

บันทึกวิชาการฉบับที่ 11

แผนภูมิการออกแบบสำหรับ
การไหลในรางเปิด

บันทึกวิชาการฉบับที่ 11
แผนภูมิการออกแบบสำหรับ
การไหลในรางเปิด

สารบัญ

	หน้า
1. การออกแบบรางระบายงานทางหลวง	1
2. ประเภทของการไหล	2
3. การไหลสม่ำเสมอ	2
4. พลังงานของการไหล	3
5. การไหลวิกฤติ	5
รูปที่ 1 : ลักษณะของพลังงานจำเพาะ	4
: CHANNEL CHART	6

คำนำ

บันทึกวิชาการฉบับนี้เกี่ยวข้องกับการไหลในรางเปิด ซึ่งในงานวิศวกรรมทางหลวงจะเกี่ยวข้องกับการระบายน้ำข้างถนน (Side Ditch) หรือบริเวณเกาะกลาง และที่สำคัญคือ Interceptor Ditch เพื่อดักน้ำและนำน้ำไปยังลำธารใกล้เคียง นอกจากนี้อาจใช้ในการคำนวณขนาดของ Channel Relocation ในบริเวณที่ลำธารคดเคี้ยวและต้องการตัดตรง (Short Cut) เพื่อไม่ให้แนวของลำธารเดิมเป็นอุปสรรคต่อการกำหนดแนวทางหลวง Channel Chart ที่จัดเตรียมไว้นี้จะให้ความสะดวกในการประเมินปริมาณน้ำที่รางน้ำรองรับได้ที่ความลึกและความลาดชันต่าง ๆ กัน

การจัดเตรียมบันทึกวิชาการ เพื่อช่วยให้การออกแบบมีคุณภาพ เพราะสิ่งหนึ่งที่ขาดแคลนคือความรู้ทางวิชาการ ถ้าเกี่ยวกับวิชาการมักไม่ค่อยมีใครอยากทำ แม้แต่งานพื้น ๆ ที่เรียกว่าเป็น Primitive Technology เราเองก็ยังไม่ได้อ่านนัก ถ้าเป็น High Tech. เช่น รถไฟใต้ดิน หรือโรงไฟฟ้าปรมาณู งาน Civil Work ต้องพึ่งฝรั่งแน่นอน ดังนั้นจะต้องส่งเสริมให้วิศวกรทำงานวิศวกรรมเต็มส่วน (Full Engineering Carrier) มากกว่ามุ่งไปบริหาร ที่ขาดแคลนนั่นคือ บุคลากรทำงานวิศวกรรมไม่ใช่บุคลากรด้านบริหาร ซึ่งก็เห็นกันอยู่โดยทั่วไป ทั้งในบริษัท และหน่วยงานราชการ

หลักการไหลในรางเปิด

1. การออกแบบรางระบายงานทางหลวง

การออกแบบรางระบายงานทางหลวงที่จะรองรับปริมาณน้ำ กระทำเป็นสองส่วน ในส่วนแรกของการออกแบบเกี่ยวข้องกับการคำนวณรูปตัดรางที่จะรองรับอัตราการไหลบนความลาดชันที่มีอยู่ ซึ่งการคำนวณจะใช้ Manning Equation คำนวณสมรรถนะหรือความจุของรางเปิด

ในส่วนที่สองจะเกี่ยวข้องกับการพิจารณาการป้องกันที่ต้องการ เพื่อหลีกเลี่ยงการกัดเซาะในรางระบาย ซึ่งกระทำโดยการคำนวณความเร็วของกระแสน้ำในราง โดยใช้ Manning Equation และเปรียบเทียบกับความเร็วที่คำนวณได้กับความเร็วที่ยินยอมให้ (Permissible Velocity) ขึ้นกับประเภทของวัสดุที่ใช้ลาดราง ความเร็วที่ยินยอมให้แสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1

ความเร็วที่ยินยอมให้สำหรับรางที่ลาดด้วยวัสดุที่ถูกกัดเซาะได้
ทั้งนี้การไหลเป็นแบบสม่ำเสมอ (Uniform Flow) เปียกตลอด และรางมีอายุ

ประเภทของดินหรือการลาด (ดินไม่มีวัชพืช)	ความเร็วสูงสุดที่ยินยอมให้สำหรับ		
	น้ำใส ม./วินาที	น้ำมีทรายแป้ง ม./วินาที	น้ำมีทรายและกรวด ม./วินาที
ทรายละเอียด (ไม่มีสารแขวน)	0.5	0.75	0.50
ดินร่วนปนทราย (ไม่มีสารแขวน)	0.50	0.75	0.60
ดินร่วนปนทรายแป้ง (ไม่มีสารแขวน)	0.60	0.90	0.60
ดินร่วนแน่นปกติ	0.75	1.10	0.65
ดินซีเมนต์ภูเขาไฟ	0.75	1.10	0.65
กรวดละเอียด	0.75	1.50	1.10
ดินเหนียวแน่น (มีสารแขวนมาก)	1.10	1.50	0.90
ดินร่วนถึงกรวดขนาดโตมีขนาดลดหลั่น (ไม่มีสารแขวน)	1.10	1.50	1.50
ดินทรายแป้งถึงกรวดมีขนาดลดหลั่น (มีสารแขวน)	1.20	1.70	1.50
ทรายแป้งเกิดจากน้ำพัดพา (ไม่มีสารแขวน)	0.60	1.10	0.60
ทรายแป้งเกิดจากน้ำพัดพา (มีสารแขวน)	1.10	1.50	0.90
กรวดหยาบ (ไม่มีสารแขวน)	1.20	1.80	2.00
กรวดขนาดโตและกรวดชายหาด	1.50	1.65	2.00
หินชนวน	1.80	1.80	1.50

2. ประเภทของการไหล

การไหลในรางเปิดแบ่งประเภทได้เป็นการไหลคงตัว (Steady) และการไหลไม่คงตัว (Unsteady) การไหลคงตัวหมายถึงการไหลซึ่งอัตราไม่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลา สำหรับการออกแบบการไหลในรางเปิดจะกำหนดให้การไหลเป็นแบบคงตัว การไหลคงตัวยังแบ่งต่อไปอีกเป็นแบบสม่ำเสมอ เพื่ออุปถัมภ์, ความขรุขระ และความลาดชัน คงที่ และแบบไม่สม่ำเสมอหรือแปรเปลี่ยน เมื่อคุณสมบัติของรางเปลี่ยนแปลงจากหน้าตัดหนึ่งไปยังอีกหน้าตัดหนึ่ง

ความลึกของการไหลและความเร็วเฉลี่ยจะคงที่สำหรับการไหลคงที่ในรางที่มีความสม่ำเสมอ

3. การไหลสม่ำเสมอ

ความลึกของการไหลเท่ากับ d ในรางที่มีความสม่ำเสมอ, ความเร็วเฉลี่ย v คำนวณได้จาก Manning Equation ดังนี้

$$V = \frac{1.49 R^{2/3} S^{1/2}}{n}$$

โดยที่

R = รัศมีชลศาสตร์ = A/WP = พื้นที่หน้าตัดของการไหลหารด้วยเส้นขอบเปียกน้ำ

S = ความลาดชันของเส้นหัวน้ำทั้งหมด

n = สัมประสิทธิ์ความขรุขระของ Manning

อัตราการไหลผ่านราง Q คำนวณจาก

$$Q = AV$$

สมการของ Manning จะประเมินความเร็วได้ถูกต้องเฉพาะเมื่ออัตราการไหลหน้าตัดตรง, ความขรุขระ และความลาดชันคงที่ตลอดระยะทางที่เพียงพอที่จะก่อให้เกิดสถานะการไหลสม่ำเสมอ กล่าวได้ว่าการไหลแบบสม่ำเสมอเกิดขึ้นได้น้อยมากในสภาพตามธรรมชาติ เนื่องจากหน้าตัดตรงเปลี่ยนจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่ง สำหรับวัตถุประสงค์ในด้านปฏิบัติสำหรับงานทางหลวง สามารถใช้สมการ Manning คำนวณปัญหาการไหลในลำธาร โดยต้องมีข้อสมมติที่ใกล้เคียงกับสภาพความเป็นจริงตามธรรมชาติ

เมื่อสภาพความต้องการของการไหลแบบสม่ำเสมอเกิดขึ้น ความลึกของการไหล d และความเร็วของกระแส V_n เรียกว่าเป็นแบบปกติ (Normal) และความลาดชันของผิวน้ำและร่องน้ำจะขนานกัน

4. พลังงานของการไหล

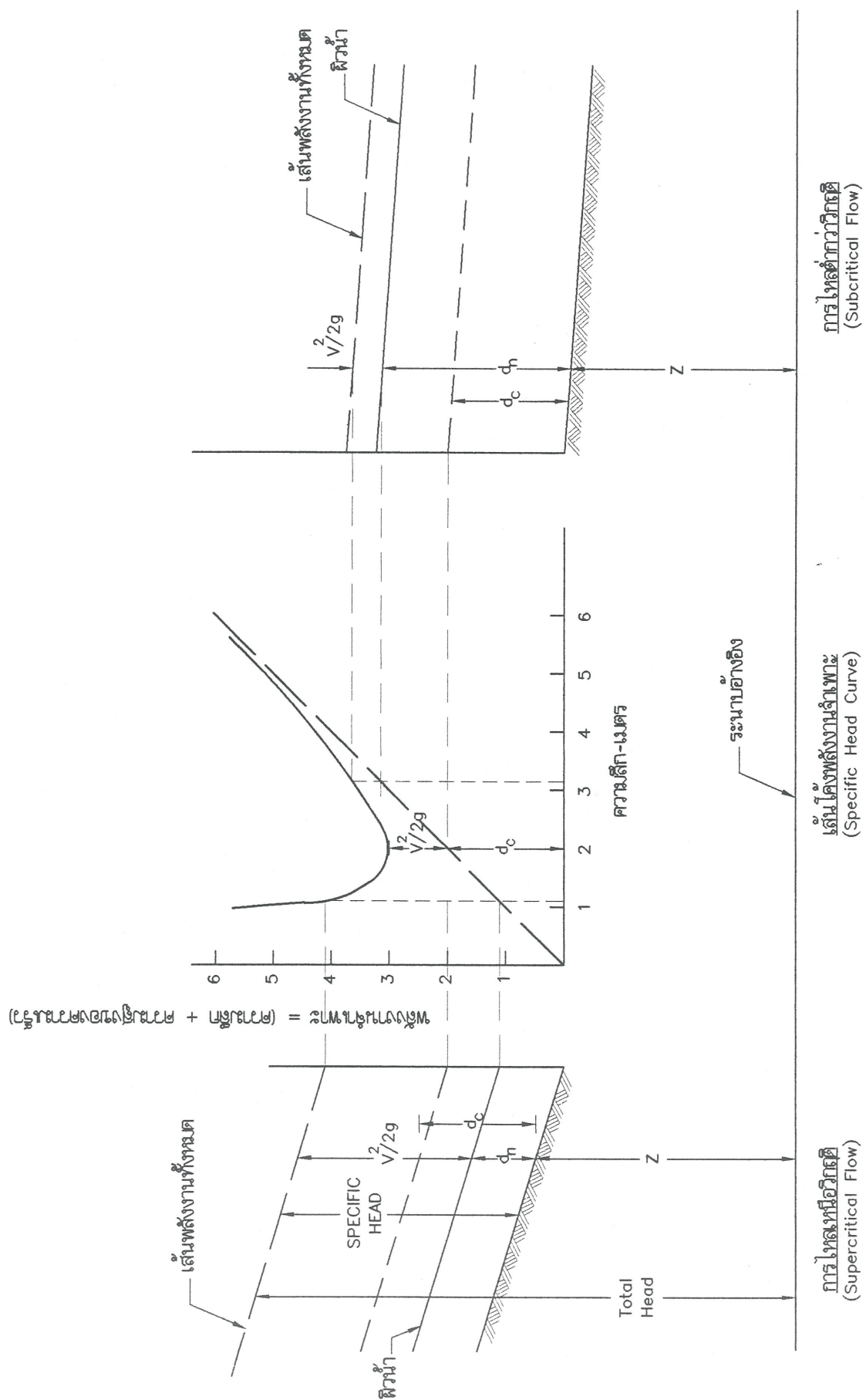
การไหลของกระแสน้ำจะประกอบด้วยพลังงานใน 2 ส่วนคือ พลังงานศักย์ (Potential Energy) และ พลังงานจลน์ (Kinetic Energy) พลังงานศักย์ที่จุดเฉพาะแทนด้วยความลึกของน้ำบวกกับความสูงของระดับ ส่วนล่างของราง เหนือระนาบอ้างอิง (Datum Plane) พลังงานจลน์ แทนด้วยความสูงของความเร็ว (Velocity Head) ในการคำนวณการไหลในราง มักพิจารณาองค์ประกอบของพลังงานโดยเทียบกับส่วนล่างของราง ซึ่งเรียกว่าพลังงานจำเพาะหรือความสูงจำเพาะ (Specific Head) ซึ่งเท่ากับความลึกของน้ำบวกกับความสูงของความเร็ว นั่นคือ $d + \frac{v^2}{2g}$ ในบางครั้งอาจต้องการใช้องค์ประกอบของพลังงานทั้งหมด (ความสูงทั้งหมด = Total Head) นั่นก็คือ ความสูงจำเพาะบวกกับระดับของส่วนล่างของรางที่อยู่เหนือระนาบอ้างอิง ดังนั้นความสูงทั้งหมดจึงนำมาใช้ประยุกต์เป็นสมการพลังงาน ซึ่งกล่าวว่าพลังงานทั้งหมดที่จุดใดจุดหนึ่งในรางที่รองรับการไหลของน้ำจะเท่ากับพลังงานทั้งหมดที่จุดใดๆ ทำให้น้ำลงไปกับกับการสูญเสียพลังงาน (Energy Losses) สมการพลังงานดังกล่าวเขียนได้ดังนี้

$$d_1 + \frac{v_1^2}{2g} + Z_1 = d_2 + \frac{v_2^2}{2g} + Z_2 + h_{loss}$$

ในสมการตัวเลขห้อยท้าย 2 จะอยู่ท้ายน้ำของตัวเลขห้อยท้าย 1, Z คือระดับของส่วนล่างของราง และ h_{loss} แทนการสูญเสียพลังงานระหว่างหน้าตัด 1 และหน้าตัด 2 วิธีที่สะดวกที่สุดในการแสดงพลังงานจำเพาะคือการแสดงเส้นผิวน้ำและเส้นพลังงานจำเพาะ ดังแสดงในรูปที่ 1

เส้นพลังงานทั้งหมด ประกอบด้วย พลังงานศักย์ และพลังงานจลน์ ของการไหลในราง

ความลาดชันของเส้นพลังงานทั้งหมดเป็นการวัดความลาดชันของความเสียดทาน หรืออัตราการสูญเสียพลังงานเนื่องจากแรงเสียดทาน สำหรับการไหลแบบสม่ำเสมอเส้นพลังงานจะขนานกับเส้นผิวน้ำ และพื้นของราง



รูปที่ 1 ลักษณะของพลังงานจำเพาะ

5. การไหลวิกฤติ

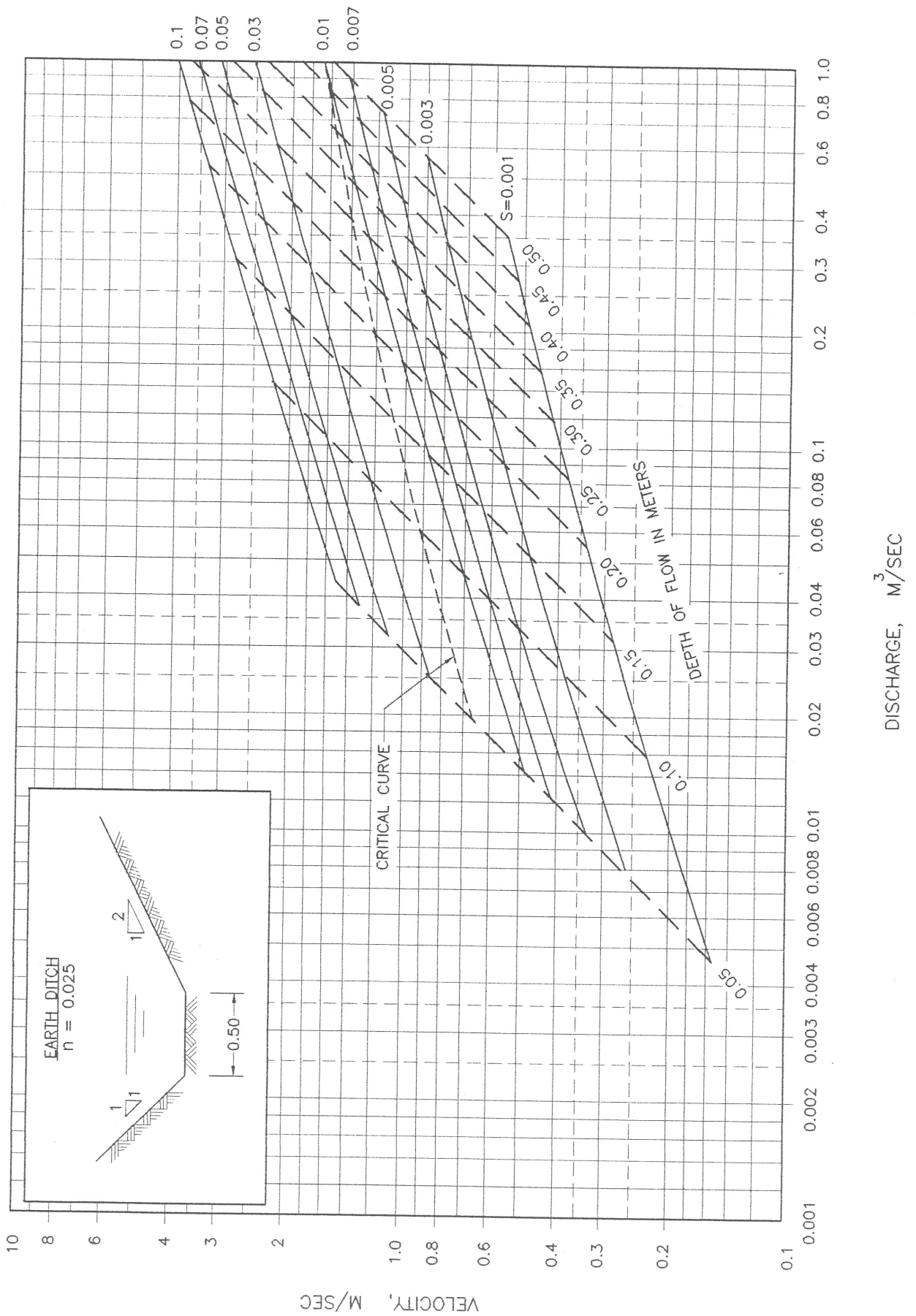
จากรูปที่ 1 ที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความลึกและพลังงานจำเพาะ จุดที่โค้งอยู่ต่ำสุดแทนสภาพองค์ประกอบพลังงานต่ำสุด (Minimum Energy Content) ความลึกที่จุดนี้เรียกว่า ความลึกวิกฤติ (Critical Depth), d_c และความเร็วของกระแสน้ำที่สอดคล้องกัน เรียกว่า ความเร็ววิกฤติ V_c สำหรับการไหลแบบสม่ำเสมอ ความลาดชันของรางที่เกิดความลึกวิกฤติเรียกว่า ความลาดชันวิกฤติ S_c

จุดทางด้านซ้ายมือ ของจุดต่ำสุดของเส้นพลังงานจำเพาะ เป็นความลาดชันของรางที่ชันกว่าความลาดชันวิกฤติ เรียกว่า การไหลแบบสูงกว่าวิกฤติ ซึ่งความลึกของการไหลจะตื้นและความเร็วของกระแสน้ำสูง การไหลแบบนี้จะเกิดขึ้นในสะพานน้ำที่มีความลาดชันสูง (Steep Flumes) และลำธารในภูเขา

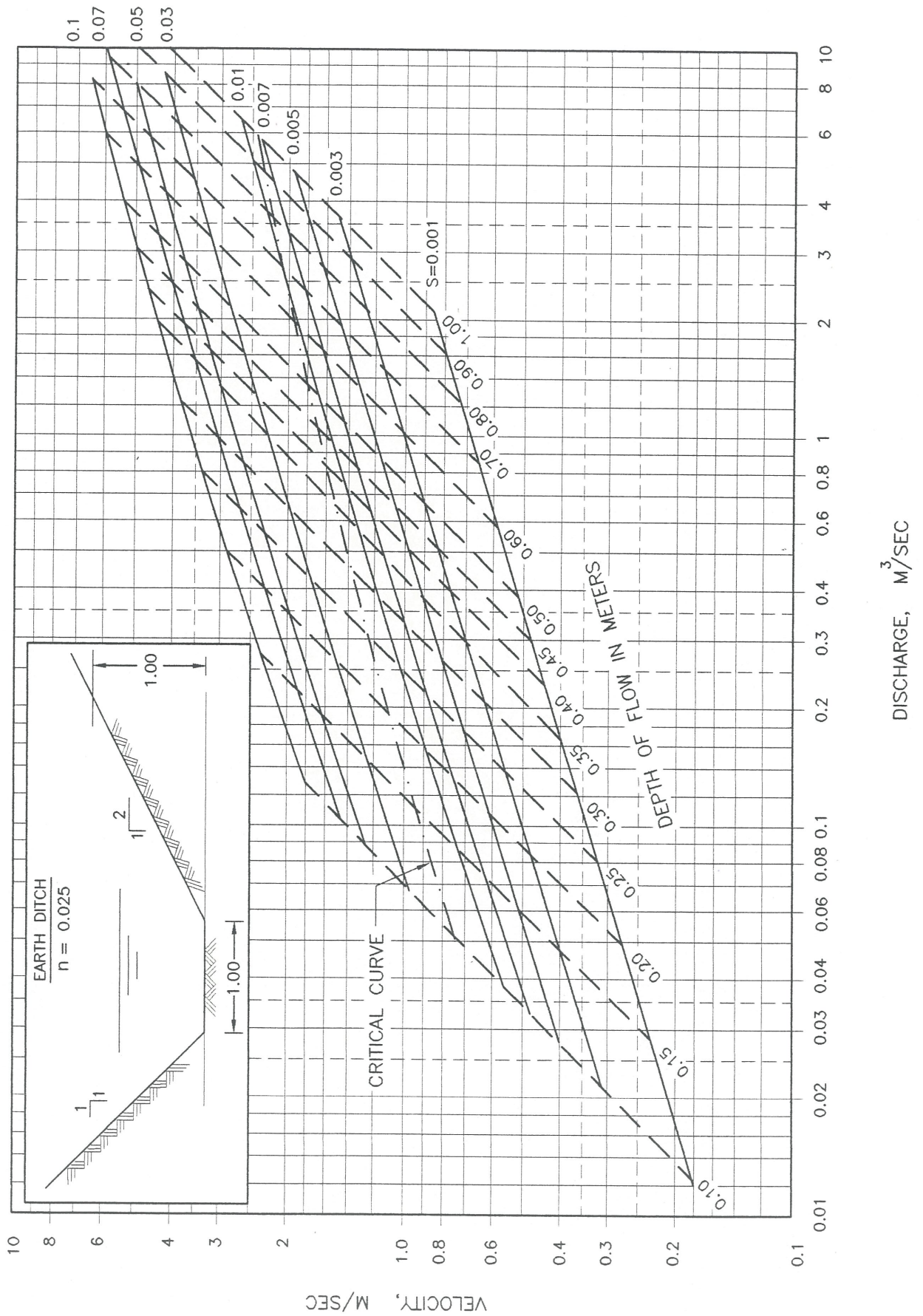
จุดทางด้านขวามือของจุดต่ำสุดของเส้นพลังงานจำเพาะ เป็นความลาดชันของรางที่แบนราบกว่าความลาดชันวิกฤติ และจะมีความลึกของการไหลมากกว่าความลึกวิกฤติด้วยความเร็วของกระแสน้ำต่ำ การไหลดังกล่าวเรียกว่า การไหลต่ำกว่าวิกฤติ

ได้จัดเตรียม Channel Charts สำหรับการไหลในรางรูปสี่เหลี่ยมคางหมู และสี่เหลี่ยมผืนผ้า ทั้งเป็นรางดินกำหนดค่า $n = 0.025$ และรางคอนกรีตกำหนดค่า $n = 0.015$ จำนวน 8 รูปแบบของราง เพื่อใช้เป็นบรรทัดฐานสำหรับการจัดเตรียม Channel Chart ในโอกาสต่อไป

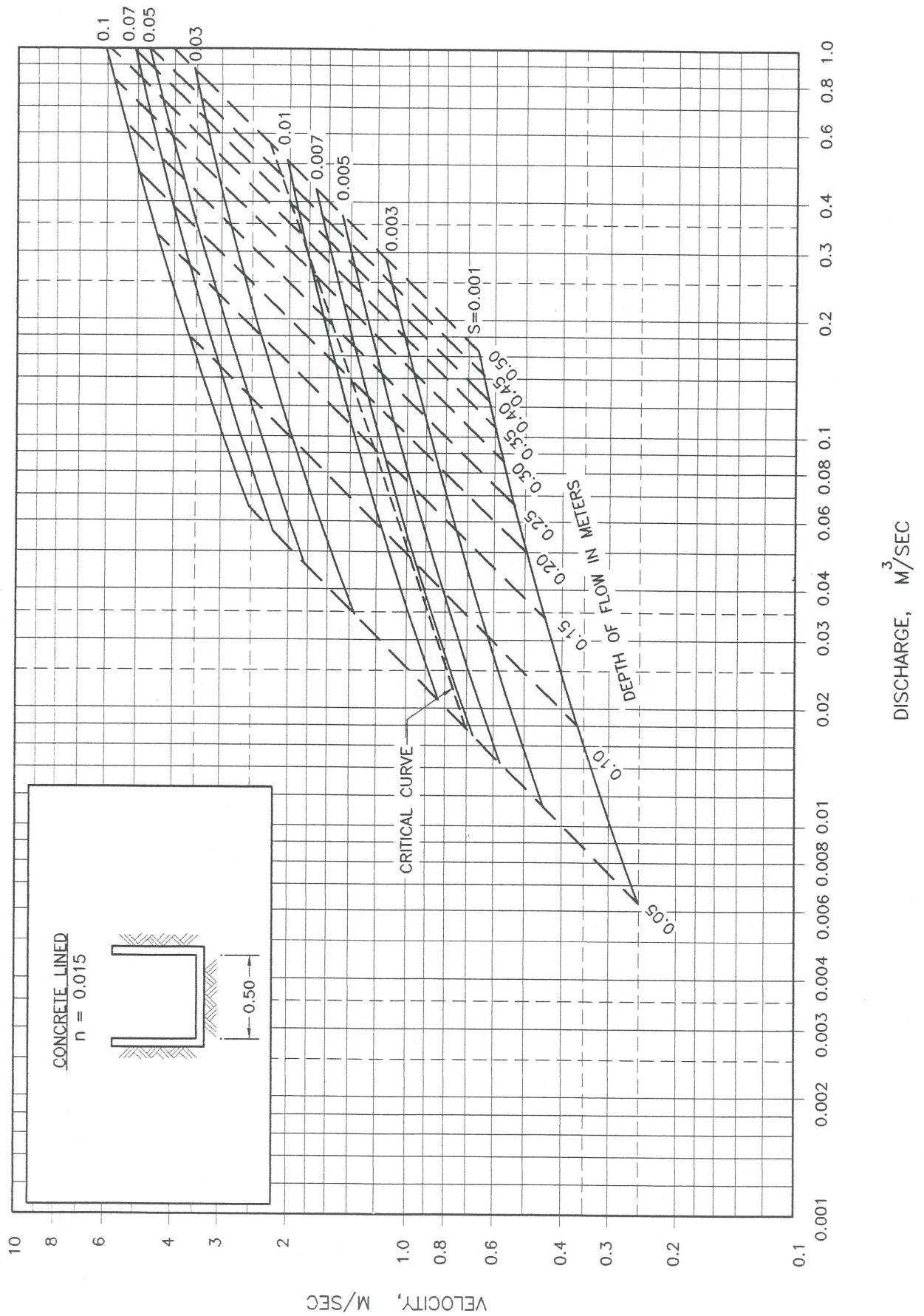
CHANNEL CHART



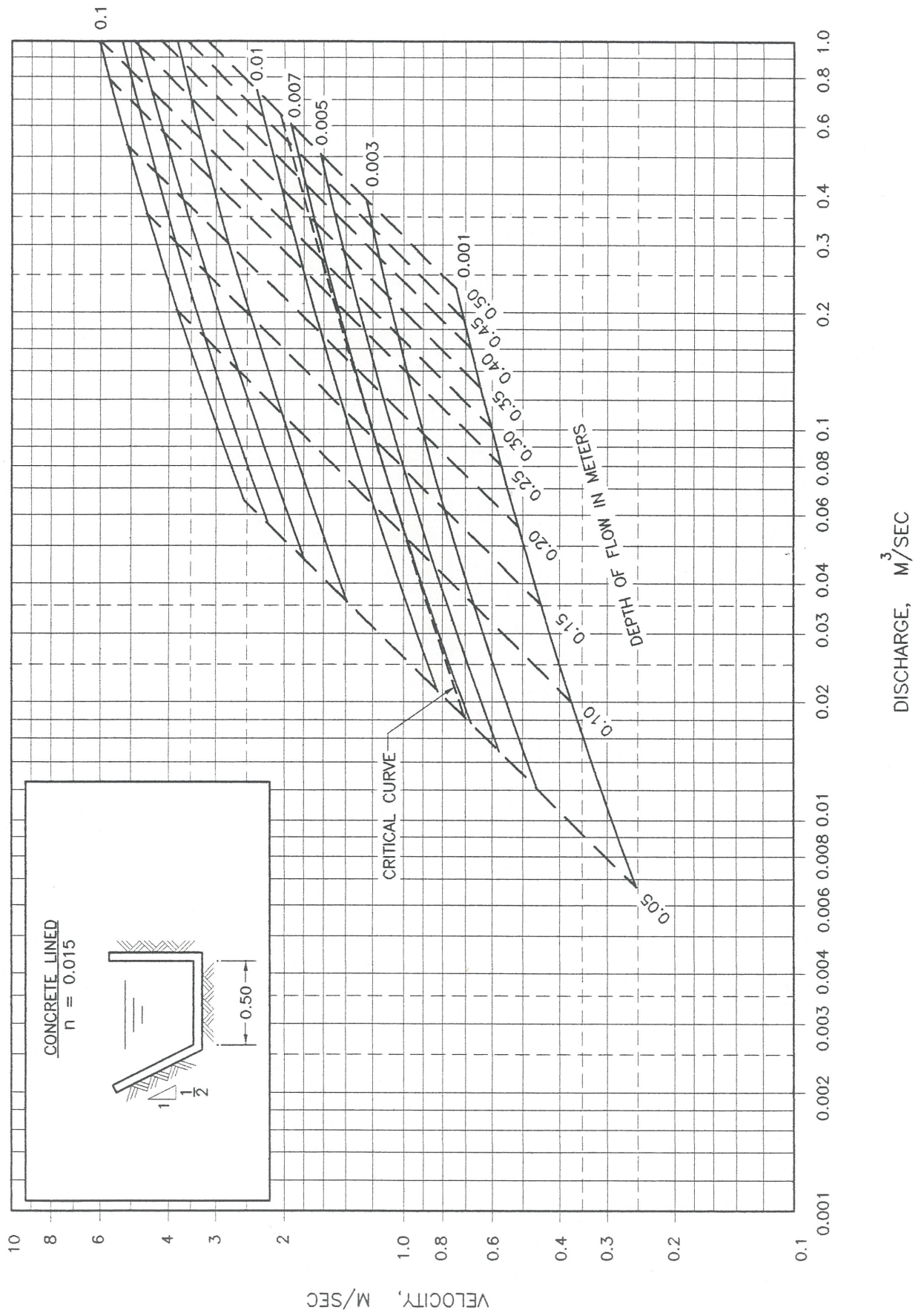
CHANNEL CHART



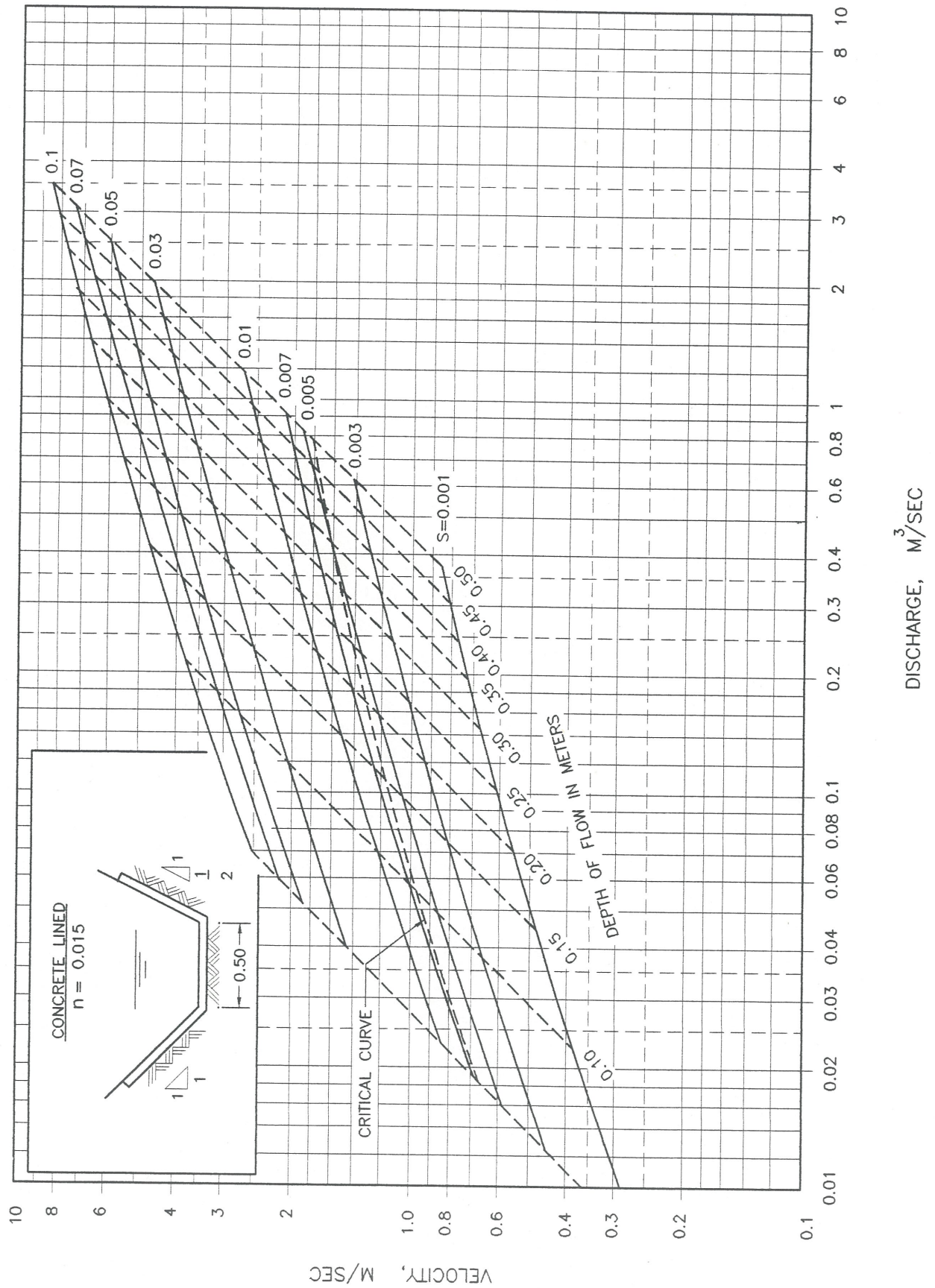
CHANNEL CHART



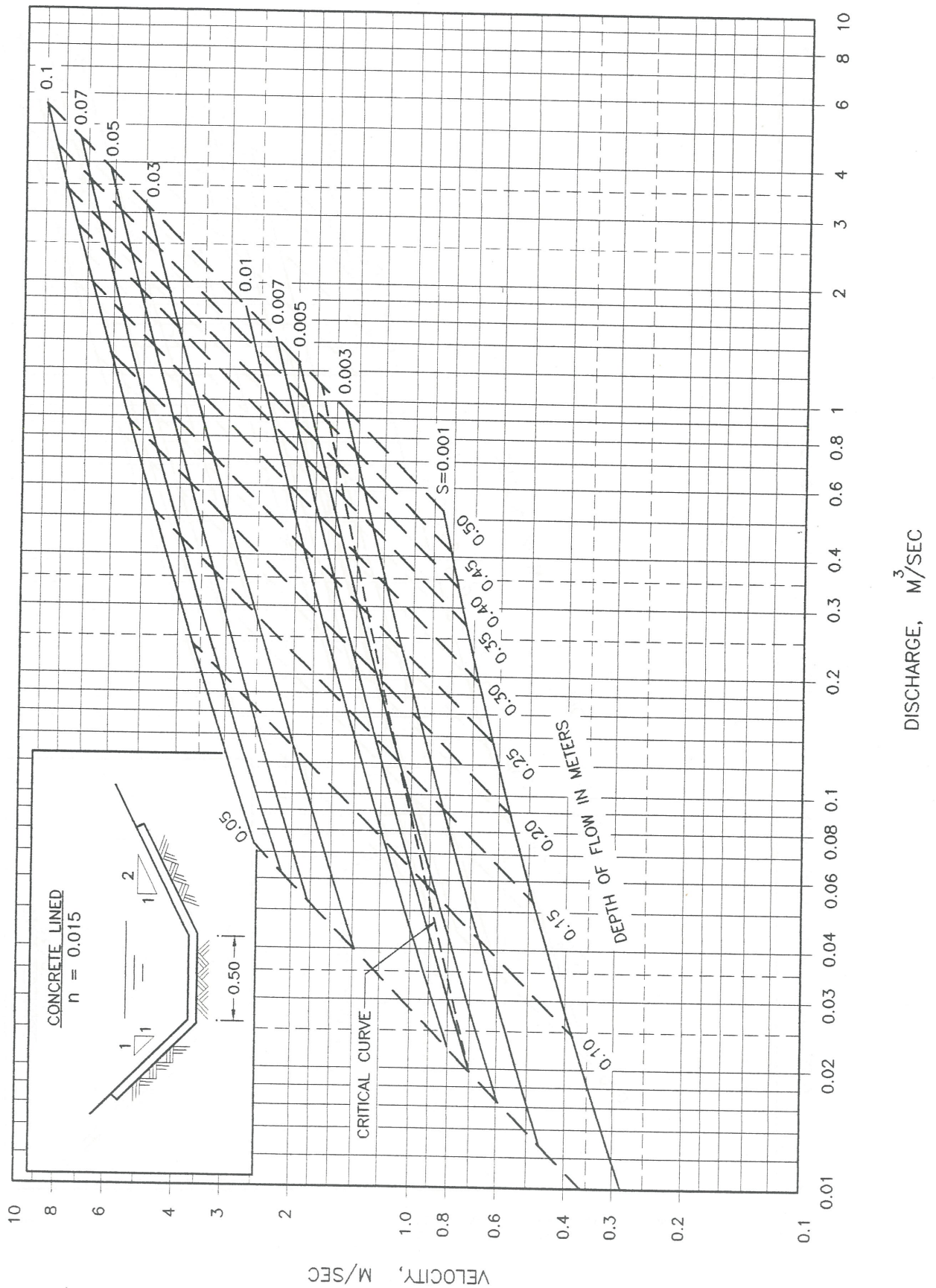
CHANNEL CHART



CHANNEL CHART



CHANNEL CHART



CHANNEL CHART

