

달에서 만든 시멘트·콘크리트

최 상 흘 (한양대학교 명예교수·공학박사)

최근 77세의 존 글랜 우주 비행사가 우주 왕복선 디스커버리호를 타고 지구를 134바퀴나 돌고 무사히 지구로 귀환하면서 우주여행은 한 발짝 더 우리에게 다가왔으며 2000년대에는 본격적인 우주여행시대가 될 것으로 보인다. 성급한 사람들은 이미 달나라 여행을 계획하고 있다고도 한다. 이제 우주여행에서의 관심사는 우주정거장건설, 우주기지건설 등으로 쏠리고 있다. 국제 우주정거장(ISS) 건설 작업도 시작되었다. 11월 20일 1호 모듈 “차리야(해돋이)”의 발사는 21세기 초에 지구궤도에 우주 정거장을 건설하는 서막이며 인류의 꿈 “우주여행”도 멀지 않은 앞날의 일임을 말해주고 있다.

가을하늘 남산 위에 등실등실 떠 있는 둥근 달을 쳐다보며 옥토끼가 절구질하는 모습을 그리던 인간이 달나라에 다녀 온 지도 이미 30년이 되었다. 그간 달에 관한 많은 정보도 얻게 됐다. 달에 시멘트·콘크리트 기지를 건설할 수 있을까? 우리는 시멘트·콘크리트를 사용하여 지구상에 크고 작은 수많은 보급자리를 마련하였다. 지하공간도 개척하였고 바다에도 진출하였다. 이제 시멘트·콘크리트도 우주를 향하여 보자.

1981년 미국 포틀랜드 시멘트협회(PCA)의 건설기술연구소(CTL)는 달 표면에서의 시멘트·콘크리

트 구조물 건설을 제안하고, 국립항공우주국(NASA)으로부터 달의 흙을 제공받아 1986년에 보고를 하였다. 한편, 1988년 레이건 미국 대통령은 우주정책의 일환으로 NASA의 달기지 계획을 발표하고, 이어 미국 콘크리트협회(ACI)는 Lunar concrete 위원회를 발족하고 시멘트, 콘크리트, 시공 등 다섯 가지 분과위로 활동을 개시하였고 1991년에는 심포지움을 개최하였다. 미국 토목학회(ASSE)도 Space'88을 개최하였다. 1991년 부시 미국 대통령은 오는 2010년 달에 우주기지를 건설할 계획을 발표하였다.

1. 달 표면의 환경

달에서의 시멘트 제조, 콘크리트의 시공 등에 앞서 먼저 달의 환경과 지구환경을 비교해 보자.

우주 공간에서의 온도변화는 그리 크지 않으나 달 표면에서의 낮과 밤은 큰 온도차를 보인다. 즉, 낮은 100~130℃, 밤은 -100~-150℃정도로 낮과 밤의 일교차는 280℃나 되어 지구에서는 상상도 할 수 없는 온도변화이다. 낮(햇빛이 비칠 때)은 끓는 더위이고 밤(햇빛이 비치지 않을 때)은 꽁꽁 얼어붙는 혹한이다.

낮과 밤의 기간도 지구 시간으로 각각 14.77일간

계속되며, 햇빛이 비칠 때와 비치지 않을 때의 경계는 급변한다.

달 표면에는 공기가 없는 진공상태이다. 따라서 액체는 순식간에 증발해 버린다. 또 달 표면에서는 중력이 지구의 1/6정도이다. 달의 인력권내에 들어온 우주운석들은 연소하지 않고 달 표면에 떨어질 것이며, 한편 태양풍, 방사선의 영향도 있다.

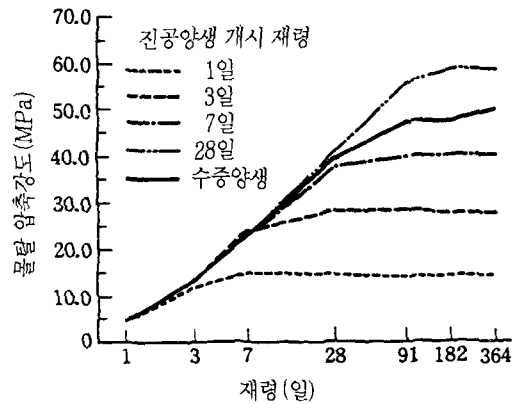
2. 달에서의 시멘트·콘크리트 재료

달에서 시멘트를 만들 수 있다면 콘크리트 구조물을 시공하는데 필요한 재료는 어떻게 공급될 수 있을까?

달의 암석으로부터 시멘트를 제조할 수 있음이 밝혀졌다. 달의 암석을 분석한 결과, 성분은 대부분이 산화물이며 시멘트의 주성분인 규소, 알루미늄, 칼슘, 철분을 함유하고 있고, 달의 암석을 2,000K(1,727°C) 이상으로 가열하면 알루미늄 시멘트와 비슷한 시멘트가 얻어진다고 발표하고 있다. 또 달의 표면에는 비중이 2.6 정도의 고운 모래가 있다. 이 모래와 달 표면의 암석을 분쇄하면 골재도 공급이 가능하다.

다음은 물이다. 최근 보도에는 달에도 물 성분 존재의 가능성을 보인 기사도 있었으나 아직 물의 존재는 확인되지 않았다. 따라서 물은 수소와 산소로 직접 합성하여 공급할 수밖에 없다. 달 표면의 암석은 산화물이므로 산소는 있으나 수소는 지구로부터 운반하여야 한다. 그러나 수소는 가벼우며 수소 1g 으로부터 물 9g을 얻을 수 있으므로 효율이 나쁘지는 않다.

달 암석에는 철분도 있으므로 콘크리트 보강재도 해결된다. 또는 달 암석으로부터 유리 또는 세라믹 섬유도 제조가 가능할 것이므로 이것을 보강재로 활용할 수 있다.



〈그림-1〉 재령에 따른 몰탈 압축강도

에너지는 태양열의 활용으로 충당된다. 건설재료를 지구로부터 운반한다는 것은 큰 일이다. 따라서 물 이외의 모든 원자재가 달에서 조달이 가능하다는 것은 달에 콘크리트 우주기지 건설의 가능성을 한층 밝게 해주고 있다.

달에서의 시멘트·콘크리트시공을 가상하여 달 환경 하에서의 시멘트·콘크리트품질에 대한 연구 결과에 따르면 진공 및 저중력 환경에서도 시멘트·콘크리트는 가능함을 보이고 있다.

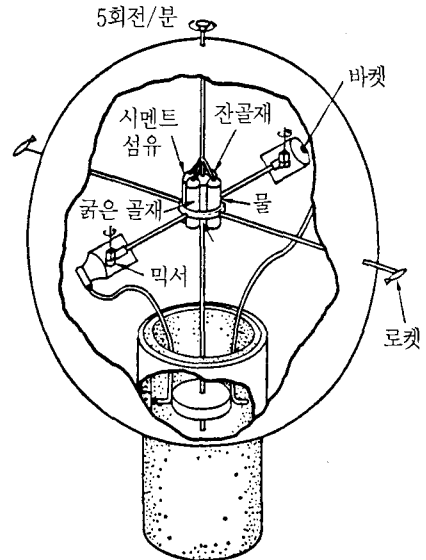
지구의 1/6 중력 하에서 몰탈(Mortar) 강도는 지구상 강도의 약 90%를 유지하며 무중력 상태 하에서도 수화반응에는 지장이 없음이 밝혀졌다. 한편 진공상태에서 반죽한 콘크리트는 급격한 내부수분 증발로 조직이 다공화하여 강도 강하를 보였으나 적당한 수중양생과 수중양생후의 건조효과를 이용하면 충분한 압축강도를 갖는 콘크리트를 얻을 수 있을 것으로 보인다. 〈그림-1〉은 여러 양생조건에서 강도 발현상태를 보인 것인데, 7일 수중양생후 진공환경으로 할 경우에는 급격한 상도변화는 없었으나 강도 증가가 둔화했으며 28일 수중양생후 진공환경으로 할 경우 수중양생을 계속한 경우보다도 증진현상을 보였다.

3. 달에서의 콘크리트 구조물

진공에서 시멘트의 수화에 필요한 수분은 수화반응이 진행하기 전에 먼저 증발하여 탈수 현상부터 일어날 것이다. 따라서 시멘트·콘크리트의 혼합에서 양생까지의 모든 작업은 밀폐된 공간에서 내부 압력을 가한 상태 하에서 진행하여야 한다. 제작하려는 콘크리트 구조물 부재를 다룰수 있고 내부 압력에 견딜수 있는 큰 밀폐된 공간이 필요하며, 그 속에서 prestressed concrete 부재를 만들어 설계대로 조립하는 것이 타당할 것이다.

<그림-2>는 콘크리트 제조 플랜트의 한 예이다. 콘크리트 플랜트를 우주공간에 띄운 space capsule 안에 넣고 작은 로켓으로 원심력을 일으키거나 회전운전을 한다. 이 capsule 안에서 제작된 prestressed concrete 부재는 건설현장으로 운반한다. 달에서의 인력은 지구 인력의 1/6이므로 콘크리트 판의 운반은 큰 문제가 아닐 것이다.

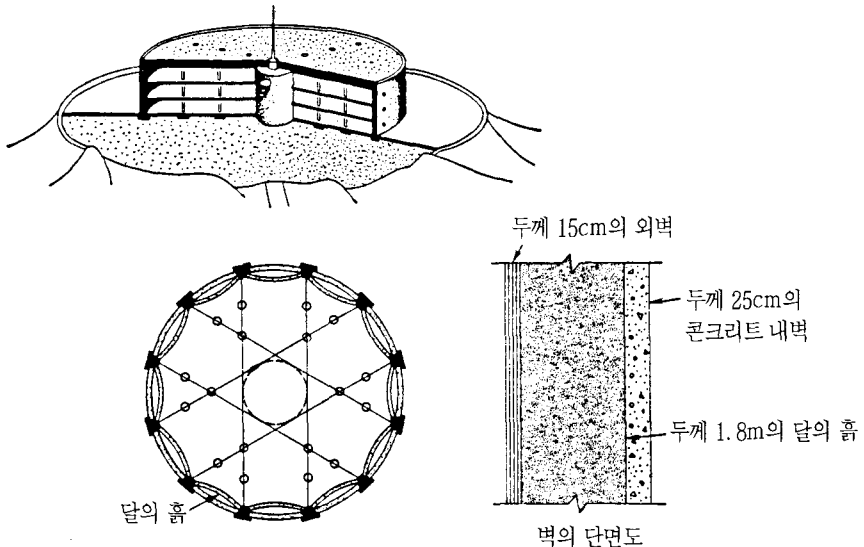
태양열을 이용한 autoclave 양생도 생각할 수 있



<그림-2> 우주 콘크리트플랜트 구성(ENR/June 21, 1984)

다. capsule안은 부재 양생에서 발생한 수분을 회수하여 재사용 할 수 있다.

달 표면에서의 온도차는 콘크리트에는 가혹한 조건이다. 햇빛이 비칠 때는 타는 듯한 더위이고 햇빛

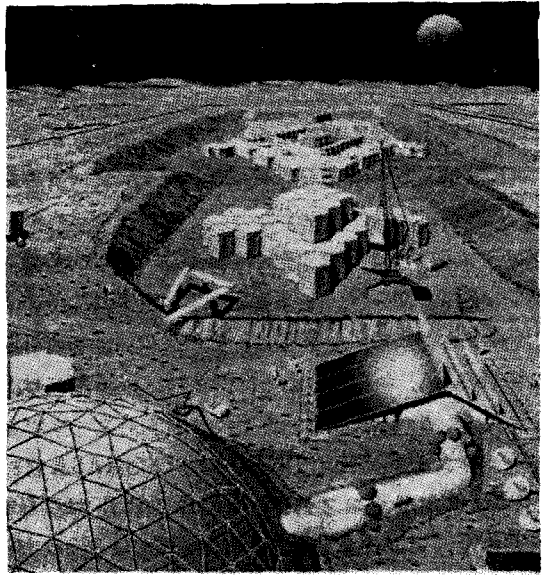


<그림-3> 달의 우주 스테이션(Civil Engineering/ASCE 1985. 5)

이 없으면 동결하는 혹한인 환경에서, 콘크리트 경화체는 경화 후에도 이 열 충격에 견딜 수 있어야 함은 물론이다. 철근 콘크리트의 경우 철근과 콘크리트 사이의 열 전도도 차이 등을 고려한 설계상 배려가 필요할 것이다. 철근 대신 유리·세라믹섬유 강화콘크리트도 고려해 볼 만 하다.

달 기지의 설계에서도 달의 환경, 즉 온도 변화 및 일교차, 저중력 및 진공 그리고 방사선이나 태양풍 등의 조건을 고려하여야 할 것이다. <그림-3>은 달에서의 우주 스테이션의 안이다. 이중벽을 한 3층 구조로 내벽은 압력에 견딜 수 있게 외부에 대하여 오목하게 하고 그 사이에 달의 흙을 채움으로서 태양풍이나 방사선 등으로부터 보호하도록 하였다. <그림-4>는 또 다른 달에서의 기지 건설 예이다.

달에 떨어지는 운석으로부터의 보호 차폐도 고려하여야 할 것이며 다른 방안으로서는 지하구조물 구축도 고려해 볼만하다. 지하구조물의 경우 표면에서와 같은 온도차가 없고 조금만 내려가도 일정온도이므로 그에 맞는 설계를 하면 될 것이다.



<그림-4> 달의 기지건설안

이제 달에 시멘트·콘크리트 기지를 구축하는 것도 꿈만은 아니다. 달에 지은 콘크리트집에서 우주를 구경하는 그 날을 상상하여 보자. A

시사용어해설

< 밀레니엄 버그(Y2K, 2000년 결함) >

컴퓨터가 2000년 이후의 연도를 제대로 인식하지 못하는 결함. 컴퓨터가 현재 인식하고 있는 연도 표기는 두 자리로 2000년을 1900년으로 인식하게 되면 컴퓨터를 사용하는 모든 일이 마비될 수 있어 엄청난 재난으로 이어지게 된다. 예를 들어 19세기에 태어난 사람이 다시 살아난 것으로 컴퓨터가 인식할 수도 있고 은행 등 금융권의 이자계산부터 모든 연산 결과가 왜곡될 수 있다. 최근 미국의 한 분석기관에 의하면 밀레니엄 버그로 인한 미국 전체의 경제적 손실은 2001년까지 1,190억 달러에 달할 것으로 예상되고, 미국 경제성장률도 0.5% 포인트까지 낮아질 것으로 전망되기도 했다.