รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

สมศักดิ์ ดำรงค์เลิศ. ฟลูอิไดเซชัน. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2524.

พงษ์ศักดิ์ ฟองเพ็ชร์. การผลิตซิลิกาจากแกลบด้วยเทคนิคฟลูอิไดเซชัน. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2535.

ส่งเสริมการส่งออก, กรม. สถิติการนำเข้าและส่งออก ปี 2531-2533. กรุงเทพมหานคร : กรมส่งเสริมการส่งออก, 2531-2533.

ภาษาอังกฤษ

Amick, J.A., Milewski, J.V., and Wright, F.J. Method for Producing Solar Cell-Grade Silicon From Rice Hulls. U.S. Pat 4,214,920 July 29, 1980.

Amick, J.A., Purification of Rice Hulls as Source of Solar Grade Silicon for Solar Cells. J. Eleectrochem Soc. 129 (April 1982): 864-866.

Anon. 1990 Anual Book of ASTM Standard, Vol. 05.05, pp.395-397, Philadelphia, American Society for testing Materials, 1990.

Antal, M.J. Jr. Biomass Pyrolysis : A Review of the Literature Part 1-Carbohydrate Pyrolysis, Advances in Solar Energy. American Solar Energy Society Inc., New York, 1982.

_____ Biomass Pyrolysis : A Review of the Literature Part 2-Lignocellulose Pyrollysis, Advances in Solar Energy. American Solar Energy Society Inc., New York, 1982.

Bhattacharya, S.C., Bhattacharya, S.P., Amin, N.,Rongthong, S. Lab Scale Batch Carbonization of Selected Residues. AIT-GTZ Biocoal Project, Thailand : Asian Institute of Technology, 1989.

Chakraverty, A., Mishra, P. and Banerjee, H.D. Investigation of combustion of raw and acid-leached rice husk for production of pure amorphous white silica. J. of Mat.Sci. 23 (1988) : 21-24

Cook, D. Ruce husk ash cements : their development and applications. In R. Khane (ed.), UNIDO-Monograph, pp.12-29. Vienna: n.p.,1985

Chatterjee, A.K. State of The Art Report on Pyrolysis of Wood and Agricultural Biomass, USA : U.S. Department of Agriculture, Forest Service, 1981.

Chapra, S.C., Canale, R.P. Numerical Method for Engineers with Peraonal Computer Applications, New York : McGraw Hill Book Company, 1985.

Cutler, I.B. Production of SiC from rice hulls. U.S. Patent 3,754,076 August 21, 1973.

Ganesh,A., Grover, P.D. and Ramachandra Iyer P.V. Combustion and gasification characteristics of rice husk. Fuel. 17 (1992): 889-894

Hamad, M.A. Thermal Characteristics of Rice Hulls. J. Chem. Tech. Biotechol. 31 (1981): 624-626.

Hunt, L.P., Dismukes, JJ.P., Amick, J.A. Rice Hulls as a Raw Material for Producing Silicon. j. Electrochem. Soc. 131 (1984): 1683-1686.

Houston, D.F. Rice Chemistry and Technology. American Association of Cereal Chemist, Inc. Minnesota, 1972.

James, J. and Rao, M.S. Sillica from rice husk through thermal decomposition. Thermochim. Acta. 197 (1986): 329-336.

_____ and Rao, M.S. Characterization of Silica in Rice-husk ash. Am. Ceram. Soc. Bull. 65 (August 1986): 1177-1180.

Jones, J.L. Converting Solid Wastes and Residues to Fuel. Chemical Engineering. 2 (January 1978)

Kohan, S.M. and Barkhordor, P.M. Mission Analysis for Federal fuels from Biomass program. Vol.IV Thermochemical Conversion of Biomass to Fuels and Chemistry. Chapter VI, Production of Oil and Char Pyrolysis of Wood, January 1979.

Kunii, D. and Levenspiel, O. Fluidization Engineering, Newyork : Robert E.Krieger Publishing Company, 1976.

Mannsour, N.A.L., Hanna, S.B. Silicon carbide and nitride from rice hulls.II. Effect of iron on the formation of silicon carbide. BR. Ceram. Tran. J. 63 11 (1984) : 1408-1411

Mitsui, S. Carbonizaton of Wood etc. Using Fluidized Bed. Japan : Waste Engineer Laboratory, 1992.

Prostein, R.F., and Hicks, R.E. Synthetic Fuels. Singapore : McGraw-Hill Book Co., 1985.

Ramsey, Jr., David, E. Production of SiC from rice hulls and silica. U.S.Patent 4,248,844 Feb3,1981.

Reed, T.B. and Jantzen, D.E. Retrofit '79. Preceeding of a Workshop on Air Gasification, Feb. 2, Washington, 1979.

Sacher, I. Contribution to the Use of Rice Husks and Rice Husk Ash in Ceramics. Sprechsaal. 121 (1988); 1081-1084.

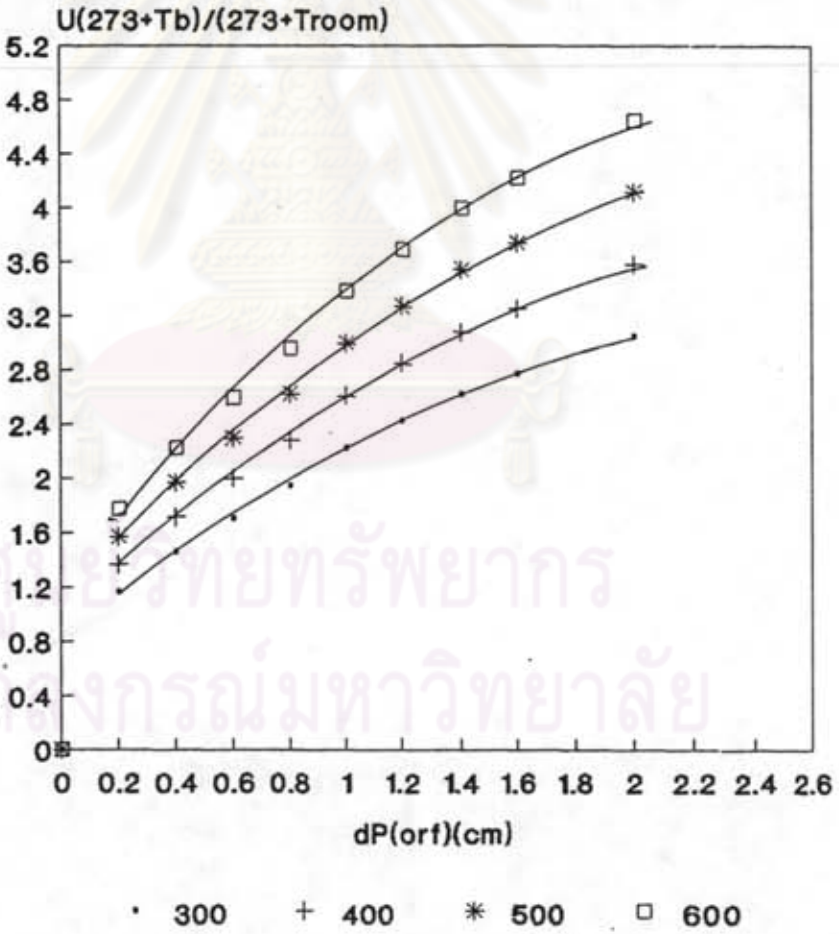
SERI. A Survey of Biomass Gasification. Vol.1 and 2, Solar Energy Reaearch Institute, Colorado, July 1979, SERI/TR-33-29

Weinstein, N.J. and Toro R.F. Thermal Processing of Manucipal Solid Waste for Resource and Energy Reocyry. Michigan : Ann Arbor Science Publishers, Inc., 1976.

ภาคผนวก ก.

การปรับเทียบค่าที่อ่านได้จากมานอมิเตอร์ของออริฟิส และของเบด ไปเป็นอัตราการป้อนก๊าซ

ใช้เครื่องวัดความเร็วลม ทำการวัดความเร็วลมที่ปากเตาฟลูอิไดซ์ทางด้านบน ซึ่งมีพื้นที่หน้าตัด 28.27 ตารางเซนติเมตร แล้วนำมาคำนวณหาความเร็วก๊าซที่อุณหภูมิต่างๆ ในรูปที่ ก.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเร็วในการป้อนก๊าซ กับความดันที่อ่านได้จากมานอมิเตอร์ของออริฟิส



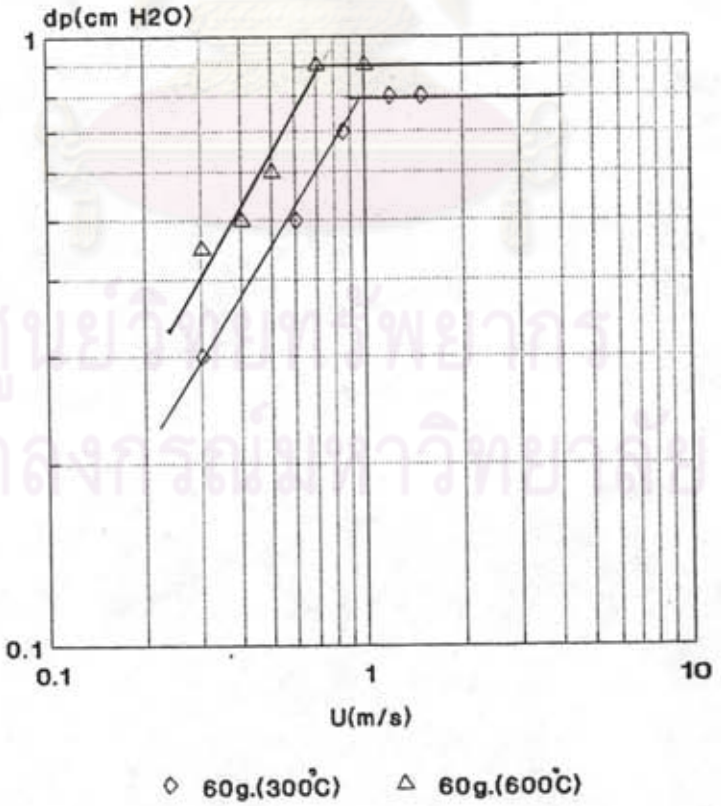
รูปที่ ก.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วก๊าซที่ความดันในมานอมิเตอร์ของออริฟิกต่างๆ ในสภาวะอุณหภูมิต่างๆกัน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข.

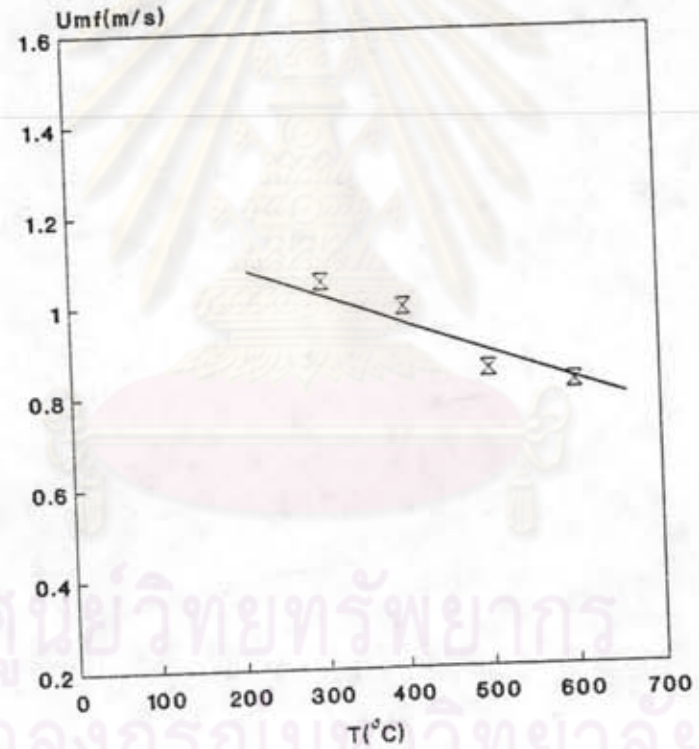
ความเร็วต่ำสุดในการเกิดฟลูอิไดเซชัน

ความเร็วต่ำสุดที่ทำให้อนุภาคของแข็งภายในเบดเริ่มขยับตัว และมีคุณสมบัติคล้ายของไหล มีความสำคัญต่อการคาร์บอไนซ์แกลบในระบบฟลูอิไดเซชันมาก ดังนั้นจึงจำเป็นต้องทราบค่าความเร็วช่วงนี้ ซึ่งจากงานวิจัยพบว่าแกลบเกิดฟลูอิไดเซชันได้ยากในช่วงอุณหภูมิต่ำ เนื่องจากขนบนผิวนอกของแกลบจะทำให้เกิดการเกี่ยวกันระหว่างเม็ดแกลบ ทำให้การเคลื่อนที่ไหลเวียนเป็นไปได้ยาก แต่เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นถึง 300 องศาเซลเซียส พบว่าเกิดสภาพฟลูอิไดเซชันได้ เนื่องจาก ขนเล็กๆที่บนผิวนอกจะสลายตัวหลุดออกเมื่อแกลบได้รับความร้อนเพิ่มมากขึ้น ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงเป็นการหาค่าความเร็วต่ำสุดของแกลบที่ผ่านการคาร์บอไนซ์ที่อุณหภูมิ 300, 400, 500 และ 600 องศาเซลเซียส ตามลำดับ



รูปที่ ข.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความดันลด และความเร็วก๊าซ

การหาค่าความเร็วต่ำสุดสามารถหาได้จากการทดลองผ่านก๊าซให้ไหลผ่านเบด ซึ่งจะทำให้เกิดความดันลดขึ้น ความดันลดนี้จะเพิ่มขึ้นเมื่อความเร็วก๊าซที่ผ่านเบดมีค่าสูงขึ้น จนถึงจุดหนึ่งที่ความดันลดมีค่าคงที่ กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วของก๊าซกับค่าความดันลดจะทำให้ทราบค่าความเร็วต่ำสุด ดังแสดงในรูป ข.1 ในระหว่างการทดลองจะพบว่าค่าความเร็วต่ำสุดในการเกิดฟลูอิไดเซชันมีค่าลดลง เป็นผลเนื่องมาจากการปลดปล่อยสารอินทรีย์ทำให้มีน้ำหนักแกลบ และความหนาแน่นเปลี่ยนแปลงไปตลอดเวลา ดังแสดงได้ในรูปที่ ข.2



รูปที่ ข.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วต่ำสุดที่เกิดสภาวะฟลูอิไดซ์ กับ อุณหภูมิ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ค.

ข้อมูลการทดลองคาร์บอไนซ์แกลบที่สภาวะต่างๆ

ตาราง ค.1 ผลวิเคราะห์โดยประมาณของแกลบที่ได้จากการคาร์บอไนซ์

U_b = 1.2 m/s, Wt.= 30 g.							
T (°C)	t (min)	%M	%ASH	%VM	%FC	Si:C	สี
300	15	5.847	20.679	56.650	16.824	1.213	น้ำตาลเข้ม
	30	4.589	21.512	54.932	18.967	1.119	น้ำตาลเข้ม
	45	4.384	22.131	50.591	22.894	0.954	น้ำตาลดำ
	60	3.974	23.627	48.235	24.164	0.965	น้ำตาลดำ
400	15	5.208	21.896	53.230	19.666	1.099	น้ำตาลดำ
	30	4.397	22.908	51.971	20.724	1.091	น้ำตาลดำ
	45	3.981	23.359	47.433	25.227	0.914	น้ำตาลดำเข้ม
	60	3.737	24.482	44.325	27.456	0.880	ดำ
500	15	4.270	23.722	45.890	26.118	0.896	ดำ
	30	3.766	24.722	41.230	30.282	0.806	ดำ
	45	3.498	25.046	34.260	37.196	0.665	ดำ
	60	3.249	28.547	23.018	45.186	0.624	ดำ
600	15	4.004	25.480	40.360	30.156	0.834	ดำ
	30	3.544	26.063	34.712	35.681	0.721	ดำ
	45	3.357	27.279	27.720	41.644	0.647	ดำ
	60	3.039	29.724	19.076	48.161	0.609	ดำ

U_b = 1.2 m/s, Wt.= 40 g.							
T (°C)	t (min)	%M	%ASH	%VM	%FC	Si:C	สี
300	15	5.679	21.866	54.920	17.535	1.231	น้ำตาล
	30	4.673	21.963	54.039	19.325	1.122	น้ำตาลเข้ม
	45	4.439	22.734	48.790	24.037	0.933	น้ำตาลเข้ม
	60	3.955	23.811	46.882	25.352	0.927	น้ำตาลปนดำ
400	15	5.035	22.253	52.354	20.358	1.079	น้ำตาลดำ
	30	4.427	23.257	48.711	23.605	0.972	น้ำตาลดำ
	45	3.881	23.520	43.591	29.008	0.800	ดำ
	60	3.844	24.435	41.627	30.094	0.801	ดำ
500	15	4.191	23.405	42.806	29.598	0.781	ดำ
	30	3.755	24.134	40.010	32.101	0.742	ดำ
	45	3.512	24.954	34.542	36.992	0.666	ดำ
	60	3.301	27.043	29.152	40.504	0.659	ดำ
600	15	4.116	24.787	36.420	34.677	0.706	ดำ
	30	3.752	26.093	34.411	35.744	0.721	ดำ
	45	3.301	27.541	27.050	42.108	0.646	ดำ
	60	2.986	28.767	24.367	43.880	0.647	ดำ

U_b = 1.2 m/s, Wt.= 50 g.							
T (°C)	t (min)	%M	%ASH	%VM	%FC	Si:C	สี
300	15	5.974	19.848	56.960	17.218	1.138	น้ำตาลเข้ม
	30	4.378	20.853	53.372	21.397	0.962	น้ำตาลเข้ม
	45	4.217	22.425	50.523	22.835	0.969	น้ำตาลดำ
	60	4.039	22.725	48.324	24.912	0.900	น้ำตาลปนดำ
400	15	5.148	21.537	51.876	21.439	0.992	น้ำตาลเข้ม
	30	4.023	22.601	45.885	27.491	0.811	น้ำตาลดำ
	45	3.808	23.382	43.715	29.095	0.793	ดำ
	60	3.698	24.050	40.652	31.600	0.751	ดำ
500	15	4.352	23.130	41.692	30.826	0.741	ดำ
	30	3.987	24.662	34.782	37.018	0.658	ดำ
	45	3.508	25.485	32.018	38.989	0.645	ดำ
	60	3.169	27.624	28.680	40.527	0.673	ดำ
600	15	3.926	25.805	34.754	35.515	0.717	ดำ
	30	3.620	26.187	33.173	37.019	0.698	ดำ
	45	3.340	27.065	27.661	41.934	0.637	ดำ
	60	3.089	28.945	24.261	43.705	0.654	ดำ

U_b = 1.2 m/s, Wt.= 60 g.							
T (°C)	t (min)	%M	%ASH	%VM	%FC	Si:C	สี
300	15	5.626	20.104	57.835	16.435	1.207	น้ำตาลเข้ม
	30	4.906	21.132	54.137	19.825	1.052	น้ำตาลดำ
	45	4.290	22.504	49.691	23.515	0.945	น้ำตาลปนดำ
	60	3.815	23.736	47.811	24.638	0.951	น้ำตาลดำ
400	15	4.746	21.892	53.480	19.882	1.087	น้ำตาลดำ
	30	4.752	22.487	48.736	24.025	0.924	น้ำตาลดำ
	45	3.982	23.475	42.239	30.304	0.765	น้ำตาลดำเข้
	60	3.749	25.473	40.184	30.594	0.822	ดำ
500	15	4.195	23.432	45.014	27.359	0.845	ดำ
	30	3.793	24.876	36.721	34.610	0.709	ดำ
	45	3.407	25.423	33.131	38.039	0.660	ดำ
	60	3.207	27.545	29.684	39.564	0.687	ดำ
600	15	3.987	24.997	37.817	33.199	0.743	ดำ
	30	3.511	26.533	31.971	37.985	0.689	ดำ
	45	3.399	27.031	29.578	39.992	0.667	ดำ
	60	3.098	28.445	26.140	42.317	0.663	ดำ

ตาราง ค.1 ผลวิเคราะห์โดยประมาณของแกลบที่ได้จากการคาร์บอไนซ์(ต่อ)

U_b = 1.6 m/s, Wt. = 30 g.

T (°C)	t (min)	%M	%ASH	%VM	%FC	Si:C	สี
300	15	5.322	21.216	55.563	17.699	1.170	น้ำตาลปนดำ
	30	4.361	22.857	51.593	21.189	1.065	น้ำตาลปนดำ
	45	4.268	23.367	47.093	25.252	0.914	น้ำตาลปนดำ
	60	3.694	24.418	46.843	25.045	0.962	น้ำตาลปนดำ
400	15	4.539	22.573	51.343	21.545	1.034	น้ำตาลปนดำ
	30	4.041	23.108	49.448	23.403	0.975	น้ำตาลดำ
	45	3.645	24.404	40.994	30.957	0.778	น้ำตาลดำ
	60	3.519	25.514	39.720	31.247	0.806	น้ำตาลดำ
500	15	4.153	24.320	43.720	27.807	0.863	น้ำตาลดำอมส้ม
	30	3.537	25.520	32.311	38.632	0.652	ดำ
	45	3.332	26.189	29.033	41.446	0.624	ดำ
	60	3.064	28.817	22.150	45.969	0.619	ดำ
600	15	3.750	25.851	38.280	32.119	0.794	ดำ
	30	3.452	26.441	29.949	40.159	0.650	ดำ
	45	3.171	27.635	23.651	45.543	0.599	ดำ
	60	2.932	30.285	17.431	49.352	0.606	ดำ

U_b = 1.6 m/s, Wt. = 40 g.

T (°C)	t (min)	%M	%ASH	%VM	%FC	Si:C	สี
300	15	5.184	21.057	54.894	18.865	1.102	น้ำตาล
	30	4.423	22.301	52.337	20.939	1.051	น้ำตาลเข้ม
	45	4.181	23.394	50.203	22.222	1.039	น้ำตาลเข้ม
	60	3.743	24.848	46.551	24.858	0.987	น้ำตาลปนดำ
400	15	4.834	22.412	49.083	23.671	0.935	น้ำตาลเข้ม
	30	4.103	24.157	43.536	28.202	0.845	น้ำตาลดำ
	45	3.736	24.173	40.925	31.166	0.766	น้ำตาลดำอมส้ม
	60	3.611	25.366	39.259	31.764	0.788	ดำ
500	15	4.218	24.286	39.851	31.645	0.757	ดำ
	30	3.448	25.769	33.636	36.925	0.689	ดำ
	45	3.308	25.852	29.243	41.597	0.613	ดำ
	60	3.107	28.043	26.052	42.798	0.647	ดำ
600	15	3.611	25.019	37.950	33.420	0.739	ดำ
	30	3.385	26.535	28.984	41.096	0.637	ดำ
	45	3.099	27.920	27.041	41.940	0.657	ดำ
	60	2.814	30.196	20.182	46.808	0.697	ดำ

U_b = 1.6 m/s, Wt. = 50 g.

T (°C)	t (min)	%M	%ASH	%VM	%FC	Si:C	สี
300	15	5.311	21.213	54.670	18.806	1.113	น้ำตาลเข้ม
	30	4.260	22.726	50.725	22.290	1.006	น้ำตาลปนดำ
	45	4.197	23.608	48.897	23.298	1.000	น้ำตาลเข้ม
	60	3.569	24.051	47.249	25.131	0.945	น้ำตาลดำ
400	15	4.486	22.158	51.926	21.430	1.021	น้ำตาลดำ
	30	3.844	23.198	45.093	27.866	0.822	น้ำตาลเข้ม
	45	3.619	24.188	44.197	27.996	0.853	น้ำตาลดำ
	60	3.491	25.267	40.533	30.709	0.812	ดำ
500	15	4.097	24.644	39.920	31.339	0.776	ดำ
	30	3.526	25.327	33.038	38.110	0.656	ดำ
	45	3.396	26.146	29.724	40.734	0.634	ดำ
	60	3.002	28.453	24.821	43.724	0.642	ดำ
600	15	3.522	25.579	36.824	34.076	0.741	ดำ
	30	3.311	26.408	29.915	40.366	0.646	ดำ
	45	3.045	27.859	25.923	43.173	0.637	ดำ
	60	2.941	30.069	22.642	44.348	0.669	ดำ

U_b = 1.6 m/s, Wt. = 60 g.

T (°C)	t (min)	%M	%ASH	%VM	%FC	Si:C	สี
300	15	5.493	21.328	53.620	19.559	1.076	น้ำตาล
	30	4.423	22.503	51.538	21.537	1.031	น้ำตาลเข้ม
	45	3.955	22.913	50.320	22.812	0.991	น้ำตาลเข้ม
	60	3.729	24.009	49.121	23.141	1.024	น้ำตาลเข้ม
400	15	4.659	22.619	50.446	22.076	1.011	น้ำตาลเข้ม
	30	4.086	23.099	46.984	25.831	0.883	น้ำตาลดำ
	45	3.536	24.646	41.873	29.745	0.824	น้ำตาลดำ
	60	3.850	25.646	38.692	31.812	0.796	ดำ
500	15	4.053	24.553	41.620	29.574	0.819	ดำ
	30	3.467	25.975	34.580	35.978	0.713	ดำ
	45	3.319	26.954	29.813	39.914	0.667	ดำ
	60	2.972	28.978	25.021	43.029	0.665	ดำ
600	15	3.847	25.647	35.930	34.576	0.732	ดำ
	30	3.406	27.136	29.394	40.064	0.669	ดำ
	45	3.052	27.286	28.121	41.541	0.648	ดำ
	60	2.807	29.725	23.818	43.650	0.672	ดำ

U_b = 2.0 m/s, Wt. = 40 g.

T (°C)	t (min)	%M	%ASH	%VM	%FC	Si:C	สี
300	15	5.125	21.549	55.049	18.277	1.163	น้ำตาลเข้ม
	30	4.357	22.614	48.675	24.354	0.916	น้ำตาลเข้ม
	45	4.405	22.941	47.314	25.34	0.893	น้ำตาลเข้ม
	60	4.168	23.548	46.821	25.463	0.912	น้ำตาลดำ
400	15	4.157	24.157	46.157	25.529	0.933	น้ำตาลเข้ม
	30	3.978	24.391	42.742	28.949	0.829	น้ำตาลดำ
	45	3.744	25.754	40.124	30.378	0.836	น้ำตาลดำ
	60	3.547	27.015	38.477	30.961	0.861	ดำ
500	15	3.698	24.365	39.014	32.923	0.730	ดำ
	30	3.501	25.697	31.125	39.477	0.647	ดำ
	45	3.514	27.459	29.014	40.013	0.677	ดำ
	60	3.401	28.548	28.998	39.053	0.721	ดำ
600	15	3.502	26.147	32.147	38.203	0.675	ดำ
	30	3.359	28.429	25.846	42.366	0.662	ดำ
	45	2.984	29.122	26.014	41.88	0.686	ดำ
	60	2.891	30.296	22.457	44.356	0.674	ดำ

U_b = 2.0 m/s, Wt. = 60 g.

T (°C)	t (min)	%M	%ASH	%VM	%FC	Si:C	สี
300	15	4.997	21.034	54.157	19.812	1.047	น้ำตาลเข้ม
	30	4.647	22.363	49.024	23.966	0.920	น้ำตาลเข้ม
	45	4.216	22.155	47.125	26.504	0.825	น้ำตาลเข้ม
	60	4.206	23.014	45.124	27.656	0.821	น้ำตาลดำ
400	15	4.775	22.015	46.223	26.986	0.805	น้ำตาลเข้ม
	30	4.099	23.648	42.149	30.104	0.775	น้ำตาลเข้ม
	45	3.81	25.754	39.961	30.475	0.834	น้ำตาลดำ
	60	3.196	26.514	37.114	33.176	0.788	ดำ
500	15	3.715	24.644	42.145	29.496	0.824	ดำ
	30	3.994	25.621	37.154	33.231	0.760	ดำ
	45	3.415	26.991	32.567	37.027	0.719	ดำ
	60	3.464	28.146	29.981	38.409	0.723	ดำ
600	15	3.612	27.014	33.514	35.86	0.743	ดำ
	30	3.412	28.267	26.014	42.307	0.659	ดำ
	45	3.016	29.654	25.334	41.996	0.696	ดำ
	60	2.915	30.614	22.146	44.325	0.681	ดำ

ตาราง ค.1 ผลวิเคราะห์โดยประมาณของแกลบที่ได้จากการคาร์บอไนซ์(ต่อ)

U_b = 2.4 m/s, Wt. = 30 g.								U_b = 2.4 m/s, Wt. = 40 g.							
T (°C)	t (min)	%M	%ASH	%VM	%FC	Si:C	สี	T (°C)	t (min)	%M	%ASH	%VM	%FC	Si:C	สี
300	15	5.039	22.356	50.934	21.671	1.018	น้ำตาลเข้ม	300	15	5.087	22.314	51.375	21.224	1.038	น้ำตาล
	30	4.210	23.627	46.557	25.606	0.911	น้ำตาลปนดำ		30	4.240	24.046	46.845	24.869	0.954	น้ำตาลดำ
	45	4.067	24.054	46.074	25.805	0.920	น้ำตาลดำ		45	3.261	23.986	47.927	24.826	0.954	น้ำตาลเข้ม
	60	3.570	25.577	44.010	26.843	0.940	น้ำตาลดำ		60	3.481	25.254	44.578	26.687	0.934	น้ำตาลดำ
400	15	4.079	22.917	48.850	24.154	0.936	น้ำตาลดำ	400	15	4.469	23.385	46.717	25.429	0.908	ดำ
	30	3.988	24.028	39.855	32.129	0.738	น้ำตาลดำ		30	3.670	24.863	41.078	30.189	0.813	น้ำตาลดำ
	45	3.498	24.632	42.428	29.442	0.826	น้ำตาลดำเข้ม		45	3.438	24.547	42.732	29.283	0.827	ดำ
	60	3.481	26.057	35.268	35.194	0.731	ดำ		60	3.359	26.046	36.651	33.944	0.757	ดำ
500	15	3.730	25.046	38.435	32.789	0.754	ดำ	500	15	3.695	25.481	36.232	34.393	0.731	ดำ
	30	3.311	26.320	30.615	39.754	0.653	ดำ		30	3.239	26.196	29.714	40.851	0.633	ดำ
	45	3.078	27.175	28.021	41.726	0.643	ดำ		45	3.109	27.251	28.482	41.158	0.653	ดำ
	60	2.985	29.061	20.760	47.174	0.608	ดำ		60	3.019	28.775	23.843	44.363	0.640	ดำ
600	15	3.581	26.332	35.073	35.014	0.742	ดำ	600	15	3.640	26.179	31.170	39.011	0.662	ดำ
	30	3.271	27.540	28.175	41.014	0.663	ดำ		30	3.304	27.485	27.056	42.155	0.644	ดำ
	45	2.809	28.961	21.068	47.162	0.606	ดำ		45	2.820	28.922	24.531	43.727	0.653	ดำ
	60	2.697	30.753	17.070	49.280	0.616	ดำ		60	2.788	30.795	19.982	46.435	0.655	ดำ

U_b = 2.4 m/s, Wt. = 50 g.								U_b = 2.4 m/s, Wt. = 60 g.							
T (°C)	t (min)	%M	%ASH	%VM	%FC	Si:C	สี	T (°C)	t (min)	%M	%ASH	%VM	%FC	Si:C	สี
300	15	5.455	22.242	50.936	21.367	1.027	น้ำตาลเข้ม	300	15	4.687	22.315	51.180	21.618	1.019	น้ำตาล
	30	4.118	23.598	47.534	24.750	0.941	น้ำตาลดำ		30	4.267	23.405	47.810	24.519	0.942	น้ำตาลเข้ม
	45	4.108	24.534	47.298	24.060	1.006	น้ำตาลดำ		45	4.017	24.253	47.320	24.410	0.981	น้ำตาลดำ
	60	3.619	25.359	42.945	28.077	0.891	น้ำตาลดำ		60	3.699	25.312	43.821	27.168	0.920	น้ำตาลดำ
400	15	3.629	23.107	47.947	25.317	0.901	น้ำตาลดำ	400	15	4.035	23.558	46.970	25.437	0.914	น้ำตาลเข้ม
	30	3.659	24.012	43.113	29.016	0.817	น้ำตาลดำเข้ม		30	3.758	24.815	40.401	31.026	0.769	น้ำตาลดำ
	45	3.519	25.510	39.641	31.330	0.804	ดำ		45	3.409	25.628	40.791	30.172	0.838	น้ำตาลดำ
	60	3.548	26.559	36.142	33.751	0.777	ดำ		60	3.391	26.845	35.674	34.090	0.777	ดำ
500	15	3.892	25.706	37.982	32.420	0.783	ดำ	500	15	3.811	25.626	37.340	33.224	0.761	ดำ
	30	3.427	26.535	33.041	36.997	0.708	ดำ		30	3.207	26.571	31.610	38.611	0.679	ดำ
	45	3.119	27.051	28.041	41.789	0.639	ดำ		45	3.091	27.915	27.923	41.071	0.671	ดำ
	60	2.878	29.562	24.039	43.521	0.670	ดำ		60	3.059	29.058	24.421	43.462	0.660	ดำ
600	15	3.740	26.396	33.516	36.349	0.717	ดำ	600	15	3.409	26.435	33.470	36.687	0.711	ดำ
	30	3.273	27.443	27.944	41.340	0.655	ดำ		30	3.251	27.634	26.067	43.048	0.634	ดำ
	45	2.800	28.433	24.782	43.985	0.638	ดำ		45	2.848	28.508	24.410	44.234	0.636	ดำ
	60	2.786	29.947	21.759	45.508	0.650	ดำ		60	2.899	30.569	22.051	44.481	0.678	ดำ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ค.2 ตัวอย่างผลการวิเคราะห์ก๊าซที่ได้จากการคาร์บอไนซ์

U_b 1.6 m/s, Time 45 min					Wt. 40 g.,Time 30 min				
T(°C)	Wt.	%CO_2	%H_2	%CO	T (°C)	U_b	%CO_2	%H_2	%CO
300	30	0.7914	0	0.2772	300	1.2	0.7140	0	0.4904
	40	2.0952	0	0.5097		1.6	0.3040	0	0.4267
	50	1.0582	0	0.2225		2.0	0.975	0	0.5153
	60	2.7229	0	0.5867		2.4	0.8800	0	0.6290
400	30	2.9075	0	0.6093	400	1.2	1.7880	0	0.6411
	40	4.1278	0	0.3362		1.6	0.6790	0	0.6976
	50	3.6012	0	0.6884		2.0	1.644	0	0.6605
	60	2.0951	0	0.5091		2.4	1.2630	0	0.7931
500	30	5.1614	0	0.8567	500	1.2	4.6960	0	0.9910
	40	3.7755	0.0143	0.6752		1.6	3.1660	0.0081	0.6873
	50	3.2542	0.0094	0.4941		2.0	3.486	0.0189	0.8435
	60	4.4781	0.0167	0.7063		2.4	3.3950	0.0075	4.0241
600	30	3.3497	0.0025	1.9625	600	1.2	3.5630	0.0147	1.0896
	40	3.9356	0.0121	0.9254		1.6	5.2510	0.0235	0.9392
	50	4.4073	0.0083	0.9693		2.0	4.521	0.0194	1.0240
	60	3.8919	0.0146	0.8315		2.4	3.7770	0.0187	1.2453

Wt. 60 g., U_b 2.4 m/s					Wt. 60 g., U_b 2.4 m/s				
T(°C)	t(min)	%CO_2	%H_2	%CO	t(min)	T(°C)	%CO_2	%H_2	%CO
300	15	0.7750	0	0.7741	15	300	0.7750	0	0.7741
	30	0.4712	0	0.4166		400	1.2715	0	1.0916
	45	0.7029	0	0.6206		500	1.4417	0.0092	1.2254
	60	1.2485	0	1.3512		600	1.1064	0.0032	1.1553
400	15	1.2715	0	1.0916	30	300	0.4712	0	0.4166
	30	0.8836	0	1.0432		400	0.8836	0	1.0432
	45	1.5921	0	1.6373		500	2.2501	0.0163	1.6362
	60	3.1453	0	0.7259		600	2.7936	0.0209	2.1528
500	15	1.4417	0.0092	1.2254	45	300	0.7029	0	0.6206
	30	2.2501	0.0163	1.6362		400	1.5921	0	1.6373
	45	1.6063	0.0147	1.6754		500	1.6063	0.0147	1.6754
	60	2.8075	0.0118	1.6317		600	2.3253	0.0184	1.8236
600	15	1.1064	0.0032	1.1553	60	300	1.2485	0	1.3512
	30	2.7936	0.0209	2.1528		400	3.1453	0	0.7259
	45	2.3253	0.0184	1.8236		500	2.8075	0.0118	1.6317
	60	4.5549	0.0136	2.0264		600	4.5549	0.0136	2.0264

ภาคผนวก ง.

คุณสมบัติของแกลบที่ผ่านการคาร์บอไนซ์

การวิเคราะห์คุณสมบัติของแกลบ

เนื่องจากยังไม่มีมาตรฐานในการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพแกลบโดยตรง จึงใช้การวิเคราะห์ตามมาตราฐานที่ใช้กับถ่านหิน(Antal, 1982)

1. ปริมาณความชื้น(ASTM D3173)

   วิธีทดลอง

   - อบถาดอลูมิเนียมพร้อมฝาในตู้อบที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส ประมาณ 30 นาที จากนั้นนำมาเก็บในเดสิคเคเตอร์(desiccator)จนเย็น นำไปชั่งน้ำหนัก
   - ชั่งตัวอย่างแกลบประมาณ 1 กรัมใส่ถาดอลูมิเนียมที่ทราบน้ำหนัก ปิดฝา
   - นำไปเข้าตู้อบที่อุณหภูมิประมาณ 110 องศาเซลเซียส จนน้ำหนักคงที่
   - นำถาดอลูมิเนียมออกจากตู้อบทิ้งให้เย็นในเดสิคเคเตอร์ แล้วชั่งน้ำหนัก

   สูตรที่ใช้ในการคำนวณ

   $$M = (A - B)/A \times 100$$

   เมื่อ M = ร้อยละของปริมาณความชื้น

   A = น้ำหนักตัวอย่างแกลบที่ใช้เริ่มต้น(กรัม)

   B = น้ำหนักตัวอย่างแกลบหลังการอบแห้ง(กรัม)

2. ปริมาณเถ้า(ASTM D3174)

   วิธีการทดลอง

   - เผาครูซิเบิลพร้อมฝาที่อุณหภูมิประมาณ 750 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที แล้วนำออกมาทิ้งไว้ในเดสิคเคเตอร์ให้เย็น และนำมาชั่งน้ำหนัก
   - ชั่งตัวอย่างแกลบประมาณ 1 กรัม ใส่ลงในครูซิเบิล ปิดฝา

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

- นำเข้าเตาเผาที่อุณหภูมิประมาณ 750 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง แล้วจึงนำออกจากเตาเผาทิ้งให้เย็นในเดสิคเคเตอร์ และชั่งน้ำหนัก

สูตรที่ใช้ในการคำนวณ

$$A = (D/B) \times 100$$

เมื่อ A = ร้อยละของปริมาณเถ้า

B = น้ำหนักตัวอย่างแกลบในตอนเริ่มต้น(กรัม)

D = น้ำหนักของเถ้าแกลบที่เหลืออยู่หลังการเผา(กรัม)

3. ปริมาณสารระเหย(ASTM D3175)

วิธีการทดลอง

- เผานิเกิลครูซิเบิลพร้อมฝาที่อุณหภูมิ 950 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที แล้วนำออกจากเตาเผาทิ้งให้เย็นในเดสิคเคเตอร์ ชั่งน้ำหนัก
- ชั่งตัวอย่างแกลบประมาณ 1 กรัมใส่ลงในนิเกิลครูซิเบิล และปิดฝา
- นำไปเผาในเตาเผาแบบท่อ โดยให้ความร้อนเป็น 2 ช่วงๆ ละ 6 นาที ช่วงแรกเป็นการเริ่มต้นให้ความร้อนแก่แกลบที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส 3 นาที และที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส 3 นาที ช่วงที่สองเผาที่กึ่งกลางเตาที่อุณหภูมิประมาณ 950 องศาเซลเซียส นาน 6 นาที
- นำนิเกิลครูซิเบิลออกจากเตา ทิ้งให้เย็นในเดสิคเคเตอร์ แล้วชั่งน้ำหนัก

สูตรที่ใช้คำนวณ

$$V = [(B - C)/B \times 100] - M$$

เมื่อ V = ร้อยละของสารระเหย

B = น้ำหนักของตัวอย่างแกลบในตอนเริ่มต้น(กรัม)

C = น้ำหนักของตัวอย่างแกลบหลังจากการเผา(กรัม)

M = ร้อยละของความชื้น

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4. ปริมาณคาร์บอนคงตัว

สูตรที่ใช้คำนวณ

$$FC = 100 - [M + A + VM]$$

เมื่อ FC = ร้อยละของคาร์บอนคงตัว
M = ร้อยละของความชื้น
A = ร้อยละของเถ้า
VM = ร้อยละของสารระเหย

5. อัตราส่วนซิลิกาต่อคาร์บอน

ซิลิกาคิดได้จากปริมาณเถ้า โดยจะคิดว่ามีความบริสุทธิ์ประมาณ 98.7 เปอร์เซ็นต์ (พงษ์ศักดิ์, 2535)

สูตรที่ใช้คำนวณ

$$SiO_2/Carbon = (0.987\ A/60.08)/(FC/12)$$

เมื่อ A = ร้อยละของเถ้า (เปอร์เซ็นต์)
FC = ร้อยละของคาร์บอน (เปอร์เซ็นต์)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก จ.

ค่าคงที่ต่างๆ ของความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์

ตาราง จ.1 ค่าความชัน และจุดตัดแกน ของกราฟที่ปรับเป็นเส้นตรง

MOISTURE CURVE FITTING

Equation: $Y = a\,e^{bx}$ (exponential model) : a = A1,A3,A5 , b = A2,A4,A6

Coefficient	Moiisture with velocity				Moisture with temperature			Moisture with time			
	15 min	30 min	45 min	60 min	1.2 m/s	1.6 m/s	2.4 m/s	300°C	400°C	500°C	600
a	0.892276	0.738107	0.598602	0.529808	1.014160	1.036397	0.875783	0.865991	0.725260	0.615221	0.5761
b	−0.10931	−0.09553	−0.03976	−0.02114	−0.03469	−0.03749	−0.03414	−0.00866	−0.00589	−0.00582	−0.005
a	0.796438	0.778383	0.604681	0.584730	0.954726	0.772622	0.734874	0.812079	0.679465	0.594222	0.5752
b	−0.13416	−0.16432	−0.10568	−0.08489	−0.03686	−0.02844	−0.02922	−0.00849	−0.00561	−0.00649	−0.006
a	0.625962	0.595658	0.511881	0.439035	0.728813	0.666554	0.738550	0.712437	0.576577	0.529632	0.4899
b	−0.07173	−0.12029	−0.07411	−0.02575	−0.02563	−0.02521	−0.03580	−0.00597	−0.00412	−0.00464	−0.004
a	0.639785	0.513205	0.533642	0.427838	0.649065	0.716044	0.625816				
b	−0.12020	−0.05703	−0.12475	−0.03753	−0.02302	−0.03333	−0.02502				
Each Avg. a	0.738615	0.656338	0.562201	0.495353	0.836691	0.797904	0.743758	0.796836	0.660434	0.579692	0.5471
b	−0.10885	−0.10929	−0.08607	−0.04233	−0.03005	−0.03112	−0.03105	−0.00770	−0.00521	−0.00565	−0.005
All Avg. a	0.613127 = A1				0.792785 = A3			0.646018 = A5			
b	−0.08664 = A2				−0.03074 = A4			−0.00593 = A6			

VOLATILE MATTER CURVE FITTING

Equation: $Y = a\,e^{bx}$ (exponential model) : a = A7,A9,A11 ,b = A8,A10,A12

Coefficient	Volatile matter with velocity				Volatile matter with temperature			Volatile matter with time			
	15 min	30 min	45 min	60 min	1.2 m/s	1.6 m/s	2.4 m/s	300°C	400°C	500°C	600
a	1.094754	1.044934	0.910674	0.926446	1.506777	1.378227	1.341157	1.054293	1.008974	0.974008	0.7164
b	−0.08606	−0.09196	−0.04130	−0.07436	−0.04340	−0.04165	−0.04510	−0.00437	−0.00667	−0.01409	−0.007
a	1.033061	1.024075	0.750714	0.776355	1.571740	1.566589	1.448502	0.940906	0.952317	0.842242	0.6837
b	−0.00949	−0.14483	−0.02663	−0.08958	−0.05589	−0.05973	−0.06195	−0.00191	−0.00607	−0.01126	−0.007
a	0.922906	0.726069	0.652757	0.577461	1.381279	1.499493	1.917464	0.915817	0.856310	0.727771	0.6234
b	−0.13836	−0.11078	−0.12046	−0.12936	−0.05397	−0.06256	−0.08895	−0.00317	−0.00543	−0.00931	−0.000
a	0.727079	0.664892	0.619339	0.518590	1.519018	1.670791	1.445493				
b	−0.06989	−0.15054	−0.14619	−0.12173	−0.07105	−0.07822	−0.73175				
Each Avg. a	0.944450	0.864992	0.733371	0.699713	1.494704	1.528775	1.538154	0.970338	0.939200	0.948007	0.5745
Avg. b	−0.08095	−0.12453	−0.08365	−0.10376	−0.05608	−0.06054	−0.23194	−0.00315	−0.00606	−0.01156	−0.005
All Avg. a	0.810632 = A7				1.520544 = A9			0.858027 = A11			
b	−0.09822 = A8				−0.11618 = A10			−0.00656 = A12			

ตาราง จ.1 ค่าความชัน และจุดตัดแกน ของกราฟที่ปรับเป็นเส้นตรง (ต่อ)

ASH CURVE FITTING

Equation: Y = aX/(b + X) (saturation growth model) : a = A13,A15,A17 ,b = A14,A16,A18

Coefficient	Ash with velocity				Ash with temperature			Ash with time			
	15 min	30 min	45 min	60 min	1.2 m/s	1.6 m/s	2.4 m/s	300°C	400°C	500°C	600
1/a	0.767788	0.732645	0.739618	0.717682	0.617224	0.621699	0.609255	0.794294	0.760691	0.577489	0.6662
b/a	0.253774	0.236660	0.165034	0.135092	3.144971	2.631207	2.373063	2.658173	2.003613	2.352839	1.6480
a	1.302441	1.364917	1.352048	1.393374	1.620154	1.608494	1.641346	1.258979	1.314248	1.476038	1.5009
b	0.330526	0.323021	0.223134	0.188234	5.095340	4.232282	3.895019	3.346585	2.633246	3.472881	2.4736
1/a	0.758368	0.703531	0.680848	0.685417	0.574286	0.587757	0.589652	0.791036	0.874630	0.656614	0.6589
b/a	0.166321	0.214855	0.184303	0.103328	3.174495	2.586978	2.169769	1.777382	1.861500	2.063500	1.4867
a	1.318619	1.421399	1.468756	1.458965	1.741290	1.701381	1.695339	1.264164	1.143340	1.522964	1.5175
b	0.219315	0.305396	0.270696	0.150752	5.527718	4.401437	3.678495	2.246904	2.128328	3.142638	2.2561
1/a	0.682266	0.674600	0.620941	0.622643	0.602491	0.573222	0.504218	0.748528	0.705504	0.653453	0.6271
b/a	0.188194	0.132080	0.180839	0.097350	2.413777	2.434954	2.760284	1.841720	1.792965	1.606390	1.6563
a	1.465660	1.482358	1.610457	1.606055	1.659773	1.744522	1.983268	1.335955	1.417425	1.530330	1.5944
b	0.275829	0.195790	0.291234	0.156351	4.006324	4.247834	5.474385	2.460455	2.541395	2.458308	2.6410
1/a	0.689035	0.669313	0.644381	0.582713	0.537052	0.503139	0.521950				
b/a	0.112051	0.077333	0.098697	0.125799	2.524056	2.789680	2.238710				
a	1.451304	1.494068	1.551875	1.716108	1.862015	1.987518	1.915889				
b	0.162820	0.115541	0.153166	0.215884	4.699831	5.544542	4.289121				
Each Avg. a	1.384506	1.440685	1.495784	1.543625	1.436108	1.760479	1.808960	1.286366	1.291671	1.509777	1.5376
Avg. b	0.247072	0.234937	0.234556	0.177805	4.053818	4.606524	4.334255	2.684648	2.434323	3.024609	2.4569
All Avg. a	1.466150 = A13				1.668516 = A15			1.406371 = A17			
b	0.223593 = A14				4.331532 = A16			2.650134 = A18			

FIXED CARBON CURVE FITTING

Equation: Y = aX/(b + X) (saturation growth model) : a = A19,A21,A23 ,b = A20,A22,A24

Coefficient	Fixed carbon with velocity				Fixed carbon with temperature			Fixed carbon with time			
	15 min	30 min	45 min	60 min	1.2 m/s	1.6 m/s	2.4 m/s	300°C	400°C	500°C	60
1/a	0.461313	0.469401	0.599465	0.516194	0.050693	0.148910	0.146560	0.516321	0.400535	0.287776	0.328
b/a	0.581459	0.384872	0.062151	0.150660	7.954284	5.778147	5.022379	6.051771	5.426634	3.966422	1.851
a	2.167721	2.130372	1.668152	1.937254	19.72634	6.715463	6.823116	1.936779	2.496658	3.474921	3.045
b	1.280442	0.819922	0.103678	0.291867	156.9089	39.80294	34.26827	11.72094	13.54845	13.78300	5.639
1/a	0.425902	0.350284	0.488640	0.390489	0.050304	0.074052	0.103656	0.606891	0.417189	0.304189	0.334
b/a	0.437837	0.374387	0.020911	0.133609	6.480848	5.718664	4.571991	2.389867	4.027852	3.067344	1.455
a	2.347955	2.854825	2.046494	2.560891	19.87881	13.50384	9.647271	1.647739	2.396995	3.287421	2.996
b	1.028022	1.068809	0.042794	0.342160	128.8316	77.22397	44.10724	3.937880	9.654742	10.08365	4.346
1/a	0.355909	0.344355	0.333612	0.305544	0.113209	0.612396	0.052982	0.531626	0.408685	0.315256	0.305
b/a	0.257160	0.119360	0.077367	0.090362	4.574530	5.336571	5.124506	2.427284	2.653684	2.043946	1.489
a	2.809706	2.903975	2.997485	3.272841	8.833169	1.632927	18.87401	1.881019	2.446866	3.172017	3.274
b	0.722544	0.346620	0.231907	0.295741	41.29092	8.714235	96.72002	4.565768	6.493212	6.483434	4.877
1/a	0.365794	0.301851	0.303409	0.318133	0.071027	0.025995	0.117364				
b/a	0.114143	0.123431	0.095581	0.045820	4.844267	5.513169	3.885210				
a	2.733779	3.312888	3.295877	3.143338	14.07914	38.46776	8.520430				
b	0.312043	0.408916	0.315025	0.144030	68.20314	212.0793	33.10366				
Each Avg. a	2.514790	2.800515	2.502002	2.728581	15.62936	15.08000	10.96620	1.821846	2.446840	3.311453	3.102
Avg. b	0.830763	0.661067	0.173351	0.268450	98.80966	84.20511	52.04980	6.741531	9.898802	10.11669	4.954
All Avg. a	2.636472 = A19				13.89185 = A21			2.670537 = A23			
b	0.483408 = A20				78.35452 = A22			7.927934 = A24			

ประวัติผู้เขียน

นาย ชูศักดิ์ โกกะนุทรานนท์ เกิดวันที่ 22 พฤษภาคม พ.ศ.2510 จังหวัดกรุงเทพฯ สำเร็จการศึกษาปริญญาตรีวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาเคมีวิศวกรรม (เทคโนโลยีทางเชื้อเพลิง) ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2532 และทำงานในตำแหน่งวิศวกรควบคุมการผลิตที่บริษัทไทยอาซาฮีเคมีภัณฑ์ จำกัด ก่อนเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ที่จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปี พ.ศ.2534

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย