

자기역전 시각화 장치와 지자기띠에 대하여

류충렬^{1,2*}

¹한국지질자원연구원 광물자원연구본부, ²부산대학교 지구과학교육과

On an Apparatus of Visualization for Magnetic Reversal and Magnetic Stripes

Chung-Ryul Ryoo^{1,2*}

¹Mineral Resources Research Division, Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources, Daejeon 34132, Korea

²Department of Earth Science Education, Pusan National University, Busandaehak-ro 63 beon-gil 2, Geumjeong-gu, Busan 46241, Korea

요 약: 중앙해령에서는 해양지각으로 현무암과 같은 암석이 새로이 생겨나며, 암석에는 자기방향이 당시의 지구자기장에 따라 배열된다. 해수면상에서의 광범위한 자력탐사에 의해 대부분의 중앙해령-특히 대서양 중앙해령-의 중심축과 평행한 남-북 방향의 자기띠(또는 자기 줄무늬)가 알려져 있다. 이러한 지자기띠에 기초하여, 지구의 자기장은 지질시대 동안 여러 번에 걸쳐 반복하여 역전된 것으로 고려되어 왔다. 해양지각에서의 지자기 역전의 발견은 해양확장과 대륙이동설 그리고 판구조론을 설명하는 중요한 증거가 되었다. 이 논문에서는 중앙해령 근처에서 지자기띠를 이루며 새로이 생겨나는 해양지각 자기역전의 가능한 메커니즘을 설명하는 간단한 장치를 소개하고자 한다. 이 장치는 중앙해령의 중심에서 암석이 가지는 특정한 자기극성을 가지도록 근처에 인접하는 자기띠가 막대자석의 역할을 함을 보인다. 따라서 새로이 생겨나는 지자기띠는 일반적인 지구자기장 뿐 만 아니라 국지적으로 마치 막대자석처럼 작용하는 중앙해령 근처에 이웃하는 기존의 지자기띠에 의해 영향을 받았을 가능성이 있는 것으로 사료된다.

핵심어: 지구자기장, 자연잔류자기, 지자기띠, 역전, 막대자석

Abstract: The new rocks of the oceanic crust, like basalt, are created in the mid-oceanic ridge, and the magnetic polarities of the rocks are supposed to be oriented as following the Earth's magnetic field. An extensive magnetic survey of total field at sea level reveals mainly unusual north-south magnetic stripes parallel to the axis of the mid-oceanic ridge, especially in the Atlantic Ocean. From this stripes the Earth's magnetic field is considered as repeatedly 'flipped'(the N pole becoming the S pole, and vice versa) and many times over geological time. The discovery of stripes of alternately normal and reversed-magnetized rocks forming the ocean floor has been a key evidence for the sea-floor spreading, continental drift, and plate tectonics. This study introduces a simple apparatus to explain a possible mechanism of the magnetic reversal in the new oceanic crust, which makes a magnetic stripe adjacent to the mid-oceanic ridge. The apparatus shows a bar magnet effect of adjoined stripes to have a special magnetic polarity on the rocks in the center of the mid-oceanic ridge. The new magnetic stripe seems to be generated not only by Earth's magnetic field, but also by neighbored stripes in the mid-oceanic ridge, acting as a bar magnet.

Keywords: Earth magnetic field, natural remnant magnetization, magnetic stripes, magnetic reversal, bar magnet

*Corresponding author
Tel: +82-42-868-3347
E-mail: ryooocr@kigam.re.kr

서 론

지구는 마치 하나의 커다란 자석과 같아서 지구의 구성물질들은 지구자기장의 영향을 받고 있다(Gubbins, 2008). 중앙해령에서 해양이 확장되며 맨틀에서 상승하는 용암 내에 존재하는 자성물질 역시 지구자기장의 직접적인 영향을 받으며, 큐리온도(Curie point, T_c)(Curie, 1895)와 폐쇄온도(blocking temperature) 보다 낮아지게 되면, 주변 자기장의 방향에 부합하는 자화방향을 가지며 새로운 해양지각과 그 구성암석의 한 중요한 특성을 이루게 된다. 중앙해령에서 새로운 해양지각이 생겨날 때 현무암과 같은 암석들에는 지구자기장의 방향으로 자화가 획득된다. 이를 암석잔류자기 또는 자연잔류자기라 한다.

중앙해령 주변과 해저에 발달하는 지자기를 측정할 결과, 중앙해령의 열곡을 중심으로 대칭적으로 발달하는 해양지각은 특징적으로 열곡에 평행하게 일정한 폭을 가지는 정자화와 역자화된 자기이상대가 띠(또는 줄무늬) 모양으로 발달하고 있다(Mason and Raff, 1961; Raff and Mason, 1961; Pitman and Heirtzier, 1966). 이를 지자기띠(magnetic stripes)라 한다(Fig. 1). 이 지자기띠의 발견은 해양저 구조(Heezen, 1960; Dietz, 1961; Hess, 1962)의 이해와 함께 해양저확장(Hess, 1962; Vine and Matthews,

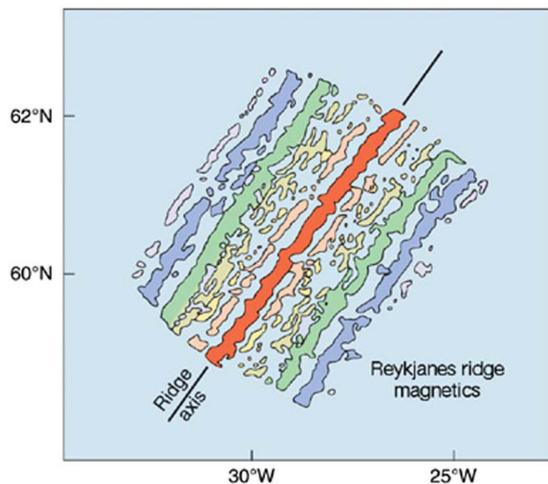


Fig. 1. Magnetic stripes on the seafloor in the Atlantic Ocean near Iceland, showing symmetry on either side of the mid-ocean ridge. The colored bands are magnetically normal and the areas between them have reversed magnetic polarity (Vine and Matthews, 1963).

1963; Wilson, 1963; Morley and Larochele, 1964; Heirtzier *et al.*, 1966)의 결정적인 증거인 동시에 대륙이동설(Wegener, 1912, 1915, 1922, 1929; Hess, 1962; Wilson, 1965; Le Pichon, 1968; Morgan, 1968)과 판구조론(Wilson, 1963, 1965; Morgan, 1967; McKenzie and Parker, 1967; Isacks *et al.*, 1968; Le Pichon, 1968)의 정립의 기초가 되었다. 또한 오랫동안 인정되지 못했던 베게너의 대륙이동설이 입증되는 계기가 되었다. 그러나 지자기 띠를 만든 지자기역전의 원인에 대해서는 논점이 진행 중이다.

대서양의 경우, 1억 8천만년 동안 현재의 남-북 방향에 거의 평행한 확장축을 가지면서 동-서 방향으로 확장을 계속해 왔다. 해양저의 확장 방향은 대부분 지구의 자전축과 거의 수직인 것으로 알려져 왔으나(McKenzie and Parker, 1967), 오랜 시간 동안 해양저의 확장 방향이 일정하게 유지되어왔음에도 불구하고 지자기의 역전이 수십 회 이상 존재한 것으로 제기되고 있는 실정이다. 따라서 이 논문에서는 자기역전을 시각화하는 간단한 장치를 소개하고 지자기띠와 관련된 지자기 역전에 관해 논의하고자 한다.

자기역전 장치

냉각되는 마그마에서 지구자기장 방향으로 자화되는 열잔류자기(TRM) 메커니즘은 광물들은 고정된 상태에서 자기구역(magnetic domain) 내에서 일어나는 것으로 알려져 있다. 해양지각이 생성될 때 관입과 분출하는 현무암질 마그마는 고화되어 현무암을 이루게 된다. 해양지각의 주요 구성암석인 현무암은 철을 풍부하게 포함하고 있으므로, 마그마가 굳어서 암석으로 되는 과정 동안 철이 풍부한 광물(예, 자철석)들의 자기구역 내의 물질들은 마치 지구의 자북으로 향하는 나침반 바늘처럼 지구의 자기장에 따라 배열하게 된다(Fig. 2). 따라서 현무암이 완전히 암석으로 고화되면 철 광물들은 지구자기장 방향으로의 잔류자기를 획득하게 되고, 암석이 될 때의 지구자기장의 강도와 방향 또는 극성을 오랜 시간 기록하게 된다. 이러한 지질학적인 양상의 이해를 위해 간단한 실험 장치를 통해 잔류자기 역전의 시각화를 시도하였다.

Fig. 2에서 a 그림은 일반적인 지구자기장의 방향에 따라 자화방향을 보이며 작은 나침반으로 모사된 자성물질들과 이를 포함하는 암석을 나타내고 있다.

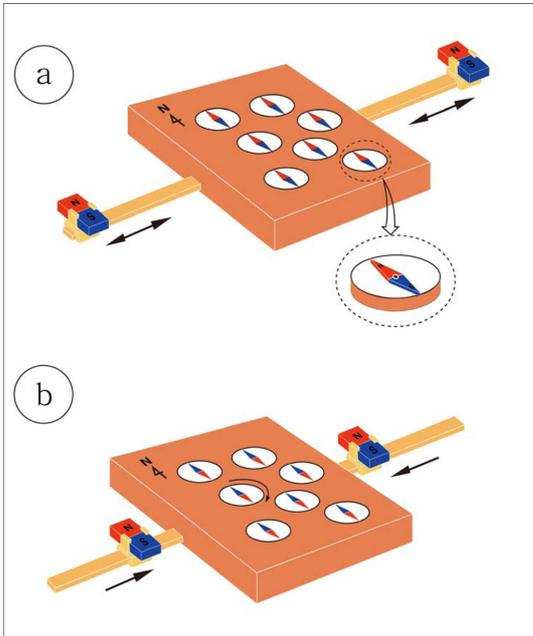


Fig. 2. Simple visualized apparatus for geomagnetic reversal. Bar magnet is contributed as a magnetic stripe near mid-oceanic ridge. a) Normal magnetic polarity without bar magnet's effect. b) Reversed magnetic polarity with approached bar magnet's effect.

이들 자성물질들은 지구의 자북극에 맞게 자화된 양상을 보인다.

Fig. 2의 b 그림은 작은 나침반의 자침들이 역전되어 지구의 자북극이 아닌 자남극에 맞게 자침이 배열된 양상을 보인다. 암석 내의 자화가 역전된 상태를 보이는 것이다. 지구의 소위 일반적인 자기장은 그대로 인데, 주변에 자북-자남의 방향에 평행하게 북-남의 방향을 가지는 자석이 근접함에 따라 역전이 일어남을 보이고 있다.

따라서 간단한 이 장치는 해양저에서 해양이 확장되면서 생겨나는 마그마에서 고화되어 자성을 가지는 암석에서 자성물질들은 일반적인 지구자기장의 영향을 받아 정자화 방향을 가지는 것이 일반적인 상황 (Fig. 2의 a)이나 만약 주변에 자화된 자성체-정자화된 지자기띠가 관여한다면 역전된 양상을 보일 가능성을 시사하고 있다(Fig. 2의 b).

논의와 결론

지구는 마치 하나의 커다란 자석과 같아서 지구의

구성물질들은 지구자기장의 영향을 받고 있다. 지각 암석의 자기역전은 1900년대 초부터 알려져 왔다 (Matuyama, 1929). 중앙해령에서 해양이 확장되며 생겨나는 용암 내에 존재하는 자성물질 역시 지구자기장의 직접적인 영향을 받으며, 큐리온도와 페쇄온도보다 아래로 떨어지면 주변 자기장의 방향에 부합하는 자화방향을 가지며 해양지각의 구성암석을 이루게 된다.

해수면상에서 넓게 측정된 자기자료에 의하면, 특이하게도 남-북 방향으로 띠 모양의 선상배열을 보이며, 이들 띠모양의 분포양상은 해양저퇴적물 아래에 발달하는 강하게 자화된 염기성암에 의한 것으로 알려져 있다. 그리고 중앙해령의 열곡을 중심으로 대칭적으로 발달하는 해양지각은 특징적으로 열곡에 평행하게 일정한 폭을 가지는 정자화와 역자화된 지자기 띠를 보이고 있다. 이 지자기띠의 발견은 해양저확장의 결정적인 증거인 동시에 판구조론의 중심이 되고 있다. 그러나 지자기 띠를 만든 지자기역전의 원인에 대해서는 아직도 논쟁제기가 진행 중이다.

지판의 이동을 유도하는 중앙해령과 변환단층 (Wilson, 1965)은 대부분 지구의 자전축과 전자는 거의 평행하고, 후자는 거의 직각을 이룬다(McKenzie and Packer, 1967). 대서양의 경우, 1억 8천만년 동안 거의 현재의 남-북 방향에 평행하게 발달하는 확장축에 직각인 동-서 방향으로 확장을 계속해 왔다. 이처럼 해양저의 확장 방향은 지구의 자전축과 거의 수직한 것으로 알려져 왔으나, 오랜 시간 동안 해양저의 확장 방향은 대체로 일정하게 유지되어왔음에도 불구하고 지자기의 역전이 수십 회 이상 존재한 것으로 제기되고 있는 실정이다. 이 논문에서 제시한 자기역전을 시각화하는 간단한 장치에 기초하고 지자기 띠와 관련하여 볼 때, 지자기역전을 설명하는 지구 내부의ダイ나모 이론과는 다른 새로운 메커니즘에 대해서도 재고해야할 필요성을 제기한다. 즉, 지구자기의 역전 현상을 시각화하는 간단한 장치를 통하여 자기역전이 주변의 자력에 의해서 일어날 수 있다는 것을 보여준다. 결론적으로, 대륙이동과 해양저 확장, 그리고 판구조론 정립의 주요한 논거를 제공한 해양저의 지자기띠의 생성은 지구자기장 자체의 영향과 함께 중앙해령축에 가장 근접하는 지자기의 띠가 마치 막대자석처럼 작용한 복합적인 결과일 가능성을 제시하고자 한다.

사 사

이 연구는 2015년도 한국지질자원연구원에서 수행한 미래창조과학부 사업인 “해외/북한/북극권 광물자원탐사 및 부존잠재성평가(15-3217)”과제에서 일부 지원되었습니다. 이 논문의 개선을 위해 건설적인 의견을 주신 심사위원과 심사위원장인 부산대학교 손문교수에 감사사를 드립니다.

References

- Curie, P., 1895, Propriétés magnétique des corps a diverses températures. *Annales de Chimie et de Physique*, 7e série, 289-405.
- Dietz, R.S., 1961, Continent and ocean basin evolution by spreading of the sea floor. *Nature*, 190, 854-857.
- Gubbins, D., 2008, Geomagnetic reversals. *Nature*, 452, 165-167.
- Heezen, B., 1960, The rift in the ocean floor. *Scientific American*, 203, 4, 98-110.
- Heirtzler, J.R., Le Pichon, X., and Baron, J.G., 1966, Magnetic anomalies over the Reykjanes Ridge. *Deep Sea Res.*, 13, 427-443.
- Hess, H.H., 1962, History of ocean basins. In Engel, A.E.J., H.L. James, and B.F. Leonard, eds., *Petrologic Studies: A Volume to Honor A.F. Buddington*: Geological Society of America, 599-620.
- Isacks, B., Oliver, J., and Sykes, L., 1968, Seismology and the new global tectonics. *Journal of Geophysical Research*, 73, 5855-5899.
- Le Pichon, X., 1968, Sea-floor spreading and continental drift. *Journal of Geophysical Research*, 73, 12, 3661-3697.
- Mason, R.G., and Raff, A.D., 1961, A magnetic survey off the west coast of North America 32°N to 42°N. *Bulletin of the Geological Society of America*, 72, 1259-1265.
- Matuyama, M., 1929, On the direction of magnetization of basalt in Japan, Tyosen and Manchuria. *Proceedings of the Imperial Academy of Japan*, 5, 203-205.
- McKenzie, D.P., Parker, R.L., 1967, The North Pacific: An example of tectonics on a sphere. *Nature*, 216, 1276-1280.
- Morgan, W.J., 1968, Rises, trenches, great faults and crustal blocks. *Journal of Geophysical Research*, 73, 1959-1982.
- Morley, L.W. and Larochele, A., 1964, Paleomagnetism as a means of dating geological events. *Geochronology in Canada (Royal Society of Canada) Special Publication* 8, 39-50.
- Pitman, W.C. III, and Heirtzler, J.R., 1966, Magnetic anomalies over the Pacific-Antarctic Ridge. *Science*, 154, 1164-1171.
- Raff, A.D. and Mason, R.G., 1961, Magnetic survey off the west coast of the United States between 40°N latitude and 52°N latitude. *Bulletin of the Geological Society of America*, 72, 1267-1270.
- Vine, F.J. and Matthews, D.H. 1963. Magnetic anomalies over oceanic ridges. *Nature*, 199, 947-949.
- Wegener, A., 1912, Die entstehung der kontinente. *Geologische Rundschau*, 3, 276-292.
- Wegener, A., 1915, Die Entstehung der Kontinente und Ozean. 1st Edition; 2nd edition, 1920, 3rd edition 1922; 4th edition, 1924; 4th revised edition, 1929; 5th edition, revised by Wegener, K., 1936. Friedrich Vieweg & Sohn, Braunschweig.
- Wegener, A., 1922, The origin of continents and oceans. *Discovery*, 3, 29, 114-118.
- Wegener, A., 1929, Die Entstehung der Kontinente und Ozeane [The Origin of Continents and Oceans] (4 ed.). Braunschweig: Friedrich Vieweg & Sohn Akt. Ges.
- Wilson, J.T., 1963, Evidence from islands on the spreading of ocean floors. *Nature*, 197, 4867, 536-538.
- Wilson, J.T., 1963, Hypothesis on the Earth's behaviour. *Nature*, 198, 4884, 849-865.
- Wilson, J.T., 1965, A new class of faults and their bearing on continental drift. *Nature*, 207, 343-347.

2016년 3월 10일 접수

2016년 3월 12일 심사개시

2016년 3월 23일 채택