

토양침식의 발생 원인과 분포특성

박무종 (국립방재연구소 방재연구관)

손광익 (영남대학교 토목공학과교수)

1. 머리말

전 국토에 걸친 개발사업은 주변 여건의 급격한 변화를 초래하여 과거와 동일한 강우와 같은 자연현상에도 불구하고 더욱 심화된 침식이나 퇴적을 유발하게 된다. 이와 같은 토사유출의 급격한 변화는 지형학적 변화를 초래하게 되어 유출 증대 또는 하천의 통수 단면 감소를 유발하여 홍수피해를 초래하며 하천수질과 주변 식생의 파괴 등 인위적 재해도 유발하게 된다. 뿐만 아니라 토양침식과 함께 토양 내에 있던 인(P)이나 질소(N) 같은 비점원 오염물질이 하류의 오염을 증가시키고 있다. 이와 같이 개발이 야기하는 토사유출에 따른 재해를 최소화하기 위해서는 사업지역 내에서의 토사생산 발생장소, 시간, 규모 및 이동형태를 정확히 파악해야 한다.

토양침식과 관련된 연구가 60여 년 이상 지속되어 왔지만 토양보전을 위한 대책을 수립할 수 있는 인류의 지식은 아직 부족한 실정이다. 현재까지 토양보전을 위하여 일반적으로 공학적인 접근이 시도되어 왔으나 성공적인 대책수립을 위해서는 실제 토양침식 과정에 대한 보다 깊이 있는 이해가 수반되어야 한다. 본 기사에서는 토양침식의 발생원인과 특성에 대하여 분석하여 토사유출 대책수립에 대한 이해를 돕고자 한다.

2. 토양침식의 발생원인

물에 의한 토양침식량(soil erosion)은 산지나 평지로부터 발생된 토양의 손실량을 말하며, 토사유출량

(sediment yield)은 유수에 의하여 유역의 어떤 한 점을 통과하여 유역 밖으로 빠져나간 토사의 양을 말한다. 토양침식과정 중 토양에서 분리된 많은 양의 흙은 토사운반능력이 낮은 초목지대나 혹은 평지에 퇴적된다. 따라서 침식된 토양이 모두 토사생산량이 되는 것은 아니므로 토사생산량과 토사침식량이 언제나 일치할 수는 없다.

침식과 퇴적과정은 지질학적 변천과정의 일부분에 해당하며 물, 바람, 얼음, 파도 등에 의한 지구표면의 토양침식은 끊임없이 계속되고 있다. 토사의 이송과 퇴적은 언제 어디서나 나타나는 자연현상으로 이러한 과정과 함께 지구표면의 산과 계곡, 홍수터, 하천, 삼각주, 해안 등에서는 각종 지질학적 변화가 일어난다. 토양침식과 관련된 장기적인 영향으로는 토양의 질, 토양의 농산물 생산성, 오염물질의 이동, 개울이나 습지에서의 생태학적 다양성, 하천의 변화, 그리고 홍수 등에 미치는 영향이 있다. 침식을 유발하는 인자로서는 강우, 유출 및 바람이 가장 주된 인자이며 얼음이나 파도 등은 해안 등 일부지역에만 영향을 미치는 것으로 알려져 있다. 또한 사면붕괴, 화산폭발, 지진 등은 일부지역에 급격한 변화를 유발시키고 있어 지구 전역에 걸쳐 농경지 및 주거지에서의 침식이나 퇴적뿐만 아니라 갑작스런 화산의 폭발이나 지진과 같은 재앙으로 인하여 유발되는 토양의 침식 및 퇴적에 의해서도 인류는 끊임없이 많은 도전을 받아 왔으며 이렇게 다양한 토양침식에 대한 문제 해결을 위해서는 토양침식 및 퇴적과정의 세부사항에 대한 충분한 이해가 동반되어야 전문적 대책 수립이 가능하다.

2.1 세계적 토양침식 현황

바람과 물에 의한 급속한 토양침식은 인류가 토양을 경작하기 시작한 이래 끊임없이 문제가 되어왔다. 1930년대 토양보전이란 응용과학의 출현 이후 토양보전이란 용어는 토양자원 관리차원에서 주로 사용되었다. 토양보전과 관련된 정책은 토양의 질, 특성, 변천과정, 다양성 등의 보전을 고려하여야 하며 이러한 정책의 수립은 지난 수십 여 년간 각 국가 단위뿐만 아니라 범 세계적 관련 기관의 중요한 관심대상이 되어왔다. 이러한 가운데서도 토양의 퇴화는 계속 진행되어 경작면적 기준 약 30%가 직·간접적인 영향을 받았으며 이제 토양침식은 다양한 범위의 경제적, 사회적, 환경적, 인구학적, 그리고 정치적 인자들의 상호작용으로 인하여 많은 국가에서 각종 심각하고도 긴박한 상황들을 야기 시키며 범 세계적 환경문제로 대두되었다. 한때 토양침식이란 열대지방, 건조지대, 또는 반건조 지역에서만 나타나는 국부적인 현상으로만 이해되었으나 이제 이러한 현상은 한대지역에서도 나타나는 것으로 알려져 있다.

중국의 황토고원의 경우 기원전 220년부터 토양침식이 기하급수적으로 증가된 것으로 알려져 있으며, 예멘의 Haraz 계단식 산지경사 지역의 경우 이러한 현상은 계단사면에서의 토양침식이 발생되면서 연 1~3 cm의 토양층 감소를 초래하여 지금은 다수 지역이 불모지대화 되어 대부분의 주민들은 이주하고 말았다.

1940년대 이후 토양침식에 대한 많은 연구는 토양 침식 과정이나 기구(mechanism)에 대한 많은 이해를 가져왔으나 실제로 현재까지 토양침식에 대한 인류의 이해도는 빈약한 실정이며 최근에 들어서야 사회적, 경제적, 정치적인 관심과 함께 침식의 발생 시기 및 위치에 대한 연구가 체계적으로 진행되고 있다.

토양침식률은 일반적으로 단위 면적당, 단위 시간당 발생하는 질량이나 무게로 표현한다. 일반적으로 기복이 별로 없는 지역에서는 연 0.0045 t/ha/yr, 기복이 심한 지역에서는 연 0.45 t/ha/yr의 침식이 발생하며 농경지의 경우 연 45~450 t/ha/yr의 침식이

발생한다고 알려져 있다.

지구전체에 걸친 토양침식율의 변화를 알아보기 위한 토양침식율의 분포도가 여러 연구자들에 의해 발표되었다. 다양한 연구중 분포도 산정을 위한 기본 면적이 비교적 평균에 가까운 Walling과 Webb(1983), Lovovich 등(1991)의 부유사 발생량 분포도가 그림 1, 2에 나타나 있다. 전체적으로는 비슷한 분포를 보이고 있으나 우리 나라의 경우 Walling과 Webb(1983)은 500~750 t/km²/yr로 추정하였으나 Lovovich 등(1991)은 서해 및 북한의 대부분지역 지역에서는 200~1000 t/km²/yr, 서해일부를 제외한 남한 전역은 1000~5000 t/km²/yr로 연구자별 추정치가 큰 차이를 보이고 있음을 알 수 있다.



그림 1 세계의 부유사 발생량 분포도 (Walling과 Webb, 1983)

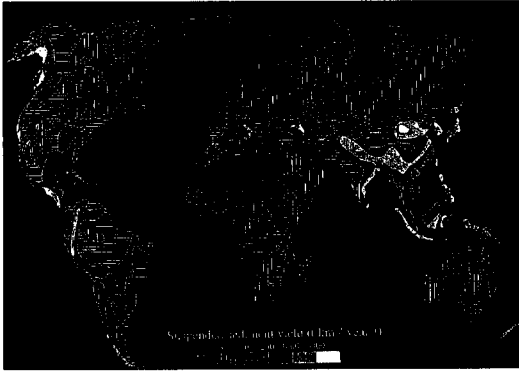


그림 2 세계의 부유사 발생량 분포도 (Lvovich 등, 1991)

2.2 인류활동이 토양침식에 미치는 영향

어떤 지역에서 발생된 토양침식은 토양침식이 일어난 유역내에 영향을 미치기도 하며 때로는 토양침식이 일어나지 않은 인근 타유역에 영향을 미치기도 한다. 이러한 토양의 재혼합, 토양의 타유역으로의 유출, 토양구조의 파괴, 유기물이나 영양분의 손실 등이 발생하는 농경지가 유역내 영향이 발생하는 경우에 해당된다. 토양침식은 토양의 습윤도를 저하시켜 토양성격이 건조화 되며 이로 인한 직접적인 영향은 농작물 생산성이 감소되고 이에 따른 퇴비나 비료구매를 위한 경비지출 등이 있다. 또한 농경지의 생산력 감소로 불모지대화 되는 장기적인 영향도 발생된다. 타유역에 미치는 영향으로는 하류수로나 하천에 토사가 퇴적되어 수로의 통수능을 저하시켜 홍수범람의 가능성을 높이며 저수지의 사용연한을 단축시키기도 한다. 많은 수력발전시설이나 관개시설에도 영향을 미치고 퇴사와 함께 인이나 질소와 같은 오염물질이 물로 유입되어 수자원 확보를 위한 하천의 이용은 퇴사뿐만 아니라 수질과 같은 환경문제를 야기하게 된다.

관개, 수력발전, 생활 및 공업용수 취수, 하천주변의 공업화 및 도시화 등은 하천주변 자연의 변화를 초래하고 있다. 이러한 인위적 변화는 하천의 흐름특성 및 유로 변화 등을 유발하여 바람직하지 못한 퇴적이나 침식을 가속화시킬 수 있으므로 인류의 각종 활동이 토양침식과 퇴적현상에 미치는 영향에 대한 깊은

이해가 요구된다. 그러나 자연적 토양침식과 인위적 활동에 의한 침식과의 관계에 대해서는 아직 명확히 밝혀진 바는 없다. 일부 과학자(UNESCO, 1982)는 지구 전체적으로 볼 때 현재의 토양침식 진행속도가 자연적 진행속도보다 약 2.5배 정도라고 보고하였으며 이러한 수치는 비교적 설득력이 있는 것으로 현재 까지 받아들여지고 있다.

2.2.1 농촌환경

토지사용은 토양침식률에 많은 영향을 미친다. 일반적으로 토양의 침식성(erodibility)은 다른 어떠한 활동보다 토지의 관리에 가장 큰 영향을 받는 것으로 알려져 있다. 즉, 토지의 용도 및 식생관리가 토양의 침식능을 결정하는 중요한 인자가 된다는 것이다.

(1) 농경활동

물이나 바람에 의한 토양침식은 피복식물이 없는 경우에 많이 발생되며 나무, 관목, 잔디 등은 빗방울이 지표면에 직접 부딪혀 흩입자가 본체로부터 이탈되는 이탈침식을 감소시키고 침투를 유발하며 따라서 표면유출을 줄이는 역할을 한다. 따라서 피복식물을 없애고 경작을 한다는 것은 일년 중 일정기간은 피복식생이 없는 상태가 되므로 자연상태와 비교했을 때 필연적으로 토양침식 가능성을 높게 된다. 뿐만 아니라 농경활동은 토양 및 지표면에 물리적인 변화를 초래하고 덩어리화된 토양의 파괴는 물과 바람에 의한 토양침식을 유발하며 점토 및 진흙에 의한 지표면 공극의 메움 및 토양의 다짐은 침투율을 낮추고 표면 유출을 높여 시공적으로 유출량의 집중을 초래하여 새로운 수로를 만들기도 하며 이는 결국 세류침식(rill erosion), 판상침식(sheet erosion), 구극침식(gully erosion)을 유발한다. 농경작물의 종류, 식생밀도, 영양상태에 따라서도 침식도는 크게 달라진다.

(2) 삼림활동

나뭇잎의 차단효과, 낙엽에 의한 지표면 피복, 지표면 식생 등으로 인하여 삼림지대는 낮은 유출계수 및 높은 침투율을 보이므로 일반적으로 토양침식이 미미

한 것으로 알려져 있다. 또한 토양의 공극률이 높아 지하수의 재충전율이 높은 것으로 알려져 있다. 그러나 삼림이 제거되었을 경우 수문학적 조건이 변하여 토양은 침식 위험성이 커지며 경우에 따라서는 극단적인 대규모 침식 가능성도 높아진다. 따라서 종이, 목재, 건축용 자재, 난방용 자원 확보 또는 목장용 도로로 활용하기 위하여 벌목하는 일은 언제나 신중을 기하여 토양침식을 피하도록 하여야 한다. 토양침식에 대한 벌목 영향에 대한 보고서는 비교적 쉽게 찾을 수 있다. 미국의 Idaho에서는 벌목으로 인하여 자연 상태에 비하여 150배에 달하는 토양침식이 발생되었으며 대부분의 침식은 도로건설 과정 및 도로표면에서 발생된 표면침식에 기인하는 것으로 보고된 바 있다. 건축자재 확보를 위한 벌목은 주거지역 주변에서 주로 이루어지며 이러한 벌목은 비교적 소규모로 국한되나 급경사지에서의 벌목은 때로 산사태와 같은 인위적 재앙을 초래할 수 있다는 점에서 언제나 주의 를 요한다.

또한 수풀(bush)제거나 화전의 목적으로 숲의 일부를 불태우는 경우, 시기와 범위에 따라서는 토양을 비옥하게 하는 단기적 이득이 있으나 일반적으로는 토양침식 가능성이 높아져 득보다는 실이 큰 것으로 알려져 있다.

(3) 방목(Grazing)활동

초지에서의 방목활동이 수문학적 조건과 토양조건에 미치는 영향은 기후 및 방목의 정도에 따라 결정된다. 특히 반건조지역에서의 과도한 방목은 유출량에 많은 변화를 유발하여 토양침식 가능성을 높이게 된다. 장기적 또는 계절적 기후인자의 변화나 가축을 위한 물의 유용성과 같은 지역의 환경여건에 따라 방목 규모가 결정되어야 하며 방목하는 가축에 생계가 달려있는 사람 수 또한 방목 규모를 결정하는 또 다른 인자가 된다. 동아프리카의 사하라 사막지대의 경우 토양침식 방지 및 식생의 보호를 위하여 건기에는 동물들을 가능하면 물이 있는 곳에서 최대한 가까운 거리에서만 서식하도록 동물들의 서식처를 제한하며 우기에는 동물들이 넓은 지역에서 활동할 수 있도록 하

고 있다.

2.2.2 도시 및 산업환경

(1) 광산활동

광산운영은 활동성 침식 및 퇴적을 기하급수적으로 증대시킨다. 특히 석탄, 이판암(shales) 등의 노천채굴은 세계 여러 지역에서 심각한 수문학적, 퇴적학적 문제를 야기 시키고 있다. 또한 하천바닥이나 호수 주변에서 모래나 자갈 등을 준설하는 것도 마찬가지로 심각한 문제를 야기 시킬 수 있다. 노천채굴은 표층토 및 광물질을 덮고 있는 암반층을 제거하여야 하므로 지하수층의 파괴를 유발할 수 있어 주변 하천 및 유출 형태에 변화를 초래 할 수 있다. 또한 노천채굴은 수질과 토양에 영향을 주어 주변 식생에 큰 변화를 유발하기도 한다. 미국 켄터키의 경우 노천채굴로 인하여 토사유출량은 개발 이전상태에 비해 1000배나 증가 하였던 기록도 있다.

(2) 도로 및 건물·건축활동

식생피복이 안된 나지에서는 식생이 있는 지역에 비해 언제나 침식 가능성이 높으며 이러한 현상은 특히 자연의 퇴적학적 균형이 깨어진 재개발 지역에서 자주 나타난다. 특히 도로사면, 도로배수로, 건설현장에서 침식현상은 두드러진다. 도로 건설 중에 발생된 토사침식은 자주 보고되고 있으며 건설종류 및 건설 장소에 따라 그 형태 및 규모는 다양하게 나타난다. 재개발에 의한 인위적 경사가 형성됨에 따라 토사체의 안정성은 대단히 빈약하여 지표면 침식은 물론 토사체의 이동, 토석류, 활동사태(slumps), 산사태 등이 발생된다. 이러한 현상은 주변 하천 등지의 토사유출량에 큰 영향을 미치므로 궁극적으로는 유역내의 유사이동 형태에 장기적인 변화를 초래할 수 있다.

(3) 도시개발

도시지역에서 발생하는 토사량은 때때로 농촌지역에서의 발생량보다 훨씬 클 때가 있으며, 개발후의 토사유출량이 개발이전 보다 20,000~40,000배까지 이른다고 보고된 연구결과도 있다. 대부분의 토사유

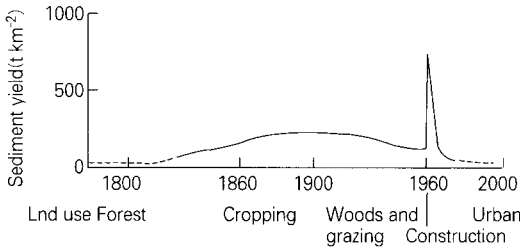


그림 3 토양 이용의 변화에 따른 토사유출량의 변화추이 (Wolman, 1967)

출은 피복식생을 제거한 후 건설이 이루어지는 과정에서 발생하며 건설활동은 자연상태의 토양보다 침식도를 높이며 토양의 안정성을 감소시킨다. 토사유출량은 주택, 학교, 쇼핑센터, 공공기관, 공장 등의 건축뿐만 아니라 교통과 관련된 통신망, 고속도로, 철도, 교량, 발전 관련 시설물 등의 건설과 댐, 송수관, 홍수 조절 구조물의 건설 그리고 레크레이션을 위한 야영장이나 주차시설 건설 등 여러 가지 도시개발 과정에서 증가될 수 있다. Wolman(1967)은 워싱턴 D.C. 주변의 도시화에 따른 토사유출량의 변화를 그림 3과 같이 보고하였다.

때때로 도시개발 현장에서의 토사유출량 증가는 건설현장보다 하류지역에 더 큰 영향을 주기도 한다. 배수로가 토사로 채워져 통수능이 감소되며 이로 인하여 상하수도 시스템이 영향을 받기 때문이다.

2.2.3 생태학적 환경

퇴사과정은 자연현상과 환경적 요인에 따라 기후, 지형, 지질, 동식물의 생활 등에 다양하게 그 영향을 미친다. 환경문제의 생태학적 접근은 물리적 그리고 생물학적 변천 과정간의 상호 연관성으로부터 시작된다. 앞에서 언급한 바와 같이 인류의 급속한 기술 발달은 지난 수십년 사이에 자연환경에 많은 영향을 미쳤다. 우리는 농경, 산업 그리고 식량생산의 증산 또는 유지를 위해 에너지, 광물, 흙 등 자연자원에 의지해야만 하며 따라서 공기, 물, 토양 오염은 질적인 환경 보전을 위하여 반드시 해결되어야만 한다. 실제로 외국에서는 식량생산에 필수적인 한정된 토양자원에 대한 인류의 오염활동(leaching, salinization, 토양침

식, 퇴적 등)에 대해서 이미 많은 관심을 가지고 주의 깊게 대처하고 있다. 산지에서의 과도한 토사유출은 세류(rill), 하천, 강, 연못 및 저수지에서의 또 다른 환경변화를 유발시키게 된다. 다시 말해 토사가 발생된 유역의 영향으로 인근 타유역이 토사유출에 따른 영향(피해)을 입게 된다는 것이다. 동일한 이유로 한 유역의 토사유출의 영향을 감소시키기 위해서는 타유역의 토사침식 조절이 요구되기도 한다. 따라서 토사 침식 및 토사유출 관련 문제의 해결을 위해서는 전 유역에 걸쳐 광범위한 검토가 필요하게 된다. 현재로서 가장 시급하고 중요한 것은 보다 더 장기적인 물과 토양보전에 필요한 각종 조절기법의 개발을 위해 복잡한 생태학적 상관관계 및 변천과정에 대한 주의와 이 해다.

2.2.4 수로환경

수공학적 활동은 한마디로 물과 토사를 재분배하는 것이다. 그런데 이러한 재분배는 수로의 변화를 유발시키게 된다. 저수지는 퇴사를 유발시키고 따라서 저수지 직하류부는 침식능이 증가하여 하상저하가 가속화되며 댐의 경우는 더욱 심하게 나타난다. 이러한 하류의 변화는 10km 이상 장거리에 걸쳐 나타난다. 저수지의 상류는 배수현상(backwater)으로 인하여 유속이 느려져 퇴사가 발생되어 하상이 상승하고 결국은 수위가 상승하는 효과가 나타나게 된다. 저수지나 호수 또는 해수면의 저하는 이들로 유입되는 하상 기울기를 크게 하여 유속을 빠르게 하고 따라서 침식능이 커지게 되어 하상 저하의 효과는 상류로 계속해서 진행된다. 이러한 현상은 본류의 수면이 낮아진 지류에서도 나타난다. 따라서 수공학적인 활동은 상하류의 여건을 고려하여 언제나 신중히 행해져야 한다.

3. 토양침식 발생특성

토양침식의 발생원인은 크게 바람에 의한 침식과 물에 의한 침식으로 구별할 수 있다. 바람에 의한 이송은 토립자표면에 작용하는 풍력에 기인되며 각 토양별 토립자 크기, 입자간 응결력에 따라 토립자가 이

송되는데 필요한 최소풍속 (한계풍속 : threshold velocity)에 도달되면 부유(suspension), 도약 (saltation) 및 표면포행(surface creep) 형태로 이송되며 대부분(약 93%정도)은 부유입자의 형태로 지표면 1m 이내에서 떠다닌다. 바람침식은 토사를 타지역으로 이송시켜 토양의 약화를 초래할 뿐만 아니라 생산성 감소, 공기오염의 발생을 유발하여 자연식생의 성장에도 영향을 미치는 등 심각한 환경문제를 야기시켜 전세계적인 연구관심의 대상이나 국내에서는 바람에 의한 침식은 거의 다루어지지 않고 있다.

물에 의한 침식은 농작물이나 곡물이 재배되는 곳이면 어디에서나 발생하는 농업문제 중의 하나로 토양으로 떨어지는 빗방울이나 지표면을 흐르는 물의 에너지에 의해 발생된다. 1970년대 미국의 경우 연간 약 40억 톤의 토양이 물에 의한 침식으로 손실된 것으로 추정된다. 그러나 미국 정부의 토양보전정책에 힘입어 현재는 그 손실량이 많이 감소되었다. 물에 의한 침식을 야기하는 주요인자는 강우 및 지표유출로 가장 일반적인 강우의 형태인 빗방울이 나지에 부딪힐 때 대단한 파괴력을 가지며 약 20mile/hr.의 속도로 빗방울이 토립자에 부딪힐 경우 토립자는 공기 중으로 튀어 오르며 씨앗도 씻겨나가게 된다. 지표유출은 토사체로부터 이탈된 토립자를 이송시키고 이렇게 이송된 토립자를 다른 장소에 퇴적시킨다. 강우는 주로 판상침식(sheet erosion)과 세류간 침식(inter-rill erosion)을 유발하나 이보다 더 심한 세류침식(rill erosion), 수로침식(channel erosion) 및 구곡침식(gully erosion)은 합류지표류(concentrated overland flow)에 의해 발생된다.

3.1 공간적 변화특성

세계적으로 볼 때 토양침식과 기후와의 관계에서 유효 연강우량이 300mm인 지역에서 가장 높은 토양 침식률을 나타낸다. 여기서 말하는 유효강우량이란 특정 온도하에서 일정 유출량을 발생시키기 위한 강우량을 의미한다. 300mm 이하에서는 강우량이 증가할수록 침식률이 증가되나 강우가 많아질수록 식물 성장이 빨라 토양을 침식으로부터 보호해 주므로

300mm이상의 경우 강우와 토양침식률과의 관계는 반비례하는 경향을 나타낸다. 그러나 강우량이 계속 증가하게 되면 다시 강우량과 토양침식률과의 관계는 비례하는 현상을 나타내게 된다(그림 4 참조).

토양침식률 산정은 기술적인 어려움으로 인하여 지난 30여년 간 하천의 부유사량 측정을 통하여 이루어졌으며 이들 관측은 침식률을 직접적으로 산정하는 기법은 아니지만 침식률을 추정할 수 있는 비교적 합리적인 기법으로 인정되고 있다. 이러한 토양침식률의 조사결과를 보면 중국, 인도, 미국서부, 중앙아시아, 지중해지역 등 반건조지대나 반습윤지대에서 토양침식이 비교적 심한 것으로 나타나고 있다. 또한 안데스, 히말라야 록기산맥의 일부, 아프리카 리프트 계곡과 같은 산악지대 및 자바, 남 뉴질랜드, 파피뉴기니아, 중앙아메리카 일부지역과 같은 화산토 지대 등지에서도 토양침식이 비교적 심한 것으로 나타나고

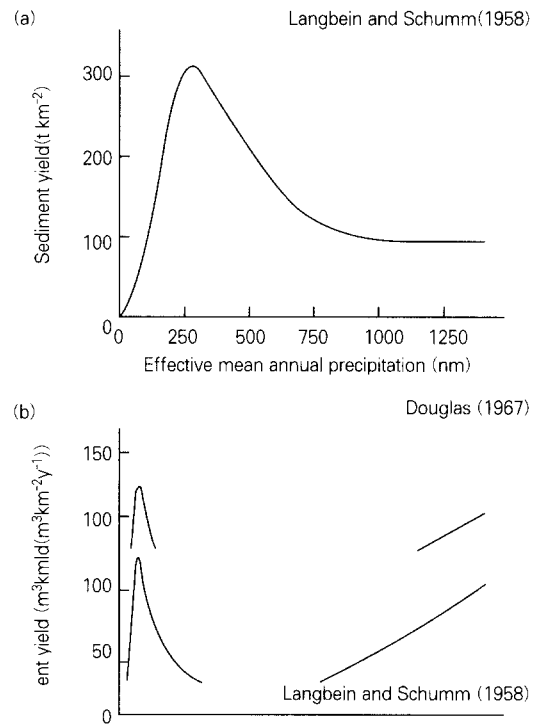


그림 4 토양침식률과 연평균 강우량 및 연평균 유출량과의 관계

표 1. 연 토양침식율 (t/ha)

	Natural	Cultivated	Bare soil
China	0.1-2	150-200	280-360
USA	0.03-3	5-170	4-9
Australia	0.0-64	0.1-150	44-87
Ivory Coast	0.03-0.2	0.1-90	10-750
Nigeria	0.5-1	0.1-35	3-150
India	0.5-5	0.3-40	10-185
Ethiopia	1-5	8-42	5-70
Belgium	0.1-0.5	3-30	7-82
UK	0.1-0.5	0.1-20	10-200

주) Morgan, 1986

있다. 이상에서 언급한 지역의 토양표면의 조건에 따라 토양침식 평균치를 보면 표 1.과 같다.

현재의 기후뿐만 아니라 지질특성에 따라서도 토양 침식률은 크게 달라진다. 이에 대한 예로는 남아프리카의 경우 humic층과 바위층과 같은 판상지질층에서는 비교적 안정적인 양상을 나타내나 5m 이상의 두께를 가진 붕적층(colluvial layer)에서는 판상침식이나 구곡침식 현상과 같이 침식현상이 심하게 나타나는 경우를 들 수 있으며 스와질랜드나 짐바브웨의 붕적층에서도 심한 구곡침식 현상이 나타난다. 유역면적이 넓은 경우 산지에서 발생된 토사유출은 산기슭 가장자리(footslopes)에 퇴적될 가능성이 높아 유역면적이 넓을수록 토양침식률은 감소하는 경향을 보이고 있다. 이러한 토양침식과 유역면적과의 관계에 대하여 Walling과 Webb (1996)이 많은 연구결과를 정리 요약하였으며 일반적으로 이들은 역함수 관계를 나타내고 있는 것으로 알려져 있으나 그와 상반되는 연구 결과도 많이 나타나고 있다. 최근의 연구는 지표면 또는 수로나 하천 등 침식이 발생하는 근원지가 어디냐에 따라 달라지는 것으로 알려져 있다. 삼림지역이나 식생피복이 조밀한 지역에서는 하류에서의 침식이 주로 발생하는 수로침식(channel erosion) 지대로서 비유사량과 유역면적은 정비례관계를 나타내나 판상침식(sheet erosion) 또는 구곡침식(gully erosion)이 주가 되는 사면침식(slope erosion)의 경우 비유사량과 유역면적은 역함수 관계를 나타낸다.

3.2 시간적 변화특성

대부분의 지형학자들은 극한 또는 이변에 가까운 강우사상에 의한 침식보다 보편적인 주기와 크기를 가진 강우에 의한 침식이 대부분의 토양침식을 유발한다고 생각한다. 대부분의 침식사상은 하천의 범람이 발생할 정도의 유출과 같은 사상에 의한 것이 아니라 재현기간 1.33~2년에 해당하는 정도의 강우사상에 기인한다. Senegal에서는 토양침식의 68%가 15~60mm 강우에 의하여 발생되었으며, 영국 mid-Bedfordshir 지방의 경우 1973년부터 1979년 사이에 발생한 침식의 80%가 13회의 강우에 의하여 발생되었으며 전체의 21%에 해당하는 가장 큰 침식은 57.2mm 강우에 의하여 발생하였으며 이러한 호우들은 연 2~4회의 빈도발생 확률에 해당한다. 그러나 토양상태가 침식가능성에 많이 노출되어 있을 경우 이와는 반대로 연 토양침식량의 50%가 단 두 번의 강우에 의하여 발생하였으며 전체의 75%에 해당하는 침식이 단 10분만에 발생한 예도 있다. 미국 오하이오주 Coshonton의 경우 100년 빈도에 해당하는 3개의 호우로 인하여 52%의 침식이 발생하였으며 토양침식의 92%가 옥수수를 경작하던 해에 발생하였다.

사면에서의 토사이송과 하천에서의 토사이송을 비교해 보면 사면의 경우 하천에 비해서 보다 발생빈도가 잦은 강우사상에 의한 것으로 알려져 있으나 이들 두 이송현상은 모두 보편적인 크기와 강도를 가진 강우사상에 의하여 발생한다는 것이 일반적이다. 그러나 말레이시아 Kuantan지역에서 1926년 12월 중 4일 사이에 발생한 1,194 mm의 호우로 인한 세류침식과 산사태의 흔적이 38년이 지난 1964년에도 나타나는 극한 사상에 의한 토양침식 및 이송의 예도 있다.

이와 같이 한 호우사상의 빈도 및 크기에 의한 토양 침식뿐만 아니라 계절에 의한 토양침식 패턴의 변화도 나타난다(그림 5 참조). 강우와 식생피복상태는 비슷한 형태를 나타내고 있으나 식생피복도상태가 강우보다 다소 늦게 나타나는 것을 알 수 있으며 침식가능성이 가장 높은 때는 강우는 많으나 식생피복도가 낮을 때 인 것으로 나타나고 있다. 예를 들어 토양보존을 위하여 농작물의 종류를 일정한 주기마다 바꿔 가

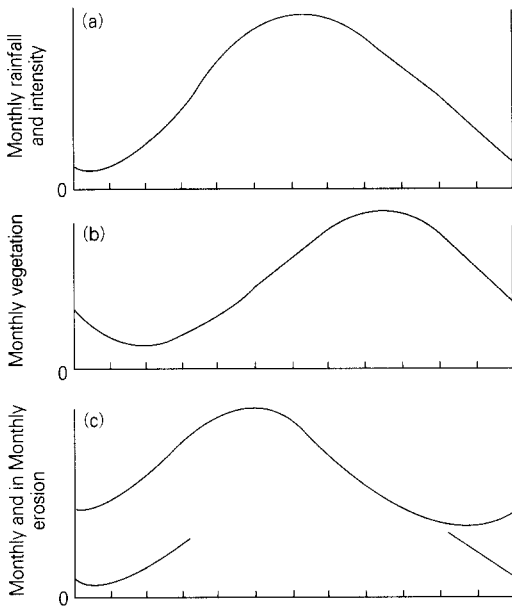


그림 5 반습윤 기후의 계절적 강우, 식생피복상태 및 토양침식율의 연간변화

며 경작하는 경우 경작물의 종류에 따른 토양침식도 달라진다.

4. 결 언

개발사업이 진행됨에 따라 동일한 강우패턴에 의해서도 토사유출량의 규모는 홍수량의 증가량이 2~3배인 것에 비하여 기하급수적으로 발생할 수 있다. 도시 및 산업환경의 변화에 따라 발생할 수 있는 토사유출에 의한 피해를 최소화할 수 있는 대책을 수립하기 위해서는 토양 침식의 발생과정에 대한 충분한 이해가 선행되어야 한다. 토사유출 저감대책은 단순히 침사지를 설치하는 것만으로는 충분한 효과를 기대하기 어려우며 토사유출을 제어하고 억제할 수 있는 근본적인 대책과 병행하는 경우에만 피해를 최소화 할 수 있을 것이다. ●

〈참 고 문 헌〉

- Morgan R.P.C.(1986) Soil Erosion and Conservation, Longman Group Ltd.
- Lvovich M.I.(1991) Contemporary Intensity of the world Land Intracontinental Erosion, USSR Academy of Sciences, Moscow.
- Walling D.E., and B.W. Webb(1996) Proceedings of "Erosion and Sediment Yield". International Association of Hydrological Science Publication #236, pp3-19.
- Walling D.E., and B.W. Webb(1983) Patterns of sediment yield. In: Background to palaeohydrology, ed. By K. J. Gregory, 69-100. Wilev, Chichester, UK, pp69-100.
- Wolman M.G.(1967) A cycle of sedimentation and erosion in urban river channels, Geografiska Annaler 49-A, pp385-395.