

SO SÁNH TOÀN CẦU HAI THAM SỐ ĐIỆN LY NmF2 VÀ hmF2 TỪ MÁY THĂM DÒ IONOSONDE VÀ VỆ TINH FORMOSAT-3

ĐÀO NGỌC HẠNH TÂM¹, YEN-HSYANG CHU²

E-mail: hanhtamdao@gmail.com

¹Viện Vật Lý Tp. Hồ Chí Minh - Viện Khoa học và Công nghệ Việt Nam

²Institute of Space Science, National Central University, Taiwan

Ngày nhận bài: 30 - 12 - 2011

1. Mở đầu

Trong công cuộc tiến hành thăm dò vũ trụ từ mặt đất, hệ thống các trạm quan trắc điện ly thăm dò thẳng đứng (Ionosonde) đã được thiết lập từ những năm 1960 và không ngừng được mở rộng. Đến nay kỹ thuật quan trắc này vẫn còn là một trong những phương pháp tin cậy trong nghiên cứu điện ly. Vệ tinh FORMOSAT-3/COSMIC (F3/C) được phóng thành công vào tháng 4 năm 2006, các dữ liệu thu nhận sau đó nhanh chóng được phân tích và tiến hành trong các nghiên cứu nhiều mặt về khí hậu, khí tượng và tầng điện ly. Với sự bao phủ các dữ liệu dày đặc, F3/C có nhiều ưu thế về nghiên cứu các biến đổi điện ly toàn cầu.

Mục tiêu của nghiên cứu này là so sánh dữ liệu của hai tham số điện ly trên tuyến mật độ lớp F (mật độ điện ly cực đại, NmF2 và độ cao tại mật độ cực đại, hmF2) của hai phương pháp kỹ thuật vô tuyến theo các vùng vĩ độ khác nhau. Đây là hai tham số quan trọng trong việc ứng dụng truyền sóng vô tuyến tầm xa từ các trạm phát và thu trên mặt đất. Các tính toán định lượng về độ sai lệch giữa hai phương pháp này được thực hiện để xác định mối tương quan giữa kỹ thuật thăm dò thẳng đứng đã tồn tại lâu đời với kỹ thuật vệ tinh hiện đại đang được sử dụng trong nghiên cứu khí quyển.

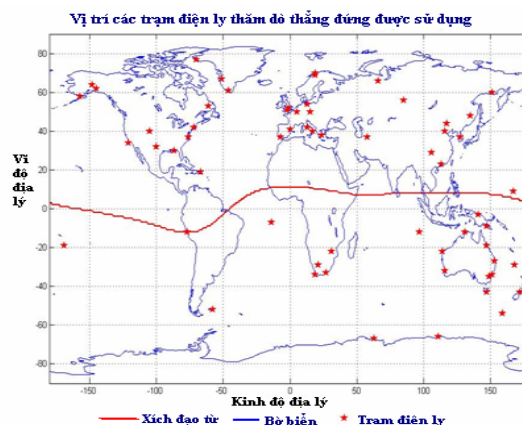
2. Cơ sở dữ liệu và phương pháp phân tích

2.1. Dữ liệu điện ly thăm dò thẳng đứng (Ionosonde)

Nguyên lý thăm dò điện ly thẳng đứng là dùng sóng vô tuyến cao tần HF (từ 1 đến 20MHz), phát thẳng đứng lên tầng điện ly và thu nhận tín hiệu

phản xạ lại khi gặp các tần số tới hạn tương ứng. Dữ liệu quan trắc bao gồm độ cao và tần số tới hạn của các lớp điện ly E, F1, F2 từ khoảng 90 đến 600km. Mật độ điện tử thu nhận được từ thiết bị thăm dò thẳng đứng này chính là một hàm số của tần số thay đổi theo độ cao [1].

Các dữ liệu thăm dò thẳng đứng sử dụng trong nghiên cứu này được cung cấp bởi Trung tâm dự báo khí hậu không gian (SWPC), NOAA <http://www.swpc.noaa.gov/ftpdir/lists/>. Dữ liệu của hơn 60 trạm được xử lý mỗi 15 phút từ điện ly đồ (hình 1). Từ các bảng số liệu ta trích được tham số hmF2 và foF2.



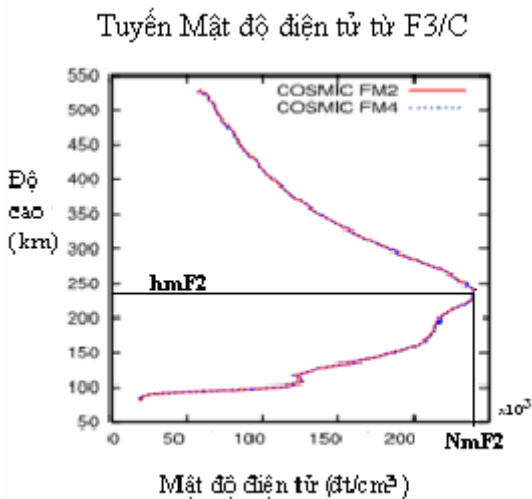
Hình 1. Sơ đồ vị trí phân bố 61 trạm thăm dò điện ly được sử dụng

Mật độ điện tử cực đại của lớp F2 (NmF2) được tính toán từ các giá trị đo đặc tần số tới hạn foF2 theo mỗi quan hệ sau:

$$N_m F_2 = 1,24 \times 10^{10} (f_0 F_2)^2$$

2.2. Số liệu vệ tinh FORMOSAT-3/COSMIC (F3/C)

Hệ thống 6 vệ tinh COSMIC bay trong quỹ đạo tầm 500 đến 800km tính từ mặt đất với góc nghiêng 72° và chu kỳ khoảng 100 phút. Dữ liệu thu nhận hầu như bao phủ toàn cầu, có khoảng 2500 tuyến mật độ điện tử một ngày (hình 2).



Hình 2. Tuyến mật độ điện tử thu được từ thiết bị thu đặt trên F3/C

Nguyên lý thăm dò vệ tinh F3/C dùng trong nghiên cứu điện ly là sự che khuất tín hiệu (Radio Occultation-RO). Mối quan hệ giữa chỉ số phân xạ của khí quyển n và mật độ điện tử của tầng điện ly được biểu thị thông qua công thức:

$$n = 1 - 40,3 \times \frac{n_e}{f^2}, \text{ trong đó } f \text{ là tần số GPS (Hz); } n_e \text{ là mật độ điện tử (e/m}^3\text{) [2, 3].}$$

Dữ liệu thu từ các vệ tinh đã được tiền xử lý bởi trung tâm lưu trữ và phân tích dữ liệu COSMIC (CDAAC) (<http://cdaac-www.cosmic.ucar.edu/cdaac/>) đặt tại Boulder, Colorado, USA và cung cấp dữ liệu các tuyến mật độ điện tử thẳng đứng (N_e) đến người sử dụng. Tuy nhiên, có nhiều yếu tố ảnh hưởng đến độ chính xác của mật độ điện tử thu nhận được bao gồm các bất ổn định ngẫu nhiên, độ dốc của mật độ plasma tăng giảm đột ngột tồn tại trên đường tín hiệu GPS, độ lệch hệ thống, nhiễu, vị trí lệch của vệ tinh,... gây ra một số tuyến không chính xác. Vì vậy trong quá trình sử dụng, một số tiêu chuẩn nhằm loại bỏ các dữ liệu N_e không chuẩn được đặt ra như Độ lệch chuẩn (Mean

Deviation, MD) của các tuyến ($MD < 1,5$) và độ nghiêng topside của tuyến điện tử < 0 . Dữ liệu F3/C thu thập từ CDAAC được chọn trong thời gian từ yên tĩnh ($Kp < 3$).

Độ lệch chuẩn (MD) áp dụng cho tuyến mật độ điện tử được tính bằng công thức:

$$MD = \sqrt{\frac{\sum_i (n_{ei} - \bar{n}_{ei})^2}{N n_{ei}}}$$

Trong đó, N là tổng các điểm trên tuyến và n_{ei} , \bar{n}_{ei} là mật độ điện tử đo đạc và mật độ nền tại vị trí thứ i trên tuyến mật độ điện tử.

MD đánh giá tác động của các bất ổn điện ly trong các thay đổi độ cao của mật độ điện ly. Dựa vào các phương pháp tính toán thống kê MD được chọn theo thang đo từ 0 đến 1,5 [4, 5].

2.3. Phương pháp phân tích dữ liệu

Trong nghiên cứu này, 3 năm dữ liệu thu nhận từ F3/C (tháng 7 năm 2006 đến tháng 7 năm 2009) và mạng lưới Ionosonde toàn cầu được xử lý và so sánh. Phạm vi chênh lệch khi so sánh hai dữ liệu về khoảng cách là 1° (110km) và thời gian là 30 phút. Các số liệu vệ tinh và thăm dò mặt đất được chọn lọc chuẩn hoá dữ liệu để so sánh.

Trong các so sánh toàn cầu, 4 khu vực được chia ra trong vĩ độ từ như sau: vùng xích đạo từ ($\pm 10^\circ$), vùng vĩ độ thấp và đỉnh dị thường ($\pm 10^\circ$ đến $\pm 30^\circ$), vùng vĩ độ trung bình ($\pm 30^\circ$ đến $\pm 50^\circ$) và vùng vĩ độ cao ($\pm 50^\circ$ đến $\pm 90^\circ$).

Độ lệch trung bình giữa F3/C và Ionosonde được tính theo công thức; $\Delta d = \frac{I - C}{I} \times 100\%$.

Trong đó, I và C là mật độ điện tử đỉnh hoặc độ cao của mật độ điện tử cực đại lần lượt của Ionosonde và vệ tinh F3/C.

Các thông số tính mức độ phù hợp giữa các dữ liệu trong các biểu đồ phân tán như sau:

- Độ nghiêng k của đường hồi quy tuyến tính được lấy từ hệ số k của đường thẳng tuyến tính dữ liệu $y = kx + b$. Tham số này cho thấy dữ liệu càng phù hợp khi giá trị k gần với giá trị ± 1 .

- Hệ số tương quan R (Correlation Coefficient): tính mức độ tương quan của hai tham số dữ liệu F3/C và Ionosonde, độ tương quan của hai dữ liệu càng cao khi giá trị R càng gần 1.

$$R = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}}$$

với x_i, y_i lần lượt là giá trị thứ i của F3/C và Ionosonde.

- Giá trị căn quân phương: Root Mean Square

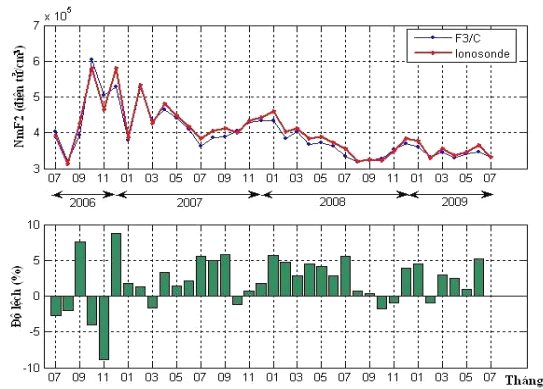
$$(RMS): RMS = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n X_i^2}{n}}$$

trong đó $X_i = C_{ni} - (k * I_{ni} + b)$ với k, b là các hệ số trong đường $y=k*x + b$. C_{ni} và I_{ni} là giá trị thứ i của F3/C và Ionosonde.

3. Một vài kết quả so sánh

3.1. Xu thế chung của giá trị NmF2

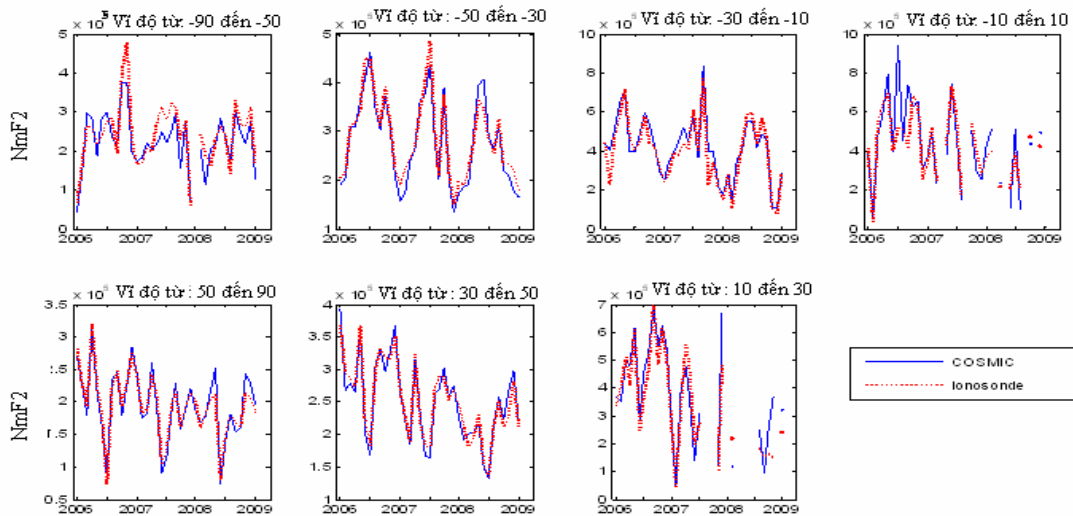
Giá trị NmF2 trung bình theo các tháng thu nhận từ F3/C và Ionosonde được biểu diễn trên hình 3. Giá trị ΔNm dương (âm) tương ứng với giá trị NmF2 thu nhận từ Ionosonde lớn hơn (nhỏ hơn) dữ liệu từ F3/C. Từ kết quả này ta thấy rằng thông số NmF2 biến đổi khá phù hợp với nhau và chênh lệch trong khoảng 5%.



Hình 3. Biến đổi NmF2 trung bình từ tháng 7/2006 đến 7/2009 của dữ liệu F3/C và Ionosonde

3.2. Kết quả so sánh NmF2 theo từng vùng vĩ độ

Các dữ liệu trên được phân chia theo từng vùng vĩ độ và biểu diễn theo hình 4. Trong đó, đường liền nét là số liệu thu nhận từ F3/C, đường đứt nét là số liệu thu nhận từ điện ly đồ thăm dò thẳng đứng. Từ biểu đồ ta nhận thấy sự phù hợp dữ liệu



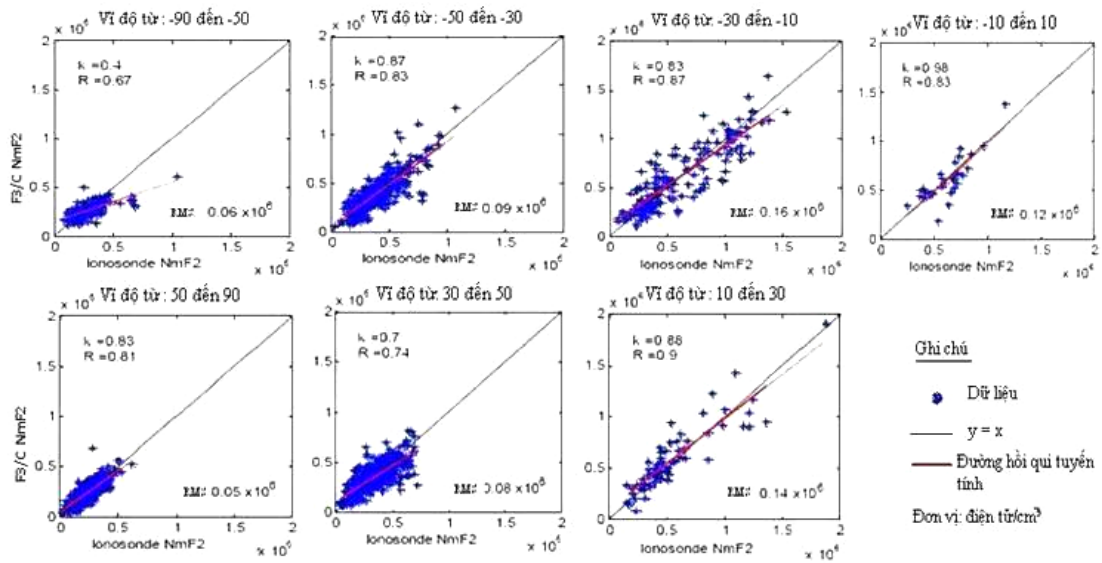
Hình 4. So sánh NmF2 theo các vùng vĩ độ

NmF2 giữa hai phương pháp thăm dò này. Tuy nhiên, mức độ chênh lệch thay đổi tùy thuộc vào từng vùng vĩ độ. Chúng ta sẽ xét sự khác biệt này ở các phân tích tiếp theo.

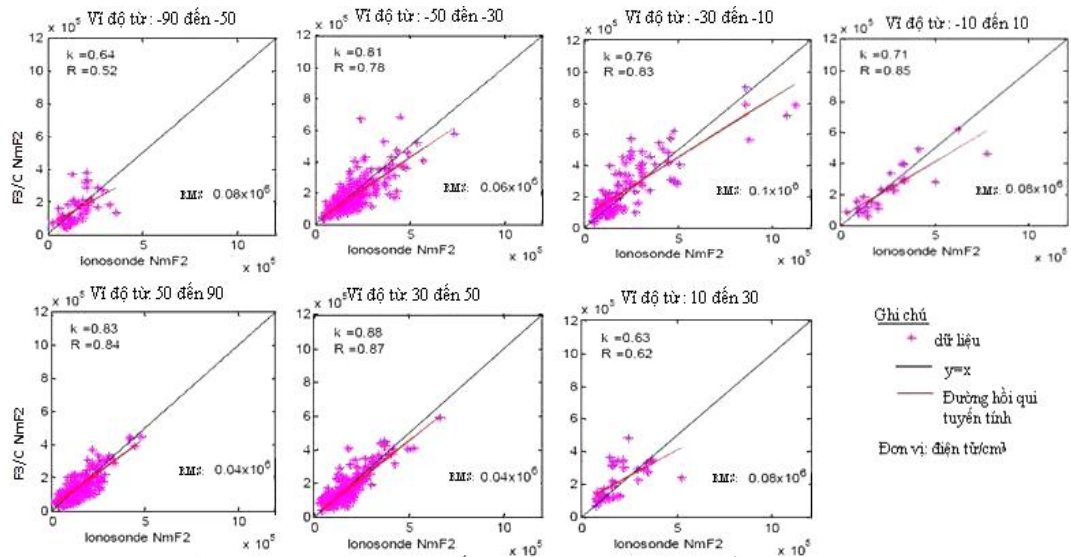
Ta phân chia từng vùng vĩ độ theo thời gian ban ngày và ban đêm nhằm tránh ảnh hưởng của các khoảng thời gian Mặt Trời mọc và lặn, thời gian ban ngày được tính từ 7h00 sáng đến 5h00 chiều, thời gian ban đêm được tính từ 8h00 tối tới

4h00 sáng theo giờ địa phương (LT). Trong hình 5, 6, dữ liệu được biểu diễn dưới dạng biểu đồ phân tán. Hai dữ liệu so sánh càng phù hợp nhau khi độ tập trung của các dữ liệu nằm càng gần với đường thẳng $y = 1$ chính giữa hình chữ nhật.

Các thông số phân tích so sánh trên được tổng hợp trong bảng 1 và bảng 2 cho thời gian ban ngày và ban đêm.



Hình 5. Biểu đồ phân tán dữ liệu của các vùng theo thời gian ngày



Hình 6. Biểu đồ phân tán dữ liệu của các vùng theo thời gian ban đêm

Bảng 1. Giá trị so sánh giữa các tham số theo các vùng thời gian ban ngày

Mục	Vĩ độ cao (từ $\pm 50^\circ$ đến $\pm 90^\circ$)		Vĩ độ trung bình (từ $\pm 30^\circ$ đến $\pm 50^\circ$)		Vĩ độ thấp (từ $\pm 10^\circ$ đến $\pm 30^\circ$)		Vùng xích đạo ($\pm 10^\circ$)
	BC Bắc	BC Nam	BC Bắc	BC Nam	BC Bắc	BC Nam	
k (Độ dốc của đường hồi qui tuyến tính)	0,83	0,40	0,70	0,87	0,88	0,83	0,98
R (Hệ số tương quan)	0,81	0,67	0,74	0,83	0,90	0,87	0,83
RMS (Độ lệch căn quân phương)	0,05	0,06	0,08	0,09	0,14	0,16	0,12

Bảng 2. Giá trị so sánh giữa các tham số theo các vùng vào thời gian ban đêm

Mục	Vĩ độ cao		Vĩ độ trung bình		Vĩ độ thấp		Vùng xích đạo ($\pm 10^\circ$)
	(từ $\pm 50^\circ$ đến $\pm 90^\circ$)		(từ $\pm 30^\circ$ đến $\pm 50^\circ$)		(từ $\pm 10^\circ$ đến $\pm 30^\circ$)		
	BC Bắc	BC Nam	BC Bắc	BC Nam	BC Bắc	BC Nam	
k (Độ dốc của đường hồi quy tuyến tính)	0,83	0,64	0,88	0,81	0,61	0,76	0,71
R (Hệ số tương quan)	0,84	0,52	0,87	0,70	0,62	0,83	0,85
RMS (Độ lệch căn quân phương)	0,04	0,08	0,04	0,06	0,08	0,10	0,08

Ở hình 5, 6 và bảng 1 và 2 ta lưu ý rằng các vĩ độ từ âm thuộc bán cầu Nam và vĩ độ từ dương thuộc bán cầu Bắc. Các chỉ số độ dốc và hệ số tương quan của đường tuyến tính hồi quy cho ta thấy rằng giá trị NmF2 của hai phương pháp đo là khá tương xứng với nhau với các chỉ số $k > 0,8$. Ngoại trừ vùng vĩ độ trung bình ở bán cầu Bắc có thấp hơn (khoảng 0,7), và vùng vĩ độ cao bán cầu Nam là khá thấp (0,4 và 0,67). Nguyên do chỉ số k thấp trong vùng vĩ độ từ -50 đến -90 là có một vài dữ liệu đo đặc với mật độ lớn thì giá trị NmF2 trong phương pháp thăm dò thẳng đứng cao hơn F3/C rất nhiều [6].

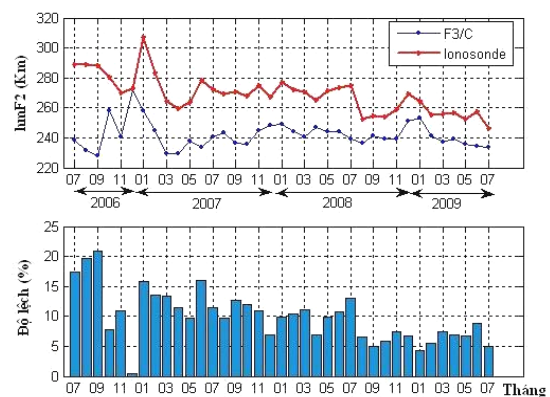
RMS đặc trưng cho độ ổn định của dữ liệu so sánh. Kết quả cho thấy rằng độ bất định lớn nhất ở vùng gần đỉnh dị thường xích đạo, kế đến là vùng xích đạo và vùng vĩ độ trung bình. Ở vùng vĩ độ cao thì các dữ liệu khá ổn định và tập trung nhất. Mặc khác ta thấy rằng, giá trị RMS của mỗi vùng ở Bắc bán cầu thì cao hơn ở Nam bán cầu. Điều này chứng tỏ dữ liệu điện ly của hai phương pháp ở bán cầu Bắc tương đồng hơn ở bán cầu Nam.

Vào thời gian ban đêm thì dữ liệu ở các vùng có sự phân tán cao hơn, vì vậy sự sai lệch số liệu cũng lớn hơn. Các chỉ số giá trị điện ly ở mức phù hợp trung bình $> 0,50$. Với những vùng mật độ điện từ thấp thì F3/C thu nhận giá trị cao hơn Ionosonde và ngược lại. Các giá trị so sánh ban đêm cũng cho ta thấy rằng độ ổn định của các so sánh trong bán cầu Bắc lớn hơn bán cầu Nam. Trên biểu đồ phân tán ta cũng nhận thấy rằng ở một số vùng, một vài giá trị NmF2 của Ionosonde cần được thẩm định lại, nguyên do có thể do quá trình xử lý dữ liệu ở các trạm thăm dò ở một số nơi chưa đồng bộ.

3.3. Kết quả so sánh cho độ cao tại mật độ điện từ cực đại, hmF2

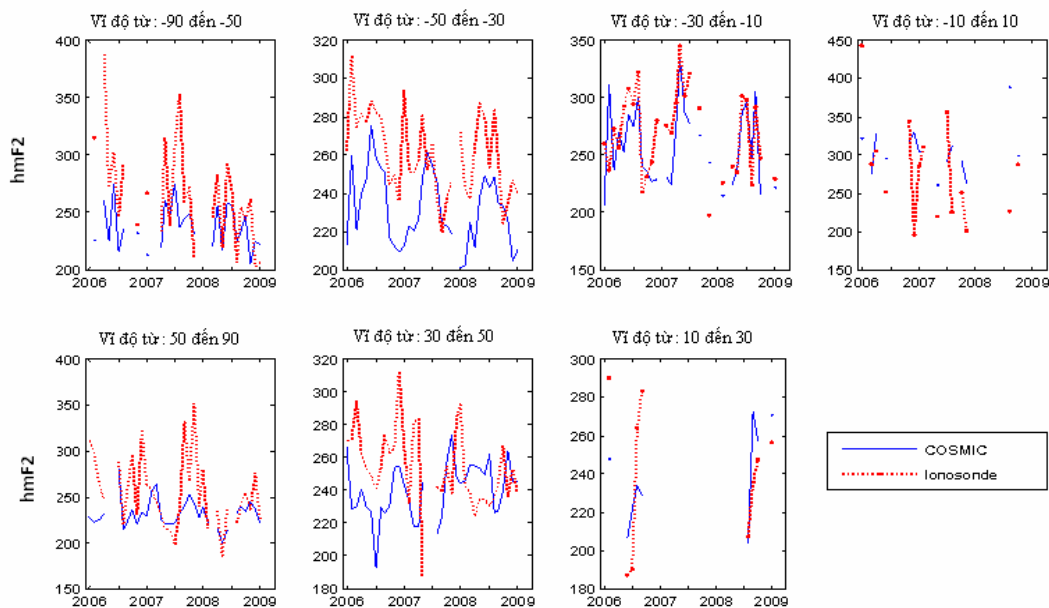
Các giá trị độ cao tại mật độ điện từ cực đại hmF2 của dữ liệu thu nhận tổng hợp trong 3 năm

được biểu diễn trên hình 7. Khung hình phía trên biểu diễn sự biến thiên giá trị hmF2 trung bình theo các năm của dữ liệu F3/C và Ionosonde với trục x biểu thị giá trị của các tháng. Khung hình bên dưới biểu thị phần trăm độ lệch trung bình của độ cao tại vị trí mật độ điện từ cực đại thu nhận từ F3/C và Ionosonde. Từ đó ta thấy rằng, giá trị hmF2 tính từ điện ly đồ trung bình luôn cao hơn giá trị tính từ vệ tinh F3/C trong khoảng từ 10 đến 50km tương ứng khoảng 5% đến 20%. Độ chênh lệch này có sự giảm theo độ giảm của chỉ số hoạt động của mặt trời chu kỳ 23 từ năm 2006 đến 2009.



Hình 7. Biến thiên hmF2 trung bình từ 7/2006 đến 7/2009 của dữ liệu F3/C và Ionosonde

So sánh này cũng được tiến hành theo vùng vĩ độ khác nhau trong hình 8. Chúng ta thấy rằng, giá trị hmF2 thu nhận từ Ionosonde tại các vùng vĩ độ cao và trung bình cao hơn hẳn F3/C. Tuy nhiên, trong vùng xích đạo và vĩ độ thấp, xu hướng này dường như có sự thay đổi, hơn nữa các kết quả về hmF2 ở các vùng này có rất nhiều hạn chế. Sự thiếu hụt và chuẩn hóa dữ liệu hmF2 tại các trạm quan trắc là một vấn đề đặt ra cho các khu vực vĩ độ thấp này.



Hình 8. So sánh hmF2 theo khu vực giữa số liệu Ionosonde và F3/C

4. Kết luận

Tham số NmF2 thu nhận từ vệ tinh F3/C và điện ly thăm dò thẳng đứng khá phù hợp ở các vùng vĩ độ với mức chênh lệch khoảng 5%. Điều này chứng tỏ rằng ta có thể sử dụng số liệu từ hai phương pháp này để thay thế bổ sung cho nhau. Ở một số vùng, một vài giá trị NmF2 của Ionosonde cần được thẩm định lại, nguyên nhân có thể do quá trình xử lý dữ liệu ở các trạm thăm dò thẳng đứng ở một số nơi chưa đồng bộ. Vào ban đêm, giá trị NmF2 thu nhận từ F3/C trong vùng vĩ độ cao thường thấp hơn thu nhận từ Ionosonde.

Trong các so sánh ta thấy rằng mức độ chênh lệch dữ liệu trong các vùng xích đạo và vĩ độ thấp thường cao hơn các vùng khác. Có thể một vài quá trình vật lý phức tạp trong các vùng vĩ độ này tạo nên sự chênh lệch lớn giữa hai phương pháp.

Kết quả hmF2 thu nhận từ Ionosonde luôn cao hơn F3/C từ 5% đến 20%. Từ thực nghiệm ta thấy rằng, độ cao của vùng điện tử cực đại đo được từ hai phương pháp là chưa phù hợp mà cần thêm vào một hệ số bù trừ cho các tính toán sau này. Ở vùng vĩ độ thấp và vùng xích đạo có sự thiếu hụt lớn giá trị hmF2 từ Ionosonde. Các dữ liệu quan trắc thăm dò thẳng đứng ở các khu vực này còn nhiều nghi vấn và cần được nghiên cứu sâu và tỉ mỉ như các

vùng vĩ độ cao khác. Trong tương lai gần, tác giả mong muốn sẽ củng cố dữ liệu và so sánh số liệu F3/C này với số liệu điện ly thăm dò thẳng đứng ở một vài trạm quan trắc tại vùng xích đạo từ Việt Nam.

TÀI LIỆU DẪN

- [1] Carlo Scotto, 2009: Electron density profile calculation technique for Autoscala ionogram analysis, *Advances in Space Research* Vol. 44, 756-766.
- [2] E.R. Kursinski, G.A. Hajj, S.S. Leroy, and B. Herman, 2000: The GPS Radio Occultation Technique, *Terr. Atmos. Ocean. Sci.* Vol.11, 53-114.
- [3] G.A. Hajj and L.J. Romans, 1998: Ionospheric electron density profiles obtained by the Global positioning System: Result from the GPS/MET experiment, *Radio Science*, Vol.33, Number 1, 175-190.
- [4] K.F. Yang, Y.H.Chu, C.L.Su, H.T.Ko, and C.Y.Wang, 2009: An examination of FORMOSAT-3/COSMIC F peak and topside electron density measurements: data quality criteria and comparisons with the IRI model, *Terr. Atmos. Oceanic. Sci.* 20, 193-206.

[5] *Y.H. Chu, C.L. Su, H.T. Ko*, 2009: A Global Survey of COSMIC Ionospheric Peak electronDensity and Its height: A Comparison with Ground-based Ionosonde Measurements, *Advances in Space Research*, Vol.46, Issue 4, 431-439.

[6] *J. Lei, S. Syndergaard, A.G. Burns, S.C.*

Solomon, W. Wang, Z. Zeng, R.G. Roble, Q. Wu, Y.H. Kou, J.M. Holt, S.R. Zhang, D.L. Hysell, F.S. Rodrigues, S. Fabiano and C.H. Lin, 2007: Comparison of COSMIC ionospheric measurements with ground-based observations and model predictions: Preliminary results, *Journal of Geophysical Research*, Vol. 112, Issue A7.

SUMMARY

Global Comparisons of NmF2 and hmF2 parameters between Ionosondes and Formosat-3/COSMIC satellites

Formosat-3/COSMIC (F3/C) satellites were launched successfully in April 2006. The availability of F3/C GPS RO then have available for many researches. In this study, 3-year data of F3/C and global ionosonde stations were compared and analyzed. The F3/C electron density profiles were first preprocessed by data quality control schemes to ensure the good data for further comparisons. The F2 layer parameters observed by ionosonde experiments were then collected at the same time and collocated with the F3/C measurements to find out the differences between them.

This work primarily focuses on the latitudinal differences between those two techniques. In the global comparison, four regions were separated including $\pm 10^{\circ}$ (equatorial region); $\pm 10^{\circ}$ to $\pm 30^{\circ}$ (near EIA crest regions); $\pm 30^{\circ}$ to $\pm 50^{\circ}$ (mid latitude regions); $\pm 50^{\circ}$ to $\pm 90^{\circ}$ (high latitude regions) in geomagnetic latitude degrees. Two parameters NmF2 and hmF2 of electron density profiles were compared and validated.

Our results showed that NmF2 retrieved by F3/C and Ionosonde are in good agreement in general. The deviation was about 5%. In some regions, the correlation between two techniques is low since some unusual data retrieved from Ionosonde exist. On the other hand, the uncertainty of NmF2 in the southern hemisphere was better than the conjugate regions in the northern hemisphere. As per as the hmF2 is concerned, the values determined from Ionosonde were higher than F3/C, especially in mid and high latitudes. The lack of hmF2 data in low-latitude and equatorial regions was a problem in this comparison.