รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

กัลยา สุนทรวงศ์สกุล . 2537 . อิทธิพลของโลหะหนักต่อกิจกรรมจุลินทรีย์ดินและความเสี่ยงต่อเชื้อซาลโมเนลลา เนื่องจากการนำกากตะกอนบำบัดน้ำเสียชุมชนไปใช้ประโยชน์ทางการเกษตร . วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย .

เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์ . 2539 . การบำบัดน้ำเสีย . กรุงเทพมหานคร : มิตรนราการพิมพ์ .

จิณัฐตา วัดคำ และ ปวีณา ด่านกุล . 2540 . การศึกษาคุณสมบัติของกากตะกอนจากโรงบำบัดน้ำเสียชุมชนเพื่อใช้ปรับปรุงดิน . โครงการการเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์ ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทั่วไป คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย .

ไชยยุทธ์ กลิ่นสุคนธ์ . 2536 . ข้อพิจารณาเกี่ยวกับปริมาณน้ำทิ้งชุมชนในประเทศไทย . ใน ธงชัย พรรณสวัสดิ์ มีนา พิทยโสภณกิจ และปราณี พันธุมสินชัย (บรรณาธิการ) , เทคโนโลยีการควบคุมมลพิษ . กรุงเทพมหานคร : ไฟน์อาร์ตพับลิชชิ่ง .

นโยบายและแผนสิ่งแวดล้อม , สำนัก . 2542 . รายงานสถานการณ์คุณภาพสิ่งแวดล้อม พ.ศ. 2540 . กรุงเทพมหานคร : วิฑูรย์การปก.

ปรัชญา ธัญญาดี พิทยากร ลิ่มทอง และฉวีวรรณ เหลืองวุฒิวิโรจน์ . 2535 . การผลิตปุ๋ยหมักเป็นอุตสาหกรรม ใน การปรับปรุงบำรุงดินด้วยอินทรียวัตถุ . กลุ่มอินทรียวัตถุและวัสดุเหลือใช้ กองอนุรักษ์ดินและน้ำ กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ .

โปรเกรสเทคโนโลยีคอนซัลแทนส์จำกัดร่วมกับ Metcalf & Eddy International , Inc. และกองควบคุมการระบายน้ำ สำนักระบายน้ำกรุงเทพมหานคร . 2541 . โครงการศึกษาความเหมาะสมในการจัดเก็บค่าบริการบำบัดน้ำเสียในเขตกรุงเทพมหานคร (ร่างรายงานการศึกษาขั้นสุดท้าย) . (ม.ป.ท.).

ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย . 2542 . โครงการศึกษาสำรวจข้อมูลพื้นฐานเพื่อการจัดการน้ำเสีย อาคารส่วนราชการประเภทต่าง ๆ ในกรุงเทพมหานคร . (ม.ป.ท.).

ศุภฤกษ์ สินสุพรรณ . 2526 . การประปาและการควบคุมมลภาวะ . เล่มที่ 1 : การรวบรวมและลำเลียงน้ำและน้ำเสีย . คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น .

ศิราณี ศิริสุโขดม . 2535 . ผลของกากตะกอนจากการบำบัดน้ำเสียชุมชนต่อการเจริญเติบโตและการสะสมโลหะหนักในพืชผัก บริเวณพื้นที่เกษตรกรรม จังหวัดปทุมธานี . วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย .

สมใจ กาญจนวงศ์ . 2532 . การจัดการคุณภาพน้ำ . ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ .

สถิติแห่งชาติ , สำนักงาน . 2542 . สมุดสถิติรายปีประเทศไทย 2542 (ฉบับย่อ) . กรุงเทพมหานคร : กองคลังข้อมูลและสนเทศสถิติ สำนักงานสถิติแห่งชาติ .

อรรณพ หอมจันทร์ . 2535 . ความเป็นพิษของโลหะหนักบางชนิดจากกากตะกอนบำบัดน้ำเสียชุมชนต่อผักคะน้า (*Brassica oleracea L.Var . alboglabra Bailey*) และผักกาดหอม (*Lactuca sativa L.*) ในสภาพเรือนทดลอง . วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย .

อรวรรณ ศิริรัตนพิริยะ . 2529 . การใช้ประโยชน์กากตะกอนของเสียในรูปของปุ๋ยสำหรับพื้นที่เกษตรกรรม จังหวัดฉะเชิงเทรา . กรุงเทพมหานคร : สถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย .

ภาษาอังกฤษ

Alabaster , J.S. and Lloyd , R. 1980 . Water Quality Criteria for Fresh water Fish . Buttworths , London .

Atkins , E.D. and Hawley , J.R. 1978 . Source of Metals and Metal Levels in Municipal Waste Waters . Environment Canada , Ottawa .

Bardos , R.P. ; Hardley , P. and Kendle , A. 1992 . Composting guidance in the United Kingdom . Biocycle . 33 : 60-62.

Barnes , S. 1998 . Land application of biosolids – issues and guodelines . In Pollution Control Department (eds.) , International Conference and Exhibition on Pollution Prevention and Control , Queen Sirikit National Convention Center Bangkok , Thailand , Nov 12 – 16 , 1997 .

Brown , M.J. and Lester , J.N. 1979 . Metal removal in activated sludge : the role of bacteria extracellular polymers . Water Res . 13 : 817.

Chaney , R.L. 1982 . Fate of toxic substances in sludge applied to crop land . Processings International Symposium Land Application of Sewage Sludge . , quoted in Kuntz , H. ; Pluquet , E. ; Strark , J.H. and Coopoia , S. Current Techniques for the Evaluation of Metal Problems Due to Sludge . In P.L'Hermite , and H.Ott (eds.) , Processing and use of sewage sludge . Holland : D.Reidal .

De Bertoldi , M. ; Civilini , M. and Comi , G. 1990 . MSW compost standards in the European Community. Biocycle . 31 : 60-62.

Demoya , A. ; Taylor , M.C. ; Taylor , K.W. and Hodson , P.V. 1982 . Toxic effects of lead and lead compounds on human health , aquatic life , wild life , plants and livestock . Crit. Rev. Environ. Control . 12 : 133.

Forestry Commission . 1992 . A Manual of Good Practice for the Use of Sewage Sludge in Forestry . Bulletin 107 , HMSO , London.

Forstner , C.F. 1976 . Bioflocculation in the activated sludge process . Water SA . 10 : 71.

Geneveni , P.L. ; Zaccheo , P. ; Garbarino , A. and Mezzanotte , V. 1984 . Utilization and agricultural value of dried digested sewage sludge from a domestic and industrial sewage plant . In P.L' Hermite and H.Ott (eds.) , Processing and use of sewage sludge . pp. 306-309.

Gurkewitz , S. 1989 . Yard debris compost testing . Biocycle . 30 : 58 – 60 .

Kiff , R.J. 1978 . A study of the factors affecting bioflocculation in the activated sludge process . Water Pollut. Control . 77 : 464.

Kunz , R.G. ; Gianelli , J.F. and Stensel , H.D. 1976 . Vanadium removal from industrial waste waters . J. Water Pollut . Control Fed. . 48 : 762.

Lester , J.N. 1987 . Heavy Metals in Wastewater and Sludge Treatment Processes . Vol 1 : Sources , Analysis and Legislation . Florida : CRC Press.

Lutz , W. 1984 . Austria 's quality requirements for solid waste compost : effects on crop yields and soil properties . Biocycle. . 2 : 89 – 92.

Magara , Y. ; Nambu , S. and Utosawa , K. 1976 . Biochemical and physical properties of an activated sludge on setting characteristics. Water Res. . 10: 71.

Magos , L. ; Tuffery , A.A. and Clarkson ,T.W. 1964 . Volatilization of mercury by bacteria . Br . J. Ind. Med. 21 : 294.

Neufeld , R.D. 1976 . Heavy metals induced deflocculation of activated sludge . Water Pollut. Control Fed. . 48 : 1940.

NSWEPA . 1995 . Draft Environment Guidelines for the Use and Disposal of Biosolids Products . Sydney , Australia.

O'Neill , P. 1990 ,1991 . Environmental Chemistry . 2nd ed . London : Chapman & Hall.

Oosthoek , J. and Vam , N.V. 1986 , 1987 . Extraction and dosage of heavy metals from compost amended soil . In M. De Bertoldi , M.P. Ferranti , P, L'Hermite and F, Zucconi (eds.) , Compost : production . quality and use . Elsevier Applied Science.

Parkpain , P. ; Sirisukhodom , S. ; and Carbonell – Barrachina , A.A. 1998 . Heavy metals and nutrients chemistry in sewage sludge amended Thai soils . Journal of Environmental Science and Health Part A –Toxic – Hazadous Substances & Environmental Engineering . 33 : 573 – 597.

Robert , L.S. 1994 . Source seperated composts analyzed for quality . Biocycle . 35 : 30-33.

Singleton , F.L. and Guthrie , R. K. 1977 . Aquatic bacterial populations and heavy metals . I . Composition of aquatic bacteria in the presence of copper and mercury salts . Water Res. . 11 : 639.

Webber , M.D. ; Kloke , A. and Jell , J.C. 1984 . A review of current sludge use guideline for the control of heavy metal contamination in soils . In P.L'Hermite , and H.Ott (eds.) , Processing and use of sewage sludge . Holland : D.Reidal .

Yamada , M. ; Dazai , M. and Tomomura , K. 1959 . Change of mercurial compounds in activated sludge . J. Ferment. Technol. . 47 : 155.

ภาคผนวก ก

ตารางที่ ก.1 คุณลักษณะน้ำเสียของโรงบำบัดน้ำเสียสี่พระยา

ตัวอย่าง / คุณลักษณะน้ำเสีย	1 10/6/42	2 23/6/42	3 30/6/42	4 7/7/42	5 14/7/42	6 21/7/42	7 29/7/42	8 4/8/42	9 11/8/42	10 18/8/42	11 25/8/42	12 1/9/42	13 8/9/42	14 15/9/42
pH	7.10	7.16	7.29	6.83	6.94	7.09	6.97	6.67	6.56	7.11	6.83	7.04	6.49	5.65
BOD														
• ก่อนบำบัด (mg/l)	76.9488	58.5690	62.7380	47.8130	66.1560	38.6490	95.9990	245.320	289.680	62.5020	150.303	63.3510	48.5578	90.9236
• หลังบำบัด (mg/l)	6.3437	8.0052	9.1259	8.8072	11.8880	6.8353	19.7441	8.2428	10.7761	5.2609	23.6703	19.2254	14.8862	7.7483
% Removal Efficiency	91.7560	86.3320	85.4540	81.5800	82.0304	82.3145	79.4330	96.6400	96.2800	91.5828	84.2516	69.6526	69.3683	91.4783
COD (mg/l)	128.248	71.7840	104.563	239.980	114.796	240.000	240.000	337.542	394.400	157.423	128.833	54.338	69.368	93.701
SS (mg/l)	32.7	31.8	47.3	46.0	154.9	46.9	17.0	287.5	352.4	143.5	24.5	15.0	1.0	90.0
TDS (mg/l)	332.4	314.2	154.5	371.0	304.9	280.7	307.0	440.0	242.9	352.4	443.3	288.4	414.3	345.0
Cadmium														
• ก่อนบำบัด (mg/l)	0.1053	0.1179	0.1382	0.1478	0.1661	0.0591	0.2531	0.0443	0.0146	0.0125	0.0239	0.0302	0.0349	0.0409
• หลังบำบัด (mg/l)	0.1098	0.1181	0.1327	0.1510	0.0536	0.0628	0.0280	0.0304	0.0174	0.0143	0.0292	0.0245	0.0357	0.0391
Lead														
• ก่อนบำบัด (mg/l)	0.0066	0.0022	0.0021	N.D.	0.0052	0.0021	N.D.	0.0047	0.0103	0.0044	0.0001	0.0035	0.0046	0.0030
• หลังบำบัด (mg/l)	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.0032	0.0059	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.0034	N.D.	N.D.
Mercury														
• ก่อนบำบัด (mg/l)	0.0085	0.0000	0.0035	0.0067	0.0076	0.0066	0.020	0.0140	0.0320	0.0286	0.0964	0.0413	0.0122	0.0426
• หลังบำบัด (mg/l)	0.0175	0.0000	0.0102	0.0445	0.0661	0.0525	0.0397	0.0134	0.0421	0.0154	0.0186	0.0249	0.0257	0.0376

หมายเหตุ N.D. หมายถึง มีปริมาณน้อยมากจนไม่สามารถตรวจพบ

ตารางที่ ก.1 คุณลักษณะน้ำเสียของโรงบำบัดน้ำเสียสี่พระยา (ต่อ)

ตัวอย่าง	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	MEAN	SD.
คุณลักษณะน้ำเสีย	22/9/42	29/9/42	6/10/42	13/10/42	20/10/42	27/10/42	3/11/42	10/11/42	17/11/42	24/11/42	1/12/42	8/12/42	15/12/42	-	-
pH	7.02	6.92	6.91	6.35	7.52	6.48	6.17	6.05	6.27	6.90	6.56	6.87	6.51	6.7504	0.4146
BOD															
• ก่อนบำบัด (mg/l)	177.980	53.7277	33.5560	73.010	38.395	81.638	31.448	119.95	55.217	33.373	53.260	23.136	34.737	81.749	64.674
• หลังบำบัด (mg/l)	7.1475	5.0050	3.5660	6.1260	4.3466	8.1638	5.1532	5.7367	3.2837	6.6647	4.3153	2.4372	0.6012	8.7527	5.9988
% Removal Efficiency	95.9841	90.6845	89.3730	91.609	88.679	89.991	83.613	95.221	94.053	80.027	91.898	89.463	98.269	87.675	7.4813
COD (mg/l)	303.600	71.400	52.846	202.21	66.974	77.440	92.376	141.99	72.129	67.120	53.312	203.06	103.48	140.37	97.656
SS (mg/l)	6.4	26.6	30.0	157.5	24.1	43.4	29.0	71.7	40.0	25.7	28.7	205.0	43.3	74.9	87.7
TDS (mg/l)	400.6	273.4	287.5	320.0	262.1	171.7	219.4	261.7	28303	214.2	211.5	116.7	246.7	291.1	82.3
Cadmium															
• ก่อนบำบัด (mg/l)	0.0432	0.0516	0.0282	0.0298	0.0302	0.0341	0.0338	0.0235	0.0267	0.0265	0.0306	0.0344	0.0332	0.0600	0.0574
• หลังบำบัด (mg/l)	0.0430	0.0546	0.0318	0.0325	0.0376	0.0248	0.0252	0.0318	0.0322	0.0342	0.0342	0.0222	0.0265	0.0473	0.0364
Lead															
• ก่อนบำบัด (mg/l)	0.0026	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.0035	0.0005	N.D.	0.0027	0.0062	N.D.	0.0013	0.0024	0.0026
• หลังบำบัด (mg/l)	N.D.	N.D.	0.0021	N.D.	N.D.	N.D.	0.0025	0.0031	0.0038	0.0032	0.0028	0.0027	0.0020	0.0013	0.0017
Mercury															
• ก่อนบำบัด (mg/l)	0.0106	0.0079	0.0287	0.0138	0.0072	0.0255	0.0196	0.0030	0.0320	0.0034	0.0128	0.0063	0.0132	0.0131	0.0106
• หลังบำบัด (mg/l)	0.0127	0.0188	0.0187	0.0164	0.0135	0.0193	0.0208	0.0065	0.0044	0.0283	0.0078	0.0114	0.0155	0.0155	0.0098

หมายเหตุ N.D. หมายถึง มีปริมาณน้อยมากจนไม่สามารถตรวจพบ

ตารางที่ ก.2 คุณลักษณะน้ำเสียของโรงบำบัดน้ำเสียห้วยขวาง

ตัวอย่าง / คุณลักษณะน้ำเสีย	1 10/6/42	2 23/6/42	3 30/6/42	4 7/7/42	5 14/7/42	6 21/7/42	7 29/7/42	8 4/8/42	9 11/8/42	10 18/8/42	11 25/8/42	12 1/9/42	13 8/9/42	14 15/9/42
pH	7.73	7.69	7.57	7.68	7.73	7.69	7.57	7.50	7.49	6.98	7.67	7.91	7.75	7.39
BOD														
• ก่อนบำบัด (mg/l)	196.966	249.086	270.576	292.514	316.808	443.087	235.729	286.940	452.937	548.014	597.344	260.686	222.170	444.735
• หลังบำบัด (mg/l)	28.8792	28.1741	46.8124	27.8757	28.8536	32.0972	23.3607	29.9565	61.2914	8.8840	37.4877	40.9278	41.3069	49.6128
% Removal Efficiency	85.3380	88.6890	82.6990	90.4703	90.8924	92.7560	90.0900	89.5600	86.4680	98.3789	93.7243	84.3000	81.4075	88.8444
COD (mg/l)	267.648	287.136	450.960	406.120	409.020	560.000	480.000	356.125	429.600	572.031	273.793	205.278	294.196	268.956
SS (mg/l)	133.4	134.0	956.0	114.0	116.2	117.6	205.9	64.9	126.0	221.4	38.1	37.5	63.2	36.8
TDS (mg/l)	484.1	412.2	244.6	489.0	330.3	367.5	406.7	376.8	368.0	412.1	213.0	530.0	284.2	368.4
Cadmium														
• ก่อนบำบัด (mg/l)	0.1283	0.1113	0.1372	0.1530	0.0643	0.0708	0.0282	-	0.0107	0.0190	0.0337	0.0255	0.0308	0.0391
• หลังบำบัด (mg/l)	0.1298	0.1133	0.1397	0.1562	0.0628	0.0686	0.0018	0.0136	0.0095	0.0169	0.0244	0.0362	0.0421	0.0324
Lead														
• ก่อนบำบัด (mg/l)	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
• หลังบำบัด (mg/l)	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Mercury														
• ก่อนบำบัด (mg/l)	0.0002	0.002	0.005	0.001	0.0015	N.D.	0.0002	0.020	0.006	-	0.0003	0.0007	0.0009	0.001
• หลังบำบัด (mg/l)	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.

หมายเหตุ N.D. หมายถึง มีปริมาณน้อยมากจนไม่สามารถตรวจพบ ; - หมายถึง ไม่มีข้อมูล

ตารางที่ ก.2 คุณลักษณะน้ำเสียของโรงบำบัดน้ำเสียห้วยขวาง (ต่อ)

ตัวอย่าง	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	MEAN	SD.
คุณลักษณะน้ำเสีย	22/9/42	29/9/42	6/10/42	13/10/42	20/10/42	27/10/42	3/11/42	10/11/42	17/11/42	24/11/42	1/12/42	8/12/42	15/12/42	-	-
pH	7.53	7.01	7.96	7.83	8.08	7.67	6.49	6.75	7.47	7.46	7.37	7.25	7.44	7.5059	0.3593
BOD															
• ก่อนบำบัด (mg/l)	452.86	335.19	278.93	226.80	220.94	415.75	281.07	162.53	178.72	134.23	215.09	89.411	169.73	295.51	127.18
• หลังบำบัด (mg/l)	64.063	43.834	20.137	10.878	9.8167	14.967	8.3215	8.2648	5.1744	0.1612	10.929	5.1969	3.2330	25.352	18.355
% Removal Efficiency	85.854	86.923	92.780	95.204	95.557	96.391	97.039	94.915	97.105	99.880	94.919	94.188	98.10	91.573	5.1337
COD (mg/l)	339.48	372.42	292.25	302.05	310.09	369.39	462.60	227.90	241.13	308.75	286.55	219.85	452.73	349.84	100.29
SS (mg/l)	102.1	109.9	55.0	71.5	117.2	97.5	233.3	90.0	78.4	65.5	73.4	70.0	255.2	108.3	59.0
TDS (mg/l)	330.5	508.3	340.0	401.7	434.8	315.0	435.5	263.3	476.7	446.7	453.9	226.7	151.7	373.0	97.0
Cadmium															
• ก่อนบำบัด (mg/l)	0.0526	0.0526	0.0348	0.0348	0.0374	0.0363	0.0228	0.0236	0.0240	0.0253	0.0266	0.0236	0.0263	0.0489	0.0392
• หลังบำบัด (mg/l)	0.0529	0.0544	0.0307	0.0276	0.0316	0.0329	0.0433	0.0215	0.0253	0.0249	0.0270	0.0271	0.0308	0.0473	0.0405
Lead															
• ก่อนบำบัด (mg/l)	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	-	-
• หลังบำบัด (mg/l)	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	-	-
Mercury															
• ก่อนบำบัด (mg/l)	0.002	-	0.002	0.002	0.002	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.004
• หลังบำบัด (mg/l)	N.D.	N.D.	0.003	0.002	0.005	0.006	0.006	0.008	0.006	0.003	0.005	0.007	0.006	0.002	0.003

หมายเหตุ N.D. หมายถึง มีปริมาณน้อยมากจนไม่สามารถตรวจพบ ; - หมายถึง ไม่มีข้อมูล

ตารางที่ ก.3 คุณลักษณะของกากตะกอนของโรงบำบัดน้ำเสียสี่พระยา

ตัวอย่าง	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
คุณลักษณะกากตะกอน	10/6/42	23/6/42	30/6/42	7/7/42	14/7/42	21/7/42	29/7/42	4/8/42	11/8/42	18/8/42	25/8/42	1/9/42	8/9/42	15/9/42
pH	6.60	6.70	6.71	6.69	6.85	6.72	6.98	6.76	6.60	6.79	6.80	6.71	6.81	6.62
Moisture content (%)	83.3615	85.0800	84.7650	83.6450	82.6949	79.7842	85.0934	81.3760	79.5683	81.5606	83.5369	83.3036	83.7310	83.2194
Total solids (%)	16.6385	14.9200	15.2350	16.3550	17.3051	20.2158	14.9066	18.6240	20.4317	18.4394	16.4631	16.6964	16.2614	16.7806
Volatile solids (%)	7.4305	8.3820	8.4240	8.6346	9.1269	10.1107	7.4446	9.4378	10.5188	9.3517	8.1410	8.2548	8.2497	8.3291
Ash (%)	9.2085	6.5375	6.8114	7.7205	8.1782	10.1052	7.4620	9.1862	9.9761	9.0877	8.3221	8.4419	8.0117	8.4516
Nitrogen (%)	2.02	2.17	2.29	2.35	2.43	2.29	2.43	2.50	2.57	2.43	2.51	2.16	2.46	2.12
Phosphorus (%)	0.0579	0.0432	0.0427	0.0644	0.0592	0.0710	0.0607	0.0684	0.0701	0.0667	0.0623	0.0598	0.0661	0.0675
Potassium (%)	0.1519	0.1570	0.1601	0.1598	0.1497	0.1512	0.1787	0.1697	0.1594	0.1757	0.1667	0.1712	0.1687	0.1580
Organic matter (%)	7.4300	8.3525	8.4236	8.6345	9.1269	10.1106	7.4446	9.4378	10.4556	9.3517	8.1410	8.2545	8.2573	8.3290
Organic carbon (%)	4.1278	4.6568	4.6800	4.7969	5.0705	5.6171	4.1359	5.2432	5.8262	5.1954	4.5228	4.5858	4.5832	4.6273
Heating value (cal/g)	2645.60	2551.83	2554.12	2499.03	2450.12	2548.51	2266.47	2214.05	2093.79	2341.86	2009.55	2389.64	2590.34	2377.45
Sulfur (%)	0.0776	0.0302	0.0424	0.0329	0.0267	0.0548	0.0606	0.3599	0.1764	0.1429	0.1717	0.0248	0.0784	0.0621
Cadmium (mg/kg)	6.950	3.680	4.015	4.305	4.480	3.440	1.815	4.455	4.635	4.820	4.930	4.870	5.240	5.025
Lead (mg/kg)	1.350	0.990	0.950	1.000	0.765	0.460	0.315	1.660	1.570	1.420	0.870	0.790	1.130	0.800
Mercury (mg/kg)	1.7623	1.7373	1.1738	1.1916	0.4473	0.0074	0.3903	0.6586	0.5120	0.1173	0.1285	0.6356	0.3185	0.1230

ตารางที่ ก.3 คุณลักษณะของกากตะกอนของโรงบำบัดน้ำเสียสี่พระยา (ต่อ)

ตัวอย่าง	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	MEAN	SD.
คุณลักษณะกากตะกอน	22/9/42	29/9/42	6/10/42	13/10/42	20/10/42	27/10/42	3/11/42	10/11/42	17/11/42	24/11/42	1/12/42	8/12/42	15/12/42	-	-
pH	6.80	6.89	6.79	6.71	6.81	6.91	6.88	6.62	6.74	6.79	6.75	6.81	6.72	6.7615	0.0948
Moisture content (%)	80.781	82.648	83.519	85.070	81.924	74.960	83.005	79.738	82.186	80.471	82.910	83.480	82.236	82.357	2.1752
Total solids (%)	19.219	17.352	16.481	15.071	18.077	25.039	16.995	20.262	17.814	19.529	17.090	16.520	17.764	17.648	2.1687
Volatile solids (%)	10.003	9.2425	8.7048	7.5294	8.8008	11.866	7.8245	9.5031	9.0040	9.7533	8.6082	9.4491	9.5656	8.9515	1.0056
Ash (%)	9.2160	8.1094	7.7760	7.5421	9.2757	13.174	9.1704	10.759	8.8104	9.7761	8.4818	7.0707	8.1987	8.6985	1.3550
Nitrogen (%)	2.37	2.59	2.48	2.37	2.29	2.40	2.39	2.22	2.54	2.40	2.37	2.49	2.41	2.3722	0.1406
Phosphorus (%)	0.0687	0.0575	0.0602	0.0562	0.0559	0.0504	0.0611	0.0587	0.0529	0.0550	0.0627	0.0634	0.0645	0.0603	0.0072
Potassium (%)	0.1577	0.1624	0.1639	0.1708	0.1646	0.1586	0.1626	0.1599	0.1688	0.1675	0.1743	0.1701	0.1688	0.1629	0.0089
Organic matter (%)	10.003	9.2425	8.7048	7.3884	8.8008	11.866	7.8245	9.5031	9.0040	9.7533	8.6082	9.4492	9.5656	8.9442	1.010
Organic carbon (%)	5.5572	5.1347	4.8360	4.1830	4.8893	6.5920	4.3469	5.2795	5.0022	5.4185	4.7823	5.2496	5.3142	4.9724	0.5576
Heating value (cal/g)	2252.1	2404.5	2488.8	2260.9	2063.9	2654.1	2306.1	2440.2	2378.9	2588.7	2250.2	2379.9	2411.0	2385.6	172.19
Sulfur (%)	0.1233	0.0635	0.0670	0.0000	0.0000	0.0579	0.0781	0.0884	0.0286	0.0261	0.0252	0.0884	0.0612	0.0759	0.0727
Cadmium (mg/kg)	2.010	1.990	2.020	2.130	2.300	-	1.640	1.765	1.940	1.585	1.930	1.425	16.40	3.2740	1.5665
Lead (mg/kg)	0.580	1.430	1.265	0.980	1.640	0.995	-	0.835	1.160	0.565	0.605	1.360	0.800	1.0010	0.3911
Mercury (mg/kg)	0.1738	0.1987	0.2579	0.2923	0.1613	-	0.1810	0.2516	0.2900	0.3542	0.2852	0.2387	0.2694	0.5108	0.4845

หมายเหตุ - หมายถึง ไม่มีข้อมูล

ตารางที่ ก.4 คุณลักษณะของกากตะกอนของโรงบำบัดน้ำเสียห้วยขวาง

ตัวอย่าง	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
คุณลักษณะกากตะกอน	10/6/42	23/6/42	30/6/42	7/7/42	14/7/42	21/7/42	29/7/42	4/8/42	11/8/42	18/8/42	25/8/42	1/9/42	8/9/42	15/9/42
pH	6.85	6.99	7.10	7.08	7.04	7.00	6.97	6.90	7.11	7.02	7.00	6.98	7.00	7.00
Moisture content (%)	87.3160	86.4210	86.3770	86.5380	87.2473	86.3955	86.4023	87.0182	85.7375	85.3517	85.8278	85.8368	85.3878	87.4211
Total solids (%)	12.6840	13.5790	13.6230	13.4620	12.7527	13.6045	13.5977	12.9818	14.2625	14.6483	14.1422	14.1632	14.6122	12.5789
Volatile solids (%)	5.5800	8.3315	8.1047	8.1165	7.7466	8.3327	8.2516	7.8192	8.5780	9.1701	8.3264	8.2749	8.4953	7.4418
Ash (%)	7.1040	5.2475	5.5180	5.3462	5.0062	5.2718	5.3461	5.1626	5.6845	5.4782	5.8458	5.8884	6.1169	5.1372
Nitrogen (%)	2.51	2.33	2.81	2.77	2.31	2.87	3.09	2.78	3.11	2.50	2.47	2.30	2.97	2.86
Phosphorus (%)	0.0181	0.0197	0.0185	0.0161	0.0187	0.0210	0.0258	0.0187	0.0140	0.0257	0.0231	0.0255	0.0172	0.0195
Potassium (%)	0.1071	0.0987	0.0972	0.0702	0.0690	0.0858	0.0788	0.0813	0.0804	0.0933	0.1001	0.0713	0.0697	0.0873
Organic matter (%)	5.5800	8.3315	8.105	8.1158	7.7465	8.3327	8.2516	7.8192	8.5780	9.1701	8.3264	8.2748	8.4953	7.4417
Organic carbon (%)	3.1000	4.6286	4.5027	4.5090	4.3037	4.6293	4.5855	4.3440	4.7656	5.0945	4.6174	4.5972	4.7196	4.1343
Heating value (cal/g)	3229.49	3016.34	3118.47	3099.88	3170.78	3283.99	3045.85	3174.30	2961.30	3307.03	3651.36	2961.32	3425.38	3295.10
Sulfur (%)	0.0844	0.1893	0.1741	0.1704	0.0548	0.1632	0.1226	0.6839	0.1640	0.1692	0.1904	0.0986	0.0846	0.1879
Cadmium (mg/kg)	3.4450	3.9000	4.0150	4.3600	4.7400	2.8700	1.5750	4.5600	4.7950	4.5650	4.9650	5.0650	5.2250	5.3950
Lead (mg/kg)	1.7500	0.9550	3.8250	0.9750	1.2700	0.8750	0.5100	1.4550	1.5550	1.2650	1.2400	0.5660	0.7900	0.8700
Mercury (mg/kg)	3.6823	3.8493	3.8204	0.003	0.002	0.0000	0.038	1.115	0.207	0.697	0.558	0.0000	0.5960	0.6159

ตารางที่ ก.4 คุณลักษณะของกากตะกอนของโรงบำบัดน้ำเสียห้วยขวาง(ต่อ)

ตัวอย่าง	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	MEAN	SD.
คุณลักษณะกากตะกอน	22/9/42	29/9/42	6/10/42	13/10/42	20/10/42	27/10/42	3/11/42	10/11/42	17/11/42	24/11/42	1/12/42	8/12/42	15/12/42	-	-
pH	6.99	7.04	7.02	7.02	7.01	7.00	7.05	6.98	7.00	7.04	7.01	7.00	7.00	7.0074	0.0519
Moisture content (%)	84.465	84.989	84.892	85.586	87.328	80.442	87.121	84.459	83.349	85.431	86.460	86.790	86.067	85.802	1.4726
Total solids (%)	15.535	15.011	15.108	14.415	12.672	19.557	12.879	15.541	16.651	14.569	13.540	13.210	13.934	14.197	1.4727
Volatile solids (%)	9.4098	8.9573	9.4311	10.093	8.0671	11.775	7.7695	9.2447	9.8487	8.2968	8.0891	7.6801	8.1748	8.4743	1.0671
Ash (%)	6.1252	6.0538	5.6765	4.3211	4.6047	7.7594	5.1092	6.2965	6.8001	6.2726	5.4510	5.5298	5.7587	5.7004	0.7337
Nitrogen (%)	2.77	2.94	2.56	2.43	2.52	2.67	3.15	2.94	2.81	2.72	2.46	2.44	3.10	2.7107	0.2625
Phosphorus (%)	0.0201	0.0245	0.0192	0.0171	0.0225	0.0223	0.0204	0.0198	0.0232	0.0166	0.0188	0.0194	0.0205	0.0202	0.0030
Potassium (%)	0.0964	0.1004	0.0788	0.0853	0.0711	0.0847	0.0996	0.0849	0.0915	0.0879	0.0779	0.0917	0.0720	0.0856	0.0111
Organic matter (%)	9.4098	8.9573	9.4311	10.093	8.0671	11.798	7.7694	9.2447	9.8513	8.2968	8.0891	7.6801	8.1748	8.4975	1.0927
Organic carbon (%)	5.2277	4.9763	5.2395	5.6074	4.4817	6.5480	4.3163	5.1359	5.4722	4.6093	4.4939	4.2667	4.5416	4.7203	0.6063
Heating value (cal/g)	3516.7	3005.1	3228.1	3226.2	4137.2	3384.0	3370.2	3259.7	3284.1	2954.8	3167.5	3209.3	3304.9	3288.5	273.71
Sulfur (%)	0.2211	0.1815	0.2269	0.1427	0.0441	0.1500	0.2129	0.2007	0.1111	0.2185	0.1997	0.1322	0.2429	0.1786	0.1140
Cadmium (mg/kg)	1.6300	1.8250	1.7650	1.9000	1.8750	2.0850	1.3450	1.5850	1.7000	1.8700	1.7550	1.9050	1.5550	3.0433	1.4687
Lead (mg/kg)	0.3200	1.4100	1.1700	0.8250	0.7050	0.0000	0.5050	0.5200	0.4550	0.4900	0.5450	0.4800	0.3450	0.9508	0.7184
Mercury (mg/kg)	0.7866	0.3029	0.3226	0.7363	0.6768	0.4863	0.7003	0.9474	0.0000	0.4444	0.0361	0.4220	0.1730	0.7925	1.1441

ภาคผนวก ข

ผลการวิเคราะห์ทางสถิติ

1. ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของข้อมูลจากโรงบำบัดน้ำเสียสี่พระยา

Regression : Cadmium in sludge

Variables Entered / Removed [a]

Model	Variables Entered	Variables Removed	Method
1	TDS		Stepwise (Criteria : Probability-of-F-to-enter < =.050, Probability-of-F-to-remove > =.100).

a. Dependent Variable : CDSLUDGE

Model Summary

Modal	R	R square	Adjusted R square	Std. Error of the Estimate
1	.512 [a]	.262	.231	1.373766

a. Predictors : (Constant) , TDS

ANOVA [b]

Model		Sum of Squares	df	Mean Squares	F	Sig.
1	Regression	16.051	1	16.051	8.505	.008[a]
	Residual	45.294	24	1.887		
	Total	61.344	25			

a. Predictors : (Constant) , TDS

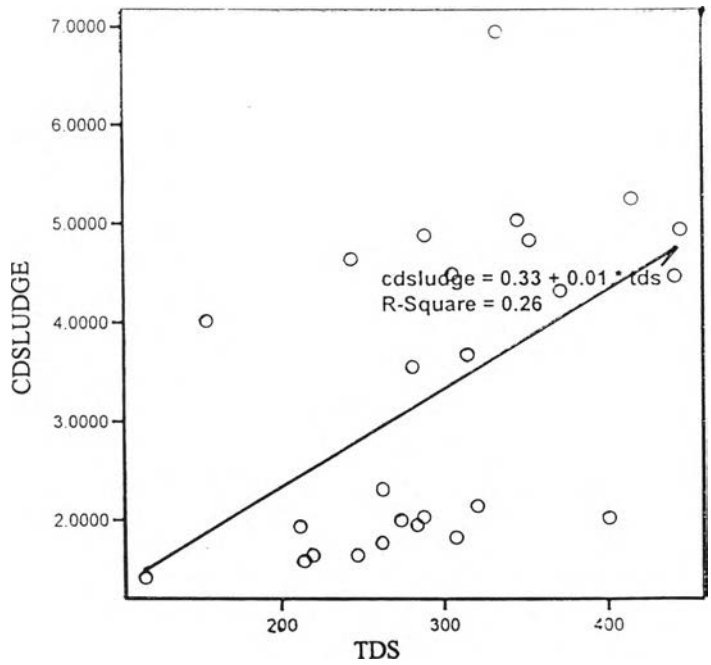
b. Dependent Variable : CDSLUDGE

Coefficients [a]

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	.326	1.046		.312	.758
	TDS	9.970E-03	.003	.512	2.916	.008

a. Dependent Variable : CDSLUDGE

Interactive Graph



Regression : Lead in sludge

Variables Entered / Removed [a]

Model	Variables Entered	Variables Removed	Method
1	PBPOST	.	Stepwise (Criteria : Probability-of-F-to-enter < =.050, Probability-of-F-to-remove > =.100).
2	SS	.	Stepwise (Criteria : Probability-of-F-to-enter < =.050, Probability-of-F-to-remove > =.100).

a. Dependent Variable : PBSLUDGE

Model Summary [c]

Modal	R	R square	Adjusted R square	Std. Error of the Estimate
1	.514 [a]	.264	.234	.354849
2	.633 [b]	.400	.350	.326961

a. Predictors : (Constant) , PB_{eff}

b. Predictors : (Constant) , PB_{eff} , SS

c. Dependent Variable : PBSLUDGE

ANOVA [c]

Model		Sum of Squares	df	Mean Squares	F	Sig.
1	Regression	1.129	1	1.129	8.963	.006 [a]
	Residual	3.148	25	.126		
	Total	4.277	26			
2	Regression	1.711	2	.855	8.002	.002 [b]
	Residual	2.566	24	.107		
	Total	4.277	26			

a. Predictors : (Constant) , PB_{eff}

b. Predictors : (Constant) , PB_{eff} , SS

c. Dependent Variable : PBSLUDGE

Coefficients [a]

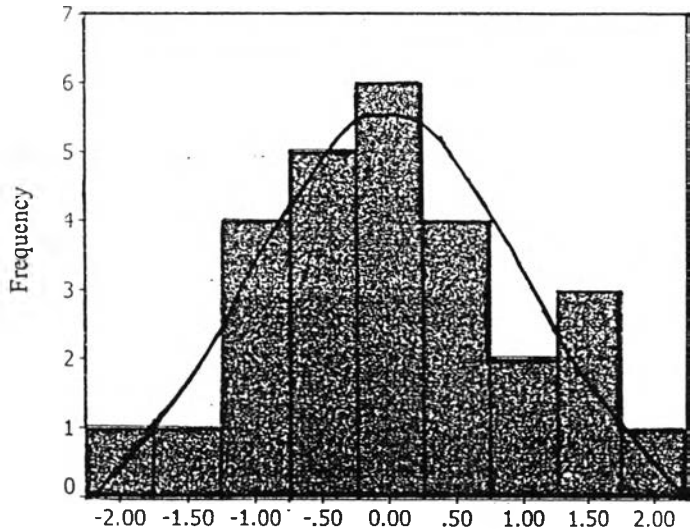
Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	1.132	.086		13.164	.000
	PB_{eff}	-121.785	40.679	-.514	-2.994	.006
2	(Constant)	.971	.105		9.227	.000
	PB_{eff}	-98.952	38.738	-.417	-2.554	.017
	SS	1.765E-03	.001	.381	2.334	.028

a. Dependent Variable : CDSLUDGE

Charts

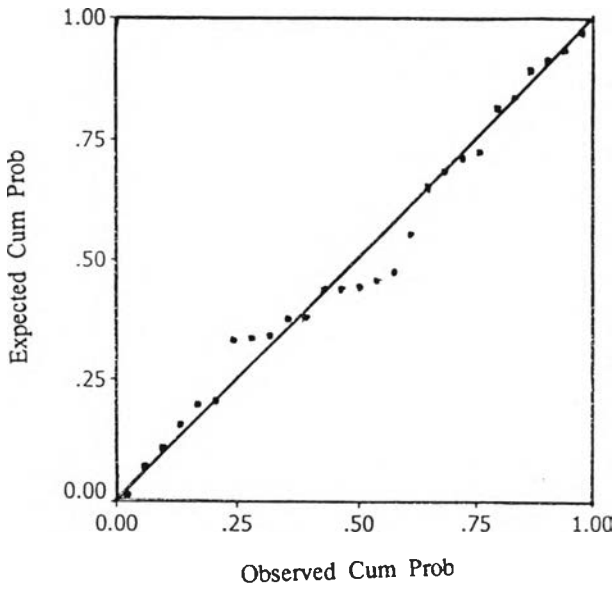
Histrogram

Dependent Variable : PBSLUDGE



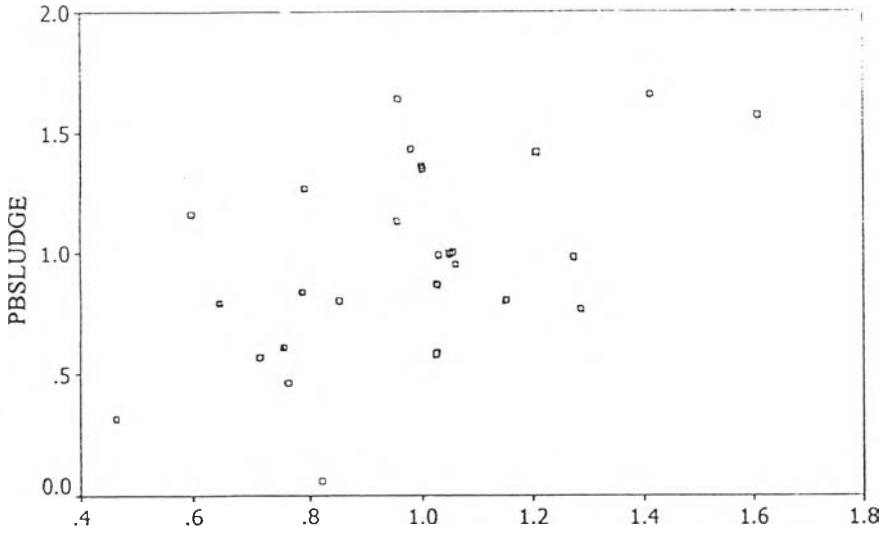
Normal P-P Plot of Regression Standard

Dependent Variable : PBSLUDGE



Scatter

Dependent Variable : PBSLUDGE



Regression : Mercury in sludge

Variables Entered / Removed [a]

Model	Variables Entered	Variables Removed	Method
1	pH	.	Stepwise (Criteria : Probability-of-F-to-enter < =.050, Probability-of-F-to-remove > =.100).

a. Dependent Variable : HGSLUDGE

Model Summary

Modal	R	R square	Adjusted R square	Std. Error of the Estimate
1	.400 [a]	.160	.125	.453175

a. Predictors : (Constant) , pH

ANOVA [b]

Model		Sum of Squares	df	Mean Squares	F	Sig.
1	Regression	.940	1	.940	4.577	.043 [a]
	Residual	4.929	24	.205		
	Total	5.869	25			

a. Predictors : (Constant) , pH

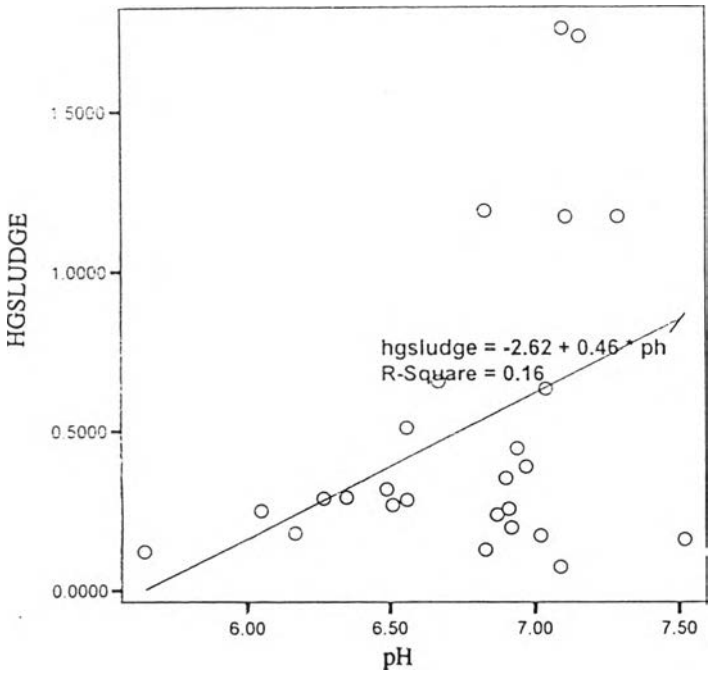
b. Dependent Variable : HGDGE

Coefficients [a]

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	-2.616	1.464		-1.787	.087
	pH	.463	.216	.400	2.139	.043

a. Dependent Variable : CDSLUDGE

Interactive Graph



2. ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของข้อมูลจากโรงบำบัดน้ำเสียห้วยขวาง

Regression : Cadmium in sludge

Variables Entered / Removed [a]

Model	Variables Entered	Variables Removed	Method
1	REMOVAL	.	Stepwise (Criteria : Probability-of-F-to-enter < =.050, Probability-of-F-to-remove > =.100).
2	BOD	.	Stepwise (Criteria : Probability-of-F-to-enter < =.050, Probability-of-F-to-remove > =.100).

a. Dependent Variable : CDSLUDGE

Model Summary [c]

Modal	R	R square	Adjusted R square	Std. Error of the Estimate
1	.528 [a]	.279	.249	1.274423
2	.672 [b]	.452	.404	1.135254

a. Predictors : (Constant) , REMOVAL

b. Predictors : (Constant) , REMOVAL , BOD

c. Dependent Variable : CDSLUDGE

ANOVA [c]

Model		Sum of Squares	df	Mean Squares	F	Sig.
1	Regression	15.104	1	15.104	9.300	.006 [a]
	Residual	38.980	24	1.624		
	Total	54.084	25			
2	Regression	24.441	2	12.221	9.482	.001 [b]
	Residual	29.642	23	1.289		
	Total	54.084	25			

a. Predictors : (Constant) , REMOVAL

b. Predictors : (Constant) , REMOVAL , BOD

c. Dependent Variable : CDSLUDGE

Coefficients [a]

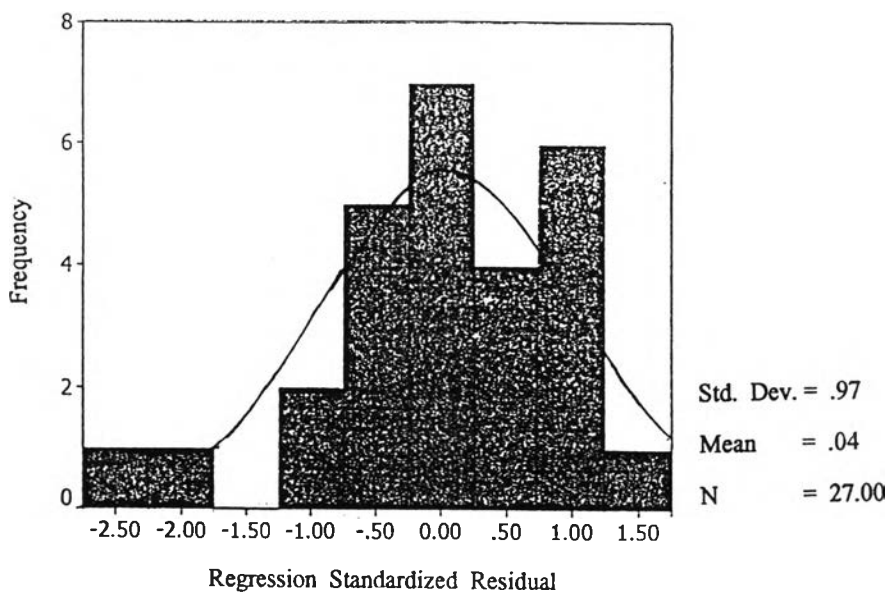
Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	16.637	4.482		3.712	.001
	REMOVAL	-.149	.049	-.528	-3.050	.006
2	(Constant)	14.065	4.106		3.426	.002
	REMOVAL	-.136	.044	-.483	-3.112	.005
	BOD	4.740E-03	.002	.418	2.692	.013

a. Dependent Variable : CDSLUDGE

Charts

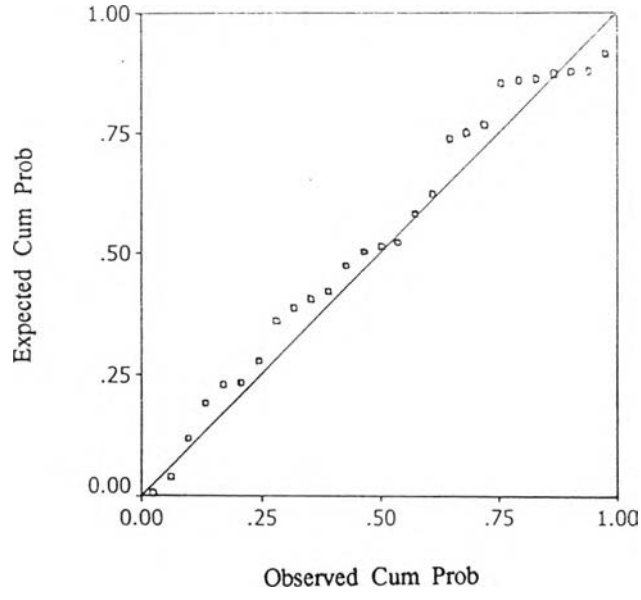
Histogram

Dependent Variable : CDSLUDGE



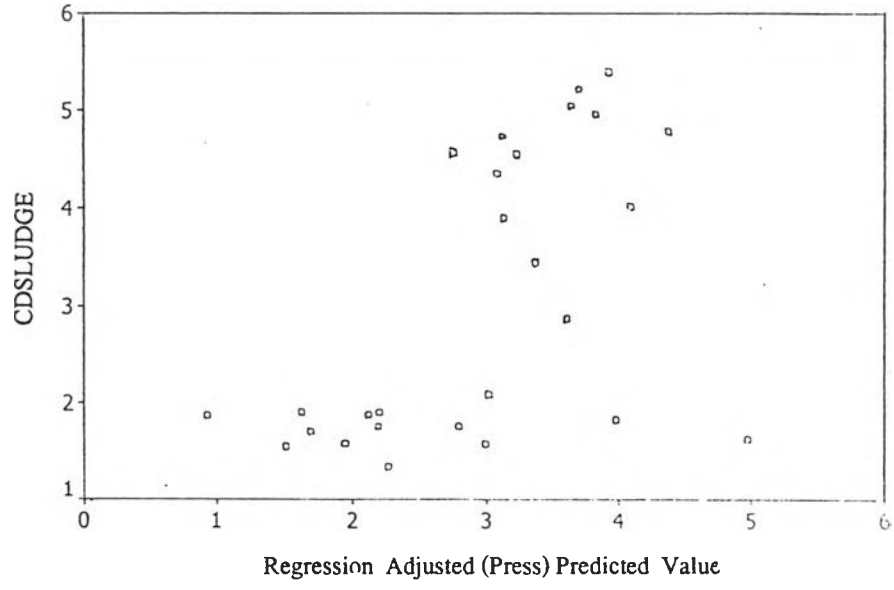
Normal P-P Plot of Regression Standard

Dependent Variable : CDSLUDGE



Scatter

Dependent Variable : CDSLUDGE



Regression : Lead in sludge

Variables Entered / Removed [a]

Model	Variables Entered	Variables Removed	Method
1	REMOVAL	.	Stepwise (Criteria : Probability-of-F-to-enter < =.050, Probability-of-F-to-remove > =.100).

a. Dependent Variable : PBSLUDGE

Model Summary [b]

Modal	R	R square	Adjusted R square	Std. Error of the Estimate
1	.502 [a]	.252	.222	.633599

a. Predictors : (Constant) , REMOVAL

b. Dependent Variable : PBSLUDGE

ANOVA [b]

Model		Sum of Squares	df	Mean Squares	F	Sig.
1	Regression	3.381	1	3.381	8.422	.008 [a]
	Residual	10.036	25	.401		
	Total	13.417	26			

a. Predictors : (Constant) , REMOVAL

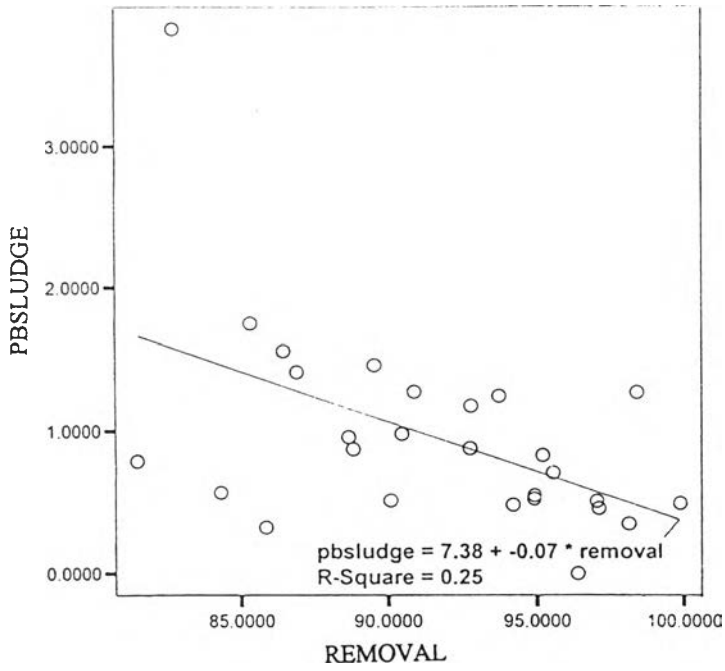
b. Dependent Variable : PBSLUDGE

Coefficients [a]

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	7.383	2.220		3.326	.003
	REMOVAL	-7.024E-02	.024	-.502	-2.902	.008

a. Dependent Variable : PBSLUDGE

Interactive Graph



Regression : Mercury in sludge

Variables Entered / Removed [a]

a. Dependent Variable : HGSLUDGE

3. ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของข้อมูลจากโรงบำบัดน้ำเสียสี่พระยาและห้วยขวาง

Regression : Cadmium in sludge

Variables Entered / Removed [a]

Model	Variables Entered	Variables Removed	Method
1	BOD	.	Stepwise (Criteria : Probability-of-F-to-enter < =.050, Probability-of-F-to-remove > =.100).
2	REMOVAL	.	Stepwise (Criteria : Probability-of-F-to-enter < =.050, Probability-of-F-to-remove > =.100).

a. Dependent Variable : CDSLUDGE

Model Summary [c]

Modal	R	R square	Adjusted R square	Std. Error of the Estimate
1	.472 [a]	.222	.185	1.394508
2	.601 [b]	.361	.314	1.279187

a. Predictors : (Constant) , BOD

b. Predictors : (Constant) , BOD , REMOVAL

c. Dependent Variable : CDSLUDGE

ANOVA [c]

Model		Sum of Squares	df	Mean Squares	F	Sig.
1	Regression	15.033	1	15.033	7.183	.010 [a]
	Residual	89.991	43	2.093		
	Total	105.024	44			
2	Regression	23.348	2	11.674	6.003	.005 [b]
	Residual	81.675	42	1.945		
	Total	105.024	44			

a. Predictors : (Constant) , BOD

b. Predictors : (Constant) , BOD , REMOVAL

c. Dependent Variable : CDSLUDGE

Coefficients [a]

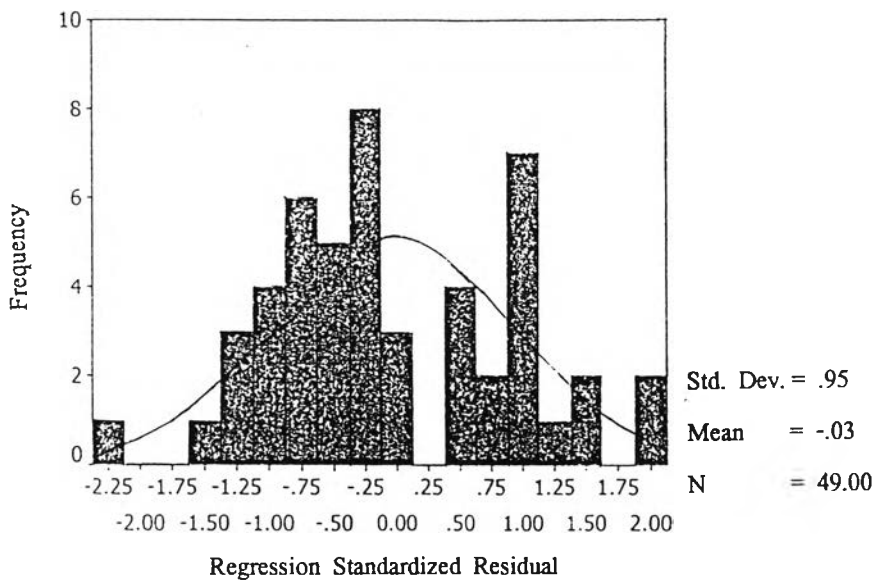
Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	2.980	.227		13.146	.000
	BOD	2.834E-03	.001	.289	2.068	.045
2	(Constant)	10.013	2.559		3.913	.000
	BOD	3.960E-03	.001	.404	3.0170	.004
	REMOVAL	-8.703E-02	.029	-.391	-2.986	.005

a. Dependent Variable : CDSLUDGE

Charts

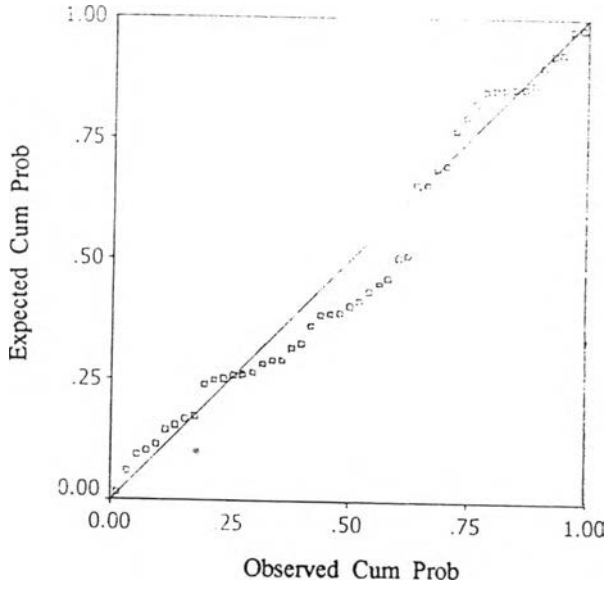
Histogram

Dependent Variable : CDSLUDGE



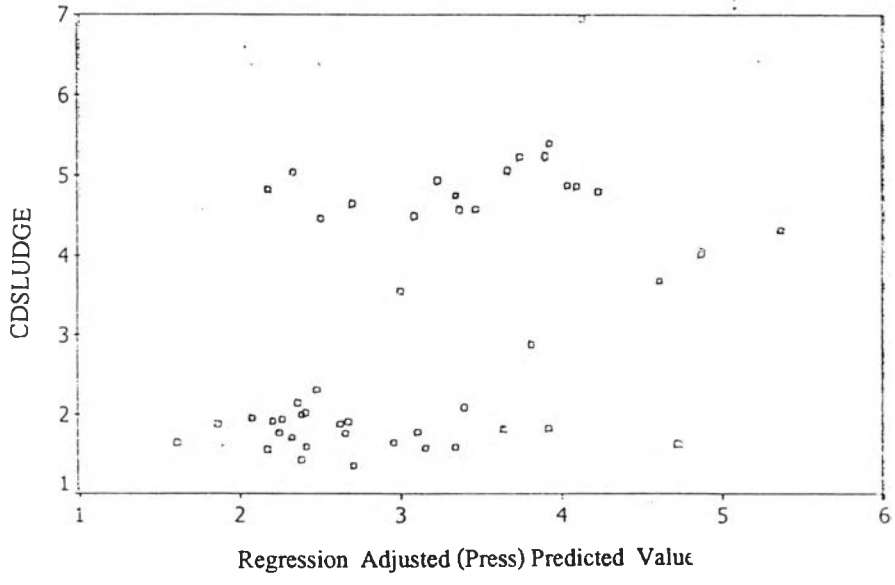
Normal P-P Plot of Regression Standard

Dependent Variable : CDSLUDGE



Scatterplot

Dependent Variable : CDSLUDGE



Regression : Lead in sludge

Variables Entered / Removed [a]

Model	Variables Entered	Variables Removed	Method
1	SS	.	Stepwise (Criteria : Probability-of-F-to-enter < =.050, Probability-of-F-to-remove > =.100).

a. Dependent Variable : PBSLUDGE

Model Summary [b]

Modal	R	R square	Adjusted R square	Std. Error of the Estimate
1	.448 [a]	.200	.173	.393750

a. Predictors : (Constant) , SS

b. Dependent Variable : PBSLUDGE

ANOVA [b]

Model		Sum of Squares	df	Mean Squares	F	Sig.
1	Regression	1.127	1	1.127	7.270	.012[a]
	Residual	4.496	29	.155		
	Total	5.623	30			

a. Predictors : (Constant) , PB_{eff}

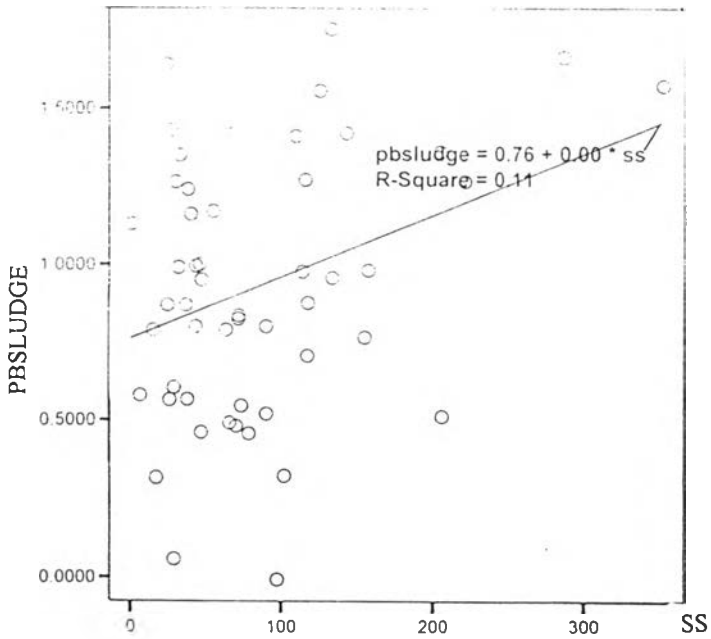
b. Dependent Variable : PBSLUDGE

Coefficients [a]

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	.538	.131		4.102	.000
	SS	3.751E-03	.001	.448	2.696	.012

a. Dependent Variable : PBSLUDGE

Interactive Graph



Regression : Mercury in sludge

Variables Entered / Removed[a]

a. Dependent Variable : HGSLUDGE

ภาคผนวก ค

การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของตัวแปรมากกว่า 2 ตัว

ส่วนใหญ่มักจะพบว่าตัวแปรหลาย ๆ ตัวมักจะมีความสัมพันธ์กัน เช่น ตะกั่วในกากตะกอนอาจจะมีความสัมพันธ์กับประสิทธิภาพการกำจัด BOD ของแข็งแขวนลอยในน้ำเสีย และค่า COD ซึ่งในที่นี้ตะกั่วในกากตะกอนจะเป็นตัวแปรตาม (Y) ส่วนตัวแปรอื่น ๆ จะเป็นตัวแปรอิสระ (X)

<u>การวิเคราะห์ความถดถอยเชิงซ้อน (Multiple Regression)</u>

ถ้ามีตัวแปรอิสระ k ตัว (X_1 , X_2 ,....., X_k) ที่มีความสัมพันธ์กับตัวแปรตาม Y โดยที่ความสัมพันธ์อยู่ในรูปเชิงเส้น จะได้สมการความถดถอยเชิงซ้อน ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Y และ X_1 , X_2 ,....., X_k ดังนี้

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + ... + \beta_k X_k + e$$

โดยที่ β_0 = ส่วนตัดแกน Y เมื่อกำหนดให้ $X_1 = X_2 = ... = X_k = 0$

$\beta_1, \beta_2, ..., \beta_k$ เป็นสัมประสิทธิ์ความถดถอยเชิงส่วน

β_i เป็นค่าที่แสดงถึงการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรตาม Y เมื่อตัวแปรอิสระ X_i เปลี่ยนไป 1 หน่วย โดยที่ตัวแปรอิสระ X ตัวอื่น ๆ มีค่าคงที่ เช่น ถ้า X_1 เปลี่ยนไป 1 หน่วย ค่า Y จะเปลี่ยนไป β_1 หน่วย โดยที่ $X_2, X_3, ..., X_k$ มีค่าคงที่

<u>เงื่อนไขของการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงซ้อน</u>

สมการความถดถอยเชิงซ้อน คือ $Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + ... + \beta_k X_k + e$

เงื่อนไขในการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงซ้อนมีดังนี้

1. ความคลาดเคลื่อน e เป็นตัวแปรที่มีการแจกแจงแบบปกติ
2. ค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนเป็นศูนย์ นั่นคือ $E(e) = 0$
3. ค่าแปรปรวนของความคลาดเคลื่อนเป็นค่าคงที่ที่ไม่ทราบค่า $V(e) = \sigma_e^2$

4. e_i และ e_j เป็นอิสระต่อกัน ; $i \neq j$ นั่นคือ covariance $(e_i = e_j) = 0$
5. ตัวแปรอิสระ X_i และ X_j ต้องเป็นอิสระกัน

ความหมายของสัมประสิทธิ์ความถดถอยเชิงส่วน

ถ้ามีตัวแปรอิสระที่มีความสัมพันธ์กับตัวแปรตาม (Y) 3 ตัวคือ X_1 , X_2 และ X_3 สมการความถดถอยเชิงซ้อนคือ

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + e$$

ค่าประมาณของ Y คือ

$$\hat{Y} = a + b_1 X_1 + b_2 X_2 + b_3 X_3 \quad \text{.....(1)}$$

จากสมการที่ (1) พารามิเตอร์คือ a , b_1 , b_2 และ b_3 โดยที่

a คือ ส่วนหรือระยะตัดแกน Y ซึ่งหมายถึงเมื่อกำหนดให้ $X_1 = X_2 = X_3 = 0$

b_1 , b_2 และ b_3 เป็นค่าประมาณของสัมประสิทธิ์การตัดสินใจเชิงส่วน ซึ่งมีหน่วยเหมือน Y และมีความหมายดังนี้

b_1 เป็นค่าซึ่งแสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่าง Y และ X_1 หมายถึง ถ้า X_1 เพิ่มขึ้น 1 หน่วย จะทำให้ Y เปลี่ยนไป b_1 หน่วย (ขึ้นอยู่กับเครื่องหมายของ b_1) โดยที่กำหนดให้ตัวแปรอิสระอื่น ๆ คือ X_2 และ X_3 มีค่าคงที่

b_2 เป็นค่าซึ่งแสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่าง Y และ X_2 หมายถึง ถ้า X_2 เพิ่มขึ้น 1 หน่วย จะทำให้ Y เปลี่ยนไป b_2 หน่วย (ขึ้นอยู่กับเครื่องหมายของ b_2) โดยที่กำหนดให้ตัวแปรอิสระอื่น ๆ คือ X_1 และ X_3 มีค่าคงที่

ในทำนองเดียวกัน b_3 จะแสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่าง Y และ X_3 หมายถึง ถ้า X_3 เพิ่มขึ้น 1 หน่วย จะทำให้ Y เปลี่ยนไป b_3 หน่วย (ขึ้นอยู่กับเครื่องหมายของ b_1) โดยที่กำหนดให้ตัวแปรอิสระอื่น ๆ คือ X_1 และ X_2 มีค่าคงที่

การทดสอบสมการความถดถอยเชิงซ้อนโดยใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนจำแนกแบบทางเดียว

จากสมการความถดถอยเชิงซ้อน

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + ... + \beta_k X_k + e$$

ค่าแปรปรวนของ Y = ค่าแปรปรวนที่เกิดจากอิทธิพลของ $X_1, X_2, ..., X_k$ + ค่าแปรปรวนอย่างสุ่ม

หรือ SST = SSR + SSE

โดยที่ SST (Sum Square of Total) คือค่าแปรปรวนทั้งหมดของ Y = $\sum_{i=1}^{n} (Y_i - \bar{y})^2$

SSR (Sum Square of Regression) คือค่าแปรปรวนของ Y เนื่องจากอิทธิพลของ $X_1, ..., X_k$

SSE (Sum Square of Error or Sum Square of Residual) คือค่าแปรปรวนของ Y เนื่องจากอิทธิพลอื่น ๆ หรือเรียกว่าค่าแปรปรวนอย่างสุ่ม

ตารางที่ 1 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงซ้อน

แหล่งแปรปรวน (SV)	คงค่าอิสระ (DF)	ผลบวกกำลังสอง (SS)	ผลบวกกำลังสองเฉลี่ย (MS)	F
ความถดถอย (Regression)	k	SSR	MSR = SSR / k	MSR / MSE
ความคลาดเคลื่อน (Error)	n – k – 1	SSE	MSE = SSE / (n – k - 1)	
ผลรวม (Total)	n - 1	SST		

จากตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวนจะใช้ในการทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่าง Y และ $X_1, X_2, ..., X_k$ โดยตั้งสมมติฐานไว้ดังนี้

$H_0 : \beta_1 = \beta_2 = ... = \beta_k = 0$

$H_1 :$ มี β_i อย่างน้อย 1 ค่าที่ $\neq 0$; $i = 1, 2, ..., k$

สถิติทดสอบ $F = MSR / MSE$

เขตปฏิเสธ จะปฏิเสธสมมติฐาน H_0 ถ้า $F > F_{k, n-k-1; 1-\alpha}$ **หรือ** Significance **ของสถิติทดสอบ** $F > \alpha$

ผลการทดสอบสมมติฐานอาจจะเป็น

ก. ยอมรับสมมติฐาน $H_0 : \beta_1 = \beta_2 = ... = \beta_k = 0$ ซึ่งสรุปได้ว่า Y ไม่มีความสัมพันธ์กับ X ทั้ง k ตัว $(X_1, X_2, ..., X_k)$ ในรูปเชิงเส้น

ข. ปฏิเสธสมมติฐาน H_0 หรือ ยอมรับสมมติฐาน H_1 ซึ่งสรุปได้ว่า มี X_i อย่างน้อย 1 ตัวที่มีความสัมพันธ์กับ Y ในรูปเชิงเส้น จึงต้องทดสอบต่อไปว่า X_i ตัวใดที่มีความสัมพันธ์กับ Y โดยใช้สถิติทดสอบ t

การทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับสัมประสิทธิ์ความถดถอย

ถ้ามีตัวแปรอิสระ k ตัว $(X_1, X_2, ..., X_k)$ ที่มีความสัมพันธ์กับตัวแปรตาม Y และเมื่อได้ทดสอบ F-test จากตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวนเพื่อทดสอบสมมติฐาน

$H_0 : \beta_1 = \beta_2 = ... = \beta_k = 0$

H_1 : มี β_i อย่างน้อย 1 ค่าที่ $\neq 0$; $i = 1, 2, ..., k$

ถ้าผลของการทดสอบสมมติฐานข้างต้น โดยการใช้สถิติ F เป็นปฏิเสธสมมติฐาน H_0 จึงต้องทำการทดสอบต่อไปว่ามี β_i ตัวใดบ้างที่ไม่เท่ากับศูนย์ หรือมี X ตัวใดบ้างที่สัมพันธ์กับ Y โดยการทดสอบสมมติฐานดังต่อไปนี้

สมมติฐาน $H_0 : \beta_i = 0$

H_1 : มี β_i อย่างน้อย 1 ค่าที่ $\neq 0$; $i = 1, 2, ..., k$

สถิติทดสอบ $t = (b_i - 0) / S_{bi}$

หรือใช้สถิติทดสอบ Z ถ้า n มีค่ามาก

เขตปฏิเสธสมมติฐาน H_0

จะปฏิเสธสมมติฐาน H_0 เมื่อ $t > t_{1-\alpha/2 : n-k-1}$ หรือ $t < -t_{1-\alpha/2 : n-k-1}$ หรือกล่าวว่าจะปฏิเสธ H_0 ถ้า $|t| > t_{1-\alpha/2 : n-k-1}$ หรือ Significance ของสถิติ t < ระดับนัยสำคัญที่กำหนด

สัมประสิทธิ์การตัดสินใจเชิงซ้อน (Multiple Coefficient of Determination : R^2 หรือ r^2)

สัมประสิทธิ์การตัดสินใจเชิงซ้อนคือ สัดส่วนหรือเปอร์เซ็นต์ที่ตัวแปรอิสระ (X_1 , X_2 , ..., X_k) สามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงของ Y ได้ หรือกล่าวได้ว่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจเชิงซ้อนเป็นสัดส่วนหรือเปอร์เซ็นต์ของความผันแปร Y ที่มีสาเหตุเนื่องจากความผันแปรของ X_1 , X_2 และ X_k โดยที่สัมประสิทธิ์การตัดสินใจเชิงซ้อนจะใช้สัญลักษณ์ $R^2_{Y\,123\ldots k}$ แต่โดยทั่วไปจะใช้สัญลักษณ์ R^2

$$R^2 = r^2 = \frac{\text{ความผันแปรของ Y เนื่องจากอิทธิพลของ } X_1, X_2, \ldots X_k}{\text{ความผันแปรทั้งหมด}} = \frac{SSE}{SST}$$

หรือ

$$\boxed{R^2 = r^2 = \frac{(SST - SSE)}{SST} = 1 - \frac{SSE}{SST}}$$

โดยที่ $0 \leq R^2, r^2 \leq 1$

ถ้าค่า R^2 ที่ใกล้ 1 จะหมายถึง X_1 , X_2, ..., X_k มีความสัมพันธ์กับ Y มาก แต่ถ้า R^2 เข้าใกล้ศูนย์ หมายถึงค่า X_1 , X_2, ..., X_k มีความสัมพันธ์กับ Y น้อย

ประวัติผู้เขียน

นางสาวปัทมาพร ยอดสันติ เกิดเมื่อวันที่ 14 กันยายน พ.ศ. 2518 ที่จังหวัดราชบุรี สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม จาก มหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขตพระราชวังสนามจันทร์ จังหวัดนครปฐม ในปีการศึกษา 2539 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม เมื่อปีการศึกษา 2540