

자율항법 무인측량선을 이용하여 산정된 노후저수지의 퇴사량 기준 최적경험식 산정

원창희, 윤현철*, 김원범
국립재난안전연구원 방재연구실

Estimation of Optimal Empirical Equations based on Sediments of Ageing Reservoir Estimated Using Autonomous Navigation USV

Chang-Hee Won, HyeonCheol Yoon*, Won-Beom kim

Disaster Prevention Research Division, National Disaster Management Research Institute

요약 가뭄은 한번 발생하면 사회·경제·산업 활동 등 인간의 생활 전반에 걸쳐 영향을 미치게 된다. 이러한 가뭄 등의 자연 재해로부터 국민의 생명과 재산을 보호하는 것은 국가의 중요한 책무이다. 현재 우리나라 저수지의 약 75.7%는 준공 후 50년 이상 경과된 노후 저수지이며, 이로 인한 토사 퇴적 등의 영향으로 제원정보 대비 저수능력이 부족할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 자율항법 무인측량선을 활용하여 노후 저수지 10개소에 대해 저수용량을 분석하고, 과거 경험적 공식에 의해 추정된 퇴사량과 비교·분석하였다. 분석 결과 6개 저수지는 제원정보 대비 약 16.2% ~ 55.3%의 저수용량이 감소하였으며, 4개 저수지는 제원정보 대비 약 1.5% ~ 380.2%의 저수용량이 증가하였다. 실제 측량 결과와 경험적 공식에 의한 퇴사량 비교·분석 결과 어린지와 용포 저수지는 유역면적만을 활용한 윤용남 공식(1982), 대곡과 우곡2, 오치 저수지는 유역면적과 유역경계의 총 연장, 유로연장을 매개변수로 활용한 서승덕(1988) 공식이 가장 유사하게 추정되었다. 연구 결과는 저수지 노후화에 따른 퇴적 증감폭과 같이 저수지의 효율적인 운영·관리를 위해서는 지속적인 측량이 필요함을 제안하였다.

Abstract A critical function of a nation is to protect its people's lives and properties from natural disasters such as a drought. A drought affects many aspects of human life, including social, economic, and industrial activities. Approximately 75.7% of reservoirs in Korea are over 50 years old. Sedimentation over the years may have caused a situation where storage capacity of the reservoirs is no longer sufficient and compliant with the original reservoir specifications. This study analyzes storage capacities for ten aged reservoirs using the autonomous navigation USV. It compares these capacities with sediment estimated by conventional empirical equations. Comparisons were made to the original specifications for the reservoirs. Storage capacity of six reservoirs decreased in a range between 16.2%-55.3% and storage capacity of 4 reservoirs increased in a range between 1.5%-380.2%. This data was compared to data derived from estimating sediment by empirical equations. Yoon's equation(1982) appeared more accurate than Sur's equation(1988) in Uhlinsi and Yongpo reservoirs, and Sur's equation(1988), however, appeared more accurate than Yoon's equation in Daegok, Ugok2 and Ochireservoirs. The significant ranges of sedimentation shown in this study suggest that it is worth continuously surveying reservoirs to ensure their efficient management and operation.

Keywords : Autonomous Navigation, USV, Ageing Reservoir, Storage Capacity, Drought

본 논문은 행정안전부 국립재난안전연구원의 지원("국가 가뭄정보 통합 예·경보 기술 개발", NDMI-주요-2020-01-01)에 의해 수행되었습니다.

*Corresponding Author : HyeonCheol Yoon(National Disaster Management Research Institute)

email: hcyoon82@korea.kr

Received November 21, 2019

Revised February 12, 2020

Accepted March 6, 2020

Published March 31, 2020

1. 서론

최근 5년(2013~2017) 동안 농업용수 분야 69,456ha, 생활용수 분야 99,582세대에서 가뭄으로 인한 피해가 발생하는 등 우리나라는 2008년 이후 매년 크고 작은 가뭄 피해가 반복되었다[1]. 이처럼 점차 심화되는 가뭄에 효율적으로 대응하고 가뭄 피해를 최소화하기 위해 정부 부처에서는 매년 가뭄종합대책을 수립하고 기존 수원의 효율적 관리·활용을 위해 저수지 준설 등의 물그릇 확보, 지하수 관정개발 등의 용수원 확보에 특별교부세, 한해대책비 등의 예산을 투입하고 있다. 지자체에서는 영농급수 이후 저수지 준설, 독 높임, 양수저류 등을 실시하여 가뭄에 대비한 저수를 확보를 위해 대응 중에 있다.

상습가뭄발생지역에 가장 효율적인 대응 방안은 댐·저수지 등의 신규 건설을 통한 수자원 확보이다. 그러나 개발적지의 감소 및 개발 제한구역 등의 환경적 측면과 보상비용의 증가로 인해 신규 개발에 한계가 있다. 따라서 기존의 수자원을 효율적으로 활용하기 위해 퇴적토사 등의 지속적 관리가 필요하다. 그러나 저수지 준설, 독 높임 사업 등으로 인한 유효저수량이 지속적으로 변화함에도 불구하고 예산 확보 등의 어려움으로 인해 측량을 미 실시하여 정확한 저수용량을 파악할 수 없는 실정이다.

우리나라의 저수지는 총 17,289개소로 농어촌공사 3,406개소, 지자체 13,883개소를 각각 관리 중에 있다. 그러나 이들 가운데 1967년 이전에 준공된 저수지가 전체의 약 75.7% (13,079개소)를 차지할 정도로 대부분의 저수지가 노후화되어 있으며, 저수지로부터 61.1%(432천ha)의 용수를 공급받고 있어 농업분야에 있어 매우 중요한 수리시설물이다[2]. 이렇듯 저수지는 지속적인 관리가 필요함에도 불구하고 대부분 준공당시의 제원정보만 관리되고 있으며, 특히 노후저수지는 퇴사량에 의한 저수용량 감소로 인해 제원정보 대비 담수능력이 부족할 수 있다. 농업용수를 안정적으로 공급하고, 실시간 저수지 저수율 관측 자료의 정확도 향상을 위해서는 저수지 준설을 통한 저수용량 확보와 더불어 내용적 측량을 통한 정확한 저수량 및 퇴사량 산정에 따른 수위-저수량 곡선식의 개발이 필수적이다.

국내 선행연구를 살펴보면 Chang et al.(2003)은 음향측심기와 RTK-GPS가 탑재된 유인보트를 활용하여 실시간 정밀 3차원 저수지 지형을 분석하여 농어촌공사 관리 저수지를 대상으로 내용적 물량 산출표와 비교·검토하였다[3]. Park and Jeong(2005)은 예당저수지의 유자관리를 위한 퇴사량 산정을 위해 DGPS 음향 측심기

가 탑재된 유인보트를 활용하여 기존 제원정보와의 유효저수량과 비교·분석하여 퇴사량을 산정하였으며[4], Choi and Lee(2007)는 DGPS와 음향측심기를 장착한 소형의 로봇선을 이용하여 저수지의 수심정보를 획득하고 담수량을 산정하여 유인보트를 활용한 기존의 담수량과 6.8%의 평균 오차를 확인하였다[5]. Choi et al.(2007)은 보트 운항속도에 따른 수심측량의 정확도 분석을 위해 DGPS와 음향측심기를 장착한 소형의 로봇선을 이용하여 2003년 유인보트를 활용한 측량 결과(농어촌공사)와 비교·분석하여 5km/hr 이내의 속도까지는 정규분포 신뢰구간인 95% 이내에 포함되는 것을 확인하였다[6]. Song et al.(2018)은 저수지 경계부분의 정확한 수심측정 및 지형정보 구축을 위해 GPS 및 음향측심기가 탑재된 무인보트와 무인항공기(UAV)를 활용하여 저수지의 3차원 지형정보를 구축하였으며 UAV를 이용하여 저수지 경계를 추출하는 것은 가능하나, 수심을 측정하기에는 한계가 있음을 제시하였다[7]. 그리고 Kim(2018)은 지형탐색 및 측량을 위하여 자동항법 시스템이 탑재된 무인수상정을 개발하여 저수지 적용 가능성을 검토하였다[8]. 국외에서는 Guerrero and Lamberti(2011)는 하천 수로형태와 유동장 분석을 위해 유량유속검이 등의 측정이 가능한 멀티빔 음향측심기와 ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler)가 각각 장착된 유인보트 2대를 이용하였으며, 하천 바닥 형상과 수로 크기, 마찰 속도 사이의 상관관계를 제시하였으며[9], Michael et al.(2012)은 유인보트에 장착된 LIDAR와 멀티 빔 음향측심기의 정확도 평가를 실시하였으며, 정확도 평가 결과 각각의 센서는 0.06m, 0.03m의 수평 RMSE 값을 도출하였다[10]. Ilci et al.(2019)은 수자원 관리자 측면에서 효율적 댐 운영과 향후 계획 수립, 수명 연장을 위한 예방 조치를 취하기 위해 수면 지형 변화를 지속적으로 모니터링 하는 것이 필요하며, GNSS GPS와 싱글 빔 센서가 탑재된 유인보트를 이용하여 수심측량을 통한 댐의 퇴사량을 분석하였다[11].

기존 연구사례와 같이 최근의 저수지 측량은 GPS와 수심측량 센서의 발달로 무인 보트를 활용하여 측량을 실시하고 퇴사량을 산정하는 연구가 활발히 진행되고 있다. 그러나 접근성이 불리한 산지 혹은 외곽지에 위치한 지자체 저수지에 유인보트를 활용할 경우 보트 운반수면 안착을 위한 장비 사용 등 상당한 시간과 비용이 발생한다. 또한 자동항법 기능이 탑재된 무인보트 개발은 진행 중에 있으나, 저수지에 적용하여 저수량을 분석한 사례는 없으며, 무인보트를 활용하더라도 자동항법 기능이 탑재

되지 않은 경우 운용자의 시각에 의존하여 보트를 조작하므로, 균일한 수심측량 간격을 확보하는데 어려움이 따르며 이는 곧 정확한 측량 결과 산출에 영향을 줄 수 있다.

따라서 본 연구에서는 자동항법 기능이 탑재된 무인측량선을 활용하여 노후저수지의 저수용량을 분석하고 우리나라 저수지 퇴사량 산정 경험식과 비교·분석 하였다. 이를 통해 가뭄 대비 효율적인 저수지 활용을 위해서는 주기적인 저수지 측량 및 관리가 필요함을 제시하였다.

2. 연구 방법 및 대상지역

2.1 연구 방법

저수지의 퇴사량 산정을 위한 방법으로는 음향측심기가 장착된 유무인 보트를 이용하여 현장측량의 결과를 활용하는 방법과 상류에서의 비유사량을 측정하여 비퇴사량으로 환산하는 방법, 경험적 공식을 적용하는 방법, GIS를 이용한 토사유실량을 산정하는 방법 등으로 구분할 수 있다[12, 13]. 여기서 비퇴사량(Sediment deposition rate)이란 홍수터 또는 저수지 등에 쌓인 퇴사량을 그 상류 유역의 면적과 퇴적시간으로 나누어준 양을 의미한다 [14].

저수지 준설을 위한 토사량 산정 등 효율적인 운영관

리를 위해서는 현장 측량 결과를 활용하는 것이 가장 효과적이나, 모든 저수지에 적용하기에는 예산상의 한계가 있다. 따라서 본 연구에서는 무인측량선을 활용하여 Fig. 1과 같이 지형측량, 수심측량, 데이터 추출, 저수량 산정, 수위-저수량 곡선식 개발로 구분하여 노후저수지의 저수용량을 분석하였고, 과거 우리나라 저수지 퇴사량 자료와 유역특성 인자간의 상관관계 분석을 통해 도출된 경험적 공식에 의한 퇴사량 산정 결과와 비교·분석하였다.

저수지 외곽 경계의 지형측량은 만수위 기준으로 실시하였으며, GNSS(Global Navigation Satellite System) GPS 센서(I70 모델)를 활용하여 네트워크 RTK(Real-Time Kinematic(실시간 이동측위)) 방식인 가상기준점(VRS, Virtual Reference Station) 방식으로 저수지 경계 위치(위경도) 및 저수지 수면 수심수위 측량하였고, GRS80 타원체, TM 동부원점 좌표계를 사용하였다.

광범위한 표면을 갖는 저수지의 수심을 보다 정밀하게 측량하기 위해서는 일정한 간격을 갖는 격자 형태의 세밀한 측량이 필수적이다. 본 연구에서 활용한 무인측량선은 Fig. 2와 같이 구글맵 기반의 자동항법기능이 탑재되어 정밀한 수심측량이 가능한 장점이 있다. 수심측량을 위한 무인측량선은 단범 음향측심기(싱글빔 센서)가 탑재되어 자동항법 구간과 수동 리모트 컨트롤러 사용 구간의 두 가지로 구분되어 수행된다. 저수지 중앙부는 구

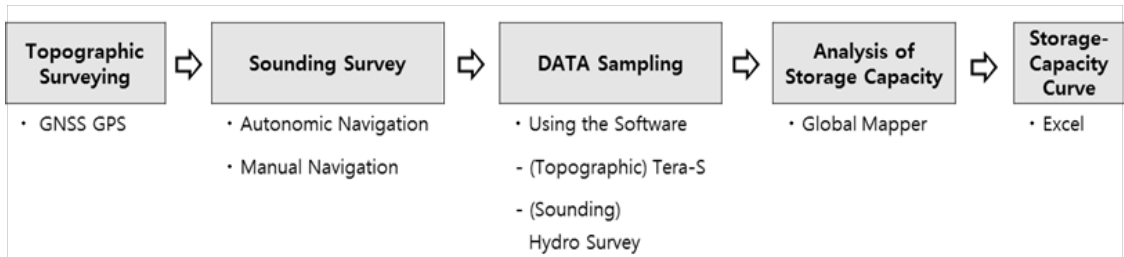


Fig. 1. Survey Process of Ageing Reservoir



Fig. 2. Unmanned Survey Vehicle(USV)

글맵 기반의 자동항법 기능을 활용하여 10m 간격으로 수심을 측량하였으며, 저수지와 수면의 경계구간, 수초 산재 구간 등에는 수동 리모트 컨트롤러를 사용하여 수심정보를 취득하였다. 또한 지형측량 성과물과의 데이터 결합을 위해 동일한 타원체 및 좌표계를 사용하였다. 본 연구에 활용한 무인측량선의 구성은 Table 1과 같이 보트, 수심(z, Depth) 측량을 위한 싱글빔 센서, 위치(x,y 좌표) 기록을 위한 GPS 센서로 구성되어 있다. 보트는 가로 최대 길이 1.1m로 1인 운반이 가능하며, 자동항법

과 수동 컨트롤러 병행 운항이 가능하다. 위치 기록을 위한 GPS 센서와 구글맵 기반 자동항법 기능 수행을 위한 GPS가 각각 따로 탑재되어 있어 측측 데이터 간 충돌 오류를 방지할 수 있다. 수심측량을 위한 싱글빔 센서는 최소 30cm에서 최대 200m까지 수심 측량이 가능하며, 0.01m의 해상도를 갖는다.

Table 1. USV specifications

Component	Classification	Specifications
Boat	Size	1.1m x 0.42m x 0.25m
	Battery	30,000mAh lithium battery
	Weight	Less than 5kg (without battery)
	Material	FRP + carbon
	Operation speed	5kn(2.6m/s)
	Maximum speed	9kn(4.63m/s)
	System operation	Autonomous Navigation / Manual remote controller
Single beam	Depth use area	minimum 30cm ~ Maximum200m
	Precision	±0.01 m + 0.1% x D (D=Depth)
	Resolution	0.01m
GPS	Precision	±8mm +1ppm RMS (Horizontal)
		±15mm +1ppm RMS (Vertical)

무인측량선을 이용한 저수용량 분석 결과는 과거 경험적 공식에 의한 퇴사량 산정 결과와 비교하였으며, Son and Shim(2004)에 의해 소개된 다양한 비퇴사량 산정 경험식 중 연구대상지역인 울산광역시 울주군과 경상남도 밀양시에 적용 가능한 윤용남 공식과 서승택 공식을 이용하여 비퇴사량을 산정하였다[15].

Yoon(1982)은 국내의 113개 저수지 퇴사 자료를 이용하여 다중회귀분석을 실시하였으며, 연평균 퇴사량 산정식은 다음 Eq. (1)과 같다[16].

$$V_s = 1334.08A^{-0.2}Et^{6.2668} \quad (1)$$

$$Et = \left[1 - \frac{1}{1 + 2.1(C/A)} \right]$$

여기서 V_s : 연평균 퇴사량(m^3/yr)
 A : 유역면적(km^2)
 Et : 저수지포착률
 C : 초기저수량(m^3)

또한 단순히 유역면적 A만을 사용하여 Eq. (2)와 같은 상관 관계식을 제안하였다.

$$V_s = 816.58A^{0.9005} \quad (2)$$

Suh(1988)는 유역면적 200ha 이상인 전국 122개 저수지 퇴사 자료를 이용하여 유역면적, 유역경계의 총연장, 유로연장의 3개 특성인자를 종속변수로 하여 퇴사량 추정식을 지역별(道별), 저수지 제방표고별로 제안하였다 [17].

경남 지역의 퇴사량 추정식은 Eq. (3)과 같으며, 저수지 제방표고별 산정식은 Eq. (4)와 같다.

$$V_s = (69.189A^{-2.168} CL^{-0.721} L^{-0.445}) \quad (3)$$

20m 이하: $V_s = (3.946A^{-1.829} CL^{0.067} L^{0.013})$

20~100m: $V_s = (29.237A^{-0.018} CL^{-1.725} L^{-0.316}) \quad (4)$

100m 이상: $V_s = (7.863A^{-1.568} CL^{-0.255} L^{-0.544})$

여기서 V_s : 연평균 퇴사량(m^3/yr)
 CL : 유역경계의 총 연장(km)
 L : 유로연장(km)
 A : 유역면적(km^2)

2.2 연구 대상지역

본 연구에서는 Fig. 3과 같이 울산광역시 울주군 소재 한국농어촌공사(KRC, Korea Rural Community Corporation) 관리 저수지 1개소(어린지)와 밀양시 관리 저수지 9개소(용포, 대곡, 덕암, 우곡2, 오치, 가곡, 삼손, 운정, 내곡)를 연구 대상지역으로 선정하였다. 어린지 저수지는 농어촌공사에서 2000년도에 수행한 측량 결과물인 내용적표와 본 연구 결과와의 비교분석을 위해 대상지역으로 선정하였으며, 지자체 관리 저수지 9개소는 과거 측량 자료가 없으므로 준공당시의 제원정보와 무인측량선을 활용한 측량 성과물을 비교분석하였다.

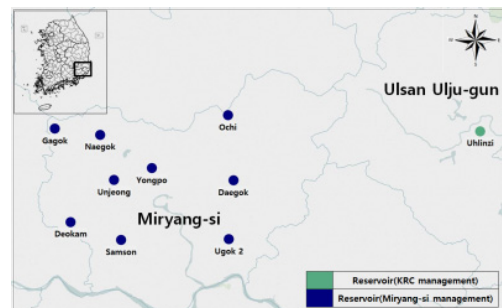


Fig. 3. Study Area

3. 무인측량선을 활용한 저수용량 분석

3.1 저수지 측량 결과

Fig. 4는 연구대상 지역인 밀양시 지자체 관리 저수지 대곡과 덕암 저수지의 위성영상 사진이다[18]. 무인측량선을 활용한 지형측량 및 수심측량 항적도는 Fig. 5와 같으며, 저수용량 분석(저수량 산정, 내용적표, 수위-저수량 곡선 개발)은 위경도(x, y), 수심(z), 수면(El.m) 데이터를 활용하여 상용 소프트웨어인 Global Mapper 19 버전을 이용하였다. 지형 및 수심정보를 활용한 수치표고자료(DEM, Digital Elevation Model) 변환 시 불규칙삼각망(TIN, Triangulated Irregular Network) 방법을 이용하였으며, 대곡 저수지와 덕암 저수지에 대한 수치표면모형(DSM, Digital Surface Model)은 Fig. 6과 같다. 전체 10개 저수지 중 2개 저수지(대곡, 덕암)의 위성사진, 항적도, 평면도, 유역경계 등에 대해 제시하였다.

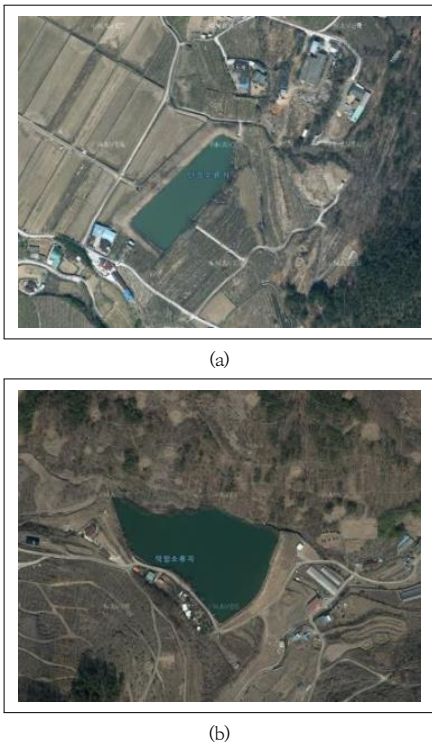


Fig. 4. satellite image
(a) Daegok reservoir (b) Deokam reservoir

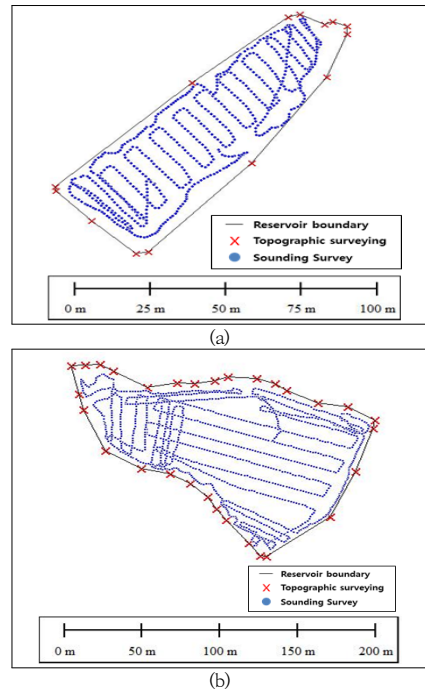


Fig. 5. Topographic surveying & track chart
(a) Daegok reservoir (b) Deokam reservoir

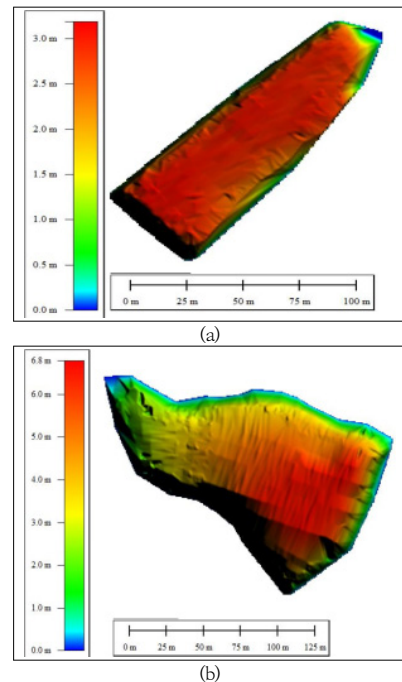


Fig. 6. Digital Surface Model
(a) Daegok reservoir (b) Deokam reservoir

3.2 저수용량 분석 결과

어린지 저수지는 1971년 준공되어 약 50년 정도 경과한 노후저수지로서, 2018년 8월 9일 측량을 수행하였다. 저수용량 분석 결과 Table 2에서 보는 바와 같이 제원정보(72,676m³) 대비 총저수량은 56,045m³으로 16,631m³의 저수용량이 감소하였으며, 이는 저수지 주변 산지 및 소하천으로부터 토사유입으로 퇴사량이 증가한 것으로 판단된다. 또한 과거 유인보트를 활용한 저수지 수심측량 결과는 측량간격의 불균일성 및 수심측량 포인트 부족으로 인해 최대 수심이 3.77m로 나타났으나, 자동항법 기능을 활용한 일정한 간격을 갖는 수심 정보를 취득하였을 경우 최대 수심은 4.82m로, 약 1.05m의 차이가 발생하였다. 이 결과는 자동항법 기능이 탑재된 무인보트를 활용하여 일정한 간격을 갖는 격자 형태로 수심측량을 수행할 경우 오차를 줄일 수 있으며, 보다 정밀한 측량이 가능함을 나타낸다.

Table 2. Analysis of storage capacity in Uhlinzl

Water Level (El.m)	Depth (m)	storage capacity(m ³)	
		KRC (2000년)	Survey result (2018.8.9.)
32.2	0		0
32.5	0.32		237
33.0	0.82		2,080
33.5	1.32	(El.m 33.23.) 0	4,911
34.0	1.82	10,606	8,807
34.5	2.32	18,736	13,725
35.0	2.82	27,588	19,784
35.5	3.32	37,375	27,325
36.0	3.82	48,192	35,824
36.5	4.32	60,011	45,367
37.0	4.82	72,676	56,045

밀양시 지자체 관리 저수지 9개소는 Table 3과 같이 대부분 준공 후 50년 이상 경과된 노후저수지로서, 2019년 4월 10일~4월 26일에 걸쳐 측량을 수행하였다. 공사관리 저수지와는 다르게 과거 측량을 수행한 이력이 없어 준공당시의 제원정보와 금회 측량 성과를 비교·분석하였다. 저수용량 분석 결과 5개 저수지(용포, 대곡, 덕암, 우곡2, 오치)는 준공 당시의 제원정보 대비 약 16.2%~55.3%의 저수용량이 감소하였다. 그러나 4개 저수지(가곡, 삼손, 운정, 내곡)는 준공 당시의 제원정보 대비 약 1.5%~380.2%의 저수용량이 증가하였다. 저수용량 감소는 50년 이상의 장기간에 걸쳐 태풍이나 집중호우에 의한 주변 산지 및 소하천으로부터 토사 유입으로 퇴사량이 증가한 것으로 판단되며, 저수용량 증가는 저수지

독높임, 제체보강 등의 사업으로 인한 것으로 판단된다. 특히 최대 수심이 19.2m로 측정된 가곡 저수지는 저수용량 확보를 위한 대규모 공사를 시행하였음에도 불구하고 측량은 미실시하여 제원정보 대비 저수용량이 380.2%나 증가하였다. 이와 같은 사례처럼 약 3억톤 이상을 담수할 수 있는 우리나라 지자체 관리 저수지는 노후화로 인한 저수용량 감소와 독 높임, 제체 보강, 여수로 증고 등의 유효저수량 변화 사업 후 측량은 미실시하여 저수용량 증감폭은 상당할 것으로 판단된다.

3.3 경험적 공식에 의한 비퇴사량 산정

무인측량선을 활용한 저수용량 분석결과 퇴적량을 확인할 수 있는 6개 저수지(어린지, 용포, 대곡, 덕암, 우곡2, 오치)와 Yoon(1982)과 Suh(1988)의 경험적 공식에 의한 비퇴사량 추정 결과를 비교·분석하였다.

경험적 공식 적용을 위한 유역면적, 유역경계의 총 연장, 유로연장 등의 저수지 유역 특성인자 도출은 우리나라의 30m 간격 수치표고자료를 이용하여 Fig. 7과 같이 QGIS 프로그램을 활용하였다. 저수지별 도출된 유역 특성인자는 Table 4와 같다. 여기서 유로연장은 분류 하천을 따라 유역 출구점부터 유역분수계까지의 거리를 나타내는 최원유로연장이다[19].



(a)



(b)

Fig. 7. Reservoir basin (a) Daegok (b) Deokam

Table 3. Analysis of storage capacity in Miryang-si reservoir(9 place)

Facility Name	Survey Date (2019year)	Completion Year	Maximum Depth (m)	Total storage capacity(1,000m ³)		Increase and Decrease (1,000m ³) / (Rate)
				Miryang-si (local government)	Survey result	
Yongpo	4.24.	1969	3.5	88.0	39.3	-48.7 / (-55.3%)
Daegok	4.12.	1945	3.2	32.0	15.6	-16.4 / (-51.3%)
Deokam	4.22.	1945	6.8	90.0	61.0	-29.0 / (-32.2%)
Ugok2	4.26.	1958	5.0	52.0	42.8	-9.2 / (-17.7%)
Ochi	4.25.	1984	8.2	61.0	51.1	-9.9 / (-16.2%)
Gagok	4.10.	1945	19.2	53.0	254.5	+201.5 / (+380.2%)
Samson	4.22.	1961	6.1	39.0	42.8	+3.8 / (+9.7%)
Unjeong	4.23.	1945	11.9	388.0	406.9	+18.9 / (+4.9%)
Naegok	4.11.	1945	13.3	153.0	155.3	+2.3 / (+1.5%)

Table 4. Reservoir basin characteristics

Facility Name	Completion Year	Basin area (km ²)	Basin perimeter (km)	Basin length (km)	Elevation (m)	Total storage capacity (1,000m ³)
Uhlinsi	1971	0.765	4.862	1.215	37.00	72.7
Yongpo	1969	1.017	5.280	1.386	68.10	88.0
Daegok	1945	0.450	4.080	1.689	77.64	32.0
Deokam	1945	1.846	7.741	2.216	59.70	90.0
Ugok2	1958	0.407	3.720	0.947	66.30	52.0
Ochi	1984	0.373	3.060	0.749	379.60	61.0

실측치와 경험적 공식에 의한 연평균 비퇴사량 비교 분석 결과는 Table 5와 같다. 어린지와 용포 저수지는 Yoon(1982) 공식(Eq. (2))의 단순 유역면적만 매개변수로 활용하였을 경우 실측치와 가장 유사하게 분석되었으며, 대곡과 우곡2, 오치 저수지는 Suh(1988) 공식(Eq. (3))의 유역면적과 유역경계의 총 연장, 유로연장을 매개변수로 활용한 경남 지역 회귀분석 모형이 실측치와 가장 유사하게 분석되었다. 그러나 덕암 저수지의 경우 4가지 경험식에서 실측치와 분석 결과 0.2~367.2%의 차이를 보인다.

실측치와 경험식에 의한 퇴사량 비교-분석은 저수지 준공 이후 한 번도 준설이 이루어지지 않았음을 가정하여 제원정보와 비교-분석한 결과로서 과거 준설 이력이 있을 경우 분석 결과는 달라질 수 있다. 그러나 지자체 관리 저수지는 담당 공무원의 잦은 인사이동, 관리대상 저수지 개소수 과다 등 저수지 관련 사업 자료의 유망실로 인해 정확한 정보를 확인하는데 한계가 있다.

Table 5. Analysis result

Facility Name	Survey result	Sediment deposition rate(m ³ /km ² /yr)			
		Yoon(1982)		Suh(1988)	
		Eq.(1)	Eq.(2)	Eq.(3)	Eq.(4)
Uhlinsi (error rate)	339.4	1,407.5 (414.7)	641.4 (189.0)	36.3 (10.7)	1.8 (0.5)
Yongpo (error rate)	955.4	1,329.6 (139.2)	829.0 (86.8)	17.4 (1.8)	1.5 (0.2)
Daegok (error rate)	218.7	1,565.0 (715.6)	397.8 (181.9)	112.3 (51.3)	2.2 (1.0)
Deokam (error rate)	386.3	1,180.0 (305.5)	1,418.4 (367.2)	2.9 (0.8)	0.7 (0.2)
Ugok2 (error rate)	148.8	1,597.0 (1,073.2)	363.3 (244.1)	193.2 (129.8)	3.1 (2.1)
Ochi (error rate)	273.8	1,625.2 (593.6)	335.7 (122.6)	298.7 (109.1)	32.5 (11.9)

4. 결론

본 연구에서는 지자체의 효율적인 가뭄상황 관리를 위해 구글맵 기반 자동항법 기능이 탑재된 무인측량선을 활용하여 공사관리 저수지 1개소, 지자체 관리 저수지 9

개소를 대상으로 저수용량을 비교·분석하였다.

무인측량선을 활용한 저수용량 분석 결과와 제원정보와의 비교·분석 결과 6개 저수지(어린지, 용포, 대곡, 덕암, 우곡2, 오치)는 9.2~48.7천m³의 저수용량이 감소하였다. 이는 저수지의 노후화에 따라 주변 산지 및 소하천으로부터 토사 유입에 의한 퇴사량이 증가한 것으로 판단된다. 4개 저수지(가곡, 삼손, 운정, 내곡)는 2.3~201.5천m³의 저수용량이 증가하였다. 저수용량이 감소한 6개 저수지를 대상으로 경험적 공식에 의한 퇴사량과의 비교·분석 결과 어린지와 용포저수지는 단순 유역면적 A만을 매개변수로 활용한 회귀식인 Yoon(1982) 공식(Eq. (2)) 실측치와 가장 유사하게 추정되었으며, 대곡과 우곡2, 오치 저수지는 Suh(1988) 공식(Eq. (3))의 유역면적 A와 유역경계의 총 연장, 유로연장을 매개변수로 활용한 경남 지역 회귀식이 실측치와 가장 유사하게 추정되었으나, 과거 저수지 준설량을 정확히 파악할 수 없어 직접적인 비교에 제약이 있다.

따라서 본 연구결과는 우리나라 전체 농업용수 공급량의 약 61.1%를 차지하는 저수지의 노후화에 따른 퇴적 토사의 증가로 약 31억톤에(지자체 및 공사관리 저수지) 달하는 저수지 담수 기능이 저하되었음을 제시하였으며, 저수지 전체에 대한 측량을 수행한다면, 저수량의 증감폭은 상당할 것으로 판단된다. 향후 동일 저수지에 대한 반복적인 저수용량 분석을 통해 경상남도에 적용 가능한 경험식을 개발할 예정이며, 일정규모 이상의 저수지 준설이나 독 높임 사업 등 저수용량 변화사업을 실시한 후 측량을 의무화 할 수 있도록 법 제도 개정을 위한 근거 자료로 활용할 예정이다.

References

- [1] 2018 Drought Comprehensive Countermeasures, pp.153, Drought-related ministries, 2017, pp.1
- [2] 2017 Statistical Yearbook of Land and Water Development for Agriculture, pp.702, ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs, 2017, pp.22
- [3] Y. K. Chang, J. Y. Park, D. Y. Moon and I. J. Kang, "Calculation of Reservoir Capacity by Combination of GPS and Echo Sounder", *Proceedings of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography*, pp.467-470, 2003.
- [4] S. K. Park and J. H. Jeong, "Calculation of Sediment Volume of the Agriculture Reservoir Using DGPS Echo-Sounder", *The Journal of GIS Association of Korea*, Vol.13, No.3, pp.297-307, 2005.
- [5] B. G. Choi and H. S. Lee, "Measuring Water Volume of Reservoir by Echosounding", *Journal of The Korea Society For Geospatial Information System*, Vol.15, No.1, pp.55-59, 2007.
- [6] B. G. Choi, H. G. Park and K. H. Cho, "Accuracy Analysis of Sounding Data Caused by Speed of Robot-ship", *Journal of The Korea Society For Geospatial Information System*, Vol.15, No.4, pp.111-116, 2007.
- [7] B. G. Song, J. Y. Oh, S. S. kim, T. W. Lee and K. H. Park, "Analysis of 3D Topographic Information on Reservoir Using UAV and Echo Sounder", *J. Korean Soc. Hazard Mitig.*, Vol.18, No.7, pp.563-568, 2018. DOI: <https://doi.org/10.9798/KOSHAM.2018.18.7.563>
- [8] C. B. kim, "Development of Unmanned Surface Vehicle for Geographical Surveying", *Journal of The Korea society for Naval Science and Technology*, Vol.1, No.1, pp.15-23, 2018. DOI: <https://doi.org/10.31818/JKNST.2018.07.1.1.15>
- [9] M. Guerrero and A. Lamberti, "Flow Field and Morphology Mapping Using ADCP and Multibeam Techniques: Survey in the Po River", *Journal of Hydraulic Engineering*, Vol.137, No.12, pp.1576-1587, 2011. DOI: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)HY.1943-7900.0000464](https://doi.org/10.1061/(ASCE)HY.1943-7900.0000464)
- [10] D. Michael, A. E. Amr, D. Bon and N. J. Lou, "Accuracy Evaluation of Terrestrial LIDAR and Multibeam Sonar Systems Mounted on a Survey Vessel", *Journal of Surveying Engineering*, Vol.138, No.4, pp.203-213, 2012. DOI: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)SU.1943-5428.0000075](https://doi.org/10.1061/(ASCE)SU.1943-5428.0000075)
- [11] V. Ilci, I. M. Ozulu, R. M. Alkan, S. Erol and M. Uysal, "Determination of Reservoir Sedimentation with Bathymetric Survey: a Case Study of Obruk Dam Lake", *Journal of Fresenius Environmental Bulletin*, Vol.28, No.3, pp.2305-2313, 2019.
- [12] S. W. Jang, P. S. Hwang, K. H. Kim and Y. H. Shin, "A Study on Estimation Method of Sediment Deposition Rate of Reservoir", *Proceedings of Korea Water Resources Association Conference*, pp.523-527, 2012.
- [13] W. S. Park, S. H. Hong, C. H. Ahn and H. Choi, "Assessment of Soil Loss in Irrigation Reservoir based on GIS", *Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography*, Vol.31, No.6-1, pp.439-446, 2013. DOI: <http://dx.doi.org/10.7848/ksgpc.2013.31.6-1.439>
- [14] Sediment deposition rate, Available From: http://www.water.or.kr/encyclopedia/encyclopedia/encyclopedia.do?seq=1649&p_group_seq=66&menu_mcode=1 (accessed Oct. 18, 2019)
- [15] K. I. Son and M. P. Shim, "Effective Water Resources Development by the Management of Sediment Deposit in Agricultural Reservoirs", *Journal of Korea Water Resources Association Conference*, Vol.37, No.6, pp.467-477, 2004.

- [16] Y. N. Yoon, "Estimation of Silting Load and Capacity Loss Rate of Irrigation Reservoirs ", *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, Vol.1, No.1, pp.69-76, 1981.
- [17] S. D. Suh, "Regression Analysis Between Specific Sediments of Reservoirs and Physiographic Factors of Watersheds", *Magazine of the Korean Society of Agricultural Engineers*, Vol.30, No.4, pp.45-61, 1988.
- [18] Satellite map, Available From: <https://map.naver.com/v5/> (accessed Oct. 18, 2019)
- [19] Basin length, Available From: http://wamis.go.kr/wkb/wkb_anlst_lst.aspx (accessed Oct. 18, 2019)

김 원 범(Won-Beom Kim)

[정회원]



- 2019년 8월 : 영남대학교 공과대학 건설시스템공학과 (공학석사)
- 2019년 6월 ~ 현재 : 행정안전부 국립재난안전연구원 연구원

<관심분야>

수공학

원 창 희(Chang-Hee Won)

[정회원]



- 2014년 2월 : 충북대학교 공과대학 토목시스템공학과 (공학석사)
- 2016년 3월 ~ 현재 : 행정안전부 국립재난안전연구원 선임연구원

<관심분야>

가뭄, 수공학, 방재

윤 현 철(HyeonCheol Yoon)

[정회원]



- 2012년 2월 : 부산대학교 공과대학 사회환경시스템공학과 (공학석사)
- 2015년 2월 : 부산대학교 일반대학원 사회환경시스템공학과 (공학박사)

- 2015년 11월 ~ 2016년 10월 : 한국건설기술연구원 박사후연구원
- 2016년 10월 ~ 현재 : 행정안전부 국립재난안전연구원 시설연구사

<관심분야>

가뭄, 수공학