หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

ตะกั่ว

ตะกั่วเป็นโลหะชนิดหนึ่งที่ใช้กันมาตั้งแต่สมัยโบราณร่วม 5,000 ปีแล้ว นับเป็นโลหะที่มีสมบัติพิเศษเฉพาะตัวหลายประการ นำไปใช้ประโยชน์ได้อย่างกว้างขวาง จีนเป็นพวกแรกที่ใช้ตะกั่วทำเหรียญกระษาปณ์และบุสังบรรจุยา ชาวโรมันใช้ตะกั่วทำท่อน้ำและส่วนประกอบสิ่งก่อสร้างต่าง ๆ ปัจจุบันมีการใช้ตะกั่วกันมาก ดังตารางที่ 1 แสดงการผลิตแร่ตะกั่วแต่ละประเทศทั่วโลก ตะกั่วใช้มากที่สุดในการผลิตแบตเตอรี่ ทั้งใช้เป็นโลหะพื้นฐานในการประกอบอุตสาหกรรมต่าง ๆ อีกหลายประการ

2.1 สมบัติทั่วไปของตะกั่ว

ตะกั่วเป็นธาตุทรานซิชัน (Transition Elements) ในตารางธาตุ (Periodic table) พบกระจายอยู่ทั่วไปตามธรรมชาติ ส่วนมากอยู่ในสินแร่กาลีนา (Galena, PbS) เซอรัสไซต์ (Cerussite, $PbCO_3$) และแองกลีไซต์ (Anglesite, $PbSO_4$) โดยปนอยู่ในหินอัคนีบางชนิดในลักษณะของสารประกอบซัลไฟด์ สมบัติทางเคมีและทางกายภาพของตะกั่วได้แสดงไว้ในตารางที่ 2 ตะกั่วจัดเป็นโลหะหนักมีความถ่วงจำเพาะ 11.34 จุดหลอมตัว 327.4°C. และจุดเดือด 1751°C. ตะกั่วเมื่อบริสุทธิ์จะมีลักษณะด้านและมีสีเทาแก่ รอยตัดและผิวบนจะเป็นสีเทาฟ้า เอายืดกับมือจะมีรอยสีดำบนมือ เป็นโลหะที่มีความทนทานต่อการกัดกร่อน มีความหล่อลื่นในตัวเอง เป็นโลหะอ่อนที่มีจุดหลอมเหลวต่ำ สามารถตัด รีดหรือดึงได้ง่าย ขยายตัวมากเมื่อได้รับความร้อน ผสมกับโลหะต่าง ๆ ได้หลายชนิดเป็นโลหะผสมซึ่งนำไปใช้ประโยชน์ได้มากยิ่งขึ้น

ตะกั่วสามารถรวมตัวกับธาตุหรือหมู่ธาตุอื่นเกิดเป็นสารประกอบต่าง ๆ หลายชนิด สารประกอบตะกั่วส่วนมากไม่ละลายน้ำ โดยทั่วไปจะมีสีขาวหรือไม่มีสี แต่ออกไซด์ของตะกั่วจะมีสีเหลืองหรือส้ม ไดออกไซด์จะมีสีเทาหรือดำ ตะกั่วอาจอยู่ในรูปสารประกอบอินทรีย์ได้ ดังรูปที่ 1 แสดงแผนภูมิการเกิดสารประกอบตะกั่วอินทรีย์ สารประกอบตะกั่วอินทรีย์บางอย่างสามารถละลายน้ำ และมีผลในการยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ ดังแสดงไว้ในตารางที่ 3

ตารางที่ 1 ปริมาตรการผลิตแร่ตะกั่วของแต่ละประเทศทั่วโลก,หน่วย 1000 เมตริกตัน

(จาก Minerals yearbook vol.I,1980)

(Thousand metric tons)

Continent and country[2]	1976	1977	1978	1979[p]	1980[e]
North America:					
Canada	256.3	281.0	319.8	310.7	[3]273.8
Guatemala	.1	.1	[e].1	[e].1	[3].1
Honduras	[r]21.1	[r]20.6	21.8	16.4	16.0
Mexico[4]	200.0	163.5	170.6	173.5	[3]145.5
Nicaragua	1.3	1.0	.4	--	--
United States[5]	553.0	537.5	529.7	525.6	[3]549.5
South America:					
Argentina	33.0	33.6	30.3	34.0	[3]34.8
Bolivia	16.4	19.3	18.0	15.4	[3]17.2
Brazil	22.6	24.0	31.2	29.6	34.0
Chile	1.8	.9	.4	.3	.3
Colombia	.1	.1	.1	.1	.1
Ecuador	.2	.2	.2	.2	.2
Peru[6]	159.8	166.1	182.7	184.0	[3]189.3
Europe:					
Austria	4.4	4.3	4.6	4.5	[3]4.3
Bulgaria	110.0	117.0	[e]117.0	116.0	116.0
Czechoslovakia	4.2	4.3	4.0	4.0	[3]3.3
Finland	1.1	.6	.8	1.4	1.4
France	28.0	31.5	32.5	29.3	[3]28.4
German Democratic Republic	4.0	--	--	--	--
Germany, Federal Republic of	31.7	31.1	23.2	25.2	25.0
Greece	28.2	16.4	22.6	21.7	22.0
Greenland	27.0	28.8	30.6	31.9	30.2
Hungary	.9	1.3	1.0	1.0	1.0
Ireland	32.6	41.0	47.8	71.1	59.0
Italy	29.4	31.5	30.0	27.3	[3]16.6
Norway	3.9	3.3	3.6	3.6	3.5
Poland	60.0	63.0	63.9	61.9	58.8
Romania	[e]35.0	[e]35.0	33.3	33.3	33.3
Spain	62.2	[r]65.5	71.3	72.3	76.8
Sweden	81.6	88.1	81.9	79.4	[3]72.2
U.S.S.R.[e]	500.0	510.0	520.0	525.0	525.0
United Kingdom	7.1	7.6	4.6	4.7	5.0
Yugoslavia	122.5	130.0	124.5	129.8	[3]119.0
Africa:					
Algeria	2.1	.9	1.8	2.3	2.4
Congo (Brazzaville)	2.5	2.4	4.2	[e]8.0	8.0
Kenya[e]	.5	--	--	--	--
Morocco	60.2	93.4	100.2	115.7	130.0
Namibia	46.4	41.2	38.6	46.0	46.0
Nigeria	.1	.1	.1	.1	.1
South Africa, Republic of	--	--	--	--	[3]86.1
Tunisia	10.4	10.2	8.0	10.0	10.0
Zambia	15.5	13.5	15.8	17.6	14.0
Asia:					
Burma	7.1	[r]8.0	9.2	6.5	9.6
China, mainland[e]	[r]130.0	[r]135.0	145.0	155.0	155.0
India	[r]11.5	12.7	12.8	16.0	10.0
Iran	35.0	40.0	[e]30.0	[re]15.0	15.0
Japan[7]	51.7	54.8	56.5	46.9	44.6
Korea, North[e]	110.0	110.0	105.0	[r]100.0	100.0
Korea, Republic of	14.5	16.6	16.1	11.1	[3]11.5
Philippines	4.5	3.7	1.4	2.0	2.2
Thailand	.9	.5	1.7	8.7	10.0
Turkey	4.9	8.7	9.5	7.5	6.4
Oceania: Australia[8]	397.4	432.2	400.3	421.6	[3]395.2
Total	[r]3,344.7	[r]3,442.1	3,478.7	3,523.3	3,517.7

[e]Estimated. [p]Preliminary. [r]Revised.

[1]Table includes data available through June 15, 1981.

[2]In addition to the countries listed, Egypt and Uganda may produce lead, but available information is inadequate to make reliable estimates of output levels.

[3]Reported figure.

[4]Recoverable metal content of lead in concentrates for export plus lead content of domestic smelter products (refined lead, antimonial lead, mixed bars, and other unspecified items).

[5]Recoverable.

[6]Recoverable metal content of lead in concentrates for export plus lead content of domestic smelter products (refined lead, antimonial lead, and bismuth-lead bars).

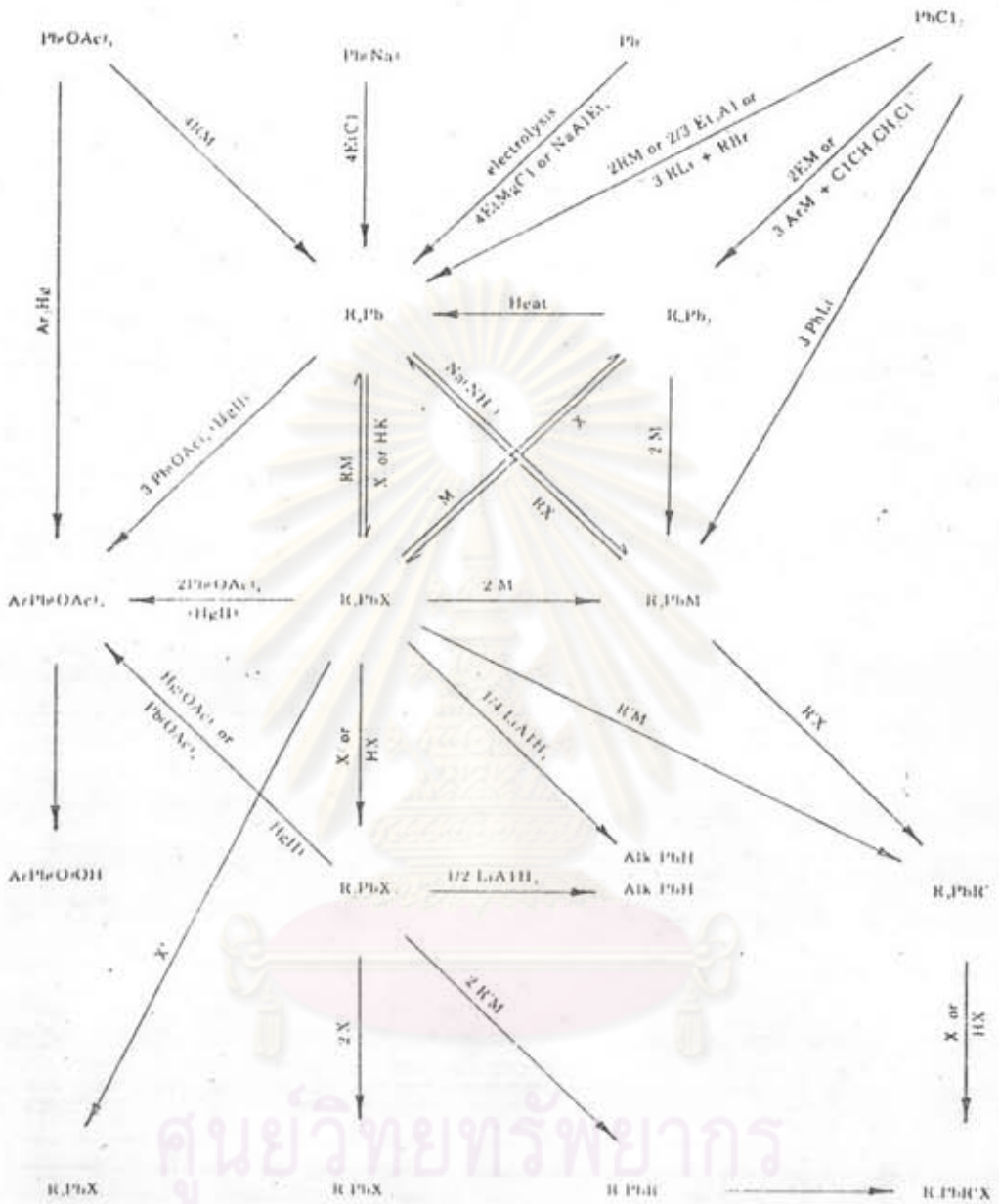
[7]Content of concentrates.

[8]Content by analysis.

ตารางที่ 2 สมบัติทางเคมีและทางกายภาพของตะกั่ว (จาก Lead Chemicals)

Atomic weight	207.2
Atomic number	82
Valences	2 and 4
Crystal structure	Face centered cubic
a, Å	4.949
Bond length, Pb-Pb, at 25 °C, Å	3.499
Ionization potential, ev	
First electron	7.42
Second	15.03
Third	32.08
Fourth	42.25
Fifth	69.7
Specific gravity, g/ml	
20 °C	11.34
327 °C (solid)	11.005
327 °C (liquid)	10.686
650 °C	10.302
850 °C	10.078
Specific heat, cal/g	
0 °C	0.0297
20 °C	0.0306
100 °C	0.0320
327 °C	0.0390
500 °C	0.037
Vapor pressure, mm Hg	
987 °C	1.0
1167 °C	10.0
1417 °C	100.0
1508 °C	200.0
1611 °C	400.0
Viscosity, cP	
441 °C	2.12
551 °C	1.70
703 °C	1.35
844 °C	1.19
Surface tension, dyne/cm, 327.4 °C	444
Melting point, °C	327.4
Boiling point, °C	1751
Electric resistivity, microohm/cm, 20 °C	20.65
Thermal conductivity, cal/sec/sq cm (°C/cm), 20 °C	0.083
Magnetic susceptibility, 10^{-6} cgs units	-0.12
Tensile strength, Kg/sq. cm	126.55–175.77
Modulus of elasticity, 10^6 Kg/sq. cm	0.155
Latent heat of vaporization, cal/g	204
Latent heat of fusion, cal/g	5.89
Superconductivity at °K	below 7.23
Linear coefficient of expansion, °C 10^{-6} units	29.3
Brinell hardness (cast)	4.2
Electrolytic solution potential, v-a	0.122
Thermodynamic properties	
Heat of fusion, cal/atom	1,225
Heat of vaporization, cal/atom	42,880
Entropy at 25 °C, cal/atom deg	15.49
Heat capacity at 327 °C, cal/atom deg	6.80

a- Hydrogen = 0



รูปที่ 1 แผนภูมิแสดงการเกิดสารประกอบตะกั่วอินทรีย์

R = alkyl,aryl; Alk = alkyl; Ar = aryl;

X = Cl,Br,I,anionic group; M = Li,Na,MgX.

(จาก Lead Chemicals)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3 การละลายของสารประกอบตะกั่วอินทรีย์,กรัมต่อลิตร. (จาก Lead Chemicals)

Compound	Water	Ethanol	Terra-hydro-furan	Dioxane	Acetone	Diethyl ether	Chloro-form	Benzene	Hexane
Me_3PbBr	100	450	1150	400	350	25	275	50	3
Me_3PbOAc	135	100	6	2	4	0.3	13	1	2
Et_3PbOAc	60	450	50	12	21	2.3	460	8.6	6
Pr_3PbOAc	15	600	320	38	50	25	900	200	10
Bu_3PbOAc	2.6	800	800	60	90	550	440	800	400
$Bu_3PbOCOCHEtBu$	1	680	~500 dec.	dec.	240	520	650	520	480
Bu_3PbCl	0.5	540	850	500	600	410	170	90	80
Bu_2PbCl_2	6.4	26	52	13	33	0.2	2	0.3	–
$Bu_2Pb(OAc)_2$	140					280		730	15
Ph_4Pb	–	0.1	11	12	0.8	0.7	17	9	0.6
Ph_6Pb_2	–	0.4	330	125	9	6	340	80	0.9
Ph_3PbOH	–	30	8	6	12	0.2	30	2	2
Ph_3PbCl	–	8	275	75	70	3	50	15	2
Ph_3PbBr	–	11	650	300	275	15	210	92	3
Ph_3PbOAc	0.15	5.3	35	32	6	0.7	48	4.5	0.4
$Ph_3PbOCOCHEtBu$	0.5	230	380	100	440	100	500	200	15
Ph_3PbSMe	0.3	10	600	420	150	70	710	460	15
$Ph_2Pb(OAc)_2$	7.5	97	90	93	21	0.9	440	8.7	0.1
$PhPb(OAc)_3.H_2O$	2.1	dec.	130	130	dec.	5.5	200	27	0.2

และตารางที่ 4 ตามลำดับ

2.2 ตะกั่วในน้ำเสีย

ตะกั่วเป็นสารมลภาวะที่ไม่สลายตัวเองตามธรรมชาติ และเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสียโดยการชะล้างตะกั่วที่ตกค้างจากการใช้งาน หรือจากกิจกรรมอุตสาหกรรมที่มีตะกั่วเป็นองค์ประกอบ เนื่องจากตะกั่วมีสมบัติเหมาะในการใช้ประโยชน์ได้อย่างกว้างขวาง เช่น ในกิจกรรมแบตเตอรี่ ใช้ผสมน้ำมันเชื้อเพลิงเพื่อให้เครื่องยนต์เดินเรียบ ทำสี หุ้มสายเคเบิ้ล การปัดกรี ทำตัวพิมพ์ ท่อน้ำ ลูกปืน แผ่นตะกั่ว ใช้เป็นองค์ประกอบในการผลิตแก้ว พลาสติก เซรามิก แผ่นเหล็กอาบสังกะสี และโลหะผสมนานาชนิด สถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อม จุฬาฯ (2520) ได้ทำการสำรวจการกระจายของตะกั่วในเขตกรุงเทพมหานคร พบว่าในอากาศมีตะกั่ว 0 ถึง 600 ไมโครกรัมต่อหนึ่งลูกบาศก์เมตรของอากาศ ในดินตามเกาะกลางถนนต่าง ๆ มีตะกั่ว 48.7 ถึง 3,655.0 มิลลิกรัมต่อหนึ่งกิโลกรัมของดิน สำนักงานคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ (2523) ได้วิเคราะห์ปริมาณตะกั่วในน้ำจากแม่น้ำ พบว่าค่าเฉลี่ยของตะกั่วในแม่น้ำเจ้าพระยา แม่น้ำบางปะกง แม่น้ำท่าจีน และแม่น้ำแม่กลอง มีค่าตะกั่วระหว่าง 9.58 ถึง 91.00 ไมโครกรัมต่อลิตร. ตะกั่วในน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมบางประเภทได้แสดงไว้ในตารางที่ 5

การละลายของตะกั่วในน้ำเสียมีความสำคัญต่อการบำบัดน้ำเสีย ตามรายงานของ Cheng (1974) และ Sujarittanonta (1979) โลหะหนักที่อยู่ในสถานะสารละลายมีผลกระทบต่อระบบบำบัดน้ำเสียมากกว่าตะกอนของโลหะนั้น การละลายของโลหะขึ้นอยู่กับ pH อุณหภูมิ ความดันบรรยากาศ ความเข้มข้นและการแตกตัวเป็นอิออนของโลหะ สารประกอบและอนุมูลต่าง ๆ ในน้ำเสีย ความรู้ทางเคมีของตะกั่วในน้ำเสียมีการศึกษากันน้อย ส่วนใหญ่อ้างอิงจากการศึกษาเคมีของตะกั่วในน้ำธรรมชาติหรือน้ำกลั่นบริสุทธิ์ ความสัมพันธ์การละลายของตะกั่วในน้ำบริสุทธิกับ pH แสดงในรูปที่ 2 แต่ในน้ำเสียประกอบด้วยอนุมูลต่าง ๆ เช่น OH^- CO_3^{-2} S^{-2} PO_3^{-3} ฯลฯ ฉะนั้นสมดุลย์การละลายของตะกั่วในรูปสารประกอบต่าง ๆ อธิบายได้จากแผนภูมิทางเทอร์โมไดนามิกส์ ดังรูปที่ 3 แสดงสภาวะแวดล้อมของระบบต่าง ๆ ในรัฐภาคของ pE กับ pH และรูปที่ 4 แสดงเสถียรภาพการเกิดตะกอนของตะกั่วในสาร-

ตารางที่ 4 ปริมาตรล่ารประกอบตะกั่วอินทรีย์ที่ยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ (จาก Lead Chemicals)

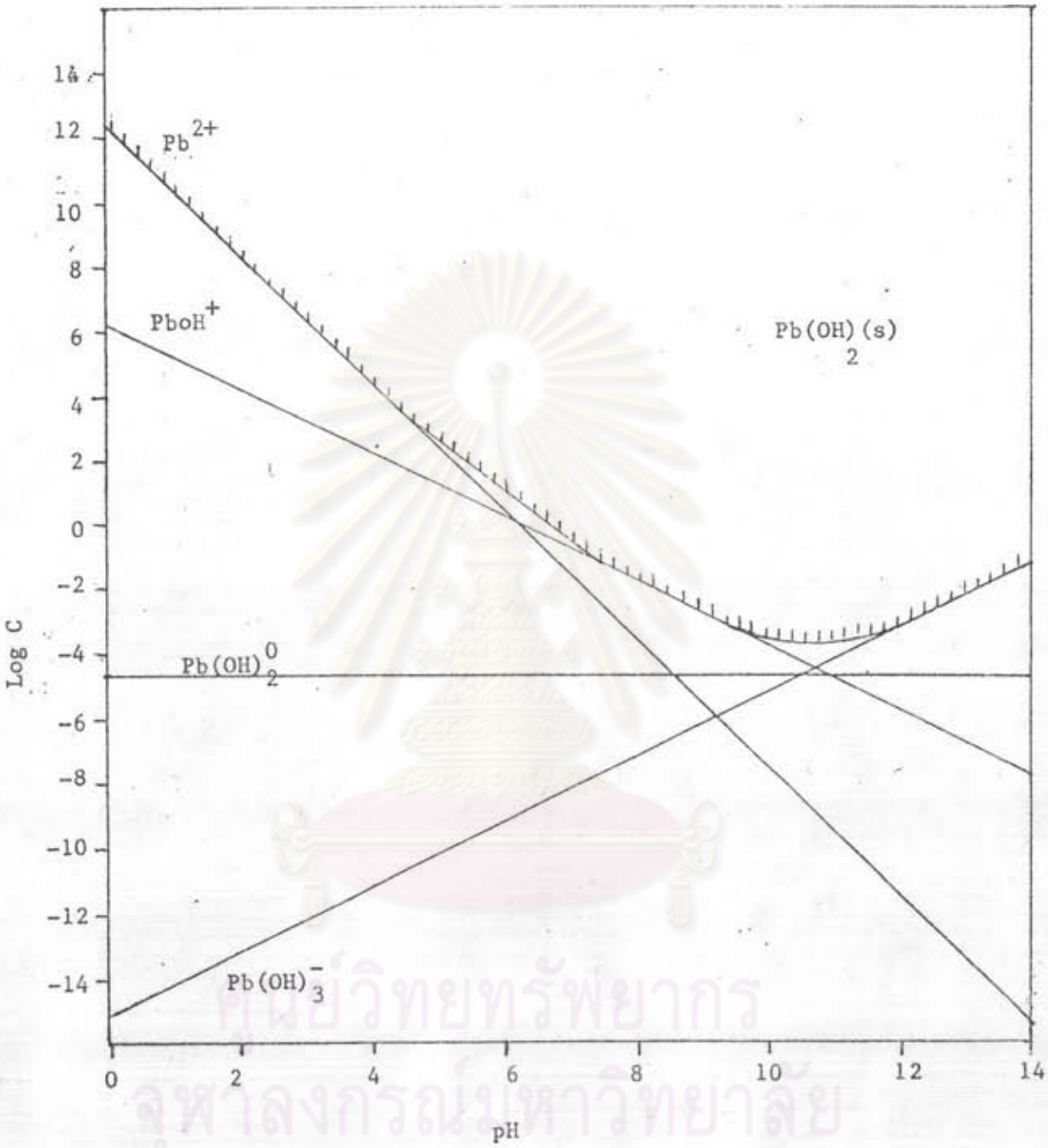
(Minimal concentration in ppm (μg/ml) causing complete inhibition of visible growth on peptone glucose agar pH 6.8)

Compounds	FUNGI				BACTERIA				
					GRAM - POSITIVE			GRAM - NEGATIVE	
	B.allii	P.italicum	A.niger	Rh.nigricans	B.subtilis	M.phlei	S.lactis	E.coli	Ps.fluorescens
R_3PbOAc R =									
Me	100	200	200	>500	100	100	200	200	100
Et	20	20	20	50	50	50	50	50	20
n-Pr	2	5	10	5	2	2	2	5	10
n-Bu	0.1	0.5	0.5	0.5	0.5	0.2	1	20	20
i-Bu	0.1	0.2	0.5	0.5	0.5	0.05		20	50
n-Pentyl	0.1	0.2	0.5	0.5	0.5	0.1	5	50	50
i-Pentyl	0.1	0.2	0.2	0.5	0.5	0.2		50	50
n-Hexyl	0.5	2	2	100	5	0.2	10	>500	>500
n-Heptyl	50	100	100	>500	20	5		>500	>500
n-Octyl	>500	>500	>500	>500	50	20	200	>500	>500
Ph	2	2	2	5	1	0.05	1	20	50
$R_2Pb(OAc)_2$ R =									
Me	>500	>500	>500	>500	0.2	0.2	1	50	50
Et	>500	>500	>500	>500	0.2	1	5	5	5
n-Pr	500	500	500	500	0.2	0.2	0.5	1	2
n-Bu	10	10	20	10	0.1	0.1	0.2	1	10
n-Pentyl	10	20	20	20	0.2	0.2	0.5	2	500
n-Hexyl	20	50	50	100	0.5	0.5	1	100	>500
n-Heptyl	500	500	>500	>500	2	2	10	100	>500
n-Octyl					20	20	50	>500	>500
Ph	50	50	50	50	1	2	1	10	100

ตารางที่ 5 ปริมาณตะกั่วในน้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรมบางประเภท (จาก Wastewater Treatment Technology)

ประเภทโรงงาน	ตะกั่ว (มิลลิกรัมต่อลิตร)
ผลิตแบตเตอรี่ ตะกั่วอยู่ในสถานะ	
อนุภาคแขวนลอย	0.4 - 66.5
สารละลาย	0.5 - 25
การชุบโลหะ	0 - 140
การผลิตหลอดโทรทัศน์	400
การทำเหมืองแร่	0.02 - 2.5
การหลอมตะกั่ว	0.07 - 0.16
ผลิตอาวุธยุทธภัณฑ์	6.5
การกลั่นน้ำมัน	
ตะกั่วอินทรีย์	126.7 - 144.8
ตะกั่วอนินทรีย์	66.1 - 84.9

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

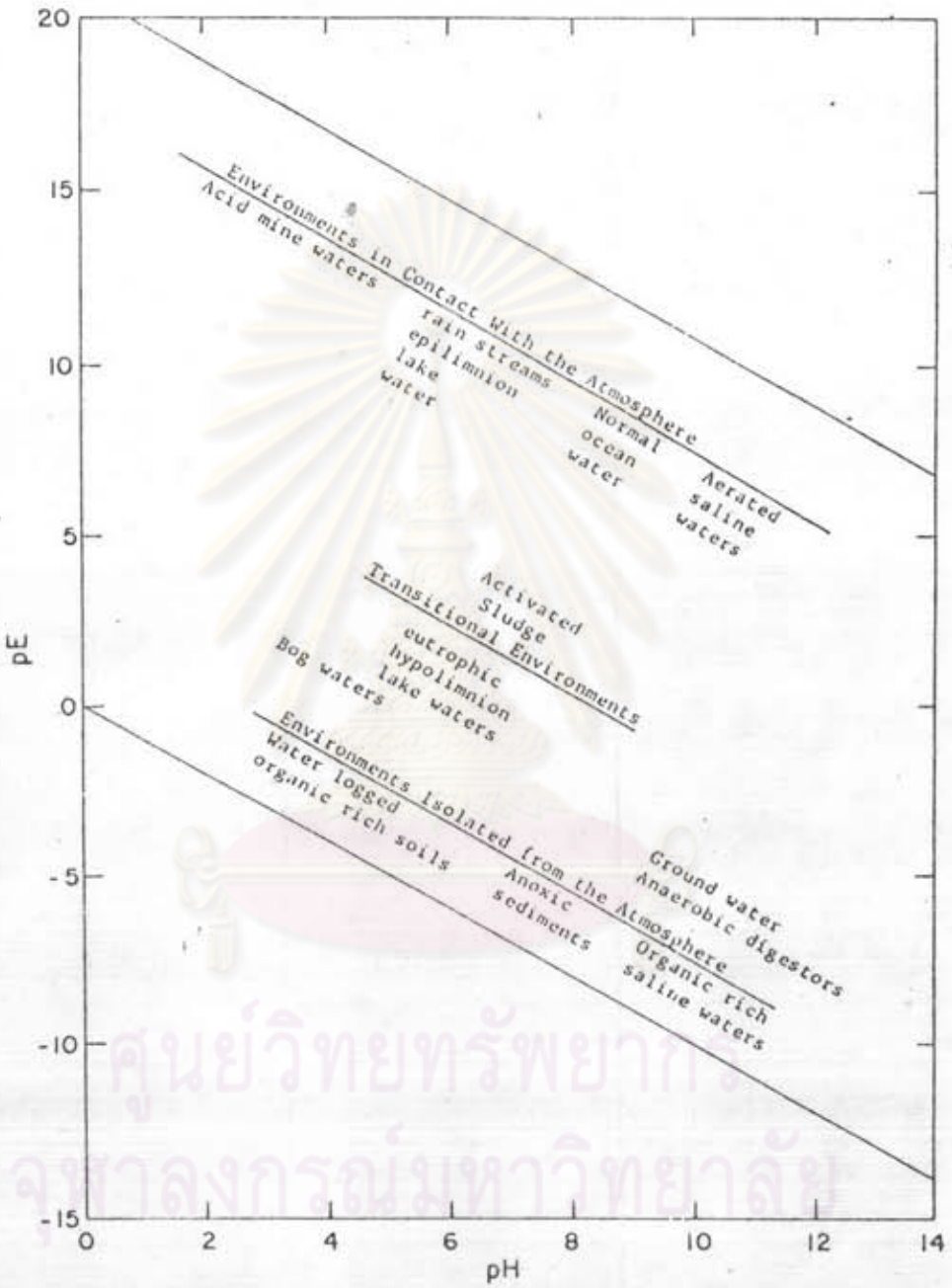


รูปที่ 2 การละลายของ $Pb(OH)_2$ กับ pH

$$C = \left[Pb^{2+}\right] + \left[PbOH^{+}\right] + \left[Pb(OH)_2^0\right] + \left[Pb(OH)_3^-\right]$$

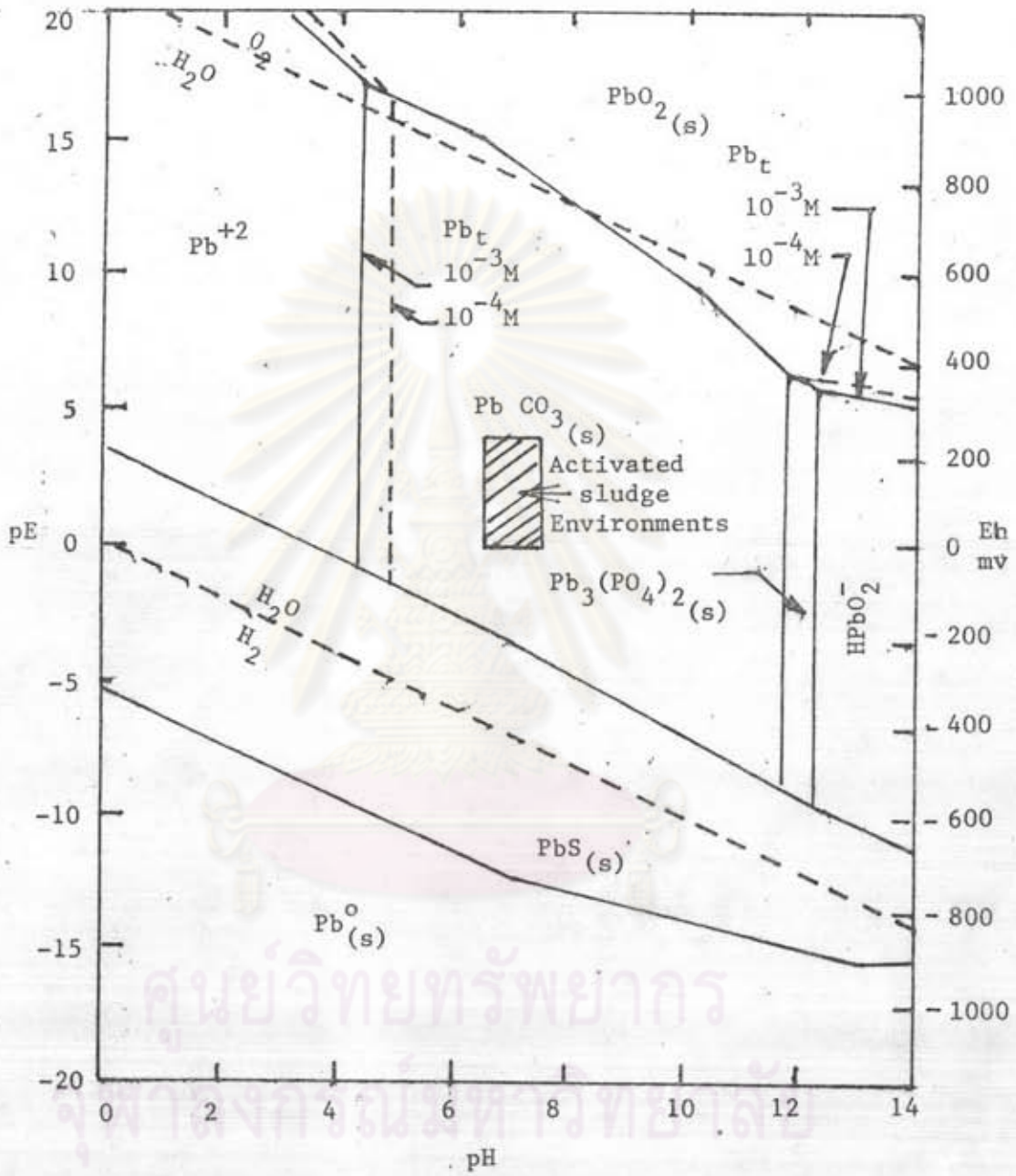
(ดูภาคผนวก)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3. สภาวะแวดล้อมของระบบต่าง ๆ ในความสัมพันธ์ระหว่าง pE กับ pH. (จาก Aqueous-Environmental Chemistry of Metals)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4 เสถียรภาพของสารประกอบตะกั่วในสารละลายที่ประกอบด้วย

$OH^- = CO_3^{-2} = PO_3^{-3} = S^{-2} = 10^{-2}$ โมล

(จาก Chemistry of Wastewater technology)

011065

ละลายที่ประกอบด้วยอนุมูล OH^- CO_3^{-2} PO_3^{-3} และ S^{-2} อย่างละ 10^{-2} โมล จากรูปที่ 4 พบว่าตะกั่วในระบบบำบัดน้ำเสียแบบเลี้ยงตะกอนแขวนลอยจะอยู่ในรูปสารประกอบของ $PbCO_3$ เป็นส่วนมาก

ระบบบำบัดน้ำเสียแบบเลี้ยงตะกอนแขวนลอยจะมีจุลินทรีย์เป็นปัจจัยสำคัญในการกำจัดสารอินทรีย์ จุลินทรีย์เป็นเซลล์สิ่งมีชีวิตที่ต้องการสารประกอบอนินทรีย์หลายชนิด โดยเฉพาะอิออนของโลหะ ซึ่งเป็นสารเคมีทำหน้าที่เป็น Cofactor หรือ Coenzyne ในปฏิกิริยาการย่อยอาหารเพื่อการเจริญเติบโต แต่สารเคมีพวกนี้เซลล์สิ่งมีชีวิตใช้น้อยมากและสังเคราะห์เองไม่ได้ สารเคมีหลายชนิดเป็นพิษต่อจุลินทรีย์ โดยเกิดการสะสมอยู่ในเซลล์และไปยับยั้งปฏิกิริยาย่อยอาหาร WPCF (1977) ได้กำหนดขีดจำกัดของตะกั่วที่จะมีผลต่อระบบบำบัดน้ำเสียแบบเลี้ยงตะกอนแขวนลอย ปริมาณตะกั่วมากกว่า 0.1 มิลลิกรัมต่อลิตรจะมีผลต่อการกำจัดสารอินทรีย์และถ้ามากกว่า 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร จะมีผลต่อการเกิดไนตริฟิเคชั่น

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย