

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์

4.1 ผลการวิเคราะห์สารตัวอย่างเริ่มต้น

จากตาราง 4.1 แสดงองค์ประกอบโดยประมาณของเปลือกกล้วยน้ำว้า ไยหนุ่นและใยสำลี จะเห็นได้ว่าไยหนุ่นมีปริมาณคาร์บอนคงตัวสูงสุด รองลงมาคือ เปลือกกล้วยและใยสำลี ตามลำดับ ซึ่งจะมีลำดับตรงข้ามกับปริมาณสารระเหยง่าย ในส่วนของปริมาณเถ้า พบว่าเปลือกกล้วยมีปริมาณสูงสุด คือร้อยละ 10.30 แสดงถึงการมีแร่ธาตุในองค์ประกอบที่สูง ในส่วนของใยสำลี มีเพียงร้อยละ 0.31 ซึ่งใยสำลีที่ใช้ในการวิจัยนี้ เป็นใยสำลีที่ผ่านการทำความสะอาดเพื่อใช้ในการรักษาบาดแผลและความสะอาด จึงมีสารปนเปื้อนน้อย ส่วนไยหนุ่นยังมีส่วนที่เป็นเถ้าที่เป็นสารปนเปื้อนทางธรรมชาติอยู่บ้าง

การวิเคราะห์โดยประมาณของปริมาณคาร์บอนคงตัว สารระเหยง่าย และปริมาณเถ้าของไยหนุ่น พบว่ามีปริมาณร้อยละ 42.38, 55.16 และ 2.46 ตามลำดับ โดยพบว่าไยหนุ่นที่ใช้ในการศึกษานี้แสดงปริมาณเถ้าที่สูง เมื่อเทียบกับการศึกษาของ Lim and Huang (2007) โดย Lim and Huang ได้พบว่าปริมาณเถ้าของไยหนุ่นมีเพียงร้อยละ 0.78 ทั้งนี้เนื่องจากไยหนุ่นที่ใช้ในการศึกษานี้ เป็นผลิตภัณฑ์ธรรมชาติที่ยังไม่ได้ผ่านการทำความสะอาดและกำจัดฝุ่น นอกจากนี้ไยหนุ่นยังมีปริมาณสารระเหยง่ายสูง ซึ่งประกอบด้วย เซลลูโลส ไขมัน คาร์โบไฮเดรตหรือโพลีแซคคาไรด์ ลิกนินและลิกโนเซลลูโลซิก (cellulose, wax, carbohydrate or polysaccharide, lignin, and lignocellulosic) (Lim and Huang, 2007) เมื่อไยหนุ่นผ่านการไพโรไลซิส พวกหมู่ฟังก์ชันของสารประกอบในไยหนุ่นจะถูกขจัดออกไปโดยปฏิกิริยาการสลายทางความร้อน ในสภาวะรีดักชัน (reduction condition) สารประกอบที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลักของไยหนุ่นจะถูกรีดิวซ์ไปเป็นคาร์บอน ซึ่งประกอบเป็นปริมาณคาร์บอนคงที่ การที่มีปริมาณคาร์บอนคงที่สูงในไยหนุ่น จึงสามารถพิจารณาเป็นสารตั้งต้นในการผลิตใยคาร์บอนได้

ตาราง 4.1 องค์ประกอบโดยประมาณของวัตถุดิบตั้งต้นในการผลิตคอมโพสิต

วัตถุดิบตั้งต้น	องค์ประกอบ % โดยน้ำหนักแห้ง		
	คาร์บอนคงตัว	สารระเหยง่าย	เถ้า
เปลือกกล้วย	37.70	52.00	10.30
ไยหนุ่น	42.38	55.16	2.46
ใยสำลี	30.28	69.41	0.31

4.2 ผลผลิตร้อยละของคอมโพสิต

จากตาราง 4.2 จะพบได้ว่าองค์ประกอบของโลหะ-ไยหนุ่นคาร์บอน คอมโพสิต ทุกชนิดมีแนวโน้มของร้อยละผลผลิตลดลง เมื่ออุณหภูมิไพโรไลซิส เพิ่มขึ้นจาก 400 ไปที่ 700°C อย่างไรก็ตาม ได้พบว่า Al-kapok carbon fiber composite แสดงรูปแบบที่แตกต่างไป ร้อยละผลผลิตของ Al-kapok carbon fiber composite ลดลงจาก 71.87 ไปเป็น 65.56 เมื่อไพโรไลซิสจาก 400 ไปที่ 500°C หลังจากนั้น จะ

เพิ่มขึ้นไปเป็น 70.94 ที่ 600°C ซึ่งใกล้เคียงกับค่าที่ 400°C แต่เหลือเพียงร้อยละ 66.10 ที่ 700°C ซึ่งสูงกว่าค่าที่ 500°C เล็กน้อย ปรากฏการณ์นี้ Xu et al. (2011) ได้เคยอธิบายไว้ว่า มีความสัมพันธ์การดูดซับทางเคมีของ CO₂ อย่างแรง การผันกลับของ CO₂ ขึ้นอยู่กับช่วงอุณหภูมิปฏิกิริยาอย่างมากในช่วง 650–800 °C Al₂O₃ composite oxides มีความเป็นตัวเร่งสูงสุดที่ 650-800°C ซึ่งเป็นลักษณะของปฏิกิริยาดูดความร้อน ร้อยละผลผลิตของ Cu-kapok carbon fiber composite ยังคงคงที่เมื่ออุณหภูมิไพโรไลซิสเพิ่มขึ้นจาก 400 ไปที่ 700°C (ร้อยละในช่วง 25.31 ถึง 24.03) สำหรับ Mg-kapok carbon fiber composite ร้อยละผลผลิตค่อยๆ ลดลงจาก 400 ไปที่ 600°C (ร้อยละ 46.16 ไปเป็น 40.03) และลดลงอย่างรวดเร็วที่ 700°C (เหลือเพียงร้อยละ 20.65) ในส่วนของ Zn-kapok carbon fiber composite ร้อยละผลผลิตมีสูงมากที่สุดที่ 400 °C (ร้อยละ 71.57) ขณะที่เกือบคงที่ (ร้อยละ 58.89 ถึง 58.59) ที่ 500 ถึง 600°C และลดลงปานกลาง (ร้อยละ 47.72) ที่ 700°C ปฏิกิริยาการสลายของไยนุ่มขึ้นอยู่กับชนิดของเกลือโลหะ โดยความแรงในการสลายของเกลือโลหะมีลำดับคือ Al₂O₃ < ZnCl₂ < MgSO₄·7H₂O < Cu(NO₃)₂ ลำดับนี้คาดว่าสอดคล้องกับความแรงในการออกซิไดซ์ของเกลือโลหะ

ในส่วนของคอมโพสิตที่ได้จากใยสำลี ก็มีแนวโน้มในการทำงานเกี่ยวกับคอมโพสิตที่ได้จากไยนุ่ม สำหรับคอมโพสิตที่ได้จากเปลือกกล้วย พบว่าความแรงในการออกซิไดซ์ของเกลือโลหะก็เป็นเช่นเดียวกับของคอมโพสิตที่ได้จากไยนุ่มและใยสำลี และมีแนวโน้มผลผลิตร้อยละลดลงตามการเพิ่มของอุณหภูมิไพโรไลซิส แต่ผลผลิตร้อยละมีแนวโน้มสูงกว่าคอมโพสิตที่ได้จากไยนุ่มและใยสำลี ซึ่งอาจมีสาเหตุมาจากการที่เปลือกกล้วยมีปริมาณสารระเหยง่ายที่ต่ำกว่าของไยนุ่มและใยสำลี

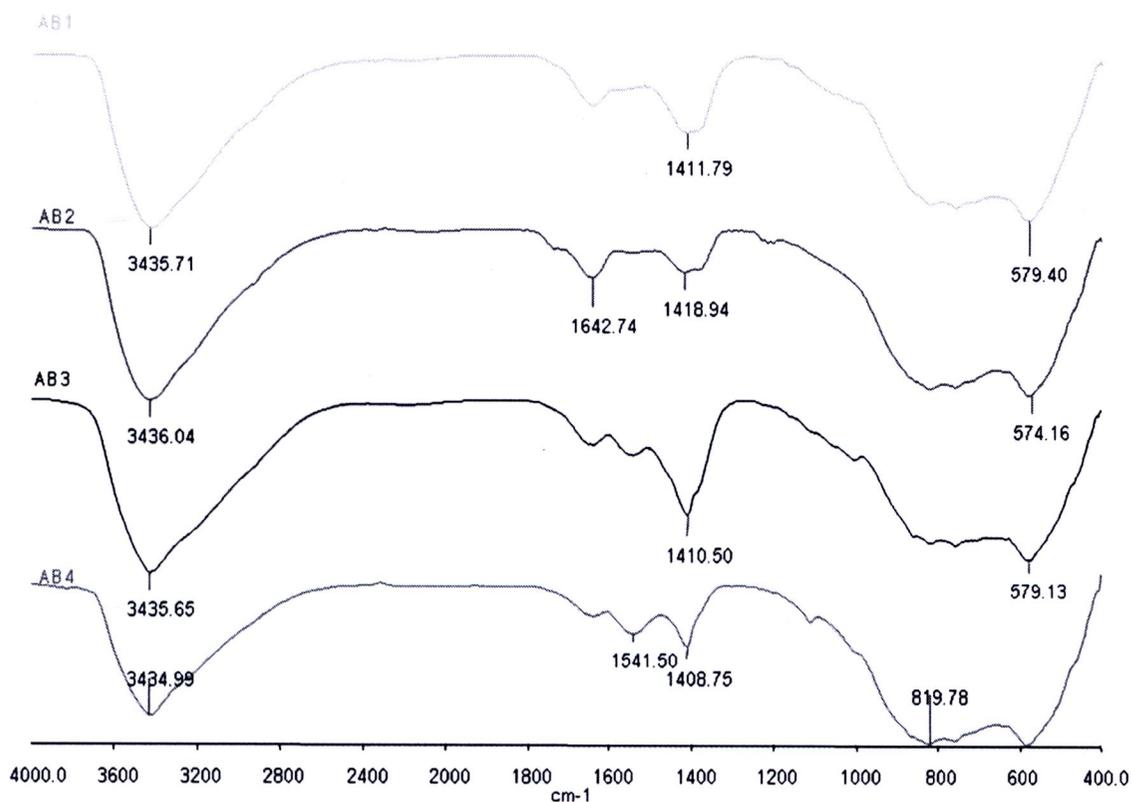
ตาราง 4.2 ร้อยละผลผลิต metal-carbon composites โดยการไพโรไลซิสที่ 400 ถึง 700°C

ชนิดคอมโพสิต	ร้อยละผลผลิตของคอมโพสิต โดยการไพโรไลซิสที่			
	400°C	500°C	600°C	700°C
Al-banana peel carbon composite	90.06	92.21	96.68	91.55
Cu- banana peel carbon composite	7.89	30.19	17.11	25.81
Mg- banana peel carbon composite	54.61	53.03	52.41	20.16
Zn- banana peel carbon composite	97.99	92.29	93.44	86.51
Al-kapok carbon fiber composite	71.87	65.56	70.94	66.10
Cu-kapok carbon fiber composite	25.31	24.73	24.33	24.03
Mg-kapok carbon fiber composite	46.16	43.32	40.03	20.65
Zn-kapok carbon fiber composite	71.57	58.69	58.59	47.72
Al-cotton carbon fiber composite	78.56	75.14	74.49	18.60
Cu- cotton carbon fiber composite	25.61	25.11	26.38	24.09
Mg- cotton carbon fiber composite	51.19	45.41	33.17	18.96
Zn- cotton carbon fiber composite	73.68	51.79	62.18	58.18

4.3 การวิเคราะห์ด้วย FT-IR

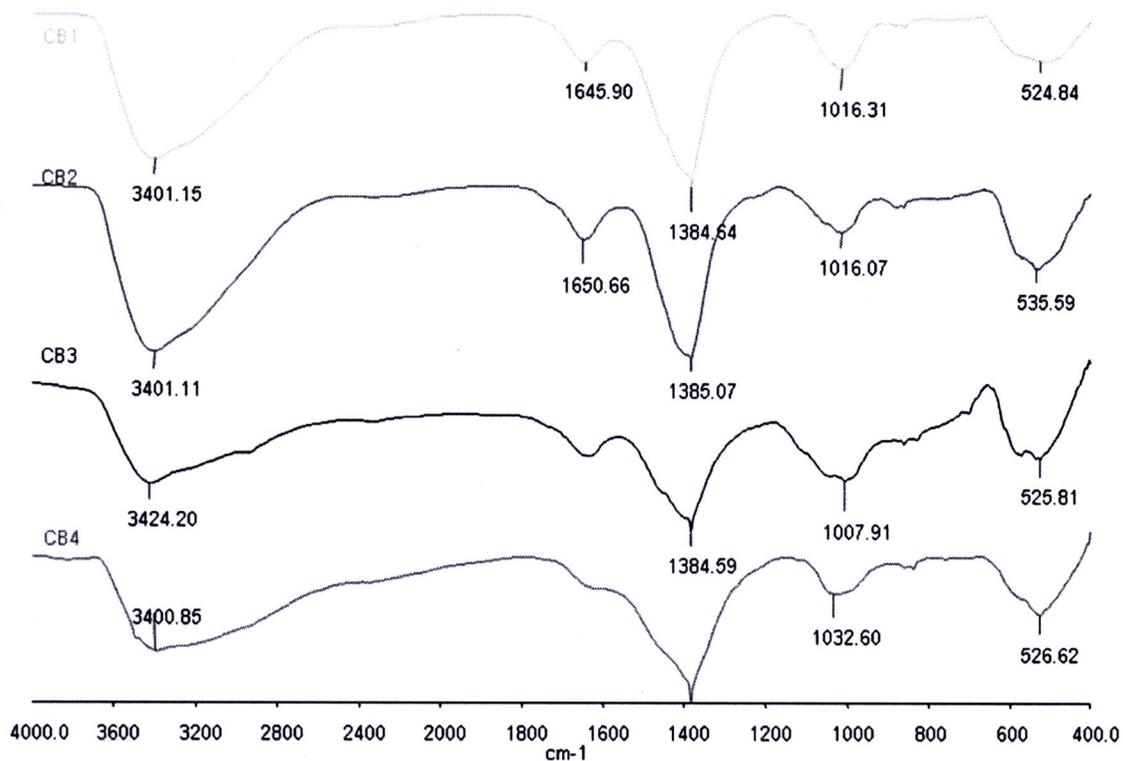
4.3.1 Metals-banana peel charcoal composites

สเปกตรัม FT-IR ของ aluminium- banana peel charcoal composites ได้แสดงในรูป 4.1 คอมโพสิตทั้งหมดมีพีคกว้างที่ 3435 cm^{-1} และพีคอ่อนที่ 1642 cm^{-1} ทั้งสองพีคนี้เป็นการสั่นของ O-H group stretching และ bending ตามลำดับ (Chlopek et al., 2008) นอกจากนี้ในทุกคอมโพสิตยังปรากฏพีคที่ $1408\text{-}1418\text{ cm}^{-1}$ ซึ่งสอดคล้องกับหมู่ C = O หมู่ C = O นี้เกิดขึ้นได้โดยปฏิกิริยาออกซิเดชันรวมทั้งแถบกว้างและอ่อนในช่วง $819\text{ ถึง }579\text{ cm}^{-1}$ สำหรับทุกอุณหภูมิของการไพโรไลซิสที่เกี่ยวข้องกับ C-H bending (Oh et al., 2005)



รูป 4.1 สเปกตรัม FTIR ของ aluminium- banana peel charcoal composite ไพโรไลซิสที่ 400°C (AB1), 500°C (AB2), 600°C (AB3), 700°C (AB4)

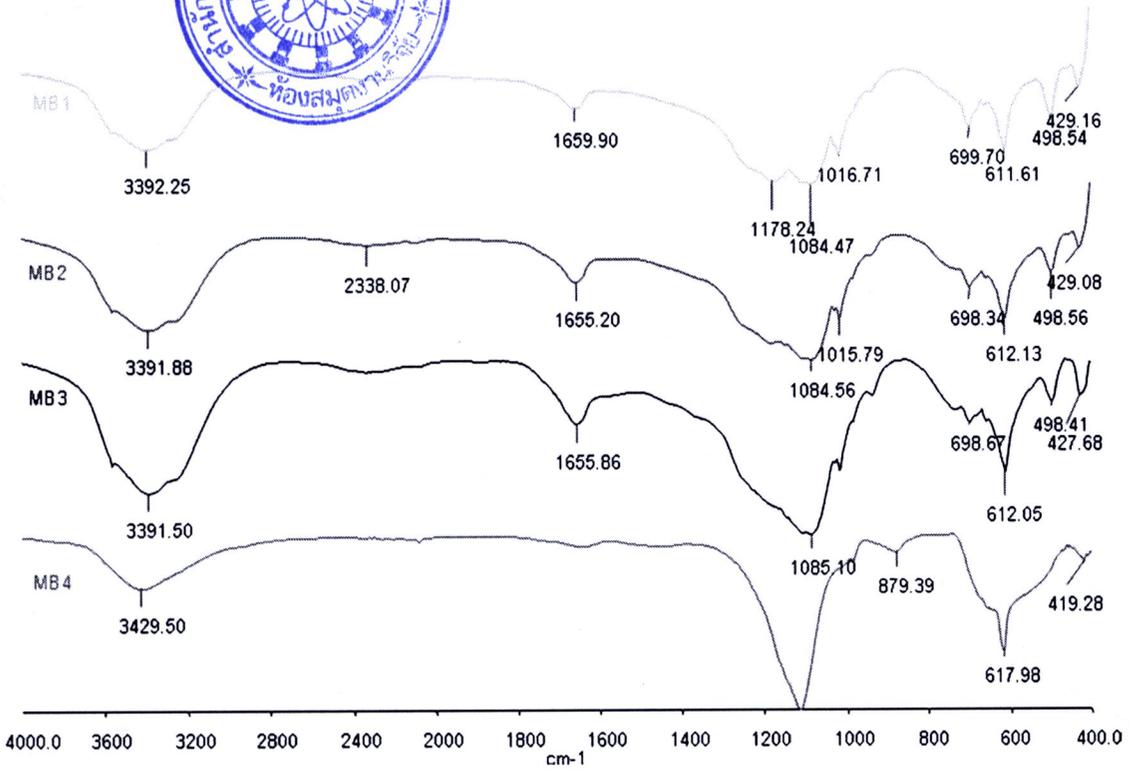




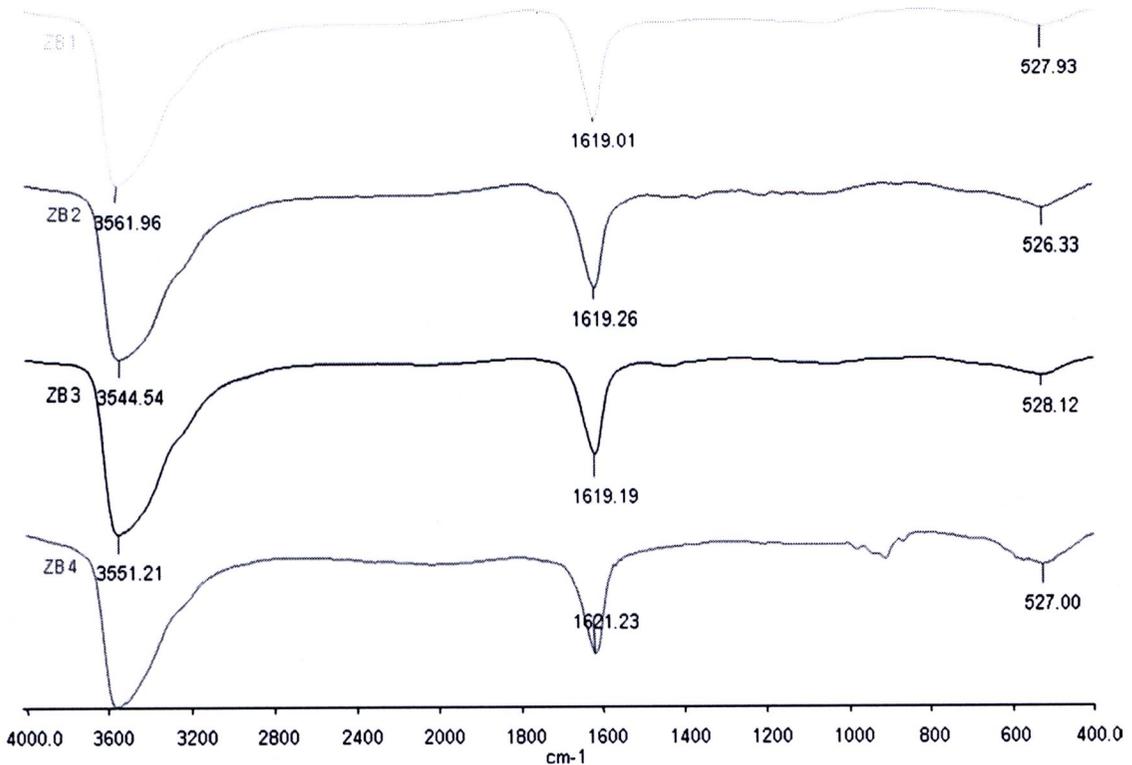
รูป 4.2 สเปกตรัม FTIR ของ copper-banana peel charcoal composite ไพโรไลซิสที่ 400°C (CB1), 500°C (CB2), 600°C (CB3), 700°C (CB4)

ในรูป 4.2 เป็นสเปกตรัม FTIR ของ copper-banana peel charcoal composites แสดงทำนองเดียวกับรูป 4.1 แต่พบว่าพีคที่ประมาณ 3400 cm^{-1} และ 1650 cm^{-1} ซึ่งเป็นพีคของ O-H group stretching และ bending มีแนวโน้มของความเข้มลดลงเมื่ออุณหภูมิไพโรไลซิสเพิ่มสูงขึ้น แสดงถึงการขจัด hydrogen bonding ออกไปมากขึ้น เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น นอกจากนี้ยังพบพีคเด่นชัดที่ 1384 cm^{-1} ซึ่งเป็นพีคของ C-H ใน CH_3 ที่ยังหลงเหลืออยู่ในทุกอุณหภูมิ พีคที่ ประมาณ 1007-1032 cm^{-1} คาดว่า เป็นพีคของ C-O หรือ C-O-C stretching vibrations (Pamula et al., 2001) และพีคที่ 526 cm^{-1} ซึ่งเป็นพีคของ C-C stretching vibrations

สำหรับรูป 4.3 เป็นสเปกตรัม FTIR ของ magnesium-banana peel charcoal composite ซึ่งแสดงพีคกว้างและอ่อนที่ประมาณ 3400 cm^{-1} (O-H group stretching) และอ่อนมากๆ ของพีคที่ 1655 cm^{-1} (O-H group bending) โดยความเข้มจะลดลงเมื่ออุณหภูมิไพโรไลซิสสูงขึ้น ในทางตรงข้าม พีคที่ ประมาณ 1100 cm^{-1} (C-O หรือ C-O-C stretching vibrations) และพีคที่ประมาณ 610 cm^{-1} (C-C stretching vibrations) มีความเข้มเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิไพโรไลซิสสูงขึ้น แสดงว่าเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันบางส่วนมากขึ้น และเกิดการสลายของหมู่ฟังก์ชันอื่นๆ มากขึ้น เมื่ออุณหภูมิไพโรไลซิสสูงขึ้น



รูป 4.3 สเปกตรัม FTIR ของ magnesium- banana peel charcoal composite ไพโรไลซิสที่ 400°C (MB1), 500°C (MB2), 600°C (MB3), 700 °C (MB4)



รูป 4.4 สเปกตรัม FTIR ของ zinc- banana peel charcoal composite ไพโรไลซิสที่ 400°C (ZB1), 500°C (ZB2), 600°C (ZB3), 700 °C (ZB4)

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
ห้องสมุดงานวิจัย
วันที่..... 7 ส.ค. 2555
เลขทะเบียน..... 190903
เลขเรียกหนังสือ.....

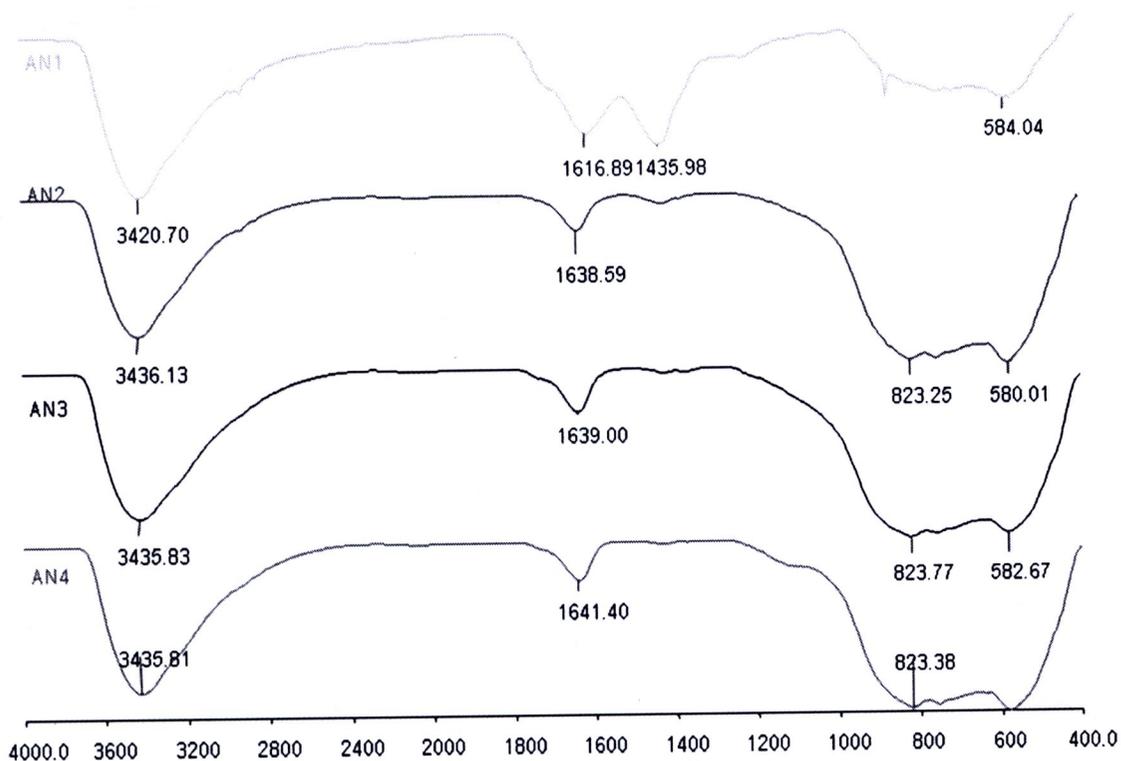
รูป 4.4 แสดงสเปกตรัมของ zinc-banana peel charcoal composite ซึ่งได้แสดงว่ามีพีคก่อนข้างแถบที่ 3550 cm^{-1} และ 1620 cm^{-1} เมื่อเทียบกับสเปกตรัมของคอมโพสิตชนิดอื่นๆ ซึ่งเมื่อเทียบกับค่า hydrogen-bonded O-H stretching ในอุดมคติ คือที่ 3560 cm^{-1} ใน zinc-banana peel charcoal composite มีค่าเข้าใกล้มากที่สุดเมื่อเทียบกับคอมโพสิตอื่นๆ แสดงว่า O-H stretching ส่วนใหญ่เป็น intramolecular hydrogen bonding เมื่อเติม Zn และยังพบพีคที่อ่อนมากที่ประมาณ 52 cm^{-1} (C–C stretching vibrations)

4.3.2 Metals-kapok carbonfiber composites

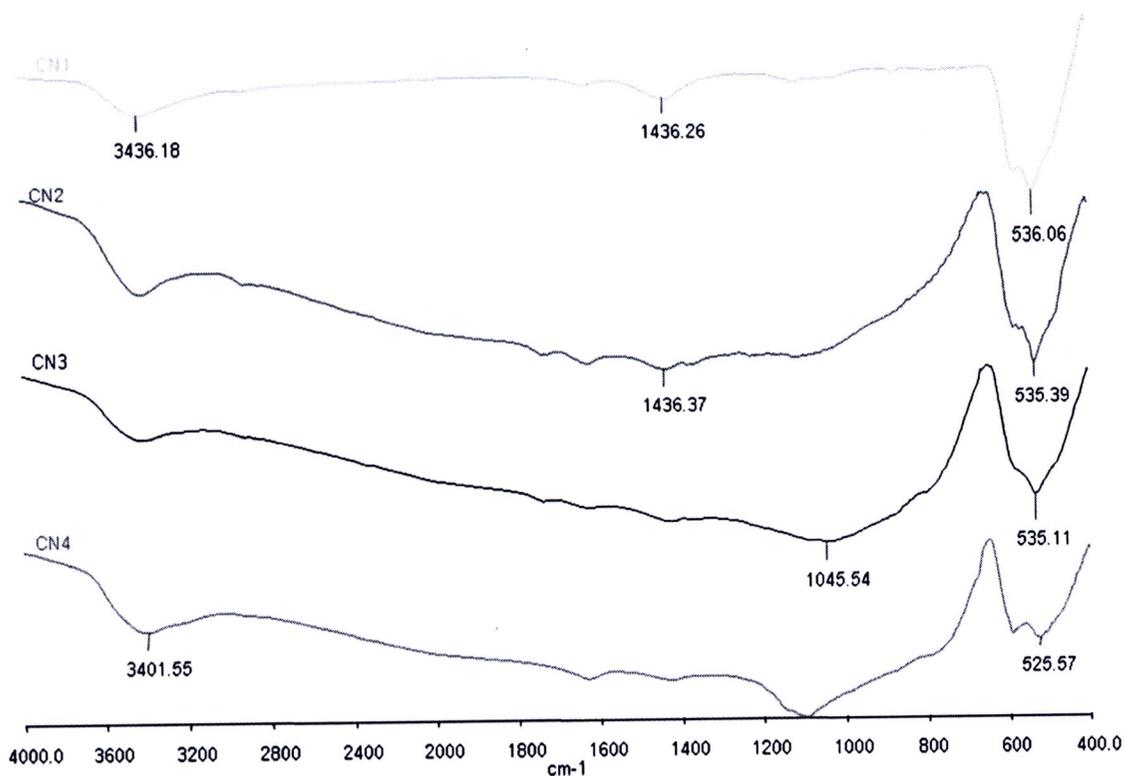
สเปกตรัม FT-IR ของ Al-kapok carbon fiber composite ได้แสดงในรูป 4.5 คอมโพสิตทั้งหมดได้แสดงแถบดังต่อไปนี้ แถบกว้างที่ 3435 cm^{-1} และแถบอ่อนที่ 1639 cm^{-1} ทั้งสองแถบนี้จัดเป็นการสั่นของหมู่ O–H ใน stretching และ bending ตามลำดับ (Chlopek et al., 2008) รวมทั้งแถบกว้างและอ่อนที่ในช่วง 823 ถึง 582 cm^{-1} สำหรับทุกอุณหภูมิของการไพโรไลซิสที่เกี่ยวข้องกับ C–H bending (Oh et al., 2005) มีเพียง Al-kapok carbon fiber composite เท่านั้นที่ไพโรไลซิสที่ 400°C แสดงแถบอ่อนๆ ที่เล็กมากของ HCH และ OCH in-plane bending vibrations ที่ 1435.98 cm^{-1} (Oh et al., 2005) แถบนี้ได้หายไปหลังจากไพโรไลซิสถึงที่ 500°C แถบที่ 1435.98 cm^{-1} ลดลงและค่อยๆ หายไปเมื่อเพิ่มอุณหภูมิจาก 400 ไปที่ 700°C ขณะที่แถบที่ 823 cm^{-1} ได้แสดงการเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด แถบแรกแสดงถึงความเป็นผลึกของผลิตภัณฑ์ และแถบที่สองความเป็นอสัณฐาน ความเข้มของแถบที่ 823 และ 1430 cm^{-1} ยังแสดงถึงความว่องไวต่อปริมาณของความเป็นโครงสร้างผลึกกับโครงสร้างอสัณฐานของคาร์บอนเป็นอย่างมาก การกว้างขึ้นของแถบเหล่านี้สะท้อนให้เห็นถึงปริมาณที่สูงขึ้นของโครงสร้างที่ไม่เป็นระเบียบ (Oh et al., 2005)

ในรูป 4.6 สเปกตรัม FTIR ของ Cu-kapok carbon fiber composites แสดงพีคต่างๆ ที่อ่อนกว่า Al-kapok carbon fiber composites อย่างไรก็ตาม มีพีคที่กว้างและอ่อนมากที่สุดที่ 3401 cm^{-1} (O–H group stretching) และพีคที่อ่อนมากที่สุดที่ 1639 cm^{-1} (O–H group bending) ในทุกสเปกตรัม ซึ่งชี้ให้เห็นว่า H-bonding ได้ถูกทำลายออกไปเกือบหมด ทำนองเดียวกัน พีคที่อ่อนมากที่สุดที่ 1436 cm^{-1} ยังคงมีอยู่ ซึ่งเกือบหายไปที่อุณหภูมิสูงกว่า 600°C ปรากฏการณ์นี้ชี้ให้เห็นว่า หมู่ HCH และ OCH ได้สลายไปแล้ว อย่างไรก็ตาม พีคที่ 823 cm^{-1} ไม่ปรากฏเช่นเดียวกัน สรุปได้ว่าผลิตภัณฑ์มีความเป็นผลึกมากขึ้น ทำนองเดียวกัน พีคที่แหลมและเข้มสูงมากที่สุดที่ 535 cm^{-1} (C–C stretching vibrations) สามารถสังเกตได้ในทุกสเปกตรัม

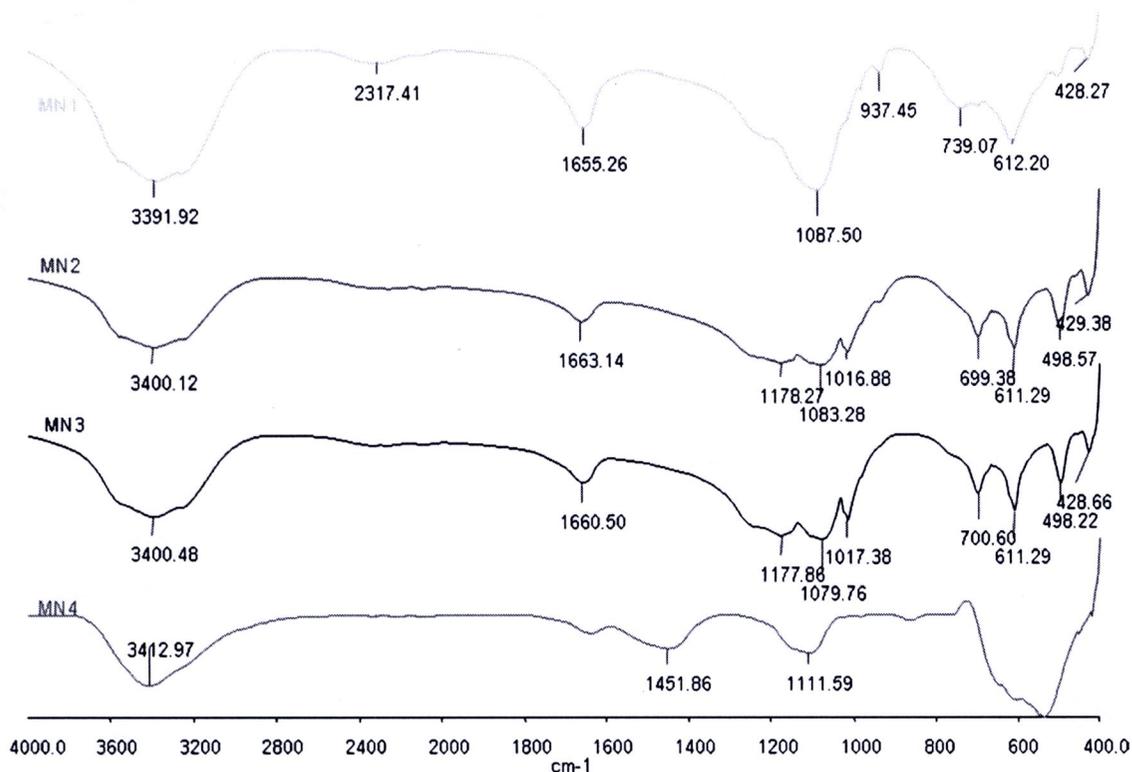




รูป 4.5 สเปกตรัม FTIR ของ aluminium- kapok carbonfiber composite ไพโรไลซิสที่ 400°C (AN1), 500°C (AN2), 600°C (AN3), 700 °C (AN4)



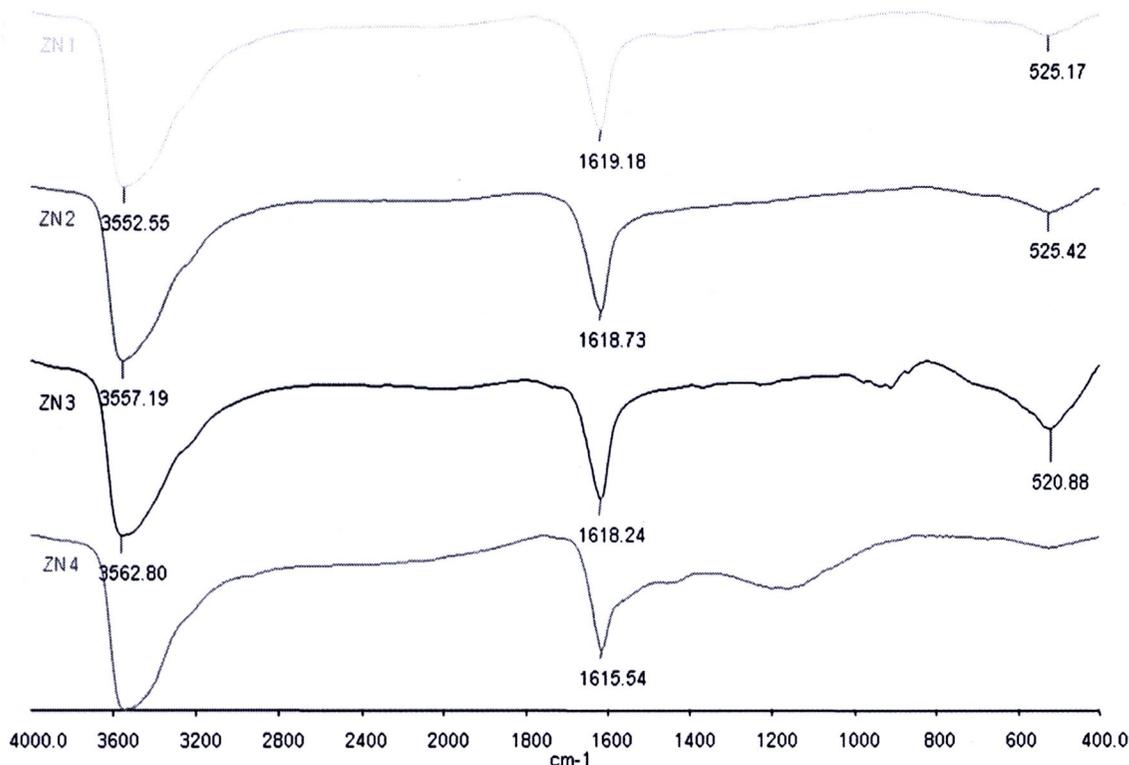
รูป 4.6 สเปกตรัม FTIR ของ copper- kapok carbonfiber composite ไพโรไลซิสที่ 400°C (CN1), 500°C (CN2), 600°C (CN3), 700 °C (CN4)



รูป 4.7 สเปกตรัม FTIR ของ magnesium- kapok carbonfiber composite ไพโรไลซิสที่ 400°C (MN1), 500°C (MN2), 600°C (MN3), 700 °C (MN4)

ในรูป 4.7 สเปกตรัม FTIR ของ Mg-kapok carbon fiber composites ได้แสดง พีคกว้างและอ่อน ที่ประมาณ 3400 cm^{-1} (O-H group stretching) และพีคอ่อนมากที่ 1655 cm^{-1} พีคที่ 1655 cm^{-1} ลดลงอย่าง ค่อยเป็นค่อยไป เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นจาก 400 ไปที่ 700°C สเปกตรัม FTIR ที่ 400°C มีพีคที่ 1087.50 cm^{-1} (C-O stretching) ซึ่งอ่อนลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ในช่วงจาก 500°C ถึง 700°C สเปกตรัม FTIR ที่ 700°C มีพีคอ่อนที่ 1655 และ 1111.59 cm^{-1} (C-O หรือ C-O-C stretching vibrations) (Pamula et al., 2001), 520 cm^{-1} (C-C stretching vibrations) สเปกตรัมที่ 500 ถึง 600°C แสดงพีคที่ 1178 cm^{-1} (C-O stretching vibrations) และช่วงจาก 700 ถึง 498 cm^{-1} (C-C stretching vibrations) (Chlopek et al., 2008) ทำนองเดียวกัน สเปกตรัม FTIR ของผลิตภัณฑ์ที่ 400 ถึง 600°C แสดงพีคที่ 612 และ 429 cm^{-1} ซึ่ง สอดคล้องกับ C-C stretching vibrations (Chlopek et al., 2008) จากผลของ FTIR แสดงว่าเมื่ออุณหภูมิ ไพโรไลซิสเพิ่มขึ้น ปริมาณของ H-bonding จะลดลง อย่างไรก็ตาม ความแข็งแรงของ H-bonding เพิ่มขึ้นเข้าใกล้ความแรงพันธะไฮโดรเจนในอุดมคติ ที่มีพีคแหลมที่ 3400 cm^{-1} และพีคอ่อนที่ 1655 cm^{-1} ตามลำดับ สเปกตรัมที่ 700°C (รูป 4.7 MN4) แสดงพีคที่ 1451 cm^{-1} ซึ่งสอดคล้องกับหมู่ C=O หมู่ C=O นี้เกิดขึ้นได้โดยปฏิกิริยาออกซิเดชัน นอกจากนี้สเปกตรัมนี้ยังได้แสดงความเป็นผลึกของผลิตภัณฑ์ ซึ่งอาจเกิดจากการมีปริมาณสารประกอบ Mg ในปริมาณที่สูง ขณะที่ C ถูกสลายไปเป็นจำนวนมาก (ตาราง 4.2) รวมทั้งความเข้มของพีคที่ 1087.50 cm^{-1} ซึ่งสอดคล้องกับ CO stretching ลดลง เมื่ออุณหภูมิ

เพิ่มขึ้นจาก 400 ไปที่ 700°C ผลเหล่านี้แสดงให้เห็นว่ามีการสลายเชิงความร้อนของหมู่ทำหน้าที่ (functional groups)



รูป 4.8 สเปกตรัม FTIR ของ zinc- kapok carbonfiber composite ไพโรไลซิสที่ 400°C (ZN1), 500°C (ZN2), 600°C (ZN3), 700 °C (ZN4)

รูป 4.8 แสดงสเปกตรัม FTIR ของ Zn-kapok carbon fiber composites มีพีคแหลมที่ 3560 cm^{-1} พีคแคบที่ 1618 cm^{-1} และพีคอ่อนมากๆ ที่ 525 cm^{-1} (C-C stretching vibrations)(Chlopek et al., 2008) พีคสูงสุดที่ hydrogen-bonded OH stretching (3560 cm^{-1}) ถูกเลื่อนไปที่จำนวนคลื่นสูงขึ้น เมื่อเทียบกับโลหะอื่นๆ OH bending mode ก็เลื่อนไปที่จำนวนคลื่นต่ำลงด้วย (1618 cm^{-1}) OH stretching มีเป็นหลัก ซึ่งเกิดจาก intramolecular hydrogen bonding ซึ่งเพิ่มขึ้นโดย Zn สเปกตรัม FTIR ของผลิตภัณฑ์ที่ 700°C (รูป 4.8 ZN4) มีพีคกว้างที่ $1100\text{-}1200\text{ cm}^{-1}$ ซึ่งสอดคล้องกับ stretching C-O group vibrations ของ polyester bonds (Pamula et al., 2001) ผลนี้แสดงว่า ออกซิเดชันได้เกิดขึ้นที่อุณหภูมินี้ รวมทั้งความเข้มของพีคในช่วง $500\text{ ถึง }800\text{ cm}^{-1}$ มีน้อยมาก (มี C-C stretching vibration น้อยมาก) สรุปได้ว่าผลิตภัณฑ์เป็นอสัณฐาน

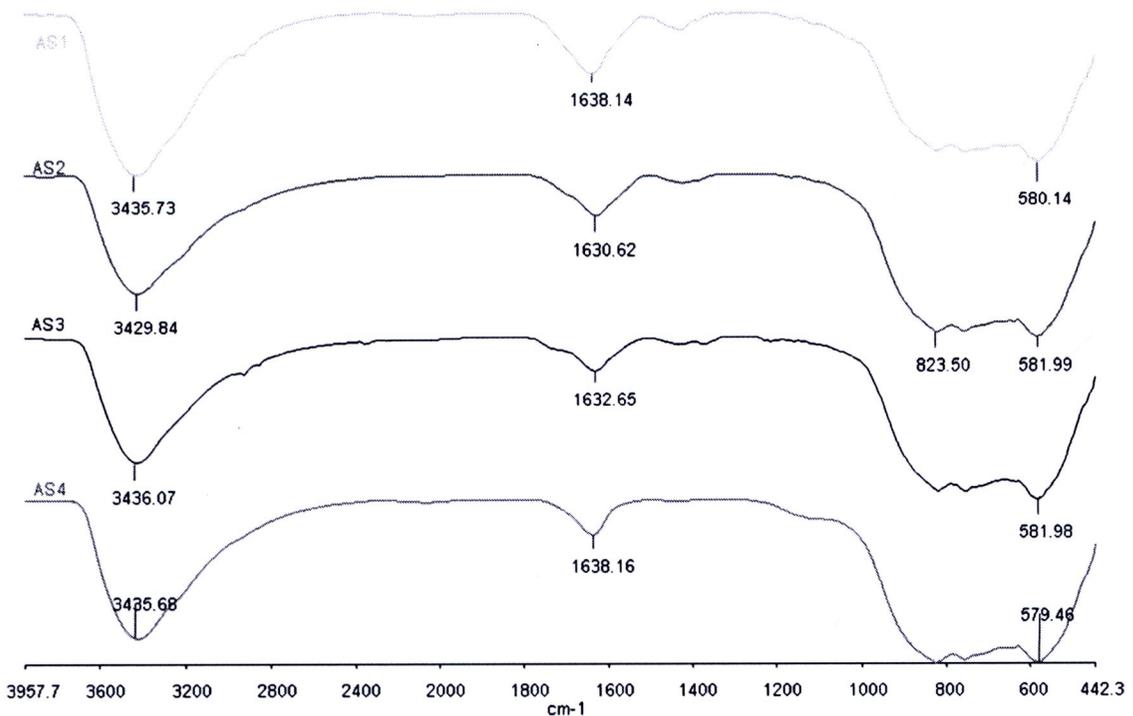
เทียบผลของ metals-carbon fiber composites ต่างๆ ที่ไพโรไลซิสที่อุณหภูมิต่างๆ กัน พบว่า สเปกตรัม FTIR ได้แสดงโครงสร้างอสัณฐานของ metals-composites ทั้งหมด เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น สเปกตรัม FTIR ของ Cu-kapok carbon fiber composites ทั้งหมดแสดงความเข้มของพีคต่ำสุด มันได้แสดงว่าหมู่ทำหน้าที่ถูกสลายไปได้ดีโดย Cu-salt พีคของ OH stretching ของ metals-composites

ทั้งหมดมีแนวโน้มแคบลงโดยการเลื่อนไปที่จำนวนคลื่นสูงขึ้น เมื่ออุณหภูมิไฟโรไลซิสสูงขึ้น ปรากฏการณ์นี้ได้เกิดใน Zn-kapok carbon fiber composites มากที่สุด ความเข้มของพีค OH ค่อนข้างคงที่ใน Al-kapok carbon fiber composites สำหรับทุกอุณหภูมิไฟโรไลซิส ความเข้มของพีคอื่นๆ (เช่น C=O, C-H, C-C) ของทุก metals-composites ลดลงเมื่ออุณหภูมิไฟโรไลซิสสูงขึ้น

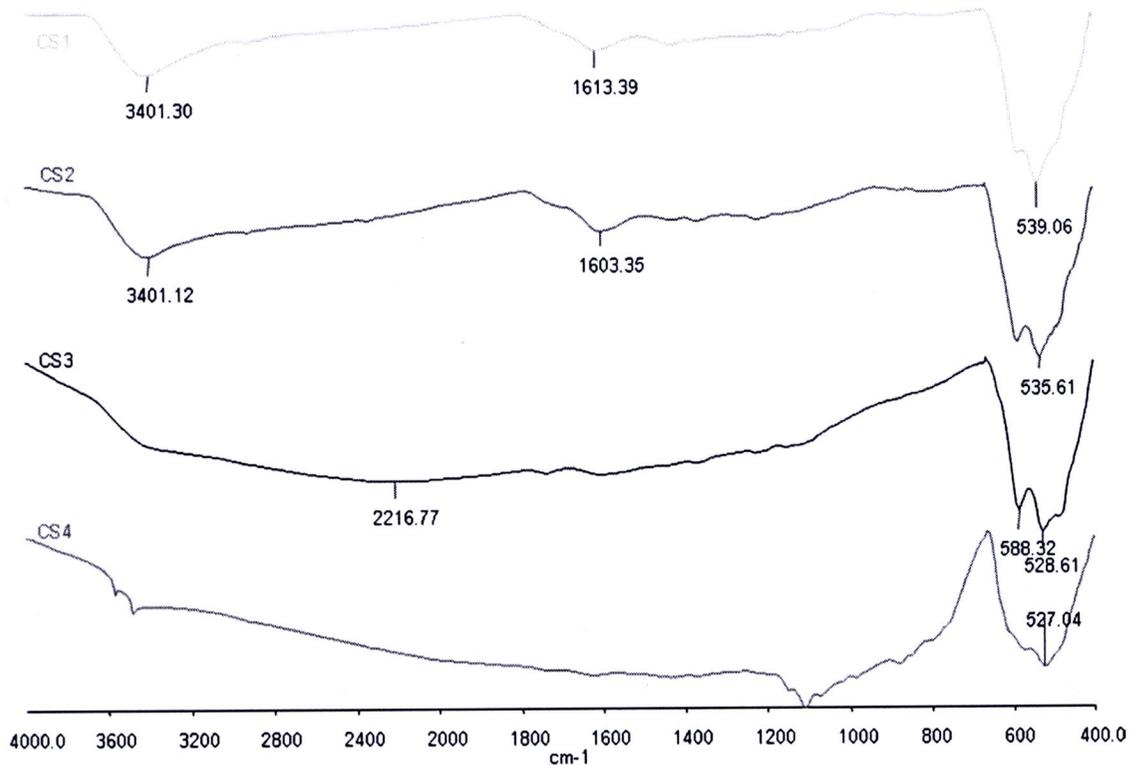
4.3.3 Metals-cotton carbonfiber composites

จากรูป 4.9 เป็นสเปกตรัม FTIR ของ Al-cotton carbonfiber composites ซึ่งไฟโรไลซิสที่ 400-700°C พบว่ามีลักษณะคล้ายๆ กับของ Al-kapok carbonfiber composites (รูป 4.5) ซึ่งมีพีคเด่นที่ประมาณ 3435 cm^{-1} และ 1638 cm^{-1} ซึ่งเป็น O-H แบบ stretching และ bending ตามลำดับ และมีพีคที่ 823 cm^{-1} และ 582 cm^{-1} ซึ่งเป็นของ C-H bending

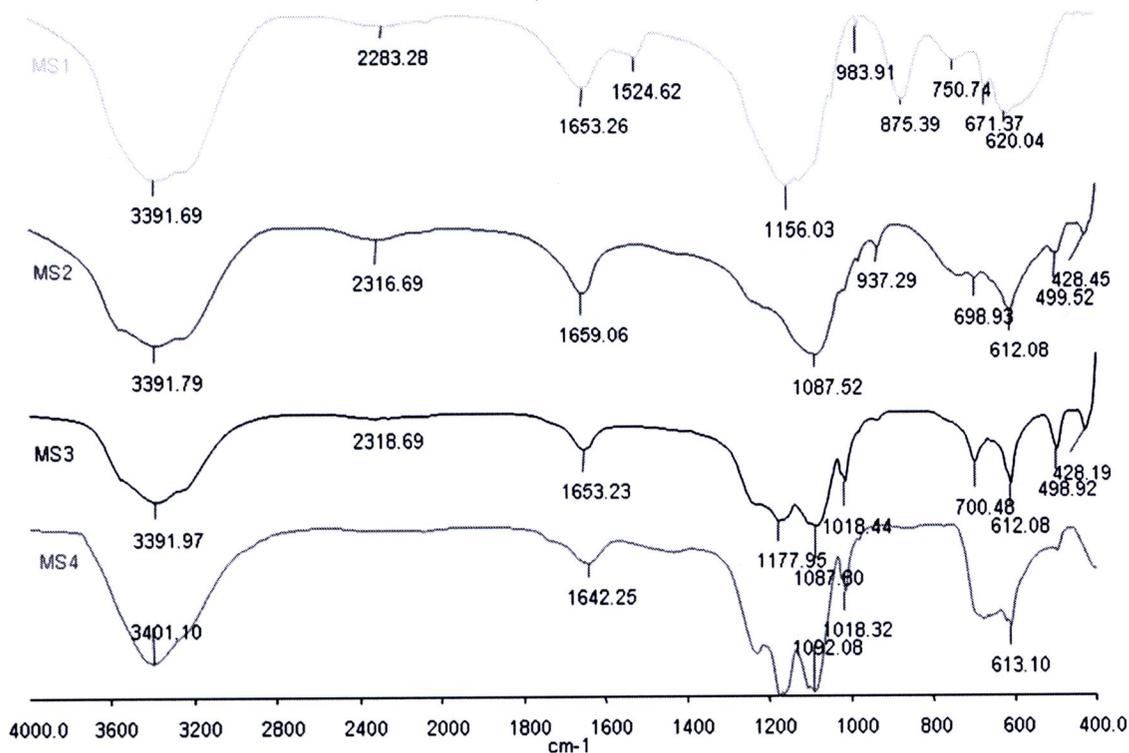
รูป 4.10 เป็นสเปกตรัม FTIR ของ Cu-cotton carbonfiber composites ซึ่งไฟโรไลซิสที่ 400-700°C พบว่าพีคที่เกิดขึ้นมีน้อยมาก และเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น พีคจะหายไป ตั้งแต่อุณหภูมิ 600°C ขึ้นไป แสดงว่าหมู่ฟังก์ชันถูกสลายไปตั้งแต่อุณหภูมิ 600°C ขึ้นไป โดยมีแนวโน้มเช่นเดียวกับ copper-kapok carbonfiber composites (รูป 4.6)



รูป 4.9 สเปกตรัม FTIR ของ aluminium- cotton carbonfiber composite ไฟโรไลซิสที่ 400°C (AS1), 500°C (AS2), 600°C (AS3), 700°C (AS4)

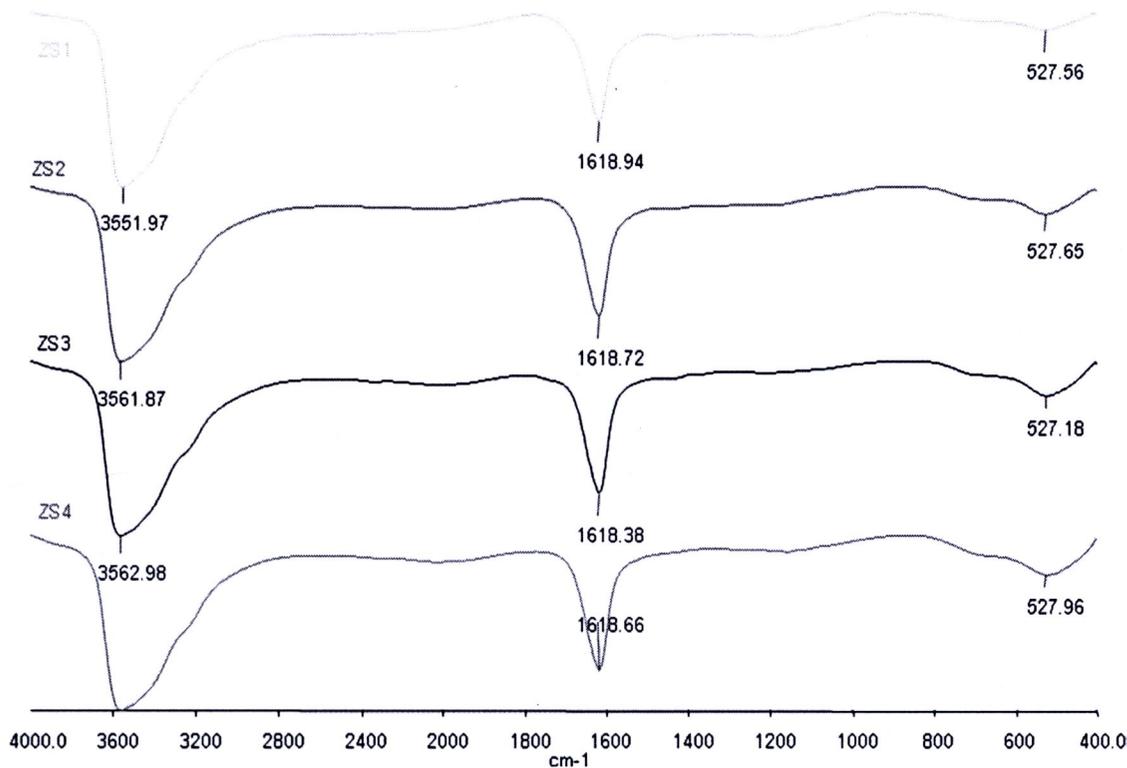


รูป 4.10 สเปกตรัม FTIR ของ copper- cotton carbonfiber composite ไพโรไลซิสที่ 400°C (CS1), 500°C (CS2), 600°C (CS3), 700°C (CS4)



รูป 4.11 สเปกตรัม FTIR ของ magnesium- cotton carbonfiber composite ไพโรไลซิสที่ 400°C (MS1), 500°C (MS2), 600°C (MS3), 700°C (MS4)

รูป 4.11 สเปกตรัม FTIR ของ Mg-cotton carbonfiber composites ไพโรไลซิสที่ 400-700°C เป็นไปในทำนองเดียวกับ Mg-kapok carbonfiber composites (รูป 4.7) โดยพบว่าพีคที่ OH stretching (ประมาณ 3400 cm^{-1}) และ OH bending (1660 cm^{-1}) จะแยกห่างกันมากขึ้น เมื่ออุณหภูมิไพโรไลซิสสูงขึ้น แสดงว่าพันธะ H-bonding มีแนวโน้มเข้าสู่ความเป็นอุดมคติมากขึ้น



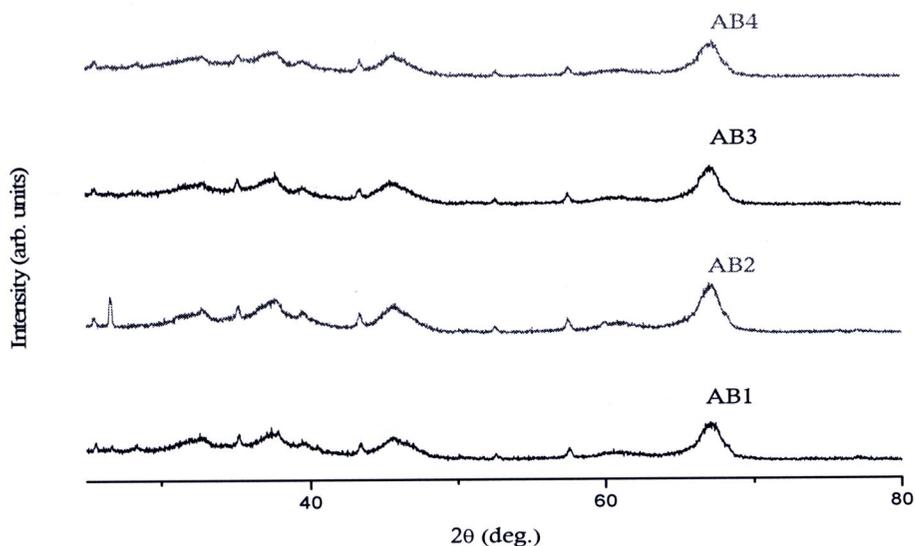
รูป 4.12 สเปกตรัม FTIR ของ zinc- cotton carbonfiber composite ไพโรไลซิสที่ 400°C (ZS1), 500°C (ZS2), 600°C (ZS3), 700 °C (ZS4)

รูป 4.12 แสดงสเปกตรัม FTIR ของ Zn-cotton carbonfiber composites มีพีคที่ประมาณ 3562 cm^{-1} และ 1618 cm^{-1} ที่ค่อนข้างแคบและแหลม เช่นเดียวกับ Zn-kapok carbonfiber composites (รูป 4.8) และมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงเช่นเดียวกัน โดยเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น H-bonding จะเข้าสู่อุดมคติมากขึ้นเช่นกัน

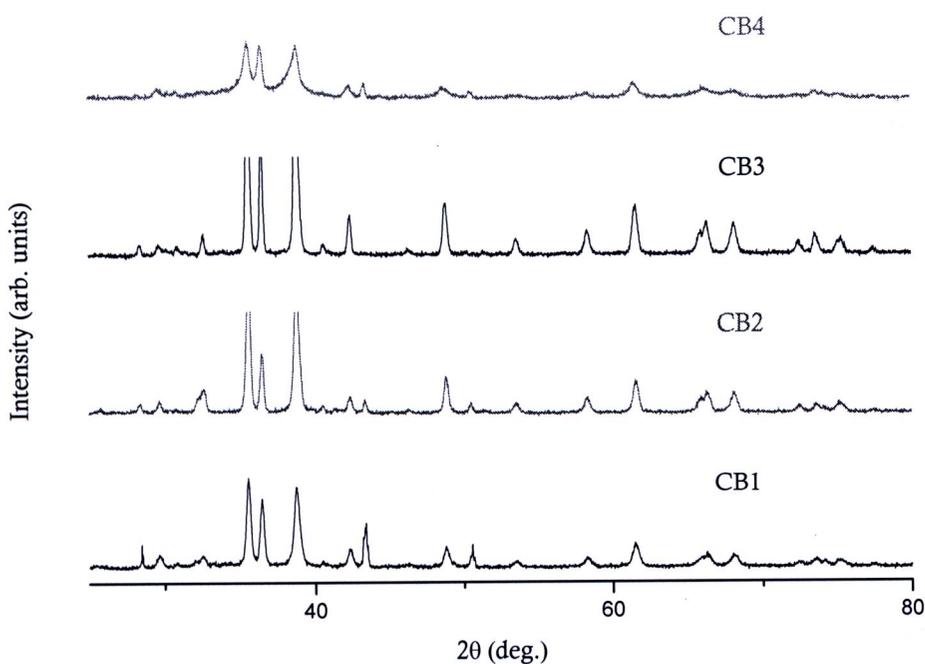
4.4 การวิเคราะห์ด้วย XRD

4.4.1 Metals-banana peel charcoal composites

สเปกตรัม XRD ของ aluminium-banana peel charcoal composite (รูป 4.13) ได้แสดงพีคที่ประมาณ 38° and 68° ซึ่งเป็น Al_2O_3 ที่มีความเป็นผลึกน้อย (Birjega et. al., 2009) จากผลของ XRD สอดคล้องกับสเปกตรัม FTIR (รูป 4.1)



รูป 4.13 สเปกตรัม XRD ของ aluminium- banana peel charcoal composites โดยการไพโรไลซิสที่ 400°C (AB1), 500°C (AB2), 600°C (AB3) และ 700°C (AB4)



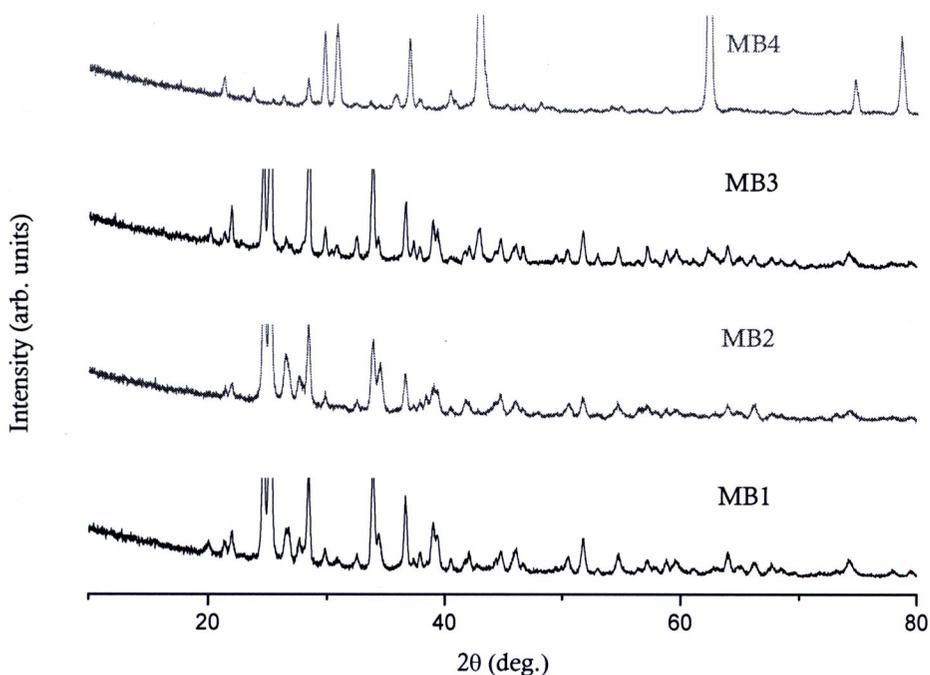
รูป 4.14 สเปกตรัม XRD ของ copper- banana peel charcoal composites โดยการไพโรไลซิสที่ 400°C (CB1), 500°C (CB2), 600°C (CB3) และ 700°C (CB4)

รูป 4.14 เป็นสเปกตรัม XRD ของ copper-banana peel charcoal composite ได้แสดงว่ามีพีคหลักที่ประมาณ 35° , 36° และ 39° ในทุกสเปกตรัม ซึ่งแสดงลักษณะของ CuO (Eswaramoorthi et al., 2006) แสดงว่ากำลังออกซิไดซ์ของ CuO มีสูงมาก ปฏิกิริยาออกซิเดชันของ CuO มีผลทำให้ไปเพิ่ม

ปริมาณของ Cu ในองค์ประกอบของคอมโพสิต รวมทั้งในสเปกตรัมเหล่านี้ได้แสดงผลิตภัณฑ์ไฟโรไลซิสที่เป็นผลึกด้วย สอดคล้องกับผล FTIR (รูป 4.2)

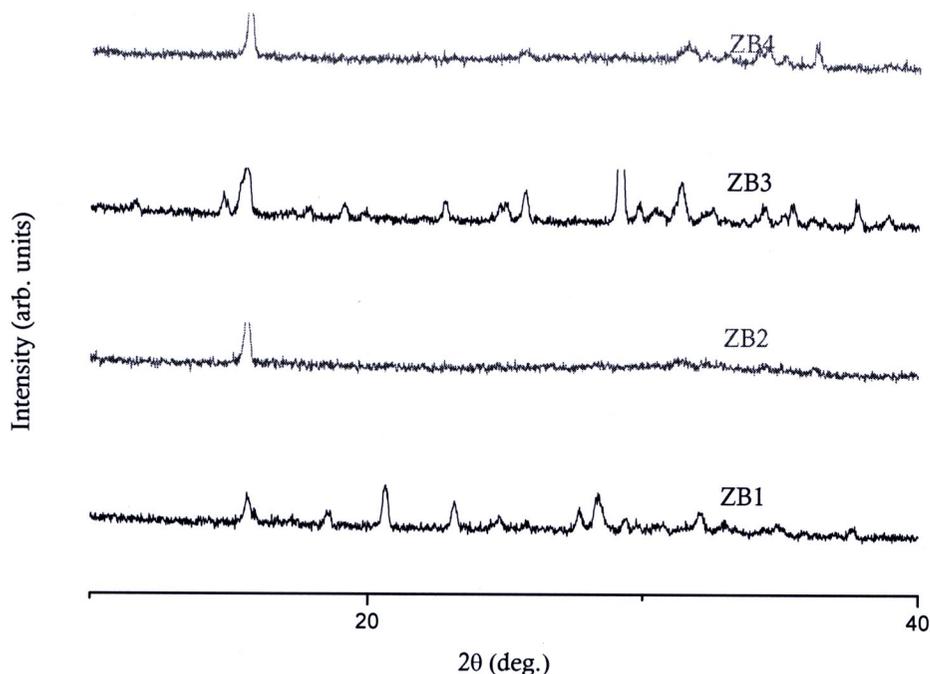
รูป 4.15 แสดงสเปกตรัม XRD ของ magnesium-banana peel charcoal composites ได้แสดงว่าความเป็นผลึกของคอมโพสิตเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นจาก 400 ไปที่ 600°C อย่างไรก็ตาม มีผลิตภัณฑ์ที่เป็นผลึกที่การไฟโรไลซิสที่ 700°C ซึ่งสอดคล้องกับพีคที่เด่นของ FTIR ที่ 1150 cm^{-1} ขณะที่พีคที่ 823 cm^{-1} เพิ่มขึ้น

สเปกตรัม XRD ของ zinc-banana peel charcoal composites ได้แสดงในรูป 4.16 จะเห็นได้ว่าความเป็นผลึกของคอมโพสิตเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นจาก 400 ไป 600°C พีคอ่อนที่ประมาณ 32° และ 38° เป็นพีคของสารประกอบ Zn compound (Wang et al., 2010)



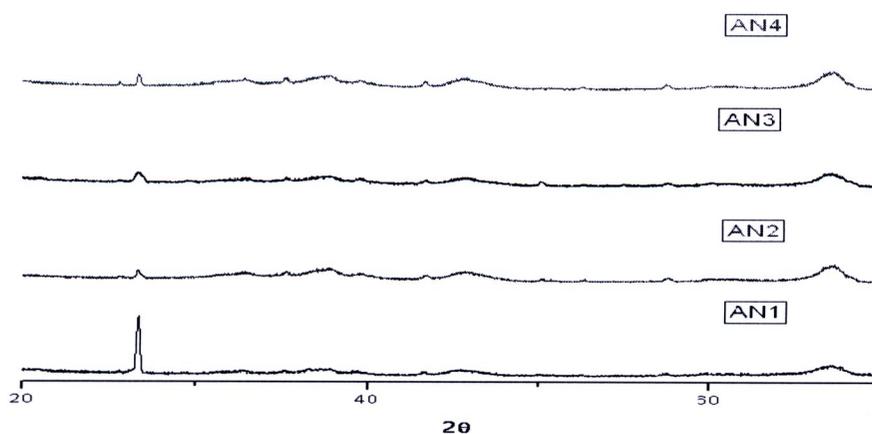
รูป 4.15 สเปกตรัม XRD ของ magnesium-banana peel charcoal composites โดยการไฟโรไลซิสที่ 400°C (MB1), 500°C (MB2), 600°C (MB3) และ 700°C (MB4)





รูป 4.16 สเปกตรัม XRD ของ zinc- banana peel charcoal composites โดยการไพโรไลซิสที่ 400°C (ZB1), 500°C (ZB2), 600°C (ZB3) และ 700°C (ZB4)

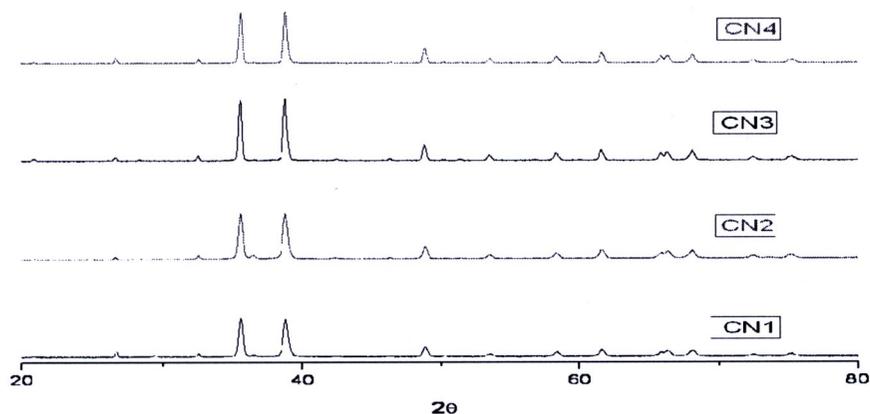
4.4.2 Metals-kapok carbonfiber composites



รูป 4.17 สเปกตรัม XRD ของ aluminium- kapok carbon fiber composites โดยการไพโรไลซิสที่ 400°C (AN1), 500°C (AN2), 600°C (AN3) และ 700°C (AN4)

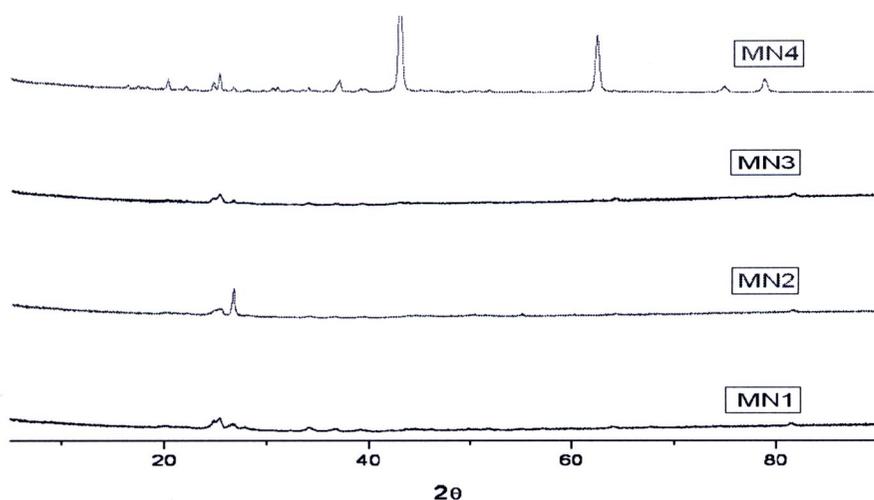
สเปกตรัม XRD ของ aluminium-kapok carbon fiber composites (รูป 4.17) แสดงพีกที่ 26.5° ซึ่งเป็นลักษณะของแกรไฟต์ (Eswaramoorthi et al., 2006) ความเข้มของพีกนี้ลดลงที่อุณหภูมิสูงกว่า 500°C ในขณะที่เดียวกัน มีพีกกว้างที่ 46° ซึ่งเป็นลักษณะของคาร์บอนอสัณฐาน (Fan et al., 2011)

เช่นเดียวกัน มีพีกกว้างที่ประมาณ 38° และ 68° ซึ่งเป็น Al_2O_3 ที่มีความเป็นผลึกน้อยมาก (Birjega et al., 2009) ผล XRD สอดคล้องกับสเปกตรัม FTIR (รูป 4.5)



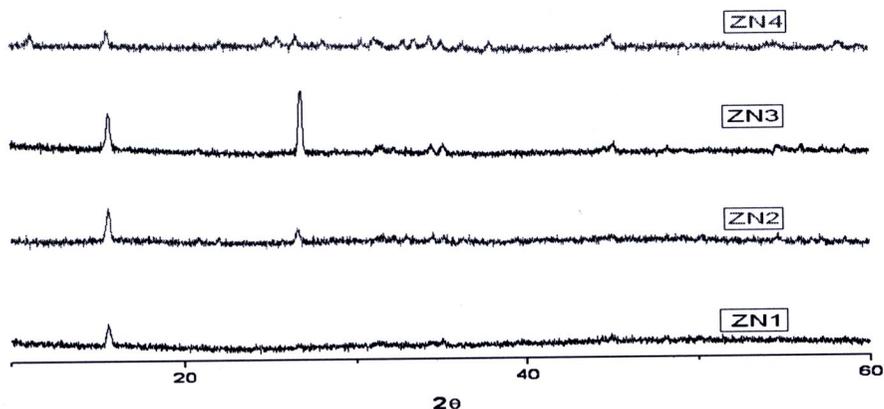
รูป 4.18 สเปกตรัม XRD ของ copper- kapok carbon fiber composites โดยการไพโรไลซิสที่ 400°C (CN1), 500°C (CN2), 600°C (CN3) และ 700°C (CN4)

รูป 4.18 เป็นสเปกตรัม XRD ของ copper-kapok carbon fiber composite ซึ่งมีพีกหลักที่ประมาณ 36° และ 39° ในทุกสเปกตรัม ซึ่งชี้ให้เห็นว่าเป็นลักษณะของผลึก CuO (Eswaramoorthi et al., 2006) สอดคล้องกับผลของร้อยละผลผลิตของผลิตภัณฑ์หลังการไพโรไลซิสที่อุณหภูมิช่วงจาก 400 ถึง 700°C แสดงว่ากำลังออกซิไดซ์ของ CuO มีสูงมาก เช่นเดียวกับในคอมโพสิตของถ่านเปลือกกล้วย ผลของการออกซิเดชัน CuO ทำให้ไปเพิ่มปริมาณ Cu ในคอมโพสิต รวมทั้งสเปกตรัมนี้ยังได้แสดงผลึกที่ไพโรไลซิสที่เป็นผลึกเช่นกัน สอดคล้องกับผลของ FTIR (รูป 4.6) สุดท้าย พิกของใยคาร์บอนมีพีกอ่อนมากที่ประมาณ 26.5° ในทุกสเปกตรัม ที่แสดงความเป็นอสัณฐาน (Eswaramoorthi et al., 2006)



รูป 4.19 สเปกตรัม XRD ของ magnesium- kapok carbon fiber composites โดยการไพโรไลซิสที่ 400°C (MN1), 500°C (MN2), 600°C (MN3) และ 700°C (MN4)

รูป 4.19 แสดงสเปกตรัม XRD ของ magnesium-kapok carbon fiber composites ได้แสดงว่าคอมโพสิตที่ไพโรไลซิสที่ 400 ถึง 600°C เป็นออสฐาน ในทางตรงข้าม พิกในสเปกตรัมที่ 700°C ซึ่งให้เห็นว่าผลิตภัณฑ์ไพโรไลซิสมีความเป็นผลึก ซึ่งสอดคล้องกับผลของพิก FTIR ที่เด่นที่ 1451 cm^{-1} ขณะที่พิกที่ 823 cm^{-1} อ่อนมาก



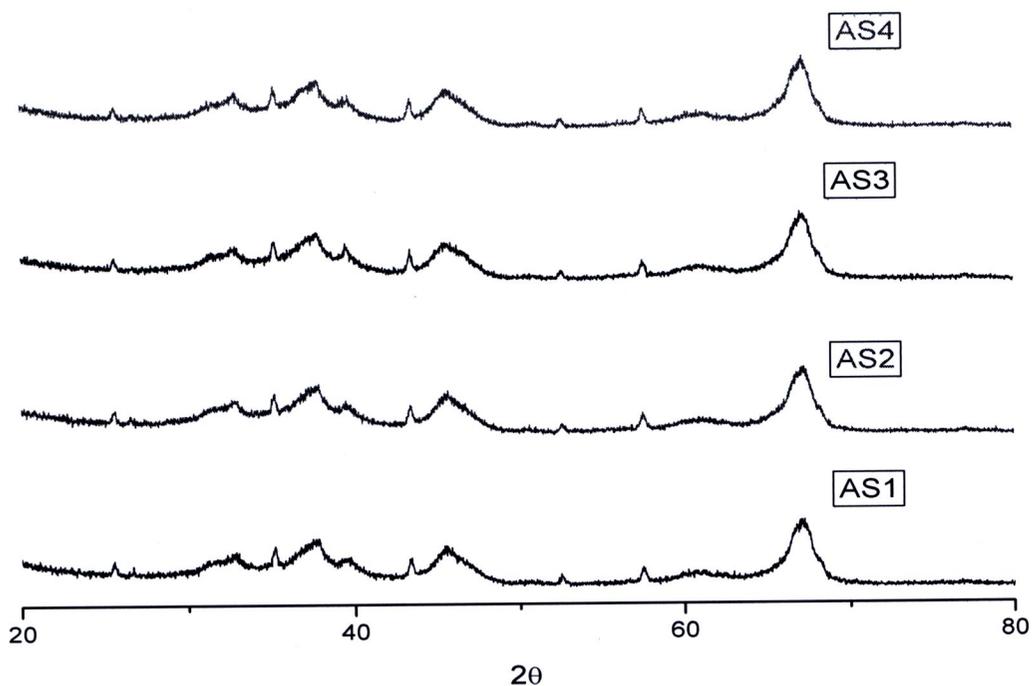
รูป 4.20 สเปกตรัม XRD ของ zinc- kapok carbon fiber composites โดยการไพโรไลซิสที่ 400°C (ZN1), 500°C (ZN2), 600°C (ZN3) และ 700°C (ZN4)

สเปกตรัม XRD ของ zinc-kapok carbon fiber composites ได้แสดงในรูป 4.20 ปริมาณผลึกของคอมโพสิตเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นจาก 400 ไปที่ 600°C คอมโพสิตก่อนข้างเป็นออสฐานที่ 700°C สอดคล้องกับข้อมูล FTIR (รูป 4.8 ZN4) ซึ่งแสดงว่ามีหมู่ C=O ปรากฏการณ์นี้ได้แสดงว่าไฮคาร์บอนได้ถูกออกซิไดส์อย่างแรงมาก เป็นผลทำให้โครงสร้างผลึกถูกทำลาย ทุกสเปกตรัมมีพิกที่ประมาณ 11° แสดงถึงการมีอนุภาคขนาดนาโนในไฮคาร์บอนคอมโพสิต (Park et al., 2003) สองพิกที่ประมาณ 26° และ 44° สอดคล้องกับแกรไฟต์ (Eswaramoorthi et al., 2006) พิกอื่นๆ ที่ประมาณ 32°, 38° และ 58° เป็นพิกของสารประกอบ Zn (Wang et al., 2010)

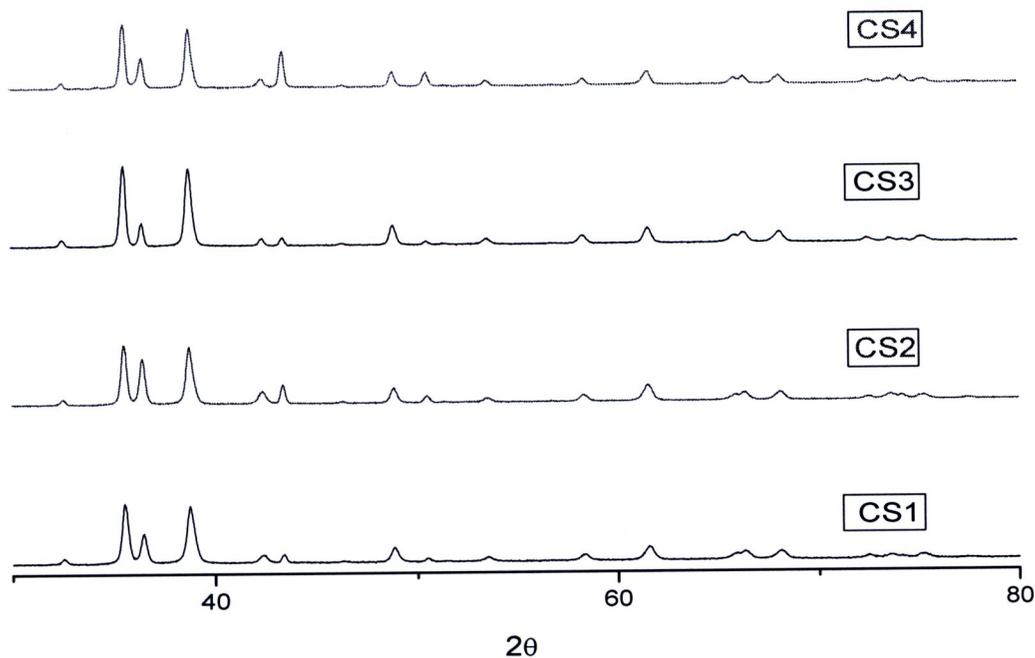
4.4.3 Metals-cotton carbonfiber composites

รูป 4.21 แสดง XRD ของ Al-cotton carbonfiber composites มีลักษณะพิกที่ค่อนข้างเป็นโครงสร้างออสฐานมากกว่าของ Al-kapok carbonfiber composites (รูป 4.17) แต่ยังคงพิกของ Al_2O_3 เช่นเดียวกัน โดยมีแนวโน้มเหมือนกันในทุกอุณหภูมิการไพโรไลซิส

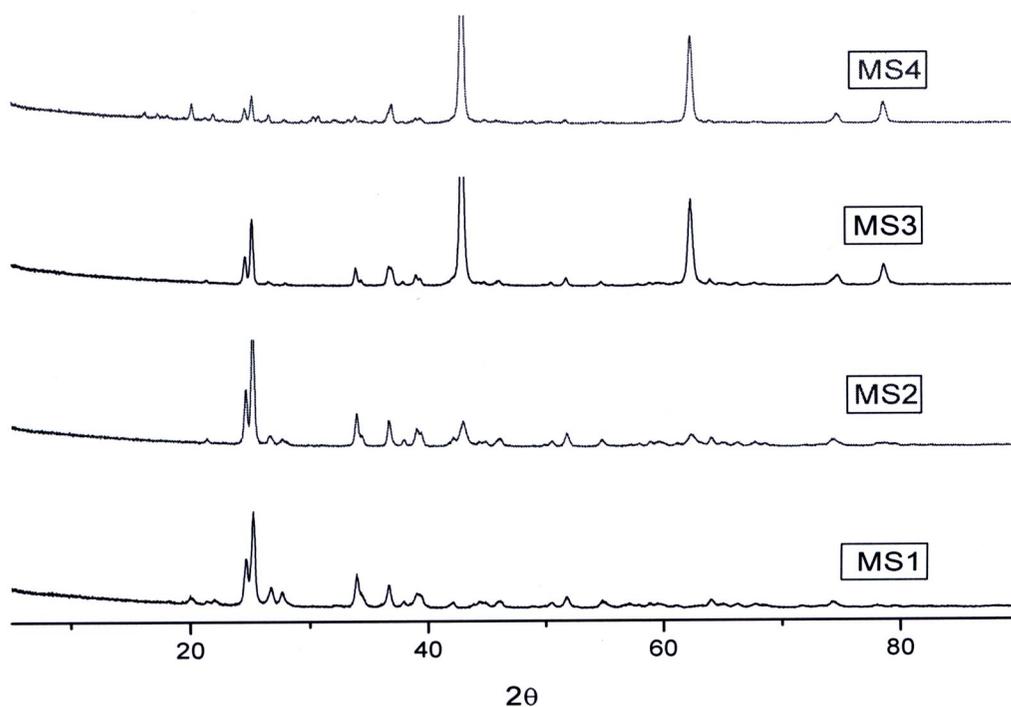
รูป 4.22 แสดงสเปกตรัม XRD ของ copper- cotton carbon fiber composites ไพโรไลซิสที่ 400-700°C พบว่าทุกอุณหภูมิแสดงพิกคล้ายๆ กัน โดยแสดงถึงความเป็นผลึกที่ค่อนข้างสูง และมีพิกของ CuO ที่เด่นชัด เช่นเดียวกับ copper- kapok carbon fiber composites (รูป 4.18)



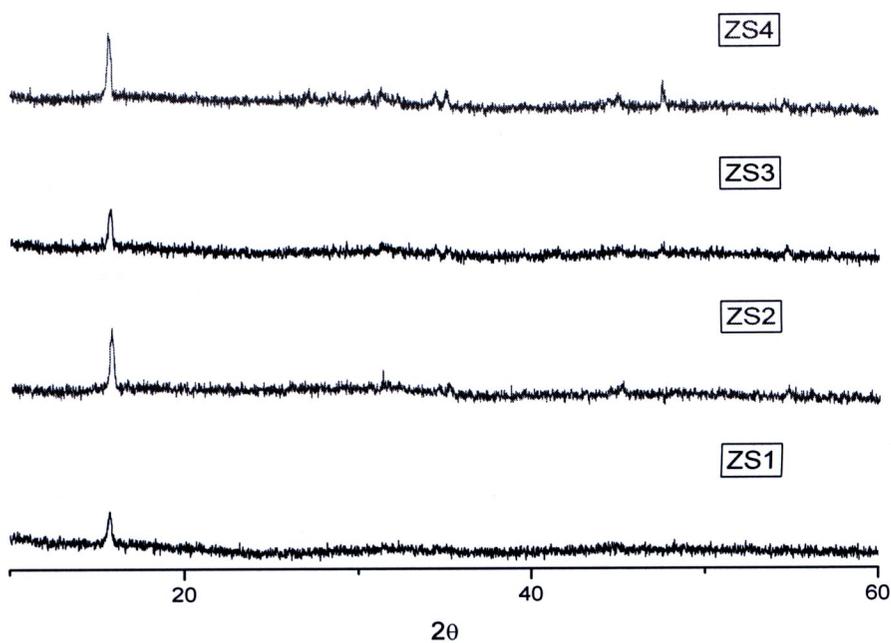
รูป 4.21 สเปกตรัม XRD ของ aluminium- cotton carbon fiber composites โดยการไพโรไลซิสที่ 400°C (AS1), 500°C (AS2), 600°C (AS3) และ 700°C (AS4)



รูป 4.22 สเปกตรัม XRD ของ copper- cotton carbon fiber composites โดยการไพโรไลซิสที่ 400°C (CS1), 500°C (CS2), 600°C (CS3) และ 700°C (CS4)



รูป 4.23 สเปกตรัม XRD ของ magnesium- cotton carbon fiber composites โดยการไฟโโรไลซิสที่ 400°C (MS1), 500°C (MS2), 600°C (MS3) และ 700°C (MS4)



รูป 4.24 สเปกตรัม XRD ของ zinc- cotton carbon fiber composites โดยการไฟโโรไลซิสที่ 400°C (ZS1), 500°C (ZS2), 600°C (ZS3) และ 700°C (ZS4)

รูป 4.23 แสดงสเปกตรัม XRD ของ magnesium- cotton carbon fiber composites โดยการไพโรไลซิสที่ 400°C- 700°C แสดงความเป็นผลึกที่ค่อนข้างสูง โดยเฉพาะที่อุณหภูมิตั้งแต่ 600°C ขึ้นไป พิกที่เด่นชัดแสดงสารประกอบของ Mg ซึ่งคล้ายๆ กับของ magnesium- kapok carbon fiber composites (รูป 4.19)

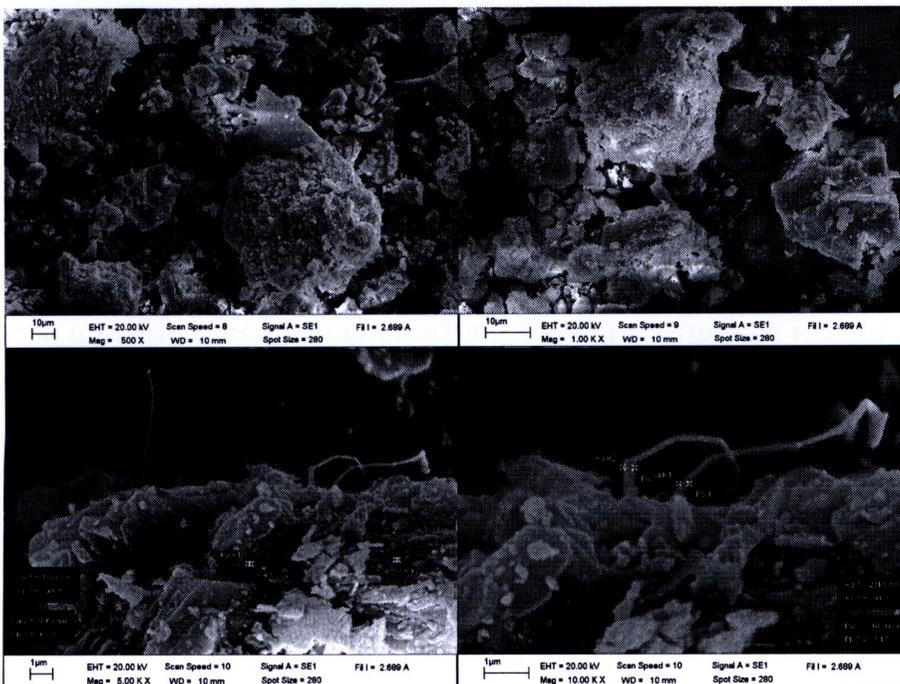
รูป 4.24 แสดงสเปกตรัม XRD ของ Zn- cotton carbon fiber composites โดยการไพโรไลซิสที่ 400°C - 700°C คอมโพสิตทั้งหมดแสดงความเป็นอสัณฐานในทุกอุณหภูมิและแสดงการมีอนุภาคระดับนาโนเช่นเดียวกับของ Zn- kapok carbon fiber composites (รูป 4.20)

4.5 การวิเคราะห์ด้วย SEM

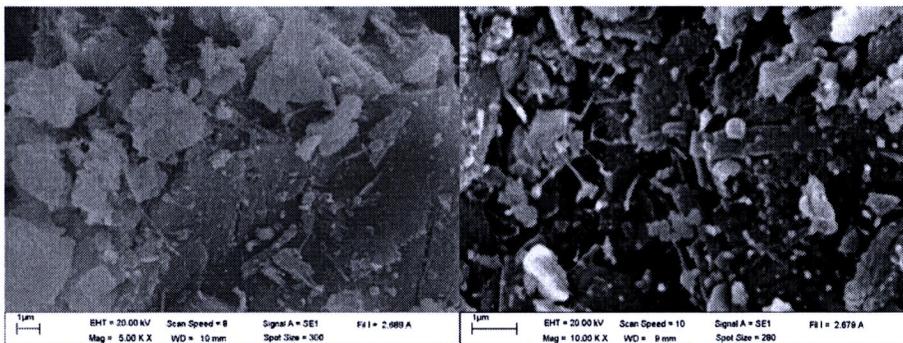
4.5.1 Metals-banana peel charcoal composites

ภาพ SEM ของ aluminium- banana peel charcoal composite ไพโรไลซิสที่ 400 °C ถึง 700°C (รูป 4.25-4.28) พบว่ามีอนุภาคขนาดระดับนาโน (เส้นผ่านศูนย์กลาง= 1.0-1.9 μm) เส้นใยนาโน (เส้นผ่านศูนย์กลาง= 1.5-3.0 μm , ความยาว = 200 μm) และเป็นแบบเม็ด (เส้นผ่านศูนย์กลาง =1.0-1.9 μm) ในผลิตภัณฑ์คอมโพสิต

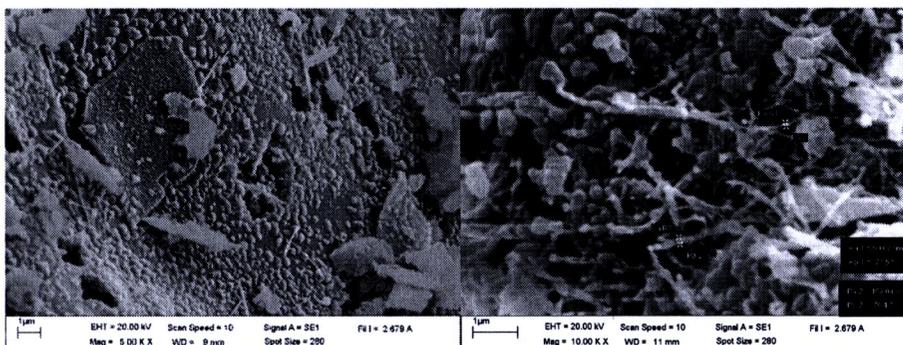
จากรูป 4.25 – 4.26 แสดงภาพ SEM ของ aluminium- banana peel charcoal composite ที่ไพโรไลซิสที่ 400-500°C พบว่าพื้นผิวมีความขรุขระ มีเส้นใยบางส่วน และมีแผ่นเกล็ดบางส่วน และเมื่ออุณหภูมิไพโรไลซิสสูงขึ้นเป็น 600-700°C (รูป 4.27-4.28) พบว่าพื้นผิวมีอนุภาคเม็ดกลมจำนวนมากเกาะอยู่ แสดงว่าเกิดคอมโพสิตมากขึ้น เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น



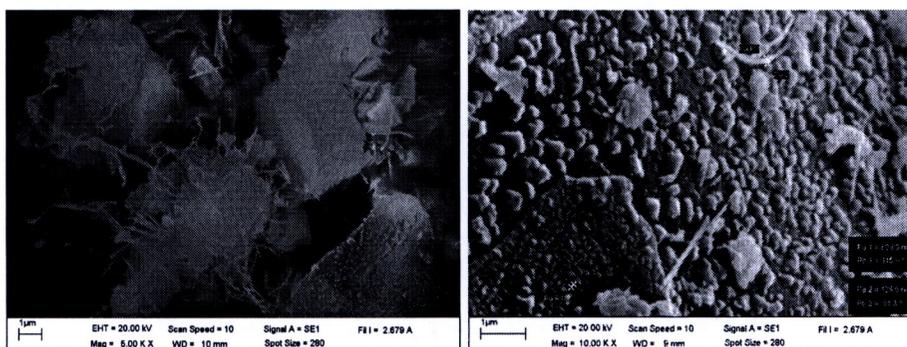
รูป 4.25 ภาพ SEM ของ aluminium- banana peel charcoal composite ไพโรไลซิสที่ 400 °C



รูป 4.26 ภาพ SEM ของ aluminium- banana peel charcoal composite ไพโรไลซิสที่ 500 °C



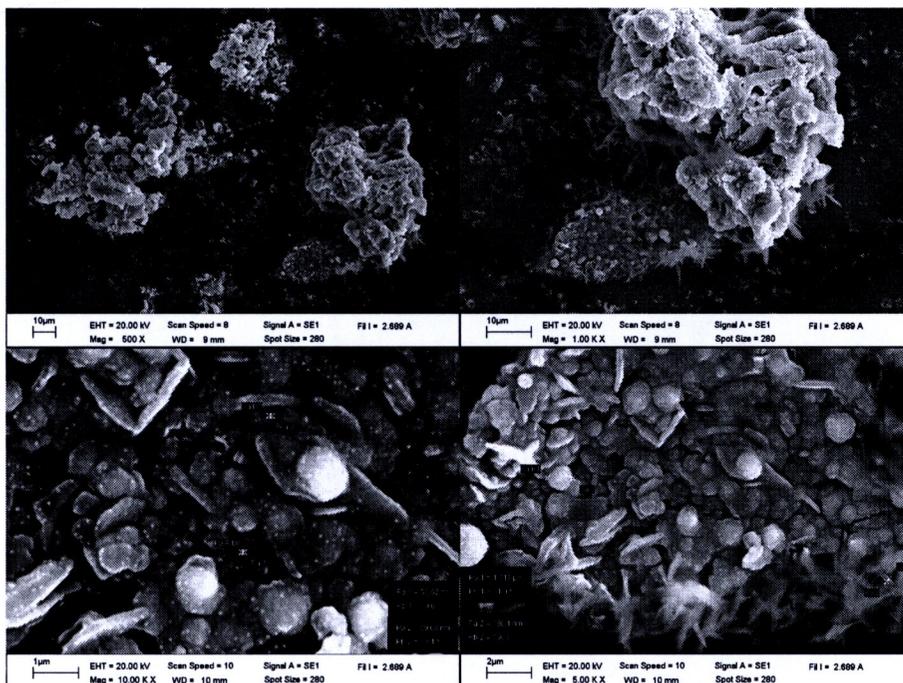
รูป 4.27 ภาพ SEM ของ aluminium- banana peel charcoal composite ไพโรไลซิสที่ 600 °C



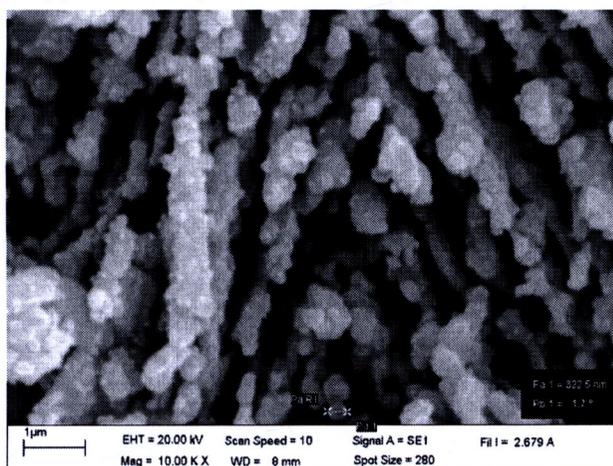
รูป 4.28 ภาพ SEM ของ aluminium- banana peel charcoal composite ไพโรไลซิสที่ 700 °C

รูป 4.29-4.32 แสดงภาพ SEM ของ copper- banana peel charcoal composite ไพโรไลซิสที่ 400-700°C พบว่ามีกลุ่มก้อนผลึกจำนวนมากเกาะติดตามพื้นผิว ซึ่งคาดว่าเป็นสารประกอบของ Cu การที่มีผลึกจำนวนมาก แสดงถึงการที่สารตั้งต้นถูกสลายไปเป็นจำนวนมาก (ตามข้อมูล ตาราง 4.2) จึงทำให้มีผลึกในสัดส่วนที่สูงขึ้น สอดคล้องกับผล XRD (รูป 4.14) นอกจากนี้ เมื่อพิจารณาถึงลักษณะพื้นผิว จะพบว่า เกิดร่องรูพรุนที่ต่อเนื่องเป็นริ้ว

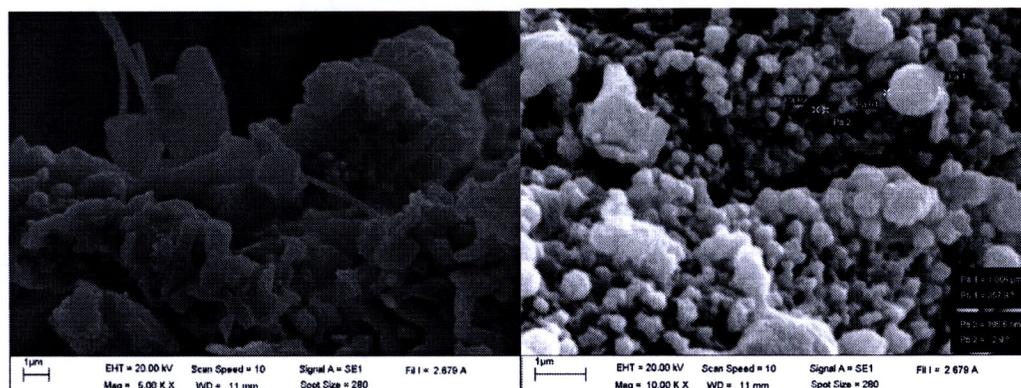
สำหรับรูป 4.33-4.36 เป็นภาพ SEM ของ magnesium- banana peel charcoal composite ไพโรไลซิสที่ 400-700 °C พบว่ามีอนุภาคเป็นเม็ดกลมที่มีขนาดต่างๆ จำนวนมากเกาะบนพื้นผิว ที่ค่อนข้างเป็นระเบียบมากกว่าของ copper- banana peel charcoal composite และยังพบว่ามีเส้นใยบางส่วนที่ปรากฏอยู่ในคอมโพสิต โดยเฉพาะที่อุณหภูมิ 700°C (รูป 4.36)



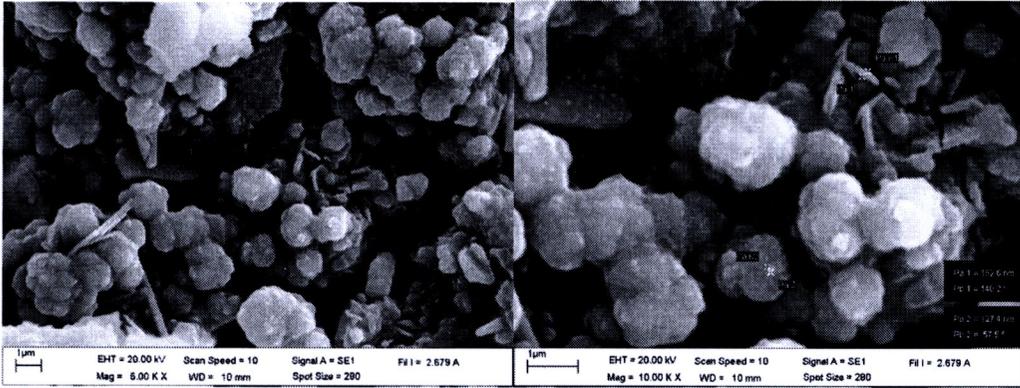
รูป 4.29 ภาพ SEM ของ copper- banana peel charcoal composite ไพโรไลซิสที่ 400 °C



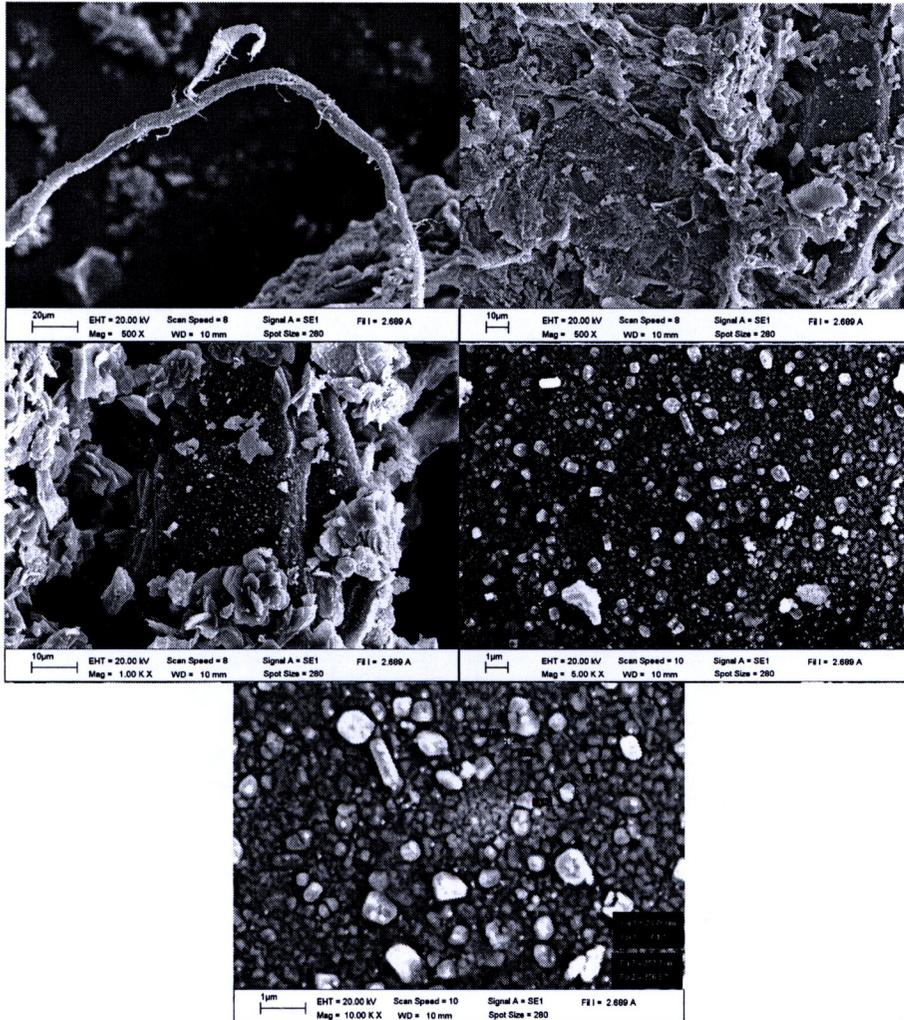
รูป 4.30 ภาพ SEM ของ copper- banana peel charcoal composite ไพโรไลซิสที่ 500 °C



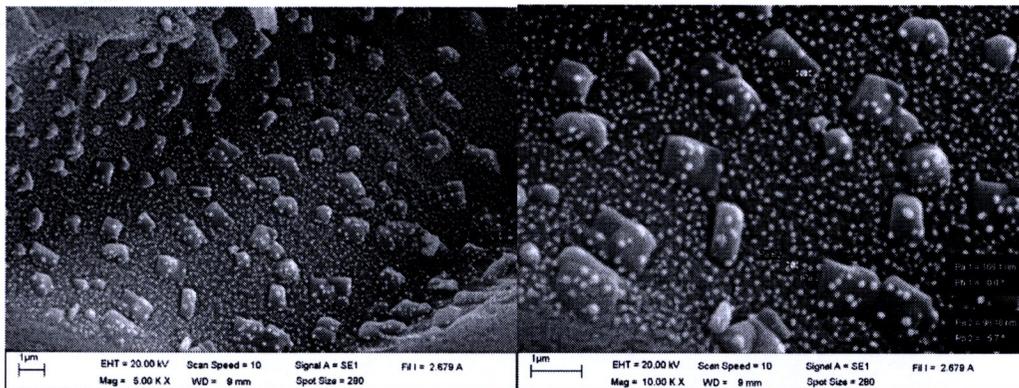
รูป 4.31 ภาพ SEM ของ copper- banana peel charcoal composite ไพโรไลซิสที่ 600 °C



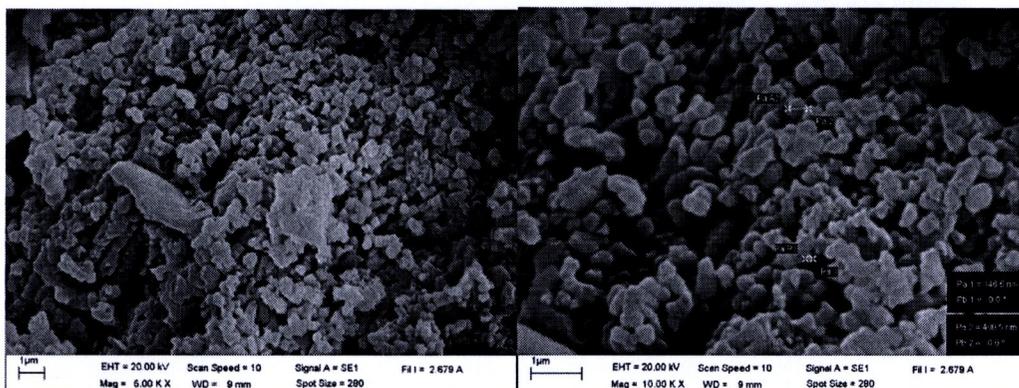
รูป 4.32 ภาพ SEM ของ copper- banana peel charcoal composite ไพโรไลซิสที่ 700 °C



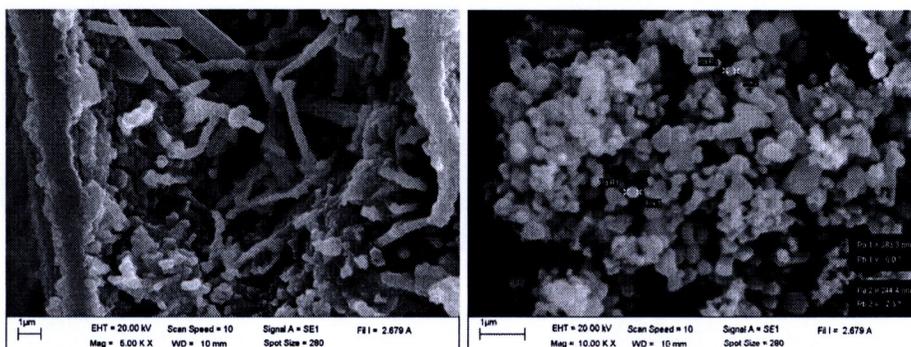
รูป 4.33 ภาพ SEM ของ magnesium- banana peel charcoal composite ไพโรไลซิสที่ 400 °C



รูป 4.34 ภาพ SEM ของ magnesium- banana peel charcoal composite ไพโรไลซิสที่ 500 °C

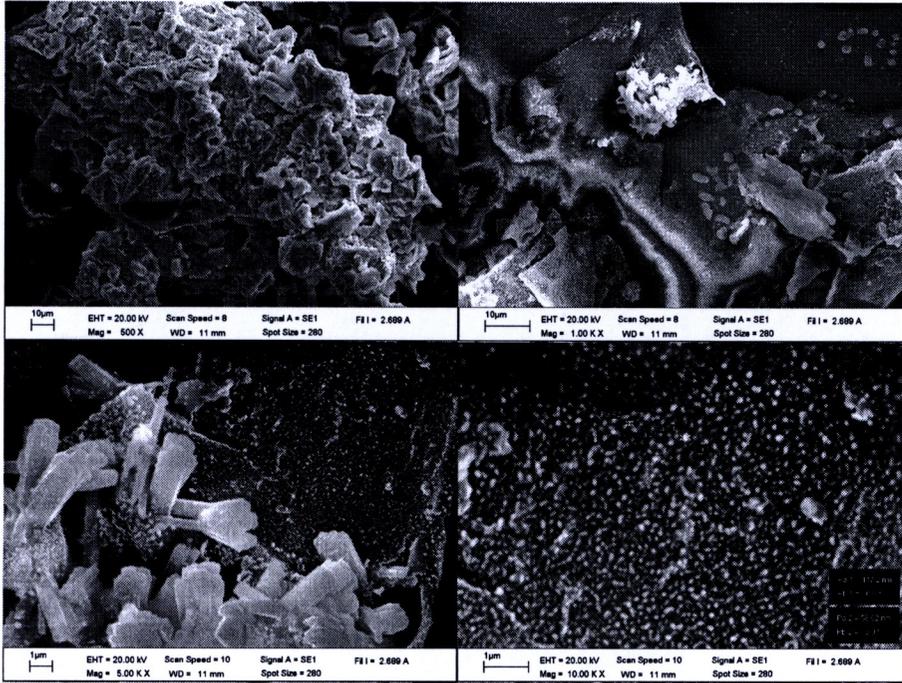


รูป 4.35 ภาพ SEM ของ magnesium- banana peel charcoal composite ไพโรไลซิสที่ 600 °C

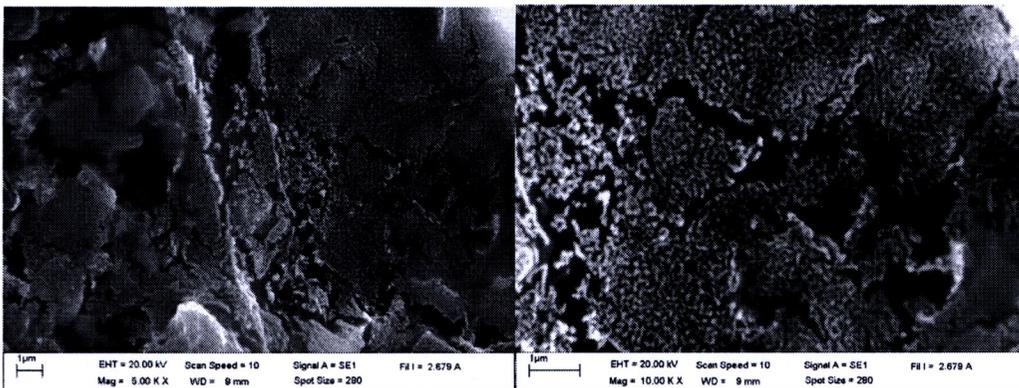


รูป 4.36 ภาพ SEM ของ magnesium- banana peel charcoal composite ไพโรไลซิสที่ 700 °C

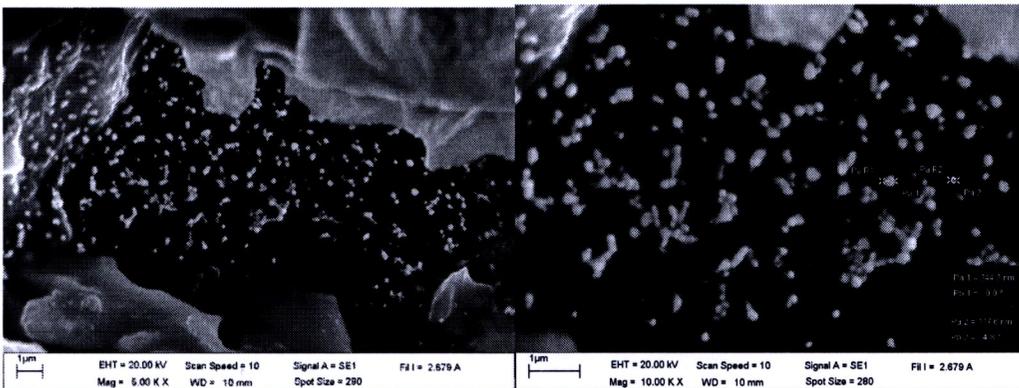
รูป 4.37-4.40 แสดง ภาพ SEM ของ zinc- banana peel charcoal composite ไพโรไลซิสที่ 400-700 °C พบอนุภาคขนาดเล็กมากๆ จำนวนมากบนพื้นผิวที่ขรุขระและเป็นขอบริ้ว พื้นผิวแสดงการแตกแยกเป็นร่อง ที่อุณหภูมิ 700°C (รูป 4.40) อนุภาคเม็ดกลมมีจำนวนลดลง พื้นผิวมีลักษณะเป็นริ้วชั้นบางๆ ซ้อนทับกัน



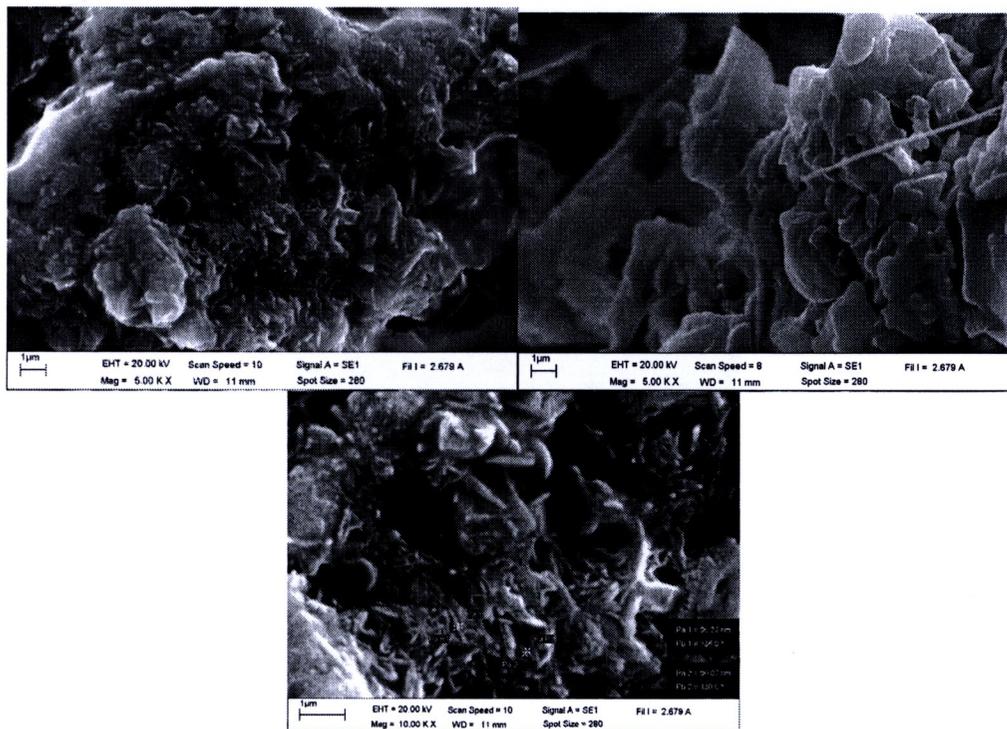
รูป 4.37 ภาพ SEM ของ zinc- banana peel charcoal composite ไพโรไลซิสที่ 400 °C



รูป 4.38 ภาพ SEM ของ zinc- banana peel charcoal composite ไพโรไลซิสที่ 500 °C



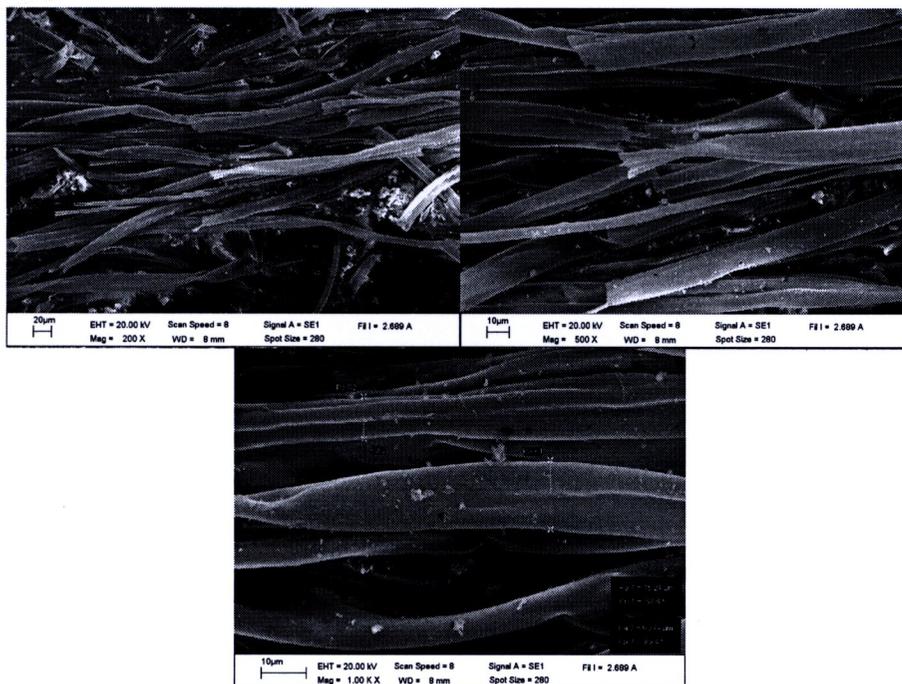
รูป 4.39 ภาพ SEM ของ zinc- banana peel charcoal composite ไพโรไลซิสที่ 600 °C



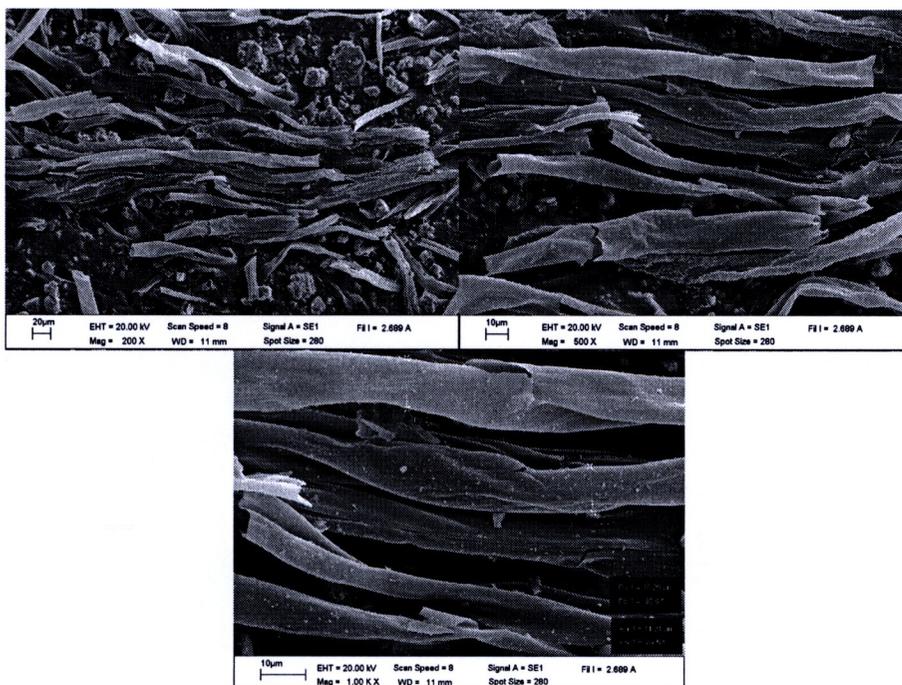
รูป 4.40 ภาพ SEM ของ zinc- banana peel charcoal composite ไพโรไลซิสที่ 700 °C

4.5.2 Metals-kapok carbonfiber composites

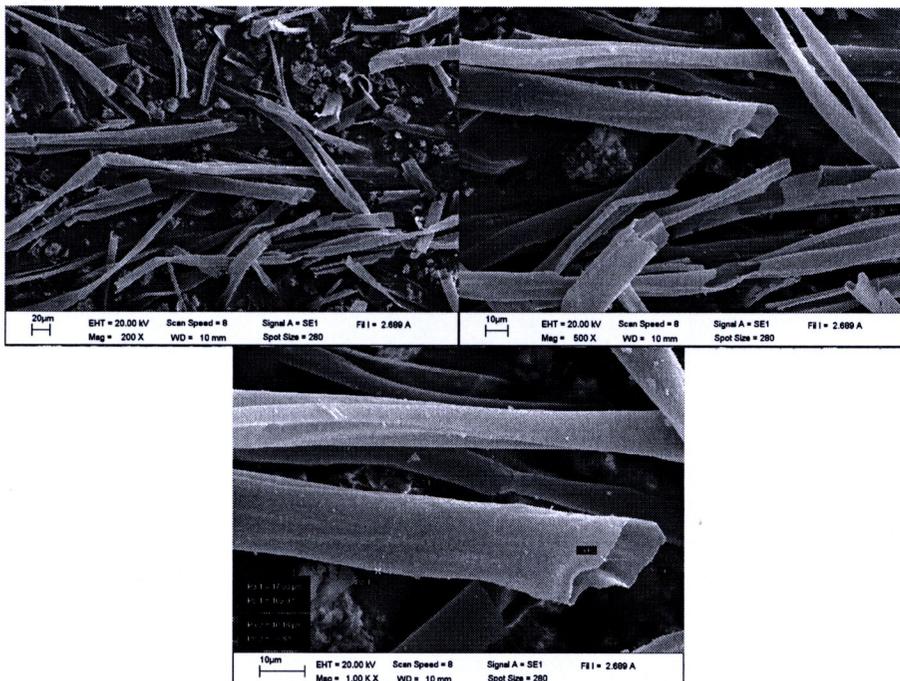
เส้นใยอนุคาร์บอนมีโครงสร้างเป็นท่อกลวง ดังแสดงในรูป 4.41 ซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 17.98 μm สอดคล้องกับการศึกษาของ Lim and Huang (2007) ในการเติม 5 wt% Al_2O_3 ในเส้นใยอนุคาร์บอนแล้วไพโรไลซิสที่ 400 ถึง 700°C (รูป 4.41-4.44) ผลลัพธ์ที่ได้แสดงว่ามีอนุภาคจำนวนมากเกาะบนผิวของเส้นใยอนุคาร์บอน ในทางกลับกันผลผลิตที่ไพโรไลซิสที่ 700°C ได้แสดงว่ามีอนุภาคเกาะบนผิวเพียงเล็กน้อย (รูป 4.44) เส้นใยอนุคาร์บอนมีพื้นผิวหักงอและบิดเบี้ยว เมื่อไพโรไลซิสที่อุณหภูมิสูงขึ้นจาก 500 ไป 700°C (รูป 4.42-4.44) จะพบได้ว่าการแตกหักของเส้นใยมากขึ้น ซึ่งให้เห็นว่า อุณหภูมิมีผลต่อลักษณะของเส้นใยคาร์บอน สอดคล้องกับข้อมูล XRD ซึ่งพบว่าเป็นผลึกลดลง เมื่ออุณหภูมิไพโรไลซิสเพิ่มขึ้น



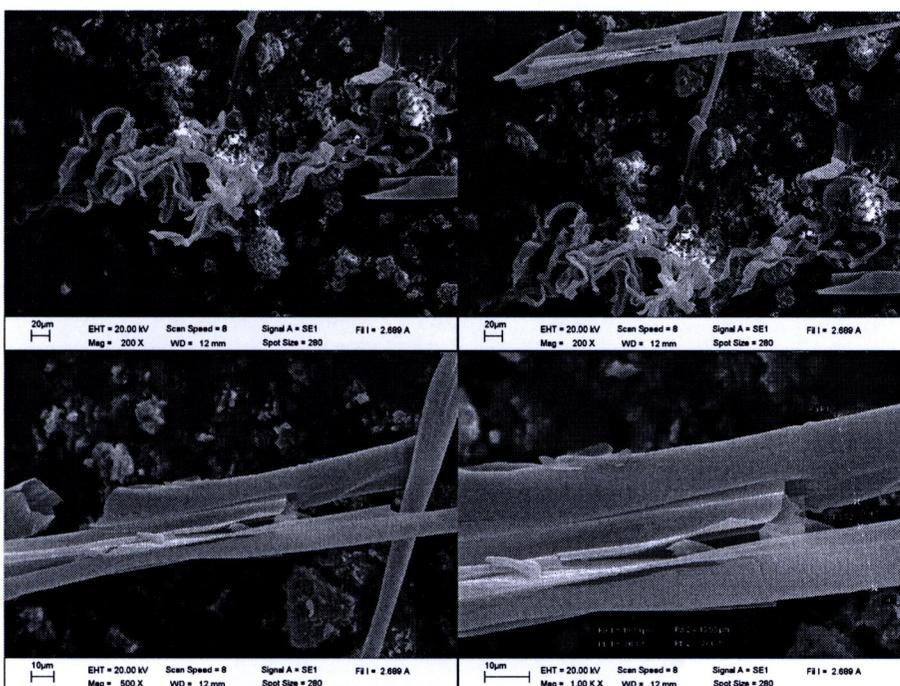
รูป 4.41 ภาพ SEM ของ aluminium- kapok carbonfiber composite ไพโรไลซิสที่ 400 °C



รูป 4.42 ภาพ SEM ของ aluminium- kapok carbonfiber composite ไพโรไลซิสที่ 500 °C



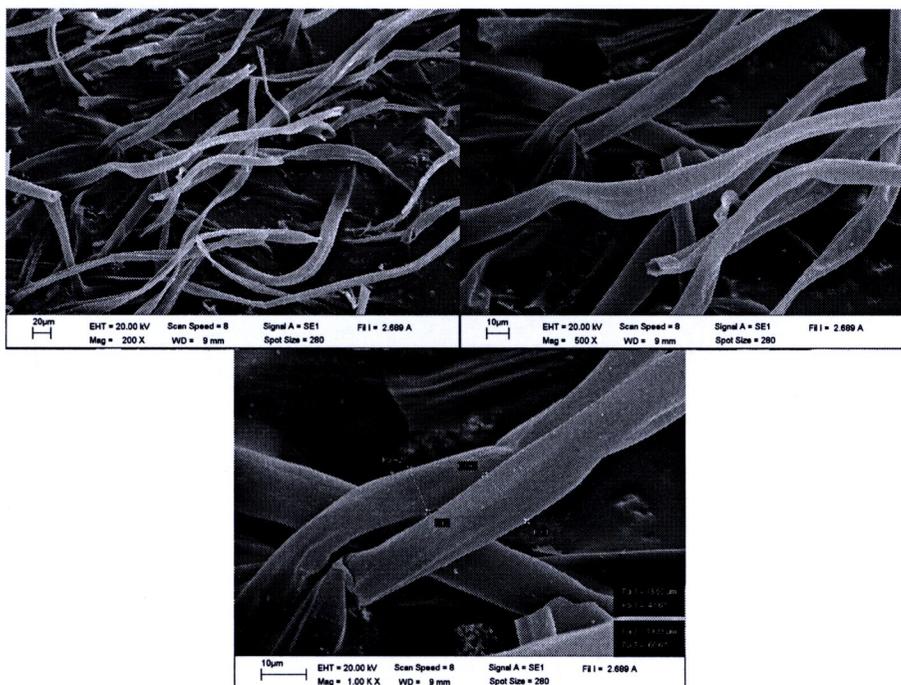
รูป 4.43 ภาพ SEM ของ aluminium- kapok carbonfiber composite ไพโรไลซิสที่ 600 °C



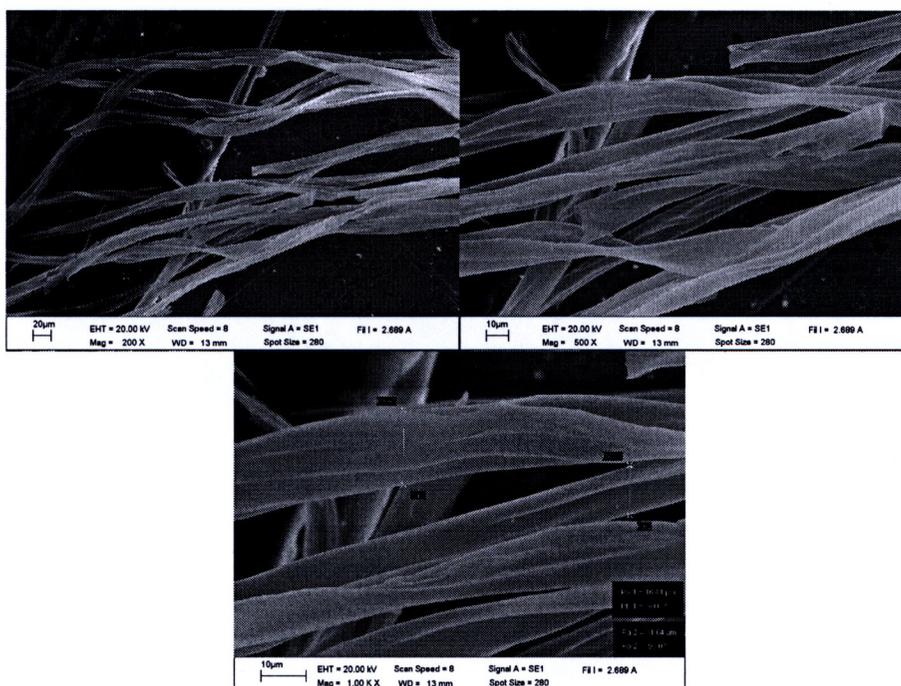
รูป 4.44 ภาพ SEM ของ aluminium- kapok carbonfiber composite ไพโรไลซิสที่ 700 °C

ภาพ SEM ของ copper-kapok carbon fiber composites ได้แสดงในรูป 4.45-4.48 พื้นผิวของเส้นใยอนุกรมคาร์บอนหักงอและซ้อนทับกัน อย่างไรก็ตาม ภาพ SEM ของ copper-kapok carbon fiber composites (รูป 4.45) แสดงการสลายตัวของเส้นใยคาร์บอนที่มากกว่าของ aluminium-kapok carbon fiber composite แต่พื้นผิวของ copper-kapok carbon fiber composite ยังแสดงพื้นผิวรูปทรงกระบอกที่เรียบมากกว่า ผลของเกลือ Cu ต่อการแตกสลายของเส้นใยอนุกรมคาร์บอนที่แข็งแรงกว่าเกลือ Al ในส่วนที่เกี่ยวข้องกับไฟ

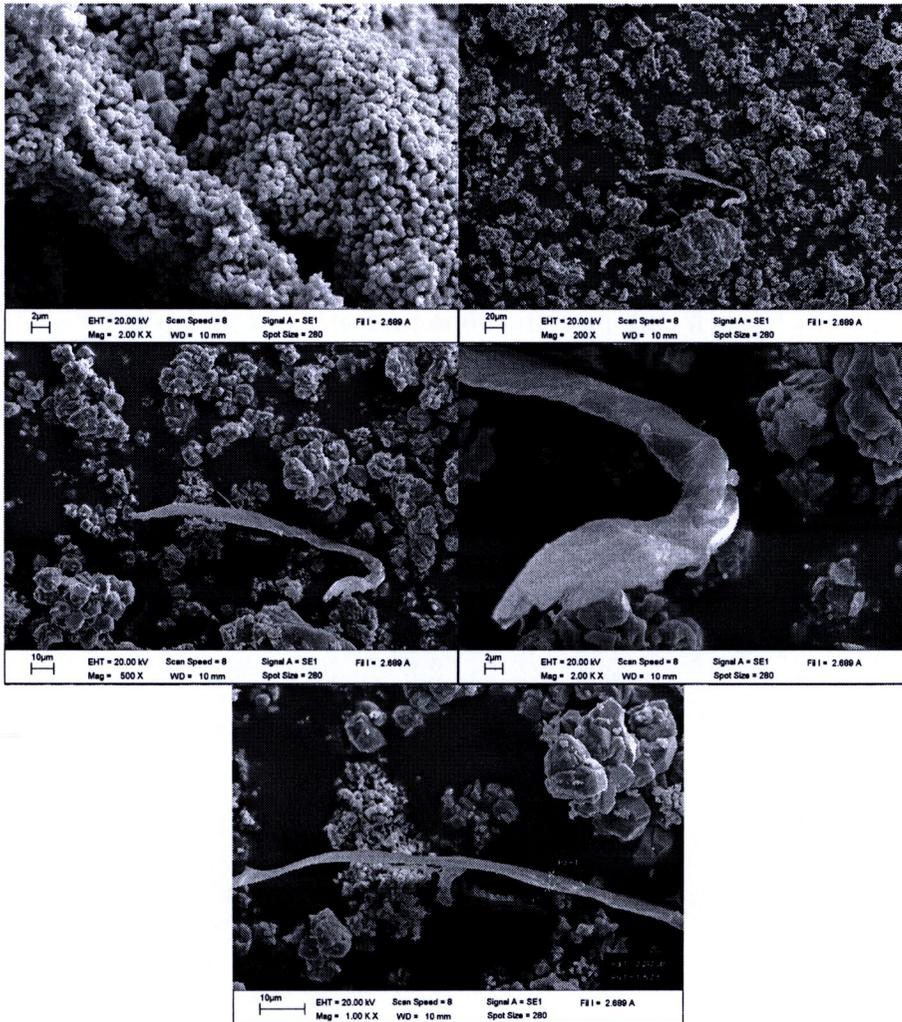
โรลไซสที่อุณหภูมิสูง ผลที่ได้สอดคล้องกับร้อยละผลผลิต (ตาราง 4.2) ผลผลิตร้อยละของ copper-kapok carbon fiber composite มีต่ำมาก สอดคล้องกับผลของ FTIR (รูป 4.6) ที่สเปกตรัมมีพีคที่ค่อนข้างเรียบ ยืนยันได้ว่ามีหมู่ฟังก์ชันน้อยมาก จากข้อมูลของ XRD (รูป 4.18) พบได้ว่าพีคของ Cu มีสูงมาก



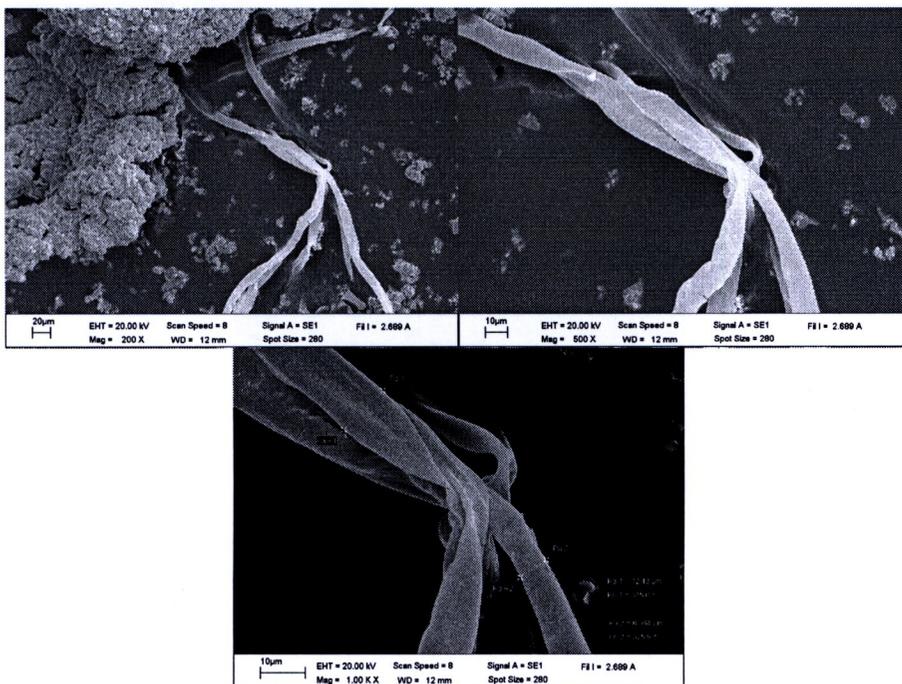
รูป 4.45 ภาพ SEM ของ copper-kapok carbon fiber composite ไพโรไลซิสที่ 400 °C



รูป 4.46 ภาพ SEM ของ copper-kapok carbon fiber composite ไพโรไลซิสที่ 500 °C

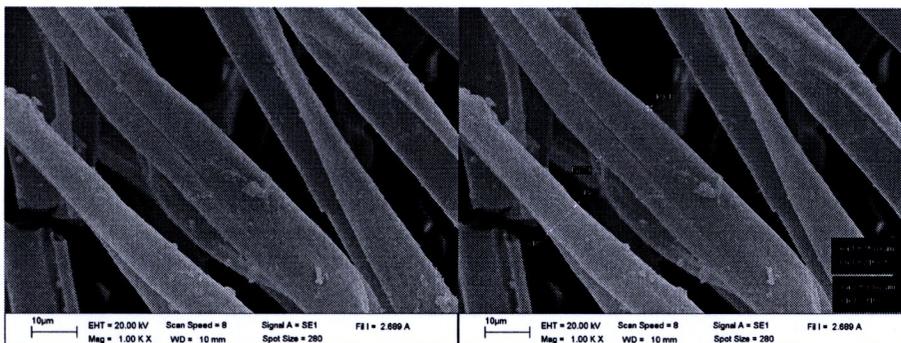


รูป 4.47 ภาพ SEM ของ copper- kapok carbonfiber composite ไพโรไลซิสที่ 600 °C

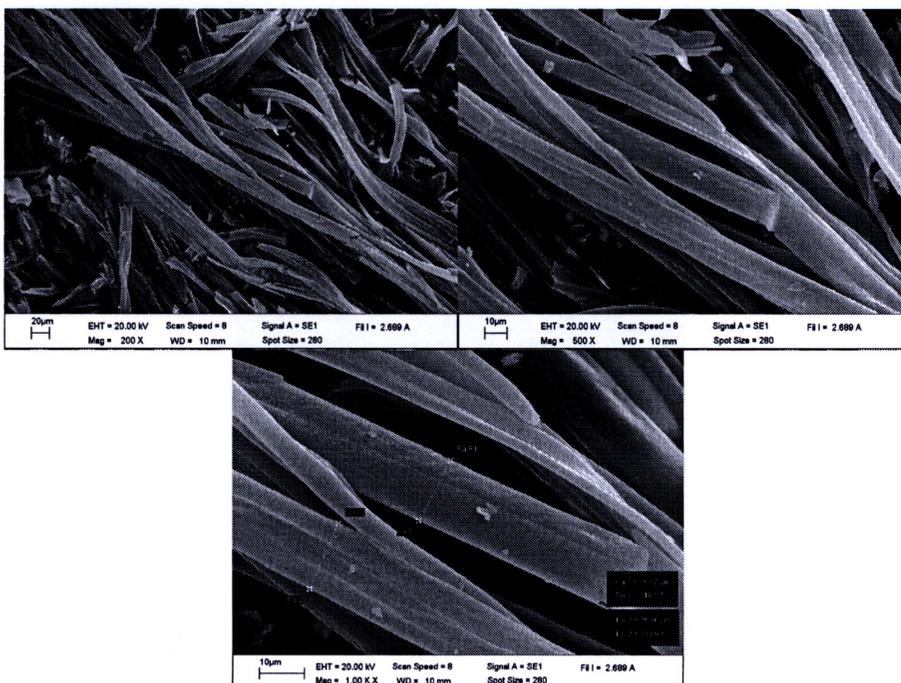


รูป 4.48 ภาพ SEM ของ copper- kapok carbonfiber composite ไพโรไลซิสที่ 700 °C

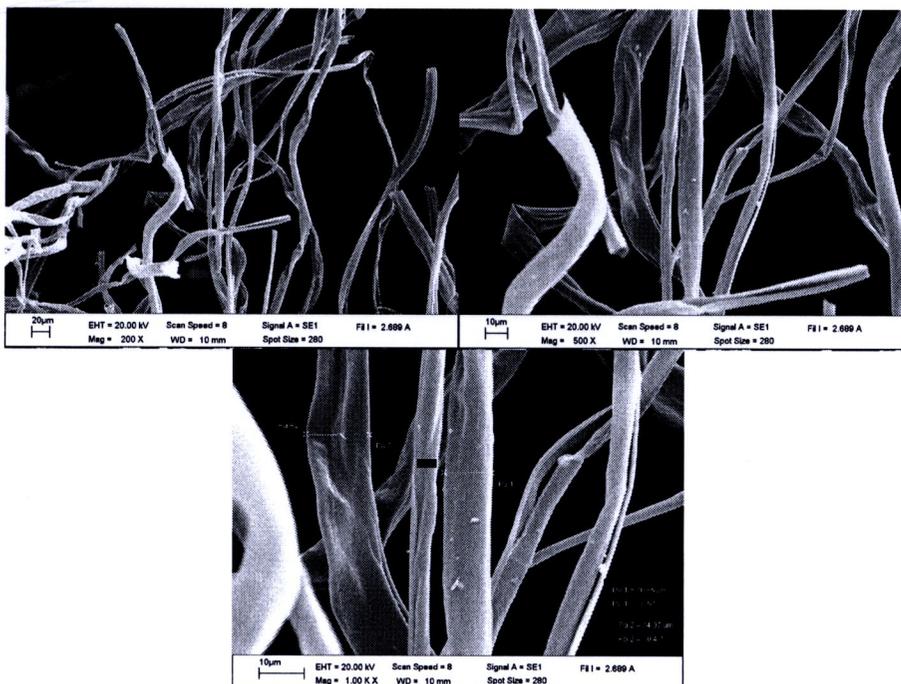
ในรูป 4.49-4.52 ภาพ SEM ของ Mg-kapok carbon fiber composite แสดงผลของ Mg ที่มีต่อใย
 อนุคาร์บอน ไพโรไลซิสในช่วง 400 ถึง 700°C พบได้ว่ามีอนุภาคยึดติดบนผิวใยคาร์บอน ซึ่งคาดว่าเป็น
 Mg-carbon composites ที่อุณหภูมิสูงกว่า 600°C (รูป 4.51-4.52) เส้นใยคาร์บอนหักซ้อนทับกันและโค้ง
 งอ ยิ่งกว่านั้น ที่ 700°C (รูป 4.52) มีอนุภาคจำนวนมากเกาะบนผิวใยคาร์บอน ปรากฏการณ์นี้ แสดงได้
 ชัดว่า เส้นใยถูกทำลายไปจำนวนมาก สอดคล้องกับร้อยละผลผลิต (ตาราง 4.2) ผลผลิตร้อยละของ
 Mg-carbon fiber ที่ 700°C มีเพียง 20.65% ซึ่งสอดคล้องกับข้อมูล XRD ด้วย (รูป 4.19 MN4) และแสดง
 พีกที่เด่นสอดคล้องกับ Mg จากรูป 4.7 MN4 ผล FTIR ยังแสดงว่าพีกมีความราบเรียบมาก และมีพีกที่
 1451 cm^{-1} แสดงว่าหมู่ฟังก์ชันจำนวนมากถูกสลายไปและเส้นใยคาร์บอนมีความเป็นผลึก (รูป 4.7
 MN4) ภาพ SEM ของคอมโพสิตที่ 700°C (รูป 4.52) มีอนุภาคจำนวนมากเกาะบนพื้นผิวเส้นใย
 คาร์บอน คาดว่าผลึกของ Mg-C composite ได้เกิดขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับผลของ XRD (รูป 4.19 MN4)



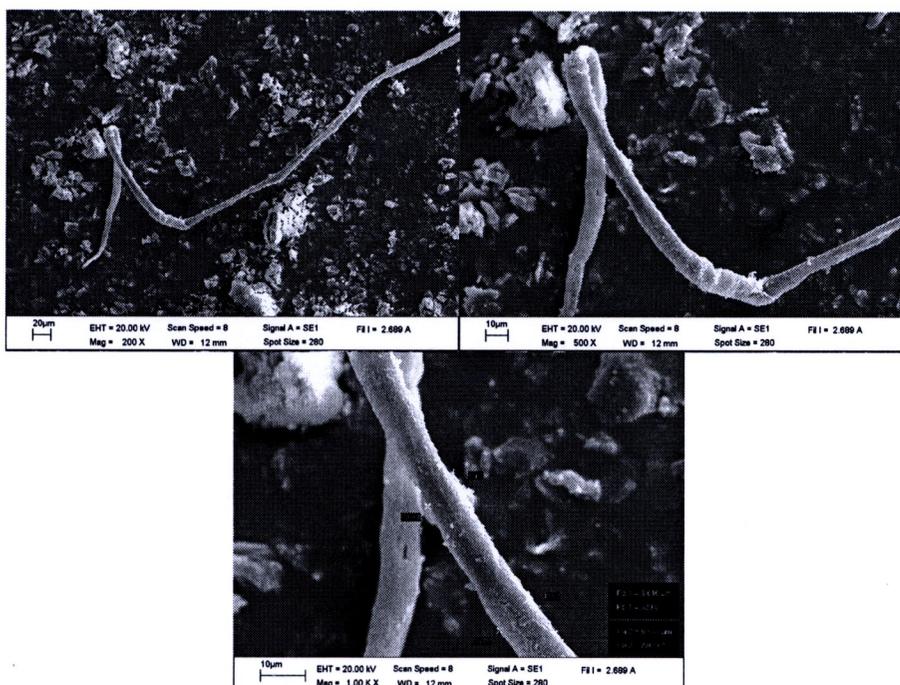
รูป 4.49 ภาพ SEM ของ magnesium- kapok carbonfiber composite ไพโรไลซิสที่ 400 °C



รูป 4.50 ภาพ SEM ของ magnesium- kapok carbonfiber composite ไพโรไลซิสที่ 500 °C

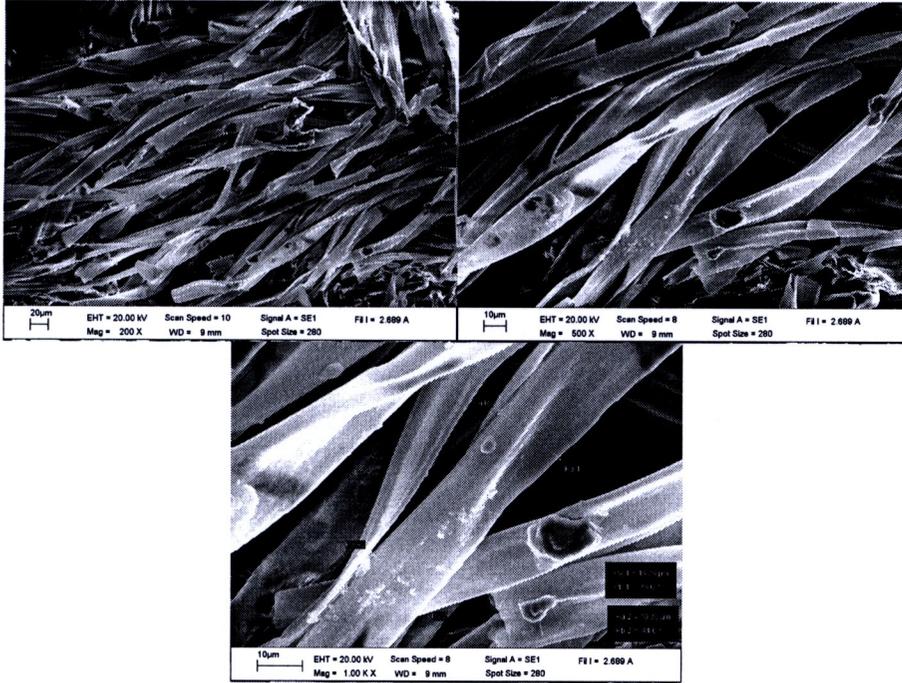


รูป 4.51 ภาพ SEM ของ magnesium- kapok carbonfiber composite ไพโรไลซิสที่ 600 °C

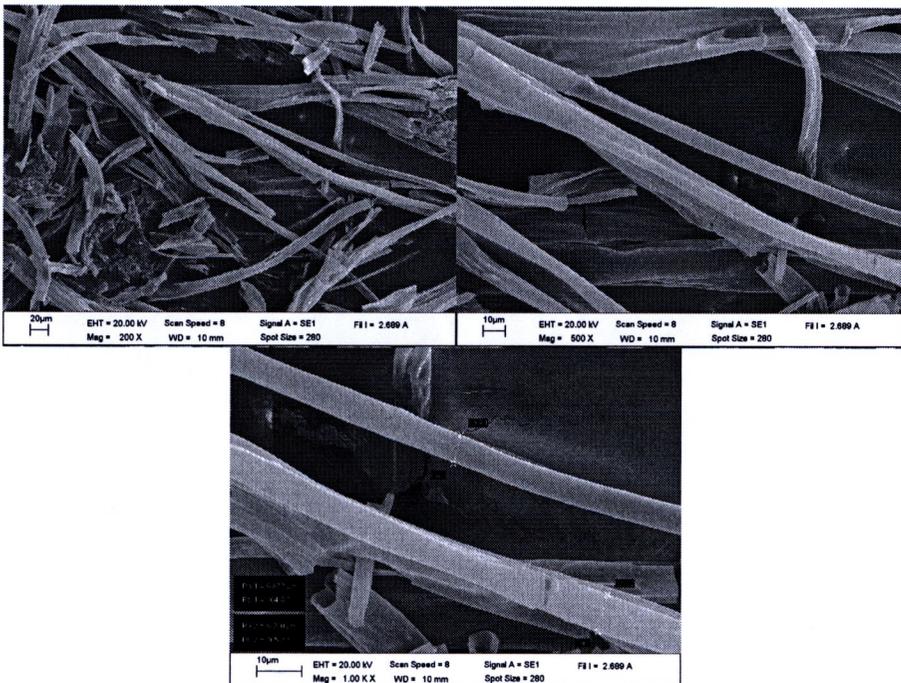


รูป 4.52 ภาพ SEM ของ magnesium- kapok carbonfiber composite ไพโรไลซิสที่ 700 °C

รูป 4.53-4.56 แสดงพื้นผิวของ zinc-kapok carbon fiber composites จะเห็นได้ว่าพื้นผิวของเส้นใยคาร์บอนถูกทำลายเป็นอย่างมากเมื่อเทียบกับคอมโพสิตอื่นๆ ซึ่งสอดคล้องกับผลของ XRD (รูป 4.20)

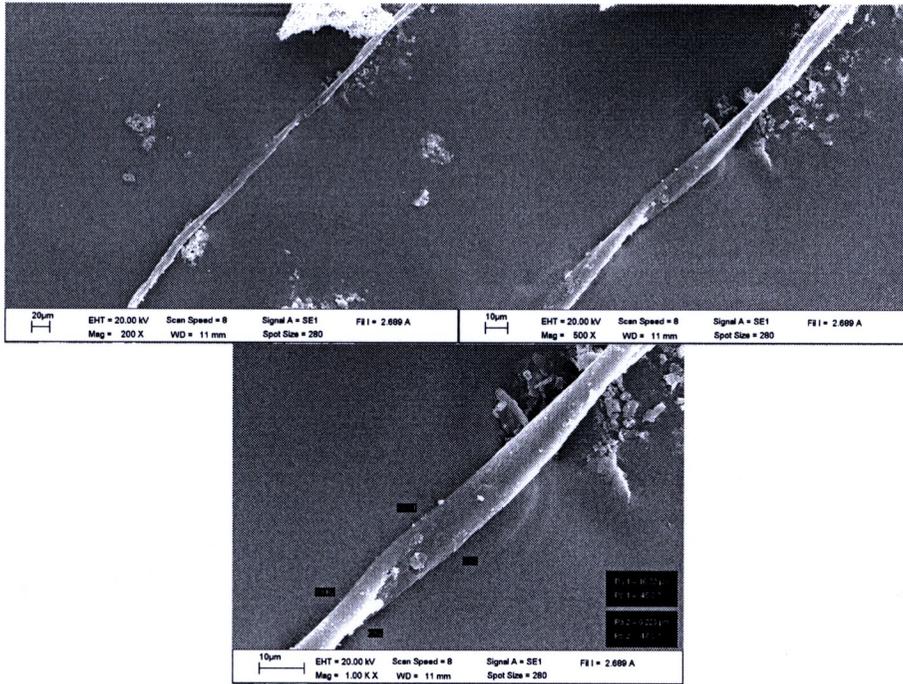


รูป 4.53 ภาพ SEM ของ zinc- kapok carbonfiber composite ไฟโรไลซิสที่ 400 °C

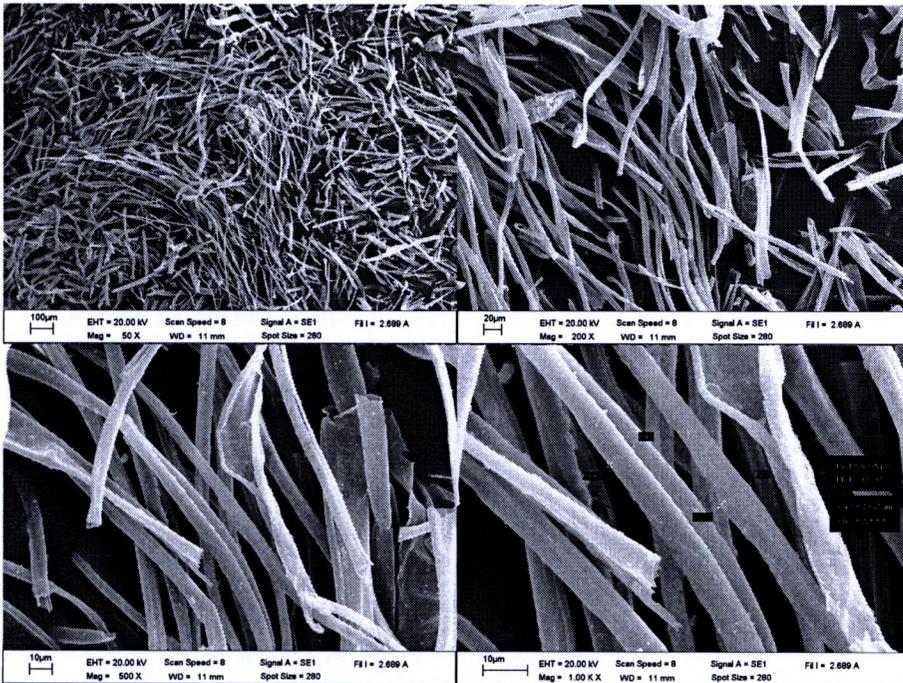


รูป 4.54 ภาพ SEM ของ zinc- kapok carbonfiber composite ไฟโรไลซิสที่ 500 °C



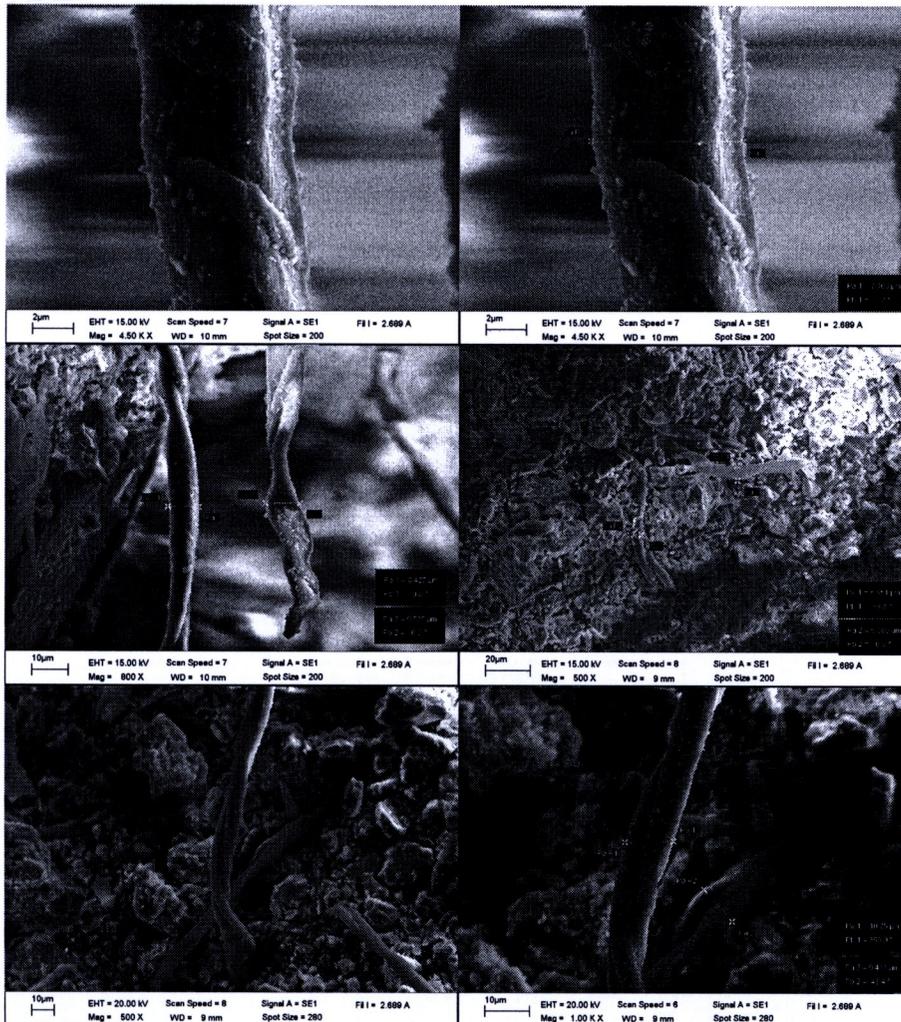


รูป 4.55 ภาพ SEM ของ zinc- kapok carbonfiber composite ไพโรไลซิสที่ 600 °C

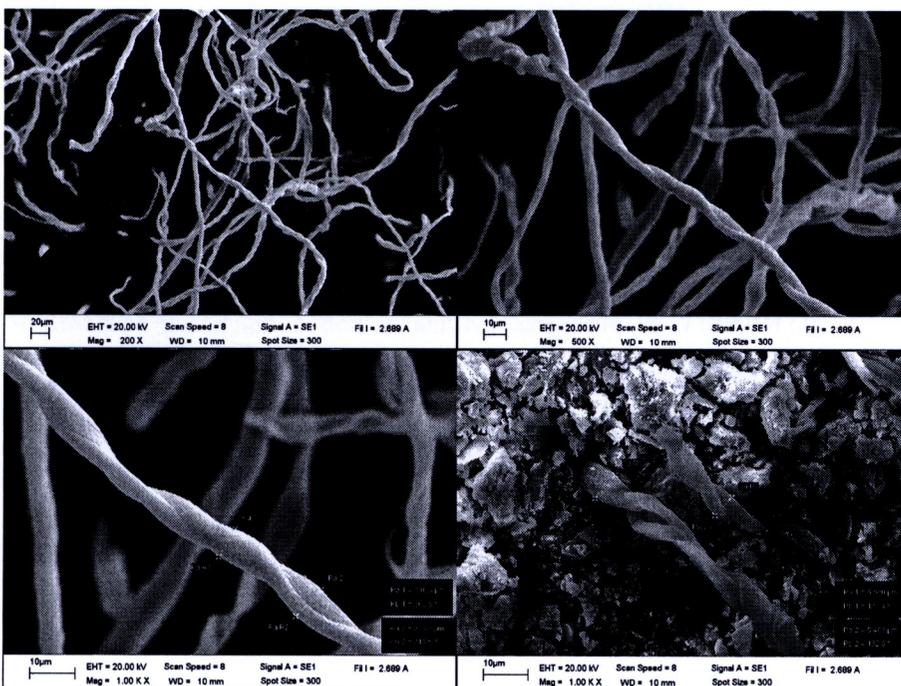


รูป 4.56 ภาพ SEM ของ zinc- kapok carbonfiber composite ไพโรไลซิสที่ 700 °C

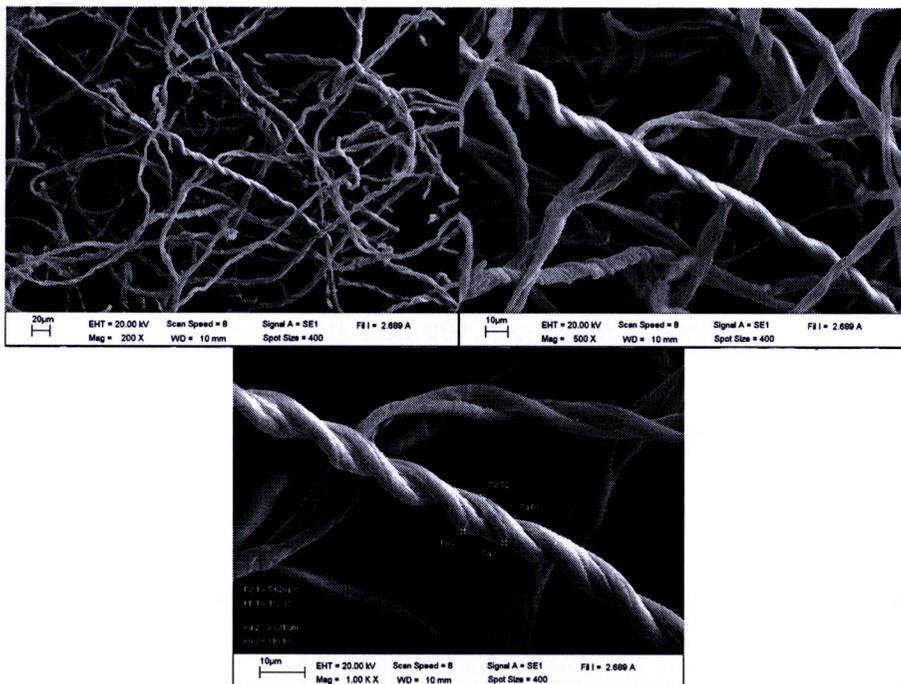
รูป 4.57- 4.60 ภาพ SEM ของ aluminium- cotton carbonfiber composite ไพโรไลซิสที่ 400-700 °C พบว่า ใยสำลีคาร์บอนมีลักษณะเป็นทรงกระบอกตันและหึ่งงอ มีพื้นผิวที่บิดเกลียวเป็นร่อง มีอนุภาคเกาะบนพื้นผิวไม่มาก แสดงถึงการเกิดคอมโพสิตของ Al น้อยมาก เมื่อเทียบกับโลหะอื่น



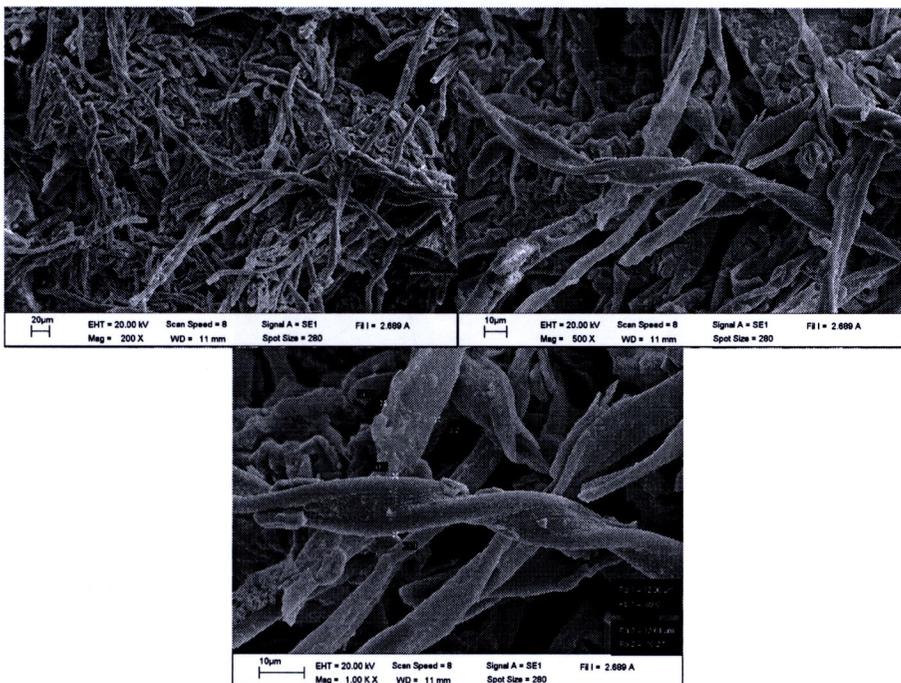
รูป 4.57 ภาพ SEM ของ aluminium- cotton carbonfiber composite ไพโรไลซิสที่ 400 °C



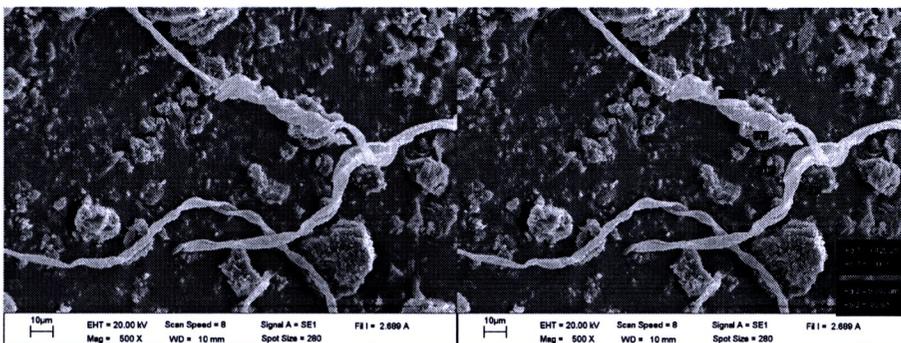
รูป 4.58 ภาพ SEM ของ aluminium- cotton carbonfiber composite ไพโรไลซิสที่ 500 °C



AS2F



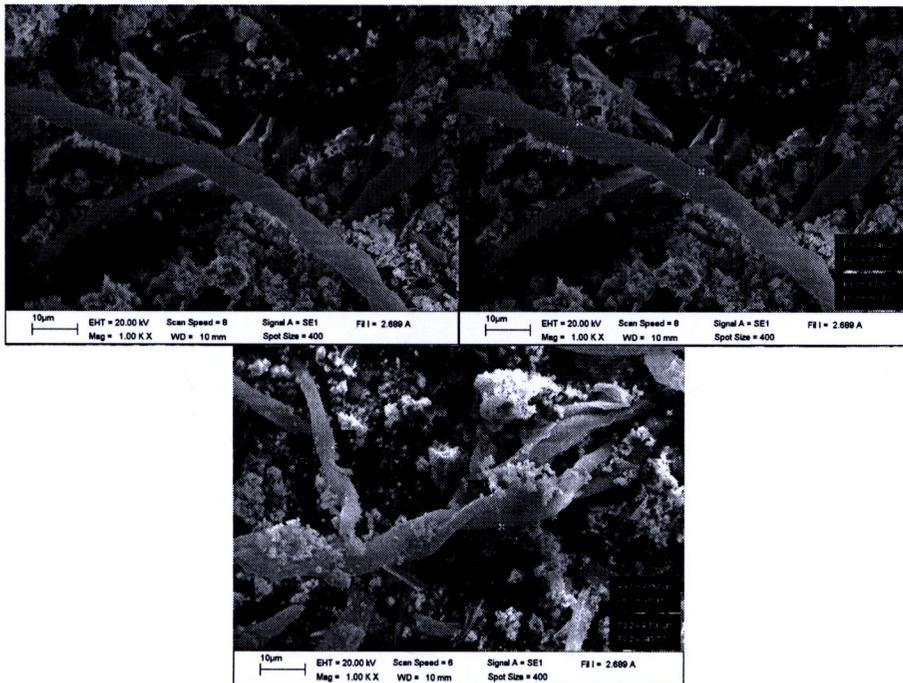
รูป 4.59 ภาพ SEM ของ aluminium- cotton carbonfiber composite ไพโรไลซิสที่ 600 °C



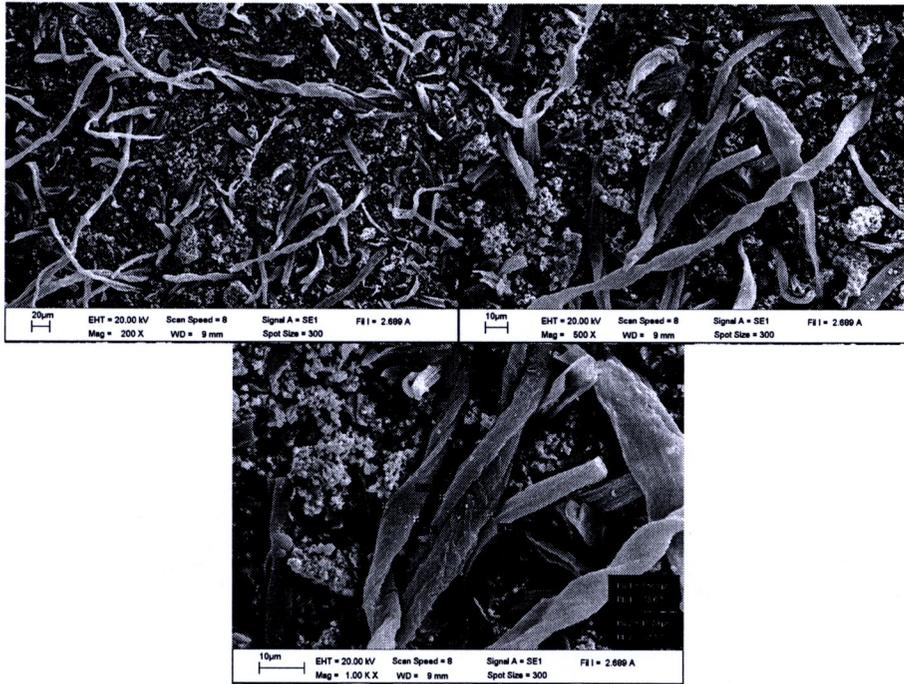
รูป 4.60 ภาพ SEM ของ aluminium- cotton carbonfiber composite ไพโรไลซิสที่ 700 °C

รูป 4.61-4.64 แสดง ภาพ SEM ของ copper- cotton carbonfiber composite ไฟโรไลซิสที่ 400-700 °C แสดงถึงเส้นใยสำลึคาร์บอนถูกทำลายเป็นจำนวนมาก เมื่อเทียบกับโลหะอื่นๆ จึงมีผลทำให้มีผลึกจำนวนมากปรากฏขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับผลของผลผลิตร้อยละ (ตาราง 4.2) ซึ่งลักษณะแบบนี้ได้เกิดขึ้นในทำนองเดียวกันใน magnesium- cotton carbonfiber composite (รูป 4.65-4.68) แต่แรงในการถูกทำลายมีน้อยกว่าของ Cu

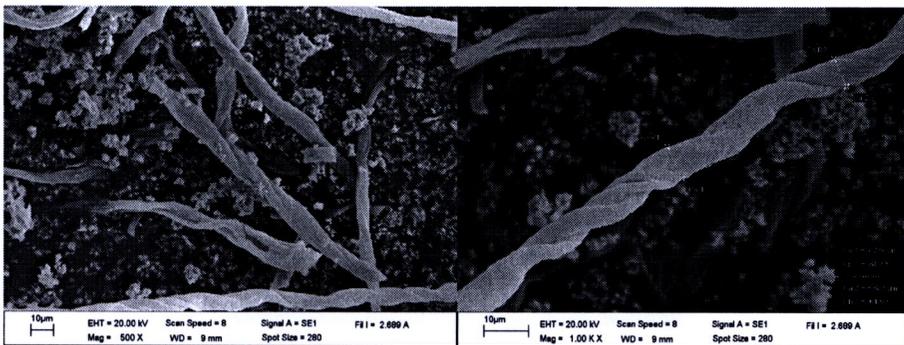
สำหรับในรูป 4.69-4.72 แสดงภาพ SEM ของ zinc- cotton carbonfiber composite ไฟโรไลซิสที่ 400-700 °C พบว่าเส้นใยสำลึคาร์บอนมีลักษณะหดรัดไม่สม่ำเสมอ แต่ยังไม่ถูกทำลายเหมือนกับในกรณีข้างต้น และแนวโน้มจะมีผลึกเกาะอยู่บนผิวใยคาร์บอนมากขึ้น เมื่ออุณหภูมิไฟโรไลซิสมากขึ้น โดยเฉพาะที่ 700°C (รูป 4.72)



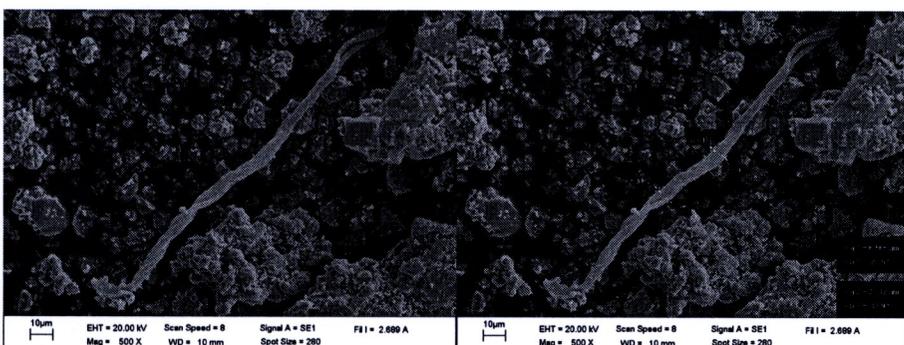
รูป 4.61 ภาพ SEM ของ copper- cotton carbonfiber composite ไฟโรไลซิสที่ 400 °C



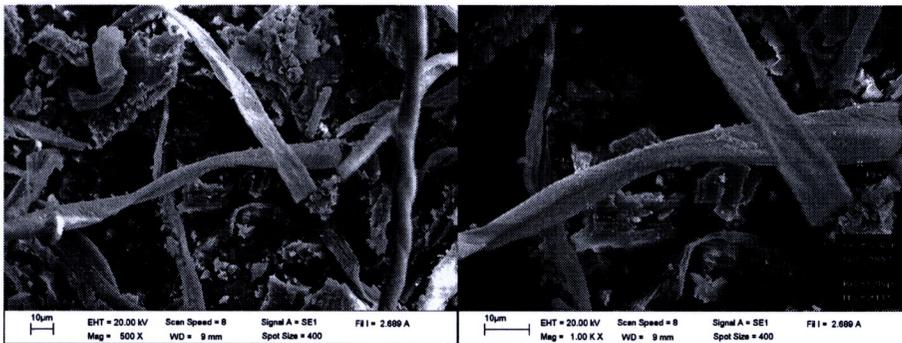
รูป 4.62 ภาพ SEM ของ copper- cotton carbonfiber composite ไพโรไลซิสที่ 500 °C



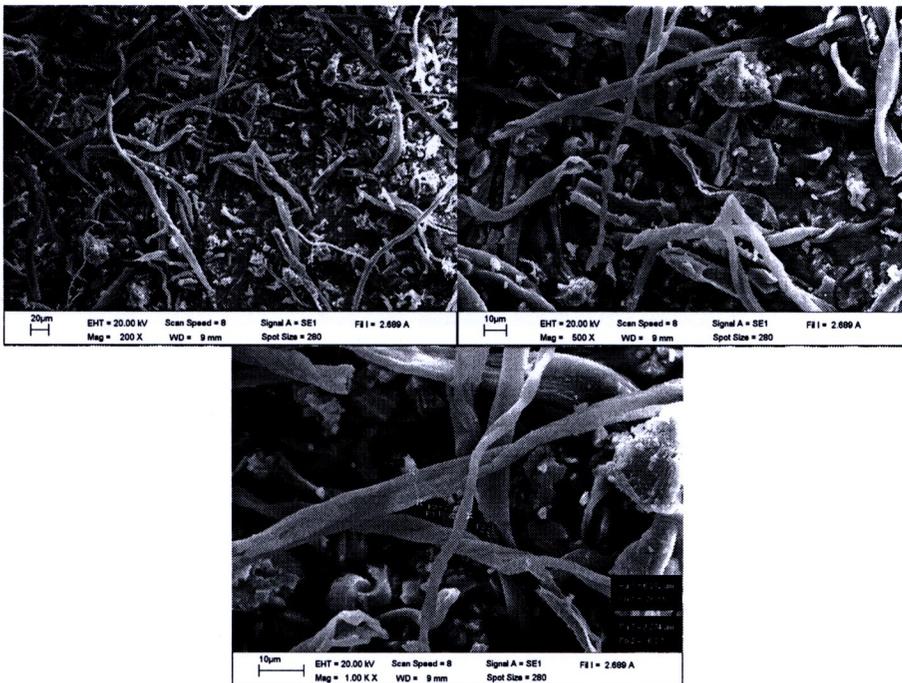
รูป 4.63 ภาพ SEM ของ copper- cotton carbonfiber composite ไพโรไลซิสที่ 600 °C



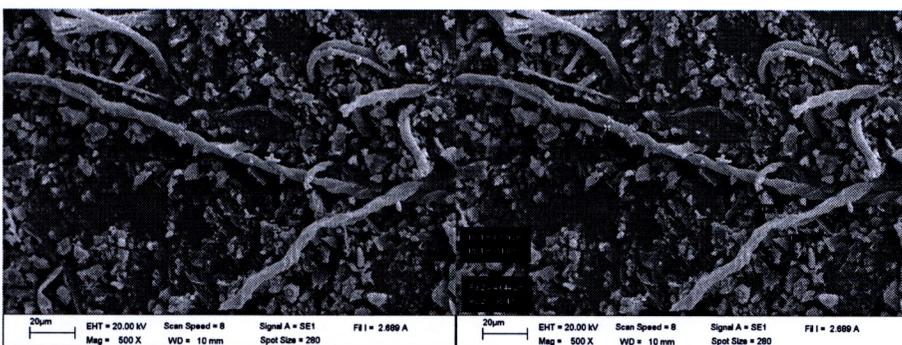
รูป 4.64 ภาพ SEM ของ copper- cotton carbonfiber composite ไพโรไลซิสที่ 700 °C



รูป 4.65 ภาพ SEM ของ magnesium- cotton carbonfiber composite ไพโรไลซิสที่ 400 °C



รูป 4.66 ภาพ SEM ของ magnesium- cotton carbonfiber composite ไพโรไลซิสที่ 500 °C

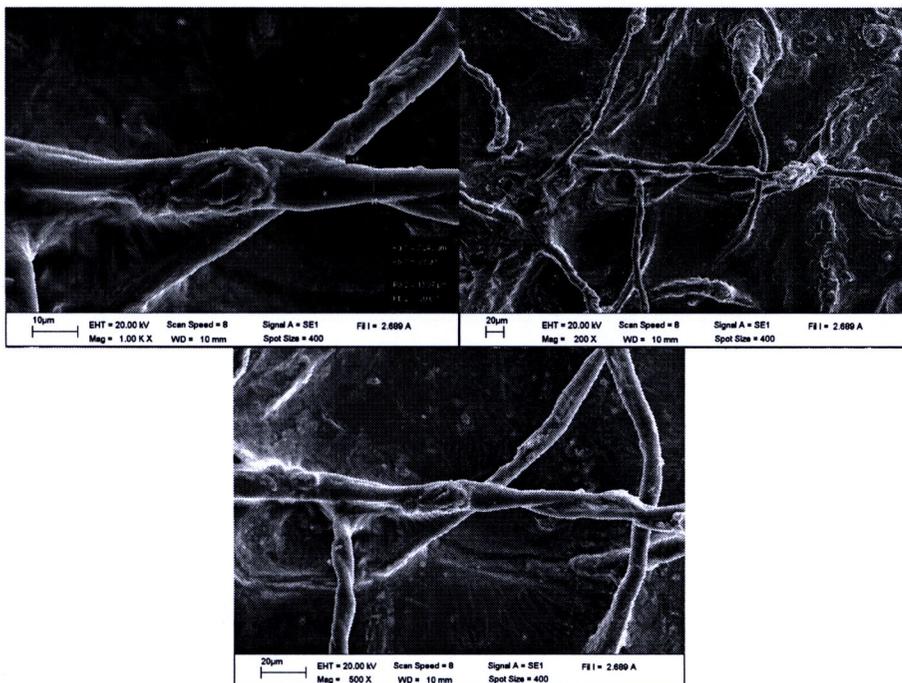


รูป 4.67 ภาพ SEM ของ magnesium- cotton carbonfiber composite ไพโรไลซิสที่ 600 °C

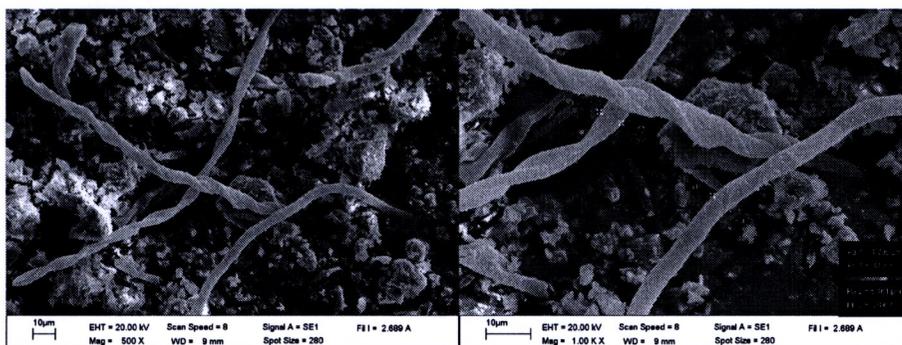




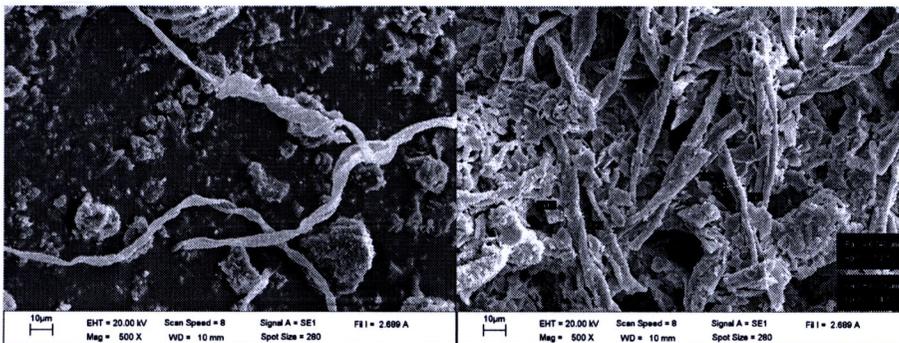
รูป 4.68 ภาพ SEM ของ magnesium- cotton carbonfiber composite ไพโรไลซิสที่ 700 °C



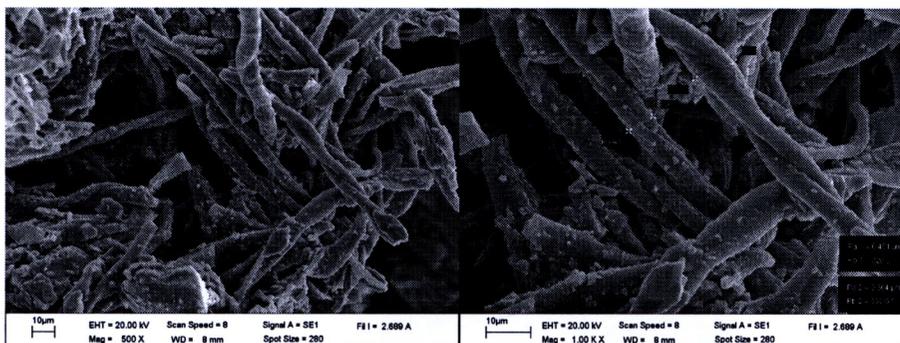
รูป 4.69 ภาพ SEM ของ zinc- cotton carbonfiber composite ไพโรไลซิสที่ 400 °C



รูป 4.70 ภาพ SEM ของ zinc- cotton carbonfiber composite ไพโรไลซิสที่ 500 °C



รูป 4.71 ภาพ SEM ของ zinc- cotton carbonfiber composite ไพโรไลซิสที่ 600 °C



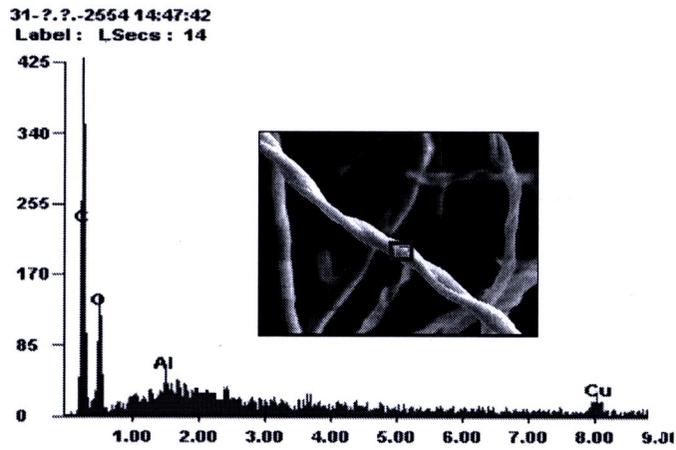
รูป 4.72 ภาพ SEM ของ zinc- cotton carbonfiber composite ไพโรไลซิสที่ 700 °C

4.6 ผลการวิเคราะห์ด้วย EDS

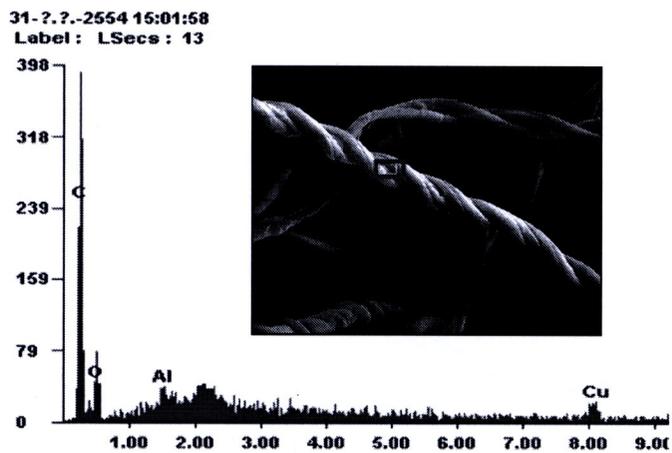
4.6.1 EDS ของ Metals –cotton carbonfiber composites

รูป 4.73 และ 4.74 ได้แสดงผลของ EDS ซึ่งเป็นการเปรียบเทียบของ aluminum-cotton carbonfiber composites บนพื้นผิวของใยสังเคราะห์คาร์บอน ที่ 400 และ 500°C ปริมาณของ C และ Al เพิ่มขึ้น ขณะที่ปริมาณของ O (ได้จาก Al_2O_3) ลดลง เมื่ออุณหภูมิไพโรไลซิสเพิ่มขึ้น มันได้แสดงให้เห็นว่า Al สามารถทำปฏิกิริยากับ C ในสัดส่วนที่มากขึ้นในคอมโพสิต ไปมีผลทำให้ O มีปริมาณลดลง เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น นอกจากนี้มันยังได้แสดงให้เห็นว่า Al มีความสามารถในการออกซิไดซ์ต่อ C ได้ต่ำ เป็นผลทำให้มีปริมาณ C ในคอมโพสิตสูงขึ้น รวมทั้งในรูป 4.9 AN1 และ AN2 ได้แสดงว่าอนุภาคที่เกาะบนผิวของใยคาร์บอนของสำลิตีที่อุณหภูมิ 500°C มีมากกว่าที่ 400°C จากผลนี้ชี้ให้เห็นว่าคอมโพสิตที่ 500°C เกิดขึ้นได้ดีกว่าที่ 400°C.

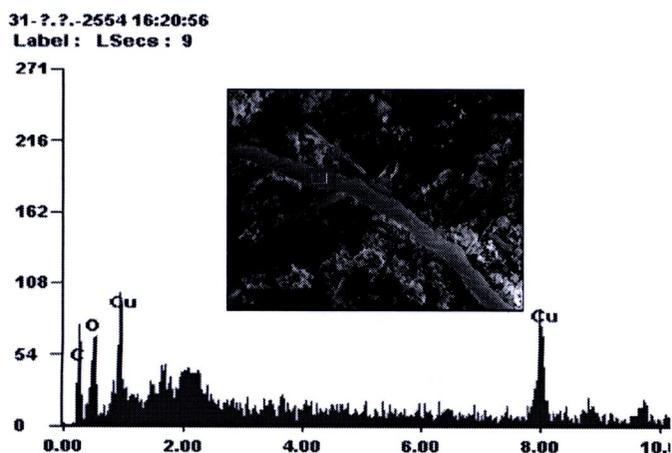
รูป 4.75 แสดงสเปกตรัม EDS ของ copper-cotton carbonfiber composite บนพื้นผิวใยสังเคราะห์คาร์บอนหลังจากไพโรไลซิสที่ 400°C ปริมาณของ Cu ในคอมโพสิตเพิ่มขึ้นไปถึง 40.98% และ C ถูกออกซิไดซ์เป็นจำนวนมาก ซึ่งสอดคล้องกับผลผลิตร้อยละ (ตาราง 4.2) อาจเป็นเพราะว่าอัตราส่วนของ C ใน Cu-carbon composites มีค่าต่ำกว่าเมื่อเทียบกับ Al-carbon composites ปฏิกิริยานี้มีผลทำให้ปริมาณ O ในคอมโพสิตเพิ่มขึ้น ซึ่งจากผลของ XRD ยังได้แสดงว่าคอมโพสิตมีความเป็นผลึกสูงขึ้น (รูป 4.6)



รูป 4.73 สเปกตรัม EDS ของ aluminum- cotton carbonfiber composite โดยการไพโรไลซิสที่ 400°C (74.08 wt% C, 24.71 wt% O และ 1.12 wt% Al)



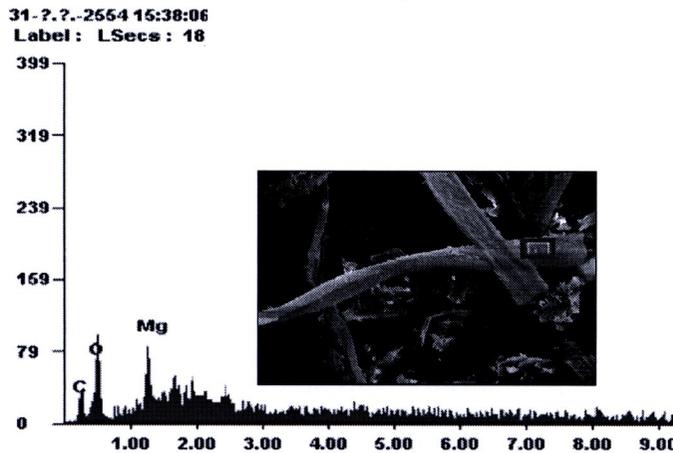
รูป 4.74 สเปกตรัม EDS ของ aluminum-cotton carbonfiber composite โดยการไพโรไลซิสที่ 500°C (82.50 wt% C, 16.21 wt% O และ 1.29 wt% Al)



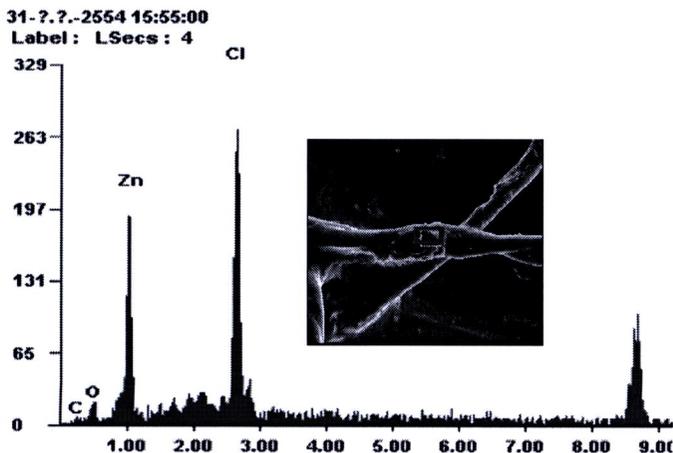
รูป 4.75 สเปกตรัม EDS ของ copper-cotton carbonfiber composite โดยการไพโรไลซิสที่ 400°C (38.60 wt% C, 20.40 wt% O และ 40.98 wt% Cu).

รูป 4.76 แสดงสเปกตรัม EDS ของ magnesium- cotton carbonfiber composite โดยการไฟโรไลซิสที่ 400°C บนพื้นผิวใยสังเคราะห์คาร์บอน มันได้พบว่าคอมโพสิตประกอบด้วย 38.50 wt% C, 44.86 wt% O และ 16.64 wt% Mg ซึ่งแสดงว่าอัตราส่วนของ C ที่ทำปฏิกิริยากับ Mg และ Cu เป็นในทำนองเดียวกัน อย่างไรก็ตาม ในกรณีของ Mg ได้ใช้ $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ เป็นตัวเร่ง ส่วนในกรณีของ Cu ได้ใช้ $Cu(NO_3)_2$ เป็นตัวเร่ง ซึ่งคาดว่า ใยสังเคราะห์ทำปฏิกิริยากับออกซิเจนใน $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ ได้ดีกว่า $Cu(NO_3)_2$ เป็นผลทำให้ปริมาณออกซิเจนใน Mg-C composite สูงกว่าใน Cu-C composite

ในรูป 4.77 แสดงสเปกตรัม EDS ของ zinc- cotton carbon fiber composite โดยการไฟโรไลซิสที่ 400°C บนพื้นผิวใยสังเคราะห์คาร์บอน สัดส่วนของ Zn และ Cl สูงกว่าสัดส่วนของ C และ O ซึ่งแสดงว่า Zn ก่อนข้างทำปฏิกิริยาได้ดีกับ Cl เมื่อเทียบกับ C นอกจากนี้ยังได้พบว่า Zn-carbon fiber composite มีอัตราส่วนของออกซิเจนต่ำสุดเมื่อเทียบกับคอมโพสิตอื่นๆ ทั้งนี้เพราะว่าไม่มีออกซิเจน ในตัวเร่ง $ZnCl_2$



รูป 4.76 สเปกตรัม EDS ของ magnesium -cotton carbonfiber composites โดยการไฟโรไลซิสที่ 400°C (38.50 wt% C, 44.86 wt% O และ 16.64 wt% Mg)



รูป 4.77 สเปกตรัม EDS ของ zinc – cotton carbonfiber composites โดยการไฟโรไลซิสที่ 400°C (8.33 wt% C, 6.36 wt% O, 44.10 wt% Zn และ 41.17 wt% Cl)

4.7 ผลการสะสมไฮโดรเจน

ในการศึกษาการดูดซับไฮโดรเจนของผลิตภัณฑ์คอมโพสิตที่ผ่านการไพโรไลซิส ที่ 400-700°C จากการเติมเกลือโลหะกับเปลือกกล้วย ใยุ่น และใยสำลี ได้แสดงในตาราง 4.4 จะเห็นได้ว่าแนวโน้มของการดูดซับหรือการกักเก็บไฮโดรเจนของคอมโพสิตชนิดต่างๆ มีผลของชนิดเกลือโลหะ และอุณหภูมิไพโรไลซิส ก่อนข้างชัดเจน โดยพบว่าแนวโน้มการดูดซับไฮโดรเจนของคอมโพสิตจากเปลือกกล้วย มีค่าสูงกว่าคอมโพสิตที่ได้จากใยุ่นและใยสำลี โดยมีแนวโน้มการเพิ่มการสะสมไฮโดรเจน ตามการเพิ่มอุณหภูมิไพโรไลซิส จาก 400 ไป 700°C นอกจากนี้ชนิดของโลหะยังมีผลต่อการดูดซับไฮโดรเจนด้วย โดยพบว่า แนวโน้มการดูดซับไฮโดรเจนของผลิตภัณฑ์คอมโพสิต มีลำดับจากมากไปหาน้อยดังนี้ คือ Cu- banana peel charcoal composite > Mg - banana peel charcoal composite > Al - banana peel charcoal composite > Zn- banana peel charcoal composite ตามลำดับ เมื่อพิจารณาที่อุณหภูมิเดียวกัน ทั้งนี้การที่ Zn- banana peel charcoal composite มีการสะสมไฮโดรเจนก่อนข้างต่ำ เพราะว่ามี การดูดซับไอน้ำได้ดีมาก เมื่อทิ้งไว้ในบรรยากาศคอมโพสิต Cu- banana peel charcoal composite มีค่าการสะสมไฮโดรเจน ใกล้เคียงกับค่ามาตรฐาน คือ 6.5 %wt ของกระทรวงพลังงานของ USA ในการกักเก็บไฮโดรเจนด้วยผลิตภัณฑ์คอมโพสิตของ Mg - banana peel charcoal composite และ Al - banana peel charcoal composite มีแนวโน้มใกล้เคียงกับการศึกษาของ Shindo et al. (2004) ที่ใช้ คาร์บอน แกร์ไฟต์ เส้นใยถ่านกัมมันต์ และผงถ่านกัมมันต์ ที่ทำการบดละเอียดเป็นเวลา 20-80 ชั่วโมง

ในส่วนของคอมโพสิตที่ได้จากใยุ่นและใยสำลี มีค่าการสะสมไฮโดรเจนที่ใกล้เคียงกัน แต่ต่ำกว่าที่ได้จากเปลือกกล้วยมาก เนื่องจากคอมโพสิตจากเปลือกกล้วยมีรูพรุนที่ค่อนข้างสูง เมื่อพิจารณาจากผลของ SEM ในขณะที่ใยุ่นและใยสำลี มีลักษณะเป็นเส้นใยที่มีผิวค่อนข้างราบเรียบ และการสะสมไฮโดรเจน เป็น 0 wt% ใน Zn-kapok carbon fiber composite และ Zn-cotton carbon fiber composite ซึ่งมีปัญหาที่มีการดูดซับน้ำจากบรรยากาศได้ดี

ผลของชนิดโลหะในคอมโพสิตจากใยุ่นและใยสำลี มีแนวโน้มเช่นเดียวกับที่ปรากฏในคอมโพสิตจากเปลือกกล้วย

ตาราง 4.3 การสะสมไฮโดรเจนของคอมโพสิทชนิดต่างๆ

Composite type	การสะสมไฮโดรเจน (wt%)
Al- banana peel charcoal composite -400°C	2.36
Al- banana peel charcoal composite - 500°C	3.78
Al- banana peel charcoal composite -600°C	3.86
Al- banana peel charcoal composite - 700°C	3.85
Cu- banana peel charcoal composite-400°C	5.24
Cu- banana peel charcoal composite-500°C	6.06
Cu- banana peel charcoal composite-600°C	6.22
Cu- banana peel charcoal composite-700°C	6.15
Mg- banana peel charcoal composite -400°C	3.50
Mg- banana peel charcoal composite -500°C	4.01
Mg- banana peel charcoal composite -600°C	4.43
Mg- banana peel charcoal composite -700°C	4.44
Zn- banana peel charcoal composite -400°C	0.34
Zn- banana peel charcoal composite -500°C	0.39
Zn- banana peel charcoal composite -600°C	0.35
Zn- banana peel charcoal composite -700°C	0.39
Al-kapok carbon fiber composite -400°C	0.47
Al-kapok carbon fiber composite - 500°C	0.47
Al-kapok carbon fiber composite -600°C	0.62
Al-kapok carbon fiber composite - 700°C	0.62
Cu-kapok carbon fiber composite-400°C	0.65
Cu-kapok carbon fiber composite-500°C	0.94
Cu-kapok carbon fiber composite-600°C	1.34
Cu-kapok carbon fiber composite-700°C	1.57
Mg-kapok carbon fiber composite -400°C	0.56
Mg-kapok carbon fiber composite -500°C	0.55
Mg-kapok carbon fiber composite -600°C	0.66

ตาราง 4.3 การสะสมไฮโดรเจนของคอมโพสิทชนิดต่างๆ (ต่อ)

Composite type	การสะสมไฮโดรเจน (wt%)
Mg-kapok carbon fiber composite -700°C	0.62
Zn-kapok carbon fiber composite -400°C	0.00
Zn-kapok carbon fiber composite -500°C	0.00
Zn-kapok carbon fiber composite -600°C	0.00
Zn-kapok carbon fiber composite -700°C	0.00
Al-cotton carbon fiber composite -400°C	0.59
Al- cotton carbon fiber composite - 500°C	0.60
Al- cotton carbon fiber composite -600°C	0.61
Al- cotton carbon fiber composite - 700°C	0.63
Cu- cotton carbon fiber composite-400°C	0.48
Cu- cotton carbon fiber composite-500°C	0.49
Cu- cotton carbon fiber composite-600°C	0.48
Cu- cotton carbon fiber composite-700°C	0.75
Mg- cotton carbon fiber composite -400°C	0.45
Mg- cotton carbon fiber composite -500°C	0.45
Mg- cotton carbon fiber composite -600°C	0.52
Mg- cotton carbon fiber composite -700°C	0.52
Zn- cotton carbon fiber composite -400°C	0.00
Zn- cotton carbon fiber composite -500°C	0.00
Zn- cotton carbon fiber composite -600°C	0.00
Zn- cotton carbon fiber composite -700°C	0.00