

บทที่ 4

ผลการวิจัย

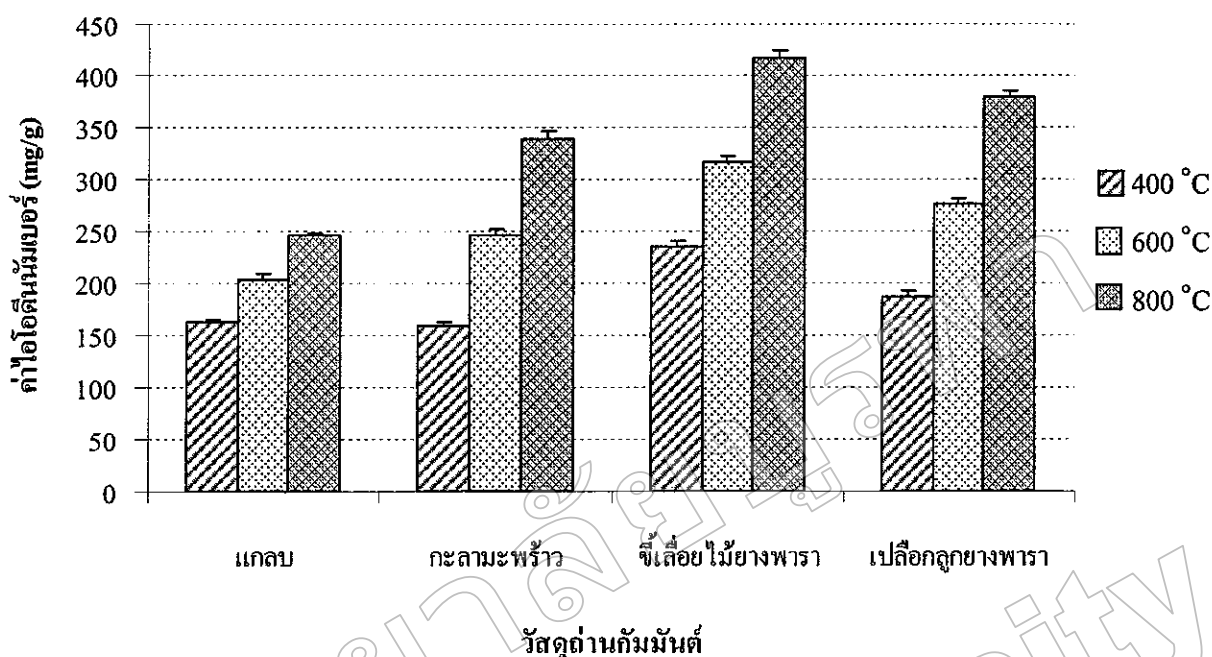
การผลิตถ่านกัมมันต์จากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร ได้แก่ แกลบ กะลามะพร้าว ขี้เลื่อย ไม้ยางพารา และเปลือกกล้วยพาราด้วยวิธีการกระตุ้นทางเคมีเพื่อหาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการคาร์บอนไนซ์ อัตราส่วนสารเคมีและอุณหภูมิที่เหมาะสมในการกระตุ้นถ่านกัมมันต์ โดยทดสอบหาค่าไอโอดีนนัมเบอร์ แล้วนำถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้ในสถานะที่ความเหมาะสมของวัสดุแต่ละชนิดไปทดสอบเปอร์เซ็นต์การดูดซับสีข้อมและโลหะหนัก และเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การดูดซับกับถ่านกัมมันต์ทางการค้า ซึ่งแบ่งการทดลองออกเป็น 3 ขั้นตอนนั้น ได้ผลการทดลอง ดังนี้

การศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการคาร์บอนไนซ์วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร

การนำวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร ได้แก่ แกลบ กะลามะพร้าว ขี้เลื่อย ไม้ยางพารา และเปลือกกล้วยพารามาคาร์บอนไนซ์ที่อุณหภูมิ 400, 600 และ 800 °C เป็นเวลา 1 ชม. แล้วทำการวิเคราะห์ค่าไอโอดีนนัมเบอร์ พบว่าที่อุณหภูมิ 400, 600 และ 800 °C ถ่านกัมมันต์จากแกลบมีค่าไอโอดีนนัมเบอร์เท่ากับ 162 ± 2.51 , 204 ± 5.02 และ 245 ± 3.48 mg/g ตามลำดับ ถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าวมีค่าไอโอดีนนัมเบอร์เท่ากับ 158 ± 5.08 , 245 ± 5.50 และ 339 ± 7.54 mg/g ตามลำดับ ถ่านกัมมันต์จากขี้เลื่อยมีค่าไอโอดีนนัมเบอร์เท่ากับ 234 ± 6.07 , 316 ± 5.45 และ 417 ± 7.51 mg/g ตามลำดับ และถ่านกัมมันต์จากเปลือกกล้วยพารามีค่าไอโอดีนนัมเบอร์เท่ากับ 186 ± 6.03 , 275 ± 6.55 และ 380 ± 4.95 mg/g ตามลำดับ แสดงดังตารางที่ 12 และภาพที่ 19

ตารางที่ 12 ค่าไอโอดีนนับเบอรัของถ่านจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรที่คาร์บอนในซ้ที่อุณหภูมิ
ต่าง ๆ

วัสดุที่ใช้ผลิตถ่าน	อุณหภูมิที่เผา (°C)	Iodine Number (mg/g)
แกลบ	400	162 ± 2.51
	600	204 ± 5.02
	800	245 ± 3.48
กะลามะพร้าว	400	158 ± 5.08
	600	245 ± 5.50
	800	339 ± 7.54
ขี้เลื่อยไม้ยางพารา	400	234 ± 6.07
	600	316 ± 5.45
	800	417 ± 7.51
เปลือกกล้วยพารา	400	186 ± 6.03
	600	275 ± 6.55
	800	380 ± 4.95



ภาพที่ 19 ค่าไอโอดีนัมเบอร์ของถ่านจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรที่คาร์บอนไนซ์ที่อุณหภูมิต่าง ๆ

เมื่อทำการวิเคราะห์ความแตกต่างของไอโอดีนัมเบอร์ของวัสดุแต่ละชนิดที่อุณหภูมิต่าง ๆ พบว่า ความแตกต่างของค่าไอโอดีนัมเบอร์ขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุและอุณหภูมิในการคาร์บอนไนซ์ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) และเมื่อวิเคราะห์ความแตกต่างเชิงซ้อน พบว่า อุณหภูมิในการคาร์บอนไนซ์เท่ากับ 800 °C ดีกว่า 600 และ 400 °C ตามลำดับ จึงคัดเลือกถ่านที่ผ่านการคาร์บอนไนซ์ที่อุณหภูมิ 800 °C ไปทำการกระตุ้นต่อไป

การศึกษาอุณหภูมิและอัตราส่วนของกรดฟอสฟอริก (H_3PO_4) 50% ที่เหมาะสมในการกระตุ้นถ่านกัมมันต์

เมื่อนำถ่านที่ผ่านการคาร์บอนไนซ์ที่อุณหภูมิ 800 °C มากระตุ้นด้วยกรดฟอสฟอริก (H_3PO_4) 50% ที่อัตราส่วนของถ่าน: กรดฟอสฟอริก (w/w) เท่ากับ 1: 1, 1: 2 และ 1: 3 แล้วเผากระตุ้นที่อุณหภูมิ 600, 700 และ 800 °C เป็นเวลา 2 ชม. แล้วทำการวิเคราะห์ค่าไอโอดีนัมเบอร์ ได้ผลการทดลอง ดังนี้

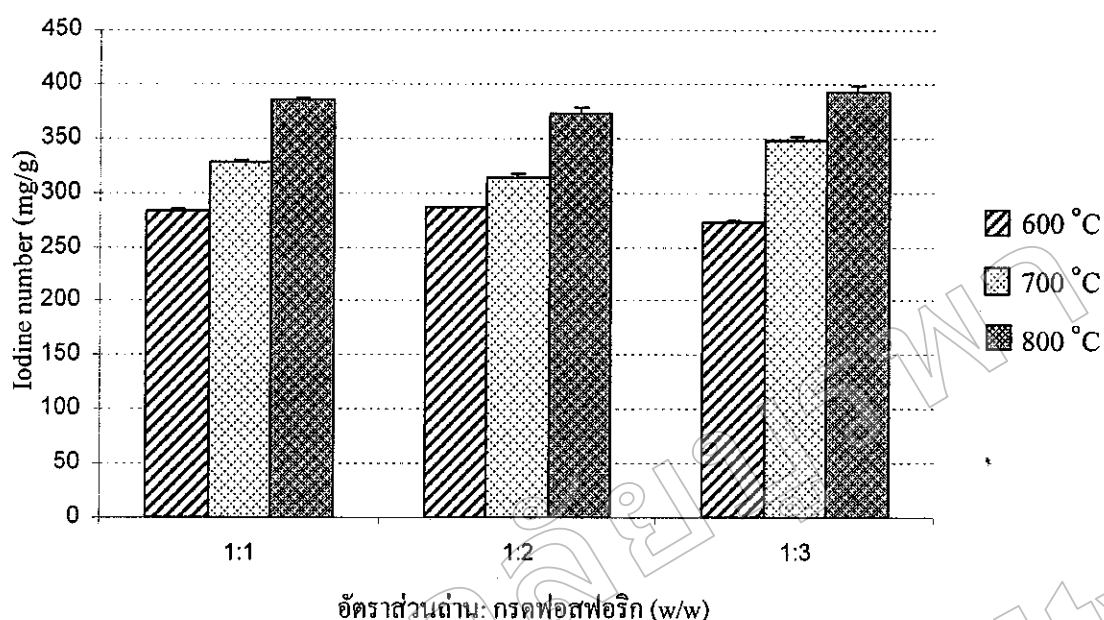
1. ถ่านกัมมันต์จากแกลบ

ถ่านกัมมันต์จากแกลบที่แช่ด้วยกรดฟอสฟอริก (H_3PO_4) 50% ที่อัตราส่วนของถ่าน: กรดฟอสฟอริก (w/w) เท่ากับ 1: 1 แล้วเผากระตุ้นที่อุณหภูมิ 600, 700 และ 800 °C มีค่า

ไอโอดีนนัมเบอร์เท่ากับ 283 ± 2.52 , 328 ± 1.73 และ 385 ± 2.52 ตามลำดับ อัตราส่วนของถ่าน: กรดฟอสฟอริก (w/w) เท่ากับ 1: 2 มีค่าไอโอดีนนัมเบอร์เท่ากับ 286 ± 2.00 , 313 ± 3.51 และ 373 ± 2.52 ตามลำดับ และอัตราส่วนของถ่าน: กรดฟอสฟอริก (w/w) เท่ากับ 1: 3 มีค่าไอโอดีนนัมเบอร์เท่ากับ 272 ± 3.00 , 348 ± 6.00 และ 393 ± 5.13 ตามลำดับ แสดงดังตารางที่ 13 และภาพที่ 20

ตารางที่ 13 ค่าไอโอดีนนัมเบอร์ของถ่านกัมมันต์จากแกลบที่แช่ด้วยกรดฟอสฟอริกที่อัตราส่วนต่าง ๆ และเผากระตุ้นที่อุณหภูมิต่าง ๆ กัน

วัสดุถ่านกัมมันต์	อัตราส่วนถ่าน: กรดฟอสฟอริก	อุณหภูมิที่เผากระตุ้น	Iodine Number
	(w/w)	(°C)	(mg/g)
แกลบ	1: 1	600	283 ± 2.52
		700	328 ± 1.73
		800	385 ± 2.52
	1: 2	600	286 ± 2.00
		700	313 ± 3.51
		800	373 ± 2.52
	1: 3	600	272 ± 3.00
		700	348 ± 6.00
		800	393 ± 5.13



ภาพที่ 20 ค่าไอโอดีนน้ำมันเบอร์ของถ่านกัมมันต์จากเกลบที่แช่ด้วยกรดฟอสฟอริกที่อัตราส่วนต่าง ๆ และเผากระตุ้นที่อุณหภูมิต่าง ๆ กัน

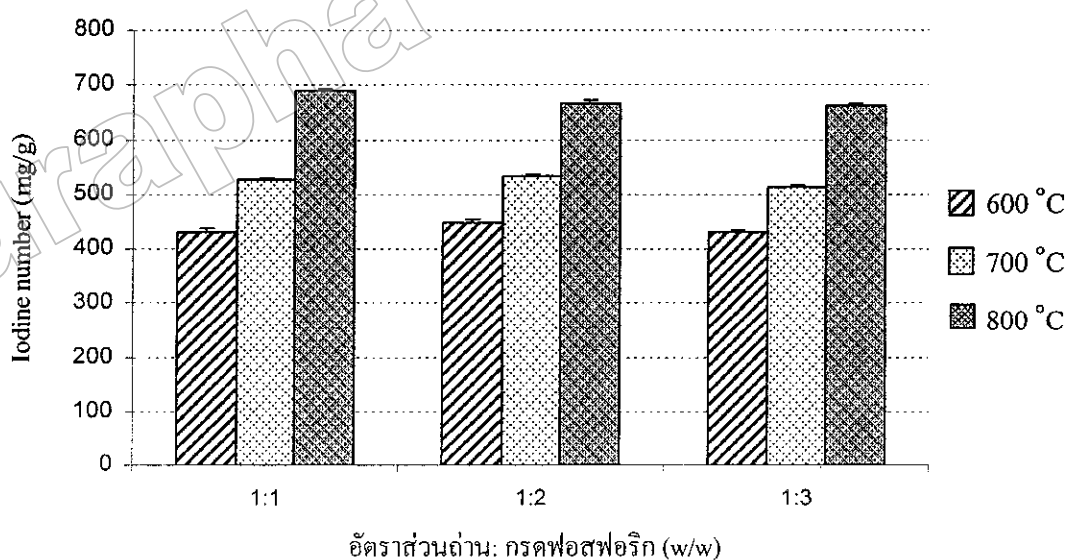
เมื่อทำการวิเคราะห์ความแตกต่างของไอโอดีนน้ำมันเบอร์ของถ่านกัมมันต์จากเกลบที่อัตราส่วนของสารเคมีต่าง ๆ และอุณหภูมิในการเผากระตุ้นต่าง ๆ พบว่า ความแตกต่างของค่าไอโอดีนน้ำมันเบอร์ของถ่านกัมมันต์จากเกลบขึ้นอยู่กับอุณหภูมิในการเผากระตุ้น อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) คือ อุณหภูมิในการเผากระตุ้น 800 °C ดีกว่า 700 °C และ 600 °C ตามลำดับ แต่อัตราส่วนสารเคมีที่ใช้ในการกระตุ้น ไม่มีผลทำให้ค่าไอโอดีนน้ำมันเบอร์แตกต่างกัน ($p < 0.05$) จึงคัดเลือกถ่านกัมมันต์จากเกลบที่กระตุ้นด้วยกรดฟอสฟอริก (H_3PO_4) 50% ที่อัตราส่วนของถ่าน: กรดฟอสฟอริก (w/w) เท่ากับ 1: 1 และเผากระตุ้นที่อุณหภูมิ 800 °C ไปทดสอบเปอร์เซ็นต์การดูดซับสีข้อมและโลหะหนักต่อไป

2. ถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว

ถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าวที่แช่ด้วยกรดฟอสฟอริก (H_3PO_4) 50% ที่อัตราส่วนของถ่าน: กรดฟอสฟอริก (w/w) เท่ากับ 1: 1 แล้วเผากระตุ้นที่อุณหภูมิ 600, 700 และ 800 °C มีค่าไอโอดีนน้ำมันเบอร์เท่ากับ 431 ± 7.02 , 525 ± 6.56 และ 690 ± 4.04 ตามลำดับ อัตราส่วนของถ่าน: กรดฟอสฟอริก (w/w) เท่ากับ 1: 2 มีค่าไอโอดีนน้ำมันเบอร์เท่ากับ 449 ± 3.51 , 532 ± 3.51 และ 668 ± 3.51 ตามลำดับ และอัตราส่วนของถ่าน: กรดฟอสฟอริก (w/w) เท่ากับ 1: 3 มีค่าไอโอดีนน้ำมันเบอร์เท่ากับ 430 ± 5.00 , 513 ± 5.13 และ 662 ± 3.51 ตามลำดับ แสดงดังตารางที่ 14 และภาพที่ 21

ตารางที่ 14 ค่าไอโอดีนน้ำมันเบียร์ของถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าวที่แช่ด้วยกรดฟอสฟอริกที่อัตราส่วนต่าง ๆ และเผากระตุ้นที่อุณหภูมิต่าง ๆ กัน

วัสดุถ่านกัมมันต์	อัตราส่วนถ่าน: กรดฟอสฟอริก (w/w)	อุณหภูมิที่เผากระตุ้น (°C)	Iodine Number (mg/g)
กะลามะพร้าว	1: 1	600	431 ± 7.02
		700	525 ± 6.56
		800	690 ± 4.04
	1: 2	600	449 ± 3.51
		700	532 ± 3.51
		800	668 ± 3.51
	1: 3	600	430 ± 5.00
		700	513 ± 5.13
		800	662 ± 3.51



ภาพที่ 21 ค่าไอโอดีนน้ำมันเบียร์ของถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าวที่แช่ด้วยกรดฟอสฟอริกที่อัตราส่วนต่าง ๆ และเผากระตุ้นที่อุณหภูมิต่าง ๆ กัน

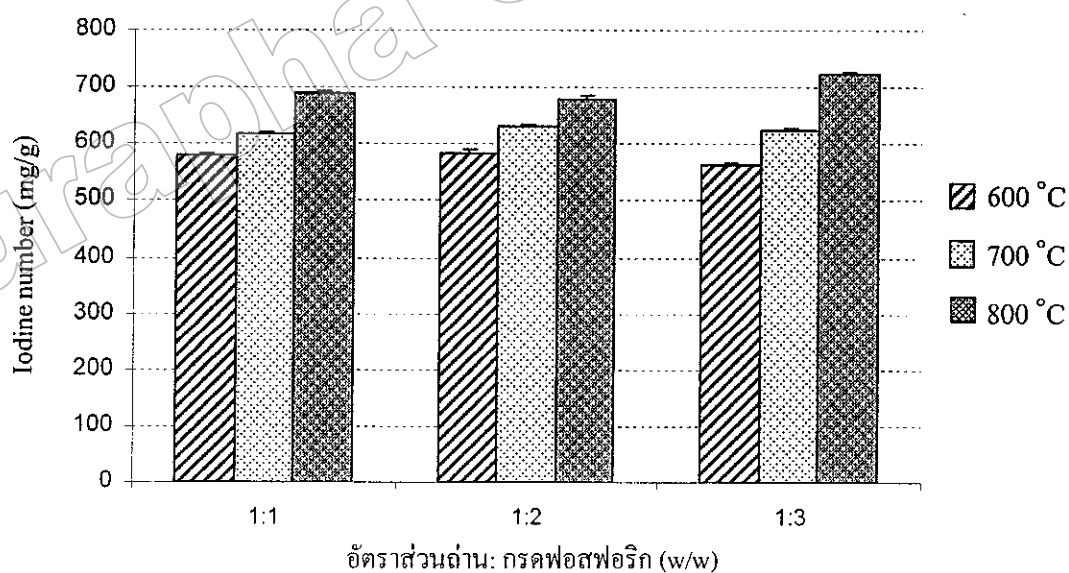
เมื่อทำการวิเคราะห์ความแตกต่างของไอโอดีนนัมเบอร์ของถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าวที่อัตราส่วนของสารเคมีต่าง ๆ และอุณหภูมิในการเผากระตุ้นต่าง ๆ พบว่า ความแตกต่างของค่าไอโอดีนนัมเบอร์ของถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าวขึ้นอยู่กับอุณหภูมิในการเผากระตุ้น อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) คือ อุณหภูมิในการเผากระตุ้น 800 °C ดีกว่า 700 °C และ 600 °C ตามลำดับ แต่อัตราส่วนของสารเคมีที่ใช้ในการกระตุ้นไม่มีผลทำให้ค่าไอโอดีนนัมเบอร์แตกต่างกัน ($p < 0.05$) จึงคัดเลือกถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าวที่กระตุ้นด้วยกรดฟอสฟอริก (H_3PO_4) 50% ที่อัตราส่วนของถ่าน: กรดฟอสฟอริก (w/w) เท่ากับ 1: 1 และเผากระตุ้นที่อุณหภูมิ 800 °C ไปทดสอบเปอร์เซ็นต์การดูดซับสีข้อมและโลหะหนักต่อไป

3. ถ่านกัมมันต์จากขี้เลื่อยไม้ยางพารา

ถ่านกัมมันต์จากขี้เลื่อยไม้ยางพาราที่แช่ด้วยกรดฟอสฟอริก (H_3PO_4) 50% ที่อัตราส่วนของถ่าน: กรดฟอสฟอริก (w/w) เท่ากับ 1: 1 แล้วเผากระตุ้นที่อุณหภูมิ 600, 700 และ 800 °C มีค่าไอโอดีนนัมเบอร์เท่ากับ 579 ± 4.51 , 617 ± 5.57 และ 689 ± 4.51 ตามลำดับ อัตราส่วนของถ่าน: กรดฟอสฟอริก (w/w) เท่ากับ 1: 2 มีค่าไอโอดีนนัมเบอร์เท่ากับ 585 ± 2.89 , 631 ± 5.86 และ 681 ± 2.65 ตามลำดับ และอัตราส่วนของถ่าน: กรดฟอสฟอริก (w/w) เท่ากับ 1: 3 มีค่าไอโอดีนนัมเบอร์เท่ากับ 562 ± 4.16 , 625 ± 4.51 และ 724 ± 4.00 ตามลำดับ แสดงดังตารางที่ 15 และภาพที่ 22

ตารางที่ 15 ค่าไอโอดีนน้ำมันเบียร์ของถ่านกัมมันต์จากขี้เลื่อยไม้ยางพาราที่แช่ด้วยกรดฟอสฟอริกที่อัตราส่วนต่าง ๆ และเผากระตุ้นที่อุณหภูมิต่าง ๆ กัน

วัสดุถ่านกัมมันต์	อัตราส่วนถ่าน: กรดฟอสฟอริก (w/w)	อุณหภูมิที่เผากระตุ้น (°C)	Iodine Number (mg/g)
ขี้เลื่อยไม้ยางพารา	1: 1	600	579 ± 4.51
		700	617 ± 5.57
		800	689 ± 4.51
	1: 2	600	585 ± 2.89
		700	631 ± 5.86
		800	681 ± 2.65
	1: 3	600	562 ± 4.16
		700	625 ± 4.51
		800	724 ± 4.00



ภาพที่ 22 ค่าไอโอดีนน้ำมันเบียร์ของถ่านกัมมันต์จากขี้เลื่อยไม้ยางพาราที่แช่ด้วยกรดฟอสฟอริกที่อัตราส่วนต่าง ๆ และเผากระตุ้นที่อุณหภูมิต่าง ๆ กัน

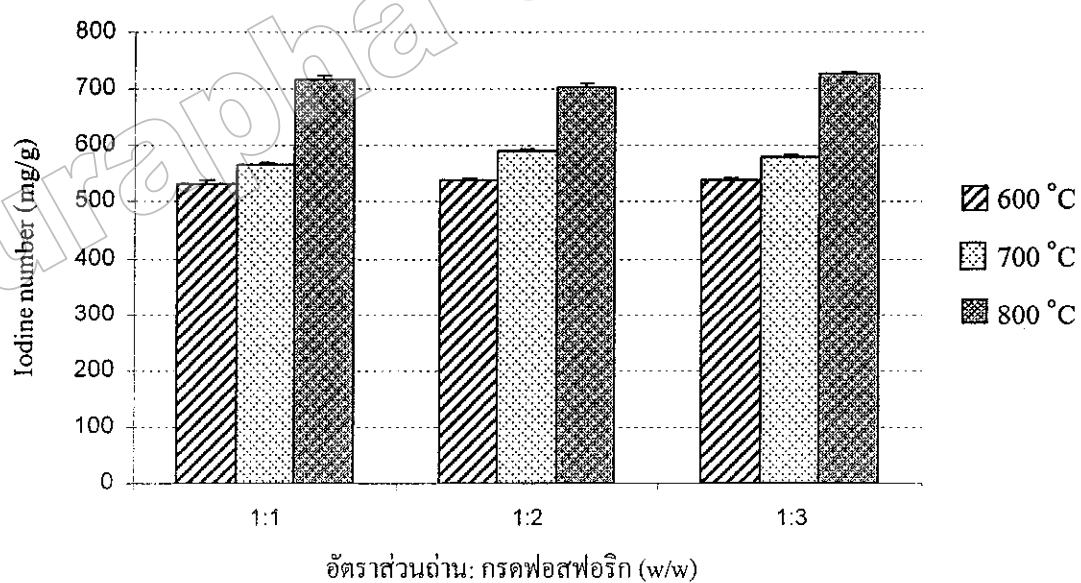
เมื่อทำการวิเคราะห์ความแตกต่างของไอโอดีนนัมเบอร์ของถ่านกัมมันต์จากขี้เลื่อยไม้ยางพาราที่อัตราส่วนของสารเคมีต่าง ๆ และอุณหภูมิในการเผากระตุ้นต่าง ๆ พบว่า ความแตกต่างของค่าไอโอดีนนัมเบอร์ของถ่านกัมมันต์จากขี้เลื่อยไม้ยางพาราขึ้นอยู่กับอุณหภูมิในการเผากระตุ้น อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) คือ อุณหภูมิในการเผากระตุ้น 800 °C ตีกว่า 700 °C และ 600 °C ตามลำดับ แต่อัตราส่วนสารเคมีที่ใช้ในการกระตุ้นไม่มีผลทำให้ค่าไอโอดีนนัมเบอร์แตกต่างกัน ($p < 0.05$) จึงคัดเลือกถ่านกัมมันต์จากขี้เลื่อยไม้ยางพาราที่กระตุ้นด้วยกรดฟอสฟอริก (H_3PO_4) 50% ที่อัตราส่วนของถ่าน: กรดฟอสฟอริก (w/w) เท่ากับ 1: 1 และเผากระตุ้นที่อุณหภูมิ 800 °C ไปทดสอบเปอร์เซ็นต์การดูดซับสีข้อมและโลหะหนักต่อไป

4. ถ่านกัมมันต์จากเปลือกกล้วยพารา

ถ่านกัมมันต์จากเปลือกกล้วยพาราที่แช่ด้วยกรดฟอสฟอริก (H_3PO_4) 50% ที่อัตราส่วนของถ่าน: กรดฟอสฟอริก (w/w) เท่ากับ 1: 1 แล้วเผากระตุ้นที่อุณหภูมิ 600, 700 และ 800 °C มีค่าไอโอดีนนัมเบอร์เท่ากับ 531 ± 6.51 , 568 ± 3.00 และ 719 ± 5.03 ตามลำดับ อัตราส่วนของถ่าน: กรดฟอสฟอริก (w/w) เท่ากับ 1: 2 มีค่าไอโอดีนนัมเบอร์เท่ากับ 540 ± 3.61 , 592 ± 3.06 และ 703 ± 5.57 ตามลำดับ และอัตราส่วนของถ่าน: กรดฟอสฟอริก (w/w) เท่ากับ 1: 3 มีค่าไอโอดีนนัมเบอร์เท่ากับ 538 ± 6.11 , 579 ± 7.55 และ 728 ± 4.04 ตามลำดับ แสดงดังตารางที่ 16 และภาพที่ 23

ตารางที่ 16 ค่าไอโอดีนน้ำมันเบียร์ของถ่านกัมมันต์จากเปลือกกล้วยพาราที่แช่ด้วยกรดฟอสฟอริกที่อัตราส่วนต่าง ๆ และเผากระตุ้นที่อุณหภูมิต่าง ๆ กัน

วัสดุถ่านกัมมันต์	อัตราส่วนถ่าน: กรดฟอสฟอริก (w/w)	อุณหภูมิที่เผากระตุ้น (°C)	Iodine Number (mg/g)
เปลือกกล้วยพารา	1: 1	600	531 ± 6.51
		700	568 ± 3.00
		800	719 ± 5.03
	1: 2	600	540 ± 3.61
		700	592 ± 3.06
		800	703 ± 5.57
	1: 3	600	538 ± 6.11
		700	579 ± 7.55
		800	728 ± 4.04



ภาพที่ 23 ค่าไอโอดีนน้ำมันเบียร์ของถ่านกัมมันต์จากเปลือกกล้วยพาราที่แช่ด้วยกรดฟอสฟอริกที่อัตราส่วนต่าง ๆ และเผากระตุ้นที่อุณหภูมิต่าง ๆ กัน

เมื่อทำการวิเคราะห์ความแตกต่างของไอโอดีนนัมเบอร์ของถ่านกัมมันต์จากเปลือกกลุขางพาราที่อัตราส่วนของสารเคมีต่าง ๆ และอุณหภูมิในการเผากระตุ้นต่าง ๆ พบว่า ความแตกต่างของค่าไอโอดีนนัมเบอร์ของถ่านกัมมันต์จากเปลือกกลุขางพาราขึ้นอยู่กับอุณหภูมิในการเผากระตุ้น อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) คือ อุณหภูมิในการเผากระตุ้น 800 °C ดีกว่า 700 °C และ 600 °C ตามลำดับ แต่อัตราส่วนสารเคมีที่ใช้ในการกระตุ้นไม่มีผลทำให้ค่าไอโอดีนนัมเบอร์แตกต่างกัน ($p < 0.05$) จึงคัดเลือกถ่านกัมมันต์จากเปลือกกลุขางพาราที่กระตุ้นด้วยกรดฟอสฟอริก (H_3PO_4) 50% ที่อัตราส่วนของถ่าน: กรดฟอสฟอริก (w/w) เท่ากับ 1: 1 และเผากระตุ้นที่อุณหภูมิ 800 °C ไปทดสอบเปอร์เซ็นต์การดูดซับสีย้อมและโลหะหนักต่อไป

การทดสอบเปอร์เซ็นต์การดูดซับสีย้อมและโลหะหนักของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้จากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรและเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การดูดซับกับถ่านกัมมันต์ทางการค้า

1. การทดสอบเปอร์เซ็นต์การดูดซับสีย้อม

เมื่อนำถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรและถ่านกัมมันต์ทางการค้าที่ผลิตจากกะลาปาล์มมาทดสอบเปอร์เซ็นต์การดูดซับสีย้อมเมทิลไวโอเลต (Methyl Violet) มาลาไคท์กรีน (Malachite Green) คองโกเรด (Congo Red) และโรดามีน บี (Rhodamine - B) ที่ระดับความเข้มข้นเท่ากับ 10, 20 และ 30 ppm โดยใช้ปริมาณถ่านกัมมันต์ 250 มิลลิกรัม และปริมาตรสีย้อม 25 มิลลิลิตร แล้วเขย่าด้วยเครื่องเขย่าที่ความเร็ว 160 รอบ/นาที เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ได้ผลการทดลอง ดังนี้

1.1 การทดสอบเปอร์เซ็นต์การดูดซับสีย้อมเมทิลไวโอเลต (Methyl Violet)

1.1.1 สีย้อมเมทิลไวโอเลตระดับความเข้มข้น 10 ppm

สีย้อมเมทิลไวโอเลตก่อนการดูดซับมีระดับความเข้มข้นเท่ากับ 10 ppm หลังจากดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ พบว่า ถ่านกัมมันต์จากขี้เลื่อยไม้ยางพาราดูดซับสีย้อมเมทิลไวโอเลตได้ดีกว่าถ่านกัมมันต์จากเกล็ด กะลามะพร้าว เปลือกกลุขางพารา และถ่านกัมมันต์จากการค้าตามลำดับ โดยมีระดับความเข้มข้นสีย้อมเมทิลไวโอเลตเท่ากับ 0.01 ± 0.00 , 0.05 ± 0.00 , 0.07 ± 0.00 , 0.10 ± 0.00 และ 0.11 ± 0.00 ppm ตามลำดับ คิดเป็นเปอร์เซ็นต์การดูดซับเท่ากับ 99.93 ± 0.00 , 99.54 ± 0.04 , 99.26 ± 0.04 , 98.99 ± 0.00 และ $98.89 \pm 0.00\%$ ตามลำดับ

1.1.2 สีย้อมเมทิลไวโอเลตระดับความเข้มข้น 20 ppm

สีย้อมเมทิลไวโอเลตก่อนการดูดซับมีระดับความเข้มข้นเท่ากับ 20 ppm หลังจากดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ พบว่า ถ่านกัมมันต์จากขี้เลื่อยไม้ยางพาราดูดซับสีย้อมเมทิลไวโอเลต

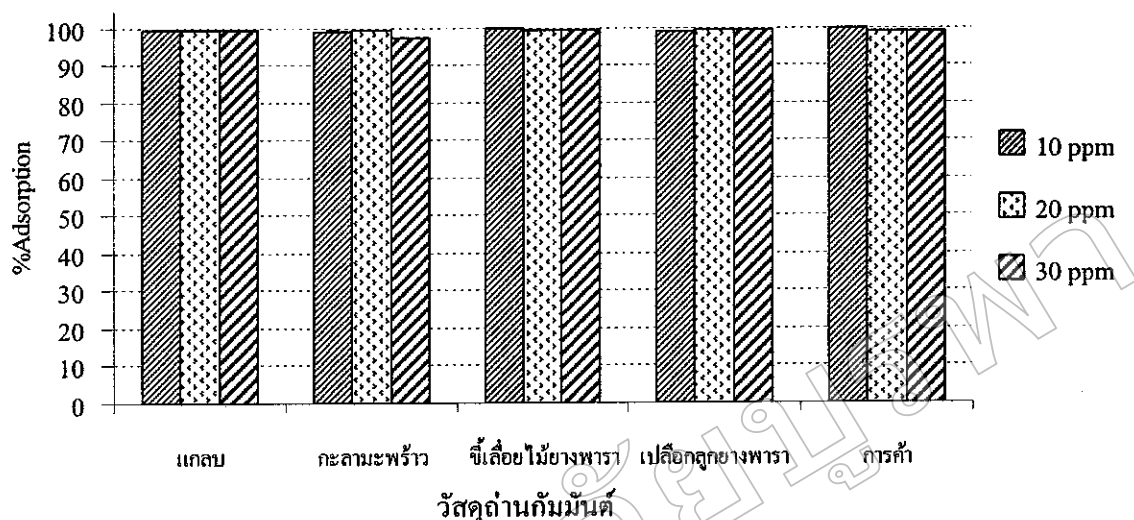
ได้ดีกว่าถ่านกัมมันต์จากแกลบ เปลือกลูกยางพารา กะลามะพร้าว และถ่านกัมมันต์จากการค้า ตามลำดับ โดยมีระดับความเข้มข้นสีย้อมเมทิลไวโอเลตเท่ากับ 0.07 ± 0.00 , 0.12 ± 0.00 , 0.13 ± 0.00 , 0.14 ± 0.01 และ 0.19 ± 0.00 ppm ตามลำดับ คิดเป็นเปอร์เซ็นต์การดูดซับเท่ากับ 99.63 ± 0.02 , 99.38 ± 0.02 , 99.34 ± 0.02 , 99.32 ± 0.04 และ $99.03 \pm 0.00\%$ ตามลำดับ

1.1.3 สีย้อมเมทิลไวโอเลตระดับความเข้มข้น 30 ppm

สีย้อมเมทิลไวโอเลตก่อนการดูดซับมีระดับความเข้มข้นเท่ากับ 30 ppm หลังจากดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ พบว่า ถ่านกัมมันต์จากขี้เลื่อยไม้ยางพาราและแกลบดูดซับสีย้อมเมทิลไวโอเลตได้ดีกว่าถ่านกัมมันต์จากเปลือกลูกยางพารา การค้า และถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว ตามลำดับ โดยมีระดับความเข้มข้นสีย้อมเมทิลไวโอเลตเท่ากับ 0.15 ± 0.00 , 0.15 ± 0.00 , 0.16 ± 0.00 , 0.24 ± 0.01 และ 0.84 ± 0.00 ppm ตามลำดับ คิดเป็นเปอร์เซ็นต์การดูดซับเท่ากับ 99.51 ± 0.01 , 99.50 ± 0.00 , 99.48 ± 0.01 , 99.22 ± 0.00 และ $97.20 \pm 0.01\%$ ตามลำดับ แสดงดังตารางที่ 17 และภาพที่ 24

ตารางที่ 17 เปอร์เซ็นต์การดูดซับเมทิลไวโอเลต (Methyl Violet) ที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ของ
ถ่านกัมมันต์จากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรและทางการค้า

วัสดุถ่านกัมมันต์	ความเข้มข้นของเมทิลไวโอเลต (ppm)		เปอร์เซ็นต์การดูดซับ (%)
	ก่อนการดูดซับ	หลังการดูดซับ	
แกลบ	10	0.05 ± 0.00	99.54 ± 0.04
	20	0.12 ± 0.00	99.38 ± 0.02
	30	0.15 ± 0.00	99.50 ± 0.00
กะลามะพร้าว	10	0.07 ± 0.00	99.26 ± 0.04
	20	0.14 ± 0.01	99.32 ± 0.04
	30	0.84 ± 0.00	97.20 ± 0.01
ขี้เลื่อยไม้ยางพารา	10	0.01 ± 0.00	99.93 ± 0.00
	20	0.07 ± 0.00	99.63 ± 0.02
	30	0.15 ± 0.00	99.51 ± 0.01
เปลือกถั่วลิสง	10	0.10 ± 0.00	98.99 ± 0.00
	20	0.13 ± 0.00	99.34 ± 0.02
	30	0.16 ± 0.00	99.48 ± 0.01
การคั่ว	10	0.11 ± 0.00	98.89 ± 0.00
	20	0.19 ± 0.00	99.03 ± 0.00
	30	0.24 ± 0.01	99.22 ± 0.03



ภาพที่ 24 เปอร์เซ็นต์การดูดซับเมทิลไวโอเลต (Methyl Violet) ที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ของ ถ่านกัมมันต์จากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรและทางการค้า

เมื่อทำการวิเคราะห์ความแตกต่างของเปอร์เซ็นต์การดูดซับสีย้อมเมทิลไวโอเลต พบว่าเปอร์เซ็นต์ในการดูดซับขึ้นอยู่กับชนิดวัสดุของถ่านกัมมันต์และความเข้มข้นของเมทิลไวโอเลต อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) เมื่อทดสอบความแตกต่างเชิงซ้อนของวัสดุถ่านกัมมันต์และความเข้มข้นของเมทิลไวโอเลต พบว่า ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากจีเลื้อยไม้ยางพารามีเปอร์เซ็นต์ในการดูดซับดีกว่าถ่านกัมมันต์จากแกลบ รองลงมา คือ ถ่านกัมมันต์จากเปลือกกลุยกยางพารา การคำ และกะลามะพร้าว ตามลำดับ และเปอร์เซ็นต์ในการดูดซับที่ระดับความเข้มข้น 10 และ 20 ppm ไม่แตกต่างกัน และดีกว่าที่ระดับความเข้มข้น 30 ppm

1.2 การทดสอบเปอร์เซ็นต์การดูดซับสีย้อมมалаไคท์กรีน (Malachite Green)

1.2.1 สีย้อมมалаไคท์กรีนระดับความเข้มข้น 10 ppm

สีย้อมมалаไคท์กรีนก่อนการดูดซับมีระดับความเข้มข้นเท่ากับ 10 ppm หลังจากดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ พบว่า ถ่านกัมมันต์จากจีเลื้อยไม้ยางพาราดูดซับสีย้อมมалаไคท์กรีนได้ดีกว่าถ่านกัมมันต์จากการคำ แกลบ เปลือกกลุยกยางพารา และถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว ตามลำดับ โดยมีระดับความเข้มข้นสีย้อมมалаไคท์กรีนเท่ากับ 0.03 ± 0.00 , 0.06 ± 0.00 , 0.07 ± 0.01 , 0.14 ± 0.00 และ 0.17 ± 0.01 ppm ตามลำดับ คิดเป็นเปอร์เซ็นต์การดูดซับเท่ากับ 99.72 ± 0.00 , 99.36 ± 0.00 , 99.32 ± 0.05 , 98.62 ± 0.00 และ $98.28 \pm 0.11\%$ ตามลำดับ

1.2.2 สีย้อมมาลาไคท์กรีนระดับความเข้มข้น 20 ppm

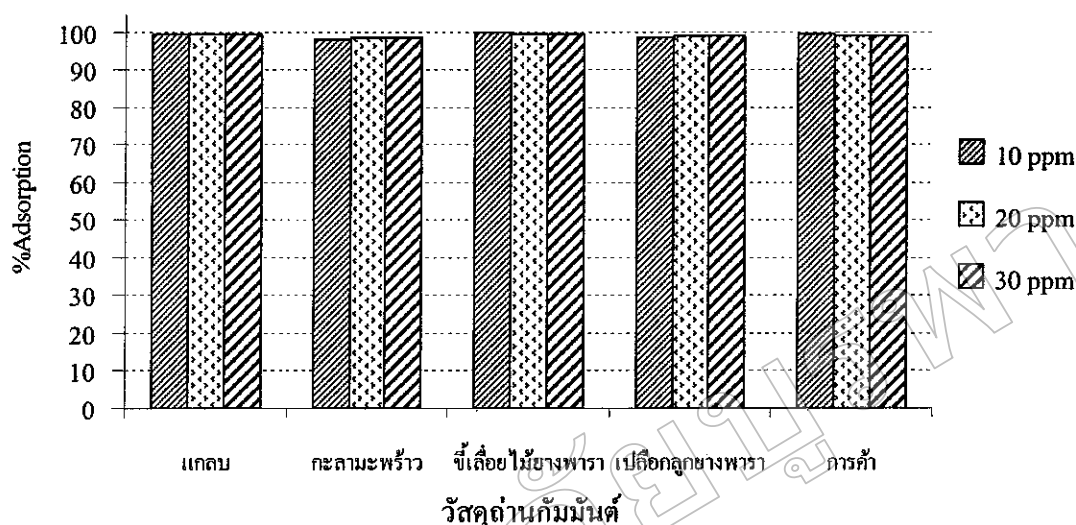
สีย้อมมาลาไคท์กรีนก่อนการดูดซับมีระดับความเข้มข้นเท่ากับ 20 ppm หลังจากดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ พบว่า ถ่านกัมมันต์จากแกลบดูดซับสีย้อมมาลาไคท์กรีนได้ดีกว่า ถ่านกัมมันต์จากขี้เลื่อยไม่ยางพารา การค้า เปลือกกล้วยพารา และถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว ตามลำดับ โดยมีระดับความเข้มข้นสีย้อมมาลาไคท์กรีนเท่ากับ 0.09 ± 0.00 , 0.10 ± 0.00 , 0.17 ± 0.01 , 0.22 ± 0.01 และ 0.24 ± 0.00 ppm ตามลำดับ คิดเป็นเปอร์เซ็นต์การดูดซับเท่ากับ 99.54 ± 0.00 , 99.49 ± 0.00 , 99.13 ± 0.05 , 98.91 ± 0.05 และ $98.80 \pm 0.00\%$ ตามลำดับ

1.2.3 สีย้อมมาลาไคท์กรีนระดับความเข้มข้น 30 ppm

สีย้อมมาลาไคท์กรีนก่อนการดูดซับมีระดับความเข้มข้นเท่ากับ 30 ppm หลังจากดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ พบว่า ถ่านกัมมันต์จากแกลบดูดซับสีย้อมมาลาไคท์กรีนได้ดีกว่า ถ่านกัมมันต์จากขี้เลื่อยไม่ยางพารา การค้า เปลือกกล้วยพารา และถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว ตามลำดับ โดยมีระดับความเข้มข้นสีย้อมมาลาไคท์กรีนเท่ากับ 0.13 ± 0.01 , 0.16 ± 0.01 , 0.25 ± 0.00 , 0.29 ± 0.00 และ 0.44 ± 0.01 ppm ตามลำดับ คิดเป็นเปอร์เซ็นต์การดูดซับเท่ากับ 99.58 ± 0.02 , 99.48 ± 0.03 , 99.17 ± 0.00 , 99.05 ± 0.00 และ $98.54 \pm 0.05\%$ ตามลำดับ แสดงดังตารางที่ 18 และภาพที่ 25

ตารางที่ 18 เปอร์เซ็นต์การดูดซับมาลาไท์กรีน (Malachite Green) ที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ของ
ถ่านกัมมันต์จากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรและทางการค้า

วัสดุถ่านกัมมันต์	ความเข้มข้นของมาลาไท์กรีน (ppm)		เปอร์เซ็นต์การดูดซับ (%)
	ก่อนการดูดซับ	หลังการดูดซับ	
เกลบ	10	0.07 ± 0.01	99.32 ± 0.05
	20	0.09 ± 0.00	99.54 ± 0.00
	30	0.13 ± 0.01	99.58 ± 0.02
กะลามะพร้าว	10	0.17 ± 0.01	98.28 ± 0.11
	20	0.24 ± 0.00	98.80 ± 0.00
	30	0.44 ± 0.01	98.54 ± 0.05
ขี้เลื่อยไม้ยางพารา	10	0.03 ± 0.00	99.72 ± 0.00
	20	0.10 ± 0.00	99.49 ± 0.00
	30	0.16 ± 0.01	99.48 ± 0.03
เปลือกถั่วเขียว	10	0.14 ± 0.00	98.62 ± 0.00
	20	0.22 ± 0.01	98.91 ± 0.05
	30	0.29 ± 0.00	99.05 ± 0.00
การคั่ว	10	0.06 ± 0.00	99.36 ± 0.00
	20	0.17 ± 0.01	99.13 ± 0.05
	30	0.25 ± 0.00	99.17 ± 0.00



ภาพที่ 25 เปอร์เซนต์การดูดซับมาลาไคท์กรีน (Malachite Green) ที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ของ ถ่านกัมมันต์จากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรและทางการค้า

เมื่อทำการวิเคราะห์ความแตกต่างของเปอร์เซนต์การดูดซับสีย้อมมาลาไคท์กรีน พบว่าเปอร์เซนต์ในการดูดซับขึ้นอยู่กับชนิดวัสดุของถ่านกัมมันต์และความเข้มข้นของมาลาไคท์กรีน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) เมื่อทดสอบความแตกต่างเชิงซ้อนของวัสดุถ่านกัมมันต์และความเข้มข้นของมาลาไคท์กรีน พบว่า ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากขี้เลื่อยไม้ยางพารามีเปอร์เซนต์ในการดูดซับดีกว่าถ่านกัมมันต์จากแกลบ รองลงมา คือ ถ่านกัมมันต์จากการค้า เปลือกลูกยางพารา และกะลามะพร้าว ตามลำดับ และเปอร์เซนต์ในการดูดซับที่ระดับความเข้มข้น 30 และ 20 ppm ไม่แตกต่างกัน และดีกว่าที่ระดับความเข้มข้น 10 ppm

1.3 การทดสอบเปอร์เซนต์การดูดซับสีย้อมคองโกเรด (Congo Red)

1.3.1 สีย้อมคองโกเรดระดับความเข้มข้น 10 ppm

สีย้อมคองโกเรดก่อนการดูดซับมีระดับความเข้มข้นเท่ากับ 10 ppm หลังจากดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ พบว่า ถ่านกัมมันต์จากขี้เลื่อยไม้ยางพาราดูดซับสีย้อมคองโกเรดได้ดีกว่าถ่านกัมมันต์จากการค้า แกลบ กะลามะพร้าว และถ่านกัมมันต์จากเปลือกลูกยางพารา ตามลำดับ โดยมีระดับความเข้มข้นสีย้อมคองโกเรดเท่ากับ 0.27 ± 0.02 , 1.99 ± 0.02 , 2.88 ± 0.08 , 4.78 ± 0.04 และ 6.35 ± 0.04 ppm ตามลำดับ คิดเป็นเปอร์เซนต์การดูดซับเท่ากับ 97.28 ± 0.21 , 80.08 ± 0.21 , 71.17 ± 0.77 , 52.24 ± 0.43 และ $36.52 \pm 0.37\%$ ตามลำดับ

1.3.2 สีย้อมคองโกเรดระดับความเข้มข้น 20 ppm

สีย้อมคองโกเรดก่อนการดูดซับมีระดับความเข้มข้นเท่ากับ 20 ppm หลังจาก

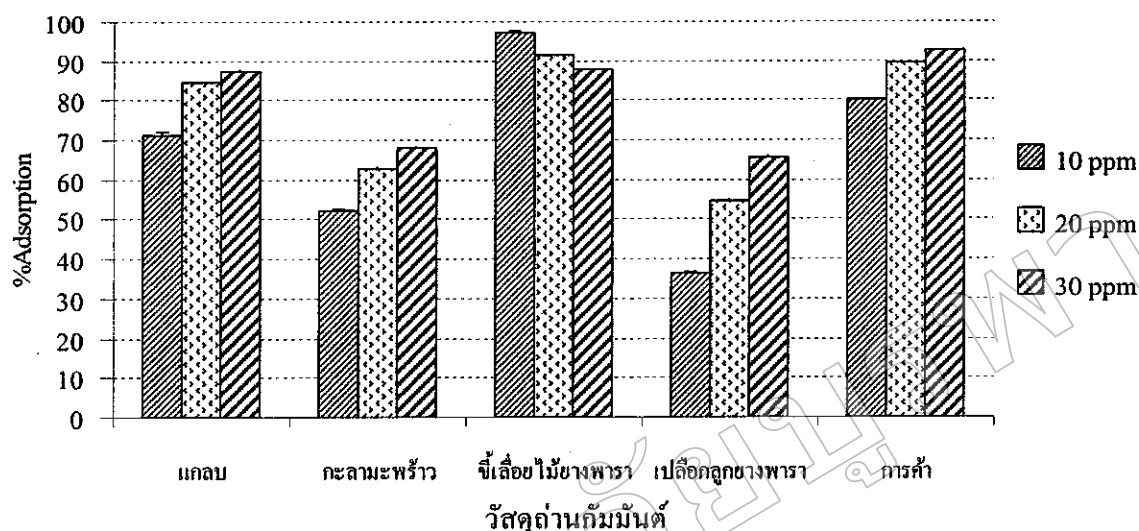
ดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ พบว่า ถ่านกัมมันต์จากจีเลื้อยไม้ยางพาราดูดซับสีข้อมองโกเรตได้ดีกว่า ถ่านกัมมันต์จากการค้า แกลบ กะลามะพร้าว และถ่านกัมมันต์จากเปลือกทุกยางพารา ตามลำดับ โดยมีระดับความเข้มข้นสีข้อมองโกเรตเท่ากับ 1.71 ± 0.00 , 2.10 ± 0.02 , 3.09 ± 0.02 , 7.47 ± 0.08 และ 9.06 ± 0.04 ppm ตามลำดับ คิดเป็นเปอร์เซ็นต์การดูดซับเท่ากับ 91.46 ± 0.00 , 89.48 ± 0.11 , 84.53 ± 0.11 , 62.63 ± 0.39 และ $54.71 \pm 0.19\%$ ตามลำดับ

1.3.3 สีข้อมองโกเรตระดับความเข้มข้น 30 ppm

สีข้อมองโกเรตก่อนการดูดซับมีระดับความเข้มข้นเท่ากับ 30 ppm หลังจากดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ พบว่า ถ่านกัมมันต์จากการค้าดูดซับสีข้อมองโกเรตได้ดีกว่าถ่านกัมมันต์จากจีเลื้อยไม้ยางพารา แกลบ กะลามะพร้าว และถ่านกัมมันต์จากเปลือกทุกยางพารา ตามลำดับ โดยมีระดับความเข้มข้นสีข้อมองโกเรตเท่ากับ 2.20 ± 0.02 , 3.62 ± 0.02 , 3.71 ± 0.04 , 9.55 ± 0.06 และ 10.27 ± 0.02 ppm ตามลำดับ คิดเป็นเปอร์เซ็นต์การดูดซับเท่ากับ 92.66 ± 0.07 , 87.92 ± 0.07 , 87.63 ± 0.12 , 68.16 ± 0.19 และ $65.77 \pm 0.07\%$ ตามลำดับ แสดงดังตารางที่ 19 และภาพที่ 26

ตารางที่ 19 เปอร์เซ็นต์การดูดซับของโกเรด (Congo Red) ที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ของ
ถ่านกัมมันต์จากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรและทางการค้า

วัสดุถ่านกัมมันต์	ความเข้มข้นของคองโกเรด (ppm)		เปอร์เซ็นต์การดูดซับ (%)
	ก่อนการดูดซับ	หลังการดูดซับ	
แกลบ	10	2.88 ± 0.08	71.17 ± 0.77
	20	3.09 ± 0.02	84.53 ± 0.11
	30	3.71 ± 0.04	87.63 ± 0.12
กะลามะพร้าว	10	4.78 ± 0.04	52.24 ± 0.43
	20	7.47 ± 0.08	62.63 ± 0.39
	30	9.55 ± 0.06	68.16 ± 0.19
ขี้เลื่อยไม้ยางพารา	10	0.27 ± 0.02	97.28 ± 0.21
	20	1.71 ± 0.00	91.46 ± 0.00
	30	3.62 ± 0.02	87.92 ± 0.07
เปลือกกลูกยางพารา	10	6.35 ± 0.04	36.52 ± 0.37
	20	9.06 ± 0.04	54.71 ± 0.19
	30	10.27 ± 0.02	65.77 ± 0.07
การค้า	10	1.99 ± 0.02	80.08 ± 0.21
	20	2.10 ± 0.02	89.48 ± 0.11
	30	2.20 ± 0.02	92.66 ± 0.07



ภาพที่ 26 เปอร์เซนต์การดูดซับของ โกเรด (Congo Red) ที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ของ ถ่านกัมมันต์จากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรและทางการค้า

เมื่อทำการวิเคราะห์ความแตกต่างของเปอร์เซนต์การดูดซับสีย้อมของโกเรด พบว่า เปอร์เซนต์ในการดูดซับขึ้นอยู่กับชนิดวัสดุของถ่านกัมมันต์และความเข้มข้นของคองโกเรด อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) เมื่อทดสอบความแตกต่างเชิงซ้อนของวัสดุถ่านกัมมันต์และความเข้มข้นของคองโกเรด พบว่า ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากจีเลียวไม้ยางพารามีเปอร์เซนต์ในการดูดซับดีกว่าถ่านกัมมันต์จากการค้า รองลงมา คือ ถ่านกัมมันต์จากแกลบ กะลามะพร้าว และเปลือกลูกยางพารา ตามลำดับ และเปอร์เซนต์ในการดูดซับที่ระดับความเข้มข้น 30 ppm ดีกว่าที่ระดับความเข้มข้น 20 และ 10 ppm ตามลำดับ

1.4 การทดสอบเปอร์เซนต์การดูดซับสีย้อมโรดาไมด์ บี (Rhodamine - B)

1.4.1 สีย้อมโรดาไมด์ บีระดับความเข้มข้น 10 ppm

สีย้อมโรดาไมด์ บีก่อนการดูดซับมีระดับความเข้มข้นเท่ากับ 10 ppm หลังจากดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ พบว่า ถ่านกัมมันต์จากจีเลียวไม้ยางพาราดูดซับสีย้อมโรดาไมด์ บีได้ดีกว่า ถ่านกัมมันต์จากแกลบ การค้า เปลือกลูกยางพารา และถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว ตามลำดับ โดยมีระดับความเข้มข้นสีย้อมโรดาไมด์ บีเท่ากับ 0.03 ± 0.00 , 0.04 ± 0.00 , 0.13 ± 0.00 , 0.18 ± 0.02 และ 0.42 ± 0.00 ppm ตามลำดับ คิดเป็นเปอร์เซนต์การดูดซับเท่ากับ 99.74 ± 0.04 , 99.56 ± 0.04 , 98.68 ± 0.00 , 98.19 ± 0.16 และ $95.84 \pm 0.04\%$ ตามลำดับ

1.4.2 สีย้อมโรดาไมด์ บีระดับความเข้มข้น 20 ppm

สีย้อมโรดาไมด์ บีก่อนการดูดซับมีระดับความเข้มข้นเท่ากับ 20 ppm หลังจาก

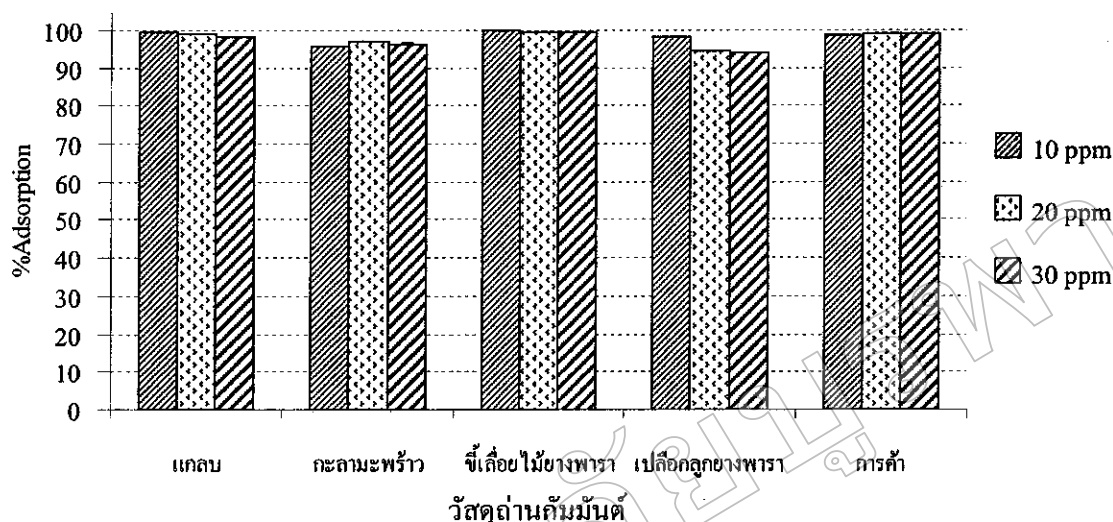
ดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ พบว่า ถ่านกัมมันต์จากขี้เลื่อยไม้ยางพาราดูดซับสีย้อมโรดาไมค์ บี ได้ดีกว่า ถ่านกัมมันต์จากแกลบและการค้า กะลามะพร้าว และถ่านกัมมันต์จากเปลือกทุกลูกยางพารา ตามลำดับ โดยมีระดับความเข้มข้นสีย้อมโรดาไมค์ บี เท่ากับ 0.06 ± 0.00 , 0.18 ± 0.01 , 0.18 ± 0.00 , 0.59 ± 0.00 และ 1.08 ± 0.00 ppm ตามลำดับ คิดเป็นเปอร์เซ็นต์การดูดซับเท่ากับ 99.69 ± 0.00 , 99.08 ± 0.04 , 99.08 ± 0.02 , 97.07 ± 0.02 และ $94.60 \pm 0.02\%$ ตามลำดับ

1.4.3 สีย้อมโรดาไมค์ บี ระดับความเข้มข้น 30 ppm

สีย้อมโรดาไมค์ บี ก่อนการดูดซับมีระดับความเข้มข้นเท่ากับ 30 ppm หลังจากดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ พบว่า ถ่านกัมมันต์จากขี้เลื่อยไม้ยางพาราดูดซับสีย้อมโรดาไมค์ บี ได้ดีกว่า ถ่านกัมมันต์จากการค้า แกลบ กะลามะพร้าว และถ่านกัมมันต์จากเปลือกทุกลูกยางพารา ตามลำดับ โดยมีระดับความเข้มข้นสีย้อมโรดาไมค์ บี เท่ากับ 0.09 ± 0.00 , 0.24 ± 0.01 , 0.49 ± 0.01 , 1.10 ± 0.01 และ 1.80 ± 0.02 ppm ตามลำดับ คิดเป็นเปอร์เซ็นต์การดูดซับเท่ากับ 99.70 ± 0.01 , 99.19 ± 0.03 , 98.37 ± 0.03 , 96.34 ± 0.03 และ $94.01 \pm 0.07\%$ ตามลำดับ แสดงดังตารางที่ 20 และ ภาพที่ 27

ตารางที่ 20 เปอร์เซ็นต์การดูดซับโรดาไมด์ บี (Rhodamine - B) ที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ของ
ถ่านกัมมันต์จากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรและทางการค้า

วัสดุถ่านกัมมันต์	ความเข้มข้นของโรดาไมด์ บี (ppm)		เปอร์เซ็นต์การดูดซับ (%)
	ก่อนการดูดซับ	หลังการดูดซับ	
แกลบ	10	0.04 ± 0.00	99.56 ± 0.04
	20	0.18 ± 0.01	99.08 ± 0.04
	30	0.49 ± 0.01	98.37 ± 0.03
กะลามะพร้าว	10	0.42 ± 0.00	95.84 ± 0.04
	20	0.59 ± 0.00	97.07 ± 0.02
	30	1.10 ± 0.01	96.34 ± 0.03
ขี้เลื่อยไม้ยางพารา	10	0.03 ± 0.00	99.74 ± 0.04
	20	0.06 ± 0.00	99.69 ± 0.00
	30	0.09 ± 0.00	99.70 ± 0.01
เปลือกถั่วกอยางพารา	10	0.18 ± 0.02	98.19 ± 0.16
	20	1.08 ± 0.00	94.60 ± 0.02
	30	1.80 ± 0.02	94.01 ± 0.07
การคั่ว	10	0.13 ± 0.00	98.68 ± 0.00
	20	0.18 ± 0.00	99.08 ± 0.02
	30	0.24 ± 0.01	99.19 ± 0.03



ภาพที่ 27 เปอร์เซนต์การดูดซับโรดาไมด์ บี (Rhodamine - B) ที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ของ ถ่านกัมมันต์จากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรและทางการค้า

เมื่อทำการวิเคราะห์ความแตกต่างของเปอร์เซนต์การดูดซับสีย้อมโรดาไมด์ บี พบว่า เปอร์เซนต์ในการดูดซับขึ้นอยู่กับชนิดวัสดุของถ่านกัมมันต์และความเข้มข้นของโรดาไมด์ บี อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) เมื่อทดสอบความแตกต่างเชิงซ้อนของวัสดุถ่านกัมมันต์และความเข้มข้นของโรดาไมด์ บี พบว่า ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากขี้เลื่อยไม้ยางพารามีเปอร์เซนต์ในการดูดซับดีกว่าถ่านกัมมันต์จากแกลบและการค้า ซึ่งมีเปอร์เซนต์ในการดูดซับไม่แตกต่างกัน รองลงมา คือ ถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว และเปลือกกลูกลางพารา ตามลำดับ และเปอร์เซนต์ในการดูดซับที่ระดับความเข้มข้น 10 ppm ดีกว่าที่ระดับความเข้มข้น 20 และ 30 ppm ตามลำดับ

จากการวิเคราะห์ความแตกต่างของเปอร์เซนต์การดูดซับของสีย้อมเมทิลไวโอเลต (Methyl Violet) มาลาไคท์กรีน (Malachite Green) คองโกเรด (Congo Red) และโรดาไมด์ บี (Rhodamine - B) พบว่าเปอร์เซนต์ในการดูดซับสีย้อมขึ้นอยู่กับชนิดวัสดุของถ่านกัมมันต์ ชนิดของสีย้อมและความเข้มข้นของสีย้อม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) แสดงดังตารางที่ 21 เมื่อทดสอบความแตกต่างเชิงซ้อนของวัสดุถ่านกัมมันต์ ชนิดของสีย้อมและความเข้มข้นของสีย้อม พบว่า ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากขี้เลื่อยไม้ยางพารามีเปอร์เซนต์ในการดูดซับสีย้อมดีกว่าถ่านกัมมันต์จากการค้า รองลงมา คือ ถ่านกัมมันต์จากแกลบ กะลามะพร้าว และเปลือกกลูกลางพารา ตามลำดับ เปอร์เซนต์ในการดูดซับสีย้อมเมทิลไวโอเลตดีกว่าเปอร์เซนต์ในการดูดซับมาลาไคท์กรีน รองลงมา คือ โรดาไมด์ บี และ คองโกเรด ตามลำดับ และเปอร์เซนต์ในการดูดซับสีย้อมที่ระดับความเข้มข้น 30 ppm ดีกว่าที่ระดับความเข้มข้น 20 ppm และ 10 ppm ตามลำดับ

ตารางที่ 21 การวิเคราะห์ความแตกต่างของเปอร์เซ็นต์การดูดซับสีย้อมที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ของถ่านกัมมันต์จากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรและทางการค้า

Source	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	59	557.617	24562.901	0.000
Intercept	1	1549355.606	68248759.244	0.000
ชนิดสีย้อม	3	6466.098	284830.133	0.000
วัสดุถ่านกัมมันต์	4	872.496	38433.232	0.000
ความเข้มข้นสีย้อม	2	141.433	6230.075	0.000
ชนิดสีย้อม * วัสดุถ่านกัมมันต์	12	617.954	27220.736	0.000
ชนิดสีย้อม * ความเข้มข้นสีย้อม	6	175.724	7740.621	0.000
วัสดุถ่านกัมมันต์ * ความเข้มข้นสีย้อม	8	34.668	1527.130	0.000
ชนิดสีย้อม * วัสดุถ่านกัมมันต์ * ความเข้มข้นสีย้อม	24	40.880	1800.753	0.000
Error	120	0.023		
Total	180			
Corrected Total	179			

$p < 0.05$

2. การทดสอบเปอร์เซ็นต์การดูดซับโลหะหนัก

เมื่อนำถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรและถ่านกัมมันต์ทางการค้าที่ผลิตจากกะลาปาล์มมาทดสอบเปอร์เซ็นต์การดูดซับแคดเมียม (Cadmium) สังกะสี (Zinc) ทองแดง (Copper) และตะกั่ว (Lead) โดยทำการทดลองเช่นเดียวกับการทดสอบเปอร์เซ็นต์การดูดซับสีย้อม ได้ผลการทดลอง ดังนี้

2.1 การทดสอบเปอร์เซ็นต์การดูดซับแคดเมียม (Cadmium)

2.1.1 แคดเมียมระดับความเข้มข้น 10 ppm

แคดเมียมก่อนการดูดซับมีระดับความเข้มข้นเท่ากับ 10 ppm หลังจากดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ พบว่า ถ่านกัมมันต์จากการค้าดูดซับแคดเมียมได้ดีกว่าถ่านกัมมันต์จากเปลือกกล้วยพารา ขี้เลื่อยไม้ยางพาราและกะลามะพร้าว และถ่านกัมมันต์จากแกลบ ตามลำดับ โดยมีระดับความเข้มข้นแคดเมียมเท่ากับ 0.17 ± 0.06 , 3.63 ± 0.06 , 3.67 ± 0.06 , 3.67 ± 0.06 และ 3.87 ± 0.06 ppm ตามลำดับ คิดเป็นเปอร์เซ็นต์การดูดซับเท่ากับ 98.33 ± 0.58 , 63.67 ± 0.58 ,

63.33 ± 0.58 , 63.33 ± 0.58 และ $61.33 \pm 0.58\%$ ตามลำดับ

2.1.2 แคดเมียมระดับความเข้มข้น 20 ppm

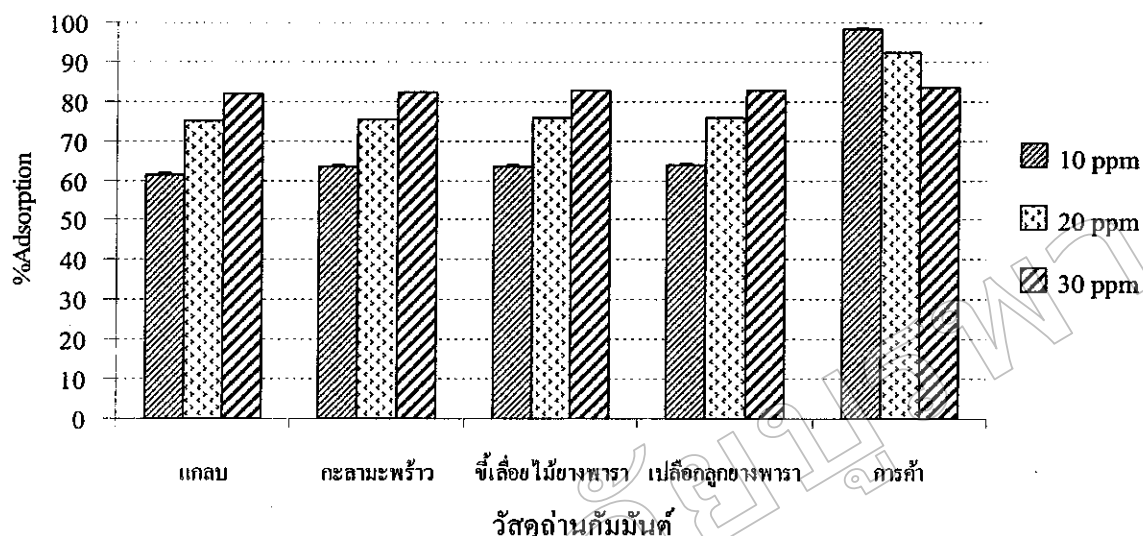
แคดเมียมก่อนการดูดซับมีระดับความเข้มข้นเท่ากับ 20 ppm หลังจากดูดซับด้วย ถ่านกัมมันต์ พบว่า ถ่านกัมมันต์จากการค้าดูดซับแคดเมียมได้ดีกว่าถ่านกัมมันต์จาก เปลือกลูกยางพาราและขี้เลื่อยไม้ยางพารา กะลามะพร้าว และถ่านกัมมันต์จากเกลบ ตามลำดับ โดยมีระดับความเข้มข้นแคดเมียมเท่ากับ 1.57 ± 0.06 , 4.80 ± 0.00 , 4.80 ± 0.00 , 4.90 ± 0.00 และ 5.00 ± 0.00 ppm ตามลำดับ คิดเป็นเปอร์เซ็นต์การดูดซับเท่ากับ 92.17 ± 0.29 , 76.00 ± 0.00 , 76.00 ± 0.00 , 75.50 ± 0.00 และ $75.00 \pm 0.00\%$ ตามลำดับ

2.1.3 แคดเมียมระดับความเข้มข้น 30 ppm

แคดเมียมก่อนการดูดซับมีระดับความเข้มข้นเท่ากับ 30 ppm หลังจากดูดซับด้วย ถ่านกัมมันต์ พบว่า ถ่านกัมมันต์จากการค้าดูดซับแคดเมียมได้ดีกว่าถ่านกัมมันต์จาก เปลือกลูกยางพาราและขี้เลื่อยไม้ยางพารา กะลามะพร้าว และถ่านกัมมันต์จากเกลบ ตามลำดับ โดยมีระดับความเข้มข้นแคดเมียมเท่ากับ 4.97 ± 0.06 , 5.20 ± 0.00 , 5.20 ± 0.00 , 5.30 ± 0.00 และ 5.40 ± 0.00 ppm ตามลำดับ คิดเป็นเปอร์เซ็นต์การดูดซับเท่ากับ 83.44 ± 0.19 , 82.67 ± 0.00 , 82.67 ± 0.00 , 82.33 ± 0.00 และ $82.00 \pm 0.00\%$ ตามลำดับ แสดงดังตารางที่ 22 และภาพที่ 28

ตารางที่ 22 เปอร์เซ็นต์การดูดซับแคดเมียม (Cadmium) ที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ของถ่านกัมมันต์
จากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรและทางการค้า

วัสดุถ่านกัมมันต์	ความเข้มข้นของแคดเมียม (ppm)		เปอร์เซ็นต์การดูดซับ (%)
	ก่อนการดูดซับ	หลังการดูดซับ	
แกลบ	10	3.87 ± 0.06	61.33 ± 0.58
	20	5.00 ± 0.00	75.00 ± 0.00
	30	5.40 ± 0.00	82.00 ± 0.00
กะลามะพร้าว	10	3.67 ± 0.06	63.33 ± 0.58
	20	4.90 ± 0.00	75.50 ± 0.00
	30	5.30 ± 0.00	82.33 ± 0.00
ขี้เลื่อยไม้ยางพารา	10	3.67 ± 0.06	63.33 ± 0.58
	20	4.80 ± 0.00	76.00 ± 0.00
	30	5.20 ± 0.00	82.67 ± 0.00
เปลือกถั่วเขียว	10	3.63 ± 0.06	63.67 ± 0.58
	20	4.80 ± 0.00	76.00 ± 0.00
	30	5.20 ± 0.00	82.67 ± 0.00
การคั่ว	10	0.17 ± 0.06	98.33 ± 0.58
	20	1.57 ± 0.06	92.17 ± 0.29
	30	4.97 ± 0.06	83.44 ± 0.19



ภาพที่ 28 เปอร์เซนต์การดูดซับแคดเมียม (Cadmium) ที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ของถ่านกัมมันต์จากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรและการค้า

เมื่อทำการวิเคราะห์ความแตกต่างของเปอร์เซนต์การดูดซับแคดเมียม พบว่า เปอร์เซนต์ในการดูดซับขึ้นอยู่กับชนิดวัสดุของถ่านกัมมันต์และความเข้มข้นของแคดเมียม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) เมื่อทดสอบความแตกต่างเชิงซ้อนของวัสดุถ่านกัมมันต์และความเข้มข้นของแคดเมียม พบว่า ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากการค้ามีเปอร์เซนต์ในการดูดซับดีกว่าถ่านกัมมันต์จากเปลือกลูกยางพารา ขี้เลื่อยไม้ยางพารา และกะลามะพร้าว ซึ่งมีเปอร์เซนต์ในการดูดซับไม่แตกต่างกัน รองลงมา คือ ถ่านกัมมันต์จากแกลบ และเปอร์เซนต์ในการดูดซับที่ระดับความเข้มข้น 30 ppm ดีกว่าที่ระดับความเข้มข้น 20 และ 10 ppm ตามลำดับ

2.2 การทดสอบเปอร์เซนต์การดูดซับสังกะสี (Zinc)

2.2.1 สังกะสีระดับความเข้มข้น 10 ppm

สังกะสีก่อนการดูดซับมีระดับความเข้มข้นเท่ากับ 10 ppm หลังจากดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ พบว่า ถ่านกัมมันต์จากเปลือกลูกยางพาราดูดซับสังกะสีได้ดีกว่าถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว แกลบและ ขี้เลื่อยไม้ยางพารา และถ่านกัมมันต์จากการค้า ตามลำดับ โดยมีระดับความเข้มข้นสังกะสีเท่ากับ 3.30 ± 0.06 , 3.37 ± 0.06 , 3.40 ± 0.00 , 3.40 ± 0.00 และ 4.27 ± 0.06 ppm ตามลำดับ คิดเป็นเปอร์เซนต์การดูดซับเท่ากับ 67.00 ± 0.00 , 66.33 ± 0.58 , 66.00 ± 0.00 , 66.00 ± 0.00 และ $57.33 \pm 0.58\%$ ตามลำดับ

2.2.2 สังกะสีระดับความเข้มข้น 20 ppm

สังกะสีก่อนการดูดซับมีระดับความเข้มข้นเท่ากับ 20 ppm หลังจากดูดซับด้วย

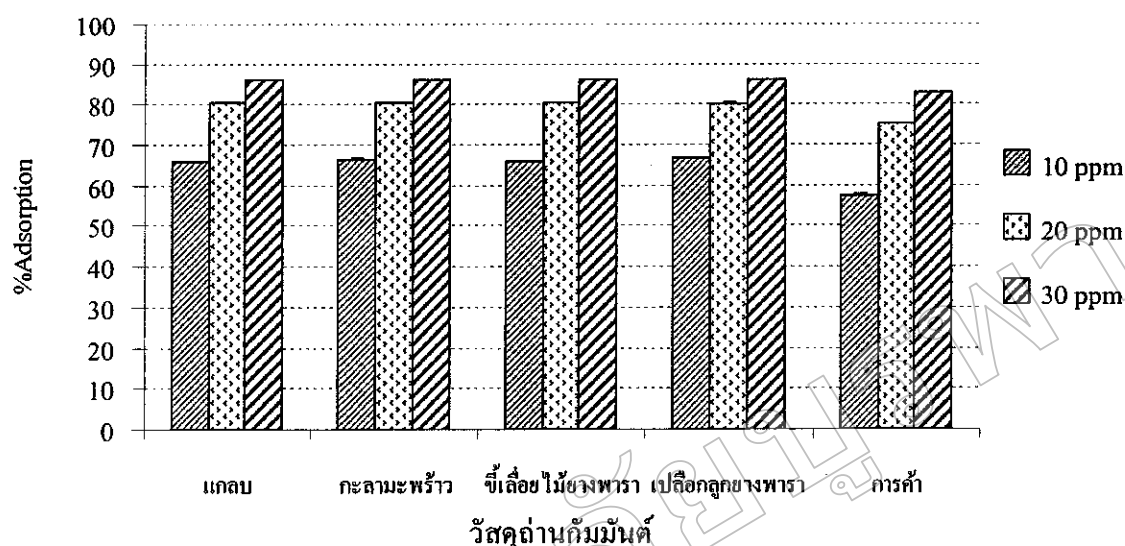
ถ่านกัมมันต์ พบว่า ถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว แกลบ และขี้เลื่อยไม้ยางพาราดูดซับสังกะสีได้ดีกว่าถ่านกัมมันต์จากเปลือกถั่วเขียว และถ่านกัมมันต์จากการค้า ตามลำดับ โดยมีระดับความเข้มข้นสังกะสีเท่ากับ 3.90 ± 0.00 , 3.90 ± 0.00 , 3.90 ± 0.00 , 3.93 ± 0.00 และ 4.90 ± 0.00 ppm ตามลำดับ คิดเป็นเปอร์เซ็นต์การดูดซับเท่ากับ 80.50 ± 0.00 , 80.50 ± 0.00 , 80.50 ± 0.00 , 80.33 ± 0.29 และ $75.50 \pm 0.00\%$ ตามลำดับ

2.2.3 สังกะสีระดับความเข้มข้น 30 ppm

สังกะสีก่อนการดูดซับมีระดับความเข้มข้นเท่ากับ 30 ppm หลังจากดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ พบว่า ถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว แกลบ ขี้เลื่อยไม้ยางพาราและเปลือกถั่วเขียวดูดซับสังกะสีได้ดีกว่าถ่านกัมมันต์จากการค้า ตามลำดับ โดยมีระดับความเข้มข้นสังกะสีเท่ากับ 4.10 ± 0.00 , 4.10 ± 0.00 , 4.10 ± 0.00 , 4.10 ± 0.00 และ 5.10 ± 0.00 ppm ตามลำดับ คิดเป็นเปอร์เซ็นต์การดูดซับเท่ากับ 86.33 ± 0.00 , 86.33 ± 0.00 , 86.33 ± 0.00 , 86.33 ± 0.00 และ $83.00 \pm 0.00\%$ ตามลำดับ แสดงดังตารางที่ 23 และภาพที่ 29

ตารางที่ 23 เปอร์เซ็นต์การดูดซับสังกะสี (Zinc) ที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ของถ่านกัมมันต์จากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรและทางการค้า

วัสดุถ่านกัมมันต์	ความเข้มข้นของสังกะสี (ppm)		เปอร์เซ็นต์การดูดซับ (%)
	ก่อนการดูดซับ	หลังการดูดซับ	
แกลบ	10	3.40 ± 0.00	66.00 ± 0.00
	20	3.90 ± 0.00	80.50 ± 0.00
	30	4.10 ± 0.00	86.33 ± 0.00
กะลามะพร้าว	10	3.37 ± 0.06	66.33 ± 0.58
	20	3.90 ± 0.00	80.50 ± 0.00
	30	4.10 ± 0.00	86.33 ± 0.00
ขี้เลื่อยไม้ยางพารา	10	3.40 ± 0.00	66.00 ± 0.00
	20	3.90 ± 0.00	80.50 ± 0.00
	30	4.10 ± 0.00	86.33 ± 0.00
เปลือกถั่วเขียว	10	3.30 ± 0.06	67.00 ± 0.00
	20	3.93 ± 0.00	80.33 ± 0.29
	30	4.10 ± 0.00	86.33 ± 0.00
การคั่ว	10	4.27 ± 0.06	57.33 ± 0.58
	20	4.90 ± 0.00	75.50 ± 0.00
	30	5.10 ± 0.00	83.00 ± 0.00



ภาพที่ 29 เปอร์เซนต์การดูดซับสังกะสี (Zinc) ที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ของถ่านกัมมันต์จากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรและการค้า

เมื่อทำการวิเคราะห์ความแตกต่างของเปอร์เซนต์การดูดซับสังกะสี พบว่าเปอร์เซนต์ในการดูดซับขึ้นอยู่กับชนิดวัสดุของถ่านกัมมันต์และความเข้มข้นของสังกะสี อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) เมื่อทดสอบความแตกต่างเชิงซ้อนของวัสดุถ่านกัมมันต์และความเข้มข้นของสังกะสี พบว่า ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากเปลือกลูกยางพารามีเปอร์เซนต์ในการดูดซับไม่แตกต่างจากถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว ขี้เลื่อยไม้ยางพารา และเคลือบ รองลงมา คือ ถ่านกัมมันต์จากการค้า และเปอร์เซนต์ในการดูดซับที่ระดับความเข้มข้น 30 ppm ดีกว่าที่ระดับความเข้มข้น 20 และ 10 ppm ตามลำดับ

2.3 การทดสอบเปอร์เซนต์การดูดซับทองแดง (Copper)

2.3.1 ทองแดงระดับความเข้มข้น 10 ppm

ทองแดงก่อนการดูดซับมีระดับความเข้มข้นเท่ากับ 10 ppm หลังจากดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ พบว่า ถ่านกัมมันต์จากการค้าดูดซับทองแดงได้ดีกว่าถ่านกัมมันต์จากขี้เลื่อยไม้ยางพารา เคลือบ เปลือกลูกยางพารา และถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว ตามลำดับ โดยมีระดับความเข้มข้นทองแดงเท่ากับ 3.87 ± 0.06 , 5.87 ± 0.06 , 6.57 ± 0.06 , 6.97 ± 0.06 และ 7.33 ± 0.06 ppm ตามลำดับ คิดเป็นเปอร์เซนต์การดูดซับเท่ากับ 61.33 ± 0.58 , 41.33 ± 0.58 , 34.33 ± 0.58 , 30.33 ± 0.58 และ $26.67 \pm 0.58\%$ ตามลำดับ

2.3.2 ทองแดงระดับความเข้มข้น 20 ppm

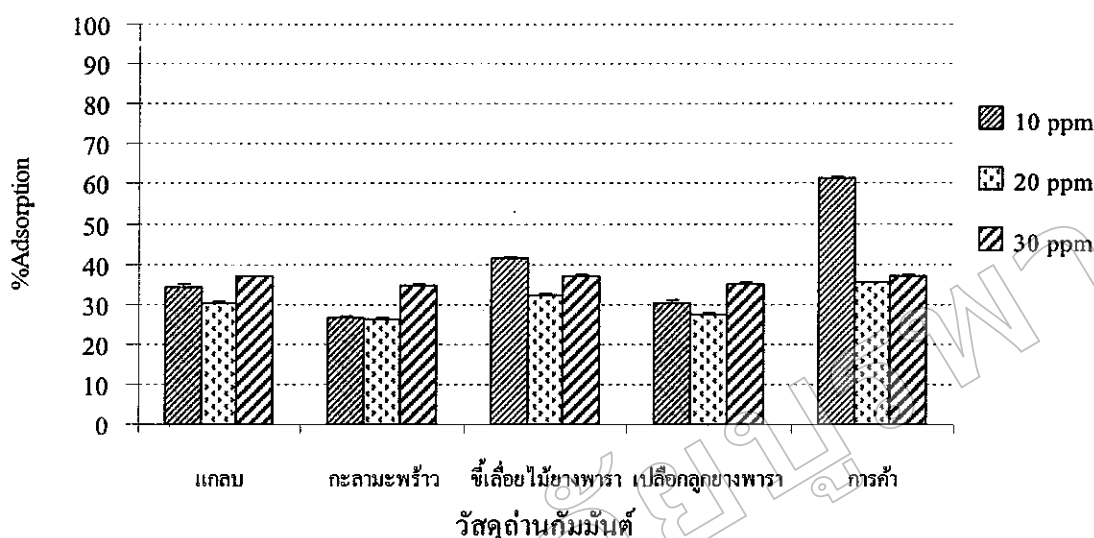
ทองแดงก่อนการดูดซับมีระดับความเข้มข้นเท่ากับ 20 ppm หลังจากดูดซับด้วย ถ่านกัมมันต์ พบว่า ถ่านกัมมันต์จากการค้าดูดซับทองแดงได้ดีกว่าถ่านกัมมันต์จาก ขี้เลื่อยไม้ยางพารา แกลบ เปลือกถั่วเขียวพารา และถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว ตามลำดับ โดยมี ระดับความเข้มข้นทองแดงเท่ากับ 12.90 ± 0.00 , 13.53 ± 0.06 , 13.93 ± 0.06 , 14.47 ± 0.06 และ 14.73 ± 0.06 ppm ตามลำดับ คิดเป็นเปอร์เซ็นต์การดูดซับเท่ากับ 35.50 ± 0.00 , 32.33 ± 0.29 , 30.33 ± 0.29 , 27.67 ± 0.29 และ $26.33 \pm 0.29\%$ ตามลำดับ

2.3.3 ทองแดงระดับความเข้มข้น 30 ppm

ทองแดงก่อนการดูดซับมีระดับความเข้มข้นเท่ากับ 30 ppm หลังจากดูดซับด้วย ถ่านกัมมันต์ พบว่า ถ่านกัมมันต์จากการค้า และขี้เลื่อยไม้ยางพาราดูดซับทองแดงได้ดีกว่า ถ่านกัมมันต์จากแกลบ เปลือกถั่วเขียวพารา และถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว ตามลำดับ โดยมี ระดับความเข้มข้นทองแดงเท่ากับ 18.83 ± 0.06 , 18.83 ± 0.06 , 18.93 ± 0.06 , 19.47 ± 0.06 และ 19.57 ± 0.06 ppm ตามลำดับ คิดเป็นเปอร์เซ็นต์การดูดซับเท่ากับ 37.22 ± 0.19 , 37.22 ± 0.19 , 36.89 ± 0.19 , 35.11 ± 0.19 และ $34.78 \pm 0.19\%$ ตามลำดับ แสดงดังตารางที่ 24 และภาพที่ 30

ตารางที่ 24 เปอร์เซ็นต์การดูดซับทองแดง (Copper) ที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ของถ่านกัมมันต์
จากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรและทางการค้า

วัสดุถ่านกัมมันต์	ความเข้มข้นของทองแดง (ppm)		เปอร์เซ็นต์การดูดซับ (%)
	ก่อนการดูดซับ	หลังการดูดซับ	
แกลบ	10	6.57 ± 0.06	34.33 ± 0.58
	20	13.93 ± 0.06	30.33 ± 0.29
	30	18.93 ± 0.06	36.89 ± 0.19
กะลามะพร้าว	10	7.33 ± 0.06	26.67 ± 0.58
	20	14.73 ± 0.06	26.33 ± 0.29
	30	19.57 ± 0.06	34.78 ± 0.19
ขี้เลื่อยไม้ยางพารา	10	5.87 ± 0.06	41.33 ± 0.58
	20	13.53 ± 0.06	32.33 ± 0.29
	30	18.83 ± 0.06	37.22 ± 0.19
เปลือกถั่วเขียว	10	6.97 ± 0.06	30.33 ± 0.58
	20	14.47 ± 0.06	27.67 ± 0.29
	30	19.47 ± 0.06	35.11 ± 0.19
การคั่ว	10	3.87 ± 0.06	61.33 ± 0.58
	20	12.90 ± 0.00	35.50 ± 0.00
	30	18.83 ± 0.06	37.22 ± 0.19



ภาพที่ 30 เปอร์เซ็นต์การดูดซับทองแดง (Copper) ที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ของถ่านกัมมันต์จากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรและทางการค้า

เมื่อทำการวิเคราะห์ความแตกต่างของเปอร์เซ็นต์การดูดซับทองแดง พบว่าเปอร์เซ็นต์ในการดูดซับขึ้นอยู่กับชนิดวัสดุของถ่านกัมมันต์และความเข้มข้นของทองแดง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) เมื่อทดสอบความแตกต่างเชิงซ้อนของวัสดุถ่านกัมมันต์และความเข้มข้นของทองแดง พบว่า ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากการค้ามีเปอร์เซ็นต์ในการดูดซับดีกว่าถ่านกัมมันต์จากซีเลื้อยไม้ยางพารา รองลงมา คือ ถ่านกัมมันต์จากเจลลีน เปลือกลูกยางพารา และกะลามะพร้าว และเปอร์เซ็นต์ในการดูดซับที่ระดับความเข้มข้น 10 ppm ดีกว่าที่ระดับความเข้มข้น 30 และ 20 ppm ตามลำดับ

2.4 การทดสอบเปอร์เซ็นต์การดูดซับตะกั่ว (Lead)

2.4.1 ตะกั่วระดับความเข้มข้น 10 ppm

ตะกั่วก่อนการดูดซับมีระดับความเข้มข้นเท่ากับ 10 ppm หลังจากดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ พบว่า ถ่านกัมมันต์จากการค้าดูดซับตะกั่วได้ดีกว่าถ่านกัมมันต์จากซีเลื้อยไม้ยางพารา เปลือกลูกยางพารา เจลลีน และถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว ตามลำดับ โดยมีระดับความเข้มข้นตะกั่วเท่ากับ 0.00 ± 0.00 , 3.43 ± 0.06 , 4.53 ± 0.06 , 4.93 ± 0.12 และ 5.07 ± 0.06 ppm ตามลำดับ คิดเป็นเปอร์เซ็นต์การดูดซับเท่ากับ 100.00 ± 0.00 , 65.67 ± 0.58 , 54.67 ± 0.58 , 50.67 ± 1.15 และ $49.33 \pm 0.58\%$ ตามลำดับ

2.4.2 ตะกั่วระดับความเข้มข้น 20 ppm

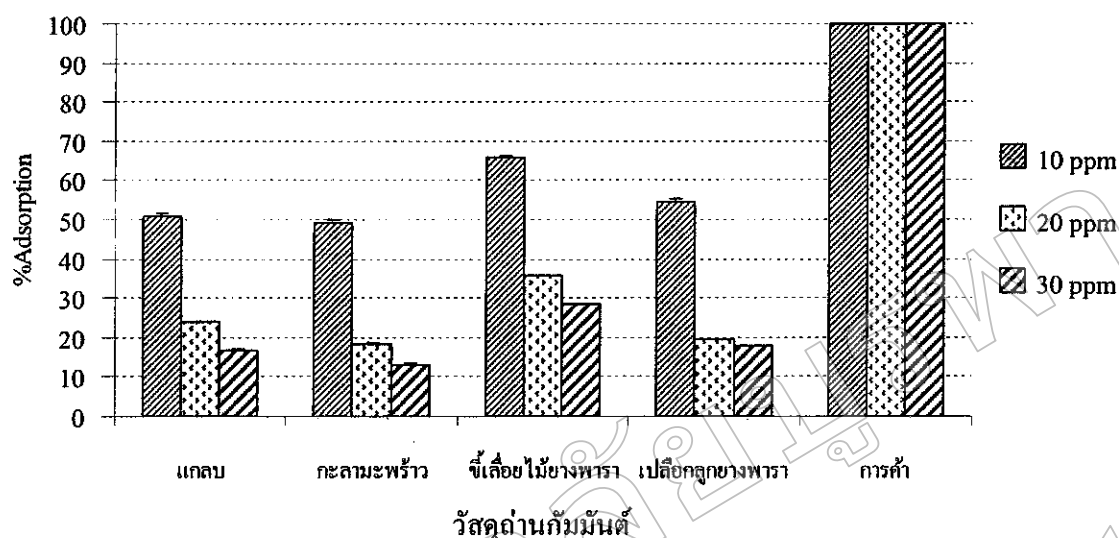
ตะกั่วก่อนการดูดซับมีระดับความเข้มข้นเท่ากับ 20 ppm หลังจากดูดซับด้วย ถ่านกัมมันต์ พบว่า ถ่านกัมมันต์จากการค้าดูดซับตะกั่วได้ดีกว่าถ่านกัมมันต์จากขี้เลื่อยไม้ยางพารา แกลบ เปลือกลูกยางพารา และถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว ตามลำดับ โดยมีระดับความเข้มข้น ตะกั่วเท่ากับ 0.00 ± 0.00 , 12.87 ± 0.06 , 15.23 ± 0.06 , 16.10 ± 0.00 และ 16.33 ± 0.06 ppm ตามลำดับ คิดเป็นเปอร์เซ็นต์การดูดซับเท่ากับ 100.00 ± 0.00 , 35.67 ± 0.29 , 23.83 ± 0.29 , 19.50 ± 0.00 และ $18.33 \pm 0.29\%$ ตามลำดับ

2.4.3 ตะกั่วระดับความเข้มข้น 30 ppm

ตะกั่วก่อนการดูดซับมีระดับความเข้มข้นเท่ากับ 30 ppm หลังจากดูดซับด้วย ถ่านกัมมันต์ พบว่า ถ่านกัมมันต์จากการค้าดูดซับตะกั่วได้ดีกว่าถ่านกัมมันต์จากขี้เลื่อยไม้ยางพารา เปลือกลูกยางพารา แกลบ และถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว ตามลำดับ โดยมีระดับความเข้มข้น ตะกั่วเท่ากับ 0.00 ± 0.00 , 21.47 ± 0.12 , 24.63 ± 0.06 , 24.97 ± 0.06 และ 26.13 ± 0.12 ppm ตามลำดับ คิดเป็นเปอร์เซ็นต์การดูดซับเท่ากับ 100.00 ± 0.00 , 28.44 ± 0.19 , 17.89 ± 0.19 , 16.78 ± 0.19 และ $12.89 \pm 0.38\%$ ตามลำดับ แสดงดังตารางที่ 25 และภาพที่ 27

ตารางที่ 25 เปอร์เซ็นต์การดูดซับตะกั่ว (Lead) ที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ของถ่านกัมมันต์จากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรและทางการค้า

วัสดุถ่านกัมมันต์	ความเข้มข้นของตะกั่ว (ppm)		เปอร์เซ็นต์การดูดซับ (%)
	ก่อนการดูดซับ	หลังการดูดซับ	
แกลบ	10	4.93 ± 0.12	50.67 ± 1.15
	20	15.23 ± 0.06	23.83 ± 0.29
	30	24.97 ± 0.06	16.78 ± 0.19
กะลามะพร้าว	10	5.07 ± 0.06	49.33 ± 0.58
	20	16.33 ± 0.06	18.33 ± 0.29
	30	26.13 ± 0.12	12.89 ± 0.38
ขี้เลื่อยไม้ยางพารา	10	3.43 ± 0.06	65.67 ± 0.58
	20	12.87 ± 0.06	35.67 ± 0.29
	30	21.47 ± 0.12	28.44 ± 0.19
เปลือกถั่วเขียว	10	4.53 ± 0.06	54.67 ± 0.58
	20	16.10 ± 0.00	19.50 ± 0.00
	30	24.63 ± 0.06	17.89 ± 0.19
การคั่ว	10	0.00 ± 0.00	100.00 ± 0.00
	20	0.00 ± 0.00	100.00 ± 0.00
	30	0.00 ± 0.00	100.00 ± 0.00



ภาพที่ 31 เปอร์เซ็นต์การดูดซับตะกั่ว (Lead) ที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ของถ่านกัมมันต์จากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรและทางการค้า

เมื่อทำการวิเคราะห์ความแตกต่างของเปอร์เซ็นต์การดูดซับตะกั่ว พบว่า เปอร์เซ็นต์ในการดูดซับขึ้นอยู่กับชนิดวัสดุของถ่านกัมมันต์และความเข้มข้นของตะกั่ว อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) เมื่อทดสอบความแตกต่างเชิงซ้อนของวัสดุถ่านกัมมันต์และความเข้มข้นของตะกั่ว พบว่า ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากการค้ามีเปอร์เซ็นต์ในการดูดซับดีกว่าถ่านกัมมันต์จากขี้เลื่อยไม้ยางพารา รองลงมา คือ ถ่านกัมมันต์จากเปลือกลูกยางพาราและแกลบ ซึ่งมีเปอร์เซ็นต์ในการดูดซับไม่แตกต่างกัน รองลงมา คือ ถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว และเปอร์เซ็นต์ในการดูดซับที่ระดับความเข้มข้น 10 ppm ดีกว่าที่ระดับความเข้มข้น 20 และ 30 ppm ตามลำดับ

จากการวิเคราะห์ความแตกต่างของเปอร์เซ็นต์การดูดซับของแคดเมียม (Cadmium) สังกะสี (Zinc) ทองแดง (Copper) และตะกั่ว (Lead) พบว่าเปอร์เซ็นต์ในการดูดซับโลหะหนักขึ้นอยู่กับชนิดวัสดุของถ่านกัมมันต์ ชนิดของโลหะหนักและความเข้มข้นของโลหะหนัก อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) แสดงดังตารางที่ 26 เมื่อทดสอบความแตกต่างเชิงซ้อนของวัสดุถ่านกัมมันต์ ชนิดของโลหะหนักและความเข้มข้นของโลหะหนัก พบว่า ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากการค้ามีเปอร์เซ็นต์ในการดูดซับโลหะหนักดีกว่าถ่านกัมมันต์จากขี้เลื่อยไม้ยางพารา รองลงมา คือ ถ่านกัมมันต์จากแกลบ เปลือกลูกยางพารา และกะลามะพร้าว ตามลำดับ เปอร์เซ็นต์ในการดูดซับแคดเมียมดีกว่าเปอร์เซ็นต์ในการดูดซับสังกะสี รองลงมา คือ ตะกั่ว และ ทองแดง ตามลำดับ และ

เปอร์เซ็นต์ในการดูดซับโลหะหนักที่ระดับความเข้มข้น 30 ppm ต่ำกว่าที่ระดับความเข้มข้น 20 และ 10 ppm ตามลำดับ

ตารางที่ 26 การวิเคราะห์ความแตกต่างของเปอร์เซ็นต์การดูดซับโลหะหนักที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ของถ่านกัมมันต์จากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรและทางการค้า

Source	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	59	1974.041	15657.023	0.000
Intercept	1	622045.235	4933724.750	0.000
ชนิดโลหะหนัก	3	20547.009	162967.711	0.000
วัสดุถ่านกัมมันต์	4	3909.488	31007.936	0.000
ความเข้มข้นโลหะหนัก	2	136.860	1085.497	0.000
ชนิดโลหะหนัก * วัสดุถ่านกัมมันต์	12	1840.655	14599.076	0.000
ชนิดโลหะหนัก * ความเข้มข้นโลหะหนัก	6	2060.834	16345.417	0.000
วัสดุถ่านกัมมันต์ * ความเข้มข้นโลหะหนัก	8	21.499	170.515	0.000
ชนิดโลหะหนัก * วัสดุถ่านกัมมันต์ * ความเข้มข้นโลหะหนัก	24	178.787	1418.040	0.000
Error	120	0.126		
Total	180			
Corrected Total	179			

$p < 0.05$