บทที่ 3

การพัฒนาปรับปรุงวิธีการออกแบบ

จากข้อบกพร่องในการออกแบบขอบเขตบ่อเหมืองโดยวิธีการโปรแกรมไดนามิคของ Lerchs และ Grossmann และของ Johnson และ Sharp ปัญหาที่สำคัญที่จำเป็นจะต้องแก้ไขปรับปรุงมีดังนี้คือ การรักษาเงื่อนไขเสถียรภาพความลาดแบบสามมิติและการจัดลำดับการทำเหมืองสำหรับการวางแผนการขุดแร่ อย่างไรก็ตามการรักษาเงื่อนไขเสถียรภาพความลาดแบบสามมิติ จำเป็นต้องกำหนดเงื่อนไขขึ้นมาเพื่อเป็นเกณฑ์ตัดสินรูปร่างบ่อเหมืองที่สามารถรักษาเงื่อนไขเสถียรภาพความลาดแบบสามมิติได้ ประเด็นที่สำคัญที่สุดในการสร้างความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์เพื่อให้ผลการออกแบบสามารถรักษาเงื่อนไขนี้คือ การกำหนดจำนวนบล็อกต่ำสุดที่ระดับก้นบ่อเหมืองและการกำหนดขอบเขตการเลือกบล็อก เพื่อใช้ขอบเขตการเลือกบล็อกเป็นขอบเขตการเลือกของตัวแปรตัดสินใจหรือตัวแปรบ่งสภาวะของระบบในการโปรแกรมไดนามิค นอกจากนี้ยังได้ใช้ประโยชน์จากเส้นทางการเลือกบล็อกหลังจากการโปรแกรมไดนามิค ซึ่งมีจำนวนหลายเส้นทาง มาใช้พิจารณาในการจัดลำดับการทำเหมืองอีกด้วย

<u>การแบ่งประเภทข้อมูลสำหรับการออกแบบ</u> (Data Classification)

ข้อมูลที่ใช้ในการออกแบบขอบเขตบ่อเหมือง อาจแบ่งออกเป็น 3 ประเภท ดังนี้คือ ข้อมูลที่ไม่เปลี่ยนแปลง ข้อมูลที่อาจเปลี่ยนแปลงตามเวลา และข้อมูลที่เป็นมาตรฐานในการวางแผนการผลิต

ข้อมูลที่ไม่เปลี่ยนแปลงเป็นข้อมูลที่การเปลี่ยนแปลงค่าในทางการออกแบบมีโอกาสน้อยมากหรือเปลี่ยนแปลงได้ยาก หรือไม่มีการเปลี่ยนแปลงเลย ส่วนใหญ่แล้วจะเป็นข้อมูลด้านพัสดุแร่สำรอง และคุณสมบัติของดินและแร่

ข้อมูลที่อาจเปลี่ยนแปลงตามเวลา เป็นข้อมูลที่อาจจำเป็นต้องเปลี่ยนแปลงให้เหมาะสมตามเวลาหรืออุปสรรคการทำเหมืองและต้องการเปลี่ยนแปลงค่าเพื่อวิเคราะห์ความไวของข้อมูลที่มีผลต่อการออกแบบ ข้อมูลเหล่านี้ส่วนใหญ่เป็นข้อมูลเกี่ยวกับการเลือกเงื่อนไขการขุด การเงิน แผนการผลิต และช่วงการเปิดเหมือง

ข้อมูลที่เป็นมาตรฐานในการวางแผนการผลิต เป็นข้อมูลด้านเกรดแร่มาตรฐานสำหรับการวางแผนการผลิตหรือการจัดลำดับการทำเหมือง แร่ที่ทำการผลิตอาจพิจารณาคุณภาพเป็นเปอร์เซ็นต์ มูลค่าความร้อน หรือน้ำหนักแร่ ซึ่งแร่ที่ขุดออกมาจากบล็อกต่าง ๆ อาจมีเกรดแร่ไม่เท่ากัน ดังนั้นจึงจำเป็นต้องแปลงค่าน้ำหนักแร่ที่เกรดต่าง ๆ เป็นค่าน้ำหนักแร่ที่เกรดมาตรฐานเพื่อใช้ในการจัดลำดับการทำเหมือง

การแบ่งประเภทข้อมูลสำหรับการออกแบบขอบเขตบ่อเหมืองจากการวิจัยครั้งนี้ดังแสดงในตารางที่ 3.1.

ตารางที่ 3.1 การแบ่งประเภทข้อมูลสำหรับการออกแบบ

ข้อมูลที่ไม่เปลี่ยนแปลง	ข้อมูลที่อาจเปลี่ยนแปลงตามเวลา	ข้อมูลที่เป็นมาตรฐานในการผลิต
- ขนาดของบล็อก - แฟกเตอร์ตันดิน - แฟกเตอร์ตันแร่ - ปริมาณดิน - ปริมาณแร่ - เกรดแร่	- เงื่อนไขการขุด - ความสามารถในการขุดดินและแร่ - ราคาแร่ต่อหน่วย - ค่าขุดแร่ต่อหน่วย - แผนการผลิต - ช่วงการเปิดเหมือง	- เกรดแร่มาตรฐาน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

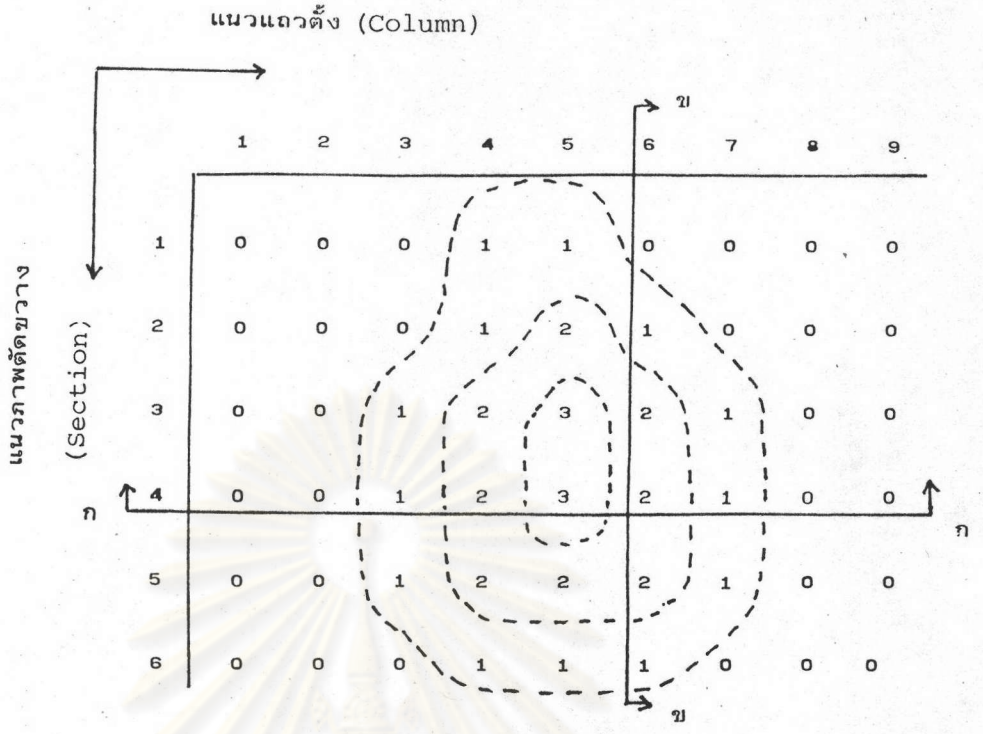
การกำหนดเงื่อนไขเสถียรภาพความลาดของบ่อเหมืองแบบสามมิติ

(Definition of Slope Stability Conditions)

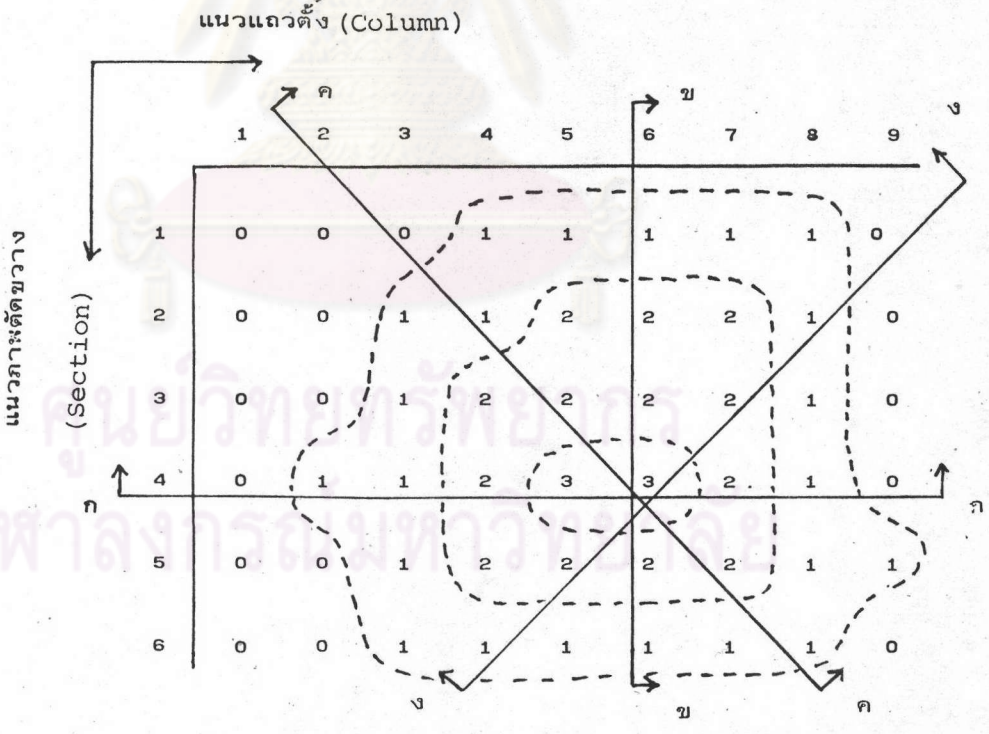
การพิจารณารูปร่างบ่อเหมืองจากผลการออกแบบที่สามารถรักษาเงื่อนไขเสถียรภาพความลาดแบบสามมิติ จำเป็นต้องมีหลักเกณฑ์ในการพิจารณา

รูปร่างบ่อเหมืองที่สามารถรักษาเงื่อนไขเสถียรภาพความลาดแบบสามมิติในเงื่อนไขการขุดแบบที่ 1 สามารถตรวจสอบโดยการลากเส้นตัดขวาง ก-ก และ ข-ข ที่ตัดกันที่ตำแหน่งแถวตั้งใด ๆ ตัวเลขที่แสดงความลึกที่ขุดในแนวเส้นตัดขวางจะต้องเป็นไปตามลำดับ ดังแสดงตัวอย่างในภาพที่ 3.1 กรณีที่เป็นเงื่อนไขการขุดแบบที่ 2 จะใช้เส้นตัดขวาง 4 เส้น ตัดกันที่ตำแหน่งแถวตั้งใด ๆ ตัวเลขที่แสดงความลึกที่ขุดในแนวเส้นตัดขวางจะต้องเป็นไปตามลำดับเช่นเดียวกัน ดังแสดงตัวอย่างในภาพที่ 3.2 ในการวิจัยครั้งนี้ กำหนดเงื่อนไขเสถียรภาพความลาดของบ่อเหมืองแบบสามมิติ มีดังนี้คือ แบบที่ 1 เป็นแบบกากบาท (Cross Strip) และแบบที่ 2 เป็นแบบดาว (Star Strip)

012480



ภาพที่ 3.1 ตัวอย่างแสดง เงื่อนไขมุม เสถียรภาพแบบกากบาท



ภาพที่ 3.2 ตัวอย่างแสดง เงื่อนไขมุม เสถียรภาพแบบดาว

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

<u>การกำหนดขอบเขตความลึกของบ่อเหมือง</u> (Depth Limits of Pit)

การกำหนดขอบเขตความลึกของภาพตัดขวางและภาพตัดด้านยาวในแต่ละแถวตั้ง (ดังแสดงในโปรแกรมย่อย Depth Limit ในภาคผนวก ก) เนื่องจากขอบเขตบ่อเหมืองไม่สามารถลึกเกินกว่าขอบเขตความลึกนี้ภายใต้เงื่อนไขความกว้างหรือจำนวนแถวตั้งของบ่อเหมืองเป็นขอบเขตจำกัด

ขั้นตอนในการสร้างความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ สำหรับการกำหนดขอบเขตความลึกของบ่อเหมือง มีดังนี้

1. จากการออกแบบบ่อเหมืองโดยทั่วไป จะกำหนดเส้น 3 เส้น ในภาพตัดขวางของแหล่งแร่ ดังนี้ เส้นผนังบ่อเหมืองสองเส้น และเส้นระดับก้นบ่อเหมืองหนึ่งเส้น

2. สมมติฐานในการกำหนดขอบเขตความลึกของบ่อเหมือง มีดังนี้ ขอบเขตความลึกของบ่อเหมืองในภาพตัดขวางหรือภาพตัดด้านยาวสามารถกำหนดขึ้นโดยการกำหนดความลึกสูงสุดของแต่ละแถวตั้งของภาพตัดขวางหรือภาพตัดด้านยาว ซึ่งสามารถแทนเส้นผนังบ่อเหมืองสองเส้นและเส้นระดับก้นบ่อเหมืองหนึ่งเส้น

3. กำหนดให้

NN = จำนวนแถวตั้งทั้งหมดของภาพตัดขวางหรือภาพตัดด้านยาว

RR = จำนวนแถวนอนทั้งหมดของภาพตัดขวางหรือภาพตัดด้านยาว

QQ = จำนวนแถวนอนทั้งหมดที่สามารถขุดได้

DC_j = ขอบเขตความลึกของภาพตัดขวางหรือภาพตัดด้านยาวในแถวตั้งที่ j เมื่อ j = 0,1,2,...,NN-1

4. สร้างตารางแทนบล็อกต่าง ๆ ในภาพตัดขวางหรือภาพตัดด้านยาว โดยมีจำนวนแถวตั้งมีจำนวน NN บล็อก และมีจำนวนแถวนอนจำนวน RR บล็อก ดังแสดงในภาพที่ 3.3

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5. ลากเส้นขอบเขตบ่อเหมืองแทนเส้นผนังบ่อเหมืองเป็นลำดับขั้นบันได ดังนี้คือ แนว A-A และแนว B-B และเส้นระดับก้นบ่อเหมือง C-C

6. กำหนดตัวเลขในวงกลม ซึ่งแสดงขอบเขตความลึกที่มีลักษณะการลงและขึ้นแบบขั้นบันได แนว A-A มีความลึกเพิ่มขึ้นตามลำดับ แนว C-C มีความลึกคงที่ และแนว B-B มีความลึกลดลงตามลำดับ

7. กำหนดให้ช่วงการพิจารณาในแถวตั้งแบ่งออกเป็น 3 ช่วง ดังนี้คือ ช่วงที่ 1 และ 2 มีจำนวนบล๊อกเท่ากับ QQ-1 สำหรับช่วงที่ 3 เป็นส่วนที่เหลือหรือมีจำนวนบล๊อกเท่ากับ NN-2 (QQ-1) หรือช่วงที่ 1 เมื่อ $j < QQ-1$ ช่วงที่ 2 เมื่อ $j > NN-QQ$ และช่วงที่ 3 เมื่อ $QQ-1 \leq J \leq NN-QQ$

8. การพิจารณาการขุดให้มีความลึกเกินแถวนอนสุดท้ายของภาพตัดขวางหรือภาพตัดด้านยาวมิได้ ดังนั้น $RR \geq QQ$ เสมอ

9. การกำหนดหาค่าของ QQ ซึ่งเป็นค่าความลึกของแถวตั้งที่อยู่ในช่วงที่ 3 หรือกึ่งกลางของภาพตัดขวางหรือภาพตัดด้านยาว ดังนั้นการหาตำแหน่งกึ่งกลางนี้ จำเป็นต้องเป็นจำนวนเต็ม จะได้แถวตั้งที่ Integer((NN+1)/2) โดยที่อาจจะมากกว่าหรือเท่ากับหรือน้อยกว่า RR ได้ แต่ความลึกของภาพตัดขวางเมื่อภาพตัดด้านยาวมีจำกัด ดังนั้นจึงจำเป็นต้องเปรียบเทียบค่ากึ่งกลางนี้กับ RR และเลือกค่าที่น้อยกว่า

10. จะได้

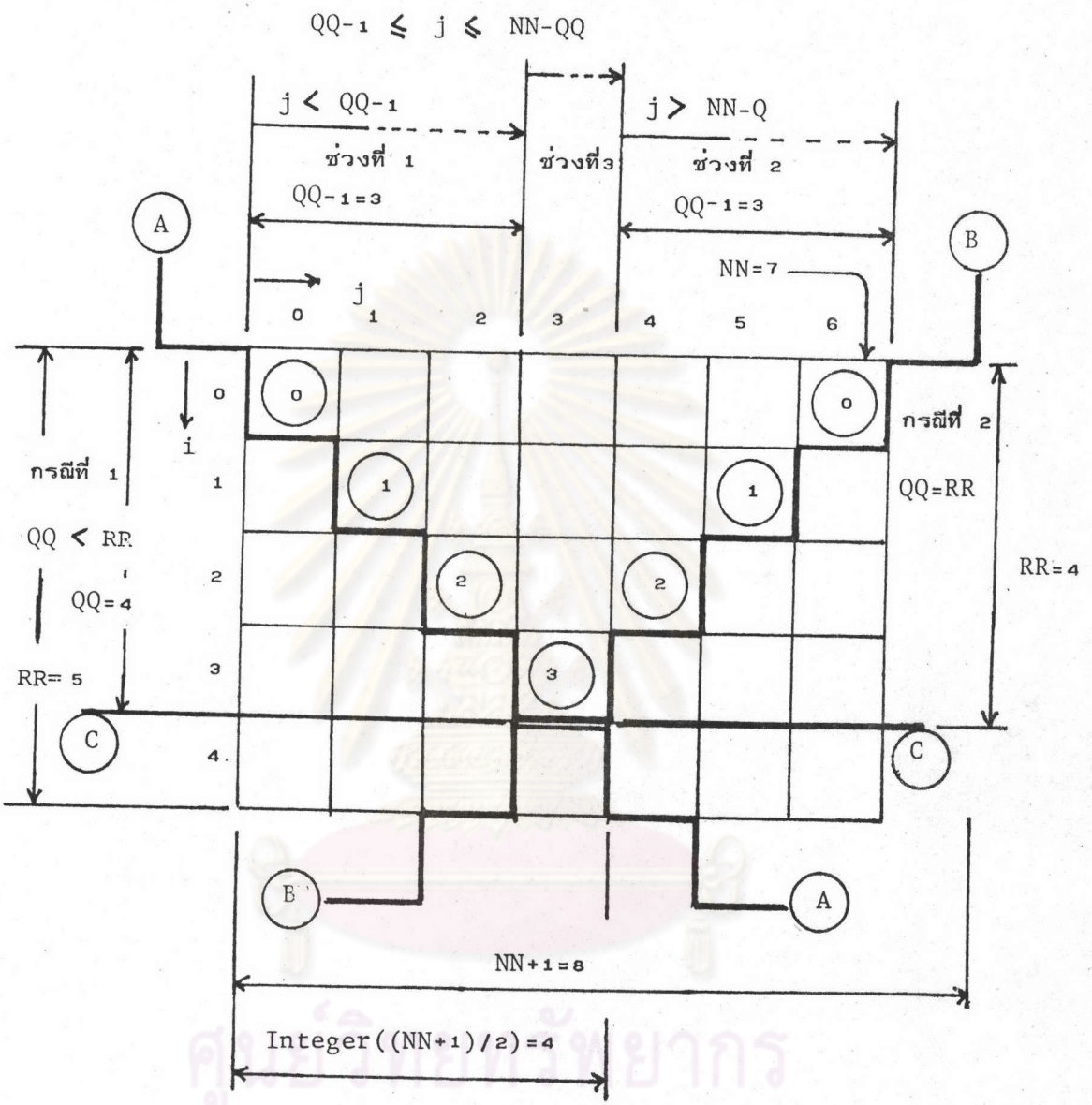
$$DC_j = J \quad \text{เมื่อ} \quad J < QQ-1 \quad \ldots (3.1)$$

$$DC_j = NN-j-1 \quad \text{เมื่อ} \quad J > NN-QQ \quad \ldots (3.2)$$

$$DC_j = QQ-1 \quad \text{เมื่อ} \quad QQ-1 \leq J \leq NN-QQ \quad (3.3)$$

โดยที่ $QQ = Min\ [Integer((NN+1)/2, RR]$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



กรณีที่ 1 QQ = Min(4,5)=4

กรณีที่ 2 QQ = Min(4,4)=4

ภาพที่ 3.3 แสดงการกำหนดขอบเขตความลึกของบ่อเหมือง

การกำหนดจำนวนบล๊อกต่ำสุดที่ระดับก้นบ่อเหมือง (Minimum Vertex Blocks)

จำนวนบล๊อกที่ระดับก้นบ่อเหมืองที่จำเป็นต้องขุดอย่างน้อยที่สุด (ดังแสดงในบางส่วนของโปรแกรมหลัก Pit Limit Design ในภาคผนวก ก) เพื่อให้ผลการออกแบบขอบเขตบ่อเหมืองสามารถรักษาเงื่อนไขเสถียรภาพความลาดแบบสามมิติได้ ในขณะพิจารณาหาเส้นขอบเขตบ่อเหมืองของแต่ละระดับก้นบ่อเหมือง ซึ่งจำนวนบล๊อกต่ำสุดที่ระดับก้นบ่อเหมืองนี้จะใช้ในการกำหนดขอบเขตการเลือกบล๊อกเฉพาะการคำนวณในภาพตัดขวาง

ขั้นตอนในการสร้างความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ สำหรับการกำหนดจำนวนบล๊อกต่ำสุดที่ระดับก้นบ่อเหมือง มีดังนี้

1. จากลักษณะการรักษาเงื่อนไขเสถียรภาพความลาดแบบสามมิติของแบบกากบาท บล๊อกในแถวตั้งของภาพตัดขวางที่กำลังพิจารณาในแถวตั้งที่ j จะมีบล๊อกที่สัมพันธ์ในแถวตั้งของภาพตัดขวางที่แล้วติดต่อกันที่แถวตั้ง j เช่นเดียวกัน ดังนั้นจำนวนบล๊อกที่ระดับก้นบ่อเหมืองของแบบกากบาท จะต้องมีจำนวนอย่างน้อยที่สุดหนึ่งบล๊อกเสมอ สำหรับแบบดาวบล๊อกในภาพตัดขวางที่กำลังพิจารณาในแถวตั้งที่ j จะมีบล๊อกที่สัมพันธ์ในแถวตั้งของภาพตัดขวางที่แล้วติดต่อกันที่แถวตั้ง j-1, j และ j+1 ดังนั้นจำนวนบล๊อกที่ระดับก้นบ่อเหมืองของแบบดาวจะกำหนดให้จำนวนหนึ่งบล๊อกที่ระดับก้นบ่อเหมืองสูงสุด และจะเพิ่มขึ้นเมื่อระดับความลึกลดลง ดังนี้ 1,3,5,7,...

2. สมมติฐานในการกำหนดจำนวนบล๊อกต่ำสุดในระดับก้นบ่อเหมือง มีดังนี้ การพิจารณาการขุดที่ระดับก้นบ่อเหมืองใด ๆ เพื่อให้ผลการออกแบบขอบเขตบ่อเหมืองมีรูปร่างบ่อเหมืองสามารถรักษาเงื่อนไขเสถียรภาพความลาดแบบสามมิติได้นั้น จำเป็นต้องมีการกำหนดจำนวนบล๊อกต่ำสุดในระดับก้นบ่อเหมือง

3. กำหนดให้

HB_f = จำนวนบล๊อกต่ำสุดในระดับก้นบ่อเหมืองที่ f เมื่อ f=0,1,2,3,...,SK-1

SK = จำนวนบล๊อกในแถวตั้งสูงสุดของภาพตัดขวางและภาพตัดด้านยาวที่ทำการออกแบบ

4. สำหรับแบบกากบาท จำนวนบล๊อกต่ำสุดที่ระดับก้นบ่อเหมืองใด ๆ มีค่าเท่ากับหนึ่งเสมอ ดังนั้นจะได้

แบบกากบาท $HB_f = 1$ ... (3.4)

5. สำหรับแบบดาว มีจำนวนบล๊อกต่ำสุดที่ระดับก้นบ่อเหมืองแปรค่าในทางตรงกันข้ามกับความลึกของระดับก้นบ่อเหมือง โดยที่ระดับก้นบ่อเหมืองจะมีจำนวนบล๊อกต่ำสุดที่ระดับก้นบ่อเหมืองจำนวนหนึ่งบล๊อกและเพิ่มขึ้นครั้งละสองบล๊อกในด้านซ้ายและขวา เมื่อความลึกลดลงหนึ่งบล๊อก

6. จากตารางที่ 3.2 แสดงการกระจายของจำนวนบล๊อกต่ำสุดที่ระดับก้นบ่อเหมืองที่ f ซึ่งมีตัวแปรกลับความลึก w ซึ่งมีค่าเท่ากับ SK-f เมื่อ f=0,1,2,...,SK-1 และจำนวนบล๊อกทั้งหมดในแถวนอนเท่ากับ SK ซึ่งจากการกระจายของจำนวนบล๊อกต่ำสุดนี้ จะพบว่ามีค่าเท่ากับ 1 บวกด้วย 2 ซึ่งมีจำนวน w-1 ครั้ง ดังนั้นจะได้

แบบดาว $HB_f = 1 + 2(w-1)$

$= 1 + 2((SK-f)-1)$

จะได้ $HB_f = 1 + 2(SK-f-1)$ ... (3.5)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3.2 แสดงการกระจายของจำนวนบล็อกต่ำสุดที่ระดับก้นบ่อเหมืองต่าง ๆ ตามเงื่อนไขแบบดาว

f	w = SK-f	การกระจายของจำนวนบล็อกต่ำสุดที่ระดับก้นบ่อเหมือง
0	-	-
1	6 - 1 = 5	1 + 2 + 2 + 2 + 2 + 2 (w - 1 ครั้ง)
2	6 - 2 = 4	1 + 2 + 2 + 2
3	6 - 3 = 3	1 + 2 + 2
4	6 - 4 = 2	1 + 2
5	6 - 5 = 1	1
SK = 6		

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

<u>การกำหนดขอบเขตการเลือกบล๊อก</u> (Feasible Regions of Selected Blocks)

การกำหนดขอบเขตการเลือกบล๊อกของภาพตัดขวาง (ดังแสดงในโปรแกรมย่อย Feasible Regions ในภาคผนวก ก) เพื่อให้ผลการออกแบบในภาพตัดขวางที่กำลังพิจารณามีความต่อเนื่องกันในด้านเงื่อนไขมุมเสถียรภาพแบบสามมิติกับภาพตัดขวางที่พิจารณามาแล้ว การกำหนดขอบเขตการเลือกบล๊อกมี 5 ขั้นตอน ดังนี้ การกำหนดเงื่อนไขเริ่มต้น การกำหนดขอบเขตการเลือกบล๊อกขั้นต้น การกำหนดตำแหน่งบล๊อกที่จะขุดในระดับก้นบ่อเหมือง การปรับระดับบล๊อกบนกับการขุดในภาพตัดขวางเดียวกัน และการปรับระดับบล๊อกให้เหมาะสมกับการโปรแกรมไดนามิค

1. <u>การกำหนดเงื่อนไขเริ่มต้น</u> (Starting Conditions)

การกำหนดเงื่อนไขเริ่มต้นนี้ เพื่อให้การคำนวณในภาพตัดขวางที่ 1 สามารถคำนวณได้ เนื่องจากภาพตัดขวางที่ 1 ไม่มีภาพตัดขวางก่อนหน้า ดังนั้นจึงจำเป็นต้องกำหนดเส้นขอบเขตของภาพตัดขวางที่ 0 นอกจากนี้ในการคำนวณที่ภาพตัดขวางใด ๆ สามารถกำหนดให้แถวตั้งที่ 0 และแถวตั้งสุดท้าย มีขอบเขตการเลือกบล๊อกเท่ากับ 0 ได้ โดยไม่จำเป็นต้องมีการคำนวณใด ๆ

ขั้นตอนในการสร้างความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ สำหรับการกำหนดเงื่อนไขเริ่มต้นของการกำหนดขอบเขตการเลือกบล๊อก มีดังนี้

1. จากการพิจารณาตามเงื่อนไขมุมเสถียรภาพแบบสามมิติ การคำนวณในภาพตัดขวางใด ๆ เส้นขอบเขตบ่อเหมืองที่ระดับก้นบ่อเหมืองที่กำลังพิจารณา ต้องมีความสัมพันธ์กับเส้นขอบเขตบ่อเหมืองของภาพตัดขวางที่แล้วติดต่อกันที่ระดับก้นบ่อเหมืองที่สูงกว่าหรือเท่ากันหรือต่ำกว่า ซึ่งอยู่ภายในขอบเขตบ่อเหมือง

2. สมมติฐานข้อที่ 1 การคำนวณในภาพตัดขวางที่ 1 ต้องมีความสัมพันธ์ด้านเงื่อนไขเสถียรภาพความลาดแบบสามมิติกับภาพตัดขวางที่ 0 ที่สมมติขึ้นมาเพื่อใช้ในการพิจารณา

3. จากเส้นขอบเขตบ่อเหมืองของแต่ละภาพตัดขวางที่ระดับก้นบ่อเหมืองใด ๆ เส้นขอบเขตบ่อเหมืองใด ๆ ที่เลือกจะต้องผ่านบล๊อกในแถวตั้งที่ 0 และแถวตั้งสุดท้ายในแถวนอนที่ 0 เสมอ

4. สมมติฐานข้อที่ 2 ขอบเขตการเลือกบล๊อกของระดับบล๊อกบนและล่าง จะมีค่าเป็นศูนย์เสมอ เมื่ออยู่ในแถวตั้งที่ 0 และแถวตั้งสุดท้ายในแถวนอนที่ 0

5. กำหนดให้

$CL_{(0,j,0)}$ = เส้นขอบเขตบ่อเหมืองที่ระดับก้นบ่อเหมืองที่ 0 ในแถวตั้งที่ j และภาพตัดขวางที่ 0 เมื่อ j=0,1,2,3,...,NC-1

NC = จำนวนแถวตั้งทั้งหมดของภาพตัดขวาง

UB_j = ระดับบล๊อกบนของขอบเขตการเลือกบล๊อกที่แถวตั้ง j

LB_j = ระดับบล๊อกล่างของขอบเขตการเลือกบล๊อกที่แถวตั้ง j

6. จากขั้นตอนที่ 1 และ 2 จะพบว่าการคำนวณในภาพตัดขวางที่ 1 ซึ่งมีการคำนวณเฉพาะระดับก้นบ่อเหมืองที่ 1 ซึ่งจะสามารถสัมพันธ์กับระดับก้นบ่อเหมืองที่ 0 ของภาพตัดขวางที่ 0 เท่านั้น แต่ในความเป็นจริงแล้ว ภาพตัดขวางที่ 0 เป็นภาพตัดขวางที่สมมติขึ้นเพื่อใช้ในการคำนวณ ดังนั้นเส้นขอบเขตบ่อเหมืองของภาพตัดขวางที่ 0 ในระดับก้นบ่อเหมืองที่ 0 จะต้องไม่มีการขุด หรือมีความลึกของทุก ๆ แถวตั้งมีค่าเป็นศูนย์

จะได้

$$CL_{(0,j,0)} = 0 \quad \ldots (3.6)$$

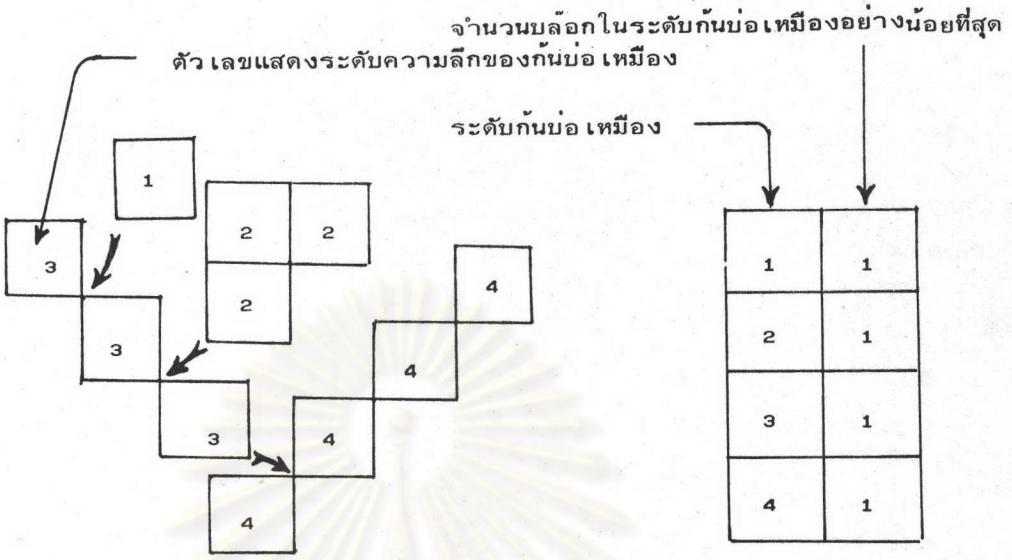
7. จากขั้นตอนที่ 3 และ 4 จะพบว่า ระดับบล๊อกบนและล่างของขอบเขตการเลือกบล๊อกในแถวตั้งที่ 0 และ NC-1 ในแถวนอนที่ 0 จะมีค่าเป็นศูนย์

จะได้

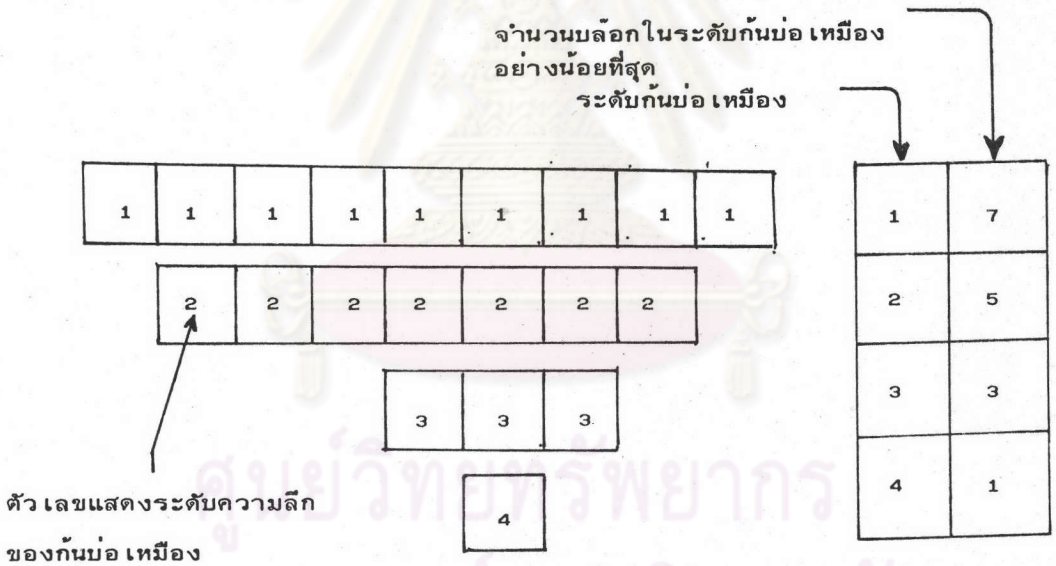
$$UB_j = 0 \quad \ldots (3.7)$$

$$LB_j = 0 \quad \ldots (3.8)$$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



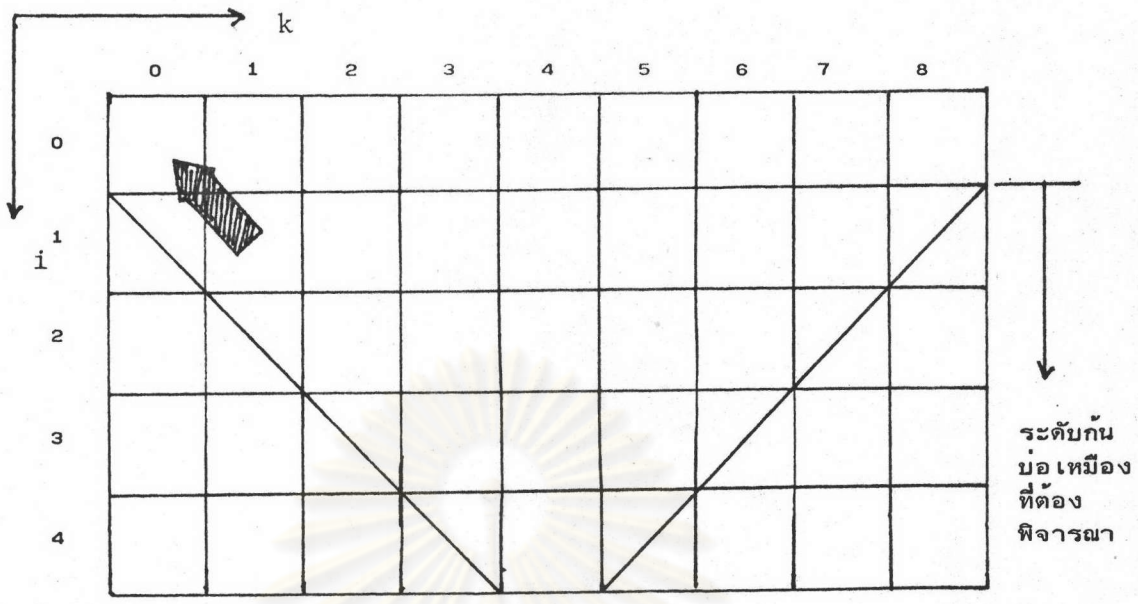
(ก) เงื่อนไขการขุดแบบกากบาท



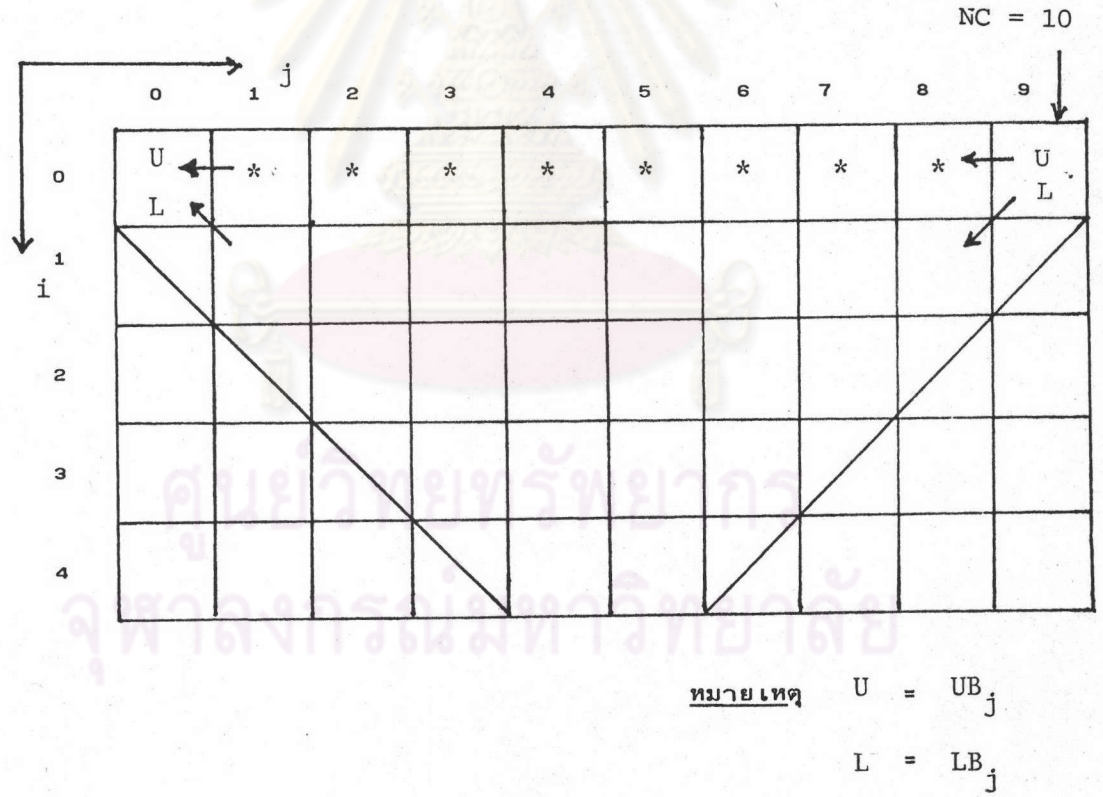
(ข) เงื่อนไขการขุดแบบดาว

ภาพที่ 3.4 ตัวอย่างแสดงการกำหนดจำนวนบล๊อกระดับก้นบ่อ เหมืองของภาพตัดขวาง ตาม เงื่อนไขการขุดแบบกากบาทและแบบดาว

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



(ก) เงื่อนไขเริ่มต้นสำหรับการคำนวณในภาพตัดขวางที่ 1



หมายเหตุ $U = UB_j$

$L = LB_j$

(ข) เงื่อนไขเริ่มต้นสำหรับการกำหนดขอบเขตการเลือกบล๊อก

ภาพที่ 3.5 การกำหนดเงื่อนไขเริ่มต้น

2. <u>การกำหนดขอบเขตการเลือกบล๊อกขั้นต้น</u> (First Bounds)

การกำหนดขอบเขตการเลือกบล๊อกขั้นต้น เป็นการเลือกขอบเขตของระดับบล๊อกบนและล่าง โดยให้สอดคล้องกับรูปร่างขอบเขตบ่อเหมืองของภาพตัดขวางที่แล้วติดต่อกัน ซึ่งจะไม่พิจารณาเงื่อนไขอื่น ๆ เข้ามาเกี่ยวข้อง

ขั้นตอนในการสร้างความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์สำหรับการกำหนดขอบเขตการเลือกบล๊อกขั้นต้น มีดังนี้

1. จากเงื่อนไขการขุดทั้งแบบกากบาทและแบบดาวที่กำหนดขึ้นตามภาพที่ 3.1 และ 3.2 ขอบเขตบ่อเหมืองที่แถวตั้งใด ๆ ในภาพตัดขวางที่กำลังพิจารณา จะต้องสามารถไล่ขอบเขตความลึกของรูปร่างบ่อเหมืองในลักษณะเป็นขั้นบันไดตามลำดับ เมื่อพิจารณาในแนวเส้นตัดขวาง

2. สมมติฐานในการกำหนดขอบเขตการเลือกบล๊อกขั้นต้น มีดังนี้ ขอบเขตการเลือกบล๊อกของภาพตัดขวางที่กำลังพิจารณา บล๊อกต่าง ๆ ที่อยู่ภายในระดับบล๊อกบนและระดับบล๊อกล่างในแถวตั้งหนึ่ง ๆ จะต้องสามารถลากลูกศรซึ่งแสดงโอกาสการเลือกบล๊อกไปยังขอบเขตบ่อเหมืองของภาพตัดขวางที่แล้วติดต่อกัน ที่ระดับก้นบ่อเหมืองที่กำลังพิจารณาหรือสูงกว่าหรือต่ำกว่าได้

3. กำหนดให้

w = ตัวแปรความลึกที่ต้องการหาขอบเขตการเลือกบล๊อก
เมื่อ $w=0,1,2,3,\ldots,f$

d,f = ตัวแปรระดับก้นบ่อเหมือง
เมื่อ $f=0,1,2,3,\ldots,DK_k$

q,j = ตัวแปรแถวตั้งของภาพตัดขวาง
เมื่อ $j=0,1,2,3,\ldots,NC-1$

NC = จำนวนแถวตั้งทั้งหมดของภาพตัดขวาง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

k = ตัวแปรภาพตัดขวางที่กำลังพิจารณา

เมื่อ $k=0,1,2,3,\ldots,NS-1$

NS = จำนวนแถวตั้งทั้งหมดของภาพตัดด้านยาว

DK_k = ขอบเขตความลึกของภาพตัดด้านยาวที่ภาพตัดขวางที่ $k-1$

DC_j = ขอบเขตความลึกของภาพตัดขวางที่ k

$CL_{(d,q,k-1)}$ = เส้นขอบเขตบ่อเหมืองที่ระดับก้นบ่อเหมืองที่ d ในแถวตั้งที่ q และภาพตัดขวางที่ $k-1$

=

First w = ตัวแปรความลึกที่สอดคล้องกับเงื่อนไขที่พบเป็นครั้งแรก

Last w = ตัวแปรความลึกที่สอดคล้องกับเงื่อนไขที่พบครั้งสุดท้าย

UB_j = ระดับบล็อกบนของขอบเขตการเลือกบล็อกที่แถวตั้ง j

LB_j = ระดับบล็อกล่างของขอบเขตการเลือกบล็อกที่แถวตั้ง j

4. เมื่อพิจารณาที่ระดับก้นบ่อเหมือง f ของภาพตัดขวางที่กำลังพิจารณา k จะต้องมีความสัมพันธ์กับขอบเขตบ่อเหมืองของภาพตัดขวางที่แล้วติดต่อกันที่ $k-1$ ที่ระดับก้นบ่อเหมือง $d=f-1,f,f+1$ เมื่อ $1 \leq d \leq DK_{k-1}$ สำหรับแบบกากบาทจะพิจารณาเฉพาะที่ $q=j$ เมื่อ $1 \leq q \leq NC-1$ ดังแสดงในภาพที่ 3.6(ก) และสำหรับแบบดาวจะพิจารณาที่ $q=j-1,j,j+1$ เมื่อ $0 \leq q \leq NC$ ดังแสดงในภาพที่ 3.7(ก)

5. เมื่อพิจารณาระดับความลึกของภาพตัดขวางที่กำลังพิจารณา k บล็อกที่มีโอกาสรักษาเงื่อนไขมุมเสถียรภาพแบบสามมิติกับขอบเขตบ่อเหมืองของภาพตัดขวางที่แล้วติดต่อกันที่ $k-1$ โดยที่สามารถลากลูกศรความสัมพันธ์ได้ เป็นบล็อกที่แสดงด้วยเครื่องหมาย ? สำหรับแบบกากบาท ดังแสดงในภาพที่ 3.6(ข) และสำหรับแบบดาว ดังแสดงในภาพที่ 3.7(ข)

6. เนื่องจากขอบเขตระดับบล็อกบนและล่างสามารถมีค่าต่าง ๆ ได้ตั้งแต่ 0 จนถึงระดับก้นบ่อเหมือง f แต่จะมีค่าจำกัดที่ขอบเขตความลึกของบ่อเหมือง DC_j ดังนั้น $w=0,1,2,3,\ldots,f$ โดยที่ $w \leq DC_j$

7. ตัวแปรความลึก w เพื่อทดสอบการรักษาเงื่อนไขเสถียรภาพความลาดแบบสามมิติ โดยแปรค่าที่ความลึกต่าง ๆ แต่เนื่องจากการรักษาเงื่อนไขมุมเสถียรภาพแบบสามมิติอาจเป็นไปได้สูงสุด 3 ทิศทาง ดังนั้นจึงกำหนดตัวแปรความลึกสำหรับการทดสอบคือ w-1,w และ w+1 สำหรับแบบกากบาทดังแสดงในภาพที่ 3.6(ข) และสำหรับแบบดาวดังแสดงในภาพที่ 3.7(ข)

8. ตัวแปรความลึกของภาพตัดขวางที่กำลังพิจารณาที่สอดคล้องกับขอบเขตบ่อเหมืองของภาพตัดขวางที่แล้ว จะต้องสามารถลากลูกศรจากบล็อกที่ระดับความลึกนั้น ๆ ของภาพตัดขวางที่กำลังศึกษาไปยังบล็อกที่เป็นขอบเขตบ่อเหมืองที่ระดับก้นบ่อเหมืองที่ f-1,f และ f+1 ได้ทุกบล็อก บล็อกที่สอดคล้องกับเงื่อนไขมุมเสถียรภาพนี้ ซึ่งแสดงด้วยเครื่องหมายดอกจันทร์ บล็อกที่มีเครื่องหมายดอกจันทร์ครั้งแรกจะเป็นขอบเขตการเลือกบล็อกระดับบล็อกบนและบล็อกที่มีเครื่องหมายดอกจันทร์ที่พบครั้งสุดท้ายจะเป็นขอบเขตการเลือกบล็อกระดับบล็อกล่าง สำหรับแบบกากบาทดังแสดงในภาพที่ 3.6(ค) และสำหรับแบบดาว ดังแสดงในภาพที่ 3.7(ค)

จะได้

$$w-1 \leq CL_{(d,q,k-1)} \leq w+1 \qquad \ldots(3.9)$$

เมื่อ $w = 1,2,3,\ldots,f$ โดยที่ $w \leq DC_j$

$1 \leq d \leq DK_{k-1}$ โดยที่ $d = f-1, f, f+1$

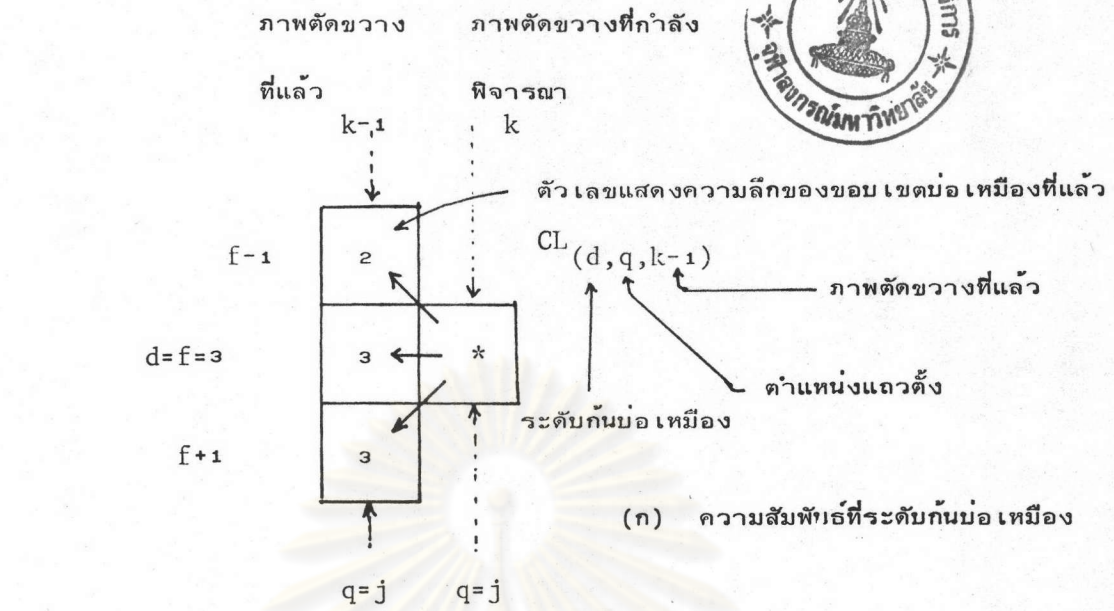
แบบกากบาท $q = j$ โดยที่ $1 \leq q \leq NC-1$ ...(3.10)

แบบดาว $q = j-1, j, j+1$ โดยที่ $0 \leq q \leq NC$ ...(3.11)

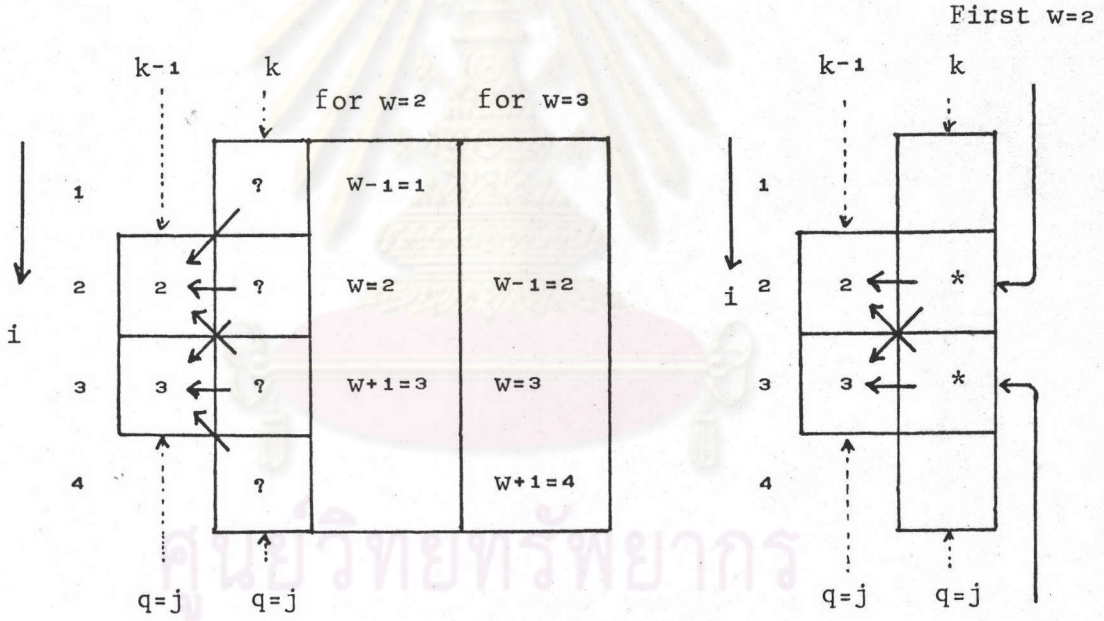
จะได้ UB_j = First w ...(3.12)

LB_j = Last w ...(3.13)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



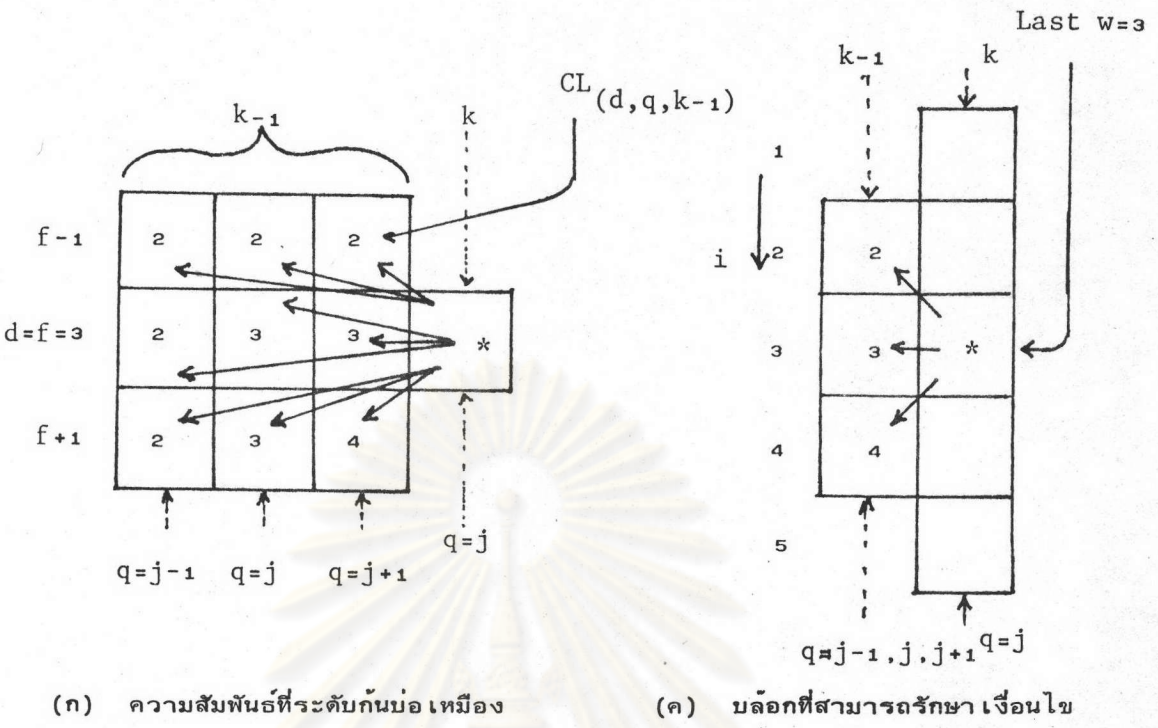
(ก) ความสัมพันธ์ที่ระดับก้นบ่อเหมือง

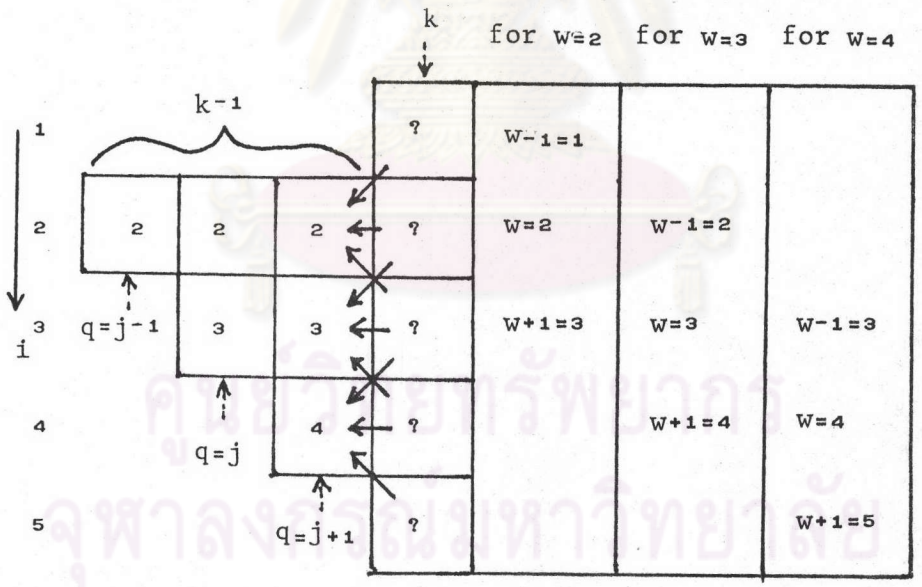


(ข) บล็อกที่มีความสัมพันธ์

(ค) บล็อกที่สามารถรักษาเงื่อนไข

ภาพที่ 3.6 การกำหนดขอบเขตการเลือกบล็อกขั้นต้นแบบกากบาท





ภาพที่ 3.7 การกำหนดขอบเขตการเลือกบล็อกขั้นต้นแบบดาว

3. <u>การกำหนดตำแหน่งบล๊อกที่จะขุดในระดับก้นบ่อ เหมือง</u>

(Selection of Pit Bottom)

การกำหนดตำแหน่งบล๊อกที่จะขุดในระดับก้นบ่อ เหมือง โดยที่จำนวนบล๊อกในระดับก้นบ่อ เหมืองต้องมีจำนวนอย่างน้อยที่สุดตามที่ได้คำนวณตามสมการที่ 3.5 หรือ 3.6 และบล๊อกที่เลือกในระดับก้นบ่อ เหมืองนี้จะต้องอยู่ภายในขอบ เขตการ เลือกบล๊อกขั้นต้นด้วย

ขั้นตอนในการสร้างความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์สำหรับการกำหนดตำแหน่งบล๊อกที่จะขุดในระดับก้นบ่อ เหมือง มีดังนี้

1. จากการพิจารณาภาพที่ 3.8(ก) และ 3.9(ก) พบว่า แถวตั้งของระดับก้นบ่อ เหมืองที่สามารถรักษา เงื่อนไข เสถียรภาพความลาดแบบสามมิติ จำ เป็นต้องอยู่ภายในขอบ เขตแถวตั้งหนึ่ง ๆ สำหรับแบบกากบาท ถ้ามีการ เลือกตำแหน่งบล๊อกในระดับก้นบ่อ เหมืองที่อยู่นอกขอบ เขตแถวตั้งนี้ การพิจารณาตำแหน่งบล๊อกในระดับก้นบ่อ เหมืองที่ลึกลงไปอาจอยู่นอกขอบ เขตความ ลึกของภาพตัดขวาง ดังแสดงด้วย เครื่องหมาย ? แต่สำหรับแบบดาวจะมีขอบ เขตแถวตั้งของระดับก้นบ่อ เหมืองที่แตกต่างกันออกไปตามความลึก โดยที่ขอบ เขตแถวตั้งนี้จะลดลง เมื่อความลึก เพิ่มขึ้น

ขอบ เขตแถวตั้งของระดับก้นบ่อ เหมืองนี้ เมื่อพิจารณาด้วย เงื่อนไขการขุดแบบกากบาทจะมีค่าคงที่สำหรับทุก ๆ ระดับก้นบ่อ เหมือง แต่ เงื่อนไขการขุดแบบดาวจะแปรค่าตามความลึกของระดับก้นบ่อ เหมือง

2. สมมติฐานในการกำหนดตำแหน่งบล๊อกที่จะขุดในระดับก้นบ่อ เหมือง มีดังนี้ การ เลือกตำแหน่งบล๊อกที่จะขุดในระดับก้นบ่อ เหมือง จะต้องอยู่ภายในขอบ เขตแถวตั้งหนึ่ง ๆ ซึ่ง เป็นส่วนที่อยู่ภายในขอบ เขตการ เลือกบล๊อกขั้นต้นด้วย โดยที่บล๊อกที่จะ เลือกมีจำนวนบล๊อกอย่างน้อยที่สุด เท่ากับจำนวนบล๊อกต่ำสุดของระดับก้นบ่อ เหมืองที่กำลังพิจารณา และมีมูลค่ากำไรจากการขุดมากที่สุด เท่าที่จะ เป็นไปได้

3. กำหนดให้

BP_{xy} = มูลค่ากำไรสูงสุดของบล๊อกในระดับก้นบ่อ เหมืองที่ เลือกตั้งแต่บล๊อกในแถวตั้งที่ x จนถึง y

M_{fe} = มูลค่ากำไรจากการขุดบล๊อกในระดับก้นบ่อ เหมือง ที่ f ในแถวตั้งที่ e

UB_e, LB_e = ขอบ เขตการ เลือกบล๊อกขั้นต้นที่ระดับบล๊อกบนและล่างตามลำดับ ในแถวตั้งที่ e

HB_f = จำนวนบล๊อกต่ำสุดในระดับก้นบ่อ เหมืองที่ f

NC = จำนวนบล๊อกในแถวตั้งทั้งหมดของภาพตัดขวาง

SK = จำนวนบล๊อกในแถวนอนทั้งหมดที่สามารถขุดได้ของภาพตัดขวางและภาพตัดด้านยาว

e = ตัวแปรแถวตั้ง เริ่มต้นในระดับก้นบ่อ เหมือง

h = ตัวแปรแถวตั้งสุดท้ายในระดับก้นบ่อ เหมือง

a = ค่าคงที่ของแถวตั้ง เริ่มแรก

b = ค่าคงที่ของแถวตั้งสุดท้าย

4. การพิจารณาขอบ เขตแถวตั้งของก้นบ่อ เหมือง a-b สำหรับแบบกากบาท จะมีค่าอยู่ระหว่างแถวตั้งที่ a=SK-1 จนถึงแถวตั้งที่ b=NC-SK ดังแสดงในภาพที่ 3.8(ข) สำหรับแบบดาว จะมีค่าอยู่ระหว่างแถวตั้งที่ a=f จนถึงแถวตั้งที่ b=NC-f-1 ดังแสดงในภาพที่ 3.9(ข)

5. ตัวแปรแถวตั้ง e และ h สำหรับการ เลือกมูลค่าบล๊อกสูงสุดของระดับก้นบ่อ เหมือง เมื่อพิจารณาทั้งแบบกากบาทและแบบดาว จะมีค่า เป็น $e=a, a+1, \ldots, b-HB_f+1$ และ $h=e+HB_f-1$ ซึ่งจะสังเกตได้ว่าจำนวนบล๊อกต่ำสุดที่จำ เป็นต้องขุดคือ HB_f และสำหรับแบบกากบาท h จะเท่ากับ e โดยที่บล๊อกที่ตำแหน่ง (f,e) ทุกบล๊อก จะต้องอยู่ในขอบ เขตการ เลือกบล๊อก เท่านั้น

๖. ตำแหน่งแถวตั้งที่เลือกจะพิจารณาที่มูลค่าบล้อกทุกบล้อกที่เลือกในระดับก้นบ่อเหมืองที่ให้กำไรสะสมสูงสุด จะได้

$$BP_{xy} = \text{Max} \sum_{e}^{h} m_{fe} \qquad \ldots(3.14)$$

โดยที่ $h = e+HB_f-1$

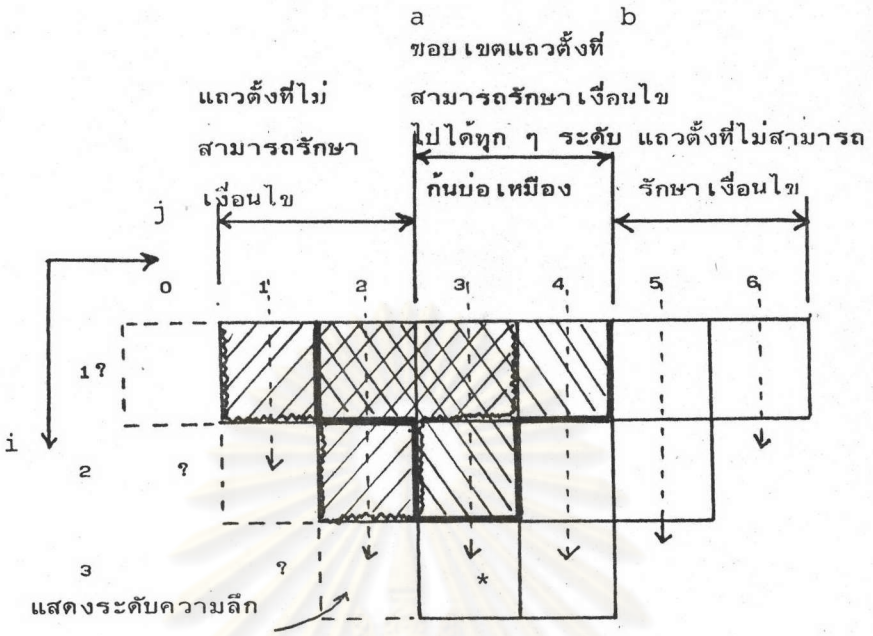
$e = a, a+1, \ldots, b-HB_f+1$

แบบกากบาท $a = SK$ และ $b = NC-SK$ $\qquad \ldots(3.15)$

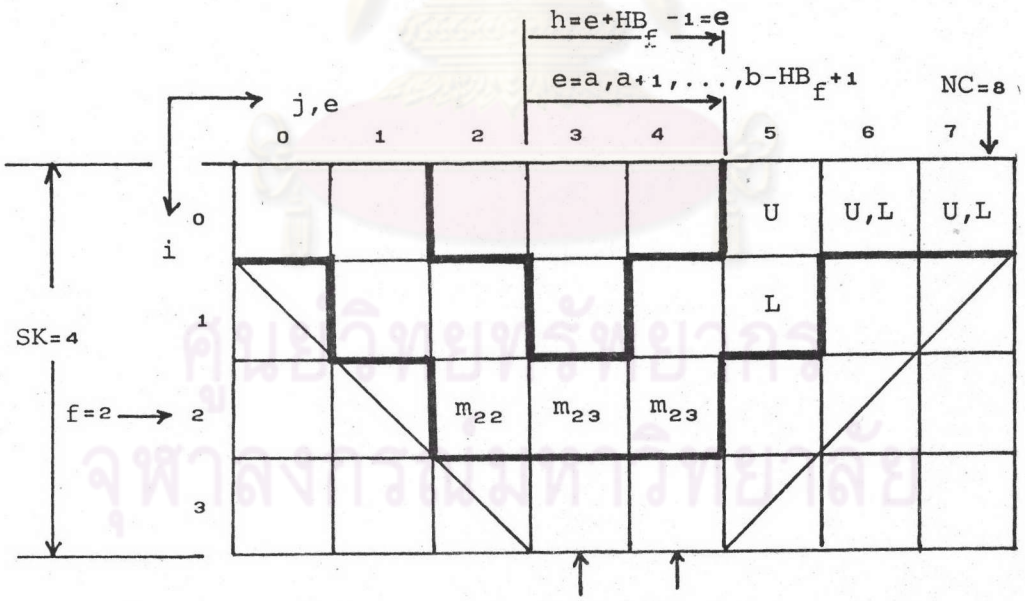
แบบดาว $a = f$ และ $b = NC-f-1$ $\qquad \ldots(3.16)$

โดยที่ $All(f,e) \in UB_e, LB_e$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



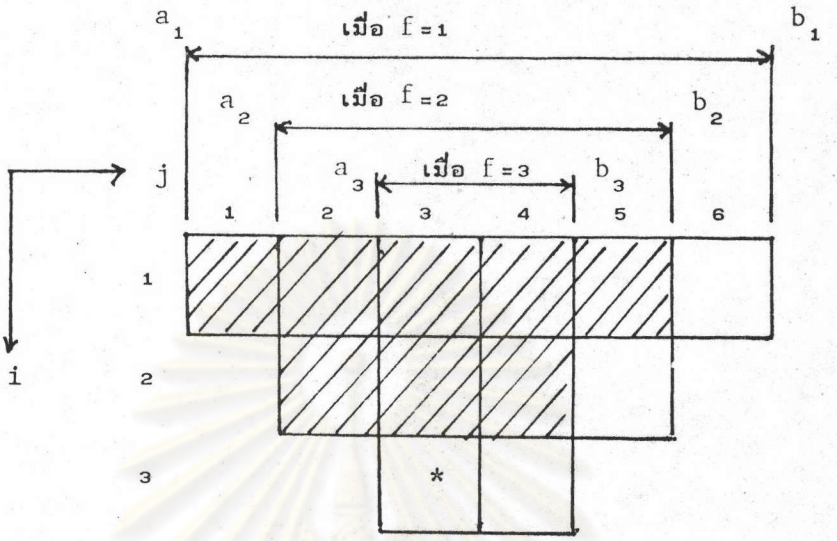
(ก) ลักษณะปัญหาในการ เพิ่มระดับก้นบ่อ เหมือง



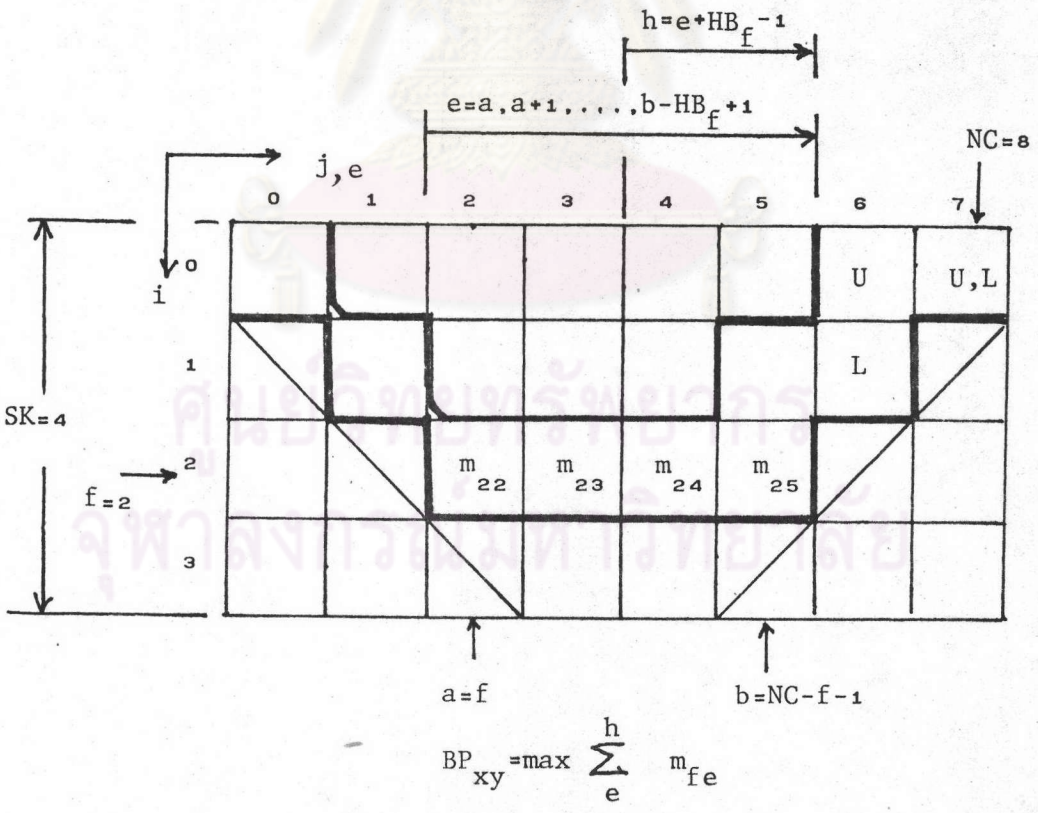
(ข) การ เลือกตำแหน่งบล็อก

ภาพที่ 3.8 การกำหนดตำแหน่งบล็อกที่จะขุดในระดับก้นบ่อ เหมือง เมื่อใช้ เงื่อนไข การขุดแบบกากบาท

i 10296682



(ก) ลักษณะปัญหาในการเพิ่มระดับก้นบ่อเหมือง



(ข) การเลือกตำแหน่งบล๊อก

ภาพที่ 3.9 การกำหนดตำแหน่งบล๊อกที่จะขุดในระดับก้นบ่อเหมือง เมื่อใช้เงื่อนไขการขุดแบบดาว

4. การปรับระดับบล๊อกบนกับการขุดในภาพตัดขวางเดียวกัน

(Depth Comparison for Upper bound)

เพื่อให้การเลือกเส้นขอบเขตบ่อเหมืองที่แถวตั้งใด ๆ ในระดับก้นบ่อเหมืองที่กำลังพิจารณา มีความลึกไม่น้อยกว่าเส้นขอบเขตบ่อเหมืองที่ได้พิจารณาการขุดไปแล้วในภาพตัดขวางเดียวกัน จึงจำเป็นต้องปรับระดับบล๊อกบนก่อนการโปรแกรมไดนามิค

ขั้นตอนในการสร้างความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ ในการปรับระดับบล๊อกบนกับการขุดในภาพตัดขวางเดียวกัน มีดังนี้

1. จากการพิจารณาในภาพที่ 3.10(ก) ถ้าพิจารณาที่ระดับก้นบ่อเหมืองหนึ่ง ๆ ในภาพตัดขวาง การเลือกเส้นขอบเขตบ่อเหมืองภายในขอบเขตการเลือกบล๊อก อาจมีบางเส้นทางเลือกมีขอบเขตบ่อเหมืองที่บางแถวตั้งของภาพตัดขวาง มีระดับความลึกน้อยกว่าเส้นขอบเขตบ่อเหมืองที่ได้พิจารณาเลือกไปแล้วในภาพตัดขวางเดียวกัน

2. สมมติฐานในการปรับระดับบล๊อกบนกับการขุดในภาพตัดขวางเดียวกัน มีดังนี้ ในการบังคับเส้นขอบเขตบ่อเหมืองในระดับก้นบ่อเหมืองที่กำลังพิจารณา ให้มีการเพิ่มความลึกของแต่ละแถวตั้งมีความลึกไม่น้อยกว่าความลึกของแต่ละแถวตั้งของขอบเขตบ่อเหมืองที่ได้พิจารณาการขุดออกไปแล้วสามารถทำได้โดยการปรับขอบเขตระดับบล๊อกบนของระดับก้นบ่อเหมืองที่กำลังพิจารณาที่แถวตั้งหนึ่ง ๆ ให้มีความลึกอย่างน้อยที่สุดมีความลึกเท่ากับความลึกของแถวตั้งนั้น ๆ ของขอบเขตบ่อเหมืองที่ระดับก้นบ่อเหมืองที่พิจารณาการขุดออกไปแล้วในภาพตัดขวางเดียวกัน

3. กำหนดให้

$UB_{j(new)}$ = ขอบเขตระดับบล๊อกบนที่มีการปรับความลึกแล้วที่ระดับก้นบ่อเหมือง f

$UB_{j(old)}$ = ขอบเขตระดับบล๊อกบนเดิมที่ระดับก้นบ่อเหมือง f ที่ได้จากการกำหนดตำแหน่งบล๊อกที่จะขุดในระดับก้นบ่อเหมือง

$CL_{(f-1,j,k)}$ = ขอบเขตบ่อเหมืองที่ระดับก้นบ่อเหมือง f-1 ใน

แถวตั้งที่ j ของภาพตัดขวาง

เมื่อ $f-1 \geq 1$ และ $j=0,1,2,3,\ldots,NC-1$

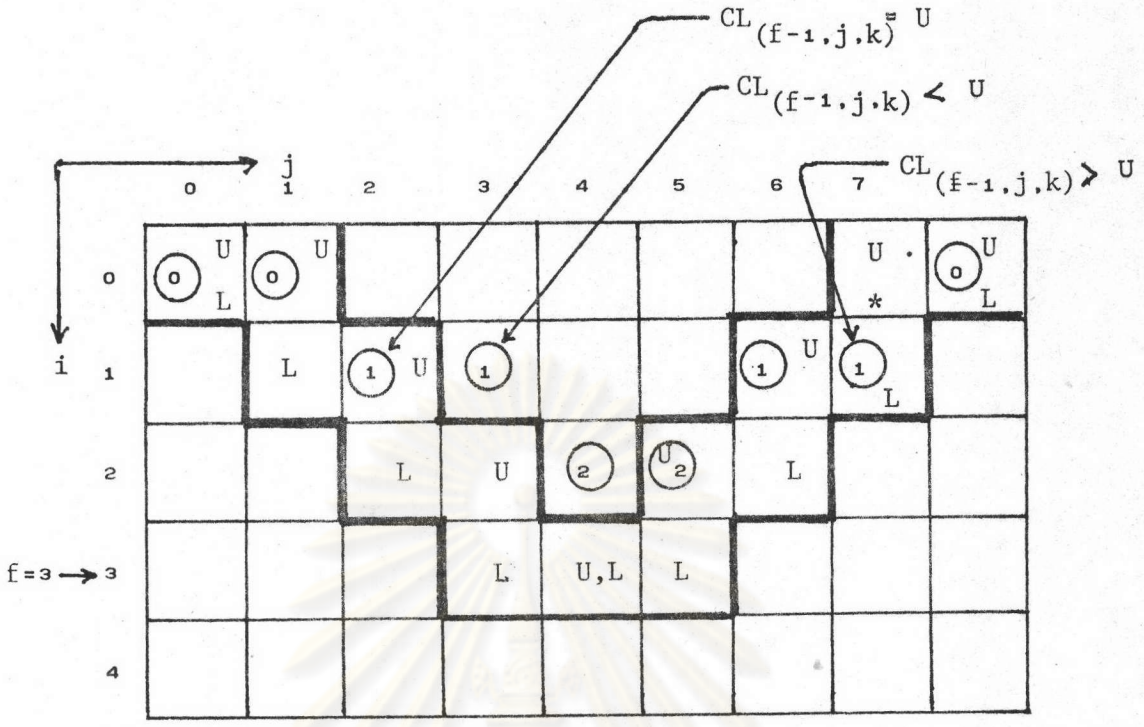
4. จากภาพที่ 3.10(ก) จะพบว่าขอบเขตระดับบล็อกบนในแต่ละแถวตั้งที่ได้คำนวณมาหลังจากการกำหนดตำแหน่งบล็อกที่จะขุดในระดับก้นบ่อเหมือง $UB_{j(old)}$ อาจมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับหรือน้อยกว่าขอบเขตบ่อเหมืองที่ระดับก้นบ่อเหมืองที่พิจารณาการขุดไปแล้วในภาพตัดขวางเดียวกันคือ $CL_{(f-1,j,k)}$

5. จากภาพที่ 3.10(ข) พบว่าการเปรียบเทียบความลึกระหว่างระดับบล็อกบน $UB_{j(old)}$ กับ $CL_{(j-1,j,k)}$ แล้วเลือกค่าที่ให้ความลึกสูงสุด จะได้ค่า $UB_{j(new)}$ นอกจากนี้ $f-1$ จะต้องมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับหนึ่ง เนื่องจากเส้นขอบเขตบ่อเหมืองจะพิจารณาเฉพาะระดับก้นบ่อเหมืองมีค่ามากกว่าหนึ่งเสมอ จะได้

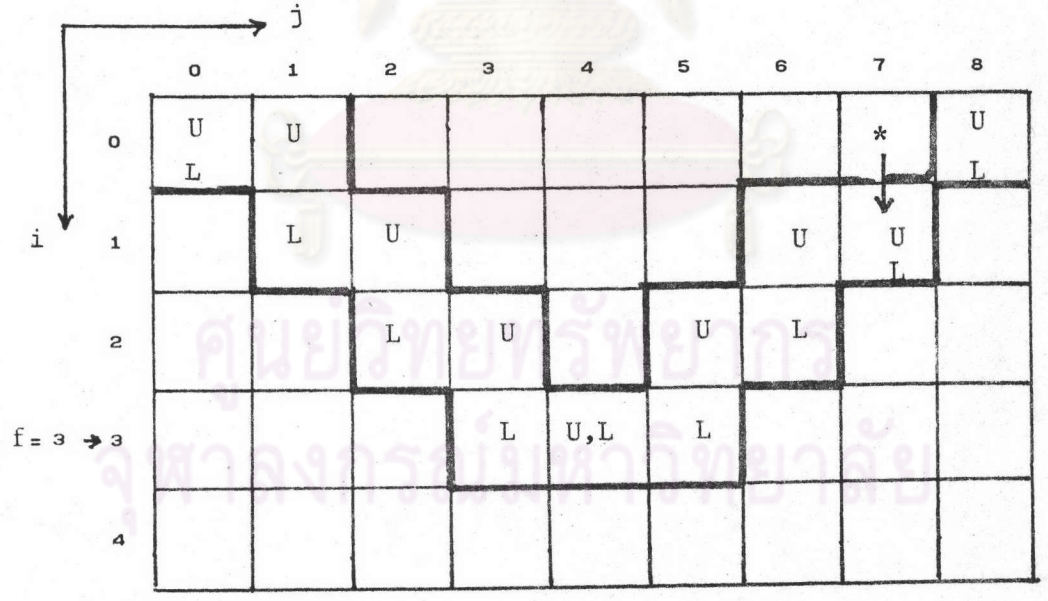
$$UB_{j(new)} = \text{Max}[UB_{j(old)}, CL_{(f-1,f,k)}] \quad \ldots(3.17)$$

โดยที่ $f-1 \geq 1$ และ $j=1,2,3,\ldots,NC-1$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



(ก) ก่อนการเปรียบเทียบ



(ข) หลังการปรับความลึกแล้ว

ภาพที่ 3.10 การปรับระดับบล็อกบนกับการขุดในภาพตัดขวางเดียวกัน

5. <u>การปรับระดับบล๊อกบนให้เหมาะสมกับการโปรแกรมไดนามิค</u>

(Decision Path Smoothing)

เพื่อให้การไล่เส้นขอบเขตบ่อเหมืองหลังจากการโปรแกรมไดนามิคสามารถเป็นไปได้โดยตลอดในทุก ๆ เส้นขอบเขตบ่อเหมืองที่อาจจะเป็นไปได้ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการตรวจสอบและปรับค่าระดับบล๊อกบนให้เหมาะสม

ขั้นตอนในการสร้างความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ สำหรับการปรับระดับบล๊อกบนให้เหมาะสมกับการโปรแกรมไดนามิค มีดังนี้

1. จากการโปรแกรมไดนามิคในการออกแบบขอบเขตบ่อเหมืองของ Lerchs และ Grossmann การโปรแกรมไดนามิคในแต่ละแถวตั้งที่บล๊อกหนึ่ง ๆ ในแถวตั้งใด ๆ ต้องสามารถลากลูกศรความสัมพันธ์ไปยังบล๊อกในแถวตั้งก่อนหน้าอย่างน้อยที่สุดหนึ่งบล๊อกที่ระดับสูงกว่าหรือเท่ากับหรือต่ำกว่าได้

2. สมมติฐานในการปรับระดับบล๊อกบนให้เหมาะสมกับการโปรแกรมไดนามิค มีดังนี้ ขอบเขตการเลือกบล๊อกที่ได้หลังจากการปรับระดับบล๊อกบนกับการขุดในภาพตัดขวางเดียวกัน อาจมีบางกรณีที่บางบล๊อกในแถวตั้งใดแถวตั้งหนึ่งไม่สามารถไล่เส้นทางของการโปรแกรมไดนามิคได้ ซึ่งสามารถแก้ปัญหานี้ได้โดยการปรับระดับบล๊อกบนใหม่จากแถวตั้งที่หนึ่งไปยังแถวตั้งสุดท้ายตามลำดับ

3. กำหนดให้

$UB_{j(new)}$ = ขอบเขตระดับบล๊อกบนที่มีการปรับความลึกแล้วที่ระดับก้นบ่อเหมืองที่ f

$UB_{j(old)}$ = ขอบเขตระดับบล๊อกบนเดิมที่ระดับก้นบ่อเหมืองที่ f ที่ได้จากการปรับระดับบล๊อกบนกับการขุดในภาพตัดขวางเดียวกัน

UB_{j-1} = ระดับบล๊อกบนที่แถวตั้งที่ j-1

LB_{j-1} = ระดับบล๊อกล่างที่แถวตั้งที่ j-1

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

DC_j = ขอบเขตความลึกของภาพตัดขวาง

d = ตำแหน่งบล็อกในแถวตั้งที่ j

4. จากการพิจารณาการโปรแกรมไดนามิคทางเดียวตามภาพที่ 3.11(ก) พบว่า มีบางกรณีที่การกำหนดขอบเขตการเลือกบล็อกที่ระดับบล็อกบน อาจมีปัญหาในการไล่เส้นขอบเขตบ่อเหมืองหลังจากการโปรแกรมไดนามิค โดยที่เส้นขอบเขตบ่อเหมืองมีการสิ้นสุดที่แถวตั้งใดแถวตั้งหนึ่ง จนไม่สามารถจะไล่เส้นขอบเขตบ่อเหมืองไปจนถึงจุดสุดท้ายหรือแถวตั้งเริ่มแรกได้

5. การตรวจสอบเส้นขอบเขตบ่อเหมืองที่สามารถเป็นไปได้โดยตลอดอย่างต่อเนื่อง สามารถทำได้โดยการตรวจสอบที่แต่ละแถวตั้งตามลำดับแถวตั้ง ถ้าขอบเขตการเลือกบล็อกที่ระดับบล็อกบนในแถวตั้งที่กำลังพิจารณาที่สามารถลากลูกศรไปยังแถวตั้งที่ j-1 อย่างน้อยที่สุดหนึ่งลูกศรจะต้องอยู่ภายในขอบเขตการเลือกบล็อกของแถวตั้งที่ j-1 ซึ่งจะแสดงว่าขอบเขตการเลือกบล็อกที่ระดับบล็อกบนนั้นสามารถไล่เส้นทางการเลือกเส้นขอบเขตบ่อเหมืองได้

6. กรณีที่ไม่สามารถลากเส้นลูกศรอย่างน้อยหนึ่งเส้นได้ จำเป็นต้องปรับความลึกของระดับบล็อกบนที่แถวตั้งที่ j เพิ่มขึ้นอีกหนึ่งระดับ เพื่อให้สามารถไล่ลูกศรได้ โดยที่ระดับบล็อกบนหลังจากการปรับค่าแล้ว จะต้องไม่เกินขอบเขตความลึก DC_j จะได้

$$UB_{j(new)} = UB_{j(old)}$$

เมื่อ $$UB_{j-1} \leq \text{Some } d \leq LB_{j-1} \qquad \ldots(3.18)$$

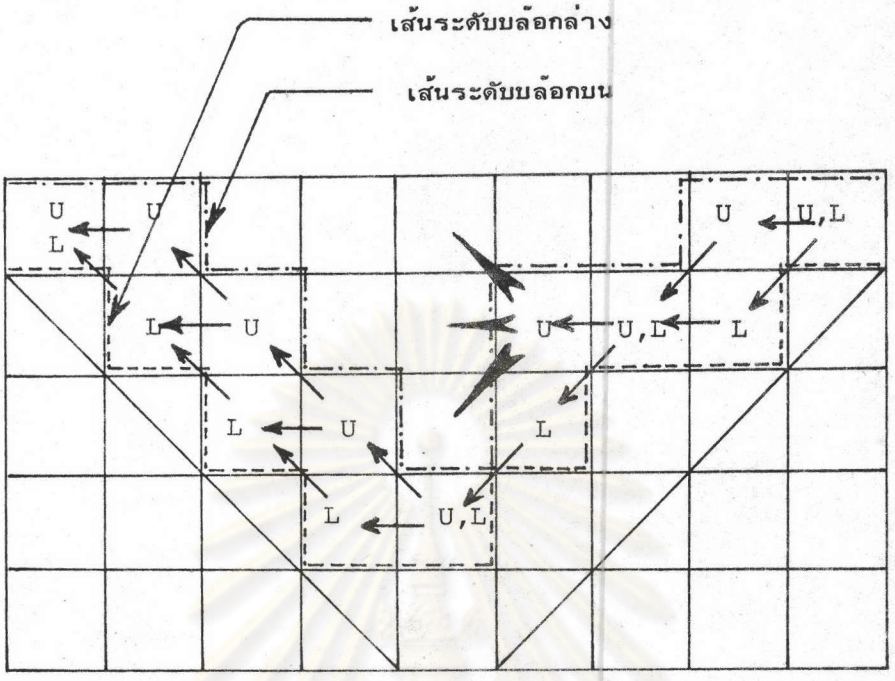
$$UB_{j(new)} = UB_{j(old)}+1$$

เมื่อ $$\text{All } d < UB_{j-1} \quad \text{หรือ} \quad \text{All } d > LB_{j-1} \qquad \ldots(3.19)$$

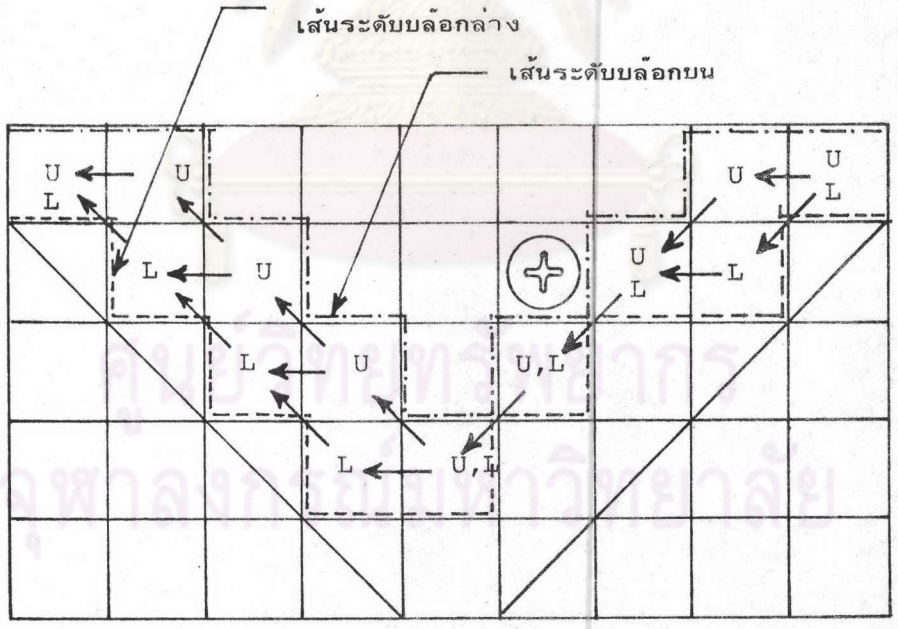
โดยที่ $$d = UB_j-1, UB_j, UB_j+1$$

$$1 \leq d \leq DC_{j-1}$$

และ $$UB_{j(new)} \leq DC_j$$



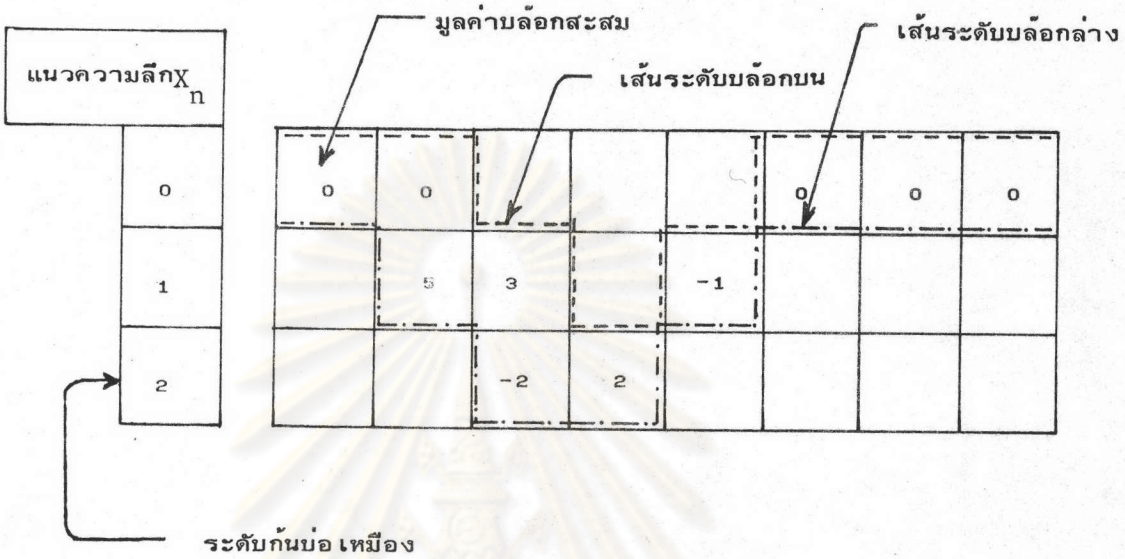
(ก) ก่อนการปรับระดับบล็อกบน



(ข) หลังการปรับระดับบล็อกบนแล้ว

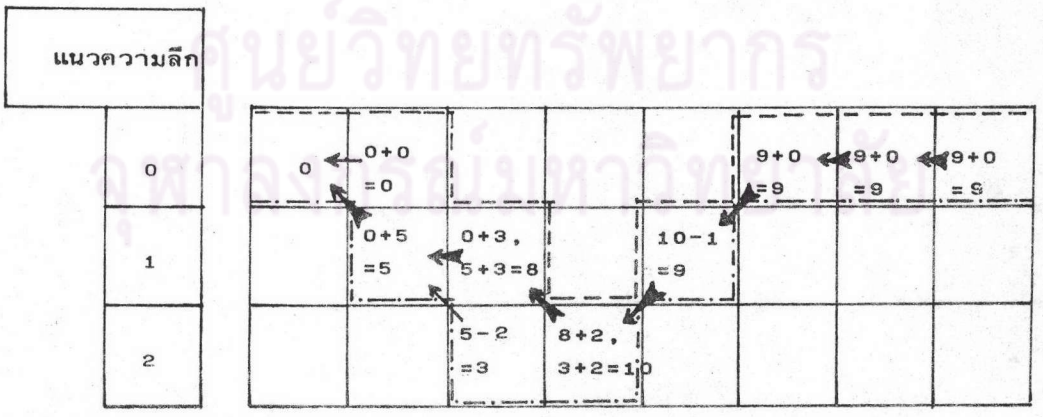
ภาพที่ 3.11 ตัวอย่างแสดงการปรับระดับบล็อกบนให้เหมาะสมกับการโปรแกรมไดนามิค

แนวขั้นตอน n	0	1	2	3	4	5	6	7
แนวแถวตั้ง J_n	0	1	2	3	4	5	6	7



ภาพที่ 3.12 ตัวอย่างแสดงมูลค่าสะสมตามแนวความลึกของภาพตัดขวางภายในขอบ เขตการ เลือกสำหรับการโปรแกรมไดนามิค

แนวแถวตั้ง	0	1	2	3	4	5	6	7



ภาพที่ 3.13 ตัวอย่างแสดงการโปรแกรมไดนามิคด้วยตารางและลูกศร จากข้อมูลในภาพที่ 3.12

ตารางที่ 3.3 ตัวอย่างแสดงการโปรแกรมไดนามิคตามวิธีการที่ปรับปรุงจากข้อมูลในภาพที่ 3.12

n	X_n	J_n	U_{n-1}	L_{n-1}	d_n	X_{n-1}	J_{n-1}	r_n	$f_n(X_n)$	d_n^*
1	0	1	0	0	+1 0 -1	-	-	0	0	
	1	1	0	0	+1 0 -1	0 - -	0* - -	5	5	+1
2	1	2	0	1	+1 0 -1	0 1 -	1 1* -	3	8	0
	2	2	0	1	+1 0 -1	1 - -	1 - -	-2	3	
3	2	3	1	2	+1 0 -1	1 2 -	2* 2 -	2	10	+1
4	1	4	2	2	+1 0 -1	- - 2	- - 3*	-1	9	-1
5	0	5	1	1	+1 0 -1	- - 1	- - 4*	0	9	-1
6	0	6	0	0	+1 0 -1	- 0 -	- 5* -	0	9	0
7	0	7	0	0	+1 0 -1	- 0 -	- 6* -	0	9	0

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

<u>การกำหนดขอบเขตการเลือกบล๊อกของสมการย้อนกลับสำหรับการโปรแกรมไดนามิค</u>

(Decision Blocks Limitation)

สมการย้อนกลับสำหรับการโปรแกรมไดนามิคสำหรับการออกแบบขอบเขตบ่อเหมือง โดยวิธีของ Lerchs และ Grossmann และวิธีของ Johnson และ Sharp เป็นการโปรแกรมไดนามิคที่ตัวแปรตัดสินใจ (Decision Variable) หรือตัวแปรบ่งสภาวะของระบบ (State Variable) ไม่มีขอบเขตการเลือกสำหรับการรักษาเงื่อนไขเสถียรภาพความลาดแบบสามมิติ ดังนั้น เพื่อให้ขอบเขตบ่อเหมืองที่ได้จากการออกแบบสามารถรักษาเงื่อนไขเสถียรภาพความลาดแบบสามมิติได้ จึงจำเป็นต้องปรับปรุงตัวแปรบ่งสภาวะของระบบในสมการย้อนกลับให้ตัวแปรบ่งสภาวะของระบบอยู่ภายในขอบเขตการเลือกบล๊อกที่สร้างขึ้นสำหรับการคำนวณในระดับก้นบ่อเหมืองที่กำลังพิจารณา

ขั้นตอนในการสร้างความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ในการกำหนดขอบเขตการเลือกบล๊อกของสมการย้อนกลับสำหรับการโปรแกรมไดนามิค มีดังนี้

1. จากสมการย้อนกลับในการโปรแกรมไดนามิคสำหรับการออกแบบขอบเขตบ่อเหมืองของ Lerchs และ Grossmann สามารถเขียนเป็นความสัมพันธ์ดังนี้

$$f_n(X_n) = \max_{d_{n=-1,0,1}} [r_n + f_{n-1}(X_{n-1})] \quad \ldots(3.20)$$

โดยที่ $f_o(X_o) = o$

$X_o = o$ และ $X_n = o$

$r_n = M_{ij} = M_{X_n,n}$

เมื่อ $i = X_n$ และ $j = n$

$X_{n-1} = X_n - d_n$

$$o \leqslant X_n \leqslant DC_n \quad \ldots(3.21)$$

เมื่อ $f_n(X_n)$ = กำไรสะสมจากการโปรแกรมไดนามิคในขั้นตอนที่ n

r_n = ผลตอบแทนจากการเลือกบล๊อกในขั้นตอนที่ n

d_n = ตัวแปรตัดสินใจในขั้นตอนที่ n

X_n = ตัวแปรบ่งสภาวะของระบบหรือตัวแปรแถวนอนในขั้นตอนที่ n เมื่อ n=0,1,2,3,...,N

N = ขั้นตอนของการโปรแกรมไดนามิคขั้นสุดท้าย

M_{ij} = มูลค่ากำไรจากการขุดบล๊อกในแถวตั้งที่ j ตั้งแต่บล๊อกในแถวนอนที่ 1 จนถึง i

DC_n = ขอบเขตความลึกของภาพตัดขวางในแถวตั้งที่ n

2. สมมติฐานในการสร้างความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ในการกำหนดขอบเขตตัวแปรบ่งสภาวะของระบบในสมการย้อนกลับสำหรับการโปรแกรมไดนามิค มีดังนี้ ในการออกแบบขอบเขตบ่อเหมืองให้รูปร่างบ่อเหมืองในแต่ละระดับก้นบ่อเหมืองสามารถรักษาเงื่อนไขเสถียรภาพความลาดแบบสามมิติได้นั้น ตัวแปรบ่งสภาวะของระบบในสมการย้อนกลับสำหรับการโปรแกรมไดนามิค ต้องอยู่ภายในขอบเขตการเลือกบล๊อกเท่านั้น

3. กำหนดให้

UB_{n+1} = ขอบเขตระดับบล๊อกบน ที่ขั้นตอนที่ n+1 หรือในแถวตั้งที่ j+1

LB_{n+1} = ขอบเขตระดับบล๊อกล่าง ที่ขั้นตอนที่ n+1

4. จากสมการที่ 3.21 จะกำหนด X_n ให้อยู่ภายในขอบเขตการเลือกบล๊อกตามสมการที่ 3.22 ดังนี้

$$UB_{n+1} \leqslant X_n \leqslant LB_{n+1} \qquad \ldots(3.22)$$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การประยุกต์การโปรแกรมไดนามิคในการจัดลำดับการทำเหมือง

(Application of Dynamic Programming for Mining Sequences)

การประยุกต์การโปรแกรมไดนามิคในการจัดลำดับการทำเหมือง (ดังแสดงในโปรแกรมหลัก Mining Sequences ในภาคผนวก ก) จะใช้ประโยชน์จากเส้นทางของขอบเขตบ่อเหมืองหลังจากการโปรแกรมไดนามิค ซึ่งมีอยู่หลายเส้นทาง โดยที่เส้นทางต่าง ๆ ที่แถวตั้งใด ๆ ที่แถวนอนที่ศูนย์ สามารถไล่เส้นทางได้โดยตลอด จะเป็นเส้นทางที่จะพิจารณาเส้นทางการเลือกต่าง ๆ เหล่านี้จะได้จำนวนบล้อกที่จะขุดแตกต่างกัน ดังนั้นปริมาณแร่ที่ขุดจากเส้นทางต่าง ๆ เหล่านี้ ย่อมมีค่าไม่เท่ากัน และอาจจะเพิ่มขึ้น เมื่อเส้นทางการเลือกมีจำนวนบล้อกในแถวตั้งเพิ่มขึ้น

ขั้นตอนในการสร้างความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ สำหรับการประยุกต์การโปรแกรมไดนามิคสำหรับการจัดลำดับการทำเหมือง มีดังนี้

1. จากการโปรแกรมไดนามิคสำหรับการออกแบบขอบเขตบ่อเหมืองขั้นสุดท้ายในการคำนวณที่ภาพตัดด้านยาวของแหล่งแร่ โดยวิธีของ Johnson และ Sharp และในการคำนวณที่ภาพตัดขวางของแหล่งแร่โดยวิธีของ Lerchs และ Grossmann ซึ่งจะแสดงด้วยตารางและลูกศร ทิศทางการไล่ลูกศรจากทุก ๆ แถวตั้ง จะแสดงขอบเขตบ่อเหมืองต่าง ๆ ที่จะนำมาเลือกเส้นขอบเขตบ่อเหมืองขั้นสุดท้าย ซึ่งจะมีลักษณะดังแสดงในภาพที่ 3.14(ก)

2. สมมติฐานในการจัดลำดับการทำเหมืองสำหรับการวิจัยครั้งนี้ มีดังนี้ เส้นทางการเลือกขอบเขตบ่อเหมืองซึ่งแสดงทางเลือกต่าง ๆ หลังจากการโปรแกรมไดนามิค สามารถเป็นเส้นขอบเขตบ่อเหมืองแต่ละลำดับการทำเหมืองได้

3. กำหนดให้

NS = จำนวนแถวตั้งทั้งหมดของภาพตัดด้านยาวของแหล่งแร่

N = จำนวนเส้นทางเลือกสำหรับการจัดลำดับการทำเหมือง ซึ่งมีจำนวนเท่ากับ NS-1

R_n = ปริมาณแร่ของบล็อกต่าง ๆ ทั้งหมดที่ขุดขึ้นมาจนได้รูปร่างขอบเขตบ่อเหมือง ตามเส้นทางที่ n เมื่อ n=1,2,3,....,N

T_n = เวลาที่ใช้ในการขุดดินและแร่จนได้รูปร่างขอบเขตบ่อเหมืองตามเส้นทางที่ n

P_s = ปริมาณแร่ที่วางแผนจะขุดในลำดับการทำเหมืองที่ s เมื่อ s=1,2,3,

A_s = ผลต่างที่น้อยที่สุดของปริมาณแร่ที่ขุดกับแผนการผลิตซึ่งอยู่ในลำดับการทำเหมืองที่ s

B_s = ผลต่างที่น้อยที่สุดของเวลาที่ใช้ในการขุดกับลำดับที่ของลำดับการทำเหมืองที่ s

4. ไล่เส้นทางของขอบเขตบ่อเหมืองหลังจากการโปรแกรมไดนามิคโดยวิธีเดียวกันกับวิธีการของ Lerchs และ Grossmannโดยที่เริ่มจากแถวตั้งที่ 1,2,3,....,NS-1 เป็นแถวตั้งสุดท้าย จะได้เส้นขอบเขตบ่อเหมืองต่าง ๆ จำนวน NS-1 เส้นทาง ดังแสดงในภาพที่ 3.14(ข)

5. คำนวณหาปริมาณแร่ที่ขุดขึ้นมาตามเส้นทางขอบเขตบ่อเหมืองในแต่ละลำดับการทำเหมือง โดยวิธีการรวมปริมาณแร่ที่ขุด (บวกกัน) จะได้ R_n

6. คำนวณเวลาที่ใช้ในการขุดดินและแร่ที่ขุดขึ้นมาตามเส้นขอบเขตบ่อเหมืองในแต่ละลำดับการทำเหมือง จากปริมาณแร่ที่ขุดหารด้วยความสามารถในการขุดแร่บวกกับปริมาณดินที่ขุดหารด้วยความสามารถในการขุดดิน จะได้ T_n

7. ทำการเลือกเส้นขอบเขตบ่อเหมืองจากเส้นทางที่ 1 เป็นต้นไปตามลำดับจนถึงเส้นทางที่ N โดยให้ผลต่างน้อยที่สุดของปริมาณแร่ที่ขุดกับแผนการผลิต ซึ่งจะเป็นการจัดลำดับการทำเหมืองตามแผนการผลิต ดังแสดงในสมการที่ 3.23 ถ้าเป็นการจัดลำดับการทำเหมืองตามความสามารถในการขุดดินแร่ จะเลือกขอบเขตบ่อเหมืองที่ให้ผลต่างน้อยที่สุดของเวลาที่ใช้ในการขุดกับลำดับที่ของลำดับการทำเหมือง ดังแสดงในสมการที่ 3.24 จะได้เส้นทางเลือกที่ n

ซึ่งเป็นขอบเขตบ่อเหมืองของลำดับการทำเหมืองที่ s ซึ่งสอดคล้องกับสมการที่ 3.23 และ 3.24 ดังนี้

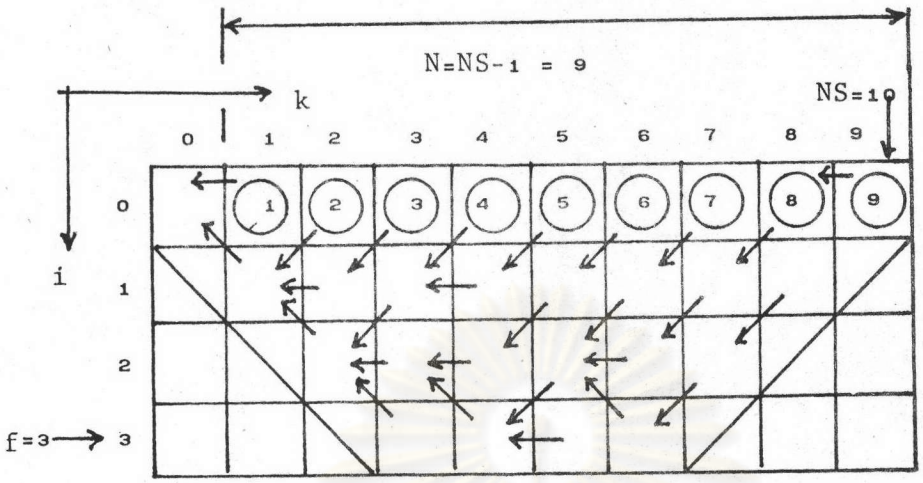
$$A_s = \min_n [\text{Absolute } (R_n - P_s)] \quad \ldots(3.23)$$

หรือ

$$B_s \quad \min_n [\text{Absolute } (T_n - s)] \quad \ldots(3.24)$$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จำนวน เส้นทาง เลือกทั้งหมด



(ก) ทิศทาง เลือก เส้นขอบ เขตบ่อ เหมือง

เส้นทาง ที่ n	ความลึกของแต่ละแถวตั้ง										ปริมาณ แร่ R_n	เวลา ที่ใช้ T_n
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9		
1	0	0									R_1	T_1
2	0	1	0								R_2	T_2
3	0	1	1	0							R_3	T_3
4	0	1	2	1	0						R_4	T_4
5	0	1	2	1	1	0					R_5	T_5
6	0	1	2	2	2	1	0				R_6	T_6
7	0	1	2	2	3	2	1	0			R_7	T_7
8	0	1	2	2	3	2	2	1	0		R_8	T_8
N=9	0	1	2	2	3	2	2	1	0	0	R_9	T_9

(ข) ขอบ เขตบ่อ เหมืองจากการ เลือก เส้นทางต่าง ๆ

ภาพที่ 3.14 การประยุกต์การโปรแกรมไดนามิคในการจัดลำดับการทำ เหมือง