



## 쌓고 쌓고 쌓고...

모래는 파내거나 조각하는 재미도 있지만, 격자상에서 컴퓨터가 생성한 “모래더미”가 어떻게 흘러내리고 모양이 변하는지에 관한 아주 뜨거운 연구 주제에 영감을 주기도 합니다. 모래더미들은 다음과 같은 간단한 규칙을 이용하여 모델링할 수 있습니다. 예를 들어 모래를 첨가함에 따라서, 4개의 모래알 높이가 되는 모래더미는 흘러내려 모래알들은 사방으로 가장 가까운 곳에 옮겨집니다. 그러면 전에 3개의 모래알 높이였던 근처의 모래더미가 있다면 이제 4개의 모래알 높이가 되면서 다시 흘러내려 근처로 옮겨지고, 이 또한 흘러내려 근처로 옮겨지는 일을 반복하게 됩니다. 놀랍게도 이러한 간단한 규칙으로도 이 그림에서처럼 수십억 개의 모래알로 생성된 복잡한 프랙털 패턴이 나올 수 있습니다. 비록 모래에서 영감을 얻었지만, 이 모델은 뉴런의 네트워크에서 산불에 이르기까지 많은 시스템들의 행동양상을 반영합니다.

단순한 모래더미 규칙이 복잡한 행동양상으로 이어진다는 것은 시스템들이 초기 상태에 관계없이 완전한 카오스와 불변성 사이의 경계에서 문턱(threshold)에 진입할 수밖에 없다는 자가조직화 임계현상의 예입니다. 모래가 충분히 있으면 모래더미는 더미당 평균 2개를 약간 넘는 모래알이 있는 상태로 변해갑니다. 이 수준에서도 역시 흘러내림이

생기지만, 행동에는 어떠한 패턴이 존재합니다. 예를 들어 각 더미당 3개의 모래알 높이여서 조금 높아진 시스템에서는 어느 곳에 모래알을 한 알만 추가해도 시스템 전반에 사태를 촉발시킵니다. 오늘날 연구자들은 자가 조직화임계 시스템들의 성질들을 특징 짓기 위하여 기하학 및 편미분방정식을 사용하고 있습니다. 이러한 성질들을 아는 것은 금융 시장에서부터 우주, 어쩌면 생명 자체의 근본에까지 이르는 영역의 시스템들을 이해하는데 도움이 될 것입니다.

더 알아보기: “The Amazing, Autotuning Sandpile,” Jordan Ellenberg, *Nautilus*, April 2, 2015.

Translation courtesy of  
the Korean Mathematical Society

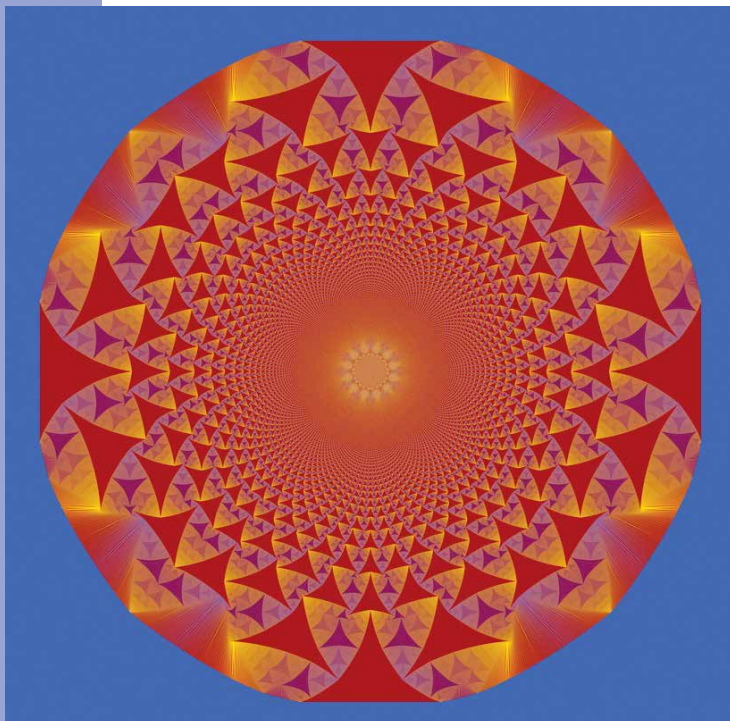
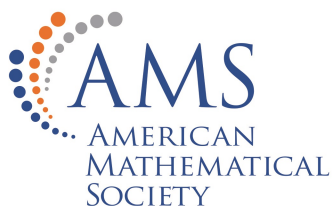


Image: Wesley Pegden.

Listen Up!



MM/117/KR



**Mathematical Moments** 프로그램은 과학, 자연, 기술, 그리고 인간의 문화에서 수학이 하는 역할에 대한 올바른 평가와 이해를 촉진합니다.

[www.ams.org/mathmoments](http://www.ams.org/mathmoments)