บทที่ 3

ขั้นตอนการดำเนินการ

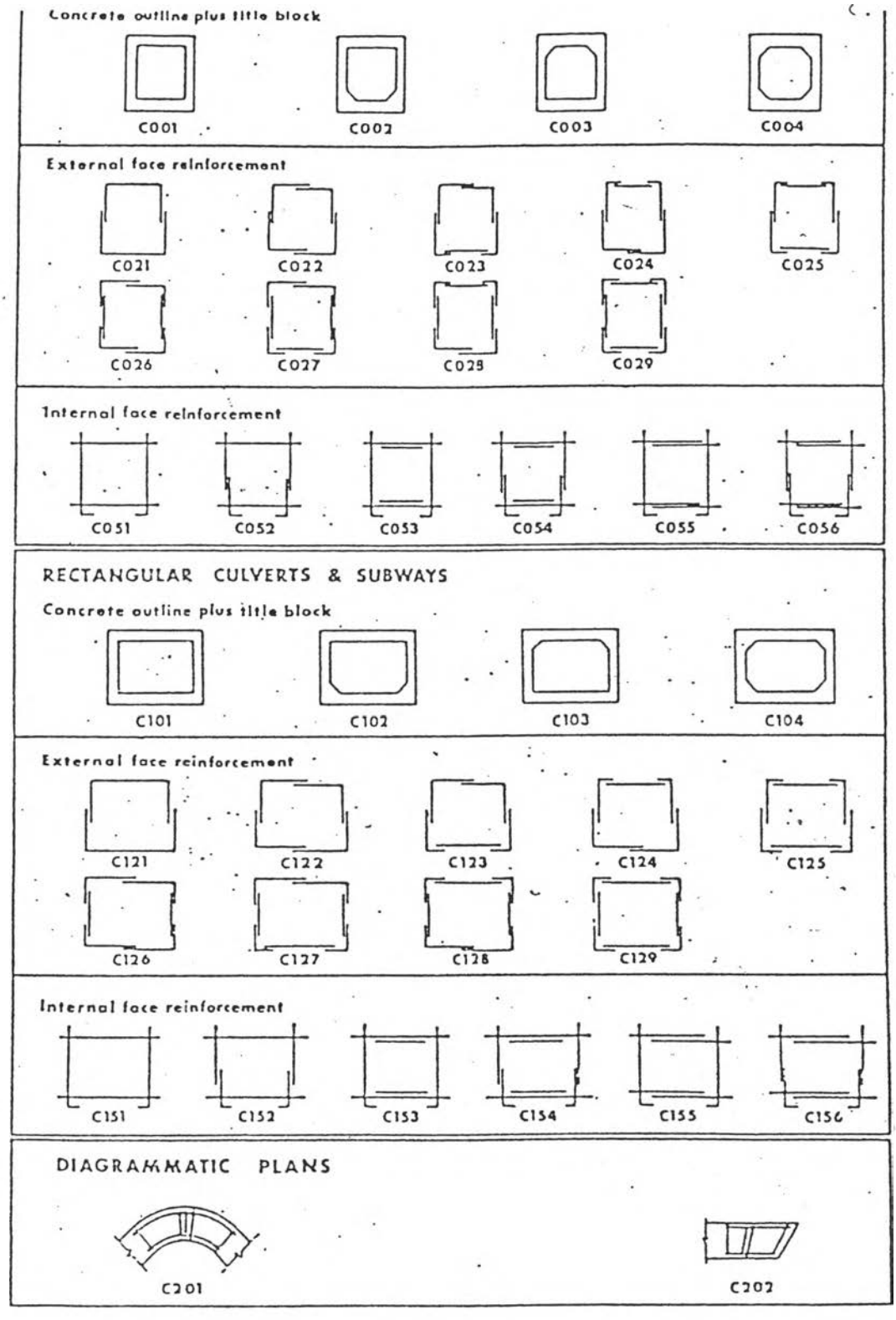
จากงานวิจัย และทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง แสดงให้เห็นว่างานวิจัยที่ผ่านมายังมีขอบเขตจำกัดหลายด้าน แต่สามารถนำทฤษฎีการจัดกลุ่ม และสมการเชิงเส้นตรงมาแก้ปัญหาเหล่านี้ได้ตามขั้นตอนการดำเนินการ ซึ่งเริ่มด้วยการให้เบอร์เหล็ก ทำการจัดหมู่แล้วนำเข้าสมการเชิงเส้นตรง สุดท้ายเป็นการปรับปรุงผลลัพธ์ที่ได้ให้เป็นผลลัพธ์ที่เป็นไปได้ เพราะผลลัพธ์ที่ออกมาเป็นรูปจำนวนจริงแต่จำนวนของรูปแบบการตัดเหล็กเสริมที่เป็นคำตอบของสมการเชิงเส้นตรงต้องเป็นจำนวนเต็ม ในขั้นตอนการดำเนินงานขอกล่าวโดยละเอียดดังนี้

3.1 การให้รายละเอียดเหล็ก (BAR CODE)

การจัดระบบงานเหล็กเสริมที่ดีจำเป็นต้องมีการให้รายละเอียดเหล็กเสริมในแต่ละกลุ่มหรือแต่ละเส้น นอกจากประโยชน์ในด้านการสั่งตัดเหล็กเสริมแล้วยังช่วยให้สามารถประมาณการเหล็กเสริมที่ต้องใช้ด้วย มีกฎเกณฑ์การใช้ระบบการให้รายละเอียดเหล็กเสริมหลายระบบแตกต่างกันในแต่ละองค์กรหรือบริษัท แต่ที่จะนำเสนอในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้คือ ระบบ LUCID เนื่องจากเป็นระบบที่เป็นพื้นฐานในระบบข้อมูลของโปรแกรมการใช้ AUTOLISP ในการเขียนแบบ และคำนวณปริมาณวัสดุ ที่ส่งข้อมูลมาให้คำนวณ LUCID ย่อมาจาก LOUGHBOROUGH UNIVERSITY COMPUTERISED INTERNATION AND DRAWING เป็นองค์กรที่ตั้งมาตั้งแต่ปี ค.ศ. 1971 เพื่อพัฒนาระบบการให้รายละเอียดเหล็กเสริมแก่อุตสาหกรรมก่อสร้างในประเทศอังกฤษ เพื่อช่วยแก้ปัญหางานรายละเอียดเหล็กเสริมที่ยุ่งยากและซับซ้อน และเพื่อลดเวลาสำหรับผู้ออกแบบ ช่างเขียนแบบในการเขียนแบบซ้ำแล้วซ้ำเล่า

ระบบ LUCID จัดลักษณะการจัดวางเหล็กเสริมในองค์อาคารต่างๆ เป็นแบบมาตรฐานต่างๆ แล้วให้ชื่อรหัสของแบบการวางเหล็กเสริมในแต่ละแบบนั้น ซึ่งได้ทำเป็นหลายรูปแบบที่สะดวกในการอ้างอิงถึง หรือเรียกใช้ ขั้นตอนการจัดทำของระบบ LUCID เป็นดังนี้

1) สร้างแบบลักษณะการเสริมเหล็กแบบต่างๆ ในแต่ละองค์อาคารไว้เป็นมาตรฐาน



รูปที่ 2.1 OVERLAY BOXCULVERT

2) กำหนดหมายเลขของแบบนั้นๆ เพื่อสะดวกในการอ้างถึง

3) จัดแยกการเสริมเหล็กแบบต่างๆ ออกเป็นส่วนๆบนแผ่นใส

4) กำหนดหมายเลขแยกกันออกไป เช่น BOX CULVERT จะแบ่งแบบเป็น 3 กลุ่มรูป คือ (4.1) แสดงคอนกรีต

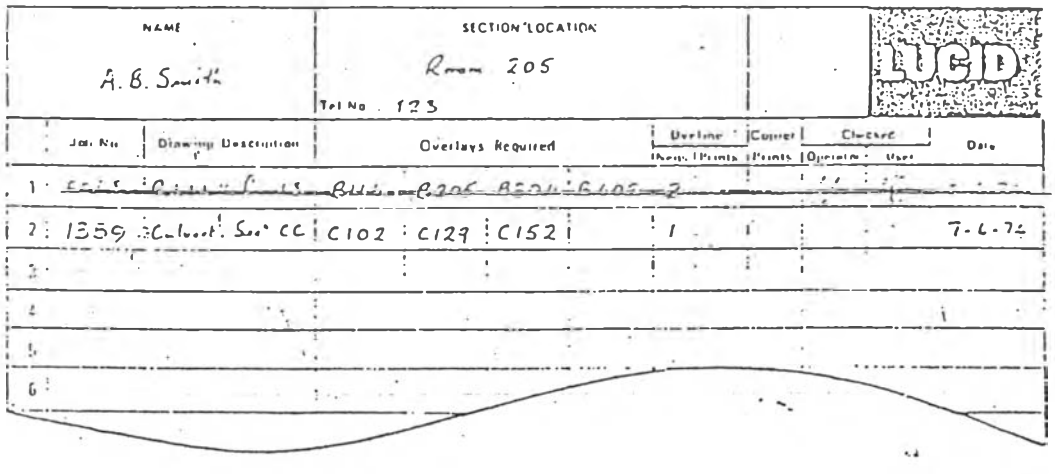
(4.2)แสดงเหล็กเสริมภายนอก

(4.3)แสดงเหล็กเสริมภายใน

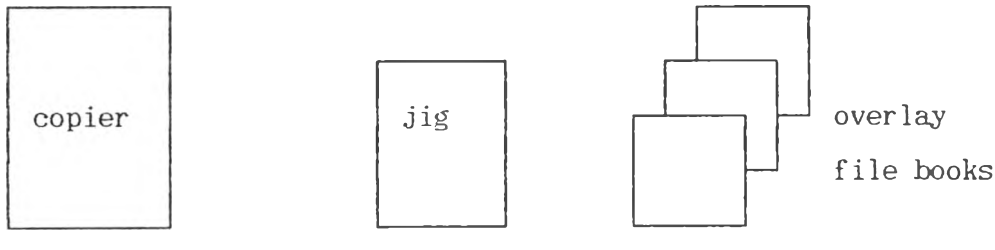
ดังรูปประกอบ 3.1

5) เมื่อผู้ออกแบบเขียนแบบให้เป็นลักษณะใดก็เลือกแผ่นใสสามแผ่นจากสามกลุ่มรูปมาประกอบกันแล้วถ่ายสำเนา ทำให้ได้แบบตามต้องการ เช่นกันวิศวกรหน้างานก็สามารถดูรายละเอียดจากแบบที่อาจไม่ชัดเจนด้วยการดูเบอร์อ้างอิงของรูปประกอบแล้วไปดูรูปที่ไม่เข้าใจ จากนั้นให้หมายเลขเหล็กเสริมแต่ละเส้นตามรูป เพื่อสะดวกในการอ้างถึงแบบรูปต่างๆ และเป็นส่วนหนึ่งในขั้นตอนการจัดแบบ จึงต้องมีตารางประกอบแนบแบบซึ่งเรียกว่า ORDER FORM ดังแสดงในรูป 3.2

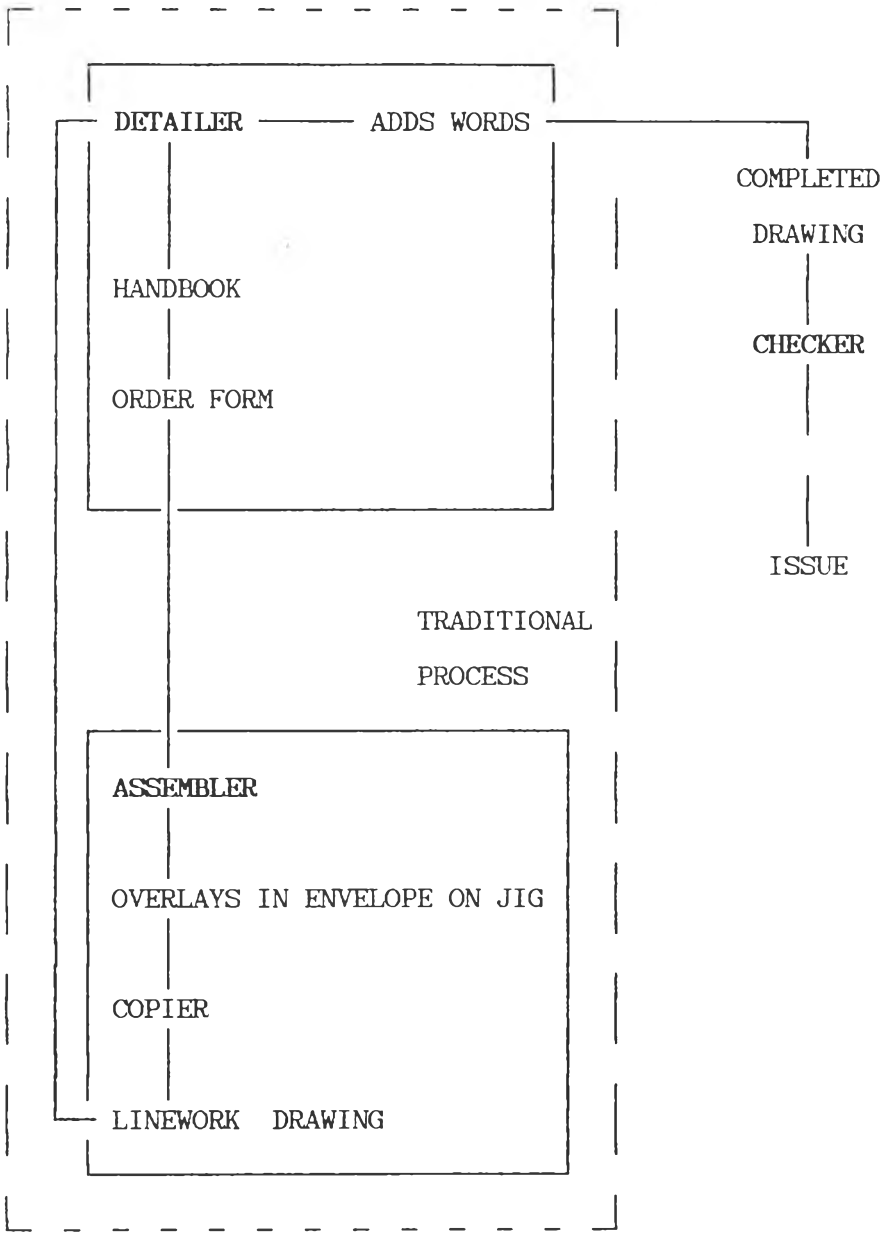
ขั้นตอนการทำงานแสดงในรูป 3.3 และรูป 3.4



รูปที่ 3.2 แสดง ORDER FORM



รูปที่ 3.3 แสดงการจัดรูป



รูปที่ 3.4 แสดงขั้นตอนการให้รายละเอียดเหล็กเสริมวิธี LUCID

การอ่านรายละเอียดจากแบบ และถอดแบบในรูปข้อมูลที่ส่งเข้าคำนวณ เป็นการถอดแบบเหล็กเสริมในรูปเบอร์เหล็กเพื่อนำเบอร์เหล็กมาเป็นข้อมูลใช้ในการคำนวณ ซึ่งการให้เบอร์เหล็กเสริมนี้ใช้ตาม โปรแกรมการใช้ AUTOLISP ในงานเขียนแบบอาคารและคำนวณปริมาณวัสดุ เพื่อให้สามารถเชื่อมต่อกับ โปรแกรมการใช้ AUTOLISP ในงานเขียนแบบอาคาร และคำนวณปริมาณวัสดุได้ ข้อมูลเหล็กเสริมนี้เป็นข้อมูลแบบ TEXT FILE ทำให้สามารถเชื่อมต่อกับข้อมูลจากโปรแกรมอื่นที่ให้ข้อมูลแบบ TEXT FILE ได้ ถ้าผู้ใช้

สร้างโปรแกรมการถอดแบบเหล็กขึ้นมาเองใหม่ที่คิดว่าดีที่สุดก็สามารถนำผลการถอดเหล็กเสริมมาใช้กับโปรแกรม YTP ได้ทันที ถ้าข้อมูลที่ได้จากโปรแกรมนั้นเป็น TEXT FILE ที่เป็นรูปแบบเดียวกับ TEXT FILE ของโปรแกรม YTP สำหรับโปรแกรมการถอดแบบบางโปรแกรมหรือจากการถอดแบบโดยไม่ใช้คอมพิวเตอร์ที่ให้ผลลัพธ์ข้อมูลไม่ตรงกับรูปแบบของโปรแกรม YTP นี้ สามารถนำข้อมูลมาใช้ได้ โดยโปรแกรม YTP มีเมนูสำหรับผู้ใช้เขียนข้อมูลเองได้ด้วย โดยโปรแกรม YTP ทำการกำหนดหมายเลขแสดงลำดับบอกให้โดยอัตโนมัติซึ่งข้อมูลที่ป้อนอย่างน้อยต้องมีค่าความยาวและจำนวนของเหล็กเสริม รายละเอียดในส่วนนี้ดูได้จากภาคผนวก ก "คู่มือการใช้โปรแกรม YTP" ในหัวข้อวิธีการใช้โปรแกรมท้ายวิทยานิพนธ์ทำให้มีระบบการที่ใช้ในการคำนวณในโปรแกรม

ตัวอย่างนี้ได้แสดงวิธีการทำงานตั้งแต่เริ่มจนเสร็จสิ้น โดยใช้การถอดแบบเหล็กจากแบบแปลนที่เขียนโดยวิธี LUCID ในตัวอย่างนี้ยกมาอธิบายเฉพาะคานเท่านั้น

จากแบบคานในรูป 3.5 ในแบบแสดงคานประกอบด้วย หมายเลขงาน ชื่องาน แบบอ้างอิง เบอร์เหล็ก ผู้เขียน ผู้ตรวจสอบ มิติ OVERLAY แสดงการเสริมแต่ละหน้าตัดคาน เป็นต้น โดยแยกเป็นรายการย่อยเพื่อขยายความเฉพาะรายการที่ต้องให้รายละเอียดดังนี้

1) OVERLAY แสดงSECTION และ ELEVATION ของคานในจุดต่างๆ ในรูป 3.5 ประกอบด้วย 4 OVERLAYS ดังนี้

1.1) BOTTOM SPAN BAR แสดง ELEVATION รูปตัด AA ที่กลางช่วง และรูปตัด BB ที่ใกล้จุดรองรับเพื่อแสดงเหล็กเสริมชั้นล่าง OVERLAY นี้มีทั้งหมด 57 OVERLAYS ตั้งแต่ H100-H156 ดังแสดงในรูป 3.6 จากแบบคานตัวอย่างนี้ใช้ OVERLAY H118

1.2) LINK IN SECTION แสดงหน้าตัดของเหล็กเสริมบน และเหล็กปลอก ณ.รูปตัด AA ที่กลางช่วงรูปตัด BB ที่จุดรองรับ OVERLAY นี้มีทั้งหมด 32 OVERLAYS ตั้งแต่ H301-H316 และ H351-H366 ดังแสดงในรูป 3.7 จากแบบคานตัวอย่างนี้ใช้ OVERLAY H309

1.3) RIGHT-HAND SUPPORT BARS แสดงหน้าตัดคอนกรีต และ ELEVATION ที่จุดรองรับด้านขวามือ ดังแสดงในรูป 3.8 จากแบบคานตัวอย่างนี้ใช้ OVERLAY H215 รูปแบบของ OVERLAY มีทั้งหมด 32 OVERLAYS รวมทั้ง OVERLAY ที่วางไว้สำหรับผู้ใช้เขียนหน้าตัดเพิ่มเองด้วย ประกอบด้วย

H201-H239	แสดงในกรณีที่มีเหล็กเสริมชั้นล่าง 1 ชั้น
H250-H253	แสดงในกรณีที่มีเหล็กเสริมชั้นล่าง 2 ชั้น
และH260-H288	แสดงในกรณีที่มีเหล็กเสริมชั้นล่างในคานต่อเนื่องที่ประสงค์จะแสดงในแบบรูปอื่น เช่น H250 หรือแสดงเหล็กเสริม ณ. จุดปลายของคาน เช่น H251-H253

จะเห็นได้ว่า LUCID ไม่ให้ความสำคัญกับเหล็กเสริมล่าง ณ.จุดรองรับมากนักซึ่งถ้าผู้ใช้ต้องการแสดงรายละเอียดในส่วนของเหล็กล่างนี้ก็ต้องเขียนเสริมเข้าไปเอง

1.4) LINK ZONES AND LEFT-HAND SUPPORT DETAIL แสดงรูปตัด ELEVATION และตำแหน่งหน้าตัด AA และ BB โดยเป็นการให้รายละเอียดในจุดต่อด้านซ้ายมือ ซึ่งประกอบด้วย 36 OVERLAYS ดังแสดงในรูป 3.9 ตัวอย่างนี้ใช้ OVERLAY H403 แสดงให้เห็นได้ว่า LUCID ได้แสดงรายละเอียดเหล็กเสริม ณ.จุดต่อด้านขวามือของคาน ซึ่งด้านซ้ายมือเป็นเพียงการแสดงอย่างไม่ละเอียด โดยรายละเอียดการเสริมเหล็กด้านซ้ายมือของคานนี้ ดูได้จากรายละเอียดการเสริมเหล็กของคานตัวถัดไปทางด้านซ้ายมือ เพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาการคิดเหล็กเสริมซ้ำซ้อน

2) ORIGINAL DATE วันที่เขียนแบบ

3) DRAWING MADE CHECKED ชื่อผู้เขียน และผู้ตรวจสอบ

4) DRAWING AMENDMENTS บันทึกการแก้ไขเพิ่มเติม

5) BARMARKS ON DRAWING แสดงหมายเลขเหล็กเส้นที่กำหนดในแบบ

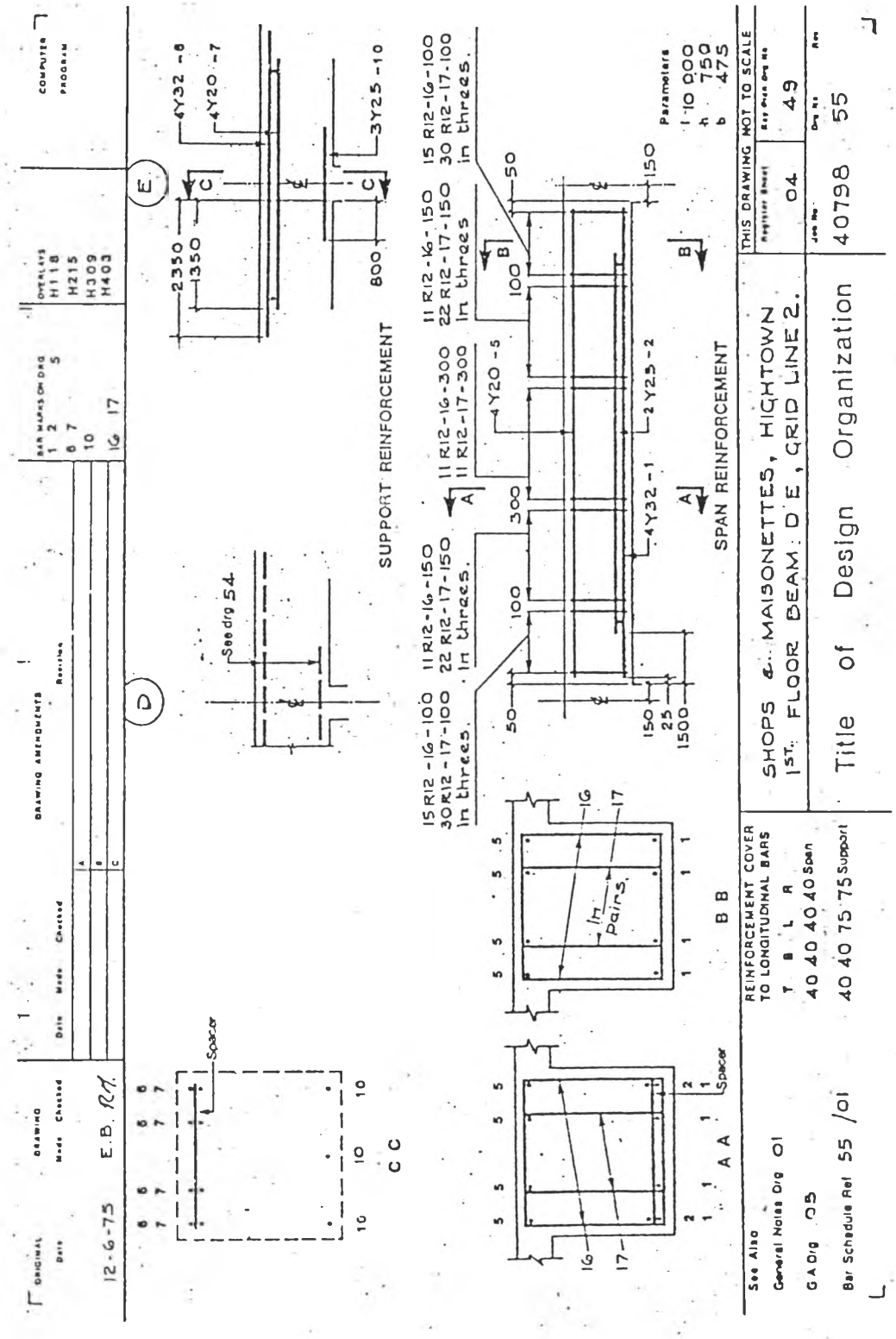
6) COMPUTER PROGRAM ชื่อไฟล์ที่เก็บข้อมูล

7) SEE ALSO

7.1) GENERAL NOTE ORG. ดูบันทึกประกอบแบบเลขที่

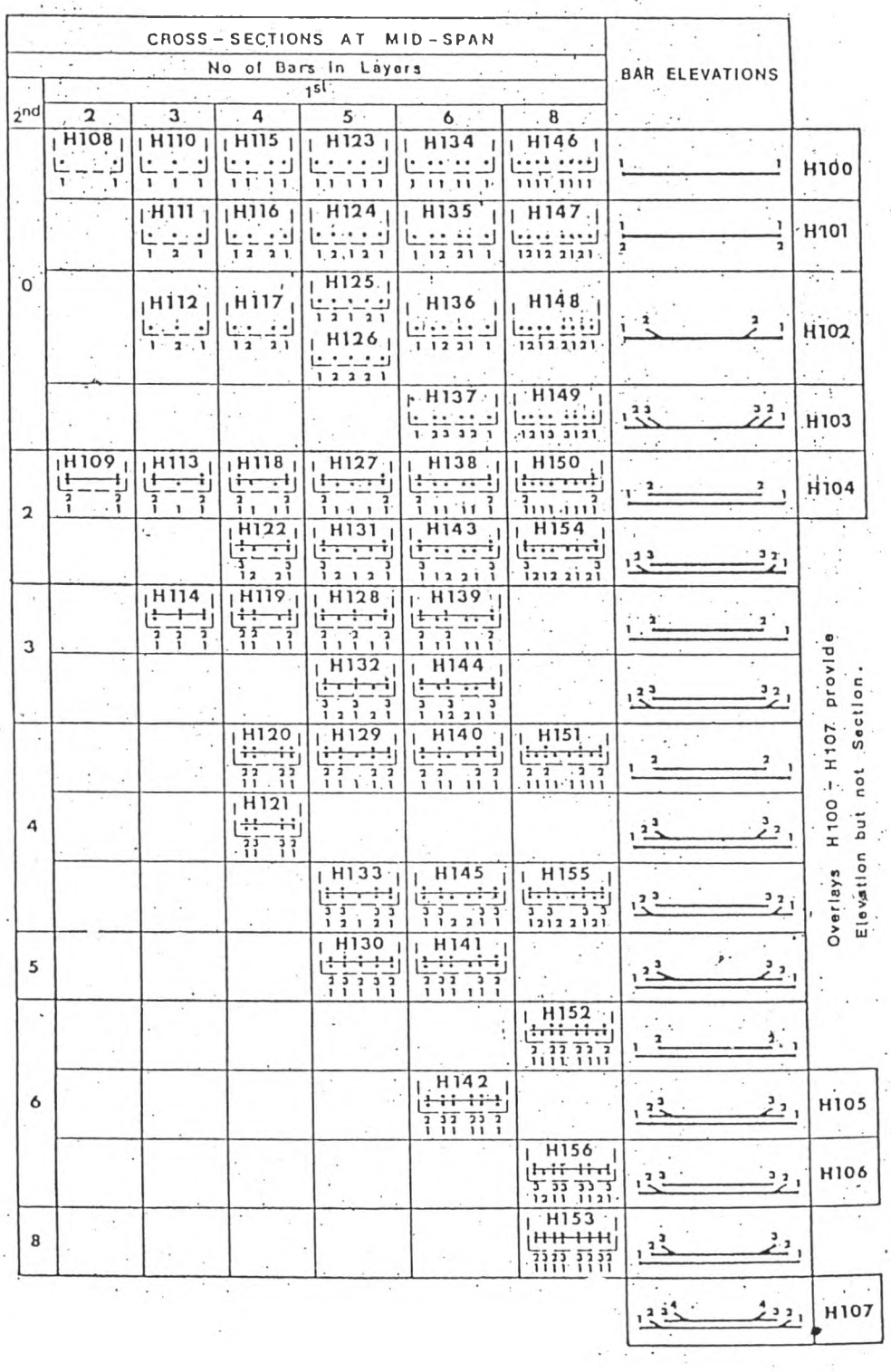
7.2) GA. DRG. ดูแบบประกอบเลขที่

7.3) BAR SCHEDULE REF. ตารางเหล็กที่อ้างถึง

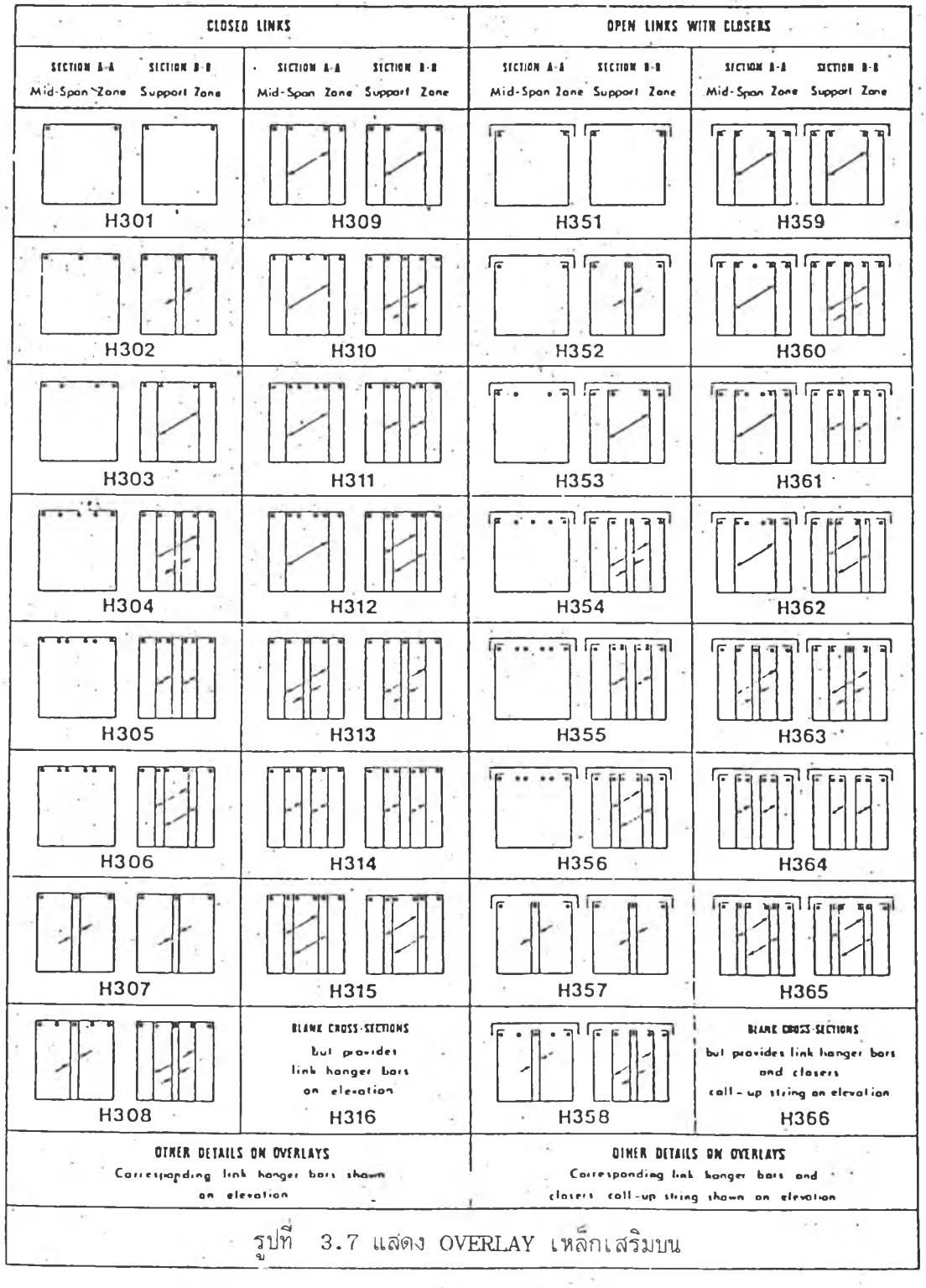


รูปที่ 3.5 แสดง OVERLAY คาน

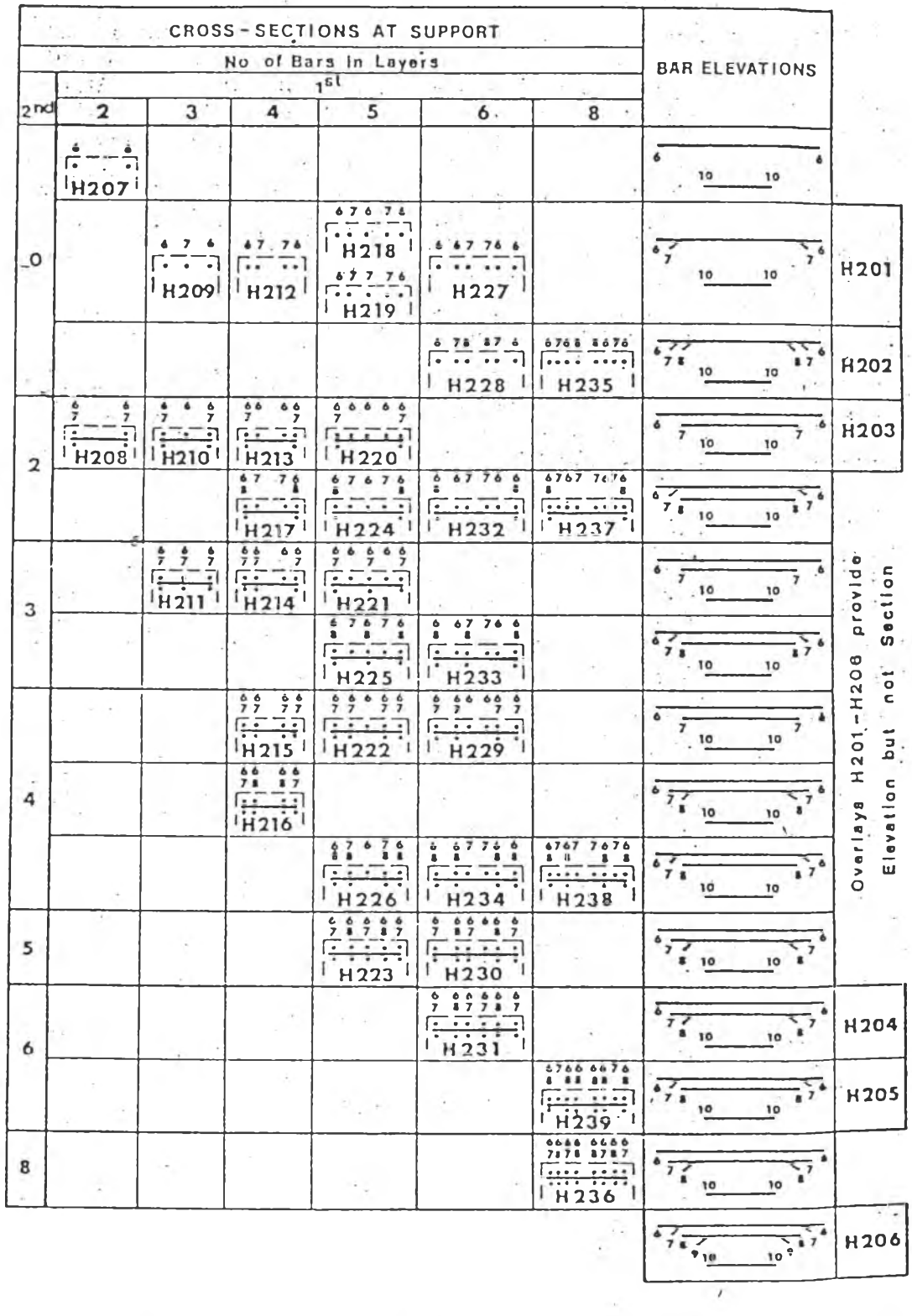
018479



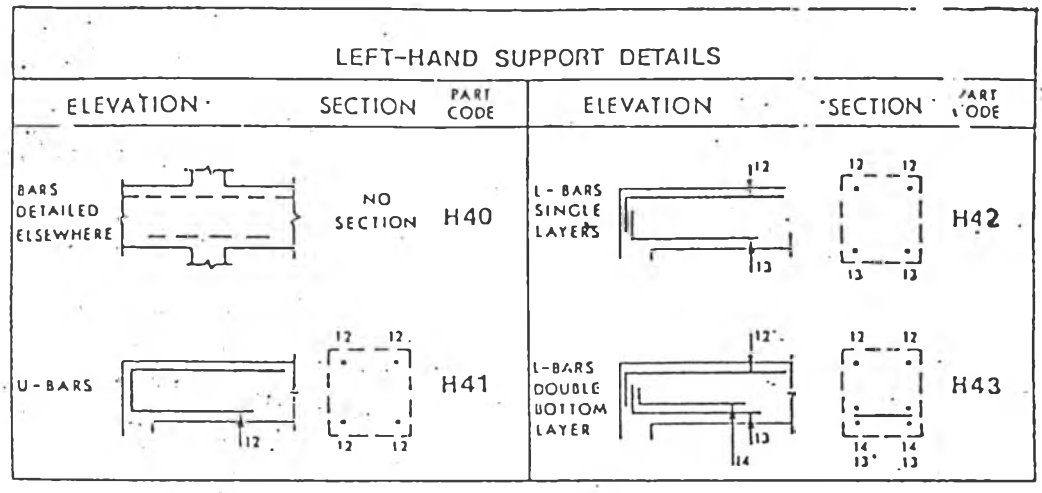
รูปที่ 3.6 แสดง OVERLAY เหล็กเสริมล่าง

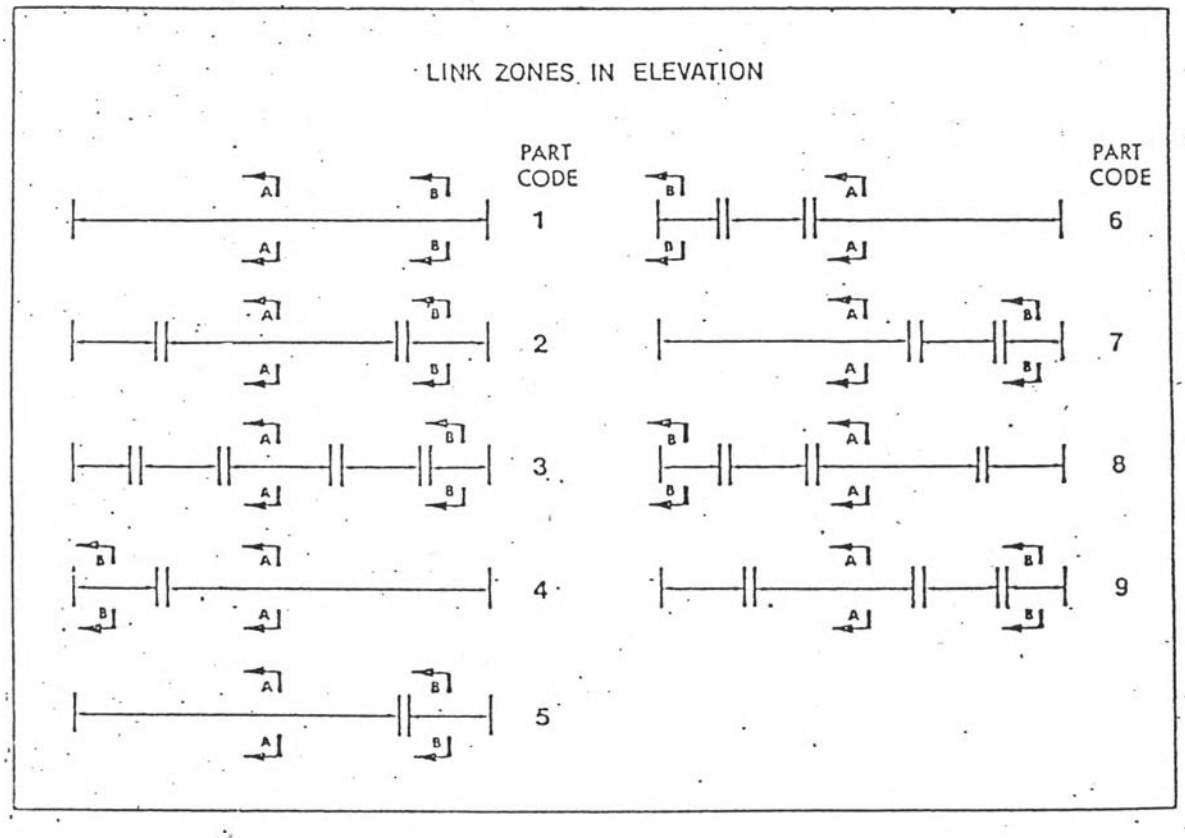


รูปที่ 3.7 แสดง OVERLAY เหล็กเสริมบน



รูปที่ 3.8 แสดง OVERLAY เหล็กเสริม ณ.จุดต่อด้านขวา





รูปที่ 3.9 แสดง OVERLAY เหล็กเสริม ณ.จุดต่อด้านซ้าย

8) REINFORCEMENT COVER TO LONGITUDINAL BARS ระยะคอนกรีตหุ้มเหล็กที่ตำแหน่งกลางคาน และจุดรองรับด้านต่าง ๆ

8.1) T ด้านบน

8.2) B ด้านล่าง

8.3) L ด้านซ้าย

8.4) R ด้านขวา

9) ชื่อคาน

10) ชื่อโครงการ

11) REGISTER SHEET บัญชีเอกสาร

12) KEY PLAN DRG. NO. หมายเลขแบบหลัก

13) JOB NO. หมายเลขงาน

14) DRG. NO. หมายเลขแบบ

15) PARAMETERS แสดงมิติของคาน

15.1) l ความยาว

15.2) h ความลึก

15.3) b ความกว้าง

การเสริมเหล็กของคานในระบบ LUCID เป็นการเสริมเหล็กยาวเฉพาะหนึ่งช่วงเสา ถ้าเป็นคานต่อเนื่องก็ต้องเสริมเหล็กต่อเชื่อมที่หัวเสานั้น จากคานตัวอย่างสามารถถอดเหล็กได้ดังนี้

1) 4 Y32-1 ยาว 9.65 ม.

2) 2 Y25-2 ยาว 6.70 ม.

3) 4 Y20-1 ยาว 9.65 ม.

4) 4 Y32-6 ยาว 5.00 ม.

5) 4 Y20-7 ยาว 3.00 ม.

6) 4 Y25-10 ยาว 1.90 ม.

7) 2(15 R12-16-100 + 11 R12-16-150)+ 11 R12-16-300 ยาว 2.45 ม.

8) 2(130 R12-17-100+ 22 R12-17-150)+ 11 R12-17-300 ยาว 1.98 ม.

แสดงเป็นหมายเลขเหล็กเพื่อป้อนเข้าโปรแกรมได้ดังนี้

	เบอร์คาน	เบอร์เหล็ก	ความยาว	จำนวน	ขนาด	ชนิด
1. 4 Y32-1-9.65	B1	001	9.65	4	32	DB30
2. 2 Y25-2-6.70	B1	002	6.70	2	25	DB30
3. 4 Y20-1-9.65	B1	003	9.65	4	20	DB30
4. 4 Y32-6-5.00	B1	004	5.00	4	32	DB30
5. 4 Y20-7-3.00	B1	005	3.00	4	20	DB30
6. 4 Y25-10-1.90	B1	006	1.90	4	25	DB30
7. 63 R12-16-2.45	B1	007	2.45	63	12	RB25
8. 115 R12-17-1.98	B1	008	1.98	115	12	RB25
1. 4 Y32-1-9.65	1001	001	9.65	4	32	DB30
2. 2 Y25-2-6.70	1002	002	6.70	2	25	DB30
3. 4 Y20-1-9.65	1003	003	9.65	4	20	DB30
4. 4 Y32-6-5.00	1004	004	5.00	4	32	DB30
5. 4 Y20-7-3.00	1005	005	3.00	4	20	DB30
6. 4 Y25-10-1.90	1006	006	1.90	4	25	DB30
7. 63 R12-16-2.45	1007	007	2.45	63	12	RB25
8. 115 R12-17-1.98	1008	008	1.98	115	12	RB25

แสดงให้เห็นว่าสามารถเขียนเป็นรูปแบบข้อมูลเพื่อป้อนเข้าสู่โปรแกรมได้หลายแบบจากตัวอย่างนี้ยกมาเพียงสองแบบ รูปแบบแรกเป็นการเขียนโดยแปลงหมายเลขในเบอร์เหล็กให้เรียงเป็นแบบ RUNNING NUMBER เพื่อสะดวกในการดู ต่อเติม และแก้ไขข้อมูล และให้เบอร์คานเป็นเบอร์ B1 ซึ่งอาจไม่สะดวกในการที่ต้องเอาผลจากการ

พิมพ์ตกลง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

คำนวณมาเทียบหาเบอร์เหล็กตามแบบอีกครั้ง อีกรูปแบบคือการตัดเบอร์คานออกใส่เป็นเบอร์เหล็กแทนโดยตรงได้ เพราะในข้อมูลของเบอร์คานนั้นเป็นเพียงตัวชี้ติดตามเหล็กที่ตัดเพื่อให้ได้ความยาวนี้เท่านั้น ผู้ใช้สามารถใส่เป็นหมายเลข หรือสัญลักษณ์ใด ๆ ก็ได้โดยไม่มีผลต่อการคำนวณ ดังแสดงในรูปแบบการให้เบอร์เหล็กเพื่อการคำนวณชุดหลัง

3.2 การจัดกลุ่ม

ขั้นเริ่มต้นก่อนการตั้งสมการในระบบสมการเชิงเส้นตรงจำเป็นต้องหาความเป็นไปได้ของการตัดเหล็กในทุก ๆ รูปแบบเพื่อดูว่ามีความเป็นไปได้กี่รูปแบบที่ต้องตัดเหล็กเส้นให้ได้ตามความยาวที่ต้องการ เป็นลักษณะที่เรียกว่า "การจัดกลุ่ม" เป็นการจัดกลุ่มเพื่อหาทุกรูปแบบของความเป็นไปได้ของการตัดเหล็ก จากนั้นนำรูปแบบต่าง ๆ ของการจัดกลุ่ม มาจัดเรียงกันตามเศษเหล็กที่เหลือจากการจัดกลุ่มรูปแบบนั้น ๆ จากน้อยไปหามาก ซึ่งคือการจัดเรียงตามรูปแบบการตัดเหล็กที่ดีไปหารูปแบบการตัดเหล็กที่ไม่ดีโดยคิดว่ารูปแบบการตัดเหล็กที่ดีต้องให้เศษเหล็กที่เหลือจากการตัดเหล็กให้น้อยที่สุด

ในทางปฏิบัตินั้นถ้ามีเหล็กเส้นขนาดที่ต้องการหลาย ๆ ความยาว และมีรูปแบบการตัดเหล็กหลาย ๆ รูปแบบ ทำให้ไม่สามารถทำการคำนวณในระบบสมการเชิงเส้นตรงได้ทั้งหมดจึงต้องคัดมาทำการจัดกลุ่มทีละกลุ่มของกลุ่มข้อมูล แล้วนำมาเข้าระบบสมการเชิงเส้นตรงเพื่อคำนวณต่อไป

ในโปรแกรม YTP ได้นำกลุ่มข้อมูลมาคำนวณครั้งละ 25 กลุ่มข้อมูล จากนั้นทำการจัดกลุ่มโดยเลือกมาจัดกลุ่มครั้งละไม่เกิน 4 ค่าความยาว สามารถแสดงเป็นสัญลักษณ์ตามทฤษฎีการจัดกลุ่มได้ดังนี้

$$C = \frac{n!}{(n-r)!r!}$$

โดย $n <= 25$

$r <= 4$

หมายความว่า เป็นการนำข้อมูลของความยาวเหล็กที่ต้องการจากจำนวนทั้งหมดไม่เกิน 25 ข้อมูล มาทำการจัดกลุ่ม ๆ ละ 4 ข้อมูล จากนั้นนำมาคำนวณตามระบบสมการเชิงเส้นตรง โดยเลือกรูปแบบการจัดกลุ่มที่ดีที่สุดเท่ากับ 89 - จำนวนความแตกต่างความยาวเหล็ก เช่น ถ้ามีข้อมูลที่มีจำนวนความแตกต่างความยาวเหล็ก 25 ข้อมูล

รูปแบบการจัดกลุ่มที่ดีที่สุดที่นำมาคำนวณ เท่ากับ 89 - 25 = 64 รูปแบบ และลักษณะการจัดกลุ่มเป็นแบบสองมิติกล่าวคือ ให้การแปรผันทั้งจำนวนและขนาดความยาว สามารถอธิบายโดยสมการดังนี้

$$S - \sum_{\substack{i=1 \\ j=o}}^{n=4} X_i Y_j = Z \qquad \ldots.(1)$$

X_i, S, Z เป็นจำนวนจริงบวก

$C, Y_j > 0$ เป็นจำนวนเต็มบวก

โดยที่ S = ค่าความยาวเหล็กมาตรฐาน หรือเศษเหล็กมาตรฐาน

Z = ความยาวเศษเหล็กที่เหลือจากการตัด

X = ความยาวของเหล็กเส้นที่เราต้องการ

Y = จำนวนเหล็กเส้นที่ต้องการในแต่ละความยาว

m = จำนวนเหล็กในแต่ละความยาวของเหล็กชนิดนั้น ๆ

n = จำนวนความแตกต่างของความยาวเหล็กที่ใช้ในการจัดกลุ่ม แต่ละกลุ่ม

จากสมการข้างต้นแสดงให้เห็นว่า เป็นสมการขั้นพื้นฐานที่นำไปสู่การเข้าระบบสมการเชิงเส้นตรงนั่นเอง ในสมการแสดงการแปรเปลี่ยนไปของจำนวนเหล็กเส้นในแต่ละความยาว โดยใช้ค่าความยาวที่คำนวณแต่ละครั้งเท่ากับ 4 ค่าความยาว ทำการแปรค่าจำนวนเหล็กเส้นจาก 0 ไปจนถึงค่าจำนวนสูงสุดของความยาวเหล็กเส้นที่ต้องการนั้นๆ แล้วให้แสดงค่าที่เป็นไปได้ เฉพาะค่าความยาวเหล็กเส้นที่ต้องการรวมไม่เกินค่าความยาวเหล็กเส้น หรือเศษเหล็กมาตรฐาน จากนั้นนำมาจัดเรียงตามค่า Z หรือค่าความยาวเศษเหล็กที่เหลือดังกล่าวแล้วข้างต้น

สมมติฐานในการจัดกลุ่มเหล็กเสริมมีดังนี้

1) จัดเรียงลำดับการจัดกลุ่มตามเศษเหล็กที่เกิดขึ้นจากน้อยไปหามาก แล้วตัดการจัดกลุ่มที่มีความยาวเหล็กเสริมที่มีความยาวเศษเหล็กมากเกินลำดับที่ 89 - จำนวนความแตก

ต่างความยาวเหล็ก ออก นั่นคือ คัดรูปแบบการจัดกลุ่มที่ดีที่สุดเพียง
89 - จำนวนความแตกต่างความยาวเหล็ก รูปแบบมาคำนวณ

2) จำนวนขนาดความยาวของเหล็กเส้นมาตรฐานไม่จำกัด แต่ความยาวของเศษเหล็กมาตรฐานจำกัด และมีจำนวนความแตกต่างของความยาวของเหล็กมาตรฐาน และเศษเหล็กมาตรฐานได้ไม่เกินอย่างละ 2 ความยาว

3.3 ระบบสมการเชิงเส้นตรง (LINEAR PROGRAMMING)

เมื่อได้กลุ่มความเป็นไปได้ของข้อมูลตามทฤษฎีการจัดกลุ่มแล้ว ขั้นต่อไปคือการนำมาเข้าสมการ SIMPLEX METHOD เพื่อหาเป้าหมายต่ำสุด ดังนี้

สมการเป้าหมาย $\min Z = \sum_{i=1}^{m} c_{i,n+r+1} x_{i,n+r+1} = 0$ ....(2)

สมการเงื่อนไข
$$\sum_{i=1}^{m} \sum_{j=1}^{n} a_{ij} x_{ij} <= b_{m+1,j} \quad ....(3)$$
$$\sum_{i=1}^{m} \sum_{j=n+1}^{n+r} \alpha_{ij} x_{ij} <= e_{m+1,j} \quad ....(4)$$
$$\alpha_{ik} = 0 \text{ เมื่อ } \sum_{j=1}^{n} a_{ij} x_{ij} > d_k \quad ....(5)$$
$$\alpha_{ik} = 1 \text{ เมื่อ } \sum_{j=1}^{n} a_{ij} x_{ij} <= d_k \quad ....(6)$$

สำหรับ $k = n+1 \ldots r+1$

เมื่อ x_{ij} เป็นจำนวนเต็มบวก

โดยที่ Z คือ ความยาวรวมของเศษเหล็กทั้งหมด
c คือ เศษเหล็กที่เหลือในแต่ละแบบของการจัดกลุ่ม
x คือ จำนวนกลุ่มของการตัดเหล็กในแต่ละแบบของการจัดกลุ่ม
a คือ จำนวนเหล็กในแต่ละความยาวในแต่ละกลุ่ม
b คือ จำนวนทั้งหมดของความยาวแต่ละความยาว
e คือ จำนวนของเศษเหล็กมาตรฐานในเหล็กแต่ละความยาว
d คือ ความยาวของเศษเหล็กมาตรฐาน
r คือ จำนวนความแตกต่างของความยาวเศษเหล็กมาตรฐาน
m คือ จำนวนรูปแบบการจัดกลุ่มในการตัดเหล็ก
n คือ จำนวนความแตกต่างของเหล็กเส้นที่ต้องการ
α คือ ค่าระบุคำนวณจากเศษเหล็ก หรือเหล็กเส้นมาตรฐาน

ภายใต้สมมติฐานของข้อมูลเหล็กดังนี้

1) ความยาวเหล็กที่ป้อนเป็นความยาวสุทธิ
2) จุดต่อทาบถูกควบคุมและระบุแน่นอน
3) ไม่มีการต่อทาบนอกจุดที่ระบุนี้
4) การทำงานต้องยึดตามแบบอย่างเคร่งครัด

สมการที่ 2 เป็นสมการเป้าหมาย เพื่อลดค่าเศษเหล็กที่เกิดจากการตัดให้เหลือน้อยที่สุด

สมการที่ 3 เป็นสมการเงื่อนไขที่บังคับให้จำนวนเหล็กเส้นที่เกิดจากการตัดเพื่อให้ได้เหล็กเส้นแต่ละความยาว ไม่เกินจำนวนที่ต้องการ

จากสองสมการนี้สามารถคำนวณการตัดเหล็กเสริมจากเหล็กเส้นความยาวมาตรฐานที่มีจำนวนไม่จำกัดได้ แต่ไม่เพียงพอสำหรับการตัดจากเศษเหล็กที่มีจำนวนจำกัด ทำให้ต้องเพิ่มสมการเงื่อนไขสมการที่ 4 อีกสมการหนึ่ง

สมการที่ 4 เป็นสมการเงื่อนไขควบคุมการตัดเหล็กเส้นจากเศษเหล็กเส้นที่มีจำนวนจำกัด โดยใช้ เป็นตัวกำหนดรูปแบบการจัดกลุ่มว่ารูปแบบการจัดกลุ่มใดที่ตัดจากเหล็กเส้นมาตรฐาน และรูปแบบการจัดกลุ่มใดที่ตัดจากเศษเหล็กเส้นมาตรฐานที่มีจำนวนจำกัด

กำหนดค่า $\propto$ ให้เป็น 1 เมื่อความยาวรวมของกลุ่มเหล็กเส้นที่ตัดนั้นน้อยกว่าความยาวเศษเหล็กเส้นมาตรฐาน และเป็น 0 เมื่อความยาวรวมของกลุ่มเหล็กเส้นที่จัดมากกว่าความยาวเศษเหล็กเส้นมาตรฐาน

การกำหนดค่า $\propto$ เป็น 0 หรือ 1 นี้ วัตถุประสงค์เพื่อใช้เป็นตัวชี้ว่า รูปแบบการจัดกลุ่มการตัดเหล็กที่เลือกเป็นตัวแปรเข้าตามขั้นตอนการคำนวณนั้นเป็นการตัดจากเหล็กเส้นมาตรฐาน หรือเศษเหล็กมาตรฐาน หรือไม่เหมาะสมที่จะเลือกใช้ โดยเริ่มด้วยการนำรูปแบบการตัดเหล็กตามขั้นตอนการคำนวณมาตรวจสอบค่า $\propto$ ว่าเท่ากับ 0 หรือไม่ ถ้า $\propto$ เท่ากับ 0 ให้คำนวณตามขั้นตอนการคำนวณปกติ แต่ถ้า$\propto$เท่ากับ 1 ต้องตรวจสอบว่ากลุ่มข้อมูลตามแนวนอนนั้นใช้เศษเหล็กเส้นมาตรฐานมากกว่าจำนวนเศษเหล็กที่มีให้หรือไม่ ถ้าน้อยกว่าให้ดำเนินการคำนวณตามขั้นตอนปกติ แต่ถ้ามากกว่าให้ยกเลิกกลุ่มข้อมูล

ตามแนวนอนนั้นแล้วเลือกข้อมูลตามแนวนอนกลุ่มอื่นต่อไป

ขั้นตอนการคำนวณ มีดังนี้

1) จัดรูปแบบการจัดกลุ่มที่คัดแล้วมาจัดเข้าในรูปสมการเชิงเส้นตรง

2) ให้ค่าตัวเลขในแถวที่การจัดกลุ่มที่ใช้ความยาวเศษเหล็กมาตรฐานมาคำนวณเป็น 1 ค่าตัวอื่นในแถวนั้นให้เป็น 0

3) จัดรูปแบบสมการเชิงเส้นตรงให้อยู่ในรูป IDENTITY MATRIX

4) ทำการคำนวณตามวิธีของระบบสมการเชิงเส้นตรง

ตัวอย่าง มีความยาวเหล็ก 4 ความยาว แต่ละความยาวมีจำนวน n ใด ๆ ดังนี้

L1 = 2.21 ม. N1 = 8 เส้น

L2 = 2.91 ม. N2 = 1 เส้น

L3 = 3.28 ม. N3 = 2 เส้น

L4 = 3.88 ม. N4 = 2 เส้น

และมีเศษเหล็กเหลือ 1 เส้น ยาว 7.2 ม.

สามารถนำมาจัดกลุ่มเทียบกับความยาวเหล็กมาตรฐานเข้ารูปแบบ SIMPLEX METHOD ได้ดังนี้

n = 4 , r = 1

	a_{ij}				α	$c_{i,n+r+1}$
แถวที่	1	2	3	4	5	6
ความยาวเหล็ก	2.21	2.91	3.28	3.88	7.20	เศษ
จำนวนที่ใช้	1	0	0	2	0	0.03
	0	0	1	1	1	0.04
	3	0	1	0	0	0.09
	4	1	0	0	0	0.25
	1	1	2	0	0	0.32
	0	1	0	1	1	0.41
m = 16	2	0	1	1	0	0.42
	3	1	0	0	0	0.46
	0	1	2	0	0	0.53
	1	0	1	1	0	0.63
	2	1	0	1	0	0.79
	0	0	1	2	0	0.96
	5	0	0	0	0	-0.95
	0	1	0	0	0	-7.09
	0	0	2	0	0	-3.44
	0	0	0	2	0	-2.24
จำนวนแต่ละเส้น	8	1	2	2	2	0
			$b_{m+1,j}$		$e_{m+1,n+r}$	

จากรูปแบบมาตรฐานข้างต้น บรรทัดบนสุดเป็นความยาวเหล็กที่ใช้ตั้งแต่แถวที่ 1 ถึง 4 ส่วนแถวที่ 5 เป็นความยาวเศษเหล็กที่นำมาใช้ หรือที่เรียกว่า เศษเหล็กมาตรฐานนั่นเอง ในแถวสุดท้ายเป็นเศษเหล็กที่เหลือจากการตัดเหล็กในรูปแบบต่าง ๆ บรรทัดถัดๆมาเป็นจำนวนเหล็กที่ใช้ในรูปแบบการตัดต่าง ๆ ส่วนบรรทัดสุดท้ายเป็นจำนวนรวมของความยาวเหล็กเสริมแต่ละความยาวที่ต้องการ

สำหรับแถวที่ 5 ในบรรทัดถัด ๆ ลงมา แสดงการใช้ความยาวเศษเหล็กมาตรฐานความยาวนั้น ๆ ดังเช่น ในบรรทัดที่ 2 มีความหมายว่า ตัดเหล็กจากเศษเหล็กมาตรฐานความยาว 7.2 เมตร ทำให้ได้เหล็กเสริมที่ต้องการความยาว 3.28 ม. จำนวน 1 เส้น และความยาว 3.88 ม. จำนวน 1 เส้น โดยเหลือเศษเหล็กยาว 0.04 ม. นั่นคือ ถ้าเป็นรูปแบบของการตัดจากความยาวเศษเหล็กมาตรฐานใดก็ให้ค่าจำนวนที่ใช้ในบรรทัดที่ใช้เป็น 1 ในแถวของความยาวเศษเหล็กมาตรฐานนั้น ซึ่งถ้ามีค่าเป็น 0 แสดงว่าเป็นรูปแบบการตัดจากความยาวเหล็กเส้นมาตรฐานทั่วไป คือตัดจากความยาวเหล็กเส้นที่มีจำนวนไม่จำกัดนั่นเอง จากการสังเกตรูปแบบของกลุ่มเหล็กพบว่าตัวแปรที่เกิดขึ้นสามารถแบ่งได้เป็น 2 ชนิด คือ

1) ตัวแปรที่เกิดจากความยาวเหล็กมารวมกันตั้งแต่ 2 ความยาวขึ้นไป ตัวแปรชนิดนี้ให้สัมประสิทธิ์ในแถวตั้งมีจำนวนสัมประสิทธิ์เท่ากับจำนวนความยาวของเหล็กเส้นที่มารวมกัน ต่อไปเรียกตัวแปรชนิดนี้ว่า ตัวแปรไม่อิสระ

2) ตัวแปรที่เกิดจากความยาวของเหล็กเส้นความยาวเดียว ตัวแปรชนิดนี้ให้สัมประสิทธิ์ในแนวตั้งอยู่แค่หนึ่งตัว ต่อไปเรียกตัวแปรชนิดนี้ว่า ตัวแปรอิสระ

การเกิดตัวแปรชนิดที่สองนี่เอง สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้โดยลดขั้นตอนของวิธี SIMPLEX METHOD ไปหนึ่งขั้นตอน คือสามารถจัดรูปแบบสมการใหม่ส่วนหนึ่งอยู่ในรูป IDENTITY MATRIX ได้เลย โดยการทำสัมประสิทธิ์ของตัวแปรอิสระในสมการเป้าหมายให้เป็นศูนย์ ทำสัมประสิทธิ์ของตัวแปรอิสระในสมการเป้าหมายให้เป็นศูนย์ และทำสัมประสิทธิ์ของตัวแปรอิสระในสมการขอบข่ายให้เป็นหนึ่ง จากนั้นทำการคำนวณตามทฤษฎี SIMPLEX METHOD ธรรมดาจนถึงขั้นสุดท้ายดังนี้

ความยาวเหล็ก	2.21	2.91	3.28	3.88	7.20	เศษ
	0	0	1	0	0	0
	0	1	0	0	0	0
	1	0	0	0	0	0
	0	0	0	1	0	0
	-0.57	2.57	-1.29	1	-2.57	0.06
	-1.29	1.29	-0.14	1	-0.29	0.23
	0.57	0.43	0.29	0	-0.43	0.34

ความยาวเหล็ก	2.21	2.91	3.28	3.88	7.20	เศษ
	-0.29	0.29	-0.14	1	-0.29	0.23
	-0.86	2.86	-1.43	1	-2.86	0.29
	0.29	0.71	0.14	0	-0.71	0.57
	-0.71	0.71	0.14	1	-0.71	0.57
	-0.14	1.14	0.43	0	-1.14	0.91
	1.43	-1.43	0.71	0	1.43	0.86
	-1.14	1.14	-0.57	1	-1.14	6.91
	0.29	1.71	-0.86	0	-1.71	3.37
	-0.29	0.29	0.86	0	-0.29	2.23
	1.14	0.86	0.57	1	1.14	-0.40

จากตัวอย่างปรากฏคำตอบบนจอภาพ YTP ดังนี้

DIAMETER 16 DB30

quan.*length	quan.*length	quan.*length	quan.*length	no.cut	st
3*2.21	1*3.28			1	10.0
B2 007 3	B4 011 1				
1*3.28	1*3.88			1	7.2
B4 011 1	B2 003 1				
4*2.21	1*2.91			1	12.0
B2 007 4	B2 005 1				
1*3.88	1*2.21			1	10.0
B2 003 1	B2 007 1				
REST STEEL = 4.29					
USE 10.00 M. = 2					
USE 7.20 M. = 1					
USE 12.00 M. = 1					

3.4 ปรับปรุงผลเพื่อให้ได้คำตอบที่เป็นไปได้

ในการคำนวณโดยวิธี SIMPLEX METHOD ทำให้ได้คำตอบสุดท้ายเป็นค่าจำนวนจริง จึงนำมาประยุกต์ใช้กับวิธีการคำนวณการตัดเหล็กโดยตรงไม่ได้เพราะจำนวนครั้งของการตัดเหล็กแต่ละครั้งย่อมต้องเป็นจำนวนเต็มเสมอ ทำให้ผลลัพธ์ที่ต้องการค้นกับผลลัพท์ที่ได้ มีวิธีการหลายวิธีการในการปรับปรุงผลลัพธ์ของวิธี SIMPLEX METHOD ให้เป็นจำนวนเต็ม การพิจารณาถึงวิธีการที่สมควรนำมาใช้จำเป็นต้องพิจารณาจากเหตุผลหลาย ๆ ประการ ต้องพิจารณาว่าให้ค่าความถูกต้องที่เป็นผลลัพธ์ที่ดีที่สุดเพียงไร มีความยุ่งยากและต้องใช้เวลาในการคำนวณเท่าไหร่ สุดท้ายคือเหมาะสมกับการนำมาประยุกต์ใช้ในโปรแกรม YTP หรือไม่

ทฤษฎี INTEGER LINEAR PROGRAMMING สามารถช่วยแก้ปัญหาการคำนวณหาคำตอบที่เป็นจำนวนจริงได้ แต่ตามวิธีการ INTEGER LINEAR PROGRAMMING นั้นค่อนข้างยุ่งยากและซับซ้อนเมื่อเทียบกับความจำเป็นที่ต้องใช้เพราะในการคำนวณการตัดเหล็กเสริมจำนวนมาก การปรับปรุงคำตอบที่เป็นไปได้เป็นการดำเนินการกับจุดทศนิยมของค่าคำตอบของจำนวนรูปแบบการตัดเหล็กเส้นในลักษณะการตัดสินใจว่าเศษทศนิยมเท่าไหร่ควรปัดขึ้นหรือปัดลง จึงมีผลต่อจำนวนความยาวเหล็กมาตรฐานที่ใช้น้อย และยิ่งน้อยมากเมื่อเราคำนวณข้อมูลปริมาณมาก ๆ วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงตัดความยุ่งยากของการทำ INTEGER LINEAR PROGRAMMING ลง โดยการใช้วิธีการปัดค่าเศษแบบสุ่มอย่างมีระบบ การปัดเศษแบบสุ่มอย่างมีระบบ เริ่มจากการนำคำตอบที่เป็นจำนวนจริงมาทำการปัดเศษ ในขั้นตอนการปัดเศษนี้มีปัญหาว่า เศษทศนิยมเท่าใดจึงควรปัดลง ในตามหลักคณิตศาสตร์ระบุค่าเลขหลังจุดทศนิยมโดยยึดค่า 5 เป็นเกณฑ์ในการปัดขึ้นลงนั้นจากการทำการทดสอบกับข้อมูลการคำนวณหลายค่า พบว่าค่าคำตอบที่ได้ไม่ถูกต้อง และจากการทดสอบกว่าร้อยชุดข้อมูล พบว่าค่าที่เหมาะสมในการปัดเศษทศนิยมขึ้นควรปัดขึ้นเมื่อค่าเลขหลังทศนิยมมีค่ามากกว่า 0.91 หรือ มากกว่า

1-จำนวนตัวแปรเพิ่ม / [จำนวนตัวแปรเปลี่ยน+จำนวนตัวแปรเพิ่ม]

เราเรียกค่าที่ปัดขึ้นนี้ว่าค่า RND.