

테라스 붕괴 위험 대책 II

포스트텐션으로 테라스 침하를 제동

낙수장의 구조조사를 의뢰받은 Robert Silman 사무소는 캔틸레버 빔의 테라스 침하현상이 계속되고 있는 것을 확인하였다. 그래서 낙수장의 구조모형을 다음 세가지에 대하여 검증하기로 하였다.

- 주침실의 테라스는 캔틸레버 빔의 힘으로 스스로 지지되고 있는가.
- 거실은 그 자체가 스스로를 지지하고 있는 캔틸레버 빔의 역할을 하고 있는가.
- 거실은 그 자체와 주침실 양쪽을 지지하고 있는가.

그 결과에 대하여 Silman 씨는 다음과 같이 설명하고 있다.

“정하중에 의한 휨모멘트와 빔의 변형을 계산한 결과 각기 콘크리트는 34MPa(360kg/cm²), 철근은 283MPa(2,952kg/cm²)의 강도를 가지고 있다는 것을 알았다.

그런데 테라스의 파라피트에 들어있는 철근이 독자적으로 자체를 지지하고 있다고 하면 1,195MPa의 힘이 걸리게 되어 좌굴강도의 4배에 해당된다. 따라서 거실은 독립된 구조가 아니고 주침실도 지지하지 않으면 안되게 된다. 거실이 남쪽창의 T자형 마리온(Mallion)으로 주침실을 지지하고 있다고 가정하면 주요한 캔틸

레버 빔의 철근에는 288MPa, 콘크리트에도 30MPa의 힘이 작용한다. 구조재 강도의 한계에 가깝고 위험한 상태다.

구조보강은 각 방의 마감재를 제거하는 대규모의 것이 되었다. 폭포에 내밀고 있는 빔의 끝에 콘크리트 블록을 신설하여 내경 63.6mm의 철제 튜브를 매설한다. 고강도 포스트텐션 케이블을 이튜브를 통하여 교차하는 기둥과 연결되지 않은 보를 관통한 다음 각 보의 북단에 고정한다. 남쪽끝에서 유압 잭으로 케이블을 당겨 선단부에 플러스 모멘트가 생기도록 한다. 동서로 내민 테라스의 캔틸레버 빔도 동일하게 케이블을 당긴다. 근간이 되는 구조를 보수하는 것으로 그 뒤 마감보수를 하였다.”

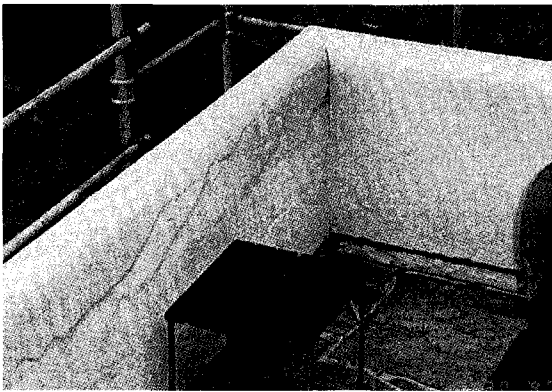
각 위치의 문제점

“이 프로젝트는 현재 상황에서 거슬러 올라가서 건물이 가지는 특성을 충분히 살리는 것, 즉 보존이지 개수가 아니다.”

WASA에서 취재에 응해준 동사 프로젝트 매니저인 파메라 제롬 씨는 낙수장의보존보수 프로젝트의 프로젝트 매니저임과 동시에 콜롬비아 대학에서 건축 보존학 강좌를 가지고 있는 재료학의 전문가다.

재료의 보수는 각 부분의 마감재료인 페인트, 유리, 석재, 콘크리트, 모르타르와 그 기초재, 철재창틀, 방수층, 설비배선, 배관 등에 보수위치를 특정하여 보수 또는 변경재료의 검토를 하고 있다. 이번 공사 이전의 보수기록 상세도 검토사항에 추가하여 그 대체 공사도 공정에 반영하였다.

테라스



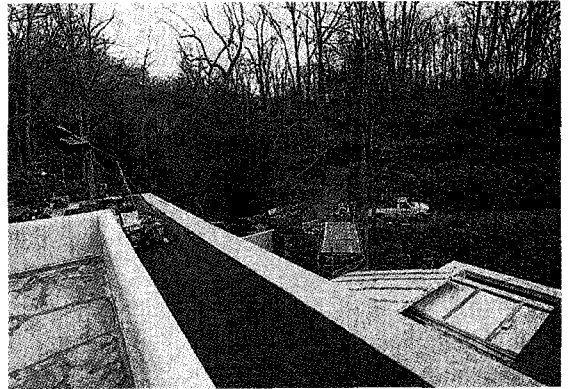
테라스는 4방으로 내민 구조로 되어있고 바닥에는 충분하다고 생각할 수 있는 방수층을 설치하고 있으면서 마감하는 석재바닥은 방수기초가 부분적으로 두께가 고르지 못한(12~37mm) 상태로 되어있어 각 곳에서 방수기초에 수분이 투과하여 균열 등의 열화현상으로 연결되었다. 테라스 바닥을 콘크리트 보와 연결시키고 보의 격자 위에 적삼목(판자두께 19mm)으로 목재바닥을 만들어 그 위에 현장방수를 3층으로 하고 있다. 1986년의 보수시까지 원설계에 테라스에 비홀림은 설치되어 있지 않았다.

1999년에 거실바닥 구조보강을 위한 포스트텐션 케이블을 부설하기 위해 해체해 본 결과 문은 돌바닥 표면에 철제틀로 거치되어 있을 뿐이었다. 실내외의 일체화를 의도한 라이트의 의식적인 디테일이라고 생각된다.

보수는 에틸렌 프로필렌 방수층을 사용하고 파라핀

부분은 15cm 세워 올리고 있다. 비홀림이 필요한 위치에는 연제(鉛製)방수 간막이를 매설하였다.

지붕



지붕배면부분은 많은 곳이 암표면에 접하는 부분이 있고 암표면과의 사이에서는 방수처리를 하지 않고 있다. 지붕외주 물받이의 패임정도는 물받이라 할 수 없을 정도로 얇아(깊이 19mm, 폭 100mm) 기능적으로 불충분하였다. 지붕의 두께가 물받이 규격에 크게 제약을 가하고 있었다.

거실의 동쪽 상부에 콘크리트로 된 선반이 있다. 그것의 1/2은 이중 유리가 설치되어 스카이라이트 기능을 하고 있는데, 띠모양의 연(鉛)으로 선반 상부에 단열재를 끼워 눌러 용접한 간단한 처리로 충분히 물이 흐를 수 있는 구배가 주워져 있지 않고 있다. 물끊기도 없다. 모두 도면상에 표시되어 있지 않은 것이다.

1981년에 전면적으로 지붕보수(아스팔트 4층)를 했다. 1987~1988에 다시 전면적으로 고무제 방수층으로 교체하였으나 전체적으로 그 시점에서 좋은 상태라고는 할 수 없이 당겨서 합친 곳이 많았다.

1999년부터 지붕뿐만 아니라 외벽에서의 투과 원인을 찾아내어 방수능력을 높이기 위한 방책과 내민 지붕 하단의 결로현상이 확인되었기 때문에 결로방지를 위한 단열재 보강, 일조시간이 다른 부분에 단열재 재배

분을 제안 중이다.

스카이 라이트

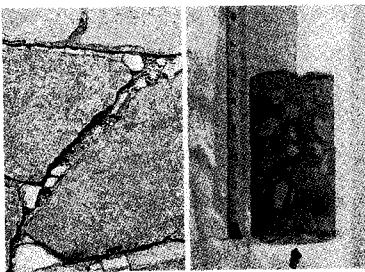


도처에 지붕을 끊어내는 모양으로 스카이 라이트를 설치하고 있다. 어느 것이나 석재바닥과 동일평면으로 하단에는 조명기구가 매설되어있고 방수처리기능은 최저한이라 할 수 있다.

콘크리트로 된 등책(藤柵)이라고 하는 트레리스(Trellis)가 실내에 설치되어있는 부분에는 트레리스 상부에 유리를 끼워 스카이 라이트로 이용하고 있다. 방수처리는 빈약하고 적설 등으로 물이 괴어 있을 때는 누수현상이 확인 되었다.

1994년 스카이 라이트의 유리 주위에 물 끊기를 신설하였다. 유리를 없었거나 끼워 두기만한 스카이 라이트는 새로 가스킷을 설치했다.

콘크리트, 회반죽



다습한 조건하에서 탄산화, 중유화(鐘乳化)하여 지붕하단에 달라 붙어있는 상태로 수축 크랙이 회반죽 부분에 눈에 띈다.

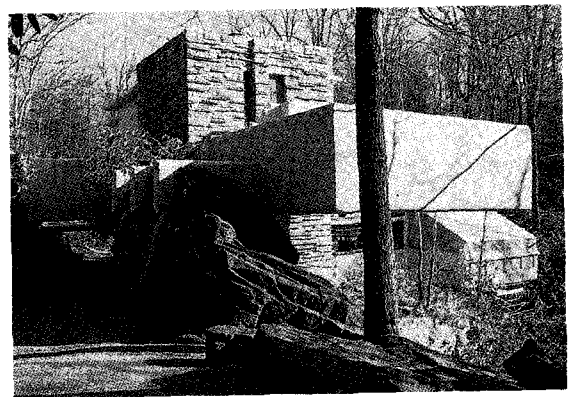
콘크리트의 배합에서 특징적인 것은 규격이 둥근 돌(37mm경)이 많이 섞여 있어 박리화 크랙의 원인이 되고있는 것이다. 파라펫의 치울림은 테라스를 상자모양으로 하여 강도를 높이려고 하는 의도가 엿보이나 그 효과는 입증하기 곤란하다.

라이트는 당초 파라펫과 보는 캔틸레버 빔의 정하중으로 계산하고 있다고 하면서 뒤에 파라펫이 상자모양을 형성하기 때문에 구조 강도에 공헌하고 있다고 말하고 있다.

처마의 형상과 함께 파라펫의 정상부분도 둥근형이다. 1988년 검사에서 파라펫 정상부분에 배근이 되어 있지 않다는 것이 판명되고 있다. 크랙의 주원인이 되었다.

또 빗물 침투를 허용하여 박리현상으로도 연결되었다. 이 건물의 특징으로 어느 곳에도 신축 조인트를 찾아볼 수 없다는 것이다. 라이트는 그 필요성을 느끼면서 설계상의 미적감각에서 이 생각을 스스로 피했다고 한다. 캔틸레버 빔의 하단에 발생한 크랙은 몇 번이고 보수를 되풀이 해오고 있다. 동결, 해빙의 반복이 물받이의 손상을 심하게 하였다.

석조벽, 기둥



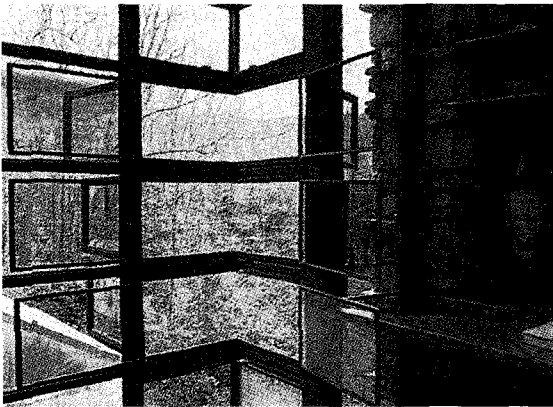
석편으로 변 쌓기한 벽과 기둥은 무수한 요철각을 만들어 그 곳에서 수분의 침투를 허용하고 있다. 요철의 차가 큰 곳에서는 100mm정도가 된다.

설계상으로는 라이트가 의도한 깊은 맛이 있는 모양이 되고 있으나 그 모양이 눈이 쌓이게 한다든지 비를 맞아 수분을 안으로 불러들이게 된다. 모르터를 충전하여 시공 당시는 완벽을 기하였으나 수분의 침투

를 억제하기는 무리였다.

1988~89년에 석조벽의 최상부분에 손상이 생겨 교체하는 보수를 했다. 게스트 하우스와의 연락통로의 콘크리트로 된 캐노피는 양호한 상태라고는 할 수 없다. 모르타가 벗겨져 떨어져 크랙, 변색, 금속부식, 빗물받이의 손상, 계단의 침하, 균열, 불평탄함이 관찰되었다.

창·도어



철제 샤키를 라이트는 즐겨 사용하였다. 그것은 형상을 만들기 쉽고 가동창틀의 견고함, 힌지설치가 쉬운 점, 유리를 끼우기 쉬운점 등 때문이다.

단 여기에서도 습기를 막는 기밀성이 부족한 것이 노정되었다. 창고 문은 설치하는 대상의 상태에 맞게 된다. 바닥과 벽의 표면이 부드러운 것이 바람직하나 그 실현이 어려웠다. 그래서 창의 개폐기능, 기밀성, 방음, 방습성을 높이기 위해 실리콘재 충전을 거의 건물 전체적으로 실시하였다.

녹스는 것이 문제가 심각하여 보수는 화학처리보다 수작으로 연마하여 닦아내는 것이 효과적이었다.

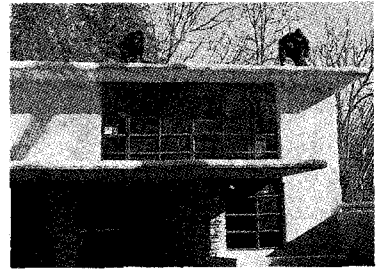
페인트, 코팅

페인트(초기)는 얼룩이 지기쉬워 신축시의 사진에서 그 얼룩이 눈에 띄었다. 빗물이 스며든 자국이 눈

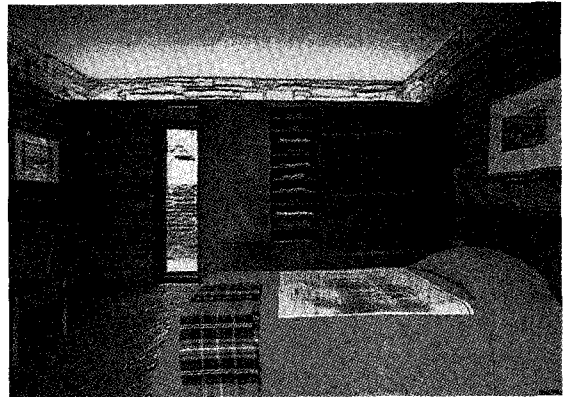
에 띈다. 1994년 이후의 조사에서는 페인트가 벗겨진 것이 심각하였다.

1937~50년에 2회 정도 페인트를 전면적으로 다시 칠한 기록이 있다. 수용성 페인트는 1940년 이후 실험적으로 사용하였다. 그때까지는 유성 페인트를 사용하였다.

1951년에 피츠버그 페인트 제인 오일 베이스를 사용하고 그 후 알칼리성 수용 페인트, 1969년에는 에폭시 수지계, 아크릴 수지계도 시험적으로 시도되었다. 3년 후인 1972년에 그 어느 것이나 벗겨지기 쉽다는 것이 판명되었다. 1976년 이래 아크릴 페인트가 주로 사용되고 있다. 콘크리트의 표면은 샌드 브러싱을 하여 페인트를 칠하였다.



실내공조



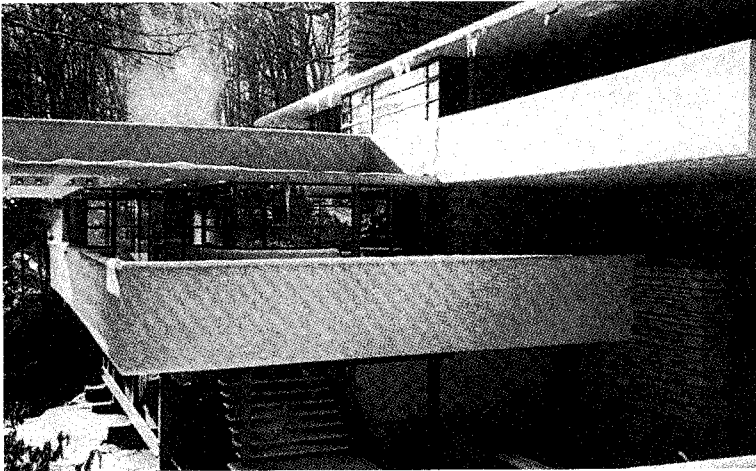
내외의 흐르는 듯한 공간이 이 건축물의 특징이다. 그것은 바닥 재료의 통일에 나타나고 있다.

각 거실에서 문 밖의 테라스 공간으로 연결한 공간구성, 폭포가 흘러떨어지는 소리, 암표면에 붙여 노출한 암표면을 거실의 일부에 들어오게 하였다. 모두 라이트의 수법에 따르고 있다.

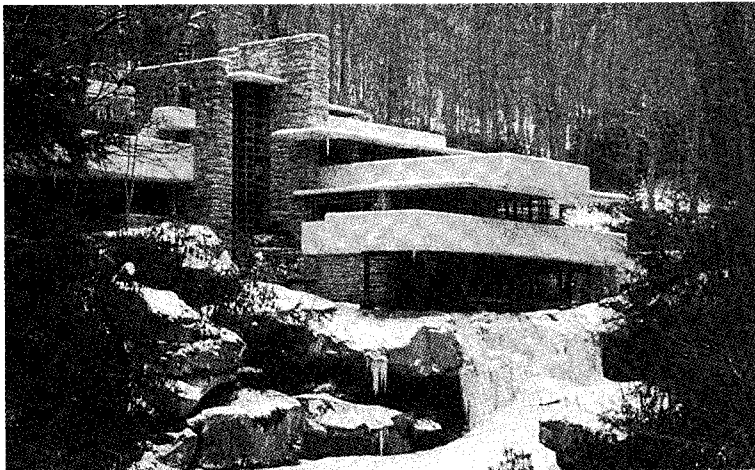
불박이 가구는 라이트의 오리지널인데 벽에 묻혀 있기 때문에 환기효과가 적다. 반복된 페인트 칠을 한번 벗겨내지 않으면 안되었다. 기계적으로 제거해 보려고 하였으나 손작업이 효과적이라는 것을 알았다. 그래서 노임문제가 크다.

낙수장 위기의 배경

낙수장이 왜 대규모의 보수가 필요하게 되었는가 설계자인 라이트 자신의 책임도 컸었다. 테라스를 지



1층에서 내민 거실뒤에 다시 2층의 주침실테라스가 내밀고 있다.



자연에 안겨 있기 때문에 자연의 힘이 손상을 촉진한 면도 있다.

지하는 캔틸레버 빔의 배근이 적었던 것이 문제였던 것은 설계 당시부터 지적되고 있었다.

그러나 설계자, 발주자, 시공자 간의 의사소통이 결여된 채 문제를 불문에 붙이고 공사가 추진되었다. 그래도 지금까지 유지되었던 것은 설계자의 동의없이 현장에서 철근을 증량하였기 때문이다. 문제를 불러온 건설 당시의 상황을 뒤돌아 본다.

1930년대의 대공황 전후 미국을 대표하는 건축가가 되어 있던 라이트에게도 큰 시련이 찾아왔다. 1927년 이래 두건의 주택의뢰를 받는데 불과하였고 중한 건은 조카의 주택이었다.

다른 한건인 마르콥 윌리 저택의 예산 1만 6,500달러였으나 완성시에는 1만 달러로 끝내고 있었다. 대공황의 충격이었다. 35명의 직원을 가지고 있는 위스콘신주에 있는 라이트의 창작의 장인 타리아센도 자금자족의 나날이었다.

그런 상황하에서 1934년 피츠버그의 백화점 왕인 에드가 카프만 부부의 아들 카프만 주니어가 타리아센에 건축수업의 자리를 얻었다. 당시 라이트의 나이 67세였다. 뒤에 낙수장의 설계자와 발주자 일가와 만남이었다. 라이트는 카프만 부처를 타리아센에 초대하여 수년간 지니고 있던 프로젝트를 설명하고 후원을 요청하였다. 카프만 씨도 자금지원을 약속하였다. 카프만 씨의 오피스 설계와 주말주택의 의뢰도 이때 이루어졌다. 낙수장으로 발전하는 일이었다.

1935년 라이트는 부부로부터 피츠버그 근교에 있는 롯지에 초대된다.

롯지에서 가까운 부부가 소유하고 있는 토지의 일부에 라이트는 흥미를 가지게 되었다. 베어·랑이라고 하는 많은 바위와 폭포와 여울이 있는 곳이다.

이때 카프만 부부는 폭포를 올려다 보는 하류에 주택을 세우고 싶다고 요망하고 있었다. 라이트는 폭포를 내려다 보는 바위에 오래도록 서서 건물을 머리 속에 그리고 있는 듯 하였다.

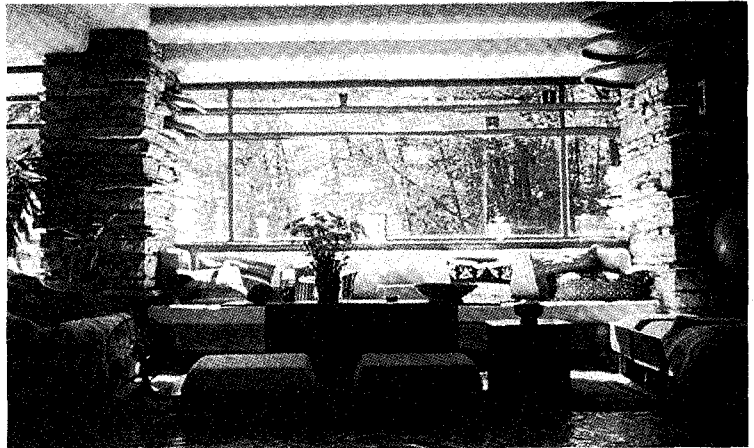
존선 왁스의 수주로 뒤로 미루다

카프만 씨가 편지로 주택에 들어갈 비용을 문의해온데 대하여 라이트는 설계료는 보통 20%이지만 특별히 10%로 하겠다고 제의하고 있다.

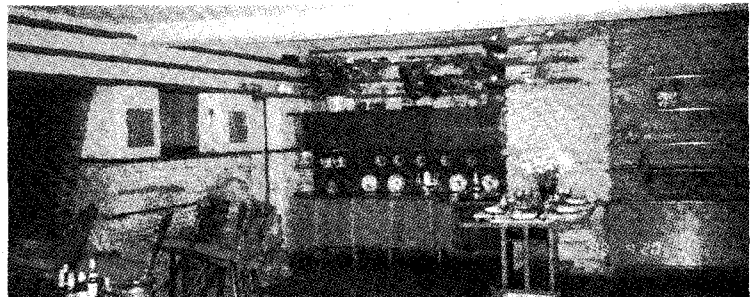
카프만 씨는 7월 5일 자료 오피스와 주택 공히 설계료는 10%, 가구는 20%로 합의하였다. 예산은 가구를 포함하여 2만에서 3만 달러라고 하는 라이트에게 상한 3만 달러를 결정하였다.

그후 오래도록 라이트로부터 답장이 없었다. 라이트는 대표작의 하나가 되는 존선 왁스 본사의 설계를 수주하여 막 착수한 시점이었다. 1935년 9월 22일 카프만 씨는 밀워키 출장시에 타리아센으로 가겠다는 것을 라이트에게 알렸다. 당일 라이트는 급히 플랜을 정리하여 곧바로 카프만씨를 오찬에 초대하였다.

그때 직원들은 총동원되어 나머지 플랜을 정리하여 오찬회합에 맞출 수 있도록 하였다. 플랜은 카프만 씨를 놀라게 하였다. “폭포를 올려다 보도록 설계를 의뢰했었다”고 거칠게 말했다고 한다. 라이트는 조용히 “EJ(카프만 씨의 애칭), 나는 폭포 위에 내민 집의 이미지가 이 부지 조건 중에서 가장 좋은 선택이라고 확신하고 있다”고 단언하였다.



보수작업이 시작되기 전 거실내부. 이 석재바닥이 캔틸레버 빔 위에 얹혀 있다.



내부의 가구도 라이트의 오리지널

설계비는 당초 예산의 5배 이상

특히 볼만한 곳은 폭포 위에 내민 테라스다. 이것을 지지하는 4개의 빔은 캔틸레버 빔이다. 고정단은 4개의 받침대에 지지되어 빔은 받침대에서 4.42m 내밀어져 있다. 4개의 빔 사이는 기둥에 연결되지 않은 빔으로 연결되어 격자형을 이루고 있다.

이 격자에 50mm×100mm의 각재, 그 위에 기초 판자를 놓고 바닥 사양은 모르타 기초 석재 바닥의 판상암(板狀岩) 붙임이다. 기둥에 연결되지 않은 빔과 캔틸레버 빔의 하단에 콘크리트 바닥이 있어 테라스와 건물의 바닥면에 해당한다. 구조부재를 역T자형으로 설치하고 있고 밑에서 올려다 볼때 부드러운 마감을 예상한 라이트의 의도를 읽을 수 있다.

중심에 있는 거실의 바로 위의 주침실에서 내민 테

라스가 1층보다 1.83m 더 남쪽으로 내밀고 있다. 1층 거실의 남쪽창면의 4개의 마리온(Mullion)은 거실의 남단에서 위의 테라스까지 달한다. 이 강철제의 마리온은 그저 장식처럼 보이거나 이 부분의 구조를 지지하는 중요한 역할을 하고 있다는 것이 그후의 조사에서 밝혀졌다.

공사는 1936년 봄부터 시작하였다. 아담한 산장을 만든다고 하는 부부의 희망을 라이트는 크게 변경해 나간다. 상한 3만 달러로 한 예산은 공사 개시시에 4만 5천 달러, 연말에는 7만 5천 달러로 불어났다. 또 게스트 하우스를 별동으로 추가하게 되어 5만 달러가 추가되었다. 그러나 공사가 시작했어도 타리아센은 존선 왁스의 설계가 막바지에 이르고 있어 낙수장의 마무리는 순조롭지 못했다.

의사소통이 결여된 채 문제를 뒤로 미루다

설계 단계부터 폭포 위에 길게 내민 테라스와 거주 공간에 대해서는 누구나 염려하고 있었다. 오너인 카프만 씨는 라이트를 통하지 않고 뱃스커 리처드슨 구조 사무소에 조사를 의뢰하였다.

그들은 라이트 사무소에서 산정한 거실 바로 밑에 들어가 있는 캔틸레버 빔의 철근량이 적다는 것을 지적하고 직경 25mm의 철근을 캔틸레버 빔 1개당 8개에서 16개로 배를 증가시켰다. 라이트는 이것을 알고 격분하였다. 그는 철근을 불리면 빔의 자중이 증가하여 구조가 약해진다고 생각하고 있었기 때문이다.

현장은 공사주임이 타리아센의 스태프와 사이가 나쁘고 오래 자리를 떠나있기도 하여 혼란을 겪고 있었다. 이 지역의 노동자도 농사나 탄광노동의 여가를 이용하여 일하는 상태로 일정한 공사품질을 확보하는 것도 어려운 상태가 되어 있었다.

이 시기에 라이트와 카프만 씨간의 왕복 전보문이 남아 있다. '상호 중상하면서 공경하여 말씀드립니다'라는 경구(Sincerely yours)라는 말을 쓰고 있는 것이 이상하다. 카프만 씨가 라이트의 문면을 앵무새처럼 남이한 말을 그대로 흉내내고 있는 것도 맛이 짙다.

낙수장의 캔틸레버 빔은 빔 하부의 압축응력에는 견디고 있었으나 상부의 인장력에 저항하는데는 철근량이 부족하였다. 주침실의 테라스에서 거푸집을 제거한 직후에 테라스의 벽에 균열이 발생한 사실로 미루어볼 때 이를 알 수 있다. 그래서 철근량이 뱃스커 리처드슨 구조사무소의 주장대로 증량되었다. 이변경은 라이트의 의향을 무시한 것으로 설계자는 불만이었다. 그러나 철근을 추가하지 않았더라면 빔은 확실히 붕괴되었을 것이라고 예상된다.

공사는 근본적인 문제해결을 뒤로 미룬 채 추진되었다. 1937년 공사가 최종단계에 접어들었을 때에도 리처드슨 사무소는 강바닥에 1층을 지지하는 지주를 추가하여 캔틸레버 빔의 내민 부분을 축소할 것을 권고하고 있었다. 당연히 라이트는 이 안을 일축하였다. 리처드슨의 말대로 할 것인가 자기 말대로 할 것인가를 선택토록 강요하여 카프만 씨는 라이트의 말을 존중하였다.

그 후 테라스의 변형 원인은 발주자와 설계자 그리고 현장 관리자의 의사 소통의 결여에 의한 것이라 말할 수 있다. 설계자는 현장의 공사 책임자와 좋은 관계를 이룩하지 못한 채 일련의 사건에 점점 불안운 느낀 발주자는, 설계자의 동의도 없이 고용한 구조사무소에 발주자가 사망하는 해까지 변형의 계획을 계속하게 하였다. 이 원년의 표시하고도 할 수 있는 정연측량이 이번 보수의 귀중한 자료가 되었던 것이다. (Ⓜ)

(外誌에서)