

**ศึกษาวัสดุภายในประเทศที่เหมาะสม
เพื่อใช้ทำผิวจานรับสัญญาณโทรทัศน์ดาวเทียมย่านความถี่ Ku-band
(The Study of the Appropriate Materials in Thailand to be Used as
the Surface of the Ku-band Satellite Antennae Dish)**

ดร. มานพ แจ่มกระจ่าง *

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาวัสดุที่เหมาะสม ที่จะนำมาใช้ทำพื้นผิวจานรับสัญญาณดาวเทียมย่านความถี่ Ku-band ของดาวเทียมไทยคมที่ใช้ทดแทนจานรับสัญญาณที่ทำจากบริษัทผู้ผลิต และเพื่อศึกษาความไวในการรับสัญญาณโทรทัศน์ดาวเทียม(signal sensitivity)ที่ใช้วัสดุต่างชนิดกัน มาทำพื้นผิวของจานรับสัญญาณ เทียบกับความไวในการรับสัญญาณโทรทัศน์ดาวเทียม ที่ใช้จานรับสัญญาณ ของบริษัท UBC

วัสดุที่เลือกมาทำผิวจานรับสัญญาณ ใช้วัสดุที่ทำได้ง่ายราคาถูก และเป็นวัสดุที่สามารถนำกลับมาใช้ได้ใหม่มี 3 ชนิดคือ 1. เศษแผ่นอะลูมิเนียมของผลิตภัณฑ์อาหาร 2. แผ่นอะลูมิเนียม ฟอยล์ และ 3. ตะแกรงมุ้งลวดโลหะ นำจานรับสัญญาณดาวเทียมที่มีพื้นผิวของจานรับทำด้วยวัสดุทั้ง 3 ชนิดดังกล่าว ไปติดตั้งเพื่อทำการทดลองที่กันสาด ชั้น 4 ของอาคาร 60 พรรษามหาราชนิ 1 มหาวิทยาลัยบูรพา เริ่มทดลองและเก็บบันทึกข้อมูล ตั้งแต่เดือน ตุลาคม พ.ศ.2543 ถึงเดือนมีนาคม พ.ศ.

2544

*อาจารย์ประจำโครงการจัดตั้งภาควิชาอุตสาหกรรมศึกษา คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา
จังหวัดชลบุรี

ผลของการทดลองสรุปได้ดังนี้ วัสดุที่ใช้ทำพื้นผิวของจานรับสัญญาณดาวเทียมทั้ง 3 ชนิดสามารถรับสัญญาณโทรทัศน์ดาวเทียมไทยคมได้เป็นอย่างดี โดยภาพและเสียงที่ปรากฏในเครื่องรับโทรทัศน์ชัดเจนดีมากทุกช่องสถานี เหมือนกับการใช้จานรับสัญญาณของบริษัท UBC สถานีที่ทำการทดลองรับสัญญาณได้แก่ สถานีโทรทัศน์ช่องการศึกษา (DLTV) 6 ช่อง ช่องสถานี ETV และ ช่องสถานี TGN ส่วนความไวในการรับสัญญาณโทรทัศน์ดาวเทียม ใช้เครื่องรับและถอดรหัสสัญญาณดาวเทียม (IRD) ของบริษัท HYUNDAI DIGITAL TECHNOLOGY รุ่น HSS-700 เครื่องรับและถอดรหัสสัญญาณดาวเทียมรุ่นนี้มีสเกลการวัดเทียบเป็นเปอร์เซ็นต์ โดยมีค่าความไวในการรับสัญญาณอยู่ระหว่าง 0 - 100 % จากการทดลองพบว่า 1. จานรับสัญญาณดาวเทียมที่มีพื้นผิวของจานรับสัญญาณทำด้วยเศษแผ่นอะลูมิเนียมของผลิตภัณฑ์อาหาร มีค่าความไวในการรับสัญญาณเฉลี่ยเท่ากับ 77.39 % 2. จานรับสัญญาณดาวเทียมที่มีพื้นผิวของจานรับสัญญาณทำด้วยแผ่นอะลูมิเนียมฟอยล์ มีค่าความไวในการรับสัญญาณเฉลี่ยเท่ากับ 86.79 % และ 3. จานรับสัญญาณดาวเทียมที่มีพื้นผิวของจานรับทำด้วยตะแกรงมุ้งลวดโลหะ มีค่าความไวในการรับสัญญาณเฉลี่ยเท่ากับ 70.82 % ส่วนจานรับสัญญาณดาวเทียมของบริษัท UBC มีค่าความไวในการรับสัญญาณเฉลี่ยเท่ากับ 96.46 %

ABSTRACT

The purpose of this research was to find the appropriate materials to be used as the surface of satellite antennae dish for the Ku-band of

Thaicom. The study will find the signal sensitivity of the satellite television signal receiving of each material, the result of which will be compared with the signal receiving of the factory satellite dish. Three kinds of materials chosen to make the surface of the satellite dishes were : 1. aluminum foil food package 2. aluminum foil sheet and 3. metal mosquito screen. These three satellite antennae dishes were installed at the 4th floor of the Hoksibphansa Maha Rajinee I Building. The experiment began and data recorded from October 2000 to March 2001. The data was analyzed and the outcomes were compared with that of the UBC satellite data recorded simultaneously.

The result was as follows: Three kind of materials to be used as the surface of the antennae dish and the factory satellite dish of the UBC in receiving the Thaicom television signals for all channels : DLTV, ETV, and TGN were clear both the pictures and the sounds.

The receptive capacity by the Integrated Receiver Decoder : of Hyundai Digital Technology - HSS-700 television set was : 1. The signal sensitivity of the satellite television signal receiving of the aluminum foil food package was 77.39 % and 2. That of the satellite dish of the aluminum foil sheet was 86.79 % and 3. That of the satellite dish of the metal mosquito screen was 70.82 %. For the signal sensitivity of satellite dish of the UBC in receiving the signal was 96.46 %

ความเป็นมา

วันเสาร์ที่ 18 ธันวาคม พ.ศ. 2536 นับเป็นวันประวัติศาสตร์ของการสื่อสารดาวเทียมของประเทศไทย อีกวันหนึ่ง เมื่อดาวเทียมสื่อสารแห่งชาติดวงแรกของประเทศไทย ที่พระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวภูมิพลอดุลยเดชฯ ทรงพระกรุณาโปรดเกล้าฯ พระราชทานชื่อว่า “ไทยคม” ซึ่งมาจากคำว่า “ไทยคมนามคม” เขียนเป็นภาษาอังกฤษว่า “THAICOM” ได้ถูกส่งขึ้นสู่วงโคจรด้วยจรวด Ariane 4 ของบริษัท Ariane Space ประเทศฝรั่งเศส โดยใช้ฐานยิงจรวดที่เมืองกูรู ประเทศเฟรนช์-กิอานาในทวีปอเมริกาใต้ ดาวเทียมแห่งชาติไทยคมเป็นดาวเทียมรุ่น HS-376 ที่จัดสร้างโดยบริษัทวิทล์ แอร์คราฟแห่งประเทศสหรัฐอเมริกา นับเป็นดาวเทียมขนาดกะทัดรัด น้ำหนักค่อนข้างเบา เมื่อเทียบกับดาวเทียมรุ่นอื่นๆ โดยมีส่วนสูงเมื่อซ้อนทับกันระหว่างการขนส่งขึ้นสู่อวกาศเพียง 2.56 เมตร กว้าง 2.16 เมตร ขนาดของจานรับส่งสัญญาณมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.8 เมตร น้ำหนักของดาวเทียมขณะอยู่บนโลกประมาณ 1,078 กิโลกรัม น้ำหนักเมื่อขึ้นอยู่ในวงโคจร ประมาณ 627 กิโลกรัม ดาวเทียมรุ่น HS-376 เป็นดาวเทียมค้างฟ้าซึ่งจะลอยอยู่เหนือประเทศไทยตลอดเวลา ในความสูงประมาณ 35,786 กิโลเมตร เมื่อดาวเทียมไทยคมเข้าสู่วงโคจรค้างฟ้าจะเข้าสู่ตำแหน่งที่กำหนดคือ 78.5 องศาตะวันออก ดาวเทียมดวงนี้จะมีอายุการใช้งานประมาณ 15 ปี ดาวเทียมไทยคมรุ่น HS-376 นี้มีชุดอุปกรณ์รับ-ส่งสัญญาณความถี่สูงที่เรียกว่าทรานสปอนเดอร์ (transponder) แยกเป็นความถี่ย่าน C-band จำนวน 10 ทรานสปอนเดอร์ และความถี่ย่าน Ku-band จำนวน 2 ทรานสปอนเดอร์

ความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีการสื่อสารโทรคมนาคมของประเทศไทย ได้ดำเนินการมาถึงยุคของการใช้ดาวเทียม เพื่อการสื่อสาร ให้เป็นประโยชน์ต่อการพัฒนาเศรษฐกิจ และสังคมของประเทศ การสื่อสารยังมีประสิทธิภาพสูงมากขึ้นเพียงใด ประชาชนก็มีโอกาสได้รับข้อมูลข่าวสารที่เป็นประโยชน์ ต่อการดำรงชีวิต และการประกอบอาชีพมากขึ้นเพียงนั้น ในด้านการศึกษา ก็เช่นเดียวกัน หากรัฐสามารถกระจายการศึกษาให้ครอบคลุมทั่วถึงประชาชนในทุกกลุ่มเป้าหมาย เช่น กลุ่มผู้ด้อยโอกาส เกษตรกร ผู้สูงอายุ กลุ่มผู้ใช้แรงงาน เป็นต้น การศึกษาจะไปถึงกลุ่มคนเหล่านี้ได้อย่างทั่วถึงนั้น จำเป็นที่จะต้องใช้เทคโนโลยีด้านการสื่อสารดาวเทียมมาช่วย

การจัดการศึกษาทางไกลที่ได้ผลดีประสิทธิภาพสูงอีกรูปแบบหนึ่ง คือการจัดการศึกษาทางไกล โดยใช้ระบบโทรทัศน์เพื่อการศึกษาผ่านดาวเทียม ซึ่งกระทรวงศึกษาธิการได้รับความร่วมมือจากมูลนิธิไทยคม ในการบริจาคช่องสัญญาณผ่านดาวเทียมย่านความถี่ Ku-band จำนวน 1 ทรานสปอนเดอร์ เพื่อออกอากาศรายการโทรทัศน์เพื่อการศึกษาโดยไม่มีการโฆษณาตลอด 24 ชั่วโมง นอกจากนั้นมูลนิธิไทยคมยังได้บริจาคจานและชุดอุปกรณ์รับสัญญาณดาวเทียมให้กระทรวงศึกษาธิการนำไปติดตั้งตามสถานศึกษาและศูนย์การเรียนรู้ เพื่อให้บริการแก่กลุ่มเป้าหมาย ปีละ 600 ชุด โดยมูลนิธิไทยคมและกระทรวงศึกษาธิการได้ลงนามในข้อตกลงความร่วมมือดังกล่าวเมื่อวันที่ 8 มิถุนายน พ.ศ. 2537 สำหรับระยะเวลาความช่วยเหลือ 5 ปีแรก (http://www.geocities.com/nfecenter2001/techno/tv/sat_learn.html)

การมีช่องสัญญาณสถานีโทรทัศน์ดาวเทียมนั้น ทำให้คนไทยที่อาศัยอยู่ทั่วประเทศสามารถรับสัญญาณโทรทัศน์ที่ส่งออกอากาศผ่านดาวเทียมได้ นอกจากชมรายการโทรทัศน์ดาวเทียมเพื่อการศึกษาแล้ว ยังมีรายการโทรทัศน์ที่เป็นข่าวสารข้อมูล และรายการบันเทิงต่างๆ อีกมากมาย มีทั้งช่องสถานีที่ชมรายการได้ฟรี และช่องสถานีที่จะต้องชำระเงินให้กับบริษัท UBC เป็นรายเดือน การส่งสัญญาณโทรทัศน์จากดาวเทียมลงมายังบ้านพักอาศัยโดยตรงนี้เรียกว่าระบบ DTH (direct to home) ซึ่งเป็นระบบที่สามารถรับสัญญาณโทรทัศน์ดาวเทียมได้โดยไม่ต้องใช้วิธีการที่ยุ่งยากจนรับสัญญาณดาวเทียมก็ใช้ขนาดที่เล็กลงเทคนิคในการส่งสัญญาณโทรทัศน์ดาวเทียมแบบนี้จะใช้วิธีส่งลงมาพร้อมกันหลาย ๆ ช่องสถานีที่เรียกว่า MMDS (multichannel multipoint distribution service) โดยจะทำการบีบสัญญาณภาพที่เป็นระบบดิจิทัลให้มีแถบคลื่นความถี่แคบลงซึ่งจะทำให้ได้จำนวนช่องสถานีมากที่สุดในแต่ละทรานสปอนเดอร์ การส่งสัญญาณโทรทัศน์ระบบ DTH นี้ ดาวเทียมไทยคมจะใช้ทรานสปอนเดอร์ความถี่ย่าน Ku-band ปัจจุบันการรับสัญญาณโทรทัศน์ดาวเทียมย่านความถี่ Ku-band จากดาวเทียมไทยคม สามารถรับสัญญาณจากช่องสถานีต่างๆ ได้ดังนี้

- สถานีวิทยุโทรทัศน์ไทยทีวีสีช่อง 3 อสมท.

- สถานีวิทยุโทรทัศน์ไทยทีวีสีช่อง 5

กองทัพบก

- สถานีวิทยุโทรทัศน์ไทยทีวีสีช่อง 7

กองทัพบก

- สถานีวิทยุโทรทัศน์ไทยทีวีสีช่อง 9 อสมท.

- สถานีวิทยุโทรทัศน์ไทยทีวีสีช่อง 11

กรมประชาสัมพันธ์

- สถานีวิทยุโทรทัศน์ไทยทีวีสีช่องไอทีวี (ITV)

- สถานีวิทยุโทรทัศน์การศึกษาทางไกลผ่าน

ดาวเทียม 6 ช่องสัญญาณ

- ช่อง ETV (สารคดีเพื่อคนไทย การเกษตร อุตสาหกรรม)

- ช่อง TGN (Thai TV Global Network: รายการย้อนหลังของช่อง 3, 5, 7, 9, 11, ITV)

- UBC (ถ้ามี Smart Card ของยูบีซี)

- ช่อง Radio FM (สถานีวิทยุ FM ผ่านดาวเทียม 8 สถานี)

การรับสัญญาณโทรทัศน์ดาวเทียมถึงจะมีวิธีการที่ไม่สลับซับซ้อน แต่ข้อจำกัดในการรับสัญญาณโทรทัศน์ดาวเทียมที่ต่างจากรับโทรทัศน์ทั่วไป คือ ผู้ใช้จะต้องมีอุปกรณ์ในการรับสัญญาณโทรทัศน์ดาวเทียมดังต่อไปนี้

1. จานรับสัญญาณดาวเทียม (satellite antennae dish) ย่านความถี่ Ku-band หรือที่คนไทยทั่วไปเรียกกันว่าจานรับสัญญาณ UBC

2. อุปกรณ์นำเข้าสู่สัญญาณและแปลงสัญญาณความถี่ ที่เรียกว่า LNBF (low noise block and feedhorn) ย่านความถี่ Ku-band

3. เครื่องรับและถอดรหัสสัญญาณดาวเทียมที่เรียกว่า IRD (integrated receiver and decoder)

4. เครื่องรับโทรทัศน์ หรือจอมอนิเตอร์ที่จะใช้รับสัญญาณจากเครื่องรับ IRD

อุปกรณ์ที่ใช้ในการรับสัญญาณโทรทัศน์จากดาวเทียมไทยคมทั้ง 4 ชนิดนี้ ส่วนใหญ่จะต้องซื้อหาจากบริษัทผู้ผลิต และต้องนำเข้าจากต่างประเทศแทบทั้งสิ้น สำหรับจานรับสัญญาณดาวเทียม ผู้ทำวิจัยเห็นว่าน่าจะทำขึ้นมาไว้ใช้เองได้ โดยเลือกหาวัสดุที่เหมาะสม ที่มีอยู่ในประเทศไทย โดยเลือกใช้วัสดุที่หาง่าย ราคาถูก หรือเป็นวัสดุที่ใช้แล้วสามารถนำกลับมาใช้ได้อีก

โดยนำมาดัดแปลงทำเป็นจานรับสัญญาณดาวเทียมได้ เพื่อลดค่าใช้จ่ายในส่วนนี้ไปได้อีกจำนวนหนึ่ง จึงทำให้เกิดแรงบันดาลใจที่จะศึกษาและทำการวิจัยในเรื่องนี้

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาวัสดุที่เหมาะสม ที่จะนำมาใช้ทำพื้นผิวจานรับสัญญาณโทรทัศน์ดาวเทียมย่านความถี่ Ku-band ของดาวเทียมไทยคม ที่ใช้ทดแทนจานรับสัญญาณที่ทำจากบริษัทผู้ผลิตได้
2. เพื่อศึกษาความไวในการรับสัญญาณโทรทัศน์ดาวเทียม(signal sensitivity) ที่ใช้วัสดุต่างชนิดกันมาทำพื้นผิวของจานรับ เทียบกับความไวในการรับสัญญาณโทรทัศน์ดาวเทียม ที่ใช้จานรับสัญญาณของบริษัท UBC

คำถามการวิจัย

1. วัสดุประเภทใดสามารถนำมาใช้ทำพื้นผิวจานรับสัญญาณโทรทัศน์ดาวเทียมย่านความถี่ Ku-band ของดาวเทียมไทยคม ทดแทนวัสดุที่เป็นผลิตภัณฑ์จากบริษัทผู้ผลิตได้
2. ความไวในการรับสัญญาณโทรทัศน์ดาวเทียม ที่ใช้วัสดุชนิดต่าง ๆ ทำพื้นผิวจานรับสัญญาณ มีความไวในการรับสัญญาณเป็นอย่างไร เมื่อเทียบกับจานรับสัญญาณของบริษัท UBC

ขอบเขตของการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยมุ่งศึกษาเฉพาะวัสดุที่มีคุณสมบัติจะนำมาใช้ทำพื้นผิวของจานรับสัญญาณโทรทัศน์ดาวเทียมได้ และเลือกเอาเฉพาะวัสดุ

ที่หาง่าย ราคาถูก และเป็นวัสดุที่ใช้แล้วนำมาใช้ใหม่ได้ ซึ่งได้แก่

1. เศษแผ่นอะลูมิเนียมของผลิตภัณฑ์อาหาร
2. แผ่นอะลูมิเนียมฟอยล์
3. ตะแกรงมุ้งลวดโลหะ

จานรับสัญญาณดาวเทียมของบริษัทผู้ผลิตใช้เฉพาะจานรับสัญญาณดาวเทียมย่านความถี่ Ku-band ของบริษัท UBC บริษัทเดียวเท่านั้น

การทดลองหาค่าความไวในการรับสัญญาณโทรทัศน์ดาวเทียม ทดลองเฉพาะย่านความถี่ Ku-band ของดาวเทียมไทยคม ที่ส่งออกอากาศทางสถานีวิทยุโทรทัศน์การศึกษาทางไกลผ่านดาวเทียม 6 ช่องสัญญาณ ช่องสถานี ETV และช่องสถานี TGN รวมทั้งหมด 8 ช่องสัญญาณ

วิธีดำเนินการวิจัย

ผู้วิจัยได้ศึกษาค้นคว้าจากเอกสาร และงานวิจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการรับสัญญาณโทรทัศน์ ดาวเทียมทั้งในประเทศและต่างประเทศ พบว่าจานรับสัญญาณโทรทัศน์ดาวเทียมนั้นมีการแบ่งออกเป็น ประเภทต่างๆ ดังนี้

1. แบ่งประเภทตามลักษณะของสัญญาณความถี่ที่ใช้ในการรับส่ง เช่นจานรับสัญญาณแบบ C-band และ Ku-band

2. แบ่งตามลักษณะโครงสร้างของจาน ได้แก่ จานแบบดาวยาวหรือตระแกรงโปร่ง และจานแบบทึบ จานแบบดาวยาวเป็นที่นิยมมากกว่าจานแบบทึบ ที่มีขนาดเดียวกัน เพราะมีน้ำหนักเบา ไม่ต้านลม และดูสวยงาม ไม่ทำให้เสียทัศนียภาพ

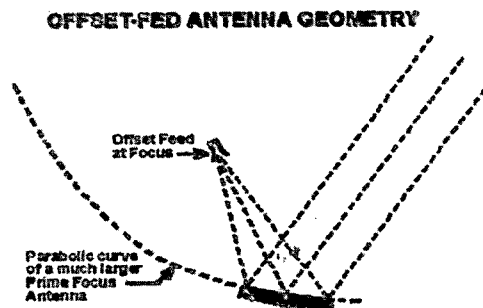
3. แบ่งตามวัสดุที่นำมาผลิต ได้แก่ เหล็ก อลูมิเนียม และจานไฟเบอร์กลาส เหล็กมีการดูดซับสัญญาณแม่เหล็กไฟฟ้า ทำให้ค่าสัมประสิทธิ์

ของจานรับสัญญาณน้อยลง ส่วนจานอคูมิเนียมจะมีน้ำหนักเบา และมักจะใช้อะลูมิเนียมที่มีเกรดดีสามารถป้องกันการผุกร่อนจากสนิม ออกไซด์ของอะลูมิเนียมได้ จานแบบไฟเบอร์กลาส โครงสร้างของจานจะฝังลวดตาข่ายเอาไว้ เพื่อใช้เป็นตัวสะท้อนสัญญาณ

4. แบ่งตามลักษณะการสะท้อนของสัญญาณดาวเทียม ว่าอยู่ในลักษณะใด ซึ่งมีอยู่มากมายหลายแบบ เช่น แบบ Prime focus antennas แบบ Offset-fed antennas แบบ Cassegrain antennas, เป็นต้น แต่ที่เป็นที่นิยมของประชาชน

ทั่วไปมี 2 แบบด้วยกันคือ แบบ Prime focus antennas และแบบ Offset-fed antennas

จานรับสัญญาณแบบ Offset-fed antennas ใช้กันมากที่สุดในการรับส่งสัญญาณย่านความถี่ Ku-band โดยเฉพาะในการรับสัญญาณโทรทัศน์ดาวเทียมแบบ DTH ด้วยข้อดีของจานรับสัญญาณประเภทนี้ที่สะท้อนคลื่นได้ตลอดหน้าสัมผัส โดยไม่เกิดการบังสัญญาณ และจานชนิดนี้จะมีขนาดเล็ก น้ำหนักเบา ติดตั้งง่าย ลักษณะการสะท้อนของสัญญาณแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 แสดงลักษณะการสะท้อนของสัญญาณบนจานรับแบบ Offset-fed

(<http://www.mlesat.com/antennas.html>)

จานรับสัญญาณดาวเทียมที่ถูกออกแบบ ให้มีรูปร่างหน้าตาแตกต่างกันออกไปนั้น เพื่อให้ได้อัตราการขยายของสัญญาณที่ส่งลงมาจากดาวเทียมแรงขึ้น อัตราการขยายของจานรับสัญญาณนิยมเรียกทับศัพท์ภาษาอังกฤษว่า เกน (gain) คือค่าของพลังงานของสัญญาณทางไฟฟ้าที่วัดได้จากการสะท้อนออกจากพื้นผิวของจานรับสัญญาณไปในทิศทางใดทิศทางหนึ่งที่สามารถวัดได้ สมพร ชีระโรจนพงษ์ (2543, หน้า 46) กล่าวว่าอัตราการขยายของจานรับสัญญาณดาวเทียมจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับ 5 ปัจจัยด้วยกันคือ

1. วัสดุที่นำมาใช้เป็นตัวสะท้อน ถ้าเป็นเหล็กจะดูดซับสัญญาณคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ทำให้อัตราการขยายของจานรับสัญญาณ หรือเกนต่ำลงเมื่อเทียบกับวัสดุอะลูมิเนียมซึ่งไม่มีการดูดซับคลื่นแม่เหล็ก หรือมีบ้างแต่น้อยกว่าเหล็ก ทำให้ค่าสัมประสิทธิ์ (h) ของการสะท้อนสัญญาณจากจานที่มีพื้นผิวทำจากอะลูมิเนียมมากกว่า 0.65%

2. ส่วนโค้งของจาน ถ้าส่วนโค้งของจานไม่ถูกต้องตามแนวระนาบ จะทำให้สัญญาณที่ส่งลงมาจากดาวเทียมตกกระทบโดนพื้นผิวของจานรับแล้วไม่ไปรวมกันที่จุดรวมสัญญาณ

3. รูปทรงของจาน รูปทรงของจานจะต้องไม่บิดเบี้ยวเพราะจะทำให้ระยะ หรือตำแหน่งของจุดโฟกัสผิดไปจากที่ได้ออกแบบไว้

4. ค่า F/D Ratio ที่ทางบริษัทผู้ผลิตกำหนดให้มา จะต้องนำไปคิดคำนวณหาระยะของตำแหน่งจุดรวมสัญญาณให้ถูกต้อง มิฉะนั้น เเกนของจานรับสัญญาณจะต่ำด้วย

5. จุดวางตำแหน่งฟีดฮอร์น จะต้องวางในตำแหน่งที่ถูกต้งที่สุด ถ้าวางไม่ถูกต้องจะส่งผลทำให้เกนการขยายสัญญาณต่ำเช่นกัน การคำนวณหาอัตราขยายของจานรับสัญญาณ หาได้จากสูตร

$$G = 10 \log [p^2 h (D/l)^2] \text{ dB}$$

เมื่อ D = เส้นผ่านศูนย์กลางของจานรับสัญญาณ หน่วยเป็นเมตร

l = ความยาวคลื่น (ความเร็วคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า/ความถี่ของสัญญาณ)

h = ค่าสัมประสิทธิ์ของประสิทธิภาพ

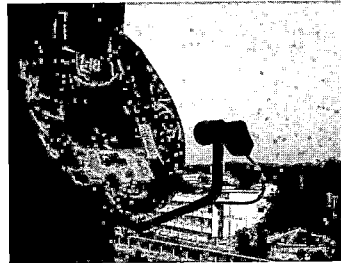
ผู้วิจัยได้สร้างโมเดลกระดาดจานรับสัญญาณดาวเทียมแบบ Offset-fed ด้วยวิธีการที่เรียกว่าเพเพอร์แมเช (papier-mache) โดยใช้รูปแบบและขนาดเท่ากับจานรับสัญญาณโทรทัศน์ดาวเทียมของ UBC กว้าง 60 ซม. ยาว 68 ซม. มีระยะโฟกัสห่างระหว่างพื้นผิวจานรับสัญญาณถึงอุปกรณ์นำเข้าและแปลงสัญญาณความถี่ LNBF เท่ากับ 35 ซม. และสร้างโครงเหล็กที่ใช้สำหรับติดตั้งจานรับสัญญาณดาวเทียมโมเดลกระดาด พร้อมทั้งติดตั้งแขนยึดอุปกรณ์ LNBF ที่ยื่นออกไปด้านหน้าของจานรับสัญญาณ ส่วนด้านหลังของโครงเหล็กจะมีที่ยึดติดกับขาตั้ง ที่สามารถปรับมุมของจานรับสัญญาณไปทางซ้ายหรือขวา และมุมเงย หรือมุมคว่ำได้ เพื่อใช้ปรับให้จานรับสัญญาณดาวเทียมหันตรงไปยังดาวเทียมดวงที่ต้องการจะรับสัญญาณ โทรทัศน์ดาวเทียม ส่วนตำแหน่งที่จะติดตั้ง LNBF มีน๊อตจับยึดซึ่งสามารถปรับมุมและระยะโฟกัสของ LNBF ได้ หลังจากที่ได้ศึกษาค้นคว้าด้านคุณสมบัติที่เหมาะสม

ของวัสดุที่จะนำมาทำพื้นผิวจานรับสัญญาณดาวเทียม ผู้ทำวิจัยได้เลือกใช้วัสดุ 3 ชนิด ดังต่อไปนี้

1. เศษแผ่นอะลูมิเนียมของผลิตภัณฑ์อาหาร
2. แผ่นอะลูมิเนียมฟอยล์
3. ตะแกรงมุ้งลวดโลหะ

เศษแผ่นอะลูมิเนียมของผลิตภัณฑ์อาหาร ได้แก่ของมันฝรั่งทอดที่มีขายตามท้องตลาดทั่วไป ได้แก่ ของมันฝรั่งทอดของ เลย์ ปาปริก้า ปาร์ดี ก๊อบกอบ ฮานามิ เทสโต มโนห์รา ฯลฯ ของผลิตภัณฑ์อาหารเหล่านี้จะมีขนาดไม่เท่ากัน ใหญ่บ้าง เล็กบ้าง นำของผลิตภัณฑ์เหล่านี้มาตัดเป็นแผ่นสี่เหลี่ยมผืนผ้า เพื่อให้ง่ายต่อการที่จะนำไปติดกับพื้นผิวโมเดลกระดาดจานรับสัญญาณดาวเทียมที่ได้เตรียมเอาไว้แล้ว โดยนำแปรงเปือกทาลงบนพื้นผิวด้านหน้าโมเดลกระดาดของจานรับสัญญาณดาวเทียมให้ทั่ว แล้วนำแผ่นสี่เหลี่ยมของผลิตภัณฑ์อาหารที่เตรียมไว้ ติดลงไปให้แนบสนิทกับจานรับสัญญาณ ถ้าติดไม่เรียบสนิท จะส่งผลทำให้การสะท้อนของสัญญาณความถี่

ไมโครเวฟที่ส่งลงมาจากดาวเทียม เมื่อตกกระทบกับผิวจานรับสัญญาณแล้ว จะไม่สะท้อนไปรวมกันที่จุดโฟกัสทั้งหมด สัญญาณที่รับได้จะอ่อน ทำให้รับสัญญาณได้ไม่ชัดเจน จานรับสัญญาณดาวเทียมที่ใช้เศษแผ่นอะลูมิเนียมของผลิตภัณฑ์อาหารทำผิวรับสัญญาณที่สร้างเสร็จแล้ว มีรูปลักษณะดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 จานรับสัญญาณดาวเทียมที่ใช้เศษแผ่นอะลูมิเนียมของผลิตภัณฑ์อาหาร ทำผิวรับสัญญาณพร้อมอุปกรณ์นำเข้าและแปลงสัญญาณความถี่ LNBF

แผ่นอะลูมิเนียมฟอยล์ ใช้ของบริษัทเอ็ม อะลูมิเนียมฟอยล์ จำกัด ซึ่งผลิตในประเทศไทย และมีจำหน่ายตามร้านซูเปอร์มาร์เก็ตทั่วไป ขนาดที่นำมาใช้กว้าง 18 นิ้ว นำไปผนึกติดกับพื้นผิวจานรับสัญญาณดาวเทียม โมเดลกระดาศเช่นเดียวกันกับเศษแผ่นอะลูมิเนียมของผลิตภัณฑ์อาหาร

ตะแกรงมุ้งลวดโลหะ ใช้ตะแกรงมุ้งลวดตราโอเปิล ที่มีขายตามร้านจำหน่ายวัสดุก่อสร้างทั่วไป ความกว้างมาตรฐาน 90 ซม. ก่อนที่จะนำไปติดกับพื้นผิวจานรับสัญญาณดาวเทียม โมเดลกระดาศที่สร้างขึ้นมานั้น จะต้องคัดตะแกรงมุ้งลวดให้มีความโค้งของตะแกรงมุ้งลวดก่อน เมื่อติดกับพื้นผิวของจานรับสัญญาณ จะทำให้แนบสนิทกับผิวจานรับสัญญาณ

นำจานรับสัญญาณดาวเทียมโมเดลกระดาศที่มีวัสดุผิวรับสัญญาณแต่ละชนิดที่สร้างขึ้น ไปดำเนินการติดตั้งบนกันสาดชั้นที่สี่ อาคาร ๖๐ พรรณามหาราชินี ๑ มหาวิทยาลัยบูรพา ตำแหน่งที่ใช้ติดตั้งจานรับสัญญาณดาวเทียมนี้ อยู่ทางด้าน

ทิศใต้ของอาคาร และหันหน้าจานรับสัญญาณไปทางทิศตะวันตกเฉียงใต้ทำมุมกวาดประมาณ 240 องศา และมุมเงยประมาณ 60 องศา ซึ่งหันตรงไปยังตำแหน่งของดาวเทียมไทยคม

ส่วนจานรับสัญญาณดาวเทียมที่ทำจากบริษัทผู้ผลิต ที่ผู้ทำวิจัยนำมาศึกษาและทดลองในครั้งนี้ คือจานรับสัญญาณดาวเทียมของบริษัทยูไนเต็ด บรอดคาสต์ติ้ง คอร์ปอเรชั่น จำกัด (มหาชน) หรือเรียกกันโดยทั่วไปว่า UBC ซึ่งเป็นจานรับสัญญาณโทรทัศน์ดาวเทียมย่านความถี่ Ku-band โดยเฉพาะ

อุปกรณ์นำเข้าและแปลงสัญญาณ ความถี่ LNBF ที่นำมาใช้ในการวิจัยครั้งนี้ ใช้ของบริษัท Indochina รุ่น KI 1130 ซึ่งจะทำหน้าที่รับสัญญาณความถี่สูงที่ส่งมาจากดาวเทียม โดยจะยอมให้สัญญาณความถี่ RF ที่อยู่ในช่วง 12.25 GHz – 12.75 GHz ซึ่งเป็นย่านความถี่ที่ใช้ในการส่งสัญญาณโทรทัศน์ดาวเทียมไทยคมผ่านเข้าสู่ระบบได้ เมื่อสัญญาณดาวเทียม ผ่านมายังอุปกรณ์ LNBF

ซึ่งมีวงจรขยาย สัญญาณความถี่สูงอยู่ชุดหนึ่ง จะทำหน้าที่ขยาย สัญญาณความถี่สูงในส่วนนี้ ให้แรงขึ้น หลังจากนั้นจะส่งผ่านไปยังวงจรแปลง สัญญาณความถี่ สูงลงมาเป็นความถี่ 950 MHz - 1550 MHz ซึ่งเป็นย่านความถี่ที่ต่ำ ที่สามารถส่ง สัญญาณไปตามสายนำสัญญาณได้

อุปกรณ์นำเข้าและแปลงสัญญาณความถี่ LNBF ของ Indochina รุ่น KI 1130 นี้ จะนำไป ติดตั้งกับจานรับสัญญาณทุกจานที่นำมาทำการ วิจัยครั้งนี้ โดยการถอดสับเปลี่ยนไปขณะที่มีการ ทดลองใช้งานรับสัญญาณชนิดนั้น ๆ

เชื่อมต่อสายนำสัญญาณจากอุปกรณ์ นำเข้าและแปลงสัญญาณความถี่ LNBF ไปยัง ขั้วต่อสายอากาศ (sat ant in) ของเครื่องรับและ ถอดรหัสสัญญาณดาวเทียม IRD เครื่องรับและ ถอดรหัสสัญญาณดาวเทียม เป็นอุปกรณ์ที่สำคัญ อีกชุดหนึ่งซึ่งทำหน้าที่เลือกรับสัญญาณความถี่สูงระดับไมโครเวฟที่ส่งลงมาจากดาวเทียม หรือพูดอีกนัยหนึ่งคือทำหน้าที่เลือกหาสถานี โทรทัศน์ที่ส่งลงมาจากดาวเทียม ดังนั้นการที่จะ รับสถานีจากดาวเทียมได้ดีเพียงใดนั้น นอกจาก จะขึ้นอยู่กับจานรับสัญญาณดาวเทียมแล้ว ยังขึ้นอยู่กับ คุณภาพของเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมนี้ด้วย เครื่องรับสัญญาณดาวเทียม ที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ ใช้องค์บริษัท Hyundai Digital Technology รุ่น HSS - 700 Digital เครื่องรับและถอดรหัสสัญญาณ ดาวเทียมรุ่นนี้มีคุณสมบัติพิเศษอย่างหนึ่งคือ มีวงจรตรวจวัดความไวในการรับสัญญาณ (signal sensitivity) ของจานรับสัญญาณโทรทัศน์ดาวเทียม ติดตั้งมาด้วย ทำให้การตรวจสอบความไวในการรับ สัญญาณของจานรับทำได้สะดวกรวดเร็วขึ้น โดยมีค่าตัวเลขแสดงออกมาเป็นเปอร์เซ็นต์ของ

ความไวในการรับสัญญาณ ถ้าผิวของจานรับ สัญญาณดาวเทียมมีคุณสมบัติในการสะท้อน สัญญาณไปยังอุปกรณ์นำเข้าและแปลงสัญญาณ ความถี่ LNBF ดีที่สุดค่าความไวในการรับ สัญญาณจะแสดงออกมาเป็นตัวเลขของเครื่องรับ มีค่าสูงสุด 100 % และเปอร์เซ็นต์ของความไวใน การรับสัญญาณนี้จะเปลี่ยนแปลงไปตามคุณสมบัติ ของจานรับสัญญาณ

ขั้นตอนการทดลองและเก็บรวบรวมข้อมูล ผู้วิจัยได้เชิญอาจารย์ระวี ต้นเสนีย์ ซึ่งเป็นวิศวกร ที่ปรึกษาของบริษัท เวลด์ เซทคอม จำกัด และเป็นผู้ ที่มีความชำนาญทางด้านติดตั้งระบบการรับสัญญาณ ดาวเทียม ได้มาตรวจสอบความถูกต้องของระบบ ที่ผู้วิจัยได้ดำเนินการติดตั้งไปแล้ว และได้ช่วย ตรวจสอบแผนงานในการทดลองและขั้นตอนการ จัดบันทึกข้อมูล โดยกำหนดการทดลองออกเป็น 3 ครั้ง ดังนี้

การทดลองครั้งที่ 1 ทำการทดลองใช้งานรับ สัญญาณโทรทัศน์ดาวเทียมที่มีพื้นผิวของจาน รับสัญญาณทำด้วยวัสดุที่แตกต่างกันทั้ง 3 ชนิด และจานรับสัญญาณโทรทัศน์ดาวเทียมย่านความถี่ Ku-band ของบริษัท UBC รับสัญญาณโทรทัศน์ จากดาวเทียมไทยคมที่ส่งออกอากาศทางสถานีวิทยุ โทรทัศน์การศึกษาทางไกลผ่านดาวเทียม 6 ช่อง สัญญาณ ช่องสถานี ETV และช่องสถานี TGN รวมทั้งหมด 8 ช่องสัญญาณ ระหว่างวันที่ 2-27 ตุลาคม พ.ศ. 2543 เวลาที่ใช้ในการทดลอง และจัดบันทึกข้อมูล อยู่ในช่วงเวลา 8.00-9.00 น. เวลา 12.00-13.00 น. และเวลา 16.00-17.00 น.

การทดลองครั้งที่ 2 และ 3 ทำการทดลอง ในลักษณะเดียวกัน โดยทำการทดลองระหว่าง วันที่ 3-28 ธันวาคม พ.ศ. 2543 และระหว่างวันที่ 4 กุมภาพันธ์ - 1 มีนาคม พ.ศ. 2544 ตามลำดับ

การวิเคราะห์ข้อมูลครั้งนี้ใช้วิธีการวิเคราะห์เชิงปริมาณ ด้วยการหาค่าเฉลี่ยที่ได้จากการทดลองวัดค่าความไวในการรับสัญญาณโทรทัศน์ดาวเทียมของจานรับสัญญาณแต่ละชนิดที่แสดงออกมาเป็นเปอร์เซ็นต์ทางเครื่องรับสัญญาณ IRD

สรุปผลการวิจัย

ผลของการวิจัยสรุปได้ดังนี้ วัสดุที่ใช้ทำพื้นผิวของจานรับสัญญาณดาวเทียมทั้ง 3 ชนิด ซึ่งได้แก่ เศษแผ่นอะลูมิเนียมของผลิตภัณฑ์อาหาร แผ่นอะลูมิเนียมฟอยล์ และตะแกรงมุ้งลวดโลหะ สามารถรับสัญญาณโทรทัศน์ดาวเทียมไทยคม ได้ชัดเจนทั้งภาพและเสียงทุกช่องสถานี เหมือนกับการใช้งานรับสัญญาณของ UBC ที่ได้ทำการทดลองไปพร้อม ๆ กัน ส่วนค่าของความไวในการรับสัญญาณโทรทัศน์ดาวเทียมของจานรับสัญญาณแต่ละชนิดวัดค่าได้ดังนี้

1. ค่าของความไวในการรับสัญญาณโทรทัศน์ดาวเทียม ที่ใช้งานรับสัญญาณดาวเทียม ซึ่งมีพื้นผิวของจานรับสัญญาณทำด้วยเศษแผ่นอะลูมิเนียมของผลิตภัณฑ์อาหาร มีค่าเฉลี่ยของความไวในการรับสัญญาณเท่ากับ 77.39%

2. ค่าของความไวในการรับสัญญาณโทรทัศน์ดาวเทียม ที่ใช้งานรับสัญญาณดาวเทียม ซึ่งมีพื้นผิวของจานรับสัญญาณทำด้วยแผ่นอะลูมิเนียมฟอยล์ มีค่าเฉลี่ยของความไวในการรับสัญญาณเท่ากับ 86.79%

3. ค่าของความไว ในการรับสัญญาณโทรทัศน์ดาวเทียม ที่ใช้งานรับสัญญาณดาวเทียม ซึ่งมีพื้นผิวของจานรับสัญญาณทำด้วยตะแกรงมุ้งลวดโลหะ มีค่าเฉลี่ยของความไวในการรับสัญญาณเท่ากับ 70.82%

4. ค่าของความไวในการรับสัญญาณโทรทัศน์ดาวเทียม ที่ใช้งานรับสัญญาณดาวเทียม บริษัท UBC มีค่าเฉลี่ยของความไวในการรับสัญญาณเท่ากับ 96.46%

อภิปรายผลการวิจัย

ผลของการวิจัยครั้งนี้ทำให้ทราบว่า

1. จานรับสัญญาณดาวเทียมที่มีพื้นผิวของจานรับสัญญาณทำจากเศษวัสดุประเภทอะลูมิเนียม และตะแกรงมุ้งลวดโลหะ ที่มีขนาดความกว้างของจานรับเพียง 60 ซม. ยาว 68 ซม. ก็สามารถรับสัญญาณโทรทัศน์ดาวเทียมย่านความถี่ Ku-band จากดาวเทียมไทยคมได้เป็นอย่างดี เทียบเท่ากับจานรับสัญญาณดาวเทียมที่ทำจากบริษัทผู้ผลิตถึงแม้ว่าค่าของความไวในการรับสัญญาณจะแตกต่างกันออกไปตามลักษณะของวัสดุที่ใช้ทำพื้นผิวของจานรับสัญญาณ

2. พื้นผิวของจานรับสัญญาณโทรทัศน์ดาวเทียมที่ดีนั้น จะต้องมียลักษณะเป็นผิวเรียบตลอดทั้งพื้นผิวจานรับสัญญาณ เพราะจะทำให้ทุกอนุภาคของพลังงานของสัญญาณดาวเทียมที่ส่งลงมาจากดาวเทียม เมื่อตกกระทบบนพื้นผิวของจานรับสัญญาณแล้ว จะสะท้อนไปรวมกันที่จุดโฟกัสของจาน ซึ่งจะทำได้พลังงานของสัญญาณที่จุดนั้นสูงที่สุด เพื่อรวมสัญญาณให้กับอุปกรณ์นำเข้าและแปลงสัญญาณ LNBF ดังจะเห็นได้จากจานรับสัญญาณดาวเทียมที่พื้นผิวของจานรับสัญญาณทำด้วยอะลูมิเนียมฟอยล์ จะมีค่าของความไวในการรับสัญญาณดีกว่าจานรับสัญญาณดาวเทียมที่พื้นผิวของจานรับทำด้วยเศษแผ่นอะลูมิเนียมของผลิตภัณฑ์อาหาร และตะแกรงมุ้งลวดโลหะ เพราะวัสดุทั้งสองชนิดนี้ เมื่อนำ

ไปทำพื้นผิวจานรับสัญญาณแล้ว พื้นผิวของจานรับสัญญาณไม่ราบเรียบตลอดทั้งพื้นผิว เช่นเศษแผ่นอะลูมิเนียมของผลิตภัณฑ์อาหาร จะมีรอยต่อเป็นช่วงๆ ส่วนตะแกรงมุ้งลวดโลหะ ซึ่งทำมาจากเส้นลวด สัญญาณที่ตกกระทบลงบนเส้นลวดจะสะท้อนออกทุกทิศทาง จึงทำให้ค่าความไวของการรับสัญญาณลดลง แต่อย่างไรก็ตาม สัญญาณโทรทัศน์ดาวเทียมที่รับได้จากจานรับสัญญาณ ที่มีพื้นผิวทำด้วยวัสดุแตกต่างกันทั้ง 3 ชนิดนั้น สามารถรับสัญญาณภาพและเสียงจากโทรทัศน์ ดาวเทียมไทยคมได้ชัดเจนดีทุกช่องสถานี

3. การรับ-ส่งสัญญาณโทรทัศน์ดาวเทียมย่านความถี่ Ku-band ของดาวเทียมไทยคมนี้ ใช้การรับส่งด้วยระบบดิจิทัล (digital) ซึ่งเป็นระบบที่วิวัฒนาการที่ต่อเนื่องมาจากการรับส่งในระบบบะนาลอก เหตุผลที่สำคัญที่นำเอาระบบดิจิทัลมาใช้คือ การใช้ทรัพยากรช่องสัญญาณทรานสปอนเดอร์ เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพคือระบบดิจิทัล สามารถใช้ช่องสัญญาณได้อย่างคุ้มค่า เช่นในระบบบะนาลอก หนึ่งทรานสปอนเดอร์ ส่งได้ไม่เกิน 2 ช่องสถานี แต่ถ้าเป็นระบบดิจิทัล หนึ่งทรานสปอนเดอร์ สามารถส่งได้ 12 ช่องสถานี เป็นต้น

นอกจากการรับส่งในระบบดิจิทัลทำให้ได้สถานีมากขึ้น ด้านความคมชัดของภาพทางด้านการรับส่งในระบบดิจิทัลจะได้ภาพที่คมชัดมากกว่าในระบบบะนาลอก เพราะถ้ารับความถี่ของสัญญาณที่ส่งมาได้ระดับหนึ่งแล้ว สัญญาณภาพและสัญญาณเสียงจะไม่มีกรรบกวน ทำให้ได้สัญญาณภาพและเสียงที่คมชัด ดังจะเห็นได้จากการทดลอง จานรับสัญญาณดาวเทียม

ที่มีค่าความไวในการรับสัญญาณที่ต่ำที่สุดคือจานรับสัญญาณดาวเทียมที่มีพื้นผิวทำด้วยตะแกรงมุ้งลวดโลหะ ซึ่งมีค่าความไวในการรับสัญญาณโทรทัศน์ดาวเทียมจากการทดลองครั้งนี้เพียง 70.82 % ก็สามารถรับสัญญาณโทรทัศน์ดาวเทียมได้ทั้งภาพและเสียงคมชัดเท่ากับจานรับสัญญาณดาวเทียมของบริษัท UBC ที่มีค่าความไวในการรับสัญญาณถึง 96.46 %

4. ค่าความไวในการรับสัญญาณโทรทัศน์ดาวเทียม ที่ผู้วิจัยต้องการจะทดสอบว่าจะมีค่าต่ำสุดเป็นเท่าใด ที่ยังสามารถรับสัญญาณภาพและเสียงได้อย่างชัดเจน โดยการปรับจานรับสัญญาณเบี่ยงเบนไปจากตำแหน่งเดิม ผลปรากฏว่าจานรับสัญญาณทั้ง 4 ชนิดที่ทำการทดลองรับสัญญาณโทรทัศน์ได้ชัดเจนดีทั้งภาพและเสียง เมื่อค่าของความไวในการรับสัญญาณสูงกว่า 20 % แต่ถ้าค่าความไวในการรับสัญญาณอยู่ระหว่าง 15 - 19 % สัญญาณภาพและเสียงจะขาดหายไปจากจอรับโทรทัศน์เป็นช่วงๆ และถ้าค่าความไวในการรับสัญญาณโทรทัศน์ดาวเทียมต่ำกว่า 15 % จะไม่สามารถรับสัญญาณทั้งภาพและเสียงได้เลย

5. ดังนั้นย่อมแสดงให้เห็นว่าในการทำจานรับสัญญาณดาวเทียมเพื่อใช้ในการรับสัญญาณโทรทัศน์ดาวเทียมย่านความถี่ Ku-band ของดาวเทียมไทยคมนั้นไม่จำเป็นจะต้องใช้วัสดุที่มีราคาแพงมาทำพื้นผิวของจานรับสัญญาณก็สามารถที่จะรับสัญญาณโทรทัศน์ดาวเทียมได้เป็นอย่างดี สิ่งที่ต้องคำนึงถึงคือเรื่องของความแข็งแรงและความคงทนของตัวจาน เพราะส่วนใหญ่จะติดตั้ง นอกตัวอาคาร จะต้องโดนแดด โดนลม และโดนฝนเป็นประจำ

เอกสารอ้างอิง

- กรมไปรษณีย์โทรเลข. (2541). นวัตกรรมโทรคมนาคม. กรุงเทพฯ : กรมไปรษณีย์โทรเลข.
- การพัฒนาวงเวียนไทย. (ออนไลน์). เข้าถึงได้จาก : <http://library.kmitnb.ac.th/article/ate31/ate00023.html>. Access January 12, 2000.
- การสื่อสารด้วยคลื่น. (ออนไลน์). เข้าถึงได้จาก : <http://cs.riudon.ac.th/sak/datacom/wave.htm>. Access February, 2000.
- ความรู้เบื้องต้น. (ออนไลน์). เข้าถึงได้จาก : <http://www.sra.cat.or.th/intro.html>. Access January 12, 2000.
- เจน สงสมพันธ์. (2535). โทรคมนาคมยุคความถี่. พิมพ์ครั้งที่ 2 กรุงเทพฯ : สถาบันอิเล็กทรอนิกส์ กรุงเทพฯ.
- ดาวเทียม. (ออนไลน์). เข้าถึงได้จาก : <http://sd2.sd.ac.th/student/3/satellite.html>. Access January 12, 2000.
- ดาวเทียมไทยคม 1A และดาวเทียมไทยคม 2. (ออนไลน์) เข้าถึงได้จาก : <http://www.rin.ac.th/web/science/thaicom1.htm>. Access January 24, 2000.
- เทคนิคการติดตั้งจานดาวเทียม. (ออนไลน์). เข้าถึงได้จาก : <http://www.psisat.com/manual/dish/chapter01/page01.htm>. Access January 19, 2000.
- เทคโนโลยีอวกาศ. (ออนไลน์). เข้าถึงได้จาก : <http://dnfe5.nfe.go.th/ilp/worldstor/sc31-4-5.htm>. Access January 14, 2000.
- บริษัทสามารถเทเลคอม จำกัด. (ม.ป.ป.). เปิดโลกทัศน์สู่การสื่อสารผ่านดาวเทียม เล่มที่ 1. กรุงเทพฯ : สามารถเทเลคอม.
- บริษัทสามารถเทเลคอม จำกัด. (ม.ป.ป.). เปิดโลกทัศน์สู่การสื่อสารผ่านดาวเทียม เล่มที่ 2. กรุงเทพฯ : สามารถเทเลคอม.
- บริษัทสามารถเทเลคอม จำกัด. (ม.ป.ป.). เปิดโลกทัศน์สู่การสื่อสารผ่านดาวเทียม เล่มที่ 3. กรุงเทพฯ : สามารถเทเลคอม.
- บัณฑิต โรจน์อารยนนท์. (2540). คู่มือออกแบบและติดตั้ง MATV&CATV. พิมพ์ครั้งที่ 8. กรุงเทพฯ : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น).
- ประวัติความเป็นมา. (ออนไลน์). เข้าถึงได้จาก : http://www.geocities.com/spcom_2000/Story.html. Access January 10, 2000.
- ประวัติความเป็นมาของการตั้งบริษัทดาวเทียมไทยคม. (ออนไลน์). เข้าถึงได้จาก : http://www.geocities.com/spcom_2000/thaicom.html. Access January 10, 2000.
- ประสิทธิ์ ทิมพุด. (2537). การสื่อสารดาวเทียม. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ : ศ. เอเชียเพลส.
- ประสิทธิ์ ประพัฒน์มงคล. (2521). หลักการระบบสื่อสาร. กรุงเทพฯ : เอส เอ็น กรุ๊ป.
- ฟ้าฟื้น เบญจกุล. (2541). พื้นฐานโทรคมนาคม. ปทุมธานี : มหาวิทยาลัยรังสิต.

รังสรรค์ วงศ์สวรรค์. (2536). โลกของการรับสัญญาณโทรทัศน์ผ่านดาวเทียม. กรุงเทพฯ : ศูนย์การพิมพ์พลชัย.

วิวัฒนาการของการสำรวจทรัพยากรโลกด้วยดาวเทียม. (ออนไลน์). เข้าถึงได้จาก : http://www.rs.psu.ac.th/rs/sat_dev.htm. Access January 12, 2000.

สมพร วีระโรจนพงษ์และสมนึก ัญญาวิชกุล. (ม.ป.ป.). ระบบสื่อสารผ่านดาวเทียม. กรุงเทพฯ : หอรัตนชัยการพิมพ์.

ส่วนประกอบดาวเทียม. (ออนไลน์). เข้าถึงได้จาก : http://www.geocities.com/spcom_2000/Index.html. Access January 19, 2000.

Antenna Efficiency. (online). available : http://sina.sharif.ac.ir/~barkeshli/antennas/review/9510_008.htm. Access February 8, 2000.

Antenna Efficiency Calculator. (online). available : <http://home.online.no/~jensts/Satellite/antennaefficiency.htm>. Access February 8, 2000.

C/Ku band Dish Size VS EIRP Graphs. (online). available : <http://www.geo-orbit.org/sizepgs/eirporcharts.htm>. Access January 12, 2000.

Dish antenna. (online). available : <http://www.strongdigital.com/dish.html>. Access January 14, 2000.

Feedhorns, C and Ku band. (online). available : <http://strongdigital.com/feedhorn.html>. Access January 14, 2000.

HS 376. (online). available : <http://www.friends-partners.org/mwade/craft/hs376.htm>. Access January 19, 2000.

List of Satellites in Geostationary Orbit. (online). available : <http://www.satsig.net/sslist.htm>. Access January 12, 2000.

NASA Fact Sheets. (online). available : http://www.gsfc.nasa.gov/gsfsc/service/gallery/fact_sheets/general/satsum.htm. Access February 15, 2000

Satellite Antenna Models and Gain. (online). available : http://www.afcsat.com/ant_tab.html. Access January 21, 2000.

Satellite Receiving Antennas. (online). available : <http://www.mlesat.com/antennas.html>. Access February 8, 2000.

SMC DTH Antenna. (online). available : http://www.citytrans.nl/60_cm_smc.htm. Access February 15, 2000.

Thailand's First Domestic Satellite System. (online). available : <http://www.hughespace.com/factsheets/376/thaicom/thaicom.html>. Access February

The Thaicom Satellite System. (online). available : <http://www.mlesat.com/thaicom.html>. Access February 15, 2000.

TV Channels on THAICOM Satellites. (online). available : <http://tcns.thaicom.net/> Access February 15, 2000.

