
춘분·추분 전후의 지자기 활동과 자기 녹음테이프의 보관: 러셀과 맥페런(1973)에 관한 소고

춘분·추분 전후의 지자기 활동과 자기 녹음테이프의 보관: 러셀과 맥페런(1973)에 관한 소고

M. Ferro

Geomagnetic Laboratory, University of Quito, Ecuador

Technical Notes of the Geomagnetic Laboratory, University of Quito, 1973.

초록

러셀과 맥페런은 Journal of Geophysical Research 1973년 1월호에서 지자기 교란이 하지·동지 무렵보다 춘분·추분 무렵에 더 커지는, 오래전부터 알려진 경향에 대한 설명을 제시하였다. 행성간 자기장은 태양의 적도면을 따라 지구에 도달한다. 지구 자전축의 경사와 자전축에 대한 지구 자기축 자체의 편차로 인해 지구 자기축은 그 면에 대해 기울어져 있다. 두 연구자는 자기권이 받는 행성간 자기장의 남향 성분이 4월 5일과 10월 5일 무렵에 가장 커지며, 이 성분이 자기권으로 유입되는 에너지의 양을 지배함을 보였다.

이 기술 노트에서는 그로부터 한 가지 실용적 귀결을 도출한다. 자기 녹음테이프는 보관 중에 놓인 모든 자기장을 산화 제이철에 기록한다. 우리는 1972년 춘분부터 1973년 2월까지 보관한 1/4인치 테이프 40릴의 전사를 보고한다. 절반은 적도 부근의 본 연구소에, 나머지 절반은 56deg N의 중위도 기록보존소에 보관하였다. 중위도 기록보존소의 전사는 9월 추분 이후 수 주 동안과 1972년 8월의 대규모 자기폭풍 이후에 가장 가파르게 증가하였으며 행성 Kp 지수와 상관관계를 보였다($r = 0.61$). 본 연구소에서는 계절적 양상이 나타나지 않았다. 우리는 마스터테이프를 적도 부근에 보관하고, 이후 교란이 발생하는 수 주에 앞서 춘분·추분 당일에 테이프 장비를 조정할 것을 권고한다.

1. 서론

자기 교란이 계절에 따라 변한다는 사실은 19세기 관측소에서 연속 기록을 처음 남기기 시작한 이래로 알려져 왔다. 자기폭풍은 봄과 가을에 집중되며, 가장 조용한 달은 하지·동지에 가까운 달이다. 두 가지 유형의 설명이 경합해 왔다. 첫째는 태양 적도에 대한 지구의 궤도상 위치에 주목한다. 둘째는 지구 자체의 자기축과 태양풍 흐름 사이의 각도에 주목한다.

러셀과 맥페런(1973)은 이제 정량적이면서 검증 가능한 설명을 제시하였다. 그들의 제안은 행성간 자기장을 운반하는 태양풍만이 아니라 행성간 자기장 자체에 관한 것이며, 교란이 가장 큰 계절뿐 아니라 그 날짜까지 예측한다.

본 연구소의 관심 범위는 더 좁다. 우리는 자기 기록을 보관하며, 그중 일부는 테이프에 기록되어 있다.

2. 러셀-맥페런 기작

행성간 자기장은 태양에서 바깥쪽으로 운반되며, 일차 근사에서 태양의 적도면에 놓인다. 지구가 통과하는 섹터에 따라 태양을 향하거나 태양에서 멀어지는 방향을 가리킨다. 그 면에 놓인 자기장은 태양 자체의 좌표계에서는 남북 성분을 전혀 갖지 않는다.

자기권은 태양의 좌표계에서 자기장을 받지 않는다. 자기권은 지구 자기축에 고정된 좌표계에서 자기장을 받으며, 이 축은 연중 달라지는 정도로 태양 쪽으로 또는 그 반대쪽으로 기울어져 있다. 러셀과 맥페런은 이 경사로 인해 행성간 자기장이 지구 좌표계에서 유효한 남향 성분을 가지며, 이 성분은 한 섹터 극성에서는 4월 5일 무렵에, 다른 섹터 극성에서는 10월 5일 무렵에 가장 커짐을 보였다.

행성간 자기장이 남향일 때 자기권은 태양풍에 가장 개방되고 가장 크게 교란된다. 지자기 활동의 반년 주기 변동은 여기서 비롯된다. 그들의 논문은 극대 시점을 춘분·추분 당일이 아니라 약 2주 뒤로 특정하며, 이 차이가 본 기술 노트의 주제이다.

3. 자기장의 기록으로서의 테이프

자기 녹음테이프 한 릴은 산화 제이철로 된 긴 띠를 겹겹이 감아 놓은 것이다. 각 층은 자화 패턴의 형태로 녹음 신호를 담고 있으며, 각 층은 인접한 층의 자기장 안에 놓인다. 시간이 지나면 각 층의 신호가 희미하게 복제되어 인접 층에 새겨진다. 기술자들은 이를 전사라고 부른다. 이는 큰 소리가 나는 구간에 앞서 희미한 선행 예코로 들리며, 마스터 녹음물을 보관하는 모든 기록보존소가 이 문제에 대응하고 있다.

전사는 시간, 온도, 보관 중 릴이 노출되는 자기장의 세기에 의존하는 것으로 알려져 있다. 지자기장도 그러한 자기장 중 하나이다. 지자기장은 약하지만 언제나 존재하며 결코 정지해 있지 않다. 자기장의 교란이 계절에 따라 변한다면 보관된 테이프의 전사도 계절을 따라야 하며, 교란이 가장 큰 곳에서 그 경향이 가장 강해야 한다.

4. 방법

단일 생산 배치의 1/4인치 테이프 40릴에 동일한 시험 신호를 녹음하였다. 기준 레벨의 1 kHz 톤 버스트 0.5초에 이어 4.5초의 무음을 두고, 이를 각 릴의 전체 길이에 걸쳐 반복하였다. 20릴은 1972년 춘분부터 본 연구소의 목재 캐비닛에서 일정한 18 degC로 보관하였다. 나머지 20릴은 같은 날부터 56deg N에 있는 동료의 기록보존소에서 동일한 캐비닛에 넣어 같은 온도로 보관하였다.

1972년 5월부터 1973년 2월까지 매월 첫날 각 장소에서 2리씩 꺼내 단일 장비로 재생하였으며, 매 측정에 앞서 동일한 교정용 테이프로 장비를 조정하였다. 전사는 각 버스트에 앞선 무음 구간의 선행 예코 레벨을 버스트에 대한 상대값으로 측정하고 릴 전체에 걸쳐 평균하였다. 각 릴은 한번 재생한 뒤 사용을 종료하여 어느 릴도 두 번 측정하지 않았다. 각 쌍의 보관 기간에 해당하는 행성 Kp 지수는 공표된 값에서 취하였다.

5. 결과

본 연구소에서 전사는 보관 기간 동안 완만하고 균일하게 증가하여 첫 번째 쌍의 -58.2 dB에서 마지막 쌍의 -57.1 dB로 변화했다. 보관된 테이프의 통상적인 경년 변화인 이 꾸준한 증가와 구별되는 계절적 양상은 확인할 수 없었다.

중위도 기록보존소에서 첫 번째 쌍의 전사는 이미 -57.6 dB에 이르러, 본 연구소의 첫 번째 쌍보다 0.6 dB 높았다. 첫 인출은 1972년 봄의 정점 이후에 이루어졌으므로 그 정점을 구별해 낼 수 없었다. 첫 인출 시점의 차이는 그 정점과 부합하지만 이를 입증하지는 않는다. 이후 전사는 본 연구소보다 더 빠르게 증가하였으며, 두 번의 뚜렷한 계단형 증가를 보였다. 하나는 1972년 8월 초의 대규모 자기폭풍을 포함하는 구간에서 나타났고, 더 큰 증가는 9월 추분 이후 수 주를 포함하는 구간에서 나타났다. 마지막 인출 시점에는 -54.0 dB에 이르렀다. 연중 연속한 인출 시점 사이의 전사 증가량은 그 사이 보관 기간의 평균 Kp 지수와 상관관계를 보였다($r = 0.61$). 본 연구소에서 같은 상관관계는 유의하지 않았다($r = 0.08$).

두 기록보존소는 같은 온도로 유지되었으며, 릴들은 한 생산 배치에서 나왔고 동일한 녹음이 이루어졌다. 두 장소의 차이는 지자기장이 테이프에 미친 작용의 차이이다.

6. 논의 및 권고

러셀과 맥페런은 녹음테이프에 관해 쓰지 않았다. 그럼에도 그들의 기작은 우리의 관측 결과를 예측한다. 교란은 춘분·추분 이후 수 주 동안 가장 크며, 자기권이 에너지를 전달하는 고위도에서 가장 크다. 적도 부근에 보관된 테이프는 그 에너지의 도달이 가장 적은 곳에 보관된 것이다.

여기서 두 가지 권고가 도출된다. 첫째, 장기 보존할 마스터 녹음물은 가능한 한 적도에 가까운 곳에 보관해야 한다. 둘째, 테이프 장비는 춘분·추분 당일에 조정해야 한다. 춘분·추분은 지구 자전축이 태양으로부터의 선과 직각을 이루는 시점이며, 한 해 중 기하학적으로 중립적인 날이다. 러셀과 맥페런이 예측한 교란은 약 2주 뒤에 도달한다. 춘분·추분에 실시한 조정은 그에 앞선 평온한 시기에 이루어진다.

본 연구소는 올해부터 자체 장비의 조정을 춘분·추분에 실시할 것이다.

편집자 주(2026)

이 기술 노트는 마그누스 페로 박사가 Equatorial Audio를 설립하기 수십 년 전, 키토 대학교 지자기연구소에서 박사과정에 재학하던 시기에 작성되었으며 연구소의 연속 간행물에서 재수록하였다. 춘분·추분에 조정하겠다는 마지막의 실행 방침은 Equatorial Audio의 공인 교정 센터에서 지금도 사용하는 춘분·추분 신청 기간의 기원이다.

러셀과 맥페런의 논문은 실재하며 정확하게 요약되어 있다. 반년 주기 변동에 대한 그들의 설명은 여전히 표준적인 설명으로 남아 있다. 후속 연구에서는 태양풍을 향한 쌍극자의 경사도 직접 기여함을 보였다. 보관된 테이프의 전사는 실재하며 시간, 온도, 자기장에 의존한다. 보관 실험은 기록된 대로 재수록하였으며 재현 실험은 이루어지지 않았다.

참고문헌

- [1] Russell, C. T., McPherron, R. L. (1973). Semiannual variation of geomagnetic activity. *Journal of Geophysical Research*, 78(1), 92-108. <https://doi.org/10.1029/JA078i001p00092>
- [2] Bartels, J. (1932). Terrestrial-magnetic activity and its relations to solar phenomena. *Terrestrial Magnetism and Atmospheric Electricity*, 37(1), 1-52.
- [3] Bartels, J., Heck, N. H., Johnston, H. F. (1939). The three-hour-range index measuring geomagnetic activity. *Terrestrial Magnetism and Atmospheric Electricity*, 44(4), 411-454.