

## 천리안위성 기상탐재체의 스캔미러 방사율 보정

서석배\*, 진경욱\*\*, 안상일\*\*\*

## Scan Mirror Emissivity Compensation for the COMS MI

Seok-Bae SEO\*, Kyoung-Wook JIN\*\*, and Sang-Il AHN\*\*\*

## Abstract

COMS (Communication Ocean and Meteorological Satellite), the Korea's first geostationary Earth observation satellite, started to operate 24 hours to observe Land/Ocean/Atmosphere with the MI (Meteorological Imager) and GOCI (Geostationary Ocean Color Imager). After the successful completion of the IOT (In-Orbit Test), the satellite is in normal operation from April of 2011. This paper describes an algorithm for scan mirror emissivity compensation of the COMS MI and its software implementation.

## 초 록

천리안위성은 대한민국 최초의 정지궤도 지구관측위성으로써 기상탐재체와 해양탐재체를 이용하여 24시간 지구관측 임무를 수행한다. 위성은 궤도상 시험을 성공적으로 완료하고 2011년 4월부터 정상운영 중이다. 본 논문에서는 천리안위성 기상탐재체의 스캔미러 방사율 보정 알고리즘 및 이의 소프트웨어 구현에 대해서 설명한다.

키워드 : 천리안위성, 통신해양기상위성 (COMS), 기상탐재체(MI), 스캔미러(Scan Mirror), 방사율 보정 (Emissivity Compensation)

## 1. 서 론

천리안위성의 기상탐재체(COMS MI, 이하 MI)는 NOAA의 GOES N-Q, JMA의 MTSAT-2 등에 장착되었으며 5개의 기상관측 밴드를 가진 탐재체이다. MI의 주요 활용분야는 기상예보, 주·야간의 지표/해상/구름에 대한 영상취득, 해수표면 온도 측정, 구름 이동 감시, 태풍 감시 등이다. 표 1에는 각 밴드의 주요 재원을 나타내었다<sup>[1]</sup>.

MI는 1개의 가시(VIS, Visible)밴드와 4개의 적외(IR, Infra Red)밴드를 이용하여 데이터 블록 형태로 지상시스템에 전송한다.

이 때 MI에서 생성되는 데이터의 단위는 480bits(60bytes)의 블록이며, 그 종류는 총 9개(ActiveScan, BBCal, ECal, Fill, Header, SpaceLook, StarSense, Telemetry, Trailer)로 각 데이터 블록 (480bits) 내의 DBID (Data Block ID) (5bits)로 구분이 가능하다.

접수일(2011년 5월 20일), 수정일(1차 : 2011년 6월 13일, 2차 : 2011년 6월 25일, 게재 확정일 : 2011년 7월 1일)

\* 위성지상시스템개발팀/[sbseo@kari.re.kr](mailto:sbseo@kari.re.kr)

\*\* 정지궤도위성 체계팀/[kwjin@kari.re.kr](mailto:kwjin@kari.re.kr)

\*\*\* 위성지상시스템개발팀 /[siahn@kari.re.kr](mailto:siahn@kari.re.kr)

표 1. MI 주요 자원

Channel	Band	파장범위(μ·m)	해상도(Km)
가시	VIS	0.55~0.80	1×1
적외	SWIR	3.5~4.0	4×4
	WV	6.5~7.0	
	WIN1	10.3~11.3	
	WIN2	11.5~12.5	

## 2. 데이터 포맷 및 관측

본 장에서는 스캔미러 방사율(emissivity) 계산을 위한 데이터 추출을 설명하기 이전에, MI 데이터 구조의 이해를 돕기 위해 MI 데이터 블록의 포맷 및 SpaceLook, BBCAL(Black Body Calibration), Dark관측에 대해서 먼저 살펴본다.

### 2.1 MI 데이터 블록 포맷

MI에서 생성된 480bit 단위의 데이터 블록은 다음 두 가지 포맷 중 하나로 묶여서 지상으로 전송된다<sup>[2]</sup>.

◎ Observation Format : 탑재체가 지구 또는 우주를 관측할 때 지상으로 전송하는 포맷으로, '하나의 Header 데이터 블록'과 '다수 개의 ActiveScan 블록', 그리고 '하나의 Scan Reversal Format' 으로 구성된다.

◎ Scan Reversal Format : 탑재체가 관측하지 않을 때는 지속적으로(0.2초 간격), 그리고 관측 시에는 관측데이터 마지막 부분에 하나 존재하는 데이터 포맷으로, 1092개의 데이터 블록으로 구성된다. (Scan Reversal Format 구성 : ActiveScan ×3, Trailer ×1, ActiveScan ×15, Telemetry ×39, Fill ×861, ECal ×160, Fill ×13). Scan Reversal Format에는 Header 데이터 블록이 포함되지 않는다.

Observation Format에서 지구관측 데이터를 포함하는, ActiveScan, SpaceLook, BBCAL, Star Sense 블록에는 가시밴드 영상 및 적외밴드 영상 외에 스캔미러의 위치/제어와 관련된 여러 가지

정보들이 포함된다.

가시밴드의 경우 한 화소의 해상도가 1Km×1Km 단일 밴드이고 적외밴드의 경우 4km×4Km 해상도의 4개의 밴드이다. 하나의 ActiveScan, SpaceLook, BBCAL, Star Sense 블록(480bits)에는 5개의 밴드(가시밴드 1, 적외밴드 4) 각각에 대해서 4Km×8Km 영역의 지구관측 정보를 포함하고 있다.

### 2.2 SpaceLook 및 BBCAL 관측

SpaceLook은 (BBCAL과 함께 적외채널의 복사 보정을 위해서) 지구 좌 또는 우측의 우주를 관측하는 것으로, scan clamp 모드와 space clamp 모드가 있다<sup>[2]</sup>. Scan clamp 모드는 전 지구관측과 같이 지구를 관측할 때 좌 또는 우측의 우주 영상을 매 스캔라인마다 취득하는 것이며, space clamp 모드는 지역관측 시 일정시간(9.2초 또는 36.6초)마다 (좌 또는 우측의) 우주 영상을 취득하는 것이다. 그림 1에 scan clamp 및 space clamp 모드에서 SpaceLook(SPLook)을 설명하였다.

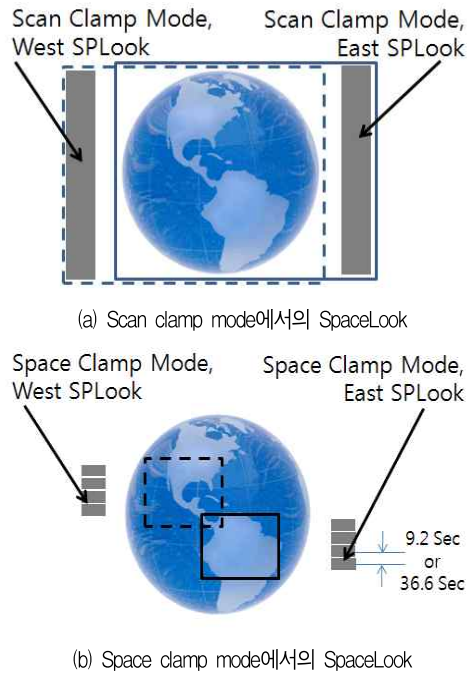


그림 1. SpaceLook의 종류

Scan clamp 모드에서는 매 스캔라인에 대해서 우주영역의 영상이 존재하지만(그림 1, a), space clamp 모드에서는 일정 시간(9.2초 또는 36.6초)마다 우주영역의 영상이 존재함을 볼 수 있다(그림 1, b). Scan clamp 모드는 FD(전지구, Full Disk)관측에, 그리고 space clamp 모드는 FD관측 이외의 지역관측 시 사용된다.

BBCAL관측은 일정한 주기로 (매 30분) MI 내의 BBCAL 타겟을 관측한다<sup>[3]</sup>. 단, BBCAL관측은 (SpaceLook과는 다르게) 지구관측 중간에는 수행되지 않는다. 그림 2는 SpaceLook 및 BBCAL관측이 수행되는 것을 예를 들어 설명한 것이다.

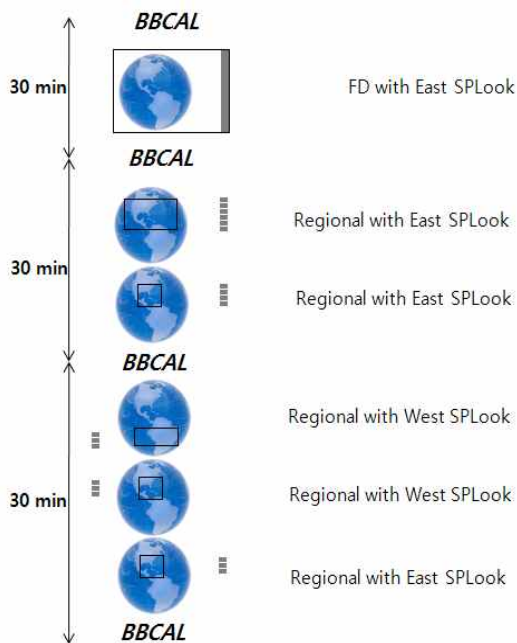


그림 2. SpaceLook 및 BBCAL관측

그림 2에서 BBCAL관측은 매 30분마다 수행됨을 볼 수 있는데, FD관측의 시간이 약 27분 정도이므로 FD관측 전후에 BBCAL관측이 있으며, 나머지 지역관측은 2개 이상의 관측을 수행하다가 30분 이내에 BBCAL관측이 수행됨을 볼 수 있다.

SpaceLook의 경우 FD관측 시 매 스캔라인마다 동쪽의 우주영역 영상을 취득하며, 나머지 지

역관측에 대해서는 일정 시간마다 동쪽 또는 서쪽의 우주영역의 영상을 획득한다. 즉, 그림 2에서 FD관측 이외의 관측에 대한 SpaceLook은 관측 도중 수행됨을 확인할 수 있다.

### 2.3 Dark관측

Dark관측은 스캔머러 방사를 보정을 위한 균질한 온도(2.7K)를 가진 심우주 데이터를 취득하기 위해서, MI의 좌우 최대 폭으로 우주를 관측하는 것이다<sup>[3]</sup>. Dark관측의 경우에도 (전후에) BBCAL관측이 수행되어야 하며, (좌우 최대 폭의 우주를 관측하므로 SpaceLook 영역이 취득한 Dark관측 영상에 모두 포함되므로) Dark관측 도중에 SpaceLook관측은 수행되지 않는다. 그림 3은 Dark관측의 위치를 설명한 것이다.

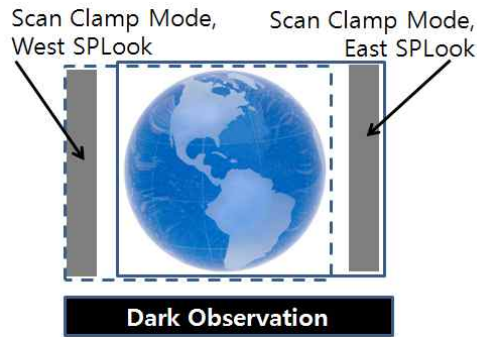


그림 3. Dark관측의 위치

그림 3에서 Dark관측은 동쪽 및 서쪽의 SpaceLook을 모두 포함하는 MI의 최대 폭의 관측이며, 지구 아래에 해당하는 심우주 영역을 관측함을 볼 수 있다.

### 2.4 Header/Trailer 데이터 블록 포맷

2.1절에서 MI 데이터 블록의 포맷을 간략히 살펴보았다. 본 절에서는 9개의 데이터 블록 중 Header 및 Trailer 데이터 블록에 대한 추가적인 정보를 제공한다.

Header 및 Trailer 데이터 블록은 동일한 포맷이며, 각각 총 41개의 정보를 포함하고 있다<sup>[2]</sup>.

이 중에서 본 논문의 주제인 스캔미러 방사율 보정을 위한 데이터 추출에 직접 사용되는 항목을 표 2에 정리하였다.

MI에서 디텍터는 고정되어 있고 스캔미러가 움직여서 지구영상을 취득하는데, 상하로는 한 방향(N→S)으로 움직이지만 좌우로는 교번(E↔W)한다. 따라서 데이터를 취득한 다음 스캔미러의 방향(Scan Dir.)을 고려하여 데이터를 재배열하는 과정이 필요하다. 그리고 MI는 우선순위를 가지고 관측을 수행하는데 PR1(Priority1)과 PFM(Priority Frame)을 이용하여 우선순위에 대한 정보를 알 수 있고, 뿐만 아니라 관측의 시작과 끝도 확인할 수 있다. 예를 들어 지역관측 도중 SpaceLook을 수행해야 할 주기가 되면, SpaceLook이 지역관측보다 더 높은 우선순위에 의해 수행되며 관측 종료 이후에는 원래 우선순위로 복구된다.

VES(Valid Earth Scan), VEC(Valid ECAL), VSL(Valid SpaceLook), VBB(Valid BBCAL)는 플래그(flag) 정보로써 해당 데이터가 유효한지 확인할 수 있다. 예를 들어 VES의 값이 1이면 이후 VES의 값이 0인 부분 사이의 데이터는 지구 관측에 대한 유효한 데이터이다.

표 2. Header/Trailer의 주요 항목에 대한 설명

항목	설명
Scan Dir.	스캔 방향 1 : East to West 0 : West to East
PR1	PR1 활성화 여부
PFM	PFM 활성화 여부
SLW	스캔미러 SLW (Slew) 여부
VES	유효한 지구관측 여부
VEC	유효한 ECAL 여부
VSL	유효한 SpaceLook 여부
VBB	유효한 BBCal 여부

### 3. 데이터 추출

MI는 24시간 중단없이 관측해서 데이터를 대상으로 전송하므로, 이 중에서 스캔미러 방사율

계산을 위한 데이터 영역을 추출하는 것이 필요하다. 필요한 데이터는 Dark관측, 그리고 이와 관련된 BBCAL관측 및 TLM(Telemetry) 데이터이다.

#### 3.1 Dark관측 데이터 추출 시작부분 결정

먼저 저장된 MI 데이터 블록에서 데이터 추출을 시작하는 부분을 찾는 것이 필요하며, 이는 Trailer 데이터 블록에서 다음의 조건이 맞는 부분을 찾으면 된다.

$$PR1 = 0, VES = 0, PFM = 0$$

그림 4는 Trailer에서 PR1, VES, PFM 변화를 나타낸 것으로 데이터 추출이 시작되는 부분의 예를 보여준다. 점으로 표시한 부분이 해당 조건 (PR1=0, VES=0, PFM=0)을 만족하는 부분이고, 이후 VES=1로 되는 부분이 Dark관측을 수행하는 부분이다. (데이터 추출이 시작되는 부분 이전의 데이터는 완전하지 않은 관측이므로 무시함)

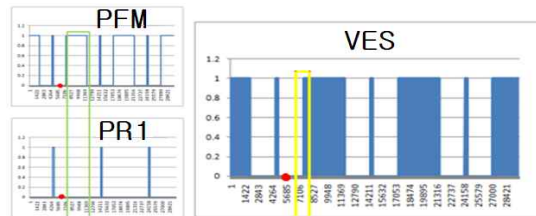


그림 4. 데이터 추출 시작부분 결정

#### 3.2 Dark관측 데이터 추출 및 저장

데이터 추출 시작부분 이후에 다음의 조건을 만족하는 Trailer 이후, Header 데이터 블록에서 VES=1이 되는 시점이 Dark관측 데이터 추출의 시작 시점이다.

$$PR1 = 0, VES = 1, PFM = 1$$

하나의 Dark관측 데이터가 끝나는 부분은,

(Header 데이터 블록에서 VES=1가 되는 시점 이후부터) Trailer 데이터 블록에서 VES=0가 되는 부분까지이며, VES=0인 Trailer 이후에 1088개의 데이터 블록(Active ×15, Tlmtry ×39, Fill ×861, Ecal ×160, Fill ×13)까지 하나의 Dark 관측으로 포함하여 저장한다.

이 때 파일이름에는 VES가 시작되는 점의 DBCnt(Data Block Counter: 관측시작부터 데이터 블록의 상대적 개수, 초당 5460개의 데이터 블록을 수신하므로 수신시각을 계산할 수 있음)를 포함한다.

아래 그림 5 및 그림 6은 Dark관측 데이터 추출의 시작점과 끝점을 예를 들어 보여 준다. 그림에서 MI데이터 블록 구성 분석정보의 각 열에 대한 의미는 다음 표 3과 같으며, Header/Trailer 분석정보는 표 2에 이미 설명하였다.

1	Rec.Time	DBCnt	DBID	No	StartPos	DataSize	(V,ES)
1633	05:09:53	1120154	Trailer	1	67209240	60	VES
1634	05:09:53	1120155	Active	15	67209300	900	
1635	05:09:53	1120170	Tlmtry	39	67210200	2340	
1636	05:09:53	1120209	Fill	861	67212540	51660	
1637	05:09:53	1121070	Ecal	160	67264200	9600	
1638	05:09:53	1121200	Fill	13	67273000	780	
1639	05:09:53	1121243	Header	1	67274580	60	VES
1640	05:09:53	1121244	Active	5674	67274640	340440	
1641	05:09:54	1126918	Trailer	1	67615080	60	VES
1642	05:09:54	1126919	Active	15	67615140	900	
1643	05:09:54	1126934	Tlmtry	39	67616040	2340	
1644	05:09:54	1126973	Fill	861	67618380	51660	
1645	05:09:54	1127834	Ecal	160	67670040	9600	
1646	05:09:54	1127994	Fill	13	67679640	780	
1647	05:09:54	1128007	Header	1	67680420	60	VES

그림 5. Dark관측 데이터 추출의 시작점의 예 (상: MI 데이터 블록 구성 분석, 하: Header/Trailer 분석)

1	Rec.Time	DBCnt	DBID	No	StartPos	DataSize	(V,ES)
2103	05:11:05	1513555	Header	1	90813300	60	VES
2104	05:11:05	1513556	Active	5674	90813360	340440	
2105	05:11:06	1519230	Trailer	1	91153800	60	VES
2106	05:11:06	1519231	Active	15	91153860	900	
2107	05:11:06	1519246	Tlmtry	39	91154760	2340	
2108	05:11:06	1519285	Fill	861	91157100	51660	
2109	05:11:06	1520146	Ecal	160	91208760	9600	
2110	05:11:06	1520306	Fill	13	91213360	780	
2111	05:11:06	1520319	Header	1	91219140	60	VES
2112	05:11:06	1520320	Active	5674	91219200	340440	
2113	05:11:07	1525994	Trailer	1	91559640	60	VES
2114	05:11:07	1525995	Active	15	91559700	900	
2115	05:11:07	1526010	Tlmtry	39	91560600	2340	
2116	05:11:07	1526049	Fill	861	91562940	51660	
2117	05:11:07	1526910	Ecal	160	91614600	9600	
2118	05:11:07	1527070	Fill	13	91624200	780	
2119	05:11:07	1527083	Header	1	91624980	60	VES

그림 6. Dark관측 데이터 추출의 끝점의 예 (상: MI 데이터 블록 구성 분석, 하: Header/Trailer 분석)

그림 5에서 Trailer의 VES=1(DBCnt: 1120154)

이후 첫 번째 Header의 VES=1 인 시점(DBCnt: 1121243)이 Dark관측 데이터의 시작점이다. (PR1 = 0 , VES = 1, PFM = 1)

다음으로 그림 6에서 Trailer의 VES가 0으로 변하는 시점이 Dark관측 데이터의 끝점이며, 이후에 1088개의 데이터 블록(13개의 Fill)까지 파일로 저장한다. 해당 Trailer에서 SLW 플래그가 1로 변하는 것을 볼 수 있는데, 이는 관측을 끝내고 스캔미러가 이동을 시작했다는 의미이다.

이렇게 추출된 Dark관측 데이터를 저장할 때는 파일이름에 시작점 Header의 DBCnt 정보인 1121243을 포함하여, 추후 데이터의 저장시각을 계산할 수 있도록 한다.

표 3. MI 데이터 블록 구성 분석정보에 대한 설명

항 목	설 명
Rec. Time	각 데이터 블록이 저장된 시각
DBCnt	데이터 블록의 상대적 개수 (0부터 시작, 초당 5460개 수신)
DBID	각 데이터 블록의 종류
No	해당 데이터 블록의 개수
StartPos	파일에서 각 데이터 블록의 시작점 (byte)
DataSize	StartPos로부터 해당 데이터 블록의 크기

### 3.3 BBCAL관측 데이터 및 TLM 데이터 추출 및 저장

적외채널 복사보정의 데이터로 사용하는 30분 간격의 BBCAL관측은 스캔미러 방사율 계산에도 사용되므로, 이를 위해서 BBCAL 데이터를 추출하여 DBCnt 정보와 함께 저장한다. 또한 스캔미러 방사율을 계산할 때, 스캔미러가 BBCAL로 이동할 때(Slew to BBCAL)의 온도 값도 필요한데, 이를 위해서 BBCAL 이전의 100개의 Scan Reversal Format도 함께 저장한다. 여기서, TLM 데이터 블록은 Scan Reversal Format에 포함되어 있고, 39개의 TLM가 하나의 세트를 구성한다 [45].

BBCAL관측 데이터는 유효한 BBCAL 데이터 블록을(VBB=1), TLM 데이터는 BBCAL관측 직전



의 100개의 Scan Reversal Format을 저장한다. 이때 BBCAL관측 데이터와 TLM 데이터는 동일한 파일이름(DBCnt 포함)을 사용한다.

그림 7 및 그림 8은 BBCAL 데이터 추출을 예를 들어 나타내는 것이다. 그림 7에서 Header 및 Trailer 데이터 블록에서 'VBB=1'인 시점, 즉 BBCAL이 수행되는 시점은 50분마다 반복됨을 알 수 있으며(05:44와 06:34 사이, 06:44와 07:34 사이), 그림 8은 BBCAL 이전의 Scan Reversal Format의 구성을 보여준다. 그림 8의 예에서 생성되는 BBCAL(마지막 라인, 총 10852개의 BBCAL데이터 블록) 및 BBCAL 직전 100개의 Scan Reversal Format을 '해당 BBCAL의 시작되는 시점의 DBCnt'를 파일이름에 포함하여, 각각 \*.bbc(BBCAL 관측데이터) 및 \*.tlm(TLM 데이터)에 저장한다.

그림 9는 이상 설명한 Dark관측 및 BBCAL관측 데이터 추출 및 저장과정을 요약하여 설명한 것이다.

1	RecTime	DBCnt	DBID	No	StartPos	DataSize	(V_ES)	(V_SL)	(V_EC)	(V_BB)
24999	05:34:34	9208238	Trailer	1	552494280	60				VBB
25005	05:34:34	9209327	Header	1	552559620	60				VBB
43588	05:44:34	12483345	Trailer	1	749000700	60				VBB
43594	05:44:34	12484434	Header	1	749066040	60				VBB
79655	06:34:34	28862738	Trailer	1	1731764280	60				VBB
79661	06:34:34	28863827	Header	1	1731829620	60				VBB
98291	06:44:34	32138937	Trailer	1	1928336220	60				VBB
98297	06:44:34	32140026	Header	1	1928401560	60				VBB
134376	07:34:35	48526974	Trailer	1	-1383348856	60				VBB
134382	07:34:36	48528063	Header	1	-1383383516	60				VBB
152909	07:44:34	51793359	Trailer	1	-1187365756	60				VBB
152915	07:44:34	51794448	Header	1	-1187300416	60				VBB

그림 7. BBCAL관측의 주기 확인

1	RecTime	DBCnt	DBID	No	StartPos	DataSize	(V_ES)	(V_SL)	(V_EC)	(V_BB)
79653	06:34:34	28862722	Fill	13	1731763320	780				
79654	06:34:34	28862735	Active	3	1731764100	180				
79655	06:34:34	28862738	Trailer	1	1731764280	60				VBB
79656	06:34:34	28862739	BBCal	15	1731764340	900				
79657	06:34:34	28862754	Timtry	39	1731765240	2340				
79658	06:34:34	28862793	Fill	861	1731767580	51660				
79659	06:34:34	28863654	Ecal	160	1731819240	9600				
79660	06:34:34	28863814	Fill	13	1731828840	780				
79661	06:34:34	28863827	Header	1	1731829620	60				VBB
79662	06:34:34	28863828	BBCal	10852	1731829680	651120				

그림 8. BBCAL관측 및 관측 전 1개의 Scan Reversal에 대한 M 데이터 블록 구성

#### 4. 스캔미러 방사율 계산 알고리즘

스캔미러 방사율 계산 알고리즘은 참고문헌 [3]의 6.2.1.9절에 설명되어 있으며(page 71 ~72), 계산한 스캔미러 방사율을 2차식으로 근사화하여 세 개의 계수를 결정한 다음 스캔미러 방사율보정에 사용한다(식 7 참고).

표 4는 스캔미러 방사율 계산에 사용되는 각 항목에 대한 설명이다.



그림 9. Dark 및 BBCAL 관측 데이터 추출 및 저장

표 4. 스캔미러 방사율 계산에 사용되는 항목

항 목	설 명			
$\epsilon(45)$	Scan mirror emissivity at 45 deg (Nadir position)			
$\theta$	Scan mirror angle			
$\epsilon(\theta)$	Scan mirror emissivity at $\theta$ deg			
$\bar{X}_{SPACE}$	Mean count value corresponding to the space look			
$q$	Quadratic term			
$R_M$	$h$	Computed radiance of the scan mirror	Planck constant	
	$c$		Speed of light	
	$\lambda_c$		Central Wavelength	
	$k$		Boltzmann constant	
	$T_M^*$		$T_M$	Equivalent Scan mirror temperature
$A$		Linear coefficient for $T_M^*$ computation		
$B$				
$m$	$R_{BB}$	Slope	Equivalent radiance	Cubic polynomial coefficients for $R_{BB}$ computation
			$\bar{X}_{BB}$	BBCAL target temperature
				Mean count value corresponding to the BBCAL

$\epsilon(\theta)$ 는 각 스캔미러 각도에 대한 스캔미러의 방사율로써, 다음의 식 (1)로 계산한다.

$$\epsilon(\theta) = \epsilon(45) + \frac{m \times (\bar{X}_{SPACE}(\theta) - \bar{X}_{SPACE}(45)) + q \times (\bar{X}_{SPACE}^2(\theta) - \bar{X}_{SPACE}^2(45))}{R_M(\theta)} \quad (1)$$

여기서,  $R_M$  및  $T_M^*$ 은 다음 식 (2) 및 식 (3)과 같다<sup>[3][6]</sup>.

$$R_M = \frac{2 \cdot 10^{24} \times hc^2}{\lambda_c^3 \left[ \exp\left(\frac{10^6 \times hc}{\lambda_c k T_M^*}\right) - 1 \right]} \quad (2)$$

$$T_M^* = \frac{T_M - A}{B} \quad (3)$$

식 (1)에서  $m$  값은 매 BBCAL 관측마다 다음의 식 (4)로 계산한다<sup>[4]</sup>.

$$m = \frac{[1 - \epsilon(45)] \times R_{BB} - q \times (\bar{X}_{BB}^2 - \bar{X}_{SPACE}^2(45))}{\bar{X}_{BB} - \bar{X}_{SPACE}(45)} \quad (4)$$

여기서,  $R_{BB}$ 는 다음 식 (5)와 같다.

$$R_{BB} = \sum_{i=0}^3 a_i \times T_{BB}^i \quad (5)$$

스캔미러 방사율을 계산하는 방식은 각 BBCAL 관측에서  $m$ 을 구하고, 이를 이용하여 Dark 관측에서 스캔미러의 각도에 따른 각 화소별 스캔미러 방사율을 계산하는 것이다. 보다 상세한 계산방법을 다섯 개의 절로 나누어 아래에 설명하였다.

#### 4.1 Patch, side, $\epsilon(45)$ , $q$ , $T_{BB}$ , $\bar{X}_{BB}$ , $a_i$

본 절에서 설명하는 항목들은 스캔미러 방사율 계산 전에 미리 결정되는 값이다.

Patch, Side : Patch와 side 정보는 TLM 데이

터 블록의 Bi-Level TLM을 이용하여 확인할 수 있다.

$\epsilon(45)$  : 스캔미러가 45도(Nadir position)일 때 스캔미러의 방사율. 위성 발사 전 지상에서 각 IR 밴드에 대해서 측정된 값이다.  $\epsilon(45)$ 와  $\epsilon(\theta_{SP})$ (SpaceLook 위치에서의 스캔미러 방사율)는 참고문헌 [6]의 page 7-2에 기술되어 있다.

$q$ : IR 밴드 복사보정식에서 2차항 계수로 발사 전에 결정된 값이다. 단 이 값은 MI의 patch 및 각 side에 따라서 다른 값을 가지기 때문에 복사보정을 수행할 때 고려하여 적용하여야 한다.

$T_{BB}$  : (BBCAL target temperature) Dark 관측 전의 TLM 데이터 블록에서 BBCAL의 온도를 추출하여 이를 평균하여 사용한다<sup>[5]</sup>.

$\bar{X}_{BB}$  : Dark 관측 전후의 BBCAL 관측값을 평균해서 사용한다. 이 때 Dark 관측 전과 후의 BBCAL의 개수가 다를 수도 있으므로, 이 중에서 적은 개수를 기준으로 Dark 관측에서 가까운 BBCAL 관측 값을 평균하면 된다.

$a_i$ :  $T_{BB}$ 를  $R_{BB}$ 로 변환하기 위해서 사용되는 계수로 그 값이 참고문헌 [6] Page 5-194에 나와 있으나, 궤도상시험을 수행한 값들로 최종 업데이트 되었다.

#### 4.2 $\theta$ : Scan Mirror Angle

스캔미러의 각도  $\theta$ 는 Header 및 Trailer 블록 내에 포함되어 있는 cycle 및 Increment를 이용하여 다음 식 (6)과 같이 계산한다<sup>[2][3]</sup>.

$$\theta = 6136 * \text{cycle} + \text{Increment} \quad (6)$$

#### 4.3 $\bar{X}_{SPACE}$ : Mean count value corresponding to the space look

$\bar{X}_{SPACE}$ 은 Dark 관측 동안 생성되는 DN 값의 평균으로 다수의 스캔라인에 대해서  $\theta$  당 하나의 값을 평균하여 결정한다. 이 때 주의해야 할 사항은 다음과 같다.

- Dark 관측 시 스캔방향의 좌우가 교번(EW

또는 WE)되므로, 그 방향을 고려해야 한다.

-  $\bar{X}_{SPACE}$  값은 Header 데이터 블록 이후의 ActiveScan 데이터 블록을 별로 평균하여 계산하는데, Header 데이터 블록 직후의 2개의 ActiveScan 데이터 블록은 무효한 값이므로 무시해야 한다. 그림 10에  $\bar{X}_{SPACE}$ 를 계산하는 방법을 정리하였다.

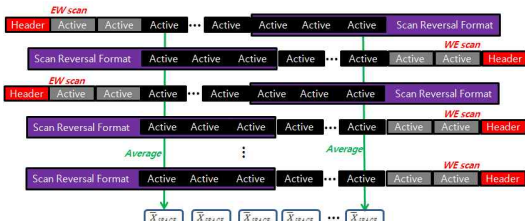


그림 10.  $\bar{X}_{SPACE}$  계산 방법

#### 4.4 $R_M$ : Computed radiance of the scan mirror

$R_M$ 은 Dark관측 동안 스캔미러의 radiance로 다음 여섯 개의 값에 의해서 계산된다(식 2). 이 중에서  $T_M$ 만이 관측에서 측정하며(식 3) 나머지는 상수 또는 발사 전에 미리 결정한 값이다.

- $h$  : Planck constant, 6.62617E-34
- $c$  : Speed of light, 299,792,500
- $\lambda_c$  : Central Wavelength
- $k$  : Boltzmann constant, 1.38066E-23
- $T_M$  : Scan mirror temperature
- $A, B$  : Linear coefficients for  $T_M^*$  computation

여기서,  $T_M^*$ 을 계산하기 위한  $A$  및  $B$  값은 patch 및 side에 따라 다르며(참고문헌 [6] p. 5-229),  $T_M$ 은 스캔미러의 온도(DN)를 변환식에 적용하여 계산 후 사용한다(참고문헌 [6] p. 3-12).

#### 4.5 $m$ : Slope

$m$  값은 매 BBCAL관측마다 식 (4)로 계산한

다<sup>[4]</sup>.

### 5. 스캔미러 방사율 계수 계산

최종 스캔미러 방사율 보정을 위한 계수 결정식은 다음의 식 (7)과 같다<sup>[3]</sup>.

$$\varepsilon(\theta) = a_0 + a_1\theta + a_2\theta^2 \quad (7)$$

즉, 스캔미러의 방사율을 구한 다음, 그 특성의 3차의 다항식으로 근사화하는 계수( $a_0, a_1, a_2$ )를 구하는 것이다. 본 계산은 다음과 같이 IDL의 POLY\_FIT 함수를 이용하여 계산하였다.

```
coef = POLY_FIT(theta, emissivity, 3,
MEASURE_ERRORS=measure_errors,
SIGMA=err)
```

위 POLY\_FIT 함수에서 coef는 최종 결과( $a_0, a_1, a_2$ )이고, theta는  $\theta$ , emissivity는  $\varepsilon(\theta)$ 이다.

### 6. 실험결과

본 장에서는 이상 설명한 내용에 기반하여 스캔미러 방사율 계수를 계산한 결과를 정리하였다.

입력데이터는 2010년 8월 17일 수행한 Dark관측 데이터이며, 총 2개의 VC++ 소프트웨어(MI Scan Mirror Emissivity Clac 2010.08.21, Scan Mirror Emissivity Results Merger 2010.08.21)와 1개의 IDL 소프트웨어(ScanMirrorEmissivity\_2010.0822.pro)로 구현 및 검증을 완료하였다. 실험결과를 데이터 추출 및 생성(6.1)과 스캔미러 방사율 계수(6.2)로 나누어 설명한다.

#### 6.1 데이터 추출 및 1개의 Dark관측에 대한 스캔미러 방사율 계산

그림 11은 (저장된) MI 데이터 블록으로부터 스캔미러 방사율 보정을 계산하기 위해서 필요한 데이터를 추출하여 생성한 파일의 목록이다. 생



성되는 데이터는 다음과 같이 세 종류이다.

- 우주관측 데이터 : \*.xs
- BBCAL관측 데이터 : \*.bbc
- TLM 데이터 : \*.tlm

그림 12는 그림 11에서 하나의 Dark관측에 대해서 스캔미러 방사율을 계산한 결과 파일이다. 0012751562.xls Dark관측 파일 및 계산을 위해서 사용한 BBCAL 및 TLM 파일(그림 11에 박스표시)은 다음과 같다.

- 0012751562.xls : Dark관측
- 0012484434.bbc : Dark관측 전 BBCAL관측
- 0012484434.tlm : Dark관측 전 TLM
- 0028863826.bbc : Dark관측 후 BBCAL관측
- 0028863826.tlm : Dark관측 후 TLM

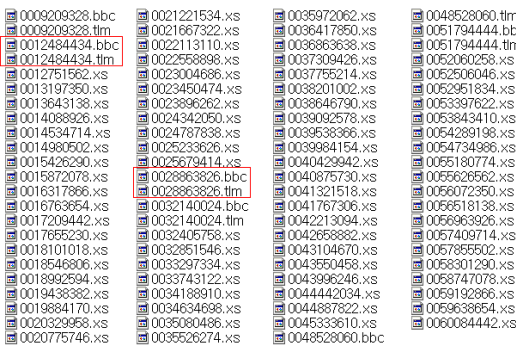


그림 11. 스캔미러 방사율 계산을 위한 데이터 생성 결과



그림 12. 하나의 Dark관측에 대해서 스캔미러 방사율 계산 결과 파일

초당 5460개의 데이터 블록이 지상으로 전송되므로, Dark관측 전과 후의 BBCAL관측의 간격은 다음과 같이 3000 초 (= (0028863826 -

0012484434) /5460, 그림 11 참조) 즉 약 50분임을 알 수 있다.

편의상 공통된 파일 및 SWIR-A 결과파일에 대해서만 간략히 설명하면 다음과 같다. 그림 12에서 반전된 부분은 입력 파일(\*.xs, \*.bbc, \*.tlm) 또는 실행파일(\*.exe)이다.

- 0012751562\_Log.txt : 계산의 로그 파일로 입력 파일 및 초기 값에 대한 정보
- 0012751562\_m.csv :  $m$  및 (계산에) 사용된 입력값
- 0012751562\_Tbb.csv :  $T_{BB}$  및 사용된 입력값
- 0012751562\_TotalIncPos.csv : Total Increment (=  $\theta$ )
- 0012751562\_ScanTmp.csv :  $T_M^*$  및 사용된 입력값
- 0012751562\_ScanTmp.dat :  $T_M^*$  (binary)
- 0012751562\_Xbb.csv :  $\bar{X}_{BB}$  및 사용된 입력값
- 0012751562\_SWIR\_A\_e.csv :  $\epsilon(\theta)$  및 사용된 입력값
- 0012751562\_SWIR\_A\_e.dat :  $\epsilon(\theta)$  (binary)
- 0012751562\_SWIR\_A\_Img.dat : 우주관측 영상 (binary)
- 0012751562\_SWIR\_A\_Rm.csv :  $R_M$  및 사용된 입력값
- 0012751562\_SWIR\_A\_Rm.dat :  $R_M$  (binary)
- 0012751562\_SWIR\_A\_Xsp.csv :  $\bar{X}_{SPACE}$
- 0012751562\_SWIR\_A\_Xsp.dat :  $\bar{X}_{SPACE}$  (binary)

그림 13은 0012751562\_m.csv의 내용(식 4)으로, 최종 결과인  $m$ 을 계산하기 위해서 사용한 입력 값을 함께 표출하였다. 나머지 엑셀(\*.csv) 파일도 동일하게, 계산에 사용된 입력 값을 결과에 포함하여 값을 검증하는데 이용하였다.

Band	$m$	e45	Rbb	q	Xbb	Xsp45
SWIR_A	-2.73E-03	2.59E-02	2.44E-01	2.96E-09	921.4415	1008.7
SWIR_B	-3.20E-03	2.59E-02	2.44E-01	-2.73E-09	933.2293	1007.467
WV_A	-1.52E-02	1.98E-02	4.88E+00	1.37E-06	628.6941	997.2833
WV_B	-1.49E-02	1.98E-02	4.88E+00	1.27E-06	624.1785	995.5667
WIN1_A	-1.52E-02	2.31E-02	7.74E+00	7.44E-07	461.0454	995.05
WIN1_B	-1.58E-02	2.31E-02	7.74E+00	8.64E-07	477.4913	996.1166
WIN2_A	-1.19E-02	2.97E-02	7.29E+00	3.51E-07	380.7576	998.45
WIN2_B	-1.30E-02	2.97E-02	7.29E+00	3.31E-07	429.2638	991.9833

그림 13. 기온계 계산 결과 : 0012751562\_m.csv

그림 14은 0012751562\_SWIR\_A\_e.csv의 내용 즉 SWIR 밴드의 디텍터 A의 방사율 계산 결과(식 1 참조)이다.

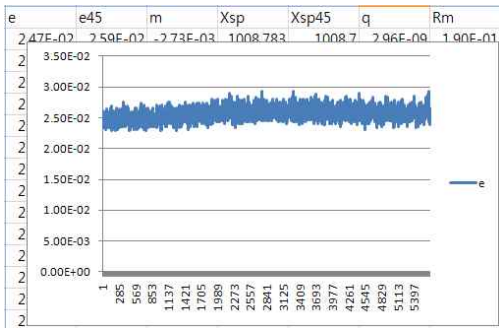


그림 14. 스캔미러 방사율 계산 결과 : 0012751562\_SWIR\_A\_e.csv

## 6.2 스캔미러 방사율 계수 계산

6.1 절에서 하나의 Dark관측에 대한 스캔미러 방사율 계산과정을 설명하였다. 그림 11을 보면 표시된 두 개의 BBCAL관측 사이에는 30개의 Dark관측(\*.xs)이 존재한다. 따라서 6.1절에 설명한 방법으로 각각 30회 관측에 대해서 스캔미러 방사율을 계산한 다음 이를 평균하면 두 BBCAL 관측 사이의 스캔미러 방사율을 계산할 수 있다. (30회의 관측에 대한 스캔미러 방사율 계산 결과를 평균하는데는 Scan Mirror Emissivity Results Merger 2010.08.21 소프트웨어를 사용하였다.)

그림 15에 30회 관측에 대해서 스캔미러 방사율을 계산한 결과를, 그림 16에는 SWIR 밴드 디텍터 A에 대해서 스캔미러 방사율 계수를 구하고 이를 이용해서 근사화 했을 경우의 오차를 나타내었다.

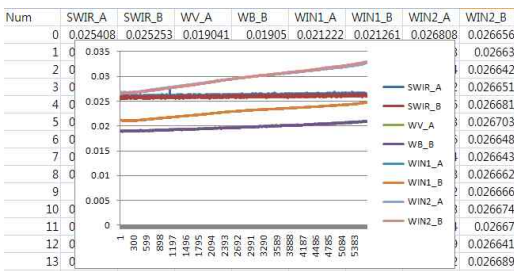


그림 15. 스캔미러 방사율 계산 결과

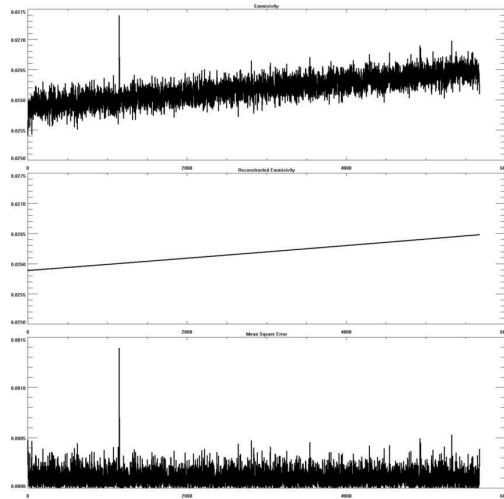


그림 16. 스캔미러 방사율 근사 결과 비교 (SWIR-A 밴드)

그림 16의 그래프에서 위에서 아래의 차례로, '계산한 스캔미러 방사율', '근사화한 스캔미러 방사율', '두 방사율의 오차'를 나타낸다. '근사화한 스캔미러 방사율' 및 '두 방사율의 오차'를 보면 스캔미러 방사율이 근사화되어 그 특성이 계수로 잘 표현되었음을 확인할 수 있다.

그림 17에는 최종 스캔미러 방사율 보정을 위한 계수 계산결과(\*.csv)를 표출한 것이다.

Channel	Detector	Coef_a0	Coef_a1	Coef_a2	Err_a0	Err_a1	Err_a2
SWIR	A	2.59E-02	1.00E-07	7.18E-13	5.20E-06	4.23E-09	7.23E-13
SWIR	B	2.57E-02	8.46E-08	-1.81E-13	4.33E-06	3.53E-09	6.02E-13
WV	A	1.89E-02	2.40E-07	1.83E-11	1.94E-06	1.58E-09	2.70E-13
WV	B	1.90E-02	1.99E-07	2.52E-11	1.67E-06	1.36E-09	2.32E-13
WIN1	A	2.08E-02	8.55E-07	-3.65E-11	2.93E-06	2.38E-09	4.07E-13
WIN1	B	2.09E-02	8.45E-07	-3.55E-11	2.73E-06	2.22E-09	3.79E-13
WIN2	A	2.65E-02	1.20E-06	-2.62E-11	3.11E-06	2.53E-09	4.33E-13
WIN2	B	2.63E-02	1.21E-06	-1.42E-11	3.05E-06	2.48E-09	4.23E-13

그림 17. 스캔미러 방사율 보정을 위한 계수

그림 17에서 박스로 표시한 부분이 최종 결과인 스캔미러 방사율 보정을 위한 계수( $a_0, a_1, a_2$ )이며,  $Err\_a0/Err\_a1/Err\_a2$ 는 계수를 이용하여 근사한 결과에 대한 오차이다.

## 7. 결 론

본 논문에서는 천리안위성 기상탑재체 적외체

널 복사보정의 중요한 항목인, 스캔미러 방사를 보정 알고리즘의 계산 방법 및 소프트웨어 구현 결과를 설명하였다.

먼저 데이터 포맷, 그리고 SpaceLook, BBCAL, Dark관측에 대한 설명(2장) 및 기상탑재체의 데이터에서 원하는 데이터를 추출하는 방법(3장)을 비교적 상세하게 기술하였다. 그리고 스캔미러 방사를 및 그 계수를 계산하는 방법(4장, 5장)을 소개한 다음 실제로 계산한 결과(6장)를 정리하였다.

본 논문의 계산 결과는 2010년 10월에 (천리안 위성의 해외협력업체이며 공동연구그룹인) Astrium연구진과 함께 계산의 유효성을 검증하였으며, 현재 기상탑재체 영상전처리시스템(MI IMPS, Meterological Imager Image Preprocessing Subsystem)에 적용되어 현업에 사용되고 있다.

주연구원 기술논문 KARI-GDT-TM-2010-024,  
29 November, 2010.

### 참 고 문 헌

1. 기상청, 기상위성테크놀로지, 발간등록번호 11-1360000-000620-08, 2010년 가을호.
2. ITT Space System Division, ITT COMS MI Operational Reference Manual Rev.E - Doc. No. 8216504 , 8 December, 2008.
3. C. LEDEZ(Astrium), MI Radiometric Model Issue03 Rev.01 - Doc. No. COMS.TN.00116.DP.T.ASTR, 29 April, 2009
4. 서석배, 진경욱, COMS MI 적외밴드 기울기 계산, 한국항공우주연구원 기술논문 KARI-GDT-TM-2010-23, 10 November, 2010.
5. 서석배, 통신해양기상위성 MI Telemetry 추출 소프트웨어 개발, 한국항공우주연구원 기술논문 KARI-GST-TM-2009-002, 14 December, 2009.
6. ITT Space System Division, CAGI Calibration And Alignment Handbook Rev.B - Doc. No. 8216505, 8 August, 2008.
7. 서석배, 진경욱, COMS MI 스캔미러 보정을 위한 계수결정 소프트웨어 개발, 한국항공우