

สารบัญภาพประกอบ

ภาพที่		หน้า
3.1	โครงสร้างของวัสดุพูนทั่วไป	19
3.2	โครงสร้างวัสดุพูนแบบเซลล์ลูลาร์-คาพิลลารี (cellular capillary)	20
3.3	ความสัมพันธ์ระหว่างความดันคาพิลลารีภายในวัสดุพูน และสมบัติของของไหล	21
3.4	กระบวนการถ่ายเทมวลสารในวัสดุพูน.....	21
3.5	ไดอะแกรมของกระบวนการอบแห้งวัสดุพูน	22
3.6	คาบเวลาของกระบวนการอบแห้งและกลไกที่ควบคุมการถ่ายเทมวลสาร	23
3.7	ปรากฏการณ์ที่อัตราการอบแห้งลดลงระยะแรก.....	25
3.8	ปรากฏการณ์ที่อัตราการอบแห้งลดลงระยะที่สอง	26
3.9	ปรากฏการณ์ที่อัตราการอบแห้งขั้นสุดท้าย (end stage of drying).....	26
3.10	ความสัมพันธ์ระหว่าง Depth, Heating degree และ Frequency.....	37
3.11	แสดงลักษณะของคลื่นไมโครเวฟ	38
3.12	ปฏิกิริยาระหว่างวัสดุไดอิเล็กตริกและสนามไฟฟ้า (electric field).....	39
3.13	รังสีการตกกระทบและการดูดซับโดยวัสดุไดอิเล็กตริก	42
3.14	ลักษณะการแผ่รังสีของอุปกรณ์กำเนิดรังสีแบบ ceramic	46
3.15	การสะท้อน การดูดซับ และการส่งผ่านพลังงานของวัสดุ	47
4.1	แสดง grid – point ในระบบ 1 มิติ.....	52
5.1	ระเบียบวิธีวิจัยสำหรับระบบพิกัดฉาก.....	58
5.2	แบบจำลองทางกายภาพสำหรับการวิเคราะห์กระบวนการถ่ายเทความร้อน และมวลสารในวัสดุพูนที่ไม่อิมมิตัวภายใต้พลังงานไมโครเวฟ.....	61
5.3	รายละเอียดวิธีการคำนวณสำหรับกระบวนการทางระเบียบวิธีเชิงตัวเลข	67
5.4	การกระจายความชื้นกับระยะความลึกตามเวลาที่ได้รับความร้อน.....	69
5.5	อัตราการดูดกลืนพลังงานกับระยะความลึกของแพคเกจโดยเปลี่ยน ความถี่ของคลื่นไมโครเวฟ ($d = 0.15 \text{ mm}$, $E_{in} = 2800 \text{ V/m}$, $S_{in} = 0.7$).....	70
5.6	การกระจายอุณหภูมิกับระยะความลึกของแพคเกจโดยเปลี่ยน ความถี่ของคลื่นไมโครเวฟ ($d = 0.15 \text{ mm}$, $E_{in} = 2800 \text{ V/m}$, $S_{in} = 0.7$).....	70

5.7	การกระจายอุณหภูมิกับระยะความลึกของแพคเบตโดยเปลี่ยน ความถี่ของคลื่นไมโครเวฟ ($d = 0.15 \text{ mm}$, $E_{in} = 2800 \text{ V/m}$, $S_{in} = 0.7$).....	71
5.8	อัตราการดูดกลืนพลังงานกับระยะความลึกของแพคเบตโดยเปลี่ยน ขนาดของอนุภาค ($f = 2.45 \text{ GHz}$, $E_{in} = 2800 \text{ V/m}$, $S_{in} = 0.5$)	73
5.9	การกระจายอุณหภูมิกับระยะความลึกของแพคเบตโดยเปลี่ยน ขนาดของอนุภาค ($f = 2.45 \text{ GHz}$, $E_{in} = 2800 \text{ V/m}$, $S_{in} = 0.5$)	73
5.10	การกระจายความชื้นกับระยะความลึกของแพคเบตโดยเปลี่ยน ขนาดของอนุภาค ($f = 2.45 \text{ GHz}$, $E_{in} = 2800 \text{ V/m}$, $S_{in} = 0.5$)	74
5.11	อัตราการดูดกลืนพลังงานกับระยะความลึกของแพคเบตโดยเปลี่ยน ความเข้มของสนามไฟฟ้า ($f = 2.45 \text{ GHz}$, $E_{in} = 2800 \text{ V/m}$, $S_{in} = 0.5$).....	75
5.12	การกระจายอุณหภูมิกับระยะความลึกของแพคเบตโดยเปลี่ยน ความเข้มของสนามไฟฟ้า ($f = 2.45 \text{ GHz}$, $E_{in} = 2800 \text{ V/m}$, $S_{in} = 0.5$).....	75
5.13	การกระจายความชื้นกับระยะความลึกของแพคเบตโดยเปลี่ยน ความเข้มของสนามไฟฟ้า ($f = 2.45 \text{ GHz}$, $E_{in} = 2800 \text{ V/m}$, $S_{in} = 0.5$).....	76
5.14	อัตราการดูดกลืนพลังงานกับระยะความลึกของแพคเบตโดยเปลี่ยน ความชื้นเริ่มต้น ($d = 0.15 \text{ mm}$, $f = 2.45 \text{ GHz}$, $E_{in} = 2800 \text{ V/m}$).....	77
5.15	การกระจายอุณหภูมิกับระยะความลึกของแพคเบตโดยเปลี่ยน ความชื้นเริ่มต้น ($d = 0.15 \text{ mm}$, $f = 2.45 \text{ GHz}$, $E_{in} = 2800 \text{ V/m}$).....	77
5.16	การกระจายความชื้นกับระยะความลึกของแพคเบตโดยเปลี่ยน ความชื้นเริ่มต้น ($d = 0.15 \text{ mm}$, $f = 2.45 \text{ GHz}$, $E_{in} = 2800 \text{ V/m}$).....	78
5.17	แบบจำลองทางกายภาพสำหรับวิเคราะห์กระบวนการถ่ายเทความร้อน และมวลสารในวัสดุพูนที่ไม่อิ่มตัวโดยใช้ไมโครเวฟ	81
5.18	รายละเอียดวิธีการคำนวณสำหรับกระบวนการทางระเบียบวิธีเชิงตัวเลข	86
5.19	อัตราการดูดกลืนพลังงานกับระยะความลึกของแพคเบตโดยเปลี่ยน ความถี่ของคลื่นไมโครเวฟ ($d = 0.15 \text{ mm}$, $E_{in} = 4,200 \text{ V/m}$, $S_{in} = 0.7$).....	87
5.20	การกระจายอุณหภูมิกับระยะความลึกของแพคเบตโดยเปลี่ยน ความถี่ของคลื่นไมโครเวฟ ($d = 0.15 \text{ mm}$, $E_{in} = 4,200 \text{ V/m}$, $S_{in} = 0.7$).....	88

5.21	การกระจายความชื้นกับระยะความลึกของแพคเบตโดยเปลี่ยน ความถี่ของคลื่นไมโครเวฟ ($d = 0.15 \text{ mm}$, $E_{in} = 4,200 \text{ V/m}$, $S_{in} = 0.7$).....	88
5.22	ความดันกับระยะความลึกของแพคเบตโดยเปลี่ยน ความถี่ของคลื่นไมโครเวฟ ($d = 0.15 \text{ mm}$, $E_{in} = 4,200 \text{ V/m}$, $S_{in} = 0.7$).....	89
5.23	อัตราการดูดกลืนพลังงานกับระยะความลึกของแพคเบตโดยเปลี่ยน ขนาดของอนุภาค ($f = 2.45 \text{ GHz}$, $E_{in} = 4,200 \text{ V/m}$, $S_{in} = 0.7$)	91
5.24	การกระจายอุณหภูมิกับระยะความลึกของแพคเบตโดยเปลี่ยน ขนาดของอนุภาค ($f = 2.45 \text{ GHz}$, $E_{in} = 4,200 \text{ V/m}$, $S_{in} = 0.7$)	91
5.25	การกระจายความชื้นกับระยะความลึกของแพคเบตโดยเปลี่ยน ขนาดของอนุภาค ($f = 2.45 \text{ GHz}$, $E_{in} = 4,200 \text{ V/m}$, $S_{in} = 0.7$)	92
5.26	ความดันกับระยะความลึกของแพคเบตโดยเปลี่ยน ขนาดของอนุภาค ($f = 2.45 \text{ GHz}$, $E_{in} = 4,200 \text{ V/m}$, $S_{in} = 0.7$)	92
5.27	อัตราการดูดกลืนพลังงานกับระยะความลึกของแพคเบตโดยเปลี่ยน ความเข้มของสนามไฟฟ้า ($f = 2.45 \text{ GHz}$, $d = 0.15 \text{ mm}$, $S_{in} = 0.7$)	93
5.28	การกระจายอุณหภูมิกับระยะความลึกของแพคเบตโดยเปลี่ยน ความเข้มของสนามไฟฟ้า ($f = 2.45 \text{ GHz}$, $d = 0.15 \text{ mm}$, $S_{in} = 0.7$)	94
5.29	การกระจายความชื้นกับระยะความลึกของแพคเบตโดยเปลี่ยน ความเข้มของสนามไฟฟ้า ($f = 2.45 \text{ GHz}$, $d = 0.15 \text{ mm}$, $S_{in} = 0.7$)	94
5.30	ความดันกับระยะความลึกของแพคเบตโดยเปลี่ยน ความเข้มของสนามไฟฟ้า ($f = 2.45 \text{ GHz}$, $d = 0.15 \text{ mm}$, $S_{in} = 0.7$)	95
5.31	แบบจำลองทางกายภาพสำหรับการวิเคราะห์กระบวนการ ถ่ายเทความร้อน มวลสารและความดันในวัสดุพูนที่ไม่อิ่มตัว โดยใช้ไมโครเวฟร่วมกับอินฟราเรด	99
5.32	การกระจายอุณหภูมิกับระยะความลึกของแพคเบตโดยเปลี่ยนการใช้ คลื่นไมโครเวฟและการใช้คลื่นอินฟราเรดร่วมกับไมโครเวฟ ($d = 0.15 \text{ mm}$, $S_{in} = 0.7$, $E_{in} \text{ (MW)} = 4,200 \text{ V/m}$, $E_{in} \text{ (IR)} = 500 \text{ V/m}$, $f_{\text{MW}} = 2.45 \text{ GHz}$, $f_{\text{IR}} = 742 \text{ GHz}$)	103

5.33	การกระจายความชื้นกับระยะความลึกของแพคเบตโดยเปลี่ยนการใช้ คลื่นไมโครเวฟและการใช้คลื่นอินฟราเรดร่วมกับไมโครเวฟ ($d = 0.15 \text{ mm}$, $S_{in} = 0.7$, $E_{in} \text{ (MW)} = 4,200 \text{ V/m}$, $E_{in} \text{ (IR)} = 500 \text{ V/m}$, $f_{\text{MW}} = 2.45 \text{ GHz}$, $f_{\text{IR}} = 742 \text{ GHz}$).....	103
5.34	อัตราการดูดกลืนพลังงานจากคลื่นไมโครเวฟกับระยะความลึกของแพคเบต โดยเปลี่ยนการใช้คลื่นไมโครเวฟและการใช้คลื่นอินฟราเรดร่วมกับไมโครเวฟ ($d = 0.15 \text{ mm}$, $S_{in} = 0.7$, $E_{in} \text{ (MW)} = 4,200 \text{ V/m}$, $E_{in} \text{ (IR)} = 500 \text{ V/m}$, $f_{\text{MW}} = 2.45 \text{ GHz}$, $f_{\text{IR}} = 742 \text{ GHz}$).....	104
5.35	อัตราการดูดกลืนพลังงานจากคลื่นอินฟราเรดกับระยะความลึกของแพคเบต โดยเปลี่ยนความถี่ของคลื่นไมโครเวฟ ($d = 0.15 \text{ mm}$, $S_{in} = 0.7$, $E_{in} \text{ (MW)} = 4,200 \text{ V/m}$, $E_{in} \text{ (IR)} = 500 \text{ V/m}$, $f_{\text{MW}} = 2.45 \text{ GHz}$, $f_{\text{IR}} = 742 \text{ GHz}$).....	105
5.36	การกระจายอุณหภูมิกับระยะความลึกของแพคเบตโดยเปลี่ยน ความถี่ของคลื่นไมโครเวฟ ($d = 0.15 \text{ mm}$, $S_{in} = 0.7$, $E_{in} \text{ (MW)} = 4,200 \text{ V/m}$, $E_{in} \text{ (IR)} = 500 \text{ V/m}$, $f_{\text{MW}} = 2.45 \text{ GHz}$, $f_{\text{IR}} = 742 \text{ GHz}$).....	106
5.37	การกระจายความชื้นกับระยะความลึกของแพคเบตโดยเปลี่ยน ความถี่ของคลื่นไมโครเวฟ ($d = 0.15 \text{ mm}$, $S_{in} = 0.7$, $E_{in} \text{ (MW)} = 4,200 \text{ V/m}$, $E_{in} \text{ (IR)} = 500 \text{ V/m}$, $f_{\text{MW}} = 2.45 \text{ GHz}$, $f_{\text{IR}} = 742 \text{ GHz}$).....	107
5.38	ความดันกับระยะความลึกของแพคเบตโดยเปลี่ยน ความถี่ของคลื่นไมโครเวฟ ($d = 0.15 \text{ mm}$, $S_{in} = 0.7$, $E_{in} \text{ (MW)} = 4,200 \text{ V/m}$, $E_{in} \text{ (IR)} = 500 \text{ V/m}$, $f_{\text{MW}} = 2.45 \text{ GHz}$, $f_{\text{IR}} = 742 \text{ GHz}$).....	108
5.39	อัตราการดูดกลืนพลังงานจากคลื่นไมโครเวฟกับระยะความลึกของแพคเบต โดยเปลี่ยนขนาดของอนุภาค ($S_{in} = 0.7$, $E_{in} \text{ (MW)} = 4,200 \text{ V/m}$, $E_{in} \text{ (IR)} = 500 \text{ V/m}$, $f_{\text{MW}} = 2.45 \text{ GHz}$, $f_{\text{IR}} = 742 \text{ GHz}$).....	108
5.40	อัตราการดูดกลืนพลังงานจากคลื่นอินฟราเรดกับระยะความลึกของแพคเบต โดยเปลี่ยนขนาดของอนุภาค ($S_{in} = 0.7$, $E_{in} \text{ (MW)} = 4,200 \text{ V/m}$, $E_{in} \text{ (IR)} = 500 \text{ V/m}$, $f_{\text{MW}} = 2.45 \text{ GHz}$, $f_{\text{IR}} = 742 \text{ GHz}$).....	109

5.41	การกระจายอุณหภูมิกับระยะความลึกของแพคเบตโดยเปลี่ยน ขนาดของอนุภาค ($S_{in} = 0.7$, E_{in} (MW) = 4,200 V/m, E_{in} (IR) = 500 V/m, $f_{MW} = 2.45$ GHz, $f_{IR} = 742$ GHz).....	109
5.42	การกระจายความชื้นกับระยะความลึกของแพคเบตโดยเปลี่ยน ขนาดของอนุภาค ($S_{in} = 0.7$, E_{in} (MW) = 4,200 V/m, E_{in} (IR) = 500 V/m, $f_{MW} = 2.45$ GHz, $f_{IR} = 742$ GHz).....	110
5.43	ความดันกับระยะความลึกของแพคเบตโดยเปลี่ยน ขนาดของอนุภาค ($S_{in} = 0.7$, E_{in} (MW) = 4,200 V/m, E_{in} (IR) = 500 V/m, $f_{MW} = 2.45$ GHz, $f_{IR} = 742$ GHz).....	110
5.44	อัตราการดูดกลืนพลังงานจากคลื่นไมโครเวฟกับระยะความลึกของแพคเบต โดยเปลี่ยนความเข้มข้นไฟฟ้าของไมโครเวฟ ($d = 0.15$ mm, $S_{in} = 0.7$, E_{in} (IR) = 500 V/m, $f_{MW} = 2.45$ GHz, $f_{IR} = 742$ GHz).....	111
5.45	อัตราการดูดกลืนพลังงานจากคลื่นอินฟราเรดกับระยะความลึกของแพคเบต โดยเปลี่ยนความเข้มข้นไฟฟ้าของไมโครเวฟ ($d = 0.15$ mm, $S_{in} = 0.7$, E_{in} (IR) = 500 V/m, $f_{MW} = 2.45$ GHz, $f_{IR} = 742$ GHz).....	112
5.46	การกระจายอุณหภูมิกับระยะความลึกของแพคเบตโดยเปลี่ยน ความเข้มข้นไฟฟ้าของไมโครเวฟ ($d = 0.15$ mm, $S_{in} = 0.7$, E_{in} (IR) = 500 V/m, $f_{MW} = 2.45$ GHz, $f_{IR} = 742$ GHz).....	112
5.47	การกระจายความชื้นกับระยะความลึกของแพคเบตโดยเปลี่ยน ความเข้มข้นไฟฟ้าของไมโครเวฟ ($d = 0.15$ mm, $S_{in} = 0.7$, E_{in} (IR) = 500 V/m, $f_{MW} = 2.45$ GHz, $f_{IR} = 742$ GHz).....	113
5.48	ความดันกับระยะความลึกของแพคเบตโดยเปลี่ยน ความเข้มข้นไฟฟ้าของไมโครเวฟ ($d = 0.15$ mm, $S_{in} = 0.7$, E_{in} (IR) = 500 V/m, $f_{MW} = 2.45$ GHz, $f_{IR} = 742$ GHz).....	113
6.1	ระเบียบวิธีวิจัยสำหรับระบบพิกัดทรงกลม.....	117
6.2	แบบจำลองทางกายภาพสำหรับการวิเคราะห์กระบวนการถ่ายเทความร้อน และมวลสารในวัสดุพูนที่ไม่อิมิตัวภายใต้พลังงานไมโครเวฟ.....	118
6.3	รายละเอียดของแผนผังและวิธีการคำนวณสำหรับร้อนกระบวนการ การทางระเบียบวิธีเชิงตัวเลข	130