

การพัฒนาระบบมอนิเตอร์รังสีแกมมาชนิดเคลื่อนย้ายได้ที่เชื่อมโยงด้วยจีพีเอส



นางสาวสิริยาภรณ์ แสงอรุณ

สถาบันวิทยบริการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี


คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2547

ISBN 974-53-1213-4

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

DEVELOPMENT OF A PORTABLE GAMMA RAY MONITORING SYSTEM INTERFACED WITH GPS



Miss Siriyaporn Sangaroon

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of Master of Science in Nuclear Technology

Department of Nuclear Technology

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2004

ISBN 974-53-1213-4

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การพัฒนาระบบมอดูเลอ์รังสีแกมมาชนิดเคลื่อนย้ายได้ที่เชื่อมโยงด้วย จีพีเอส
โดย	นางสาวสิริยาภรณ์ แสงอรุณ
สาขาวิชา	นิเวศลิษฐ์เทคโนโลยี
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์เดโช ทองอร่าม
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุวิทย์ ปุณณชัยยะ

---

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็น  
ส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์  
(ศาสตราจารย์ ดร. ดิเรก ลาวัณย์ศิริ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ  
(รองศาสตราจารย์สมยศ ศรีสถิตย์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา  
(อาจารย์เดโช ทองอร่าม)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุวิทย์ ปุณณชัยยะ)

..... กรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์อรรถพร ภัทรสุนันต์)

สัริยาภรณ์ แสงอรุณ : การพัฒนาระบบมอนิเตอร์รังสีแกมมาชนิดเคลื่อนย้ายได้ที่เชื่อมโยงด้วยจีพีเอส. (DEVELOPMENT OF A PORTABLE GAMMA RAY MONITORING SYSTEM INTERFACED WITH GPS) อ.ที่ปรึกษา: อ.เคโซ ทองอร่าม, อ.ที่ปรึกษาร่วม: ผศ. สุวิทย์ ปุณณชัยยะ, 93 หน้า.ISBN 974-53-1213-4

ระบบมอนิเตอร์รังสีแกมมาชนิดเคลื่อนย้ายได้ที่เชื่อมโยงด้วยจีพีเอสเป็นระบบที่พัฒนาขึ้นสำหรับวัดรังสีแกมมาในสิ่งแวดล้อม ซึ่งระบบสามารถรายงานผลในรูปของสเปกตรัมพลังงานความแรงรังสี พร้อมทั้งตำแหน่งพิกัดของเส้นรุ้ง (Latitude) และเส้นแวง (Longitude) โดยอาศัยการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ขนาด 8 บิตร่วมกับคอมพิวเตอร์ขนาดพกพาชนิดปาล์มรุ่น m505 ในส่วนของระบบวัดรังสีแกมมาประกอบด้วยวงจรหลัก 4 ส่วนได้แก่ 1).วงจรขยายสัญญาณที่สามารถตั้งอัตราขยายได้ 500 ถึง 1000 เท่า 2).วงจรวิเคราะห์ความสูงพัลส์แบบช่องเดี่ยวที่ควบคุมการทำงานด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ 3).วงจรเรตมิเตอร์ที่สามารถรับอัตราการนับได้ตั้งแต่ 0 ถึง 100 kcps โดยมีความไม่เป็นเชิงเส้นสูงสุด 0.03 % 4).วงจรแปลงผันสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอลขนาด 10 บิต ที่มีค่าผิดพลาดของความไม่เป็นเชิงเส้นแบบดิฟเฟอเรนเชียล (DNL) และแบบอินทริกัล (INL) น้อยกว่า  $\pm 1$ LSB

ผลทดสอบความสามารถในการแจกแจงพลังงานด้วยระบบที่พัฒนาขึ้นร่วมกับหัววัดรังสีชนิด CsI(Tl) คัปปลิ่งกับฟิโนไฟโตไดโอดมีค่าเท่ากับ 14.28% ที่พลังงาน 661.66 keV สำหรับระบบจีพีเอสรับสัญญาณด้วยความถี่ L1 และใช้โปรโตคอลแบบ NMEA-0183 ในการอ่านค่าพิกัดของเส้นรุ้งและเส้นแวง เมื่อแปลงพิกัดเป็นระบบ UTM มีค่าความคลาดเคลื่อนของพิกัดที่วัดได้จากตำแหน่งอ้างอิงเป็น +1.69 mE , -1.63 mN

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา นิวเคลียร์เทคโนโลยี  
สาขาวิชา นิวเคลียร์เทคโนโลยี  
ปีการศึกษา 2547

ลายมือชื่อนิติ.....  
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....  
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

## 4570595121 : MAJOR NUCLEAR TECHNOLOGY

KEY WORD: SCA / GPS

SIRIYAPORN SANGAROON :DEVELOPMENT OF A PORTABLE GAMMA RAY MONITORING SYSTEM INTERFACED WITH GPS. THESIS ADVISOR: DECHO THONG-ARAM, THESIS CO – ADVISOR: ASST. PROF. SUVIT PUNNACHAIYA , 93 pp. ISBN 974 – 53 – 1213 - 4

A portable gamma ray monitoring system interfaced with the Global Positioning System (GPS) was developed for measuring the gamma ray in an environment. The system can report the energy spectrum, activity and also position coordinates of latitude and longitude, by using a 8 bit microcontroller together with a palm type handheld computer model m505. The gamma ray measurement system consisted of 4 main parts. : 1). Amplifier circuit with gain setting from 500 to 1000. 2). Microcontroller controlled single channel analyzer (SCA) 3). Ratemeter circuit capable of receiving signal frequency from 0 to 100 kcps with a maximum non-linearity 0.03%. 4). A 10 bit Analog to digital converter having the DNL and INL less than  $\pm 1$ LSB.

Tested result of the energy resolution by using developed system together with a CsI(Tl) coupled with PIN photodiode was found to be 14.28 % at 661.66 keV. For the GPS received only L1 frequency and used NMEA-0183 protocol for reading the position coordinates. When the position coordinates were transformed to UTM system, the errors of measuring position coordinates were found to be +1.69 mE , -1.63 mN from the standard reference position coordinate.

Department Nuclear Technology

Field of study Nuclear Technology

Academic year 2004

Student's signature.....

Advisor's signature.....

Co-Advisor's signature.....

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณ อาจารย์เดโช ทองอร่าม ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุวิทย์ ปุณณชัยยะ ที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาและองค์ความรู้ต่างๆ ให้คำปรึกษาชี้แนะ อีกทั้งให้โอกาสในการศึกษาและทำวิทยานิพนธ์นี้ให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบคุณ คุณกมลทิพย์ พลอยกระจ่าง และ ศูนย์เชี่ยวชาญนวัตกรรมเคลียร์เทคโนโลยีสำหรับวิเคราะห์และทดสอบวัสดุ ที่ได้อำนวยความสะดวกด้านเครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆ สำหรับงานวิจัยนี้

ขอขอบคุณ คุณอำไพ อติโรจน์ปัญญา เพื่อนๆ พี่ๆ และน้องๆ ที่ให้ความช่วยเหลือสำหรับงานวิจัยนี้

ขอขอบคุณอาจารย์ธเนศ จรุงจินันท์ที่ได้ให้ความช่วยเหลือด้านข้อมูลเกี่ยวกับพิกัดจีพีเอส

ขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยที่สนับสนุนทุนวิจัยวิทยานิพนธ์

ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ที่คอยเป็นกำลังใจ ให้คำปรึกษา และให้โอกาสในการศึกษา ขอขอบคุณน้องชายทั้งสองของข้าพเจ้าที่คอยเป็นกำลังใจตลอดมา

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## สารบัญ

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญภาพ.....	ฎ
บทที่	
1. บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	2
1.4 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินการวิจัย.....	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย.....	2
2. ระบบวัดรังสีแกมมาและระบบวัดฟิสิกส์จีพีเอส.....	3
2.1 คุณสมบัติของรังสีแกมมา.....	3
2.1.1 การเกิดโฟโตอิเล็กทริก.....	4
2.1.2 การกระเจิงแบบคอมป์ตัน.....	5
2.1.3 การเกิดแฟรย์พรดักชัน.....	5
2.2 ระบบวัดรังสี.....	6
2.2.1 หัววัดรังสีชนิดฟิโนไฟโตไดโอดซินทิลเลชัน.....	8
2.2.2 ระบบวิเคราะห์ความสูงพัลส์แบบช่องเดียว.....	9
2.2.3 ความสามารถในการแจกแจงสเปกตรัมพลังงานของการวัดรังสี.....	13
2.3 ระบบพิกัดและการหาตำแหน่งโดยเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม.....	15
2.3.1 ระบบพิกัดของแผนที่.....	15
2.3.1.1 ระบบพิกัดภูมิศาสตร์.....	15
2.3.1.2 ระบบพิกัดฉาก.....	17
2.3.1.3 ระบบพิกัดสามแกน.....	17
2.3.2 องค์ประกอบของระบบวัดฟิสิกส์จีพีเอส.....	17
2.3.2.1 ส่วนอวกาศ.....	18



## สารบัญ (ต่อ)

๗

บทที่

หน้า

2.3.2.2 ส่วนสถานีควบคุม.....	18
2.3.2.3 ส่วนผู้ใช้งาน.....	19
2.3.3 การทำงานของระบบวัดพิกัดจีพีเอส.....	20
2.3.3.1 การส่งสัญญาณของดาวเทียม.....	20
2.3.3.2 การเกี่ยวข้องกับเวลาที่ช้าลงของการเดินทางของสัญญาณ.....	20
2.3.3.3 หลักการวัด Pseudo random code และ โครงสร้างของสัญญาณ.....	22
2.3.3.4 การคำนวณเวลาและหาตำแหน่งของเครื่องรับพิกัดจีพีเอส.....	24
2.3.4 โปรโตคอล NMEA-0183.....	26
2.4 เครื่องคอมพิวเตอร์ขนาดพกพาชนิดปาล์ม.....	27
2.4.1 หน่วยความจำ.....	27
2.4.2 หน่วยประมวลผลกลาง.....	27
3. การดำเนินการวิจัย.....	30
3.1 ข้อมูลพื้นฐานของระบบ.....	30
3.2 การพัฒนาระบบวัดรังสี.....	32
3.2.1 วงจรขยายสัญญาณ.....	32
3.2.2 การพัฒนาระบบวิเคราะห์ความสูงพัลส์แบบช่องเดี่ยว.....	35
3.2.3 การพัฒนางจรเรตมิเตอร์.....	36
3.2.4 การพัฒนาระบบจ่ายไฟฟ้าสัปดาห์.....	38
3.3 การพัฒนาระบบไมโครคอนโทรลเลอร์.....	40
3.3.1 การออกแบบโปรแกรมเพื่อแปลงผันสัญญาณอนาล็อก เป็นสัญญาณดิจิทัล.....	40
3.3.2 การออกแบบโปรแกรมเพื่อควบคุมและประมวลผล.....	43
3.4 ระบบประมวลผลค่าพิกัดทางจีพีเอส.....	43
3.5 การพัฒนาโปรแกรมสำหรับคอมพิวเตอร์ขนาดพกพาชนิดปาล์ม.....	46
3.6 ระบบวัดรังสีแกมมาชนิดเคลื่อนย้ายได้ที่เชื่อมโยงกับจีพีเอส.....	47
4. การทดสอบสมรรถนะของระบบ.....	48
4.1 การทดสอบระบบวัดรังสีแกมมา.....	48
4.1.1 การทดสอบแหล่งจ่ายไฟฟ้าสัปดาห์.....	48
4.1.2 การทดสอบวงจรขยายสัญญาณพัลส์.....	50



## สารบัญ (ต่อ)

ณ

บทที่

หน้า

4.1.3	การทดสอบระบบวิเคราะห์ความสูงพัลส์แบบช่องเดี่ยว.....	53
4.1.4	การทดสอบวงจรเรตมิเตอร์.....	57
4.1.5	การทดสอบวงจรแปลงผันสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอล.....	59
4.1.6	การทดสอบระบบวิเคราะห์สเปกตรัมพลังงานรังสีแกมมา.....	61
4.2	การทดสอบระบบจีพีเอส.....	65
5.	สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	72
5.1	สรุปผลการวิจัย.....	72
5.2	คุณลักษณะของเครื่อง.....	73
5.3	ปัญหาและอุปสรรค.....	73
5.4	ข้อเสนอแนะ.....	74
	รายการอ้างอิง.....	75
	ภาคผนวก ก.....	78
	ภาคผนวก ข.....	81
	ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	93

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## สารบัญตาราง

ญ

ตารางที่	หน้า
ตารางที่ 4.1	49
ตารางที่ 4.2	55
ตารางที่ 4.3	58
ตารางที่ 4.4	60
ตารางที่ 4.5	67
ตารางที่ 4.6	68
ตารางที่ 4.7	68
ตารางที่ 4.8	68
ตารางที่ 4.9	69
ตารางที่ 4.10	69
ตารางที่ 4.11	70
ตารางที่ 4.12	70

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## สารบัญรูป

ฉ

รูปประกอบ	หน้า
รูปที่ 2.1 แผนผังการสลายตัวของ Cs-137.....	4
รูปที่ 2.2 กระบวนการวัดรังสี.....	7
รูปที่ 2.3 ย่านการปลดปล่อยความยาวคลื่นของฟลักซินทิลเลเตอร์ชนิด CsI(Tl).....	9
รูปที่ 2.4 ลักษณะการเกิดสัญญาณลอจิกพัลส์ของอินทิกรัลดิสครีมิเนเตอร์.....	10
รูปที่ 2.5 การเกิดสัญญาณลอจิกพัลส์ที่เอาต์พุตของ SCA .....	11
รูปที่ 2.6 ระบบวิเคราะห์ความสูงพัลส์แบบช่องเดียวชนิดนอนโทมิ่ง SCA .....	11
รูปที่ 2.7 การทำงานของ SCA แบบโหมคสวิป.....	12
รูปที่ 2.8 (2.8.ก) สเปกตรัมแบบเส้นเดี่ยว (2.8.ข) สเปกตรัมที่มีการกระจายแบบเกาส์เซียน....	13
รูปที่ 2.9 ผลการเบี่ยงเบนความสูงพัลส์ต่อความกว้างของพีคพลังงาน.....	14
รูปที่ 2.10 ความสามารถในการแจกแจงพลังงาน .....	15
รูปที่ 2.11 แผนที่โลก.....	16
รูปที่ 2.12 แสดงส่วนประกอบของระบบดาวเทียมจีพีเอส.....	18
รูปที่ 2.13 การวัดพิกัดด้วยวิธี DGPS .....	22
รูปที่ 2.14 (2.14.ก) การคำนวณระยะทางจากดาวเทียมจีพีเอสและเครื่องรับพิกัดจีพีเอสโดยใช้ หลักการ Satellites triangulation (2.14.ข) ความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากเวลา.....	23
รูปที่ 2.15 การมอดคูเลตระหว่างรหัสสุ่มเทียบกับคลื่นพาห์.....	23
รูปที่ 2.16 ลักษณะของสัญญาณดาวเทียมจีพีเอส.....	23
รูปที่ 2.17 การเปรียบเทียบสัญญาณเพื่อหาค่า TOA .....	25
รูปที่ 2.18 หลักการคำนวณหาค่าพิกัด .....	25
รูปที่ 2.19 NMEA-0183 .....	26
รูปที่ 2.20 โครงสร้างของ MC68EZ328 DragonBall Processor.....	28
รูปที่ 2.21 การส่งข้อมูลเป็นรหัส ASCII 'A'แบบพอร์ตอนุกรม RS-232 ของปาล์ม.....	29
รูปที่ 2.22 การส่งข้อมูลเป็นรหัส ASCII 'A'แบบอินฟาเรดของปาล์ม.....	29
รูปที่ 3.1 หลักการทำงานของหัววัดรังสีและวงจรรขยายสัญญาณส่วนหน้า.....	31
รูปที่ 3.2 แผนภาพของระบบวิเคราะห์รังสีแกมมาและรับตำแหน่งด้วยจีพีเอส.....	32
รูปที่ 3.3 แผนภาพแสดงการทำงานของวงจรรขยายสัญญาณ.....	32
รูปที่ 3.4 แผ่นวงจรรขยายสัญญาณพัลส์.....	33
รูปที่ 3.5 วงจรรขยายสัญญาณพัลส์.....	34
รูปที่ 3.6 แผนภาพการทำงานของ SCA .....	35

## สารบัญรูป (ต่อ)

ฉ

รูปประกอบ	หน้า
รูปที่ 3.7 วงจร SCA และเรตมิเตอร์ .....	36
รูปที่ 3.8 วงจรเรตมิเตอร์ .....	37
รูปที่ 3.9 วงจรจ่ายไฟฟ้าสัปดาห์ต่ำ .....	39
รูปที่ 3.10 วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ออกแบบได้ .....	40
รูปที่ 3.11 วงจรควบคุมการทำงานด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ .....	41
รูปที่ 3.12 แผนผังการทำงานของโปรแกรมแปลงผันสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิทัล .....	42
รูปที่ 3.13 แผนผังการทำงานของโปรแกรมการทำงานในโหมดสวิตช์ของ ไมโครคอนโทรลเลอร์และ SCA .....	43
รูปที่ 3.14 โมดูลจีพีเอสของ HOLUX รุ่น GM-83 .....	44
รูปที่ 3.15 แสดงขอบเขตประเทศไทยในระบบ UTM .....	45
รูปที่ 3.16 แผนผังการทำงานของโปรแกรมสำหรับเครื่องคอมพิวเตอร์ขนาดพกพา .....	46
รูปที่ 3.17 ภาพอุปกรณ์ของระบบวัดรังสีแกมมาชนิดเคลื่อนย้ายได้ที่เชื่อมโยงด้วยจีพีเอส .....	47
รูปที่ 4.1 แผนภาพการจับอุปกรณ์ทดสอบแหล่งจ่ายไฟฟ้าสัปดาห์ต่ำ .....	49
รูปที่ 4.2 Ripple voltage ของแหล่งจ่ายไฟฟ้าสัปดาห์ต่ำที่พัฒนาขึ้น .....	50
รูปที่ 4.3 สัญญาณพัลส์จากวงจรขยายส่วนหน้า .....	51
รูปที่ 4.4 แผนภาพการจับอุปกรณ์ทดสอบวงจรขยายสัญญาณพัลส์ .....	51
รูปที่ 4.5 สัญญาณพัลส์ที่ได้จากโมดูลขยายสัญญาณพัลส์ของ CANBERRA .....	52
รูปที่ 4.6 สัญญาณพัลส์ที่ได้จากวงจรขยายสัญญาณพัลส์ที่ออกแบบได้ โดยเลือกเป็นโพลาริตีบวก .....	52
รูปที่ 4.7 สัญญาณพัลส์ที่ได้จากวงจรขยายสัญญาณพัลส์ที่ออกแบบได้ โดยเลือกเป็นโพลาริตีลบ .....	53
รูปที่ 4.8 แผนภาพการจับอุปกรณ์ทดสอบ SCA .....	54
รูปที่ 4.9 แสดงค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานการกำเนิดสัญญาณลอจิกพัลส์ของ SCA .....	55
รูปที่ 4.10 การเกิดสัญญาณลอจิกพัลส์ที่ขอบขาลงของสัญญาณพัลส์ .....	56
รูปที่ 4.11 แสดงการเกิดสัญญาณลอจิกพัลส์เมื่อสัญญาณอินพุตเป็นพัลส์คู่ที่เกิดติดกัน .....	57
รูปที่ 4.12 แผนภาพการจับอุปกรณ์ทดสอบวงจรเรตมิเตอร์ .....	58
รูปที่ 4.13 แสดงความไม่เป็นเชิงเส้นของค่าสัปดาห์ต่ำไฟฟ้าเมื่อปรับความถี่ ของสัญญาณลอจิกพัลส์เพิ่มขึ้น .....	59
รูปที่ 4.14 แผนภาพการจับอุปกรณ์ทดสอบ ADC .....	60

## สารบัญรูป (ต่อ)

๙

รูปประกอบ	หน้า
รูปที่ 4.15 แสดงความไม่เป็นเชิงเส้นของการแปลงศักดาไฟฟ้าเป็นสัญญาณดิจิทัล 10 บิต.....	61
รูปที่ 4.16 แผนภาพการจัดอุปกรณ์ทดสอบระบบวิเคราะห์สเปกตรัมพลังงานรังสีแกมมา.....	62
รูปที่ 4.17 สเปกตรัมพลังงานของ Cs-137 ที่วัดโดยหัววัดรังสีชนิดผลึกซินทิลเลเตอร์ ฟินโฟโตไดโอดของ Hamamatsu รุ่น S3590-08.....	63
รูปที่ 4.18 แสดงสเปกตรัมสำหรับสัญญาณพัลส์ค่าความสูงเดี่ยว.....	63
รูปที่ 4.19 แสดงสเปกตรัมพลังงานรังสีแกมมาของ Cs-137.....	64
รูปที่ 4.20 การคำนวณค่าการแจกแจงพลังงานสำหรับสเปกตรัมของ Cs-137.....	64
รูปที่ 4.21 แสดงสเปกตรัมพลังงานรังสีแกมมาของ Co-60.....	65
รูปที่ 4.22 ตำแหน่งทดสอบที่วัดค่าฟักัดจีพีเอส.....	66



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

จากอุบัติเหตุทางรังสีที่โรงไฟฟ้าเซอร์โนบิลในเดือนเมษายนปี พ.ศ. 2529 ทำให้มีผู้เสียชีวิตและมีอาการเจ็บป่วยทางรังสีเป็นจำนวนมากเพราะรังสีได้แพร่กระจายออกไปรอบโรงไฟฟ้ารัศมีกว้าง 30 กิโลเมตร ซึ่งก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิต การได้รับรังสีที่มีปริมาณสูงทำให้เกิดการเจ็บป่วยทางรังสี และในระยะยาวมีโอกาสก่อให้เกิดมะเร็งได้ สำหรับประเทศไทยเกิดอุบัติเหตุทางรังสีจาก Co-60 ในเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2543 ที่จังหวัดสมุทรปราการทำให้มีผู้เสียชีวิต 3 คนและอีก 11 คนมีอาการเจ็บป่วยทางรังสี อีกทั้งในปัจจุบันได้มีการใช้ประโยชน์จากรังสีในงานด้านต่าง ๆ อย่างกว้างขวาง เช่น ด้านการแพทย์ ด้านอุตสาหกรรม ด้านการเกษตรและด้านการศึกษาวิจัยทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีรังสีแกมมาจากรังสีคอสมิก (Cosmic rays) และการสลายตัวของไอโซโทปที่มีในธรรมชาติ จากอุบัติเหตุทางรังสีและการใช้ประโยชน์ทางรังสีที่กล่าวมาข้างต้นจึงจำเป็นต้องมีการวางแผนการป้องกันอันตรายจากรังสีและมีการควบคุมเรื่องความปลอดภัยอย่างรอบคอบเพื่อให้เกิดความปลอดภัยแก่ผู้ปฏิบัติงานและผู้ที่อยู่อาศัยในบริเวณนั้นไม่ให้ได้รับรังสีไม่ว่ากรณีใด ๆ เกินกว่าระดับที่กำหนดโดยกรมการระหว่างประเทศว่าด้วยการป้องกันอันตรายจากรังสี (International Commission on Radiological Protection : ICRP)

การนำเทคโนโลยีการระบุตำแหน่งด้วยจีพีเอส (Global Positioning System) และเทคโนโลยีสารสนเทศโดยเฉพาะเครื่องคอมพิวเตอร์ขนาดพกพา (Handheld computing) มาประยุกต์ใช้ร่วมกับระบบวัดรังสีจะทำให้ง่ายต่อการปฏิบัติงาน เนื่องจากสามารถวัดปริมาณรังสีที่ระยะต่าง ๆ จากต้นกำเนิดรังสีเพื่อใช้ในการประเมินด้านการจัดการเกี่ยวกับความปลอดภัยได้อย่างสะดวกและแม่นยำพร้อมทั้งสามารถแสดงพิกัดตำแหน่งได้ใกล้เคียงกับความเป็นจริงทำให้เกิดแนวคิดที่จะพัฒนาระบบมอนิเตอร์รังสีแกมมาชนิดเคลื่อนย้ายได้ที่เชื่อมโยงด้วยจีพีเอส



## 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อพัฒนาระบบมอนิเตอร์รังสีแกมมาชนิดเคลื่อนย้ายได้ที่เชื่อมโยงด้วยอุปกรณ์ระบุตำแหน่งบนพื้นโลก

## 1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1. ออกแบบและสร้างส่วนประกอบต่าง ๆ ของระบบมอนิเตอร์รังสีแกมมา ได้แก่ วงจรขยายสัญญาณ วงจรวิเคราะห์ความสูงพัลส์แบบช่องเดี่ยว วงจรเรตมิเตอร์ เป็นต้น
2. ออกแบบและสร้างระบบเชื่อมโยงสัญญาณของอุปกรณ์ระบุตำแหน่งกับไมโครคอมพิวเตอร์หรือคอมพิวเตอร์ขนาดพกพา พร้อมโปรแกรมควบคุมและแสดงผลการทำงาน
3. ทดสอบสมรรถนะของระบบมอนิเตอร์รังสีแกมมาที่เชื่อมโยงด้วยอุปกรณ์ระบุตำแหน่งโดยการสำรวจปริมาณรังสี ณ บริเวณที่สนใจ

## 1.4 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินการวิจัย

1. ศึกษาค้นคว้าเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
2. ออกแบบและสร้างระบบวิเคราะห์สเปกตรัมพลังงานแบบช่องเดี่ยว
3. ออกแบบและสร้างระบบเชื่อมโยงสัญญาณของอุปกรณ์ระบุตำแหน่งกับไมโครคอมพิวเตอร์หรือคอมพิวเตอร์ขนาดพกพา
4. พัฒนาโปรแกรมควบคุมและแสดงผลการทำงาน
5. ทดสอบการทำงานและปรับปรุงสมรรถนะของระบบ
6. สรุปผลการทดลองและเขียนวิทยานิพนธ์

## 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย

ได้ระบบมอนิเตอร์รังสีแกมมาชนิดเคลื่อนย้ายได้ที่เชื่อมโยงด้วยอุปกรณ์ระบุตำแหน่งบนพื้นโลกเพื่อใช้สำหรับการสำรวจปริมาณรังสีในสิ่งแวดล้อม



## บทที่ 2

### ระบบวัดรังสีแกมมาและระบบวัดฟิสิกส์พีเอส

#### 2.1 คุณสมบัติของรังสีแกมมา

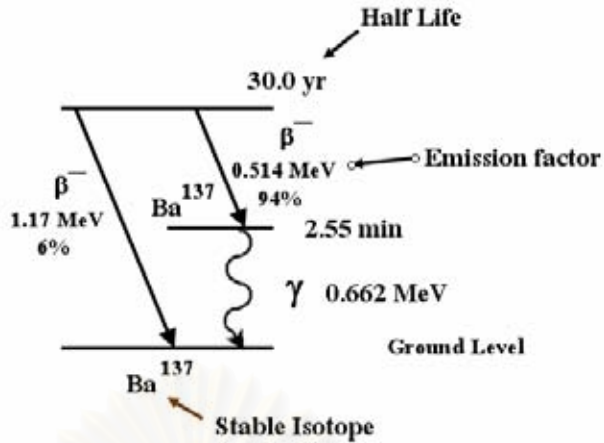
รังสี (Radiation) เป็นพลังงานรูปแบบหนึ่งที่สามารถแผ่กระจายจากต้นกำเนิดออกไปในอากาศหรือตัวกลางใด ๆ ในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ได้แก่ รังสีความร้อน รังสีเอกซ์ (X-Rays) รังสีแกมมา ( $\gamma$ -Rays) รังสีคอสมิก คลื่นไมโครเวฟ และอนุภาคที่มีความเร็วสูง ได้แก่ รังสีแอลฟา ( $\alpha$ -Rays) รังสีบีตา ( $\beta$ -Rays) อนุภาคนิวตรอน (Neutron) เป็นต้น

ในกระบวนการวัดรังสีจะแบ่งกลุ่มรังสีออกเป็น 2 กลุ่ม เพื่อสะดวกในการพิจารณาวิธีตรวจวัดรังสี ได้แก่

ก. รังสีที่มีประจุในตัว (Charged particulate radiation) ได้แก่ รังสีแอลฟา รังสีบีตา อิเล็กตรอนพลังงานสูง (Fast electron) อนุภาคชนิดหนัก (Heavy charged particle) เป็นต้น รังสีเหล่านี้จะมีคุณสมบัติในการทำอันตรกิริยาที่บริเวณสนามคลอมบ์ของอะตอมตัวกลางที่รังสีเคลื่อนที่ผ่านแล้วเกิดการไอออไนซ์ ปริมาณประจุไฟฟ้าที่เกิดสามารถนำไปเข้ากระบวนการวัดทางอิเล็กทรอนิกส์ได้ทันที ดังนั้นรังสีประเภทนี้จึงสามารถตรวจวัดได้สะดวก

ข. รังสีที่ไม่มีประจุไฟฟ้าในตัว (Uncharged radiation) ได้แก่ กลุ่มรังสีที่มีคุณสมบัติเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า เช่น รังสีเอกซ์ รังสีแกมมา และอนุภาคที่มีมวลแต่ไม่มีประจุไฟฟ้า เช่น นิวตรอน การตรวจวัดจะต้องวัดทางอ้อมซึ่งต้องอาศัยอันตรกิริยาหรือปฏิกิริยาทางรังสีที่เหมาะสมรองรับการวัดรังสีประเภทนี้ เช่น การกระตุ้นให้เกิดการเรืองรังสี (Fluorescence) หรือการสร้างอนุภาคที่มีประจุจากอันตรกิริยากับตัวกลาง

การสลายตัวโดยการปลดปล่อยรังสีแกมมาเป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นหลังการสลายตัวให้รังสีแอลฟาและรังสีบีตา เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงในนิวเคลียส ทำให้นิวเคลียสของอะตอมธาตุใหม่ยังอยู่ในสภาวะระดับพลังงานสูงจึงต้องมีการลดระดับพลังงานสู่สภาวะไอโซโทปเสถียรด้วยการปล่อยพลังงานในรูปของรังสีแกมมาออกมา นิวเคลียสที่มีการปล่อยรังสีแกมมาจะไม่มีการเปลี่ยนแปลงทั้งเลขมวลและเลขอะตอม การสลายตัวของไอโซโทปรังสีของธาตุจะมีรูปแบบเฉพาะของธาตุนั้นโดยแผ่กัมมันตภาพรังสีหลายชนิดจากนิวไคลด์แม่ลงมาเป็นนิวไคลด์ลูกก่อนลงสู่สภาวะไอโซโทปเสถียร แสดงรูปแบบการสลายตัวด้วยแผนผังการสลายตัว (Decay scheme) ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 แผนผังการสลายตัวของ Cs-137

รังสีแกมมาจะเคลื่อนที่ด้วยพลังงานจนเมื่อกระทบกับตัวกลางใดจะทำอันตรกิริยาถ่ายโอนพลังงานให้กับตัวกลางนั้น รังสีแกมมาเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเมื่อเคลื่อนที่ผ่านตัวกลางมีโอกาสที่จะทำอันตรกิริยากับอะตอมใน 3 รูปแบบ คือ การเกิดโฟโตอิเล็กทริก (Photoelectric effect) การกระเจิงแบบคอมป์ตัน (Compton scattering) และการเกิดแพร์โปรดักชัน (Pair production) ซึ่งโอกาสของการเกิดอันตรกิริยาทั้ง 3 รูปแบบนี้ขึ้นกับคุณสมบัติของตัวกลางและพลังงานของโฟตอนซึ่งมีความสัมพันธ์กับความถี่และความยาวคลื่นตามทฤษฎีกลศาสตร์ควอนตัม ดังสมการที่ 2.1

$$E = h\nu = \frac{hc}{\lambda} \dots\dots\dots(2.1)$$

- เมื่อ
- $h$  = ค่าคงที่ของพลังค์ (Planck constant , eVHz<sup>-1</sup>)
  - $\nu$  = ความถี่ของโฟตอน (s<sup>-1</sup>)
  - $\lambda$  = ความยาวคลื่นของโฟตอน (m)
  - $C$  = ความเร็วแสง (ms<sup>-1</sup>)

**2.1.1 การเกิดโฟโตอิเล็กทริก (Photoelectric effect)**

เป็นการทำอันตรกิริยาของโฟตอนกับอิเล็กตรอนที่โคจรล้อมรอบนิวเคลียสของอะตอมตัวกลางด้วยการชนและถ่ายโอนพลังงานทั้งหมดให้กับอิเล็กตรอนทำให้อิเล็กตรอนหลุดจากวง

โคจรเป็นอิเล็กตรอนอิสระที่ได้รับพลังงานจากโฟตอนเรียกว่า “โฟโตอิเล็กตรอน” ซึ่งได้รับพลังงานเท่ากับ  $E_e$  ดังสมการที่ 2.2

$$E_e = E_\gamma - BE \quad \dots\dots\dots(2.2)$$

เมื่อ  $E_\gamma$  = พลังงานของรังสีแกมมาหรือโฟตอน  
 $BE$  = พลังงานยึดเหนี่ยวของอิเล็กตรอนในชั้นโคจรของอะตอมตัวกลาง

### 2.1.2 การกระเจิงแบบคอมป์ตัน (Compton scattering)

เกิดจากการทำอันตรกิริยาของโฟตอนกับอิเล็กตรอนที่ล้อมรอบนิวเคลียสของอะตอมตัวกลางแต่การชนทำให้อิเล็กตรอนได้รับพลังงานบางส่วนจากโฟตอนและกระเจิงออกจากวงโคจร ส่วนโฟตอนที่มีพลังงานเหลืออยู่จะกระเจิงในทิศทางทำมุม  $\theta$  โดยอิเล็กตรอนที่กระเจิงออกมาจากวงโคจรเรียกว่า “รีคอยล์อิเล็กตรอน (Recoil electron)” ได้รับพลังงาน ดังสมการที่ 2.3 และ สมการที่ 2.4

$$E_e = E_\gamma - E'_\gamma \quad \dots\dots\dots(2.3)$$

โดยที่  $E'_\gamma = \frac{E_\gamma}{1 + (1 - \cos \theta) \frac{E_\gamma}{mc^2}} \quad \dots\dots\dots(2.4)$

เมื่อ  $E_\gamma$  = พลังงานของโฟตอน  
 $E'_\gamma$  = พลังงานของโฟตอนที่กระเจิงออกมา  
 $\theta$  = มุมที่โฟตอนกระเจิงออกจากแนวเคลื่อนที่

### 2.1.3 การเกิดแพร์โพรดักชัน (Pair production)

เป็นการทำอันตรกิริยาของโฟตอนกับนิวเคลียสในกรณีที่โฟตอนมีพลังงานมากกว่า 1.022 MeV จะเคลื่อนที่ผ่านบริเวณชั้นโคจรอิเล็กตรอนและถ่ายโอนพลังงานบริเวณใกล้เคียงพลังงานของโฟตอนจะทำให้เกิดแถบพลังงานบริเวณสนามประจุ คู่อิเล็กตรอนที่เกิดใน

แถบพลังงานที่มีการรับพลังงานเพิ่มจะหลุดจากแถบพลังงานเกิดเป็นอิเล็กตรอนประจุลบและอิเล็กตรอนประจุบวกคู่หนึ่ง จากนั้นอิเล็กตรอนประจุบวกจะจับอิเล็กตรอนอิสระในบริเวณใกล้เคียงแล้วสลายมวลทันทีทันใด (Annihilation) กลายเป็นรังสีแกมมา 2 ตัว ปลดปล่อยออกมาในทิศทางทำมุม 180 องศา โดยรังสีแกมมาแต่ละตัวมีพลังงานจากการสลายมวล 0.511 MeV อันตรกิริยานี้โฟตอนสูญเสียพลังงานไปดังสมการที่ 2.5 และ สมการที่ 2.6

$$E_{e^-} + E_{e^+} = E_\gamma - (mc^2)_{e^-} - (mc^2)_{e^+} \dots\dots\dots(2.5)$$

$$E_{e^-} + E_{e^+} = E_\gamma - 1.022\text{MeV} \dots\dots\dots(2.6)$$

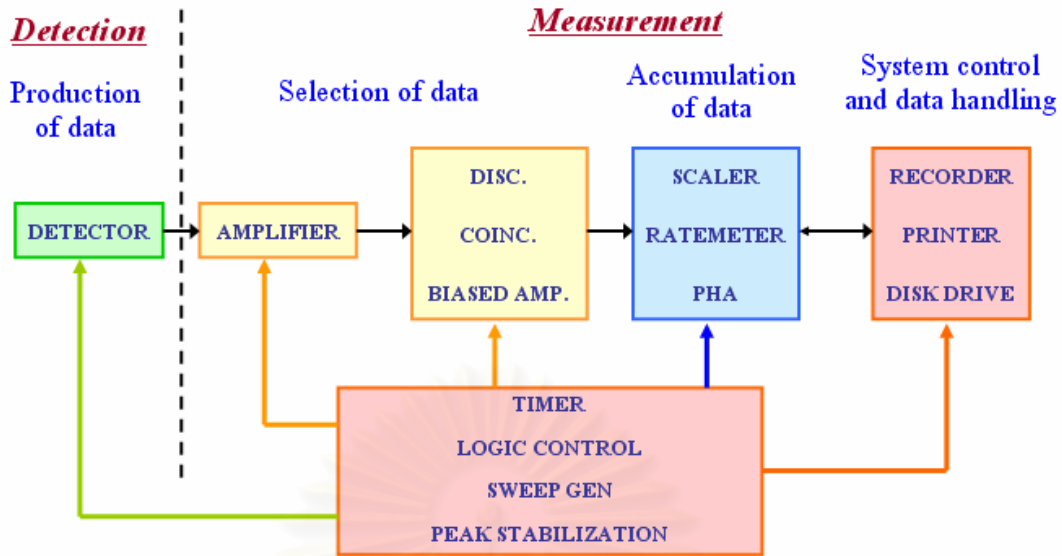
เมื่อ  $m$  = มวลของอิเล็กตรอน หรือโพสิตรอน  
 $c$  = ความเร็วแสง

## 2.2 ระบบวัดรังสี

กระบวนการวัดรังสีประกอบด้วยกระบวนการหลัก 2 ส่วนทำงานร่วมกันดังแสดงในรูปที่ 2.2 ได้แก่ การตรวจวัดรังสี (Detection) และการวัดรังสี (Measurement)

รังสีจากแหล่งกำเนิดรังสีใด ๆ จะมีสถานะทางฟิสิกส์ที่แฝงด้วยพลังงานจลน์สามารถทำอันตรกิริยาถ่ายโอนพลังงานให้กับตัวกลางที่เหมาะสม เช่น ซินทิลเลเตอร์ (Scintillator) ก๊าซ (Gas) เซมิคอนดักเตอร์ (Semiconductor) เป็นต้น การตรวจวัดรังสีเป็นกระบวนการแปลงผลของอันตรกิริยาที่เกิดขึ้น เช่น ประจุไฟฟ้า การเรืองแสง เป็นต้น ให้เป็นสัญญาณไฟฟ้า อุปกรณ์นี้รวมเรียกว่า หัววัดรังสี (Radiation detector)

สำหรับการวัดรังสี เป็นกระบวนการนำผลการตรวจวัดไปสร้างเป็นข้อมูลการวัดและวิเคราะห์ผลการวัดรังสีเพื่อแสดงผลในหน่วยวัดรังสีมาตรฐานประกอบด้วยส่วนย่อย 2 ส่วน คือ อุปกรณ์การวัดรังสี ทำหน้าที่จัดการสัญญาณไฟฟ้าจากหัววัดรังสีด้วยกระบวนการทางอิเล็กทรอนิกส์ เพื่อจัดข้อมูลวัดให้อยู่ในรูปแบบที่ต้องการ เช่น การวัดปริมาณรังสี การวิเคราะห์สเปกตรัมพลังงานนิวเคลียร์ เป็นต้น ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีเทคนิคในการจัดอุปกรณ์วัดให้จัดการข้อมูลวัดในรูปแบบที่ต้องการ อีกส่วนคือ การแสดงผลการวัดรังสี ผลการวัดรังสีในหน่วยมาตรฐานจะต้องมีการวิเคราะห์และแปรผลข้อมูลที่ได้จากระบบวัดรังสี จึงต้องมีเทคนิคด้านการประเมินผลการวัดรังสี (Determination techniques) เพื่อให้ผลการวัดมีความถูกต้อง (Accuracy) ความแม่นยำ (Precision) และมีความน่าเชื่อถือ (Reliability)



รูปที่ 2.2 กระบวนการวัดรังสี [1]

รูปแบบของการจัดระบบวัดรังสีเฉพาะงานแบ่งได้เป็น 3 ประเภท ตามลักษณะของข้อมูลวัดรังสี ดังนี้

ก. ระบบวัดรังสีแบบนับรวม (Integral counting system) เป็นระบบวัดรังสีที่จัดอุปกรณ์วัดสำหรับนับรังสีทุกพลังงานที่ตรวจวัดได้กล่าวคือนับรังสีรวมไม่แยกนับเฉพาะพลังงาน เช่น การวัดความแรงแรังสี (Activity) การวัดความเข้มรังสี (Intensity) ในหน่วยแสดงผลจำนวนนับต่อเวลา (cpm หรือ cps)

ข. ระบบวัดรังสีแบบนับแยกพลังงาน (Differential counting system) เป็นระบบวัดรังสีที่จัดอุปกรณ์วัดสำหรับวัดรังสีแบบแยกนับเฉพาะพลังงานแสดงผลในรูปแบบของสเปกตรัมพลังงาน (Energy spectrum) เช่น ระบบวิเคราะห์รังสีแกมมา ( $\gamma$ -spectrometer) และระบบวิเคราะห์รังสีอัลฟา ( $\alpha$ -spectrometer) เป็นต้น

ค. ระบบวัดรังสีแบบโคอินซิเดนซ์ (Coincidence counting system) เป็นระบบวัดรังสีที่จัดอุปกรณ์สำหรับวัดจำนวนนับรังสีแยกเฉพาะช่วงเวลาการแสดงผลอยู่ในรูปของเวลา (Time spectrum) เช่นระบบวัดแบบฟาสต์โคอินซิเดนซ์ (Fast coincidence) ระบบวัดแบบสโลว์โคอินซิเดนซ์ (Slow coincidence) เป็นต้น และสามารถประยุกต์ใช้กับระบบวัดรังสีรบกวนต่ำ (Low background counting system)

นอกจากนี้ยังมีระบบวัดขั้นสูงที่มีกระบวนการทางข้อมูลที่ซับซ้อนหลายตัวแปรซึ่งจะต้องใช้คอมพิวเตอร์จัดการกับระบบวัดและแปรผลข้อมูลที่มีมากกว่า 2 ตัวแปรในรูปแบบของสเปกตรัม 3 มิติ

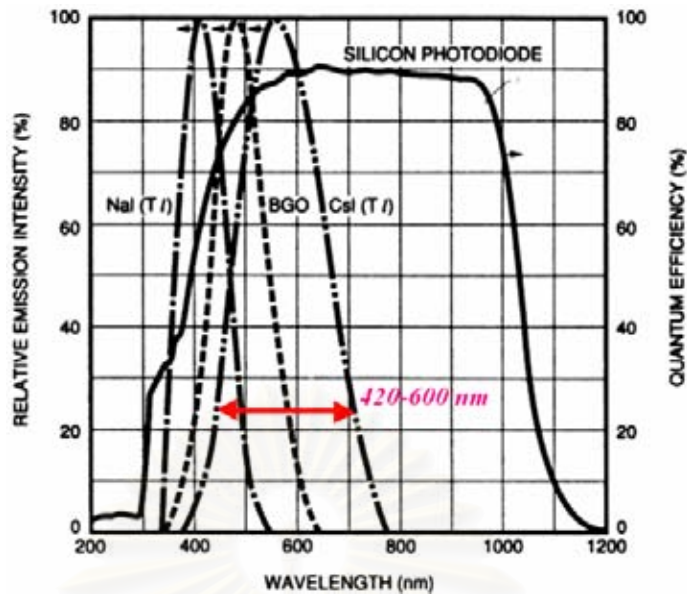
คือ แบบไอโซเมตริก เรียกว่า “ระบบวัดรังสีแบบหลายตัวแปร (Multiparameter analyzer)” ซึ่งอาจจะแสดงผลของจำนวนนับที่พลังงานต่างๆและเวลาที่เปลี่ยนแปลงไป เป็นต้น

### 2.2.1 หัววัดรังสีชนิดฟิโนโตไดโอดซินทิลเลชัน (PIN Photodiode scintillation detector)

โครงสร้างของหัววัดรังสีชนิดฟิโนโตไดโอดซินทิลเลชัน คือ การนำซิลิกอนฟิโนโตไดโอด (Silicon photodiode) ชนิดฟิโนโตไดโอด (PIN Photodiode) มาประยุกต์ใช้ในการตรวจวัดประกายแสง (Scintillated light) ที่เกิดขึ้นบนผลึกซินทิลเลเตอร์ชนิดซีเซียมไอโอไดด์ซึ่งแอกติเวตด้วยเทลเลียม (CsI(Tl)) มีคุณสมบัติที่สามารถดูดกลืนอนุภาคที่มีประจุในตัวเอง รังสีเอกซ์และรังสีแกมมาได้ดีโดยผ่านการปลดปล่อยแสงของผลึกซินทิลเลเตอร์ชนิดซีเซียมไอโอไดด์ (เทลเลียม) มีความยาวคลื่นอยู่ในช่วง 420 นาโนเมตร ถึง 600 นาโนเมตร แสดงดังรูปที่ 2.3 โดยจำนวนครั้งของการเกิดแสงและปริมาณความเข้มของแสงที่เกิดขึ้นบนผลึกซินทิลเลเตอร์ขึ้นอยู่กับความแรงรังสีและพลังงานของรังสีที่ตกกระทบ สำหรับฟิโนโตไดโอดทำหน้าที่เป็นตัวรับแสงที่เกิดขึ้นแล้วเปลี่ยนเป็นสัญญาณไฟฟ้า ก่อนส่งไปยังวงจรขยายส่วนหน้า (Preamplifier) ชนิดที่มีการทำงานแบบไวต่อประจุ (Charge sensitive preamplifier) และวงจรขยายหลัก (Amplifier) เพื่อขยายสัญญาณให้มีขนาดใหญ่ขึ้นและเหมาะสมกับความต้องการของระบบวัดรังสีที่อยู่ส่วนถัดไป

สำหรับข้อดีของการใช้ฟิโนโตไดโอด คือ อุณหภูมิและสนามแม่เหล็กจะไม่มีผลต่อการทำงานของวงจรจึงทำให้มีเสถียรภาพการทำงานที่ดีและยังสามารถสร้างเครื่องมือที่มีขนาดเล็กลงได้ โดยไม่จำเป็นต้องใช้แหล่งจ่ายไฟฟ้าศักดาสูง (High voltage power supply) แต่มีปัญหาเรื่องสัญญาณรบกวนที่เกิดจากตัวฟิโนโตไดโอด ซึ่งปริมาณของสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นจะแปรผันตามพื้นที่ของตัวฟิโนโตไดโอด วิธีการที่จะลดสัญญาณรบกวนเหล่านี้ต้องใช้ระบบเทอร์โมอิเล็กทริกคูล (Thermoelectric cool)



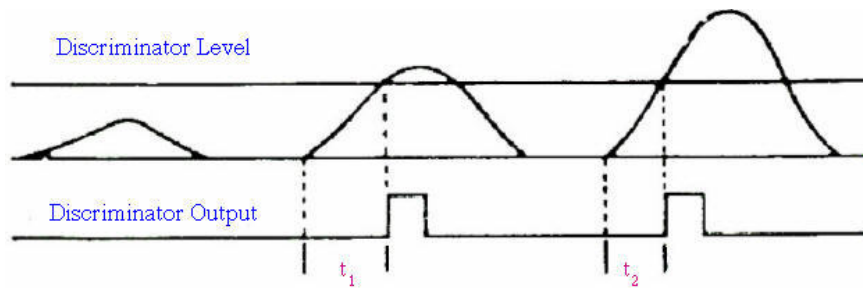


รูปที่ 2.3 ย่านการปลดปล่อยความยาวคลื่นของผลึกซินทิลเลเตอร์ชนิด CsI(Tl)

### 2.2.2 ระบบวิเคราะห์ความสูงพัลส์แบบช่องเดียว (Single channel analyzer :SCA)

การวิเคราะห์ความสูงของพัลส์โดยใช้อุปกรณ์วิเคราะห์ความสูงของพัลส์แบบช่องเดียวเป็นการเลือกวัดความแรงรังสีเฉพาะระดับความสูงของสัญญาณพัลส์นิวเคลียร์ ซึ่งความสูงของสัญญาณพัลส์นิวเคลียร์จะเป็นค่าที่แสดงถึงพลังงานของรังสีที่เข้ามาตกกระทบกับหัววัดรังสี และอยู่ในช่วงพลังงานที่เลือกโดยหลักในการเลือกพัลส์นิวเคลียร์ที่ได้มาจากเอาต์พุตของอุปกรณ์ขยายสัญญาณสามารถทำได้โดยอุปกรณ์ที่เรียกว่าดิสคริมิเนเตอร์ (Discriminator) ซึ่งการทำงานของอุปกรณ์ดิสคริมิเนเตอร์จะให้สัญญาณลอจิกพัลส์ (Logic pulse) ที่เอาต์พุตเมื่อสัญญาณพัลส์นิวเคลียร์ ที่ได้รับเข้ามา มีระดับความสูงของสัญญาณมากกว่าระดับของเทรชโฮลด์ (Threshold level) ที่อุปกรณ์ดิสคริมิเนเตอร์ถูกตั้งค่าไว้ ดังแสดงในรูปที่ 2.4 จะเห็นว่าสัญญาณพัลส์ที่มีระดับต่ำกว่าระดับเทรชโฮลด์ จะไม่เกิดสัญญาณลอจิกพัลส์ ส่วนสัญญาณที่สูงกว่าระดับเทรชโฮลด์จะเกิดสัญญาณลอจิกพัลส์ที่เอาต์พุตของอุปกรณ์ดิสคริมิเนเตอร์ ลักษณะการเกิดสัญญาณลอจิกพัลส์เกิดขึ้นที่ขอบขาขึ้น (Leading edge) ของสัญญาณพัลส์นิวเคลียร์ แต่เนื่องจากเวลาในการเกิดลอจิกพัลส์จะเป็นฟังก์ชันของขนาดสัญญาณ (Amplitude) และไรส์ไทม์ (Rise time) ของสัญญาณพัลส์นิวเคลียร์ที่อินพุตของอุปกรณ์ดิสคริมิเนเตอร์ จึงเป็นผลให้เกิดไทม์วอล์ก (Time walk) ดังรูปที่ 2.6 ของสัญญาณลอจิกพัลส์เมื่อเทียบกับสัญญาณพัลส์นิวเคลียร์ที่ได้จากเอาต์พุตของวงจรขยาย การทำงานของอุปกรณ์ดิสคริมิเนเตอร์ที่เลือกนับรังสีที่มีขนาดสัญญาณพัลส์สูงเกินระดับดิสคริมิเนเตอร์ระดับเดียว เรียกว่า อินทิกรัลดิสคริมิเนเตอร์ (Integral discriminator)

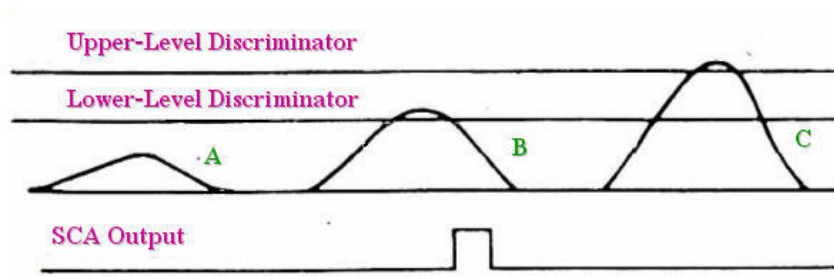




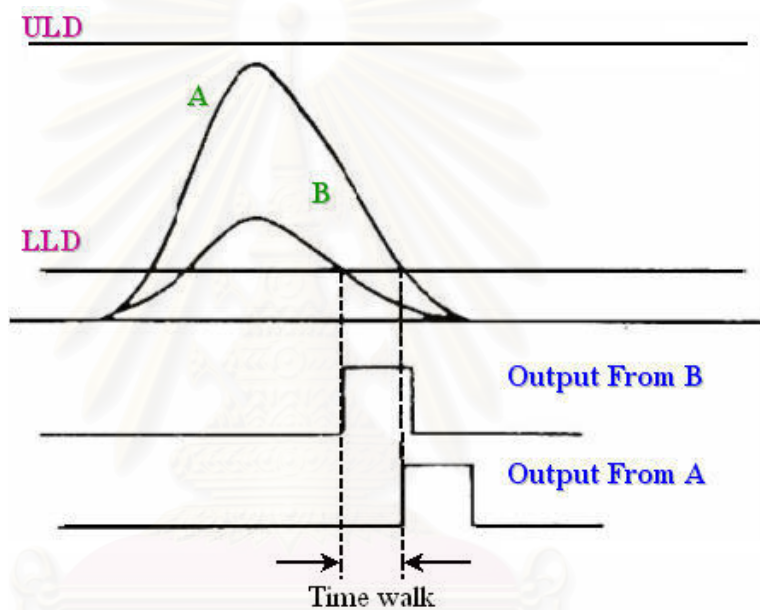
รูปที่ 2.4 ลักษณะการเกิดสัญญาณลอจิกพัลส์ของอินทิกรัลดิสคริมิเนเตอร์ [12]

ในส่วนของการวิเคราะห์ความสูงของพัลส์แบบช่องเดี่ยวประกอบด้วยอุปกรณ์ดิสคริมิเนเตอร์ 2 ระดับ คือ ดิสคริมิเนเตอร์ระดับต่ำ (Lower level discriminator:LLD) และดิสคริมิเนเตอร์ระดับสูง (Upper level discriminator:ULD) การทำงานของระบบวิเคราะห์ความสูงพัลส์แบบช่องเดี่ยวให้สัญญาณลอจิกพัลส์เมื่อสัญญาณนิวเคลียร์ที่ได้รับมีระดับความสูงของสัญญาณอยู่ในช่วงระหว่างเทรตโฮลด์ทั้ง 2 ระดับ โดยการเกิดสัญญาณลอจิกพัลส์จะเกิดบริเวณขอบขาลง (Falling edge) ของสัญญาณพัลส์นิวเคลียร์ที่ตัดกับระดับดิสคริมิเนเตอร์ด้านต่ำดังแสดงในรูปที่ 2.5 ซึ่งจากรูปจะแสดงให้เห็นว่ามีเพียงสัญญาณพัลส์นิวเคลียร์ B ที่ถูกสร้างเป็นสัญญาณลอจิกพัลส์แต่ถ้าทำการปรับตั้งค่าของระดับดิสคริมิเนเตอร์ด้านสูงให้เป็นค่าสูงสุดก็จะทำให้สัญญาณพัลส์นิวเคลียร์ B และ C ถูกสร้างเป็นสัญญาณลอจิกพัลส์

โดยทั่วไปได้มีการจำแนกชนิดของระบบวิเคราะห์ความสูงของพัลส์แบบช่องเดี่ยวตามพื้นฐานลักษณะการทำงานได้ 2 ชนิด คือ นอนไทม์มิง SCA (Non timing SCA) และ ไทม์มิง SCA (Timing SCA) ในการทำงานแบบนอนไทม์มิง SCA นี้จะให้สัญญาณลอจิกพัลส์เมื่อสัญญาณพัลส์นิวเคลียร์เกิดขึ้นในวินโดว์ ( $\Delta E = ULD-LLD$ ) โดยสัญญาณลอจิกพัลส์จะเกิดขึ้นที่บริเวณขอบขาลงของสัญญาณพัลส์นิวเคลียร์ที่ตัดกับระดับดิสคริมิเนเตอร์ด้านต่ำ ดังแสดงในรูปที่ 2.6 ซึ่งการทำงานแบบนี้จะส่งผลให้เกิดไทม์วอล์ค สำหรับการงานแบบไทม์มิง SCA (Timing SCA) จะมีสัญญาณลอจิกพัลส์เมื่อสัญญาณพัลส์นิวเคลียร์อยู่ในวินโดว์ เหมือนกับแบบนอนไทม์มิง SCA แต่สัญญาณลอจิกพัลส์จะเกิดที่ตำแหน่งเฉพาะ เช่น จุดสูงสุดของสัญญาณ (Peak) จุดตัดศูนย์ (Zero crossover) และแฟรกชันที่กำหนด (Constant fraction) การทำงานแบบไทม์มิง SCA เหมาะกับระบบวิเคราะห์สเปกตรัมเวลา



รูปที่ 2.5 การเกิดสัญญาณลอคจิกพัลส์ที่เอาต์พุตของระบบวิเคราะห์ความสูงของพัลส์แบบช่องเดียว [12]



รูปที่ 2.6 ระบบวิเคราะห์ความสูงของพัลส์แบบช่องเดียวแบบนอนโทรมิง SCA [12]

นอกจากนี้ยังแบ่ง โหมดการทำงานของระบบการวิเคราะห์ความสูงของพัลส์แบบช่องเดียวไว้ 4 โหมด ได้แก่

ก. โหมดอินทิกรัล (Integral mode)

การทำงานของระบบวิเคราะห์ความสูงพัลส์แบบช่องเดียวในโหมดนี้จะปรับตั้งค่าของระดับดิสคริมิเนเตอร์ด้านสูงให้เป็นค่าสูงสุด จึงทำให้มีลักษณะการทำงานคล้ายคลึงกับการทำงานของอินทิกรัลดิสคริมิเนเตอร์ดังที่ได้กล่าวมาแล้วในข้างต้น แตกต่างกันที่รูปแบบการเกิดลอคจิกพัลส์ที่เอาต์พุตของระบบวิเคราะห์ความสูงพัลส์แบบช่องเดียวจะเกิดที่ขอบล่างของสัญญาณพัลส์นิวเคลียร์ ส่วนอินทิกรัลดิสคริมิเนเตอร์จะเกิดสัญญาณลอคจิกพัลส์ที่ขอบข้างขึ้นของสัญญาณพัลส์นิวเคลียร์

ข. โหมดปกติ (Normal mode)

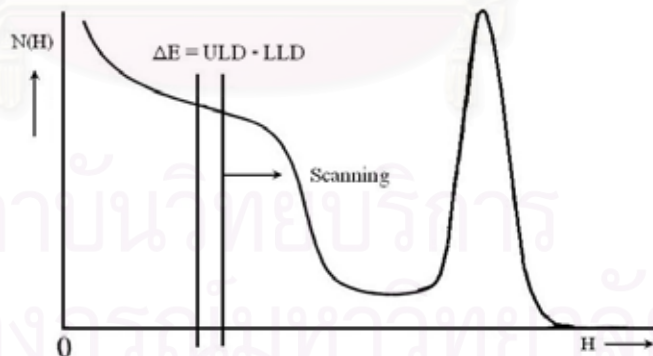
สำหรับการทำงานของระบบวิเคราะห์ความสูงพัลส์แบบช่องเดียวในโหมดนี้ มีการปรับตั้งค่าของระดับดิสคริมิเนเตอร์ด้านต่ำ และระดับดิสคริมิเนเตอร์ด้านสูงไว้อิสระจากกัน จึงทำให้สามารถเลือกกำหนดค่าให้เหมาะสมกับช่วงพลังงานเฉพาะที่ต้องการตรวจวิเคราะห์ได้

ค. โหมดวินโดว์ (Window mode)

ในส่วนการทำงานของโหมดวินโดว์นั้น การปรับตั้งค่าของระดับดิสคริมิเนเตอร์ด้านต่ำ และระดับดิสคริมิเนเตอร์ด้านสูงไม่สามารถทำได้อย่างอิสระเหมือนกับโหมดปกติ โดยทั่วไปในการใช้งานจะต้องตั้งค่าความต่างระหว่างระดับดิสคริมิเนเตอร์ด้านต่ำและระดับดิสคริมิเนเตอร์ด้านสูงให้คงที่ไว้ที่ค่าใดค่าหนึ่งเพื่อใช้เป็นวินโดว์ซึ่งในการตั้งค่าวินโดว์ต้องสัมพันธ์และเหมาะสมกับความสูงของสัญญาณพัลส์นิวเคลียร์หรือระดับพลังงานของรังสีด้านอินพุตที่ต้องการจะทำการตรวจวัด ในส่วนของขั้นตอนการเปลี่ยนค่าระดับดิสคริมิเนเตอร์ด้านต่ำ สามารถปรับจากระดับต่ำไปสูงได้อย่างต่อเนื่อง แต่ทุกครั้งของการปรับค่าระดับดิสคริมิเนเตอร์ด้านต่ำ ค่าของระดับดิสคริมิเนเตอร์ด้านสูงจะเป็นผลรวมของระดับดิสคริมิเนเตอร์ด้านต่ำกับวินโดว์

ง. โหมดสวீป (Sweep mode)

เป็นโหมดวินโดว์ที่สามารถควบคุมให้ระดับดิสคริมิเนเตอร์ด้านต่ำรับสัญญาณกวาด (Sweep) จากอุปกรณ์กำเนิดสัญญาณภายนอกและส่งสัญญาณลอจิกพัลส์ไปบันทึกยังอุปกรณ์นับในแต่ละระดับของวินโดว์โดยอัตโนมัติเหมาะสำหรับการใช้เป็นระบบวิเคราะห์สเปกตรัมพลังงานของรังสี ดังรูปที่ 2.7

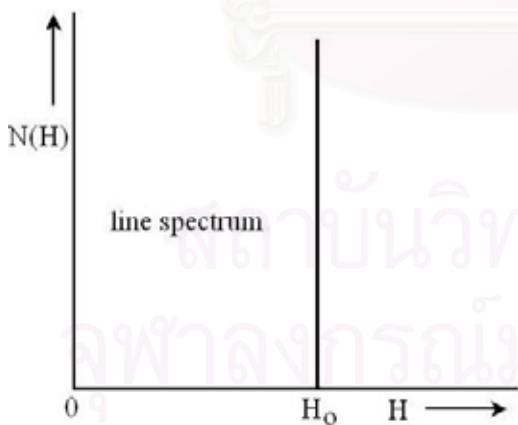


รูปที่ 2.7 การทำงานของระบบวิเคราะห์ความสูงพัลส์ช่องเดียวแบบโหมดสวี่พ

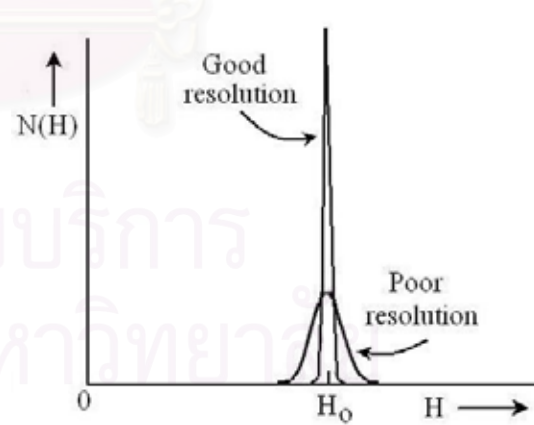
### 2.2.3 ความสามารถในการแจกแจงสเปกตรัมพลังงานของการวัดรังสี (Energy resolution)

คุณสมบัติที่สำคัญอย่างหนึ่งสำหรับบ่งบอกคุณภาพของหัววัดรังสีในการวิเคราะห์พลังงาน คือ ความสามารถในการแจกแจงพลังงานของตำแหน่งพิกพลังงาน 2 พิกที่อยู่ใกล้กัน ในกรณีของการวิเคราะห์พลังงานเดี่ยว (Monoenergetic) สมบูรณ์แบบ (Ideal) ซึ่งได้จากการสร้างสัญญาณเลียนแบบหัววัดรังสีของพัลส์เซอร์ (Pulser) พิกพลังงานจะมีลักษณะเป็นเส้นตรง (Line spectrum) ดังแสดงในรูปที่ 2.8.ก แต่ในกรณีของการวัดพลังงานเดี่ยวของหัววัดรังสีการถ่ายโอนพลังงานเดี่ยวแก่ตัวกลางในหัววัดรังสีแต่ละครั้งมีความแปรปรวนขึ้นกับโอกาสการสูญเสียพลังงานดังนั้นจึงทำให้เกิดการเบี่ยงเบนความสูงของพัลส์ดังรูปที่ 2.9 ทำให้พิกพลังงานที่เกิดมีลักษณะของสเปกตรัมในรูปของการกระจายค่าความสูงพัลส์แบบเกาส์เซียน (Gaussian) ซึ่งมีความกว้างของพิกต่างกันตามคุณสมบัติของหัววัดรังสีแต่ละชนิด ดังรูปที่ 2.8.ข

จากสเปกตรัมในรูปที่ 2.8.ข แสดงความสามารถในการแจกแจงพลังงานของหัววัดรังสีที่ต่างกันความแตกต่างกันมีการบ่งบอกที่มีมาตรฐานเดียวกัน โดยได้นิยามของการวัดความสามารถในการแจกแจงพลังงานของพิกของสเปกตรัมไว้ด้วยค่า “FWHM (Full Width at Half Maximum)” ซึ่งหมายถึงความกว้างของพิก ณ ตำแหน่งที่จำนวนนับมีค่าครึ่งหนึ่ง ดังรูปที่ 2.10 คือบริเวณจุดตัดของค่า  $N/2$  กับเส้นกราฟ  $dN(H)/dH$  และสมการของความสามารถในการแจกแจงพลังงานเขียนได้ดังสมการที่ 2.7



รูปที่ 2.8.ก สเปกตรัมแบบเส้นเดี่ยว [1]



รูปที่ 2.8.ข สเปกตรัมที่มีการกระจายแบบเกาส์เซียน [1]

$$Resolution (R) = FWHM / H_0 = \Delta E / E \dots\dots\dots(2.7)$$

เมื่อ

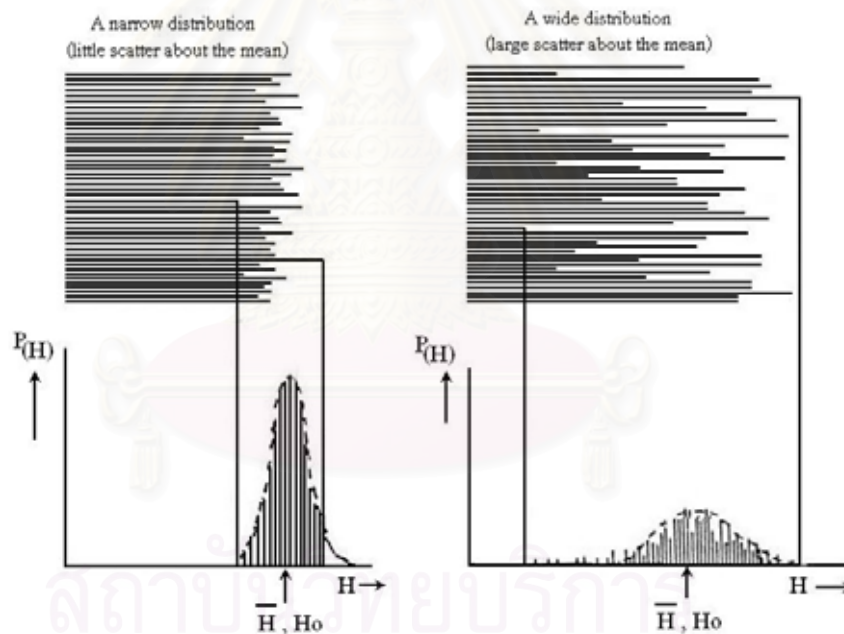
$FWHM$  = ความกว้างของการกระจายค่าความสูงของพัลส์บริเวณค่าครึ่งหนึ่งของจำนวนนับรังสี ซึ่งเท่ากับ  $2\Delta H$

$H_0$  = ตำแหน่งของพีคความสูงพัลส์ (Peak centroid) หรือค่ามีนของความสูงพัลส์

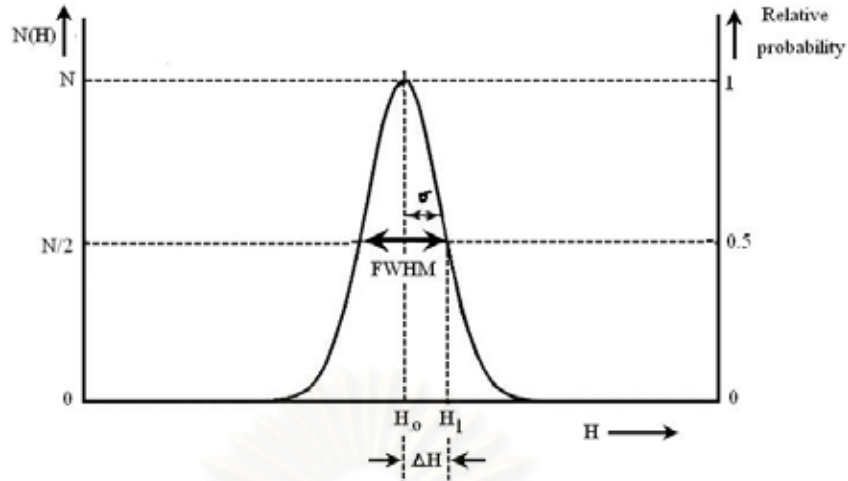
ในกรณีที่ปรับเทียบสเกลพลังงานแล้วจะได้

$2\Delta H$  =  $\Delta E$  = ความกว้างของการกระจายค่าพลังงานบริเวณค่าครึ่งหนึ่งของจำนวนนับรังสี

$H_0$  =  $E$  = ตำแหน่งของพีคพลังงาน



รูปที่ 2.9 ผลของการเบี่ยงเบนความสูงพัลส์ต่อความกว้างของพีคพลังงาน [1]



รูปที่ 2.10 ความสามารถในการแจกแจงพลังงาน [1]

## 2.3 ระบบพิกัดและการหาตำแหน่งโดยเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม

### 2.3.1 ระบบพิกัดของแผนที่ (Map coordinate system)

ระบบพิกัดต่าง ๆ จะมีความสำคัญต่อการเดินทางและการสำรวจทำแผนที่เพราะการสำรวจจะต้องทราบเนื้อที่ ขนาด รูปร่าง แล้วจึงจำลองค่าพิกัดรายละเอียดลงบนแผนที่ตามวิธีการทำแผนที่ เพราะฉะนั้นตำแหน่งจุดควบคุมหรือจุดบังคับจะต้องมีค่าพิกัดเพื่อความถูกต้อง และมีความเกี่ยวเนื่องกันไปทั่วโลก พิกัดของหมุดบังคับสามารถตรวจสอบได้โดยเครื่องรับพิกัดจีพีเอส ซึ่งสามารถบอกค่าเส้นรุ้งหรือเส้นละติจูด (Latitude,  $\phi$ ) เส้นแวงหรือเส้นลองจิจูด (Longitude,  $\lambda$ ) ค่าพิกัดเหนือ (Northing, N) และพิกัดตะวันออก (Easting, E) ค่าความสูงจากระดับน้ำทะเลปานกลาง เป็นต้น

ระบบพิกัดที่ใช้ในการสำรวจทำแผนที่ จะถูกแบ่งตามสัญญาณที่รับมาจากเครื่องรับพิกัดจีพีเอสเป็นประเภทต่าง ๆ ตามชนิดของข้อมูลที่รับได้ ดังนี้

#### 2.3.1.1 ระบบพิกัดภูมิศาสตร์ (Geographical coordinate)

การกำหนดพิกัดบนผิวโลกซึ่งเป็นรูปทรงรีจะเริ่มนับเส้นแวงตั้งแต่  $0^\circ$  จากเมือง Greenwich ประเทศอังกฤษไปทางตะวันออก 180 องศาตะวันออก ( $^\circ E$ ) และนับไปทางตะวันตก 180 องศาตะวันตก ( $^\circ W$ ) ซึ่งเป็นเส้นเดียวกับ  $180^\circ E$  นั้นเอง เส้น  $0^\circ$  เรียกว่า Prime Meridian (หรือ International Reference Meridian) ดังรูปที่ 2.11 สำหรับประเทศไทยจะอยู่ระหว่าง  $96^\circ E$  ถึง  $105^\circ E$



สำหรับเส้นรุ้งจะนับจากเส้นศูนย์สูตร (Equator) ขึ้นไปทางเหนือ 90 องศาเหนือ( $^{\circ}\text{N}$ ) และลงใต้ 90 องศาใต้ ( $^{\circ}\text{S}$ ) สำหรับประเทศไทยอยู่ระหว่าง  $5^{\circ}\text{N}$  ถึง  $22^{\circ}\text{N}$  แต่ละองศายังแบ่งค่าเป็นลิปดา ( $'$ ) และแต่ละลิปดาแบ่งย่อยออกเป็นฟิลิปดา ( $''$ ) โดย  $1^{\circ}$  เท่ากับ  $60'$  และ  $1'$  เท่ากับ  $60''$  ระยะ  $1^{\circ}$  ของค่าความห่างเส้นรุ้งและ  $1^{\circ}$  ของค่าความห่างเส้นแวงที่เส้นศูนย์สูตรจะมีค่าระยะทางเท่ากันคือ 111.32 กิโลเมตรและค่า  $1'$  ของความห่างของเส้นแวงที่เส้นศูนย์สูตรมีค่าเท่ากับ 1.85 กิโลเมตร ค่า  $1''$  จะมีค่าประมาณ 30.33 เมตร แต่ถ้าค่าของเส้นแวงเพิ่มขึ้นทำให้ค่าระยะความห่างต่อ  $1^{\circ}$  ของเส้นแวงจะมีค่าลดลง เช่น ที่เส้นรุ้ง  $13^{\circ}\text{N}$  ผลต่างของเส้นแวง  $1^{\circ}\text{N}$  จะมีค่าเท่ากับ 108.48 กิโลเมตร หรือที่เส้นรุ้ง  $22^{\circ}\text{N}$  ผลต่างของเส้นแวง  $1^{\circ}$  จะมีค่าเท่ากับ 103.26 กิโลเมตรและผลต่างของเส้นแวง  $1^{\circ}$  จะเท่ากับ 0 กิโลเมตรเมื่อเส้นรุ้งอยู่ที่  $90^{\circ}\text{N}$  หรือ  $90^{\circ}\text{S}$

ระบบพิกัดภูมิศาสตร์แบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ ระบบพิกัดดาราศาสตร์ (Astronomical coordinate) เป็นการกำหนดพิกัดขึ้นบนผิวโลกโดย International Earth Rotation Service (IERS) เนื่องจากขั้วโลกจะเปลี่ยนไปปีละ 5 - 10 เมตรจากการหมุนของแกนโลก IERS จึงได้กำหนดขั้วโลกอ้างอิง IRP (IERS Reference pole) อีกระบบคือระบบพิกัดยอเดติก (Geodetic coordinate) เป็นระบบพิกัดที่คำนวณมาจากพิกัดดาราศาสตร์ที่อยู่บนผิวโลกให้มาเป็นค่าละติจูดและลองจิจูดที่อยู่บนผิวรูปทรงรีเพื่อให้การคำนวณแปลงค่าจากพิกัดยอเดติกไปเป็นค่าพิกัดต่าง ๆ ได้อย่างถูกต้อง โดยเฉพาะการแปลงไปเป็นพิกัดฉาก



รูปที่ 2.11 แผนที่โลก



### 2.3.1.2 ระบบพิกัดฉาก (Rectangular Coordinate)

เป็นพิกัดที่แปลงมาจากพิกัดขั้วโลกตามระบบภาพฉาย (Projection) นั้น ๆ เช่น พิกัดฉากในระบบ UTM (Universal transverse mercator) และพิกัด Lambert projection การแปลงพิกัดจะสามารถกำหนดให้เกิดความผิดพลาดขึ้นตามความต้องการการคำนวณจะใช้รูปทรงรีที่เหมาะสมกับประเทศนั้น ๆ เช่นประเทศไทยใช้ Everest spheroid (Indian 1975)

### 2.3.1.3 ระบบพิกัดสามแกน (Geocentric Cartesian Coordinate)

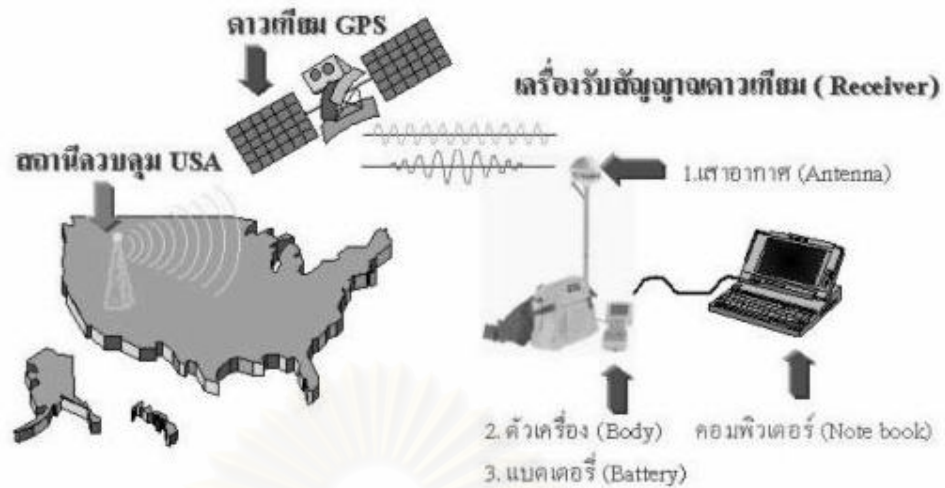
พิกัดสามแกนของโลก Bureau International de l'Heure (BIH) ได้กำหนดแกนต่าง ๆ ขึ้น เรียกว่า BIH Terrestrial System (BTS) ให้จุดศูนย์กลางของโลกของ WGS-84 Coordinate System เป็นศูนย์กลางของโลก แกน Z จะอยู่ในทิศทางของขั้วโลก CTP (Conventional Terrestrial Pole) ซึ่งเป็นจุดของขั้วโลกของระบบ CTS (Conventional Terrestrial System) ใช้เมื่อปี พ.ศ.2527 เป็นพื้นฐานสำหรับการคำนวณส่วนแกน X ให้อยู่ที่ CTP'S Equator และมีลองจิจูดเท่ากับ  $0^{\circ}$  แกน Y จะอยู่ขวามือของแกน X โดยวัดไปทางตะวันออกตามเส้นศูนย์สูตรจนถึงลองจิจูดที่  $90^{\circ}E$

พิกัด WGS-84 Coordinate system จะให้แกน X, Y และ Z โดยมีแกน Z เป็นแกนหมุนของรูปทรงรีมีรัศมีตามแนวเส้นศูนย์สูตร (Semi major axis) เท่ากับ 6,378,137 เมตรและรัศมีตามแนวขั้วโลก (Semi minor axis) เท่ากับ 6,356,752.3124 เมตร การจำลองแบบนี้ทำให้สามารถคำนวณตำแหน่งได้ตามหลักของเรขาคณิต

## 2.3.2 องค์ประกอบของระบบวัดพิกัดจีพีเอส

ระบบจีพีเอสเป็นโครงการของกระทรวงกลาโหมประเทศสหรัฐอเมริกาซึ่งออกแบบมาเพื่อใช้งานทางทหารแต่ปัจจุบันอนุญาตให้พลเรือนสามารถใช้งานระบบจีพีเอสได้ทำให้มีความรวดเร็วและแม่นยำในการนำร่องและใช้ประโยชน์ทางด้านต่างๆ เช่น การเดินเรือ การบิน การสำรวจทรัพยากรและการสำรวจรังวัด เป็นต้น

ลักษณะโครงสร้างและองค์ประกอบทั่วไปของระบบจีพีเอส แสดงดังรูปที่ 2.12 ซึ่งประกอบด้วย 3 ส่วน คือ



รูปที่ 2.12 แสดงส่วนประกอบของระบบดาวเทียมจีพีเอส [6]

### 2.3.2.1 ส่วนอวกาศ (Space segment)

ส่วนอวกาศประกอบด้วยดาวเทียมทั้งหมด 24 ดวง โดยมีดาวเทียมจำนวน 21 ดวงถูกใช้ในการบอกค่าพิกัดและอีก 3 ดวงเป็นดาวเทียมสำรอง ซึ่งดาวเทียมทั้งหมดโคจรรอบโลกที่ความสูง 20,200 กิโลเมตรจากพื้นโลก โดยมีคาบการโคจรรอบโลก 11 ชั่วโมง 58 นาที ในแนวระนาบโดยแบ่งเป็น 6 ระนาบ ระนาบละ 4 ดวง มีมุมเอียง (Inclination angle) ทำมุม  $55^{\circ}$  กับเส้นศูนย์สูตรซึ่งการจัดวางตำแหน่งวงโคจรแบบนี้ทำให้ทุก ๆ พื้นที่บนโลกสามารถรับสัญญาณจากดาวเทียมได้ 6 - 8 ดวง และดาวเทียมแต่ละดวงจะติดตั้งนาฬิกาอะตอม (Atomic clock) ซึ่งตั้งเวลาไว้ให้ตรงกันทุกดวงและจะส่งคลื่นพาห์ (Carrier) ในย่านความถี่ L-band 2 ความถี่ คือ Primary signal ความถี่ 1575.42 MHz (L1) และ Secondary broadcast ความถี่ 1227.60 MHz (L2) โดยดาวเทียมจะส่งข้อมูล (Downlink data) ให้กับสถานีควบคุม ได้แก่ สัญญาณรหัสสำหรับหาระยะทาง (Coded ranging signals) ข้อมูลสำหรับตำแหน่ง (Position information) ข้อมูลเกี่ยวกับชั้นบรรยากาศ (Atmospheric data) ค่าตารางดาวเทียม (Almanac) ของดาวเทียมทุกดวง

### 2.3.2.2 ส่วนสถานีควบคุม (Control station segment)

ส่วนของสถานีควบคุมประกอบด้วย 5 สถานีย่อย (Monitor station) ตั้งอยู่ที่เมือง Diego Garcia , Ascension Island , Kwajalein , Hawaii และ Colorado Spring และมีสถานีหลัก (Master control station) อีก 1 สถานี ซึ่งเป็นศูนย์ควบคุมการทำงานของระบบดาวเทียมจีพีเอสตั้งอยู่ที่ฐานทัพอากาศประเทศสหรัฐอเมริกา Schriever AFB เมือง Colorado Spring สถานีควบคุมต่าง ๆ เหล่านี้

มีหน้าที่แก้ไขข้อมูลวงโคจร (Ephemeris) และข้อมูลเวลา (Clock correction) ของดาวเทียมแต่ละดวงพร้อมกับส่งสัญญาณกลับไปยังดาวเทียม (Uplink data) ได้แก่ ค่าคงที่ของตำแหน่งดาวเทียม (Satellite ephemeris constants, Position) แฟกเตอร์ค่าแก้नाฬิกา (Clock correction factors) ข้อมูลของชั้นบรรยากาศและค่าตารางดาวเทียมของดาวเทียมทุกดวง

ส่วนของสถานีควบคุมยังทำหน้าที่ควบคุมในส่วนของการถอดรหัสเพื่อแก้ปัญหาความผิดพลาด (Selective Availability error, SA error) ซึ่งเป็นความผิดพลาดที่กองทัพสหรัฐอเมริกาสร้างขึ้นมาเพื่อลดความถูกต้องของการระบุตำแหน่งด้วยจีพีเอสทำให้สัญญาณที่ถูกนำมาใช้แบ่งเป็น 2 ส่วน คือ

#### ก. สัญญาณแบบ Precise Positioning Services (PPS)

กำหนดให้มีความแม่นยำในการหาตำแหน่ง 16 เมตร ความแม่นยำของการย้ายเวลา 100 นาโนวินาที และความแม่นยำของความเร็ว 0.1 เมตรต่อวินาทีขึ้นอยู่กับเครื่องรับพิกัดจีพีเอสสามารถใช้สัญญาณแบบ PPS เฉพาะทางการทหาร โดยการรับสัญญาณจะรับคลื่นวิทยุที่ดาวเทียมส่งมาทั้ง 2 ความถี่ จึงทำให้สามารถแก้ความผิดที่เกิดจากชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ได้และเครื่องรับพิกัดจีพีเอสยังสามารถถอดรหัสเพื่อแก้ SA error ที่ถูกสอดแทรกไว้กับสัญญาณจีพีเอสจึงทำให้การรับสัญญาณแบบ PPS มีความถูกต้องของตำแหน่งสูง

#### ข. ใช้สัญญาณแบบ Standard Positioning Services (SPS)

กำหนดความแม่นยำทางราบไว้ 100 เมตร ความแม่นยำในแนวตั้งเท่ากับ 140 เมตร ผู้ใช้เครื่องรับจะได้รับ ความแม่นยำในการถ่ายทอดสัญญาณ 170 นาโนวินาที เป็นสัญญาณที่ยอมให้พลเรือนใช้ซึ่งอนุญาตให้รับเฉพาะคลื่นพาห้ความถี่ L1 เท่านั้น ความแม่นยำของสัญญาณจึงลดลงเนื่องจากการใช้ SA error และ Ionospheric model เพื่อเป็นการป้องกันไม่ให้เกิดประโยชน์จากจีพีเอสในทางทหารของนานาประเทศ มีประสิทธิภาพทัดเทียมกับประเทศสหรัฐอเมริกานั้นเอง

### 2.3.2.3 ส่วนผู้ใช้งาน (User segment)

เครื่องรับพิกัดจีพีเอสแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ เครื่องประเภทที่รับสัญญาณโดยการเรียงลำดับและประเภทที่รับสัญญาณดาวเทียมได้ 4 ดวง หรือมากกว่าได้พร้อมกันซึ่งสามารถแบ่งย่อยได้ดังนี้

#### ก. เครื่องรับแบบเรียงลำดับสัญญาณดาวเทียม (Sequence receiver)

ซึ่งจะต้องรับข้อมูลจากดาวเทียมอย่างน้อย 4 ดวง จึงสามารถคำนวณหาตำแหน่งได้โดยใช้ช่องรับสัญญาณเพียงช่องเดียว เครื่องประเภทนี้จะมีแผงวงจรขนาดเล็ก ใช้กำลังน้อยและมีราคาถูก ข้อเสียของการเรียงสัญญาณอาจจะเกิดการขาดตอนและทำให้มีผลต่อความถูกต้องของตำแหน่งที่ได้

ข. เครื่องรับแบบรับสัญญาณดาวเทียมได้ 4 ดวง หรือมากกว่าได้พร้อมกัน  
(Continuous receiver)

เครื่องรับสัญญาณประเภทนี้สามารถแสดงผลค่าตำแหน่ง และความเร็วได้ทันทีและมีความถูกต้องสูงเพราะมีช่องรับสัญญาณ 4 , 5 , 8 , 10 และ 12 ช่อง การมีช่องรับสัญญาณเพิ่มจะทำให้ค่าความแรงของสัญญาณเทียบกับสัญญาณรบกวน (S/N Ratio) เพิ่มขึ้นเป็นเท่าตัวและเครื่องรับสัญญาณจีพีเอสประเภทนี้ยังสามารถเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ภายนอกได้ เช่น ไมโครคอมพิวเตอร์หรือคอมพิวเตอร์ขนาดพกพา เป็นต้น

### 2.3.3 การทำงานของระบบวัดพิคัดจีพีเอส

#### 2.3.3.1 การส่งสัญญาณของดาวเทียม (GPS Ranging signal)

คลื่นพาห้ L1 และ L2 แต่ละสัญญาณที่ถูกส่งมาจากดาวเทียมจีพีเอสนั้นจะสามารถรวมกับสัญญาณข้อมูลได้ (Modulation) เครื่องรับพิคัดจีพีเอสและดาวเทียมจีพีเอสจะสร้างรหัสสุ่มเทียม (Pseudo random code) เพื่อเปรียบเทียบระยะเวลาในการเดินทางของสัญญาณ รหัสสุ่มเทียมแบ่งได้ 2 แบบ คือ

ก. Coarse/Acquisition code (C/A code)

เป็นสัญญาณแบบไบนารีมีความถี่เท่ากับ 1.023 MHz ความต่างเฟสของสัญญาณจะเกิดขึ้น 1/1,000,000 วินาที การใช้สัญญาณ C/A code จะใช้กับคลื่น L1 นั่นก็คือ การรับสัญญาณแบบ SPS

ข. Precision code (P-code)

เป็นรหัสที่มีความถี่เป็น 10 เท่าของ C/A code คือ 10.23 MHz เนื่องจากได้ขยาย Band width มากขึ้นความต่างเฟสของสัญญาณจะเกิดขึ้น 1/10,000,000 วินาที รหัสสำหรับสัญญาณการวัดระยะจะละเอียดรหัสนี้จะสามารถลดระยะเวลาการวัดหรือลดดาวเทียมแต่ไม่สามารถพิสูจน์ความละเอียดของดาวเทียมได้เป็นการใช้สัญญาณแบบ PPS ในทางทหารเท่านั้นมีระบบป้องกันการใช้รหัส P-code เรียกว่า Anti-spoofing (AS)

#### 2.3.3.2 การแก้เกี่ยวกับเวลาที่ช้าลงของการเดินทางของสัญญาณ

ความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากการเดินทางของคลื่นพาห้มายังโลกเกิดจากหลายสาเหตุ เช่น เกิดจากชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ซึ่งเป็นชั้นของอนุภาคประจุไฟฟ้าและมีความชื้น อุณหภูมิ ความหนาแน่นที่เปลี่ยนแปลงตลอดเวลา ซึ่งทั้งหมดนี้มีผลต่อความเร็วของแสงและความเร็วของสัญญาณจากดาวเทียมจีพีเอสและมีความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากการสะท้อนของสัญญาณไปในหลาย

ทิศทาง (Multipath error) ซึ่งที่ผิวโลกสัญญาณต้องกระทบกับวัตถุต่างๆก่อนถึงเครื่องรับพิกัดจีพีเอสสำหรับการแก้เวลาที่ช้าลงของการเดินทางของสัญญาณแบ่งได้ดังนี้

ก. การช้าลงของเวลาเนื่องจากความไม่เที่ยงตรงของนาฬิกา

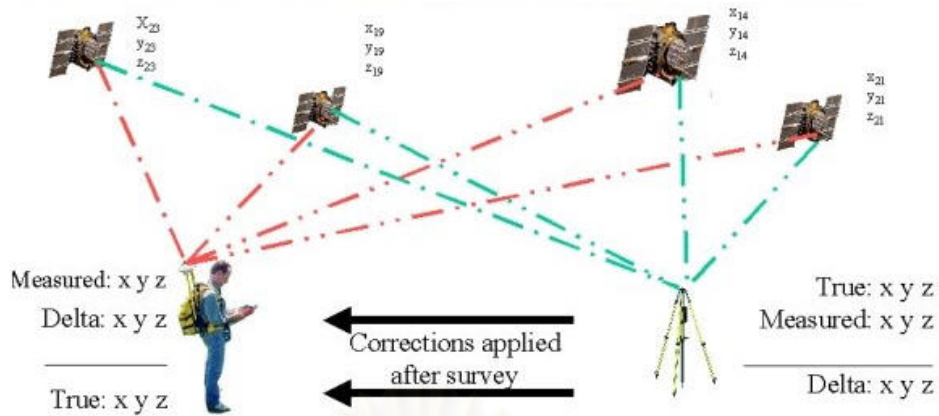
เกิดจากความไม่เที่ยงตรงของนาฬิกาอะตอมที่อยู่ในดาวเทียมจีพีเอสและในเครื่องรับพิกัดจีพีเอสถึงแม้ว่านาฬิกาที่ใช้ในระบบจีพีเอสจะใช้วิธีการวัดจังหวะจากอนุภาคซีเซียมและได้รับการปรับแก้แต่ก็ยังคงมีความคลาดเคลื่อนอยู่เนื่องจากทฤษฎีความเร็วสัมพัทธ์ทำให้นาฬิกาที่อยู่ในดาวเทียมเร็วกว่านาฬิกาในเครื่องรับพิกัดจีพีเอสเพราะความเข้มของแรงดึงดูดต่างกัน การเคลื่อนที่ของนาฬิกาในเครื่องรับพิกัดจีพีเอสจะเท่ากับอัตราการหมุนรอบตัวเองของโลก แรงดึงดูดของโลกที่กระทำต่อดาวเทียมจะมีเพียง 6% ของเครื่องรับพิกัดจีพีเอสบนผิวโลกซึ่งในการสร้างเครื่องรับพิกัดจีพีเอสได้ออกแบบให้แก้ไขค่าเหล่านี้ไว้ด้วย

ข. การช้าลงของเวลาเนื่องจากการเดินทางผ่านชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ของสัญญาณ

สัญญาณที่ผ่านชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์จะโค้งไปมาและจะช้าลงการแก้ความคลาดเคลื่อนต้องทราบค่าความแปรเปลี่ยนเฉลี่ยรายวันตามสภาพชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ ความหนาแน่นปานกลางจึงสามารถนำมาเป็นค่าแก้กับทุกค่าที่วัดได้ซึ่งจะได้ความถูกต้องสูงขึ้นอีกทางหนึ่งคือการวัดหาค่าความแปรเปลี่ยนของสัญญาณวิทยุโดยการวัดความเร็วสัมพัทธ์ของสัญญาณ 2 แบบที่ส่งมาจากดาวเทียมพร้อมกัน จากการศึกษาทางฟิสิกส์มีแนวคิดพื้นฐานว่าเมื่อแสงผ่านชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์จะเดินทางช้าลงเป็นอัตราส่วนกลับกับความถี่ของสัญญาณยกกำลังสอง

การวัดพิกัดด้วยวิธี Differential GPS (DGPS) จะช่วยลดค่าความคลาดเคลื่อนของพิกัดซึ่งให้ค่าความถูกต้องในระดับเซนติเมตร โดยการทำงานจะมีเครื่องรับพิกัดจีพีเอส 2 เครื่อง โดยเครื่องแรกเป็นจุดอ้างอิง (Reference station) ตั้งอยู่ ณ ตำแหน่งที่รู้ค่าพิกัดแน่นอน ส่วนเครื่องรับพิกัดจีพีเอสอีกเครื่องจะใช้รับตำแหน่งพิกัดที่ยังไม่ทราบค่า (Remote GPS receiver) โดยเครื่องรับพิกัดจีพีเอสทั้งสองจะอยู่ในรัศมีไม่เกิน 300 กิโลเมตร โดยเครื่องรับพิกัดจีพีเอสที่ทราบพิกัดแน่นอนนั้นจะรับสัญญาณจากดาวเทียมในสภาพผ่านชั้นบรรยากาศโลกที่เหมือนกับเครื่องรับพิกัดจีพีเอสในรัศมีโดยจะหาค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้นและส่งค่าความผิดพลาดไปยังเครื่องรับพิกัดจีพีเอสโดยใช้คลื่นวิทยุที่ความถี่ย่าน 300 MHz เพื่อให้เครื่องรับพิกัดจีพีเอสนำไปแก้ความคลาดเคลื่อนกับค่าพิกัดที่เครื่องรับได้จริงในขณะนั้นแสดงภาพการทำงานดังรูปที่ 2.13 การรับพิกัดแบบนี้จะมีค่าความคลาดเคลื่อนต่ำ



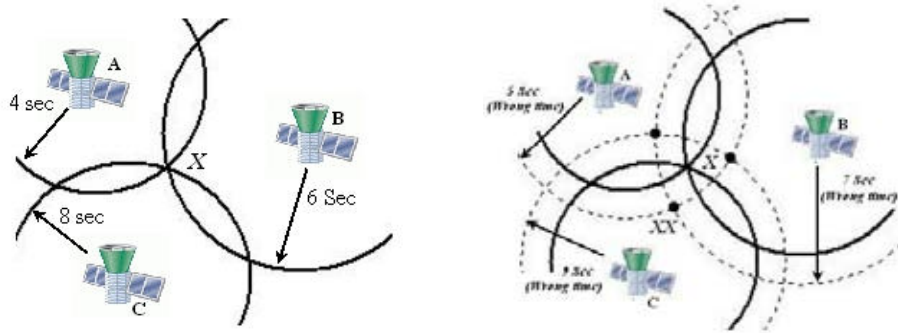


รูปที่ 2.13 การวัดพิกัดด้วยวิธี DGPS [6]

### 2.3.3.3 หลักการวัด Pseudo random code และโครงสร้างของสัญญาณ

ระบบจีพีเอสเป็นระบบวัดระยะทางทางเดียว (One way ranging system) เพราะสัญญาณจะถูกส่งด้วยดาวเทียมการวัดระยะโดยการใช้นาฬิกาอ่านเวลาที่สายอากาศของเครื่องส่งในดาวเทียม (Transmitter antenna) แล้วเปรียบเทียบกับนาฬิกาอ่านเวลาที่สายอากาศของเครื่องรับพิกัดจีพีเอส (Receiver antenna) การวัดเวลาที่สัญญาณเดินทางนั้นจะมีความผิดพลาดแฝงอยู่ระยะที่วัดได้เรียกว่า Pseudoranges (PR) โดยปกติการวัดพิกัดจีพีเอสจะรับสัญญาณจากดาวเทียม 3 ดวง จะได้ PR 3 ค่าเพื่อสร้างเป็นจุดตัดใด ๆ บนพื้นโลกที่เกิดจากการคำนวณระยะทางจากดาวเทียมจีพีเอสและเครื่องรับพิกัดจีพีเอสโดยใช้หลักการ Satellites triangulation แสดงดังรูปที่ 2.14.ก ตำแหน่ง  $X$  คือตำแหน่งที่ถูกต้องเกิดเมื่อเวลาของเครื่องรับพิกัดจีพีเอสตรงกับเวลาของดาวเทียม รูปที่ 2.14.ข แสดงให้เห็นถึงความคลาดเคลื่อนของตำแหน่งพิกัดที่เกิดจากความคลาดเคลื่อนของเวลาจึงต้องรับสัญญาณจากดาวเทียมเพิ่มเป็น 4 ดวงเพื่อสร้าง PR4 ค่า เพื่อแก้ค่าความคลาดเคลื่อนของเวลา (Clock synchronization error)

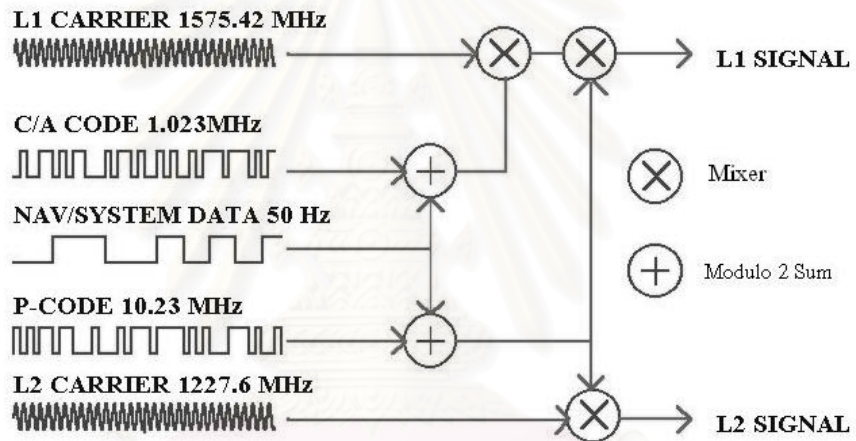
คลื่นพาห์ L1 และ L2 จะมอดคูเลตกับสัญญาณข้อมูล (Data signal) และรหัสสุ่มเทียมที่สร้างขึ้นทั้ง 2 ชนิด คือ C/A code และ P-code ดังแสดงในรูปที่ 2.15 โครงสร้างของสัญญาณที่ส่งมาจากดาวเทียมจีพีเอสมี 3 ชนิดคือ คลื่นพาห์ สัญญาณข้อมูลและรหัสสุ่มเทียม ดังรูปที่ 2.16 แสดงให้เห็นว่าการรวมระหว่างรหัสสุ่มเทียมกับคลื่นพาห์ด้วยวิธีที่เรียกว่า Binary biphas modulation จะทำให้สามารถวัดเฟส (Phase) และความต่างเฟส (Phase shift) ได้



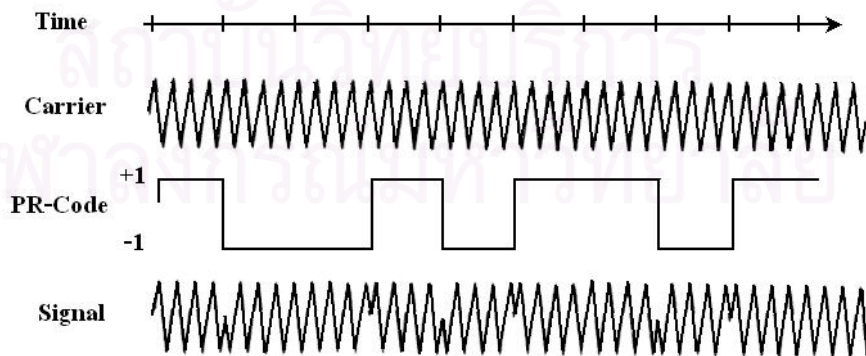
รูปที่ 2.14.ก. การคำนวณระยะทางจากดาวเทียมจีพีเอสและเครื่องรับพิกัดจีพีเอสโดยใช้หลักการ

รูปที่ 2.14.ข ความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากเวลา

Satellites triangulation



รูปที่ 2.15 การมอดดูเลตระหว่างรหัสสุ่มเทียบกับคลื่นพาห์ [6]



รูปที่ 2.16 ลักษณะของสัญญาณดาวเทียมจีพีเอส [6]

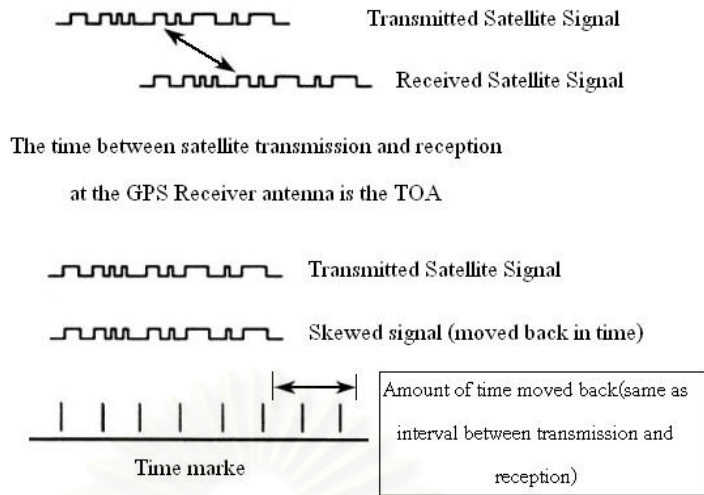


### 2.3.3.4 การคำนวณเวลาและหาตำแหน่งของเครื่องรับพิกัดจีพีเอส(Position and time computation)

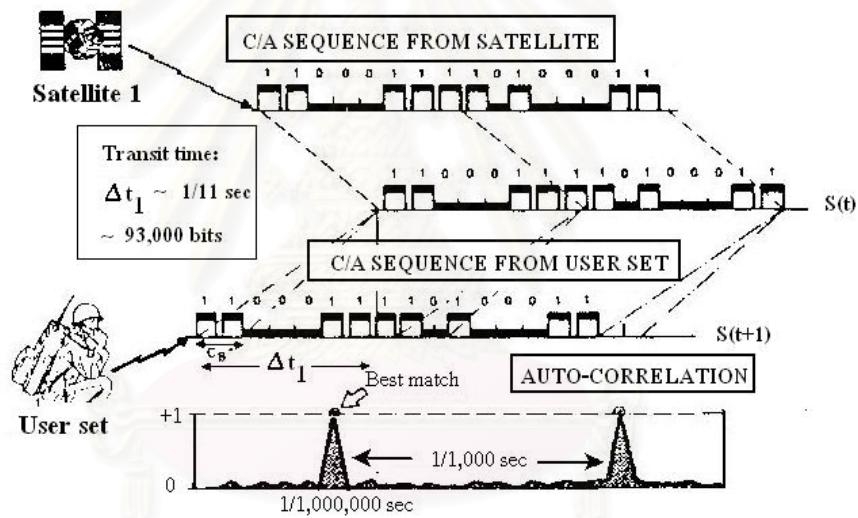
ถ้านาฬิกาในดาวเทียมกับนาฬิกาของเครื่องรับพิกัดจีพีเอสตรงกันจะทำให้สามารถหาเวลาการเดินทางของสัญญาณระหว่างดาวเทียมกับเครื่องรับพิกัดจีพีเอสเรียกว่า Time of arrival (TOA =  $\Delta t$ ) จะสามารถหาได้ด้วยเครื่องรับพิกัดจีพีเอสแต่ในความเป็นจริงเวลาในเครื่องรับพิกัดจีพีเอสจะเป็นอิสระเนื่องจากความเร็วของสัญญาณจะมีความเร็วเท่ากับความเร็วของแสงเท่ากับ 299,792.458 กิโลเมตรต่อวินาที จึงมีความต้องการความละเอียดของการจับเวลาละเอียดถึง 1 ใน พันล้านของวินาที (Billionths of second) ซึ่งเทียบกับความคลาดเคลื่อนของระยะทางเท่ากับ 30 เซนติเมตร

เพื่อให้สามารถวิเคราะห์และแก้ปัญหาเรื่องเวลาจึงออกแบบให้เครื่องรับพิกัดจีพีเอสเก็บข้อมูลนับจำนวนคลื่นสัญญาณและนับเวลาเมื่อรับสัญญาณจะเลื่อนสัญญาณที่เหมือนกับสัญญาณที่รับจากดาวเทียมจีพีเอสดังรูปที่ 2.17 จะทำให้หาค่าความต่างของเวลา  $\Delta t$  ซึ่งความต่างของเวลาก็คือเวลาที่สัญญาณใช้ในการเดินทาง

หลังจากปรับแก้ค่าต่าง ๆ เช่น ความผิดพลาดเนื่องจากแรงดึงดูดโลก ความผิดพลาดเนื่องจากการเดินทางผ่านชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ ค่า PR ที่ได้จะมีความถูกต้องจึงสามารถนำไปคำนวณหาค่าพิกัดดังแสดงในรูปที่ 2.18 สามารถคำนวณหาค่า PR ได้จากหลักการ  $\Delta t \times c$  เมื่อ  $c$  คือความเร็วที่แสงใช้ในการเดินทาง ค่า  $x_1$ ,  $y_1$  และ  $z_1$  จะเป็นค่าพิกัดของดาวเทียม (Ephemeris Coordinate) ดวงที่ 1 ส่วน  $U_x$ ,  $U_y$  และ  $U_z$  เป็นค่าพิกัดของจุดที่ตั้งของเครื่องรับพิกัดจีพีเอสที่ต้องการทราบพิกัดตำแหน่งแต่เมื่อรับสัญญาณจากดาวเทียม 4 ดวงจะทำให้สามารถหาค่าแก้เนื่องจากความผิดของเวลาของเครื่องรับพิกัดจีพีเอส (GPS receiver clock bias) ดังสมการ 2.8



รูปที่ 2.17 การเปรียบเทียบสัญญาณเพื่อหาค่า TOA [6]



รูปที่ 2.18 หลักการคำนวณหาค่าพิสัย [6]

$$\begin{aligned}
 (x_1 - U_x)^2 + (y_1 - U_y)^2 + (z_1 - U_z)^2 &= (PR_1 - CB \times c)^2 \\
 (x_2 - U_x)^2 + (y_2 - U_y)^2 + (z_2 - U_z)^2 &= (PR_2 - CB \times c)^2 \\
 (x_3 - U_x)^2 + (y_3 - U_y)^2 + (z_3 - U_z)^2 &= (PR_3 - CB \times c)^2 \\
 (x_4 - U_x)^2 + (y_4 - U_y)^2 + (z_4 - U_z)^2 &= (PR_4 - CB \times c)^2 \dots\dots\dots(2.8)
 \end{aligned}$$

โดย  $x_1, y_1, z_1$  คือ ค่าพิสัยของดาวเทียมดวงที่ 1  
 $x_2, y_2, z_2$  คือ ค่าพิสัยของดาวเทียมดวงที่ 2

$x_3, y_3, z_3$	คือ	ค่าพิกัดของดาวเทียมดวงที่ 3
$x_4, y_4, z_4$	คือ	ค่าพิกัดของดาวเทียมดวงที่ 4
$U_x, U_y, U_z$	คือ	ค่าพิกัดของจุดที่ตั้งของเครื่องรับพิกัดจีพีเอส
$CB$	คือ	ค่าแก้เนื่องจากความผิดของเวลาของเครื่องรับพิกัดจีพีเอส
$PR_1, PR_2, PR_3, PR_4$	คือ	ค่า Pseudo range จากดาวเทียมดวงที่ 1, 2, 3 และ 4 ตามลำดับ

### 2.3.4 โพรโตคอล NMEA-0183

NMEA-0183 เป็นโพรโตคอลสำหรับการสื่อสารที่กำหนดขึ้นโดยองค์กรกลางคือ National Marine Electronics Association เริ่มแรกถูกพัฒนาขึ้นเพื่อใช้ในการแลกเปลี่ยนข้อมูลกับเซนเซอร์อิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ในการเดินเรือเป็นหลักต่อมาเมื่อระบบจีพีเอสเข้ามามีบทบาทในการเดินเรือมากขึ้นจึงทำให้โพรโตคอล NMEA-0183 ถูกพัฒนามาเป็นมาตรฐานกลางสำหรับใช้สื่อสารระหว่างอุปกรณ์รับพิกัดจีพีเอสและอุปกรณ์ต่อพ่วงอื่นๆ (Terminal equipment)

สำหรับข้อมูลที่อ่านได้จากโมดูลรับพิกัดจีพีเอสสามารถแบ่งได้เป็นเรคอร์ด (Record) หรือฟิลด์ (Field) ย่อยโดยแต่ละเรคอร์ดจะประกอบด้วยอักขระแอสกี (ASCII) ซึ่งมีความยาวรวมไม่เกิน 80 ตัวอักษร เรคอร์ดหลักในโพรโตคอล NMEA-0183 จะมี 6 เรคอร์ดหลักคือ GGA (Global positioning system fixed data) , GLL (Geographic position latitude/longitude) , GSA (GNSS DOP and active satellites) , GSV (GNSS Satellites in view) , RMC (Recommended minimum specific GNSS data) และ VTG (Course over ground and ground speed) ซึ่งมีรายละเอียดของค่าต่างๆ เช่น พิกัดตำแหน่ง ละติจูด ลองจิจูด เวลา จำนวนดาวเทียมที่ใช้ในการคำนวณพิกัด และความสูงจากระดับน้ำทะเล (MSL Altitude) เป็นต้น ดังรูปที่ 2.19

```
$GPGGA,161229.487,3723.2475,N,12158.3416,W,1,07,1.0,9.0,M,0.0000*18
$GPGLL,3723.2475,N,12158.3416,W,161229.487,A*2C
$GPGSA,A,3,07,02,26,27,09,04,15,,,,,1.8,1.0,1.5*33
$GPGSV,2,1,07,07,79,048,42,02,51,062,43,26,36,256,42,27,27,138,42*71
$GPRMC,161229.487,A,3723.2475,N,12158.3416,W,0.13,309.62,120598,,*10
$GPVTG,309.62,T,M,0.13,N,0.2,K*6E
```

รูปที่ 2.19 NMEA-0183

## 2.4 เครื่องคอมพิวเตอร์ขนาดพกพาชนิดปาล์ม (Palm pilot)

เครื่องคอมพิวเตอร์ขนาดมือถือที่ได้รับความนิยมมากในปัจจุบัน คือ เครื่องปาล์ม (Palm) ซึ่งถูกพัฒนาขึ้นมาครั้งแรกและสามารถใช้งานได้ในปี พ.ศ.2539 เนื่องจากเครื่องคอมพิวเตอร์ขนาดมือถือมีขนาดเล็กและส่วนสำคัญคือการป้อนข้อมูลให้กับเครื่องที่มีขนาดเล็กจะต้องป้อนลงไปด้วยการเขียนที่หน้าจอแสดงผลหรือสร้างส่วนป้อนข้อมูล (Keyboard) ที่เรียกว่า On screen Keyboard มีโครงสร้างต่าง ๆ ดังนี้

### 2.4.1 หน่วยความจำ

เครื่องคอมพิวเตอร์ขนาดพกพาชนิดปาล์มจะมีหน่วยความจำถาวร (Read Only Memory) และหน่วยความจำชั่วคราว (Random Access Memory) สำหรับการใช้งานแบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ

#### ก. หน่วยความจำถาวร (ROM)

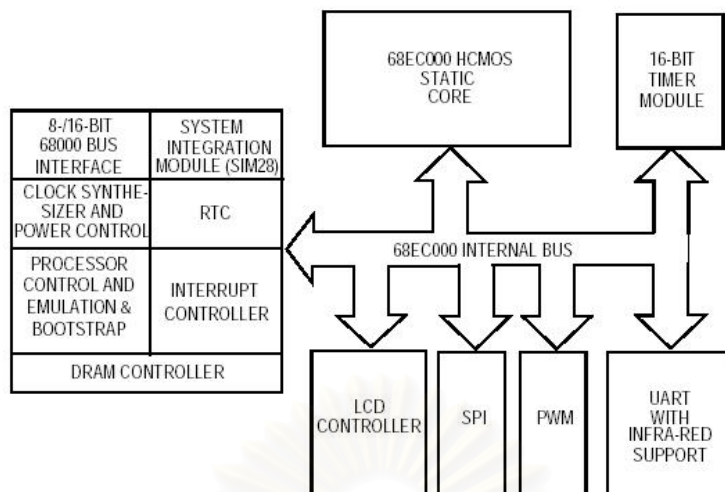
จัดเป็นหน่วยความจำที่จัดเก็บข้อมูลได้อย่างถาวร โดยไม่สามารถนำมาบันทึกหรือเขียนใหม่ได้นอกจากจะต้องใช้วิธีการที่พิเศษในการเขียนสำหรับปาล์มจะมีหน่วยความจำประเภท ROM ที่มากับเครื่องมีขนาดต่างกันตามรุ่น ได้ทำการบันทึก OS ของปาล์มมาเรียบร้อยแล้วทั้งโปรแกรมพื้นฐานที่จำเป็นต้องใช้งาน เช่น Memo pad , Address book , Mail , Date book , To do list เป็นต้น โดยที่โปรแกรมเหล่านี้จะไม่มีการสูญหายถึงแม้จะไม่มีกระแสไฟเลี้ยงและไม่สามารถทำการลบโปรแกรมเหล่านี้ออกไปได้

#### ข. หน่วยความจำชั่วคราว (RAM)

จัดเป็นหน่วยความจำที่สามารถเข้าถึงได้ที่ตำแหน่งใด ๆ และจะใช้สำหรับการเก็บข้อมูลชั่วคราว (Temporary Storage) ไม่สามารถที่จะเก็บข้อมูลได้อย่างถาวรเมื่อหยุดให้กระแสไฟฟ้าก็จะทำให้ข้อมูลในหน่วยความจำหายไป

### 2.4.2 หน่วยประมวลผลกลาง

เครื่องคอมพิวเตอร์ขนาดพกพาประเภทปาล์มจะใช้หน่วยประมวลผลกลาง (CPU) ของ Motorola MC68EZ328 Processor ในตระกูล DragonBall Processor ซึ่งมีต้นกำเนิดมาจาก CPU 68000 Processor โครงสร้างทางสถาปัตยกรรมของ MC68EZ328 แสดงดังรูปที่ 2.20 แบ่งโครงสร้างภายในได้ดังนี้



รูปที่ 2.20 โครงสร้างของ MC68EZ328 DragonBall Processor [7]

ก. Liquid Crystal Display Controller

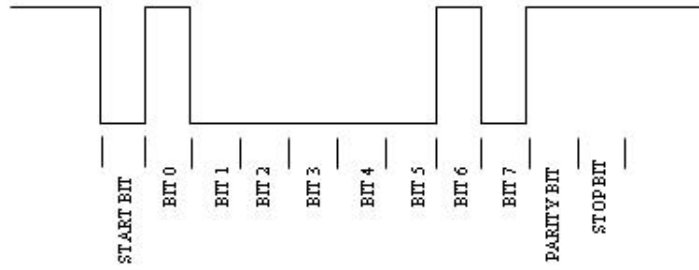
CPU DragonBall เป็นไมโครโปรเซสเซอร์ที่มีการใช้งาน Liquid Crystal Display (LCD) Controller เพื่อใช้ในการเชื่อมต่อและควบคุมการทำงานของโมดูล LCD เพราะการป้อนข้อมูลให้กับเครื่องปาล์มนั้นกระทำผ่านทางหน้าจอของปาล์มได้โดยตรงด้วยการเขียนลงไปหน้าจอด้วยอุปกรณ์ที่เรียกว่า สไตลัส (Stylus) หรือปากกาที่ใช้สำหรับเขียนจอได้โดยตรง

ข. Liquid Crystal Display Controller

CPU DragonBall เป็นไมโครโปรเซสเซอร์ที่มีพอร์ตสำหรับใช้งาน Liquid Crystal Display (LCD) Controller ดังนั้นการเชื่อมต่อและควบคุมการทำงานของโมดูล LCD และการป้อนข้อมูลให้กับเครื่องปาล์มจึงกระทำผ่านทางหน้าจอของปาล์มได้โดยตรงด้วยการเขียนลงไปหน้าจอด้วยอุปกรณ์ที่เรียกว่า สไตลัส (Stylus) หรือปากกาที่ใช้สำหรับเขียนจอได้โดยตรง

ค. UART Functionality

ปาล์มถูกออกแบบมาให้ติดต่อกับอุปกรณ์ภายนอกผ่านทางพอร์ต Universal Asynchronous Receiver Transmitter (UART) ทางพอร์ตอนุกรม (RS-232) , USB , IrDA (Infrared Data Association) และ Bluetooth การติดต่อแบบพอร์ตอนุกรมด้วย RS-232 จะส่งข้อมูลที่ประกอบไปด้วยบิตเริ่ม (Start bit) บิตสุดท้าย (Stop bit) บิตพริตี้ (Parity bit) บิตข้อมูลขนาด 8 บิต (Data) ดังรูปที่ 2.21



รูปที่ 2.21 การส่งข้อมูลเป็นรหัส ASCII 'A' แบบพอร์ตอนุกรม RS-232ของปาล์ม

การส่งสัญญาณด้วย IrDA จะส่งสัญญาณขนาด 3/16 เท่าของพัลส์ลอจิกแทนสัญญาณลอจิกต่ำและส่งพัลส์ 0 แทนสัญญาณลอจิกสูง ดังแสดงในรูปที่ 2.22



รูปที่ 2.22 การส่งข้อมูลเป็นรหัส ASCII 'A' แบบ IrDA ของปาล์ม



## บทที่ 3

### การดำเนินการวิจัย

#### 3.1 ข้อมูลพื้นฐานของระบบ

ระบบวัดรังสีแกมมาชนิดเคลื่อนย้ายได้ที่เชื่อมโยงด้วยจีพีเอสที่พัฒนาขึ้นนี้ถูกออกแบบให้มีขนาดเล็กและใช้งานร่วมกับเครื่องคอมพิวเตอร์ขนาดพกพาโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ควบคุมการทำงานของระบบวัดรังสีแกมมาและระบบจีพีเอสให้ทำงานได้อย่างต่อเนื่องเพื่อรับค่าพิกัดตำแหน่ง ณ บริเวณที่มีการวัดรังสีแกมมา

- ก. ข้อมูลพื้นฐานสำหรับระบบวัดพิกัดตำแหน่งด้วยโมดูลจีพีเอสรุ่น GM-83 Engine Board ยี่ห้อ HOLUX

โมดูล GM-83 Engine Board มีความกว้าง 40.6 มิลลิเมตร ยาว 71.1 มิลลิเมตร สูง 9.1 มิลลิเมตร และน้ำหนัก 18 กรัม ใช้ร่วมกับแหล่งจ่ายไฟฟ้านิกเกิลคาปาซิเตอร์ขนาด +5 โวลต์ โดยสามารถรับสัญญาณดาวเทียมแบบต่อเนื่องได้พร้อมกัน 12 ช่องสัญญาณ สัญญาณเอาต์พุตเป็นโปรโตคอลแบบ NMEA-0183 (GGA , GLL , GSV , GSA , RMC , VTG) สำหรับประเทศไทย อ้างอิงตามระบบพิกัด WGS-84 สามารถติดต่อกับอุปกรณ์ภายนอกด้วยพอร์ตอนุกรมที่บอรรถ 4800 , 9600 , 19200 และ 38400 บิตต่อวินาที โดยกำหนดให้ความคลาดเคลื่อนของตำแหน่งที่วัดได้แบบ Differential GPS (DGPS) ประมาณ 1 - 5 เมตร และแบบ Non DGPS ประมาณ 5 - 25 เมตร สำหรับโมดูล GM-83 Engine Board ที่ใช้ในงานวิจัยนี้จะใช้วิธีรับสัญญาณจีพีเอสแบบ Non DGPS

- ข. ข้อมูลพื้นฐานสำหรับหัววัดรังสีและวงจรขยายส่วนหน้า

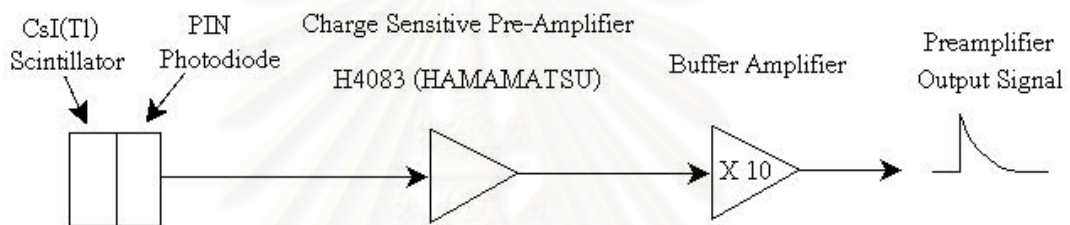
หัววัดรังสีสำหรับรังสีแกมมาที่ใช้เป็นชนิดซินทิลเลเตอร์ใช้ผลึกซีเซียมไอโอไดด์(ทลเลียม) ประกอบกับฟิโนโตไดโอดยี่ห้อ Hamamatsu รุ่น S3590-08 ใช้กับแหล่งจ่ายไฟฟ้านิกเกิลคาปาซิเตอร์ 24 โวลต์ สัญญาณเอาต์พุตที่ได้จากฟิโนโตไดโอดและมีอัตราขยาย 10 mV / MeV ถึง 20 mV / MeV ของรังสีแกมมา สัญญาณจะถูกส่งไปยังวงจรขยายส่วนหน้าแบบไวต่อประจุและวงจรบัฟเฟอร์ที่มีอัตราขยายขนาด 10 เท่า มีหลักการทำงานดังรูปที่ 3.1

- ค. ข้อมูลพื้นฐานสำหรับระบบวัดรังสีแกมมา

ระบบวัดปริมาณรังสีประกอบด้วย วงจรขยายสัญญาณ วงจรวิเคราะห์ความสูงพัลส์แบบช่องเดี่ยว วงจรเรตมิเตอร์ วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้านิกเกิลคาปาซิเตอร์ วงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล โดยวงจรขยายสัญญาณจะทำหน้าที่รับสัญญาณจากอุปกรณ์วัดรังสีมาขยายให้ได้สัญญาณที่มีอัตราส่วนของสัญญาณพัลส์สูงกว่าสัญญาณรบกวน (S/N Ratio) สูงด้วยการขยายพร้อมแต่งรูป

สัญญาณพัลส์ที่มีขนาดความสูงพัลส์เป็นสัดส่วนกับระดับพลังงานซึ่งจะถูกวิเคราะห์ด้วยวงจรวิเคราะห์ความสูงพัลส์แบบช่องเดี่ยวซึ่งสามารถทำงานได้ทั้ง 4 โหมดการทำงาน คือ โหมดอินทิเกรต โหมดปกติ โหมดวินโดว์ และโหมดสวิตช์ โดยตั้งค่าอ้างอิงไว้เฉพาะค่าที่ต้องการ สัญญาณลอจิกพัลส์ที่ผ่านออกมาจากวงจรวิเคราะห์ความสูงพัลส์ในช่วงเวลาที่กำหนดจะถูกส่งไปยังวงจรเรตมิเตอร์เพื่อแปลงเป็นค่าศักดาไฟฟ้าเป็นสัดส่วนกับความถี่ของสัญญาณลอจิกพัลส์

ระบบแปลงผันสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัลทำหน้าที่เป็นระบบประมวลผลการวัดรังสีโดยแปลงศักดาไฟฟ้าที่ได้จากวงจรเรตมิเตอร์เป็นสัญญาณดิจิทัลขนาด 10 บิต เพื่อแสดงข้อมูลความถี่ของการเกิดพัลส์ที่ระดับพลังงานของรังสีแกมมาที่ถูกปลดปล่อยออกมาจากสารกัมมันตรังสี



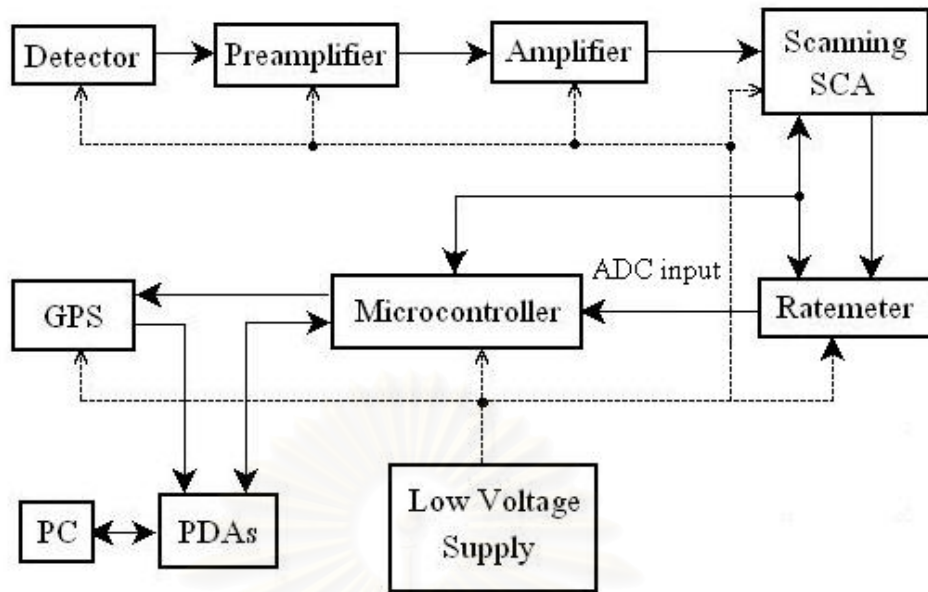
รูปที่ 3.1 หลักการทำงานของหัววัดรังสีและวงจรรขยายสัญญาณส่วนหน้า

### ง. ข้อมูลพื้นฐานสำหรับระบบควบคุมและการแสดงผล

การเชื่อมโยงสัญญาณจากระบบวัดรังสีและสัญญาณจากเครื่องรับพิกัดจีพีเอสจะใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ PIC16F877 ความถี่ 4 MHz ทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของระบบวิเคราะห์ความสูงพัลส์แบบช่องเดี่ยว วงจรเรตมิเตอร์ ประมวลผลการวัดรังสี การรับค่าจากเครื่องรับพิกัดจีพีเอสและติดต่อกับเครื่องคอมพิวเตอร์ขนาดพกพา

การแสดงผลด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์ขนาดพกพาชนิดปาล์มตระกูล Palm m505 ทำงานด้วย CPU ชนิด 68328 DragonBall 33MHz หน่วยความจำ RAM ขนาด 8 MB และ ROM ขนาด 4 MB มีจอสีขนาด 160 x 160 พิกเซล 65000 สีขนาดตัวเครื่อง 4.5" x 3.1" x 5" มีระบบปฏิบัติการแบบ Palm OS 4.0 เนื่องจากเครื่องคอมพิวเตอร์ขนาดพกพามีขนาดเล็กและสามารถติดต่อกับอุปกรณ์ภายนอกผ่านทางพอร์ต UART ของเครื่องด้วยบอดเรต 4800 เมื่อนำมาเป็นส่วนแสดงผลของระบบวัดรังสีแกมมาและระบบจีพีเอส จึงทำให้สามารถแสดงผลได้อย่างมีประสิทธิภาพ

จากแนวความคิดในการจัดอุปกรณ์วัดรังสีและควบคุมการทำงานจึงสามารถออกแบบระบบวัดรังสีแกมมาชนิดที่เชื่อมโยงด้วยจีพีเอสได้ดังรูปที่ 3.2

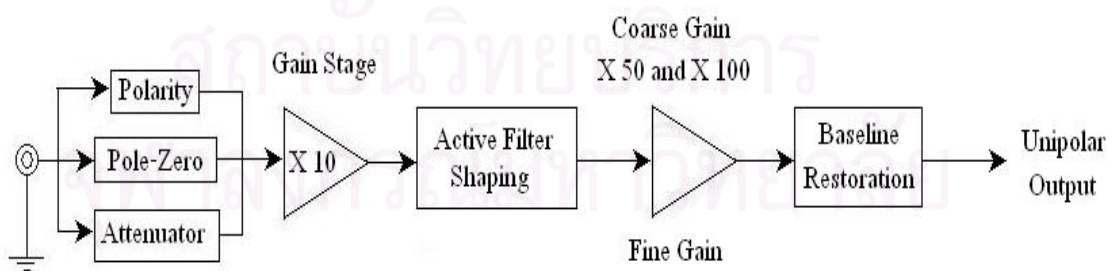


รูปที่ 3.2 แผนภาพของระบบวิเคราะห์รังสีแกมมาและรับตำแหน่งด้วยจีพีเอส

### 3.2 การพัฒนาระบบวัดรังสี

#### 3.2.1 วงจรขยายสัญญาณ

วงจรขยายสัญญาณพัลส์ทำหน้าที่ขยายและปรับแต่งรูปสัญญาณพัลส์จากวงจรขยายสัญญาณส่วนหน้าให้เหมาะสมกับการใช้งานในส่วนวงจรวิเคราะห์ความสูงพัลส์แบบช่องเดี่ยว โดยมีแผนภาพการทำงานและออกแบบวงจรได้ ดังรูปที่ 3.3

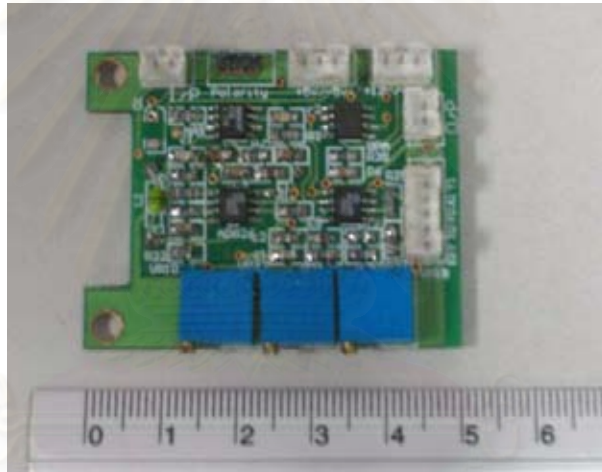


รูปที่ 3.3 แผนภาพแสดงการทำงานของวงจรขยายสัญญาณ

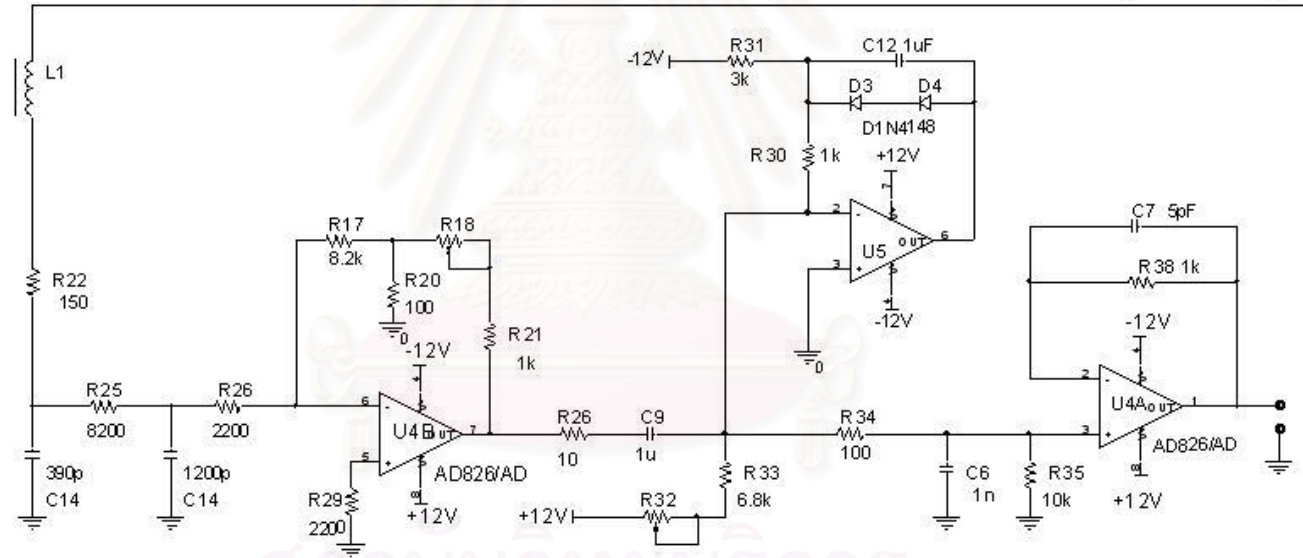
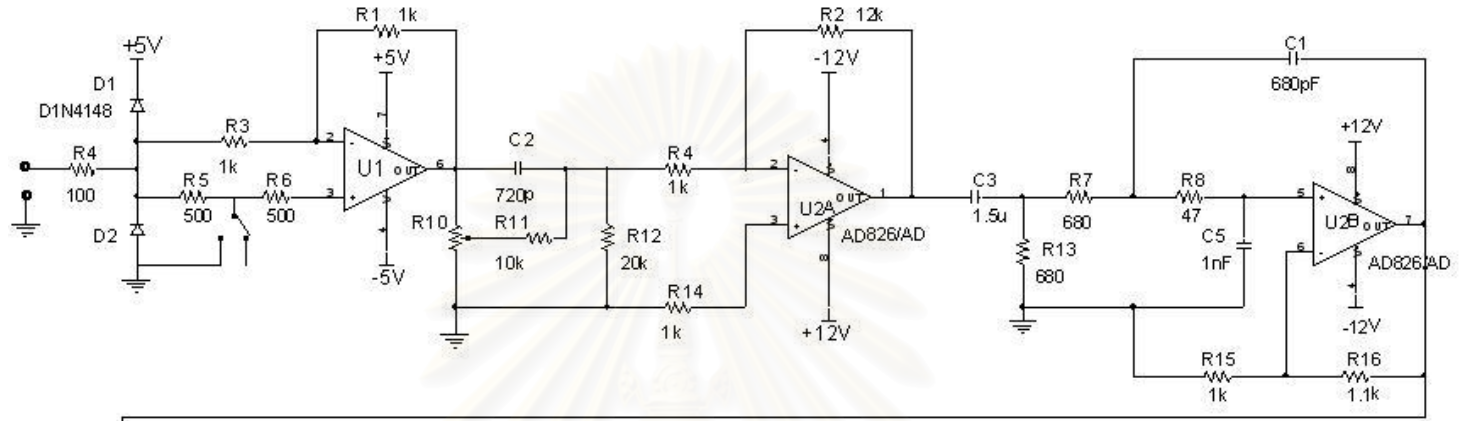
จากรูปที่ 3.3 วงจรขยายสัญญาณถูกออกแบบให้มีการเลือกโพลาริตี (Polarity) ได้เพื่อให้เหมาะสมกับสัญญาณที่รับจากวงจรขยายส่วนหน้ารวมถึงการสร้างวงจรลบดั่งโพลซีโร (Pole -

Zero Cancellation) เพื่อใช้ปรับแก้โอเวอร์ชูท (Overshoot) และอันเดอร์ชูท (Undershoot) ของ วงจรดิฟเฟอเรนเชียล สัญญาณที่ถูกกลบส้างโดยวงจรโพลซีโรจะมีค่าคงตัวเวลาการสลายตัว 4.8 ไมโครวินาที และเพิ่มสัดส่วนของสัญญาณกับสัญญาณรบกวนด้วยวงจรแอกทีฟฟิลเตอร์ (Active filter shaping) แบบ CR-nRC โดย  $n = 2$  แต่งให้รูปสัญญาณเป็นพัลส์แบบ Gaussian approximation ทำให้ค่า Relative ของสัญญาณรบกวนต่อสัญญาณพัลส์เท่ากับ 1.22 [10]

วงจรขยายสัญญาณหลักมี 2 วงจรคือ U2A (ไอซีเบอร์ AD826/AD) ต่อแบบอินเวอร์ตติงมี อัตราขยายเท่ากับ 10 เท่า และ U2B (ไอซีเบอร์ AD826/AD) สามารถเลือกอัตราขยายได้ 2 ช่วงการทำงานสามารถปรับค่า R18 เพื่อให้อัตราขยายสัญญาณรวมมีค่า เท่ากับ 500 ถึง 1000 เท่า และ สัญญาณพัลส์จะถูกปรับแต่งค่าเบสไลน์กลับสู่ศูนย์ (Baseline Restoration) ก่อนส่งสัญญาณพัลส์ไป ให้วงจรวิเคราะห์สัญญาณพัลส์แบบช่องเดียวต่อไปจึงสร้างวงจรขยายสัญญาณได้ดังรูปที่ 3.4 มี วงจรอิเล็กทรอนิกส์ ดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.4 แผ่นวงจรขยายสัญญาณพัลส์



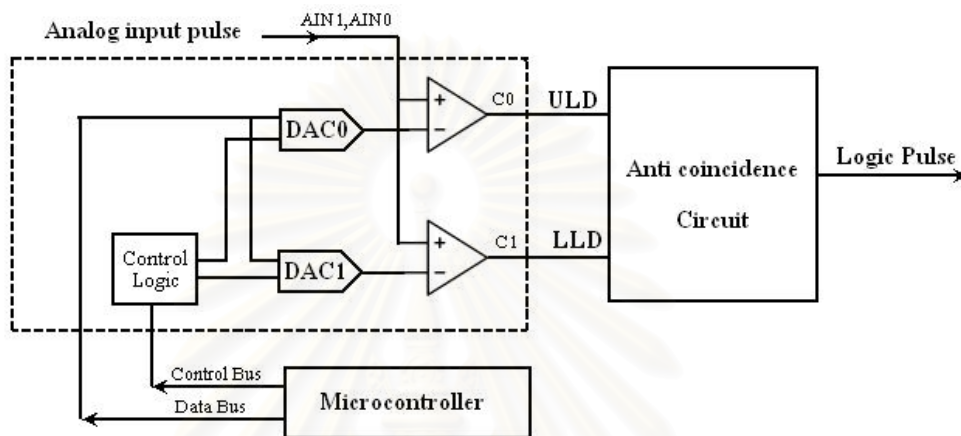
รูปที่ 3.5 วงจรขยายสัญญาณพัลส์

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



### 3.2.2 การพัฒนาระบบวิเคราะห์ความสูงพัลส์แบบช่องเดี่ยว

วงจรวิเคราะห์ความสูงพัลส์ (Pulse Height Analyzer) ทำหน้าที่วิเคราะห์ความสูงของพัลส์ที่ได้จากวงจรขยายและเปลี่ยนรูปสัญญาณพัลส์นิวเคลียร์เป็นสัญญาณลอจิกพัลส์ที่มีความกว้าง 500 นาโนวินาที เพื่อป้อนให้กับวงจรเรตมิเตอร์มีแผนภาพการทำงานดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 แผนภาพการทำงานของวงจรวิเคราะห์ความสูงพัลส์แบบช่องเดี่ยว

จากรูปที่ 3.6 ออกแบบให้วงจรวิเคราะห์ความสูงพัลส์แบบช่องเดี่ยวทำงานได้ 4 โหมดการทำงานคือ โหมดอินทีเกรต โหมดปกติ โหมดวินโดว์ โหมดสวิตช์ ตามความเหมาะสมในการใช้งาน โดยมีส่วนประกอบหลัก 2 ส่วน คือ วงจรดิจิตอลไมโครคอนโทรลเลอร์ชนิดโปรแกรมได้ 2 ระดับ และวงจรแอนติโคอซิเดนซ์ (Anti coincidence) ในส่วนของวงจรดิจิตอลไมโครคอนโทรลเลอร์เลือกใช้ไอซีที่สามารถโปรแกรมค่าแรงดันได้โดยรับข้อมูลควบคุมระดับดิจิตอลไมโครคอนโทรลเลอร์ด้านต่ำและระดับดิจิตอลไมโครคอนโทรลเลอร์ด้านสูงขนาด 8 บิต จากไมโครคอนโทรลเลอร์ทำให้สามารถสร้างช่องวิเคราะห์สัญญาณพัลส์ได้ 256 ช่อง และตั้งค่าแรงดันอ้างอิงให้ไอซีเป็น 10 โวลต์ ดังนั้นความละเอียดสำหรับช่องวิเคราะห์ความสูงพัลส์สามารถปรับได้ต่ำถึง 40 มิลลิโวลต์ สัญญาณพัลส์จะถูกคัดเลือกโดยวงจรแอนติโคอซิเดนซ์โดยจัดวงจรด้วยเกตแบบ NAND และเกตแบบ NOT เพื่อคัดเลือกให้เกิดสัญญาณ SCA Out เฉพาะสัญญาณพัลส์นิวเคลียร์ที่มีความสูงของพัลส์อยู่ในช่วงของวินโดว์ที่กำหนดเท่านั้น

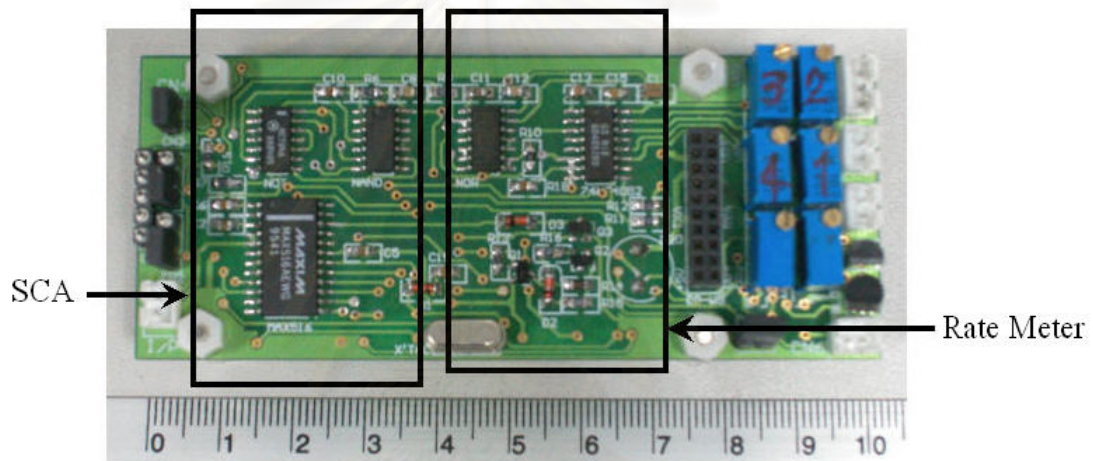
ออกแบบวงจรวิเคราะห์ความสูงพัลส์แบบช่องเดี่ยวได้ดังรูปที่ 3.7



### 3.2.3 การพัฒนาวงจรเรตมิเตอร์

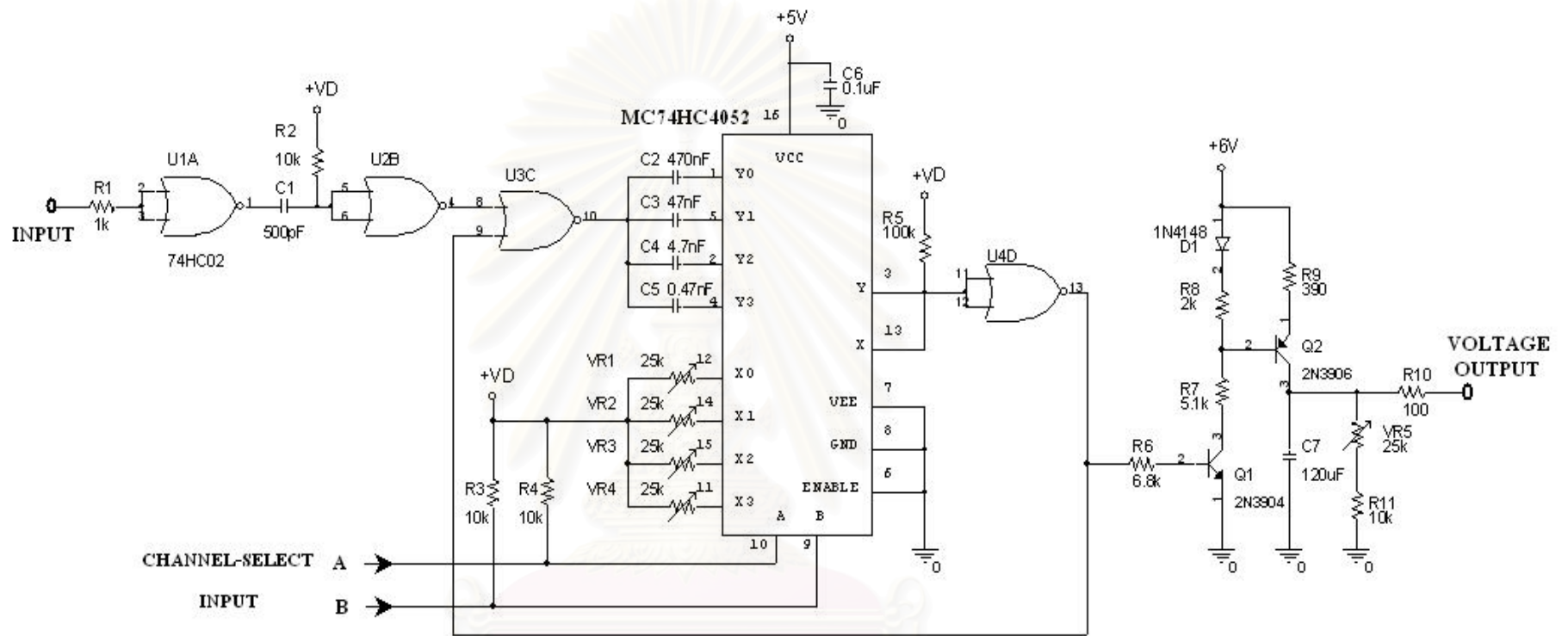
วงจรเรตมิเตอร์ทำหน้าที่เปลี่ยนสัญญาณลอจิกพัลส์ให้เป็นศักดาไฟฟ้าเฉลี่ยออกแบบวงจรดังรูปที่ 3.6 โดยทำงานได้ 4 ช่วงความถี่ คือ ช่วงความถี่ที่ 1 นับสัญญาณพัลส์ที่มีความถี่ในช่วง 10 Hz - 100 Hz ช่วงความถี่ที่ 2 นับสัญญาณพัลส์ที่มีความถี่ในช่วง 100 Hz - 1,000 Hz ช่วงความถี่ที่ 3 นับสัญญาณพัลส์ที่มีความถี่ในช่วง 1 kHz - 10 kHz และ ช่วงความถี่ที่ 4 นับสัญญาณพัลส์ที่มีความถี่ในช่วง 10 kHz - 100 kHz โดยเลือกใช้ไอซีเบอร์ MC74HC4053 ซึ่งสามารถเลือกช่วงการทำงานแต่ละความถี่ผ่านทางเครื่องคอมพิวเตอร์ขาดพกพาและไม่โครคอนโทรลเลอร์

วงจรเรตมิเตอร์ที่ออกแบบแสดงดังรูปที่ 3.7 และมีวงจรอิเล็กทรอนิกส์ดังรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.7 วงจรวิเคราะห์ความสูงพัลส์แบบช่องเดี่ยวและวงจรรีตมิเตอร์

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.8 วงจรเรตมิเตอร์

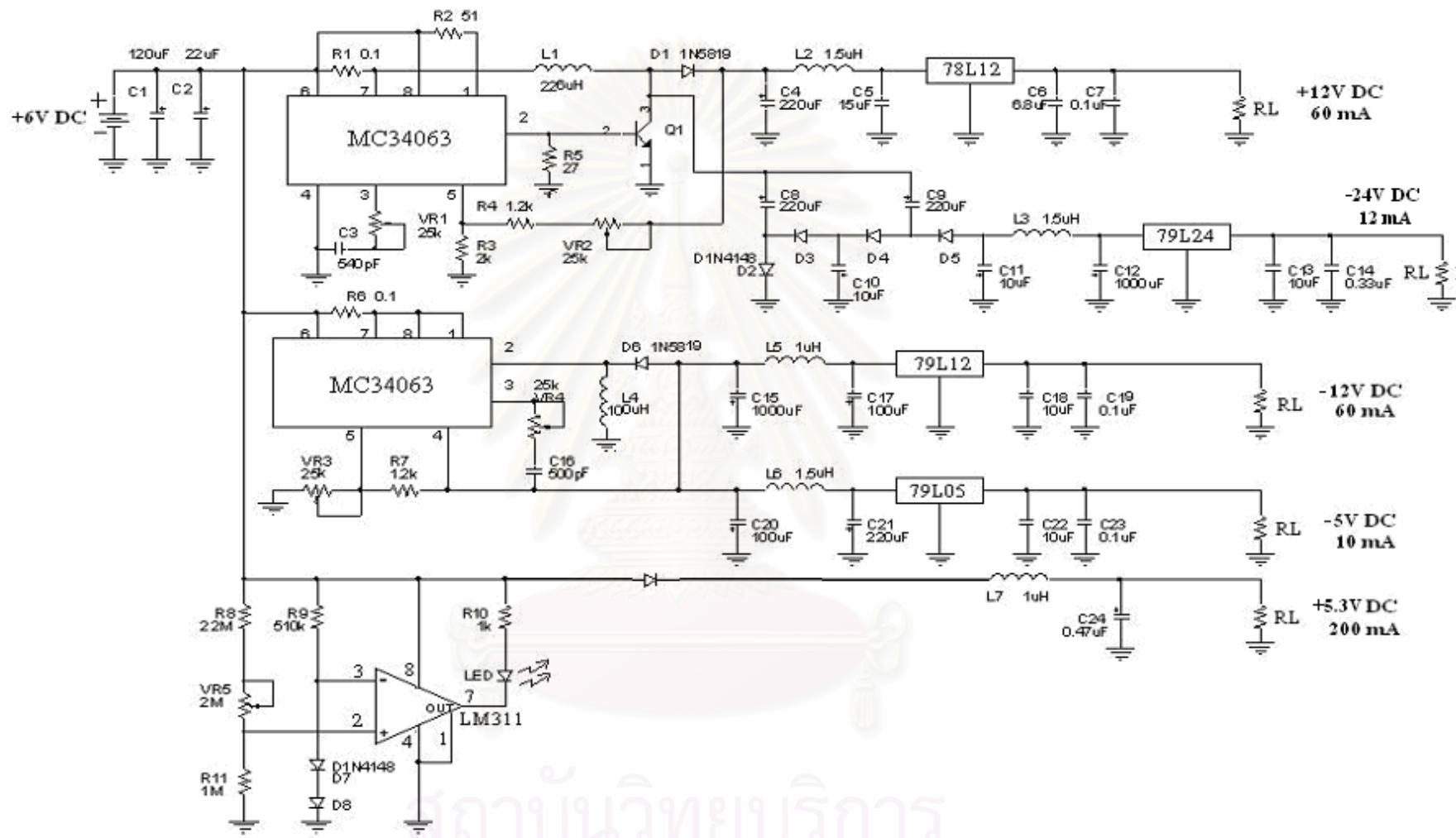
สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

### 3.2.4 การพัฒนาระบบจ่ายไฟฟ้าสัปดาห์

วงจรจ่ายไฟฟ้าสัปดาห์ แปลงไฟฟ้ากระแสตรงขนาด +6 โวลต์ชนิด Sealed Rechargeable รุ่น SL6-1.3 กระแส 1.3 แอมแปร์ ระยะเวลาใช้งานได้ 20 ชั่วโมง เป็นไฟกระแสตรง 5 ชุด สำหรับอุปกรณ์วัดรังสีแกมมาและเครื่องรับพิกัดจีพีเอสแบ่งได้เป็น

- ก. สัปดาห์ไฟฟ้าขนาด -24 โวลต์ สำหรับจ่ายให้กับหัววัดรังสี
- ข. สัปดาห์ไฟฟ้าขนาด -12 โวลต์ สำหรับจ่ายให้กับหัววัดรังสี และวงจรขยายสัญญาณ
- ค. สัปดาห์ไฟฟ้าขนาด +12 โวลต์ สำหรับจ่ายให้กับหัววัดรังสี วงจรขยายสัญญาณ และวงจรวิเคราะห์ความสูงพัลส์แบบช่องเดียว
- ง. สัปดาห์ไฟฟ้าขนาด -5 โวลต์ สำหรับจ่ายให้กับวงจรขยายสัญญาณ
- จ. สัปดาห์ไฟฟ้าขนาด +5.3 โวลต์ สำหรับจ่ายให้กับวงจรขยายสัญญาณ วงจรวิเคราะห์ความสูงพัลส์แบบช่องเดียว วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์และจีพีเอส

โดยเลือกใช้ไอซีเบอร์ MC34063A DC-DC Converter control circuits สำหรับแปลงไฟกระแสตรงจากแบตเตอรี่ขนาด 6 โวลต์ กระแส 1.3 แอมแปร์ เป็นไฟกระแสตรงสำหรับใช้งานโดยออกแบบให้ไอซีทำงานเป็นวงจรแบบเพิ่มแรงดันสัปดาห์ไฟฟ้า (Step up) และแบบกลับแรงดันไฟฟ้า (Voltage inverting) ออกแบบวงจรสำหรับสร้างแหล่งจ่ายไฟฟ้าสัปดาห์ได้ดังรูปที่ 3.9

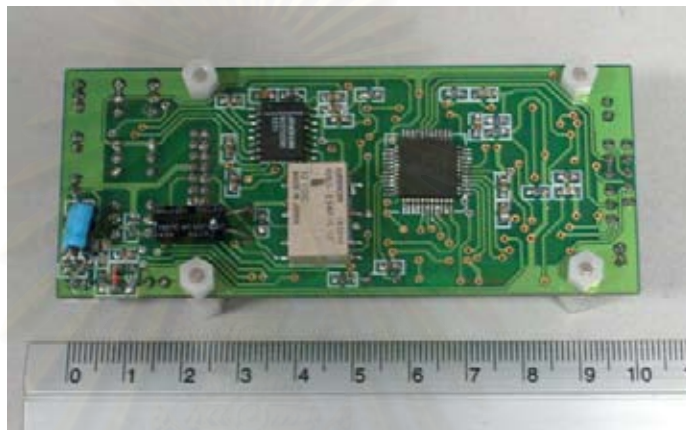


รูปที่ 3.9 วงจรจ่ายไฟฟ้าสัปดาห์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

### 3.3 การพัฒนาระบบไมโครคอนโทรลเลอร์

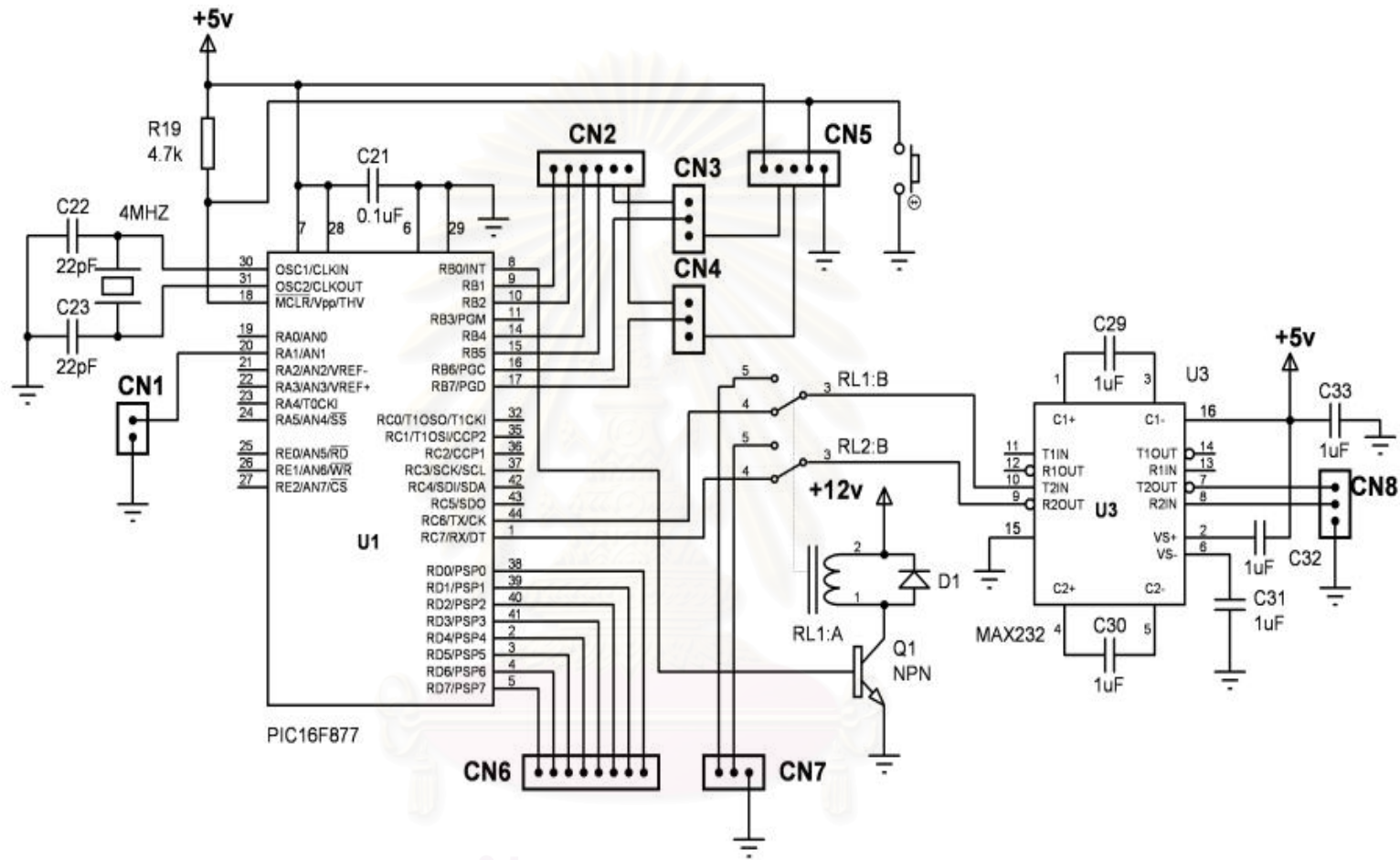
การพัฒนาระบบไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อการควบคุมการทำงานของระบบและใช้งานโมดูล UART ร่วมกับโมดูลแปลงผันสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิทัลของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877 เพื่อแสดงข้อมูลดิจิทัลที่ได้จากการแปลงค่าศักดาไฟฟ้าที่รับจากวงจรเรตมิเตอร์และส่งออกทางพอร์ตอนุกรม RS-232 ใช้บอดเรต 4800 บิตต่อวินาที สามารถออกแบบวงจรได้ดังรูปที่ 3.10 และ รูปที่ 3.11



รูปที่ 3.10 วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ออกแบบได้

#### 3.3.1 การออกแบบโปรแกรมเพื่อแปลงผันสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัล

ระบบแปลงผันสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัลทำหน้าที่เป็นระบบประมวลข้อมูลการวัดรังสีโดยแปลงศักดาไฟฟ้าที่ได้จากวงจรเรตมิเตอร์เป็นสัญญาณดิจิทัลขนาด 10 บิต เพื่อแสดงข้อมูลความถี่ของการเกิดพัลส์ที่ระดับพลังงานของรังสีแกมมาที่ถูกปลดปล่อยออกมาจากสารกัมมันตรังสี โดยสามารถเขียนโปรแกรมเพื่อควบคุมการทำงานของระบบโดยมีรูปแบบดังรูปที่ 3.12



รูปที่ 3.11 วงจรควบคุมการทำงานด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์

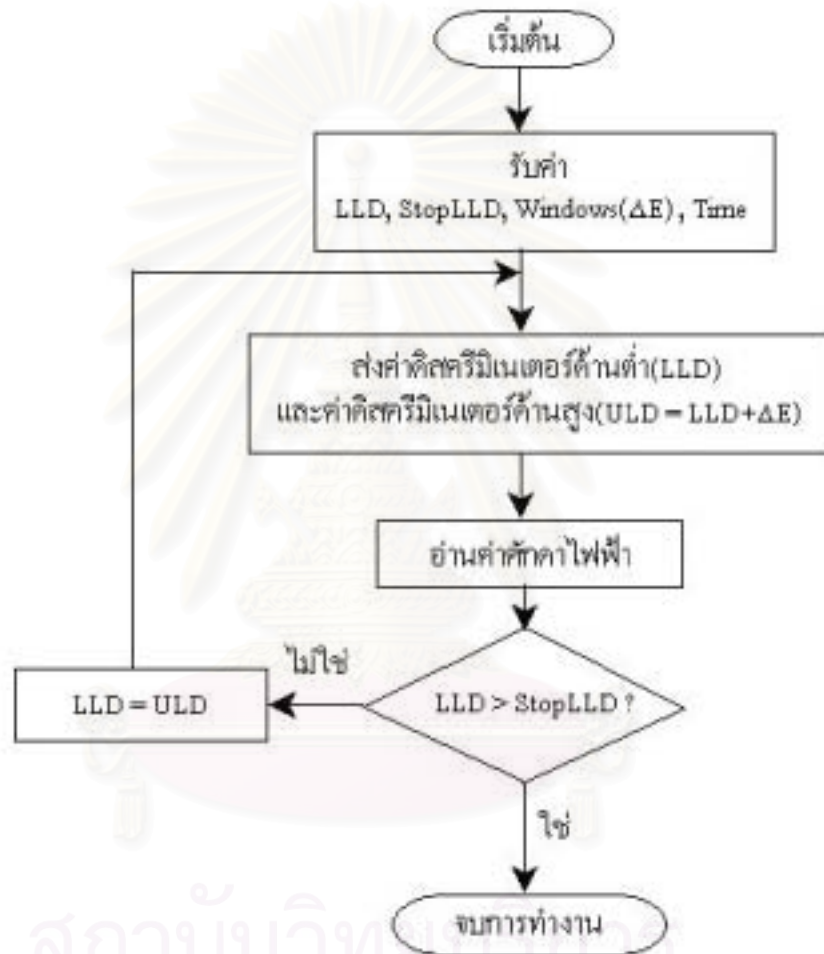




รูปที่ 3.12 แผนผังการทำงานการทำงานของโปรแกรมแปลงผันสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอล

### 3.3.2 การออกแบบโปรแกรมเพื่อควบคุมและประมวลผล

สามารถเขียนโปรแกรมในการควบคุมการทำงานระบบวิเคราะห์ความสูงพัลส์แบบช่องเดี่ยวให้ทำงานแบบสแกนโดยรับค่า LLD , ULD ,  $\Delta E$  และเวลาสำหรับการสแกนจากไมโครคอนโทรลเลอร์ขนาด 8 บิตไปแปลงเป็นแรงดันไฟฟ้าขนาด 0-10 V เพื่อใช้เป็นแรงดันเปรียบเทียบกับสัญญาณพัลส์นิวเคลียร์ได้ดังรูปที่ 3.13



รูปที่ 3.13 แผนผังการทำงานของโปรแกรมการทำงานในโหมดสวิตของไมโครคอนโทรลเลอร์และ SCA

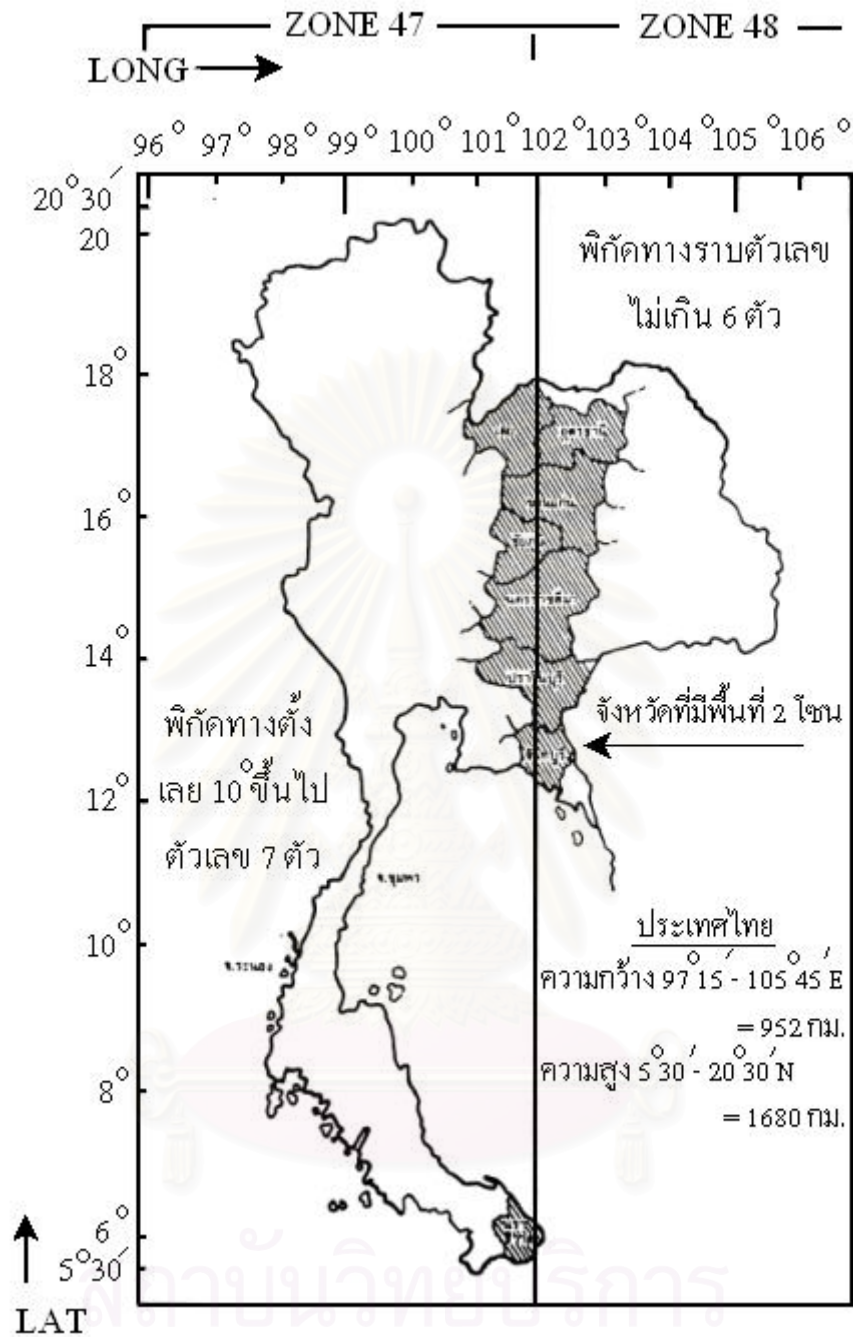
### 3.2 ระบบประมวลผลค่าพิกัดทางจีพีเอส

โมดูลของ HOLUX รุ่น GM-83 ดังแสดงในรูปที่ 3.14 ซึ่งใช้ระบบ MAP DATUM แบบ WGS-84 ผลการวัดพิกัดได้ค่าข้อมูลตามระบบพิกัดภูมิศาสตร์ (Latitude / Longitude) จึงจำเป็นต้อง

แปลงค่าพิกัดภูมิศาสตร์เป็นค่าพิกัดแบบ Universal Transverse Mercator Grid (UTM Grid) ซึ่งเป็นระบบที่ออกแบบมาเพื่อให้ทำแผนที่ครอบคลุมพื้นผิวโลกระหว่างค่าละติจูดที่ 80°N และ 80°S โดยการแบ่งผิวโลกออกเป็นโซน (Zone) โดยความกว้าง 1 โซนจะให้เส้นลองติจูดห่างกัน 6° เพราะฉะนั้นทั้งโลกจะมีทั้งหมด 60 โซน หน่วยระยะที่ได้จากระบบนี้จะเป็นเมตร โดยแต่ละโซนจะกำหนดให้เส้นเมริเดียนย่านกลาง (Central Meridian = CM) และเส้นศูนย์สูตร (Equator) เป็นเส้นฐานของการกำหนดค่าพิกัด สำหรับพิกัดแนวตั้งการนับค่าพิกัดเหนือมีดังนี้ ซีกโลกเหนือที่เส้นศูนย์สูตรจะมีค่า 0 mN (เมตรเหนือ) ซีกโลกใต้ที่เส้นศูนย์สูตรค่าพิกัดเหนือจะมีค่าเท่ากับ 10000000 mN สำหรับแนวราบในระบบ UTM ก็จะมีเฉพาะพิกัดตะวันออกโดยให้ที่จุดตัดของเส้นเมริเดียนย่านกลางและเส้นศูนย์สูตรมีพิกัดตะวันออกเท่ากับ 500000 mE (เมตรตะวันออก) เพราะฉะนั้นจุดศูนย์กลางกำเนิดของโซนแต่ละโซนจึงอยู่นอกโซน สำหรับประเทศไทยค่าพิกัดจะถูกแบ่งอยู่ในโซน 47 และ โซน 48 ดังรูปที่ 3.15



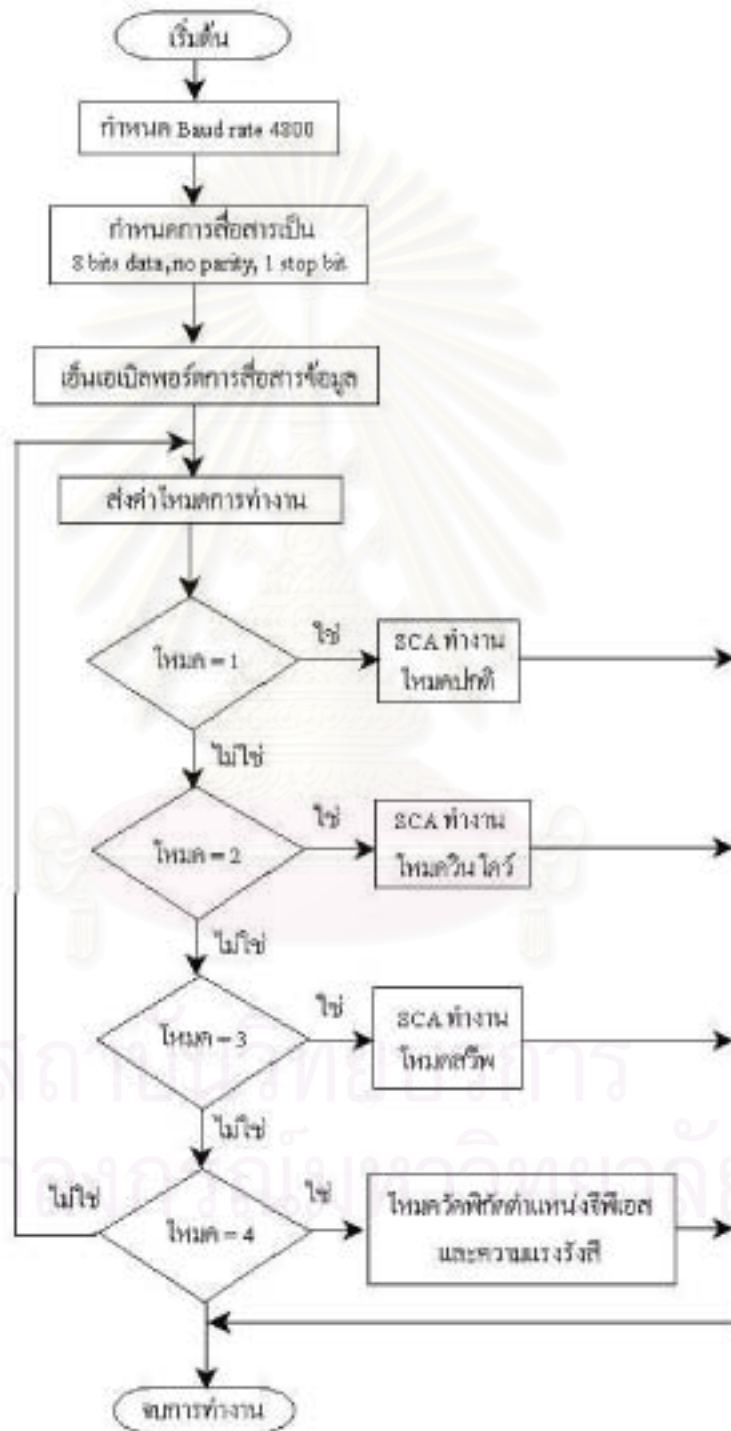
รูปที่ 3.14 โมดูลของ HOLUX รุ่น GM-83



รูปที่ 3.15 แสดงขอบเขตประเทศไทยในระบบ UTM [6]

### 3.5 การพัฒนาโปรแกรมสำหรับคอมพิวเตอร์ขนาดพกพาชนิดปาล์ม

การติดต่อระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์ขนาดพกพาชนิดปาล์มกับอุปกรณ์ภายนอกสามารถเขียนโปรแกรมควบคุมการทำงานโดยมีโครงสร้างดังรูปที่ 3.16



รูปที่ 3.16 แผนผังการทำงานของ โปรแกรมสำหรับเครื่องคอมพิวเตอร์ขนาดพกพา



### 3.6 ระบบวัดรังสีแกมมาชนิดเคลื่อนย้ายได้ที่เชื่อมโยงด้วยจีพีเอส

ระบบวัดรังสีแกมมาชนิดเคลื่อนย้ายได้ที่เชื่อมโยงด้วยจีพีเอสที่พัฒนาขึ้นสามารถแสดง ได้ ดังรูปที่ 3.17 ซึ่งเป็นระบบที่สามารถทำงานได้อย่างเอกเทศ ประกอบด้วย ส่วนของระบบวัดรังสี แกมมา ระบบวัดพิคคจีพีเอสพร้อมเสาอากาศ แหล่งจ่ายไฟฟ้าสัปดาห์ขนาด 6 V หัววัดรังสีและ ปาถัม m505



ระบบวัดปริมาณรังสีแกมมาที่เชื่อมโยงด้วยจีพีเอส

รูปที่ 3.17 ภาพอุปกรณ์ของระบบวัดรังสีแกมมาชนิดเคลื่อนย้ายได้ที่เชื่อมโยงด้วยจีพีเอส



## บทที่ 4

### การทดสอบสมรรถนะของระบบ

เครื่องมือวัดรังสีแกมมาชนิดเคลื่อนย้ายได้ที่เชื่อมโยงด้วยระบบจีพีเอสที่พัฒนาขึ้นนี้เป็นระบบที่ออกแบบให้ทำงานโดยการควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์และพัฒนาโปรแกรมควบคุมลำดับขั้นการใช้งานที่ง่ายหลังจากประกอบเครื่องสมบูรณ์ได้ทำการทดสอบการทำงานของระบบต่าง ๆ ดังนี้

1. ทดสอบระบบวัดปริมาณรังสี ได้แก่ การทดสอบสมรรถนะของแหล่งจ่ายไฟฟ้าสัปดาห์ต่ำ การทดสอบสมรรถนะของวงจรขยายสัญญาณพัลส์ การทดสอบสมรรถนะของระบบวิเคราะห์ความสูงพัลส์แบบช่องเดียว การทดสอบสมรรถนะของวงจรเรตมิเตอร์ การทดสอบสมรรถนะของวงจรแปลงผันสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิทัล
2. ทดสอบการทำงานของระบบจีพีเอส
3. การทดสอบเครื่องมือวัดรังสีแกมมาชนิดเคลื่อนย้ายได้ที่เชื่อมโยงด้วยระบบจีพีเอส

#### 4.1 การทดสอบระบบวัดรังสีแกมมา

หลังจากออกแบบระบบวัดรังสีแกมมาจึงได้มีการทดสอบสมรรถนะการทำงานของระบบต่าง ๆ เพื่อประเมินประสิทธิภาพในการทำงานและหาข้อบกพร่องซึ่งมีผลการทดสอบ ดังนี้

##### 4.1.1 การทดสอบแหล่งจ่ายไฟฟ้าสัปดาห์ต่ำ

หลังจากออกแบบแหล่งจ่ายไฟฟ้าสัปดาห์ต่ำขนาด +5.3V/-5V , +12V/-12V และ -24V เพื่อใช้งานในระบบสามารถทดสอบสมรรถนะได้ดังนี้

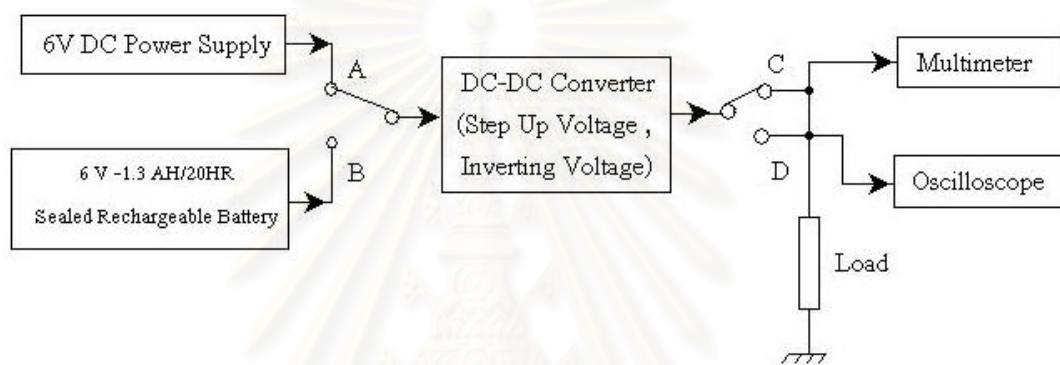
###### 4.1.1.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

1. แบตเตอรี่ชนิด Sealed Rechargeable รุ่น SL6-1.3 จ่ายแรงดันไฟฟ้า +6V กระแส 1.3 แอมแปร์ ได้ 20 ชั่วโมง
2. แหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าคงที่ของ HEWLETT PACKARD รุ่น 6236B Triple Output Power Supply
3. มัลติมิเตอร์ยี่ห้อ BRYMEN รุ่น BM201
4. ออสซิลโลสโคปของ TEKTRONIX รุ่น TDS 360

5. ตัวต้านทานชนิดเซรามิกค่าต่าง ๆ
6. แผงวงจรแปลงแรงดันไฟฟ้าแบบเพิ่มแรงดันและกลับแรงดันที่พัฒนาขึ้น

#### 4.1.1.2 การทดสอบ

สามารถจัดอุปกรณ์สำหรับทดสอบสมรรถนะและการทำงานของแหล่งจ่ายไฟฟ้าสัปดาห์ได้ดังรูปที่ 4.1 โดยใช้แหล่งจ่ายไฟกระแสตรงขนาด 6V-1.3AH/20HR และวงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าสัปดาห์ที่พัฒนาขึ้นเพื่อหาอัตราการใช้กำลังสูงสุดของแต่ละแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำรวมถึงการหาค่าของสัญญาณรบกวน (Ripple Voltage)



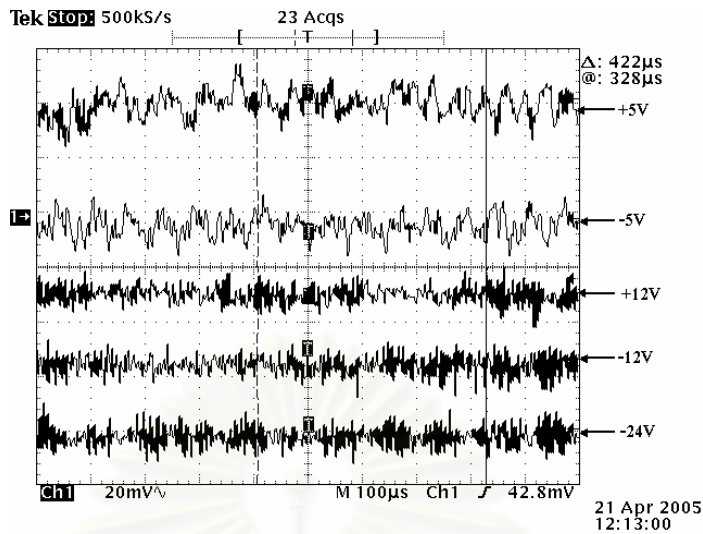
รูปที่ 4.1 แผนภาพการจัดอุปกรณ์ทดสอบแหล่งจ่ายไฟฟ้าสัปดาห์

#### 4.1.1.3 ผลการทดสอบ

จากการทดสอบสัญญาณที่ได้จากแหล่งจ่ายไฟฟ้าสัปดาห์แต่ละชุดดังตารางที่ 4.1 ซึ่งเป็นค่าอัตราการใช้กำลังสูงสุดของแต่ละแหล่งจ่ายไฟฟ้าสัปดาห์จะมีค่าสัญญาณรบกวนประมาณ 20 mV ดังรูปที่ 4.2

ตารางที่ 4.1 อัตราการใช้กำลังสูงสุดของแต่ละแหล่งจ่ายไฟฟ้าสัปดาห์

แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง (V)	กระแสไฟฟ้า (mA)	กำลังไฟฟ้า (mW)
-24	10	240
-12	50	600
+12	60	720
-5	2.5	12.5
+5.3	200	1060



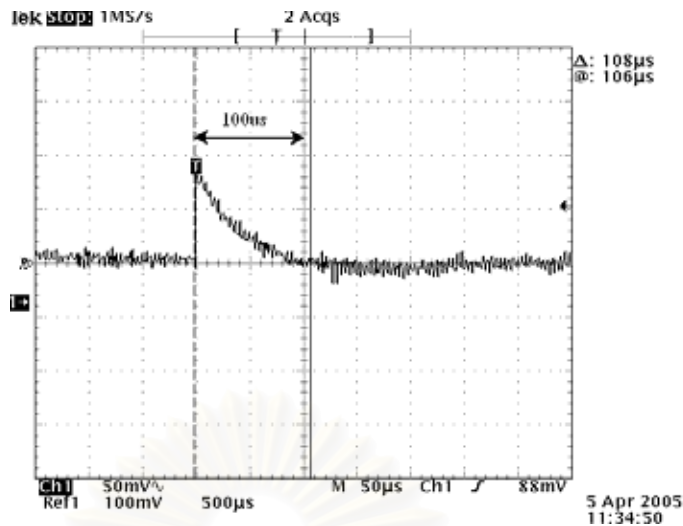
รูปที่ 4.2 Ripple Voltage ของแหล่งจ่ายไฟฟ้้าศักดาต่ำที่พัฒนาขึ้น

#### 4.1.2 การทดสอบวงจรมขยายสัญญาณพัลส์

วงจรมขยายสัญญาณพัลส์ที่ออกแบบมาเพื่อแต่งรูปสัญญาณพัลส์นิวเคลียร์ที่ได้จากวงจรมขยายส่วนหน้าซึ่งมีค่าไรส์ไทม์ (Rise time) ที่สั้นประมาณ 5-100 ns และมีค่าเวลาการสลายตัว (Decay time) ยาว 40-400  $\mu\text{s}$  ซึ่งสัญญาณที่วัดได้จากหัววัดรังสีชนิดผลึกซินทิลเลเตอร์ชนิด CsI(Tl) พร้อมพินโฟโตไดโอดของ Hamamatsu รุ่น S3590-08 และวงจรมขยายสัญญาณส่วนหน้าแสดงดังรูปที่ 4.3 โดยที่ความสูงพัลส์เกิดตามพลังงานของรังสีที่ตกกระทบกับหัววัด วงจรมขยายสัญญาณพัลส์ที่ออกแบบจึงออกแบบให้มีค่า Shaping time constant ( $\tau$ ) เท่ากับ 1 สัญญาณที่ได้จากวงจรมขยายสัญญาณจึงเป็นแบบ Semi gaussian ซึ่งมีค่าไรส์ไทม์  $2\tau$  และ ความกว้างพัลส์ขนาด  $5\tau$

##### 4.1.2.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

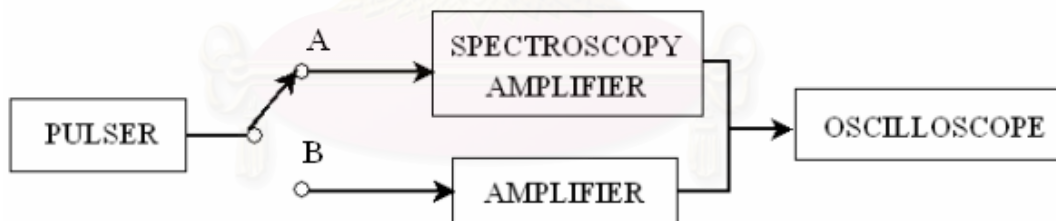
1. แหล่งกำเนิดสัญญาณพัลส์ (Pulser) ของ CANBERRA รุ่น 807
2. โมดูลขยายสัญญาณพัลส์ (Spectroscopy Amplifier) ของ CANBERRA รุ่น 807
3. ออสซิลโคปของ TEKTRONIX รุ่น TDS 360
4. วงจรมขยายสัญญาณพัลส์ที่พัฒนาได้



รูปที่ 4.3 สัญญาณพัลส์จากวงจรขยายส่วนหน้า

#### 4.1.2.2 การทดสอบ

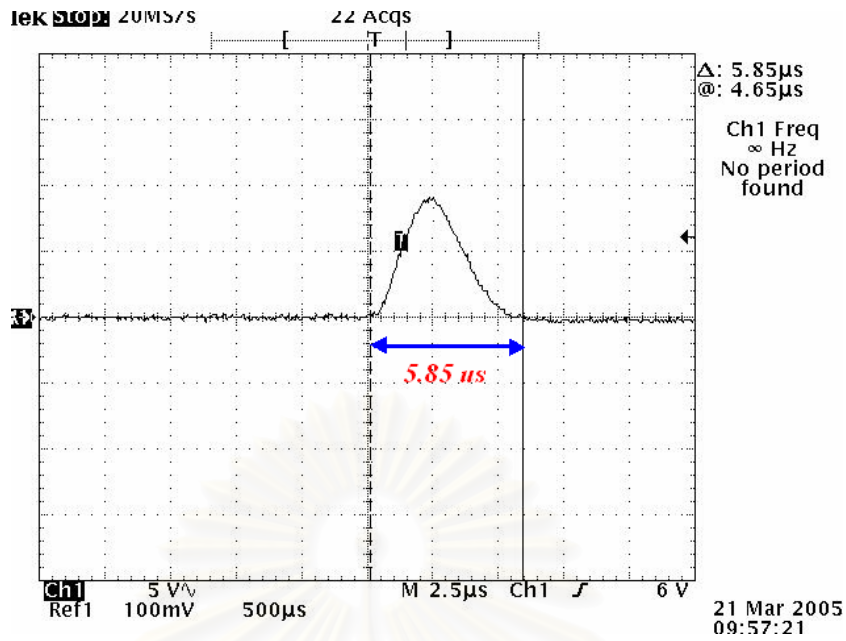
จากรูปที่ 4.4 เป็นการจัดอุปกรณ์เพื่อทดสอบวงจรขยายสัญญาณพัลส์โดยเปรียบเทียบการปรับแต่งรูปสัญญาณที่เป็นบวกและสัญญาณลบของระบบที่พัฒนาขึ้นกับโมดูลขยายสัญญาณพัลส์ (Spectroscopy Amplifier) ของ CANBERRA รุ่น 807 เพื่อเปรียบเทียบการแต่งรูปสัญญาณและการกรองสัญญาณของระบบวัดรังสีทั้ง 2 ระบบ



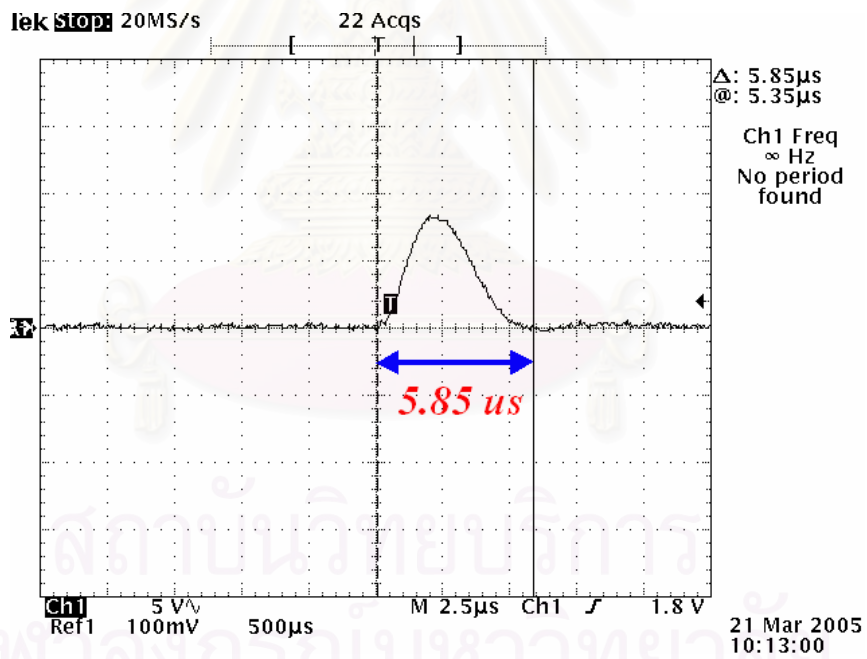
รูปที่ 4.4 แผนภาพการจัดอุปกรณ์ทดสอบวงจรขยายสัญญาณพัลส์

#### 4.1.2.3 ผลการทดสอบ

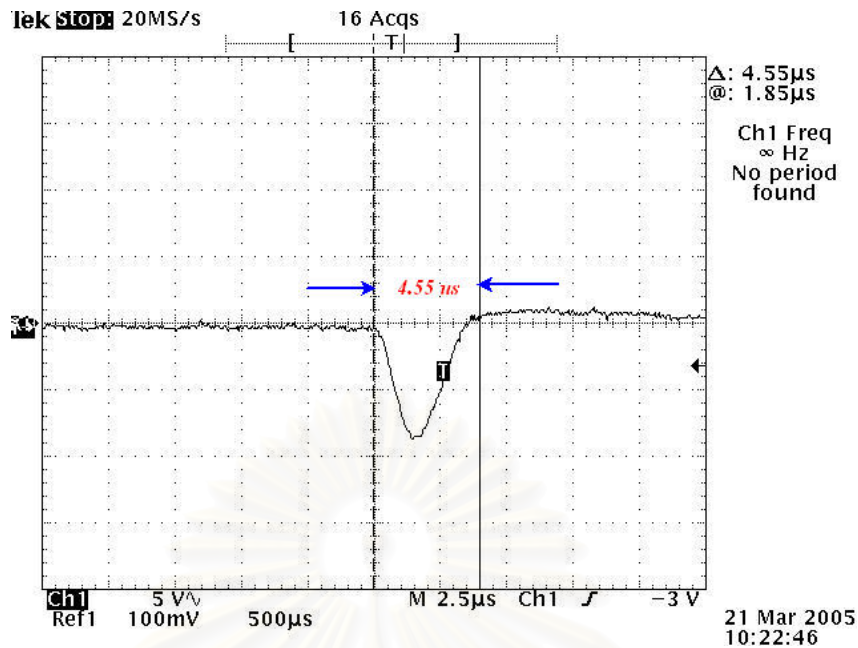
สัญญาณที่วัดจากโมดูลขยายสัญญาณพัลส์ (Spectroscopy Amplifier) ของ CANBERRA รุ่น 807 แสดงดังรูปที่ 4.5 และสัญญาณพัลส์ที่วัดได้จากระบบที่ออกแบบแสดงดังรูปที่ 4.6 และรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.5 สัญญาณพัลส์ที่ได้จากโมดูลขยายสัญญาณพัลส์ของ CANBERRA



รูปที่ 4.6 สัญญาณพัลส์ที่ได้จากวงจรขยายสัญญาณที่ออกแบบได้โดยเลือกโพลาไรตีบวก



รูปที่ 4.7 สัญญาณพัลส์ที่ได้จากวงจรขยายสัญญาณที่ออกแบบได้โดยเลือกโพลาริตีลบ

#### 4.1.3 การทดสอบระบบวิเคราะห์ความสูงพัลส์แบบช่องเดี่ยว

จากวงจรวิเคราะห์ความสูงพัลส์แบบช่องเดี่ยวที่ได้ออกแบบมาสามารถทดสอบสมรรถนะของระบบได้ดังนี้

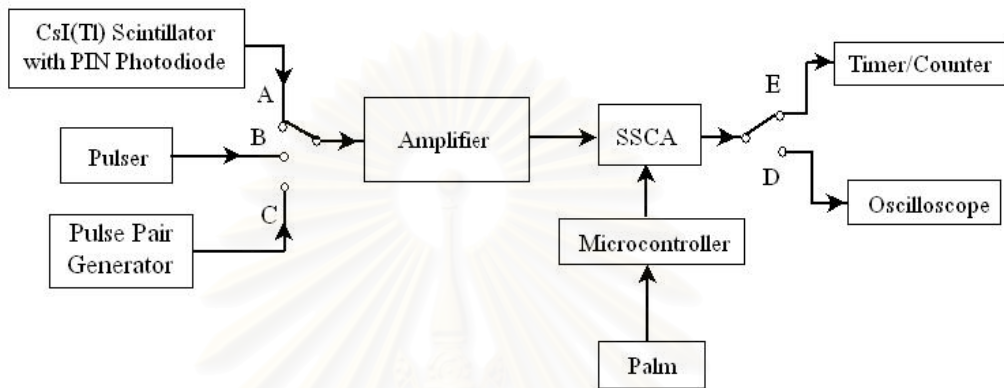
##### 4.1.3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

1. หัววัดรังสีชนิดผลึก CsI(Tl) ซินทิลเลเตอร์พิน โฟโตไดโอดของ Hamamatsu รุ่น S3590-08 และวงจรขยายสัญญาณส่วนหน้า
2. แหล่งกำเนิดสัญญาณพัลส์ (Pulser) ของ CANBERRA รุ่น 807
3. โมดูลขยายสัญญาณพัลส์ (Spectroscopy Amplifier) ของ CANBERRA รุ่น 807
4. ระบบวิเคราะห์ความสูงพัลส์แบบช่องเดี่ยว (SSCA) ที่พัฒนาขึ้น
5. ระบบควบคุมการทำงานผ่านไมโครคอนโทรลเลอร์และเครื่องคอมพิวเตอร์ขนาดพกพาชนิดปาล์ม รุ่น m505
6. โมดูลนับสัญญาณพัลส์และตั้งเวลา (Counter/Timer) ของ ORTEC รุ่น 776
7. โมดูลกำเนิดสัญญาณพัลส์คู่ (Pulse Pair Generator) ของ CANBERRA รุ่น 1407P
8. ออสซิลอ스코ปของ TEKTRONIX รุ่น TDS 360



#### 4.1.3.2 การทดสอบ

โดยรับสัญญาณพัลส์นิวเคลียร์จากแหล่งกำเนิดพัลส์ต่างชนิดกันเพื่อทดสอบสมรรถนะที่ระบบวิเคราะห์ความสูงพัลส์แบบช่องเดียวสามารถแปลงสัญญาณพัลส์นิวเคลียร์และสัญญาณเสมือนพัลส์นิวเคลียร์ให้เป็นสัญญาณลอจิกพัลส์ก่อนนำเข้าสู่วงจรเรทมิเตอร์ถัดไปสามารถจัดอุปกรณ์สำหรับการทดสอบได้ดังรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.8 แผนภาพการจัดอุปกรณ์ทดสอบระบบวิเคราะห์ความสูงพัลส์แบบช่องเดียว

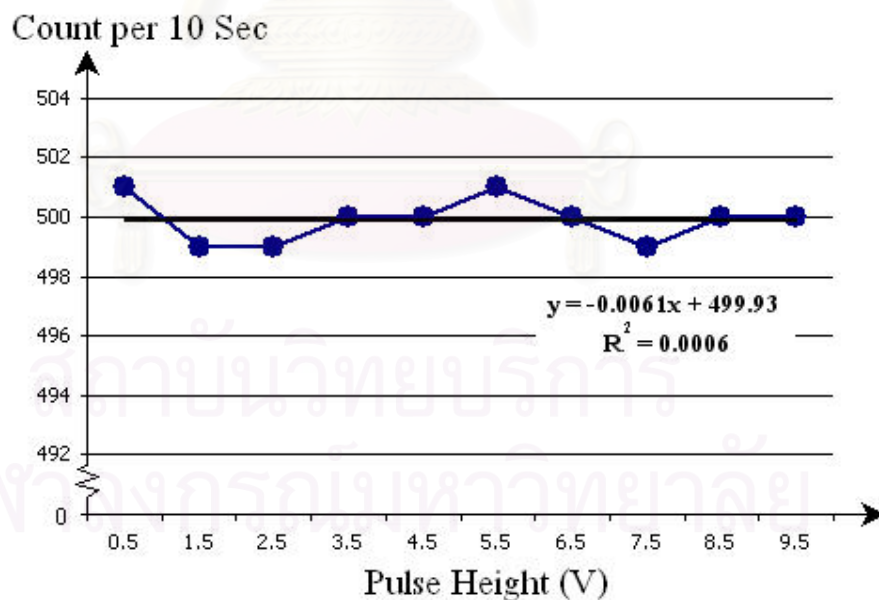
#### 4.1.3.3 ผลการทดสอบ

จากรูปที่ 4.8 เมื่อเปลี่ยนจุดทดสอบไว้ที่ตำแหน่ง B และ E ระบบจะรับสัญญาณจากแหล่งกำเนิดสัญญาณพัลส์นิวเคลียร์ความถี่ 50 cps และสามารถปรับค่าความสูงพัลส์ได้เมื่อนำสัญญาณพัลส์นิวเคลียร์มาขยายและปรับแต่งสัญญาณด้วยวงจรขยายสัญญาณและป้อนให้กับระบบวิเคราะห์ความสูงพัลส์ โดยกำหนดให้วินโดว์มีค่าเท่ากับ 1 โวลต์และปรับค่า LLD เพิ่มขึ้นครั้งละ 1 โวลต์ เมื่อมีการปรับค่าความสูงพัลส์ให้อยู่ในช่วงของวินโดว์จึงสามารถนับสัญญาณลอจิกพัลส์ที่ออกจาก SCA ได้ดังตารางที่ 4.2 และแสดงค่าเบี่ยงเบนของการสร้างสัญญาณลอจิกพัลส์ของ SCA เท่ากับ  $\pm 0.737$  แสดงความสัมพันธ์ ดังรูปที่ 4.9

ลิขสิทธิ์ของวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.2 แสดงผลการวัดจำนวนพัลส์ที่นับได้จากวงจรวิเคราะห์ความสูงพัลส์แบบช่องเดียว

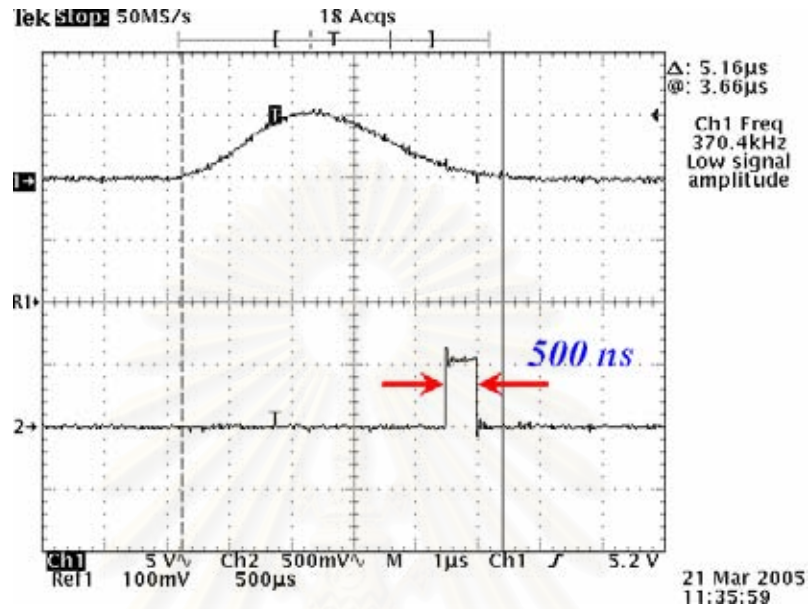
Pulse height (V)	LLD	Count per 10 Sec
0	0	0
0.5	0	501
1.5	1	499
2.5	2	499
3.5	3	500
4.5	4	500
5.5	5	501
6.5	6	500
7.5	7	499
8.5	8	500
9.5	9	500
X±SD		499.9±0.737



รูปที่ 4.9 แสดงค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานการกำเนิดสัญญาณลอจิกพัลส์ของ SCA

จากรูปที่ 4.8 เมื่อเปลี่ยนจุดทดสอบไว้ที่ตำแหน่ง A และ D จะรับสัญญาณพัลส์นิวเคลียร์จากหัววัดรังสีและวงจรขยายส่วนหน้าเมื่อนำสัญญาณที่ได้มาขยายและปรับแต่งรูปสัญญาณด้วย

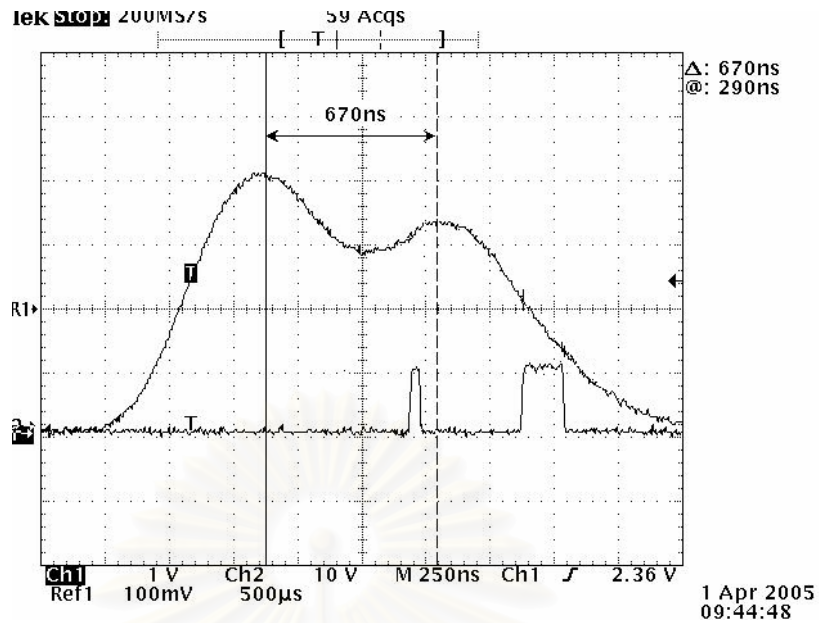
วงจรมีขนาด 0-10 โวลต์ และป้อนสัญญาณให้กับระบบวิเคราะห์ความสูงพัลส์แบบช่องเดียวจะสามารถวัดสัญญาณลอจิกพัลส์ขนาด 500 ns ที่ขอบล่างของสัญญาณพัลส์นิวเคลียร์ตัดกับ LLD ดังรูปที่ 4.10



รูปที่ 4.10 การเกิดสัญญาณลอจิกพัลส์ที่ขอบล่างของสัญญาณพัลส์

จากรูปที่ 4.8 เมื่อเปลี่ยนจุดทดสอบไว้ที่ตำแหน่ง C และ D จะรับสัญญาณพัลส์นิวเคลียร์จากแหล่งกำเนิดสัญญาณพัลส์คู่เพื่อทดสอบความสามารถในการนับอัตราพัลส์ที่เข้ามาใกล้กันมาก พิจารณาได้จากผลการวัดรีซอลวิงไทม์ (Resolving time) ทดสอบโดยการเปลี่ยนค่าความหน่วงเวลาของพัลส์จากมากที่สุดไปหาค่าต่ำสุดที่ยังเห็นสัญญาณลอจิกพัลส์ 2 พัลส์ปรากฏอยู่พบว่าความหน่วงของพัลส์ที่ใกล้สุดที่สามารถแยกได้เท่ากับ 670 ns แสดงดังรูปที่ 4.11

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.11 แสดงการเกิดสัญญาณลอจิกพัลส์เมื่อสัญญาณอินพุตเป็นพัลส์คู่ที่เกิดติดกัน

#### 4.1.4 การทดสอบวงจรเรตมิเตอร์

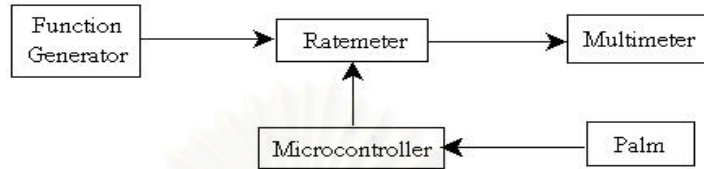
เมื่อออกแบบวงจรเรตมิเตอร์สำหรับแปลงอัตราการเกิดสัญญาณลอจิกพัลส์ให้เป็นแรงดันไฟฟ้าตั้งแต่ 0-5 V สามารถทดสอบสมรรถนะได้ดังนี้

##### 4.1.4.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

1. เครื่องกำเนิดรูปสัญญาณ (Function generator) ของ HEWLETT PACKARD รุ่น 8111A PULSE/FUNCTION GENERATOR 20 MHz
2. วงจรเรตมิเตอร์ที่พัฒนาขึ้น
3. เครื่องวัดปริมาณไฟฟ้า (Multimeter) ของ BRYMEN รุ่น BM201
4. ระบบควบคุมการทำงานผ่านไมโครคอนโทรลเลอร์และเครื่องคอมพิวเตอร์ขนาดพกพาชนิดปาล์ม รุ่น m505

#### 4.1.4.2 การทดสอบ

สามารถจัดอุปกรณ์สำหรับทดสอบสมรรถนะของวงจรเรตมิเตอร์ได้ดังรูปที่ 4.12 โดยปรับค่าของเครื่องกำเนิดสัญญาณให้มีความถี่ตั้งแต่ 0 Hz ถึง 100 kHz เพื่อหาค่าความไม่เชิงเส้นในการแปลงอัตราการนับสัญญาณเป็นแรงดันไฟฟ้าขนาด 0-5 V



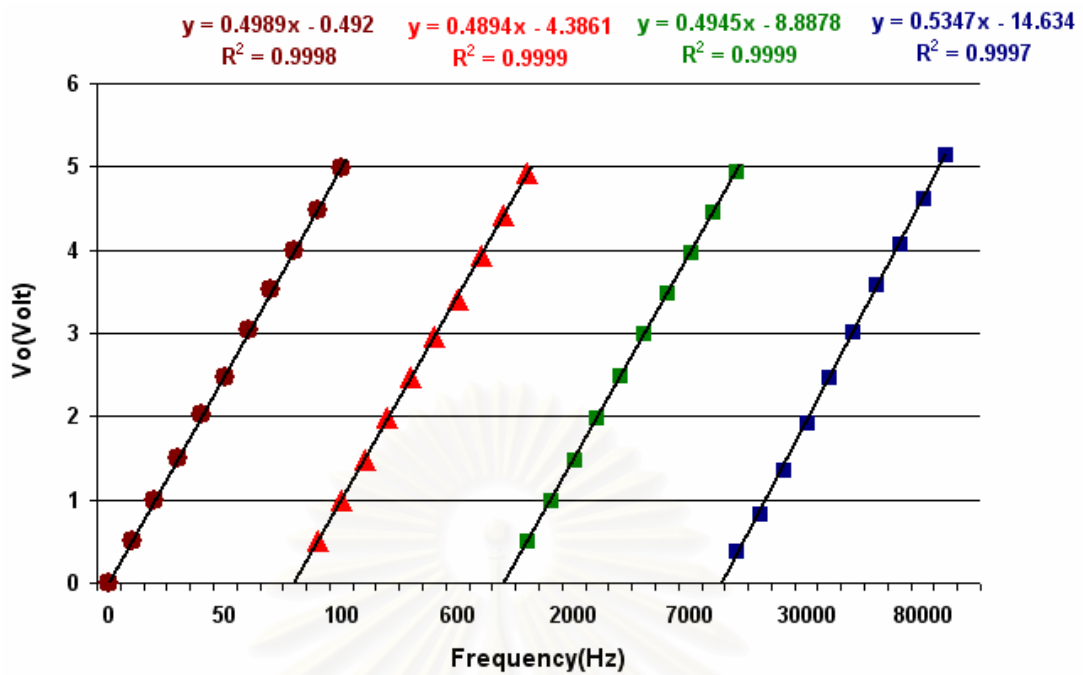
รูปที่ 4.12 แผนภาพการจัดอุปกรณ์ทดสอบวงจรเรตมิเตอร์

#### 4.1.4.3 ผลการทดสอบ

ทดสอบสมรรถนะของวงจรเรตมิเตอร์ที่ช่วงความถี่ต่างๆ สามารถวัดผลได้ดังตารางที่ 4.3 และสามารถเขียนความสัมพันธ์ของศักดาไฟฟ้าและความถี่ของสัญญาณลอจิกพัลส์ได้ดังรูปที่ 4.13 ซึ่งแบ่งออกเป็น 4 ช่วงการทำงาน คือ ช่วงความถี่ 0Hz ถึง 100 Hz มีความไม่เชิงเส้น 0.02% ช่วงความถี่ 100Hz ถึง 1 kHz มีความไม่เชิงเส้น 0.01% ช่วงความถี่ 1 kHz ถึง 10 kHz มีความไม่เชิงเส้น 0.01% และช่วงความถี่ 10 kHz ถึง 100 kHz มีความไม่เชิงเส้น 0.03%

ตารางที่ 4.3 แสดงผลการทดสอบความไม่เชิงเส้นของวงจรเรตมิเตอร์

Range x 1		Range x 10		Range x 100		Range x 1000	
F(in)Hz	V0(V)	F(in)Hz	V0(V)	F(in)kHz	V0(V)	F(in)kHz	V0(V)
10	0.500	100	0.510	1	0.505	10	0.394
20	1.002	200	0.996	2	1.003	20	0.841
30	1.490	300	1.488	3	1.480	30	1.368
40	2.020	400	1.984	4	1.996	40	1.926
50	2.480	500	2.470	5	2.490	50	2.480
60	3.050	600	2.960	6	2.990	60	3.020
70	3.520	700	3.400	7	3.490	70	3.580
80	3.990	800	3.940	8	3.980	80	4.080
90	4.480	900	4.420	9	4.460	90	4.620
100	4.980	1000	4.930	10	4.940	100	5.140



รูปที่ 4.13 แสดงความไม่เป็นเชิงเส้นของค่าศักดาไฟฟ้าเมื่อความถี่ของสัญญาณลอจิกพัลส์เพิ่มขึ้น

#### 4.1.5 การทดสอบวงจรแปลงผันสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอล

จากการออกแบบวงจรแปลงผันสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอลสามารถทดสอบสมรรถนะของระบบดังนี้

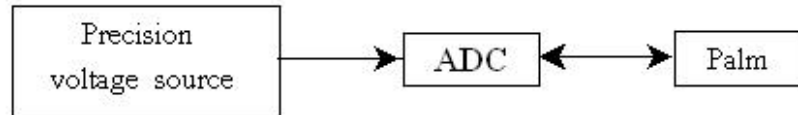
##### 4.1.5.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

1. แหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าของ HEWLETT PACKARD รุ่น 6236B Triple Output Power Supply ซึ่งสามารถปรับค่าได้
2. วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ที่พัฒนาให้ทำงานเป็นวงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอล
3. เครื่องคอมพิวเตอร์ขนาดพกพาชนิดปาล์ม รุ่น m505

##### 4.1.5.2 การทดสอบ

สามารถจัดอุปกรณ์สำหรับการทดสอบความไม่เป็นเชิงเส้นของวงจรได้ดังรูปที่ 4.14 อ่านค่าดิจิตอลขนาด 10 บิตที่เกิดจากการแปลงแรงดันไฟฟ้าขนาด 0-5V





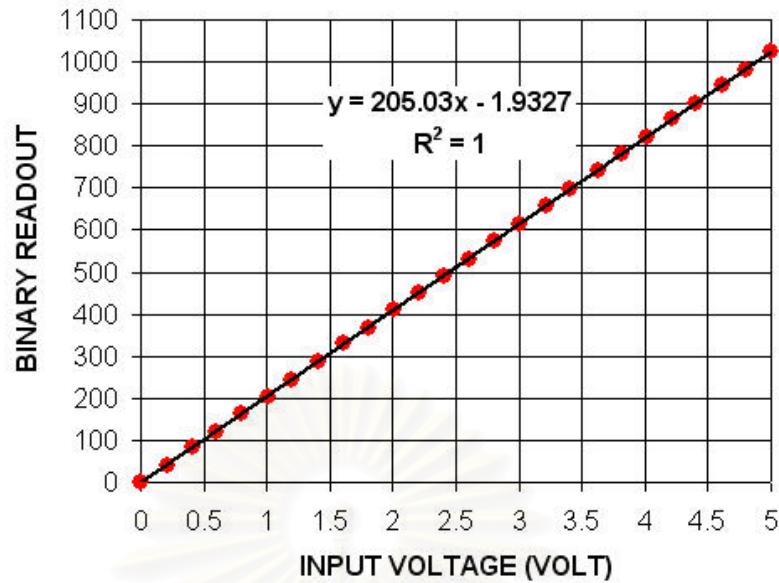
รูปที่ 4.14 แผนภาพการจับอุปกรณ์ทดสอบวงจรแปลงผันสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิทัล

#### 4.1.5.3 ผลการทดสอบ

จากการทดสอบโดยการจ่ายค่าศักดาไฟฟ้าคงที่ 0-5V ให้กับวงจรแปลงผันสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิทัลเพื่อแปลงเป็นสัญญาณดิจิทัลขนาด 10 บิตจะได้ค่าดังตารางที่ 4.4 และแสดงความสัมพันธ์ได้ดังรูปที่ 4.15 ซึ่งมีค่า DNL และ INL เป็น  $\pm 1$

ตารางที่ 4.4 การทดสอบความไม่เป็นเชิงเส้นของวงจรแปลงผันสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิทัล

ศักดาไฟฟ้า(V)	ค่าที่แปลงได้	ศักดาไฟฟ้า(V)	ค่าที่แปลงได้
0	0	2.610	532
0.211	41	2.810	572
0.407	82	3.010	614
0.604	120	3.220	659
0.801	162	3.400	697
1.009	204	3.630	743
1.201	244	3.810	780
1.403	286	4.020	823
1.609	330	4.220	863
1.804	367	4.400	901
2.011	411	4.610	943
2.207	451	4.800	981
2.410	492	5.000	1023



รูปที่ 4.15 แสดงความไม่เป็นเชิงเส้นของการแปลงศักดาไฟฟ้าเป็นสัญญาณดิจิทัล 10 บิต

#### 4.1.6 การทดสอบระบบวิเคราะห์สเปกตรัมพลังงานรังสีแกมมา

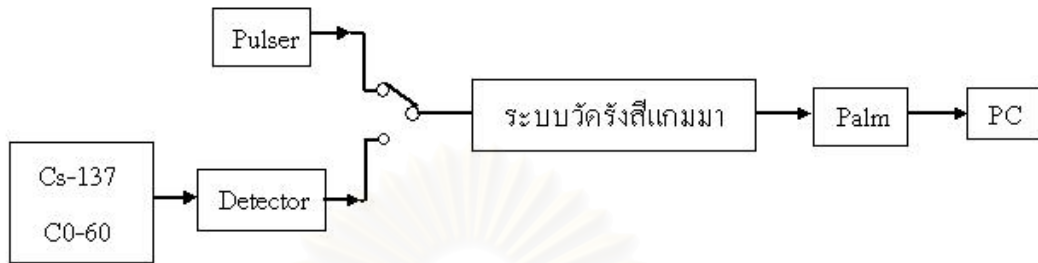
หลังจากออกแบบอุปกรณ์ส่วนย่อยสำหรับวัดรังสีแกมมาตามข้อที่ 4.1.1 ถึงข้อที่ 4.1.5 แล้วสามารถสร้างเครื่องมือสำหรับวัดรังสีแกมมาซึ่งประกอบไปด้วยวงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าศักดาต่ำ วงจรขยายสัญญาณพัลส์ ระบบวิเคราะห์ความสูงพัลส์แบบช่องเดี่ยว วงจรเรตมิเตอร์และวงจรแปลงผันสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิทัลซึ่งสามารถทดสอบสมรรถนะในการทำงานของระบบวัดรังสีแกมมาโดยรวมได้ดังนี้

##### 4.1.6.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

1. ระบบวัดรังสีแกมมาที่พัฒนาขึ้น
2. แหล่งกำเนิดสัญญาณพัลส์ (Pulser) ของ CANBERRA รุ่น 807
3. หัววัดรังสีชนิดผลึกซินทิลเลเตอร์ฟีนโทไดโอดของ Hamamatsu รุ่น S3590-08 และวงจรขยายสัญญาณส่วนหน้า
4. เครื่องคอมพิวเตอร์ขนาดพกพาชนิดปาล์ม รุ่น m505 และเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล
5. สารกัมมันตรังสี Co-60 และ Cs-137

#### 4.1.6.2 การทดสอบ

จัดอุปกรณ์สำหรับทดสอบสมรรถนะของระบบวัดรังสีแกมมาดังรูปที่ 4.16 ซึ่งทดสอบด้วยแหล่งกำเนิดสัญญาณพัลส์และการวัดรังสีแกมมาของ Cs-137 และ Co-60



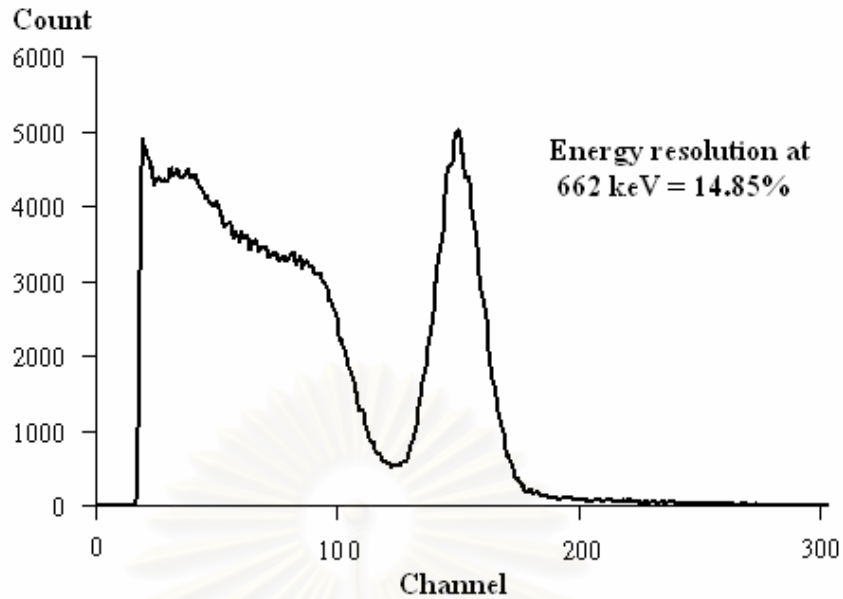
รูปที่ 4.16 แผนภาพการจัดอุปกรณ์ทดสอบระบบวิเคราะห์สเปกตรัมพลังงานรังสีแกมมา

#### 4.1.6.3 ผลการทดสอบ

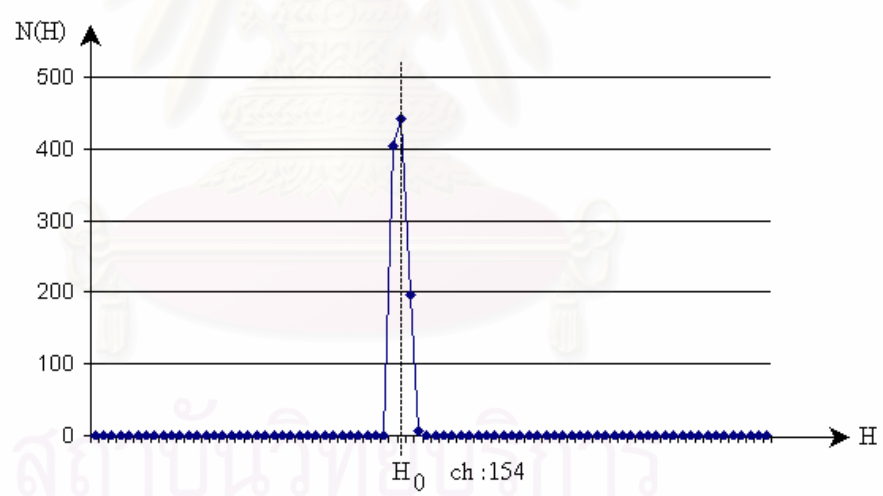
หัววัดรังสีชนิดหัววัดรังสีชนิดผลึกซินทิลเลเตอร์ฟิโนไฟโตไดโอดของ Hamamatsu รุ่น S3590-08 และวงจรถ่ายสัญญาณส่วนหน้าด้วยวงจรถ่ายสัญญาณของ CANBERRA รุ่น 2022 โดยตั้งค่า Shaping time = 1 และ MCA ของ Tracor แสดงสเปกตรัมพลังงานของ Cs-137 ดังรูปที่ 4.17 และมีค่าความสามารถในการแจกแจงพลังงานเท่ากับ 14.85% [13]

ทำการทดสอบเพื่อหาความสามารถในการแจกแจงพลังงานของระบบโดยป้อนสัญญาณพัลส์พลังงานเดียวให้กับระบบสามารถสร้างสเปกตรัมพลังงานสำหรับพัลส์พลังงานเดียวโดยปรับตั้งค่าสำหรับ SCA ได้แก่ LLD = 0.01V , Stop LLD = 9.99V , วินโดว์ = 0.04V , เวลาสำหรับการวัดแต่ละวินโดว์ = 1 วินาที และช่วงการทำงานของเรตมิเตอร์ = 1 การทดสอบสามารถทำได้โดยการปรับค่าให้ความสูงพัลส์ขยายได้ 5V และควบคุมให้ระบบวิเคราะห์ความสูงพัลส์แบบช่องเดียวทำงานในโหมดสวิตช์และแสดงสเปกตรัมพลังงานบนเครื่องคอมพิวเตอร์ขนาดพกพาได้ดังรูปที่ 4.18 หาค่าความสามารถในการแจกแจงพลังงานเท่ากับ 5.4%

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.17 สเปกตรัมพลังงานของ Cs-137 ที่วัดโดยใช้หัววัดรังสีชนิดผลึกซินทิลเลเตอร์ ฟินโฟโตไดโอดของ Hamamatsu รุ่น S3590-08 [13]

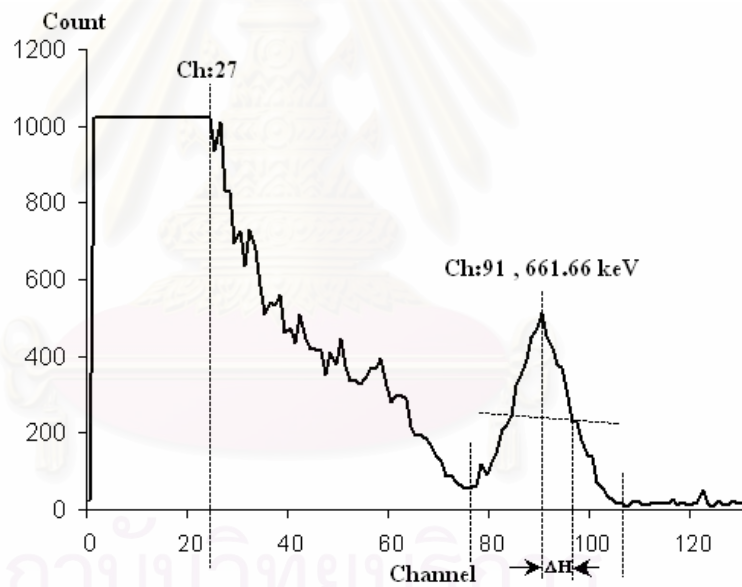


รูปที่ 4.18 แสดงสเปกตรัมสำหรับสัญญาณพัลส์ค่าความสูงเดียว

เมื่อทดสอบโดยการวัดรังสีแกมมาของ Cs-137 โดยปรับให้มีอัตราขยายสัญญาณพัลส์ 500 เท่า โดยใช้ LLD = 0.01V , Stop LLD = 9.99V , วินโดว์ = 0.04V เวลาสำหรับการวัดแต่ละวินโดว์ = 1 วินาที และช่วงการทำงานของเรตมิเตอร์ = 1 โดยควบคุมให้ระบบวิเคราะห์ความสูงพัลส์แบบช่องเดียวทำงานในโหมดสวิตช์และแสดงสเปกตรัมพลังงานได้พีคที่พลังงาน 661.66 keV ที่ Channel = 91 ได้ดังรูปที่ 4.19 และหาค่าความสามารถในการแจกแจงพลังงานเท่ากับ 14.28 % แสดงดังรูปที่ 4.20



รูปที่ 4.19 แสดงสเปกตรัมพลังงานรังสีแกมมาของ Cs-137

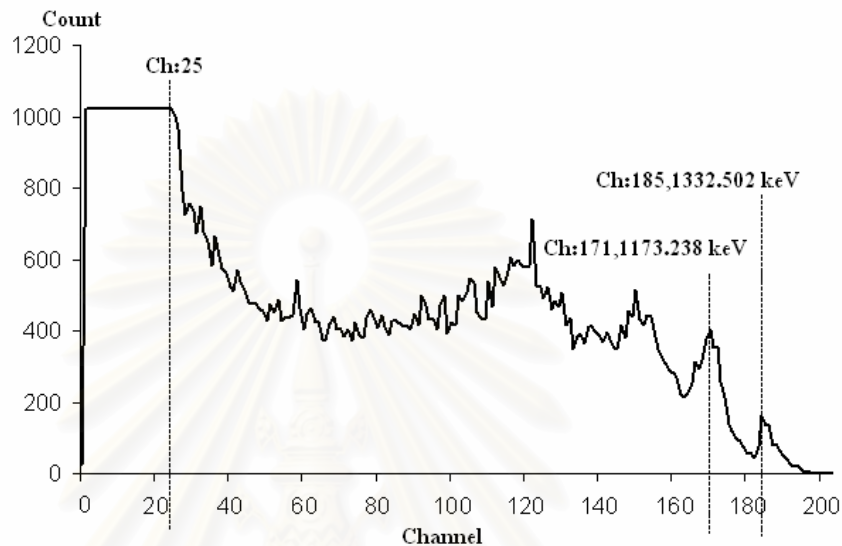


รูปที่ 4.20 การคำนวณค่าการแจกแจงพลังงานสำหรับสเปกตรัมของ Cs-137

เมื่อทดสอบโดยการวัดรังสีแกมมาของ Co-60 โดยปรับให้มีอัตราขยายสัญญาณพัลส์ 500 เท่า โดยใช้ LLD = 0.01V Stop LLD = 9.99V วินโดว์ = 0.04V เวลาสำหรับการวัดแต่ละวินโดว์ = 1 วินาที และช่วงการทำงานของเรตมิเตอร์ = 1 และควบคุมให้ระบบวิเคราะห์ความสูงพัลส์แบบช่องเดียวทำงานในโหมดสวิตช์และแสดงสเปกตรัมพลังงาน โดยมี 2 พิกัดรูปที่ 4.21 ซึ่งทำ

ให้สามารถเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานทั้งสองสเปกตรัมกับ Channel เพื่อระดับของสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้น

จากรูปที่ 4.21 เมื่อพีคพลังงาน 1173.238 keV เกิดที่ Channel = 171 และพีคพลังงาน 1332.502 keV ที่ Channel = 185 สามารถหาค่าระดับสัญญาณรบกวนได้เท่ากับ 165.71 keV



รูปที่ 4.21 แสดงสเปกตรัมพลังงานรังสีแกมมาของ Co-60

## 4.2 การทดสอบระบบจีพีเอส

หลังจากออกแบบระบบรับข้อมูลและประมวลผลของข้อมูลที่รับจากโมดูลจีพีเอสรุ่น GM-83 ยี่ห้อ HOLUX ซึ่งให้ข้อมูลเป็นโปรโตคอล NMEA-0183 ผ่านทางพอร์ตอนุกรมที่บอดเรต 4800 บิตต่อวินาที จึงได้มีการทดสอบสมรรถนะการทำงานของระบบต่าง ๆ เพื่อประเมินประสิทธิภาพในการทำงานและหาข้อบกพร่องของระบบในส่วนต่าง ๆ ซึ่งมีผลการทดสอบ ดังนี้

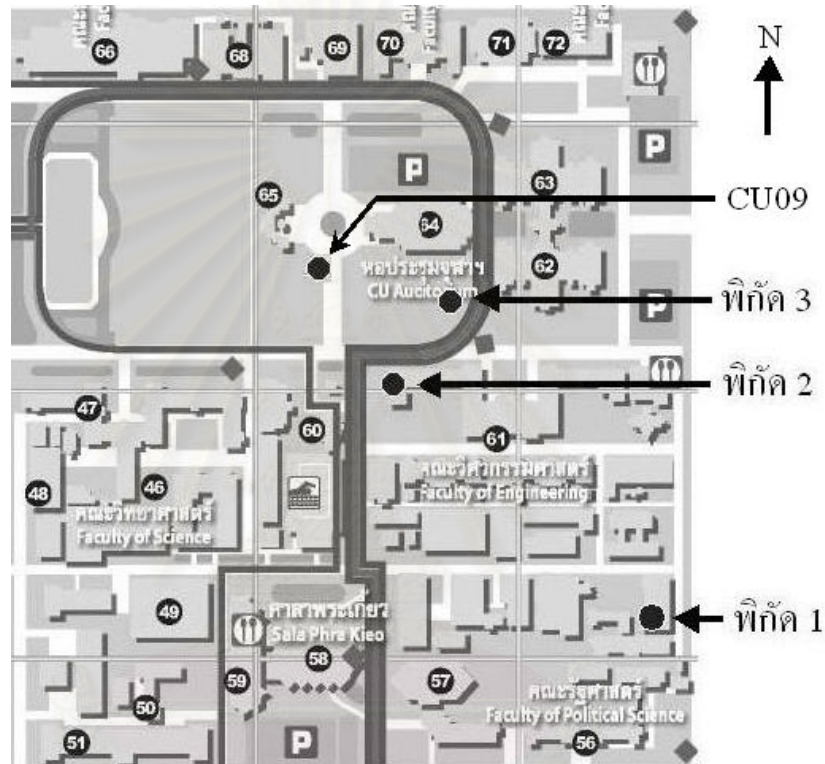
### 4.2.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

1. เครื่องรับพิกัดจีพีเอสของ GARMIN รุ่น GPS 12XL แบบรับสัญญาณได้พร้อมกัน 12 ช่องสัญญาณ
2. ระบบไมโครคอนโทรลเลอร์ที่เชื่อมโยงด้วยโมดูลจีพีเอส
3. เครื่องคอมพิวเตอร์ขนาดพกพาชนิดปาล์ม รุ่น m505



#### 4.2.2 การทดสอบ

1. ทดสอบค่าตำแหน่งพิกัดที่รับได้ของเครื่องรับพิกัดจีพีเอสของ GARMIN รุ่น GPS 12XL และ โมดูลจีพีเอส GM-83 กับตำแหน่งพิกัดที่ทราบค่าคือพิกัด CU09 ดังรูปที่ 4.22 ซึ่งเป็นหมุดฐานการแผนที่ ของกรมแผนที่ทหาร
2. ทดสอบวัดพิกัดบริเวณที่โล่งและบริเวณที่มีตึกสูงบัง คือ พิกัด 1 พิกัด 2 พิกัด 3 ดังรูปที่ 4.22



รูปที่ 4.22 ตำแหน่งทดสอบที่วัดค่าพิกัดจีพีเอส

#### 4.2.3 ผลการทดสอบ

การทดสอบได้ทดลองวัดพิกัดภายในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยโดยใช้เครื่องวัดพิกัดจีพีเอสของ GARMIN รุ่น GPS 12XL วัดพิกัด โดยใช้ระบบ MAP DATUM แบบ WGS-84 เพื่อจะใช้เปรียบเทียบกับข้อมูลที่ได้รับด้วยโมดูลที่ใช้พัฒนาเป็นเครื่องมือของ HOLUX รุ่น GM-83 ซึ่งใช้ระบบ MAP DATUM แบบ WGS-84 เช่นกัน ข้อมูลที่ได้รับได้เป็นพิกัดค่าละติจูดและลองจิจูดจึงแปลงเป็นค่าพิกัดแบบ UTM

4.2.3.1 ทดสอบความคลาดเคลื่อนของเครื่องรับพิกัดจากพิกัดที่ทราบค่า

ค่า พิกัด CU09 ซึ่งเป็นหมุดฐานการแผนที่ของกรมแผนที่ทหารเป็นค่าพิกัด UTM คือ 665580.8553 mE , 1519282.1562 mN และค่าละติจูดลองติจูดเป็น  $13^{\circ}44'16.9900''N$  ,  $100^{\circ}31'53.0588''$  ตามลำดับ โดยวัดด้วยเครื่องรับพิกัดจีพีเอสแบบ 2 ความถี่ ค่าความถูกต้องในระดับเซนติเมตร

ทำการวัดค่าพิกัดด้วยเครื่องรับพิกัดจีพีเอสเมื่อวันที่ 23 มีนาคม พ.ศ.2548 เวลา 16 นาฬิกา 12 นาที 47 วินาที แสดงค่าพิกัดดังตารางที่ 4.5 และตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.5 พิกัดที่รับด้วยเครื่องรับพิกัดจีพีเอสของ GARMIN รุ่น GPS 12XL

ครั้งที่	Latitude/Longitude		UTM		
	ละติจูด	ลองติจูด	โซน	พิกัดตะวันออก	พิกัดเหนือ
1.	$13^{\circ} 44.285' N$	$100^{\circ} 31.885' E$	47P	665582.071 mE	1519285.544 mN
2.	$13^{\circ} 44.283' N$	$100^{\circ} 31.886' E$	47P	665583.897 mE	1519281.868 mN
3.	$13^{\circ} 44.284' N$	$100^{\circ} 31.885' E$	47P	665582.083 mE	1519283.700 mN
4.	$13^{\circ} 44.284' N$	$100^{\circ} 31.885' E$	47P	665582.083 mE	1519283.700 mN
5.	$13^{\circ} 44.283' N$	$100^{\circ} 31.885' E$	47P	665582.094 mE	1519281.856 mN
6.	$13^{\circ} 44.283' N$	$100^{\circ} 31.887' E$	47P	665585.699 mE	1519281.879 mN
X±SD				665582.987±1.51	1519283.091±1.49
พิกัดจริง				665580.8553 mE	1519282.1562mN
ความคลาดเคลื่อน				+2.124 mE	+0.933 mN

ตารางที่ 4.6 พิกัดที่รับด้วยโมดูลรับพิกัดจีพีเอสของ HOLUX รุ่น GM-83 และระบบที่พัฒนาขึ้น

ครั้งที่	Latitude/Longitude		UTM		
	ละติจูด	ลองจิจูด	โซน	พิกัดตะวันออก	พิกัดเหนือ
1.	13° 44.2825' N	100° 31.8837' E	47P	665579.757 mE	1519280.919 mN
2.	13° 44.2833' N	100° 31.8842' E	47P	665580.649 mE	1519282.400 mN
3.	13° 44.2822' N	100° 31.8850' E	47P	665582.104 mE	1519280.381 mN
4.	13° 44.2818' N	100° 31.8850' E	47P	665582.108 mE	1519279.644 mN
5.	13° 44.2817' N	100° 31.8864' E	47P	665584.633 mE	1519279.475 mN
6.	13° 44.2821' N	100° 31.8872' E	47P	665586.070 mE	1519280.222 mN
X±SD				665582.553±2.38	1519280.507±1.06
พิกัดจริง				665580.8553 mE	1519282.1562mN
ความคลาดเคลื่อน				+1.69 mE	-1.63 mN

#### 4.2.3.2 ทดสอบค่าพิกัดที่ตำแหน่งต่างๆ ภายในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

##### ก. การวัดพิกัดจีพีเอสที่ภาควิชาวิศวกรรมเทคโนโลยี

วันที่ 22 มีนาคม พ.ศ.2548 เวลา 14 นาฬิกา 6 นาที 49 วินาที สามารถรับสัญญาณจากดาวเทียมได้ 5-6 ดวง แสดงค่าพิกัดดังตารางที่ 4.7 และตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.7 พิกัดที่รับด้วยเครื่องรับพิกัดจีพีเอสของ GARMIN รุ่น GPS 12XL

ครั้งที่	Latitude/Longitude		UTM		
	ละติจูด	ลองจิจูด	โซน	พิกัดตะวันออก	พิกัดเหนือ
1.	13° 44.107' N	100° 32.026' E	47P	665838.302 mE	1518958.962 mN
2.	13° 44.112' N	100° 32.033' E	47P	665850.861 mE	1518968.261 mN
3.	13° 44.110' N	100° 32.030' E	47P	665845.477 mE	1518964.539 mN
X±SD				665844.880±6.30	1518963.921±4.68

ตารางที่ 4.8 พิกัดที่รับด้วยโมดูลรับพิกัดจีพีเอสของ HOLUX รุ่น GM-83 และระบบที่พัฒนาขึ้น

ครั้งที่	Latitude/Longitude		UTM		
	ละติจูด	ลองจิจูด	โซน	พิกัดตะวันออก	พิกัดเหนือ
1.	13° 44.1118' N	100° 32.0258' E	47P	665837.885 mE	1518967.810 mN
2.	13° 44.1159' N	100° 32.0298' E	47P	665845.047 mE	1518975.415 mN
3.	13° 44.1161' N	100° 32.0299' E	47P	665845.225 mE	1518975.785 mN
X±SD				665842.719±4.18	1518973.003±4.50

ข. ตึก 3 คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วันที่ 22 มีนาคม พ.ศ. 2548 เวลา 15 นาฬิกา 13 นาที 16 วินาทีซึ่งเป็นบริเวณที่มีตึกสูงมีต้นไม้ขนาดใหญ่ ซึ่งสามารถรับดาวเทียมได้ 3-4 ดวงแสดงค่าพิกัดดังตารางที่ 4.9 และตารางที่ 4.10

ตารางที่ 4.9 พิกัดที่รับด้วยเครื่องรับพิกัดจีพีเอสของ GARMIN รุ่น GPS 12XL

ครั้งที่	Latitude/Longitude		UTM		
	ละติจูด	ลองจิจูด	โซน	พิกัดตะวันออก	พิกัดเหนือ
1.	13° 44.237' N	100° 31.931' E	47P	665665.545 mE	1519197.568 mN
2.	13° 44.247' N	100° 31.935' E	47P	665672.638 mE	1519216.052 mN
3.	13° 44.255' N	100° 31.932' E	47P	665667.137 mE	1519230.768 mN
X±SD				665668.440±3.72	1519214.796±16.63

ตารางที่ 4.10 พิกัดที่รับด้วยโมดูลรับพิกัดจีพีเอสของ HOLUX รุ่น GM 83 และระบบที่พัฒนาขึ้น

ครั้งที่	Latitude/Longitude		UTM		
	ละติจูด	ลองจิจูด	โซน	พิกัดตะวันออก	พิกัดเหนือ
1.	13° 44.2488' N	100° 31.9351' E	47P	665672.797 mE	1519219.372 mN
2.	13° 44.2230' N	100° 31.9339' E	47P	665670.937 mE	1519171.788 mN
3.	13° 44.2397' N	100° 31.9265' E	47P	665657.403 mE	1519202.495 mN
X±SD				665667.045±8.40	1519197.885±24.12

ค. บริเวณหอประชุมจุฬา

วันที่ 22 มีนาคม พ.ศ. 2548 เวลา 14 นาฬิกา 38 นาที 09 วินาที ซึ่งเป็นสนามหน้าสามารถรับสัญญาณจากดาวเทียมได้ 7-8 ดวง แสดงค่าพิกัดตั้งตารางที่ 4.11 และตารางที่ 4.12

ตารางที่ 4.11 พิกัดที่รับด้วยเครื่องรับพิกัดจีพีเอสของ GARMIN รุ่น GPS 12XL

ครั้งที่	Latitude/Longitude		UTM		
	ละติจูด	ลองจิจูด	โซน	พิกัดตะวันออก	พิกัดเหนือ
1.	13° 44.258' N	100° 31.970' E	47P	665735.595 mE	1519236.734 mN
2.	13° 44.262' N	100° 31.972' E	47P	665739.153 mE	1519244.133 mN
3.	13° 44.261' N	100° 31.971' E	47P	665737.362 mE	1519242.277 mN
X±SD				665737.370±1.77	1519241.048±3.84

ตารางที่ 4.12 พิกัดที่รับด้วยโมดูลรับพิกัดจีพีเอสของ HOLUX รุ่น GM-83 และระบบที่พัฒนาขึ้น

ครั้งที่	Latitude/Longitude		UTM		
	ละติจูด	ลองจิจูด	โซน	พิกัดตะวันออก	พิกัดเหนือ
1.	13° 44.2556' N	100° 31.9702' E	47P	665735.983 mE	1519232.312 mN
2.	13° 44.2590' N	100° 31.9772' E	47P	665748.561 mE	1519238.661 mN
3.	13° 44.2601' N	100° 31.9775' E	47P	665749.089 mE	1519240.692 mN
X±SD				665744.544±7.41	1519237.222±4.37

จากตารางที่ 4.5 และตารางที่ 4.6 แสดงให้เห็นความเคลื่อนของเครื่องรับพิกัดจีพีเอส GARMIN รุ่น GPS 12XL จะมีความคลาดเคลื่อนเมื่อเทียบกับพิกัดที่ทราบค่าเป็น +2.124 mE และ -0.933 mN และความเคลื่อนของเครื่องรับพิกัดจีพีเอส HOLUX รุ่น GM-83 กับระบบที่พัฒนาขึ้นจะมีความคลาดเคลื่อนเมื่อเทียบกับพิกัดที่ทราบค่าเป็น +1.69 mE และ -1.63 mN

จากตารางที่ 4.7 ถึงตารางที่ 4.12 เมื่อกำหนดให้พิกัด 1 (ภาควิทยานิวเคลียร์เทคโนโลยี) เป็นจุดอ้างอิงสามารถหาระยะทางจากพิกัดที่วัดได้โดยแปลงเป็นพิกัดระบบ UTM (ภาคผนวก ก) ได้ ระยะจากพิกัด 1 มายังพิกัด 2 ได้ 285.378 เมตร ภาคของทิศ 322°0'10.224" ระยะจากพิกัด 1 มายังพิกัด 3 ได้ 281.8737 เมตรภาคของทิศ 339°36'56.664" และ ระยะจากพิกัด 1 มายังพิกัด CU09 ได้ 402.81045 เมตร ภาคของทิศ 319°46'5.232" ซึ่งความคลาดเคลื่อนของระยะทางอาจเกิดจากการที่มีตึกสูงกีดขวางทำให้ความสามารถในการรับสัญญาณได้ต่ำ รวมไปถึงความสามารถในการแจกแจง

พิกัดตำแหน่งที่อยู่ใกล้กัน ของเครื่องรับพิกัดจีพีเอสของ HOLUX รุ่น GM-83 อยู่ในระดับ 5-25  
เมตร



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการวิจัย

สรุปผลการทดสอบระบบวัดรังสีแกมมาชนิดเคลื่อนย้ายได้ที่เชื่อมโยงด้วยจีพีเอสที่พัฒนาขึ้น

##### 5.1.1 ผลการทดสอบระบบวัดรังสีแกมมา

ก. วงจรขยายสัญญาณพัลส์ที่พัฒนาให้เหมาะสมกับหัววัดรังสีชนิดผลึก CsI(Tl) คัปปลิ่งกับฟิโนโตไดโอดซึ่งให้สัญญาณพัลส์ขนาด 10-20 mV มีค่าเวลาการสลายตัว (Decay time) ยาว 40-400  $\mu$ s โดยวงจรขยายสัญญาณพัลส์ทำหน้าที่ขยายสัญญาณและกรองสัญญาณเพื่อให้มีค่า S/N สูง มีอัตราขยาย 500 - 1000 เท่า ขยายสัญญาณให้มีค่าคงที่เวลา (Shaping time constant) เท่ากับ 1 ทำให้สามารถสร้างพัลส์แบบ Semi gaussian โดยมีค่าไรส์ไทม์ 2  $\mu$ s และ ความกว้างพัลส์ขนาด 5  $\mu$ s ขยายสัญญาณให้มีความสูงพัลส์ขนาด 0-10 V

ข. วงจรวิเคราะห์ความสูงพัลส์แบบช่องเดียวทำงานได้ 4 โหมครการทำงาน สร้างสัญญาณลอจิกพัลส์ขนาด 500 ns มีความเบี่ยงเบนในการสร้างสัญญาณลอจิกพัลส์เท่ากับ  $\pm 0.737$  ผลการวัดรีซอลวิงไทม์ (Resolving time) พบว่าความหน่วงของพัลส์ที่ใกล้สุดที่สามารถแยกได้เท่ากับ 670 ns

ค. วงจรเรตมิเตอร์ที่พัฒนาขึ้นสามารถนับสัญญาณพัลส์ตั้งแต่ 0 cps - 100 kcps ซึ่งทำงานใน 4 ช่วงการทำงานโดยแปลงเป็นแรงดันไฟฟ้า 0-5V ความไม่เป็นเชิงเส้นในการนับสัญญาณช่วง 10 cps - 100 cps เป็น 0.02% ความไม่เป็นเชิงเส้นในการนับสัญญาณช่วง 100 cps - 1 kcps เป็น 0.01% ความไม่เป็นเชิงเส้นในการนับสัญญาณช่วง 1 kcps - 10 kcps เป็น 0.01% ความไม่เป็นเชิงเส้นในการนับสัญญาณช่วง 10 kcps - 100 kcps เป็น 0.03%

ง. วงจรจ่ายไฟฟ้าศักดาที่พัฒนาขึ้นสามารถจ่ายแรงดันไฟฟ้าขนาด +5V /-5V , +12V/-12V และ -24V โดยมีอัตราการใช้กำลังสูงสุดของแต่ละแหล่งจ่ายไฟฟ้าศักดาต่ำรวมเป็น 2.632 W

จ. ระบบแปลงผันสัญญาณจากอนาล็อกเป็นดิจิตอลที่พัฒนาขึ้นสามารถแปลงศักดาไฟฟ้าจาก 0-5V เป็นสัญญาณดิจิตอลขนาด 10 บิต โดยมีค่า Differential nonlinearity (DNL) และค่า Integral nonlinearity (INL) เท่ากับ  $\pm 1$ LSB

จ. ความสามารถในการแจกแจงพลังงานด้วยระบบที่พัฒนาขึ้นร่วมกับหัววัดรังสีชนิดผลึก CsI(Tl) คัปปลิ่งกับฟินโฟโตไดโอดมีค่าเท่ากับ 14.28% ที่พลังงาน 611.66 keV

### 5.1.2 เครื่องรับสัญญาณจีพีเอส

ก. การทดสอบเพื่อหาความคลาดเคลื่อนของตำแหน่งโดยวัดพิกัด CU09 ซึ่งเป็นมาตรฐานการแผนที่ ของกรมแผนที่ทหารที่รู้ค่าพิกัดตำแหน่ง ระบบรับพิกัดจีพีเอสที่พัฒนาขึ้นสามารถระบุพิกัดโดยหาค่าความคลาดเคลื่อนพิกัดตะวันออกเป็น +1.69 เมตรตะวันออก พิกัดเหนือเป็น -1.63 เมตรเหนือ

ข. การทดสอบความสามารถในการรับสัญญาณในบริเวณที่มีตึกสูงซึ่งมีผลทำให้ความสามารถในการรับสัญญาณจากดาวเทียมจีพีเอสมีต่ำกว่าบริเวณที่โล่งซึ่งค่าพิกัดที่วัดได้มีความคลาดเคลื่อนสูงโดยมีค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานสูงสุดเท่ากับ 24.12 ที่พิกัด 2

## 5.2 คุณลักษณะของเครื่องมือ

ระบบวัดรังสีแกมมาชนิดเคลื่อนย้ายได้ที่เชื่อมโยงด้วยจีพีเอสสามารถวัดรังสีแกมมาด้วยระบบวิเคราะห์ความสูงพัลส์แบบช่องเดี่ยว 256 ช่องพลังงาน ซึ่งทำงานได้ 4 โหมดการทำงานโดยควบคุมการทำงานของระบบผ่านทางจอ LCD ของเครื่องคอมพิวเตอร์ขนาดพกพา สามารถเคลื่อนย้ายไปยังตำแหน่งที่ต้องการวัดรังสีและต้องการวัดพิกัดจีพีเอสได้

## 5.3 ปัญหาและอุปสรรค

5.3.1 เนื่องจากในงานวิจัยนี้ต้องการพัฒนาเครื่องมือให้มีขนาดเล็กสามารถเคลื่อนย้ายได้สะดวกจึงจำเป็นต้องสร้างแหล่งจ่ายไฟฟ้าศักดาต่ำแบบสวิดจิงมาใช้งานแทนแหล่งจ่ายไฟฟ้าศักดาต่ำแบบลิเธียม เป็นเหตุให้มีสัญญาณรบกวนที่หัววัดรังสีและวงจรรขยายสัญญาณพัลส์ทำให้ประสิทธิภาพในการวัดรังสีแกมมาลดลง

5.3.2 ระบบจีพีเอสที่ใช้ในงานวิจัยเป็นแบบรับคลื่นพาห้ความถี่เดียวทำให้ค่าพิกัดตำแหน่งมีความคลาดเคลื่อนสูง โดยเฉพาะบริเวณที่มีสิ่งก่อสร้างกีดขวางการเดินทางของสัญญาณจากดาวเทียมจีพีเอสมายังเครื่องรับพิกัดจีพีเอส

5.3.3 ในการพัฒนาโปรแกรมยังไม่สามารถพัฒนาได้อย่างเต็มรูปแบบเพื่อให้ทันสมัยและก้าวทันเทคโนโลยีของระบบปฏิบัติการของเครื่องปาล์มสมัยใหม่ได้

## 5.4 ข้อเสนอแนะ

5.4.1 หัววัดรังสีที่ใช้สำหรับงานวิจัยนี้เป็นหัววัดชนิดผลึก CsI(Tl) คัปปลิ่งกับฟินโฟโตไดโอดขนาด 10 x 10 มิลลิเมตร ซึ่งเป็นหัววัดที่มีขนาดเล็กที่มีความเหมาะสมสำหรับการวัดรังสีแบบแจกแจงพลังงาน แต่จากงานวิจัยพบว่าประสิทธิภาพของหัววัดชนิดนี้ยังไม่ดีพอ ซึ่งถ้านำระบบไปใช้กับหัววัดรังสีที่มีผลึกซินทิลเลเตอร์ที่มีขนาดใหญ่ขึ้นก็จะทำให้มีประสิทธิภาพที่ดีขึ้นตามไปด้วย หรือถ้าทำการเปลี่ยนชนิดของหัววัดเป็นแบบไกเกอร์มูลเลอร์จะทำให้ระบบนี้สามารถทำงานเป็น Survey meter ได้

5.4.2 ปัจจุบันได้มีการพัฒนาระบบการรับพิกัดจีพีเอสให้เป็นแบบ DGPS ทำให้การรับพิกัดตำแหน่งมีความผิดพลาดลดลง ซึ่งถ้านำระบบนี้มาพัฒนาเป็นระบบรับพิกัดตำแหน่งสำหรับงานวิจัยลักษณะเดียวกัน จะทำให้การรับพิกัดตำแหน่งมีประสิทธิภาพดีกว่าการรับพิกัดแบบ Non DGPS

5.4.3 เทคโนโลยีเครื่องคอมพิวเตอร์ขนาดพกพาถูกพัฒนาให้มีระบบปฏิบัติการเป็น OS 5 และมีจอแสดงผลเป็น 160 x 320 พิกเซล และสามารถติดต่อกับอุปกรณ์ภายนอกผ่านทางพอร์ต USB ซึ่งสามารถนำมาใช้แทนเครื่องคอมพิวเตอร์ขนาดพกพาที่มีระบบปฏิบัติการต่ำที่ใช้อยู่ในงานวิจัย ซึ่งจะทำให้การติดต่อสื่อสารกับอุปกรณ์ภายนอกและการแสดงผลข้อมูลมีประสิทธิภาพมากขึ้น

## รายการอ้างอิง

1. สุวิทย์ ปุณณชัยยะ. Nuclear Radiation Detection and Instrumentation. เอกสารการสอนวิชา 2111606นิวเคลียร์เทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2538
2. เดโช ทองอร่าม .การพัฒนาระบบควบคุมความหนาแบบนิวคลีโอนิกสำหรับเครื่องรีดโลหะ บาง.วิทยานิพนธ์ ปริญญาโท สาขาวิชาเทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2538.
3. สุทธิพงษ์ ชุ่มขุนทด. ระบบวิเคราะห์สเปกตรัมพลังงานระยะไกลควบคุมผ่านเครือข่าย โทรศัพท์. วิทยานิพนธ์ ปริญญาโท สาขาวิชาเทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2543.
4. รุจพันธ์ เกตุกล้า. การพัฒนาเครื่องวัดนิวเคลียร์แบบเสมือนควบคุมด้วยไมโครคอมพิวเตอร์ วิทยานิพนธ์ ปริญญาโท สาขาวิชาเทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2546.
5. สุทธิเกียรติ ชลลาภ. การพัฒนาระบบวัดปริมาณรังสีประจำบุคคลที่แสดงผลเชิงตัวเลขชนิดส่ง ข้อมูลแบบไร้สาย. วิทยานิพนธ์ ปริญญาโท สาขาวิชาเทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2543.
6. ชรรยง ทรัพย์สุขอำนวย. ระบบการหาตำแหน่งบนพื้นโลกด้วยดาวเทียม เล่ม 1. พิมพ์ครั้งที่ 1, 2546
7. ปราโมทย์ พลังสันติกุล. เขียนโปรแกรมบน Palm ด้วย Satellite Forms. กรุงเทพฯ : ซีเอ็ด ยูเคชั่น จำกัด, 2545.
8. ณีภูษพล วงศ์สุนทรชัย และ ชัยวัฒน์ ลีมพรจิตรวิไล. ปฏิบัติการไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F87X. กรุงเทพฯ : บ.อินโนเวตีฟ เอ็กเพอริเมนต์ จำกัด
9. Knoll, Glenn F. Radiation Detection and Measurement. New York: McGraw-Hill Book Company, 1983
10. Gillmore G. And Hemingway J. Practical Gamma-Ray Spectrometry. New York: John Wiley & Son, 1995
11. Mukhar K And Johnson D. The Ultimate Palm Robot. New York: McGraw-Hill Book Company, 2003

12. ORTEC. Modular Pulse – Processing Electronics. U.S.A
13. มานิตย์ จิตรภักดี , สุวิทย์ ปุณณชัยยะ และ เคโซ ทองอร่าม. การปลูกผลึกซีเอ็มไอโอไดต์ (ทัลเลียม) สำหรับงานวัดสเปกตรัมเรืองรังสีแกมมา



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



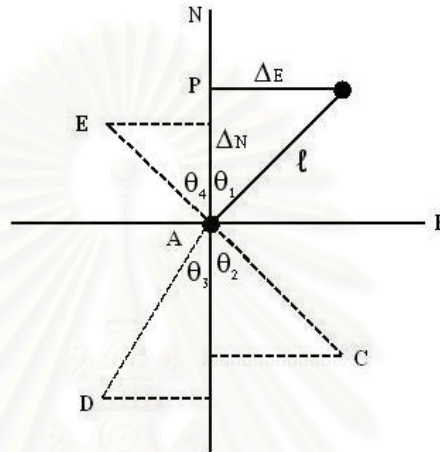
ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก ก.

ในกรณีที่ทราบพิกัดของจุดหัวท้ายซึ่งได้จากเครื่องรับพิกัดจีพีเอสของ HOLUX รุ่น GM83 จะคำนวณระยะทาง โดยให้ภาควิชาวิศวกรรมเป็นจุดอ้างอิงเพื่อหาทิศและระยะไปยังจุดทดสอบได้ โดยมีหลักการ ดังนี้



รูปที่ 1

จากรูปที่ 1 สามารถพิสูจน์สูตรได้ดังนี้

- กำหนดให้
- A = เป็นจุดเริ่มต้น และทราบพิกัด
  - $N_A$  และ  $E_A$  = พิกัดฉากที่จุด A (อ่านจากแผนที่หรือได้จากเครื่องจีพีเอส)
  - B = จุดปลายทางที่ทราบค่าพิกัด หรือจุดหมายบนเส้นทาง
  - $N_B$  และ  $E_B$  = พิกัดฉากที่จุด B (อ่านจากแผนที่หรือได้จากเครื่องจีพีเอส)
  - $l$  = ระยะทาง AB

$$\Delta E = E_B - E_A = \text{ผลต่างของพิกัดตะวันออก}$$

$$\Delta N = N_B - N_A = \text{ผลต่างของพิกัดเหนือ}$$

ในสามเหลี่ยม ABP  $\Delta E / \Delta N = \tan \theta_1$  ( $\theta_1 = \text{Bearing ใน Quadrant 1}$ )

$$\Delta N / l = \cos \theta_1$$

$$\Delta N = l \cos \theta_1$$

$$\Delta E / l = \sin \theta_1$$

$$\Delta E = l \sin \theta_1$$

$$l^2 = \Delta E^2 + \Delta N^2$$

$$l = (\Delta E^2 + \Delta N^2)^{1/2}$$

การหาค่าพิกัดต่อเนื่อง

$$N_n = N_1 + l_1 \cos \alpha_1 + l_2 \cos \alpha_2$$

$$E_n = E_1 + l_1 \sin \alpha_1 + l_2 \sin \alpha_2$$

เมื่อ  $\alpha$  = ทิศของแนวทงนั้น

ตารางที่ 1 การเปลี่ยนมุมทิศเป็นภาคของทิศ

Quadrant	ค่าภาคของทิศ ( $\alpha$ )	สูตรภาคของทิศ WCB( $\alpha$ )	มุมทิศ RB( $\theta$ )	$\Delta N$	$\Delta E$
I	$0-90^\circ$	$\alpha_1 = \theta_1$	$N\theta_1 E$	+	+
II	$90^\circ-180^\circ$	$\alpha_2 = 180^\circ - \theta_2$	$S\theta_2 E$	-	+
III	$180^\circ-270^\circ$	$\alpha_3 = 180^\circ + \theta_3$	$S\theta_3 W$	-	-
IV	$270^\circ-360^\circ$	$\alpha_4 = 360^\circ - \theta_4$	$N\theta_4 W$	+	-

1. คำนวณค่าจากพิกัด 1 คือ 665842.72 mE , 1518973.00 mN ไปยังพิกัด 2 คือ 665667.05 mE , 1519197.89 mN

	N	E
พิกัด 2	1519197.89 mN	665667.05 mE
พิกัด 1	1518973.00 mN	665842.72 mE
	$\Delta N = +224.89$	$\Delta E = -175.67$

$$\tan \theta_4 = \Delta E / \Delta N = -175.67 / 224.87 = -0.781206$$

$$\text{ดังนั้น } \theta_4 = 37.99716^\circ$$

(จากตารางที่ 1)

$$\text{ภาคของทิศกริด} = \alpha_4 = 360^\circ - \theta_4 = 360^\circ - 37.99716^\circ = 322.00284^\circ$$

$$\text{ภาคของทิศ} = 322^\circ 0' 10.224''$$

$$\text{การหาระยะ } l = \Delta N / \cos \theta_4 = +224.89 / \cos 37.99716^\circ = 285.378 \text{ เมตร}$$

2. คำนวณค่าจากพิกัด 1 คือ 665842.72 mE , 1518973.00 mN ไปยังพิกัด 3 คือ 665744.54 mE , 1519237.22 mN

	N	E
พิกัด 3	1519237.22 mN	665744.54 mE
พิกัด 1	1518973.00 mN	665842.72 mE
	$\Delta N = +264.22$	$\Delta E = -98.18$

$$\tan \theta_4 = \Delta E / \Delta N = -98.18 / 264.22 = -0.371584$$

$$\text{ดังนั้น } \theta_4 = 20.384260^\circ$$

(จากตารางที่ 1)

$$\text{ภาคของทิศกริด} = \alpha_4 = 360^\circ - \theta_4 = 360^\circ - 20.384260^\circ = 339.61574^\circ$$

$$\text{ภาคของทิศ} = 339^\circ 36' 56.664''$$

$$\text{การหาระยะ } l = \Delta N / \cos \theta_4 = +264.22 / \cos 20.384260^\circ = 281.8737 \text{ เมตร}$$

3. คำนวณค่าจากพิกัด 1 คือ 665842.72 mE , 1518973.00 mN ไปยังพิกัด CU09 คือ 665582.55 mE , 1519280.52 mN

	N	E
พิกัด CU09	1519280.52 mN	665582.55 mE
พิกัด 1	1518973.00 mN	665842.72 mE
	$\Delta N = +307.52$	$\Delta E = -260.17$

$$\tan \theta_4 = \Delta E / \Delta N = -260.17 / 307.52 = -0.84602$$

$$\text{ดังนั้น } \theta_4 = 40.23188^\circ$$

(จากตารางที่ 1)

$$\text{ภาคของทิศกริด} = \alpha_4 = 360^\circ - \theta_4 = 360^\circ - 40.23188^\circ = 319.76812^\circ$$

$$\text{ภาคของทิศ} = 319^\circ 46' 5.232''$$

$$\text{การหาระยะ } l = \Delta N / \cos \theta_4 = +307.52 / \cos 40.23188^\circ = 402.81045 \text{ เมตร}$$

ภาคผนวก ข.

เครื่องรับพิกัดจีพีเอสซีทีแอล HOLUX รุ่น GM-83

GM-83 User's manual

**HOLUX**

## TABLE OF CONTENTS

<b>1. Introduction</b> .....	3
1.1 Overview .....	3
1.2 Features .....	3
1.3 Technical Specifications .....	3
<b>2. Operational Characteristics</b> .....	4
2.1 Initialization .....	4
2.2 Navigation .....	5
<b>3. Hardware Interface</b> .....	6
3.1 Standard Model .....	6
<b>4. Software Interface</b> .....	8
4.1 NMEA Transmitted Sentences .....	8
4.2 RTCM Received Data .....	11
<b>5. Earth Datums</b> .....	12
5.1 Earth Datums .....	12
5.2 Manufacture Default .....	13
<b>6. Ordering Information</b> .....	14
6.1 Product Options .....	14
6.2 Accessories .....	14
6.3 Other Products .....	14

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## 1. Introduction

### 1.1 Overview

The **HOLUX GM-83 Engine Board** is a total solution GPS receiver, designed based on SiRF star II Architecture. This positioning application meets strict needs such as car navigation, mapping, surveying, agriculture and so on. Only clear view of sky and certain power supply are necessary to the unit.

GM-83 communicates with other electronic utilities via compatible dual-channel through RS-232 or TTL and saves critical satellite data by built-in memory backup. With low power consumption, the GM-83 tracks up to 12 satellites at a time, re-acquires satellite signals in 100 ms and updates position data every second. Trickle-Power allows the unit operates a fraction of the time and Push-to-Fix permits user to have a quick position fix even though the receiver usually stays off.

### 1.2 Features

The GM-83 provides a host of features that make it easy for integration and use.

- SiRF Star II chipset with embedded ARM7TDMI CPU available for customized applications in firmware•
- 12 parallel satellite-tracking channels for fast acquisition and reacquisition•
- High speed signal acquisition using 1920 time/frequency search channels•
- Built-in WAAS/EGNOS Demodulator•
- Support U.S. Coast Guard DGPS beacon signal•
- Low power consumption with Advanced Trickle-Power and Push-To-Fix mode••
- Optional Rechargeable battery for memory and RTC backup and for fast Time to First Fix(TTFF)•
- Support NMEA0183 v2.2 data protocol and SiRF binary code•
- Enhanced algorithms -SnapLock and SnapStart provide superior navigation performance in urban, canyon and foliage environments•
- For Car Navigation , Marine Navigation ,Fleet Management ,AVL and Location-Based Services , Auto Pilot ,Personal Navigation or touring devices, Tracking devices/systems and Mapping devices application•

### 1.3 Technology Specifications

#### 1.3.1 Physical Dimension

- 1) PCB Size: 40.6(W) x 71.1(D) x 9.1(H) (mm) (The height of pin is excluded)
- 2) Weight: 18 g

#### 1.3.2 Environmental Characteristics

- 1) Operating temperature: -40°C to +85°C (internal temperature)
- 2) Storage temperature: -45°C to +100°C

#### 1.3.3 Electrical Characteristics

- 1) Input voltage: 5.0Vdc +/-10% or 3.3Vdc +/- 10%.
- 2) Backup power:(optional)•3V Rechargeable Lithium cell battery, up to 1000 hours discharge.
- 3) MCX antenna connector: Active or patch.

### 1.3.4 Performance

- 1) Tracks up to 12 satellites.
- 2) Update rate: 1 second.
- 3) Acquisition time:

Reacquisition	0.1	sec, averaged
Hot start	8	sec, averaged
Warm start	38	sec, averaged
Cold start	45	sec, averaged

- 4) Position accuracy:

#### Non DGPS (Differential GPS)

Position	5~25	meter CEP
Velocity	0.1	meters/second.
Time	1	microsecond synchronized GPS time

#### DGPS (Differential GPS)

Position	1 to 5	meters, typical
Velocity	0.05	meters/second, typical

#### EGNOS/WAAS

Position	< 2.2	meters, horizontal 95% of time
	< 5	meters, vertical 95% of time

- 5) Dynamic Conditions:

Altitude	18,000	meters(60,000 feet) max
Velocity	515	meters/second (1000 knots) max
Acceleration	4	G, max
Jerk	20	meters/second <sup>3</sup> , max

### 1.3.5 Interfaces

- 1) Dual communication channel TTL or RS232 levels, with user selectable baud rate (4800-Default, 9600, 19200, 38400).
- 2) NMEA 0183 Version 2.2 ASCII output (GGA, GLL, GSV, GSA, RMC, VTG).
- 3) Real-time Differential Correction input (RTCM SC-104 message types 1, 2 and 9).

## 2. Operational characteristics

### 2.1 Initialization

As soon as the initial self-test is complete, the GM-83 begins the process of satellite acquisition and tracking automatically. Under normal circumstances, it takes approximately 45 seconds to achieve a position fix, 38 seconds if ephemeris data is known. After a position fix has been calculated, information about valid position, velocity and time is transmitted over the output channel.

The GM-83 utilizes initial data, such as last stored position, date, time and satellite orbital data, to achieve maximum acquisition performance. If significant inaccuracy exists in the initial data, or the orbital data is obsolete, it may take more time to achieve a navigation solution. The GM-83 Auto-locate feature is capable of automatically determining a navigation solution without intervention from the host system. However, acquisition performance can be improved as the host system initializes the GM-83 in the following situation:

- Moving further than 500 kilometers.
- Failure of Data storage due to the inactive internal memory battery.



## 2.2 Navigation

After the acquisition process is complete, the GM-83 sends valid navigation information over output channels. These data include:

- 1) Latitude/longitude/altitude
- 2) Velocity
- 3) Date/time
- 4) Error estimates
- 5) Satellite and receiver status

## 2.3 Manufacturing Default:

Datum: WGS84.

Baud Rate: 4800.

Output: GGA, GSA, GSV, RMC or by demand.

DGPS: RTCM SC-104(Type 1,2,9) or **WAAS** (in **USA area**) or **EGNOS** (in **European area**)

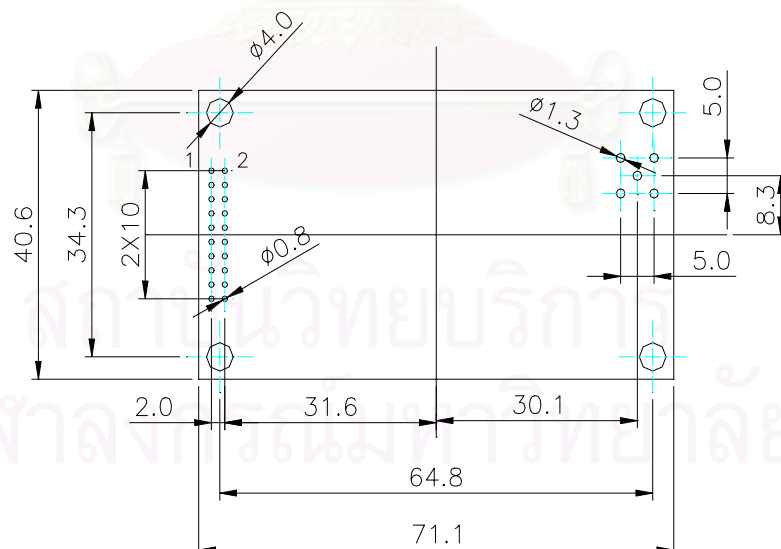


สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

### 3. Hardware interface

#### 3.1 Standard Model GM-83

GM-83-A W/ angle MCX connector and standard hole to hole dimension



#### J1 connector pin definition:

Pin #	Name	Description
1	<b>NC</b>	No function
2	<b>VCC_5V</b>	Regulated 5.0V +/-5% input power, 160mA typical.
3	<b>VBAT</b>	Battery backup input. 2.5V to 3.3V ,10uA typical.
4	<b>NC</b>	No function

5	<b>PBRESEN</b>	Manual reset input, ground to reset receiver. Leave floating for normal operation. The minimum pulse width is 150 ms reset signal.
6	<b>GPIO1</b>	General purpose I/O pin 1
7	<b>GPIO2</b>	General purpose I/O pin 2
8	<b>GPIO3</b>	General purpose I/O pin 3
9	<b>GPIO4</b>	General purpose I/O pin 4
10	<b>GND</b>	Ground
11	<b>TXA</b>	Port A Serial Transmit Data GPS messages.
12	<b>RXA</b>	Port A Serial Receive Data GPS commands.
13	<b>GND</b>	Ground
14	<b>TXB</b>	Port B Serial Transmit Data.
15	<b>RXB</b>	Port B Serial Receive Data DGPS messages.
16	<b>GND</b>	Ground.
17	<b>GPIO5</b>	Reserved for re-programming flash.
18	<b>GND</b>	Ground
19	<b>TIMEMARK</b>	1PPS Time mark output
20	<b>NC</b>	No function

1. **VCC\_5V:** + 5V DC voltage input.
2. Dual communication channel TTL levels (GM-83-T/T1/T2) or RS-232 levels (GM-83-A/A1/A2), with user selectable baud rates (4800-Default, 9600, 19200, 38400).

**RXA:** Main Receive Channel. This input is used to receive software commands to the GM-83 from user written software.

**RXB:** Auxiliary Receive Channel. This input is used to receive serial differential GPS data.

**TXA:** Main Serial Output. This output provides navigation data to user written software.

**TXB:** For user's application (not currently used).

3. **PBRESEN:** This pin provides an active-low reset input to the GM-83. Activation of this pin will reset and start acquisition process. It may be left open if not utilized.
4. **TIMEMARK:** This pin provides One-Pulse-Per-Second output from the GM-83 board, which is synchronized to GPS time. This is not available in Trickle-Power mode.
5. **VBAT:** Battery backup input for powering the RAM and RTC. Typical current is 10uA. Without an external backup battery the GM-83 will execute a cold start when turning on each time. To achieve the faster start-up offered by a hot or warm start, either a battery backup must be connected. A 2.5V and 3.6V power source is required in order to maximize battery lifetime. With a lithium cell battery, the data retention is 1,000 hours.
6. **GPIO Functions:** Several I/Os of CPU are connected to the digital interface connector for customer's applications and are labeled as GPIO1 to GPIO5.

## 4. Software Interface

The GM-83 interface protocol is based on the National Marine Electronics Association's NMEA 0183 ASC interface specification, which is defined in NMEA 0183, Version 2.2 and the Radio Technical Commission for Maritime Services (RTCM Recommended Standards For Differential Navstar GPS Service, Version 2.1, RTCM Special Committee No.104).

### 4.1 NMEA Transmitted Messages

The default communication parameters for NMEA output are 4800 baud, 8 data bits, stop bit, and no parity.

Table 4-1 NMEA-0183 Output Messages

NMEA Record	Description
GPGGA	Global positioning system fixed data
GPGLL	Geographic position- latitude/longitude
GPGSA	GNSS DOP and active satellites
GPGSV	GNSS satellites in view
GPRMC	Recommended minimum specific GNSS data
GPVTG	Course over ground and ground speed
GPMS	Radio-beacon Signal-to-noise ratio, signal strength, frequency, etc.

#### 4.1.1 Global Positioning System Fix Data (GGA)

Table 4-2 contains the values for the following example:

**\$GPGGA,161229.487,3723.2475,N,12158.3416,W,1,07,1.0,9.0,M, , , ,0000\*18**

Table 4-2 GGA Data Format

Name	Example	Units	Description
Message ID	\$GPGGA		GGA protocol header
UTC Time	161229.487		hhmmss.sss
Latitude	3723.2475		ddmm.mmmm
N/S Indicator	N		N=north or S=south
Longitude	12158.3416		dddmm.mmmm
E/W Indicator	W		E=east or W=west
Position Fix Indicator	1		See Table 5-3
Satellites Used	07		Range 0 to 12
HDOP	1.0		Horizontal Dilution of Precision
MSL Altitude (1)	9.0	Meters	
Units	M	Meters	
Geoid Separation(1)		Meters	
Units	M	Meters	
Age of Diff. Corr.		second	Null fields when DGPS is not used
Diff. Ref. Station ID	0000		
Checksum	*18		
<CR> <LF>			End of message termination

(1). SiRF Technology Inc. does not support geoid corrections. Values are WGS84 ellipsoid heights.

Table 4-3 Position Fix Indicator

Value	Description
0	0 Fix not available or invalid
1	GPS SPS Mode, fix valid
2	Differential GPS, SPS Mode, fix valid
3	GPS PPS Mode, fix valid

#### 4.1.2 Geographic Position with Latitude/Longitude(GLL)

Table 4-4 contains the values for the following example:

**\$GPGLL,3723.2475,N,12158.3416,W,161229.487,A\*2C**

Table 4-4 GLL Data Format

Name	Example	Units	Description
Message ID	\$GPGLL		GLL protocol header
Latitude	3723.2475		ddmm.mmmm
N/S Indicator	N		N/S Indicator N N=north or S=south
Longitude	12158.3416		dddmm.mmmm
E/W Indicator	W		E=east or W=west
UTC Position	161229.487		hhmmss.sss
Status	A		A=data valid or V=data not valid
Checksum	*2C		
<CR> <LF>			End of message termination

#### 4.1.3 GNSS DOP and Active Satellites (GSA)

Table 4-5 contains the values for the following example:

**\$GPGSA,A,3,07,02,26,27,09,04,15,,,,,1.8,1.0,1.5\*33**

Table 4-5 GSA Data Format

Name	Example	Units	Description
Message ID	\$GPGSA		GSA protocol header
Mode 1	A		See Table 5-6
Mode 2	3		See Table 5-7
Satellite Used <sup>(1)</sup>	07		Sv on Channel 1
Satellite Used <sup>(1)</sup>	02		Sv on Channel 2
.....			....
Satellite Used <sup>(1)</sup>			Sv on Channel 12
PDOP	1.8		Position Dilution of Precision
HDOP	1.0		Horizontal Dilution of Precision
VDOP	1.5		Vertical Dilution of Precision
Checksum	*33		
<CR> <LF>			End of message termination

1. Satellite used in solution.

Table 4-6 Mode 1

Value	Description
M	Manual—forced to operate in 2D or 3D mode
A	2DAutomatic—allowed to automatically switch 2D/3D

Table 4-7 Mode 2

Value	Description
1	Fix Not Available
2	2D



#### 4.1.4 GNSS Satellites in View (GSV)

Table 4-8 contains the values for the following example:

```
$GPGSV,2,1,07,07,79,048,42,02,51,062,43,26,36,256,42,27,27,138,42*71
$GPGSV,2,2,07,09,23,313,42,04,19,159,41,15,12,041,42*41
```

Table 4-8 GSV Data Format

Name	Example	Units	Description
Message ID	\$GPGSV		GSV protocol header
Number of Messages (1)	2		Range 1 to 3
Message Number(1)	1		Range 1 to 3
Satellites in View	07		
Satellite ID	07		Channel 1 (Range 1 to 32)
Elevation	79	degrees	Channel 1 (Maximum 90)
Azimuth	048	degrees	Channel 1 (True, Range 0 to 359)
SNR (C/No)	42	dBHz	Range 0 to 99, null when not tracking
....	....		
Satellite ID	27		Channel 4 (Range 1 to 32)
Elevation	27	degrees	Channel 4 (Maximum 90)
Azimuth	138	degrees	Channel 4 (True, Range 0 to 359)
SNR (C/No)	42	dBHz	Range 0 to 99, null when not tracking
Checksum	*71		
<CR> <LF>			End of message termination

(1). Depending on the number of satellites tracked multiple messages of GSV data may be required.

#### 4.1.5 Recommended Minimum Specific GNSS Data (RMC)

Table 4-9 contains the values for the following example:

```
$GPRMC,161229.487,A,3723.2475,N,12158.3416,W,0.13,309.62,120598, ,*10
```

Table 4-9 RMC Data Format

Name	Example	Units	Description
Message ID	\$GPRMC		RMC protocol header
UTC Time	161229.487		hhmmss.sss
Status	A		A=data valid or V=data not valid
Latitude	3723.2475		ddmm.mmmm
N/S Indicator	N		N=north or S=south
Longitude	12158.3416		dddmm.mmmm
E/W Indicator	W		E=east or W=west
Speed Over Ground	0.13	knots	
Course Over Ground	309.62	degrees	True
Date	120598		ddmmyy
Magnetic Variation(1)		degrees	E=east or W=west
Checksum	*10		
<CR> <LF>			End of message termination

(1). SiRF Technology Inc. does not support magnetic declination. All "course over ground" data are geodetic WGS84 directions.



### 4.1.6 Course Over Ground and Ground Speed (VTG)

Table 4-10 contains the values for the following example:

**\$GPVTG,309.62,T, ,M,0.13,N,0.2,K\*6E**

Table 4-10 VTG Data Format

Name	Example	Units	Description
Message ID	\$GPVTG		VTG protocol header
Course	309.62	degrees	Measured heading
Reference	T		True
Course		degrees	Measured heading
Reference	M		Magnetic <sup>(1)</sup>
Speed	0.13	knots	Measured horizontal speed
Units	N		Knots
Speed	0.2	km/hr	Measured horizontal speed
Units	K		Kilometers per hour
Checksum	*6E		
<CR> <LF>			End of message termination

(1). SiRF Technology Inc. does not support magnetic declination. All "course over ground" data are geodetic WGS84 directions.

### 4.1.6 MSK Receiver Signal (MSS)

Table C-9 contains the values for the following example:

**\$GPMSS,55,27,318.0,100,\*66**

Table C-9 MSS Data Format

Name	Example	Units	Description
Message ID	\$GPMSS	MSS	protocol header
Signal Strength	55	dB	dB SS of tracked frequency
Signal-to-Noise Ratio	27	dB	SNR of tracked frequency
Beacon Frequency	318.0	kHz	Currently tracked frequency
Beacon Bit Rate	100		100 bits per second

**Note** – The MSS NMEA message can only be polled or scheduled using the MSK NMEA input message.

## 4.2 RTCM Received Data

The default communication parameters for DGPS Input are 9600 baud, 8 data bits, stop bit, and no parity. Position accuracy of less than 5 meters can be achieved with the GM-83 by using Differential GPS (DGPS) real-time pseudo-range correction data in RTCM SC-104 format, with message types 1,2, or 9. As using DGPS receiver with different communication parameters, GM-83 may decode the data correctly to generate accurate messages and save them in battery-back SRAM for later computing.

**5. Earth Datums****5.1 Earth Datums**

The following is a list of the GM-83 earth datum index and the corresponding earth datum name:

Item	Datum	Reference Ellipsoid	Data name
1	Adindan - Ethiopia	Clarke 1880	Data1. dat
2	Afgooye - Somalia	Krassovsky	Data2. dat
3	Alaska, Conus - North American 1983	GRS 1980	Data3. dat
4	Argentina	South American 1969	Data4. dat
5	Bahrain - Ain el ABD 1970	International	Data5. dat
6	Bangladesh	Everest 1830	Data6. dat
7	Botswana - ARC 1950	Clarke 1880	Data7. dat
8	Bolivia	South American 1969	Data8. dat
9	Brazil	South American 1969	Data9. dat
10	Canada - North American 1983	GRS 1980	Data10. dat
11	Colombia - Provisional American 1956	International	Data11. dat
12	Colombia	South American 1969	Data12. dat
13	Chile	South American 1969	Data13. dat
14	Ecuador	South American 1969	Data14. dat
15	European 1950 - Cyprus	International	Data15. dat
16	European 1950 - Eastern Regional Mean	International	Data16. dat
17	European 1950 - Egypt	International	Data17. dat
18	European 1950 - Finland, Norway	International	Data18. dat
19	European 1950 - Greece	International	Data19. dat
20	European 1950 - Iran	International	Data20. dat
21	European 1950 - Italy (Sardinia)	International	Data21. dat
22	European 1950 - Italy (Sicily)	International	Data22. dat
23	European 1950 - Malta	International	Data23. dat
24	European 1950 - Northern Regional Mean	International	Data24. dat
25	European 1950 - Portugal, Spain	International	Data25. dat
26	European 1950 - Southern Regional Mean	International	Data26. dat
27	European 1950 - Tunisia	International	Data27. dat
28	European 1950 - Western Regional mean	International	Data28. dat
29	European 1950 - Central Regional Mean	International	Data29. dat
30	Guyana - South American 1969	South American 1969	Data30. dat
31	Hong Kong	International	Data31. dat
32	Hawaii - North American 1983	GRS1980	Data32. dat
33	Hu_Tsu_Shan Taiwan	International	Data33. dat
34	Indian 1960	Everest 1830	Data34. dat
35	Ireland - 1965	Modified Airy	Data35. dat
36	Liberia - 1964	Clarke 1880	Data36. dat
37	Brunel, East Malaysia	Everest (Sabah & Sarawak)	Data37. dat
38	Mexico, central America	GRS1980	Data38. dat
39	OMAN	Clarke 1880	Data39. dat
40	Pakistan	Everest 1830	Data40. dat
41	Peru1 - South American 1969	South American 1969	Data41. dat

42	Paraguay - South American 1969	South American 1969	Data42.dat
43	Philippines	Clarke 1866	Data43.dat
44	Puerto Rico - Virgin Islands	Clarke 1866	Data44.dat
45	Qatar national	International	Data45.dat
46	Qornoq - Greenland (SOUTH)	International	Data46.dat
47	Reunion - Mascarene Islands	International	Data47.dat
48	Regional Mean	South American 1969	Data48.dat
49	Rome 1940 - Italy	International	Data49.dat
50	Saudi Arabia- Ain el Abd 1970	International	Data50.dat
51	Singapore	Modified Fischer 1960	Data51.dat
52	South Africa	Clarke 1880	Data52.dat
53	Kenya, Tanzania- ARC 1960	Clarke 1880	Data53.dat
54	Thailand 1975	Everest 1830	Data54.dat
55	Trinidad, Tobago	South American 1969	Data55.dat
56	Venezuela - Provisional American 1956	International	Data56.dat
57	Venezuela	South American 1969	Data57.dat
58	WGS84	WGS84	Data58.dat
59	Tokyo_Mean	Bessel 1841	Data59.dat
60	Tokyo_Japan	Bessel 1841	Data60.dat
61	Tokyo_Korea	Bessel 1841	Data61.dat
62	Tokyo_Oki nawa	Bessel 1841	Data62.dat
63	Albania - S-42(Pulkovo 1942)	Krassovsky 1940	Data63.dat
64	Czechoslovakia - S-42(Pulkovo 1942)	Krassovsky 1940	Data64.dat
65	Hungary - S-42(Pulkovo 1942)	Krassovsky 1940	Data65.dat
66	Kazakhstan - S-42(Pulkovo 1942)	Krassovsky 1940	Data65.dat
67	Latvia - S-42(Pulkovo 1942)	Krassovsky 1940	Data67.dat
68	Poland - S-42(Pulkovo 1942)	Krassovsky 1940	Data68.dat
69	Romania - S-42(Pulkovo 1942)	Krassovsky 1940	Data69.dat
70	Australia	Australian - National	Data70.dat
71	Potsdam	Bessel 1841	Data71.dat

## 5.2 . Manufacturing Default:

Parameter	Com A	Com B
Input Protocol	NMEA Binary	RTCM SC-104
Output Protocol	NMEA Binary	None
Baud Rate	4800	9600
Parity None	None	
Stop Bits	1	1
Data Bits	8	8
Datum:	WGS84.	
Protocol	GGA, GSA, GSV, RMC or by demand.	

### 5.2.1 Setting Syntax

Datum change syntax:

```
>DOS\Sirfprog /Fdatax.dat -Px -Bx -Csh1
```

-Px: x is com port, 1= COM1 2 = COM2

-Bx: Baud rate, 4800, 9600, 19200 or 38400

Example:

Change Datum to WGS84,

```
Sirfprog /Fdata58.dat -P1 -B4800 -Csh1 <Entry>
```

After change datum, the new datum will keep in SRAM. If long time (more than 20 days) no power supplied to GM-83, user must resend datum to GM-83 when power on.

### 5.2.2 Addition Software

SirFdemo is the Evaluation Receiver configuration and monitoring software provided with the GM-83. This software can be used to monitor real-time operation of the GM-83 Receiver, log data for analysis, upload

## ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวสิริยาภรณ์ แสงอรุณ เกิดวันที่ 21 มิถุนายน พ.ศ. 2523 ที่จังหวัดพัทลุง สำเร็จ การศึกษาระดับปริญญาบัณฑิตจากภาควิชาฟิสิกส์อเล็กทรอนิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ เมื่อปีการศึกษา 2544 และในปีการศึกษา 2545 ได้เข้าศึกษาระดับปริญญา มหาบัณฑิตที่ภาควิชาวิศวกรรมเทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย