บทที่ 5

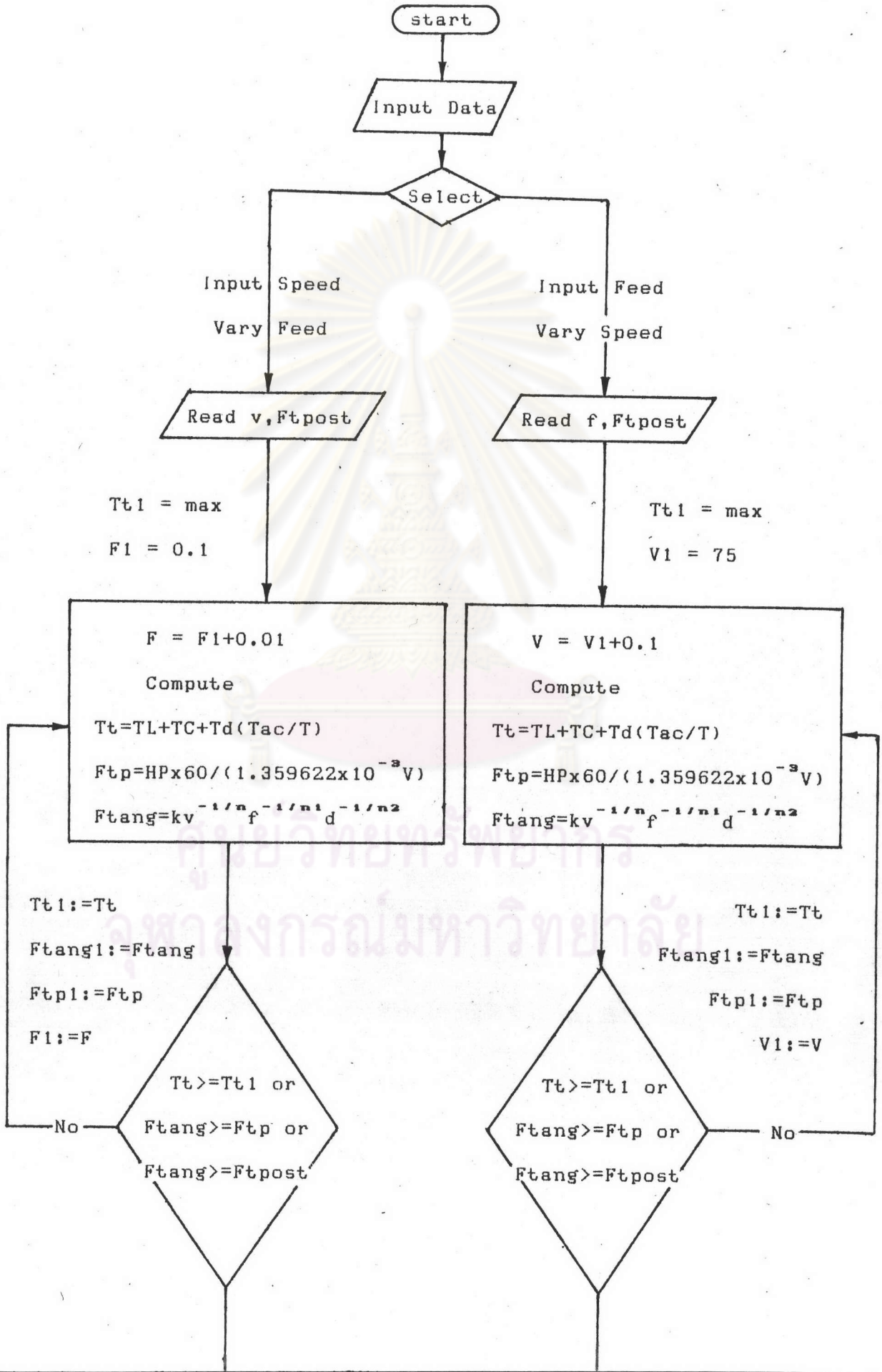
โปรแกรมคอมพิวเตอร์

การวิเคราะห์หาตัวแปรในการตัดที่เหมาะสมในโครงงานวิจัยนี้ มีข้อจำกัด 2 กรณี คือ เพื่อให้อัตราการผลิตสูงสุด และแรงที่ใช้ในการตัดต้องไม่เกินกำลังของเครื่องกลึง ดังนั้นการทำงานของโปรแกรมจะมีขั้นตอนตามลำดับดังนี้ คือ คำนวณหาอายุใบมีด คำนวณหาเวลาในการกลึงชิ้นงานหนึ่งชิ้น และคำนวณหาแรงในการตัด ที่สภาวะการตัดต่าง ๆ แล้วทำการเปรียบเทียบ เพื่อหาสภาวะการตัดที่ให้เวลาในการกลึงชิ้นงานหนึ่งชิ้นต่ำสุด หรือให้ค่าแรงตัดไม่เกินกำลังของเครื่องกลึง

5.1 โครงสร้างของโปรแกรม

ลักษณะโครงสร้างของโปรแกรม เป็นการใส่ข้อมูลเข้าโปรแกรมแล้วให้โปรแกรมทำการคำนวณ นำผลจากการคำนวณเปรียบเทียบวนไปเรื่อย ๆ จนกระทั่งได้ค่าเวลาในการกลึงชิ้นงานหนึ่งชิ้นต่ำสุด หรือได้ค่าแรงในการตัดสูงสุดที่เครื่องรับได้ จากนั้นโปรแกรมจะแสดงผลสภาวะการตัดหรือตัวแปรในการตัดที่เหมาะสมทางหน้าจอ หรือทางเครื่องพิมพ์ตามความต้องการของผู้ใช้ ซึ่งขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมแสดงดังในรูปที่ 5-1

ภาษาที่ใช้เขียนโปรแกรมคือภาษา Turbopascal Version 4.0 ซึ่งมีความคล่องตัวและเหมาะสมกับงานที่จะทำ และเป็นภาษาที่มีผู้รู้จักกันแพร่หลายภาษาหนึ่ง เครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการพัฒนาภาษาเป็นเครื่องขนาด 16 บิท ชนิด IBM-PC Compatible ยี่ห้อ Hyundai


start
Input Data
Select
Input Speed
Vary Feed
Input Feed
Vary Speed
Read v,Ftpost
Read f,Ftpost
Tt1 = max
F1 = 0.1
Tt1 = max
V1 = 75
F = F1+0.01
Compute
Tt=TL+TC+Td(Tac/T)
Ftp=HPx60/(1.359622x10^-3V)
Ftang=kv^-1/n f^-1/n1 d^-1/n2
V = V1+0.1
Compute
Tt=TL+TC+Td(Tac/T)
Ftp=HPx60/(1.359622x10^-3V)
Ftang=kv^-1/n f^-1/n1 d^-1/n2
Tt1:=Tt
Ftang1:=Ftang
Ftp1:=Ftp
F1:=F
Tt1:=Tt
Ftang1:=Ftang
Ftp1:=Ftp
V1:=V
Tt>=Tt1 or
Ftang>=Ftp or
Ftang>=Ftpost
No
Tt>=Tt1 or
Ftang>=Ftp or
Ftang>=Ftpost
No

5.2 การเขียนโปรแกรม

5.2.1) การป้อนข้อมูล

เนื่องจากข้อมูลที่ป้อนเข้าโปรแกรมนั้น ส่วนใหญ่เป็นข้อมูลที่ให้ผู้ใช้โปรแกรมเลือกใช้ได้เลย ได้แก่ ชนิดของวัสดุชิ้นงาน เช่น Cast Iron, Carbon Steel, Molybdenum Steel, Stainless Steel ชนิดย่อยของวัสดุชิ้นงาน เช่น ชนิดย่อยของ Cast Iron คือ Cast Iron Grade 60, Cast Iron Grade 80 และ Cast Iron Grade 100 เป็นต้น ชนิดของวัสดุใบมีด เช่น HSS,Carbide,Cermet และชนิดย่อยของวัสดุใบมีด เช่น ชนิดย่อยของใบมีดคาร์ไบด์ คือ Carbide P10, Carbide K6, Carbide K3H เป็นต้น

นอกจากนี้โปรแกรมจะรับข้อมูลเกี่ยวกับกฎเกณฑ์การหมดอายุของใบมีด เพื่อเป็นข้อมูลในการคำนวณหาอายุใบมีด ข้อมูลเกี่ยวกับขนาดมุมต่าง ๆ ของใบมีดกลึง ข้อมูลเกี่ยวกับกำลังของเครื่องกลึง และข้อมูลเกี่ยวกับแรงสูงสุดที่อุปกรณ์จับยึดใบมีดกลึง (Tool Post) ทนได้

ดังนั้นเพื่อให้การป้อนข้อมูลทำได้โดยสะดวก และเพื่อให้ง่ายต่อการปรับปรุงโปรแกรมโดยการเพิ่มเติมข้อมูลในโอกาสต่อไป ผู้วิจัยจึงแยกข้อมูลแต่ละส่วนเป็น Procedure เช่น

-Procedure NameWorkMat

เป็นข้อมูลเกี่ยวกับชนิดของวัสดุชิ้นงาน

-Procedure CastIron

เป็นข้อมูลเกี่ยวกับชนิดย่อยของ Cast Iron

-Procedure SulphurizedSteel

เป็นข้อมูลเกี่ยวกับชนิดย่อยของ Sulphurized Steel

-Procedure StainlessSteel

เป็นข้อมูลเกี่ยวกับชนิดย่อยของ Stainless Steel

-Procedure CarbonSteel

เป็นข้อมูลเกี่ยวกับชนิดย่อยของ Carbon Steel

-Procedure Molybdenum Steel

เป็นข้อมูลเกี่ยวกับชนิดย่อยของ Molybdenum Steel

-Procedure NameToolMat

เป็นข้อมูลเกี่ยวกับชนิดของวัสดุใบมีด

-Procedure MachineRate

เป็นข้อมูล Machinability Rating ของวัสดุชิ้นงานชนิดต่าง ๆ

-Procedure InputDepth

ส่วนของโปรแกรมที่รับค่าความลึกในการตัดจากผู้ใช้โปรแกรม

-Procedure ToolLife

ส่วนของโปรแกรมที่ทำหน้าที่คำนวณหาอายุใบมีด

-Procedure Data

โปรแกรมจะรับข้อมูลเกี่ยวกับเส้นผ่าศูนย์กลางและความยาวของชิ้นงานที่จะทำการกลึง เวลาในการถอดเปลี่ยนชิ้นงาน และเวลาในการถอดเปลี่ยนใบมีดกลึงที่ป้อมมีด

-Procedure InputV

โปรแกรมจะรับค่าความเร็วตัด ค่าแรงในการตัดสูงสุดที่ไม่ทำให้ป้อมมีด (Tool Post) แตกหัก และค่ากำลังขับของมอเตอร์ที่ใช้ขับเครื่องกลึง จากนั้นจะทำการคำนวณและเปรียบเทียบหาค่าอัตราการป้อนมีดที่เหมาะสมที่สุด

-Procedure InputF

โปรแกรมจะรับค่าอัตราการป้อนมีด ค่าแรงตัดสูงสุดที่ป้อมมีดยอมรับได้ และค่ากำลังขับของมอเตอร์ที่ใช้ขับเครื่องกลึง จากนั้นจึงทำการคำนวณและเปรียบเทียบหาค่าความเร็วตัดที่เหมาะสมที่สุด

5.2.2) <u>การวิเคราะห์หาสมการอายุใบมีด</u>

สมการที่ใช้ในการพยากรณ์อายุใบมีดกลึง ได้มาจากผลการทดลองของนักวิจัยหลาย ๆ คน ซึ่งแต่ละสมการขึ้นกับชนิดของวัสดุชิ้นงาน วัสดุใบมีดและเกณฑ์ใน

การกำหนดอายุใบมีด สมการต่าง ๆ ที่ใส่ในโปรแกรมแสดงอยู่ในตารางที่ ข-4 ในภาคผนวก ข.

เพื่อวิเคราะห์ความแม่นยำในการพยากรณ์อายุใบมีดของโปรแกรม ผู้วิจัยจึงทำการเปรียบเทียบค่าอายุใบมีดที่ได้จากการทดลอง กับค่าอายุใบมีดจากการพยากรณ์ของโปรแกรม โดยการคำนวณหาค่าความผิดพลาดเฉลี่ยและความเบี่ยงเบนมาตรฐานของความผิดพลาด โดยข้อมูลที่นำมาพิจารณาเปรียบเทียบมี 6 กรณี ดังแสดงในตารางที่ ค-16 ถึง ค-21 ในภาคผนวก ค และการคำนวณหาค่าความผิดพลาดในการพยากรณ์อายุใบมีด สรุปได้ดังตารางที่ 5-1

ตารางที่ 5-1 แสดงการคำนวณหาค่าความผิดพลาด ในการพยากรณ์อายุใบมีด

ผู้วิจัย	วัสดุชิ้นงาน	วัสดุใบมีด	ค่าความผิดพลาดเฉลี่ย (%)	ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานของความผิดพลาด (%)	จำนวนข้อมูล
Cha-um Ploymekha	Mild steel Mabrite 65 Extra Super	HSS 18-4-1	1.71	5.63	105
N.H.Cook	Carbon Steel Low Alloy Steel	Carbide Tungsten	0.13	21.74	16

ตารางที่ 5-1 (ต่อ)

ผู้วิจัย	วัสดุชิ้นงาน	วัสดุใบมีด	ค่าความผิดพลาดเฉลี่ย (%)	ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานของความผิดพลาด (%)	จำนวนข้อมูล
G.G.Lorenz	Free Machining steel	HSS(T1)	4.29	44.80	9
A-ngoon Petrat	Carbon steel 1080	HSS	2.99	54.77	9
A-ngoon Petrat	Molybdenum Steel 4140	HSS	18.85	77.17	9
A-ngoon Petrat	Molybdenum Steel 4140	Carbide	7.27	39.19	9

จากตารางพบว่า ค่าความผิดพลาดเฉลี่ยจากการพยากรณ์ของโปรแกรมอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้คือน้อยกว่า 19% ดังนั้นจึงสรุปว่าสมการอายุใบมีดของแต่ละคู่วัสดุชิ้นงานที่ได้จากการทดลองของนักวิจัยหลาย ๆ คน มีความน่าเชื่อถือพอที่จะนำมาใช้ในโปรแกรมสำเร็จรูปนี้ได้

5.2.3 การวิเคราะห์หาสมการพยากรณ์แรงในการตัด

สมการสำหรับพยากรณ์แรงในการกลึงโลหะที่ได้จากการค้นคว้าจากเอกสารมี 4 สมการ แต่ละสมการให้ความถูกต้องแม่นยำต่างกัน เนื่องจากสมการหนึ่งๆ มีข้อจำกัดของสภาวะการตัดต่างกันดังนี้

สมการที่ 5-1 พัฒนาจากสมการของแรงที่เสนอโดยศุภโชคและคณะ[23] โดยมีการเพิ่มค่าอัตราความง่ายในการกลึง (Machinability Rating) เข้าไปเพื่อให้สามารถใช้ได้กับวัสดุชิ้นงานหลาย ๆ ชนิดเหมาะกับการกลึงที่ให้ฝอยโลหะเป็นชนิดต่อเนื่อง (Continuous Chip) และตัวแปรที่มีผลต่อแรงในการตัดคือ ความกว้างของรอยตัด มุม (Side Normal Rake) ความเร็วในการตัด อัตราการป้อนมีดและอัตราความง่ายในการกลึง

$$F_1 = 1.0408\times10^{5}(0.63/MCAR)(b) \times(90+SNRA)^{-1.32741}V^{0.19595}f^{0.41789} \quad ....(5-1)$$

โดยที่ MCAR คือ อัตราความง่ายในการกลึง (Machinability Rating)

b " ความกว้างของรอยตัด (มม.)

SNRA " คือ Side Normal Rake Angle (องศา)

V " คือ ความเร็วในการตัด (เมตร/นาที)

f " อัตราการป้อนมีด (มม./รอบ)

สมการ 5-2 พัฒนาจากสมการของแรงที่เสนอโดยศุภโชค และพิจิตร[24] โดยตัวแปรที่มีผลต่อแรงในการตัดคือ ค่า Shear Strength ของวัสดุชิ้นงาน พื้นที่ผิวชิ้นงานที่ถูกตัด มุมเสียดทาน (Friction Angle) มุม Side Normal Rake มุมเฉือน (Shear Angle) และ Edge Effect Coefficient (Cpe)

$$F_2 = \frac{ShearSt \times Area \times Cos(FrAng-SNRA)}{Sin(ShAng) \times Cos(ShAng+FrAng-SNRA)} + C_{pe} \times b \quad ....(5-2)$$

โดยที่ ShearSt คือ ค่า Shear Strength ของวัสดุชิ้นงาน

FrAng " ค่า มุมเสียดทานของมีดกลึง

SNRA " ค่า Side Normal Rake Angle ของมีดกลึง

ShAng " ค่ามุมเฉือนของมีดกลึง

Cpe " Edge Effect Coefficient ซึ่งเป็นค่าคงที่ของคมมีดคู่กับชิ้นงาน

b " ความกว้างของรอยตัด

Area " พื้นที่หน้าตัดของรอยตัด

สมการที่ 5-3 เป็นสมการที่ได้มาจากการหาความสัมพันธ์ระหว่าง แรงตัด ความเร็วในการตัด อัตราการป้อนมีด และความลึกในการตัด โดยวิธีการ Regression จากข้อมูลจริง ที่ได้จากการทดลองของคู่วัสดุชนิดนั้น โดยใช้สมการในรูปแบบของ Exponential Equation ซึ่งเป็นรูปแบบที่นิยมใช้กันทั่วๆ ไป คือ

$$F_s = K\, v^{-1/n}\, f^{-1/n_1}\, d^{-1/n_2} \qquad \text{.....(5-3)}$$

โดยที่ n คือ ค่า Constant Exponent of Speed

n_1 คือ ค่า Constant Exponent of Feed

n_2 คือ ค่า Constant Exponent of Depth

และค่า n, n_1, n_2 มีค่าเฉพาะสำหรับคู่วัสดุชิ้นงานคู่หนึ่ง

สมการที่ 5-4 พัฒนาจากสมการของแรงที่เสนอโดย ศุภโชคและคณะ[23] เหมาะกับการกลึงที่ให้ฝอยโลหะเป็นชนิดไม่ต่อเนื่อง (Discontinuous Chip) และตัวแปรที่มีผลต่อแรงในการตัดคือ อัตราความง่ายในการกลึง ความกว้างของรอยตัด มุม (Side Normal Rake) ความเร็วในการตัด อัตราการป้อนมีด

$$F_s = 2320.3(0.63/MCAR)(b) \times (90+SNRA)^{-0.50573}\, v^{-0.30961}\, f^{0.60752} \qquad \text{.....(5-4)}$$

โดยที่ ความหมายของตัวแปรต่าง ๆ ในสมการที่ 5-4 ใช้เหมือนกับสมการที่ 5-1

เพื่อวิเคราะห์หาสมการพยากรณ์แรงที่ดีที่สุดนั่นคือ สมการที่ให้ค่าพยากรณ์แม่นยำที่สุด ผู้วิจัยจึงใช้ข้อมูลจากการทดลองจริง ของนักวิจัยหลาย ๆ คน รวม 12 คู่วัสดุชิ้นงานป้อนเข้าโปรแกรม เพื่อเปรียบเทียบค่าแรงที่ได้จากการพยากรณ์ของโปรแกรมกับค่าแรงในการกลิ้งจากการทดลองจริง โดยการคำนวณหาเปอร์เซนต์ค่าความผิดพลาดเฉลี่ย ($\bar{E}$) และค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของความผิดพลาด (E_S) ซึ่งผลที่ได้จากการคำนวณเมื่อพยากรณ์ค่าแรงโดยใช้สมการทั้ง 4 สมการ มีรายละเอียดแสดงอยู่ในตารางที่ ค-1 ถึง ค-12 ในภาคผนวก ค แต่พอจะสรุปได้ดังตารางที่ 5-2

ตารางที่ 5-2 แสดงค่าความผิดพลาดของการพยากรณ์แรงตัด

ผู้ทดลอง	สมการ	ค่าความผิดพลาดเฉลี่ย (%)	ความเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความผิดพลาด (%)
Uthaichaya	5-1	46.57	20.04
	5-2	11.32	3.37
	5-3	0.064	0.53
	5-4	83.2	36.59
Arnold	5-1	33.41	26.92
	5-2	89.18	9.33
	5-3	2.55	18.23

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 5-2 (ต่อ)

ผู้ทดลอง	สมการ	ค่าความผิดพลาดเฉลี่ย (%)	ความเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความผิดพลาด (%)
Arnold	5-4	64.47	46.89
ศุภโชคและคณะ	5-1	9.59	18.61
	5-2	53.02	9.48
	5-3	6.65	17.83
	5-4	0.83	14.05
Ploymekha	5-1	8.54	30.20
	5-2	44.36	25.88
	5-3	8.96	36.58
	5-4	38.34	26.80
A-ngoon Petrat (1)	5-1	84.0	33.43
	5-2	338.53	41.48
	5-3	1.74	6.10
	5-4	73.67	24.0
A-ngoon Petrat (2)	5-1	267.27	43.93
	5-2	287.21	153.63
	5-3	-0.81	6.03
	5-4	327.43	42.43

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 5-2 (ต่อ)

ผู้ทดลอง	สมการ	ค่าความผิดพลาดเฉลี่ย (%)	ความเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความผิดพลาด (%)
A-ngoon Petrat (3)	5-1	127.05	37.19
	5-2	122.53	88.09
	5-3	-0.95	7.24
	5-4	181.11	70.08
A-ngoon Petrat (4)	5-1	83.94	74.55
	5-2	154.58	102.75
	5-3	13.49	25.89
	5-4	93.71	78.74
A-ngoon Petrat (5)	5-1	181.02	28.84
	5-2	291.82	149.07
	5-3	3.22	4.87
	5-4	242.81	22.47
A-ngoon Petrat (6)	5-1	119.86	25.22
	5-2	85.30	32.12
	5-3	3.61	5.80
	5-4	135.40	22.28

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 5-2 (ต่อ)

ผู้ทดลอง	สมการ	ค่าความผิดพลาดเฉลี่ย (%)	ความเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความผิดพลาด (%)
A-ngoon Petrat (7)	5-1	195.44	30.01
	5-2	216.09	136.43
	5-3	-1.97	4.00
	5-4	246.28	43.64
A-ngoon Petrat (8)	5-1	72.39	59.09
	5-2	97.80	47.56
	5-3	-2.62	15.13
	5-4	77.89	48.05

พิจารณาค่าความผิดพลาดของการพยากรณ์ จากสมการทั้ง 4 สมการ พบว่า สมการที่ 5-3 ให้ค่าพยากรณ์ใกล้เคียงข้อมูลจริงจากข้อมูล 12 ชุด มากที่สุด นั่นคือให้ค่าความผิดพลาดเฉลี่ยอยู่ในเกณฑ์ที่น่าพอใจที่สุดคือน้อยกว่า 14% ส่วนสมการที่ 5-2 ถึงแม้ว่าจะให้ค่าพยากรณ์ใกล้เคียงกับข้อมูลของ Uthaichaya, Arnold และ ศุภโชคและคณะมาก แต่สมการที่ 5-2 มีข้อเสียคือ ผู้พยากรณ์ต้องทราบค่าความกว้างของรอยตัดและพื้นที่หน้าตัดของรอยตัดขณะทำการกลิ้งจึงจะได้ค่าพยากรณ์ที่ถูกต้องแม่นยำ ส่วนสมการที่ 5-1และสมการที่ 5-4 ให้ค่าความแม่นยำของการพยากรณ์อยู่ในเกณฑ์ที่น่าพอใจเมื่อเปรียบเทียบค่าพยากรณ์กับข้อมูลของศุภโชคและคณะ แต่เมื่อเปรียบเทียบกับข้อมูลชุดอื่น ๆ พบว่าการพยากรณ์มีความผิดพลาดค่อนข้างสูง ทั้งนี้เนื่องจาก สมการที่ 5-1 และ 5-4 พัฒนามาจากสมการของแรงที่เสนอโดยศุภโชคและคณะ ซึ่งการพยากรณ์จะให้ค่าที่ถูกต้องเมื่อผู้พยากรณ์ทราบค่าอัตราความง่ายในการกลิ้งของวัสดุชิ้นงาน และค่าความกว้างของรอยตัด

ขณะทำการกลึงที่แน่นอนเท่านั้น

จึงสรุปได้ว่า วิธีการทำนายแรงที่ดีที่สุดนั้นได้มาจากสมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่าง ๆ จากข้อมูลที่ได้จากการทดลองจริงของคู่วัสดุชิ้นงานและใบมีดนั้น ๆ ซึ่งนั่นคือ สมการที่ 5-3 เป็นสมการที่เหมาะสมที่สุดที่จะนำไปใช้พยากรณ์แรงในการตัดในโปรแกรมของการวิจัยนี้

5.2.4) <u>การพยากรณ์เวลาในการกลึงชิ้นงานหนึ่งชิ้น</u>

เวลาในการกลึงชิ้นงานหนึ่งชิ้น คำนวณได้จากสมการที่ 1-16 ซึ่งมีลักษณะดังนี้

$$T_t = T_L + T_c + T_d(T_{cc}/T)$$

ความผิดพลาดในการพยากรณ์ จะเกิดจากลักษณะการกระจายโดยธรรมชาติของข้อมูล จากการทดลองคำนวณโดยใช้ค่าสูงสุดและต่ำสุดของ T_L, T_c, T_d, T_{cc} และ T โดยพิจารณาจากค่าสูงสุดและต่ำสุดที่ระดับ $\alpha=0.05$ พบว่าค่า T_t ที่พยากรณ์อาจจะผิดพลาดได้ดังนี้

กรณีที่กลึงเหล็กกล้าโมลิบดินัมด้วยใบมีด HSS การพยากรณ์ค่า T_t อาจจะผิดพลาดทางด้านบวกได้ประมาณ 3.45% และผิดพลาดทางด้านลบได้ประมาณ -4.05% ซึ่งจัดว่ายอมรับได้คือน้อยกว่า ±5% และตัวอย่างการคำนวณค่าความผิดพลาดแสดงไว้ในตารางที่ 5-3

กรณีที่กลึงเหล็กกล้าโมลิบดินัมด้วยใบมีดคาร์ไบด์เกรด P25 (8 คม) การพยากรณ์ค่า T_t อาจจะผิดพลาดทางด้านบวกได้ประมาณ 8.91% และผิดพลาดทางด้านลบได้ประมาณ -7.13% ซึ่งจัดว่ายอมรับได้ คือน้อยกว่า ± 9%

กรณีที่กลึงเหล็กกล้าคาร์บอนด้วยใบมีด HSS การพยากรณ์ค่า T_t อาจจะผิดพลาดทางด้านบวกได้ประมาณ 3.97% และผิดพลาดทางด้านลบได้ประมาณ -5.24% ซึ่งจัดว่ายอมรับได้คือน้อยกว่า ± 6%

ดังนั้นจึงยอมรับว่าสมการที่ 1-16 สามารถนำไปใช้ในโปรแกรมของการวิจัยนี้ได้(รายละเอียดของการคำนวณแสดงไว้ในภาคผนวก ค ตารางที่ ค-13 ถึง ค-15)

ตารางที่ 5-3 แสดงวิธีคำนวณค่าความผิดพลาดในการพยากรณ์เวลาในการกลึงชิ้นงานหนึ่งชิ้นเมื่อกลึงเหล็กกล้าโมลิบดินัมด้วยใบมีด HSS (ความลึกในการตัด 1.27 มม.)

ลำดับที่	ค่าเวลาจากการพยากรณ์($\hat{T}t$) (นาที)	ค่าเวลาจากการทดลอง (Tt, นาที)			ค่าความผิดพลาดของการพยากรณ์ $\{(\hat{T}t-Tt)/Tt\}x100$ %		
		ค่าสูงสุด	ค่าเฉลี่ย	ค่าต่ำสุด	จากค่าสูงสุด	จากค่าเฉลี่ย	จากค่าต่ำสุด
1	1.84	1.958	1.864	1.770	-6.03	-1.29	3.95
2	2.61	2.763	2.651	2.538	-5.54	-1.55	2.84
3	2.48	2.517	2.446	2.374	-1.47	1.39	4.47
4	14.70	15.157	14.942	14.727	-2.42	-1.02	0.43
5	4.58	4.730	4.548	4.366	-3.17	0.70	4.90
6	3.53	3.624	3.509	3.393	-2.59	0.60	4.04
7	4.10	4.254	4.106	3.957	-3.62	-0.15	3.61
8	4.38	4.709	4.517	4.325	-6.99	-3.03	1.27
9	4.54	4.760	4.532	4.303	-4.62	0.18	5.51
			ค่าเฉลี่ย		-4.05	0.46	3.45
			ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน		1.85	1.38	1.67

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5.2.5) การพยากรณ์อัตราการผลิตในการกลึงอย่างหยาบ

เนื่องจากอัตราการผลิต สามารถคำนวณได้จากเวลาในการกลึงชิ้นงานหนึ่งชิ้น ดังนี้

อัตราการผลิต = 1/เวลาในการผลิตชิ้นงานหนึ่งชิ้น

ดังนั้น เมื่อโปรแกรมคอมพิวเตอร์ทำการวิเคราะห์หาเวลาในการกลึงชิ้นงานหนึ่งชิ้นแล้ว จึงนำผลที่ได้มาคำนวณหาอัตราการผลิตและทำการเปรียบเทียบระหว่างอัตราการผลิตจากการวิ่งโปรแกรม กับอัตราการผลิตจากการทดลอง ซึ่งโดยทั่วไป ความผิดพลาดในการพยากรณ์เกิดจากลักษณะการกระจายโดยธรรมชาติของข้อมูล จากการทดลองคำนวณค่าความผิดพลาดโดยใช้วิธีการเดียวกับการคำนวณหาค่าความผิดพลาดของเวลาในการกลึงชิ้นงานหนึ่งชิ้น พบว่าค่าอัตราการผลิตที่พยากรณ์อาจจะผิดพลาดได้ดังนี้

กรณีที่กลึงเหล็กกล้าโมลิบดินัมด้วยใบมีด HSS การพยากรณ์ค่าอัตราการผลิตอาจจะผิดพลาดทางด้านบวกได้ประมาณ 4.29% และผิดพลาดทางด้านลบได้ประมาณ -3.32% ซึ่งจัดว่ายอมรับได้คือน้อยกว่า ± 4.5%

กรณีที่กลึงเหล็กกล้าโมลิบดินัมด้วยใบมีดคาร์ไบด์เกรด P25 (8 คม) การพยากรณ์ค่าอัตราการผลิตอาจจะผิดพลาดทางด้านบวกได้ประมาณ 7.77% และผิดพลาดทางด้านลบได้ประมาณ -7.37% ซึ่งจัดว่ายอมรับได้ คือน้อยกว่า ± 8%

กรณีที่กลึงเหล็กกล้าคาร์บอนด้วยใบมีด HSS การพยากรณ์ค่าอัตราการผลิตอาจจะผิดพลาดทางด้านบวกได้ประมาณ 6.03% และผิดพลาดทางด้านลบได้ประมาณ -3.66% ซึ่งจัดว่ายอมรับได้คือน้อยกว่า ± 6.5%

เนื่องจากค่าความผิดพลาดของการพยากรณ์ที่สูงที่สุดมีค่าน้อยกว่า 8% ดังนั้น การพยากรณ์อัตราการผลิตของโปรแกรมนี้ จึงเป็นที่ยอมรับได้ (การคำนวณค่าความผิดพลาดใช้วิธีเดียวกันกับในหัวข้อ 5.2.4 ซึ่งรายละเอียดแสดงอยู่ในตารางที่ ค-22 ถึง ค-24 ในภาคผนวก ค.)

5.2.6) การวิเคราะห์หาค่าตัวแปรควบคุมได้ที่เหมาะสมที่สุด

ตัวแปรควบคุมได้ในโครงงานวิจัยนี้ ได้แก่ ความเร็วในการตัด อัตราการป้อนมีด และความลึกในการตัด ซึ่งค่าตัวแปรในการตัดที่ดีที่สุดคือค่าตัวแปรที่ทำให้ค่าเวลาในการกลึงชิ้นงานหนึ่งชิ้นมีค่าต่ำสุด โดยค่าแรงในการตัดไม่สูงเกินกว่ากำลังของเครื่องกลึงจะรับได้

วิธีการในการหาค่าตัวแปรที่ดีที่สุดในโปรแกรมกำหนดให้ผู้ใช้โปรแกรมเลือกใช้2 วิธี คือ

- คงค่าความเร็วในการตัดและความลึกในการตัด แล้วแปรเปลี่ยนค่าอัตราการป้อนมีด

โดยโปรแกรมจะรับค่าความเร็วในการตัด และความลึกในการตัดจากผู้ใช้โปรแกรม แล้วทำการคำนวณหาค่าแรงในการตัดและเวลาในการกลึงชิ้นงานหนึ่งชิ้น ที่อัตราการป้อนมีดค่าต่าง ๆ โดยเริ่มที่ค่าอัตราการป้อนมีด 0.1 มิลลิเมตร แล้วเพิ่มอัตราการป้อนมีดขึ้นครั้งละ 0.01 มิลลิเมตร จนกระทั่งถึงค่าอัตราการป้อนมีดค่าหนึ่งที่ทำให้ค่าเวลาในการกลึงชิ้นงานหนึ่งชิ้นมีค่าต่ำสุด และค่าแรงในการตัดไม่สูงเกินค่าที่กำลังของเครื่องจักรจะรับได้ โดยค่าแรงสูงสุดที่เครื่องจักรรับได้คำนวณได้จากสมการที่ 5-5

$$Ftpower = (HP \times 60)/(1.359622 \times 10^{-3} v) \quad .....(5-5)$$

- คงค่าอัตราการป้อนมีดและความลึกในการตัดแล้วแปรเปลี่ยนค่าความเร็วในการตัด

โปรแกรมจะรับค่าอัตราการป้อนมีด และความลึกในการตัด แล้วทำการคำนวณหาค่าแรงในการตัด กับค่าเวลาที่ใช้กลึงชิ้นงานหนึ่งชิ้น ที่ความเร็วในการตัดค่าต่าง ๆ โดยเริ่มที่ค่าความเร็ว 75 เมตรต่อนาที แล้วเพิ่มค่าความเร็วในการตัดขึ้นครั้งละ 0.1 เมตรต่อนาที จนกระทั่งถึงค่าความเร็วค่าหนึ่งที่ให้ค่าเวลาในการกลึงชิ้นงานหนึ่งชิ้นมีค่าต่ำสุด และค่าแรงตัดไม่สูงเกินค่าแรงที่เครื่องกลึงรับได้ (คำนวณจากสมการที่ 5-5)

5.3 ผลจากการวิ่งโปรแกรม

ตัวอย่างการวิ่งโปรแกรม แสดงให้เห็นได้ดังนี้คือ

กรณีที่ 1 - ชิ้นงานเป็นเหล็กกล้าคาร์บอน เกรด C1018

- มีดกลึงเป็น HSS ชนิด Tungsten T1
- คงค่าความเร็วในการตัดให้เท่ากับ 60 เมตรต่อนาที
- คงค่าความลึกในการตัดให้เท่ากับ 1.27 มิลลิเมตร
- อัตราการป้อนมีดที่เหมาะสมที่สุดคือ 0.430 มิลลิเมตรต่อรอบ
- ค่าเวลาต่ำสุดในการกลึงชิ้นงานหนึ่งชิ้น คือ 0.744 นาที
- ค่าแรงที่ใช้ในการตัดคือ 420.96 นิวตัน ในขณะที่ค่าแรงสูงสุดที่เครื่องกลึงรับได้คือ 2206.496 นิวตัน (กรณีที่มอเตอร์ขับเครื่องกลึงมีขนาด 3 แรงม้า)

ผลการวิ่งโปรแกรมจากเครื่องพิมพ์ (Printer) แสดงดังในรูปที่ 5-2

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

```
*Tac=0.360-ftang =370.442*Ftpower =2206.496
*Ftpost = 9.8E+03
*V=60.000*Feed=0.380*Tt=0.751370*TLife=0.497*Tc=0.469
*Tac=0.350-ftang =378.942*Ftpower =2206.496
*Ftpost = 9.8E+03
*V=60.000*Feed=0.390*Tt=0.748676*TLife=0.457*Tc=0.460
*Tac=0.341-ftang =387.408*Ftpower =2206.496
*Ftpost = 9.8E+03
*V=60.000*Feed=0.400*Tt=0.746632*TLife=0.422*Tc=0.452
*Tac=0.333-ftang =395.842*Ftpower =2206.496
*Ftpost = 9.8E+03
*V=60.000*Feed=0.410*Tt=0.745205*TLife=0.389*Tc=0.443
*Tac=0.325-ftang =404.245*Ftpower =2206.496
*Ftpost = 9.8E+03
*V=60.000*Feed=0.420*Tt=0.744367*TLife=0.360*Tc=0.436
*Tac=0.317-ftang =412.617*Ftpower =2206.496
*Ftpost = 9.8E+03
*V=60.000*Feed=0.430*Tt=0.744093*TLife=0.334*Tc=0.428
*Tac=0.309-ftang =420.960*Ftpower =2206.496
*Ftpost = 9.8E+03
*V=60.000*Feed=0.440*Tt=0.744358*TLife=0.310*Tc=0.421
*Tac=0.302-ftang =429.273*Ftpower =2206.496
*Ftpost = 9.8E+03

V=60.000
Feed=0.430
TLife=0.334
Tt=0.744
Tc=0.428
Tac=0.309
Ftang=420.960
Ftpower=2206.496
Ftpost=9800.000
*V=60.000*Feed=0.431*Tt=0.744095*TLife=0.331*Tc=0.428
*Tac=0.309-ftang =421.792*Ftpower =2206.496
*Ftpost = 9.8E+03

V=60.000
Feed=0.430
TLife=0.334
Tt=0.744
Tc=0.428
Tac=0.309
Ftang=420.960
Ftpower=2206.496
Ftpost=9800.000
```

รูปที่ 5-2 แสดงผลการวิ่งโปรแกรมกรณีที่ 1 จากเครื่องพิมพ์

กรณีที่ 2 - ชิ้นงานเป็นเหล็กหล่อ (Cast Iron) เกรด 100

- มีดกลึงเป็น คาร์ไบด์ เกรด K6
- คงค่าความเร็วในการตัดให้เท่ากับ 100 เมตรต่อนาที
- คงค่าความลึกในการตัดให้เท่ากับ 2.54 มิลลิเมตร
- อัตราการป้อนมีดที่เหมาะสมที่สุดคือ 0.492 มิลลิเมตรต่อรอบ
- ค่าเวลาในการกลึงชิ้นงานหนึ่งชิ้น คือ 0.477 นาที
- ค่าแรงที่ใช้ในการตัดคือ 1323.11 นิวตัน ในขณะที่ค่าแรงสูงสุดที่เครื่องกลึงรับได้คือ 1323.897 นิวตัน (กรณีที่มอเตอร์ขับเครื่องกลึงมีขนาด 3 แรงม้า)

ผลการวิ่งโปรแกรมจากเครื่องพิมพ์ (Printer) แสดงดังในรูปที่ 5-3

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

```
*V=100.000*Feed=0.450*Tt=0.493385*TLife=4.797*Tc=0.296
*Tac=0.177-ftang =1249.129*Ftpower =1323.897
*Ftpost = 9.8E+03
*V=100.000*Feed=0.460*Tt=0.489285*TLife=4.750*Tc=0.292
*Tac=0.174-ftang =1266.958*Ftpower =1323.897
*Ftpost = 9.8E+03
*V=100.000*Feed=0.470*Tt=0.485356*TLife=4.704*Tc=0.289
*Tac=0.170-ftang =1284.651*Ftpower =1323.897
*Ftpost = 9.8E+03
*V=100.000*Feed=0.480*Tt=0.481589*TLife=4.659*Tc=0.285
*Tac=0.166-ftang =1302.210*Ftpower =1323.897
*Ftpost = 9.8E+03
*V=100.000*Feed=0.490*Tt=0.477974*TLife=4.616*Tc=0.282
*Tac=0.163-ftang =1319.640*Ftpower =1323.897
*Ftpost = 9.8E+03
*V=100.000*Feed=0.500*Tt=0.474502*TLife=4.575*Tc=0.279
*Tac=0.160-ftang =1336.943*Ftpower =1323.897
*Ftpost = 9.8E+03

V=100.000
Feed=0.490
TLife=4.616
Tt=0.478
Tc=0.282
Tac=0.163
Ftang=1319.640
Ftpower=1323.897
Ftpost=9800.000

*V=100.000*Feed=0.491*Tt=0.477621*TLife=4.612*Tc=0.282
*Tac=0.163-ftang =1321.376*Ftpower =1323.897
*Ftpost = 9.8E+03
*V=100.000*Feed=0.492*Tt=0.477268*TLife=4.608*Tc=0.281
*Tac=0.162-ftang =1323.110*Ftpower =1323.897
*Ftpost = 9.8E+03
*V=100.000*Feed=0.493*Tt=0.476918*TLife=4.604*Tc=0.281
*Tac=0.162-ftang =1324.844*Ftpower =1323.897
*Ftpost = 9.8E+03

V=100.000
Feed=0.492
TLife=4.608
Tt=0.477
Tc=0.281
Tac=0.162
Ftang=1323.110
Ftpower=1323.897
Ftpost=9800.000
```

รูปที่ 5-3 แสดงผลการวิ่งโปรแกรมกรณีที่ 2 จากเครื่องพิมพ์