

저수지 퇴적토 코어의 깊이에 따른 물리적 특성 변화

김 흥 태* / 김 재 근*** / 윤 호 중***

Physical Characteristics of Reservoir Sediment Cores with Depth

Heungtae Kim* / Jae Geun Kim*** / Ho-Joong Youn***

요약 : 본 연구는 저수지의 퇴적작용을 이해하는데 필요한, 저수지퇴적토 코어의 물리적 특성 변화에 대한 기초 자료를 제공하기 위하여 수행되었다. 준설작업이 시행된 적이 없는 세 곳의 저수지에서 채취한 퇴적토 코어에 대하여 깊이에 따른 가비중, 유기물량, 평균입자크기, 모래의 비율 변화를 연중 일강수량 50mm이상일 때의 강수량을 합산한 연강수량(AP50) 변화 자료와 비교, 분석하였다. 저수지의 퇴적토 코어는 무기질 토양으로서 유기물은 육상식물의 잔재물로부터 기원하였으며, 유기물 함량이 10% 이하인 미사질양토 퇴적토에서 유기물 함량의 변화는 저수지로 유입되는 토양입자크기의 변화와 관계가 있었다. 퇴적토 코어의 입자크기 및 모래 비율의 급격한 변동은 강수량의 증감과 관계가 있었으며, 저수지의 수위 변화와 유속이 저수지의 퇴적토 형성에 영향을 미칠 수도 있다. AP50의 연간 변동 자료를 기초로 추정하였을 때, 10년 이내의 짧은 기간 동안 약 30cm 이상의 퇴적토가 쌓일 수 있는 것으로 나타났다. 저수지에서 짧은 시간 동안 쌓여서 형성된 퇴적토에도 유역에서 발생한 인위적 또는 자연적 사건들이 퇴적토의 물리적 특성들에 반영될 수 있음이 확인되었다.

핵심용어 : 저수지, 퇴적토 코어, 가비중, 유기물, 입자크기, 강수량

Abstract : This study was conducted to present primary data on the change of the physical characteristics of reservoir sediments for understanding the sedimentation. The records of the annual summation of the precipitation of >50mm per day (AP50) were compared with changes of bulk density, organic matter, mean grain-size, and sand ratio in sediment cores sampled from three reservoirs without dredging record. Reservoir sediments, characterized by mineral soil, contained organic matters originated from the debris of terrestrial plants, and changes of organic matter were related to changes of grain-size flowing into reservoirs when sediments of fine sandy loam showed 10% of organic matter contents. Rapid changes of grain-size and sand ratio in the sediment cores were associated with the increase and decrease of precipitation, and fluctuation of water level and water flow in reservoirs might have influenced on the formation of sediments in reservoirs. Records of AP50 suggested that sediments could accumulate more than about 30 within the short period of 10 years. The accumulated sediments in a short time can reflect the effect of natural and anthropogenic events on the physical characteristics of sediments.

Keywords : Reservoir, Sediment, Bulk density, Organic matter, Grain-size, Precipitation

1. 서 론

습지 및 호수의 퇴적토와 마찬가지로 저수지에 형성되는 퇴적토도 식생이나 지질과 같은 유역의

자연적 입지 환경뿐만 아니라, 상류 지역에서 도로 건설 및 도로 확장, 농경지 개간 등의 인간활동에 의한 토양 환경 변화와 같은 유역의 인위적 환경 교란을 잘 반영한다. 다른 한편으로는 강수량의 급

+ Corresponding author : jaegkim@snu.ac.kr
* 서울대학교 사범대학 과학교육과 박사과정 정회원
** 서울대학교 사범대학 생물교육과 교수 정회원
*** 국립산림과학원 산림방재과 임업연구사 비회원

격한 변동과 같은 기상학적 사건이 저수지의 퇴적토에 기록으로 남을 수도 있다(Brown 등, 2002; Nahm 등, 2010). 따라서 환경변화를 기록하는 저장매체와도 같은 퇴적토 코어의 장점은, 유해 금속을 다루는 공장이 유역 내에 위치하는 저수지에서 유해금속에 의한 오염 정도의 변화 과정과 그 위험성을 예측하는데 활용되기도 하였다(Arnason과 Fletcher, 2003). 또한 공업단지에 인접한 저수지에서 채집한 퇴적토 코어를 활용하여 공업화에 의한 대기오염의 역사를 밝히기도 하였다(Kim, 2005).

그러나 잦은 수위 변동으로 인한 저수지 퇴적 환경의 불안정성과 저수지에서 일어나는 퇴적작용에 대한 이해 부족 때문에 주변 환경 변화의 역사를 밝히는데 저수지 퇴적토 코어를 활용하는 정도는 낮다(Shotbolt 등, 2006). 따라서 저수지 퇴적토에 저장되는 오염물질의 기록을 올바르게 읽어내기 위해서는 저수지 퇴적토의 물리적 특성 변동과 저수지내 퇴적 양상에 대한 이해가 선행되어야 한다. 국외에서는 저수지 퇴적토와 주변 하천에 대한 광물학적 분석을 통해 저수지에 유입되는 퇴적물의 기원과 연간 퇴적율을 구하여 저수지 유역에서 일어나는 침식 정도와 퇴적토 이동 과정을 밝히는 연구도 이루어졌다(Valero-Garcés 등, 1999). 그러나 국내에서는 저수지의 퇴적토에 대한 기초 연구 자료가 부족한 상황이다.

본 연구는 준설작업이 시행된 적이 없는 세 곳의 저수지 퇴적토 코어의 물리적 특성을 퇴적깊이 별 물리적 특성의 변화 양상을 통해 확인하고, 물리적 특성 변화 양상이 기상학적 자료를 포함한 저수지에 대한 기록과 어떠한 연동 관계를 맺을 수 있는지를 밝히고자 한다. 따라서 저수지 퇴적토 코어의 분석을 통해 저수지 퇴적물의 양상 및 축적율에 대한 기초 정보가 확장될 것이며, 본 연구의 결과는 다양한 수위 환경과 유속 조건에서 형성되는 저수지 퇴적토의 특성을 이용하여 저수지에 대기 또는 물을 통해 유입되는 오염물질과 토사 등의 저수지내 거동을 밝히는 연구의 기초 자료로 활용될 것이다.

2. 연구방법

2.1 대상지 및 퇴적토 코어 채취

조사 대상지는 저수지 내에 쌓인 퇴적물을 제거하는 준설작업이 시행된 적이 없는 저수지 중에서 유역면적을 고려하여 충청남도 청양의 적누지, 경상북도 구미시의 금오저수지, 충청북도 제천의 백마저수지 세 곳을 선정하였으며(그림 1), 수위가 낮아지는 2010년 6월에 유역에서 발생한 토사가 하천을 통해 저수지로 유입되는 지역을 중심으로 탐침을 이용하여 퇴적토가 형성된 지점을 찾은 뒤 지름 55mm의 PVC hand-corer를 이용하여 저수지 마다 2 ~ 3개의 퇴적토 코어를 채취하였다. 채취한 퇴적토 코어는 위아래가 그대로 유지되도록 세운 상태로 채집 당일 실험실로 옮겼으며, 이후 분석용 퇴적토 시료 채취를 위하여 냉동하였다. 열린 퇴적토 코어를 PVC hand-corer에서 꺼낸 후 퇴적 상태가 가장 좋은 코어를 저수지 마다 하나씩 선택하여 2cm 간격으로 절취한 뒤 물리적 특성 분석용 시료 준비를 위하여 건조시켰다.

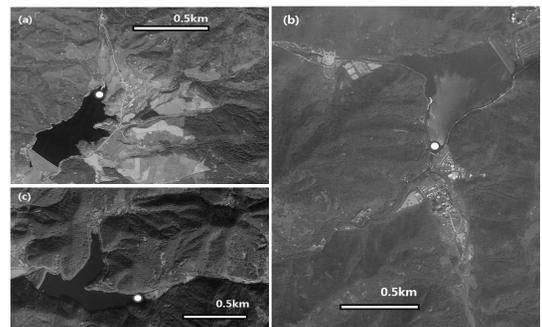


그림 1. 퇴적토 코어 채취 저수지 (a) 제천 백마저수지, (b) 구미 금오저수지, (c) 청양 적누지 (흰원- 채집지)

2.2 퇴적토의 물리적 특성과 기상자료 분석

가비중은 Kim(2005)과 Kim과 Kim(2010)의 방법을 따라 채취시의 상태인 일정 부피의 퇴적토를

105℃에서 24시간 건조시키기 전후의 무게 차이를 이용하여 구하였다. 유기물은 전기 용광로에서 550℃로 4시간 작열소실(LOI: Loss on Ignition) 된 무게를 측정하여 구하였다(Boyle, 2004). 입도 분석용 시료 준비를 위하여 퇴적물 시료 약 5g 정도를 50ml conical tube에 넣은 후, 30% 과산화수소수(H₂O₂) 5ml을 넣어 10시간 동안 반응시켜 유기물을 제거하였다. 퇴적물의 입도분석은 0.02 ~ 2,000 μ m 범위의 입자크기를 측정할 수 있는 Mastersizer 2000 laser particle analyzer (Malvern Instruments, Ltd., UK)를 이용하였다.

저수지에 유입되는 토사의 양과 크기에 영향을 미치는 강수량의 변화를 분석하기 위하여, 조사 저수지에 가장 가까이 위치한 기상대로서 백마저수지에 대해서는 충북 제천, 금오저수지는 경북 구미, 적누지는 충남 보령의 1973년 이후 기상청 강수량 측정 자료를 이용하였다. 일강수량 50mm이상일 때 강수에 의한 침식 등의 영향이 뚜렷하게 나타나기 때문에(Kashiwaya 등, 1989), 연중 일강수량 50 mm이상일 때의 강수량을 합산한 연강수량(AP50) 자료를 구성하여 강수에 의한 토양의 유입이 저수지 퇴적토에 미치는 영향을 확인하는데 이용하였다. 연강수량의 감소는 강수에 의해 저수지로 유입되는 토사의 전체적인 양을 감소시킬 수 있다. 따라서 단순 연강수량이 특이적으로 감소한 시기도 그래프로 나타내지는 않았으나 분석에 이용하였다. 연대추정은 AP50자료와 퇴적토의 특성을 함께 고

려하여 특징적인 변화가 일치하여 나타난 시기를 바탕으로 연대를 추정하였다(Han과 Kim, 2006).

3. 결과 및 고찰

3.1 퇴적토의 물리적 특성

가비중은 채집한 세 지역의 퇴적토 중에서 제천 백마저수지의 퇴적토가 평균 1.17 g/cm³으로 가장 높았으며, 작열소실량(LOI)은 구미 금오저수지가 14.2%로 가장 높았다(표 1). 퇴적토 입자의 크기는 제천 백마저수지의 퇴적토가 평균 3.3 phi로서 가장 큰 것으로 나타났으며, 토양 성분 중 모래의 비율도 제천 백마저수지의 퇴적토가 평균 72.1%로 가장 높은 값을 나타내었다. 따라서 백마저수지의 퇴적토는 양질사토를 나타낸 반면, 청양 적누지와 구미 금오저수지에서 채집한 퇴적토는 미사질양토로 나타났다.

가비중은 퇴적토 구성물을 알려주는 지표가 되는데, 일반적으로 0.2 ~ 0.3g/cm³의 낮은 값을 가질 경우 유기질 토양으로 진단할 수 있으며, 1.0 ~ 2.0g/cm³범위의 값을 가질 경우 무기질 토양으로 판단하였다(Mitsch와 Gosselink, 2000). 따라서 세 지역의 저수지에서 채집한 퇴적토 코어 모두 전체적인 값을 고려하면 무기질 토양으로 상류의 유역에서 기원한 토사가 유입되어 쌓인 것이라 볼 수 있다.

표 1. 저수지 퇴적토 코어의 물리적 특성. 평균 (최소값-최대값)

	가비중 (g/cm ³)	LOI (%)	토양입도 (phi)	토성		
				모래(%)	미사(%)	점토(%)
청양 적누지	0.70 (0.34-0.85)	6.9 (3.4-8.5)	4.1 (3.4-5.9)	58.1 (21.9-73.3)	38.6 (24.7-66.7)	3.3 (1.6-11.4)
제천 백마저수지	1.17 (0.58-1.73)	4.0 (1.2-8.5)	3.3 (2.0-4.1)	72.1 (59.0-83.9)	25.8 (15.9-36.4)	2.1 (0.2-4.6)
구미 금오저수지	0.35 (0.10-0.71)	14.2 (12.0-15.3)	4.1 (3.4-4.7)	37.5 (25.4-50.0)	58.5 (44.9-71.2)	4.1 (3.4-5.1)

퇴적토 코어에 포함된 유기물의 기원은 탄질비 (C/N 비율) 분석을 통해 추정이 가능하지만 (Kaushal과 Binford, 1999; Enters 등, 2006), 퇴적토 코어에 섞인 유기 잔재물을 통해서 추정할 수도 있다. 금오저수지의 퇴적토 코어에서는 특히 낙엽 잔재물이 코어 전체 깊이에서 토양과 섞인 상태로 존재하였으며, 특히 표층부로 갈수록 무기질 입자와 함께 섞여 쌓인 낙엽 잔재물의 양이 증가하였다. 이로 인하여 금오저수지 퇴적토의 전체적인 유기물량은 평균 14.2%로 매우 높게 나타났다. 백마저수지와 적누지 퇴적토 코어의 유기물량은 각각 평균 4.0%와 6.9%로 금오저수지보다 낮았지만 두 저수지의 퇴적토 코어에서도 낙엽 잔재물이 소량 섞여 있었다. 따라서 조사 대상 저수지의 퇴적토 코어에 쌓인 유기물은 주로 육상 식물로부터 기원한 것으로 판단할 수 있다.

3.2 깊이에 따른 퇴적토의 물리적 특성 변화

백마저수지에서 채집한 퇴적토 코어의 길이는 44cm로서, 가비중은 코어의 위부터 조금씩 증가하는 경향을 보였다(그림 2). 15 ~ 23cm 깊이 구간에서는 가비중이 큰 증감을 보이지 않았지만, 이후 33cm 깊이까지는 다시 증가하는 경향을 나타내었다. 33cm 깊이 이후에서는 약 1.6g/cm³ 값을 중심으로

로 가비중이 변동을 보였다. 백마저수지 코어의 LOI는 다른 두 저수지에서 채집된 퇴적토 코어보다 전체적으로 낮은 값을 보였으나, 변동폭은 더 크게 나타났다. 13 ~ 17cm 깊이 구간과 33cm 깊이 부근에서 LOI는 특히 더 낮은 값을 나타내었다. 퇴적토 코어의 평균입자크기는 위에서부터 17cm 깊이까지는 변동이 없었으나 17cm 깊이 이후 입자크기가 작아지는 변화가 나타났다. 21cm 깊이부터 코어의 바닥까지 구간에서는 큰 변동이 없었으나 33cm 깊이에서만 퇴적되는 평균입자크기가 급격하게 커졌다. 퇴적토코어의 깊이별 토성 중 모래의 비율도 평균 입자크기와 유사한 변화 양상을 보였다.

금오저수지에서 채집한 퇴적토 코어의 길이는 34cm로서, 가비중은 코어의 위부터 코어의 바닥까지 깊이에 따라 일관되게 점차 커지는 선형적인 추세를 나타내었다(그림 3). LOI는 7cm 깊이까지는 30% 이상의 비교적 높은 값에서 변동을 보였으며, 7 ~ 15cm 깊이 구간에서는 약 15% 수준까지 지속적으로 감소하였다. 이후 깊이에서는 15% 수준에서 LOI는 큰 변동이 없다가 31cm 깊이 이하가 되면서 다시 줄어들어서 8% 이하의 값을 나타내었다. 깊이에 따른 평균입자크기는 변화의 폭이 크지는 않지만 17cm와 31cm 깊이에서 증가하였으며, 토성 중 모래의 비율 또한 17cm와 31cm 깊이에서 증가하였다.

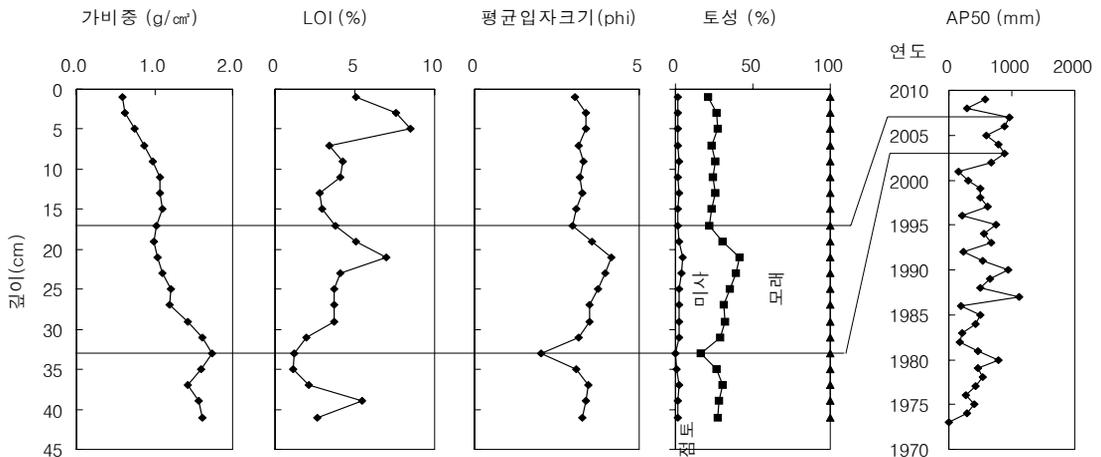


그림 2. 백마저수지 퇴적토 코어의 물리적 특성과 연강수량(AP50) 자료

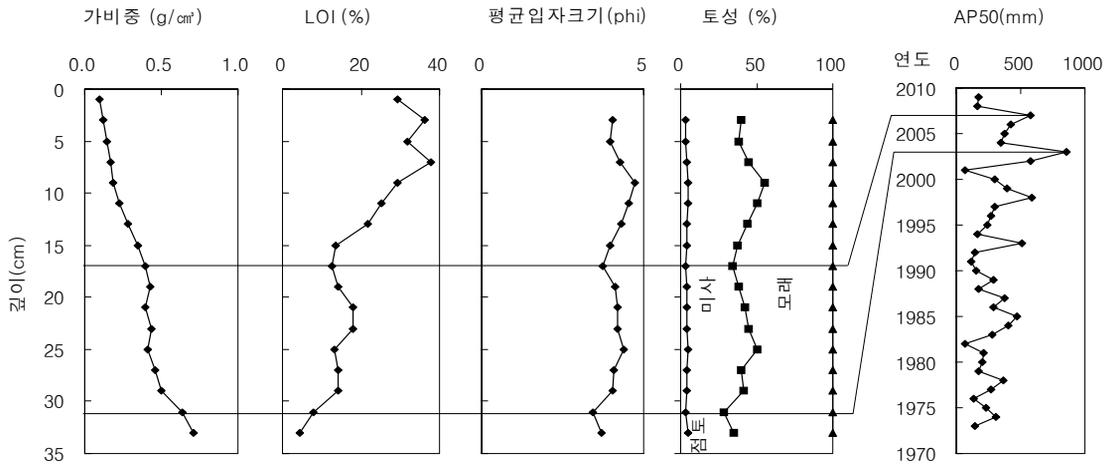


그림 3. 금오저수지 퇴적토 코어의 물리적 특성과 연강수량(AP50) 자료

적누지에서 채집한 퇴적토 코어의 길이는 36cm로서, 가비중은 코어의 위부터 9cm 깊이까지 증가하는 추세를 보인 이후에는 코어의 바닥까지 평균 0.75g/cm³로 큰 변동이 없었다(그림 4). 다른 조사 항목에 비해 LOI는 상대적으로 큰 변동을 보였으나 전반적으로는 코어의 바닥으로 갈수록 증가하는 경향을 보였다. 그러나 9cm와 19cm 깊이는 위아래 깊이의 LOI 값과 비교했을 때 상대적으로 LOI의 감소가 두드러지게 나타났다. 퇴적토의

평균입자크기는 코어의 위에서 29cm 깊이까지는 아래로 갈수록 전반적으로는 조금씩 작아지는 추세를 보였으나, 9cm와 19cm 깊이를 중심으로 한 부분에서는 다시 커지는 경향을 보였다. 급격한 토양 입자크기의 감소를 보인 29cm 깊이 이후부터 바닥까지는 입자크기가 증가하는 것으로 나타났다. 퇴적토의 토성 중 모래의 비율 변화도 평균입자크기의 깊이별 변화와 동일한 추세를 보였다.

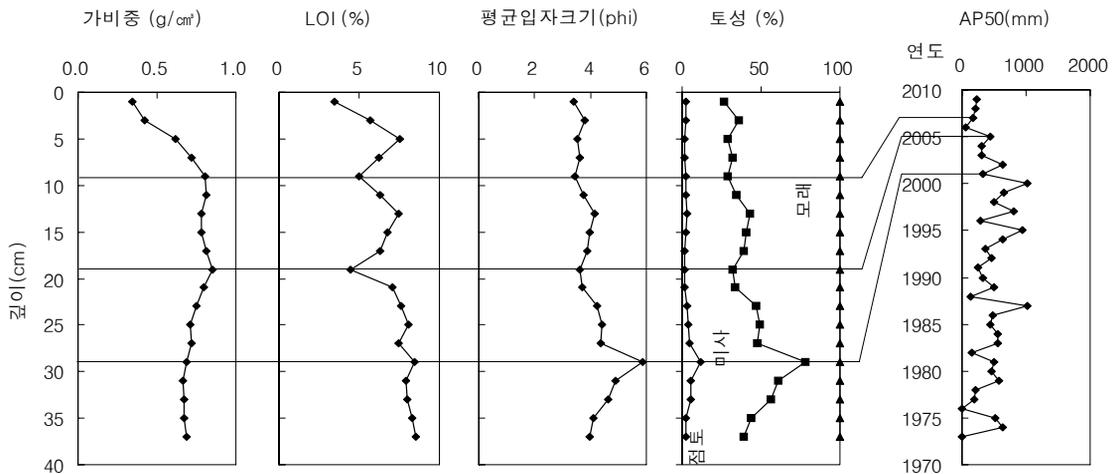


그림 4. 적누지 퇴적토 코어의 물리적 특성과 연강수량(AP50) 자료

3.3 퇴적토의 물리적 특성 변화를 바탕으로 재구성한 퇴적환경의 변화

저수지 관리 기록과 유역의 특성에 관한 정보를 바탕으로 저수지 퇴적토 코어의 입자크기, 유기물, 가비중 등의 여러 요소의 변화를 분석하면 저수지의 퇴적 환경 변화에 대한 기초적인 정보를 얻을 수 있으며(Shotbolt 등, 2006), 퇴적토의 입자크기 변화는 연강수량의 변동을 반영하기도 한다(Nahm 등, 2010).

일반적으로 퇴적토 코어에서 가비중은 아래로 내려갈수록 치밀화작용(compaction)에 의해 증가하는 경향을 보이지만(Brenner 등, 1996), 백마저수지의 퇴적토 코어는 33cm 깊이까지도 가비중의 증가추세가 나타나고 있다. 이는 9cm 깊이부터는 가비중이 증가하기보다는 변동을 보인 적누지의 퇴적토 코어와 비교하면, 백마저수지의 퇴적토에서는 치밀화작용이 33cm 깊이까지도 여전히 크게 작용하고 있는 상태임을 의미한다. 유입된 퇴적물의 구성이 밀도가 큰 무기질에서 상대적으로 가벼운 유기질로 점진적으로 변화하는 경향을 보이지 않은 상태에서, 유사한 무기질 토양이 쌓인 퇴적토에서 가비중이 지속적으로 점진적인 증가를 보인다는 점은 많은 양의 퇴적물이 짧은 시간에 퇴적된 결과로서 깊이에 비해 상대적으로 퇴적 시간이 오래되지 않았음을 의미한다. 연중 일강수량 50mm 이상일 때의 강수량을 합산한 제천 지역의 연강수량(AP50) 자료에서는 2009년을 시작점으로 보았을 때 2007년과 2003년에 피크가 나타났다. 2007년과 2003년에 발생한 단기간 집중 강우량의 증가는 퇴적토의 평균입자크기와 토성 중 모래 비율의 변화를 수반했을 것이다. 따라서 퇴적토 코어에서 13cm와 33cm 깊이에서 보이는 입자크기와 모래 비율의 급격한 변화가 이에 상응하여 나타난 결과로 보인다. 그러나 퇴적토 코어에서 유기물 함량은 상대적으로 다른 요인보다 큰 변동폭을 보이지만 변화 경향이 입자크기 및 모래 비율의 변화 양상과 정확히 동조하지는 않았다. 백마저수지에서 채집한 퇴적토 코

어는 전체적으로 양질 사토로 모래의 비율이 높았으며, 이로 인하여 유기물의 함량 또한 낮았다. 모래 비율이 높은 퇴적토의 특성은 퇴적 지점이 정수 지역이기 보다 유수지역에 해당하고 유속의 영향을 지속적으로 받았음을 의미한다(Kim과 Kim, 2010). 즉, 백마저수지에서 퇴적토 코어를 채집한 지점은 저수지로 유입되는 하천의 유수가 영향을 미치는 범위 안의 지역으로서 유속으로 인하여 퇴적물 중 입자가 큰 모래 성분이 주로 쌓인 것이다. 또한, 백마저수지에는 과수원 등의 농지가 저수지에 인접해 있다(그림 1). 농지는 집중 강우에 취약하여 표면의 토양이 쉽게 침식되며, 유실된 토양은 저수지에 쌓이는 퇴적물의 물리적 특성에 큰 영향을 미칠 수 있다(Harden, 1993). 유수는 퇴적뿐만 아니라 퇴적층의 유실에도 영향을 미칠 수 있다. 따라서 퇴적토 코어에서 보이는 유기물량의 급격한 변화는 유기물 함량이 다른 토사가 단기간에 다량 쌓이면서 나타날 수도 있으나, 토양입자크기나 구성 성분의 변화 없이 나타나는 유기물량의 급격한 변화는 해당 깊이에 쌓였던 퇴적토가 유실되어 나타났을 가능성도 존재한다.

금오저수지의 퇴적토 코어에서도 보이는 백마저수지 코어와 유사한 가비중의 변화 양상은 채집한 퇴적토가 단기간에 많은 양이 쌓여서 형성되었음을 의미한다. 17cm와 31cm 깊이에서 나타난 평균입자크기와 토성 중 모래 비율의 변화는 해당 시기에 상대적으로 큰 입자들이 쌓이는 사건이 일어났음을 의미한다. 연중 일강수량 50mm 이상일 때의 강수량을 합산한 구미 지역의 연강수량(AP50) 자료에서 2007년과 2003년에 나타난 강수량 증가 피크는 퇴적토 코어의 변화를 설명할 수 있는 근거가 된다. 그러나 퇴적토코어의 물리적 특성 변화에서 보이는 피크는 뚜렷한 편이 아니다. 이는 금오저수지의 수위 환경과 채집지점의 퇴적작용 특성에 기인할 수 있다. 흐르던 물이 제방에 의해 막혀서 정체 되면 수위 변화와 유수의 영향을 비교적 작게 받는 지점에서는 집중 강우에 의해 발생하는 퇴적물의 영향이 희석되면서 퇴적토 코어의 물리적 특성에서 변화 피크가 뚜렷하지 않을 수 있다(Nahm 등,

2010). 즉, 금오저수지의 퇴적토 코어 채집지점이 이러한 퇴적 작용을 받는 지점일 가능성이 있다. 한편, 농업용수 공급이 주목적인 백마저수지와 적누지는 농번기에는 농업용수로 이용되는 수량이 증가하면서 수위가 낮아지게 되며, 이로 인해 연중 수위의 변동은 강수의 감소로 인한 자연적인 수위 변화보다 더 크게 나타난다. 반면, 대도시인 구미시에 위치한 금오저수지는 저수지 안팎이 유원지로 개발되어 이용되고 있어서 농업용 저수지보다는 휴양용 인공 호수와 유사하다. 따라서 인위적인 조절에 의한 수위 변화가 적으므로 다른 두 저수지와 비교하면 상대적으로 수위의 변화가 미치는 영향이 작은 환경을 가지고 있다. 금오저수지의 퇴적토 코어 채집 주변의 수변에는 낙엽과 토양이 뒤섞인 빨과 같은 지형이 존재하고 있으며, 이는 조사지역 부근의 퇴적작용 특성과 금오저수지의 안정적인 수위 변화 환경이 함께 작용하여 나타난 현상이다.

청양 적누지는 1997년에는 저수지 확장공사가, 2005년에는 채집 지역의 상류 유역에 위치한 일부 도로에 대하여 확장공사가 시행되었다. 지질학적으로는 적누지의 하류 지역을 제외한 주변부에는 흑색세일이 주로 분포한다(진보이엔씨, 2007). 퇴적토 코어 채집지점 부근에서 수면위로 드러난 저수지 옆면에서도 세일 층이 뚜렷하게 관찰되었으며, 퇴적토 코어의 채집을 위하여 채집지점 부근의 바닥을 탐침으로 확인하였을 때 역시 모든 지점의 바닥에 세일 층이 분포하는 것이 확인되었다. 따라서 채집지점은 1997년 이후 토사가 쌓이기 시작하여 본 연구에서 채집한 퇴적토 코어는 1997년 이후에 쌓인 토사로 이루어진 것이다. 코어에서 가비중, LOI, 평균입자크기, 토성과 같은 퇴적토의 물리적 특성은 9, 19, 29cm 깊이에서 동조하여 변동하는 양상을 보였다. 이는 해당시기에 저수지로 유입되는 퇴적물에 변화가 있었음을 의미한다. 강우량의 증감은 유역으로부터 저수지로 유입되는 토양입자의 크기에 영향을 미친다(Brown 등, 2002). 1997년 이후의 기상 자료에서 2001년과 2006년은 다른 년도와 비교하여 연중 일강수량 50mm이상일 때의 강수량을 합산한 연강수량(AP50)이 감소한 것

으로 나타났다. 따라서 코어의 29cm 깊이에서 나타난 평균입자크기와 모래 비율의 감소는 2001년의 강우량 감소와 관계가 있는 것으로 볼 수 있다. 연중 전체 강수량에서도 2001년은 강수량이 전·후년도에 비해 급격히 감소하였다는 점은 전체적인 강수량의 감소가 해당 시기에 저수지로 유입되는 퇴적물 중 입자크기가 큰 모래 성분이 감소하는데 주원인으로 작용하였음을 뒷받침한다. 반면, 2003년과 2005년의 강수량 증가는 9, 19cm 깊이에서 발생한 유기물의 감소, 평균입자크기와 모래 비율의 증가와 관계가 있다. 그러나 상류 유역에서 일어나는 토지이용의 변화가 강수량과 같은 기상 변화보다 유입되는 퇴적물의 구성에 더 큰 영향을 미칠 수도 있다(Harden, 1993). 따라서 2005년에 이루어진 적누지 상류지역의 일부 도로 확장공사 또한 퇴적토의 평균입자크기와 모래 비율의 전반적인 증가에 영향을 끼친 것으로 판단된다.

4. 결 론

충남 청양의 적누지, 충북 제천의 백마저수지, 경북 구미의 금오저수지에서 채취한 퇴적토 코어의 물리적 특성에 대한 분석을 통해 얻은 결과는 다음과 같다.

채집한 퇴적토 코어에서 유기물은 저수지에 따라 함량의 차이는 있었으나 주로 육상식물의 낙엽에서 기원하였으며, 퇴적토는 상류 유역의 무기질 토양에서 기원한 토사가 쌓여서 형성되었다. 조사한 퇴적토 코어에서 가비중이 약 30cm 깊이까지도 점진적인 증가를 나타내는 것은 퇴적토 코어가 길이에 비해 비교적 짧은 시간에 쌓였음을 알려주는 지표가 된다. 유기물 함량이 10% 이하인 무기질 토양의 미사질양토 퇴적토에서 유기물 함량의 변화는 저수지로 유입되는 토양입자의 크기 변화와 관계가 있으며, 강수량의 증감이나 유역의 토지이용의 변화가 평균입자크기와 토양 성분 비율의 변화를 발생시키는 원인이 될 수 있다. 저수지 퇴적토에서 보이는 토양의 평균입자크기와 토양성분비율의 변동은 또한 수위 변화 및 유속이 좌우하는 저

수지 퇴적 조건의 영향을 받기도 한다. 연강수량 연간 변동 자료와 비교하였을 때, 6 ~ 9년 기간 동안 약 30 ~ 33cm 깊이의 퇴적토가 형성될 수 있음을 보였으며, 수위변동과 유수에 의해 퇴적층의 유실이 일어날 수도 있다. 저수지에서 채집한 퇴적토 코어에 대한 분석을 통해 10년 이내의 짧은 기간 동안 유역에서 발생한 인위적인 또는 자연적인 사건들이 물리적 특성의 측면에서 저수지의 퇴적토에 미친 영향을 확인할 수 있었다. 따라서 기상 자료 외에 수위 및 유입수량의 변화 자료를 바탕으로 다양한 수위 환경과 유속 조건에서 형성되는 퇴적토의 물리적 특성에 대한 분석 자료는 향후 저수지의 부영양화 발생 양상 및 대기와 유입수를 통해 들어온 오염물질과 퇴적물의 저수지내 거동을 연구하기 위한 밑받침 자료로서 중요하다.

감사의 글

이 연구는 국립산림과학원의 ‘공간정보기술을 이용한 산림지 내 토사유출 모니터링’과제의 지원을 받았습니다. 현장조사에서 퇴적토 코어 채집을 함께 해준 이광문과 최호에게 감사드립니다. 토양입도분석을 위해 분석기기와 시간을 내어주신 한국지질자원연구소의 남옥현 박사님과 한소영님께도 깊은 감사를 드립니다.

참고 문헌

진보이엔씨, 2007. 적누지구 지질조사보고서.

Arnason, J. G., and Fletcher, B. A., A 40+ year record of Cd, Hg, Pb, and U deposition in sediments of Patroon Reservoir, Albany County, NY, USA. *Environmental Pollution*, Vol. 123, pp. 383-391, 2003.

Boyle, J., A comparison of two methods for estimating the organic matter content of sediments. *Journal of Paleolimnology*, Vol. 31, pp. 125-127, 2004.

Brenner, M., Whitmore, T. J., and Schelske, C. L., Paleolimnological evaluation of historical trophic state conditions in hypereutrophic Lake Thonotosassa, Florida, USA. *Hydrobiologia*, Vol. 331, pp. 143-152, 1996.

Brown, S., Bierman, P., Lini, A., Davis, P.T., and Southon, J., Reconstructing lake and drainage basin history using terrestrial sediment layers: analysis of cores from a post-glacial lake in New England, USA. *Journal of Paleolimnology*, Vol. 28, pp. 219-236, 2002.

Enters, D., Lüke, A., and Zolitschka, B., Effects of land-use change on deposition and composition of organic matter in Frickenhauser See, northern Bavaria, Germany. *Science of The Total Environment*, Vol. 369, pp. 178-187, 2006.

Han, M., and Kim, J. G., Physical and chemical characteristics of sediments at Bam islands in Seoul, Korea. *Journal of Ecology and Field Biology*, Vol. 29, pp. 389-398, 2006.

Harden, C. P., Land use, soil erosion, and reservoir sedimentation in an Andean drainage basin in Ecuador. *Mountain Research and Development*, Vol. 13, pp. 177-184, 1993.

Kashiwaya, K., Okimura, T., and Kawatani, T., Tree ring information and rainfall characteristic for landslide in the Kobe District, Japan. *Earth Surface Processes and Landforms*, Vol. 14, pp. 63-71, 1989.

Kaushal, S., and Binford, M.W., Relationship between C:N ratios of lake sediments, organic matter sources, and historical deforestation in Lake Pleasant, Massachusetts, USA. *Journal of Paleolimnology*, Vol. 22, pp. 439-442, 1999.

- Kim, H., and Kim, J. G., A 2000-year environmental history of the Upo Wetland on the Korean Peninsula. *Journal of Paleolimnology*, Vol. 44, pp. 189-202, 2010.
- Kim, J. G., Assessment of recent industrialization in wetlands near Ulsan, Korea. *Journal of Paleolimnology*, Vol. 33, pp. 433-444, 2005.
- Mitsch W. J., and J. G. Gosselink, *Wetlands*. Wiley, Inc., New York, 2000.
- Nahm, W.-H., Lee, G., Yang, D.-Y., Kim, J.-Y., Kashiwaya, K., Yamamoto, M., and Sakaguchi, A., A 60-year record of rainfall from the sediments of Jinheung Pond, Jeongeup, Korea. *Journal of Paleolimnology*, Vol. 43, pp. 489-498, 2010.
- Shotbolt, L., Hutchinson, S., and Thomas, A., Sediment stratigraphy and heavy metal fluxes to reservoirs in the southern Pennine Uplands, UK. *Journal of Paleolimnology*, Vol. 35, pp. 305-322, 2006.
- Valero-Garcés, B. L., Navas, A., Machín, J., and Walling, D., Sediment sources and siltation in mountain reservoirs: a case study from the Central Spanish Pyrenees. *Geomorphology*, Vol. 28, pp. 23-41, 1999.
- 논문접수일 : 10년 11월 15일
○심사의뢰일 : 10년 11월 15일
○심사완료일 : 10년 12월 13일