# บทที่ 6

# ผลที่ได้จากการศึกษาวิจัย

ในการศึกษาวิจัยในครั้งนี้เป็นการศึกษาพฤติกรรมการไหลผ่านตะแกรงผันน้ำ โดยจะกำหนดให้การไหลเข้าสู่ (Approach Flow) ตะแกรงผันน้ำมี 2 แบบ คือ

1) การไหลแบบใต้วิกฤติ (Subcritical Flow)
2) การไหลแบบเหนือวิกฤติ (Supercritical Flow)

พฤติกรรมการไหลหรือความสัมพันธ์ของตัวแปรต่างๆ ที่ได้ทำการศึกษา ได้แก่

*ก) **พลังงานจำเพาะของการไหลสู่ตะแกรงผันน้ำ** ($E_o$) **กับ***

- อัตราการไหลที่ถูกผันลอดผ่านตะแกรงผันน้ำ ($Q_D$)
- อัตราการไหลที่เหลือจากการถูกผันลอดผ่านตะแกรงผันน้ำ ($Q_R$)
- สัมประสิทธิ์อัตราการไหลลอดผ่านตะแกรงผันน้ำ ($C_D$)
- ความลึกการไหลที่หน้าตัดเริ่มต้นของตะแกรงผันน้ำ ($y_{x=0\ cm.}$)

*ข) **อัตราการไหลเข้าสู่ตะแกรงผันน้ำ** ($Q_o$) **กับ***

- อัตราการไหลที่ถูกผันลอดผ่านตะแกรงผันน้ำ ($Q_D$)
- อัตราการไหลที่เหลือจากการถูกผันลอดผ่านตะแกรงผันน้ำ ($Q_R$)
- สัมประสิทธิ์อัตราการไหลลอดผ่านตะแกรงผันน้ำ ($C_D$)
- ความลึกการไหลที่หน้าตัดต่างๆก่อนถึงตะแกรงผันน้ำ ($y_{x=-120\ cm.}$, $y_0$ และ $y_{x=0\ cm.}$)

*ค) อัตราส่วนพื้นที่ช่องเปิดของตะแกรงผันน้ำ (E) กับ*

- อัตราการไหลที่ถูกผันลอดผ่านตะแกรงผันน้ำ ($Q_D$)
- อัตราการไหลที่เหลือจากการถูกผันลอดผ่านตะแกรงผันน้ำ ($Q_R$)
- สัมประสิทธิ์อัตราการไหลลอดผ่านตะแกรงผันน้ำ ($C_D$)
- ความลึกการไหลที่หน้าตัดต่างๆก่อนถึงตะแกรงผันน้ำ ($y_{x=-120\ cm.}$, $y_0$ และ $y_{x=0\ cm.}$)

*ง) เปรียบเทียบความลึกการไหลเหนือตะแกรงผันน้ำที่ได้จากการทดลอง,การคำนวณโดยวิธี Finite Difference Method และ จากสมการของ Moskow*

สำหรับผลการศึกษามีดังนี้ คือ

## 6.1 พฤติกรรมการไหลทั่ว ๆไปของการไหลเข้าสู่ตะแกรงผันน้ำที่เป็นการไหลแบบใต้วิกฤติ

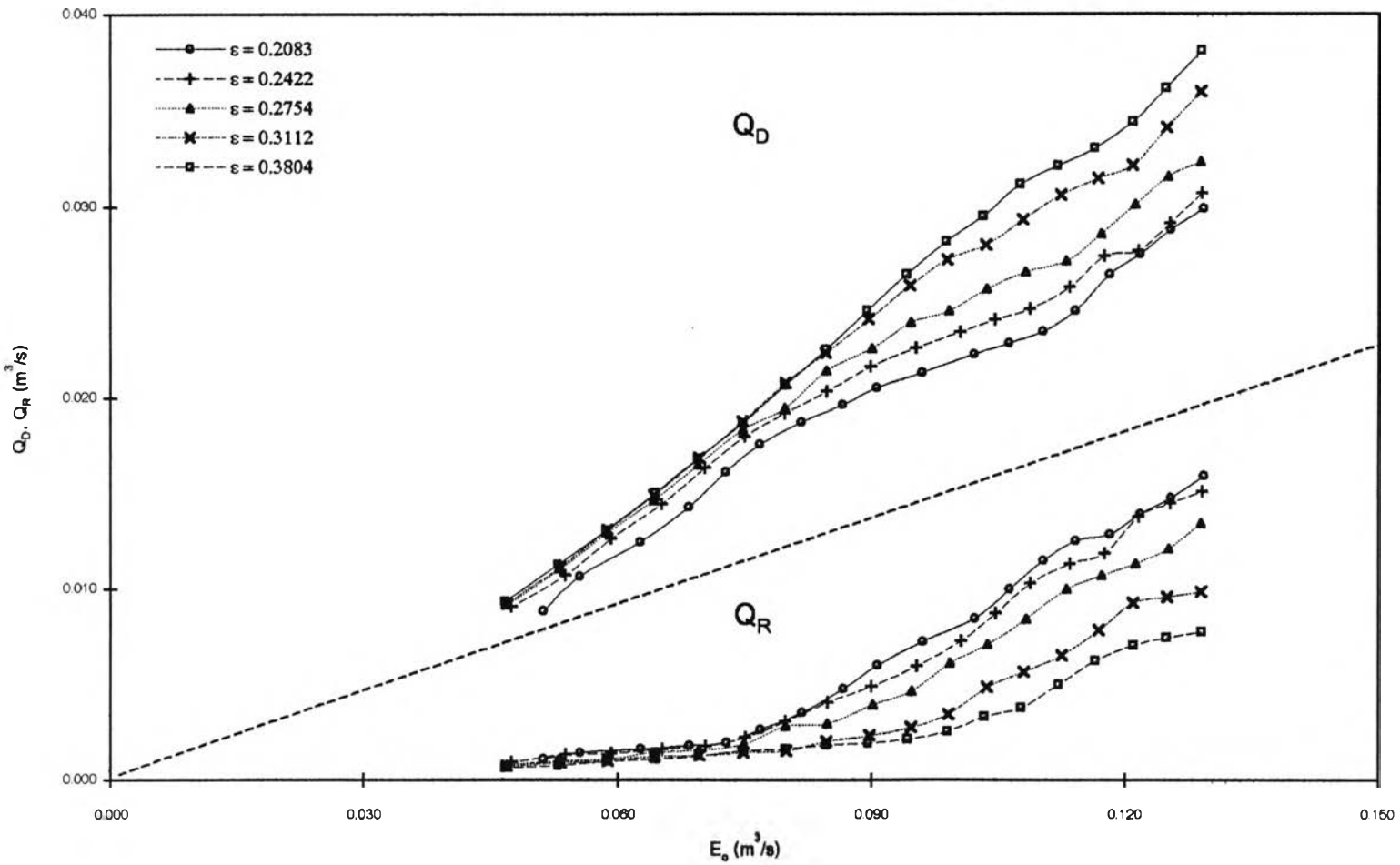
ได้ทำการศึกษาจากแบบจำลองตะแกรงผันน้ำจำนวน 5 แบบ โดยเปลี่ยนแปลงค่า อัตราการไหลเข้าสู่ตะแกรงผันน้ำ ($Q_S$) ให้มีค่าอยู่ระหว่าง 500 ลิตรต่อนาที ถึง 2200 ลิตรต่อนาที จำนวนแบบละ 18 อัตราการไหล ผลการทดลองและผลการคำนวณทั้งหมดได้รวบรวมไว้ใน **ภาคผนวก ก** สำหรับผลการศึกษามีดังนี้คือ

### 6.1.1) ผลเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของพลังงานจำเพาะของการไหลสู่ตะแกรงผันน้ำ ($E_o$) ที่มีต่อ

#### *ก) อัตราการไหลที่ถูกผันลอดผ่านตะแกรงผันน้ำ ($Q_D$) และอัตราการไหลที่เหลือจากการถูกผันลอดผ่านตะแกรงผันน้ำ ($Q_R$)*

จากรูป 6-1 ซึ่งเป็นความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลที่ถูกผันลอดผ่านตะแกรงผันน้ำ ($Q_D$) และพลังงานจำเพาะของการไหลสู่ตะแกรงผันน้ำ ($E_o$) จะเห็นได้ว่าในแต่ละชุดของตะแกรงผันน้ำ ค่าอัตราการไหลที่ถูกผันลอดผ่านตะแกรงผันน้ำ ($Q_D$) จะแปรผันโดยตรงกับพลังงานจำเพาะของการไหลสู่ตะแกรงผันน้ำ ($E_o$) ซึ่งสามารถอธิบายได้จาก " การที่น้ำถูกผันลอดผ่านตะแกรงผันน้ำไปได้นั้นเนื่องจากมีศักย์ประสิทธิผล (Effective head) เหนือตะแกรงผันน้ำในการขับน้ำให้ไหลลอดผ่านตะแกรงไปได้ ซึ่งในทางปฏิบัติแล้วศักย์ประสิทธิผลเหนือตะแกรงผันน้ำมีค่าเท่ากับพลังงานจำเพาะของการไหล " (Moskow 1957: 570) ดังนั้นการไหลใดๆที่มีพลังงานจำเพาะมาก ปริมาณน้ำที่ถูกผันลอดผ่านตะแกรงผันน้ำก็จะมีค่ามากและการไหลใดๆที่มีพลังงานจำเพาะน้อย ปริมาณน้ำที่ถูกผันลอดผ่านตะแกรงผันน้ำก็จะมีค่าน้อย นอกจากนี้ในรูป 6-1 ยังได้แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลที่ถูกผันลอดผ่านตะแกรงผันน้ำ ($Q_R$) และพลังงานจำเพาะของการไหลสู่ตะแกรงผันน้ำ ($E_o$) ไว้ด้วยเช่นกัน โดยจะเห็นได้ว่าค่าอัตราการไหลที่เหลือจากการถูกผันลอดผ่านตะแกรงผันน้ำ ($Q_R$) จะแปรผันโดยตรงกับพลังงานจำเพาะของการไหลสู

รูป 6-1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า $Q_D$,$Q_R$ และค่า $E_o$ สำหรับการไหลแบบใต้วิกฤติสู่ตะแกรงฝนน้ำที่มี ε ต่าง ๆ



ตะแกรงผันน้ำ ($E_o$) เช่นกัน ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจาก ในการไหลสู่ตะแกรงผันน้ำใดๆ หากปริมาณน้ำที่ไหลเข้าสู่ตะแกรงผันน้ำมีค่าเกินกว่าที่ตะแกรงผันน้ำจะสามารถทำการผันน้ำออกไปได้ก็จะทำให้น้ำบางส่วนไม่สามารถถูกผันลอดผ่านตะแกรงผันน้ำไปได้ ปริมาณน้ำในส่วนดังกล่าวนี้จะไหลเลยตะแกรงผันน้ำไปทางท้ายน้ำซึ่งเรียกว่าน้ำที่เหลือจากการการถูกผันลอดผ่านตะแกรงผันน้ำ โดยทั่วไปแล้วในการไหลที่มีอัตราการไหลเพิ่มขึ้นในทางน้ำที่มีหน้าตัดคงที่ใดๆ ค่าพลังงานจำเพาะของการไหลสู่ตะแกรงผันน้ำ ($E_o$) ย่อมเพิ่มขึ้นตามไปด้วย แต่เนื่องจากว่าตะแกรงผันน้ำแต่ละขนาดจะมีความสามารถในการผันน้ำอยู่ที่อัตราหนึ่งๆ ดังนั้นแม้ว่าเมื่อมีอัตราการไหลเข้าสู่ตะแกรงผันน้ำเพิ่มขึ้นซึ่งจะทำให้พลังงานจำเพาะของการไหลสู่ตะแกรงผันน้ำ ($E_o$) เพิ่มขึ้นก็ไม่ได้หมายความว่าจะมีการผันน้ำลอดผ่านตะแกรงได้มากขึ้น ทำให้เกิดมีน้ำที่เหลือจากการถูกผันลอดผ่านตะแกรงผันน้ำมากขึ้นตามไปด้วย ดังจะเห็นจากรูป 6-1 คือเมื่อพลังงานจำเพาะของการไหลสู่ตะแกรงผันน้ำ ($E_o$) มีค่ามากขึ้น แนวโน้มอัตราการเพิ่มขึ้นของอัตราการไหลที่ถูกผันลอดผ่านตะแกรงผันน้ำ ($Q_D$) จะลดลงส่งผลให้อัตราการไหลที่เหลือจากการถูกผันลอดผ่านตะแกรงผันน้ำ ($Q_R$) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น นั่นคืออัตราการไหลที่เหลือจากการถูกผันลอดผ่านตะแกรงผันน้ำ ($Q_R$) จะแปรผันโดยตรงกับพลังงานจำเพาะของการไหลสู่ตะแกรงผันน้ำ ($E_o$) ตามผลการทดลองที่ได้

นอกจากนี้แล้วหากพิจารณากราฟในรูป 6-1 อย่างละเอียดแล้วยังพบอีกว่าลักษณะความสัมพันธ์ของชุดข้อมูลอาจจะมองได้เป็น 3 ช่วงดังนี้ คือ

- ช่วงที่ 1 คือช่วงที่มีพลังงานจำเพาะของการไหลต่ำๆ นั่นคือ $E_o$ มีค่าประมาณ 0.05 – 0.08 เมตร หากพิจารณากราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $Q_D$ และ $E_o$ จะเห็นได้ว่าในช่วงดังกล่าวนี้ ความสัมพันธ์เกือบจะเป็นเส้นตรงและมีความลาดชัน (Slope) ค่อนข้างจะคงที่ กล่าวคือเมื่อ $E_o$ เพิ่มขึ้นจะทำให้ $Q_D$ เพิ่มขึ้นด้วยอัตราที่ค่อนข้างจะคงที่ ซึ่งในช่วงดังกล่าวนี้ การไหลเข้าสู่ตะแกรงผันน้ำจะมีพลังงานจำเพาะของการไหลที่ค่อนข้างต่ำ ทำให้สภาพการไหลค่อนข้างที่จะราบเรียบ เนื่องจากอนุภาคของน้ำจะเคลื่อนตัวอย่างเป็นระเบียบรวมทั้งเส้น

การไหล (Streamlines) จะมีลักษณะขนานกันไปโดยตลอด ดังนั้นน้ำจึงถูกผันลอดผ่านตะแกรงผันน้ำออกไปโดยพลังงานจำเพาะได้อย่างเต็มที่ นั่นคือเมื่อพลังงานจำเพาะของการไหลสู่ตะแกรงผันน้ำ ($E_o$) มีค่าสูงขึ้นจะทำให้อัตราการไหลที่ถูกผันลอดผ่านตะแกรงผันน้ำ ($Q_D$) เพิ่มสูงขึ้นตามไปด้วย ดังลักษณะของความสัมพันธ์ที่ได้ ในขณะที่อัตราการไหลที่เหลือจากการถูกผันลอดผ่านตะแกรงผันน้ำ ($Q_R$) จะมีการเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยหรือเกือบจะคงที่ เนื่องจากปริมาณน้ำส่วนใหญ่จะถูกตะแกรงผันน้ำผันออกไปได้เกือบจะทั้งหมด

- ช่วงที่ 2 คือช่วงที่มีพลังงานจำเพาะของการไหลสู่ตะแกรงผันน้ำ ($E_o$) ปานกลาง โดยมีค่าประมาณ 0.08 – 0.11 เมตร หากพิจารณากราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $Q_D$ และ $E_o$ จะเห็นได้ว่าในช่วงดังกล่าวนี้ สำหรับกรณีของตะแกรงผันน้ำที่มีอัตราส่วนพื้นที่ช่องเปิดของตะแกรงผันน้ำ ($\varepsilon$) ต่ำๆ คือ $\varepsilon$ = 0.2083 , 0.2112 และ 0.2754 ค่าของอัตราการไหลที่ถูกผันลอดผ่านตะแกรงผันน้ำ ($Q_D$) ก็ยังคงแปรผันโดยตรงกับพลังงานจำเพาะของการไหลสู่ตะแกรงผันน้ำ ($E_o$) ในลักษณะเกือบจะเป็นเส้นตรงเหมือนในช่วงที่ 1 แต่จะแตกต่างกันตรงที่อัตราการเพิ่มขึ้นของ $Q_D$ จะต่ำกว่าช่วงที่ 1 ซึ่งจะสังเกตได้จากเส้นกราฟจะมีความลาดชันลดลง ที่เป็นเช่นนี้เนื่องมาจากสำหรับตะแกรงผันน้ำแต่ละขนาดจะมีความสามารถในการผันน้ำจำกัดด้วยอัตราหนึ่งๆ ตามขนาดของพื้นที่ช่องเปิด ดังนั้นแม้ว่าพลังงานจำเพาะของการไหลเข้าสู่ตะแกรงผันน้ำ ($E_o$) จะมีค่าเพิ่มขึ้นก็ไม่ได้หมายความว่าปริมาณน้ำจะถูกตะแกรงผันน้ำทำการผันออกไปได้เป็นปริมาณเกือบทั้งหมดเหมือนดังเช่นในช่วงที่ 1 ทำให้อัตราการไหลที่เหลือจากการถูกผันลอดผ่านตะแกรงผันน้ำ ($Q_R$) มีค่าเพิ่มขึ้น ดังจะเห็นได้ว่าในช่วงที่ 2 นี้ กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $Q_R$ และ $E_o$ จะเริ่มมีความลาดชันมากกว่าช่วงที่ 1 นอกจากผลของข้อจำกัดของขนาดช่องเปิดของตะแกรงผันน้ำที่มีผลต่อพฤติกรรมการไหลในช่วงที่ 2 นี้แล้ว ปัจจัยอีกประการหนึ่งที่อาจจะมีอิทธิ

พลต่อพฤติกรรมการไหลในช่วงนี้ก็คือ ลักษณะของการไหลเหนือช่องเปิดของตะแกรงผันน้ำ กล่าวคือ ในช่วงที่ 2 นี้พลังงานจำเพาะของการไหลจะมีค่าสูงขึ้นกว่าช่วงที่ 1 ตามอัตราการไหลที่เพิ่มขึ้น ทำให้ความเป็นระเบียบของอนุภาคน้ำที่เคลื่อนที่เริ่มลดลง โดยอาจมีการเคลื่อนที่ชนกันเองของอนุภาคน้ำ เส้นการไหลเริ่มจะไม่ขนานกัน อันเนื่องมาจากสภาพการไหลเหนือช่องเปิดของตะแกรงผันน้ำเริ่มมีความปั่นป่วน (Turbulence) ซึ่งจะก่อให้เกิดการกีดขวางต่อน้ำที่จะถูกผันออกไป ซึ่งเมื่อพิจารณารวมกับเหตุผลของข้อจำกัดของความสามารถในการผันน้ำของตะแกรงผันน้ำแต่ละขนาดแล้ว จึงเป็นสาเหตุให้พฤติกรรมการไหลที่เกิดขึ้นปรากฏดังผลการศึกษาที่ได้ สำหรับในกรณีของตะแกรงผันน้ำที่มีค่าอัตราส่วนพื้นที่ช่องเปิดค่อนข้างสูง ได้แก่ $\varepsilon = 0.3112$ และ 0.3804 จะพบว่าพฤติกรรมการไหลในช่วงที่ 2 นี้ ยังคงคล้ายเคียงกับในช่วงที่ 1 และผลเนื่องจากความปั่นป่วนของการไหลเหนือช่องเปิดของตะแกรงผันน้ำแทบจะไม่มีผลต่อการผันน้ำเลยเนื่องจากตะแกรงผันน้ำมีขนาดช่องเปิดค่อนข้างมากจึงทำให้การผันน้ำผ่านตะแกรงผันน้ำเกิดขึ้นได้ง่ายกว่าตะแกรงผันน้ำที่มีอัตราส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่ำกว่า

- ช่วงที่ 3 คือ ช่วงที่มีพลังงานจำเพาะของการไหลค่อนข้างสูง คือ $E_o$ มีค่าประมาณ 0.11 – 0.13 เมตร หากพิจารณากราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $Q_D$ และ $E_o$ จะเห็นได้ว่าในช่วงดังกล่าวนี้ $Q_D$ ยังคงแปรผันโดยตรงกับ $E_o$ โดยอัตราการเพิ่มขึ้นของ $Q_D$ เมื่อเทียบกับ $E_o$ จะสูงกว่าช่วงที่ 2 และใกล้เคียงกับช่วงที่ 1 ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากว่า เมื่อการไหลมีพลังงานจำเพาะรวมทั้งความลึกการไหลเหนือตะแกรงผันน้ำมีค่าเพิ่มสูงขึ้น อิทธิพลของความดันชลศาสตร์สถิตย์ (Hydrostatic pressure) อันเนื่องมาจากความลึกการไหลที่เพิ่มสูงขึ้นก่อให้เกิดแรงอัดของน้ำผ่านช่องเปิดของตะแกรงผันน้ำมากขึ้น ซึ่งจะมีอิทธิพลมากกว่าความปั่นป่วนของการไหลเหนือช่องเปิดของตะแกรงผันน้ำที่กล่าวถึงใน

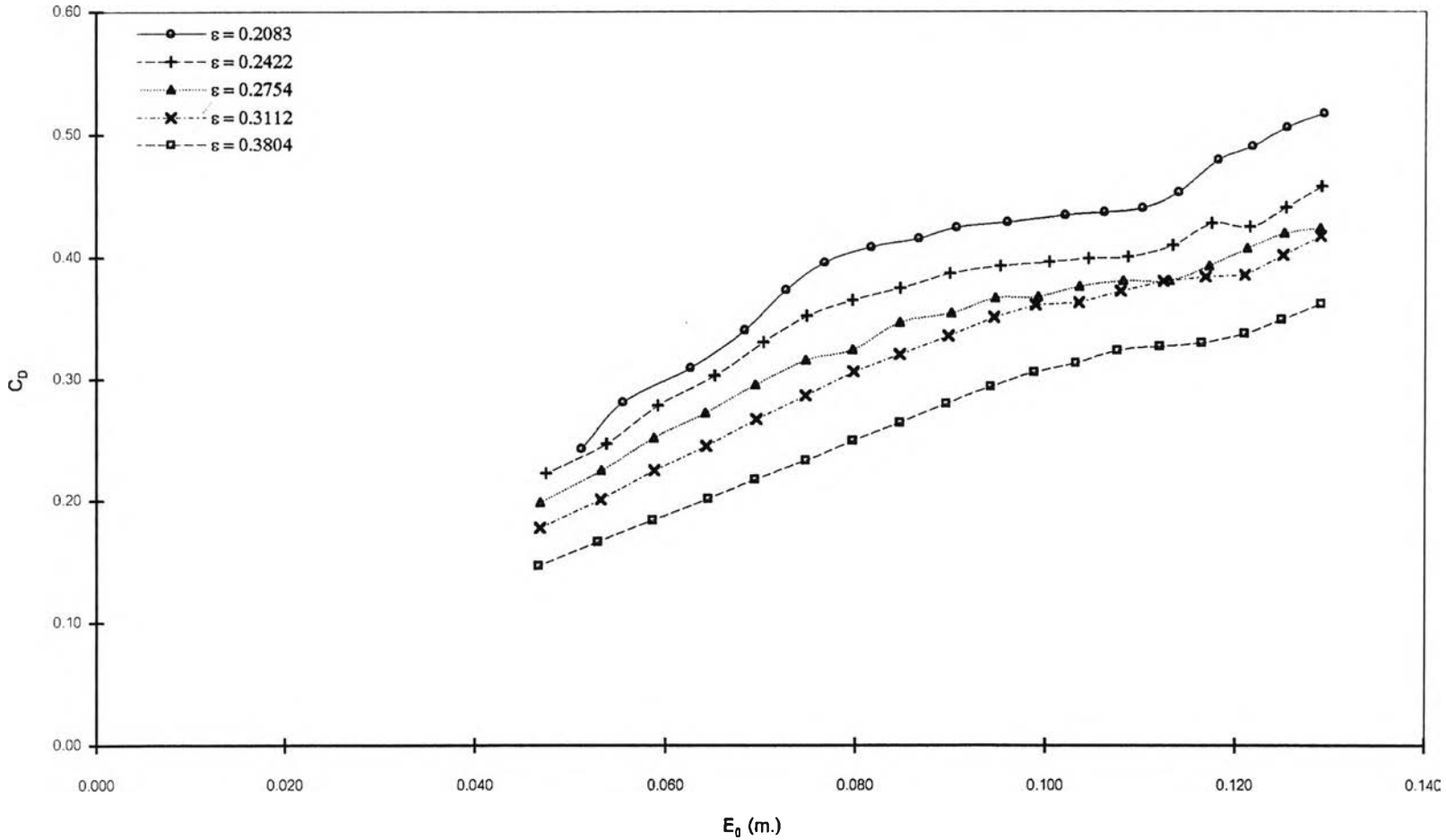
ช่วงที่ 2 จนทำให้อิทธิพลของความปั่นป่วนของการไหลเหนือช่องเปิดของตะแกรงมีผลน้อยมากต่อการไหลของน้ำผ่านตะแกรงผันน้ำ ทำให้ตะแกรงผันน้ำสามารถผันน้ำได้ด้วยอัตราที่สูงขึ้นกว่าในช่วงที่ 2 ซึ่งจะสังเกตเห็นว่าเส้นกราฟมีความลาดชันสูงกว่าช่วงที่ 2 สำหรับในส่วนของความสัมพันธ์ระหว่าง $Q_R$ และ $E_o$ ก็จะพบว่าในช่วงที่ 3 นี้ ความลาดชันของเส้นกราฟก็จะเริ่มลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับช่วงที่ 2 เนื่องจากตะแกรงผันน้ำสามารถผันน้ำได้ด้วยอัตราที่สูงขึ้นดังที่ได้อธิบายเหตุผลไว้แล้วในข้างต้น

***ข) สัมประสิทธิ์อัตราการไหลลอดผ่านตะแกรงผันน้ำ ($C_D$)***

จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์อัตราการไหลลอดผ่านตะแกรงผันน้ำ ($C_D$) และพลังงานจำเพาะของการไหลเข้าสู่ตะแกรงผันน้ำ ($E_o$) (ดูรูป 6-2 ประกอบ) โดยมีค่า $E_o$ อยู่ระหว่าง 0.0467 เมตร ถึง 0.1293 เมตร พบว่า

พลังงานจำเพาะของการไหลเข้าสู่ตะแกรงผันน้ำ($E_o$) มีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์อัตราการไหลลอดผ่านตะแกรงผันน้ำ ($C_D$) กล่าวคือ สำหรับตะแกรงผันน้ำที่มีอัตราส่วนพื้นที่ช่องเปิด ($\varepsilon$) ใดๆ ค่าสัมประสิทธิ์อัตราการไหลลอดผ่านตะแกรงผันน้ำ ($C_D$) แปรผันโดยตรงกับพลังงานจำเพาะของการไหลเข้าสู่ตะแกรงผันน้ำ ($E_o$) ซึ่งอธิบายได้จากความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลที่ถูกผันลอดผ่านตะแกรงผันน้ำ ($Q_D$) และพลังงานจำเพาะของการไหลสู่ตะแกรงผันน้ำ ($E_o$) ดังเช่นที่ได้อธิบายมาแล้ว กล่าวคือสัมประสิทธิ์อัตราการไหลลอดผ่านตะแกรงผันน้ำ ($C_D$) เป็นพารามิเตอร์ตัวหนึ่งที่แสดงถึงความสามารถในการผันน้ำของตะแกรงผันน้ำ ดังนั้นการที่อัตราการไหลที่ถูกผันลอดผ่านตะแกรงผันน้ำ ($Q_D$) แปรผันโดยตรงกับพลังงานจำเพาะของการไหลสู่ตะแกรงผันน้ำ ($E_o$) ค่าสัมประสิทธิ์อัตราการไหลลอดผ่านตะแกรงผันน้ำ ($C_D$) จึงแปรผันโดยตรงกับพลังงานจำเพาะของการไหลเข้าสู่ตะแกรงผันน้ำ ($E_o$) ด้วย

รูป 6-2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า $C_D$ และค่า $E_0$ สำหรับการไหลแบบใต้วิกฤติสู่ตะแกรงผันน้ำที่มี ε ต่าง ๆ

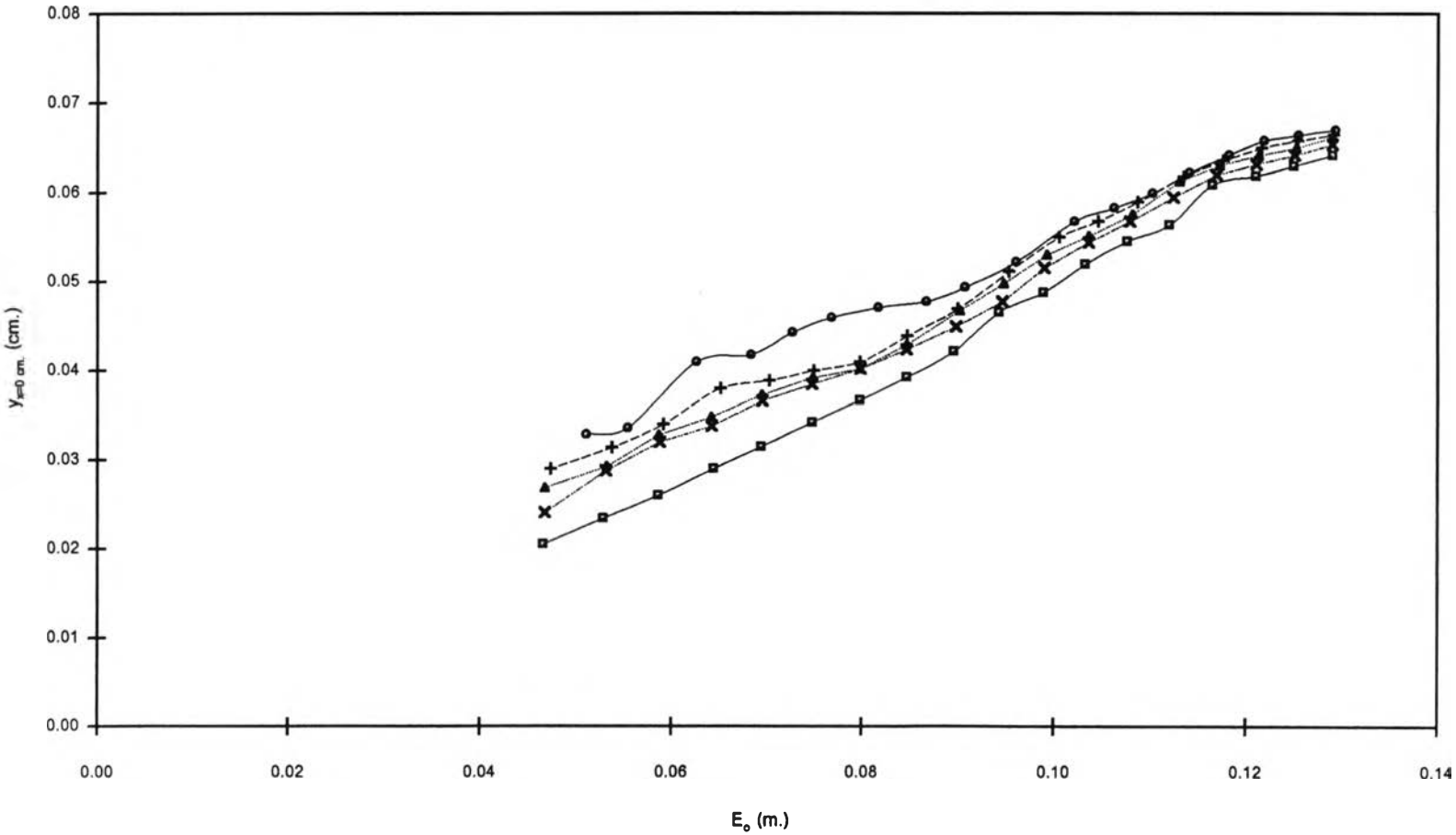


นอกจากนี้หากทำการพิจารณาเส้นกราฟในรูป 6-2 ต่อไปยังพบอีกว่า เมื่อพลังงานจำเพาะของการไหลเข้าสู่ตะแกรงผันน้ำ ($E_o$) เพิ่มขึ้น แนวโน้มของการเพิ่มขึ้นของค่าสัมประสิทธิ์อัตราการไหลลอดผ่านตะแกรงผันน้ำ ($C_D$) จะเริ่มลดลง ซึ่งสังเกตได้จากเส้นกราฟมีความลาดชันลดลง ทั้งนี้เนื่องมาจากข้อจำกัดของความสามารถในการผันน้ำของตะแกรงผันน้ำ คือ เมื่อเมื่อพลังงานจำเพาะของการไหลเข้าสู่ตะแกรงผันน้ำ ($E_o$) เพิ่มขึ้น ก็ไม่ได้หมายความว่าตะแกรงจะสามารถผันน้ำได้เพิ่มขึ้นไปเรื่อยๆ ดังที่ได้อธิบายไว้ในหัวข้อ 6.1.1 ก)

***ค) ความลึกการไหลที่หน้าตัดเริ่มต้นของตะแกรงผันน้ำ ($y_{x=0\,cm.}$)***

จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความลึกการไหลที่หน้าตัดเริ่มต้นของตะแกรงผันน้ำ (ระยะ x = 0 cm.) และพลังงานจำเพาะของการไหลสู่ตะแกรงผันน้ำ ($E_o$) (ดูรูป 6-3 ประกอบ) โดยมีค่า พลังงานจำเพาะของการไหลสู่ตะแกรงผันน้ำ ($E_o$) อยู่ระหว่าง 0.0467 เมตร ถึง 0.1293 เมตร พบว่าความลึกการไหลที่หน้าตัดเริ่มต้นของตะแกรงผันน้ำจะแปรผันโดยตรงกับพลังงานจำเพาะของการไหลสู่ตะแกรงผันน้ำ ($E_o$) เนื่องจากเมื่อมีอัตราการไหลสู่ตะแกรงผันน้ำ ($Q_s$) เพิ่มมากขึ้น พลังงานจำเพาะซึ่งเป็นคุณสมบัติของการไหลก็จะเพิ่มขึ้นตามไปด้วย นอกจากนี้แล้วในการไหลใดๆในทางน้ำคงตัว เมื่อมีอัตราการไหลเพิ่มขึ้นความลึกการไหลก็จะเพิ่มขึ้นด้วย ด้วยเหตุนี้จึงบอกได้ว่าความลึกการไหลที่หน้าตัดเริ่มต้นของตะแกรงผันน้ำจะแปรผันโดยตรงกับพลังงานจำเพาะของการไหลสู่ตะแกรงผันน้ำ ($E_o$)

รูป 6-3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า $y_{x=0\ cm.}$ และค่า $E_o$ สำหรับการไหลแบบใต้วิกฤติสู่ตะแกรงผันน้ำที่มี ε ต่างๆ



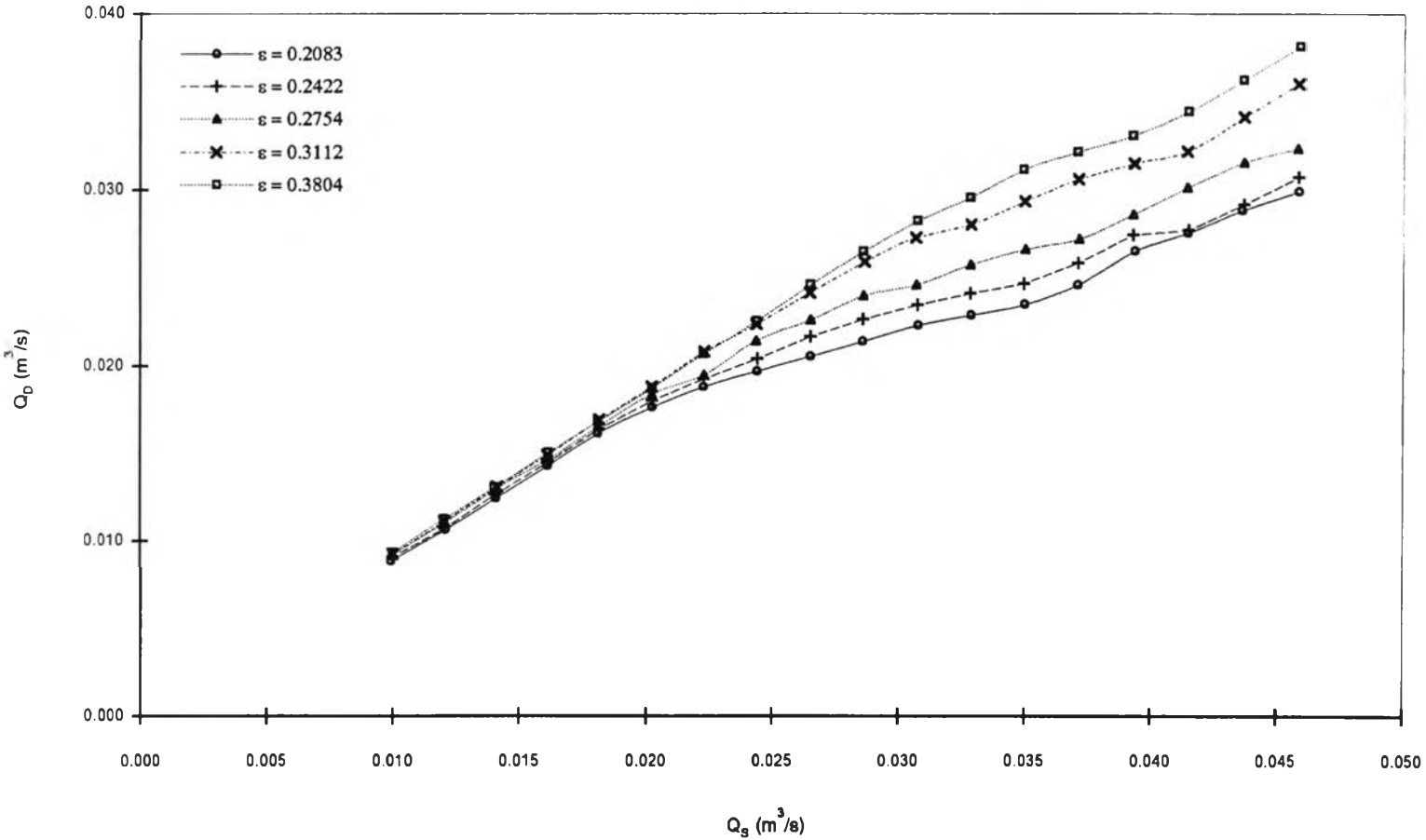
### 6.1.2) ผลเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของอัตราการไหลเข้าสู่ตะแกรงผันน้ำ ($Q_s$) ที่มีต่อ

#### *ก) อัตราการไหลที่ถูกผันลอดผ่านตะแกรงผันน้ำ ($Q_D$) และอัตราการไหลที่เหลือจากการถูกผันลอดผ่านตะแกรงผันน้ำ ($Q_R$)*

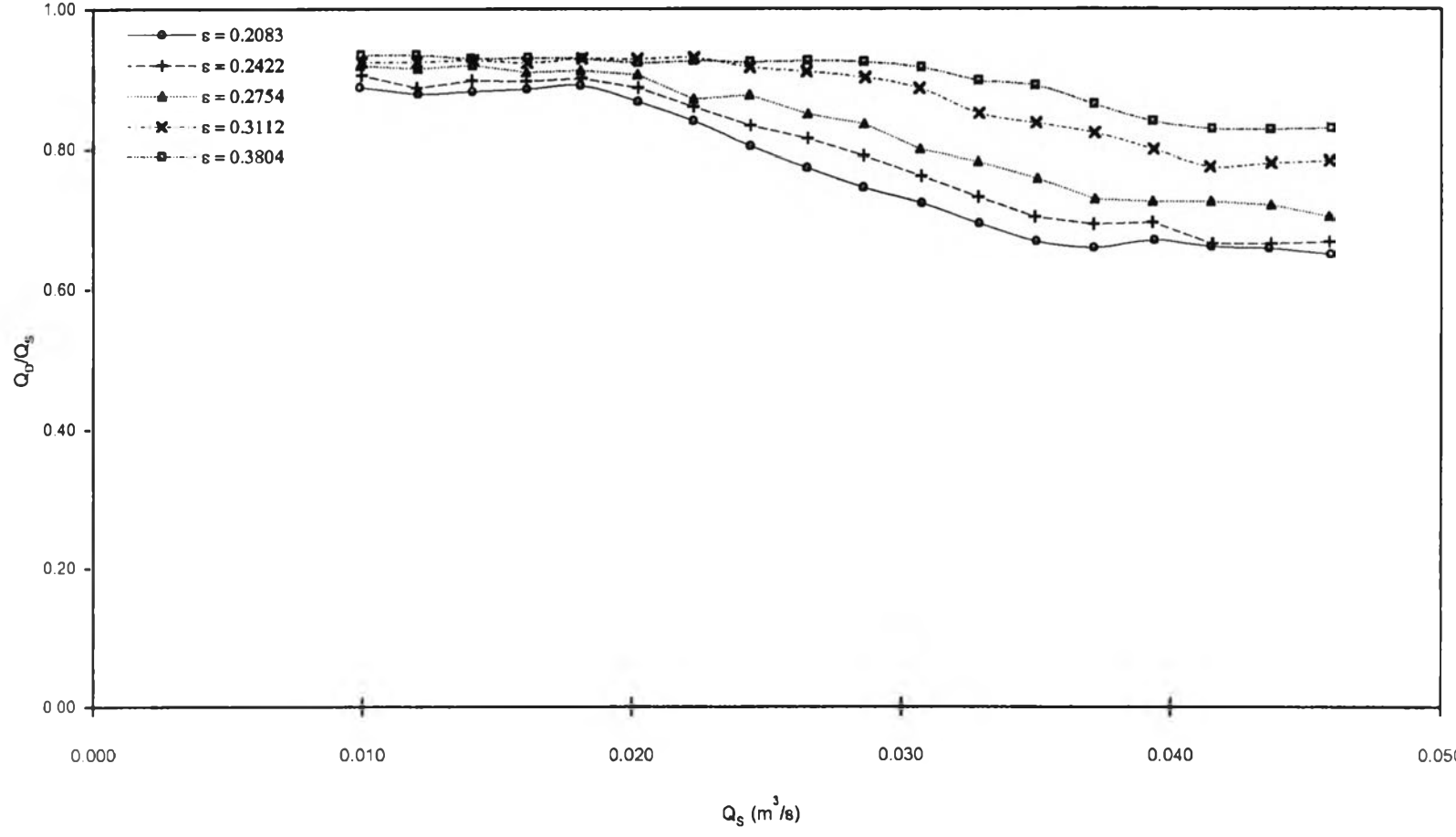
จากรูป 6-4 ซึ่งเป็นความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลที่ถูกผันลอดผ่านตะแกรงผันน้ำ ($Q_D$) และอัตราการไหลเข้าสู่ตะแกรงผันน้ำ ($Q_s$) โดยอัตราการไหลเข้าสู่ตะแกรงผันน้ำ ($Q_s$) มีค่าอยู่ระหว่าง 0.0100 $m^3/s$. ถึง 0.0459 $m^3/s$. พบว่าอัตราการไหลที่ถูกผันลอดผ่านตะแกรงผันน้ำ ($Q_D$) แปรผันโดยตรงกับอัตราการไหลเข้าสู่ตะแกรงผันน้ำ ($Q_s$) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเมื่ออัตราการไหลเข้าสู่ตะแกรงผันน้ำ ($Q_s$) มีค่ามากขึ้นจะทำให้ปริมาณน้ำในทางน้ำที่ไหลเข้าสู่ตะแกรงผันน้ำมีมากขึ้น อันจะส่งผลให้พลังงานจำเพาะของการไหลสู่ตะแกรงผันน้ำ ($E_o$) มีค่ามากขึ้นด้วย ซึ่งจะทำให้เกิดมีศักย์ที่จะผันน้ำให้ไหลลอดผ่านตะแกรงผันน้ำได้มากขึ้น ปริมาณน้ำจึงถูกผันออกมามาก ในทางกลับกันเมื่ออัตราการไหลเข้าสู่ตะแกรงผันน้ำ ($Q_s$) มีค่าน้อยลงจะทำให้ปริมาณน้ำในทางน้ำที่ไหลเข้าสู่ตะแกรงผันน้ำมีน้อยลง อันจะส่งผลให้พลังงานจำเพาะของการไหลสู่ตะแกรงผันน้ำ ($E_o$) มีค่าน้อยลง ซึ่งจะทำให้เกิดมีศักย์ที่จะผันน้ำให้ไหลลอดผ่านตะแกรงผันน้ำได้น้อยลง ปริมาณน้ำจึงถูกผันออกมาน้อย

นอกจากนี้หากพิจารณารูป 6-5 ซึ่งเป็นการแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ($Q_D/Q_s$) และ $Q_s$ จะพบว่าค่า ($Q_D/Q_s$) แปรผกผันกับ $Q_s$ ซึ่งหมายความว่าเมื่ออัตราการไหลเข้าสู่ตะแกรงผันน้ำ ($Q_s$) มีค่าเพิ่มขึ้น แนวโน้มของอัตราการเพิ่มขึ้นของอัตราการไหลที่ถูกผันลอดผ่านตะแกรงผันน้ำ ($Q_D$) จะมีค่าลดลง กล่าวคือหากเพิ่มค่าอัตราการไหลเข้าสู่ตะแกรงผันน้ำ ($Q_s$) ขึ้นไปเรื่อยๆจนถึงจุดๆหนึ่ง ค่าอัตราการไหลที่ถูกผันลอดผ่านตะแกรงผันน้ำ ($Q_D$) อาจจะคงที่หรือเพิ่มขึ้นน้อยมาก ซึ่งเป็นผลมาจากขีดจำกัดของความสามารถในการผันน้ำของตะแกรงผันน้ำโดยจะจำกัดอยู่ที่อัตราการไหลหนึ่งๆ

รูป 6-4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า $Q_D$ และ $Q_S$ สำหรับการไหลแบบใต้วิกฤติสู่ตะแกรงผันน้ำที่มี ε ต่าง ๆ



รูป 6-5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า $Q_D/Q_S$ และค่า $Q_S$ สำหรับการไหลแบบใต้วิกฤติสู่ตะแกรงผันน้ำที่มี ε ต่าง ๆ



ในการพิจารณาถึงลักษณะของกราฟที่ได้ในรูป 6-4 และรูป 6-5 อย่างละเอียดจะสามารถแบ่งช่วงของพฤติกรรมการไหลที่ได้ออกเป็น 3 ช่วงดังนี้ คือ

- ช่วงที่ 1 คือช่วงที่มี $Q_s$ ต่ำๆ โดยมีค่าอยู่ประมาณ 0.01 – 0.02 $m^3/s$. โดยในช่วงนี้อัตราการไหลที่ถูกผันลอดผ่านตะแกรงผันน้ำ ($Q_D$) จะแปรผันโดยตรงกับอัตราการไหลเข้าสู่ตะแกรงผันน้ำ ($Q_s$) โดยลักษณะของเส้นกราฟของ $Q_D$ เมื่อเทียบกับ $Q_s$ จะมีลักษณะเกือบเป็นเส้นตรงที่มีความลาดชันค่อนข้างคงที่ นั่นคืออัตราการเพิ่มขึ้นของ $Q_D$ เทียบกับ $Q_s$ จะมีค่าคงที่ เนื่องจากในช่วงดังกล่าวนี้ การไหลเข้าสู่ตะแกรงผันน้ำจะมีอัตราการไหลที่ไม่สูงมากนักและค่าพลังงานจำเพาะของการไหลที่ค่อนข้างต่ำ ทำให้มีสภาพการไหลค่อนข้างที่จะราบเรียบ โดยอนุภาคของน้ำจะเคลื่อนตัวอย่างเป็นระเบียบรวมทั้งเส้นการไหล (Streamlines) จะมีลักษณะขนานกันไปโดยตลอดดังนั้นน้ำจึงถูกผันลอดผ่านตะแกรงผันน้ำออกไปโดยพลังงานจำเพาะได้อย่างเต็มที่ เหมือนดังเช่นที่ได้อธิบายไว้ในหัวข้อ 6.1.1 ก) นั่นคือเมื่ออัตราการไหลเข้าสู่ตะแกรงผันน้ำ ($Q_s$) เพิ่มสูงขึ้น จะทำให้พลังงานจำเพาะของการไหลสู่ตะแกรงผันน้ำ ($E_o$) มีค่าสูงขึ้น ทำให้อัตราการไหลที่ถูกผันลอดผ่านตะแกรงผันน้ำ ($Q_D$) เพิ่มสูงขึ้นตามไปด้วย ดังลักษณะของความสัมพันธ์ที่ได้

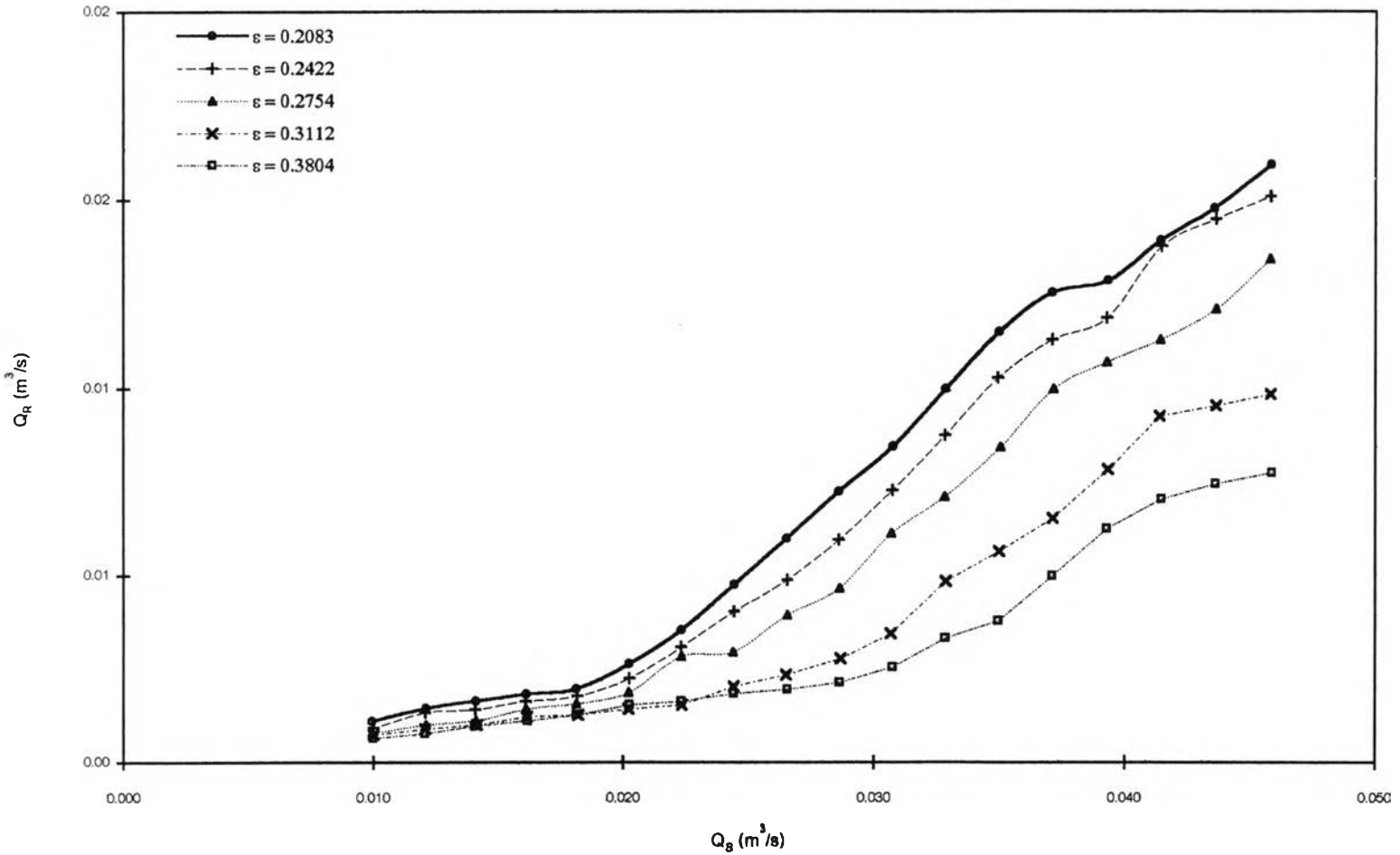
- ช่วงที่ 2 คือช่วงที่มี $Q_s$ ปานกลาง โดยมีค่าประมาณ 0.02 – 0.04 $m^3/s$. โดยในช่วงนี้อัตราการไหลที่ถูกผันลอดผ่านตะแกรงผันน้ำ ($Q_D$) จะแปรผันโดยตรงกับอัตราการไหลเข้าสู่ตะแกรงผันน้ำ ($Q_s$) เหมือนในช่วงที่ 1 แต่จะแตกต่างกันตรงที่เมื่อทำการเปรียบเทียบกับช่วงที่ 1 แล้ว อัตราการเพิ่มขึ้นของ $Q_D$ จะลดลงเมื่อ $Q_s$ เพิ่มขึ้น โดยจะเห็นได้ชัดเจนในกรณีที่ตะแกรงผันน้ำมีอัตราส่วนพื้นที่ช่องเปิดน้อย สำหรับเหตุผลที่ใช้ในการอธิบายถึงพฤติกรรมดังกล่าวสามารถใช้เหตุผลเดียวกับเหตุผลที่ใช้ในการอธิบายความสัมพันธ์ระหว่าง $Q_D$ และ $E_o$ ในช่วงที่ 2

เนื่องจากพลังงานจำเพาะของการไหลสูตะแกรงผันน้ำ ($E_o$) จะขึ้นอยู่กับอัตราการไหลเข้าสูตะแกรงผันน้ำ ($Q_s$)

- ช่วงที่ 3 คือช่วงที่มี $Q_s$ ค่อนข้างสูง โดยมีค่าประมาณ 0.04 – 0.05 $m^3/s$. ซึ่งในช่วงนี้อัตราการไหลที่ถูกผันลอดผ่านตะแกรงผันน้ำ ($Q_D$) จะแปรผันโดยตรงกับอัตราการไหลเข้าสูตะแกรงผันน้ำ ($Q_s$) เหมือนในช่วงที่ 1 และช่วงที่ 2 แต่อัตราการเปลี่ยนแปลงของ $Q_D$ เมื่อเทียบกับ $Q_s$ จะเริ่มคงที่เหมือนดังช่วงที่ 1 ซึ่งสามารถอธิบายเหตุผลได้โดยใช้เหตุผลเดียวกับเหตุผลที่ใช้ในการอธิบายความสัมพันธ์ระหว่าง $Q_D$ และ $E_o$ ในช่วงที่ 3

ในทำนองเดียวกันหากพิจารณารูป 6-6 ซึ่งเป็นการแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง อัตราการไหลที่เหลือจากการถูกผันลอดผ่านตะแกรงผันน้ำ ($Q_R$) และอัตราการไหลเข้าสูตะแกรงผันน้ำ ($Q_s$) จะพบว่าอัตราการไหลที่เหลือจากการถูกผันลอดผ่านตะแกรงผันน้ำ ($Q_R$) แปรผันโดยตรงกับอัตราการไหลเข้าสูตะแกรงผันน้ำ ($Q_s$) ซึ่งอธิบายได้ว่า ในแต่ละอัตราการไหลเข้าสูตะแกรงผันน้ำ ($Q_s$) ความสามารถของตะแกรงผันน้ำที่จะผันน้ำออกไปก็จะจำกัดอยู่ที่อัตราการไหลหนึ่งๆ ดังนั้นก็ย่อมจะมีอัตราการไหลที่เหลือจากการถูกผันลอดผ่านตะแกรงผันน้ำ ($Q_R$) ดังนั้นการเพิ่มขึ้นหรือลดลงของอัตราการไหลเข้าสูตะแกรงผันน้ำ ($Q_s$) ย่อมจะทำให้อัตราการไหลที่เหลือจากการถูกผันลอดผ่านตะแกรงผันน้ำ ($Q_R$) มีการเพิ่มขึ้นหรือลดลงตามไปด้วย ซึ่งจากรูป 6-6 จะเห็นได้ว่าในช่วงที่อัตราการไหลเข้าสูตะแกรงผันน้ำ ($Q_s$) มีค่าต่ำ การเพิ่มขึ้นของอัตราการไหลที่เหลือจากการถูกผันลอดผ่านตะแกรงผันน้ำ ($Q_R$) จะมีการเพิ่มขึ้นทีละน้อย เนื่องจากปริมาณน้ำส่วนใหญ่ที่ไหลเข้าสูตะแกรงผันน้ำจะถูกผันออกจากทางน้ำ แต่เมื่ออัตราการไหลเข้าสูตะแกรงผันน้ำ ($Q_s$) จนถึงจุดที่ตะแกรงผันน้ำไม่สามารถผันน้ำออกไปได้หมด จะทำให้ปริมาณน้ำที่เหลือจากการถูกผันเพิ่มมากขึ้น ดังจะเห็นได้จากเส้นกราฟมีความลาดชันเพิ่มมากขึ้น

รูป 6-6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า $Q_R$ และค่า $Q_S$ สำหรับการไหลแบบใต้วิกฤติสู่ตะแกรงผันน้ำที่มี ε ต่าง ๆ



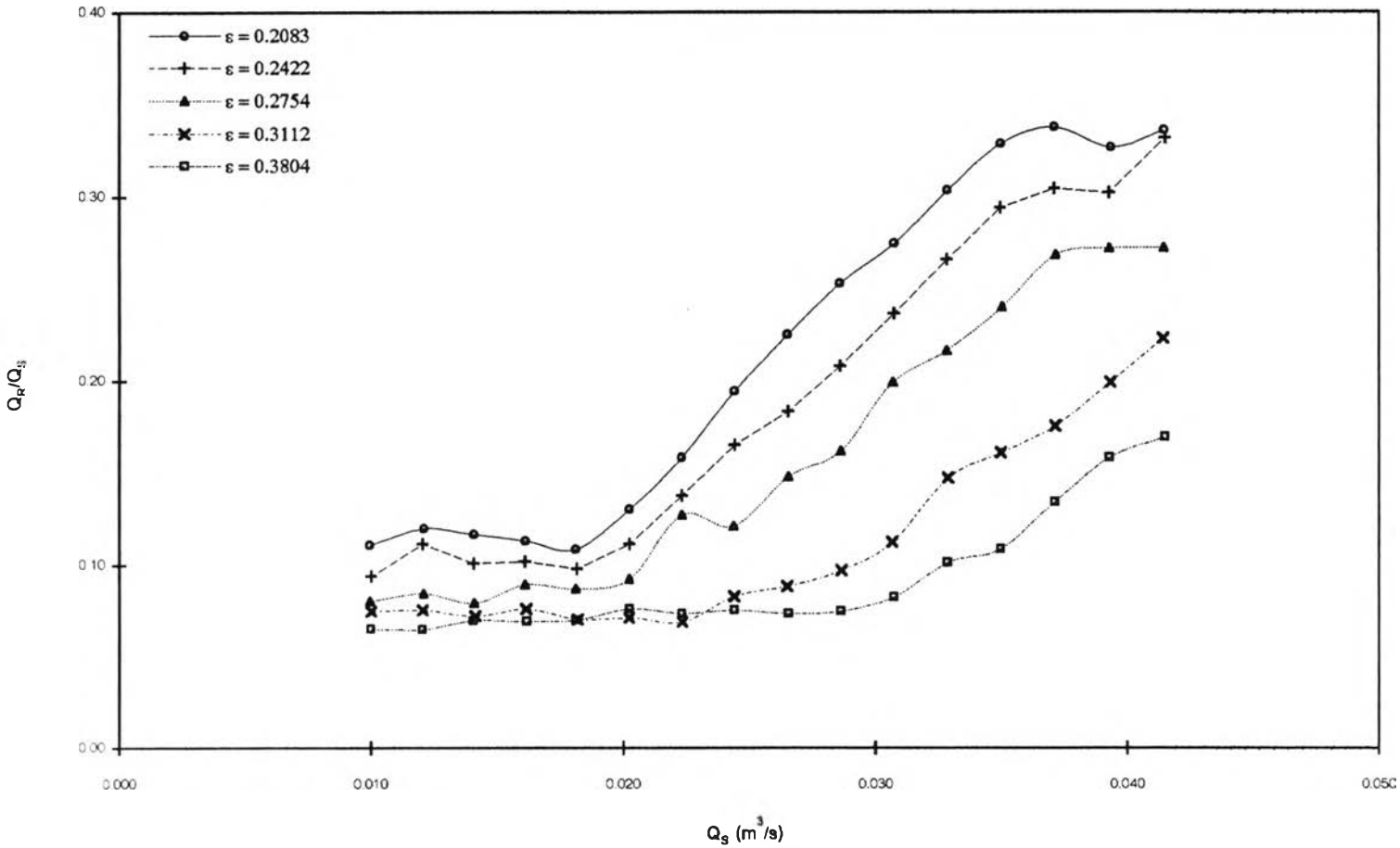
อนึ่ง หากพิจารณาในรูป 6-7 ซึ่งเป็นการแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ($Q_R/Q_S$) และ $Q_S$ จะพบว่าค่า ($Q_R/Q_S$) แปรผันโดยตรงกับ $Q_S$ ซึ่งหมายความว่าเมื่ออัตราการไหลเข้าสู่ตะแกรงผันน้ำ ($Q_S$) มีค่าเพิ่มขึ้น แนวโน้มของอัตราการเพิ่มขึ้นของอัตราการไหลที่เหลือจากการถูกผันลอดผ่านตะแกรงผันน้ำ ($Q_R$) จะมีค่ามากขึ้นซึ่งสังเกตได้จากที่อัตราการไหลเข้าสู่ตะแกรงผันน้ำ ($Q_S$) สูงๆ เส้นกราฟจะมีความชันค่อนข้างมาก กล่าวคือหากเพิ่มค่าอัตราการไหลเข้าสู่ตะแกรงผันน้ำ ($Q_S$) ขึ้นไปเรื่อยๆจนถึงจุดๆหนึ่ง ค่าอัตราการไหลที่ถูกผันลอดผ่านตะแกรงผันน้ำ ($Q_D$) อาจจะคงที่หรือเพิ่มขึ้นน้อยมากทำให้อัตราการไหลเข้าสู่ตะแกรงผันน้ำ($Q_S$) ที่เพิ่มขึ้นไม่สามารถถูกผันออกไปได้ ปริมาณน้ำที่เหลือจากการถูกผันลอดผ่านตะแกรงผันน้ำจึงมีแนวโน้มจะสูงขึ้นเรื่อยๆ ซึ่งสอดคล้องกับคำอธิบายความสัมพันธ์ระหว่าง ($Q_D/Q_S$) และ $Q_S$ ดังกล่าวข้างต้น

***ข) สัมประสิทธิ์อัตราการไหลลอดผ่านตะแกรงผันน้ำ ($C_D$)***

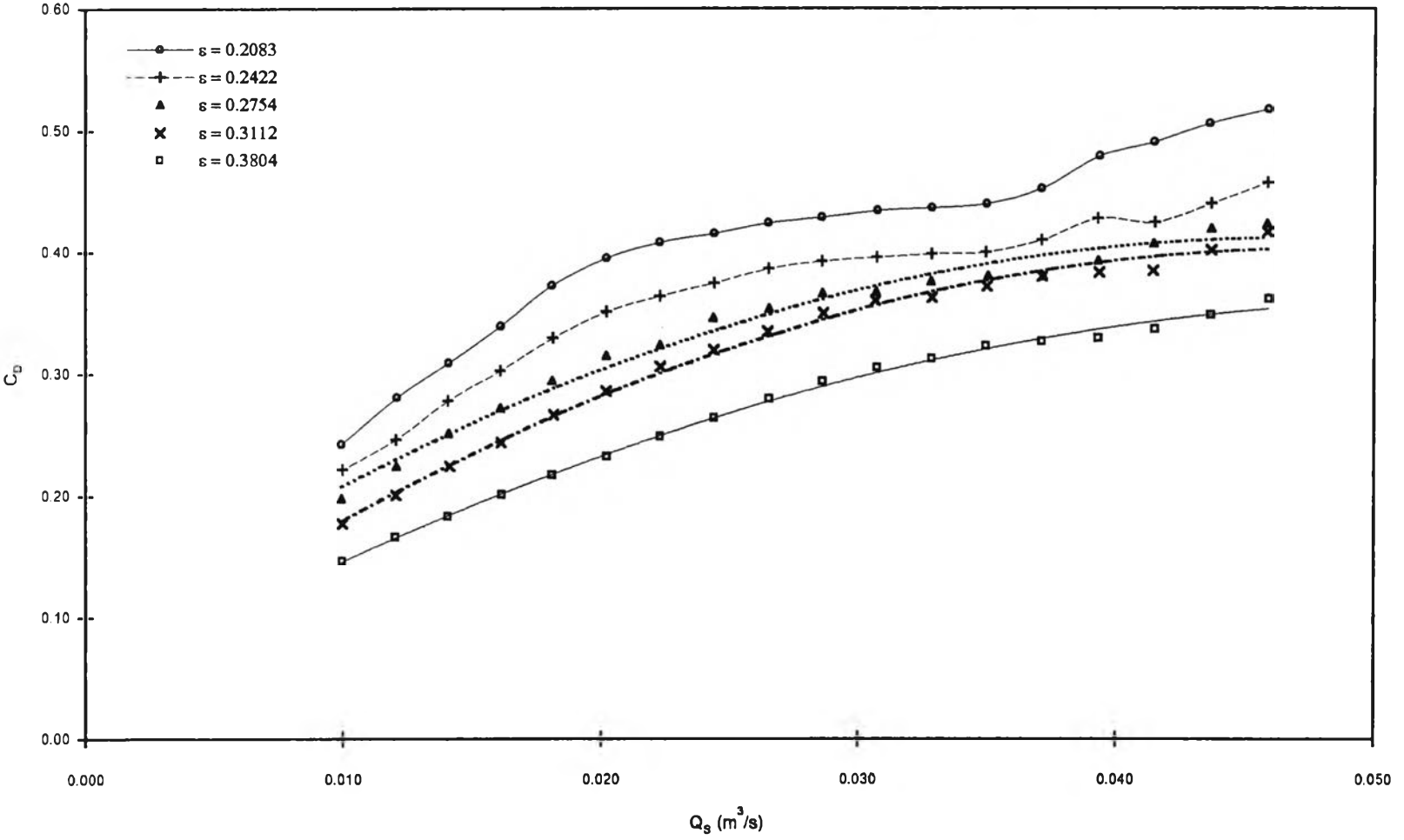
จากรูป 6-8 ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์อัตราการไหลลอดผ่านตะแกรงผันน้ำ ($C_D$) และอัตราการไหลเข้าสู่ตะแกรงผันน้ำ ($Q_S$) โดยอัตราการไหลเข้าสู่ตะแกรงผันน้ำ ($Q_S$) มีค่าอยู่ระหว่าง 0.0100 $m^3/s$. ถึง 0.0459 $m^3/s$. พบว่า

ในแต่ละชุดของตะแกรงผันน้ำ สัมประสิทธิ์อัตราการไหลลอดผ่านตะแกรงผันน้ำ ($C_D$) จะแปรผันโดยตรงกับอัตราการไหลเข้าสู่ตะแกรงผันน้ำ ($Q_S$) เนื่องจากเมื่อมีการไหลในทางน้ำคงตัวเข้าสู่ตะแกรงผันน้ำมากขึ้น ค่าพลังงานจำเพาะของการไหลเข้าสู่ตะแกรงผันน้ำ ($E_o$) ก็จะเพิ่มขึ้น ทำให้มีปริมาณน้ำที่ถูกผันลอดผ่านตะแกรงผันน้ำมากขึ้นด้วย ส่งผลให้อัตราการไหลที่ถูกผันลอดผ่านตะแกรงผันน้ำ ($Q_D$) ของตะแกรงผันน้ำใดๆมีค่าเพิ่มขึ้น ค่าสัมประสิทธิ์อัตราการไหลลอดผ่านตะแกรงผันน้ำ ($C_D$) จึงเพิ่มขึ้นด้วย เนื่องจากสัมประสิทธิ์อัตราการไหลลอดผ่านตะแกรงผันน้ำ ($C_D$) เป็นค่าที่บ่งบอกถึงความสามารถในการผันน้ำของตะแกรงผันน้ำ ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าสัมประสิทธิ์อัตราการไหลลอดผ่านตะแกรงผันน้ำ ($C_D$) จะแปรผันโดยตรงกับอัตราการไหลเข้าสู่ตะแกรงผันน้ำ ($Q_S$) นอกจากนี้แล้วจากรูป 6-8 ยังพบอีกว่าเมื่ออัตราการไหลเข้าสู่ตะแกรงผันน้ำ

รูป 6-7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า $Q_R/Q_S$ และค่า $Q_S$ สำหรับการไหลแบบใต้วิกฤติสู่ตะแกรงผันน้ำที่มี ε ต่าง ๆ



รูป 6-8 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า $C_D$ และค่า $Q_s$ สำหรับการไหลแบบไดวิกฤติสูตะแกรงผันน้ำที่มี ε ต่างๆ



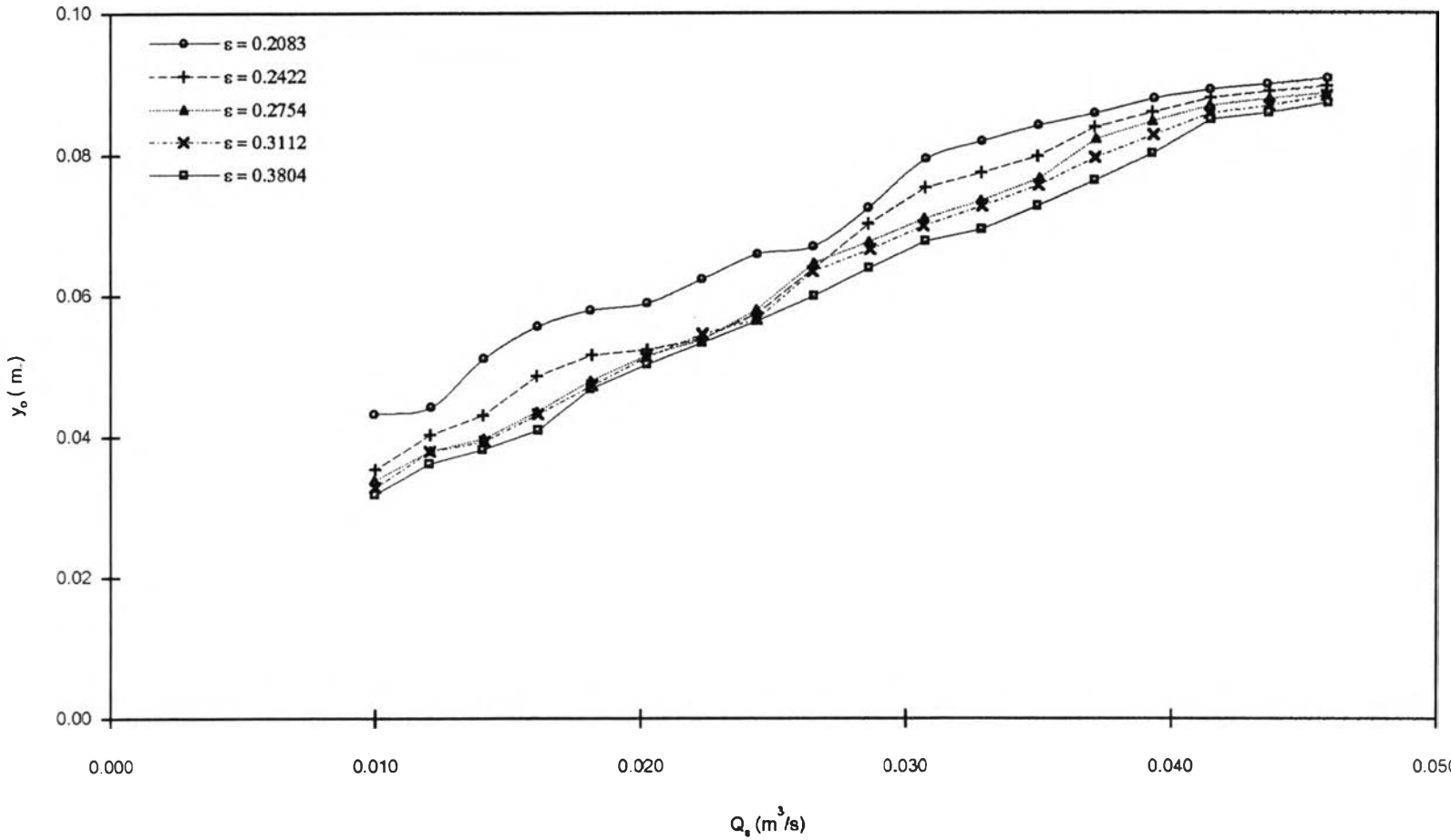
($Q_s$) เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ สัมประสิทธิ์อัตราการไหลลอดผ่านตะแกรงผันน้ำ ($C_D$) จะมีการเพิ่มขึ้นน้อยมากและมีแนวโน้มจะคงที่ ทั้งนี้เนื่องจากความสามารถในการผันน้ำของตะแกรงผันน้ำแต่ละขนาดจะมีขีดจำกัด ดังนั้นแม้ว่าอัตราการไหลเข้าสู่ตะแกรงผันน้ำ ($Q_s$) หรือพลังงานจำเพาะของการไหลสู่ตะแกรงผันน้ำ ($E_o$) จะเพิ่มมากขึ้น ก็ไม่ได้ทำให้ตะแกรงผันน้ำสามารถผันน้ำได้เพิ่มขึ้นได้เท่าใดนัก

***ค) ความลึกการไหลที่หน้าตัดต่าง ๆก่อนถึงตะแกรงผันน้ำ***

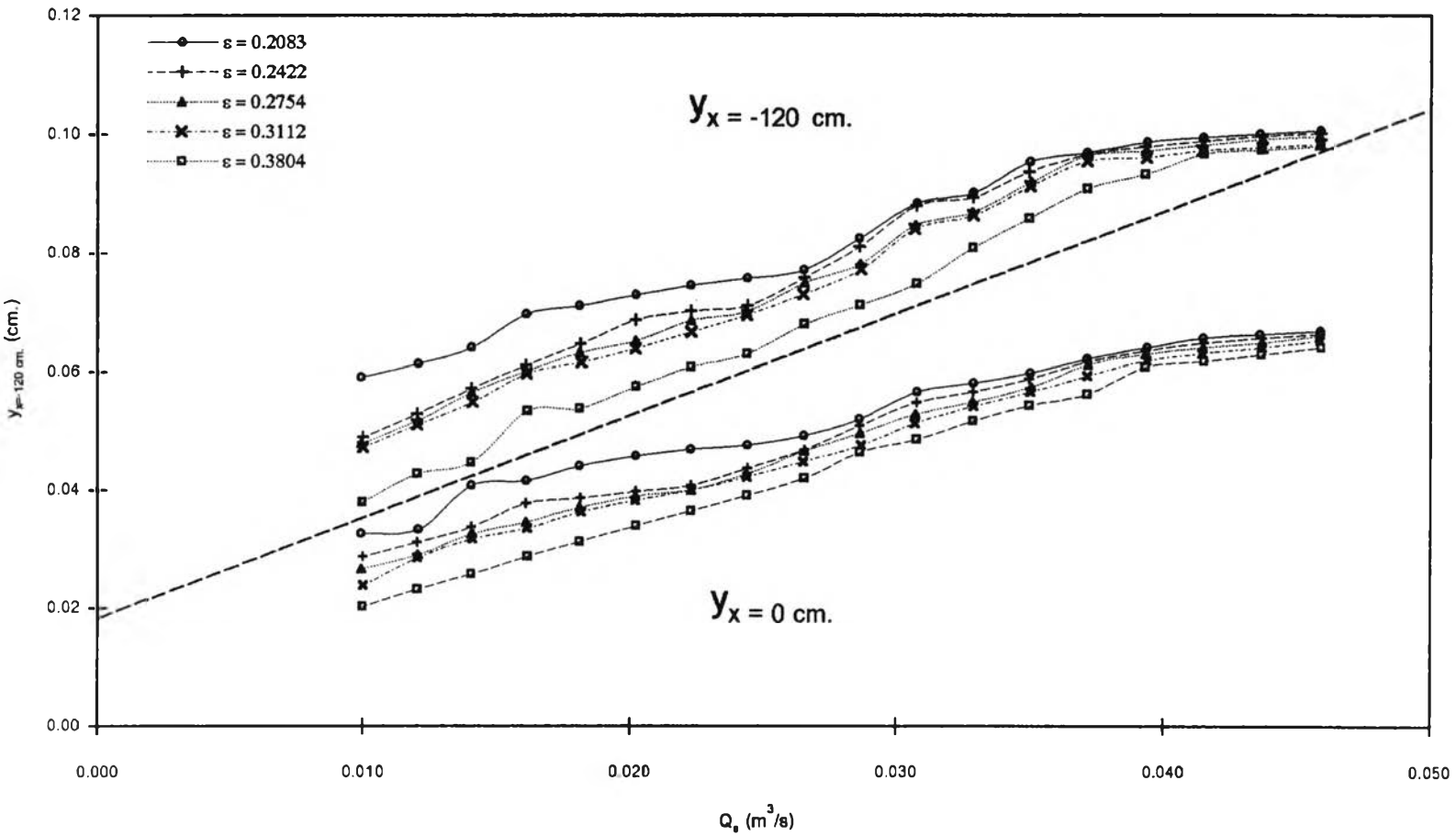
จากรูป 6-9 และรูป 6-10 ซึ่งเป็นการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความลึกการไหลที่หน้าตัดใดๆ (ได้แก่ ความลึกการไหลที่หน้าตัดที่อยู่ห่างจากหน้าตัดเริ่มต้นของตะแกรงผันน้ำไปทางเหนือน้ำเป็นระยะ 5 เท่าของความลึกการไหลที่หน้าตัดเริ่มต้นของตะแกรงผันน้ำ ($y_o$), ความลึกการไหลที่หน้าตัดที่อยู่ห่างจากหน้าตัดเริ่มต้นของตะแกรงผันน้ำไปทางเหนือน้ำเป็นระยะ 120 เซนติเมตร ($y_{x=-120\ cm.}$), หน้าตัดเริ่มต้นของตะแกรงผันน้ำ ($y_{x=0\ cm.}$) ) กับอัตราการไหลเข้าสู่ตะแกรงผันน้ำ ($Q_s$) โดยอัตราการไหลเข้าสู่ตะแกรงผันน้ำ ($Q_s$) มีค่าอยู่ระหว่าง 0.0100 $m^3/s.$ ถึง 0.0459 $m^3/s.$ พบว่า

ในแต่ละชุดของตะแกรงผันน้ำ ความลึกการไหลที่หน้าตัดใดๆก่อนถึงตะแกรงผันน้ำจะแปรผันโดยตรงกับอัตราการไหลเข้าสู่ตะแกรงผันน้ำ ($Q_s$) เนื่องจากในการไหลในทางน้ำที่มีหน้าตัดคงตัวใดๆ ความลึกการไหลในทางน้ำจะแปรผันโดยตรงกับอัตราการไหลในทางน้ำนั้น และจากรูป 6-9 และรูป 6-10 ยังพบอีกว่าสำหรับตะแกรงผันน้ำที่มีอัตราส่วนพื้นที่ช่องเปิด ($\varepsilon$) ใดๆ และมีอัตราการไหลเข้าสู่ตะแกรงผันน้ำ ($Q_s$) ใดๆ ความลึกการไหลจะลดลงจาก $y_{x=-120\ cm.}$ ไปสู่ $y_o$ และ $y_{x=0\ cm.}$ ตามลำดับ (สำหรับผลการทดลองวัดค่าความลึกการไหลที่ระยะต่างๆในทางน้ำนอกเหนือจากที่แสดงไว้ในรูป 6-9 และรูป 6-10 สามารถดูรายละเอียดได้ใน **ภาคผนวก จ**)

รูป 6-9 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า $y_o$ และค่า $Q_e$ สำหรับการไหลแบบใต้วิกฤติสู่ตะแกรงผันน้ำที่มี ε ต่าง ๆ



รูป 6-10 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า $y_{x=0\ cm.}$, $y_{x=-120\ cm.}$ และค่า $Q_o$ สำหรับการไหลแบบใต้วิกฤติผ่านแกรงผันน้ำที่มี ε ต่าง ๆ



นอกจากนี้จากการพิจารณากราฟในรูป 6-9 และรูป 6-10 จะยังพบอีกว่าลักษณะของค่าความลึกการไหลในทางน้ำจะไม่ค่อยสม่ำเสมอ ทั้งนี้เนื่องมาจากในการไหลในทางน้ำลักษณะเช่นนี้ ผิวน้ำจะไม่ค่อยราบเรียบเนื่องจากความปั่นป่วนของกระแสน้ำ แต่จากการพิจารณาลักษณะแนวโน้มโดยรวมของข้อมูลทำให้สามารถบอกได้ว่า ความลึกการไหลในทางน้ำที่หน้าตัดต่างๆก่อนถึงตะแกรงผันน้ำจะแปรผันโดยตรงกับอัตราการไหลเข้าสู่ตะแกรงผันน้ำ ($Q_S$)

### 6.1.3) ผลเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของอัตราส่วนพื้นที่ช่องเปิดของตะแกรงผันน้ำ (ε) ที่มีต่อ

#### *ก) อัตราการไหลที่ถูกผันลอดผ่านตะแกรงผันน้ำ ($Q_D$) และอัตราการไหลที่เหลือจากการถูกผันลอดผ่านตะแกรงผันน้ำ ($Q_R$)*

จากรูป 6-4 ซึ่งเป็นความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลที่ถูกผันลอดผ่านตะแกรงผันน้ำ ($Q_D$) และอัตราการไหลเข้าสู่ตะแกรงผันน้ำ ($Q_S$) สำหรับตะแกรงผันน้ำที่มีอัตราส่วนพื้นที่ช่องเปิด (ε) ต่างๆ พบว่าขนาดช่องเปิดของตะแกรงผันน้ำมีผลต่อค่าอัตราการไหลที่ถูกผันลอดผ่านตะแกรงผันน้ำ ($Q_D$) โดยพบว่าหากพิจารณาที่อัตราการไหลเข้าสู่ตะแกรงผันน้ำ ($Q_S$) เดียวกัน จะได้ว่าอัตราการไหลที่ถูกผันลอดผ่านตะแกรงผันน้ำ ($Q_D$) แปรผันโดยตรงกับอัตราส่วนพื้นที่ช่องเปิดของตะแกรงผันน้ำ (ε) และหากพิจารณากราฟความสัมพันธ์ระหว่าง อัตราการไหลที่เหลือจากการถูกผันลอดผ่านตะแกรงผันน้ำ ($Q_R$) กับอัตราการไหลเข้าสู่ตะแกรงผันน้ำ ($Q_S$) (ดูรูป 6-6 ประกอบ) จะพบว่า อัตราส่วนพื้นที่ช่องเปิดของตะแกรงผันน้ำ (ε) มีผลต่ออัตราการไหลที่เหลือจากการถูกผันลอดผ่านตะแกรงผันน้ำ ($Q_R$) กล่าวคือ หากพิจารณาที่อัตราการไหลเข้าสู่ตะแกรงผันน้ำ ($Q_S$) เดียวกัน จะได้ว่า อัตราการไหลที่เหลือจากการถูกผันลอดผ่านตะแกรงผันน้ำ ($Q_R$) แปรผกผันกับกับอัตราส่วนพื้นที่ช่องเปิดของตะแกรงผันน้ำ, ε ซึ่งเป็นการแสดงให้เห็นว่าการเปลี่ยนแปลงขนาดพื้นที่ช่องเปิดของตะแกรงผันน้ำจะมีผลโดยตรงต่ออัตราการไหลที่ถูกผันลอด

ผ่านตะแกรงผันน้ำ($Q_D$) และอัตราการไหลที่เหลือจากการถูกผันลอดผ่านตะแกรงผันน้ำ ($Q_R$) ดังนี้คือ

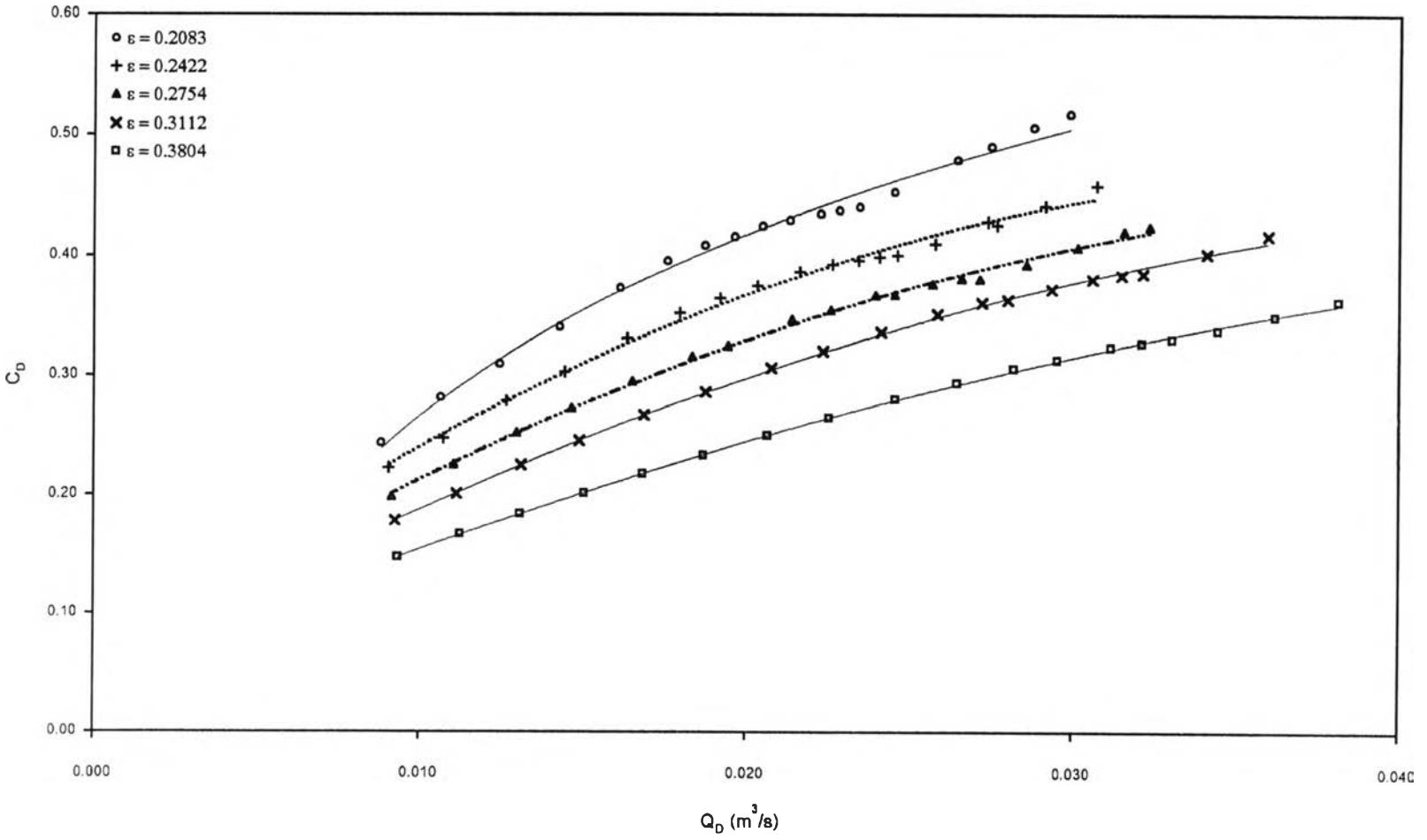
หากมีการเพิ่มขึ้นของพื้นที่ช่องเปิดของตะแกรงผันน้ำจะทำให้น้ำที่ไหลเข้าสู่ตะแกรงผันน้ำถูกผันออกไปได้มาก ส่งผลให้น้ำที่เหลือจากการถูกผันลอดผ่านตะแกรงผันน้ำมีปริมาณน้อยลง ในทางกลับกันหากมีการลดพื้นที่ช่องเปิดของตะแกรงผันน้ำจะทำให้น้ำที่ไหลเข้าสู่ตะแกรงผันน้ำถูกผันออกไปได้น้อยลง ส่งผลให้น้ำที่เหลือจากการถูกผันลอดผ่านตะแกรงผันน้ำมีปริมาณเพิ่มมากขึ้น

***ข) สัมประสิทธิ์อัตราการไหลลอดผ่านตะแกรงผันน้ำ ($C_D$)***

จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง สัมประสิทธิ์อัตราการไหลลอดผ่านตะแกรงผันน้ำ ($C_D$) และอัตราการไหลที่ถูกผันลอดผ่านตะแกรงผันน้ำ ($Q_D$) (ดูรูป 6-11 ประกอบ) โดยมีค่าอัตราการไหลที่ถูกผันลอดผ่านตะแกรงผันน้ำ ($Q_D$) อยู่ระหว่าง 0.0089 $m^3$/s. ถึง 0.0381 $m^3$/s. พบว่า

อัตราส่วนพื้นที่ช่องเปิดของตะแกรงผันน้ำ ($\varepsilon$) มีผลต่อสัมประสิทธิ์อัตราการไหลลอดผ่านตะแกรงผันน้ำ ($C_D$) โดยจะพบว่า หากพิจารณาที่อัตราการไหลที่ถูกผันลอดผ่านตะแกรงผันน้ำ ($Q_D$) เดียวกัน ค่าสัมประสิทธิ์อัตราการไหลลอดผ่านตะแกรงผันน้ำ ($C_D$) แปรผกผันกับขนาดพื้นที่ช่องเปิดหรืออัตราส่วนพื้นที่ช่องเปิดของตะแกรงผันน้ำ ($\varepsilon$) เนื่องจากหากพิจารณาสมการของการไหลผ่านตะแกรงผันน้ำ $L_g = Q_t/(\varepsilon cb(2gE)^{0.5})$) (เมื่อ $L_g$=ความยาวตะแกรงผันน้ำ,$Q_t$=$Q_D$= อัตราการไหลที่ถูกผันลอดผ่านตะแกรงผันน้ำ,c = $C_D$= สัมประสิทธิ์อัตราการไหลลอดผ่านตะแกรงผันน้ำ,E=$E_o$=พลังงานจำเพาะของการไหลสู่ตะแกรงผันน้ำ) (Chow 1959:338) จะเห็นว่าหากอัตราการไหลที่ถูกผันลอดผ่านตะแกรงผันน้ำมีค่าคงที่สัมประสิทธิ์อัตราการไหลลอดผ่านตะแกรงผันน้ำจะแปรผกผันกับอัตราส่วนพื้นที่ช่องเปิดของตะแกรงผันน้ำ ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาที่ได้

รูป 6-11 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า $C_D$ และค่า $Q_D$ สำหรับการไหลแบบไร้วิกฤติสู่ตะแกรงผันน้ำที่มี $\varepsilon$ ต่าง ๆ



***ค) ความลึกการไหลที่หน้าตัดต่าง ๆก่อนถึงตะแกรงผันน้ำ***

จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความลึกการไหลที่ระยะต่างๆในทางน้ำ ($y_o$,$y_{x=0\ cm.}$และ $y_{x=-120\ cm.}$) และอัตราการไหลเข้าสู่ตะแกรงผันน้ำ ($Q_s$) (ดูรูป 6-9 และรูป 6-10 ประกอบ) โดยมีค่าอัตราการไหลเข้าสู่ตะแกรงผันน้ำ ($Q_s$) อยู่ระหว่าง 0.0100 $m^3$/s. ถึง 0.0459 $m^3$/s. พบว่า

อัตราส่วนพื้นที่ช่องเปิดของตะแกรงผันน้ำ ($\varepsilon$) มีผลต่อค่าความลึกการไหลที่ระยะต่างๆในทางน้ำ กล่าวคือหากพิจารณาที่อัตราการไหลเข้าสู่ตะแกรงผันน้ำ ($Q_s$) เดียวกัน จะพบว่าค่าความลึกการไหล ไม่ว่าจะเป็นความลึกการไหลที่หน้าตัดซึ่งอยู่ห่างจากตะแกรงผันน้ำไปทางเหนือน้ำเป็นระยะ 120 เซนติเมตร ($y_{x\ =\ -120\ cm.}$) ,ความลึกการไหลที่จุดเริ่มต้นของตะแกรงผันน้ำ ($y_{x\ =\ 0\ cm.}$) หรือความลึกการไหลที่หน้าตัด $x_o$ (อยู่ห่างจากหน้าตัด x=0 cm.ไปทางเหนือน้ำเป็นระยะ 5 เท่าของ $y_{x\ =\ 0\ cm}$ จะแปรผกผันกับอัตราส่วนพื้นที่ช่องเปิดของตะแกรงผันน้ำ ($\varepsilon$) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าหากตะแกรงผันน้ำมีขนาดพื้นที่ช่องเปิดน้อยๆ น้ำก็จะถูกผันออกไปจากทางน้ำได้น้อยทำให้ระดับน้ำลดลงไม่มาก ในทางกลับกันหากเพิ่มพื้นที่ช่องเปิดของตะแกรงผันน้ำให้มากขึ้น น้ำก็จะถูกผันออกไปจากทางน้ำได้มากขึ้นด้วย ทำให้ระดับน้ำในทางน้ำลดลงมากขึ้น (สำหรับผลการทดลองวัดค่าความลึกการไหลที่ระยะต่างๆในทางน้ำ นอกเหนือจากที่แสดงไว้ในรูป 6-9 และรูป 6-10 สามารถดูรายละเอียดได้ใน **ภาคผนวก จ**)

## 6.2 พฤติกรรมการไหลทั่ว ๆไปของการไหลเข้าสู่ตะแกรงผันน้ำที่เป็นการไหลแบบเหนือวิกฤติ

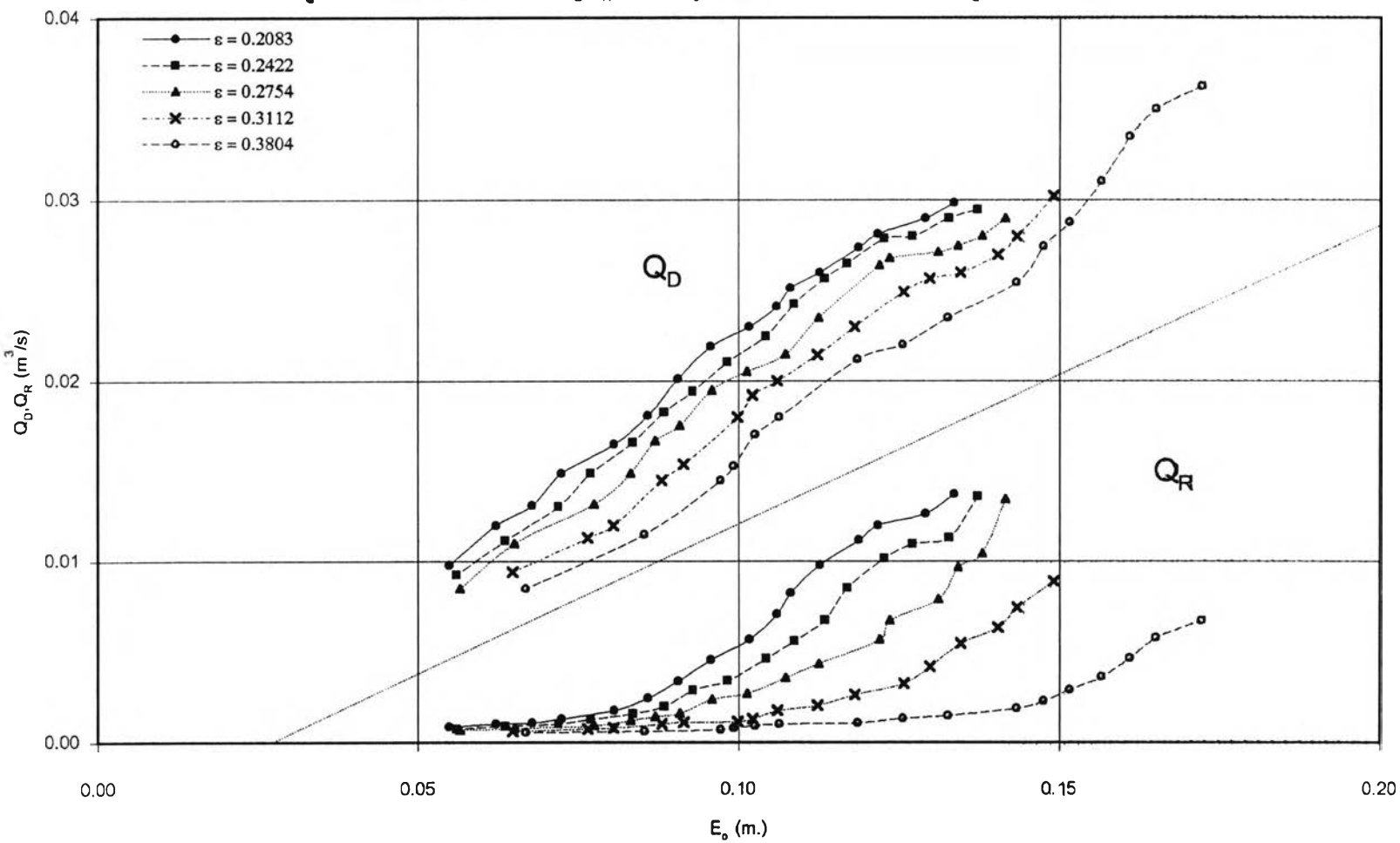
ได้ทำการศึกษาจากแบบจำลองตะแกรงผันน้ำ จำนวน 5 แบบ โดยเปลี่ยนแปลงค่าอัตราการไหลเข้าสู่ตะแกรงผันน้ำ ($Q_s$) อยู่ระหว่าง 500 ลิตรต่อนาที ถึง 2000 ลิตรต่อนาที จำนวนแบบละ 16 อัตราการไหล ผลการทดลองและผลการคำนวณทั้งหมดได้รวบรวมไว้ใน **ภาคผนวก ก** สำหรับผลการศึกษามีดังนี้ คือ

### 6.2.1) ผลเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของพลังงานจำเพาะของการไหลสู่ตะแกรงผันน้ำ ($E_o$) ที่มีต่อ

#### *ก) อัตราการไหลที่ถูกผันลอดผ่านตะแกรงผันน้ำ ($Q_D$) และอัตราการไหลที่เหลือจากการถูกผันลอดผ่านตะแกรงผันน้ำ ($Q_R$)*

จากรูป 6-12 ซึ่งเป็นความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลที่ถูกผันลอดผ่านตะแกรงผันน้ำ ($Q_D$) และพลังงานจำเพาะของการไหลสู่ตะแกรงผันน้ำ ($E_o$) จะเห็นได้ว่าในแต่ละชุดของตะแกรงผันน้ำ ค่าอัตราการไหลที่ถูกผันลอดผ่านตะแกรงผันน้ำ ($Q_D$) จะแปรผันโดยตรงกับพลังงานจำเพาะของการไหลสู่ตะแกรงผันน้ำ ($E_o$) นอกจากนี้ในรูป 6-12 ยังได้แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลที่ถูกผันลอดผ่านตะแกรงผันน้ำ ($Q_R$) และพลังงานจำเพาะของการไหลสู่ตะแกรงผันน้ำ ($E_o$) ไว้ด้วยเช่นกัน โดยจะเห็นได้ว่าค่าอัตราการไหลที่เหลือจากการถูกผันลอดผ่านตะแกรงผันน้ำ ($Q_R$) จะแปรผันโดยตรงกับพลังงานจำเพาะของการไหลสู่ตะแกรงผันน้ำ ($E_o$) เช่นกัน (สำหรับการอธิบายถึงผลที่ได้สามารถใช้หลักการเดียวกันกับที่ได้อธิบายไว้ในกรณีที่การไหลเข้าสู่ตะแกรงผันน้ำเป็นการไหลแบบใต้วิกฤติ ในหัวข้อ 6.1.1 ก)

รูป 6-12 ความสัมพันธ์ระหว่าง $Q_D$,$Q_R$ และค่า $E_o$ สำหรับการไหลแบบเหนือวิกฤติสู่ตะแกรงผันน้ำที่มี ε ต่าง ๆ



***ข) สัมประสิทธิ์อัตราการไหลลอดผ่านตะแกรงผันน้ำ ($C_D$)***

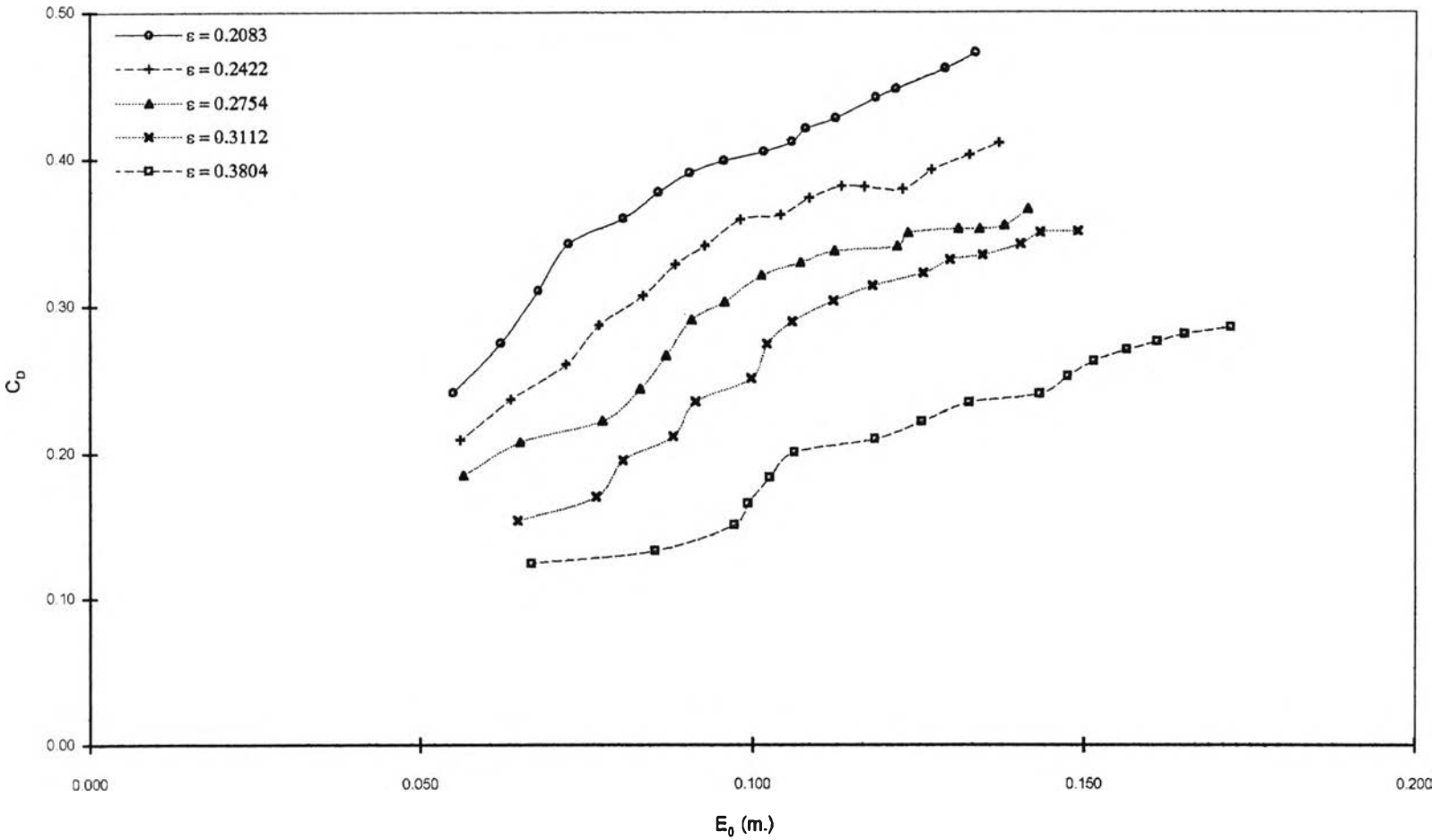
จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์อัตราการไหลลอดผ่านตะแกรงผันน้ำ ($C_D$) และพลังงานจำเพาะของการไหลเข้าสู่ตะแกรงผันน้ำ ($E_o$) (ดูรูป 6-13 ประกอบ) โดยมีค่า $E_o$ อยู่ระหว่าง 0.0549 เมตร ถึง 0.1721 เมตร พบว่า

พลังงานจำเพาะของการไหลเข้าสู่ตะแกรงผันน้ำ($E_o$) มีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์อัตราการไหลลอดผ่านตะแกรงผันน้ำ ($C_D$) กล่าวคือ สำหรับตะแกรงผันน้ำที่มีอัตราส่วนพื้นที่ช่องเปิด ($\varepsilon$) ใดๆ ค่าสัมประสิทธิ์อัตราการไหลลอดผ่านตะแกรงผันน้ำ ($C_D$) แปรผันโดยตรงกับพลังงานจำเพาะของการไหลเข้าสู่ตะแกรงผันน้ำ ($E_o$) เหมือนดังเช่นกรณีที่การไหลเข้าสู่ตะแกรงผันน้ำเป็นการไหลแบบใต้วิกฤติ (สำหรับการอธิบายถึงผลที่ได้สามารถใช้หลักการเดียวกันกับที่ได้อธิบายไว้ในกรณีที่การไหลเข้าสู่ตะแกรงผันน้ำเป็นการไหลแบบใต้วิกฤติ ในหัวข้อ 6.1.1 ข) ซึ่งจากการพิจารณาเส้นกราฟในรูป 6-13 จะเห็นว่าเส้นกราฟไม่ค่อยราบเรียบอันเนื่องมาจากสภาพการไหลที่มีการเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลในทางน้ำ แต่จากการพิจารณาแนวโน้มของข้อมูลก็สามารถที่จะอธิบายพฤติกรรมการไหลได้ดังกล่าวข้างต้น

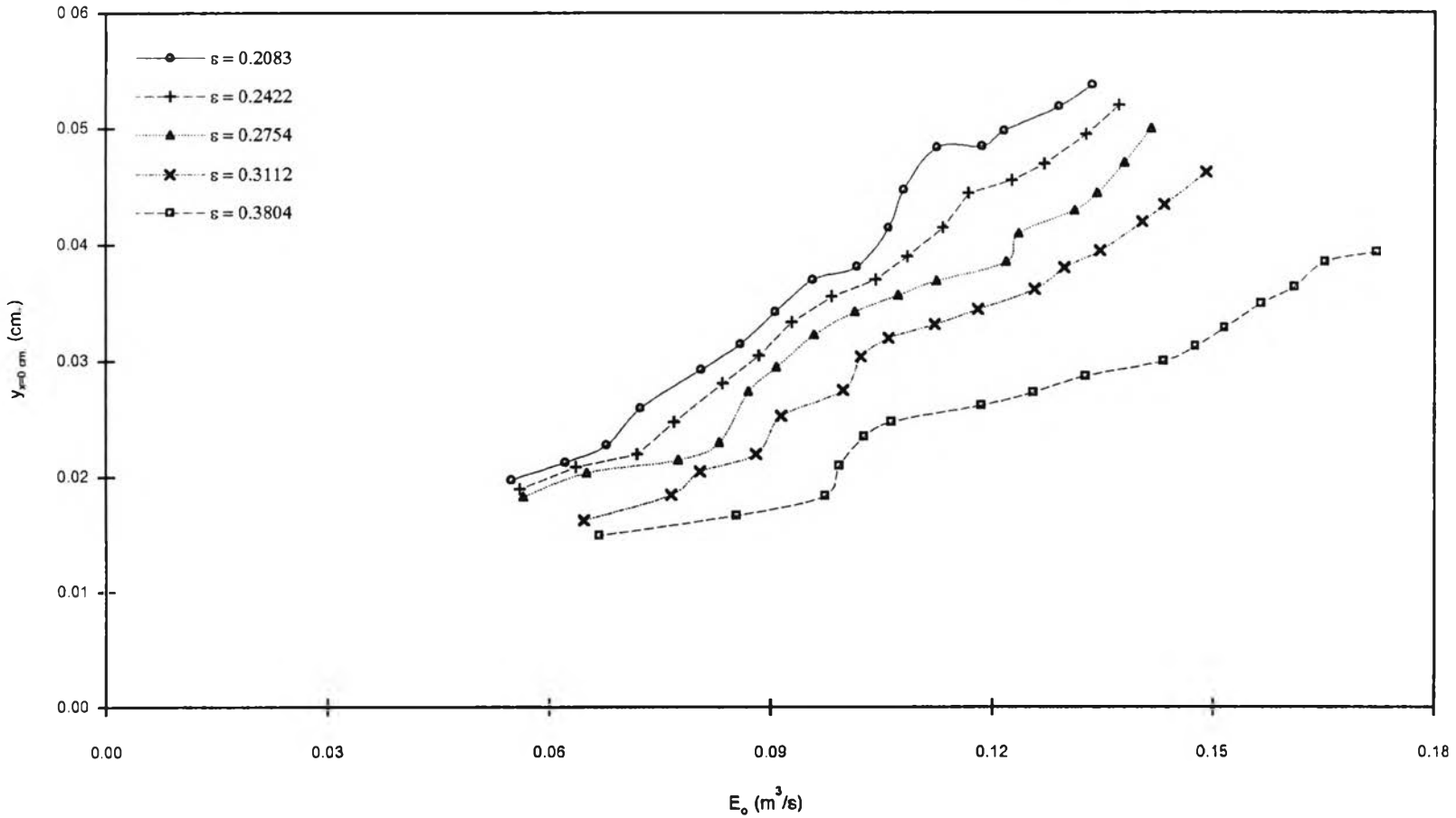
***ค) ความลึกการไหลที่หน้าตัดเริ่มต้นของตะแกรงผันน้ำ ($y_{x=0\,cm}$)***

จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความลึกการไหลที่หน้าตัดเริ่มต้นของตะแกรงผันน้ำ (ระยะ x = 0 cm.) และพลังงานจำเพาะของการไหลสู่ตะแกรงผันน้ำ ($E_o$) (ดูรูป 6-14 ประกอบ) โดยมีค่า พลังงานจำเพาะของการไหลสู่ตะแกรงผันน้ำ ($E_o$) อยู่ระหว่าง 0.0549 เมตร ถึง 0.1721 เมตร พบว่าความลึกการไหลที่หน้าตัดเริ่มต้นของตะแกรงผันน้ำจะแปรผันโดยตรงกับพลังงานจำเพาะของการไหลสู่ตะแกรงผันน้ำ ($E_o$) (สำหรับการอธิบายถึงผลที่ได้สามารถใช้หลักการเดียวกันกับที่ได้อธิบายไว้ในกรณีที่การไหลเข้าสู่ตะแกรงผันน้ำเป็นการไหลแบบใต้วิกฤติ ในหัวข้อ 6.1.1 ค) สำหรับลักษณะของเส้นกราฟในรูป 6-14 จะเห็นว่าการเปลี่ยนแปลงความลึกการไหลที่หน้าตัด

รูป 6-13 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า $C_D$ และค่า $E_0$ สำหรับการไหลแบบเหนือวิกฤติสู่ตะแกรงฝันน้ำที่มี ε ต่างๆ



รูป 6-14 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า $y_{x=0\ cm.}$ และค่า $E_o$ สำหรับการไหลแบบเหนือวิกฤติสู่ตะแกรงผันน้ำที่มี ε ต่างๆ



เริ่มต้นของตะแกรงผันน้ำ (ระยะ x = 0 cm.) จะไม่ค่อยแน่นอน ซึ่งสังเกตจากลักษณะของเส้นกราฟที่ไม่ค่อยราบเรียบ เนื่องจากว่าการไหลในทางน้ำที่มีตะแกรงผันน้ำอยู่ที่ท้องน้ำจะเป็นการไหลที่มีลักษณะการไหลแบบมีอัตราการไหลไม่คงที่เนื่องจากความปั่นป่วนของการไหลโดยเฉพาะบริเวณใกล้ๆกับทางเข้าของตะแกรงผันน้ำ ทำให้ลักษณะของความลึกการไหลที่หน้าตัดเริ่มต้นของตะแกรงผันน้ำ (ระยะ x = 0 cm.) มีการเปลี่ยนแปลงแบบไม่ค่อยคงที่เท่าใดนัก

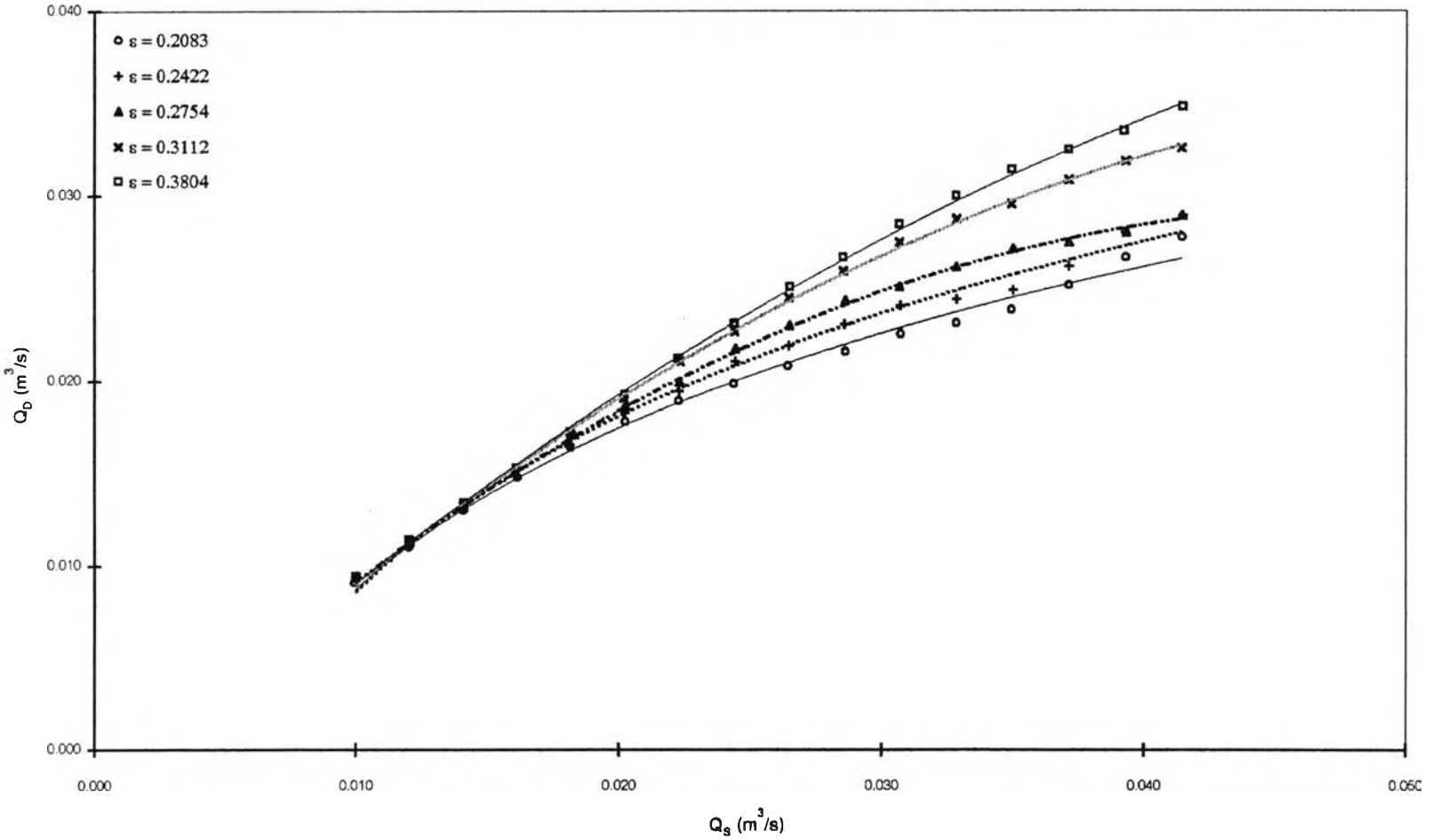
### 6.2.2) ผลเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของอัตราการไหลเข้าสู่ตะแกรงผันน้ำ ($Q_s$) ที่มีต่อ

#### *ก) อัตราการไหลที่ถูกผันลอดผ่านตะแกรงผันน้ำ ($Q_D$) และอัตราการไหลที่เหลือจากการถูกผันลอดผ่านตะแกรงผันน้ำ ($Q_R$)*

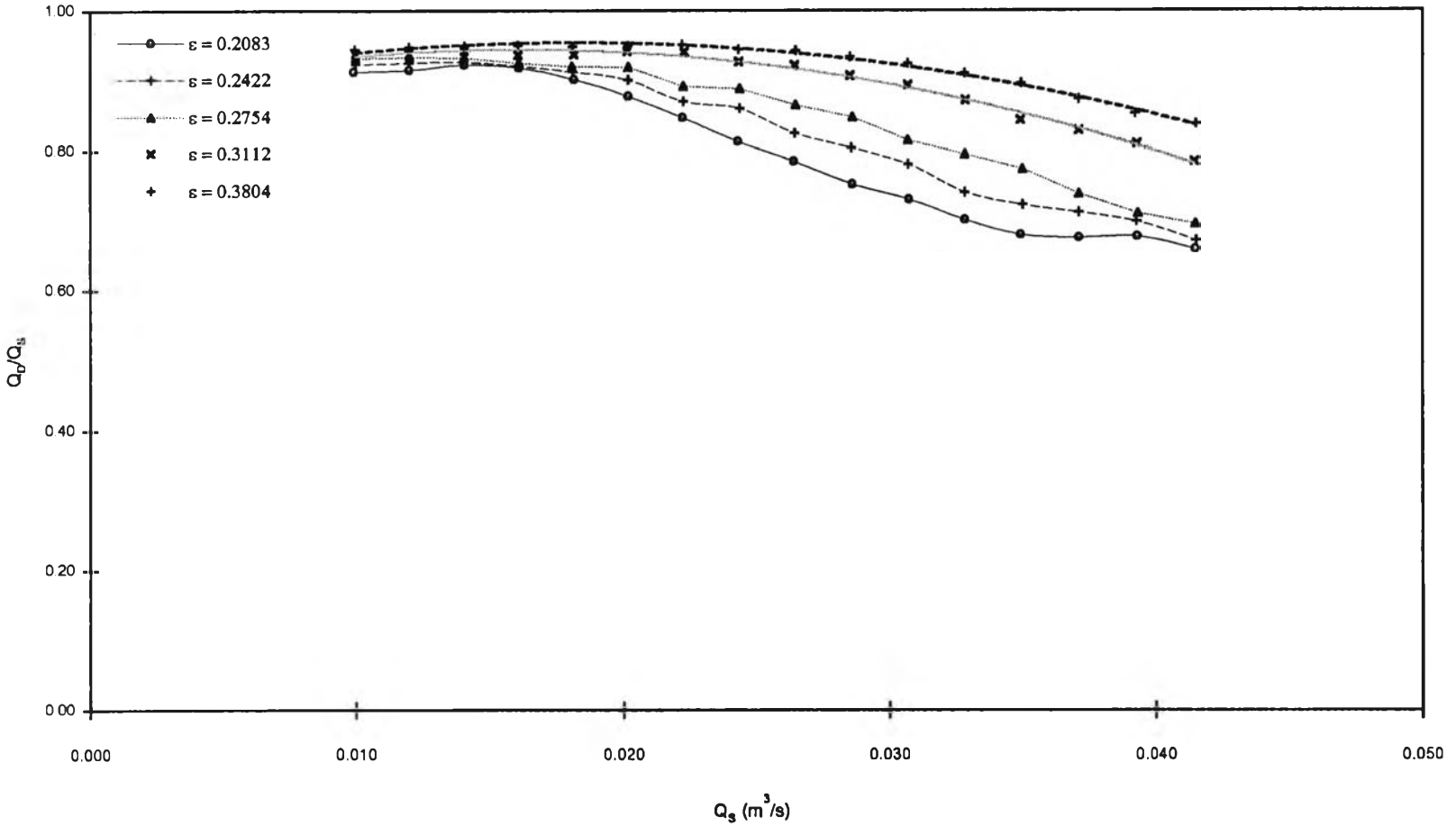
จากรูป 6-15 ซึ่งเป็นความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลที่ถูกผันลอดผ่านตะแกรงผันน้ำ ($Q_D$) และอัตราการไหลเข้าสู่ตะแกรงผันน้ำ ($Q_s$) โดยอัตราการไหลเข้าสู่ตะแกรงผันน้ำ ($Q_s$) มีค่าอยู่ระหว่าง 0.0100 $m^3/s$. ถึง 0.0415 $m^3/s$. พบว่าอัตราการไหลที่ถูกผันลอดผ่านตะแกรงผันน้ำ ($Q_D$)แปรผันโดยตรงกับ อัตราการไหลเข้าสู่ตะแกรงผันน้ำ ($Q_s$) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเมื่ออัตราการไหลเข้าสู่ตะแกรงผันน้ำ ($Q_s$) มีค่ามากขึ้นจะทำให้ปริมาณน้ำในทางน้ำที่ไหลเข้าสู่ตะแกรงผันน้ำมีมากขึ้น อันจะส่งผลให้พลังงานจำเพาะของการไหลสู่ตะแกรงผันน้ำ ($E_o$) มีค่ามากขึ้นด้วย ซึ่งจะทำให้เกิดมีศักย์ที่จะผันน้ำให้ไหลลอดผ่านตะแกรงผันน้ำได้มากขึ้นด้วย ปริมาณน้ำจึงถูกผันออกมามาก ในทางกลับกันเมื่ออัตราการไหลเข้าสู่ตะแกรงผันน้ำ ($Q_s$) มีค่าน้อยลงจะทำให้ปริมาณน้ำในทางน้ำที่ไหลเข้าสู่ตะแกรงผันน้ำมีน้อยลง อันจะส่งผลให้พลังงานจำเพาะของการไหลสู่ตะแกรงผันน้ำ ($E_o$) มีค่าน้อยลงด้วย ซึ่งจะทำให้เกิดมีศักย์ที่จะผันน้ำให้ไหลลอดผ่านตะแกรงผันน้ำได้น้อยลง ปริมาณน้ำจึงถูกผันออกมาน้อย

นอกจากนี้หากพิจารณารูป 6-16 ซึ่งเป็นการแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ($Q_D/Q_s$) และ $Q_s$ จะพบว่าค่า ($Q_D/Q_s$) แปรผกผันกับ $Q_s$ ซึ่งหมายความว่าเมื่ออัตราการไหลเข้าสู่ตะแกรงผันน้ำ

รูป 6-15 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า $Q_D$ และ $Q_s$ สำหรับการไหลแบบเหนือวิกฤติสู่ตะแกรงผันน้ำที่มี ε ต่าง ๆ



รูป 6-16 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า $Q_D/Q_S$ และค่า $Q_S$ สำหรับการไหลแบบเหนือวิกฤติสู่ตะแกรงผันน้ำที่มี ε ต่าง ๆ



($Q_S$) มีค่าเพิ่มขึ้น แนวโน้มของอัตราการเพิ่มขึ้นของอัตราการไหลที่ถูกผันลอดผ่านตะแกรงผันน้ำ ($Q_D$) จะมีค่าลดลง

ในทำนองเดียวกันหากพิจารณารูป 6-17 ซึ่งเป็นการแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง อัตราการไหลที่เหลือจากการถูกผันลอดผ่านตะแกรงผันน้ำ ($Q_R$) และอัตราการไหลเข้าสู่ตะแกรงผันน้ำ ($Q_S$) จะพบว่าอัตราการไหลที่เหลือจากการถูกผันลอดผ่านตะแกรงผันน้ำ ($Q_R$) แปรผันโดยตรงกับอัตราการไหลเข้าสู่ตะแกรงผันน้ำ ($Q_S$)

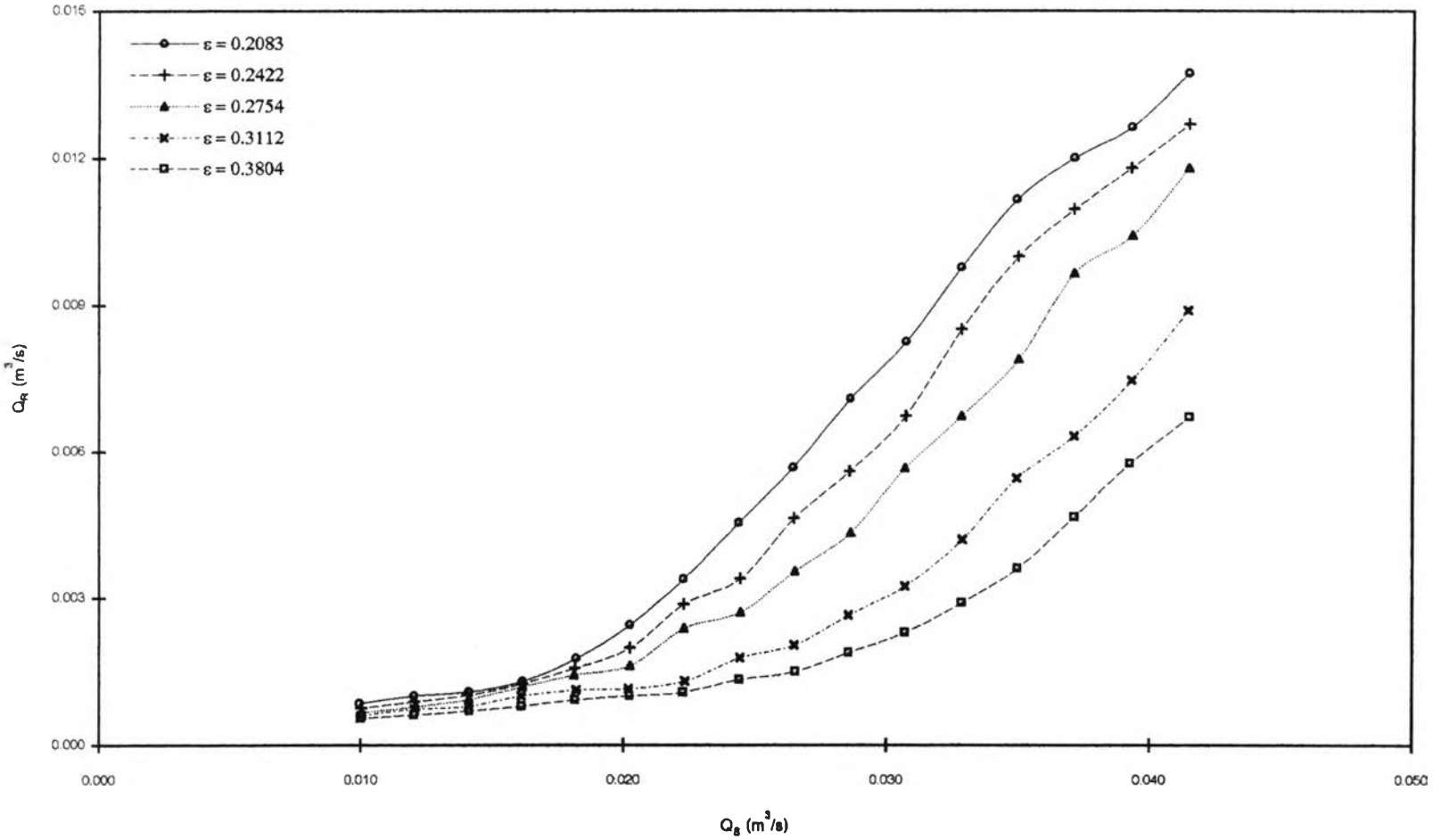
อนึ่ง หากพิจารณาในรูป 6-18 ซึ่งเป็นการแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ($Q_R/Q_S$) และ $Q_S$ จะพบว่าค่า ($Q_R/Q_S$) แปรผันโดยตรงกับ $Q_S$ ซึ่งหมายความว่าเมื่ออัตราการไหลเข้าสู่ตะแกรงผันน้ำ ($Q_S$) มีค่าเพิ่มขึ้น แนวโน้มของอัตราการเพิ่มขึ้นของอัตราการไหลที่เหลือจากการถูกผันลอดผ่านตะแกรงผันน้ำ ($Q_R$) จะมีค่าเพิ่มสูงขึ้นซึ่งสังเกตได้จากที่อัตราการไหลเข้าสู่ตะแกรงผันน้ำ ($Q_S$) สูงๆเส้นกราฟจะมีความชันค่อนข้างมาก

จากความคล้ายคลึงของพฤติกรรมการไหลข้างต้นของการไหลสู่ตะแกรงผันน้ำแบบใต้วิกฤติและเหนือวิกฤติ จึงสามารถนำหลักการที่ใช้อธิบายในหัวข้อ 6.1.2 ก) มาใช้อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลที่ถูกผันลอดผ่านตะแกรงผันน้ำ ($Q_D$) และอัตราการไหลที่เหลือจากการถูกผันลอดผ่านตะแกรงผันน้ำ ($Q_R$) กับอัตราการไหลเข้าสู่ตะแกรงผันน้ำ ($Q_S$) ในกรณีที่การไหลสู่ตะแกรงผันน้ำเป็นการไหลแบบเหนือวิกฤติได้เช่นกัน

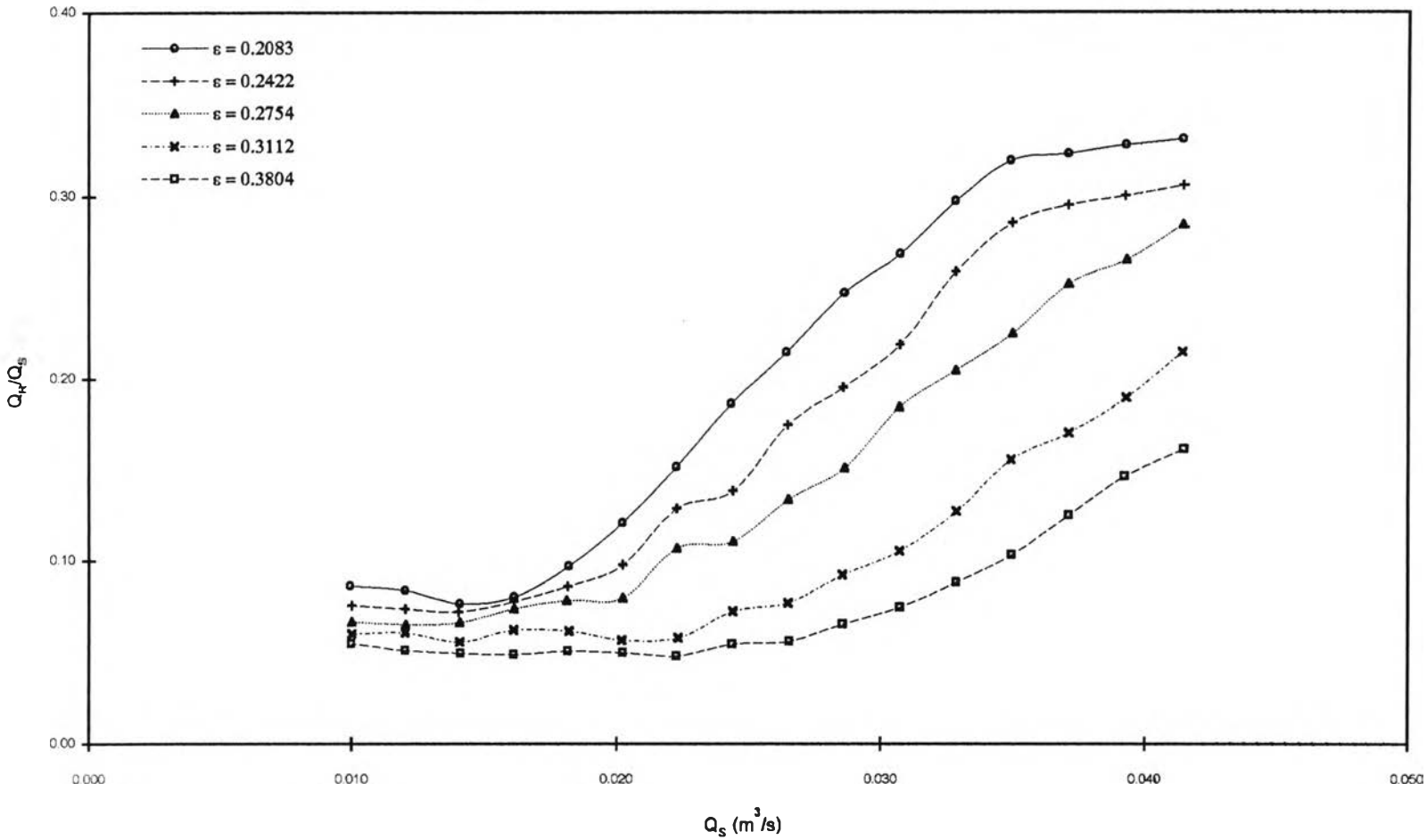
***ข) สัมประสิทธิ์อัตราการไหลลอดผ่านตะแกรงผันน้ำ ($C_D$)***

จากรูป 6-19 ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์อัตราการไหลลอดผ่านตะแกรงผันน้ำ ($C_D$) และอัตราการไหลเข้าสู่ตะแกรงผันน้ำ ($Q_S$) โดยอัตราการไหลเข้าสู่ตะแกรงผันน้ำ ($Q_S$) มีค่าอยู่ระหว่าง 0.0100 $m^3/s$. ถึง 0.0415 $m^3/s$. พบว่า

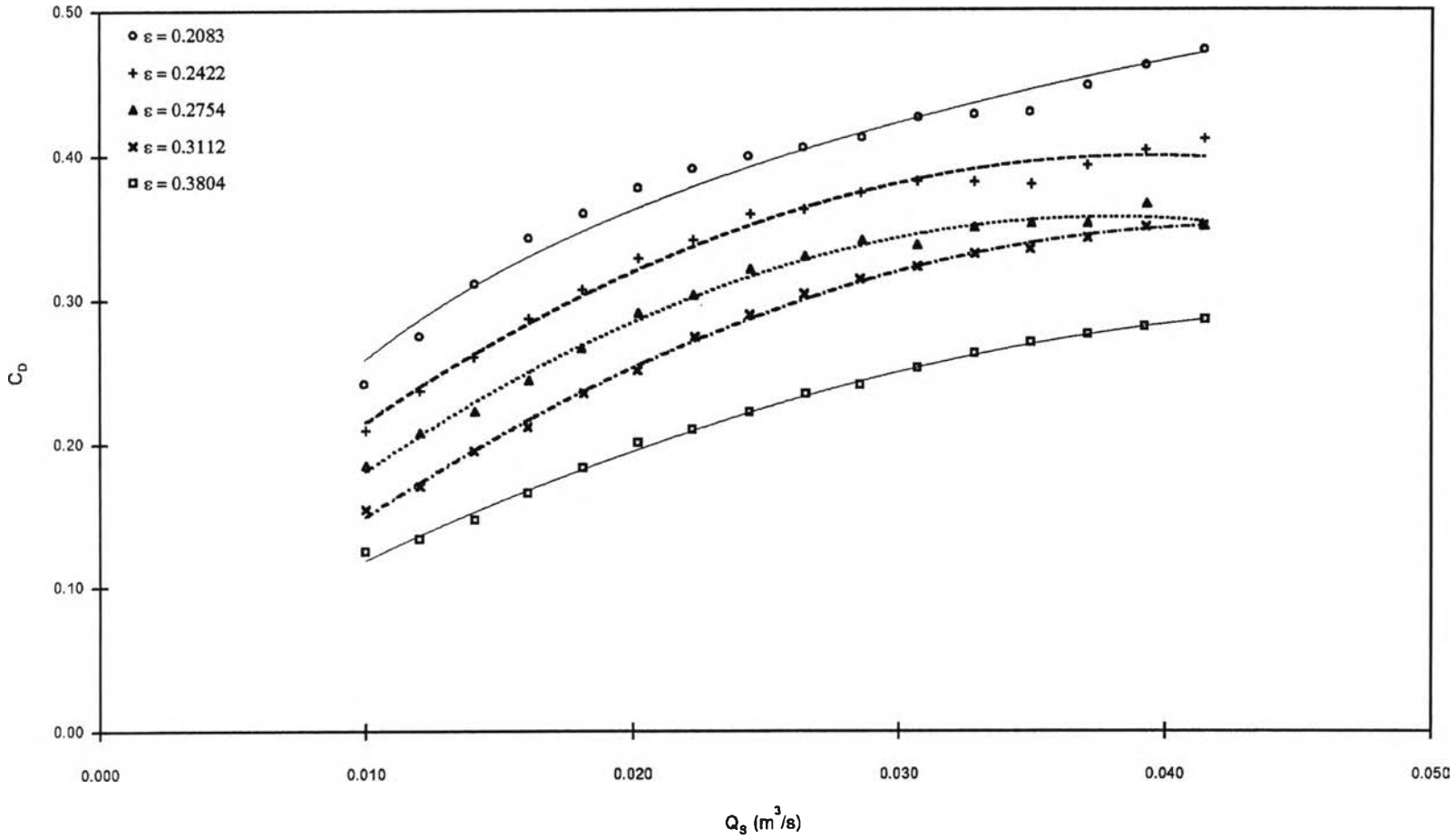
รูป 6-17 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า $Q_R$ และค่า $Q_S$ สำหรับการไหลแบบเหนือวิกฤติสู่ตะแกรงผันน้ำที่มี $\varepsilon$ ต่างๆ



รูป 6-18 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า $Q_R/Q_S$ และค่า $Q_S$ สำหรับการไหลแบบเหนือวิกฤติสู่ตะแกรงผันน้ำที่มี ε ต่าง ๆ



รูป 6-19 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า $C_D$ และค่า $Q_S$ สำหรับการไหลแบบเหนือวิกฤติสู่ตะแกรงผันน้ำที่มี ε ต่างๆ



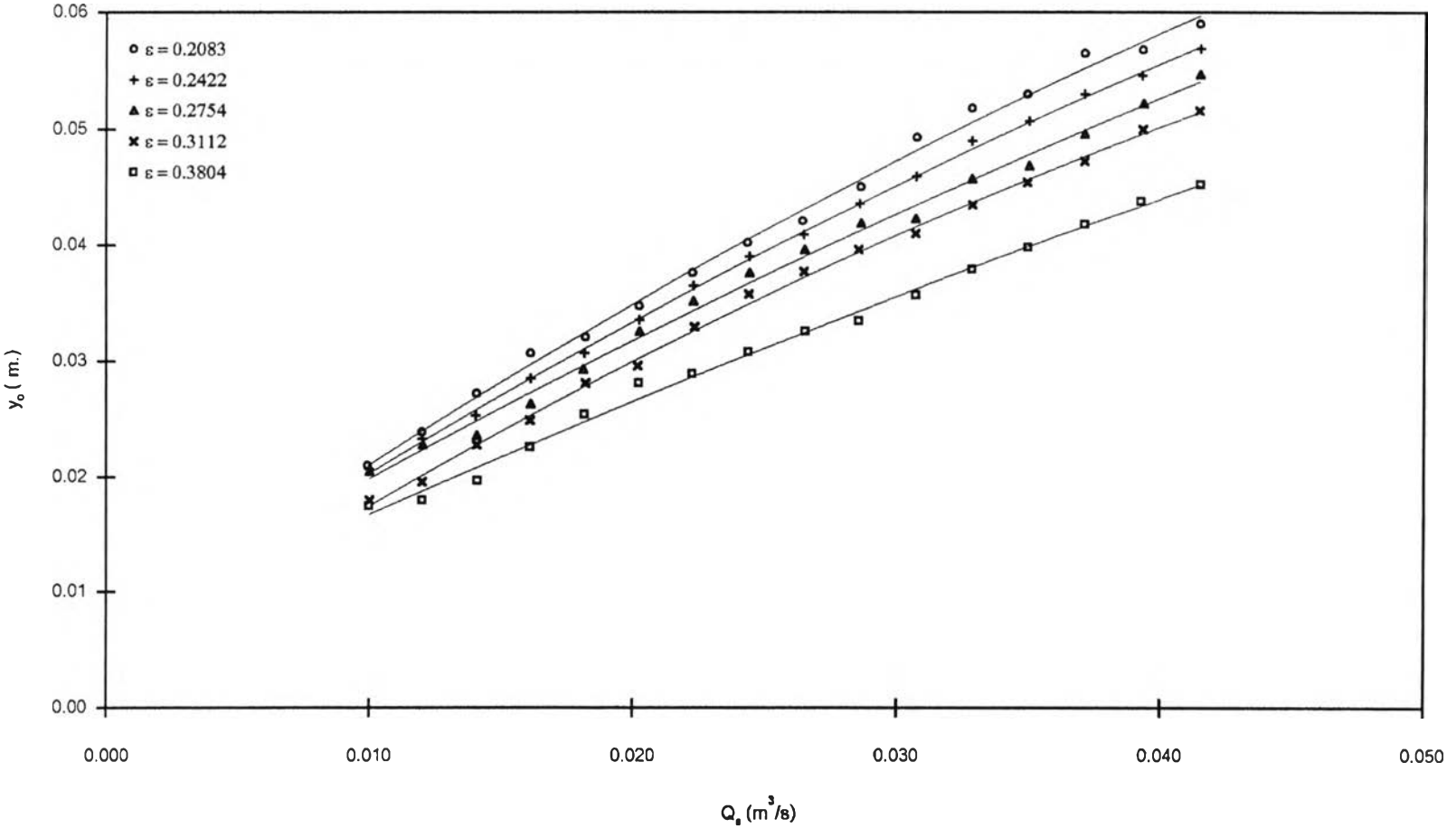
ในแต่ละชุดของตะแกรงผันน้ำ สัมประสิทธิ์อัตราการไหลลอดผ่านตะแกรงผันน้ำ ($C_D$) จะแปรผันโดยตรงกับอัตราการไหลเข้าสู่ตะแกรงผันน้ำ ($Q_s$) ซึ่งสามารถอธิบายถึงผลที่ได้โดยใช้หลักการเดียวกันกับที่ใช้ในหัวข้อ 6.1.2 ข) นอกจากนี้จากรูป 6-19 ยังพบอีกว่าเมื่ออัตราการไหลเข้าสู่ตะแกรงผันน้ำ ($Q_s$) เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ค่าสัมประสิทธิ์อัตราการไหลลอดผ่านตะแกรงผันน้ำ ($C_D$) จะมีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก ซึ่งสามารถอธิบายได้เช่นเดียวกับที่ได้อธิบายไว้ในหัวข้อ 6.1.2 ข)

***ค) ความลึกการไหลที่หน้าตัดต่าง ๆก่อนถึงตะแกรงผันน้ำ***

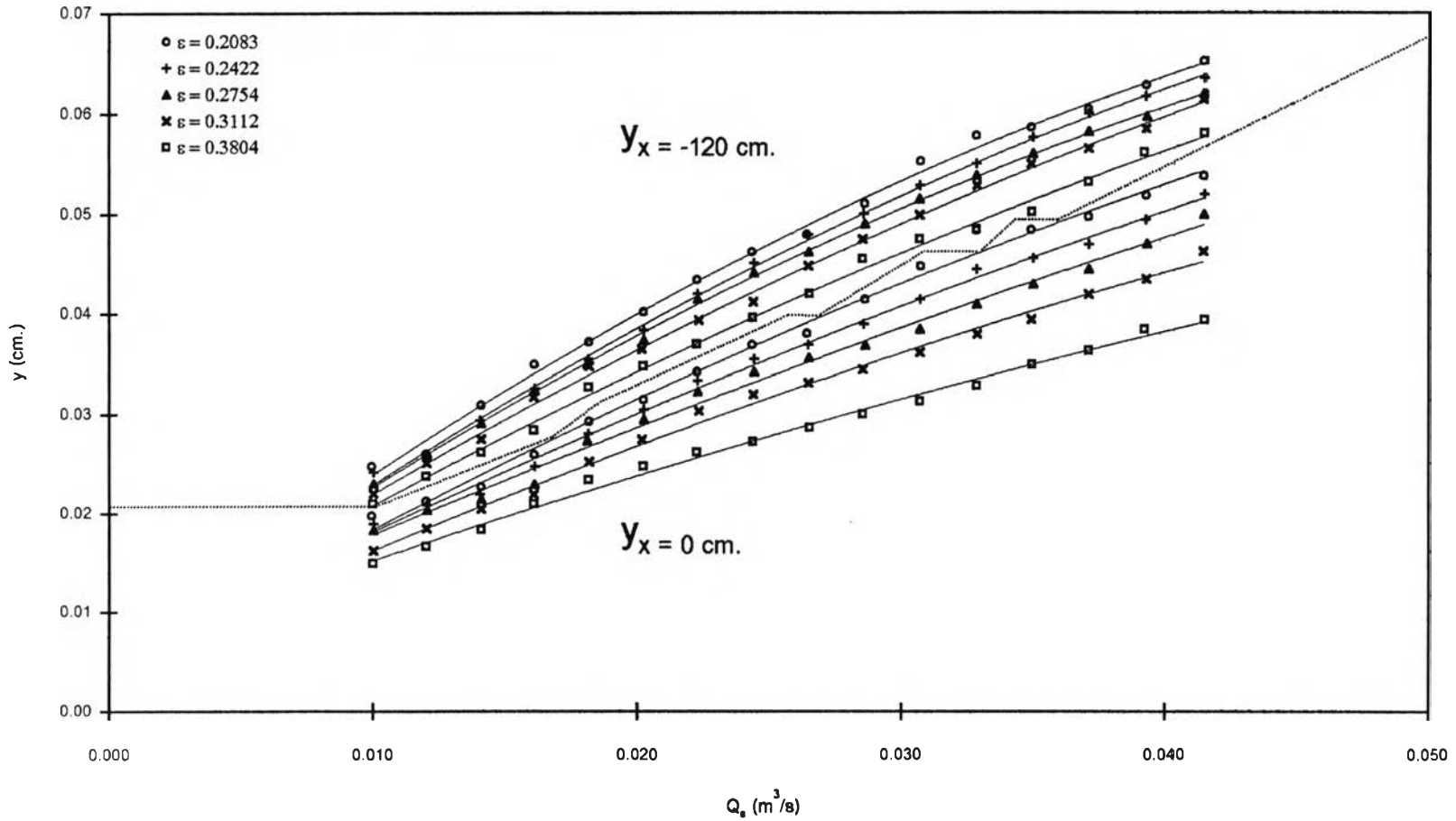
จากรูป 6-20 และรูป 6-21 ซึ่งเป็นการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความลึกการไหลที่หน้าตัดใดๆ (ได้แก่ ความลึกการไหลที่หน้าตัดที่อยู่ห่างจากหน้าตัดเริ่มต้นของตะแกรงผันน้ำไปทางเหนือน้ำเป็นระยะ 5 เท่าของความลึกการไหลที่หน้าตัดเริ่มต้นของตะแกรงผันน้ำ ($y_o$), ความลึกการไหลที่หน้าตัดที่อยู่ห่างจากหน้าตัดเริ่มต้นของตะแกรงผันน้ำไปทางเหนือน้ำเป็นระยะ 120 เซนติเมตร ($y_{x=-120\ cm.}$), หน้าตัดเริ่มต้นของตะแกรงผันน้ำ ($y_{x=0\ cm.}$) ) กับอัตราการไหลเข้าสู่ตะแกรงผันน้ำ ($Q_s$) โดยอัตราการไหลเข้าสู่ตะแกรงผันน้ำ ($Q_s$) มีค่าอยู่ระหว่าง 0.0100 $m^3/s$. ถึง 0.0415 $m^3/s$. พบว่า

ในแต่ละชุดของตะแกรงผันน้ำความลึกการไหลที่หน้าตัดใดๆก่อนถึงตะแกรงผันน้ำจะแปรผันโดยตรงกับอัตราการไหลเข้าสู่ตะแกรงผันน้ำ ($Q_s$) เนื่องจากในการไหลในทางน้ำที่มีหน้าตัดคงตัวใดๆ ความลึกการไหลในทางน้ำจะแปรผันโดยตรงกับอัตราการไหลในทางน้ำนั้น และจากรูป 6-20 และรูป 6-21 ยังพบอีกว่าสำหรับตะแกรงผันน้ำที่มีอัตราส่วนพื้นที่ช่องเปิด ($\varepsilon$) ใดๆ และมีอัตราการไหลเข้าสู่ตะแกรงผันน้ำ ($Q_s$) ใดๆ ความลึกการไหลจะลดลงจาก $y_{x=-120\ cm.}$ ไปสู่ $y_o$ และ $y_{x=0\ cm.}$ ตามลำดับ (สำหรับผลการทดลองวัดค่าความลึกการไหลที่ระยะต่างๆในทางน้ำ นอกเหนือจากที่แสดงไว้ในรูป 6-20 และรูป 6-21 สามารถดูรายละเอียดได้ใน **ภาคผนวก จ**)

รูป 6-20 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า $y_o$ และค่า $Q_s$ สำหรับการไหลแบบเหนือวิกฤติสู่ตะแกรงผันน้ำที่มี $\varepsilon$ ต่าง ๆ



รูป 6-21 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า $y_{x=0\ cm.}$, $y_{x=-120\ cm.}$ และค่า $Q_e$ สำหรับการไหลแบบเหนือวิกฤติสู่ตะแกรงฝั่งน้ำที่มี $\varepsilon$ ต่างๆ



### 6.2.3) ผลเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของอัตราส่วนพื้นที่ช่องเปิดของตะแกรงผันน้ำ (ε) ที่มีต่อ

#### *ก) อัตราการไหลที่ถูกผันลอดผ่านตะแกรงผันน้ำ ($Q_D$) และอัตราการไหลที่เหลือจากการถูกผันลอดผ่านตะแกรงผันน้ำ ($Q_R$)*

จากรูป 6-15 ซึ่งเป็นความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลที่ถูกผันลอดผ่านตะแกรงผันน้ำ ($Q_D$) และอัตราการไหลเข้าสู่ตะแกรงผันน้ำ ($Q_S$) สำหรับตะแกรงผันน้ำที่มีอัตราส่วนพื้นที่ช่องเปิด (ε) ต่างๆ พบว่าขนาดช่องเปิดของตะแกรงผันน้ำมีผลต่อค่าอัตราการไหลที่ถูกผันลอดผ่านตะแกรงผันน้ำ ($Q_D$) โดยพบว่าหากพิจารณาที่อัตราการไหลเข้าสู่ตะแกรงผันน้ำ ($Q_S$) เดียวกัน จะได้ว่าอัตราการไหลที่ถูกผันลอดผ่านตะแกรงผันน้ำ ($Q_D$) แปรผันโดยตรงกับอัตราส่วนพื้นที่ช่องเปิดของตะแกรงผันน้ำ (ε) และหากพิจารณากราฟความสัมพันธ์ระหว่าง อัตราการไหลที่เหลือจากการถูกผันลอดผ่านตะแกรงผันน้ำ ($Q_R$) กับอัตราการไหลเข้าสู่ตะแกรงผันน้ำ ($Q_S$) (ดูรูป 6-17 ประกอบ) จะพบว่า อัตราส่วนพื้นที่ช่องเปิดของตะแกรงผันน้ำ (ε) มีผลต่ออัตราการไหลที่เหลือจากการถูกผันลอดผ่านตะแกรงผันน้ำ ($Q_R$) กล่าวคือ หากพิจารณาที่อัตราการไหลเข้าสู่ตะแกรงผันน้ำ ($Q_S$) เดียวกัน จะได้ว่า อัตราการไหลที่เหลือจากการถูกผันลอดผ่านตะแกรงผันน้ำ ($Q_R$) แปรผกผันกับกับอัตราส่วนพื้นที่ช่องเปิดของตะแกรงผันน้ำ, ε ซึ่งเป็นการแสดงให้เห็นว่าการเปลี่ยนแปลงขนาดพื้นที่ช่องเปิดของตะแกรงผันน้ำจะมีผลโดยตรงต่ออัตราการไหลที่ถูกผันลอดผ่านตะแกรงผันน้ำ($Q_D$) และอัตราการไหลที่เหลือจากการถูกผันลอดผ่านตะแกรงผันน้ำ ($Q_R$) ดังนี้คือ

หากมีการเพิ่มขึ้นของพื้นที่ช่องเปิดของตะแกรงผันน้ำจะทำให้น้ำที่ไหลเข้าสู่ตะแกรงผันน้ำถูกผันออกไปได้มาก ส่งผลให้น้ำที่เหลือจากการถูกผันลอดผ่านตะแกรงผันน้ำมีปริมาณน้อยลง ในทางกลับกันหากมีการลดพื้นที่ช่องเปิดของตะแกรงผันน้ำจะทำให้น้ำที่ไหลเข้าสู่ตะแกรงผันน้ำถูกผันออกไปได้น้อยลง ส่งผลให้น้ำที่เหลือจากการถูกผันลอดผ่านตะแกรงผันน้ำมีปริมาณเพิ่มขึ้น

***ข) สัมประสิทธิ์อัตราการไหลลอดผ่านตะแกรงผันน้ำ ($C_D$)***

จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง สัมประสิทธิ์อัตราการไหลลอดผ่านตะแกรงผันน้ำ ($C_D$) และอัตราการไหลที่ถูกผันลอดผ่านตะแกรงผันน้ำ ($Q_D$) (ดูรูป 6-22 ประกอบ) โดยมีค่าอัตราการไหลที่ถูกผันลอดผ่านตะแกรงผันน้ำ ($Q_D$) อยู่ระหว่าง 0.0091 $m^3/s.$ ถึง 0.0348 $m^3/s.$ พบว่า

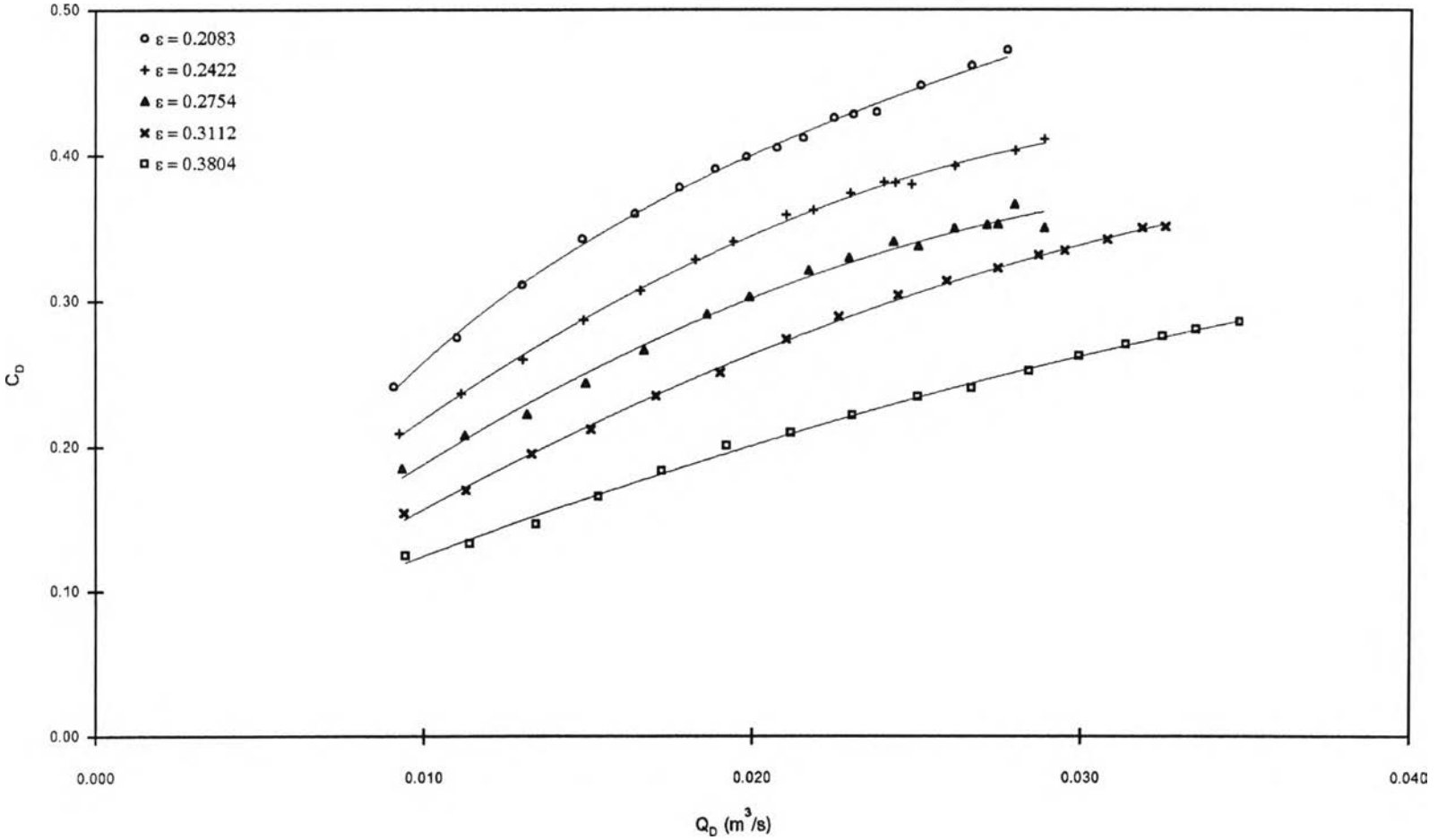
อัตราส่วนพื้นที่ช่องเปิดของตะแกรงผันน้ำ ($\varepsilon$) มีผลต่อสัมประสิทธิ์อัตราการไหลลอดผ่านตะแกรงผันน้ำ ($C_D$) โดยจะพบว่า หากพิจารณาที่อัตราการไหลที่ถูกผันลอดผ่านตะแกรงผันน้ำ ($Q_D$) เดียวกัน ค่าสัมประสิทธิ์อัตราการไหลลอดผ่านตะแกรงผันน้ำ ($C_D$) แปรผกผันกับขนาดพื้นที่ช่องเปิดหรืออัตราส่วนพื้นที่ช่องเปิดของตะแกรงผันน้ำ ($\varepsilon$) (คำอธิบายใช้หลักการเช่นเดียวกับที่ได้อธิบายไว้ในหัวข้อ 6.1.3 ข))

***ค) ความลึกการไหลที่หน้าตัดต่าง ๆก่อนถึงตะแกรงผันน้ำ***

จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความลึกการไหลที่ระยะต่างๆในทางน้ำ ($y_o$,$y_{x=0\ cm.}$และ $y_{x=-120\ cm.}$) และอัตราการไหลเข้าสู่ตะแกรงผันน้ำ ($Q_S$) (ดูรูป 6-20 และรูป 6-21 ประกอบ) โดยมีค่าอัตราการไหลเข้าสู่ตะแกรงผันน้ำ ($Q_S$) อยู่ระหว่าง 0.0100 $m^3/s.$ ถึง 0.0415 $m^3/s.$ พบว่า

อัตราส่วนพื้นที่ช่องเปิดของตะแกรงผันน้ำ ($\varepsilon$) มีผลต่อค่าความลึกการไหลที่ระยะต่างๆในทางน้ำ กล่าวคือหากพิจารณาที่อัตราการไหลเข้าสู่ตะแกรงผันน้ำ ($Q_S$) เดียวกัน จะพบว่าค่าความลึกการไหล ไม่ว่าจะเป็นความลึกการไหลที่หน้าตัดซึ่งอยู่ห่างจากตะแกรงผันน้ำไปทางเหนือน้ำเป็นระยะ 120 เซนติเมตร ($y_{x\ =\ -120\ cm.}$) ,ความลึกการไหลที่จุดเริ่มต้นของตะแกรงผันน้ำ ($y_{x\ =\ 0\ cm.}$) หรือความลึกการไหลที่หน้าตัด $x_o$ (อยู่ห่างจากหน้าตัด x=0 cm.ไปทางเหนือน้ำเป็นระยะ 5 เท่าของ $y_{x\ =\ 0\ cm}$ จะแปรผกผันกับอัตราส่วนพื้นที่ช่องเปิดของตะแกรงผันน้ำ ($\varepsilon$) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าหากตะแกรงผันน้ำมีขนาดพื้นที่ช่องเปิดน้อยๆ น้ำก็จะถูกผันออกไปจากทางน้ำได้น้อยทำให้ระดับ

รูป 6-22 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า $C_D$ และค่า $Q_D$ สำหรับการไหลแบบเหนือวิกฤติสู่ตะแกรงผันน้ำที่มี ε ต่าง ๆ



น้ำลดลงไม่มาก ในทางกลับกันหากเพิ่มพื้นที่ช่องเปิดของตะแกรงผันน้ำให้มากขึ้น น้ำก็จะถูกผันออกไปจากทางน้ำได้มากขึ้นด้วย ทำให้ระดับน้ำในทางน้ำลดลงมากขึ้น (สำหรับผลการทดลองวัดค่าความลึกการไหลที่ระยะต่างๆในทางน้ำ นอกเหนือจากที่แสดงไว้ในรูป 6-20 และรูป 6-21 สามารถดูรายละเอียดได้ใน **ภาคผนวก จ**)

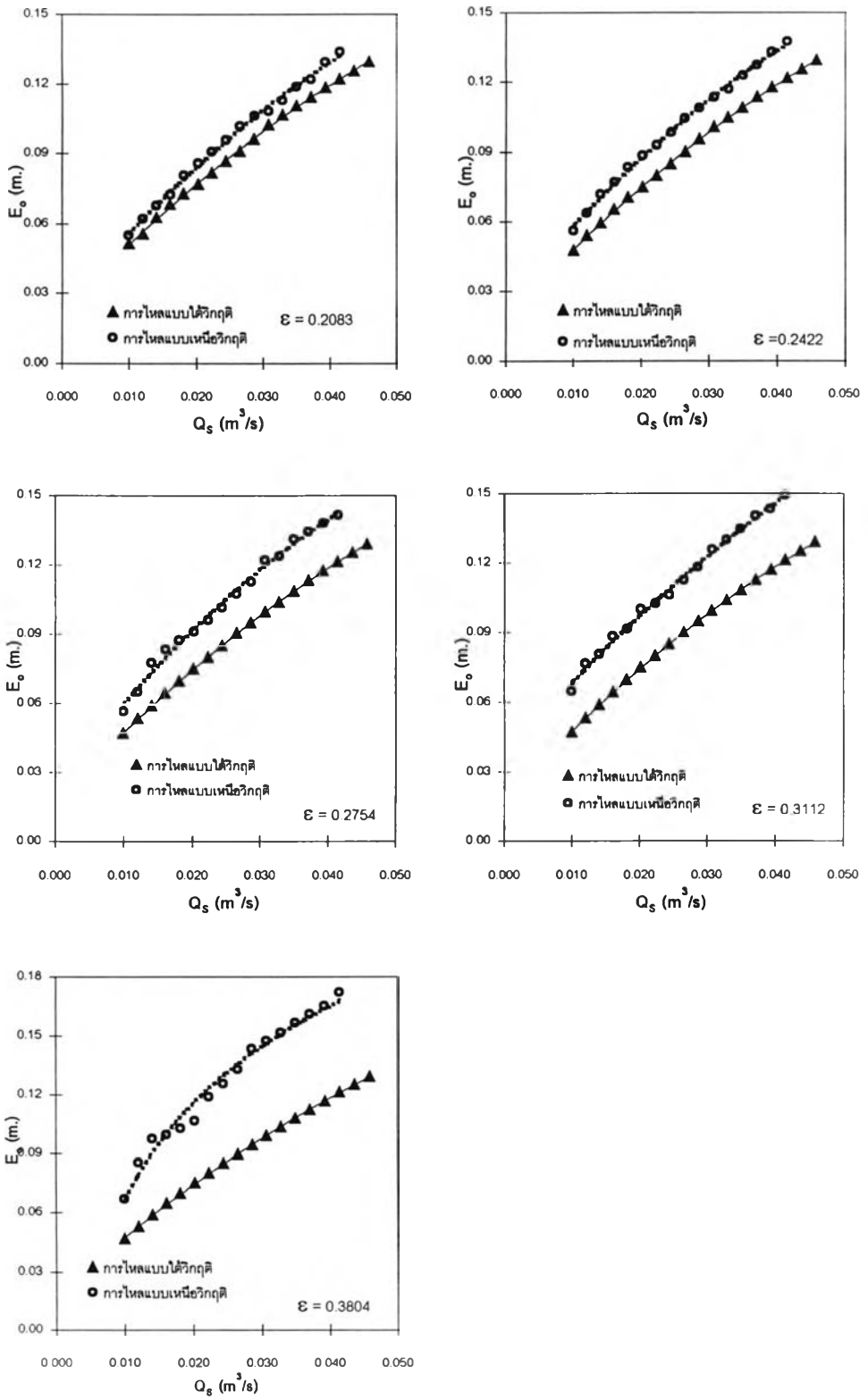
## 6.3 การเปรียบเทียบพฤติกรรมการไหลทั่วๆไปของการไหลสู่ตะแกรงผันน้ำที่เป็นการไหลแบบใต้วิกฤติและการไหลแบบเหนือวิกฤติ

จากผลการทดลองศึกษาสภาพการไหลเข้าสู่ตะแกรงผันน้ำทั้งที่เป็นการไหลแบบใต้วิกฤติและการไหลแบบเหนือวิกฤติ ทำให้สามารถเปรียบเทียบความแตกต่างของพฤติกรรมการไหลที่เกิดจากการไหลทั้ง 2 แบบได้ดังนี้

### 6.3.1) การเปรียบเทียบพลังงานจำเพาะของการไหลสู่ตะแกรงผันน้ำ ($E_o$)

จากรูป 6-23 ซึ่งเป็นการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าพลังงานจำเพาะของการไหลสู่ตะแกรงผันน้ำ ($E_o$) และอัตราการไหลเข้าสู่ตะแกรงผันน้ำ ($Q_s$) ไม่ว่าจะเป็นการไหลแบบใต้วิกฤติหรือการไหลแบบเหนือวิกฤติ จะพบว่าในแต่ละชุดของตะแกรงผันน้ำ ค่าพลังงานจำเพาะของการไหลเข้าสู่ตะแกรงผันน้ำ ($E_o$) จะแปรผันโดยตรงกับอัตราการไหลเข้าสู่ตะแกรงผันน้ำ ($Q_s$) นอกจากนี้หากพิจารณาที่ค่าอัตราการไหลเข้าสู่ตะแกรงผันน้ำ ($Q_s$) เดียวกัน จะพบว่าค่าพลังงานจำเพาะของการไหลเข้าสู่ตะแกรงผันน้ำ ($E_o$) ของการไหลแบบเหนือวิกฤติมีค่าสูงกว่าค่าพลังงานจำเพาะของการไหลเข้าสู่ตะแกรงผันน้ำ ($E_o$) ของการไหลแบบใต้วิกฤติ โดยจะมีผลต่างของพลังงานจำเพาะมากขึ้นเมื่ออัตราส่วนพื้นที่ช่องเปิดของตะแกรงเพิ่มขึ้น

สำหรับสาเหตุที่พลังงานจำเพาะ ($E_o$) ของการไหลแบบเหนือวิกฤติสู่ตะแกรงผันน้ำมีค่าสูงกว่าพลังงานจำเพาะ ($E_o$) ของการไหลแบบใต้วิกฤติสู่ตะแกรงผันน้ำ เมื่อเป็นการไหลสู่ตะแกรงผันน้ำด้วยอัตราการไหลเดียวกันสามารถอธิบายได้ดังนี้คือ



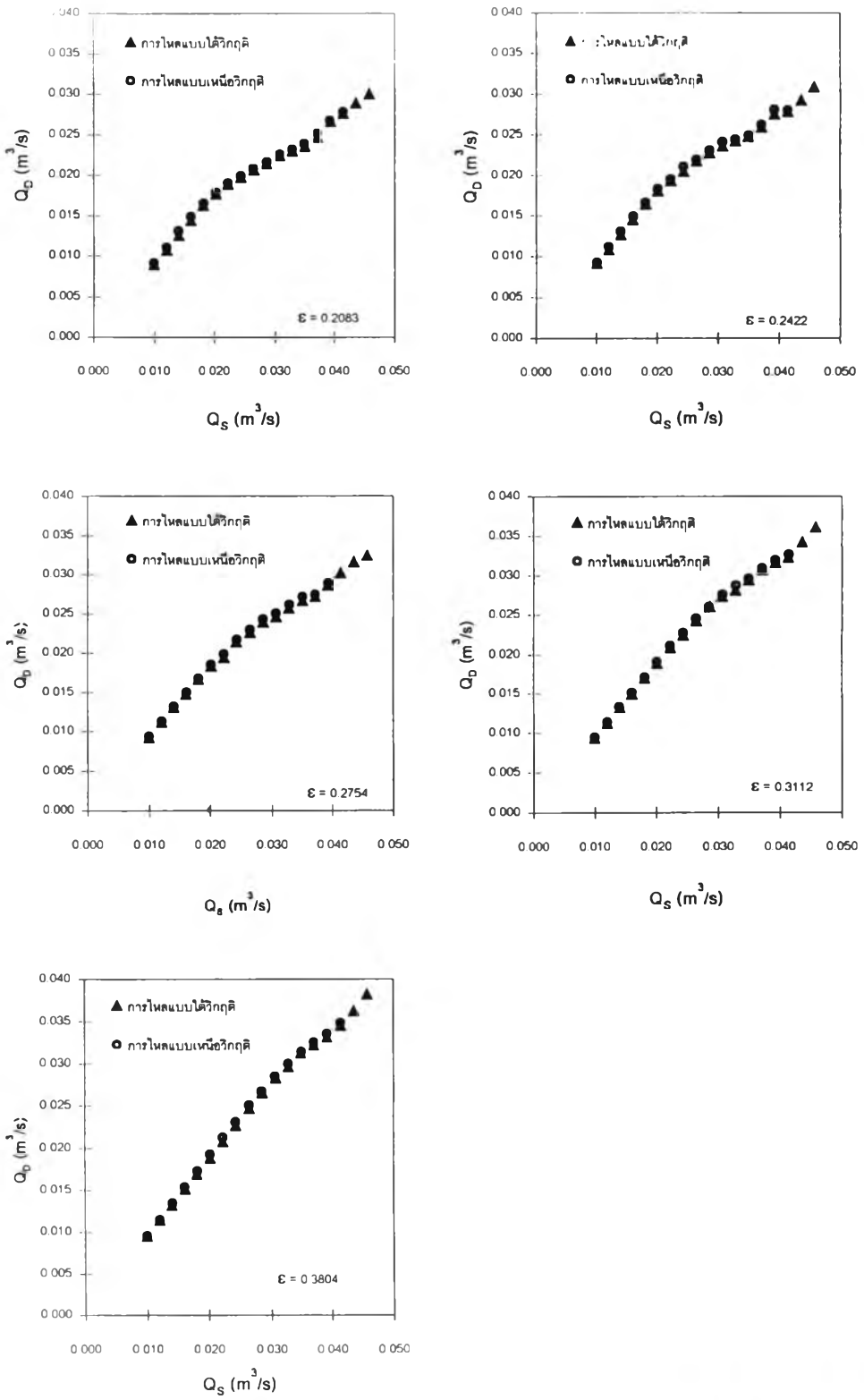

รูป 6-23 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างค่า $E_o$ และ $Q_s$ ของการไหลแบบใต้วิกฤติและเหนือวิกฤติ

ก) สภาพทางน้ำไม่เหมือนกัน เนื่องจากในการศึกษาในครั้งนี้ การไหลสูตะแกรงผันน้ำที่เป็นการไหลแบบใต้วิกฤติท้องน้ำของทางน้ำจะอยู่ในแนวราบ ส่วนการไหลแบบเหนือวิกฤติท้องน้ำของทางน้ำจะมีความลาดเอียงจากเหนือน้ำไปยังท้ายน้ำ

ข) จากคำนิยามเกี่ยวกับพลังงานจำเพาะของการไหลเข้าสูตะแกรงผันน้ำ ($E_o$) ที่กล่าวไว้ในบทที่ 2 ที่ว่าจะทำการหาค่า $E_o$ โดยทำการวัดค่า $y_o$ บริเวณหน้าตัดที่อยู่ห่างจากหน้าตัดเริ่มต้นของตะแกรงผันน้ำไปทางเหนือน้ำเป็นระยะทาง 5 เท่าของความลึกการไหลที่หน้าตัดเริ่มต้นของตะแกรงผันน้ำ ซึ่งในการไหลแบบเหนือวิกฤติสูตะแกรงผันน้ำ สภาพการไหลจะเป็นการไหลด้วยความลึกการไหลที่ต่ำโดยเฉพาะอย่างยิ่งที่หน้าตัดทางเข้าของตะแกรงผันน้ำจะมีการลดระดับความลึกการไหลลงมากกว่าการไหลแบบใต้วิกฤติ ทำให้ตำแหน่งหน้าตัดที่จะใช้วัดค่า $y_o$ อยู่ไม่ห่างจากหน้าตัดทางเข้าของตะแกรงผันน้ำมากนัก ทำให้ค่า $y_o$ ที่วัดค่าได้มีค่าไม่สูงนักและน่าจะมีค่าน้อยกว่าความลึกการไหลที่เป็นระดับน้ำต่ำ (low stage) ของการไหลแบบเหนือวิกฤติ ซึ่งเป็นความลึกสลับ (alternate depth ) ของความลึกการไหลที่เป็นระดับน้ำสูง (high stage) ของการไหลแบบใต้วิกฤติ สำหรับอัตราการไหลเดียวกัน ดังนั้นหากพิจารณาเส้นโค้ง $E = f(y)$ สำหรับอัตราการไหลใดๆ (ที่กล่าวไว้ในหัวข้อ 2.2.5)) ในสภาพการไหลที่เป็นการไหลแบบเหนือวิกฤติเมื่อความลึกการไหลลดลงจะทำให้ค่าพลังงานจำเพาะมีค่าสูงขึ้น ดังนั้นที่อัตราการไหลเดียวกันเข้าสูตะแกรงผันน้ำค่าพลังงานจำเพาะของการไหลแบบเหนือวิกฤติจะมีค่าสูงกว่าค่าพลังงานจำเพาะของการไหลแบบใต้วิกฤติ ดังผลการศึกษาที่ได้ในรูป 6-23

### 6.3.2) การเปรียบเทียบค่าอัตราการไหลที่ถูกผันลอดผ่านตะแกรงผันน้ำ ($Q_b$)

พิจารณาจากรูป 6-24 ซึ่งเป็นการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราการไหลที่ถูกผันลอดผ่านตะแกรงผันน้ำ ($Q_b$) กับอัตราการไหลเข้าสูตะแกรงผันน้ำ ($Q_s$) ของการไหลแบบใต้วิกฤติและการไหลแบบเหนือวิกฤติ จะพบว่าในแต่ละชุดของตะแกรงผันน้ำนั้นหากพิจารณาที่ค่า

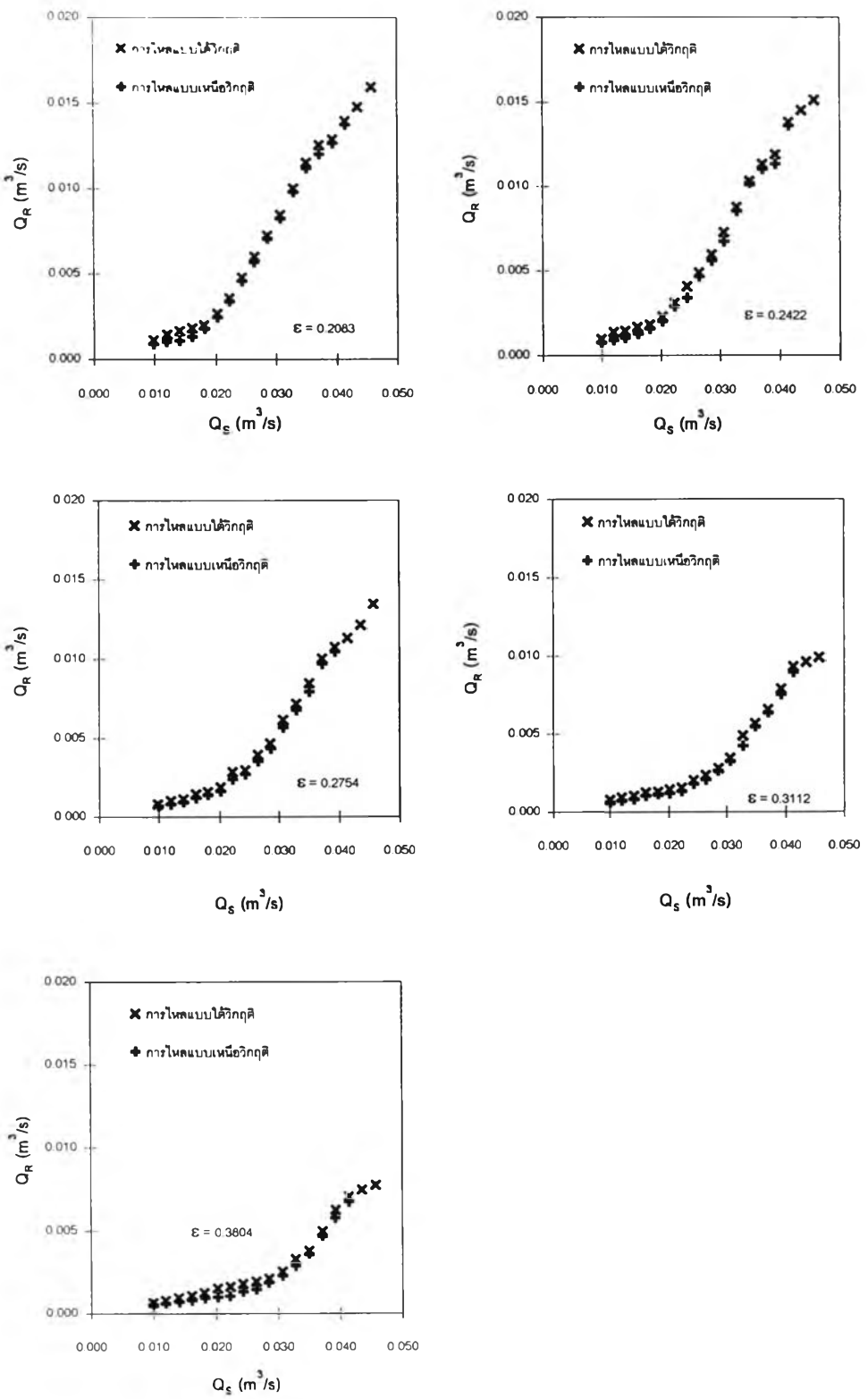



รูป 6-24 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่าง $Q_D$ และ $Q_S$ ของการไหลแบบใต้วิกฤติและเหนือวิกฤติ

อัตราการไหลเข้าสู่ตะแกรงผันน้ำ ($Q_S$) เดียวกัน จะเห็นว่าค่าอัตราการไหลที่ถูกผันลอดผ่านตะแกรงผันน้ำ ($Q_D$) ของการไหลแบบเหนือวิกฤติจะมีค่าสูงกว่าการไหลแบบใต้วิกฤติเพียงเล็กน้อย ซึ่งมีสาเหตุมาจากหากพิจารณารูป 6-23 และคำอธิบายในหัวข้อ 6.3.1) จะพบว่าค่าพลังงานจำเพาะของการไหลเข้าสู่ตะแกรงผันน้ำ ($E_o$) ของการไหลแบบเหนือวิกฤติมีค่าสูงกว่าค่าพลังงานจำเพาะของการไหลเข้าสู่ตะแกรงผันน้ำ ($E_o$) ของการไหลแบบใต้วิกฤติ ดังนั้นจึงทำให้การไหลแบบเหนือวิกฤติมีศักย์หรือพลังงานที่จะผันน้ำให้ไหลลอดผ่านตะแกรงผันน้ำได้มากกว่าการไหลแบบใต้วิกฤติ ทำให้อัตราการไหลที่ถูกผันลอดผ่านตะแกรงผันน้ำ ($Q_D$) ของการไหลแบบเหนือวิกฤติจะมีค่าสูงกว่าการไหลแบบใต้วิกฤติดังกล่าวข้างต้น

### 6.3.3) การเปรียบเทียบค่าอัตราการไหลที่เหลือจากการถูกผันลอดผ่านตะแกรงผันน้ำ ($Q_R$)

พิจารณาจากรูป 6-25 ซึ่งเป็นการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราการไหลที่เหลือจากการถูกผันลอดผ่านตะแกรงผันน้ำ ($Q_R$) กับอัตราการไหลเข้าสู่ตะแกรงผันน้ำ ($Q_S$) ของการไหลแบบใต้วิกฤติและการไหลแบบเหนือวิกฤติ จะพบว่าในแต่ละชุดของตะแกรงผันน้ำนั้นหากพิจารณาที่ค่าอัตราการไหลเข้าสู่ตะแกรงผันน้ำ ($Q_S$) เดียวกัน จะเห็นว่าค่าอัตราการไหลที่เหลือจากการถูกผันลอดผ่านตะแกรงผันน้ำ ($Q_R$) ของการไหลแบบใต้วิกฤติจะมีค่าสูงกว่าการไหลแบบเหนือวิกฤติเพียงเล็กน้อย ซึ่งมีสาเหตุมาจากหากพิจารณารูป 6-23 และคำอธิบายในหัวข้อ 6.3.1) จะพบว่าค่าพลังงานจำเพาะของการไหลเข้าสู่ตะแกรงผันน้ำ ($E_o$) ของการไหลแบบใต้วิกฤติมีค่าต่ำกว่าค่าพลังงานจำเพาะของการไหลเข้าสู่ตะแกรงผันน้ำ ($E_o$) ของการไหลแบบเหนือวิกฤติ ดังนั้นจึงทำให้การไหลแบบใต้วิกฤติมีศักย์หรือพลังงานที่จะผันน้ำให้ไหลลอดผ่านตะแกรงผันน้ำได้น้อยกว่าการไหลแบบเหนือวิกฤติ และด้วยเหตุที่หากพิจารณาที่อัตราการไหลเข้าสู่ตะแกรงผันน้ำ ($Q_S$) เดียวกัน อัตราการไหลที่เหลือจากการถูกผันลอดผ่านตะแกรงผันน้ำ ($Q_R$) ของการไหลแบบใต้วิกฤติมีค่าสูงกว่าการไหลแบบเหนือวิกฤติดังกล่าวข้างต้น

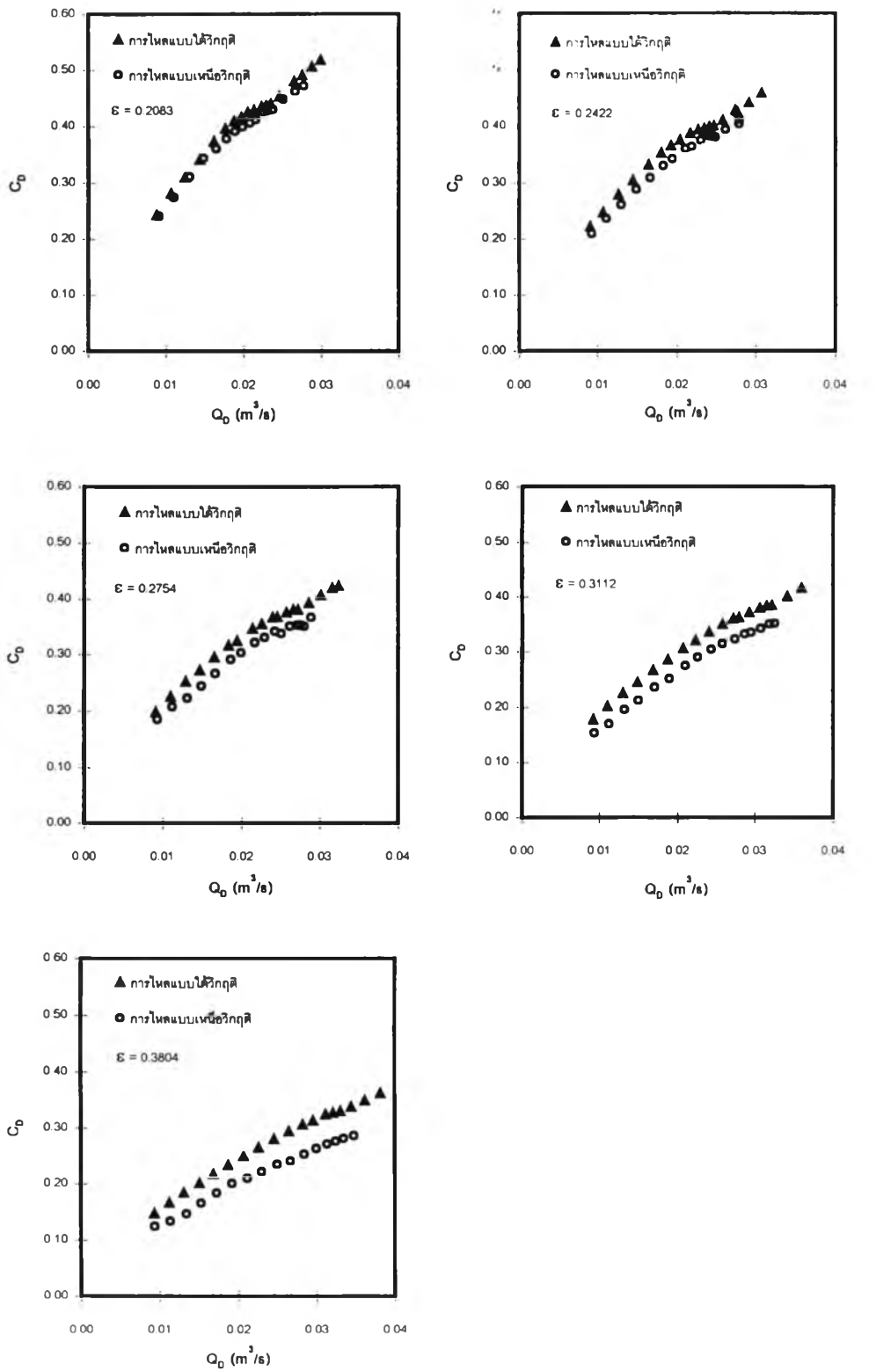



รูป 6-25 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่าง $Q_R$ และ $Q_S$ ของการไหลแบบใต้วิกฤติและเหนือวิกฤติ

จากการพิจารณาเส้นกราฟรูป 6-25 ต่อไปจะยังพบอีกว่า โดยส่วนใหญ่แล้วในช่วงที่มีอัตราการไหลเข้าสู่ตะแกรงผันน้ำ ($Q_S$) ต่ำๆ แนวโน้มการเพิ่มขึ้นของอัตราการไหลที่เหลือจากการถูกผันลอดผ่านตะแกรงผันน้ำ ($Q_R$) จะมีการเพิ่มขึ้นด้วยอัตราที่ไม่สูงนัก แต่เมื่ออัตราการไหลเข้าสู่ตะแกรงผันน้ำ ($Q_S$) มีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ การเพิ่มขึ้นของอัตราการไหลที่เหลือจากการถูกผันลอดผ่านตะแกรงผันน้ำ ($Q_R$) ก็จะเริ่มเพิ่มขึ้นด้วยอัตราที่สูงขึ้น ดังเช่นที่ได้อธิบายไปแล้วในหัวข้อก่อนหน้านี้เกี่ยวกับขีดจำกัดความสามารถในการผันน้ำของตะแกรงผันน้ำแต่ละขนาด นอกจากนี้แล้วตะแกรงผันน้ำใดที่มีอัตราส่วนพื้นที่ช่องเปิด ($\varepsilon$) น้อยๆ น้ำก็จะถูกผันออกไปได้น้อย แนวโน้มการเพิ่มขึ้นของอัตราการไหลที่เหลือจากการถูกผันลอดผ่านตะแกรงผันน้ำ ($Q_R$) เมื่ออัตราการไหลเข้าสู่ตะแกรงผันน้ำ ($Q_S$) เพิ่มขึ้นก็จะยิ่งมีมาก ดังจะเห็นในรูป 6-25 สำหรับตะแกรงผันน้ำที่มี $\varepsilon$ = 0.2083 , 0.2422 และ 0.2754 ในทางกลับกันตะแกรงผันน้ำใดที่มีอัตราส่วนพื้นที่ช่องเปิด ($\varepsilon$) สูง น้ำก็จะถูกผันออกไปได้มาก แนวโน้มการเพิ่มขึ้นของอัตราการไหลที่เหลือจากการถูกผันลอดผ่านตะแกรงผันน้ำ ($Q_R$) เมื่ออัตราการไหลเข้าสู่ตะแกรงผันน้ำ ($Q_S$) เพิ่มขึ้นก็จะไม่เพิ่มสูงมากนักเมื่อเทียบกับตะแกรงผันน้ำที่มีอัตราส่วนพื้นที่ช่องเปิด ($\varepsilon$) น้อยๆ ดังจะเห็นในรูป 6-25 สำหรับตะแกรงผันน้ำที่มี $\varepsilon$ = 0.3112 และ 0.3804

### 6.3.4) การเปรียบเทียบสัมประสิทธิ์อัตราการไหลลอดผ่านตะแกรงผันน้ำ ($C_D$)

พิจารณาจากรูป 6-26 ซึ่งเป็นการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์อัตราการไหลลอดผ่านตะแกรงผันน้ำ($C_D$) และอัตราการไหลที่ถูกผันลอดผ่านตะแกรงผันน้ำ ($Q_D$) ของการไหลเข้าสู่ตะแกรงผันน้ำแบบใต้วิกฤติ กับการไหลเข้าสู่ตะแกรงผันน้ำแบบเหนือวิกฤติจะพบว่าหากพิจารณาที่อัตราการไหลที่ถูกผันลอดผ่านตะแกรงผันน้ำ($Q_D$) เดียวกันจะได้ว่า ค่าสัมประสิทธิ์อัตราการไหลลอดผ่านตะแกรงผันน้ำ ($C_D$) ในกรณีที่การไหลเข้าสู่ตะแกรงผันน้ำแบบใต้วิกฤติจะมีค่าสูงกว่าค่าสัมประสิทธิ์อัตราการไหลลอดผ่านตะแกรงผันน้ำ ($C_D$) ในกรณีที่การไหลเข้าสู่ตะแกรงผันน้ำแบบเหนือวิกฤติ ซึ่งสามารถอธิบายได้โดยการพิจารณา รูป 6-23 และคำอธิบายในหัวข้อ 6.3.1) จะเห็นได้ว่าค่าพลังงานจำเพาะของการไหลเข้าสู่ตะแกรงผันน้ำ ($E_o$) ของการไหล




รูป 6-26 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างค่า $C_D$ และ $Q_D$ ของการไหลแบบใต้วิกฤติและเหนือวิกฤติ

แบบใต้วิกฤติมีค่าน้อยกว่าค่าพลังงานจำเพาะของการไหลเข้าสู่ตะแกรงผันน้ำ ($E_o$) ของการไหลแบบเหนือวิกฤติ ดังนั้นการไหลเข้าสู่ตะแกรงผันน้ำแบบใต้วิกฤติจึงมีศักย์หรือพลังงานที่จะมาผันน้ำได้น้อยกว่า ดังนั้นในการที่จะผันน้ำให้ได้อัตราการผันเท่าๆกัน ตะแกรงผันน้ำที่มีการไหลเข้าสู่ตะแกรงแบบใต้วิกฤติจึงจะต้องมีสัมประสิทธิ์อัตราการไหลลอดผ่านตะแกรง($C_D$) สูงกว่าตะแกรงผันน้ำที่มีการไหลเข้าสู่ตะแกรงแบบเหนือวิกฤติ

ในทำนองเดียวกันหากสัมประสิทธิ์อัตราการไหลลอดผ่านตะแกรงผันน้ำ ($C_D$) มีค่าคงที่ อัตราการไหลที่ถูกผันลอดผ่านตะแกรงผันน้ำ ($Q_D$) ที่เกิดจากการไหลสู่ตะแกรงผันน้ำแบบเหนือวิกฤติจะมีค่าสูงกว่าของการไหลแบบใต้วิกฤติ เนื่องจากในการไหลแบบเหนือวิกฤติพลังงานจำเพาะของการไหลสู่ตะแกรงผันน้ำ ($E_o$) มีค่าสูงกว่าพลังงานจำเพาะ ($E_o$) ของการไหลแบบใต้วิกฤติ

### 6.3.5) การเปรียบเทียบความลึกการไหลในทางน้ำที่เกิดจากการไหลแบบใต้วิกฤติและการไหลแบบเหนือวิกฤติ

ในการเปรียบเทียบความลึกการไหลในทางน้ำจะทำการเปรียบเทียบความลึกการไหล 2 ส่วนใหญ่ๆ คือ

#### *ก) ความลึกการไหลที่หน้าตัดต่าง ๆก่อนที่จะถึงตะแกรงผันน้ำ*

จากการพิจารณารูป 6-9 ,รูป 6-10 ซึ่งเป็นความสัมพันธ์ระหว่างความลึกการไหลที่หน้าตัดต่างๆก่อนถึงตะแกรงผันน้ำในกรณีที่การไหลเข้าสู่ตะแกรงผันน้ำเป็นการไหลแบบใต้วิกฤติ และรูป 6-20, รูป 6-21 ซึ่งเป็นความสัมพันธ์ระหว่างความลึกการไหลที่หน้าตัดต่างๆก่อนถึงตะแกรงผันน้ำในกรณีที่การไหลเข้าสู่ตะแกรงผันน้ำเป็นการไหลแบบเหนือวิกฤติ รวมทั้งผลการทดลองวัดค่าความลึกการไหลในทางน้ำก่อนถึงตะแกรงผันน้ำใน **ภาคผนวก จ** จะพบว่า

ที่อัตราการไหลเข้าสู่ตะแกรงผันน้ำ ($Q_s$) ใดๆ ความลึกการไหลที่หน้าตัดต่างๆก่อนถึงตะแกรงผันน้ำของการไหลเข้าสู่ตะแกรงแบบใต้วิกฤติจะมีค่าสูงกว่าการไหลเข้าสู่ตะแกรงแบบเหนือวิกฤติ เนื่องจากในการไหลของอัตราการไหลใดๆในทางน้ำ ความลึกการไหลของการไหลแบบใต้วิกฤติจะมีค่าสูงกว่าการไหลแบบเหนือวิกฤติโดยมีความลึกวิกฤติของแต่ละอัตราการไหลเป็นตัวแบ่ง

***ข) ความลึกการไหลเหนือตะแกรงผันน้ำ***

หากพิจารณาผลการทดลองวัดค่าความลึกการไหลในทางน้ำก่อนถึงตะแกรงผันน้ำในกรณีที่การไหลเข้าสู่ตะแกรงผันน้ำเป็นการไหลแบบใต้วิกฤติและเหนือวิกฤติใน **ภาคผนวก จ** จะพบว่า

สำหรับการไหลเข้าสู่ตะแกรงผันน้ำที่มีอัตราส่วนพื้นที่ช่องเปิดใดๆ ด้วยอัตราการไหลหนึ่งๆ ความลึกการไหลเหนือตะแกรงผันน้ำในกรณีที่การไหลเข้าสู่ตะแกรงเป็นการไหลแบบเหนือวิกฤติจะมีค่าต่ำกว่าความลึกการไหลเหนือตะแกรงผันน้ำในกรณีที่การไหลเข้าสู่ตะแกรงเป็นการไหลแบบใต้วิกฤติ เนื่องจากในการไหลแบบเหนือวิกฤตินั้นจะไหลด้วยความลึกการไหลต่ำๆเข้าสู่ตะแกรงผันน้ำ รวมทั้งพลังงานจำเพาะของการไหลสู่ตะแกรงผันน้ำจะมีค่าสูงกว่าการไหลแบบใต้วิกฤติ จึงมีศักย์ที่จะผันน้ำให้ไหลลอดผ่านตะแกรงผันน้ำไปได้มากกว่าส่งผลให้มีการลดลงของความลึกการไหลเหนือตะแกรงได้มากกว่ากรณีที่การไหลเข้าสู่ตะแกรงเป็นการไหลแบบใต้วิกฤติ

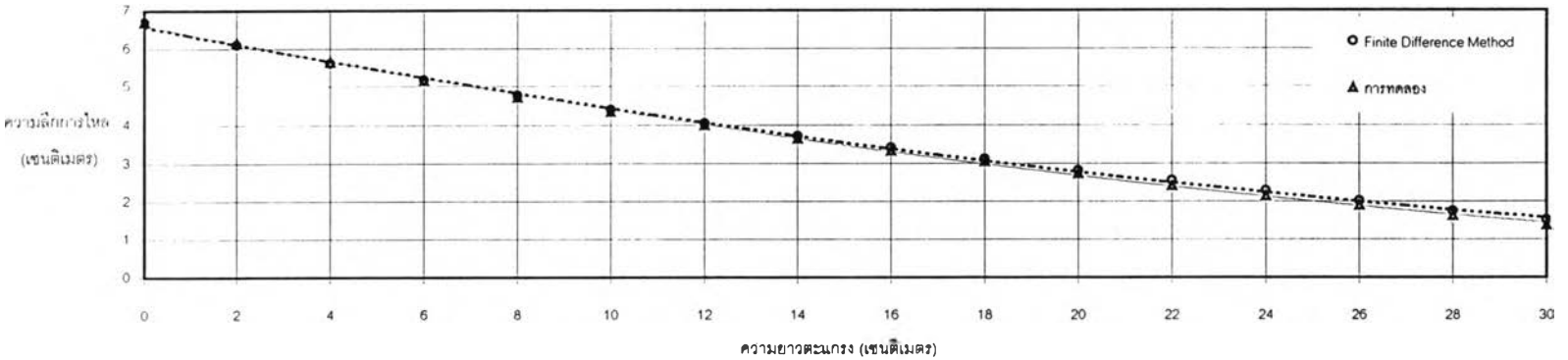
## 6.4 การเปรียบเทียบความลึกการไหลเหนือตะแกรงผันน้ำที่ได้จากวิธี Finite Difference Method และจากการทดลอง

### 6.4.1) เปรียบเทียบความลึกการไหลเหนือตะแกรงผันน้ำ

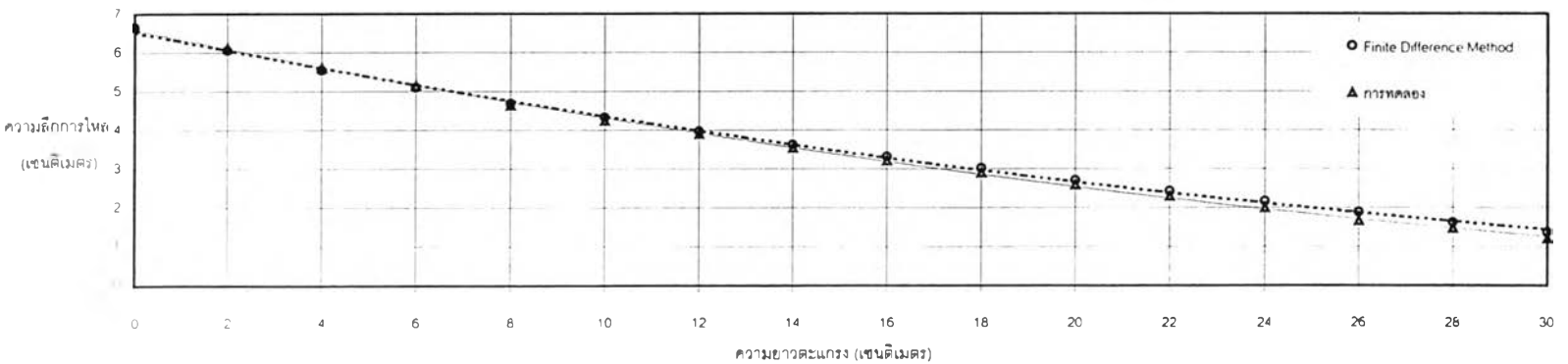
ในการศึกษาวิจัยในครั้งนี้ส่วนหนึ่งจะทำการศึกษาถึงความลึกการไหลเหนือตะแกรงผันน้ำทั้งจากการทดลองกับแบบจำลองและจากการคำนวณในทางทฤษฎี ผลการวัดค่าความลึกการไหลจากการทดลองแสดงไว้ใน **ภาคผนวก ข** ส่วนการคำนวณในทางทฤษฎีนั้นจะใช้วิธี Finite Difference Method ดังรายละเอียดในบทที่ 4 และวิธีการคำนวณใน **ภาคผนวก ฉ** เมื่อนำความลึกการไหลเหนือตะแกรงผันน้ำทั้งจากการทดลองกับแบบจำลองและจากการคำนวณในทางทฤษฎีมาแสดงความสัมพันธ์เทียบกับระยะต่างๆ ตามแนวตะแกรงผันน้ำ ซึ่งจะทำให้ได้กราฟหน้าข้างการไหลของผิวน้ำ (Water Surface Profiles) เหนือตะแกรงผันน้ำที่อัตราการไหลต่างๆ ของแต่ละชุดตะแกรงผันน้ำซึ่งได้แสดงตัวอย่างบางส่วนไว้ใน **ภาคผนวก ค**

จากรูป 6-27 ถึงรูป 6-36 เป็นตัวอย่างการเปรียบเทียบความลึกการไหลเหนือตะแกรงผันน้ำที่อัตราการไหลสูงสุดของแต่ละชุดตะแกรงผันน้ำ จะเห็นได้ว่าโดยส่วนใหญ่แล้วไม่ว่าการไหลเข้าสู่ตะแกรงผันน้ำจะเป็นการไหลแบบใต้วิกฤติหรือการไหลแบบเหนือวิกฤติ ช่วงต้นๆของความยาวตะแกรงผันน้ำ (ระหว่าง 0 และ 8 เซนติเมตร) ค่าความลึกการไหลที่คำนวณได้จากวิธี Finite Difference Method จะมีค่าน้อยกว่าความลึกการไหลที่วัดค่าได้จากการทดลองเพียงเล็กน้อย แต่เมื่อการไหลผ่านช่วงต้นๆดังกล่าวของตะแกรงผันน้ำมาแล้ว ความลึกการไหลที่คำนวณได้จากวิธี Finite Difference Method จะมีค่ามากกว่าความลึกการไหลที่วัดค่าได้จากการทดลองและเป็นเช่นนี้ตลอดไปจนสุดความยาวของตะแกรงผันน้ำ สำหรับสาเหตุที่ส่วนใหญ่แล้วความลึกการไหลที่คำนวณได้ได้จากวิธี Finite Difference Method มีค่ามากกว่าความลึกการไหลที่วัดค่าได้จากการทดลองนั้นสามารถพิจารณาจาก สมมติฐานเบื้องต้นของการศึกษา (ดูบทที่ 4 ประกอบ) ที่กำหนดเอาไว้ว่า ค่าพลังงานจำเพาะของการไหลในทางน้ำที่มีตะแกรงผันน้ำอยู่ที่ท้องน้ำถูกสมมติให้มีค่าคงที่ ซึ่งในแง่ของความเป็นจริงแล้วในสภาพการไหลใดๆ โดยเฉพาะการไหลที่มีอัตราการไหล

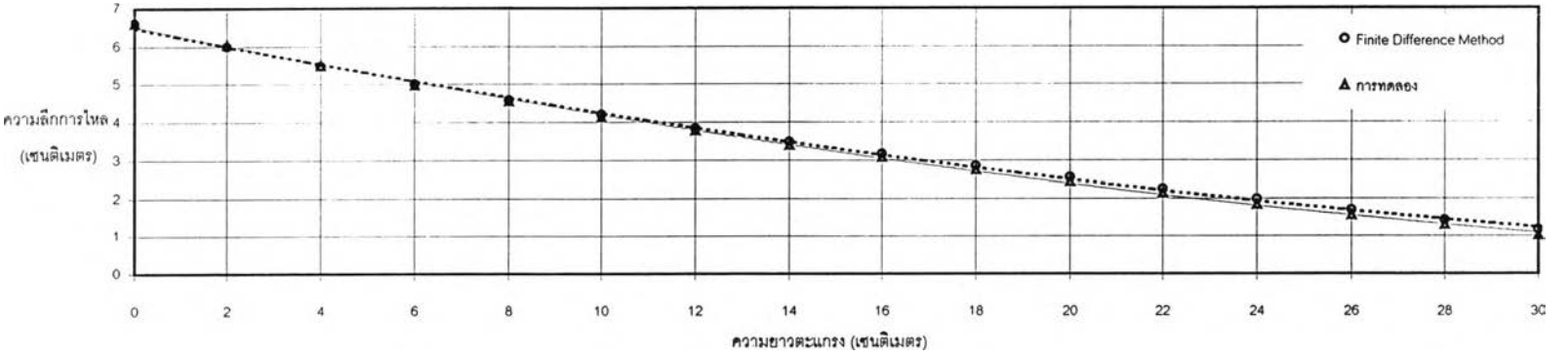
รูป 6-27 ความสัมพันธ์ระหว่างความลึกการไหลกับความยาวของตะแกรงผันน้ำที่มี ε = 0.2083 สำหรับการไหลแบบใต้วิกฤติที่มีอัตราการไหลเข้าสู่ตะแกรง 0.0459 $m^3/s$.



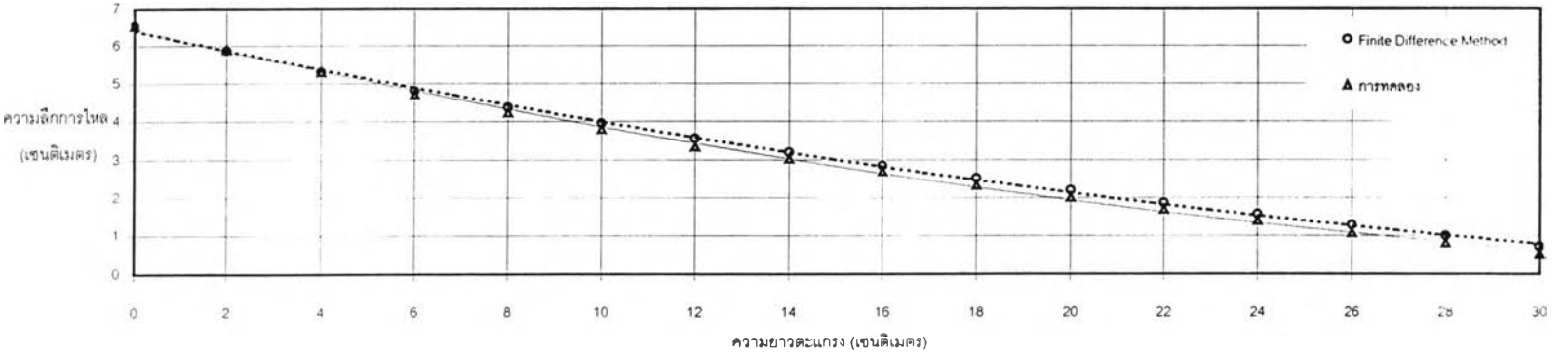

รูป 6-28 ความสัมพันธ์ระหว่างความลึกการไหลกับความยาวของตะแกรงผันน้ำที่มี ε = 0.2422 สำหรับการไหลแบบใต้วิกฤติที่มีอัตราการไหลเข้าสู่ตะแกรง 0.0458 $m^3/s$



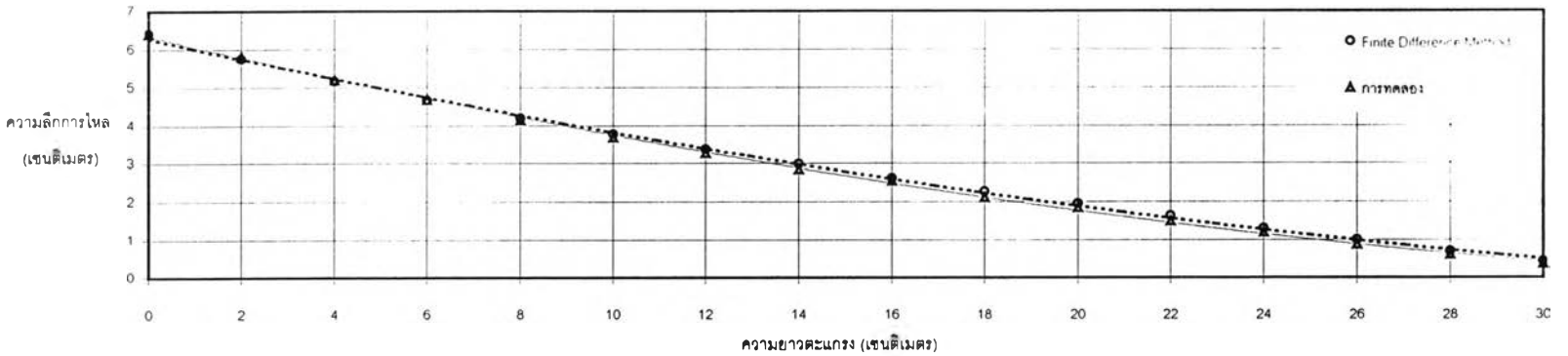
รูป 6-29 ความสัมพันธ์ระหว่างความลึกการไหลกับความยาวของตะแกรงผันน้ำที่มี ε = 0.2754 สำหรับการไหลแบบใต้วิกฤติที่มีอัตราการไหลเข้าสู่ตะแกรง 0.0458 $m^3/s$



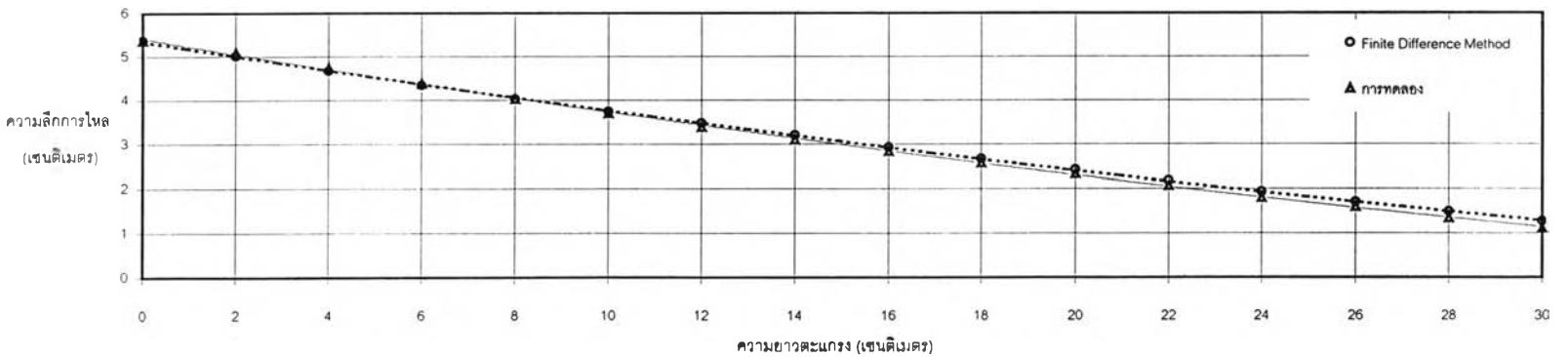

รูป 6-30 ความสัมพันธ์ระหว่างความลึกการไหลกับความยาวของตะแกรงผันน้ำที่มี ε = 0.3112 สำหรับการไหลแบบใต้วิกฤติที่มีอัตราการไหลเข้าสู่ตะแกรง 0.0458 $m^3/s$.



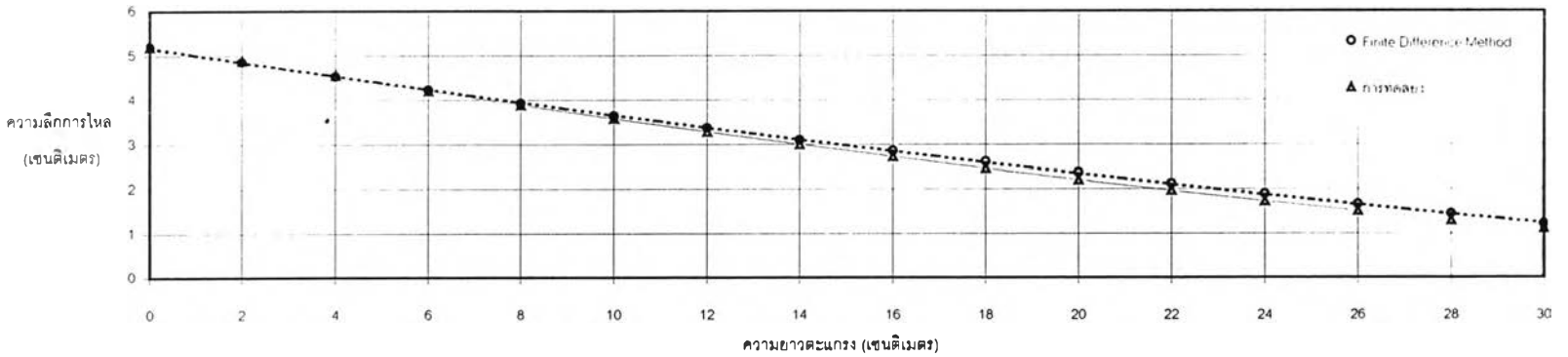
รูป 6-31 ความสัมพันธ์ระหว่างความลึกการไหลกับความยาวของตะแกรงผันน้ำที่มี ε = 0.3804 สำหรับการไหลแบบใต้วิกฤติที่มีอัตราการไหลเข้าสู่ตะแกรง 0.0459 $m^3/s$.



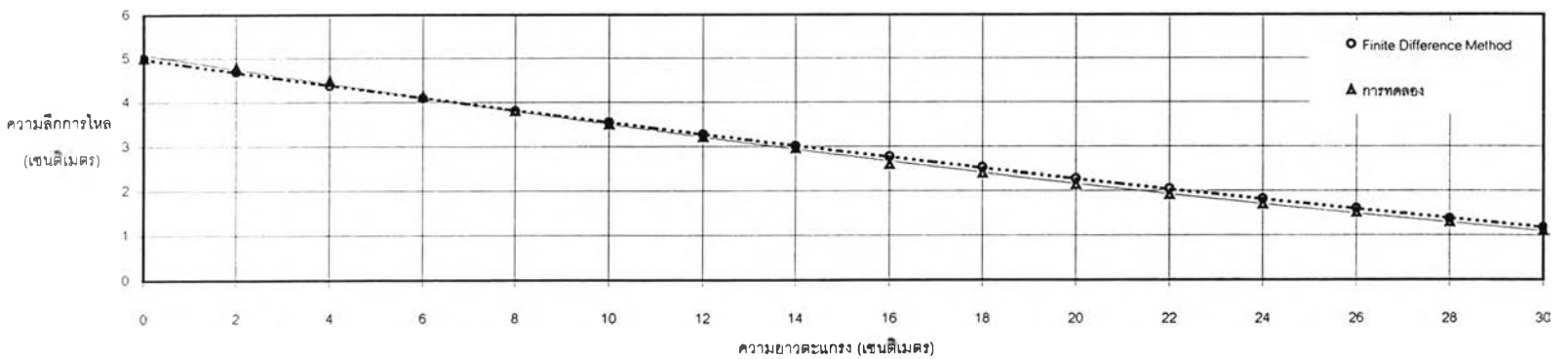

รูป 6-32 ความสัมพันธ์ระหว่างความลึกการไหลกับความยาวของตะแกรงผันน้ำที่มี ε = 0.2083 สำหรับการไหลแบบเหนือวิกฤติที่มีอัตราการไหลเข้าสู่ตะแกรง 0.0415 $m^3/s$.



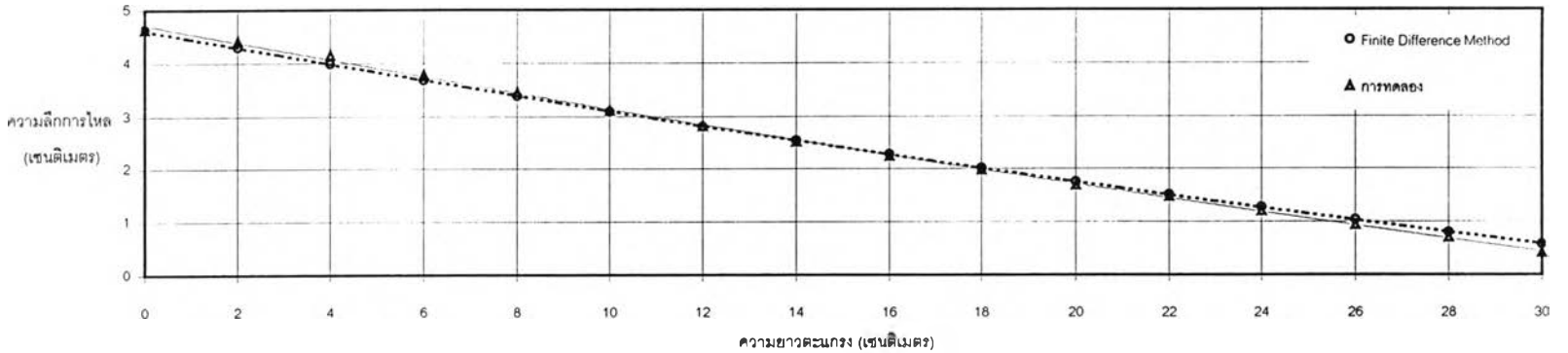
รูป 6-33 ความสัมพันธ์ระหว่างความลึกการไหลกับความยาวของตะแกรงผันน้ำที่มี ε = 0.2422 สำหรับการไหลแบบเหนือวิกฤติที่มีอัตราการไหลเข้าสู่ตะแกรง 0.0415 m /s.



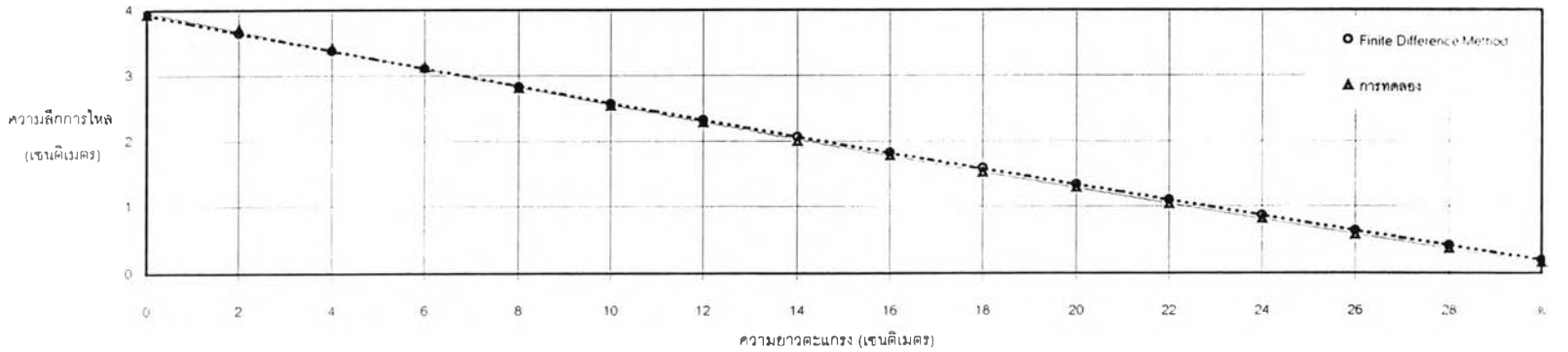

รูป 6-34 ความสัมพันธ์ระหว่างความลึกการไหลกับความยาวของตะแกรงผันน้ำที่มี ε = 0.2754 สำหรับการไหลแบบเหนือวิกฤติที่มีอัตราการไหลเข้าสู่ตะแกรง 0.0415 $m^3$/s.



รูป 6-35 ความสัมพันธ์ระหว่างความลึกการไหลกับความยาวของตะแกรงผันน้ำที่มี ε = 0.3112 สำหรับการไหลแบบเหนือวิกฤติที่มีอัตราการไหลเข้าสู่ตะแกรง 0.0415 $m^3/s$.




รูป 6-36 ความสัมพันธ์ระหว่างความลึกการไหลกับความยาวของตะแกรงผันน้ำที่มี ε = 03804 สำหรับการไหลแบบเหนือวิกฤติที่มีอัตราการไหลเข้าสู่ตะแกรง 0.0415 $m^3/s$.



เปลี่ยนแปลงไป ตามความยาวของทางน้ำย่อมจะมีการสูญเสียพลังงานเกิดขึ้นเสมอ ดังนั้นในการไหลลอดผ่านตะแกรงผันน้ำนั้นค่าพลังงานจำเพาะของการไหลเหนือตะแกรงผันน้ำย่อมมีค่าลดลงเรื่อยๆตามแนวตะแกรงผันน้ำ และการไหลลอดผ่านตะแกรงผันน้ำจะเป็นการไหลด้วยความเร็วสูงเนื่องจากเป็นการไหลแบบเหนือวิกฤติ องค์ประกอบของพลังงานจำเพาะของการไหลที่อยู่ในรูปของศักย์ความเร็ว (Velocity Head) จึงเพิ่มสูงขึ้น ประกอบกับมีการสูญเสียพลังงาน (Energy Loss) เกิดขึ้น จึงทำให้ความลึกการไหลของการไหลเหนือตะแกรงผันน้ำซึ่งเป็นศักย์ความสูง (Elevation Head) ลดลง ดังนั้นจึงทำให้ความลึกการไหลที่วัดค่าได้จากการทดลอง มีค่าน้อยกว่าความลึกการไหลคำนวณได้ได้จากวิธี Finite Difference Method

### 6.4.2)ความคลาดเคลื่อนของความลึกการไหลเหนือตะแกรงผันน้ำที่คำนวณได้จากวิธี Finite Difference Method เทียบกับที่วัดค่าได้จากการทดลอง

ในการหาค่าคลาดเคลื่อน (Error) ของความลึกการไหลเหนือตะแกรงผันน้ำจะคำนวณว่าความลึกการไหลที่คำนวณได้จากวิธี Finite Difference Method มีค่าแตกต่างไปจากค่าได้จากการทดลองเพียงใด จากนั้นจึงนำเอาค่าคลาดเคลื่อนที่คำนวณได้จากแต่ละหน้าตัดของอัตราการไหลหนึ่งๆ มาหาค่าเฉลี่ยซึ่งค่าเฉลี่ยนี้จะเป็นตัวแทนของค่าคลาดเคลื่อนทั้งหมดของความลึกการไหลเหนือตะแกรงผันน้ำชุดนั้นๆ ซึ่งได้ผลดังนี้

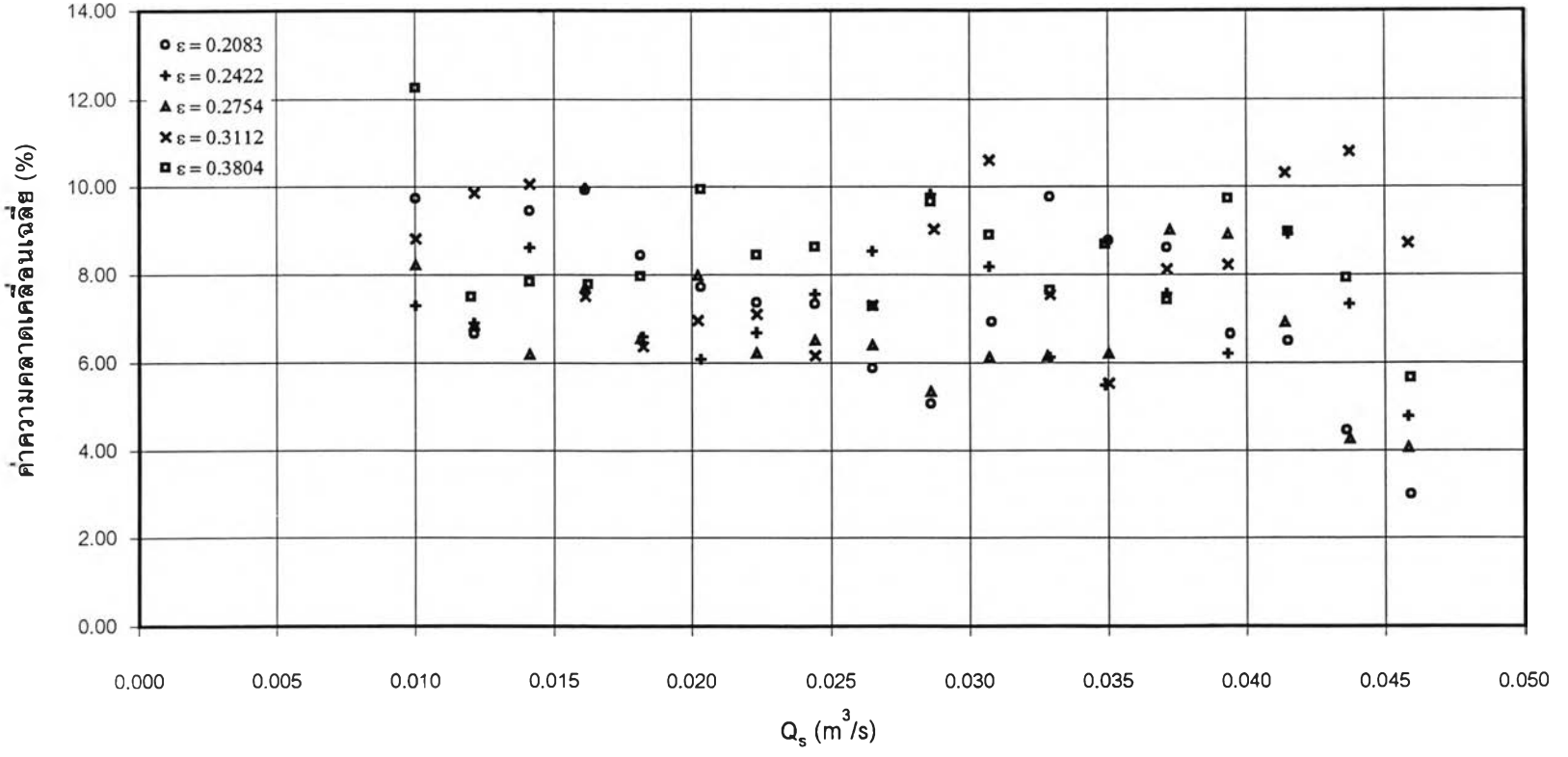
#### *ก) การไหลแบบใต้วิกฤติสู่ตะแกรงผันน้ำ*

จากตาราง 6-1 ซึ่งแสดงค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยของความลึกการไหลเหนือตะแกรงผันน้ำที่คำนวณได้จากวิธี Finite Difference Method เทียบกับที่วัดค่าได้จากการทดลองกับแบบจำลองในกรณีที่การไหลสู่ตะแกรงผันน้ำเป็นการไหลแบบใต้วิกฤติ เมื่อนำค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยของความลึกการไหลเหนือตะแกรงผันน้ำไปแสดงความสัมพันธ์กับอัตราการไหลเข้าสู่ตะแกรงผันน้ำในช่วง

ตาราง 6-1 ค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยของความลึกการไหลเหนือตะแกรงผันน้ำที่คำนวณได้จากวิธี Finite Difference Method เทียบกับที่ได้จากการทดลอง ในกรณีที่การไหลเข้าสู่ตะแกรงผันน้ำเป็นการไหลแบบใต้วิกฤติ (Subcritical Flow)

| ε = 0.2083 | | ε = 0.2422 | | ε = 0.2754 | | ε = 0.3112 | | ε = 0.3804 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $Q_e$ ($m^3/s$) | Error (%) | $Q_e$ ($m^3/s$) | Error (%) | $Q_e$ ($m^3/s$) | Error (%) | $Q_e$ ($m^3/s$) | Error (%) | $Q_e$ ($m^3/s$) | Error (%) |
| 0.0100 | 9.75 | 0.0100 | 7.30 | 0.0100 | 8.23 | 0.0100 | 8.82 | 0.0100 | 12.27 |
| 0.0121 | 6.68 | 0.0121 | 6.91 | 0.0121 | 6.86 | 0.0121 | 9.86 | 0.0120 | 7.51 |
| 0.0141 | 9.47 | 0.0141 | 8.63 | 0.0141 | 6.19 | 0.0141 | 10.06 | 0.0141 | 7.84 |
| 0.0161 | 9.93 | 0.0161 | 9.98 | 0.0161 | 7.72 | 0.0161 | 7.52 | 0.0162 | 7.79 |
| 0.0181 | 8.45 | 0.0182 | 6.61 | 0.0181 | 6.57 | 0.0182 | 6.38 | 0.0181 | 7.97 |
| 0.0203 | 7.73 | 0.0203 | 6.08 | 0.0202 | 7.99 | 0.0202 | 6.97 | 0.0203 | 9.95 |
| 0.0223 | 7.37 | 0.0223 | 6.69 | 0.0223 | 6.23 | 0.0223 | 7.10 | 0.0223 | 8.45 |
| 0.0244 | 7.35 | 0.0244 | 7.56 | 0.0244 | 6.52 | 0.0244 | 6.17 | 0.0244 | 8.64 |
| 0.0265 | 5.89 | 0.0265 | 8.54 | 0.0265 | 6.41 | 0.0265 | 7.30 | 0.0265 | 7.29 |
| 0.0286 | 5.07 | 0.0286 | 9.83 | 0.0286 | 5.34 | 0.0287 | 9.04 | 0.0286 | 9.66 |
| 0.0308 | 6.94 | 0.0307 | 8.18 | 0.0307 | 6.13 | 0.0307 | 10.61 | 0.0307 | 8.91 |
| 0.0329 | 9.78 | 0.0329 | 6.12 | 0.0328 | 6.16 | 0.0329 | 7.55 | 0.0329 | 7.64 |
| 0.0350 | 8.78 | 0.0349 | 5.49 | 0.0350 | 6.21 | 0.0350 | 5.53 | 0.0349 | 8.70 |
| 0.0371 | 8.63 | 0.0371 | 7.57 | 0.0372 | 9.03 | 0.0371 | 8.13 | 0.0371 | 7.43 |
| 0.0394 | 6.66 | 0.0393 | 6.21 | 0.0393 | 8.92 | 0.0393 | 8.23 | 0.0393 | 9.73 |
| 0.0415 | 6.51 | 0.0415 | 8.92 | 0.0414 | 6.92 | 0.0414 | 10.32 | 0.0415 | 8.98 |
| 0.0436 | 4.47 | 0.0437 | 7.33 | 0.0437 | 4.26 | 0.0437 | 10.80 | 0.0436 | 7.93 |
| 0.0459 | 3.00 | 0.0458 | 4.78 | 0.0458 | 4.07 | 0.0458 | 8.72 | 0.0459 | 5.65 |
| เฉลี่ย (%) | 7.36 | เฉลี่ย (%) | 7.37 | เฉลี่ย (%) | 6.65 | เฉลี่ย (%) | 8.28 | เฉลี่ย (%) | 8.46 |

รูป 6-37 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยของความลึกการไหลเหนือตะแกรงผันน้ำ (ที่คำนวณได้จาก Finite Difference Method เทียบกับที่ได้จากการทดลอง) และอัตราการไหลเข้าสู่ตะแกรงผันน้ำ ($Q_s$) ในกรณีที่การไหลเข้าเป็นการไหลแบบใต้วิกฤติ



0.0100 $m^3/s.$ และ 0.0459 $m^3/s.$ ดังรูป 6-37 จะเห็นได้ว่าโดยส่วนใหญ่แล้วค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยของความลึกการไหลเหนือตะแกรงผันน้ำจะมีการกระจายตัวอยู่ระหว่าง 5 % ถึง 10 %

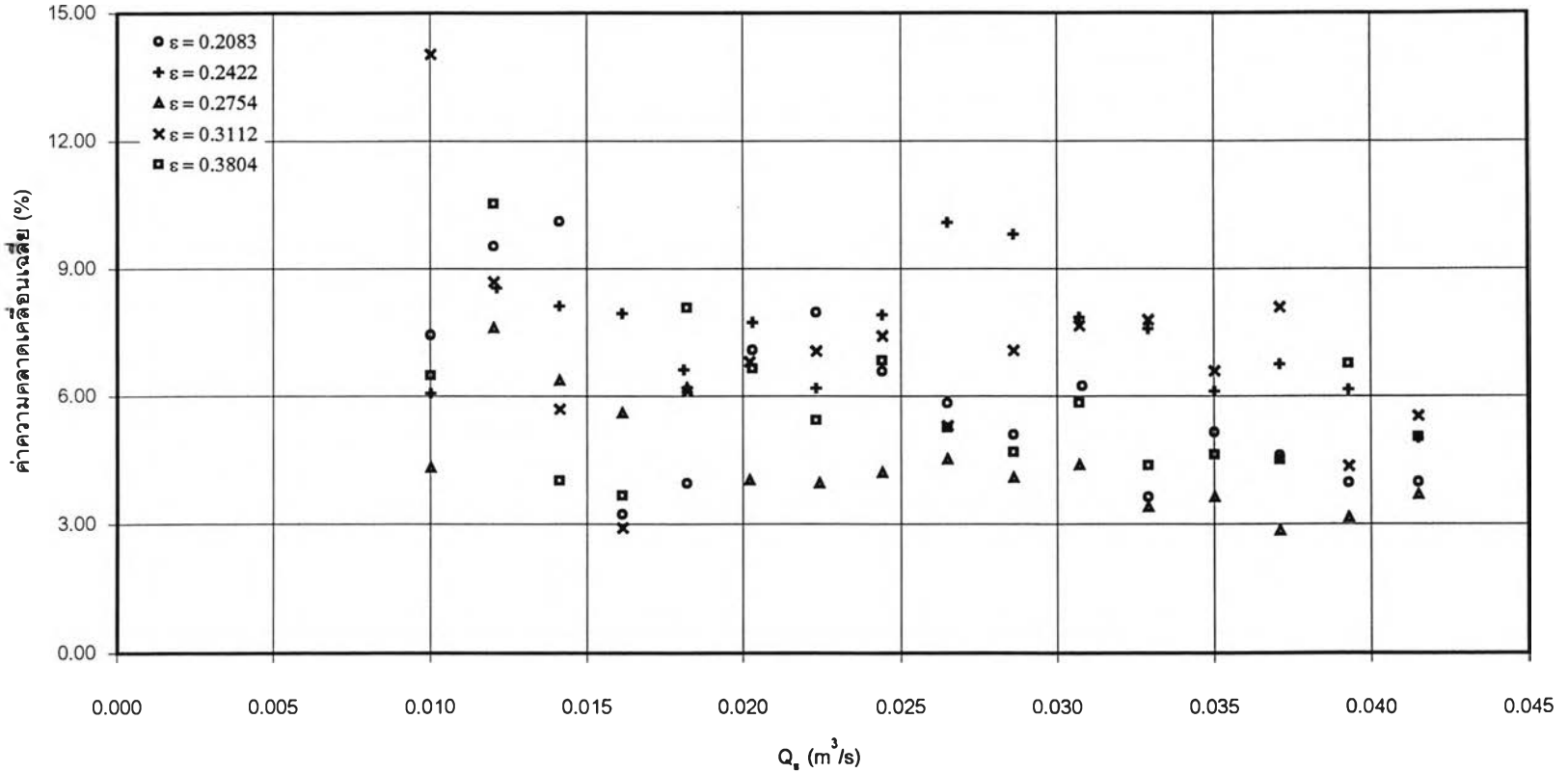
***ข) การไหลแบบเหนือวิกฤติสู่ตะแกรงผันน้ำ***

จากตาราง 6-2 ซึ่งแสดงค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยของความลึกการไหลเหนือตะแกรงผันน้ำที่คำนวณได้จากวิธี Finite Difference Method เทียบกับที่วัดค่าได้จากการทดลองกับแบบจำลอง ในกรณีที่การไหลสู่ตะแกรงผันน้ำเป็นการไหลแบบเหนือวิกฤติ เมื่อนำค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยของความลึกการไหลเหนือตะแกรงผันน้ำไปแสดงความสัมพันธ์กับอัตราการไหลเข้าสู่ตะแกรงผันน้ำในช่วง 0.0100 $m^3/s.$ และ 0.0415 $m^3/s.$ ดังรูป 6-38 จะเห็นได้ว่าโดยส่วนใหญ่แล้วค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยของความลึกการไหลเหนือตะแกรงผันน้ำจะมีการกระจายตัวอยู่ระหว่าง 3 % ถึง 9 %

ตาราง 6-2 ค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยของความลึกการไหลเหนือตะแกรงผันน้ำที่คำนวณได้จากวิธี Finite Difference Method เทียบกับที่ได้จากการทดลอง ในกรณีที่การไหลเข้าสู่ตะแกรงผันน้ำเป็นการไหลแบบเหนือวิกฤติ (Supercritical Flow)

| ε = 0.2083 | | ε = 0.2422 | | ε = 0.2754 | | ε = 0.3112 | | ε = 0.3804 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $Q_e$ ($m^3/s$) | Error (%) | $Q_e$ ($m^3/s$) | Error (%) | $Q_e$ ($m^3/s$) | Error (%) | $Q_e$ ($m^3/s$) | Error (%) | $Q_e$ ($m^3/s$) | Error (%) |
| 0.0100 | 7.45 | 0.0100 | 6.08 | 0.0100 | 4.34 | 0.0100 | 14.04 | 0.0100 | 6.51 |
| 0.0120 | 9.54 | 0.0121 | 8.54 | 0.0120 | 7.61 | 0.0120 | 8.68 | 0.0120 | 10.53 |
| 0.0141 | 10.12 | 0.0141 | 8.11 | 0.0141 | 6.38 | 0.0141 | 5.70 | 0.0141 | 4.03 |
| 0.0161 | 3.23 | 0.0161 | 7.94 | 0.0161 | 5.61 | 0.0161 | 2.91 | 0.0161 | 3.68 |
| 0.0182 | 3.97 | 0.0181 | 6.63 | 0.0182 | 6.21 | 0.0182 | 6.12 | 0.0182 | 8.07 |
| 0.0203 | 7.11 | 0.0203 | 7.74 | 0.0202 | 4.04 | 0.0202 | 6.82 | 0.0203 | 6.67 |
| 0.0223 | 7.97 | 0.0223 | 6.19 | 0.0224 | 3.97 | 0.0223 | 7.07 | 0.0223 | 5.44 |
| 0.0244 | 6.61 | 0.0244 | 7.91 | 0.0244 | 4.22 | 0.0244 | 7.43 | 0.0244 | 6.85 |
| 0.0265 | 5.85 | 0.0265 | 10.09 | 0.0265 | 4.52 | 0.0265 | 5.31 | 0.0265 | 5.26 |
| 0.0286 | 5.10 | 0.0286 | 9.81 | 0.0286 | 4.10 | 0.0286 | 7.09 | 0.0286 | 4.69 |
| 0.0308 | 6.26 | 0.0307 | 7.85 | 0.0307 | 4.40 | 0.0307 | 7.66 | 0.0307 | 5.85 |
| 0.0329 | 3.65 | 0.0329 | 7.59 | 0.0329 | 3.42 | 0.0329 | 7.79 | 0.0329 | 4.38 |
| 0.0350 | 5.15 | 0.0350 | 6.13 | 0.0350 | 3.65 | 0.0350 | 6.60 | 0.0350 | 4.63 |
| 0.0371 | 4.61 | 0.0371 | 6.77 | 0.0371 | 2.86 | 0.0371 | 8.08 | 0.0371 | 4.51 |
| 0.0393 | 3.98 | 0.0393 | 6.16 | 0.0393 | 3.16 | 0.0393 | 4.37 | 0.0393 | 6.78 |
| 0.0415 | 4.00 | 0.0415 | 5.01 | 0.0415 | 3.70 | 0.0415 | 5.54 | 0.0415 | 5.04 |
| เฉลี่ย (%) | 5.91 | เฉลี่ย (%) | 7.41 | เฉลี่ย (%) | 4.51 | เฉลี่ย (%) | 6.95 | เฉลี่ย (%) | 5.81 |

รูป 6-38 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยของความลึกการไหลเหนือตะแกรงผันน้ำ
(ที่คำนวณได้จาก Finite Difference Method เทียบกับที่ได้จากการทดลอง)และ
อัตราการไหลเข้าสู่ตะแกรงผันน้ำ ($Q_s$).ในกรณีที่การไหลเข้าเป็นการไหลแบบเหนือวิกฤติ



## 6.5 การเปรียบเทียบความลึกการไหลเหนือตะแกรงผันน้ำที่ได้จากวิธี Finite Difference Method และจากวิธี Analytical โดยใช้สมการที่ได้จาก Mostkow

ในการเปรียบเทียบความลึกการไหลเหนือตะแกรงผันน้ำ นอกจากจะทำการเปรียบเทียบความลึกการไหลที่คำนวณได้โดยใช้วิธี Finite Difference Method กับที่วัดค่าได้จากการทดลองแล้ว ยังได้มีการเปรียบเทียบความลึกการไหลที่คำนวณได้โดยใช้วิธี Finite Difference Method กับที่คำนวณได้จากสมการการไหลผ่านตะแกรงผันน้ำของ Mostkow ซึ่งเป็นการคำนวณโดยสมการที่ได้จากวิธี Analytical

สำหรับสมการของ Mostkow เป็นสมการที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความลึกการไหลเหนือตะแกรงผันน้ำกับระยะต่างๆตามแนวตะแกรงผันน้ำ ซึ่งได้แสดงไว้ในสมการ (2-11) หรือสมการ (3-4) นั่นคือ

$$x = \frac{E}{\varepsilon c}\left(\frac{y_1}{E}\sqrt{1-\frac{y_1}{E}} - \frac{y}{E}\sqrt{1-\frac{y}{E}}\right)$$

โดย $x$ = ระยะทางตามแนวตะแกรงผันน้ำ

$E$ = พลังงานจำเพาะของการไหลสู่ตะแกรงผันน้ำ ($E_o$)

$\varepsilon$ = อัตราส่วนพื้นที่ช่องเปิดของตะแกรงผันน้ำ

$c$ = สัมประสิทธิ์อัตราการไหลลอดผ่านตะแกรงผันน้ำ ($C_D$)

$y_1$ = ความลึกการไหลที่จุดเริ่มต้นของตะแกรงผันน้ำ ($y_{x=0\,cm}$)

$y$ = ความลึกการไหลที่ระยะ x ตามแนวตะแกรงผันน้ำ

โดยในการคำนวณจะใช้ข้อมูลบางส่วนที่ได้จากผลการทดลองเช่นเดียวกับวิธีคำนวณความลึกการไหลเหนือตะแกรงผันน้ำโดยใช้วิธี Finite Difference Method คือ $E_o$ และ $y_{x=0\,cm}$

สำหรับผลการคำนวณความลึกการไหลเหนือตะแกรงผันน้ำโดยการใช้สมการของ Mostkow ของตะแกรงผันน้ำที่มีอัตราส่วนพื้นที่ช่องเปิด (ε) ต่างๆ ได้ทำการเลือกค่าอัตราการไหลเข้าสู่ตะแกรงผันน้ำ ($Q_s$) บางค่ามาทำการคำนวณและแสดงผลการคำนวณไว้ในตาราง ข-11 ถึงตาราง ข-20 ใน **ภาคผนวก ข**

จากผลการเปรียบเทียบความลึกการไหลเหนือตะแกรงผันน้ำที่คำนวณได้โดยใช้วิธี Finite Difference Method กับที่คำนวณได้จากสมการการไหลผ่านตะแกรงผันน้ำของ Mostkow จะพบว่า โดยส่วนใหญ่แล้วในแต่ละหน้าตัดเหนือตะแกรงผันน้ำที่ได้ทำการเปรียบเทียบความลึกการไหลค่าความแตกต่าง จะมีค่าไม่เกิน 0.01 เซนติเมตร ไม่ว่าการไหลเข้าสู่ตะแกรงผันน้ำจะเป็นการไหลแบบใต้วิกฤติหรือแบบเหนือวิกฤติ

นอกจากนี้แล้วในตาราง ข-11 ถึงตาราง ข-20 ยังได้มีการคำนวณค่าความคลาดเคลื่อนของความลึกการไหลเหนือตะแกรงผันน้ำที่คำนวณได้โดยใช้วิธี Finite Difference Method เทียบกับที่คำนวณได้จากสมการการไหลผ่านตะแกรงผันน้ำของ Mostkow ซึ่งได้นำค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยดังกล่าวของแต่ละอัตราการไหลเข้าสู่ตะแกรงผันน้ำ ($Q_s$) สำหรับตะแกรงผันน้ำแต่ละขนาดมาแสดงไว้ในตาราง 6-3 และตาราง 6-4 สำหรับการไหลเข้าสู่ตะแกรงผันน้ำแบบใต้วิกฤติและเหนือวิกฤติ ตามลำดับ และเมื่อนำค่าความคลาดเคลื่อนมาแสดงความสัมพันธ์ในรูปของกราฟจะได้ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยและอัตราการไหลเข้าสู่ตะแกรงผันน้ำ ($Q_s$) ดังรูป 6-39 และรูป 6-40 สำหรับการไหลเข้าสู่ตะแกรงผันน้ำแบบใต้วิกฤติและเหนือวิกฤติตามลำดับ ซึ่งจากรูปทั้งสองจะพบว่า

ก) ในการไหลเข้าสู่ตะแกรงผันน้ำสำหรับกรณีที่เป็นการไหลแบบใต้วิกฤติ ค่าความคลาดเคลื่อนของความลึกการไหลเหนือตะแกรงผันน้ำที่ได้จากการคำนวณโดยใช้วิธี Finite Difference Method เทียบกับที่คำนวณได้จากสมการการไหลผ่านตะแกรงผันน้ำของ Mostkow จะมีการกระจายตัวส่วนใหญ่อยู่ระหว่างประมาณ 0 – 0.35 %

ข) ในการไหลเข้าสู่ตะแกรงผันน้ำสำหรับกรณีที่เป็นการไหลแบบเหนือวิกฤติ ค่าความคลาดเคลื่อนของความลึกการไหลเหนือตะแกรงผันน้ำที่คำนวณได้โดยใช้วิธี Finite Difference Method เทียบกับที่คำนวณได้จากสมการการไหลผ่านตะแกรงผันน้ำของ Mostkow จะมีการกระจายตัวส่วนใหญ่อยู่ระหว่างประมาณ 0 – 0.25 %

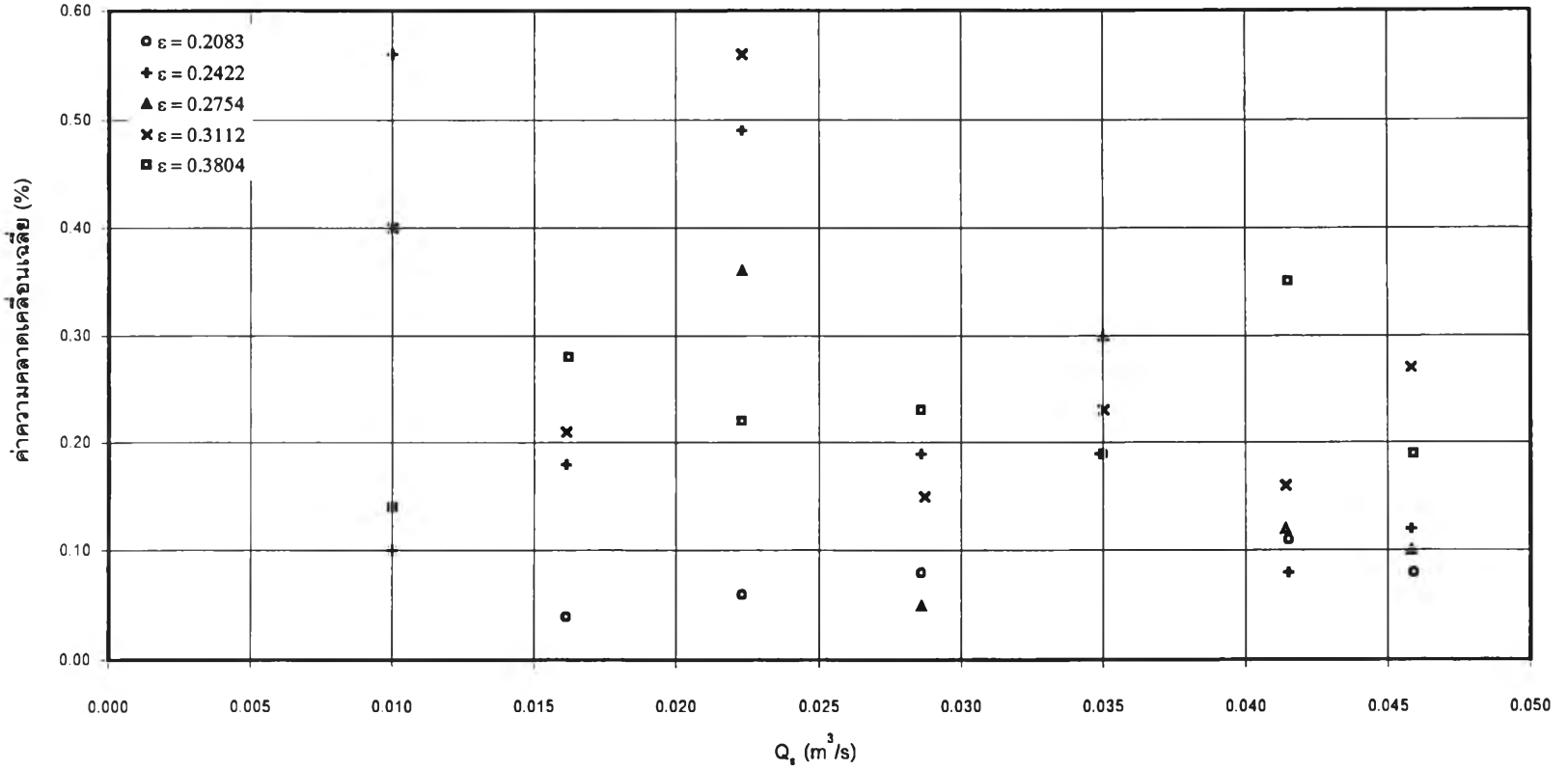
ตาราง 6-3 ค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยของความลึกการไหลเหนือตะแกรงผันน้ำที่คำนวณได้จากวิธี Finite Difference Method เทียบกับที่ได้จากวิธี Analytical โดยใช้สมการของ Mostkow ในกรณีที่การไหลเข้าสู่ตะแกรงผันน้ำเป็นการไหลแบบใต้วิกฤติ (Subcritical Flow)

| ε = 0.2083 | | ε = 0.2422 | | ε = 0.2754 | | ε = 0.3112 | | ε = 0.3804 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $Q_e$ ($m^3/s$) | Error (%) | $Q_e$ ($m^3/s$) | Error (%) | $Q_e$ ($m^3/s$) | Error (%) | $Q_e$ ($m^3/s$) | Error (%) | $Q_e$ ($m^3/s$) | Error (%) |
| 0.0100 | 0.10 | 0.0100 | 0.56 | 0.0100 | 0.88 | 0.0100 | 0.40 | 0.0100 | 0.14 |
| 0.0161 | 0.04 | 0.0161 | 0.18 | 0.0161 | 0.69 | 0.0161 | 0.21 | 0.0162 | 0.28 |
| 0.0223 | 0.06 | 0.0223 | 0.49 | 0.0223 | 0.36 | 0.0223 | 0.56 | 0.0223 | 0.22 |
| 0.0286 | 0.08 | 0.0286 | 0.19 | 0.0286 | 0.05 | 0.0287 | 0.15 | 0.0286 | 0.23 |
| 0.0350 | 0.19 | 0.0349 | 0.19 | 0.0350 | 0.30 | 0.0350 | 0.23 | 0.0349 | 0.78 |
| 0.0415 | 0.11 | 0.0415 | 0.08 | 0.0414 | 0.12 | 0.0414 | 0.16 | 0.0415 | 0.35 |
| 0.0459 | 0.08 | 0.0458 | 0.12 | 0.0458 | 0.10 | 0.0458 | 0.27 | 0.0459 | 0.19 |
| เฉลี่ย (%) | 0.09 | เฉลี่ย (%) | 0.26 | เฉลี่ย (%) | 0.36 | เฉลี่ย (%) | 0.28 | เฉลี่ย (%) | 0.31 |

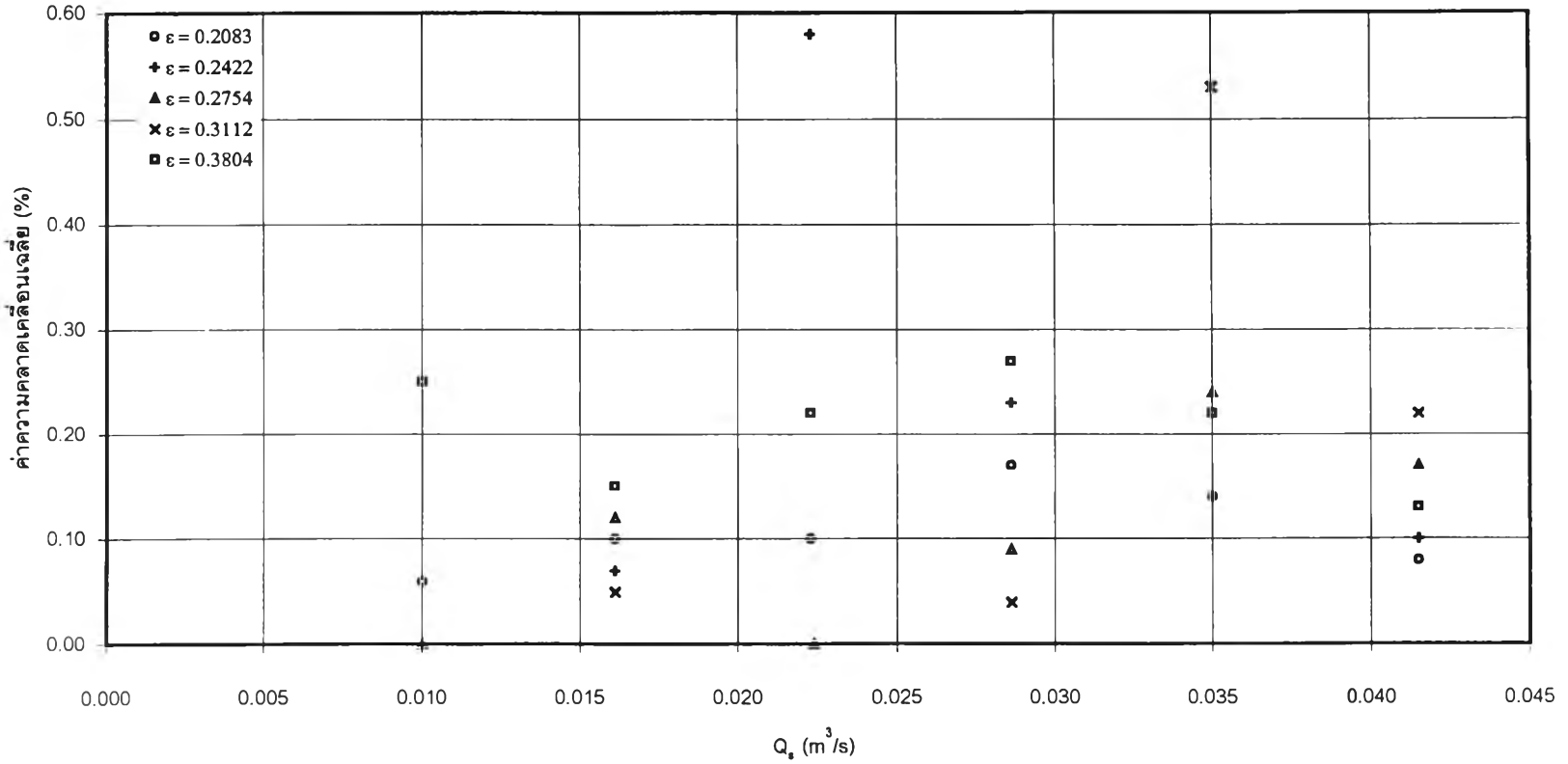
ตาราง 6-4 ค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยของความลึกการไหลเหนือตะแกรงผันน้ำที่คำนวณได้จากวิธี Finite Difference Method เทียบกับที่ได้จากวิธี Analytical โดยใช้สมการของ Mostkow ในกรณีที่การไหลเข้าสู่ตะแกรงผันน้ำเป็นการไหลแบบเหนือวิกฤติ (Supercritical Flow)

| ε = 0.2083 | | ε = 0.2422 | | ε = 0.2754 | | ε = 0.3112 | | ε = 0.3804 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $Q_e$ ($m^3/s$) | Error (%) | $Q_e$ ($m^3/s$) | Error (%) | $Q_e$ ($m^3/s$) | Error (%) | $Q_e$ ($m^3/s$) | Error (%) | $Q_e$ ($m^3/s$) | Error (%) |
| 0.0100 | 0.06 | 0.0100 | 0.00 | 0.0100 | 0.00 | 0.0100 | 1.20 | 0.0100 | 0.25 |
| 0.0161 | 0.10 | 0.0161 | 0.07 | 0.0161 | 0.12 | 0.0161 | 0.05 | 0.0161 | 0.15 |
| 0.0223 | 0.10 | 0.0223 | 0.58 | 0.0224 | 0.00 | 0.0223 | 2.63 | 0.0223 | 0.22 |
| 0.0286 | 0.17 | 0.0286 | 0.23 | 0.0286 | 0.09 | 0.0286 | 0.04 | 0.0286 | 0.27 |
| 0.0350 | 0.14 | 0.0350 | 0.14 | 0.0350 | 0.24 | 0.0350 | 0.53 | 0.0350 | 0.22 |
| 0.0415 | 0.08 | 0.0415 | 0.10 | 0.0415 | 0.17 | 0.0415 | 0.22 | 0.0415 | 0.13 |
| เฉลี่ย (%) | 0.11 | เฉลี่ย (%) | 0.19 | เฉลี่ย (%) | 0.10 | เฉลี่ย (%) | 0.78 | เฉลี่ย (%) | 0.21 |

รูป 6-39 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยของความลึกการไหลเหนือตะแกรงผันน้ำ
(ที่คำนวณได้จากFinite Difference Method เทียบกับที่ได้จากสมการของ Mostkow)
และอัตราการไหลเข้าสู่ตะแกรงผันน้ำ ($Q_s$)ในกรณีที่การไหลเข้าเป็นการไหลแบบใต้วิกฤติ



รูป 6-40 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยของความลึกการไหลเหนือตะแกรงผันน้ำ(ที่
คำนวณได้จาก Finite Difference Method เทียบกับที่ได้จากสมการของ Mostkow)
และอัตราการไหลเข้าสู่ตะแกรง($Q_s$) ในกรณีที่การไหลเข้าเป็นการไหลแบบเหนือวิกฤติ



## 6.6 Water Surface Profiles ของการไหลในทางน้ำที่มีตะแกรงผันน้ำอยู่ที่ท้องน้ำ

จากรูป 6-41 ถึงรูป 6-50 เป็นการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความลึกการไหลกับระยะต่างๆในทางน้ำเทียบกับจุดเริ่มต้นของตะแกรงผันน้ำ (x = 0 cm.) โดยจะเริ่มตั้งแต่ x = -120 cm. ไปจนถึง x = +72 cm. ซึ่งสามารถสรุปผลการศึกษาได้ดังนี้

### 6.6.1) กรณีการไหลเข้าสู่ตะแกรงผันน้ำเป็นการไหลแบบใต้วิกฤติ

***ก) บริเวณด้านเหนือน้ำของตะแกรงผันน้ำ*** (ระยะ x มีค่าเป็นลบ) ระดับความลึกการไหลจะมีค่ามากกว่าความลึกวิกฤติของอัตราการไหลนั้นๆ โดยความลึกการไหลจะค่อยๆลดลงทีละน้อยจากจุดไกลสุดและจะมีอัตราการลดลงที่สูงขึ้นเมื่อการไหลเข้าใกล้ตะแกรงผันน้ำ ซึ่งความลึกการไหลจะลดต่ำลงกว่าความลึกวิกฤติของอัตราการไหลนั้นๆที่หน้าตัดก่อนถึงตะแกรงผันน้ำเพียงเล็กน้อย ทำให้การไหลก่อนเข้าสู่ตะแกรงผันน้ำเป็นการไหลแบบเหนือวิกฤติ

***ข) บริเวณเหนือตะแกรงผันน้ำ*** ระดับความลึกการไหลจะลดลงด้วยอัตราที่ค่อนข้างสม่ำเสมอแต่มีอัตราที่สูงกว่าด้านเหนือน้ำของตะแกรงผันน้ำ ทั้งนี้เนื่องจากบริเวณเหนือตะแกรงผันน้ำ ปริมาณน้ำจะถูกผันออกไปตลอดจึงทำให้มีอัตราการลดลงของความลึกการไหลมากกว่า

***ค) บริเวณท้ายน้ำของตะแกรงผันน้ำ*** ระดับความลึกการไหลจะน้อยกว่าทางด้านเหนือน้ำของตะแกรงผันน้ำและบริเวณเหนือตะแกรงผันน้ำ เนื่องจากในขณะที่น้ำไหลเข้าสู่ตะแกรงผันน้ำจะเป็นการไหลแบบใต้วิกฤติ แต่เมื่อเกิดการไหลผ่านตะแกรงผันน้ำ ปริมาณน้ำส่วนหนึ่งจะถูกผันออกจากทางน้ำ ทำให้อัตราการไหลและความลึกการไหลในทางน้ำลดลง ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสภาพการไหลจากใต้วิกฤติไปเป็น

การไหลแบบเหนือวิกฤติ คือจะมีสภาพการไหลแบบความลึกการไหลต่ำแต่ไหลด้วยความเร็วสูง แต่เมื่อเลยด้านท้ายน้ำของตะแกรงผันน้ำออกไป ความลึกการไหลจะมีการเพิ่มสูงขึ้นเล็กน้อยเนื่องจากอิทธิพลของความฝืด (Friction Loss) ทำให้พลังงานจำเพาะของการไหลลดลง ส่งผลให้ความลึกการไหลเพิ่มขึ้น

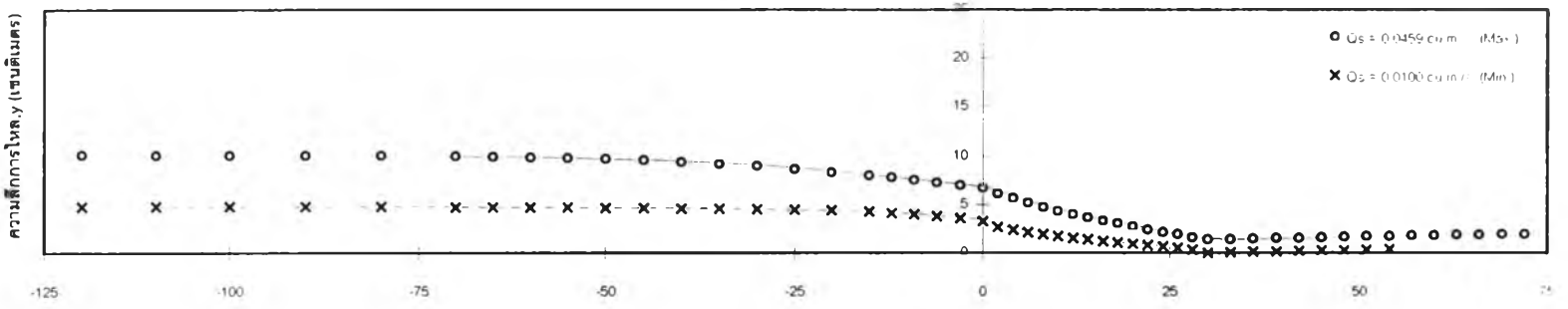
**6.6.2) กรณีการไหลเข้าสู่ตะแกรงผันน้ำเป็นการไหลแบบเหนือวิกฤติ**

***ก) บริเวณด้านเหนือน้ำของตะแกรงผันน้ำ*** (ระยะ x มีค่าเป็นลบ) ระดับความลึกการไหลจะมีค่าน้อยกว่าความลึกวิกฤติของอัตราการไหลนั้นๆ โดยความลึกการไหลจะค่อยๆ ลดลงทีละน้อยจากจุดไกลสุดและจะมีอัตราการลดลงที่สูงขึ้นเมื่อการไหลเข้าใกล้ตะแกรงผันน้ำ

***ข) บริเวณเหนือตะแกรงผันน้ำ*** ระดับความลึกการไหลจะลดลงด้วยอัตราที่ค่อนข้างสม่ำเสมอแต่มีอัตราที่สูงกว่าด้านเหนือน้ำของตะแกรงผันน้ำ ทั้งนี้เนื่องจากบริเวณเหนือตะแกรงผันน้ำ ปริมาณน้ำจะถูกผันออกไปตลอดจึงทำให้มีอัตราการลดลงของความลึกการไหลมากกว่า โดยความลึกการไหลที่วัดค่าได้ในกรณีนี้จะมีค่าน้อยกว่าในกรณีที่การไหลเข้าสู่ตะแกรงผันน้ำเป็นการไหลแบบใต้วิกฤติ

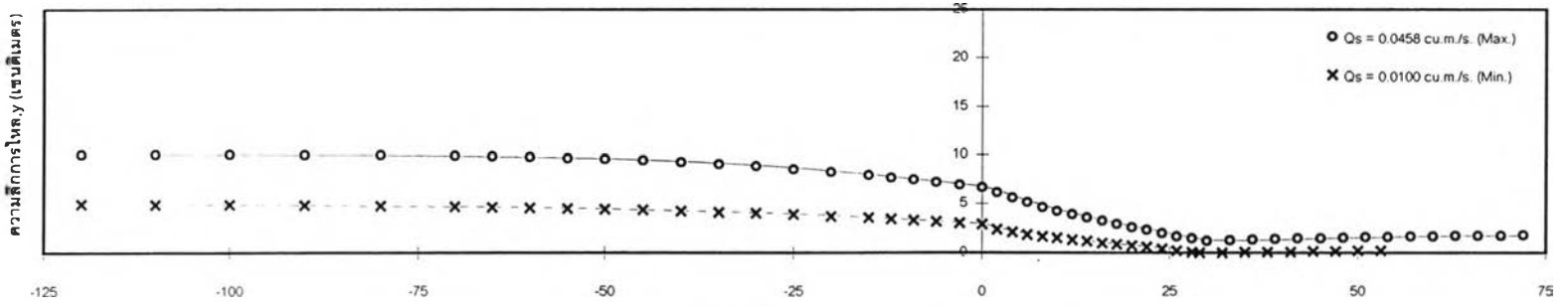
***ค) บริเวณท้ายน้ำของตะแกรงผันน้ำ*** ระดับความลึกการไหลจะน้อยกว่าทางด้านเหนือน้ำของตะแกรงผันน้ำและบริเวณเหนือตะแกรงผันน้ำ เนื่องจากในขณะที่น้ำไหลเข้าสู่ตะแกรงผันน้ำจะเป็นการไหลแบบเหนือวิกฤติ เมื่อเกิดการไหลผ่านตะแกรงผันน้ำ ปริมาณน้ำส่วนหนึ่งจะถูกผันออกจากทางน้ำ ทำให้อัตราการไหลและความลึกการไหลในทางน้ำลดลง เมื่อเลยด้านท้ายน้ำของตะแกรงผันน้ำออกไป ความลึกการไหลจะมีการเพิ่มสูงขึ้นเล็กน้อยเนื่องจากอิทธิพลของความฝืด (Friction Loss) ทำให้พลังงานจำเพาะของการไหลลดลง ส่งผลให้ความลึกการไหลเพิ่มขึ้น

รูป 6-41 ความสัมพันธ์ระหว่างความลึกการไหลกับระยะต่าง ๆในทางน้ำ ในกรณีที่เป็นการไหลแบบใกล้วิกฤติสูตะแกรงที่มีอัตราส่วนพื้นที่ช่องเปิด,ε = 0.2083



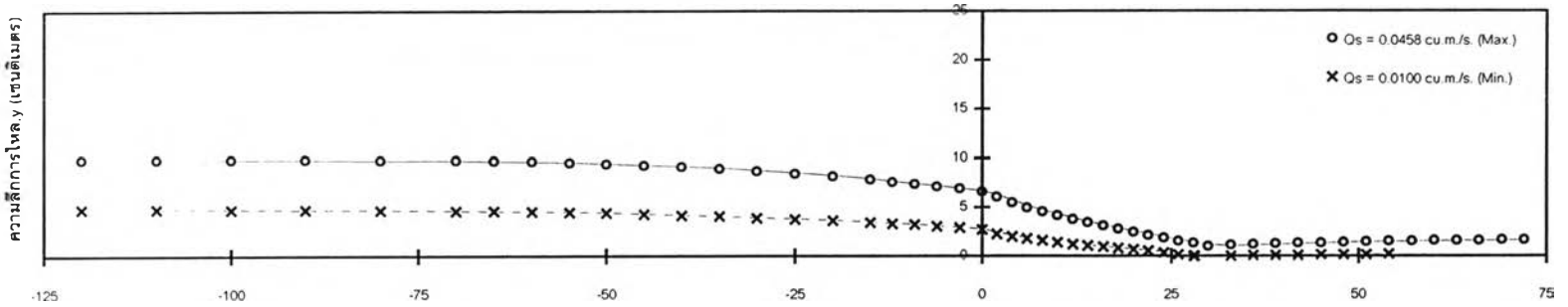

ระยะทางในทางน้ำเทียบกับหน้าตัดที่น้ำเริ่มไหลผ่านตะแกรงผันน้ำ (x=0 cm.),x (เซนติเมตร)

รูป 6-42 ความสัมพันธ์ระหว่างความลึกการไหลกับระยะต่าง ๆในทางน้ำ ในกรณีที่เป็นการไหลแบบใกล้วิกฤติสูตะแกรงที่มีอัตราส่วนพื้นที่ช่องเปิด,ε = 0.2422



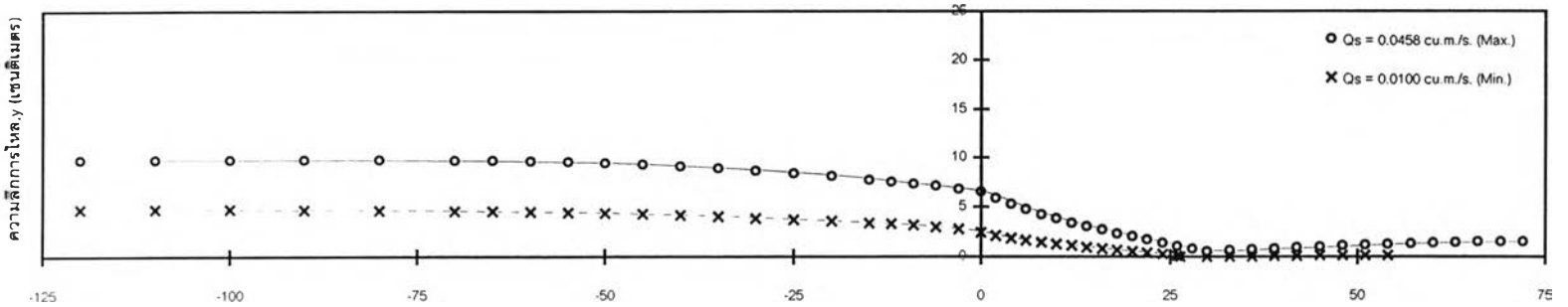

ระยะทางในทางน้ำเทียบกับหน้าตัดที่น้ำเริ่มไหลผ่านตะแกรงผันน้ำ (x=0 cm.),x (เซนติเมตร)

รูป 6-43 ความสัมพันธ์ระหว่างความลึกการไหลกับระยะต่าง ๆในทางน้ำ ในกรณีที่เป็นการไหลแบบใต้วิกฤติสู่คะแกรงที่มีอัตราส่วนพื้นที่ช่องเปิด,ε = 0.2754



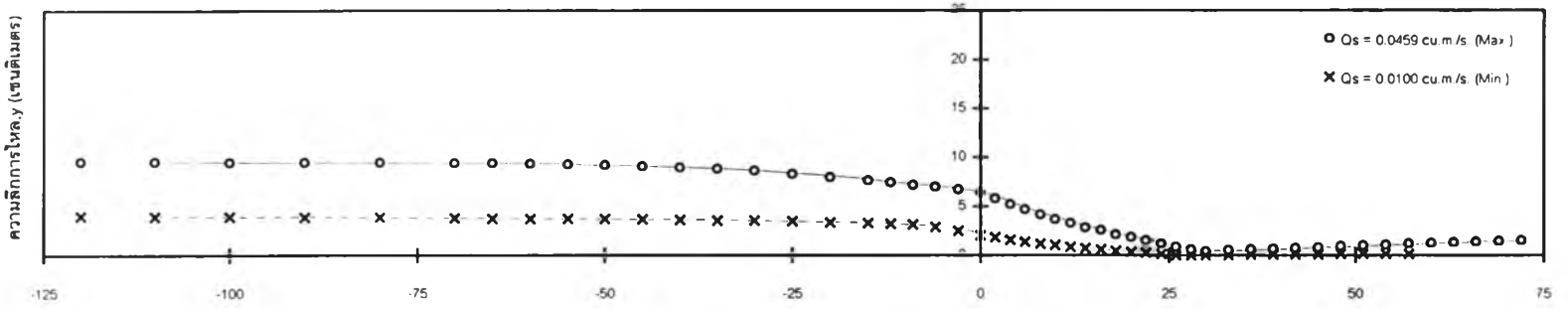

ระยะทางในทางน้ำเทียบกับหน้าคัดที่น้ำเริ่มไหลผ่านตะแกรงผันน้ำ (x=0 cm.),x (เซนติเมตร)

รูป 6-44 ความสัมพันธ์ระหว่างความลึกการไหลกับระยะต่าง ๆในทางน้ำ ในกรณีที่เป็นการไหลแบบใต้วิกฤติสู่คะแกรงที่มีอัตราส่วนพื้นที่ช่องเปิด,ε = 0.3112

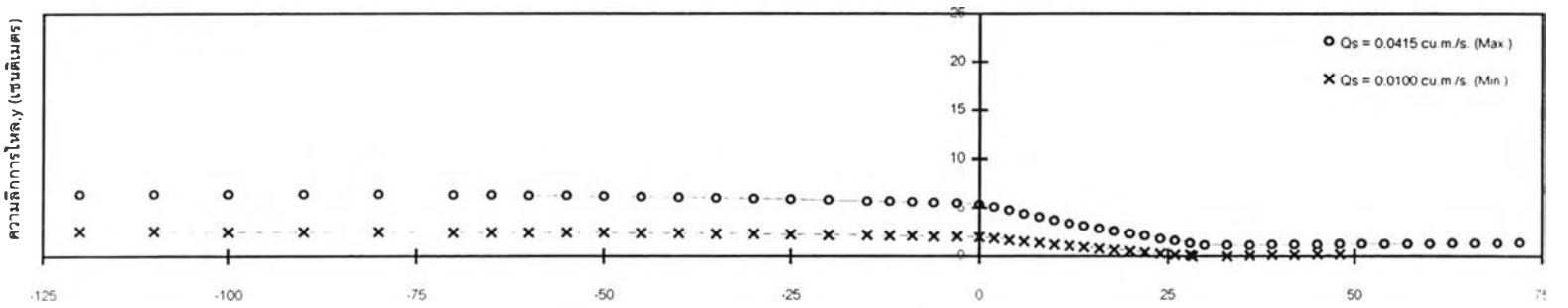



ระยะทางในทางน้ำเทียบกับหน้าคัดที่น้ำเริ่มไหลผ่านตะแกรงผันน้ำ (x=0 cm.),x (เซนติเมตร)

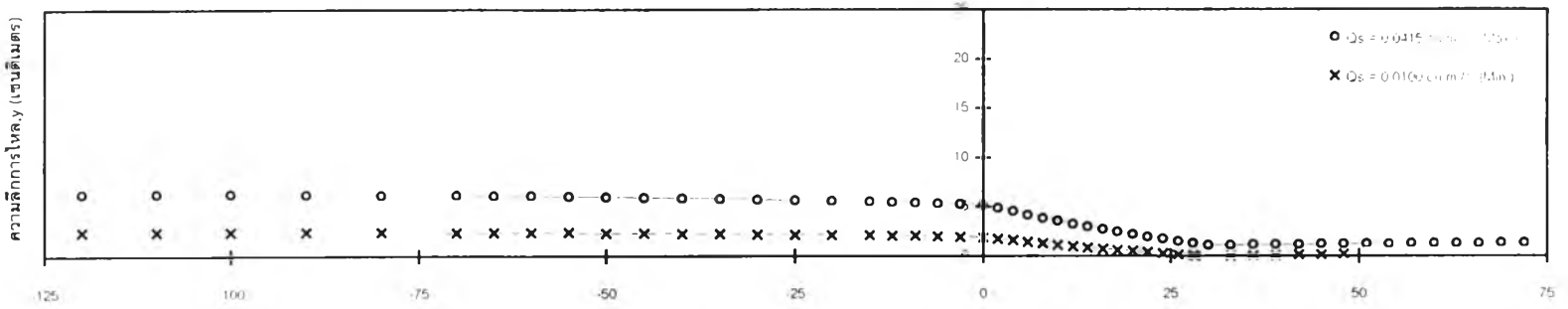
รูป 6-45 ความสัมพันธ์ระหว่างความลึกการไหลกับระยะต่าง ๆในทางน้ำ ในกรณีที่เป็นการไหลแบบใต้วิกฤติสู่ตะแกรงที่มีอัตราส่วนพื้นที่ช่องเปิด,ε = 0.3804




รูป 6-46 ความสัมพันธ์ระหว่างความลึกการไหลกับระยะต่าง ๆในทางน้ำ ในกรณีที่เป็นการไหลแบบเหนือวิกฤติสู่ตะแกรงที่มีอัตราส่วนพื้นที่ช่องเปิด,ε = 0.2083

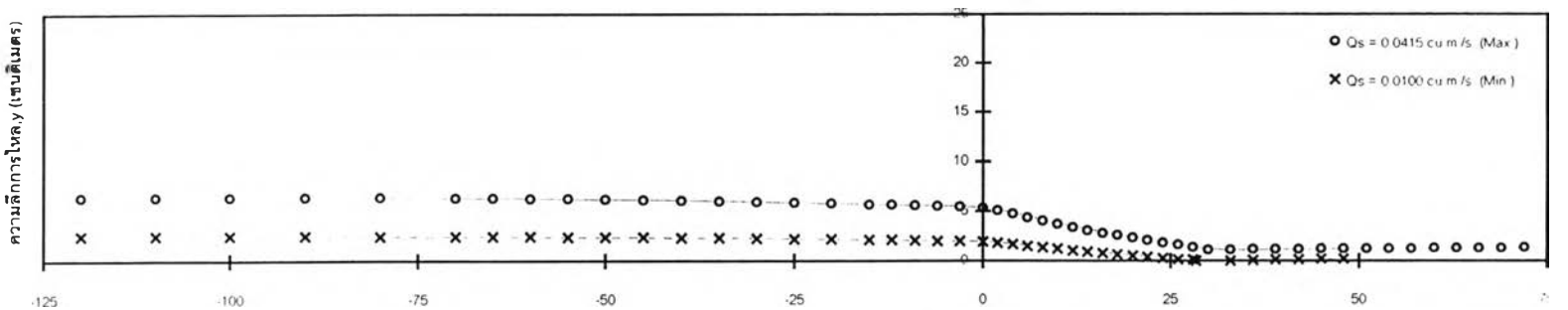


รูป 6-47 ความสัมพันธ์ระหว่างความลึกการไหลกับระยะต่าง ๆในทางน้ำ ในกรณีที่เป็นการไหลแบบเหนือวิกฤติสู่ตะแกรงที่มีอัตราส่วนพื้นที่ช่องเปิด,ε = 0.2422



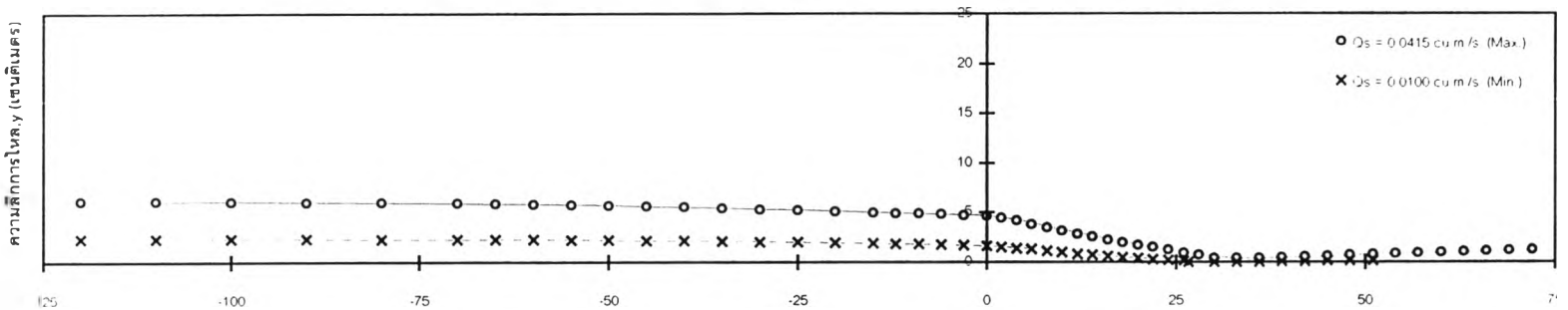

ระยะทางในทางน้ำเทียบกับหน้าตัดที่น้ำเริ่มไหลผ่านตะแกรงผันน้ำ (x=0 cm.),x (เซนติเมตร)

รูป 6-48 ความสัมพันธ์ระหว่างความลึกการไหลกับระยะต่าง ๆในทางน้ำ ในกรณีที่เป็นการไหลแบบเหนือวิกฤติสู่ตะแกรงที่มีอัตราส่วนพื้นที่ช่องเปิด,ε = 0.2754

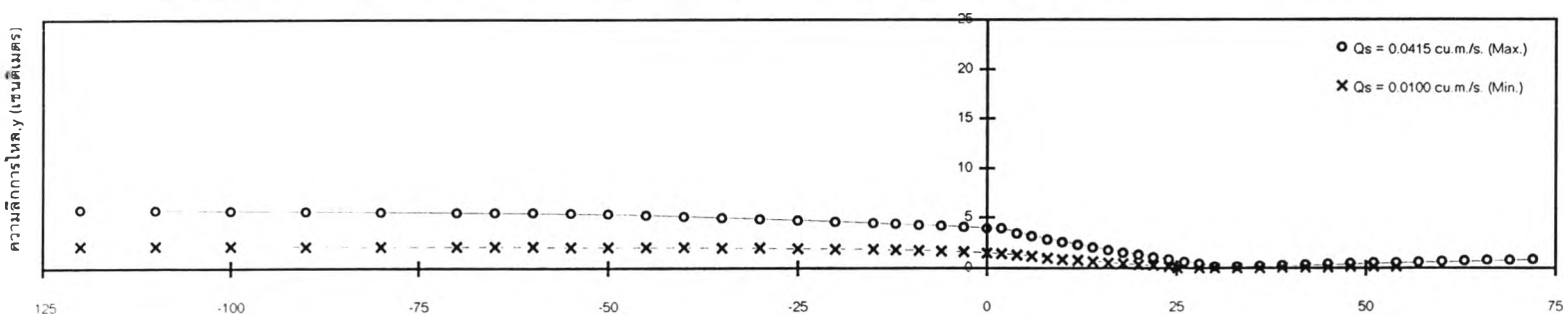



ระยะทางในทางน้ำเทียบกับหน้าตัดที่น้ำเริ่มไหลผ่านตะแกรงผันน้ำ (x=0 cm.),x (เซนติเมตร)

รูป 6-49 ความสัมพันธ์ระหว่างความลึกการไหลกับระยะต่าง ๆในทางน้ำ ในกรณีที่เป็นการไหลแบบเหนือวิกฤติสู่ตะแกรงที่มีอัตราส่วนพื้นที่ช่องเปิด,ε = 0.3112




รูป 6-50 ความสัมพันธ์ระหว่างความลึกการไหลกับระยะต่าง ๆในทางน้ำ ในกรณีที่เป็นการไหลแบบเหนือวิกฤติสู่ตะแกรงที่มีอัตราส่วนพื้นที่ช่องเปิด,ε = 0.3804



## 6.7 สมการความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรหรือพารามิเตอร์ต่าง ๆที่เกี่ยวข้องกับการไหลผ่านตะแกรงผันน้ำ

### 6.7.1) การวิเคราะห์มิติวัด (Dimensional Analysis) โดยใช้ทฤษฎีพายของบั๊กกิ้ง-แฮม (Buckingham- $\Pi$ Theorem)

สำหรับการหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรหรือพารามิเตอร์ต่างๆที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาในครั้งนี้ คือ เป็นการไหลในทางน้ำเปิดที่มีหน้าตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าผ่านตะแกรงผันน้ำที่มีความกว้าง 0.581 เมตร ความยาว 0.30 เมตร โดยมีซี่ของตะแกรงทำจากวัสดุที่เป็นชนิดเดียวกับวัสดุที่ใช้สร้างทางน้ำ โดยวางขนานกับทิศทางการไหลและมีระยะห่างระหว่างซี่ต่อซี่อย่างสม่ำเสมอ และซี่ของตะแกรงมีหน้าตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า ซึ่งจะใช้วิธีวิเคราะห์มิติวัดโดยใช้ทฤษฎีพาย ($\Pi$) ของบั๊กกิ้งแฮม สำหรับตัวแปรหรือพารามิเตอร์ต่างๆที่สามารถวัดค่าได้ สามารถแบ่งได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่ๆ คือ

ก) ตัวแปรตาม ได้แก่ $Q_D$,$C_D$ และ $y_{x=0\ cm.}$

ข) ตัวแปรอิสระ ได้แก่ $Q_s$,$\varepsilon$,g,b,L,$F_r$,$y_o$ , $v_o$และ $E_o$

จากการใช้วิธีวิเคราะห์มิติวัดกับตัวแปรต่างๆเหล่านี้ โดยใช้ทฤษฎีพาย ($\Pi$) ของบั๊กกิ้ง-แฮม ทำให้ได้ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรหรือพารามิเตอร์ต่างๆ ดังนี้ คือ

$$\frac{Q_D}{Q_S} = \phi\left(\varepsilon, \frac{1}{F_r^2}, \frac{L}{y_o}, \frac{E_o}{y_o}\right) \qquad (6-1)$$

$$C_D = \phi\left(\varepsilon, \frac{1}{F_r^2}, \frac{L}{y_o}, \frac{E_o}{y_o}\right) \qquad (6-2)$$

$$\frac{y_{x=0\ cm.}}{E_o} = \phi\left(\varepsilon, \frac{gE_o}{v_o^2}, \frac{L}{y_o}, \frac{E_o}{y_o}\right) \qquad (6-3)$$

$$\frac{Y_o}{L} = \phi\left(\varepsilon, \frac{gL^5}{Q_s^2}\right) \qquad (6-4)$$

### 6.7.2) การหาสมการความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรหรือพารามิเตอร์ต่าง ๆที่เกี่ยวข้องกับการไหลผ่านตะแกรงผันน้ำ

จากความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรหรือพารามิเตอร์ต่างๆในหัวข้อ 6.7.1) จะเห็นว่าตัวแปรตามแต่ละตัวจะมีความสัมพันธ์กับตัวแปรอิสระหลายตัว ดังนั้นจึงใช้วิธีถดถอยพหุคูณ (Multiple Regression) ในการหาความสัมพันธ์ในรูปของสมการ และเนื่องจากข้อมูลที่นำมาวิเคราะห์มีเป็นจำนวนมาก จึงได้ใช้โปรแกรมสำเร็จรูป "SPSS Version 9.01" มาช่วยในการวิเคราะห์ข้อมูล โดยจากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของชุดข้อมูลจะพิจารณาให้ข้อมูลมีความสัมพันธ์กันแบบสมการกำลัง (Power Equation) ซึ่งจะได้สมการความสัมพันธ์ดังแสดงในตาราง 6-5 ในกรณีที่การไหลเข้าสู่ตะแกรงผันน้ำเป็นการไหลแบบใต้วิกฤติ (ทางน้ำอยู่ในแนวราบ) ส่วนในกรณีที่การไหลเข้าสู่ตะแกรงผันน้ำเป็นการไหลแบบเหนือวิกฤติ (ทางน้ำมีความลาดเอียง 0.97 % จากเหนือน้ำไปยังท้ายน้ำ) สมการความสัมพันธ์ของตัวแปรต่างๆ แสดงไว้ในตาราง 6-6

ตาราง 6-5 ผลการวิเคราะห์หาสมการความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรหรือพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการไหลผ่านตะแกรงผันน้ำโดยถดถอยวิธีพหุคูณ ในกรณีที่การไหลเข้าสู่ตะแกรงผันน้ำเป็นการไหลแบบใต้วิกฤติ

| สมการความสัมพันธ์ | R | SEE | |
|---|---|---|---|
| $\frac{Q_D}{Q_S} = 0.519\left(\frac{L}{y_o}\right)^{0.266} \varepsilon^{0.297\left(\frac{E_o}{y_o}\right)^{1.016}\left(\frac{1}{F_r^2}\right)^{0.38}}$ | 0.899 | 0.051 | (6-5) |
| $C_D = 0.327\left(\frac{L}{y_o}\right)^{-0.744} \varepsilon^{-0.725\left(\frac{E_o}{y_o}\right)^{0.79}\left(\frac{1}{F_r^2}\right)^{-0.072}}$ | 0.983 | 0.051 | (6-6) |
| $\frac{y_{x=0\,cm.}}{E_o} = 0.554\left(\frac{y_o}{E_o}\right)^{0.735}\left(\frac{gE_o}{v_o^2}\right)^{0.02} \varepsilon^{-0.115\left(\frac{L}{E_o}\right)^{0.035}}$ | 0.743 | 0.038 | (6-7) |
| $\frac{y_o}{L} = 0.486\left(\frac{gL^5}{Q_S^2}\right)^{-0.324} \varepsilon^{-0.251}$ | 0.990 | 0.042 | (6-8) |

**หมายเหตุ** : R คือ สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation Coefficient)

SEE คือ ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของการประมาณ (Standard Error of Estimate)

ตาราง 6-6 ผลการวิเคราะห์หาสมการความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรหรือพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการไหลผ่านตะแกรงผันน้ำโดยวิธีถดถอยพหุคูณ ในกรณีที่การไหลเข้าสู่ตะแกรงผันน้ำเป็นการไหลแบบเหนือวิกฤติ

| สมการความสัมพันธ์ | R | SEE | |
|---|---|---|---|
| $\frac{Q_D}{Q_S} = 0.691\left(\frac{L}{y_o}\right)^{0.187}\left(\frac{1}{F_r^2}\right)^{-2.248}\left(\frac{E_o}{y_o}\right)^{-3.073}\varepsilon^{-0.086}$ | 0.912 | 0.046 | (6-9) |
| $C_D = 0.492\left(\frac{L}{y_o}\right)^{-0.81}\left(\frac{1}{F_r^2}\right)^{-2.721}\left(\frac{E_o}{y_o}\right)^{-3.541}\varepsilon^{-1.079}$ | 0.989 | 0.046 | (6-10) |
| $\frac{y_{x=0\ cm.}}{E_o} = 0.578\left(\frac{y_o}{E_o}\right)^{0.885}\left(\frac{gE_o}{v_o^2}\right)^{-0.144}\varepsilon^{-0.223}\left(\frac{L}{E_o}\right)^{-0.001}$ | 0.982 | 0.042 | (6-11) |
| $\frac{y_o}{L} = 0.258\left(\frac{gL^5}{Q_s^2}\right)^{-0.365}\varepsilon^{-0.456}$ | 0.997 | 0.027 | (6-12) |

**หมายเหตุ** : R คือ สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation Coefficient)

SEE คือ ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของการประมาณ (Standard Error of Estimate)

จากความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์ต่างๆ ที่แสดงไว้ในตาราง 6-5 และตาราง 6-6 สามารถที่จะแสดงผลการเปรียบเทียบค่าที่ได้จากการทดลองกับค่าที่คำนวณได้จากสมการที่ได้รับจากวิธีถดถอยพหุคูณได้ดังรูป 6-51 และรูป 6-52 ซึ่งจะเห็นได้ว่าโดยส่วนใหญ่แล้วการกระจายตัวของข้อมูลจะอยู่บริเวณใกล้ๆ กับเส้นที่ทำมุม 45 $^{\circ}$ กับแกนนอน (เส้นที่แสดงตำแหน่งที่ค่าในแกน X มีค่าเท่ากับค่าในแกน Y) นั่นย่อมหมายความว่า ค่าที่คำนวณได้จากสมการที่ได้จากวิธีถดถอยพหุคูณจะให้ค่าใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการทดลอง ซึ่งเป็นเครื่องยืนยันได้ว่าสมการที่ได้จากวิธีถดถอยพหุคูณดังกล่าวข้างต้น สามารถที่จะนำไปใช้คำนวณหรืออธิบายพฤติกรรมการไหลในทางน้ำที่มีตะแกรงผันน้ำอยู่ที่ท้องน้ำได้

จากสมการความสัมพันธ์ของตัวแปรต่างๆ ที่ได้รับจากวิธีถดถอยพหุคูณ สามารถจัดรูปใหม่ให้มีความสะดวกต่อการนำไปใช้งานได้ดังนี้ คือ

### ก) กรณีที่การไหลเข้าสู่ตะแกรงผันน้ำเป็นการไหลแบบใต้วิกฤติ

$$Q_D = 0.519 \frac{Q_S L^{0.266} \varepsilon^{0.297} E_o^{1.016}}{y_o^{1.282} F_r^{0.76}} \qquad (6-13)$$

$$C_D = 0.327 \frac{E_o^{0.79} F_r^{0.144}}{L^{0.744} y_o^{1.534} \varepsilon^{0.725}} \qquad (6-14)$$

$$y_{x=0\,cm.} = 0.554 \frac{E_o^{0.25} y_o^{0.735} g^{0.02} L^{0.35}}{v_o^{0.04} \varepsilon^{0.115}} \qquad (6-15)$$

$$y_o = 0.486 \frac{Q_S^{0.648}}{g^{0.324} \varepsilon^{0.251} L^{0.62}} \qquad (6-16)$$

**ข) กรณีที่การไหลเข้าสู่ตะแกรงผันน้ำเป็นการไหลแบบเหนือวิกฤติ**

$$Q_D = 0.691 \frac{Q_S L^{0.187} F_r^{4.496} y_o^{2.886}}{E_o^{3.073} \varepsilon^{0.086}} \qquad (6-17)$$

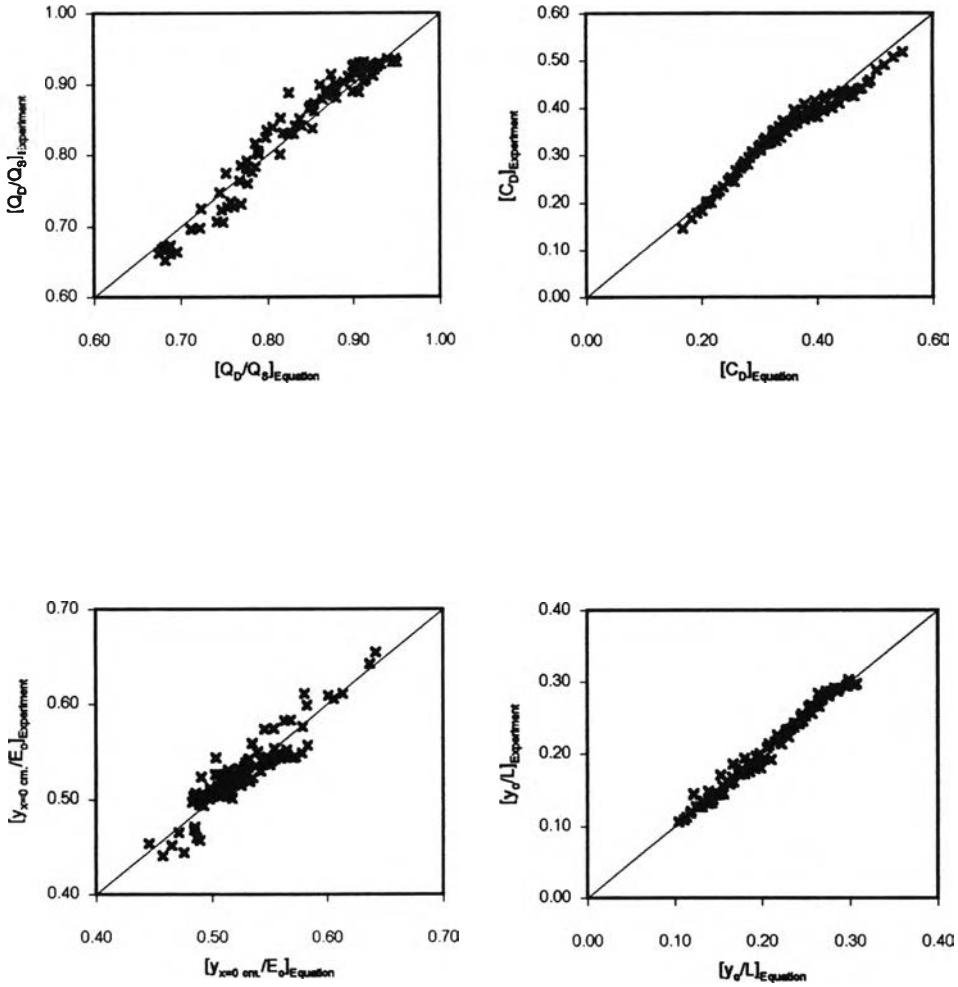
$$C_D = 0.492 \frac{y_o^{4.351} F_r^{5.442}}{L^{0.81} E_o^{3.541} \varepsilon^{1.079}} \qquad (6-18)$$

$$y_{x=0\,cm.} = 0.578 \frac{v_o^{0.288}}{y_o^{0.885} g^{0.144} \varepsilon^{0.223} L^{0.001} E_o^{0.028}} \qquad (6-19)$$

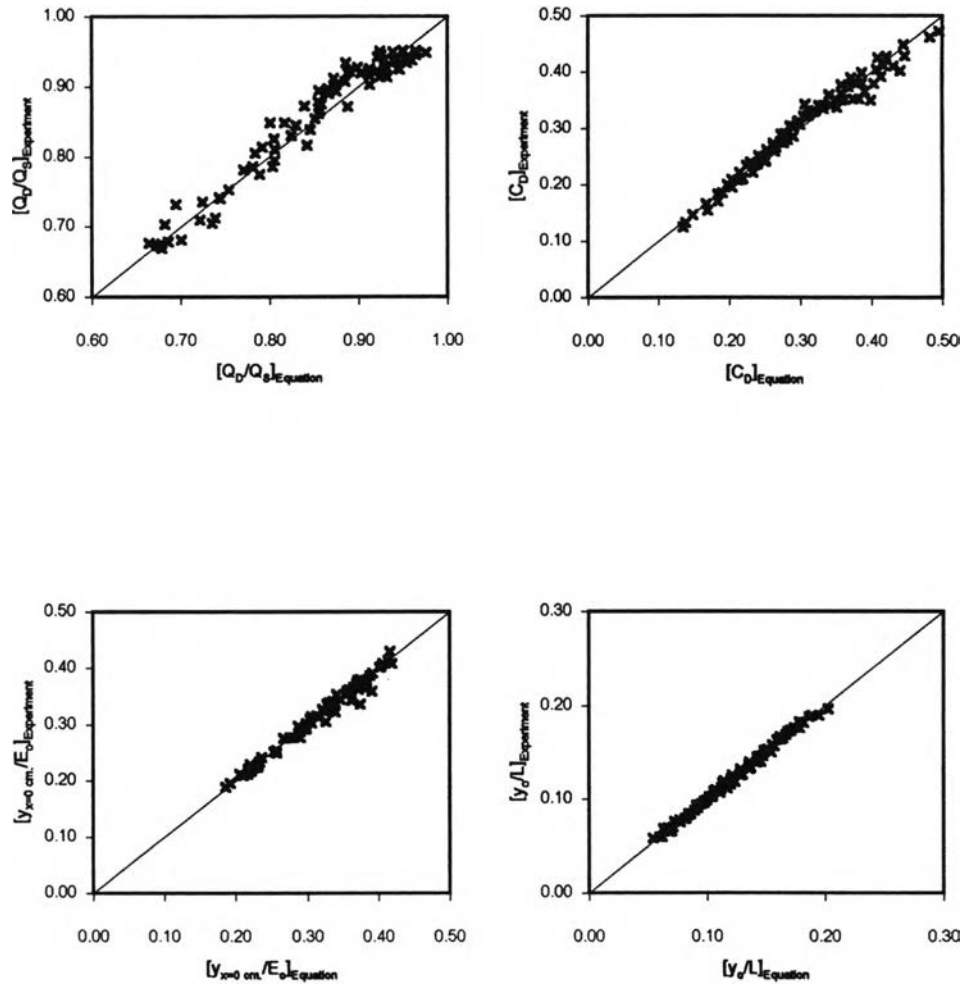
$$y_o = 0.258 \frac{Q_S^{0.73}}{g^{0.365} \varepsilon^{0.456} L^{0.825}} \qquad (6-20)$$

โดย

| | | | |
|---|---|---|---|
| | $Q_D$ | มีหน่วยเป็น | ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที |
| | $Q_S$ | มีหน่วยเป็น | ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที |
| | L | มีหน่วยเป็น | เมตร |
| | $E_o$ | มีหน่วยเป็น | เมตร |
| | $v_o$ | มีหน่วยเป็น | เมตรต่อวินาที |
| | $y_o$ | มีหน่วยเป็น | เมตร |
| | $y_{x=0\,cm.}$ | มีหน่วยเป็น | เมตร |
| | b | มีหน่วยเป็น | เมตร |
| | L | มีหน่วยเป็น | เมตร |




**รูป 6-51 เปรียบเทียบค่าตัวแปรที่ได้จากการทดลองกับค่าตัวแปรที่คำนวณจากสมการที่ได้จากวิธีถดถอยพหุคูณกรณีที่การไหลสู่ตะแกรงผันน้ำเป็นการไหลแบบใต้วิกฤติ**




**รูป 6-52 เปรียบเทียบค่าตัวแปรที่ได้จากการทดลองกับค่าตัวแปรที่คำนวณจากสมการที่ได้จากวิธีถดถอยพหุคูณกรณีที่การไหลสู่ตะแกรงผันน้ำเป็นการไหลแบบเหนือวิกฤติ**

## 6.8 แนวทางในการคำนวณเพื่อออกแบบตะแกรงผันน้ำที่มีซี่ของตะแกรงวางขนานกับทิศทางการไหลในทางน้ำหลัก

สำหรับหัวข้อนี้จะกล่าวถึงแนวทางในการคำนวณเพื่อออกแบบตะแกรงผันน้ำที่อยู่ท้องน้ำของทางน้ำเปิดที่มีหน้าตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า โดยซี่ของตะแกรงจะมีหน้าตัดขวางเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า วางเสมอกับพื้นทางน้ำและขนานกับทิศทางการไหลของกระแสน้ำในทางน้ำหลัก

โดยหลักๆแล้ว ในการออกแบบตะแกรงผันน้ำที่ติดตั้งอยู่ที่ท้องน้ำของทางน้ำนั้น มีวัตถุประสงค์ ดังนี้คือ

1) เพื่อทำการผันน้ำออกจากทางน้ำ แล้วทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลในทางน้ำนั้น โดยมีผลให้อัตราการไหลในทางน้ำลดลง

2) ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงความลึกการไหลในทางน้ำ เมื่อเกิดการไหลผ่านตะแกรงผันน้ำ

สำหรับในการออกแบบตะแกรงผันน้ำนั้น สิ่งสำคัญที่จะต้องคำนวณหา ได้แก่

- อัตราส่วนพื้นที่ช่องเปิดของตะแกรงผันน้ำ ($\varepsilon$)
- ความยาวของตะแกรงผันน้ำ (L)
- ความกว้างของชุดตะแกรงผันน้ำ (b) ซึ่งโดยส่วนใหญ่มักจะถูกกำหนดให้มีความกว้างเท่ากับความกว้างของทางน้ำนั้นๆ

ในส่วนของข้อมูลที่จะต้องทราบค่าในเบื้องต้น เพื่อที่จะได้ใช้เป็นขอบเขตหรือข้อกำหนดในการออกแบบ ได้แก่ $Q_s$,b และ $Q_o$

**6.8.1) ขั้นตอนในการคำนวณ**

ในการคำนวณเพื่อออกแบบตะแกรงผันน้ำจะมีแนวทางอยู่ 2 แนวทาง คือ

***ก) การคำนวณหาค่า L จากค่า ε ที่สมมติขึ้น*** มีขั้นตอนในการคำนวณดังนี้

1) พิจารณาสภาพการไหลในทางน้ำว่าเป็นการไหลแบบใต้วิกฤติหรือแบบเหนือวิกฤติ เพื่อที่จะสามารถเลือกใช้สมการได้สอดคล้องกับสภาพการไหล
2) สมมติค่าอัตราส่วนพื้นที่ช่องเปิดของตะแกรงผันน้ำ, ε ขึ้นมา 1 ค่า และจากข้อมูลเบื้องต้นที่มีอยู่ และจำเป็นจะต้องทราบค่า ได้แก่ $Q_s$,b และ $Q_D$ ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว ทำการแทนค่าต่างๆเหล่านี้ ลงในสมการ (6-16) หรือ (6-20) เพื่อหาค่า $y_o$
3) นำค่า $y_o$ ที่ได้ไปคำนวณหาค่า $v_o$ , $E_o$ และ $F_r$
4) นำค่าต่างๆที่ได้ไปแทนค่าลงในสมการ (6-13) หรือ (6-17) แล้วทำการแก้สมการเพื่อหาค่า L ซึ่งค่า L ที่คำนวณได้นี้จะเป็นค่า L ที่สอดคล้องกับค่า ε ที่สมมติขึ้นในข้อ 2)

สำหรับแผนภาพแสดงขั้นตอนในการคำนวณหาค่า L จากค่า ε ที่สมมติขึ้น ได้แสดงไว้ในรูป 6-53

***ข) การคำนวณหาค่า ε จากค่า L ที่สมมติขึ้น*** มีขั้นตอนในการคำนวณดังนี้

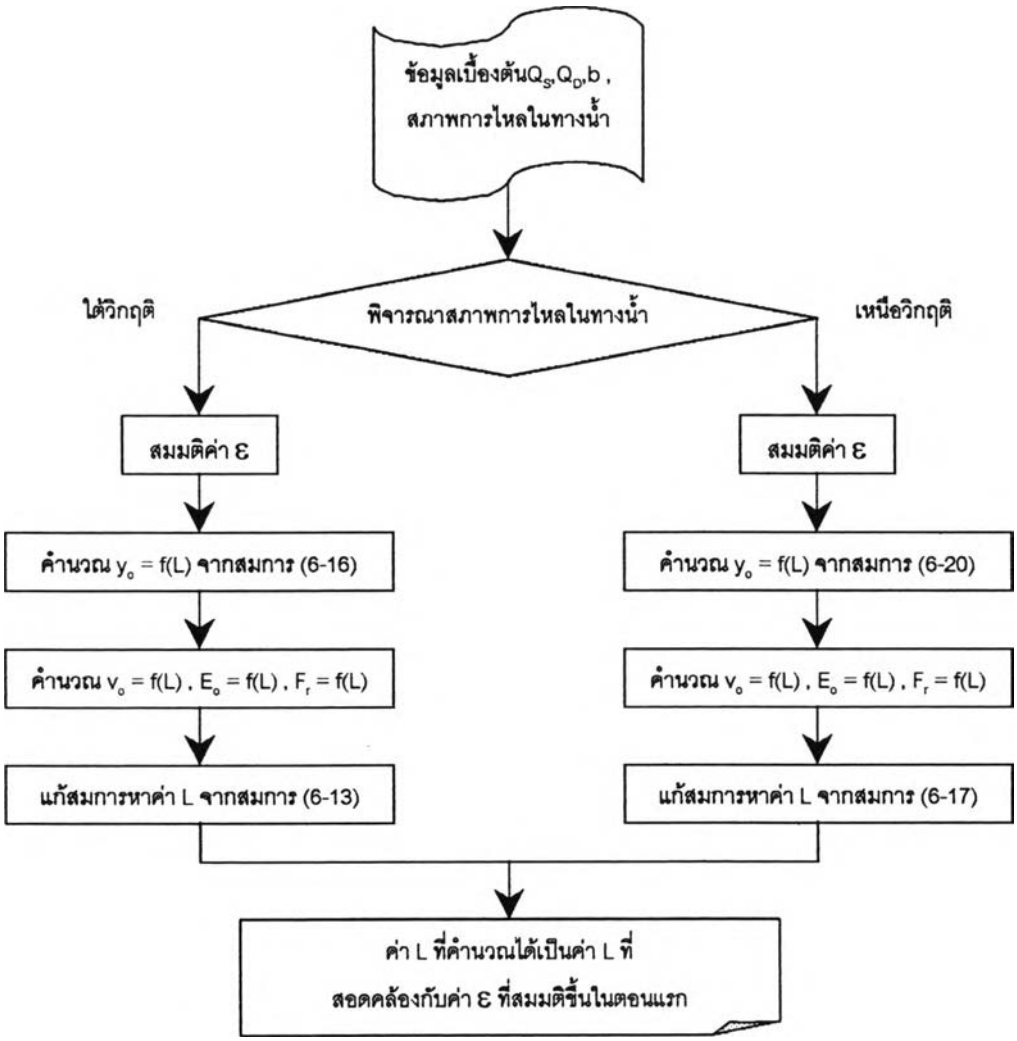
1) พิจารณาสภาพการไหลในทางน้ำว่าเป็นการไหลแบบใต้วิกฤติหรือแบบเหนือวิกฤติ เพื่อที่จะสามารถเลือกใช้สมการได้สอดคล้องกับสภาพการไหล
2) สมมติค่าความยาวของตะแกรงผันน้ำ , L ขึ้นมา 1 ค่า และจากข้อมูลเบื้องต้นที่มีอยู่ และจำเป็นจะต้องทราบค่า ได้แก่ $Q_s$,b และ $Q_D$ ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว ทำการแทนค่าต่างๆเหล่านี้ ลงในสมการ (6-16) หรือ (6-20) เพื่อหาค่า $y_o$

3) นำค่า $y_o$ ที่ได้ไปคำนวณหาค่า $v_o$ , $E_o$ และ $F_r$

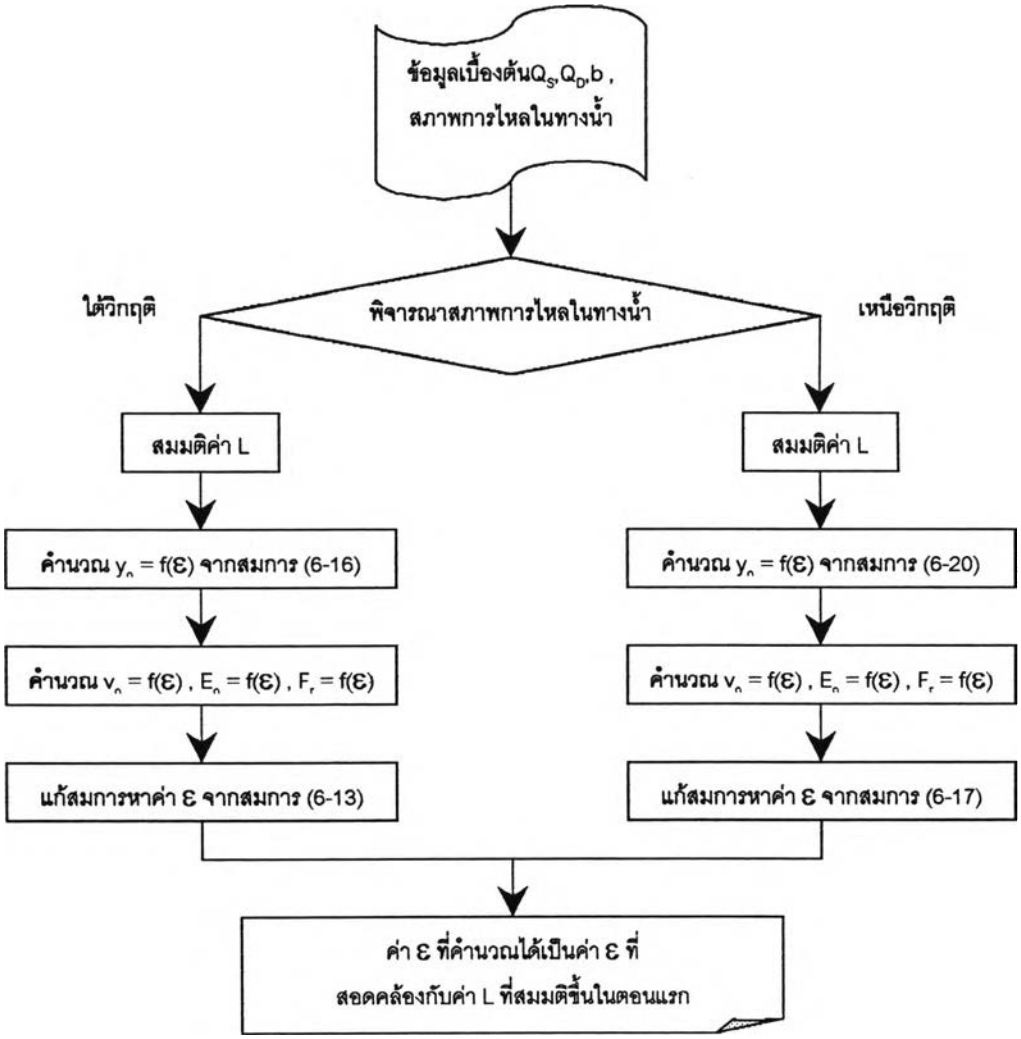
4) นำค่าต่างๆที่ได้ไปแทนค่าลงในสมการ (6-13) หรือ (6-17) แล้วทำการแก้สมการเพื่อหาค่า $\varepsilon$ ซึ่งค่า $\varepsilon$ ที่คำนวณได้นี้จะเป็นค่า $\varepsilon$ ที่สอดคล้องกับค่า L ที่สมมติขึ้นในข้อ 2)

สำหรับแผนภาพแสดงขั้นตอนในการคำนวณหาค่า $\varepsilon$ จากค่า L ที่สมมติขึ้น ได้แสดงไว้ในรูป 6-54

**หมายเหตุ** นอกจากการออกแบบตะแกรงผันน้ำดังที่ได้กล่าวมาแล้ว เรายังสามารถที่จะคำนวณหาค่าการเปลี่ยนแปลงความลึกการไหลในทางน้ำ เมื่อเกิดการไหลผ่านตะแกรงผันน้ำได้ นั่นคือ จากค่า ค่า L และค่า $\varepsilon$ ที่คำนวณได้ เราสามารถที่จะคำนวณหาค่า $C_D$ จากสมการ (6-14) หรือ สมการ (6-18) และค่า $y_{x=0\,cm.}$ จากสมการ (6-15) หรือ สมการ (6-19) ได้ จากนั้นจึงใช้วิธี Finite Difference Method ดังเช่นที่กล่าวมาแล้วในการหาความลึกการไหลเหนือตะแกรงผันน้ำได้




**รูป 6-53 แผนภาพแสดงขั้นตอนการคำนวณออกแบบตะแกรงผันน้ำ โดยการสมมติค่า ε แล้วคำนวณหาค่า L**




**รูป 6-54 แผนภาพแสดงขั้นตอนการคำนวณออกแบบตะแกรงผันน้ำ โดยการสมมติค่า L แล้วคำนวณหาค่า ε**

### 6.8.2) ตัวอย่างการคำนวณ

ในตัวอย่างการคำนวณต่อไปนี้จะแสดงตัวอย่างการคำนวณเพื่อออกแบบตะแกรงผันน้ำในกรณีที่เป็นการสมมติค่า $\varepsilon$ ขึ้นมาก่อนแล้วทำการคำนวณหาค่า L ส่วนในกรณีที่สมมติค่า L ขึ้นมาก่อนแล้วคำนวณหาค่า $\varepsilon$ ก็จะมีวิธีการคำนวณคล้ายๆ กัน ดังได้กล่าวไว้แล้วในข้างต้น ซึ่งมีรายละเอียด ดังนี้

ทางน้ำเปิดมีหน้าตัดขวางเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า ขนาดความกว้าง 20.00 เมตร ความสูงของหน้าตัด 6.00 เมตร ดาดผิวด้วยคอนกรีตผิวเรียบ ทางน้ำมีลักษณะตรงและมีความยาวมาก ท้องน้ำของทางน้ำจะวางตัวอยู่ในแนวราบ โดยในช่วงที่ทำการพิจารณาทางน้ำจะมีหน้าตัดคงที่ไม่มีโครงสร้างทางชลศาสตร์ใดๆ ในบริเวณนั้น มีอัตราการไหลผ่านของน้ำ 100 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที ด้วยสภาพการไหลแบบใต้วิกฤติ

ให้ทำการคำนวณเบื้องต้นเกี่ยวกับมิติของตะแกรงผันน้ำที่จะใช้ในการผันน้ำออกจากทางน้ำด้วยอัตราการผันออก 80 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที โดยการใช้ตะแกรงผันน้ำติดตั้งอยู่ที่ท้องน้ำ และมีซี่ของตะแกรงทำจากวัสดุชนิดเดียวกับวัสดุที่ใช้สร้างทางน้ำวางขนานกับทิศทางการไหลของกระแสน้ำในทางน้ำ หน้าตัดขวางของซี่ตะแกรงเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า ผิวบนของซี่ตะแกรงแบนราบวางเสมอกับพื้นทางน้ำด้วยระยะห่างระหว่างซี่ต่อซี่คงที่

***การคำนวณ***

จากปัญหาข้างต้นจะได้

| | | | |
|---|---|---|---|
| $Q_s$ | = | 100 | $m^3/s$ |
| $Q_D$ | = | 80 | $m^3/s$ |
| b | = | 20.00 | m. |
| g | = | 9.806 | $m/s^2$ |

สมมติให้ $\varepsilon = 5\ \% = 0.05$

เนื่องจากเป็นการไหลแบบใต้วิกฤติจึงเลือกใช้สมการ (6-16) ในการหาค่า $y_o$ ซึ่งจะได้

$$y_o = \frac{0.486 \times 100^{0.648}}{9.806^{0.324} \times 0.05^{0.251} \times L^{0.62}}$$

$$= \frac{9.726}{L^{0.62}}$$

$$v_o = \frac{Q_s}{A_o}$$

$$\because\ A_o = b \times y_o$$

$$\therefore\ v_o = \frac{100}{20 \times \frac{9.726}{L^{0.62}}}$$

$$= 0.514L^{0.62}$$

$$F_r = \frac{v_o}{\sqrt{gy_o}}$$

$$= \frac{0.514L^{0.62}}{\sqrt{9.806 \times \frac{9.726}{L^{0.62}}}}$$

$$= 0.0526L^{0.93}$$

$$E_o = y_o + \frac{v_o^{\,2}}{2g}$$

$$= \frac{9.726}{L^{0.62}} + \frac{\left(0.514L^{0.62}\right)^2}{2 \times 9.806}$$

$$= \frac{9.726 + 0.0135L^{1.86}}{L^{0.62}}$$

แทนค่าต่างๆลงในสมการ (6-13) จะได้

$$80 = \frac{0.519 \times 100 \times L^{0.266} \times 0.05^{0.297}}{\left(\frac{9.726}{L^{0.62}}\right)^{1.282} \left(0.0526 L^{0.93}\right)^{0.76}} \left(\frac{9.726 + 0.0135 L^{1.86}}{L^{0.62}}\right)^{1.016}$$

แก้สมการจะได้ L = 3.22 m.

ซึ่งเป็นค่าที่สอดคล้องกับ $\varepsilon$ = 0.05 ตามที่สมมติในตอนแรก

**หมายเหตุ** ในส่วนการเลือกหรือออกแบบขนาดของชี่ตะแกรงรวมทั้งการกำหนดขนาดความกว้างของช่องเปิดหรือระยะห่างระหว่างชี่ตะแกรงเพื่อให้สอดคล้องกับค่าที่ได้จากการคำนวณ ก็อยู่ที่ผู้ออกแบบจะเป็นผู้กำหนด แต่โดยทั่วไปจะคำนึงถึงสิ่งต่างๆ ดังนี้คือ

- ความแข็งแรงของตัวชี่ตะแกรงรวมทั้งความแกร่ง (Rigid) ของตัวชี่ตะแกรงด้วย
- ชนิดของวัสดุที่ใช้ทำตะแกรง
- ขนาดของเศษวัสดุที่ต้องการจะให้ตะแกรงเป็นตัวดัก
- ความยากง่ายของการก่อสร้าง

ฯลฯ