

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

- เพ็ชรพรรค ทศคร. 2534. หน่วยปฏิบัติการทั่วไป. กรุงเทพมหานคร : ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ปิฎกโชติ มีท่านะ. 2538. การลดขนาดด้วยเครื่องย่อยและเครื่องบด. กรุงเทพมหานคร : ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- วิวัฒน์ ตันทะพานิชกุล และ ธวัชชัย ชินพานิชกุล. 2538. การระเบิดของฝุ่นผง. กรุงเทพมหานคร : ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- สุจิตร์ พิศราภุส. 2530. แหล่งแร่และแร่ในอุตสาหกรรม. เชียงใหม่ : ภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

ภาษาอังกฤษ

- Allen, T. 1981. Particle Size Measurement. 3rd ed. New York: Chapman & Hall.
- Aral, Y. 1996. Chemistry of Powder Production. London: Chapman & Hall.
- Austin, L.G., Barahona. C.A., and Menacho. J.M. 1987. Investigations of Autogenous and Semi-Autogenous Grinding in Tumbling Mills. Powder Technology. 51: 283-294.
- Austin, L.G., Barahona. C.A., and Menacho. J.M. 1987. Fast and Slow Chipping Fracture and Abrasion in Autogenous Grinding. Powder Technology. 46: 81-87.
- Austin, L.G., Kilmpel, R.R. and Luckle, P.T. 1984. Process Engineering of Size Reduction: Ball Milling. New York: SME-AIME.
- Barahona, C.A. 1984. Modeling and Simulation of Semi-Autogenous Grinding Systems. Master's Thesis, The Pennsylvania State University.
- Cadle, R.D. 1965. Particle Size: Theory and Industrial Applications. New York: Reinhold Publ Shing Corporation.
- Clyde, O.,JR. 1966. Particulate Technology. New York: The Macmillan Company.

- Dallavalle, J.M., Orr, C., and Blocker, H.G. 1951. Fitting Bimodal Particle Size Distribution Curves. Industrial and Engineering Chemistry. 43: 1337-1380.
- Das, P.K., Khan, A.A., and Pitchumani, B. 1995. Solution of the Batch Grinding Equation. Powder Technology. 85: 189-192.
- Fayed, M.E., and Otten, L. 1984. Handbook of Powder Science and Technology. New York: Van Nostrand Reinhold Company Inc.
- Fillo, J.M., Kasal, E., Ymetsu, Y., Saito, F., and Chung, H.S., 1994. Grinding of EP Dust and Its Effect on Solubility of Metal-Compounds in Water [CD-ROM]. Abstract from: Institute for Scientific Information: Science Citation Index with Abstracts
- Frances, C., Lagueric, C., Mazzarotta, B., and Vecchia, T. 1996. On the Analysis of Fine Wet Grinding in a Batch Ball Mill [CD-ROM]. Abstract from: Institute for Scientific Information: Science Citation Index with Abstracts
- Gao, M., and Forssberg, E. 1995. Prediction of Product Size Distributions for a Stirred Ball Mill. Powder Technology. 84: 101-106.
- Irani, R.R., and Callis, C.F. 1963. Particle Size Measurement Interpretation and Application. New York: John Wiley & Sons.
- Linoya, K., Gotoh, K., and Higashitani, K. 1991. Powder Technology Handbook. New York: Marcel Dekker, Inc.
- Lowrison, G.C. 1974. Crushing and Grinding: the Size Reduction of Solid materials. London: Butter Worths.
- Nagata, S. 1975. Mixing: Principles and Applications. New York: John Wiley & Sons.
- Oae, S. 1977. Organic Chemistry of Sulfur. New York: Plenum Press.
- Rhodes, M.J. 1993. Principles of Powder Technology. New York: John Wiley & Sons.
- Riegel, E.R. 1953. Chemical Process Machinery. 2nd ed. New York: Maruzen company.
- Ryu, H., Sugiyama, K., Kasal, E., Shindo, D., and Saito, F. 1993. Effect of Mixed Grinding of Powders on Superconducting Properties of $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ Y Ceramics [CD-ROM]. Abstract from: Institute for Scientific Information: Science Citation Index with Abstracts
- Shreve, R.N., and Brink, J.A. 1997. Chemical Process Industries. New York: Mc Graw-Hill.
- Sterbacek, Z., and Tausk, P. 1965. Mixing in the Chemical Industry. Oxford: Peramon Press.

- Tangripongkul, S.Y. 1993. Investigations of Breakage Mechanisms in Autogenous Grinding. Proceedings of The third International Chemical Engineering Conference. : 165-183.
- Tangsathikulchal, C. 1989. Slowing-Down Effect in Fine Wet Grinding. TIZ International Powder Magazine. 113: 802-804.
- Tsakorn, P. 1977. Liquid-Liquid Dispersion In Relation to Suspension Polymerisation. Ph.D. Thesis, The University of Wales.
- Verma, R., and Rajamani, R.K. 1995. Environment-Dependent Breakage Rates in Ball Milling. Powder Technology. 84: 127-137.
- Vincent, W.U., and Joseph, B.G. 1966. Mixing: Theory and Practice Volume 1. New York: Academic Press Inc. Ltd.
- Yelamanchili, P., and Arnold, D.W. 1994. Production of Stable High Solids Coal-Water Fuel in a Tumbling Wet Ball Mill [CD-ROM]. Abstract from: Institute for Scientific Information: Science Citation Index with Abstracts
- Zheng, X.O., Chiang, W.C., and Wang, S.S. 1995. Effect of Shear Energy on Size-Reduction of Starch Granules in Extrusion [CD-ROM]. Abstract from: Institute for Scientific Information: Science Citation Index with Abstracts



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

สมบัติของธาตุกัมมันต์

สมบัติทางเทอร์โมไดนามิกส์ของธาตุกัมมันต์

Density, g/cm ³	2.07
Melting Point, K	388.6
Boiling Point, K	717.75
Heat of Fusion, kJ/mol	1.7175
Heat of Vaporization, kJ/mol	-
Heat Capacity (Cp), J/mol	22.64
Entropy (S ^o), J/K mol	31.80
Atomic Volume, cm ³ /mol	15.5
Thermal Conductivity, W/cm K	0.00269
Thermal Expansion Coeff., ppm/K	74.33

สมบัติทางเคมีของธาตุกัมมันต์

Electron Configuration	[Nc]3s ² 3p ⁴
Pauling's Electronegativity	2.58
Neutron Cross Section, barns	0.52
Atomic Radius	1.09
Covalent Radius	1.02
Crystal Structure	orthorhombic

ตารางที่ ก 1 แสดงการเปรียบเทียบขนาดตะแกรงมาตรฐาน ASTM ต่าง ๆ

Comparison Table of U.S.A., Tyler, Canadian, British, French, and German Standard Sieve Series

U.S.A. (1)		TYLER (2)	CANADIAN (3)		BRITISH (4)		FRENCH (5)		GERMAN (6)
Standard	Alternate	Mesh Designation	Standard	Alternate	Nominal Aperture	Nominal Mesh No.	Opp. M.M.	No.	Opp.
125 mm	5"		125 mm	5"					
106 mm	4.24"		106 mm	4.24"					
100 mm	4"		100 mm	4"					
90 mm	3 1/2"		90 mm	3 1/2"					
75 mm	3"		75 mm	3"					
63 mm	2 1/2"		63 mm	2 1/2"					
53 mm	2.12"		53 mm	2.12"					
50 mm	2"		50 mm	2"					
45 mm	1 3/4"		45 mm	1 3/4"					
37.5 mm	1 1/2"		37.5 mm	1 1/2"					
31.5 mm	1 1/4"		31.5 mm	1 1/4"					
26.5 mm	1.06"	1.05"	26.5 mm	1.06"					25.0 mm
25.0 mm	1"		25.0 mm	1"					
22.4 mm	7/8"	.883"	22.4 mm	7/8"					20.0 mm
19.0 mm	3/4"	.742"	19.0 mm	3/4"					
16.0 mm	5/8"	.624"	16.0 mm	5/8"					18.0 mm
13.2 mm	.530"	.525"	13.2 mm	.530"					16.0 mm
12.5 mm	1/2"		12.5 mm	1/2"					12.5 mm
11.2 mm	7/16"	.441"	11.2 mm	7/16"					
9.5 mm	3/8"	.371"	9.5 mm	3/8"					10.0 mm
8.0 mm	5/16"	2 1/2	8.0 mm	5/16"					8.0 mm
6.7 mm	.266"	3	8.7 mm	.266"					
6.3 mm	1/4"		6.3 mm	1/4"					6.3 mm
5.6 mm	No. 3 1/2	3 1/2	5.6 mm	No. 3 1/2					
4.75 mm	4	4	4.75 mm	4			5.000	38	6.0 mm
4.00 mm	5	5	4.00 mm	5			4.000	37	4.0 mm
3.35 mm	6	6	3.35 mm	6	3.35 mm	5			
2.80 mm	7	7	2.80 mm	7	2.80 mm	6	3.150	36	3.15 mm
2.36 mm	8	8	2.36 mm	8	2.40 mm	7	2.500	35	2.5 mm
2.00 mm	10	9	2.00 mm	10	2.00 mm	8	2.000	34	2.0 mm
1.70 mm	12	10	1.70 mm	12	1.68 mm	10	1.600	33	1.6 mm

U.S.A. (1)		TYLER (2)	CANADIAN (3)		BRITISH (4)		FRENCH (5)		GERMAN (6)
*Standard	Alternate	Mesh Designation	Standard	Alternate	Nominal Aperture	Nominal Mesh No.	Opp. M.M.	No.	Opp.
1.40 mm	14	12	1.40 mm	14	1.40 mm	12	1.250	32	1.25 mm
1.18 mm	16	14	1.18 mm	16	1.20 mm	14			
1.00 mm	18	16	1.00 mm	18	1.00 mm	16	1.000	31	1.0 mm
850 μ m	20	20	850 μ m	20	850 μ m	18			
710 μ m	25	24	710 μ m	25	710 μ m	22	.800	30	800 μ m
600 μ m	30	28	600 μ m	30	600 μ m	25	.630	29	630 μ m
500 μ m	35	32	500 μ m	35	500 μ m	30	.500	28	500 μ m
425 μ m	40	35	425 μ m	40	420 μ m	36	.400	27	400 μ m
355 μ m	45	42	355 μ m	45	355 μ m	44	.315	26	315 μ m
300 μ m	50	48	300 μ m	50	300 μ m	52			
250 μ m	60	60	250 μ m	60	250 μ m	60	.250	25	250 μ m
212 μ m	70	65	212 μ m	70	210 μ m	72	.200	24	200 μ m
180 μ m	80	80	180 μ m	80	180 μ m	85	.180	23	180 μ m
160 μ m	100	100	160 μ m	100	160 μ m	100			
125 μ m	120	115	125 μ m	120	125 μ m	120	.125	22	125 μ m
106 μ m	140	150	106 μ m	140	106 μ m	150	.100	21	100 μ m
90 μ m	170	170	90 μ m	170	90 μ m	170			
75 μ m	200	200	75 μ m	200	75 μ m	200	.080	20	80 μ m
63 μ m	230	250	63 μ m	230	63 μ m	240	.063	19	71 μ m 63 μ m 56 μ m
53 μ m	270	270	53 μ m	270	53 μ m	300	.050	18	50 μ m
45 μ m	325	325	45 μ m	325	45 μ m	350	.040	17	45 μ m 40 μ m
38 μ m	400	400	38 μ m	400					

(1) U.S.A. Sieve Series - ASTM Specification E-11-70.

(2) Tyler Standard Screen Scale Sieve Series.

(3) Canadian Standard Sieve Series S-GP-1c.

(4) British Standards Institution, London BS-410-02.

(5) French Standard Specifications, AFNOR X-11-501.

(6) German Standard Specification DIN 4188.

* These sieves correspond to those recommended by ISO (International Standards Organization) as an International Standard and this designation should be used when reporting sieve analysis intended for international publication.

ภาคผนวก ข

ข้อมูลการทดลอง



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 1 แสดงข้อมูลการทดลองหา D_{32} , d/D_{32} และ S_i ที่อัตราส่วนน้ำหมักกำหนดต่อน้ำ 0.5 ใน ball mill

	เวลาบด (นาที)	ขนาดเม็ดกำหนด, d (มิลลิเมตร)						รวม
		0.075	0.375	1.20	2.70	5.55	11.25	
น้ำหมัก (กรัม)	0	0	0	0	274.40	1097.59	1371.99	2743.99
	15	179.23	257.06	146.93	577.58	952.05	628.88	2741.71
	30	250.01	337.62	211.83	648.66	882.01	410.68	2740.81
	45	307.52	383.21	257.81	619.88	793.69	377.92	2740.03
	60	370.79	419.11	278.19	599.92	715.31	357.54	2740.86
	75	411.98	431.94	278.52	590.76	675.69	351.89	2740.78
	90	460.96	441.04	276.28	562.98	660.84	339.40	2741.50
สัดส่วน มวล	0	0.000	0.000	0.000	0.100	0.400	0.500	1.000
	15	0.065	0.094	0.054	0.211	0.347	0.229	1.000
	30	0.091	0.123	0.077	0.237	0.322	0.150	1.000
	45	0.112	0.140	0.094	0.226	0.290	0.138	1.000
	60	0.135	0.153	0.101	0.219	0.261	0.130	1.000
	75	0.150	0.158	0.102	0.216	0.247	0.128	1.000
	90	0.168	0.161	0.101	0.205	0.241	0.124	1.000
สัดส่วน สะสม	0	0.000	0.000	0.000	0.100	0.500	1.000	
	15	0.065	0.159	0.213	0.423	0.771	1.000	
	30	0.091	0.214	0.292	0.528	0.850	1.000	
	45	0.112	0.252	0.346	0.572	0.862	1.000	
	60	0.135	0.288	0.390	0.609	0.870	1.000	
	75	0.150	0.308	0.410	0.625	0.872	1.000	
	90	0.168	0.329	0.430	0.635	0.876	1.000	
d/D_{32}	0	0.012	0.058	0.184	0.415	0.852	1.727	
	15	0.100	0.498	1.593	3.584	7.366	14.932	
	30	0.133	0.663	2.122	4.774	9.813	19.891	
	45	0.157	0.788	2.515	5.659	11.633	23.580	
	60	0.183	0.913	2.923	6.577	13.519	27.403	
	75	0.198	0.992	3.174	7.141	14.679	29.754	
	90	0.216	1.082	3.462	7.790	16.014	32.460	
เวลาบด (นาที)	0	15	30	45	60	75	90	
D_{32} (มม.)	6.512	0.753	0.566	0.477	0.411	0.378	0.347	
S_i (นาที) ⁻¹		0.431	0.244	0.174	0.138	0.114	0.098	

ตารางที่ ๒ แสดงข้อมูลการทดลองหา D_{22} ในเครื่อง ball mill ที่เวลาเริ่มต้นการบด

	อัตราส่วนโดยน้ำหนัก	ขนาดกัมมะถัน (มิลลิเมตร)						รวม
		กัมมะถันต่อน้ำ	0.075	0.375	1.2	2.7	6.55	
น้ำหนัก (กรัม)	0.2				109.76	439.04	548.80	1097.59
	0.3				164.64	658.56	823.20	1646.39
	0.4				219.52	878.08	1097.59	2195.19
	0.5				274.40	1097.69	1371.99	2743.99
สัดส่วน มวล	0.2				0.10	0.40	0.50	1.00
	0.3				0.10	0.40	0.50	1.00
	0.4				0.10	0.40	0.50	1.00
	0.5				0.10	0.40	0.50	1.00
สัดส่วน สะสม	0.2				0.10	0.50	1.00	
	0.3				0.10	0.50	1.00	
	0.4				0.10	0.50	1.00	
	0.5				0.10	0.50	1.00	

ตารางที่ ๓ แสดงข้อมูลการทดลองหา D_{22} ในเครื่อง ball mill ที่เวลาการบด 30 นาที

	อัตราส่วนโดยน้ำหนัก	ขนาดกัมมะถัน (มิลลิเมตร)						รวม
		กัมมะถันต่อน้ำ	0.075	0.375	1.20	2.70	5.55	
น้ำหนัก (กรัม)	0.2	146.49	163.18	76.15	165.41	310.68	232.18	1094.09
	0.3	206.21	220.93	129.40	298.41	522.32	266.25	1643.52
	0.4	234.66	256.66	194.42	468.91	709.56	329.68	2193.89
	0.5	250.01	337.62	211.83	648.66	882.01	410.68	2740.81
สัดส่วน มวล	0.2	0.134	0.149	0.070	0.151	0.284	0.212	1.000
	0.3	0.125	0.134	0.079	0.182	0.318	0.162	1.000
	0.4	0.107	0.117	0.089	0.214	0.323	0.150	1.000
	0.5	0.091	0.123	0.077	0.237	0.322	0.150	1.000
สัดส่วน สะสม	0.2	0.134	0.283	0.353	0.504	0.788	1.000	
	0.3	0.125	0.260	0.339	0.520	0.838	1.000	
	0.4	0.107	0.224	0.313	0.526	0.850	1.000	
	0.5	0.091	0.214	0.292	0.528	0.850	1.000	

อัตราส่วนโดยน้ำหนักกัมมะถันต่อน้ำ

 D_{22} (มิลลิเมตร) ที่ 0 นาที D_{22} (มิลลิเมตร) ที่ 30 นาที

0.2	0.3	0.4	0.5
6.512	6.512	6.512	6.512
0.422	0.447	0.509	0.566

ตารางที่ 4 แสดงข้อมูลการทดลองหา D_{32} ในเครื่อง ball mill ที่เวลาการบด 60 นาที

	อัตราส่วนโดยน้ำหนัก	ขนาดกัมมะถัน (มิลลิเมตร)						รวม
		กัมมะถันต่อน้ำ	0.075	0.375	1.20	2.70	5.55	
น้ำหนัก (กรัม)	0.2	246.24	279.01	82.71	140.58	223.28	123.54	1095.36
	0.3	212.65	318.99	146.49	335.09	446.35	184.92	1644.49
	0.4	329.38	309.93	225.32	486.95	617.89	224.47	2193.94
	0.5	370.79	419.11	278.19	599.92	715.31	357.54	2740.86
สัดส่วน มวล	0.2	0.225	0.255	0.076	0.128	0.204	0.113	1.000
	0.3	0.129	0.194	0.089	0.204	0.271	0.112	1.000
	0.4	0.150	0.141	0.103	0.222	0.282	0.102	1.000
	0.5	0.135	0.153	0.101	0.219	0.261	0.130	1.000
สัดส่วน สะสม	0.2	0.225	0.480	0.555	0.683	0.887	1.000	
	0.3	0.129	0.323	0.412	0.616	0.888	1.000	
	0.4	0.150	0.291	0.394	0.616	0.898	1.000	
	0.5	0.135	0.288	0.390	0.609	0.870	1.000	

ตารางที่ 5 แสดงข้อมูลการทดลองหา D_{32} ในเครื่อง ball mill ที่เวลาการบด 90 นาที

	อัตราส่วนโดยน้ำหนัก	ขนาดกัมมะถัน (มิลลิเมตร)						รวม
		กัมมะถันต่อน้ำ	0.075	0.375	1.2	2.7	5.55	
น้ำหนัก (กรัม)	0.2	267.20	305.64	95.54	140.52	188.38	98.18	1095.46
	0.3	338.40	325.86	162.11	297.56	382.62	136.46	1643.01
	0.4	414.75	363.60	223.55	460.24	564.33	166.47	2192.94
	0.5	460.96	441.04	276.28	562.98	660.84	339.40	2741.50
สัดส่วน มวล	0.2	0.244	0.279	0.087	0.128	0.172	0.090	1.000
	0.3	0.206	0.198	0.099	0.181	0.233	0.083	1.000
	0.4	0.189	0.166	0.102	0.210	0.257	0.076	1.000
	0.5	0.168	0.161	0.101	0.205	0.241	0.124	1.000
สัดส่วน สะสม	0.2	0.244	0.523	0.610	0.738	0.910	1.000	
	0.3	0.206	0.404	0.503	0.684	0.917	1.000	
	0.4	0.189	0.355	0.457	0.667	0.924	1.000	
	0.5	0.168	0.329	0.430	0.635	0.876	1.000	

อัตราส่วนโดยน้ำหนักกัมมะถันต่อน้ำ

 D_{32} (มิลลิเมตร) ที่ 60 นาที D_{32} (มิลลิเมตร) ที่ 90 นาที

0.2	0.3	0.4	0.5
0.260835	0.3424	0.383716	0.410543
0.240653	0.287877	0.314498	0.346577

ตารางที่ ๖ แสดงข้อมูลการทดลองหา D_{32} , d/D_{32} และ S_i ที่อัตราส่วนน้ำหมักกำหนดก่อนนำ 0.5 ในเครื่องทวน

	เวลาบด (นาที)	ขนาดเมล็ดกำหนด, d (มิลลิเมตร)						รวม
		0.075	0.375	1.20	2.70	5.55	11.25	
น้ำหมัก (กรัม)	0	0	0	0	2128.48	2600.00	1400.00	6128.48
	15	787.76	2006.95	837.46	487.65	1005.79	1001.48	6127.09
	30	955.52	2673.99	595.65	292.55	754.42	853.28	6125.41
	45	1002.82	3314.41	370.20	188.34	564.19	682.46	6122.42
	60	1041.15	3557.49	283.99	165.73	490.41	583.10	6121.87
	75	1101.37	3843.39	212.46	108.40	419.84	433.63	6119.09
	90	1176.24	4018.66	159.04	85.34	332.73	344.97	6116.98
สัดส่วน มวล	0	0.000	0.000	0.000	0.347	0.424	0.228	1.000
	15	0.129	0.328	0.137	0.080	0.164	0.163	1.000
	30	0.156	0.437	0.097	0.048	0.123	0.139	1.000
	45	0.164	0.541	0.060	0.031	0.092	0.111	1.000
	60	0.170	0.581	0.046	0.027	0.080	0.095	1.000
	75	0.180	0.628	0.035	0.018	0.069	0.071	1.000
	90	0.192	0.657	0.026	0.014	0.054	0.056	1.000
สัดส่วน ผสม	0	0.000	0.000	0.000	0.347	0.772	1.000	
	15	0.129	0.456	0.593	0.672	0.837	1.000	
	30	0.156	0.593	0.690	0.738	0.861	1.000	
	45	0.164	0.705	0.766	0.796	0.889	1.000	
	60	0.170	0.751	0.798	0.825	0.905	1.000	
	75	0.180	0.808	0.843	0.861	0.929	1.000	
	90	0.192	0.849	0.875	0.889	0.944	1.000	
d/D_{32}	0	0.017	0.085	0.270	0.609	1.251	2.536	
	15	0.208	1.041	3.330	7.493	15.403	31.221	
	30	0.253	1.266	4.053	9.119	18.744	37.995	
	45	0.279	1.393	4.459	10.033	20.623	41.803	
	60	0.292	1.458	4.667	10.500	21.583	43.749	
	75	0.310	1.548	4.955	11.148	22.916	46.451	
	90	0.327	1.634	5.229	11.765	24.184	49.021	
เวลาบด (นาที)		0	15	30	45	60	75	90
D_{32} (มม.)		4.437	0.360	0.296	0.269	0.257	0.242	0.229
S_i (นาที) ⁻¹			0.502	0.271	0.187	0.142	0.116	0.099

ตารางที่ ๗ แสดงข้อมูลการทดลองในถังกวนที่ $PV = 18.7 \text{ kW/m}^3$

อัตราส่วนโดยน้ำหนัก	ส่วนสูง	ขนาดก้านตะกั่ว (มิลลิเมตร)						รวม	
		ก้านตะกั่ว	ของผสม	0.075	0.375	1.20	2.70		5.55
น้ำหนัก (กรัม)	0.1	10.4 cm	153.65	229.53	26.40	24.52	75.20	97.57	606.87
	0.2	10.7 cm	323.35	595.61	27.38	17.80	96.55	150.49	1211.18
	0.3	11.0 cm	419.06	823.42	67.60	48.47	191.82	278.57	1826.94
	0.4	11.2 cm	546.74	1096.22	99.91	48.59	225.04	430.53	2447.03
	0.5	11.6 cm	633.28	1097.66	168.23	128.74	434.53	594.66	3057.10

ตารางที่ ๘ แสดงข้อมูลการทดลองในถังกวนที่ $PV = 12.3 \text{ kW/m}^3$

อัตราส่วนโดยน้ำหนัก	ส่วนสูง	ขนาดก้านตะกั่ว (มิลลิเมตร)						รวม	
		ก้านตะกั่ว	ของผสม	0.075	0.375	1.20	2.70		5.55
น้ำหนัก (กรัม)	0.1	16.0 cm	258.55	505.62	51.88	31.95	106.01	264.01	1216.02
	0.2	16.3 cm	593.29	1202.88	123.27	59.12	168.33	284.06	2430.95
	0.3	16.5 cm	917.21	1710.03	271.49	107.96	212.41	416.35	3635.45
	0.4	17.0 cm	1427.84	1973.90	336.55	117.98	140.21	861.23	4857.71
	0.5	17.5 cm	1216.62	2394.94	413.76	209.05	628.68	1256.59	6119.54

ตารางที่ ๙ แสดงข้อมูลการทดลองในถังกวนที่ $PV = 8.8 \text{ kW/m}^3$

อัตราส่วนโดยน้ำหนัก	ส่วนสูง	ขนาดก้านตะกั่ว (มิลลิเมตร)						รวม	
		ก้านตะกั่ว	ของผสม	0.075	0.375	1.20	2.70		5.55
น้ำหนัก (กรัม)	0.1	22.3 cm	427.18	750.59	133.23	79.66	223.20	216.99	1830.85
	0.2	23.0 cm	615.81	1325.48	365.55	166.65	426.87	751.66	3652.02
	0.3	23.8 cm	752.56	2629.52	472.20	177.06	495.20	966.07	5492.61
	0.4	24.5 cm	1746.95	2341.61	606.66	302.46	829.25	1442.16	7269.09

	PV (kW/m^3)	อัตราส่วนโดยน้ำหนักก้านตะกั่ว				
		0.1	0.2	0.3	0.4	0.5
	18.7	0.224	0.203	0.231	0.235	0.262
D_{32} (มิลลิเมตร)	12.3	0.250	0.215	0.212	0.196	0.263
	8.8	0.232	0.298	0.311	0.239	

ตารางที่ 10 แสดงข้อมูลการหาค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ใน ball mill และเครื่องควน

มอเตอร์ใช้พลังงาน	1/4	แอมป์	=	0.186425	กิโลวัตต์
เวลาในการบดที่	30	นาที	=	0.5	ชั่วโมง
พลังงานที่ใช้ =	(0.1864)(0.5)		=	0.093213	กิโลวัตต์-ชั่วโมง
ค่าไฟฟ้าต่อหน่วย =	2	บาท/กิโลวัตต์-ชั่วโมง			
ค่าไฟฟ้าที่มอเตอร์ใช้ในการบด =	(2)(0.0932)			0.186425	บาท

Ball mill

เวลาบด (นาที)	0	15	30	45	60	75	90
น้ำหนัก (กรัม)	2743.99	2741.71	2740.81	2740.03	2740.86	2740.78	2741.50
D ₃₂ (มม)	6512.386	753.420	565.584	477.092	410.543	378.100	346.577
1/D ₃₂ (มม) ⁻¹	0.154	1.327	1.768	2.096	2.436	2.645	2.885
บาท/กิโลกรัม	0.000	0.034	0.068	0.102	0.136	0.170	0.204

เครื่องควน

เวลาบด (นาที)	0	15	30	45	60	75	90
น้ำหนัก (กรัม)	6128.46	6127.09	6125.41	6122.42	6121.87	6119.09	6116.98
D ₃₂ (มม)	4436.954	360.331	296.094	269.118	257.147	242.193	229.492
1/D ₃₂ (มม) ⁻¹	0.225	2.775	3.377	3.716	3.889	4.129	4.357
บาท/กิโลกรัม	0.000	0.015	0.030	0.046	0.061	0.076	0.091

ตารางที่ 11 แสดงข้อมูลการทดลองการอบแห้งเม็ดก้ามะถันขนาด 0.075 มิลลิเมตร

เวลา อบแห้ง (นาฬิกา)	น้ำหนัก (กรัม), [10%H ₂ O]			น้ำหนัก (กรัม), [20%H ₂ O]			น้ำหนัก (กรัม), [30%H ₂ O]			น้ำหนัก (กรัม), [40%H ₂ O]			น้ำหนัก (กรัม), [50%H ₂ O]		
	ตัวอย่าง	ตัวอย่าง	%H ₂ O ใน	ตัวอย่าง	ตัวอย่าง	%H ₂ O ใน	ตัวอย่าง	ตัวอย่าง	%H ₂ O ใน	ตัวอย่าง	ตัวอย่าง	%H ₂ O ใน	ตัวอย่าง	ตัวอย่าง	%H ₂ O ใน
	ก่อนอบ	หลังอบ	ตัวอย่าง	ก่อนอบ	หลังอบ	ตัวอย่าง	ก่อนอบ	หลังอบ	ตัวอย่าง	ก่อนอบ	หลังอบ	ตัวอย่าง	ก่อนอบ	หลังอบ	ตัวอย่าง
5	50.48	50.24	9.52	50.40	50.16	19.52	50.61	50.36	29.51	50.27	49.99	39.44	50.19	49.86	49.34
10	50.50	49.79	8.59	50.90	50.39	19.00	50.31	49.67	28.73	50.64	50.04	38.82	50.32	49.86	49.13
15	50.76	49.53	7.58	50.76	49.49	17.50	50.86	49.63	27.58	50.61	49.46	37.73	50.62	49.68	48.10
20	50.03	48.26	6.46	50.63	48.75	16.29	50.51	48.83	26.67	50.13	48.40	36.55	50.29	48.96	47.36
30	50.27	47.60	4.69	50.84	48.48	15.36	50.75	48.26	25.09	50.43	47.07	33.34	50.23	47.82	45.20
40	50.29	46.95	3.36	50.54	46.95	12.90	50.97	47.30	22.80	50.12	45.95	31.68	50.44	46.55	42.29
50	50.24	46.17	1.90	50.02	44.73	9.42	50.87	45.86	20.15	50.16	44.58	28.88	50.31	45.08	39.60
60	50.28	45.33	0.16	50.61	44.56	8.05	50.63	44.00	16.90	50.12	42.56	24.92	49.96	43.40	36.87
90	50.08	45.08	0.02	50.37	41.54	2.47	50.59	41.52	12.07	50.29	38.72	16.99	50.07	39.11	28.11
120	50.24	45.22	0.01	50.86	41.16	0.93	50.63	37.89	4.84	50.36	34.56	8.63	50.04	35.48	20.90
150				50.89	40.80	0.02	50.46	35.34	0.04	50.12	32.34	4.53	50.12	30.91	11.67
180				51.12	40.92	0.05	50.49	35.38	0.07	50.70	30.54	0.24	50.29	27.06	3.81
210													50.30	25.20	0.10

ตารางที่ ๑๒ แสดงข้อมูลการทดลองการอบแห้งเม็ดก้ามะถันขนาด 0.375 มิลลิเมตร

เวลา อบ (นาที)	น้ำหนัก (กรัม), [10%H ₂ O]			น้ำหนัก (กรัม), [20%H ₂ O]			น้ำหนัก (กรัม), [30%H ₂ O]			น้ำหนัก (กรัม), [40%H ₂ O]			น้ำหนัก (กรัม), [50%H ₂ O]		
	ตัวอย่าง	ตัวอย่าง	%H ₂ O ใน	ตัวอย่าง	ตัวอย่าง	%H ₂ O ใน	ตัวอย่าง	ตัวอย่าง	%H ₂ O ใน	ตัวอย่าง	ตัวอย่าง	%H ₂ O ใน	ตัวอย่าง	ตัวอย่าง	%H ₂ O ใน
	ก่อนอบ	หลังอบ	ตัวอย่าง	ก่อนอบ	หลังอบ	ตัวอย่าง	ก่อนอบ	หลังอบ	ตัวอย่าง	ก่อนอบ	หลังอบ	ตัวอย่าง	ก่อนอบ	หลังอบ	ตัวอย่าง
5	50.20	49.93	9.46	50.65	50.39	19.49	50.82	50.53	29.43	51.13	50.81	39.37	50.78	50.40	49.25
10	50.85	50.08	8.49	50.45	49.74	18.59	51.19	50.54	28.73	50.84	50.13	38.60	50.11	49.50	48.78
15	50.38	48.85	6.98	50.81	49.42	17.26	50.22	48.97	27.51	50.57	49.18	37.25	50.60	49.39	47.61
20	50.47	48.58	6.26	50.47	48.59	16.28	50.44	48.52	26.19	50.52	48.62	36.24	50.46	48.42	45.96
30	50.45	47.52	4.19	50.26	47.03	13.57	50.80	47.89	24.27	49.92	46.53	33.21	50.08	46.95	43.75
40	50.78	46.99	2.54	50.00	45.57	11.14	50.26	45.51	20.55	50.38	44.92	29.16	50.07	45.75	41.37
50	51.34	46.78	1.12	50.70	45.17	9.09	50.43	44.29	17.82	50.66	44.49	27.82	50.34	43.55	36.51
60	50.29	45.29	0.06	50.56	44.34	7.70	50.42	43.32	15.92	50.36	42.48	24.35	50.30	43.12	35.73
90	50.44	45.44	0.09	50.52	41.45	2.05	50.47	39.93	9.12	50.58	37.94	15.01	50.32	37.90	25.32
120	50.36	45.36	0.07	50.29	40.26	0.06	51.12	36.64	1.67	50.57	33.66	6.56	50.63	34.73	18.60
150				50.33	40.28	0.03	50.04	35.04	0.02	50.13	31.24	2.32	50.38	30.73	11.00
180				50.84	40.72	0.09	50.63	35.47	0.06	50.44	30.34	0.15	50.10	26.79	3.47
210										50.31	30.19	0.01	50.44	25.22	0.00

ตารางที่ ๓ 13 แสดงข้อมูลการทดลองการอบแห้งเม็ดก๋วยเตี๋ยวขนาด 1.2 มิลลิเมตร

เวลา (นาที)	น้ำหนัก (กรัม), [10%H ₂ O]			น้ำหนัก (กรัม), [10%H ₂ O]			น้ำหนัก (กรัม), [10%H ₂ O]			น้ำหนัก (กรัม), [10%H ₂ O]			น้ำหนัก (กรัม), [10%H ₂ O]		
	ตัวอย่าง	ตัวอย่าง	%H ₂ O ใน	ตัวอย่าง	ตัวอย่าง	%H ₂ O ใน	ตัวอย่าง	ตัวอย่าง	%H ₂ O ใน	ตัวอย่าง	ตัวอย่าง	%H ₂ O ใน	ตัวอย่าง	ตัวอย่าง	%H ₂ O ใน
	ก่อนอบ	หลังอบ	ตัวอย่าง	ก่อนอบ	หลังอบ	ตัวอย่าง	ก่อนอบ	หลังอบ	ตัวอย่าง	ก่อนอบ	หลังอบ	ตัวอย่าง	ก่อนอบ	หลังอบ	ตัวอย่าง
5	50.85	50.56	9.43	50.79	50.49	19.41	50.59	50.27	29.37	50.07	49.71	39.28	50.03	49.25	48.44
10	50.27	49.49	8.45	50.36	49.58	18.45	50.25	49.55	28.61	50.03	49.00	37.94	50.05	49.04	47.98
15	50.72	48.97	6.55	49.99	48.60	17.22	50.17	48.63	26.93	50.11	48.79	37.37	50.08	48.39	46.63
20	50.70	48.57	5.80	50.59	48.55	15.97	51.22	49.04	25.74	50.06	48.25	36.38	50.01	47.22	44.42
30	50.70	47.58	3.85	50.08	46.74	13.33	50.69	47.01	22.74	50.03	46.74	33.42	50.05	46.22	42.35
40	50.63	46.48	1.80	50.80	46.13	10.81	50.70	45.53	19.80	50.05	44.83	29.57	50.16	44.92	39.55
50	50.91	45.84	0.04	50.30	44.32	8.11	50.71	44.15	17.06	49.98	43.29	26.61	50.06	42.93	35.76
60	50.57	45.56	0.09	50.52	43.61	6.32	50.62	42.24	13.45	50.01	41.70	23.38	50.09	41.97	33.79
90	50.06	45.06	0.01	50.24	40.23	0.08	51.07	39.88	8.09	50.04	37.14	14.22	50.04	35.93	21.80
120				50.36	40.35	0.12	50.22	35.19	0.07	49.97	32.60	5.24	50.07	32.76	15.43
150				50.20	40.20	0.08	50.71	35.52	0.05	50.01	30.01	0.01	50.15	29.20	8.23
180										50.08	30.07	0.04	50.07	25.06	0.05
210										50.03	30.03	0.02	50.13	25.10	0.07

ภาคผนวก ค

ตัวอย่างการคำนวณ

1 การคำนวณหาขนาดเฉลี่ยโดยรวมของเม็ดกำมะถัน (D_{32})

ข้อมูลการทดลองในเครื่องกวนที่อัตราส่วนโดยมวลกำมะถันต่อน้ำเท่ากับ 0.5 โดยใช้เวลาเจือน 15 นาที ต้องคำนวณหาหน้าหนักของเม็ดกำมะถันทั้ง 6 ขนาด คือ 0.075, 0.375, 1.2, 2.7, 5.55 และ 11.25 มิลลิเมตร

จากความสัมพันธ์	$m = \rho V$	
เมื่อกำมะถันมีความหนาแน่น	2.07	กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร
ดังนั้นที่ขนาด 0.075 มิลลิเมตร	$m = 2.07(100)^3 \left(\frac{4}{3}\right)\pi \left(\frac{0.075E-3}{2}\right)^3$	
	$= 4.5725E-7$	กรัม

สามารถหาจำนวนเม็ดกำมะถันได้จากหน้าหนักเม็ดกำมะถันขนาด 0.075 มิลลิเมตร ที่ผ่านการเจือนจาก

$$\text{จำนวนเม็ดกำมะถันที่ได้} = \frac{787.76}{4.5725E-7} = 1,722,825,007 \quad \text{เม็ด}$$

และหาจำนวนเม็ดกำมะถันขนาด 0.375, 1.2, 2.7, 5.55 และ 11.25 มิลลิเมตรตามลำดับ แล้วจะได้เม็ดกำมะถันทุกขนาดทั้งหมด 1,758,414,563 เม็ด

ดังนั้นเม็ดกำมะถันขนาด 0.075 มิลลิเมตร

$$\text{มีสัดส่วนจำนวน} = \frac{1,722,825,007}{1,758,414,563} = 0.97976$$

$$f_n D^3 = (0.9797)(0.075)^3 = 4.1334E-4 \quad \text{มิลลิเมตร}$$

$$f_n D^2 = (0.9797)(0.075)^2 = 5.5111E-3 \quad \text{มิลลิเมตร}$$

หา $f_n D^3$ และ $f_n D^2$ ของเม็ดกำมะถันอีก 5 ขนาดที่เหลือ จึงสามารถหาค่าผลรวมของทั้ง $f_n D^3$ และ $f_n D^2$ ได้

$$\sum f_n D^3 = 3.21487E-3 \quad (\text{มิลลิเมตร})^3$$

$$\sum f_n D^3 = 8.92201E - 3 \quad (\text{มิลลิเมตร})^3$$

ดังนั้นสามารถคำนวณขนาดเฉลี่ยโดยรวมของเม็ดก้ำมะกัน (D_{32}) ที่เวลาเงื่อนไข 15 นาที จากความสัมพันธ์

$$D_{32} = \frac{\sum f_n D^3}{\sum f_n D^2} = \frac{3.21487E - 3}{8.92201E - 3} = 0.36033 \quad \text{มิลลิเมตร}$$

2 การคำนวณหาอัตราจำเพาะการแตกแบบ disintegrative fracture (S)

เมื่อคำนวณค่าขนาดเฉลี่ยโดยรวมของทุกเวลา (0, 15, 30, 45, 60, 75, 90 นาที) การเงื่อนไขแล้ว นำค่าที่ได้มาหามวลอีกครั้ง เช่น ที่เวลา 15 นาที

$$W_i = 2.07(100)^3 \left(\frac{4}{3} \right) \pi \left(\frac{0.36033E - 3}{2} \right)^3 = 5.0708E - 5 \quad \text{กรัม}$$

ส่วนที่เวลาเริ่มต้น (0 นาที) คำนวณค่ามวลเท่ากับ $9.4672E - 2$ กรัม

ดังนั้นสามารถคำนวณอัตราจำเพาะการแตกแบบ disintegrative fracture (S) ที่เวลาเงื่อนไข 15 นาที จากความสัมพันธ์

$$S_i = -\frac{2.303}{t_2 - t_1} \log \frac{w_i(t_2)}{w_i(t_1)} = -\frac{2.303}{15 - 0} \log \frac{5.0708E - 5}{9.4672E - 2} = 0.5022 \quad \text{นาที}^{-1}$$

3 การคำนวณหาค่าพลังงานไฟฟ้าต่อผลิตภัณฑ์ก้ำมะกัน

จากข้อมูลการทดลองในเครื่องกวนที่อัตราส่วนโดยมวลก้ำมะกันต่อน้ำเท่ากับ 0.5 โดยใช้เวลาเงื่อนไข 15 นาที ได้ผลิตภัณฑ์เม็ดก้ำมะกันทั้งหมด 6127.09 กรัม และข้อมูลตารางที่ ดังนั้น

ค่าพลังงานไฟฟ้าของมอเตอร์ต่อผลิตภัณฑ์เท่ากับ

$$= \frac{15}{60} (\text{h}) \times 0.186425 (\text{kW}) \times 2 \left(\frac{\text{bath}}{\text{kWh}} \right) = 0.01521 \quad \text{บาท}$$

ประวัติผู้เขียน

นาย สุเทพ อมรรังสีโรจน์ เกิดเมื่อวันที่ 16 กรกฎาคม พ.ศ. 2516 ที่กรุงเทพมหานคร จบการศึกษาในมัธยมปลายที่ โรงเรียนศรีวิทยา จังหวัดกำแพงเพชร และเข้าศึกษาต่อจนสำเร็จการศึกษาในระดับปริญญาตรีวิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรมอาหาร จากคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย ในปีการศึกษา 2537 จากนั้นได้เข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเคมีเทคนิค ที่จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อ พ.ศ. 2538



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย