บทที่ 4

ผลการวิจัย

ผลที่ได้จากการวิจัย เป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับการออกแบบขอบเขตบ่อเหมือง ซึ่งพิสูจน์ผลการออกแบบจากการเปรียบเทียบวิธีการออกแบบที่ได้พัฒนามาแล้วในต่างประเทศ โดยพิจารณากับหลักเกณฑ์เงื่อนไขเสถียรภาพความลาดแบบสามมิติและการหาขอบเขตการใช้งานโปรแกรมคอมพิวเตอร์

<u>โปรแกรมคอมพิวเตอร์จากผลการวิจัย</u>

1. <u>ลักษณะโปรแกรมคอมพิวเตอร์</u>

โปรแกรมคอมพิวเตอร์จากผลการวิจัย เขียนคำสั่งโดยใช้ภาษาเบสิคชั้นสูง (Advance BASIC) ใช้งานกับเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ IBM PC/XT ชนิด 16 Bits ขนาด 256 Kbytes คำสั่งโปรแกรมคอมพิวเตอร์จากผลการวิจัยดังแสดงในภาคผนวก ก.

1.1 <u>โปรแกรมหลัก</u> โปรแกรมหลักมี 6 โปรแกรม ดังนี้

1.1.1 โปรแกรมสำหรับการเรียกโปรแกรมทำงาน (Menu)

1.1.2 โปรแกรมสำหรับพารามิเตอร์ (Design Parameter)

1.1.3 โปรแกรมสำหรับพัสดุแร่สำรอง (Mineralization Inventory)

1.1.4 โปรแกรมสำหรับการจัดเตรียมขอบเขตบ่อเหมือง (Pit Limit Design)

1.1.5 โปรแกรมสำหรับการจัดลำดับการทำเหมือง (Mining Sequences)

1.1.6 โปรแกรมสำหรับการแสดงข้อมูลและผลการออกแบบ (Design Data & Results)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1.2 <u>โปรแกรมย่อย</u> โปรแกรมย่อยมี 12 โปรแกรม ดังนี้

1.2.1 โปรแกรมสำหรับข้อมูลด้านเงื่อนไขการออกแบบ (Design Condition)

1.2.2 โปรแกรมสำหรับข้อมูลด้านค่าใช้จ่ายในการขุดดินและแร่ (Stripping Costs)

1.2.3 โปรแกรมสำหรับข้อมูลด้านแผนการผลิตแร่ (Ore Plan)

1.2.4 โปรแกรมสำหรับการกำหนดระดับความลึกของช่วงการเปิดเหมือง (Stage Depth)

1.2.5 โปรแกรมสำหรับการกำหนดขอบเขตความลึก (Depth Limit)

1.2.6 โปรแกรมสำหรับข้อมูลด้านมูลค่าบล๊อก (Block Masses)

1.2.7 โปรแกรมสำหรับการกำหนดขอบเขตการเลือกบล๊อก (Feasible Regions)

1.2.8 โปรแกรมสำหรับการโปรแกรมไดนามิค (Dynamic Programming)

1.2.9 โปรแกรมสำหรับการเลือกเส้นขอบเขตบ่อเหมือง (Path Decision)

1.2.10 โปรแกรมสำหรับเส้นขอบเขตบ่อเหมือง (Contour Line)

1.2.11 โปรแกรมสำหรับข้อมูลด้านรูปร่างบ่อเหมือง (Pit Limit Contour)

1.2.12 โปรแกรมสำหรับการเก็บข้อมูลชั่วคราวของภาพตัดขวาง (Temporary Longitudinal Masses)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2. แผนภูมิแสดงการทำงานของโปรแกรมคอมพิวเตอร์

แผนภูมิแสดงการทำงานของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ได้จากผลการวิจัย ดังแสดงในภาพที่ 4.1 ถึง 4.11 ซึ่งแสดงรายละเอียดของคำสั่งโปรแกรมในภาคผนวก ก

จากภาพที่ 4.1 แสดงการทำงานของโปรแกรมหลักและโปรแกรมย่อยใน Main Programme จะแสดงการเรียกโปรแกรมหลักในการทำงาน โดยใช้โปรแกรมหลัก Menu สำหรับการเรียกโปรแกรมย่อยของแต่ละโปรแกรมหลัก จะแสดงด้วยตัวเลขภายในเครื่องหมายวงกลม

จากภาพที่ 4.2 แสดงการทำงานของโปรแกรมหลัก Design Parameter ซึ่งแสดงการเก็บข้อมูลที่ทำงานโดยโปรแกรมย่อย Design Condition, Stripping costs, Ore plan และ Stage Depth

จากภาพที่ 4.3 แสดงการทำงานของโปรแกรมหลัก Mineralization Inventory ซึ่งแสดงการเก็บข้อมูลด้านพัสดุแร่สำรองที่ทำงานโดยโปรแกรมย่อย Block Masses สำหรับการลบข้อมูลส่วนที่พิจารณาขุดออกไปแล้วจะใช้โปรแกรมย่อย Pit Limit Contour ช่วยในการลบข้อมูล

จากภาพที่ 4.4 แสดงการทำงานของโปรแกรมหลัก Pit Limit Design ซึ่งแสดงการคำนวณโดยใช้โปรแกรมย่อยต่าง ๆ (ดังแสดงในภาพที่ 4.1) เพื่อเตรียมรูปร่างบ่อเหมืองทุก ๆ ระดับก้นบ่อเหมือง ในโปรแกรมหลักนี้จะมีการกำหนดจำนวนบล็อกต่ำสุดในระดับก้นบ่อเหมือง ดังแสดงด้วยเครื่องหมายดอกจันทร์ ซึ่งจะเป็นไปตามสมการที่ 3.4 และ 3.5

จากภาพที่ 4.5 แสดงการทำงานของโปรแกรมหลัก Mining Sequences เพื่อจัดลำดับการทำเหมืองจากภาพตัดด้านยาว ในโปรแกรมหลักนี้มี 3 ขั้นตอน คือ การเตรียมข้อมูลของภาพตัดด้านยาว การคำนวณ และการแปลงค่าสะสมเป็นค่าเฉพาะของแต่ละลำดับการทำเหมือง

จากภาพที่ 4.6 แสดงการทำงานของโปรแกรมหลัก Design Data & Results ซึ่งเป็นการแสดงข้อมูลที่ป้อนและผลการออกแบบ ในโปรแกรมนี้มีทางเลือก 4 ทางเลือก ดังนี้คือ

การแสดงข้อมูลด้านพารามิเตอร์ การแสดงพัสดุแร่สำรอง การแสดงรูปร่างบ่อเหมืองและผลการออกแบบอื่น ๆ ในแต่ละลำดับการทำเหมือง และการเคลื่อนย้ายข้อมูลจากแผ่นจานแม่เหล็กหนึ่งไปยังแผ่นจานแม่เหล็กอีกแผ่นหนึ่ง เพื่อใช้ในการคำนวณต่อที่จำเป็นต้องใช้แผ่นจานแม่เหล็กมากกว่าสองแผ่นขึ้นไปในการเก็บข้อมูล

จากภาพที่ 4.7 แสดงการทำงานของโปรแกรมย่อยต่าง ๆ ที่ใช้ในการเก็บและแสดงข้อมูล

จากภาพที่ 4.8 แสดงการทำงานของโปรแกรมย่อย Depth Limit สำหรับการกำหนดขอบเขตความลึกของภาพตัดขวางและภาพตัดด้านยาว ซึ่งจะเป็นไปตามสมการที่ 3.1 ถึง 3.3

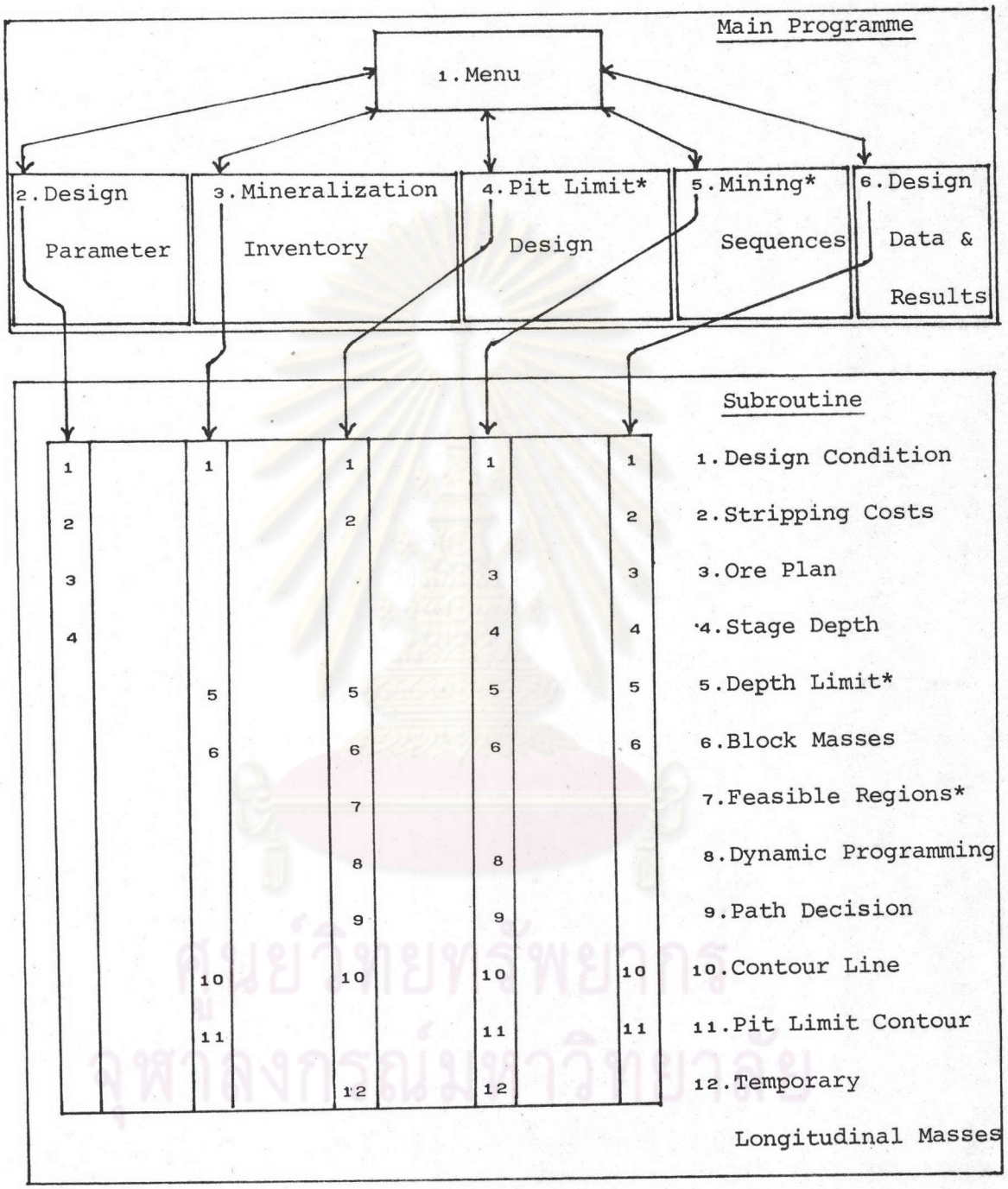
จากภาพที่ 4.9 แสดงการทำงานของโปรแกรมย่อย Feasible Rogions สำหรับการกำหนดขอบเขตการเลือกบล๊อกของตัวแปรตัดสินใจจากการออกแบบโดยวิธีการโปรแกรมไดนามิค ซึ่งจะเป็นไปตามสมการที่ 3.6 ถึง 3.19

จากภาพที่ 4.10 แสดงการทำงานของโปรแกรมย่อย Dynamic Programming สำหรับการคำนวณเส้นทางเลือกต่าง ๆ ของรูปร่างบ่อเหมืองในภาพตัดขวางหรือภาพตัดด้านยาว ซึ่งจะเป็นไปตามสมการที่ 3.20 และ 3.21

จากภาพที่ 4.11 แสดงการทำงานของโปรแกรมย่อย Path Decision ที่ตัวแปรแถวตั้งสุดท้ายที่กำหนดขึ้นชั่วคราว สำหรับการเลือกเส้นขอบเขตบ่อเหมืองในภาพตัดขวางหรือภาพตัดด้านยาว นอกจากนี้ยังได้คำนวณปริมาณแร่ ปริมาณดิน รายได้ รายจ่าย กำไร อัตราส่วนการขุดดินแร่ และเวลาที่ใช้ในการขุดจนเป็นรูปร่างบ่อเหมือง

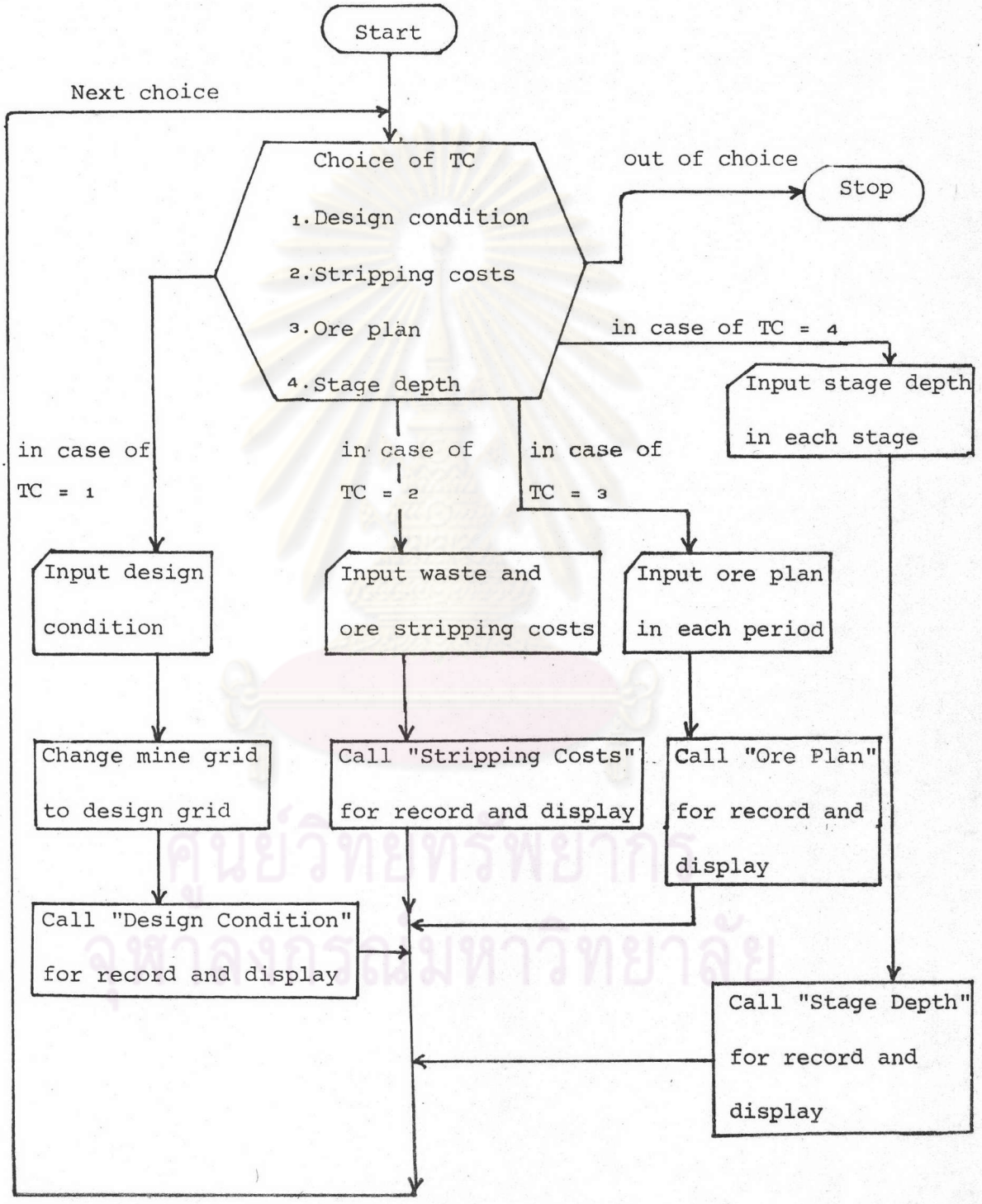
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาพที่ 4.1 แผนภูมิแสดงการทำงานของโปรแกรมหลักและโปรแกรมย่อย

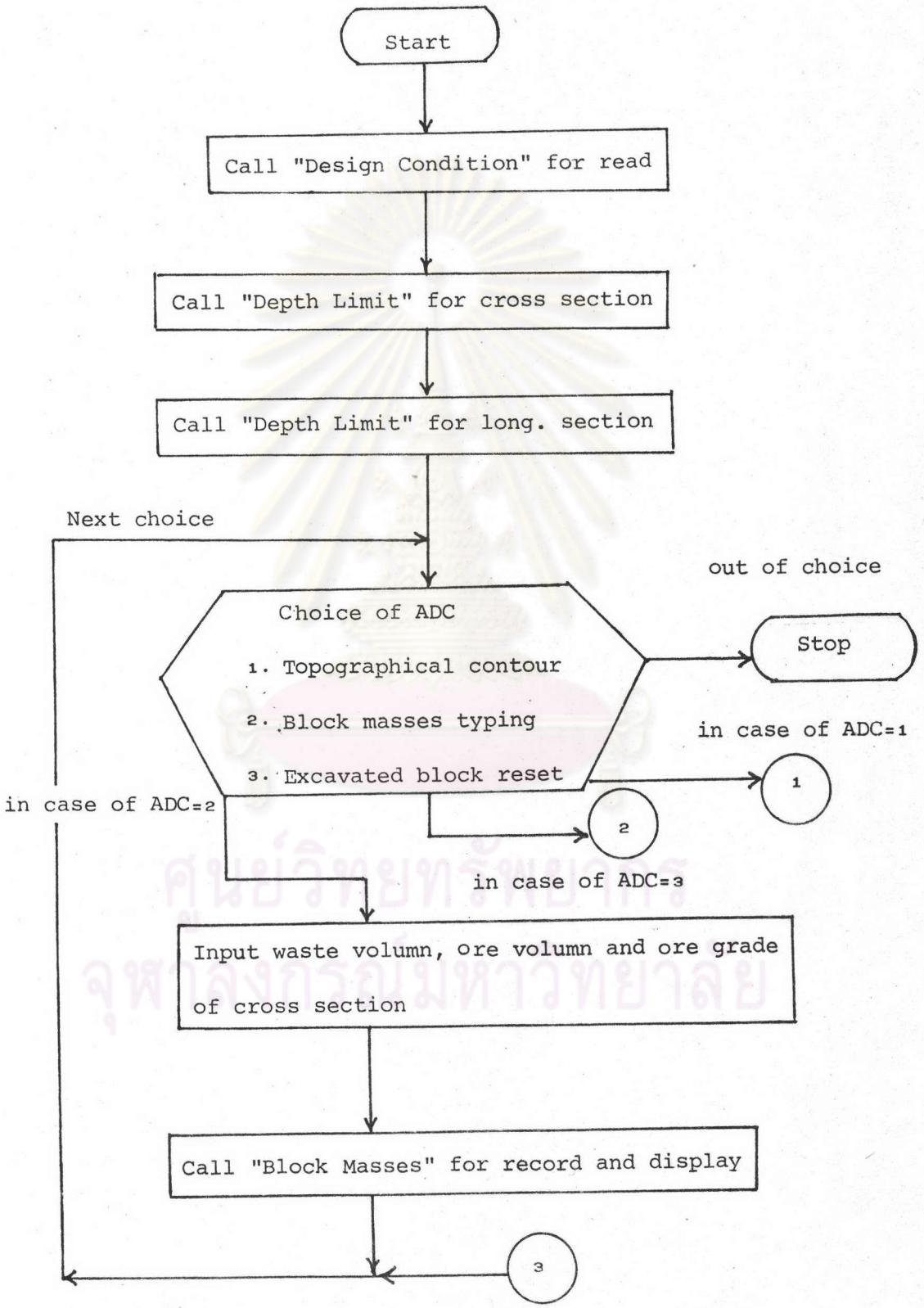


หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

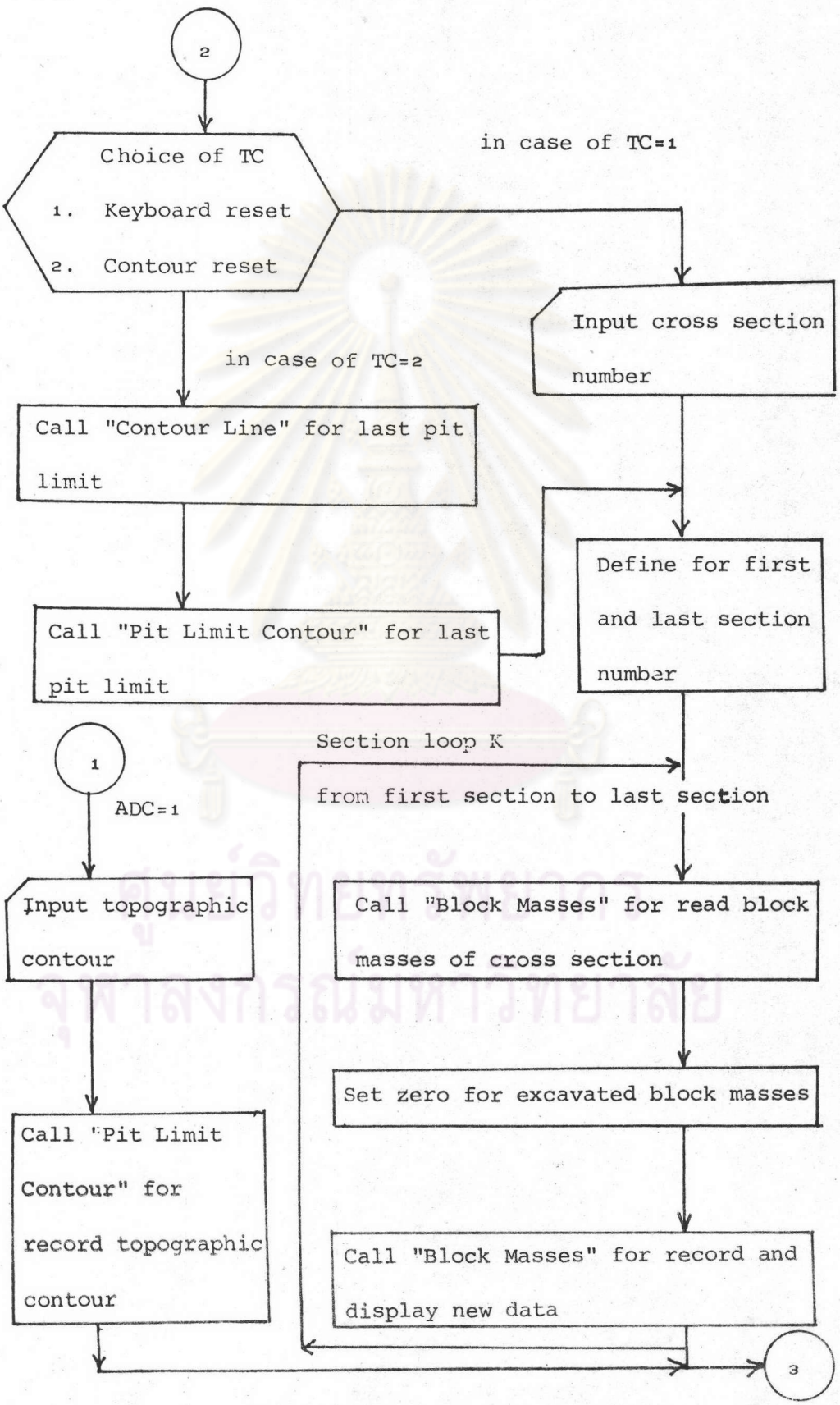
ภาพที่ 4.2 แผนภูมิแสดงการทำงานของโปรแกรมหลัก Design Parameter



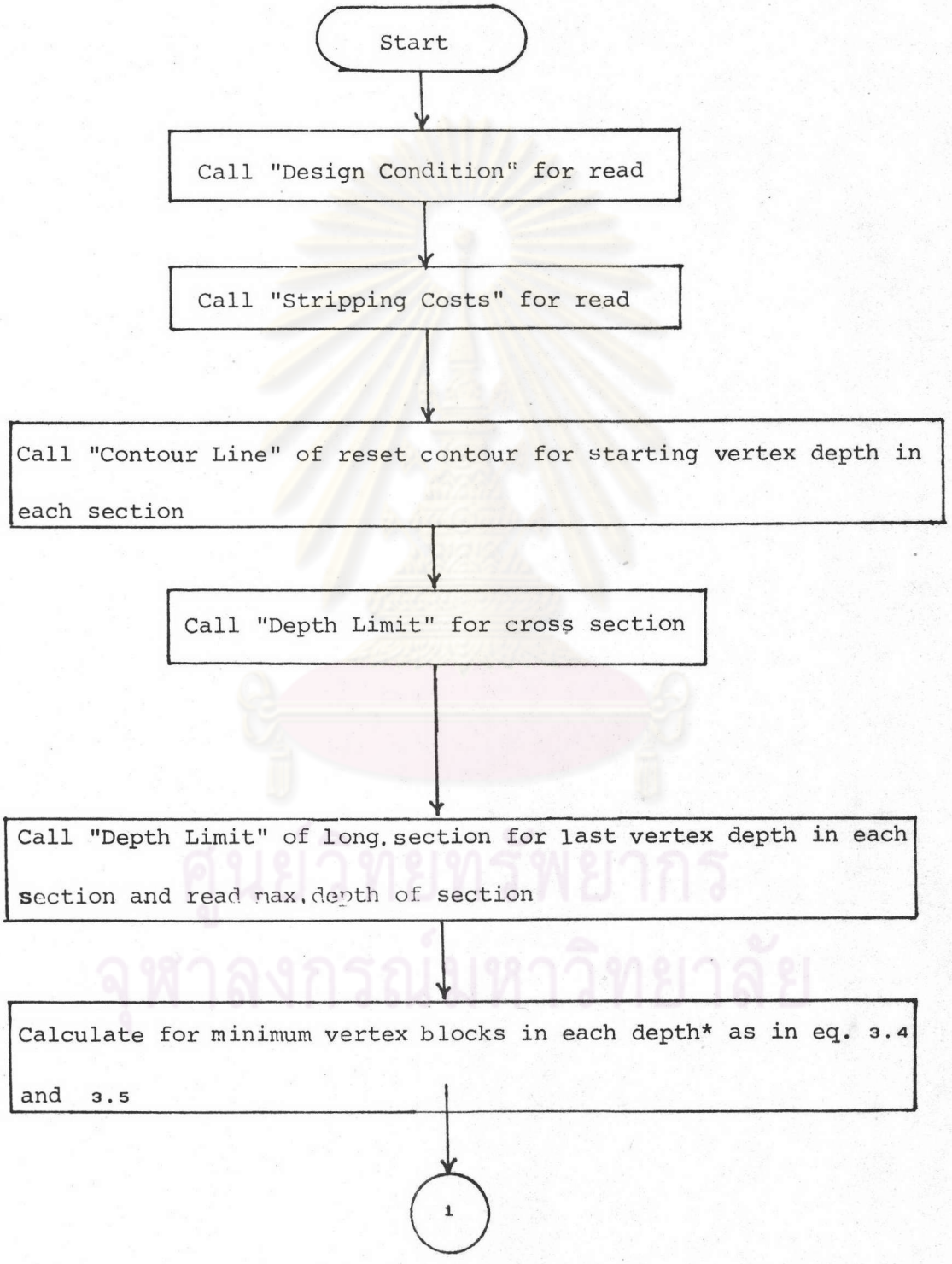
ภาพที่ 4.3 แผนภูมิแสดงการทำงานของโปรแกรมหลัก Mineralization Inventory



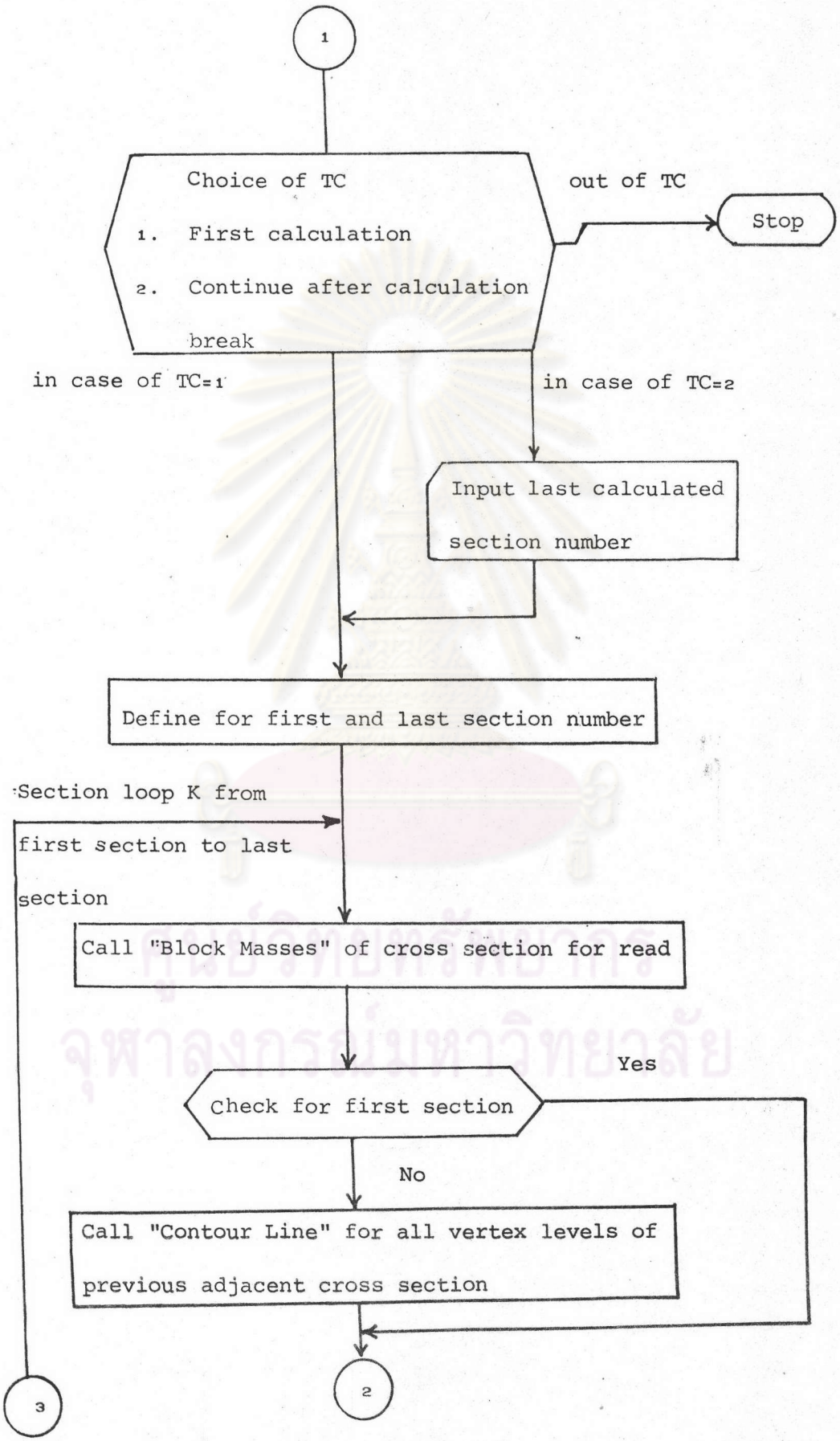
ภาพที่ 4.3 แผนภูมิแสดงการทำงานของโปรแกรมหลัก Mineralization Inventory (ต่อ)



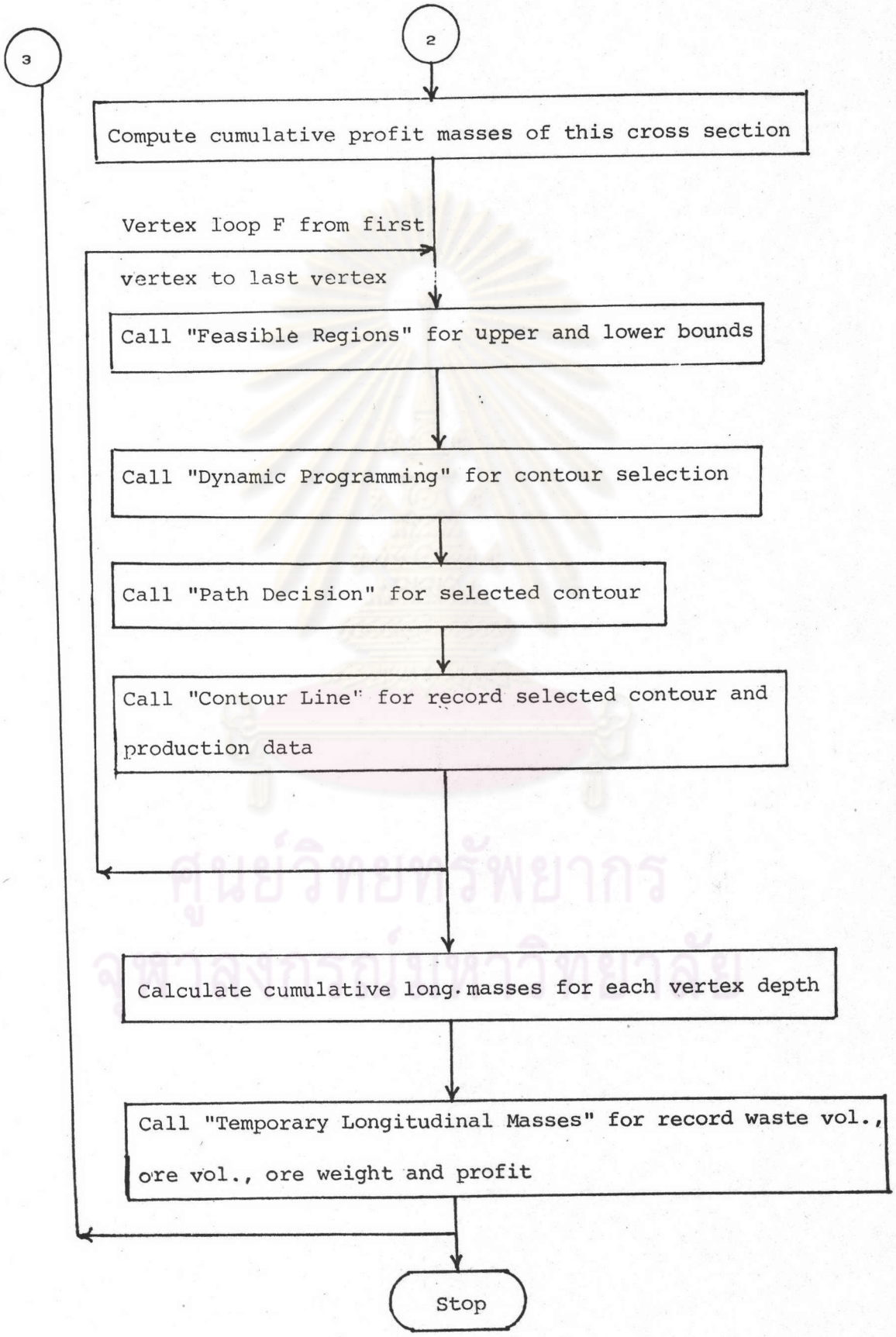
ภาพที่ 4.4 แผนภูมิแสดงการทำงานของโปรแกรมหลัก Pit Limit Design



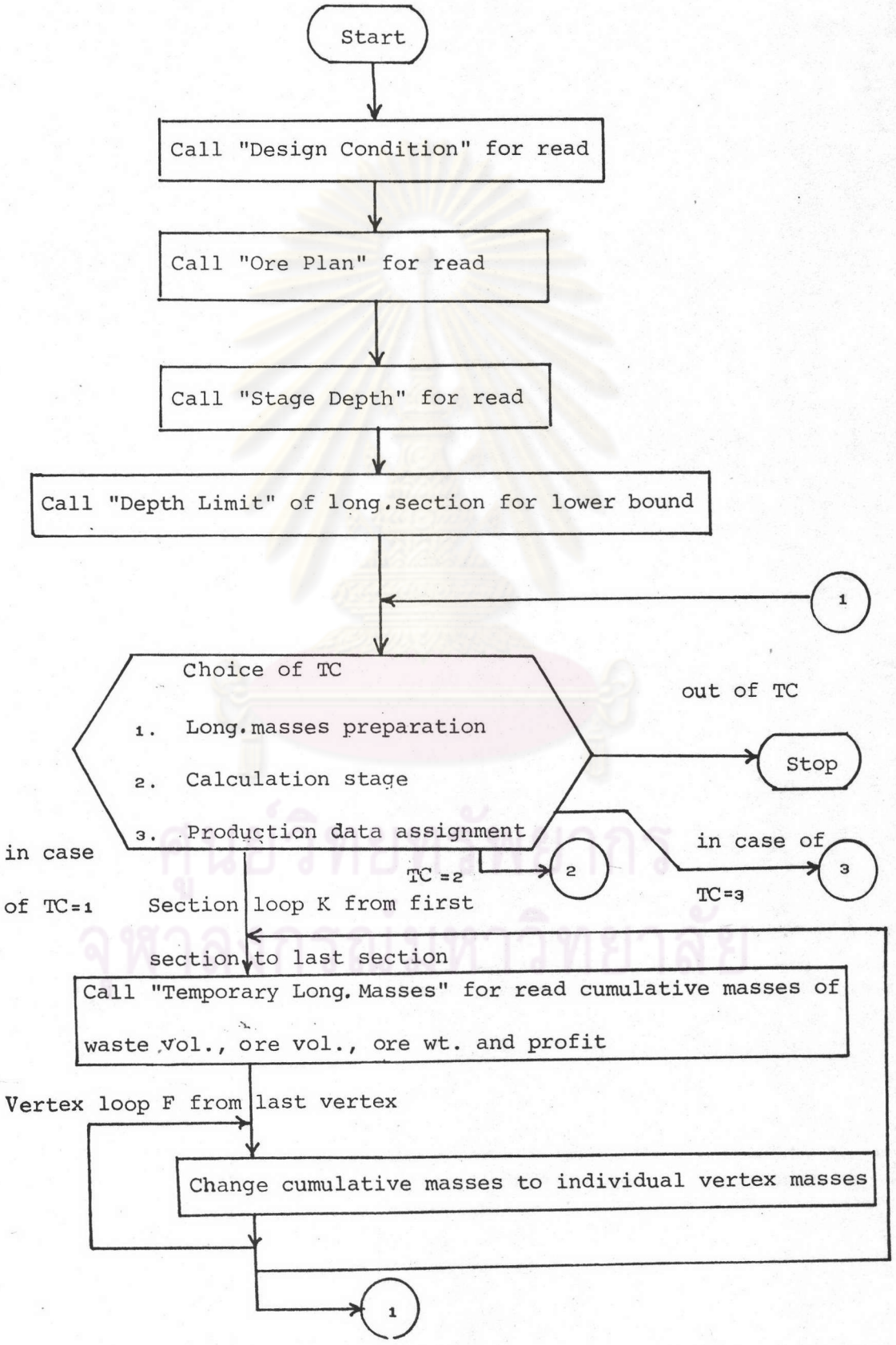
ภาพที่ 4.4 แผนภูมิแสดงการทำงานของโปรแกรมหลัก Pit Limit Design (ต่อ)



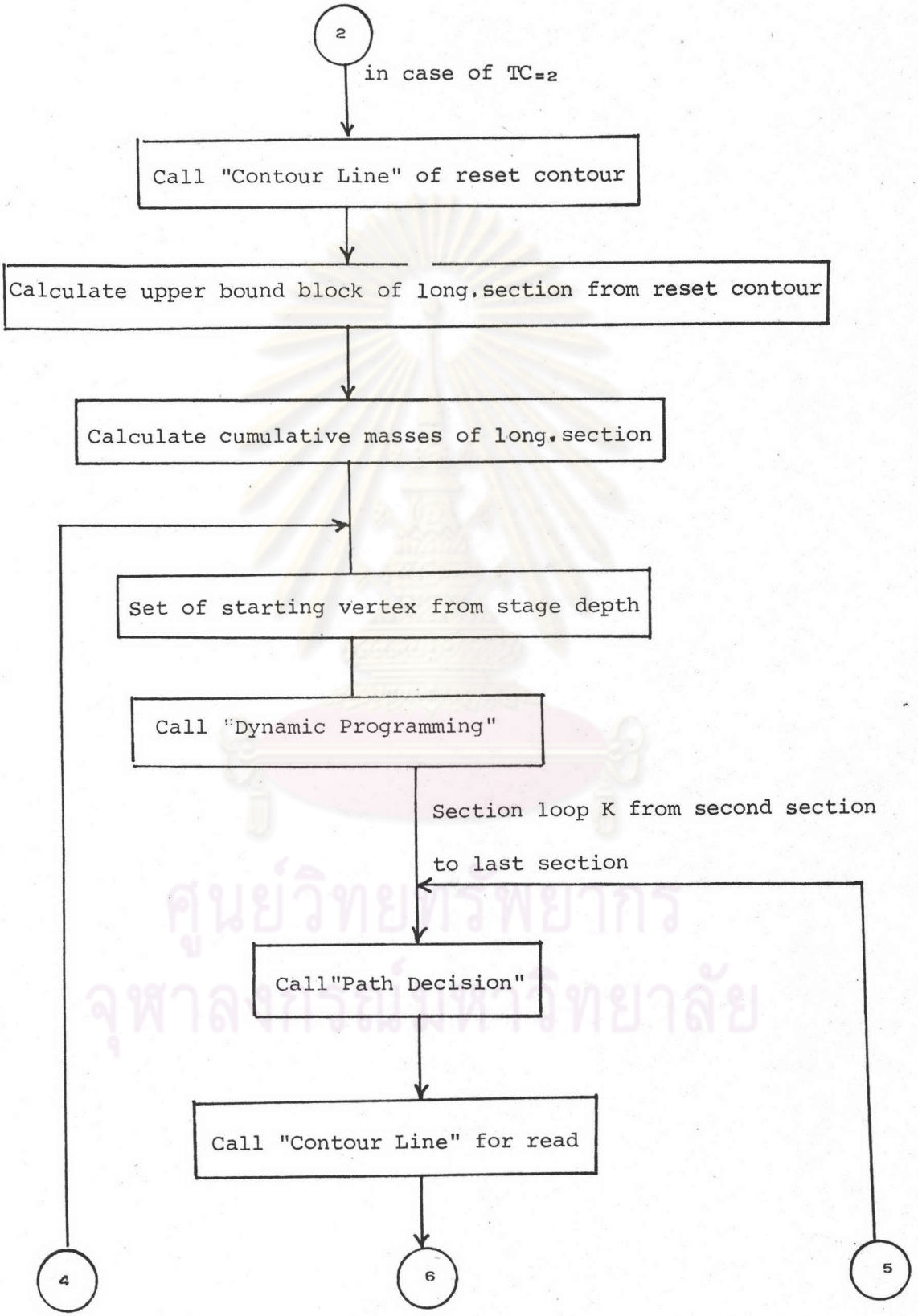
ภาพที่ 4.4 แผนภูมิแสดงการทำงานของโปรแกรมหลัก Pit Limit Design (ต่อ)



ภาพที่ 4.5 แผนภูมิแสดงการทำงานของโปรแกรมหลัก Mining Sequences

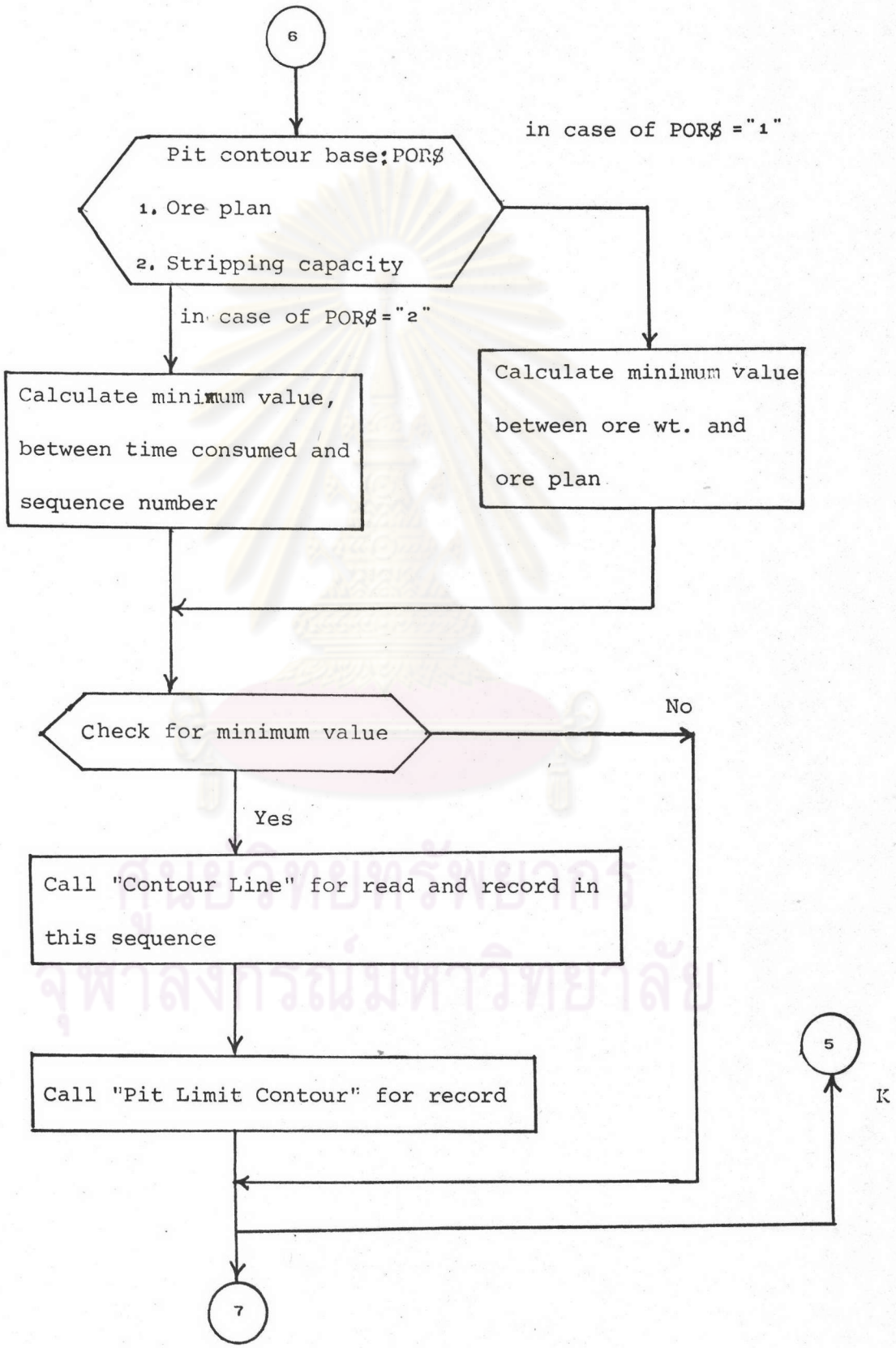


ภาพที่ 4.5 แผนภูมิแสดงการทำงานของโปรแกรมหลัก Mining Sequences (ต่อ)

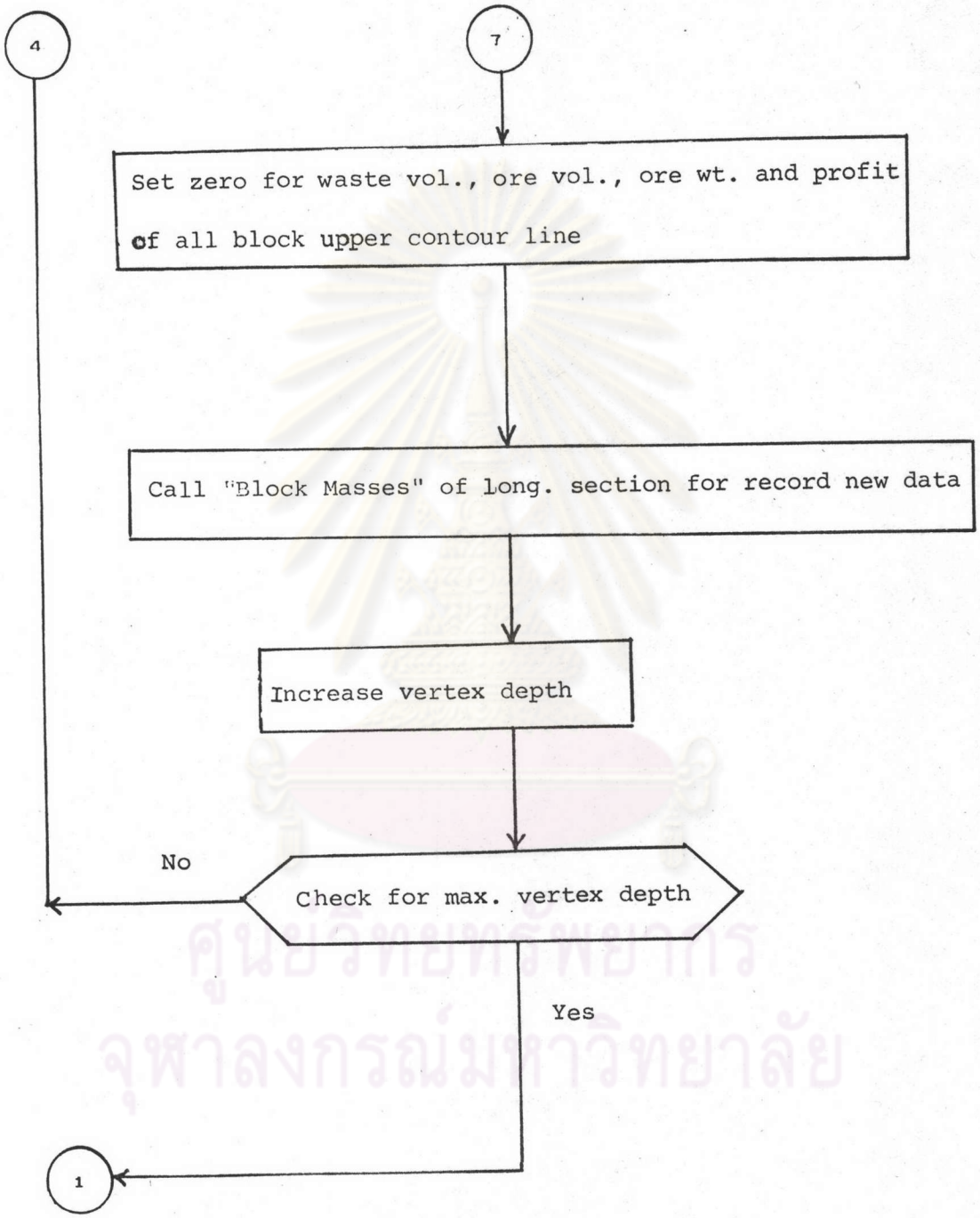


ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาพที่ 4.5 แผนภูมิแสดงการทำงานของโปรแกรมหลัก Mining Sequences (ต่อ)

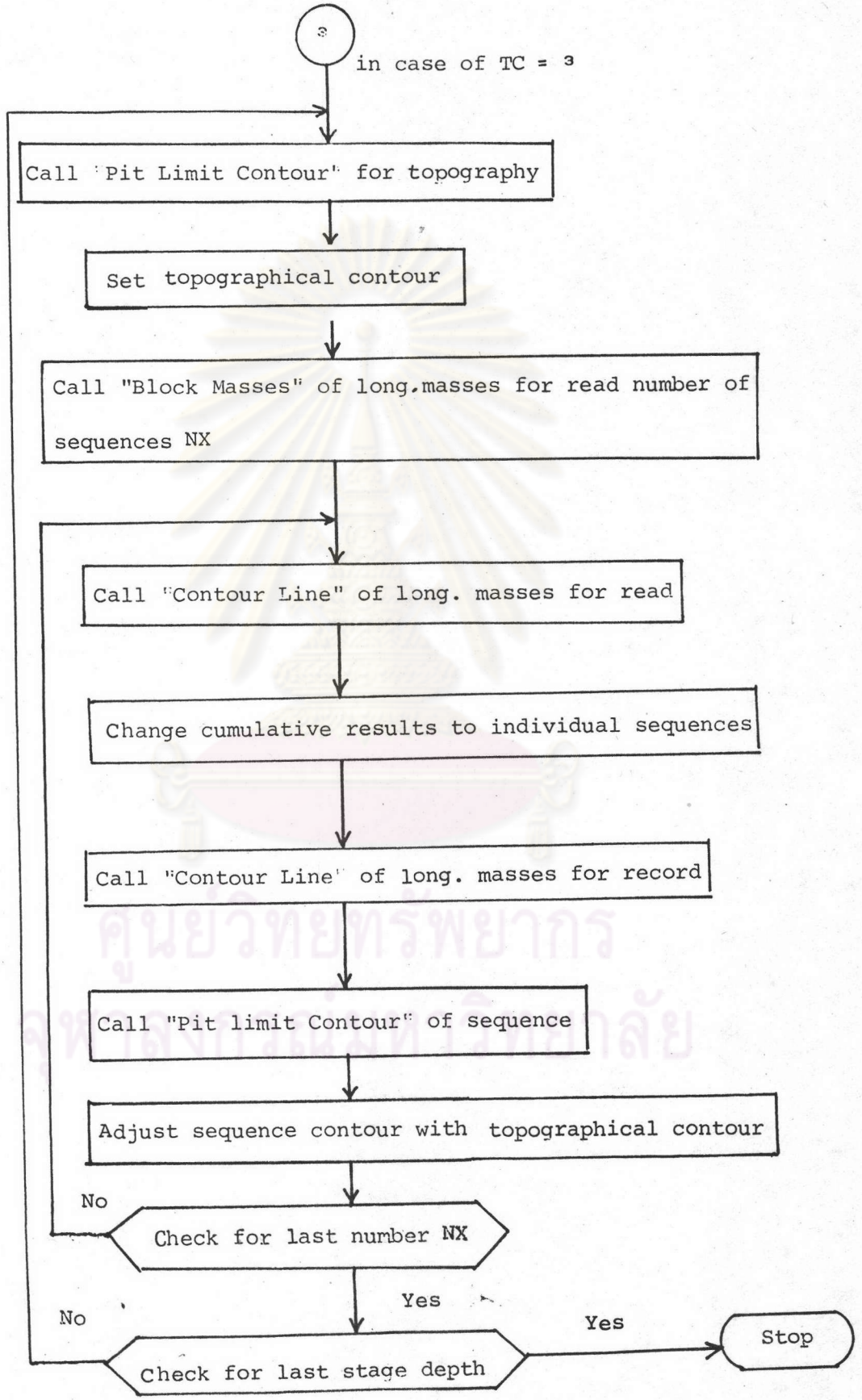


ภาพที่ 4.5 แผนภูมิแสดงการทำงานของโปรแกรมหลัก Mining Sequences (ต่อ)

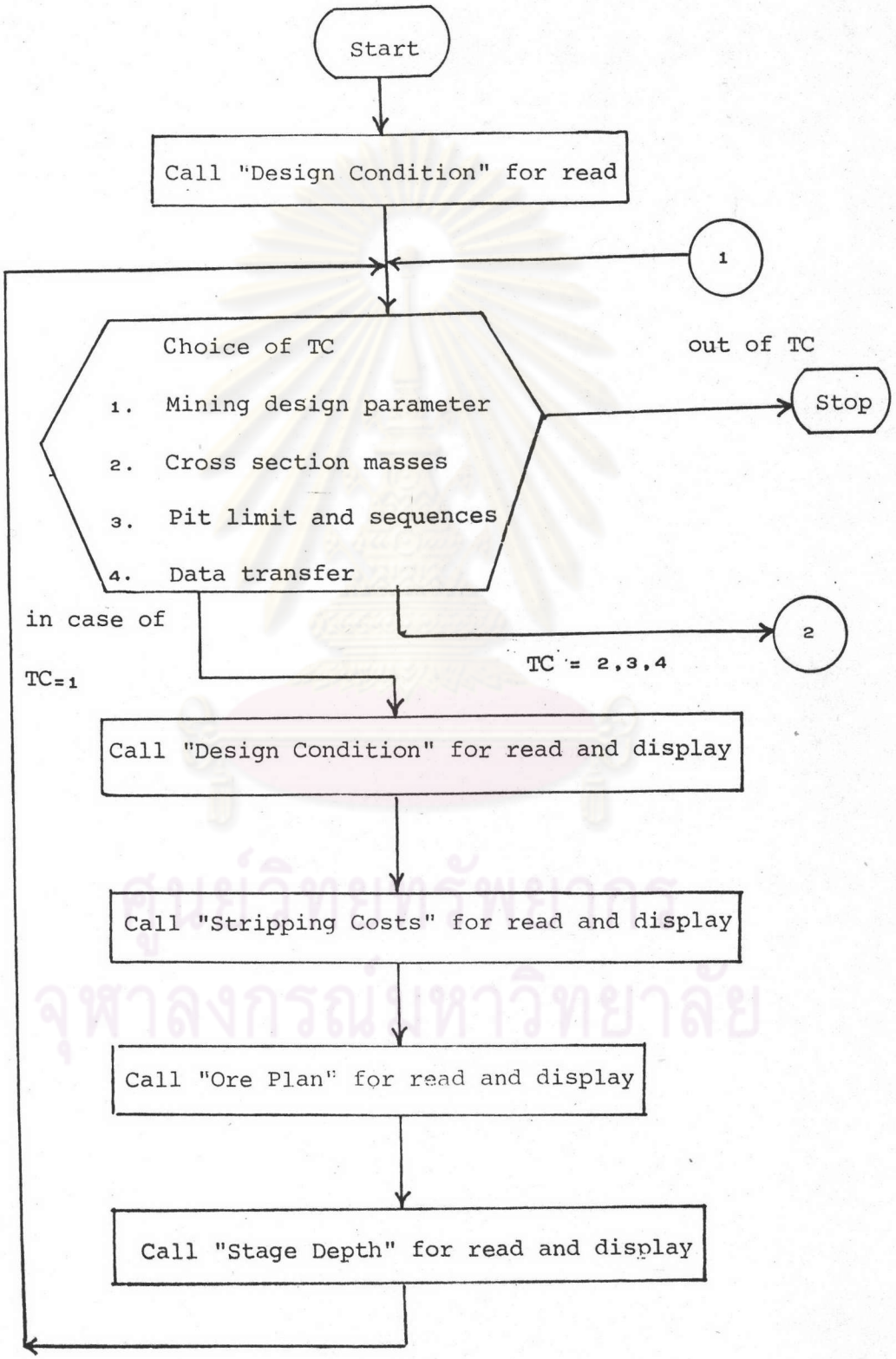


ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

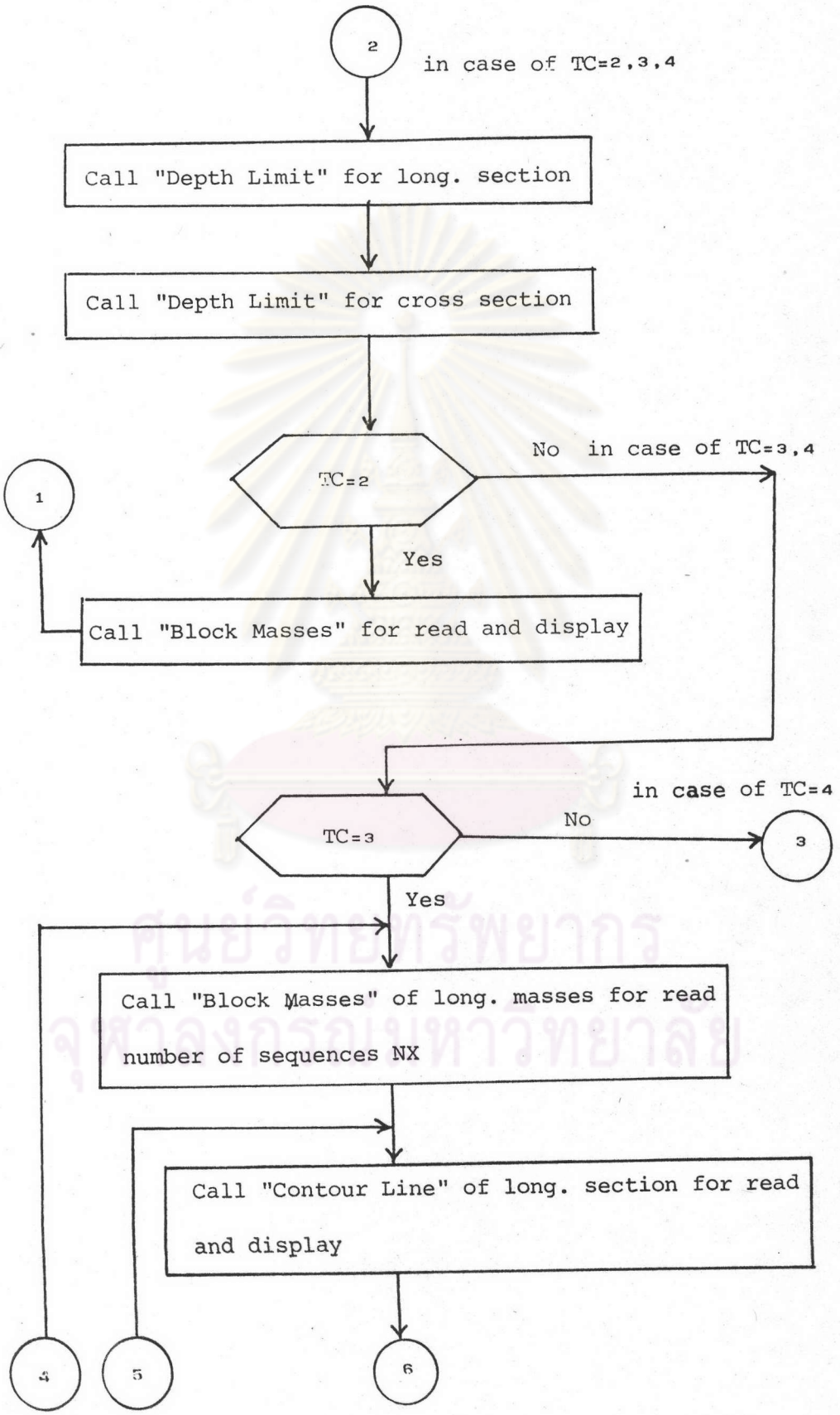
ภาพที่ 4.5 แผนภูมิแสดงการทำงานของโปรแกรมหลัก Mining Sequences (ต่อ)



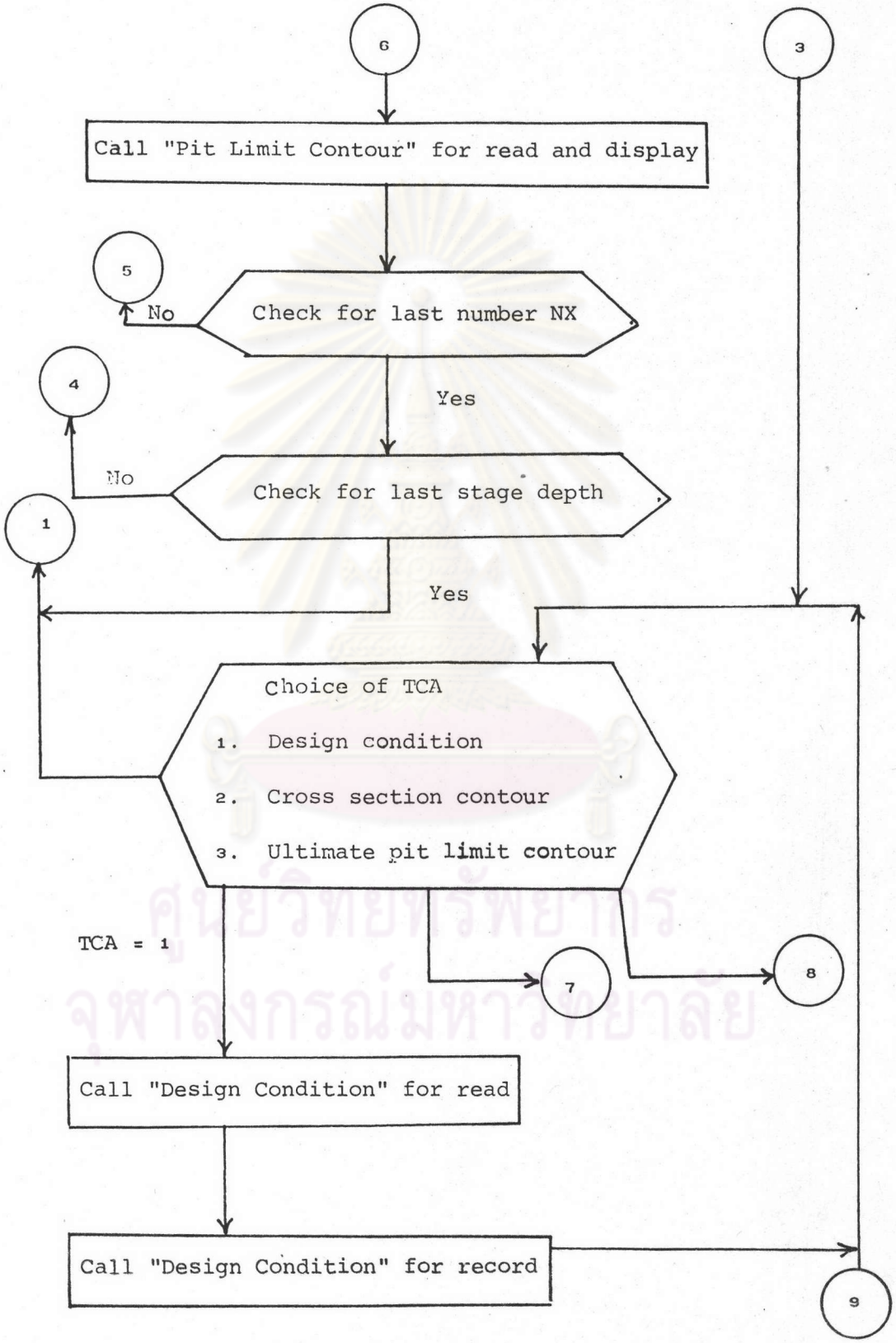
ภาพที่ 4.6 แผนภูมิแสดงการทำงานของโปรแกรมหลัก Design Data & Results



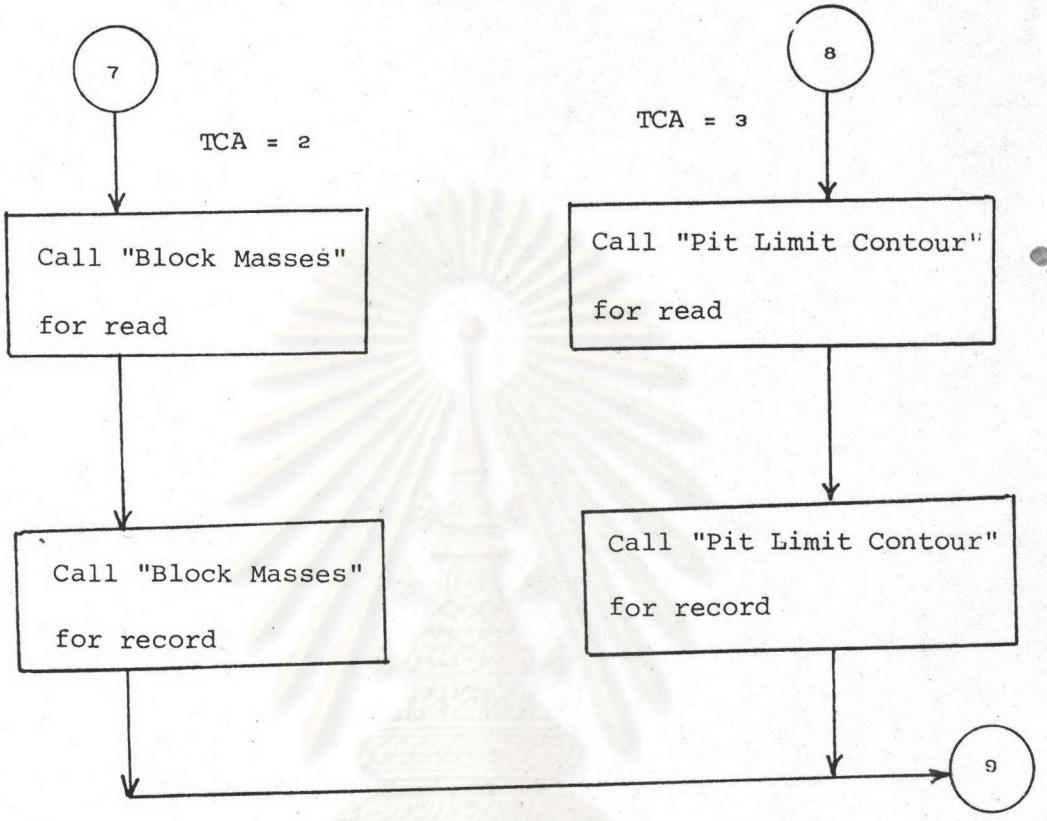
ภาพที่ 4.6 แผนภูมิแสดงการทำงานของโปรแกรมหลัก Design Data & Results (ต่อ)



ภาพที่ 4.6 แผนภูมิแสดงการทำงานของโปรแกรมหลัก Design Data & Results (ต่อ)

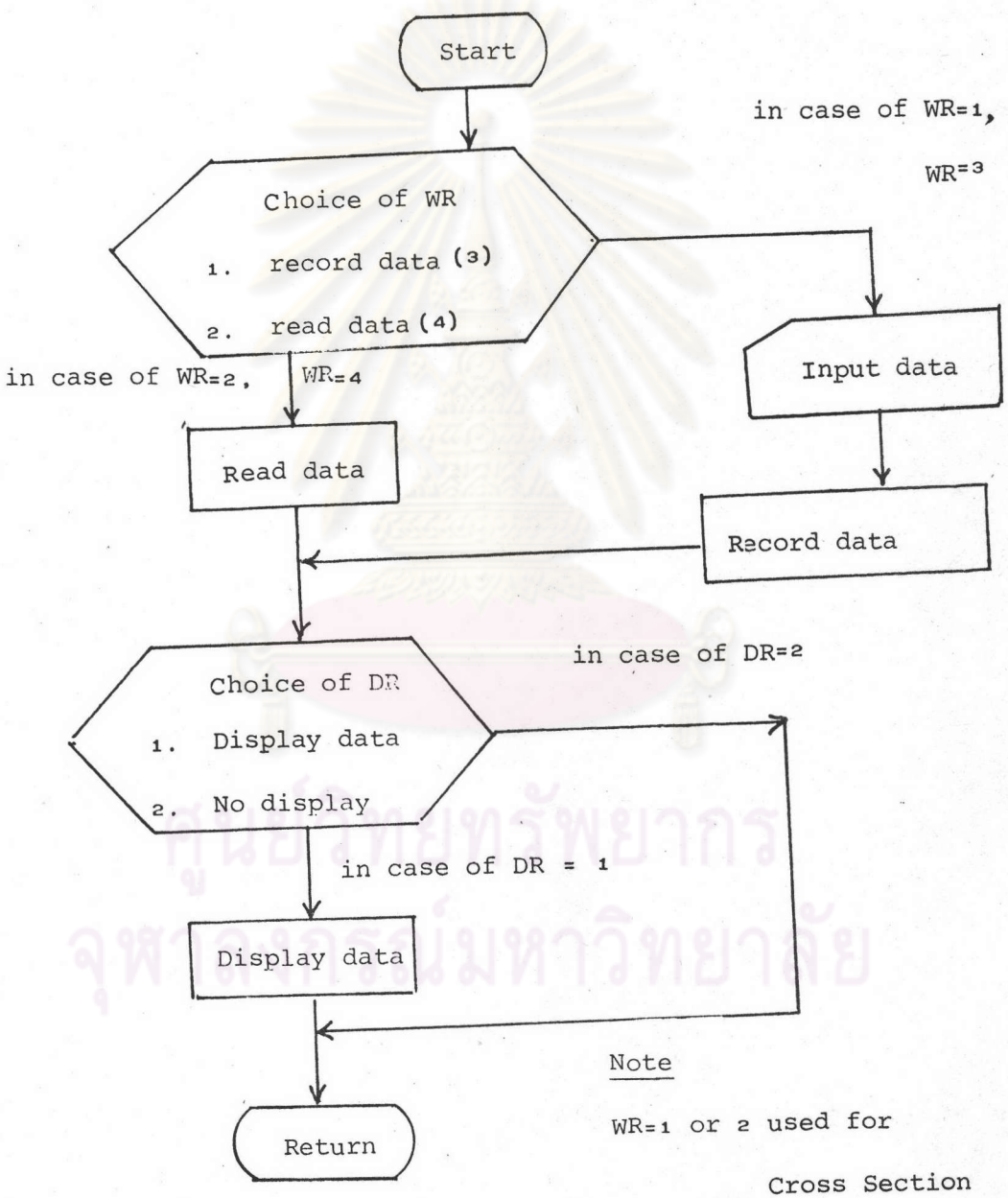


ภาพที่ 4.6 แผนภูมิแสดงการทำงานของโปรแกรมหลัก Design Data & Results (ต่อ)

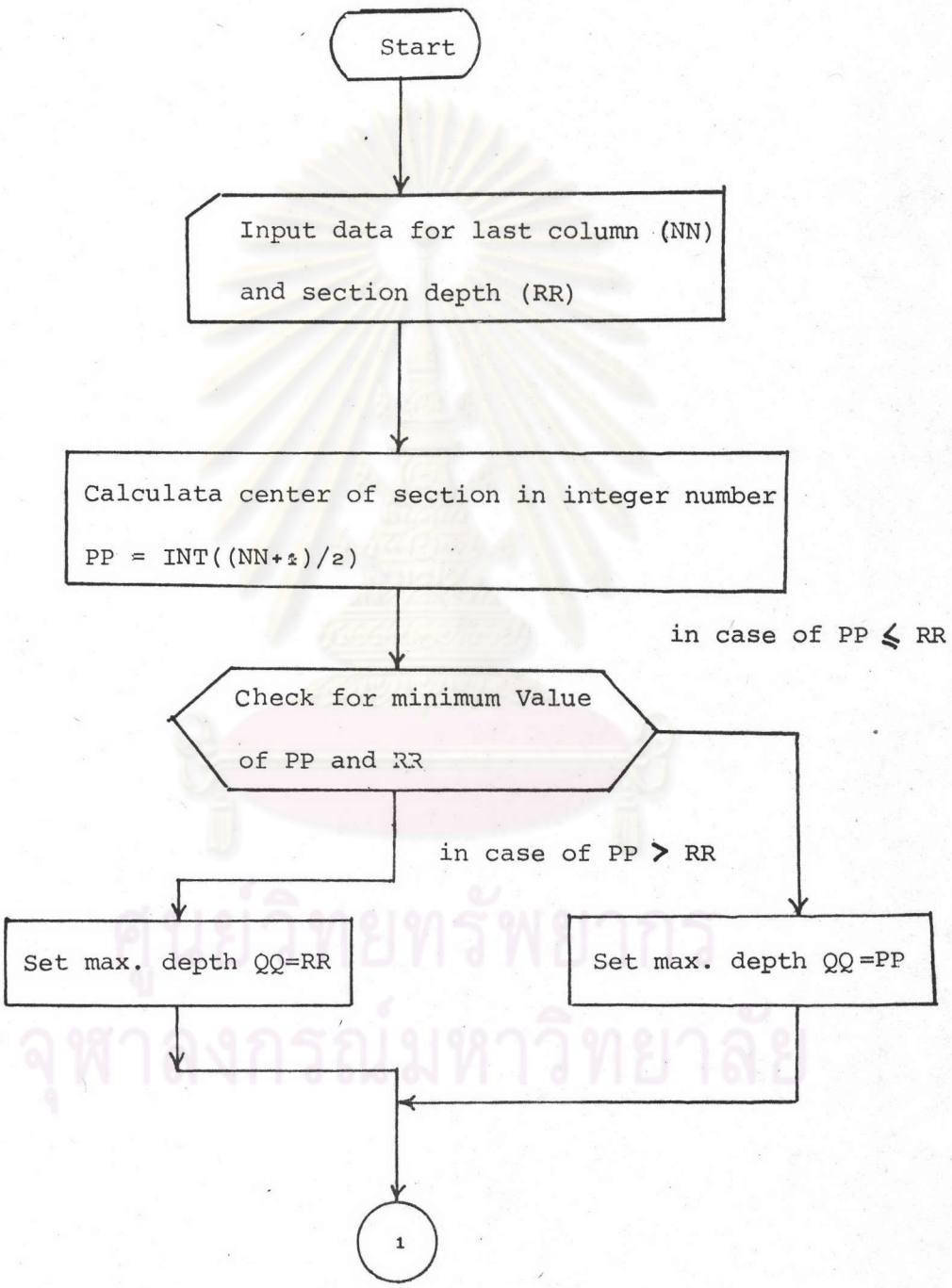


ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาพที่ 4.7 แผนภูมิแสดงการทำงานของโปรแกรมย่อย Design Condition, Stripping Costs, Ore Plan, Stage Depth, Block Masses, Contour Line, Pit Limit Contour และ Temporary Longitudinal Masses

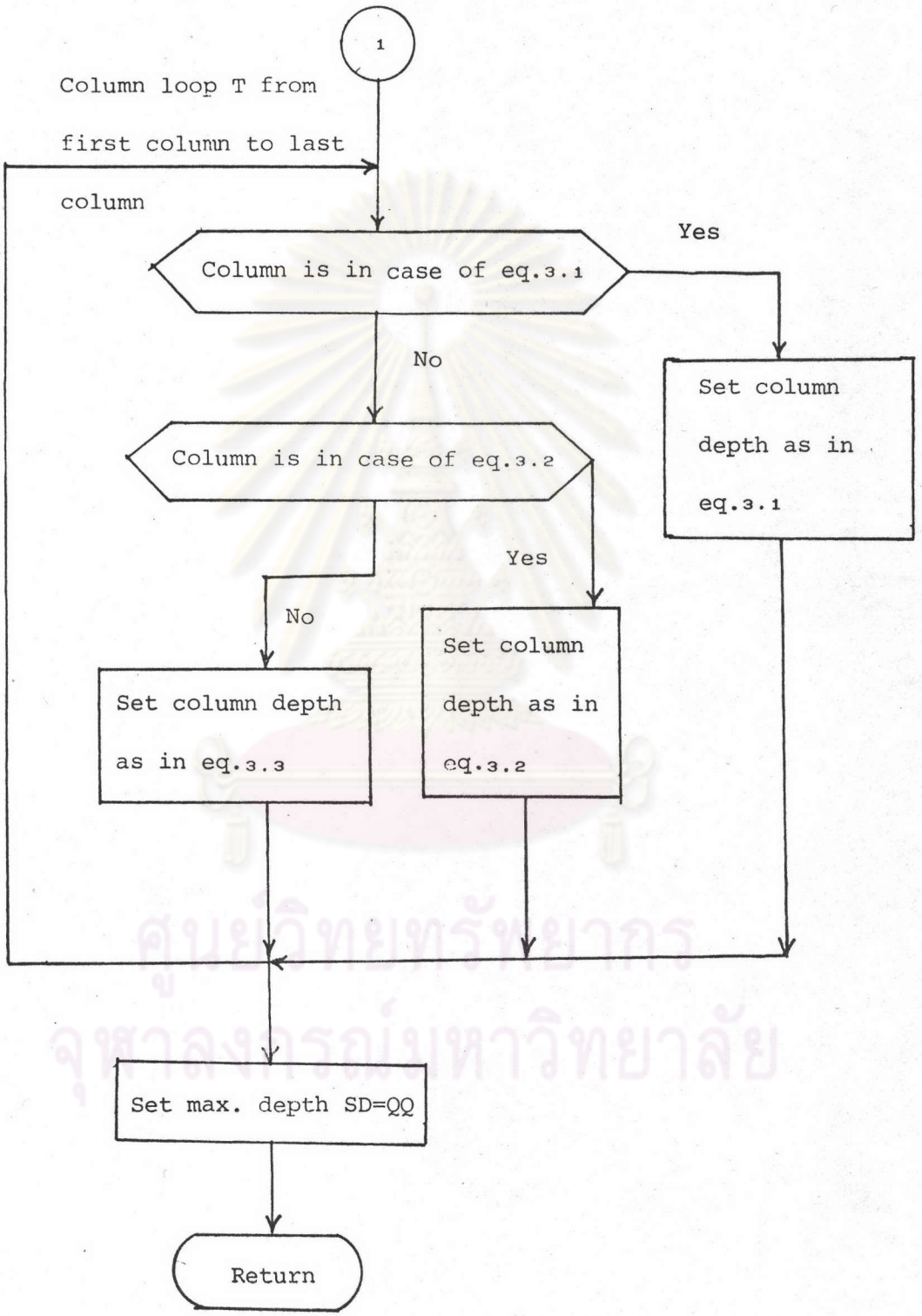


ภาพที่ 4.8 แผนภูมิแสดงการทำงานของโปรแกรมย่อย Depth Limit

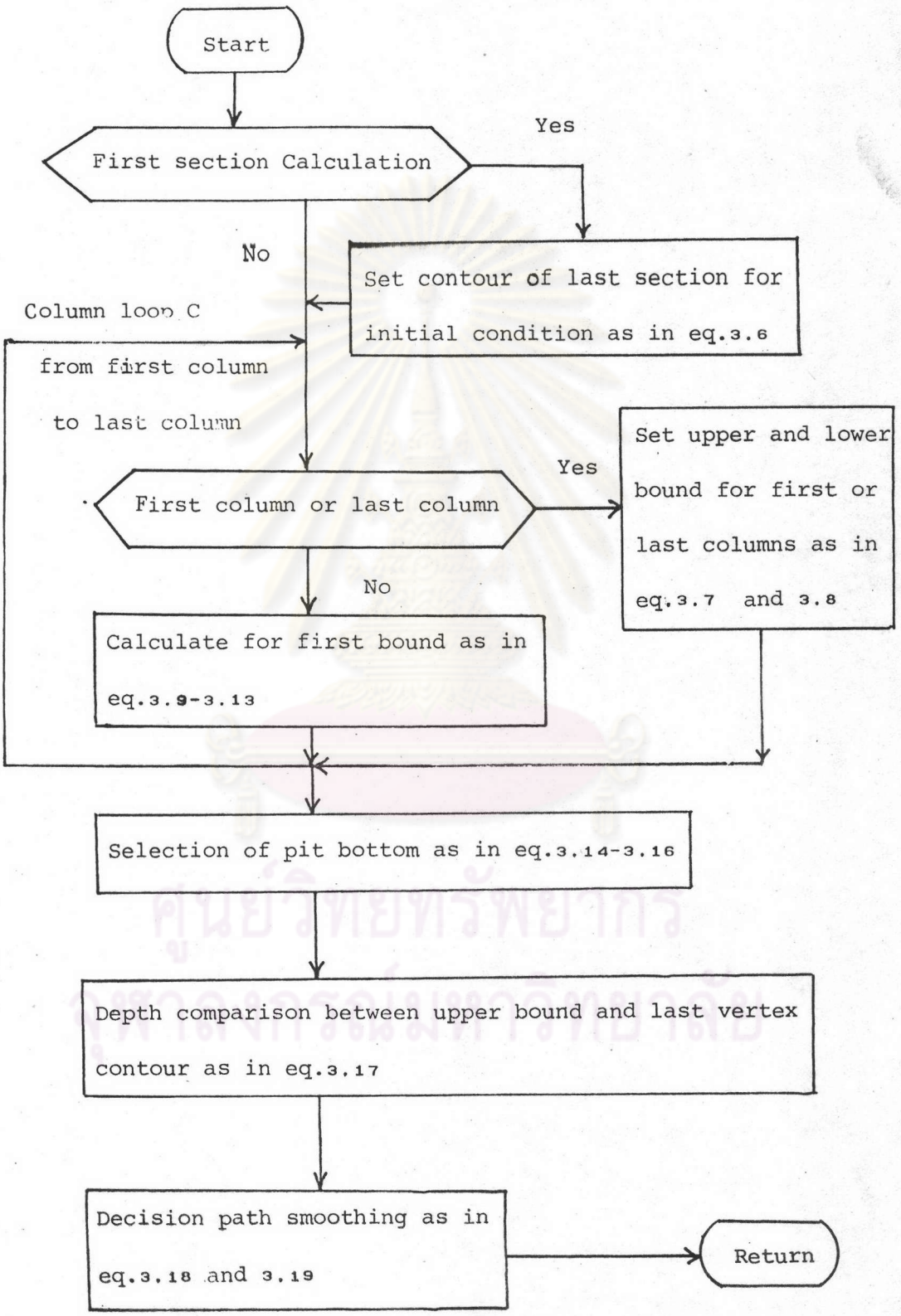


ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

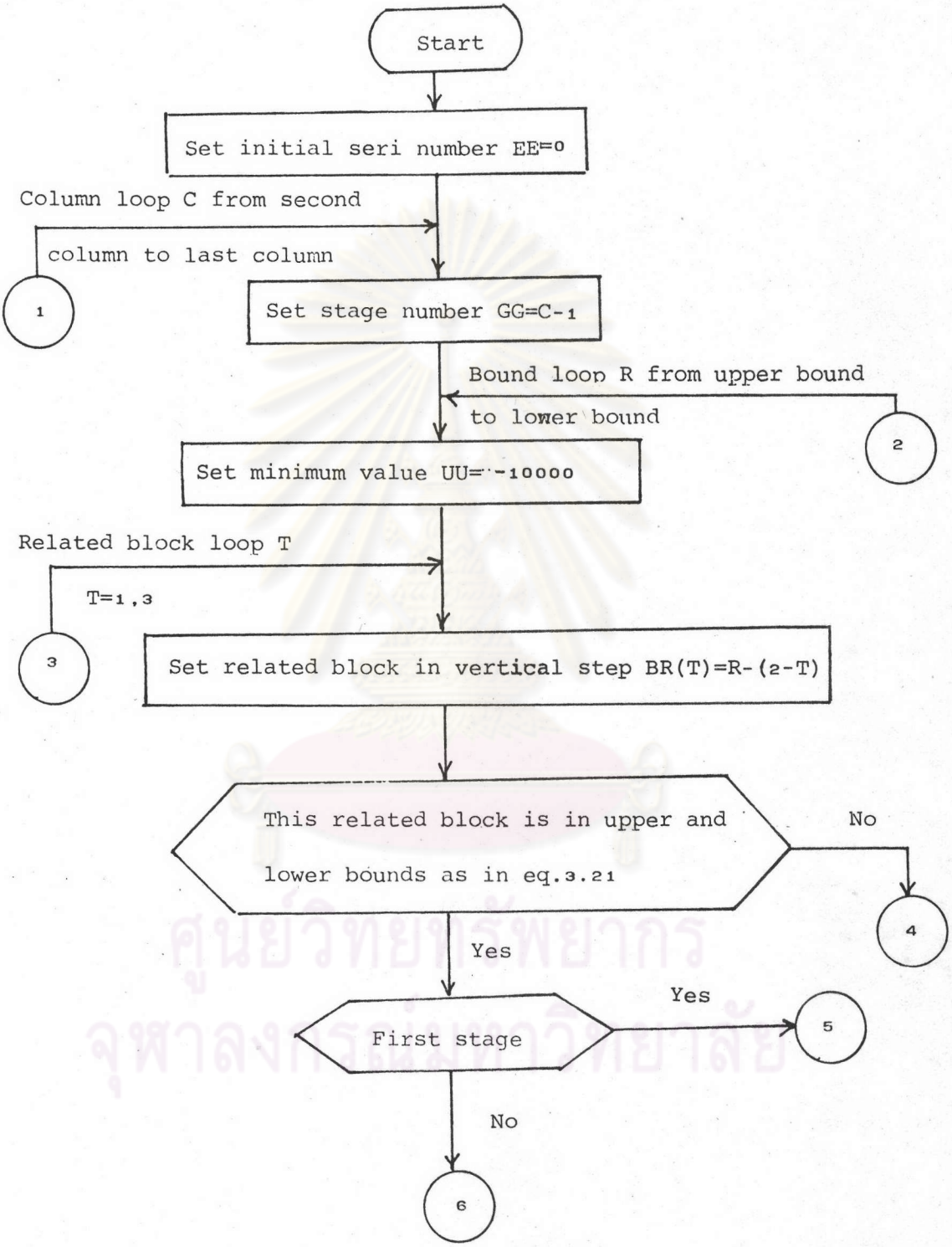
ภาพที่ 4.8 แผนภูมิแสดงการทำงานของโปรแกรมย่อย Depth Limit (ต่อ)



ภาพที่ 4.9 แผนภูมิแสดงการทำงานของโปรแกรมย่อย Feasible Regions

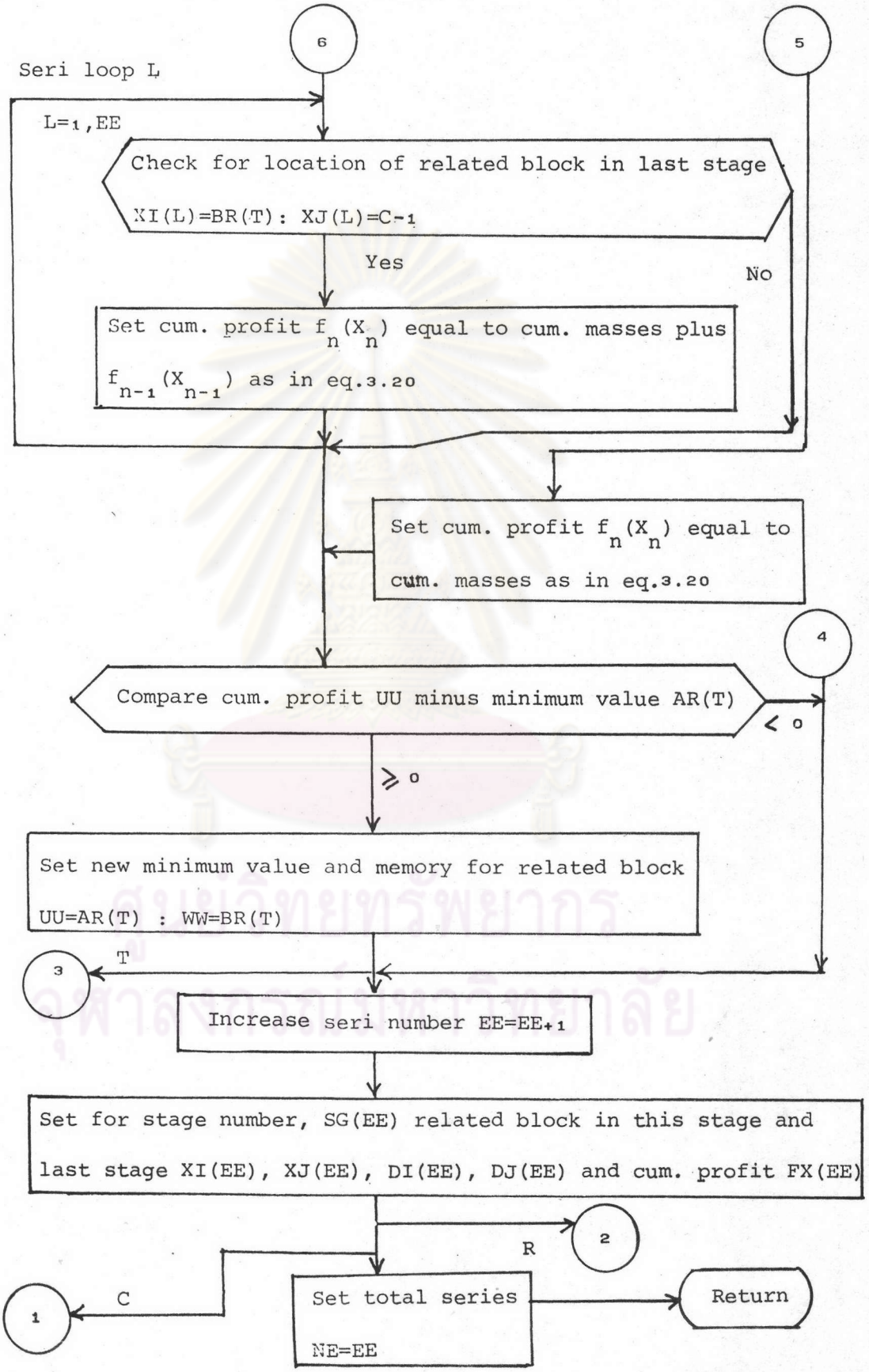


ภาพที่ 4.10 แผนภูมิแสดงการทำงานของโปรแกรมย่อย Dynamic Programming

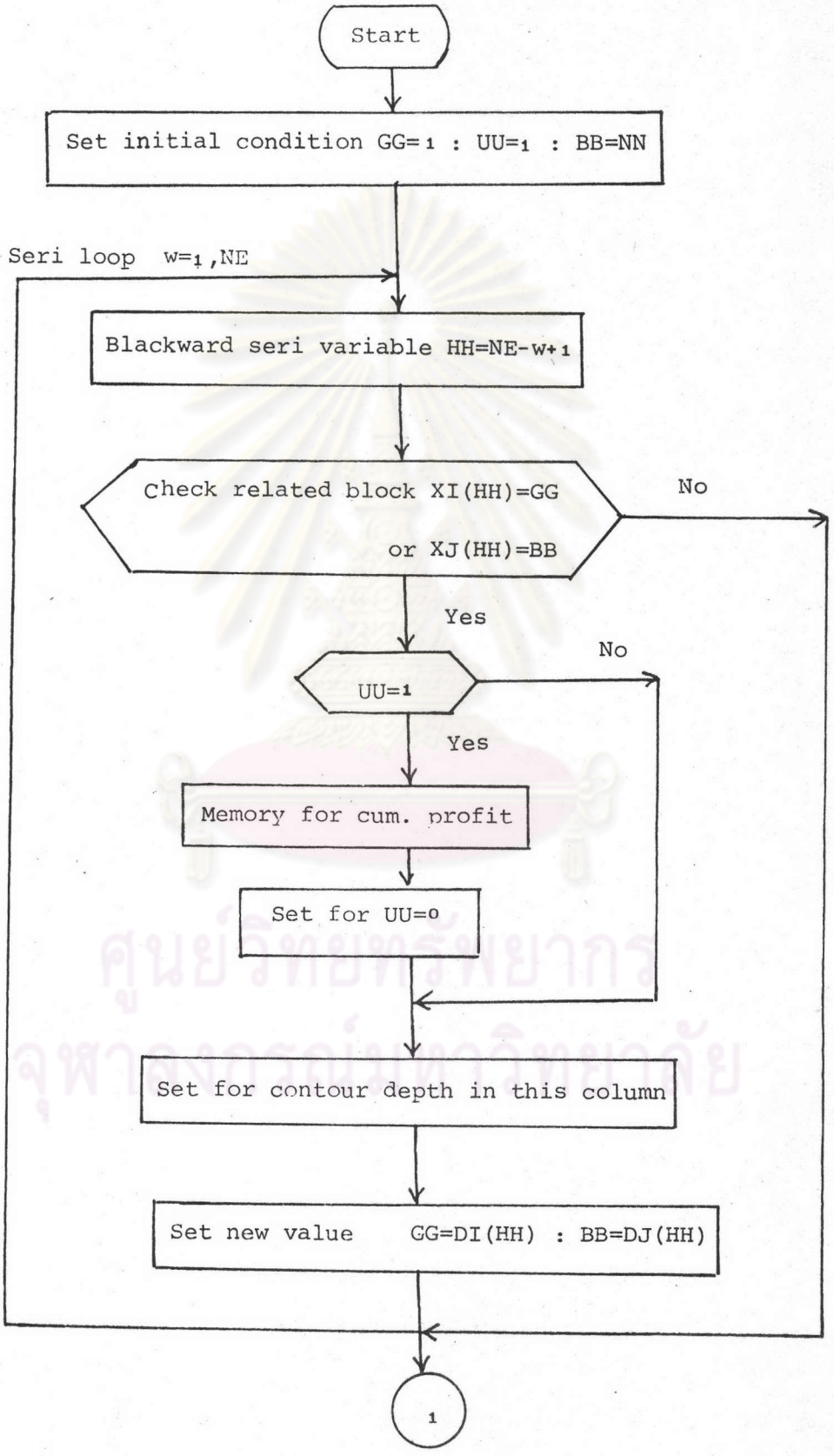


ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

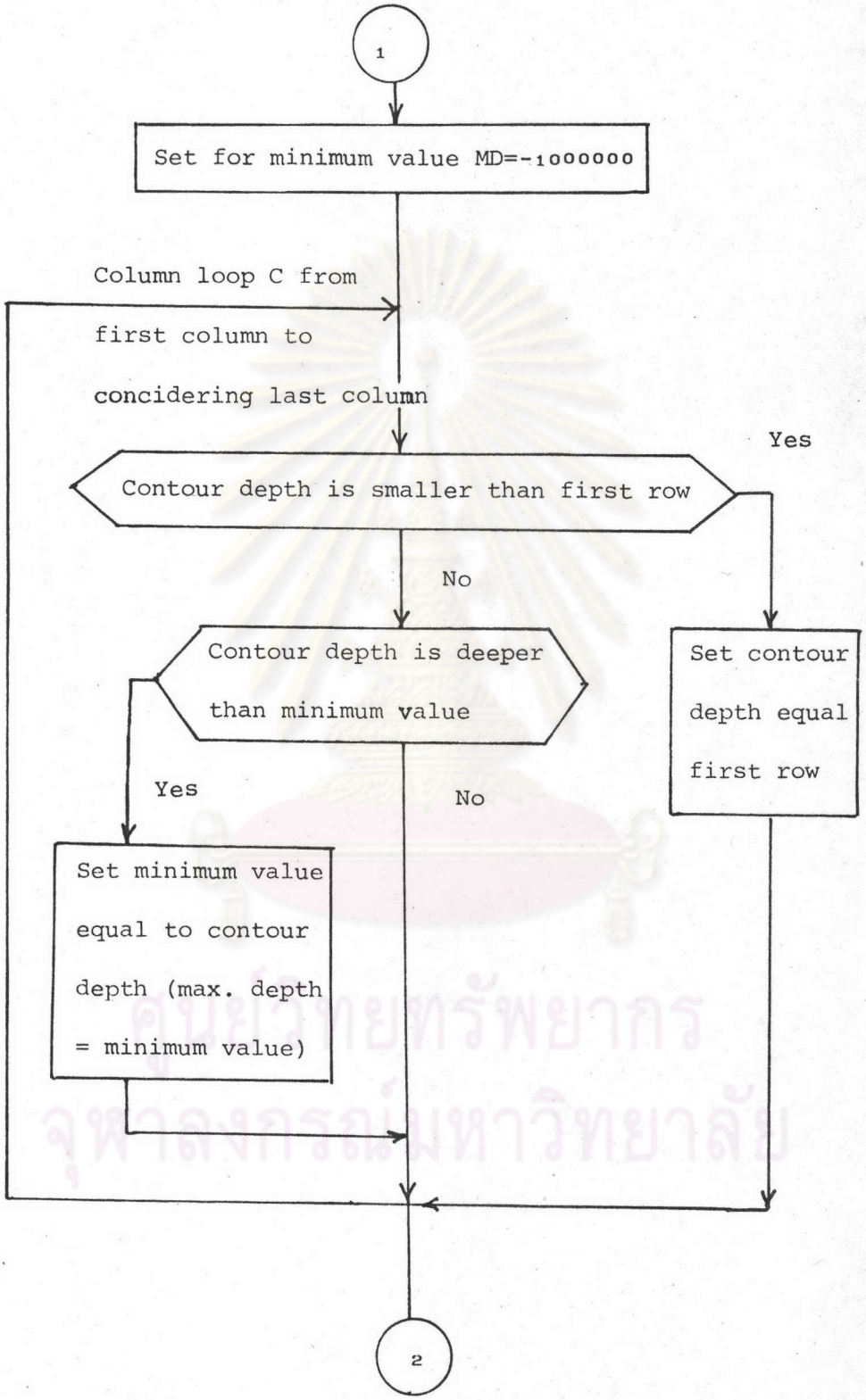
ภาพที่ 4.10 แผนภูมิแสดงการทำงานของโปรแกรมย่อย Dynamic Programming (ต่อ)



ภาพที่ 4.11 แผนภูมิแสดงการทำงานของโปรแกรมย่อย Path Decision

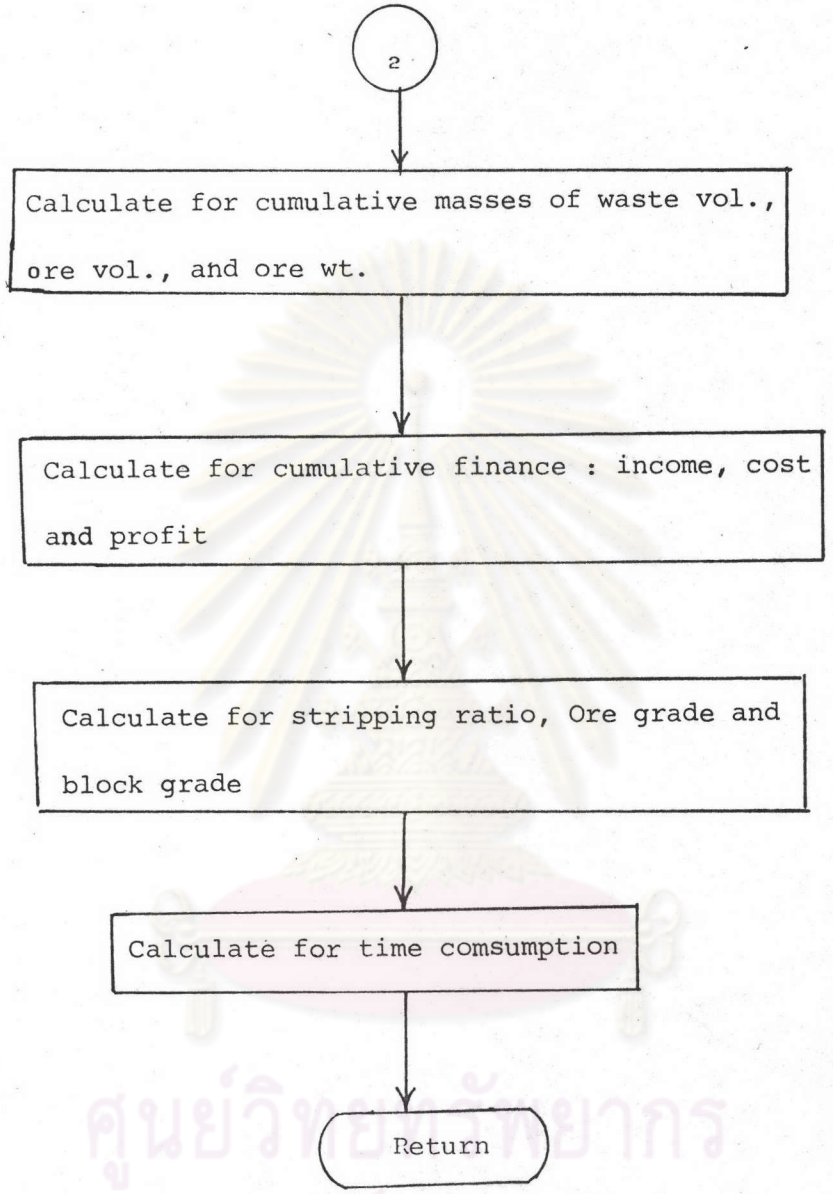


ภาพที่ 4.11 แผนภูมิแสดงการทำงานของโปรแกรมย่อย Path Decision (ต่อ)



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาพที่ 4.11 แผนภูมิแสดงการทำงานของโปรแกรมย่อย Path Decision (ต่อ)



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3. ลักษณะการใช้งานโปรแกรมคอมพิวเตอร์

3.1 โปรแกรมสำหรับพารามิเตอร์ โปรแกรมนี้สำหรับป้อนข้อมูลด้านพารามิเตอร์ในการออกแบบ ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

3.1.1 เงื่อนไขการขุด ประกอบด้วยข้อมูลด้านเงื่อนไขเสถียรภาพความลาดแบบสามมิติ(แบบกากบาทหรือแบบตาว) แบบพัสดุแร่สำรอง (แบบบล้อกขนาดคงที่หรือแบบบล้อกขนาดไม่คงที่) การกระจายของเกรดแร่ในแต่ละบล้อก (เกรดแร่มีค่าคงที่หรือเกรดแร่มีค่าไม่คงที่) และลักษณะแผนการผลิต (สม่ำเสมอหรือไม่คงที่)

3.1.2 คุณสมบัติของดินและแร่ ประกอบด้วย แฟกเตอร์ตันดิน (ลบ.ม./ตันดิน) แฟกเตอร์ตันแร่ (ลบ.ม./ตันแร่) เกรดแร่มาตรฐานสำหรับการผลิต และขนาดบล้อก (ลบ.ม.)

3.1.3 ขอบเขตบ่อเหมืองที่จะออกแบบ ประกอบด้วย ข้อมูลด้าน ลำดับที่ของการเปิดบ่อเหมือง พิกัดของภาพตัดขวางเริ่มแรกและสุดท้าย พิกัดของแถวตั้งเริ่มแรกและสุดท้าย ความลึกที่คาดหวังของภาพตัดขวาง ความลึกที่จะขุดในลำดับการเปิดบ่อเหมืองนี้ และจำนวนขั้นตอนของลำดับการเปิดบ่อเหมือง

3.1.4 พารามิเตอร์ในการวางแผนการผลิต ประกอบด้วย ข้อมูลด้านราคาแร่ เวลาในการทำเหมืองที่คาดหวัง ความสามารถในการขุดแร่ ความสามารถในการขุดดิน และจำนวนเปอร์เซ็นต์การรอคอยเพื่อการขุดแร่ ลักษณะการใช้เครื่องมือเครื่องจักรในการขุดดินและแร่ และลักษณะการแสดงรูปร่างบ่อเหมืองตามแผนการผลิตหรือตามความสามารถในการขุด

3.1.5 ค่าใช้จ่ายในการขุดดินและแร่ในแต่ละระดับความลึก

3.1.6 แผนการผลิตแร่ในรอบเวลาหนึ่ง ๆ จนถึงเวลาในการทำเหมืองที่คาดหวัง

3.1.7 จำนวนขั้นตอนและความลึกที่จะออกแบบเพื่อลดอัตราส่วนการขุดดินต่อการขุดแร่ในช่วงเวลาแรก ๆ ของการทำเหมือง

3.2 โปรแกรมสำหรับพัสดุแร่สำรอง เป็นโปรแกรมสำหรับการป้อนข้อมูลด้านปริมาณดิน ปริมาณแร่ และเกรดแร่ ในแต่ละบล็อกลงไปในภาพตัดขวาง

3.3 โปรแกรมสำหรับการจัดเตรียมขอบเขตบ่อเหมือง เป็นโปรแกรมที่คำนวณรูปร่างบ่อเหมืองในกรณีต่าง ๆ โดยไม่มีการเลือกรูปร่างบ่อเหมือง

3.4 โปรแกรมสำหรับการจัดลำดับการทำเหมือง เป็นโปรแกรมที่คำนวณเพื่อจัดรูปร่างบ่อเหมืองออกเป็นลำดับการทำเหมือง โดยพิจารณาจากแผนการผลิตหรือความสามารถในการขุดดินและแร่ ประกอบด้วย 3 ขั้นตอน ดังนี้คือ การบรรจุมูลค่าบล็อกลงไปในภาพตัดด้านยาว การจัดลำดับการทำเหมือง และการแปลงค่าผลการออกแบบที่เป็นมูลค่าสะสมให้เป็นมูลค่าเฉพาะในลำดับการทำเหมืองนั้น ๆ

3.5 โปรแกรมสำหรับการแสดงข้อมูลและผลการออกแบบ เป็นโปรแกรมสำหรับการแสดงข้อมูลด้านพารามิเตอร์การออกแบบ พัสดุแร่สำรอง ของแต่ละภาพตัดขวาง รูปร่างบ่อเหมือง และการถ่ายข้อมูลด้านเงื่อนไขการออกแบบ เส้นขอบเขตบ่อเหมืองของภาพตัดขวางและขอบเขตบ่อเหมืองขั้นสุดท้าย จากแผ่นจานบันทึกข้อมูลหนึ่งไปยังอีกแผ่นหนึ่ง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การเปรียบเทียบวิธีการออกแบบ

การออกแบบขอบเขตบ่อเหมืองโดยใช้การโปรแกรมไดนามิคตามวิธีการต่าง ๆ มีข้อได้เปรียบและข้อเสียเปรียบแตกต่างกัน การเปรียบเทียบเพื่อเลือกใช้ให้เหมาะสมตามความประสงค์ของผู้ออกแบบ จึงเป็นปัจจัยในการพิจารณาในการตัดสินใจ ซึ่งขึ้นอยู่กับผู้ออกแบบจะให้ความสำคัญต่อข้อได้เปรียบในแต่ละวิธีเพียงใด

1. การเปรียบเทียบด้านวิธีการโปรแกรมไดนามิค

วิธีการออกแบบของ Lerchs และ Grossmann เป็นวิธีการโปรแกรมไดนามิคทางเดียว ตัวแปรตัดสินใจในการเลือกบล๊อกไม่มีขอบเขต การโปรแกรมจะคำนวณเฉพาะในแต่ละภาพตัดขวางเท่านั้น ภาพตัดขวางละหนึ่งครั้ง ส่วนวิธีการออกแบบของ Johnson และ Sharp เป็นวิธีการโปรแกรมไดนามิคสองทางในแต่ละภาพตัดขวาง ทุก ๆ ระดับความลึก จากนั้นจะเป็นการโปรแกรมไดนามิคทางเดียวในภาพตัดด้านยาว ตัวแปรตัดสินใจในการเลือกบล๊อกไม่มีขอบเขต และสำหรับวิธีการออกแบบซึ่งเป็นผลจากการวิจัยครั้งนี้ เป็นโปรแกรมไดนามิคทางเดียวที่มีเงื่อนไขที่ตัวแปรตัดสินใจหรือตัวแปรตัดสินใจในการเลือกบล๊อกมีขอบเขตการเลือก การสร้างขอบเขตการเลือกบล๊อกจะพิจารณาจากเส้นขอบเขตบ่อเหมืองต่าง ๆ ในภาพตัดขวางที่แล้วมาติดต่อกัน การโปรแกรมไดนามิคทางเดียวนี้จะทำการโปรแกรมทั้งในแต่ละภาพตัดขวางทุก ๆ ระดับความลึกและภาพตัดด้านยาวทุก ๆ ช่วงการเปิดเหมือง ดังนั้นจะสังเกตได้ว่าถ้ามีการออกแบบคำนวณด้วยมือวิธีการออกแบบจะยากขึ้นตามวิธีการออกแบบที่พัฒนาขึ้นมาตามลำดับ

2. การเปรียบเทียบด้านการรักษาเงื่อนไขมุมเสถียรภาพแบบสามมิติ

วิธีการออกแบบขอบเขตบ่อเหมืองโดยวิธีโปรแกรมไดนามิคทุกวิธีสามารถรักษาเงื่อนไขมุมเสถียรภาพแบบสองมิติ ภายในภาพตัดขวางเดียวกันได้ แต่มีเพียงวิธีการออกแบบที่ได้จากการวิจัยครั้งนี้เท่านั้นที่สามารถรักษาเงื่อนไขมุมเสถียรภาพแบบสามมิติได้เท่านั้น ซึ่งยังสามารถเลือกแบบการรักษาเงื่อนไขมุมเสถียรภาพแบบสามมิติที่ส่วนสัมพันธ์กับภาพตัดขวางต่าง ๆ ได้ แบ่งออกเป็นสองแบบดังนี้ คือ แบบกากบาท และแบบดาว

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3. การเปรียบเทียบด้านการจัดลำดับการทำเหมือง

วิธีการออกแบบของ Lerchs และ Grossmann และของ Johnson และ Sharp เป็นเพียงขอบเขตบ่อเหมืองขั้นสุดท้ายเท่านั้น แต่วิธีการออกแบบที่ได้จากการวิจัยสามารถออกแบบรูปร่างบ่อเหมืองออกเป็นลำดับการทำเหมืองจนถึงขอบเขตบ่อเหมืองขั้นสุดท้าย โดยพิจารณาจากความสามารถในการขุดดินและแร่ หรือพิจารณาจากแผนการผลิต

4. การเปรียบเทียบด้านลักษณะการใช้งาน

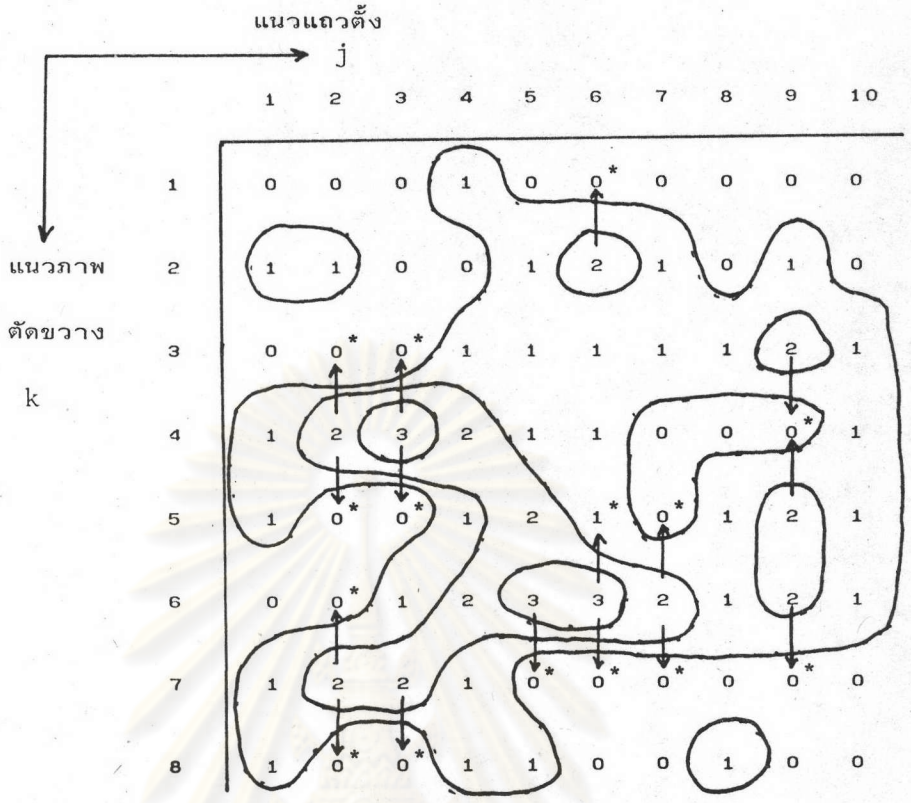
วิธีการออกแบบของ Lerchs และ Grossmann และวิธีการออกแบบของ Johnson และ Sharp เหมาะสมกับการใช้งานขั้นต้นอย่างคร่าว ๆ ภาพตัดขวางต่าง ๆ ที่นำมาคำนวณจะต้องอยู่ห่างกันเป็นระยะ ๆ ไม่ควรติดต่อกัน ผลจากการคำนวณจะเป็นแนวทางในการลากเส้นขอบเขตบ่อเหมือง เชื่อมต่อเนื่องกันอีกครั้งหนึ่ง หลังจากนั้นจะคำนวณปริมาณดินและแร่ที่อยู่ภายในรูปร่างขอบเขตบ่อเหมืองที่ลากเส้นเชื่อมกันแล้ว กรณีที่ต้องการให้ภาพตัดขวางต่อเนื่องกันเป็นแบบพัสดุแร่สำรอง การคำนวณอาจไม่เกิดผลประโยชน์มากนัก เนื่องจากไม่สามารถเงื่อนไขมุมเสถียรภาพแบบสามมิติได้ นอกจากนี้วิธีการออกแบบเฉพาะของ Lerchs และ Grossmann ยังสามารถประยุกต์ใช้กับภาพตัดขวางที่ไม่อยู่ในแนวขนานกัน โดยที่ภาพตัดขวางต่าง ๆ ตัดกันเป็นช่วง ๆ ได้ด้วย ในกรณีนี้จะได้เปรียบในด้านที่มุมเสถียรภาพความลาดของแหล่งแร่ไม่เท่ากันในบริเวณต่าง ๆ ของแหล่งแร่

วิธีการออกแบบที่พัฒนาปรับปรุงจากผลการวิจัยมีประโยชน์ในแง่การใช้งานได้มาก และมีเงื่อนไขต่าง ๆ ในการขุดและออกแบบรูปร่างบ่อเหมืองได้หลายประการ โดยใช้แบบพัสดุแร่สำรองของบล็อกขนาดคงที่ แต่ในกรณีที่มุมเสถียรภาพโดยรอบแหล่งแร่มีความแตกต่างกันมาก การกำหนดขนาดบล็อกจะมีความลำบาก เนื่องจากจำเป็นต้องใช้แบบพัสดุแร่สำรองแบบบล็อกความสูงคงที่จึงจะเหมาะสมกับการใช้งาน

5. การเปรียบเทียบผลการออกแบบ

วิธีการออกแบบโดยวิธีการของ Lerchs และ Grossmann และของ Johnson และ Sharp มีผลการออกแบบให้รูปร่างบ่อเหมืองขั้นสุดท้ายเหมือนกัน ดังแสดงในภาพที่ 4.12 ซึ่งจะพบว่าให้กำไรจากการขุด 108 บาท เท่ากัน ที่ระดับก้นบ่อเหมืองที่ 3 นอกจากนี้ยังไม่สามารถรักษาเงื่อนไขมุมเสถียรภาพแบบสามมิติ แบบกากบาทหรือแบบดาวได้ อย่างไรก็ตามวิธีการของ Johnson และ Sharp ไม่จำเป็นต้องให้ผลการออกแบบมีรูปร่างบ่อเหมืองหรือกำไรจากการขุดเท่ากับผลการออกแบบโดยวิธี Lerchs และ Grossmann เนื่องจากจะขึ้นอยู่กับการโปรแกรมไดนามิคในภาพตัดด้านยาว ซึ่งอาจให้ผลการเลือกรูปร่างบ่อเหมืองแตกต่างกันไป

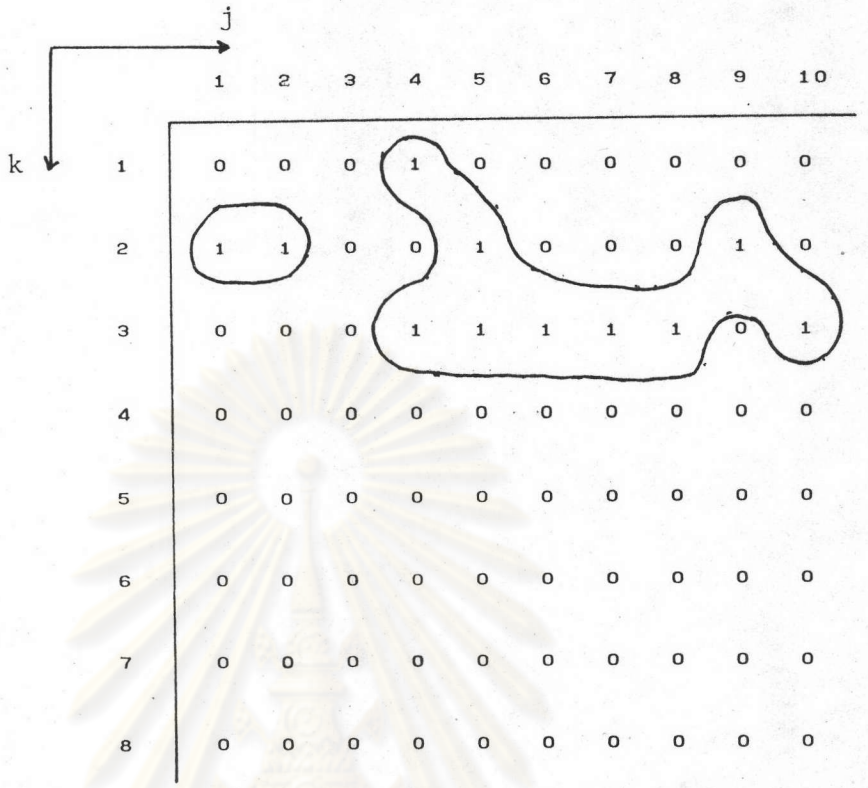
วิธีการออกแบบโดยวิธีการพัฒนาปรับปรุงจากผลการวิจัย จะให้รูปร่างบ่อเหมืองที่รักษาเงื่อนไขมุมเสถียรภาพแบบกากบาทหรือแบบดาวที่เลือกใช้ในการออกแบบ ทั้งเงื่อนไขการขุดโดยวิธีช่วงการเปิดเหมืองเดี่ยวหรือแบบพหุคูณ ซึ่งรูปร่างบ่อเหมืองจะมีลำดับการทำเหมืองซึ่งเป็นไปตามความสามารถในการขุดหรือตามแผนผลิต ดังแสดงในภาพที่ 4.13 ถึง 4.21 สำหรับปริมาณการขุดดินแร่จะแสดงในตารางที่ 4.1 และกระแสเงินสดดังแสดงในตารางที่ 4.2 โดยทั่วไปแล้ววิธีการออกแบบโดยวิธีการที่ได้พัฒนาปรับปรุงจากผลการวิจัย จะมีผลการออกแบบรูปร่างบ่อเหมืองขั้นสุดท้าย มีกำไรจากการขุดและระดับความลึกของฐานบ่อเหมืองไม่มากกว่าวิธีการออกแบบของ Lerchs และ Grossmann และของ Johnson และ Sharp เนื่องจากมีเงื่อนไขการขุดที่เพิ่มขึ้น จากการที่ต้องรักษาเงื่อนไขมุมเสถียรภาพในมิติที่สามด้วย นอกจากนี้เงื่อนไขมุมเสถียรภาพแบบดาวจะเป็นเงื่อนไขที่เพิ่มขึ้นจากแบบกากบาท จึงทำให้ผลการออกแบบของแบบดาวจะเสียเปรียบในด้านกำไรจากการขุด ซึ่งนั่นเป็นเพียงตัวเลขจากการคำนวณเท่านั้น ในทางปฏิบัติแบบกากบาทต้องมีการปรับรูปร่างบ่อเหมืองมากกว่าแบบดาว จากผลการปรับรูปร่างบ่อเหมืองแล้วอาจให้ผลการออกแบบเท่ากันหรือใกล้เคียงกันได้



<u>หมายเหตุ</u> * ตำแหน่งบล๊อกที่ไม่สามารถรักษาเงื่อนไขมุมเสถียรภาพความลาดแบบกากบาท

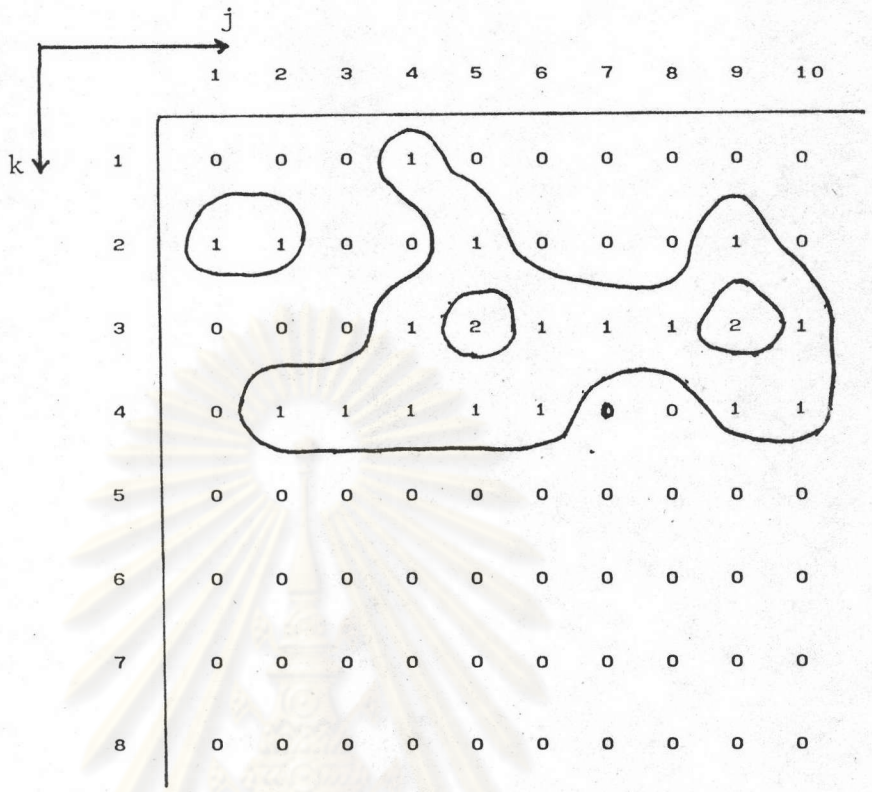
ภาพที่ 4.12 รูปร่างบ่อเหมืองจากผลการออกแบบโดยวิธีของ Lerchs และ Grossmann มีรูปร่างเช่นเดียวกันกับวิธีของ Johnson และ Sharp ซึ่งไม่สามารถรักษาเงื่อนไขมุมเสถียรภาพแบบสามมิติได้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



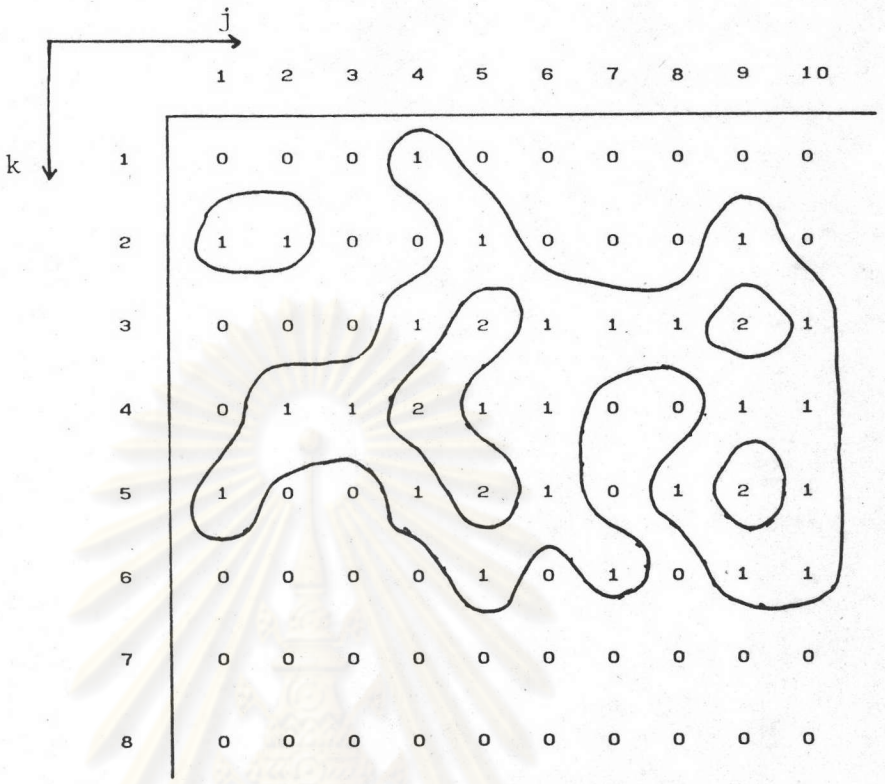
ภาพที่ 4.13 รูปร่างบ่อเหมืองจากการใช้วิธีช่วงการเปิดเหมืองเดี่ยวแบบกากบาท ที่ลำดับการทำเหมืองที่ 1 ตามความสามารถในการขุด

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



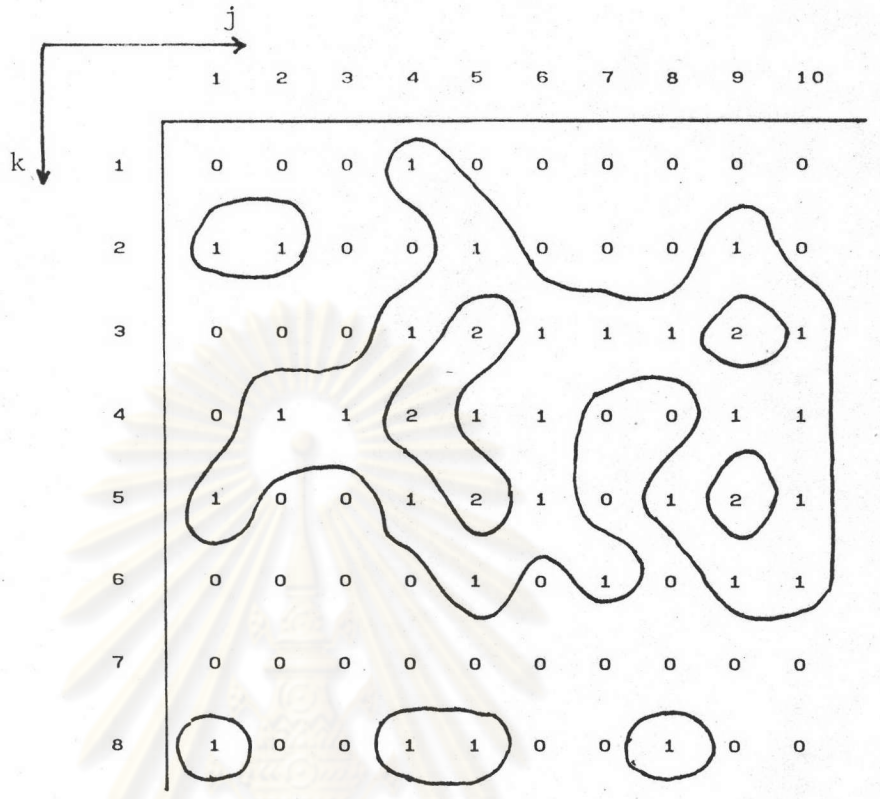
ภาพที่ 4.14 รูปร่างบ่อเหมืองจากการใช้วิธีช่วงการเปิดเหมืองเดี่ยวแบบกากบาท ที่ลำดับการทำเหมืองที่ 2 ตามความสามารถในการขุด หรือลำดับการทำเหมืองที่ 1 ตามแผนการผลิต

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



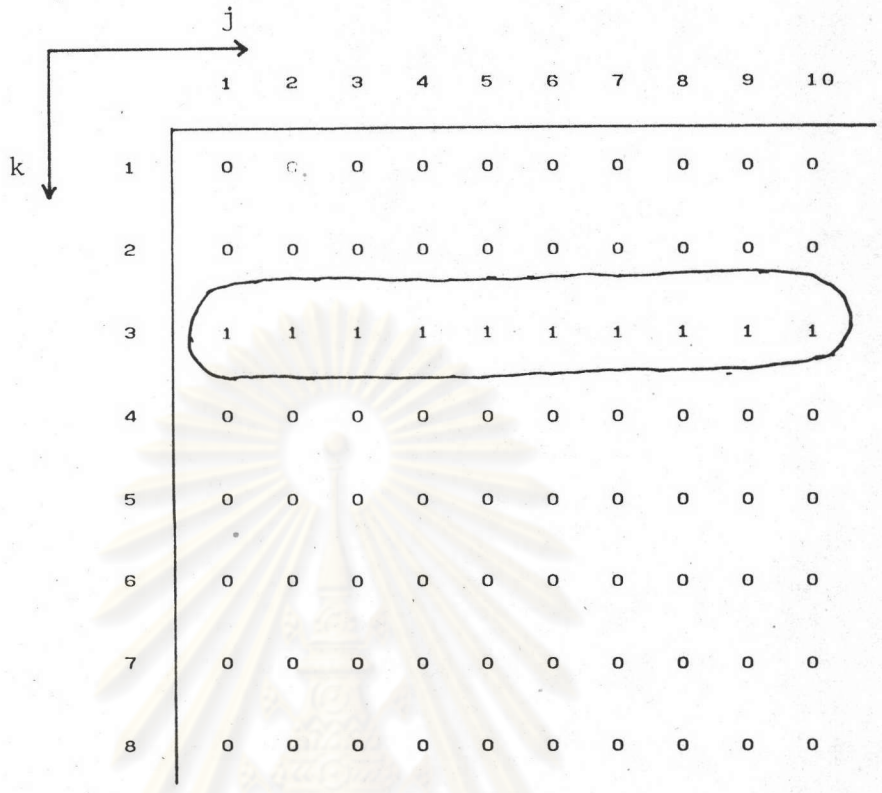
ภาพที่ 4.15 รูปร่างบ่อเหมืองจากการใช้วิธีช่วงการเปิดเหมืองเดี่ยวแบบกากบาท ที่ลำดับการทำเหมืองที่ 3 ตามความสามารถในการขุด

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



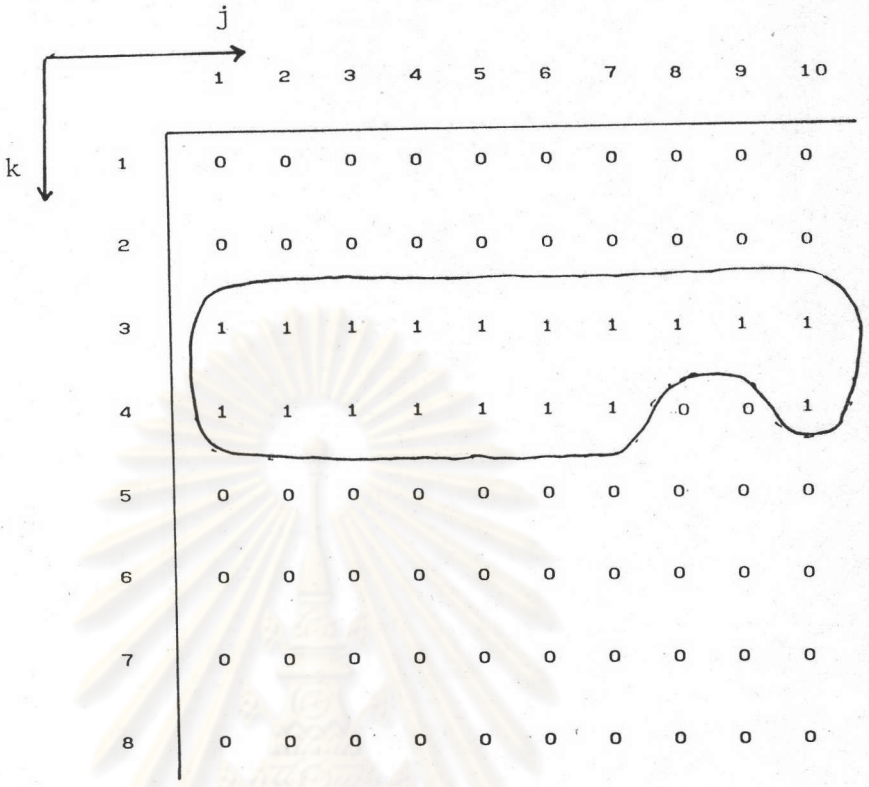
ภาพที่ 4.16 รูปร่างบ่อเหมืองจากการใช้วิธีช่วงการเปิดเหมืองเดี่ยวแบบกากบาท ที่ลำดับการทำเหมืองที่ 4 ตามความสามารถในการขุดหรือลำดับการทำเหมืองที่ 2 ตามแผนการผลิต

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



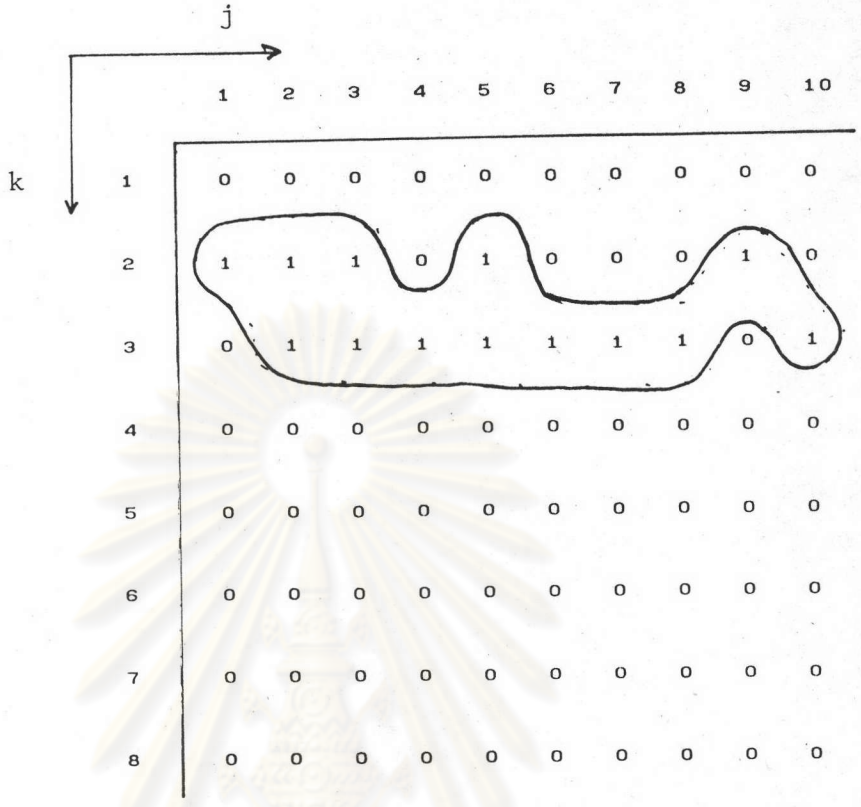
ภาพที่ 4.17 รูปร่างบ่อเหมืองจากการใช้วิธีช่วงการเปิดเหมืองเดี่ยวแบบตาว ที่ลำดับการทำเหมืองที่ 1 ตามความสามารถในการขุด

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



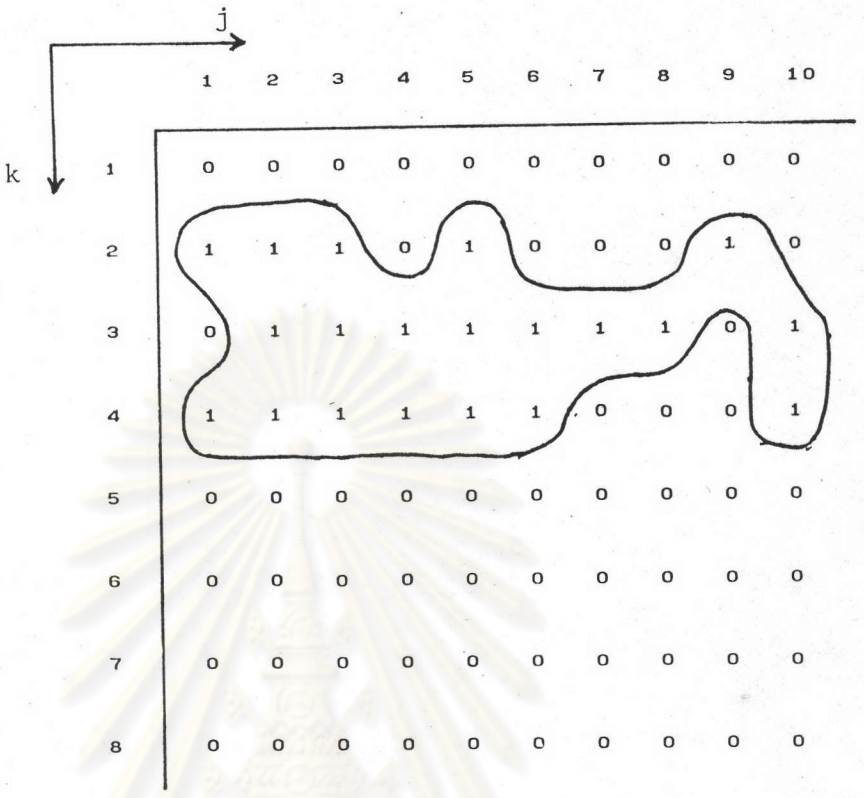
ภาพที่ 4.18 รูปร่างบ่อเหมืองจากการใช้วิธีช่วงการเปิดเหมืองเดี่ยวแบบดาว ที่ลำดับการทำเหมืองที่ 2 ตามความสามารถในการขุด หรือลำดับการทำเหมืองที่ 1 ตามแผนการผลิต

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



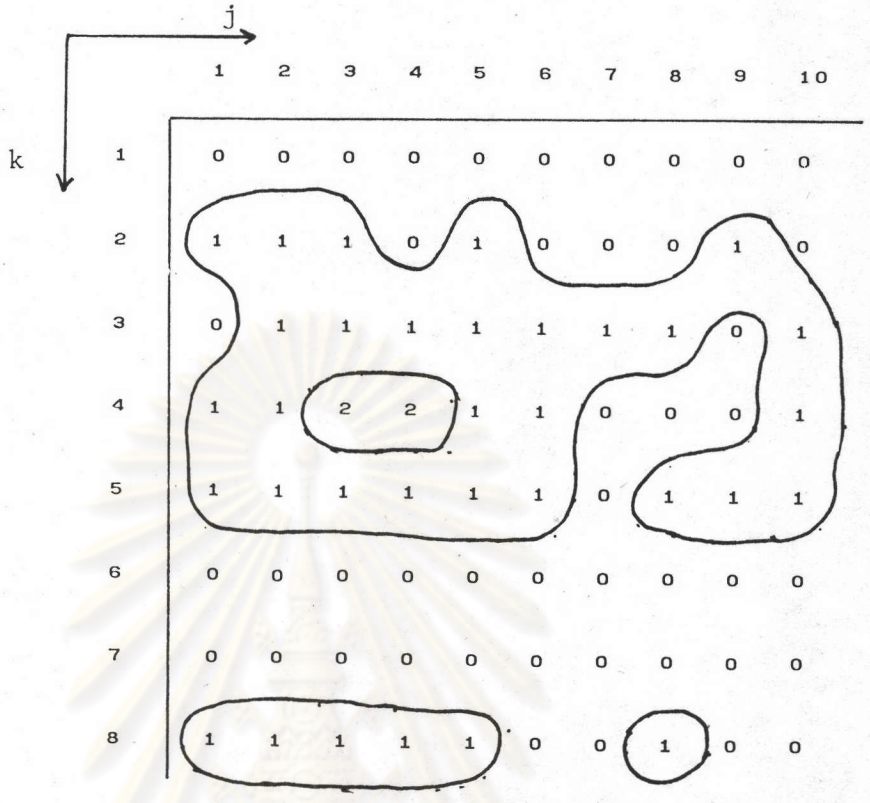
ภาพที่ 4.19 รูปร่างบ่อเหมืองจากการใช้วิธีช่วงการเปิดเหมืองพหุคูณแบบดาว ที่ลำดับการทำเหมืองที่ 1 ตามความสามารถในการขุด

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพที่ 4.20 รูปร่างบ่อเหมืองจากการใช้วิธีช่วงการเปิดเหมืองพหุคูณแบบดาว ที่ลำดับการทำเหมืองที่ 2 ตามความสามารถในการขุด

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพที่ 4.21 รูปร่างบ่อเหมืองจากการใช้วิธีช่วงการเปิดเหมืองพหุคูณแบบดาว ที่ลำดับการทำเหมืองที่ 3 ตามความสามารถในการขุด

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.1 แสดงปริมาณการขุดดินแร่

ลำดับการทำเหมือง	ปริมาณดิน ลบ.ม.	ปริมาณแร่		เกรดแร่เฉลี่ย	เกรดเฉลี่ยทั้งบล๊อก	อัตราส่วนการขุด ลบ.ม.ดิน/ตันแร่	ระดับความลึก	เวลาที่ใช้ เดือน
		ลบ.ม.	ตัน					
1. วิธีช่วงการเปิดเหมืองเดียว โดยใช้เงื่อนไขการขุดแบบกากบาท								
1.1 รูปร่างบ่อเหมืองตามความสามารถในการขุด								
ลำดับที่ 1	14	22	22	1	0.611	0.63	1	1.08
ลำดับที่ 2	16	16	16	1	0.500	1.00	2	0.93
ลำดับที่ 3	19	13	13	1	0.406	1.46	2	0.91
ลำดับที่ 4	8	8	8	1	0.500	1.00	2	0.47
รวม	57	59	59	1	-	0.97	2	3.39

ตารางที่ 4.1 แสดงปริมาณการขุดดินแร่ (ต่อ)

ลำดับการทำเหมือง	ปริมาณดิน ลบ.ม.	ปริมาณแร่		เกรดแร่เฉลี่ย	เกรดเฉลี่ยทั้งบล้อก	อัตราส่วนการขุด ลบ.ม.ดิน/ตันแร่	ระดับความลึก	เวลาที่ใช้ เดือน
		ลบ.ม.	ตัน					
1.2 รูปร่างบ่อเหมืองตามแผนการผลิต								
ลำดับที่ 1	30	38	38	1	0.558	0.78	2	2.01
ลำดับที่ 2	27	21	21	1	0.437	1.29	2	1.38
รวม	57	59	59	1	-	0.97	2	3.39
2. วิธีช่วงการเปิดเหมืองเดียว โดยใช้เงื่อนไขการขุดแบบดาว								
2.1 รูปร่างบ่อเหมืองตามความสามารถในการขุด								

หอสมุดกลาง จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.1 แสดงปริมาณการขุดดินแร่ (ต่อ)

ลำดับการทำเหมือง	ปริมาณดิน	ปริมาณแร่		เกรดแร่	เกรดเฉลี่ย	อัตราส่วน	ระดับ	เวลาที่ใช้
	ลบ.ม.	ลบ.ม.	ตัน	เฉลี่ย	ทั้งบล็อก	การขุด ลบ.ม.ดิน/ตันแร่	ความลึก	เดือน
ลำดับที่ 1	21	11	11	1	0.343	1.9	1	0.89
ลำดับที่ 2	13	11	11	1	0.458	1.18	1	0.69
รวม	34	22	22	1	-	1.54	1	1.58
2.2 รูปร่างบ่อเหมือง ตามแผนการผลิต ลำดับที่ 1	34	22	22	1	0.392	1.54	1	1.58
รวม	34	22	22	1	-	1.54	1	1.58

ตารางที่ 4.1 แสดงปริมาณการขุดดินแร่ (ต่อ)

ลำดับการทำเหมือง	ปริมาณดิน ลบ.ม.	ปริมาณแร่		เกรดแร่เฉลี่ย	เกรดเฉลี่ยทั้งบล๊อก	อัตราส่วนการขุด ลบ.ม.ดิน/ตันแร่	ระดับความลึก	เวลาที่ใช้ เดือน
		ลบ.ม.	ตัน					
3. วิธีช่วงการเปิดเหมืองพหุคูณ โดยใช้เงื่อนไขการขุดแบบดาว (รูปร่างบ่อเหมืองตามความสามารถในการขุด)								
3.1 ช่วงการเปิดเหมืองที่ 1								
ลำดับที่ 1	25	19	19	1	0.431	1.31	1	1.26
ลำดับที่ 2	9	11	11	1	0.55	0.82	1	0.59
ลำดับที่ 3	37	19	19	1	0.34	1.94	2	1.55

ตารางที่ 4.1 แสดงปริมาณการขุดดินแร่ (ต่อ)

ลำดับการทำเหมือง	ปริมาณดิน	ปริมาณแร่		เกรดแร่	เกรดเฉลี่ย	อัตราส่วน	ระดับ	เวลาที่ใช้
	ลบ.ม.	ลบ.ม.	ตัน	เฉลี่ย	ทั้งบล๊อก	การขุด ลบ.ม.ดิน/ ตันแร่	ความลึก	เดือน
3.2 ช่วงการเปิดเปิดเหมืองที่ 2	-	-	-	-	-	-	-	-
3.3 ช่วงการเปิดเหมืองที่ 3	-	-	-	-	-	-	-	-
รวม	71	49	49	1	-	1.44	2	3.40

ตารางที่ 4.2 แสดงกระแสเงินสด

ลำดับการทำเหมือง	กระแสเงินสด (บาท)			เวลา	เวลาสะสม
	รายได้	รายจ่าย	กำไร	เดือน	เดือน
1. วิธีช่วงการเปิดเหมืองเดียว โดยใช้เงื่อนไขการขุดแบบกากบาท					
1.1 รูปร่างบ่อเหมืองตามความสามารถในการขุด					
ลำดับที่ 1	88	58	30	1.08	1.08
ลำดับที่ 2	64	48	16	0.93	2.01
ลำดับที่ 3	52	45	7	0.91	2.92
ลำดับที่ 4	32	24	8	0.47	3.39
รวม	236	175	61	3.39	-
1.2 รูปร่างบ่อเหมืองตามแผนการผลิต					
ลำดับที่ 1	152	106	46	2.01	2.01
ลำดับที่ 2	84	69	15	1.38	3.39
รวม	236	175	61	3.39	-

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.2 แสดงกระแสเงินสด (ต่อ)

ลำดับการทำเหมือง	กระแสเงินสด (บาท)			เวลา	เวลาสะสม
	รายได้	รายจ่าย	กำไร	เดือน	เดือน
2. วิธีช่วงการเปิดเหมืองเดี่ยว โดยใช้เงื่อนไขการขุดแบบดาว					
2.1 รูปร่างบ่อเหมืองตามความสามารถในการขุด					
ลำดับที่ 1	44	43	1	0.89	0.89
ลำดับที่ 2	44	35	9	0.69	1.58
รวม	88	78	10	1.58	-
2.2 รูปร่างบ่อเหมืองตามแผนการผลิต					
ลำดับที่ 1	88	78	10	1.58	1.58
รวม	88	78	10	1.58	-

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.2 แสดงกระแสเงินสด (ต่อ)

ลำดับการทำเหมือง	กระแสเงินสด (บาท)			เวลา	เวลาสะสม
	รายได้	รายจ่าย	กำไร	เดือน	เดือน
3. วิธีช่วงการเปิดเหมืองพหุคูณ โดยใช้เงื่อนไขการขุดแบบดาว (รูปร่างบ่อเหมืองตามความสามารถในการขุด)					
3.1 ช่วงการเปิดเหมืองที่ 1					
ลำดับที่ 1	76	63	13	1.26	1.26
ลำดับที่ 2	44	31	13	0.59	1.85
ลำดับที่ 3	76	75	1	1.55	3.40
3.2 ช่วงการเปิดเหมืองที่ 2	-	-	-	-	-
3.3 ช่วงการเปิดเหมืองที่ 3	-	-	-	-	-
รวม	196	169	27	3.40	-

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.3 แสดงการเปรียบเทียบผลการออกแบบจากการออกแบบโดยวิธีต่าง ๆ

วิธีการออกแบบ	เงื่อนไขมุมเสถียรภาพแบบสามมิติ	ลำดับการทำเหมือง	ระดับความลึกที่เหมาะสม	กำไรสะสม บาท	เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงกำไรสะสม
1. วิธีของ Lerchs และ Grossmann	ไม่มี	ขอบเขตบ่อเหมืองขั้นสุดท้าย	3	108	0
2. วิธีของ Johnson และ Sharp	ไม่มี	ขอบเขตบ่อเหมืองขั้นสุดท้าย	3	108	0
3. วิธีการที่ได้จากการวิจัย					
3.1 ช่วงการเปิดเหมืองเดี่ยว	แบบกากบาท	ลำดับที่ 1	1	30	
		ลำดับที่ 2	2	46	
		ลำดับที่ 3	2	53	
		ขอบเขตบ่อเหมืองขั้นสุดท้าย	2	61	-43.52%
	แบบดาว	ลำดับที่ 1	1	1	
		ขอบเขตบ่อเหมืองขั้นสุดท้าย	1	10	-90.74%
3.2 ช่วงการเปิดเหมืองพหุคูณ	แบบดาว	ลำดับที่ 1	1	13	
		ลำดับที่ 2	1	26	
		ขอบเขตบ่อเหมืองขั้นสุดท้าย	2	27	-75.00%

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การพิจารณาขอบเขตการใช้งานโปรแกรมคอมพิวเตอร์จากผลการวิจัย

(Validity of Research Programme)

การใช้งานโปรแกรมคอมพิวเตอร์จากผลการวิจัย เพื่อให้เกิดประโยชน์มากที่สุดในการใช้งานสำหรับการออกแบบขอบเขตบ่อเหมือง ซึ่งจะพิจารณาในด้านรูปแบบความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับวิธีการออกแบบ และด้านความเหมาะสมในเชิงปฏิบัติ ขอบเขตที่พิจารณามีดังนี้คือ ขอบเขตเรื่องบล๊อก ขอบเขตด้านภูมิประเทศของแหล่งแร่ ขอบเขตด้านรูปแบบการวางตัวของแร่ ขอบเขตด้านค่าใช้จ่ายในการขุดดินแร่และราคาแร่ ขอบเขตด้านพัสดุแร่สำรอง และขอบเขตด้านการผสมเกรดแร่ที่ผลิต

1. ขอบเขตเรื่องบล๊อก (Block Concepts)

ขอบเขตเรื่องบล๊อกเป็นขั้นตอนการเตรียมบล๊อกก่อนการใช้งานโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ซึ่งจะพิจารณาในด้านขนาดของบล๊อก มิติของบล๊อก ระนาบที่แบ่งบล๊อกของแหล่งแร่ ความลาดเอียงของชั้นเหมืองและความลาดเอียงของบ่อเหมือง

1.1 ขนาดของบล๊อก (Block Size) ขนาดหรือปริมาตรของบล๊อกที่ใช้ในการออกแบบจะต้องมีขนาดใหญ่เพียงพอ จึงจะสามารถบรรจุมูลค่าบล๊อกลงในบล๊อกได้ ในด้านรูปแบบความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ ขนาดของบล๊อกต้องมากกว่าศูนย์ สำหรับในทางปฏิบัติขนาดของบล๊อกต้องมีความเหมาะสมหรือแปรค่าตามความสามารถในการขุดของเครื่องมือเครื่องจักรกลในการทำเหมือง

ให้ BS = ขนาดของบล๊อก หน่วยเป็นปริมาตร

จะได้

$$BS > 0 \qquad \ldots(4.1)$$

ในด้านความเหมาะสมในทางปฏิบัติ

$$BS \propto \text{dimensions of excavated equipments} \qquad \ldots(4.2)$$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1.2 <u>มิติของบล้อก</u> (Block Dimensions) บล้อกต่าง ๆ ใช้ในการออกแบบจะเป็นรูปกล่อง ประกอบด้วยด้านกว้าง ด้านยาว และด้านลึก เมื่อพิจารณาด้านรูปแบบทางคณิตศาสตร์ แต่ละด้านจะทำมุมกันอย่างไรก็ได้ แต่ต้องประกอบกันเป็นรูปกล่องขึ้นได้ ซึ่งรูปสี่เหลี่ยมในระนาบต่าง ๆ ของกล่อง อาจเป็นรูปสี่เหลี่ยมมุมฉาก สี่เหลี่ยมด้านขนาน สี่เหลี่ยมคางหมู หรือสี่เหลี่ยมด้านไม่เท่า แต่ในด้านทางปฏิบัติจะให้แต่ละด้านทำมุมฉากซึ่งกันและกัน เพื่อความสะดวกในการออกแบบ นอกจากนี้แล้วเส้นทะแยงมุมในระนาบของภาพตัดขวางต้องทำมุมกับแนวระดับ ซึ่งมีค่าไม่เกินกว่ามุมเสถียรภาพของบ่อเหมือง ดังแสดงในภาพที่ 4.22

กำหนดให้

x = ด้านกว้างของบล้อก

y = ด้านสูงของบล้อก

z = ด้านลึกของบล้อก

θ_{xy} = มุมที่ด้านกว้างทำมุมกับด้านสูง

θ_{yz} = มุมที่ด้านลึกทำมุมกับด้านสูง

θ_{xz} = มุมที่ด้านกว้างทำมุมกับด้านลึก

r_{xy}, r_{yz} = มุมที่เส้นทะแยงมุมของสี่เหลี่ยมในระนาบ xy หรือระนาบ yz ทำมุมกับแนวระดับ ซึ่งมีค่าไม่เกินกว่ามุมเสถียรภาพ

จะได้

$$x, y, z > 0 \qquad \ldots(4.3)$$

$$0^\circ < \theta_{xy}, \theta_{yz}, \theta_{xz} < 180^\circ \qquad \ldots(4.4)$$

และ

$$r_{xy}, r_{yz} \leq 90^\circ \qquad \ldots(4.5)$$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

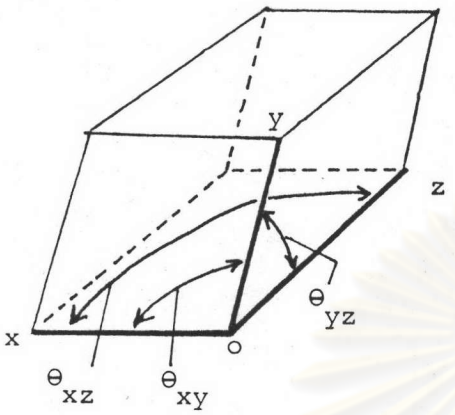
เพื่อความเหมาะสมในเชิงปฏิบัติ

$$\theta_{xy} = \theta_{yz} = \theta_{xz} = 90^{\circ} \quad \ldots(4.6)$$

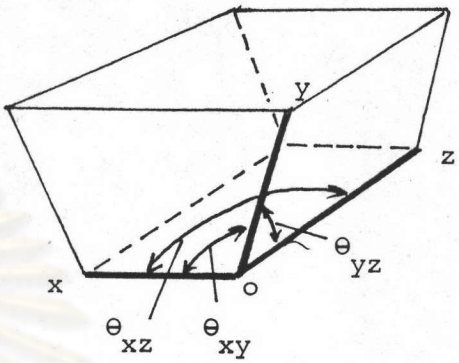
และ

$$r_{xy}, r_{yz} \propto \text{stability angle of pit} \quad \ldots(4.7)$$

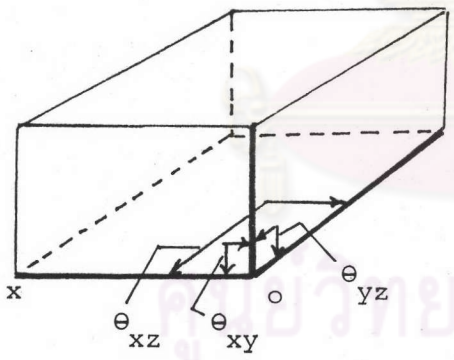
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



(ก) พื้นที่หน้าตัด เป็นสี่ เหลี่ยมด้านขนาน

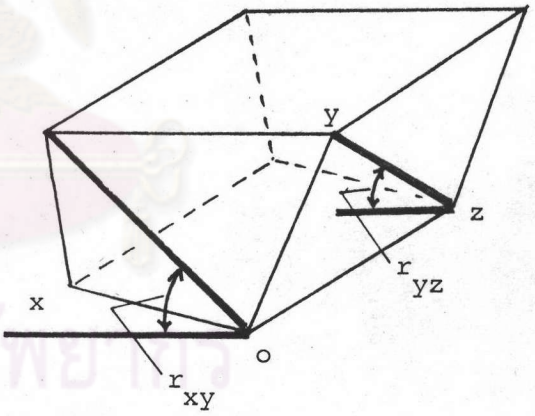


(ข) พื้นที่หน้าตัด เป็นสี่ เหลี่ยมคางหมู



$\theta_{xy} = \theta_{yz} = \theta_{xz} = 90^{\circ}$

(ค) พื้นที่หน้าตัด เป็นสี่ เหลี่ยมผืนผ้า



(ง) เส้นทะแยงมุมของระนาบ xy และ yz

ภาพที่ 4.22 มิติของบล๊อก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1.3 <u>ระนาบที่แบ่งบล๊อกของแหล่งแร่</u> (Block Cutting Plane) การแบ่งบล๊อกของแหล่งแร่จะต้องใช้ระนาบตัดในแนวต่าง ๆ โดยตลอดทั้งแหล่งแร่ที่จะออกแบบ ซึ่งมีอยู่ 3 ระนาบ คือ ระนาบในแนวดิ่งตามแนวความกว้างของแหล่งแร่ (ระนาบ i,j) ระนาบในแนวดิ่งตามแนวความยาวของแหล่งแร่ (ระนาบ i,k) และระนาบในแนวนอนตามแนวความลึกของแหล่งแร่ (ระนาบ j,k) การตัดระนาบเพื่อแบ่งบล๊อกไม่จำเป็นต้องอยู่ในแนวตั้งฉากซึ่งกันและกัน ระยะห่างระหว่างระนาบเดียวกันไม่จำเป็นต้องเท่ากัน และมุมเอียงของระนาบทำมุมกับแนวราบของระนาบเดียวกันที่ตัดซ้ำ ๆ กัน ก็ไม่จำเป็นต้องเท่ากันด้วย บล๊อกที่ได้จากการใช้ระนาบต่าง ๆ ตัด อาจแบ่งออกเป็น 2 แบบคือ แบบรูปร่างและขนาดคงที่ทุก ๆ บล๊อก (Regular Block) และแบบรูปร่างและขนาดไม่คงที่แต่แปรค่าไปตามพิกัด (Irregular Blocks) แต่แบบที่เหมาะสมในการใช้งานในทางปฏิบัติควรจะใช้แบบแรก (ดังแสดงในภาพที่ 4.23)

การแบ่งบล๊อกเป็นการเตรียมข้อมูลก่อนการใช้งานโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ดังนั้นการแบ่งบล๊อกโดยใช้ระนาบตัดแบบใด ๆ ก็ตาม เมื่อใช้งานโปรแกรมคอมพิวเตอร์ จะใช้พิกัด i,j,k ตามแบบบล๊อกที่แสดงในภาพที่ 4.23(ข) ทั้งหมด ดังนั้นการแปลงค่าพิกัดผลจากการออกแบบเป็นพิกัดเหมืองแร่ หรือรูปร่างบ่อเหมืองที่ออกแบบเป็นงานหนึ่งที่นอกเหนือจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ได้จากการวิจัยนี้

กำหนดให้

$\theta_{ij}, \theta_{ik}, \theta_{jk}$ = มุมของระนาบหนึ่ง ๆ ที่ทำมุมกับแนวราบ ในระนาบ (i,j), (i,k) และ (j,k) ตามลำดับ

X_{ij}, X_{ik}, X_{jk} = ระยะห่างระหว่างระนาบเดียวกันที่ตัดซ้ำกันในแนวอื่น ๆ ที่ติดต่อกัน จนเป็นรูปร่างบล๊อกหนึ่ง ๆ

จะได้

$$0^\circ < \theta_{ij}, \theta_{ik} \leq 90^\circ \qquad \ldots(4.8)$$

$$0^\circ \leq \theta_{jk} < 90^\circ \qquad \ldots(4.9)$$

และ

$$X_{ij}, X_{ik}, X_{jk} \quad > \quad 0 \qquad \ldots(4.10)$$

เพื่อความเหมาะสมในทางปฏิบัติควรเลือกที่

$$\Theta_{ij}, \Theta_{ik} \quad = \quad 90^{\circ} \qquad \ldots(4.11)$$

$$\Theta_{ik} \quad = \quad 0^{\circ} \qquad \ldots(4.12)$$

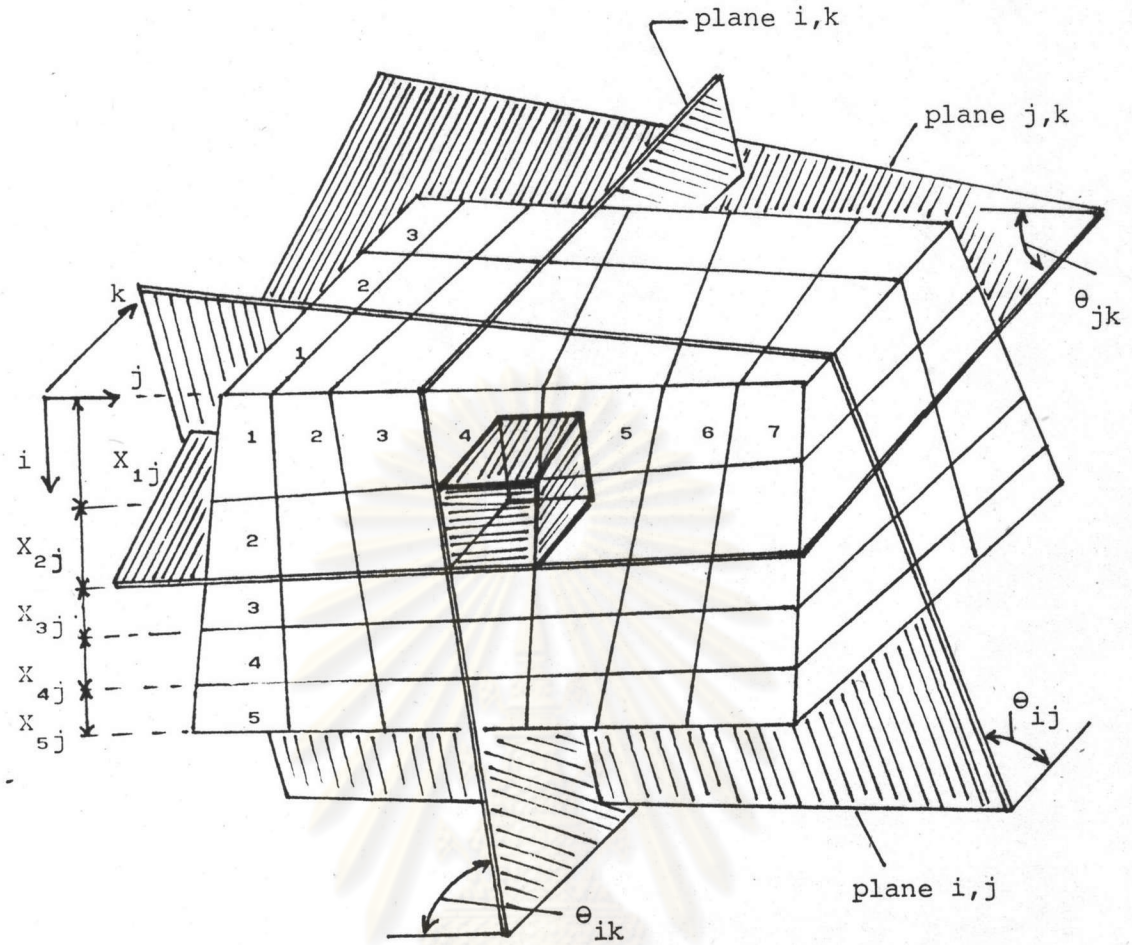
และ

$$X_{ij}, X_{ik}, X_{jk} \propto \text{dimemsions of excavated equipments}$$

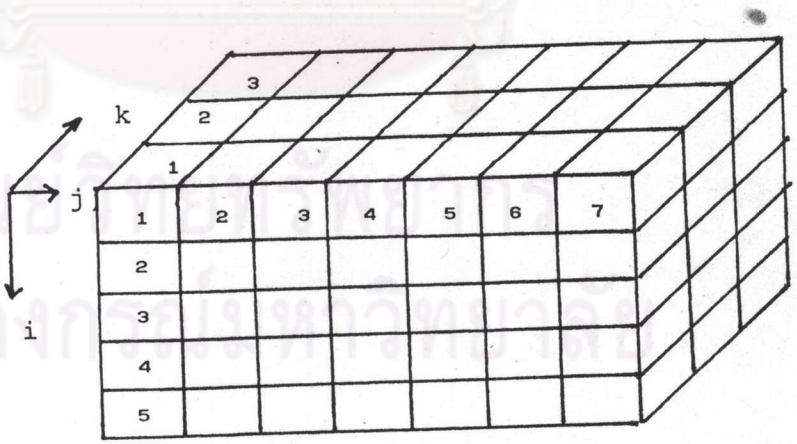
$$\propto \text{stability slope angle}$$

$$= \text{constants} \qquad \ldots(4.13)$$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



(ก) การใช้ระนาบแบ่งบล็อก



(ข) บล็อกแบบง่าย

ภาพที่ 4.23 ลักษณะบล็อกของแหล่งแร่จากการใช้ระนาบตัด

1.4 <u>ความลาดเอียงของชั้นเหมือง</u> (Bench Slope) รูปร่างของชั้นเหมืองจะมีรูปร่างตามบล๊อกที่แบ่งโดยระนาบที่ตัดซึ่งหน้าตัดของบล๊อกในภาพตัดขวางอาจเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า สี่เหลี่ยมคางหมู สี่เหลี่ยมด้านไม่เท่า และสี่เหลี่ยมด้านขนาน ดังแสดงในภาพที่ 4.24 กรณีที่ใช้ระนาบตัดเป็นพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมผืนผ้า จำเป็นต้องปรับความลาดเอียงของชั้นเหมืองมิให้เกินมุมเสถียรภาพของชั้นเหมือง ดังบล๊อกที่ 1 สำหรับกรณีที่ใช้ระนาบตัดเป็นพื้นที่หน้าตัดแบบอื่น ๆ โดยให้ระนาบตัดทำมุมไม่เกินมุมเสถียรภาพของชั้นเหมือง อาจมีบางครั้งที่รูปร่างบ่อเหมืองแทนที่จะมีความลาดขึ้นแต่กลับเป็นความลาดลง ซึ่งจะทำให้เกิดความลาดเอียงของชั้นเหมืองเป็นมุมกลับ ดังบล๊อกที่ 2 ซึ่งจำเป็นต้องปรับความลาดเอียงใหม่

การคำนวณหาปริมาตรส่วนที่ผิดพลาดไป จะคำนวณจากพื้นที่แล เงาคูณกับความลึกของบล๊อกส่วนที่ผิดพลาดนั้น ๆ

กำหนดให้

X_{ij} = ความสูงของบล๊อกที่มีการผิดพลาด ในตำแหน่งพิกัดที่ (i,j)

Θ_r = มุมของระนาบที่ตัดภาพตัดขวางในการแบ่งบล๊อก

Θ_{xy} = มุมความลาดเอียงของชั้นเหมืองของบล๊อกที่เลือก

d_{jk} = ความลึกของบล๊อกที่มีการผิดพลาด ในตำแหน่งพิกัดที่ (j,k)

V_{ijk} = ปริมาตรของบล๊อกส่วนที่มีการผิดพลาด ในตำแหน่งพิกัดที่ (i,j,k)

กรณีที่เป็นพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมผืนผ้า โดยที่ $\Theta_r = 90^\circ$

จะได้

$$V_{ijk} = \frac{1}{2} \cdot (X_{ij})^2 \cdot d_{jk} \cdot \tan(\Theta_r - \Theta_{xy}) \quad \ldots(4.14)$$

กรณีที่เป็นพื้นที่หน้าตัดแบบอื่น ๆ โดยที่ $\theta_r > 90^\circ$ หรือ $\theta_r = 180 - \theta_{xy}$

จะได้

$$V_{ijk} \quad (X_{ij})^2 . d_{jk} . \tan((\theta_r - \theta_{xy})/2) \qquad \ldots(4.15)$$

โดยที่

$$0^\circ < \theta_r \leqslant 180^\circ$$

และ

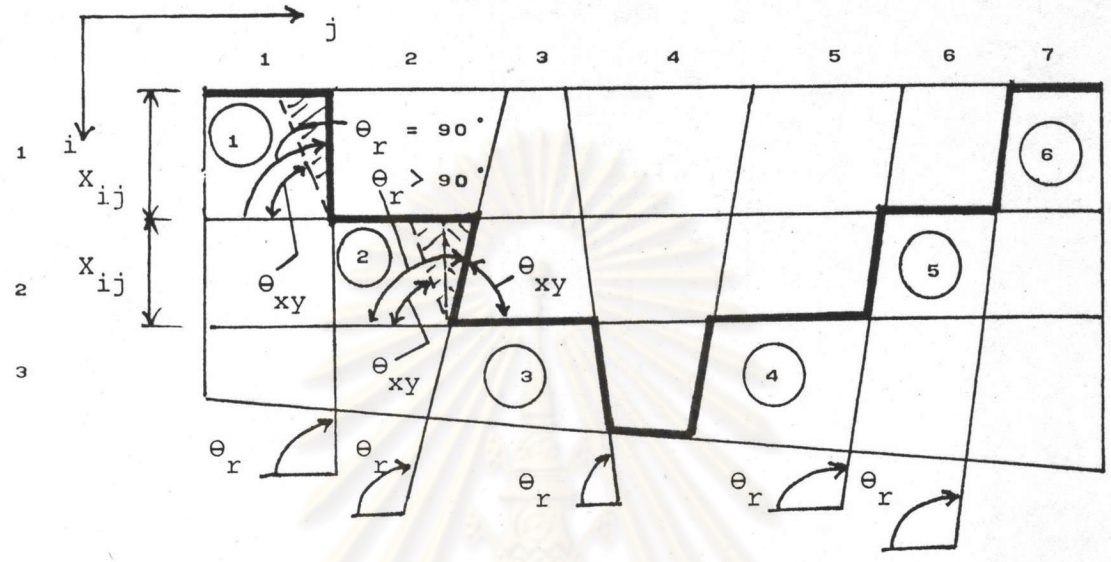
$$0^\circ < \theta_{xy} \leqslant 90^\circ$$

จากสมการที่ 4.14 และ 4.15 โดยที่ $\theta_r = \theta_{xy}$

จะได้

$$V_{ijk} = 0$$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



หมายเหตุ

1. บล๊อกที่ 1 พื้นที่หน้าตัด เป็นสี่ เหลี่ยมผืนผ้า

   บล๊อกที่ 2,6 พื้นที่หน้าตัด เป็นสี่ เหลี่ยมคางหมู

   บล๊อกที่ 3,4 พื้นที่หน้าตัด เป็นสี่ เหลี่ยมด้านไม่ เท่า

   บล๊อกที่ 5 พื้นที่หน้าตัด เป็นสี่ เหลี่ยมด้านขนาน

2. พื้นที่แล เงา เป็นส่วนที่ตัดออก เพื่อปรับความลาด เอียงของชั้น เหมือง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาพที่ 4.24 รูปร่างบล๊อกแบบต่าง ๆ ที่มีผลต่อมุมความลาด เอียงของชั้น เหมือง

1.5 <u>ความลาดเอียงของบ่อเหมือง</u> (Pit Slope) ความลาดเอียงของบ่อเหมืองจะได้จากการลากเส้นเฉลี่ยไปตามชั้นเหมืองต่าง ๆ การใช้ระนาบตัดแบ่งบล๊อกที่ต่างแบบกันจะให้ความลาดเอียงของบ่อเหมืองที่แตกต่างกันด้วย ในกรณีที่ต้องการให้ความลาดเอียงของบ่อเหมืองมีมุมความลาดลดลง สามารถทำได้โดยการลดความสูงและเพิ่มความกว้างของบล๊อก ซึ่งบล๊อกต่าง ๆ ที่แสดงขอบเขตบ่อเหมืองจะเป็นเครื่องกำหนดแนวมุมความลาดเอียงเฉลี่ยของบ่อเหมือง ดังแสดงในภาพที่ 4.25

กำหนดให้

r,θ = มุมความลาดเอียงของบ่อเหมือง

a,b = ความสูงของบล๊อก

c,d = ความกว้างของบล๊อก

จากภาพที่ 4.25(ก) จะได้

$$r < 90^{\circ} \quad \ldots(4.16)$$

จากภาพที่ 4.25(ข) จะได้

$$r > 0 \quad \ldots(4.17)$$

การพิสูจน์การลดมุมความลาดเอียงของบ่อเหมือง สามารถทำได้โดยการเพิ่มความกว้างหรือลดความสูงของบล๊อก

จากภาพที่ 4.25(ค) กำหนดให้

$$d > c \quad \ldots(4.18)$$

และ

$$b < a \quad \ldots(4.19)$$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จะได้

$$\theta_1 = \tan^{-1}(a/c) \quad \ldots(4.20)$$

$$\theta_2 = \tan^{-1}(a/d) \quad \ldots(4.21)$$

แต่จากสมการ 4.18 $d > c$

จะได้

$$\theta_2 < \theta_1 \quad \ldots(4.22)$$

แต่ $\theta_3 = \tan^{-1}(b/d) \quad \ldots(4.23)$

จากสมการ 4.19 $b < a$

จะได้

$$\theta_3 < \theta_2 \quad \ldots(4.24)$$

และ $\theta_4 = \tan^{-1}(2(a+b)/4d) \quad \ldots(4.25)$

จากสมการ 4.21 และ 4.23

$$\theta_2 = \tan^{-1}(4a/4d) \quad \ldots(4.26)$$

$$\theta_3 = \tan^{-1}(4b/4d) \quad \ldots(4.27)$$

จากสมการ 4.19 $b < a$

จะได้

$$4a > 2(a+b) \quad \ldots(4.28)$$

และ $4b < 2(a+b) \quad \ldots(4.29)$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากสมการ 4.25 ถึง 4.29

จะได้

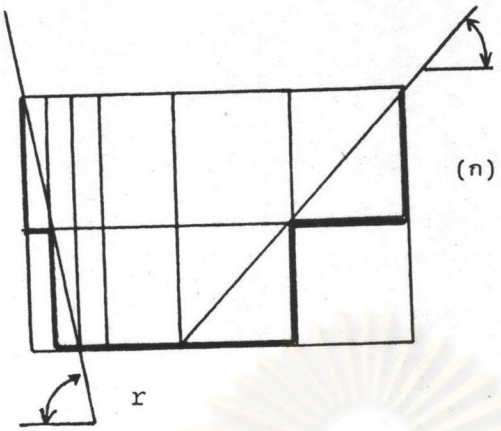
$$\theta_2 < \theta_4 < \theta_2 \qquad \ldots(4.30)$$

จากสมการ 4.22, 4.24 และ 4.30

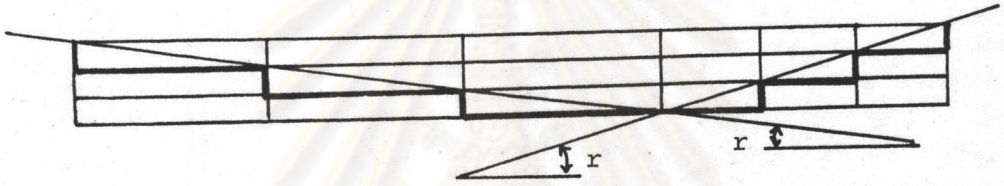
จะได้

$$\theta_3 < \theta_4 < \theta_2 < \theta_1 \qquad \ldots(4.31)$$

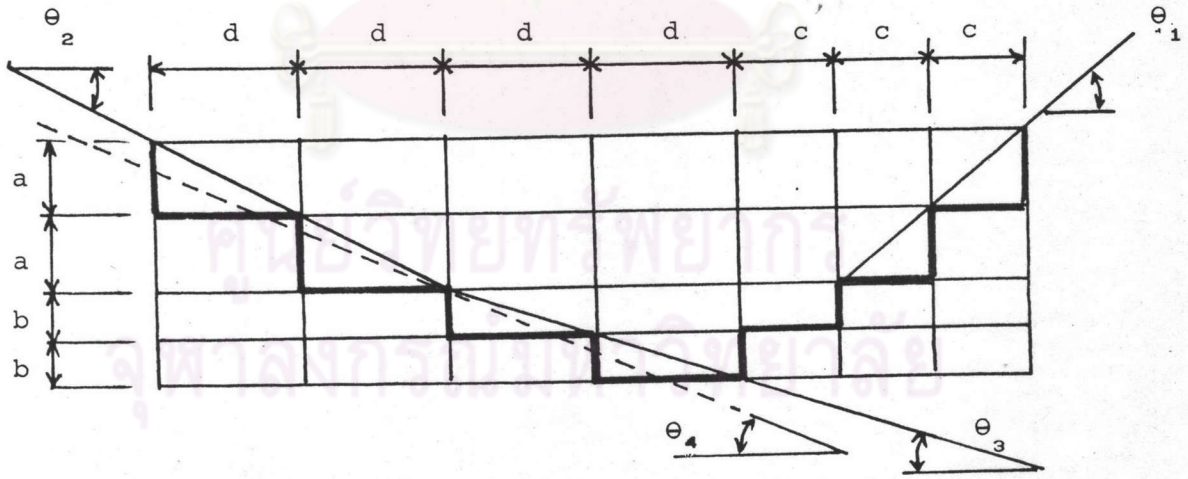
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



(ก) มุมความลาดเอียงของบ่อเหมืองต้องน้อยกว่า 90°



(ข) มุมความลาดเอียงของบ่อเหมืองต้องมากกว่า 0 องศา



(ค) การเพิ่มความกว้างและลดความสูงของบล๊อก ทำให้มุมความลาดเอียงของบ่อเหมืองลดลง

ภาพที่ 4.25 มุมความลาดเอียงของบ่อเหมืองซึ่งแปรเปลี่ยนไปตามรูปร่างของบล๊อก

2. <u>ขอบเขตด้านภูมิประเทศของแหล่งแร่</u> (Topography of Deposits)

การออกแบบขอบเขตบ่อเหมืองที่ได้จากผลการวิจัย จะทำการคำนวณและได้รูปร่างบ่อเหมืองตามภูมิประเทศที่เป็นพื้นราบ แต่อย่างไรก็ตาม เพื่อความสะดวกในการแปลสรุปผลรูปร่างขอบเขตบ่อเหมือง จึงจำเป็นต้องปรับพิกัดผลการออกแบบแหล่งแร่ที่มีภูมิประเทศเป็นพื้นที่เอียง พื้นที่บนยอดเขา และพื้นที่เป็นหน้าผาหรือหลุมลึก ให้เป็นไปตามสภาพจริง โดยการนำความลึกของภูมิประเทศในแต่ละพิกัดเปรียบเทียบกับความลึกที่ได้จากการออกแบบ แล้วเลือกค่าที่มีความลึกมากกว่า

การกำหนดขอบเขตความลึกของภูมิประเทศ ซึ่งต้องเป็นจำนวนเต็ม ดังนั้นถ้าลักษณะภูมิประเทศเป็นแบบอื่น ๆ ที่ไม่ใช่พื้นที่ราบ ต้องป้อนข้อมูลด้านภูมิประเทศเป็นจำนวนเต็ม ดังนั้นจึงมีปริมาตรส่วนขาดหรือส่วนเกินอยู่ด้วยเสมอ ด้วยเหตุนี้จึงจำเป็นต้องปัดปริมาตรส่วนเกินไปให้ส่วนที่ขาด โดยให้เกิดความผิดพลาดด้านปริมาตรบล็อกให้น้อยที่สุด แล้วใช้บล็อกแบบขนาดไม่คงที่เพื่อให้สามารถป้อนข้อมูลได้ อย่างไรก็ตามถ้าตัดบล็อกนั้นออกไป โดยไม่จำเป็นต้องไปเพิ่มปริมาตรส่วนเกินก็สามารถทำได้ ถ้าส่วนนั้น ๆ เป็นเปลือกดินโดยไม่มีชั้นแร่ และในความเห็นของผู้ทำการออกแบบว่าเป็นความผิดพลาดที่น้อยมาก เมื่อเทียบกับผลการออกแบบในกรณีหลังนี้จะลดความยุ่งยากได้มากในการป้อนข้อมูลด้านพัสดุแร่สำรอง ดังแสดงในภาพที่ 4.26

กำหนดให้

TD_j = ขอบเขตความลึกของภูมิประเทศในแหล่งแร่ในแถวตั้งที่ j

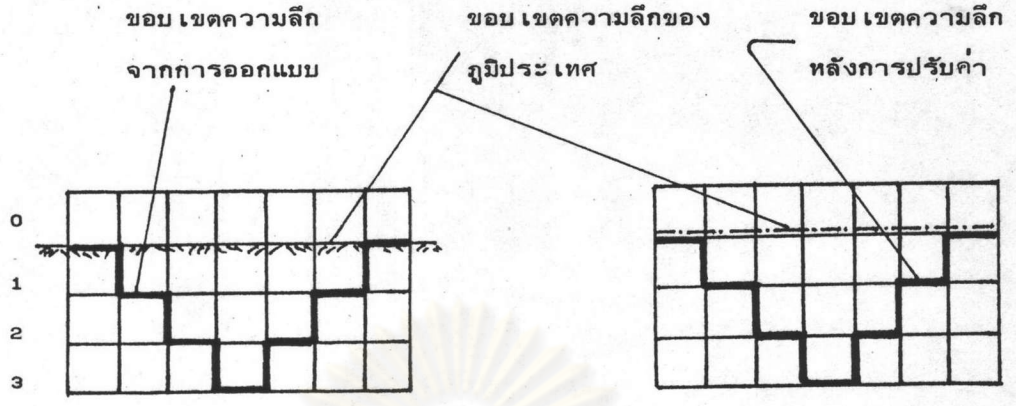
SK = จำนวนบล็อกทั้งหมดในแถวนอน

จะได้

TD_j = จำนวนเต็ม

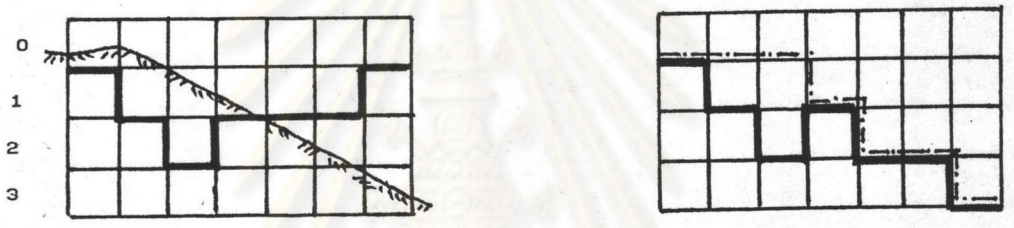
= $0, 1, 2, 3, \ldots, SK-1$ ...(4.32)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



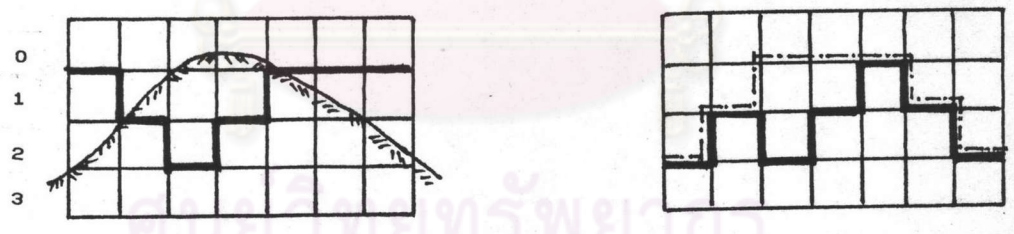
ก.1 พื้นที่ราบ

ข.1 การปรับความลึกตาม ภูมิประ เทศ



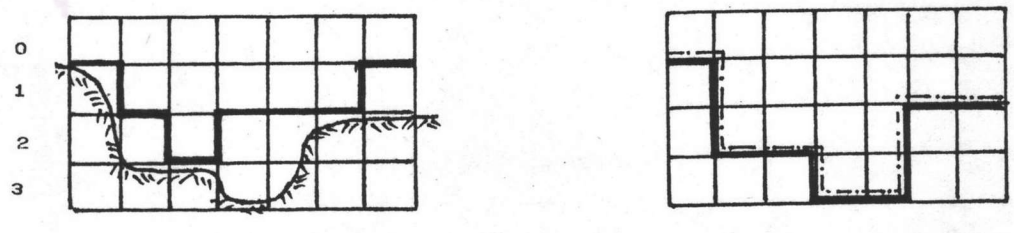
ก.2 พื้นที่ เอียง

ข.2 การปรับความลึกตาม ภูมิประ เทศ



ก.3 พื้นที่บนยอด เขา

ข.3 การปรับตวามลึกตาม ภูมิประ เทศ



ก.4 พื้นที่ เป็นหน้าผาหรือ หลุมลึก

ข.4 การปรับความลึกตาม ภูมิประ เทศ

ภาพที่ 4.26 การปรับความลึกตามภูมิประ เทศแบบต่าง ๆ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

๓. <u>ขอบเขตด้านรูปแบบการวางตัวของแร่</u> (Mineral Deposit Patterns)

การวางตัวของแร่ในแหล่งแร่ซึ่งอาจเป็นแบบชั้นแร่วางแนวเอียง ชั้นแร่วางแนวราบ ชั้นแร่วางแนวดิ่ง หรือมีการกระจายของแร่แบบสุ่ม ไม่ว่าจะเป็นแบบใด ๆ ก็ตาม สามารถใช้เป็นข้อมูลด้านพัสดุแร่สำรองได้ทั้งสิ้น เนื่องจากข้อมูลของแหล่งแร่ที่มีการกระจายของแร่แบบใด ๆ ก็ตาม ข้อมูลจะเป็นปริมาตรดิน ปริมาตรแร่ และเกรดแร่ของส่วนที่เป็นแร่ ซึ่งข้อมูลเหล่านี้จะเป็นตัวเลข โดยไม่จำเป็นต้องสร้างสมการทางคณิตศาสตร์ของชั้นแร่ ดังนั้นโอกาสที่ตัวเลขจะเป็นค่าใด ๆ นั้น ขึ้นอยู่กับลักษณะการวางตัวของแร่

กำหนดให้

BV_{ij} = ปริมาตรของบล๊อกในพิกัด (i,j)

WV_{ij} = ปริมาตรของดินหรือหินในบล๊อกที่พิกัด (i,j)

RV_{ij} = ปริมาตรของแร่ในบล๊อกที่พิกัด (i,j)

GR_{ij} = เกรดแร่ของส่วนที่เป็นแร่ในบล๊อกที่พิกัด (i,j)

TD_j = ขอบเขตความลึกของภูมิประเทศในแหล่งแร่ในแถวตั้งที่ j

สำหรับบล๊อกว่าง (Empty Block) ซึ่งเป็นบล๊อกในแถวนอนที่ o ที่สมมติขึ้นเพื่อช่วยในการคำนวณ หรือเป็นบล๊อกที่พิจารณาการขุดไปแล้วหรือเป็นบล๊อกที่อยู่สูงกว่าหรือเท่ากับความลึกของภูมิประเทศ

จะได้

$$WV_{ij} = RV_{ij} = GR_{ij} = o \quad \ldots(4.33)$$

เมื่อ $i = o$ และ $i \leq TD_j$

สำหรับบล้อกอื่น ๆ ที่ไม่ใช่บล้อกว่าง

จะได้

$$WV_{ij} \gg 0 \qquad \ldots(4.34)$$

$$RV_{ij} \gg 0 \qquad \ldots(4.35)$$

$$GR_{ij} \gg 0 \qquad \ldots(4.36)$$

เมื่อ $WV_{ij} + RV_{ij} = BV_{ij}$ ...(4.37)

ดังนั้น ขอบเขตด้านรูปแบบการกระจายของแร่ จึงสามารถเป็นไปได้ทุกรูปแบบ

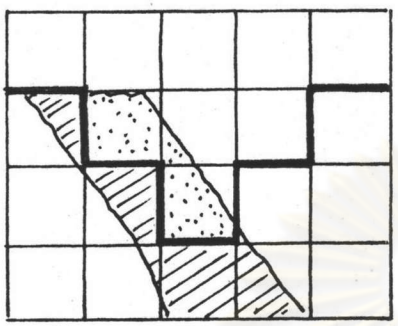
จะได้

$$N\ 0^{\circ}\ E \lesssim \text{Ore body dip} \lesssim N\ 90^{\circ}\ E \qquad \ldots(4.38)$$

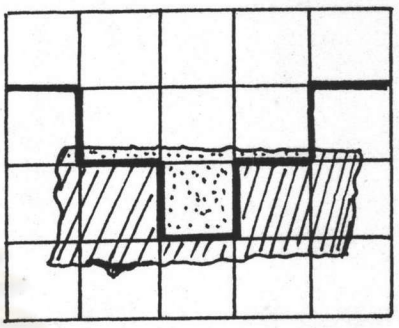
หรือ

$$N\ 0^{\circ}\ W \lesssim \text{Ore body dip} \lesssim N\ 90^{\circ}\ W \qquad \ldots(4.39)$$

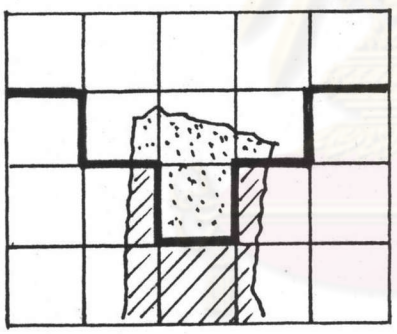
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



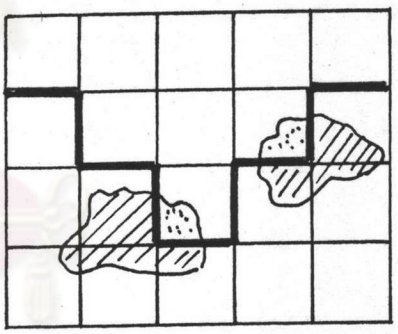
(ก) ชั้นแร่วางแนวเอียง



(ข) ชั้นแร่วางแนวราบ



(ค) ชั้นแร่วางแนวดิ่ง



(ง) แร่กระจายแบบสุ่ม

หมายเหตุ

แร่ส่วนที่ขุดออก

แร่ส่วนที่เหลืออยู่

ภาพที่ 4.27 รูปแบบการวางตัวของแร่

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4. <u>ขอบเขตด้านค่าใช้จ่ายในการขุดดินแร่และราคาแร่</u> (Costs and Price)

โดยทั่วไปแล้ว ถ้าค่าใช้จ่ายในการขุดดินแร่ลดลงหรือราคาแร่สูงเพิ่มขึ้นหรือทั้งสองอย่างพร้อมกัน จะทำให้สามารถทำเหมืองได้ลึกเพิ่มขึ้นหรือมีรูปร่างบ่อเหมืองที่ใหญ่ขึ้น เนื่องจากการโปรแกรมไดนามิคจะพิจารณาเลือกบล็อกที่ให้กำไรมากที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ ดังนั้นโอกาสที่จะเลือกบล็อกที่ได้ลึกเพิ่มขึ้นจึงมีโอกาสเป็นไปได้มาก

ค่าใช้จ่ายในกาขุดดินหรือแร่ จะแปรค่าตามความลึกเนื่องจากระยะทางในการขนส่งเพิ่มขึ้น สำหรับราคาแร่จะเปลี่ยนแปลงไปตามสภาพเศรษฐกิจ แต่ไม่แปรค่าไปตามความลึกของแร่ที่ขุด

กำหนดให้

WC_i	=	ค่าขุดดินต่อหน่วย	บาท/ลบ.ม.
RC_i	=	ค่าขุดแร่ต่อหน่วย	บาท/ลบ.ม.
WV_{ij}	=	ปริมาตรของดินในบล็อกที่พิกัด (i,j)	
RV_{ij}	=	ปริมาตรของแร่ในบล็อกที่พิกัด (i,j)	
GR_{ij}	=	เกรดแร่ของส่วนที่เป็นแร่ในบล็อกที่พิกัด (i,j)	
RT	=	แฟกเตอร์ตันแร่	ตันแร่/ลบ.ม.แร่
GS	=	เกรดแร่มาตรฐาน	
p	=	ราคาแร่ต่อหน่วย	บาท/ตันแร่ที่เกรดมาตรฐาน
m_{ij}	=	มูลค่ากำไรจากการขุดบล็อก (i,j)	

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ให้

$$A = p.RT.(RV_{ij}.GR_{ij}/GS)$$

$$B = RC_i.RV_{ij}$$

$$C = WC_i.WV_{ij}$$

จะได้

$$m_{ij} = A-B-C = A-(B+C) \quad ...(4.40)$$

หรือ

$$m_{ij} = p.RT.(RV_{ij}.GR_{ij}/GS) - RC_i.RV_{ij} - WC_i.WV_{ij} \quad ...(4.41)$$

จากสมการที่ 4.40 จะได้

$$m_{ij} \lesssim o \quad ...(4.42)$$

เมื่อ

$$B \gtrsim A \quad \text{หรือ} \quad C \gtrsim A \quad \text{หรือ} \quad B+C \gtrsim A$$

และ

$$m_{ij} > o \quad ...(4.43)$$

เมื่อ

$$B+C < A$$

จากสมการ 4.42 และ 4.43 จะได้

$$m_{ij} = \text{Real Number} \quad ...(4.44)$$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

โดยที่

$$p \geq 0$$

$$RC_i \geq 0$$

$$WC_i \geq 0$$

ดังนั้น ขอบเขตด้านค่าใช้จ่ายในการขุดดินแร่และราคาแร่ ซึ่งเป็นข้อมูลในการออกแบบ จะต้องมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับศูนย์เสมอ แต่ถ้าให้ค่าใช้จ่ายในการขุดดินหรือแร่มีค่าเป็นลบ จะทำให้ค่า m_{ij} มีค่ากำไรเพิ่มขึ้น ซึ่งขัดต่อความเป็นจริง ในทำนองตรงกันข้าม ถ้าให้ราคาแร่มีค่าเป็นลบ จะทำให้มีแต่ค่าใช้จ่าย นอกจากขัดต่อความเป็นจริงแล้ว ในการออกแบบจะไม่มีการเลือกขอบเขตบ่อเหมืองเลยอีกด้วย เนื่องจากมีแต่ค่าใช้จ่าย ไม่มีรายได้

5. <u>ขอบเขตด้านพัสดุแร่สำรอง</u> (Mineralization Inventory)

โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ได้จากการวิจัยนี้มีขอบเขตจำกัดที่ต้องเป็นแร่เฟียงชนิดเดียวเท่านั้น ซึ่งการทำเหมืองส่วนใหญ่จะทำการผลิตแร่เฟียงชนิดเดียวเท่านั้น แต่ในกรณีที่มีแร่พลอยได้อื่น ๆ อีก ก็สามารถดัดแปลงให้แร่พลอยได้อื่น ๆ เป็นแร่หลักเฟียงชนิดเดียว สำหรับการออกแบบได้ เนื่องจากการออกแบบขอบเขตบ่อเหมืองจำเป็นต้องมีตัวแปรหลายมิติ ดังนั้น จึงเปลืองหน่วยความจำของคอมพิวเตอร์มาก ถ้ามีการใช้ความจำสำหรับแร่ที่ผลิตมากกว่าหนึ่งชนิด อาจทำให้การคำนวณโดยไมโครคอมพิวเตอร์ไม่สามารถทำได้

6. <u>ขอบเขตด้านการผสมเกรดแร่ที่ผลิต</u> (Ore Blending)

การคำนวณออกแบบรูปร่างบ่อเหมือง จะพิจารณาเฉพาะเกรดแร่เฉลี่ยที่ผลิตในแต่ละลำดับการทำเหมือง โดยไม่คำนึงถึงรายละเอียดถึงขั้นการผสมเกรดแร่แต่ละบล็อกให้ได้ตามมาตรฐานเกรดแร่ป้อนเข้าสู่กรรมวิธีการแต่งแร่ เกรดแร่เฉลี่ยอาจจะสูงกว่าหรือเท่ากับหรือต่ำกว่ามาตรฐานเกรดแร่ป้อนได้ เนื่องจากการคำนวณเป็นเฟียงการแปลงค่าน้ำหนักแร่ที่เกรดแร่ต่าง ๆ เข้าสู่น้ำหนักแร่ที่มาตรฐานเกรดแร่ป้อนเท่านั้น