

경사궤도상의 통신위성 운용 개선 연구

김 광 영
(한국통신 국제망운용국)

■ 차 례 ■	
I. 서 론	III. 경사궤도 운용 필요성과 문제점 대책
II. 경사궤도	IV. 결 론

요 약

정지궤도(Geo-Stationary Orbit)상의 통신위성의 정상운용 말미에 경제적 이유 또는 차세대 위성 발사지연등 기술적 사유로 설계수명을 지난후 경사궤도(Inclined Orbit)상의 위성의 비정상운용을 개선하기 위하여 경사궤도의 개념, 도플러효과에 따른 지구국 설비 대책및 INTELSAT 위성궤도 장기 운용계획등을 조사 고찰한 것이다. 특히 경사궤도가 미치는 영향은 주파수, 안테나크기, 지구국 위도, 위성과 지구국과의 경도간격, 서비스의 디지털과 애너로그등 다양한 요소를 수식화했다.

I. 서 론

최근 INTELSAT(국제통신위성기구)은 국제해저통신광케이블과의 경제 측면에서 경쟁이 치열하면서 기 발사된 통신위성을 최대한으로 운용수명을 연장한다는 차원에서 정지궤도를 조금씩 이탈하는 경사궤도(INCLINED ORBITS) 운용을 과감히 수행하고 있다. 물론 이러한 운용기술은 기존 지구국의 안테나 추적능력을 고려하여 년중 기울기의 상한 각도를 설정하여 전송상의 품질을 보장해야 하므로 운용자는 특별한 관심과 노력으로 극복해 나가야 할 것이다.

우리나라에도 한국통신의 십수개의 INTELSAT 표준지구국 운용과 데이콤의 몇개 안테나가 당면하고 있다. 따라서 본고에서는 외국의 성공사례와 인텔셋의 장기 표준계획 정보를 소개하여 운용의 묘를 기하

는데 큰 도움이 될 것으로 사료되어 논하고져 한다. 표준A급의 대형안테나는 대개가 Tracking System을 구비하여 경사궤도 운용에도 큰 무리는 없다고 보지만 특히 KU밴드등 소형안테나로 Digital서비스를 담당할 지구국은 Clock동기문제로 Terrestrial Network와의 Buffer는 용량을 증대시켜 개선토록 보완되어야 한다. Tracking을 Auto로 못하고 Manual 방식으로 수시로 수동 추적하는 VSAT등 소형지구국은 치명적으로 문제가 대두된다. 안테나 모델 종류와 위치(지구국 Site)에 따라 운용마진 범위가 달라질 것이고 이를 다소 완화하는 방편으로 값싼 Single-Axis Tracking 기능이라도 첨가하는 것이다. INTELSAT 소형지구국 표준크기는 D1(VISTA용), E1(IBS용), F1(IBS용)및 표준G(국제임대용), 표준Z(국내임대용)의 안테나 모델로서 직경은 약 4-6m 범위이다.

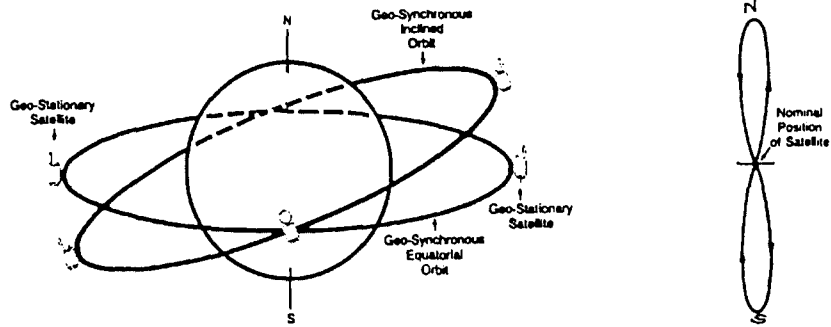


그림 1. 정지궤도와 동기경사궤도

II. 경사궤도

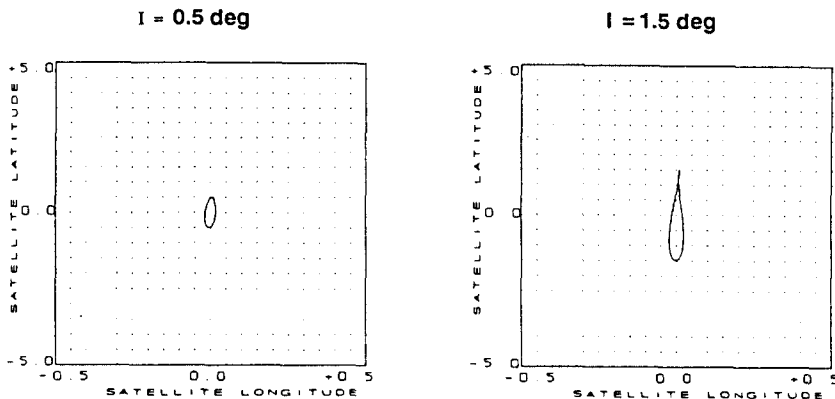
Inclined Orbit(경사궤도)란 무엇인가?

우선 인공위성의 각종 궤도를 살펴보면 위성의 임무(정보, 기상관측, 우주실험, 방송, 통신등)에 따라 저궤도(LEO), 중궤도(MEO), 고궤도(GEO)로 대별되는데 특히 고궤도에서는 지구적도면상에서 지구자전주기와 동일한 원형궤도인 소위 정지궤도(Geostationary) Orbit와 적도면과 기울기를 유지한 일반 동기궤도(Geosynchronous Orbit)로 세분된다. 24시간 지속적인 방송이나 통신서비스는 주로 정지궤도(滯止궤도)를 이용하고 있다. 지구상 관측자가 위성을 24시간 Line of Sight로 될수 있는 위치는 적도상공에서 35,790km고도이다. 그러나 정지궤도상에 일단 진입한 위성은 달과 해와 같은 상호인력으로, 또는 태양풍(Radiation force from sunlight)등으로 궤도이탈요인

이 수시 침투하므로 주기적인 교정조치가 뒤따라야 한다. 물론 섭동은 동서 또는 남북으로 표류하므로 위성제자리지키기(Satellite Stationkeeping)는 위성자체가 지닌 추진연료분사로 작용-반작용의 뉴턴 제3법칙으로 Re-positioning이 시도될 수 있다. 연료소모는 위성의 경제속도때 가장 절약할 수 있게 성취되는데 어떨든 위성설계수명을 단축시키게 된다.

INTELSAT-V호 위성계열은 7년 설계 수명으로 동서남북으로 $\pm 0.1^\circ$ 의 KEEPING BOX를 유지했고 VI호 계열은 13년 운영가능한 동서남북 BOX는 더 좁은 $\pm 0.05^\circ$ 로 엄격한 통제가 요구되고 있다.

여기서 동-서 이동보다 남-북이동을 교정하는데 소모되는 추진연료가 거의 90%차지한다. 그 이유는 후자이동시 보다 신속한 동작이 요구되기 때문이다. 날개형위성(무궁화호 위성등)의 양 Sola Cell 판넬은 각각 적도면에서 남북을 오리엔트한 채 선회하는 것



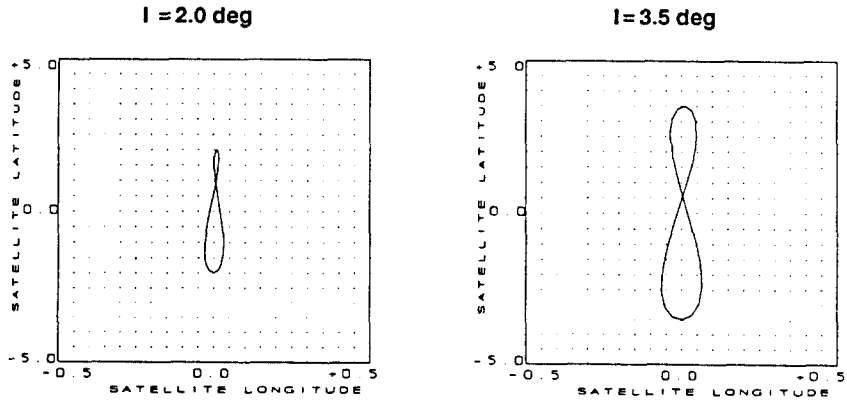


그림 2. 경사궤도에 따른 위성통로 관측도

이 정상자세이다.

달과 태양의 인력으로 GEO의 위성도 일년에 0.85° (평균치)의 남-북운동이 매년 증가하므로 7년-10년 이후 추진연료가 없으면 정상위성 임무가 종료되는 설계수명에 임하는 것이다.

위성은 매일 8자운동(Eight-Motion)을 하는데 그림1에서와 같이 적도면과 기울어지는 각도 크기에 따라 8자의 높이가 신장된다. 기울기가 좁으면 좁은 타원을 그리므로 I자운동 (Eye-Motion)만 추적하면 된다.

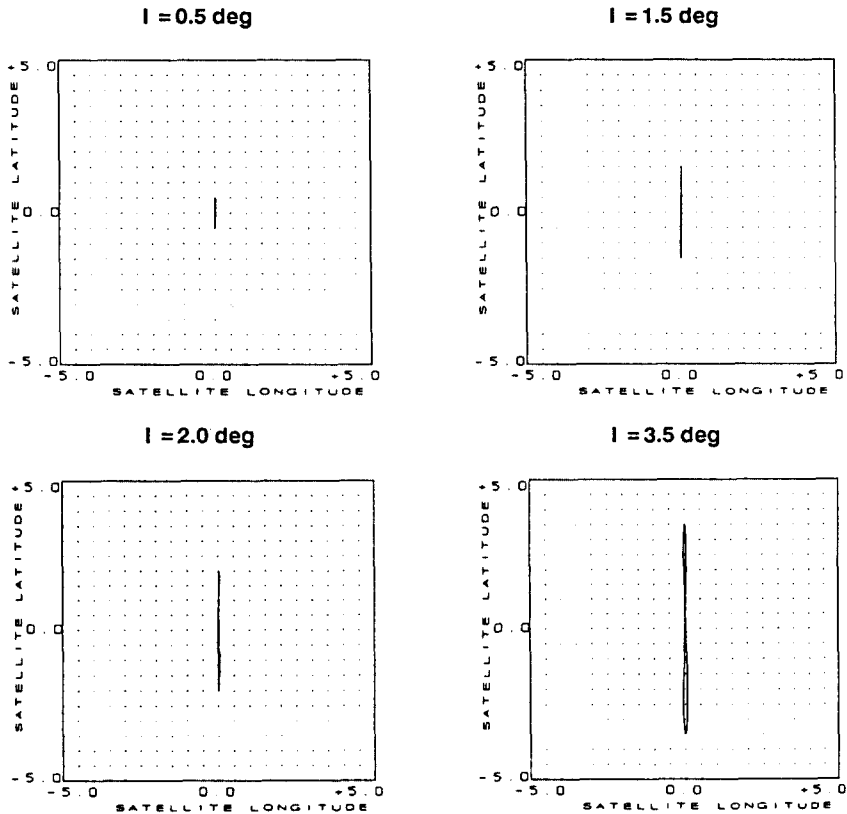


그림 3. 경사도에 따른 위성통로 관측도(가로, 세로 동단위)

그림2와 그림3은 수평축 눈금이 0.5와 5로 크기가 다른 점을 눈여겨 보아야 한다. 그림2의 8자운동은 그림3에서는 1자운동처럼 보여지고 있다. 동-서이동은 8자운동의 수평축(경도) 폭을 의미한다.

그림3은 가로 세로 동일 눈금으로 한 경우 1자운동으로 보이듯이 동서조정 연료1년분은 남북조정의 연료 1개월분에 맞먹는다. 따라서 설계수명이 종료되는 시점에서 수개월 이전에 N-S Stationkeeping 연료 소모를 중단시키는 사례가 허다한 것이다. 이와같이 연료를 절약해 두면 경사궤도 운용시 수시로 E-W Stationkeeping을 통제 조절할 수 있게 된다. 이런 결과는 해당위성을 설계수명으로 수년간 더 연장 운용할 수 있게 되는 것이다.

그림4는 E-W를 0.1° 이내로 유지하는 INTELSAT 표준운용지침이 있으나 8자운동은 매일(24시간) 제 자리에 올 수 없으므로 7일(일주 주기) 경과후 많은 경도가 어긋난 그림을 보이고 있다. 거울기가 3°-4° 정도 넘어가면 규정치 Station Box를 넘쳐 0.1° 를 유

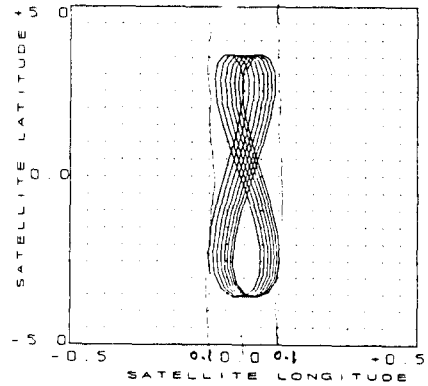


그림 4. 일주일간의 8자운동 행적도

지할 수 없다. 따라서 매주 원격 통제가 요구된다.

실제로 Eight-Motion의 크기나 방향의 오리엔테이션은 각 지구국에서 해당 위성을 보는 방위각과 양각에 따라 그림5와 같이 예시할 수 있다.

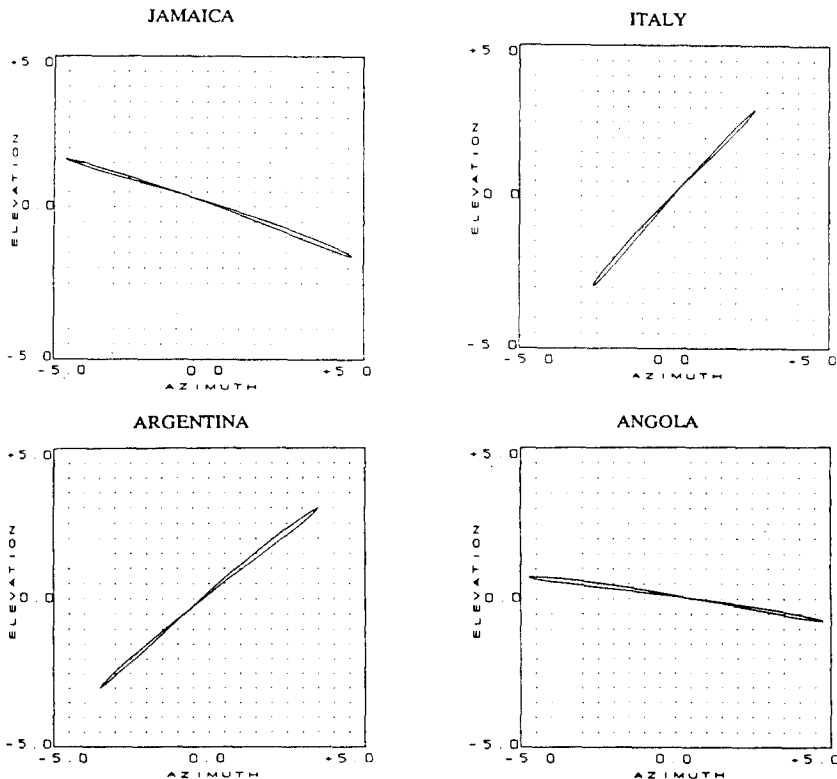


그림 5. 대서양위성(브라질북단 상공위치)에서 각 지구국을 24시간 내려보는 빔 패턴

Ⅲ. 경사궤도 운용 필요성과 문제점 대책

1. 필요성

모두에서 언급된 바 같이 경사운용은 경제적 이유로 의도적으로 시행하고 있으나 기술측면에서도 요구된다. 즉 우주왕복선이나 아리안로켓들은 과거 경력을 보아 알겠지만 계획대로 발사가 보장받을 수 없다. 따라서 새로운 위성진입의 지연으로 연장 사용케되며 또 해저케이블 고장수리기간, 또는 특수목적으로 장기간 위성을 전용하는 서비스를 위하여 연장될 수밖에 없는 경우도 있다.

2. 경사궤도 INTELSAT 현황

대서양, 인도양, 태평양, 상공의 V호 계열들 중 F-4(3도), F-5(5도), F-1(4도)등 8개가 각각 운영되고 있다.(1992년 현재)

그림6에서와 같이 V호 위성들은 1988년부터 경사궤도에 진입된 것도 있고 태평양(180° 동경)의 V호 F-8 위성의 경우 91년부터 경사하기 시작하고 있는데 매년 경사가 누증되는 것을 새로측(기울기 각도) 눈금을 보면 곧 읽을 수 있다. 새로 위성이 발사되면 기울기는 O(Zero)도가 되는 위성으로 신규 교체가 이루어진다.

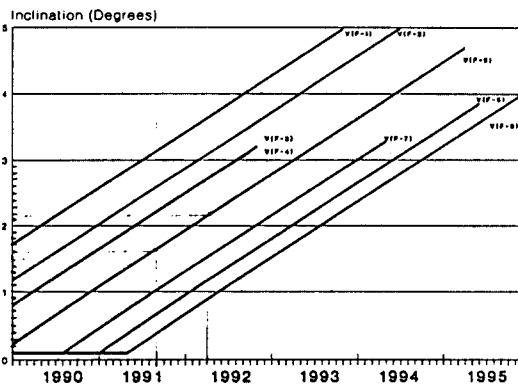


그림 6. 인텔셋V호 계열위성의 경사궤도 년차별 운용계획

3. 경사궤도 위성 사용자 문제점과 대책

지구국 위치와 경사각도 크기에 따라 위성발사 Beam Coverage는 변하게 마련이다. 환언하면 커버구역은 상대적으로 불리하게 제한되므로 특히 Ku-Band 주파수운용 안테나 문제가 야기된다.

평시 양각이 낮은 안테나는 지구국 양각제한점인

5°(C-Band)와 10°(Ku-Band)이하로 까지 8자운동크기에 따라 내려가 Sky-Line 이하로 또는 Line of Sight를 잃게 된다. 물론 통신서비스는 두절된다.

4. E.I.R.P 안정도

8자운행의 위성위치와 지구국 안테나 주엽(main-lobe)축방향과 어긋날 때 pointing error 발생으로 안테나 gain이 떨어진다. 또 한편으로는 주파수재사용 일환으로 사용하는 Dual polarization(이중편파)의 Isolation(격리도)가 떨어져 반대편파를 보내는 Co-Channel 트랜스폰더등이 간섭을 받아 품질이 저하된다. 위성지구국 안테나 mainlobe의 빔폭(3dB 지점)의 크기는 안테나크기와 운용주파수 크기와 반비례하여 좁아진다. 다시 쉽게 말한다면 같은 크기 안테나라면 운용주파수가 클수록 빔폭은 좁게 지향성이 증가된다. 따라서 표준 A, B와 같이 큰 안테나는 반드시 Tracking시스템을 갖추고 있어 GEO 위성운용시 pointing error 때문에 편파 분리도가 저하되거나 지향이특에 지장을 초래하지는 않고 있다. 그러나 작은 안테나 추적시스템이 있어야 하는데 다음 조건을 감안해야 한다.

- 위성의 궤도 경사 각도
- 안테나의 크기
- 운용주파수
- 지구국 지리적 위치

다음은 안테나 지향오차로 손실되는 이득 예측 방정식이다. (3dB 미만)

$$\text{Gain Loss(dB)} = 27.21 \times 10^{-3} \cdot f^2 \cdot D^2 \cdot r^2 \quad (1)$$

- 단: f : 운용주파수 (GHz)
- D : 안테나 직경 (meter)
- r : 오차지향 (Degree)

Mis-pointing angle 계산 방정식은 아래와 같다.

$$r^2 = (Ela - Els)^2 + [(ha - hs) \text{Cos}(Ela)]^2 \quad (2)$$

- 단: ha : 안테나 방위각
 - hs : 지구국에서 본 실제위성위치에 대한 방위각
 - Ela : 안테나 양각
 - Els : 지구국에서 본 실제위성위치에 대한 양각
- 별해 Mis-pointing angle 계산은 아래 식3과 같다.

$$r^2 = (S/R)^2 \theta^2 \quad (3)$$

- 단: S : 빗변(Slant range)
- R : 궤도반경(Orbit radius)
- θ_1 : 위성경사 크기(Radian)
- S/R : 1.0-1.2 사이값

(식1)과 (식3)으로부터 개략식을 유도할 수 있다.

$$\cdot \text{Gain Loss (dB)} < 0.038 f^2 D^2 \theta_1^2 \quad (4)$$

Gain은 송신과 수신 주파수(Band frequency)가 다르므로 별도 계산을 해야 하며 특히 C-Band와 무궁화호 위성 같은 Ku-Band 경우 또 다르므로 C-Band와 Ku-Band에 대한 경사 각에 따른 안테나 이득손실 계산조건표를 작성하였다. 이 표는 E-W제한이 ± 0.1 도내에 있다는 조건이며 안테나주엽에서 반치폭(3dB BW)을 넘는 안테나 이득손실은 해당이 않된다.

표1과 2에서 비교해서 알듯이 VSAT과 같이 직경이 작아 주엽이 반치폭(Beamwidth 3dB)이 넓은 이유로 오히려 경사궤도에 따른 안테나 이득손실은 표준 A,B형에 대하여 반대로 큰 영향이 없다는 것을 주목할 수 있다. 표3은 각종 표준지구궤 안테나 크기별로 EIRP(송신출력) 안정도 유지범위를 예시한 것이다.

표 1. 경사각에 따른 고정안테나 C-Band의 안테나 손실

Antenna Diameter (m)	ANTENNA GAIN LOSS AT C-BAND (dB)					
	Orbit Inclination (deg)					
	0.1	0.25	0.5	1.0	1.5	2.0
1.0	0.01 0.01	0.04 0.09	0.15 0.34	0.61 1.37	1.37 3.08	2.43 *
1.2	0.01 0.02	0.06 0.12	0.22 0.49	0.88 1.97	1.97 *	* *
1.4	0.01 0.03	0.07 0.17	0.30 0.67	1.19 2.68	2.68 *	* *
1.8	0.02 0.04	0.12 0.28	0.49 1.11	1.97 *	* *	* *
2.5	0.04 0.09	0.24 0.53	0.95 2.14	* *	* *	* *
3.5	0.07 0.17	0.47 1.05	1.86 *	* *	* *	* *
4.5	0.12 0.28	0.77 1.73	3.08 *	* *	* *	* *
6.0	0.22 0.49	1.37 3.08	* *	* *	* *	* *
7.0	0.30 0.67	1.86 *	* *	* *	* *	* *
8.0	0.39 0.88	2.43 *	* *	* *	* *	* *
9.0	0.49 1.11	* *	* *	* *	* *	* *
10.0	0.61 1.37	* *	* *	* *	* *	* *

* : 안테나 이득 손실이 3dB이상일 때임.

은: E-W station keeping은 ± 0.1 도보 간주함.

표준C안테나 13m 경우 0.024° 위성추적오차발생으로 0.5dB 이득손실을 초래하는 반면 표준G의 VSAT 1.8m 경우는 수신이득이 안테나 최대오차 0.34°에서 1.5dB 손실이 생기게 된다.

표 2. 경사각에 따른 고정안테나 Ku-Band의 안테나 손실

Antenna Diameter (m)	ANTENNA GAIN LOSS AT K-BAND (dB)		
	Orbit Inclination (deg)		
	0.1	0.25	0.5
1.0	0.05 0.07	0.29 0.47	1.15 1.86
1.2	0.07 0.11	0.41 0.67	1.66 2.68
1.4	0.09 0.15	0.56 0.91	2.25 *
1.8	0.15 0.24	0.93 1.51	* *
2.5	0.29 0.47	1.80 2.91	* *
3.5	0.56 0.91	* *	* *
4.5	0.93 1.51	* *	* *
5.5	1.39 2.25	* *	* *
7.0	2.25 *	* *	* *
8.0	2.94 *	* *	* *
9.0	* *	* *	* *
10.0	* *	* *	* *

표 3. 표준지구궤 안테나별 송수신 레벨 안정도 비교표

Standard	Nominal Diameter (meters)	Stability Requirement (dB)	Maximum Tracking Error (degrees)
C	13	0.5	.024
E3	8.0	0.5	.039
A	17	0.5	.042
B (D2)	11	0.5	.065
F3	9.0	0.5	.079
E2	5.5	1.5	.096
E1	3.5	1.5	.15
F2	7.0	1.5	.176
G K-Band RO	3.0	1.5	.22
F1 (D1)	5.0	1.5	.25
G K-Band RO	1.8	1.5	.34
G C-Band RO	4.5	1.5	.41

Note: RO = Receive Only

표 4. 추적장치가 없는 각종 안테나와 Single Axis 추적 가능한 안테나와의 비교 손실표

Worst Case Tracking Error
(All Values in degrees Valus greater than 3 dB not tabulated)

Inclination Angle	Tracking Error No Tracking	Tracking Error Single Axis tracking
0.1	0.12	0.05
0.2	0.23	0.05
0.3	0.35	0.06
0.4	0.47	0.06
0.5	0.58	0.06
0.6	0.70	0.06
0.7	0.82	0.06
0.8	0.93	0.06
0.9	1.05	0.06
1.0	1.17	0.07
1.1	1.28	0.07
1.2	1.40	0.07
1.3	1.52	0.08
1.4	1.63	0.08
1.5	1.75	0.08
1.6	1.87	0.09
1.7	1.98	0.09
1.8	2.10	0.10
1.9	2.22	0.10
2.0	2.33	0.11
2.1	2.45	0.11
2.2	2.57	0.12
2.3	2.68	0.12
2.4	2.80	0.13
2.5	2.92	0.13
2.6		0.14
2.7		0.15 Limit for E1
2.8		0.15
2.9		0.16
3.0		0.17 Limit for F2
3.1		0.18
3.2		0.19
3.3		0.19
3.4		0.20
3.5		0.21
3.6		0.22 Limit for 3.0m RO (K-Band)
3.7		0.23
3.8		0.24
3.9		0.25 Limit for F1 and D1 (C-Band)
4.0		0.26
4.1		0.27
4.2		0.28
4.3		0.29
4.4		0.30
4.5		0.31
4.6		0.33
4.7		0.34 Limit for 1.8m RO (K-Band)
4.8		0.35
4.9		0.36
5.0		0.38
5.1		0.39
5.2		0.40
5.3		0.42 Limit for 4.5m RO (C-Band)
5.4		0.43
5.5		0.44
5.6		0.46
5.7		0.47
5.8		0.49
5.9		0.50
6.0		0.52

Note: RO = Receive Only

5. 편파격리도

E.I.R.P 안정도 이외에 고려사항으로서 Polarization Isolation이다. 이중편파에서 CW와 CCW를 분리 수신하려면 안테나혼에 입출되는 전계는 단축과 장축간의 Voltage Axial Ratio가 1.0에 근접될수록 판독이 뚜렷하나 경사위성과 고정안테나 각도차로 front wave (과두)가 타원형으로 찌그러들면서 RHCP와 LHCP의 상호 Leakage로 간섭잡음화된다. 따라서 EIRP 안정정보보다 더 중요시되는 사항이므로 운용자는 공장에서 In-Plant feed test 값이나 안테나 인수시험 성적서보다 열화되지 않도록 유념 운영해야한다.

6. 도플러 효과

고정지구국과 동기된 경사궤도를 운행하는 위성과의 상대적인 속도가 8자운동중 원지점과 근지점 통과시 지구관측자는 상대적으로 위성속도가 다르게 되므로 주파수편이가 발생된다. 위성경사는 최대치가 5° 이므로 최악의 경우 Doppler Shift량을 구하는 방정식은 (식5)와 같다. 주로 지구국 위도가 높거나(North) 낮거나(South) 할 때 영향이 크다.

$$\Delta f(\max) \approx 3.334 f_o \left[1.86 + \frac{846 \sin L \sin \theta_i}{(3.381 - \cos L \cos \Delta L)1/2} \right] \text{ Hz} \quad (5)$$

단 :

f_o = 송신주파수(GHz)

L = 지구국위도(Degree)

ΔL = 위성 - 지구국 경도차이

θ_i = 위성경사각(Degree)

만약 $\Delta L = 0$ 이거나 무시될 정도라면

$$\Delta f(\max) = 1830 f_o \sin L \sin \theta_i$$

Ku-Band 주파수 운용시 도플러효과와 과급이 더 클 것이다. 그러나 기율기 궤도가 5°로 최악의 경우라도 Doppler shift 주파수는 2KHz 미만이다. 14GHz 대신 11GHz down-link 경우 더 작게 영향을 받는다.

7. 디지털 IDR과 IBS 서비스 대책

최근 각광을 받고 있는 위성 디지털통신인 음성급 IDR과 부호급의 IBS케리어는 경사위성 사용시 지구국과 위성간의 순간순간의 거리가 변함에 따라 결국 시간의 지연이 발생된다. 특히 IDR과 IBS가 지상통신망과의 동기가 어긋나기 때문에 접속개소에서 Doppler Buffer 용량이 증대되어야 한다. INTELSAT 표준규격서에 의하면 경사궤도가 2° 기율기로 편향될 때

동기를 일치시키는데 Buffer size는 6.9ms에서 13.5ms로 늘려야 한다. 디지털 신호가 포화가 되거나 빈 상태가 될 경우 Buffer는 자신이 Reset되어 소위 Slip이 되는 동안 Mux장비에 최소한으로 영향을 줄이기 위하여, Primary Stream의 multiframe period의 정수배가 되도록 Buffer size를 설계 변경하는 것이다.

예를들어 2.048Mbps(E1 하이러키)스트림 경우 2ms의 multiframe period를 갖는다. 그러나 지상통신망이 동기디지털망이 아닐 경우 버퍼는 필요없다. 이런 경우는 디지털-아날로그 변환이 지구국에 있는 T-Mux(Transmultiplex)로 수행되기 때문이다. 송신 Timing은 PCM 채널뱅크, T-Mux, 디지털단말기등으로부터 생성된다. 그리고 수신 Timing은 Demodulator의 수신된 Clock로부터 발생될 수 있다.

8. IBS, IDR 케리어 주파수 Doppler

지구국 위도와 위성경사궤도 크기에 따라 케리어는 증감되는 도플러 영향을 실제 경험한다. 일반적인 경우를 그림7에서 살펴보자.

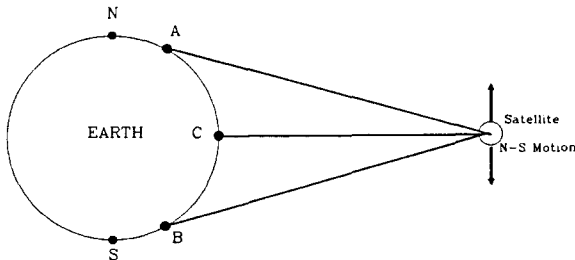


그림 7. 위성의 Eight-Motion과 지구국 ABC 케리어 관계

위성의 N-S motion으로 북으로 편향할 때 지구국A는 Frequency Source가 가까워지므로 주파수가 증가된다. 반대로 지구국B는 멀어지면서 감소된다. 지구국 C는 적도상에 있다고 할 때 변동이 없다.

3개 지구국간에는 9가지 경우의 송수신 사례가 일어난다. 인접 케리어일때 FDMA의 인접채널간섭을 Doppler Shift 영향 때문에 생길 것인가 질문할 때 생각해 보자. Down-link 도플러 영향은 모든 케리어를 한 지구국에서 동시 수신 운용할 때 공동으로 받기 때문에 up-link 경우만 검토하게 될 것이다. 표5에서 보듯이 최악의 경우 up-link Doppler effect는 $+\Delta f_u - (-\Delta f_u) = 2\Delta f_u$ 가 된다. A가 증가때 B는 감소

(-)되므로 그 영향을 끼치는가 라는 질문을 생각할 때, Down-Converter / Demodulator의 AFC회로에 크게 좌우된다고 본다.

좋은 AFC기능은 실제 도플러편이를 줄일수 있다. QPSK 신호경우 Carrier recovery loop는 $\pm 15\text{KHz}$ 까지 주파수 불안정범위를 추적할 수 있으며 Modem 설계에 따라 그 이상도 추적이 가능하다. Pre-demodulation bandpass filter가 주파수편이 폭을 충분히 커버할 수 있는 광대역 여파기 경우 문제가 없다. 표7에서와 같이 송신 수신 종합의 Doppler 영향은 $(\Delta f_u + \Delta f_d)$ 를 더하거나 $(\Delta f_u + \Delta f_d)$ 를 빼주는 격이 되므로 Ku-Band 경우 $2\text{KHz} + 2\text{KHz} = 4\text{KHz}$ 가 최악의 Shift 주파수이다.

결론으로 말한다면 Doppler Shift는 경사궤도 최고 5°에서도 IBS, IDR 또는 SCPC의 Digital 서비스는 큰 문제가 없다고 본다.

표 5. 북향 표류위성과 통신하는 지구국에 대한 도플러 영향

Connection	Uplink Doppler	Downlink Doppler	Total Doppler
A to A	$+\Delta f_u$	$+\Delta f_d$	$+\Delta f_u + \Delta f_d$
A to B	$+\Delta f_u$	$-\Delta f_d$	$+\Delta f_u - \Delta f_d$
A to C	$+\Delta f_u$	≈ 0	$+\Delta f_u$
B to A	$-\Delta f_u$	$+\Delta f_d$	$-\Delta f_u + \Delta f_d$
B to B	$-\Delta f_u$	$-\Delta f_d$	$-\Delta f_u - \Delta f_d$
B to C	$-\Delta f_u$	≈ 0	$-\Delta f_u$
C to A	≈ 0	$+\Delta f_d$	$+\Delta f_d$
C to B	≈ 0	$-\Delta f_d$	$-\Delta f_d$
C to C	≈ 0	≈ 0	≈ 0

아래 그림은 경사궤도에서 지구를 볼때 위도와 경도가 서로 다른 지구국의 안테나는 위성추적범위가 각각 다르게 나타나 있다. 이 그림은 24시간을 일주기로 그린 것이다. 결국 위도가 적도에서 상승되거나 하강되면서 위성의 Beam Center 초점변동구역이 넓어지고 있으므로 추적장치가 없는 고정 위성국 안테나는 수신이득을 떨어지는 결과로 불리게 된다.

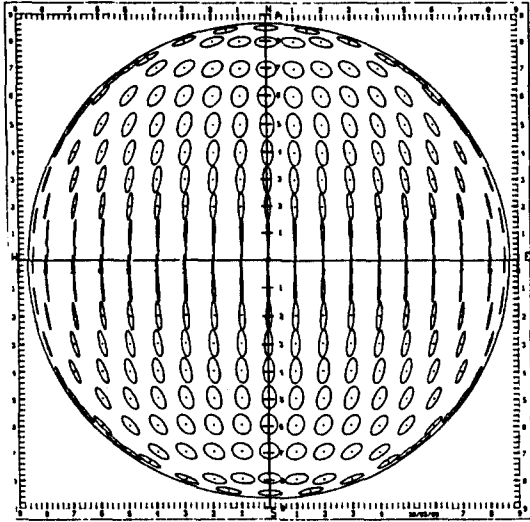


그림 8. 인텔셋 위성 3도 경사시 지구국 초점범위 변화도

표 6. INTELSAT 5호 위성 경사운용 현황

(단, 1도 분해)

호 위성	궤도위차	경사각도	입력수평(출)	기	단
512	307° (AOR)	0.00	54		
508	310° (AOR)	1.04	114	*	
504	319° (AOR)	3.23	158	*	
503	325° (AOR)	0.20	32		
501	332° (AOR)	0.02	13		
505	335° (AOR)	0.04	14		
호	338.46° (AOR)	0.02	4		
502	338.69° (AOR)	3.00	142	*	
515	341° (AOR)	0.08	46		
512	359° (AOR)	0.07	85		
507	57° (AOR)	2.04	127	*	
504	60° (AOR)	0.04	39		
502	63° (AOR)	0.04	37		
505	64° (AOR)	2.08	121	*	
510	173° (AOR)	0.29	91	*	
511	177° (AOR)	0.02	38	*	
508	180° (AOR)	1.34	104	*	
503	183° (AOR)	3.23	120	*	
501 호	184° (POR/10R)	4.16	137	*	

* 경사궤도 운용
 # 91.5° 로 이용됨 (0.5° / 4.0°)
 ★ '93조 경사궤도 운용예정

IV. 결 론

경사궤도를 선회하는 통신위성을 경유하는 지구국의 각종 서비스는 본문에서 언급한 바 같이 지구국의 위치 특히 위도에 따라 영향의 대소가 결정된다. 우리 한반도는 인텔셋 운용국가중 중간정도의 영향을 받고 있는 셈이다. 다시 우리나라만 기준한다면 인도양 쪽 위성을 운용하는 지구국의 안테나 양각이 상대적으로 낮아 영향이 더 크다. 안테나가 클수록, 사용주파수가 클수록(C-Band < Ku-Band) EIRP Stability 영향이 크며 Dual Polarization의 Voltage Axis Ratio가 더 나빠질 수 있다. 서비스 측면에서 IDR, IBS, SCPC, VISTA 경우 국내 통신망과의 동기신호연결 운용경우 Doppler Buffer size를 늘려야 한다. TDMA 표준동기신호를 송출하는 reference stations의 장소에 따라 위성간 peak-to-peak range의 variation으로 time delay가 문제되므로 658Km이상의 Path는 문제가 될 수 있다. 한편 아나로그의 FDM과 TV 경우는 Doppler frequency Shift나 transmission time variation은 무시되어도 좋다.

안테나구경이 작은 VSAT의 Beam Bandwidth는 원래 넓어서 경사궤도위성과 정상궤도위성과의 큰 차이는 없다고 본다. 이것은 INTELSAT가 권고하는 3° 또는 최악의 경우 4° 경사각 이내에서 본 것이다. 결국 대형안테나가 소형안테나보다 영향은 주파수편이 편파분리도 불량, 송신출력안정도 불량, 추적구동법 위확대등 경사궤도 운용시 영향은 더욱 예민하다는 것과 Analog보다 Digital 서비스운용 경우가 Modem을 개선해야 한다는 결론이다.

참 고 문 헌

1. INCLINED ORBIT SATELLITE OPERATION IN-TELSAT 1990.
2. Design of Geosynchronous Spacecraft Brij.N.Agrawal 1986.
3. Communication Satellite Handbook Walter L.Morgan 1989.

김 광 영

- 1938년 11월 27일생
- 1966년 : 한양대학교 공과대학 학사
- 1986년 : INTELSAT 본부 근무('84~86)
- 1989년 : 한양대학교 산업대학원 석사
- 1990년 : 금산위성지구국 국장
- 1991년 : 위성사업단 위성기술국 국장
- 1993년 ~ 현재 : 한국통신 국제망운용국 국장