

บทที่ 4

ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

4.1. การสกัดสารให้สีธรรมชาติจากพืช

4.1.1. ปริมาณสารให้สีธรรมชาติและค่าสี

จากการศึกษาการสกัดสารให้สีจากตัวอย่างพืช 7 ชนิด ได้แก่ ข้าวเหนียวดำ มะเกลือ แกแล ประดู่ สมอ พิกาก ฝาง และขมิ้นชัน ดังตารางที่ 4.1 พบว่าการสกัดด้วย methanol ให้ปริมาณของสารให้สีธรรมชาติ สูงที่สุด ได้แก่ ขมิ้นชัน (21.4 %w/w) สมอพิเภก (20.9 %w/w) ฝาง (14.5 %w/w) แกแล (6.5 %w/w) ข้าวเหนียวดำ (6.0 %w/w) และประดู่ (1.9 %w/w) ตามลำดับ อาจเป็นเพราะ methanol ซึ่งเป็นตัวทำละลายที่มีขั้วสูงและสามารถทำลาย cell membranes ของพืชได้ จึงทำให้ประสิทธิภาพในการสกัดสารให้สีดีที่สุด โดยเฉพาะสารที่มีความเข้มข้นสูงและสารกลุ่ม polyphenols (Shahidi และ Naczsk, 2003) ยกเว้นมะเกลือที่สกัดด้วย acetone ให้ปริมาณสารให้สีสูงที่สุด เท่ากับ 1.6 %w/w อาจเนื่องจาก acetone เป็นตัวทำละลายที่มีขั้วปานกลาง ซึ่งเหมาะสำหรับการสกัดสารให้สีที่มีขั้วปานกลาง จากที่กล่าวมาแล้วนั้นสรุปได้ว่าประสิทธิภาพของการสกัดนั้นจะขึ้นอยู่กับความเข้มข้นขั้วของตัวทำละลายและองค์ประกอบของสารให้สีในพืช

การวัดค่าสี L^* และ h° ของสารสกัดของพืชทั้ง 7 ชนิด (ตารางที่ 4.1) พบว่า สารสกัดจากข้าวเหนียวดำ ให้สีแดงถึงเหลือง มะเกลือและแกแลให้สีเหลืองถึงเขียว ส่วนสมอพิเภกและขมิ้นชันให้สีเขียว สำหรับ ประดู่และฝางให้สีเหลือง ในขณะที่ข้าวเหนียวดำ ประดู่ และฝางที่สกัดด้วย acetone ให้สีเข้มที่สุด ส่วน มะเกลือ แกแล สมอพิเภก และขมิ้นชันที่สกัดด้วย methanol ให้สีเข้มสุดเช่นกัน จากผลการศึกษาสามารถอธิบายได้ว่าการสกัดสารให้สีจากพืชทั้ง 7 ชนิด ด้วยตัวทำละลายที่ต่างกันให้สีที่ต่างกัน อาจเนื่องจากชนิดของสารให้สี และความสามารถในการละลายของสารให้สีในพืชแต่ละชนิดต่างกัน

จากค่าการดูดกลืนคลื่นแสงของสารสกัดจากพืชทั้ง 7 ชนิด (ตารางที่ 4.1) พบว่า สารสกัดจากข้าวเหนียวดำสามารถดูดกลืนคลื่นแสงได้ที่ช่วงคลื่นสีน้ำเงินและสีเขียว โดยที่สารสกัดจากมะเกลือสามารถดูดกลืนคลื่นแสงได้ที่ช่วงคลื่นสีม่วง น้ำเงิน และเขียว สารสกัดจากแกแลสามารถดูดกลืนคลื่นแสงได้ที่ช่วงคลื่นสีม่วงเท่านั้น ประดู่สามารถดูดกลืนคลื่นแสงได้ที่ช่วงคลื่นสีม่วง น้ำเงิน เขียว และเหลือง ส่วนสารสกัดจากสมอพิเภกสามารถดูดกลืนคลื่นแสงได้ที่ช่วงคลื่นสีม่วง น้ำเงิน เขียว ส้ม และแดง นอกจากนั้นฝางและ

ขมิ้นชันสามารถดูดกลืนคลื่นแสงได้ที่ช่วงคลื่นสีม่วง และน้ำเงิน ซึ่งมีงานวิจัยได้รายงานว่าสาร anthocyanins สามารถดูดกลืนคลื่นแสงได้ที่ช่วงคลื่นสีเขียวและเหลือง (Karageorgou และ Manetas, 2006) สาร chlorophyll a และ b สามารถดูดกลืนคลื่นแสงได้ที่ช่วงคลื่นสีแดงและน้ำเงิน (Lee และ Schwartz, 2006) สาร carotenoids สามารถดูดกลืนคลื่นแสงได้ที่ช่วงคลื่นสีม่วงและน้ำเงิน (Glimn-Lacy และ Kaufman, 2006) อาจเป็นไปได้ว่าในสารสกัดจากพืชทั้ง 7 ชนิด มีองค์ประกอบของสารเหล่านี้อยู่ด้วย

ตารางที่ 4.1 ปริมาณสารให้สีธรรมชาติ (% yield) ค่าสี (L^* , h°) ค่าการดูดกลืนคลื่นแสงสูงสุด ($\lambda_{\max}$) ที่ได้โดยการ scan ด้วย HPLC-DAD ของพืช 7 ชนิดที่สกัดด้วยตัวทำละลายต่างกัน

Plants	Solvents	Yields (%w/w)	Color		$\lambda_{\max}$ (nm)
			L^*	h°	
ข้าวเหนียวดำ (Black rice)	Acetone	7.8 ^b	69.2 ^a	107.1 ^a	420, 460, 520, 610
	Ethanol	10.5 ^a	61.9 ^c	32.5 ^m	420, 450, 520, 630
	Methanol	6.0 ^c	40.4 ^{kl}	29.2 ⁿ	420, 450, 520, 630
มะเกลือ (Ebony)	Acetone	1.6 ^a	19.0 ⁿ	46.8 ^l	700
	Ethanol	0.5 ^c	51.8 ^f	82.1 ^f	650
	Methanol	0.7 ^b	43.4 ^{ij}	73.8 ^g	700
แกแล (Kae lae)	Acetone	2.5 ^b	45.2 ^{hi}	74.2 ^g	700
	Ethanol	1.7 ^c	36.5 ^m	64.6 ^{ij}	700
	Methanol	6.5 ^a	38.5 ^{lm}	67.6 ^h	700
ประดู่ (Pradu)	Acetone	1.8 ^b	39.2 ^{lm}	60.7 ^k	700
	Ethanol	1.0 ^c	49.7 ^{fg}	66.0 ^{hi}	630
	Methanol	1.9 ^a	45.4 ^{hi}	66.0 ^{hi}	650
สมอพิเภก (Samor pipek)	Acetone	9.7 ^c	65.7 ^b	94.9 ^c	520, 550, 600, 690, 630
	Ethanol	11.3 ^b	63.5 ^{bc}	97.8 ^b	530, 620, 700
	Methanol	20.9 ^a	57.0 ^{de}	85.0 ^{de}	630, 700
ฝาง (Sappan wood)	Acetone	5.6 ^c	40.0 ^{kl}	62.8 ^{jk}	700
	Ethanol	7.1 ^b	47.2 ^{gh}	68.2 ^h	620, 700
	Methanol	14.5 ^a	42.3 ^{jk}	62.2 ^{jk}	700
ขมิ้นชัน (Turmeric)	Acetone	16.6 ^c	59.1 ^d	87.7 ^d	550, 610
	Ethanol	18.2 ^b	57.8 ^{de}	84.8 ^{ef}	550, 610
	Methanol	21.4 ^a	56.0 ^e	82.1 ^f	550, 610

^{a,b,c,...} Different superscripts in the same column indicated that means were significantly different ($p \leq 0.01$)

4.1.2. การแยกส่วนของสารให้สีธรรมชาติโดยวิธีคอลัมน์โครมาโตกราฟี

นำสารให้สีที่สกัดได้จากพืชทั้ง 7 ชนิด มาแยกส่วนด้วยคอลัมน์โครมาโตกราฟี เพื่อทำการวิเคราะห์หาสารให้สีจากการวิเคราะห์ด้วย UV-visible spectrophotometer โดยทำการ scan ที่ช่วงคลื่น 190-800 nm และจากผลพบว่าใน fractions ต่างกันของแต่ละพืชมีค่าการดูดกลืนคลื่นแสงได้ที่ช่วงคลื่นของ UV spectra (200-363 nm) และในบาง fractions สามารถดูดกลืนคลื่นแสงได้ที่ visible spectra (385-665 nm) ด้วยเช่นกัน ดังตารางที่ 4.2 ซึ่งการดูดกลืนคลื่นแสงในช่วง UV spectra ได้มีรายงานว่าสารในกลุ่มเดียวกัน เช่น flavonol aglycones, anthocyanidin, phenolic acid, และสาร derivatives สามารถดูดกลืนคลื่นแสงในช่วงเดียวกัน (Maisuthisakul, 2005)

ตารางที่ 4.2 ค่าการดูดกลืนคลื่นแสงในแต่ละ fractions ของพืชทั้ง 7 ชนิด

Plants	Total Fractions	No. of Fractions	$\lambda_{\max}$		
			Acetone	Methanol	Ethanol
Black rice (<i>Oryza sativa</i> L.)	10	1	203	203	201, 228
		2	202	206	208, 229, 281
		3	208, 227, 279	206	207
		4	205	205	205
		5	204	205	204
		6	202	203	201
		7	203	201	203
		8	200	206	200
		9	208	201	200
		10	207	200	201
Ebony Tree (<i>Diospyros mollis</i> Griff.)	10	1	226	219	226
		2	227	225	225
		3	226	227	229
		4	224	227	228
		5	227	226	221
		6	226	226	226
		7	225	225	225
		8	224	224	224
		9	222	218	222
		10	225	218	223

ตารางที่ 4.2 ค่าการดูดกลืนคลื่นแสงในแต่ละ fractions ของพืชทั้ง 7 ชนิด (ต่อ)

Plants	Total Fractions	No. of Fractions	$\lambda_{\max}$		
			Acetone	Methanol	Ethanol
Kae-Lae	9	1	203, 331	201, 282	200, 283
(<i>Maclura</i>		2	206, 283, 331	209, 282	202, 283, 329
<i>cochinchinensis</i>		3	207, 282, 330	209, 282	201, 283, 330
(Lour.)		4	207, 282, 329	208, 280, 329, 389	203, 282, 327
		5	202, 283, 328	202, 284, 326, 391	202, 327, 390
		6	200, 328	202, 287, 326, 389	203, 265, 327, 392
		7	202, 389	200, 288, 326, 385	201, 391
		8	204, 254, 330, 387	203, 287, 326	202
		9	201, 254, 329	202, 286, 327	200
Pradu	10	1	200	201, 282	201
(<i>Pterocarpus</i>		2	202, 282	202, 282	202, 282
<i>macrocarpus</i> Kurz)		3	203, 282	202, 282	205, 283, 335
		4	202, 283	207, 284, 328	201, 283
		5	209, 283	202, 284, 329	203, 285
		6	206, 284	207, 284, 329	204, 285
		7	206, 286	208, 285, 328	207, 285
		8	205, 285	204, 285, 326	205, 285
		9	203, 283	201, 284	202, 282
		10	208, 285	200, 285	204, 285

ตารางที่ 4.2 ค่าการดูดกลืนคลื่นแสงในแต่ละ fractions ของพืชทั้ง 7 ชนิด (ต่อ)

Plants	Total Fractions	No. of Fractions	$\lambda_{\max}$		
			Acetone	Methanol	Ethanol
Samor-pipek (<i>Terminalia Belerica</i> Roxb.)	12	1	203	206, 282	279
		2	219, 277	220, 280	219, 278
		3	219, 278	220, 279	218, 278
		4	217, 278	222, 277	218, 278
		5	220, 277	218, 277	218, 278
		6	217, 275	218, 278	217, 277
		7	217, 277	220, 277	216, 277
		8	218, 278	218, 278, 355	219, 278
		9	219, 277	254, 277, 356	220, 277
		10	219, 277	254, 277, 357	219, 278
		11	219, 277	254, 278, 357	220, 277
		12	220, 277	254, 278, 356	221, 277
Sappan Wood (<i>Caesalpinia</i> <i>sappan</i> L.)	16	1	204	204	204
		2	203	204	206, 282
		3	205	203	211, 283
		4	205, 284	210, 284	204, 284
		5	211, 284	210, 285	208, 285
		6	207, 285	208, 285	208, 285
		7	210, 254, 285	214, 286	215, 285
		8	208, 254, 285	211, 252, 286	206, 284
		9	209, 254, 284	209, 252, 286	214, 284
		10	206, 253, 285	211, 252, 286	210, 284
		11	212, 252, 284	210, 253, 285	207, 284
		12	205, 283	207, 285	207, 284
		13	205	203	206
		14	202	200	203
		15	204	201	203
		16	205	204	203

ตารางที่ 4.2 ค่าการดูดกลืนคลื่นแสงในแต่ละ fractions ของพืชทั้ง 7 ชนิด (ต่อ)

Plants	Total Fractions	No. of Fractions	$\lambda_{\max}$		
			Acetone	Methanol	Ethanol
Turmeric (<i>Curcuma longa</i> L.)	20	1	202	202	203
		2	201	203	204
		3	200, 417	200, 421	203, 416
		4	201, 422	202, 418	205, 421
		5	201, 358	201, 236, 421	201, 236, 422
		6	200, 233	202, 240, 422	202, 233, 421
		7	200, 238, 422	203, 238, 422	201, 236, 422
		8	202, 237, 421	202, 238, 422	203, 238, 422
		9	202, 237, 421	201, 238, 423	203, 239, 422
		10	202, 238, 420	200, 238, 423	202, 237, 357
		11	203, 238, 352	202, 239, 423	202, 237
		12	205, 241, 340	201, 238, 419	203, 238
		13	202, 235, 346	203, 236, 353	203, 238
		14	202, 236, 346	203, 235, 356	202, 237
		15	200, 235, 350	203, 235	203, 238
		16	200, 235, 248	203, 234	203, 237
		17	202, 234, 347	203, 234	201, 237
		18	200, 233, 347	203, 233	203, 238
		19	201, 233, 348	202, 233	202, 237
		20	201, 233, 352	202, 233	201, 236

4.1.3. การวิเคราะห์องค์ประกอบสารให้สีธรรมชาติด้วยเครื่อง High Performance Liquid Chromatography (HPLC)

ตารางที่ 4.3 แสดงผลการวิเคราะห์องค์ประกอบสารให้สีธรรมชาติด้วยเครื่อง HPLC โดยเทียบ retention time กับ standard mixture pigments โดย identify สารสกัดจากข้าวเหนียวดำพบ antheraxanthin สารสกัดจากสมอพิเภกพบ peridinin, 19-but-fucoxanthin, fucoxanthin, diadinoxanthin, dinoxanthin, antheraxanthin, alloxanthin, zeaxanthin, pheophytine, alpha carotene และ beta carotene เป็นองค์ประกอบหลัก ส่วนสารสกัดจากฝางพบ prasinoxanthin, lutein และ DV chlorophyll a เป็นองค์ประกอบหลัก และเคยมีรายงานว่าพบสารกลุ่ม flavonoids เช่น 7-hydroxy-3-(4'-hydroxy benzylidene)-chroman-4-one, 8-methoxybouducellin, quercetin, rhamnetin และ ombuin และ สารกลุ่ม sterols ได้แก่ β -sitosterol, campesterol, stigmasterol, brazilin, brazilein, protosappanin และ taraxerol (Oh และคณะ, 1998) นอกจากนั้นสารสกัดจากขมิ้นชันพบ peri isomer และ beta carotene ซึ่งเคยมีรายงานว่าพบสาร phenolic คือ curcuminoids ซึ่งให้สีเหลือง และยังพบสาร curcumin (diferuloylmethane), demethoxycurcumin (*p*-hydroxy-cinnamoylferuloyl methane) และ bisdemethoxycurcumin (bi-*p*-hydroxy-cinnamoylmethane) (Stankovic, 2004) ส่วนมะเกลือ แกแล และประดู่ไม่สามารถ identify ได้ เนื่องจากไม่สามารถเทียบตรงกับ pigment standard ได้ แต่มีรายงานว่าข้าวเหนียวดำให้สีม่วงเข้ม และพบสาร anthocyanin ได้แก่ cyaniding 3-glucoside and peonidin 3-glucoside (Hu และคณะ, 2003) ส่วนแกแล มีรายงานว่าพบสาร campesterol steroid, resveratrol stilbene, stilbene, 2-3'-4-5'-tetrahydroxy stilbene, stigmasterol steroid, phenols sterol, triterpene, morin, prenylated benzophenones and prenylated xanthenes เป็นองค์ประกอบ

ตารางที่ 4.3 องค์ประกอบหลักของสารให้สีจากพืช 7 ชนิดที่สกัดด้วยตัวทำละลายทั้ง 3 ชนิด

Plants	Solvent	Main components
Black rice	Acetone	Not identify
	Ethanol	antheraxanthin
	Methanol	antheraxanthin
Ebony	Acetone	Not identify
	Ethanol	Not identify
	Methanol	Not identify
Kae lae	Acetone	Not identify
	Ethanol	Not identify
	Methanol	Not identify
Pradu	Acetone	Not identify
	Ethanol	Not identify
	Methanol	Not identify
Samor pipek	Acetone	peridin, fucoxanthin, dinoxanthin, antheraxanthin, alloxanthin
		peridin, fucoxanthin, dinoxanthin, antheraxanthin, alloxanthin, zeaxanthin, alpha carotene, and beta carotene
	Ethanol	peridin, fucoxanthin, dinoxanthin, antheraxanthin, alloxanthin, zeaxanthin, alpha carotene, and beta carotene
	Methanol	peridin, fucoxanthin, dinoxanthin, antheraxanthin, alloxanthin, zeaxanthin, pheophytin, alpha carotene, and beta carotene
Sappan wood	Acetone	prasinoxanthin, lutein, and DV chlorophyll a
	Ethanol	prasinoxanthin, lutein, and DV chlorophyll a
	Methanol	prasinoxanthin, lutein, and DV chlorophyll a
Turmeric	Acetone	peri isomer and beta carotene
	Ethanol	peri isomer and beta carotene
	Methanol	peri isomer and beta carotene

4.2. ศึกษาประสิทธิภาพของสารให้สีธรรมชาติต่อการติดสีผม

4.2.1. ศึกษาประสิทธิภาพของสารให้สีธรรมชาติต่อการติดสีผมเบื้องต้น

จากผลการศึกษาการสกัดสารให้สีธรรมชาติจากพืช 7 ชนิดพบว่า ข้าวเหนียวดำ แกล่ ประดู่ สมอพิเภก ฝาง และขมิ้นชัน การสกัดด้วย methanol ยกเว้นมะเกลือที่สกัดด้วย acetone เป็นตัวทำละลายที่ดีที่สุดในการสกัดสารให้สีจากธรรมชาติ ดังนั้นจึงนำมาศึกษาประสิทธิภาพของสารให้สีธรรมชาติต่อการติดสีผม เมื่อนำสารให้สีธรรมชาติจากพืช 7 ชนิด มาทดสอบประสิทธิภาพในการย้อมผมพบว่า แกล่ สมอพิเภก ฝาง และขมิ้นชัน ให้ค่าความเข้มสีใกล้เคียงกับผมดำธรรมชาติ ส่วนข้าวเหนียวดำ มะเกลือ และประดู่ ให้ค่าความสว่างใกล้เคียงกับผมที่ผ่านการฟอกสีผม ดังตารางที่ 4.4 จากผลแสดงว่า แกล่ สมอพิเภก ฝาง และขมิ้นชันมีประสิทธิภาพในการย้อมผมที่ดี จึงนำไปศึกษา oxidizing agents และ mordant agents ในการย้อมสีผมต่อไป

ตารางที่ 4.4 ค่าสีของผมดำธรรมชาติ ผมที่ผ่านการฟอกสีผม และผมที่ย้อมด้วยสีธรรมชาติจากพืช 7 ชนิด

Hair dyeing	Color		
	L*	a*	b*
Virgin hair	35.4	0.8	4.1
Bleached hair	54.2	12.4	27.9
Black rice (Methanol)	46.8	12.5	20.4
Ebony (Acetone)	44.5	12.9	21.3
Kae-lae (Methanol)	38.5	3.1	9.9
Pradu (Methanol)	43.9	11.8	22.8
Samor-pipek (Methanol)	32.7	8.3	15.8
Sappan wood (Methanol)	30.7	2.8	2.6
Turmeric (Methanol)	40.3	11.2	20.3

4.2.2. ศึกษาผลของ oxidizing agent ต่อการย้อมสีผมโดยใช้สารให้สีธรรมชาติจากพืช

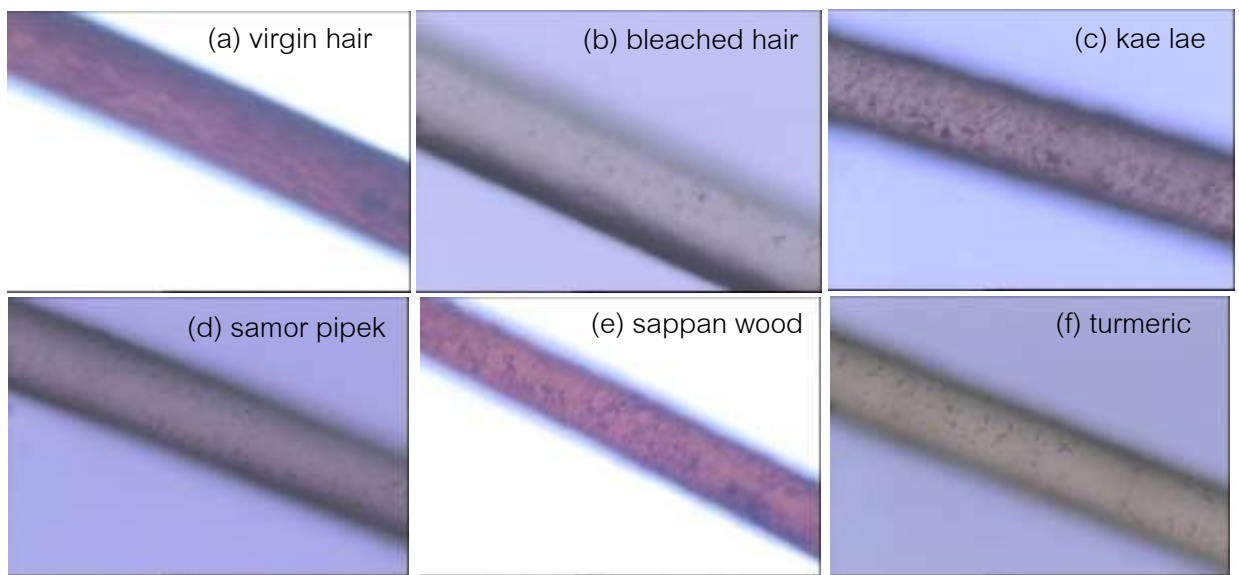
จากตารางที่ 4.5 พบว่าค่าสี (L^* และ h°) ของผมที่ย้อมสีจากพืชมีสีแดงถึงส้ม ส่วนผมที่ย้อมด้วยสมอพิเภกที่ผสมด้วย ascorbic acid (natural oxidizing agent) และ ferrous sulphate มีค่าความเข้มสีสูงสุด ซึ่งมากกว่าการใช้ hydrogen peroxide (synthetic oxidizing agent) และ lime juice เนื่องจาก ascorbic acid เป็น oxidizing agent ที่แรงกว่า lime juice จึงทำให้โมเลกุลของสารให้สีซึมผ่านเข้าไปในเส้นผมได้ดี นอกจากนั้น ferrous sulphate ยังช่วยให้สีที่ได้มีความเข้มขึ้นด้วย (Lee และ Schwartz, 2006) ส่วนค่า color strength (K/S value) ของผมที่ย้อมสีจากพืชที่ผสมด้วย ascorbic acid มีค่า K/S สูงกว่า lime juice แต่ไม่ต่างกับ hydrogen peroxide ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกัน อาจเนื่องมาจาก ascorbic acid ทำให้เกล็ดผมเปิดขณะเดียวกันโมเลกุลของสารให้สีได้ซึมผ่านเข้าไปในเส้นผม หลังจากนั้นเมื่อเกล็ดผมถูกปิดลง จึงทำให้โมเลกุลของสารให้สีติดอยู่ที่ชั้น cortex ของเส้นผมได้นานขึ้น และผมที่ย้อมด้วยสารสกัดจากแก่นร่วมกับ ascorbic acid และ ferrous sulphate ให้ค่า K/S สูงที่สุด

รูปที่ 4.1 แสดงพื้นผิวของเส้นผมที่ศึกษาด้วย microscope chromameter พบว่า ผมที่ย้อมสีจากพืชมีลักษณะของการถูกเคลือบด้วยโมเลกุลของสารให้สีบนพื้นผิวของเส้นผม นอกจากนั้นโมเลกุลของสารให้สียังแพร่ผ่านเข้าไปในชั้น cuticle ด้านในของเส้นผมด้วย จากผลการศึกษา oxidizing agent ชนิดต่าง ๆ กันต่อการย้อมสีผมด้วยสารให้สีธรรมชาติจากพืช พบว่า ascorbic acid (natural oxidizing agent) ให้คุณสมบัติที่ดีที่สุดในการย้อมสีผม

ตารางที่ 4.5 ค่าสี (L^* และ h°) และ color strength (K/S value) ของผมที่ย้อมด้วยสารให้สีจากพืช ร่วมกับ oxidizing agent ต่างๆ

Conditons	Oxidizing agent	Mordant agent	color		K/S value
			L^*	h°	
Virgin hair			28.67 ^e	307.13 ^{bc}	
Bleached hair			67.04 ^{abc}	54.05 ^{def}	
Kae Lae	hydrogen peroxide	ferrous sulphate	64.60 ^{abc}	311.79 ^b	14.58 ^d
	lime juice	ferrous sulphate	52.69 ^{bcd}	66.56 ^{de}	5.20 ^h
	ascorbic acid	ferrous sulphate	48.16 ^{cd}	61.29 ^{def}	18.48 ^b
Samor pipek	hydrogen peroxide	ferrous sulphate	56.10 ^{bc}	52.33 ^{cd}	9.40 ^{fg}
	lime juice	ferrous sulphate	69.02 ^{ab}	9.87 ^g	5.27 ^h
	ascorbic acid	ferrous sulphate	36.38 ^{de}	65.65 ^{de}	9.09 ^{fg}
Sappan wood	hydrogen peroxide	ferrous sulphate	62.92 ^{abc}	26.22 ^{fg}	19.63 ^a
	lime juice	ferrous sulphate	71.71 ^{ab}	30.47 ^{efg}	14.81 ^c
	ascorbic acid	ferrous sulphate	64.90 ^{abc}	321.06 ^{ab}	18.01 ^{bc}
Turmeric	hydrogen peroxide	ferrous sulphate	77.25 ^a	324.45 ^{ab}	10.98 ^e
	lime juice	ferrous sulphate	73.24 ^{ab}	306.14 ^{bc}	10.31 ^{ef}
	ascorbic acid	ferrous sulphate	53.52 ^{bcd}	356.62 ^a	13.17 ^d

a,b,c,... Different superscripts in the same column indicated that means were significantly different ($p \leq 0.01$)



รูปที่ 4.1 ลักษณะพื้นผิวของเส้นผมที่ศึกษาด้วย microscope chromameter

4.2.3. ศึกษาผลของ mordant agents ต่อการย้อมสีผมโดยใช้สารให้สีธรรมชาติจากพืช

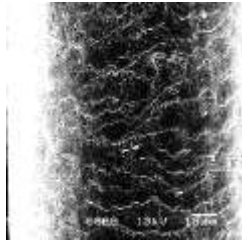
ตารางที่ 4.6 ค่าสี (L^* and h°) ของผมที่ย้อมสีโดยใช้สารให้สีธรรมชาติจากพืช พบว่ามีสีแดงถึงส้ม และผมที่ย้อมด้วยสารสกัดจากสมอพิเภกที่ผสมด้วย ascorbic acid และ ferrous sulphate ให้ค่าความเข้มสีสูงสุด อาจเป็นเพราะว่า การย้อมสีโดยใช้ mordant agent ที่เป็น metal ions โดยจะเกิดการฟอร์มพันธะไอออนของโมเลกุลของสารให้สี (Lee และ Schwartz, 2006) นอกจากนั้นการเกิดสีที่ต่างกันของการเติม mordant agent ต่างกันนั้นเนื่องมาจากคุณสมบัติของ ferrous sulphate สามารถทำให้สีมีความเข้มมากขึ้น ในขณะที่ alum, EDTA และสารสกัดจากชาให้สีที่อ่อนกว่า ferrous sulphate ส่วนค่า color strength (K/S value) ของผมที่ย้อมสีจากพืชร่วมกับ ferrous sulphate มีค่า K/S สูงแสดงให้เห็นว่า ferrous sulphate ทำให้การย้อมสีผมมีประสิทธิภาพดีมากกว่า ซึ่ง mordant agent ช่วยให้สารให้สีจากพืชถูกตรึงไว้ในเส้นผมโดยการเปลี่ยนรูปเป็นสารที่ไม่ละลายในน้ำ และผมที่ย้อมด้วยสารสกัดจากแกลบร่วมกับ ascorbic acid และ ferrous sulphate ให้ค่า K/S สูงที่สุด

รูปที่ 4.2 แสดงพื้นผิวของเส้นผมที่ศึกษาด้วย scanning electron microscope พบว่า พื้นผิวของผมที่ย้อมสีจากพืชมีลักษณะแตกต่างกันไป โดยที่ผมดำธรรมชาติมีพื้นผิวเรียบ ในขณะที่ผมที่ผ่านการฟอกสีผมมีลักษณะของการถูกทำลายด้วย hydrogen peroxide ซึ่ง hydrogen peroxide ได้แทรกซึมผ่านเกล็ดผมเข้าไปเพื่อทำลาย melanin ในเส้นผมและทำลายเส้นผม ส่วนพื้นผิวของผมที่ย้อมสีด้วยสารให้สีธรรมชาติจากพืชร่วมกับ ferrous sulphate มีลักษณะถูกเคลือบด้วยโมเลกุลของสารให้สีบนเส้นผม และเนื่องจาก ascorbic acid ได้ทำการเปิดเกล็ดผมจึงทำให้โมเลกุลของสารให้สีแทรกซึมเข้าไปในชั้น cuticle และ cortex ด้วยเช่นกัน (Lee และ Schwartz, 2006)

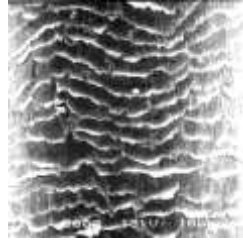
ตารางที่ 4.6 ค่าสี (L^* และ h°) และ color strength (K/S value) ของผมที่ย้อมด้วยสวให้สีจากพืช ร่วมกับ mordant agent ต่างๆ

Conditons	Oxidizing agent	Mordant agent	color		K/S value
			L^*	h°	
Virgin hair			28.33 ^k	304.50 ^a	
Bleached hair			69.07 ^a	57.14 ^f	
Kae Lae	ascorbic acid	ferrous sulphate	46.77 ⁱ	60.78 ^e	18.48 ^a
	ascorbic acid	alum	58.84 ^{ef}	68.92 ^{bc}	14.73 ^{ef}
	ascorbic acid	EDTA	65.88 ^c	1.82 ^k	12.69 ^{ijk}
	ascorbic acid	Tea extract	68.81 ^b	20.01 ⁱ	10.92 ^{lm}
Samor pipek	ascorbic acid	ferrous sulphate	36.05 ^j	68.68 ^{bc}	14.00 ^{gh}
	ascorbic acid	alum	56.07 ^g	63.94 ^d	11.92 ^{kl}
	ascorbic acid	EDTA	52.42 ^h	63.98 ^d	12.42 ^{jk}
	ascorbic acid	Tea extract	57.09 ^{fg}	69.77 ^b	13.02 ^{hij}
Sappan wood	ascorbic acid	ferrous sulphate	67.06 ^b	68.68 ^{bc}	18.10 ^b
	ascorbic acid	alum	55.77 ^g	8.06 ^j	14.39 ^{efg}
	ascorbic acid	EDTA	64.54 ^d	23.09 ^g	15.08 ^{cd}
	ascorbic acid	Tea extract	46.03 ⁱ	60.84 ^e	16.23 ^c
Turmeric	ascorbic acid	ferrous sulphate	58.66 ^{ef}	324.92 ^a	14.98 ^{def}
	ascorbic acid	alum	52.36 ^h	67.09 ^c	14.81 ^{ef}
	ascorbic acid	EDTA	59.68 ^e	55.92 ^f	13.51 ^{ghi}
	ascorbic acid	Tea extract	57.00 ^{fg}	55.77 ^f	15.17 ^{cd}

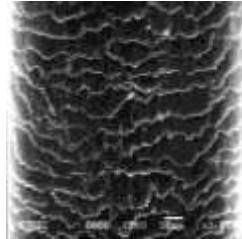
^{a,b,c,...} Different superscripts in the same column indicated that means were significantly different ($p \leq 0.01$)



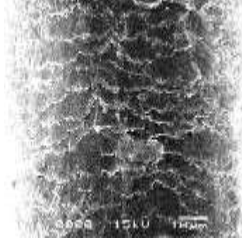
(a) kae-lae (methanol) + ascorbic acid + Fe_2SO_4



(b) Samor pipek (methanol) + ascorbic acid + Fe_2SO_4



(c) sappan wood (methanol) + ascorbic acid + Fe_2SO_4



(d) turmeric (methanol) + ascorbic acid + Fe_2SO_4

รูปที่ 4.2 ลักษณะพื้นผิวของเส้นผมที่ศึกษาด้วย scanning electron microscope