

บทที่ 5

ผลการดำเนินการวิจัย

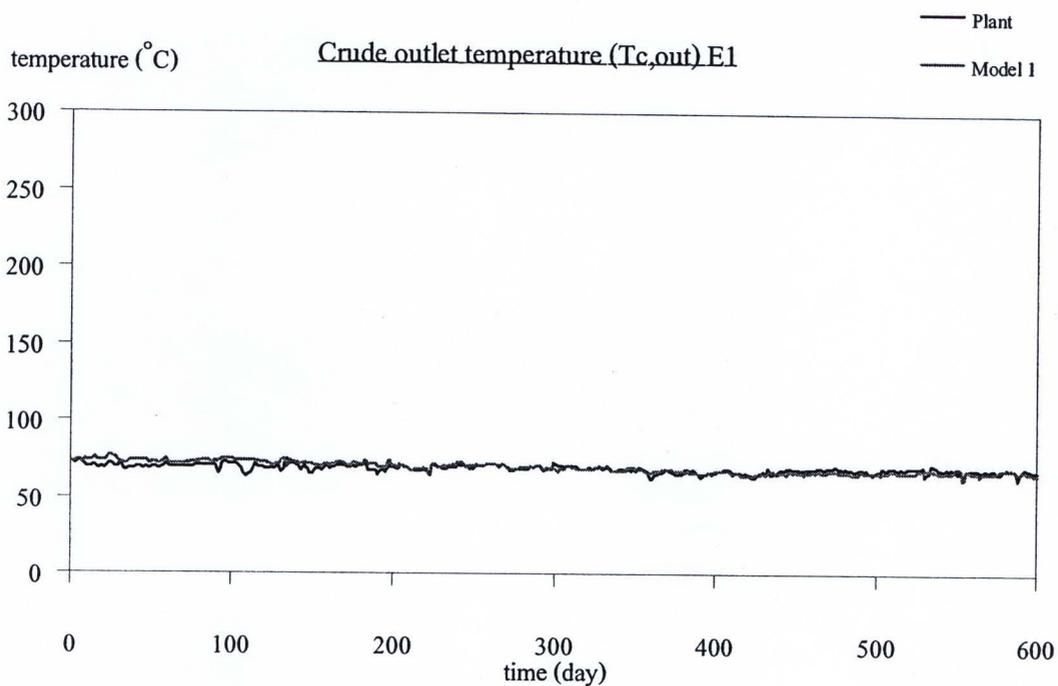
ในบทนี้กล่าวถึงผลการดำเนินการวิจัยและการวิเคราะห์ผลการดำเนินการวิจัย แบ่งได้เป็นสองส่วน คือ ผลการศึกษารูปแบบการเกิดฟาวลิงที่เหมาะสมกับเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนของข่างานในระบบ ทั้งนี้ได้เปรียบเทียบค่าอุณหภูมิขาออกของสายน้ำมันดิบผลิตภัณฑ์ระหว่างผลที่ได้จากการจำลองเทียบกับค่าที่ได้จากโรงงานจริง โดยอาศัยสมการการเกิดฟาวลิง 4 รูปแบบสำหรับใช้จำลองในงานวิจัยนี้ ส่วนที่หนึ่งต่อเนื่องมาถึงส่วนที่สอง คือ ผลการพัฒนาแบบจำลองการเกิดฟาวลิงที่มีผลต่อสมรรถนะทางความร้อน และการเพิ่มพลังงานความร้อนให้กับระบบ

5.1 การศึกษารูปแบบการเกิดฟาวลิงที่เหมาะสมกับข่างานเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

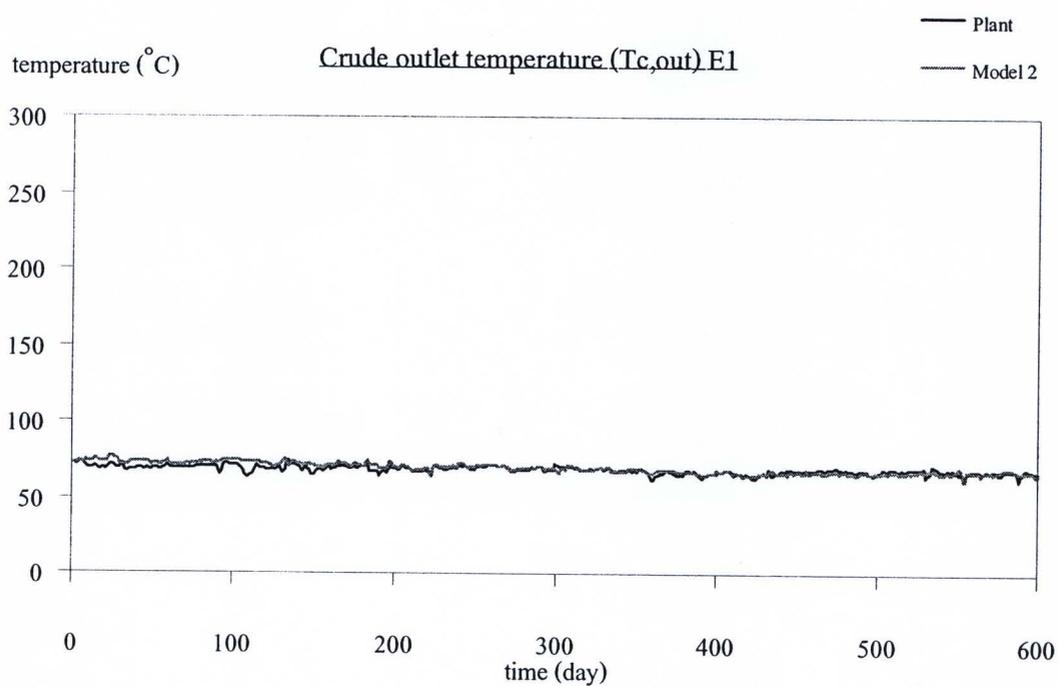
ข่างานเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนของระบบที่ยกนำมาศึกษานั้น ประกอบไปด้วยเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนจำนวน 19 เครื่อง (เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน E1 ถึงเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน E19) เมื่อนำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์มาเขียนโปรแกรมโดยใช้โปรแกรม MATLAB เพื่อทำการจำลอง และเลียนแบบกระบวนการ โดยเทียบจากค่าอุณหภูมิขาออกของสายน้ำมันดิบที่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลา $T_{c,out}$ ที่ซึ่งค่าพารามิเตอร์ที่ต้องการหา คือ ค่าคงที่ของเวลาในการเกิดฟาวลิง ($t_{p,c}$) และค่าคงที่ซึ่งขึ้นกับส่วนประกอบของสายร้อนและสายเย็น (n) ที่เหมาะสมในกระบวนการจริงที่ทำให้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์มีความถูกต้อง และสามารถอธิบายรูปแบบการเกิดฟาวลิงได้ใกล้เคียงกับเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนของกระบวนการจริงมากที่สุด เพื่อให้ได้ความใกล้เคียง และเกิดค่าความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุดจากการสุ่มหาค่าตัวแปรจำเป็นต้องอาศัยค่าความคลาดเคลื่อนผลต่างเฉลี่ยกำลังสอง โดยเทียบค่าความต่างระหว่างข้อมูลที่ได้จากโรงงานจริงกับข้อมูลที่ได้จากการจำลอง ซึ่งให้ได้ค่าจากการคำนวณค่าความคลาดเคลื่อนผลต่างเฉลี่ยกำลังสองมีค่าความแตกต่างน้อยที่สุดระหว่างแบบจำลอง (predict) กับข้อมูลจริง (obs)

ทั้งนี้ได้แสดงผลการจำลองข่างานแลกเปลี่ยนความร้อนในกระบวนการอุ่นน้ำมันดิบ โดยแบ่งการแสดงผลการจำลองเรียงตามเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเริ่มต้น จนกระทั่งสิ้นสุดกระบวนการอุ่นน้ำมันดิบ ตั้งแต่เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน E1 จนกระทั่งถึงเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน E19 ตามลำดับดังนี้

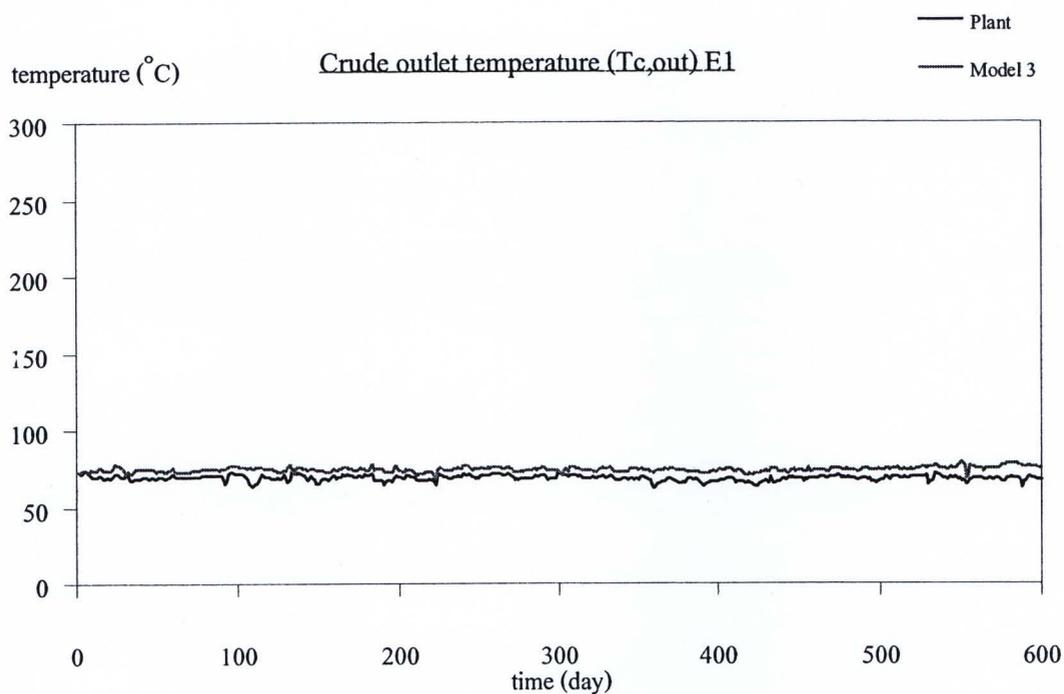
5.1.1 เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน E1



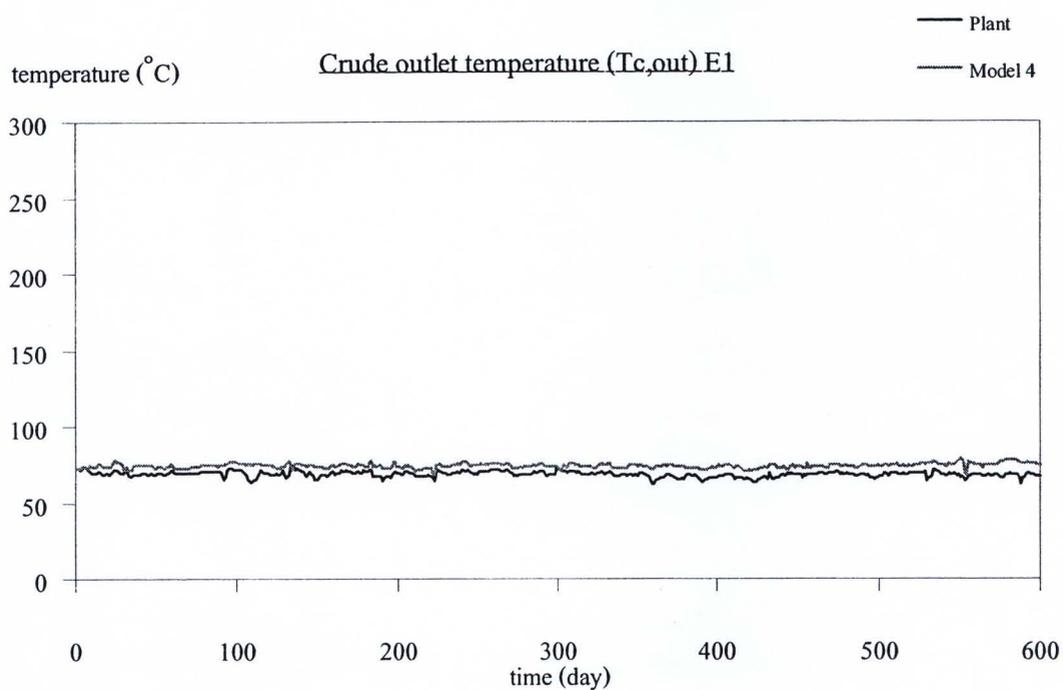
(ก) สมการการเกิดฟาวลิ่งแบบเส้นตรง



(ข) สมการการเกิดฟาวลิ่งแบบกฎยกกำลัง



(ค) สมการการเกิดฟาวลิงแบบอัตราลดลง



(ง) สมการการเกิดฟาวลิงแบบเอกโปเนนเชียล

รูปที่ 5.1 กราฟแสดงอุณหภูมิขาออกสายน้ำมันดิบของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน E1
เปรียบเทียบระหว่างข้อมูลในโรงงานกับผลการจำลอง

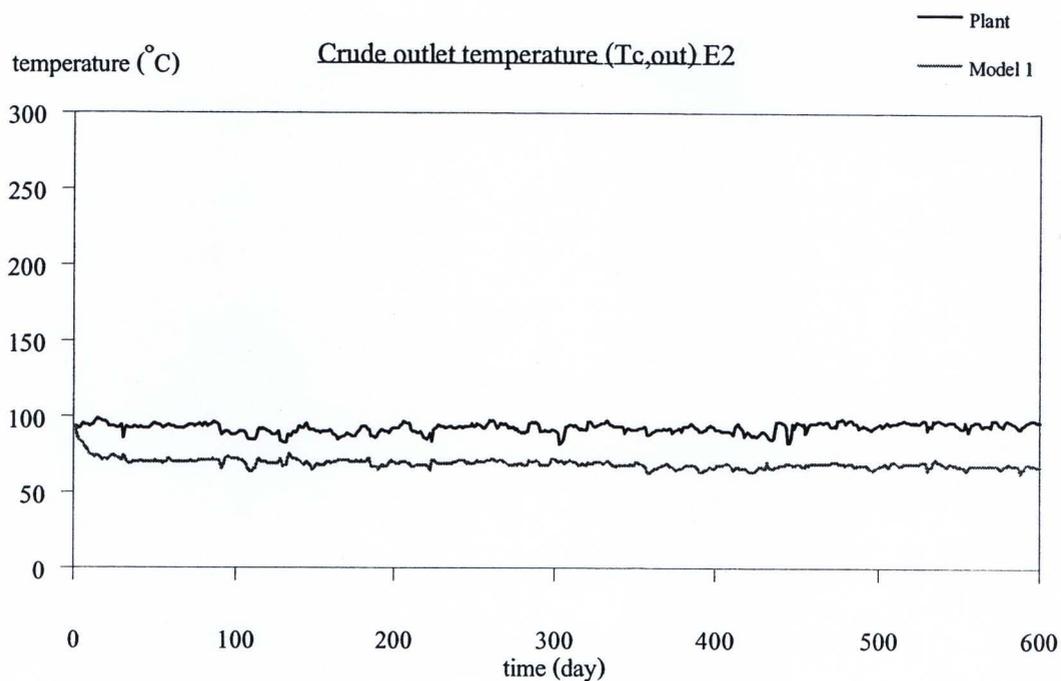
จากผลการจำลองการหาค่าคงที่ของเวลาในการเกิดฟาวลิง ($t_{p,c}$) และค่าคงที่ซึ่งขึ้นกับส่วนประกอบของสายร้อนและสายเย็น (n) โดยการออปติไมซ์ผ่านค่าผลต่างเฉลี่ยกำลังสอง (RMSE) เมื่อใช้ค่าคงที่ของเวลาในการเกิดฟาวลิง ($t_{p,c}$) ที่ 0.9 day และค่าคงที่ซึ่งขึ้นกับส่วนประกอบของสายร้อนและสายเย็น (n) ที่ 0.99 เมื่อแทนค่าลงในแบบจำลองจะทำให้รูปแบบอุณหภูมิขาออกของสายน้ำมันดิบทั้ง 600 วันดำเนินการต่อเนื่องมีค่าใกล้เคียงกันกับข้อมูลที่ได้จากโรงงานจริง โดยสังเกตได้จากค่าผลต่างเฉลี่ยกำลังสอง (RMSE) ที่ได้ค่าออกมาไม่แตกต่างกันมากนัก อีกทั้งเมื่อแทนค่าตัวแปรพารามิเตอร์ดังกล่าวลงไปแบบจำลองยังทำให้ได้ค่าผลต่างเฉลี่ยกำลังสองมีค่าความแตกต่างน้อยที่สุดระหว่างแบบจำลอง (predict) กับข้อมูลจริง (obs) แสดงว่ามีความเที่ยงตรง และใกล้เคียงกับกระบวนการจริงมากที่สุด

ตารางที่ 5.1 เปรียบเทียบค่าข้อมูลจากโรงงานกับค่าจากการจำลองของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน E1 ที่พารามิเตอร์ $t_{p,c} = 0.9$ day และ $n = 0.99$

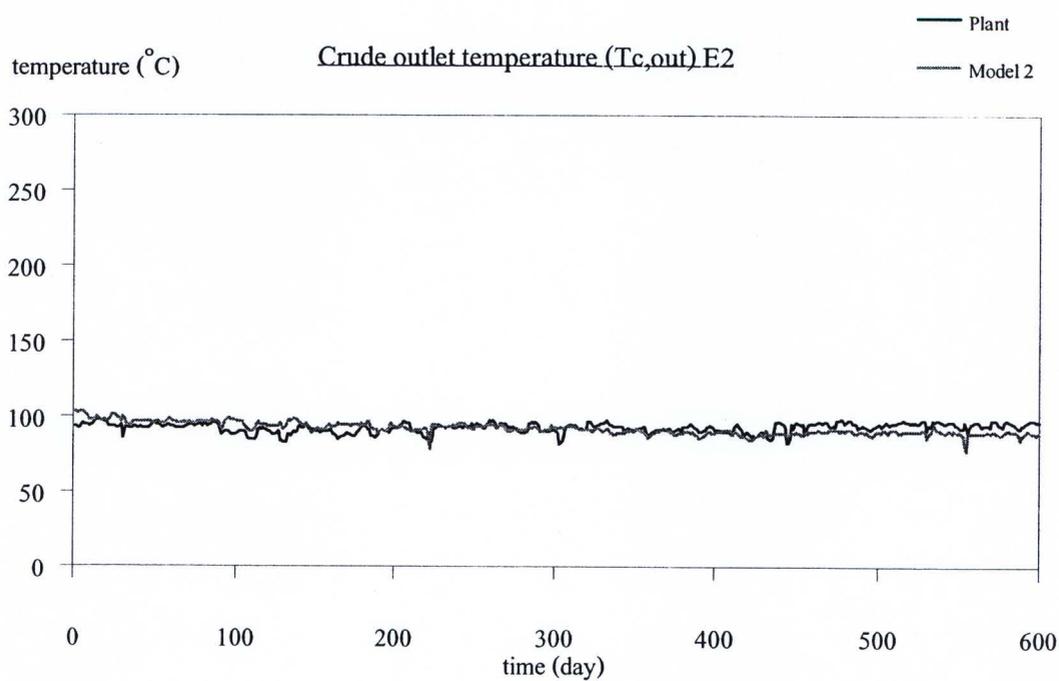
	RMSE
สมการแบบเส้นตรง (Linear fouling model)	2.4535
สมการแบบกฎยกกำลัง (Power-law fouling model)	2.4483
สมการแบบอัตราลดลง (Falling-rate fouling model)	5.8281
สมการแบบเอกไปเนนเชียล (Asymptotic fouling model)	5.8249

เมื่อเปรียบเทียบผลจากการจำลองระหว่างอุณหภูมิขาออกของสายน้ำมันดิบที่ได้จากโรงงานจริงกับผลที่ได้จากการจำลอง โดยเทียบผ่านสมการการเกิดฟาวลิงทั้ง 4 รูปแบบได้แก่ สมการแบบเส้นตรง (Linear fouling model) สมการแบบกฎยกกำลัง (Power-law fouling model) สมการแบบอัตราลดลง (Falling-rate fouling model) และสมการแบบเอกไปเนนเชียล (Asymptotic fouling model) ดังแสดงในตารางที่ 5.1 พบว่าสำหรับเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน E1 มีรูปแบบการเกิดฟาวลิงใกล้เคียงกับสมการการเกิดฟาวลิงแบบกฎยกกำลังมากที่สุด ซึ่งมีค่าผลต่างเฉลี่ยกำลังสอง (RMSE) น้อยที่สุดเท่ากับ 2.4483 จากผลการจำลองสามารถอธิบายรูปแบบการเกิดฟาวลิงของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน E1 ได้จากความสัมพันธ์ของสมการการเกิดฟาวลิงแบบกฎยกกำลัง (Power-law fouling model)

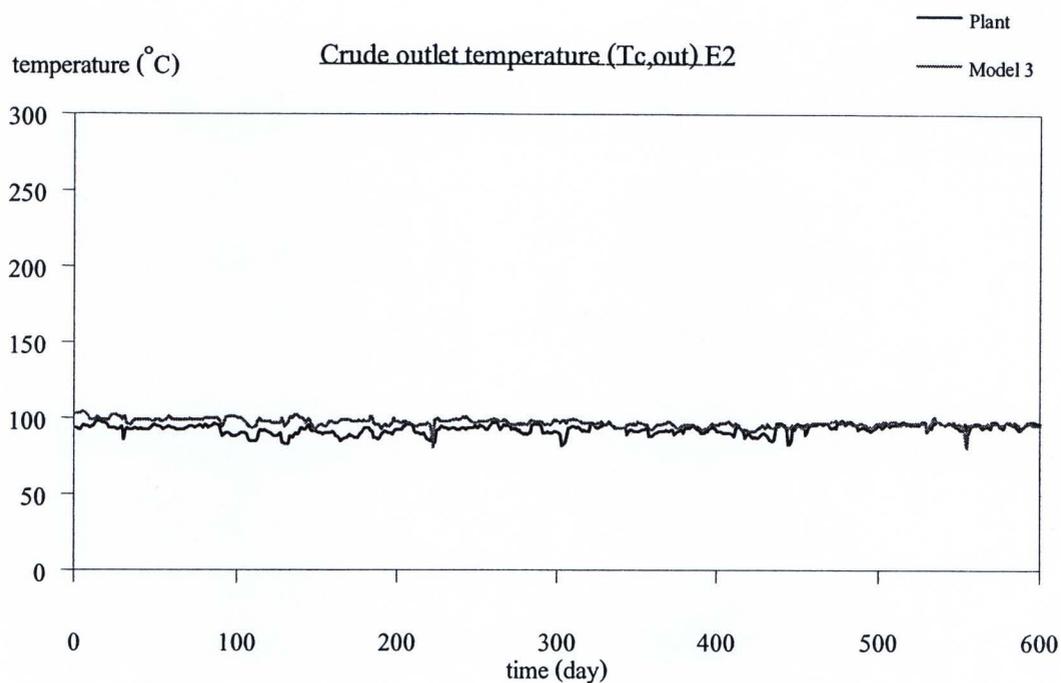
5.1.2 เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน E2



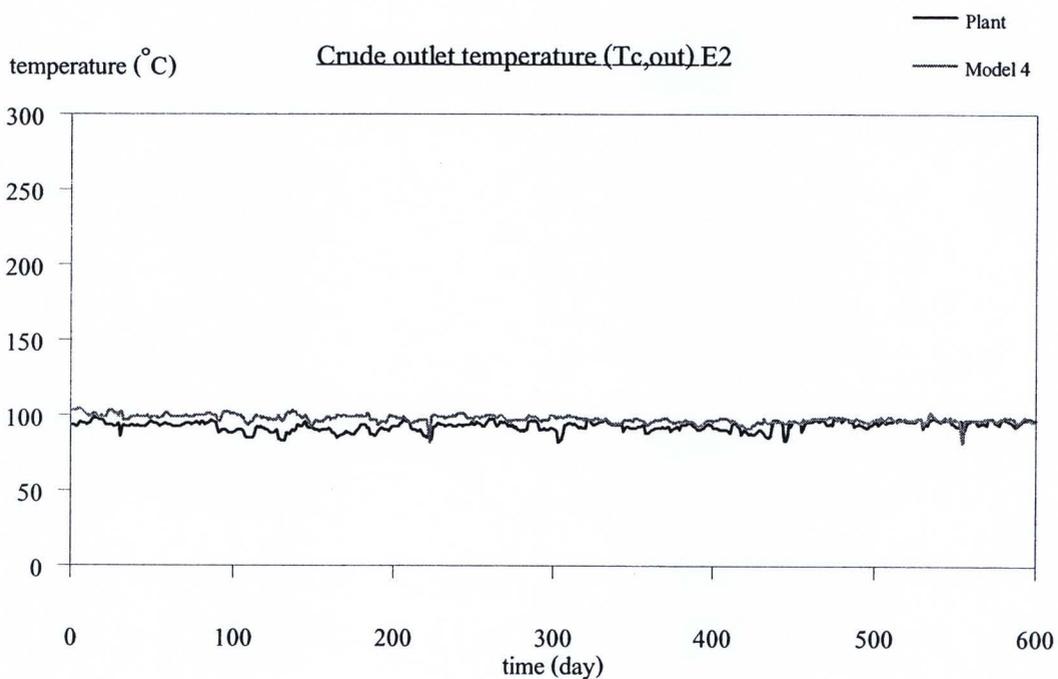
(ก) สมการการเกิดฟาวลิ่งแบบเส้นตรง



(ข) สมการการเกิดฟาวลิ่งแบบกฎยกกำลัง



(ค) สมการการเกิดฟาวลิงแบบอัตราลดลง



(ง) สมการการเกิดฟาวลิงแบบเอกโปเนนเชียล

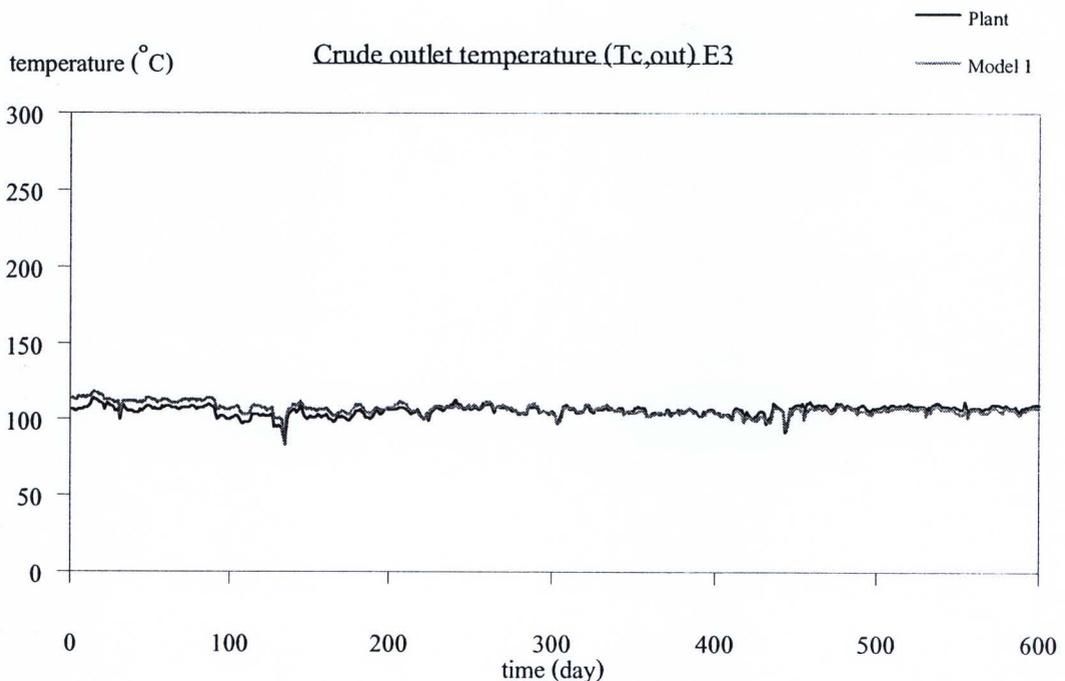
รูปที่ 5.2 กราฟแสดงอุณหภูมิขาออกสายนํ้ามันดิบของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน E2
เปรียบเทียบระหว่างข้อมูลในโรงงานกับผลการจำลอง

ตารางที่ 5.2 เปรียบเทียบค่าข้อมูลจากโรงงานกับค่าจากการจำลองของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน E2 ที่พารามิเตอร์ $t_{p,c} = 0.00098$ day และ $n = 0.5$

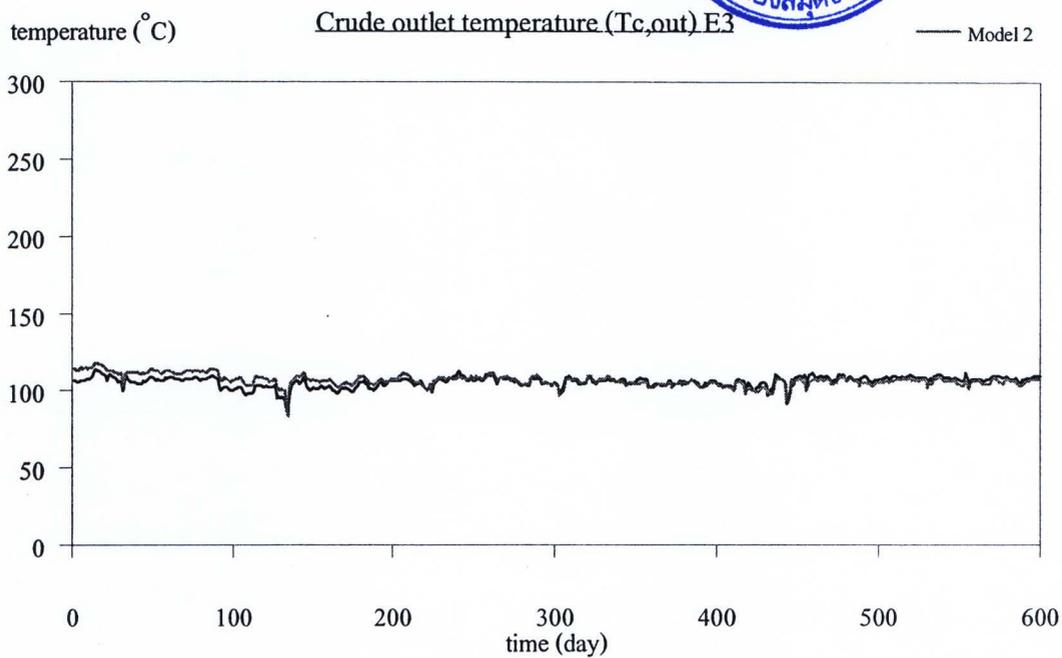
	RMSE
สมการแบบเส้นตรง (Linear fouling model)	23.9662
สมการแบบกฎยกกำลัง (Power-law fouling model)	4.6881
สมการแบบอัตราลดลง (Falling-rate fouling model)	5.5253
สมการแบบเอกไปเนนเชียล (Asymptotic fouling model)	5.9704

เมื่อเปรียบเทียบผลจากการจำลองระหว่างอุณหภูมิขาออกของสายน้ำมันดิบที่ได้จากโรงงานจริงกับผลที่ได้จากการจำลอง โดยเทียบผ่านสมการการเกิดฟาวลิงทั้ง 4 รูปแบบ ดังแสดงในตารางที่ 5.2 พบว่าสำหรับเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน E2 มีรูปแบบการเกิดฟาวลิงใกล้เคียงกับสมการการเกิดฟาวลิงแบบกฎยกกำลังมากที่สุด ซึ่งมีค่าผลต่างเฉลี่ยกำลังสอง (RMSE) น้อยที่สุดเท่ากับ 4.6881 จากผลการจำลองสามารถอธิบายรูปแบบการเกิดฟาวลิงของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน E2 ได้จากความสัมพันธ์ของสมการการเกิดฟาวลิงแบบกฎยกกำลัง (Power-law fouling model)

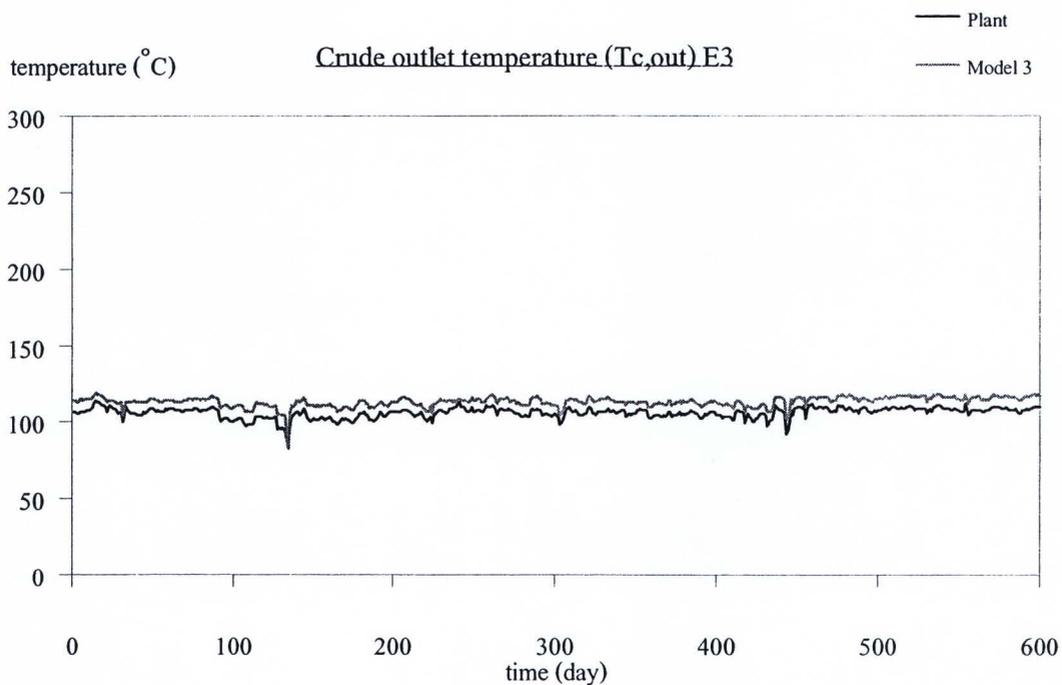
5.1.3 เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน E3



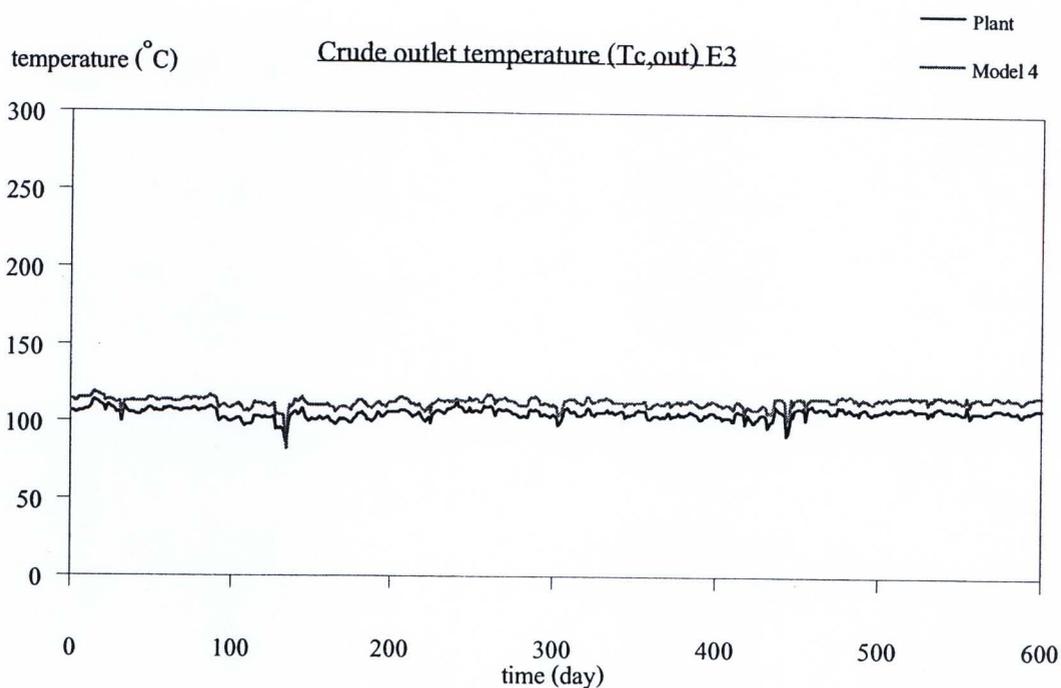
(ก) สมการการเกิดฟาวลิงแบบเส้นตรง



(ข) สมการการเกิดฟาวลิ่งแบบกฏยกกำลัง



(ค) สมการการเกิดฟาวลิ่งแบบอัตราลดลง



(ง) สมการการเกิดฟาวลิงแบบเอกโปเนนเชียล

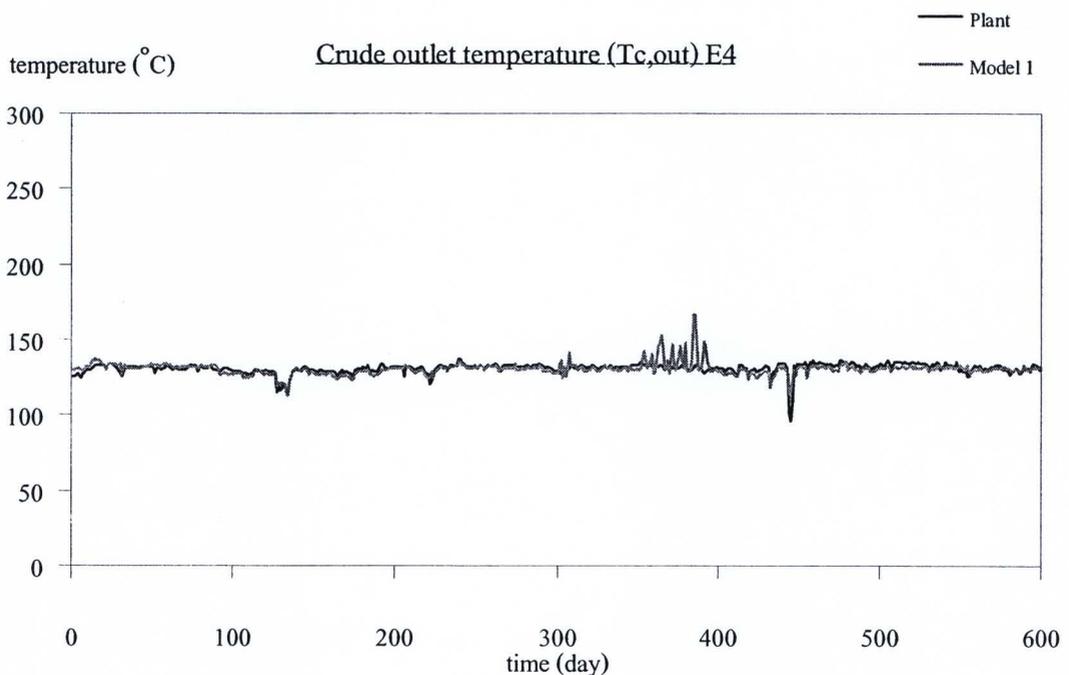
รูปที่ 5.3 กราฟแสดงอุณหภูมิขาออกสายน้ำมันดิบของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน E3
เปรียบเทียบระหว่างข้อมูลในโรงงานกับผลการจำลอง

ตารางที่ 5.3 เปรียบเทียบค่าข้อมูลจากโรงงานกับค่าจากการจำลองของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน E3 ที่พารามิเตอร์ $t_{p,c} = 0.19$ day และ $n = -$

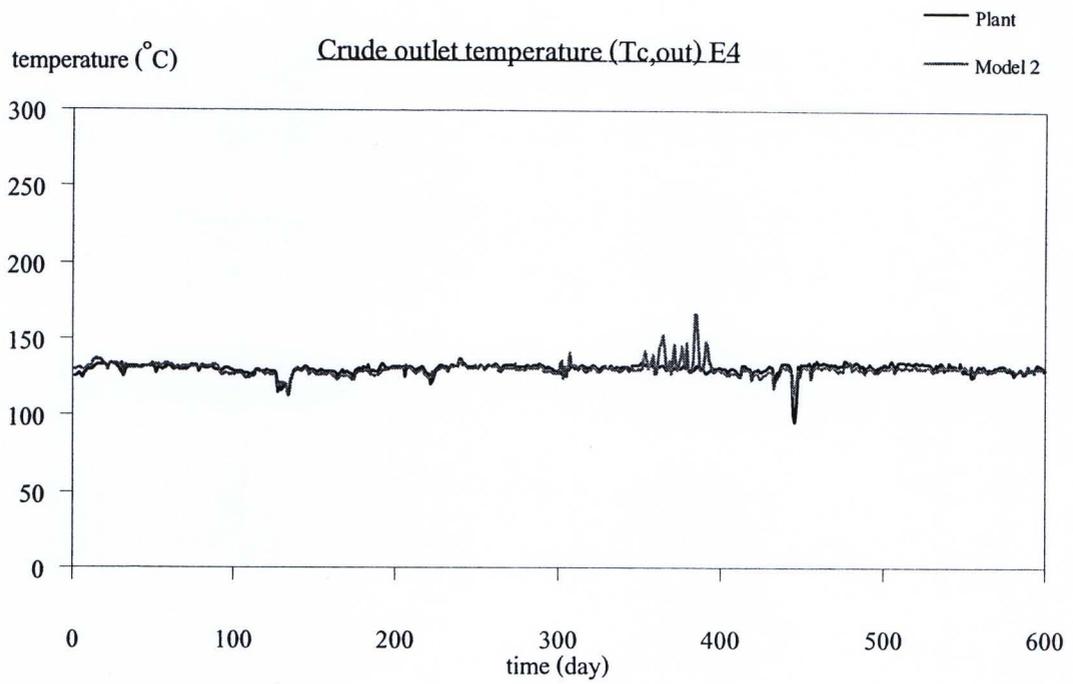
	RMSE
สมการแบบเส้นตรง (Linear fouling model)	3.1443
สมการแบบกฎยกกำลัง (Power-law fouling model)	3.1444
สมการแบบอัตราลดลง (Falling-rate fouling model)	7.2579
สมการแบบเอกโปเนนเชียล (Asymptotic fouling model)	7.3786

เมื่อเปรียบเทียบผลจากการจำลองระหว่างอุณหภูมิขาออกของสายน้ำมันดิบที่ได้จากโรงงานจริงกับผลที่ได้จากการจำลอง โดยเทียบผ่านสมการการเกิดฟาวลิงทั้ง 4 รูปแบบ ดังแสดงในตารางที่ 5.3 พบว่าสำหรับเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน E3 มีรูปแบบการเกิดฟาวลิงใกล้เคียงกับสมการการเกิดฟาวลิงแบบเส้นตรงมากที่สุด ซึ่งมีค่าผลต่างเฉลี่ยกำลังสอง (RMSE) น้อยที่สุดเท่ากับ 3.1443 จากผลการจำลองสามารถอธิบายรูปแบบการเกิดฟาวลิงของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน E3 ได้จากความสัมพันธ์ของสมการการเกิดฟาวลิงแบบเส้นตรง (Linear fouling model)

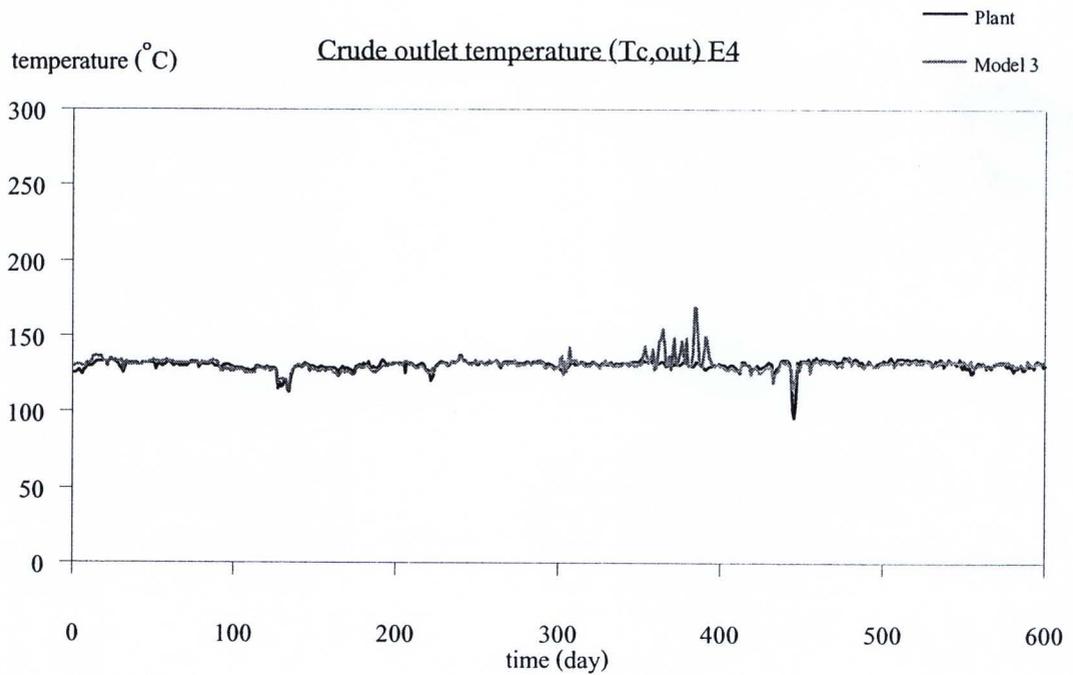
5.1.4 เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน E4



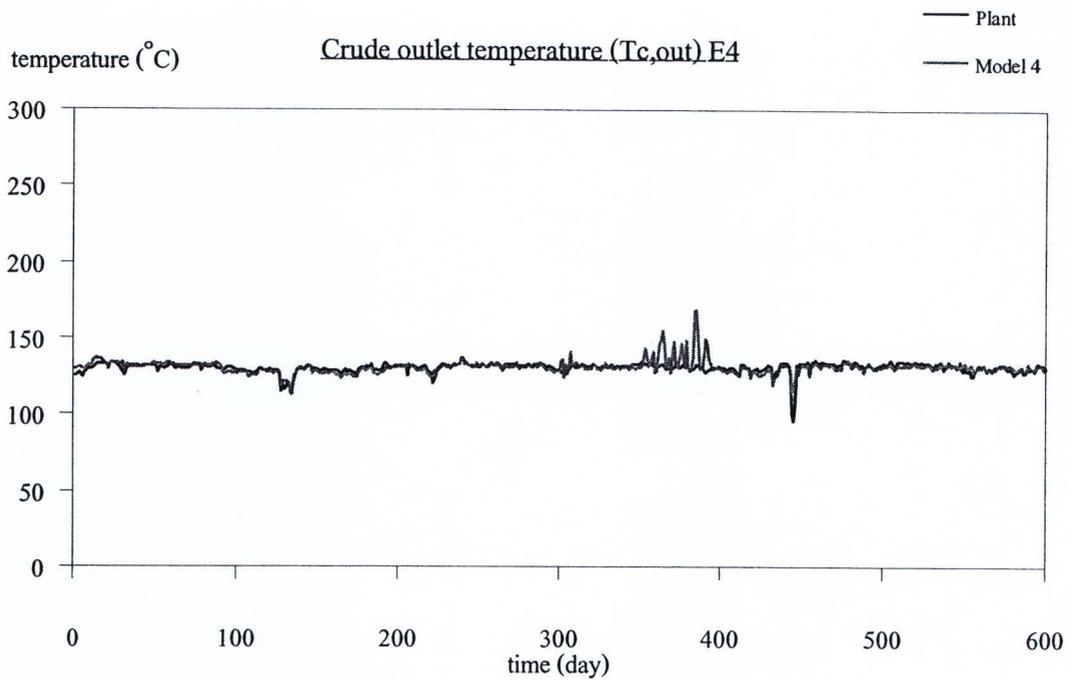
(ก) สมการการเกิดฟาวลิงแบบเส้นตรง



(ข) สมการการเกิดฟาวลิ่งแบบกฎยกกำลัง



(ค) สมการการเกิดฟาวลิ่งแบบอัตราลดลง



(ง) สมการการเกิดฟาวลิงแบบเอกโปเนนเชียล

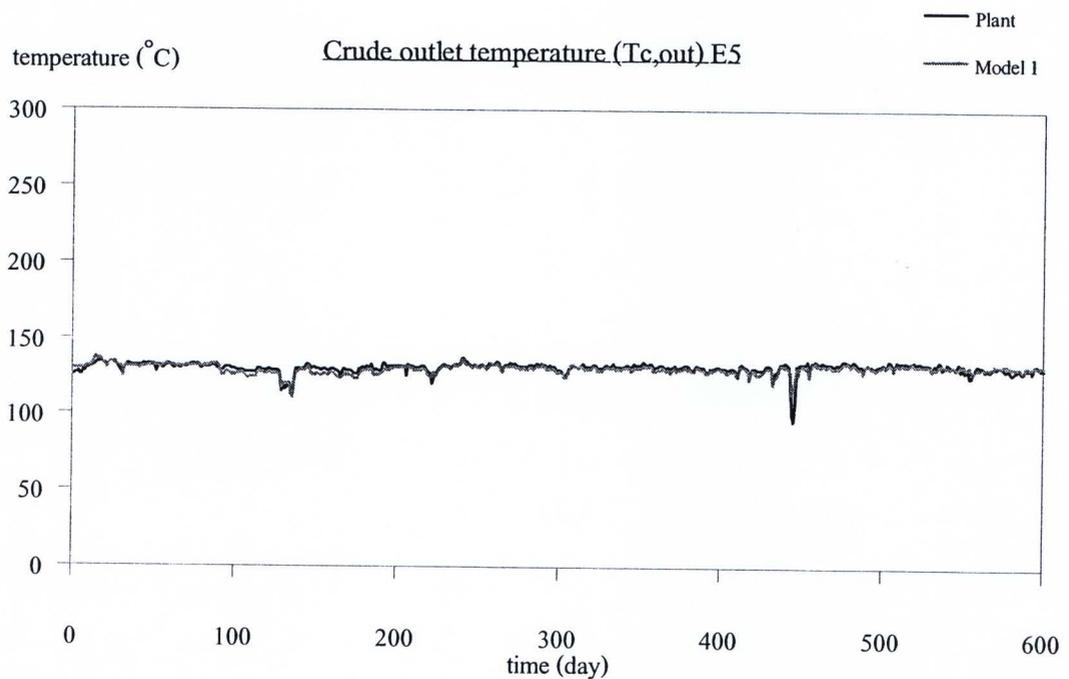
รูปที่ 5.4 กราฟแสดงอุณหภูมิขาออกสายน้ำมันดิบของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน E4
เปรียบเทียบระหว่างข้อมูลในโรงงานกับผลการจำลอง

ตารางที่ 5.4 เปรียบเทียบค่าข้อมูลจากโรงงานกับค่าจากการจำลองของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน E4 ที่พารามิเตอร์ $t_{p,c} = 5$ day และ $n = -$

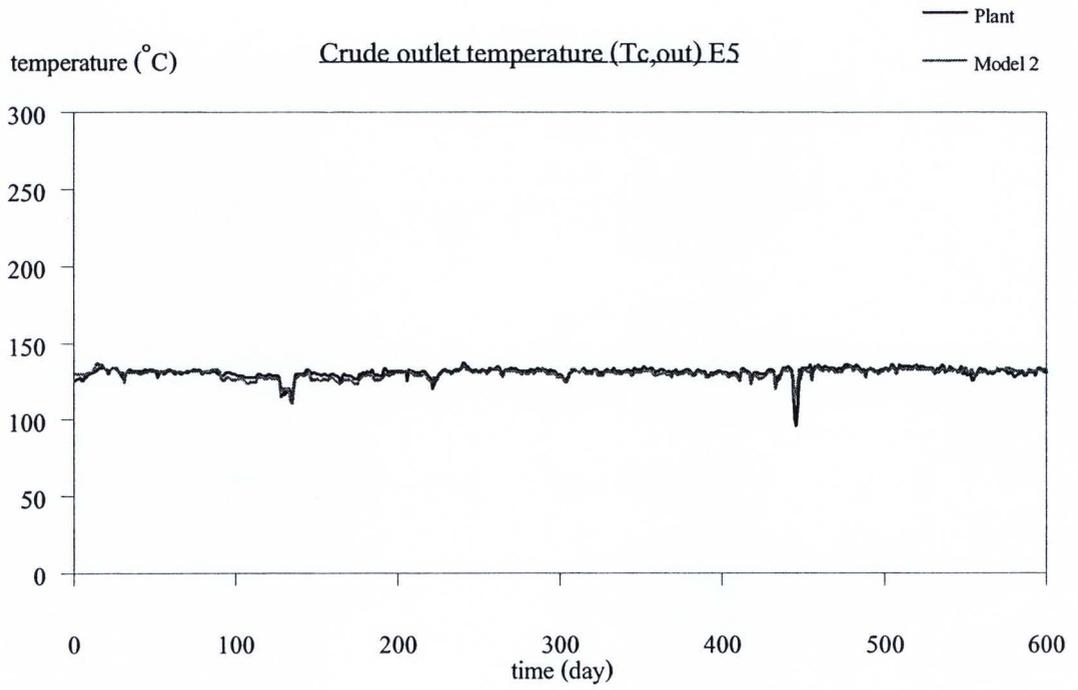
	RMSE
สมการแบบเส้นตรง (Linear fouling model)	3.9525
สมการแบบกฎยกกำลัง (Power-law fouling model)	3.9625
สมการแบบอัตราลดลง (Falling-rate fouling model)	4.0331
สมการแบบเอกโปเนนเชียล (Asymptotic fouling model)	4.0133

เมื่อเปรียบเทียบผลจากการจำลองระหว่างอุณหภูมิขาออกของสายน้ำมันดิบที่ได้จากโรงงานจริงกับผลที่ได้จากการจำลอง โดยเทียบผ่านสมการการเกิดฟาวลิงทั้ง 4 รูปแบบ ดังแสดงในตารางที่ 5.4 พบว่าสำหรับเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน E4 มีรูปแบบการเกิดฟาวลิงใกล้เคียงกับสมการการเกิดฟาวลิงแบบเส้นตรงมากที่สุด ซึ่งมีค่าผลต่างเฉลี่ยกำลังสอง (RMSE) น้อยที่สุดเท่ากับ 3.9525 จากผลการจำลองสามารถอธิบายรูปแบบการเกิดฟาวลิงของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน E4 ได้จากความสัมพันธ์ของสมการการเกิดฟาวลิงแบบเส้นตรง (Linear fouling model)

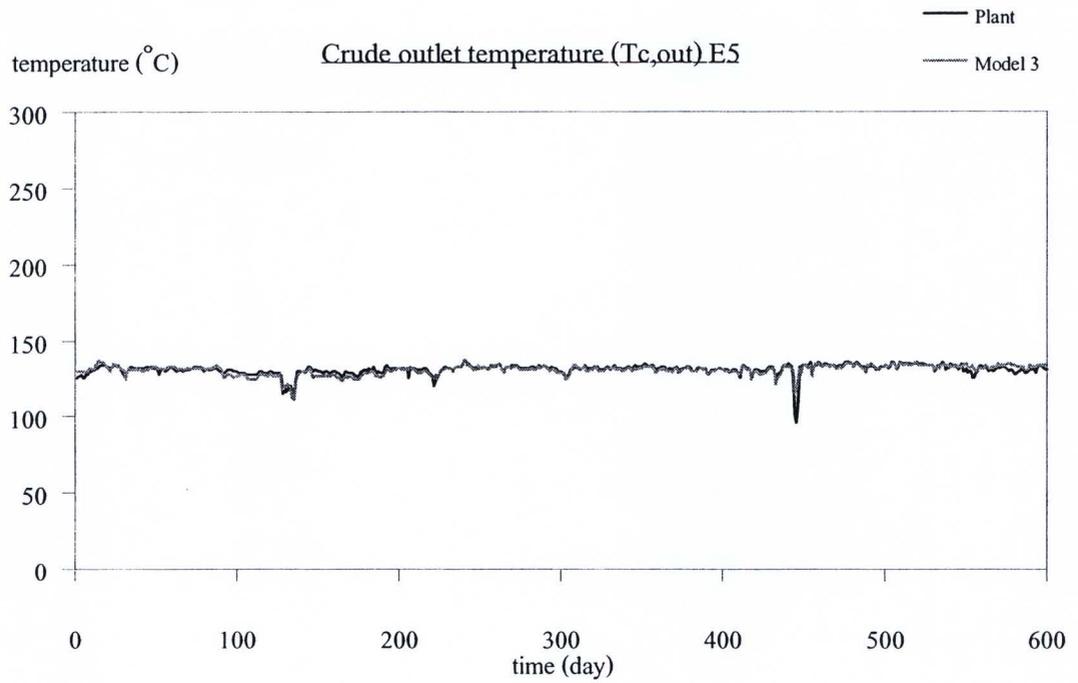
5.1.5 เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน E5



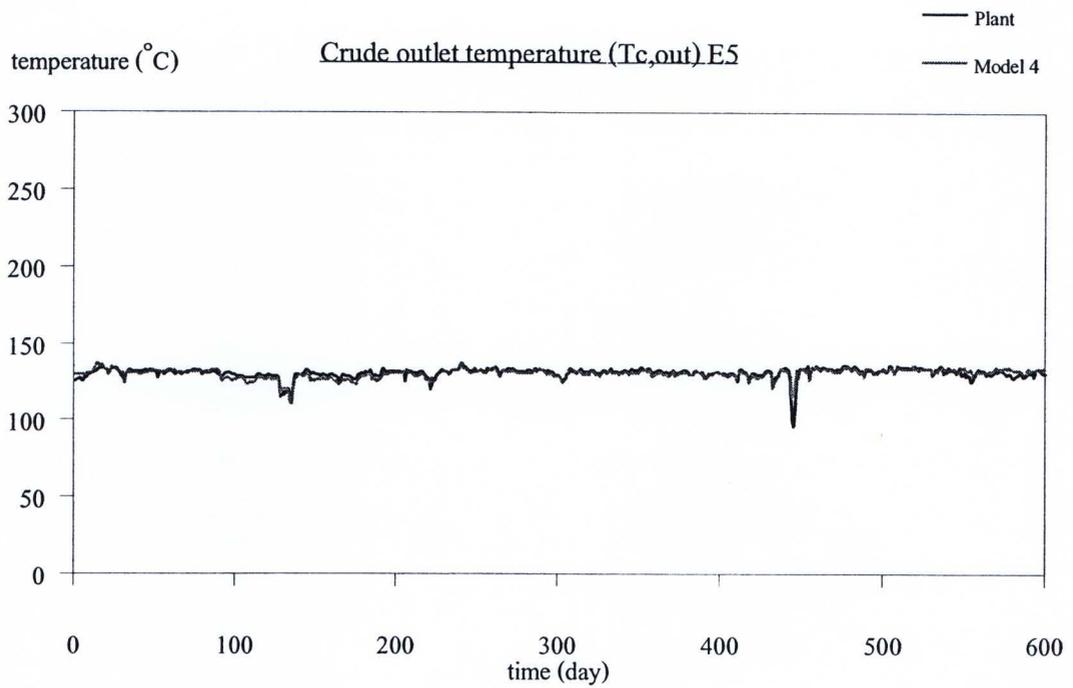
(ก) สมการการเกิดฟาวลิงแบบเส้นตรง



(ข) สมการการเกิดฟาวลิงแบบกฎยกกำลัง



(ค) สมการการเกิดฟาวลิงแบบอัตราลดลง



(ง) สมการการเกิดฟาวลิงแบบเอกโปเนนเชียล

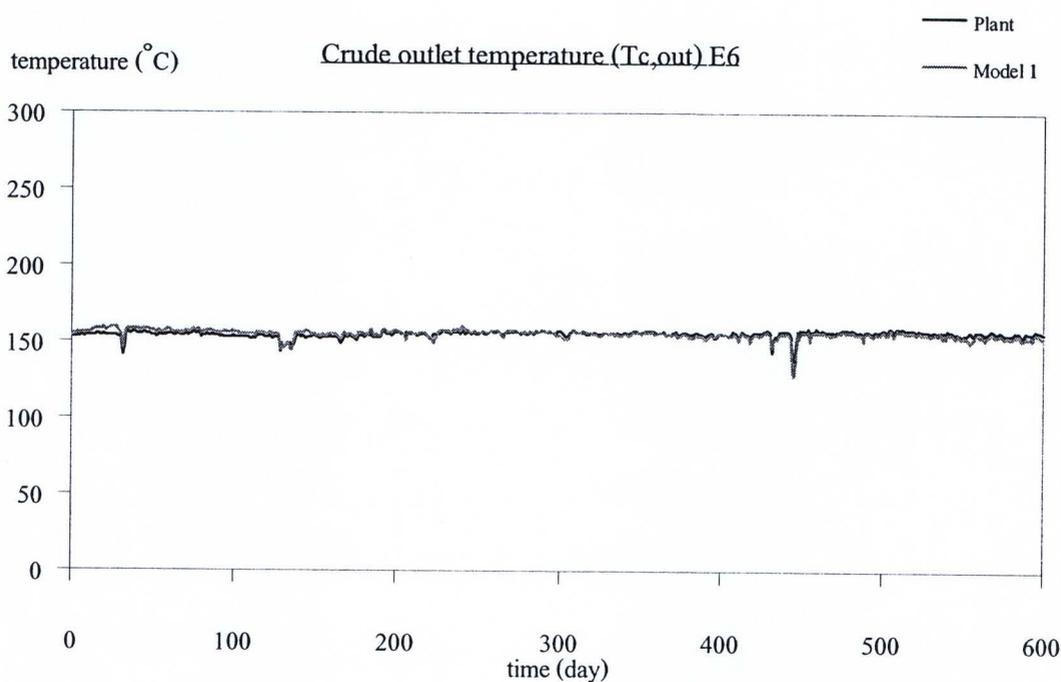
รูปที่ 5.5 กราฟแสดงอุณหภูมิขาออกสายน้ำมันดิบของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน E5
เปรียบเทียบระหว่างข้อมูลในโรงงานกับผลการจำลอง

ตารางที่ 5.5 เปรียบเทียบค่าข้อมูลจากโรงงานกับค่าจากการจำลองของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน E5 ที่พารามิเตอร์ $t_{p,c} = 6 \text{ day}$ และ $n = -$

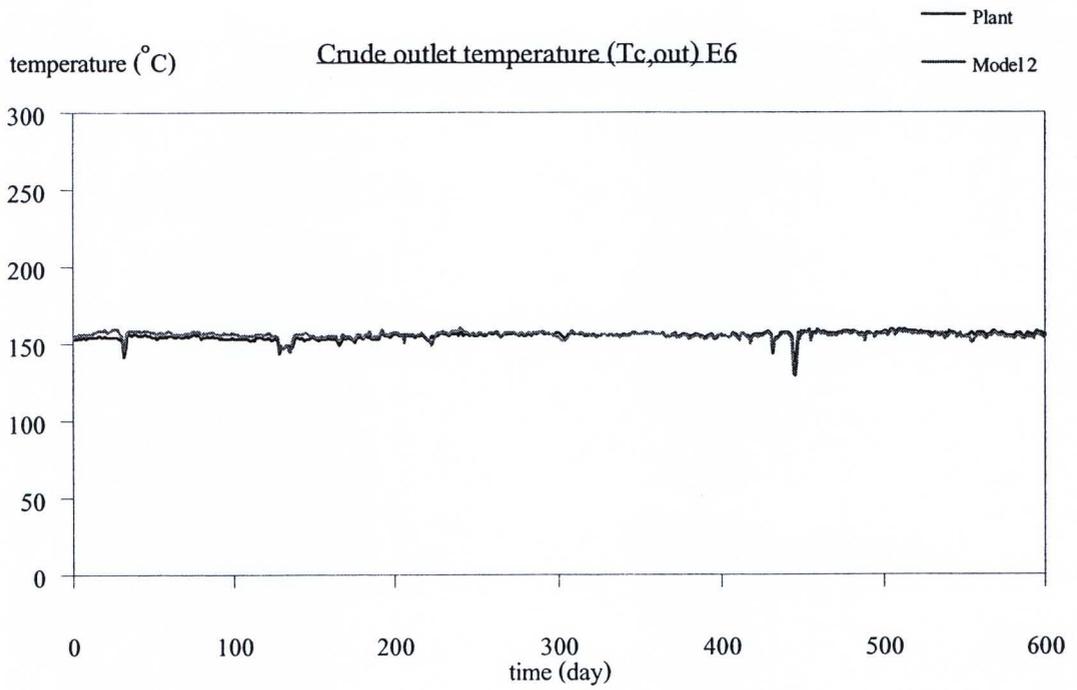
	RMSE
สมการแบบเส้นตรง (Linear fouling model)	2.2724
สมการแบบกฎยกกำลัง (Power-law fouling model)	2.2724
สมการแบบอัตราลดลง (Falling-rate fouling model)	2.1269
สมการแบบเอกโปเนนเชียล (Asymptotic fouling model)	2.1507

เมื่อเปรียบเทียบผลจากการจำลองระหว่างอุณหภูมิขาออกของสายน้ำมันดิบที่ได้จากโรงงานจริงกับผลที่ได้จากการจำลอง โดยเทียบผ่านสมการการเกิดฟาวลิงทั้ง 4 รูปแบบ ดังแสดงในตารางที่ 5.5 พบว่าสำหรับเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน E5 มีรูปแบบการเกิดฟาวลิงใกล้เคียงกับสมการการเกิดฟาวลิงแบบอัตราการลดลงมากที่สุด ซึ่งมีค่าผลต่างเฉลี่ยกำลังสอง (RMSE) น้อยที่สุดเท่ากับ 2.1269 จากผลการจำลองสามารถอธิบายรูปแบบการเกิดฟาวลิงของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน E5 ได้จากความสัมพันธ์ของสมการการเกิดฟาวลิงแบบอัตราการลดลง (Falling-rate fouling model)

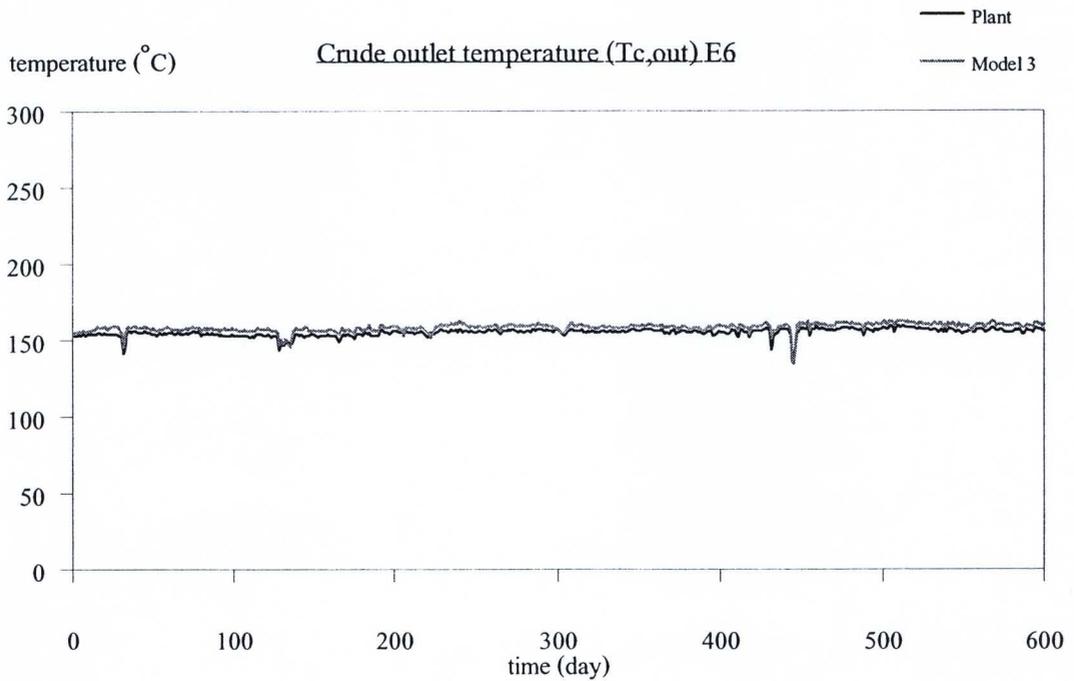
5.1.6 เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน E6



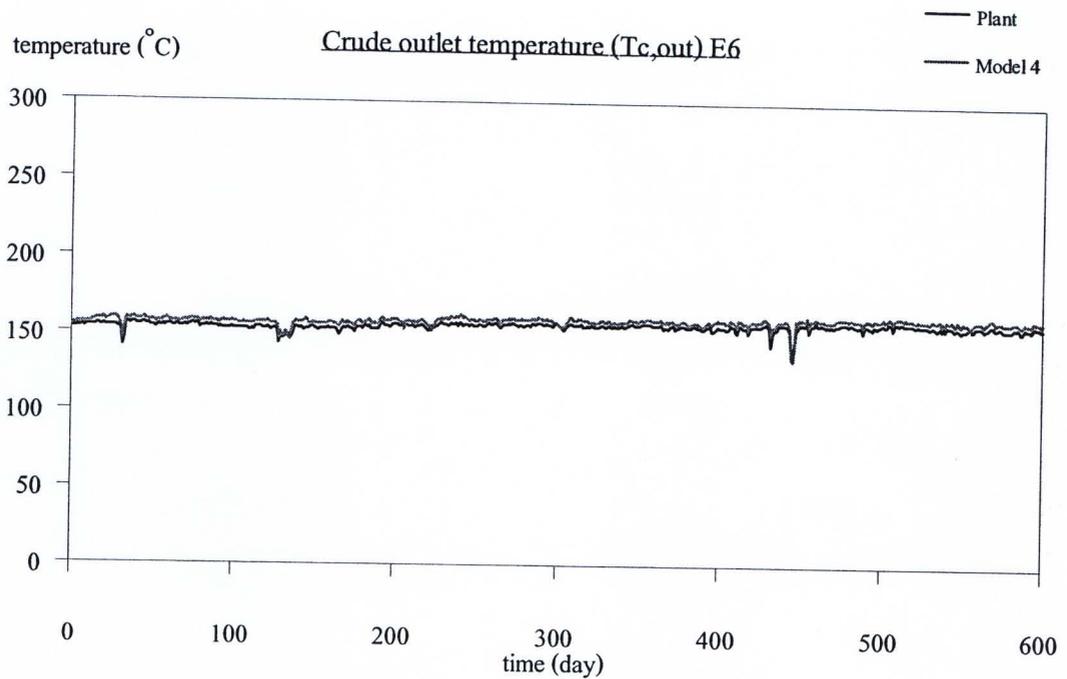
(ก) สมการการเกิดฟาวลิงแบบเส้นตรง



(ข) สมการการเกิดฟาวลิงแบบกฎยกกำลัง



(ค) สมการการเกิดฟาวลิงแบบอัตราลดลง



(ง) สมการการเกิดฟาวลิงแบบเอกโปเนนเชียล

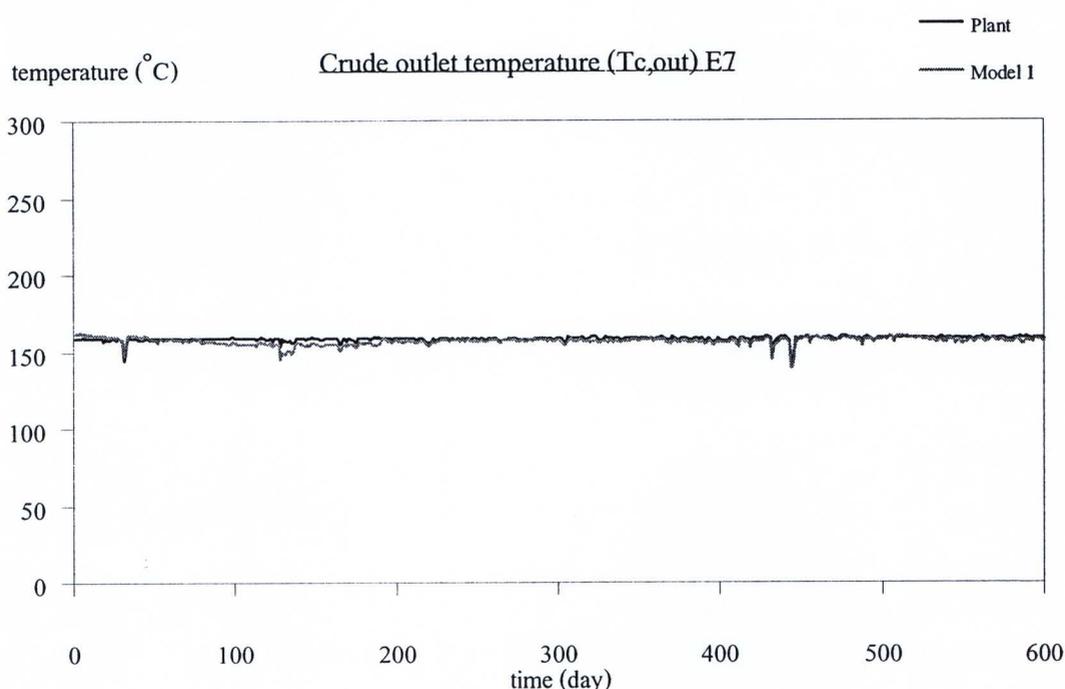
รูปที่ 5.6 กราฟแสดงอุณหภูมิขาออกสายน้ำมันดิบของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน E6
เปรียบเทียบระหว่างข้อมูลในโรงงานกับผลการจำลอง

ตารางที่ 5.6 เปรียบเทียบค่าข้อมูลจากโรงงานกับค่าจากการจำลองของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน E6 ที่พารามิเตอร์ $t_{p,c} = 1$ day และ $n = 0.977$

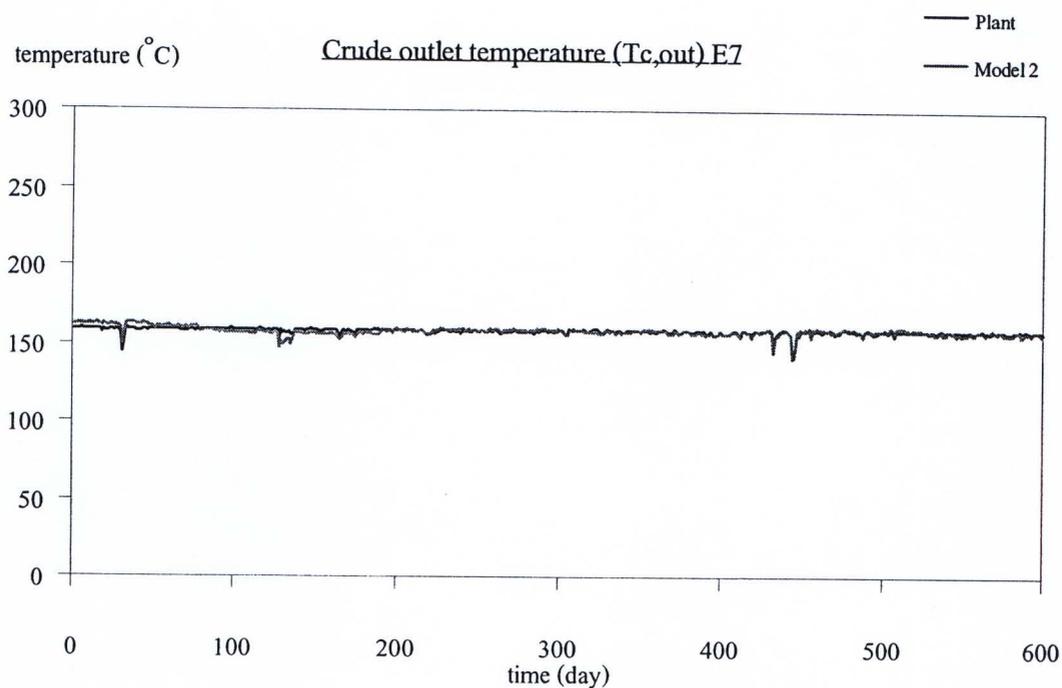
	RMSE
สมการแบบเส้นตรง (Linear fouling model)	2.0018
สมการแบบกฎยกกำลัง (Power-law fouling model)	1.8765
สมการแบบอัตราลดลง (Falling-rate fouling model)	3.3433
สมการแบบเอกโปเนนเชียล (Asymptotic fouling model)	3.3319

เมื่อเปรียบเทียบผลจากการจำลองระหว่างอุณหภูมิขาออกของสายน้ำมันดิบที่ได้จากโรงงานจริงกับผลที่ได้จากการจำลอง โดยเทียบผ่านสมการการเกิดฟาวลิงทั้ง 4 รูปแบบ ดังแสดงในตารางที่ 5.6 พบว่าสำหรับเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน E6 มีรูปแบบการเกิดฟาวลิงใกล้เคียงกับสมการการเกิดฟาวลิงแบบกฎยกกำลังมากที่สุด ซึ่งมีค่าผลต่างเฉลี่ยกำลังสอง (RMSE) น้อยที่สุดเท่ากับ 1.8765 จากผลการจำลองสามารถอธิบายรูปแบบการเกิดฟาวลิงของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน E6 ได้จากความสัมพันธ์ของสมการการเกิดฟาวลิงแบบกฎยกกำลัง (Power-law fouling model)

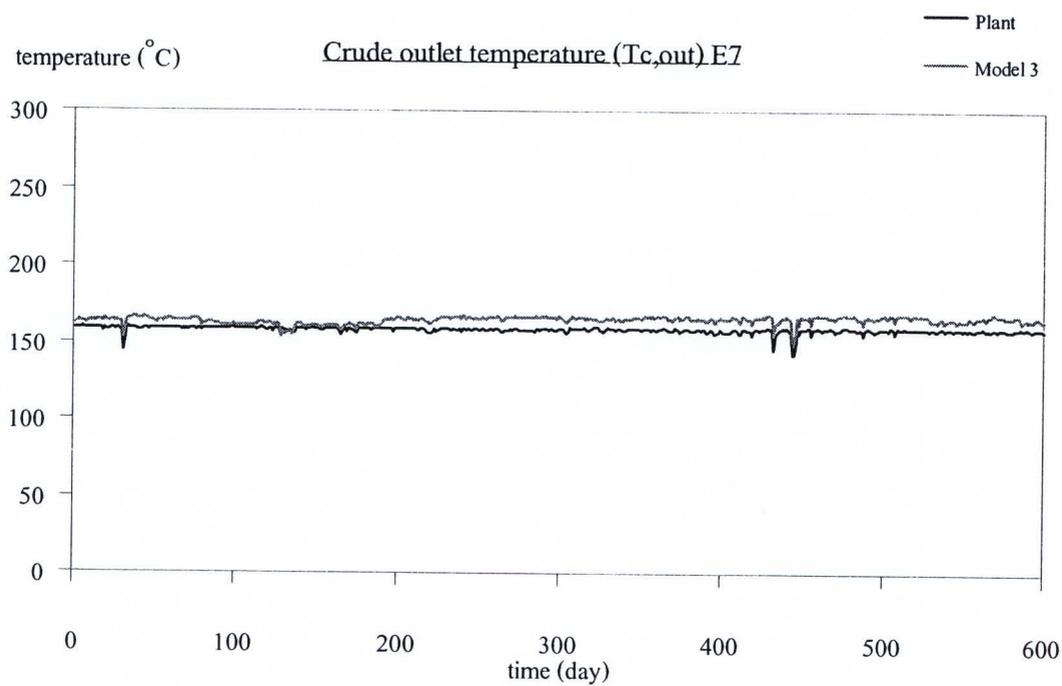
5.1.7 เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน E7



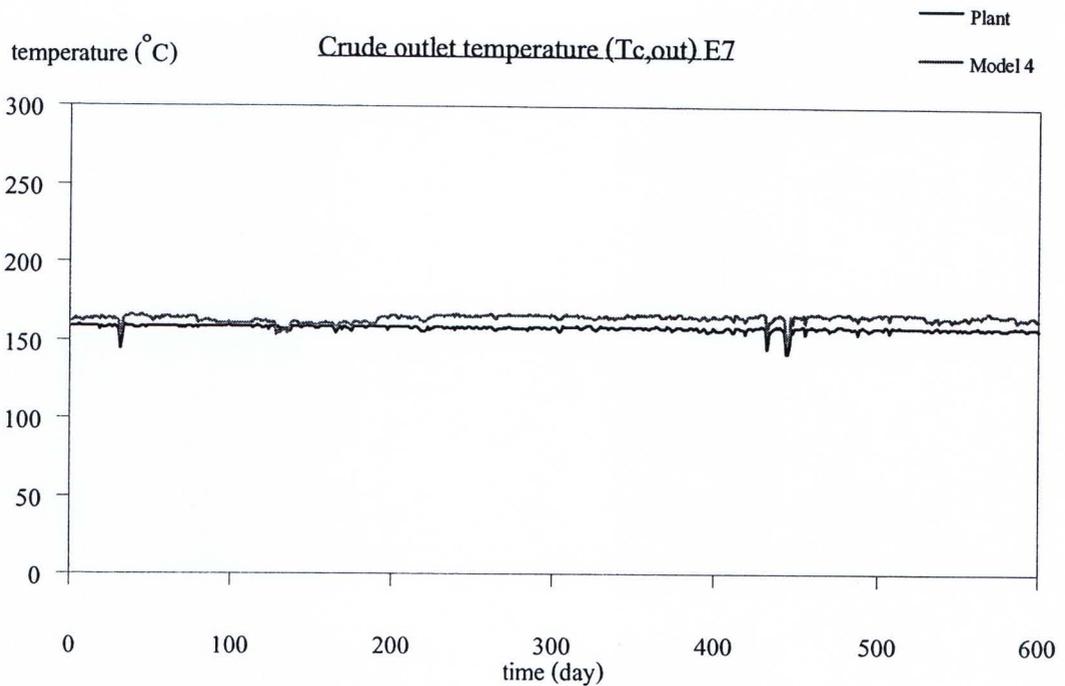
(ก) สมการการเกิดฟาวลิงแบบเส้นตรง



(๗) สมการการเกิดฟาวลิงแบบกฏยกกำลัง



(ค) สมการการเกิดฟาวลิงแบบอัตราลดลง



(ง) สมการการเกิดฟาวลิงแบบเอกโปเนนเชียล

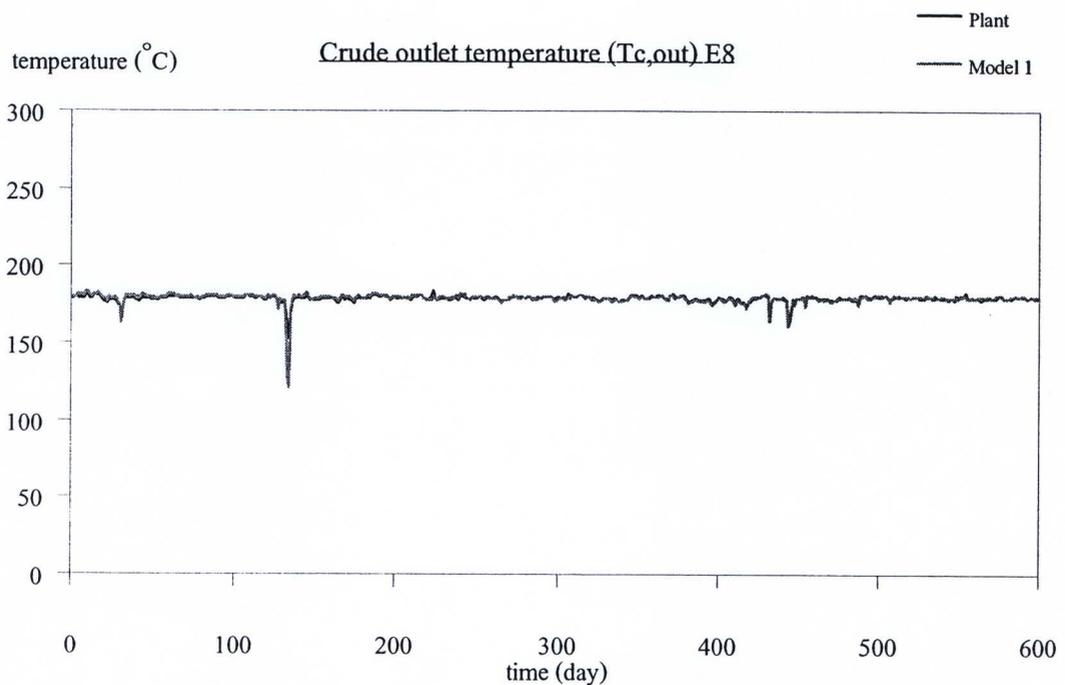
รูปที่ 5.7 กราฟแสดงอุณหภูมิขาออกสายน้ำมันดิบของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน E7
เปรียบเทียบระหว่างข้อมูลในโรงงานกับผลการจำลอง

ตารางที่ 5.7 เปรียบเทียบค่าข้อมูลจากโรงงานกับค่าจากการจำลองของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน E7 ที่พารามิเตอร์ $t_{p,c} = 0.009$ day และ $n = 0.89$

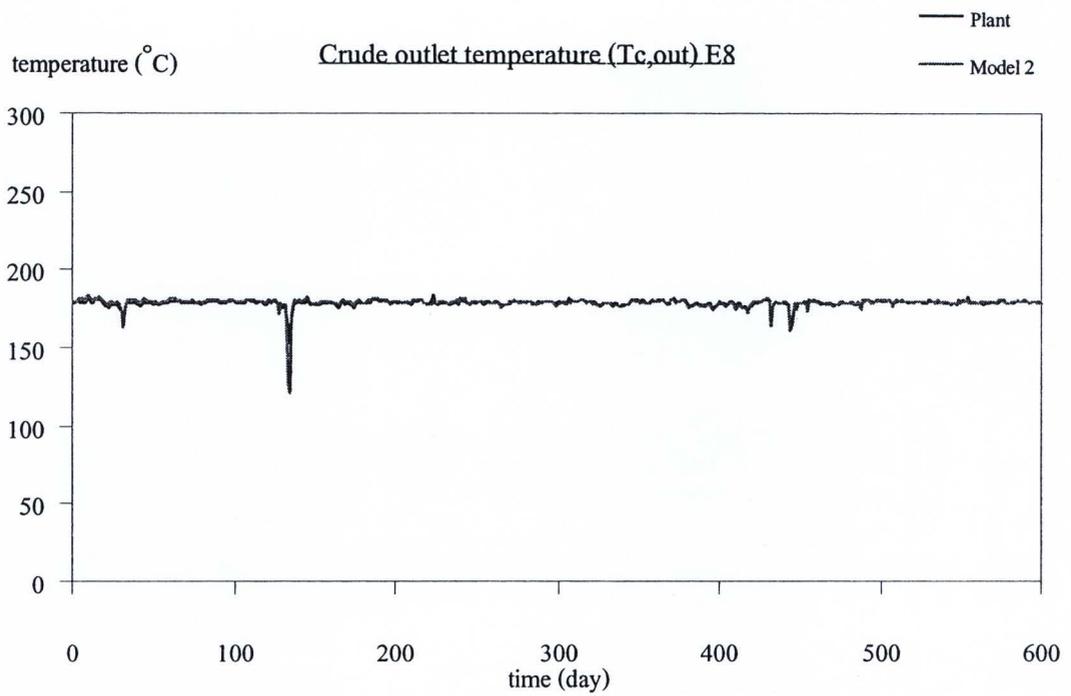
	RMSE
สมการแบบเส้นตรง (Linear fouling model)	2.2807
สมการแบบกฎยกกำลัง (Power-law fouling model)	1.7087
สมการแบบอัตราลดลง (Falling-rate fouling model)	6.5181
สมการแบบเอกโปเนนเชียล (Asymptotic fouling model)	6.5748

เมื่อเปรียบเทียบผลจากการจำลองระหว่างอุณหภูมิขาออกของสายน้ำมันดิบที่ได้จากโรงงานจริงกับผลที่ได้จากการจำลอง โดยเทียบผ่านสมการการเกิดฟาวลิงทั้ง 4 รูปแบบ ดังแสดงในตารางที่ 5.7 พบว่าสำหรับเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน E7 มีรูปแบบการเกิดฟาวลิงใกล้เคียงกับสมการการเกิดฟาวลิงแบบกฎยกกำลังมากที่สุด ซึ่งมีค่าผลต่างเฉลี่ยกำลังสอง (RMSE) น้อยที่สุดเท่ากับ 1.7087 จากผลการจำลองสามารถอธิบายรูปแบบการเกิดฟาวลิงของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน E7 ได้จากความสัมพันธ์ของสมการการเกิดฟาวลิงแบบกฎยกกำลัง (Power-law fouling model)

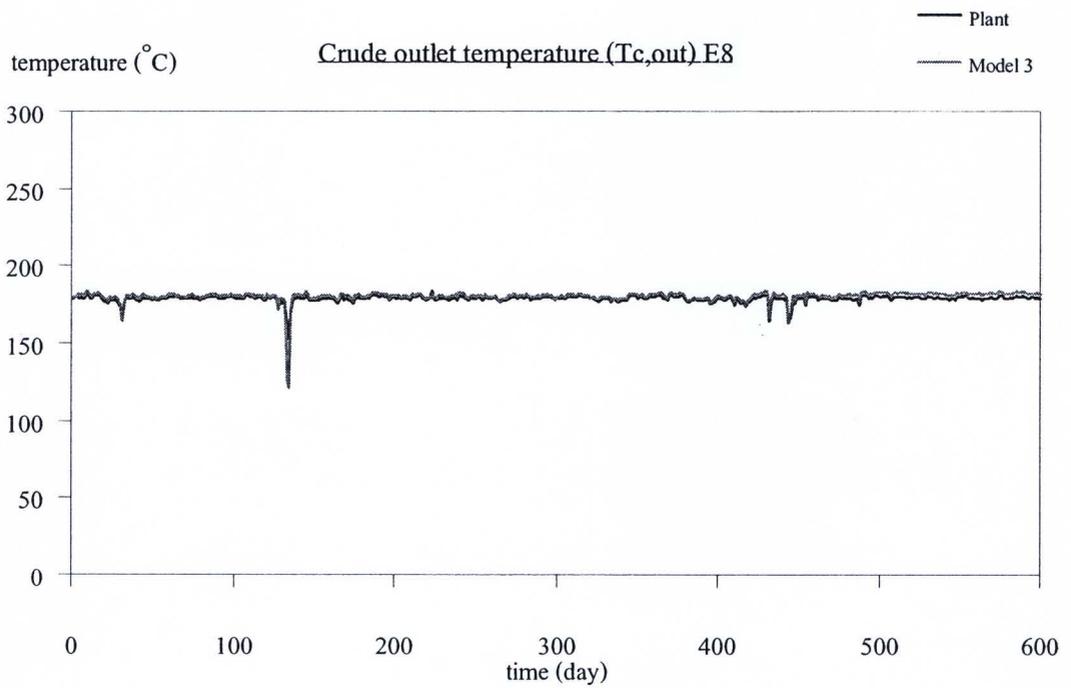
5.1.8 เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน E8



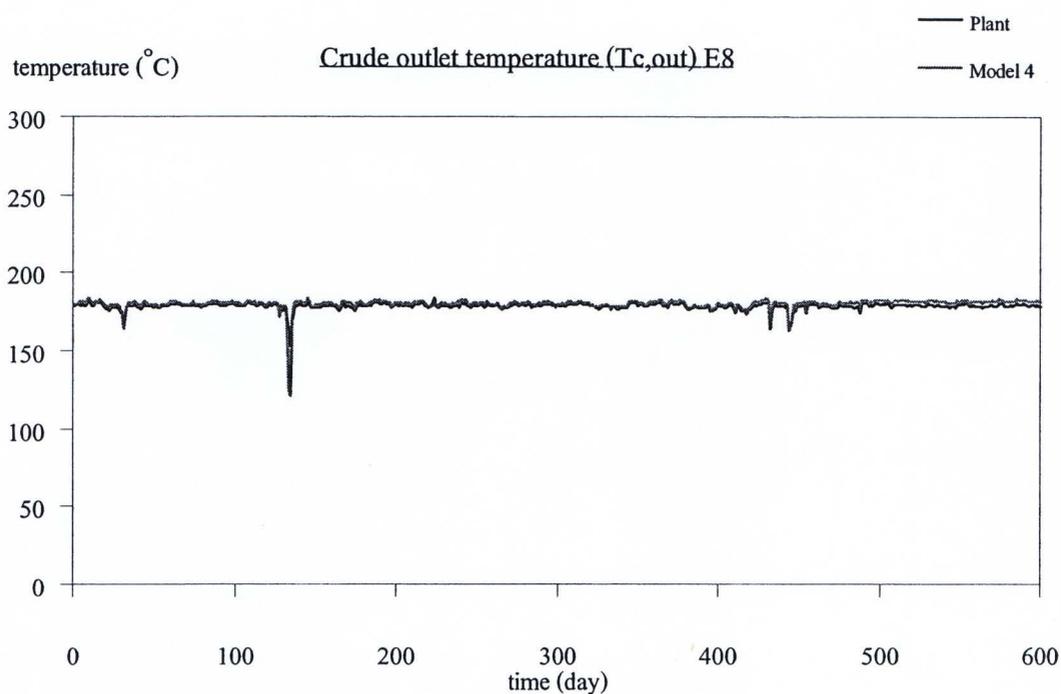
(ก) สมการการเกิดฟาวลิงแบบเส้นตรง



(๑) สมการการเกิดฟาวลิ่งแบบกฎยกกำลัง



(๒) สมการการเกิดฟาวลิ่งแบบอัตราลดลง



(ง) สมการการเกิดฟาวลิงแบบเอกโปเนนเชียล

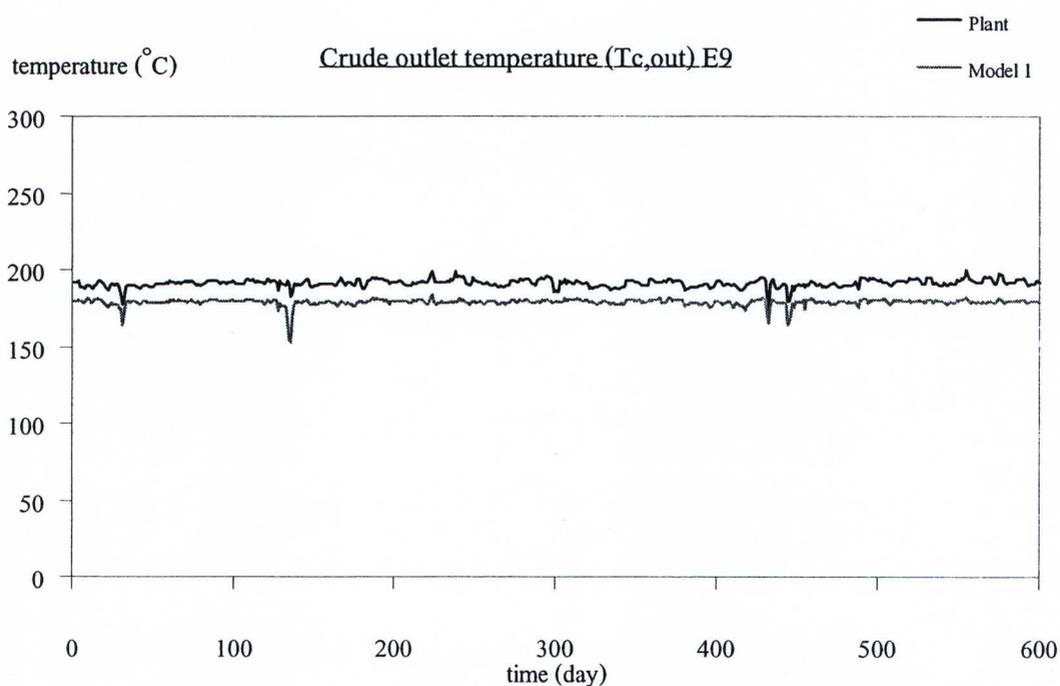
รูปที่ 5.8 กราฟแสดงอุณหภูมิขาออกสายน้ำมันดิบของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน E8
เปรียบเทียบระหว่างข้อมูลในโรงงานกับผลการจำลอง

ตารางที่ 5.8 เปรียบเทียบค่าข้อมูลจากโรงงานกับค่าจากการจำลองของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน E8 ที่พารามิเตอร์ $t_{p,c} = 2.6$ day และ $n = -$

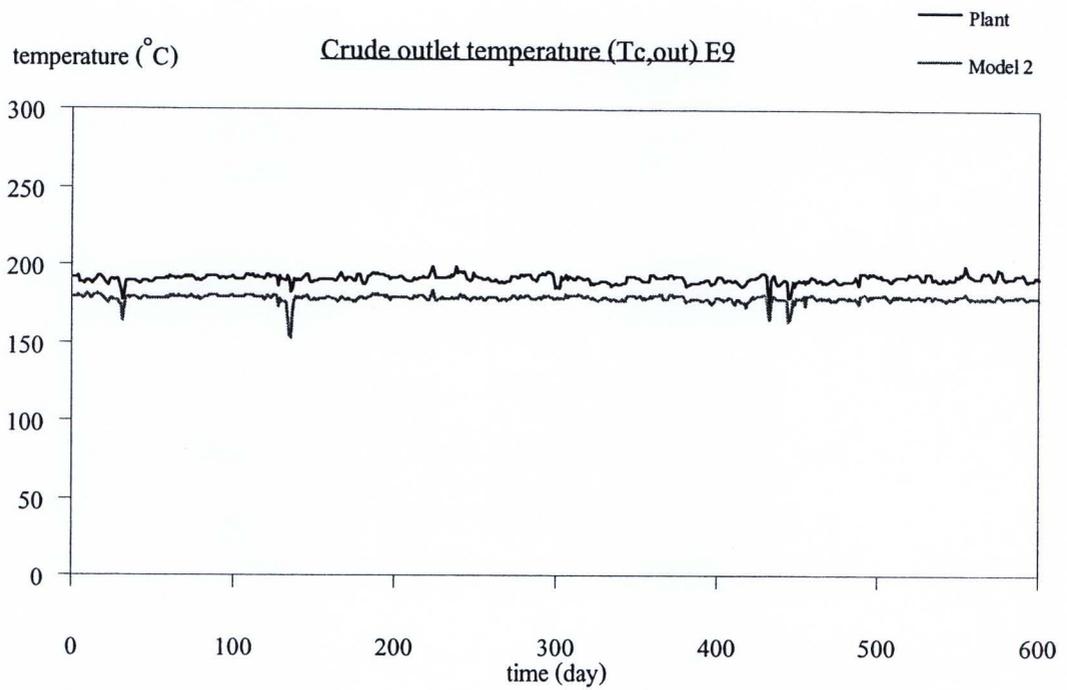
	RMSE
สมการแบบเส้นตรง (Linear fouling model)	1.9702
สมการแบบกฏยกกำลัง (Power-law fouling model)	1.9748
สมการแบบอัตราลดลง (Falling-rate fouling model)	2.5914
สมการแบบเอกโปเนนเชียล (Asymptotic fouling model)	2.5231

เมื่อเปรียบเทียบผลจากการจำลองระหว่างอุณหภูมิขาออกของสายน้ำมันดิบที่ได้จากโรงงานจริงกับผลที่ได้จากการจำลอง โดยเทียบผ่านสมการการเกิดฟาวลิงทั้ง 4 รูปแบบ ดังแสดงในตารางที่ 5.8 พบว่าสำหรับเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน E8 มีรูปแบบการเกิดฟาวลิงใกล้เคียงกับสมการการเกิดฟาวลิงแบบเส้นตรงมากที่สุด ซึ่งมีค่าผลต่างเฉลี่ยกำลังสอง (RMSE) น้อยที่สุดเท่ากับ 1.9702 จากผลการจำลองสามารถอธิบายรูปแบบการเกิดฟาวลิงของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน E8 ได้จากความสัมพันธ์ของสมการการเกิดฟาวลิงแบบเส้นตรง (Linear fouling model)

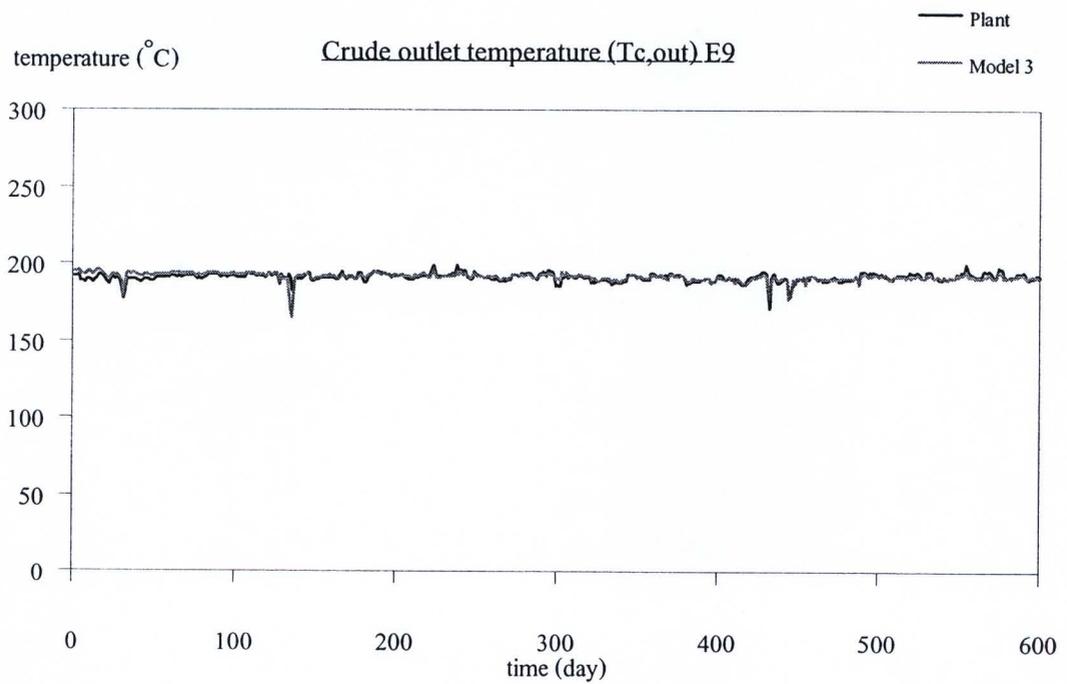
5.1.9 เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน E9



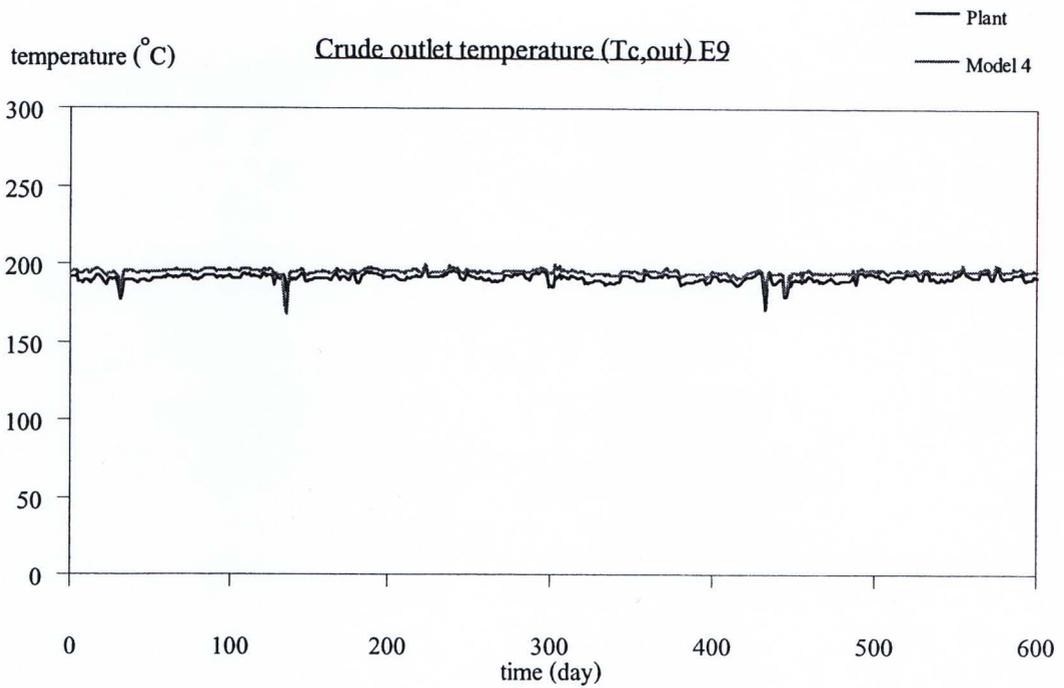
(ก) สมการการเกิดฟาวลิงแบบเส้นตรง



(ข) สมการการเกิดฟาวลิงแบบกฎยกกำลัง



(ค) สมการการเกิดฟาวลิงแบบอัตราลดลง



(ง) สมการการเกิดฟาวลิ่งแบบเอกโปเนนเชียล

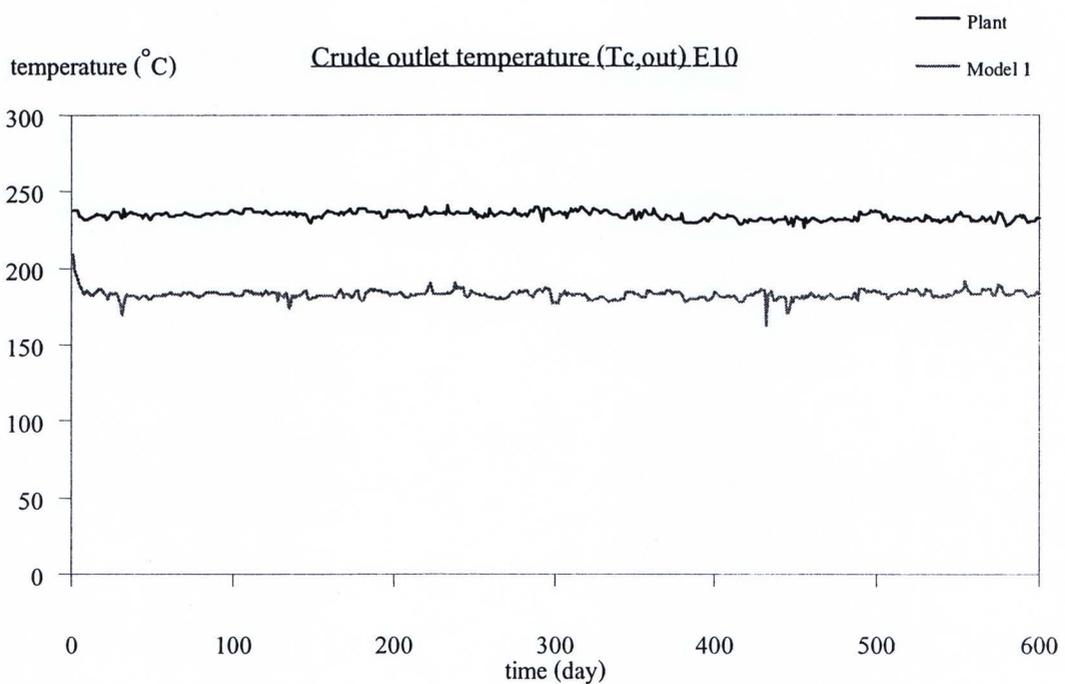
รูปที่ 5.9 กราฟแสดงอุณหภูมิขาออกสายน้ำมันดิบของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน E9
เปรียบเทียบระหว่างข้อมูลในโรงงานกับผลการจำลอง

ตารางที่ 5.9 เปรียบเทียบค่าข้อมูลจากโรงงานกับค่าจากการจำลองของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน E9 ที่พารามิเตอร์ $t_{p,c} = 0.0000000000000032$ day และ $n = -$

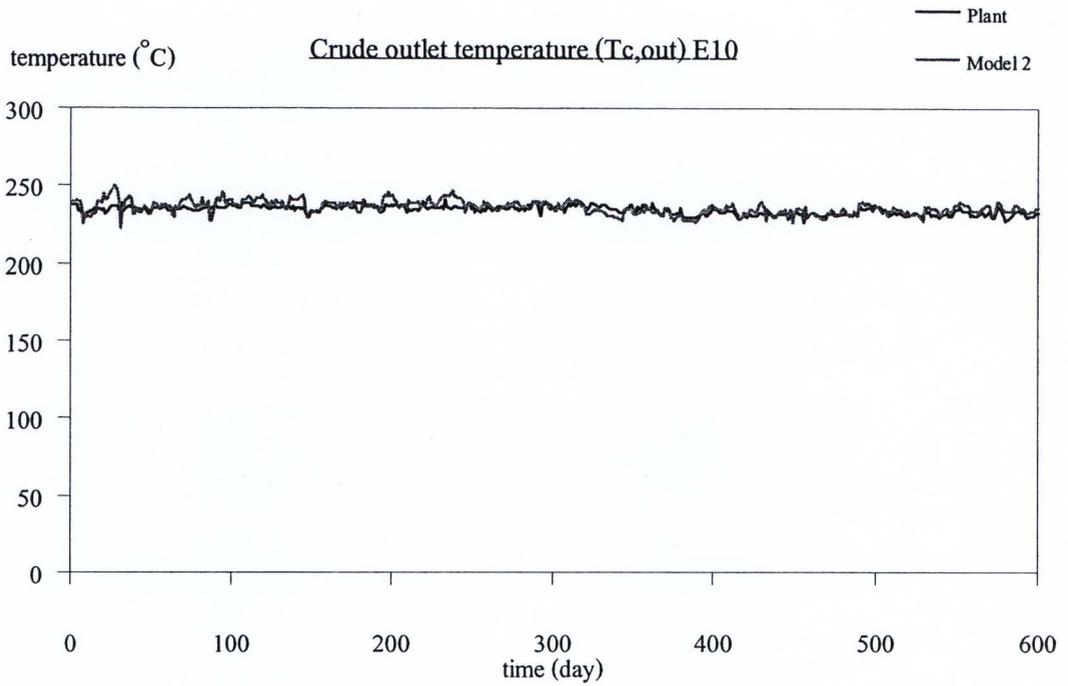
	RMSE
สมการแบบเส้นตรง (Linear fouling model)	12.6375
สมการแบบกฏยกกำลัง (Power-law fouling model)	12.6375
สมการแบบอัตราลดลง (Falling-rate fouling model)	2.0875
สมการแบบเอกโปเนนเชียล (Asymptotic fouling model)	4.1617

เมื่อเปรียบเทียบผลจากการจำลองระหว่างอุณหภูมิขาออกของสายน้ำมันดิบที่ได้จากโรงงานจริงกับผลที่ได้จากการจำลอง โดยเทียบผ่านสมการการเกิดฟาวลิงทั้ง 4 รูปแบบ ดังแสดงในตารางที่ 5.9 พบว่าสำหรับเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน E9 มีรูปแบบการเกิดฟาวลิงใกล้เคียงกับสมการการเกิดฟาวลิงแบบอัตราลดลงมากที่สุด ซึ่งมีค่าผลต่างเฉลี่ยกำลังสอง (RMSE) น้อยที่สุดเท่ากับ 2.0875 จากผลการจำลองสามารถอธิบายรูปแบบการเกิดฟาวลิงของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน E9 ได้จากความสัมพันธ์ของสมการการเกิดฟาวลิงแบบอัตราลดลง (Falling-rate fouling model)

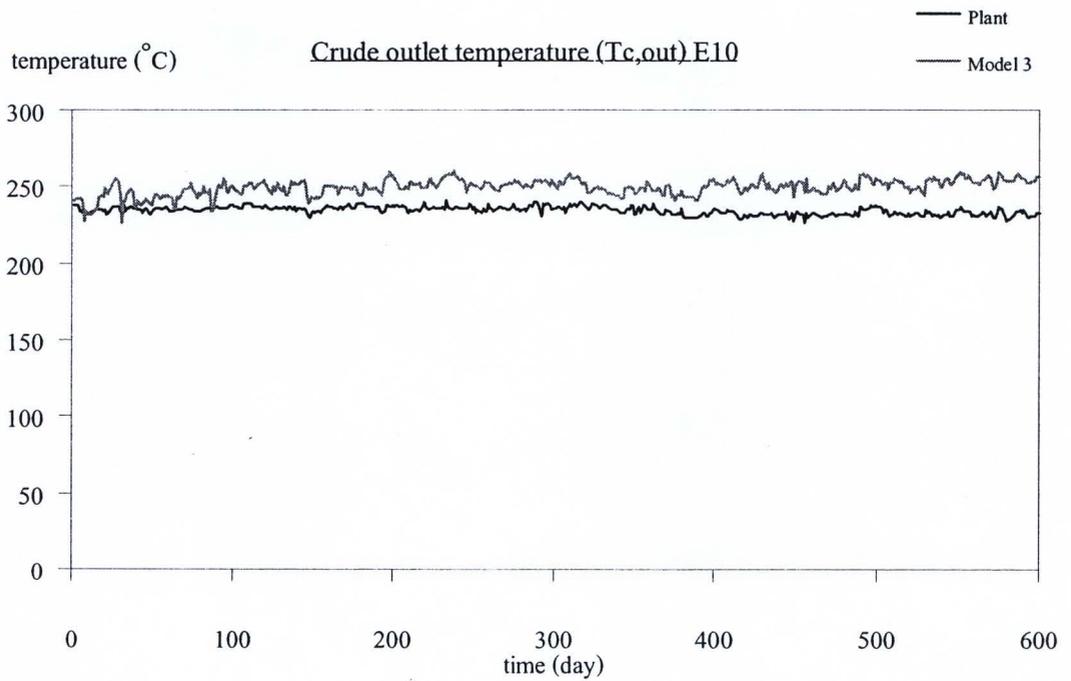
5.1.10 เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน E10



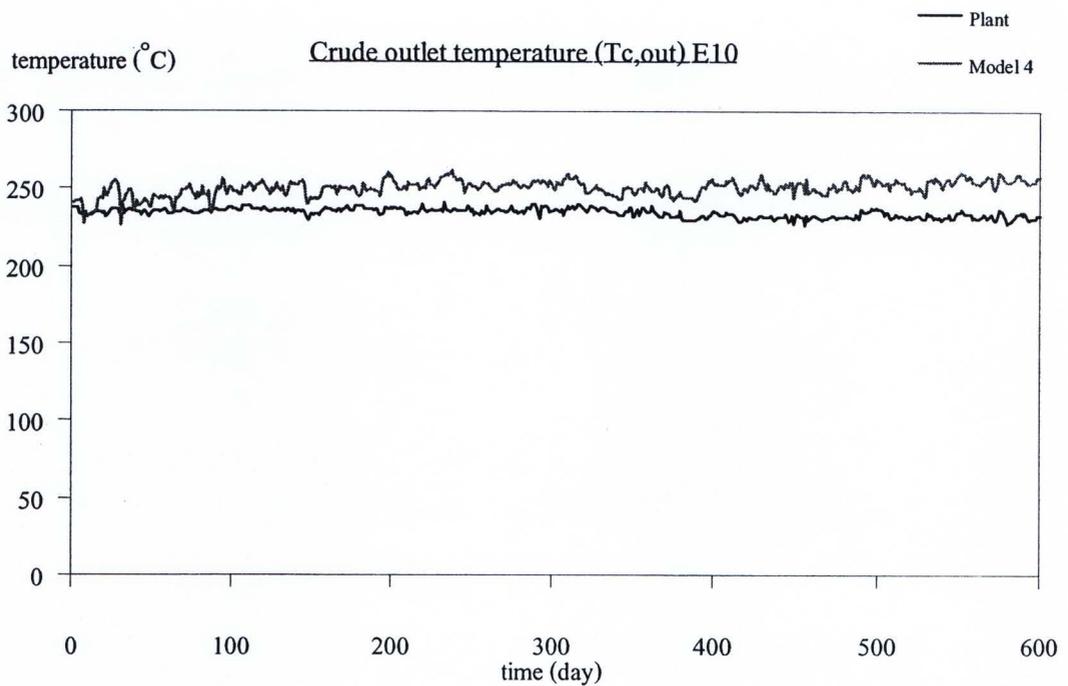
(ก) สมการการเกิดฟาวลิงแบบเส้นตรง



(ข) สมการการเกิดฟาวลิงแบบกฎยกกำลัง



(ค) สมการการเกิดฟาวลิงแบบอัตราลดลง



(ง) สมการการเกิดฟาวลิงแบบเอกโปเนนเชียล

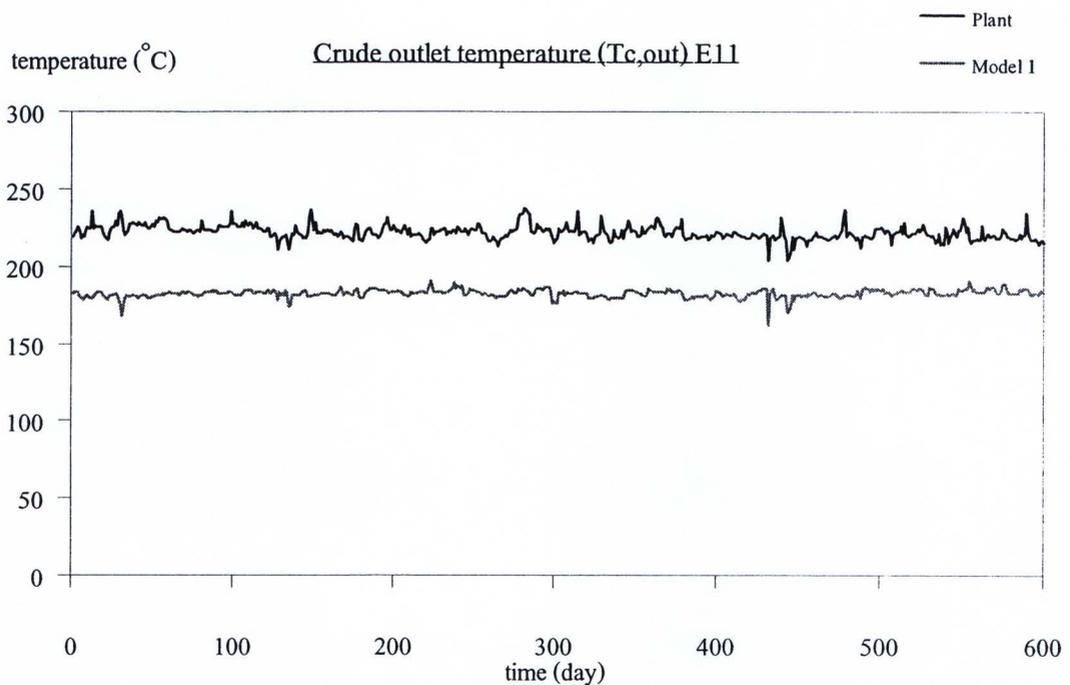
รูปที่ 5.10 กราฟแสดงอุณหภูมิขาออกสายน้ำมันดิบของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน E10
เปรียบเทียบระหว่างข้อมูลในโรงงานกับผลการจำลอง

ตารางที่ 5.10 เปรียบเทียบค่าข้อมูลจากโรงงานกับค่าจากการจำลองของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน E10 ที่พารามิเตอร์ $t_{p,c} = 0.0002$ day และ $n = 0.5$

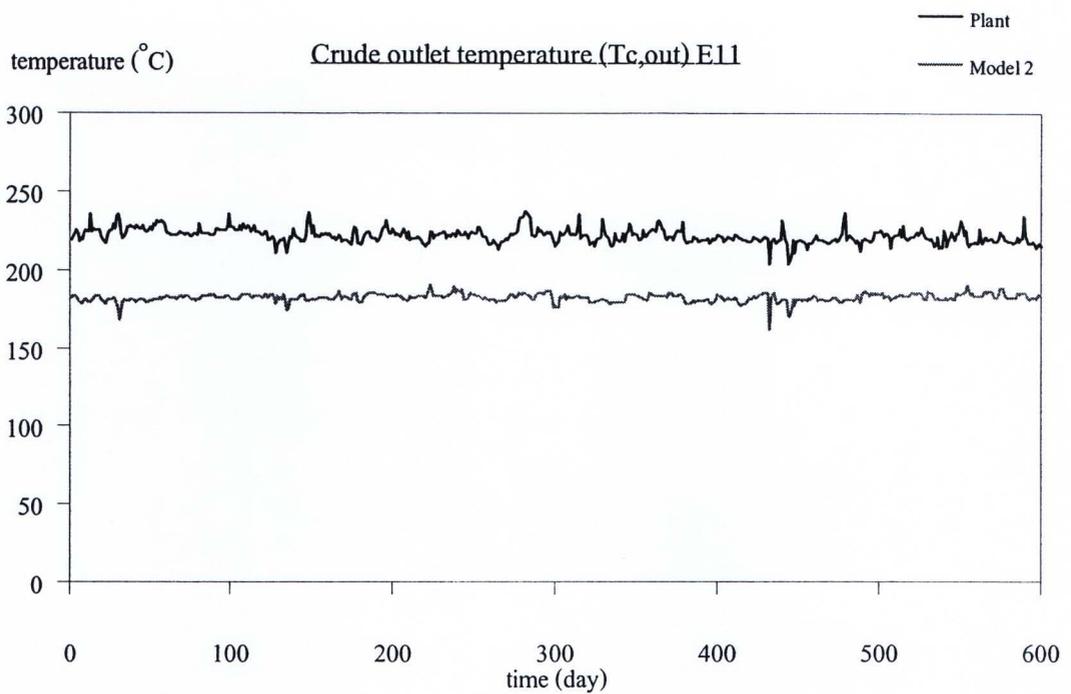
	RMSE
สมการแบบเส้นตรง (Linear fouling model)	51.7420
สมการแบบกฎยกกำลัง (Power-law fouling model)	3.7013
สมการแบบอัตราลดลง (Falling-rate fouling model)	16.0545
สมการแบบเอกโปเนนเชียล (Asymptotic fouling model)	17.0163

เมื่อเปรียบเทียบผลจากการจำลองระหว่างอุณหภูมิขาออกของสายน้ำมันดิบที่ได้จากโรงงานจริงกับผลที่ได้จากการจำลอง โดยเทียบผ่านสมการการเกิดฟาวลิงทั้ง 4 รูปแบบ ดังแสดงในตารางที่ 5.10 พบว่าสำหรับเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน E10 มีรูปแบบการเกิดฟาวลิงใกล้เคียงกับสมการการเกิดฟาวลิงแบบกฎยกกำลังมากที่สุด ซึ่งมีค่าผลต่างเฉลี่ยกำลังสอง (RMSE) น้อยที่สุดเท่ากับ 3.7013 จากผลการจำลองสามารถอธิบายรูปแบบการเกิดฟาวลิงของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน E10 ได้จากความสัมพันธ์ของสมการการเกิดฟาวลิงแบบกฎยกกำลัง (Power-law fouling model)

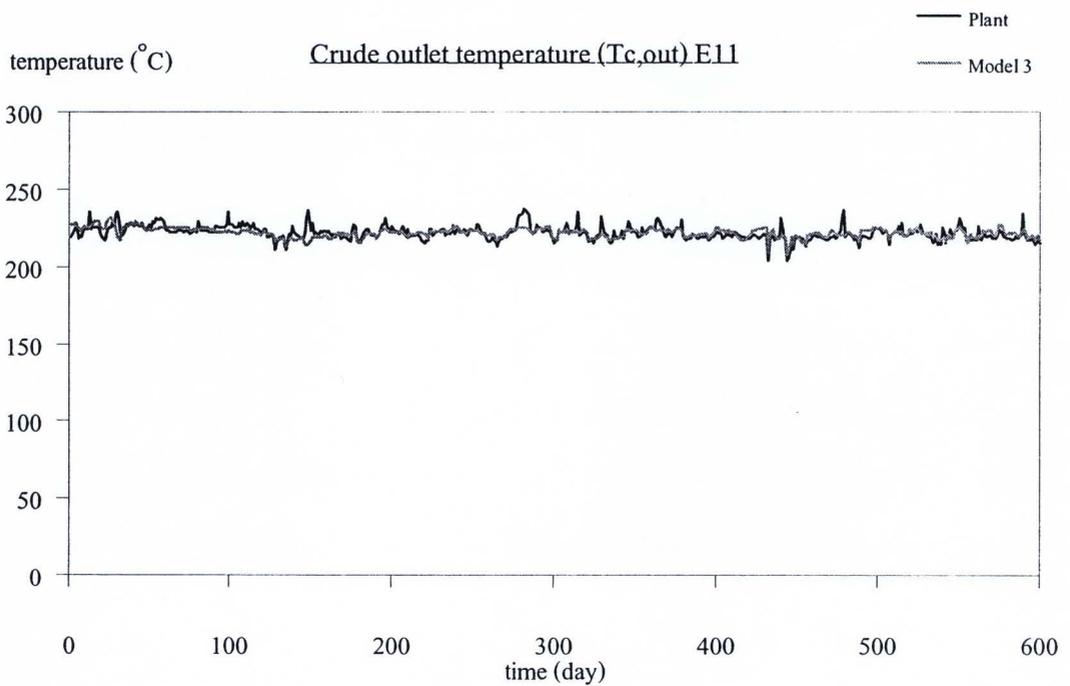
5.1.11 เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน E11



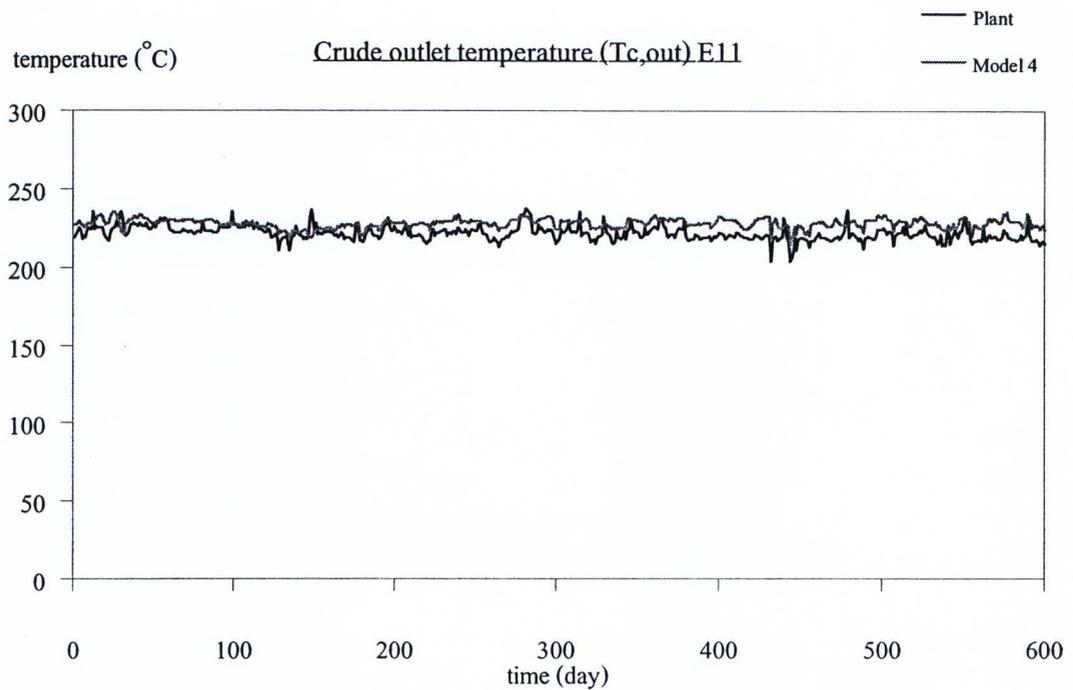
(ก) สมการการเกิดฟาวลิงแบบเส้นตรง



(๑) สมการการเกิดฟาวลิงแบบกฎยกกำลัง



(๒) สมการการเกิดฟาวลิงแบบอัตราลดลง



(ง) สมการการเกิดฟาวลิงแบบเอกโปเนนเชียล

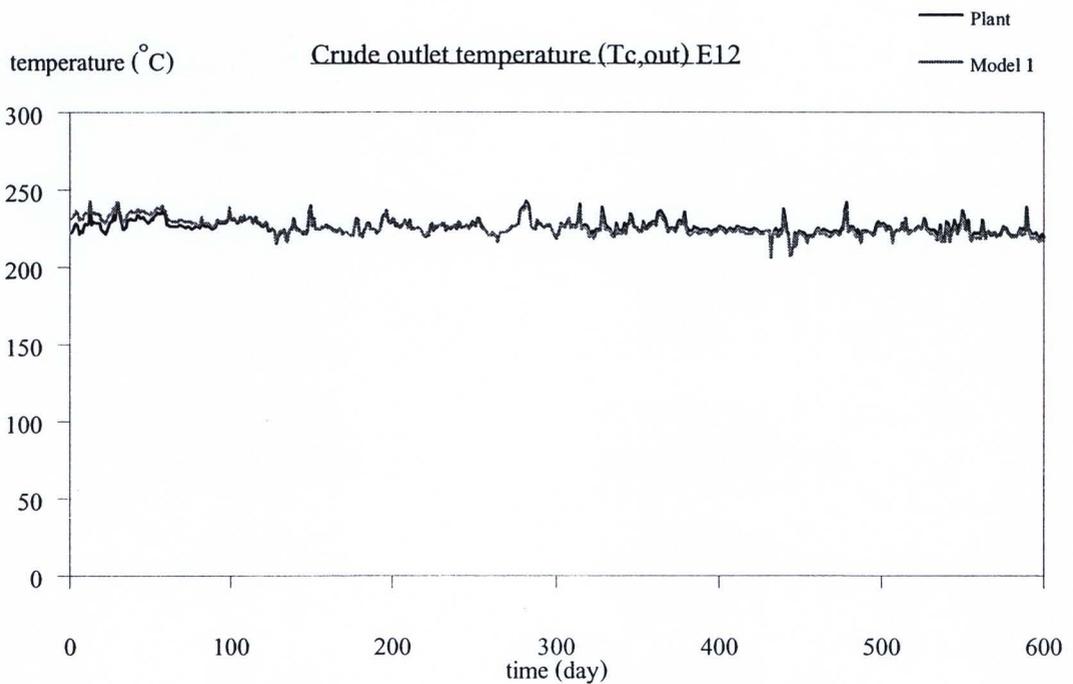
รูปที่ 5.11 กราฟแสดงอุณหภูมิขาออกสายน้ำมันดิบของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน E11
เปรียบเทียบระหว่างข้อมูลในโรงงานกับผลการจำลอง

ตารางที่ 5.11 เปรียบเทียบค่าข้อมูลจากโรงงานกับค่าจากการจำลองของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน E11 ที่พารามิเตอร์ $t_{p,c} = 0.00000000009$ day และ $n = -$

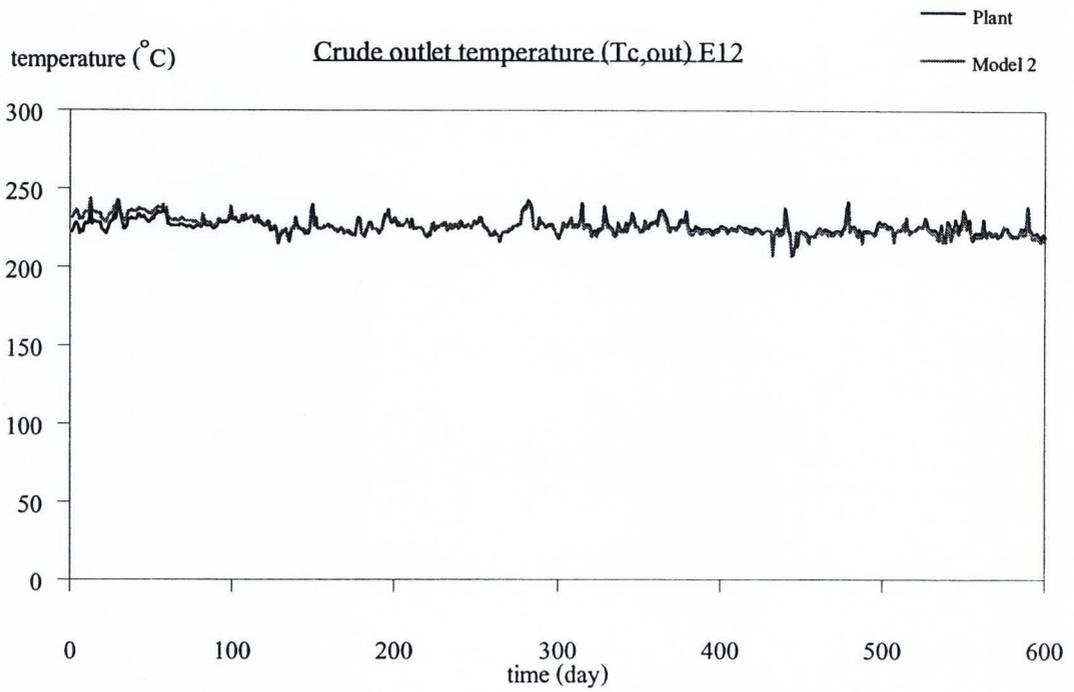
	RMSE
สมการแบบเส้นตรง (Linear fouling model)	39.8001
สมการแบบกฏยกกำลัง (Power-law fouling model)	39.8001
สมการแบบอัตราลดลง (Falling-rate fouling model)	3.6787
สมการแบบเอกโปเนนเชียล (Asymptotic fouling model)	7.4157

เมื่อเปรียบเทียบผลจากการจำลองระหว่างอุณหภูมิขาออกของสายน้ำมันดิบที่ได้จากโรงงานจริงกับผลที่ได้จากการจำลอง โดยเทียบผ่านสมการการเกิดฟาวลิงทั้ง 4 รูปแบบ ดังแสดงในตารางที่ 5.11 พบว่าสำหรับเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน E11 มีรูปแบบการเกิดฟาวลิงใกล้เคียงกับสมการการเกิดฟาวลิงแบบอัตราลดลงมากที่สุด ซึ่งมีค่าผลต่างเฉลี่ยกำลังสอง (RMSE) น้อยที่สุดเท่ากับ 3.6787 จากผลการจำลองสามารถอธิบายรูปแบบการเกิดฟาวลิงของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน E11 ได้จากความสัมพันธ์ของสมการการเกิดฟาวลิงแบบอัตราลดลง (Falling-rate fouling model)

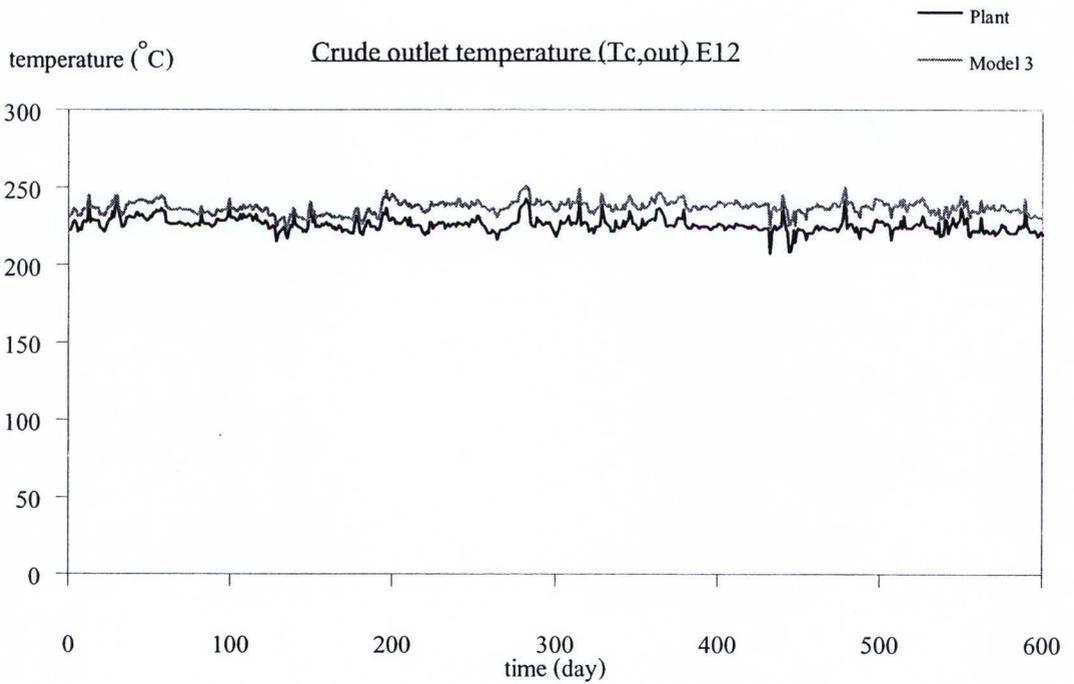
5.1.12 เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน E12



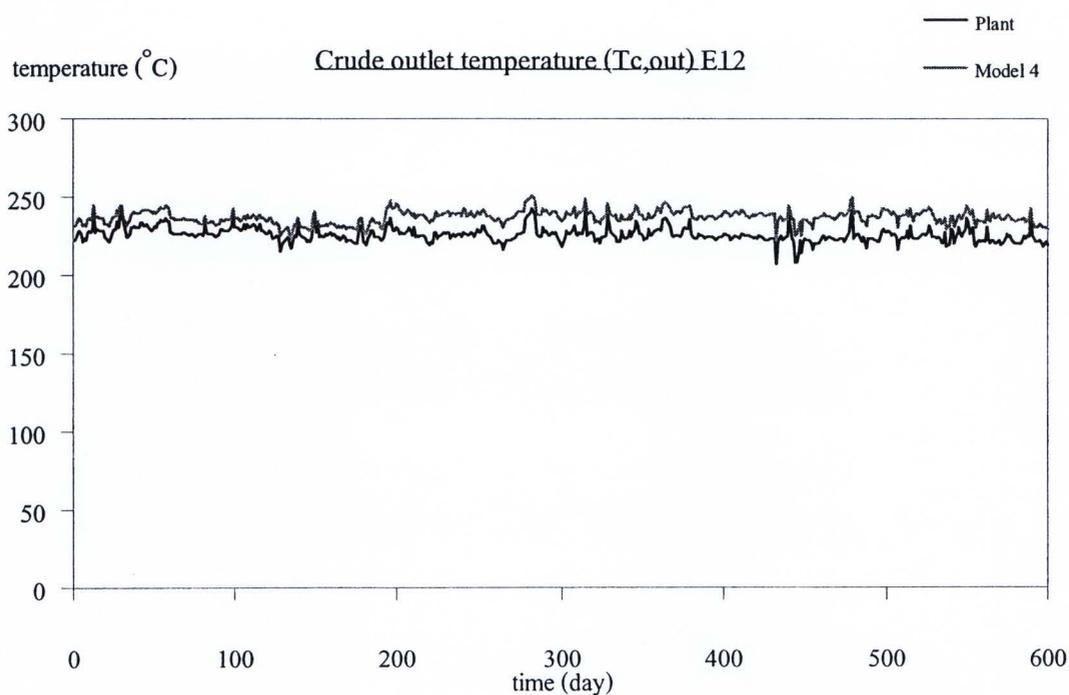
(ก) สมการการเกิดฟาวลิงแบบเส้นตรง



(๑) สมการการเกิดฟาวลิงแบบกฎยกกำลัง



(๒) สมการการเกิดฟาวลิงแบบอัตราลดลง



(ง) สมการการเกิดฟาวลิงแบบเอกโปเนนเชียล

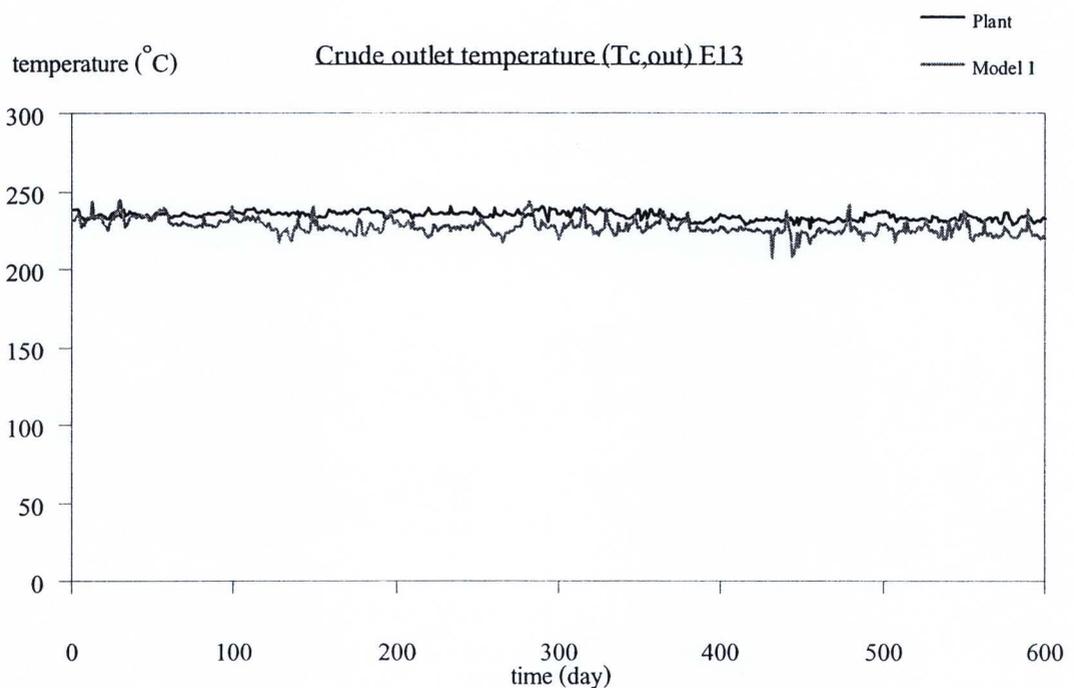
รูปที่ 5.12 กราฟแสดงอุณหภูมิขาออกสายน้ำมันดิบของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน E12
เปรียบเทียบระหว่างข้อมูลในโรงงานกับผลการจำลอง

ตารางที่ 5.12 เปรียบเทียบค่าข้อมูลจากโรงงานกับค่าจากการจำลองของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน E12 ที่พารามิเตอร์ $t_{p,c} = 0.02$ day และ $n = 0.99$

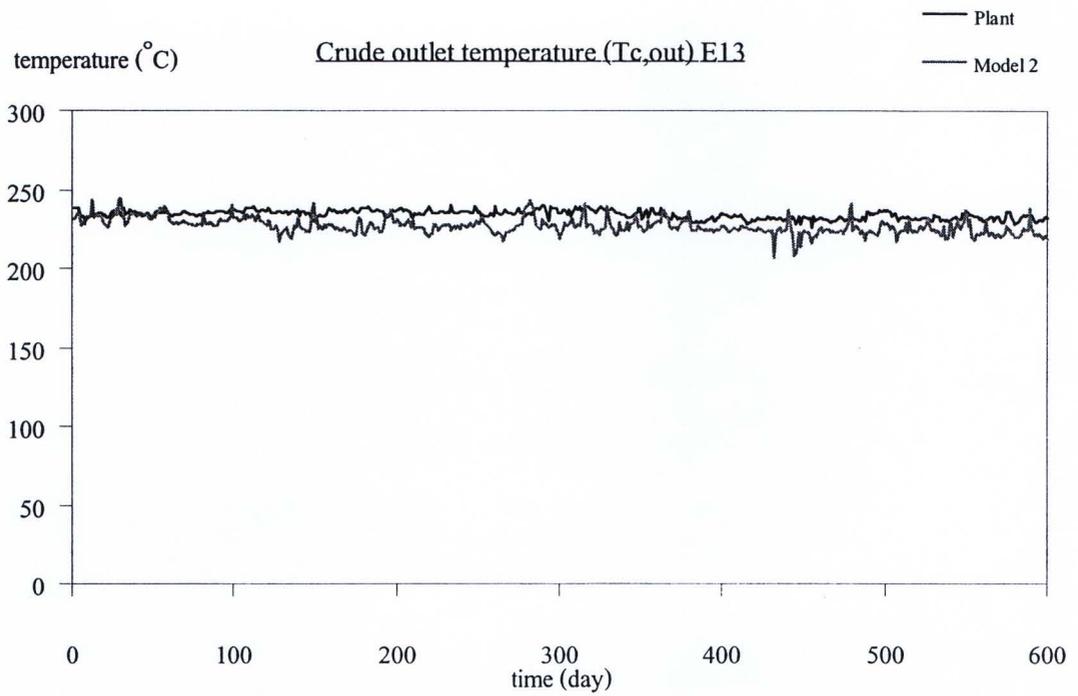
	RMSE
สมการแบบเส้นตรง (Linear fouling model)	2.3827
สมการแบบกฎยกกำลัง (Power-law fouling model)	2.3593
สมการแบบอัตราลดลง (Falling-rate fouling model)	11.5948
สมการแบบเอกโปเนนเชียล (Asymptotic fouling model)	11.6841

เมื่อเปรียบเทียบผลจากการจำลองระหว่างอุณหภูมิขาออกของสายน้ำมันดิบที่ได้จากโรงงานจริงกับผลที่ได้จากการจำลอง โดยเทียบผ่านสมการการเกิดฟาวลิงทั้ง 4 รูปแบบ ดังแสดงในตารางที่ 5.12 พบว่าสำหรับเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน E12 มีรูปแบบการเกิดฟาวลิงใกล้เคียงกับสมการการเกิดฟาวลิงแบบกฎยกกำลังมากที่สุด ซึ่งมีค่าผลต่างเฉลี่ยกำลังสอง (RMSE) น้อยที่สุดเท่ากับ 2.3593 จากผลการจำลองสามารถอธิบายรูปแบบการเกิดฟาวลิงของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน E12 ได้จากความสัมพันธ์ของสมการการเกิดฟาวลิงแบบกฎยกกำลัง (Power-law fouling model)

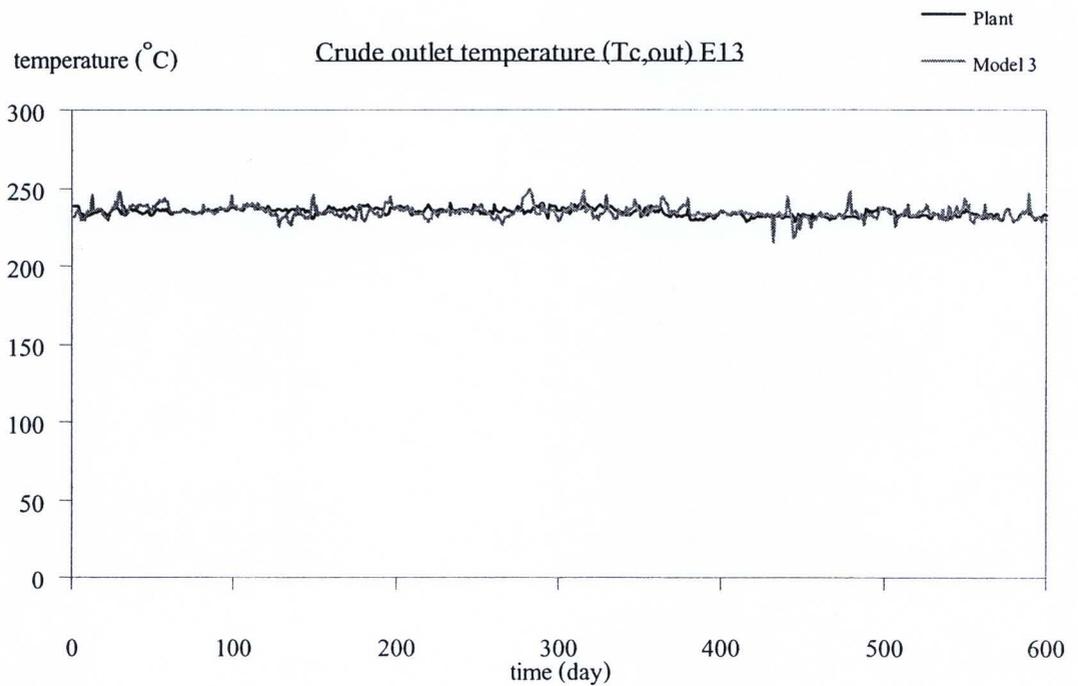
5.1.13 เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน E13



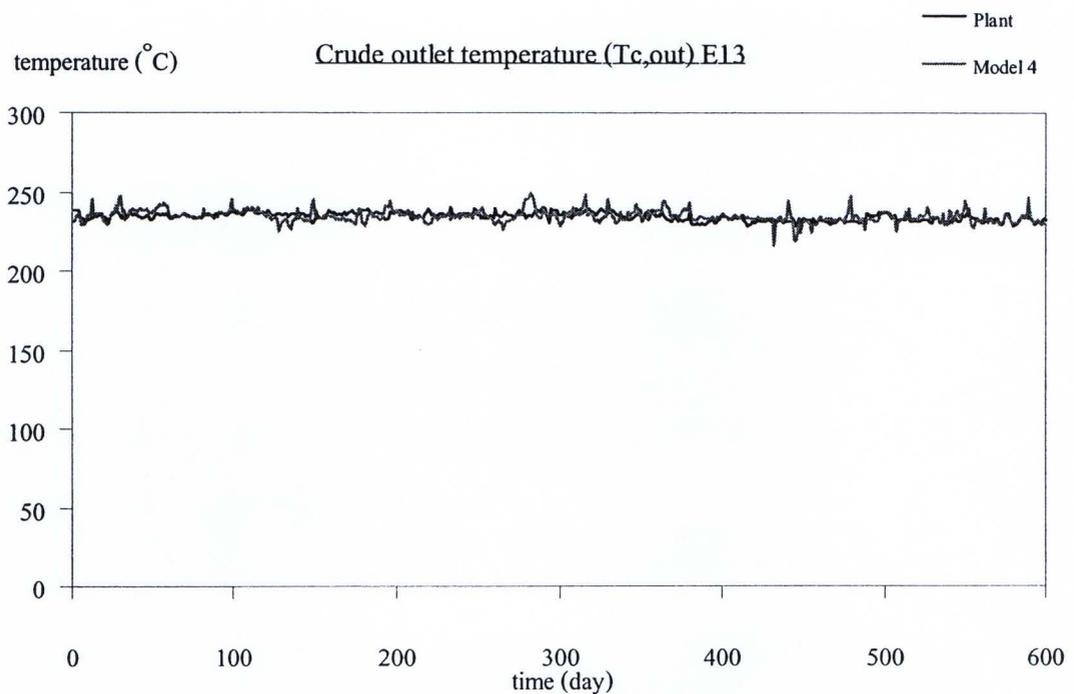
(ก) สมการการเกิดฟาวลิงแบบเส้นตรง



(๑) สมการการเกิดฟาวลิ่งแบบกฎยกกำลัง



(ค) สมการการเกิดฟาวลิ่งแบบอัตราลดลง



(ง) สมการการเกิดฟาวลิงแบบเอกโปเนนเชียล

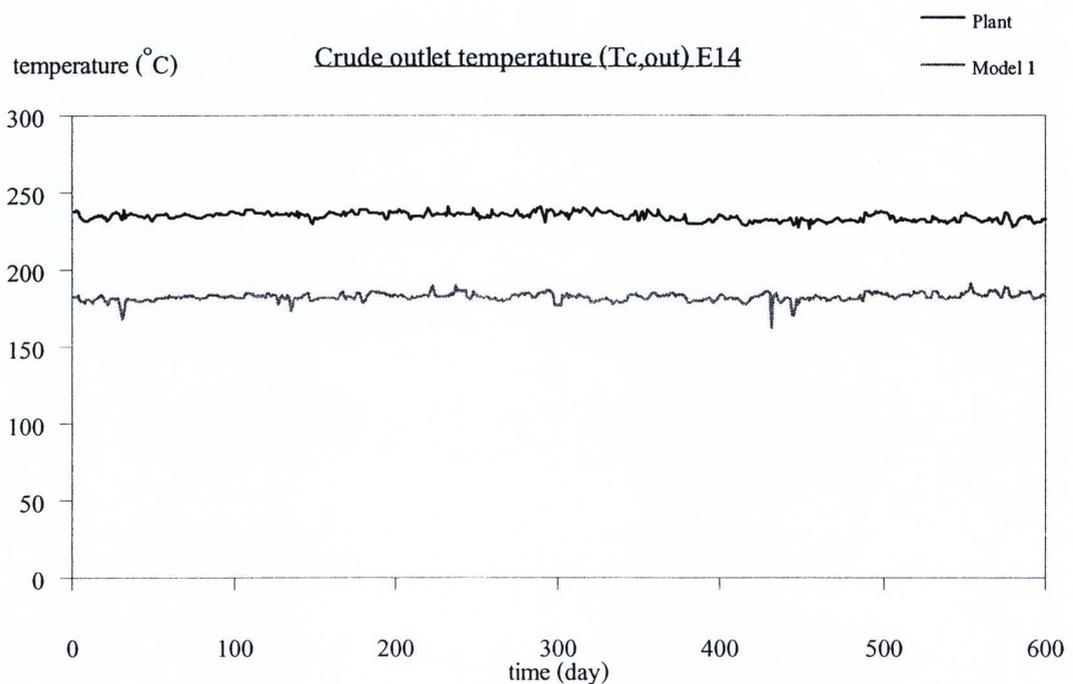
รูปที่ 5.13 กราฟแสดงอุณหภูมิขาออกสายน้ำมันดิบของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน E13
เปรียบเทียบระหว่างข้อมูลในโรงงานกับผลการจำลอง

ตารางที่ 5.13 เปรียบเทียบค่าข้อมูลจากโรงงานกับค่าจากการจำลองของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน E13 ที่พารามิเตอร์ $t_{p,c} = 0.0077$ day และ $n = -$

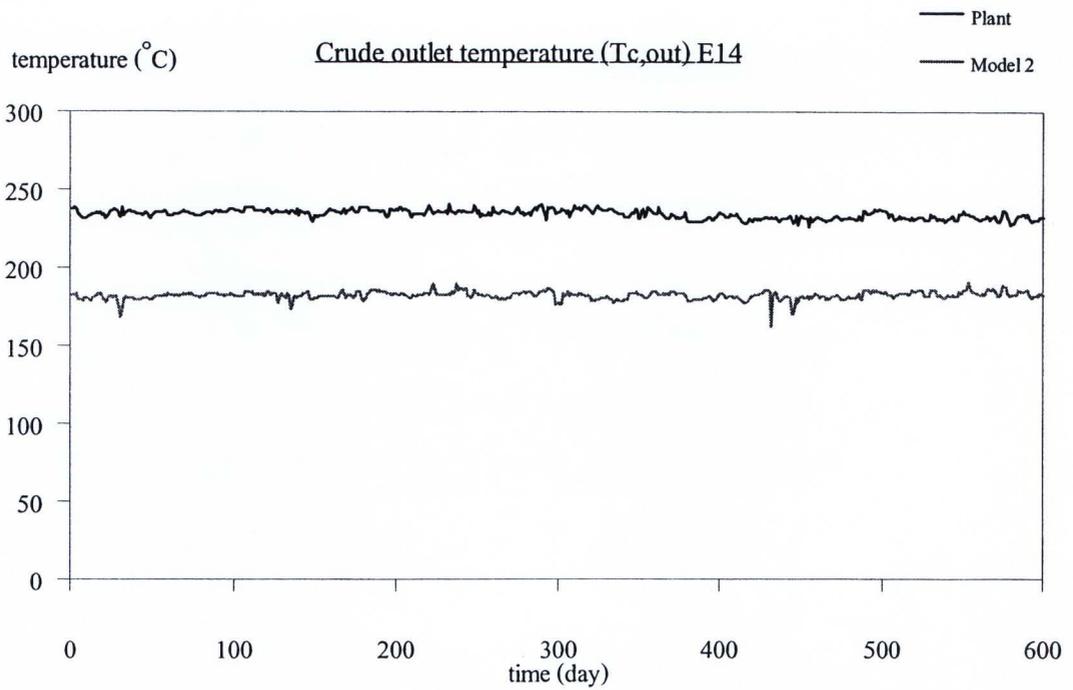
	RMSE
สมการแบบเส้นตรง (Linear fouling model)	8.8048
สมการแบบกฎยกกำลัง (Power-law fouling model)	8.7434
สมการแบบอัตราลดลง (Falling-rate fouling model)	4.0653
สมการแบบเอกโปเนนเชียล (Asymptotic fouling model)	4.0664

เมื่อเปรียบเทียบผลจากการจำลองระหว่างอุณหภูมิขาออกของสายน้ำมันดิบที่ได้จากโรงงานจริงกับผลที่ได้จากการจำลอง โดยเทียบผ่านสมการการเกิดฟาวลิงทั้ง 4 รูปแบบ ดังแสดงในตารางที่ 5.13 พบว่าสำหรับเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน E13 มีรูปแบบการเกิดฟาวลิงใกล้เคียงกับสมการการเกิดฟาวลิงแบบอัตราลดลงมากที่สุด ซึ่งมีค่าผลต่างเฉลี่ยกำลังสอง (RMSE) น้อยที่สุดเท่ากับ 4.0653 จากผลการจำลองสามารถอธิบายรูปแบบการเกิดฟาวลิงของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน E13 ได้จากความสัมพันธ์ของสมการการเกิดฟาวลิงแบบอัตราลดลง (Falling-rate fouling model)

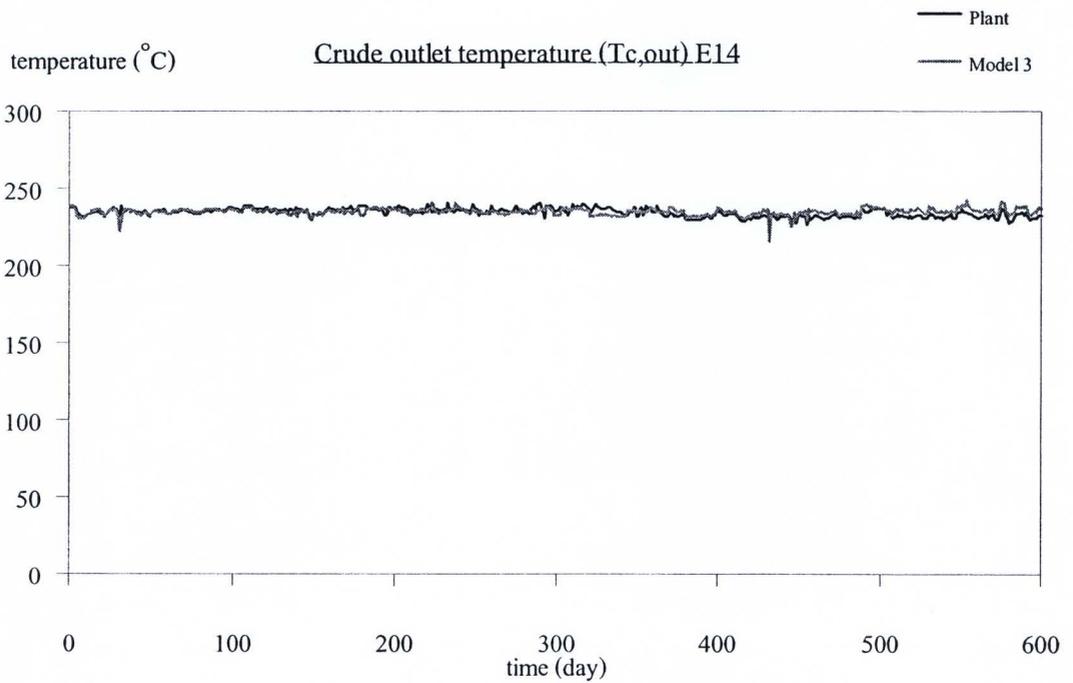
5.1.14 เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน E14



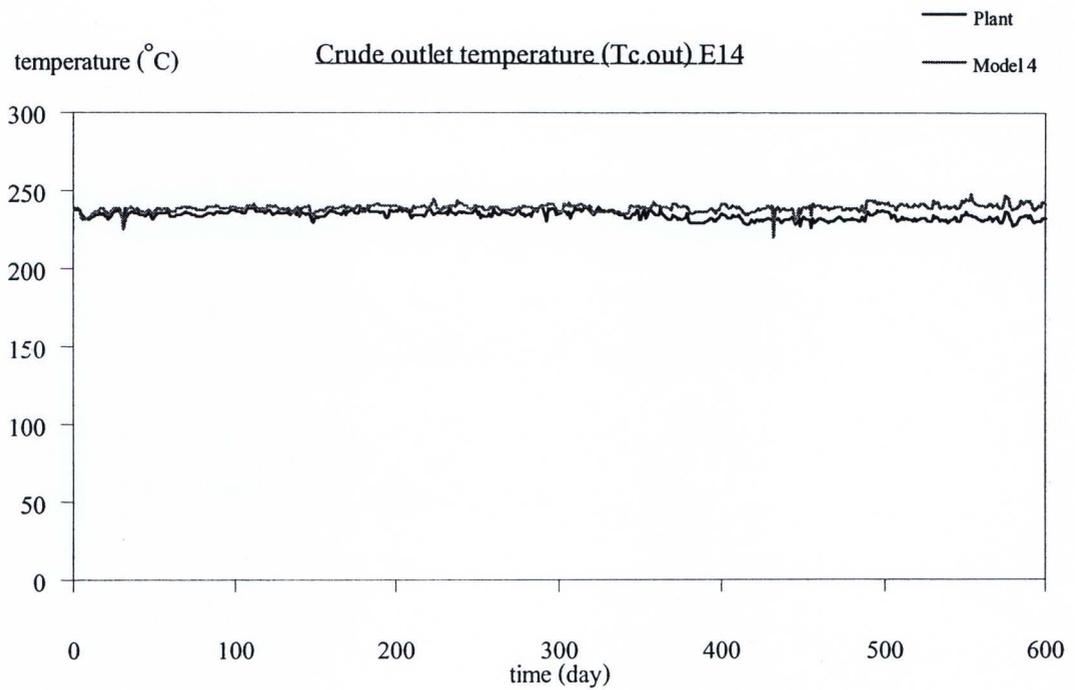
(ก) สมการการเกิดฟาวลิงแบบเส้นตรง



(ข) สมการการเกิดฟาวลิงแบบกฎยกกำลัง



(ค) สมการการเกิดฟาวลิงแบบอัตราลดลง



(ง) สมการการเกิดฟาวลิงแบบเอกโปเนนเชียล

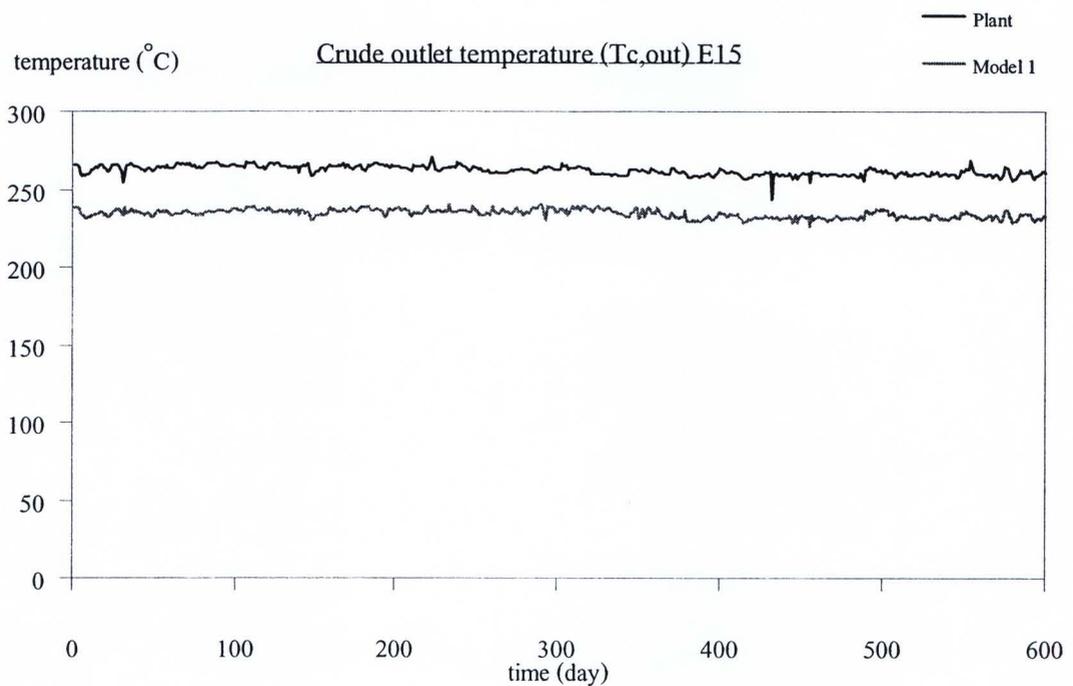
รูปที่ 5.14 กราฟแสดงอุณหภูมิขาออกสายน้ำมันดิบของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน E14
เปรียบเทียบระหว่างข้อมูลในโรงงานกับผลการจำลอง

ตารางที่ 5.14 เปรียบเทียบค่าข้อมูลจากโรงงานกับค่าจากการจำลองของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน E14 ที่พารามิเตอร์ $t_{p,c} = 0.00000000000009$ day และ $n = -$

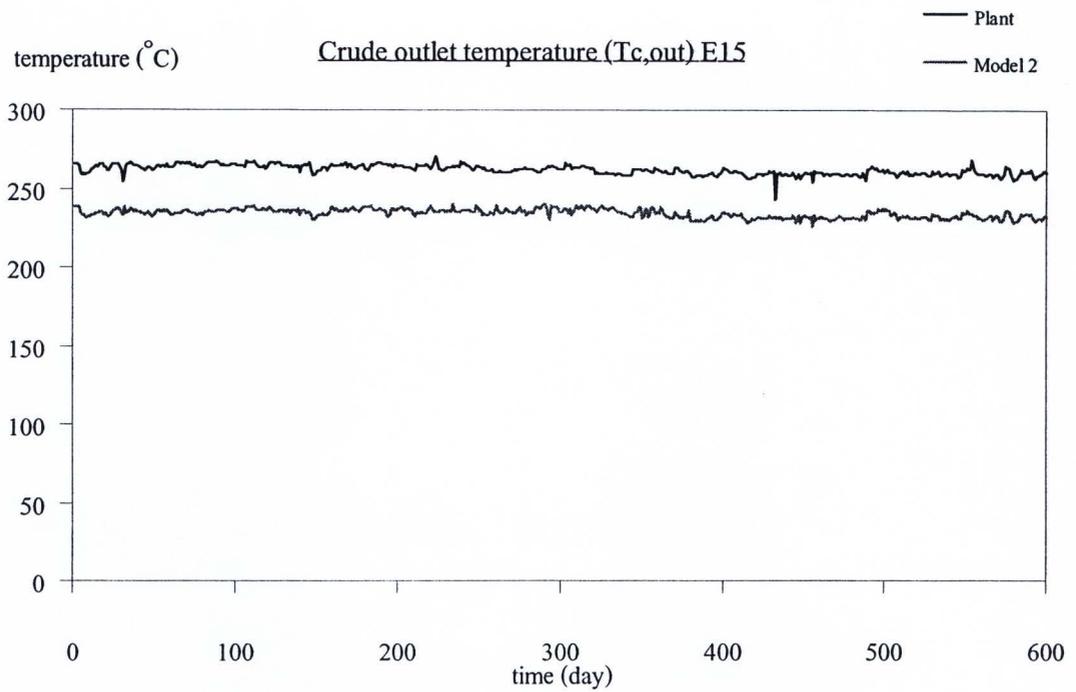
	RMSE
สมการแบบเส้นตรง (Linear fouling model)	52.2636
สมการแบบกฏยกกำลัง (Power-law fouling model)	52.2636
สมการแบบอัตราลดลง (Falling-rate fouling model)	2.7362
สมการแบบเอกโปเนนเชียล (Asymptotic fouling model)	5.6336

เมื่อเปรียบเทียบผลจากการจำลองระหว่างอุณหภูมิขาออกของสายน้ำมันดิบที่ได้จากโรงงานจริงกับผลที่ได้จากการจำลอง โดยเทียบผ่านสมการการเกิดฟาวลิงทั้ง 4 รูปแบบ ดังแสดงในตารางที่ 5.14 พบว่าสำหรับเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน E14 มีรูปแบบการเกิดฟาวลิงใกล้เคียงกับสมการการเกิดฟาวลิงแบบอัตราการลดลงมากที่สุด ซึ่งมีค่าผลต่างเฉลี่ยกำลังสอง (RMSE) น้อยที่สุดเท่ากับ 2.7362 จากผลการจำลองสามารถอธิบายรูปแบบการเกิดฟาวลิงของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน E14 ได้จากความสัมพันธ์ของสมการการเกิดฟาวลิงแบบอัตราการลดลง (Falling-rate fouling model)

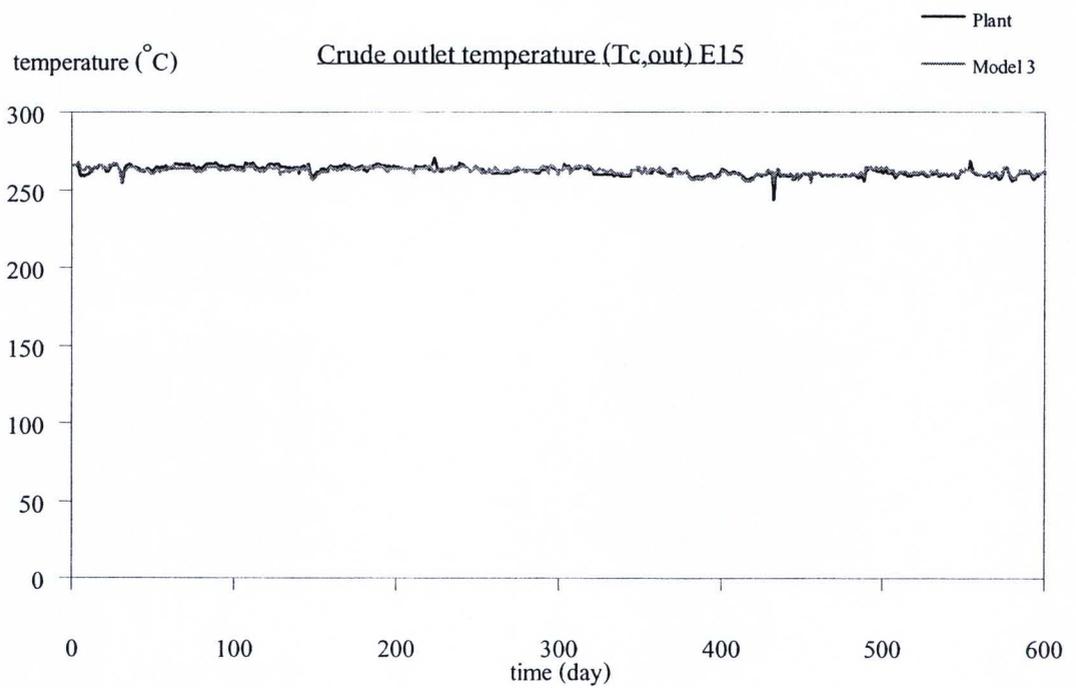
5.1.15 เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน E15



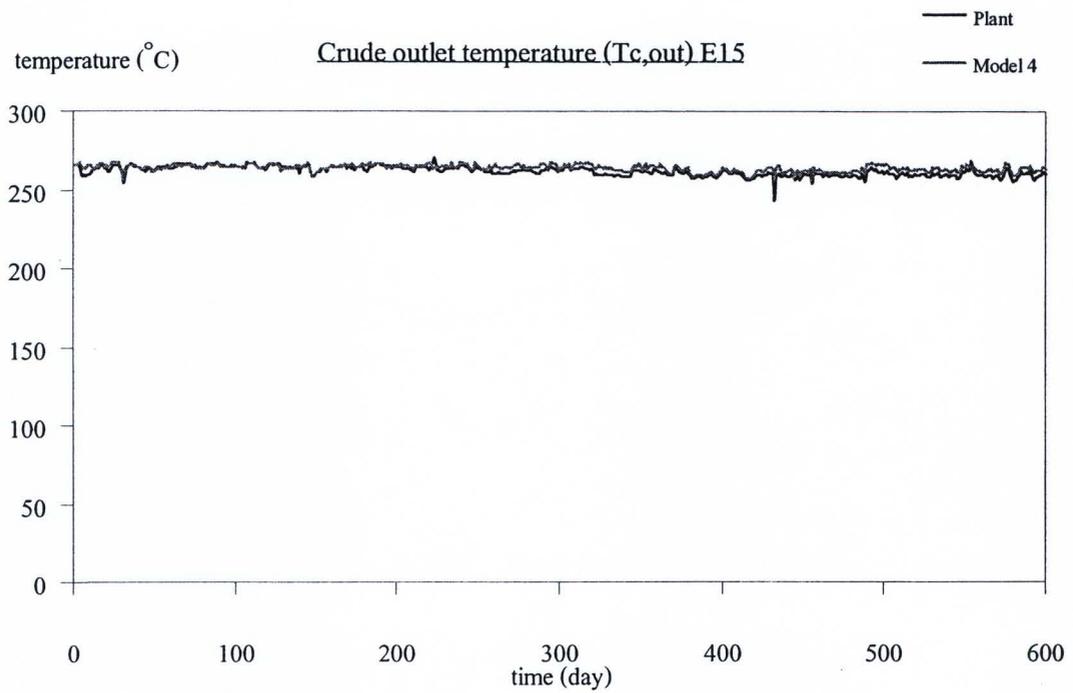
(ก) สมการการเกิดฟาวลิงแบบเส้นตรง



(๗) สมการการเกิดฟาวลิ่งแบบกฎยกกำลัง



(ค) สมการการเกิดฟาวลิ่งแบบอัตราลดลง



(ง) สมการการเกิดฟาวลิงแบบเอกโปเนนเชียล

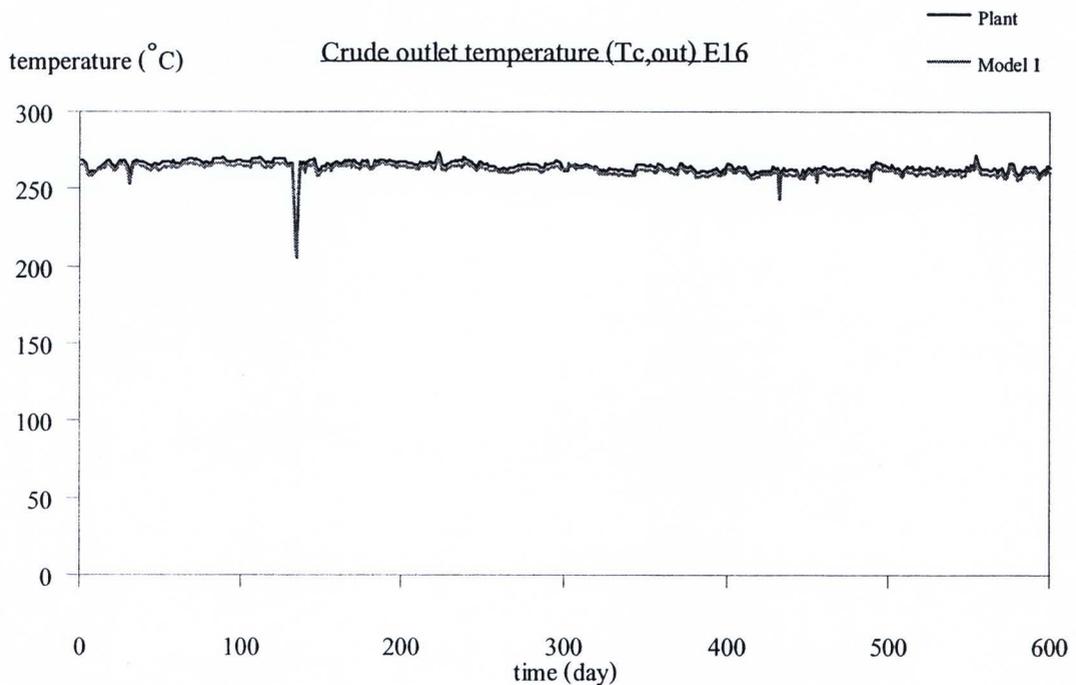
รูปที่ 5.15 กราฟแสดงอุณหภูมิขาออกสายน้ำมันดิบของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน E15
เปรียบเทียบระหว่างข้อมูลในโรงงานกับผลการจำลอง

ตารางที่ 5.15 เปรียบเทียบค่าข้อมูลจากโรงงานกับค่าจากการจำลองของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน E15 ที่พารามิเตอร์ $t_{p,c} = 0.0000000001$ day และ $n = -$

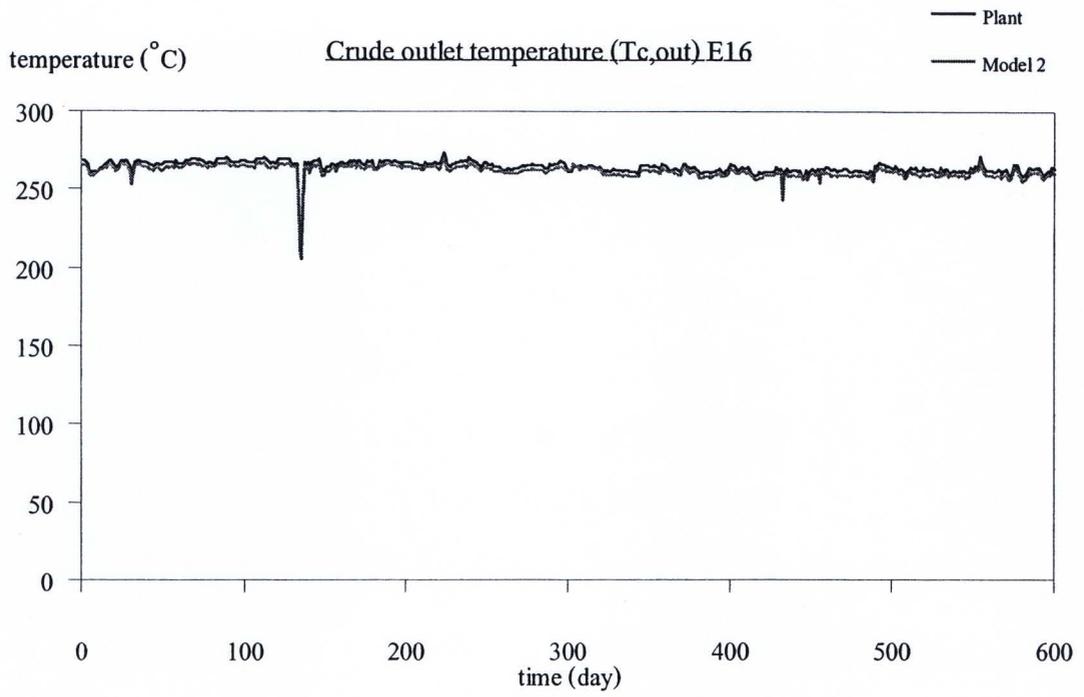
	RMSE
สมการแบบเส้นตรง (Linear fouling model)	27.7906
สมการแบบกฎยกกำลัง (Power-law fouling model)	26.7906
สมการแบบอัตราลดลง (Falling-rate fouling model)	1.7029
สมการแบบเอกโปเนนเชียล (Asymptotic fouling model)	2.6185

เมื่อเปรียบเทียบผลจากการจำลองระหว่างอุณหภูมิขาออกของสายน้ำมันดิบที่ได้จากโรงงานจริงกับผลที่ได้จากการจำลอง โดยเทียบผ่านสมการการเกิดฟาวลิงทั้ง 4 รูปแบบ ดังแสดงในตารางที่ 5.15 พบว่าสำหรับเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน E15 มีรูปแบบการเกิดฟาวลิงใกล้เคียงกับสมการการเกิดฟาวลิงแบบอัตราการลดลงมากที่สุด ซึ่งมีค่าผลต่างเฉลี่ยกำลังสอง (RMSE) น้อยที่สุดเท่ากับ 1.7029 จากผลการจำลองสามารถอธิบายรูปแบบการเกิดฟาวลิงของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน E15 ได้จากความสัมพันธ์ของสมการการเกิดฟาวลิงแบบอัตราการลดลง (Falling-rate fouling model)

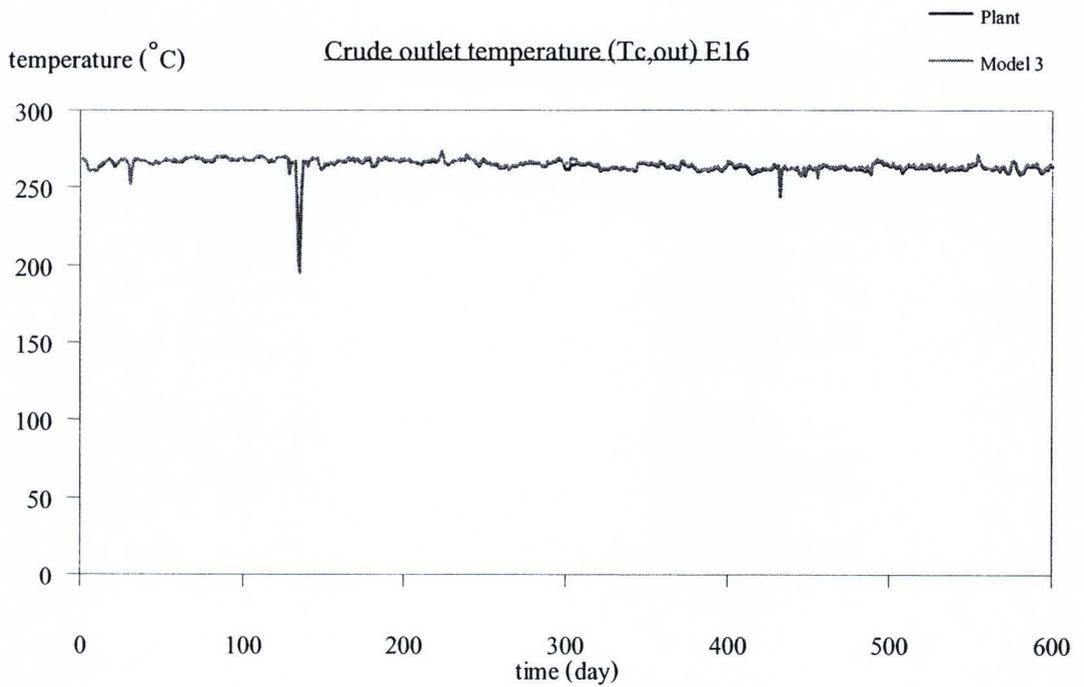
5.1.16 เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน E16



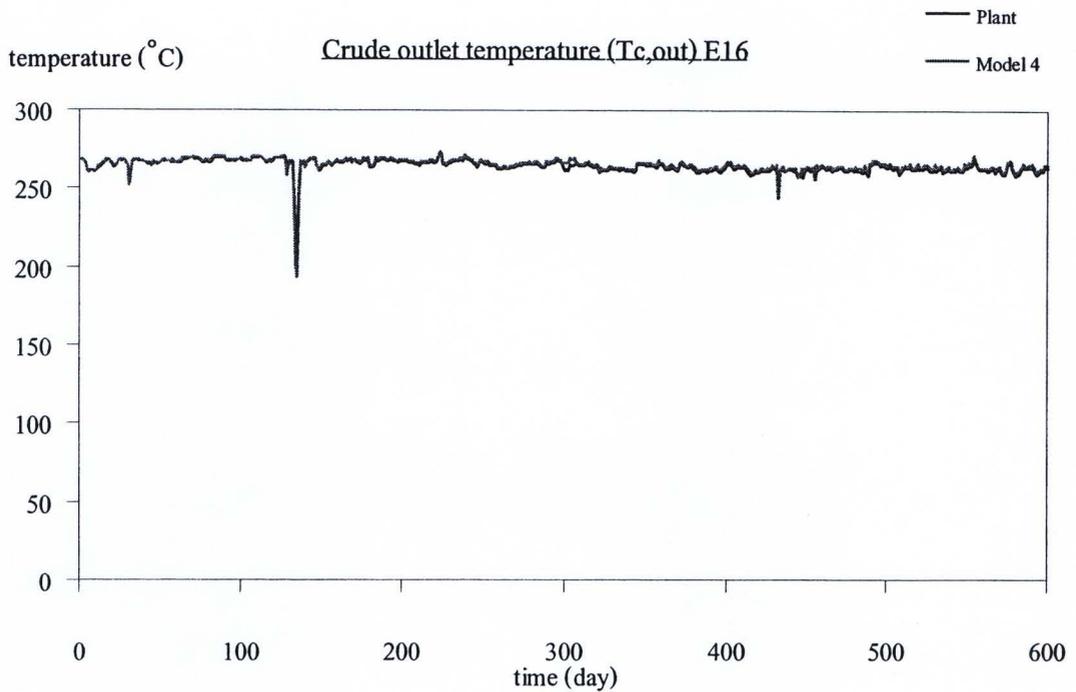
(ก) สมการการเกิดฟาวลิงแบบเส้นตรง



(ข) สมการการเกิดฟาวลิ่งแบบกฎยกกำลัง



(ค) สมการการเกิดฟาวลิ่งแบบอัตราลดลง



(ง) สมการการเกิดฟาวลิงแบบเอกโปเนนเชียล

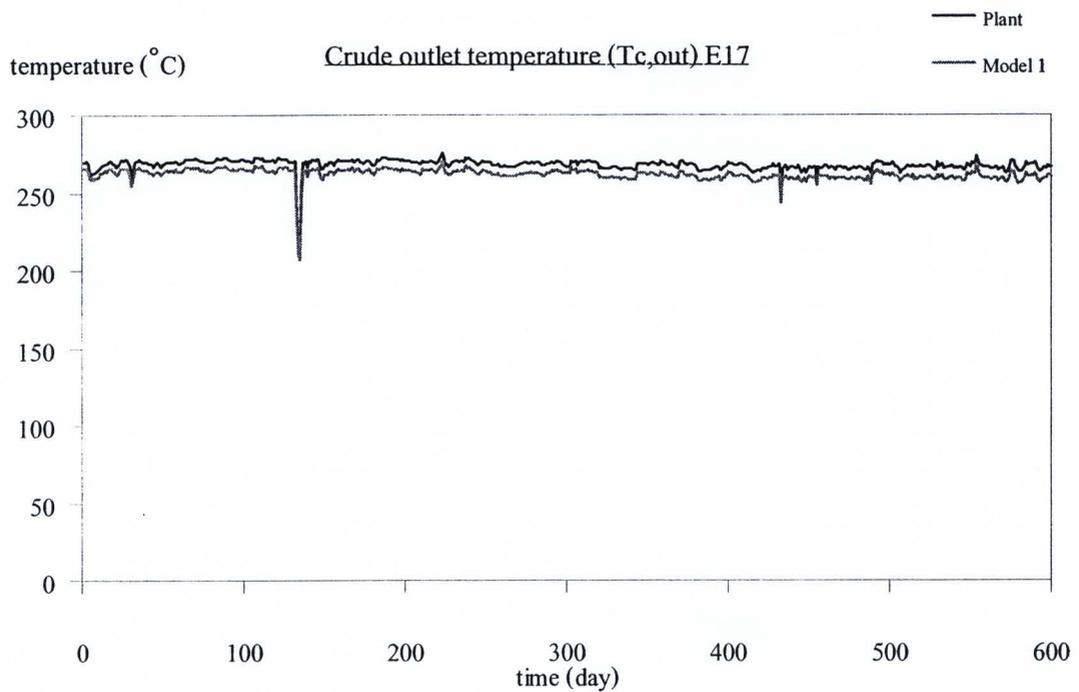
รูปที่ 5.16 กราฟแสดงอุณหภูมิขาออกสายน้ำมันดิบของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน E16
เปรียบเทียบระหว่างข้อมูลในโรงงานกับผลการจำลอง

ตารางที่ 5.16 เปรียบเทียบค่าข้อมูลจากโรงงานกับค่าจากการจำลองของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน E16 ที่พารามิเตอร์ $t_{p,c} = 0.00000000000002$ day และ $n = -$

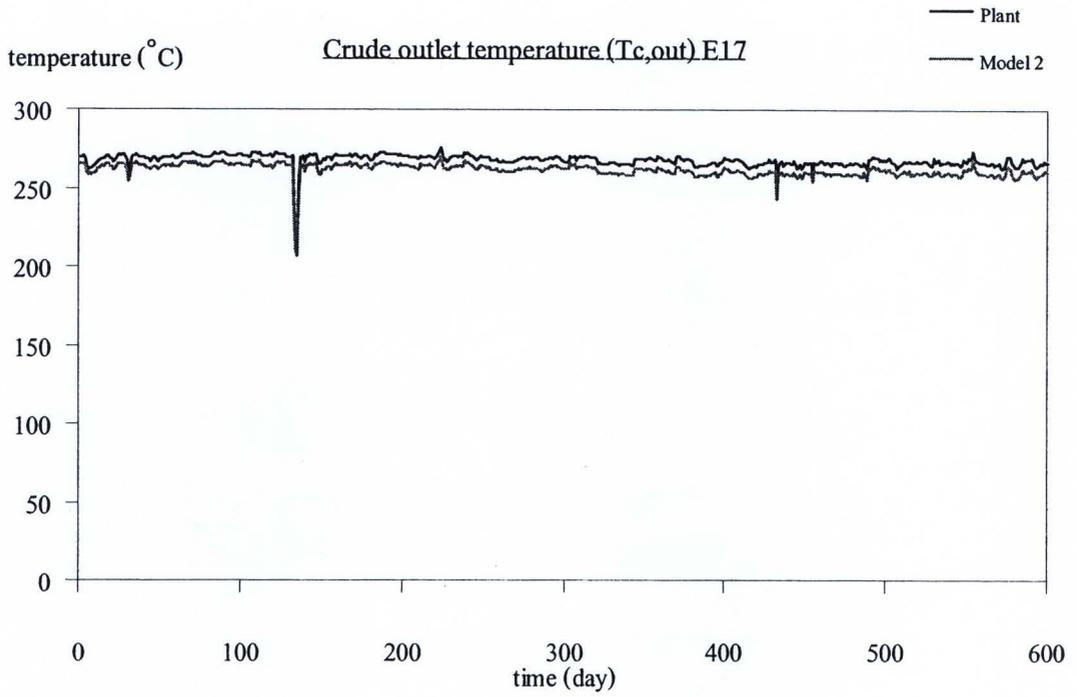
	RMSE
สมการแบบเส้นตรง (Linear fouling model)	2.7048
สมการแบบกฎยกกำลัง (Power-law fouling model)	2.7048
สมการแบบอัตราลดลง (Falling-rate fouling model)	1.1299
สมการแบบเอกโปเนนเชียล (Asymptotic fouling model)	1.4094

เมื่อเปรียบเทียบผลจากการจำลองระหว่างอุณหภูมิขาออกของสายน้ำมันดิบที่ได้จากโรงงานจริงกับผลที่ได้จากการจำลอง โดยเทียบผ่านสมการการเกิดฟาวลิงทั้ง 4 รูปแบบ ดังแสดงในตารางที่ 5.16 พบว่าสำหรับเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน E16 มีรูปแบบการเกิดฟาวลิงใกล้เคียงกับสมการการเกิดฟาวลิงแบบอัตราการลดลงมากที่สุด ซึ่งมีค่าผลต่างเฉลี่ยกำลังสอง (RMSE) น้อยที่สุดเท่ากับ 1.1299 จากผลการจำลองสามารถอธิบายรูปแบบการเกิดฟาวลิงของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน E16 ได้จากความสัมพันธ์ของสมการการเกิดฟาวลิงแบบอัตราการลดลง (Falling-rate fouling model)

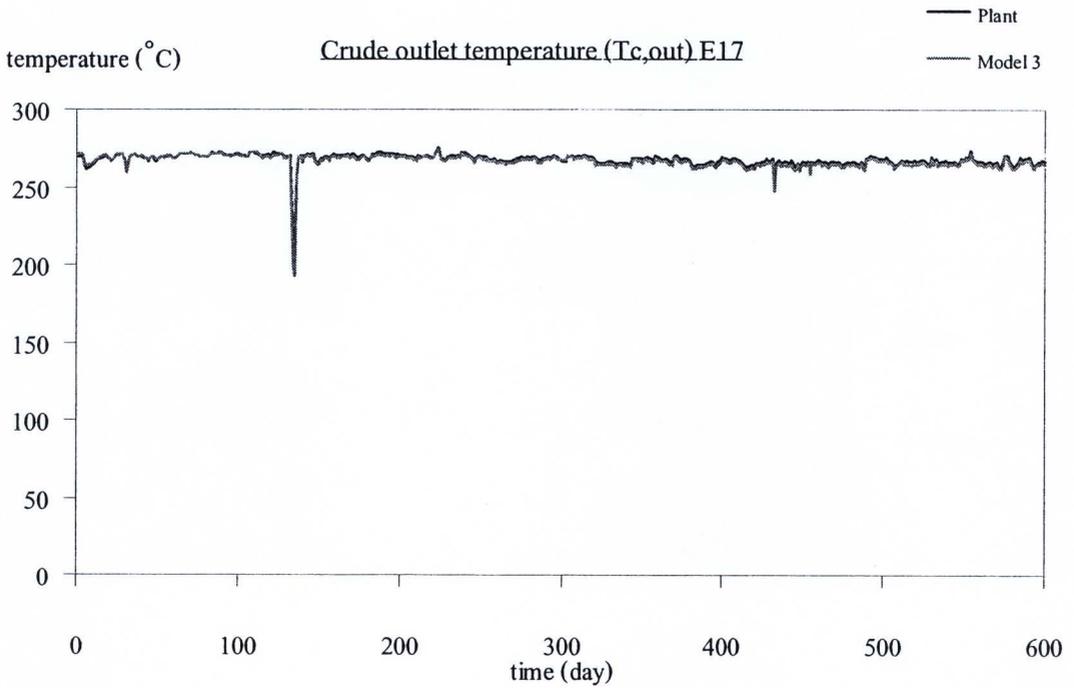
5.1.17 เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน E17



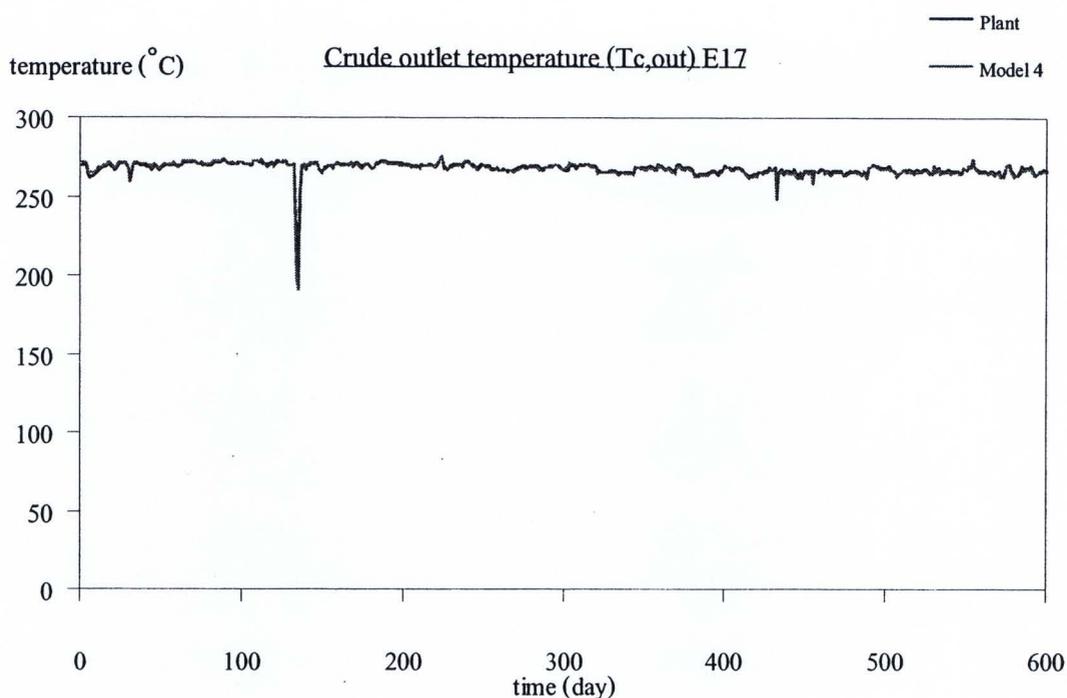
(ก) สมการการเกิดฟาวลิงแบบเส้นตรง



(ข) สมการการเกิดฟาวลิ่งแบบกฎยกกำลัง



(ค) สมการการเกิดฟาวลิ่งแบบอัตราลดลง



(ง) สมการการเกิดฟาวลิงแบบเอกโปเนนเชียล

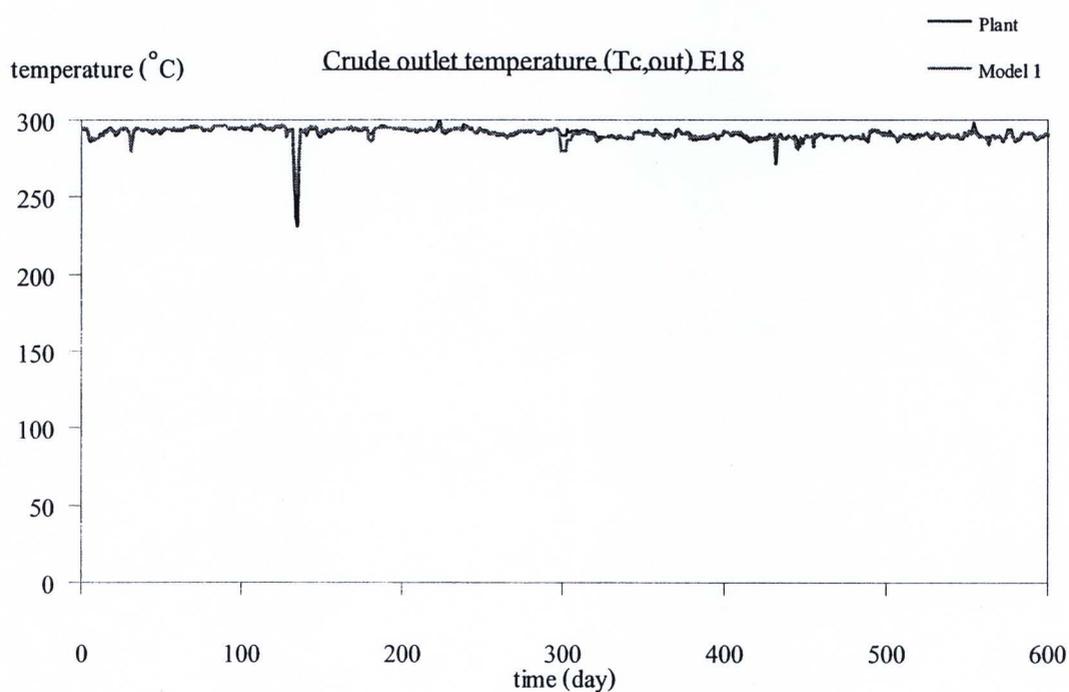
รูปที่ 5.17 กราฟแสดงอุณหภูมิขาออกสายน้ำมันดิบของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน E17
เปรียบเทียบระหว่างข้อมูลในโรงงานกับผลการจำลอง

ตารางที่ 5.17 เปรียบเทียบค่าข้อมูลจากโรงงานกับค่าจากการจำลองของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน E17 ที่พารามิเตอร์ $t_{p,c} = 0.00000000000009$ day และ $n = -$

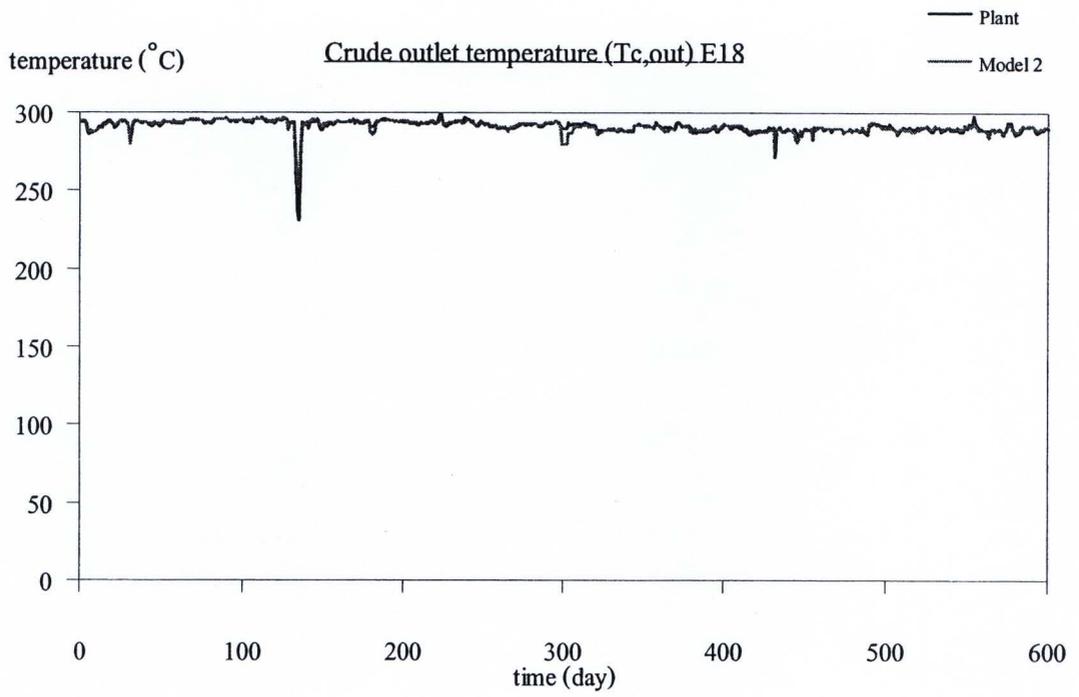
	RMSE
สมการแบบเส้นตรง (Linear fouling model)	6.1941
สมการแบบกฎยกกำลัง (Power-law fouling model)	6.1941
สมการแบบอัตราลดลง (Falling-rate fouling model)	1.5715
สมการแบบเอกโปเนนเชียล (Asymptotic fouling model)	1.1130

เมื่อเปรียบเทียบผลจากการจำลองระหว่างอุณหภูมิขาออกของสายน้ำมันดิบที่ได้จากโรงงานจริงกับผลที่ได้จากการจำลอง โดยเทียบผ่านสมการการเกิดฟาวลิงทั้ง 4 รูปแบบ ดังแสดงในตารางที่ 5.17 พบว่าสำหรับเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน E17 มีรูปแบบการเกิดฟาวลิงใกล้เคียงกับสมการการเกิดฟาวลิงแบบเอกโปเนนเชียลมากที่สุด ซึ่งมีค่าผลต่างเฉลี่ยกำลังสอง (RMSE) น้อยที่สุดเท่ากับ 1.1130 ผลการจำลองสามารถอธิบายรูปแบบการเกิดฟาวลิงของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน E17 ได้จากความสัมพันธ์ของสมการการเกิดฟาวลิงแบบเอกโปเนนเชียล (Asymptotic fouling model)

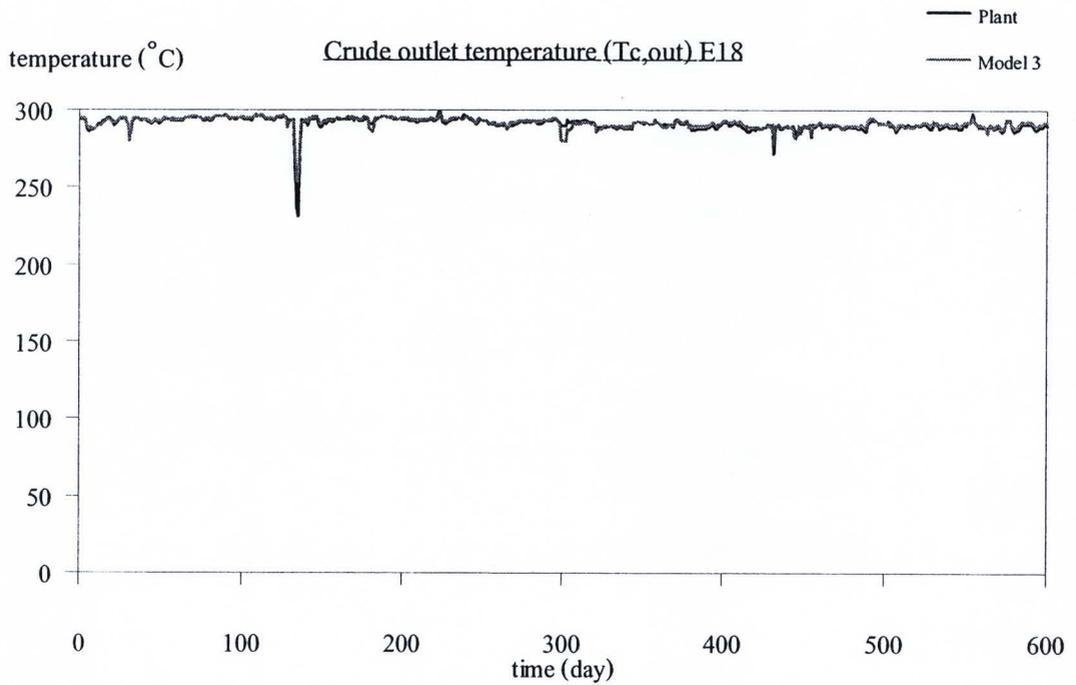
5.1.18 เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน E18



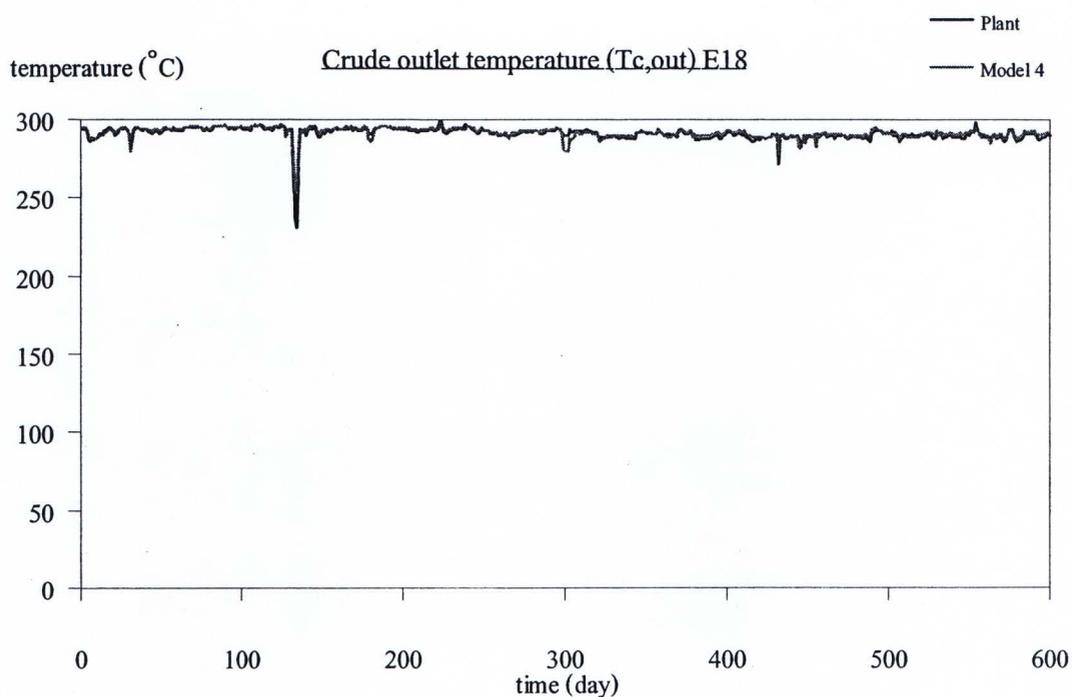
(ก) สมการการเกิดฟาวลิงแบบเส้นตรง



(ข) สมการการเกิดฟาวลิงแบบกฎยกกำลัง



(ค) สมการการเกิดฟาวลิงแบบอัตราลดลง



(ง) สมการการเกิดฟาวลิงแบบเอกโปเนนเชียล

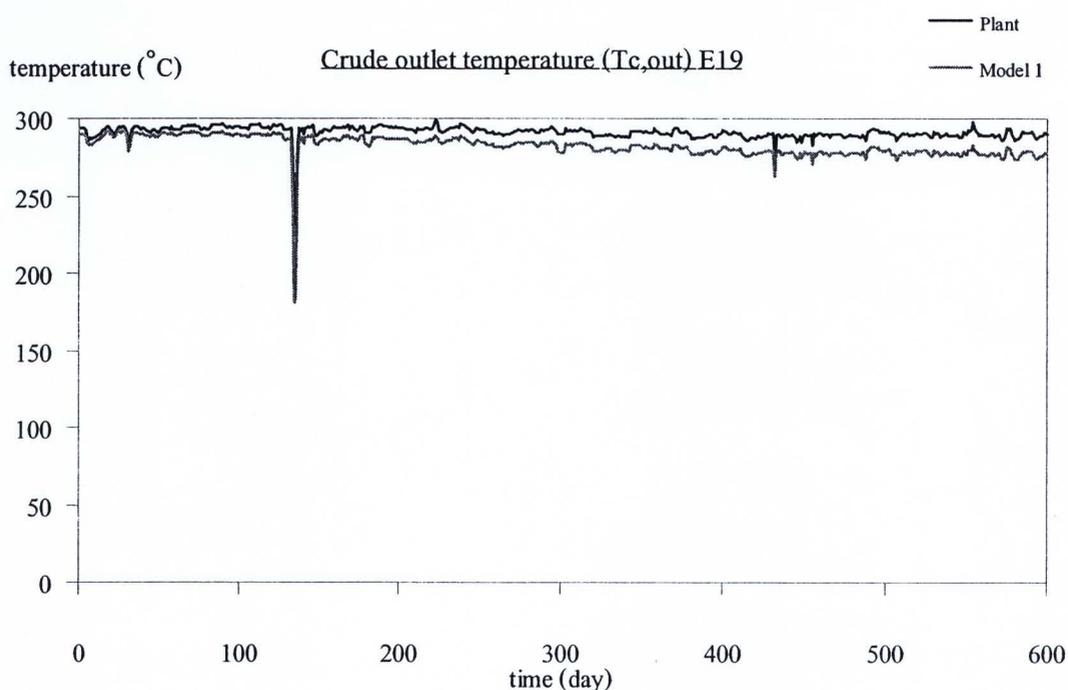
รูปที่ 5.18 กราฟแสดงอุณหภูมิขาออกสายน้ำมันดิบของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน E18
เปรียบเทียบระหว่างข้อมูลในโรงงานกับผลการจำลอง

ตารางที่ 5.18 เปรียบเทียบค่าข้อมูลจากโรงงานกับค่าจากการจำลองของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน E18 ที่พารามิเตอร์ $t_{p,c} = 2$ day และ $n = 0.99$

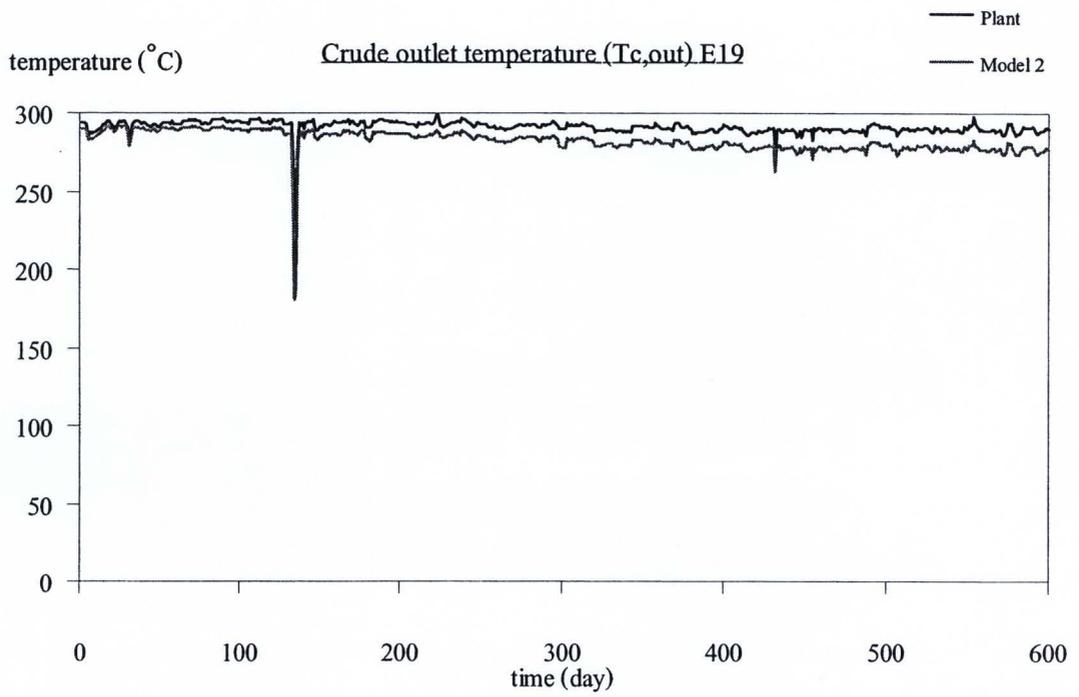
	RMSE
สมการแบบเส้นตรง (Linear fouling model)	1.8288
สมการแบบกฎยกกำลัง (Power-law fouling model)	1.8244
สมการแบบอัตราลดลง (Falling-rate fouling model)	1.9222
สมการแบบเอกโปเนนเชียล (Asymptotic fouling model)	1.9184

เมื่อเปรียบเทียบผลจากการจำลองระหว่างอุณหภูมิขาออกของสายน้ำมันดิบที่ได้จากโรงงานจริงกับผลที่ได้จากการจำลอง โดยเทียบผ่านสมการการเกิดฟาวลิงทั้ง 4 รูปแบบที่แสดงในตารางที่ 5.18 พบว่าสำหรับเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน E18 มีรูปแบบการเกิดฟาวลิงใกล้เคียงกับสมการการเกิดฟาวลิงแบบกฎยกกำลังมากที่สุด ซึ่งมีค่าผลต่างเฉลี่ยกำลังสอง (RMSE) น้อยที่สุดเท่ากับ 1.8244 ผลการจำลองสามารถอธิบายรูปแบบการเกิดฟาวลิงของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน E18 ได้จากความสัมพันธ์ของสมการการเกิดฟาวลิงแบบกฎยกกำลัง (Power-law fouling model)

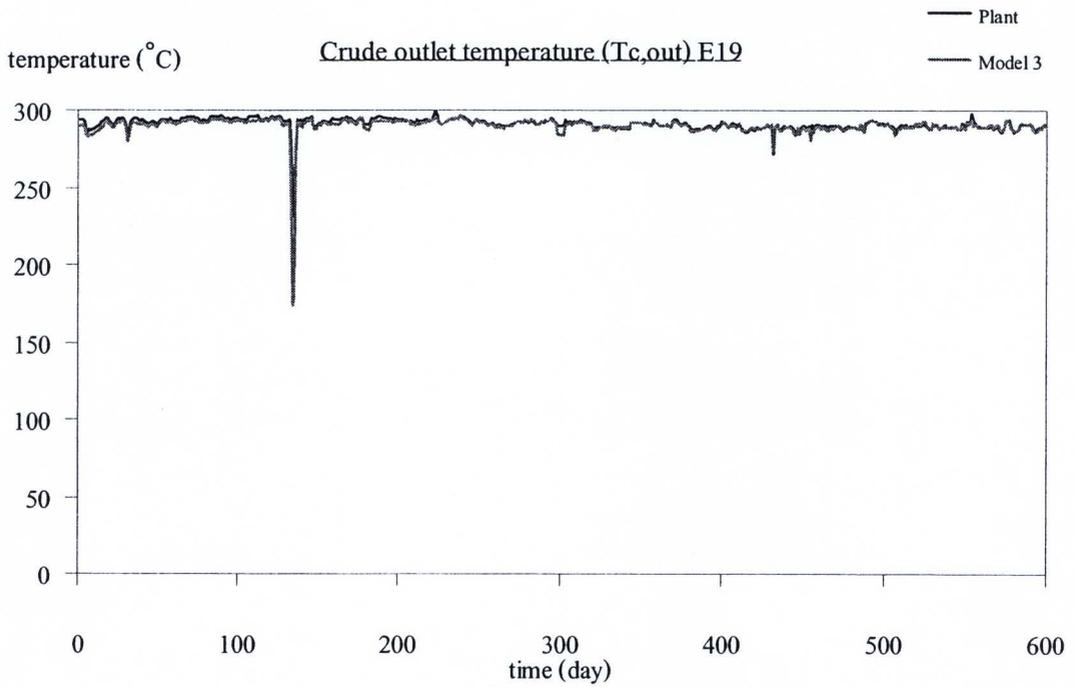
5.1.19 เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน E19



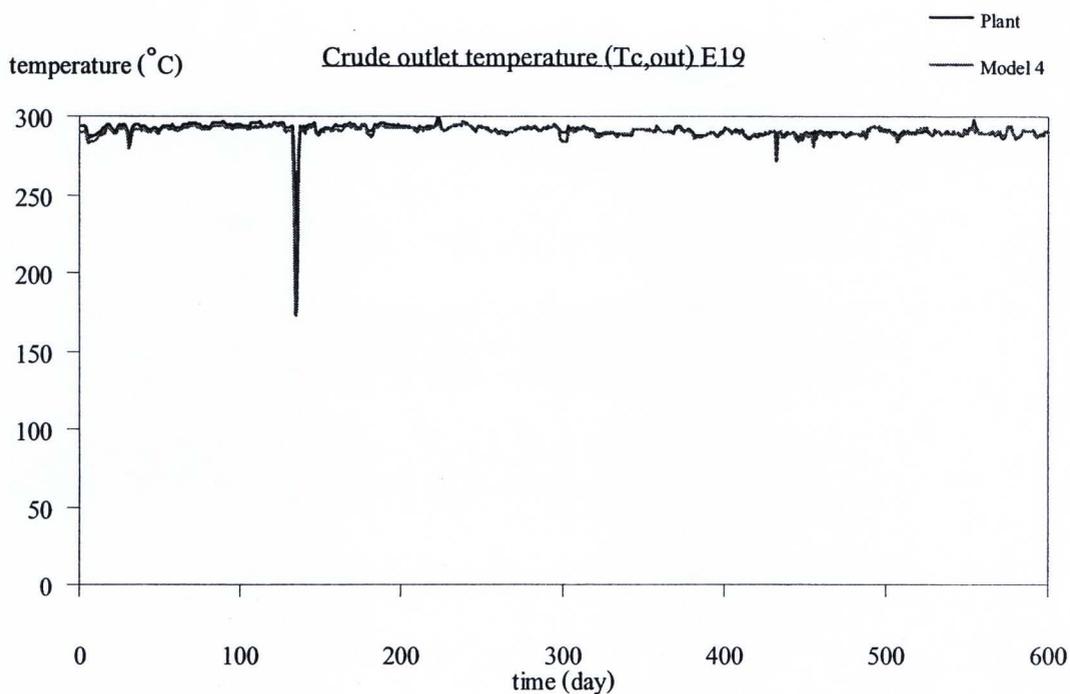
(ก) สมการการเกิดฟาวลิงแบบเส้นตรง



(ข) สมการการเกิดฟาวลิ่งแบบกฎยกกำลัง



(ค) สมการการเกิดฟาวลิ่งแบบอัตราลดลง



(ง) สมการการเกิดฟาวลิงแบบเอกโปเนนเชียล

รูปที่ 5.19 กราฟแสดงอุณหภูมิขาออกสายน้ำมันดิบของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน E19
เปรียบเทียบระหว่างข้อมูลในโรงงานกับผลการจำลอง

ตารางที่ 5.19 เปรียบเทียบค่าข้อมูลจากโรงงานกับค่าจากการจำลองของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน E19 ที่พารามิเตอร์ $t_{p,c} = 0.066$ day และ $n = -$

	RMSE
สมการแบบเส้นตรง (Linear fouling model)	9.6207
สมการแบบกฎยกกำลัง (Power-law fouling model)	9.6207
สมการแบบอัตราลดลง (Falling-rate fouling model)	1.7252
สมการแบบเอกโปเนนเชียล (Asymptotic fouling model)	2.7117

เมื่อเปรียบเทียบผลจากการจำลองระหว่างอุณหภูมิขาออกของสายน้ำมันดิบที่ได้จากโรงงานจริงกับผลที่ได้จากการจำลอง โดยเทียบผ่านสมการการเกิดฟาวลิงทั้ง 4 รูปแบบ ดังแสดงในตารางที่ 5.19 พบว่าสำหรับเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน E19 มีรูปแบบการเกิดฟาวลิงใกล้เคียงกับสมการการเกิดฟาวลิงแบบอัตราการลดลงมากที่สุด ซึ่งมีค่าผลต่างเฉลี่ยกำลังสอง (RMSE) น้อยที่สุดเท่ากับ 1.7252 ผลการจำลองสามารถอธิบายรูปแบบการเกิดฟาวลิงของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน E19 ได้จากความสัมพันธ์ของสมการการเกิดฟาวลิงแบบอัตราการลดลง (Falling-rate fouling model)

ผลจากการจำลอง เพื่อหาลักษณะรูปแบบการเกิดฟาวลิงที่เหมาะสมกับเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแต่ละเครื่องในข่ายงานรวม 19 เครื่อง ซึ่งได้แสดงกราฟที่ใช้เทียบข้อมูลระหว่างข้อมูลอุณหภูมิขาออกของสายผลิตภัณฑ์น้ำมันดิบที่ได้จากโรงงาน และข้อมูลอุณหภูมิขาออกของสายผลิตภัณฑ์น้ำมันดิบที่ได้จากการจำลองในเวลากการดำเนินงานต่อเนื่อง 600 วัน ลักษณะของกราฟที่แสดงการเปรียบเทียบระหว่างข้อมูลที่ได้จากโรงงาน และข้อมูลที่ได้จากการจำลองรูปแบบการเกิดฟาวลิงทั้ง 4 แบบ พบว่าเกิดขึ้นที่ 2 ลักษณะ ได้แก่ ลักษณะการเกิดช่องว่างระหว่างเส้นกราฟสองเส้นที่มีช่วงระยะห่างกันของทั้งสองเส้น และลักษณะของกราฟที่มีระยะของช่องว่างระหว่างเส้นกราฟสองเส้นน้อยมากจนเหมือนจะทับกันสนิท ที่เป็นเช่นนั้นเนื่องจากค่าคงที่ของเวลาในการเกิดฟาวลิง $t_{p,c}$ มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิขาออกของสายผลิตภัณฑ์น้ำมันดิบโดยตรง และถัดมาคือค่าที่ขึ้นอยู่กับส่วนประกอบของสายร้อนและสายเย็น n โดยมีผลกับการจำลองในสมการการเกิดฟาวลิงแบบยกกำลังเท่านั้น อธิบายได้จากเทอมสมการของการเกิดฟาวลิงทั้ง 4 รูปแบบ ที่อยู่ในรูปของค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม $U_{(i)}$ จากสมการเมื่อแทนค่าคงที่ของเวลาในการเกิดฟาวลิง $t_{p,c}$ เพื่อหารูปแบบสมการการเกิดฟาวลิงที่เหมาะสมจากทั้ง 4 แบบ จำเป็นต้องแทนค่าแล้วให้ผลค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยยกกำลังสอง (RMSE) ของรูปแบบการเกิดฟาวลิงภายใน 4 แบบ จนกระทั่งมีค่าน้อยที่สุด ดังนั้นเมื่อค่าคงที่ของเวลาในการเกิดฟาวลิง $t_{p,c}$ ที่แทนลงในแบบจำลองใดๆ แล้วทำให้ค่า RMSE มีค่าน้อยใกล้เคียงศูนย์มากที่สุด ในแบบจำลองนั้นๆ ก็จะเป็นเหตุให้แบบจำลองอื่น ๆ ที่ไม่ได้เลือกมีความต่างของค่าอุณหภูมิช่วงระยะห่างที่แสดงจากกราฟ ตามค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยกำลังสอง (RMSE) ยิ่งค่า RMSE มีค่ามากเท่าไรช่วงระยะห่างของเส้นกราฟก็มากขึ้นเท่านั้น ซึ่งหากจำเป็นต้องการลดช่องระยะห่างของเส้นกราฟนั้นสามารถทำได้เช่นเดียวกัน แต่ผลที่ได้คือค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยกำลังสอง (RMSE) ที่ใช้สำหรับเลือกรูปแบบการเกิดฟาวลิงที่เหมาะสมก็จะมีค่าความแม่นยำน้อยลงด้วยเช่นเดียวกัน ฉะนั้นเพื่อให้ได้แบบจำลองที่มีค่าความใกล้เคียงกับข้อมูลการดำเนินงานจริงมากที่สุดงานวิจัยจึงเลือกรูปแบบ

การเกิดฟาวลิงด้วยการแทนค่าพารามิเตอร์ ที่ทำให้รูปแบบจำลองใด ๆ มีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยกำลังสอง (RMSE) น้อยที่สุดเป็นหลัก อีกทั้งจากผลการหาพารามิเตอร์ของค่าเวลาคงที่การเกิดฟาวลิง $t_{p,c}$ ข้อสังเกตที่พบคือ ค่าเวลาคงที่การเกิดฟาวลิง $t_{p,c}$ ที่ได้จากการแทนลงในสมการการเกิดฟาวลิงใด ๆ แล้วทำให้ค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยกำลังสองมีค่าเข้าใกล้ศูนย์มากที่สุด นั้นมีค่าน้อยมากเมื่อเทียบในหน่วยของวัน (day) ทั้งนี้เป็นไปได้ว่าข้อมูลของอุณหภูมิขาออกของสายผลิตภัณฑ์น้ำมันดิบที่นำมาใช้ในการจำลองและนำมาเปรียบเทียบในช่วงระยะเวลาการดำเนินงานต่อเนื่อง 600 วัน นั้นเป็นข้อมูลที่ไม่สอดคล้องกับค่าคงที่ที่ใช้ในสมการการหาค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม $U_{(i)}$ ที่มีการเกิดฟาวลิงเปลี่ยนแปลงไปตามเวลา $R_{f(i)}$ ทั้ง 4 รูปแบบสมการ ได้แก่ ค่าคงที่การเกิดฟาวลิง $R_{f,c}$ และค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนที่จุดเริ่มต้น U_c เนื่องจากค่าเวลาคงที่การเกิดฟาวลิง $t_{p,c}$ คือค่าช่วงเวลาที่ทำให้ค่าการเกิดฟาวลิงที่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลาใด ๆ $R_f(t)$ เข้าใกล้ค่าคงที่ในการเกิดฟาวลิง $R_{f,c}$ ที่เกิดขึ้นในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน ดังนั้นหากข้อมูลอุณหภูมิขาออกสายผลิตภัณฑ์น้ำมันดิบในช่วงระยะเวลาดำเนินการต่อเนื่อง 600 วัน ไม่ได้เป็นข้อมูลที่ได้นั้น วันที่เริ่มต้นหลังจากผ่านการทำความสะอาดซึ่งมีค่าคงที่การเกิดฟาวลิง $R_{f,c}$ และค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนที่จุดเริ่มต้น U_c เท่ากับค่าที่นำมาใช้ในการสร้างแบบจำลองแล้วนั้น จะมีผลทำให้ค่าเวลาคงที่การเกิดฟาวลิง $t_{p,c}$ น้อยลงไปด้วยเช่นเดียวกัน

การจำลองรูปแบบสมการการเกิดฟาวลิงในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนของข่างานกระบวนการอุ่นน้ำมันดิบที่นำมาศึกษาในระยะเวลาการดำเนินงานต่อเนื่อง 600 วัน พบว่าเมื่อค่าความต้านทานฟาวลิงเพิ่มขึ้นตามระยะเวลา มีผลทำให้สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนและอุณหภูมิขาออกของน้ำมันดิบลดลง ที่ซึ่งในข่างานแลกเปลี่ยนความร้อนที่เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน 19 เครื่อง มีเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนจำนวน 8 เครื่องหรือ คิดเป็น 42 เปอร์เซ็นต์ สำหรับรูปแบบสมการการเกิดฟาวลิงที่เหมาะสมกับข่างานมากที่สุด คือสมการการเกิดฟาวลิงแบบอัตราลดลง (Falling-rate fouling model) ได้แก่ เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน E5 E9 E11 E13 E14 E15 E16 E19 ดังแสดงในตารางที่ 5.20 เป็นตารางสรุปผลการจำลองรูปแบบสมการการเกิดฟาวลิงที่เหมาะสมกับเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแต่ละเครื่องในข่างานการอุ่นน้ำมันดิบที่ยกนำมาศึกษา

ตารางที่ 5.20 แสดงผลของการจำลองรูปแบบการเกิดฟาวลิ่งเทียบระหว่างอุณหภูมิขาออก
น้ำมันดิบที่ได้จากโรงงานจริงกับค่าที่ได้จากการจำลอง

Heat Exchanger	Parameter		RMSE	Fouling Model
	$t_{p,c}$	n		
E1	0.9	0.99	2.4483	Power-law
E2	0.00098	0.5	4.6881	Power-law
E3	0.19	-	3.1443	Linear
E4	5	-	3.9525	Linear
E5	6	-	2.1269	Falling-rate
E6	1	0.977	1.8765	Power-law
E7	0.009	0.89	1.7087	Power-law
E8	2.6	-	1.9702	Linear
E9	0.000000000000032	-	2.0875	Falling-rate
E10	0.0002	0.5	3.7013	Power-law
E11	0.000000000009	-	3.6787	Falling-rate
E12	0.02	0.99	2.3593	Power-law
E13	0.0077	-	4.0653	Falling-rate
E14	0.0000000000009	-	2.7362	Falling-rate
E15	0.0000000001	-	1.7029	Falling-rate
E16	0.0000000000002	-	1.1299	Falling-rate
E17	0.0000000000009	-	1.1130	Asymptotic
E18	2	0.99	1.8244	Power-law
E19	0.066	-	1.7252	Falling-rate

สำหรับลักษณะของการเกิดฟาวลิงแบบอัตราลดลง (Falling-rate fouling model) ในรูปแบบนี้ฟาวลิงจะการเปลี่ยนแปลงของฟาวลิงนั้นค่อย ๆ เพิ่มขึ้นในช่วงระยะเวลาแรก และเมื่อเวลาผ่านไปฟาวลิงก็ค่อย ๆ เริ่มมีค่าคงที่ตามลำดับ ซึ่งเป็นไปได้ว่าเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนส่วนใหญ่ในโรงงานที่เมื่อดำเนินงานต่อเนื่องไปในช่วงระยะเวลาหนึ่งจะมีฟาวลิงไปเกาะอยู่บนพื้นผิวของการถ่ายเทความร้อน จนกระทั่งค่าฟาวลิงเกาะตัวเคลือบบนพื้นผิวหน้าการถ่ายเททั้งหมด ในช่วงระยะเวลาหนึ่งค่าการเกิดฟาวลิงก็เริ่มเข้าสู่สภาวะคงที่ เนื่องจากลักษณะการเกาะยึดตัวกันระหว่างฟาวลิงด้วยกันเอง หรือฟาวลิงกับพื้นผิวแลกเปลี่ยนความร้อนมีแรงยึดเหนี่ยวที่แข็งแรงทำให้เอาชนะแรงตัดเฉือนของของไหล และฟาวลิงที่เข้ามาใหม่ไม่สามารถเกาะยึดกับฟาวลิงกลุ่มเดิมได้ ที่เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนจำนวน 7 เครื่อง หรือคิดเป็น 37 เปอร์เซ็นต์ ได้แก่ E1 E2 E6 E7 E10 E12 E18 มีลักษณะการเกิดฟาวลิงแบบกฎยกกำลัง (Power-law fouling model) เป็นการเกิดฟาวลิงที่มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องสาเหตุมาจากการดำเนินงานติดต่อกันตามระยะเวลาที่เปลี่ยนแปลงไป ส่วนค่าของการสะสมฟาวลิงขึ้นอยู่กับค่าส่วนประกอบของทั้งสายร้อนและสายเย็น (n) ที่ผ่านเข้ามาในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนจับตัวกันตกตะกอนอยู่บนผิวแลกเปลี่ยนความร้อนและเพิ่มปริมาณการสะสมไปเรื่อย ๆ อย่างต่อเนื่อง สำหรับรูปแบบการเกิดฟาวลิงแบบเส้นตรง (Linear fouling model) ประกอบไปด้วยเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน 3 เครื่อง หรือคิดเป็น 16 เปอร์เซ็นต์ ได้แก่ E3 E4 E8 จากสมการอธิบายการเกิดฟาวลิงจะเพิ่มขึ้นกับเวลามีลักษณะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับเวลาที่เปลี่ยนแปลงไป ซึ่งเมื่อเวลาผ่านไป ค่าการเกิดฟาวลิงก็จะค่อย ๆ เพิ่มสูงขึ้นตามไปด้วยแบบเชิงเส้น ดังนั้นจึงดำเนินการต่อเนื่องมากเท่าไร ฟาวลิงก็จะยิ่งเพิ่มสูงขึ้นมากตามระยะเวลาการดำเนินการ และสุดท้ายเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนจำนวน 1 เครื่อง หรือคิดเป็น 5 เปอร์เซ็นต์ ได้แก่ E17 เป็นเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่มีลักษณะรูปแบบสมการแบบเอกไปเนนเชียล (Asymptotic fouling model) หรือแบบมีเส้นแนวโน้ม ลักษณะการเกิดฟาวลิงคล้ายกับรูปแบบอัตราลดลง (Falling rate fouling model) คือฟาวลิงจะค่อยเพิ่มขึ้นในช่วงแรก ๆ จากนั้นเมื่อระยะเวลาผ่านไปในช่วงหนึ่งฟาวลิงจะค่อย ๆ เริ่มเข้าสู่ค่าคงที่ แต่ต่างกันว่าลักษณะการเกาะยึดของฟาวลิง กล่าวคือ การหลุดตัวของฟาวลิงออกจากพื้นผิวการแลกเปลี่ยนความร้อน การหลุดของฟาวลิงเกิดเนื่องมาจากแรงยึดเหนี่ยวระหว่างฟาวลิงด้วยกันเองหรือฟาวลิงกับพื้นผิวแลกเปลี่ยนความร้อนน้อยกว่าแรงตัดเฉือนของของไหล ก่อให้เกิดการละลายกลับไปยังของไหล

จากการจำลองรูปแบบสมการการเกิดฟาวลิงทั้ง 4 รูปแบบ พบว่าเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนในขบวนการแลกเปลี่ยนความร้อนของกระบวนการอุ่นน้ำมันดิบทั้งหมด 19 เครื่อง มีรูปแบบการเกิดฟาวลิงที่เหมาะสมและแตกต่างกัน ปัจจัยที่มีผลอธิบายได้ดังนี้

- องค์ประกอบของสายป้อน (Feeder) เนื่องจากสายป้อนน้ำมันดิบที่ส่งผ่านเข้าขบวนการในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแต่ละเครื่องนั้น ล้วนแล้วมีองค์ประกอบที่อยู่ในสายป้อนหลากหลายชนิดและสัดส่วนขององค์ประกอบนั้น ๆ มากน้อยแตกต่างกันไป โดยองค์ประกอบเหล่านั้นสามารถเกิดการพัดพา ตกค้าง และสะสมเกิดเป็นฟาวลิงในแต่ละเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่มีลักษณะแตกต่างกันได้
- ความเข้มข้นของสารที่เป็นฟาวลิงในของไหล เป็นไปได้ว่าปริมาณของสารที่ไหลผ่านเข้าเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแต่ละเครื่อง จะทำให้การเกิดฟาวลิงมีความแตกต่างกันตามความเข้มข้นของสารที่เป็นฟาวลิงปนอยู่ในของไหล ซึ่งหากมีความเข้มข้นของสารที่เป็นฟาวลิงมาก อาจส่งผลให้ปริมาณฟาวลิงเพิ่มขึ้นตามไปด้วย
- อุณหภูมิ (Temperature) ทั้งนี้ในองค์ประกอบที่ทำให้เกิดฟาวลิงได้นั้น สามารถเกิดฟาวลิงที่มีสภาวะอุณหภูมิที่ต่างกัน หรือเป็นไปได้ว่าองค์ประกอบของสารบางตัวเมื่อไปรวมเข้ากับสารประกอบตัวอื่น ๆ ก็อาจสามารถเกิดปฏิกิริยากันจนเกิดเป็นฟาวลิงที่สภาวะอุณหภูมิแตกต่างไปจากเดิมได้เช่นกัน
- ระยะเวลาเฉลี่ยของสารป้อนที่จะอยู่ในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน (Resident time) ในส่วนนี้เวลาที่ใช้นั้นสามารถทำให้เกิดฟาวลิงในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน สำหรับองค์ประกอบบางตัวอาจจำเป็นต้องใช้เวลานานพอในการเกิดฟาวลิง หรือบางตัวอาจใช้เวลาเพียงไม่นานก็สามารถเกิดการสะสมตัวของฟาวลิงได้
- แรงเฉือนกระทำของสารป้อน (Shear force) อัตราการหลุดของฟาวลิงเนื่องจากแรงเฉือนกระทำของสารป้อน เป็นอีกสาเหตุหนึ่งที่มีผลต่อความแตกต่างของรูปแบบการเกิดฟาวลิงในขบวนการแลกเปลี่ยนความร้อน ซึ่งหากการเกาะตัวของฟาวลิงมีลักษณะยึดเกาะกันแบบหลวม ๆ จนไม่สามารถเอาชนะแรงเฉือนของสารป้อนที่ส่งผ่านเข้ามายังเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน ก็มีผลทำให้ฟาวลิงเหล่านั้นหลุดหายไป หรือเมื่ออัตราการเกิดฟาวลิง และอัตราการหลุดของฟาวลิง (Shear force) ใกล้เคียงกัน ทำให้ค่าความต้านทานความร้อนคงที่ เป็นต้น

- ตัวเร่งอัตราการเกิดฟาวลิง เช่น วัสดุที่ใช้ในการทำเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน ซึ่ง เป็นไปได้ว่าองค์ประกอบของการเกิดฟาวลิงบางตัว สามารถเกิดฟาวลิงได้ดีที่บริเวณ ผิวหน้าวัสดุที่ใช้ทำเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

นอกจากนี้ในน้ำมันดิบ (Crude Oil) ยังประกอบไปด้วย น้ำ โลหะที่ละลายน้ำได้ ของแข็งแขวนลอย อนุภาคของแข็ง อาทิเช่น ทราย หิน และสารพวกเกลืออนินทรีย์ (Inorganic salts) ได้แก่ โซเดียม แคลเซียม แมกนีเซียมรวมปะปนอยู่ ดังนั้นสารประกอบเหล่านี้จึงมีผลทำให้เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเกิดการกัดกร่อน เกิดการอุดตัน สิ่งสกปรกต่าง ๆ ที่จะทำให้เกิดฟาวลิงขึ้นในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนซึ่งอาจมีผลต่อลักษณะการเกิดฟาวลิงที่แตกต่างกันออกไป ทั้งนี้จาก รายงานที่ยกนำมาศึกษานั้น อาศัยกลไกในการเกิดฟาวลิงที่แตกต่างกันออกไปได้ด้วย โดยฟาวลิงที่เกิดขึ้นสามารถเกิดขึ้นร่วมกันได้หลาย ๆ แบบ หรือในบางครั้งการเกิดฟาวลิงชนิดหนึ่ง สามารถจะใช้ส่งเสริมให้อัตราการเกิดฟาวลิงอีกชนิดหนึ่งเกิดได้เร็วขึ้น เป็นต้น โดยจากรายงานแลกเปลี่ยนความร้อนในกระบวนการอุ่นน้ำมันดิบ สามารถแยกตามลักษณะการเกิดฟาวลิงได้ดังนี้

ฟาวลิงจากการเกิดผลึก (Crystallization Fouling) หรือการเกิดอนุภาคของแข็งภายในของไหล เป็นฟาวลิงที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงความสามารถของการละลายของของไหลเนื่องจากอุณหภูมิและค่า pH ที่เปลี่ยนไป เมื่อความสามารถในการละลายลดลงจนทำให้ของไหลกลายเป็นสภาพเป็นของแข็งหรือเกิดผลึกขึ้นได้ จนทำให้เกิดการสะสมของของแข็งและผลึกบริเวณชั้นการแลกเปลี่ยนความร้อนของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน สำหรับอนุภาคของแข็งที่ปนเปื้อนอยู่ในกระบวนการอุ่นน้ำมันดิบนี้ที่พบมาก ได้แก่ จำพวกเกลืออนินทรีย์ (Inorganic Salts Deposit) ที่ละลายหลงเหลืออยู่ในสารป้อน อะโรมาติกส์ แนฟทาซีน และไฮ

ฟาวลิงจากการตกตะกอน (Particulate Fouling or Sedimentation Fouling) ฟาวลิงที่เกิดขึ้นในลักษณะเช่นนี้เกิดจากในของไหลมีอนุภาคแขวนลอยอยู่มาก เช่น การตกตะกอนของอนุภาคของโลหะในส่วนผสมที่ปะปนมากับน้ำมันดิบ หรือการตกตะกอนของอนุภาคทราย หิน เป็นต้น ทั้งนี้ในรายงานกระบวนการอุ่นน้ำมันดิบมักจะพบการเกิดการตกตะกอนของแอสฟัลทีน (Asphaltene Precipitation) มีลักษณะเป็นอนุภาคของแข็งแขวนลอย มีสีน้ำตาลเข้มเกือบดำ เป็นสารประกอบเชิงซ้อนและมีขั้วสูง (Complex compound, highest polarity) และเป็นตัวที่ทำให้เกิดความข้นหนืด (viscosity) ในแอสฟัลท์ หรือ ยางมะตอย

ฟาวลิงที่เกิดจากปฏิกิริยาทางเคมี (Chemical Reaction Fouling) ฟาวลิงประเภทนี้เกิดจากการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางเคมี โดยสามารถทำปฏิกิริยาทางเคมีของของไหลเมื่อมีการ

เปลี่ยนแปลงทางอุณหภูมิจำลองทำให้เกิดเป็นผลิตภัณฑ์ตัวใหม่ที่สามารถยึดติดกับพื้นที่การแลกเปลี่ยนความร้อนในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนได้ และเมื่อผลิตภัณฑ์ใหม่ที่เกิดขึ้นจากการทำปฏิกิริยาเหล่านี้เคลื่อนที่เข้าสู่ชั้นการแลกเปลี่ยนความร้อนจะทำให้เกิดการสะสมตัวของฟาวลิงได้ ทั้งนี้สารประกอบทำให้เกิดฟาวลิงจากปฏิกิริยา ได้แก่ โพลีไซคลิก อะโรมาติก ไฮโดรคาร์บอน (Polycyclic Aromatic Hydrocarbon) หรือ พีเอเอช เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่ประกอบด้วยวงเบนซีนตั้งแต่ 2 วงขึ้นไป จัดเรียงเป็นเส้นตรง เป็นมุม หรือเป็นกลุ่ม มีเฉพาะอะตอมของไฮโดรเจนและคาร์บอน ส่วนใหญ่ไม่ละลายน้ำ กลไกการเกิดปฏิกิริยาไม่แตกต่างกับการเกิดปฏิกิริยาควบแน่น (Condensation Polymerisation)

ฟาวลิงที่เกิดจากการกัดกร่อน (Corrosion Fouling) เกิดจากการเกิดปฏิกิริยาการกัดกร่อนระหว่างของไหลกับพื้นที่ผิวการแลกเปลี่ยนความร้อน และสารผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นแล้วสะสมอยู่บริเวณพื้นที่ผิวของการแลกเปลี่ยนความร้อน (Corrosion by Production) ซึ่งเป็นการกัดกร่อน หรือการเสื่อมสภาพของโลหะที่ทำให้สมบัติของโลหะเปลี่ยนสภาพไป (Under Deposit Corrosion) จนกระทั่งเกิดการก่อตัวและสะสมของฟาวลิงได้

สำหรับการศึกษา และจำลองรูปแบบการเกิดฟาวลิงในขบวนการแลกเปลี่ยนความร้อนของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแต่ละเครื่องในระบบการใด ๆ สามารถนำมาใช้ในการทำนายรูปแบบการเกิดฟาวลิงที่เกิดขึ้น ในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนในช่วงระยะเวลาดำเนินการต่อเนื่อง 600 วัน และดูผลการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิขาออกของสายผลิตภัณฑ์น้ำมันดิบ เพื่อนำมาใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการตัดสินใจ วางแผน ปรับปรุง ออกแบบเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน และควบคุมการดำเนินงานในระบบการผลิตต่อไป ทั้งนี้ผลการจำลองรูปแบบการเกิดฟาวลิงจะใช้อ้างอิงเฉพาะการหารูปแบบที่เหมาะสม สำหรับการเกิดฟาวลิงโดยอาศัยค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยกำลังสอง (RMSE) ที่เทียบระหว่างข้อมูลที่ได้จากโรงงานและข้อมูลที่ได้จาบบจำลองแล้วมีค่าน้อยที่สุดเท่านั้น ส่วนลักษณะการเกิดหรือกลไกการเกิดฟาวลิงในแต่ละเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนของขบวนการนั้น ต้องได้รับการศึกษาค้นคว้าเพิ่มเติมเพื่อให้ได้ข้อมูลที่อ้างอิงได้ต่อไป

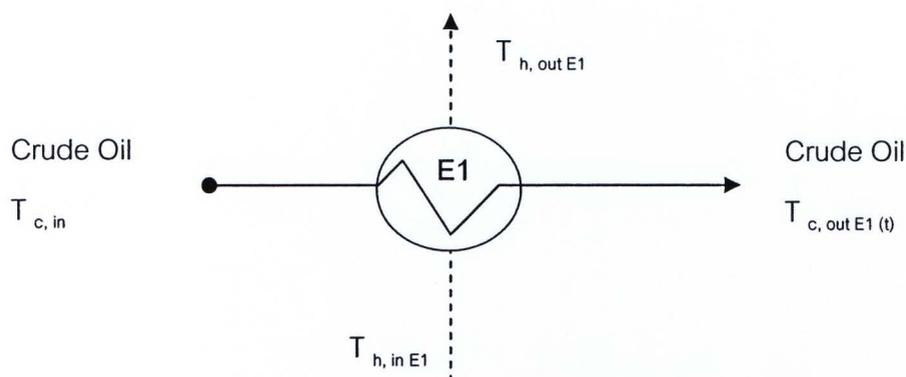
5.2 การพัฒนาแบบจำลองการเกิดฟาวลิงที่มีผลต่อสมรรถนะทางความร้อน และการเพิ่มพลังงานความร้อนให้กับระบบ

หลังจากศึกษาารูปแบบการเกิดฟาวลิงที่เหมาะสมกับขายงานเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนของกระบวนการอุ่นน้ำมันดิบซึ่งมีพารามิเตอร์ที่สนใจได้แก่ อุณหภูมิขาออกของสายน้ำมันดิบที่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลา $T_{c.out}$ ซึ่งค่าพารามิเตอร์ที่ต้องการหาคือ ค่าคงที่ของเวลาในการเกิดฟาวลิง ($t_{p,c}$) และค่าคงที่ซึ่งขึ้นกับส่วนประกอบของสายร้อนและสายเย็น (n) ที่เหมาะสมในกระบวนการจริงที่ทำให้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์มีความถูกต้อง และสามารถอธิบายรูปแบบการเกิดฟาวลิงได้ใกล้เคียงกับเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนของกระบวนการจริงดังแสดงในตารางที่ 5.20 เมื่อหาค่าพารามิเตอร์ $t_{p,c}$, n เพื่อนำมาแทนในแบบจำลองการเกิดฟาวลิงทั้ง 4 แบบจำลองจนกระทั่งได้ทราบรูปแบบการเกิดฟาวลิงที่เหมาะสมกับเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนทั้ง 19 เครื่องในขายงานแลกเปลี่ยนความร้อนกระบวนการอุ่นน้ำมันดิบที่นำมาศึกษา ให้นำแบบจำลองที่ได้มาตั้งเป็นพื้นฐานในการพัฒนาแบบจำลองใช้ในการหาเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่เป็นคอขวดของขายงาน (Critical Heat Exchanger) เพื่อหาค่าพลังงานความร้อน (Q) ที่สูญเสียไป เมื่อค่าการเกิดฟาวลิง $R_f(t)$ เพิ่มขึ้นโดยการลดค่า $t_{p,c}$ และเพิ่มค่า n ที่ 10 % ที่เวลาการดำเนินงานต่อเนื่อง 600 วัน โดยเน้นที่อุณหภูมิขาออกสายน้ำมันดิบก่อนเข้ากระบวนการหลัก 3 กระบวนการ ได้แก่ กระบวนการกำจัดเกลือ (Desalted) กระบวนการแยกลำดับส่วน (Flash) และกระบวนการกลั่น (Distillation) ทั้งนี้สามารถหาได้จากค่าพลังงานความร้อนที่ต้องเพิ่มให้กระบวนการ เมื่ออุณหภูมิขาออกของสายน้ำมันดิบผลิตภัณฑ์ลดลงจากเดิม

จากหัวข้อ 5.1 เมื่อได้รูปแบบสมการการเกิดฟาวลิงที่เหมาะสมกับเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแต่ละเครื่อง รวม 19 เครื่องแล้วนั้น จะนำแบบจำลองรูปแบบสมการที่เหมาะสมของแต่ละเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนตั้งแต่ E1 ถึง E19 ดังกล่าวมาเขียนแบบจำลองแบบต่อเนื่องกันทั้งขายงาน ดังแสดงความสัมพันธ์ดังรูปที่ 4.4 ซึ่งการพัฒนาแบบจำลองให้สามารถใช้จำลองขายงานแลกเปลี่ยนความร้อนทั้งระบบได้จริง เพื่อใช้ในการจำลองการเกิดฟาวลิงที่มีผลต่อสมรรถนะทางความร้อน และการเพิ่มพลังงานความร้อนให้กับระบบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สามารถแสดงได้ดังนี้

ดุลพลังงาน (Energy balance) ของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนทั้งระบบในข่ายงานรวม 19 ตัว

เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน E1



สามารถหาอุณหภูมิขาออกของสายผลิตภัณฑ์น้ำมันดิบจาก E1 ได้จากสมการ

$$U_{(t)} = \frac{U_c}{1 + U_c R_{f,c} \left(\frac{t}{t_{p,c}}\right)^n} \quad (5.1)$$

$$T_{c, out E1(t)} = \frac{1}{1 - a_o e^{[U_{(t)} a]}} [a_o T_{h, in E1} - a_2 T_{c, in}] + \frac{1}{1 - \frac{1}{a_o e^{[U_{(t)} a]}}} T_{h, in E1} \quad (5.2)$$

ทั้งนี้กำหนดให้

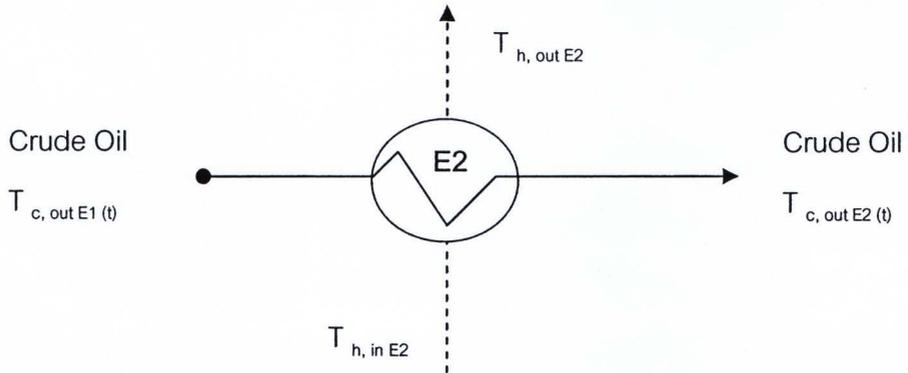
$$a_o = F_h C_{p,h} / F_c C_{p,c}$$

$$a_1 = A / F_h C_{p,h}$$

$$a_2 = [F_h C_{p,h} / F_c C_{p,c}] - 1$$

$$a = a_1 a_2$$

เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน E2

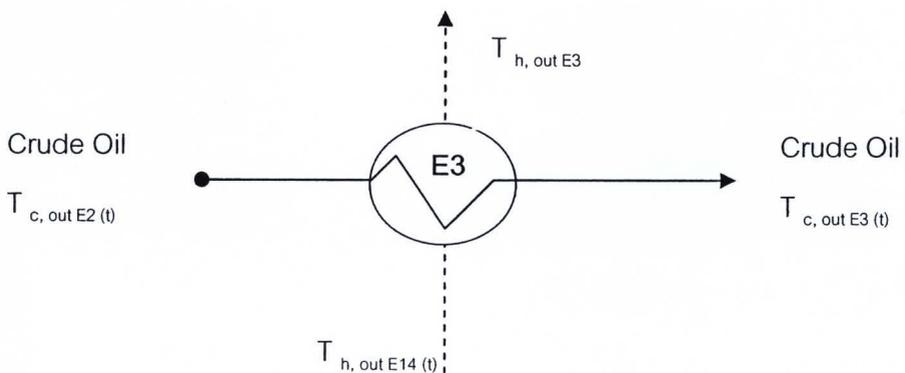


สามารถหาอุณหภูมิขาออกของสายผลิตภัณฑ์น้ำมันดิบจาก E2 ได้จากสมการ

$$U_{(t)} = \frac{U_c}{1 + U_c R_{f,c} \left(\frac{t}{t_{p,c}}\right)^n} \quad (5.3)$$

$$T_{c, out E2(t)} = \frac{1}{1 - a_o e^{[U_{(t)} a]}} [a_o T_{h, in E2} - a_2 T_{c, out E1(t)}] + \frac{1}{1 - \frac{1}{a_o e^{[U_{(t)} a]}}} T_{h, in E2} \quad (5.4)$$

เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน E3

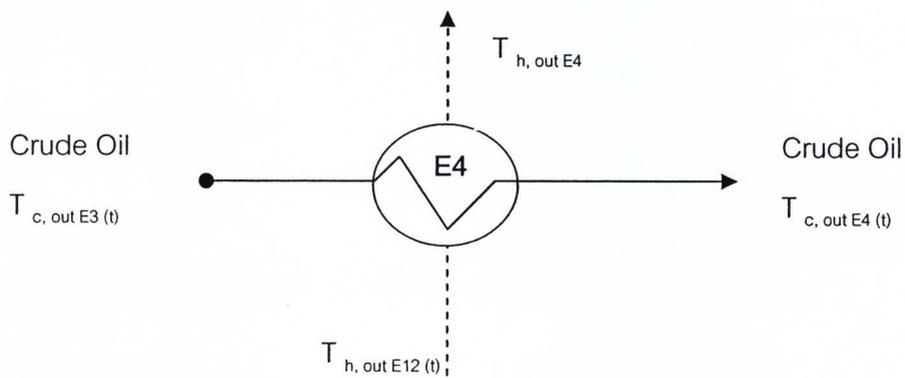


สามารถหาอุณหภูมิขาออกของสายผลิตภัณฑ์น้ำมันดิบจาก E3 ได้จากสมการ

$$U_{(t)} = \frac{U_c}{1 + U_c R_{f,c} \left(\frac{t}{t_{p,c}} \right)} \quad (5.5)$$

$$T_{c,out E3(t)} = \frac{1}{1 - a_o e^{[U_{(t)} a]}} [a_o T_{h,out E14(t)} - a_2 T_{c,out E2(t)}] + \frac{1}{1 - \frac{1}{a_o e^{[U_{(t)} a]}}} T_{h,out E14(t)} \quad (5.6)$$

เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน E4

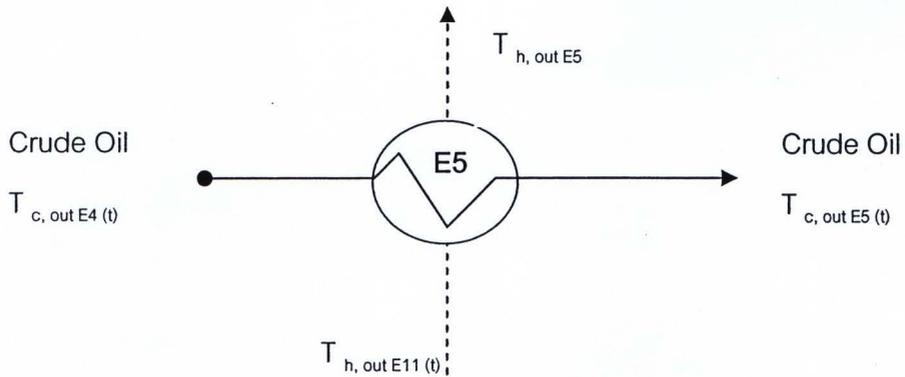


สามารถหาอุณหภูมิขาออกของสายผลิตภัณฑ์น้ำมันดิบจาก E4 ได้จากสมการ

$$U_{(t)} = \frac{U_c}{1 + U_c R_{f,c} \left(\frac{t}{t_{p,c}} \right)} \quad (5.7)$$

$$T_{c,out E4(t)} = \frac{1}{1 - a_o e^{[U_{(t)} a]}} [a_o T_{h,out E12(t)} - a_2 T_{c,out E3(t)}] + \frac{1}{1 - \frac{1}{a_o e^{[U_{(t)} a]}}} T_{h,out E12(t)} \quad (5.8)$$

เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน E5

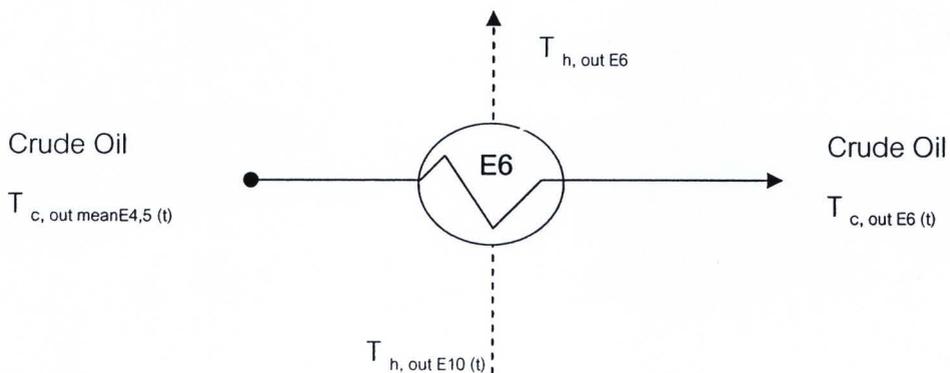


สามารถหาอุณหภูมิขาออกของสายผลิตภัณฑ์น้ำมันดิบจาก E5 ได้จากสมการ

$$U_{(t)} = \frac{U_c}{1 + U_c R_{f,c} \left(\frac{\ln t}{\ln t_{p,c}} \right)} \quad (5.9)$$

$$T_{c, out E5(t)} = \frac{1}{1 - a_o e^{[U_{(t)} a]}} [a_o T_{h, out E11(t)} - a_2 T_{c, out E4(t)}] + \frac{1}{1 - \frac{1}{a_o e^{[U_{(t)} a]}}} T_{h, out E11(t)} \quad (5.10)$$

เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน E6



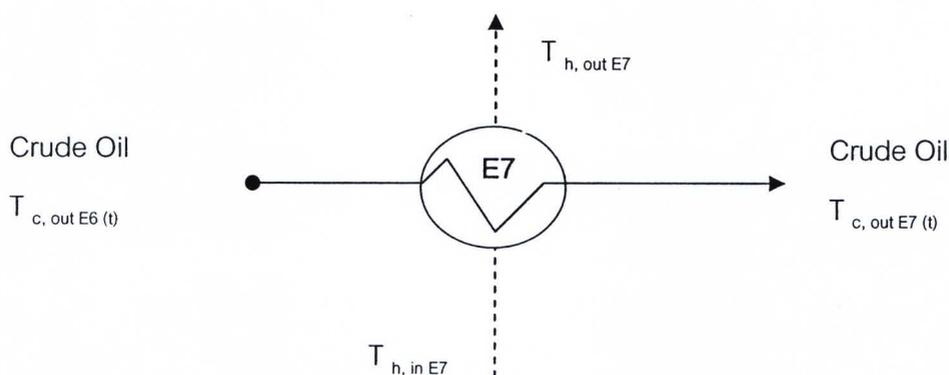
สามารถหาอุณหภูมิขาออกของสายผลิตภัณฑ์น้ำมันดิบจาก E6 ได้จากสมการ

$$T_{c,outmeanE4,5(t)} = \frac{T_{c,outE4(t)} + T_{c,out5(t)}}{2} \quad (5.11)$$

$$U_{(t)} = \frac{U_c}{1 + U_c R_{f,c} \left(\frac{t}{t_{p,c}}\right)^n} \quad (5.12)$$

$$T_{c,out E6(t)} = \frac{1}{1 - a_o e^{[U_{(t)}a]}} [a_o T_{h,outE10(t)} - a_2 T_{c,outmeanE4,5(t)}] + \frac{1}{1 - \frac{1}{a_o e^{[U_{(t)}a]}}} T_{h,outE10(t)} \quad (5.13)$$

เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน E7

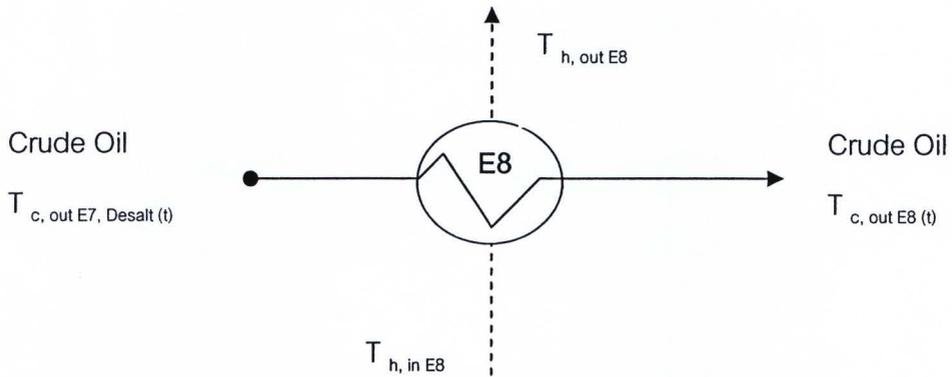


สามารถหาอุณหภูมิขาออกของสายผลิตภัณฑ์น้ำมันดิบจาก E7 ได้จากสมการ

$$U_{(t)} = \frac{U_c}{1 + U_c R_{f,c} \left(\frac{t}{t_{p,c}}\right)^n} \quad (5.14)$$

$$T_{c,out E7(t)} = \frac{1}{1 - a_o e^{[U_{(t)}a]}} [a_o T_{h,inE7} - a_2 T_{c,outE6(t)}] + \frac{1}{1 - \frac{1}{a_o e^{[U_{(t)}a]}}} T_{h,inE7} \quad (5.15)$$

เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน E8



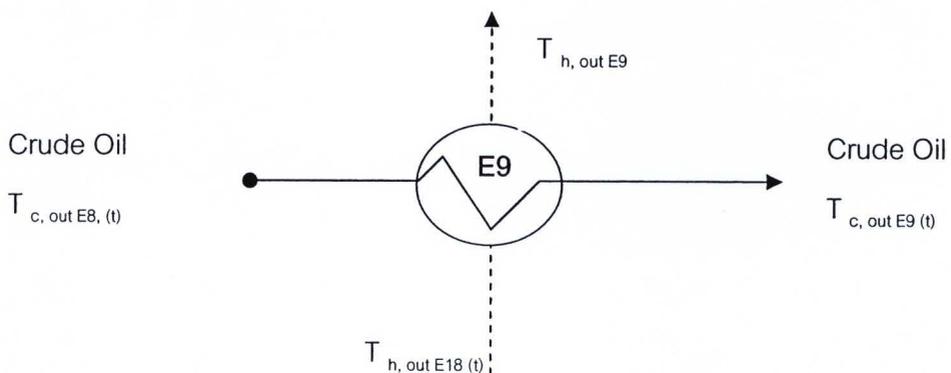
สามารถหาอุณหภูมิขาออกของสายผลิตภัณฑ์น้ำมันดิบจาก E8 ได้จากสมการ

$$T_{c, out E7, Desalt (t)} = T_{c, out E7 (t)} - 4 \quad (5.16)$$

$$U_{(t)} = \frac{U_c}{1 + U_c R_{f,c} \left(\frac{t}{t_{p,c}} \right)} \quad (5.17)$$

$$T_{c, out E8 (t)} = \frac{1}{1 - a_o e^{[U_{(t)} a]}} [a_o T_{h, in E8} - a_2 T_{c, out E7, Desalt (t)}] + \frac{1}{1 - \frac{1}{a_o e^{[U_{(t)} a]}}} T_{h, in E8} \quad (5.18)$$

เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน E9



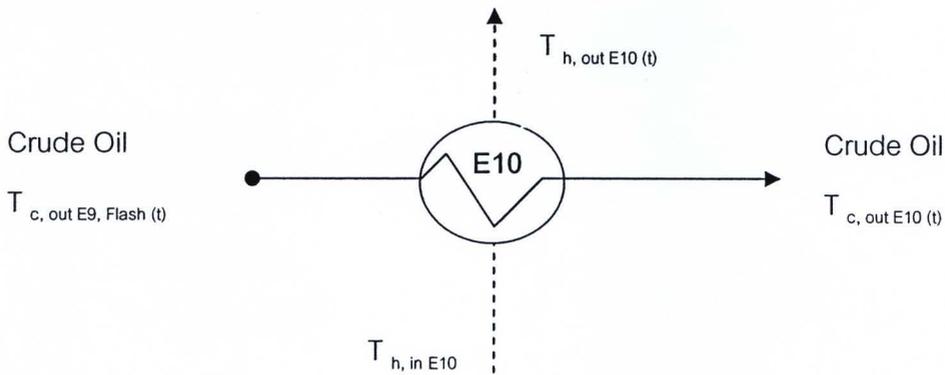
สามารถหาอุณหภูมิขาออกของสายผลิตภัณฑ์น้ำมันดิบจาก E9 ได้จากสมการ



$$U_{(t)} = \frac{U_c}{1 + U_c R_{f,c} \left(\frac{\ln t}{\ln t_{p,c}} \right)} \tag{5.19}$$

$$T_{c,out E9(t)} = \frac{1}{1 - a_o e^{[U_{(t)} a]}} [a_o T_{h,out E18(t)} - a_2 T_{c,out E8(t)}] + \frac{1}{1 - \frac{1}{a_o e^{[U_{(t)} a]}}} T_{h,out E18(t)} \tag{5.20}$$

เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน E10



สามารถหาอุณหภูมิขาออกของสายผลิตภัณฑ์น้ำมันดิบจาก E10 ได้จากสมการ

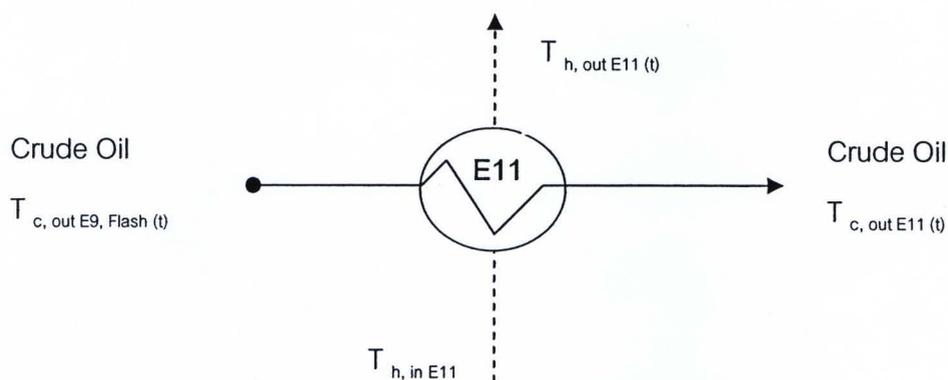
$$T_{c,out E9, Flash (t)} = T_{c,out E9(t)} - 9 \tag{5.21}$$

$$U_{(t)} = \frac{U_c}{1 + U_c R_{f,c} \left(\frac{t}{t_{p,c}} \right)^n} \tag{5.22}$$

$$T_{c,out E10(t)} = \frac{1}{1 - a_o e^{[U_{(t)} a]}} [a_o T_{h,in E10} - a_2 T_{c,out E9, Flash(t)}] + \frac{1}{1 - \frac{1}{a_o e^{[U_{(t)} a]}}} T_{h,in E10} \tag{5.23}$$

$$T_{h,out E10(t)} = T_{h,in E10} - [F_c C_{p,c} / F_h C_{p,h}] (T_{c,out E10(t)} - T_{c,out E9, Flash(t)}) \tag{5.24}$$

เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน E11



สามารถหาอุณหภูมิขาออกของสายผลิตภัณฑ์น้ำมันดิบจาก E11 ได้จากสมการ

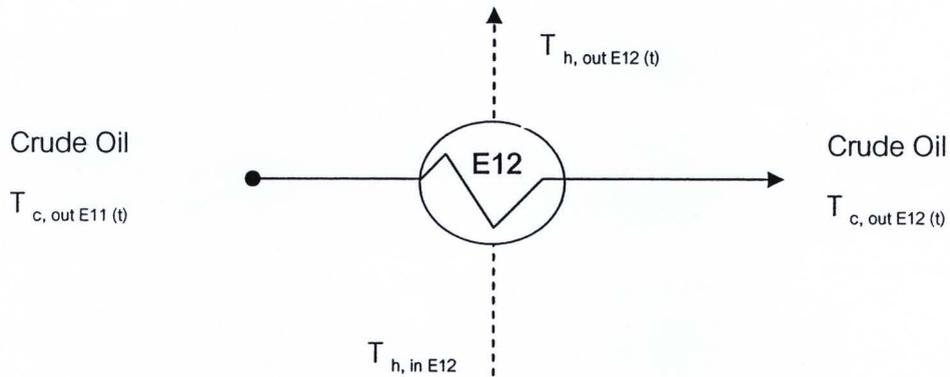
$$T_{c, out E9, Flash}(t) = T_{c, out E9}(t) - 9 \quad (5.25)$$

$$U_{(t)} = \frac{U_c}{1 + U_c R_{f,c} \left(\frac{\ln t}{\ln t_{p,c}} \right)} \quad (5.26)$$

$$T_{c, out E11}(t) = \frac{1}{1 - a_o e^{[U_{(t)} a]}} [a_o T_{h, in E11} - a_2 T_{c, out E9, Flash}(t)] + \frac{1}{1 - \frac{1}{a_o e^{[U_{(t)} a]}}} T_{h, in E11} \quad (5.27)$$

$$T_{h, out E11}(t) = T_{h, in E11} - [F_c C_{p,c} / F_h C_{p,h}] (T_{c, out E11}(t) - T_{c, out E9, Flash}(t)) \quad (5.28)$$

เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน E12



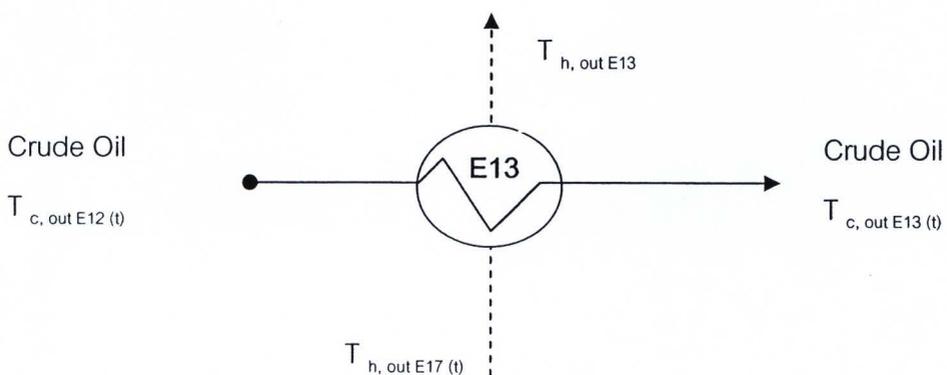
สามารถหาอุณหภูมิขาออกของสายผลิตภัณฑ์น้ำมันดิบจาก E12 ได้จากสมการ

$$U_{(t)} = \frac{U_c}{1 + U_c R_{f,c} \left(\frac{t}{t_{p,c}}\right)^n} \quad (5.29)$$

$$T_{c, out E12(t)} = \frac{1}{1 - a_o e^{[U_{(t)} a]}} [a_o T_{h, in E12} - a_2 T_{c, out E11(t)}] + \frac{1}{1 - \frac{1}{a_o e^{[U_{(t)} a]}}} T_{h, in E12} \quad (5.30)$$

$$T_{h, out E12(t)} = T_{h, in E12} - [F_c C_{p,c} / F_h C_{p,h}] (T_{c, out E12(t)} - T_{c, out E11(t)}) \quad (5.31)$$

เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน E13

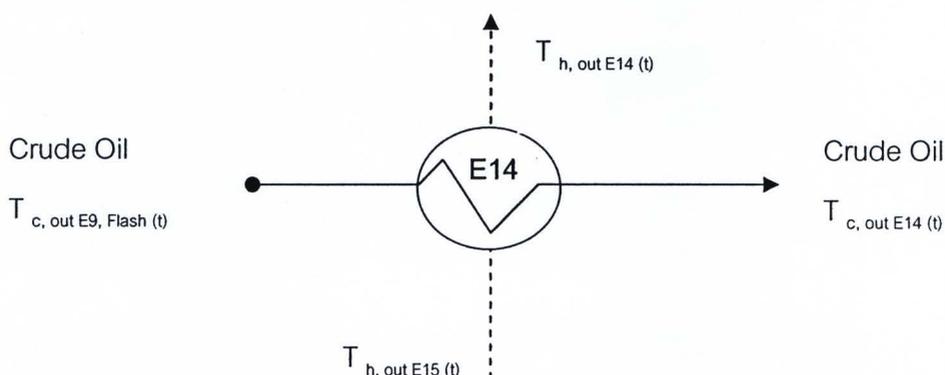


สามารถหาอุณหภูมิขาออกของสายผลิตภัณฑ์น้ำมันดิบจาก E13 ได้จากสมการ

$$U_{(t)} = \frac{U_c}{1 + U_c R_{f,c} \left(\frac{\ln t}{\ln t_{p,c}} \right)} \quad (5.32)$$

$$T_{c,out E13(t)} = \frac{1}{1 - a_o e^{[U_{(t)} a]}} [a_o T_{h,out E17(t)} - a_2 T_{c,out E12(t)}] + \frac{1}{1 - \frac{1}{a_o e^{[U_{(t)} a]}}} T_{h,out E17} \quad (5.33)$$

เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน E14



สามารถหาอุณหภูมิขาออกของสายผลิตภัณฑ์น้ำมันดิบจาก E14 ได้จากสมการ

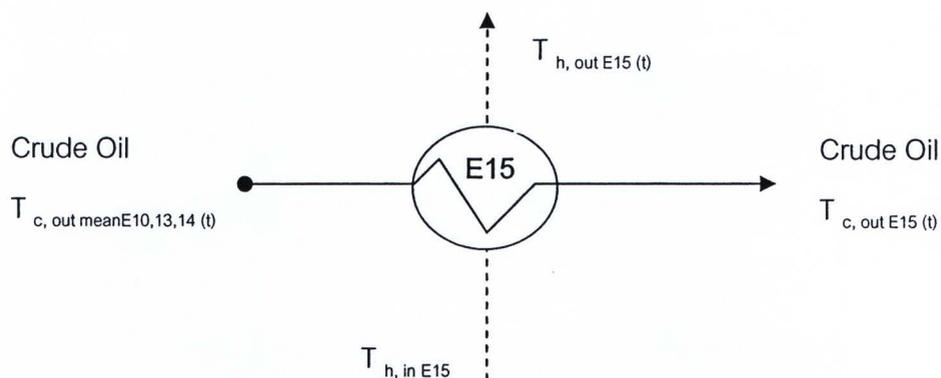
$$T_{c,out E9, Flash} (t) = T_{c,out E9(t)} - 9 \quad (5.34)$$

$$U_{(t)} = \frac{U_c}{1 + U_c R_{f,c} \left(\frac{\ln t}{\ln t_{p,c}} \right)} \quad (5.35)$$

$$T_{c,out E14(t)} = \frac{1}{1 - a_o e^{[U_{(t)} a]}} [a_o T_{h,out E15(t)} - a_2 T_{c,out E9, Flash(t)}] + \frac{1}{1 - \frac{1}{a_o e^{[U_{(t)} a]}}} T_{h,out E15(t)} \quad (5.36)$$

$$T_{h,out E14(t)} = T_{h,out E15(t)} - [F_c C_{p,c} / F_h C_{p,h}] (T_{c,out E14(t)} - T_{c,out E9, Flash(t)}) \quad (5.37)$$

เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน E15



สามารถหาอุณหภูมิขาออกของสายผลิตภัณฑ์น้ำมันดิบจาก E15 ได้จากสมการ

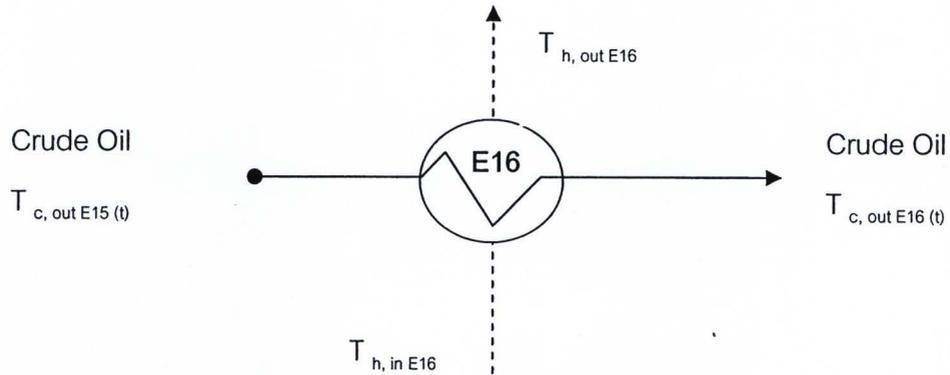
$$T_{c, out mean E10,13,14}(t) = \frac{T_{c, out E10}(t) + T_{c, out 13}(t) + T_{c, out 14}(t)}{3} \quad (5.38)$$

$$U_{(t)} = \frac{U_c}{1 + U_c R_{f,c} \left(\frac{\ln t}{\ln t_{p,c}} \right)} \quad (5.39)$$

$$T_{c, out E15}(t) = \frac{1}{1 - a_o e^{[U_{(t)} a]}} [a_o T_{h, in E15} - a_2 T_{c, out mean E10,13,14}(t)] + \frac{1}{1 - \frac{1}{a_o e^{[U_{(t)} a]}}} T_{h, in E15} \quad (5.40)$$

$$T_{h, out E15}(t) = T_{h, in E15} - [F_c C_{p,c} / F_h C_{p,h}] (T_{c, out E15}(t) - T_{c, out mean E10,13,14}(t)) \quad (5.41)$$

เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน E16

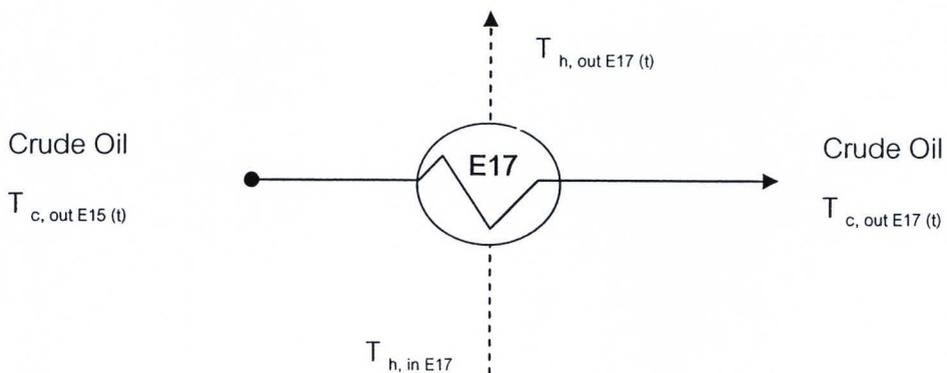


สามารถหาอุณหภูมิขาออกของสายผลิตภัณฑ์น้ำมันดิบจาก E16 ได้จากสมการ

$$U_{(t)} = \frac{U_c}{1 + U_c R_{f,c} \left(\frac{\ln t}{\ln t_{p,c}} \right)} \quad (5.42)$$

$$T_{c, out E16(t)} = \frac{1}{1 - a_o e^{[U_{(t)} a]}} [a_o T_{h, in E16} - a_2 T_{c, out E15(t)}] + \frac{1}{1 - \frac{1}{a_o e^{[U_{(t)} a]}}} T_{h, in E16} \quad (5.43)$$

เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน E17



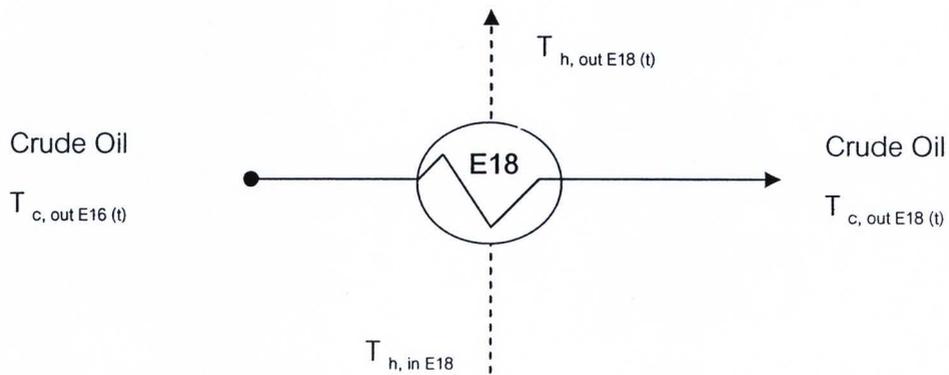
สามารถหาอุณหภูมิขาออกของสายผลิตภัณฑ์น้ำมันดิบจาก E17 ได้จากสมการ

$$U_{(t)} = \frac{U_c}{1 + U_c R_{f,c} (1 - e^{-t/t_{p,c}})} \quad (5.44)$$

$$T_{c,out E17(t)} = \frac{1}{1 - a_o e^{[U_{(t)} a]}} [a_o T_{h,inE17} - a_2 T_{c,outE15(t)}] + \frac{1}{1 - \frac{1}{a_o e^{[U_{(t)} a]}}} T_{h,inE17} \quad (5.45)$$

$$T_{h,outE17(t)} = T_{h,inE17} - [F_c C_{p,c} / F_h C_{p,h}] (T_{c,outE17(t)} - T_{c,outE15(t)}) \quad (5.46)$$

เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน E18



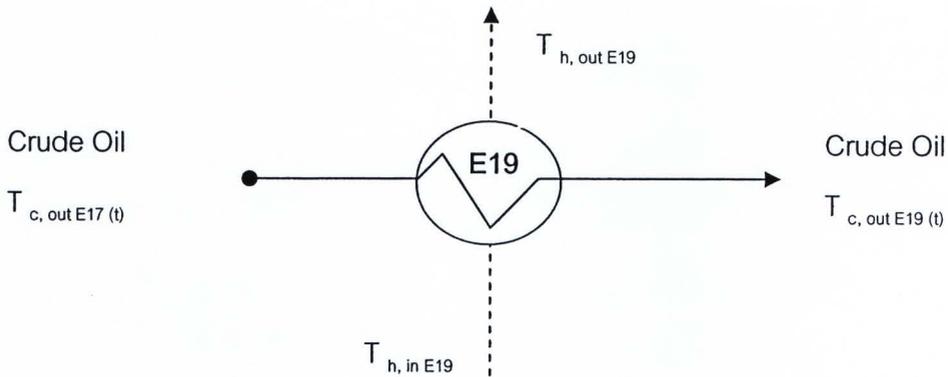
สามารถหาอุณหภูมิขาออกของสายผลิตภัณฑ์น้ำมันดิบจาก E18 ได้จากสมการ

$$U_{(t)} = \frac{U_c}{1 + U_c R_{f,c} \left(\frac{t}{t_{p,c}}\right)^n} \quad (5.47)$$

$$T_{c,out E18(t)} = \frac{1}{1 - a_o e^{[U_{(t)} a]}} [a_o T_{h,inE18} - a_2 T_{c,outE16(t)}] + \frac{1}{1 - \frac{1}{a_o e^{[U_{(t)} a]}}} T_{h,inE18} \quad (5.48)$$

$$T_{h,outE18(t)} = T_{h,inE18} - [F_c C_{p,c} / F_h C_{p,h}] (T_{c,outE18(t)} - T_{c,outE16(t)}) \quad (5.49)$$

เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน E19



สามารถหาอุณหภูมิขาออกของสายผลิตภัณฑ์น้ำมันดิบจาก E19 ได้จากสมการ

$$U_{(t)} = \frac{U_c}{1 + U_c R_{f,c} \left(\frac{\ln t}{\ln t_{p,c}} \right)} \quad (5.50)$$

$$T_{c, out E19(t)} = \frac{1}{1 - a_o e^{[U_{(t)} a]}} [a_o T_{h, in E19} - a_2 T_{c, out E17(t)}] + \frac{1}{1 - \frac{1}{a_o e^{[U_{(t)} a]}}} T_{h, in E19} \quad (5.51)$$

โดยที่อุณหภูมิขาออกของสายผลิตภัณฑ์น้ำมันดิบก่อนเข้ากระบวนการกลั่น (Distillation) คือ

$$T_{c, out mean E18.19(t)} = \frac{T_{c, out E18(t)} + T_{c, out E19(t)}}{2} \quad (5.52)$$

เพื่อให้สามารถเทียบหาเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่มีผลทำให้เกิดความสูญเสียพลังงานในส่วนนี้เพิ่มมากที่สุด จึงได้ทดลองเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรพารามิเตอร์ $t_{p,c}$ และ n โดยกำหนดให้ค่า $t_{p,c}$ ลดลง 10 % และค่า n เพิ่มขึ้น 10 % เช่นเดียวกัน ซึ่งค่าตัวแปร $t_{p,c}$ และ n ที่ลดและเพิ่มดังกล่าว จะมีผลทำให้ค่าการเกิดฟาวลิงเพิ่มขึ้นและส่งผลกระทบต่ออุณหภูมิสายผลิตภัณฑ์น้ำมันดิบที่ต้องส่งเข้าทั้ง 3 กระบวนการ เพื่อให้เกิดการเทียบต่างของค่าการสูญเสียพลังงาน (Q) จึงใช้ความสัมพันธ์ของสมการดังนี้

$$(\Delta T)_{Desalt} = T_{c,outE7(t)_{model}} - T_{c,outE7(t)_{fouling}} \quad (5.53)$$

$$(\Delta T)_{preflash} = T_{c,outE9(t)_{model}} - T_{c,outE9(t)_{fouling}} \quad (5.54)$$

$$(\Delta T)_{Distillation} = T_{c,outmeanE18,19(t)_{model}} - T_{c,outmeanE18,19(t)_{fouling}} \quad (5.55)$$

ที่ซึ่ง

$$\Delta Q = \Sigma [\dot{m} C_p (\Delta T)_{Desalt} + \dot{m} C_p (\Delta T)_{Pr\ flash} + \dot{m} C_p (\Delta T)_{Distillation}] \quad (5.56)$$

$$\Delta Q = Q_{Desalt} + Q_{Pr\ flash} + Q_{Distillation} \quad (5.57)$$

เมื่อนำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่พัฒนามาเขียนโปรแกรม เพื่อให้สามารถนำมาจำลองขบวนการของระบบที่ยกนำมาศึกษา ซึ่งแบ่งเป็น 2 กรณีของการเปลี่ยนแปลง กรณีแรกเปลี่ยนแปลงค่าของ $t_{p,c}$ ที่ค่า n คงที่ กรณีที่สองเปลี่ยนแปลงค่าของ n ที่ค่า $t_{p,c}$ โดยใช้โปรแกรม MATLAB เพื่อทำการจำลอง และเขียนแบบกระบวนการได้ดังนี้

5.2.1 กำหนดให้ค่าซึ่งขึ้นกับส่วนประกอบของสายร้อนและสายเย็น (n) คงที่

เป็นการจำลองขบวนการเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนในกระบวนการอุ่นน้ำมันดิบ โดยได้กำหนดให้ ลดค่าของเวลาในการเกิดฟาวลิง ($t_{p,c}$) ลง 10% โดยค่าซึ่งขึ้นกับส่วนประกอบของสายร้อนและสายเย็น (n) คงที่ ดังแสดงในตารางที่ 5.21

ตารางที่ 5.21 แสดงค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการพัฒนาแบบจำลองที่ค่า n คงที่

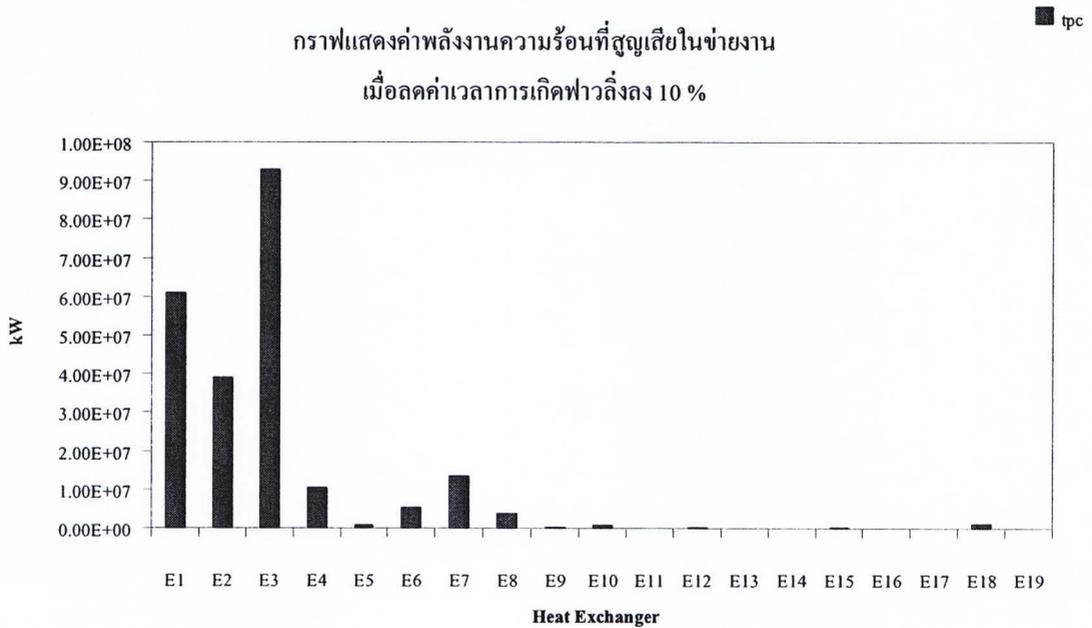
Heat Exchanger	Fouling Model	Parameter	
		$t_{p,c}$	n
E1	Power-law	0.81	0.99
E2	Power-law	0.000882	0.5
E3	Linear	0.171	-
E4	Linear	4.5	-
E5	Falling-rate	5.4	-
E6	Power-law	0.9	0.977
E7	Power-law	0.0081	0.89
E8	Linear	2.34	-
E9	Falling-rate	2.88E-14	-
E10	Power-law	0.00018	0.5
E11	Falling-rate	8.1E-11	-
E12	Power-law	0.018	0.99
E13	Falling-rate	0.00693	-
E14	Falling-rate	8.1E-13	-
E15	Falling-rate	9E-11	-
E16	Falling-rate	1.8E-13	-
E17	Asymptotic	8.1E-13	-
E18	Power-law	1.8	0.99
E19	Falling-rate	0.0594	-

ในส่วนนี้จะแสดงผลที่ได้จากการจำลอง เพื่อหาค่าพลังงานความร้อนสูญเสีย (Q) เมื่อค่าการเกิดฟาวลิง $R_f(t)$ เพิ่มขึ้นที่เวลาเปลี่ยนแปลงไป โดยจากความสัมพันธ์ของสมการของการเกิดฟาวลิง เมื่อลดค่าของเวลาในการเกิดฟาวลิง ($t_{p,c}$) ลง จะทำให้ค่าการเกิดฟาวลิง $R_f(t)$ เพิ่มขึ้นและส่งผลทำให้สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมลดลง ทำให้อุณหภูมิของสายผลิตภัณฑ์น้ำมันดิบที่ได้ไม่เป็นไปตามข้อกำหนดของการรับเข้าสู่กระบวนการถัดไป จนกระทั่งต้องสูญเสียพลังงานในการเพิ่มอุณหภูมิให้กับผลิตภัณฑ์ ดังแสดงในตารางที่ 5.22

ตารางที่ 5.22 แสดงผลจากการจำลองของค่าพลังงานที่ต้องสูญเสียในระบบ ในกรณีที่กำหนดให้ลดค่าของเวลาในการเกิดฟาวลิง ($t_{p,c}$) ลง 10% โดยค่าซึ่งขึ้นกับส่วนประกอบของสายร้อนและสายเย็น (n) คงที่

Heat Exchanger	Parameter		Loss Q (kW)
	$t_{p,c}$	n	
E1	0.81	0.99	6.11E+07
E2	0.000882	0.5	3.93E+07
E3	0.171	-	9.30E+07
E4	4.5	-	1.04E+07
E5	5.4	-	9.99E+05
E6	0.9	0.977	5.30E+06
E7	0.0081	0.89	1.36E+07
E8	2.34	-	3.77E+06
E9	2.88E-14	-	4.49E+05
E10	0.00018	0.5	7.93E+05
E11	8.1E-11	-	2.11E+04
E12	0.018	0.99	3.17E+05
E13	0.00693	-	8.38E+03
E14	8.1E-13	-	2.76E+04
E15	9E-11	-	1.75E+05
E16	1.8E-13	-	1.44E+04
E17	8.1E-13	-	6.11E+00
E18	1.8	0.99	1.33E+06
E19	0.0594	-	1.07E+05

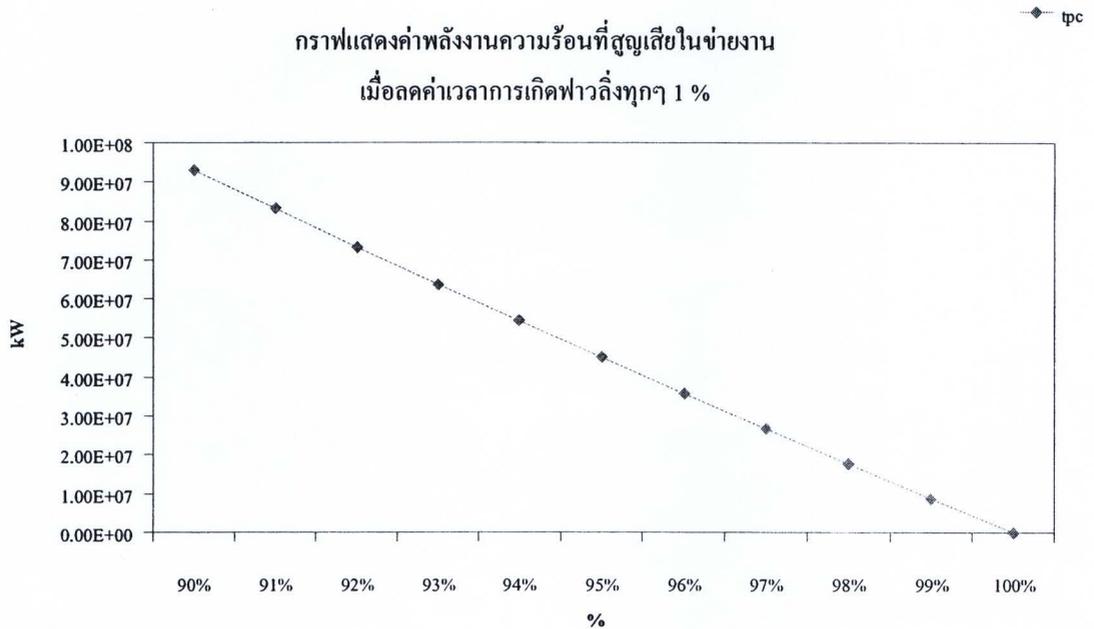
จากผลการจำลอง เมื่อลดค่าของเวลาในการเกิดฟาวลิง ($t_{p,c}$) ลง 10 % พบว่า เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่มีผลทำให้ระบบข่ายงานต้องสูญเสียพลังงานความร้อนมากที่สุด คือเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน E3 (Critical Heat Exchanger) ที่ซึ่งเมื่อค่าการเกิดฟาวลิงเพิ่มมากขึ้นตามเวลา ทำให้อัตราการถ่ายเทความร้อนลดลง เป็นผลจากฟาวลิงไปด้านทานการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างสายร้อนและสายเย็นลดลง ส่งผลให้ประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนลดลง จนกระทั่งต้องเพิ่มพลังงานความร้อนให้กับระบบ เพื่อให้ได้ค่าความร้อนของน้ำมันดิบที่เหมาะสม โดยมีค่าการสูญเสียพลังงานในการดำเนินการของข่ายงานเท่ากับ 9.30×10^7 กิโลวัตต์ ที่ระยะเวลาดำเนินการต่อเนื่อง 600 วัน ดังแสดงในรูปที่ 5.20



รูปที่ 5.20 กราฟแสดงค่าพลังงานความร้อน (Q) ที่สูญเสียในข่ายงานแลกเปลี่ยนความร้อนรวม 19 เครื่อง เมื่อลดค่าเวลาการเกิดฟาวลิงลง 10%

จากกราฟพบว่าเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่มีผลทำให้ระบบข่ายงานต้องสูญเสียพลังงานความร้อนมากที่สุด คือเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน E3 (Critical Heat Exchanger) ดังนั้นเมื่อนำมาพิจารณาเฉพาะเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนดังกล่าว ดังแสดงในรูปที่ 5.21 โดย

ลดค่าเวลาการเกิด ฟาวลิงลงทุกๆ 1 % เพื่อทำนายลักษณะพลังงานความร้อนที่สูญเสียให้กับ
 ชาญงาน เมื่อค่าการเกิดฟาวลิงเพิ่มสูงขึ้นจากการลดค่าเวลาการเกิดฟาวลิง $t_{p,c}$



รูปที่ 5.21 กราฟแสดงค่าพลังงานความร้อน (Q) ที่สูญเสียในชาญงานแลกเปลี่ยนความร้อน
 รวม 19 เครื่อง เมื่อลดค่าเวลาการเกิดฟาวลิงลงทุกๆ 1 %

จากกราฟแสดงค่าพลังงานความร้อน (Q) ที่สูญเสียในชาญงาน เมื่อลดค่าเวลาการเกิด
 ฟาวลิงลงทุก ๆ 1 % พบว่าลักษณะของกราฟเป็นเชิงเส้นตรง (Linear) อธิบายจากความสัมพันธ์
 ของสมการที่นำมาเขียนแบบจำลองได้ว่าเมื่อลดค่าเวลาการเกิดฟาวลิงลงนั้น จะมีผลทำให้ค่าการ
 เกิดฟาวลิงเพิ่มสูงขึ้น โดยที่สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมก็มีค่าลดลงเป็นสาเหตุให้อุณหภูมิ
 ที่ใช้ในการแลกเปลี่ยนความร้อนไม่ได้ตามคุณภาพที่กำหนด และเพื่อทำให้ผลิตภัณฑ์น้ำมันดิบมี
 คุณภาพตามที่กำหนด จึงจำเป็นต้องให้พลังงานความร้อนให้กับผลิตภัณฑ์น้ำมันดิบ ฉะนั้นผลจาก
 การจำลองสามารถอธิบายได้ว่า ลักษณะความสัมพันธ์ระหว่างค่าเวลาในการเกิดฟาวลิงยังมีค่า
 ลดลง ค่าพลังงานความร้อนที่ต้องสูญเสียให้กับระบบก็มีค่ามากยิ่งขึ้นเท่านั้นตามลำดับ

5.2.2 กำหนดให้ค่าของเวลาในการเกิดฟาวลิง ($t_{p,c}$) คงที่

เป็นการจำลองข่างานเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนในกระบวนการอุ่นน้ำมันดิบ โดยได้กำหนดให้เพิ่มค่าคงที่ซึ่งขึ้นกับส่วนประกอบของสายร้อนและสายเย็น (n) ขึ้น 10% โดยค่าของเวลาในการเกิดฟาวลิง $t_{p,c}$ คงที่ ดังแสดงในตารางที่ 5.23

ตารางที่ 5.23 แสดงค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการพัฒนาแบบจำลองที่ค่า $t_{p,c}$ คงที่

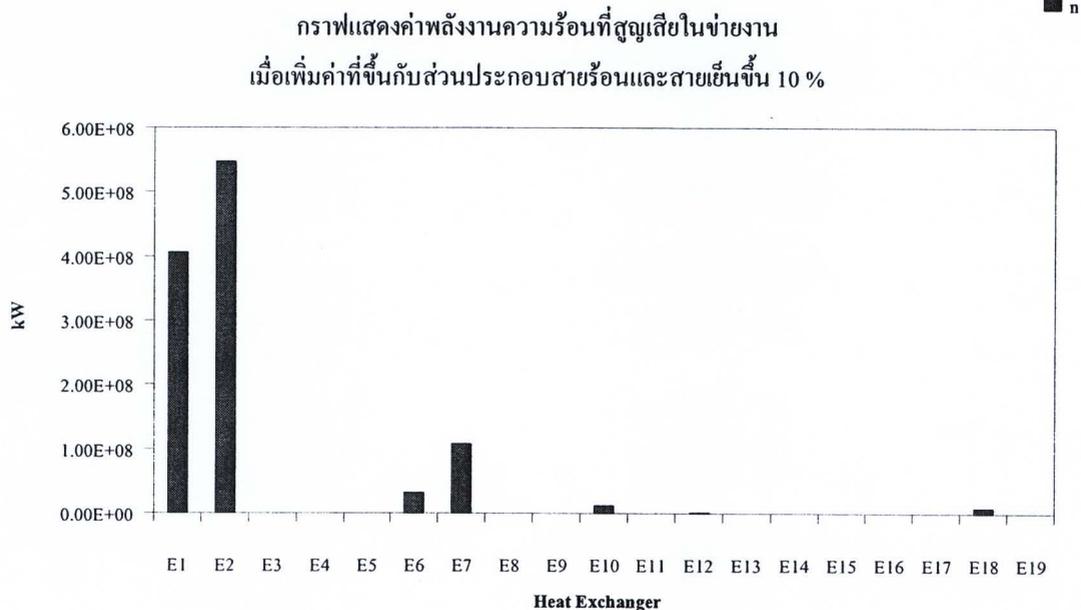
Heat Exchanger	Fouling Model	Parameter	
		$t_{p,c}$	n
E1	Power-law	0.9	1.089
E2	Power-law	0.00098	0.55
E3	Linear	0.19	-
E4	Linear	5	-
E5	Falling-rate	6	-
E6	Power-law	1	1.0747
E7	Power-law	0.009	0.979
E8	Linear	2.6	-
E9	Falling-rate	0.000000000000032	-
E10	Power-law	0.0002	0.55
E11	Falling-rate	0.000000000009	-
E12	Power-law	0.02	1.089
E13	Falling-rate	0.0077	-
E14	Falling-rate	0.0000000000009	-
E15	Falling-rate	0.0000000001	-
E16	Falling-rate	0.0000000000002	-
E17	Asymptotic	0.0000000000009	-
E18	Power-law	2	1.089
E19	Falling-rate	0.066	-

จากความสัมพันธ์ของสมการของการเกิดฟาวลิง เมื่อเพิ่มค่าคงที่ซึ่งขึ้นกับส่วนประกอบของสายร้อนและสายเย็น (n) ขึ้น จะทำให้ค่าการเกิดฟาวลิง $R_f(t)$ เพิ่มขึ้นและส่งผลทำให้สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมลดลง ทำให้อุณหภูมิของสายผลิตภัณฑ์น้ำมันดิบที่ได้ไม่เป็นไปตามข้อกำหนดของการรับเข้าสู่กระบวนการถัดไป จนกระทั่งต้องสูญเสียพลังงานในการเพิ่มอุณหภูมิให้กับผลิตภัณฑ์ ดังแสดงในตารางที่ 5.24

ตารางที่ 5.24 แสดงผลจากการจำลองของค่าพลังงานที่ต้องสูญเสียในระบบ ในกรณีที่กำหนดให้เพิ่มค่าคงที่ซึ่งขึ้นกับส่วนประกอบของสายร้อนและสายเย็น (n) ขึ้น 10% โดยค่าของเวลาในการเกิดฟาวลิง $t_{p,c}$ คงที่

Heat Exchanger	Parameter		Loss Q (kW)
	$t_{p,c}$	n	
E1	0.9	1.089	4.07E+08
E2	0.00098	0.55	5.48E+08
E3	0.19	-	-
E4	5	-	-
E5	6	-	-
E6	1	1.0747	3.31E+07
E7	0.009	0.979	1.08E+08
E8	2.6	-	-
E9	0.000000000000032	-	-
E10	0.0002	0.55	1.25E+07
E11	0.000000000009	-	-
E12	0.02	1.089	2.23E+06
E13	0.0077	-	-
E14	0.0000000000009	-	-
E15	0.00000000001	-	-
E16	0.0000000000002	-	-
E17	0.0000000000009	-	-
E18	2	1.089	9.10E+06
E19	0.066	-	-

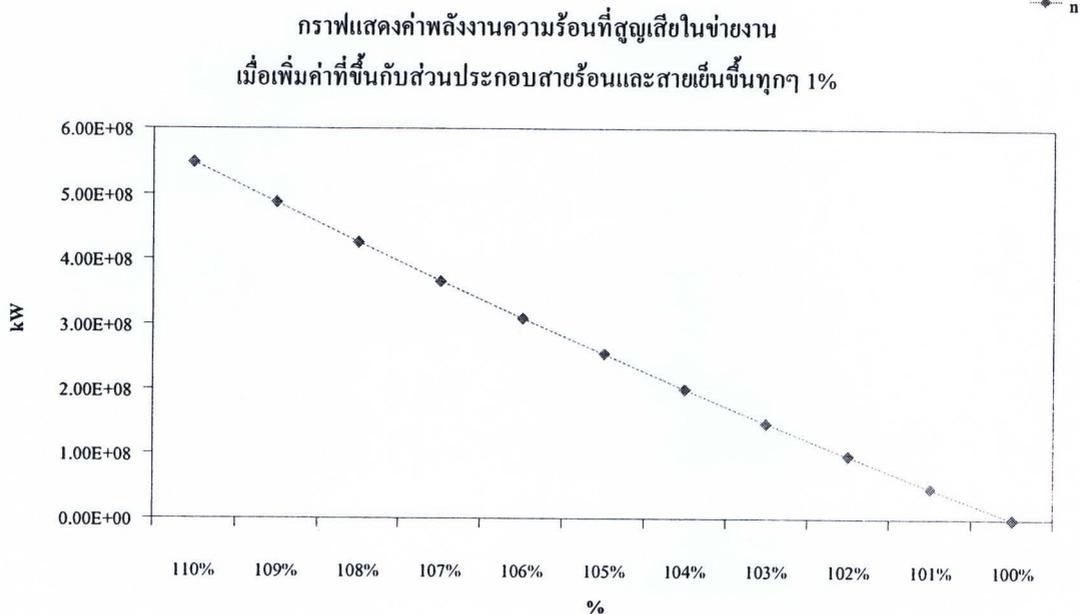
จากผลการจำลอง เมื่อเพิ่มค่าคงซึ่งขึ้นกับส่วนประกอบของสายร้อนและสายเย็น (n) ขึ้น 10 % พบว่า เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่มีผลทำให้ระบบข่ายงานต้องสูญเสียพลังงานความร้อนมากที่สุด คือเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน E2 (Critical Heat Exchanger) ที่ซึ่งเมื่อค่าการเกิดฟาวลิ่งเพิ่มมากขึ้นตามเวลา ทำให้อัตราการถ่ายเทความร้อนลดลง เป็นผลจากฟาวลิ่งไปด้านทานการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างสายร้อนและสายเย็นลดลง ส่งผลให้ประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนลดลง จนกระทั่งต้องเพิ่มพลังงานความร้อนให้กับระบบ เพื่อให้ได้ค่าความร้อนของน้ำมันดิบที่เหมาะสม โดยมีค่าการสูญเสียพลังงานในการดำเนินการของข่ายงานเท่ากับ 5.48×10^8 กิโลวัตต์ ที่ระยะเวลาดำเนินการต่อเนื่อง 600 วัน ดังแสดงในรูปที่ 5.22



รูปที่ 5.22 กราฟแสดงค่าพลังงานความร้อน (Q) ที่สูญเสียในข่ายงานแลกเปลี่ยนความร้อนรวม 19 เครื่อง เมื่อเพิ่มค่าซึ่งขึ้นกับส่วนประกอบของสายร้อนและสายเย็นขึ้น 10%

จากกราฟพบว่าเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่มีผลทำให้ระบบข่ายงานต้องสูญเสียพลังงานความร้อนมากที่สุด คือเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน E2 (Critical Heat Exchanger) ดังนั้นเมื่อนำมาพิจารณาเฉพาะเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนดังกล่าว ดังแสดงในรูปที่ 5.23 โดยเพิ่มค่าซึ่งขึ้นกับส่วนประกอบของสายร้อนและสายเย็นทุกๆ 1 % เพื่อทำนายลักษณะพลังงาน

ความร้อนที่สูญเสียให้กับช่างงาน เมื่อค่าการเกิดฟาวลิงเพิ่มสูงขึ้นจากการเพิ่มค่าซึ่งขึ้นกับ ส่วนประกอบของสายร้อนและสายเย็น



รูปที่ 5.23 กราฟแสดงค่าพลังงานความร้อน (Q) ที่สูญเสียในช่างงานแลกเปลี่ยนความร้อน รวม 19 เครื่อง เมื่อเพิ่มค่าที่ขึ้นกับส่วนประกอบของสายร้อนและสายเย็นทุกๆ 1%

จากกราฟแสดงค่าพลังงานความร้อน (Q) ที่สูญเสียในช่างงาน เมื่อเพิ่มค่าที่ขึ้นกับส่วนประกอบของสายร้อนและสายเย็นขึ้นทุก ๆ 1% พบว่าลักษณะของกราฟเป็นเชิงเส้นตรง (Linear) เช่นเดียวกันกับหัวข้อที่ 5.2.1 อธิบายจากความสัมพันธ์ของสมการที่นำมาเขียนแบบจำลองได้ว่า เมื่อเพิ่มค่าที่ขึ้นกับส่วนประกอบของสายร้อนและสายเย็นขึ้น จะมีผลทำให้ค่าการเกิดฟาวลิงเพิ่มสูงขึ้นโดยที่สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมก็มีค่าลดลงเป็นสาเหตุให้อุณหภูมิที่ใช้ในการแลกเปลี่ยนความร้อนไม่ได้ตามคุณภาพที่กำหนด และเพื่อทำให้ผลิตภัณฑ์น้ำมันดิบมีคุณภาพตามที่กำหนด ดังนั้นจึงจำเป็นต้องให้พลังงานความร้อนให้กับผลิตภัณฑ์น้ำมันดิบ ผลจากการจำลองจึงสามารถอธิบายได้ว่าลักษณะความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่ขึ้นกับส่วนประกอบของสายร้อน และสายเย็นยังมีค่าเพิ่มขึ้น ค่าพลังงานความร้อนที่ต้องสูญเสียให้กับระบบก็มีค่ามากยิ่งขึ้นเช่นเดียวกัน

การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิขาออกของสายน้ำมันดิบเทียบกับเวลา ในสภาวะที่มีการเกิดฟาวลิงตามรูปแบบสมการจำลองที่เหมาะสม พบว่าในสภาวะที่มีการเพิ่มขึ้นของค่าการเกิดฟาวลิง โดยการลดค่าเวลาการเกิดฟาวลิง และการเพิ่มค่าที่ขึ้นกับส่วนประกอบของสายร้อนและสายเย็นที่ 10 เปอร์เซ็นต์ ของแต่ละเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนในช่ಾಯงาน มีผลทำให้เกิดการสูญเสียพลังงานสำหรับเพิ่มค่าอุณหภูมิของสายน้ำมันดิบ เพื่อให้สามารถเข้าสู่กระบวนการหลักทั้ง 3 กระบวนการ ตลอดช่วงเวลาดำเนินการต่อเนื่อง 600 วัน พบว่าเมื่อค่าการเกิดฟาวลิงเพิ่มมากขึ้นตามเวลา ทำให้อัตราการถ่ายเทความร้อนลดลง เป็นผลจากฟาวลิงไปด้านทานการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างสายร้อนและสายเย็นลดลง ส่งผลให้ประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนลดลงจนกระทั่งต้องเพิ่มพลังงานความร้อนให้กับระบบ เพื่อให้ได้ค่าความร้อนของน้ำมันดิบที่เหมาะสม จึงจำเป็นต้องสูญเสียพลังงานในการดำเนินการของช่ಾಯงาน ซึ่งในสภาวะตามความเป็นจริงแล้ว การลดค่าเวลาการเกิดฟาวลิง และการเพิ่มค่าที่ขึ้นกับส่วนประกอบของสายร้อนและสายเย็น หากเป็นการจำลองเลียนแบบกระบวนการจริงนั้นสามารถทำได้ง่าย โดยการแทนค่าตัวเลขพารามิเตอร์ที่ต้องการลด หรือเพิ่มได้ในโปรแกรม แต่สำหรับกระบวนการดำเนินงานจริงนั้นหากต้องการเพิ่มเวลาในการเกิดฟาวลิงก็อาจทำได้โดยการเติมสารกำจัด ป้องกัน ชะลอการเกิดฟาวลิง รวมทั้งสารที่ใช้ในการเคลือบพื้นที่ผิวการถ่ายเทความร้อน เป็นต้น หากต้องการลดค่าที่ขึ้นกับส่วนประกอบของสายร้อนและสายเย็นก็อาจทำได้โดย การคัดแยกคุณสมบัติของน้ำมันดิบที่ส่งเข้ามาในระบบของสายเย็น รวมทั้งสารที่ใช้ในการแลกเปลี่ยนความร้อนที่ส่งเข้ามาระบบของสายเย็น เป็นต้น