บทที่2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การสร้างระบบชี้วัดประมาณผลผลิตทางการเกษตร ด้วยระบบภูมิสารสนเทศ กรณีศึกษาผลผลิตมะพร้าว มีคำถามวิจัย 2 คำถามดังนี้ คำถามแรกคือ ปัจจัยที่เอื้อต่อผลผลิตทางการเกษตรและการกระจายตัวเชิงพื้นที่ของพืชพันธ์ทางการเกษตร มีความสัมพันธ์กันอย่างไร คำถามที่สองคือ การสร้างระบบชี้วัดประมาณผลผลิตทางการเกษตรให้เกษตรกรสามารถเข้าถึงและใช้ประโยชน์ได้โดยง่าย มีรูปแบบอย่างไร โดยมีทฤษฎีและแนวคิดที่เกี่ยวข้องกับคำถามวิจัยดังต่อไปนี้

2.1 แนวคิดเกี่ยวกับการรับรู้ระยะไกล
2.2 แนวคิดเกี่ยวกับระบบกำหนดตำแหน่งพิกัดบนพื้นโลก
2.3 แนวคิดเกี่ยวกับลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของมะพร้าว
2.4 ปัจจัยสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมต่อผลผลิตทางการเกษตรจำพวกมะพร้าว
2.5 การตัดสินใจโดยกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้น

โดยงานวิจัยนี้มีความสอดคล้องกับทฤษฎีและแนวคิดดังกล่าว และมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.1 แนวคิดเกี่ยวกับการรับรู้ระยะไกล

ชนิดข้อมูลภาพจากดาวเทียม

ดาวเทียมสำรวจทรัพยากรโลกที่ถูกส่งขึ้นไปโคจรนอบโลกมีหลายระบบและได้รับการติดตั้งระบบบันทึกข้อมูล (Sensor) ระดับการสะท้อนของพลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของวัตถุต่างๆ บนผิวโลก ที่มีสรรถนะต่างกัน เช่น LANDSAT 8ของประเทศสหรัฐอเมริกา มีการติดตั้งระบบบันทึกข้อมูล Operational Land Imager (OLI)สามารถบันทึกรายละเอียดข้อมูลการสะท้อนได้เก้าช่วงคลื่น และTHEOS ของประเทศไทยมีการติดตั้งระบบบันทึกข้อมูล multispectral สามารถบันทึกรายละเอียดข้อมูลได้สามช่วงคลื่น เป็นต้น ระบบดาวเทียมสำรวจทรัพยากรโดยทั่วไปจะโคจรสัมพันธ์กับดาวอาทิตย์ (Sun-synchronous orbit) เนื่องจากดาวเทียมใช้แสงอาทิตย์เป็นแหล่งพลังงานส่วนหนึ่ง และโคจรแนวเหนือใต้ และกลับมาซ้ำที่เดิมตามกำหนดของดาวเทียมแต่ละดวง ทำให้มีข้อมูลการสะท้อนแสงเป็นระยะเวลาต่างๆกัน ซึ่งเมื่อนำไปวิเคราะห์ทางหลักการจะทำให้ทราบการเปลี่ยนแปลงของวัตถุต่างๆบนผิวโลกได้ ในกรณีนี้คือมะพร้าว

โครงการฯ ทำการศึกษาเพื่อพัฒนาวิธีการทำแผนที่พื้นที่ปลูกมะพร้าวด้วยข้อมูลจากภาพดาวเทียม LANDSAT 8ของประเทศสหรัฐอเมริกา มีการติดตั้งระบบบันทึกข้อมูล Operational Land Imager (OLI) สามารถบันทึกรายละเอียดข้อมูลการสะท้อนได้เก้าช่วงคลื่นขนาดรายละเอียด (resolution) 30เมตร โดยข้อมูลจะถูกเก็บไว้ในรูปแบบข้อมูลเชิงตัวเลข (digital format)

หลักการวิเคราะห์ข้อมูลภาพดาวเทียม

ขั้นตอนวิเคราะห์ข้อมูลภาพดาวเทียมเพื่อสร้างฐานข้อมูลเชิงพื้นที่ของพื้นที่ปลูกมะพร้าว มีทั้งหมดหกขั้นตอน ดังนี้

1. การแก้ไขความถูกต้องในเชิงตำแหน่งของข้อมูล (Image Rectification)
2. การปรับปรุงคุณภาพของข้อมูลดาวเทียม (Image Enhancement)
3. การสร้างภาพสีผสมของข้อมูล (Color Composite)
4. การตรวจสอบภาคสนาม (Field Checking)
5. การจำแนกรายละเอียดข้อมูลภาพดาวเทียม (Image Classification)
6. การประเมินความถูกต้องของการจำแนกข้อมูล (Classification Accuracy Assessment)

รายละเอียดแต่ละขั้นตอนมีในวิธีการดำเนินการวิจัย

การเลือกข้อมูลภาพจากดาวเทียม

การเลือกข้อมูลภาพจากดาวเทียมเพื่อการจำแนกพื้นที่ปลูกมะพร้าว หรือการใช้ประโยชน์ที่ดินอื่นๆ สามารถพิจารณาได้จากคุณสมบัติข้อมูลภาพจากดาวเทียม ดังนี้

คุณสมบัติทางด้านคลื่นแสง (Spectral Characteristic)เป็นคุณสมบัติที่แสดงรายละเอียดด้วยค่าการสะท้อนพลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของพื้นที่ปลูกมะพร้าวและการใช้ประโยชน์ที่ดินต่างๆด้วยข้อมูลเชิงเลข (Digital Number) ในแต่ละช่วงคลื่น ดาวเทียมแต่ละดวงมีระบบการบันทึกข้อมูลที่แตกต่างกัน เช่น LANDSAT 8ของประเทศสหรัฐอเมริกา มีการติดตั้งระบบบันทึกข้อมูล Operational Land Imager (OLI)สามารถบันทึกรายละเอียดข้อมูลการสะท้อนได้เก้าช่วงคลื่นและ THEOS ของประเทศไทยมีการติดตั้งระบบบันทึกข้อมูล multispectral สามารถบันทึกรายละเอียดข้อมูลได้สามช่วงคลื่น เป็นต้น คุณสมบัติทางด้านคลื่นแสงช่วยผู้วิเคราะห์จำแนกรายละเอียดพื้นที่การปลูกมะพร้าวจากพื้นที่เกษตร และการใช้ประโยชน์ที่ดินอื่นๆ ด้วยลักษณะของสี(Color) ระดับสี(Tone) เงา(Shadow) ความคมชัด(Contrast)

คุณสมบัติทางด้านพื้นที่ (Spatial Characteristic)เป็นคุณสมบัติที่แสดงขนาดรายละเอียดในการเก็บข้อมูลในแต่ละจุดภาพ (Pixel) โดยทั่วไปพิจารณาเลือกภาพที่มีขนาดรายละเอียด (Resolution) ต่ำสุดที่ข้อมูลจากดาวเทียมแสดงได้ เช่น ระบบ LANDSAT 8ของประเทศสหรัฐอเมริกา มีขนาดจุดภาพ 30 เมตร THEOS ของประเทศไทยมีขนาดจุดภาพ 15 เมตร เป็นต้น คุณสมบัติด้านพื้นที่ช่วยผู้วิเคราะห์จำแนกรายละเอียดพื้นที่การปลูกมะพร้าวจากพื้นที่เกษตร และการใช้ประโยชน์ที่ดินอื่นๆ ด้วยลักษณะของ ขนาด (Size) รูปร่าง (Shape) รูปแบบ (Pattern) และความหยาบละเอียด (Texture) ของข้อมูล

คุณสมบัติทางด้านเวลา (Temporal characteristic) เป็นคุณสมบัติของดาวเทียมแต่ละดวงในการโคจรรอบโลกและเก็บบันทึกข้อมูลดาวเทียมสำรวจทรัพยากรโลกจะโคจรในลักษณะสัมพันธ์กับดวงอาทิตย์ในแนวเหนือใต้ ลักษณะดังกล่าวทำให้เกิดคุณสมบัติทางด้านเวลา กล่าวคือมีการโคจรกลับมาบันทึกซ้ำที่เดิมตามระยะเวลาที่กำหนด จำแนกรายละเอียดพื้นที่การปลูกมะพร้าวจากพื้นที่เกษตรและการใช้ประโยชน์ที่ดินอื่นๆ อาศัยคุณสมบัติการเจริญเติบโตของมะพร้าว ช่วยเลือกข้อมูลที่เหมาะสมที่สุด

2.2 แนวคิดเกี่ยวกับระบบกำหนดตำแหน่งพิกัดบนพื้นโลก

ระบบดาวเทียมเพื่อกำหนดตำแหน่งบนพื้นโลกแบบใหม่นี้ได้รับการติดตั้งเมื่อ ค.ศ. 1973 ด้วยการพัฒนาต่อเนื่องจากระบบดาวเทียม Transit โดยแนวคิดและหลักการ NAVSTAR ของกระทรวงกลาโหมสหรัฐอเมริกาในความดูแลและรับผิดชอบของสำนักงานแผนงานร่วม ระบบดาวเทียมเพื่อกำหนดตำแหน่งบนพื้นผิวโลกเรียกว่า Global Positioning System หรือ GPS (กรมแผนที่ทหาร, 2533)

GPS เป็นระบบดาวเทียมที่ใช้คลื่นวิทยุกำหนดตำแหน่งนำร่องและเวลาทุกสภาพอากาศ มีขีดความสามารถใช้กับผู้ใช้ไม่จำกัดจำนวนในระยะเวลาเดียวกัน และเปิดระบบให้ผู้ใช้ได้อย่างเสรี ตลอดจนระบบพิกัดที่ใช้ระบบที่อ้างอิงซึ่งใช้กันอย่างแพร่หลายทั่วโลก

ในการรับส่งสัญญาณระหว่างผู้ใช้และกลุ่มดาวเทียม GPS ดาวเทียม GPS จะปรากฏบนท้องฟ้าอย่างน้อยสี่ดวงตลอดเวลา ไม่ว่าเป็นส่วนไหนของผิวโลกดาวเทียม GPS ส่งข้อมูลมายังผู้ใช้ด้วยความถี่สองช่วงคลื่น คือ L1 และ L2 ความถี่อ้างอิง L1 มีค่า 1575.42 Mhzและ L2 มีค่า 1227.6 MHz การรังวัดทั้งสองความถี่ช่วยให้ผู้ใช้สามารถแก้ความล่าช้าของการแพร่คลื่นในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ได้ คลื่นความถี่นี้ช่วยให้ผู้ใช้สามารถแก้ความล่าช้าของการแพร่ของคลื่นในบรรยากาศชั้นไอโอโนสเฟียร์ได้ คลื่นสัญญาณทั้งสองความถี่ถูกกับคลื่น (modulate) ออกเป็นสองรหัส P-code ที่ให้การรังวัดอย่างละเอียด และ C/A (Coarse/Acquisition) ซึ่งสามารถวัดได้ง่ายและส่งผ่านไปยัง P code รหัสทั้งสองสร้างขึ้นบนดาวเทียมโดยอาศัย Pseudo Random Noise P code เป็นรหัสยาวปรับคลื่น 10.23 เมกกะบิทต่อวินาที (MBS) และซ้ำทุก 267 วันแต่ผู้ใช้เข้ารหัสนี้ได้ยาก C/A code เป็นรหัสสั้นปรับคลื่น 1.023 เมกกะบิทต่อวินาที (MBS) และซ้ำทุๆ 1/1000 วินาที แต่ให้การรังวัดที่หยาบกว่า P code ทั้งสัญญาณ L1 และ L2 จะปรับคลื่นทั้ง P code และ C/A code ขณะที่สัญญาณ L2 ปรับคลื่นเฉพาะ P code ทั้งสัญญาณ L1 และ L2 จะปรับคลื่นอย่างต่อเนื่องเป็นกระแสข้อมูลการนำวิถีด้วยอัตรา 50บิทต่อวินาที (BPS) ผู้ใช้สามารถระยะทาง (pseudo range) ไปยังดาวเทียมได้โดยการหาความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณที่เครื่องรับสัญญาณจากดาวเทียมที่รับได้ระบบ GPS ในทางปฏิบัติแล้วจะให้บริการข้อมูลนำร่องสองประเภท คือ ประเภทแรกประเภทความละเอียดถูกต้องสูง (PPS) ซึ่งสัญญาณของ PPS เป็นชนิด P code ให้บริการแก่หน่วยงานทางทหารของสหรัฐอเมริกา และประเทศพันธมิตรเท่านั้น ส่วนหน่วยงานพลเรือนของสหรัฐอเมริกาบางหน่วยอาจใช้บริการ PPS ได้หากเพื่อเป็นการพิทักษ์ผลประโยชน์ของชาติ โดยต้องมีระบบรักษาความปลอดภัยที่ดีพอและไม่สามารถจัดหาเครื่องมือที่มีความละเอียดถูกต้องทัดเทียมทดแทนได้ ประเภทที่สองคือประเภทที่มีระดับความละเอียดถูกต้องน้อยกว่า ซึ่งเปิดบริการให้แก่ผู้ใช้ C/A code โดยทั่วไปการบริการนี้เรียกว่า SPSระบบดาวเทียมเพื่อการกำหนดตำแหน่งพื้นผิวโลกแบ่งออกเป็นสามส่วนหลัก ได้แก่ (Kennedy, 2009)

ส่วนปฏิบัติงานในอวกาศ (Space Segment) ประกอบด้วยกลุ่มดาวเทียม NAVSTAR มีวงโคจรที่ระดับความสูงประมาณ 20,200 กม.มีทั้งหมด 24 ดวง แบ่งออกเป็นหกชุดๆละสี่ดวง แต่ละชุดโคจรอยู่ในระนาบเดียวกันแต่ละระนาบวงโคจรทำมุม 55 องศากับเส้นศูนย์สูตร ดาวเทียมแต่ละดวงโคจรรอบโลก 12 ชม.ต่อหนึ่งรอบและทำมุม 120 องศาซึ่งกันและกัน ดาวเทียมแต่ละดวงทำหน้าที่ให้ข้อมูลที่เกี่ยวกับตำแหน่งและเวลาที่ถูกต้อง (ธาตุ cesium ระบบ atomic clock ทำให้ระบบเวลาของ GPS มีความละเอียดถูกต้องสูง ในอนาคตจะมีการใช้ธาตุ hydrogen maser แทนธาตุ cesium ซึ่งจะทำให้ระบบเวลาของ GPS มีความละเอียดถูกต้องสูงยิ่งขึ้น) ด้วยสัญญาณคลื่นวิทยุรหัสเฉพาะ ระยะห่างของดาวเทียม(phasing) จากระนาบหนึ่งไปยังอีกระนาบหนึ่งทำมุม 40

องศา ตัวอย่างเช่น ดาวเทียมดวงหนึ่งบนระนาบหนึ่งจะอยู่ข้างหน้าดาวเทียมอีกดวงหนึ่งบนระนาบข้างเคียง ซึ่งอยู่ทางทิศตะวันตกด้วยมุม 40 องศา โดยดาวเทียมโคจรจากทิศใต้ไปทิศเหนือ

ส่วนควบคุม (Control Segment) ประกอบด้วยสถานีควบคุมหลัก MCS หนึ่งสถานี สถานีรับส่งสัญญาณภาคพื้นดิน (Upload Station) สามสถานีและสถานีโครงข่ายรับสัญญาณ (Monitor Station) ตั้งกระจายอยู่ทั่วประเทศสหรัฐอเมริการวมห้าสถานี คือที่ Kwajalein, Diego Garcia, Ascension, Honolulu และที่ฐานทัพอากาศ Falcon มลรัฐ Colorado แต่ละสถานีโครงข่ายรับสัญญาณจะมีเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม GPS แต่ละดวงและสถานีเหล่านี้ได้ทำการสำรวจหาค่าพิกัดอย่างละเอียดโดยหน่วยงานแผนที่สหรัฐอเมริกา (DMA) แต่ละสถานีจะทำการรวบรวมข้อมูลการวัดระยะทางแบบ Pseudo range (หมายถึง ระยะทางระหว่างจุดรังวัดกับดาวเทียม) ข้อมูลชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ ข้อมูลสภาพอากาศ เพื่อนำมาคำนวณหาตำแหน่งที่แน่นอนของแต่ละสถานีทุกๆ 15 นาที แต่ละสถานีโครงข่ายจะส่งข้อมูลไปยังสถานีควบคุมหลัก MCS ซึ่งตั้งอยู่ที่ CSOS ในฐานทัพอากาศ Falcon สถานีควบคุมหลักทำการประมวลผลข้อมูลรังวัดจากทุกๆสถานีโครงข่ายเพื่อหาค่าวงโคจรและทำนายเวลาดาวเทียมแต่ละดวง ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จะถูกส่งกลับไปยังดาวเทียมโดยผ่านทางสถานีรับส่งภาคพื้นดิน (Upload Station) แห่งใดแห่งหนึ่งในสามสถานีด้วยเครื่องรับส่งสัญญาณ S-Band ในทุกแปดชั่วโมง ข้อมูลตำแหน่งดาวเทียมแต่ละดวงในแต่ละวงโคจรที่แม่นยำทำให้การกำหนดตำแหน่งที่พิกัดบนพื้นโลกเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ

ส่วนผู้ใช้ (User segment) คือส่วนชุดเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม GPS ประกอบด้วยชุดเสาอากาศส่วนรับสัญญาณ ส่วนประมวลผลข้อมูลและหน่วยควบคุมการแสดงผลซึ่งสามารถใช้ได้ทั้งในแผ่นดิน ทางทะเล และทางอากาศ ชุดเครื่องรับสัญญาณจะคำนวณตำแหน่งโดยใช้พื้นหลักฐานอ้างอิง WGS 84 โดยมีจุดศูนย์กลางมวลสารของโลกเป็นจุดกำเนิด ซึ่งค่าพิกัดตำแหน่งระบบนี้สามารถแปลงไปเป็นค่าพิกัดบนพื้นหลักฐานท้องถิ่นอื่นๆ ได้ถึง 46 ระบบ รวมทั้งระบบพิกัด UTM ด้วย

วิธีการกำหนดตำแหน่งด้วยดาวเทียม GPS

การกำหนดตำแหน่งของระบบดาวเทียม GPS สามารถแบ่งออกได้เป็นสองวิธี ดังนี้

การกำหนดตำแหน่งค่าสัมบูรณ์ (Absolute positioning)เป็นการรังวัดค่าพิกัดด้วยเครื่องรับสัญญาณ GPS แบบอิสระจุดต่อจุด ไม่มีการอ้างอิงตำแหน่งหรือจุดอื่นๆขณะรับสัญญาณ เครื่องรับสัญญาณ GPS ในตำแหน่งอิสระดังกล่าวจะรับสัญญาณตามค่าดาวเทียมอย่างน้อยสี่ดวงการกำหนดตำแหน่งสัมบูรณ์ เป็นการคำนวณเพื่อหาค่าพิกัดในระบบแกนพิกัดของโลก เช่น ระบบพิกัดฉาก ที่มีจุดศูนย์กำเนิดอยู่ที่จุดศูนย์กลางมวลสารของโลก โดยแกน Z อยู่ในแกนหมุนของโลก แกน X ชี้ไปยังเมอริเดียนศูนย์องศา แกน Y ตั้งฉากกับแกน X และแกน Z บางครั้งเรียก Single Point Positioning ด้วยเหตุว่าเป็นการเปิดรับสัญญาณจากกลุ่มดาวเทียมอย่างน้อยสี่ดวง เพื่อต้องการทราบค่าพิกัดของจุดๆเดียวโดยไม่มีการคำนวณที่เกี่ยวข้องกับตำแหน่งอื่น

การกำหนดตำแหน่งแบบสัมพัทธ์ (Relative Positioning)นอกจากนี้เรายังอาจแบ่งการกำหนดตำแหน่งออกเป็นการกำหนดตำแหน่งสถิต (Static) และการกำหนดตำแหน่งจลน์ (Kinematic) ในการกำหนดตำแหน่งสถิตนั้นเครื่องรับจะถูกวางอยู่กับที่ วิธีนี้ใช้เมื่อต้องการค่าพิกัดที่มีความละเอียดสูง โดยที่ความเร็วของการวัดและการคำนวณตำแหน่งที่มีความสำคัญเป็นอันดับรองลงมา ส่วนการกำหนดตำแหน่งจลน์ (Kinematic) เครื่องรับอยู่ในภาวะเคลื่อนที่ ในกรณีนี้การคำนวณตำแหน่งให้รู้ได้ทันที (Real Time) เป็นเรื่องที่มีความสำคัญมาก การหาตำแหน่งจลน์นำมาประยุกต์ใช้กับการนำวิธีที่ดีต้องการค่าพิกัดแบบสมบูรณ์ ด้วยเหตุนี้วิธีการวัดจึงเป็นการ

วัดแบบ Pseudo Range ที่วัดระยะจากดาวเทียมสี่ดวง ในขณะเดียวกันในการนำวิถีบางครั้งมีการคำนวณค่าพิกัดแบบสัมพัทธ์ เนื่องจากงานนี้เป็นการหาตำแหน่งของเครื่องรับเครื่องหนึ่งเปรียบเทียบอีกเครื่องหนึ่ง จึงจำเป็นต้องมีคลื่นวิทยุเชื่อมโยงระหว่างเครื่องรับทั้งสองนี้เพื่อให้สามารถนำข้อมูลที่วัดได้มาเปรียบเทียบเพื่อคำนวณหาตำแหน่งได้ในทันที วิธีการกำหนดตำแหน่งในลักษณะนี้ประยุกต์ใช้ในการขุดเจาะน้ำมัน และการใช้ในการควบคุมการลากจูงเรือไปตามร่องน้ำ การกำหนดตำแหน่งแบบสัมพัทธ์นี้ บางครั้งเรียกว่าการรังวัดแบบแก้ค่าความต่าง (Differential Correction)

ในการใช้ระบบดาวเทียม GPS เพื่อช่วยในการจำแนกพื้นที่การปลูกมะพร้าวจำเป็นต้องใช้วิธีการรังวัดจากทั้งสองวิธีการ ซึ่งจะกล่าวในรายละเอียดต่อไปในวิธีการวิจัย

2.3 แนวคิดเกี่ยวกับลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของมะพร้าว

2.3.1 ราก (Roots)

มะพร้าวเป็นพืชยืนต้นชนิดใบเลี้ยงเดี่ยว มีระบบรากแบบรากฝอย (fibrousrootsystem) ซึ่งรากมะพร้าวที่ทำหน้าที่ยึดเหนี่ยวลำต้น ดูดซึมน้ำและธาตุอาหารต่าง ๆ นั้น เป็นราก วิสามัญ (adventitiousroot) ที่เรียกว่า รากใหญ่ (mainroots) รากใหญ่เหล่านี้เป็นรากถาวรที่ก่อกำเนิดออกมาจากส่วนล่างสุดของฐานลำต้นและเป็นรากที่ไม่มี cambium เพื่อเพิ่มความหนาของราก ดังนั้นรากใหญ่ทั้งส่วนที่หยั่งลึกดิ่งลงไปในดินและส่วนที่แผ่กระจายออกรอบๆ ลำต้นจะมีขนาดรากเท่ากัน โดยมีเส้นผ่าศูนย์กลางของรากเฉลี่ยประมาณ 8-10 มิลลิเมตร สำหรับจำนวนรากและขอบเขตของรากจะผันแปรเปลี่ยนไปขึ้นอยู่กับลักษณะประจำพันธุ์ อายุพืช ชนิด ดิน ปริมาณน้ำใต้ดิน และความอุดมสมบูรณ์ของดิน กล่าวคือ เมื่อมะพร้าวเจริญเติบโตเต็มที่ จะมีรากใหญ่ที่เจริญอยู่ในชั้นดินลึก 1.5 เมตร จำนวนประมาณ 2,500 ถึง 3,000 ราก และความยาวรากเฉลี่ย 6 เมตร แต่บางรากอาจมีความยาวถึง 20 เมตรก็ได้ สีของรากจะเปลี่ยนแปลงตามอายุพืช โดยรากที่เจริญออกมาจากลำต้นใหม่ ๆ หรือรากที่มีอายุน้อยจะมีสีขาวหรือสีครีม เมื่อรากมีอายุได้ 5 ปี สีของรากจะเปลี่ยนเป็นสีแดง และหลังจากนั้นถ้ารากมีอายุมากกว่า 10 ปีขึ้นไป รากจะมีสีน้ำตาลแดง ในแต่ละปีที่มะพร้าวมีการเจริญอยู่นั้น มะพร้าวจะสร้างรากใหญ่ออกมาเรื่อย ๆ เพื่อทดแทนรากเดิมที่ตายไป และถ้ารากใหญ่ได้รับอันตราย อาจจะมีรากที่มีขนาดเดียวกับรากใหญ่เจริญออกมาทางด้านข้างของรากใหญ่ได้ เรียกรากที่แตกแขนงจากรากใหญ่นี้ว่า รากแขนง (branchroots) นอกจากนี้แล้ว ทั้งรากใหญ่และรากแขนงจะมีรากฝอย (rootlets) เจริญจาก pericycle ออกมาทางด้านข้างของรากทั้งสองได้ และจะแตกแขนงออกไปเรื่อย ๆ จากช่วงที่ 2 ไปจนถึงช่วงที่ 4 ขนาดของรากฝอยมีเส้นผ่าศูนย์กลางรากประมาณ 1-4 มิลลิเมตร รากฝอยของมะพร้าวนี้เป็นรากชั่วคราว อายุรากสั้น เมื่ออากาศแห้งแล้งจะทำให้รากฝอยแห้งตายไป และเมื่อในดินมีความชุ่มชื้นเพียงพอ รากฝอยก็จะงอกออกมาจากรากใหญ่ได้อีกเพื่อทดแทนรากเดิมที่ตายไป

เนื่องจากมะพร้าวเป็นพืชที่ไม่มีขนราก (roothairs) ดังนั้นรากฝอยที่แผ่กระจายออกไปตามดินชั้นต่าง ๆ ก็จะทำหน้าที่ดูดซึมน้ำและธาตุอาหารส่งมายังรากใหญ่ พร้อมทั้งช่วยยึดลำต้นไม่ให้โค่นล้มด้วย สำหรับรากใหญ่นั้น มีหน้าที่ลำเลียงอาหารเข้าสู่ลำต้นมากกว่าทำหน้าที่ดูดอาหารโดยตรง แต่รากใหญ่ก็ดูดซึมน้ำและธาตุอาหารได้บ้างเหมือนกันตรงบริเวณที่อยู่ใกล้กับหมวกราก ซึ่งรากใหญ่บริเวณดังกล่าวนี้ ผนังเซลล์รากบาง

นอกจากนี้แล้วรากใหญ่ยังมีรูสำหรับหายใจ ทำหน้าที่ดูดเอาอากาศที่มีอยู่ในดินเข้าไปในรากและถ่ายเทอากาศจากรากออกมาให้แก่ดิน ซึ่งอวัยวะที่รากใช้แลกเปลี่ยนอากาศนี้เรียกว่า pneumatophoreorbreathingorgan มีลักษณะคล้ายหมวกและมีสีขาว (whitecap-likestructure)

รากชนิดต่าง ๆ ที่ได้กล่าวมาข้างต้นนั้น เป็นรากที่เกิดจากส่วนล่างสุดของลำต้นทั้งสิ้น แต่ถ้ามะพร้าวมีอายุมาก ๆ หรือดินมีน้ำขังอยู่ตลอดเวลา รากเหล่านี้ของมะพร้าวจะเน่าตายหรือสิ้นสภาพไป ดังนั้นมะพร้าวจะสร้างรากชุดใหม่ที่เรียกว่า รากอากาศ (aerialroots) ขึ้นมาทดแทนรากชุดเดิม ซึ่งรากชุดใหม่นี้เจริญออกมาจากโคนต้นเหนือผิวดิน

2.3.2 ลำต้น (Stem)

มะพร้าวที่เจริญเติบโตเต็มที่แล้ว ลำต้นจะแบ่งเป็น 2 ส่วนที่สำคัญคือ ส่วนแรกเป็นส่วนของลำต้นที่อยู่ในดิน มีลักษณะทรงกรวยคว่ำ พร้อมทั้งมีรากใหญ่เจริญออกมาโดยรอบ เรียกส่วนของลำต้นที่อยู่ในดินนี้ว่า bole ลำต้นส่วนที่สองคือ ลำต้นที่อยู่เหนือผิวดินขึ้นมาที่เรียกว่า trunk ลำต้นมะพร้าวในส่วนนี้มีรูปร่างลักษณะเป็นกระบอกทรงสูง แต่ตอนส่วนโคนต้นที่อยู่เหนือพื้นดินเล็กน้อยมีลักษณะคล้ายตะโพก และมีขนาดใหญ่กว่าส่วนลำต้นที่อยู่สูงขึ้นไป ที่ส่วนยอดสุดของลำต้นมะพร้าวจะมีตาอยู่เพียงตาเดียวเท่านั้น ที่จะเจริญเติบโตเป็นลำต้น ใบและช่อดอก ถ้าหากตายอดนี้ถูกทำลายหรือเน่าตายไป มะพร้าวทั้งต้นก็จะตายไปด้วย ซึ่งตายอดที่มีความสำคัญที่สุดของมะพร้าวนี้เรียกว่า terminalbud ลำต้นมะพร้าวส่วนที่อยู่เหนือดิน จะเริ่มปรากฏรูปร่างเป็นทรงกระบอกเมื่อมะพร้าวมีอายุได้ประมาณ 4-5 ปี โดยในช่วงแรกของการเจริญเติบโตทางลำต้นนั้น ตายอดจะเจริญเติบโตทางด้านกว้างเพื่อเพิ่มขนาดของลำต้น จนกระทั่งการเพิ่มขนาดลำต้นเป็นไปตามลักษณะประจำพันธุ์แล้ว ตายอดก็จะเริ่มเจริญเติบโตทางด้านความสูง มีลักษณะเป็นรูปทรงกระบอกสูงขึ้นไปเรื่อย ๆ จนชั่วชีวิต ลำต้นมีสีเทาอ่อนและตั้งตรง แต่มักจะเอียงออกไปหาแสงสว่างหรือเอียงตามทิศทางลมที่พัดประจำมาสู่บริเวณนั้นได้ โดยทั่วไปแล้วลำต้นมะพร้าวมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 25-30 เซนติเมตร บนส่วนของลำต้นประกอบด้วย ข้อ ปล้อง และใบ เช่นเดียวกับพืชใบเลี้ยงเดี่ยวทั่ว ๆ ไป แต่ทว่าความห่างของปล้องจะอยู่ใกล้ชิดติดกันมาก

ในปีแรก ๆ ของการเจริญเติบโตจนกระทั่งมะพร้าวตกผลนั้น ลำต้นมะพร้าวจะเจริญเติบโตเพิ่มความสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว หลังจากนั้นเจริญเติบโตจะช้าลง และเมื่อมะพร้าวมีอายุมากขึ้น หรือสภาพแวดล้อมไม่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโต ลำต้นจะเรียวเล็กลง จำนวนใบและผลก็น้อยลงด้วย ถ้าหากลำต้นมะพร้าวเกิดรอยแผลขึ้น รอยแผลที่เกิดขึ้นนั้นมีรูปร่างอย่างไรก็จะปรากฏรูปร่างอยู่เช่นนั้นตลอดไป ทั้งนี้เพราะว่าลำต้นไม่มีเนื้อเยื่อเจริญพวก cambium ที่จะสร้างเซลล์ออกมาซ่อมแซมบาดแผลได้ และเมื่อใบร่วงจากลำต้น จะทิ้งรอยแผลเป็น (leafscars) ไว้บนลำต้น จำนวนรอยแผลเป็นที่ปรากฏอยู่บนลำต้นนี้จะแสดงถึงอายุของมะพร้าว ซึ่งประมาณว่าภายในแต่ละปี มะพร้าวจะทิ้งรอยแผลเป็นไว้ 12-14 รอย

เมื่อผ่าลำต้นมะพร้าวออกตามขวาง จะเห็นเนื้อเยื่อชั้นในหยาบเป็นเสี้ยนแข็ง สีเหลืองจาง และมีท่อน้ำท่ออาหารกระจายอยู่ทั่วไป โดยเฉพาะบริเวณใจกลางลำต้นแล้วจะมีท่ออาหารอยู่มากกว่าบริเวณรอบนอก สำหรับเนื้อเยื่อชั้นนอกสุดของลำต้นจะแข็งและค่อนข้างเปราะ ซึ่งเป็นเนื้อเยื่อพวก rhytidome และที่ผิวด้านนอกของลำต้นมีรอยแตกตื้น ๆ ขนาดเล็กอยู่ทั่วไป ทำให้น้ำและเชื้อโรคเข้าสู่ลำต้นตรงรอยแตกนี้ได้

2.3.3 ใบ (Leaves)

ใบมะพร้าวมีชื่อเรียกเฉพาะว่า fronds ซึ่งเป็นใบประกอบแบบ pinnatelycompoundleaf ที่เกิดจากตาส่วนยอดของต้น และรวมกันอยู่เป็นกระจุก ปลายใบกระจายออกเป็นรัศมีรอบ ๆ ลำต้น โดยจำนวนใบที่คงอยู่บนลำต้นและอัตราการสร้างใบของมะพร้าวในแต่ละปีนั้น ใช้เป็นเครื่องวัดความเจริญเติบโตของมะพร้าวได้เป็นอย่างดี กล่าวคือถ้าสภาพแวดล้อมเหมาะสม มะพร้าวที่มีการเจริญเติบโตดี จะสร้างจำนวนใบได้มาก และมีใบสดติดอยู่บนลำต้นได้มากด้วย แต่อย่างไรก็ตาม จำนวนใบที่เกิดขึ้นบนลำต้นจะผันแปรไปตามอายุของมะพร้าว อัตราการเกิดใบ อัตราการร่วงของใบ ความอุดมสมบูรณ์ของดิน และสภาพลมฟ้าอากาศต่าง ๆ ซึ่งมะพร้าวที่มีอายุ 1-2 ปี จะมีใบประมาณ 8-10 ใบ ต่อมาเมื่อมะพร้าวมีอายุ 3-4 ปี จะมีใบประมาณ 12-18 ใบ และเมื่อมะพร้าวเริ่มออกดอกหรือมีอายุได้ประมาณ 6 ปี อัตราการสร้างใบในแต่ละปีจะสม่ำเสมอ จำนวนใบบนลำต้นจะมีประมาณ 21-34 ใบ โดยมีอัตราการสร้างใบในแต่ละปีประมาณ 12-18 ใบ แต่เมื่อมะพร้าวมีอายุมาก ๆ จำนวนใบของมะพร้าวจะเริ่มลดลง

การเกิดของใบมะพร้าวนั้น กลุ่มเซลล์ที่จะเป็นใบ (leafprimodia) ใช้เวลาในการเปลี่ยนแปลงรูปร่างประมาณ 30 เดือน จึงจะโผล่ใบอ่อนเป็นยอดแหลมคล้ายลูกศรขึ้นมาจากแผ่นใยของใบ (fibrousleafsheath) ที่ห่อหุ้มตายอดอยู่ ใบอ่อนนี้จะยืดตัวอย่างรวดเร็ว โดยใช้เวลาประมาณ 4-6 เดือน และหลังจากที่ใบมะพร้าวเจริญเติบโตเต็มที่แล้วประมาณ 2 1/2 - 3 ปี จึงจะร่วงจากลำต้น โดยใบที่แห้งจนเกือบร่วงจากลำต้นจะทำมุม 120-170 องศากับลำต้น

ใบมะพร้าวแต่ละใบประกอบด้วย ก้านใบ (rachisorleafstalkorpetiole) และใบย่อย (leaflets) ความยาวก้านใบประมาณ 4.5-6.0 เมตร แต่ละใบจะมีใบย่อยประมาณ 200-250 ใบ โดยใบย่อยจะเรียงติดกันเป็นแผงทั้งสองข้างของก้านใบ ใบย่อยที่โคนใบและปลายใบจะมีขนาดใบแคบและสั้นกว่าใบย่อยที่อยู่ตอนกลางใบ ใบย่อยที่โคนใบจะยาวประมาณ 76 เซนติเมตร กว้าง 2.5 เซนติเมตร ส่วนใบย่อยที่ปลายใบจะยาวประมาณ 45 เซนติเมตร กว้าง 1.3 เซนติเมตร สำหรับใบย่อยที่ยาวที่สุดประมาณ 1 เมตร ซึ่งจะเป็นใบย่อยที่อยู่ประมาณ 1/3 ของก้านใบที่นับจากโคนใบ โคนใบส่วนที่ยึดติดกับลำต้นอย่างเหนียวแน่น มีขนาดใหญ่เกือบครึ่งรอยลำต้น และมีร่องเหนือโคนใบให้น้ำไหลสู่ยอดได้

ใบที่อยู่บนลำต้นและรวมกันอยู่เป็นกระจุกนั้น ใบแต่ละใบจะมีการเร่งตัวอย่างมีระเบียบเพื่อให้ใบทุกใบรับแสงแดดอย่างเต็มที่ การเรียงตัวของใบบนลำต้นมีลักษณะเป็นเกลียว ซึ่งมีทั้งเกลียวเวียนซ้าย (ตามเข็มนาฬิกา) และเกลียวเวียนขวา (ทวนเข็มนาฬิกา) ถ้ามะพร้าวมีใบเรียงเป็นเกลียวเวียนซ้ายแล้ว ทะลายมะพร้าวจะพาดอยู่ทางขวาของก้านใบ ในทางตรงกันข้ามกัน ถ้ามะพร้าวมีใบเรียงเป็นเกลียวเวียนขวา ทะลายมะพร้าวจะพาดอยู่ทางซ้ายของก้านใบ ซึ่งการเรียงตัวของใบทั้ง 2 ลักษณะนี้ การจัดเรียงของใบบนลำต้น (phyllotaxy) ประมาณ 2/5 กล่าวคือใบแต่ละใบห่างกันทำมุมประมาณ 137-140 องศา ดังนั้นถ้ากำหนดให้ใบยอดเป็นใบที่ 1 ซึ่งมีอายุอ่อนที่สุด แล้วนับใบที่แก่กว่าลงมาเรื่อย ๆ จะพบว่าเมื่อใบเวียนครบ 2 รอบ ประมาณ 2/5 ของรอบลำต้น ใบที่ 6 จะอยู่เกือบตรงกับใบที่ 1 โดยทำมุมห่างกันประมาณ 15-35 องศา และในทำนองเดียวกัน ใบที่ 7 จะอยู่เกือบตรงกันใบที่ 2 ใบที่ 8 จะอยู่เกือบตรงกับใบที่ 3 เป็นเช่นนี้เรื่อย ๆ ไป ดังภาพแสดงการเรียงของใบมะพร้าว เมื่อมะพร้าวเจริญเติบโตเต็มที่จะมีใบประมาณ 30-40 ใบ ใบต่าง ๆ บนลำต้นมะพร้าวนี้แบ่งออกได้เป็น 4 ชุด คือ

ชุดที่ 1 มีใบประมาณ 3-5 ใบ เป็นใบอ่อนที่อยู่ในตามะพร้าว อาจจะมีบางใบที่ใบย่อยเริ่มคลี่ออกบ้างแล้ว

ชุดที่ 2 มีใบประมาณ 10-12 ใบ เป็นใบที่ใบย่อยคลี่ออกแล้ว และมีช่อดอกอายุต่าง ๆ กันอยู่ระหว่างมุมใบ

ชุดที่ 3 มีใบประมาณ 10-14 ใบ เป็นใบที่รองรับทะลายมะพร้าวที่มีอายุต่าง ๆ กัน

ชุดที่ 4 มีใบประมาณ 10-12 ใบ เป็นใบที่ได้เก็บเกี่ยวทะลายมะพร้าวแล้ว ใบชุดนี้ไม่มีประโยชน์อะไร

2.3.4 ช่อดอก (Inflorescence)

มะพร้าวเป็นพืชใบเลี้ยงเดี่ยว ช่อดอกจะมีดอกตัวผู้และดอกตัวเมียอยู่แยกกัน แต่ดอกทั้งสองชนิดอยู่ในช่อดอกเดียวกัน ลักษณะประจำพันธุ์ของมะพร้าวจะเป็นสิ่งกำหนดระยะเวลาการออกดอก มะพร้าวพันธุ์ต้นสูงจะออกดอกเมื่ออายุประมาณ 6 ปี แต่มะพร้าวพันธุ์เตี้ย หรือพันธุ์ลูกผสมจะออกดอกเมื่ออายุประมาณ 4-5 ปี ช่อดอกมะพร้าวเกิดอยู่ในมุมใบระหว่างส่วนของลำต้นกับโคนใบโดยมีแผ่นใยของโคนใบห่อหุ้มอยู่ มะพร้าวที่มุมใบทุกใบมีช่อดอกเกิดขึ้นอย่างสม่ำเสมอ เรียกว่า regularbearer ส่วนมะพร้าวที่มีช่อดอกเกิดไม่สม่ำเสมอ เรียกว่า irregularbearer ดังนั้นมะพร้าวพวก regularbearer จะมีจำนวนช่อดอกเท่ากับจำนวนใบ และมีช่อดอกปีละประมาณ 10-14 ช่อดอก

มะพร้าวที่เริ่มออกดอกครั้งแรก หรือในกรณีของมะพร้าวที่ถูกปาดช่อดอกทำน้ำตาลเป็นเวลานาน ๆ พบว่าในช่อดอกจะมีเฉพาะดอกตัวผู้เท่านั้น ช่อดอกมะพร้าวหรือที่เรียกว่าจั่น (spadix) หรือบางท้องถิ่นอาจเรียกว่า นกมะพร้าวนั้น มีกาบ (spathe) จำนวน 2 อันหุ้มช่อดอก โดยกาบหุ้มอันนอกมีขนาดเล็กจะเจริญเติบโตออกมาก่อนแล้วหยุดการเจริญเติบโต หลังจากนั้นกาบหุ้มอันในจะเจริญเติบโตแทงทะลุกาบนอกออกมา และทำหน้าที่หุ้มช่อดอกไว้ จั่นมะพร้าว เมื่อแรกเกิดมีสีเหลืองค่อนข้างแบน เมื่อจั่นเจริญเติบโตเต็มที่จะมีลักษณะคล้ายลูกกระสวย (fusi-form) สีเขียวกลมยาวและโค้งออก ส่วนโคนเล็กเรียวแต่ส่วนปลายเล็กแหลม ความยาวของจั่นประมาณ 1-2 เมตร บริเวณที่ใหญ่สุดมีเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 15 เซนติเมตร ต่อมาทางด้านล่างของกาบหุ้มจะแตกออกตามแนวยาวจากปลายมายังโคนจั่นโดยการเบ่งตัว เนื่องจากการเจริญเติบโตของช่อดอกที่อยู่ภายในจั่น ระยะเวลาที่เกิดการแตกของกาบหุ้มนี้เป็นไปอย่างช้า ๆ ประมาณ 1-3 วัน หลังจากนั้นช่อดอกก็จะโผล่ออกมาพร้อมกับการบานของดอก ซึ่งบางดอกจะบานทันทีหลังจากที่กาบหุ้มแตกออก แต่บางครั้งดอกจะเริ่มบานเมื่อกิ่งของช่อดอกได้แผ่กระจายเต็มที่แล้ว

ช่อดอกมะพร้าวเป็นแบบ panicle ประกอบด้วยแกนกลางช่อดอก (rachis) ซึ่งมีแขนงช่อดอกแยกออกไปเป็นระแง้ (panicle) ติดกับช่อดอกเรียงเป็นเกลียว จำนวนประมาณ 40 อัน ในแต่ละระแง้มีดอกตัวผู้อยู่ตอนปลายเป็นจำนวนมาก และตอนโคนของระแง้แต่ละอันจะมีดอกตัวเมียอยู่ประมาณ 1-2 ดอก

ดอกตัวผู้ (maleflowerormalespikelet) ในแต่ละจั่น จะมีเป็นจำนวนมาก ตั้งแต่ 200-300 ดอก จนถึงจำนวนนับพัน ๆ ดอก โดยอาจจะเกิดเป็นดอกเดี่ยวหรือเป็นกลุ่ม ๆ ละ 2-3 ดอกก็ได้ ลักษณะของดอกคล้ายข้าวเปลือก เมล็ดใหญ่ ไม่มีก้านดอก ขนาดของดอกยาวประมาณ 0.7-1.3 เซนติเมตร กว้างประมาณ 0.5-0.7 เซนติเมตร มีกลีบดอก (perianthoffloralleaves) สีเหลือง จำนวน 6 กลีบ แยกออกเป็น 2 วง ๆ ละ 3 กลีบ โดยกลีบดอกวงนอกมีขนาดเล็กกว่า และเกิดสลับกับกลีบดอกวงใน เมื่อดอกแก่จะแตกออกตามยาวของดอก ภายในดอกมีเกสรตัวผู้ (stamen) จำนวน 6 อัน และแยกออกเป็น 2 วง ๆ ละ 3 stamen ตรงกลางดอกซึ่งเป็นชั้นในสุดมีเกสรตัวเมียที่พัฒนาไม่สมบูรณ์ และไม่ทำหน้าที่แล้ว (rudimentarypistil) ซึ่งปลายแยกเป็น 3 แฉก แต่ละแฉกมีต่อมน้ำหวานเพื่อล่อแมลงให้ช่วยถ่ายเทละอองเกสรตัวผู้ การบานของดอกตัวผู้นั้น ดอกที่อยู่ปลายระแง้และดอกที่ติดอยู่บนฐานดอกตัวเมียจะเริ่มบานก่อน หลังจากนั้นดอกที่อยู่ถัดลงไปตามระแง้ล่าง ๆ ก็จะค่อย ๆ บานทะยอยไป

เรื่อย ๆ แต่ละดอกจะบานอยู่ประมาณ 1 วัน ก็ร่วงหล่นไป ระยะเวลาตั้งแต่ดอกตัวผู้ดอกแรกเริ่มบานไปจนถึงดอกสุดท้ายร่วง (malephase) ใช้เวลาประมาณ 20-24 วัน และละอองเกสรตัวผู้ที่แตกออกจากอับเกสรนั้น จะมีละอองเกสรอยู่ 2 ชนิดคือ ละอองชนิดกลมที่ไม่เป็นหมัน กับละอองเกสรที่เหี่ยวที่เป็นหมัน ประมาณ 25 เปอร์เซ็นต์

ดอกตัวเมีย (femaleflowersorbutton) ดอกตัวเมียมีลักษณะกลมนูน มีกลีบดอก (perianth) ห่อหุ้มเป็นปลีคล้าย ๆ กับกะหล่ำปลีขนาดเล็ก เส้นผ่าศูนย์กลางดอกประมาณ 2-3 เซนติเมตร ดอกตัวเมียนี้จะอยู่บริเวณโคนของระแง้ ๆ ละ 1-2 ดอก ดังนั้นช่อดอกมะพร้าวแต่ละช่อดอก จะมีดอกตัวเมียโดยเฉลี่ยประมาณ 20-40 ดอก แต่ละดอกมีกลีบดอกใหญ่ขนาดเท่าๆกัน และหนาจำนวน 6 กลีบห่อหุ้มดอกอย่างหนาแน่น โดยกลีบดอกทั้ง 6 กลีบนี้เรียงเป็นวง 2 วงวงละ 3 กลีบ เช่นเดียวกับกลีบดอกตัวผู้ ส่วนของดอกที่ติดกับระแง้จะมีกลีบที่มีขนาดกว้างและสั้น(prophyllorbracteole) อีก 2 กลีบรองรับกลีบดอกอีกครั้งหนึ่ง และที่ฐานด้านข้างของดอกตัวเมียจะมีดอกตัวผู้ 1 หรือ 2 ดอกเกิดขึ้นด้วย ภายในดอกมีเกสรตัวเมีย (pistil) 1 อัน ซึ่งส่วนปลายของเกสรตัวเมีย (stigma) แยกจากกันเป็น 3 แฉก ภายในเกสรตัวเมียมีรังไข่ (ovary) 1 อัน ซึ่งมี 3 พู แต่ละพูมีไข่ (ovule) 1 อัน และมีไข่เพียงใบเดียวที่จะเจริญเป็นผล ระหว่างรังไข่กับวงของกลีบดอก จะมีวงแหวนสีเหลืองอยู่ล้อมรอบ ซึ่งเป็นที่เกิดของเกสรตัวผู้ที่พัฒนาไม่สมบูรณ์และไม่ทำหน้าที่แล้ว (rudimentarystamens) จำนวน 6 อัน กลีบดอกตัวเมียจะเริ่มบานออกหลังจากที่ดอกตัวผู้ร่วงหมดแล้วประมาณ 1-4 วัน เมื่อดอกตัวเมียบานจะมีน้ำหวานเยิ้มออกมาจากดอก และปลายดอกจะแยกออกเป็น 3 แฉก หลังจากที่ดอกตัวเมียบานแล้ว 1-2 วัน พร้อมทั้งได้รับละอองเกสรตัวผู้แล้ว ปลายของดอกจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลและน้ำหวานก็จะหยุดไหล ระยะเวลาที่ดอกตัวเมียดอกแรกจนถึงดอกสุดท้ายภายในจั่นบานพร้อมที่จะรับการผสม (femalephase) จะใช้เวลาประมาณ 4-7 วัน และเมื่อดอกตัวเมียดอกแรกเริ่มบานนั้น ดอกตัวผู้ภายในจั่นได้ร่วงหมดแล้ว ดังนั้น การผสมพันธุ์จะผสมโดยใช้ละอองเกสรจากดอกตัวผู้ภายในจั่นเดียวกันไม่ได้ ยกเว้นมะพร้าวพันธุ์เตี้ยจะผสมตัวเองได้ ทั้งนี้เพราะว่ามะพร้าวพันธุ์เตี้ยนั้นระยะ femalephase จะสิ้นสุดลงก่อน malephase ซึ่งลักษณะดังกล่าวนี้ เป็นคุณสมบัติอันหนึ่งที่แตกต่างกันระหว่างมะพร้าวพันธุ์เตี้ยกับพันธุ์ต้นสูง

เมื่อดอกตัวเมียได้รับการผสมจากละอองเกสรตัวผู้เรียบร้อยแล้ว ก็จะเจริญเติบโตเป็นผลต่อไป กลีบดอกตัวเมียทั้ง 6 อัน ที่ติดอยู่กับระแง้ก็จะขยายใหญ่ขึ้น และติดอยู่บนฐานของผลต่อไปจนกระทั่งผลแก่และแห้ง

2.3.5 ผล (Fruit)

ผลมะพร้าวจะมีขนาดโตเต็มที่หลังจากที่มีการผสมเกสรแล้ว 6 เดือน และหลังจากนั้นอีก 6 เดือน ผลก็จะสุกแก่พร้อมที่จะเก็บเกี่ยว ลักษณะของผลเป็นแบบ fibrousdrups ที่เรียกกันว่า nut ขนาดของผล สีของผล จะเปลี่ยนแปลงไปตามลักษณะประจำพันธุ์ ผลของมะพร้าวหรือเปลือกมะพร้าวนี้ประกอบด้วยชั้นต่าง ๆ 3 ชั้น คือ

1. Exocarp คือ เปลือกนอกสุดของผล เป็นแผ่นของเส้นใยที่เหนียวและแข็ง เมื่อผลแก่จะมีสีเขียว แดง หรือเหลืองตามลักษณะประจำพันธุ์ สำหรับผลที่แก่และแห้งจัดจะมีสีน้ำตาลเข้ม
2. Mesocarp เป็นชั้นที่อยู่ถัดจากเปลือกนอกเข้ามา เมื่อผลยังอ่อนมีลักษณะอ่อนนุ่มบางพันธุ์อาจมีรสหวานรับประทานได้ แต่เมื่อผลแก่จะกลายเป็นชั้นของเส้นใยที่เรียกว่า กาบมะพร้าว (coir) ซึ่งชั้นนี้จะหนาประมาณ 4-8 เซนติเมตร

3. Endocarp เป็นชั้นในสุดที่มีกาบมะพร้าวหุ้มล้อมรอบ เมื่อผลแก่จะมีลักษณะแข็ง สีน้ำตาลดำ ที่เรียกว่า กะลา (huskorshell) ซึ่งผิวด้านนอกของกะลาจะมีสันนูน 3 สัน ที่กะลาด้านที่อยู่ทางขั้วของผลจะมีตาอยู่ 3 ตา carpel ละ 1 ตา โดยมีตาแข็ง 2 ตา และตานิ่มอันใหญ่ 1 ตา ตานิ่มนี้จะอยู่บนส่วนของกะลาอันใหญ่ที่สุด เมื่อมะพร้าวงอกหน่อออกมา ต้นอ่อนจะแทงทะลุผ่านตานิ่มอันนี้

2.3.6 เมล็ด (Seed)

เมล็ดมะพร้าวมีขนาดใหญ่ ซึ่งเมล็ดมะพร้าวนี้ก็คือเนื้อมะพร้าว (kernelormeatorendosperm) ที่อยู่ภายในกะลานั่นเอง ประกอบด้วย seedcoat เป็นแผ่นบาง ๆ สีน้ำตาลคั่นอยู่ระหว่างกะลากับเนื้อมะพร้าว ซึ่ง seedcoat นี้จะติดแน่นกับเนื้อมะพร้าว เนื้อมะพร้าวโดยทั่วไปจะมีความหนาเฉลี่ยประมาณ 1-2 เซนติเมตร สีขาวและมีน้ำมันอยู่มาก ส่วนของคัพภะ(embryo) จะอยู่ใต้ตานิ่ม มีลักษณะคล้ายหัวเข็มหมุดสีเหลืองขนาด 0.5-1 เซนติเมตร ฝังอยู่ในเนื้อมะพร้าว ภายในเมล็ดจะเป็นช่องว่างขนาดใหญ่ เมื่อผลอ่อนจะมีน้ำ (liquidendosperm) บรรจุอยู่เต็ม ซึ่งน้ำมะพร้าวมีน้ำตาลพวกกลูโคสและซูโคส เมื่อผลแก่จะมีสารที่ขับออกมาจากเซลล์ของ endosperm รวมอยู่ด้วย ทำให้น้ำมะพร้าวมีรสกร่อยลงไป ปริมาณน้ำก็มีน้อยลง ดังนั้นเมื่อเขย่าผลมะพร้าวจะได้ยินเสียงของน้ำภายในผล และน้ำมะพร้าวภายในผลจะถูกดูดซึมหมดไปภายในเวลา 6 เดือนหลังจากเก็บเกี่ยว

เมล็ดมะพร้าวไม่มีการพักตัว ดังนั้นคัพภะจะเจริญเติบโตได้ทันทีหลังจากที่ผลแก่เต็มที่แล้ว โดยคัพภะจะงอกหน่อออกมาทางตานิ่มและโผล่ยอดอ่อนออกมาจากเปลือกของมะพร้าวพร้อมทั้งมีรากเกิดขึ้นที่หน่ออ่อนด้วย ซึ่งระยะเวลาที่คัพภะเจริญเติบโตเป็นหน่อและมีรากนั้น ใช้เวลาประมาณ 4 เดือน เมื่อนำผลมะพร้าวที่มีลักษณะดังกล่าวนี้มาผ่าออกตามยาวของผลจะพบว่า ส่วนของใบเลี้ยงที่หุ้มยอดอ่อน (plumule) และรากอ่อนของคัพภะ เกิดการขยายตัวใหญ่ขึ้นภายในช่องว่างของเมล็ดที่เรียกว่า จาวมะพร้าว (haustorialorganorapple) ซึ่งผิวนอกมีสีเหลืองอ่อน แต่เนื้อเยื่อภายในมีลักษณะฟ่ามชุ่มน้ำคล้าย ๆ กับฟองน้ำ จาวมะพร้าวนี้จะทำหน้าที่ลำเลียงอาหารจาก endosperm ไปหล่อเลี้ยงคัพภะ รากอันแรกของมะพร้าวที่เจริญออกมาจากคัพภะนั้น เป็นรากที่มีอายุสั้นชั่วระยะเวลาหนึ่ง หลังจากนั้นจะมีรากวิสามัญเจริญเติบโตออกมาจากส่วนข้อของลำต้นแทน พร้อมทั้งมีรากฝอยแตกสาขาเจริญอยู่ภายในชั้น mesocarp และรากจะแทงทะลุเปลือกของผลออกมาหลังจากที่หน่ออ่อนโผล่ขึ้นมาแล้ว

2.3.7 พันธุ์ (Varieties)

ในการจำแนกพันธุ์มะพร้าวออกเป็นหมวดหมู่นั้น ใช้การพิจารณาลักษณะต่าง ๆ ที่สำคัญ 3 ประการคือ (1) การเจริญเติบโตของลำต้น (2) อายุที่มะพร้าวเริ่มตกผล และ (3) ลักษณะการบานของดอก จากหลักเกณฑ์ทั้ง 3 ประการนี้ ทำให้แบ่งมะพร้าวออกเป็น 2 พันธุ์ คือ (1) มะพร้าวพันธุ์ต้นเตี้ย (Dwarftypevar.nana) และ (2) มะพร้าวพันธุ์ต้นสูง (Talltypevar. typica) ซึ่งมะพร้าวทั้ง 2 พันธุ์มีลักษณะที่แตกต่างกันดังนี้ คือ

มะพร้าวพันธุ์ต้นเตี้ย หมายถึง มะพร้าวที่มีลำต้นเล็ก ทางใบสั้น ความสูงลำต้นไม่เกิน 12 เมตร เริ่มออกดอกและผลหลังปลูกประมาณ 3-4 ปี มะพร้าวพันธุ์นี้เป็นพวกผสมตัวเอง ขนาดผลเล็ก มะพร้าวที่จัดเป็นพวกพันธุ์เตี้ย มีชื่อเรียกตามภาษาท้องถิ่น ได้แก่ นกคุ่ม หมูสีเขียว หมูสีแดง หรือนาพิเก มะพร้าวเตี้ย มะพร้าวน้ำหอม เป็นต้น

สำหรับมะพร้าวพันธุ์ต้นสูง ส่วนมากเป็นมะพร้าวที่ปลูกเพื่อขายผลแก่ หรือทำมะพร้าวแห้ง มีลักษณะลำต้นสูงใหญ่ อายุมากอาจถึง 80-90 ปี ความสูงลำต้นประมาณ 18 เมตร หรือมากกว่าก็ได้ เริ่มออกดอก

และผลหลังปลูกประมาณ 5 ปี ขนาดของผลไม่แน่นอน และเป็น พวกที่ผสมข้ามพันธุ์ มะพร้าวพันธุ์ต้นสูงนี้ ได้แก่ มะพร้าวกะโหลก มะพร้าวใหญ่ มะพร้าว กลาง มะพร้าวปากจก มะพร้าวทะลายร้อย มะพร้าวเปลือกหวาน

นอกจากมะพร้าวทั้ง 2 พันธุ์แล้ว ยังมีมะพร้าวอีกชนิดหนึ่งที่มีลักษณะของช่อดอก แบบ spike ไม่มีระแง้ ดอกตัวเมียมีจำนวนมากติดอยู่กับก้านดอก และมีดอกตัวผู้อยู่ตรงส่วนปลายของก้านดอก มะพร้าวชนิดนี้เรียกชื่อเฉพาะว่า มะแพร้ว

สำหรับปัจจุบันนี้ มะพร้าวที่ปลูกเป็นการค้าในประเทศไทยให้ผลผลิตต่ำ จึงได้มีการปรับปรุงพันธุ์ให้ได้ผลผลิตสูงขึ้นที่ศูนย์วิจัยพืชสวนสวี จังหวัดชุมพร ทำให้ได้มะพร้าวลูกผสมพันธุ์สวีลูกผสม 1 ซึ่งมะพร้าวพันธุ์นี้มีผลผลิตสูงเนื้อมะพร้าวหนา เปอร์เซ็นต์น้ำมันมาก และเป็นพันธุ์ที่แนะนำให้กับชาวสวนมะพร้าว

2.4 ปัจจัยสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมต่อผลผลิตทางการเกษตรจำพวกมะพร้าว

2.4.1 สภาพพื้นดิน

พื้นที่ปลูกมะพร้าวในประเทศไทยไม่ควรสูงกว่าระดับน้ำทะเลเกิน 100 เมตร ปลูกได้ตั้งแต่ดินทรายจนถึงดินเหนียวจัด แต่ในดินร่วนจะมีการระบายน้ำดีทำให้รากเจริญเติบโตเร็ว หน้าดินควรลึกไม่น้อยกว่า 1 เมตร และน้ำใต้ดินไม่สูง เพราะอาจทำให้เหี่ยวเฉาและผลอ่อนร่วงหล่นได้ ความเป็นกรดเป็นด่างของดินควรอยู่ระหว่าง 6.4 – 7.0 และมีความอุดมสมบรูณ์ปานกลาง ดินที่เหมาะกับการปลูกมะพร้าวมี 6 ชนิดคือ

1) ดินใกล้ฝั่งแม่น้ำ
2) ดินใกล้ปากน้ำติดทะเลเป็นที่ราบลุ่มน้ำท่วมในฤดูฝน
3) ดินตามเกาะต่างๆ
4) ดินชายทะเลซึ่งส่วนมากหน้าดินเป็นดินทราย
5) ดินเลนที่ขุดลอกจากสันดอน
6) ดินบนคันนา

2.4.2 สภาพอากาศ

มะพร้าวจะสามารถเจริญเติบโตและให้ผลในสภาพลมฟ้าอากาศแทบทุกประเภท แต่หากจะปลูกเป็นการค้าก็ควรจะเลือกปลูกในสภาพที่มะพร้าวจะให้ผลผลิตสูง ซึ่งสภาพลมฟ้าอากาศที่เหมาะแก่การปลูกมะพร้าวเป็นดังนี้

ฝน

มะพร้าวเจริญเติบโตให้ผลผลิตดีเมื่อได้รับน้ำฝนอย่างสม่ำเสมอ 1500 – 2000 มิลลิเมตรต่อปี และไม่ควรได้รับน้ำน้อยกว่า 50 มิลลิเมตรติดต่อกันนาน 3 เดือน ผู้ปลูกมะพร้าวในภาคกลาง ภาคเหนือ และภาคตะวันออกเฉียงเหนือ จึงนิยมขุดร่องสวนเพื่อให้มะพร้าวมีน้ำหล่อเลี้ยงเพียงพอตลอดปี ทั้งยังช่วยป้องกันน้ำท่วมรากหากฝนตกชุกเป็นเวลานาน

ลม

ลมพัดอ่อนๆ จะช่วยให้มะพร้าวเติบโตได้ดีเพราะเพิ่มการคายน้ำและเร่งการดูดธาตุอาหารและน้ำจากดิน ทั้งยังช่วยในการผสมเกสร แต่ถ้าลมแรงเกินไปอาจทำให้ยอดบิดหักและตายได้ มะพร้าวที่ปลูกใหม่จะชะงักการเจริญเนื่องจากรากยังไม่ยึดดินแน่นเท่าที่ควร

แสง

มะพร้าวต้องการแสงแดดสม่ำเสมอประมาณ 2000 ชั่วโมงต่อปี หรือไม่น้อยกว่า 5 ชั่วโมงต่อวัน หากได้รับแสงแดดน้อยมะพร้าวจะไม่ค่อยออกดอกติดผล หรือติดผลแต่เนื้อบาง

อุณหภูมิ

มะพร้าวเจริญได้ดีในอุณหภูมิเฉลี่ย 27 องศาเซลเซียส จะสูงหรือต่ำกว่าก็ไม่ควรเกิน 7 – 8 องศา และอุณหภูมิไม่ควรเปลี่ยนแปลงอย่างกระทันหัน อุณหภูมิที่ต่ำมากจะกระทบกระเทือนการเจริญและผลผลิต

2.5 การตัดสินใจโดยกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้น (Decision Making by Analytic Hierarchy Process)

กระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้น (Analytic Hierarchy Process) หรือเรียกว่า AHP เป็นวิธีการหนึ่งที่ใช้ในการวิเคราะห์เพื่อการตัดสินใจเลือกทางที่ดีที่สุด (Best Alternatives) พัฒนาขึ้นโดย Saatyในปี ค.ศ. 1970 เพื่อเป็นเครื่องมือของนักบริหาร โดยมีหลักการคือ แบ่งโครงสร้างของปัญหาออกเป็นชั้นคือการกำหนดเป้าหมาย (Goal) แล้วจึงกำหนดเกณฑ์ (Criteria) เกณฑ์ย่อย (Sub criteria) และทางเลือก (Alternatives) ตามลำดับ(Saaty, 2000)แล้วจึงวิเคราะห์ทางเลือกที่ดีที่สุด (Pair wise) เพื่อให้ง่ายต่อการตัดสินใจ ว่าเกณฑ์ไหนสำคัญกว่ากัน โดยการให้คะแนนตามความสำคัญหรือความชอบนั้นสมเหตุสมผล (Consistency) จะสามารถจัดลำดับทางเลือกเพื่อหาทางเลือกที่ดีที่สุด ปัจจุบัน AHP เป็นวิธีหนึ่งของกระบวนการตัดสินใจแบบหลายเกณฑ์ (Multicriteria Decision Making) ซึ่งมีผู้นิยมใช้มากมีการพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อช่วยให้การวิเคราะห์ง่ายและสะดวก

การวิเคราะห์ตามลำดับชั้นมีสิ่งสำคัญต้องพิจารณา 3 ประการ คือการจัดลำดับชั้นในการวิเคราะห์ การหาลำดับความสำคัญ และการวิเคราะห์ความสมเหตุสมผลของข้อมูล ซึ่งจะกล่าวถึงในรายละเอียดดังต่อไปนี้

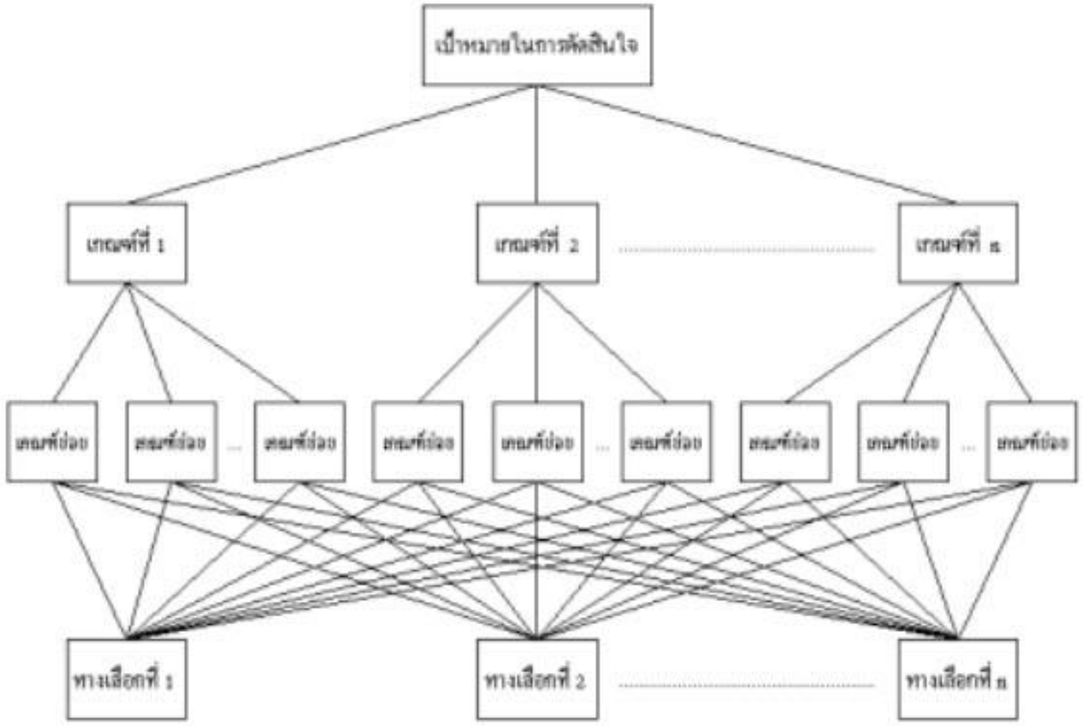
การจัดลำดับชั้นในการวิเคราะห์ **(Structuring the Hierarchy)**

ในการวิเคราะห์เพื่อตัดสินใจเลือกของหรือทางเลือกที่ดีที่สุด แบ่งการวิเคราะห์ออกเป็นลำดับชั้นดังนี้คือ เป้าหมาย(Goal) เกณฑ์ (Criteria) เกณฑ์ย่อย (Sub criteria) และทางเลือก (Alternatives) โดยในแต่ละชั้นอาจมีหลายเกณฑ์ และในแต่ละเกณฑ์อาจมีหลายเกณฑ์ย่อย

การคำนวณหาลำดับความสำคัญ **(Calculation of Relative Priority)**

ในแต่ละชั้นผู้บริหารหรือผู้เชี่ยวชาญหรือผู้เกี่ยวข้องเป็นผู้ให้คะแนนความสำคัญหรือความเห็นชอบโดยการเปรียบเทียบของคู่ในชั้นนั้นแล้วจะทำการคำนวณหาน้ำหนักความสำคัญ (Weight) หรือลำดับ

ความสำคัญสัมพันธ์ (Relative Priority) ของชั้นนั้นทำการวิเคราะห์ในทำนองเดียวกันทีละชั้นจากชั้นบนลงสู่ชั้นล่างจนครบทุกชั้น จะทราบคะแนนความสำคัญรวมของทางเลือกตามเกณฑ์ที่กำหนด



รูป 1โครงสร้างของกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับขั้น (Analytic Hierarchy Process)

ตาราง 1 สเกลในการเปรียบเทียบความสำคัญหรือความชอบของสองสิ่ง (Pair wise Comparison Scale) **(Huizingh & Vrolijk, 1995)**

เชิงคุณภาพ	เชิงปริมาณ
เท่ากัน (Equally Preferred)	1
เท่ากันถึงปานกลาง (Equally to Moderately)	2
ปานกลาง (Moderately Preferred)	3
ปานกลางถึงค่อนข้างมาก (Moderately to Strongly)	4
ค่อนข้างมาก (Strongly Preferred)	5
ค่อนข้างมากถึงมากกว่า (Strongly to Very Strongly)	6
มากกว่า (Very Strongly Preferred)	7

มากกว่าถึงมากที่สุด (Very Strongly to Extremely)	8
มากที่สุด (Extremely Preferred)	9

น้ำหนักความสำคัญของเกณฑ์หรือทางเลือกในแต่ละชั้นจะคำนวณได้จากสมการ

$$A\underline{w} = \lambda_{max}\,\underline{w} \qquad \text{.............................. (1)}$$

เมื่อ A คือ สแควร์เมตริกแสดงความเห็นของผู้บริหารหรือผู้เชี่ยวชาญหรือผู้เกี่ยวข้องในรูปของคะแนนความสำคัญซึ่งปรับค่าให้เป็น 1 แล้ว (Normalized)

$\underline{w}$ คือ Eigenvector แสดงน้ำหนักความสำคัญสัมพัทธ์ของของซึ่งอยู่ในลำดับชั้นเดียวกัน หรือกลุ่มของที่อยู่ภายใต้ของในลำดับชั้นที่สูงกว่า (ดูรูปที่ 1 ประกอบ)

λ_{max} คือ Maximum eigenvalue

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdot & \cdot & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \cdot & \cdot & a_{2n} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ a_{n1} & a_{n2} & \cdot & \cdot & a_{nn} \end{bmatrix}$$

$a_{ij} = \frac{1}{a_{ji}}$ = คะแนนความสำคัญของของที่เปรียบเทียบทีละคู่ มีค่าอยู่ระหว่าง 0 - 1

$$\underline{w} = \lim_{k \to \infty} \frac{A^k \underline{e}}{\underline{e}^T A^k \underline{e}} \qquad \text{.............................. (2)}$$

เมื่อ k คือ การคำนวณครั้งที่ k

$\underline{e}$ คือ Unit Vector

การตรวจสอบความสมเหตุสมผลของข้อมูล **(Consistency)**

ความเห็นผู้บริหารหรือผู้เชี่ยวชาญหรือผู้เกี่ยวข้องในรูปของคะแนนความสำคัญ ซึ่งได้จากการเปรียบเทียบของเป็นคู่ บางครั้งอาจไม่สมเหตุสมผลหรือมีข้อผิดพลาด (Error) ในการแสดงความคิดเห็น ตัวอย่าง เมื่อเปรียบเทียบระหว่าง นาย ก และ นาย ข ชอบนาย ก เป็น 2 เท่าของนาย ข ถ้าเปรียบเทียบระหว่าง นาย ข และ นาย ค ชอบนาย ข เป็น 3 เท่าของนาย ค และเมื่อเปรียบเทียบระหว่าง นาย ก และ นาย ค ชอบนาย ก เป็น 5 เท่าของนาย ค เป็นต้น ซึ่งตามหลักของเหตุผลควรชอบ นาย ก เป็น 6 เท่าของนาย ค เป็นต้น ความไม่สมเหตุสมผลหรือข้อผิดพลาดเป็นสิ่งที่สามารถเกิดขึ้นได้ในการวิเคราะห์เปรียบเทียบของคู่ จึงต้องมีการตรวจสอบความสมเหตุสมผลของข้อมูล โดยการคำนวณดรรชนีความสมเหตุสมผลของข้อมูล (consistency Index, CI) ถ้า CI > 0.1 แสดงว่าข้อมูลคะแนนความสำคัญที่ได้จากการเปรียบเทียบของคู่ไม่สมเหตุสมผล (Huizingh & Vrolijk, 1995)จะต้องปรับคะแนนความสำคัญในการเปรียบเทียบของคู่ใหม่ก่อนวิเคราะห์ในลำดับชั้นถัดไป

$$CI = \frac{CR}{RI} \qquad (3)$$

เมื่อ CI คือดรรชนีความสมเหตุสมผล (Consistency Index)

CR คือสัดส่วนความสมเหตุสมผล (Consistency Ratio) และ

RI คือดรรชนีค่าสุ่มของความไม่สมเหตุสมผล (Random Inconsistency Index) ขึ้นอยู่กับขนาดของสแควร์เมตริก Aดังตารางที่ 2

$$CR = \frac{\lambda \max - n}{n-1} \qquad (4)$$

เมื่อ n คือขนาดของแสควร์เมตริก

ตาราง 2 Random Inconsistency Index (RI) **(Huizingh & Vrolijk, 1995)**

N	RI	N	RI	N	RI
1	0	6	1.24	11	1.51
2	0	7	1.32	12	1.48
3	0.58	8	1.41	13	1.56
4	0.9	9	1.46	14	1.57
5	1.12	10	1.49	15	1.59

กรอบแนวคิดในงานวิจัย

แนวคิดเกี่ยวกับการรับรู้ระยะไกล + แนวคิดเกี่ยวกับระบบกำหนดตำแหน่งพิกัดบนพื้นโลก + แนวคิดเกี่ยวกับลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของมะพร้าว + ปัจจัยสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมต่อผลผลิตมะพร้าว

↓

การกระจายตัวเชิงพื้นที่ของพืชพันธ์มะพร้าว

↓

การหาค่าความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยที่เอื้อต่อผลผลิตมะพร้าวและการกระจายตัวเชิงพื้นที่ของพืชพันธ์มะพร้าว

↓

การสร้างระบบชี้วัดประมาณผลผลิตมะพร้าว ด้วยระบบภูมิสารสนเทศในประเทศไทย

หมายเหตุ: โครงสร้างความสัมพันธ์เชิงเหตุและผลนี้เป็นเพียงโครงสร้างสมมุติเพื่อพิสูจน์ตามคำถามวิจัย อาจยืดหยุ่นได้เมื่อเผชิญกับการเก็บข้อมูลในภาคสนาม