

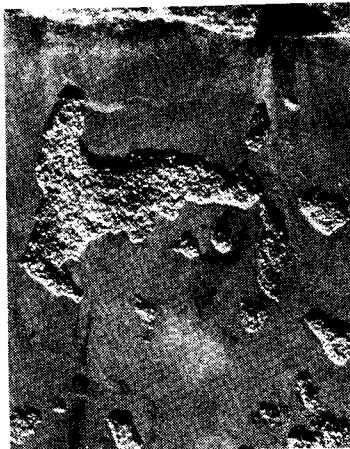
先史時代의 콘크리트

李 承 燮 (譯)

〈韓國洋灰工業協會 技術課 代理〉

1. 서 론

로마는 하루아침에 이루어진 것이 아니라고들 하는데 판테온(Pantheon), 신전(〈그림-1〉), 콜로세움(Colosseum) 또한 세고비아(Segovia)와 폰 두 가르드(Pont du Garde)와 같은 수로 등 장려한 로마 콘크리트 구조물의 건축은 참으로 오랜 세월이 걸쳐 진보된 것으로서 실로 선구적인 것이라 하겠다. 그리고 로마 콘크리트인 오푸스 세멘티툼(opus caementitium)과 그리스의 엠플렉톤(emplechton)



〈그림-1〉 비트루비우스가 “유리처럼 반짝인다”라고 묘사한 BC 1550년 크리트섬 · 미노스 궁벽의 연마 · 도색된 플라스터

은 석회 및 석회-포졸란으로 결합된 모르타르 및 플라스터에 있어서의 선구자로 볼 수 있다.

비트루비우스(Vitruvius)는 마치 대리석과 같은 크리수스(Croesus) 궁전의 그리스 플라스터와 프레스코(frescoes) 화법으로 배경을 이루는 높은 광택의 무수축 · 무균열의 플라스터를 보고 감탄했다고 한다. 그리고 그 기술은 오래 전부터 전해졌는데 페니키아(Phoenicia)와 그 식민지에서, 미노스의 크리트(Minoan Crete) 섬에서 (〈그림-2〉) 그리고 이집트와 메소포타미아에서도 일찍이 사용한 흔적이 나타나고 있다. 결합재료로서의 석회와 석회 모르타르에 관해서는 또한 성서에서도 언급되고 있다.

석회의 결합특성에 대한 발견에 대해서는 아직 공론의 주제가 될지언정 확실히 그 특성은 인류역사에서 매우 일찍이 발견되었던 것 같다. 아마 인류가 석회석 동굴에 거주하면서 따뜻하게 지내기 위해



〈그림-2〉 연마된 석회 플라스터 바닥과 진흙벽돌로 된 BC 7000년의 제리코 벽

또는 화로 위에 음식을 조리하기 위해 불을 사용하면서 그로부터 구워진 석회석이 수분이나 비와 접촉하여 소화(消和)되고 그 결과로 얻어진 분말이 결합특성을 가지고 있음을 발견하게 되었을 것이다. 소석회를 일찍이 적용한 실례의 한 가지가 동굴벽화의 물감에서 나타나고 있다.

2. 연마된 콘크리트 바닥

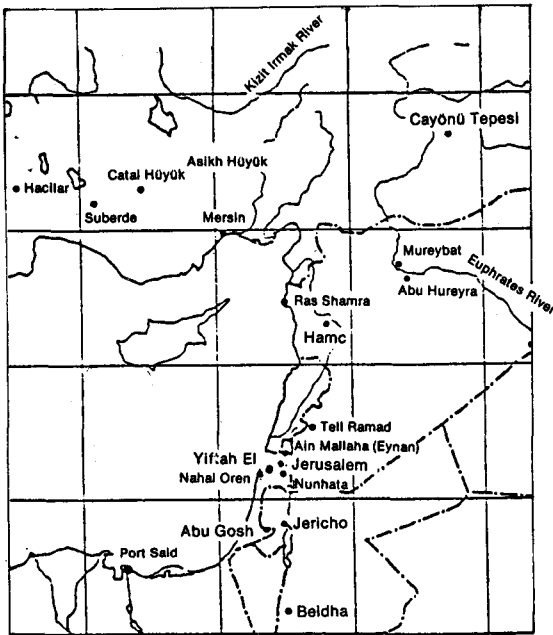
신석기시대 최초의 요새화 도시로 알려진 제리코(Jericho : 팔레스타인, 예리고)에서 발굴된 유적은 인류가 정착하여 가축을 길들이고 경작을 시작하던 그 시대에 대한 우리의 관념에 큰 변화를 가져다 주었다. 성서에 의하면 BC 1200년경 조슈아(Joshua : 여호수아)에 의해 멸망된 것으로 나타나지만 파괴된 10층 벽 아래에서는 연마된 견고한 석회-콘크리트 바닥(고고학자들은 이를 플라스터로 부르고 있다)과 건조벽돌로 세워진 집들이 발견되었으며 간혹 채색된 플라스터 층으로서 매끄럽게 표면처리된 것도 나타나고 있다. C₁₄ 분석에 따르면 이곳에

서 발견된 곡식 및 기타의 유기질 잔해는 BC 7000년경의 것으로 추정되며 가장 낮은 층서(層序)의 것은 BC 9000~8000년경 것으로 밝혀지고 있다.

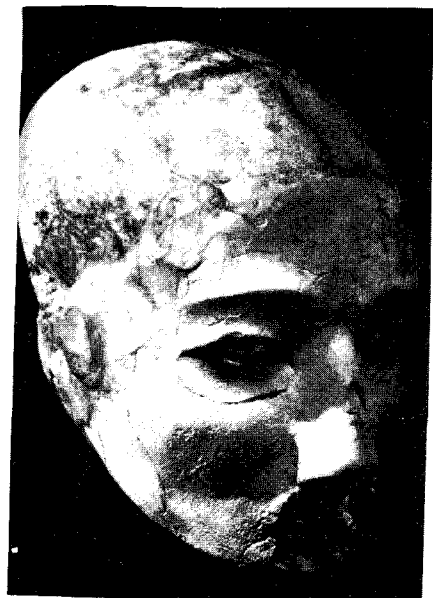
이와 비슷한 석회-콘크리트 바닥의 표면처리 및 연마기술이 지중해 동부 및 유럽의 신석기시대 주거지 몇 군데에서 뒤늦게 발견된 바 있다(〈그림-3〉). 저명한 고고학자인 Wooley는 이곳에 거주했던 사람들은 앞서의 연마된 바닥에 거주하던 곳에 살던 사람들일 것으로 언급하고 있다. 그러나 연마된 석회 플라스터는 신석기시대의 바닥에만 적용된 것은 아니었다. 이와 유사한 플라스터를 입힌 인간의 두개골이 제리코에서 많이 발굴되고 있으며(〈그림-4〉) 석회 모르타르로 만든 식기까지도 발견되고 있는 것이다.

3. 신석기시대의 석회제조

신석기시대의 주거지에서 콘크리트 바닥이 넓은 영역에 걸쳐 분포되어 있다는 것은 상당한 양의 석회가 사용되었다는 것을 의미한다. 석회석을 구워서 만든 소석회를 모르타르로 혼합하여 콘크리트를



〈그림-3〉 연마된 석회 바닥의 유적이 발견된 지중해 동부 신석기시대 주거지의 분포도



〈그림-4〉 석회 플라스터로 덮인 두개골이 제리코에서 발견 되었다.



〈그림-5〉 BC 7000년경 이프타엘의 주거지 (Loc. 700, 710, 720). 180㎡의 연마된 석회 플라스터 바닥과 벽의 잔해가 있다.

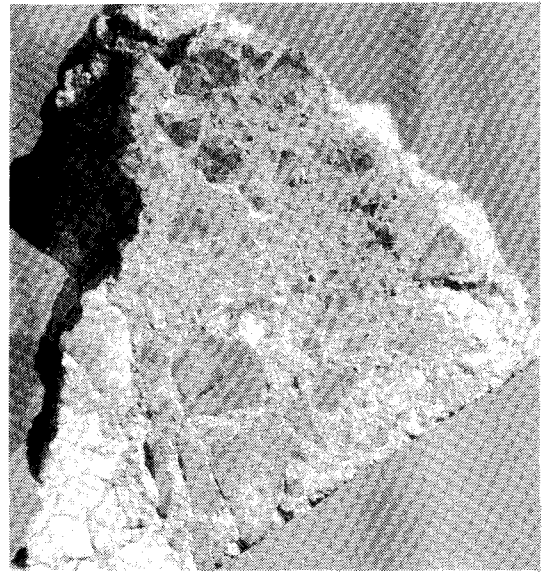
치고 다시 표면을 마무리 하는 등의 건축기술은 신석기시대 시공자들에게는 확실히 잘 알려져 있었던 것 같다. 일부 기술사학자나 요업공학자들은 신석기시대에 있어서 석회석의 소성은 생산을 목적으로 한 불의 최초의 적용이며 그로부터 불꽃 제조술의 발달이 이루어졌을 것으로 생각하고 있다. 이 이론은 선사 세라믹(Pre-ceramic)으로서 이 시대의 고고학적 의미와 일치하고 있으나 그후 이러한 곳에서 구운 토기 등은 출토되지 않았다.

석회를 만들어 사용한 증거가 있음에도 불구하고 발굴현장에서는 실제의 석회 소성기술을 시사할 만한 확실한 자료를 찾아내지 못한 것 같다. 즉 문헌에는 인정될 만한 키른의 잔해조차도 없었던 것으로 언급되어 있는데 고고학계나 사회-기술사학계에서는 아직도 이에 그들 지식의 공간을 채워 줄 수 있는 대단한 관심을 쏟고 있다.

4. 이프타엘 (Yiftah Et)의 콘크리트 바닥

몇 가지 우연한 발견들 가운데는 이전에 갈릴리 (Galilee) 남쪽 신석기시대의 발굴조사에서 나타난 콘크리트질의 작은 바닥편이 있는데 그 주거지와 찾아낸 유물은 앞에서 언급한 것과 유사한 것이다.

조사를 계속한 결과 이는 몇 개의 타원형 및 한 개의 직사각형 건물을 이루는 대규모(약 15,000㎡)



〈그림-6〉 Cayönü Tepesi(〈그림-3〉 右上) 에서 발견된 테라초 석회 콘크리트 바닥의 조각

선사 세라믹의 주거지인 것으로 드러났다. 그곳에는 직사각형의 건물 벽들 사이에 콘크리트질 물질로 된 문간 층대가 있었다.

1985년 겨울 도로건설을 위해 불도저 작업을 하던 중 주거지 동측부분에서 180㎡의 콘크리트 슬래브가 드러난 것은 매우 놀라운 것이었다(〈그림-5〉). 이로써 이스라엘 교육문화부와 예루살렘 대학의 지휘하에 집중적인 발굴작업을 시작하게 되었으며 이에 관한 많은 조사 보고서가 나왔다.

그 주거지에서는 신석기시대의 곡식남알, 부싯돌 그리고 바닥 밑에 매장된 인간의 뼈가 대량으로 발견되었다. 이들 유물들은 C₁₄ 및 고고학적 분석에 따르면 BC 7000년경의 것으로 추정되고 있다. 그후 이곳의 건축기술에 대해서도 조사되어 그 일부에 대한 보고서도 나왔다.

1) 현장 조사

이프타엘 주거지에서의 타원형 집은 결합재로서 모래점토를 사용한 석조 벽과 치밀한 점토바닥으로 되어 있다. 기 발견된 180㎡의 콘크리트 바닥은 아직 발견되지 않은 넓은 바닥 중의 일부에 지나지 않을 것으로 생각된다. 바닥표면은 일부가 파손되어 있었으며 그 중앙부에는 플라스터 모르타르로 덮인

건조벽돌의 조각들이 있었다.

조밀한 모래점토층 위에 깔린 바닥은 지진에 의한 것으로 보이는 크고 작은 균열이 있었으며 일부 장소에서는 견고하고 평탄하게 연마된 표면이 적갈색 양금으로 덮여 있는 것도 있었다. 바닥의 두께는 30~80mm로 다양하며 대체로 균질한 콘크리트의 단일층(Loc. 700)을 이루는 반면 벽 근처(Loc. 700/710)는 이중층으로서 크림색 플라스터의 표면은 주의깊게 연마된 것이었다. 벽과 만나는 바닥의 교차점은 등골게 처리되어 있었는데 제리코에서 발견된 것처럼 청소하기에 편리하도록 한 것으로 보인다.

Loc. 720 아래쪽인 Loc. 780에서 발견된 바닥 잔해는 얇게 상감된 것으로서 굳은 모르타르를 곱게 연마시킨 조각이 나왔는데 이것은 지금의 인조대리석 조각을 이용한 테라초(terrazzo) 바닥의 조직과 유사한 것이다(〈그림-6〉). Loc. 730에서는 세라믹 질의 조각과 골재를 사용한 콘크리트 바닥의 일부(1㎡)를 발견하였다.

2) 실험실 조사

1986년 조사에서 채취한 물질을 현미경으로 관찰한 바로는 Loc. 700에서 얻은 6~8cm 두께의 콘크리트 층은 석회화(石灰華 : travertine)와 같은 석회 콘크리트로 이루어져 있었다. 이 콘크리트는 매우 조밀하고 단면에는 단지 작은 기공만 볼 수 있었으며 골재는 직경 10mm 이하의 碎石을 사용한 것 같았다.

벽 근처에서 채취한 이중층 콘크리트의 위층은 2~4mm 두께의 견고한 크림색 플라스터로서 암색의

아래층과 양호하게 결합되어 있었다. 물리성능 시험결과는 2.0~2.4의 고밀도, 저흡수성, 평균 40MPa 정도의 고강도를 보이고 있다. 화학분석과 XRD 결과 콘크리트는 주로 90% 이상의 calcite와 약간의 quartz로 되어 있는 것으로 나타났다. 이것은 결합재뿐 아니라 골재까지도 석회성 물질로 되어 있다는 것을 의미한다(〈表-1〉).

1987년 Loc. 730에서 채취한 시료는 가장 흥미로운 것이었다. 직경 70mm 정도의 이 조각 표면에는 드문드문 그늘음이 묻어 있었으며 대개는 불에 탄 나무가지의 흔적이 남아 있었다. 화학분석 결과 이것은 소결 점토로 확인되었다. 이러한 것들은 점토의 응집력을 개선시키기 위한 보강재로서 잔가지를 섞은 가마의 벽체 또는 석회 키른의 잔해로 생각된다.

붉은 소결 점토 골재가 사용된 콘크리트 바닥 윗 부분에는 부싯돌 조각과 석회를 구울 때 생긴 숯가루가 끼어 있었다. 그 바닥은 석회를 굽고 난 찌꺼기(석회, 숯가루, 소결체 조각 등)로 만들었거나 아니면 내화 콘크리트로 시공할 목적이었는지 모른다. 이와 함께 세라믹 골재로 된 유사한 콘크리트가 이집트의 구리제르나가마에서 발견된 바 있다.

5. 결 론

1) 신석기시대의 바닥과 석회 콘크리트

이프타엘 바닥 외에도 BC 7000년경의 다른 신석기시대 주거지가 발견됨으로써 많은 바닥설계 및 시공기술이 알려지게 됐다. 이를테면 단층 또는 이중

화학성분 및 물리성능

〈表-1〉

시료 번호	CaO	MgO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	기 타 TiO ₂ , S	강 열 감 량	밀 도 g/cm ³	흡수율 Wt.%	기공률 Vol.%	겉보기 비 중 g/cm ³	압 축 강 도 MPa	내산성 25% HCl
1	50.82	0.60	3.97	0.95	0.54	0.1	42.82	2.26	4.01	9.06	2.49	60	paste가 stone보다 약함
2	50.89	0.60	5.01	0.24	0.40	0.1	41.00	2.46	2.15	5.29	2.60	40	
3a	50.80	0.45	2.72	0.54	0.38	0.15	42.67	2.31	4.24	9.77	2.56	30	
3b	51.41	0.58	2.66	0.44	0.30	0.15	42.57					40	
4	50.23	0.68	3.44	0.68	0.39	0.27	41.42	2.08	8.18	17.01	2.51	15	
5a	51.96	0.49	3.13	0.66	0.37	0.20	41.08	2.01	9.88	19.86	2.51	30	
5b	45.65	0.50	8.96	0.78	0.39	0.16	38.62					20	

층의 플라스터, 청소하기 쉽도록 바닥과 벽의 교차 부분을 둥글게 처리 한점, 치밀한 다짐 그리고 표면마무리 및 연마 등이 그것이다. 잘 다져진 바닥 기초, 견고한 석회 콘크리트 포장, 세심하게 연마된 표면, 이러한 것들은 오늘날까지도 적용되고 있는 것으로서 이것이 바닥시공의 원리라는 느낌마저 주고 있다.

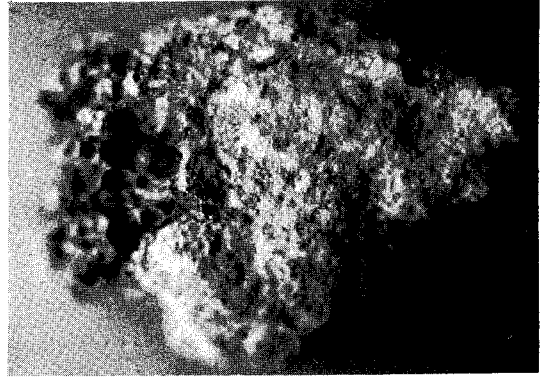
그 지방에서 이용 가능한 재료를 적절히 선별하여 만든 이 플라스터는 그 혼합재료(석회 및 다량의 석회석 골재)에 물의 양을 적게 한 반면에 치밀하게 다진 것으로서 이는 우선 표면처리를 위한 필요조건이 될 것이며 그 다음 다시 플라스터를 얇게 입힌 후 연마시킨 것으로 생각된다. 그 연마 작업은 적당한 응결시간이 지난 후 특수 연장으로 시공하였을 것으로 생각되나 이프타엘에서 연장은 발견되지 않았다.

이렇듯 콘크리트의 특성을 잘 이해하고 있는 진보적인 해결방법은 신석기시대의 건축가들이 오랜 기간 동안 발전시켜 얻은 경험상의 지식에 근거를 두고 있음을 암시한다. 이러한 기술은 더욱 발전되어 후세에 전달되었으며 다짐과 연마가 콘크리트의 안정성에 미치는 영향에 관한 최초의 기록된 보고서가 그로부터 7,000년 후에 비트루비우스(Vitruvius)에 의해 전해지고 있다. 이러한 순서에 관한 과학적인 해석으로서 콘크리트의 구조 및 성질에 관한 최근의 조사 결과가 있다. 그러나 신석기시대의 플라스터 바닥에 있어서 이중층의 기능, 바닥 두께의 차이, 골재의 사용 등에 대해서는 아직 해명되지 않고 있다.

2) 석회 소성, 소결 점토

180㎡의 바닥에는 약 9㎡의 콘크리트가 소요되는데 이에는 2.2톤 이상의 석회가 결합재로서 사용되었을 것이다. 따라서 전지역에 소요되는 생석회의 양은 상당히 많았을 것이며 그러한 대량의 석회를 만들어 내기 위해서는 효율적인 석회 키른과 체계적인 석회 소성공정이 있어야 함은 의심의 여지가 없다.

또한 키른은 내화재료로 만들어져야 했으며 그래서 그들은 여러번 사용할 수가 있었을 것이다. 가장 간단한 재료가 점토로서 그 점토는 벽에 잘 붙도록 짙이나 나무가지로 보강하였으며 벽은 종종 돌로



〈그림-7〉 표면에 소결점토 및 탈탄산 석회석 조각이 들어 있는 세포질 모양의 세라믹스

만들어졌던 것 같다. 이러한 석회 키른 라이닝으로부터 유래된 듯한 소결체의 조각들(〈그림-7〉)이 이프타엘의 공업지역에서 발견되고 있다.

정교한 신석기시대의 바닥공법, 연마시킨 석회 플라스터 포장, 9,000년이나 된 콘크리트의 높은 강도, 밀도, 안정성 등은 감탄하지 않을 수 없는 것들이다. 실제로 이러한 역사적 사실은 건축 및 재료 기술자들에 있어서 콘크리트 구조물의 수명 및 안정성, 공해 폐기물 및 핵 폐기물의 안전한 저장 등 현세에 부딪친 매우 긴박한 문제의 해결에 실질적인 흥미를 부여하고 있는 것이다.

플라스터와 콘크리트 기술에 있어서 고대나 신석기시대의 과정은 단지 기계화 정도의 차이나 경험적인 신석기시대의 지식에 대한 과학적인 해석의 차이가 있을 뿐 아직도 다름없이 적용되고 있는 것이다.

고고학자나 기술자, 기술사학자들의 많은 노력에도 불구하고 석회 모르타르의 사용이나 석회의 제조 등의 몇 가지 측면에 있어서는 아직 해명되지 않은 것도 있다. 이는 계속 발견·연구함으로써 신석기시대의 석회 키른, 점토 키른 라이닝, 석회 콘크리트의 양생 및 그의 초기강도 등에 관한 더욱 상세한 지식을 제공하게 될 것으로 본다.

콘크리트는 현대의 재료이며 석회나 석회-포졸란 콘크리트는 그리스나 로마의 발명품이라는 관념은 수정되어야 한다. 콘크리트의 뿌리는 신석기시대에서 발견되었으며 석회의 사용은 어쩌면 그보다 앞선 시대로부터 기원된 것인지도 모른다. ▲

〈資料: Concrete International March, 1991, ACI〉