

멕시코 중부의 토양 침식과 고환경 변화

박정재*

Soil Erosion and Environmental Change in Central Mexico

Jungjae Park*

요약 : 멕시코 중부의 환경사를 파악하고자 할 때, 호수퇴적물을 이용하는 고환경 분석은 필수적이다. 이 지역의 고대문명과 스페인인의 식민사 등에 대한 기록이 거의 남아있지 않기 때문이다. 본 연구에서는 호수로의 토사 유입량을 분석하여 연구 지역에서 발생했던 토양 침식과 환경변화를 시기별로 밝혀 냈다. 토사유입량은 연대분석 결과와 작열감량 분석 결과를 기초로 산출하였다. 다양한 연대측정(Lead210, 바브층, 화산재층, 지진연도)을 수행하여 정확한 토사유입량을 계산할 수 있었으며 지역 환경에 중요한 영향을 미쳤던 사건들의 상세한 연대를 파악할 수 있었다. 연구 결과에 따르면, 유역의 환경을 훼손시킨 가장 큰 요인은 점령 전후의 옥수수 농경이었다. 한편, 스페인인의 목축활동이 미친 영향은 최소한 호수 유역 내에서는 그리 크지 않았다. 본 연구에서는 여러 종류의 연대 분석을 다각적으로 시도하여 보다 정확한 고환경 정보를 획득할 수 있었다.

주요어 : 토양침식, 토사유입량, 목축활동, 환경변화, 멕시코 중부, 연대측정방법

Abstract : Paleostudies using lake sediment are essential to reconstruct environmental history of central Mexico, where few documents on ancient civilizations and the colonial period exist. This study aims to reveal changes in the soil erosion rates through the calculation of sediment influx into the lake. The calculation is based on different kinds of chronologies and LOI. Sediment influx and dates for important events could be obtained in great detail through various chronological methods. Results show that corn agriculture was the most important reason to degrade the environmental status of the lake basin and European cattle raising was not much influential within the lake basin at least. It was possible to reveal a lot of recent environmental changes in detail, because the lake sediment used for this study has a very high sedimentation rate. Also, due to an accurate chronological framework, fundamental problems with the sediment were solved and reliable results could be produced.

Key Words : soil erosion, sediment influx, cattle raising, environmental change, central Mexico, chronological methods

1. 서론

지난 1000년 동안 중부 멕시코 고지대는 여러 문화적 변화를 경험했다. AD 900년부터 이 지역을 광범위하게 지배했던 아즈텍 문명은 AD 1522년 스페인 군사들의 공격으로 멸망하고 만다. 농경에 익숙했던 스페

인인들은 멕시코 고지대에 가축들과 신경작 방식을 도입하였고, 이에 따라 지역의 토지이용에는 큰 변혁이 일어났다. 또한 구대륙의 다양한 질병들이 함께 유입되어 원주민 사회에서 엄청난 인명 손실이 발생하였다. 이와 같은 복잡한 사회 변화는 자연환경에 다양한 영향을 미쳤다. 멕시코 중부 고지대에는 자연호가 많

* 전남대 지리학과 전임강사(Full time lecturer, Department of Geography, Chonnam National University), jungjaep@chonnam.ac.kr

이 분포하며 교란되지 않은 호저 퇴적물이 잘 보존되어 있어서, 과거 환경변화를 복원하기가 용이하다. 실제 이곳에서는 멕시코 지역의 후기 플라이스토신 기후 변화와 관련된 많은 분석결과들이 다양하게 보고되고 있다.

스페인인의 점령을 전후한 멕시코지역의 독특한 환경사는 오래 전부터 많은 사람들에게 관심거리였으며, 지금까지도 이와 관련하여 여러 논쟁이 진행 중이다. 스페인인들의 식민점령으로 인해 이 지역의 식생, 지형, 토양 등이 얼마나 변하였는지, 그리고 스페인인들과 원주민들 중 어느 쪽이 환경에 더욱 파괴적이었는지에 대한 논쟁 등이 특히 활발하다. 아메리카 원주민들은 대체로 자연과 조화롭게 생태적인 삶을 영위한 반면, 스페인인들은 멕시코 지역의 환경을 크게 훼손했다고 보는 견해(Martinez, 1948; Simpson, 1952; Crosby, 1986; Sale, 1990; Melville, 1994)와 이와 정반대의 견해, 즉 스페인인들이 건너왔을 때에는 이미 원주민들에 의해 환경훼손이 상당히 진행된 후였으며 이후 스페인인들의 환경훼손은 그리 심하지 않았다는 주장(Denevan, 1992; Butzer and Butzer, 1993; Butzer and Butzer, 1997; Aguilar Robledo, 2003)이 서로 팽팽히 맞서있다. 멕시코 중부지역의 고환경 논쟁에 대한 많은 학자들의 관심에도 불구하고, 이 지역의 식민점령 이전과 이후의 환경훼손 문제와 관련하여 지금까지 보고된 고환경 분석자료들은 많지 않다(Cook, 1949a; Cook, 1949b; O'Hara *et al.*, 1993; Fisher *et al.*, 2003; Metcalfe *et al.*, 2007). 이 지역에 자연호가 많긴 하나, 최근 1000년간의 환경사를 정밀하게 보여줄 수 있는 고퇴적물의 호저퇴적물을 얻기란 쉽지 않기 때문이다.

박정재(2005)는 중부 멕시코에 위치한 링컨데파랑계 호수 퇴적물에 화분, 세립탄편, 대자율, 지화학 등의 분석을 수행하여 식민시대 전후의 토지이용 변화를 뚜렷하게 보여주는 분석결과를 얻은 바 있다. 2005년도 연구에서 사용된 링컨데파랑계 호수 퇴적물이 매우 높은 편으로 고해상도의 분석이 가능했으나, 연대치가 완벽하게 확보되지 못해 정밀한 분석결과를 얻을 수는 없었다. 즉, 반감기가 5000년에 이르는 방사성 탄소동위원소를 이용한 연대측정만으로는 식민점령이

시작된 1500년경(450 BP)부터의 고환경 변화를 정확하게 복원해낼 수 없었던 것이다. 연대측정의 정확성이 떨어짐에 따라 유역의 토양침식량을 보여주는 토사 퇴적률을 특정 시기별로 구할 수 없었다. 이러한 문제를 해결하기 위해, 본 연구에서는 다양한 연대측정(Lead210, 바브 연대, 화산재층 연대 등)을 추가로 시도하여 식민점령 시대 이전과 이후의 고환경 변화를 보다 정밀하게 분석하고자 하였다. 분석결과 얻어진 정밀한 연대자료를 바탕으로, 점령 이전과 이후의 토사퇴적률을 구하여 환경 훼손의 시기별 특징을 살펴보는 것이 본 연구의 핵심이다.

2. 연구 지역

본 연구에서는 박정재(2005)의 연구에서 이미 사용된 바 있는 호수퇴적물 코어를 재분석한다. 다음은 박정재(2005)의 논문에서 기술된 바 있는 연구지역 개관이다.

바에데산티아고의 마르 호수들은 계레파로시에서 서남쪽으로 100km 정도 떨어져 있는 미초아칸-가나하토 화산 지대에 위치하고 있다(Figure 1). 바에데산티아고에는 적어도 7개의 마르호(maar)가 있는데 그 중 링컨데파랑계호와 알베르카에서만 물을 볼 수 있고 나머지 마르호에는 모두 물이 고갈된 상태다. 그나마 이 두 호수에서도 50년 전부터 수위가 낮아져 지금은 50년 전보다 20m나 낮은 상태를 유지하고 있다. 연구지역인 링컨데파랑계호의 과거 항공사진과 최근 사진을 비교해 보면, 수위가 상당히 낮아졌음을 알 수 있다(Figure 2).

스페인 식 농업 기술의 도입이전에 바에데산티아고 지역에 분포하였던 주요 식생을 살펴보면 크게 열대 낙엽림과 아열대 관목림 두 종류로 나뉘 볼 수 있다(Aguilera Gómez, 1991; Conserva, 2003). 이곳 열대 낙엽림은 주로 감람나무과(Burseraceae)와 콩과(Fabaceae) 수종들로 구성되며, 아열대 관목림을 구성하는 수목으로는 *Ipomoea murucoides*, *Acacia pennatula*, *Acacia farnesiana*, *Opuntia spp.*,

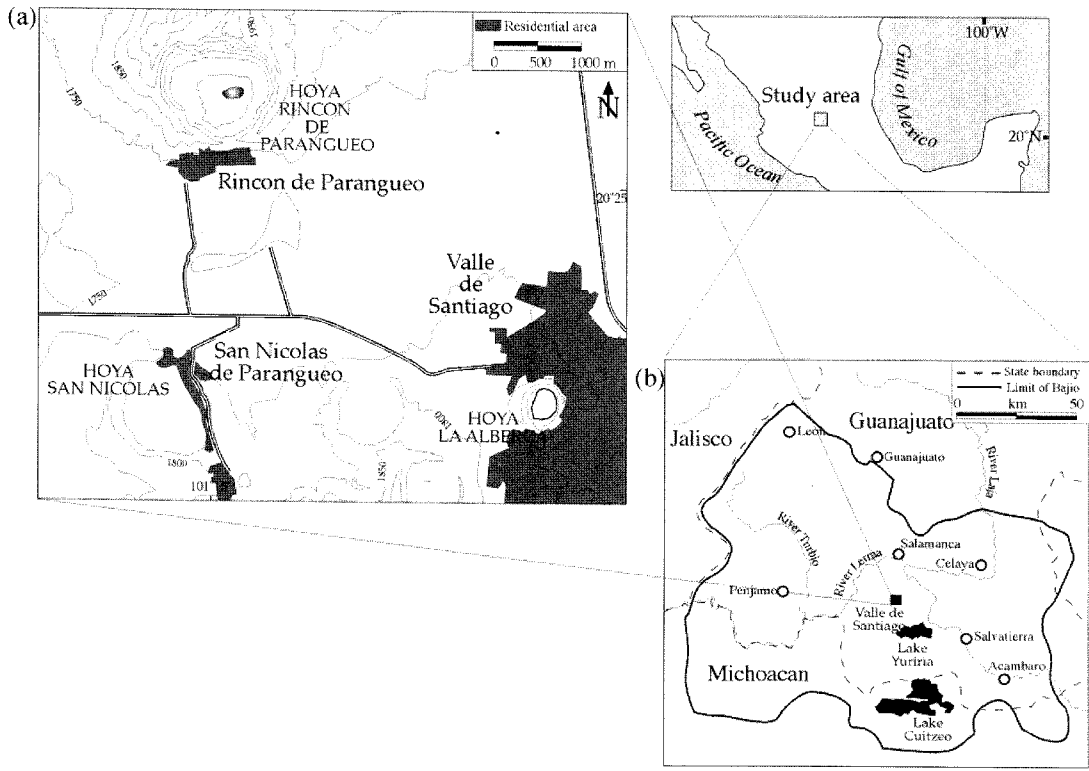


Figure 1. Map of the study area

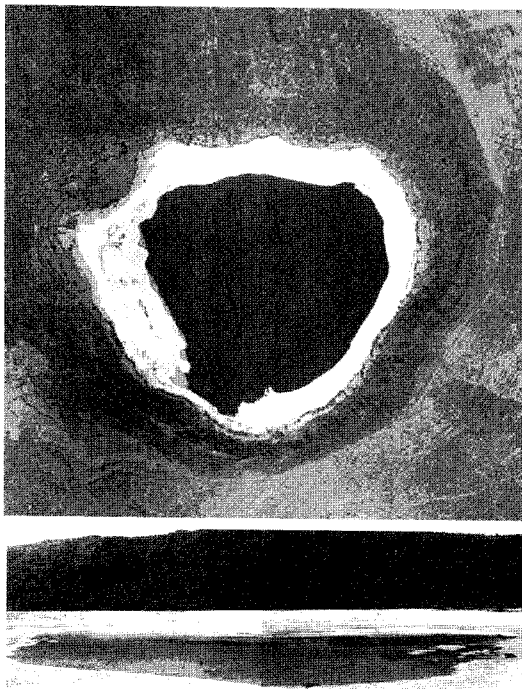


Figure 2. Hoya Rincon de Parangueo

Lysiloma microphylla, *Eysenhardtia polystachya* 등이 있다. 지금은 연구 지역에서 전체적으로 밀, 브로콜리, 수박, 옥수수 등의 여러 농업 작물들의 재배가 활발하다. 이러한 농업 활동으로 자연적인 경관은 사실상 자취를 감춘 상태이나 농경이 여의치 않은 마르호사면에는 여전히 자연 식생이 자리잡고 있다. 하지만 최근에는 목재, 야생 과일, 약풀 등을 채취하는 행위와 목축 활동으로 말미암아 점차 자연 식생지의 면적이 줄어들고 있는 실정이다(Aguilera Gómez, 1991; Conserva, 2003).

링컨데파랑게오(20° 25' N, 101° 14' W)는 과나하토주의 바예데산타이고 지역에 위치하고 있는 7개의 마르호 가운데 하나이며 플라이스토세 말기에 생긴 것으로 보인다(Figure 1). 이 지역 대부분의 호수들은 주민들의 과도한 농경 및 목축 활동으로 인해 지하수위가 매우 낮아졌으며, 본 논문의 연구 지역인 링컨데파랑게오도 예외는 아니다. 현재 이 호수의 수위는 2m가 채 안되며 그나마 녹조류의 번식으로 물의 색깔이 녹

색으로 변해 있는 것을 볼 수 있다.

3. 연구 방법

링컨데파랑계호 호수에서 처음으로 퇴적물 코어를 채취한 시기는 2001년 6월이다. 이 퇴적물의 총길이는 1220cm에 달하며 Park(2005) 연구에 이용되었다. 2004년 6월에 다시 80cm 길이의 퇴적물 코어 8개를 채취하였는데 오버랩되는 부분을 제외한 퇴적물의 총 길이는 397cm에 이른다. 두 코어링 작업에서 모두 내부에 플라스틱 관을 장착한 가랑 리빙스틴 코어를 이용하였으며, 부드러운 퇴적층으로 인해 호수 중앙으로 나가기가 불가능한 상황이었기 때문에 물이 완전히 말라버린 호수 가장자리에서 채취하였다. 실험실에 가져온 모든 퇴적물 코어들은 정중양을 절단하여 2개의 반쪽 코어로 만들었다. 이후 각 코어의 드러난 면에서 보이는 특성을 기술하고, 엑스레이 및 디지털 근접 사진을 촬영하였다. 2개의 반쪽 코어 중 하나를 2005년 분석에 이용하였으며(박정재, 2005), 이 때 추후 연구 분석을 위해 냉장실에 보관하였던 다른 반쪽 코어를 이번 연구에 활용하였다.

퇴적물 코어들의 탄소연대측정을 위해 2001 코어의 7개 지점, 2004 코어의 4개 지점에서 각각 2cm 두께의 퇴적물을 채취한 후 125 μ m 시브를 이용해서 두세 차례 걸러내고 피펫으로 충분한 양의 세립탄편을 모았다(박정재, 2005; Park, 2005). 모은 세립 탄편 샘플들은 로렌스 리버모어 국립 연구소(CAMS)와 우즈홀 해양 연구소(NOSAMS)로 보내 AMS 탄소 연대치를 얻었다. 그리고 Stuiver *et al.* (1998)에 의해 만들어진 CALIB 4.4에 연대치를 입력하여 프로그램이 산출해 낸 중앙값(median)을 교정 연대(Calibrated age)로 삼았다(박정재, 2005; Park, 2005). 본 연구를 위해서는 2004 코어의 탄소연대치 4개와 2001 코어의 연대치 7개 중 2개를 활용한다.

Lead210 연대측정을 위해 2004 코어의 79cm 깊이에서 129cm 깊이까지 3cm-10cm 간격으로 총 10개의 시료를 퇴적물 코어로부터 채취하여, 캐나다 위니펙시

에 위치한 플렛연구소(Flett Research Ltd.)에 분석을 의뢰하였다. ^{210}Pb 의 총 활동도(activity)는 ^{210}Pb 와 안정적인 평형상태로 동일한 값을 갖는 ^{210}Po (^{210}Pb 의 granddaughter)를 측정하여 얻었다. 바브를 분석할 때에는 전체 바브 구간의 바브총 수 및 각 층의 두께를 보다 정확하게 측정하기 위해 NIH image 소프트웨어를 활용하였다. 마지막으로, 동일한 지역에서 연구를 수행하고 있는 독일의 포츠담 지구과학 연구센터의 도움을 얻어 2004 코어에 분포하고 있는 3개의 화산재층에 대한 정보 및 연대를 얻을 수 있었다.

호수 퇴적물의 구성을 파악하여 인간의 영향을 밝히기 위해서는 작열감량 방법을 실시하여 유기물량, 탄산염량을 구해야 한다. 전체 퇴적물 코어에서 4cm 간격으로 총 74개의 시료를 채취하여 분석하였다. 퇴적물의 수분량을 재기 위해 24시간 동안 섭씨 100도 건조시켰고 유기물량과 탄산염량을 측정하기 위해 각각 1시간 동안 섭씨 550도, 1시간 동안 섭씨 1000도의 열을 가했다. 전체 건조량에서 유기물량과 탄산염량을 제하면 순수하게 외부에서 유입된 토사량을 얻을 수 있다.

4. 연구 결과

본 연구의 목적을 달성하기 위해서는 무엇보다도 시료의 정확한 연대를 확보해야 한다. 이를 통해 시기별로 상이한 토양 침식 정도를 정확하게 파악할 수 있기 때문이다. 우선 2005년 연구에서 사용된 AMS 연대측정자료(4개 연대치)의 정확성을 높이기 위해, 2001 코어의 AMS 연대측정치들(Park, 2005)중 시기가 해당되는 2개 연대치를 추가하였다(Table 1). Figure 3은 2001 코어의 상부와 2004 코어가 어떻게 연결되는지 보여주고 있다. 두개의 코어를 세심하게 비교한 후, 2001 코어의 208cm 및 287cm 깊이 연대치를 2004 코어의 227cm 및 322cm 깊이의 연대로 활용하였다. 또한 Lead210 연대, 바브 연대, 화산재층 연대 측정을 추가로 실시하여 상부 퇴적층의 정확한 연대를 파악하고자 하였다. 분석 결과 얻은 연대치를 기존의 AMS 연대

Table 1. Radiocarbon Dates for the Rincon 2004 core

Depth (cm)	Material dated	Laboratory number ^a	$\delta^{13}C$	Age (¹⁴ C yr BP)	Two Sigma age range(cal yr BP) ^a	Median (cal yr BP)	AD/BC
169	charcoal	CAMS-114342	-16	740 ± 35	654-732	680	AD 1270
190	charcoal	CAMS-114342	-16	1270 ± 60	1064-1294	1200	AD 750
227 ^b	charcoal	OS-46514	-16	1530 ± 60	1310-1533	1430	AD 520
288	charcoal	CAMS-111413	-16	2030 ± 45	1890-2114	1990	40 BC
322 ^b	charcoal	OS-47526	-16	2340 ± 55	2158-2694	2370	420 BC
353	charcoal	CAMS-111414	-16	2410 ± 40	2345-2699	2450	500 BC

^a All dates were calibrated with the intcal98.14c data set (Stuiver *et al.*, 1998)

^b These are radiocarbon dates of the Rincon 2001 core (208cm and 287cm)

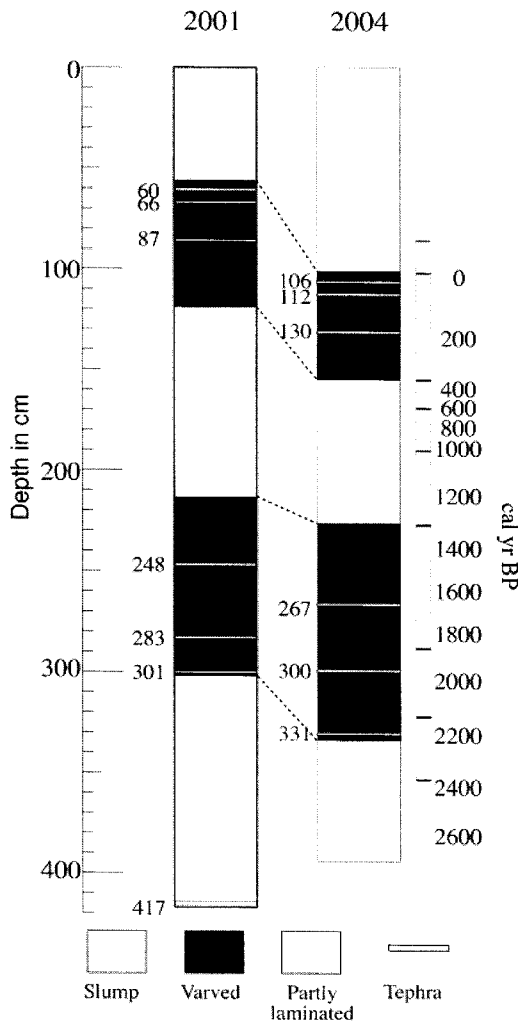


Figure 3. Correlation of stratigraphy between two sediment core series from Hoya Rincon de Parangueo

치들과 종합하여 그래프를 작성하였다(Figure 4).

새로운 깊이-연대 그래프가 작성된 과정을, 측정 방법에 따라 기술하면 다음과 같다. 2005년도 연구와 본 연구에서 사용된 코어의 상부는 슬럼프 형태로 외부에서 갑작스럽게 유입된 것으로 보이는 토사로 구성되어 있는데, 비교란층의 최상부로 판단되는 녹색층 바로 위로 뚜렷한 바브가 관찰되어 정확히 어디서부터가 교란층인지 파악하기 힘든 문제를 갖고 있었다(Figure 5). 그러나 2005년도 연구에서는 시간의 제약으로 인해 정확하게 몇 cm 깊이에서부터 교란되지 않은 층이 나타나며 교란이 일어난 연대는 또한 언제인지 밝히지 못했다. 단, 교란은 아마도 1985년 멕시코 시티 지진과 관련이 있을 것이라는 추측만 했을 뿐이다. 2005년도 연구와 달리 본 연구의 목적인 퇴적물 분석을 수행하기 위해서는 슬럼프 최밀단의 정확한 깊이와 슬럼프가 발생한 연대를 파악하는 것이 우선적으로 필요했다. 이를 위해 교란층과 비교란층의 경계로 추정되는 부분에 Lead210 분석을 집중적으로 실시하였다.

퇴적물 내 ²¹⁰Pb의 총 활동도(activity)는 서로 다른 기원을 갖는 두가지 ²¹⁰Pb, 즉 supported ²¹⁰Pb 및 unsupported ²¹⁰Pb 활동도의 합이다. 그 중 연대측정 시 이용되어 우리에게 의미가 있는 것은 unsupported ²¹⁰Pb의 활동도이다. unsupported ²¹⁰Pb는 대기 중에서 ²²²Rn의 붕괴로 형성된 후, 강수 혹은 건조강하에 의해 호저에 가라앉은 물질이다. 반면 supported ²¹⁰Pb는 원래부터 퇴적물 내에 존재하는 ²²⁶Ra으로부터 형성된 ²²²Rn의 붕괴산물이다. 따라서 같은 장소의 퇴적물

시료들에서는 거의 비슷한 값이 나타난다. 그리고 supported ^{210}Pb 의 활동도를 ^{226}Ra 의 활동도와 같다고 가정하여, 연대를 측정할 때 supported ^{210}Pb 대신 ^{226}Ra 의 활동도를 활용한다. 우리에게 중요한 unsupported ^{210}Pb 는 또한 excess ^{210}Pb 라고 불리며, 그 활동도 값은 ^{210}Pb 의 총활동도(즉, granddaughter인 ^{210}Po 의 활동도)에서 supported ^{210}Pb 의 활동도(즉, ^{226}Ra 활동도)를 제하면 얻을 수 있다.

캐나다의 플랫연구소에 의뢰한 10개의 시료들 중 1번 및 2번 시료(79–80cm 와 83–84cm 깊이)는 3번 시료(86–87cm 깊이)보다 활동도(activity)가 매우 낮게 나타나 외부에서 유입된 교란 물질임이 확인됐다(Table 2). 즉, 예상대로 녹색층이 비교란 퇴적물의 최상부가 맞으며 그 위의 바브층은 다른 지역에서 유입된 물질인 셈이다. 따라서 1번과 2번 시료는 슬럼프의 최하단에서 채취한 것들로 간주하였으며, Lead210을 이용한 연대 추정에 사용될 수 없는 시료들이므로 CRS 모델(Appleby and Oldfield, 1983)에 기초한 연대 계산에서 제외하였다. 마찬가지로, 오래된 9번 및 10번 시료도 활동도가 낮게 나와 연대계산에서 제외하였다. Lead210 분석 결과와 CRS 모델을 통해 산출된 연대를 표로 작성하였다(Table 2, 7번과 8번 시료는 80년 이상된 것들로 신뢰도가 낮아 표에서 제외했음). 그러나

표에서 보듯이 CRS 모델을 이용하여 얻은 값은 3번 시료 표면(즉 86cm)의 절대 연대를 알려주지는 못한다. 시료별 각 값은 시료들이 3번 시료의 표면으로부터 몇 년 전의 것인지 보여줄 뿐이다. 단, 분석을 수행한 플랫연구소, 즉은, 비교란 퇴적물 코어 최상층의 활동도는 일반적으로 1–100DPM/g 범위 내에서 나타나며, 시료들의 건조용적밀도가 비교적 높은 점으로 미루어 볼 때 최상부의 활동도는 10DPM/g 이내일 것이므로, 최상층은 오래돼 봐야 40–50년 이전(약 반감기의 2배) 것이라고 확신했다. 실제 그들은 40–50년 전보다 훨씬 더 최근일 가능성이 높다고 봤다. 1985년의 멕시코 지진이 23년 전에 발생했으므로, 멕시코 지진이 슬럼프의 원인일 가능성이 높아진 것이다. 하지만 Lead210 분석을 통해 녹색층 위의 바브층이 외부에서 유입된 것이라는 사실만 확인했을 뿐, 슬럼프와 비교란층의 경계 연대를 확실하게 밝힐 수는 없었으므로 다른 연대 측정방법이 필요했다.

다행스럽게도 같은 연구 지역에서 화산재층을 연구하는 독일 연구진으로부터 여러 화산재층에 대한 정보를 얻을 수 있었다. 그들은 링컨데파랑계오의 퇴적층에 존재하는 여러 화산재층 중에 파리쿠티(Paricutin), 콜리마(Colima), 호루요(Jorullo) 화산의 폭발에 기인한 화산재층들을 확인하였다. 세 화산 모두 세계적인

Table 2. Pb-210 Dates for the Rincon 2004 core

Sample Number	Depth(cm)	Weight of Sample Counted (g)	Po-210 Total Activity (DPM/g)	Po-210 Unsupported Activity (DPM/g)	Age at Bottom of Extrapolated Section in Years (CRS Model Estimate)	Estimated Years
293-1	79-80	0.526	0.17	-0.02		
293-2	83-84	0.521	0.70	0.51		
293-3	86-87	0.521	2.26	2.07	3.7	1982
293-4	89-90	0.540	1.75	1.56	12.1	1973
293-5	96-97	0.658	0.77	0.58	17.6	1968
293-6	102-103	0.540	1.43	1.24	31.8	1953
293-7	108-109	0.657	2.10	1.91		
293-8	112-113	0.558	0.92	0.73		
293-9	118-119	0.535	0.29	0.10		
293-10	128-129	0.543	0.20	0.01		

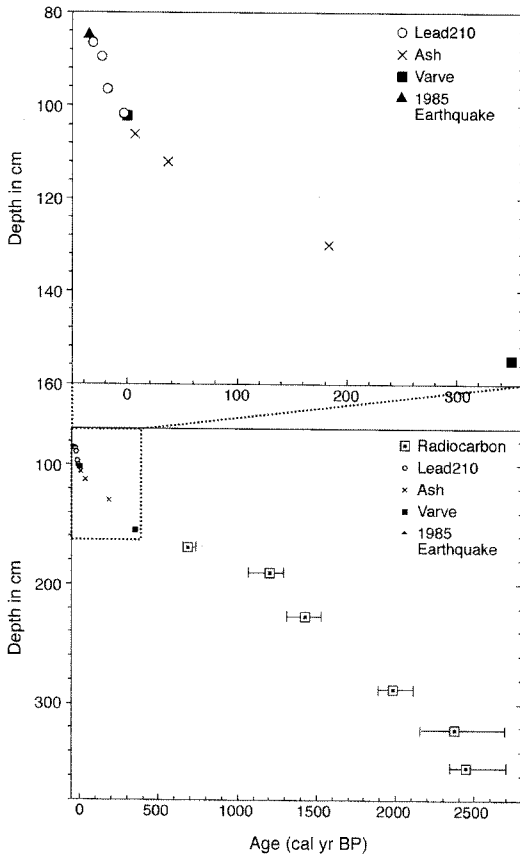


Figure 4. The Rincon 2004 core age-depth profile

로 잘 알려진 화산이다. 특히 파리쿠티는 세계적으로 화산 관련 연구가 가장 활발하게 진행되고 있는 화산으로, 콜리마는 최근에도 폭발이 지속적으로 발생하고 있는 활화산으로 유명하다. 멕시코 고원지대의 여러 호수에서 자주 발견되는 파리쿠티 층은 1943년부터 시작된 폭발에 의해 형성된 것이다. 파리쿠티 화산의 폭발은 1943년 2월 20일에 시작되어 1952년 3월까지 계속되었으나, 파리쿠티로부터 이동한 재 성분의 3분의 2가 처음 폭발 후 2년 동안에 생성되었으며(Scarath, 1999) 가장 활발한 폭발은 처음 8개월 동안 일어났다는 사실(Wilcox, 1954) 등에 비추어 파리쿠티 층을 1943년으로 간주하였다. 콜리마화산은 지금도 폭발이 간헐적으로 일어나고 있는 세계적으로 잘 알려져 있는 활화산이다. 이곳에서 1913년 1월 18일에서 24일 사이에 AD 1500 이후로 가장 큰 폭발이 있었으며, 이 폭발

로 인해 많은 주민들이 피해를 입었고, 산정상 화구는 100m나 낮아졌다(Luhr, 1981). 마지막으로 호루요 층은 1759년에서 1774년 사이 호루요 화산의 폭발로 생성된 것이다. 폭발에 강도에 대한 정확한 정보가 없어 폭발기간의 중간인 1767년을 호루요 층의 연대로 삼았다(Figure 5). 한편, 본 연구에서 사용한 퇴적물 코어는 상부에 뚜렷한 바브층을 갖고 있어 이를 연대 추정에 적절하게 활용할 수 있다. 사실 2005년도 연구에서는 퇴적물 코어에서 보이는 바브층 하나하나가 정확하게 1년을 의미하는지 확신할 수 없어 연대자료로서 가치가 제한적이었다. 그러나 화산재층 연대 분석결과와 바브구간을 비교하여 바브층 하나하나가 매년 형성된 것이라는 사실을 확인할 수 있었다.

앞에서 언급했듯이 퇴적 코어의 Lead210 분석만으로 교란층과 비교란층의 경계 연대를 정확하게 파악하기는 어려웠다. 그러나 이 연대 문제는 화산재층과 바브층 연대 자료를 활용하여 해결할 수 있었다. 일단, 파리쿠티 층(1943년)에서부터 바브층을 카운팅한 결과, Lead210 6번 시료의 연대는 대략 1953년 경으로 판명되었다. Table 2의 분석결과에 따르면, 6번시료의 연대가 경계 연대와 약 32년 차이가 나므로, 경계연대는 1985년 정도이며, 결국 호수밑바닥에 슬럼프가 쌓인 것은 지진으로 인한 충격 때문이었다는 사실을 밝힐 수 있었다. 이외에도 Lead210, 화산재층, 바브층 자료의 분석을 통해, 바브층이 끝나는 연대치(약 1950년), 옥수수 화분이 재출현하는 연대치(약 1810년)(박정재, 2005)와 바브 층이 처음으로 시작되는 연대치(약 1600년)를 알 수 있었다. 엑스레이 사진에서 나타나는 바브층의 음영차이를 NIH프로그램을 통해 분석하여 바브층의 수와 두께를 측정하였다. 간혹 바브가 뚜렷하게 나타나지 않는 부분이 있어 정확성을 100% 확신할 수 없으나 수차례의 측정을 통해 정확도를 향상시키고자 노력했다.

전체 진조량에서 유기물량과 탄산염량을 제하면 순수하게 외부에서 유입된 토사량을 얻을 수 있다. 박정재(2005)의 화분 및 포자 분석 결과를 토대로 퇴적물 코어 전체를 4개 시기(AD 1810-1950, AD 1550-1810, AD 680-1550, 750 BC-AD 680)로 나누었다. 여기서 두 번째와 세 번째 시기를, 바브층이 시작하는

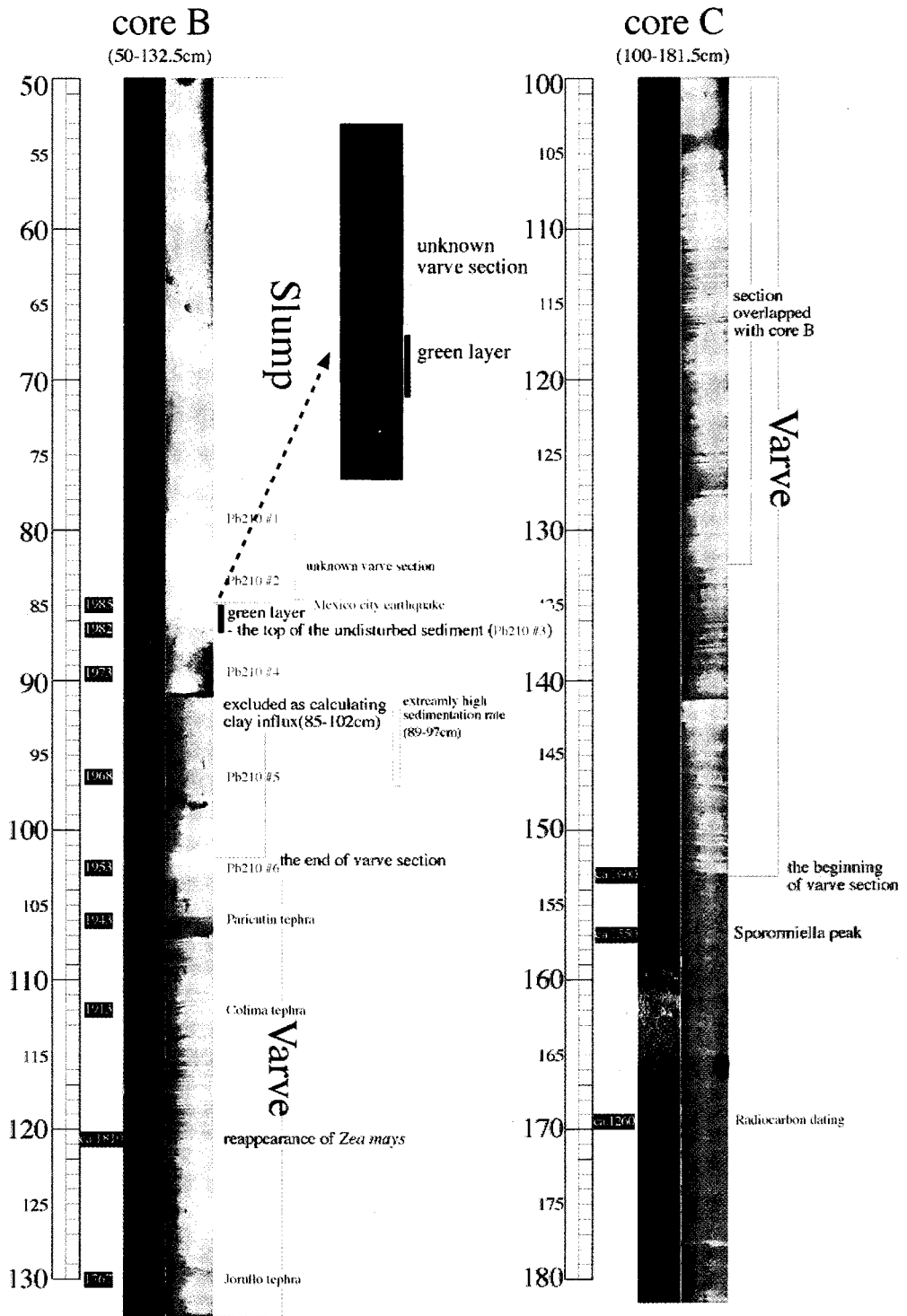


Figure 5. Digital photos and X-ray images showing stratigraphy and chronology of Rincon 2004 core upper section (core B and C)

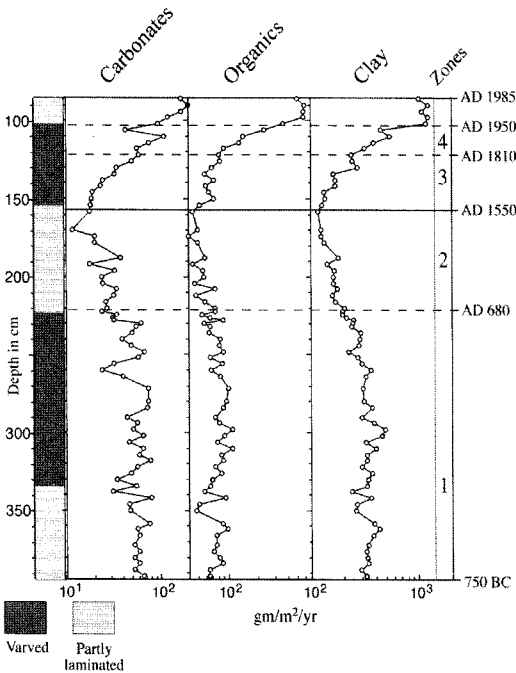


Figure 6. Hoya Rincon de Parangueo sediment carbonates, organics, and clay (non-carbonate inorganic), note the X-axis on a logarithmic scale

연대인 AD 1600년 경이 아니라 AD 1550년을 기준으로 나눈 이유는 이 시기부터 균류포자(*Sporormiella* spp.)가 갑자기 많이 출현하여 본격적인 목축의 시작 시기로 여겨지기 때문이다(Figure 5)(박정재, 2005). 측정된 유기물량 및 탄산염량(g/cm^3)과 그로부터 얻어진 토사량(g/cm^3)을, 시료채취지점별 퇴적률(yr/cm)로 나누어서 각각의 유입량($g/cm^2/yr$)을 얻었고 이를 미터로 환산($g/m^2/yr$)했다(Figure 6). 그리고 위 4개 시기별로 토사유입량의 변화를 살펴보았다. 시기별 토사유입량은 750 BC-AD 680에는 $317g/m^2/yr$, AD 680-1550에는 $156g/m^2/yr$, AD 1550-1810에는 $177g/m^2/yr$, 마지막 AD 1810-1950에는 $389g/m^2/yr$ 로 산출되었다(Table 3). 전체 코어 중 1985년 지진으로 인해 유입된 슬럼프(0-85cm)는 분석에서 제외했다. 또한, 갑자기 높은 퇴적률을 보이는 부분(89-97cm)을 포함하며 바브층이 나타나지 않는 코어 상층부(85-102cm)도 오류를 피하기 위해 토사유입량을 계산할 때 고려하지 않았다.

Table 3. Sediment(Non-Carbonate Inorganic) influx for sediment core from Hoya Rincon de Parangueo

Zone	Age	Influx($g/m^2/yr$)
4	AD 1810 - 1950	389.2
3	AD 1550 - 1810	177.0
2	AD 680 - 1550	156.4
1	750 BC - AD 680	316.5

5. 토의

O'hara *et al.*(1993)이 파츠쿠아로 호수의 퇴적물을 분석하여 퇴적률의 변화를 밝힌 네이처 논문은, 원주민의 환경 파괴 논쟁을 본격적으로 촉발시키는 계기가 되었을 정도로 영향력이 컸었다. 파츠쿠아로 호수($19^{\circ}36'N$, $101^{\circ}39'W$)는 본 연구의 시료채취 지점인 링컨 데파랑게오 호수($20^{\circ}25'N$, $101^{\circ}14'W$)로부터 100km 거리 내에 위치한 대형 자연호이다. O'hara *et al.*(1993)의 연구결과의 경우 비록 파급효과는 컸으나, 호수에서 채취한 퇴적물 코어가 고해상의 정보를 제공해주지 못해 스페인인들의 점령 전후의 환경 변화를 정확하게 수치로 표현해 주지 못하는 아쉬움이 있었다. 즉, 연구지역인 파츠쿠아로 호수는 면적이 넓어 호저의 퇴적률이 그리 높지 않았기 때문에, 점령전후로 세분하여 외부 토사유입량을 계산하기가 용이하지 않았던 것이다. O'hara *et al.*(1993)의 논문에 실린 연구 결과를 정리한 Table 4를 보면, 점령이 시작된 AD 1500-1600년경을 포함하는 Unit VI의 구분이 안돼 있는 것을 알 수 있다. 이는 O'hara *et al.*(1993) 논문의 약점으로, 그들은 단지 과거 원주민들의 환경훼손도 상당했었다는 분석결과를 제시하는 데 그치고 있다. 원주민들의 환경훼손과 스페인인들의 환경훼손을 직접적으로 비교하기 위해서는 당연히 점령 전후를 구분하여 토사유입량을 구해야 한다. 그들은 대신 대자율 분석 자료를 통해 점령 전후의 환경이 큰 차이가 없다고 주장했다(O'hara *et al.*, 1993, FIG. 3).

한편, 호야링컨데파랑게오 호수는 좁은 유역면적으

Table 4. Sediment(Non-Carbonate Inorganic) influx for sediment cores from Lake Patzcuaro(O'hara *et al.*, 1993)

Unit	Age	South basin influx (g/m ² /yr)	Central basin influx (g/m ² /yr)	North basin influx (g/m ² /yr)
VI	AD 1100 - current	146 ± 22.4	160 ± 61.3	329.4 ± 164.3
V	AD 750 - 1100	41.7 ± 15.1	44.4 ± 16.6	58 ± 24.5
IV	550 BC - AD 750	33.8 ± 37.5	120.4 ± 64.3	154.7 ± 84.2
II	1650 BC - 1100 BC	29.2 ± 13.6	n/a	n/a

로 인해 퇴적물이 상대적으로 높아서 보다 고해상의 연구가 가능하다. 또한 퇴적물 코어의 상층부에 다수의 연대 분석을 시도하여 연대의 정확성을 높였기 때문에 질 높은 연구결과를 기대할 수 있다(Figure 5). 시기별 토사유입량의 변화를 알아보기 위해 작열감량 분석을 수행했다. 작열감량을 거쳐 유기물과 탄산염이 제거되고 최종적으로 남은 물질을 외부에서 유입된 토사량으로 간주했다(O'hara *et al.*, 1993). 탄산염과 유기물을 제외한 퇴적물은 호수 내부에서 생성될 수 없는 것으로 순수하게 외부에서 유입된 것으로 볼 수 있다. 따라서 연대가 정확히 확보된 상황에서 코어의 각 분석위치별 토사량의 변화추이를 보게 되면, 외부로부터의 토사유입량이 시간의 흐름에 따라 어떻게 변화했는지 파악할 수 있다(Figure 6).

호야링컨데파랑게오 호수퇴적물을 분석한 결과 시기별 토사유입량을 구할 수 있었다(Table 3). 우선 이해를 돕기 위해 1번부터 4번까지의 Zone 별로 이 지역의 상황을 설명한다. Zone 1 시기에는 추피쿠아로 원주민들이 유역에서 옥수수 농경을 했으며, 이 시기의 화분, 지화학, 대자율, 동위원소, 세립탄편 등의 분석 결과는 인간의 영향을 고스란히 보여주고 있다(박정재, 2005). Zone 2 시기에는 가뭄으로 인해 농경을 더 이상 할 수 없게 되자 원주민들이 이 지역을 떠나 보다 습한 남쪽으로 이동하게 된다. 이로 인해 동 시기에는 농경의 영향이 거의 보이지 않는다. AD 900 년경(1050 BP)에 가뭄에 따른 이주로 연구 지역의 인구수가 급감한 사실은 여러 고고학 증거들에 의해 밝혀진 바 있다(Braniff, 2000). Zone 3는 스페인인들이 이 지역에 도착하여 대대적인 목축활동을 시작한 시기로 목축의 흔적들이 화분, 세립탄편, 균류포자 등의 분석결과에서

나타난다(박정재, 2005). 고문헌 기록들을 살펴보면, 1542년에서 1591년까지 적어도 5개의 소 목장(약 1756ha)과 5개의 양 목장(약 780 ha)이 연구 지역 인근에 할당된 사실을 알 수 있다(Butzer and Butzer, 1993). 이는 Zone 3 시기 초기에 이 지역에서 목축활동이 활발하게 이루어졌음을 의미한다. Zone 4는 스페인인들의 목축활동이 잦아들고, 산니콜라스(Figure 1) 인근에서 대규모 아시엔다가 나타나면서 옥수수 농경이 다시 활발하게 이루어진 시기이다. Frederick (1995)은 1730년대에 접어들면서부터 밀농경과 목축 중심에서 옥수수 농경 중심으로 이 지역의 토지이용이 변했다는 증거들을 제시하였다. 또한 Murphy(1986)는 바이오 지역의 옥수수 농경에 대한 연구를 통해 1660 년경에 비해 1800년경에 옥수수 농경지역 면적이 거의 20배 가량 증가했으며 이곳에서 생산된 옥수수는 대부분 과나하토의 은광으로 보내졌다고 언급하고 있다.

원주민들의 농경이 활발했던 Zone 1 시기의 토사유입량은 317g/m²/yr(연평균 1제곱미터당 317그램)으로 Zone 4를 제외한 다른 시기들의 유입량보다 많다. 이는 이시기의 농경으로 인해 유역에서 침식이 증가했다는 사실을 반영하고 있다. Zone 2의 경우, 가뭄으로 인해 원주민들이 이 지역을 떠난 시기로 토사유입량은 156g/m²/yr으로 4개 시기중 가장 적다. Zone 2의 초기에는 원주민들이 버리고 간 농경지들에서 토사유출이 계속적으로 일어나지만 시간이 흐를수록 식생이 정착하면서 호수로의 토사유입량이 확실히 감소하고 있음을 알 수 있다(Figure 6). 농경지들이 원상태로 자연 복구되면서 유역의 생태계가 회복되는 시기라고 할 수 있다. Zone 3는 스페인인들이 이 지역에서 목축을 활발하게 했던 시기이다. 하지만 분석결과에 따르면 토

사유입량이 177g/m²/yr 정도로 다른 시기들에 비해 그리 높지 않으며, 목축의 영향이 그리 크지 않았음을 시사하고 있다. 호야링컨데파랑게오 호수로의 접근성이 좋지 않고 그 유역의 크기가 작아서 목축 활동을 하기에 용이하지 않았기 때문이라고 생각된다. 또는 Butzer가 주장한 바대로 이 시기에 전체적으로 목축으로 인한 환경파괴 정도가 그리 심각하지 않았다고 해석해 볼 수도 있는데, 넓은 연구지역으로부터 보다 많은 연구결과가 축적되어야 이에 대한 확답을 내릴 수 있을 듯하다. 왜냐하면 멕시코지역에서 목축으로 인한 초지파괴 등의 생태계 변화의 흔적은 여러 곳에서 광범위하게 발견되기 때문이다. Zone 4 시기에는 많은 양의 토사(389g/m²/yr)가 호수로 유입된다. 지역에서 인구가 증가하고 아시엔다가 형성되면서 옥수수 농경이 주를 이루는 토지이용 시기로 볼 수 있다. 이 시기에는 과다한 토지이용 및 침식의 증가 등과 같은 부작용이 수반되었으며, 호수퇴적물의 분석결과가 이러한 상황을 명확히 지시하고 있다.

Figure 7에서 링컨데파랑게오 호수 퇴적물과 파츠쿠

아로 호수 퇴적물의 토사유입량을 시기별로 비교해보았다. 파츠쿠아로의 토사유입량 분석 결과들 중, 링컨데파랑게오의 토사유입량과 엇비슷한 북쪽 유역 자료만 비교를 위해 그림에 포함하였다. 파츠쿠아로의 북부 유역은 과거부터 많은 사람들이 거주해 온 곳으로 타 유역들보다 토사유입량이 상대적으로 높다. 중미 지역에서는 약 AD 600-700년(1350-1250 BP)부터 시작된 가뭄으로 인해 멕시코 고원지대(테오티우아칸)와 유카탄 반도(마야)에 위치하고 있었던 제국들이 멸망한 바 있다. Figure 7의 연구 지역에서도 마찬가지로 가뭄에 영향을 받아 거주민들이 이주를 한 흔적들이 나타난다(토사유입량의 하락). 그리고 가뭄 현상이 점차 약해지면서 AD 1100 년경(850 BP)을 전후하여 사람들이 파츠쿠아로 유역으로 다시 돌아오기 시작한다(토사유입량의 상승). 반면 소규모 호수인 링컨데파랑게오 유역에는 스페인인들이 진출한 이후에나 다시 거주 시작된다. 토사유입량을 서로 비교해 보면, 링컨데파랑게오 호수의 유입량이 파츠쿠아로 호수의 유입량보다 전체적으로 높으며 특히 Zone 1 시기의 경우

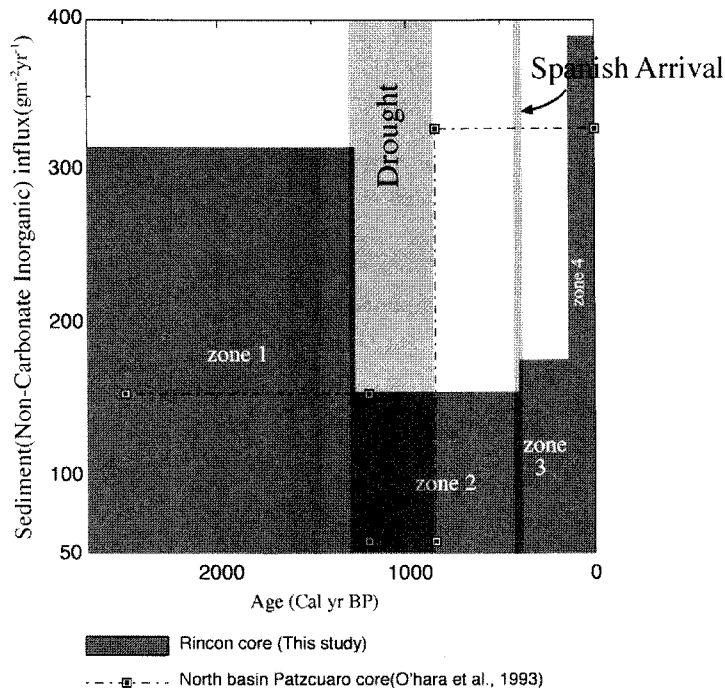


Figure 7. Comparison between Rincon and Patzcuaro sediment influxes

차이가 확연히 드러난다. 이는 링컨데파랑계오 유역내 협소한 경작가능 지역과 급한 경사에도 불구하고 상대적으로 소수의 원주민들이 옥수수 농경을 집약적으로 한 결과로 풀이된다. 링컨데파랑계오에서 원주민들의 이주 후에도 지속적으로 토사유출이 일어난 정황으로 볼 때, 원주민들의 농경 및 거주로 인해 유역의 생태계가 상당 부분 훼손된 사실은 부인하기 힘들 듯하다. 그리고 파츠쿠아로 호수 퇴적물의 분석결과에서는 보이지 않으나, 링컨데파랑계오 호수 퇴적물에서는 AD 1810년(140 BP)에 재개된 옥수수 농경의 흔적, 즉 이 시기 토사유입량이 갑작스럽게 상승하는 모습을 확인할 수 있다.

위 내용을 종합하자면, 스페인인의 목축활동이 활발했던 시기(Zone 3)에는 환경파괴라고 할만한 침식은 없었던 반면, 원주민들의 농경활동이 활발했던 시기(Zone 1)에는 침식량이 많았다. 한편, 옥수수 농경이 재개된 시기(Zone 4)에는 침식량이 매우 빠르게 증가하고 있다. 이러한 분석결과만을 놓고 볼 때, 스페인인들이 이 지역에 들어오면서 환경파괴가 보다 심하게 일어난 것은 부인할 수 없으나 목축활동과 직접적인 관련이 있다고 말하기는 힘들다. 하지만 앞에서 언급한 바와 같이 마르 분화구의 지형 특성상 가축을 끌고 내부로 진입하기가 쉽지 않았기 때문에 목축의 흔적이 안 나타났을 가능성이 높다. 결론적으로 1) 원주민의 농경활동도 환경에 영향을 미쳤고, 2) 스페인인들의 도착이후 옥수수 농경으로 인한 환경훼손이 가장 심했으며, 3) 스페인인의 목축활동으로 인한 환경훼손은 그리 심하지 않았으나, 이는 연구지역의 특성상 그 시기 멕시코 중부고산지대의 일반적인 상황과는 차이가 있었을 것으로 사료된다.

6. 결론

멕시코 중부 고산지대에서는 최근 1000년간 다양하고 복잡한 사회적·문화적 변화가 빠른 속도로 전개되면서 자연환경의 변화가 극심했다. 멕시코의 고대문명과 스페인인의 식민사 등에 대한 기록이 충분하지 않

은 상황에서 호수퇴적물을 이용하는 고환경 분석은 이 지역의 환경을 파악하는데 매우 중요하다. 본 연구에서는 박정재의 2005년 연구에서 정확한 연대를 확보하지 못해 시도하지 못했던 토사 유입량 분석을 통해 과거 이 지역에서 인간의 활동으로 인해 발생했던 토양 침식과 환경변화를 시기별로 밝혀 냈다.

우선 다양한 종류의 연대측정을 수행하여 2005년도 연구에서 해결하지 못했던 몇몇 문제점들에 대한 해답을 찾을 수 있었다. Lead210 연대측정을 통해 녹색층이 비교란 퇴적물의 최상부가 맞으며 그 위의 바브층은 다른 지역에서 유입된 물질이라는 사실을 확인했다. 한편, 비교란부 최상층의 절대연령은 Lead210 및 바브층 분석결과와 화산재층 연대 정보를 이용하여 밝혀냈다. 예상대로 1985년에 발생한 멕시코 지진으로 슬럼프가 호저로 유입되었다는 사실과, 따라서 비교란부와 슬럼프 간의 경계는 녹색층의 최상층(85cm)이며 그 연대는 1985년이라는 사실을 명확하게 확인할 수 있었다. 또한 퇴적물내 각각의 바브층이 나무의 나이테와 같이 1년을 의미한다는 사실을 Lead210 연대 분석을 통해 입증할 수 있었으며, 바브층이 갖고 있는 연대정보를 이용하여 지역에서 옥수수 농경이 다시 활성화된 시기도 밝힐 수 있었다. 이와 같이 다양하고 상호보완적인 연대 측정은 정확한 고환경 복원에 필수적이라고 할 수 있다.

그리고 연대분석 결과와 작열감량 분석 결과를 기초로 토사유입량 변화 추이를 복원했다. 호수로의 토사 유입량은 유역 내에서 인간의 농경 및 목축 활동으로 인한 침식의 정도에 따라 변화한다. 분석 결과 원주민들의 농경활동으로 인한 침식은 상당한 수준이었으며 스페인인들의 목축활동으로 인한 침식은 예상보다 적었다. 하지만 이러한 분석결과가 나온 이유는 호수의 규모가 작고 접근성이 나빠서 목축활동이 활발하게 이루어지지 않았기 때문일 가능성이 높다. 이후 목축업보다 광업이 우세해지고 인구가 증가하면서 재개된 옥수수 농경으로 인해 유역에 대규모 침식이 일어났다. 결국 원주민들과 스페인인의 옥수수 농경이 유역의 환경을 훼손시킨 가장 큰 요인인 반면, 스페인인의 목축활동이 미친 영향은 최소한 호수 유역 내에서는 그리 크지 않았다고 유추할 수 있다.

본 연구를 통해 식민시대 전후에 일어난 중부 멕시코 지역의 환경파괴 및 토양 침식에 대한 고환경 정보를 얻을 수 있었다. 퇴적물이 높아서 고해상의 복원이 가능한 시료를 활용했기 때문에, 최근에 일어난 여러 환경변화가 비교적 세밀하게 복원되었다. 또한 여러 종류의 연대분석을 다각적으로 시도한 결과, 퇴적물 시료가 원천적으로 갖고 있었던 연대 문제가 해결되면서 보다 정확한 고환경 정보를 획득할 수 있었다.

참고문헌

- 박정재, 2005, "멕시코 중부 고산 지역에서 스페인 식민 통치 시기를 전후하여 일어난 인위적 환경 변화," *대한지리학회지*, 40, 428-440.
- Aguilar-Robledo, M., 2003, Formation of the miraflores hacienda: lands, indians, and livestock in eastern New Spain at the end of the sixteenth century, *Journal of Latin American Geography*, 2, 87-110.
- Aguilera Gómez, L. I., 1991, *Estudio Florístico y Sinecológico de la Vegetación en el Cráter "Hoya de Rincon de Parangueo"*, Valle de Santiago, Gto. Unpublished Masters thesis, Colegio de Postgraduados, Montecillo, Mexico.
- Appleby, P. G. and Oldfield, F., 1983, The assessment of 210Pb data from sites with varying sediment accumulation rates, *Hydrobiologia*, 103, 29-35.
- Braniff, B., 2000, A summary of the archaeology of north-central Mesoamerica: Guanajuato, Querétaro, and San Luis Potosí, in Foster, M. S. and Gorenstein, S. (eds.), *Greater Mesoamerica - the Archaeology of West and Northwest Mexico*. The University of Utah Press, Salt Lake City, 35-42.
- Butzer, K. W. and Butzer, E. K., 1993, The sixteenth-century environment of the Central Mexican Bajío: archival reconstruction from Colonial land grants, in Mathewson, K. (ed.), *Culture, Place and Form*, Geoscience and Man Publications, Baton Rouge, 89-124.
- Butzer, K. W. and Butzer, E. K., 1997, The 'natural' vegetation of the Mexican Bajío: archival documentation of a 16th-century savanna environment, *Quaternary International*, 43/44, 161-172.
- Conserva, M., 2003, *Climate and Vegetation Change in Central Mexico: Implications for Mesoamerican Prehistory*, Unpublished Ph.D. Thesis, University of California, Berkeley.
- Cook, S. F., 1949a, *The Historical Demography and Ecology of the Teotlapan*, Berkeley and Los Angeles.
- Cook, S. F., 1949b, *Soil Erosion and Population in Central Mexico*, Berkeley and Los Angeles.
- Crosby, A. W., 1986, *Ecological Imperialism, the Biological Expansion of Europe, 900-1900*, Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Denevan, W. M., 1992, The pristine myth: the landscape of the Americas in 1492, *Annals of the Association of American Geographers*, 82, 369-385.
- Fisher, C. T., Pollard, H. P., Israde-Alcantara, I., Garduno-Monroy, V. H., and Banerjee, S. K., 2003, A reexamination of human-induced environmental change within the Lake Pazcuaro Basin, Michoacan, Mexico, *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 100, 4957-4962.
- Frederick, C. D., 1995, *Fluvial Response to Late Quaternary Climate Change and Land Use in Central Mexico*, Unpublished Ph.D. Thesis, University of Austin, Texas.
- Luhr, J., 1981, Colima: history and cyclicity of eruptions, *Volcano News*, 7, 1-3.
- Martinez, H., 1948, *Reportorio de los Tiempos e Historia Natural de Nueva España. Introd. Francisco de la Maza*, Bibliographic appendix by Francisco Gonzalez de Cossio. Secretaria de Educacion Publica, Mexico City.
- Melville, E. G., 1994, *A Plague of Sheep: Environmental Consequences of the Conquest of Mexico*, University of New Mexico Press, Santa Fe, New Mexico.

- Mexico.
- Metcalfe, F. A., Davies, S. J., Braisby, J. D., Leng, M. J., Newton, A. J., Terrett, N. L., and O'Hara, S. L., 2007, Long and short-term change in the Pátzcuaro Basin, central Mexico, *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 247, 272-295.
- Murphy, M. E., 1986, *Irrigation in the Bajio Region of Colonial Mexico*, Unpublished Ph.D. Dissertation, University of California, Berkeley.
- O'Hara, S. L., Street-Perrot, F. A., and Burt, T. P., 1993, Accelerated soil erosion around a Mexican highland lake caused by prehispanic agriculture, *Nature*, 362, 48-51.
- Park, J., 2005, Holocene environmental change and human impact in Hoya Rincon de Parangueo, Guanajuato, Mexico, *Korean Journal of Ecology*, 28, 245-254.
- Sale, K., 1990, *Conquest of Paradise*, Penguin Books, New York.
- Simpson, L. B., 1952, *Exploitation of Land in Sixteenth Century Mexico*, Berkeley and Los Angeles.
- Scarth, A., 1999, *Vulcan's Fury: Man against the Volcano*, Yale University Press.
- Stuiver, M., Reimer, P. J., Bard, E., Beck, J. W., Burr, G. S., Hughen, K. A., Kromer, G., McCormac, B., van der Plicht, J., and Spurk, M., 1998, INTCAL98 Radiocarbon Age Calibration, 24000-0 cal BP, *Radiocarbon*, 40, 1041-1083.
- Wilcox, R. E., 1954, *Petrology of Paricutin Volcano, Mexico*, US Geological Survey Bulletin, 965C, 281-353.
- 교신: 박정재, 500-757, 광주광역시 북구 용봉동 전남대학교 사회과학대학 지리학과(이메일: jungjaep@chonnam.ac.kr, 전화: 062-530-2687, 팩스: 062-530-2689)
- Correspondence: Jungjae Park, Department of Geography, College of Social Science, Chonnam National University, Yongbong-dong, Buk-gu, Kwangju, 500-757, Korea(e-mail: jungjaep@chonnam.ac.kr, phone: +82-62-530-2687, fax: +82-62-530-2689)

최초투고일 09. 02. 11

수정일 09. 03. 02

최종접수일 09. 03. 04