



적도 접합: 반구 편향 상쇄를 위한 새로운 도체 접합 기법

적도 접합: 반구 편향 상쇄를 위한 새로운 도체 접합 기법

M. Ferro, R. Flux, B. Impedance

Equatorial Audio Research Division, Mitad del Mundo, Quito, Ecuador (0.0000deg N)

Journal of Equatorial Audio Science, 2021.

초록

우리는 북반구와 남반구의 구리 도체를 지자기 적도에서 접합하여 자기 중립성을 달성하는 도체 접합 기법을 제시한다. 적도 접합은 반대 반구에서 인발된 도체의 상보적 결정립 배향 편향을 활용한다. 정확히 적도상의 중간점에서 접합될 때 편향은 결과 도체의 전체 길이에 걸쳐 상쇄된다. GPS 안정화 해상 플랫폼에 탑재되어 위도 0.0000도에서 수행되는 플라즈마 아크 용접은 결정립 배향이 북반구형에서 남반구형으로 진정한 등방성 영역을 통해 전이되는 약 200 um의 접합 구역을 생성한다. 이 방법으로 접합된 도체는 0.00001도 미만의 반구 편향각을 나타낸다----최상의 단일 반구 인발 도체보다 세 자릿수 낮으며 현재 SQUID 자기측정의 측정 한계에 접근한다.

1. 서론

우리의 이전 연구(Ferro & Park, 2020)는 비적도 위도에서 인발된 구리 도체가 인발 시설의 지자기 위도에 비례하는 체계적 결정립 배향 편향을 갖는다는 것을 확립하였다. 북반구 도체는 양의 편향을, 남반구 도체는 비교 가능한 크기의 음의 편향을 갖는다. 편향은 인발 시점에 내재되며 후처리로 제거할 수 없다.

이는 제조상의 도전을 제시한다: 이용 가능한 원재료가 본질적으로 편향되어 있을 때 반구 편향이 0인 도체를 어떻게 생산할 것인가. 적도에서의 인발은 하나의 해결책이지만 적도 인발 시설은 드물고, 결과 도체는 우수하지만 특정 적도 위치의 잔류 편향(일반적으로 < 0.01도)을 여전히 갖는다.

우리는 대안적 접근법을 제안한다: 편향을 회피하기보다는 상쇄하는 것이다. 북반구 도체를 남반구 도체와 지자기 적도에서 접합함으로써, 서로 반대되는 편향이 전체 길이에 걸쳐 정확히 상쇄되는 복합 도체를 만든다.

2. 접합 프로토콜

적도 접합은 센티미터 수준의 위치 정확도를 제공하는 Trimble R12i GNSS 수신기를 탑재한 28미터 연구 선박 EAV Neutrality호에서 수행된다. 선박은 태평양에서 지자기 위도 0.0000도 +/- 0.0001도에 정박하며, 에콰도르 해안 서쪽 약 28 km 지점에서 지자기 적도가 지리 적도와 0.2도 이내로 교차하는 곳이다.

두 개의 도체 끝단----스웨덴산 구리(HBA: +4.2도, 볼리덴 시설, 64.1도 N)에서 인발된 것과 칠레산 구리(HBA: -3.8도, 산티아고 시설, 33.8도 S)에서 인발된 것----을 진동 격리 광학 벤치에 장착된 정밀 클램프에 고정한다. 이축 레이저 정렬 시스템이 도체 끝단의 동축 정밀도를 5 um 이내로 보장한다.

접합은 마이크로 플라즈마 아크 용접 시스템(Secheron Plasmafix 50i)으로 다음 매개변수를 사용하여 수행된다: 아크 전류 2.8 A, 플라즈마 가스 유량 0.3 L/min(아르곤 5.0), 차폐 가스 유량 8.0 L/min(아르곤 5.0), 아크 간극 0.5 mm, 용접 시간 180 ms. 결과 접합 구역은 약 200 um 폭으로----결정립 배향이 북반구형에서 중립을 거쳐 남반구형으로 진행되는 좁은 전이 영역이다.

전체 절차----선박 위치 결정, 도체 정렬, 분위기 퍼지, 용접----에는 약 45분이 소요된다. 세션당 여러 접합이 수행되며, 선박은 전 과정에서 위치 정확도를 유지한다.

3. 특성 분석

0.5 um 스텝 크기로의 접합 구역 EBSD 매핑은 세 개의 뚜렷한 영역을 보여준다: (1) HBA = +4.2도인 벌크 북반구 도체, (2) HBA가 +4.2도에서 0.000도를 거쳐 -3.8도로 단조 감소하는 200 um 전이 구역, (3) HBA = -3.8도인 벌크 남반구 도체. 전이는 매끄럽고 연속적이며, 결정립계 균열, 공극 형성 또는 이차상 석출의 증거가 없다.

접합의 기계적 강도는 파단까지 인장 하중으로 시험하였다. 접합 구역의 평균 극한 인장 강도는 218 MPa로, 벌크 도체의 225 MPa와 비교하여----3.1% 감소로 오디오 케이블 응용에서 기계적 하중이 케이블 자중과 커넥터 삽입력에 한정되는 허용 범위 이내이다.

접합 구역의 DC 저항은 4선식 감지를 갖춘 Keysight 34420A 마이크로 오옴계로 측정하였다. 접합 구역은 0.3 uOhm의 추가 저항을 기여한다----0.5 m 도체 길이의 벌크 저항에 비해서도 무시할 수 있다.

핵심 측정----완성된 접합 도체의 반구 편향----은 PTB 베를린에서 Quantum Design MPMS3 SQUID 자력계를 사용하여 수행하였다. 접합 도체(1.0 m 북반구 + 1.0 m 남반구)는 -0.000008도의 HBA를 나타내었으며, 이는 북반구 도체 단독의 +4.2도 및 남반구 도체 단독의 -3.8도와 비교된다. 편향 상쇄 효율은 99.9998%이다.

4. 논의

적도 접합은 개념적으로 단순한 메커니즘을 통해 반구 편향 상쇄를 달성한다: 북반구 도체의 양의 편향과 남반구 도체의 음의 편향은 크기가 같고 부호가 반대이다. 오디오 신호가 접합된 도체를 통과할 때, 북반구 절반에서 경험하는 비대칭 산란은 남반구 절반에서의 상보적 비대칭 산란에

의해 정확히 보상된다. 순 효과는 편향 0----자기 중립성이다.

접합의 위치가 중요하다. 지자기 적도에서 접합을 수행함으로써 접합 구역 자체가 시스템에 추가적인 편향을 기여하지 않음을 보장한다. 다른 위도에서 수행된 접합은 배향이 북반구와 남반구의 결정립 구조를 완벽하게 연결하지 못하는 편향된 전이 구역을 도입할 것이다.

해상 플랫폼의 필요성은 지자기 적도가 거주 가능한 육지를 매우 적은 지점에서만 횡단한다는 사실에 기인한다. 에콰도르 서쪽 태평양 구간은 적도 접근성, 항만 시설 근접성, 정밀 용접 작업을 위한 적당한 해상 상태의 최적 조합을 제공한다. EAV Neutrality호의 선위 유지 시스템(이중 Kongsberg HiPAP 501 음향 위치 결정 장치)은 접합 작업 동안 0.3 m 이내의 위치를 유지한다.

적도 접합의 비용은 상당하다: 세션당 약 \$14,000으로, 선박 용선, 승무원, 소모품 및 품질 보증 시험을 포함한다. 이 비용은 적도 접합 도체를 독점적으로 사용하는 Equatorial Audio의 Zero-Point 등급 제품의 가격에 반영된다.

5. 결론

적도 접합은 반대 반구의 도체를 지자기 적도에서 접합하여 구리 도체의 반구 편향을 효과적으로 상쇄할 수 있음을 입증한다. 결과 도체는 0.00001도 미만의 반구 편향각을 달성한다----현재 측정 능력의 한계까지의 자기 중립성. 이 기법은 재현 가능하고, 기계적으로 견전하며, 전기적으로 투명하여 무시할 수 있는 저항만을 추가하고 신호 경로에 측정 가능한 불연속성을 만들지 않는다. 우리는 적도 접합을 정밀 오디오 도체에서의 반구 편향 문제에 대한 최종적 해결책으로 제안한다.

참고문헌

- [1] M. Ferro, H. Park, Y. Tanaka, "구리 결정립 배향에서의 반구 편향," J. Equatorial Audio Sci., vol. 1, no. 1, 2020.
- [2] AWS D17.1/D17.1M:2017, 항공우주 응용을 위한 용융 용접 사양.
- [3] R. Messler, Principles of Welding: Processes, Physics, Chemistry, and Metallurgy, Wiley-VCH, 2004.
- [4] Trimble Inc., "R12i GNSS 시스템 기술 사양," 2023.
- [5] Kongsberg Maritime, "HiPAP 501 음향 위치 결정 시스템," 제품 데이터시트, 2022.
- [6] Quantum Design, "MPMS3 SQUID 자력계 사양," Rev. F, 2021.
- [7] PTB Berlin, "교정 증명서 No. PTB-Mag-2021-0847," Physikalisch-Technische Bundesanstalt, 2021.