

Cs-137 분포를 이용한 저수지의 퇴적 양상 추정

김계훈*

한국원자력안전기술원(대전광역시 유성구 유성우체국 사서함 114호)

초록 : 감마핵종분석을 통하여 깊이에 따른 Cs-137의 농도 분포를 조사함으로써 전라남도 해남군 화원면 소재 산수저수지에서 연간 퇴적률, 퇴적물의 총량 및 유역에서의 추정토양유실량을 정량적으로 밝히고자 수행한 본 연구의 결과는 다음과 같다.

- 퇴사는 대부분 미사 크기의 입자로 구성되었고 퇴사의 pH, 유기물함량, CEC 및 치환성양이온함량은 우리나라 밭토양 및 저수지 상류지역 경작지 평균과 비슷한 수준이었으나 유효인산함량은 우리나라 밭토양 및 저수지 상류지역 경작지 평균보다 매우 낮았다.

- 시료채취지점에 따라 Cs-137은 15~60 cm 깊이까지 분포하였으며, 920.0~8928.4 Bq m⁻²의 농도 분포를 보였다.

- 1963/64년부터 1994년까지 이 저수지의 연간 퇴적률은 1.56 cm yr⁻¹였고, 퇴적량은 166530 m³이었다.

- 저수지 유역에서 고르게 유실이 일어났다고 가정할 때 전체 면적에서 연평균 2mm 두께의 토양이 유실되었으며, 무계로는 ha당 25 ton의 토양이 유실 되었다(1995년 4월 6일 접수, 1995년 4월 27일 수리).

서 론

토양의 침식과 침식된 토양 입자들이 운반되어 농경지, 하천등에 퇴적되는 현상은 전세계적으로 매우 심각한 환경문제중의 하나이다. 지질학적 토양침식 (토양 침식량: 0.0045~0.045 kg m⁻² year⁻¹)은 토양 생성의 한 단계로 매우 자연스러운 현상이나 인간에 의해 가속화된 침식은 토양의 생산성을 떨어뜨리고 이들 침식된 입자들은 다른 지역으로 이동하여 원하지 않는 곳에 퇴적됨으로써 수질을 악화시키고 하천 및 저수지의 저수용량을 감소시키는 등 여러가지 문제를 야기하고 있다. 이에 따라 많은 연구자들이 토양 침식이 발생하는 위치, 침식방식, 침식량, 침식률 및 침식된 토양입자들이 퇴적되는 위치, 퇴적방식 및 퇴적률을 밝히고자 연구를 수행해왔다.

Cs-137은 핵분열 생성물로서, 대기권 핵실험 또는 원자력발전소로부터의 방출로 환경에 존재하게 되며 주로 낙진 (fallout) 형태로 토양에 도달하는 인공방사성핵종인데 i) 천연핵종은 전혀 존재하지 않는다는 점, ii) 점토 및 유기물 입자와 접촉하면 신속하게 흡착되어 거의 치환이 불가능하며 식물체로의 이행도 거의 없으므로 경운이나 침식, 퇴적같은 물리적 원인으로만 이동이 가능하다는 점, iii) 강력한 감마선 (662 keV)을 방출하기 때문에 특별한 전처리나 화학적 분리없이 비교적 간단하게 환경시료의 계측이 가능하다는 점 및 iv) 반감기(30.2년)가 길다는 점 때문에 토양의 침식과 퇴적방식, 침식률 및 퇴적률을 밝히기 위한 많은 연구에 이용되어 왔다.¹⁻⁵⁾ 이들 연구중 대부분은 개방된 조건 (open sys-

tem)하에서 수행되었기 때문에 점토입자와 함께 Cs-137이 유실될 가능성을 내포함으로써 침식률 및 퇴적률의 부정확한 평가를 초래할 가능성이 있다.

따라서 비교적 Cs-137의 유실이 적을 것으로 보이는 폐쇄 조건 (closed system)인 석회암 지대의 돌리네 (Doline)나 sinkhole에서 침식 및 퇴적을 연구하기도 하였다.⁶⁻⁸⁾

우리나라에서의 낙진 Cs-137을 이용한 토양침식과 퇴적에 관한 연구는 결코 활발하다고 볼 수 없다. Koh와 McHenry⁹⁾는 미국 루이지애나주의 Larto호수에서 Cs-137을 이용하여 1958년 이래 토양의 퇴적률을 측정하였으며 Menzel등¹⁰⁾들은 이천, 예산, 밀양 및 수원 근교 22개 지점에서 토양시료를 채취하여 상대적인 토양침식률을 계산하였다.

본 연구는 유례없는 가뭄으로 온국민이 고통을 겪었으나 토양유실 연구측면에서는 저수지 바닥이 드러나 보기 드물게 좋은 기회였던 1994년 여름에, 가뭄이 특히 심했던 전라남도 해남군 화원면에 위치한 산수저수지에서 퇴사를 채취하여 감마핵종분석을 통하여 깊이에 따른 Cs-137의 농도분포를 조사함으로써 이 저수지에서 i) 연간 퇴사 퇴적률, ii) 퇴적물의 총량 및 iii) 유역 (watershed)에서의 추정 토양 유실량을 정량적으로 밝히고자 수행하였다.

재료 및 방법

토양분석

시료채취는 전라남도 해남군 화원면 소재 산수저수지 (34° 38' 52" N, 126° 17' 6" E)에서 수행하였다. 산수

찾는말 : Cs-137, 퇴적, 토양 유실, 퇴사

*연락처

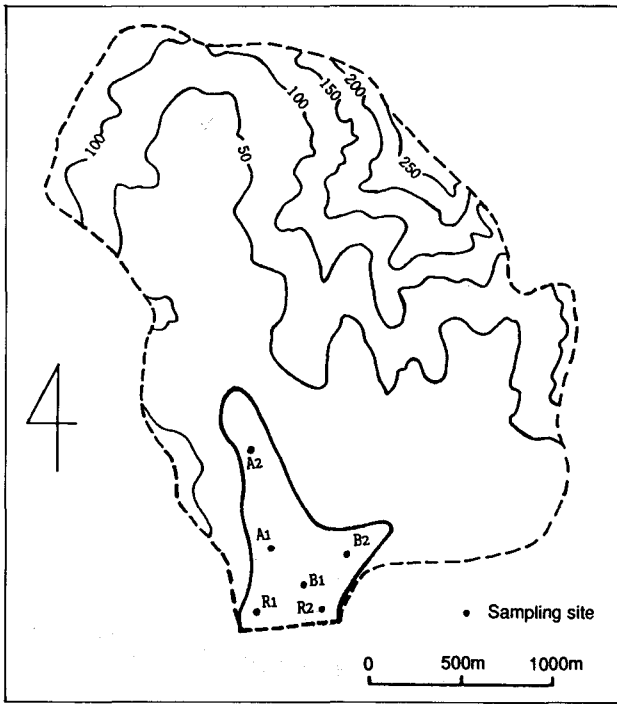


Fig. 1. Contour map of the Sansu reservoir watershed. Elevations are in meters. Dashed line is watershed boundary.

저수지는 과거에는 갯벌로 바닷물이 출입하였으나, 1935년 일본인 吉川이 현재의 위치에 저수지를 축조한 것으로 유역면적 275 ha, 저수면적 35 ha, 유효저수량 535 000 ton으로 세곳의 골짜기로부터 물이 유입되며, 토사의 심한 유입으로 수문 부근은 1.8 m 이상의 깊이까지 토사가 퇴적되어 있었고 주변에는 논, 밭, 산지가 고루 분포되어 있다. 그림 1에 산수저수지 유역과 시료채취지점을 나타내었다. 시료채취지점 부근의 30년간 (1961년~1990년) 연평균 강수량은 1,360 mm이며 우리나라의 다른 지역과 마찬가지로 여름철 (6,7,8월)에 집중되고 있다.¹¹⁾ 시료채취지점 R1과 R2는 수문 근처이며 A1과 A2 및 B1과 B2는 토사의 유입이 활발한 골짜기 방향이었다.

저수지는 시료 채취 당시 20여일간 말라 있는 상태였지만 20~30 cm 지점부터 물이 나오기 시작하여 정상적인 auger로의 시료채취가 불가능한 상태였다. 따라서 가로, 세로, 높이가 각각 10 cm, 10 cm, 50 cm인 4각 기둥모양의 시료채취기를 토양에 삽입하고 시료채취기 주변의 토양을 제거한 후 시료채취기를 들어내어 5 cm 단위로 시료를 채취하였다. 이와는 별도로 0~15 cm 깊이의 토양을 표토, 15 cm 보다 깊은 부위의 토양을 심토라 각각 정의한 후 채취하여 일반토양분석에 이용하였다. 시료 채취는 각 지점의 상태에 따라 R1, R2, A1, A2, B1, B2에서 각각 60 cm, 50 cm, 100 cm, 50 cm, 50 cm 및 40 cm 깊이까지 시료를 채취하였다.

채취한 시료는 바로 시료용 비닐백에 넣어 수분 손실을 방지하면서 실험실로 운반하였다. 그늘진 곳에서 풍건한 시료를 2 mm 체로 거르고 이 시료를 일반 토

양분석에 사용하였다.

토양의 유기물은 Walkley-Black법¹²⁾, 인산은 Lancaster법¹³⁾으로 정량하였으며, 양이온치환용량은 1 N 초산 암모니아법에 따라 구하였다.¹⁴⁾ 치환성양이온은 1N-Ammonium acetate 용액으로 토양을 침출하여 침출액중 Ca, Mg, K, Na를 원자흡광광도계로 정량하였고,¹⁵⁾ 토양입경 분포는 hydrometer법¹⁶⁾으로 분석하였다.

감마핵종분석을 위해서는 2 mm체를 통과한 시료중 필요한 양을 곱게 갈아서 측정용기에 높이가 약 50 mm가 되도록 충전하였다. 충전된 시료는 밀봉하고 15일 이상 방치하여 Ra-226, Rn-222 등 U의 딸핵종들이 방사평형에 도달하게 한 후 감마핵종분석을 실시하였다.

감마핵종분석은 충전된 토양시료를 HPGe 검출기 (high purity germanium detector)를 이용하여 80000초간 계측한 다음 이를 Quantum Technology사의 GDR-C software를 이용하여 각 핵종별로 방사능을 결정하였다. 용기에 토양시료를 충전할 경우 높이가 일정하지 않기 때문에 5 mm에서 50 mm까지 8개의 표준선원을 이용하여 높이에 따라 계측효율을 보정하였다.

퇴적량 추정을 위한 이론적 근거 가정

Cs-137의 토양중 분포를 이용하여 침식된 토양의 퇴적률을 계산하고자 할 때에는 Cs-137의 고정, 분포 및 손실에 관한 몇가지 가정을 필요로 한다. Cs-137을 이용하여 토양의 침식과 퇴적을 연구하는 데에는 Brown 등²⁾이 제시한 가정을 이용하였다. 즉, (i) 1954년 초반부터 대기권 핵실험의 결과로 Cs-137의 낙진이 계속되고 있다. (ii) Cs-137은 연구 대상지역 표토에 신속하고 강력하게 고정되거나 흡착된다. (iii) 낙진 형태로 지표에 도달하는 Cs-137은 초기에는 대상지역 전 면적에 고르게 분포되며 특정 부위에 집중되지 않는다. (iv) 침식된 토양입자가 퇴적하는 지역으로 운반될 때 토양 입자크기에 따른 이동속도에는 차이가 없다. (v) 식물체로 Cs-137이 이행되는 정도는 미미하며 연구대상지역 전체에 걸쳐서 고르게 발생한다.

퇴적률 및 퇴적량

저수지에는 해마다 상류에서 침식된 토양입자들이 퇴적된다. 낙진 형태로 지표에 도달하여 토양입자에 강하게 흡착된 Cs-137은 침식된 토양입자들과 함께 이동하여 저수지로 유입, 퇴적된다. 강대국들에 의한 대기권 핵실험은 1961/62년에 최고조에 달했는데 이들이 낙진 형태로 지표면에 도달하는데에는 약 2년이 걸리므로 Cs-137은 1963/64년에 가장 많은 양이 지표에 도달하였다.¹⁷⁾ 그러므로 깊이에 따른 Cs-137 농도를 측정하여 감소하다가 갑자기 증가하는 깊이를 1963/64년에 퇴적된 층으로 보면 퇴적률은 다음 식으로 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} & \text{퇴적률}(\text{cm year}^{-1}) \\ &= \frac{(1963/64\text{년 층이 발견된 깊이})}{(\text{시료채취 지점}-1963/64)} \end{aligned} \quad (1)$$

Table 1. Physicochemical properties of the soil samples used.

Sample	Particle size dist.			pH(1:1)	O.M. %	Avail. P ₂ O ₅ mg kg ⁻¹	CEC	Ext. cations			
	sand	silt %	clay					Ca	Mg cmol(+) kg ⁻¹	K kg ⁻¹	Na
A1 top ¹	16.6	73.4	10.0	7.8	2.34	7.3	6.7	2.3	3.4	0.9	1.7
A1 sub ²	15.7	66.2	18.1	7.8	1.07	7.6	11.2	3.2	4.5	1.5	3.9
A2 top	15.5	64.4	20.1	5.5	2.97	3.2	10.7	6.0	1.0	0.3	0.3
A2 sub	18.1	63.6	18.3	4.1	2.28	1.4	11.5	7.5	1.1	0.4	0.3
B1 top	8.9	67.0	24.1	5.1	1.90	3.9	11.9	4.7	3.4	0.8	0.6
B1 sub	18.3	61.5	19.2	7.1	1.07	8.3	13.4	5.7	4.3	1.4	2.0
B2 top	10.9	71.0	18.1	5.0	3.16	4.6	12.9	4.3	2.6	0.6	1.1
B2 sub	42.7	35.1	22.2	7.4	0.57	10.4	13.9	4.5	5.1	1.3	1.6
R1 top	3.1	68.7	28.2	5.5	2.47	3.2	16.8	5.5	3.6	0.9	0.8
R1 sub	1.7	66.0	32.3	8.0	1.14	21.2	16.4	8.0	5.5	2.0	3.9
R1 top	2.5	72.2	25.3	5.6	2.72	3.3	15.0	4.5	2.9	1.1	1.4
R1 sub	2.5	75.3	22.2	7.0	0.88	6.3	11.5	4.1	4.6	1.4	2.3

¹topsoil: 0~15 cm. ²subsoil: >15 cm.

퇴적된 토양의 양은 퇴적률에 저수지의 면적을 곱하는 다음의 식으로 구할 수 있다.

$$\text{퇴적량} = \text{퇴적률} \times \text{저수지 면적} \quad (2)$$

추정 유실량

산수저수지는 유역면적 (watershed area)이 275 ha이고 저수면적은 35 ha이다. 몇가지의 가정, 즉 (i) 유실된 토양입자가 모두 저수지로 유입되고, (ii) 저수지에서의 overflow는 없으며, (iii) 유역에서 저수지로 유입되는 도중에 수로에서 rill erosion이나 gully erosion이 발생하여 유실량이 증가하는 경우가 없다는 점을 전제로 하면 유역면적이 저수면적의 7.86배 (=275 ha/35 ha)이므로 유실이 유역 전체에서 고르게 일어났다고 볼 경우 유실률은 다음의 식으로 구할 수 있다.

$$\text{유실률} = \text{퇴적률} / 7.86 \quad (3)$$

면적 1 ha, 깊이 10 cm, 가밀도가 1.25 g cm⁻³인 토양의 무게는, 1 ha × 10 cm × 1.25 g cm⁻³ = 1250 ton이다. 따라서 면적이 1 ha, 가밀도가 1.25 g cm⁻³인 토양 1 mm의 무게는 12.5 ton이다. (4)

(3), (4)로부터 이 유역에서의 개략적인 유실량을 구하였다.

결과 및 고찰

채취된 토양시료의 이화학적 성질을 표 1에 나타내었다.

토양이 침식될 때 모래는 점성이 적어서 쉽게 각각의 입자로 분리되지만 무게때문에 운반이 용이하지 않고, 점토는 점성때문에 쉽게 침식이 되지 않는으나 일단 점토입자로 분리되면 가벼워서 쉽게 퇴적되지 않고 멀리까지 운반된다. 따라서 저수지에는 침식, 운반, 퇴적이 상대적으로 용이한 미사입자의 퇴적이 대부분을 차지

하게 된다. 퇴사의 입경 분포를 보면 저수지 상류 지역의 토양에 비하여 미사함량이 월등히 높아서 B2 심토를 제외하고는 모두 미사가 60 % 이상이다. B2 심토에 모래가 많은 것은 강우 패턴에 기인하는 것으로 보인다. 즉, 큰비가 내렸을 때 갑자기 불어난 물에 모래입자까지 저수지로 유입이 되었으나 유속이 급격히 감소하자 무거운 모래입자들이 모두 퇴적된 후 큰비가 오지 않아서 주로 미사가 운반되어 퇴적된 까닭으로 보인다. B2를 제외하고는 표토와 심토간에 토성차이를 보이지 않았다. pH는 4.1~8.0의 범위로 상류 지역 경작지 토양 pH인 5.1~6.6보다 넓은 범위에서 분포하였다. pH가 8.0까지 분포하는 것은 이 저수지 주변이 간척지이기 때문으로 보인다. 유기물함량은 저수지 상류지역 경작지 토양이나 우리나라 밭토양의 평균 유기물함량과 크게 차이 나지 않았다.

유효인산함량은 우리나라 밭토양 평균함량은 물론 상류지역 경작지토양의 함량보다도 훨씬 낮았다. 그 이유는 두가지로 볼 수 있는데 첫번째 이유는 저수지 상류 지역의 상당부분이 산지로 인산질 비료의 시비가 거의 없었던 곳이기 때문이고, 두번째 이유는 인산질비료를 시비하면 주로 점토입자에 흡착하게 되는데 저수지 퇴사의 대부분이 미사 크기로 점토함량이 낮기 때문이다. 양이온치환용량 및 치환성양이온함량은 저수지 상류지역 경작지 토양과 비슷한 수준이었다.

그림 2에 각 시료채취 지점에서의 깊이별 Cs-137 농도 분포를 나타내었다.

장기간 토양의 침식 및 교란이 없었던 지역에서는 대개 10~15 cm 이상의 깊이에서는 Cs-137을 발견할 수 없으나 침식이 일어난 지점에서는 이보다 얇은 깊이까지만 Cs-137이 존재하고 퇴적이 일어난 지점은 훨씬 깊은 곳까지 Cs-137이 존재하게 된다. Brown 등¹¹⁾은 扇狀地, 洪積平野 및 연못에서 시료를 채취, 분석한 결과 각각 50 cm, 30 cm 및 30 cm까지 Cs-137이 존재함을

발견하였으며 Menzel 등¹⁰⁾은 이천, 예산, 밀양 및 수원 근교 22개 지점에서 토양 시료를 채취, 분석한 결과 15~30 cm 깊이까지 Cs-137이 존재함을 발견하였다. 산수저수지의 퇴사에는 지점에 따라서 15 cm~60 cm 깊이까지 Cs-137이 존재하였다.

그림 2에 나타낸 Cs-137의 농도는 단위 면적당 방사능으로 단위가 Bq kg⁻¹인데 다른 연구 결과와 비교하기 위하여 단위를 면적당 방사능으로 환산하면 R1, R2, A1, A2, B1, B2 지점의 방사능은 각각 8928.4, 4400.0, 3910.0, 880.0, 1010.0 및 920.0 Bq m⁻²였다. 예상대로 수심이 깊어 퇴적물이 가장 많이 쌓이는 R1 지점의 방사능이 가장 높았으며 이 지점으로부터의 거리가 멀어질수록 방사능은 감소하는 경향을 보였다. 본 연구의 결과를 Menzel 등¹⁰⁾ 및 Brown 등¹⁾의 결과와 비교하기 위하여 Menzel 등¹⁰⁾의 시료채취지점인 1984년으로 반감기를 고려하여 방사능을 보정한 결과를 표 2에 나타내었다.

본 연구의 결과는 Brown 등¹⁾ 및 Menzel 등¹⁰⁾의 결과와 비슷한 수준이었으나 최대값은 두배 이상 높은 값을 보였다. 그 원인은 Menzel 등¹⁰⁾은 경운으로 인한 희석 효과로 Cs-137의 농도가 낮은 농경지에서 시료를 채취한데 반하여, 본 연구에서 시료를 채취한 저수지에

는 유역으로부터 유실된 토사가 퇴적되는데 유실되는 토사는 대부분 Cs-137 농도가 높은 표토이기 때문으로 볼 수 있다. 또한 저수지의 경우는 장마철 강우가 특히 심한 해나 낙진이 유난히 많았던 해에는 많은 양의 Cs-137이 퇴적될 수 있기 때문으로 볼 수 있다.

퇴적률 및 퇴적량

여섯 지점의 시료 채취 지점중 네지점 (R1, A2, B1, B2)에서는 갑자기 Cs-137 농도가 증가하는 깊이가 존재하지 않았다. A1에서는 10~15 cm까지 Cs-137이 검출되었고 35~40 cm 깊이까지는 전혀 검출되지 않다가 다시 검출되기 시작하여 45~50 cm 깊이에서 높은 농도의 Cs-137이 검출되었다. 따라서 45~50 cm를 핵실험으로 인한 Cs-137의 농도가 높은 1963/64년층으로 가정하였다. R2에서는 시료채취의 어려움으로 50 cm까지만 시료를 채취하였는데 45~50 cm까지 계속 Cs-137이 검출되어 퇴적률 계산에의 이용이 불가능하였다. 그러나 A1과 같은 깊이 (45~50 cm)에서 높은 농도의 Cs-137이 검출되었기 때문에 A1으로부터 구한 45~50 cm가 1963/64년 층이라는 결론을 뒷받침할 수 있는 자료로 이용하였다.

식 (1)로부터,

$$\begin{aligned} \text{퇴적률} &= \frac{(45+50)/2 \text{ cm}}{(1994-1963/64) \text{ years}} \\ &= \frac{47.5 \text{ cm}}{30.5 \text{ yrs}} = 1.56 \text{ cm yr}^{-1} \end{aligned}$$

이 결과는 1963/64년부터 1994년까지 산수저수지에 연평균 1.56 cm의 퇴사가 퇴적되었다는 것을 의미하는 것으로 Koh와 McHenry⁹⁾가 미국 루이지애나주의 Larto 호수에서 측정된 퇴적률인 1.6~3.1 cm yr⁻¹와 유사한 값을 나타내었다.

앞에서 구한 퇴적률을 식 (2)에 대입하면 1963/64년부터 1994년까지 저수지 전체 면적 (35 ha)에 퇴적된

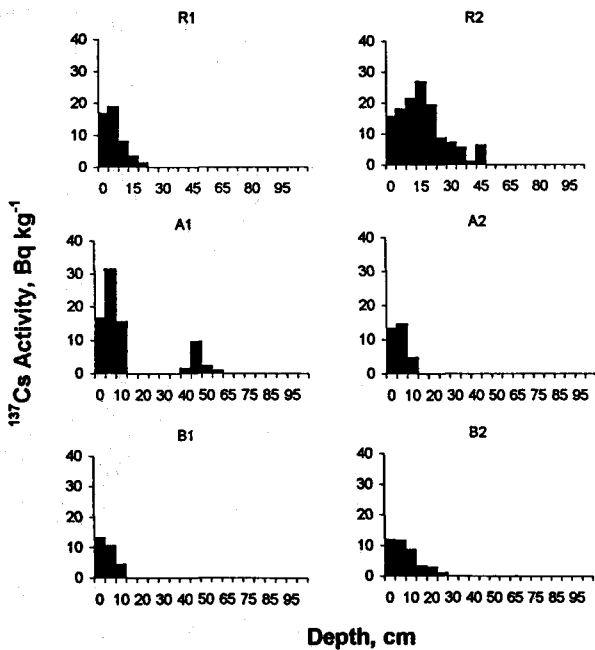


Fig. 2. Cs-137 distribution within individual profiles.

Table 2. Comparison of Cs-137 activity from different sources.

Authors	Cs-137 activity, Bq m ⁻²
Brown <i>et al.</i> ¹	1154.6~4717.4
Menzel <i>et al.</i> ²	2268.0~4510.0
Kim ³	1107.0~11231.9

¹Samples from alluvial fans, flood plains, ponds. ²Samples from reference sites. ³Samples from the Sansu reservoir.

Table 3. Empirical equations which relate annual deposition rate, watershed area, and reservoir capacity.

Authors	Watershed Area (km ²)	Developed in (yr.)	Empirical equations	Qs
Lee ¹⁸⁾	1.44~93.0	1992	Qs = 830.5 × A ^{-0.902} · IRC ^{0.315}	1021
Kim ¹⁹⁾	2~71	1993	Qs = 196.33 × A ^{-1.163} · C ^{0.301}	3208
Yoo ²⁰⁾	2.1~21.1	1975	Qs = 1.43 × A ^{-0.469} · C ^{0.531}	980
B & P ¹⁸⁾	0.15~84.8	1978	Qs = 255.4 × A ^{-0.8184} · IRC ^{0.5774}	869

Qs: Annual deposition rate (m³ yr⁻¹ km⁻²). A: Watershed area (km²). C: Reservoir capacity (m³). IRC: Initial reservoir capacity (ha, m).

퇴사의 양을 구할 수 있다.

$$1.56 \text{ cm yr}^{-1} \times 35 \text{ ha} \times 30.5 \text{ yrs} = 166530 \text{ m}^3 \quad (5)$$

대개의 경우 저수지를 축조하는 과정에서 주변의 산림을 훼손하고 이에 대한 적절한 조치를 취하지 않기 때문에 초반 몇년간 많은 양의 퇴사가 퇴적하지만 시간이 경과함에 따라 피복식물이 자라게 되면 퇴적물이 줄어들게 된다. 그러나 1935년 산수저수지가 축조된 이래 퇴사의 퇴적률이 1963/64년부터 1994년까지의 연평균 퇴적률과 같다고 가정하면 1935년 산수저수지를 축조한 이래 퇴적된 토사의 양은 다음의 계산에 의하여 구할 수 있다.

$$1.56 \text{ cm yr}^{-1} \times 35 \text{ ha} \times (1994 - 1935) \text{ years} = 322140 \text{ m}^3$$

앞에서 구한 퇴적률인 1.56 cm yr^{-1} 로부터 1 km^2 에 연평균 퇴적되는 퇴사의 양은, $1.56 \text{ cm yr}^{-1} \times 1 \text{ yr} \times 1 \text{ km}^2 = 15600 \text{ m}^3$ 이다.

여러 연구자들이 저수지의 연평균 퇴사량을 측정하기 위하여 퇴사량 추정공식들을 발표하였다. 표 3에 유역 면적, 유효저수량등을 이용하여 연평균 퇴사량을 추정하는 몇몇 추정 공식을 나타내었다.¹⁸⁻²⁰⁾ 퇴사량 추정은 추정공식에 따라 상당한 차이가 있었으며 본 연구에서 추정한 퇴사량과도 상당한 차이가 있음을 알 수 있었다. 표 3의 공식은 대부분 토목학자들이 실측 결과를 이용하여 얻은 식들로 유역 면적이거나 유효저수량등에 따라 큰 변이를 보이고 있다. 본 연구의 결과만으로 Cs-137을 이용한 퇴사량 추정이 토목학자들의 추정 방식과 많은 차이를 보인다는 결론을 내리기에는 다소 무리가 따른다고 볼 수 있으나 앞으로 본 연구와 유사한 연구가 많이 수행된다면 상당한 정확도를 가지는 퇴사량 추정 공식을 구할 수 있을 것으로 본다.

추정 유실량

저수지 유역면적 275 ha에서 유실된 토사가 모두 저수면적 35 ha에 퇴적되었다고 가정하면 식 (3)으로부터 유실률 = 퇴적률 / 7.86 = 0.20 cm yr^{-1} 이다. 저수지 유역의 가밀도를 1.25 g cm^{-3} 로 보고 앞에서 구한 유실률과 (4)를 이용하면 연평균 유실되는 토양의 양을 구할 수 있다.

$$1 \text{ mm} : 12.5 \text{ ton} = 0.20 \text{ cm} : 25 \text{ ton}$$

즉, 저수지 유역 전체에서 고르게 유실이 일어났다고 가정할 때 전체 면적에서 연평균 2 mm 두께의 토양이 유실되었다는 것이며, 이를 무게로 환산하면 ha당 25 ton의 토양이 유실되었다는 것을 의미한다.

정 등²¹⁾은 lysimeter를 이용한 실험에서 작부인자에 따른 토양유실량을 예측한 결과 나지에서는 ha당 연간 128 ton의 토양이 유실되었으며 재배작물의 종류에 따라 ha당 연간 8 ton (밀-참깨 재배시) ~ 86 ton (보리-옥수수 재배시)의 범위에 있음을 보고하였다. 토양이 침식되면 침식된 토양입자들은 운반되어 다른 곳에서

퇴적하게 된다. 이때 침식된 토양입자들이 모두 유실되는 것은 아니므로 실제 침식량은 대개의 경우 유실량보다 많다고 볼 수 있다. 정 등²¹⁾의 연구는 lysimeter를 이용한 좁은 면적에서의 실험이므로 침식된 토양입자가 거의 유실된다. 그러나 본 연구의 대상인 산수저수지는 유역이 275 ha로 주위에 논, 밭, 산지가 고루 분포되어 있어 (그림 1) 앞에서 구한 ha당 25 ton의 토양유실량은 적절하게 추정된 것으로 판단된다.

현재 우리나라 저수지들은 상류로부터 유입된 퇴사의 퇴적으로 저수용량이 크게 감소하여 거의 해마다 발생하는 가뭄과 홍수시 저수지로서의 구실을 제대로 할 수 없는 것이 대부분이다.

본 연구와 유사한 연구가 활발히 수행되어 토양의 침식과 퇴적을 정량적으로 추정하고 그 결과를 바탕으로 준설공사등 충분한 저수용량 확보를 위한 대책이 수립, 시행되기 위하여 연구자들은 부단한 노력을 경주해야 하며 정부도 정책적인 지원을 아끼지 말아야 할 것이다.

감사의 글

본 연구를 적극 지원해주신 한국원자력안전기술원 환경평가실장 이모성박사님, 토양분석을 맡아주신 농업과학기술원 토양보전실장 정필균박사님, 그리고 40°C 가까운 무더운 날씨에도 묵묵히 시료 채취를 도와주신 한국원자력안전기술원의 한만중님, 이성렬님 및 방사능분석을 도와주신 윤주용님이 아니었으면 이 연구의 수행이 불가능했음을 알려드립니다.

참고 문헌

1. Brown, R. B., N. H. Cutshall, and G. F. Kling (1981) Agricultural erosion indicated by ^{137}Cs redistribution: I. Levels and distribution of ^{137}Cs activity in soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* **45**, 1184-1190.
2. Brown, R. B., G. F. Kling, and N. H. Cutshall (1981) Agricultural erosion indicated by ^{137}Cs redistribution: II. Estimates of erosion rates. *Soil Sci. Soc. Am. J.* **45**, 1191-1197.
3. De Jong, E., C. B. M. Begg, and R. G. Kachanoski (1983) Estimates of soil erosion and deposition for some Saskatchewan soils. *Can. J. Soil Sci.* **63**, 607-617.
4. De Jong, E., C. Wang, and H. W. Rees (1986) Soil redistribution on three cultivated New Brunswick hillslopes calculated from ^{137}Cs measurements, solum data, and the USLE. *Can. J. Soil Sci.* **66**, 721-730.
5. Kiss, J. J., E. De Jong, and H. P. W. Rostad (1986) An assessment of soil erosion in west-central Saskatchewan using cesium-137. *Can. J. Soil Sci.* **66**, 591-600.
6. Kim, K. H., S. Y. Lee, J. E. Foss, K. M. Turnage, M. E. Timpson, J. T. Ammons, I. L. Larsen, and R. J. Lewis (1991) Determination of soil erosion and deposition in dolines by ^{137}Cs redistribution: relation to land use, p. 334. *In Agronomy abstracts*, ASA, Madison, WI.

7. Kim, K. H., K. M. Turnage, S. Y. Lee, J. E. Foss, I. L. Larsen, R. J. Lewis, and M. E. Timpson (1992) Soil erosion deposition rates calculated within sinkholes using Cs-137 redistribution, p. 305. *In Agronomy abstracts*, ASA, Madison, WI.
8. Turnage, K. M. (1993) Fallout Radiocesium and Elemental Redistribution in Dolines in East Tennessee, M. S. Thesis. The University of Tennessee, Knoxville
9. Koh, M., and J. R. McHenry (1982) Determining sediment rate using cesium-137 fallout at the Larto lake. *J. Korean Soc. Soil Sci. Fert.* **15**, 207-212.
10. Menzel, R. G., P. Jung, K. Ryu, and K. Um (1987) Estimating soil erosion losses in Korea with fallout cesium-137. *Appl. Radiat. Isoto.* **38**, 451-454.
11. 기상청 (1992) 한국의 기후표, 2권 ('61~'90).
12. Nelson, D. W., and L. E. Sommers (1982) Total carbon, organic carbon and organic matter. *In* A. L. Page, R. H. Miller, and D. D. Keeney (eds.) *Methods of soil analysis*. Part 2. 2nd ed. *Agronomy* **9**, 539-579.
13. 농업기술연구소 (1974) 토양화학분석법.
14. Rhoades, J. D. (1982) Cation Exchange Capacity. *In* A. L. Page, R. H. Miller, and D. D. Keeney (eds.) *Methods of soil analysis*. Part 2. 2nd ed. *Agronomy* **9**, 149-157.
15. Thomas, G. W. (1982) Exchangeable Cations: *In* A. L. Page, R. H. Miller, and D. D. Keeney (eds.) *Methods of soil analysis*. Part 2. 2nd ed. *Agronomy* **9**, 159-165.
16. Gee, G. W., and J. W. Bauder (1986) Particle-size analysis. *In* A. Klute (ed.) *Methods of soil analysis*. Part 1. 2nd ed. *Agronomy* **9**, 383-411. ASA and SSSA, Madison, WI.
17. Larsen, R. J. (1985) Worldwide deposition of Sr-90 through 1983, USDOE Rep. EML-444. EML, New York.
18. 농림수산부 (1993) 농업 수자원 종합관리시스템 개발
19. 김진택, 박승우, 서승덕 (1993) 관개용 저수지의 퇴사량과 유역 유사량 추정식. *한국농공학회지* **35**, 104-115.
20. 류시창, 민병향 (1975) 저수지의 퇴사에 관한 연구-진양 지구를 중심으로. *한국농공학회지* **17**, 46-53.
21. 정필균, 고문환, 엄기태 (1985) 土壤流失量 豫測을 위한 作付因子 檢討. *韓國土壤肥料會誌* **18**, 7-13.

Use of Cs-137 Redistribution in Estimating Deposition at The Sansu Reservoir

Kye-Hoon Kim* (*Korea Institute of Nuclear Safety, P.O.Box 114 Yusong-ku, Taejeou, Korea*)

Abstract: A reservoir located at Chollanam-do province was selected to estimate annual deposition rate, volume of annually deposited material, and annual soil loss from the watershed using Cs-137 redistribution. Sediment profiles of the reservoir indicated an average annual deposition rate of 1.56 cm yr⁻¹ and the total deposited volume of 166530 m³ since 1963/64. Annual soil loss from the watershed was 25 ton ha⁻¹. Particle size analysis showed that most of the particles were silt-sized ones.

*Corresponding author