技術資料

응고이론으로 고찰한 제주도 중문의 용암응고조직

이진형†

Lava Structure in Jung-Mun, Jeju Island, interpreted in View of Solidification

Zin-Hyung Lee

한국주조공학회의 춘계대회와 한일 젊은 주조기술자 심포지움이 제주도 중문단지에 새로 건설된 제주도 convention center에서 2003. 4. 18-19일 개최되었다. 이 장소에서 가까운 해안가에 관광명소로 주상절리(柱狀節理)라는 곳이 있으며 이곳은 거대한 용암이 주상정으로 서서히 응고한 내부 조직이 밖으로 노출되어 있는 곳이다.

주물의 응고조직도 조성과 냉각조건에 따라 주상정으로 응고시킬 수 있으며 이 조직을 관찰하기 위해서는 시편을 잘라내어 연마한 후에 엣칭하고 현미경으로 보아야 한다. 주상정 cell의 cell spacing은 응고중 냉각속도의 약 1/2승에 반비례한다. Sn-Pb 합금계에서는 냉각속도가 0.1 또는 0.01 K/s일 때에 셀 간격은 약 40 또는 70 μm으로 측정되고 있다. 금속의 결과를 용암응고에 외삽(extrapolation)하면 용암주상정의 폭이 1 m 일 때에 (Fig. 1-3) 냉각속도는 약 10^{-10} K/s가 된다. 즉 1 K 냉각에 10^{10}초 (317년)이 걸린다. 용암의 응고구간이 100 K라면 응고시간은 약 3만년이 걸린다.

도저히 믿어지지 않는 긴 응고시간이지만 지구 내부에는 아직도 용암이 응고하지 않고, 지구 나이 50억년(3만년의 17만 배)이 지난 지금에도 응고가 겨우 지구 표면층에서 진행중인 것을 생각하면 가능할 것도 같다. 응고시간은 주물 두께의 제곱에 비례하니까 지구의 응고층을 10000 m로 보면 용암의 두께는 약 24 m 이었을 것으로 추정할 수 있다. 이것은 제주도 주상절리의 규모로 볼 때에 충분히 가능한 규모이고 order of magnitude가 잘 맞는다.

제주도에서는 돌을 절단하여 만든 건축물을 흔히 볼 수 있는데 이 돌의 절단면에 Fig. 4와 같은 기포나 균열 비슷한 것들을 자주 볼 수 있다. 용암에도 많은 기체가 용해되어 있고 응고시 액상-고상의 용해도 차이로 이 기체 원자들이 잔류액체로 밀려나 농축되고 드

Fig. 1. 용암이 주상정으로 응고한 모양. 화산에서 강처럼 흘러나온 용암이 커다란 산처럼 쌓여 있으면서 외각은 공기중에서 식어 굳고 내부에 있는 용암이 서서히 (몇 만년 동안) 응고했을 것임.
註 : 이때 응고가 용암의 외부로부터 열을 빼기면서 진행되었을 것임. 용암이 흘러내려 얕은 바다 밑의 땅위에 넓게 쌓였다면 열이 하부쪽의 땅과 상부쪽의 공기로 빠져 나가게 되지만 하부쪽의 땅으로의 열전달계수가 더 커서 열이 주로 아래로 빠져 나가면서 주상정이 주로 아래에서 위로 성장한 모양을 보여줌. 용압의 상부로부터 열이 나가면서 상부로부터 하부로 성장한 주상정도 있을 것이나 이 경우 응고계면에 기포가 쌓이게 되면 용암과의 접촉이 차단되어 계속 성장이 어려울것임.

한국과학기술원 재료공학과 교수(Professor, Dept. of Material Science and Engineering, KAIST)
†E-mail : zhlee@kaist.ac.kr

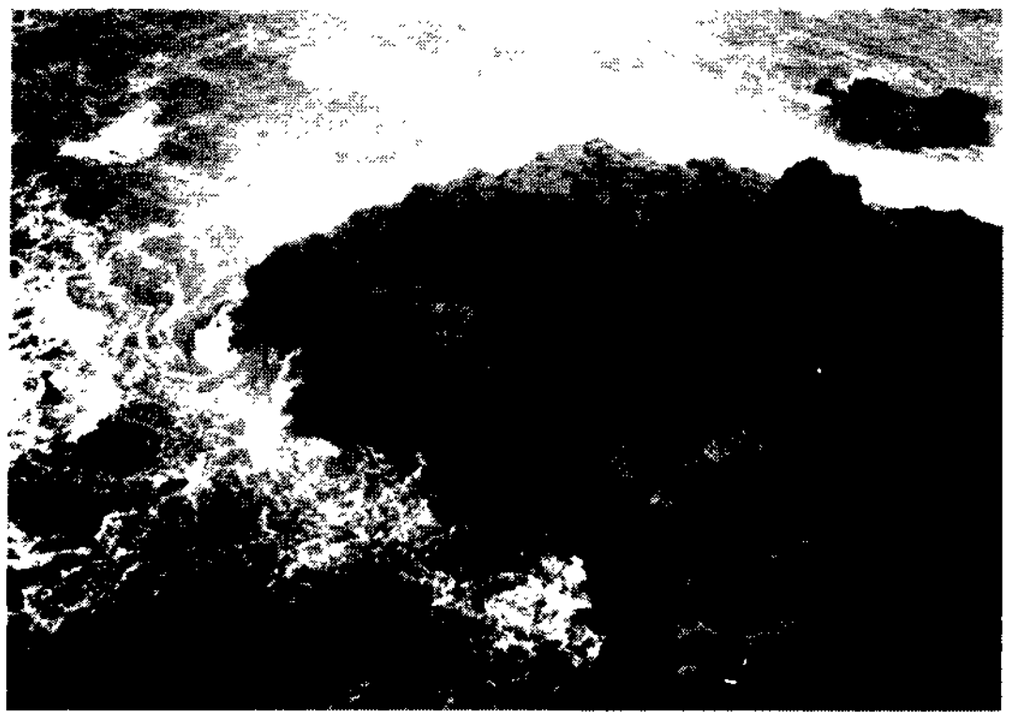

Fig. 2. 주상정(柱狀晶)의 횡단면이 위로 잘 나타난 모양. 나란히 성장한 용암의 주상정, 각각은 육각형 기둥 모양에 가깝다. 용암에서 응고점이 낮은 성분은 cell boundary로 밀려서 응고했음.

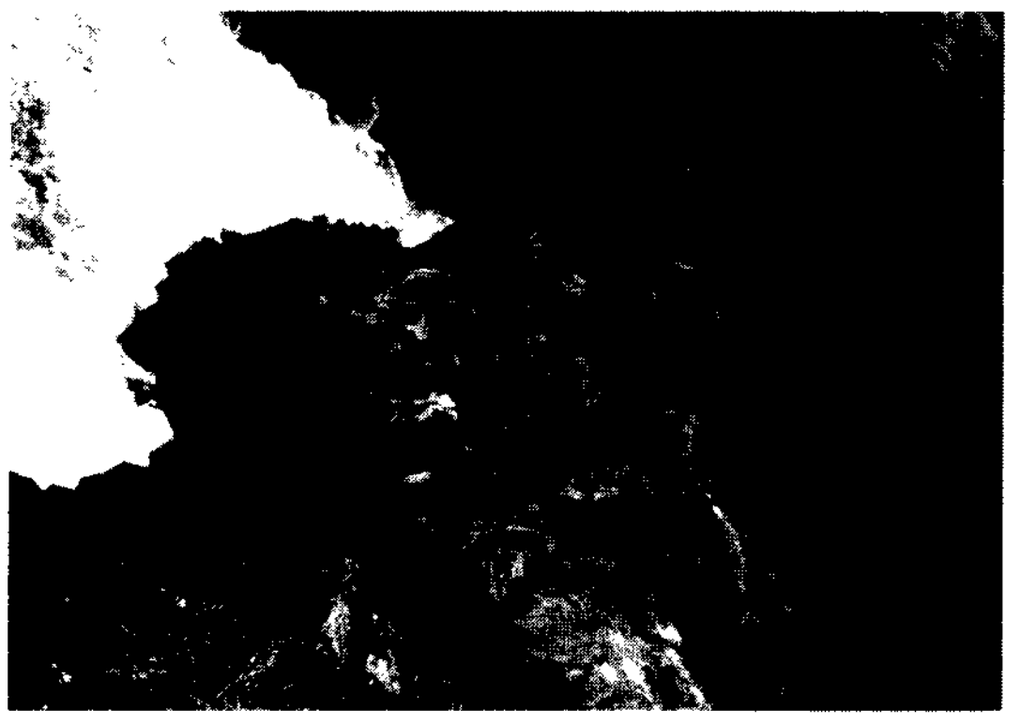

Fig. 3. 주상정의 cell boundary에 나타난 저융점 조직과 침식된 boundary line. 용암에서 응고점이 낮은 성분이 cell boundary로 밀려서 응고되어 색갈이 다르게 보이고 이 부분 중에서도 최종적으로 응고한 cell boundary line에는 침식이 잘되는 성분이 많이 모여 있어서 선상으로 침식이 된 것이 보임. 주상정 경계가 잘 침식이 된 이유로 노출된 주상정의 옆면은 주상정의 경계를 따라 노출 되어 있어 온전한 주상정의 옆 모양이 잘 나타나 있음.

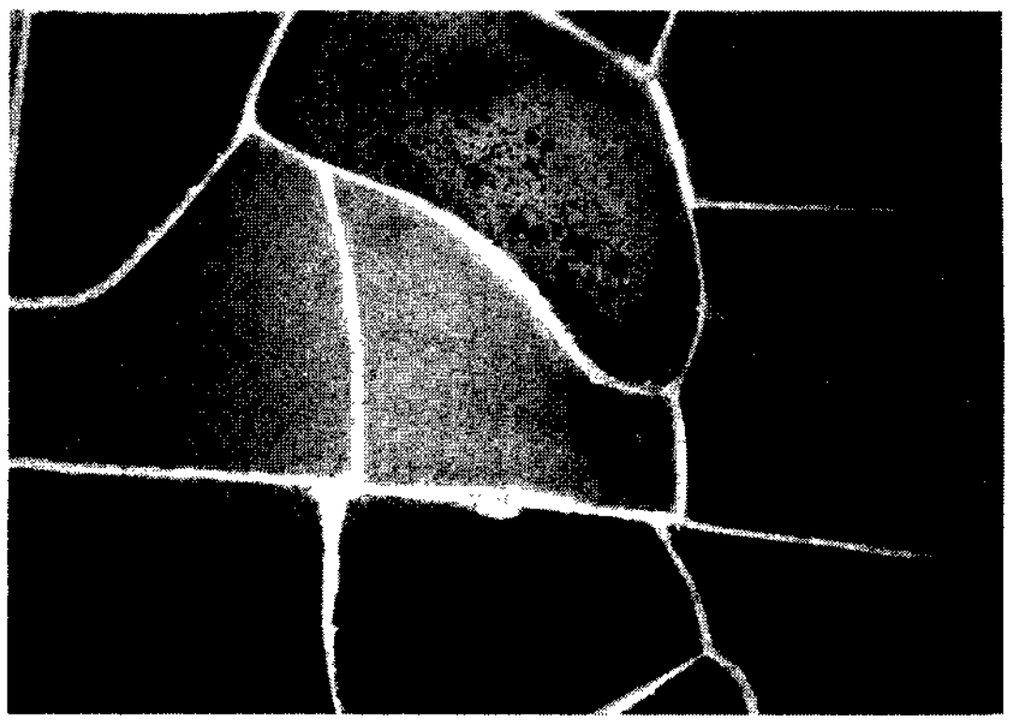

Fig. 4. 제주도 돌 벽의 용암 응고조직에서 나타난 gas pores와 channel segregation. 용암에 용해되어 있던 개스가 응고중에 기포로 나타난 모양, 초기에 응고한 부분은 비교적 기포가 적고 흰색이며, 나중에 응고한 부분은 불순물이 많아 검은 색이고, 기포가 많이 그리고 크게 형성되어 있음. 마치 균열처럼 보이는 검은 줄은 균열이 아니고 불순물이 많고 최종적으로 응고한 부분으로 용암의 응고중에도 channel segregation이 심하게 일어난 것을 알 수 있다.

디어 기포로 나타나게 된다. 이러한 기포가 많은 부위는 비교적 나중에 응고한 부위로서 기포가 적은 초기에 응고한 부위보다 다른 불순물도 많아서 색갈이 검게 나타난다.

또 한가지 재미있는 점은 이 돌 절단면에 균열처럼 보이는 부분을 자세히 관찰하면 균열이 아니고 색갈이 검은 조직으로 채워져 있는 것을 알 수 있다. 이것은 거시편석의 일종인 소위 채널편석(channel segregation)이 일어난 결과이다. 채널편석은 응고중 수지상 사이로 농도가 높고 융점이 낮은 액체의 대류가 국지적으로 일어나면서 이 부분이 점차 확장되고 응고도 지연되어 나중에 농도가 높은 액체가 응고한 것이다.

이러한 응고조직의 특성은 주물이나 인곳트에서는 현미경으로나 보이는 현상인데, 용암이 응고한 돌에서는 멀리서 눈으로도 확인할 수 있는 점이 신기하다. 허기는 용암주물의 두께가 수십 m에 이르니 보통 주물의 두께의 수천 배이고 응고시간은 수 백만 배가 되니 응고이론으로 생각하면 이상할 것도 없다. 자연은 우리가 하지 못하는 규모의 거대한 응고실험을 하고, 우리가 만들지 못하는 거대한 규모의 주물을 만들고 있다.