

Prince of Songkla University
Pattani Campus

ภาคผนวก

ภาพผนวก ก ผลการดูดซับเสียง

ตารางที่ ก.1 แผ่นดูดซับเสียงความหนา 1 mm ที่ผสมเส้นใยจากลำต้นหมากชนิดละเอียดปริมาณต่าง ๆ และเส้นใยลูกตาลที่ 0 phr

ความถี่ (Hz) phr	สัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง (α) ที่ความถี่ที่ปริมาณเส้นใยจากลำต้นหมากปริมาณต่าง ๆ				
	0	3	6	9	12
125	0.9102	0.9188	0.9190	0.9227	0.9241
250	0.9491	0.9534	0.9570	0.9585	0.9600
500	0.9186	0.9221	0.9316	0.9258	0.9293
1000	0.9515	0.9551	0.9577	0.9716	0.9759
1500	0.9637	0.9695	0.9716	0.9784	0.9819
2000	0.9567	0.9600	0.9612	0.9700	0.9759
3000	0.9578	0.9618	0.9652	0.9692	0.9744
4000	0.9569	0.9600	0.9633	0.9696	0.9743

ตารางที่ ก.2 แผ่นดูดซับเสียงความหนา 3 mm ที่ผสมเส้นใยจากลำต้นหมากชนิดละเอียดปริมาณต่าง ๆ และเส้นใยลูกตาลปริมาณที่ 0 phr

ความถี่ (Hz) phr	สัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง (α) ที่ความถี่ที่ปริมาณเส้นใยจากลำต้นหมากปริมาณต่างๆ				
	0	3	6	9	12
125	0.9162	0.9197	0.9257	0.9280	0.9382
250	0.95458	0.9584	0.9600	0.9686	0.970
500	0.92183	0.9312	0.9373	0.9304	0.9373
1000	0.96954	0.9719	0.9757	0.9825	0.9883
1500	0.97708	0.9878	0.9889	0.9922	0.9955
2000	0.97184	0.9812	0.9827	0.9857	0.9904
3000	0.97666	0.9832	0.9825	0.9880	0.9895
4000	0.97675	0.9826	0.9857	0.9895	0.9914

ตารางที่ ก.3 แผ่นดูดซับเสียงความหนา 1 mm ที่ผสมเส้นใยจากลำต้นหมากชนิดหยาบปริมาณต่าง ๆ และเส้นใยลูกตาลปริมาณที่ 0 phr

ความถี่ (Hz) phr	สัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง (α) ที่ความถี่ที่ปริมาณเส้นใยจากลำต้นหมากปริมาณต่าง ๆ				
	0	3	6	9	12
125	0.9162	0.9134	0.9131	0.9184	0.9274
250	0.9311	0.9411	0.9467	0.9501	0.9596
500	0.9103	0.9161	0.9227	0.9250	0.9272
1000	0.9418	0.9488	0.9517	0.9589	0.9651
1500	0.9581	0.9629	0.9656	0.9702	0.9766
2000	0.9508	0.9556	0.9584	0.9630	0.9666
3000	0.9510	0.9565	0.9601	0.9494	0.9687
4000	0.9456	0.9526	0.9563	0.9622	0.9664

ตารางที่ ก.4 แผ่นดูดซับเสียงความหนา 3 mm ที่ผสมเส้นใยจากลำต้นหมากชนิดหยาบปริมาณต่าง ๆ และเส้นใยลูกตาลปริมาณ 0 phr

ความถี่ (Hz) phr	สัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง (α) ที่ความถี่ที่ปริมาณเส้นใยจากลำต้นหมากปริมาณต่างๆ				
	0	3	6	9	12
125	0.9169	0.9154	0.9205	0.9223	0.9311
250	0.9456	0.9490	0.9529	0.9575	0.9608
500	0.9155	0.9176	0.9263	0.9277	0.9336
1000	0.9564	0.9622	0.9660	0.9698	0.9762
1500	0.9661	0.9704	0.9733	0.9763	0.9815
2000	0.9600	0.9644	0.9676	0.9715	0.9765
3000	0.9611	0.9639	0.9686	0.9716	0.9777
4000	0.9619	0.9649	0.9691	0.9730	0.9770

ตารางที่ ก.5 แผ่นดูดซับเสียงความหนา 1 mm ที่ผสมเส้นใยจากลำต้นหมากชนิดละเอียดปริมาณต่าง ๆ และเส้นใยลูกตาลปริมาณ 10 phr

ความถี่ (Hz)	สัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง (α) กับความถี่และที่ปริมาณเส้นใยจากต้นหมากและเส้นใยลูกตาล 10 phr					
	phr	0	3	6	9	12
125		0.9234	0.9346	0.9410	0.9444	0.9475
250		0.9602	0.9050	0.9628	0.9666	0.9694
500		0.9448	0.9484	0.9530	0.9568	0.9613
1000		0.9272	0.9338	0.9412	0.9465	0.9507
1500		0.9798	0.9849	0.9876	0.9902	0.9933
2000		0.9711	0.9744	0.9776	0.9806	0.9876
3000		0.9786	0.9807	0.9833	0.9854	0.9876
4000		0.9667	0.9725	0.9761	0.9797	0.9820

ตารางที่ ก.6 แผ่นดูดซับเสียงความหนา 3 mm ที่ผสมเส้นใยจากลำต้นหมากชนิดละเอียดปริมาณต่าง ๆ และเส้นใยลูกตาลปริมาณ 10 phr

ความถี่ (Hz)	สัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง (α) กับความถี่และที่ปริมาณเส้นใยจากต้นหมากและเส้นใยลูกตาล 10 phr					
	phr	0	3	6	9	12
125		0.9282	0.9380	0.9437	0.9456	0.9519
250		0.9619	0.9943	0.9672	0.9710	0.9755
500		0.9466	0.9501	0.9556	0.9609	0.9650
1000		0.9345	0.9412	0.9452	0.9479	0.9527
1500		0.9803	0.9883	0.9990	0.9936	0.9956
2000		0.9745	0.9821	0.9850	0.9876	0.9901
3000		0.9799	0.9848	0.9877	0.9906	0.9937
4000		0.9723	0.9801	0.983	0.9862	0.9892

ตารางที่ ก.7 แผ่นดูดซับเสียงความหนา 1 mm ที่ผสมเส้นใยจากลำต้นหมากชนิดหยาบปริมาณต่าง ๆ และเส้นใยลูกตาลปริมาณ 10 phr

ความถี่ (Hz)	สัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง (α) กับความถี่และที่ปริมาณเส้นใยจากต้นหมากและเส้นใยลูกตาล 10 phr				
	0	3	6	9	12
125	0.9234	0.9262	0.9307	0.9354	0.9299
250	0.9563	0.9582	0.9600	0.9629	0.9661
500	0.9448	0.9472	0.9497	0.9514	0.9544
1000	0.9272	0.9296	0.9327	0.9405	0.9357
1500	0.9798	0.9826	0.9846	0.9882	0.9915
2000	0.9711	0.9726	0.9757	0.9790	0.9852
3000	0.9786	0.9797	0.9811	0.9839	0.9886
4000	0.9667	0.9654	0.9725	0.9748	0.9832

ตารางที่ ก.8 แผ่นดูดซับเสียงความหนา 3 mm ที่ผสมเส้นใยจากลำต้นหมากชนิดหยาบปริมาณต่าง ๆ และเส้นใยลูกตาลปริมาณ 10 phr

ความถี่ (Hz)	สัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง (α) กับความถี่และที่ปริมาณเส้นใยจากต้นหมากและเส้นใยลูกตาล 10 phr				
	0	3	6	9	12
125	0.9282	0.9318	0.9361	0.9428	0.9447
250	0.9619	0.9637	0.9657	0.9689	0.9713
500	0.9466	0.9500	0.9657	0.9689	0.9600
1000	0.9345	0.9385	0.9425	0.9462	0.9498
1500	0.9803	0.9852	0.9878	0.9914	0.9931
2000	0.9745	0.9786	0.9806	0.9833	0.9876
3000	0.9799	0.9812	0.9835	0.9868	0.9902
4000	0.9723	0.9735	0.9794	0.9829	0.9884

ตารางที่ ก.9 แผ่นดูดซับเสียงความหนา 1 mm ที่ผสมเส้นใยจากลำต้นหมากชนิดละเอียดปริมาณต่าง ๆ และเส้นใยลูกตาลปริมาณ 20 phr

ความถี่ (Hz) phr	สัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง (α) กับความถี่และที่ปริมาณเส้นใยจากต้นหมากและเส้นใยลูกตาล 20 phr				
	0	3	6	9	12
125	0.9401	0.9499	0.9468	0.9498	0.9540
250	0.9652	0.9653	0.9691	0.9712	0.9724
500	0.9480	0.9508	0.9550	0.9583	0.9637
1000	0.9545	0.9596	0.9642	0.9713	0.9763
1500	0.9854	0.9883	0.9923	0.9942	0.9960
2000	0.9723	0.9745	0.9806	0.9852	0.9872
3000	0.9776	0.9797	0.9847	0.9878	0.9902
4000	0.9730	0.9757	0.9822	0.9850	0.9870

ตารางที่ ก.10 แผ่นดูดซับเสียงความหนา 3 mm ที่ผสมเส้นใยจากลำต้นหมากชนิดละเอียดปริมาณต่าง ๆ และเส้นใยลูกตาลปริมาณ 20 phr

ความถี่ (Hz) phr	สัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง (α) กับความถี่และที่ปริมาณเส้นใยจากต้นหมากและเส้นใยลูกตาล 20 phr				
	0	3	6	9	12
125	0.9475	0.9509	0.9551	0.9579	0.9639
250	0.9685	0.9710	0.9746	0.9766	0.9807
500	0.9519	0.9544	0.9602	0.9648	0.9689
1000	0.9548	0.9588	0.9614	0.9685	0.9737
1500	0.9589	0.9890	0.9931	0.9958	0.9977
2000	0.9733	0.9763	0.9825	0.9869	0.9891
3000	0.9808	0.9829	0.9858	0.9889	0.9916
4000	0.9763	0.9797	0.9846	0.9888	0.9901

ตารางที่ ก.11 แผ่นดูดซับเสียงความหนา 1 mm ที่ผสมเส้นใยจากลำต้นหมากชนิดหยาบ ปริมาณต่าง ๆ และเส้นใยลูกตาลปริมาณ 20 phr

ความถี่ (Hz) phr	สัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง (α) กับความถี่และที่ปริมาณเส้นใยจากต้นหมาก และเส้นใยลูกตาล 20 phr				
	0	3	6	9	12
125	0.9401	0.9428	0.9438	0.9458	0.9487
250	0.9652	0.9646	0.9671	0.9693	0.9721
500	0.9480	0.9483	0.9526	0.9548	0.9574
1000	0.9545	0.9573	0.9587	0.9656	0.9771
1500	0.9854	0.9878	0.9903	0.9925	0.9942
2000	0.9723	0.9735	0.9760	0.9784	0.9811
3000	0.9776	0.9784	0.9797	0.9815	0.9833
4000	0.9730	0.9741	0.9764	0.9784	0.9794

ตารางที่ ก.12 แผ่นดูดซับเสียงความหนา 3 mm ที่ผสมเส้นใยจากลำต้นหมากชนิดหยาบ ปริมาณต่าง ๆ และเส้นใยลูกตาลปริมาณ 20 phr

ความถี่ (Hz) phr	สัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง (α) กับความถี่และที่ปริมาณเส้นใยจากต้นหมาก และเส้นใยลูกตาล 20 phr				
	0	3	6	9	12
125	0.9475	0.9500	0.9473	0.9491	0.9540
250	0.9685	0.9693	0.9718	0.9745	0.9788
500	0.9519	0.9529	0.9559	0.9604	0.9630
1000	0.9548	0.9529	0.9576	0.9611	0.9654
1500	0.9589	0.9871	0.9894	0.9917	0.9933
2000	0.9733	0.9746	0.9770	0.9795	0.9827
3000	0.9808	0.9814	0.9828	0.9852	0.9882
4000	0.9763	0.9774	0.9802	0.9802	0.9837



การดูดซับเสียงของยางธรรมชาติผสมเส้นใยจากลำต้นหมากและเส้นใยลูกตาล

Sound Absorption of Natural Rubber Blend with Fibers from Areca Nut Palm Trunk and Sugar Palm Fruit

นุรีดา กะลุแป¹ สมบัติ พุทธจักร²

¹ สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี Tel: 0960791138
 E-mail address: Nureedakalupae.kp@gmail.com

² รศ.ดร., สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี
 Corresponding author: Tel: 073-312201, E-mail address: sombat.p@psu.ac.th

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์การวิจัย คือ ศึกษาการดูดซับเสียงของแผ่นยางธรรมชาติผสมเส้นใยจากลำต้นหมาก (ที่ผ่านการบด ชนิดละเอียดและหยาบ ปริมาณ 0-12 phr) และเส้นใยลูกตาลที่ปริมาณ 0, 10 และ 20 phr โดยขึ้นรูปขึ้นทดสอบหนา 1 และ 3 mm จากนั้นทดสอบการดูดซับเสียงด้วยชุดทดสอบนิ่ง (Kundt's tube) ซึ่งพบว่ากราฟของค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงกับความถี่ $\alpha(f)$ แสดงความถี่เพื่อการดูดซับเสียงสามตำแหน่งคือ ที่ 250 Hz, 1,500 Hz และ 3,000 Hz โดยเป็นผลมาจากการมีองค์ประกอบของยาง ของเส้นใยจากลำต้นหมากและเส้นใยลูกตาล ตามลำดับ ทั้งนี้ขึ้นทดสอบหนา 3 mm สามารถดูดซับเสียงได้ดีที่สุดเมื่อผสมเส้นใยจากลำต้นหมากชนิดละเอียดและเส้นใยลูกตาลปริมาณ 20 phr และมีค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง $\alpha_{\max}(f) = 0.9916$ และเมื่อผสมเส้นใยลูกตาลชนิดหยาบ $\alpha_{\max}(f) = 0.9882$ ที่ความถี่ 3,000 Hz เช่นกัน

คำสำคัญ: เส้นใยภายในต้นหมาก เส้นใยจากลูกตาล ความถี่ห้อง สัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง

Abstract

This research was aimed to study sound absorption properties of natural rubber sheet derived from natural rubber blend with areca nut palm trunk fibers (at different loading, 0-12 phr by crushed into fine and coarse size) sugar palm fiber at 0, 10 and 20 phr. The samples were prepared in two thicknesses of 1 and 3 mm then tested for their acoustic absorption properties by using a standing wave tube (Kundt's tube) tester. The plot of absorption coefficient $\alpha(f)$ and frequency, shown the resonance frequency of absorption at 250 Hz, 1,500 Hz and 3,000 Hz as a reason from compositions of rubber and the fibers. The results showed that when the thickness was 3 mm, the resonance frequency of natural rubber filled with fibers of fine size and coarse size, gave $\alpha_{\max}(f) = 0.9916$ and 0.9882 respectively at a frequency of 3,000 Hz.

Keywords: Areca Nut Palm Trunk Fiber, Sugar Palm Fiber, Resonance Frequency, Acoustic Absorption Coefficient



1. บทนำ

ปัจจุบันในสังคมเมืองใหญ่มีสภาพแวดล้อมมลพิษทางเสียงที่ไม่พึงปรารถนาเกิดขึ้นมาก เช่นเสียงจากรถยนต์บนเส้นทางจราจรในเขตเมืองใหญ่ จากโรงงานอุตสาหกรรม จากสนามบิน จากตู้ช้อปรถและจากสถานบันเทิง เป็นต้น ทำให้เกิดความรำคาญและเป็นอันตรายต่อสุขภาพอนามัยของผู้ที่อยู่บริเวณใกล้เคียง[1] การลดและควบคุมป้องกันการเกิดมลพิษทางเสียงมีหลายรูปแบบ เช่น ใช้วัสดุดูดซับเสียงโดยพัฒนาวัสดุผสมที่มีหลายกลไกของการดูดซับ เช่น ผสมพลาสติก[2] หรือผสมยาง[3] ที่ผ่านการใช้งานมาแล้ว โดยเลือกใช้วัสดุที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมและมีสมบัติเชิงพีสิคส์ที่ดี[4] ซึ่งจะนำไปประยุกต์ใช้ได้จริง[5] และเป็นวัสดุผสมทางเลือกใหม่[6] หรือใช้วัสดุจากพืชมาผสม[7-8] อย่างไรก็ตาม การดูดซับเสียง เป็นสมบัติเฉพาะทางของวัสดุที่ขึ้นอยู่กับโครงสร้างของวัสดุ เช่น การมีรูพรุน เป็นต้น นอกจากนี้ยังขึ้นกับสัดส่วนองค์ประกอบของวัสดุผสมหลายชนิด ซึ่งเกิดขึ้นเพราะพลังงานเสียงถูกเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อนภายในเนื้อวัสดุหรืออาจจะใช้กลไกอื่นๆ ในการเปลี่ยนพลังงานเสียง เช่น การขยับตัวของโมเลกุลของตัวกลางนั้นๆ การขยับตัวของอนุภาคสารตัวเติม และการขยับตัวของโมเลกุลอากาศในรูพรุนภายในของเส้นใย [9] จึงเป็นที่มาของการวิจัยนี้

2. วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาการดูดซับเสียงของแผ่นยางธรรมชาติผสมเส้นใยจากลำต้นหมากที่ผ่านการบดชนิดละเอียดและหยาบ ปริมาณ 0-12 phr และเส้นใยลูกตาลหีบปริมาณ 0, 10 และ 20 phr และศึกษาอิทธิพลของชั้นตัวอย่างที่หนาต่างกัน สองค่าคือ 1 และ 3 mm

3. วิธีดำเนินการวิจัย

วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในขั้นตอนต่างๆของการวิจัยคือ เส้นใยจากต้นหมากที่อบแห้ง โดยใช้เส้นใยภายในต้นหมากที่แก่และผ่านการตากแดดเป็นเวลา 7 วัน แล้วนำมาอบที่อุณหภูมิ 70 °C เป็นระยะเวลา 48 ชั่วโมง จากนั้นนำไปบดแล้วร่อนด้วยตะแกรงที่ได้ขนาดเฉลี่ยประมาณ 0.25 mm สำหรับชนิดละเอียดและได้ขนาดเฉลี่ยประมาณ 2 mm สำหรับชนิดหยาบ ดังภาพที่ 1 ส่วนเส้นใยลูกตาลโดนสที่สุกแล้ว ได้มาจากการนำลูกตาลสุกแช่น้ำเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ทำความสะอาดแล้วตากแดด 7 วัน แล้วเอาเปลือกนอกแข็งที่แห้งไปจะให้ได้เส้นใยที่ได้ไปอบด้วยตู้อบไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 70 °C เป็นเวลา 48 ชั่วโมง และทำการบดแล้วร่อนด้วยตะแกรงที่ได้เส้นใยตามที่ต้องการ ดังภาพที่ 2 สำหรับวิธีการทดสอบ ให้นำเส้นใยจากลำต้นหมากและเส้นใยลูกตาลไปเชื่อมสีเพื่ออยู่โครงสร้างภายในตัวกล้องจุลทรรศน์ Olympus รุ่น Motic Live Imaging Moduld ที่กำลังขยาย 400 เท่า ส่วนขั้นตอนผสมยางคอมปาวด์ เริ่มจากนำธรรมชาติ (Natural Rubber) ชนิด STR 5L มาบดให้สายโซ่โมเลกุลยาวสั้นลง แล้วผสมกับสารเคมีต่อไปนี้ตามลำดับ ซิงค์ออกไซด์ (Zinc oxide, ZnO) เป็นสารเคมีที่ใช้ในการเริ่มต้นปฏิกิริยาใช้ร่วมกับสารกระตุ้นคือ กรดสเตียริก (Stearic acid) ใช้สารเร่งปฏิกิริยา คือ N-cyclohexy-2-benzothiazyl Sulphenamide (CBS) ส่วนสารแอนติออกซิแดนท์ คือ N-phenyl-N'-1, 3-dimethylbutyl-phenylenediamine (DBPD) อีกทั้ง ใช้เส้นใยภายในต้นหมากและเส้นใยลูกตาลเป็นสารตัวเติม ส่วนสารตัวสุดท้ายที่ทำให้เกิดพันธะโควาเลนต์ระหว่างสายโซ่ยางโดยโมเลกุลกำมะถัน (Sulphur) ทั้งนี้ สูตรผสมที่พัฒนาสำหรับการทดสอบหาค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงมี 15 สูตรแสดงรายละเอียดในตารางที่ 1 โดยแทนด้วยสัญลักษณ์ F1 ถึง F3 นอกจากนี้ อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบประกอบด้วย เครื่องชั่งไฟฟ้าที่มีความละเอียด 0.001 g เครื่องบดและผสมยางแบบสองลูกกลิ้ง (Two Roll Mill) เครื่องหาเวลาสุกของยางแบบ Oscillating Disc Rheometer (ODR) เครื่องขึ้นรูปด้วยแม่พิมพ์แบบอัด (Compression Moulding) ชุดทดสอบการดูดซับเสียงแบบคลื่นนิ่งประกอบด้วยแหล่งกำเนิดเสียงรุ่น LAG-1208 AUDIO GENERATOR มีความถี่ 0-5,000 Hz ผลิตโดย บริษัท LEADER ELECTRONICS CORP Japan ลำโพง หัววัด และ ชุดเก็บข้อมูล (Data Logger) รุ่น EASY SENSE Advanced ผลิตโดยบริษัท DATA HARVEST โดยนำมาประกอบและสร้างชุดทดสอบการดูดซับเสียงแบบคลื่นนิ่งดังแสดงในภาพที่ 3 อีกทั้ง เครื่องทดสอบความหนาแน่นระบบไฟฟ้า (Electronic Densitymeter) รุ่น MD - 300S แสดงในภาพที่ 4A ผลิตโดย



บริษัท Alfa Mirage ซึ่งใช้หลักการอาร์คิมิดีสในการคำนวณหาความหนาแน่น โดยซึ่งมวลในอากาศ ซึ่งมวลในน้ำ แล้วหาปริมาตรโดยการแทนที่น้ำ เครื่องทำงานโดยระบบอิเล็กทรอนิกส์และวัดละเอียดได้ 0.001 g/cm^3 โดยการนำแผ่นยางขึ้นทดสอบมาตัดเป็นสี่เหลี่ยมขนาดประมาณ $4 \times 4 \text{ cm}^2$ แล้วหาความหนาแน่น และศึกษาสมบัติทางกายภาพของโครงสร้างภายในและการเป็นรูพรุนของยางธรรมชาติผสมเส้นใยจากลำต้นหมากและเส้นใยจากตาลด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (Scanning Electron Microscope, SEM) รุ่น Quanta 400 โดยมีกำลังขยายสูงสุดถึง 300,000 เท่า



ภาพที่ 1 A. เส้นใยภายในต้นหมากที่อบแห้งก่อนการบด B. ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์เส้นใยภายในต้นหมากที่อบแห้งก่อนการบด C. พลาสติกบดชนิดละเอียด (0.25 mm) และชนิดหยาบ (2 mm)



ภาพที่ 2 A. เส้นใยจากลูกตาลโตนดที่ถูกหีบแห้งก่อนการบด B. ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์เส้นใยจากลูกตาลโตนดที่ถูก C. เส้นใยจากลูกตาลโตนดที่ถูกหีบแห้ง

ทั้งนี้ยางคอมปาวด์ผสมแล้ว (ตามสูตรตารางที่ 1) มีทั้งหมด 15 สูตรผสม ซึ่งแทนด้วยสัญลักษณ์ F1 - F3 ทักไว้ 24 ชั่วโมง จากนั้นนำไปหาเวลาสุกของยาง (เวลาที่เยื่อขยายในเบ้าพิมพ์) ด้วยเครื่องรีโอมิเตอร์แบบแกว่ง (ODR) แล้วนำยางดังกล่าวไปอัดขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดเป่าที่อุณหภูมิและใช้เวลาดำเนินการตามที่ได้จากเครื่อง ODR ได้แผ่นยางผสมขึ้นรูปแล้วมีรูปร่างสี่เหลี่ยมขนาด $16 \times 16 \text{ cm}^2$ ที่ความหนา 1 mm และ 3 mm หลังจากนั้นทำการทดสอบหาค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง



ภาพที่ 3 ชุดทดสอบสมบัติการดูดซับเสียงที่สร้างขึ้น โดยใช้เครื่องกำเนิดเสียงรุ่น LAG-120B AUDIO GENERATOR ผลิตโดย LEADER ELECTRONICS CORP Japan [10]

การหาค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง

ในการทดสอบนั้น ทำได้โดยการนำชิ้นทดสอบติดตั้งที่ฝาครอบปลายท่อด้านขวา โดยให้ชิ้นทดสอบตั้งฉากกับความยาวท่อ แล้วเปิดเครื่องกำเนิดความถี่เสียง ตั้งค่าความถี่เสียงที่ 125 Hz วัดค่าระดับความดันเสียงต่ำสุดและสูงสุดค่าแรกหลังจากสะท้อนแผ่นยางดังภาพที่ ภาพที่ 4B ทำการทดสอบซ้ำ 3 ครั้ง แล้วนำค่าที่ได้ไปหาค่าเฉลี่ย จากนั้นทำการทดลองที่ความถี่ $250, 500, 1,000, 1,500, 2,000, 3,000$ และ $4,000 \text{ Hz}$ ตามลำดับ



ตาราง 1 สูตรยางผสมที่ใช้ศึกษาการดูดซับเสียง:

การเติม	ปริมาณ (phr)		
	F1	F2	F3
NR (STR 5L)	100	100	100
ZnO	4	4	4
Stearic Acid	2	2	2
CBS	1	1	1
6PPD	1	1	1
Sugar palm Fiber	0	10	20
Betel palm Fiber	0, 3, 6, 9, 12	0, 3, 6, 9, 12	0, 3, 6, 9, 12
Sulphur	2.5	2.5	2.5



A.



B.

ภาพที่ 4 A. เครื่องหาความหนาแน่นระบบไฟฟ้า

B. แสดงลักษณะความถี่สูงสุดและความถี่ต่ำสุด

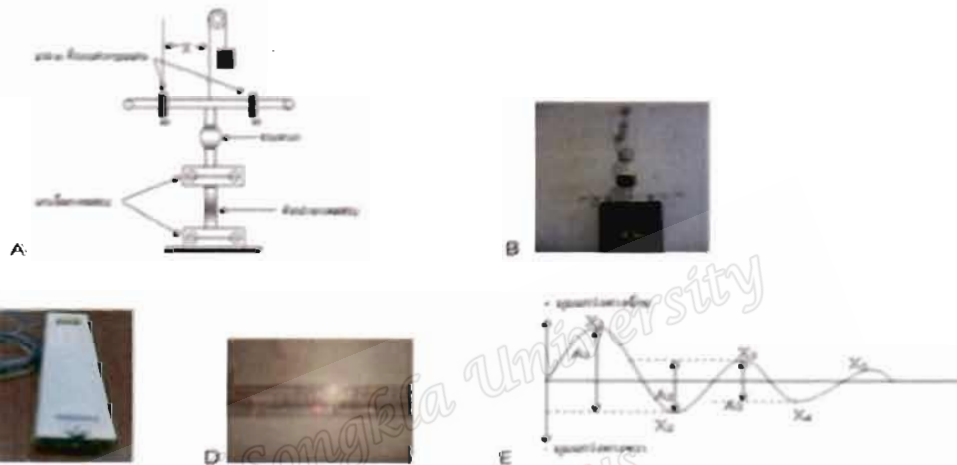
จากนั้นนำข้อมูลที่ได้นำวิเคราะห์หาค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง ได้ตามนิยามอัตราส่วนของความถี่สูงสุดต่อความถี่ต่ำสุดของคลื่นนิ่งที่เกิดขึ้น (Standing wave ratio; SWR) โดย $SWR = \frac{A+B}{A-B}$ ซึ่งสามารถจัดสมการอยู่ในรูปสัมประสิทธิ์การสะท้อนเสียง (Sound power reflection coefficient; R) คือ $R = \frac{B}{A} = \frac{SWR-1}{SWR+1}$ มี

ความสัมพันธ์กับสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง (α) ดังสมการ $\alpha = 1 - R^2 = 1 - \frac{(SWR-1)^2}{(SWR+1)^2}$ นั่นคือเมื่อ R มีค่า

น้อยแล้ว (α) จะมีค่ามากหรือมีการสลายพลังงานที่โครงสร้างภายในเนื้อวัสดุซึ่งสามารถทดสอบยืนยันได้เช่นกันจากชุดทดสอบสมบัติเชิงพลวัตของการบิด ดังภาพที่ 5 ที่ประกอบด้วยที่ยึดแฉกยางทดสอบให้อยู่ในแนวตั้งสามารถบิดไปมาอย่างอิสระได้ดังภาพที่ 5 โดยมีแกนโลหะติดกระจกเงา และแกนโลหะตั้งฉากที่มีมวล m สองอันวางอยู่ห่างแกนกลางระยะ x ที่สามารถปรับค่าความเคี้ยวของระบบได้จากค่า $2mx^2$ ซึ่งการหาค่าแพคเกจของการสูญเสีย (lag δ) จากการบิดของยาง หมายถึงสัดส่วนของพลังงานที่สูญเสียภายในโครงสร้างของวัสดุต่อพลังงานที่ใช้ในการบิดแต่ละรอบของการบิด โดยนำยางที่ขึ้นรูปแล้วมาตัดเป็นชิ้นทดสอบขนาด $3 \times 10 \times 1$ mm³ ติดตั้งเข้ากับชุดทดสอบสมบัติเชิงพลวัตของการบิด ทำการแกว่งมวล m ในระนาบการบิดแนวอนด้วยมุมน้อย ๆ ทำให้แฉกยางบิดไปมาเช่นกัน จากจุดเสเซอร์ที่แสงไปสะท้อนที่กระจกเงาแล้วมาตกบนฉากที่มีสเกล จากนั้นวัดคาบของการบิดและแอมพลิจูดจากจุดสูงสุดถึงจุดต่ำสุดของการแกว่ง การวิเคราะห์ข้อมูลจะเริ่มจากการหาความเคี้ยวของระบบที่แกว่งอย่างอิสระ (μ) โดยหาจากข้อมูลเชิงการทดลองการเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง T^2 และ $2mx^2$ ได้กราฟเส้นตรงแล้วหาค่าความชันและค่าจุดตัดของกราฟแล้วนำไปสู่การหาค่า $I_0 = 9.85 \times 10^{-6}$ kg - m² ของระบบ ทั้งนี้ สำหรับ



ยางที่มีอัตราตึงสูงทำให้การบิดไปมาเกิดขึ้นเร็ว การวัดค่าต่าง ๆ ทำได้ลำบาก จึงต้องเพิ่มความเหนียวแก่ระบบโดยวางมวล m ที่แกนตั้งฉากทั้งสองข้างที่ระยะ x (ภาพที่ E) ความเหนียวคือ $I = I_0 + 2mx^2$ จากนั้นหาค่า Logarithmic decrement (Δ) จาก $\Delta = \ln\left(\frac{A_1}{A_2}\right)$ เมื่อ A_1, A_2 คือ แอมพลิจูดที่ลดลงต่อเนื่องหลังจากที่หยุดเสียภายในโครงสร้างของวัสดุ ค่ามอดูลัสการบิดเชิงซ้อน คือ $G^* = G' + iG''$ โดยพลังงานสะสมในแต่ละรอบ



ภาพที่ 5 ชุดทดสอบสมบัติเชิงพลวัตของการบิด A. ภาพวาด B. ภาพถ่าย C. แหล่งกำเนิดเลขเซอร์ D. เลขเซอร์ที่สะท้อนกลับมานบนฉาก E. ภาพวาดแอมพลิจูดที่ลดลงต่อเนื่องของแต่ละรอบการบิด

การบิดคือเทอมจำนวนจริงหรือมอดูลัสอัตราตึง $G' = \frac{I}{\kappa l^2} (4\pi^2 - \Delta^2)$ และเทอมจำนวนจินตภาพคือมอดูลัสสูญเสีย (loss modulus) จะสัมพันธ์กับพลังงานความร้อนที่เกิดขึ้นในเนื้อยางที่สัมพันธ์กับโครงสร้างภายในของวัสดุ

คือ $G'' = \frac{4\pi f \Delta}{\kappa l^2}$ เมื่อ κ คือ shape factor สำหรับวัสดุที่เชื่อมหาได้โดย $\kappa = \frac{CD^3}{16l} \mu$

และ $\mu = 5.33 \left(1 - 0.63 \frac{D}{C}\right)$ เมื่อ C คือ ความกว้างของชั้นทดสอบ D คือ ความหนาของชั้นทดสอบ และ l

คือ ระยะระหว่างการบิดของชั้นทดสอบ ดังนั้นสมบัติสมบัติเชิงพลวัตที่ไม่ขึ้นกับรูปร่างของชั้นทดสอบ คือสัดส่วนของพลังงานสูญเสียต่อพลังงานสะสมของแต่ละรอบการบิด คือ $\frac{G''}{G'} = \frac{4\pi\Delta}{4\pi^2 - \Delta^2} = \tan \delta$ ซึ่งจะแสดง

สมบัติเฉพาะ (Characteristics properties) ของวัสดุนั้นเชื่อมโยงโครงสร้างภายในซึ่งแสดงสัดส่วนการเกิดปริมาณ

ความร้อนหรือการสูญเสียพลังงานที่เกิดขึ้นขณะแกว่งแต่ละรอบ เมื่อ Δ มีค่าน้อย นั่นคือ $\Delta^2 = 0$ แล้วจะได้ว่า

$\Delta = \pi \tan \delta$ หรือ $\frac{\Delta}{\pi} = \tan \delta$ การหาค่าความหนาแน่นของชั้นทดสอบ คือ ยางธรรมชาติผสมกันโดยจากลำ

ต้นหมาก (ในปริมาณ 0, 3, 6, 9, 12 phr) และเส้นใยลูกตาล (ปริมาณ 0, 10, 20 phr) โดยเตรียมขึ้นตัวอย่างเป็น



แผ่นหนา 1 และ 3 mm ตัดเป็นชิ้นเล็ก ๆ แล้วนำไปหาความหนาแน่นโดยใช้เครื่องวัดความหนาแน่น Electronic Densimeter รุ่น MD-3005 และ Minimum density resolution: 0.001 g/cm³ ซึ่งใช้หลักการอาร์คิมิดีสในการคำนวณหาความหนาแน่น โดยซึ่งมวลในอากาศ ซึ่งมวลในน้ำ หาปริมาตรโดยการแทนที่น้ำ เครื่องทำงานโดยระบบอิเล็กทรอนิกส์ โดยกรรมวิธีทดสอบมาตัดเป็นสี่เหลี่ยมขนาดเล็ก ๆ ทุกการทดลองทำซ้ำ 3 ครั้งแล้วหาค่าเฉลี่ย และทดสอบสมบัติทางกายภาพของโครงสร้างภายในและการเป็นรูพรุนของยางธรรมชาติผสมเส้นใยจากลำต้นหมากและเส้นใยลูกตาลโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (Scanning Electron Microscope, SEM) รุ่น Quanta 400 นำชิ้นตัวอย่างที่เตรียมไว้ไปทดสอบสมบัติทางกายภาพโดยใช้เครื่อง SEM โดยเลือกกำลังขยาย 50 เท่า 100 เท่า และ 500 เท่า ตามลำดับ

4. ผลการวิจัยและอภิปรายผล

ผลการศึกษาค้นประสิทธิภาพการดูดซับเสียง (α)

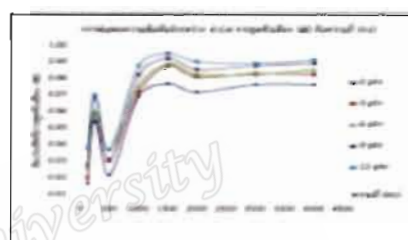
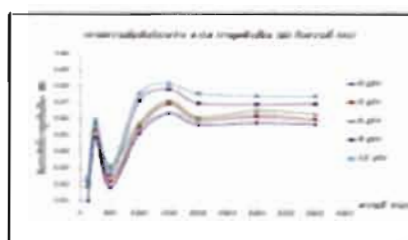
ตารางที่ 2 ค่า α กับความถี่ของแผ่นดูดซับเสียงความหนา 3 mm ผสมเส้นใยลูกตาลปริมาณ 20 phr และเส้นใยจากลำต้นหมากชนิดละเอียดปริมาณ 0-12 phr

ความถี่ (Hz)	สัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง (α) กับความถี่ กรณีเส้นใยลูกตาล 20 phr และเส้นใยจากลำต้นหมาก 0-12 phr				
	0 phr	3 phr	6 phr	9 phr	12 phr
125	0.9475	0.9500	0.9473	0.9491	0.9540
250	0.9685	0.9693	0.9718	0.9745	0.9788
500	0.9519	0.9529	0.9559	0.9604	0.9630
1000	0.9548	0.9529	0.9576	0.9611	0.9654
1500	0.9589	0.9671	0.9894	0.9917	0.9933
2000	0.9733	0.9746	0.9770	0.9795	0.9827
3000	0.9808	0.9814	0.9828	0.9852	0.9882
4000	0.9763	0.9774	0.9802	0.9802	0.9837

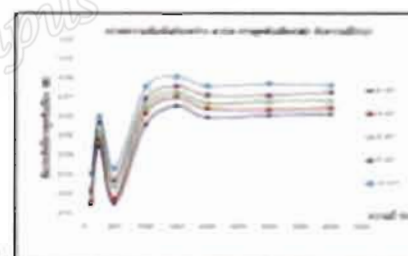
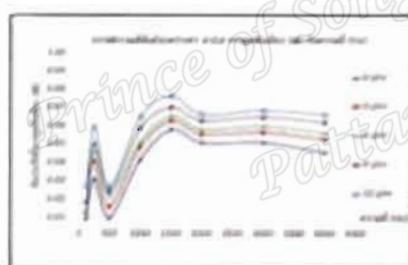
จากตารางที่ 2 แสดงให้เห็นการดูดซับเสียงที่ความถี่ต่าง ๆ นั้นขึ้นกับปริมาณเส้นใยจากลำต้นหมากและเส้นใยลูกตาลที่ผสม เมื่อนำมาแสดงในกราฟที่ 6 รูปร่างของกราฟจะขึ้นกับความหนาของชั้นทดสอบ และเมื่อเปรียบเทียบกับกราฟที่ 7 รูปร่างกราฟยังขึ้นกับขนาดของเส้นใยจากลำต้นหมากที่ผสม (ชนิดละเอียดและชนิดหยาบ) แต่ละกราฟมีสองยอด (Peak) เนื่องจากมีสององค์ประกอบหลักในการดูดซับเสียงคือ ยางและเส้นใยจากลำต้นหมาก แสดงความถี่ที่องแสดงของการดูดซับเสียงสองจุดคือ ที่ 250 Hz และ 1,500 Hz เป็นของยางและของเส้นใยตามลำดับ ซึ่งต่างจากแผ่นดูดซับเสียงผสมเส้นใยจากลำต้นหมากปริมาณต่าง ๆ และเส้นใยลูกตาลปริมาณ 10 และ 20 phr (ชนิดละเอียดและชนิดหยาบ) ความหนา 1 mm และความหนา 3 mm การดูดซับเสียงที่ความถี่ต่าง ๆ นั้นขึ้นกับปริมาณเส้นใยจากลำต้นหมากและเส้นใยลูกตาลที่ผสม เมื่อนำมาแสดงในกราฟที่ 8 และ 10 รูปร่างของกราฟขึ้นกับความหนาของชั้นทดสอบ และเมื่อเปรียบเทียบกับกราฟที่ 9 และ 11 รูปร่างกราฟยังขึ้นกับขนาดของเส้นใยจากลำต้นหมากและเส้นใยลูกตาลที่ผสม (ชนิดละเอียดและชนิดหยาบ) แต่ละกราฟจะมีสามยอด (Peak) เนื่องจากมีสามองค์ประกอบหลักในการดูดซับเสียงคือ ยาง เส้นใยจากลำต้นหมากและเส้นใยลูกตาล แสดงความถี่ที่องแสดงของการดูดซับเสียงสามจุดคือ ที่ 250 Hz 1,500 Hz และ 3,000 Hz เป็นของยางและของเส้นใยทั้งสอง



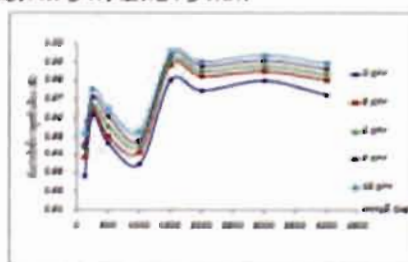
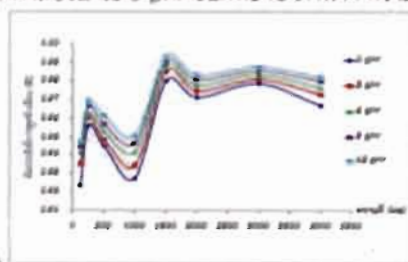
ชนิดตามลำดับ ความถี่ที่pongแสดงสมบัติเฉพาะของวัสดุนั้น ๆ ที่ความถี่ของของจะมียอดกราฟที่กว้างและสูงตามปริมาณยางที่ผสมในแต่ละสูตร การดูดซับเสียงเกิดจากการเคลื่อนไหวของสายโซ่บางส่วนที่อยู่ระหว่างจุดพันกัน (molecular weight between entanglements) ส่วนเส้นใยจากลำต้นหมากและเส้นใยลูกตาลมีหลายกลไกการดูดซับพลังงานเพราะมีหลายองค์ประกอบคือ ประกอบด้วยเนื้อเยื่อไซเล็ม (sylem) ที่ทำการลำเลียงน้ำและแร่ธาตุต่าง ๆ จากรากขึ้นสู่ลำต้นและใบ เนื้อเยื่อโฟลเอ็ม (phloem) ที่ลำเลียงอาหารจากใบไปสู่ส่วนต่าง ๆ ของพืช เนื้อเยื่อพาราเควตมา (parenchyma) ซึ่งเป็นเซลล์ที่มีชีวิตทำหน้าที่ค้าอุบให้ความแข็งแรงและมีช่องว่างอากาศอยู่ซึ่งทำให้เนื้อเยื่อมีสมบัติคล้ายฟองน้ำดังภาพที่ 12 ดังนั้นกราฟของการดูดซับเสียงมีฐานระยั้งที่กว้างขึ้นดูดซับได้หลายความถี่



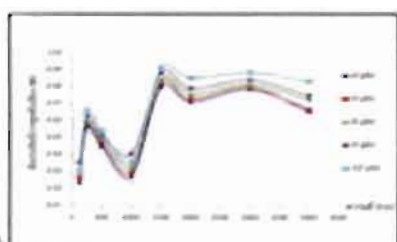
ภาพที่ 6 ค่า α กับความถี่ของแผ่นดูดซับเสียงผสมเส้นใยจากลำต้นหมากและเส้นใยลูกตาลปริมาณ 0 phr ชนิดละเอียด ภาพ A ความหนา 1 mm และภาพ B ความหนา 3 mm



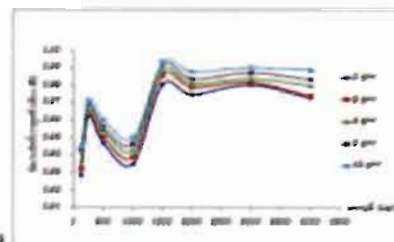
ภาพที่ 7 ค่า α กับความถี่ของแผ่นดูดซับเสียงผสมเส้นใยจากลำต้นหมากและเส้นใยลูกตาลปริมาณ 0 phr ชนิดหยาบ ภาพ A ความหนา 1 mm และภาพ B ความหนา 3 mm



ภาพที่ 8 ค่า α กับความถี่ของแผ่นดูดซับเสียงผสมเส้นใยจากลำต้นหมากและเส้นใยลูกตาลปริมาณ 10 phr ชนิดละเอียด ภาพ A ความหนา 1 mm และภาพ B ความหนา 3 mm

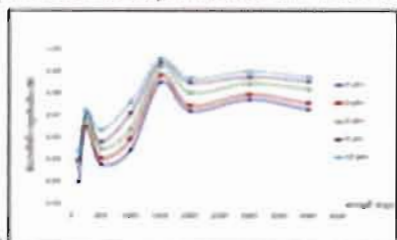


A

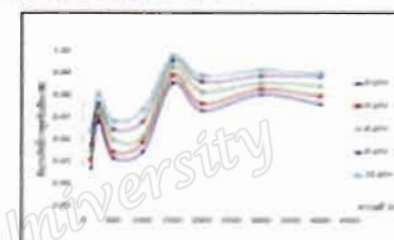


B

ภาพที่ 9 ค่า α กับความถี่ของแผ่นดูดซับเสียงผสมเส้นใยจากลำต้นหมากและเส้นใยลูกตาลปริมาณ 10 phr ชนิดหยาบ ภาพ A ความหนา 1 mm และภาพ B ความหนา 3 mm

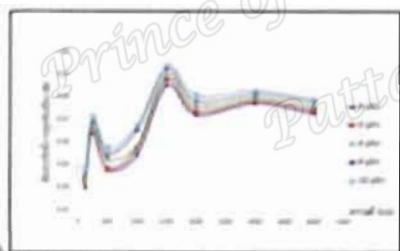


A

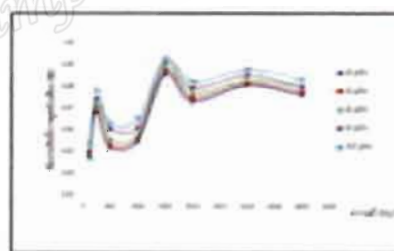


B

ภาพที่ 10 ค่า α กับความถี่ของแผ่นดูดซับเสียงผสมเส้นใยจากลำต้นหมากและเส้นใยลูกตาลปริมาณ 20 phr ชนิดละเอียด ภาพ A ความหนา 1 mm และภาพ B ความหนา 3 mm

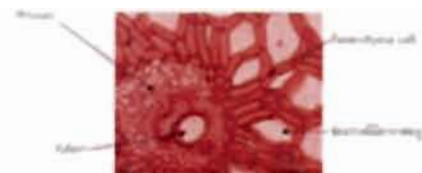


A



B

ภาพที่ 11 ค่า α กับความถี่ของแผ่นดูดซับเสียงผสมเส้นใยจากลำต้นหมากและเส้นใยลูกตาลปริมาณ 20 phr ชนิดหยาบ ภาพ A ความหนา 1 mm และภาพ B ความหนา 3 mm



A

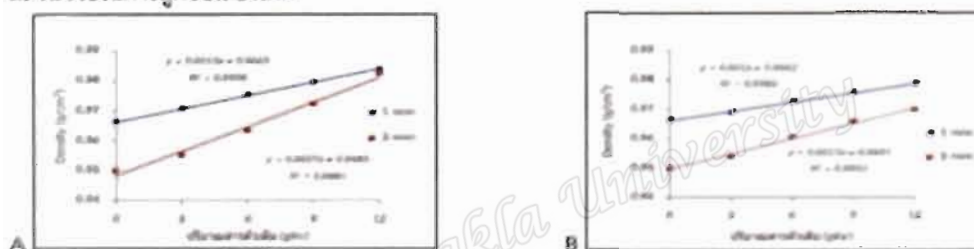


B

ภาพที่ 12 A. โครงสร้างของเส้นใยภายในต้นหมาก B. โครงสร้างของเส้นใยลูกตาล ถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์กำลังขยาย 600 เท่า ประกอบด้วย เนื้อเยื่อไซเลม (sylem) เนื้อเยื่อไฟลัม (phloem) พาราไคนิม (parenchyma) และช่องว่างอากาศ



ภาพที่ 13 ภาพจากเครื่อง SEM ของแผ่นดูดซับเสียงผสมจากลำต้นหมากปริมาณ 12 phr และเส้นใยลูกตาล ปริมาณ 20 phr ทำสิ่งขยาย A. 50 เท่า B. 100 เท่า และ C. 500 เท่า ตามลำดับ จากภาพที่ 13 พบทิศทางกายภาพของโครงสร้างภายในของเส้นใยจากลำต้นหมากและเส้นใยลูกตาลตามปริมาณสาร ตัวเติมที่กล่าวไว้ข้างต้น พบว่าเส้นใยจากต้นหมากและเส้นใยลูกตาลมีรูพรุนที่กว้าง มีรูปร่างเป็นทรงเหลี่ยมที่ชัดเจน มีส่วนช่วยในการดูดซับเสียงได้ดี



ภาพที่ 14 แสดงค่าความหนาแน่นของแผ่นดูดซับเสียงความหนา 1 mm และ 3 mm ผสมเส้นใยจากลำต้นหมาก สำหรับเส้นใยลูกตาลปริมาณ 20 phr A ชนิดละเอียต B ชนิดหยาบ



ภาพที่ 15 ความสัมพันธ์ระหว่าง $\tan \delta$ กับปริมาณสารตัวเติม (phr) ของแผ่นดูดซับเสียงความหนา 1 mm และ 3 mm ผสมเส้นใยจากลำต้นหมากสำหรับเส้นใยลูกตาลปริมาณ 20 phr A ชนิดละเอียต B ชนิดหยาบ จากภาพที่ 14 แผ่นยางดูดซับเสียงความหนา 1 mm ความหนาแน่นมากกว่าแผ่นยางที่หนา 3 mm จึงทำให้แผ่นยางหนา 1 mm ดูดซับเสียงได้น้อยกว่าแผ่นยางที่หนา 3 mm อันเป็นผลมาจากการขึ้นรูปแผ่นยางที่หนา ซึ่งมีจำนวนสายโซ่จำนวนมาก เมื่อเกิดด้วยความเค้นค่าหนึ่ง การเปลี่ยนแปลงของโซ่สายจะเกิดมากตาม โซ่สายที่อยู่ด้านบนจึงไม่ถูกกระทำ การไล่อากาศออกจากช่องว่างของเส้นใยจากลำต้นหมากและเส้นใยลูกตาลได้น้อย และจากภาพที่ 15 โดยที่แท่งเครื่องของการสูญเสีย ($\tan \delta$) จากการบิดของยางในแต่ละรอบของแผ่นยางหนา 3 mm จะมีค่ามากกว่าของแผ่นยางหนา 1 mm เนื่องจากโครงสร้างภายในสามารถคลายพลังงานได้ดีกว่า ทั้งสารตัวเติมชนิดละเอียต และชนิดหยาบ และยังสอดคล้องกับความหนาแน่นและผลของการดูดซับเสียง ทั้งหมดมีการเปลี่ยนแปลงสอดคล้องกันอย่างน้อยก็สำคัญกับสมบัติการดูดซับเสียง



5. ข้อเสนอแนะ

ควรศึกษาเปรียบเทียบกับเส้นใยพืชชนิดอื่น

6. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณแผนกวิชาฟิสิกส์ที่สนับสนุนใช้เงินวัสดุแผนกซื้อวัสดุวิจัย ขอขอบคุณภาควิชาเทคโนโลยีการยางและพอลิเมอร์ในการใช้เครื่องมือการทดสอบและขึ้นรูปยางและขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัยมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ที่สนับสนุนการวิจัย

7. บรรณานุกรม

- [1] António, J. (2011). Acoustic behaviour of fibrous materials, University of Coimbra, Portugal.
- [2] Youneung, L., and Changwhan, J. (2003). Sound absorption properties of recycled polyester fibrous assembly absorbers. *Autex Research Journal*, 3 : 78-84.
- [3] Sobral, M., Samagaio, A.J.B., Ferreira, J.M.F., and Labrincha, J.A. (2003). Mechanical and acoustical characteristics of bound rubber granulate. *Journal of Materials Processing Technology*, 142 : 427-433.
- [4] Algaily, B., and Puttajuk, S. (2014). Acoustic Absorption and Physicomechanical Properties of SBR/RR foam. *International Journal of Technical Research and Applications*. 2, 15-18.
- [5] Benkreira, H., Khan, A. and Horoshenkov, K. V. (2011). Sustainable acoustic and thermal insulation material from elastomeric waste residues. *Chemical Engineering Science*, 66(18), 4157-4171.
- [6] Hong, Z., Bo, L., Guangsu, H. and Jia, H. (2007). A novel composite sound absorber with Recycled rubber particles, *Journal of sound and vibration*, 304(1-2), 400-406.
- [7] Ismail, L., Ghazali, M.I., Mahzan, S., and Zaidi, A. M. A. (2010). Sound Absorption of Arenga Pinnata Natural Fiber. *International Scholarly and Scientific Research & Innovation Journal*, 4(7). 601-603.
- [8] Rozli, Z., Nor, M., jafiani, M., Alhamad, L., Nuawi, R. and Zaki, M. (2009). Comparison of Acoustic Properties between Coir Fiber And Oil Palm Fiber. *European Journal of Scientific Research*. 33(1), 144 – 152.
- [9] Osswald, T.A. (1996). *Material Science of Polymer for Engineers*, Hanser Publishers, New York.
- [10] นูริดา กะอูแมป ธรรมิห นาวารัตน์ และสมบัติ พุทธจักร. (2559). การดูดซับเสียงของ SBR ผสมเส้นใยภายในไส้ต้นหมาก. การประชุมวิชาการระดับชาติมหาวิทยาลัยทักษิณบูรณาการงานวิจัยเพื่อสังคมครั้งที่ 26, จังหวัดสงขลา, 26-29 พฤษภาคม 2559, หน้า 215 – 222.

026

การดูดซับเสียงของยาง SBR ผสมเส้นใยภายในลำต้นหมาก
Sound Absorption of Fibers within The Trunk of Betel Palm Filled Styrene-Butadiene Rubber.

นุรีดา กะลุแป้¹ ธรนิศ นาวารัตน์² และสมบัติ พุทธจักร³
Nureeda Kalupae¹, Thoranit Navarat² and Sombat Puttajakr³

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์การวิจัย คือ ศึกษาการดูดซับเสียงของแผ่นยางสังเคราะห์ (SBR) ผสมเส้นใยภายในต้นหมากที่ผ่านการบด ชนิดละเอียดและหยาบ ปริมาณ 0-15 phr ขึ้นรูปขึ้นทดสอบหนา 3 mm และ 6 mm ทดสอบการดูดซับเสียงด้วยชุดท่อคลื่นนิ่ง (Kundt's tube). พบว่ากราฟของค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงกับความถี่ $\alpha(f)$ แสดงความถี่พ้องการดูดซับเสียงสองตำแหน่งคือ ที่ 250 Hz และ 2,000 Hz เป็นของยางและของเส้นใยตามลำดับ และขึ้นทดสอบหนา 6 mm ดูดซับเสียงได้ดีที่สุดเมื่อผสมเส้นใยชนิดละเอียดมี $\alpha_{max}(f) = 0.9889$ และเมื่อผสมเส้นใยชนิดหยาบมี $\alpha_{max}(f) = 0.9796$ ที่ความถี่ 2,000 Hz

คำสำคัญ: เส้นใยภายในต้นหมาก ความถี่พ้อง สัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง

Abstract

The aim of this research was to study sound absorption properties of rubber sheet made up from styrene-butadiene rubber (SBR) filled with palm fiber, at different loading, 0-15 phr. Palm fiber was broken down to small chips with fine and coarse size. The samples were prepared in two thicknesses of 3 and 6 mm then tested for their acoustic absorption properties by using a standing wave tube (Kundt's tube). The plot of absorption coefficient and frequency, $\alpha(f)$ shown the resonance frequency of absorption at 250 Hz and 2,000 Hz corresponding to that of rubber and the fiber. The results shown that when the thickness was 6 mm, the resonance frequency of styrene-butadiene rubber (SBR) filled with fibers of fine size and big size, gave $\alpha_{max}(f) = 0.9889$ and 0.9796 respectively at a frequency of 2,000 Hz.

Keywords: Fibers within The Trunk of Betel Palm, Resonance Frequency, Acoustic Absorption

¹ นักศึกษาปริญญาโทสาขาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ปีการศึกษา 94000

² ผศ.ดร., สาขาฟิสิกส์ประยุกต์(ฟิสิกส์พอลิเมอร์) คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ปีการศึกษา 94000

³ รศ.ดร., สาขาฟิสิกส์ประยุกต์(ฟิสิกส์ของแข็ง) คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ปีการศึกษา 94000

^{*} Corresponding author: Tel.: 075-312201, E-mail address: sombat.p@psu.ac.th

ด้วยเครื่องอัดเป่าที่อุณหภูมิและใช้เวลาดำเนินการตามที่ได้จากเครื่อง ODR ได้แผ่นยางผสมขึ้นรูปแล้วมีรูปร่างสี่เหลี่ยมขนาด $16 \times 16 \text{ cm}^2$ ที่ความหนา 3 มม และ 6 มม ทำการทดสอบหาค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง

ตัวเก็บข้อมูลรุ่น EASY SENSE Advanced



ภาพที่ 2 ชุดทดสอบสมบัติการดูดซับเสียงที่สร้างขึ้น โดยใช้เครื่องกำเนิดเสียงรุ่น LAG-120B AUDIO GENERATOR ผลิตโดย LEADER ELECTRONICS CORP Japan [9]

ตารางที่ 1 สูตรการผสมยางและสารเคมีต่างในรูปจำนวน phr (part per hundred of rubber)

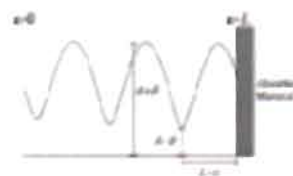
สารเคมี	ปริมาณ (phr)					
	F1	F2	F3	F4	F5	F6
1. ยาง (SBR)	100	100	100	100	100	100
2. ZnO	2	2	2	2	2	2
3. Stearic acid	2	2	2	2	2	2
4. CBS	1	1	1	1	1	1
5. 6PPD	1	1	1	1	1	1
6. Filler	0	3	6	9	12	15
7. Sulphur	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5

การหาค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง

ในการทดสอบนั้น ทำได้โดยการนำชั้นทดสอบติดตั้งที่ฝาครอบปลายท่อด้านขวา โดยให้ชั้นทดสอบตั้งฉากกับความยาวท่อ แล้วเปิดเครื่องกำเนิดความถี่เสียง ตั้งค่าความถี่เสียงที่ 125 Hz วัดค่าระดับความดันเสียงต่ำสุดและสูงสุดค่าแรกหลังจากสะท้อนแผ่นยางดังภาพที่ ภาพที่ 3 B ทำการทดสอบซ้ำ 3 ครั้งนำค่าที่ได้ไปหาค่าเฉลี่ย จากนั้นทำการทดลองที่ความถี่ 250, 500, 1,000, 1500, 2,000, 3,000 และ 4,000 Hz



A



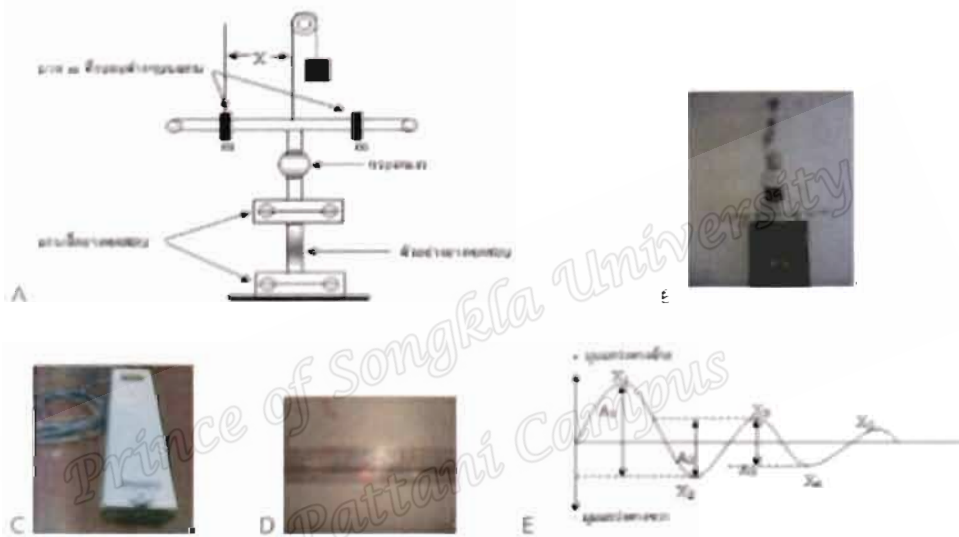
B

ภาพที่ 3 A เครื่องหาความหนาแน่นระบบไฟฟ้า

B แสดงลักษณะความดันสูงสุดและความดันต่ำสุด

จากข้อมูลที่ได้นำวิเคราะห์หาค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง คือนิยามอัตราส่วนของความดันสูงสุดต่อความดันต่ำสุดของคลื่นนิ่งที่เกิดขึ้น (Standing wave ratio ; SWR) โดย $SWR = \frac{A+B}{A-B}$ ซึ่งสามารถจัดสมการอยู่ในรูปสัมประสิทธิ์การสะท้อนเสียง (Sound power reflection coefficient; R) คือ $R = \frac{B}{A} = \frac{SWR-1}{SWR+1}$ จึบเสียง (α) ดังสมการ $\alpha = 1 - R^2 = 1 - \frac{(SWR-1)^2}{(SWR+1)^2}$ [10] นั่นคือเมื่อ R มีค่าน้อยแล้ว (α) จะมีค่ามาก หรือมีการ

หลายพลังงานที่โครงสร้างภายในเนื้อวัสดุซึ่งสามารถทดสอบยืนยันได้เช่นกันจากชุดทดสอบสมบัติเชิงพลวัตของการปิด ประกอบด้วยที่ยึดแถบยางทดสอบให้อยู่ในแนวตั้งสามารถปิดไปมาอย่างอิสระได้ดังภาพที่ 5 มีแกนโลหะติดกระดุม และแกนโลหะตั้งฉากที่มีมวล m สองอันวางอยู่ห่างแกนกลางระยะ X สามารถปรับค่าความหนืดของระบบได้จากค่า $2\pi\nu x^2$ การหาค่าแฟกเตอร์ของการสูญเสีย (tan δ) จากการปิดของยาง หมายถึงสัดส่วนของพลังงานที่สูญเสียภายในโครงสร้างของวัสดุต่อพลังงานที่ใช้ในการปิดแต่ละรอบของการปิดโดยจัดชุดทดลอง ดังภาพที่ 5



ภาพที่ 5 ชุดทดสอบสมบัติเชิงพลวัตของการปิด A ภาพวาด B ภาพถ่าย C แหล่งกำเนิดเลเซอร์ D เลเซอร์ที่สะท้อนกลับมาบนสเกล E ภาพวาดแอมพลิจูดที่ลดลงต่อเนื่องของแต่ละรอบการปิด

ภาพที่ 5 ชุดทดสอบสมบัติเชิงพลวัตของการปิด A ภาพวาด B ภาพถ่าย C แหล่งกำเนิดเลเซอร์ D เลเซอร์ที่สะท้อนกลับมาบนสเกล E ภาพวาดแอมพลิจูดที่ลดลงต่อเนื่องของแต่ละรอบการปิด

นำยางที่ขึ้นรูปแล้วมาตัดเป็นชิ้นทดสอบขนาด $6 \times 10 \times 3$ มม ติดตั้งเข้ากับชุดทดสอบสมบัติเชิงพลวัตของการปิด ทำการแกว่งมวล m ในระนาบการปิดแนวอนคด้วยมุมน้อย ๆ ทำให้แถบยางบิดไปมาเช่นกัน จากชุดเลเซอร์ที่ติดตั้งไปสะท้อนที่กระจกแล้วมาตกบนฉากที่มีสเกล จากนั้นวัดคาบของการปิดและแอมพลิจูดจากจุดสูงสุดถึงจุดต่ำสุดของการแกว่ง การวิเคราะห์ข้อมูลจะเริ่มจากการหาความหนืดของระบบที่แกว่งอย่างอิสระ (ν) โดยหาจากข้อมูลเชิงการทดลอง การเขียนความสัมพันธ์ระหว่าง T^2 และ $2\pi\nu x^2$ จะได้กราฟเส้นตรง แล้วหาค่าความชันและค่าจุดตัดของกราฟแล้วนำไปสู่การหาค่า $I_0 = 9.85 \times 10^{-6} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$ ของระบบ สำหรับยางที่มีอีลาสติคสูงทำให้การบิดไปมาเกิดขึ้นเร็ว การวัดค่าต่าง ๆ ทำได้ลำบาก จึงต้องเพิ่มความหนืดแก่ระบบโดยวางมวล m ขึ้นแกนตั้งฉากทั้งสองข้างที่ระยะ x (ภาพที่ 5) ความหนืดคือ $I = I_0 + 2\pi\nu x^2$ หาค่า Logarithmic decrement (Δ) จาก $\Delta = \ln\left(\frac{A_1}{A_2}\right)$ [11] เมื่อ A_1, A_2 คือ

แอมพลิจูดที่ลดลงต่อเนื่องพลังงานที่สูญเสียภายในโครงสร้างของวัสดุ ค่ามอดูลัสการบิดเชิงซ้อน คือ $G^* = G' + iG''$ โดยพลังงานสะสมในแต่ละรอบการบิดคือเทอมจำนวนจริงหรือมอดูลัสอีลาสติก $G' = \frac{I}{\kappa T^2} (4\pi^2 - \Delta^2)$ และเทอมจำนวนจินตภาพคือมอดูลัสสูญเสีย (loss modulus) จะสัมพันธ์กับพลังงานความร้อนที่เกิดขึ้นในเนื้อเยื่อที่สัมพันธ์กับโครงสร้างภายในของวัสดุ คือ $G'' = \frac{4\pi I \Delta}{\kappa T^2}$ เมื่อ κ คือ Shape factor สำหรับวัสดุที่เปลี่ยนมาได้โดย $\kappa = \frac{CD^3}{16\ell} \mu$ และ $\mu = 5.33 \left(1 - 0.63 \frac{D}{C}\right)$ [12] เมื่อ C คือ ความกว้างของชั้นทดสอบ D คือ ความหนาของชั้นทดสอบ และ ℓ คือ ระยะระหว่างการบิดของชั้นทดสอบ ดังนั้นสมบัติสมบัติเชิงฟิสิกส์ที่ไม่ขึ้นกับรูปร่างของชั้นทดสอบ คือสัดส่วนของพลังงานสูญเสียต่อพลังงานสะสมของแต่ละรอบการบิด คือ $\frac{G''}{G'} = \frac{4\pi\Delta}{4\pi^2 - \Delta^2} = \tan \delta$ ซึ่งจะแสดงสมบัติเฉพาะ (Characteristics properties) ของวัสดุนั้นเชื่อมโยงโครงสร้างภายในซึ่งแสดงสัดส่วนการเกิดปริมาณความร้อนหรือการสูญเสียพลังงานที่เกิดขึ้นขณะแกว่งแต่ละรอบ เมื่อ Δ มีค่าน้อย นั่นคือ $\Delta^2 = 0$ แล้วจะได้ว่า $\Delta = \pi \tan \delta$ หรือ $\frac{\Delta}{\pi} = \tan \delta$ การหาค่าความหนาแน่นของชั้นทดสอบ คือ ยางสังเคราะห์ (SBR) ผสมเส้นใยภายในดินหมาก ในปริมาณ 0, 3, 6, 9, 12 และ 15 phr โดยเตรียมชั้นตัวอย่างเป็นแผ่นหนา 3 และ 6 mm คัดเป็นชั้นเล็ก ๆ นำไปหาความหนาแน่นโดยใช้เครื่องวัดความหนาแน่น Electronic Densimeter รุ่น MD-3005 และ Minimum density resolution: 0.001 ใช้หลักการอาร์คิมิดีสในการคำนวณหาความหนาแน่น ซึ่งมวลในอากาศ ซึ่งมวลในน้ำ หาปริมาณโดยการแทนที่น้ำ เครื่องทำงานโดยระบบอิเล็กทรอนิกส์ โดยการนำชั้นทดสอบมาตัดเป็นสี่เหลี่ยมขนาดเล็ก ๆ ทุกการทดลองทำซ้ำ 3 ครั้งแล้วหาค่าเฉลี่ย

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

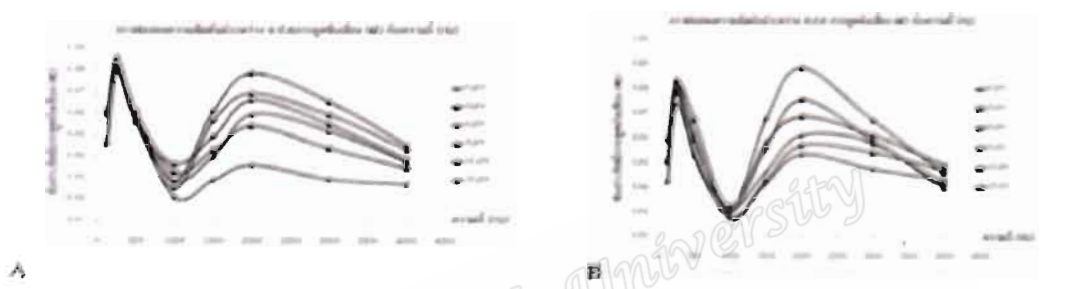
ผลการศึกษาสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง (α)

ตารางที่ 2 ค่า α กับความถี่ของแผ่นดูดซับเสียงความหนา 3 mm ผสมเส้นใยในดินหมากชนิดละเอียดปริมาณต่าง ๆ

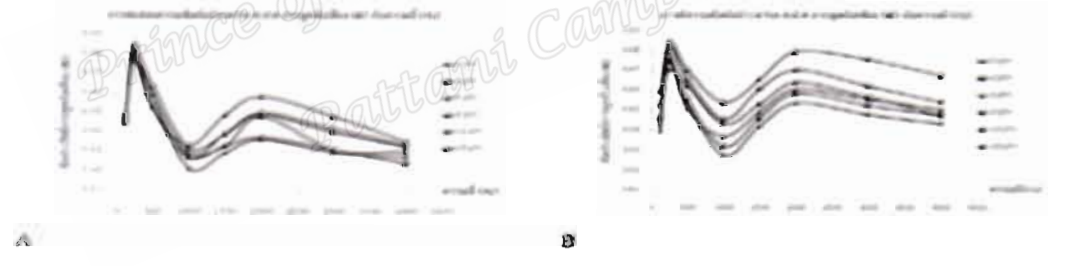
ความถี่ (Hz)	สัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง (α) ที่ความถี่และที่ปริมาณเส้นใยภายในดินหมาก ต่าง ๆ					
	0 phr	3 phr	6 phr	9 phr	12 phr	15 phr
125	0.9479	0.9620	0.9467	0.9600	0.9464	0.9467
250	0.9822	0.9816	0.9804	0.9860	0.9805	0.9827
500	0.9600	0.9605	0.9568	0.9568	0.9568	0.9616
1000	0.9212	0.9331	0.9293	0.9368	0.9256	0.9293
1500	0.9295	0.9433	0.9407	0.9496	0.9570	0.9616
2000	0.9364	0.9544	0.9600	0.9665	0.9696	0.9789
3000	0.9298	0.9440	0.9521	0.9551	0.9596	0.9657
4000	0.9274	0.9350	0.9380	0.9389	0.9435	0.9457

จากตารางที่ 2 แสดงให้เห็นการดูดซับเสียงที่ความถี่ต่าง ๆ นั้นขึ้นกับปริมาณเส้นใยในดินหมากที่ผสม เมื่อนำมาแสดงในกราฟภาพที่ 6 รูปร่างกราฟจะขึ้นกับความหนาของชั้นทดสอบ และเมื่อเปรียบเทียบกับกราฟภาพที่ 7 รูปร่างกราฟยังขึ้น

กับขนาดเส้นใยภายในดินหมากที่ผสม (ชนิดละเอียดยกและชนิดหยาบ) แต่ละกราฟจะมีสองยอด (peak) เนื่องจากมีสององค์ประกอบหลักในการดูดซับเสียงคือยางและเส้นใยในดินหมากแสดงค่าที่องศาการดูดซับเสียงสองจุดคือ ที่ 250 Hz และ 2,000 Hz เป็นของยางและของเส้นใยตามลำดับ ค่าความถี่ที่องศาแสดงสมบัติเฉพาะของวัสดุนั้น ๆ ที่ความถี่ของยางจะมียอดกราฟที่แคบและมีความสูงตามปริมาณยางที่ผสมในแต่ละสูตร การดูดซับพลังงานเกิดจากการขยับตัวของใยบางส่วนที่อยู่ระหว่างจุดพันกัน (molecular weight between entanglements) ส่วนเส้นใยภายในดินหมากมีหลายกลไกการดูดซับพลังงานเพราะมีหลายองค์ประกอบคือ ประกอบด้วยเนื้อเยื่อไซเล็ม (xylem) ที่การลำเลียงน้ำและแร่ธาตุต่าง ๆ จากรากขึ้นสู่ลำต้นและใบ เนื้อเยื่อโฟลเอ็ม (phloem) ที่ลำเลียงอาหารจากใบไปสู่ส่วนต่าง ๆ ของพืช เนื้อเยื่อพาราไคมา (parenchyma) ซึ่งเป็นเซลล์ที่มีชีวิตทำหน้าที่ค้าจุนให้ความแข็งแรงและมีช่องว่างอากาศอยู่จึงทำให้เนื้อเยื่อมีสมบัติคล้ายฟองน้ำ สัมภาพที่ 8 ดังนั้นกราฟขององศาการดูดซับเสียงจึงมีฐานระงับที่กว้างขึ้นคือดูดซับได้หลายความถี่



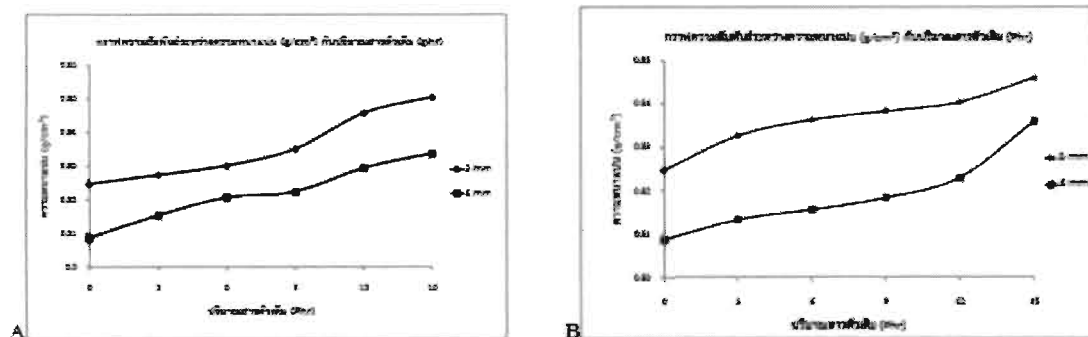
ภาพที่ 6 กราฟของ α กับความถี่ของแผ่นยางดูดซับเสียงผสมเส้นใยในดินหมาก ชนิดละเอียดยก A ความหนา 3 mm และ B ความหนา 6 mm



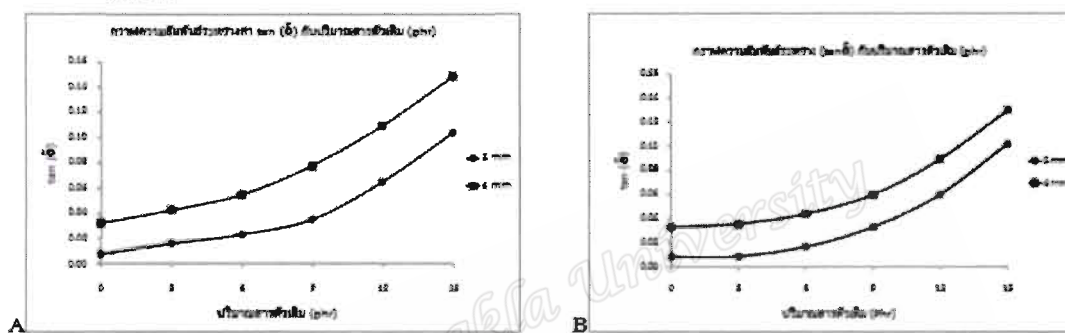
ภาพที่ 7 กราฟของ α กับความถี่ของแผ่นดูดซับเสียงที่ผสมเส้นใยในดินหมากชนิดหยาบ A ความหนา 3 mm และ B ความหนา 6 mm



ภาพที่ 8 โครงสร้างของเส้นใยภายในดินหมากถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์ที่กำลังขยาย 600 เท่า มีหลายองค์ประกอบคือเนื้อเยื่อไซเล็ม (xylem) โฟลเอ็ม (phloem) พาราไคมา (parenchyma) และช่องว่างมีอากาศอยู่ภายใน



ภาพที่ 9 ความหนาแน่นของแผ่นยางดูดซับเสียงความหนา 3 mm และ 6 mm ผสมเส้นใยในดินหมาก A ชนิดละเอียด B ชนิดหยาบ



ภาพที่ 10 ความสัมพันธ์ระหว่าง $\tan \delta$ กับปริมาณสารตัวเติม (pH) A ชนิดละเอียด B ชนิดหยาบ

จากภาพที่ 9 แผ่นยางดูดซับเสียงความหนา 3 mm ความหนาแน่นมากกว่าแผ่นยางที่หนา 6 mm จึงทำให้แผ่นยางหนา 3 mm ดูดซับเสียงได้น้อยกว่าแผ่นยางที่หนา 6 mm อันเป็นผลมาจากการขึ้นรูปแผ่นยางที่หนา ซึ่งมีประชากรโซ่ใยขามาก เมื่อกดด้วยความเค้นค่าหนึ่ง การรีแลกจากโซ่ใยจะเกิดมากตาม โซ่ใยที่อยู่ด้านล่างจึงไม่ถูกกระทำ การไล่อากาศออกจากช่องว่างของเส้นใยภายในดินหมากได้น้อย จากภาพที่ 10 แฟกเตอร์ของการสูญเสีย ($\tan \delta$) จากการบิดของยางในแต่ละรอบของแผ่นยางหนาหนา 6 mm จะมีค่ามากกว่าของแผ่นยางหนา 3 mm เนื่องจากโครงสร้างภายในสามารถสลายพลังงานได้ดีกว่า ทั้งสารตัวเติมชนิดละเอียด และชนิดหยาบ และยังสอดคล้องกับความหนาแน่น และผลของการดูดซับเสียง

สรุปผลการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ คือ ศึกษาการดูดซับเสียงของแผ่นยางสังเคราะห์ (SBR) ผสมเส้นใยภายในดินหมากที่ผ่านการบดชนิดละเอียดและหยาบ ปริมาณ 0-15 phr ขึ้นทดสอบขึ้นรูปเป็นแผ่นหนา 3 และ 6 mm พบว่ากราฟสัมพันธ์การดูดซับเสียงกับความถี่ $\alpha(f)$ แสดงความถี่ของการดูดซับเสียงสองจุดที่ 250 Hz และ 2,000 Hz ของยางและของเส้นใยตามลำดับ ขึ้นทดสอบหนา 6 mm ดูดซับเสียงได้ดีที่สุดเมื่อผสมเส้นใยชนิดละเอียดแล้วมี $\alpha_{max}(f) = 0.9889$ และเมื่อผสมเส้นใยชนิดหยาบมี $\alpha_{max}(f) = 0.9796$ นอกจากนี้พบว่าสมบัติรีโอโลยีเชิงพลวัตของการบิดโดยค่าแฟกเตอร์ของการสูญเสีย ($\tan \delta$) และความหนาแน่น มีการเปลี่ยนแปลงสอดคล้องกันอย่างมากมีนัยสำคัญกับสมบัติการดูดซับเสียง

คำขอบคุณ

ผู้วิจัยขอขอบคุณแผนกวิชาฟิสิกส์ที่สนับสนุนใช้เงินวัสดุแผนกชื่อวัสดุวิจัย ขอขอบคุณภาควิชาเทคโนโลยีการและพอลิเมอร์ในการใช้เครื่องมือการทดสอบและขึ้นรูปยางและขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์สนับสนุนการวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- [1] António, J. (2011). *Acoustic behaviour of fibrous materials*, University of Coimbra, Portugal.
- [2] Youneung, L., and Changwhan, J. (2003). Sound absorption properties of recycled polyester fibrous assembly absorbers. *Autex Research Journal*, 3 : 78-84.
- [3] Sobral, M., Samagaio, A.J.B., Ferreira, J.M.F., and Labrincha, J.A. (2003). Mechanical and acoustical characteristics of bound rubber granulate. *Journal of Materials Processing Technology*, 142 : 427-433.
- [4] Algaily, B., and Puttajukr, S. (2014). Acoustic Absorption and Physicomechanical Properties of SBR/FR foam. *International Journal of Technical Research and Applications*. 2, 15-18.
- [5] Benkreira, H., Khan, A. and Horoshenkov, K. V. (2011). Sustainable acoustic and thermal insulation material from elastomeric waste residues. *Chemical Engineering Science*, 66(18), 4157-4171.
- [6] Hong, Z., Bo, L., Guangsu, H. and Jia, H. (2007). A novel composite sound absorber with Recycled rubber particles, *Journal of sound and vibration*, 304(1-2), 400-406.
- [7] Ismail, L., Ghazali, M.I., Mahzan, S., and Zaidi, A. M. A. (2010). Sound Absorption of Arenga Pinnata Natural Fiber. *International Scholarly and Scientific Research & Innovation Journal*, 4(7). 601-603.
- [8] Rozli, Z., Nor, M., Jailani, M., Ahamad, L., Nuawi, R. and Zaki, M. (2009). Comparison of Acoustic Properties between Coir Fiber And Oil Palm Fiber. *European Journal of Scientific Research*. 33(1), 144 – 152.