천리안위성 해수면온도 3차산출물 생성기법 비교연구

김대선¹ · 김광진¹ · 조재일² · 정성래³ · 이양원¹

¹부경대학교 공간정보시스템공학과 · ²국토연구원 국토정보연구본부 · ³국가기상위성센터 위성기획과
(2015년 1월 19일 접수, 2015년 2월 25일 수정, 2015년 3월 11일 게재 확정)

A Comparative Study on the Generation of COMS Level 3 Product for Sea Surface Temperature

Dae-Sun Kim¹ · Kwang-Jin Kim¹ · Jaeil Cho² · Sung-Rae Chung³ · Yang-Won Lee¹

¹Dept. of Spatial Information Engineering, Pukyong National University

²Geospatial Information Research Division, Korea Research Institute for Human Settlements

³Satellite Planning Division, National Meteorological Satellite Center

(Received 19 January 2015, Revised 25 February 2015, Accepted 11 March 2015)

Abstract : The COMS (Communication, Ocean and Meteorological Satellite) has been used in numerical weather prediction and meteorological monitoring over East Asia and Oceania since it has been launched in 2010. For more active utilization in climate research, the COMS level 3 products should be available in appropriate spatial and temporal resolutions. We compared different methods to generate monthly sea surface temperature (SST) products from the COMS time-series data. We employed three techniques for aggregating the time series, which are arithmetic mean, timeslot average, and moving average, and also used mean ensemble of them. Each level 3 dataset around South Korea was compared with monthly SST product from the Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) of Aqua satellite during April 2011-March 2014. The timeslot average showed better root mean squared difference (RMSD) during the initial operational period of the COMS, when the retrieved values could be somewhat unstable. Daytime aggregations were derived more accurately by using the arithmetic mean or moving average, and the accuracy of nighttime aggregation was improved by the mean ensemble. Also, the timeslot average presented reasonable results particularly for coastlines where the standard deviation and missing value ratio were greater than normal. Because an optimal aggregation technique was variable depending on spatial and temporal conditions, we should be careful in selecting appropriate method for generation of the COMS level 3 products according to research objectives.

Key Words : COMS, level 3, gridding, sea surface temperature, timeslot average

주요어 : 천리안위성, 3차산출물, 공간격자화, 해수면온도, 시구간평균

1. 서론

우리나라 최초의 정지궤도 복합위성인 천리안 위성(Communication, Ocean and Meteorological Satellite, 이하 COMS)은 동경 128.2도 적도상공의 36,000km 고도에 위치하여 2011년 이래로 동아시아와 오세아니아 지역을 대상으로 1개의 가시채널(공간해상도 1km)과 4개의 적외채널(공간해상도 4km)을 이용하여 15분 단위의 관측을 수행하고 있다. 특히 COMS의 기상센서(Meteorological Imager: MI)로부터 수집된 자료는 기상자료처리시스템(COMS Meteorological Data Processing System: CMDPS)을 통해 지표면온도(Land Surface Temperature: LST), 해수면온도(Sea Surface Temperature, 이하 SST), 에어로솔광학깊이(Aerosol Optical Depth: AOD), 총강수량(Total Precipitable Water: TPW) 등 16종의 2차 산출물로 생산되어 수치예보 및 기상분석을 위한 기초자료로 활용되고 있다(Ahn, 2007).

이러한 기상위성자료가 다년간 축적되어 기후연구에 활용되기 위해서는 적정 시간해상도를 가진 3차 산출물의 생성이 요구된다. 3차 산출물은 2차 산출물의 특성을 고려하여 자료를 정제한 후 적정 시간해상도로 합성한 산출물로 정의될 수 있다. 하지만 국내외에서 위성자료의 3차 산출물 생성을 위한 표준적인 방법론은 아직 정립되지 않았으며, 이로 인해 사용자의 주관적 판단에 따라 시계열자료를 합성하게 되면 자료 자체의 신뢰성이나 연구들 간의 일관성이 유지되지 않는 문제가 발생할 수 있다. 따라서 COMS 3차 산출물을 생성함에 있어서도 다양한 시계열자료 합성기법에 대해 검토 및 비교분석하고 그 산출물의 시공간 특성을 파악할 필요가 있다.

COMS는 MODIS(Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer)나 AVHRR(Advanced Very

High Resolution Radiometer)과 같이 광학센서를 사용하기 때문에 구름으로 인한 결측치가 다수 존재하며, 여러 가지 자연적 및 인위적 요인 때문에 이상치가 발생하는 것이 일반적이다. 이로 인해 시계열 자료 분포에 편향이 존재하는 상태에서 생성된 3차 산출물은 과대 또는 과소 추정될 수 있으므로, 이를 해결하기 위하여 합리적인 시계열 합성기법 방안들이 선행연구에서 제시되었다. 예를 들어, 시간자료를 합성하여 일자료를 생성하고 일자료를 합성하여 월자료를 생성하는 경우에, 일자료를 구성하는 시간자료의 픽셀 개수 또는 QA(Quality Assurance) 값에 따라 일자료에 가중치를 부여하여 월평균을 구하는 방법이 MODIS 3차 산출물에 적용된 바 있다(Hubanks *et al.*, 2008).

본 연구에서는 이러한 MODIS 기반의 가중평균 이외에 산술평균, 이동평균, 그리고 시구간평균(timeslot average)을 이용하여 COMS 3차 산출물을 생성하고 비교분석 함으로써, 시계열합성기법의 합리적인 적용을 위한 방안을 제시하고자 한다. 3차 산출물 생성에 사용된 2차 산출물은 2011년 4월부터 2014년 3월까지 36개월간의 15분 간격 SST 자료이다. 실제로 SST는 수치예보 시뮬레이션이나 기후변화 메커니즘 연구에서 매우 중요한 자료로 활용되고 있다(Emery *et al.*, 2001). 오랜 기간에 걸친 SST 산출 알고리즘 보정으로 인해 위성산출물 간의 편차가 크지 않지만, MODIS는 특히 높은 신뢰도를 보여왔기 때문에(Goodrum *et al.*, 2000; Wan, 2002; Guan *et al.*, 2003), 본 연구에서 생성한 COMS 3차 산출물은 기존 MODIS 3차 산출물과의 비교검증을 통해 그 정확도를 평가하였다. 사용된 자료에 포함된 시계열 변이, 결측 정도 및 품질 특성에 따라 각 기법의 산출 정확도가 어떠한지, 그리고 특별한 계절적 또는 공간적 패턴을 가지는지 등에 대해 살펴보고자 한다.

제1절에서 연구의 배경과 목적을 간략히 소개하였고, 다음의 제2절에서는 사용된 자료와 연구방법에 대해 기술한다. 제3절에서는 시계열자료 합성기법에 따른 검증 결과를 비교분석 하였으며, 제4절에서는 연구의 성과와 향후과제에 대해 논의하는 것으로 본 논문을 맺는다.

2. 자료 및 방법

COMS SST의 3차 산출물 생성은 남한 인근해역을 대상으로 하며, 자료의 전처리와 분석에 필요한 모든 프로그램은 Java 언어로 작성하였다.

1) 연구지역 및 자료

본 연구에서 사용한 COMS SST 2차 산출물은 약 122°E~130°E, 30°N~38°N 영역의 남한 삼해와 동중국해 등을 포함하며, 15분 단위의 4km 공간 해상도로 200×200 픽셀로 구성되었다. COMS는 2011년 4월 이후부터 자료가 제공되고 있으므로, 계절적 영향을 고려하여 2011년 4월부터 2014년 3월까지 36개월의 자료를 분석대상으로 하였다. COMS SST 2차 산출물은 CMDPS의 알고리즘을 통해 3.75 μ m, 10.8 μ m, 12.0 μ m 채널을 이용하여 산출된다(Park *et al.*, 2008). 알고리즘은 구름픽셀 제거, 해양자료와 위성자료 간의 매치업(matchup), 경험적 회귀분석을 통한 SST 계수 유도 등으로 구성되며, 복사전달모델, 부이관측자료, 마이크로파 및 MTSAT(Multi-Functional Transport Satellite) 산출물 등을 활용한 알고리즘 개선이 지속적으로 이루어지고 있다. 일반적으로 위성 SST는 대기에 의한 빛 흡수와 수심에 따른 온도변화를 고려하기 위하여 해양의 벌크(bulk) 온도와 적외채널 휘도온도와의 차이에 기초하여 산출되며(Prabhakara *et al.*, 1974), COMS SST 역시 그러하다(Ahn,

2007).

본 연구에서 생성한 3차 산출물의 검증을 위해 사용된 자료는 Aqua MODIS를 이용하여 전지구에 대해 월별로 합성한 SST 산출물로서 4.6km의 공간해상도를 가지며, 주·야간으로 구분된다. 두 위성자료의 시공간일치를 위하여 궤도별 세계시(Coordinated Universal Time: UTC)와 픽셀별 경위도 좌표를 활용하였으며, 주·야간의 구분은 태양천정각(Solar Zenith Angle: SZA) 85°를 기준으로 하였다. Aqua/Terra는 극궤도 위성이지만 오랜 기간 실측자료와의 검·보정이 이루어진 상태이므로 정지궤도 위성인 COMS 자료와의 비교검증에 사용하였다.

2) 이상치 탐지 및 제거

위성자료에는 구름, 대기, 지표오염과 같은 자연적 요인이나 기계적 문제 등으로 인하여 이상치가 포함될 가능성이 크다(Kern *et al.*, 2005; Lu *et al.*, 2007; Alvera-Azcárate, 2012). 자료 정제를 위해서는 이상치의 탐지 및 제거가 필요한데, 본 연구에서는 모란산점도(Moran scatterplot)를 응용한 공간분포 이상치 탐지기법(Kim *et al.*, 2013)을 적용하였다. 이는 공간자기상관에 기초한 방법으로서 어떤 픽셀과 그 인접 픽셀 값들과의 유사성을 표준점수(z-score)의 산점도로 나타내고, 그 회귀선과 이격된 정도가 임계치를 초과하는 픽셀을 이상치로 간주하여 제거하는 것이다.

3) 시계열 합성

(1) 산술평균

산술평균법은 계산과정이 간편하여 대부분의 위성자료의 시계열 합성에 사용되고 있다. 그러나 결측치가 상당수 존재하여 자료의 시계열 분포가 편향되는 경우에 산술평균을 그대로 적용하면 각 시구간의 대푯값이 왜곡될 가능성이 존재한다.

(2) 시구간평균

결측치가 존재하는 시계열 자료에서 산술평균을 구할 때에는 과대 또는 과소 추정이 발생할 수 있다. Figure 1(a)와 같이 전체 시계열에서 높은 값이 주로 존재하고 낮은 값은 대부분 결측치인 경우에는 평균치가 과대 추정될 수 있으며, Figure 1(b)와 같이 낮은 값이 대부분을 차지하고 높은 값에는 결측치가 많을 때에는 과소 추정될 수 있다. 이러한 문제점을 해결하고자 본 연구에서는 시구간 평균법을 고안하여 COMS 3차 산출물 생성에 적용하였다. 시구간 평균법은 15분 간격 자료를 집계하여 일자료로 합성하는 기법으로서, 주간 또는 야간을 일정한 시구간(예를 들어 3시간씩)으로 나누어 각 시구간의 산술평균을 구한 후 이를 재차 산술평균하는 것이다. 특히 이 방법은 관측값이 조밀하고 연속적이며, 값의 일변화가 크지만 결측치나 오류에 의해 누락이 발생하는 경우에 적합한 방법이다.

(3) 이동평균

시계열 자료의 이동평균을 통해 추세가 평활화

되면 어떤 시점의 주변계열 값은 다른 시점의 값에 대한 정보를 포함하기 때문에 이 값들의 평균을 추정치로 사용하는 것이 가능해진다(Lee *et al.*, 1986). 이동평균은 탐색반경의 길이와 가중치에 따라 달라지는데, 본 연구에서는 해당 시점을 기준으로 전후 1개씩의 주변시점 정보를 참조하였으며, 가중이동평균으로 해당 시점의 가중치를 크게 하고(예를 들어 0.8) 전후 시점의 가중치를 낮게 하는(예를 들어 전후 각 0.1) 방식을 취하였다(Figure 2). 또한 첫 시점과 끝 시점의 경우는 하나만 존재하는 주변 시점의 가중치를 두 배로 적용하는 방법으로 대체하였다.

(4) 평균양상불

다양한 요인들이 복잡하게 작용하여 하나의 기법으로 해결하기 어려운 경우에는 여러 기법을 결합한 양상불을 통해 이를 극복할 수 있다(Park *et al.*, 2005). 본 연구에서는 산술평균, 시구간평균, 이동평균에 부가하여, 이 세 가지 결과를 재차 평균하는 평균양상불을 시계열 합성기법에 포함함으로써 세 가지 평균법보다 나은 효과를 보이는지 분

Figure 1. Examples of overestimation (a) and underestimation (b) due to missing values in time-series satellite data.

$$M(X_t) = 0.1 \cdot X_{t-1} + 0.8 \cdot X_t + 0.1 \cdot X_{t+1}$$

$$M(X_0) = 0.8 \cdot X_0 + 0.2 \cdot X_{t+1}$$

$$M(X_{last}) = 0.2 \cdot X_{t-1} + 0.8 \cdot X_t$$

Figure 2. Time-series aggregation by moving average.

석하였다. 평균양상블은 세 가지 기법의 값이 모두 존재하는 경우에 이들을 산술평균하여 구하였다.

3. 결과 및 고찰

COMS SST의 주·야간 3차 산출물 생성을 위한 시계열 합성기법으로 산술평균, 시구간평균, 이동평균과 이 세 가지 결과의 평균양상블을 적용하였으며, 이러한 네 가지 산출물과 Aqua MODIS 주·야간의 SST 월자료와의 비교검증을 수행하였다. COMS 자료와 MODIS 자료의 공간해상도는 각각 4km와 4.6km로서 다소 차이가 존재하므로, 두 격자에서 픽셀 중심이 가장 가까운 것끼리 서로 대응시켰다.

월평균 SST의 평균편이(mean bias)는 네 가지 방법에서 모두 $\pm 1^\circ\text{C}$ 정도로 상당히 유사하게 나타났다지만, 2011년의 일부기간을 제외하고는 대부분 음의 편이를 보여서 COMS SST가 Aqua MODIS에 비해 과소 추정된 것으로 판단된다(Table 1, 2). 그러나 해양적 특성상 난류와 한류가 교차하는 우리나라 근해의 수온 변화폭이 크다

는 점과 두 위성의 관측주기가 일치하지 않는다는 것을 고려할 때, 월자료에서 약 $\pm 1^\circ\text{C}$ 의 평균편이는 산출물 품질이 합리적 범위 내에 있음을 의미한다. 또한 RMSD(Root Mean Squared Difference)는 주·야간 모두 6, 7월이나 11, 12월에 상대적으로 큰 값을 보이며, 평균적으로 주간은 약 1.3°C , 야간은 약 1.1°C 로 나타났다(Figure 3). 주간에는 야간에 비해 해수면의 가열에 의해 연직 혼합이 활발하며(Park *et al.*, 2008), 그로 인해 1일 1회 관측하는 Aqua MODIS에 비해 15분 간격의 연속자료를 시계열 합성하는 COMS SST가 상대적으로 주간에 변화의 폭이 큰 자료를 더욱 많이 반영하게 되므로 주간의 RMSD가 약간 크게 나타난 것으로 보인다.

COMS의 운용 초기인 2011년 4~7월에는 SST 3차 산출물에서 주·야간 모두 네 가지 방법 중 시구간평균의 RMSD가 가장 작은 것으로 나타났다(Table 1, 2, Figure 3). 이 기간 중에는 COMS SST의 시계열 표준편차가 매우 커서 다른 기간에 비해 약 $1\sim 1.5^\circ\text{C}$ 높게 나타나 상대적으로 산출값이 불안정하다고 볼 수 있다. 또한 결측치 비율이 높아 관측치가 시계열적으로 편향되어 분포하였는데,

Table 1. Accuracies of monthly daytime SST of the COMS (Unit: °C).

YYYY MM	Arithmetic Mean		Timeslot Average		Moving Average		Mean Ensemble	
	Bias	RMSD	Bias	RMSD	Bias	RMSD	Bias	RMSD
2011/04	1,050	1,253	0,967	1,181	1,054	1,257	1,024	1,230
2011/05	0,740	1,203	0,602	1,115	0,743	1,203	0,695	1,172
2011/06	1,200	1,640	1,010	1,503	1,198	1,637	1,136	1,591
2011/07	0,704	1,091	0,521	0,979	0,700	1,088	0,642	1,049
2011/08	-1,140	1,314	-1,233	1,394	-1,140	1,314	-1,171	1,340
2011/09	-0,845	1,023	-0,942	1,112	-0,847	1,024	-0,878	1,052
2011/10	-0,706	0,890	-0,801	0,969	-0,708	0,891	-0,738	0,915
2011/11	-0,853	1,118	-0,900	1,150	-0,845	1,113	-0,866	1,126
2011/12	-1,008	1,556	-1,039	1,570	-0,995	1,545	-1,014	1,556
2012/01	-0,554	0,977	-0,572	0,977	-0,557	0,976	-0,561	0,976
2012/02	-0,766	1,119	-0,805	1,136	-0,762	1,114	-0,777	1,122
2012/03	-0,902	1,065	-0,981	1,126	-0,904	1,066	-0,929	1,085
2012/04	-1,080	1,350	-1,143	1,395	-1,082	1,351	-1,101	1,365
2012/05	-1,378	1,647	-1,531	1,773	-1,380	1,650	-1,430	1,689
2012/06	-1,339	1,535	-1,493	1,669	-1,337	1,534	-1,390	1,578
2012/07	-1,846	2,060	-1,990	2,187	-1,847	2,060	-1,894	2,101
2012/08	-1,317	1,482	-1,424	1,578	-1,320	1,484	-1,354	1,514
2012/09	-0,849	1,013	-0,964	1,114	-0,851	1,014	-0,888	1,046
2012/10	-0,702	0,898	-0,801	0,977	-0,703	0,899	-0,735	0,924
2012/11	-0,883	1,300	-0,935	1,330	-0,878	1,296	-0,898	1,308
2012/12	-1,062	1,726	-1,087	1,736	-1,061	1,725	-1,070	1,729
2013/01	-0,717	1,030	-0,745	1,041	-0,712	1,026	-0,725	1,032
2013/02	-0,709	0,974	-0,776	1,022	-0,711	0,973	-0,732	0,989
2013/03	-1,142	1,273	-1,255	1,369	-1,144	1,275	-1,180	1,305
2013/04	-1,016	1,219	-1,090	1,278	-1,016	1,219	-1,041	1,238
2013/05	-1,280	1,544	-1,399	1,640	-1,282	1,546	-1,320	1,576
2013/06	-1,682	1,987	-1,846	2,124	-1,685	1,989	-1,738	2,033
2013/07	-0,918	1,272	-1,043	1,362	-0,920	1,273	-0,960	1,301
2013/08	-0,864	1,064	-0,947	1,129	-0,867	1,066	-0,893	1,086
2013/09	-0,856	0,981	-0,969	1,080	-0,859	0,983	-0,895	1,014
2013/10	-0,851	1,003	-0,940	1,079	-0,851	1,003	-0,881	1,028
2013/11	-1,041	1,491	-1,086	1,511	-1,040	1,488	-1,056	1,496
2013/12	-1,007	1,486	-1,061	1,519	-0,997	1,477	-1,022	1,493
2014/01	-0,693	0,941	-0,746	0,970	-0,729	0,975	-0,723	0,958
2014/02	-1,233	1,563	-1,286	1,600	-1,219	1,551	-1,246	1,570
2014/03	-0,964	1,085	-1,052	1,161	-0,968	1,088	-0,995	1,111
Mean	-0,792	1,283	-0,883	1,329	-0,792	1,283	-0,822	1,297
SD	0,676	0,302	0,668	0,317	0,676	0,300	0,673	0,305

Table 2. Accuracies of monthly nighttime SST of the COMS (Unit: °C).

YYYY MM	Arithmetic Mean		Timeslot Average		Moving Average		Mean Ensemble	
	Bias	RMSD	Bias	RMSD	Bias	RMSD	Bias	RMSD
2011/04	1,584	1,667	1,434	1,523	1,580	1,663	1,566	1,656
2011/05	0,923	1,246	0,817	1,168	0,918	1,243	0,949	1,268
2011/06	1,522	2,045	1,449	1,993	1,517	2,040	1,556	2,049
2011/07	1,400	1,775	1,305	1,697	1,393	1,770	1,295	1,686
2011/08	-0,583	1,083	-0,685	1,138	-0,589	1,086	-0,597	1,075
2011/09	-0,469	0,870	-0,587	0,949	-0,475	0,873	-0,434	0,824
2011/10	-0,525	0,771	-0,655	0,864	-0,529	0,774	-0,503	0,735
2011/11	-0,992	1,232	-1,112	1,334	-0,997	1,237	-0,909	1,156
2011/12	-1,155	1,604	-1,236	1,665	-1,160	1,608	-1,038	1,512
2012/01	-0,698	1,216	-0,782	1,267	-0,702	1,219	-0,641	1,166
2012/02	-0,776	1,186	-0,837	1,226	-0,780	1,189	-0,706	1,121
2012/03	-0,597	0,794	-0,684	0,864	-0,601	0,797	-0,550	0,744
2012/04	-0,169	0,939	-0,299	0,965	-0,173	0,940	-0,176	0,934
2012/05	-0,079	0,859	-0,177	0,876	-0,083	0,860	-0,080	0,854
2012/06	-0,563	1,021	-0,656	1,073	-0,569	1,024	-0,659	1,049
2012/07	-0,729	1,208	-0,821	1,265	-0,735	1,212	-0,920	1,326
2012/08	-1,192	1,394	-1,262	1,451	-1,198	1,398	-1,171	1,362
2012/09	-0,336	0,623	-0,480	0,710	-0,342	0,627	-0,340	0,597
2012/10	-0,412	0,643	-0,547	0,733	-0,416	0,645	-0,392	0,610
2012/11	-1,278	1,606	-1,402	1,710	-1,283	1,611	-1,167	1,518
2012/12	-0,871	1,400	-0,946	1,455	-0,876	1,403	-0,767	1,319
2013/01	-0,733	1,039	-0,815	1,104	-0,737	1,042	-0,654	0,958
2013/02	-0,746	0,955	-0,842	1,033	-0,749	0,958	-0,657	0,868
2013/03	-0,697	0,842	-0,779	0,915	-0,701	0,845	-0,668	0,822
2013/04	-0,616	0,907	-0,727	0,984	-0,621	0,911	-0,561	0,864
2013/05	0,159	1,094	0,084	1,094	0,155	1,094	0,181	1,082
2013/06	-0,294	1,474	-0,362	1,496	-0,300	1,475	-0,388	1,503
2013/07	0,025	0,871	-0,058	0,875	0,020	0,871	-0,098	0,857
2013/08	-0,195	0,628	-0,274	0,652	-0,199	0,630	-0,261	0,633
2013/09	-0,426	0,660	-0,581	0,763	-0,432	0,664	-0,510	0,695
2013/10	-0,812	1,020	-0,932	1,117	-0,816	1,024	-0,771	0,965
2013/11	-0,984	1,355	-1,094	1,443	-0,988	1,358	-0,874	1,277
2013/12	-1,416	1,681	-1,478	1,741	-1,420	1,684	-1,273	1,556
2014/01	-0,800	1,039	-0,892	1,112	-0,846	1,076	-0,742	0,978
2014/02	-0,707	1,081	-0,804	1,143	-0,712	1,084	-0,694	1,048
2014/03	-0,619	0,809	-0,724	0,898	-0,622	0,812	-0,599	0,786
Mean	-0,413	1,129	-0,512	1,175	-0,419	1,132	-0,396	1,096
SD	0,728	0,355	0,724	0,331	0,728	0,354	0,700	0,347

Figure 3. RMSD of COMS monthly SST according to time-series aggregation techniques: daytime (upper) and nighttime (lower).

이러한 경우에는 시구간평균에 의해 보다 합리적인 자료합성이 가능한 것으로 사료된다. Figure 4에 나타나듯이 주·야간 및 합성기법에 따라 다소 차이가 있기는 하나, 대체로 시계열 표준편차가 클수록, 결측치 비율이 높을수록, 자료품질이 낮을수록 RMSD가 증가하는 경향이 있음을 알 수 있다. 이때 시계열 표준편차는 개별 픽셀이 가지는 1개월간 산출값의 표준편차를 전체 영역에 대해 평균한 것이고, 결측치 비율은 개별 픽셀의 1개

월간 미관측 횟수로부터 미관측 비율을 구하여 전체 영역에 대해 평균한 것이다. 또한 자료품질은 0~5의 수치로 나타내며(0=최저, 5=최고), 전체 영역의 1개월간 자료품질 수치를 평균한 것이다.

2011년 4~7월을 제외하고는 야간에는 산술평균이 전체적으로 RMSD가 가장 작은 것으로 나타났다. 이는 야간에 해수의 연직운동이 적어 수온의 편차가 크지 않을 때에는 간단한 산술평균이 더 정확한 결과를 산출할 수 있음을 의미한다. 그

Figure 4. RMSD of monthly SST of the COMS according to data characteristics: daytime (left) and nighttime (right).

러나 자료의 상황이 양호하지 않은 조건에서는(예를 들어, 시계열 표준편차 2℃ 이상, 결측치 비율 70% 이상, 자료품질 2 이하) 다른 기법들이 우수한 성능을 보이는 경우를 상당히 발견할 수 있었다(Table 3). 대체로 산술평균은 시계열 표준편차와 결측치 비율이 작고 자료품질이 좋은 경우에 산출물의 정확도가 높게 나타난 반면, 시공간평균은

시계열 표준편차가 클 때 낮은 RMSD를 보였고, 이동평균과 평균양상비는 결측치 비율이 크거나 자료의 품질이 떨어지는 경우에 적절한 값의 평활화를 통해 정확도를 높이는 것으로 사료된다.

주간 산출물에서는 봄철과 여름철에 주로 산술평균이 나은 정확도를 보였으며, 가을철과 겨울철에는 이동평균이 효과적이었음을 확인할 수 있다

Table 3. RMSD under unfavorable conditions (optimal method in gray).

Condition	Daytime RMSD (℃)		Nighttime RMSD (℃)	
Standard deviation $\geq 2^{\circ}\text{C}$	Arith	1,610	Arith	1,588
	Time	1,581	Time	1,552
	Moving	1,610	Moving	1,586
	Ensemble	1,599	Ensemble	1,607
Missing value ratio $\geq 70\%$	Arith	1,345	Arith	1,296
	Time	1,358	Time	1,344
	Moving	1,342	Moving	1,298
	Ensemble	1,347	Ensemble	1,250
Data quality ≤ 2	Arith	1,387	Arith	1,316
	Time	1,408	Time	1,359
	Moving	1,384	Moving	1,318
	Ensemble	1,392	Ensemble	1,272

Arith: Arithmetic Mean, Time: Timeslot Average, Moving: Moving Average, Ensemble: Mean Ensemble

Table 4. Optimal aggregation method by season.

		Spring			Summer			Fall			Winter		
Day time	YYYYMM	2011/04	2011/05	2011/06	2011/07	2011/08	2011/09	2011/10	2011/11	2011/12	2012/01	2012/02	2012/03
	RMSD	1,181	1,115	1,503	0,979	1,314	1,023	0,890	1,113	1,545	0,976	1,114	1,065
	Optimal	Time	Time	Time	Time	Arith	Arith	Arith	Moving	Moving	Ensemble	Moving	Arith
	YYYYMM	2012/04	2012/05	2012/06	2012/07	2012/08	2012/09	2012/10	2012/11	2012/12	2013/01	2013/02	2013/03
	RMSD	1,350	1,647	1,534	2,060	1,482	1,013	0,898	1,296	1,725	1,026	0,973	1,273
	Optimal	Arith	Arith	Moving	Arith	Arith	Arith	Arith	Moving	Moving	Moving	Moving	Arith
	YYYYMM	2013/04	2013/05	2013/06	2013/07	2013/08	2013/09	2013/10	2013/11	2013/12	2014/01	2014/02	2014/03
	RMSD	1,219	1,544	1,987	1,272	1,064	0,981	1,003	1,488	1,477	0,941	1,551	1,085
	Optimal	Moving	Arith	Arith	Arith	Arith	Arith	Moving	Moving	Moving	Arith	Moving	Arith
Night time	YYYYMM	2011/04	2011/05	2011/06	2011/07	2011/08	2011/09	2011/10	2011/11	2011/12	2012/01	2012/02	2012/03
	RMSD	1,523	1,168	1,993	1,686	1,075	0,824	0,735	1,156	1,512	1,166	1,121	0,744
	Optimal	Time	Time	Time	Ensemble	Ensemble	Ensemble	Ensemble	Ensemble	Ensemble	Ensemble	Ensemble	Ensemble
	YYYYMM	2012/04	2012/05	2012/06	2012/07	2012/08	2012/09	2012/10	2012/11	2012/12	2013/01	2013/02	2013/03
	RMSD	0,934	0,854	1,021	1,208	1,362	0,597	0,610	1,518	1,319	0,958	0,868	0,822
	Optimal	Ensemble	Ensemble	Arith	Arith	Ensemble	Ensemble	Ensemble	Ensemble	Ensemble	Ensemble	Ensemble	Ensemble
	YYYYMM	2013/04	2013/05	2013/06	2013/07	2013/08	2013/09	2013/10	2013/11	2013/12	2014/01	2014/02	2014/03
	RMSD	0,864	1,082	1,474	0,857	0,628	0,660	0,965	1,277	1,556	0,978	1,048	0,786
	Optimal	Ensemble	Ensemble	Arith	Ensemble	Arith	Arith	Ensemble	Ensemble	Ensemble	Ensemble	Ensemble	Ensemble

Arith: Arithmetic Mean, Time: Timeslot Average, Moving: Moving Average, Ensemble: Mean Ensemble

Figure 5. Spatial distribution of optimal method by season for the generation of COMS level 3 SST (daytime).

(Table 4). 해안선을 따라 시계열 표준편차와 결측치 비율이 크게 나타나는 곳에서는 시공간평균이 우수한 경우가 여러 군데에서 발견되었다(Figure 5). 산술평균, 시공간평균, 이동평균 세 가지 방법

중 야간에는 산술평균이 가장 적합하지만, 세 가지 결과의 평균양상불은 야간에 보다 더 효과적인 것으로 나타나 산술평균에 비해 대체로 더 낮은 RMSD를 보였다(Figure 6).

Figure 6. Spatial distribution of optimal method by season for the generation of COMS level 3 SST (nighttime).

4. 요약 및 결론

본 연구는 COMS SST 3차 산출물 생성을 위한 최적 합성기법 탐색을 목표로 수행되었으며, 2011

년 4월부터 2014년 3월까지 36개월간 우리나라 근해의 SST를 대상으로 15분 단위의 2차 산출물을 산출평균, 시구간평균, 이동평균 및 평균양상블을 이용하여 주·야간의 월자료 3차 산출물을 생성하

였다. 이 네 가지 결과는 SST의 일반적 검증대상으로 이용되고 있는 Aqua MODIS 3차 산출물과 비교분석 되었다. COMS SST 월자료는 주·야간 3차 산출물 모두 Aqua MODIS에 비해 다소 과소 추정되는 경향이 있었으나, 이는 관측주기 및 센서 분광특성의 차이가 우리나라 근해의 해양적 특성과 결합되어 발생하는 것으로 사료된다. 본 연구에서 고안된 시공간 평균법은 15분 단위 자료의 시계열 표준편차가 크고 결측치가 많은 경우에, 특히 COMS의 운용 초기 산출값이 불안정한 시기에 효력을 발휘할 수 있었다. 대체적으로 주간에는 산술평균과 이동평균의 정확도가 높았고, 야간에는 산술평균뿐 아니라 세 가지 기법의 평균양상불이 매우 효과적임을 알게 되었다. 또한 공간패턴을 볼 때, 도서지역과 해안선 부근에서 시계열 표준편차와 결측치 비율이 증가하여 시공간 평균에 의한 정확도 개선이 여러 곳에서 나타났으며, 평균양상불의 경우 특정 공간영역에 국한되지 않고 골고루 향상된 결과를 보였다. COMS 2차 산출물의 시공간적 특성에 따라 최적의 시계열 합성기법이 달라지는 경향이 나타났으므로, COMS SST 3차 산출물의 생성에 있어 산술평균을 일괄적으로 적용하기보다는 특정 지역 및 목적에 적합한 다양한 합성기법의 사용을 고려하는 것이 양질의 SST 자료 구축에 유익할 것으로 사료된다.

사사

이 연구는 국가기상위성센터 연구용역사업 “위성자료의 예보 및 응용기술 개발”과 기상청 “기상기술개발사업(CATER 2012-2069)”의 지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

- Ahn, M., 2007, *Development of Meteorological Data Processing System of Communication, Ocean and Meteorological Satellite*, Meteorological Research Institute, Seoul, South Korea (in Korean).
- Alvera-Azcárate, A., Sirjacobs, D., Barth, A., and Beckers, J., 2012, Outlier detection in satellite data using spatial coherence, *Remote Sensing of Environment*, 119(16), 84-91.
- Emery, W.J., Baldwin, D.J., Schluskel, P., and Reynolds, R.W., 2001, Accuracy of in situ sea surface temperatures used to calibrate infrared satellite measurements, *Journal of Geophysical Research*, 106, doi: 10.1029/2000JC000246.
- Goodrum, G., Kidwell, K., and Winston, W., 2000, *NOAA KLM User's Guide (September 2000 Revision)*, NOAA NESDIS, Maryland, USA.
- Guan, L., Kawamuram H., and Murakami, H., 2003, Retrieval of sea surface temperature from TRMM VIRS, *Journal of Oceanography*, 59(2), 245-249.
- Hubanks, P., King, M., Platnick, S., and Pincus, R., 2008, *MODIS atmosphere L3 gridded product algorithm theoretical basis document*, National Aeronautics and Space Administration Technical Report No. ATBD-MOD-30.
- Kern, M., Preimesberger, T., Allesch, M., Pail, R., Bouman, J., and Koop, R., 2005, Outlier detection algorithms and their performance in GOCE gravity field processing, *Journal of Geodesy*, 78(9), 509-519.
- Kim, D., Cho, J., and Lee, Y., 2013, Quality management of COMS products using spatio-temporal statistical methods, *Journal of Climate Research*, 8(1), 45-53 (in Korean).
- Lee, S., Cho, K., and Choi, B., 1986, A Study on the interpolation of DTM applying moving average and linear prediction method, *Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogram-*

- metry and Cartography*, 4(1), 58-71 (in Korean).
- Lu, C., Kou, Y., Zhao, J., and Li, C., 2007, Detecting and tracking regional outliers in meteorological data, *Information Sciences*, 177(7), 1609-1632.
- Park, K., Sakaida, F., and Kawamura, H., 2008, Oceanic skin-bulk temperature difference through the comparison of satellite-observed sea surface temperature and in-situ measurements, *Korean Journal of Remote Sensing*, 24(4), 273-287 (in Korean).
- Park, S., Kang, S., and Kwon, W., 2005, Prediction of boreal winter precipitation by nonlinear multi-model ensemble technique, *Journal of the Korean Meteorological Society*, 41(6), 1015-1028 (in Korean).
- Prabhakara, C., Dalu, G., and Kunde, V.G., 1974, Estimation of sea surface temperature from remote sensing in the 11 to 13- μ m window region, *Journal of Geophysical Research*, 79, 5039-5044.
- Wan, Z., 2002, Estimate of noise and systematic error in early thermal infrared data of the Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS), *Remote Sensing of Environment*, 80(1), 47-54.

책임 편집: 장동호

영문 교열: 이은결