



## 위성사진과 지리정보체계(GIS)에 의한 브라질 서부농장지역의 토지이용구분과 인공조림계획에 관한 연구

- Mato Grosso do Sul 주의 장가다 및 자마이카 농장 -

우중춘 · 조세 이마나-엔시나스\*

강원대학교 산림과학대학, 브라질 브라질리아대학교 임학과\*

## A Study on the Farm Land Use Classification and the Tree Plantation Planning of the Western Farm District in Brazil using Remote Sensing and Geographic Information Systems - Jangada and Jamaica Farm of the State Mato Grosso do Sul -

Jong-Choon Woo and Jose Imana-Encinas\*

College of Forest Sciences, Kangwon National University, Dept. of Forestry, University of Brasilia in Brazil\*

**Abstract :** In this study tree plantation planning for the plantation blocks of Eucalyptus species was constructed in order to apply to the two farms Jangada and Jamaica, where are located in the western district of the state Mato Grosso do Sul in Brazil. At first the satellite photo was analyzed for the land use classification and the forest ecosystem was classified with GIS technique, and then on the basis of this result the planting available area was accounted for the two farms. According to the request of the land owner the planting planning was established for the planting available area for 3 years. The total area for the two farms is 5,301ha, and the planting available area is estimated to be 3,913ha(74%). The rest area is 1,388ha(26%), and should be classified to the permanent legal reserve forest area. In order to minimize the soil loss and the erosion, the planting blocks were divided according to the parallel to the contour line: for the first planning year the plantation area was divided to the 27 blocks and the total area was 1,308.8ha, for the second planning year the area also divided to 27 blocks(1,327.4ha) and for the third planning year 30 blocks divided(1276.5).

**Key Words :** Farm Land Use and Forest Ecosystem Classification, Plantation Block, Planting Available Area, Permanent Legal Reserve Forest Area, Remote Sensing, GIS

**요약 :** 본 연구에서는 브라질 서부의 Mato Grosso do Sul 주에 위치하는 장가다, 자마이카 두 개의 농장에 유칼리나무 인공조림블록단지를 위한 식재계획을 세워 보았다. 우선 위성사진을 분석하고

GIS에 의해서 현상태대로의 토지이용구분 및 산림식생구분을 하였고 이것을 기초로 하여 조림가능 지역을 계산하였다. 그리고 농장주인의 요구에 따라 조림가능지역에 대한 식재계획을 3차년도까지 수립하였다. 두 개의 농장 총면적은 5,301ha이며 조림가능면적은 3,913ha로서 전체면적의 74%에 해당하는 것으로 추정되었다. 그리고 나머지 26%에 해당하는 1,388ha의 면적은 산림법상 영구보존시켜야 할 산림식생 면적으로 추정되었다. 토양손실을 최소화하기 위해서 등고선에 따라 구획한 조림블록은 1년차에 27개 블록으로 총 1,308.8ha에 이르고, 2년차에도 27개 블록에 1,327.4ha, 그리고 3년차에는 30개 블록에 1,276.5ha의 면적으로 구획되었다.

## 1. 서론

브라질 서부의 Mato Grosso do Sul주의 Jardim 에 있는 장가다 자마이카 농장에 대해 집중적으로 연구사업이 실시되었다. 이 지역은 볼리비아와 파라과이의 국경근처에 위치하기 때문에 지정학적으로 매우 중요하다. 그러나 이 지역에는 산림지역이 거의 없어지고 농장이나 목장으로 전환되었다. 최근 주거환경과 관련하여 환경문제가 심각하게 논의되면서 재조림에 의한 산림지대의 복구의 지가 나타나고 있다. 이와 관련하여 본 연구는 이 지역의 두 개 농장을 대상으로 조림가능성에 대한 타당성분석과 유칼리나무에 대한 식재계획을 망라하게 되었다. 장가다, 자마이카 농장지역의 인공조림단지 조성을 위한 준비 및 기초연구로 묘포장 건설을 위한 연구가 보고된바 있으며(Woo and Maximiano, 1998), 또한 유칼리나무 조림을 위한 농장토지이용구분 및 산림식생에 대해 원격탐사 기술과 GIS에의 의해 분석된 일반적 자료가 보고된바 있다(Woo, Campos and Imana, 1999). 본 연구는 위의 두가지 분석자료를 기초로 하여 연속사업으로 진행되었다.

농장의 산림피복지역에 대한 일차해석을 위해 Radambrasil 프로젝트의 SF-21 Campo Grande로부터 얻은 식생지도가 사용되었고 이어서 현장답사가 이루어 졌다. 그리고 1997년 2월 2일 촬영된 Landsat-5 TM 인공위성사진의 이미지해석을 통해서 토지이용구분에 대한 개념정의가 이루어지면서 스펙트럼분류가 행해졌다. 또한 본 연구의 목적인 농장지역에 대한 토지이용구분도, 식생구분도, 해발고를 포함하는 경사도 그리고 영구적인

자연환경보존지역구분도 및 식재계획도면 작성을 위해 GIS기술이 접목되어 활용되었다.

## 2. 자료 및 방법

### 1) 연구대상지역

본 연구의 대상지역인 장가다 자마이카 농장은 UTM 21- 좌표에 따라 위도 7,622,000과 경도 571,000에 위치하고 Mato Grosso do Sul 주의 서부에 있는 Jardim시 행정구역에 포함되어 있다. 두 농장은 서로 인접해 있으며 총 5,301ha의 면적을 가지고 있다. 그리고 해발고는 240m에서 320m에 이르는 기복이 그리 심하지 않은 완만한 지역이다 (Fig. 1).

기후는 브라질 중서부의 Cerrado지역에서 나타나는 전형적인 열대성 고온다습에서부터 아열대성을 나타낸다. 연중 최대온도는 12월에서 이듬해 3월에 이르기까지 40°C 전후의 높은 온도를 나타내며 6월과 7월에 걸쳐서는 가장 낮은 온도로 14°C 정도를 나타낸다. 강우량은 일년 열두달 골고루 내리는 편이나 11월, 12월, 1월에 가장 많은 양을 나타내며, 6, 7, 8월에 가장 적게 내린다. 년평균강우량은 1300mm에서 1700mm정도를 나타내며 15~20% 범위에서 변동한다(Brasil, 1982).

이 지역은 특히 파라과이강에 인접해 있으면서 지형적으로 다양한 기능의 복합체로서 토양조건도 양호한 편이며, 특히 Mato Grosso와 Mato Grosso do Sul 주 지역에 발달되어 있는 대규모 늪지대인 Pantanal과 같은 충적토 평야를 인접하고 있다.

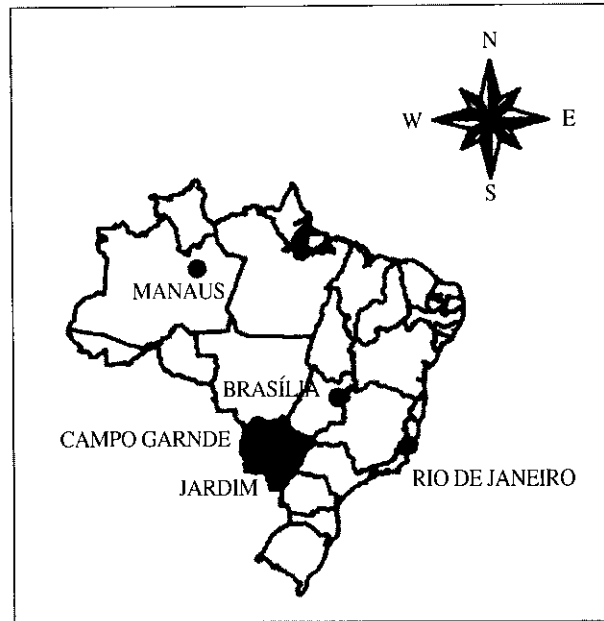


Fig. 1. Location of study area in Brazil.

## 2) 연구방법

브라질 상파울루에 소재하는 인공위성연구소 (INPE)를 통해 입수한 위성사진을 활용하였다. 본 연구의 목적 상 3, 4, 5밴드의 데이터를 사용해서 1997년 2월 2일 촬영된 Landsat-5 TM 의 위성 사진이미지가 기본자료처리를 위해서 이용되었다. 이미지의 처리 수정 분류 등의 작업을 위해 ENVI 3.0이 사용되었다. 연구대상지역의 구분, 선택, 수량화 그리고 정위치 등을 비롯해서 지도제작을 위해 ArcView와 Arc/Info가 사용되었다.

Radambrasil 프로젝트의 SF 21 Campo Grande로부터 얻은 식생지도가 식생피복에 대한 일차 해석의 기초로서 사용되었다. 이미지에 대한 일차 해석 이후 토지이용등급과 점유도에 대한 정의가 이루어 졌으며 각 등급에 대한 스펙트럼지시파일이 생성되었다. 이미지분류를 위해서는 최대근사치방법이 채택되었으며 연구지역의 반사값 분포가 베이저안 통계학에 기초해서 확률함수에 의해 기술되었다. 이러한 분류는 하나의 픽셀이 어떤 범주에 속할 확률을 평가해 주고 그리고 픽셀을

포함할 최대의 확률을 갖는 범주로 그 픽셀을 분류하게 된다(Meneses, 1995).

## 3) 현지답사

이미지의 획득과 지도제작 사이의 지연에 기인해서 이미지해석은 현장확인을 필요로 하게 된다. 본 연구에서는 식물의 외형을 확인하고 규정하기 위해서 현장조사가 이루어 졌다. 현장답사의 주요 목적은 이미지해석과 시각적 분류를 위한 기초를 확립하고 제일차로 제작된 지도의 조정과 수정을 실현시키기 위한 것이다.

1998년 2월 11일과 12일 이틀에 걸쳐서 도보에 의한 지상답사와 경비행기에 의한 공중답사가 이루어 졌다. 이 때 식물의 외형을 확인하기 위해 위치정보를 제공해 주는 GPS Magellan이 사용되었으며 동시에 항공사진 촬영과 비디오 카메라에 의한 촬영이 병행되었다. Fig. 2는 장가다 자마이카 농장지역의 강을 따라 발달된 산림식생을 보여 준다.

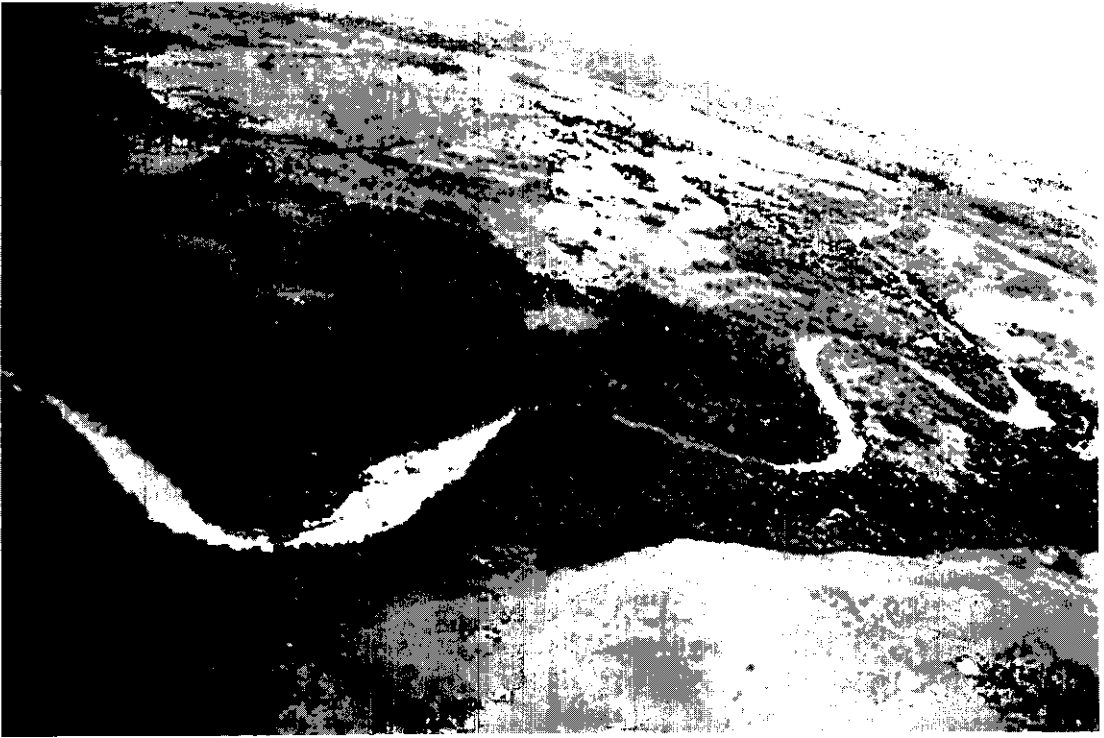


Fig. 2. Gallery forest developed along the river in the farm, Jangada and Jamaica.

### 3. 결과 및 고찰

#### 1) 위성사진의 판독

장가다, 자마이카 농장지역의 위성사진판독에 의하면 총면적이 5,301ha로 추정되었으며 두 농장의 경계선에 따라 측정된 총 둘레는 75.731km로 나타났다. 그리고 Landsat-5 TM 위성사진에 대한 3개의 밴드를 적용하여 나타난 주요 특징을 보면 다음과 같다. 즉 (1) 밴드 3: 초원 및 산림지대가 있는 지역과 없는 지역을 구분하기 위해 사용된다 (나지, 도로, 도시지역등의 구분). (2) 밴드 4: 수면, 수로, 강, 호수 등을 관찰하는데 사용된다. (3) 밴드 5: 해발고, 수면의 높이, 식생의 높이 등을 분석하는데 사용된다.

#### 2) 지형도 구축

브라질 군부대를 통해서 얻은 1:100,000 축척의 지도를 활용해서 우선 등고선을 고려하고 해발고

가 나타나는 수치지도를 구축하였다(Fig. 3). 이렇게 구축된 수치지도에 의하면 해발고는 240m에서 320m의 분포를 나타내고 있으며 10m 단위로 분류해서 9개의 등급으로 지도상에 표현할 수가 있다. 그리고 경사도는 그림에서 보는 바와 같이 0°에서 13°까지의 분포를 나타내고 있어 별로 경사가 급하지 않은 구릉지를 나타내고 있어 인공조림하기에 수월한 지역임을 알 수 있다.

#### 3) 토지이용구분 및 식생도 구축

장가다, 자마이카 농장의 면적 5,301ha에 대해 위성사진과 식생도를 지리정보체계(GIS)와 연계하여 토지이용구분을 한 결과를 보면 다음 Table 1과 같다.

Table 1에 의하면 이 두 농장지역은 6개의 지역으로 구분이 가능한데 가장 많은 면적을 Grass savanna가 차지하고 있고 전체의 43%에 해당하는 약 2,279ha에 이른다. 그리고 Open arboreal savanna가 차지하는 면적이 1,166ha로 22%정도를 점유하

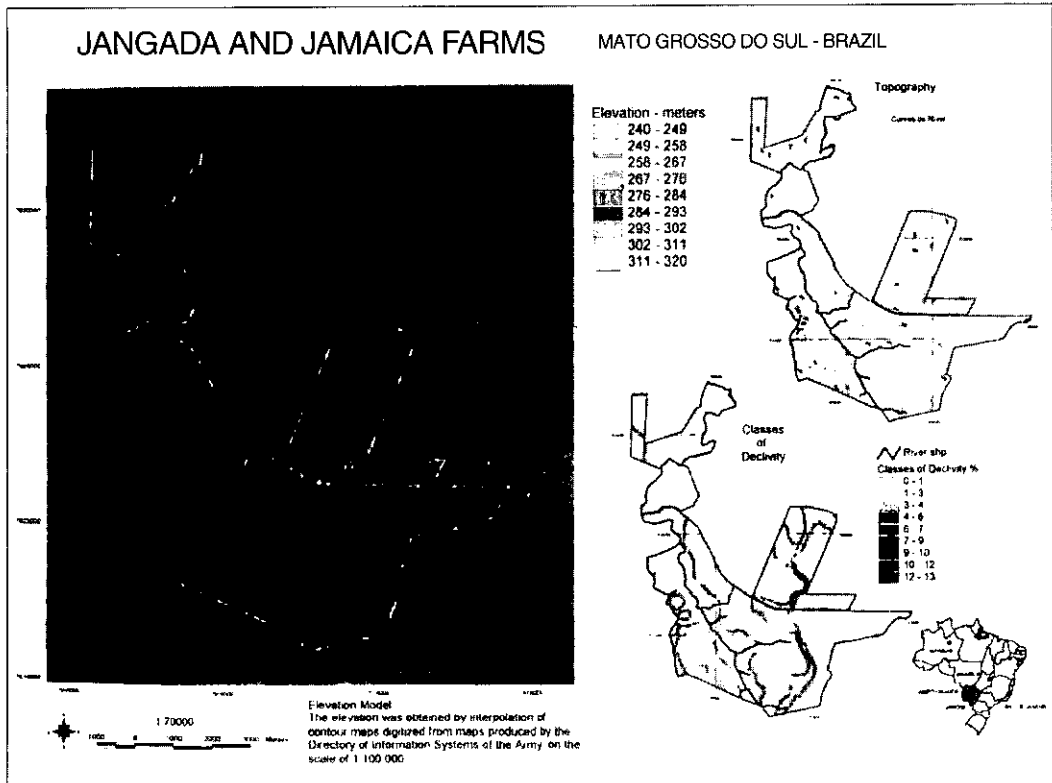


Fig. 3. Map of the elevation and classes of declivity for the farm, Jangada and Jamaica.

Table 1. Land use distribution of the areas of the farms Jangada and Jamaica.

Classification	Area (ha)	%
Wet area	159	3
Gallery forest	1,229	23
Agriculture & Pastures	425	8
Open arboreal savanna	1,166	22
Grass savanna	2,279	43
Exposed soil	43	1
Total	5,301	100

고 있으며 강을 따라 분포하는 Gallery forest가 1,229ha로 전체의 약 23%정도를 차지하고 있다.

브라질에서는 강을 따라서 일정한 면적의 산림을 영구 보존하도록 법적으로 규정하고 있다. 그 면적은 Table 1에서 습지대 159ha와 Gallery forest 1,229ha를 합하면 1,388ha가 된다. 그에 따라서 강을 따라 자생하고 있는 산림이외의 지역은 앞으로 인공조림이 가능한 지역으로 분류될 수 있다. 본

Table 2. Distribution of the permanent legal reserve area and the plantation possible area.

Classification	Area (ha)	%
Plantation possible area	3,913	74
Permanent reserve area	1,388	26
Total	5,301	100

연구의 GIS분석에 의하면 Fig. 4에서 보는 바와 같이 구분될 수 있고 Table 2에서 처럼 면적구분이 될 수 있다.

#### 4) 유칼리 나무의 인공조림단지계획

장가다, 자마이카 농장의 총면적 5,301ha 중에서 유칼리나무 식재가능한 지역은 총 84개 조림블록에서 3,912.7ha의 면적으로서 전체의 73.8%에 해당한다. 본 연구에서는 농장주인의 요구에 따라 3년 동안 지속적으로 조림하는 계획을 세웠다. 즉 1차년도에는 27개의 블록에 1308.8ha, 2차년도에는 27

개 블록에 1327.4ha 그리고 3차년도에는 30개 블록에 1,276.5ha 조립하는 것으로 구분되었으며 이것은 Table 3, 4, 5에서 찾아볼 수 있다. Fig. 4에서 볼 수 있는 바와 같이 조립블록을 나타내는 지도와 일치한다. 1개 조립블록면적은 브라질에서 보통 50ha 전후의 면적으로 구획하며 또한 전체의 농장면적 중에서 임도, 산불방화선 및 조립블록경계선으로 편입되는 5% 정도로 계산하여 전체조립

면적에서 공제하게 된다(Sim es et al, 1981).

농장의 주변을 따라서 15m 폭의 임도를 건설하고 산불예방 및 조립블록의 접근도로로 사용하기 위해 조립단지 중간에 5m 폭의 임도를 낸다. 인공조립단지의 총면적 중에서 5%의 면적경감을 고려하여 추정된 조립면적은 Table 3, 4, 5에서 보는 바와 같이 3,717.1ha에 달한다. 브라질에서 산림법상 정해진 영구보존 산림식생면적은 1181ha로서

Table 3. Area of each plantation block for the 1st planning year.

No. of Block	Area 1(ha)	Area 2(ha)	No. of Block	Area 1(ha)	Area 2(ha)
1	49.4	46.9	14	50.0	47.5
2	48.0	45.6	15	36.2	34.4
3	49.6	47.1	16	50.1	47.6
4	50.7	48.2	17	50.3	47.8
5	48.5	46.1	18	50.4	47.9
6	48.4	46.0	19	50.4	47.9
7	34.0	32.3	20	49.9	47.4
8	49.4	46.9	21	49.9	47.4
9	49.9	47.4	22	49.9	47.4
10	50.5	48.0	23	49.9	47.4
11	50.1	47.6	24	50.2	47.7
12	50.1	47.6	25	49.9	47.4
13	50.1	47.6	26	50.0	47.5
			27	43.0	40.9

Total : Area 1 = 1,308.8ha      Area 2 = 1,243.4ha

Table 4. Area of each plantation block for the 2nd planning year.

No. of Block	Area 1(ha)	Area 2(ha)	No. of Block	Area 1(ha)	Area 2(ha)
28	58.8	55.9	41	52.2	49.6
29	48.8	46.4	42	50.2	47.7
30	46.4	44.1	43	42.1	40.0
31	49.0	46.6	44	33.5	31.8
32	50.1	47.6	45	49.3	46.8
33	49.8	47.3	46	48.0	45.6
34	50.3	47.8	47	49.7	47.2
35	59.0	56.1	48	47.4	45.0
36	44.3	42.1	49	51.0	48.5
37	54.2	51.5	50	48.1	45.7
38	48.5	46.1	51	50.4	47.9
39	49.9	47.4	52	49.1	46.6
40	47.5	45.1	53	46.0	43.7
			54	53.8	51.1

Total : Area 1 = 1,327.4      Area 2 = 1,261.0

Table 5. Area of each plantation block for the 3rd planning year.

No. of Block	Area 1(ha)	Area 2(ha)	No. of Block	Area 1(ha)	Area 2(ha)
55	50.1	47.6	70	50.4	47.9
56	47.9	45.5	71	49.5	47.0
57	48.1	45.7	72	31.4	29.8
58	11.9	11.3	73	42.0	39.9
59	50.7	48.2	74	50.1	47.6
60	49.4	47.0	75	54.2	51.5
61	30.2	28.7	76	43.4	41.2
62	50.1	47.6	77	50.5	48.0
63	32.0	30.4	78	49.8	47.3
64	37.5	35.6	79	49.8	47.3
65	50.5	48.0	80	52.9	50.3
66	49.8	47.3	81	53.2	50.5
67	49.6	47.1	82	35.5	33.7
68	29.3	27.8	83	48.0	45.6
69	29.8	28.3	84	5.3	5.0

Total : Area 1 = 1,276.5      Area 2 = 1,212.7

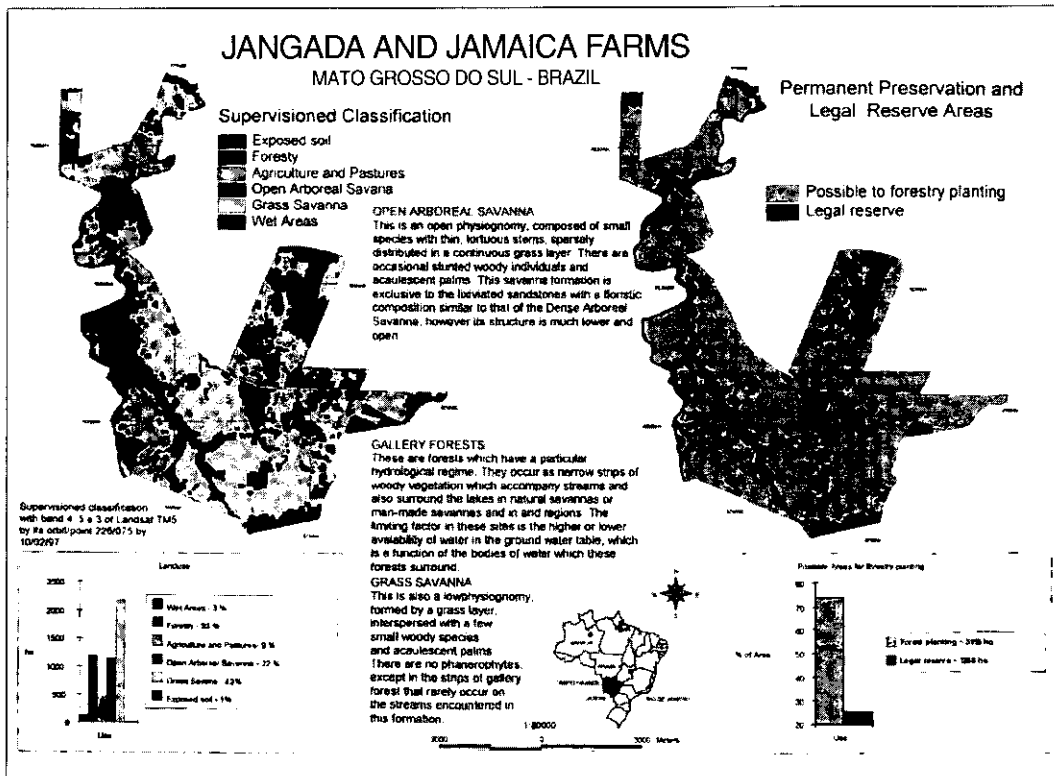


Fig. 4. Map of the forest ecosystem classification and the permanent legal reserve areas.

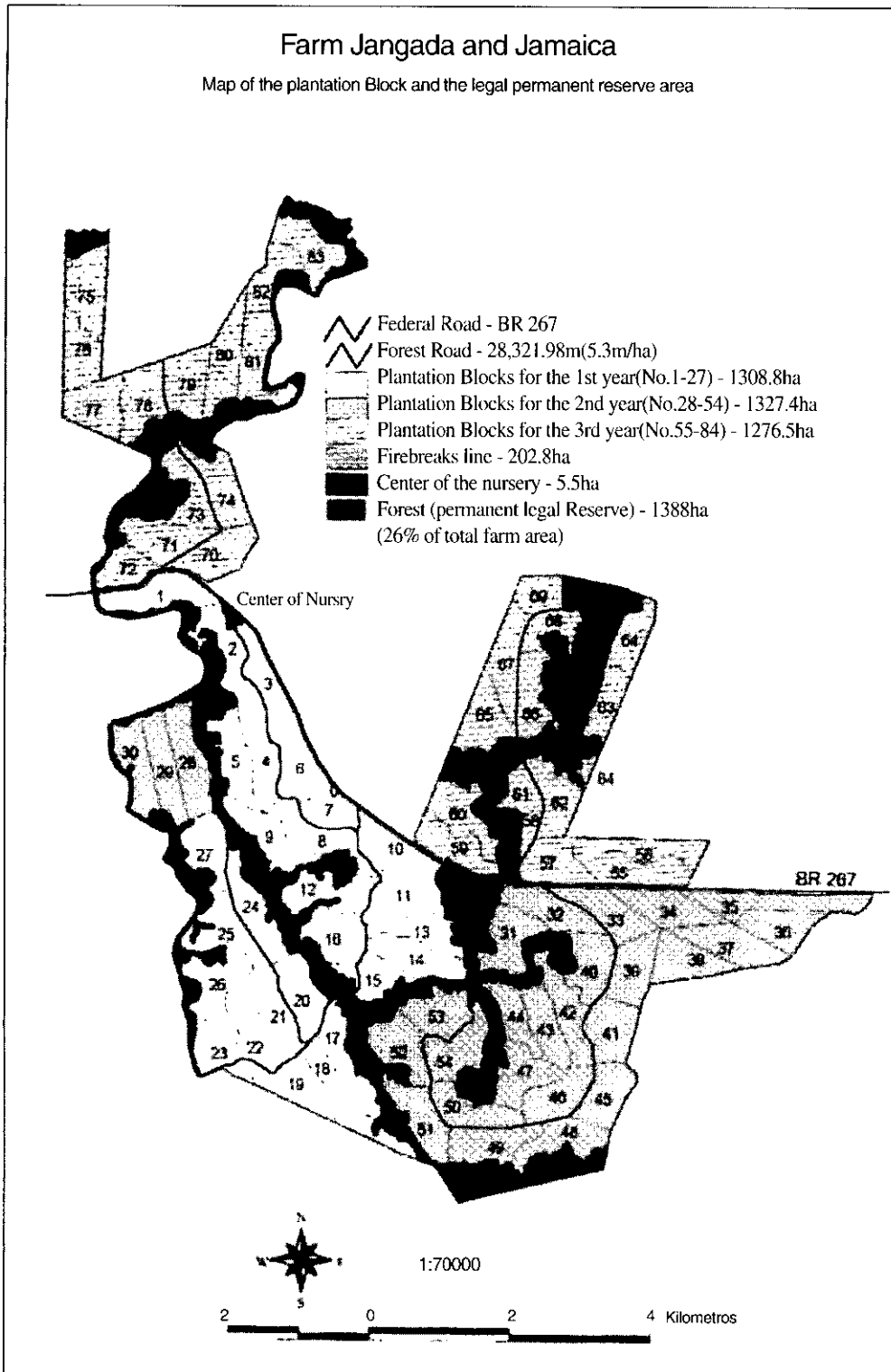


Fig. 5. Map of the plantation blocks and the legal permanent reserve area.



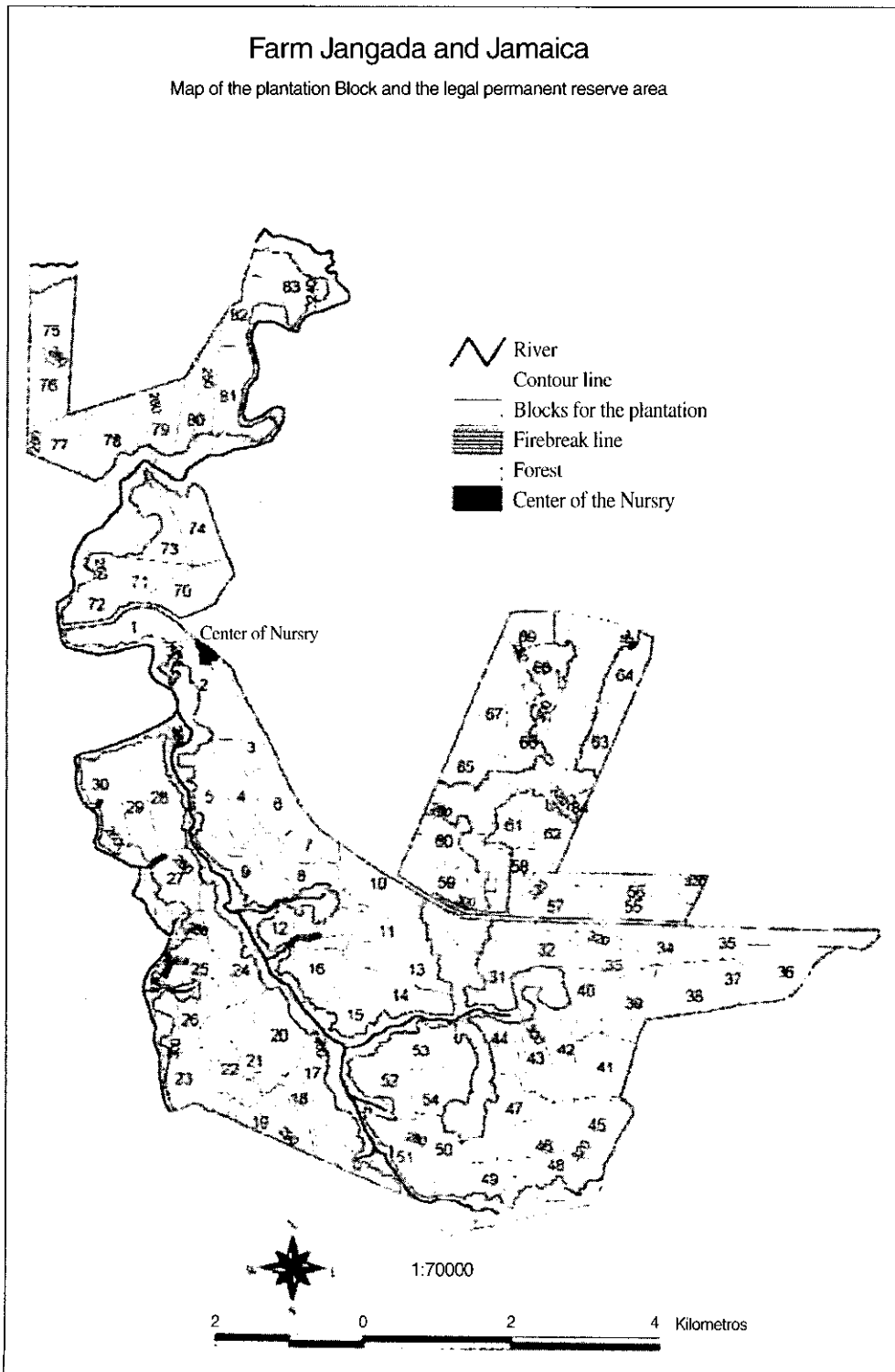


Fig. 6. Map of the plantation blocks according to the contour line.



Fig. 7. Prepared field for the tree Plantation in the farm Jangada.

전체 농장면적의 22.3%를 차지한다. Table 3, 4, 5에서 보는 바와 같이 Area 1은 전체면적이고 Area 2는 조림가능한 면적을 나타낸다. GIS기술에 의해 조림블록에 대한 구획 및 면적을 계산하였으며 Arc/View를 가지고 연구프로젝트 전체에 대한 내용을 완성하였다.

우선 인공조림가능지역 과 영구보존지역으로 구분한 다음 인공조림가능지역을 대상으로 3차년도까지 식재계획을 세웠으며(Fig. 5) 집중호우 및 폭우로부터 토양손실을 최소화하고 산림관리비용을 절약하기 위해 인공조림블록의 경계는 등고선에 따라 수평으로 구획하도록 설계하였다. 그림에서 보는 바와 같이 장가다, 차마이카 농장의 지형에 따라서 인공조림블록을 나누어 구획하였다(Fig 6). 그리고 Fig. 7은 장가다 농장에 인공조림단지를 만들기 위해 준비작업을 실시한 모습이다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 브라질의 Mato Grosso do Sul 주

의 서부에 위치하는 장가다, 차마이카 두 개의 농장에 대해서 집중적으로 분석하였고, 이 결과를 기초로 하여 유칼리나무 인공조림단지 조성을 위한 구체적인 계획을 수립해 보았다. 현재 이 지역은 대부분 농장이나 목장으로 이용되고 있으나 여러 가지 환경문제를 고려하여 산림지대를 넓혀 나가려고 계획하고 있다. 또한 이지역은 브라질 전체로 보았을 때 경제적 소득이 상대적으로 빈약하다. 따라서 지방정부에서는 주민소득과 연계해서 조림사업을 실시하고자 한다. 이러한 이유로 유칼리나무와 같이 펄프 제지용으로 쓰일 수 있는 경제수종을 선택하게 되었다. 본 연구에서 특히 인공사진을 분석하는 원격탐사기술 및 GIS를 통한 컴퓨터분석을 하고 이 분석 자료를 토대로 현지조사를 실시하여 확인과정을 거치면서 농장주인과 지방정부의 신뢰도를 높이고자 노력하였다. 본 연구의 결과는 앞으로 지속적으로 진행될 이 지역의 인공조림단지 조성계획에 중요한 기초를 제공하리라 사료된다. 앞으로 미진한 부분에 대해서는 세부적인 분석이 각 분야 별로 진행되어 보충되어야 할 것이다.

## 사 사

본 연구는 필자가 브라질의 브라질리아대학 객원교수로 있으면서 브라질리아 대학과 공동으로 프로젝트를 수행한 결과의 일부분이다. 본 연구를 위해 브라질리아대학의 연구지원재단(FINATEC)을 통해 연구비용을 지원한 브라질 농장의 New Hope Farm Project 측에 감사 را 드린다.

## 참고문헌

- 우종춘, 이민중, 1998, 산림자원경영을 위한 GIS데이터베이스 구축에 관한 연구. 강원대학교 산림과학대학 부속연습림 학술연구지 18: 66-73.
- 우종춘, 김한수, 원현규, 1999, Landsat-5 TM 위성의 영상자료를 이용한 강원대학교 연습림의 임상분석. 강원대학교 산림과학연구소 산림과학연구 15: 65-70.
- Woo, J.C. and J. Maximiano, 1998, A basic study for the reforestation of Eucalyptus and native species in brazilian tropical area(1) - tree nursery establishment planning in the western region of the state Mato Grosso do Sul in Brazil. *J. For. Sci., Kangwon National Univ.*, (14): 48-59.
- Woo, J.C., R. Campos Nobrega and J. Imanancinas, 1999, Farm land use classification for the planning of plating of Eucalyptus Spp. at Mato Grosso do Sul of Brazil using Remote Sensing and Geographic Information System. *J. Korean For. Soc.*, 88(2): 157-168.
- Brasil, 1982, Ministerio das Minas e Energia. Secretaria-Geral. Projeto RADAMBRASIL. Folha SF. 21 Campo Grande: geologia geomorfologia, pedologia, vegetacao e uso potencial da terra. Rio de Janeiro, 416.
- Comett, J. Z., 1994, GIS as a catalyst for effective public involvement in ecosystem management decision making. In *Remote Sensing and GIS in ecosystem management*, ed. V. Alaric Sample, Island Press.
- Eastman, J.R., 1996, Idrisi for windows: exercicios tutoriais. Ed. Heinrich Hasenack. Porto Algere, UFRGS Centro de Recursos Idrisi, 109.
- Hoffer, M.R., 1994, Challenges in developing and applying remote sensing to ecosystem management. In *Remote sensing and GIS in ecosystem management*, Ed. V. Alaric Sample, Island Press.
- Meneses, P.R., 1995, Introducao ao processamento de imagens digitais de satelites e sensoriamento remoto, Brasilia: Ed. Universidade de Brasilia: Ed. Universidade de Brasilia, 67.
- Simões, J.W., et al., 1981, Formacao, manejo e exploracao de florestas com especies de rapido crescimento. Brasilia: Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal, 131.
- Lee, K.D. and S.I. Kim, 1998, Forest stand classification using artificial neural network technique. In *Proceedings: Forest Ecosystem and Land Use in Mountain Areas*, Seoul, IUFRO-Korean Forestry Society, 469-474.