1

การวางโครงการพัฒนาแหล่งน้ำ

รศ.ดร.วราวุธ วุฒิวณิชย์

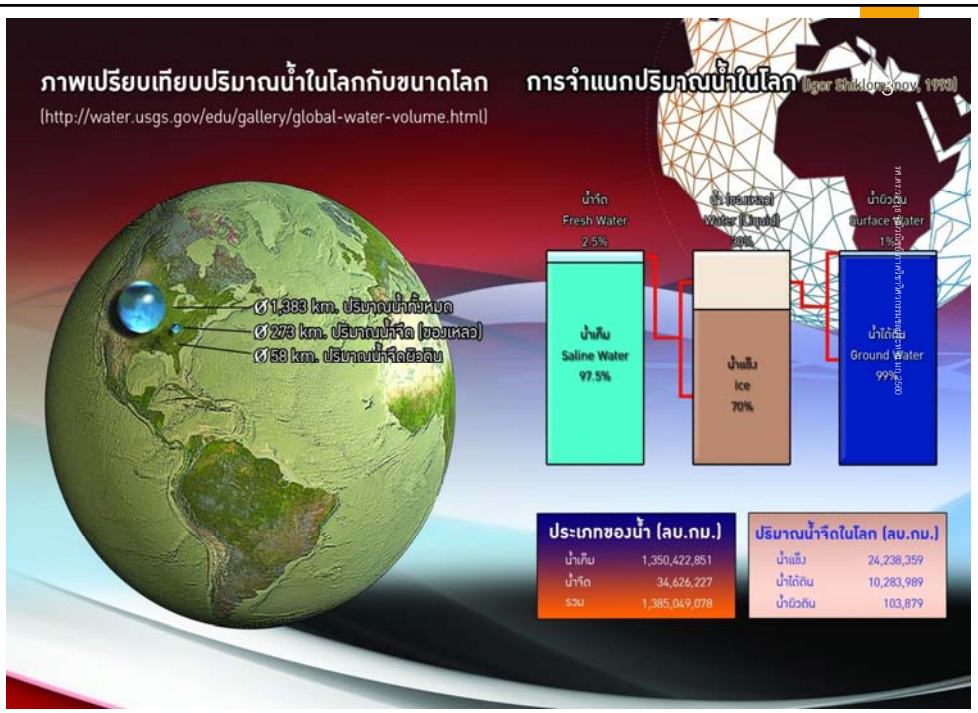
ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน

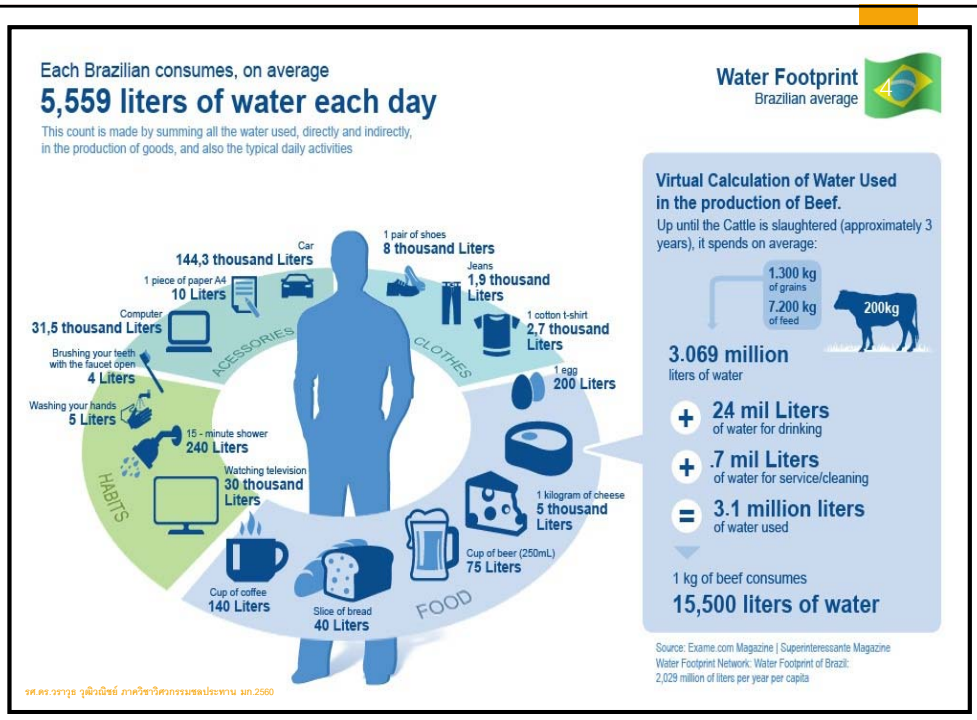
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กำแพงแสน

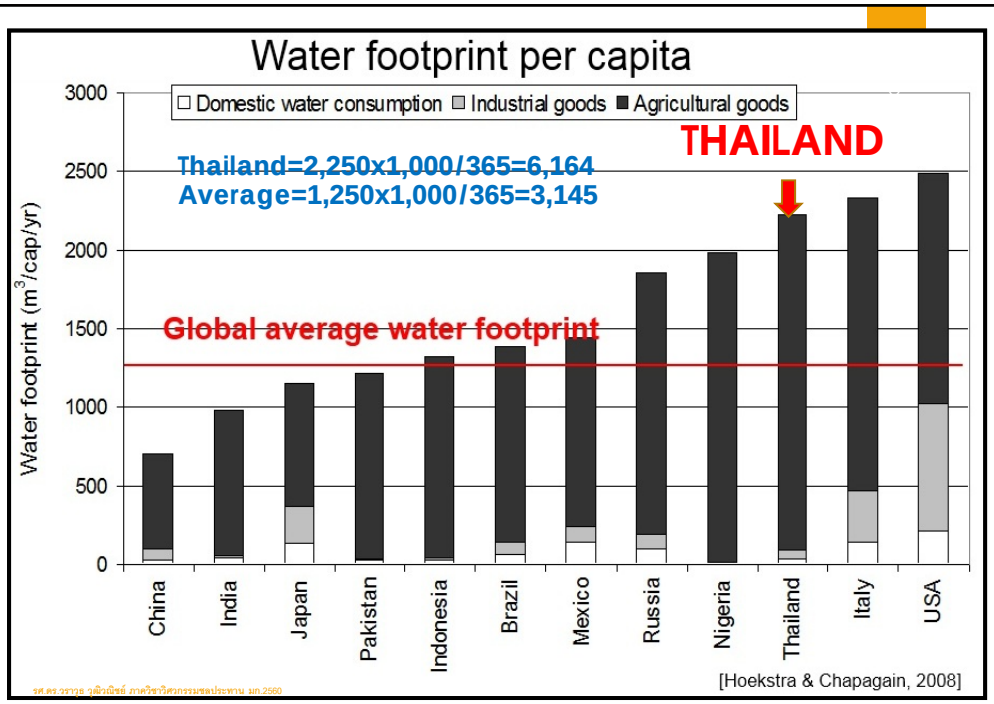
6 มิย .2560

2

ข้อเท็จจริงเกี่ยวกับน้ำ


ภาพเปรียบเทียบปริมาณน้ำในโลกกับขนาดโลก
(http://water.usgs.gov/edu/gallery/global-water-volume.html)
การจำแนกปริมาณน้ำในโลก (Igor Shiklomanov, 1993)
Ø 1,383 km. ปริมาณน้ำทั้งหมด
Ø 273 km. ปริมาณน้ำจืด (ของเหลว)
Ø 58 km. ปริมาณน้ำจืดมีอิสระ
น้ำจืด
Fresh Water
2.5%
น้ำเค็ม
Saline Water
97.5%
น้ำแข็ง
Ice
70%
น้ำผิวดิน
Surface Water
1%
น้ำใต้ดิน
Ground Water
99%
ประเภทของน้ำ (ลบ.กม.)
น้ำเค็ม 1,350,422,851
น้ำจืด 34,626,227
รวม 1,385,049,078
ปริมาณน้ำจืดในโลก (ลบ.กม.)
น้ำแข็ง 24,238,359
น้ำใต้ดิน 10,283,989
น้ำผิวดิน 103,879


Each Brazilian consumes, on average
5,559 liters of water each day
This count is made by summing all the water used, directly and indirectly, in the production of goods, and also the typical daily activities
Water Footprint
Brazilian average
Car
144,3 thousand Liters
1 pair of shoes
8 thousand Liters
Jeans
1,9 thousand Liters
1 piece of paper A4
10 Liters
Computer
31,5 thousand Liters
1 cotton t-shirt
2,7 thousand Liters
ACESSORIES
CLOTHES
Brushing your teeth with the faucet open
4 Liters
1 egg
200 Liters
Washing your hands
5 Liters
15 - minute shower
240 Liters
Watching television
30 thousand Liters
1 kilogram of cheese
5 thousand Liters
HABITS
Cup of beer (250mL)
75 Liters
Cup of coffee
140 Liters
Slice of bread
40 Liters
FOOD
Virtual Calculation of Water Used in the production of Beef.
Up until the Cattle is slaughtered (approximately 3 years), it spends on average:
1.300 kg of grains
7.200 kg of feed
200kg
3.069 million liters of water
+ 24 mil Liters of water for drinking
+ .7 mil Liters of water for service/cleaning
= 3.1 million liters of water used
1 kg of beef consumes
15,500 liters of water
Source: Exame.com Magazine | Superinteressante Magazine
Water Footprint Network: Water Footprint of Brazil:
2,029 million of liters per year per capita



สิ่งที่ต้องศึกษาก่อนวางโครงการ

- แผนยุทธศาสตร์ชาติ 20 ปี พ.ศ. 2559-2579 : **มั่นคง มั่งคั่ง ยั่งยืน**
- แผนยุทธศาสตร์การบริหารจัดการทรัพยากรน้ำ 2558-2569
  - **จัดการปริมาณ-คุณภาพ น้ำท่วม-อุทกภัย อนุรักษ์-ฟื้นฟู-ป้องกัน**
- แผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่ 12 พ.ศ. 2560–2564
  - **ความสามารถในการแข่งขัน ความเสมอภาค การพัฒนาที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม**

➲ลดการใช้น้ำในพื้นที่ชลประทาน 10% ➲เพิ่มพื้นที่ชลประทาน 8.7 ล้านไร่

THAILAND 4.0 (Transforming towards the value based economy)

7

From	To
Traditional Farming	Smart Farming
Traditional SMEs	STARTUPS
Buy Technologies	Create Technologies
Traditional Services	High Value Services
Unskilled Labors	High Skilled Labors

ยุทธศาสตร์กรมชลประทาน

8

ประเด็นยุทธศาสตร์ 2555 - 2559	(ร่าง) ประเด็นยุทธศาสตร์ 2560 - 2564
1. การพัฒนาแหล่งน้ำและเพิ่มพื้นที่ชลประทาน	1. การพัฒนาแหล่งน้ำและเพิ่มพื้นที่ชลประทาน ตามศักยภาพลักษณะลุ่มน้ำ (Basin-based Approach)
2. การบริหารจัดการน้ำอย่างบูรณาการ	2. การเพิ่มประสิทธิภาพการบริหารจัดการน้ำอย่างบูรณาการ ตามวัตถุประสงค์การใช้น้ำ
3. การป้องกันและบรรเทาภัยอันเกิดจากน้ำตามภารกิจ	3. การป้องกันความเสียหายและสนับสนุนการบรรเทาภัยอันเกิดจากน้ำ
	★4. การเสริมอำนาจประชาชนในระดับพื้นที่ (Empowering) การสร้างเครือข่าย และการมีส่วนร่วมของทุกภาคส่วนในงานบริหารงานจัดการน้ำชลประทาน (Networking Collaboration Participation)
	★5. การปรับเปลี่ยนสู่องค์กรอัจฉริยะ (Turn Around to Intelligence Organization)

หมายเหตุ : ★ ยุทธศาสตร์ที่นำเสนอใหม่ ข้อความ ที่ปรับเพิ่มเติม

การจัดทำ (ร่าง) วิสัยทัศน์กรมชลประทาน ตามแผนยุทธศาสตร์พ.ศ. 2560 - 2564

1. องค์กรอัจฉริยะ ที่มุ่งสร้างความมั่นคงด้านน้ำ (Water Security) เพื่อเพิ่มมูลค่าการผลิต ภายในปี 2580
2. องค์กรอัจฉริยะ ที่มุ่งบริหารจัดการน้ำเพื่อทุกชีวิต (Water for all) ภายในปี 2580

ตารางที่ 17 : คำอธิบายประกอบร่าง) วิสัยทัศน์กรมชลประทาน

Keyword	คำอธิบาย
องค์กรอัจฉริยะ	การปรับเปลี่ยนองค์กรและบุคลากร (Turn Around) ให้ทันสมัย มีการทำงานที่ตั้งอยู่บนฐานดิจิตัล และเทคโนโลยีสารสนเทศ ที่มีความรวดเร็ว คล่องตัว สามารถปรับตามสถานการณ์และการเปลี่ยนแปลงต่างๆ ได้
ที่มุ่งสร้างความมั่นคงด้านน้ำ (Water Security)	สร้างความยั่งยืน ให้ประชาชนสามารถเข้าถึงการใช้น้ำได้ และเป็นหนึ่งในเป้าหมายและทิศทางยุทธศาสตร์ของแผนชาติ
ที่มุ่งบริหารจัดการน้ำเพื่อทุกชีวิต (Water for all)	เป็นหน่วยงานหลักในการบริหารจัดการน้ำของประเทศ โดยกรมชลประทานเป็นหน่วยงานหลักที่ควบคุมและบริหารจัดการมวลน้ำหลัก และปล่อยมาให้หน่วยงานอื่นๆ สามารถนำมาใช้ให้เกิดประโยชน์แก่ประชาชนในด้านต่างๆ ต่อไปได้
เพื่อเพิ่มมูลค่าการผลิต	การใช้น้ำในอนาคตไม่ใช่แต่เป็นเพียงการเข้าถึง และการได้ใช้เท่านั้น แต่จะต้องมองว่า น้ำ 1 หยด จะสามารถเพิ่มมูลค่าให้กับภาคการเกษตร ภาคการผลิต ได้มากน้อยเพียงใด และทำอย่างไรที่จะใช้น้ำแต่ละหยดได้อย่างมีประโยชน์มากที่สุด
ภายในปี 2580	ให้ระยะเวลาของเป้าหมายใกล้เคียงกับแผนยุทธศาสตร์ชาติ 20 ปี

10

วิสัยทัศน์กรมชลประทาน 2559

กรมชลประทานเป็นองค์กรนำด้านการพัฒนาแหล่งน้ำและบริหารจัดการน้ำอย่างบูรณาการ ให้มีพื้นที่ชลประทาน อยู่ในลำดับ 1 ใน 10 ของโลก

11

คำนิยามและแนวคิด ในการวางโครงการ

12

โครงการ (Project)

กิจกรรมที่เกี่ยวข้องกับการใช้ทรัพยากรเพื่อหวังผลตอบแทน ทั้งทางตรงและทางอ้อม และมีคุณสมบัติที่สำคัญ คือ

- มีวัตถุประสงค์
- สามารถวางแผน วิเคราะห์ และบริหารงานได้โดยอิสระ
- มีขอบเขต มีจุดเริ่มต้น และจุดสิ้นสุด

การวางโครงการ (Project Planning)

13

การวางแผนการใช้ทรัพยากรที่มีอยู่ หรือที่ได้รับจัดสรร อย่างมีระบบ เพื่อให้การใช้ทรัพยากรเกิดประโยชน์สูงสุด ตรงตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ หรือเพื่อให้เกิดการใช้ทรัพยากรน้อยที่สุด ในอันที่จะบรรลุวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ และเกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและสังคมน้อยที่สุด

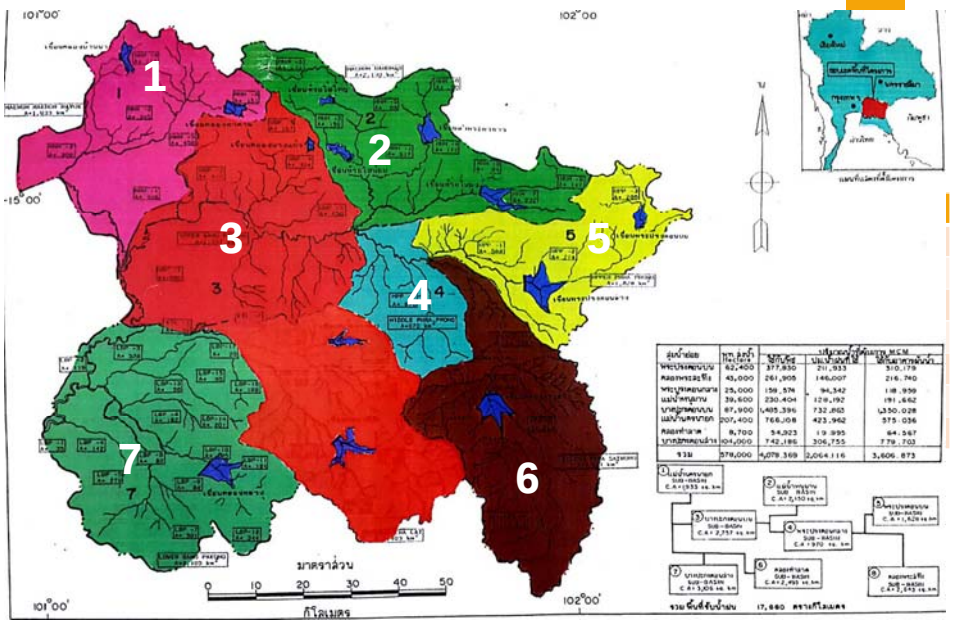
14

ในการพัฒนาแหล่งน้ำเพื่อการชลประทาน ต้องศึกษาทั้งลุ่มน้ำ (River basin planning) การดำเนินการศึกษาทั้งลุ่มน้ำ ก็เพื่อวัตถุประสงค์ที่สำคัญ 2 ประการ

(1) ไม่ให้โครงการที่พัฒนาขึ้นก่อน ไปขัดขวางโครงการที่พัฒนาขึ้นภายหลัง

(2) ไม่ให้โครงการที่จะเกิดขึ้นภายหลังไปลดผลประโยชน์ของโครงการที่เกิดขึ้นก่อน

คัดลอกจาก โครงการศึกษาความเหมาะสมและผลกระทบสิ่งแวดล้อมพรุครวนเคร็ง



แผนพัฒนาลุ่มน้ำบางปะกง พื้นที่ลุ่มน้ำ = 17,660 ตร.กม.

รศ.ดร.วรารุธ วุฒิมานิชย์ ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน มก.2560

ปัจจัยที่มีผลต่อการวางแผน (Neil S. Grigg, 1985)

16

1.การเมือง

2.การเงิน

3.กระบวนการวางแผน

: ข้อมูล การตัดสินใจ การมีส่วนร่วม

4.เทคนิคในการวิเคราะห์

5.การประเมินผล

: เศรษฐศาสตร์/ การเงิน/ สังคม/ สิ่งแวดล้อม

ถ้าผลการประเมินเกี่ยวกับค่าลงทุน ผลประโยชน์ และผลกระทบไม่ชัดเจน จะทำให้โครงการไม่ได้รับการยอมรับ

รศ.ดร.วรารุธ วุฒิมานิชย์ ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน มก.2560

การวางโครงการ คือการศึกษาหาวิธีการดำเนินงานเพื่อแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นในปัจจุบันและในอนาคต

17

- การดำเนินการโครงการ
  - ต้องใช้เงินทุนจำนวนมาก
  - ต้องมีการเปลี่ยนแปลง
  - อาจมีผลกระทบที่ไม่พึงประสงค์ต่อทั้งคน สังคมและสิ่งแวดล้อม ที่หลีกเลี่ยงไม่ได้
  - มีคนบางกลุ่มสนับสนุน แต่บางกลุ่มคัดค้าน
  - อาจมีมีข้อจำกัดด้านกฎหมาย
- ดังนั้นจึงต้องศึกษาและวิเคราะห์อย่างรอบครอบ และอย่างชาญฉลาด

ผลการศึกษา ต้องสามารถตอบคำถามเหล่านี้ได้

18

- โครงการเป็นความจำเป็น ไม่ดำเนินการไม่ได้
- ไม่มีปัญหาด้านการเงิน
- โครงการคือทางเลือกในการแก้ปัญหาที่เหมาะสมที่สุด
- ผลประโยชน์ที่เกิดขึ้นคุ้มค่า และยั่งยืน
- ใครได้รับผลประโยชน์ และใครได้รับผลกระทบ
- ส่วนไหนของโครงการก่อให้เกิดผลดีและส่วนไหนมีผลเสียต่อสังคมและสิ่งแวดล้อม

19

เงิน ?????????

- เงินลงทุน
- ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงาน
- ค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษา
- มาจากไหน รัฐมีงบประมาณจำกัด
- ผู้ได้รับประโยชน์ ควรร่วมออกค่าใช้จ่าย หรือไม่

20

ผลประโยชน์ที่เกิดขึ้นคุ้มค่า และยั่งยืน

- วิเคราะห์ผลประโยชน์ – ค่าลงทุน
- ใช้ค่าเสียโอกาสของเงินทุนที่สะท้อนต้นทุนจริง
- ให้ความสำคัญกับความน่าเชื่อถือของตัวเลขที่ใช้วิเคราะห์
  - ตัวเลขเช่น ผลผลิตต่อไร่ ราคาผลผลิต ค่าลงทุน ค่าใช้จ่ายต่างๆ มีความไม่แน่นอนสูง ต้องมีข้อมูล/สถิติระยะยาว ต้องอาศัยผลการประเมินโครงการที่ดำเนินการไปแล้ว

21

ใครได้รับผลประโยชน์ และใครได้รับผลกระทบ

- ผู้ได้รับผลประโยชน์
  - กรณีที่งบประมาณรัฐไม่พอ ผู้ได้รับผลประโยชน์ จะช่วยร่วมออกค่าลงทุนได้ไหม เพื่อให้โครงการดำเนินการได้ โดยช่วยออกค่าลงทุนจากบางส่วนของผลประโยชน์ที่รับเพิ่มขึ้น ผู้ไม่ได้รับผลประโยชน์เพิ่มก็ไม่จำเป็นต้องร่วมออกค่าลงทุน
- ผู้ได้รับผลกระทบ
  - มีมาตรการช่วยบรรเทาผลกระทบที่เป็นรูปธรรม

22

ผลดีและผลเสียต่อสังคมและสิ่งแวดล้อม

- ต้องประเมินอย่างจริงจัง โดยผู้ที่มีความรู้-ประสบการณ์ และไม่มีส่วนได้เสีย ศึกษาจากประสบการณ์ของโครงการที่ทำก่อนหน้านั้น

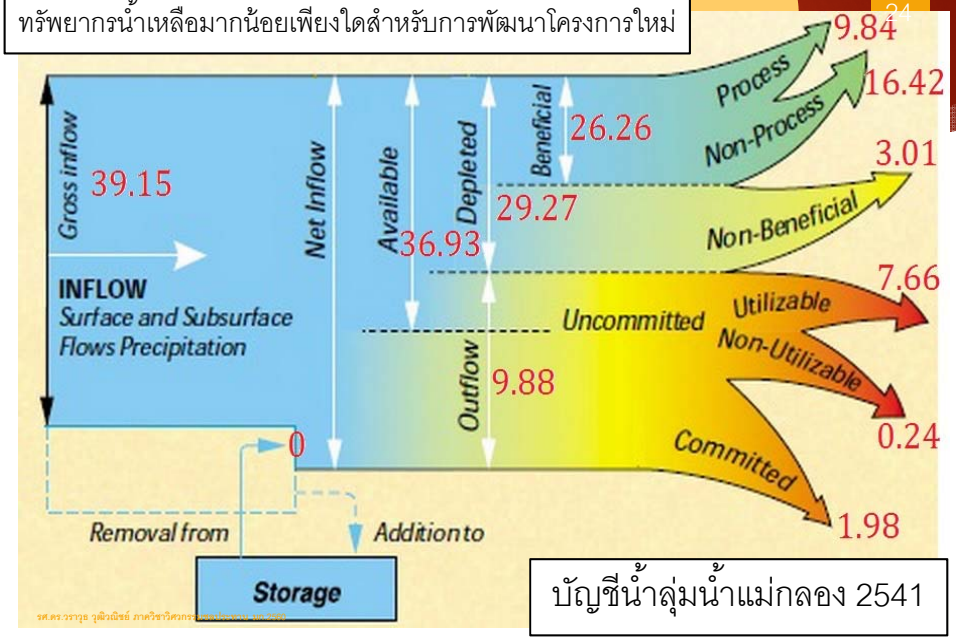
23

ปัจจัยเพิ่มเติมที่ต้องพิจารณาในการวางโครงการ

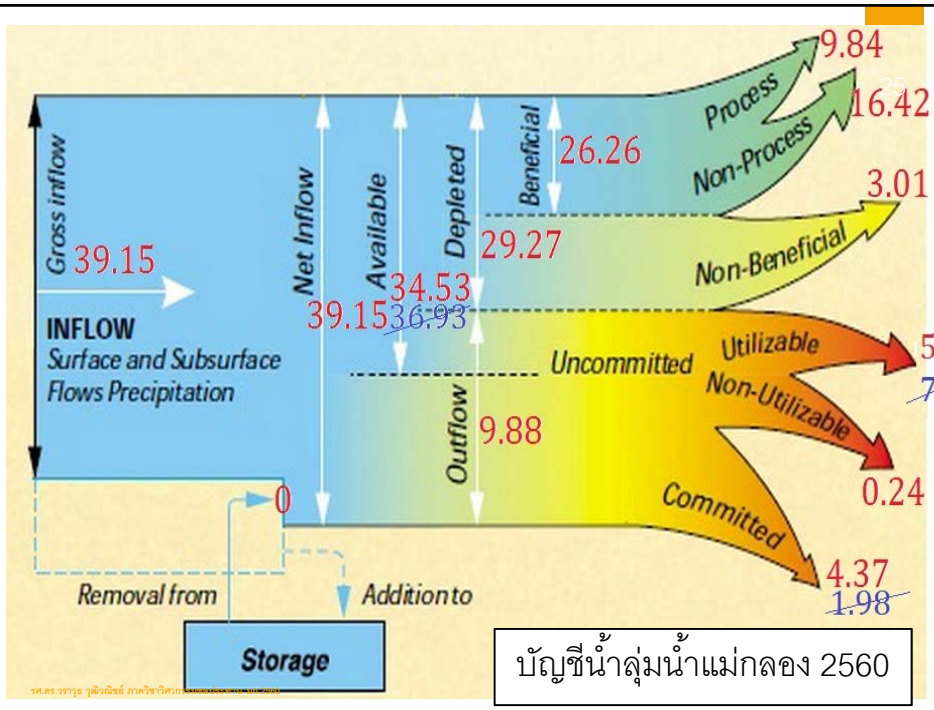
- การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศโลก และผลกระทบต่อประเทศไทย

24

Water Accounting จะช่วยให้คำตอบว่ายังมีทรัพยากรน้ำเหลือมากน้อยเพียงใดสำหรับการพัฒนาโครงการใหม่



บัญชีน้ำลุ่มน้ำแม่กลอง 2541



บัญชีน้ำลุ่มน้ำแม่กลอง 2560

Water Accounting +

- http://wateraccounting.org

End of Part I

27

1

วัฐจักรและกระบวนการในการวางโครงการ

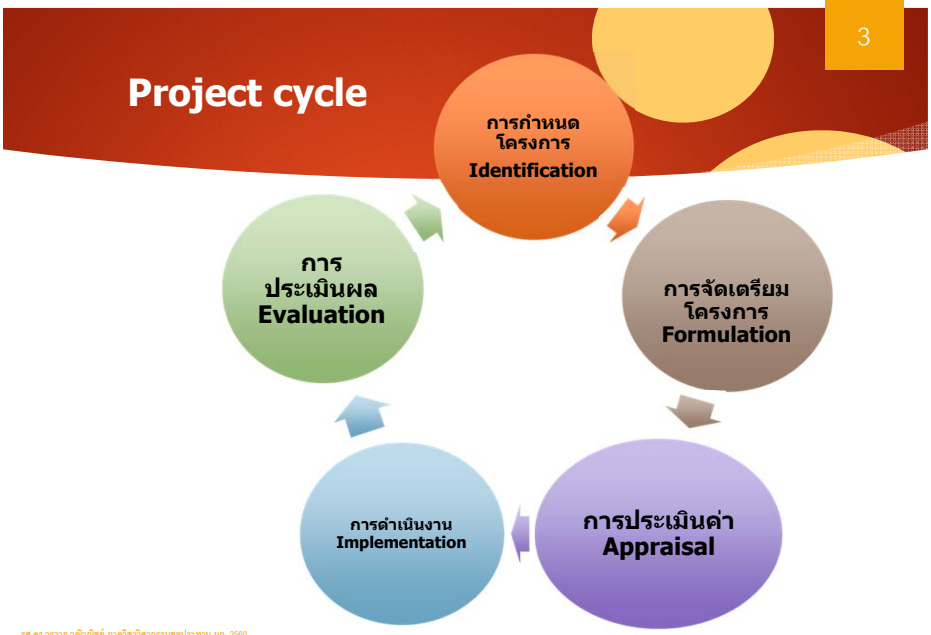
2

วัฐจักรโครงการ

- **การวางแผน (Planning)**
- **การออกแบบ (Design)**
- การก่อสร้าง (Construction)
- การส่งน้ำและบำรุงรักษา (O&M)
- การประเมินผล (Evaluation)

3

Project cycle



4

ความสำเร็จหรือความล้มเหลวของการวางโครงการ

- **ประสบการณ์ในอดีต(History)** สามารถบอกได้ว่าโครงการไหนประสบความสำเร็จ โครงการไหนมีข้อบกพร่องทำให้การดำเนินการไม่บรรลุเป้าหมายที่วางไว้ โครงไหนล้มเหลว
- **บทเรียนที่ได้จากการประเมินโครงการที่ประสบความสำเร็จและล้มเหลวของโครงการที่ดำเนินการก่อนหน้านั้น จะมีประโยชน์ต่อนักวางโครงการ ถ้านำไปใช้อย่างฉลาด**
- **ในการวางโครงการทุกโครงการ มักพบว่ามีทรัพยากรที่นำไปใช้ได้จำกัด แต่มีความต้องการมีมากและหลากหลายมากขึ้น ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่นักวางโครงการต้องพัฒนาขีดความสามารถในการวางโครงการที่มีประสิทธิภาพ ประสิทธิผลและเป็นที่ยอมรับมากขึ้น**

ประโยชน์ของการวางโครงการ (Benefits of planning)

5

- ลดปัญหาที่จะเกิดขึ้นในแต่ละขั้นของการพัฒนา
- ใช้ทรัพยากรมีประสิทธิภาพมากขึ้น
- ทราบค่าลงทุน ผลประโยชน์ และผลกระทบต่อสังคมและสิ่งแวดล้อมที่จะเกิดขึ้น

ขั้นตอนในการวางโครงการ

6

- **กำหนดวัตถุประสงค์** : ดูจากปัญหาในปัจจุบัน นโยบายของผู้บริหาร (Top-down) ความต้องการของพื้นที่ (Bottom-up)
- **กำหนดเป้าหมาย :** การแปลงวัตถุประสงค์ออกมาเป็นค่าเชิงปริมาณที่สะท้อนความเป็นจริง และใช้เป็นตัวชี้วัดในการประเมินผลการดำเนินการโครงการ
- **ประเมินทรัพยากรที่สามารถนำมาใช้ในการวางโครงการ** : ทรัพยากรทางด้านกายภาพ ทรัพยากรด้านการเงิน ทรัพยากรมนุษย์และสถาบัน
- **การสร้างแผน** : องค์ประกอบ ตำแหน่ง ขนาด การแบ่งระยะในการพัฒนา สร้างทางเลือก การมีส่วนร่วม การสร้างแผนเป็นกระบวนการทำซ้ำ
- **การประเมินค่าของทางเลือก :** เทคนิค เศรษฐกิจ สังคม สิ่งแวดล้อม อื่นๆ
- **การเลือกทางเลือกไปดำเนินการ** : เลือกทางเลือกที่ดีที่สุดและเหมาะสมที่สุด

7

กระบวนการ

รศ.ดร.วรวุธ วุฒิวณิชย์ ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน มก. 2560

8

ข้อมูลที่ต้องการ

- **สภาพภูมิศาสตร์** (แผนที่ภูมิประเทศ, ภาพถ่ายทางอากาศ, แผนที่แสดงโครงสร้างพื้นฐาน)
- **ทรัพยากรน้ำ** (สภาพพื้นที่รับน้ำ, สถานีวัดน้ำท่า, น้ำท่าผิวดิน, น้ำใต้ดิน, ชั้นน้ำบาดาล, การกัดเซาะและการตกตะกอน , คุณภาพน้ำ, ความต้องการน้ำ, สิทธิอันเกี่ยวกับน้ำ)
- **สภาพอุตุนิยมวิทยา** (ฝน, การระเหย, การใช้น้ำของพืช, ทิศทางและความเร็วลม, รังสีอาทิตย์, อุณหภูมิ)
- **ทรัพยากรที่ดิน** (การจำแนกที่ดิน, การใช้ที่ดิน, สมรรถนะที่ดิน, การระบายน้ำ)
- **ธรณีวิทยา** (แผนที่ธรณีวิทยา, ลักษณะทางภูมิศาสตร์, สภาพฐานราก)
- **การเกษตร** (การใช้พื้นที่ทางการเกษตร, รูปแบบการปลูกพืช, แปลงกรรมสิทธิ์, ผลผลิตพืช)
- **สังคม** (จำนวนประชากร, ขนบธรรมเนียมประเพณี, การศึกษา, รายได้, ความต้องการให้มีโครงการ)
- **การเงิน** (ทรัพยากรการเงิน, อัตราดอกเบี้ย, กระแสเงินสด, ความเต็มใจจ่ายและความสามารถในการจ่าย)
- **เศรษฐศาสตร์** (สภาพเศรษฐกิจในปัจจุบันและอนาคต, เกณฑ์การประเมินโครงการทางเศรษฐศาสตร์)
- **ข้อกฎหมาย** (กฎหมายเกี่ยวกับน้ำ, การชดเชย, การอพยพคน)
- **สิ่งแวดล้อม** (กายภาพ, ชีวภาพ, คุณค่าการใช้ประโยชน์ของมนุษย์ และคุณภาพชีวิต)

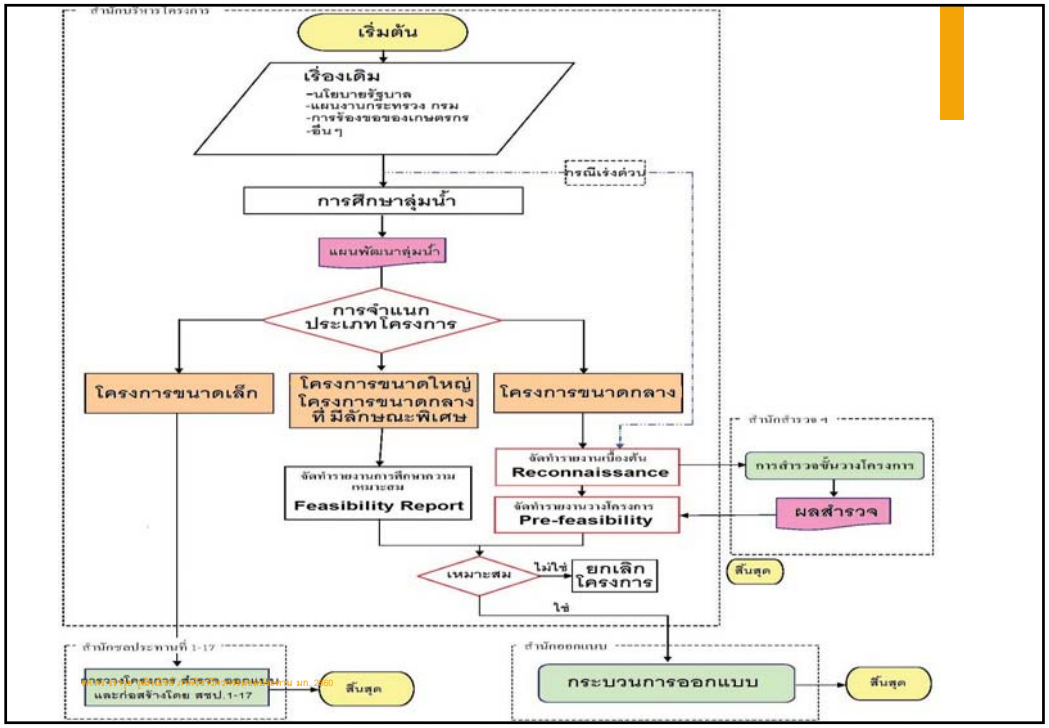
รศ.ดร.วรวุธ วุฒิวณิชย์ ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน มก. 2560

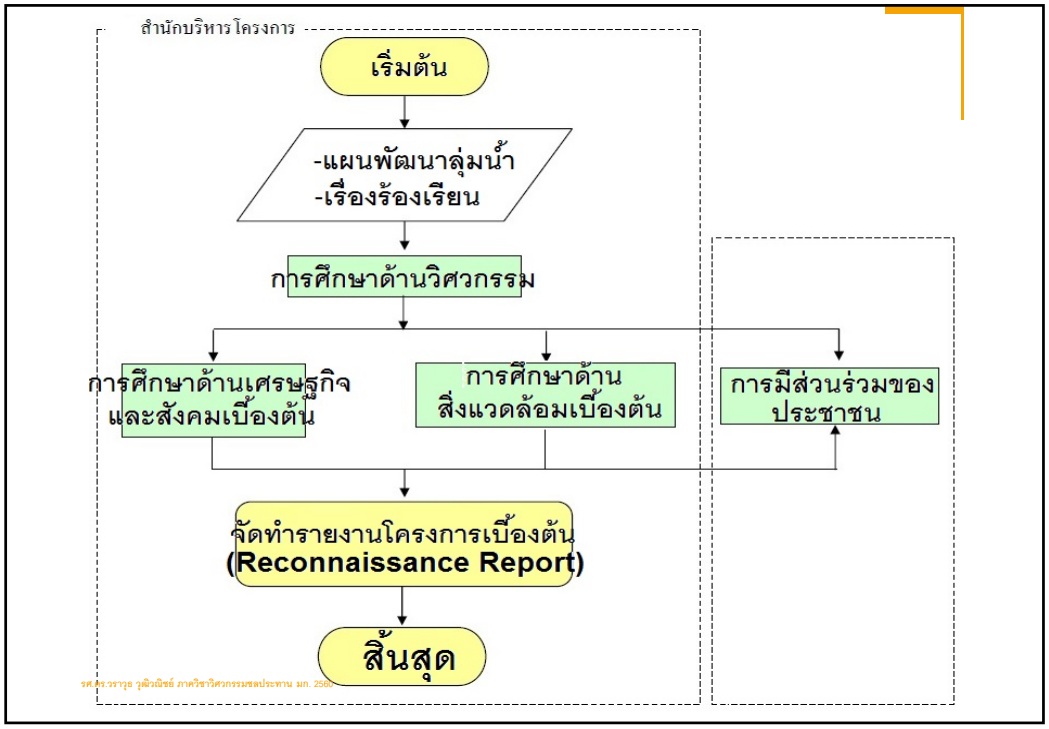
9

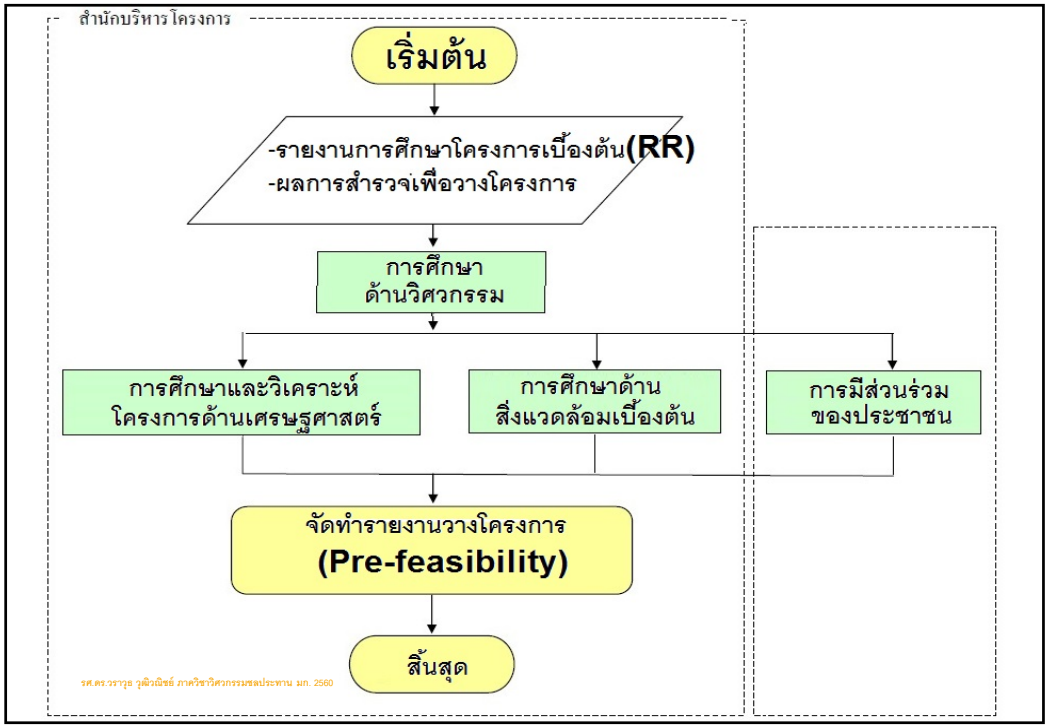
ระดับในการศึกษา

- วางแผนหลัก (Master plan)
- วางโครงการเบื้องต้น (Reconnaisance / Pre-feasibility study)
- การศึกษาความเหมะสมและผลกระทบสิ่งแวดล้อม (Feasibility)
- การวางแผนการดำเนินการ (Implementation plan)

การศึกษาจะมีรายละเอียดมากขึ้นในแต่ละระดับของการศึกษา

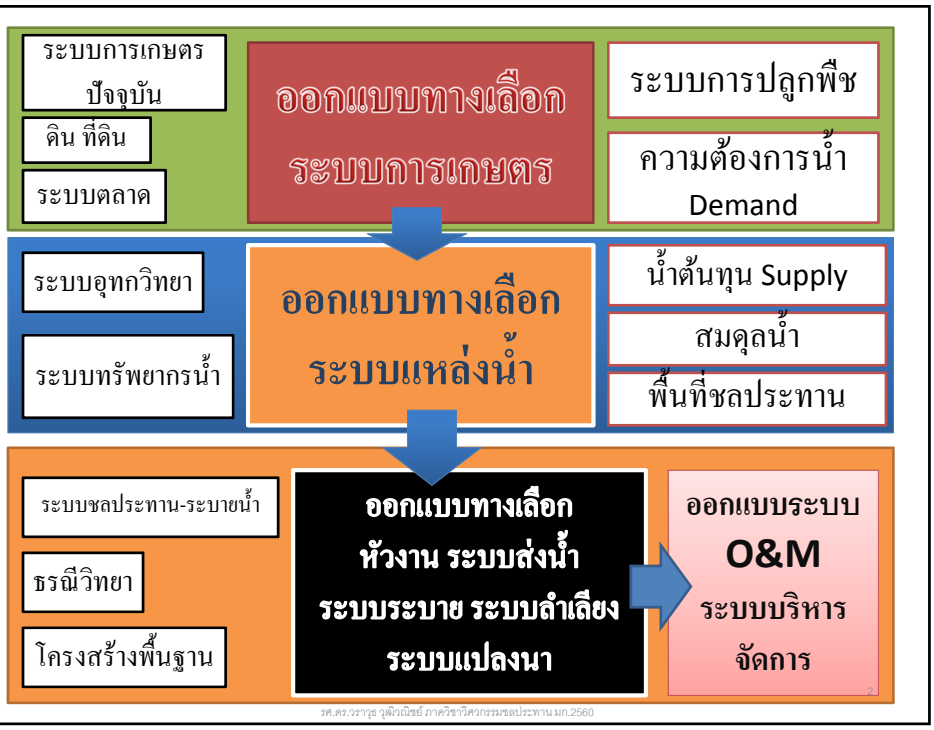


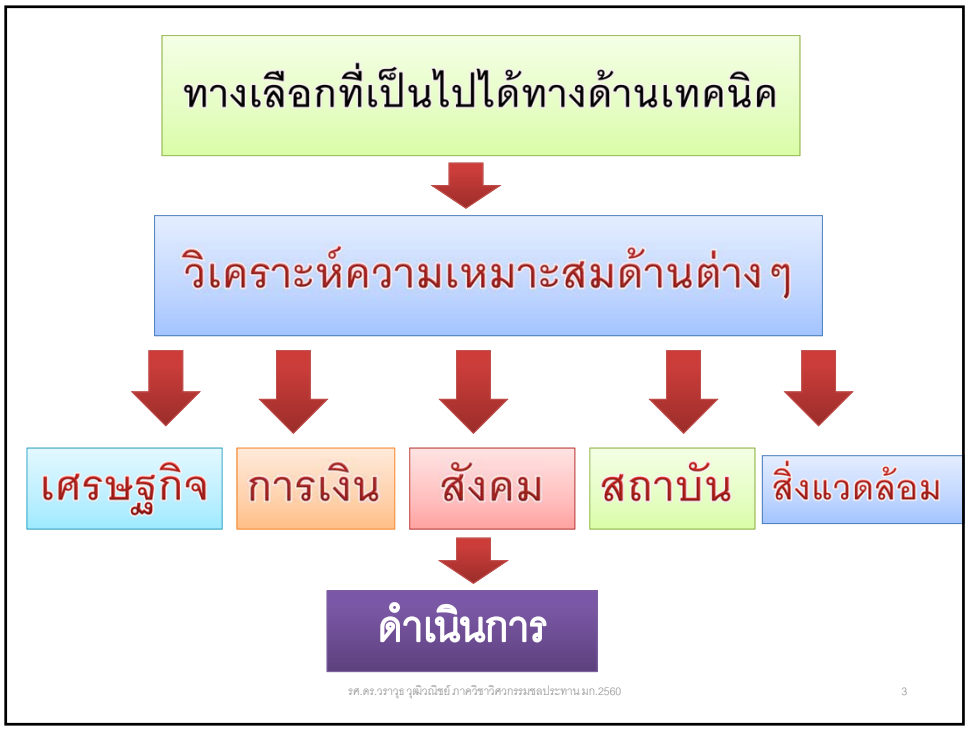

สำนักบริหารโครงการ
เริ่มต้น
-แผนพัฒนาลุ่มน้ำ
-เรื่องร้องเรียน
การศึกษาด้านวิศวกรรม
การศึกษาด้านเศรษฐกิจ
และสังคมเบื้องต้น
การศึกษาด้าน
สิ่งแวดล้อมเบื้องต้น
การมีส่วนร่วมของ
ประชาชน
จัดทำรายงานโครงการเบื้องต้น
(Reconnaissance Report)
สิ้นสุด


สำนักบริหารโครงการ
เริ่มต้น
-รายงานการศึกษาโครงการเบื้องต้น(RR)
-ผลการสำรวจเพื่อวางโครงการ
การศึกษา
ด้านวิศวกรรม
การศึกษาและวิเคราะห์
โครงการด้านเศรษฐศาสตร์
การศึกษาด้าน
สิ่งแวดล้อมเบื้องต้น
การมีส่วนร่วม
ของประชาชน
จัดทำรายงานวางโครงการ
(Pre-feasibility)
สิ้นสุด

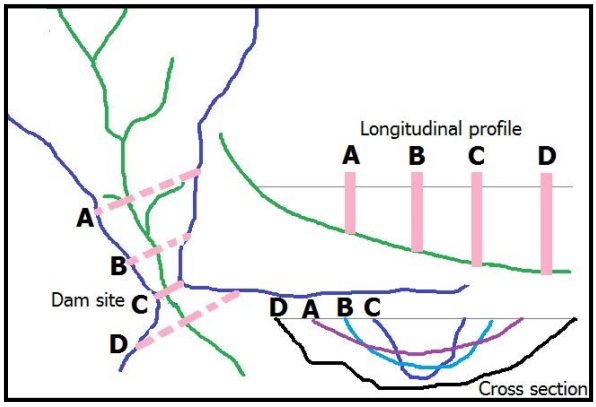
การวิเคราะห์ทางด้านเทคนิค

1.ระบบการเกษตร (ดิน ที่ดิน ระบบการปลูกพืชธุรกิจเกษตร การตลาด)
2.ระบบอุทกวิทยา (ภูมิอากาศ ฝน น้ำท่า ตะกอน)
3.ระบบทรัพยากรน้ำ (แหล่งน้ำผิวดิน-ใต้ดิน ความต้องการน้ำ)
4.ระบบการชลประทาน-ระบายน้ำ (หัวงาน ระบบส่งระบบให้น้ำ ระบบระบายน้ำ ทางลำเลียง ประสิทธิภาพการชลประทาน ความต้องการน้ำชลประทาน)
5.ธรณีวิทยา (สภาพทั่วไป ฐานราก การรั่วซึม รอยแตก-รอยเลื่อน แผ่นดินไหว แหล่งวัสดุ)
6.โครงสร้างพื้นฐาน (ถนน ไฟฟ้า ประปา แหล่งพลังงานอื่น)




ทางเลือกที่เป็นไปได้ทางด้านเทคนิค
วิเคราะห์ความเหมาะสมด้านต่าง ๆ
เศรษฐกิจ
การเงิน
สังคม
สถาบัน
สิ่งแวดล้อม
ดำเนินการ
รศ.ดร.วราวุธ วุฒิวณิชย์ ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน มก.2560
3

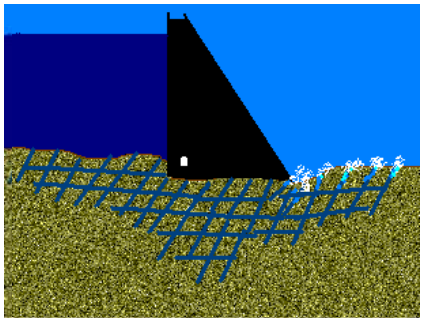
การเลือกจุดที่ตั้งเขื่อน



ความสูง vs. ความยาว vs. ความจุ vs. พื้นที่น้ำท่วม

จุดที่ตั้งเขื่อนควรอยู่ตรงส่วนที่แคบของช่องเขา หรือมีสภาพภูมิประเทศที่ทำให้เสียค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างต่ำ มีผลกระทบน้อย แต่ได้ความจุในการเก็บกักน้ำมาก

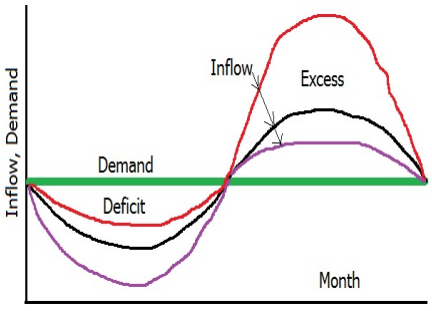
- ฐานรากที่เป็นหินต้องมีการตรวจสอบอย่างละเอียด ถ้าพบรอยแตกของหิน ต้องมีการฉีดน้ำปูน **(grouting)** ซึ่งค่าใช้จ่ายสูง



- ไม่ควรเลือกจุดที่ตั้งเขื่อนในพื้นที่ที่พบน้ำพุ **(Spring)** หรือพบว่าดินบริเวณตลิ่งมีการเคลื่อนตัว**(Landslide)** เพราะจะทำให้ฐานรากเขื่อนไม่มั่นคง และต้องเสียค่าใช้จ่ายในการปรับปรุงฐานรากสูง

- เขื่อนต้องมีความสูงของมากพอเพื่อให้แน่ใจว่าสามารถส่งน้ำโดยแรงโน้มถ่วงของโลกได้
- มีแหล่งวัสดุก่อสร้างในบริเวณใกล้เคียง
- ถ้าไม่มีเส้นทางลำเลียงเข้าสู่พื้นที่ก่อสร้าง การสร้างทางใหม่ต้องเสียค่าใช้จ่ายสูง
- ควรมีบริเวณที่ใช้สร้างทางระบายน้ำล้น **(spillways)** ใกล้ตัวเขื่อน

- พื้นที่รับน้ำฝน **(Catchment area)** ต้องมากพอ เพื่อให้ปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่าง **(Inflow)** เพียงพอกับความต้องการน้ำ และสามารถเติมน้ำเต็มอ่างเมื่อสิ้นฤดูฝน



- การมีพื้นที่รับน้ำฝนมากเกินไป ปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างจะมากจนเกินความต้องการ และต้องสร้างทางระบายน้ำล้นขนาดใหญ่ ทำให้ค่าลงทุนเพิ่ม

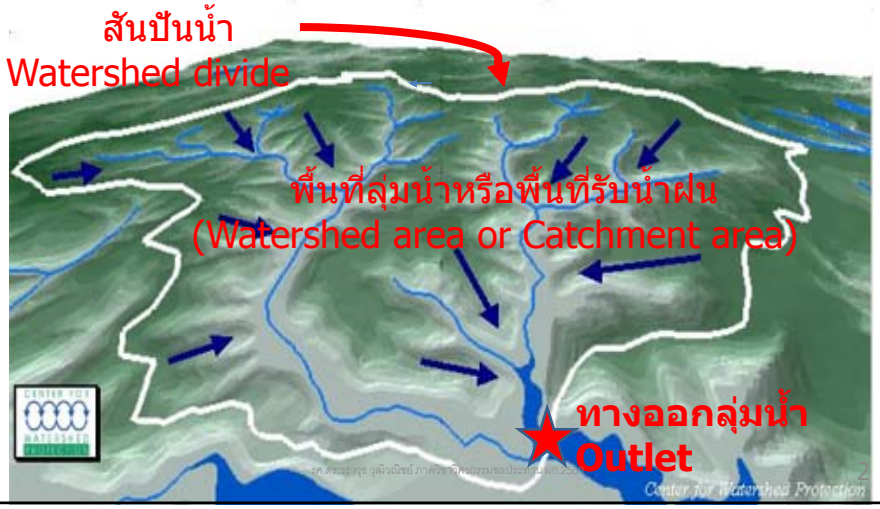
- พื้นที่รับน้ำฝนมาก อาจทำให้มีปริมาณตะกอนที่ไหลเข้าอ่างมากขึ้น ตะกอนเหล่านี้จะตกจมในอ่าง ทำให้ความจุอ่างลงตามอายุการใช้งาน
- ต้องเจาะเก็บตัวอย่างดินเพื่อตรวจสอบค่าความสามารถให้น้ำซึมผ่านของดินในอ่าง**(Soil permeability)** ถ้าดินในอ่างมีความสามารถให้น้ำซึมผ่านได้สูง ต้องเปลี่ยนจุดที่ตั้งเขื่อนใหม่ หรือต้องทำการดาดอ่างเพื่อลดอัตราการรั่วซึม **(Seepage Rate)**

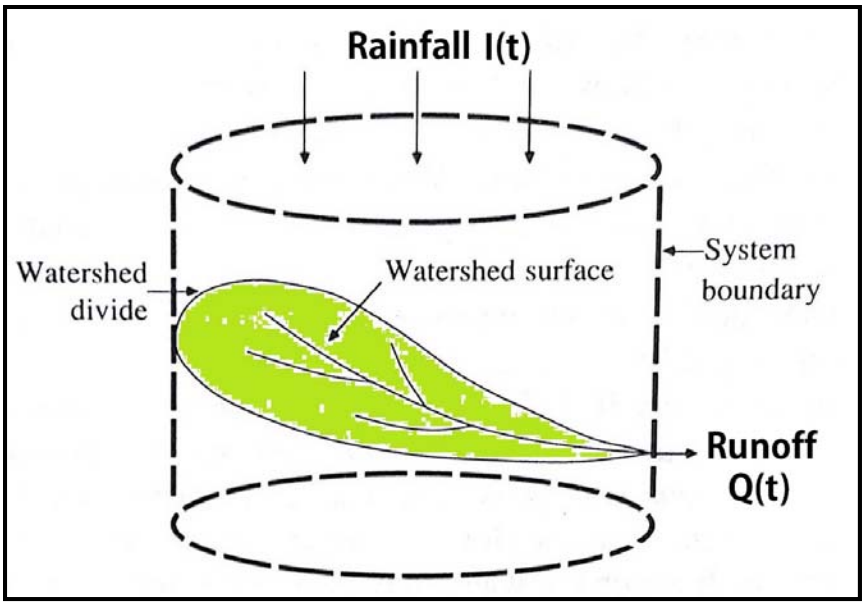
- ต้องมีการเคลื่อนย้ายต้นไม้ออกจากบริเวณตัวอ่าง

การหาพื้นที่ลุ่มน้ำและการเลือกจุดที่ตั้งเขื่อน (Watershed delineation and site selection)

What Is a Watershed?

A watershed is the area of land that drains to a particular point along a stream





ความสำคัญของพื้นที่ลุ่มน้ำ 1

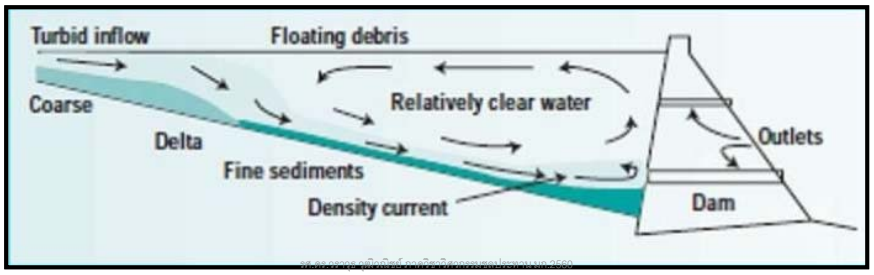
-ความสัมพันธ์ระหว่างฝนและน้ำท่าขึ้นอยู่กับขนาดและคุณลักษณะของพื้นที่ลุ่มน้ำ
-ถ้าทราบพื้นที่ลุ่มน้ำ จะสามารถประเมินน้ำท่าได้

small watershed, steep slope, low vegetative cover, low soil permeability + High intensity storm

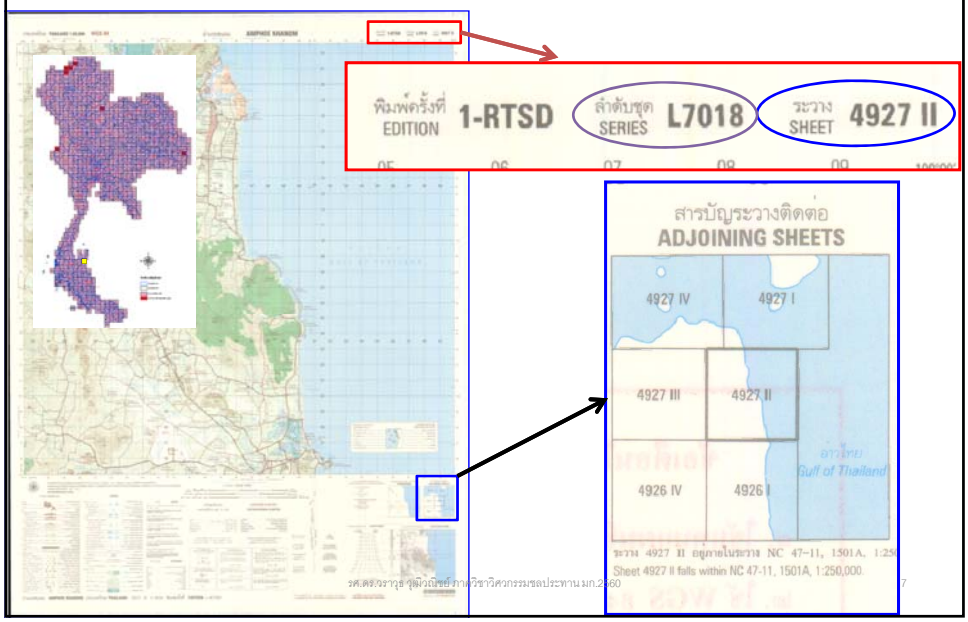
น้ำท่าที่เกิดจะมีลักษณะอย่างไร?

ความสำคัญของพื้นที่ลุ่มน้ำ 2

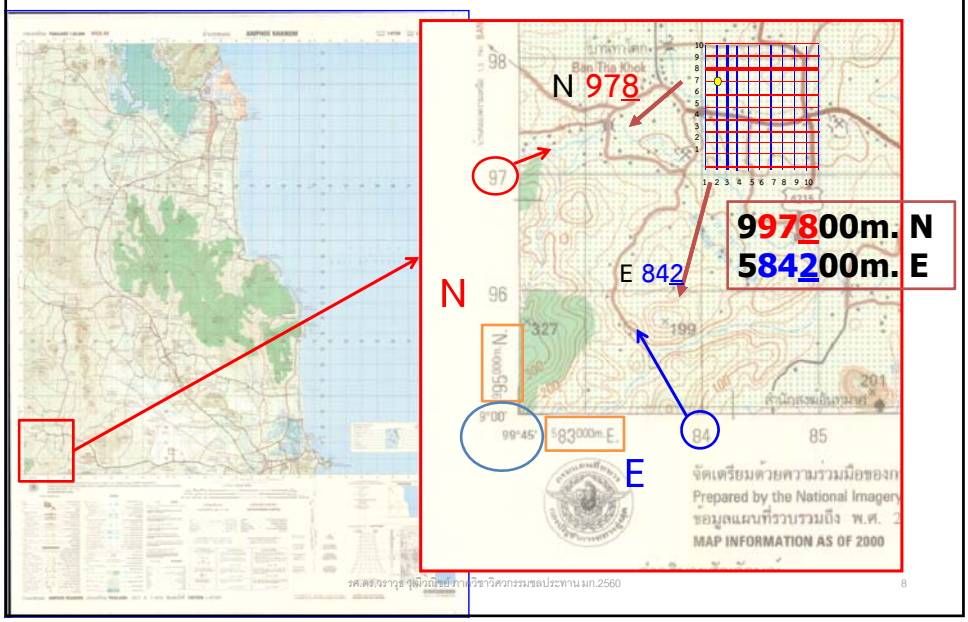
-การกัดเซาะดินในลุ่มน้ำขึ้นอยู่กับลักษณะฝนและพื้นที่ลุ่มน้ำ
-ตะกอนที่เกิดจากการกัดเซาะดินในลุ่มน้ำจะถูกน้ำพัดพาลงสู่ทางน้ำและไหลออกสู่ outlet
-ตะกอนจะตกทับถมในอ่างเก็บน้ำ
-ความรู้เกี่ยวกับการตกตะกอนจะมีประโยชน์ในการหา Dead storage และระดับอาคารทางออก (outlet works)

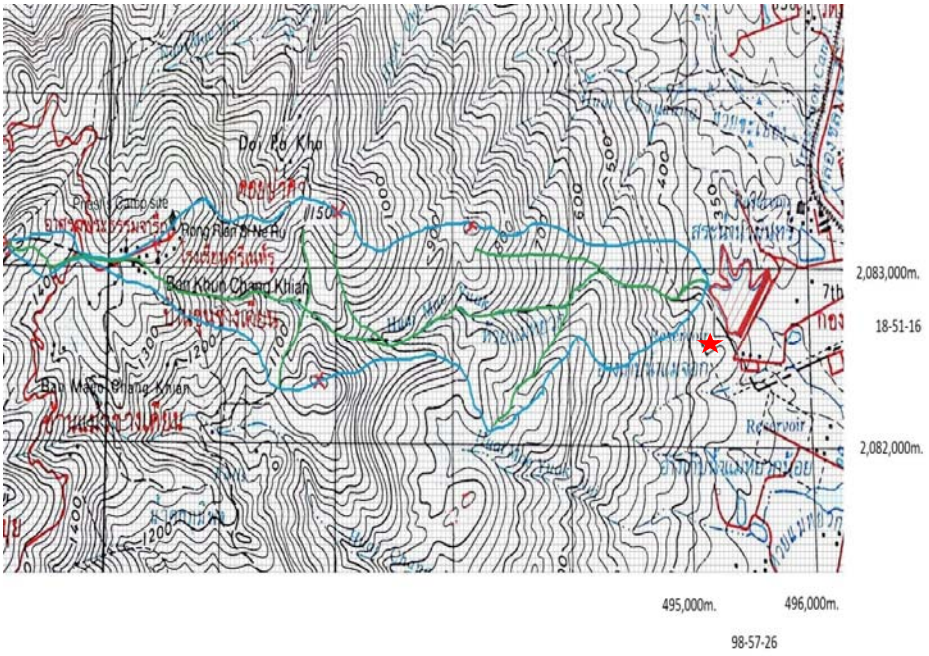


Series Number(L7018) & Sheet Number(4927II)



Reading Coordinate (UTM)





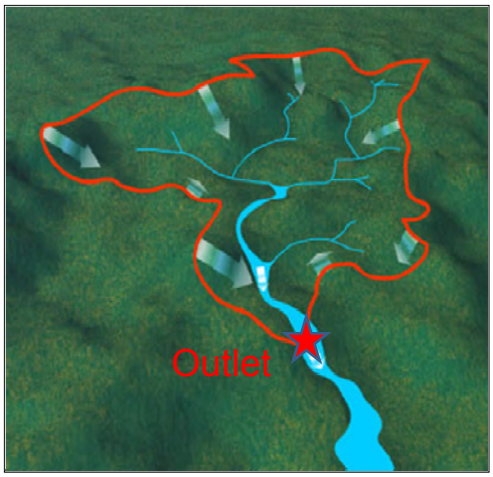
ข้อมูลบนแผนที่ 1:50,000

- **Coordinate -** Lat. & Long. and UTM
- **Land uses -** field crops, paddy, forest, community and water body
- **Infrastructure -** roads, railways, bridges, transmission lines, temples, schools, dam & reservoir, canals)
- **District boundary**
- **Topography –** contour, direction, distance, stream, river, lake, sea, island

แผนที่ 1:50,000 มีประโยชน์ดังนี้

- หาตำแหน่งหัวงาน ประเภทของหัวงาน และใช้วางแนวคลอง
- หาพื้นที่ลุ่มน้ำ
- หาโค้งความจุ-พื้นที่-ระดับ
- หาบริเวณที่น้ำล้นตลิ่งสำหรับโครงการทดน้ำ
- หาผลกระทบของโครงการที่มีต่อชุมชน โครงสร้างพื้นฐาน พื้นที่อนุรักษ์

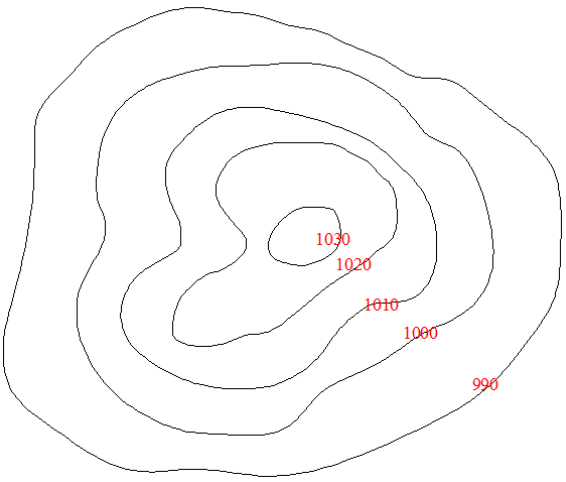
วิธีการลากเส้นสันปันน้ำ

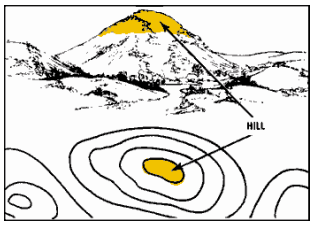


1.ดูแนวโครงข่ายลำน้ำในพื้นที่
2.กำหนดจุดทางออก (Outlet) บนลำน้ำ
3.ทำเครื่องหมายจุดสูงสุดในแผนที่ด้านเหนือน้ำของทางออก
4.เขียนเส้นสันปันน้ำโดยการลากเส้นเชื่อมจุดสูงสุด เส้นสันปันน้ำจะตั้งฉากกับเส้น contour

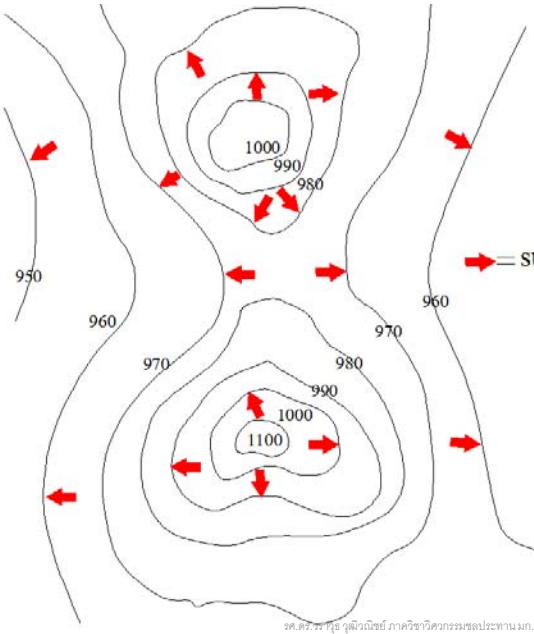
5.ตรวจสอบให้แน่ใจว่าลำน้ำที่ไหลออกสู่ทางออก อยู่ภายในเส้นสันปันน้ำ และเส้นสันปันน้ำต้องไม่ตัดกับลำน้ำ

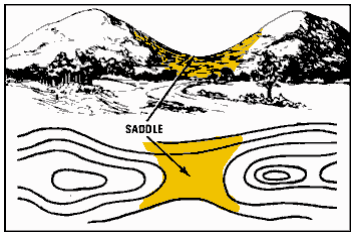
วิธีการอ่านเส้น Contour





เนินเขา
Isolated hill

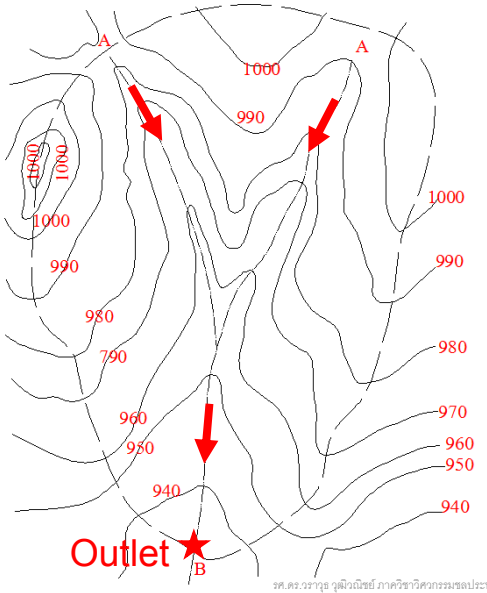




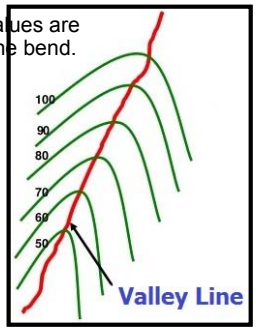
= surface water flow

ช่องเขา
Saddle

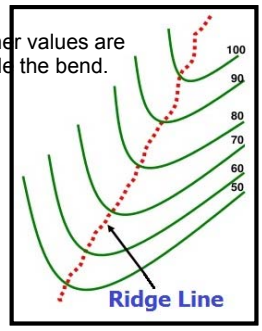
สันเขาและหุบเขา
Ridge and valley

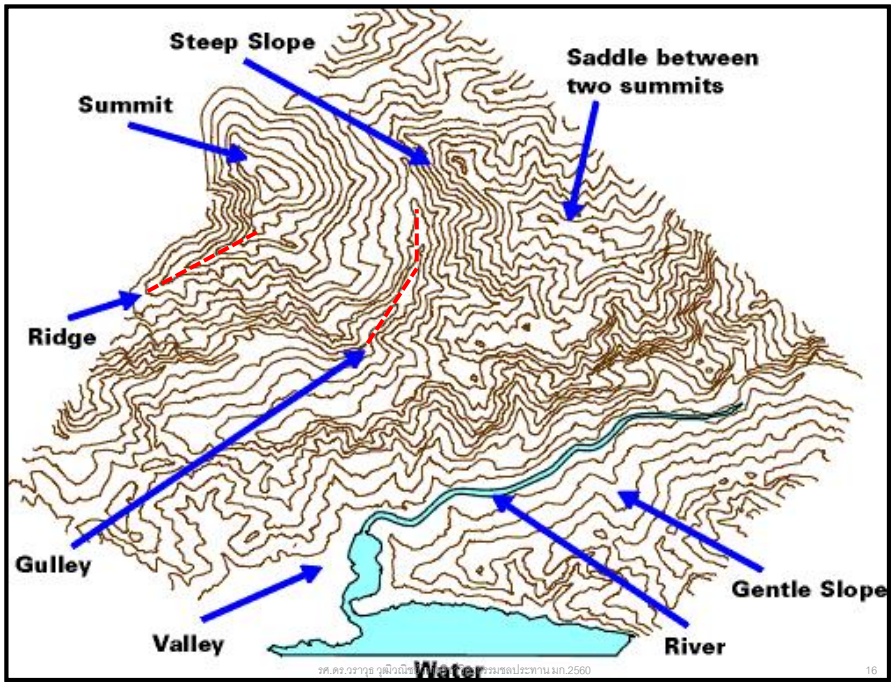


Higher values are outside the bend.

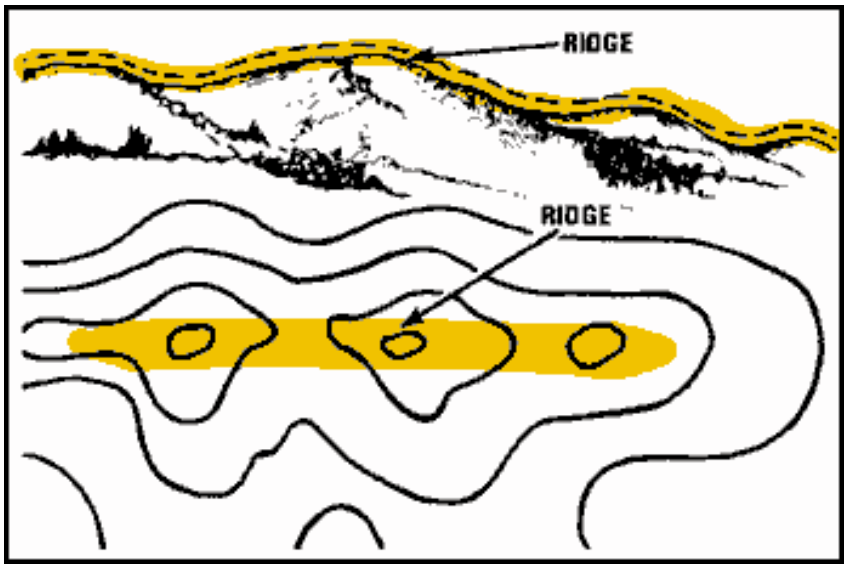


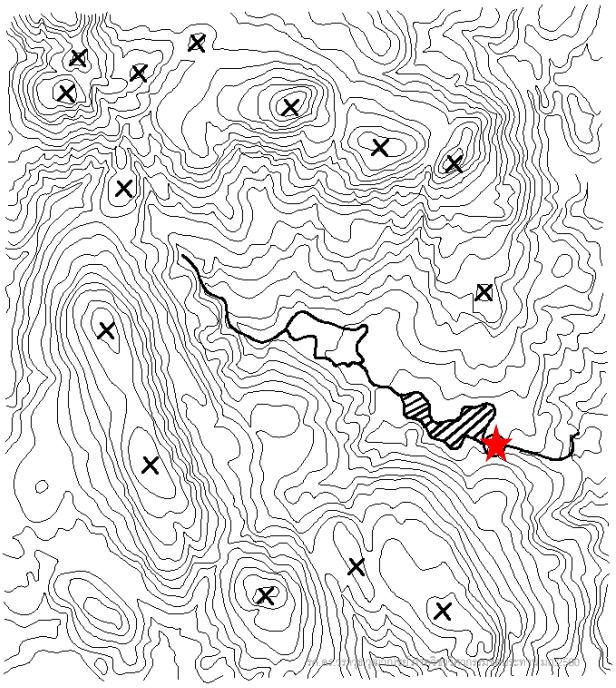
Higher values are inside the bend.



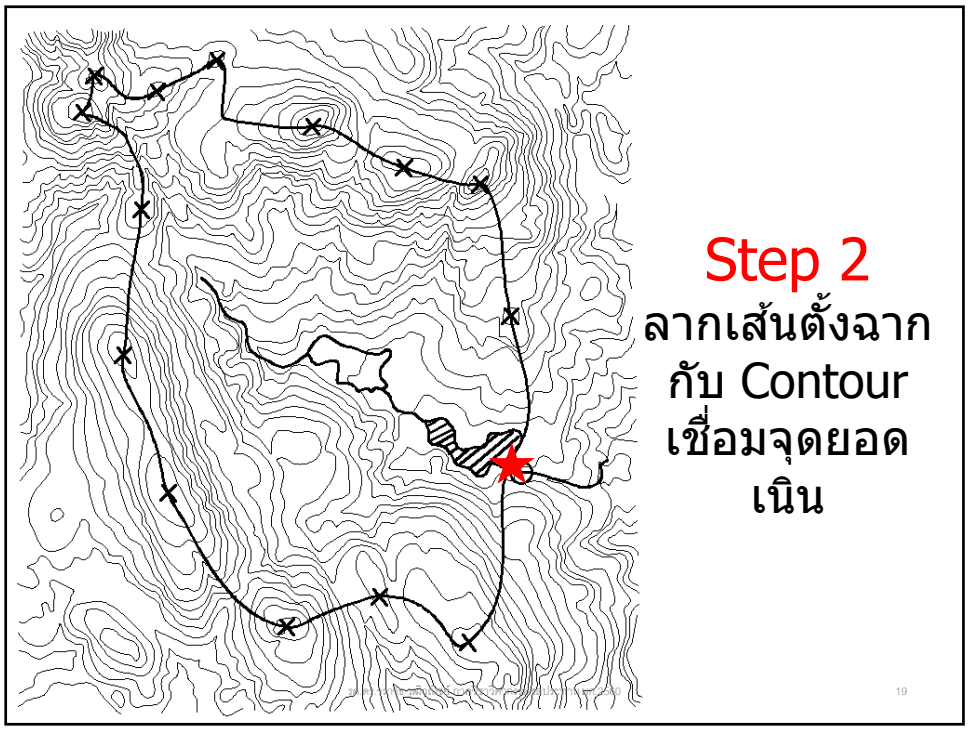


สันปันน้ำ (watershed divide)





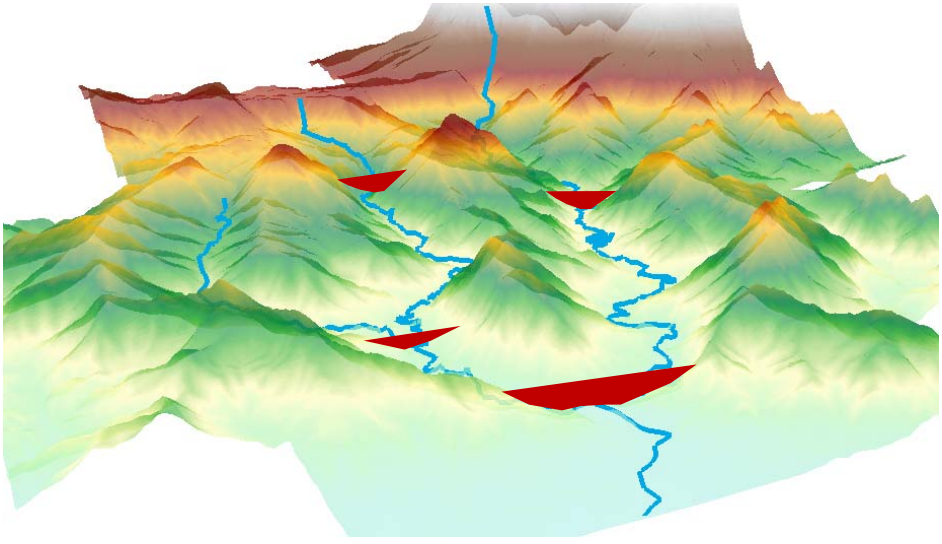
Step 1
ทำเครื่องหมายจุดยอดเนิน
(Mark hill top)

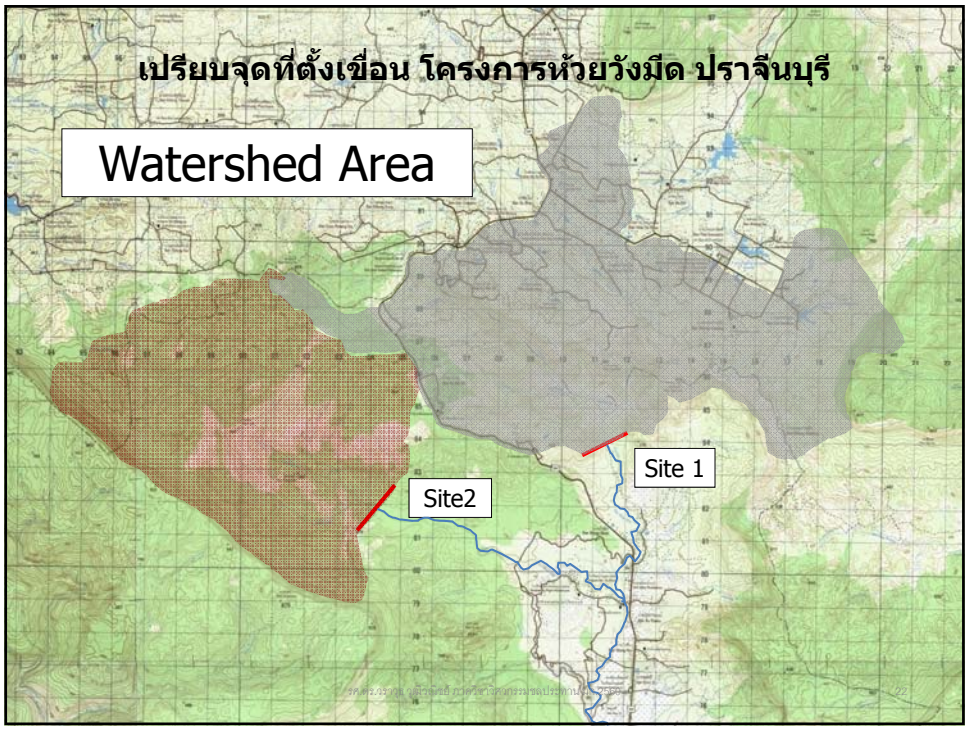


Step 2

ลากเส้นตั้งฉากกับ Contour เชื่อมจุดยอดเนิน

Site Selection



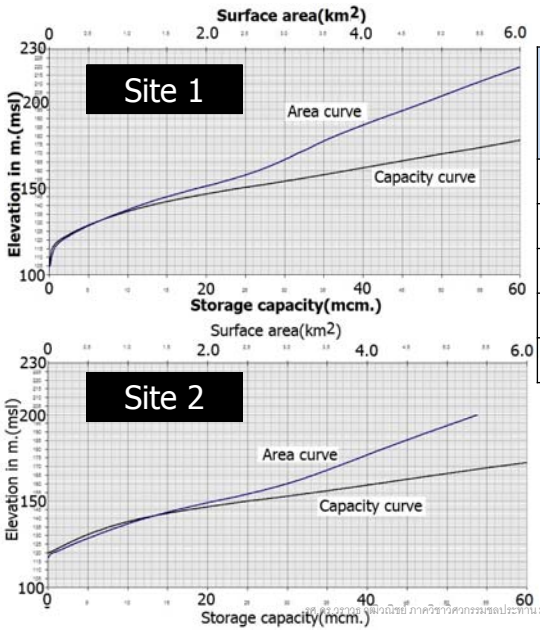


Estimates reservoir inflow

Month	Inflow ($m.^3$)	
	Site 1	Site 2
Apr	2,410,008	1,868,199
May	4,400,884	3,411,494
Jun	6,810,892	5,279,693
Jul	8,173,070	6,335,632
Aug	24,519,211	19,006,896
Sep	16,555,706	12,833,716
Oct	20,118,327	15,595,402
Nov	6,810,892	5,279,693
Dec	5,972,628	4,629,885
Jan	3,981,752	3,086,590
Feb	2,724,357	2,111,877
Mar	2,305,225	1,786,973
Total	**104,782,952**	**81,226,052**

23

Capacity-Area-Elevation



Dam height (m.)	Storage capacity(mcm.)	
	Site 1	Site 2
10	0.5	2.5
20	3.5	8.5
30	9.0	15.5
40	18.5	33.5
50	31.5	48.0

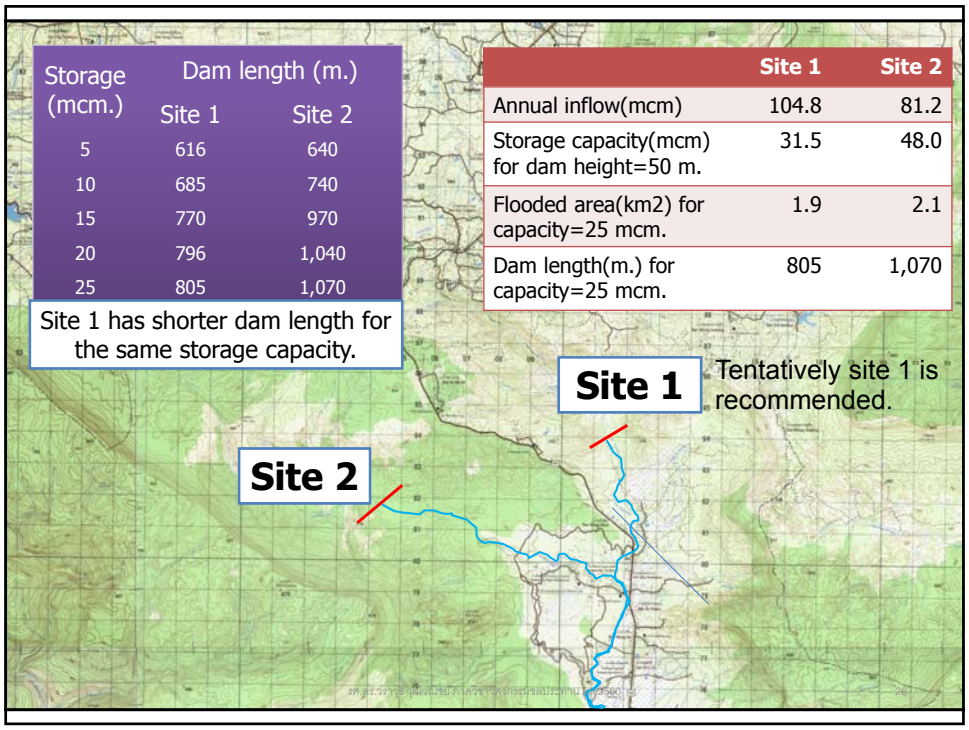
Site 2 has larger storage capacity at the same dam height.

24

Reservoir flooded area

Storage capacity (mcm.)	Flooded area (km^2)	
	Site 1	Site 2
5	0.5	0.6
10	0.9	1.2
15	1.2	1.5
20	1.6	1.8
25	1.9	2.1
30	2.2	2.3

Site 2 has larger flooded area at the same reservoir storage capacity.



การศึกษาด้านอุทกวิทยา

1. การวิเคราะห์น้ำฝน
2. การวิเคราะห์น้ำท่า
3. การวิเคราะห์หาอัตราการไหลสูงสุด
4. การวิเคราะห์ตะกอน
5. การวิเคราะห์การระเหยและการรั่วซึมน้ำจากอ่างเก็บน้ำ

1. การวิเคราะห์น้ำฝน

ข้อมูลน้ำฝนรายเดือน

-ข้อมูลน้ำฝนจาก 1 สถานี

-ข้อมูลน้ำฝนเฉลี่ยโดยน้ำหนักจากหลายสถานี

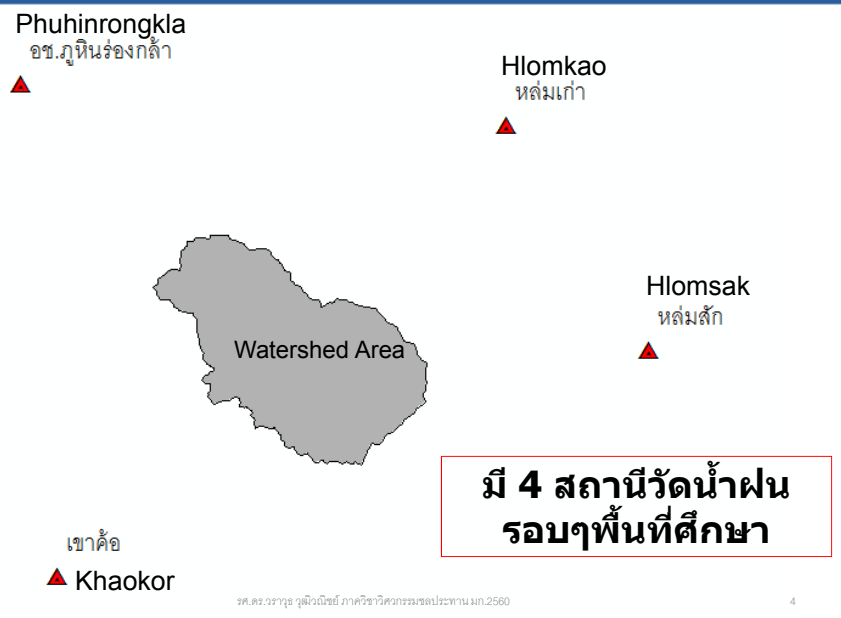
ตัวอย่างข้อมูลน้ำฝนรายเดือน สถานี 37052 อ.ชะอำ จ.เพชรบุรี

Royal Irrigation Department, Thailand — Monthly Rainfall in Millimeters — Computer Center RFL/RMONWY/3.00
Station - 37052 A. Cha-Am. Phetchaburi

Water Year	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Feb	Mar	Annual	Days
1975	47.7	165.5	7.9	77.9	69.5	192.1	142.4	239.3	40.7	0.0	0.0	40.2	1023.2	56
1976	12.2	124.9	52.8	82.6	124.2	232.0	283.1	96.2	0.0	0.0	33.8	0.0	1041.8	67
1977	0.0	50.2	25.4	76.7	112.4	61.7	167.5	4.7	5.8	0.0	48.0	0.0	552.4	44
1978	0.0	322.6	104.6	106.0	59.5	28.6	42.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	663.3	25
1979	0.0	12.2	76.5	91.4	29.5	103.9	20.4	2.5	0.0	0.0	12.2	0.0	348.6	33
1980	0.0	6.8	122.8	101.7	93.7	50.0	178.6	69.0	7.8	0.0	0.0	0.0	630.4	55
1981	40.2	77.0	91.3	64.6	125.4	285.3	126.7	408.8	0.0	0.0	5.0	165.9	1390.2	42
1982	41.4	92.3	35.7	15.6	117.3	73.2	181.2	173.6	0.0	0.0	0.0	28.2	758.5	41
1983	0.0	18.2	32.0	79.4	127.1	153.8	88.6	243.0	27.4	0.0	8.7	8.1	786.3	60
1984	10.7	11.6	105.0	154.2	8.0	38.4	153.6	108.8	0.0	8.5	0.0	0.0	598.8	55
1985	63.9	75.9	60.1	140.6	73.0	148.5	285.0	144.1	0.0	0.0	0.0	0.0	991.1	69
1986	13.0	289.0	74.2	61.9	74.7	124.5	323.0	37.1	22.5	0.0	0.0	28.6	1048.5	60
1987	19.2	78.7	60.6	99.7	72.9	226.5	245.5	414.7	0.0	2.5	3.5	0.0	1223.8	51
1988	65.5	103.4	107.4	57.1	57.3	116.4	193.5	38.7	0.0	20.7	102.7	20.0	882.7	49
1989	10.5	51.5	47.6	-	-	108.2	417.2	87.3	9.0	0.0	0.0	0.0	-	-
1990	0.0	108.1	13.0	60.2	33.9	124.7	214.7	50.1	0.0	0.0	2.6	41.2	648.5	39
1991	24.3	173.5	92.6	135.8	28.7	77.6	283.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	816.3	37
1992	0.0	78.8	51.1	59.1	11.4	164.3	388.9	8.2	0.0	0.0	0.0	9.0	770.8	41
1993	28.5	26.5	83.1	22.4	120.9	173.6	403.4	10.9	0.0	0.0	0.0	186.6	1055.9	59
1994	0.0	112.8	70.0	41.5	61.3	128.6	135.3	0.0	11.4	0.0	0.0	0.0	560.9	34
1995	0.0	112.5	151.6	141.8	59.2	217.9	321.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1004.3	47
1996	0.0	-	97.6	166.7	42.8	139.8	257.2	129.3	12.7	25.3	13.5	10.0	-	-
1997	0.0	10.5	35.5	101.8	52.9	220.3	102.6	248.3	0.0	0.0	0.0	0.0	771.9	35
1998	0.0	54.8	109.3	70.3	116.6	111.6	142.3	32.7	0.0	23.3	21.7	77.3	759.9	51
1999	18.2	94.8	53.9	80.4	130.3	73.0	485.2	31.3	0.0	15.0	15.8	14.0	1011.9	53
2000	107.6	68.5	28.0	67.6	60.4	115.7	279.8	29.5	11.8	18.2	0.0	463.6	1250.7	62
2001	63.7	85.4	31.3	19.6	80.4	105.0	333.3	9.8	1.9	0.0	0.0	60.6	791.0	51
2002	65.5	80.3	77.6	71.0	13.9	155.2	42.2	128.3	26.4	0.0	0.0	48.8	709.2	51
2003	58.3	138.7	73.9	175.2	-	-	-	-	0.0	89.0	0.0	0.0	-	-
2004	2.0	161.8	74.4	64.3	53.5	122.1	161.6	17.5	0.0	0.0	0.0	8.6	665.8	54
2005	15.1	21.0	39.4	40.1	24.9	62.5	305.2	22.5	38.7	0.0	0.0	5.2	574.6	48
2006	90.1	62.3	135.5	27.9	-	-	-	-	0.0	0.0	0.0	0.0	-	-
2007	92.0	365.7	29.6	144.4	49.0	97.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.2	2.9	784.8	59
2008	45.0	116.7	65.6	28.7	28.0	88.3	252.7	10.9	0.0	0.0	0.0	0.0	635.9	63
2009	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	10.2	0.0	0.0	10.2	1
2010	30.8	19.0	76.0	28.1	54.5	111.9	279.8	2.2	0.0	0.0	0.0	78.6	680.9	60
2011	31.4	45.0	38.0	99.2	106.8	3.9	160.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	484.4	55
Average	25.2	88.2	66.8	74.4	75.4	121.7	200.2	84.3	9.5	6.0	8.2	23.1	782.9	
Rainy Days	1.5	6.5	6.0	6.9	7.7	9.4	9.8	3.5	0.6	0.4	0.7	1.1	54.2	

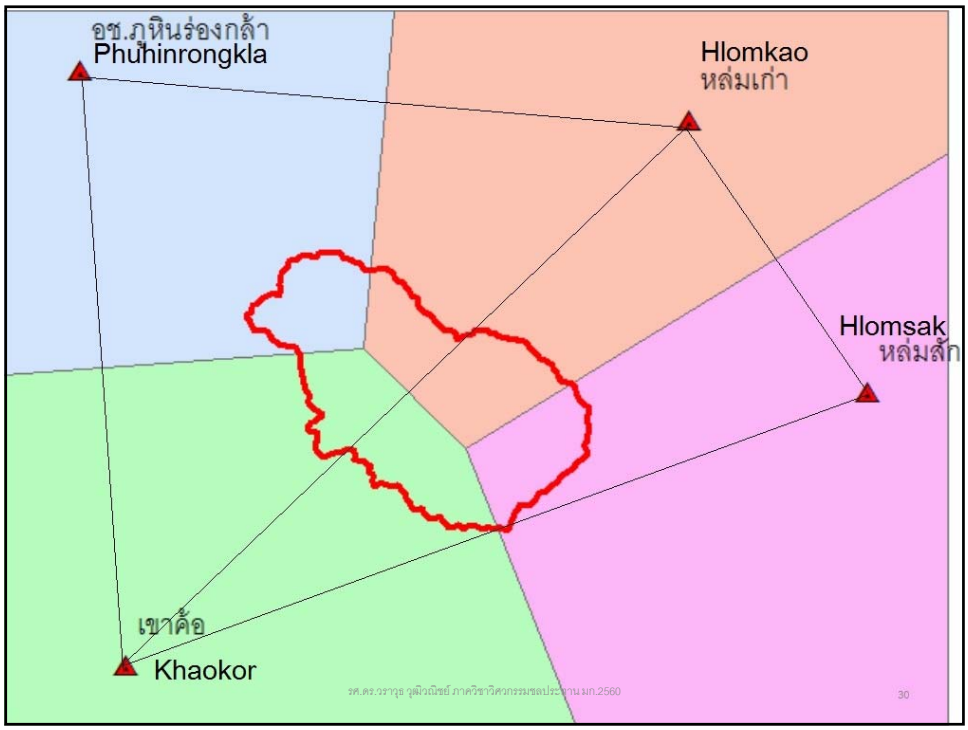
รศ.ดร.วราวุธ วุฒิวณิชย์ ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน มก.2560

การหาค่าน้ำฝนเฉลี่ยโดยวิธี Thiessen Polygon



มี 4 สถานีวัดน้ำฝน รอบๆพื้นที่ศึกษา

รศ.ดร.วราวุธ วุฒิวณิชย์ ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน มก.2560



สถานี (i)	พื้นที่(ม^2)	w_i
1.เขาค้อ	21,860,000	0.33
2.หล่มสัก	11,890,000	0.18
3.หล่มเก่า	21,200,000	0.32
4.ภูหินร่องกล้า	11,200,000	0.17

สถานี (i)	wi	Rain (mm.)	wi*rain (mm)
1.เขาค้อ	0.33	950	313.5
2.หล่มสัก	0.18	700	126
3.หล่มเก่า	0.32	800	256
4.ภูหินร่องกล้า	0.17	600	102
ฝนเฉลี่ยถ่วงน้ำหนัก			797.5

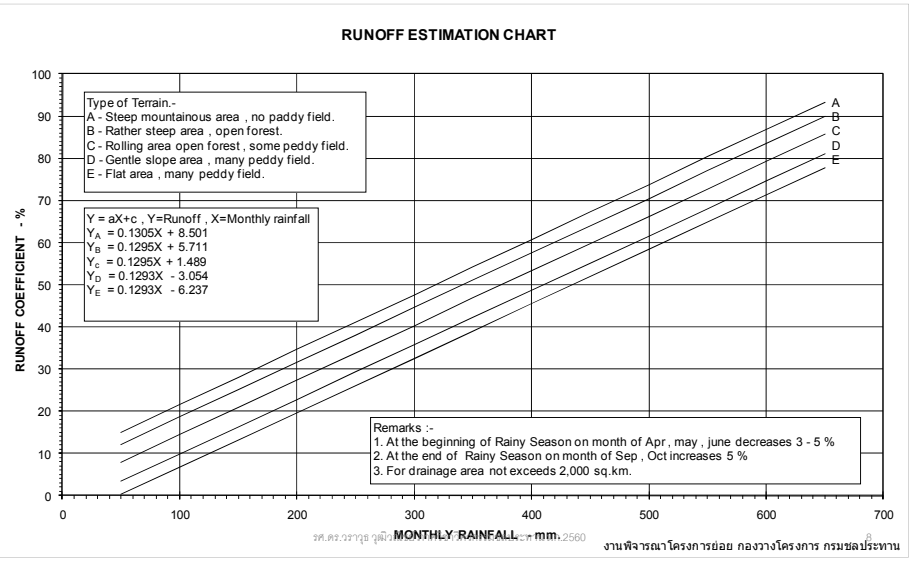
2. การวิเคราะห์น้ำท่า

วิธีการประเมินน้ำท่า

1. การประเมินน้ำท่าจากข้อมูลน้ำฝน(กรณี Ungaged)
2. การประเมินน้ำท่าจาก Specific runoff yield
3. การประเมินจากข้อมูลน้ำท่าของสถานีข้างเคียง

2.1 การประเมินน้ำท่าจากข้อมูลน้ำฝน(กรณี Ungaged)

Monthly runoff(mm.) = Runoff Coefficient(%) x Monthly rainfall (mm.) /100



สมาการหาค่า ส.ป.ส.น้ำท่า (Runoff coefficient)

Types of terrain	Formula
A(Steep)	Y=0.1305X+8.501
B(Rather steep)	Y=0.1295X+5.711
C(Rolling)	Y=0.1295X+1.489
D(Gentle)	Y=0.1293X-3.054
E(Flat)	Y=0.1293X-6.237
Y=runoff coefficient, X=monthly rainfall	

Remark: 1.Decrease Y by 3-5% for Apr-Jun.
2.Increase Y by 5% for Sep-Oct.
3.Drainage area not > 2,000 sq.km.

ตัวอย่างการประเมินน้ำท่า

Estimate monthly runoff for the proposed dam site at Lat 18° 47' N
Long 98° 59' E. The terrain is rather steep slope with open forest or Type B.
Y=0.1295X+5.711

Watershed area= 42 sq.km.

Month	Rainfall mm.	Runoff Coef. %	Adj. %	Adjusted Runoff Coef.	Runoff mm.	Runoff 1,000m^3
Apr	42.5	11.2	-5	6.2	2.6	110.9
May	111.0	20.1	-4	16.1	17.9	749.9
Jun	117.5	20.9	-3	17.9	21.1	884.7
Jul	133.5	23.0		23.0	30.7	1,289.6
Aug	217.0	33.8		33.8	73.4	3,081.7
Sep	234.5	36.1	5	41.1	96.3	4,045.8
Oct	109.8	19.9	5	24.9	27.4	1,149.7
Nov	25.0	8.9		8.9	2.2	94.0
Dec	7.5	6.7		6.7	0.5	21.0
Jan	3.7	6.2		6.2	0.2	9.6
Feb	2.5	6.0		6.0	0.2	6.3
Mar	12.0	7.3		7.3	0.9	36.6
Annual	**1,016.5**				**273.3**	**11,479.9**

ปริมาตรน้ำท่า =(2.64/1,000)*(42x1,000,000)=110,900 m.^{3}

ตรวจสอบผลการประเมินกับวิธีอื่น

- ค่าประเมินน้ำท่ารายปี (Annual runoff volume)ของลุ่มน้ำซึ่งมีพื้นที่ 42 ตร.กม. = 11,479,900 ม.^{3}
- **คำนวณหา Specific runoff yield สำหรับจุดที่ตั้งเขื่อน (ลิตร/วิ/กม.^{2})**

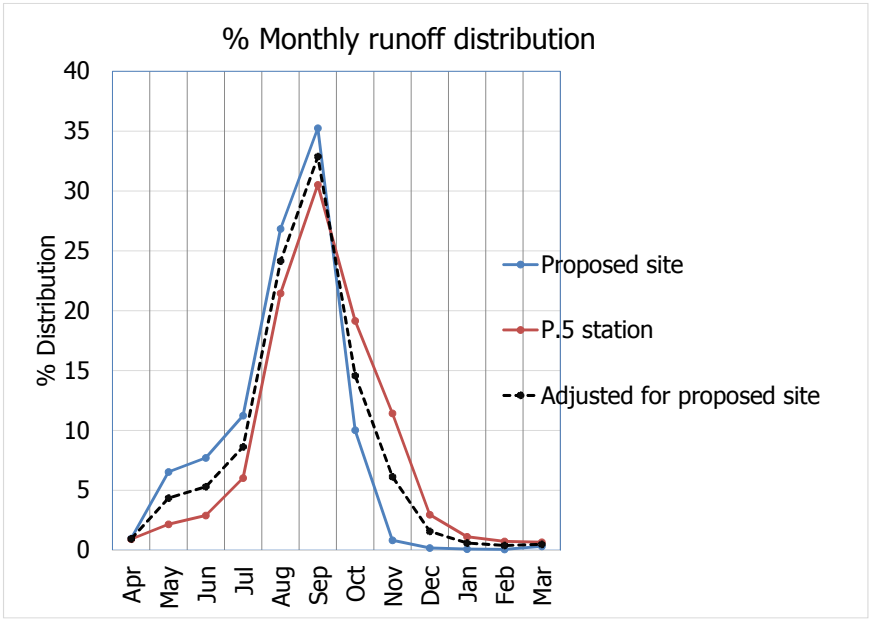
=1,000*Annual runoff(ม.^{3})/พื้นที่(กม.^{2})/(365*24*3,600)

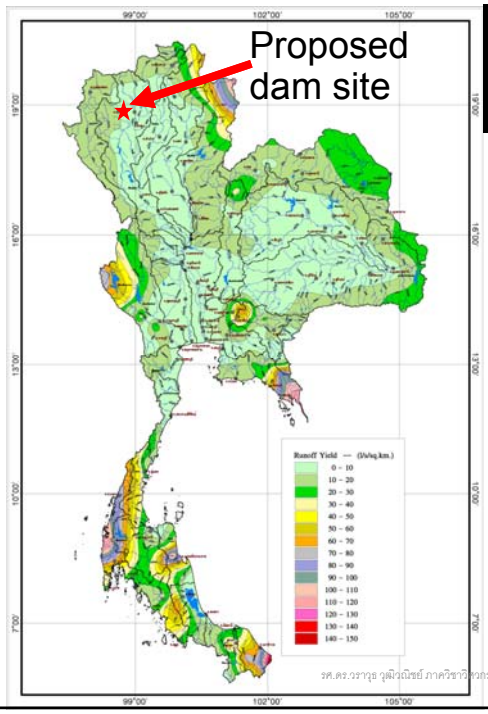
= 1,000*11,479,900/42/(365*24*3,600)=8.7

- **Specific runoff yield จากแผนที่มีค่า= 0-10 (l/s/km^2)**
- ค่าประเมินของน้ำท่าอยู่ในช่วงค่าที่เป็นไปได้

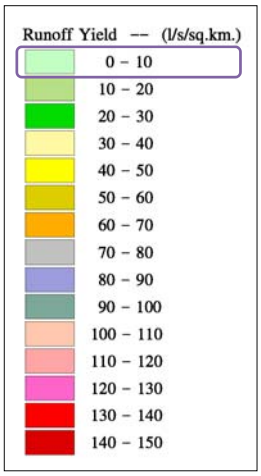
กาค่า % การกระจายน้ำท่ารายเดือน จากข้อมูลน้ำท่าของสถานี P.5

		สถานี P.5	แม่กวง จ.ลำพูน		
			Lat 18-34 Long 99-00		
			พื้นที่ลุ่มน้ำ = 1,569 ตร.กม.		
ตรวจสอบการกระจายน้ำท่ารายเดือน					
	ที่จุดที่ตั้งเขื่อน	ที่จุดที่ตั้งเขื่อน	สถานี P.5	ปรับค่าสำหรับจุดที่ตั้งเขื่อน	ค่าที่ปรับแล้ว
Month	น้ำท่า(1,000ม.^{3})	% รายเดือน	% รายเดือน	% รายเดือน	น้ำท่า(1,000ม.^{3})
Apr	110.9	0.97	0.91	0.94	107.7
May	749.9	6.53	2.16	4.35	498.9
Jun	884.7	7.71	2.89	5.30	608.2
Jul	1,289.6	11.23	6.03	8.63	990.9
Aug	3,081.7	26.84	21.45	24.15	2,772.1
Sep	4,045.8	35.24	30.51	32.88	3,774.2
Oct	1,149.7	10.01	19.15	14.58	1,674.0
Nov	94.0	0.82	11.43	6.12	703.1
Dec	21.0	0.18	2.96	1.57	180.4
Jan	9.6	0.08	1.12	0.60	69.1
Feb	6.3	0.06	0.73	0.39	45.1
Mar	36.6	0.32	0.66	0.49	56.2
Annual	11,479.9	100.00	100.00	100.00	11,479.9
Weights		0.50	0.50		





2.2 Specific Runoff Yield (l/s/km²)



Developed by RID

วิธีการประเมินน้ำท่าจาก specific yield map

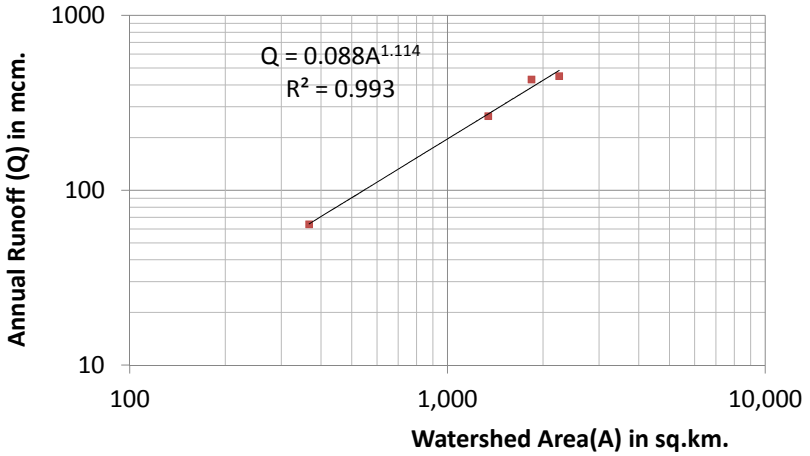
1. อ่านค่า Specific runoff yield จากแผนที่
   - พิกัดจุดที่ตั้งเขื่อน Lat 18° 47' N Long 98° 59' E
   - Specific yield =0-10 l/s/km^2.
   - กำหนดให้ Specific yield = 8.5 l/s/km^2.
2. พื้นที่รับน้ำฝนของเขื่อน(A)=42 กม.^{2}
3. ค่า runoff yield เฉลี่ย = 8.5*42= 375 l/s
4. ปริมาตรน้ำท่ารายปี = 375(l/s)*(3600*24*365)/1,000
   = 11,258,352 ม.^{3}
5. น้ำท่ารายเดือน= น้ำท่ารายปี* % การแจกแจงน้ำท่ารายเดือน

2.3 การสร้างสมการคำนวณหาปริมาณน้ำท่ารายปี (ลุ่มน้ำลำภาชี)

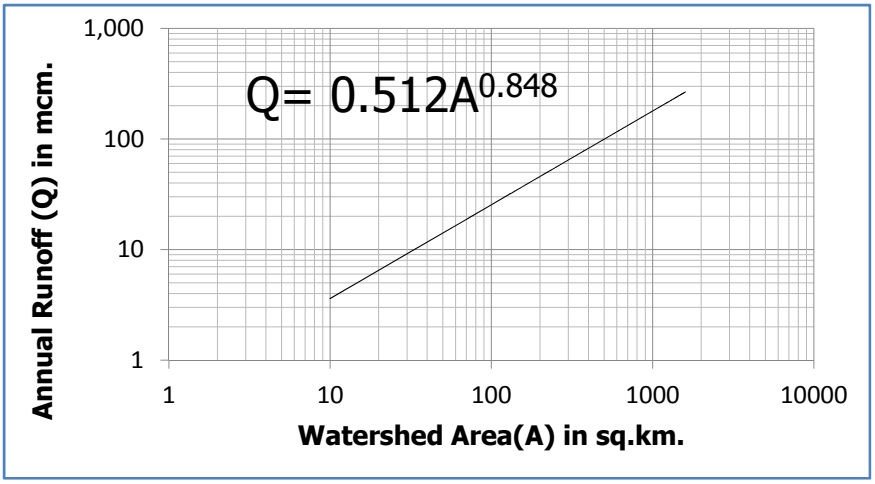
Runoff station	Watershed area(A), km^2	Annual runoff(Q), mcm.
K.17	1,344	265.62
K.25A	367	63.96
K.61	1,839	430.12
K.62	2,247	449.49

Regional Approach: $Q = kA^n$

สมการน้ำท่ารายปี ลุ่มน้ำลำภาชี
$Q = 0.088A^{1.114}$



สมการน้ำท่ารายปี ลุ่มน้ำแม่กวง



ตัวอย่างการคำนวณน้ำท่าจากสมการ

- หาพื้นที่ลุ่มน้ำ(watershed area/catchment area, A) ของจุดที่ตั้งเขื่อน= 42 km^2
- จากสมการน้ำท่ารายปีของลุ่มน้ำแม่กวง: $Q=0.512A^{0.848}$
- $Q=0.512*42^{0.848}$ = 12.18374 mcm.
- Monthly runoff(m^3)
  = % monthly distribution*Q*1,000,000

3. การหาค่าอัตราการไหลสูงสุดสำหรับการออกแบบ Spillway

Rational Method (for small watershed)

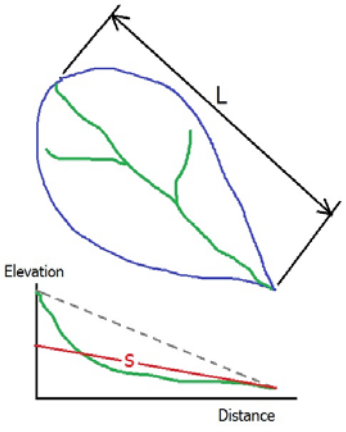
- Q_{peak}= 0.278CIA
- Q_{peak}= Peak flow in cms.
- C=Runoff coefficient for Rational formula
- I= Rainfall intensity (mm/hr) for a duration (=time of concentration) and a given return period (50-100 years for small spillways)
- A= Watershed area (sq.km.)

Runoff coefficient(C) for Rational method

Topography and vegetation		Soil texture		
		Open sandy loam	Clay and silt loam	Tight clay
Forest	Flat (0-5%)	0.10	0.30	0.4
	Rolling (5-10%)	0.25	0.35	.50
	Hilly (10-30%)	0.30	0.50	.60
Pasture	Flat (0-5%)	0.10	0.30	0.40
	Rolling (5-10%)	0.16	0.36	0.55
	Hilly (10-30%)	0.22	0.42	0.60
Cultivated	Flat (0-5%)	0.30	0.50	0.60
	Rolling (5-10%)	0.40	0.60	0.70
	Hilly (10-30%)	0.52	0.72	0.82

Schwab *et.al.*(1971), Elementary soil and water conserv. eng., John Wiley & Sons.

SCS formula for time of concentration



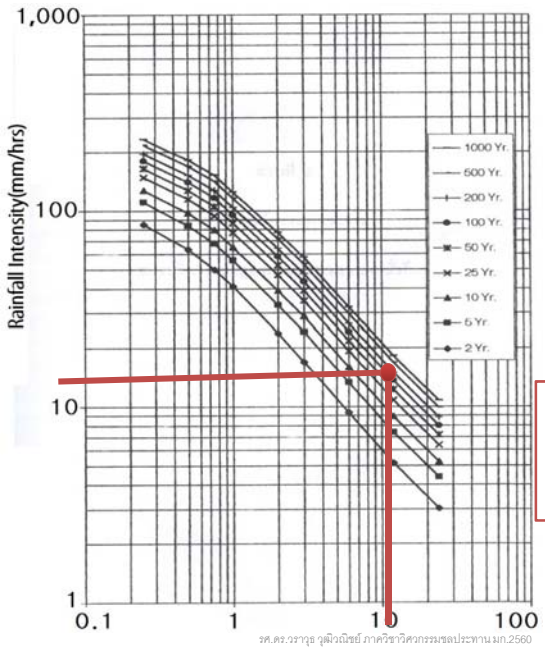
- $t_c = \frac{5}{3}\left(\frac{L^{0.8}\left(\frac{1,000}{CN}-9\right)^{0.7}}{1,900\sqrt{s}}\right)$

t_c=time of concentration in hours.
L=hydraulic length of watershed(longest flow path), ft.
CN=SCS runoff curve number
s=average watershed slope(%)

t_c(hours)=distance(m.)/(velocity(m/s)*3,600)

SCS-runoff curve number(CN)

Land use	Condition	Hydrologic soil group			
		A	B	C	D
		Min. infiltration rate(inch/hr.)			
		0.3-45	0.15-0.3	0.05-0.15	0-0.05
Forest	Poor	45	66	77	83
	Fair	36	60	73	79
	Good	25	55	70	77
Pasture	Poor	68	79	86	89
	Fair	49	69	79	84
	Good	39	61	74	80
Cultivated		59	74	82	86



Rainfall Intensity-Duration-Frequency Curve Upper Northern Part of Thailand

Duration=10 hrs.
Return period=50 years
Rainfall intensity(i)=15 mm/hrs.

Rational Formula

Q=0.278CIA

C(Forest, Rolling(5-10%), Clay and silt loam)=0.35

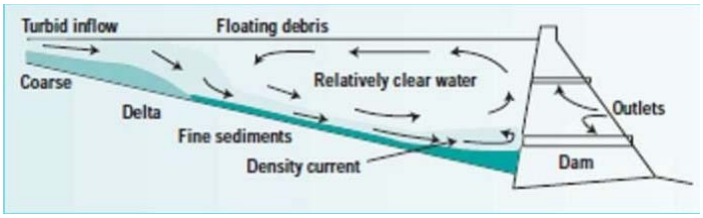
i=15 mm/hr

A=42 sq.km.

Q=0.278*0.35*15*42=4.087 cms.

4. การตกตะกอนในอ่างเก็บน้ำReservoir sedimentation

-ปัจจัยที่มีผลต่อการกัดเซาะดินในลุ่มน้ำคือ ความเข้มฝน ความยากง่ายของดินต่อการกัดเซาะ ความลาดชัน พืชที่ปกคลุมดิน
-น้ำจะเป็นตัวการในการพัดพาดินที่ถูกกัดเซาะลงสู่แม่น้ำลำธาร การตกตะกอนจะเกิดเมื่อความเร็วกระแสน้ำลดลงจนไม่สามารถพัดพาตะกอนดินต่อไปได้



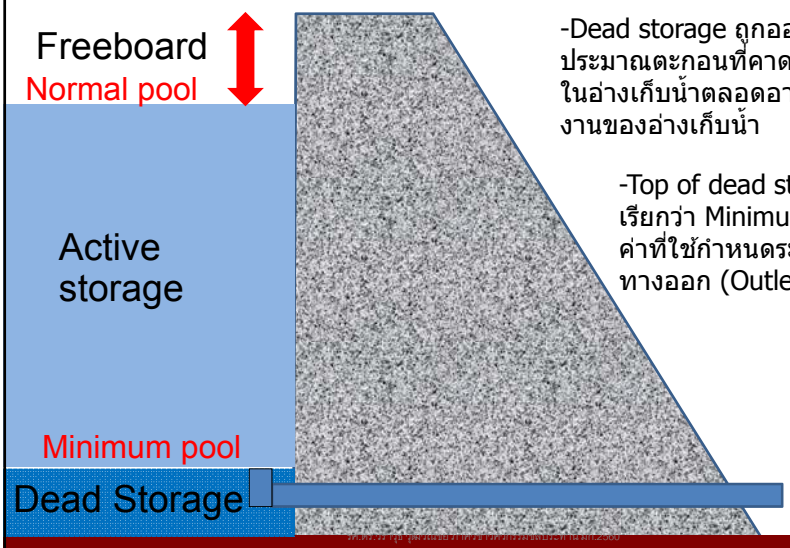
ตะกอนในทางน้ำมี 2 แบบคือ Suspended load vs. bed load
เมื่อน้ำไหลเข้าสู่บริเวณอ่างเก็บน้ำ ความเร็วกระแสน้ำจะลดลงและเกิดการตกตะกอน อ่างเก็บน้ำจึงทำหน้าเสมือนเครื่องดักตะกอน ดังนั้นบริเวณที่มีตะกอนมาก อ่างเก็บน้ำจะสูญเสียความจุอย่างรวดเร็ว

ความสำคัญของการตกตะกอน

ตะกอนไม่เพียงแต่มีผลต่อคุณภาพน้ำแต่ยังมีผลต่อความจุทางน้ำและอ่างเก็บน้ำ และการตกตะกอนบริเวณหน้าประตูจะมีผลต่อการระบายน้ำของประตูด้วย

ในบริเวณที่มีการกัดเซาะมาก ต้องมีการสร้างประตูระบายทรายหน้าฝายด้วย

การออกแบบ Dead storage



-Dead storage ถูกออกแบบจากประมาณตะกอนที่คาดว่าจะตกจมในอ่างเก็บน้ำตลอดอายุการใช้งานของอ่างเก็บน้ำ

-Top of dead storage เรียกว่า Minimum pool คือค่าที่ใช้กำหนดระดับอาคารทางออก (Outlet works)

สมการสำหรับหา Dead Storage

สมการสำหรับหาปริมาตรตะกอนที่ตกจมในอ่างเก็บน้ำ

$V = c * d * A * n * 1{,}000$

V=volume of sediment trapped in reservoir(m^3)

c= coefficient of terrain 's slope

d= rate of soil erosion(mm/year)

A= watershed area(km^2)

n= useful life of reservoir(years)

Sources: RID standard for water resources project planning, 2nd revision (June 2009)

Stream slope at dam site	c (coef. of terrain slope)
< 1:200	1.00
1:200 to 1:500	0.90
1:500 to 1:1,000	0.80
> 1:1,000	0.70

Watershed area(km^2)	Soil erosion rate (d) in mm./year		
	Good cover	Medium cover	Poor cover
< 100	0.20	0.25	0.30
100 - 1,000	0.15	0.20	0.25
> 1,000	0.10	0.15	0.20

Sources: RID standard for water resources project planning, 2nd revision (June 2009)

ตัวอย่างการหาปริมาตรตะกอนที่จะตกจมในอ่างเก็บน้ำ

A=42 km^2
c=0.9 (slope 1:200-1:500)
d=0.25 mm/year (medium cover)
n= 30 years
V = c * d * A * n *1,000
= 0.9*0.25*42*30*1,000
= 283,500 m^3

Dead Storage >= 283,500 m^3

5. การระเหยและการรั่วซึมในอ่างเก็บน้ำ

-การระเหยและการรั่วซึมเป็นการสูญเสียน้ำที่หลีกเลี่ยงไม่ได้
-ดังนั้นจึงจำเป็นต้องทราบค่าการระเหยและการรั่วซึมเพื่อนำไปใช้ในการออกแบบอ่างเก็บน้ำ

CLIMATOLOGICAL DATA FOR PERIOD 1971-2000

Station	**KHON KAEN**						**Elevation of station above MSL (Mean Sea Level)**					**165**	**Meters**
Index station	**48381**						**Barometer above MSL (Mean Sea Level)**					**166**	**Meters**
Latitude	**16 26 N**						**Height of thermometer above ground**					**1.25**	**Meters**
Longitude	**102 50 E**						**Height of wind vane above ground**					**10.55**	**Meters**
									Height of rain guage			**1**	**Meters**
	Jan	**Feb**	**Mar**	**Apr**	**May**	**Jun**	**Jul**	**Aug**	**Sep**	**Oct**	**Nov**	**Dec**	**Year**
Pressure (Hectopascal)													
Mean	1014	1012	1010	1008	1007	1005	1005	1005	1008	1011	1013	1015	1009
Ext. max.	1028	1025	1026	1021	1015	1013	1013	1013	1016	1020	1024	1026	1028
Ext. min.	1003	1001	998.8	997.4	997.8	994.9	996.6	994.3	997.1	1002	1003	1003	994.3
Mean daily range	5.55	5.86	5.96	5.65	5.04	4.16	3.99	4.11	4.58	4.7	4.81	5.15	4.96
Temperature (Celsius)													
Mean	23.1	25.6	28.6	30	29	28.6	28.1	27.6	27.1	26.4	24.6	22.6	26.8
Mean max.	30.7	33	35.4	36.4	34.6	33.6	32.8	32.1	31.8	31.4	30.9	29.8	32.7
Mean min.	16.8	19.5	22.6	24.7	24.8	24.9	24.5	24.3	23.8	22.5	21.9	16.7	22.3
Ext. max.	36.3	39.5	41.7	42.6	41.9	39.4	38	37	36.3	35.5	36.4	35.7	42.6
Ext. min.	5.8	10.4	11.1	18.5	19.8	21.5	21	21	20.3	14.6	9.4	5.6	5.6
Relative Humidity (%)													
Mean	65	62	59	63	73	76	77	79	82	78	71	66	71
Mean max.	86	83	79	81	89	90	90	92	95	92	89	87	88
Mean min.	41	39	38	43	53	57	59	62	64	58	49	42	50
Ext. min.	11	10	10	14	24	31	34	41	40	27	21	15	10
Dew Point (Celsius)													
Mean	15.4	17	18.8	21.4	23.2	23.5	23.4	23.5	23.6	21.8	18.4	15.2	20.4
Evaporation (mm.)													
Mean-pan	134.8	143.7	192.1	196.5	178.4	154.7	150.6	131.7	121.8	131.2	132.7	133.7	1802
Cloudiness (0-10)													
Mean	2.6	2.9	3.3	4.9	6.7	7.7	7.9	8.3	7.3	5.6	3.9	2.9	5.3

Pan evaporation data

Source: Thai Meteorological Department (TMD)

วิธีการหาค่าการระเหยและการรั่วซึม

1. Reservoir evaporation
= Class A Pan evaporation * Pan coefficient
(Pan coefficient= c = 0.72)

2. Seepage rate (S)

Clay	1.0-1.5 mm./day
Loam	1.5-2.5 mm./day
Sandy loam	2.5-3.5 mm./day

Sources: RID standard for water resources project planning, 2nd revision (June 2009)

Estimating evaporation and seepage losses

Month	Pan evaporation (mm.)	Reservoir evaporation (mm.)	Seepage (mm.)	Evaporation & Seepage (mm.)
(1)	(2)	(3) = (2)*0.72	(4) = 1.5*days	(5) = (3) + (4)
Apr	235.7	169.7	45.0	214.7
May	167.6	120.7	46.5	167.2
Jun	113.7	81.9	45.0	126.9
Jul	103.0	74.2	46.5	120.7
Aug	85.6	61.6	46.5	108.1
Sep	98.1	70.6	45.0	115.6
Oct	130.2	93.7	46.5	140.2
Nov	135.0	97.2	45.0	142.2
Dec	127.9	92.1	46.5	138.6
Jan	125.7	90.5	46.5	137.0
Feb	152.1	109.5	42.0	151.5
Mar	214.3	154.3	46.5	200.8
รวม	1,688.9	1,216.0	547.5	1,763.5

การหาปริมาณความต้องการน้ำของโครงการ Project water requirements

- ปริมาณความต้องการน้ำเพื่อการเพาะปลูก
- ปริมาณความต้องการน้ำเพื่อการอุปโภค-บริโภค
- ปริมาณความต้องการน้ำเพื่อการอุตสาหกรรม
- ปริมาณความต้องการน้ำเพื่อการท่องเที่ยว
- ปริมาณความต้องการน้ำเพื่อการรักษาระบบนิเวศวิทยา

(1) ความต้องการน้ำอุปโภค-บริโภค

Types of community	Consumption Rate (liter/capita/day)
Metropolitan area	200-250
Small town	120
Rural area	50

(2)ความต้องการน้ำอุตสาหกรรม

Types of Industry	Consumption Rate(m^3/rai/day)
อาหาร	12.00
เคมี	8.00
อโลหะ(Cement, Ceramic, Glass)	8.00
โลหะ	5.00
สิ่งทอ	5.00
กระดาษ	4.00
เครื่องประดับ (Accessory)	6.00
ไม้	3.00
Outdoors-ถ่านหิน, อบแห้ง(drying)	7.00
อื่นๆ	7.00

(3) ความต้องการน้ำเพื่อการท่องเที่ยว

Catagory	Consumption Rate (liter/capita/day)
Overnight stay tourists	300-400
Non-overnight stay tourists	30

(4) ความต้องการน้ำเพื่อการเลี้ยงสัตว์

	Consumption Rate (liter/capita/day)
วัว-ควาย	80
สุกร	20
เกะ-แพะ	15
สัตว์ปีก (เป็ด-ไก่)	0.5

(5) ความต้องการน้ำเพื่อการรักษาระบบนิเวศวิทยา

- ความต้องการน้ำของพื้นที่ท้ายน้ำ-Qmin(d/s)
  - ป้องกันการรุกตัวของน้ำทะเล
  - รักษาระดับน้ำเพื่อการเดินเรือ
  - ชุมชนท้ายน้ำ (Downstream uses)
- Flow Duration Curve คือเครื่องมือสำหรับหาความต้องการน้ำเพื่อระบบนิเวศวิทยา
- Normal Low Flow(NLF) = Q which exceeds NLF at 0.75*365=274 days in each year.

(6) Crop Water Requirements(CWR) & Irrigation Water Requirements(IWR)

- CWR=Crop Evapotranspiration(ET_c)
  $=K_c*ET_o$
- ET_o=Reference crop evapotranspiration depending only on climate conditions
- K_c=Crop factor depending on crop characteristics (types + growth stages)

ความต้องการน้ำของพืช(มม.) (กรมชลประทาน)

พืช	ภาคเหนือ	ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	ภาคกลาง	ภาคตะวันออก	ภาคใต้
ข้าว*	700	733	722	677	688
ข้าวสาลี	305	330	324	299	305
ข้าวโพด	344	372	365	337	344
ถั่วเหลือง	366	395	387	358	366
ถั่วเขียว	211	228	224	207	211
ยาสูบ	390	421	414	382	390
ฝ้าย	462	498	489	452	462
อ้อย	959	1,035	1,016	939	959
มะเขือเทศ	485	524	514	475	485
มันฝรั่ง	360	389	382	353	360

*เพิ่มการรั่วซึมประมาณ 1.5 มม./วัน
ความต้องการน้ำเตรียมแปลงข้าว=200-300 มม.
ความต้องการน้ำเตรียมแปลงพืชอื่นที่ไม่ใช่ข้าว =60-90 มม.

Irrigation Water Requirement(IWR)

- $IWR=100(ET_C-R_e)/E_i$
- $IWR(Paddy) =100(ET_C+P-R_e)/E_i$

ประสิทธิภาพการชลประทาน(E_i)

$E_i=E_a.E_b.E_c$
E_a=field application efficiency
E_b=field canal efficiency
E_c=conveyance efficiency

Field application efficiency(E_a)		
ชนิดดิน	E_a	พื้นที่
ดินร่วน	0.55	ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ
ดินร่วนปนดินเหนียว	0.77	ภาคอื่น
ดินเหนียว	0.80	ภาคกลาง

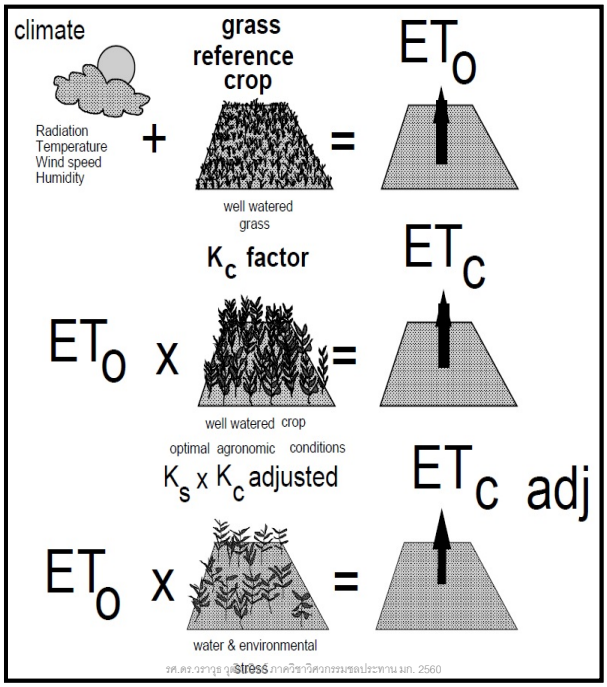
Field canal efficiency(E_b)		
ชนิดคลอง	E_b	หมายเหตุ
คลองดิน	0.80	
คลองดาด	0.90	

Conveyance efficiency(E_c)		
วิธีการส่งน้ำ	E_c	หมายเหตุ
ส่งตลอดเวลา	0.90	ค่าเฉลี่ย =0.85
ส่งรอบเวร	0.80	

Example

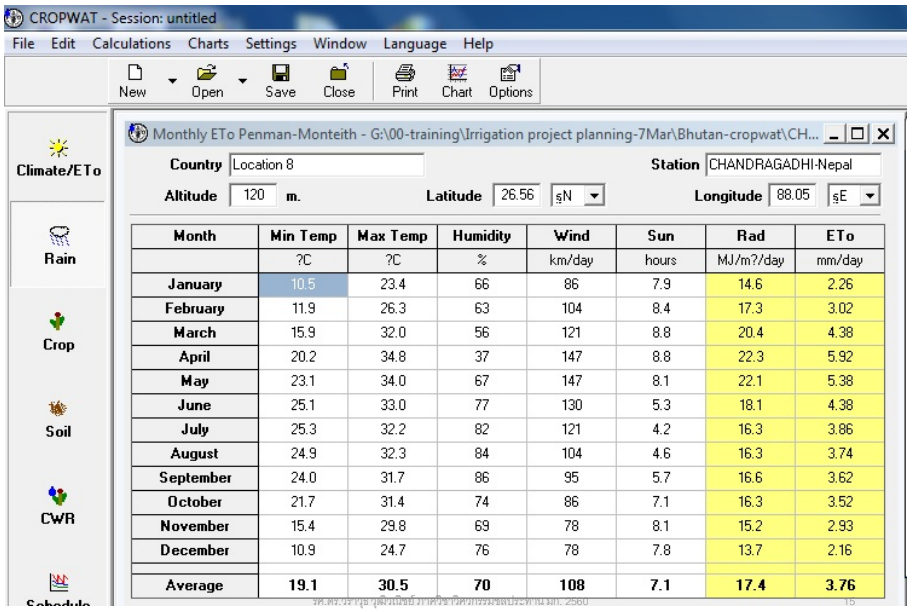
$E_i=0.80*0.9*0.85=0.61$

ET_c calculation

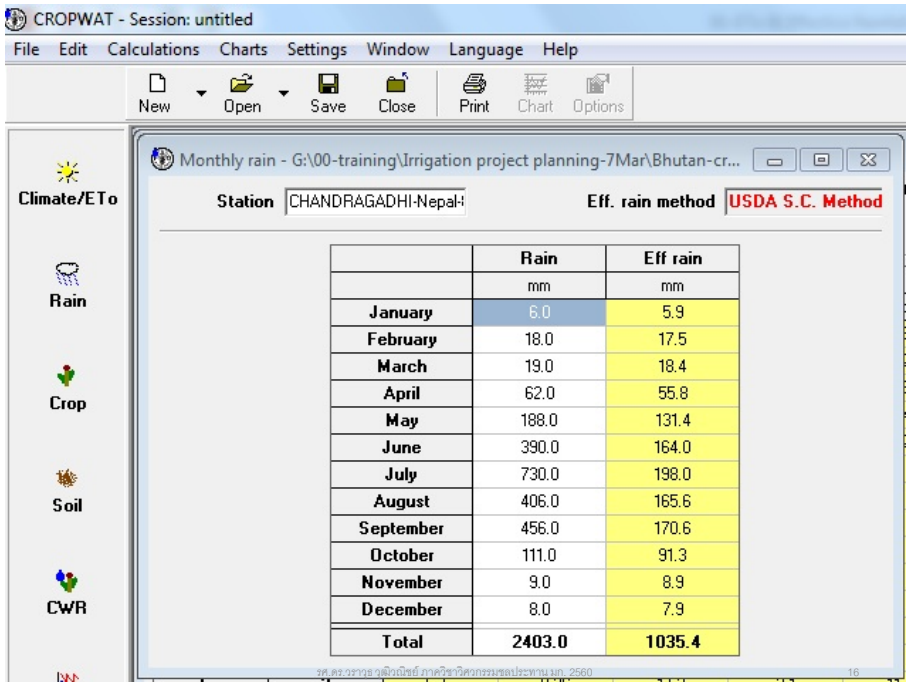


- Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements - FAO Irrigation and drainage paper 56
- Download from FAO WATER: http://www.fao.org/nr/water/infores_pubs.html

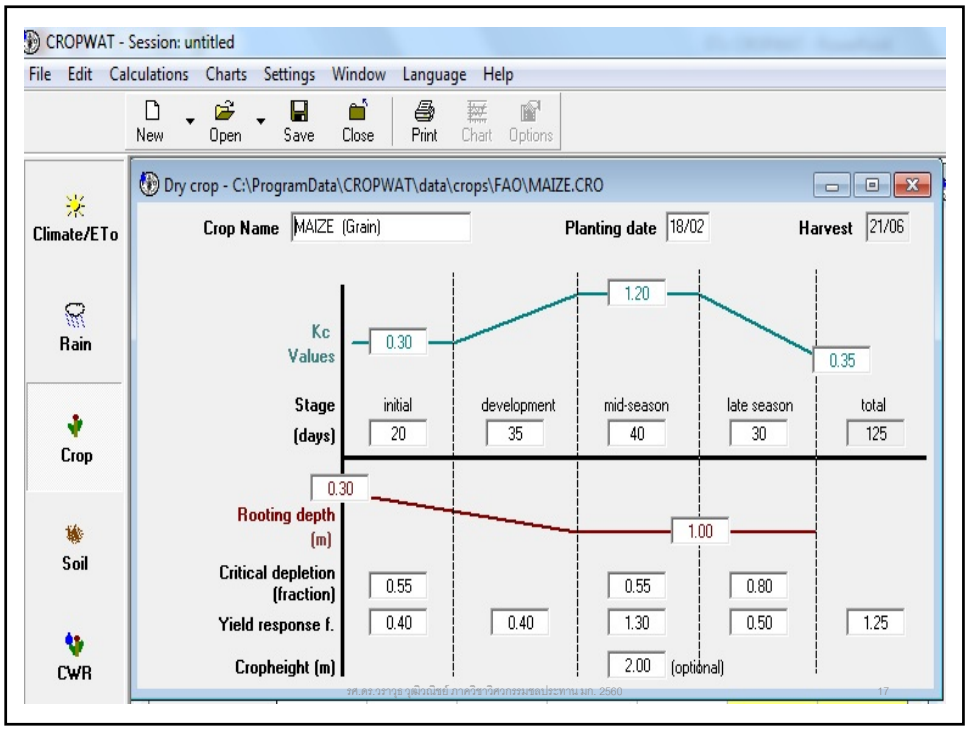
CROPWAT 8

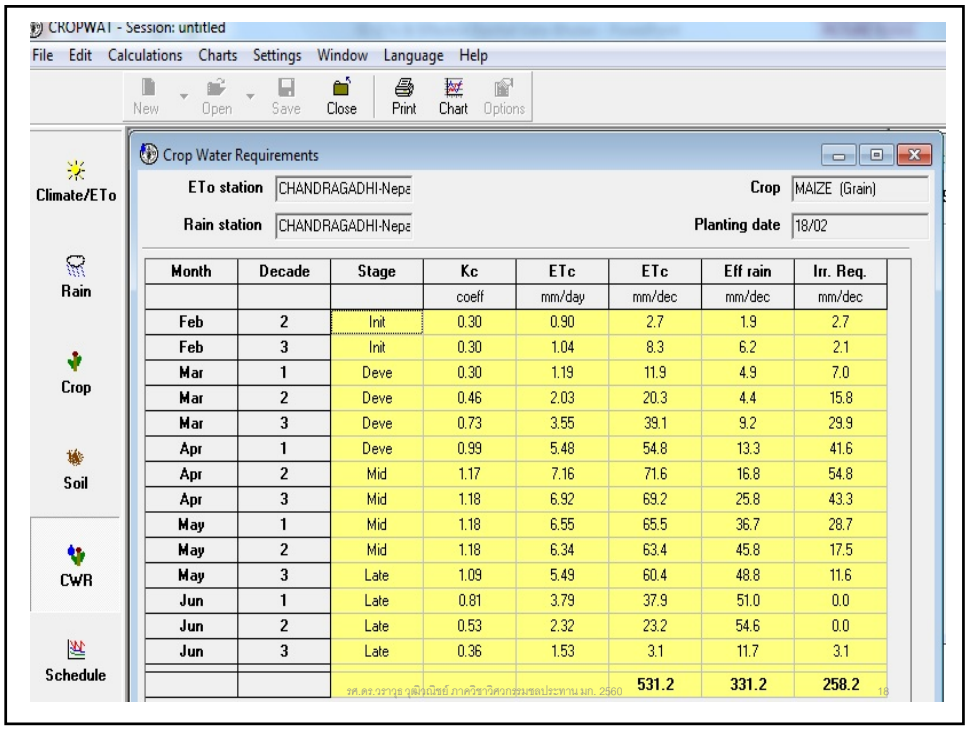


Month	Min Temp	Max Temp	Humidity	Wind	Sun	Rad	ETo
	?C	?C	%	km/day	hours	MJ/m?/day	mm/day
January	10.5	23.4	66	86	7.9	14.6	2.26
February	11.9	26.3	63	104	8.4	17.3	3.02
March	15.9	32.0	56	121	8.8	20.4	4.38
April	20.2	34.8	37	147	8.8	22.3	5.92
May	23.1	34.0	67	147	8.1	22.1	5.38
June	25.1	33.0	77	130	5.3	18.1	4.38
July	25.3	32.2	82	121	4.2	16.3	3.86
August	24.9	32.3	84	104	4.6	16.3	3.74
September	24.0	31.7	86	95	5.7	16.6	3.62
October	21.7	31.4	74	86	7.1	16.3	3.52
November	15.4	29.8	69	78	8.1	15.2	2.93
December	10.9	24.7	76	78	7.8	13.7	2.16
Average	19.1	30.5	70	108	7.1	17.4	3.76

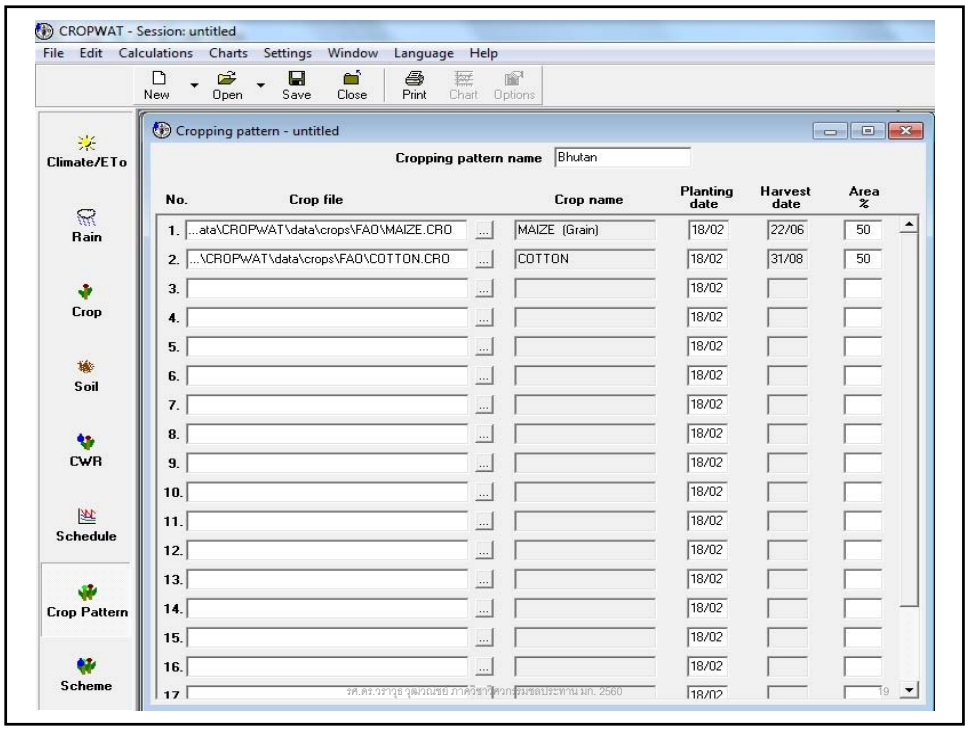


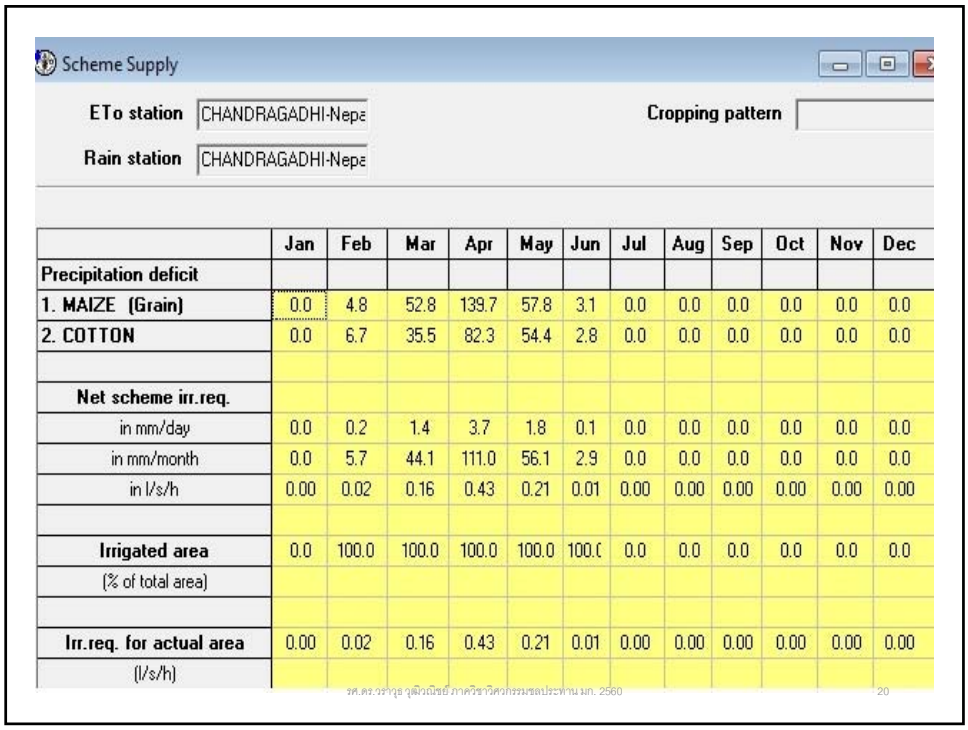
	Rain	Eff rain
	mm	mm
January	6.0	5.9
February	18.0	17.5
March	19.0	18.4
April	62.0	55.8
May	188.0	131.4
June	390.0	164.0
July	730.0	198.0
August	406.0	165.6
September	456.0	170.6
October	111.0	91.3
November	9.0	8.9
December	8.0	7.9
Total	2403.0	1035.4





Month	Decade	Stage	Kc	ETc	ETc	Eff rain	Irr. Req.
			coeff	mm/day	mm/dec	mm/dec	mm/dec
Feb	2	Init	0.30	0.90	2.7	1.9	2.7
Feb	3	Init	0.30	1.04	8.3	6.2	2.1
Mar	1	Deve	0.30	1.19	11.9	4.9	7.0
Mar	2	Deve	0.46	2.03	20.3	4.4	15.8
Mar	3	Deve	0.73	3.55	39.1	9.2	29.9
Apr	1	Deve	0.99	5.48	54.8	13.3	41.6
Apr	2	Mid	1.17	7.16	71.6	16.8	54.8
Apr	3	Mid	1.18	6.92	69.2	25.8	43.3
May	1	Mid	1.18	6.55	65.5	36.7	28.7
May	2	Mid	1.18	6.34	63.4	45.8	17.5
May	3	Late	1.09	5.49	60.4	48.8	11.6
Jun	1	Late	0.81	3.79	37.9	51.0	0.0
Jun	2	Late	0.53	2.32	23.2	54.6	0.0
Jun	3	Late	0.36	1.53	3.1	11.7	3.1
					531.2	331.2	258.2





	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Precipitation deficit												
1. MAIZE (Grain)	0.0	4.8	52.8	139.7	57.8	3.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2. COTTON	0.0	6.7	35.5	82.3	54.4	2.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Net scheme irr.req.												
in mm/day	0.0	0.2	1.4	3.7	1.8	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
in mm/month	0.0	5.7	44.1	111.0	56.1	2.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
in l/s/h	0.00	0.02	0.16	0.43	0.21	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Irrigated area	0.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
(% of total area)												
Irr.req. for actual area	0.00	0.02	0.16	0.43	0.21	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
(l/s/h)												

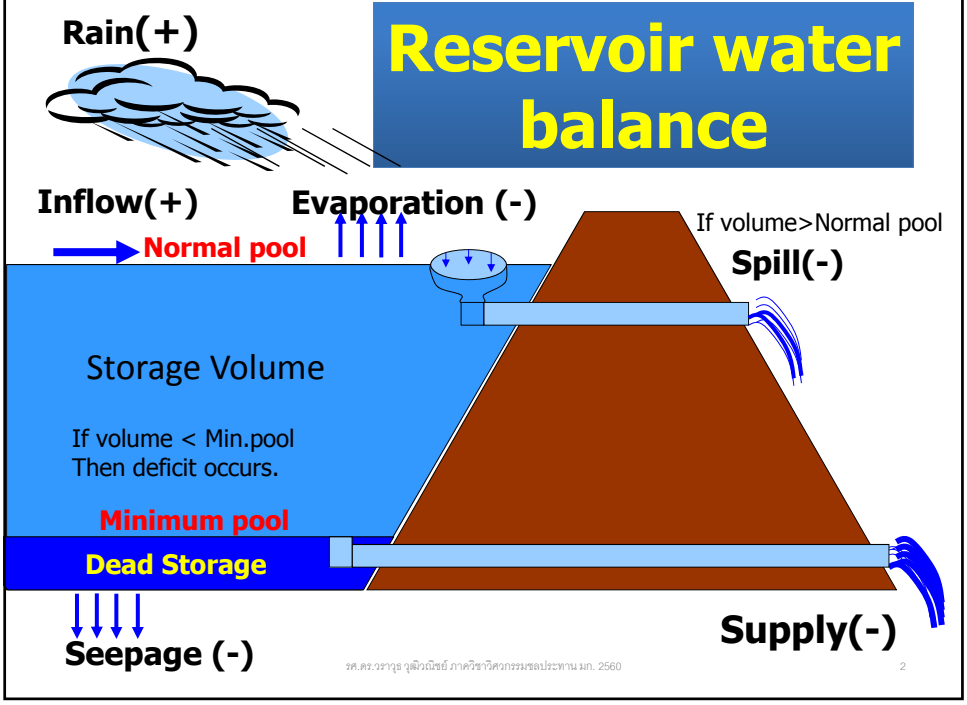
การหาขนาดอ่างเก็บน้ำ

หลักการ

-อ่างต้องมีขนาดเล็กที่สุดแต่มีปริมาณน้ำเพียงพอกับความต้องการใช้น้ำทั้งปีในปีที่วิกฤติ

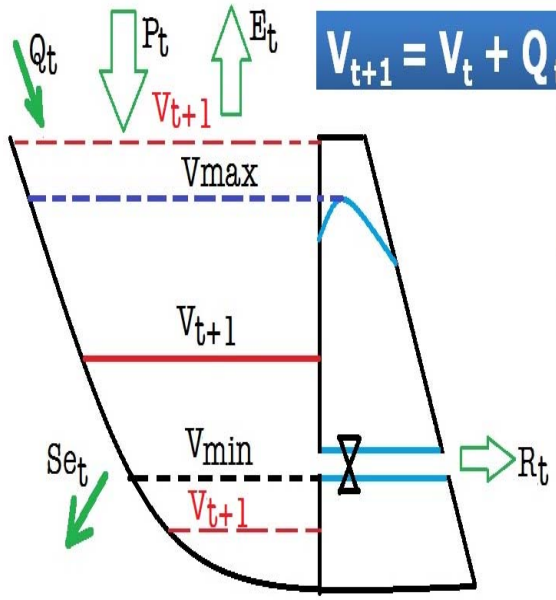
-ใช้เกณฑ์ความเสี่ยงต่อการขาดน้ำ < 20% ในการจำลองการใช้น้ำจากอ่างในระยะยาว

Reservoir water balance



$$V_{t+1} = V_t + Q_t + P_t - R_t - E_t - Se_t$$

V_{t+1}, V_t	Storage volume at beginning of month t+1 and t
Q_t	Reservoir inflow volume in month t
R_t	Water release volume in month t
E_t	Reservoir evaporation volume in month t $=e_t*A_t$ e_t =evaporation rate A_t=average water surface area
P_t	Volume of rainfall in month t=$p_t*A_t*(1-c)$ p_t=rainfall in month t (mm.) c=runoff coefficient
Se_t	Seepage volume in month t=$BK(V_{t+1}-V_t)$ BK=bank storage coefficient
V_{max}	Storage volume at normal pool
V_{min}	Storage volume at minimum pool



$$V_{t+1} = V_t + Q_t + P_t - R_t - E_t - Se_t$$

If $V_{t+1} > V_{max}$
$SPILL_t = V_{t+1} - V_{max}$
$V_{t+1} = V_{max}$

If $V_{t+1} < V_{min}$
$DEF_t = V_{min} - V_{t+1}$
$V_{t+1} = V_{min}$

เทคนิคการขาขนาดอ่างเก็บน้ำ (reservoir sizing)

1. วิธีกราฟ (Rippl diagram)

2. วิธีการจำลองการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำ (ROS)
   - ใช้ฝนรายเดือนในช่วงปีที่วิกฤติ
   - ง่าย
   - ไม่ได้สะท้อนการใช้น้ำในปีปกติ เป็นวิเคราะห์สถานการณ์ปีที่วิกฤติเท่านั้น

3. การจำลองอ่างเก็บน้ำ (Reservoir Simulation)
   - ใช้ข้อมูลระยะยาวในการจำลอง
   - ใช้ซอฟต์แวร์คอมพิวเตอร์ช่วย เช่น HEC-3, HEC-Ressim, Mike Basin

เกณฑ์ในการหาขนาดอ่างเก็บน้ำ

1. เกณฑ์ที่ใช้สำหรับ reservoir operation study
   -ไม่เกิดการขาดน้ำในช่วงวิกฤตb
   -ปริมาณน้ำไหลลันอ่าง < 3% ของความจุออกแบบ

2. เกณฑ์ที่ใช้สำหรับการจำลองอ่างเก็บน้ำ (reservoir simulation) ในช่วงระยะยาว
   - ยอมให้เกิดการขนาดน้ำในแต่ละปีได้ ไม่เกิน 20%

Sources: RID standard for water resources project planning, 2nd revision (June 2009)

Reservoir operation study-ROS

RESERVOIR OPERATION STUDY

Project.....
Tambol.....
Amphur.....
Changwad.....
Drainage Area.....$m.^2$
Average Annual Rainfall.....mm.

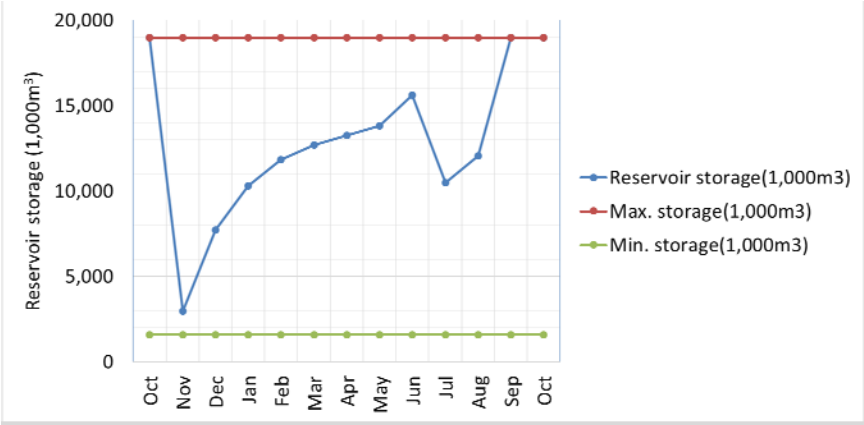
Average Annual Runoff Volume.....MCM
Est. Max. Flood Discharge.....$m.^3$/sec.
Elev. Max. Flood.....m.
Elev. Spillway Creast.....m.
Elev. Top of Dam.....m.
Elev. Bottom of Outlet.....m.

Reservoir Capacity..... 19,000,000 .....$m.^3$
Dead Storage..... 1,600,000 .....$m.^3$
Storage of Flood Surcharge.....$m.^3$
F.S.L. Area.....Rai
Size of Outlet , Right Bank.....m.
Size of Outlet , Left Bank.....m.
Start ROS in month(1 - 12) 10

Row No.	ITEM			PERIOD											
				OCT	NOV	DEC	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP
1	Average rainfall		mm.	97.6	15.2	3.2	2.7	3.0	4.8	27.7	188.5	270.8	310.0	348.4	222.6
2	Evaporation and Seepage		mm.	140.2	142.2	138.6	137.0	151.5	200.8	214.7	167.2	126.9	120.7	108.1	115.6
3	Storage volume at start of period		1,000 $m.^3$	19,000.0	2,953.7	7,741.6	10,294.4	11,830.9	12,683.0	13,276.9	13,807.4	15,610.5	10,507.9	12,055.2	19,000.0
4	Inflow from runoff		1,000 $m.^3$	9,717.6	5,189.5	3,001.8	1,984.2	1,322.8	1,119.3	1,017.5	2,086.0	3,205.3	4,019.3	7,529.9	10,684.3
5	Average water surface area of reservoir		1,000 $m.^2$	1,300.0	800.0	1,100.0	1,100.0	1,150.0	1,150.0	1,000.0	800.0	950.0	750.0	850.0	1,250.0
6	Rainfall over water surface area		1,000 $m.^3$	126.9	12.2	3.5	3.0	3.5	5.5	27.7	150.8	257.3	232.5	296.1	278.3
7	Evaporation and Seepage		1,000 $m.^3$	182.3	113.8	152.5	150.7	174.2	230.9	214.7	133.8	120.6	90.5	91.9	144.5
8	Net inflow		1,000 $m.^3$	9,662.2	5,087.9	2,852.8	1,836.5	1,152.0	893.9	830.5	2,103.0	3,342.0	4,161.3	7,734.1	10,818.0
9	Volume of water available for period		1,000 $m.^3$	28,662.2	8,041.6	10,594.4	12,130.9	12,983.0	13,576.9	14,107.4	15,910.5	18,952.4	14,669.2	19,789.4	29,818.0
10	Requirement for rice per rai		$m.^3$	390.9								125.3	35.6	0.0	153.5
11	Requirement for upland crop per rai		$m.^3$			365.1	155.0	161.3	573.9	567.1					
12	Water volume required for rice - rai	65,000	1,000 $m.^3$	25,408.5								8,144.5	2,314.0	0.0	9,977.5
13	Water volume required for upland crop	0	1,000 $m.^3$			0.0	0.0	0.0	0.0	0.0					
14	Water volume required for water supply		1,000 $m.^3$	300.0	300.0	300.0	300.0	300.0	300.0	300.0	300.0	300.0	300.0	300.0	300.0
15	Water voulme required for pumping station		1,000 $m.^3$												
16	Water volume required for period		1,000 $m.^3$	25,708.5	300.0	300.0	300.0	300.0	300.0	300.0	300.0	8,444.5	2,614.0	300.0	10,277.5
17	Shortage (If row 9-15 less than dead storage)		1,000 $m.^3$												
18	Excess or spill (In flow 9-16 more than res.cap.)		1,000 $m.^3$											489.4	540.5
19	Caried over to next period		1,000 $m.^3$	2,953.7	7,741.6	10,294.4	11,830.9	12,683.0	13,276.9	13,807.4	15,610.5	10,507.9	12,055.2	19,489.4	19,540.5

Total net inflow = 50,474.4 1,000$m.^3$
Total demand= 49,444.5 1,000$m.^3$
Total spillage= 1029.9 1,000$m.^3$ 5.4 %
Total shortage= 0.0 1,000$m.^3$

ถ้าปลูกข้าวฤดูฝน = 65,000 ไร่



RESERVOIR OPERATION STUDY

Project.....
Tambol.....
Amphur.....
Changwad.....
Drainage Area.....$m.^2$
Average Annual Rainfall.....mm.

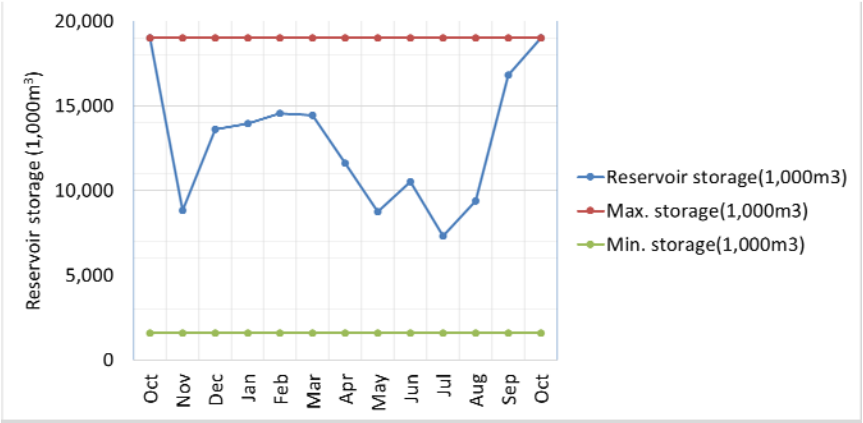
Average Annual Runoff Volume.....MCM
Est. Max. Flood Discharge.....$m.^3/sec.$
Elev. Max. Flood.....m.
Elev. Spillway Creast.....m.
Elev. Top of Dam.....m.
Elev. Bottom of Outlet.....m.

Reservoir Capacity.....19,000,000.....$m.^3$
Dead Storage.....1,600,000.....$m.^3$
Storage of Flood Surcharge.....$m.^3$
F.S.L. Area.....Rai
Size of Outlet , Right Bank.....m.
Size of Outlet , Left Bank.....m.
Start ROS in month(1 - 12) 10

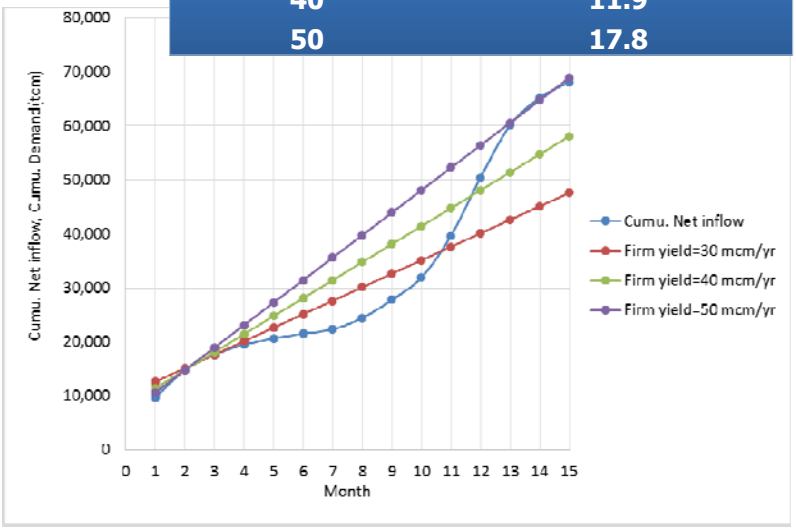
Row No.	ITEM			PERIOD OCT	NOV	DEC	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP
1	Average rainfall		mm.	97.6	15.2	3.2	2.7	3.0	4.8	27.7	188.5	270.8	310.0	348.4	222.6
2	Evaporation and Seepage		mm.	140.2	142.2	138.6	137.0	151.5	200.8	214.7	167.2	126.9	120.7	108.1	115.6
3	Storage volume at start of period		1,000 $m.^3$	19,000.0	8,817.2	13,605.1	13,967.3	14,573.8	14,458.1	11,608.6	8,736.5	10,539.6	7,316.5	9,397.8	16,832.0
4	Inflow from runoff		1,000 $m.^3$	9,717.6	5,189.5	3,001.8	1,984.2	1,322.8	1,119.3	1,017.5	2,086.0	3,205.3	4,019.3	7,529.9	10,684.3
5	Average water surface area of reservoir		1,000 $m.^2$	1,300.0	800.0	1,100.0	1,100.0	1,150.0	1,150.0	1,000.0	800.0	950.0	750.0	850.0	1,250.0
6	Rainfall over water surface area		1,000 $m.^3$	126.9	12.2	3.5	3.0	3.5	5.5	27.7	150.8	257.3	232.5	296.1	278.3
7	Evaporation and Seepage		1,000 $m.^3$	182.3	113.8	152.5	150.7	174.2	230.9	214.7	133.8	120.6	90.5	91.9	144.5
8	Net inflow		1,000 $m.^3$	9,662.2	5,087.9	2,852.8	1,836.5	1,152.0	893.9	830.5	2,103.0	3,342.0	4,161.3	7,734.1	10,818.0
9	Volume of water available for period		1,000 $m.^3$	28,662.2	13,905.1	16,457.9	15,803.8	15,725.9	15,352.0	12,439.1	10,839.6	13,881.5	11,477.8	17,132.0	27,650.0
10	Requirement for rice per rai		$m.^3$	390.9								125.3	35.6	0.0	153.5
11	Requirement for upland crop per rai		$m.^3$			365.1	155.0	161.3	573.9	567.1					
12	Water volume required for rice - rai	50,000	1,000 $m.^3$	19,545.0								6,265.0	1,780.0	0.0	7,675.0
13	Water volume required for upland crop	6,000	1,000 $m.^3$			2,190.6	930.0	967.8	3,443.4	3,402.6					
14	Water volume required for water supply		1,000 $m.^3$	300.0	300.0	300.0	300.0	300.0	300.0	300.0	300.0	300.0	300.0	300.0	300.0
15	Water voulme required for pumping station		1,000 $m.^3$												
16	Water volume required for period		1,000 $m.^3$	19,845.0	300.0	2,490.6	1,230.0	1,267.8	3,743.4	3,702.6	300.0	6,565.0	2,080.0	300.0	7,975.0
17	Shortage (If row 9-15 less than dead storage)		1,000 $m.^3$												
18	Excess or spill (In flow 9-16 more than res.cap.)		1,000 $m.^3$												675.0
19	Caried over to next period		1,000 $m.^3$	8,817.2	13,605.1	13,967.3	14,573.8	14,458.1	11,608.6	8,736.5	10,539.6	7,316.5	9,397.8	16,832.0	19,675.0

Total net inflow = 50,474.4 1,000$m.^3$
Total demand= 49,799.4 1,000$m.^3$
Total spillage= 675.0 1,000$m.^3$ 3.6 %
Total shortage= 0.0 1,000$m.^3$

ข้าวฤดูฝน= 50,000 ไร่
พืชไร่ฤดูแล้ง= 6,000 ไร่



Firm yield(mcm/yr)	Storage capacity(mcm)
30	7.3
40	11.9
50	17.8



Thank you

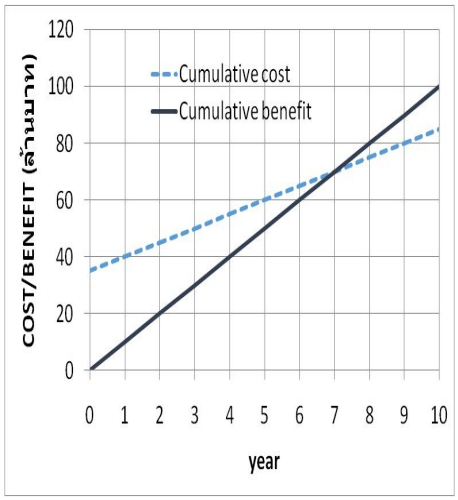
การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์

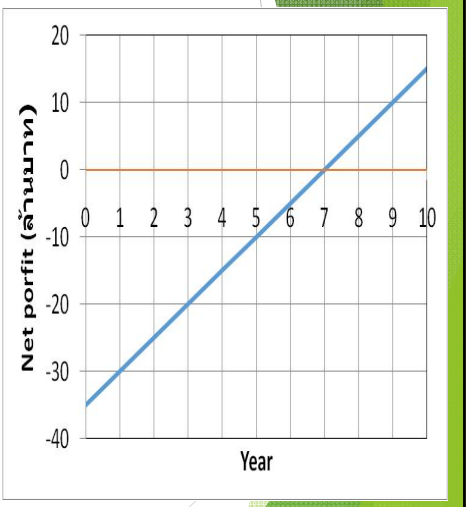
ค่าลงทุน - ผลตอบแทน

เกณฑ์การประเมินโครงการในเชิงเศรษฐศาสตร์

- มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value, NPV)
- อัตราผลตอบแทนการลงทุนโครงการทางเศรษฐศาสตร์ (Economic Internal Rate of Return, EIRR)
- อัตราส่วนผลประโยชน์ต่อค่าลงทุน (Benefit Cost Ratio, B/C)
  - วิธีอื่นๆ Payback Period, Break-even

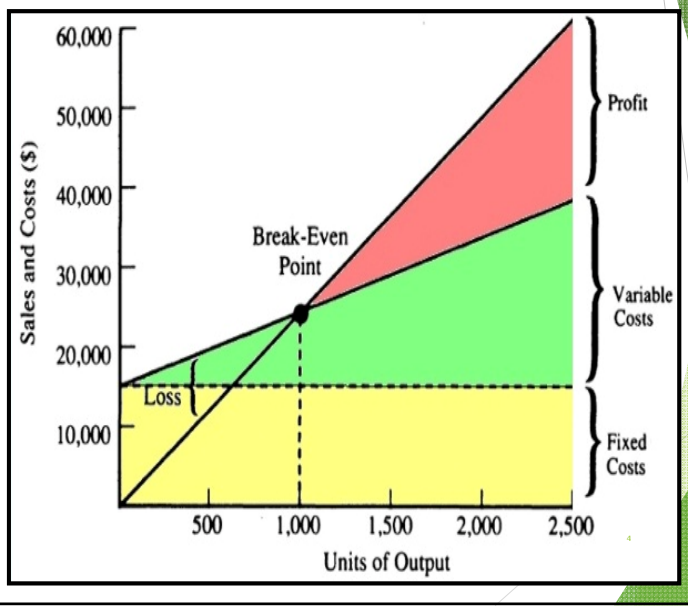
Payback period



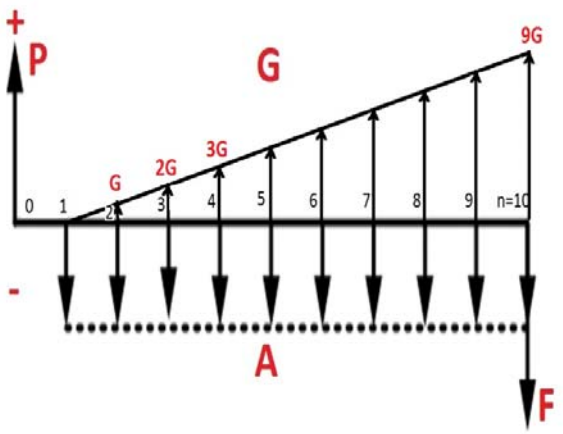


Payback period = 7 ปี

Break-even Analysis



Cash Flow Diagram + Time value of money



P=Present Value
F=Future Value
A=Uniform Series
G=Uniform Gradient
n=No. of Periods (i.e.years)
i=Discount Rate(%)
+=Income/benefit
-=payment/cost

Discount Factors	(P/F, i%, n)=Single Payment Present Worth Factor (P/A, i%, n)=Uniform Series Present Worth Factor (P/G, i%, n)=Uniform Gradient Present Worth Factor

Discount Formula

$$(F/P, i\%, n) = (1+i)^n \qquad (A/F, i\%, n) = \left[\frac{1}{(1+i)^n - 1}\right]$$

$$(P/F, i\%, n) = \left[\frac{1}{(1+i)^n}\right] \qquad (A/P, i\%, n) = \left[\frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1}\right]$$

$$(A/G, i\%, n) = \frac{1}{i} - \frac{n}{i}\left[\frac{i}{(1+i)^n - 1}\right] \qquad (F/A, i\%, n) = \left[\frac{(1+i)^n - 1}{i}\right]$$

$$(P/G, i\%, n) = \frac{1}{i}\left[\frac{(1+i)^n - in - 1}{i(1+i)^n}\right] \qquad (P/A, i\%, n) = \left[\frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n}\right]$$

Net Present Value

$NPV = \Sigma PV(B_i) - \Sigma PV(C_i)$

$PV(B_i)$ = มูลค่าปัจจุบันของผลประโยชน์รายการที่ i

$PV(C_i)$ = มูลค่าปัจจุบันของค่าลงทุนรายการที่ i

ถ้า NPV > 0 เหมาะสมในเชิงเศรษฐศาสตร์

ถ้า NPV < 0 ไม่เหมาะสมในเชิงเศรษฐศาสตร์

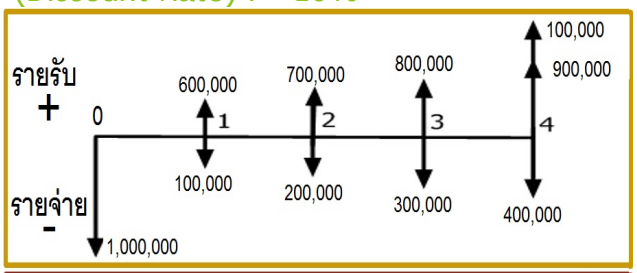
i = Discount rate

= Opportunity Cost of Capital

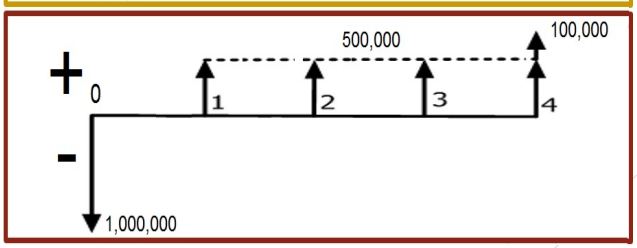
= ค่าเสียโอกาสของเงินทุน

รศ.ดร.วรวุธ ลุลิขิตพร์ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ 2560

ตัวอย่างที่ 1 จงคำนวณหา NPV ของแผนการลงทุน ซึ่งมี Cash Flow Diagram ดังรูป กำหนดให้อัตราส่วนลด (Discount Rate) i = 10%



Po=-1,000,000
F1=+600,000, -100,000
F2=+700,000, -200,000
F3=+800,000, -300,000
F4=+1,000,000, -400,000



Po=-1,000,000
A= +500,000
F4=+100,000

NPV = ΣPV(Bi)-ΣPV(Ci)

NPV = 500,000(P/A,10%,4)+100,000(P/F,10%,4)
-1,000,000

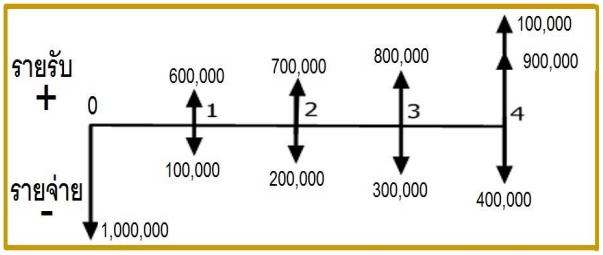
= 500,000(3.169865)+100,000(0.683013)-1,000,000

= 1,584,933+68,301-1,000,000 = 653,234 > ….OK

Use Excel Functions

NPV= 500,000*PV(10%,4,-1)+100,000*PV(10%,4,,-1)
-1,000,000

= 653,234 > 0 ….. OK



Po=-1,000,000
F1=+600,000
F2=+700,000
F3=+800,000
F4=+1,000,000
A= -100,000
G= -100,000

NPV =-1,000+600(P/F,10%,1)+700(P/F,10%,2)+800(P/F,10%,3)
+1000(P/F,10%,4)-100(P/A,10%,4)-100(P/G,10%,4)

$=-1,000+600/1.1+700/1.1^2+800/1.1^3+1000/1.1^4$
-100*3.169865-100*4.378116=653,234

Uniform gradient present worth factor	
i(%)=	10%
n=	4
(P/G,i%,n)=	4.378116249

การคำนวณด้วย Excel

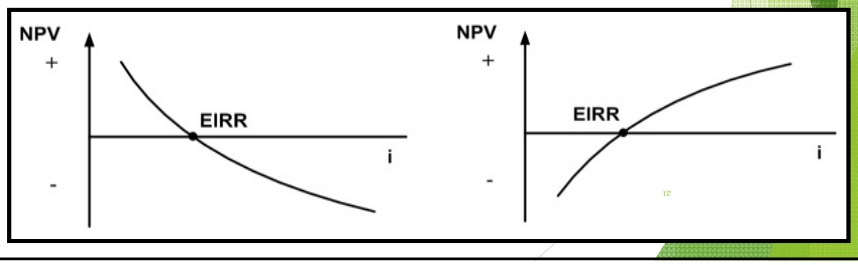
i =	10%						Discount factor		
Year	Investment Costs	Operating costs	Benefits	Salvage value	B	C		PV(B)	PV(C)
0	-1,000,000				0.00	-1,000,000	1.00000	0	-1,000,000
1		-100,000	600,000		600,000.00	-100,000	0.90909	545,455	-90,909
2		-200,000	700,000		700,000.00	-200,000	0.82645	578,512	-165,289
3		-300,000	800,000		800,000.00	-300,000	0.75131	601,052	-225,394
4		-400,000	900,000	100,000	1,000,000.00	-400,000	0.68301	683,013	-273,205
							Total	2,408,032	-1,754,798
							NPV	653,234	

รศ.ดร.วรากุล วุฒิวนิชย์ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จำนวนมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ 2560

Economic Internal Rate of Return(EIRR)

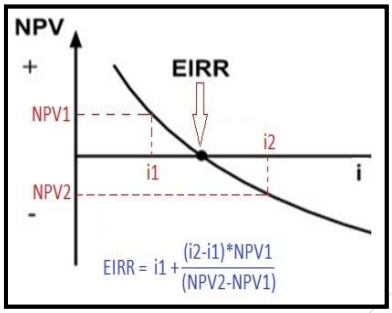
- EIRR คือ i ในสมการที่ พอดี ทำให้ NPV = 0
- ถ้า EIRR > MARR โครงการมีความเหมาะสมทางเศรษฐศาสตร์
- ถ้า EIRR < MARR โครงการไม่เหมาะสมทางเศรษฐศาสตร์
- MARR=Minimum Attractive Rate of Return

  =อัตราผลตอบแทนการลงทุนขั้นต่ำ



วิธีการหาค่า EIRR

- สมมติ i คำนวณหา NPV
- ถ้า NPV > 0 แสดงว่า i ที่สมมติมีค่าต่ำหรือสูงเกินไป ให้สมมติ i และคำนวณหา NPV ใหม่ จน NPV < 0
- ทำการ Interpolate หาค่า i ที่ทำให้ NPV = 0



ตัวอย่างที่ 2 จงหา **EIRR** ของโครงการที่มีค่าลงทุนและผลประโยชน์ ดังแสดงใน **Cash Flow Diagram** ในตัวอย่างที่ 1

จากตัวอย่างที่ 1 เมื่อ i = 10% ค่า NPV=653,234 แสดงว่า i น้อยเกินไป

ให้สมมติ i = 20%

NPV=500,000(P/A,20%,4)+100,000(P/F,20%,4)-1,000,000

= 500,000(2.58873) + 100,000(0.48225) - 1,000,000

= 1,294,593 + 48,225 - 1,000,000

= 342,593

i=20% น้อยเกินไป

ให้ i = 35%

NPV =500,000(1.99695)+100,000(0.30107)-1,000,000

= 998,474 + 30,107 - 1,000,000 = 28,581

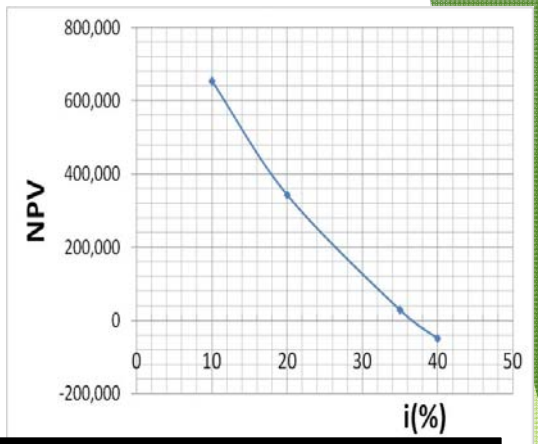
ให้ i = 40%

NPV=500,000(1.84923)+100,000(0.26031)
-1,000,000

= 924,615 + 26,031 - 1,000,000 = -49,354

15

i(%)	NPV
10	653,234
20	342,593
35	28,581
40	-49,354



EIRR =35 + (40-35)(28,581)/(28,581+49,354)

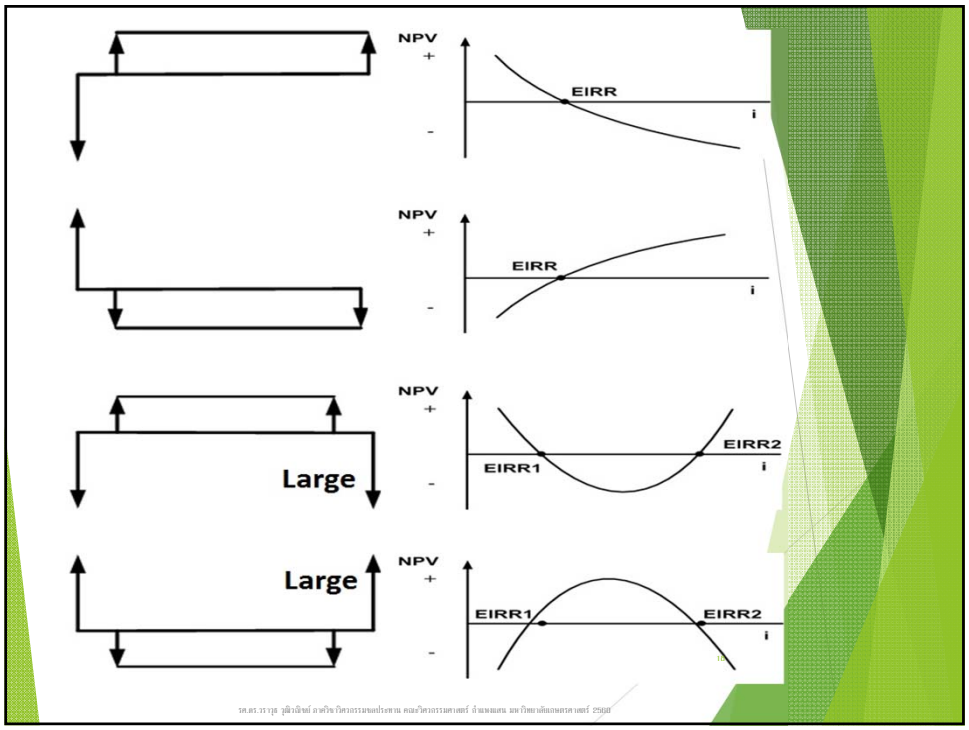
=35 + 1.83 = 36.83= 37%

EIRR(37%) > MARR(10%)

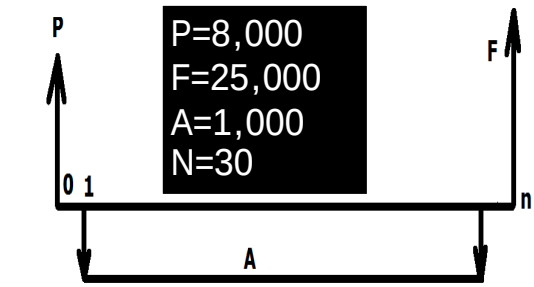
เหมาะสมทางเศรษฐศาสตร์และควรลงทุน

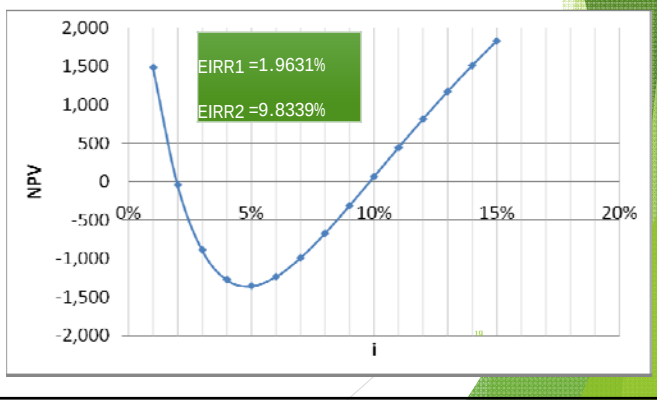
16

	A	B	C	D	E	F
1	i=	10%				
2	Year	Investment Costs	Operating costs	Benefits	Salvage value	Benefit-Cost
3	0	1,000				-1,000
4	1		100	600		500
5	2		200	700		500
6	3		300	800		500
7	4		400	900	100	600
8				IRR=		36.76%
9				Excel function=IRR(F3:F7)		

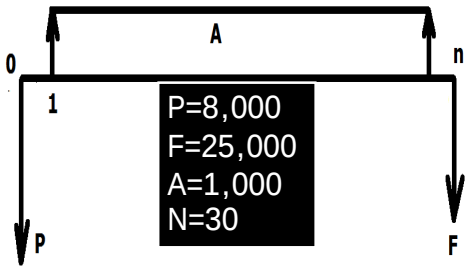


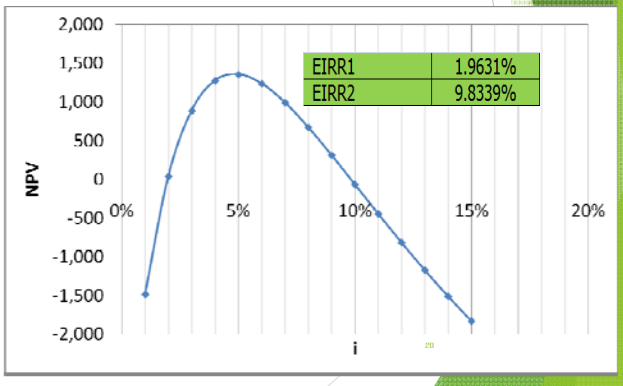
i	NPV
1%	1,482
2%	-43
3%	-889
4%	-1,276
5%	-1,357
6%	-1,238
7%	-993
8%	-674
9%	-314
10%	63
11%	442
12%	813
13%	1,169
14%	1,508
15%	1,827





i	NPV
1%	-1,482
2%	43
3%	889
4%	1,276
5%	1,357
6%	1,238
7%	993
8%	674
9%	314
10%	-63
11%	-442
12%	-813
13%	-1,169
14%	-1,508
15%	-1,827



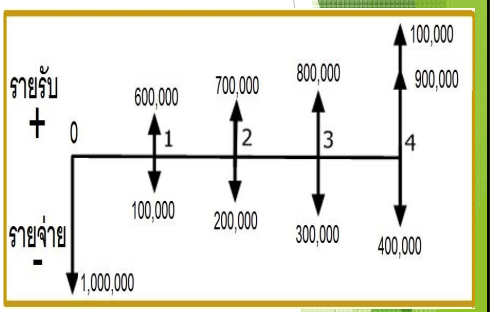


B/C Ratio

- B/C = ΣPV(Bi) / ΣPV(Ci)
- B/C > 1 OK
- B/C < 1 Not OK

วิธีการกำหนดผลประโยชน์และค่าลงทุน

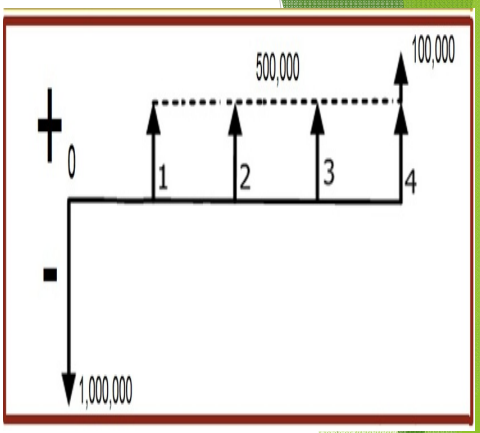
- **วิธีที่ 1**
- B=รายได้ประจำปี+มูลค่าซาก
- C=เงินลงทุนในปีแรก+ค่าปฏิบัติงานเป็นค่าลงทุน
- B/C= 2,408,032/1,754,798
  =1.37 > 1



วิธีที่ 2

ผลประโยชน์ = รายรับทั้งหมด – ค่าปฏิบัติงาน

- B/C=1,653,234/1,000,000
  =1.65 >1



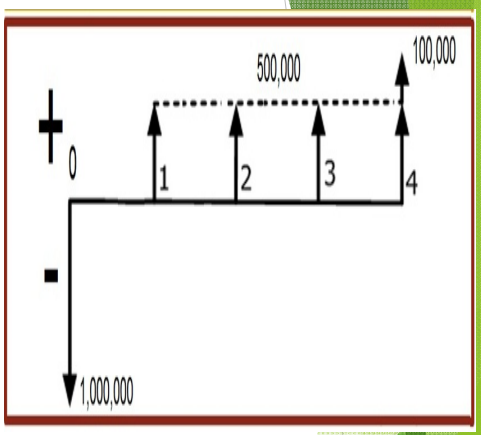
B/C=PV(10%,4, 500,000,100,000)/1,000,000

วิธีที่ 3

ค่าลงทุนทั้งหมด =

ค่าลงทุนตอนแรก – มูลค่าปัจจุบันของมูลค่าซาก

- B/C=1,584,933/931,699
- =1.7 > 1



B/C=PV(10%,4,-500,000)/(1,000,000-PV(10%,4,,-100,000))

25

Mutually Exclusive Alternatives

ทางเลือกแบบต้องเลือกอันใดอันหนึ่ง

26

เกณฑ์ในการตัดสินโครงการแบบ Mutually Exclusive

- เกณฑ์การตัดสินโครงการตามที่กล่าวมาแล้ว NPV, EIRR, B/C ใช้ได้เฉพาะกรณี “1 โครงการ 1 ทางเลือก” ซึ่งผลการตัดสินใจว่า “ยอมรับ” หรือ “ปฏิเสธ” ทางเลือกนั้นจะไม่มีผลต่อการตัดสินใจในทางเลือกอื่นๆ
- ดังนั้นในกรณีของ Mutually Exclusive จะต้องเลือกทางเลือกที่ให้ผลกำไรสูงสุด หรือทางเลือกที่ NPV สูงสุด
- แต่ไม่ใช่ทางเลือกที่ EIRR สูงสุดหรือ B/C สูงสุด

รศ.ดร. วรากุล วุฒิวณิชย์ ภาควิชาวิศวกรรมขนส่งทาง คณะวิศวกรรมศาสตร์ จำแนกแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ 2560

NPV

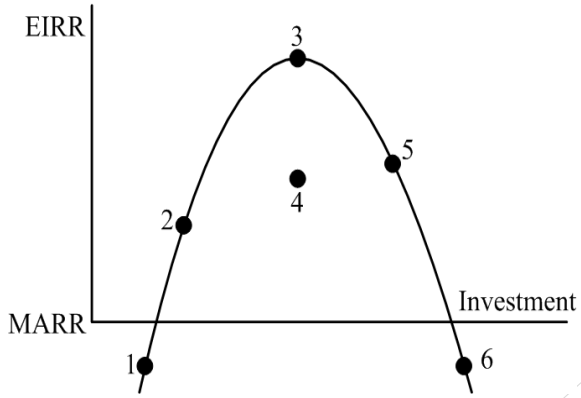
i= 10% (หน่วย: ล้านบาท)

	Alternative 1		Alternative 2		Alternative 3		Alternative 4		Alternative 5		Alternative 6		
Year	Cost	Benefit	Cost	Benefit	Cost	Benefit	Cost	Benefit	Cost	Benefit	Cost	Benefit	(P/F,i%,n)
0	75	1	10	1	40	1	115	1	115	1	0	1	1.0000
1		14		2.5		10		22		23		1	0.9091
2		14		2.5		10		22		23		1	0.8264
3		14		2.5		10		22		23		1	0.7513
4		14		2.5		10		22		23		1	0.6830
5		14		2.5		10		22		23		1	0.6209
6		14		2.5		10		22		23		1	0.5645
7		14		2.5		10		22		23		1	0.5132
8		14		2.5		10		22		23		1	0.4665
9		14		2.5		10		22		23		1	0.4241
10		14		2.5		10		22		23		1	0.3855
PV=	75	87.024	10	16.361	40	62.446	115	136.180	115	142.325	0	7.145	
NPV=		12.024		6.361		22.446		21.180		**27.325**		7.145	
Ranking		4		6		2		3		**1**		5	

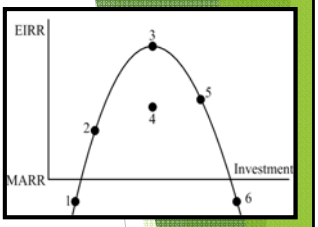
รศ.ดร. วรากุล วุฒิวณิชย์ ภาควิชาวิศวกรรมขนส่งทาง คณะวิศวกรรมศาสตร์ จำแนกแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ 2560

การใช้ EIRR หรือ B/C วิเคราะห์โครงการแบบ Mutually Exclusive

- Incremental Analysis



ขั้นตอนการเลือกทางเลือกแบบ Mutually Exclusive โดยใช้ EIRR



1. เรียงลำดับทางเลือกตามขนาดการลงทุน **(Investment Size)**
2. คำนวณหา **EIRR** ของทางเลือกที่มีค่าลงทุนต่ำที่สุด
3. ถ้า **EIRR** ของทางเลือกที่มีค่าลงทุนต่ำสุด มากกว่า **MARR** แสดงว่าเป็นที่ยอมรับได้ แต่ถ้า **EIRR < MARR** ให้ปฏิเสธ และคำนวณหา **EIRR** ของทางเลือกที่มีค่าลงทุนสูงถัดไปจนกระทั่งได้ทางเลือกที่ **EIRR > MARR**
4. ทำ **Incremental Analysis** ระหว่างทางเลือกในข้อ (3) กับทางเลือกที่มีค่าลงทุนสูงกว่าถัดไป

Incremental Analysis

1)คำนวณหาผลต่างของผลประโยชน์ระหว่างทางเลือกข้อ (3) กับทางเลือกที่มีค่าลงทุนสูงกว่าถัดไป

2)คำนวณหาผลต่างของค่าลงทุนระหว่างทางเลือกข้อ (3) กับทางเลือกที่มีค่าลงทุนสูงกว่าถัดไป

3)คำนวณหา **Incremental Economic Internal Rate of Return (ΔEIRR)** จากผลต่างของผลประโยชน์ และผลต่างของค่าลงทุน

4)ถ้า **ΔEIRR > MARR** ให้เลือกทางเลือกที่มีขนาดค่าลงทุนสูงกว่า แต่ถ้า **ΔEIRR < MARR** ให้เลือกทางเลือกที่มีค่าลงทุนน้อยกว่า

5)ทำ **Incremental Analysis** ของทางเลือกที่เหลือ จะได้ทางเลือกที่ดีที่สุดในเชิงเศรษฐศาสตร์

ตัวอย่างที่ 3 ให้วิเคราะห์ทางเลือกที่ดีที่สุด จากทางเลือกแบบ Mutually Exclusive 6 ทางเลือก ซึ่งมีค่าลงทุน และผลประโยชน์ดังต่อไปนี้ โดยใช้วิธี Incremental EIRR กำหนด MARR=10%

NPV

i= 10% (หน่วย: ล้านบาท)

	Alternative 1		Alternative 2		Alternative 3		Alternative 4		Alternative 5		Alternative 6 Do Nothing		
Year	Cost	Benefit	Cost	Benefit	Cost	Benefit	Cost	Benefit	Cost	Benefit	Cost	Benefit	(P/F,i%,n)
0	75	1	10	1	40	1	115	1	90	1	0	1	1.0000
1		14		2.5		10		23		20		1	0.9091
2		14		2.5		10		23		20		1	0.8264
3		14		2.5		10		23		20		1	0.7513
4		14		2.5		10		23		20		1	0.6830
5		14		2.5		10		23		20		1	0.6209
6		14		2.5		10		23		20		1	0.5645
7		14		2.5		10		23		20		1	0.5132
8		14		2.5		10		23		20		1	0.4665
9		14		2.5		10		23		20		1	0.4241
10		14		2.5		10		23		20		1	0.3855
PV=	75	87.024	10	16.361	40	62.446	115	142.325	90	123.891	0	7.145	
NPV=	12.024		6.361		22.446		27.325		**33.891**		7.145		
Ranking	4		6		3		2		**1**		5		

รศ.ดร.วรากุล สุมิตมิษย์ อาคารวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ ก้าแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ 2560

จัดเรียงทางเลือกตามลำดับค่าลงทุนจากน้อยไปมาก

MARR= 10% (หน่วย: ล้านบาท)

	Alternative 6 Do Nothing		Alternative 2		Alternative 3		Alternative 1		Alternative 5		Alternative 4	
Year	Cost	Benefit	Cost	Benefit	Cost	Benefit	Cost	Benefit	Cost	Benefit	Cost	Benefit
0	0	1	10	1	40	1	75	1	90	1	115	1
1		1		2.5		10		14		20		23
2		1		2.5		10		14		20		23
3		1		2.5		10		14		20		23
4		1		2.5		10		14		20		23
5		1		2.5		10		14		20		23
6		1		2.5		10		14		20		23
7		1		2.5		10		14		20		23
8		1		2.5		10		14		20		23
9		1		2.5		10		14		20		23
10		1		2.5		10		14		20		23

รศ.ดร.วรากุล สุมิตมิษย์ อาคารวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ ก้าแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ 2560

Incremental EIRR

ΔEIRR (หน่วย: ล้านบาท)

	Alternative 2 vs. Alternative 6			Alternative 3 vs. Alternative 6			Alternative 1 vs. Alternative 3			Alternative 5 vs. Alternative 3			Alternative 4 vs. Alternative 5		
Year	ΔC	ΔB	(ΔB-ΔC)	ΔC	ΔB	(ΔB-ΔC)	ΔC	ΔB	(ΔB-ΔC)	ΔC	ΔB	(ΔB-ΔC)	ΔC	ΔB	(ΔB-ΔC)
0	10	0	-10	40	0	-40	35	0	-35	50	0	-50	25	0	-25
1		1.5	1.5		9	9		4	4		10	10		3	3
2		1.5	1.5		9	9		4	4		10	10		3	3
3		1.5	1.5		9	9		4	4		10	10		3	3
4		1.5	1.5		9	9		4	4		10	10		3	3
5		1.5	1.5		9	9		4	4		10	10		3	3
6		1.5	1.5		9	9		4	4		10	10		3	3
7		1.5	1.5		9	9		4	4		10	10		3	3
8		1.5	1.5		9	9		4	4		10	10		3	3
9		1.5	1.5		9	9		4	4		10	10		3	3
10		1.5	1.5		9	9		4	4		10	10		3	3
ΔEIRR	8.14%			18.31%			2.50%			15.10%			3.46%		
MARR	10%			10%			10%			10%			10%		
Choose	Alternative 6			Alternative 3			Alternative 3			Alternative 5			Alternative 5		

RANKING: Alternative 2 < Alternative 6<Alternative 3;
Alternative 1 <Alternative 3 < Alternative 5; Alternative 4 < Alternative 5

35

การเลือกโครงการแบบ Mutually Exclusive ตามเกณฑ์ของ B/C

▶ **ตัวอย่างที่ 4** ให้วิเคราะห์ทางเลือกที่ดีที่สุด จากข้อมูลในตัวอย่างที่ 3 โดยใช้วิธี Incremental B/C กำหนดว่า i = 10%

36

Incremental B/C

ΔB/ΔC

i= 10% (หน่วย: ล้านบาท)

	Alternative 2 vs. Alternative 6		Alternative 3 vs. Altyernative 6		Alternative 1 vs. Alternative 3		Alternative 5 vs. Alternative 3		Alternative 4 vs. Alternative 5		
Year	ΔC	ΔB	ΔC	ΔB	ΔC	ΔB	ΔC	ΔB	ΔC	ΔB	(P/F,i%,n)
0	10	0	40	0	35	0	50	0	25	0	1.00000
1		1.5		9		4		10		3	0.90909
2		1.5		9		4		10		3	0.82645
3		1.5		9		4		10		3	0.75131
4		1.5		9		4		10		3	0.68301
5		1.5		9		4		10		3	0.62092
6		1.5		9		4		10		3	0.56447
7		1.5		9		4		10		3	0.51316
8		1.5		9		4		10		3	0.46651
9		1.5		9		4		10		3	0.42410
10		1.5		9		4		10		3	0.38554
PV()	10	9.217	40	55.301	35	24.578	50	61.446	25	18.434	
ΔB/ΔC	0.92		1.38		0.70		1.23		0.74		
Choose	Alternative 6		Alternative 3		Alternative 3		Alternative 5		Alternative 5		

RANKING: Alternative 2 < Alternative 6<Alternative 3;
Alternative 1 <Alternative 3 < Alternative 5; Alternative 4 < Alternative 5

สรุปการวิเคราะห์ทางเลือกแบบ Mutually

Rank	Alternative	NPV	DEIRR	DB/C
1	5	33.891	2<6<3	2<6<3
2	4	27.325	1<3<5	1<3<5
3	3	22.446	4<5	4<5
4	1	12.024		
5	6	7.142		
6	2	6.361		

การวิเคราะห์ผลประโยชน์และค่าลงทุนภายใต้ความไม่แน่นอน(Benefit Cost Analysis Under Uncertainty)

การวิเคราะห์โครงการภายใต้ความไม่แน่นอนที่นิยมมี 2 วิธีคือ

1.การวิเคราะห์ความอ่อนไหว (Sensitivity Analysis)

2.การใช้ข้อมูลค่าเฉลี่ยตามโอกาสของความน่าจะเป็น (Expected Values)

รศ.ดร.วรากุล ภูมิรัตนินท์ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรกฎาคม 2560

ตัวอย่าง 5 Sensitivity Analysis

NPV i= 10% (หน่วย: ล้านบาท)

	Best Case		Benefit decreased by 10%		Benefit decreased by 15%		Cost increased by 10%		Cost increased by 15%		Cost increased 6%	Benefit decreased 6%	
Year	C	B	C	B	C	B	C	B	C	B	C	B	(P/F,i%,n)
0	110	1	110	0.9	110	0.85	121	1	126.5	1	116.6	0.94	1.0000
1		20		18		17		20		20		18.8	0.9091
2		20		18		17		20		20		18.8	0.8264
3		20		18		17		20		20		18.8	0.7513
4		20		18		17		20		20		18.8	0.6830
5		20		18		17		20		20		18.8	0.6209
6		20		18		17		20		20		18.8	0.5645
7		20		18		17		20		20		18.8	0.5132
8		20		18		17		20		20		18.8	0.4665
9		20		18		17		20		20		18.8	0.4241
10		20		18		17		20		20		18.8	0.3855
PV=	110	123.9	110.0	111.5	110.0	105.3	121.0	123.9	126.5	123.9	116.6	116.5	
NPV=	13.891		1.502		-4.692		2.891		-2.609		-0.142		
Conclusion	Feasible		Feasible		Infeasible		Feasible		Infeasible		Infeasible		
Sensitivity			No		Yes		No		Yes		Yes		

รศ.ดร.วรากุล ภูมิรัตนินท์ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรกฎาคม 2560

END
รศ.ดร.วรวุธ วุฒิวณิชย์ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์ มหาวิทยาลัยกรุงเทพมหานคร 2561
41