

오로라 제트전류에 대한 전기장과 전기전도도의 상대적 기여도

조은아^{1,2}, 안병호³, 문용재²

¹경북대학교 천문대기과학과

²한국천문연구원

³경북대학교 지구과학교육과

THE RELATIVE CONTRIBUTIONS OF ELECTRIC FIELD AND IONOSPHERIC CONDUCTANCE TO THE AURORAL ELECTROJETS

Eun-Ah Cho^{1,2}, Byung-Ho Ahn³, Yong-Jae Moon²

¹Department of Astronomy and Atmospheric Sciences,
Kyungpook National University, Taegu 702-701, Korea
E-mail: eacho@sirius.knu.ac.kr

²Bohysan Optical Astronomy Observatory
P.O. Box 1, Jacheon Post Office, Young-Cheon, Kyungpook, 770-820, Korea
E-mail: yjmoon@boao.re.kr

³Department of Earth Science Kyungpook National University, Taegu, 702-701, Korea
E-mail: bhahn@bh.knu.ac.kr

(Received March 30, 2000; Accepted May 4, 2000)

요 약

오로라 제트전류에 영향을 미치는 전기장과 전기전도도의 상대적인 기여도를 조사했다. 이 목적을 위해서 국제자기권연구(IMS) 기간인 1978년 3월 17-19일 사이에 관측된 지자기변화자료를 이용했다. Allen & Kroehl (1975)의 연구결과를 바탕으로 새로운 AU 및 AL 지수를 정의하였다. 이들은 각각 $1500 \leq \text{MLT} \leq 1800$ 및 $0000 \leq \text{MLT} \leq 0300$ 구간에 위치한 AE 관측소의 지자기변화자료를 이용해 작성되었다. 그리고 이렇게 정의된 지수로부터 동향 및 서향제트전류의 전류밀도를 계산했다. 저녁영역의 전기전도도는 태양의 EUV 복사에 의한 것으로 가정하고 AU 지수에 기여하는 전기장의 분포를 추정하였다. 나아가 저녁과 새벽영역의 전기장분포가 거의 같다는 관측사실로부터 AL 지수에 영향을 미치는 하강오로라입자에 의한 Hall 전기전도도분포를 추정하는 것이 가능했다. 이렇게 얻어진 전기장 및 전기전도도분포는 각각 AU 및 AL 지수와 비교적 높은 상관관계가 있었다. 이것은 AU 및 AL 지수가 각각 직접가동 및 저장-방출과정과 밀접한 관계가 있음을 시사한다.

ABSTRACT

We examine the relative contributions of the electric field and ionospheric conductance to the auroral electrojets. For this purpose we used magnetometer data obtained from the International Magnetospheric Study (IMS) meridian chains of observatories for March 17, 18, and 19, 1978. Based on the study by Allen & Kroehl (1975), we redefine the AU and AL indices by utilizing the magnetic disturbance data obtained from the AE stations located within limited magnetic local time (MLT) sectors; i.e.,

$1500 \leq \text{MLT} \leq 1800$ and $0000 \leq \text{MLT} \leq 0300$, respectively. The current densities of the eastward and westward electrojets are calculated based on the AU and AL indices thus defined. Under the assumption that the Hall conductance at the dusk sector is mainly caused by the solar EUV radiation, we estimate the electric field contribution to the AU index. Assuming further that electric field distributions at dawn and dusk sectors are comparable, it is also possible to estimate the contribution of the Hall conductance associated with auroral particle precipitation to the AL index. From this study it is noted that the electric fields and Hall conductances thus estimated show significant correlations with the AU and AL indices, respectively, suggesting that the AU and AL indices are closely associated with the directly driven and loading-unloading processes of substorms.

1. 서 론

태양에서 불어 나오는 태양풍은 지구자기장과 상호작용으로 자기권이라는 독특한 환경을 만들고, 자기권 내에 다양한 전자기 현상들을 일으킨다. 자기권 서브스톰(magnetospheric substorm)이 그 대표적인 예로, 이 때 극지방에서는 오로라가 자주 관측되고 오로라 타원체를 따라 오로라 제트전류가 강화된다. 저녁 영역에서는 주로 동향오로라 제트전류가 발달을 하고, 자정 및 새벽 영역에서는 주로 서향오로라 제트전류가 발달한다. 이렇게 강화된 오로라 제트전류의 영향으로 극지방에는 지자기장의 교란이 발생한다. 자기권 서브스톰 진행시 극전리층에서 에너지는 직접가동 (directly driven)과정과 저장-방출 (loading-unloading)과정을 통해서 소모된다고 알려졌다 (Akasofu 1985). 그러나 두 과정의 상대적인 중요도에 대해서는 아직 의견의 일치가 이루어지지 않았다. Akasofu (1981)는 자기권은 직접가동과정에 가깝다고 주장하였다. 한편 Baumjohann (1983)에 의하면 직접가동과정은 전기장을 강화시켜 동향제트전류를 강화시키는 반면 폭발적인 에너지 방출과정은 오로라를 야기하고 이로 인하여 증가된 전기전도도는 서향제트전류를 강화시킨다는 것이다.

본 연구에서는 서브스톰을 구성하는 두 가지 과정인 직접가동과정과 저장-방출과정이 각각 전기장의 증가 및 전기전도도의 증가와 어떻게 관련되어 있는지를 정량적으로 알아보고자 한다. 이를 위해서 오로라제트전류에서 전기장과 전기전도도의 상대적인 기여도를 조사한다. 특히 오로라제트전류는 대부분 동서방향으로 흐르는 Hall 전류이므로 전기장의 경우 주로 남북성분이 영향을 미친다. 따라서 각 에너지 소모과정이 오로라제트전류의 강화에 어떤 영향을 미치는지를 살펴보기 위해 동향오로라 제트전류와 전기장의 남북성분과의 상관관계를 구하고 또한 서향오로라 제트전류와 하강오로라 입자에 의한 Hall 전도도 사이의 상관관계를 얻고자 한다. 그러나 직접적인 관측으로 오로라제트전류의 밀도를 구할 수 있는 경우는 극히 제한되어 있기 때문에 지상 지자기변화 값을 이용해서 이를 간접적으로 추정하고자 한다. 그래서 동향오로라 제트전류를 잘 반영하는 AU 지수와 전기장의 남북성분 그리고 서향오로라 제트전류를 잘 나타내는 AL 지수와 하강오로라입자에 의한 Hall 전도도사이의 상관관계를 각각 조사하고자 한다. 이러한 연구를 통해서 AU 지수와 직접가동과정의 연관성 그리고 AL 지수와 폭발적인 에너지 유출과정의 연관성을 조사하고자 한다.

2. 관측 자료 및 분석 방법

2.1. 관측 자료

본 연구에서는 국제자기권연구 (International Magnetospheric Study, IMS; 1976 - 1978) 기간 동안 측정된 지상 지자기 관측자료를 사용했다. 연구기간은 1978년 3월 17일부터 19일까지 3일간이며 13개의 관측소 (12개 표준 AE 관측소 + Karmarkuly)에서 5분 간격으로 측정된 지자기 변화의 수평 성분 (ΔH)이 사용되었다. 12개 표준 AE 관측소 (Kamei & Maeda 1981)는 해륙의 분포 때문에 경도 방향으로 균일하게 분포되어 있지 않다. 따라서 오로라제트전류가 관측소가 존재하지 않는 구간을 따라 흐를 경우 AE 지수는 그 전류의 강도를 제대로 반영할 수 없을 것이다 (Kamide & Akasofu 1983, Ahn et al. 2000). 따라서 본 연구에서는 시베리아 지역의 관측소 공백을 메우기 위해 Karmarkuly (72.3°N, 52.5°E)의 측정자료를 추가로 활용함으로써 AE 지수의 정확도를 높였다. 이렇게 13개 관측소의 자료를 이용해 얻은 AU 지수와 AL 지수를 각각 AU(13) 지수, AL(13) 지수라 정의했다. 참고로 현재 사용되고 있는 표준 오로라 제트 전류 지수는 AU(12) 및 AL(12)로 표현된다.

2.2. 분석 방법

2.2.1 AU 와 AL 지수 결정

Allen & Kroehl (1975)은 특정한 지자기 지방시 (Magnetic Local Time; MLT)에 속하는 관측소의 측정치가 AU 지수와 AL 지수를 결정하는데 주로 기여한다는 사실을 확인하였다. 따라서 그들이 지적한 특정 지자기 지방시간대에 지자기 관측소가 존재하기만 한다면 12개 관측소 자료를 전부 사용하는 대신 그 관측소의 ΔH 값만으로도 비교적 정확하게 AU 지수와 AL 지수를 산출할 수 있을 것이다. 그러나 실제로는 관측소의 개수가 12개 밖에 되지 않기 때문에 그들이 제안한 시간대에 관측소가 없을 경우도 있다. 그래서 우리는 AU와 AL 지수를 산출 할 때 Allen & Kroehl (1975)이 제안한 시간대를 포함하는 전후 3시간 간격의 구간 내에 위치하는 관측소의 측정치를 이용했다. 시간대를 3시간 정도로 제한한 이유는 일반적으로 오로라제트전류가 경도방향으로 적어도 이 정도의 경도구간 내에서는 균일성을 유지하기 때문이다 (Ahn et al. 1999).

Allen & Kroehl (1975)에 의하면 AU 지수는 주로 1730 MLT 부근에 위치한 AE 관측소에서 측정된 ΔH 에 의해 결정된다. 그러나 Ahn et al. (1999)이 분석한 Chatanika 레이더 자료에 의하면, 1800 MLT 시간대 이후부터 하강오로라입자에 의한 전기전도도의 기여도가 증가한다. 따라서 AU 지수에 대한 전기장의 기여도를 조사하기 위해서 1730 MLT를 중심으로 3시간 간격을 잡는 대신 낮 영역 쪽으로 약간 이동해서 $1500 \leq MLT \leq 1800$ 구간을 취했다. 실제로 동일 레이더로 관측된 전기장분포를 살펴보면 1730 MLT를 중심으로 3시간 구간 내의 전기장분포와 $1500 \leq MLT \leq 1800$ 구간 사이의 값에 별 차이가 없다. 그래서 후자의 시간대 내에 위치하는 관측소의 ΔH 를 이용해서 AU(13) 지수를 계산했다. 한편 0315 MLT 부근에 위치하는 AE 관측소의 ΔH 값이 AL 지수를 주로 결정한다는 것이 알려졌다 (Allen & Kroehl 1975). 그러나 Chatanika 레이더 관측에 의한 전기전도도분포에 의하면 Hall 전기전도도의 최대치는 자정부근에 나타난다 (Ahn et al. 1999). 이러한 이유 때문에 Allen & Kroehl (1975)이 제안한 시간대인 0315 MLT보다 자정 쪽인 $0000 \leq MLT \leq 0300$ 영역에 속하는 관측소의 ΔH 를 이용해서 새로운 AL 지수를 얻었다. 이렇게 함으로서 새벽영역으로 하강하는 오로라

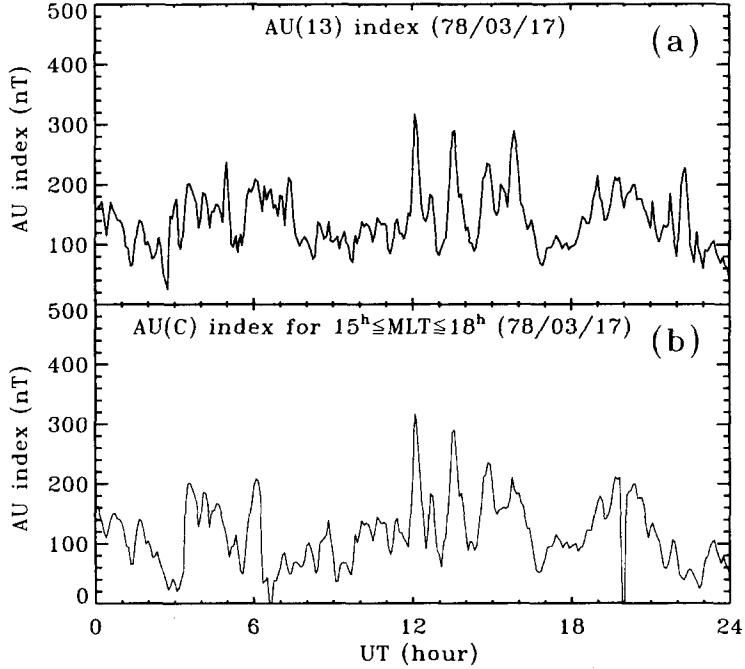


그림 1. 1978년 3월 17일의 AU(13)와 AU(C) 지수의 비교.

입자에 의한 전기전도도를 추정하는 것이 가능할 것이다. 앞으로 MLT 구간을 제한하여 계산된 AU 및 AL 지수를 각각 AU(C) 및 AL(C) 지수로 나타내기로 한다. 여기에 비해 앞서 정의한 AU(13) 지수와 AL(13) 지수는 모든 MLT 구간 즉 13개 관측소에서 얻어진 ΔH 모두를 이용해서 얻은 것을 의미한다.

AU(13) 지수와 AU(C) 지수 사이의 연관성을 보기 위해 1978년 3월 17일의 예를 각각 그림 1에 나타냈다. 여기서 두 지수가 비슷한 변화양상을 보임을 알 수 있다. 이들 사이의 관계를 정량적으로 나타내기 위해 그림 2에 3일간의 AU(13)와 AU(C) 지수 사이의 상관도를 작성했다. 예상한대로 0.85라는 비교적 높은 상관관계가 나타났다. AU(13)과 AU(C) 지수사이의 상관관계는 지자기 활동이 증가할수록 높아지는 경향을 보인다. 이것은 Allen & Kroehl (1975)이 제시했듯이 지자기 변화가 클수록 $1500 \leq MLT \leq 1800$ 시간대에 강한 오로라제트전류가 흐른다는 것을 의미한다. 부연하면 본 연구에서 선택한 3시간 구간의 자료를 이용해 계산된 AU(C) 지수가 AU(13) 지수를 비교적 잘 대변해 준다는 것을 의미한다. 그러나 관측 시간대를 3시간으로 제한했기 때문에 AU(C) 지수는 AU(13)에 비해 특히 지자기활동이 미약한 경우 다소 과소평가되는 것은 예상했던 바이다.

AL(13) 지수와 AL(C) 지수 사이의 연관성을 조사하기 위해 그림 1과 같은 방법으로 이들을 각각 그림 3에 나타냈다. 여기에서도 두 지수는 비슷한 변화양상을 보이는 것을 알 수 있다. 두 지수 사

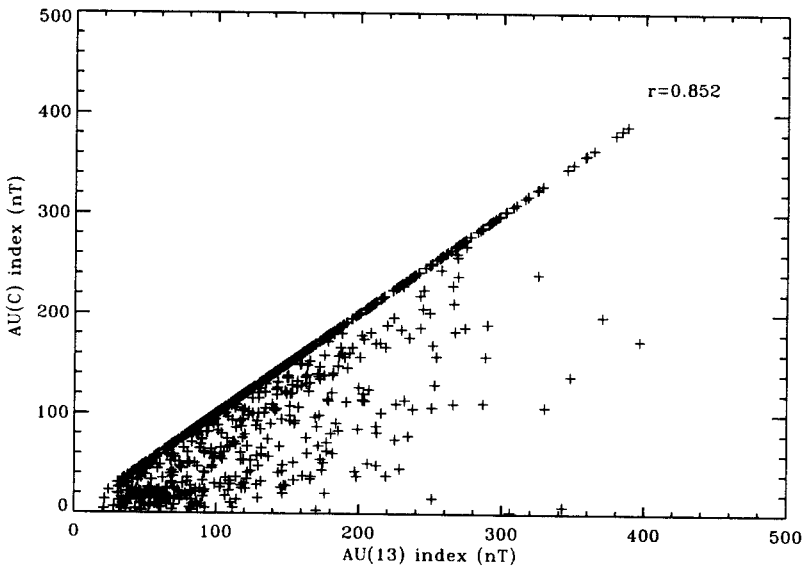


그림 2. 3일간의 AU(13) 및 AU(C) 지수 사이의 상관관계.

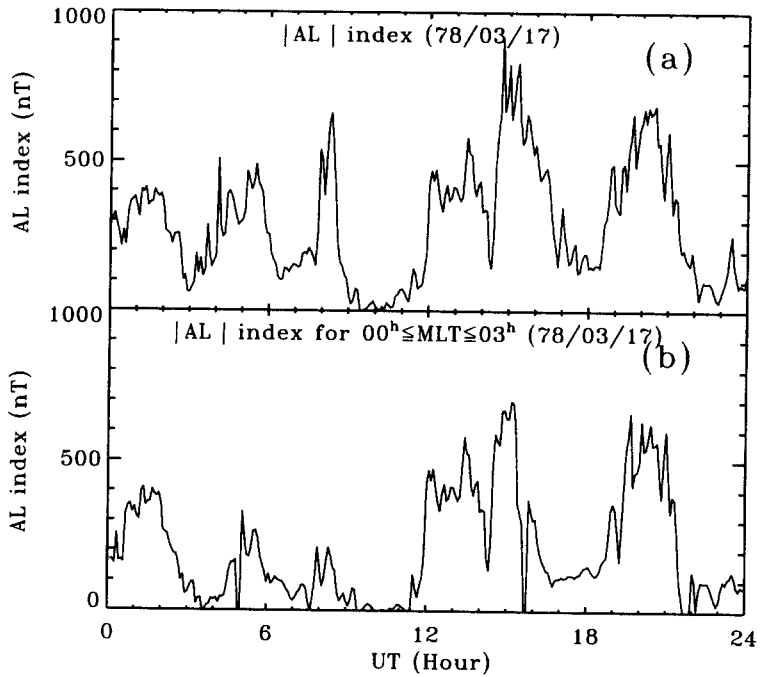


그림 3. 1978년 3월 17일의 AL(13)와 AL(C) 지수의 비교.

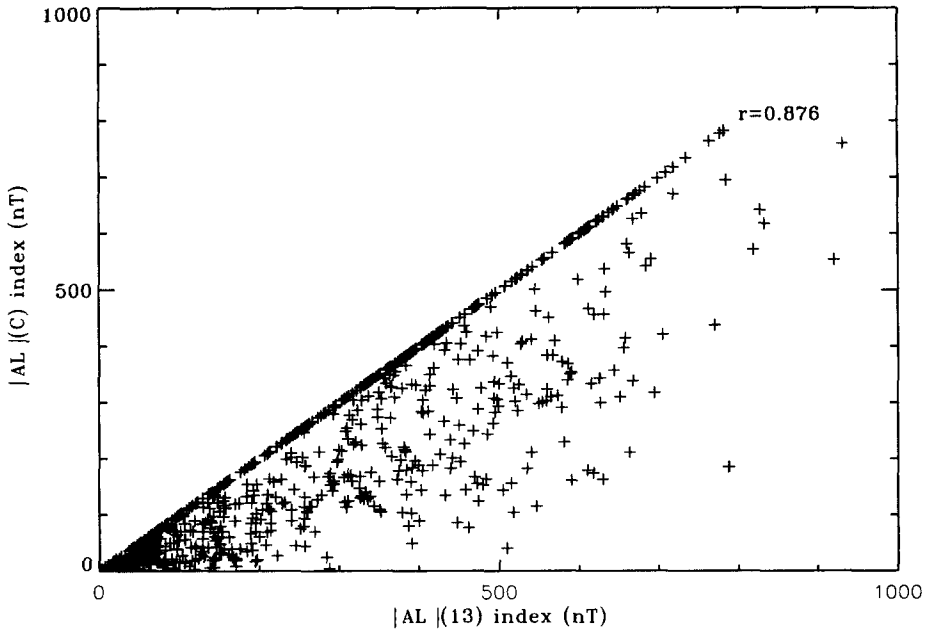


그림 4. 3일간의 AL(13) 및 AL(C) 지수 사이의 상관관계.

이의 관계를 정량적으로 조사하기 위해서 그림 4에 3일간의 전 자료를 사용하여 AL(13) 과 AL(C) 지수 사이의 상관도를 작성했다. 여기에 나타난 0.87이라는 높은 상관관계는 본 연구에서 오로라제트전류지수를 작성하기 위해 채택한 시간구간이 원래의 AE 지수들을 비교적 잘 대변해 준다는 것을 의미한다. 여기서 항상 $|AL(C)| \leq |AL(13)|$ 이므로 그림 4의 경우 대각선 상단에는 자료들이 존재할 수 없다. 그림 2의 경우도 항상 $AU(C) \leq AU(13)$ 이므로 대각선 상단에는 자료가 있을 수 없다.

2.2.2 전기장의 남북성분과 Hall 전도도의 추정

Araki et al. (1989)는 EISCAT 레이더 관측자료를 분석하여 전리층에 1 A/m의 판상 전류(sheet current)가 흐르면 전리층 직하에 위치하는 관측소에서는 약 560 nT의 지자기변화가 일어남을 확인하였다. 이 관계를 이용하면 관측된 지자기변화로부터 전리층에 흐르는 전류의 세기를 역으로 추정하는 것이 가능하다. 그래서 AU(C) 지수를 560 nT로 나누면 $1500 \leq MLT \leq 1800$ 구간을 흐르는 동향오로라제트전류의 전류밀도(J_{Hall})를 추정할 수 있다. 한편 오로라제트전류는 거의 동서방향으로 흐르는 Hall 전류이므로 Ohm의 법칙을 이용하면 다음과 같이 표현된다.

$$J_{Hall} = \sum_H \cdot E_{N-S} \tag{1}$$

여기서 \sum_H 는 고도적분된 Hall 전기전도도이다. 그리고 E_{N-S} 는 같은 구간의 전기장의 남북성분을 나타낸다. AU(C) 지수가 $1500 \leq MLT \leq 1800$ 구간에서 결정되었기 때문에 전기전도도는 주로 태

양의 EUV 복사에 의해 형성된 것이다. 따라서 전기전도도 분포가 결정되면 식 (1)로부터 전기장의 분포를 추정할 수 있다.

Robinson & Vondrak (1984)은 태양의 EUV 복사에 의해 야기되는 Hall 전도도를 태양의 천정거리(χ)와 10.7 cm 태양전파속(S_a)의 함수로 표현했다: $\sum_H = 1.5\sqrt{S_a \cos\chi}$. 본 연구에서는 이들의 연구결과를 이용해서 태양에 의한 전도도 값을 추정하였다. 그러나 AE 관측소에서 예상되는 태양의 천정거리가 85°이상인 경우는 제외했다. 그 이유는 $\chi > 85^\circ$ 인 경우 $\cos\chi$ 값이 너무 작아서 추정된 Hall 전도도 값이 유효성을 잃을 가능성이 높기 때문이다. 이렇게 전기전도도분포가 알려지면 AU(C) 지수로부터 $1500 \leq \text{MLT} \leq 1800$ 구간에서의 전기장의 남북성분을 추정할 수 있다.

마찬가지로 AL(C) 지수에 Araki et al. (1989)의 결과를 적용하면 자정 및 아침영역에서 흐르는 서향오로라 제트전류밀도 (J_{Hall})를 얻을 수 있다. 이 오로라제트전류 역시 대부분 Hall 전류이므로 식 (1)과 같이 Hall 전도도와 전기장의 남북성분의 곱으로 나타낼 수 있다. 그러나 동향오로라 제트 전류와는 달리 서향제트전류에 영향을 미치는 Hall 전도도는 주로 하강 오로라입자에 의한 것으로 직접 추정하기 어렵다. 게다가 새벽 영역에서의 전기장의 남북성분도 알려져 있지 않다. 한편 Ahn et al. (1999)에 의하면 전기장의 남북성분은 대체로 자정을 기준으로 대칭적인 분포를 나타내고 있다. 전기장의 세기는 비슷하나 방향은 저녁영역에는 대체로 북쪽을 그리고 새벽영역에서는 대체로 남쪽을 향하고 있다. 따라서 AU(C) 지수로부터 추정된 저녁영역의 전기장을 부호만을 바꾸어서 근사적으로 새벽영역의 전기장으로 가정할 수 있다. 그러면 AL(C) 지수로부터 하강오로라입자에 의한 Hall 전도도를 추정하는 것도 가능해진다.

3. 결과

3.1. AU 지수와 전기장의 남북 성분

그림 5(a)는 1978년 3월 17일의 AU(C) 지수의 UT에 따른 분포이다. AU(C) 지수 분포가 그림 1(b)와는 달리 여러 시간대 특히 0000-0600 UT 사이에 자료가 없는 것은 2.2.2절에서 언급했듯이 태양의 천정거리가 85°이상인 경우는 제외했기 때문이다. 또한 추정된 전기장의 남북성분이 5 V/km 이하인 경우도 제외했다. 왜냐하면 전기장이 너무 적을 경우 AL(C) 지수로부터 추정하게 될 하강오로라입자에 의한 Hall 전도도에 불확실성이 크게 나타날 가능성이 있기 때문이다. 그림 5(b)는 AU(C) 지수로부터 이렇게 추정된 저녁영역의 전기장의 남북성분이다.

그림 5를 보면 AU(C) 지수의 시간적인 변화 경향은 전기장의 변화와 유사함을 알 수 있다. 이들 두 양 사이의 상관관계를 알아보기 위해 3일 동안의 모든 자료를 이용해 상관관계를 그림 6에 나타냈다. 두 분포 사이에는 0.94 정도로 매우 높은 상관관계가 확인되었다. 한편 AU(C) 지수에 영향을 미치는 태양에 의한 전기전도도는 시간에 따라 완만하게 변할 뿐만 아니라 지자기변화와 무관하다는 사실을 고려한다면 AU(C) 지수는 주로 전기장의 남북성분에 의해 결정됨을 알 수 있다. 또한 본 연구에서는 서브스톰의 각 위상에 따른 상관관계를 조사하지 않았기 때문에 저녁영역의 지자기 변화는 서브스톰의 위상에 관계없이 전기장의 변화에 비례함을 알 수 있다.

1978년 3월 18일의 AU(C) 지수에서 추정된 저녁영역의 전기장의 남북성분과 IMP-8 인공위성이 측정한 행성간자기장 (IMF)의 B_z 성분을 각각 그림 7에 나타냈다. 그림을 보면 약간의 시간지연은 있지만 (Baker et al. 1983), 전기장이 강화된 1200 UT에서 1800 UT 사이에서 IMF는 $B_z < 0$ 임을

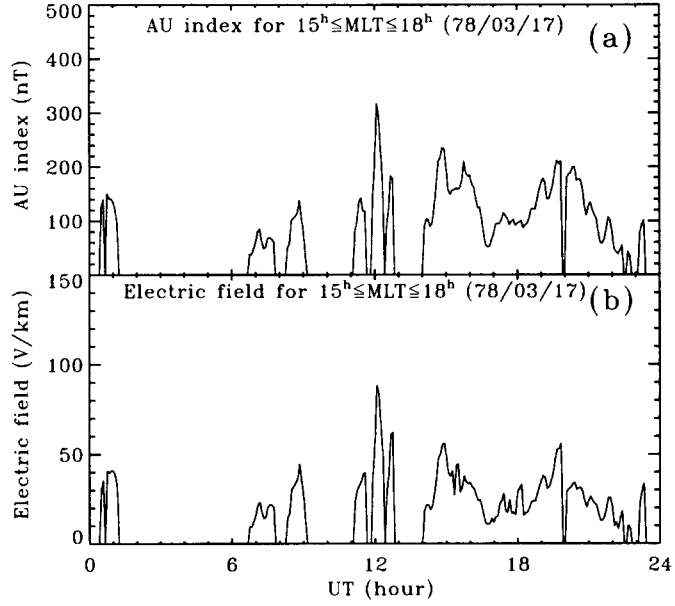


그림 5. (a) AU(C) 지수와 (b) 1978년 3월 17일에 추정된 전기장의 남북성분.

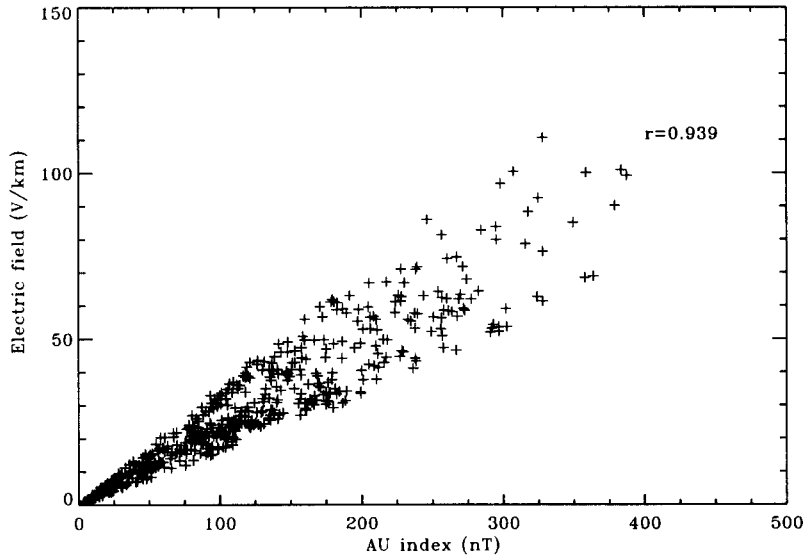


그림 6. 3일간의 자료를 이용해서 작성된 AU(C) 지수와 전기장의 남북성분과의 상관관계.

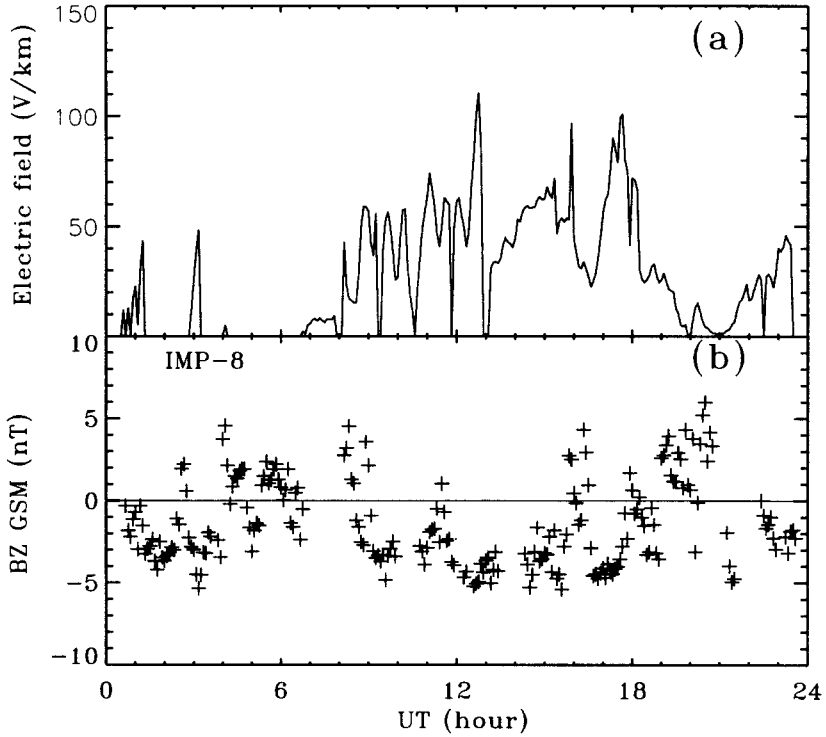


그림 7. (a) 1978년 3월 18일 추정된 전기장의 남북성분과 (b) IMP-8에서 관측된 행성간자기장의 Bz 성분.

알 수 있다. 이는 행성간 자기장이 남쪽을 향할 때 행성간 전기장이 직접적으로 극 전리층의 전기장을 강화시킨다는 것을 의미한다. 따라서 동향제트전류 혹은 AU 지수와 전기장 사이에 밀접한 관계가 기대된다.

3.2. AL 지수와 Hall 전도도

그림 8(a)는 1978년 3월 17일의 0800 UT에서 2200 UT사이의 $|AL(C)|$ 지수의 분포이다. 0800 UT에서 2200 UT사이의 시간대만 취급한 이유는 그 외의 시간대는 앞서 언급한 바와 같이 AU(C) 지수로부터 추정된 전기장이 너무 적기 (<6 V/km) 때문이다. 그림 8(b)에는 AL(C) 지수에서 추정된 하강오로라입자에 의해 야기된 Hall 전도도분포를 나타냈다. 그림 8을 보면 일반적으로 $|AL(C)|$ 지수가 높은 값을 가지는 시간대에 Hall 전도도도 높게 나타남을 알 수 있다. 이들 사이의 관계를 정량적으로 알아보기 위해 3일 동안의 모든 자료를 사용해서 $|AL|$ 지수와 Hall 전도도사이의 상관관계를 그림 9에 나타냈다. 비록 앞서 구한 AU 지수와 전기장 사이의 상관관계수보다는 작지만 $|AL(C)|$ 지수와 하강오로라입자에 의한 Hall 전기전도도 사이에도 0.69 정도의 비교적 높은 상관관계가 있음을

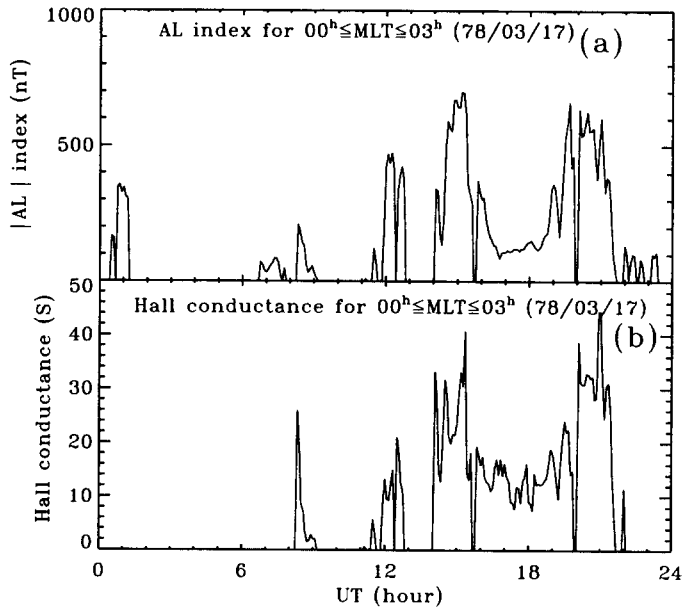


그림 8. (a) 1978년 3월 17일의 $|AL(C)|$ 지수와 (b) Hall 전기전도도 분포.

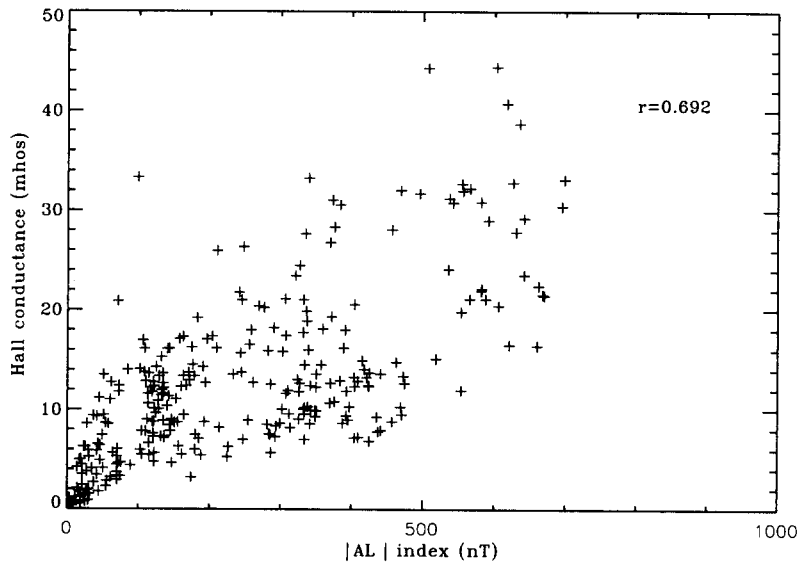


그림 9. 3일간의 자료를 이용해서 작성된 $AL(C)$ 지수와 하강 오로라입자에 의한 Hall 전기전도도 사이의 상관관계.

알 수 있다. 분산의 정도가 크게 나타나는 것은 AL 지수를 결정하는 인자가 전기전도도 뿐만이 아니라 전기장도 기여하고 있음을 의미한다.

한편 서향제트 전류대에서 전기전도도의 증가는 주로 오로라 서브스톰의 확장기로부터 극대기에 이르는 기간에 나타난다. 그러나 본 연구에서 사용된 자료는 오로라 서브스톰의 발달단계를 구분하지 않았기 때문에 분산이 크게 나타날 가능성이 있다. 만약 3일 동안에 일어났던 모든 서브스톰을 각 발달단계별로 구분한 후 확장기에서 최대기에 이르는 구간만 사용한다면 더 높은 상관관계가 나타날 것으로 기대된다.

4. 결론 및 토의

본 연구에서는 오로라제트전류에 미치는 전기장과 전기전도도의 상대적인 기여도를 조사를 했다. 그 결과 AU(C) 지수와 전기장의 남북성분 사이에는 0.94 정도의 매우 높은 상관관계가 확인되었다. 동향제트 전류대가 주로 오후-저녁 영역에 위치하며 그곳의 전기전도도는 태양에 기인된 것으로 완만히 변한다는 점을 고려한다면 AU 지수와 전기장의 남북성분사이의 높은 상관관계는 동향오로라 제트전류의 강화는 주로 전기장의 증가에 기인된 것임을 알 수 있다. 또한 IMF가 남쪽을 향할 때 ($B_z < 0$) 전기장의 세기가 강화되는 것이 확인되었다. 이는 행성간 전기장이 직접 극전리층에 유입되면서 전기장을 강화시켰다는 것을 의미한다. 따라서 Baumjohann (1983)이 제안한대로 전기장의 강화와 밀접히 관련된 직접가동과정이 주로 AU 지수 혹은 동향제트전류를 결정한다는 것을 확인할 수 있다. 한편 서브스톰의 위상을 고려하지 않았음에도 불구하고 AU(C) 지수와 전기장 사이에 높은 상관관계가 확인되었다. 이것은 동향제트전류의 강화는 서브스톰의 위상에 관계없이 전기장의 증가를 수반한다는 것을 의미한다.

AL(C) 지수와 하강오로라입자에 의한 Hall 전도도 사이에도 비교적 높은 상관관계가 확인되었다. 이것은 서향제트전류 혹은 AL(C) 지수의 증가가 주로 하강오로라입자가 유발하는 Hall 전기전도도의 강화에 기인된다는 것을 의미한다. 이와 같은 AL(C) 지수와 하강 오로라 입자에 의한 Hall 전기전도도 사이의 비교적 높은 상관관계는 서향제트전류가 서브스톰의 폭발적인 에너지 유출과정을 비교적 잘 반영한다고 볼 수 있다. 그러나 AU(C) 지수에서 확인된 바와 같이 AL(C) 지수 역시 전기장의 변화에도 영향을 받을 것이므로 Hall 전기전도도와 AL(C) 지수 사이의 상관관계는 AU(C) 및 전기장 사이와 같은 정도의 높은 상관관계를 기대할 수는 없다. 한편 하강오로라입자에 의한 Hall 전도도는 서브스톰의 발달과정 중 확장기로부터 최대기 사이에서 주로 나타난다. 따라서 이 구간의 자료만을 이용해서 두 양 사이의 상관관계를 조사한다면 상관계수는 훨씬 높아질 것으로 예상된다.

참고문헌

- Ahn, B.-H., Emery B. A., Kroehl, H. W., & Kamide, Y. 1999, *J. Geophys. Res.*, 104, 10031
 Ahn, B.-H., Kroehl H. W., Kamide, Y., & Kihn, E. A. 2000, *J. Geophys. Res.*, 105, 267
 Akasofu, S.-I. 1981, *Space Sci. Rev.*, 28, 495
 Akasofu, S.-I. 1985, *EOS*, 66, 9
 Allen, J. H., & Kroehl, H. W. 1975, *J. Geophys. Res.*, 80, 3607
 Araki, T., Schlegel, K., & Luhr, H. 1989, *J. Geophys. Res.*, 94, 17185

- Baker, D. N., Zwickl, R. D., Bame, S. J., Hones, E. W., Tsurutani Jr., B. T., Smith, E. J., & Akasofu, S.-I. 1983, *J. Geophys. Res.*, 88, 6230
- Baumjohann, W. 1983, *Adv. Space Res.*, 2, 55
- Kamei, T., & Maeda, H. 1981, *Data Book*, No.4 (Kyoto: Kyoto Univ. Press)
- Kamide, Y., & Akasofu, S.-I. 1983, *Rev. Geophys. Space Sci.*, 21, 1647
- Robinson, R. M., & Vondrak, R. R. 1984, *J. Geophys. Res.*, 89, 3951