รายการอ้างอิง

Anderson , M.A. Adsorption of Inorganics at Solid-Liquid Interfaces . USA : Ann Arbor Science Pubishers , 1981.

Dan , N.P. Potential of Constructed Wetland for Toxic Organic Waste Treatment. Master Thesis EV-93-23 , Asian Institute of Technology , Bangkok.

Dean , J.G., Bosqui , F.L. and Lanouette , K.H. Removing Heavy Metals from Wastewater , Evironmental Science and Technology. 6 (1972) : 518-521.

Dunbabin , J.S. and Bowmer K.H. Potential Use of Constructed Wetlands for Treatment of Wastewater containing Metals, The Science of the Total Environment. 111(1992).: 152-168.

Freeman , H.M. Standard Handbook of Hazardous Waste Treatment and Disposal .USA :Mcgraw-Hill Book Company , 1988.

Gersberg , R.M.,et.al. The Removal of Heavy Metals by Artifitial Wetland , EPA-600/D-84-258 , 1977.

Giblin , A.E. Comparisons of The Processing of Elements by Ecosystems , Ecological Considerations in Wetland Treatment of Municipal Wastewaters. Van Narstrand Reinhold , New York :158-179 , 1985.

Grambrell , R.P., Khalid , R.A., Verloo , M.G. and Patrick Jr , W.H. Transformations of Heavy Metals and Plant Nutrients in Dredged Sediments as Affected by Oxidation-reduction Potential and pH , Contact Report D-77-4 , United States Army Engineer Waterways Experiment Station , Vicksburg , Mississippi , NTIS No.ADA-041468 :315 , 1977. cited in Dunbabin , J.S. and Bowmer K.H., Potential Use of Constructed Wetlands for Treatment of Industrial Wastewater containing Metals, The Science of the Total Environment. 111 (1992) : 152-168.

Kadlec , R.H. and Knight , R.L. Treatment Wetland , New York : Lewis Publishers ,1996.

Katekinta T. Tertiary Treatment of Pond Effluent with Constructed Wetlands , Master Thesis EV-94-15 , Asian Institute of Technology , Bangkok.

Khalid , R.A., Grambrell , R.P. and Patrick Jr , W.H. Chemical Transformations of Cadmium and Zinc in Mississippi River sediments as influenced by pH and Redox Potential , Environmental Chemistry and Cycling Process , Proc.Department of Energy Symp.Ser.45 , Technical Information Centre , United States Department of Energy.:417-433 ,1978. cited in Dunbabin , J.S. and Bowmer K.H. Potential Use of Constructed Wetlands for Treatment of Industrial Wastewater containing Metals, The Science of the Total Environment. 111 (1992) : 152-168 .

Machemer , S.D. and Wildeman , T.R. Adsorption Compared with Sulfild Precipitation as Metal Removal Process from Acid Mine Drainage in Constructed Wetland , Jounal of Contaminant Hydrology. 9 (1992) : 115-131.

Markos , J.D. and Hrncir , D.C., Chemistry of Cr(VI) in Constructed Wetlands , Environmental Science and Technology. 29 (1995) : 2414-2419 .

Mattaraj , S. Kinetics Evaluation of Constructed Wetlands for Treatment of Domestics Waste water ,Master Thesis EV-95-31 , Asian Institute of Technology , Bangkok.

Mitchell , L.K. and Karathanasis , A.D. Treatment of Metal Chloride-Enriched Wastewater by Simulated Constructed Wetland , Environmental Geochemistry and Health. 17 (1995) : 119-126 .

Metcalf and Eddy , Wastewater Engineering : Treatment , Disposal and Reuse. 3 rd. ed., New York :Mcgraw-hill , 1991.

Murgur , A.S., Shutes , R.E.B., Revitt , D.M. and House , M.A. An Assessment of Metal Removal from Highway Run-off by a Natural Wetland, Water Science and Technology. 32 (1995) : 165-175.

Murgur , A.S., Shutes , R.E.B., Revitt , D.M. and House , M.A., An Assessment of Metal Removal by a Artificial Wetland , Water Science and Technology. 35 (1997): 5 , 125-133.

Murramann and Koutz , 1972. Cited in Overcash , R.M. Design of Land Treatment System for Industrial wastes-Theory and Practice . USA : Ann Arbor Science Pubishers , 1981.

Muthukumaraswamy M. Investigation of Cadmium Transport Mechanisms in Soil : Mathematics Model and Experiments , Master Thesis EV-88-17 , Asian Institute of Technology, Bangkok.

Nicholas , W.L. and Thomas , M. Biological Release and Recycling of Toxic Metal from Lake and River Sediments , Australian Water Resources Concil Tecnical Paper 33. Canbera : Australian Government Publishing Service , 99 (1978). cited in Dunbabin , J.S. and Bowmer K.H. Potential Use of Constructed Wetlands for Treatment of Industrial Wastewater containing Metals, The Science of the Total Environment. 111(1992) : 152-168.

Polprasert , C.,Dan , N.P. and Thayakumaran , N. Application of Constructed Wetlands to Treat some Toxic Wastewater under Tropical Condition , Water Science and Technology. 34 (1996) : 165-171.

Reddy , K.R. and Debusk , W.F. Nutrient Storage Capabilities of Aquatic and Wetland Plants :337-357 ,1987. cited in Kadlec , R.H. and Knight , R.L. Treatment Wetland , New York : Lewis Publishers ,1996.

Reed , S.C.,Middlebrooks , E.J. and Crites , R.W. Natural Systems for waste management and treatment , McGraw-Hill ,1988.

Rodgers , Jr J.H.,Cherry , D.S. and Guthrie , R.K.Cycling of Elements in Duckweed in an Ash Settling Basin and Swamp Drainage System , Water Research .12 (1978) : 765-770.

Simpson ,R.L., Good ,R.E., Walker ,V.R. and Fasco ,B.R. The role of Delaware River freshwater tidal wetlands in the retention of nutrients and heavy metal , Journal of Environmental Quality , 12 (1983) : 41-48. cited in Dunbabin , J.S. and Bowmer , K.H. Potential Use of Constructed Wetlands for Treatment of Industrial Wastewater containing Metal , The Science of the Total Environment , 111 (1992) : 152-168.

Westerman , R.L., Soil Testing and Plant Analysis for Total sorbed Metal . Madison , Wisconsin , USA : Publ.Soil Science Sociaty of American.

U.S.Environmental Protection Agency , The Effect of Wastewater Tretment Facilities on Wetlands in Midwest . U.S.EPA 905/3-83-002 ,1983.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

ข้อมูลการทดลอง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก 1 แสดงค่าออกซิเดชั่น-รีดักชั่น โพเทนเชียล ที่ความเข้มข้นของแคดเมียม ในน้ำดิบเป็น 1 มก./ล

ว/ด/ป	ตัวกลาง	ค่าออกซิเดชั่น-รีดักชั่น โพเทนเชียล (ORP , mv)						
		inf	1	2	3	4	5	eff
29/6/41	sand	153	134	155	155	150	148	165
	sd & sl		179	149	153	149	147	153
	soil		167	135	150	143	170	176
1/7/41	sand	170-	154	158	170	159	136	164
	sd & sl		164	126	128	128	132	152
	soil		185	174	196	153	173	189
3/7/41	sand	150	145	148	150	150	139	148
	sd & sl		144	145	147	150	149	150
	soil		143	180	170	170	152	152
6/7/41	sand	145	140	148	151	165	133	145
	sd & sl		140	149	150	153	146	148
	soil		140	181	172	173	152	153
8/7/41	sand	163	184	176	184	164	168	163
	sd & sl		181	164	162	161	168	164
	soil		174	211	187	181	177	166
10/7/41	sand	162	148	151	156	152	147	145
	sd & sl		163	157	159	165	161	166
	soil		160	205	187	186	163	165
13/7/41	sand	157	138	163	150	147	149	156
	sd & sl		156	160	168	160	164	163
	soil		141	201	188	186	183	170
15/7/41	sand	151	149	153	156	144	148	143
	sd & sl		147	155	150	156	153	156
	soil		143	208	170	170	158	155

ตารางที่ ก 1 แสดงค่าออกซิเดชั่น-รีดักชั่น โพเทนเชียล ที่ความเข้มข้นของแคดเมียม ในน้ำดิบเป็น 1 มก./ล.(ต่อ)

ว/ด/ป	ตัวกลาง	ค่าออกซิเดชั่น-รีดักชั่น โพเทนเชียล (ORP , mv)						
		inf	1	2	3	4	5	eff
17/7/41	sand	151	130	141	154	150	150	151
	sd & sl		158	157	161	163	163	162
	soil		155	186	184	183	177	176

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก 2 แสดงค่าออกซิเดชั่น-รีดักชั่น โพเทนเชียล ที่ความเข้มข้นของแคดเมียมในน้ำดิบเป็น 5 มก./ล

ว/ด/ป	ตัวกลาง	ค่าออกซิเดชั่น-รีดักชั่น โพเทนเชียล (ORP , mv)						
		inf	1	2	3	4	5	eff
5/8/41	sand	139	83	84	97	95	87	96
	sd & sl		99	103	100	113	114	119
	soil		120	127	128	144	145	150
7/8/41	sand	177	156	151	152	154	134	168
	sd & sl		173	166	165	169	170	173
	soil		171	175	188	182	180	183
11/8/41	sand	140	155	128	135	126	105	131
	sd & sl		136	127	115	119	116	117
	soil		141	136	124	130	128	132
13/8/41	sand	148	161	115	107	110	119	122
	sd & sl		163	131	126	132	142	135
	soil		154	158	154	161	170	160
15/8/41	sand	179	189	120	120	127	123	125
	sd & sl		197	142	127	133	135	143
	soil		174	159	153	165	142	155
18/8/41	sand	123	61	91	102	70	72	77
	sd & sl		108	93	87	108	121	105
	soil		104	112	122	128	155	125
20/8/44	sand	153	105	91	103	105	101	104
	sd & sl		115	115	106	124	122	120
	soil		126	131	140	141	147	145
22/8/41	sand	199	171	176	165	165	172	166
	sd & sl		211	163	170	174	175	171
	soil		202	184	195	186	196	182

ตารางที่ ก 2 แสดงค่าออกซิเดชั่น-รีดักชั่น โพเทนเชียล ที่ความเข้มข้นของแคดเมียม ในน้ำดิบเป็น 5 มก./ล (ต่อ)

ว/ด/ป	ตัวกลาง	ค่าออกซิเดชั่น-รีดักชั่น โพเทนเชียล (ORP , mv)						
		inf	1	2	3	4	5	eff
24/8/41	sand	133	92	88	95	81	89	97
	sd & sl		117	107	107	108	109	113
	soil		119	118	122	123	124	124
26/8/41	sand	162	157	142	120	129	134	126
	sd & sl		154	148	141	154	148	155
	soil		148	155	177	169	169	162
28/8/41	sand	150	101	105	103	103	101	105
	sd & sl		120	121	123	120	122	124
	soil		132	135	140	139	147	149
31/8/41	sand	137	116	110	112	114	114	120
	sd & sl		138	121	120	124	125	125
	soil		141	145	148	142	140	141

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก 3 แสดงค่าออกซิเดชั่น-รีดักชั่น โพเทนเชียล ที่ความเข้มข้นของแคดเมียมในน้ำดิบเป็น 10 มก./ล

ว/ด/ป	ตัวกลาง	ค่าออกซิเดชั่น-รีดักชั่น โพเทนเชียล (ORP , mv)						
		inf	1	2	3	4	5	eff
5/9/41	sand	162	134	115	122	121	115	119
	sd & sl		128	138	139	150	150	162
	soil		148	151	168	179	168	176
7/9/41	sand	174	126	131	145	144	148	154
	sd & sl		151	157	168	177	178	180
	soil		168	178	187	191	185	183
9/9/41	sand	234	137	157	149	157	164	166
	sd & sl		193	177	175	175	192	190
	soil		212	198	197	213	225	218
11/9/41	sand	254	193	187	194	197	202	206
	sd & sl		214	222	211	207	234	237
	soil		230	258	257	261	253	256
14/9/41	sand	226	125	150	161	170	170	181
	sd & sl		181	185	196	202	215	219
	soil		209	220	232	241	248	249
16/9/41	sand	265	133	149	168	191	176	190
	sd & sl		188	190	196	204	215	219
	soil		236	267	246	249	258	258
18/9/41	sand	154	154	148	138	131	140	139
	sd & sl		177	159	144	138	152	153
	soil		163	170	162	163	164	152
21/9/41	sand	241	198	137	137	144	174	181
	sd & sl		210	166	174	194	186	190
	soil		224	238	207	224	221	206

ตารางที่ ก 3 แสดงค่าออกซิเดชั่น-รีดักชั่น โพเทนเชียล ที่ความเข้มข้นของแคดเมียม ในน้ำดิบเป็น 10 มก./ล (ต่อ)

ว/ด/ป	ตัวกลาง	ค่าออกซิเดชั่น-รีดักชั่น โพเทนเชียล (ORP , mv)						
		inf	1	2	3	4	5	eff
23/9/41	sand	243	220	205	225	222	215	232
	sd & sl		233	228	221	215	221	226
	soil		247	249	235	243	241	218
25/9/41	sand	243	185	191	197	201	206	190
	sd & sl		191	213	208	204	219	220
	soil		228	239	226	226	236	222
27/9/41	sand	280	243	236	235	235	232	235
	sd & sl		278	238	242	246	250	243
	soil		258	260	258	262	285	252
30/9/41	sand	231	145	146	163	175	153	159
	sd & sl		175	180	173	174	189	188
	soil		195	210	213	213	220	213

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก 4 แสดงค่าออกซิเดชั่น-รีดักชั่น โพเทนเชียล ที่ความเข้มข้นของแคดเมียม ในน้ำดิบเป็น 20 มก./ล

ว/ด/ป	ตัวกลาง	ค่าออกซิเดชั่น-รีดักชั่น โพเทนเชียล (ORP , mv)						
		inf	1	2	3	4	5	eff
10/10/41	sand	225	188	195	210	205	209	207
	sd & sl		228	211	206	218	220	217
	soil		226	210	223	228	253	233
12/10/41	sand	244	241	223	226	227	218	231
	sd & sl		241	226	226	232	233	237
	soil		246	247	247	249	248	242
14/10/41	sand	281	252	240	211	204	202	215
	sd & sl		261	230	220	220	236	234
	soil		270	261	265	252	277	255
16/10/41	sand	329	306	380	284	290	284	277
	sd & sl		288	290	252	250	271	265
	soil		313	367	263	276	297	259
19/10/41	sand	263	221	231	210	207	214	214
	sd & sl		275	225	225	213	240	232
	soil		267	252	234	242	249	245
21/10/41	sand	313	260	358	317	279	268	267
	sd & sl		321	292	259	271	278	262
	soil		309	317	272	293	296	270
23/10/41	sand	212	317	337	298	235	222	215
	sd & sl		335	247	213	203	231	198
	soil		270	209	220	193	252	213
26/10/41	sand	230	235	210	210	217	206	225
	sd & sl		235	207	207	223	224	228
	soil		240	241	241	243	242	236

ตารางที่ ก 4 แสดงค่าออกซิเดชั่น-รีดักชั่น โพเทนเชียล ที่ความเข้มข้นของแคดเมียม ในน้ำดิบเป็น 20 มก./ล (ต่อ)

ว/ด/ป	ตัวกลาง	ค่าออกซิเดชั่น-รีดักชั่น โพเทนเชียล (ORP , mv)						
		inf	1	2	3	4	5	eff
28/10/41	sand	243	171	176	175	177	197	199
	sd & sl		220	213	215	224	233	231
	soil		242	256	246	254	261	255
30/10/41	sand	265	223	234	212	209	217	216
	sd & sl		265	227	227	220	243	235
	soil		269	254	236	245	251	247
2/11/41	sand	251	214	242	216	217	223	230
	sd & sl		229	229	228	232	235	239
	soil		241	236	236	242	243	248
5/11/41	sand	262	288	347	307	257	245	241
	sd & sl		328	269	236	237	251	230
	soil		289	263	246	243	274	242

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก 5 แสดงค่าความเป็นกรด-ด่าง และอุณหภูมิของระบบที่ความเข้มข้นของแคดเมียมในน้ำเสียดิบเป็น 1 มก./ล

ว/ด/ป	pH				Temp. (c)			
	inf	eff			inf	eff		
		sand	sd &sl	soil		sand	sd &sl	soil
29/6/41	6.92	6.94	6.86	6.73	31.50	31.20	31.20	31.20
1/7/41	7.07	7.22	6.85	6.73	30.40	30.40	30.20	30.20
3/7/41	7.00	7.00	6.80	6.80	29.00	29.00	29.00	29.00
6/7/41	7.00	7.01	6.92	6.88	29.30	29.30	29.30	29.30
8/7/41	6.64	6.78	6.73	6.65	28.60	28.60	28.70	28.60
10/7/41	7.19	7.20	7.01	7.04	29.50	29.20	29.30	29.30
13/7/41	6.78	6.74	6.63	6.69	29.20	29.50	29.50	29.60
15/7/41	7.00	7.00	6.88	6.95	30.70	30.00	30.30	30.80
17/7/41	7.20	7.19	7.01	6.87	30.30	30.40	30.40	30.80
19/7/41	7.15	7.18	6.95	6.77	29.62	29.30	29.40	29.30
22/7/41	7.12	7.08	6.92	7.09	29.90	29.20	29.50	29.70
24/7/41	7.12	7.16	6.98	6.62	30.70	30.30	30.40	30.60
min	6.64	6.74	6.63	6.65	28.60	28.60	28.70	28.60
max	7.20	7.22	7.01	7.04	31.50	31.20	31.20	31.20
mean	7.02	7.04	6.88	6.82	29.89	29.80	29.77	29.87

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก 6 แสดงค่าความเป็นกรด-ด่าง และอุณหภูมิของระบบที่ความเข้มข้นของแคดเมียมในน้ำเสียดิบเป็น 5 มก./ล

ว/ด/ป	pH				Temp. (c)			
	inf	eff			inf	eff		
		sand	sd &sl	soil		sand	sd &sl	soil
5/8/41	7.53	7.70	7.19	7.39	28.80	29.10	29.50	29.40
7/8/41	7.62	7.49	7.19	7.25	29.10	29.60	29.80	29.60
11/8/41	6.64	6.66	6.74	6.73	28.50	28.60	28.80	28.70
13/8/41	7.13	7.04	6.93	6.73	30.20	31.10	30.70	30.60
15/8/41	6.40	6.90	6.71	6.84	29.70	30.10	30.00	29.90
18/8/41	7.58	7.41	7.18	7.15	29.10	29.10	28.90	29.10
20/8/41	6.88	7.15	6.78	6.96	28.10	28.20	28.50	28.10
22/8/41	6.40	6.97	6.91	6.83	28.30	28.50	28.60	28.40
24/8/41	7.07	7.26	6.83	7.07	28.90	29.20	29.30	29.10
26/8/41	7.37	7.57	7.07	7.19	30.10	30.70	30.50	30.50
28/8/41	6.68	6.91	6.69	6.70	29.00	29.00	28.80	28.90
31/8/41	6.90	6.93	6.71	6.80	28.10	28.10	28.40	28.20
min	6.40	6.66	6.71	6.70	28.10	28.10	28.40	28.10
max	7.58	7.70	7.19	7.39	30.20	31.10	30.70	30.60
mean	7.02	7.17	6.91	6.91	28.99	29.28	29.32	29.21

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก 7 แสดงค่าความเป็นกรด-ด่าง และอุณหภูมิของระบบที่ความเข้มข้นของแคดเมียมในน้ำเสียดิบเป็น 10 มก./ล

ว/ด/ป	pH				Temp. (c)			
	inf	eff			inf	eff		
		sand	sd &sl	soil		sand	sd &sl	soil
5/9/41	7.52	7.90	7.13	7.13	29.00	30.10	29.90	29.40
7/9/41	7.72	7.86	7.30	7.29	29.40	29.50	29.50	29.40
9/9/41	6.70	7.29	7.22	7.05	29.50	29.90	29.90	29.80
11/9/41	6.96	7.61	7.20	7.07	29.40	30.00	29.60	29.70
14/9/41	7.51	7.68	7.13	6.96	30.10	30.50	30.40	30.10
16/9/41	6.98	7.30	7.27	7.04	28.60	28.90	28.60	28.60
18/9/41	6.70	7.35	7.03	6.77	28.30	28.10	28.20	28.30
21/9/41	6.40	6.95	6.99	6.77	28.30	28.20	28.20	28.30
23/9/41	6.84	7.09	6.89	6.70	28.80	28.50	28.60	28.70
25/9/41	6.73	7.39	7.26	6.86	29.20	29.00	29.00	29.00
27/9/41	7.01	7.29	7.20	6.99	28.90	28.80	28.80	28.90
30/9/41	6.71	7.53	7.10	6.96	28.60	28.30	28.80	28.40
min	6.40	6.95	6.98	6.70	28.30	28.10	28.20	28.30
max	7.72	7.90	7.30	7.29	30.10	30.50	30.40	30.90
mean	6.98	7.44	7.14	6.97	29.01	29.15	29.13	29.05

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก 8 แสดงค่าความเป็นกรด-ด่าง และอุณหภูมิของระบบที่ความเข้มข้นของแคดเมียมในน้ำเสียดิบเป็น 20 มก./ล

ว/ด/ป	pH				Temp. (c)			
	inf	eff			inf	eff		
		sand	sd &sl	soil		sand	sd &sl	soil
10/10/41	7.50	7.65	7.32	7.04	28.70	28.60	28.70	28.80
12/10/41	7.34	7.51	7.26	7.14	28.90	28.60	28.90	28.80
14/10/41	6.57	7.31	7.50	6.93	29.70	29.70	30.00	29.80
16/10/41	6.10	6.93	7.10	7.04	29.60	29.70	29.70	29.60
19/10/41	6.63	7.64	6.95	6.91	29.30	29.50	29.20	29.40
21/10/41	6.10	7.01	6.85	6.88	28.70	28.70	28.70	28.80
23/10/41	6.74	6.96	7.00	6.60	29.00	28.90	29.20	29.20
26/10/41	6.58	7.30	6.98	6.74	29.10	29.20	29.20	29.10
28/10/41	7.65	7.79	7.49	6.90	29.40	29.30	29.50	29.10
30/10/41	7.25	7.74	7.08	7.01	30.20	29.80	29.80	29.90
2/11/41	6.37	7.26	7.12	6.78	29.20	29.10	29.00	29.20
5/11/41	6.74	7.30	7.10	7.00	29.20	29.00	29.00	29.10
min	6.10	6.93	6.85	6.60	28.70	28.60	28.70	28.80
max	7.65	7.79	7.50	7.14	30.20	29.80	30.00	29.90
mean	6.80	7.37	7.15	6.91	29.25	29.13	29.24	29.23

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก 9 แสดงค่าความเข้มข้นของแคดเมียมในน้ำที่ระยะต่าง ๆ ในตัวกลางทราย ที่ความเข้มข้นของแคดเมียม ในน้ำดิบเข้าเป็น 1 มก./ล.

ว/ด/ป	[Cd] , mg / l								% removal	
	inf	well # 1	well #2	well #3	well # 4	well #5	eff			
							filtrate	total	filtrate	total
29/6/41	1.00	0.65	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100	100
1/7/41	1.00	0.73	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100	100
3/7/41	1.40	0.45	0.18	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100	100
6/7/41	1.30	0.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100	100
8/7/41	1.00	0.75	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100	100
10/7/41	1.35	0.70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100	100
13/7/41	1.05	0.75	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100	100
15/7/41	1.30	0.73	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100	100
17/7/41	1.00	0.77	0.03	0.02	0.02	0.01	0.00	0.00	100	100
19/7/41	0.80	*	*	*	*	*	0.00	0.00	100.00	100.00
22/7/41	0.83	*	*	*	*	*	0.00	0.00	100.00	100.00
24/7/41	0.94	*	*	*	*	*	0.00	0.00	100.00	100.00
ค่าต่ำสุด	0.80	0.45	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100	100
ค่าสูงสุด	1.40	0.80	0.18	0.02	0.02	0.01	0.00	0.00	100	100
ค่าเฉลี่ย	1.081	0.70	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100	100

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก 10 แสดงค่าความเข้มข้นของแคดเมียมในน้ำที่ระยะต่าง ๆ ในตัวกลางทราย ที่ความเข้มข้นของแคดเมียม ในน้ำดิบเข้าเป็น 5 มก./ล.

ว/ด/ป	[Cd] , mg / l								% removal	
	inf	well # 1	well #2	well #3	well # 4	well #5	eff			
							filtrate	total	filtrate	total
5/8/41	4.05	1.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	100.00
7/8/41	5.10	1.35	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	100.00
11/8/41	4.55	1.64	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	100.00
13/8/41	5.40	1.53	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	100.00
15/8/41	5.70	1.28	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	100.00
18/8/41	5.65	1.61	0.07	0.05	0.05	0.05	0.05	0.125	99.11	97.79
20/8/41	6.00	1.36	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	100.00
22/8/41	5.15	1.95	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.025	100.00	99.51
24/8/41	5.30	2.06	0.03	0.01	0.01	0.01	0.01	0.025	99.81	99.53
26/8/41	5.30	1.76	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.050	99.62	99.06
28/8/41	5.70	1.61	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.025	99.82	99.56
31/8/41	5.10	1.50	0.04	0.05	0.04	0.04	0.03	0.075	99.41	98.53
ค่าต่ำสุด	4.05	1.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	99.11	99.79
ค่าสูงสุด	6.00	2.06	0.07	0.05	0.05	0.05	0.05	0.125	100.00	100.00
ค่าเฉลี่ย	5.25	1.56	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.027	99.81	99.50

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก 11 แสดงค่าความเข้มข้นของแคดเมียมในน้ำที่ระยะต่าง ๆ ในตัวกลางทราย ที่ความเข้มข้นของแคดเมียม ในน้ำดิบเข้าเป็น 10 มก./ล.

ว/ด/ป	[Cd] , mg / l								% removal	
	inf	well # 1	well #2	well #3	well # 4	well #5	eff			
							filtrate	total	filtrate	total
5/9/41	15.65	1.66	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.050	99.94	99.68
7/9/41	14.60	1.88	0.04	0.03	0.02	0.00	0.02	0.050	99.66	99.36
9/9/41	10.95	2.40	0.06	0.03	0.02	0.01	0.01	0.125	99.91	98.85
11/9/41	16.20	2.19	0.04	0.02	0.03	0.02	0.01	0.100	99.94	99.38
14/9/41	12.50	1.98	0.06	0.04	0.00	0.01	0.01	0.025	99.92	99.8
16/9/41	10.30	2.23	0.05	0.01	0.01	0.00	0.00	0.025	100	99.76
18/9/41	8.00	2.26	0.06	0.02	0.02	0.02	0.02	0.050	99.75	99.38
21/9/41	10.25	2.36	0.08	0.03	0.03	0.03	0.03	0.075	99.71	99.27
23/9/41	8.05	2.70	0.09	0.05	0.04	0.04	0.03	0.100	99.63	98.76
25/9/41	13.15	2.54	0.11	0.05	0.05	0.04	0.04	0.050	99.7	99.62
27/9/41	13.15	2.91	0.12	0.05	0.05	0.05	0.04	0.150	99.7	98.86
30/9/41	9.80	2.97	0.21	0.06	0.06	0.06	0.07	0.175	99.29	98.21
ค่าต่ำสุด	8.00	1.66	0.02	0.01	0.00	0.00	0.01	0.025	99.29	98.21
ค่าสูงสุด	16.20	2.97	0.21	0.06	0.06	0.06	0.07	0.175	100	99.8
ค่าเฉลี่ย	11.88	2.34	0.08	0.03	0.03	0.02	0.02	0.081	99.76	99.23

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก 12 แสดงค่าความเข้มข้นของแคดเมียมในน้ำที่ระยะต่าง ๆ ในตัวกลางทราย ที่ความเข้มข้นของแคดเมียม ในน้ำดิบเข้าเป็น 20 มก./ล.

ว/ด/ป	[Cd] , mg / l								% removal	
	inf	well # 1	well #2	well #3	well # 4	well #5	eff			
							filtrate	total	filtrate	total
10/10/41	18.70	5.91	0.34	0.05	0.02	0.00	0.02	0.050	99.89	99.73
12/10/41	15.10	5.43	0.23	0.04	0.02	0.01	0.02	0.050	99.87	99.67
14/10/41	24.10	6.15	0.28	0.03	0.03	0.02	0.02	0.100	99.92	99.58
16/10/41	15.60	5.84	0.41	0.08	0.04	0.03	0.05	0.100	99.68	99.36
19/10/411	19.80	5.87	0.49	0.05	0.04	0.05	0.05	0.125	99.75	99.37
21/10/41	24.10	6.00	0.68	0.14	0.07	0.14	0.07	0.150	99.71	99.38
23/10/41	18.60	5.68	0.78	0.10	0.03	0.02	0.03	0.075	99.84	99.7
26/10/41	19.50	5.74	1.04	0.10	0.04	0.03	0.02	0.075	99.9	99.61
28/10/41	16.10	5.80	1.74	0.04	0.04	0.02	0.02	0.075	99.88	99.53
30/10/04	16.80	5.93	1.50	0.13	0.09	0.07	0.07	0.200	99.58	98.8
2/11/41	16.30	5.68	2.57	0.05	0.03	0.02	0.02	0.050	99.88	99.69
5/11/41	16.30	5.69	3.21	0.06	0.04	0.04	0.03	0.075	99.82	99.54
ค่าต่ำสุด	15.10	5.43	0.23	0.03	0.02	0.00	0.02	0.050	99.58	99.81
ค่าสูงสุด	24.10	6.15	3.20	0.14	0.09	0.14	0.07	0.200	99.92	99.73
ค่าเฉลี่ย	18.42	5.81	1.11	0.07	0.04	0.04	0.04	0.094	99.81	99.5

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก 13 แสดงค่าความเข้มข้นของแคดเมียมในน้ำที่ระยะต่าง ๆ ในตัวกลางดินปนทราย ที่ความเข้มข้นของแคดเมียม ในน้ำดิบเข้าเป็น 1 มก./ล.

ว/ด/ป	[Cd] , mg / l								% removal	
	inf	well # 1	well #2	well #3	well # 4	well #5	eff			
							filtrate	total	filtrate	total
29/6/41	1.00	0.43	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100	100
1/7/41	1.00	0.45	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100	100
3/7/41	1.40	0.70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100	100
6/7/41	1.30	0.80	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	100	100
8/7/41	1.00	0.70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100	100
10/7/41	1.35	0.70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100	100
13/7/41	1.05	0.70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100	100
15/7/41	1.30	0.96	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100	100
17/7/41	1.00	0.45	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100	100
19/7/41	0.80	*	*	*	*	*	0.00	0.00	100.00	100.00
22/7/41	0.83	*	*	*	*	*	0.00	0.00	100.00	100.00
24/7/41	0.94	*	*	*	*	*	0.00	0.00	100.00	100.00
ค่าต่ำสุด	0.80	0.43	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100	100
ค่าสูงสุด	1.40	0.96	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	100	100
ค่าเฉลี่ย	1.08	0.65	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100	100

* ไม่เก็บตัวอย่าง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก 14 แสดงค่าความเข้มข้นของแคดเมียมในน้ำที่ระยะต่าง ๆ ในตัวกลางดินปนทราย ที่ความเข้มข้นของแคดเมียม ในน้ำดิบเข้าเป็น 5 มก./ล.

ว/ด/ป	[Cd] , mg / l								% removal	
	inf	well # 1	well #2	well #3	well # 4	well #5	eff			
							filtrate	total	filtrate	total
5/8/41	4.05	0.66	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	100.00
7/8/41	5.10	0.73	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	100.00
11/8/41	4.55	1.66	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	100.00
13/8/41	5.40	2.17	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	100.00
15/8/41	5.70	1.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	100.00
18/8/41	5.65	1.24	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	100.00
20/8/41	6.00	2.08	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	100.00
22/8/41	5.15	2.10	0.02	0.01	0.00	0.00	0.01	0.025	99.81	99.51
24/8/41	5.30	1.96	0.03	0.02	0.01	0.01	0.01	0.025	99.81	99.52
26/8/41	5.30	1.61	0.04	0.03	0.02	0.02	0.02	0.050	99.62	99.06
28/8/41	5.70	1.25	0.02	0.02	0.01	0.01	0.00	0.025	100.00	99.56
31/8/41	5.10	1.34	0.03	0.03	0.03	0.04	0.03	0.075	99.41	98.53
ค่าต่ำสุด	4.05	0.66	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	99.41	98.53
ค่าสูงสุด	6.00	2.17	0.04	0.03	0.03	0.04	0.03	0.075	100.00	100.00
ค่าเฉลี่ย	5.25	1.50	0.02	0.01	0.01	0.01	0.006	0.017	99.89	99.68

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก 15 แสดงค่าความเข้มข้นของแคดเมียมในน้ำที่ระยะต่าง ๆ ในตัวกลางดินปนทราย ที่ความเข้มข้นของแคดเมียม ในน้ำดิบเข้าเป็น 10 มก./ล.

ว/ด/ป	[Cd] , mg / l								% removal	
	inf	well # 1	well #2	well #3	well # 4	well #5	eff			
							filtrate	total	filtrate	total
5/9/41	15.65	1.51	0.05	0.03	0.01	0.01	0.01	0.050	99.94	99.68
7/9/41	14.60	1.67	0.06	0.03	0.02	0.01	0.02	0.050	99.86	99.66
9/9/41	10.95	3.34	0.05	0.04	0.02	0.02	0.01	0.075	99.91	99.31
11/9/41	16.20	2.17	0.06	0.04	0.03	0.02	0.02	0.050	99.88	99.61
14/9/41	12.50	1.26	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.025	100.00	99.80
16/9/41	10.30	1.87	0.03	0.02	0.01	0.01	0.02	0.050	99.81	99.51
18/9/41	8.00	2.10	0.08	0.04	0.02	0.03	0.02	0.050	99.75	99.38
21/9/41	10.25	2.24	0.11	0.05	0.04	0.03	0.03	0.075	99.71	99.27
23/9/41	8.05	2.29	0.09	0.07	0.05	0.04	0.04	0.100	99.50	98.76
25/9/41	13.15	2.31	0.12	0.07	0.05	0.05	0.04	0.125	99.70	99.05
27/9/41	13.15	2.54	0.15	0.09	0.06	0.06	0.06	0.175	99.54	98.86
30/9/41	9.80	2.08	0.12	0.08	0.06	0.06	0.06	0.150	99.39	98.47
ค่าต่ำสุด	8.00	1.26	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.025	98.71	98.47
ค่าสูงสุด	16.20	3.34	0.50	0.09	0.06	0.06	0.06	0.150	100.00	99.80
ค่าเฉลี่ย	11.88	2.12	0.08	0.05	0.03	0.03	0.03	0.081	99.75	99.28

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก 16 แสดงค่าความเข้มข้นของแคดเมียมในน้ำที่ระยะต่าง ๆ ในตัวกลางดินปนทราย ที่ความเข้มข้นของแคดเมียม ในน้ำดิบเข้าเป็น 20 มก./ล.

ว/ด/ป	[Cd] , mg / l								% removal	
	inf	well # 1	well #2	well #3	well # 4	well #5	eff			
							filtrate	total	filtrate	total
10/10/41	18.70	4.59	0.20	0.06	0.03	0.01	0.02	0.025	99.89	99.87
12/10/41	15.10	4.91	0.14	0.16	0.03	0.02	0.03	0.075	99.87	99.5
14/10/41	24.10	5.80	0.14	0.08	0.04	0.02	0.03	0.030	99.87	99.87
16/10/41	15.60	6.14	0.23	0.08	0.04	0.04	0.04	0.100	99.74	99.36
19/10/41	19.80	6.05	0.18	0.11	0.09	0.06	0.06	0.125	99.7	99.37
21/10/41	24.10	6.18	0.17	0.09	0.07	0.07	0.06	0.175	99.75	99.27
23/10/41	18.60	6.20	0.23	0.05	0.03	0.03	0.03	0.075	99.84	99.6
26/10/41	19.50	5.56	0.21	0.06	0.05	0.04	0.03	0.075	99.85	99.61
28/10/41	16.10	5.46	0.21	0.09	0.05	0.04	0.05	0.125	99.69	99.22
30/10/04	16.80	5.95	0.22	0.30	0.08	0.07	0.07	0.200	99.58	98.81
2/11/41	16.30	5.57	0.26	0.06	0.04	0.04	0.04	0.075	99.75	99.54
5/11/41	16.30	6.03	0.14	0.05	0.05	0.05	0.03	0.100	99.82	99.39
ค่าต่ำสุด	15.10	4.59	0.14	0.05	0.03	0.01	0.02	0.025	99.54	98.81
ค่าสูงสุด	24.10	6.20	0.26	0.30	0.08	0.07	0.07	0.200	99.81	99.87
ค่าเฉลี่ย	18.42	5.70	0.19	0.10	0.05	0.04	0.04	0.098	99.78	99.45

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก 17 แสดงค่าความเข้มข้นของแคดเมียมในน้ำที่ระยะต่าง ๆ ในตัวกลางดิน ที่ความเข้มข้นของแคดเมียม ในน้ำดิบเข้าเป็น 1 มก./ล.

ว/ด/ป	[Cd] , mg / l								% removal	
	inf	well # 1	well #2	well #3	well # 4	well #5	eff			
							filtrate	total	filtrate	total
29/6/41	1.00	0.18	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	100.00
1/7/41	1.00	0.28	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	100.00
3/7/41	1.40	0.73	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	100.00
6/7/41	1.30	0.63	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	100.00
8/7/41	1.00	0.65	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	100.00
10/7/41	1.35	0.65	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	100.00
13/7/41	1.05	0.71	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	100.00
15/7/41	1.30	0.46	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	100.00
17/7/41	1.00	0.31	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	100.00
19/7/41	0.80	*	*	*	*	*	0.00	0.00	100.00	100.00
22/7/41	0.83	*	*	*	*	*	0.00	0.00	100.00	100.00
24/7/41	0.94	*	*	*	*	*	0.00	0.00	100.00	100.00
ค่าต่ำสุด	0.80	0.18	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	100.00
ค่าสูงสุด	1.40	0.73	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	100.00
ค่าเฉลี่ย	1.081	0.51	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	100.00

* ไม่เก็บตัวอย่าง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก 18 แสดงค่าความเข้มข้นของแคดเมียมในน้ำที่ระยะต่าง ๆ ในตัวกลางดิน ที่ความเข้มข้นของแคดเมียม ในน้ำดิบเข้าเป็น 5 มก./ล.

ว/ด/ป	[Cd] , mg / l								% removal	
	inf	well # 1	well #2	well #3	well # 4	well #5	eff			
							filtrate	total	filtrate	total
5/8/41	4.05	0.36	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	100.00
7/8/41	5.10	0.41	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	100.00
11/8/41	4.55	1.28	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	100.00
13/8/41	5.40	1.38	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	100.00
15/8/41	5.70	0.76	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	100.00
18/8/41	5.65	0.63	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	100.00
20/8/41	6.00	0.86	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.025	99.83	99.58
22/8/41	5.15	1.11	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.050	99.81	99.03
24/8/41	5.30	1.23	0.04	0.02	0.01	0.01	0.01	0.025	99.81	99.50
26/8/41	5.30	0.81	0.04	0.03	0.02	0.02	0.02	0.050	99.62	99.06
28/8/41	5.70	0.76	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.025	100.00	99.56
31/8/41	5.10	1.05	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.075	99.41	98.53
ค่าต่ำสุด	4.05	0.36	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	99.41	98.53
ค่าสูงสุด	6.00	1.38	0.04	0.03	0.03	0.03	0.03	0.075	100.00	100.00
ค่าเฉลี่ย	5.25	0.887	0.011	0.008	0.006	0.006	0.007	0.021	99.87	99.61

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก 19 แสดงค่าความเข้มข้นของแคดเมียมในน้ำที่ระยะต่าง ๆ ในตัวกลางดิน ที่ความเข้มข้นของแคดเมียม ในน้ำดิบเข้าเป็น 10 มก./ล.

ว/ด/ป	[Cd] , mg / l								% removal	
	inf	well # 1	well #2	well #3	well # 4	well #5	eff			
							filtrate	total	filtrate	total
5/9/41	15.65	0.72	0.07	0.02	0.01	0.01	0.01	0.025	99.94	99.84
7/9/41	14.60	0.67	0.06	0.02	0.02	0.01	0.02	0.075	99.86	99.49
9/9/41	10.95	2.58	0.03	0.03	0.03	0.02	0.02	0.050	99.82	99.54
11/9/41	16.20	1.10	0.05	0.02	0.02	0.02	0.02	0.050	99.88	99.69
14/9/41	12.50	1.21	0.04	0.02	0.01	0.00	0.00	0.025	100.00	99.80
16/9/41	10.30	1.61	0.07	0.03	0.02	0.02	0.02	0.050	99.81	99.51
18/9/41	8.00	1.53	0.08	0.03	0.02	0.03	0.02	0.075	99.75	99.06
21/9/41	10.25	1.51	0.11	0.03	0.03	0.03	0.03	0.100	99.70	99.02
23/9/41	8.05	2.36	0.10	0.05	0.05	0.04	0.04	0.100	99.50	98.76
25/9/41	13.15	1.57	0.13	0.08	0.05	0.05	0.05	0.125	99.62	99.05
27/9/41	13.15	1.77	0.12	0.08	0.06	0.06	0.06	0.150	99.54	98.46
30/9/41	9.80	1.64	0.11	0.08	0.07	0.06	0.06	0.150	99.39	98.47
ค่าต่ำสุด	8.00	0.97	0.03	0.02	0.01	0.01	0.00	0.025	99.39	98.47
ค่าสูงสุด	16.20	2.58	0.13	0.08	0.07	0.06	0.06	0.150	100.00	99.84
ค่าเฉลี่ย	11.88	1.52	0.08	0.04	0.03	0.03	0.03	0.081	99.73	99.22

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก 20 แสดงค่าความเข้มข้นของแคดเมียมในน้ำที่ระยะต่าง ๆ ในตัวกลางดิน ที่ความเข้มข้นของแคดเมียม ในน้ำดิบเข้าเป็น 20 มก./ล.

ว/ด/ป	[Cd] , mg / l								% removal	
	inf	well # 1	well #2	well #3	well # 4	well #5	eff			
							filtrate	total	filtrate	total
10/10/41	18.70	3.66	0.17	0.11	0.03	0.02	0.02	0.050	99.89	99.73
12/10/41	15.10	3.94	0.24	0.05	0.03	0.02	0.01	0.050	99.93	99.67
14/10/41	24.10	5.67	0.19	0.04	0.05	0.04	0.03	0.075	99.87	99.69
16/10/41	15.60	5.75	0.47	0.04	0.04	0.04	0.03	0.100	99.81	99.36
19/10/41	19.80	5.87	0.25	0.08	0.07	0.06	0.05	0.125	99.75	99.37
21/10/41	24.10	6.01	0.30	0.10	0.07	0.07	0.06	0.175	99.75	99.27
23/10/41	18.60	5.75	0.19	0.07	0.03	0.08	0.03	0.075	99.84	99.60
26/10/41	19.50	5.42	0.20	0.05	0.04	0.03	0.03	0.075	99.85	99.61
28/10/41	16.10	5.32	0.27	0.08	0.04	0.03	0.02	0.075	99.88	99.53
30/10/41	16.80	5.64	0.30	0.12	0.07	0.07	0.06	0.200	99.64	98.81
2/11/41	16.30	5.59	0.33	0.07	0.03	0.04	0.04	0.075	99.75	99.54
5/11/41	16.30	5.45	0.21	0.06	0.04	0.04	0.03	0.075	99.82	99.54
ค่าต่ำสุด	15.10	3.66	0.17	0.04	0.03	0.02	0.01	0.050	99.64	98.81
ค่าสูงสุด	24.10	6.01	0.47	0.12	0.07	0.08	0.06	0.200	99.93	99.73
ค่าเฉลี่ย	18.42	5.34	0.26	0.07	0.05	0.05	0.03	0.096	99.82	99.48

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก 21 ปริมาณไนโตรเจนที่เข้าและออกจากระบบบึงประดิษฐ์ที่มีตัวกลางทราย ดินปนทราย และดิน (มก./ล.)

ว/ด/ป	inf	eff		
		sand	sd & sl	soil
...กค. 42	6.00	0.00	0.00	0.00
...สค. 42	6.00	0.64	0.60	0.00
...กย. 42	6.00	1.05	0.55	0.30
...ตค. 42	6.00	1.98	1.53	0.32

ตารางที่ ก 22 ปริมาณฟอสฟอรัสที่เข้าและออกจากระบบบึงประดิษฐ์ที่มีตัวกลางทราย ดินปนทราย และดิน (มก./ล.)

ว/ด/ป	inf	eff		
		sand	sd & sl	soil
...กค. 42	2.00	0.00	0.00	0.00
...สค. 42	2.00	0.00	0.00	0.00
...กย. 42	2.00	1.84	0.00	0.00
...ตค. 42	2.00	1.00	0.00	0.00

ตารางที่ ก 23 ปริมาณเหล็ก มังกานีส และ ซัลเฟต ในน้ำประปา (มก./ล.)

ว/ด/ป	Fe	SO_4	Mn
...กค. 42	0.043	50	0.008
...สค. 42	0.031	55	0.008
...กย. 42	0.035	30	0.008
...ตค. 42	0.044	42	0.008

ตารางที่ ก 24 ปริมาณสารอินทรีย์ เหล็ก มังกานีส และซัลเฟต ในตัวกลาง (มก./ก.)

	ทราย	ดิน
org.matter	3.19	71.04
Fe	0.87	0.89
Mn	0.08	0.52
SO_4	0.12	0.20

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก 25 ปริมาณแคดเมียมในส่วนต่าง ๆ ของพืช

ตัวกลาง		ใบ	ต้น	ราก	รวม
ทราย	b.m.(ก.)	51.0342	26.0158	14.1679	91.2071
	[Cd], มก./ก.	0.0082	0.0323	0.1442	
	Cd , มก.	0.4185	0.8417	2.0432	3.3032
ดินปนทราย	b.m.(ก.)	61.1867	38.4135	24.4844	124.085
	[Cd], มก./ก.	0.0088	0.0416	0.0296	
	Cd , มก.	0.5912	1.598	0.7247	2.9139
ดิน	b.m.(ก.)	98.9757	45.8972	29.9062	177.779
	[Cd], มก./ก.	0.0006	0.0345	0.0560	
	Cd , มก.	0.5938	1.5834	1.6188	3.7960

b.m. = biomass

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก 26 ปริมาณแคดเมียมในตัวกลางทราย ดินปนทราย และดิน หลังการดูดซับแคดเมียมจากระบบบำบัดบึงประดิษฐ์

ตำแหน่งเก็บตัวอย่าง (ซม.)	Cd , มก./ก.		
	ทราย	ดินปนทราย	ดิน
0	0.1425	0.3705	0.4830
15	0.1160	0.0435	0.0540
30	0.0665	0.0075	0.0045
45	0.0030	0.0025	0.0045
60	0.0015	0.0015	0.0005
mean	0.0659	0.0811	0.1093
medium (ก.)	58032	50544	43056
total Cd (มก.)	3824.31	4301.3	4706.02

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก 27 การทดสอบการชะละลายตัวกลางทราย ดินปนทราย และดิน ที่ผ่านการดูดซับแคดเมียมจากระบบบึงประดิษฐ์

ตัวกลาง	ตำแหน่ง	Cd ในน้ำสกัด		Cd ในตัวกลาง	% การ ชะละลาย	
	เก็บตัวอย่าง(ซม.)	(มก.)	(มก./ก.)	(มก./ก.)		mean
ทราย	15	0.653	0.0653	0.1160	56.29	54.25
	30	0.575	0.0575	0.0665	86.47	
	45	0.006	0.0006	0.0030	20.00	
ดินปนทราย	15	0.028	0.0028	0.00435	6.44	11.15
	30	0.006	0.0006	0.0075	15.00	
	45	0.003	0.0003	0.0025	12.00	
ดิน	15	0.003	0.0003	0.0540	0.56	5.37
	30	0.004	0.0004	0.0045	8.87	
	45	0.003	0.0003	0.0045	6.67	

เก็บตัวอย่างจำนวน 10 กรัม ต่อ 1 ตัวอย่าง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข

อัตราการไหลและภาระบรรทุกน้ำของระบบ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข

อัตราการไหลและภาระบรรทุกน้ำของระบบ

การคำนวณอัตราการไหลในการควบคุมระบบให้มีเวลาเก็บกักน้ำ 5 วัน ในตัวกลางต่างชนิดกัน มีดังนี้ คือ

จากสมการ $\tau = l w d \varepsilon / Q$

เมื่อ τ = เวลาเก็บกักน้ำ (วัน)

Q = อัตราการไหล (ลูกบาศก์เมตรต่อวัน)

l = ความยาว (เมตร)

w = ความกว้าง (เมตร)

d = ความลึก (เมตร)

ε = ความพรุนของชั้นตัวกลาง

กำหนดให้ l = 0.6 เมตร (ไม่รวมชั้นกรวดที่เป็นทางน้ำเข้าและออก)

w = 0.3 เมตร

d = 0.26 เมตร

โดยควบคุมอัตราการไหลให้มีภาระบรรทุกน้ำ (Hydraulic loading rate , HLR) อยู่ในช่วง 1.4-4.7 เซ็นติเมตรต่อวัน (Metcalf and Eddy , 1991)

จากสมการ $HLR = Q / l w$

<u>ตารางที่</u> ข 1 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง

ยูนิตที่	ตัวกลาง	HRT (วัน)	ε	Q (ลิตร/วัน)	HLR (ซม./ว.)
1	ทราย	5	0.42	4.0	2.22
2	ดินปนทราย	5	0.47	4.4	2.44
3	ดิน	5	0.52	5.0	2.78

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

<u>การคำนวณ</u>

1. บึงประดิษฐ์ ตัวกลางทราย

$$Q = l\,w\,d\,\varepsilon / HRT$$
$$= (0.6 \times 0.3 \times 0.26 \times 0.42) \times 1000 / 5$$
$$= 3.93 \text{ ลิตร / วัน}$$
(ค่าที่นำไปใช้ 4 ลิตร / วัน)

$$HLR = Q / l\,w$$
$$= (4 \times 100 / 0.6 \times 0.3) / 1000$$
$$= 2.22 \text{ เซ็นติเมตร / วัน}$$

2. บึงประดิษฐ์ ตัวกลางดินปนทราย

$$Q = l\,w\,d\,\varepsilon / HRT$$
$$= (0.6 \times 0.3 \times 0.26 \times 0.47) \times 1000 / 5$$
$$= 4.41 \text{ ลิตร / วัน}$$
(ค่าที่นำไปใช้ 4.4 ลิตร / วัน)

$$HLR = Q / l\,w$$
$$= (4.4 \times 100 / 0.6 \times 0.3) / 1000$$
$$= 2.44 \text{ เซ็นติเมตร / วัน}$$

3. บึงประดิษฐ์ ตัวกลางดิน

$$Q = l\,w\,d\,\varepsilon / HRT$$
$$= (0.6 \times 0.3 \times 0.26 \times 0.52) \times 1000 / 5$$
$$= 5.04 \text{ ลิตร / วัน}$$
(ค่าที่นำไปใช้ 5 ลิตร / วัน)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

HLR = Q / l w

= (5 x 100 / 0.6 x0.3) / 1000

= 2.78 เซ็นติเมตร / วัน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ค

สารประกอบเชิงซ้อนของแคดเมียม

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ค

สารประกอบเชิงซ้อนของแคดเมียม

1. แคดเมียมคลอไรด์

ปฏิกริยาการเกิดสารเชิงซ้อนรูปต่าง ๆ ของแคดเมียมคลอไรด์ หรือคลอโรแคดเมียมคอมเพล็กซ์ (Chlorocadmium (II) complexes) และค่าคงที่ปฏิกริยาที่สมดุล มีดังนี้คือ

$$Cd^{2+} + Cl^- \rightleftharpoons CdCl^+ \quad ; \quad \log k_1 = 1.32$$

$$CdCl^- + Cl^- \rightleftharpoons CdCl_2^o \quad ; \quad \log k_2 = 0.90$$

$$CdCl_2^o + Cl^- \rightleftharpoons CdCl_3^- \quad ; \quad \log k_3 = 0.09$$

$$CdCl_3^- + Cl^- \rightleftharpoons CdCl_4^{2-} \quad ; \quad \log k_4 = -0.45$$

ตารางที่ ค 1 ปริมาณ $[Cd^{2+}]$ และ $[Cl^-]$ ที่ความเข้มข้นแคดเมียมคลอไรด์เริ่มต้นต่าง ๆ

$CdCl_2$ (mg/l)	$[Cd^{2+}]$ (mol/l)	$[Cl^-]$ (mol/l)
1	5.45×10^{-6}	1.09×10^{-5}
5	2.725×10^{-5}	5.45×10^{-5}
10	5.45×10^{-5}	1.09×10^{-4}
20	1.09×10^{-4}	2.18×10^{-4}

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค 2 คลอโรแคดเมียม คอมเพล็กซ์ ในรูปต่าง ๆ

		Chlorocadmium (Ⅱ) complexes			
$CdCl_2$ (mg/l)	หน่วย	$CdCl^+$	$CdCl_2^o$	$CdCl_3^-$	$CdCl_4^{2-}$
1	mol/l	1.24×10^{-9}	1.07×10^{-13}	1.38×10^{-18}	5.32×10^{-24}
	mg/l	1.83×10^{-4}	1.97×10^{-8}	3.01×10^{-13}	1.35×10^{-18}
5	mol/l	3.10×10^{-8}	1.34×10^{-11}	8.60×10^{-16}	1.66×10^{-20}
	mg/l	4.59×10^{-3}	2.46×10^{-6}	1.88×10^{-10}	4.23×10^{-15}
10	mol/l	1.24×10^{-7}	1.07×10^{-10}	1.38×10^{-14}	5.32×10^{-19}
	mg/l	1.80×10^{-2}	1.97×10^{-5}	3.01×10^{-9}	1.35×10^{-13}
20	mol/l	4.96×10^{-7}	8.60×10^{-10}	2.20×10^{-13}	1.70×10^{-17}
	mg/l	7.30×10^{-2}	1.58×10^{-4}	4.82×10^{-8}	4.33×10^{-12}

2. แคดเมียมไฮดรอกไซด์

การละลายของแคดเมียมไฮดรอกไซด์ที่พีเอชเท่ากับ 7 ปฏิกริยาที่เกิดขึ้นคือ

(1) $Cd(OH)_{2(s)} \rightleftharpoons Cd^{2+} + 2OH^-$; $\log k_{s0} = -13.65$

(2) $Cd(OH)_{2(s)} \rightleftharpoons CdOH^+ + OH^-$; $\log k_{s1} = -9.49$

(3) $Cd(OH)_{2(s)} \rightleftharpoons Cd(OH)_2^o$; $\log k_{s2} = -9.42$

(4) $Cd(OH)_{2(s)} + OH^- \rightleftharpoons HCdO_2^- + H_2O$; $\log k_{s3} = -12.97$

(5) $Cd(OH)_{2(s)} + 2OH^- \rightleftharpoons CdO_2^{2-} + 2H_2O$; $\log k_{s4} = -13.97$

ตารางที่ ค 3 ไฮดรอกโซแคดเมียม คอมเพล็กซ์ ในรูปต่าง ๆ

	Hydroxocadmium (II) complexes				
หน่วย	Cd^{2+}	$CdOH^{+}$	$Cd(OH)_2^{o}$	$HCdO_2^{-}$	CdO_2^{2-}
mol/l	2.24	3.24×10^{-3}	3.80×10^{-10}	1.07×10^{-20}	1.07×10^{-28}
mg/l	2.52×10^{5}	4.19×10^{2}	5.56×10^{-5}	1.56×10^{-15}	1.54×10^{-26}

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ง

ธูปฤาษี (*Typha* sp.)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ง

ธูปฤาษี

(อำไพ ยงบุญเกิด : เอกสารประกอบการทำวิจัย)

ธูปฤาษี (*Typha* sp.) จัดเป็นวัชพืชน้ำชนิดหนึ่งในบ้านเราขึ้นเป็นดงใหญ่ตามที่ลุ่ม ขึ้นง่าย โตเร็ว ด้วยเหตุดังกล่าว ในอเมริกาจึงได้มีผู้ทำวิจัยเกี่ยวกับการใช้ประโยชน์ในแง่มุมต่าง ๆ กัน

มีรายงานจากหลายแหล่งด้วยกันกล่าวถึงประโยชน์จากธูปฤาษี กล่าวคือ แป้งจากรากใช้ปรุงอาหาร ใบมุงหลังคา ทำที่ดิน สานเสื่อ ตะกร้า รองเท้า เชือก กระดาษ ขี้ผึ้งที่ผสมสารเคมีในต้นธูปฤาษีใช้แก้พิษงู นอกจากนี้ยังใช้เป็นสมุนไพรแก้โรคหัดและโรคอื่น ๆ เมล็ดรับประทานได้ ช่อดอกปิ้งรับประทานได้เช่นกัน ต้นอ่อนใช้เป็นผักทานได้ทั้งดิบและสุก

นอกจากประโยชน์ดังกล่าวแล้ว นักวิทยาศาสตร์สมัยใหม่ยังได้ค้นพบประโยชน์จากธูปฤาษีอีกหลายด้าน แพรท-D.C. Pratt และ แอนดรู-N.J. Andrews แห่งมหาวิทยาลัยมินิโซต้า โวลเวอร์ตัน- B.C. และ แม็กโดนัล-Rebeca C. McDonald แห่งสถาบันห้วงอวกาศแห่งชาติได้ร่วมกันศึกษาพบว่า ต้นธูปฤาษีเป็นแหล่งผลิตพลังงานที่สามารถผลิตก๊าซมีเทนได้

Pratt และ Andrews ได้ศึกษาถึงผลผลิตน้ำหนักหน้าแล้งทุกส่วนของต้นธูปฤาษีได้น้ำหนักถึง 40 ตันต่อเฮกเตอร์ (เฮกเตอร์ = 6.25 ไร่) ส่วนโวลเวอร์ตัน และแม็กโดนัล คำนวนว่าพลังงานศักย์ทั้งหมด (Potential gross energy) ได้ถึง 301 ล้าน บีทียู ต่อเฮกเตอร์ ต่อปี (1 บีทียู เป็นปริมาณความร้อนที่ทำให้น้ำ 1 ปอนดี ร้อนขึ้น 1 องศาฟาเรนไฮต์)

เนื่องจากต้นธูปฤาษีเป็นพืชที่ขึ้นง่าย ไม่ค่อยมีโรคแมลงรบกวน นักวิทยาศาสตร์จึงได้เสนอแนะว่า ในอนาคตธูปฤาษีจะเป็นพืชให้พลังงานจัดอยู่ในแนวหน้าชนิดหนึ่ง และอาจจะมีการปลูกต้นไม้นี้ถึง 14 ล้านเอเคอร์ (1 เอเคอร์ = 2.5 ไร่) ในรัฐมินิโซต้าและวิสคอนซิน ธูปฤาษีมีโปรตีนและคาร์โบไฮเดรตอยู่ในปริมาณค่อนข้างสูง ส่วนหรือกากที่เหลือจากการสกัดโปรตีนและคาร์โบไฮเดรตออกแล้ว ใช้พวกบัคเตรี (Anaerobic digester) ย่อยจะให้ก๊าซมีเทน

นอกจากนี้ ต้นธูปฤาษียังเป็นตัวช่วยในการกำจัดมลพิษ บอยด์-Boyd คือสามารถกำจัดไนโตรเจนจากน้ำเสียได้ถึง 2600 กิโลกรัม ต่อเฮกเตอร์ ต่อปี และสามารถกำจัดโปตัสเซียมได้ถึง

4500 กิโลกรัม ต่อเฮกเตอร์ ต่อปี (เปรียบเทียบกับผักตบชวา : ไนโตรเจน 2000 โปตัสเซียม 3200กิโลกรัม ต่อเฮกเตอร์ ต่อปี) จึงเชื่อว่าต้นธูปฤาษีจัดเป็น 1 ใน 4 ของพืชน้ำ ซึ่งเหมาะที่จะนำมาใช้ในการกำจัดมลพิษ

เวล-Wells ได้กล่าวไว้ว่าต้นธูปฤาษีมีโลหะหนักอยู่ในลำต้นสูงมาก ดังนั้นจึงสามารถใช้เป็นตัวชี้ว่ามีโลหะหนักอยู่ในน้ำสูงด้วย

มอรอซอฟ-N.V. Morozov และ ทอร์ปีชชีวา-A.V. Torpishcheva รายงานไว้เมื่อปี ค.ศ.1977 (พ.ศ. 2520) ว่ามลพิษที่เกิดจากน้ำมันหากมีต้นธูปฤาษีขึ้นอยู่ด้วยแล้วจะสลายตัวเร็วขึ้นเป็น 3 - 10 เท่า ทั้งนี้เพราะจุลินทรีย์ที่อยู่ร่วมกับต้นธูปฤาษีและปรือ (พวกกกชนิดหนึ่ง) จะอ๊อกซิไดซ์ผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม

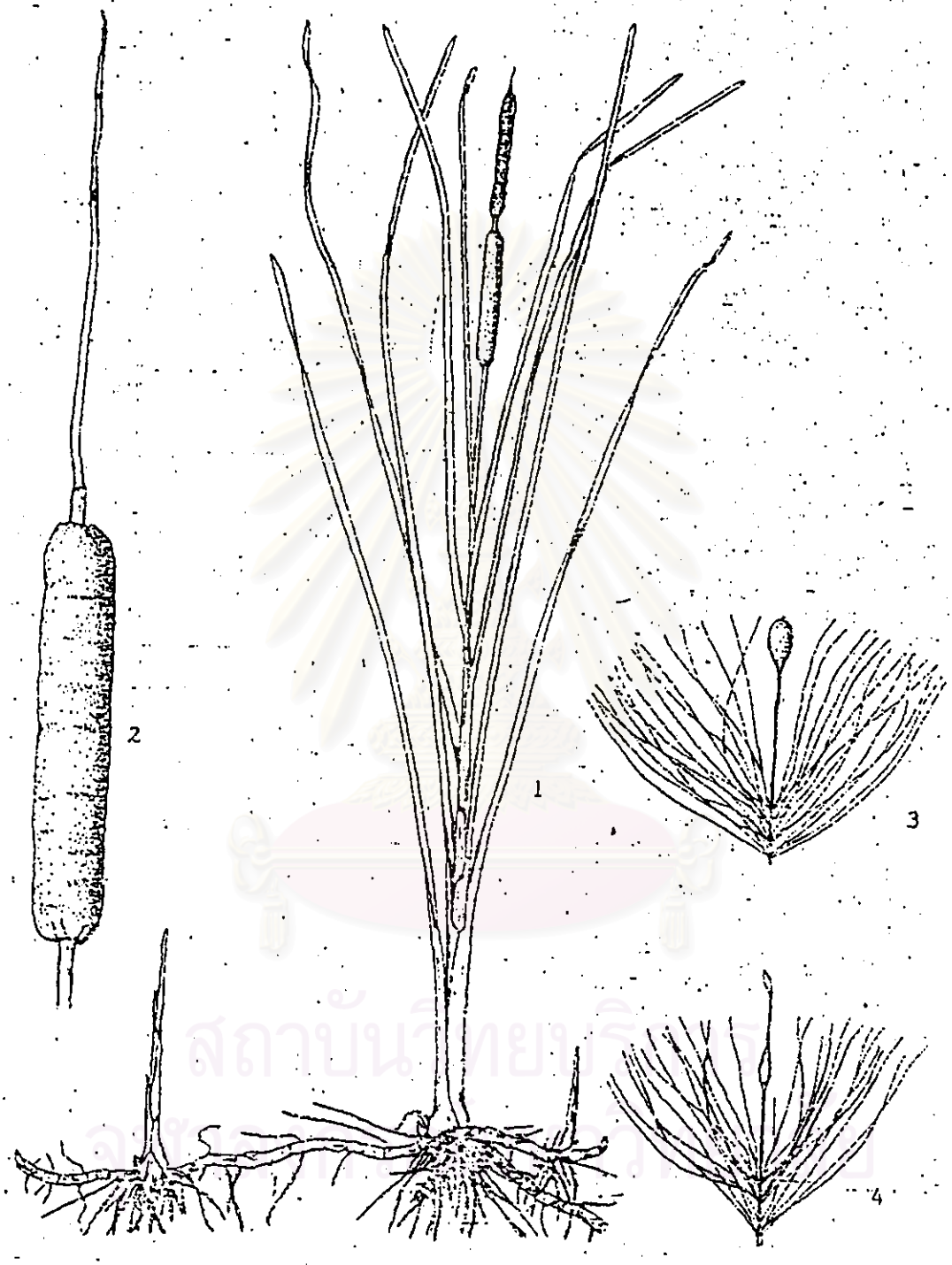
สตาบา-E.J.Staba แยกได้ฟลาโวนอล และเบตาซิเทสเทอเรสเทอริล จากต้นธูปฤาษี ซึ่งสารเคมีทั้ง 2 ชนิดนี้ใช้ในอุตสาหกรรมผลิตยา

อาจารย์กรรณิย์ ถาวรสุข แห่งภาควิชาคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ บางเขน กรุงเทพฯ ได้พูดถึงการใช้ประโยชน์ของธูปฤาษีซึ่งเป็นวัชพืชที่ขึ้นตามที่ลุ่มน้ำขังว่างเปล่าทั่วไป ในด้านอาหารของมนุษย์โดยดึงต้นขึ้นมาแล้วให้ส่วนที่เป็นเหง้าซึ่งเป็นส่วนที่ติดกับราก แต่ใช้ส่วนที่อยู่ข้างใน โดยลอกจนกระทั่งถึงโคนใบอ่อน ซึ่งมีลักษณะอวบน้ำ หักได้เหมือนสายบัว โดยไม่ควรเก็บจากแหล่งที่ขึ้นแถวโรงงานที่มีน้ำเสียซึ่งมีโลหะหนักปนอยู่มาก เพราะกกธูปฤาษีเหมือนผักตบชวาที่ดูดโลหะหนัก ซึ่งอาจเป็นพิษต่อร่างกายมนุษย์ได้

ธูปฤาษี (หรือ กกช้าง) มีแพร่กระจายไปเกือบทั่วโลก ชอบขึ้นตามหนองน้ำตื้น ๆ หรือริมบ่อ สระ และแหล่งน้ำทั่วไป เป็นพืชที่แข็งแรงและทนทานมาก จัดว่าเป็น monoecious plant ที่มีอายุข้ามปี ลำต้นใต้ดินแบบ rhizome ที่แตกกิ่งก้านสาขา ลำต้นเหนือดินแข็งประกอบด้วยใบแตกออกเป็นแผงสองแนวทางด้านข้าง ใบเดี่ยว มีแต่แผ่นใบแบนเรียวยาว โคนใบแผ่เป็นกาบอวบหนาหุ้มประกบกันไว้ ใบแก่อยู่ด้านนอกหุ้มใบอ่อนไว้ข้างใน กาบใบด้านในมีเมือกเหนียว ๆ ขอบใบหนา โคนใบอวบหนากว่าปลายใบ แผ่นใบสีเขียวเข้ม ดอกออกเป็นช่อแบบ spike แน่น ๆ รูปทรงกระบอกหรือ spadix ที่อยู่ปลายก้านช่อ แต่ไม่มี spathe รองรับ ก้านช่อดอกยาวเรียวแข็ง และมักชูช่อดอกสูงเกือบเท่าใบ ช่อดอกมองดูเหมือนเป็นธูปใหญ่ ๆ ดอกย่อยแยกเพศ ดอกตัวผู้อยู่ตอนบน

ส่วนดอกตัวเมียอยู่ตอนล่าง ดอกตัวผู้เมื่อแก่มักจะร่วงหลุดไปเหลือแต่ก้าน ส่วนดอกตัวเมียนั้นกลายเป็นผลอัดอยู่กันตอนล่าง สีน้ำตาลจับดูจะรู้สึกนุ่ม ส่วนของดอกตัวผู้นั้นประกอบด้วยกลีบรวมที่เปลี่ยนรูปไปเป็นขนบาง ๆ ซึ่งมีลักษณะเรียวยาวไปจนปลายขนแผ่แบนเล็กน้อย ที่เรียกว่า spathulate เกสรตัวผู้มีจำนวน 2 ถึง 5 อัน ก้านชูอับเรณูแยกหรือติดกัน ประกอบด้วยอับเรณู 2 ช่อง ดอกตัวเมียประกอบด้วยกลีบรวมลักษณะเป็นขนเรียวยาว จำนวนมาก รังไข่รูปกระสวยที่มี 1 ช่อง และมีไข่อ่อนแค่ 1 ใบ ยอดเกสรตัวเมียมีก้านชูตรงปลายแผ่แบน นอกจากนี้ยังมีดอกตัวเมียที่เป็นหมันแทรกอยู่ด้วย สังเกตุได้โดยพบว่ามีรังไข่ที่ไม่สมบูรณ์คือ พองใหญ่เป็นรูป clubshaped เรียกว่า carpodium แต่ไม่มียอดเกสรตัวเมีย ผลขนาดเล็ก เปลือกแข็งมีเมล็ดเพียง 1 เมล็ด และเมื่อแก่จะปลิวไปได้ไกล ๆ เพราะมีขนเป็นจำนวนมาก ดังรูปที่ ง 1

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปฉาย Typha sp. 1 ลักษณะต้น 2 ช่อดอก
3 ดอกตัวเมียที่เป็นหมัน 4 ดอกตัวเมียปกติ

สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียน

นางสาวรัตนา ตรีรัตนภรณ์ เกิดเมื่อวันที่ 15 มิถุนายน 2513 สำเร็จการศึกษาในระดับปริญญาตรีในสาขาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ ที่มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ในปีการศึกษา 2535 และได้ศึกษาต่อในระดับปริญญาโทในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2539

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย