



Developing a framework and methodology to carbon sinks from the forestry sector in Samoa

Deliverable 3.1 through 3.6

Section 1 Establishment of data list and cooperation with local organizations

1. Review of Samoa government's published reports and global level data go.

Samoa government published report

(1) FAO Forest Resource Assessment (FRA)

- The Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) is conducting the Global Resources Assessment (GFC) to provide policy data and monitor indicators related to the protection of terrestrial ecosystems in Goal 15 (SDG 15) of the UN's Sustainable Development Goals. FRA) is announced every five years.
- In addition, the report was written by a relevant expert in the reporting country, accurately reflecting the country's forestry situation, and was prepared using existing statistics and remote sensing-based analysis.
- Samoa reports on various aspects such as Samoa's forest area, type of forest, amount of forest biomass and carbon, and forest ownership through the FRA report.
- According to the FRA report, Samoa divides land into Forest, Other wooded land, and Other land, and Forest is classified into Mangrove, Closed Forest, Medium Dense Forest, Open Forest, Secondary Forest, and Forest plantation (Table 1).

Table 1 Samoa land and forest types

Main Category		Middle classification	Description
Forest		Mangrove Forest (M)	On land submerged in brackish or salt water on the coast Mangroves present
		Closed Forest (FC)	Crown area 65-70% * Primeval forest (primary forest), **2tea forest (secondary forest) all included
		Medium Dense Forest (FM)	Crown area 40% over 65-60% under
		Open Forest (FO)	Crown area 10% more 40% under
		Secondary Forest (FS)	2tea forest
		Forest Plantation (FP)	Artificially created forests (timber cultivation) ji..2)
Other Wooded Land		Scrub	- Area dominated by perennial woody trees 5-7m under No obvious crowns
Other Land - Forests and overgrown with trees Areas other than jin area	Agriculture	Plantations (coconut)	Areas where crops grow (mostly forest trees - coconut, banana)
		Mixed Crops	Areas with mixed forestry or vegetation crops (shrub crops, taro, yam, cassava, breadfruit) etc.) Or, it has recently been abandoned and has become a shrub or tree. naturally occurring area
	Open Land	Grass land	Areas dominated by herbaceous plants or grasslands
		Barren land	There is no vegetation, no urban areas or facilities. is the region
		Built-up area	All settlements (developed areas, industrial areas,

		industrial areas, secluded houses, gardens, parks, etc.)
	Infrastructure	Roads and infrastructure (airports, ports, runways, docks, sports facilities, etc.)
	Rivers	River
	Lakes	Lake (area with stagnant water)
	Wetland	marsh
	Shadow	

○ In addition, according to the FRA report, Samoa's forest area has been continuously decreasing since the 1990s (Figure 1).

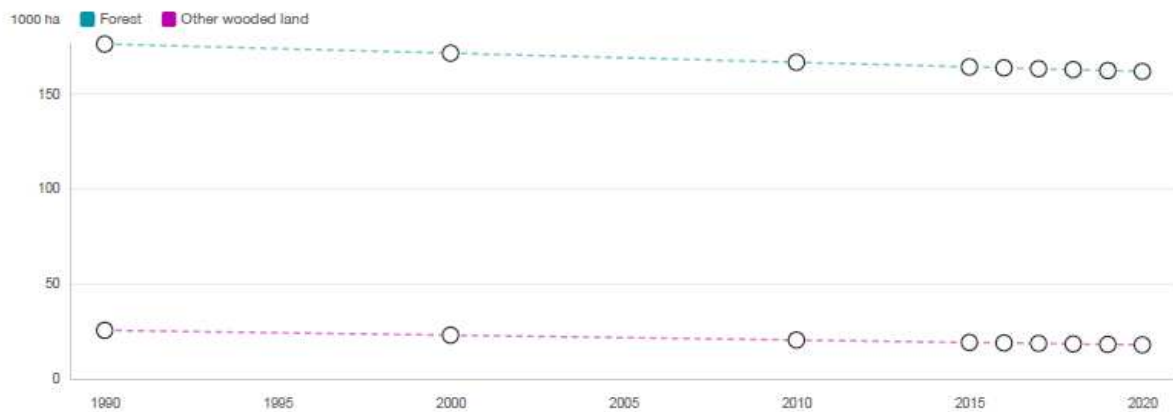


Figure 1 Samoa forest area (FAO)

(2) National Forest Inventory (NFI)

- The Samoa government established an NFI system with support from the Japanese government in 2014 and conducted interviews with land owners.
- In particular, forest surveys focus on biomass of standing trees, and analysis of carbon and biomass in forests is performed through relevant field data.
- Through this, Samoa's total forest carbon storage as of 2013 was reported to be 45,736,227 tons (Savaii: 36,921,502 tons, Upolu: 8,814,724 tons), and most of the forest carbon appears to be from Savaii's Medium Dense Foerst (Figure 2).

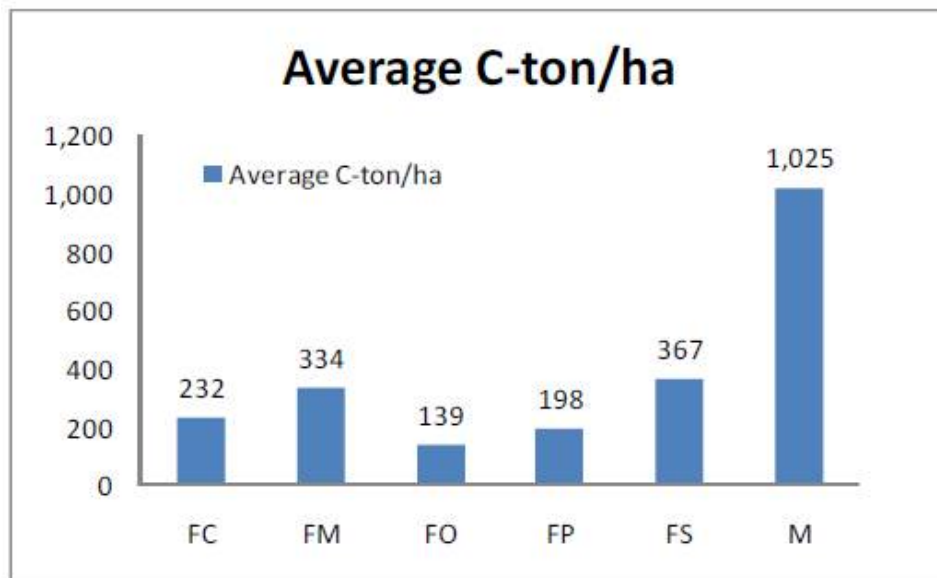


Figure 2 Nuclear carbon storage by forest type in Samoa

(3) Samoa's Second Nationally Determined Contribution (NDC)

- The Paris Agreement requires all parties to report NDC every 5 years.
- NDC includes national strategies and plans in various categories such as buildings, transportation, energy, and land use for climate change reduction and adaptation.
- According to the IPCC 6th report, one of the major sources of carbon emissions was mentioned as deforestation and reforestation, and in terms of land use, land use and forest management were emphasized as a way to achieve the reduction goal within the NDC.
- Samoa mentioned in its NDC report that it will increase forest area by 2% by 2030 compared to 2013.

me. Global level data

(1) ESA World cover map

- ESA World cover map contains global land cover information provided by ESA, which classifies and maps various cover types such as land and water on the Earth's surface (Figure 3).
- The map is created based on satellite image data and technology, and can be used for global environmental monitoring and environmental change analysis by classifying surface types such as land and water, taking into account various regions and covering conditions of the Earth.
- This study uses the global land cover map prepared based on 2020 and 2021.

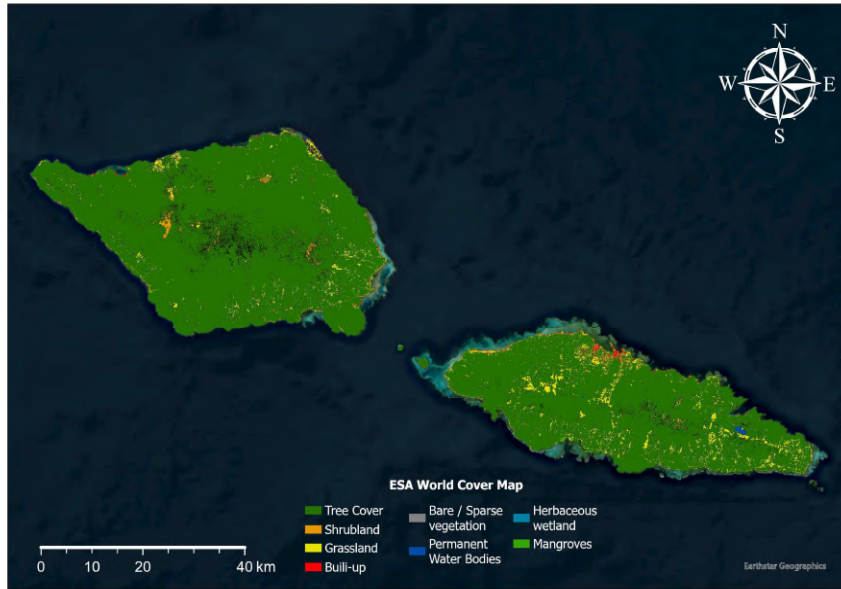


Figure 3 ESA World cover map

(2) Landsat satellite imagery

- The Landsat satellite is an Earth observation satellite jointly developed by the National Aeronautics and Space Administration (NASA) and the United States Geological Survey (USGS). Currently, Landsat 9 has been launched and is in simultaneous operation with Landsat 8.
- It has a total of 11 branch bands, and the visible light, near infrared, and shortwave infrared bands observe the ground surface with a spatial resolution of 30m, and the thermal infrared bands observe the ground surface with a spatial resolution of 100m.
- As Landsat No. 8 and No. 9 are operated simultaneously, there is a return visit cycle of 16 days, and although data acquisition has been possible since the 1980s, there are limitations in constructing precise land cover with a spatial resolution of 30m (Figure 4).



Figure 4 Landsat 8 and 9 Composite images

(3) National Greenhouse Gas Inventory (GHGI)

- GHGI is a statistic that calculates and compiles all greenhouse gas emissions resulting from human activities within a country, and is the most important basic data for responding to climate change.
- Includes categories such as energy, industrial processes, agriculture, land use, land use change and forestry (LULUCF), and waste.
- In particular, LULUCF refers to the increase or decrease in greenhouse gases that change depending on human land use, and is divided into six categories: forest land, agricultural land, grassland, wetlands, settlements, and other land. To accurately calculate greenhouse gases, each category must be A clear distinction is essential.

(4) IPCC Guidelines

- This is a guideline for calculating national greenhouse gas emissions and is used as a standard by parties to the Climate Change Convention when calculating national emissions.
- This presents standards for commonly applied methodology, data submission, etc. for objective evaluation and comparison of greenhouse gas emissions by country.
- In addition, it stipulates the emission source classification and calculation methodology, the type and scope of information subject to reporting, and the basic framework for reviewing national reports and evaluating achievement of reduction goals (Table 2).
- In particular, IPCC GL supports policy decisions and international reporting on climate change by introducing the concept of Tier and Approach to measure and report the impact of activities related to greenhouse gas reduction.

Table 2 Tier and Approach Type Description

level	Contents		level	Contents	
Tier 1	emissions factors	Global defaults, in reality likely biased for a country	Approach 1	Total land areas for a period	No change information; just estimates for area
Tier 2	emissions factors	Country specific; should be unbiased and more accurate	Approach 2	Net changes over two periods	Movements between land used can be reported
Tier 3	models or measurements	more advanced, accurate and flexible	Approach 3	spatially explicit, gross changes	temporally explicit

2. Establishment of a cooperation system with local organizations Establishment of cooperation system with MNRE

- MNRE consists of 14 departments, including Meteorology, Environment, Land management, Renewable energy , Cooperate services, Environment conservation, Climate change and GEF, Informatin technology, Forestry, Water resources, Legal services, SPA/Technical, Disaster management, and Water sector. has exist.
- The National Green Technology Research Institute and Korea University held a zoom meeting with Samoa's NDE, Climate change and GEF department, once a month.
- In addition, during this field investigation, we established a contact network with the Climate change, Forestry, and SPA/ Technical departments, and we plan to utilize this to continue cooperation.
- However , in the case of Samoa , approximately 80% of the land is privately owned , so cooperation with stakeholders such as local residents is important.

Looks like it will be done.

- To this end, it seems necessary to find a way to build a continuous cooperation system that takes into account stakeholders such as local residents.

Section 2 Construction of time series land use and land cover maps and analysis of land use change factors

1. Construction of land use and land cover classification data and production of time series land use map

Construction of land use and land cover classification data

(1) Review of optical satellites capable of observing the entire Earth and selection of satellite images capable of continuous monitoring

- Landsat-8 and Landsat-9 images were selected considering the spatial resolution of satellite images and the available time for satellite image acquisition. - Reviewed Sentinel-2, RapidEye, Landsat, SPOT, MODIS, KOMPSAT, etc. to select satellite images to be used in land use map production.
- The criteria for selecting satellite images include whether Samoa's territory is captured in the image, whether it has sufficient spatial resolution to perform land use and forest classification, and whether it is possible to acquire images of a sufficient period to analyze land use changes. has exist.
- In particular, Landsat-8, in which Samoa was photographed over the entire period from 2013 to 2023, considering temporal consistency with Samoa's existing land cover map and Samoa's Second Nationally Determined Contribution. Selected Landsat-9 image (Figure 7)
- The previously constructed land cover map of Samoa was produced based on 2013, and the area of agroforestry is being used compared to 2018 in the adaptation section of AFOLU (Agriculture, Forestry and Other Land Use) of Samoa's second national greenhouse gas reduction goal. 5%, and announced plans to increase total forest cover by 2% compared to 2013 (Figures 5 and 6).

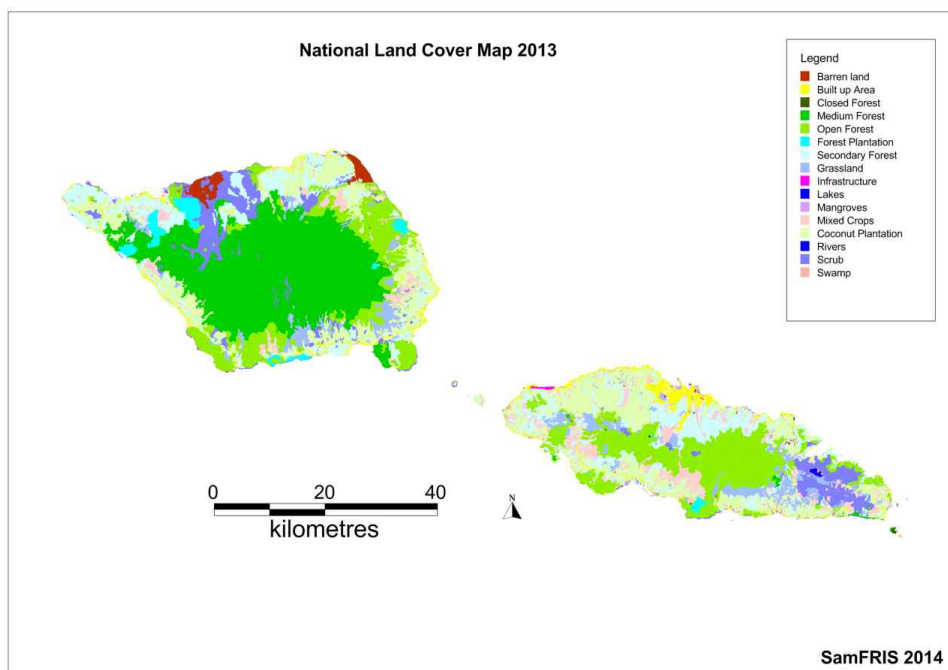


Figure 5 Constructed 2013 Samoa land cover map

Adaptation

Samoa's National Climate Change Policy 2020 – 2030 provides the framework for both national adaptation and mitigation actions through a whole-of-country approach to build resilience to the impacts of climate change. At the community level, Samoa has developed Community Integrated Management (CIM) Plans which identify prioritized adaptation actions by all of Samoa's 368 villages to enhance their climate resilience. This work builds on Samoa's successful implementation of its National Adaptation Programme of Action (NAPA) in 2005.

Building on current adaptation actions, Samoa identifies the following quantitative targets that contribute to adaptation in the marine and AFOLU sectors:

- **Marine** - expand the area of mangrove forests in Samoa by 5 percent by 2030 relative to 2018.⁸
- **AFOLU** - expand the area under agroforestry to an additional 5 percent of agricultural land by 2030 relative to 2018.⁹
- **AFOLU** - manage forests sustainably and increase total forest cover by 2 percent by 2030 relative to 2013.¹⁰

It is expected that these adaptation targets will also contribute to mitigation.¹¹

Mitigation and adaptation targets are conditional on external financial support.

Figure 6 AFOLU-related content from <Samoa's 2nd National Greenhouse Gas Reduction Target>

가용한 위성영상 후보리스트

구분	Sentinel-2	RapidEye	Landsat	Spot	MODIS	KOMPSAT
가용연도	2015.-현재	2008.-2020	1973.-현재	1986.-현재	1999.-현재	2006.-현재
재방문시간 (일)	5	1(off-nadir) 5.5(on-nadir)	16	1-3	1	3-5
관측폭 (km)	290	77	185	60	2,400	16(2,3)/12(8A)
공간 해상도 (m)	10 / 20 / 60	5	30	10,20	250 / 500 / 100	4(2) / 2.8(3) / 2.2(8A)
분광밴드	B	○	○	○	○	○
	G	○	○	○	○	○
	R	○	○	○	○	○
	NIR	○	○	○	○	○
	SWIR	○	○	○	○	○
TIR			○			○
비용	무료	유료	무료	유료	무료	유료

최종적으로 검토한 위성영상

Landsat 및 Sentinel 영상 취득 가능 시기

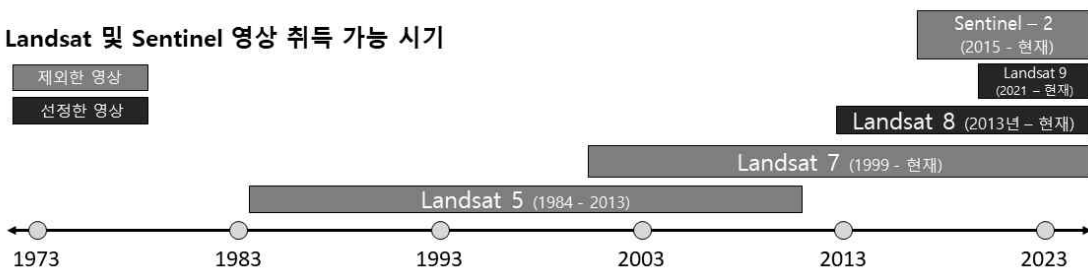


Figure 7 List of available satellite image candidates and when Landsat and Sentinel images can be acquired

(2) Establishment of land use classification analysis ready data (ARD) through acquisition and preprocessing of time series satellite data using Google Earth Engine (GEE)

○ Acquire Landsat-8 and Landsat-9 satellite data between 2013 and 2023 using Google Earth Engine (GEE)

- To analyze land use changes in 5-year intervals (2013, 2018, 2023) using 2013 as the base year, images from 2013 to 2023 were collected using Landsat-8, and images from 2021 to 2023 were collected using Landsat-9. 2023

Video was acquired.

- Images other than the target year for analyzing land use change (2013, 2018, 2023) and the learning base year for the land

cover and forest classification model (2021) were also acquired, and cloud interference was detected through Temporal Composite. Want to minimize.

- Due to the geographical and climatic characteristics of Samoa, where cloud forests are constantly formed in the alpine area, it is key to acquire satellite images with low noise due to clouds and haze, so the dry season images from 2013 to 2023 are selected. Only images from May to September (dry season) were acquired.

- In light of previous studies, the optimal cloud land cover ratio of satellite images to the land area is 10% to 30% , but in this study, the cloud land cover ratio to the land area was increased to 60% and as many images as possible were acquired to obtain temporal coverage. We want to increase the utilization of Composite.

○ Perform preprocessing work and build classification analysis ready data (ARD) using Google Earth Engine (GEE)

- Analysis preparation data for land use and forest classification work was constructed through the following preprocessing process, and for this purpose, Google Earth Engine (GEE) Code Editor was used.

- ① Cloud Masking1: Masking of clouds and haze by applying the QA band (Quality Assessment Band) in the video.
- ② Cloud Masking2: Cloud and haze masking using a filter learned with a Random Forest (RF) model.
- ③ Application of Temporal Composite and Median Medoid filter on a yearly basis: Composite by applying Median Medoid filter to multi-temporal images within target years for analysis and classifier training (2013 , 2018, 2021, 2023)
- ④ Application of multi-year Temporal Composite and Median Medoid filter: Synthesis by applying Median Medoid filter to images of years adjacent to the target year for analysis and classifier learning
- ⑤ Multi-temporal Mosaic: Mosaic of satellite images of four target years synthesized and satellite images of adjacent years synthesized (Mosaic)

- The period of images used to perform multi-year Temporal Composite in each target year for analysis and classifier training is between 2014 and 2016 for 2013, 2017 and 2019 for 2018, and 2020 for 2021. Year, in case of 2023, it is 2022.

- Starting in 2021, when Landsat-9 begins operation, both Landsat-9 and Landsat-8 images will be used (Figure 8).

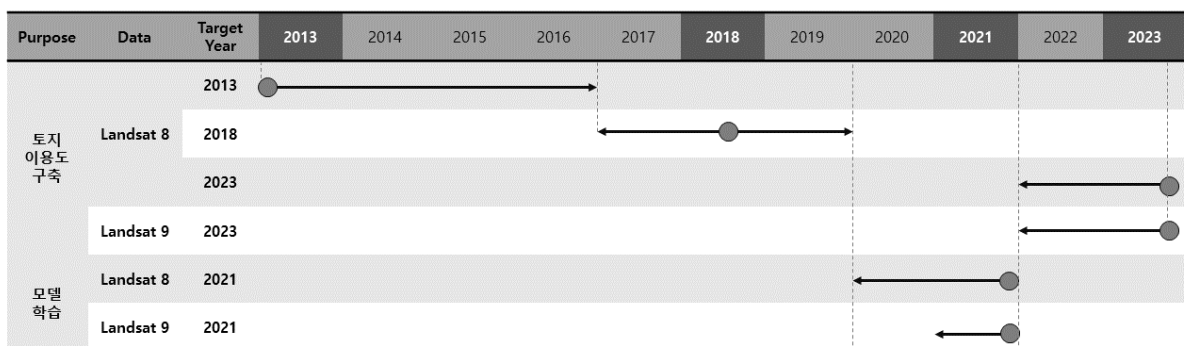


Figure 8 Landsat-8 and Landsat-9 image acquisition and temporal composite timing

(3) Construction of learning materials by cover for land use classification using satellite images and artificial intelligence techniques

- Establish labeled data using the Samoa national land use map and ESA World Cover Map.
- Learning data for building land use and forest classification models largely include labeled data and feature data.
- At the time of building the land use and forest classification model, there was no spatializable Samoa national land use map, so the 2013 Samoa national land use map image (format: JPEG) and the 2021 ESA World Cover Map were combined to construct labeled data for 2021. (Figure 9).
- There are a total of 12 classification items in the final constructed labeled data, of which 9 were extracted from the 16 classification items of the FAO Global Forest Resources Assessment (FAO FRA) followed by the 2013 Samoa National Land Use Map, and the remaining 3 were Classification items from the ESA World Cover Map are adopted (Figure 10).

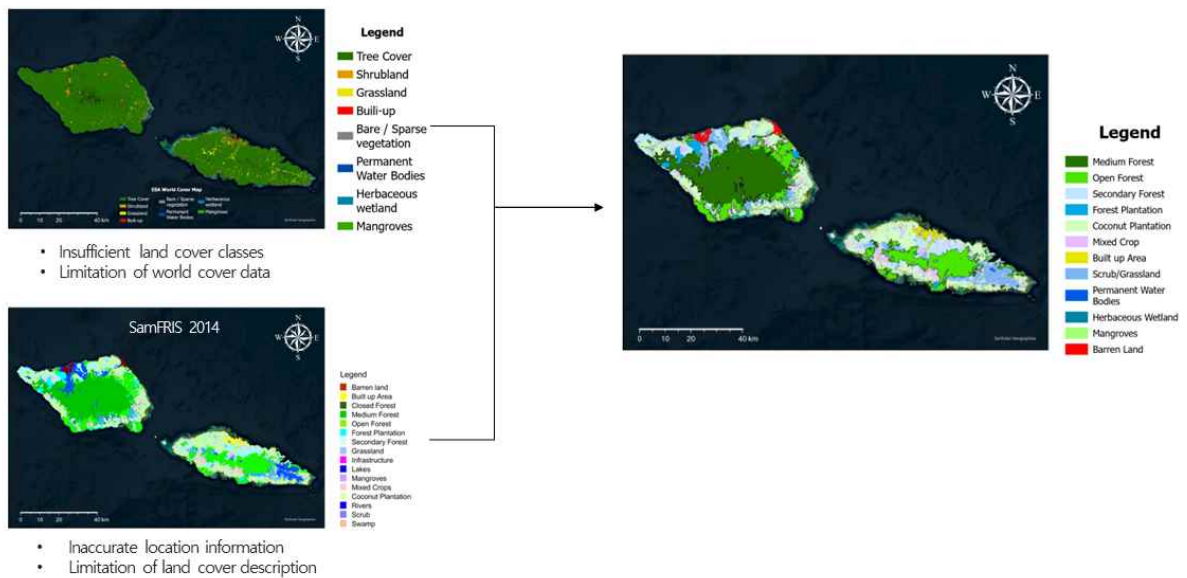


Figure 9 Labeled data construction process

SamFris_2014		ESA_2021		Esa_samfris	
1	Medium Forest	1	Tree cover	1	Medium Forest
2	Barren land	2	Shrubland	2	Open Forest
3	Open Forest	3	Grassland	3	Secondary Forest
4	Built up Area	4	Built-up	4	Forest Plantation
5	Forest Plantation	5	Bare/Sparse vegetation	5	Coconut Plantation
6	Scrub	6	Permanent water bodies	6	Mixed Crop
7	Grassland	7	Herbaceous wetland	7	Built up Area
8	Coconut Plantation	8	Mangroves	8	Scrub / Grassland
9	Mixed Crop			9	Permanent water bodies
10	Secondary Forest			10	Herbaceous wetland
11	Closed Forest			11	Mangroves
12	Infrastructure			12	Barren land
13	Lakes				
14	Mangroves				
15	Rivers				
16	Swamp				

Figure 10 (from left) Samoa land use map classification items in 2013, ESA World in 2021

Cover Map classification items, classification items of newly constructed labeled data

- Construct feature data using the spectral characteristics of 6 optical bands in satellite images and the altitude value of DEM
- In order to reflect the spectroscopic characteristics of each land use and forest classification item, the spectral values of each 6 bands (Blue, Red, Green, NIR, SWIR-1, SWIR-2) of the 2021 Landsat image are included as feature data.
- In order to reflect the relationship between the spectral characteristics of the target cover and the surrounding cover, High and Low Pass Filters with a size of $3m \times 3m$ were applied to the spectral values of each 6 bands of the 2021 Landsat image. A total of 12 new spectral characteristic values are included as feature data.
- In order to reflect changes in land use and forestry due to changes in altitude, altitude values extracted from the Global DEM with a resolution of approximately 20m are included as feature data (Figure 11).

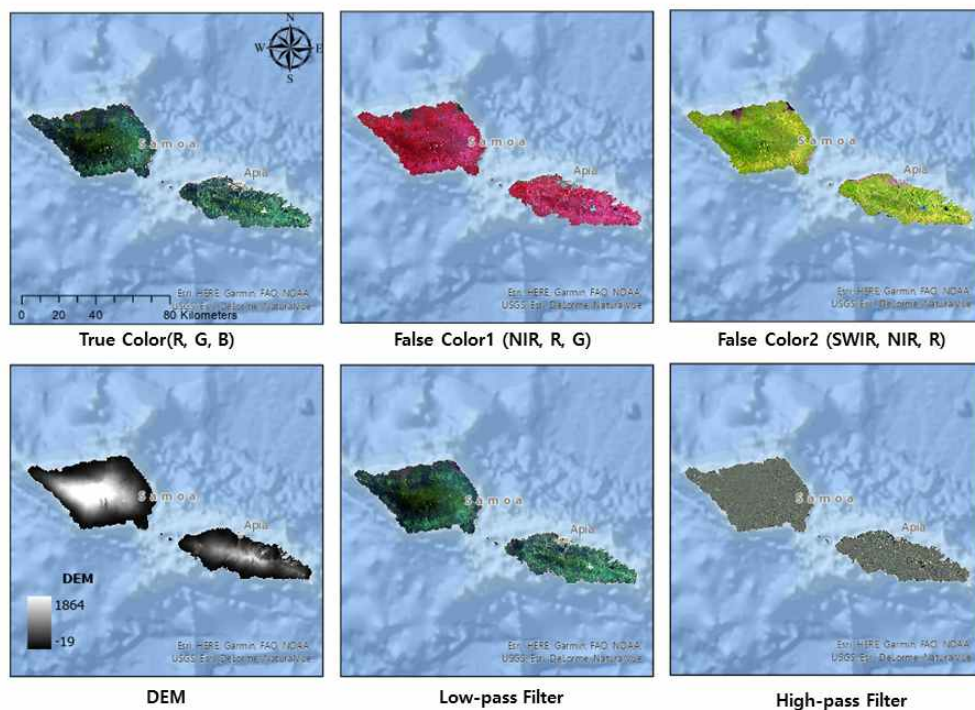


Figure 11 feature data values used as training material for land use and forest classification model

- Stratified Random Sampling is applied to finally construct the model's learning data.
 - By applying the Stratified Radom Point Sampling tool in ArcGIS software, 40% of the total area of the country was extracted as learning data, and 1,637,324 pixels based on total pixels of $30m \times 30m$ were used as learning data.
 - Stratified random sampling applies the proportional distribution method to allocate to each classification item a number of samples proportional to the actual size of each classification item.
- (4) Perform land use and forest classification using satellite images and artificial intelligence techniques
- Apply Python-based Random Forest (RF) model to learn model and perform land use and forest zoning
 - Random Forest (RF), one of the widely used machine learning models for classification tasks, was applied to land use and forest zoning in Samoa. The model combines several low-performance classifiers to improve the performance of the final model (ensemble). Improve the generalization performance of the classification model by applying the Emsemble technique
 - Random Forest's learning and calibration process is carried out using Scikit-Learn (a Python-based machine learning library).

It was performed through Ekit Run, and the development environment was Jupyter Notebook (Figure 12).

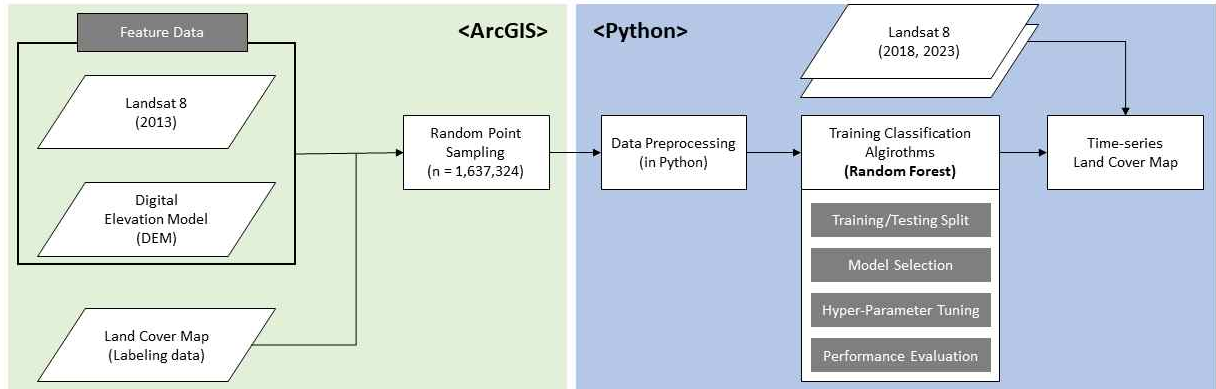


Figure 12 Samoa land use and forest classification model pipeline

- As a result of the performance evaluation of the learned Random Forest model, the overall accuracy was about 0.67, the recall was about 0.67, and the precision was about 0.66, which was evaluated as an acceptable land use and forest classification model (Table 3).

Table 3 Performance evaluation results for Samoa land use and forest classification model

	Accuracy	AUC	Recall	Precision	F1	Kappa
Mean	0.6658	0.9277	0.6658	0.6649	0.6634	0.6126
std	0.0013	0.0003	0.0013	0.0014	0.0014	0.0015

- However, due to the nature that approximately 90% of Samoa's land is forested, data imbalance within the learning data is inevitable, so the accuracy for forest cover is high, but the overall classification performance of the model is low due to low accuracy for other covers. It is believed that this has deteriorated.
- As a result of the feature importance analysis of the Samoa land use and forest classification model based on Random Forest, the altitude value (DEM) has the greatest importance (influence) on the classification results, and the spectral value by band is Low Pass. Blue (Band 2), Red (Band 4), NIR (Band 5), Green (Band 3), and SWIR 2 (Band 6) extracted by filter were analyzed as having high importance (influence) in that order (Figure 13, 14).

RandomForestClassifier Confusion Matrix

True Class	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0	67400	0	4262	10	519	903	365	138	1402	1	0	0
1	1	9465	44	141	7	316	317	116	54	40	0	10
2	3492	1	54983	99	497	5597	2380	2387	5509	52	0	3
3	1	35	89	19235	50	322	4600	1149	657	108	2	54
4	1455	2	1136	24	11676	312	987	162	1704	5	0	0
5	2337	140	7059	371	342	51942	4067	5877	2801	54	2	8
6	710	15	3541	3604	487	3340	44181	7266	11789	35	0	32
7	449	23	4758	2708	176	7602	13332	24401	5337	229	1	89
8	1507	34	6948	1146	699	3240	14472	4786	42085	64	0	19
9	0	62	22	208	0	23	24	119	35	1308	0	45
10	0	71	0	29	0	6	5	17	0	7	6	4
11	0	3	2	94	5	10	46	68	14	43	0	541

Predicted Class

Figure 13 Confusion Matrix of the Samoa Land Use and Forest Classification Model

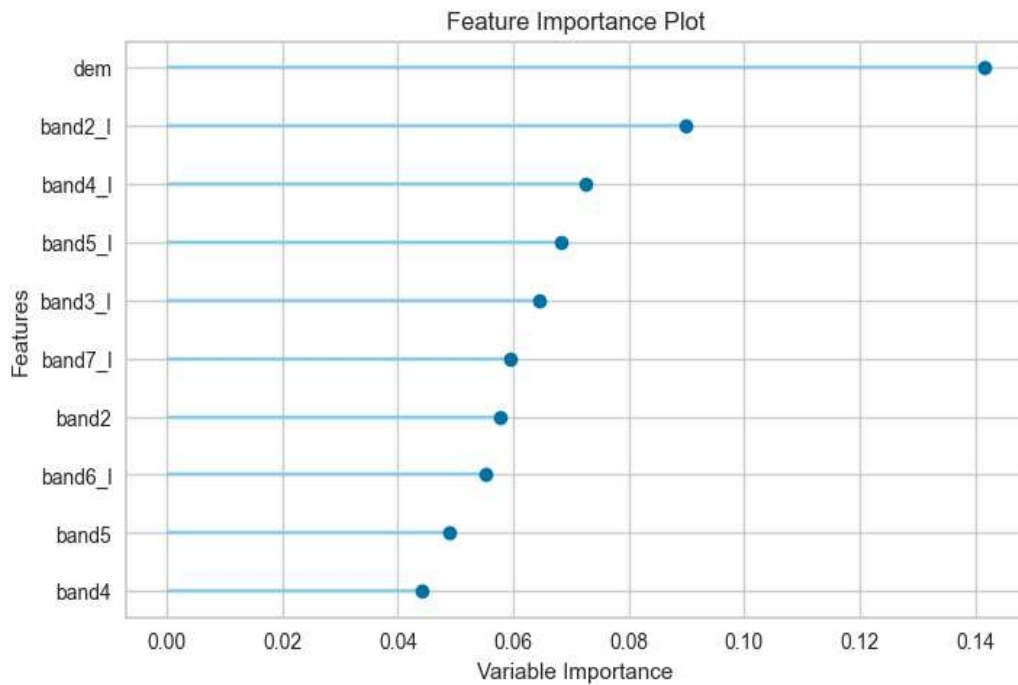


Figure 14 Importance graph for each characteristic of the Samoa land use and forest classification model

(5) Perform land use classification for all areas of Samoa (Upolu, Savai'i)

○ Construct a land use map for four years (2013, 2018, 2021, 2023) by applying the constructed Random Forest- based land use and forest classification model (Figures 15, 16, 17).

- By applying the constructed Random Forest-based land use and forest classification model, land use maps for 2013, 2018, and 2023 were constructed to analyze land use changes at five-year intervals.

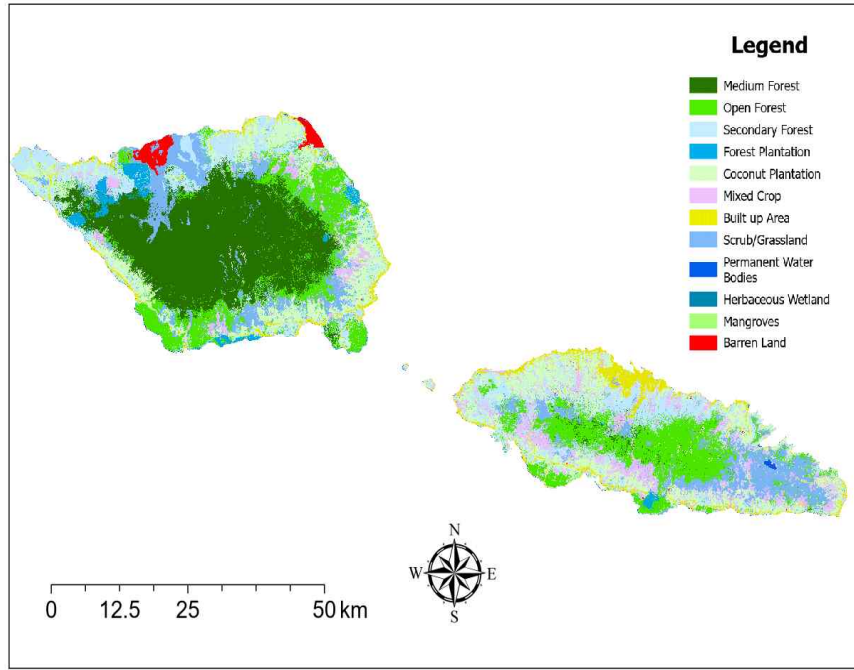


Figure 15 Samoa land use map in 2013 (Random Forest-based classification model applied)

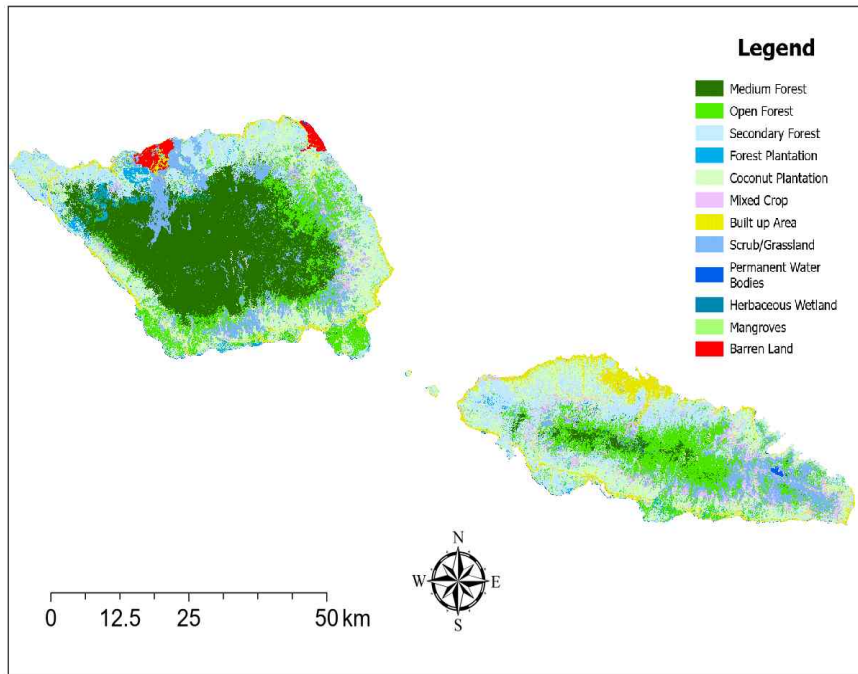


Figure 16 Samoa land use map in 2018 (Random Forest-based classification model applied)

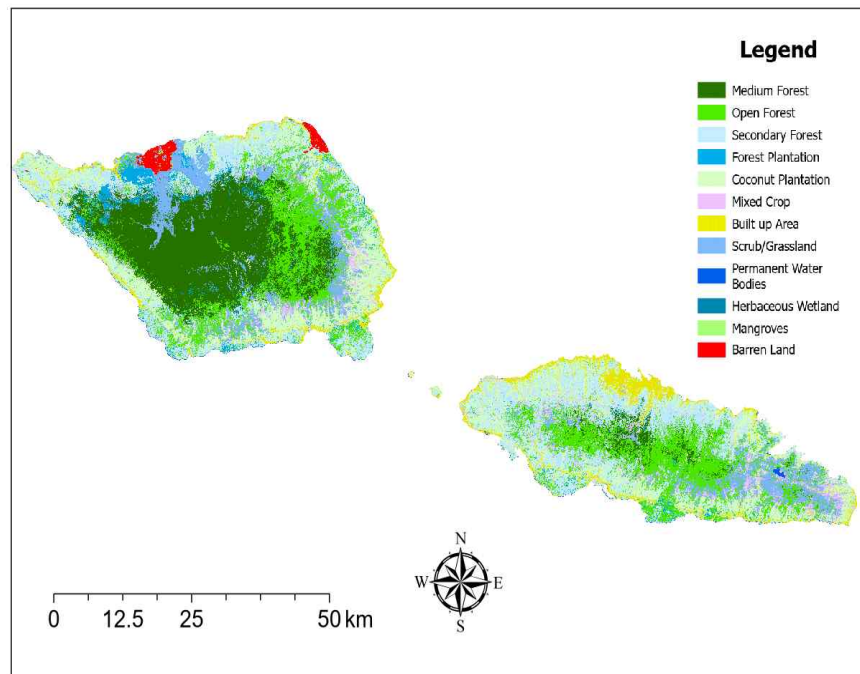


Figure 17 Samoa land use map in 2023 (Random Forest-based classification model applied)

○ Create a land use change matrix based on the constructed land use map.

- According to the land use change matrix, Coconut Plantation shows a steady increasing trend from 2013 to 2023.

- In the case of forests, there were various trends of increase and decrease in area by forest cover in 2018 compared to 2013, but in 2023 compared to 2018, the area of all forest covers except Medium Forest showed a tendency to increase. As a result, the current areas of Secondary Forest, Open Forest, and Forest Plantation are analyzed to have expanded compared to the area in 2013 (Figure 18).

	Land Cover Classes	2013			2018			2023		
		Area(ha)	Ratio	Var vs last 5 yrs	Area(ha)	Ratio	Var vs last 5 yrs	Area(ha)	Ratio	Var vs last 5 yrs
1	Medium Forest	68248.8	0.23	-	69135.84	0.24	↑	58024.71	0.20	↓
2	Open Forest	52897.14	0.18	-	48745.8	0.17	↓	56837.43	0.19	↑
3	Secondary Forest	40964.67	0.14	-	51804.09	0.18	↑	52975.26	0.18	↑
4	Forest Plantation	6322.32	0.02	-	5375.43	0.02	↓	7981.65	0.03	↑
5	Coconut Plantation	48503.07	0.17	-	52835.85	0.18	↑	54478.89	0.19	↑
6	Mixed Crop	23316.66	0.08	-	15081.57	0.05	↓	13510.17	0.05	↓
7	Built up Area	11825.64	0.04	-	13818.06	0.05	↑	13481.64	0.05	↓
8	Scrub / Grassland	35829.81	0.12	-	31729.59	0.11	↓	30904.56	0.11	↓
9	Permanent water bodies	846.54	0.00	-	922.23	0.00	↑	953.46	0.00	↑
10	Herbaceous wetland	28.17	0.00	-	2.88	0.00	↓	1.53	0.00	↓
11	Mangroves	315.81	0.00	-	255.87	0.00	↓	331.11	0.00	↑
12	Barren land	3326.31	0.01	-	2717.73	0.01	↓	2985.3	0.01	↑
	Total	292424.9	1		292424.9	1		292465.7	1	

Figure 18 Land use change matrix in Samoa in 2013, 2018 and 2023

Section 3 Verification and advancement of land use information based on field survey in Samoa

1. Establishment of field survey implementation plan and plan to verify land cover classification results

go. Establishment of field survey implementation plan based on time series land cover classification results

(1) Establishment of land cover classification field verification plan (A)

Derivation of field investigation points

- A total of 80 field survey points were derived to verify machine learning-based land cover classification results.
- Based on the land cover map of Samoa, 60 misclassification points and 20 correct classification points were derived from the model results.
- For the correct classification points, Landsat-8 satellite images and high-resolution orthoimages from Google Earth Pro were read with the naked eye, excluding points that could be accurately classified, and 20 points with a possibility of misclassification were extracted.
- In case of misclassification points, the calculation is centered on Secondary Forest, Open Forest, and Forest Plantation cover with high errors (Figure 19).



Figure 19 Field survey point calculation results

(B) Establishment of equipment and data collection plan for field investigation

- Preparation of survey field records, equipment, and data to be used during investigation
- The survey field log is prepared by including longitude and latitude location information and model-based classification results for each point along with high-resolution orthoimagery to clearly identify each point (Figure 20).

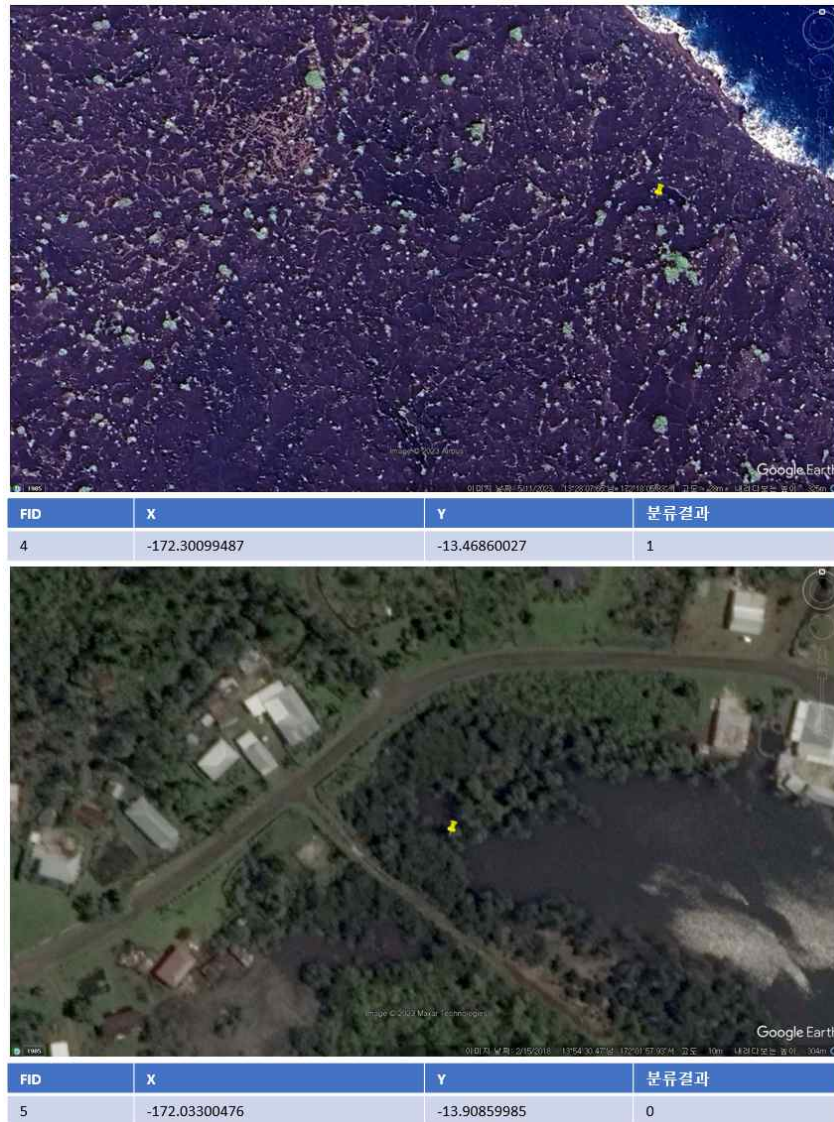


Figure 20 Field survey point details (classification results - 0: misclassification / 1: correct classification)

- Prepare GPS (Garmin) equipment to obtain accurate location information of the survey point.
 - In order to utilize the photo taking function provided by the GPS device itself and to easily obtain longitude and latitude location information, the basic settings including spatial data storage within the GPS device have been changed.
- (c) Establishment of on-site investigation schedule
- Plan your visit to Upolu and Savai'i
 - Verification and data collection after visiting Upolu's field investigation points on August 2nd and 4th
 - Verification and data collection after visiting the field investigation point in Savai'i on August 3 and 5
 - Upolu and Savai'i are geographically distributed more broadly east and west than north and south, so we attempted to conduct a daily survey by dividing the upper and lower parts.
 - Considering the overall business trip schedule and accessibility of local research points, a survey schedule was established to collect as much data as possible by moving to the center of the coast by car.

2. Conduct forestry field survey to verify land cover classification results

Conduct field survey to collect data to verify land cover classification results in Samoa

(1) Field survey schedule

(a) Upulu field survey

○ In the case of the Upulu field survey, verification of land cover classification results and forest carbon survey were carried out simultaneously.

- In the case of the survey site established in the planning stage, the survey point was revised again due to limitations in local conditions in terms of accessibility and schedule, and a field survey was conducted to verify the forest carbon survey and land cover classification results targeting 12 forest sites suggested by MNRE. Performed.

- Visited 12 field survey points for a total of 3 days from August 2nd to August 4th to collect data on land cover type and precise location information inside the forest.

- Information on land cover was collected during vehicle movement between 12 field survey points (Figure 21).

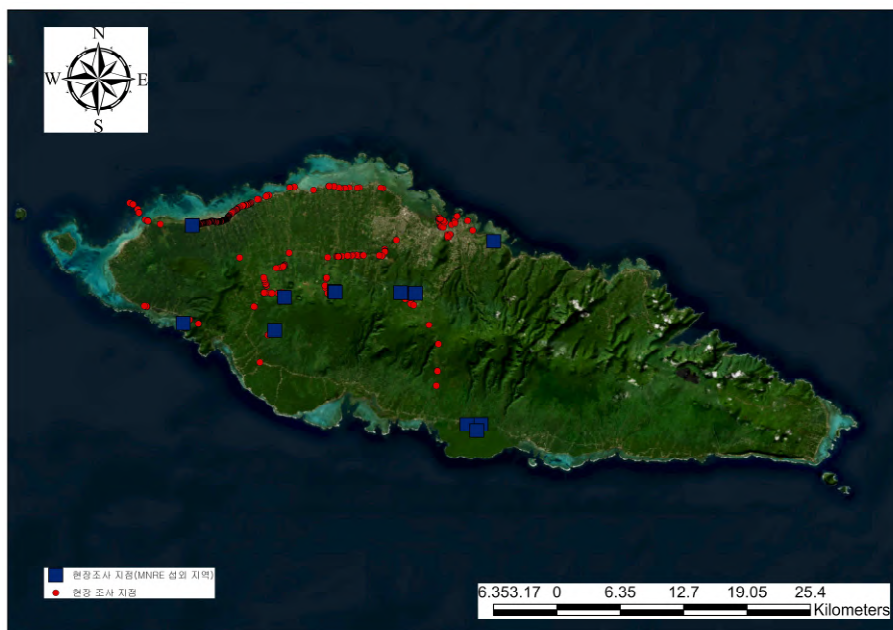


Figure 21 Upulu fieldwork site

(B) Savai'i field survey

- In the case of the Savai'i field survey, a field survey was conducted to verify the land cover classification results.
 - Two teams conducted surveys in the upper and lower Savai'i, respectively.
- Due to limitations in access and schedule to Savai'i Island, data were collected focusing on outlying areas (Figure 22).

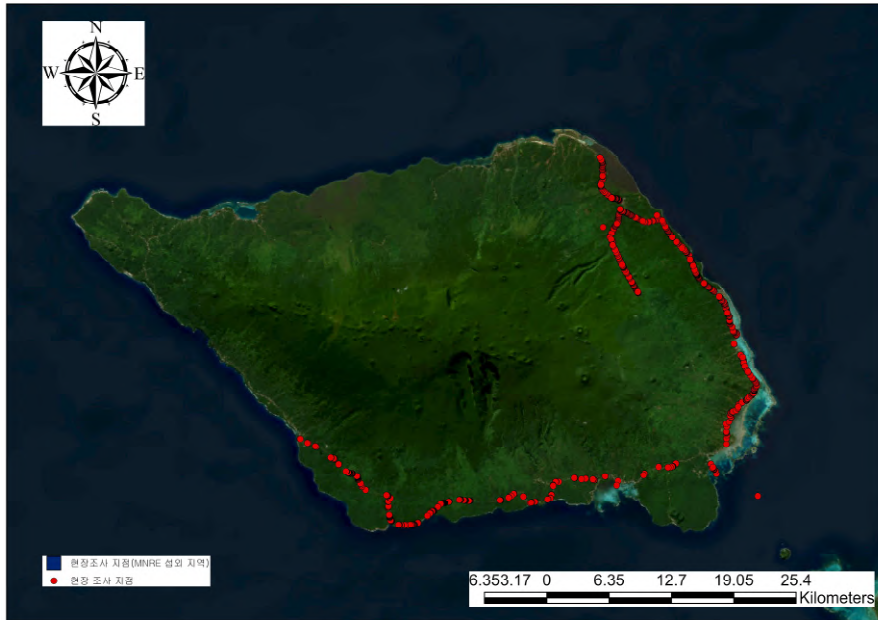


Figure 22 Savai'i field survey



Figure 23 Samoa nationwide field survey points for verification of land cover classification results

(c) Results of field investigation

- Verification of land cover classification results using field survey data
 - The field survey was mainly conducted targeting only the outskirts and parts of the forest interior of Upulu Island.
 - We are currently organizing and processing data acquired locally, and after completing the work, we plan to verify the land cover results primarily derived from this study to derive additional supplements and corrections.
 - Considering the lack of field surveys that take into account various forest types and regional characteristics, discussions on additional data and field surveys appear to be necessary.

2. Conduct field survey in Samoa forest using stratified random sampling method A.

Pre-planning for field research

- To estimate the biomass carbon storage of forest trees in Samoa forests, sample points must be placed by forest type and the trees within the sample points must be surveyed.
- For this purpose, forest types are classified into medium dense forest, open forest, plantation forest, and secondary forest based on the Samoa National Land Cover Map and the Global Forest Resources Assessment published by FAO
- Then, based on satellite images and road maps, sample points expected to be accessible by car and on foot were selected.
- Finally, 15 sample points (11 open forest, 1 plantation forest, 3 secondary forest) on Upolu Island and 13 sample points (2 medium dense forest, 5 open forest, 3 plantation forest) on Savaii Island , 3 secondary forests) were selected (Figure 3.1).
- The survey plot within the sample point was planned to be 20m

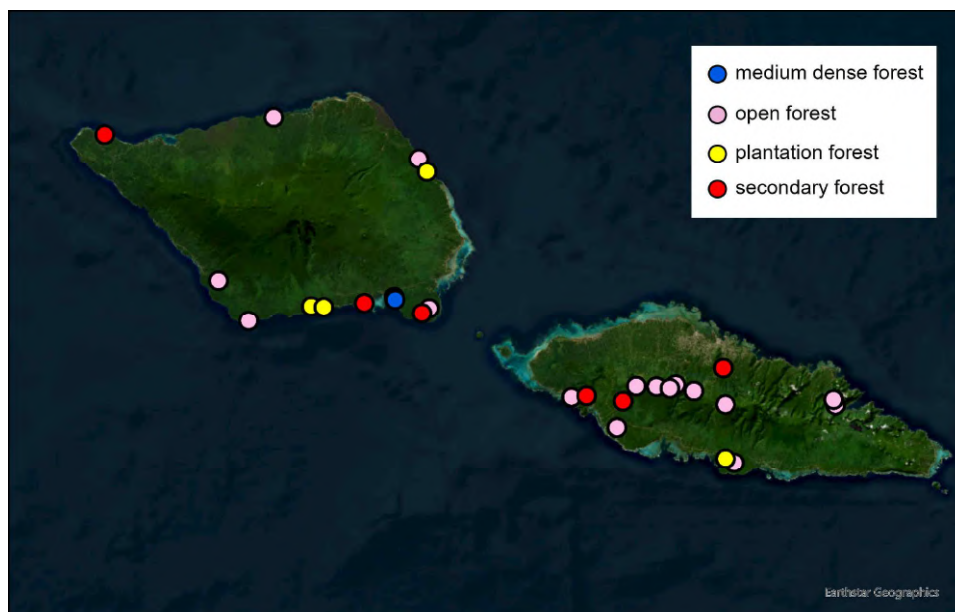


Figure 24 Sample point layout plan for field research in Samoa

Field survey results

(1) Change in field survey plan

- As a result of discussions with the Samoa MNRE, it was determined that the survey was not possible on Savaii Island due to time constraints and accommodation issues.
- Accordingly, the plan was changed to investigate 15 sample points on Upolu Island, but some of the sample points were located inside the private property, making access and investigation impossible.
- As a result, a tree survey was conducted at a total of 12 sampling points (6 open forests, 4 plantation forests, 2 secondary forests) on Upolu Island (Figure 25).

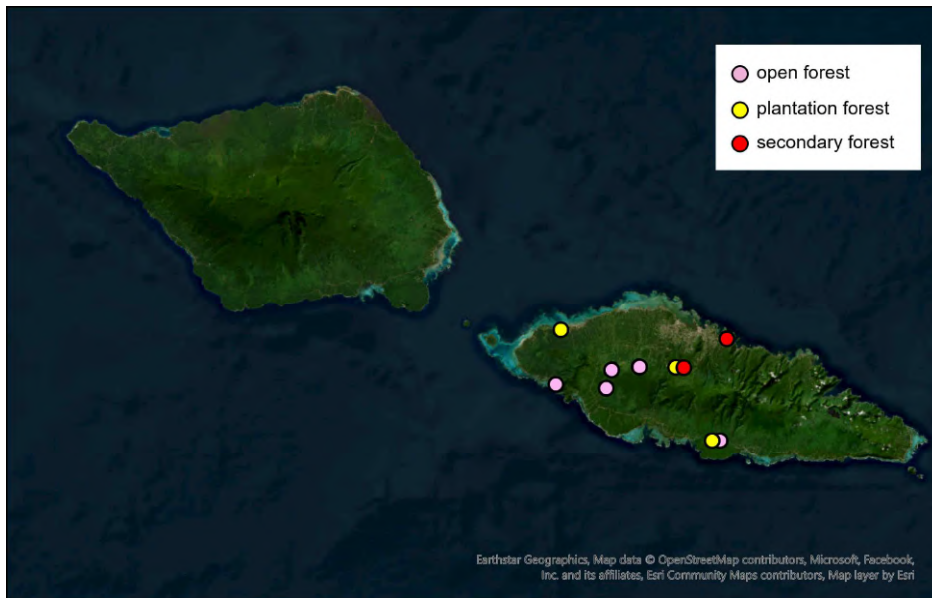


Figure 25 Changes in sample point arrangement for field research in Samoa



Figure 26 Samoa local tree survey

(2) Local item survey results

(a) Open forest

- A total of 13 tree species were distributed within the entire open forest sampling point (0.15 ha), and among all tree species, *Spathodea campanulata* 61.6%, *Pometia pinnata* 14.4%, *Funtumia elastica* accounted for 8.8% (Table 4).

Table 4 Main tree species and ratio in open forest

dropsy	Number of plants (bones/0.15 ha)	ratio(%)
<i>Spathodea campanulata</i>	77	61.6
<i>Pometia pinnata</i>	18	14.4
<i>Funtumia elastica</i>	11	8.8
<i>Hibiscus tiliaceus</i>	4	3.2
<i>Persea americana</i>	4	3.2
<i>Adenantha pavonina</i>	3	2.4
<i>Planchonella torricellensis</i>	2	1.6
<i>Syzygium samarangense</i>	One	0.8
<i>Cananga odorata</i>	One	0.8
<i>Castilla elastica</i>	One	0.8
<i>Macaranga harveyana</i>	One	0.8
<i>Dysoxylum samoense</i>	One	0.8
<i>Cocos nucifera</i>	One	0.8
Sum	125	100

- The average stand density of open forest is 833.3 trees ha. - One Appears as (Table 5).
- The range of breast height diameter in open forest was 10.0cm to 67.0cm, and the average breast height diameter was 17.4cm. The range of height was 3.5m to 22.9m, and the average height was 10.0m.
- The main dominant species in open forest are *Pometia pinnata*, *Persea americana*, *Funtumia elastica*, *Spathodea campanulata* Appears as .

Table 5 Stand structure in open forest

Sample point stand density number (see ha-One)	Chest height diameter (cm)			Effort (m)			Dominant species
	average	Ieast	maximum	average	Ieast	maximum	
0	525	23.6	10.0	59.0	11.3	3.5	19.4 <i>Pometia pinnata</i>
3	300	23.8	12.0	67.0	9.7	7.0	14.0 <i>Persea americana</i>
6	1700	18.8	10.0	40.0	16.4	11.0	22.9 <i>Funtumia elastica</i>
7	600	13.1	10.0	17.9	8.1	5.0	13.0 <i>Spathodea campanulata</i>
8	1800	16.1	10.0	24.0	9.5	4.9	14.6 <i>Spathodea campanulata</i>
11	3300	14.1	10.8	23.0	7.7	4.1	11.3 <i>Spathodea campanulata</i>
average	833.3	17.4	10.0	67.0	10.0	3.5	22.9

(B) Plantation forest

- A total of 18 tree species were distributed within the entire sampling point of the plantation forest (0.16 ha), and among all tree species, *Pometia pinnata* 24.5%, *Spathodea campanulata* 22.3%, *Terminalia richi* appears to account for 8.5% (Table 6).

Table 6 Main tree species and proportions in Plantation forest

dropsy	Number of plants (bones/0.16 ha)	ratio(%)
<i>Pometia pinnata</i>	23	24.5
<i>Spathodea campanulata</i>	21	22.3
<i>Terminalia richii</i>	8	8.5
<i>Barringtonia asiatica</i>	4	4.3
<i>Dysoxylum samoense</i>	5	5.3
<i>Cyathea decurrens</i>	5	5.3
<i>Swietenia macrophylla</i>	5	5.3
<i>Castilla elastica</i>	4	4.3
<i>Planchonella torricellensis</i>	4	4.3
<i>Cerbera manghas</i>	3	3.2
<i>Cedrela odorata</i>	3	3.2
<i>Morinda citrifolia</i>	2	2.1
<i>Terminalia catappa</i>	2	2.1
<i>Cananga odorata</i>	One	1.1
<i>Syzygium inophylloides</i>	One	1.1
<i>Calophyllum inophyllum</i>	One	1.1
<i>Persea americana</i>	One	1.1
<i>Endiandra elaeocarp</i>	One	1.1
Sum	94	100

- The average stand density of the plantation forest is 587.5 trees ha.-OneAppears as (Table 7).
- The range of breast height diameter in Plantation forest was 11.0cm to 52.5cm, and the average breast height diameter was 23.5cm. The range of height was 2.0m to 23.0m, and the average height was 11.2m.
- The main dominant species in plantation forest are *Pometia pinnata*, *Terminalia richii*, *Spathodea campanulata*Appears as .

Table 7 Stand structure of Plantation forest

Sample point stand density number (see ha-One)	Chest height diameter (cm)			Effort (m)			Dominant species
	average	Ieast	maximum	average	Ieast	maximum	
13	425	24.9	11.0	52.5	11.4	4.5	21.4 <i>Pometia pinnata</i>
14	525	24.9	12.0	37.0	10.1	2.0	20.6 <i>Pometia pinnata</i>
21	550	24.2	11.1	44.5	15.3	6.5	23.0 <i>Terminalia richii</i>
23	850	21.4	11.5	36.0	9.3	3.0	13.0 <i>Spathodea campanulata</i>
average	587.5	23.5	11.0	52.5	11.2	2.0	23.0

(c) Secondary forest

- A total of 18 tree species were distributed within the entire secondary forest sample point (0.08 ha), and among all tree species, *Terminalia richii*38.9%, *Piper methysticum*This 19.4%, *Cananga odorata*and *Terminalia catappa*appeared to account for 13.9% each (Table 8).

Table 8 Main tree species and ratio in secondary forest

dropsy	Number of plants (bones/0.08 ha)	ratio(%)
<i>Terminalia richii</i>	14	38.9
<i>Piper methysticum</i>	7	19.4
<i>Cananga odorata</i>	5	13.9
<i>Terminalia catappa</i>	5	13.9
<i>Cyathea decurrens</i>	3	8.3
<i>Planchonella torricellensis</i>	One	2.8
<i>Clinostigma samoense</i>	One	2.8
Sum	36	100

- The average stand density of secondary forest is 450 trees ha.-OneAppears as (Table 9).
- The range of breast height diameter in the secondary forest was 11.4 cm to 55.6 cm, and the average chest height diameter was 26.2 cm. The range of height was 3.5m to 22.9m, and the average height was 13.8m.
- The main dominant species in secondary forest are *Piper methysticum*, *Terminalia richii*Appears as .

Table 9 Stand structure of secondary forest

Sample point stand density number (see ha-One)	Chest height diameter (cm)			Effort (m)			Dominant species
	average	Ieast	maximum	average	Ieast	maximum	
22	450	29.1	11.4	55.6	18.2	10.4	22.9 <i>Piper methysticum</i>
24	450	23.3	11.4	41.6	9.4	3.5	13.0 <i>Terminalia richii</i>
average	450	26.2	11.4	55.6	13.8	3.5	22.9

(3) Limitations and points of improvement

- In this field survey, the sample points available for investigation were very limited as it was impossible to survey the entire Savaii Island and some sample points within Upolu Island.
- In particular, the number of sample points for plantation and secondary forest is 4 and 2, respectively, and it is judged that the number of sample points is somewhat insufficient to represent each forest type, so additional discussion on data acquisition appears to be necessary.
- Afterwards, above-ground and below-ground biomass and carbon storage will be estimated based on the tree species, diameter at breast height, and height of the trees in each sample point.

Section 4 Development of forest carbon calculation technology based on land use information

1. Calculation of forest carbon absorption and evaluation of model suitability

- The goal is to develop a model that can estimate carbon storage by forest type based on field survey data.
- However, because the sample points that could be surveyed in this field survey were limited, additional tree survey data is needed to develop the model.
- Therefore, forest carbon absorption was calculated using data obtained during this field survey and additional tree survey data.

We plan to develop a model.

- If additional data is not available, CO₂ per unit area per year due to increased forest biomass accumulation is based on the major tree species for each forest type identified during this field survey as an alternative method.²Total CO according to absorption calculation model or proportion of planted tree species and deforestation prevention rate²We plan to develop an absorption estimation model.



Developing a framework and methodology to carbon sinks from the forestry sector in Samoa

[Korean version]

사모아 산림탄소 탐지 및 정량화 기술 연구
[기후기술협력사업 지원을 위한 공간정보 기반
산림·토지이용 분류 및 산림탄소 산정 방법론 개발]

제 1 절 자료목록 구축 및 현지기관과 협력

1. 사모아 정부의 발간보고서 및 글로벌 수준의 데이터 검토

가. 사모아 정부 발간보고서

(1) FAO Forest Resource Assessment (FRA)

- 유엔식량농업기구(FAO)는 유엔의 지속가능한 발전 목표 중에서 15번 목표과제 (SDG 15)의 육상 생태계 보호에서 제시된 지표에 관한 정책자료 제공 및 모니터링을 위하여 세계 산림자원평가(Global Resources Assessment, FRA)를 매 5년마다 발표하고 있음.
- 또한, 보고 국가의 관련 전문가가 보고서 작성을 하여 국가의 산림에 대한 상황을 정확하게 반영하고 있으며, 작성을 위해서 기존 통계, 원격탐사 기반 분석을 활용하여 작성됨.
- 사모아는 FRA 보고서를 통해 사모아의 산림면적, 산림의 유형, 산림 바이오매스 및 탄소의 양, 산림 소유권 등 다양한 측면에서 보고를 수행함.
- FRA 보고서에 따르면 사모아는 토지를 Forest, Other wooded land, Other land로 구분하고 있으며, Forest는 Mangrove, Closed Forest, Medium Dense Forest, Open Forest, Secondary Forest, Forest plantation으로 분류하고 있음(표 1).

표 1 사모아 토지 및 산림유형

대분류		중분류	정의
Forest		Mangrove Forest (M)	해안가에 기수 혹은 염수로 잠긴 땅에 존재하는 맹그로브
		Closed Forest (FC)	수관면적 65-70% *원시림(primary forest), **2차산림 (secondary forest) 모두 포함
		Medium Dense Forest (FM)	수관면적 40% 초과 65-60% 미만
		Open Forest (FO)	수관면적 10% 이상 40% 미만
		Secondary Forest (FS)	2차 산림
		Forest Plantation (FP)	인위적으로 조성된 산림 (목재 재배지..?)
Other Wooded Land		Scrub	- 다년생 목본 교목 우점지역 5-7m 미만 뚜렷한 수관 없음
Other Land - 산림 및 나무로 우거진 지역이 아닌 지역	Agriculture	Plantations (coconut)	농작물이 자라는 지역 (대부분 임목 - 코코넛, 바나나)
		Mixed Crops	임목 혹은 초목 농작물이 혼재된 지역 (구황작물, 타로, 양, 카사바, 브레드프루트 등등) 혹은, 최근에 버려져 관목 혹은 교목이 자연 발생한 지역
	Open Land	Grass land	초본식물 혹은 초지 우점 지역
		Barren land	식생이 없으며, 시가지 혹은 시설이 없는 지역
		Built-up area	모든 정주지 (개발되는 지역, 산업지역,

		공업지역, 외딴 집, 정원, 공원 등등)
	Infrastructure	도로 및 인프라 (공항, 항만, 활주로, 부두, 스포츠 시설 등)
	Rivers	하천
	Lakes	호수 (물이 고여있는 지역)
	Wetland	습지
	Shadow	

○ 또한, FRA보고서에 따르면 사모아는 1990년대부터 지속적으로 산림면적이 감소하는 것으로 나타남(그림 1).

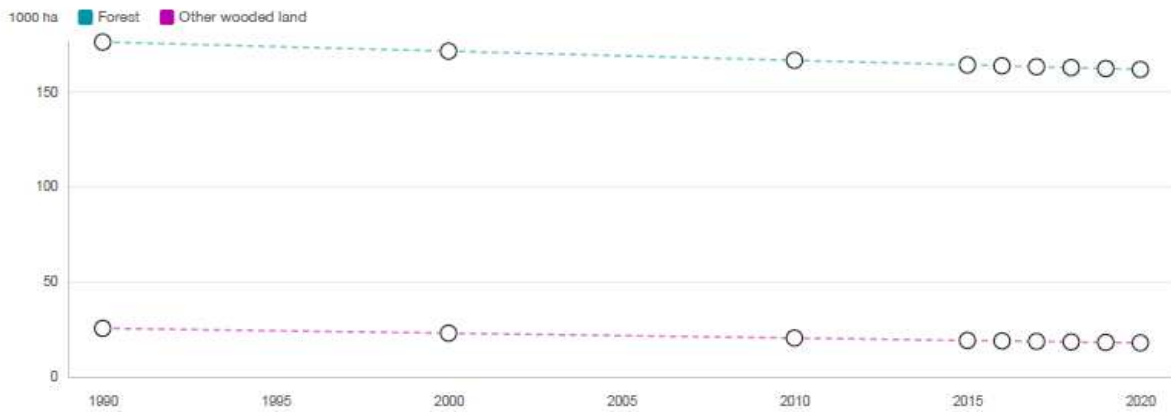


그림 1 사모아 산림면적(FAO)

(2) National Forest Inventory (NFI)

- 사모아 정부는 2014년 일본 정부의 지원을 받아 NFI 체계를 구축하고, 토지 소유자 등의 인터뷰를 수행함.
- 특히, 산림조사는 입목 바이오매스에 초점을 맞추고 있으며, 해당 현장데이터를 통해 산림에 대한 탄소와 바이오매스에 대한 분석을 수행함.
- 이를 통해 2013년 기준 사모아의 총 산림탄소저장량은 45,736,227 ton(Savaii : 36,921,502 ton, Upolu : 8,814,724 ton)으로 보고되었으며, 대부분의 산림탄소는 Savaii의 Medium Dense Foerst에 의한 것으로 나타남(그림 2).

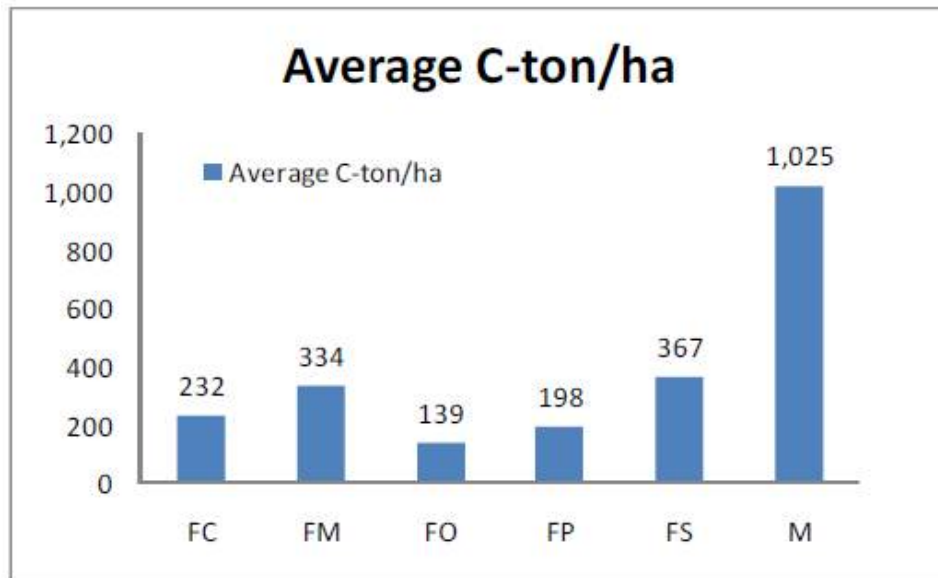


그림 2 사모아 산림유형별 헥타당 탄소저장량

(3) Samoa's Second Nationally Determined Contribution (NDC)

- 파리협정은 모든 당사국이 5년을 주기로 하여 NDC를 보고하도록 하고 있음.
- NDC는 기후변화 감축과 적응을 위한 건물, 교통, 에너지, 토지이용 등 다양한 범주의 국가전략과 계획을 포함하고 있음.
- IPCC 6차보고서에 따르면 주요 탄소배출원 중 하나는 산림전용과 황폐화로 언급되었으며, 토지이용 측면에서 토지이용과 산림관리(Land use and Forest management)는 NDC 내 감축 목표 달성을 위한 방법으로 강조됨.
- 사모아는 NDC 보고서를 통해 2013년 대비 2030년까지 2% 산림면적을 증가시킬 것으로 언급함.

나. 글로벌 수준 데이터

(1) ESA World cover map

- ESA World cover map은 ESA에서 제공하는 전 지구 토지피복(Cover) 정보를 담고 있으며, 이는 지구 표면의 다양한 육지 및 물 등 피복유형을 분류하고 매핑함(그림 3).
- 해당 지도는 위성영상 데이터 및 기술 등을 기반으로 생성되며, 지구의 다양한 지역과 피복 조건을 고려하여 육지, 수면 등의 표면 유형을 구분하여 지구환경 모니터링, 환경변화 분석 등에서 활용이 가능함.
- 본 연구에서는 2020년도와 2021년도를 기준으로 작성된 전 세계 토지피복지도를 사용함.

(3) National Greenhouse Gas Inventory (GHGI)

- GHGI는 한 국가 내 인간의 활동으로 인해 발생하는 모든 온실가스 배출량을 산정하고 취합하는 통계로서, 이는 기후변화 대응을 위한 가장 중요한 기초자료임.
- 에너지, 산업공정, 농업, 토지이용, 토지이용 변화 및 임업(LULUCF), 폐기물 등의 범주를 포함하고 있음.
- 특히, LULUCF는 인간의 토지 이용에 따라 변화되는 온실가스의 증감을 의미하며, 산림지, 농경지, 초지, 습지, 정주지, 기타토지 등 6가지 범주로 나뉘며, 정확한 온실가스 산정을 위해서는 각 범주에 대한 명확한 구분이 필수적임.

(4) IPCC Guideline

- 국가 온실가스 배출량 산정을 위한 지침으로 기후변화 협약 당사국이 국가 배출량 산정 시 기준으로 사용되는 지침임.
- 이는 국가별 온실가스 배출량의 객관적 평가 및 비교를 위해 공통 적용되는 방법론, 자료제출 등에 관한 표준을 제시함.
- 또한, 배출원 분류 산정방법론 보고대상 정보의 종류 범위 등을 규정하고 국가보고서 검토 및 감축 목표 달성에 대한 평가의 기본틀을 규정하고 있음(표 2).
- 특히, IPCC GL은 온실가스 감축과 관련된 활동의 영향을 측정하고 보고하기 위해 Tier와 Approach에 대한 개념을 도입하여, 기후변화에 대한 정책 결정과 국제적인 보고를 지원하고 있음.

표 2 Tier 및 Approach 유형 설명(moja global)

level	Contents		level	Contents	
Tier 1	emissions factors	Global defaults, in reality likely biased for a country	Approach 1	Total land areas for a period	No change information; just estimates for area
Tier 2	emissions factors	Country specific; should be unbiased and more accurate	Approach 2	Net changes over two periods	Movements between land used can be reported
Tier 3	models or measurements	more advanced, accurate and flexible	Approach 3	spatially explicit, gross changes	temporally explicit

2. 현지기관과의 협력체계 마련

가. MNRE와 협력체계 구축

- MNRE는 Meteorology, Environment, Land management, Renewable energy, Cooperate services, Environment conservation, Climate change and GEF, Informatin technology, Forestry, Water resources, Legal services, SPA/ Technical, Disaster management, Water sector 등 14개 부서로 이루어져 있음.
- 국가녹색기술연구소와 고려대학교는 월 1회 사모아 NDE인 Climate change and GEF 부서와 줌미팅을 실시하였음.
- 또한, 이번 현장조사 기간에 Climate change, Forestry, SPA/ Technical 부서와 연락망을 구축하였으며, 이를 활용하여 지속적인 협력을 하고자 함.
- 하지만, 사모아의 경우 토지의 약 80%가 사유지로 지역주민 등 이해관계자와의 협력이 중요

할 것으로 보임.

- 이를 위해 지역주민 등 이해관계자를 함께 고려한 지속적인 협력체계 구축 방안의 모색이 필요할 것으로 보임.

제 2 절 시계열 토지이용·토지피복 지도 구축과 토지이용변화 요인 분석

1. 토지이용·토지피복분류 데이터 구축 및 시계열 토지이용지도 제작

다. 토지이용·토지피복분류 데이터 구축

(1) 전 지구 관측가능 광학위성 검토 및 지속적인 모니터링이 가능한 위성영상 선정

- 위성영상의 공간해상도, 위성영상 취득가능 시기 등을 고려하여 Landsat-8와 Landsat-9 영상을 선정함.
 - 토지이용지도 제작에 사용될 위성영상을 선정하기 위해 Sentinel-2, RapidEye, Landsat, SPOT, MODIS, KOMPSAT 등을 검토함.
 - 위성영상 선정기준으로는 영상 내 사모아 국토 촬영 여부, 토지이용 및 산림 분류를 수행하기에 충분한 공간해상도를 지니고 있는지 여부, 토지이용변화를 분석하기에 충분한 기간의 영상을 취득할 수 있는지 여부 등이 있음.
 - 특히, 기존 사모아의 토지피복도 및 제 2차 국가 온실가스 감축 목표(Samoa's Second Nationally Determined Contribution)과의 시기적 일관성을 고려하여 2013년도에서 2023년도까지 전 시간에 걸쳐 사모아가 촬영된 Landsat-8과 Landsat-9 영상을 선정함(그림 7)
- 기구축된 사모아 토지피복도는 2013년을 기준으로 제작되었으며, 사모아 제 2차 국가 온실가스 감축 목표의 AFOLU(Agriculture, Forestry and Other Land Use)의 적용 부문에서 2018년 대비 혼농임업이 이뤄지는 공간의 면적을 5%, 2013년 대비 총 산림 피복을 2% 늘리겠다 발표함(그림 5, 6).

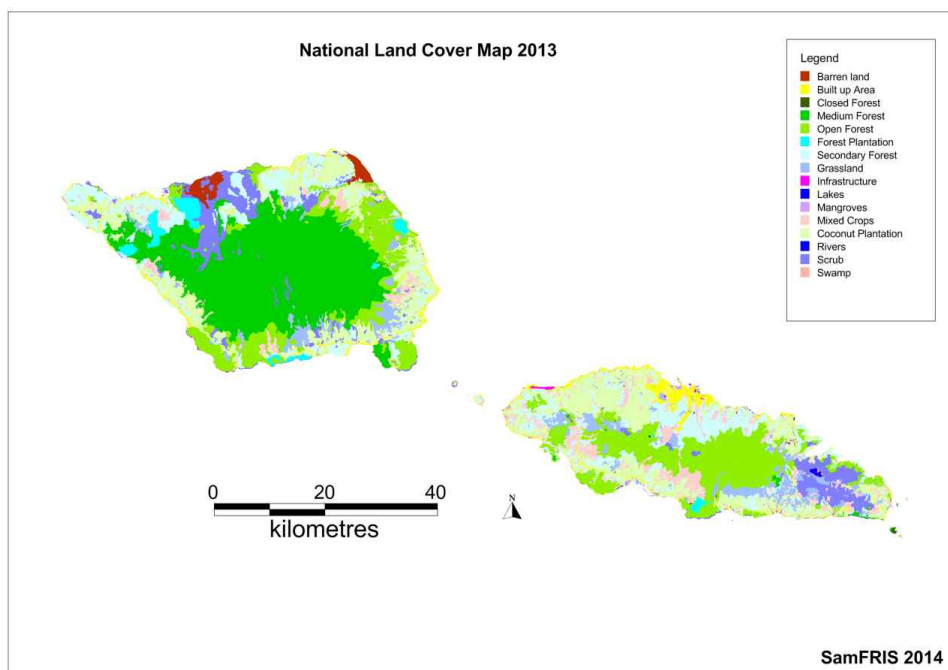


그림 5 기구축된 2013년도 사모아 토지피복도

Adaptation

Samoa's National Climate Change Policy 2020 – 2030 provides the framework for both national adaptation and mitigation actions through a whole-of-country approach to build resilience to the impacts of climate change. At the community level, Samoa has developed Community Integrated Management (CIM) Plans which identify prioritized adaptation actions by all of Samoa's 368 villages to enhance their climate resilience. This work builds on Samoa's successful implementation of its National Adaptation Programme of Action (NAPA) in 2005.

Building on current adaptation actions, Samoa identifies the following quantitative targets that contribute to adaptation in the marine and AFOLU sectors:

- **Marine** - expand the area of mangrove forests in Samoa by 5 percent by 2030 relative to 2018.⁸
- **AFOLU** - expand the area under agroforestry to an additional 5 percent of agricultural land by 2030 relative to 2018.⁹
- **AFOLU** - manage forests sustainably and increase total forest cover by 2 percent by 2030 relative to 2013.¹⁰

It is expected that these adaptation targets will also contribute to mitigation.¹¹

Mitigation and adaptation targets are conditional on external financial support.

그림 6 <사모아 제 2차 국가온실가스 감축 목표> 중 AFOLU 관련 내용

가용한 위성영상 후보리스트

구분	Sentinel-2	RapidEye	Landsat	Spot	MODIS	KOMPSAT
가용연도	2015.-현재	2008.-2020	1973.-현재	1986.-현재	1999.-현재	2006.-현재
재방문시간 (일)	5	1(off-nadir) 5.5(on-nadir)	16	1-3	1	3-5
관측폭 (km)	290	77	185	60	2,400	16(2,3)/12(8A)
공간 해상도 (m)	10 / 20 / 60	5	30	10,20	250 / 500 / 100	4(2) / 2.8(3) / 2.2(8A)
분광밴드	B	○	○	○	○	○
	G	○	○	○	○	○
	R	○	○	○	○	○
	NIR	○	○	○	○	○
	SWIR	○	○	○	○	○
	TIR		○			○
비용	무료	유료	무료	유료	무료	유료

최종적으로 검토한 위성영상

Landsat 및 Sentinel 영상 취득 가능 시기

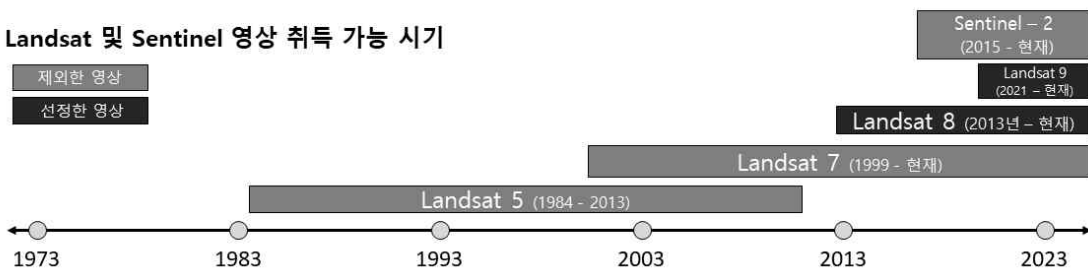


그림 7 가용한 위성영상 후보리스트 및 Landsat과 Sentinel 영상 취득 가능 시기

(2) Google Earth Engine(GEE)를 활용하여 시계열 위성자료 취득 및 전처리 작업을 통한 토지이용 분류 분석준비데이터(ARD, Analysis Ready Data) 구축

- Google Earth Engine(GEE)를 활용하여 2013년 ~ 2023년 사이의 Landsat-8과 Landsat-9 위성자료 취득
- 2013년을 기준년도로 삼고 5년 간격(2013년, 2018년, 2023년)의 토지이용변화를 분석하기 위해, Landsat-8로는 2013년 ~ 2023년 사이의 영상을, Landsat-9로는 2021 ~ 2023년도

영상을 취득하였음.

- 토지이용변화를 분석할 대상 년도(2013년, 2018년, 2023년)와 토지피복 및 산림 분류 모델의 학습 기준 년도(2021년) 이외의 영상도 함께 취득하여, Temporal Composite을 통해 구름의 간섭을 최소화하고자 함.
 - 상시적으로 고산지대에 운무림이 형성되는 사모아의 지리적·기후적 특성 상, 구름 및 연무로 인한 노이즈(Noise)가 적은 위성영상을 취득하는 것이 핵심이기에 2013년 ~ 2023년 상이의 영상 중 건기(dry season)인 5월 ~ 9월 사이의 영상만을 취득하였음.
 - 선행연구들에 비춰보았을 때 위성영상의 적정 육상 영역 대비 구름 비율(Cloud Land Cover)은 10% ~ 30%이지만, 본 연구에서는 육상 영역 대비 구름 비율을 60%로 높여 최대한 많은 영상을 취득함으로써 Temporal Composite의 활용도를 높이고자 함.
- Google Earth Engine(GEE)를 활용하여 전처리 작업 수행 및 분류 분석준비데이터(ARD, Analysis Ready Data) 구축
- 토지이용 및 산림 분류 작업을 위한 분석준비데이터는 다음과 같은 전처리 과정을 통해 구축되었으며, 이를 위해 Google Earth Engine(GEE)의 Code Editor를 활용함.
 - ① Cloud Masking1: 영상 내 QA밴드(Quality Assessment Band)를 적용한 구름 및 연무 마스크(Masking)
 - ② Cloud Masking2: Random Forest(RF) 모델로 학습된 필터를 적용한 구름 및 연무 마스크(Masking)
 - ③ 1년 단위 Temporal Composite 및 Median Medoid 필터 적용: 분석 및 분류기 학습 대상 연도(2013년도, 2018년도, 2021년도, 2023년) 내 다중시기 영상에 Median Medoid 필터를 적용해 합성(Composite)
 - ④ 다중 연도 Temporal Composite 및 Median Medoid 필터 적용: 분석 및 분류기 학습 대상 연도와 인접한 연도의 영상에 Median Medoid 필터를 적용하여 합성
 - ⑤ Multi-temporal Mosaic: 합성된 4개 대상연도 위성영상과 합성된 인접연도 위성영상 모자이크(Mosaic)
 - 분석 및 분류기 학습 대상연도에 각각 다중 연도 Temporal Composite을 수행하기 위해 활용한 영상의 시기는, 2013년도의 경우 2014년 ~ 2016년 사이, 2018년의 경우 2017년과 2019년, 2021년의 경우 2020년, 2023년의 경우 2022년임.
 - Landsat-9이 운영되기 시작한 2021년부터는 Landsat-9과 Landsat-8 영상을 모두 활용함(그림 8).

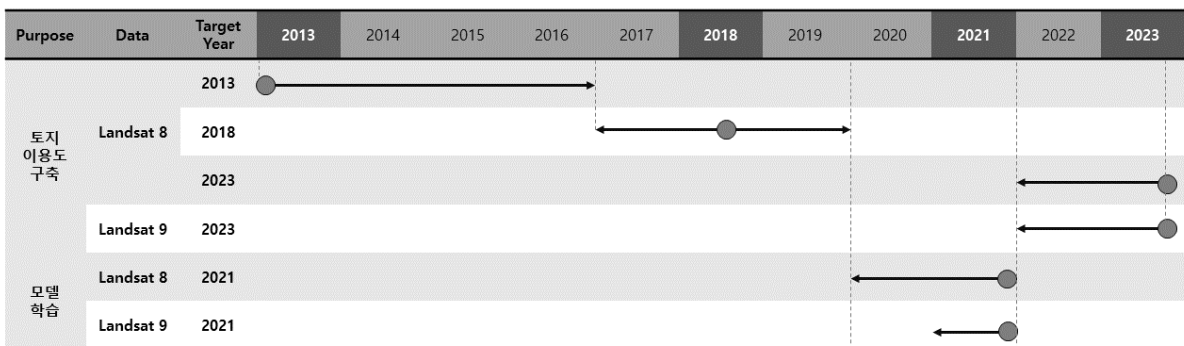


그림 8 Landsat-8과 Landsat-9 영상 취득 및 Temporal Composite 시점

(3) 위성영상 및 인공지능 기법을 이용한 토지이용 분류를 위한 피복별 학습자료 구축

○ 사모아 국가 토지이용지도와 ESA World Cover Map을 활용하여 Labeled data 구축

- 토지이용 및 산림 분류모델 구축을 위한 학습자료로는 크게 Labeled data와 Feature data가 있음.
- 토지이용 및 산림 분류모델 구축 당시, 공간화 가능한 사모아 국가 토지이용지도가 없었기에 2013년도 사모아 국가 토지이용지도 이미지(형식: JPEG) 및 2021년도 ESA World Cover Map을 융합하여 2021년도 기준 Labeled data를 구축함(그림 9).
- 최종 구축된 Labeled data의 분류항목은 총 12개이며, 이 중 9개는 2013년도 사모아 국가 토지이용지도가 따르는 FAO FRA(FAO Global Forest Resources Assessment)의 16가지 분류항목에서 추출하였으며 나머지 3개는 ESA World Cover Map의 분류항목을 차용함(그림 10).

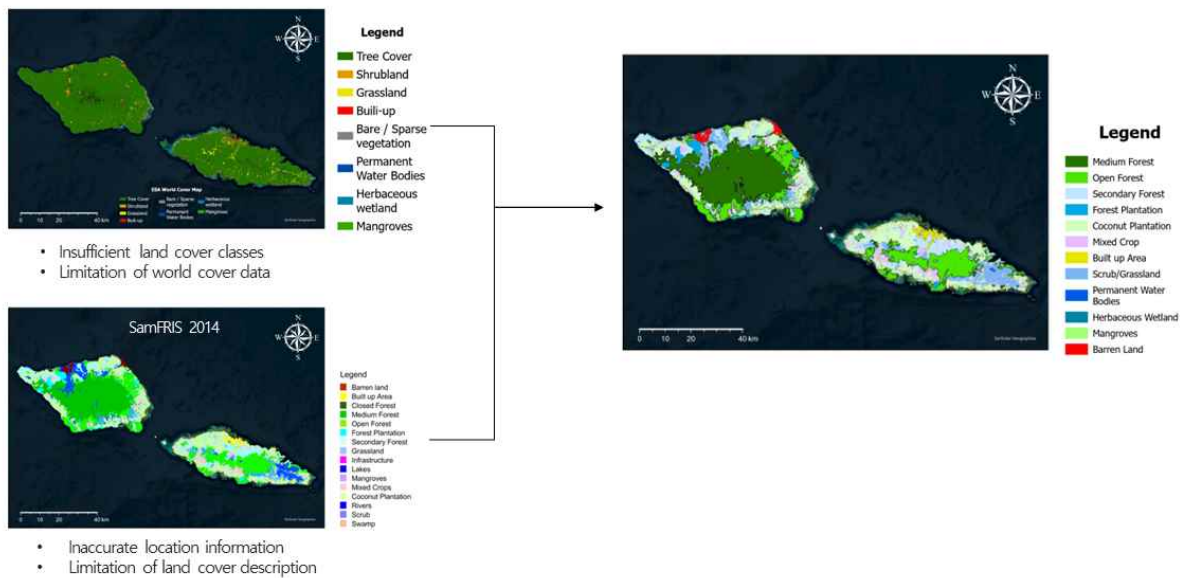


그림 9 Labeled data 구축 과정

SamFris_2014		ESA_2021		Esa_samfris	
1	Medium Forest	1	Tree cover	1	Medium Forest
2	Barren land	2	Shrubland	2	Open Forest
3	Open Forest	3	Grassland	3	Secondary Forest
4	Built up Area	4	Built-up	4	Forest Plantation
5	Forest Plantation	5	Bare/Sparse vegetation	5	Coconut Plantation
6	Scrub	6	Permanent water bodies	6	Mixed Crop
7	Grassland	7	Herbaceous wetland	7	Built up Area
8	Coconut Plantation	8	Mangroves	8	Scrub / Grassland
9	Mixed Crop			9	Permanent water bodies
10	Secondary Forest			10	Herbaceous wetland
11	Closed Forest			11	Mangroves
12	Infrastructure			12	Barren land
13	Lakes				
14	Mangroves				
15	Rivers				
16	Swamp				

그림 10 (왼쪽부터) 2013년도 사모아 토지이용지도 분류항목, 2021년도 ESA World Cover Map 분류항목, 새로 구축한 Labeled data의 분류항목

- 위성영상 내 6개 광학밴드의 분광특성 및 DEM의 고도값으로 Feature data 구축
 - 토지이용 및 산림 분류항목별 분광학적 특성을 반영하기 위해 2021년도 Landsat 영상의 6개 밴드별 분광값(Blue, Red, Green, NIR, SWIR-1, SWIR-2)을 Feature data로 포함함.
 - 타깃 피복과 그 주변 피복의 분광특성간 관계를 반영하기 위해 2021년도 Landsat 영상의 6개 밴드별 분광값에 $3m \times 3m$ 크기의 High 및 Low Pass Filter를 적용하였으며, 이를 통해 각 밴드별로 2가지씩, 총 12가지 새로운 분광특성 값을 Feature data로 포함함.
 - 고도의 변화에 따른 토지이용 및 산림 변화를 반영하기 위해 약 20m 해상도의 Global DEM에서 추출한 고도값을 Feature data로 포함함(그림 11).

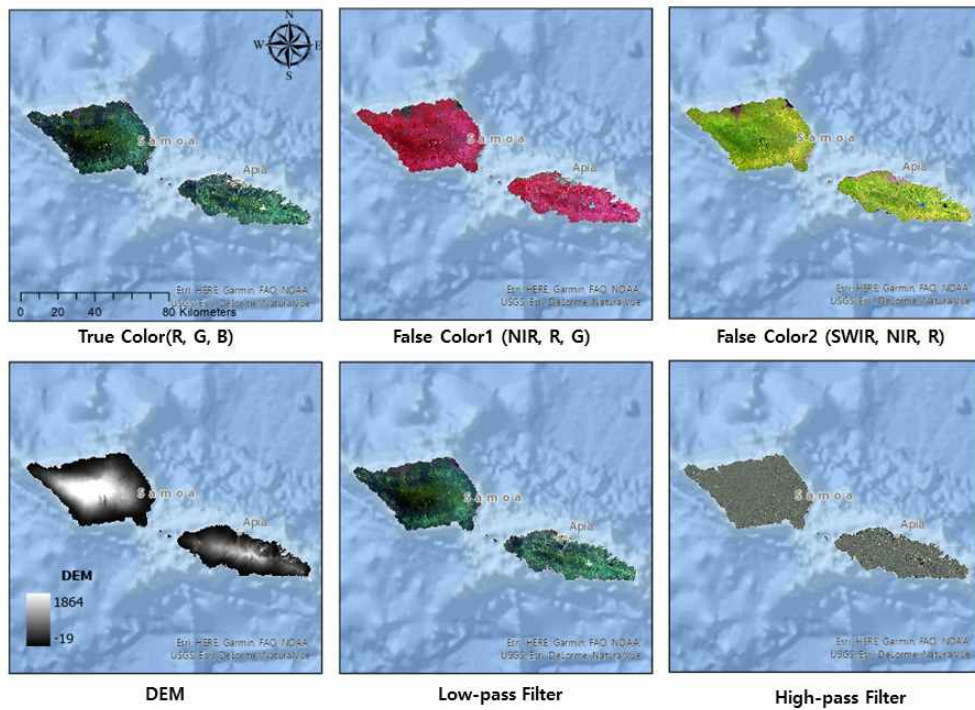


그림 11 토지이용 및 산림 분류 모델 학습자료로 사용한 19가지 Feature data 값

- 층화임의추출(Stratified Random Sampling)을 적용하여 모델의 학습자료를 최종적으로 구축
 - ArcGIS 소프트웨어 내 Stratified Radom Point Sampling 툴을 적용하여 국토 전체 면적의 40%를 학습자료로 추출하였으며, $30m \times 30m$ 크기의 전체 픽셀 기준 1,637,324개의 픽셀이 학습자료로 사용됨.
 - 층화임의추출은 비례배분법을 적용하여 분류항목별 실제 크기에 비례하는 표본의 개수를 각 분류항목에 배분함.

(4) 위성영상 및 인공지능 기법을 이용한 토지이용 및 산림 구획화(Classification) 수행

- Python 기반 Random Forest(RF) 모델을 적용하여 모델 학습 및 토지이용 및 산림 구획화 수행
 - 사모아 토지이용 및 산림 구획화를 위해 분류 작업에 널리 통용되는 머신러닝 모델 중 하나인 Random Forest(RF)을 적용하였으며, 해당 모델은 성능이 낮은 여러 개의 분류기를 종합해 최종 모델의 성능을 향상시키는 앙상블(Emsemble)기법을 적용해 분류 모델의 일반화 성능을 향상시킴.
 - Random Forest의 학습 및 검보정 과정은 Python 기반 머신러닝 라이브러리인 Scikit-Learn(사

이킷 런)을 통해 수행되었으며, 개발환경은 Jupyter Notebook(주피터 노트북)임(그림 12).

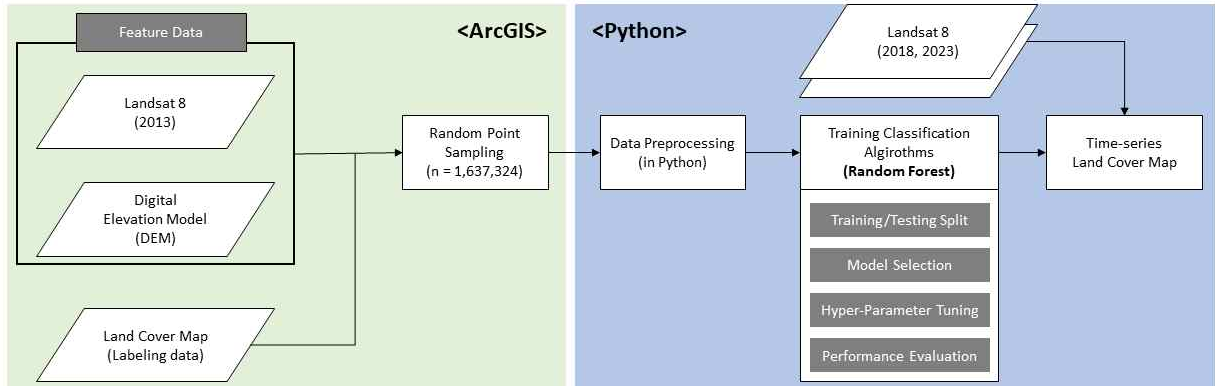


그림 12 사모아 토지이용 및 산림 분류모델 파이프라인(Pipeline)

- 학습된 Random Forest 모델의 성능평가 결과, 전반적인 정확도(Accuracy)가 약 0.67, 재현율(Recall)은 약 0.67, 정밀도(Precision)는 약 0.66으로 수용가능한 수준의 토지이용 및 산림 분류모델로 평가됨(표 3).

표 3 사모아 토지이용 및 산림 분류 모델에 대한 성능평가 결과

	Accuracy	AUC	Recall	Precision	F1	Kappa
Mean	0.6658	0.9277	0.6658	0.6649	0.6634	0.6126
Std	0.0013	0.0003	0.0013	0.0014	0.0014	0.0015

- 다만, 사모아 국토의 약 90%가 산림지라는 특성상, 학습자료 내 데이터 불균형(Data Imbalance) 발생이 불가피하기에 산림지 피복에 대한 정확도는 높지만, 그 이외 피복에 대한 낮은 정확도로 인해 모델 전반적인 분류 성능이 저하된 것으로 사료됨.
- Random Forest 기반 사모아 토지이용 및 산림 분류 모델의 특성 중요도(Feature Importance) 분석 결과, 고도 값(DEM)이 분류결과에 대한 가장 큰 중요도(영향력)을 가지고 있으며, 밴드별 분광값의 경우 Low Pass Filter로 추출된 Blue(Band 2), Red(Band 4), NIR(Band 5), Green(Band 3), SWIR 2(Band&) 순으로 높은 중요도(영향력)를 지닌 것으로 분석됨(그림 13, 14).

RandomForestClassifier Confusion Matrix

True Class \ Predicted Class	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0	67400	0	4262	10	519	903	365	138	1402	1	0	0
1	1	9465	44	141	7	316	317	116	54	40	0	10
2	3492	1	54983	99	497	5597	2380	2387	5509	52	0	3
3	1	35	89	19235	50	322	4600	1149	657	108	2	54
4	1455	2	1136	24	11676	312	987	162	1704	5	0	0
5	2337	140	7059	371	342	51942	4067	5877	2801	54	2	8
6	710	15	3541	3604	487	3340	44181	7266	11789	35	0	32
7	449	23	4758	2708	176	7602	13332	24401	5337	229	1	89
8	1507	34	6948	1146	699	3240	14472	4786	42085	64	0	19
9	0	62	22	208	0	23	24	119	35	1308	0	45
10	0	71	0	29	0	6	5	17	0	7	6	4
11	0	3	2	94	5	10	46	68	14	43	0	541

그림 13 사모아 토지이용 및 산림 분류 모델의 분류결과표(Confusion Matrix)

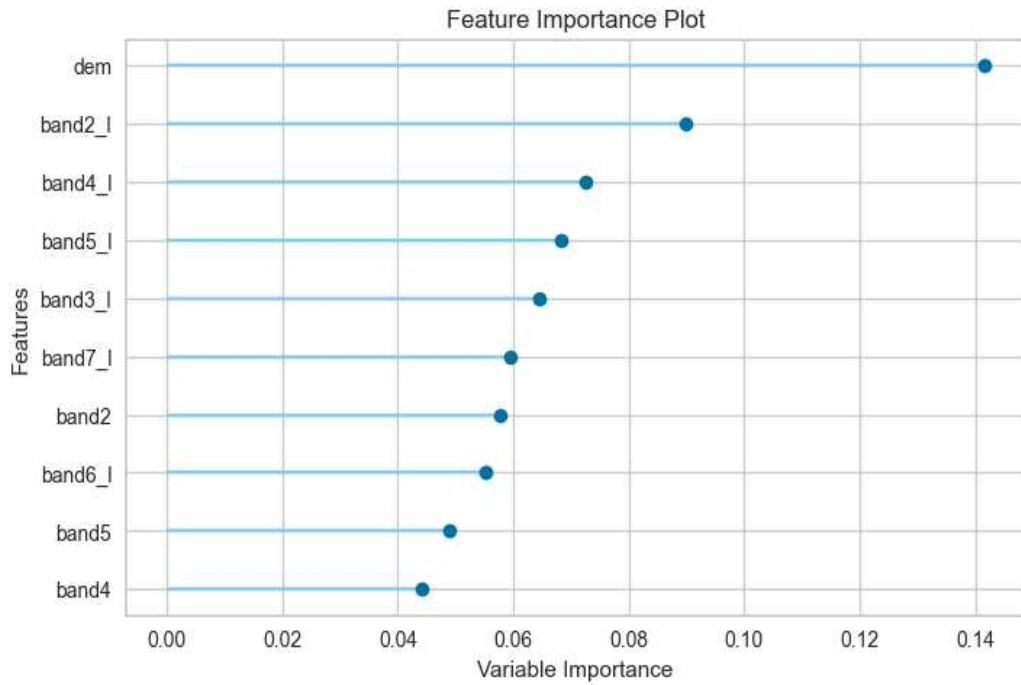


그림 14 사모아 토지이용 및 산림 분류 모델의 특성별 중요도 그래프

(5) 사모아 전 지역(Upolu, Savai'i)에 대한 토지이용분류 수행

○ 구축된 Random Forest 기반 토지이용 및 산림 분류모델을 적용하여 4개년(2013년도, 2018년도, 2021년도, 2023년) 토지이용지도 구축(그림 15, 16, 17)

- 구축된 Random Forest 기반 토지이용 및 산림 분류모델을 적용하여 2013년 2018년, 2023년의 토지이용지도를 구축하였으며, 이는 5년 간격으로 토지이용변화를 분석하기 위함임.

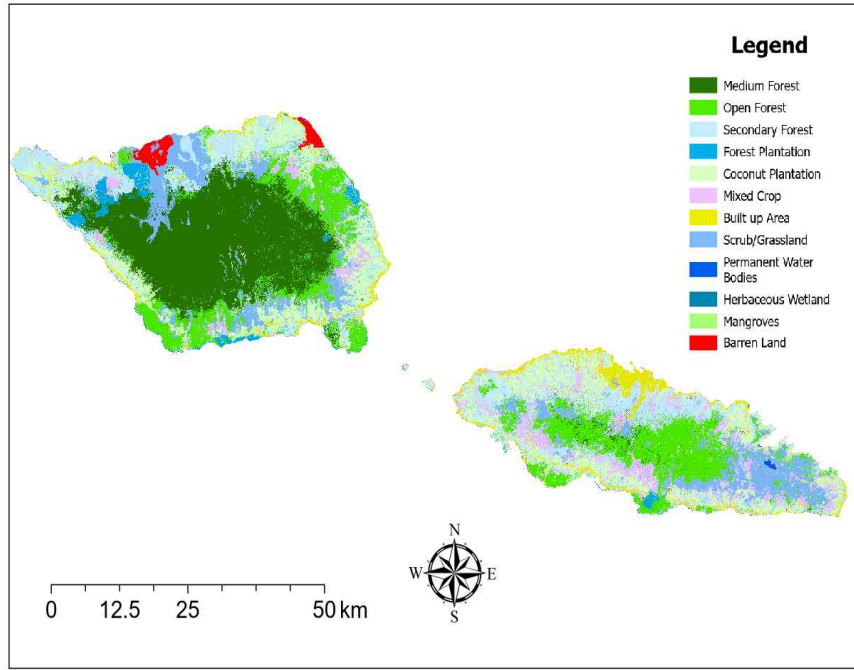


그림 15 2013년도 사모아 토지이용지도(Random Forest 기반 분류모델 적용)

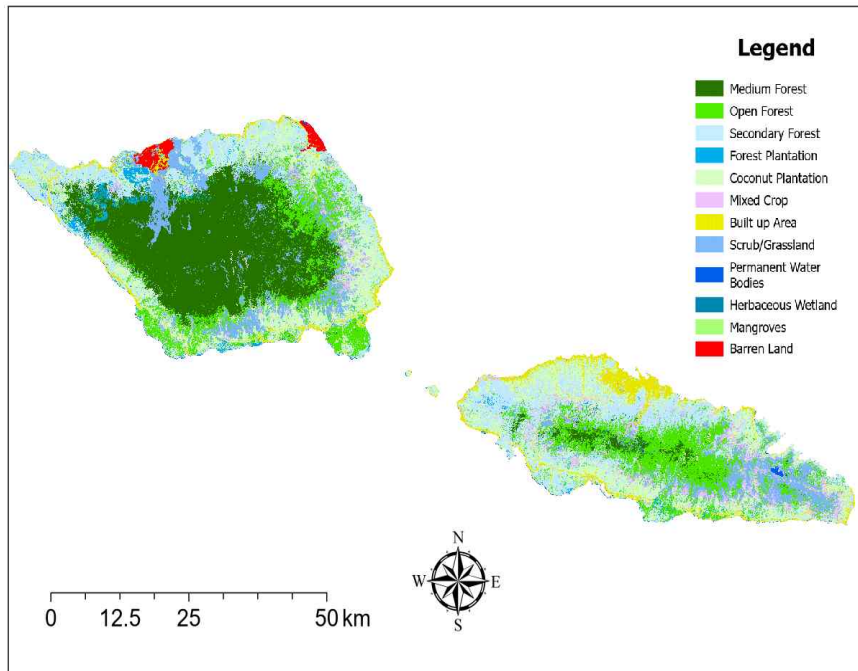


그림 16 2018년도 사모아 토지이용지도(Random Forest 기반 분류모델 적용)

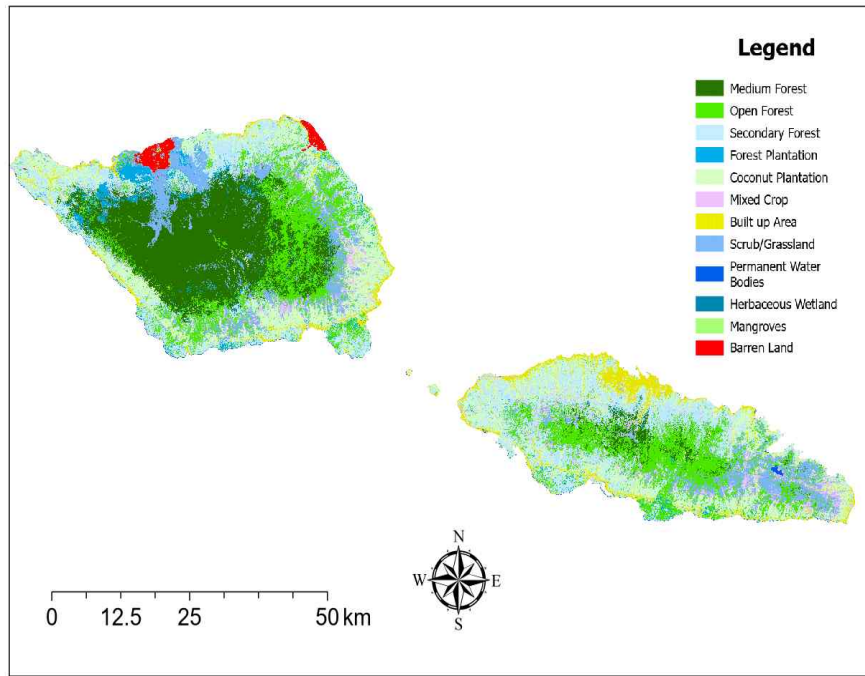


그림 17 2023년 사모아 토지이용지도(Random Forest 기반 분류모델 적용)

○ 구축된 토지이용지도를 기반으로 토지이용변화 매트릭스 작성

- 토지이용변화 매트릭스에 따르면, Coconut Plantation(코코넛 플랜테이션)의 경우 2013년도부터 2023년까지 꾸준히 증가하는 추세를 보임.
- 산림의 경우, 2013년 대비 2018년에는 산림피복별로 면적의 증가 및 감소 추세가 다양했지만, 2018년 대비 2023년의 경우 Medium Forest를 제외한 모든 산림피복의 면적이 증가하는 경향을 보임. 이로 인해 현재 Secondary Forest, Open Forest, Forest Plantation의 면적은 2013년 면적 대비 확장된 것으로 분석됨(그림 18).

Land Cover Classes	2013			2018			2023		
	Area(ha)	Ratio	Var vs last 5 yrs	Area(ha)	Ratio	Var vs last 5 yrs	Area(ha)	Ratio	Var vs last 5 yrs
1 Medium Forest	68248.8	0.23	-	69135.84	0.24	↑	58024.71	0.20	↓
2 Open Forest	52897.14	0.18	-	48745.8	0.17	↓	56837.43	0.19	↑
3 Secondary Forest	40964.67	0.14	-	51804.09	0.18	↑	52975.26	0.18	↑
4 Forest Plantation	6322.32	0.02	-	5375.43	0.02	↓	7981.65	0.03	↑
5 Coconut Plantation	48503.07	0.17	-	52835.85	0.18	↑	54478.89	0.19	↑
6 Mixed Crop	23316.66	0.08	-	15081.57	0.05	↓	13510.17	0.05	↓
7 Built up Area	11825.64	0.04	-	13818.06	0.05	↑	13481.64	0.05	↓
8 Scrub / Grassland	35829.81	0.12	-	31729.59	0.11	↓	30904.56	0.11	↓
9 Permanent water bodies	846.54	0.00	-	922.23	0.00	↑	953.46	0.00	↑
10 Herbaceous wetland	28.17	0.00	-	2.88	0.00	↓	1.53	0.00	↓
11 Mangroves	315.81	0.00	-	255.87	0.00	↓	331.11	0.00	↑
12 Barren land	3326.31	0.01	-	2717.73	0.01	↓	2985.3	0.01	↑
Total	292424.9	1		292424.9	1		292465.7	1	

그림 18 2013년, 2018년 및 2023년 기준 사모아의 토지이용변화 매트릭스

제 3 절 사모아 현지조사에 기반한 토지이용정보 검증 및 고도화

1. 토지피복 분류 결과 검증을 위한 현장조사 수행 방안 및 계획 수립

가. 시계열 토지피복분류 결과 기반 현장조사 수행 방안 수립

(1) 토지피복 분류 현장 검증 방안 수립

(가) 현장 조사 지점 도출

- 머신러닝 기반 토지피복 분류 결과를 검증 수행을 위해 총 80 지점 현장 조사 지점을 도출
 - 사모아 토지피복도를 기반으로 모델 결과 중 오분류 지점을 60지점, 정분류 지점 20곳을 도출함.
 - 정분류 지점은 Landsat-8 위성영상과 Googld Earth Pro의 고해상도 정사영상을 육안으로 관독하여 정확히 분류가 가능한 지점을 제외하고, 오분류의 가능성이 있는 지점 20곳을 추출함.
 - 오분류 지점의 경우, 오류 사항이 높은 Secondary Forest, Open Forest, Forest Plantation 피복을 중심으로 산출함(그림 19).

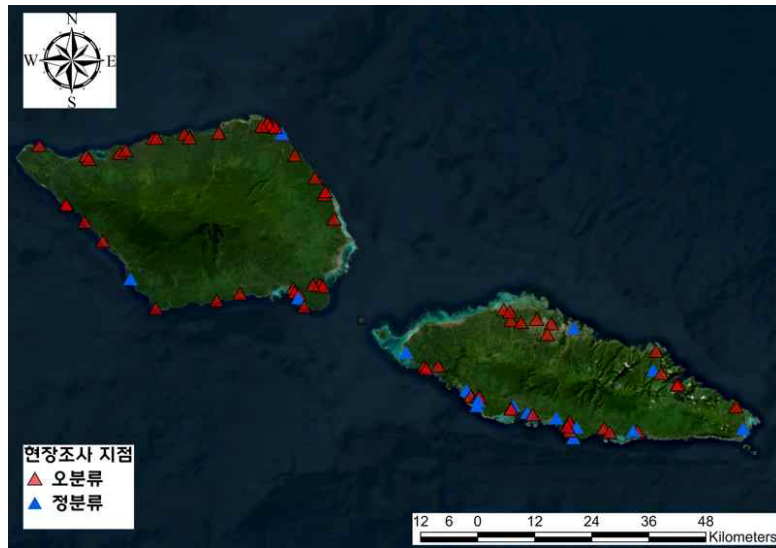
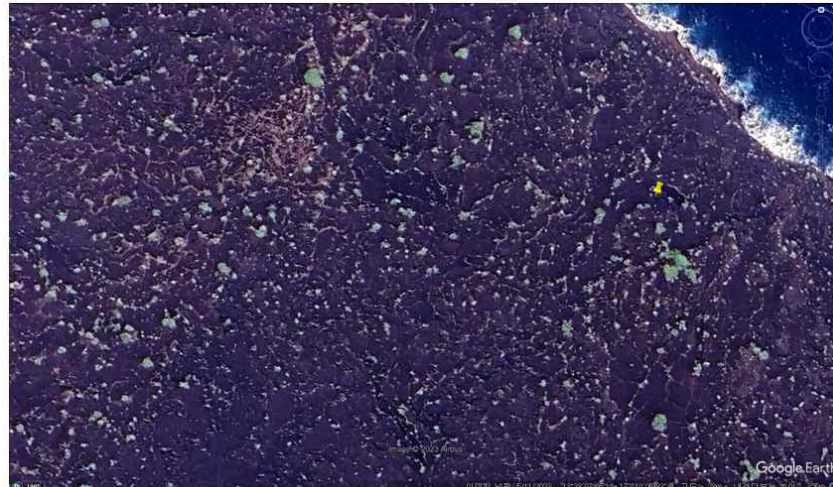


그림 19 현장조사 지점 산출 결과

(나) 현장 조사를 위한 장비 및 데이터 수집 방안 수립

- 조사시 활용 조사야장, 장비 및 데이터 준비
 - 조사 야장은 각 지점을 명확히 파악하기 위한 고해상도 정사영상과 함께 각 지점의 경위도 위치정보 및 모델기반 분류결과를 포함하여 작성함(그림 20).



FID	X	Y	분류결과
4	-172.30099487	-13.46860027	1



FID	X	Y	분류결과
5	-172.03300476	-13.90859985	0

그림 20 현장조사 지점 세부 정보(분류결과 - 0: 오분류 / 1: 정분류)

- 조사 지점의 정확한 위치 정보를 취득하기 위한 GPS(Garmin) 장비 준비함.
- GPS 기기 자체에서 제공하는 사진 활용 기능 활용과 경위도 위치 정보를 용이하게 취득을 위하여 GPS 장비 내 공간 데이터 저장을 비롯한 기본 설정을 변경함.

(다) 현장 조사 일정 수립

○ Upolu와 Savai'i 방문 일정 계획

- 8월 2일과 4일 Upolu의 현장조사 지점 방문 후 검증 및 데이터 수집
- 8월 3일과 5일 Savai'i의 현장조사 지점 방문 후 검증 및 데이터 수집
- Upolu와 Savai'i은 지형적으로 남북보다 동서로 넓게 분포하고 있어, 상하부를 구분하여 일별로 조사를 수행하고자 하였음.
- 전체 출장 일정 및 현지 조사 지점의 접근성을 고려하여 차량으로 해안가 중심으로 이동하며 최대한 많은 데이터를 수집하기 위한 조사일정을 수립함.

2. 토지피복 분류 결과 검증을 위한 산림 현장조사 수행

가. 사모아 토지피복 분류 결과 검증 자료 수집을 위한 현장조사 수행

(1) 현지 조사 일정

(가) Upulu 현지 조사

- Upulu 현지 조사의 경우 토지피복 분류 결과 검증 및 산림 탄소 조사를 동시에 수행함
 - 계획 단계에서 수립한 조사 대상지의 경우 접근성 및 일정상 현지 상황의 한계로 인해 조사 지점이 재수정 되었으며, MNRE에서 제시한 12 곳의 산림 지점을 대상으로 산림 탄소조사와 토지피복 분류 결과 검증 현장 조사를 수행함.
 - 8월 2일부터 8월 4일까지 총 3일간 12곳의 현장 조사 지점을 방문하여 산림 내부에서 토지 피복 유형과 정확한 위치 정보에 대한 데이터를 수집함.
 - 12곳의 현장 조사 지점 간 차량 이동 중 토지 피복에 대한 정보를 수집하였음(그림 21).

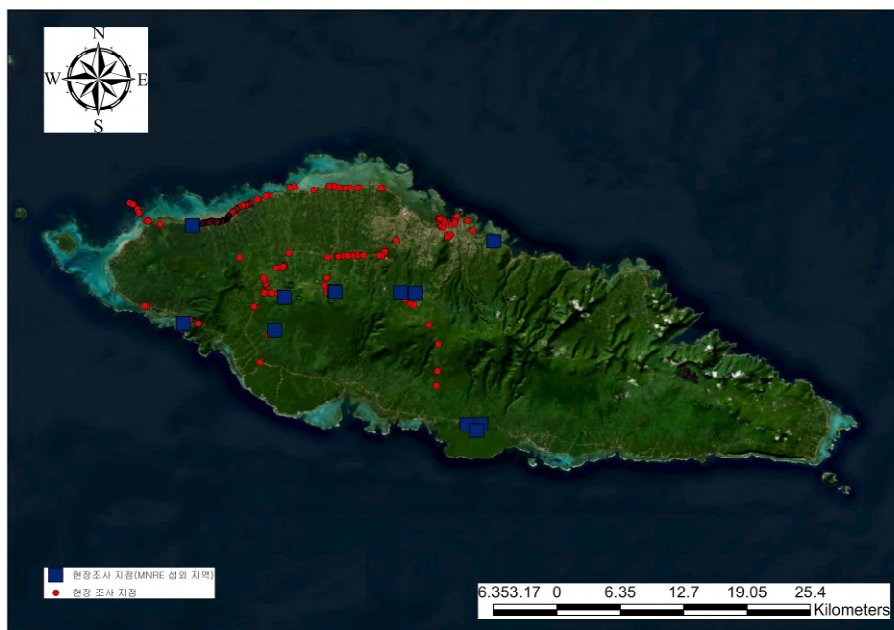


그림 21 Upulu 현지 조사 지점

(나) Savai'i 현지 조사

- Savai'i 현지 조사의 경우 토지피복 분류 결과 검증을 위한 현지 조사 수행
 - 2개의 팀으로 Savai'i 상부와 하부를 각각 조사를 수행함.
 - Savai'i 섬 접근 및 일정상의 한계로 인해 외곽지역을 중심으로 데이터를 수집함(그림 22).



그림 22 Savai'i 현지 조사



그림 23 토지피복 분류 결과 검증을 위한 사모아 전국 현장조사 지점

(다) 현지 조사 결과

○ 현지 조사 데이터를 활용한 토지 피복 분류 결과 검증

- 현지 조사는 주로 외곽지역 및 Upulu섬 산림 내부 지역 일부만을 대상으로 조사를 수행함.
- 현지에서 취득한 데이터 정리 및 가공을 수행중이며, 해당 작업 완료 이후 본 연구에서 일차적으로 도출된 토지피복 결과를 검증하여 추가 보완 및 수정 사항을 도출하고자 함.
- 다양한 산림 유형 및 지역 특성을 고려한 현지조사가 부족한 점을 감안하여, 추가 데이터 및 현장조사에 대한 논의가 필요할 것으로 보임.

2. 층화임의표집 방식을 이용하여 사모아 산림 현장조사 수행

가. 현지 조사 사전 계획

- 사모아 산림 내 임목 바이오매스 탄소 저장량 추정을 위하여 산림 유형별로 표본점을 배치하고 표본점 내 임목을 조사하여야 함.
- 이를 위하여 사모아 National Land Cover Map 및 FAO에서 발간한 Global Forest Resources Assessment를 바탕으로 산림 유형을 medium dense forest, open forest, plantation forest, secondary forest로 구분함.
- 이후 위성영상 및 도로지도를 바탕으로 차량 및 도보로 접근이 가능할 것으로 예상되는 표본점을 선정함.
- 최종적으로 Upolu 섬에서 15개 표본점(open forest 11개, plantation forest 1개, secondary forest 3개), Savaii 섬에서 13개 표본점(mediaum dense forest 2개, open forest 5개, plantation forest 3개, secondary forest 3개)을 선정함(그림 3.1).
- 표본점 내 조사구는 20m × 20m 크기로 하고 조사구 내 흉고직경이 10cm 이상인 모든 임목의 수종을 기록하고 흉고직경 및 수고를 측정하기로 계획함(그림 24).

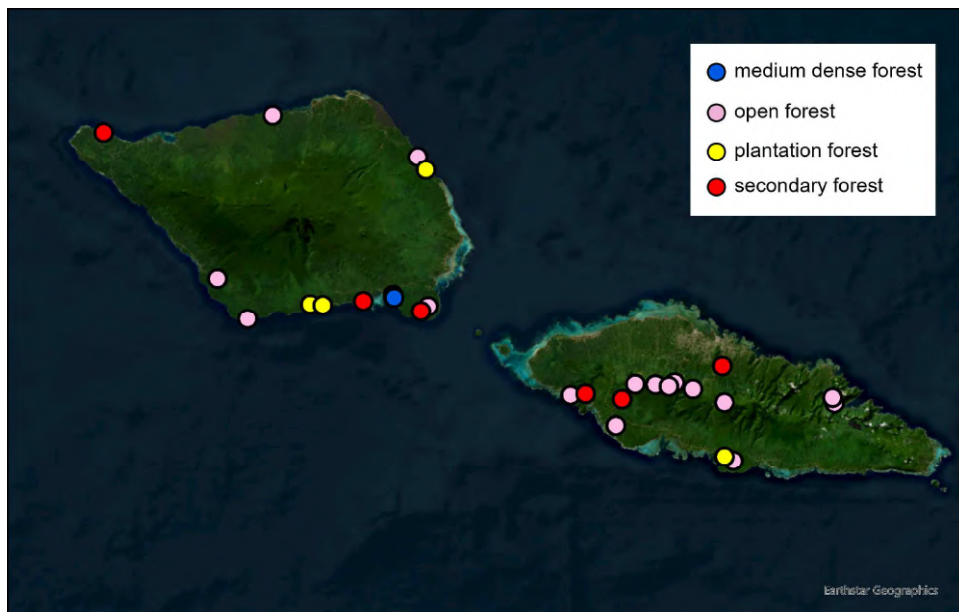


그림 24 사모아 현지 조사를 위한 표본점 배치 계획

나. 현지 조사 결과

(1) 현지 조사 계획 변경

- 사모아 MNRE와 논의한 결과, 시간적 제한 및 숙박 시설 문제로 인해 Savaii 섬에서 조사가 불가능한 것으로 판단함.
- 따라서 Upolu 섬에서 15개 표본점을 조사하는 것으로 계획을 변경하였으나, 일부 표본점이 사유지 내부에 위치하고 있어 접근 및 조사가 불가능하였음.
- 결과적으로 Upolu 섬에서 총 12개 표본점(open forest 6개, plantation forest 4개, secondary forest 2개)에서 매목 조사를 진행하였음(그림 25).

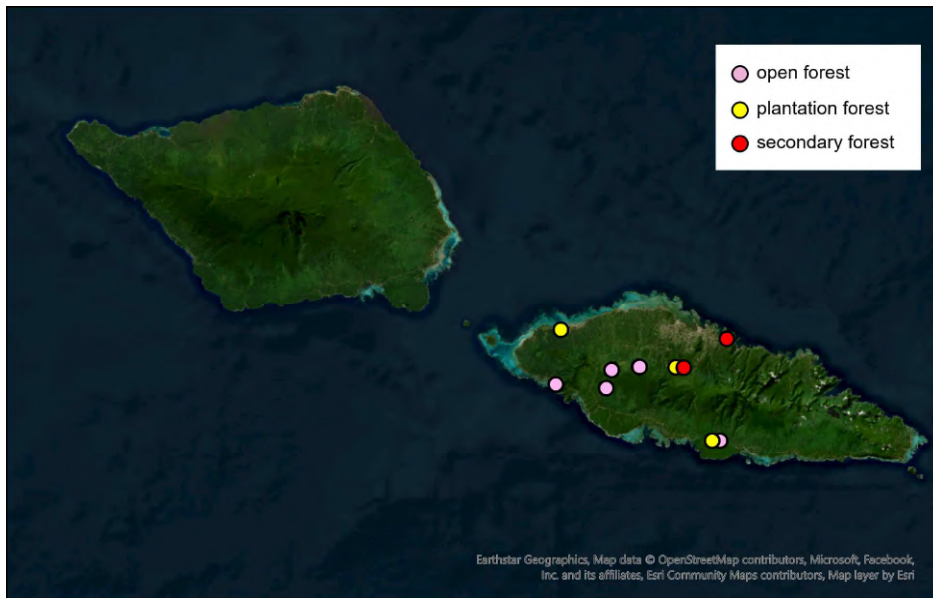


그림 25 사모아 현지 조사를 위한 표본점 배치 변경

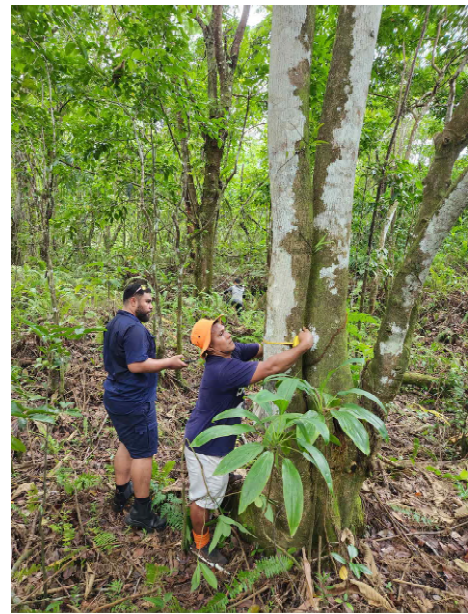


그림 26 사모아 현지 매목 조사

(2) 현지 매목 조사 결과

(가) Open forest

- Open forest 전체 표본점 내(0.15 ha) 수종은 총 13종이 분포하였으며, 전체 수종 중 *Spathodea campanulata*가 61.6%, *Pometia pinnata*가 14.4%, *Funtumia elastica*가 8.8%를 차지하였음(표 4).

표 4 Open forest의 주요 수종 및 비율

수종	본 수(본/0.15 ha)	비율(%)
<i>Spathodea campanulata</i>	77	61.6
<i>Pometia pinnata</i>	18	14.4
<i>Funtumia elastica</i>	11	8.8
<i>Hibiscus tiliaceus</i>	4	3.2
<i>Persea americana</i>	4	3.2
<i>Adenantha pavonina</i>	3	2.4
<i>Planchonella torricellensis</i>	2	1.6
<i>Syzygium samarangense</i>	1	0.8
<i>Cananga odorata</i>	1	0.8
<i>Castilla elastica</i>	1	0.8
<i>Macaranga harveyana</i>	1	0.8
<i>Dysoxylum samoense</i>	1	0.8
<i>Cocos nucifera</i>	1	0.8
합계	125	100

- Open forest의 평균 임분밀도는 833.3본 ha⁻¹로 나타남(표 5).
- Open forest의 흉고직경 범위는 10.0cm ~ 67.0cm이었으며, 평균 흉고직경은 17.4cm로 나타남. 수고의 범위는 3.5m ~ 22.9m이었으며, 평균 수고는 10.0m로 나타남.
- Open forest의 주요 우점종은 *Pometia pinnata*, *Persea americana*, *Funtumia elastica*, *Spathodea campanulata*로 나타남.

표 5 Open forest의 임분 구조

표본점 번호	임분밀도 (본 ha ⁻¹)	흉고직경(cm)			수고(m)			우점종
		평균	최소	최대	평균	최소	최대	
0	525	23.6	10.0	59.0	11.3	3.5	19.4	<i>Pometia pinnata</i>
3	300	23.8	12.0	67.0	9.7	7.0	14.0	<i>Persea americana</i>
6	1700	18.8	10.0	40.0	16.4	11.0	22.9	<i>Funtumia elastica</i>
7	600	13.1	10.0	17.9	8.1	5.0	13.0	<i>Spathodea campanulata</i>
8	1800	16.1	10.0	24.0	9.5	4.9	14.6	<i>Spathodea campanulata</i>
11	3300	14.1	10.8	23.0	7.7	4.1	11.3	<i>Spathodea campanulata</i>
평균	833.3	17.4	10.0	67.0	10.0	3.5	22.9	

(나) Plantation forest

- Plantation forest 전체 표본점 내(0.16 ha) 수종은 총 18종이 분포하였으며, 전체 수종 중 *Pometia pinnata*가 24.5%, *Spathodea campanulata*가 22.3%, *Terminalia richii*가 8.5%를 차지하는 것으로 나타남(표 6).

표 6 Plantation forest의 주요 수종 및 비율

수종	본 수(본/0.16 ha)	비율(%)
<i>Pometia pinnata</i>	23	24.5
<i>Spathodea campanulata</i>	21	22.3
<i>Terminalia richii</i>	8	8.5
<i>Barringtonia asiatica</i>	4	4.3
<i>Dysoxylum samoense</i>	5	5.3
<i>Cyathea decurrens</i>	5	5.3
<i>Swietenia macrophylla</i>	5	5.3
<i>Castilla elastica</i>	4	4.3
<i>Planchonella torricellensis</i>	4	4.3
<i>Cerbera manghas</i>	3	3.2
<i>Cedrela odorata</i>	3	3.2
<i>Morinda citrifolia</i>	2	2.1
<i>Terminalia catappa</i>	2	2.1
<i>Cananga odorata</i>	1	1.1
<i>Syzygium inophylloides</i>	1	1.1
<i>Calophyllum inophyllum</i>	1	1.1
<i>Persea americana</i>	1	1.1
<i>Endiandra elaeocarp</i>	1	1.1
합계	94	100

- Plantation forest의 평균 임분밀도는 587.5본 ha⁻¹로 나타남(표 7).
- Plantation forest의 흉고직경 범위는 11.0cm ~ 52.5cm이었으며, 평균 흉고직경은 23.5cm로 나타남. 수고의 범위는 2.0m ~ 23.0m이었으며, 평균 수고는 11.2m로 나타남.
- Plantation forest의 주요 우점종은 *Pometia pinnata*, *Terminalia richii*, *Spathodea campanulata*로 나타남.

표 7 Plantation forest의 임분 구조

표본점 번호	임분밀도 (본 ha ⁻¹)	흉고직경(cm)			수고(m)			우점종
		평균	최소	최대	평균	최소	최대	
13	425	24.9	11.0	52.5	11.4	4.5	21.4	<i>Pometia pinnata</i>
14	525	24.9	12.0	37.0	10.1	2.0	20.6	<i>Pometia pinnata</i>
21	550	24.2	11.1	44.5	15.3	6.5	23.0	<i>Terminalia richii</i>
23	850	21.4	11.5	36.0	9.3	3.0	13.0	<i>Spathodea campanulata</i>
평균	587.5	23.5	11.0	52.5	11.2	2.0	23.0	

(다) Secondary forest

- Secondary forest 전체 표본점 내(0.08 ha) 수종은 총 18종이 분포하였으며, 전체 수종 중 *Terminalia richii*가 38.9%, *Piper methysticum*이 19.4%, *Cananga odorata*와 *Terminalia catappa*가 각각 13.9%를 차지하는 것으로 나타남(표 8).

표 8 Secondary forest의 주요 수종 및 비율

수종	본 수(본/0.08 ha)	비율(%)
<i>Terminalia richii</i>	14	38.9
<i>Piper methysticum</i>	7	19.4
<i>Cananga odorata</i>	5	13.9
<i>Terminalia catappa</i>	5	13.9
<i>Cyathea decurrens</i>	3	8.3
<i>Planchonella torricellensis</i>	1	2.8
<i>Clinostigma samoense</i>	1	2.8
합계	36	100

- Secondary forest의 평균 임분밀도는 450본 ha⁻¹로 나타남(표 9).
- Secondary forest의 흉고직경 범위는 11.4cm ~ 55.6cm이었으며, 평균 흉고직경은 26.2cm로 나타남. 수고의 범위는 3.5m ~ 22.9m이었으며, 평균 수고는 13.8m로 나타남.
- Secondary forest의 주요 우점종은 *Piper methysticum*, *Terminalia richii*로 나타남.

표 9 Secondary forest의 임분 구조

표본점 번호	임분밀도 (본 ha ⁻¹)	흉고직경(cm)			수고(m)			우점종
		평균	최소	최대	평균	최소	최대	
22	450	29.1	11.4	55.6	18.2	10.4	22.9	<i>Piper methysticum</i>
24	450	23.3	11.4	41.6	9.4	3.5	13.0	<i>Terminalia richii</i>
평균	450	26.2	11.4	55.6	13.8	3.5	22.9	

(3) 한계점 및 보완점

- 이번 현지 조사에서 Savaii 섬 전체 및 Upolu 섬 내 일부 표본점의 조사가 불가능함에 따라 조사 가능한 표본점이 매우 한정적이었음.
- 특히 plantation 및 secondary forest의 표본점은 각각 4개, 2개로 각 산림 유형을 대표하기에는 표본점의 개수가 다소 부족하다고 판단되므로, 데이터 획득에 대한 추가 논의가 필요할 것으로 보임.
- 이후 각 표본점 내 임목의 수종, 흉고직경, 수고를 바탕으로 지상부 및 지하부 바이오매스와 탄소 저장량을 추정할 예정임.

제 4 절 토지이용정보 기반 산림탄소 산정기술 개발

1. 산림 탄소 흡수량 산정 및 모델 적합도 평가

- 현지 조사 자료를 바탕으로 산림 유형별 탄소 저장량을 추정할 수 있는 모델을 개발하는 것을 목표로 함.
- 하지만 이번 현지 조사에서 조사 가능한 표본점이 제한적이었기 때문에 해당 모델의 개발을 위해서는 추가적인 매목 조사 자료가 필요함.
- 따라서 이번 현지 조사 때 취득한 자료와 추가 매목 조사 자료를 이용하여 산림 탄소 흡수량 산정