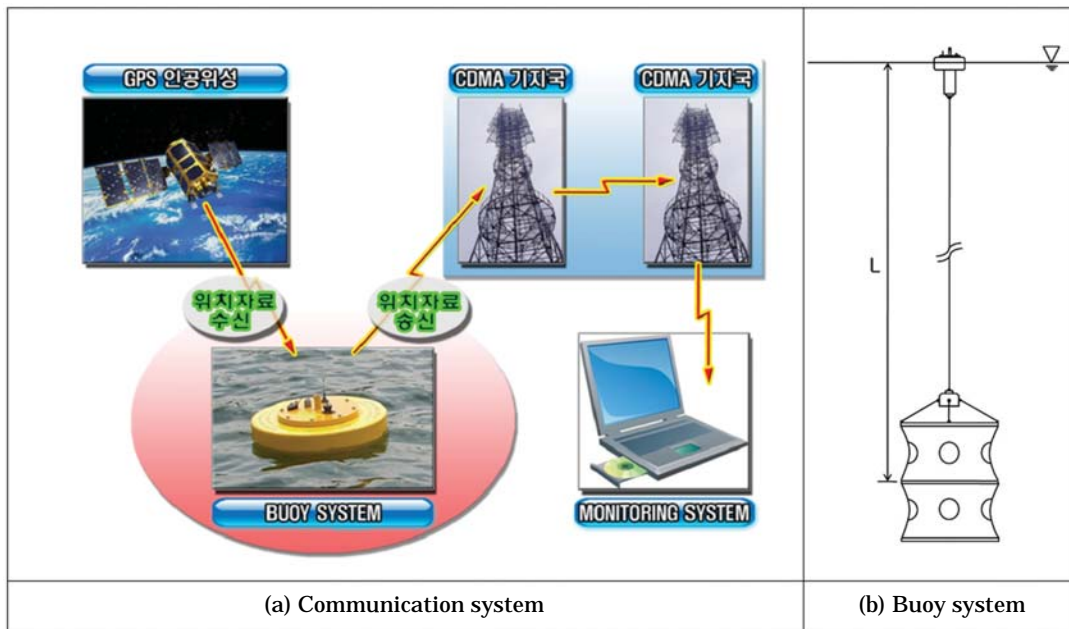


Fig. 1. Concept of drifter data communication system.

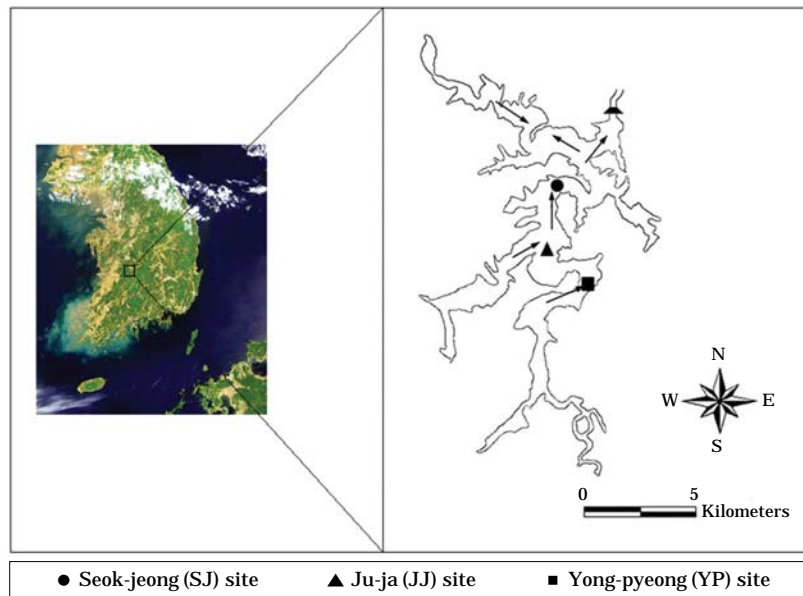


Fig. 2. Survey site for flow velocity.

였으며, 평수기와 홍수기로 나누어 실시하였다. 평수기의 조사는 주로 용담댐 저수지 석정교지점(SJ)에서 실시하였으며, 홍수기 조사는 용담댐 유역 상류지역인 용평대교 지점(YP)부터 석정교지점까지 전반에 걸쳐 조사하였다 (Fig. 2).

### 결과 및 고찰

저수지 수체거동 조사결과는 시기별로 이루어졌으며, 저수지의 수심에 따른 흐름특성 차이를 평가하기 위해 수심별로도 조사를 실시하였다. 현장에서 오랫동안 수행한 많은 조사 결과를 평가해본 결과 2가지로 구분하여

제시하였으며, 유·출입량 변화가 큰 홍수기와 유·출입량이 일정한 시기로 나누었다.

**1. 유·출입량 변화가 큰 기간의 수체거동**

저수지에서 유·출입량의 변화가 큰 기간은 홍수기로 2011년 조사는 8월 10일부터 12일까지 약 46 hr 동안 용평대교지점 (YP)에서 조사를 실시하였다. 8월 7일부터 시작된 강우는 7일 69.1 mm, 9일 131 mm가 내렸으며, 조사기간인 8월 10일에는 66.2 mm, 11일 27.6 mm가 발생하였다. 이로 인해 유입량은 8월 7일 35 CMS에서 8일 409 CMS, 9일 890 CMS로 급격히 증가 하였으며, 조사당일인 8월 10일에는 860 CMS, 11일 455 CMS가 발생되었고, 13일부터 감소하였다.

수위는 7월에 발생한 강우로 인하여 8월 7일 257 EL.m 까지 상승되어 있었고, 8월 7일 이후 점차 상승하여 조사당일인 8월 10일에는 261.2 EL.m로 최고수위가 되고 8월

12일부터 점차 하강하여 13일 이후에는 약 260 EL.m을 유지하였다. 방류량은 8월 7일 이전 약 25 CMS 이하를 유지하다가 8월 8일 116 CMS, 9일 276 CMS, 조사당일인 10일에는 367.5 CMS 11일 512 CMS로 계속 증가하였고 이후 점차 감소하여 16일 이후부터 약 20 CMS로 유지하였다 (Table 1).

저수지 수체 거동조사는 용평대교지점에서 2 m, 5 m, 10 m 수심 별로 실시하였다 (Fig. 3). 2 m 수심의 평균속도는 1.3 cm sec<sup>-1</sup>를 나타내었으며, 유입량 및 방류량이 크게 증가했지만 하류에서 상류 방향으로 이동하였다. 이는 유입량에 비해 방류량이 적어 수위가 상승하면서 역류하는 것으로 판단되었다.

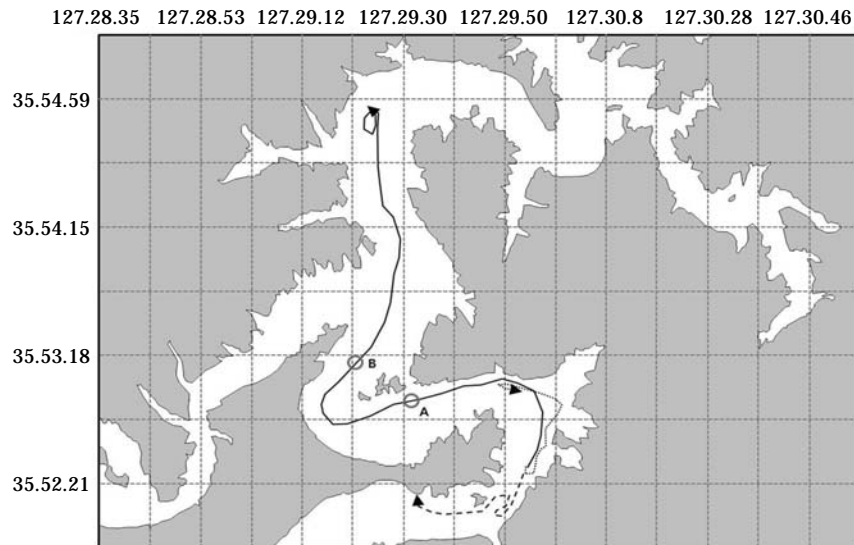
조사 초기 유입량 및 방류량이 증가하는 시기에는 평균유속이 4 cm sec<sup>-1</sup> 이상을 나타내나, 다시 유입량이 감소하는 기간에는 평균유속이 2 cm sec<sup>-1</sup> 이하를 나타냈다 (Fig. 4). 이러한 결과로 볼 때, 2 m 수심은 유입량과 방류량 변화에 영향을 받는 것으로 판단되었다.

2 m 수심 저수지 유속 측정값을 히스토그램으로 나타내었다. 전체적으로 0~6.5 cm sec<sup>-1</sup> 사이에서 유속이 나타났으며 1.0 cm sec<sup>-1</sup>의 유속이 27.1%로 가장 많이 나타났고, 0.5~1.5 cm sec<sup>-1</sup>의 유속 값이 72.9%를 차지하였다 (Fig. 5).

5 m, 10 m 저수지 수심에서는 수체의 흐름이 상류에서 하류로 이동하는 것으로 조사되었다. 8월 10일 조사초기에 수심 5 m 에서는 평균유속 4.06 cm sec<sup>-1</sup>로 이동하다가 18시 46분에 최고 유속인 13.8 cm sec<sup>-1</sup>로 상승하였다. 이는 14시경부터 유입량이 증가하여 18시 30분경에 1,600

**Table 1.** Hydraulic conditions at flood period.

Date	Water level (EL.m)	Inflow (CMS)	Outflow (CMS)	Rainfall (mm)
2011.08.07	257.13	34.548	21.701	69.1
2011.08.08	258.0	409.2	115.5	19.4
2011.08.09	259.8	889.9	275.5	131.6
2011.08.10	261.2	860.1	367.5	66.2
2011.08.11	261.1	454.5	511.9	27.6
2011.08.12	260.4	271.2	507.1	8.4
2011.08.13	260.0	153.3	296.1	1.8
2011.08.14	259.8	92.2	176.7	4.4



**Fig. 3.** Trajectory of drifters at flood period (2011.08.10~12)

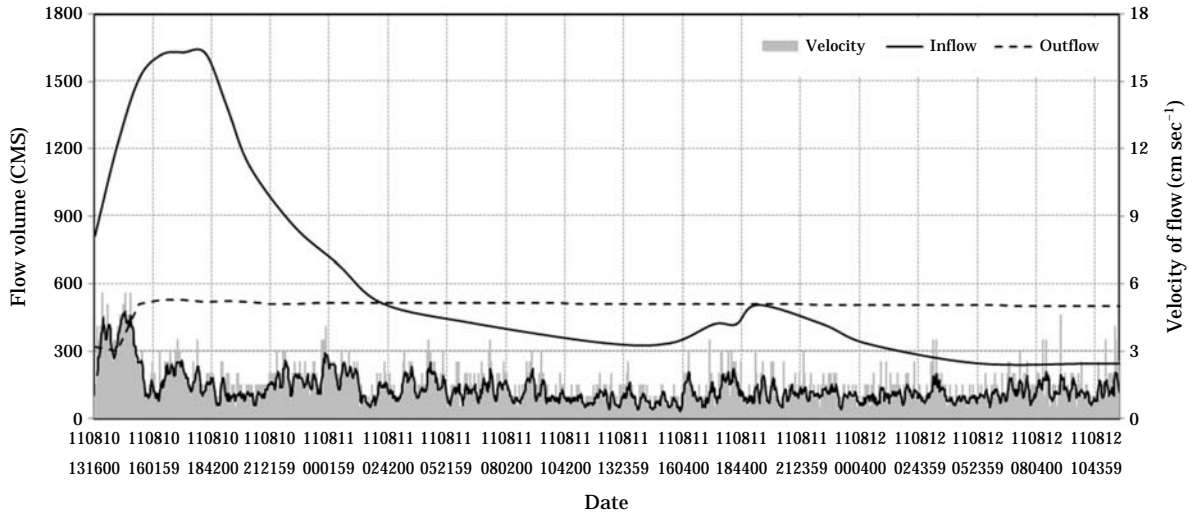


Fig. 4. Flow volume and velocity (2 m depth).

CMS까지 증가하면서 영향을 미친 것으로 판단되었다. 그 이후 20시 46분까지 약 10 cm sec<sup>-1</sup> 이상의 유속으로 측정되었고, 이후 유속이 점점 느려지면서 6 cm sec<sup>-1</sup> 이하로 측정되었다. 그 이후에 2번 (A지점, B지점) 유속이 증가하는 현상이 나타나지만 이는 유량변화가 없는 시기이므로 지형적인 영향에 의한 것으로 판단되었다. 이상의 결과로 볼 때, 5 m 수심은 유입량과 방류량 변화에 많은 영향을 받는 것으로 판단되었다.

5 m 수심 저수지 유속 측정값을 히스토그램으로 나타내었다 (Fig. 7). 유입량 및 방류량의 증가로 인해 0~13.5 cm sec<sup>-1</sup>로 다양한 유속이 나타났으며, 2.5 cm sec<sup>-1</sup>의 유속값이 12.3%로 가장 많이 나타났다. 0.5~5.0 cm sec<sup>-1</sup>의 유속값이 전체의 87.4%로 대부분을 차지하였으며, 급격한 유입량 변화로 10 cm sec<sup>-1</sup> 이상의 유속도 많이 측정되었다.

용평대교지점에서 10 m 수심의 유속조사는 8월 10일 13시 40분 시작하여 12일 11시 44분까지 약 45시간 동안 실시하였다. 조사 초기 유입량 및 방류량이 증가하여 11일 3시까지 평균유속은 1.73 cm sec<sup>-1</sup>이 측정되었고, 이후 유입량이 감소하다가 다시 증가하는 20시 50분에 평균유속은 1.09 cm sec<sup>-1</sup>이며, 다시 유입량이 감소하는 기간에는 평균유속이 1.07 cm sec<sup>-1</sup>로 나타났다 (Fig. 8). 특이하게 조사 후반에는 흐름이 역류하는 것으로 나타났다. 이상의 결과로 볼 때, 10 m 수심은 유입량과 방류량 변화에 조금 영향을 받는 것으로 판단되었다.

저수지 유속 측정값을 히스토그램으로 나타내었다. 전체적으로 0~6.0 cm sec<sup>-1</sup> 사이의 유속이 나타났으며, 1.0 cm sec<sup>-1</sup>의 유속값이 전체의 26.2%로 가장 높게 나타났

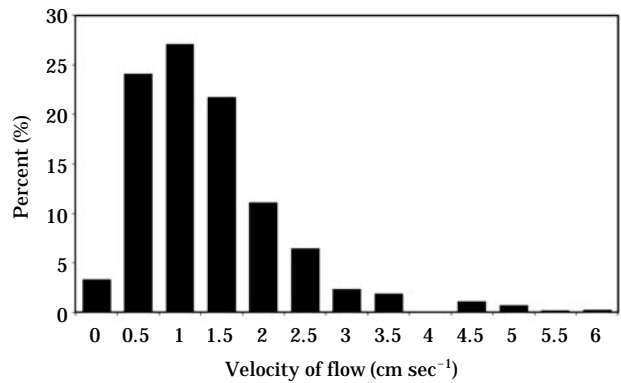


Fig. 5. Histogram of flow (2 m depth).

다. 또한 0.5~2.0 cm sec<sup>-1</sup>의 유속 값이 전체의 85%로 대부분을 차지하였다 (Fig. 9).

저수지에서 수층에 따라 흐름 특성이 상이한 것은 저수에서 밀도류 흐름이 발생하기 때문이다. 저수지는 Fig. 10에서 보는 것처럼 수심에 따라 수온이 상이하다. 따라서 상류에서 저수지로 들어오는 유입수는 유입흐름에 의하여 밀도류가 형성되며 저수지 내에서는 국부적으로 또는 저수지 규모가 작으면 전 수역에 걸쳐 혼합과 순환이 일어나게 된다 (윤태훈, 1991). 이번에 조사한 유입 하천수의 온도가 18~19°C이므로, 이 온도는 저수지 수심 7 m에 해당된다. 따라서 7 m 수심에서 가장 빠른 유속이 형성된 것으로 판단되며, 그 보다 조금 높은 5 m 지점에서는 유속이 7 m 지점보다 조금 느린 것으로 판단되었다. 수심 10 m 지점의 수온은 약 10°C 정도이므로, 유입수의 영향을 작게 받는 것으로 판단되었고 2 m 지점의 수온은

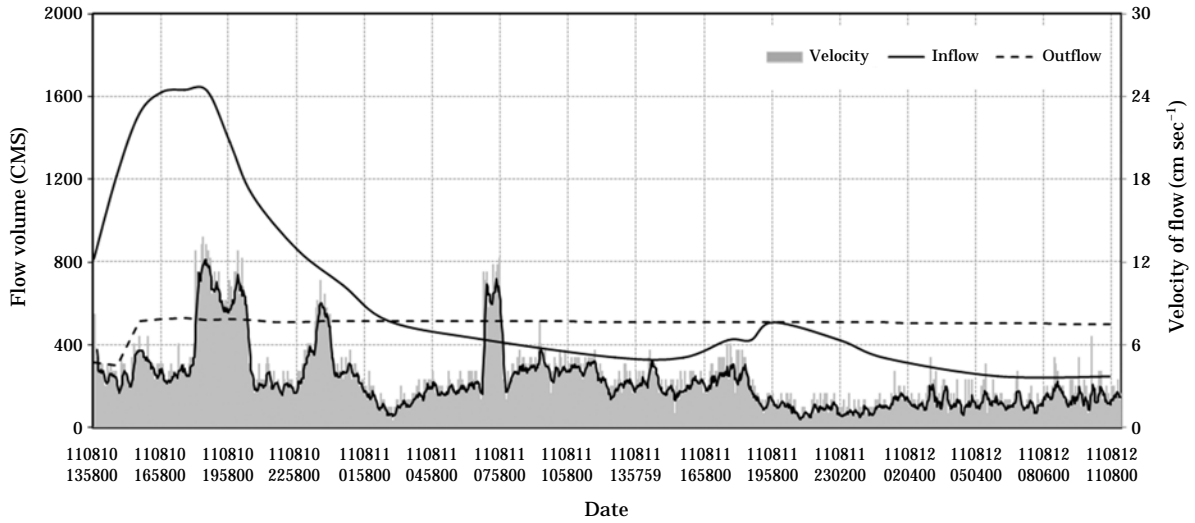


Fig. 6. Flow volume and velocity (5 m depth).

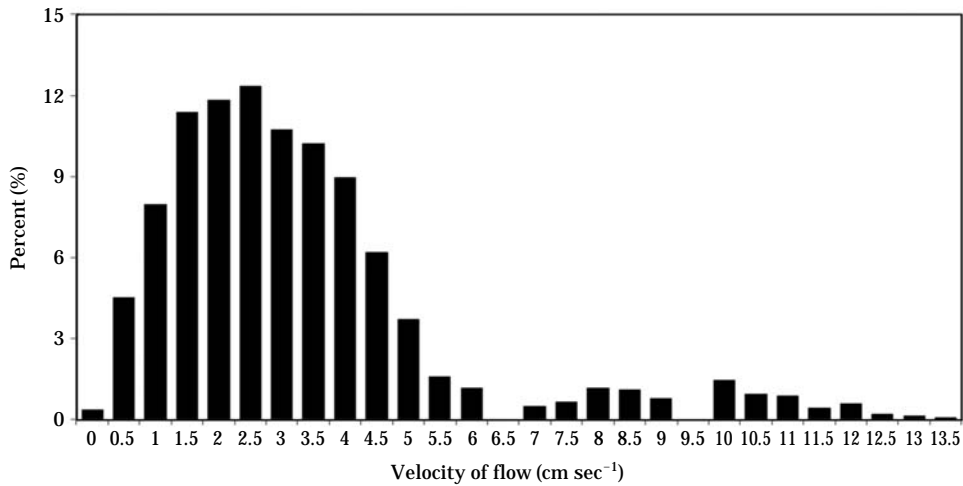


Fig. 7. Histogram of flow (5 m depth).

약 25°C 정도가 되므로, 상류에서 유입된 유입수의 흐름에는 거의 영향을 받지 않고 수위가 올라가면서 영향을 받는 것으로 평가되었다.

**2. 유·출입량 변화가 작은 기간의 수체거동**

평수기 및 갈수기와 같이 유·출입량 변화가 작은 기간에도 수체거동은 2 m, 5 m, 10 m의 측정수심에서 수행하였으며, 석정교 하류 지점에서 조사를 실시하였다.

**1) 수심 2m의 거동**

측정수심 2 m의 수체거동은 2011년에 총 5차례 조사

하였다(Table 2). 저수지 수위는 258~260 EL.m을 유지하며 수위 변화는 크게 없었고, 유입량도 큰 변화 없이 0~16 CMS를 나타냈으며, 방류량도 12.6~17 CMS로 나타났다. 5회의 조사결과 수심 2 m에서의 수체는 일정한 방향으로 흐름이 발생하지 않았고 불규칙한 움직임을 보였다. 유출입이 적고 안정된 기간이어서 흐름속도는 0.5~2 cm sec<sup>-1</sup> 범위를 나타내었다(Fig. 11).

저수지 수체 유속 측정값 분포를 히스토그램으로 분석한 결과 0~5.5 cm sec<sup>-1</sup> 사이에서 유속이 나타났으며, 1 cm sec<sup>-1</sup>의 유속이 전체의 29.1%로 가장 많이 나타났고 0.5~2.0 cm sec<sup>-1</sup>의 유속이 84%로 대부분을 차지하였다.

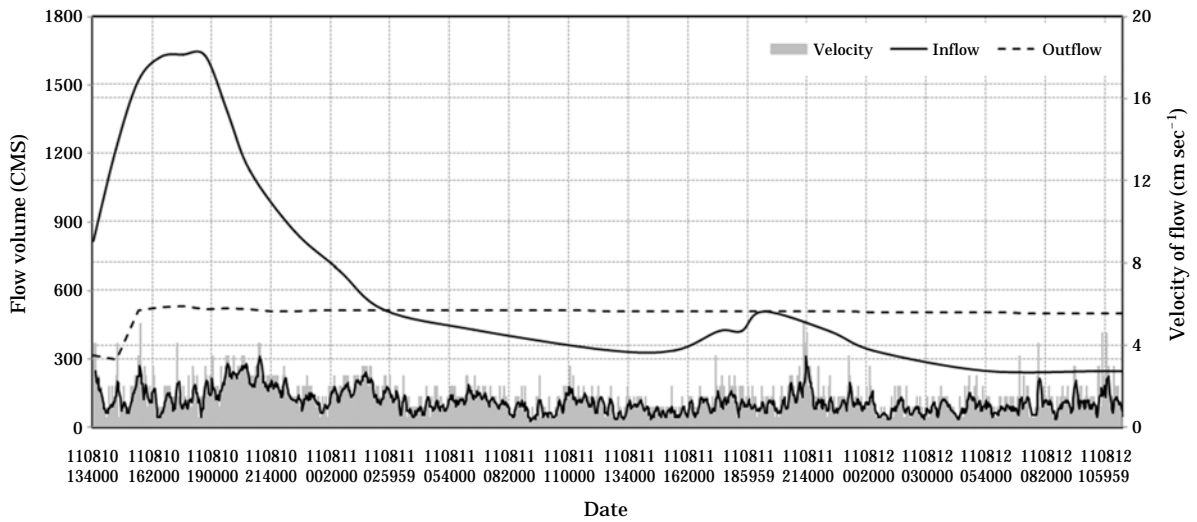


Fig. 8. Flow volume and velocity (10 m depth).

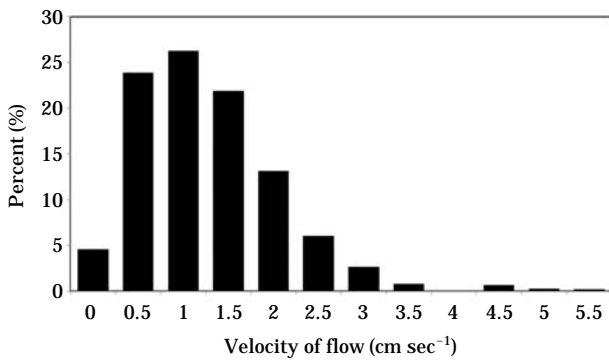


Fig. 9. Histogram of flow (10 m depth).

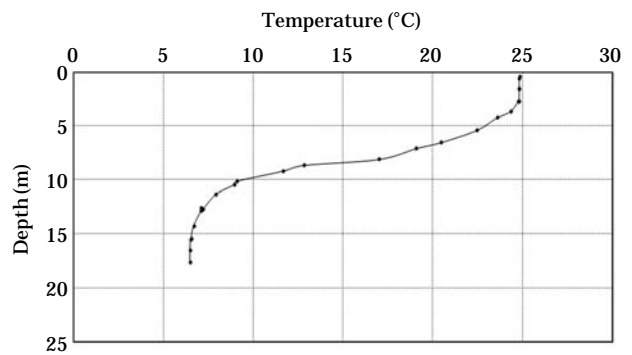


Fig. 10. Temperature profile in reservoir.

Table 2. Hydraulic conditions on 2 m depth survey at normal season.

Date	Period (hr)	Water level (EL.m)	Inflow (CMS)	Outflow (CMS)	Rainfall (mm)	Average velocity (cm sec <sup>-1</sup> )
2011.09.06	44.3	260	16	16	0	1.63
2011.09.16	30.4	260	16	16	0	1.37
2011.09.19	5.3	260	16	16	0.1	1.84
2011.10.13	87.0	259	3	17	0	1.49
2011.11.02	113.0	258	0	12.6	0	1.11

2) 수심 5 m의 거동

저수지에서 수심 5 m의 수체거동은 2010년부터 2011년 까지 총 5차례 조사를 실시하였다(Table 3). 저수지 수위는 2010년 조사에서는 246 EL.m으로 2011년에 비해 낮은 수위를 나타내었으며, 2011년은 259~260 EL.m의 수위를 나타내었다. 유입량은 큰 변화 없이 3~17 CMS를 나타냈으며, 방류량도 16~17 CMS로 큰 변화는 없었

다. 수심 5 m에서의 수체는 일정한 방향으로의 흐름은 발생하지 않고 하류에서 상류 이동과 상류에서 하류 이동 등 다양한 움직임을 보였다(Fig. 12). 저수지 수체 유속 측정값을 히스토그램으로 분석한 결과 0~6 cm sec<sup>-1</sup> 사이의 유속이 나타났으며, 1 cm sec<sup>-1</sup>의 유속이 전체의 28.1%로 가장 많이 나타났고 0.5~2.0 cm sec<sup>-1</sup>의 유속이 전체의 79.6%를 차지하였다.

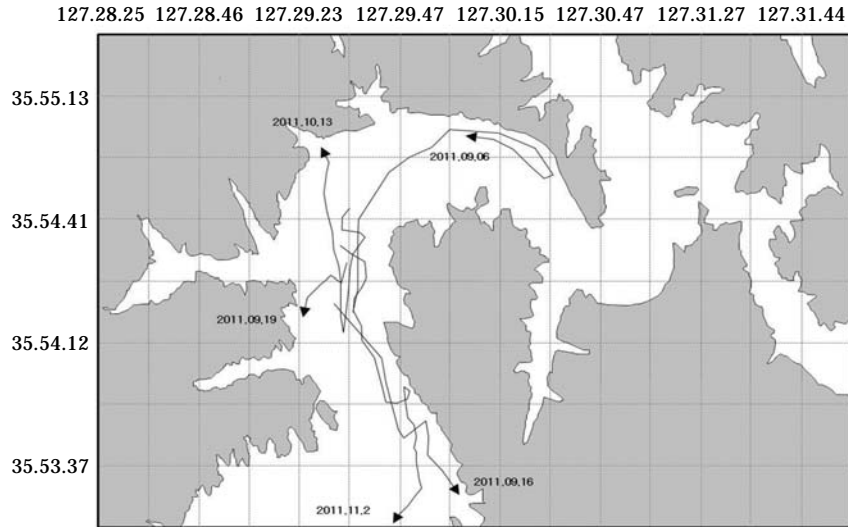


Fig. 11. Trajectory of drifters at normal season (2 m depth).

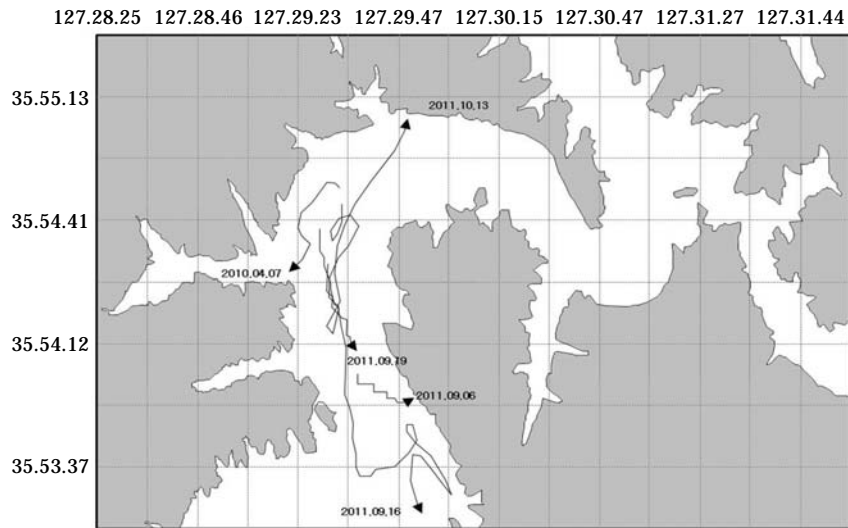


Fig. 12. Trajectory of drifters at normal season (5 m depth).

**3) 수심 10m의 거동**

저수지에서 수심 10m의 수체거동은 2010년 4월부터 2011년 11월까지 총 9차례 조사를 실시하였다(Table 4). 저수지 수위는 2010년은 243~245 EL.m을 나타내었으며, 2011년에는 248~258 EL.m을 유지하였다. 유입량은 2010년에는 4월 29일 1.6 mm의 강우로 인해 유입량이 38 CMS이며, 6월 8일과 23일에는 23과 2.6 CMS로 나타났다. 방류량은 2010년은 18~23 CMS로 나타났으며, 2011년에는 12.6~27 CMS로 나타났다.

수심 10m에서의 저수지 수체는 하류에서 상류로 상류

에서 하류로 이동이 나타났으며, 저수지 좌측과 우측으로도 이동하며 다양한 움직임을 보였다(Fig. 13). 저수지 수체 유속 측정값을 히스토그램으로 분석한 결과 0~6.0 cm sec<sup>-1</sup> 사이의 유속이 나타났으며, 1 cm sec<sup>-1</sup>의 유속이 전체의 29.1%로 가장 많이 나타났으며, 0.5~2.0 cm sec<sup>-1</sup>의 유속이 전체의 84%를 차지하였다. 이상의 결과를 볼 때 평·갈수기에 저수지는 저수지 체적에 비해 유·출입량이 적어 일정한 흐름패턴을 보이지는 않는 것으로 평가되었으며, 유속도 대부분 2 cm sec<sup>-1</sup> 이하로 천천히 유동하는 것으로 조사되었다.



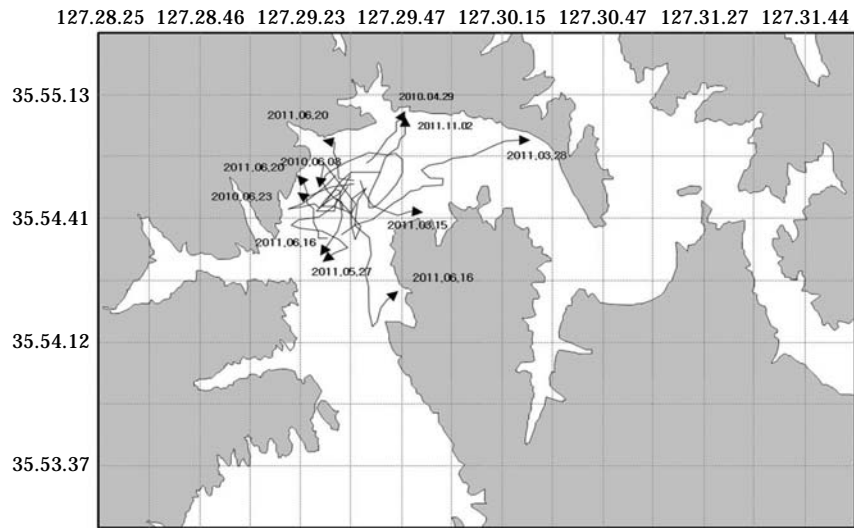


Fig. 13. Trajectory of drifters at normal season (10 m depth).

Table 3. Hydraulic conditions on 5 m depth survey at normal season.

Date	Period (hr)	Water level (EL.m)	Inflow (CMS)	Outflow (CMS)	Rainfall (mm)	Average velocity (cm sec <sup>-1</sup> )
2010.04.07	1.5	246	17	17	0	5.03
2011.09.06	5.5	260	16	16	0	2.35
2011.09.16	49.6	260	16	16	0	1.27
2011.09.19	4.1	260	16	16	0.1	2.40
2011.10.13	87.0	259	3	17	0	1.49

Table 4. Hydraulic conditions on 10 m depth survey at normal season.

Date	Period (hr)	Water level (EL.m)	Inflow (CMS)	Outflow (CMS)	Rainfall (mm)	Average velocity (cm sec <sup>-1</sup> )
2010.04.29	1.5	245	38	23	1.6	15.0
2010.06.08	45.0	244	23	23	0	1.7
2010.06.23	45.0	243	2.6	18	0	1.2
2011.03.15	22.4	251	27	27	0	2.8
2011.03.28	52.3	250	27	27	0	1.7
2011.05.27	24.1	250	27	27	0	1.2
2011.06.16	90.6	249	27	27	0	1.2
	96.2					1.1
2011.06.20	46.5	248	27	27	0	1.2
	46.4					1.2
2011.11.02	54.0	258	0	12.6	0	1.7

결 론

본 연구에서는 수체거동조사장비 (drifter)를 이용하여 용담 저수지에서 평·갈수기 및 홍수기 수체 거동특성을 조사하였으며, 다음과 같은 결과를 도출하였다.

1. 저수지에서 수심별 수체 거동 특성을 측정하는 수체거동조사장비 (drifter)를 제작하였다. 이 장치는 실시간으로 송신된 자료를 자체적으로 수집하여 데이터형태로 변환한 뒤 표출하고 저장할 수 있으며, 최대 10개의 장비를 동시에 추적 및 모니터링할 수 있다.
2. 저수지 수체 거동 조사결과는 유·출입량 변화가 큰

홍수기와 유·출입량이 일정한 시기로 나누어 분석하였다. 2011년 8월 홍수기에 조사한 수심 5 m, 10 m 수층은 상류에서 하류 방향으로 흐름이 형성되었으며, 5 m 수층은 최고 유속  $13.8 \text{ cm sec}^{-1}$ 를 나타냈고 10 m 수층은 최고 유속  $4 \text{ cm sec}^{-1}$ 를 나타냈다. 수심 2 m 층은 상류방향으로 역류하였으며 최고 유속  $4 \text{ cm sec}^{-1}$ 를 나타냈다. 이런 현상은 유입량이 큰 상태에서 저수지로 유입되는 하천수의 수온이 낮아 중층으로 밀도류를 형성하면서 수위가 높아져 나타난 현상으로 평가되었다.

3. 유·출입량이 일정한 평·갈수기에도 수심 별 유속을 측정하였다. 2 m, 5 m, 10 m 수심에서 측정된 유속은  $1 \sim 2 \text{ cm sec}^{-1}$ 로 측정되었으며 흐름방향은 조사 시마다 상이하게 나타났다. 이런 현상은 저수지 체적에 비해 평·갈수기의 유·출입량이 매우 적어 나타나는 현상으로 평가되었으며, 유속도 대부분  $2 \text{ cm sec}^{-1}$  이하로 느리게 이동하는 것으로 조사되었다.

## 인 용 문 헌

Crawford, W.R., J.Y. Cherniawsky and M.G.G. Foreman. 1998. Rotary velocity spectra from short drifter tracks. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology* **15**: 731-740.

John, C.P., J. Bonner, F.J. Kelly and C. Fuller. 2003. Development of a Cheap, GPS-Based, Radio-Tracked, Surface Drifter for Closed Shallow-Water Bay. Proceeding of the IEEE/OES Seventh Working Conference on Current Measurement Technology.

Richard, E.T., P.H. Neblond and A.B. Rabinovich. 1997. Oceanic odyssey of a satellite-tracked drifter: North pacific variability delineated by a single drifter trajectory. *Journal of Oceanography* **53**: 81-87.

Schmidt, W.E., B.T. Woodward, K.S. Millikan and R.T. Guza. 2003. A GPS-Tracked surf zone drifter. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology* **20**: 1069-1075.

Setsuo, O., J. Imberger and M. Kumagai (Eds.). 1995. Coastal and Estuarine Studies, Physical Processes in a Large Lake: Lake Biwa, Japan, American Geophysical Union.

William, S. and J. MacMahan. 2009. The Use of Position-Tracking Drifters in Riverine Environments, This work was funded through the ONR Coastal Geosciences Program, grants # N0001408WR20240, N0001408 WR20266, N0001408WR20292.

Yoon, T.H. and W.W. Han. 1991. The behavior and circulation of density current in a small reservoir. *Journal of KSCE* **11**(2): 27-37.

(Manuscript received 1 March 2012,  
Revised 4 May 2012,  
Revision accepted 14 May 2012)