

## บทที่ 5

### การประเมินผลการปรับปรุงกระบวนการผลิต

การประเมินผลการวิจัย ได้จากการเก็บข้อมูลจากกระบวนการผลิตสถานะจริงในปัจจุบัน ตั้งแต่ช่วงเดือน กรกฎาคม ถึง ตุลาคม ซึ่งพิจารณาเปรียบเทียบผลของปริมาณของเสีย หรือสินค้าที่ คุณภาพไม่ได้ตามข้อกำหนด ระหว่างผลจากที่ได้จาก กระบวนการแบบไม่มีโปรแกรมการควบคุม และมีโปรแกรมการควบคุม

กระบวนการผลิตสถานะจริงในปัจจุบัน จะใช้ปัจจัยควบคุมที่วัดได้ ดังนี้

- อุณหภูมิ =  $55 \pm 1$  °C
- ค่า ORP  $\geq 600$  mV

#### 5.1 ข้อมูลจากกระบวนการผลิตสถานะปัจจุบัน แบบไม่มีโปรแกรมการควบคุม

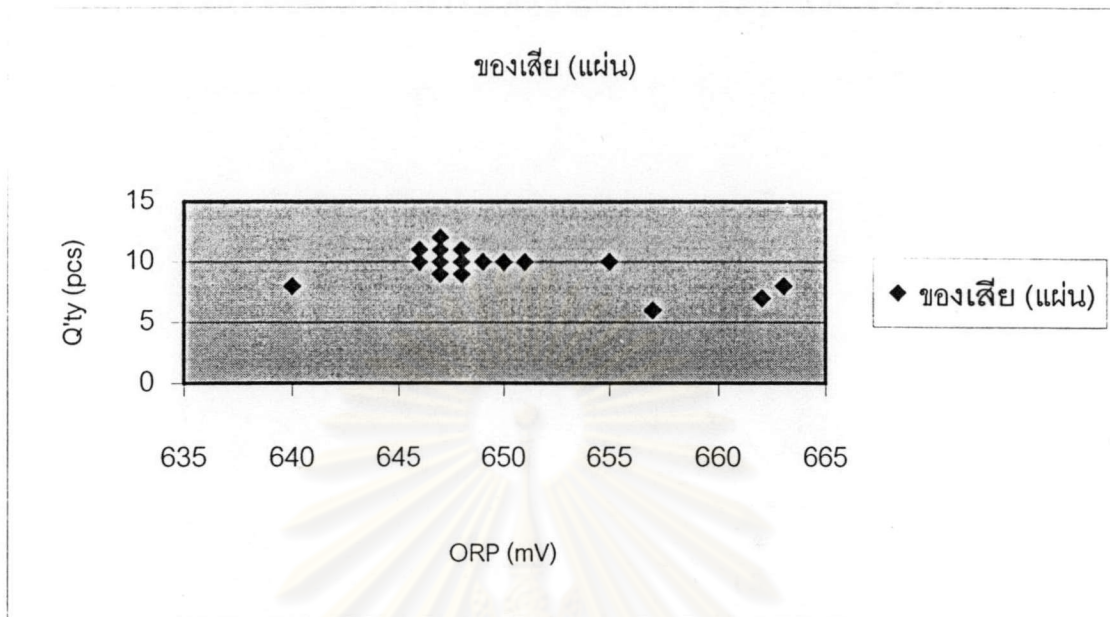
ข้อมูลจากกระบวนการผลิตสถานะปัจจุบัน แบบไม่มีโปรแกรมจากงานวิจัยควบคุม ตั้งแต่ ช่วงเดือน กรกฎาคม ถึง ตุลาคม ประกอบด้วยชุดข้อมูลแสดงปริมาณของเสียจำนวนทั้งหมด 31 ชุด แสดงในตารางที่ 5.1

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 5.1 ข้อมูลปริมาณของเสียจากกระบวนการผลิตควบคุมด้วยสภาวะปัจจุบัน

ข้อมูลชุดที่	อุณหภูมิ (°C)	ORP (mV)	จำนวนของเสียเฉลี่ย (แ่งน )
1	55 .1	640	8
2	55 .1	662	7
3	55 .2	657	6
4	55 .2	657	6
5	55 .1	647	9
6	55 .3	647	10
7	55 .2	647	10
8	55	647	10
9	55 .1	649	10
10	55 .2	648	10
11	55 .1	647	10
12	55	651	10
13	55 .3	663	8
14	55 .3	655	10
15	55	650	10
16	55	646	10
17	55 .3	646	10
18	55 .2	647	10
19	55 .2	647	10
20	55 .3	648	10
21	55 .2	647	10
22	55	647	11
23	55 .1	647	10
24	55 .2	647	12
25	55	648	11
26	55 .2	646	11
27	55 .2	647	11
28	55 .2	647	10
29	55 .2	647	10
30	55 .2	648	9
31	55 .2	647	10

กราฟที่ 5.1 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของเสีย และค่า ORP (ไม่ใช่โปรแกรมควบคุม)



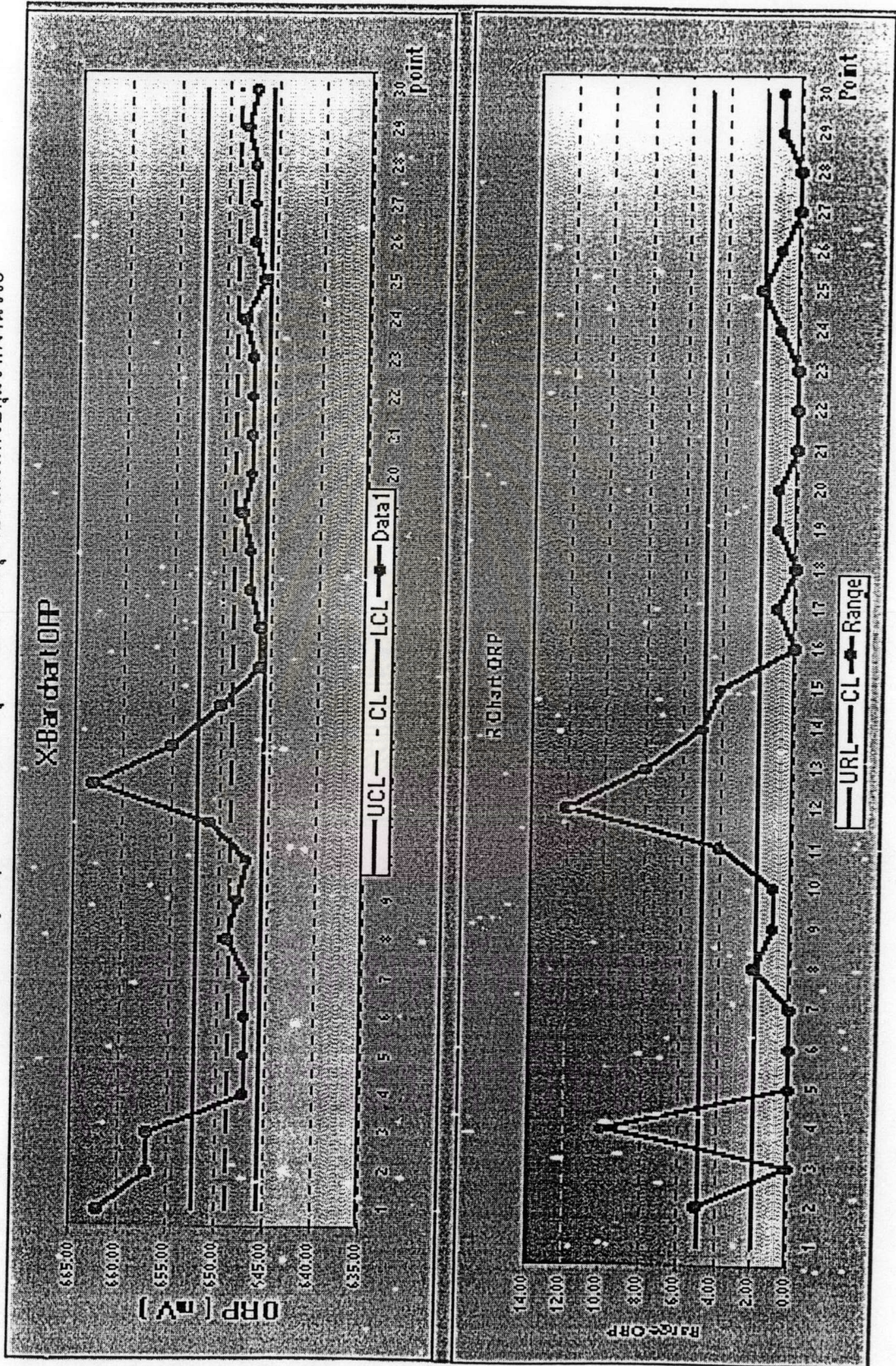
จากกราฟที่ 5.1 จะเห็นว่าการผลิตที่ไม่ใช่โปรแกรมควบคุมค่า ORP จะก่อให้เกิดของเสียมากที่สุด ซึ่งมีค่า ORP อยู่ในช่วงระหว่าง 645-650 mV

ผลจากการเปรียบเทียบข้อมูลปริมาณข้อเสียที่เก็บจากสถานะปัจจุบันแบบไม่มี โปรแกรมการควบคุม พบว่า ปริมาณของเสียเฉลี่ย เท่ากับ 75 แผ่น/เดือน ซึ่งปริมาณของเสียดังกล่าว บางครั้งสามารถค้นหาสาเหตุและแนวทางการแก้ปัญหาได้ แต่บางครั้งไม่ทราบสาเหตุ ทำให้ปัญหายังคงอยู่ และไม่สามารถหาแนวทางเพื่อขจัดปัญหาให้หมดไปได้ โดยสาเหตุเดิมๆ อาจก่อให้เกิดของเสียขึ้นอีก ซึ่งไม่คาดคะเนให้สามารถควบคุมปริมาณของเสียได้ในอนาคต

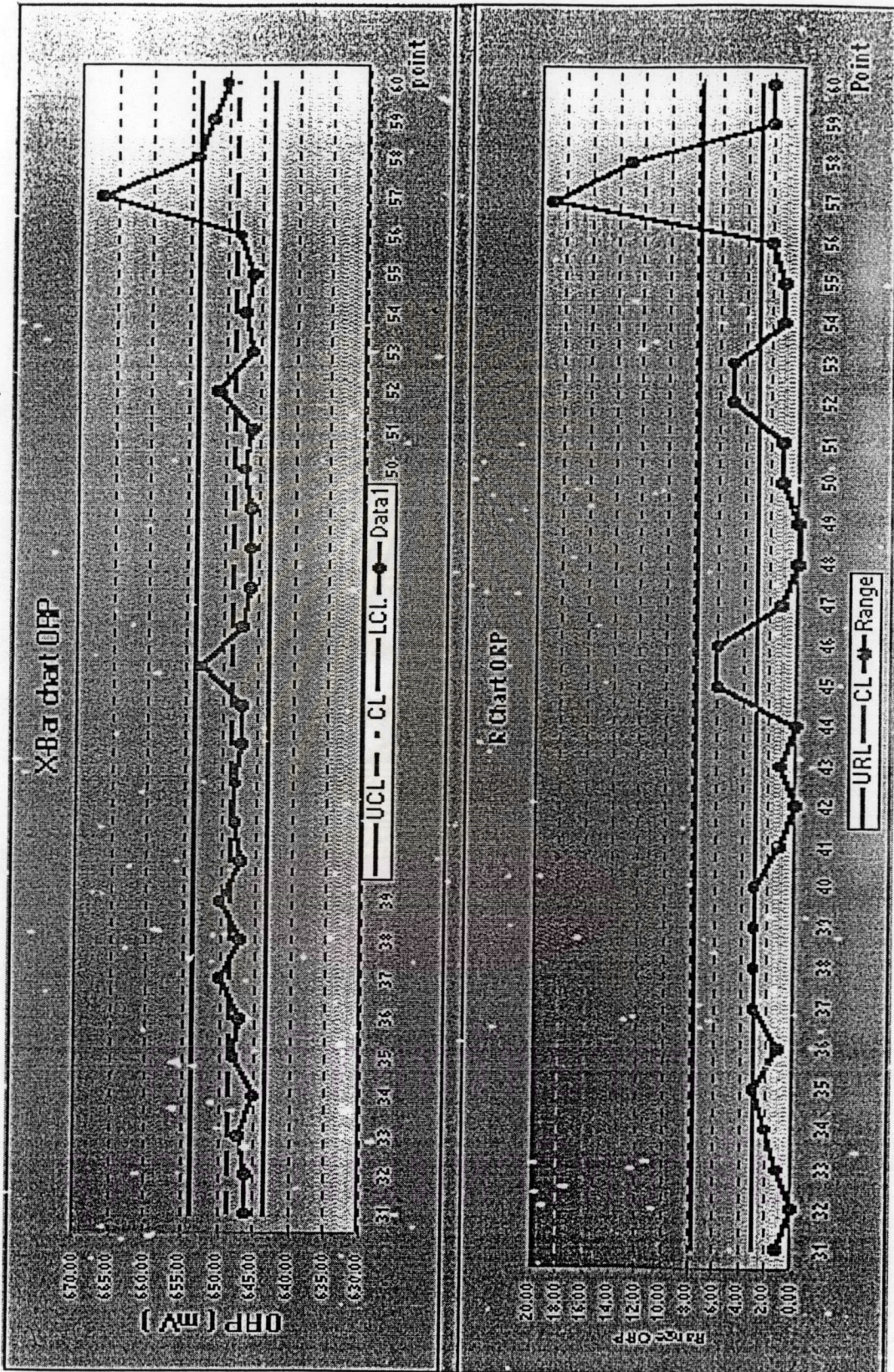
## 5.2 ข้อมูลจากระบวนการผลิตสถานะปัจจุบัน แบบใช้โปรแกรมการควบคุม

ข้อมูลจากระบวนการผลิตสถานะปัจจุบัน แบบมีโปรแกรมจากงานวิจัยควบคุม ตั้งแต่ช่วงเดือน กรกฎาคม ถึง ตุลาคม ประกอบด้วยข้อมูลปริมาณของเสียจำนวนทั้งหมด 300 ข้อมูลย่อย แต่จัดเป็นชุดข้อมูลได้ 10 ชุด แสดงในกราฟที่ 5.2-5.11

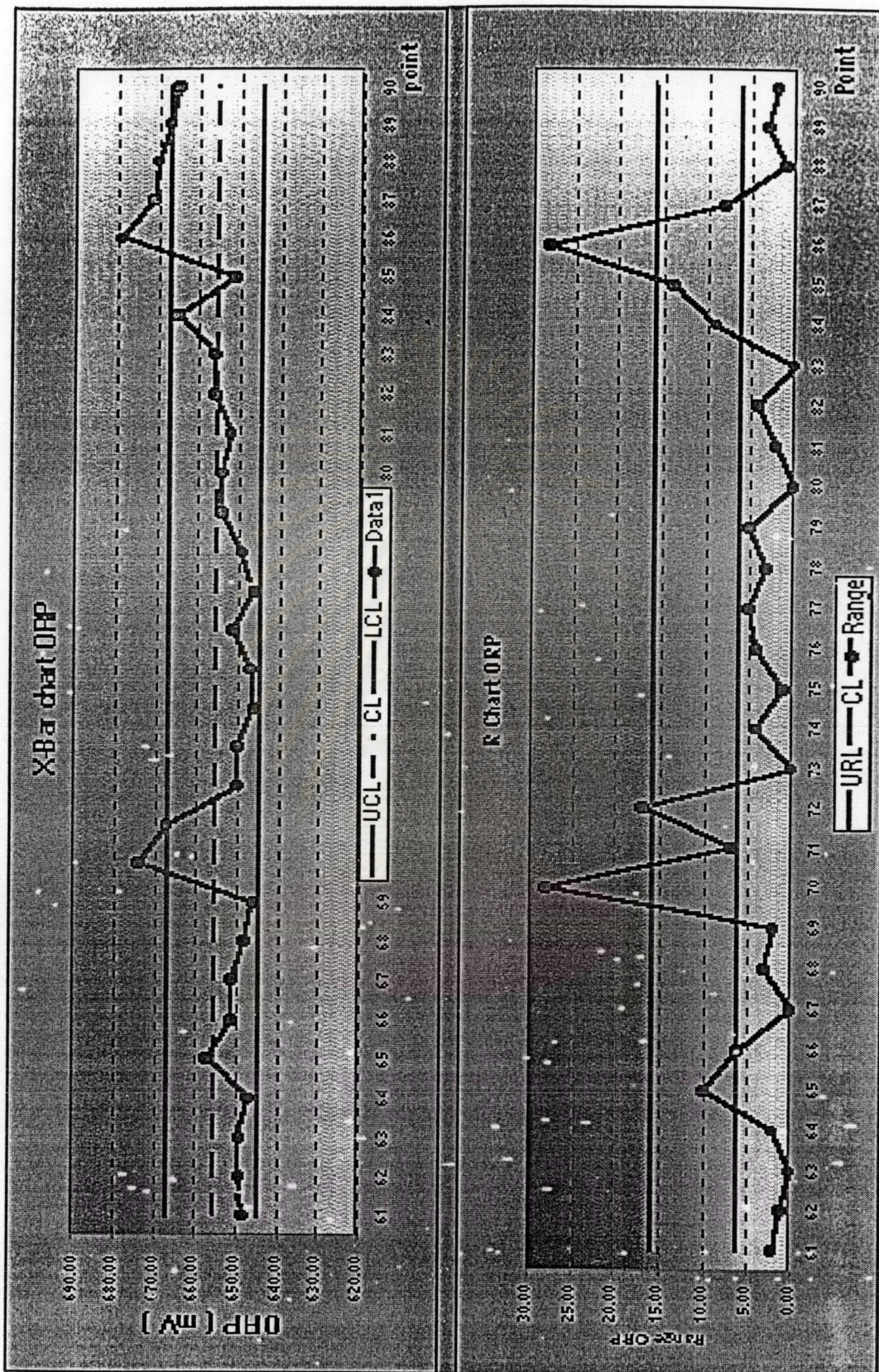
กราฟที่ 5.2 ข้อมูล (ชุดที่ 1) ปัจจัยควบคุมค่า ORP จากชุดโปรแกรมควบคุมจากงานวิจัย



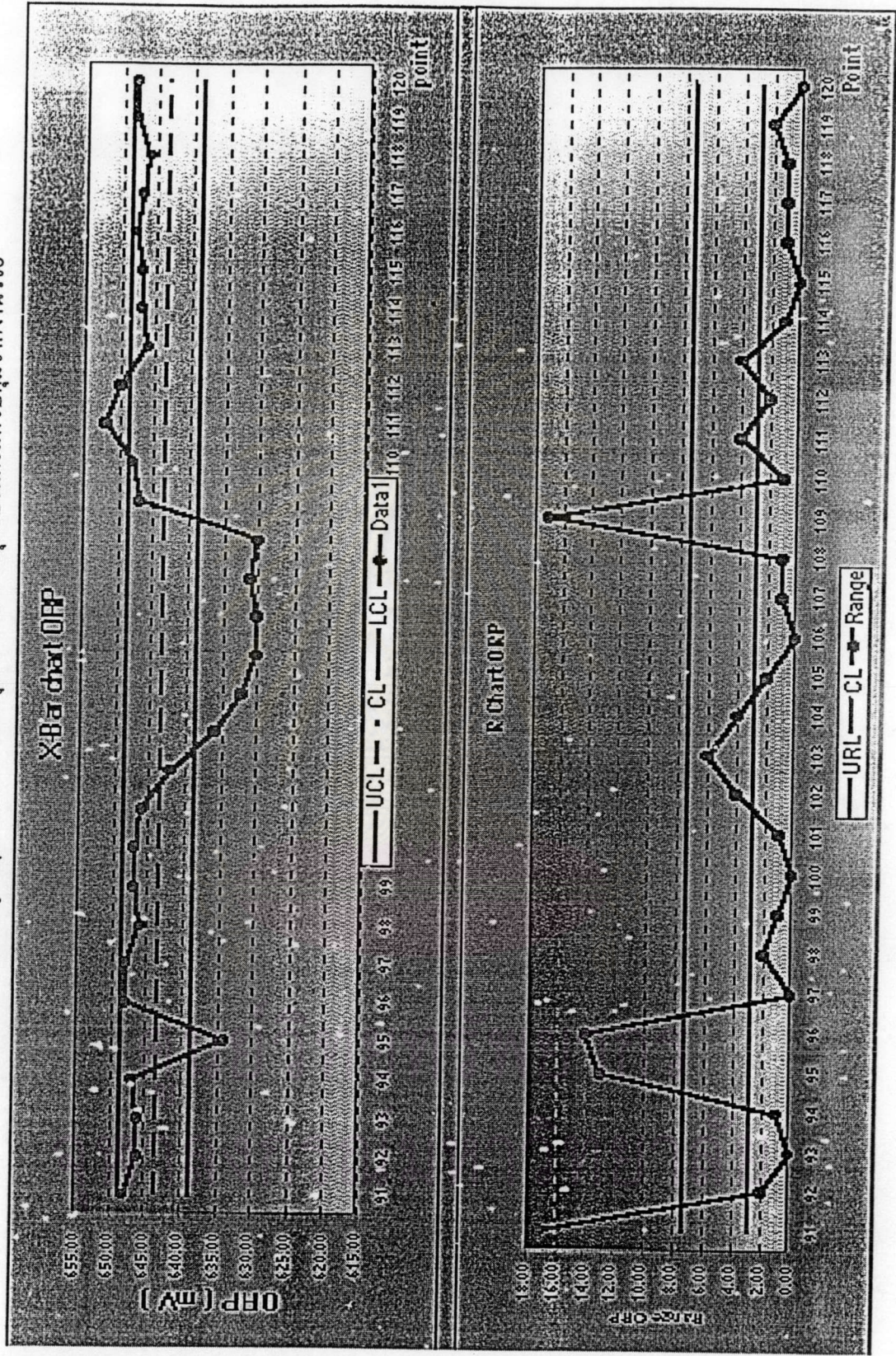
กราฟที่ 5.3 ข้อมูล (ชุดที่ 2) บัญชีควบคุมค่า ORP จากชุดโปรแกรมควบคุมจากงานวิจัย



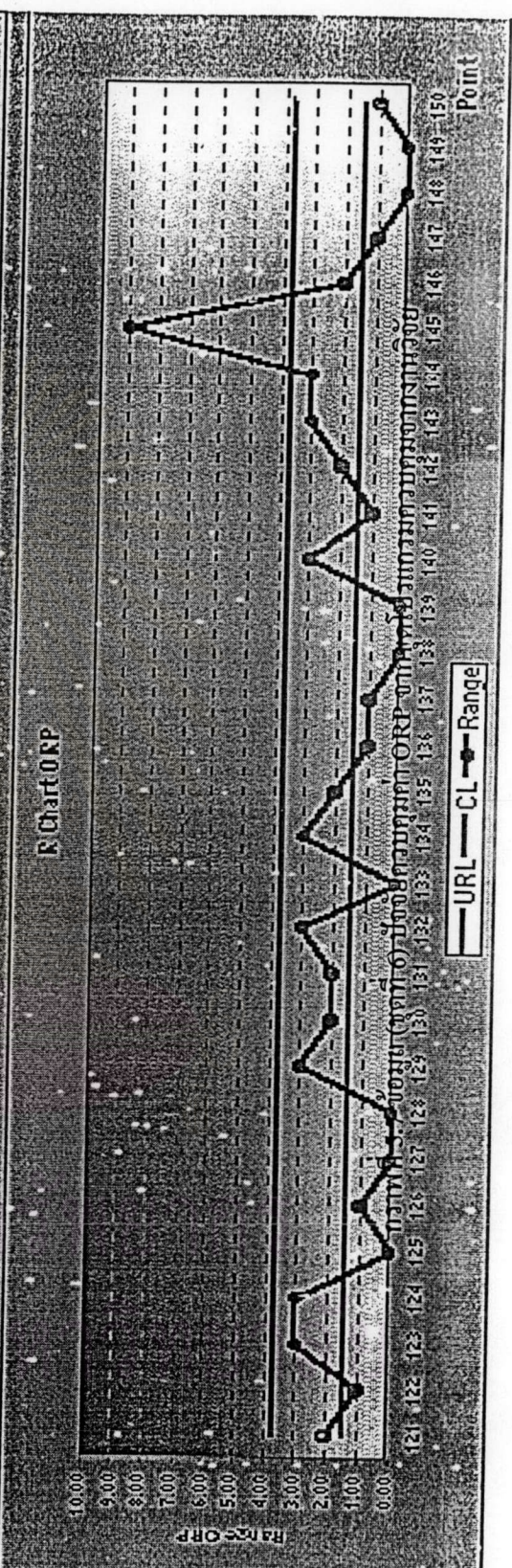
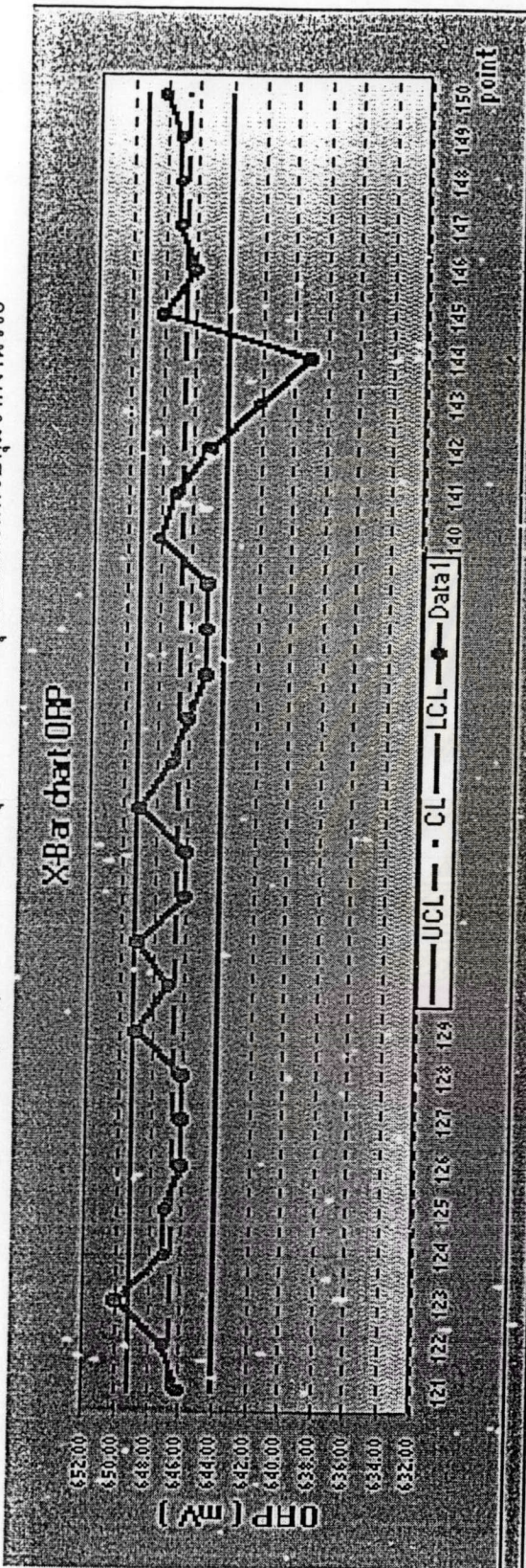
กราฟที่ 5.4 ข้อมูล (ชุดที่ 3) บัญชีควบคุมค่า ORP จากชุดโปรแกรมควบคุมจากงานวิจัย



กราฟที่ 5.5 ข้อมูล (ชุดที่ 4) บัญชีควบคุมค่า ORP จากชุดโปรแกรมควบคุมจากงานวิจัย

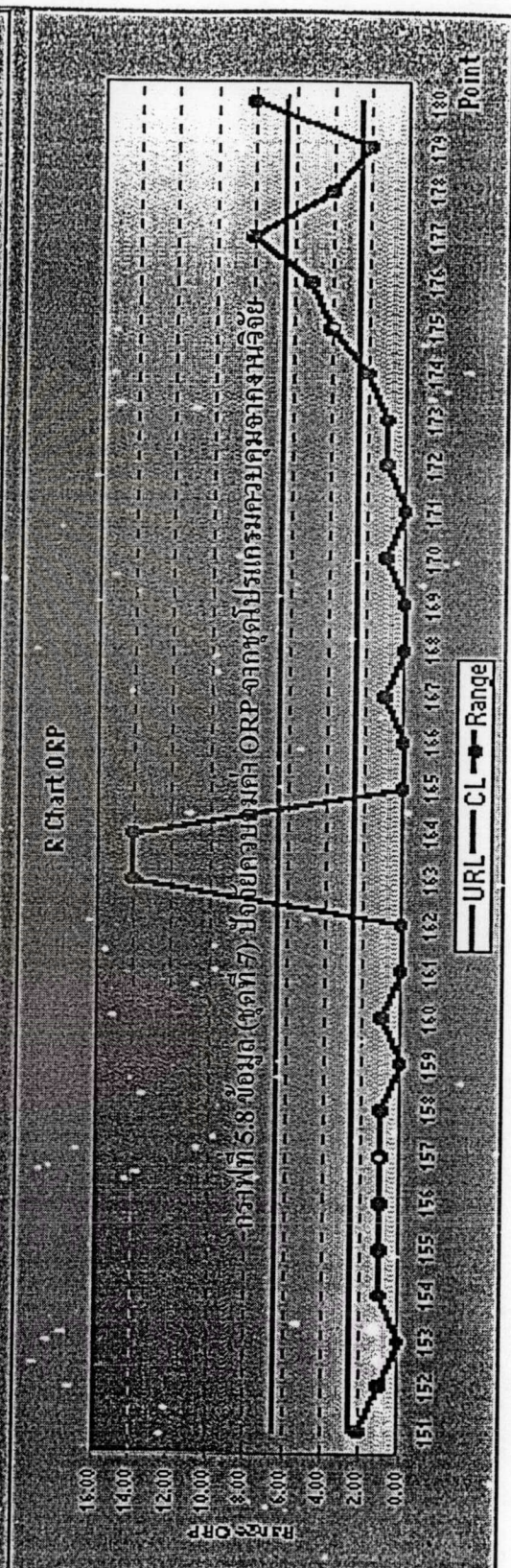
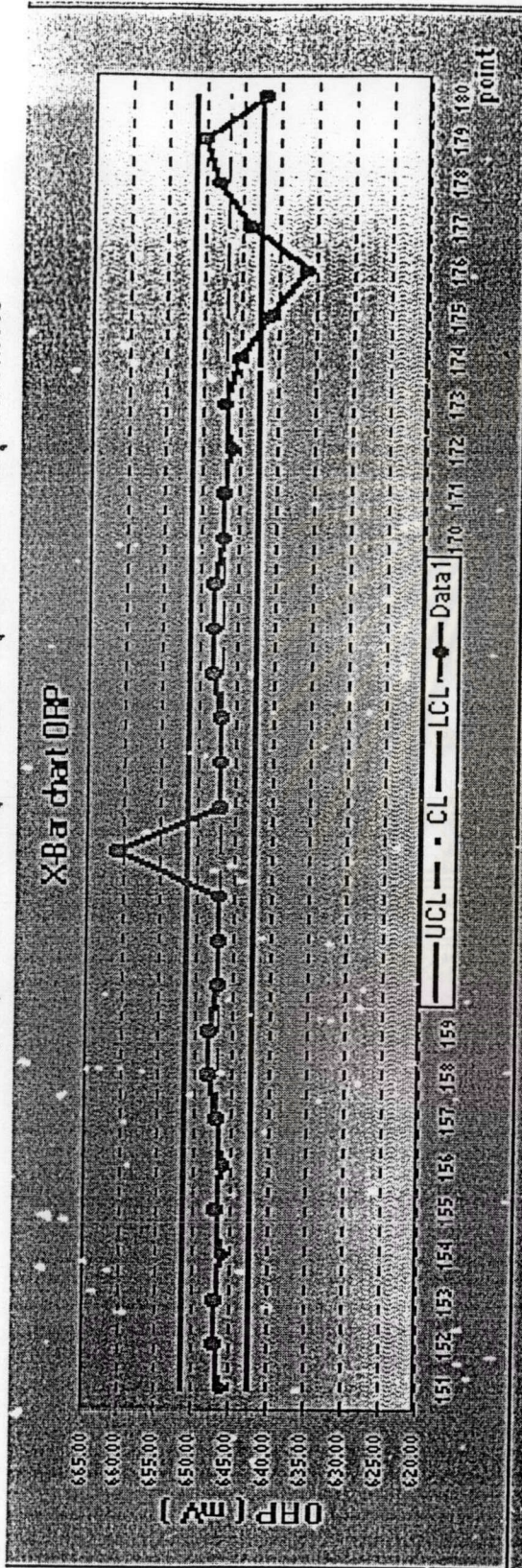


กราฟที่ 5.6 ข้อมูล (ชุดที่ 5) บังคับควบคุมค่า ORP จากชุดโปรแกรมควบคุมจากงานวิจัย

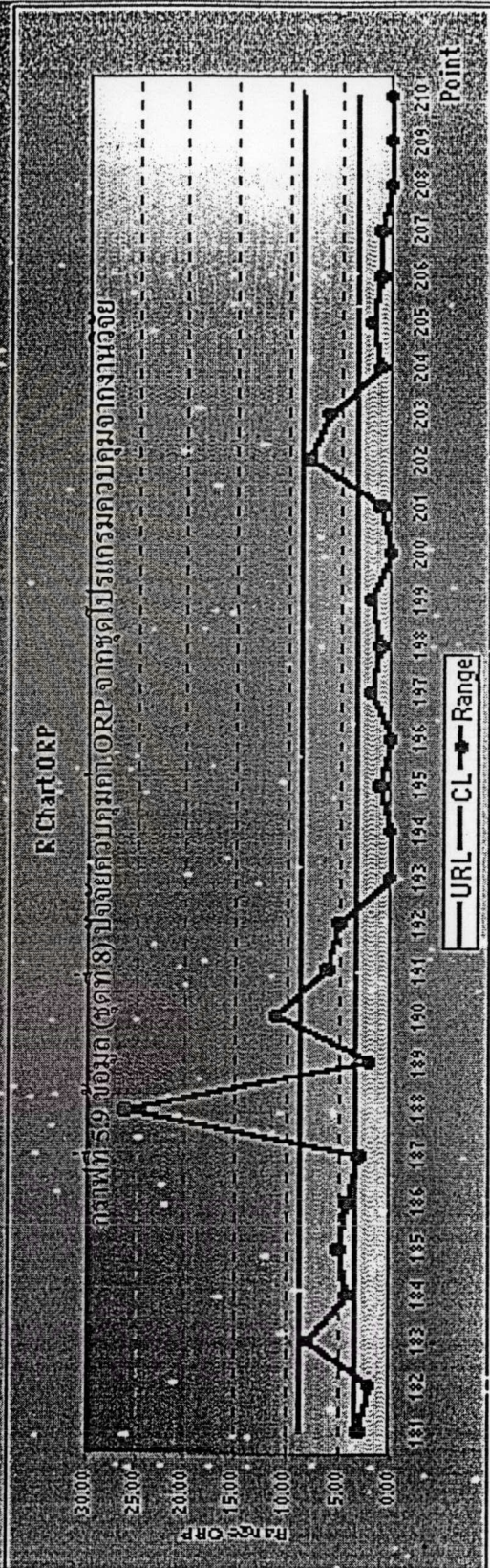
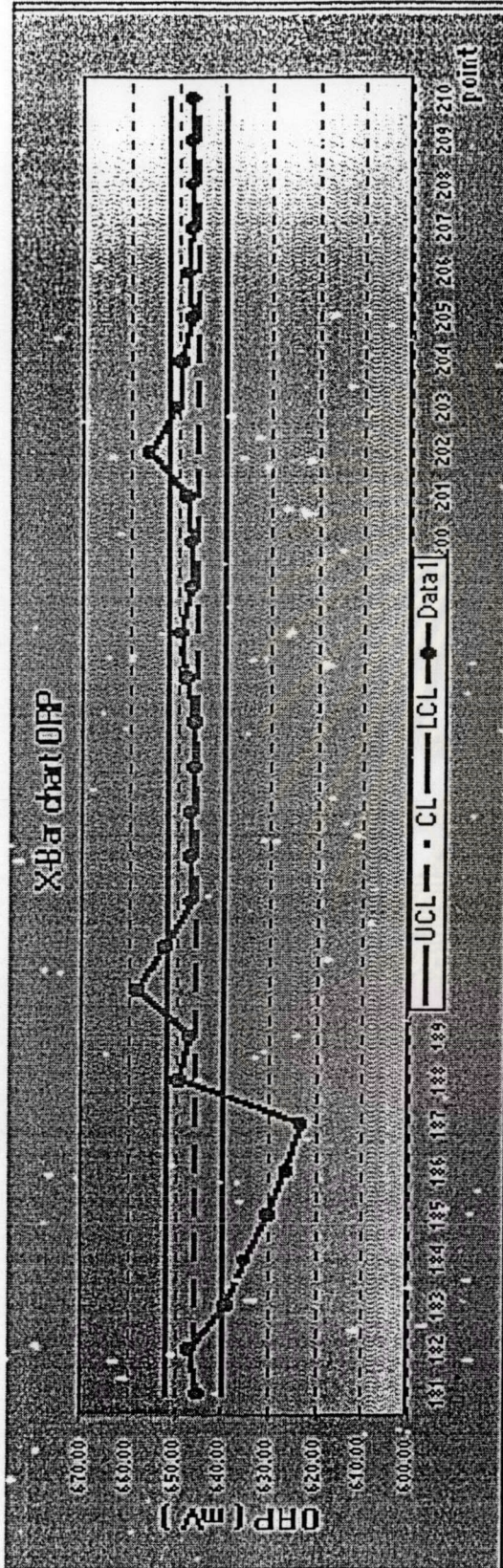




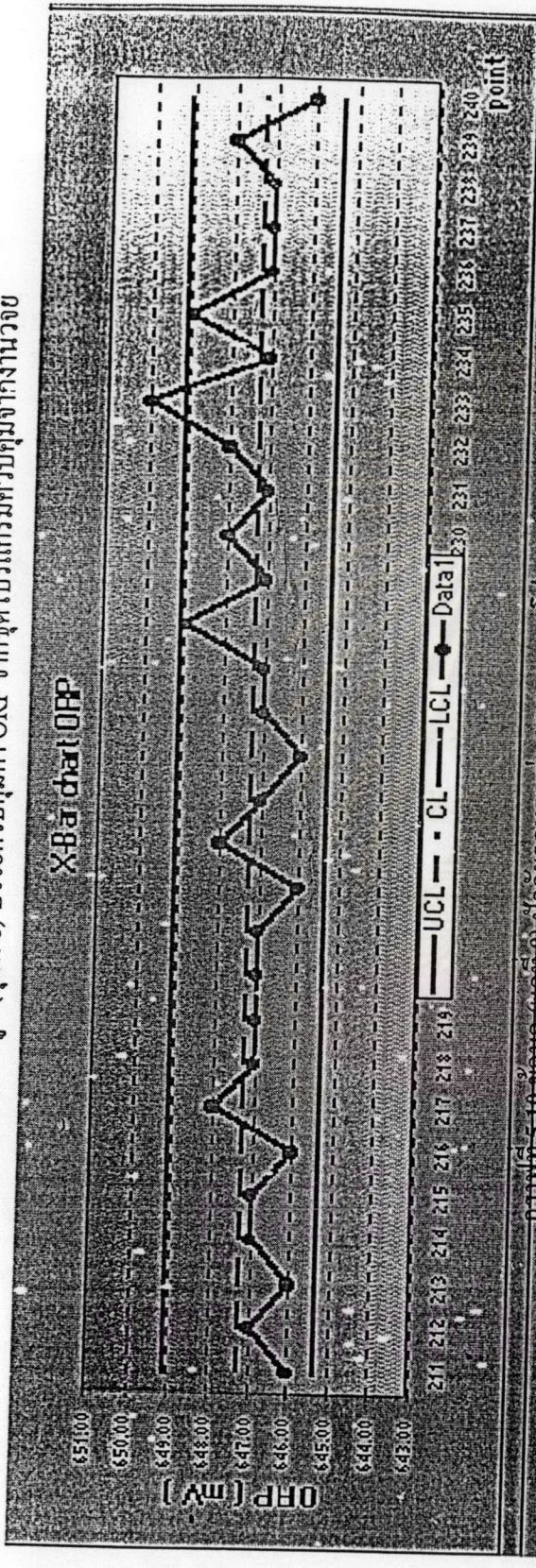
กราฟที่ 5.7 ข้อมูล (ชุดที่ 6) ปัจจัยควบคุมค่า ORP จากชุดโปรแกรมควบคุมจากงานวิจัย



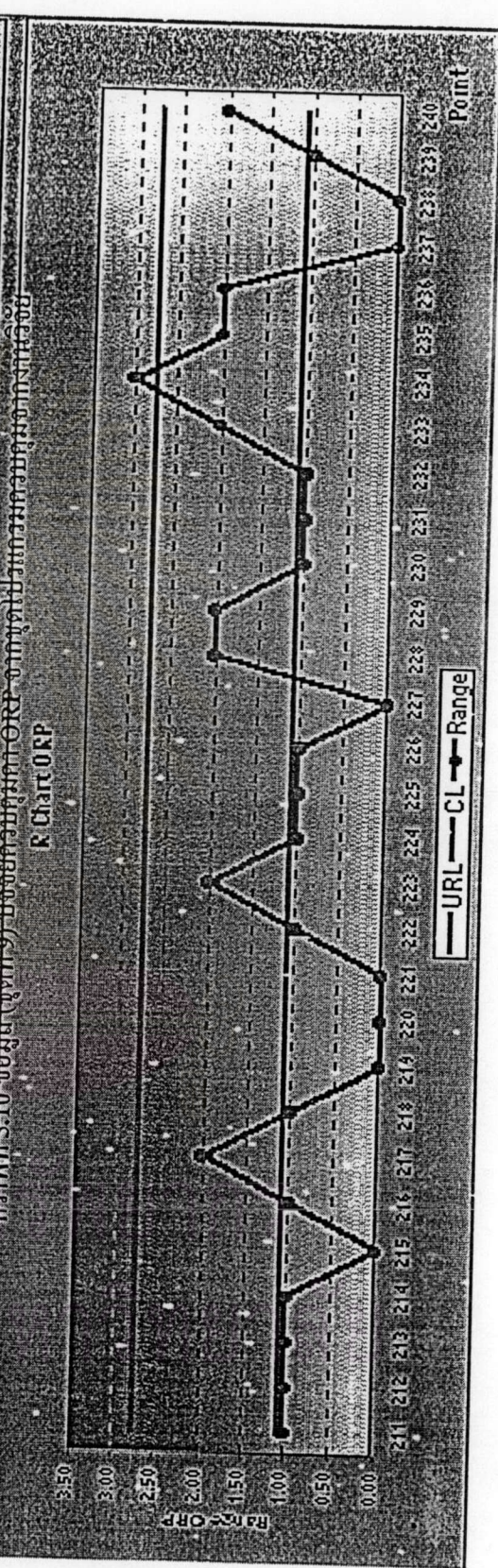
กราฟที่ 5.8 ข้อมูล (ชุดที่ 7) ปัจจัยควบคุมค่า ORP จากชุดโปรแกรมควบคุมจากงานวิจัย



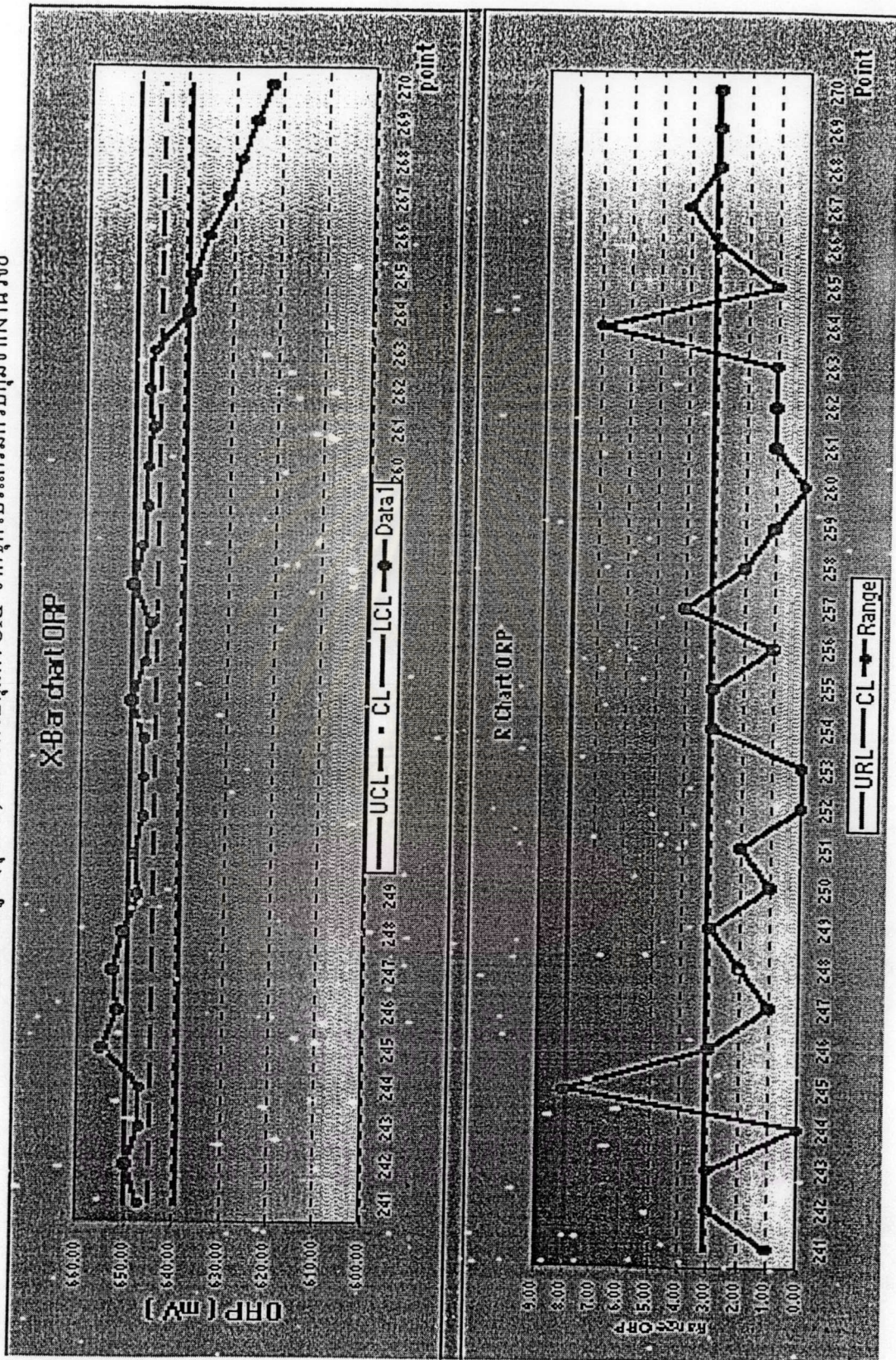
กราฟที่ 5.9 ข้อมูล (ชุดที่ 8) บัญชีควบคุมค่า ORP จากชุดโปรแกรมควบคุมจากงานวิจัย



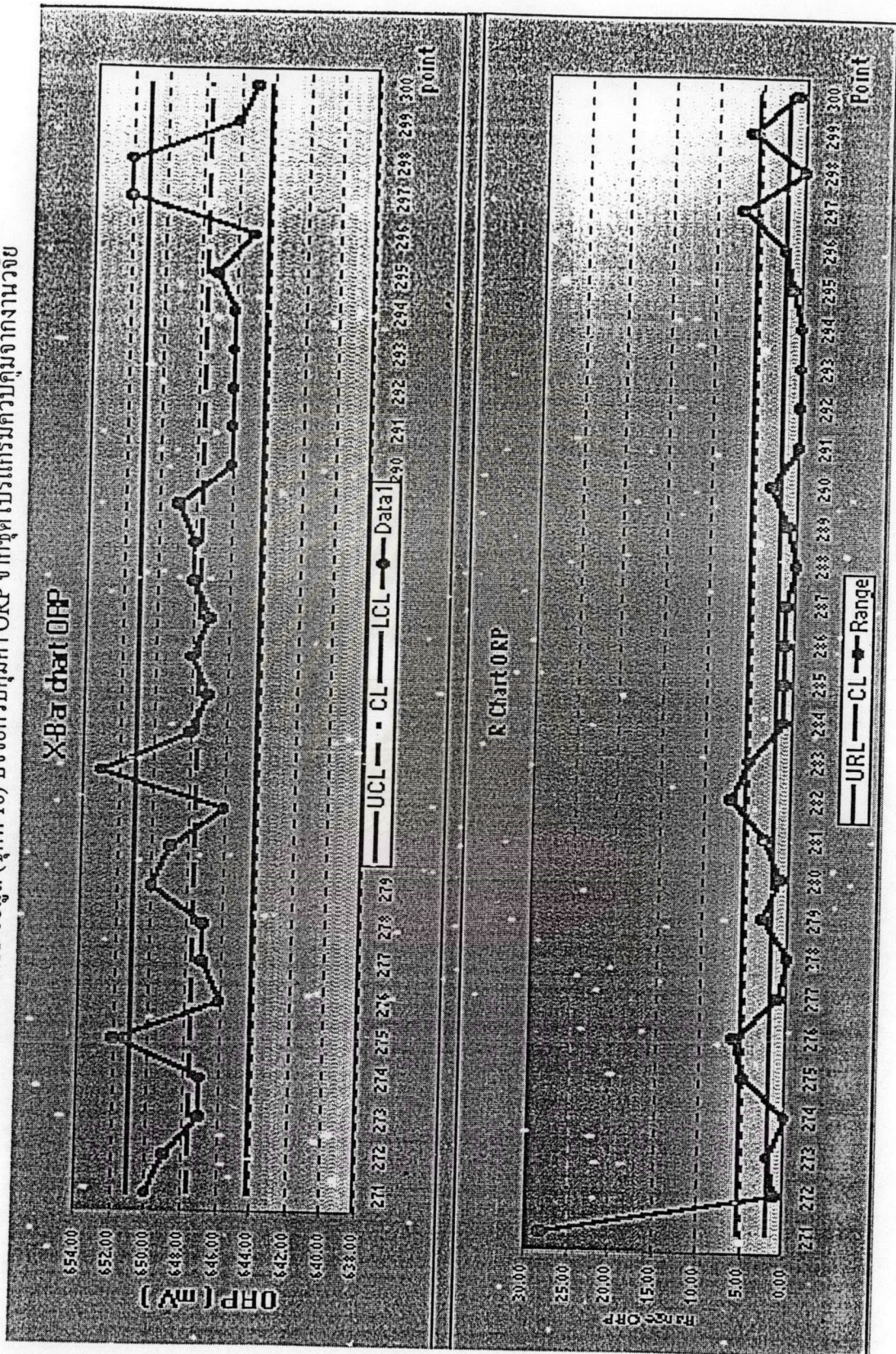
กราฟที่ 5.10 ข้อมูล (ชุดที่ 9) บัญชีควบคุมค่า ORP จากชุดโปรแกรมควบคุมจากงานวิจัย



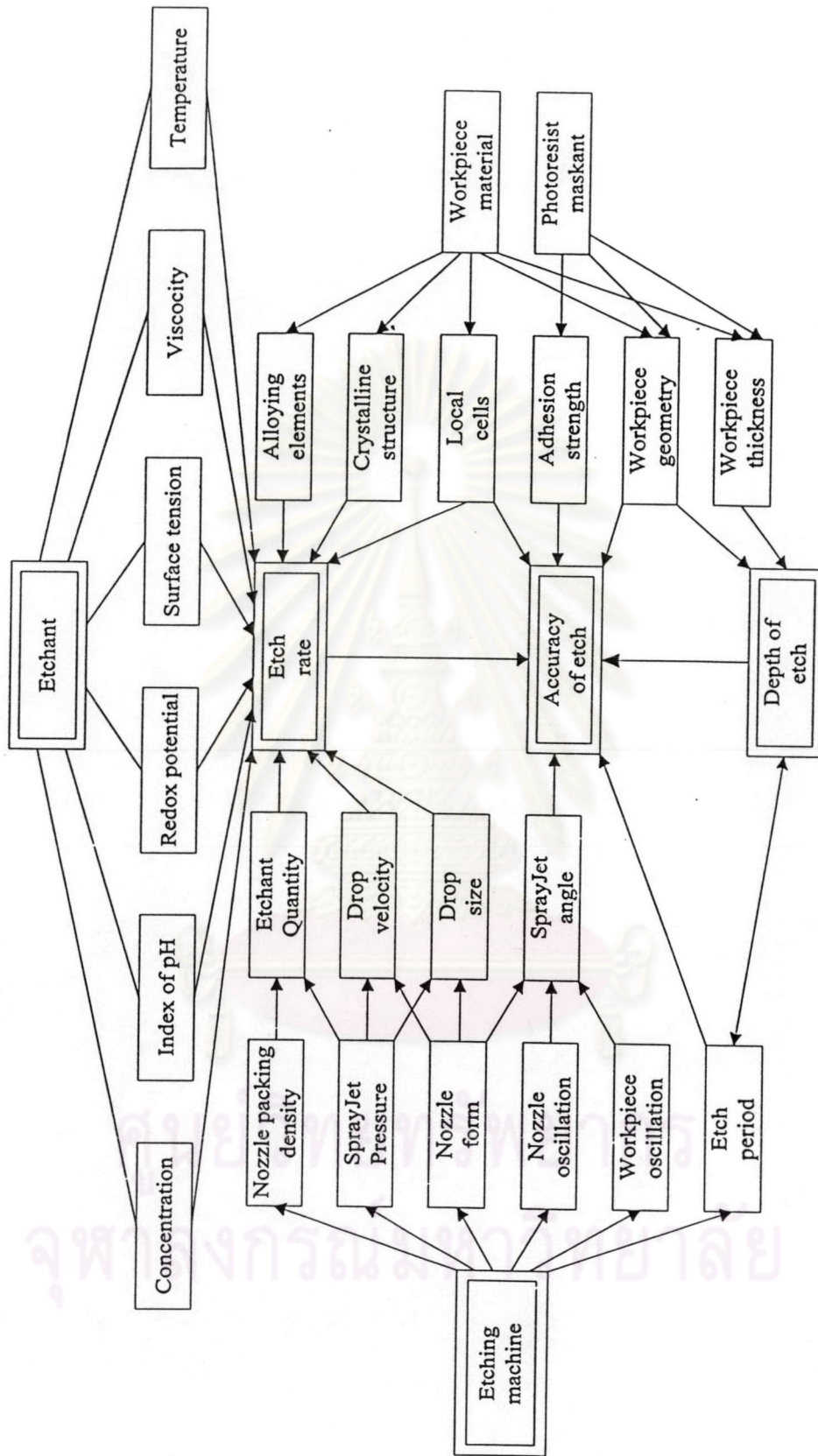
กราฟที่ 5.10 ข้อมูล (ชุดที่ 9) ปัจจัยควบคุมค่า ORP จากชุดโปรแกรมควบคุมจากงานวิจัย



กราฟที่ 5.11 ข้อมูล (ชุดที่ 10) ปัจจัยควบคุมค่า ORP จากชุดโปรแกรมควบคุมจากงานวิจัย



Point



รูปที่ 6.1 ความสัมพันธ์ของปัจจัยสำคัญที่มีอิทธิพลในกระบวนการกัดขึ้นรูปด้วยสารเคมี

1	21	41	61	81	101
2	22	42	62	82	102
3	23	43	63	83	103
4	24	44	64	84	104
5	25	45	65	85	105
6	26	46	66	86	106
7	27	47	67	87	107
8	28	48	68	88	108
9	29	49	69	89	109
10	30	50	70	90	110
11	31	51	71	91	111
12	32	52	72	92	112
13	33	53	73	93	113
14	34	54	74	94	114
15	35	55	75	95	115
16	36	56	76	96	116
17	37	57	77	97	117
18	38	58	78	98	118
19	39	59	79	99	119
20	40	60	80	100	120

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากกราฟที่ 5.2 – 5.11 พบว่าเมื่อนำโปรแกรมควบคุมสำหรับกระบวนการจากการวิจัยมาใช้ควบคุมค่า ORP ในกระบวนการผลิตสถานะปัจจุบัน พบว่า ปริมาณของเสียเฉลี่ย เท่ากับ 5 แผ่น/เดือน ซึ่งสามารถลดปริมาณของเสียได้ 10-15 เท่า อาจกล่าวได้ว่าปริมาณของดีจะเพิ่มขึ้นในอัตราที่เท่ากัน และทำให้สามารถจำกัดปริมาณของเสียที่จะเกิดจากกระบวนการผลิตได้ ส่วนการวิเคราะห์แผนภูมิควบคุมปัจจัยค่า ORP จากโปรแกรม จะรู้ได้จากการกระจายของจุดบนแผนภูมิควบคุมจะแสดงถึงสภาพของกระบวนการผลิตว่าอยู่นอกการควบคุม และต้องหยุดกระบวนการผลิตเพื่อปรับตั้งกระบวนการผลิตใหม่ การแสดงลักษณะใดลักษณะหนึ่งดังต่อไปนี้ ผู้วิจัยต้องทำการตรวจสอบกระบวนการผลิต เพราะกระบวนการผลิตมีสิ่งผิดปกติ และลักษณะที่ควรให้ความสำคัญ คือ

1. มี 1 จุดตกนอก UCL หรือ LCL
2. มี 2 จุดติดต่อกันอยู่ใกล้ UCL หรือ LCL
3. มี 5 จุดติดต่อกันอยู่ด้านใดด้านหนึ่งของ CL
4. มี 5 จุดติดต่อกันที่มีแนวโน้มขึ้นหรือลงตลอด
5. มีจุดที่เปลี่ยนระดับอย่างรวดเร็ว
6. มีจุดที่แสดงเป็นวัฏจักร

การประยุกต์โปรแกรมแผนภูมิควบคุม X-bar – R อย่างต่อเนื่องในเดือนกรกฎาคม ถึง ตุลาคม ทำให้พบปัญหาและสาเหตุ รวมทั้งแนวทางการแก้ไข ซึ่งเป็นผลของความร่วมมือของทั้งฝ่ายบริหารและพนักงาน พบว่าผลที่ได้เป็นที่พอใจ แสดงในตารางที่ 5.3

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ตารางที่ 5.2 ประเมินปัญหา , สาเหตุ และแนวทางแก้ไข

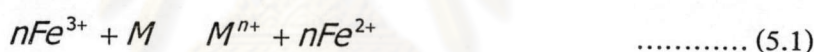
อันดับที่	ปัญหาและสาเหตุ	แนวทางแก้ไข
1	<p><u>ปัญหา</u> : ไฟตก , ไฟดับ ขณะแผ่นขึ้นงานอยู่ในเครื่องจักร เป็นปัญหาที่พบบ่อยมากที่สุด</p> <p><u>สาเหตุ</u> : เกิดจากอุบัติเหตุจากส่วนงานกลางการไฟฟ้าวังน้อย จ.อยุธยา</p>	<p>- ติดต่อ และปรึกษาเรื่องติดตั้งไฟฟ้าสำรองกับหน่วยงานที่รับผิดชอบ แต่่นโยบายของผู้บริหารยอมรับของเสียที่เกิดขึ้นจากไฟตก , ไฟดับ</p> <p>- การไฟฟ้าวังน้อยแจ้งว่ากำลังวางแผนการปรับปรุงและป้องกันกาเกิดอุบัติเหตุ</p>
2	<p><u>ปัญหา</u> : แผ่นขึ้นงานเลื่อนซ้อนติดกันเอง หรือแผ่นขึ้นงานติดสายพานลำเลียง ขณะอยู่ในเครื่องจักร</p> <p><u>สาเหตุ</u> : เกิดจากพนักงานประมาท ไม่ทำตามวิธีการทำงานในเอกสาร</p>	<p>- อบรมวิธีการทำงานที่ถูกต้องตามเอกสารวิธีปฏิบัติงาน และสร้างจิตสำนึกในการทำงานต่องานที่รับผิดชอบ และหน่วยงาน</p>
3	<p><u>ปัญหา</u> : แผ่นขึ้นงานชำรุดจากกระบวนการก่อนหน้า</p> <p><u>สาเหตุ</u> : เกิดจากพนักงานประมาท ไม่ทำตามวิธีการทำงานในเอกสาร</p>	<p>- อบรมวิธีการทำงานที่ถูกต้องตามเอกสารวิธีปฏิบัติงาน และสร้างจิตสำนึกในการทำงานต่องานที่รับผิดชอบ และหน่วยงาน</p>
4	<p><u>ปัญหา</u> : แผ่นขึ้นงานร่วงหล่นในเครื่องจักร</p> <p><u>สาเหตุ</u> : เกิดจากพนักงานประมาท ไม่ทำตามวิธีการทำงานในเอกสาร</p>	<p>- อบรมวิธีการทำงานที่ถูกต้องตามเอกสารวิธีปฏิบัติงาน และสร้างจิตสำนึกในการทำงานต่องานที่รับผิดชอบ และหน่วยงาน</p>

### 5.3 ประเมินผลการปรับปรุงกระบวนการผลิต

5.3.1 ภายหลังจากได้ปัจจัยที่น่าจะมีผลต่อปริมาณของเสียแล้ว ผู้วิจัยได้ทำการออกแบบการทดลองเพื่อพิจารณาว่า ปัจจัยที่เลือกมามีผลปริมาณของเสียจริง ๆ ไปทดลองในขั้นตอนต่างๆ จากการทดลอง ได้ใช้ข้อมูลจากผลการทดลอง พบว่า ปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณของเสีย คือ ค่า ORP ดังนั้นเขียนสมการความสัมพันธ์ ได้ดังนี้

$$\text{ปริมาณของเสีย} = F(\text{ORP})$$

กระบวนการกักขังรูปด้วยสารเคมี จะใช้สารละลาย Ferric chloride เป็นสารละลายสำคัญประเภทกรด และการเลือกใช้สารละลายชนิดนี้ เนื่องจาก สามารถกำจัดทิ้งได้ง่ายไม่ทำลายสิ่งแวดล้อมและที่สำคัญที่สุด คือ ความปลอดภัยและไม่เป็นอันตรายต่อมนุษย์มากที่สุด ส่วนโลหะสแตนเลสที่ใช้ คือ SUS304 (HTA Milk White) โลหะสแตนเลสชนิดนี้ที่ใช้เป็นวัสดุดิบสำคัญในกระบวนการผลิตจะมีส่วนประกอบของ Aluminium, Copper, Iron, Nickel และ Alloys จึงสามารถเขียนเป็นปฏิกิริยาทั่วไป ดังนี้



เมื่อ  $M = \text{Metals}$

ปฏิกิริยาการแตกตัวของโลหะเสถียร ที่อุณหภูมิ  $25^{\circ}\text{C}$  เขียนได้ดังนี้



และ

$$E = E^0 + \frac{2.303RT}{nF} \log \frac{a_{\text{Fe}^{3+}}}{a_{\text{Fe}^{2+}}} \quad \dots\dots\dots (5.3)$$

เมื่อ  $E = \text{ORP}$

$E^0 = \text{Standard potential}$

R	= Gas constant
F	= Faraday constant
n	= 1 (Number of electrons transferred by the oxidizing atom)
T	= Absolute temperature (K)
$a_{Fe^{3+}}$	= Activity of ferric ion = $f_{Fe^{3+}} [Fe^{3+}]$
$a_{Fe^{2+}}$	= Activity of ferric ion = $f_{Fe^{2+}} [Fe^{2+}]$
f	= Ionic activity coefficient

จัดให้อยู่ในรูปสมการอย่างง่าย

$$E = E^0 + 0.0001984T \log_{10} \frac{a_{Fe^{3+}}}{a_{Fe^{2+}}} \quad \dots\dots\dots(5.4)$$

แทนค่า  $E^0 = 0.771$  volts ที่อุณหภูมิ  $25^{\circ}C$

$$E = 0.771 + 0.059 \log_{10} \frac{a_{Fe^{3+}}}{a_{Fe^{2+}}} \quad \dots\dots\dots(5.5)$$

$$E = 0.771 + 0.059 \log_{10} \frac{f_{Fe^{3+}} [Fe^{3+}]}{f_{Fe^{2+}} [Fe^{2+}]} \quad \dots\dots\dots(5.6)$$

เมื่อแทนค่า  $f_{Fe^{3+}} = f_{Fe^{2+}}$  ซึ่งอ่านได้จากตารางที่ จ.1 ในภาคผนวก จ

$$E = 0.771 + 0.059 \log_{10} \frac{[Fe^{3+}]}{[Fe^{2+}]} \quad \dots\dots\dots(5.7)$$

จากสมการปฏิกิริยาที่ (5.1) ค่าความเข้มข้นสารละลายของ  $Fe^{2+}$  ไม่มีผลต่อปฏิกิริยาการกัดโลหะ ดังนั้นจึงเขียนสมการปฏิกิริยาเคมีในรูปอย่างง่ายได้ดังนี้

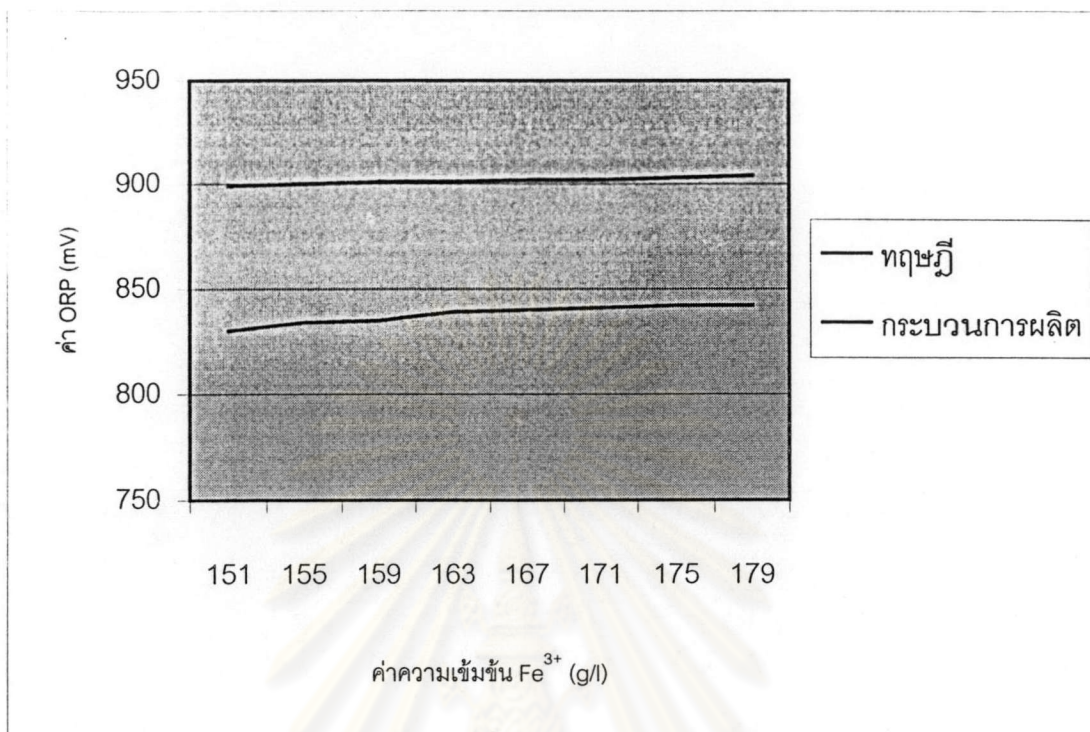
$$E = 0.771 + 0.059 \log_{10} [Fe^{3+}] \quad \dots\dots\dots(5.8)$$

สมการที่ (5.7) เป็น แบบจำลองคณิตศาสตร์ สำหรับการควบคุมกระบวนการกักโลหะ ซึ่งอธิบาย ปรากฏการณ์ของตัวแปรที่สนใจ คือ  $[Fe^{3+}]$  ซึ่งต้องสามารถวัดค่าได้ ก็จะสามารถควบคุม E หรือ ORP กล่าวอีกนัยได้ว่า ก็สามารถควบคุมปริมาณของเสียในการผลิตได้เช่นเดียวกัน แต่ในความเป็นจริง โรงงานตัวอย่างสามารถวิเคราะห์ค่า  $[Fe^{3+}]$  จากการวิเคราะห์ผลโดยวิธีไทเทรตในห้องทดลองเท่านั้น ซึ่งใช้เวลาในการวิเคราะห์ประมาณ 5-10 นาที

5.3.2 การยืนยันผลค่าของ ORP ระหว่างผลที่ได้จากการคำนวณจากทฤษฎีสมการที่ 6.8 และผลที่วัดจากกระบวนการผลิตจริง ได้แสดงในตารางที่ 5.2 ซึ่งค่าที่ได้จากทฤษฎีจะมีค่ามากกว่าการวัดจริงเสมอ ค่าความต่างอยู่ระหว่าง 61-69 mV เนื่องมาจากการอ่านค่าจริงจากเครื่องวัดผิดพลาดและไม่ได้รับการสอบเทียบวัด ตั้งแต่ติดตั้งเครื่องวัด โดยจากผลการทดลอง พบว่า สภาพที่เหมาะสมที่สุด คือ ค่า ORP มากกว่าหรือเท่ากับ 790 mV ดังนั้น โรงงานตัวอย่างก็สามารถควบคุมปริมาณของเสียให้ต่ำที่สุดได้ตามต้องการ

ตารางที่ 5.3 เปรียบเทียบค่าของ ORP ระหว่างผลที่ได้จากทฤษฎีและกระบวนการผลิตจริง

ค่า $[Fe^{3+}]$ (g/l)	ค่า ORP (mv)		
	ทฤษฎี	กระบวนการผลิต	ผลต่าง (ทฤษฎี-กระบวนการผลิต)
151	899	830	69
155	900	834	66
159	901	835	66
163	901	839	62
167	902	840	62
171	902	841	61
175	903	842	61
179	904	842	62

กราฟที่ 5.12 ความสัมพันธ์ของ  $[Fe^{3+}]$  และ ORP

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย