

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

- กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ. สถิติสำหรับงานวิศวกรรม. เล่มที่ 2, พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2540.
- บัญชา ธนบุญสมบัติ. การศึกษาวัดขนาดโดยเทคนิคดิฟเฟรกันซ์. กรุงเทพมหานคร : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2544.
- ศิริจันทร์ ทองประเสริฐ. สถิติสำหรับงานวิศวกรรม. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2536.

ภาษาอังกฤษ

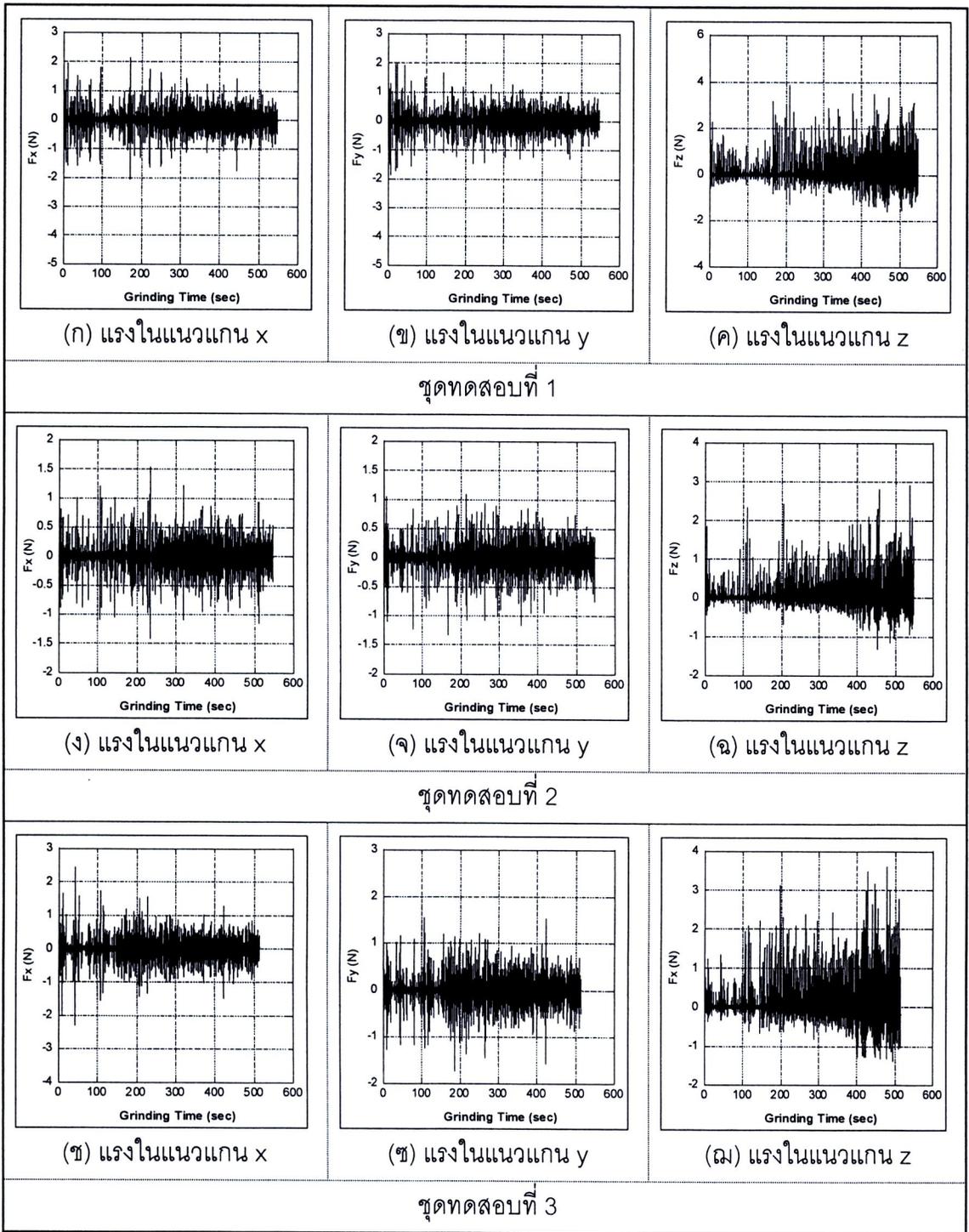
- Amstead, B.H. Manufacturing processes.. Eighth Edition. New York : John Wiley & sons, 1986.
- Couey, J.A., Marsh, E.R., Knapp, B.R. and Vallance, R.R. Monitoring force in precision cylindrical grinding. Precision Engineering 2005 : 307-314.
- Chaopanich, I., Goyadoolya, K. and Puajindanetr, S.. Spherical Surface Forming Mechanism of Porous Materials via Groove Grinding System. The IE Network Conference 2007, pp 131. 24 - 26 October 2007. Phuket: Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Prince of Songkla University, 2007.
- Dallas, D. B. Tool and manufacturing engineers handbook. New York : McGraw-Hill, 1976.
- DeGarmo E.P., et al., Materials and processes in manufacturing. : John Wiley & sons, 2003.
- Gleason, J. What is a Sphere?. [Online]. Micro Surface Engineering Incorporated, 1995. Available from: http://www.precisionballs.com/all_wias2.htm [2007, January 31]
- Hilbert, D. and Cohn-Vossen, S. Geometry and the Imagination. New Jersey : Chelsea, 1952.

- Hwang, T.W., Whittenton, E.P., Hsu, N.N., Blessing, G.V. and Evans, C.J. Acoustic emission monitoring of high speed grinding of silicon nitride. Ultrasonics 2000 : 614-619.
- Li, Z.C., Lin, B., Xu, Y.S. and Hu, J. Experimental studies on grinding forces and force ratio of the unsteady-state grinding technique. Journal of Materials Processing Technology 2002 : 76-80.
- Richard, S. F. and Donald, E. B. Theory and design for mechanical measurements. Fourth edition. New Jersey : John Wiley & Sons, 2006.
- Stainko, M., Trmal, G.J. and Zaruba, Z. Automated processing of data monitored during grinding. International Conference Process Control 2005.
- Umehara, N. and Kato, K. Magnetic fluid grinding of advanced ceramic balls. Wear 1996 : 148-153.
- Webster, J.G. The measurement, instrument and sensors handbook. The electrical engineering handbook series. Florida : CRC press, 1999.
- Yankee, H.W. Manufacturing processes. New Jersey : Prentice-Hall, 1979.

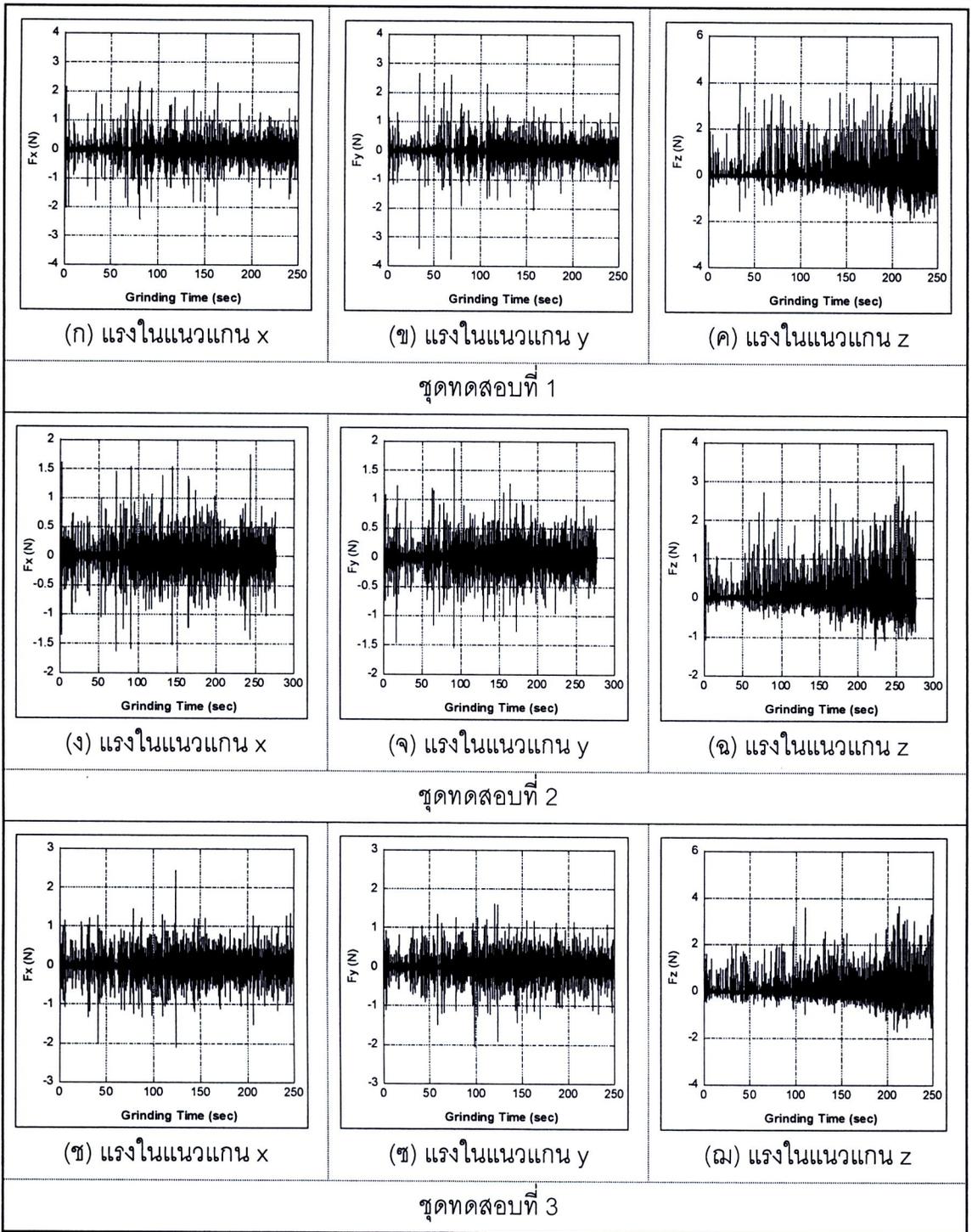
ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

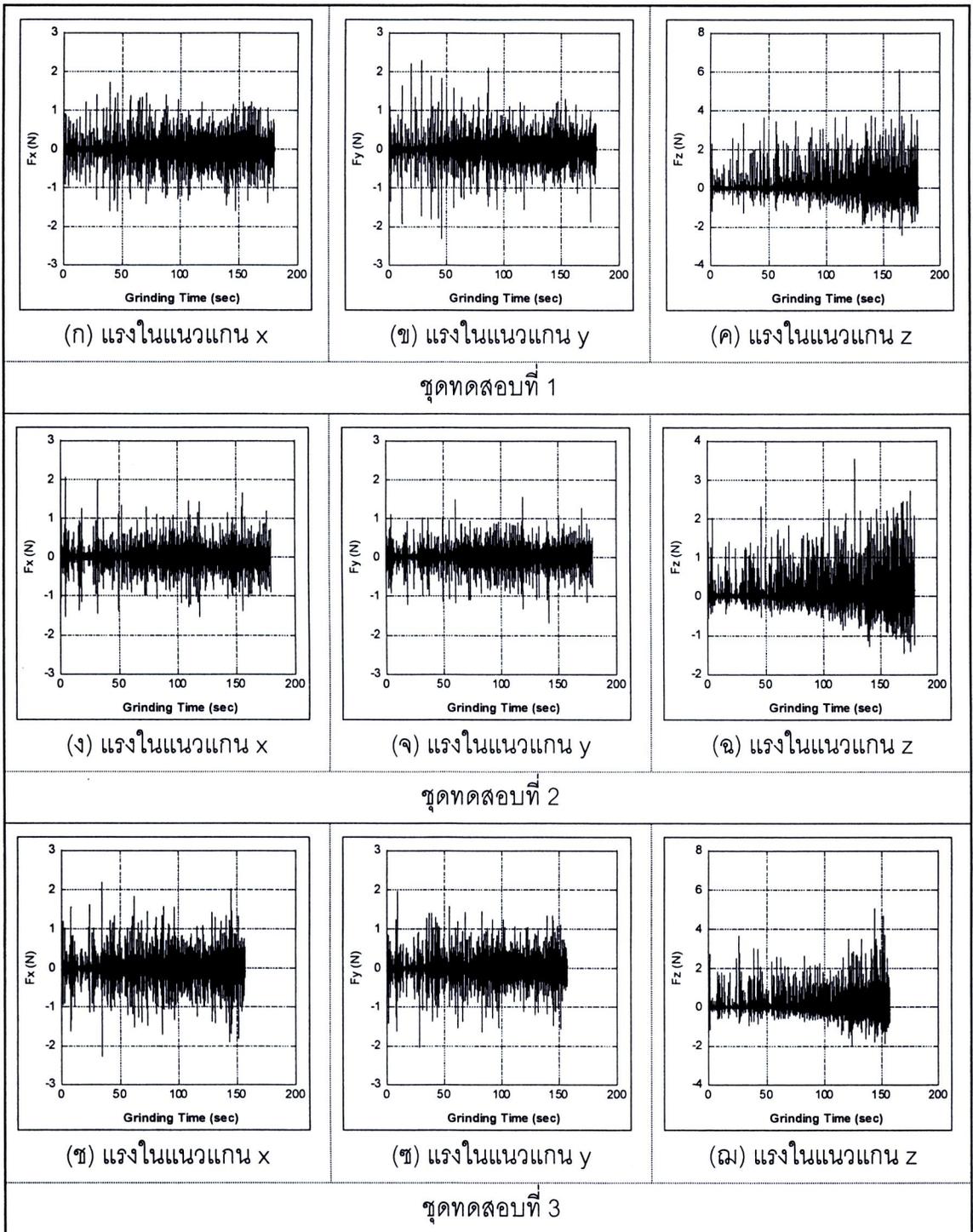
ภาพสัญญาณแรงเฉื่อยที่ได้จากการทดลอง



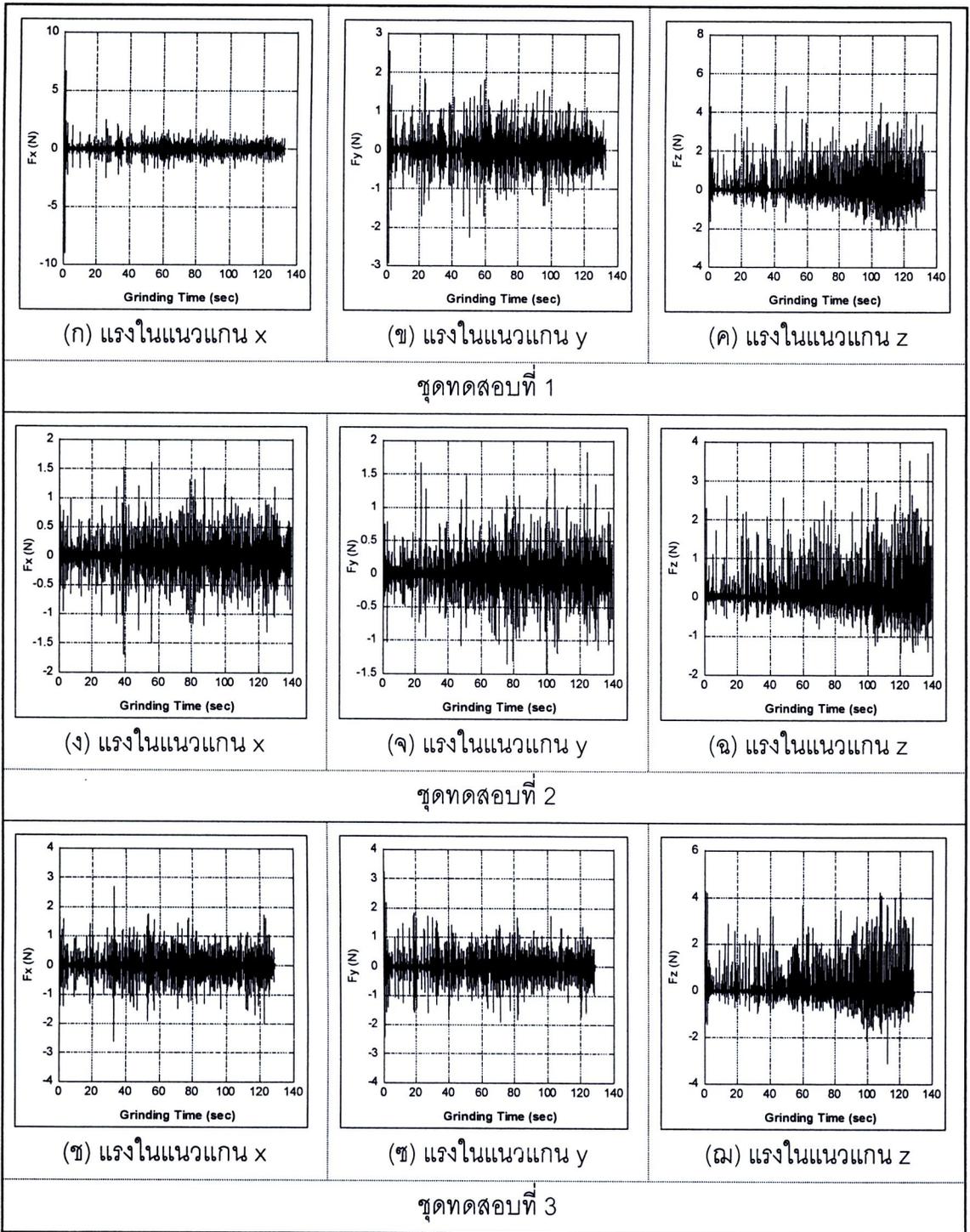
รูปที่ ก.1 สัญญาณแรงเฉื่อยที่เกิดขึ้น ขณะเฉื่อยด้วยความเร็วรอบจานขัด 200 รอบต่อนาที และ อัตราการป้อนชิ้นงาน 1 มิลลิเมตรต่อนาที



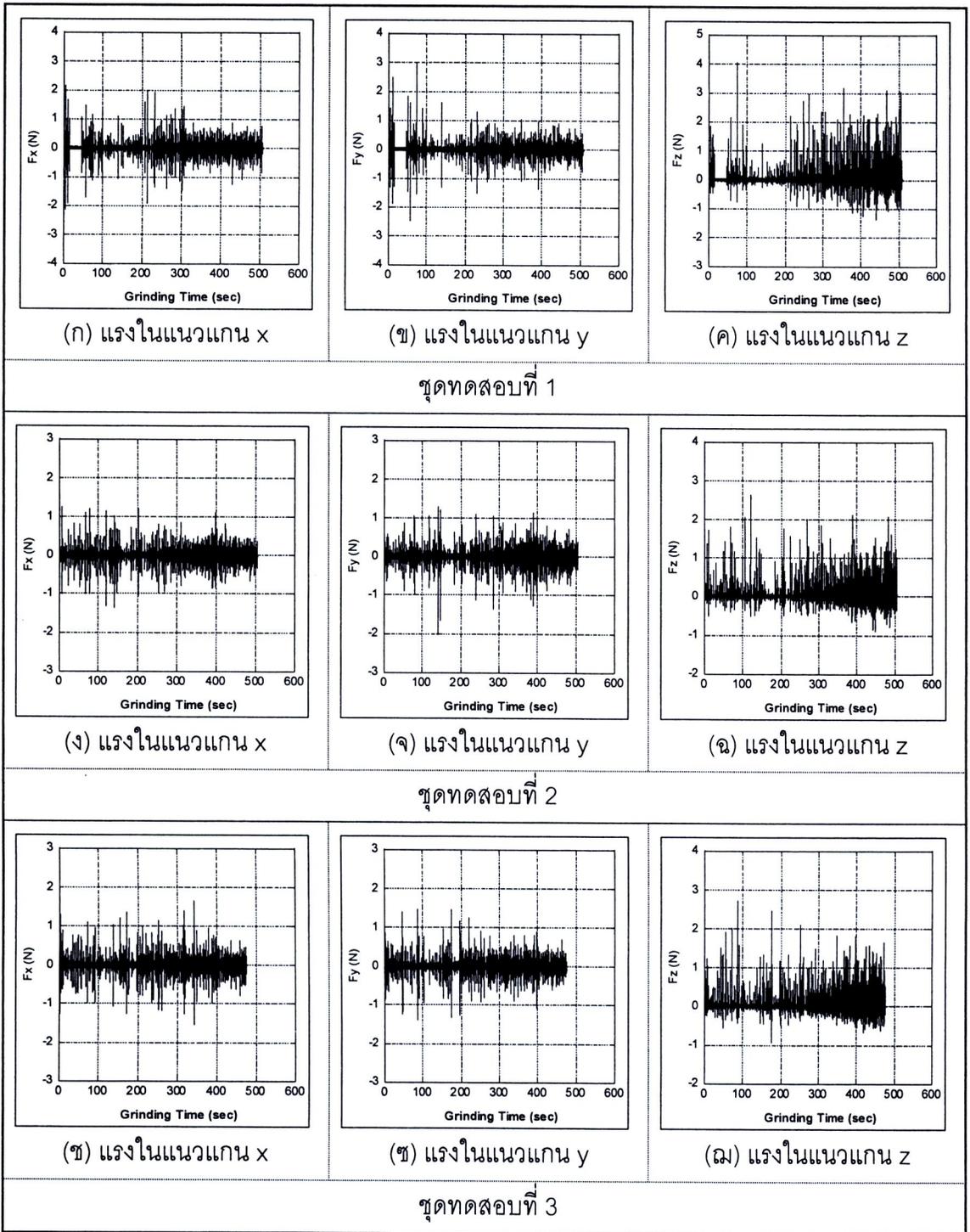
รูปที่ ก.2 สัญญาณแรงเฉื่อยที่เกิดขึ้น ขณะเจียรด้วยความเร็วรอบจานขัด 200 รอบต่อนาที และ อัตราการป้อนชิ้นงาน 2 มิลลิเมตรต่อนาที



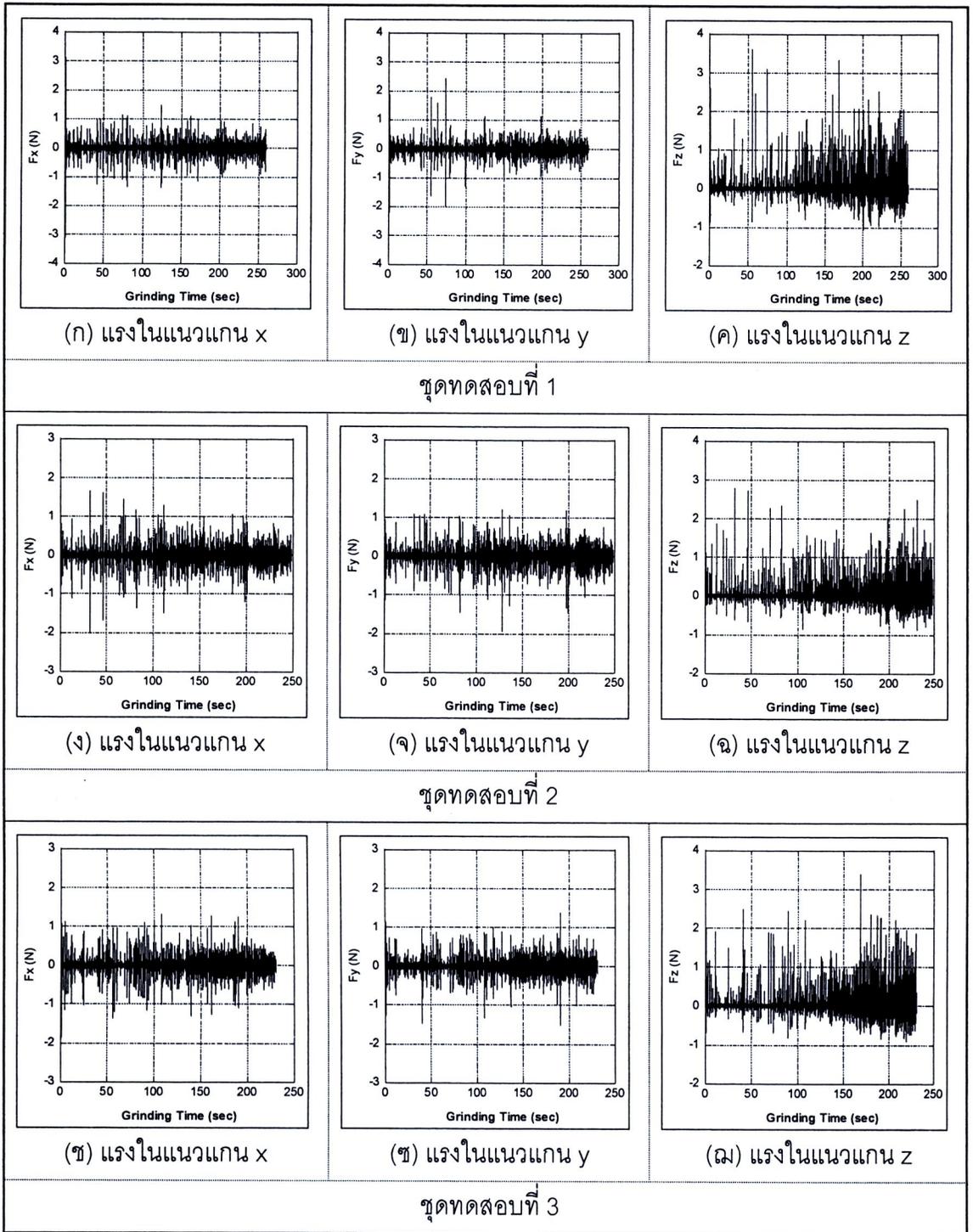
รูปที่ ก.3 สัญญาณแรงเฉื่อยที่เกิดขึ้น ขณะเจียรด้วยความเร็วรอบจานขัด 200 รอบต่อนาที และ อัตราการป้อนชิ้นงาน 3 มิลลิเมตรต่อนาที



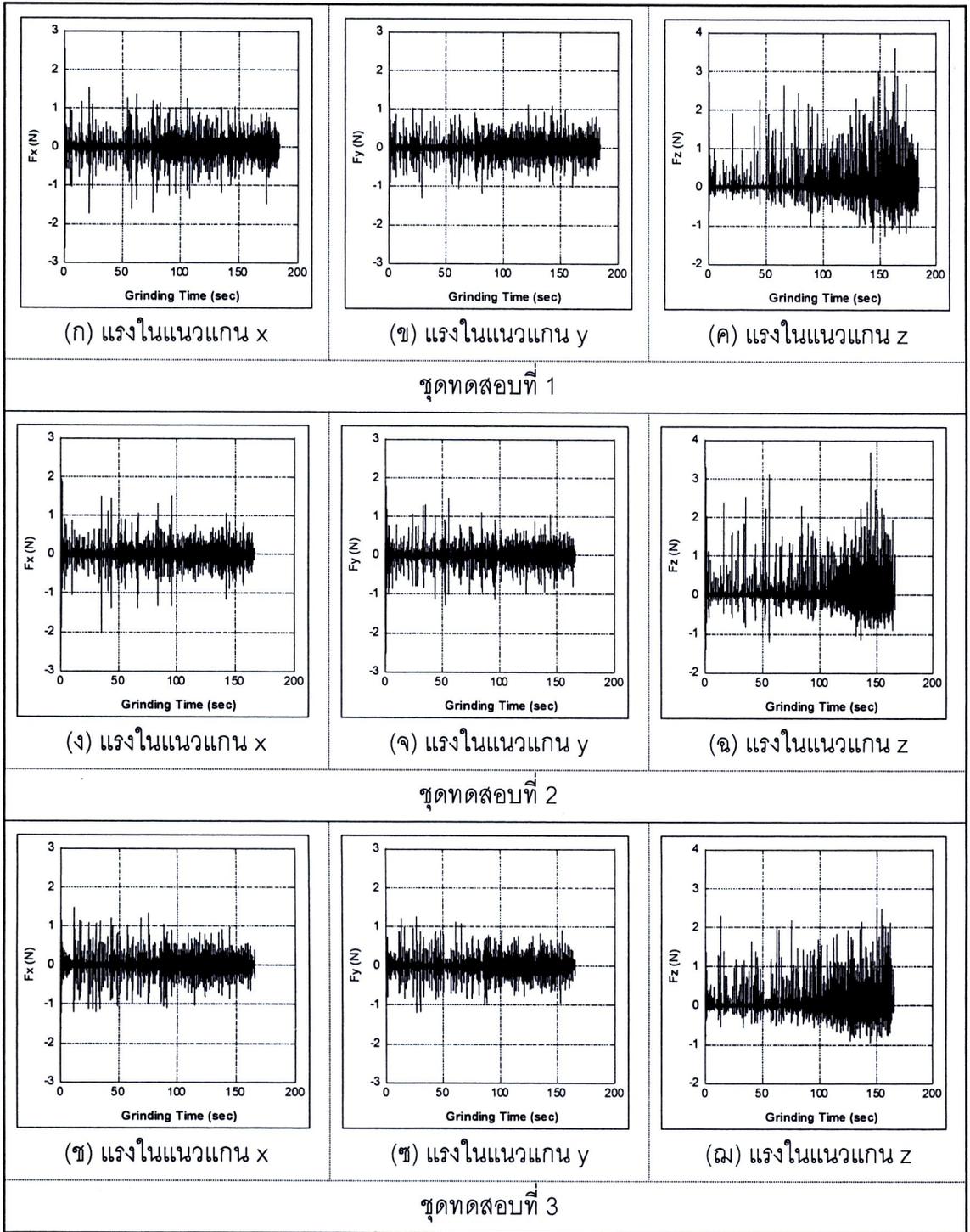
รูปที่ ก.4 สัญญาณแรงเฉื่อยที่เกิดขึ้น ขณะเจียรด้วยความเร็วรอบจานขัด 200 รอบต่อนาที และ อัตราการป้อนชิ้นงาน 4 มิลลิเมตรต่อนาที



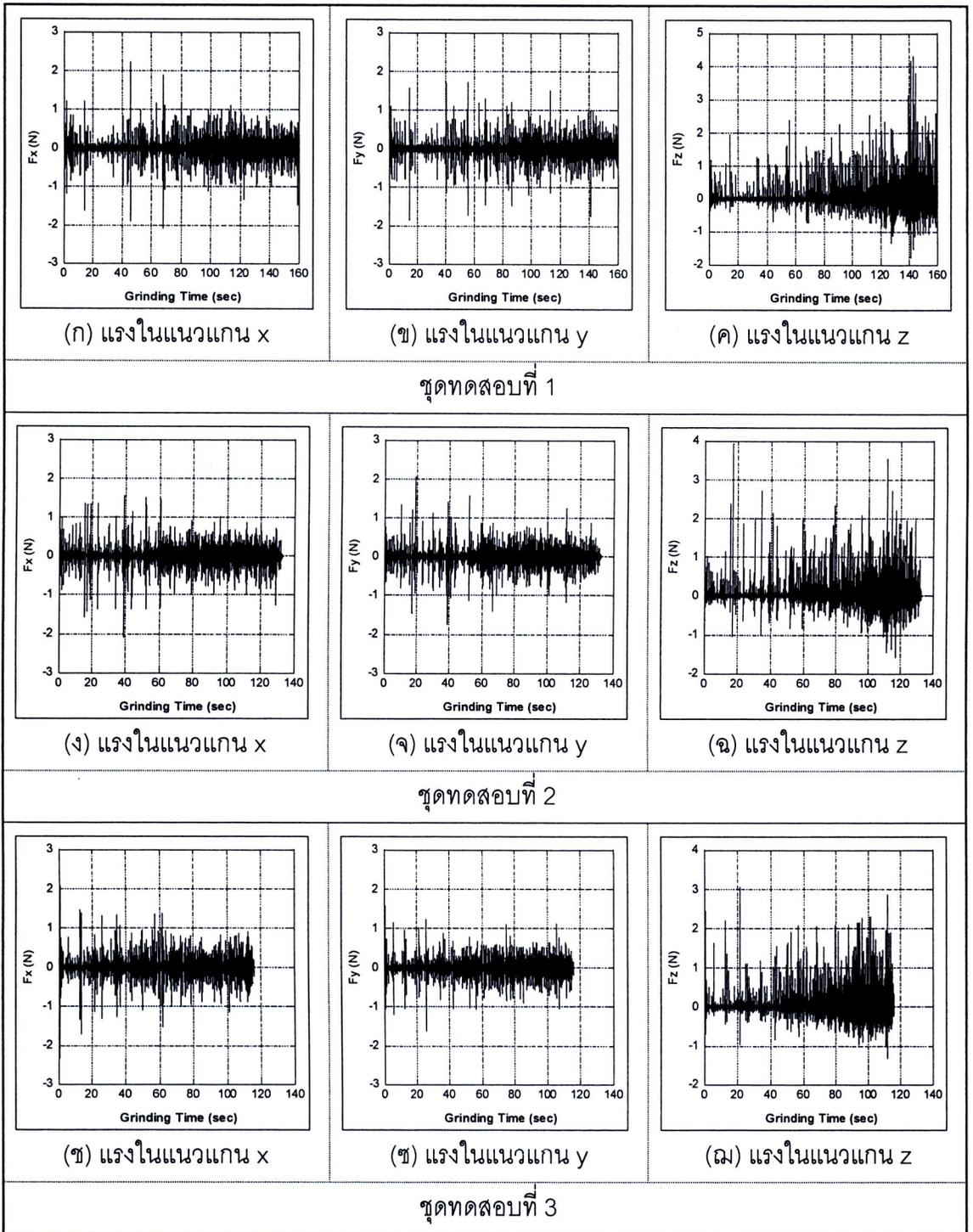
รูปที่ ก.5 สัญญาณแรงเจียรที่เกิดขึ้น ขณะเจียรด้วยความเร็วรอบงานขัด 300 รอบต่อนาที และ อัตราการป้อนชิ้นงาน 1 มิลลิเมตรต่อนาที



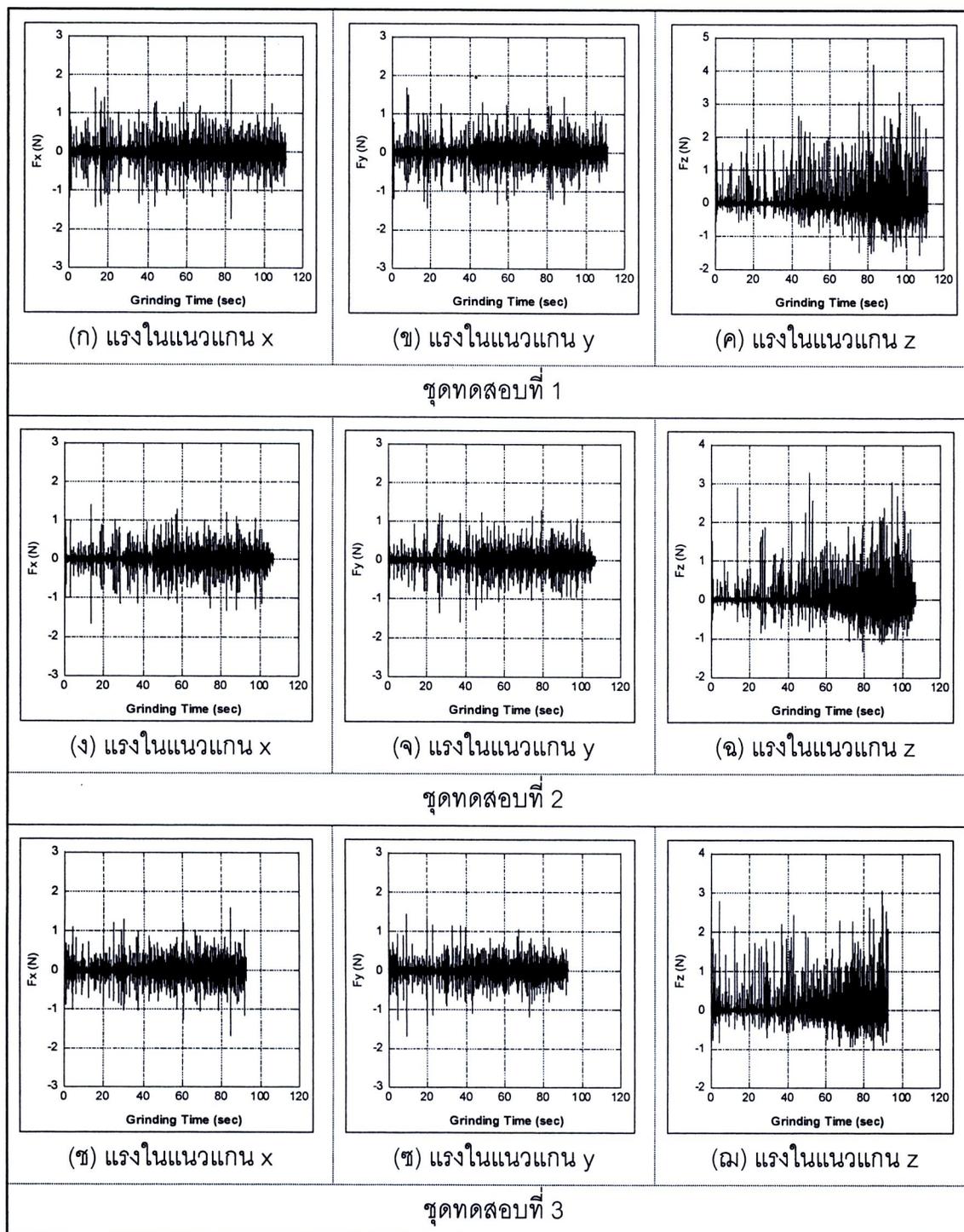
รูปที่ ก.6 สัญญาณแรงเจียรที่เกิดขึ้น ขณะเจียรด้วยความเร็วรอบงานขัด 300 รอบต่อนาที และ อัตราการป้อนชิ้นงาน 2 มิลลิเมตรต่อนาที



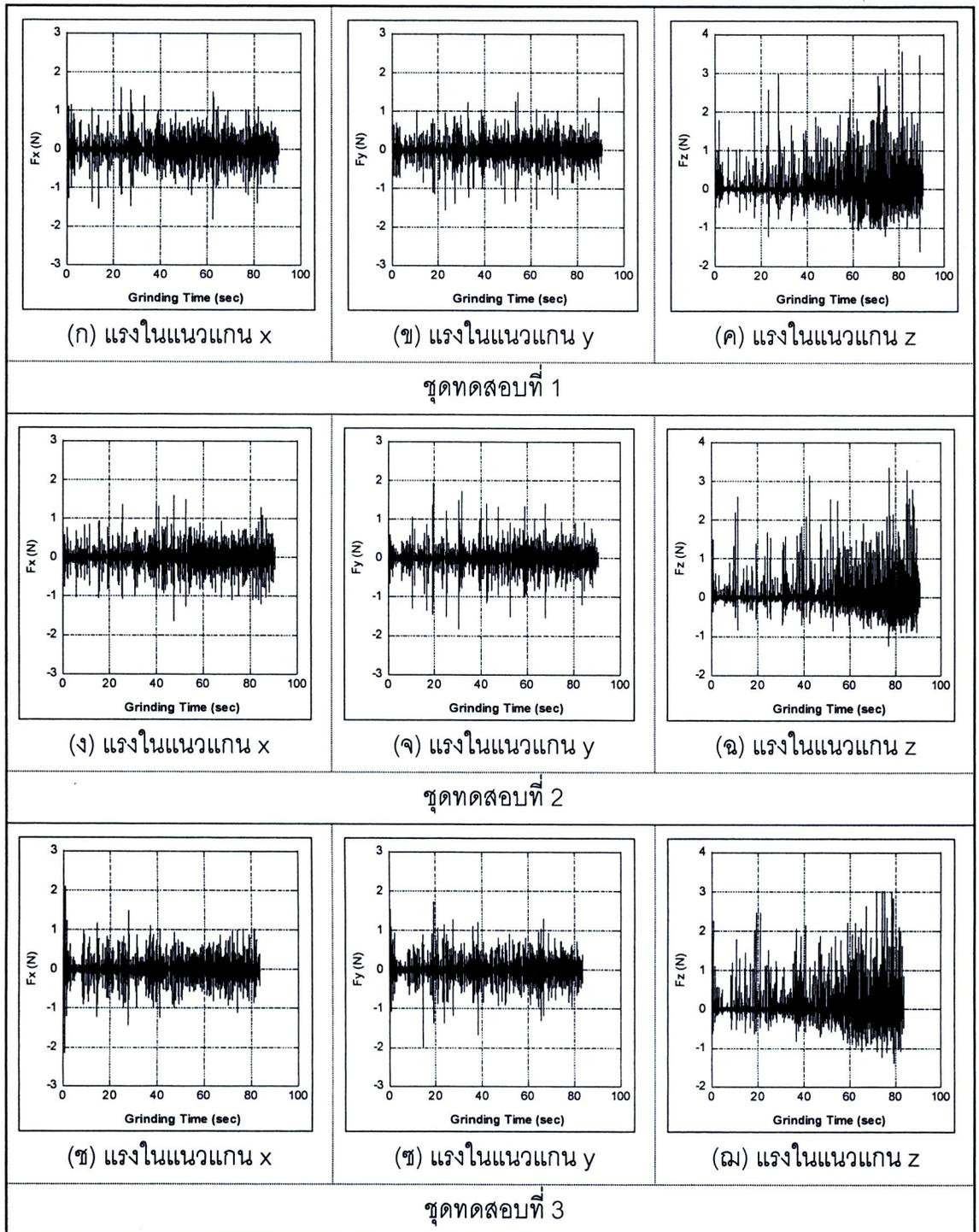
รูปที่ ก.7 สัญญาณแรงเฉื่อยที่เกิดขึ้น ขณะเจียรด้วยความเร็วรอบจานขัด 300 รอบต่อนาที และ อัตราการป้อนชิ้นงาน 3 มิลลิเมตรต่อนาที



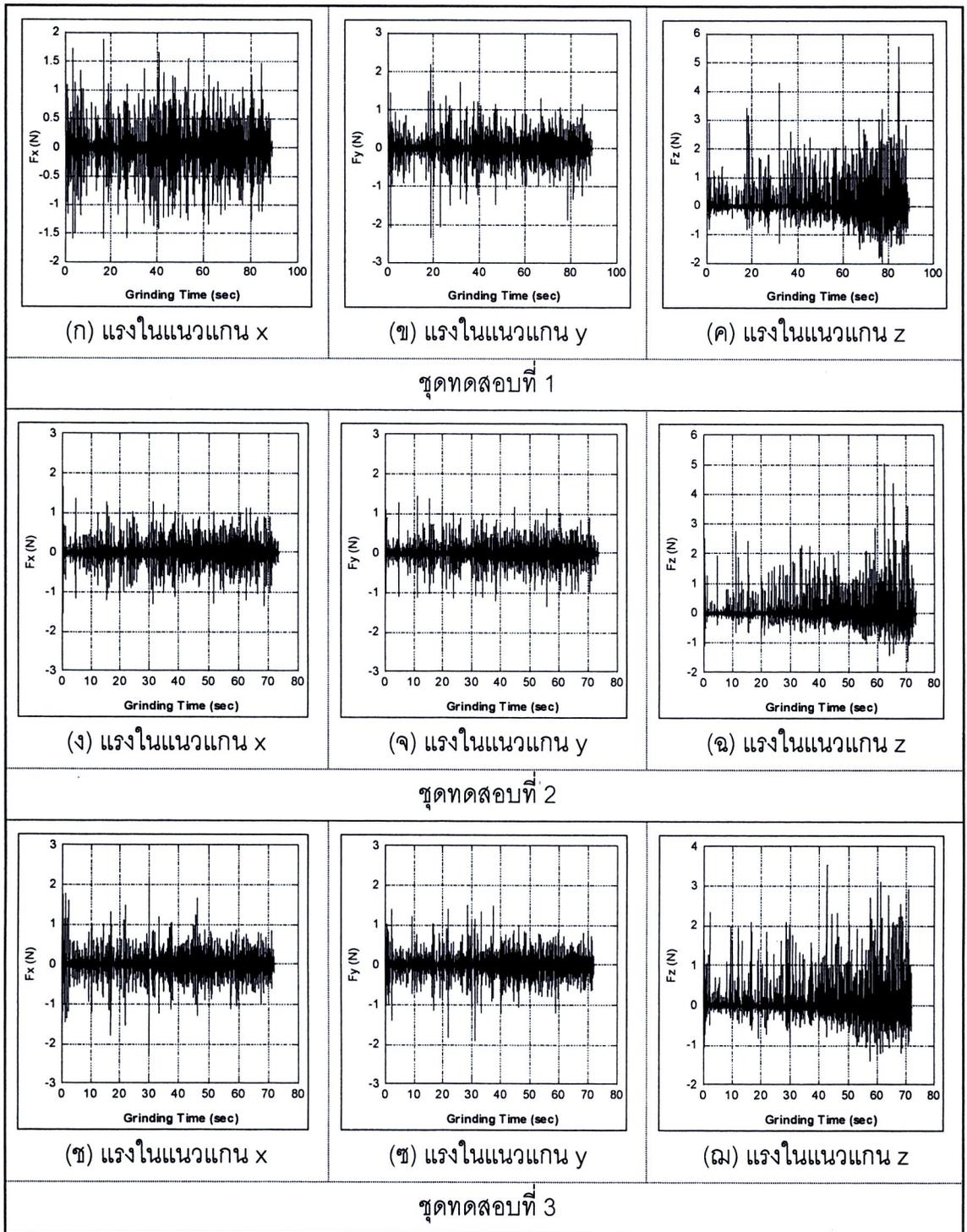
รูปที่ ก.8 สัญญาณแรงเจียรที่เกิดขึ้น ขณะเจียรด้วยความเร็วรอบจานขัด 300 รอบต่อนาที และ อัตราการป้อนชิ้นงาน 4 มิลลิเมตรต่อนาที



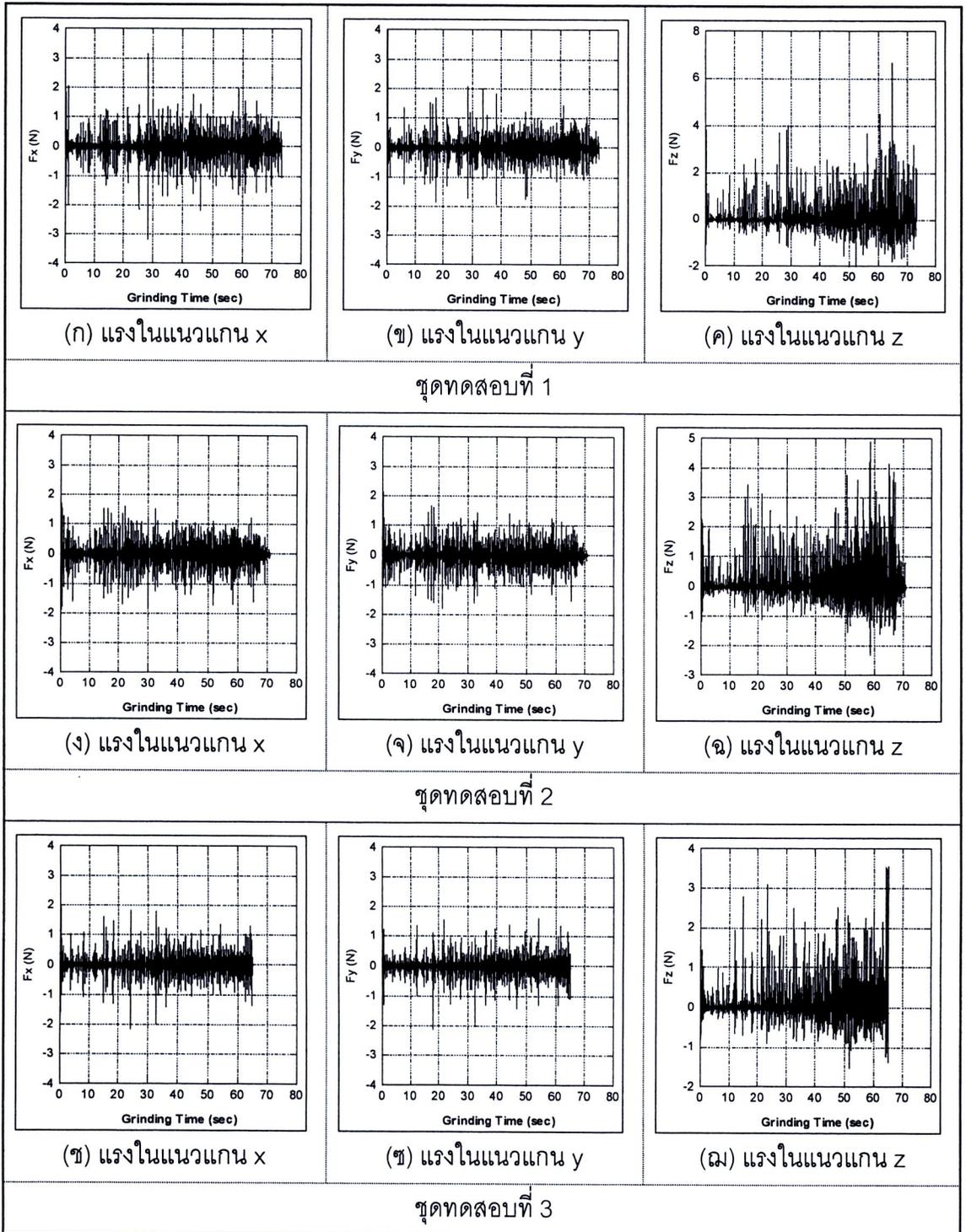
รูปที่ ก.9 สัญญาณแรงเฉื่อยที่เกิดขึ้น ขณะเฉื่อยด้วยความเร็วรอบจานขัด 300 รอบต่อนาที และ อัตราการป้อนชิ้นงาน 5 มิลลิเมตรต่อนาที



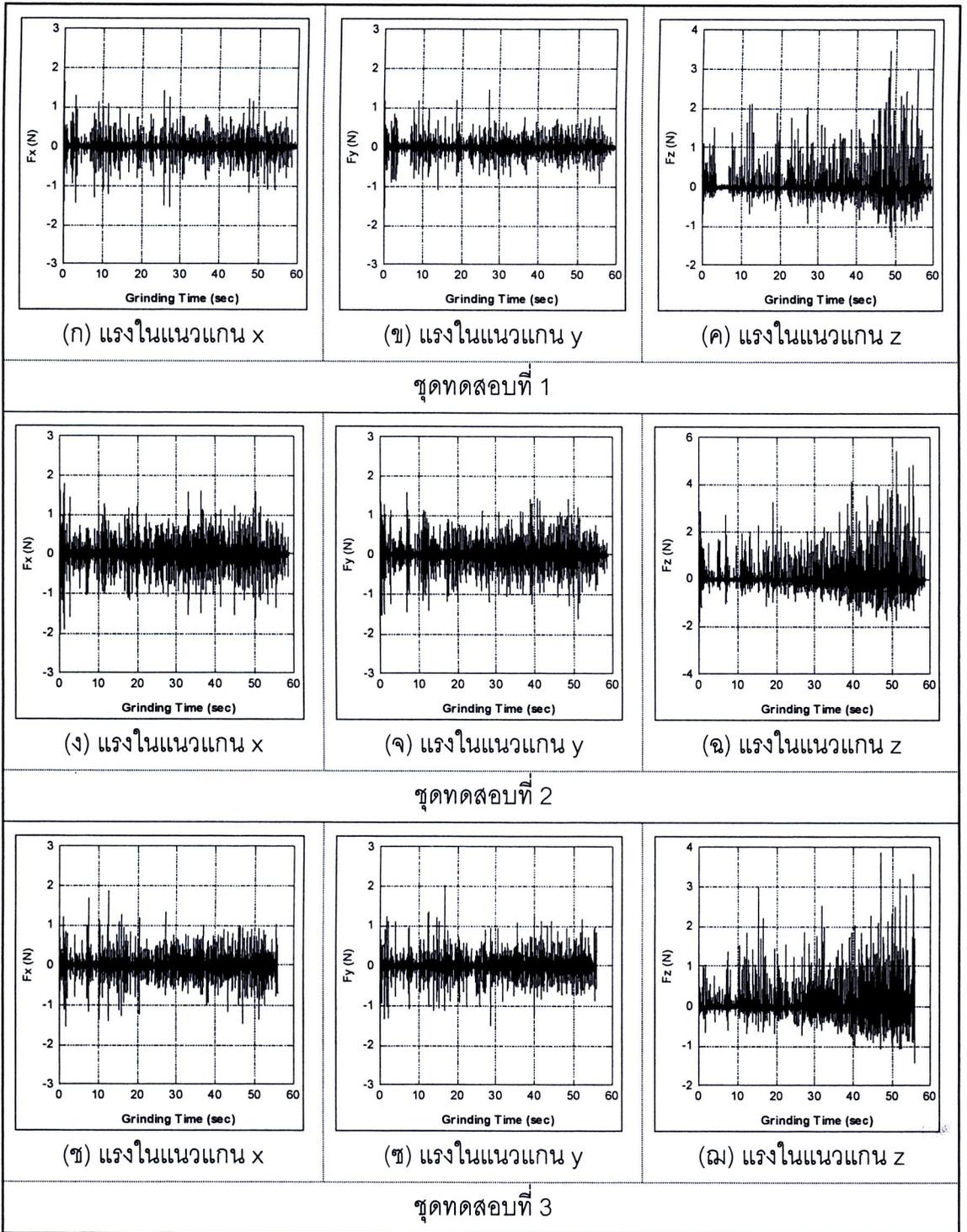
รูปที่ ก.10 สัญญาณแรงเฉื่อยที่เกิดขึ้น ขณะเจียรด้วยความเร็วรอบจานขัด 300 รอบต่อนาที และ อัตราการป้อนชิ้นงาน 6 มิลลิเมตรต่อนาที



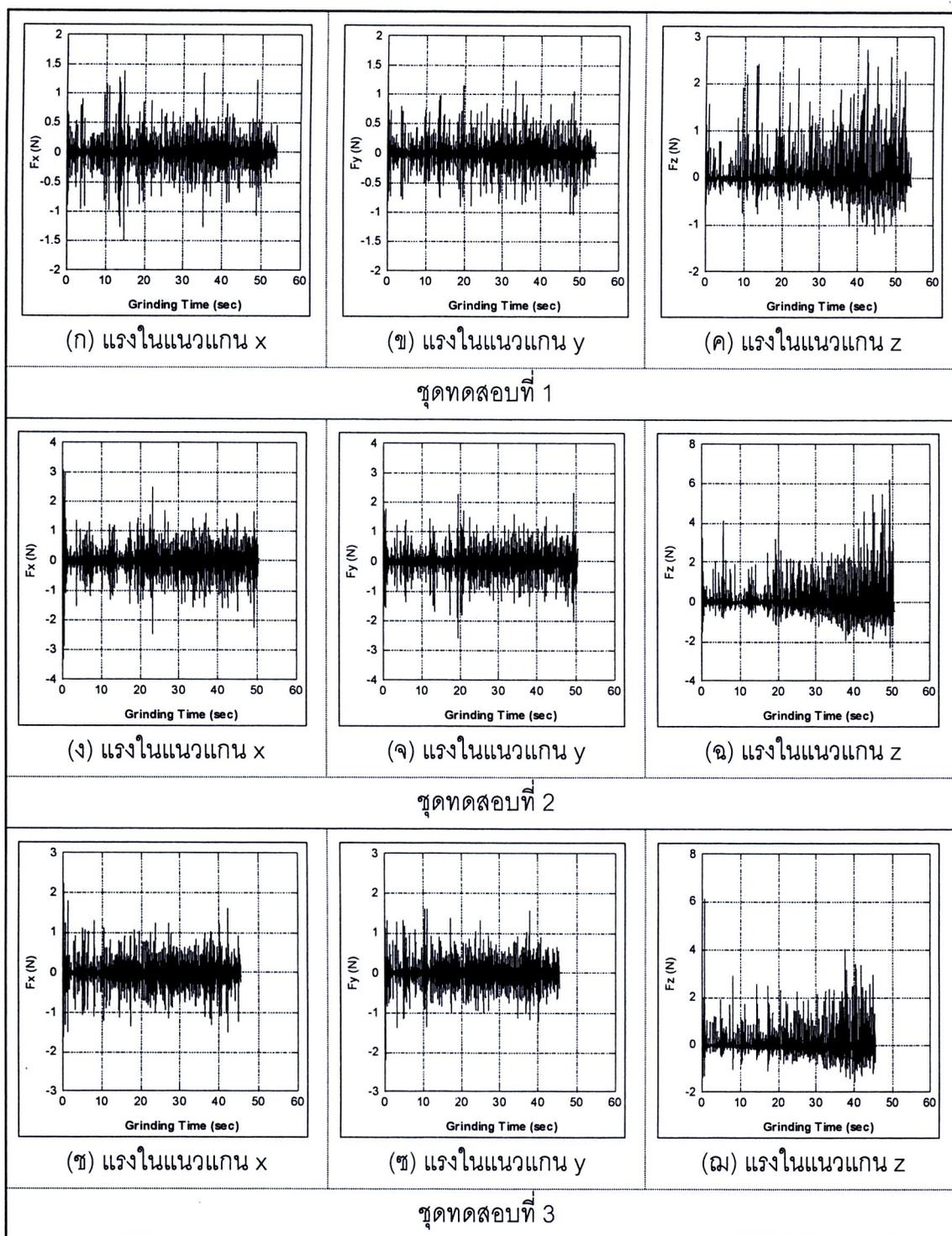
รูปที่ ก.11 สัญญาณแรงเจียรที่เกิดขึ้น ขณะเจียรด้วยความเร็วรอบงานขัด 300 รอบต่อนาที และ อัตราการป้อนชิ้นงาน 7 มิลลิเมตรต่อนาที



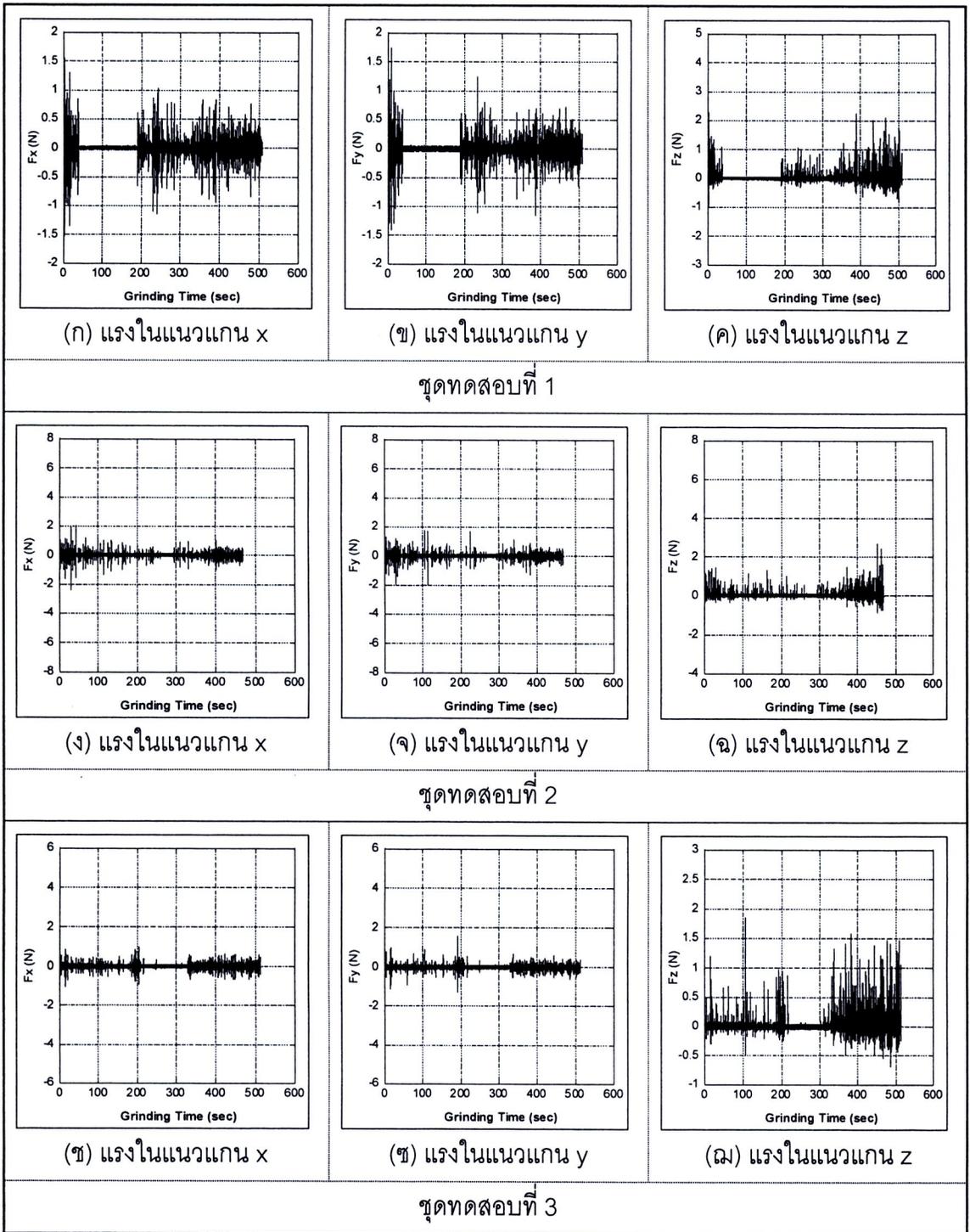
รูปที่ ก.12 สัญญาณแรงเฉื่อยที่เกิดขึ้น ขณะเจียรด้วยความเร็วรอบงานขัด 300 รอบต่อนาที และ อัตราการป้อนชิ้นงาน 8 มิลลิเมตรต่อนาที



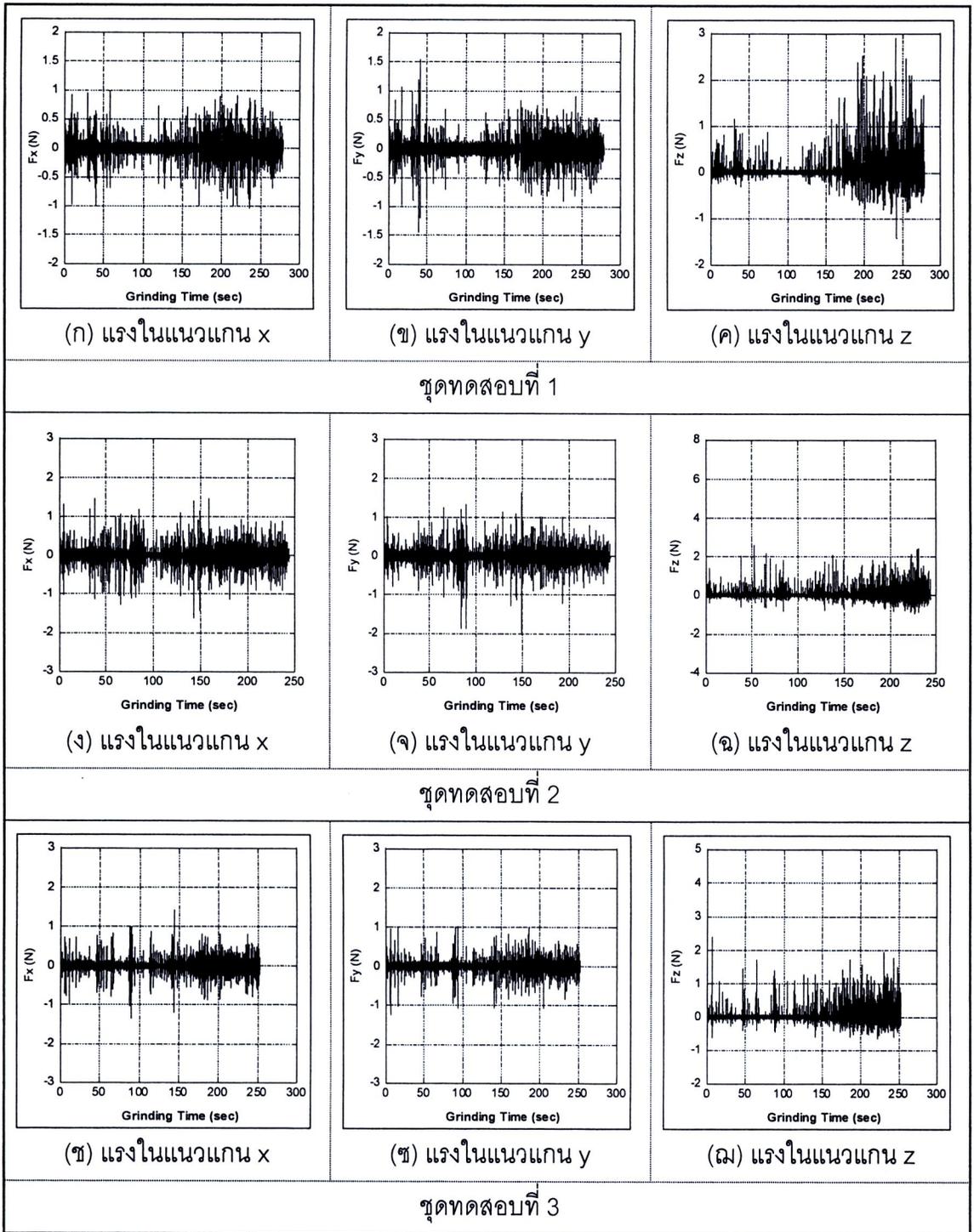
รูปที่ ก.13 สัญญาณแรงเจียรที่เกิดขึ้น ขณะเจียรด้วยความเร็วรอบจานขัด 300 รอบต่อนาที และ อัตราการป้อนชิ้นงาน 9 มิลลิเมตรต่อนาที



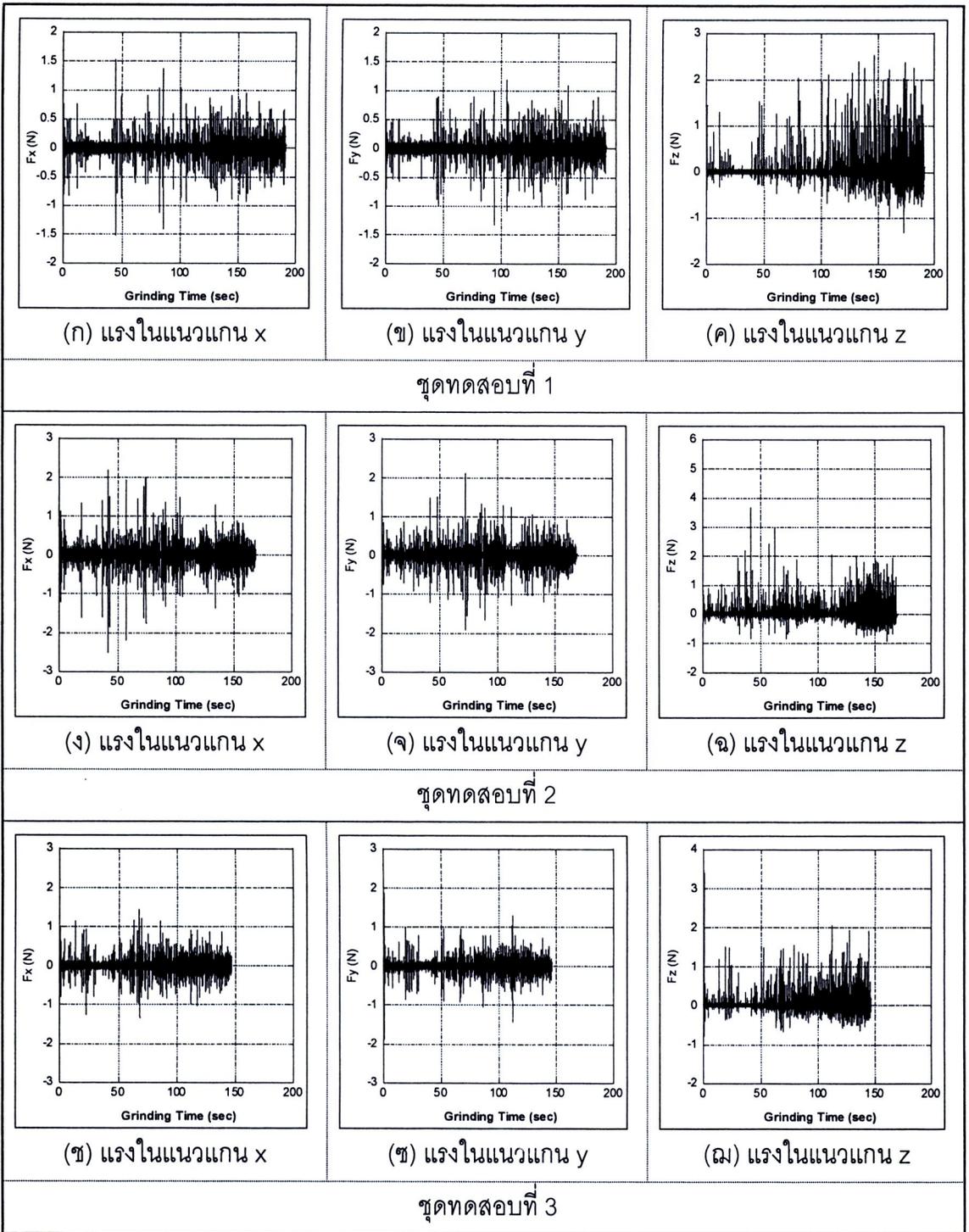
รูปที่ ก.14 สัญญาณแรงเจียรที่เกิดขึ้น ขณะเจียรด้วยความเร็วรอบงานขัด 300 รอบต่อนาที และ อัตราการป้อนชิ้นงาน 10 มิลลิเมตรต่อนาที



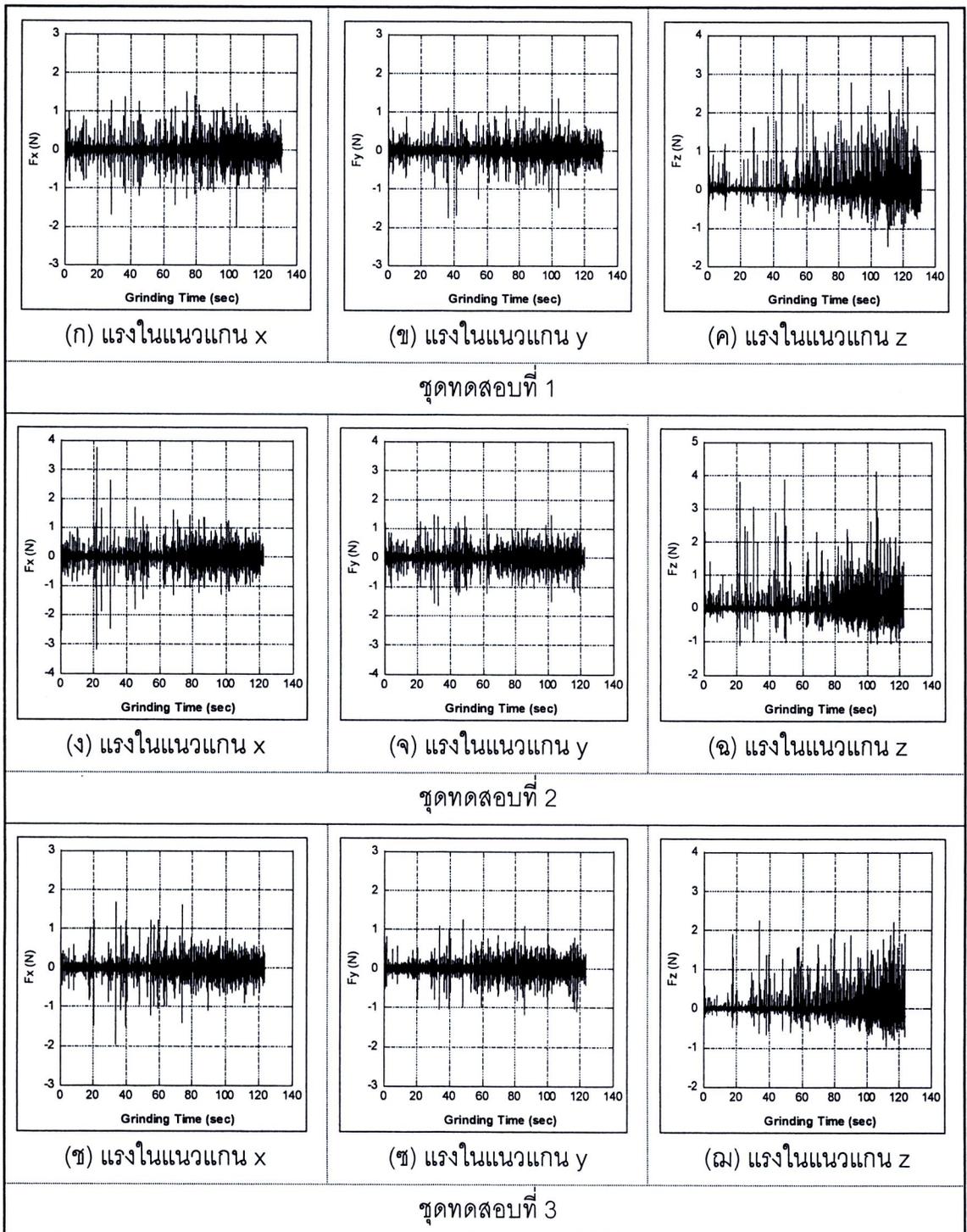
รูปที่ ก.15 สัญญาณแรงเจียรที่เกิดขึ้น ขณะเจียรด้วยความเร็วรอบงานขัด 400 รอบต่อนาที และ อัตราการป้อนชิ้นงาน 1 มิลลิเมตรต่อนาที



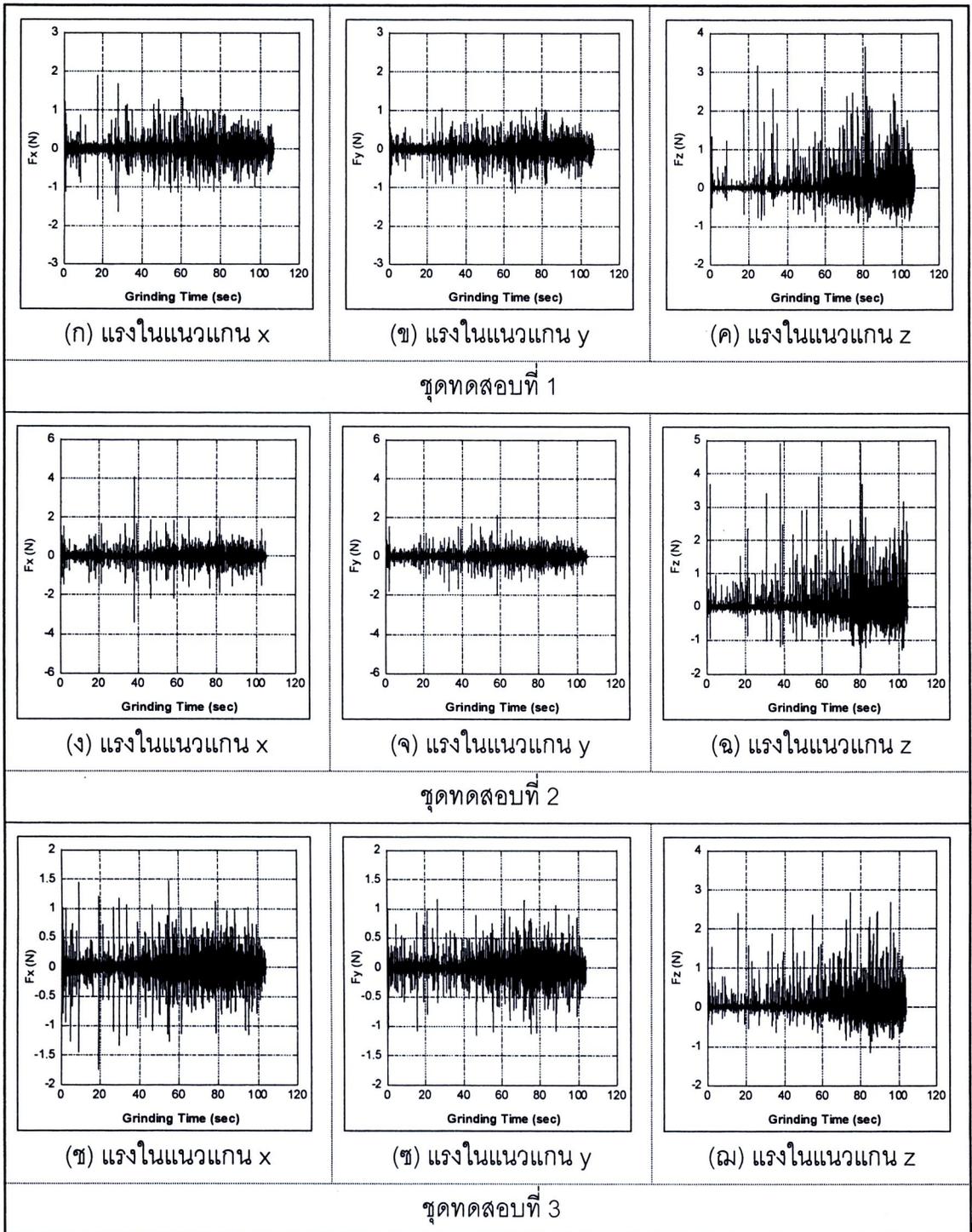
รูปที่ ก.16 สัญญาณแรงเจียรที่เกิดขึ้น ขณะเจียรด้วยความเร็วรอบจานขัด 400 รอบต่อนาที และ อัตราการป้อนชิ้นงาน 2 มิลลิเมตรต่อนาที



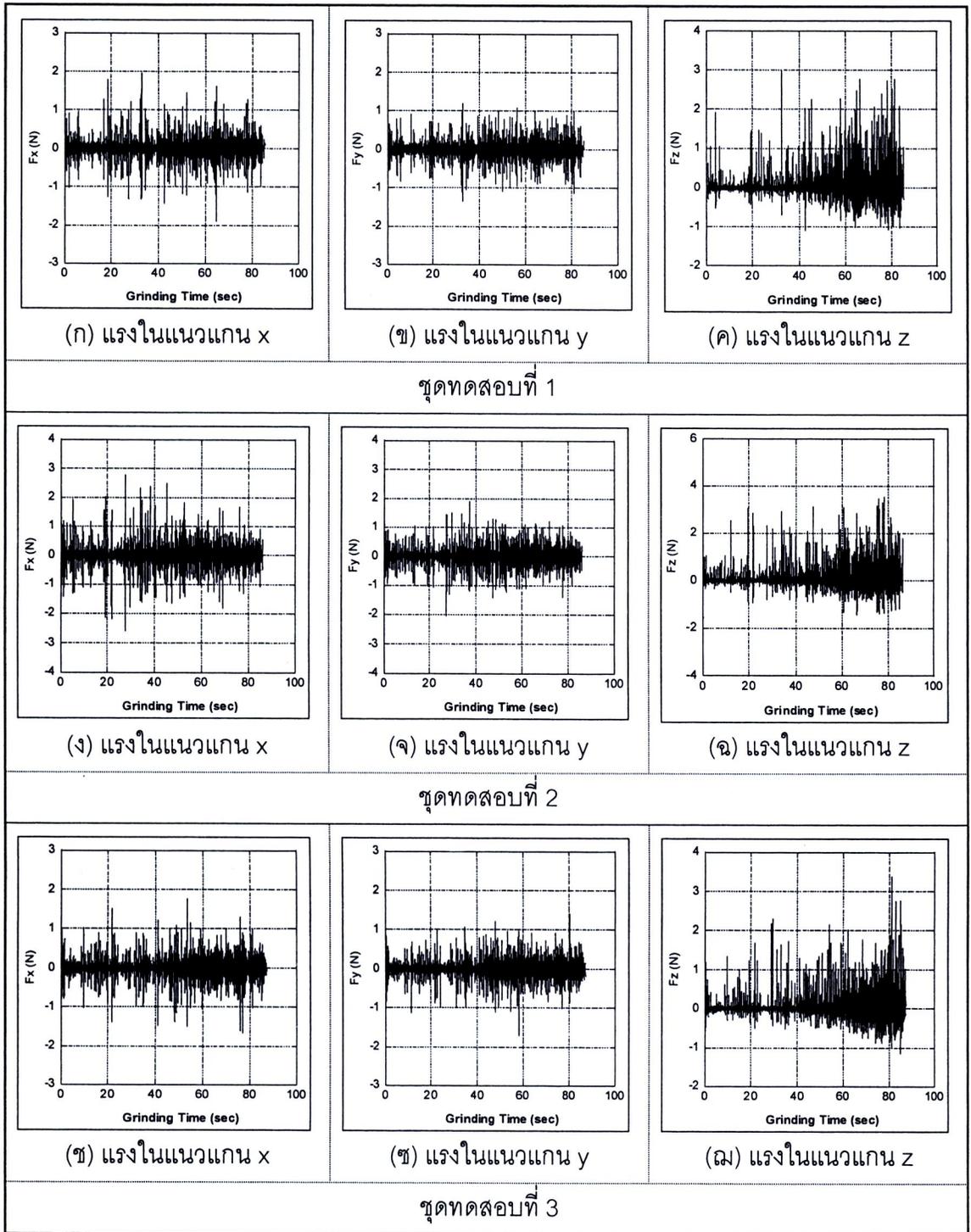
รูปที่ ก.17 สัญญาณแรงเจียรที่เกิดขึ้น ขณะเจียรด้วยความเร็วรอบจานขัด 400 รอบต่อนาที และ อัตราการป้อนชิ้นงาน 3 มิลลิเมตรต่อนาที



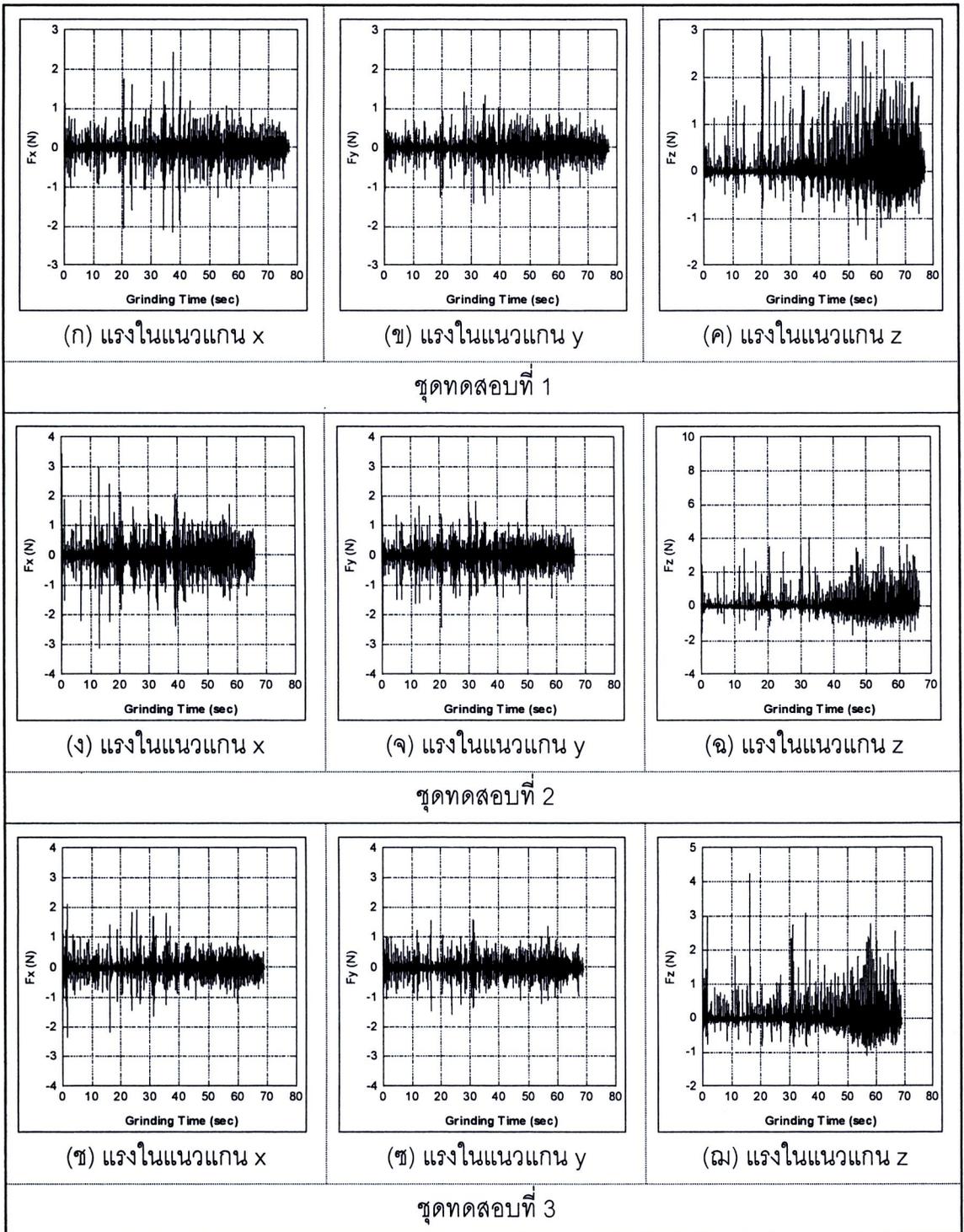
รูปที่ ก.18 สัญญาณแรงเจียรที่เกิดขึ้น ขณะเจียรด้วยความเร็วรอบงานขัด 400 รอบต่อนาที และ อัตราการป้อนชิ้นงาน 4 มิลลิเมตรต่อนาที



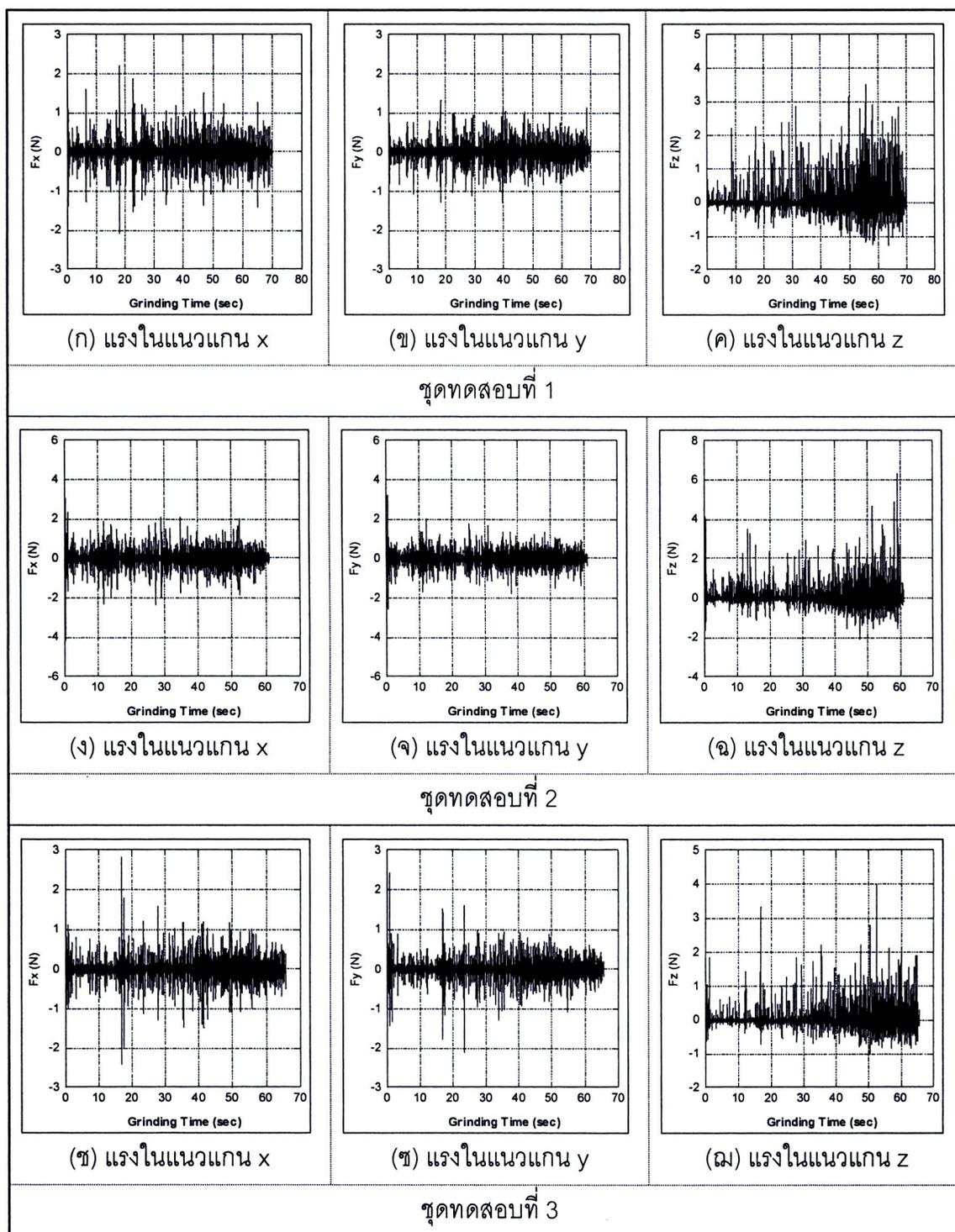
รูปที่ ก.19 สัญญาณแรงเจียรที่เกิดขึ้น ขณะเจียรด้วยความเร็วรอบจานขัด 400 รอบต่อนาที และ อัตราการป้อนชิ้นงาน 5 มิลลิเมตรต่อนาที



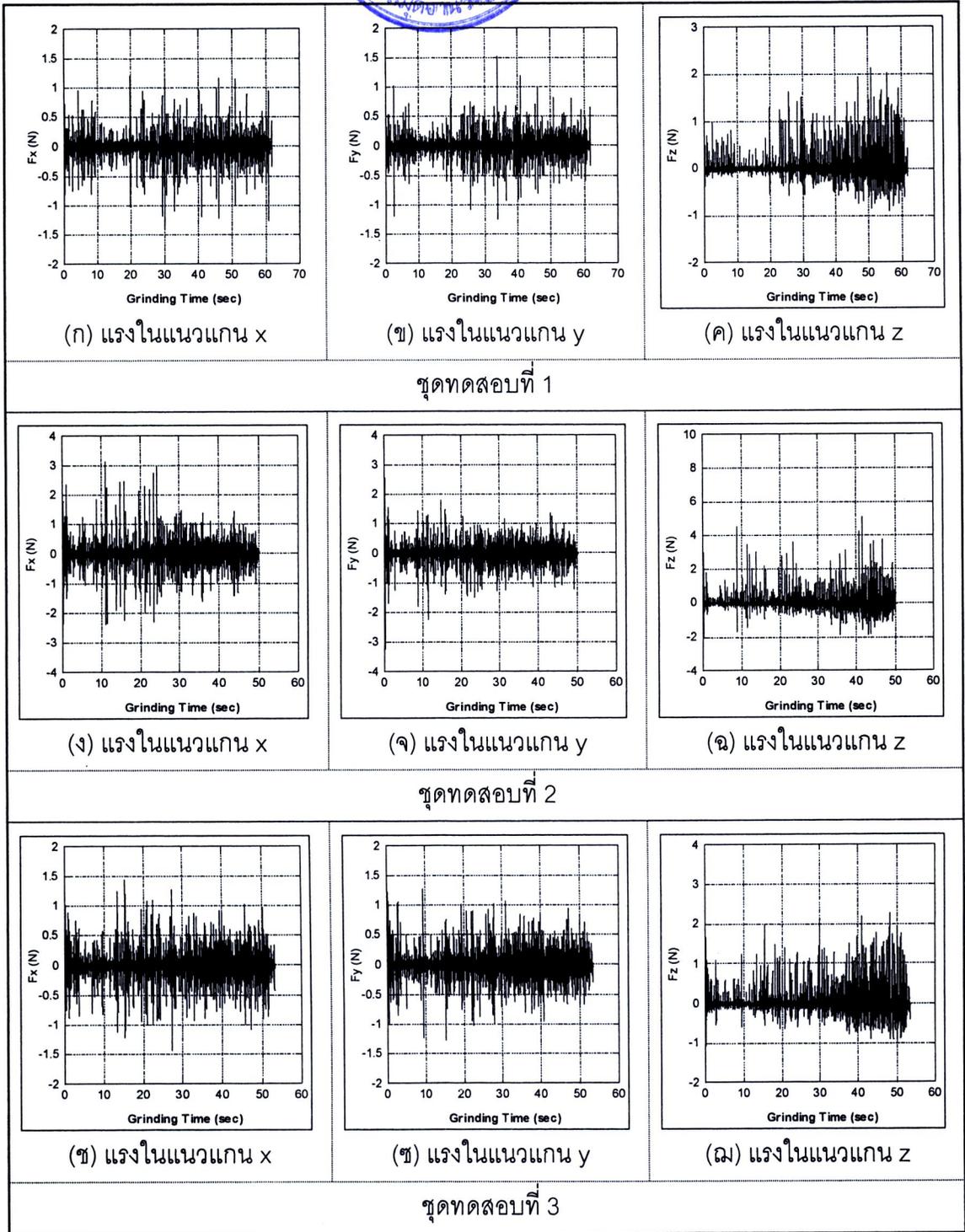
รูปที่ ก.20 สัญญาณแรงเจียรที่เกิดขึ้น ขณะเจียรด้วยความเร็วรอบงานขัด 400 รอบต่อนาที และ อัตราการป้อนชิ้นงาน 6 มิลลิเมตรต่อนาที



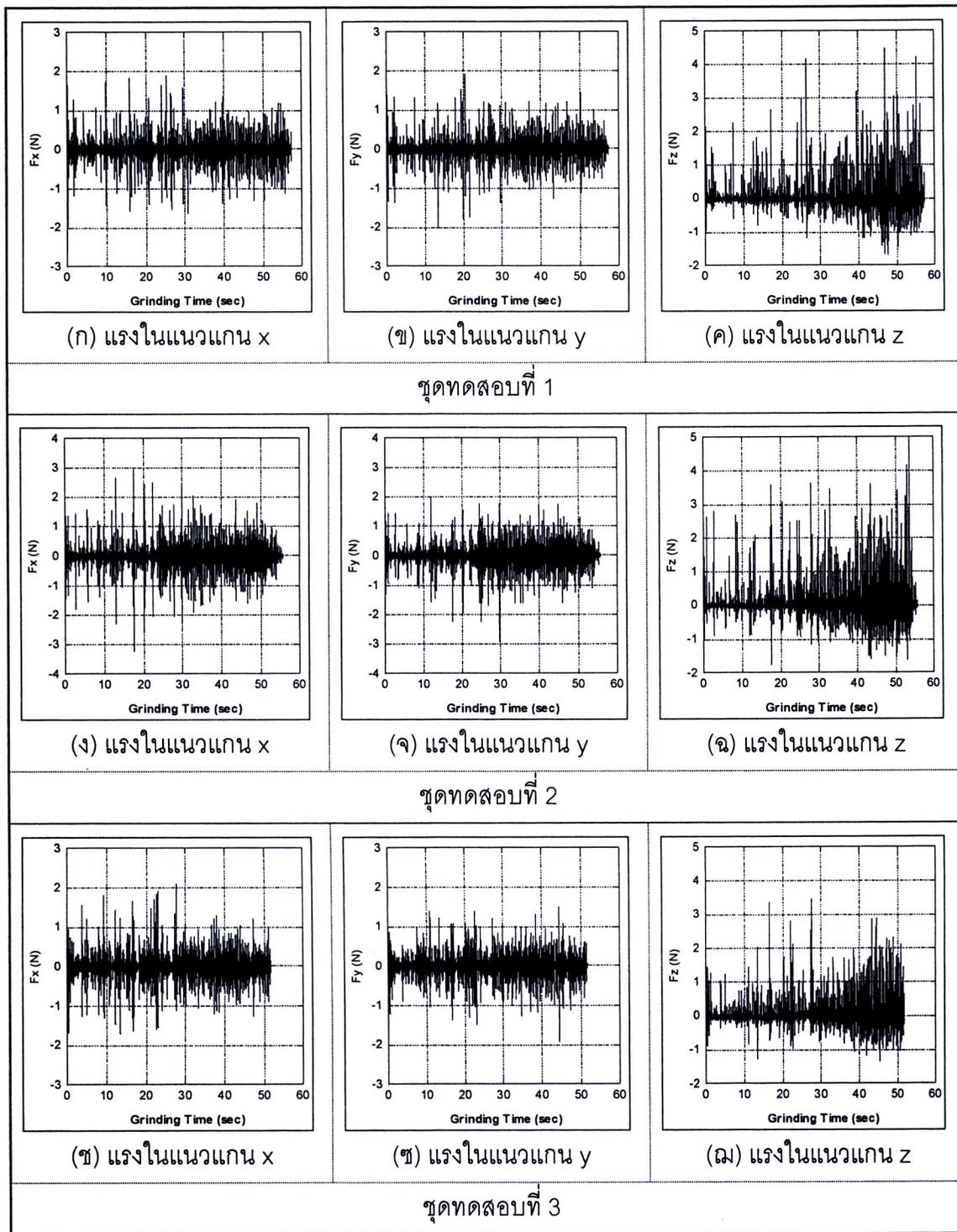
รูปที่ ก.21 สัญญาณแรงเฉื่อยที่เกิดขึ้น ขณะเจียรด้วยความเร็วรอบจานขัด 400 รอบต่อนาที และ อัตราการป้อนชิ้นงาน 7 มิลลิเมตรต่อนาที



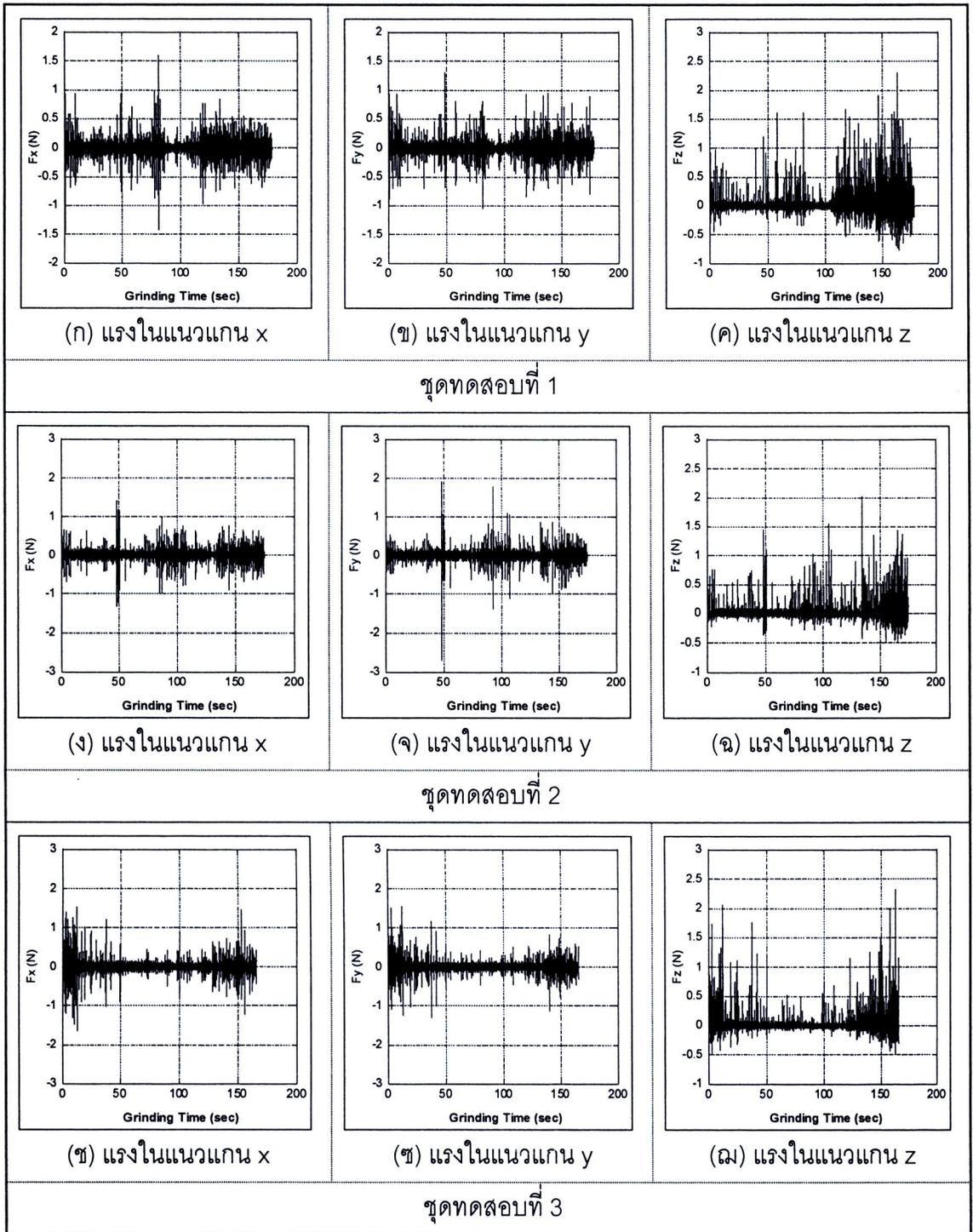
รูปที่ ก.22 สัญญาณแรงเฉื่อยที่เกิดขึ้น ขณะเจียรด้วยความเร็วรอบจานขัด 400 รอบต่อนาที และ อัตราการป้อนชิ้นงาน 8 มิลลิเมตรต่อนาที



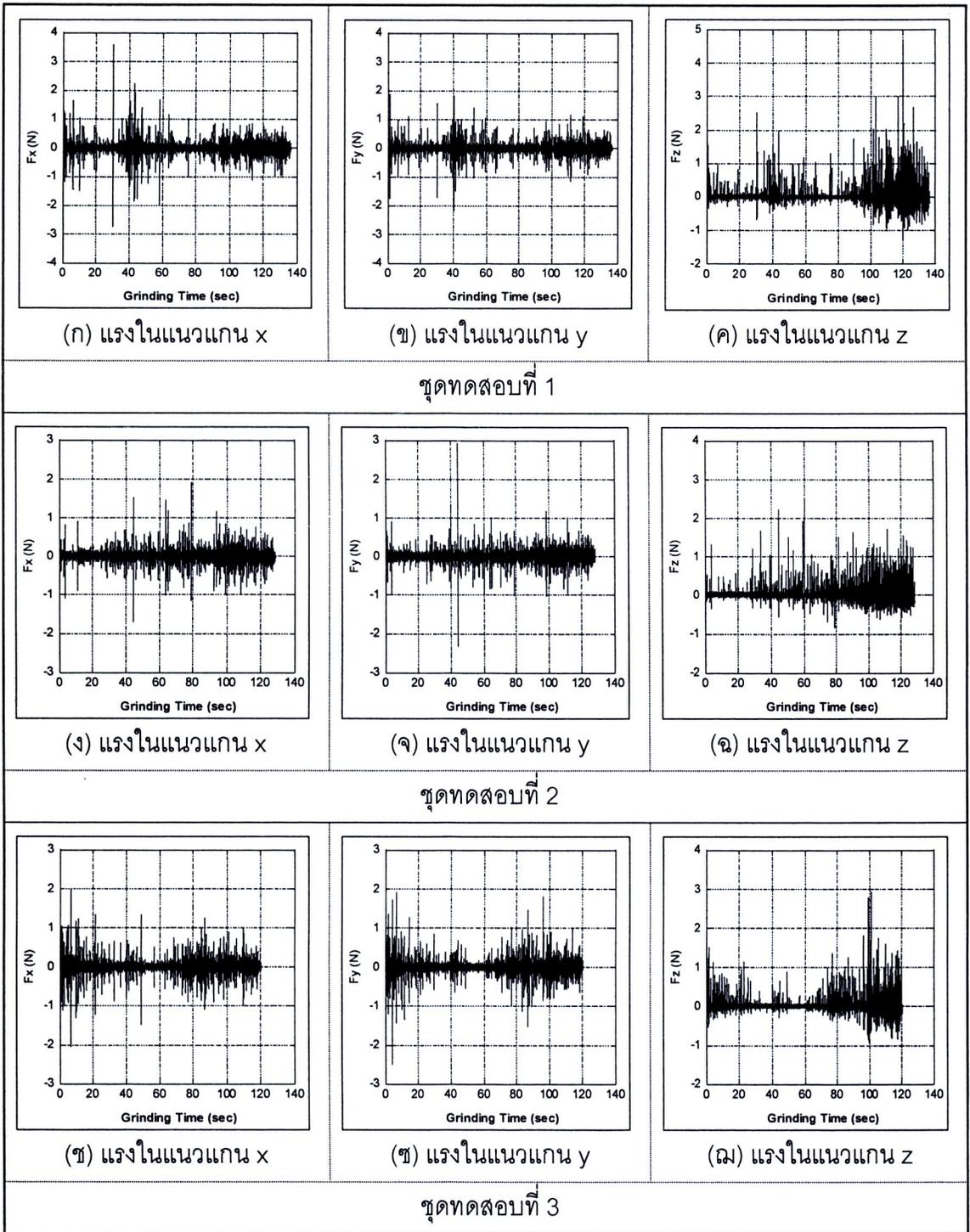
รูปที่ ก.23 สัญญาณแรงเจียรที่เกิดขึ้น ขณะเจียรด้วยความเร็วรอบงานขัด 400 รอบต่อนาที และ อัตราการป้อนชิ้นงาน 9 มิลลิเมตรต่อนาที



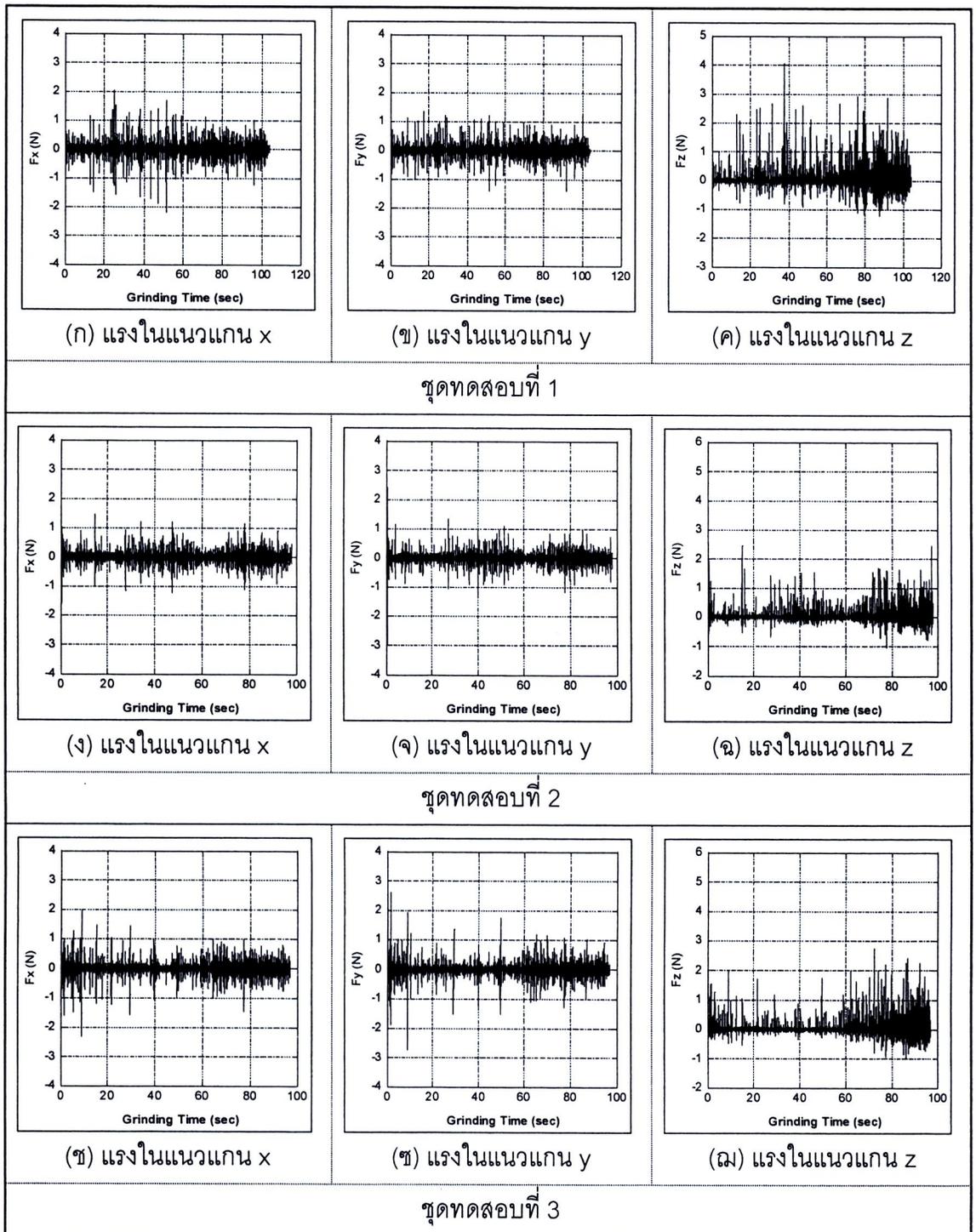
รูปที่ ก.24 สัญญาณแรงเจียรที่เกิดขึ้น ขณะเจียรด้วยความเร็วรอบงานขัด 400 รอบต่อนาที และ อัตราการป้อนชิ้นงาน 10 มิลลิเมตรต่อนาที



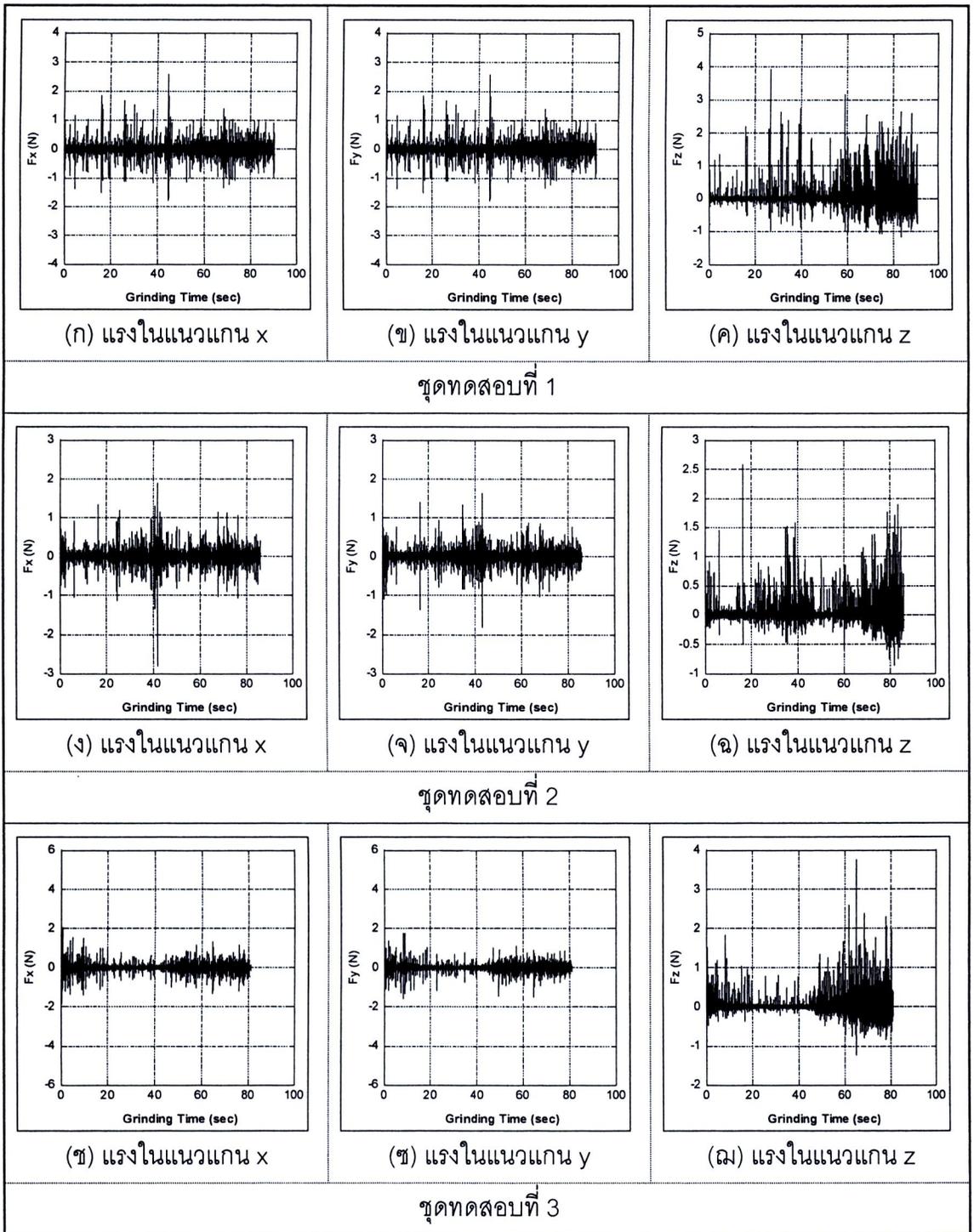
รูปที่ ก.25 สัญญาณแรงเฉื่อยที่เกิดขึ้น ขณะเจียรด้วยความเร็วรอบจานขัด 500 รอบต่อนาที และ อัตราการป้อนชิ้นงาน 3 มิลลิเมตรต่อนาที



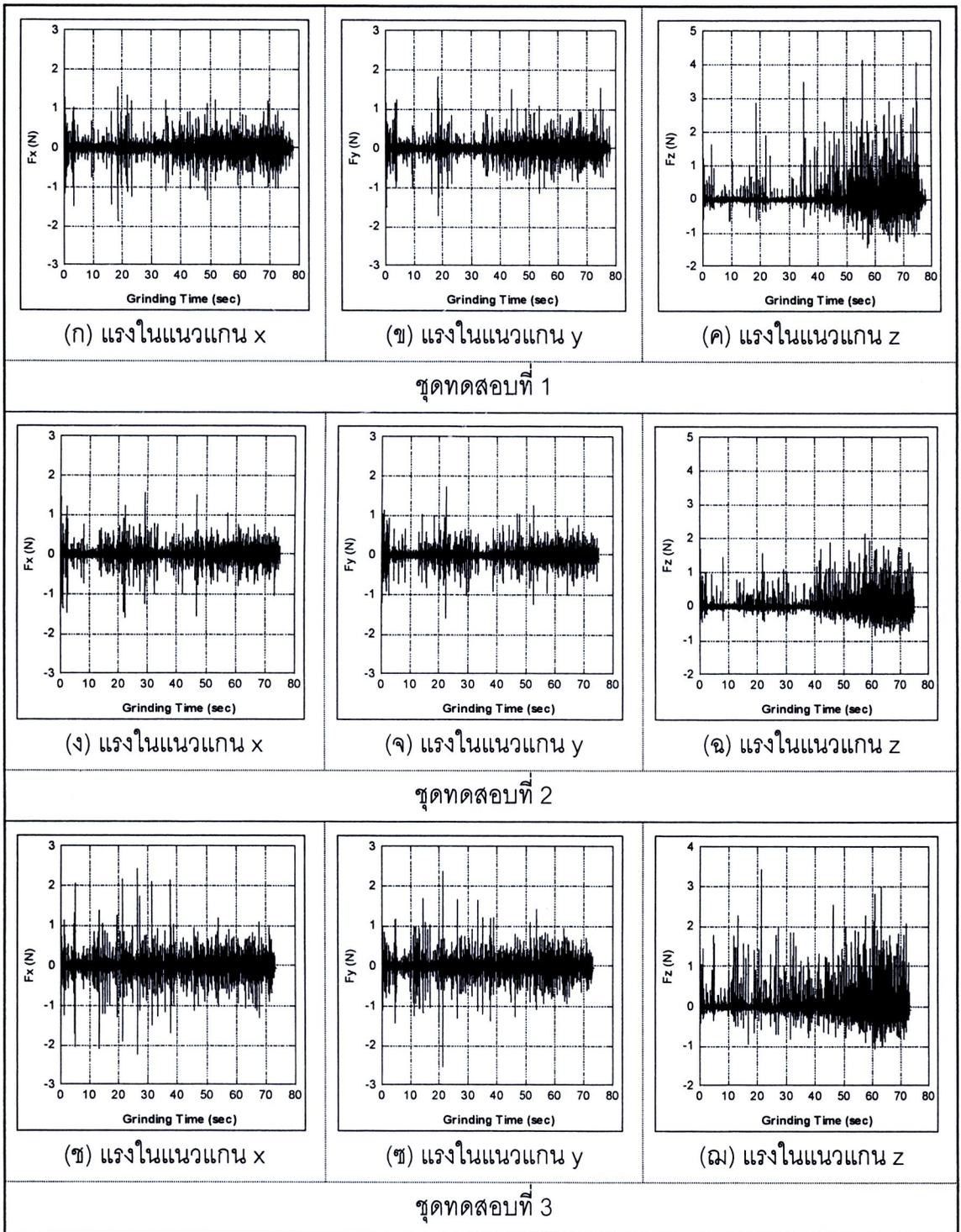
รูปที่ ก.26 สัญญาณแรงเจียรที่เกิดขึ้น ขณะเจียรด้วยความเร็วรอบจานขัด 500 รอบต่อนาที และ อัตราการป้อนชิ้นงาน 4 มิลลิเมตรต่อนาที



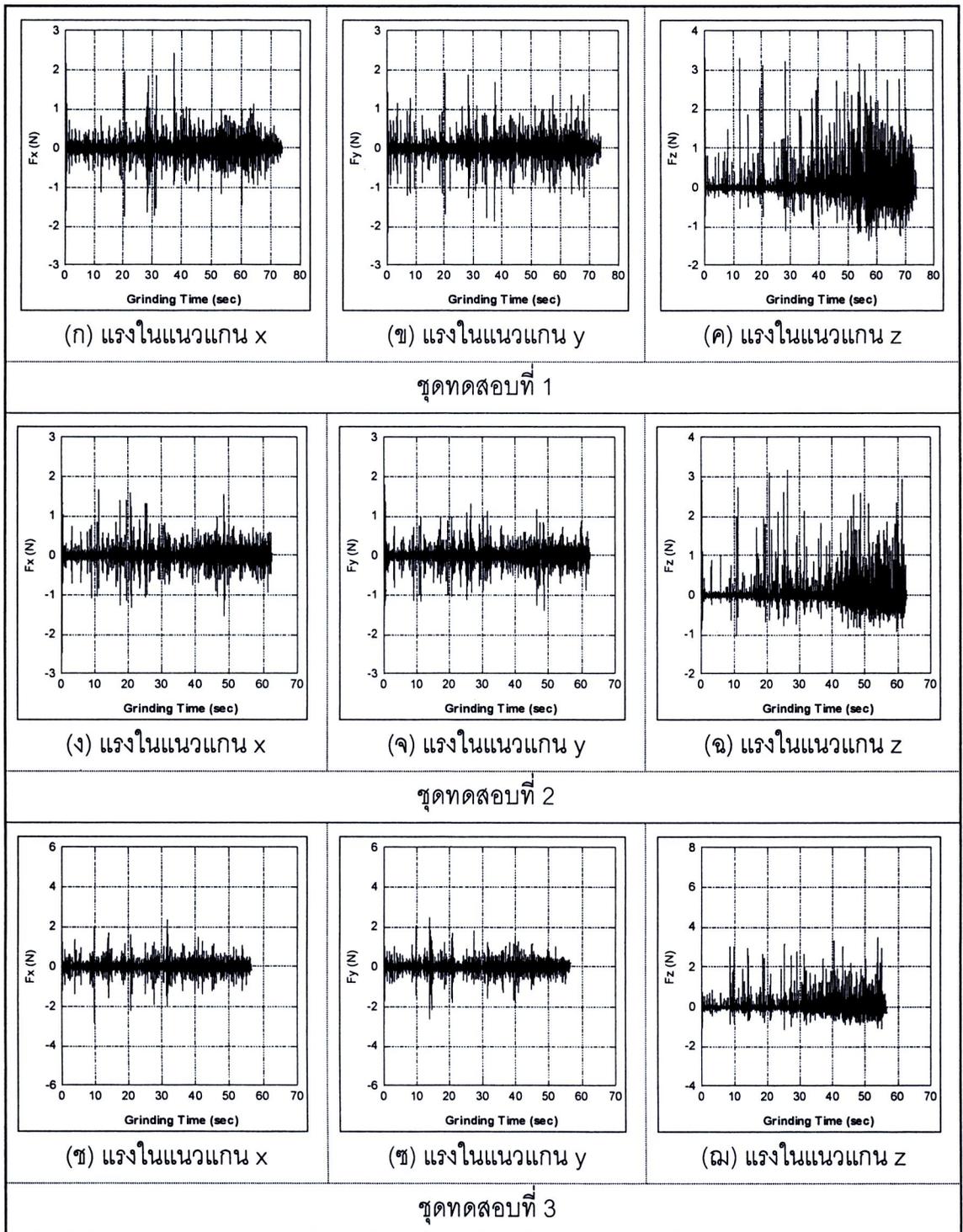
รูปที่ ก.27 สัญญาณแรงเฉื่อยที่เกิดขึ้น ขณะเจียรด้วยความเร็วรอบงานขัด 500 รอบต่อนาที และ อัตราการป้อนชิ้นงาน 5 มิลลิเมตรต่อนาที



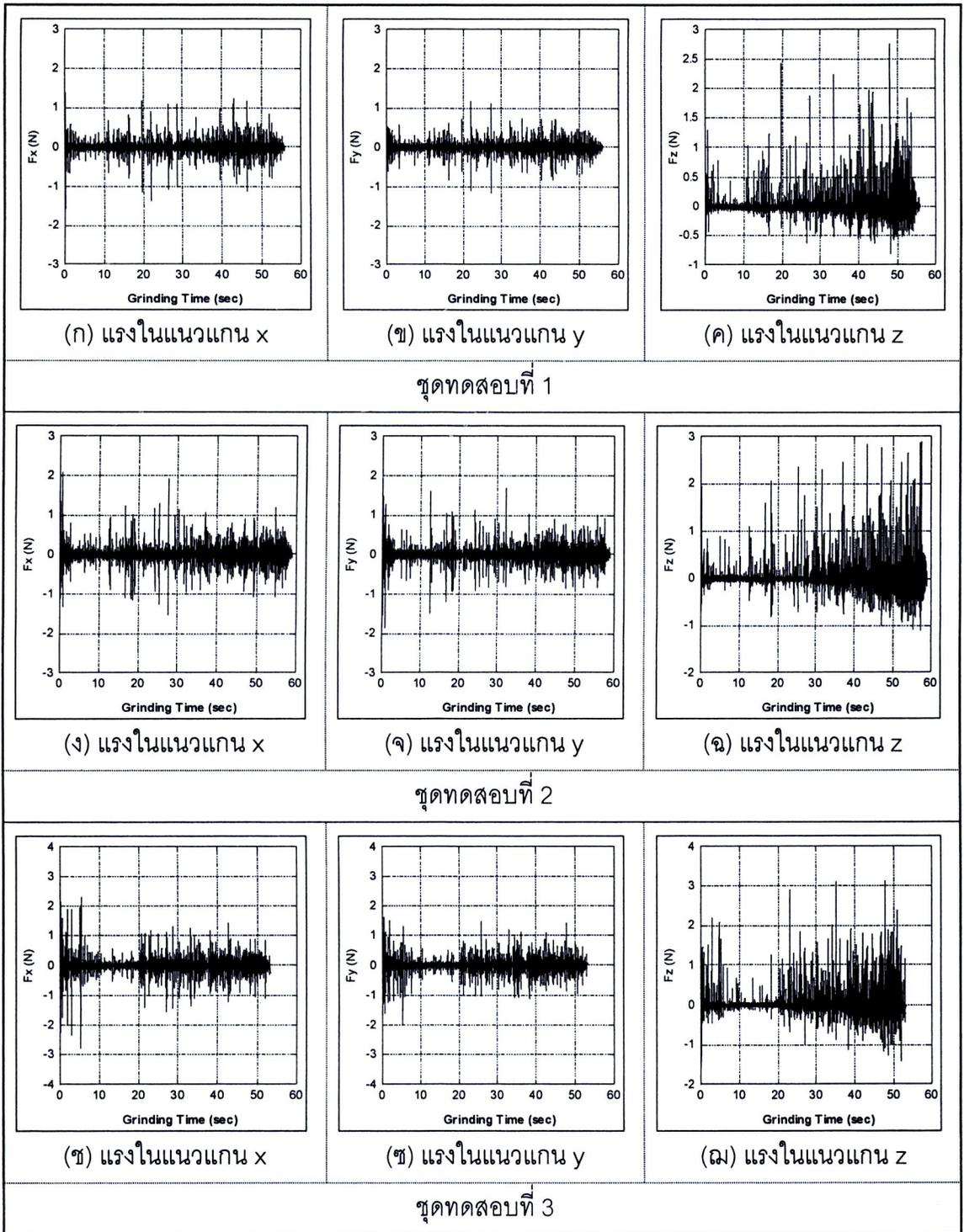
รูปที่ ก.28 สัญญาณแรงเจียรที่เกิดขึ้น ขณะเจียรด้วยความเร็วรอบงานขัด 500 รอบต่อนาที และ อัตราการป้อนชิ้นงาน 6 มิลลิเมตรต่อนาที



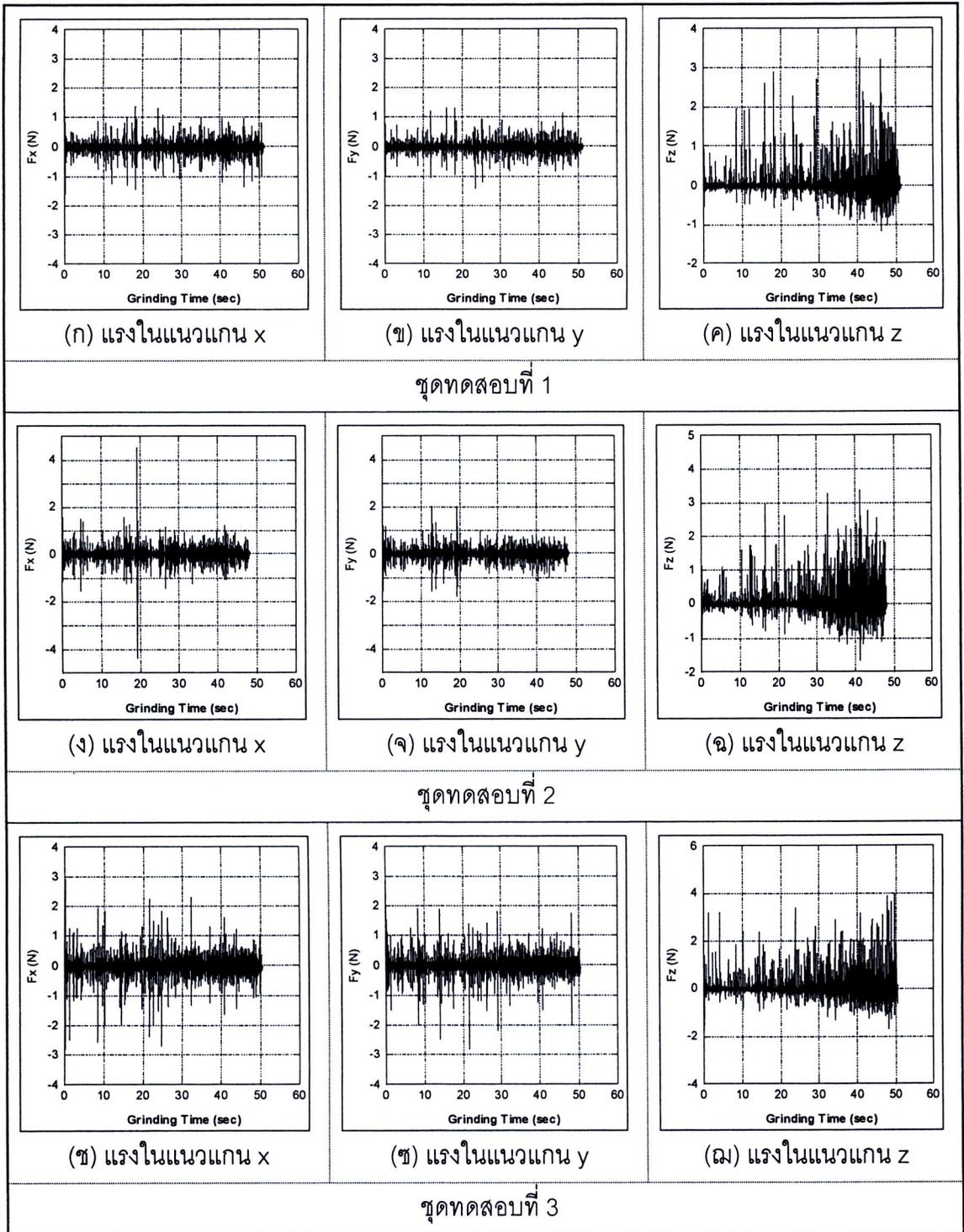
รูปที่ ก.29 สัญญาณแรงเจียรที่เกิดขึ้น ขณะเจียรด้วยความเร็วรอบงานขัด 500 รอบต่อนาที และ อัตราการป้อนชิ้นงาน 7 มิลลิเมตรต่อนาที



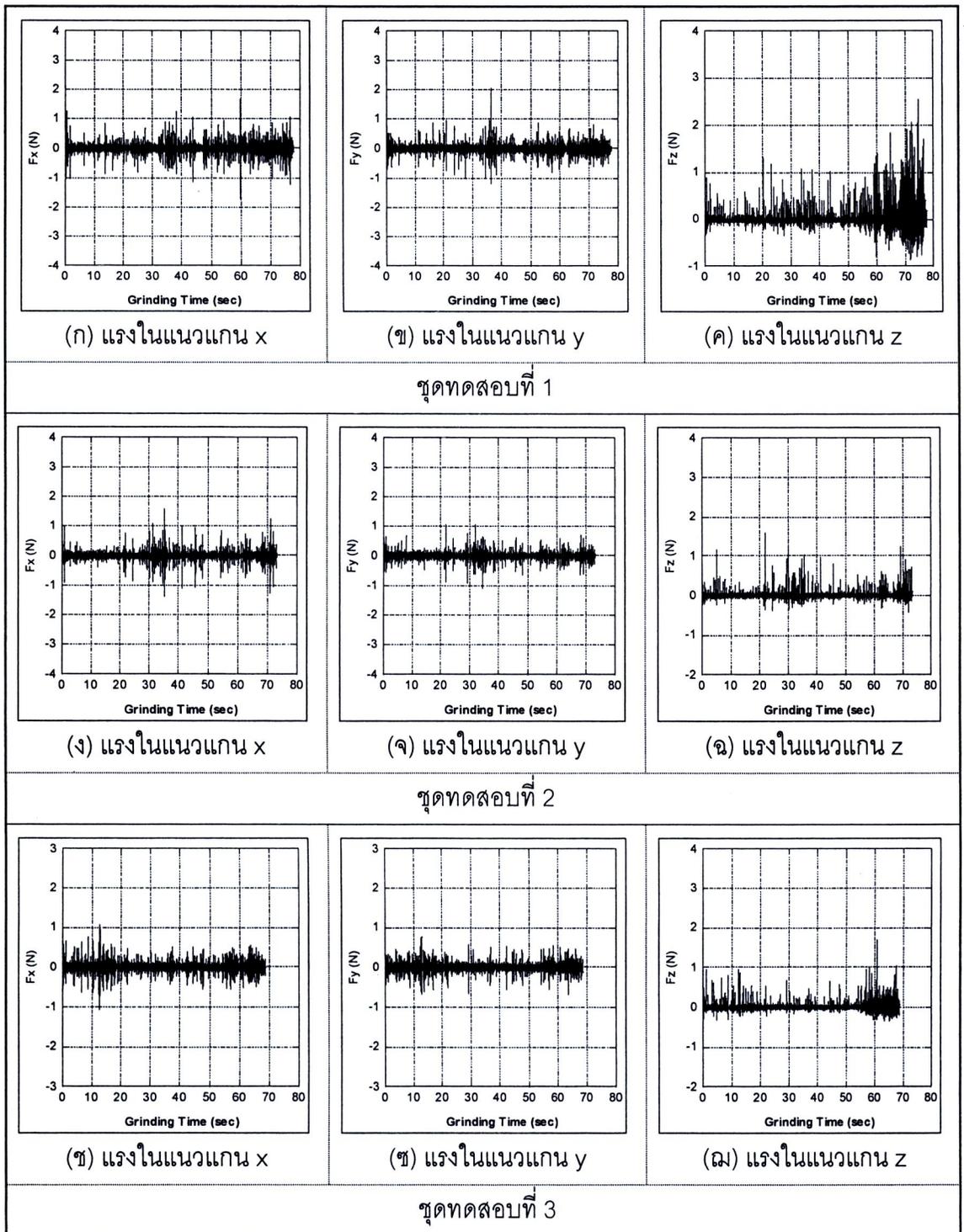
รูปที่ ก.30 สัญญาณแรงเจียรที่เกิดขึ้น ขณะเจียรด้วยความเร็วรอบงานขัด 500 รอบต่อนาที และ อัตราการป้อนชิ้นงาน 8 มิลลิเมตรต่อนาที



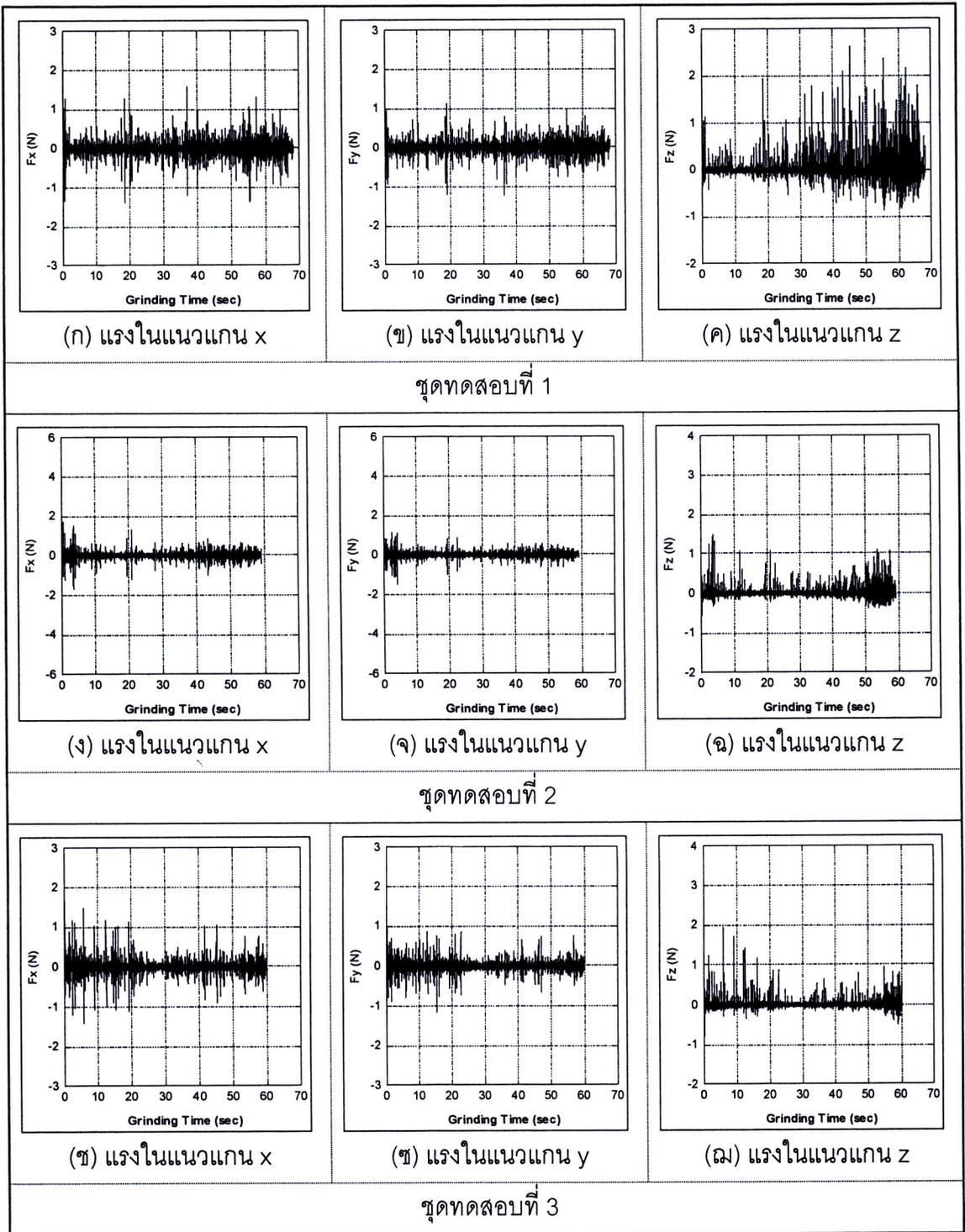
รูปที่ ก.31 สัญญาณแรงเจียรที่เกิดขึ้น ขณะเจียรด้วยความเร็วรอบงานขัด 500 รอบต่อนาที และ อัตราการป้อนชิ้นงาน 9 มิลลิเมตรต่อนาที



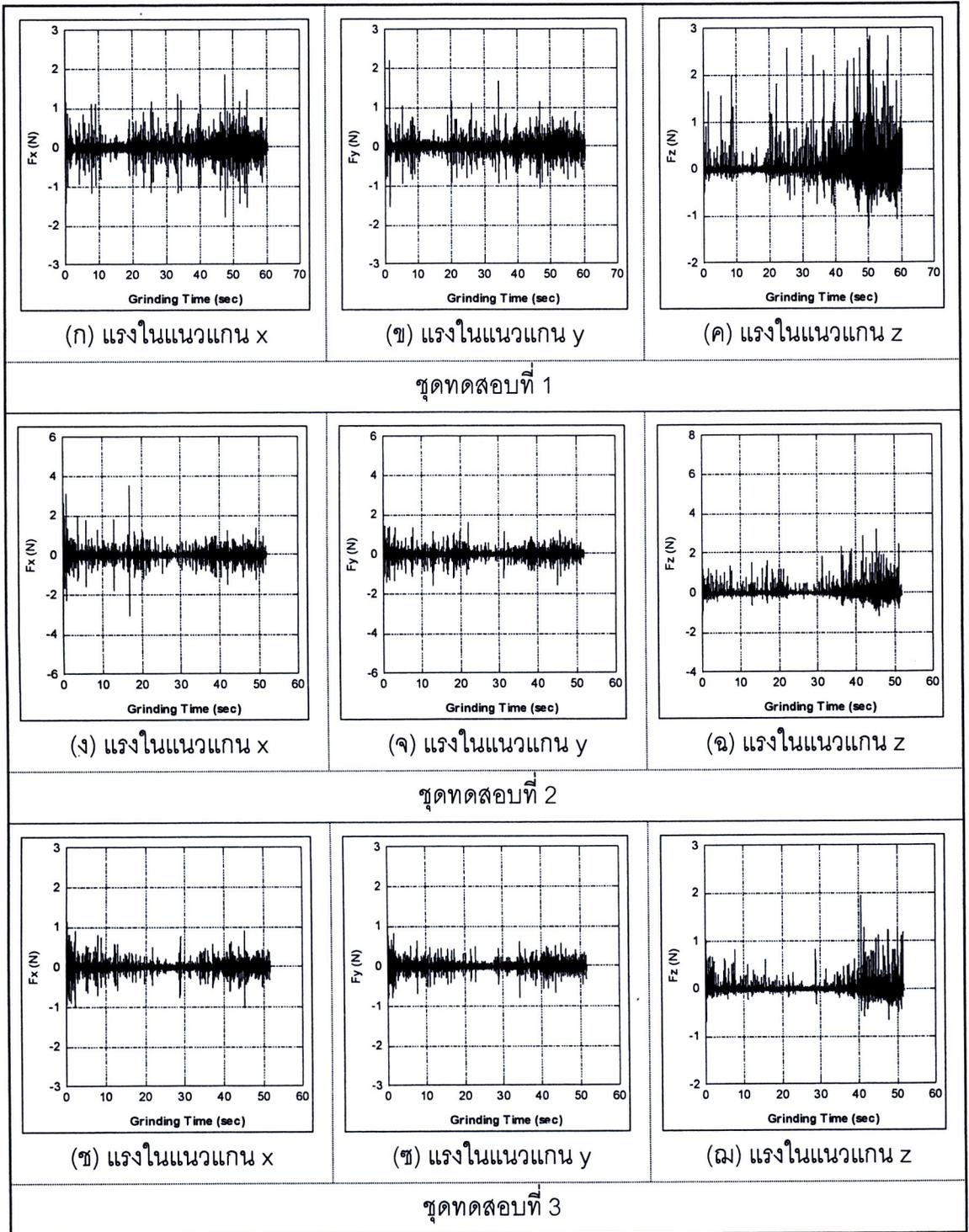
รูปที่ ก.32 สัญญาณแรงเฉื่อยที่เกิดขึ้น ขณะเจียรด้วยความเร็วรอบจานขัด 500 รอบต่อนาที และ อัตราการป้อนชิ้นงาน 10 มิลลิเมตรต่อนาที



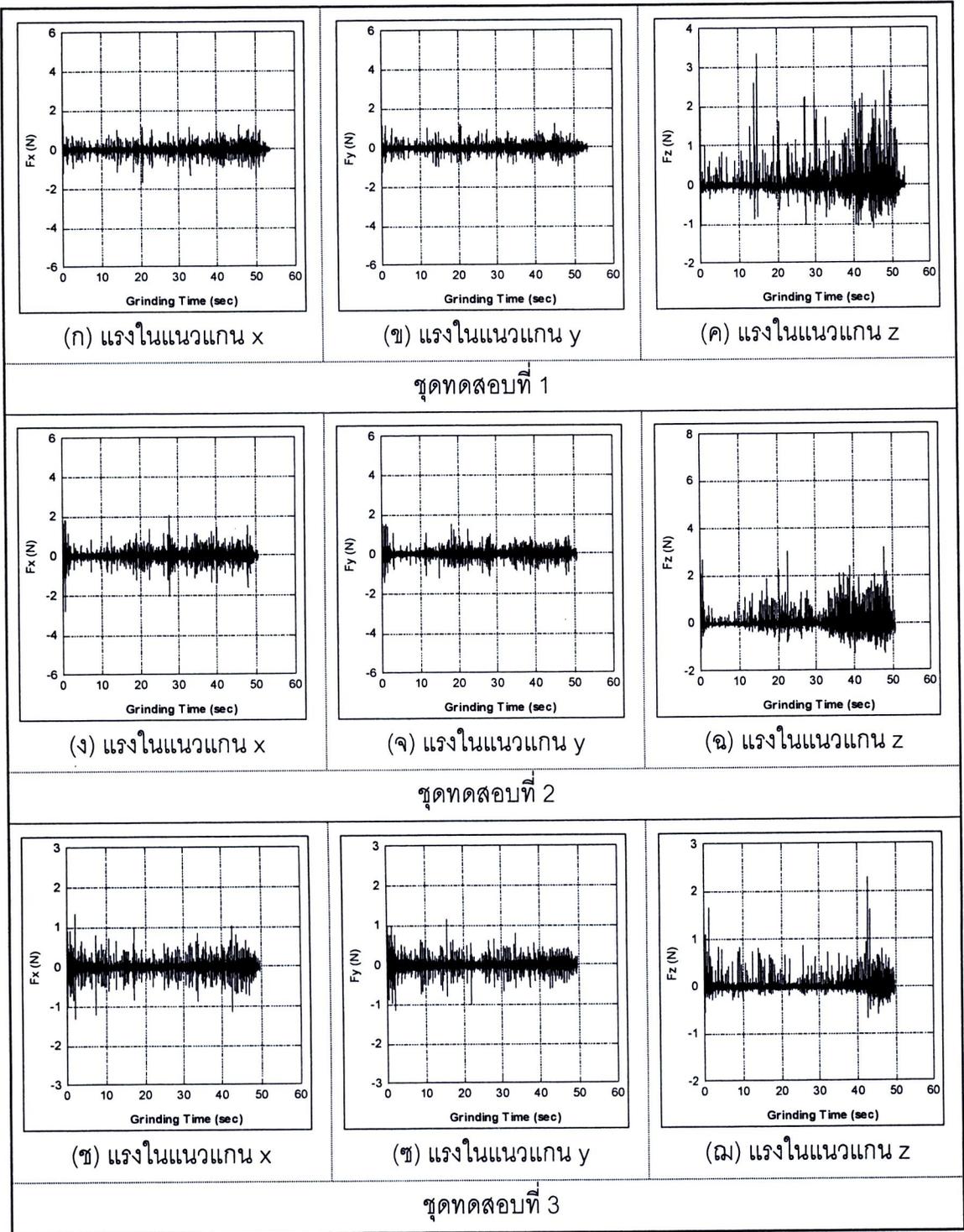
รูปที่ ก.33 สัญญาณแรงเฉื่อยที่เกิดขึ้น ขณะเจียรด้วยความเร็วรอบจานขัด 600 รอบต่อนาที และ อัตราการป้อนชิ้นงาน 7 มิลลิเมตรต่อนาที



รูปที่ ก.34 สัญญาณแรงเฉื่อยที่เกิดขึ้น ขณะเจียรด้วยความเร็วรอบจานขัด 600 รอบต่อนาที และ อัตราการป้อนชิ้นงาน 8 มิลลิเมตรต่อนาที



รูปที่ ก.35 สัญญาณแรงเฉื่อยที่เกิดขึ้น ขณะเจียรด้วยความเร็วรอบจานขัด 600 รอบต่อนาที และ อัตราการป้อนชิ้นงาน 9 มิลลิเมตรต่อนาที



รูปที่ ก.36 สัญญาณแรงเฉื่อยที่เกิดขึ้น ขณะเจียรด้วยความเร็วรอบงานขัด 600 รอบต่อนาที และ อัตราการป้อนชิ้นงาน 10 มิลลิเมตรต่อนาที

ภาคผนวก ข

การคำนวณค่าของแรงที่วัดได้
ให้อยู่ในรูปแบบค่ารากกำลังสองเฉลี่ย (Root mean square; rms)

การคำนวณค่าของแรงที่วัดได้ให้อยู่ในรูปแบบค่ารากกำลังสองเฉลี่ย (Root mean square; rms)

สำหรับงานวิจัยนี้ เมื่อได้ค่าของความต่างศักย์จากเครื่องออสซิลอโคปแล้ว สามารถนำคำนวณเพื่อให้ได้ค่ารากกำลังสองของแรง มีขั้นตอนการคำนวณ ดังนี้

1. คำนวณค่าจากหน่วยความต่างศักย์ (Volt; V) ให้เป็นหน่วยนิวตัน (N)
2. คำนวณค่าแรงในแนวแกน x และ y ให้เป็นแรงในแนวเส้นสัมผัส และ ค่าแรงในแนวแกน z ให้เท่ากับแรงกดปกติ
3. คำนวณค่าของแรงที่เกิดขึ้น ณ เวลาใดๆ ให้เป็นค่ารากกำลังสองเฉลี่ย

จากผลการวิจัย เพื่อให้สามารถเข้าใจถึงวิธีการคำนวณค่ารากกำลังสองเฉลี่ยของแรง ได้แสดงตัวอย่างการคำนวณ โดยใช้ข้อมูลที่ได้จากการเจียรด้วยความเร็วรอบจานขัด 300 รอบต่อนาที และอัตราการป้อนชิ้นงาน 2 มิลลิเมตรต่อนาที จากชุดการทดสอบที่ 2

ข้อมูลที่ได้จากการวัดมีจำนวน 24900 ข้อมูล เนื่องจากความจำกัดของการนำเสนอ จึงได้นำเสนอเพียงจำนวน 30 ข้อมูลแรกเท่านั้น ซึ่งแสดงในตารางที่ ข.1 ที่เรียงลำดับตั้งแต่ข้อมูลที่ 1 ถึง 30 หรือข้อมูลที่เวลา 0.01 ถึง 0.30 วินาที

การคำนวณค่าจากหน่วยความต่างศักย์ให้เป็นหน่วยนิวตัน

ในงานวิจัยนี้ ได้การแปลงหน่วยจากสมการที่ ข.1 ด้วยการนำค่าของความต่างศักย์ที่วัดได้ในหน่วยโวลต์ มาคูณด้วยค่าคงที่สำหรับปัจจัยมาตราส่วนในการก่อกำเนิดแรง (Force generator scale factor, FGSF) ทำให้ได้ค่าของแรงในหน่วยนิวตัน

$$F_{ij} = V_{ij} \times FGSF \quad \dots\dots\dots (ข.1)$$

- เมื่อ
- F_{ij} = แรงในแนวแกน i ณ เวลา j ใดๆ มีหน่วยเป็น นิวตัน
 - V_{ij} = ความต่างศักย์แรงที่วัดได้ในแกน i ณ เวลา j ใดๆ มีหน่วยเป็น โวลต์
 - $FGSF$ = ค่าคงที่สำหรับปัจจัยมาตราส่วนในการก่อกำเนิดแรง (10 นิวตัน/โวลต์)
 - i = แนวแกน x y หรือ z
 - j = เวลาใดๆ มีหน่วยเป็น นิวตัน



ตารางที่ ข.1 ตัวอย่างชุดข้อมูลที่ได้จากการวัดและการคำนวณ

No.	Time (sec)	ข้อมูลจากการวัด			ข้อมูลจากการคำนวณ				
		Vx (V)	Vy (V)	Vz (V)	Fx (N)	Fy (N)	Fz (N)	Ft (N)	Fn (N)
1	0.01	0.0013	0.0027	0.0000	0.013	0.027	0.000	0.030	0.000
2	0.02	0.0033	0.0127	0.0100	0.033	0.127	0.100	0.131	0.100
3	0.03	0.0033	0.0367	0.0400	0.033	0.367	0.400	0.368	0.400
4	0.04	-0.0487	0.2713	0.4213	-0.487	2.713	4.213	2.757	4.213
5	0.05	0.0753	-0.2167	-0.0993	0.753	-2.167	-0.993	2.294	-0.993
6	0.06	-0.0253	0.0380	0.0813	-0.253	0.380	0.813	0.457	0.813
7	0.07	0.2320	0.2067	0.3073	2.320	2.067	3.073	3.107	3.073
8	0.08	-0.0267	-0.3360	-0.1667	-0.267	-3.360	-1.667	3.371	-1.667
9	0.09	-0.0827	0.1147	-0.0487	-0.827	1.147	-0.487	1.414	-0.487
10	0.10	0.1800	0.1587	0.1007	1.800	1.587	1.007	2.400	1.007
11	0.11	-0.0960	-0.0913	-0.1473	-0.960	-0.913	-1.473	1.325	-1.473
12	0.12	-0.1080	-0.0240	-0.0607	-1.080	-0.240	-0.607	1.106	-0.607
13	0.13	0.1887	-0.0400	0.0100	1.887	-0.400	0.100	1.929	0.100
14	0.14	-0.0933	0.0747	-0.0560	-0.933	0.747	-0.560	1.195	-0.560
15	0.15	-0.0460	-0.0947	-0.0827	-0.460	-0.947	-0.827	1.053	-0.827
16	0.16	0.0327	0.0233	-0.0780	0.327	0.233	-0.780	0.401	-0.780
17	0.17	-0.0900	0.0480	-0.0440	-0.900	0.480	-0.440	1.020	-0.440
18	0.18	0.0520	-0.1093	-0.0340	0.520	-1.093	-0.340	1.211	-0.340
19	0.19	-0.0973	0.0307	-0.0233	-0.973	0.307	-0.233	1.020	-0.233
20	0.20	0.0840	0.0013	0.0520	0.840	0.013	0.520	0.840	0.520
21	0.21	-0.0440	0.0247	-0.0440	-0.440	0.247	-0.440	0.504	-0.440
22	0.22	-0.0500	-0.0340	0.1267	-0.500	-0.340	1.267	0.605	1.267
23	0.23	0.1893	-0.1387	0.0667	1.893	-1.387	0.667	2.347	0.667
24	0.24	-0.1680	0.0647	-0.0253	-1.680	0.647	-0.253	1.800	-0.253
25	0.25	0.2100	-0.2507	0.0593	2.100	-2.507	0.593	3.270	0.593
26	0.26	-0.2113	0.1787	-0.0853	-2.113	1.787	-0.853	2.767	-0.853
27	0.27	0.0827	0.0113	-0.0653	0.827	0.113	-0.653	0.834	-0.653
28	0.28	-0.0100	0.0087	-0.0547	-0.100	0.087	-0.547	0.132	-0.547
29	0.29	-0.1033	0.0820	-0.0427	-1.033	0.820	-0.427	1.319	-0.427
30	0.30	0.1033	-0.0420	-0.0173	1.033	-0.420	-0.173	1.115	-0.173

จากตารางที่ ข.1 โดยใช้ข้อมูลลำดับที่ 9 การคำนวณค่าความต่างศักย์ เป็นแรงในแนวแกน x y และ z ใช้สมการที่ ข.1 ได้ดังนี้

$$F_{x9} = -0.0827 \times 10 = -0.827 \text{ นิวตัน}$$

$$F_{y9} = 0.1147 \times 10 = 1.147 \text{ นิวตัน}$$

$$F_{z9} = -0.04787 \times 10 = -0.478 \text{ นิวตัน}$$

การคำนวณค่าแรงในแนวแกน x และ y ให้เป็นแรงในแนวเส้นสัมผัส

เมื่อได้ค่าของแรงในหน่วยนิวตัน จึงทำการคำนวณเพื่อให้เป็นแรงในแนวเส้นสัมผัส ดังสมการที่ ข.2 ด้วยแรงในแนวแกน x และ y และ ให้แรงกดปกติเท่ากับแรงในแนวแกน z ดังสมการที่ ข.3

$$Ft_i = \sqrt{Fx_i^2 + Fy_i^2} \dots\dots\dots (ข.2)$$

$$Fn_i = Fz_i \dots\dots\dots (ข.3)$$

เมื่อ

Ft_i = แรงในแนวเส้นสัมผัส หรือ แรงลัพธ์ ณ เวลา i ใดๆ มีหน่วยเป็น นิวตัน

Fn_i = แรงปกติ ณ เวลา i ใดๆ มีหน่วยเป็น นิวตัน

Fx_i = แรงในแนวแกน x ณ เวลา i ใดๆ มีหน่วยเป็น นิวตัน

Fy_i = แรงในแนวแกน y ณ เวลา i ใดๆ มีหน่วยเป็น นิวตัน

Fz_i = แรงในแนวแกน z ณ เวลา i ใดๆ มีหน่วยเป็น นิวตัน

i = เวลา มีหน่วยเป็น วินาที

เมื่อได้ค่า F_{x9} F_{y9} และ F_{z9} แล้ว นำมาแทนค่าในสมการที่ ข.2 และ ข.3 ทำให้ได้ค่าแรงในแนวเส้นสัมผัส และแรงกดปกติ ที่เวลา 0.09 วินาที

$$\begin{aligned} Ft_9 &= \sqrt{Fx_9^2 + Fy_9^2} \\ &= \sqrt{(-0.827)^2 + (1.147)^2} = 1.41 \text{ นิวตัน} \end{aligned}$$

$$Fn_9 = Fz_9 = -0.487 \text{ นิวตัน}$$

การคำนวณค่าแรง ณ เวลาใดๆ ให้เป็นค่ารากกำลังสองเฉลี่ย

เมื่อได้แรงในแนวเส้นสัมผัสและแรงกดปกติแล้ว สามารถใช้สมการที่ ข.4 ในการคำนวณ เพื่อให้ได้ค่ารากกำลังสองเฉลี่ยของแรง

$$F_{rms} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N F_i^2} \dots\dots\dots (ข.4)$$

เมื่อ F_{rms} = ค่ารากกำลังสองเฉลี่ยของแรง มีหน่วยเป็น นิวตัน

i = ลำดับข้อมูล มีค่าตั้งแต่ 1 ถึง N

F_i = แรง ณ ลำดับข้อมูล ที่ i ใดๆ มีหน่วยเป็น นิวตัน

N = จำนวนข้อมูล

เมื่อได้ค่าแรงในแนวเส้นสัมผัส และแรงกดปกติ ครบทั้ง 24900 ข้อมูลแล้ว จึงนำมาคำนวณด้วยสมการที่ ข.4 เพื่อให้ได้ค่ารากกำลังสองเฉลี่ยของแรงเฉื่อย ดังนี้

$$F_{t_{rms}} = \sqrt{\frac{1}{24900} \sum_{i=1}^{24900} F_{t_i}^2} = 0.180 \text{ นิวตัน}$$

$$F_{n_{rms}} = \sqrt{\frac{1}{24900} \sum_{i=1}^{24900} F_{z_i}^2} = 0.161 \text{ นิวตัน}$$

จากการทดลองชุดที่ 2 โดยความเร็วรอบจานชุด 300 รอบต่อนาที และอัตราการบินขึ้นงาน 2 มิลลิเมตรต่อนาที ได้ผลการคำนวณ แรงในแนวเส้นสัมผัส ($F_{t_{rms}}$) เท่ากับ 0.180 นิวตัน และแรงกดปกติ ($F_{n_{rms}}$) เท่ากับ 0.161 นิวตัน

ภาคผนวก ค

การวิเคราะห์สมการเส้นถดถอย

การวิเคราะห์สมการเส้นถดถอย

จากผลการทดลองที่ได้ในหัวข้อที่ 4.2 เมื่อนำไปประมวลผลด้วยโปรแกรม SigmaPlot ได้ผลทางสถิติ ดังนี้

1. แรงในแนวเส้นสัมผัส
2. แรงกดปกติ
3. อัตราส่วนแรง
4. อัตราการขจัดเนื้อวัสดุออก

1. แรงในแนวเส้นสัมผัส

จากผลการทดลองที่ได้ในหัวข้อที่ 4.2 เมื่อนำมาคำนวณของแรงในแนวเส้นสัมผัส ในรูปแบบของลอการิทึมได้ดังตารางที่ ค.1 ถึง ค.3 และเมื่อใช้โปรแกรม SigmaPlot วิเคราะห์ความสัมพันธ์ของความเร็วรอบงานขัด (N) และ อัตราการป้อนชิ้นงาน (f) ที่มีอิทธิพลต่อแรงในแนวเส้นสัมผัส (Ft) ได้ผลดังรูปที่ ค.1 เมื่อพิจารณาค่าคงที่ของสมการคือ 0.381 ได้ค่า P-value เท่ากับ 0.316 ซึ่งมากกว่า 0.05 แสดงว่า ค่าคงที่ ไม่มีผลต่อสมการ แต่เมื่อนำสมการถดถอยที่ได้นี้ไปคำนวณด้วยการแทนค่า ทำให้ค่า R² ของสมการมีค่าน้อยลง ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะต้องเก็บค่าคงที่นี้ไว้ในสมการ

เมื่อพิจารณาการวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมการถดถอย พบว่า P-value มีค่าน้อยกว่า 0.05 แสดงว่า สามารถยอมรับสมการถดถอยนี้ได้ ด้วยความเชื่อมั่น 95%

เมื่อนำค่าที่ได้จากสมการถดถอยมาถอดรูปลอการิทึมออก ทำให้ได้ค่าซึ่งเป็นเลขฐานสิบเป็นสมการคือ $Ft = 1.46N^{-0.43}f^{0.5}$ และทำการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (Coefficient of determination; R²) จากตารางที่ ค.4 และ ค.5 ทำให้ได้ค่า R² เท่ากับ 0.584

ตารางที่ ค.1 ความเร็วรอบงานขัด (N) อัตราการป้อนชิ้นงาน (f) แรงในแนวเส้นสัมผัส (Ft) และแรงกดปกติ (Fn) เมื่อคำนวณให้เป็นค่าในรูปแบบของลอการิทึม ของชุดทดสอบที่ 1

NO.	N (รอบต่อนาที)	f (มม./นาที)	Ft (นิวตัน)	Fn (นิวตัน)	Logarithm			
					ln N	ln f	ln Ft	ln Fn
1	200	1	0.173	0.215	5.298	0.000	-1.755	-1.538
2	200	2	0.255	0.338	5.298	0.693	-1.368	-1.085
3	200	3	0.286	0.391	5.298	1.099	-1.250	-0.939
4	200	4	0.363	0.439	5.298	1.386	-1.013	-0.822
5	300	1	0.151	0.176	5.704	0.000	-1.891	-1.737
6	300	2	0.154	0.177	5.704	0.693	-1.869	-1.731
7	300	3	0.205	0.233	5.704	1.099	-1.586	-1.455
8	300	4	0.214	0.248	5.704	1.386	-1.541	-1.394
9	300	5	0.278	0.318	5.704	1.609	-1.278	-1.147
10	300	6	0.270	0.311	5.704	1.792	-1.311	-1.169
11	300	7	0.321	0.382	5.704	1.946	-1.135	-0.963
12	300	8	0.373	0.429	5.704	2.079	-0.987	-0.847
13	300	9	0.242	0.281	5.704	2.197	-1.421	-1.269
14	300	10	0.249	0.293	5.704	2.303	-1.389	-1.229
15	400	1	0.101	0.092	5.991	0.000	-2.291	-2.387
16	400	2	0.137	0.150	5.991	0.693	-1.987	-1.899
17	400	3	0.153	0.177	5.991	1.099	-1.878	-1.732
18	400	4	0.222	0.223	5.991	1.386	-1.503	-1.500
19	400	5	0.234	0.238	5.991	1.609	-1.453	-1.434
20	400	6	0.262	0.268	5.991	1.792	-1.341	-1.315
21	400	7	0.280	0.277	5.991	1.946	-1.273	-1.282
22	400	8	0.311	0.351	5.991	2.079	-1.168	-1.046
23	400	9	0.223	0.212	5.991	2.197	-1.500	-1.553
24	400	10	0.366	0.379	5.991	2.303	-1.005	-0.971
25	500	3	0.146	0.139	6.215	1.099	-1.924	-1.972
26	500	4	0.227	0.210	6.215	1.386	-1.484	-1.559
27	500	5	0.278	0.268	6.215	1.609	-1.281	-1.316
28	500	6	0.281	0.292	6.215	1.792	-1.268	-1.231
29	500	7	0.262	0.302	6.215	1.946	-1.338	-1.199
30	500	8	0.304	0.343	6.215	2.079	-1.192	-1.070
31	500	9	0.214	0.200	6.215	2.197	-1.541	-1.608
32	500	10	0.274	0.292	6.215	2.303	-1.294	-1.230
33	600	7	0.219	0.194	6.397	1.946	-1.520	-1.642
34	600	8	0.230	0.233	6.397	2.079	-1.469	-1.456
35	600	9	0.271	0.268	6.397	2.197	-1.307	-1.316
36	600	10	0.299	0.279	6.397	2.303	-1.207	-1.277

ตารางที่ ค.2 ความเร็วรอบจวนซ์ (N) อัตราการป้อนชิ้นงาน (f) แรงในแนวเส้นสัมผัส (Ft) และ
แรงกดปกติ (Fn) เมื่อคำนวณให้เป็นค่าในรูปแบบของลอการิทึม ของชุดทดสอบที่ 2

NO.	N (รอบต่อนาที)	f (มม./นาที)	Ft (นิวตัน)	Fn (นิวตัน)	Logarithm			
					ln N	ln f	ln Ft	ln Fn
37	200	1	0.117	0.135	5.298	0.000	-2.145	-1.999
38	200	2	0.180	0.204	5.298	0.693	-1.716	-1.592
39	200	3	0.225	0.241	5.298	1.099	-1.490	-1.423
40	200	4	0.243	0.285	5.298	1.386	-1.414	-1.254
41	300	1	0.122	0.113	5.704	0.000	-2.106	-2.184
42	300	2	0.180	0.161	5.704	0.693	-1.714	-1.825
43	300	3	0.188	0.218	5.704	1.099	-1.669	-1.522
44	300	4	0.229	0.250	5.704	1.386	-1.475	-1.387
45	300	5	0.246	0.270	5.704	1.609	-1.404	-1.309
46	300	6	0.269	0.285	5.704	1.792	-1.313	-1.256
47	300	7	0.293	0.344	5.704	1.946	-1.226	-1.067
48	300	8	0.390	0.449	5.704	2.079	-0.942	-0.801
49	300	9	0.396	0.488	5.704	2.197	-0.927	-0.718
50	300	10	0.502	0.568	5.704	2.303	-0.689	-0.566
51	400	1	0.131	0.097	5.991	0.000	-2.029	-2.330
52	400	2	0.201	0.178	5.991	0.693	-1.603	-1.725
53	400	3	0.247	0.195	5.991	1.099	-1.397	-1.634
54	400	4	0.289	0.259	5.991	1.386	-1.242	-1.352
55	400	5	0.334	0.326	5.991	1.609	-1.097	-1.121
56	400	6	0.394	0.349	5.991	1.792	-0.932	-1.051
57	400	7	0.456	0.429	5.991	1.946	-0.786	-0.845
58	400	8	0.483	0.456	5.991	2.079	-0.728	-0.786
59	400	9	0.499	0.472	5.991	2.197	-0.695	-0.750
60	400	10	0.510	0.461	5.991	2.303	-0.674	-0.773
61	500	3	0.153	0.099	6.215	1.099	-1.880	-2.315
62	500	4	0.194	0.165	6.215	1.386	-1.639	-1.799
63	500	5	0.219	0.180	6.215	1.609	-1.518	-1.713
64	500	6	0.220	0.164	6.215	1.792	-1.513	-1.808
65	500	7	0.257	0.230	6.215	1.946	-1.360	-1.470
66	500	8	0.278	0.291	6.215	2.079	-1.281	-1.235
67	500	9	0.277	0.284	6.215	2.197	-1.285	-1.258
68	500	10	0.357	0.362	6.215	2.303	-1.029	-1.016
69	600	7	0.196	0.098	6.397	1.946	-1.631	-2.325
70	600	8	0.237	0.131	6.397	2.079	-1.439	-2.035
71	600	9	0.402	0.286	6.397	2.197	-0.912	-1.250
72	600	10	0.380	0.350	6.397	2.303	-0.969	-1.049

ตารางที่ ค.3 ความเร็วรอบงานขัด (N) อัตราการป้อนชิ้นงาน (f) แรงในแนวเส้นสัมผัส (Ft) และแรงกดปกติ (Fn) เมื่อกำหนดให้เป็นค่าในรูปแบบของลอการิทึม ของชุดทดสอบที่ 3

NO.	N (รอบต่อนาที)	f (มม./นาที)	Ft (นิวตัน)	Fn (นิวตัน)	Logarithm			
					ln N	ln f	ln Ft	ln Fn
73	200	1	0.165	0.202	5.298	0.000	-1.803	-1.597
74	200	2	0.236	0.282	5.298	0.693	-1.442	-1.266
75	200	3	0.309	0.368	5.298	1.099	-1.174	-0.998
76	200	4	0.343	0.423	5.298	1.386	-1.071	-0.861
77	300	1	0.121	0.117	5.704	0.000	-2.112	-2.149
78	300	2	0.170	0.180	5.704	0.693	-1.773	-1.712
79	300	3	0.197	0.209	5.704	1.099	-1.624	-1.563
80	300	4	0.241	0.257	5.704	1.386	-1.423	-1.358
81	300	5	0.236	0.265	5.704	1.609	-1.445	-1.328
82	300	6	0.273	0.310	5.704	1.792	-1.298	-1.172
83	300	7	0.301	0.320	5.704	1.946	-1.202	-1.140
84	300	8	0.318	0.333	5.704	2.079	-1.145	-1.099
85	300	9	0.306	0.335	5.704	2.197	-1.185	-1.094
86	300	10	0.364	0.434	5.704	2.303	-1.010	-0.836
87	400	1	0.092	0.078	5.991	0.000	-2.391	-2.551
88	400	2	0.145	0.126	5.991	0.693	-1.929	-2.069
89	400	3	0.181	0.152	5.991	1.099	-1.711	-1.882
90	400	4	0.202	0.197	5.991	1.386	-1.597	-1.625
91	400	5	0.226	0.222	5.991	1.609	-1.487	-1.504
92	400	6	0.261	0.243	5.991	1.792	-1.344	-1.414
93	400	7	0.318	0.289	5.991	1.946	-1.144	-1.240
94	400	8	0.301	0.267	5.991	2.079	-1.200	-1.320
95	400	9	0.293	0.287	5.991	2.197	-1.227	-1.247
96	400	10	0.389	0.363	5.991	2.303	-0.944	-1.015
97	500	3	0.167	0.108	6.215	1.099	-1.790	-2.225
98	500	4	0.223	0.171	6.215	1.386	-1.502	-1.766
99	500	5	0.257	0.209	6.215	1.609	-1.360	-1.565
100	500	6	0.269	0.224	6.215	1.792	-1.312	-1.494
101	500	7	0.324	0.293	6.215	1.946	-1.128	-1.228
102	500	8	0.409	0.361	6.215	2.079	-0.895	-1.018
103	500	9	0.346	0.310	6.215	2.197	-1.063	-1.173
104	500	10	0.423	0.416	6.215	2.303	-0.860	-0.877
105	600	7	0.155	0.104	6.397	1.946	-1.861	-2.262
106	600	8	0.202	0.114	6.397	2.079	-1.599	-2.175
107	600	9	0.184	0.140	6.397	2.197	-1.694	-1.966
108	600	10	0.216	0.139	6.397	2.303	-1.533	-1.976

Multiple Linear Regression

$$\ln Ft = 0.381 - (0.431 * \ln N) + (0.496 * \ln f)$$

N = 108

R = 0.835 Rsqr = 0.698 Adj Rsqr = 0.692

Standard Error of Estimate = 0.196

	Coefficient	Std. Error	t	P	VIF
Constant	0.381	0.378	1.008	0.316	
ln N	-0.431	0.0672	-6.421	<0.001	1.286
ln f	0.496	0.0320	15.532	<0.001	1.286

Analysis of Variance:

	DF	SS	MS	F	P
Regression	2	9.350	4.675	121.144	<0.001
Residual	105	4.052	0.0386		
Total	107	13.402	0.125		

Column	SSIincr	SSMarg
ln N	0.0403	1.591
ln f	9.310	9.310

The dependent variable ln Ft can be predicted from a linear combination of the independent variables:

	P
ln N	<0.001
ln f	<0.001

All independent variables appear to contribute to predicting ln Ft (P < 0.05).

Normality Test (Shapiro-Wilk) Passed (P = 0.060)

Constant Variance Test: Passed (P = 0.313)

Power of performed test with alpha = 0.050: 1.000

รูปที่ ค.1 ผลการวิเคราะห์สมการเส้นถดถอยของความสัมพันธ์ของความเร็วรอบงานขัด (N) และ อัตราการป้อนชิ้นงาน (f) ที่มีอิทธิพลต่อแรงในแนวเส้นสัมผัส (Ft)

ตารางที่ ค.4 แรงในแนวเส้นสัมผัส (Ft) ที่ได้จากการพยากรณ์ (\hat{Y}_i) ด้วยสมการ

$Ft = 1.46N^{-0.43} f^{0.5}$ เทียบกับแรงในแนวเส้นสัมผัสที่ได้จากการทดลอง (Y_i) ของค่าลำดับที่ i

No.	N	f	Y_i	\hat{Y}_i	$(Y_i - \bar{Y})^2$	$(\hat{Y}_i - \bar{Y})^2$
1	200	1	0.173	0.150	0.00792	0.01261
2	200	2	0.255	0.212	0.00005	0.00253
3	200	3	0.286	0.259	0.00061	0.00001
4	200	4	0.363	0.299	0.01026	0.00139
5	300	1	0.151	0.126	0.01231	0.01856
6	300	2	0.154	0.178	0.01157	0.00708
7	300	3	0.205	0.218	0.00327	0.00196
8	300	4	0.214	0.251	0.00228	0.00011
9	300	5	0.278	0.281	0.00028	0.00036
10	300	6	0.270	0.308	0.00006	0.00211
11	300	7	0.321	0.332	0.00354	0.00498
12	300	8	0.373	0.355	0.01225	0.00875
13	300	9	0.242	0.377	0.00041	0.01325
14	300	10	0.249	0.397	0.00016	0.01836
15	400	1	0.101	0.111	0.02582	0.02275
16	400	2	0.137	0.157	0.01557	0.01099
17	400	3	0.153	0.192	0.01188	0.00484
18	400	4	0.222	0.222	0.00156	0.00158
19	400	5	0.234	0.248	0.00078	0.00018
20	400	6	0.262	0.272	0.00000	0.00010
21	400	7	0.280	0.294	0.00033	0.00102
22	400	8	0.311	0.314	0.00240	0.00272
23	400	9	0.223	0.333	0.00150	0.00507
24	400	10	0.366	0.351	0.01084	0.00797
25	500	3	0.146	0.175	0.01341	0.00760
26	500	4	0.227	0.202	0.00123	0.00361
27	500	5	0.278	0.226	0.00025	0.00132
28	500	6	0.281	0.247	0.00038	0.00022
29	500	7	0.262	0.267	0.00000	0.00003
30	500	8	0.304	0.285	0.00174	0.00055
31	500	9	0.214	0.303	0.00228	0.00166
32	500	10	0.274	0.319	0.00015	0.00326
33	600	7	0.219	0.247	0.00187	0.00023
34	600	8	0.230	0.264	0.00100	0.00000
35	600	9	0.271	0.280	0.00008	0.00032
36	600	10	0.299	0.295	0.00138	0.00109

ตารางที่ ค.4 แรงในแนวเส้นสัมผัส (Ft) ที่ได้จากการพยากรณ์ (\hat{Y}_i) ด้วยสมการ $Ft = 1.46N^{-0.43} f^{0.5}$ เทียบกับแรงในแนวเส้นสัมผัสที่ได้จากการทดลอง (Y_i) ของค่าลำดับที่ i (ต่อ)

No.	N	f	Y_i	\hat{Y}_i	$(Y_i - \bar{Y})^2$	$(\hat{Y}_i - \bar{Y})^2$
37	200	1	0.117	0.150	0.02097	0.01261
38	200	2	0.180	0.212	0.00673	0.00253
39	200	3	0.225	0.259	0.00133	0.00001
40	200	4	0.243	0.299	0.00035	0.00139
41	300	1	0.122	0.126	0.01964	0.01856
42	300	2	0.180	0.178	0.00668	0.00708
43	300	3	0.188	0.218	0.00541	0.00196
44	300	4	0.229	0.251	0.00109	0.00011
45	300	5	0.246	0.281	0.00027	0.00036
46	300	6	0.269	0.308	0.00005	0.00211
47	300	7	0.293	0.332	0.00099	0.00498
48	300	8	0.390	0.355	0.01633	0.00875
49	300	9	0.396	0.377	0.01788	0.01325
50	300	10	0.502	0.397	0.05778	0.01836
51	400	1	0.131	0.111	0.01700	0.02275
52	400	2	0.201	0.157	0.00366	0.01099
53	400	3	0.247	0.192	0.00021	0.00484
54	400	4	0.289	0.222	0.00072	0.00158
55	400	5	0.334	0.248	0.00519	0.00018
56	400	6	0.394	0.272	0.01743	0.00010
57	400	7	0.456	0.294	0.03749	0.00102
58	400	8	0.483	0.314	0.04880	0.00272
59	400	9	0.499	0.333	0.05621	0.00507
60	400	10	0.510	0.351	0.06145	0.00797
61	500	3	0.153	0.175	0.01196	0.00760
62	500	4	0.194	0.202	0.00457	0.00361
63	500	5	0.219	0.226	0.00182	0.00132
64	500	6	0.220	0.247	0.00174	0.00022
65	500	7	0.257	0.267	0.00003	0.00003
66	500	8	0.278	0.285	0.00025	0.00055
67	500	9	0.277	0.303	0.00022	0.00166
68	500	10	0.357	0.319	0.00909	0.00326
69	600	7	0.196	0.247	0.00438	0.00023
70	600	8	0.237	0.264	0.00061	0.00000
71	600	9	0.402	0.280	0.01960	0.00032
72	600	10	0.380	0.295	0.01384	0.00109

ตารางที่ ค.4 แรงในแนวเส้นลัมผัส (F_t) ที่ได้จากการพยากรณ์ (\hat{Y}_i) ด้วยสมการ

$$F_t = 1.46N^{-0.43} f^{0.5}$$

เทียบกับแรงในแนวเส้นลัมผัสที่ได้จากการทดลอง (Y_i) ของค่า

ลำดับที่ i (ต่อ)

No.	N	f	Y_i	\hat{Y}_i	$(Y_i - \bar{Y})^2$	$(\hat{Y}_i - \bar{Y})^2$
73	200	1	0.165	0.150	0.00942	0.01261
74	200	2	0.236	0.212	0.00064	0.00253
75	200	3	0.309	0.259	0.00223	0.00001
76	200	4	0.343	0.299	0.00653	0.00139
77	300	1	0.121	0.126	0.01986	0.01856
78	300	2	0.170	0.178	0.00846	0.00708
79	300	3	0.197	0.218	0.00419	0.00196
80	300	4	0.241	0.251	0.00043	0.00011
81	300	5	0.236	0.281	0.00069	0.00036
82	300	6	0.273	0.308	0.00012	0.00211
83	300	7	0.301	0.332	0.00149	0.00498
84	300	8	0.318	0.355	0.00317	0.00875
85	300	9	0.306	0.377	0.00193	0.01325
86	300	10	0.364	0.397	0.01050	0.01836
87	400	1	0.092	0.111	0.02901	0.02275
88	400	2	0.145	0.157	0.01358	0.01099
89	400	3	0.181	0.192	0.00659	0.00484
90	400	4	0.202	0.222	0.00353	0.00158
91	400	5	0.226	0.248	0.00129	0.00018
92	400	6	0.261	0.272	0.00000	0.00010
93	400	7	0.318	0.294	0.00320	0.00102
94	400	8	0.301	0.314	0.00155	0.00272
95	400	9	0.293	0.333	0.00098	0.00507
96	400	10	0.389	0.351	0.01613	0.00797
97	500	3	0.167	0.175	0.00900	0.00760
98	500	4	0.223	0.202	0.00153	0.00361
99	500	5	0.257	0.226	0.00003	0.00132
100	500	6	0.269	0.247	0.00005	0.00022
101	500	7	0.324	0.267	0.00384	0.00003
102	500	8	0.409	0.285	0.02150	0.00055
103	500	9	0.346	0.303	0.00700	0.00166
104	500	10	0.423	0.319	0.02601	0.00326
105	600	7	0.155	0.247	0.01132	0.00023
106	600	8	0.202	0.264	0.00357	0.00000
107	600	9	0.184	0.280	0.00610	0.00032
108	600	10	0.216	0.295	0.00212	0.00109

ตารางที่ ค.5 ผลการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจของสมการ $Ft = 1.46N^{-0.43} f^{0.5}$

แหล่งความแปรผัน	ผลบวกกำลังสอง		R^2
ค่าเศษเหลือ	$SS_R = \sum_{i=1}^n (\hat{Y}_i - \bar{Y})^2$	$SS_R = 0.508$	$\frac{SS_R}{SS_T} = 0.584$
รวม	$SS_T = \sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2$	$SS_T = 0.869$	

2. แรกกดปกติ

จากผลการทดลองที่ได้ในหัวข้อที่ 4.2 เมื่อนำมาคำนวณของแรกกดปกติ ในรูปแบบของลอการิทึมได้ดังตารางที่ ค.1 ถึง ค.3 และเมื่อใช้โปรแกรม SigmaPlot ได้ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของความเร็วยรอบจานขัด (N) และ อัตราการป้อนชิ้นงาน (f) ที่มีอิทธิพลต่อแรกกดปกติ (Fn) มีดังรูปที่ ค.2 โดยทั้งค่าคงที่และสัมประสิทธิ์ของตัวแปรต้นทั้งสอง มี P-value น้อยกว่า 0.05 แสดงว่าทั้งหมดมีผลต่อสมการเส้นถดถอยนี้

เมื่อพิจารณาการวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมการถดถอย พบว่า P-value มีค่าน้อยกว่า 0.05 แสดงว่า สามารถยอมรับสมการถดถอยนี้ได้ ด้วยความเชื่อมั่น 95%

เมื่อนำค่าที่ได้จากสมการถดถอยมาถอดรูปลอการิทึมออก ทำให้ได้ค่าซึ่งเป็นเลขฐานสิบเป็นสมการคือ $Fn = 23.5N^{-0.92} f^{0.49}$ และทำการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) จากตารางที่ ค.6 และ ค.7 ทำให้ได้ค่า R^2 เท่ากับ 0.589

Multiple Linear Regression

$$\ln Fn = 3.157 - (0.923 * \ln N) + (0.570 * \ln f)$$

N = 108

R = 0.832 Rsqr = 0.692 Adj Rsqr = 0.686

Standard Error of Estimate = 0.241

	Coefficient	Std. Error	t	P	VIF
Constant	3.157	0.464	6.806	<0.001	
ln N	-0.923	0.0825	-11.189	<0.001	1.286
ln f	0.570	0.0392	14.536	<0.001	1.286

Analysis of Variance:

	DF	SS	MS	F	P
Regression	2	13.702	6.851	117.744	<0.001
Residual	105	6.109	0.0582		
Total	107	19.811	0.185		

Column	SSIncr	SSMarg
ln N	1.407	7.285
ln f	12.294	12.294

The dependent variable ln Fn can be predicted from a linear combination of the independent variables:

	P
ln N	<0.001
ln f	<0.001

All independent variables appear to contribute to predicting ln Fn (P < 0.05).

Normality Test (Shapiro-Wilk) Failed (P = 0.006)

Constant Variance Test: Passed (P = 0.259)

Power of performed test with alpha = 0.050: 1.000

รูปที่ ค.2 ผลการวิเคราะห์สมการเส้นถดถอยของความสัมพันธ์ของความเร็วยานยนต์ (N) และ อัตราการป้อนชิ้นงาน (f) ที่มีอิทธิพลต่อแรงกดปกติ (Fn)

ตารางที่ ค.6 แรงกดปกติ (F_n) ที่ได้จากการพยากรณ์ (\hat{Y}_i) ด้วยสมการ $F_n = 23.5N^{-0.92} f^{0.49}$
 เทียบกับแรงกดปกติที่ได้จากการทดลอง (Y_i) ของค่าลำดับที่ i

No.	N	f	Y_i	\hat{Y}_i	$(Y_i - \bar{Y})^2$	$(\hat{Y}_i - \bar{Y})^2$
1	200	1	0.215	0.180	0.00226	0.00688
2	200	2	0.338	0.252	0.00571	0.00011
3	200	3	0.391	0.308	0.01656	0.00203
4	200	4	0.439	0.354	0.03134	0.00840
5	300	1	0.176	0.124	0.00746	0.01927
6	300	2	0.177	0.174	0.00728	0.00789
7	300	3	0.233	0.212	0.00085	0.00257
8	300	4	0.248	0.244	0.00021	0.00035
9	300	5	0.318	0.272	0.00305	0.00009
10	300	6	0.311	0.297	0.00234	0.00123
11	300	7	0.382	0.321	0.01422	0.00340
12	300	8	0.429	0.342	0.02765	0.00641
13	300	9	0.281	0.363	0.00035	0.01008
14	300	10	0.293	0.382	0.00091	0.01431
15	400	1	0.092	0.095	0.02909	0.02808
16	400	2	0.150	0.133	0.01271	0.01669
17	400	3	0.177	0.163	0.00732	0.00998
18	400	4	0.223	0.187	0.00155	0.00567
19	400	5	0.238	0.209	0.00058	0.00288
20	400	6	0.268	0.228	0.00004	0.00117
21	400	7	0.277	0.246	0.00022	0.00026
22	400	8	0.351	0.263	0.00792	0.00000
23	400	9	0.212	0.278	0.00258	0.00026
24	400	10	0.379	0.293	0.01348	0.00095
25	500	3	0.139	0.132	0.01521	0.01692
26	500	4	0.210	0.152	0.00272	0.01211
27	500	5	0.268	0.170	0.00003	0.00854
28	500	6	0.292	0.186	0.00088	0.00586
29	500	7	0.302	0.200	0.00153	0.00384
30	500	8	0.343	0.214	0.00647	0.00234
31	500	9	0.200	0.227	0.00386	0.00127
32	500	10	0.292	0.239	0.00090	0.00056
33	600	7	0.194	0.170	0.00475	0.00863
34	600	8	0.233	0.181	0.00085	0.00663
35	600	9	0.268	0.192	0.00003	0.00500
36	600	10	0.279	0.202	0.00027	0.00366

ตารางที่ ค.6 แรงกดปกติ (Fn) ที่ได้จากการพยากรณ์ (\hat{Y}_i) ด้วยสมการ $F_n = 23.5N^{-0.92} f^{0.49}$ เทียบกับแรงกดปกติที่ได้จากการทดลอง (Y_i) ของค่าลำดับที่ i (ต่อ)

No.	N	f	Y_i	\hat{Y}_i	$(Y_i - \bar{Y})^2$	$(\hat{Y}_i - \bar{Y})^2$
37	200	1	0.135	0.180	0.01613	0.00688
38	200	2	0.204	0.252	0.00346	0.00011
39	200	3	0.241	0.308	0.00046	0.00203
40	200	4	0.285	0.354	0.00052	0.00840
41	300	1	0.113	0.124	0.02245	0.01927
42	300	2	0.161	0.174	0.01026	0.00789
43	300	3	0.218	0.212	0.00196	0.00257
44	300	4	0.250	0.244	0.00016	0.00035
45	300	5	0.270	0.272	0.00006	0.00009
46	300	6	0.285	0.297	0.00050	0.00123
47	300	7	0.344	0.321	0.00668	0.00340
48	300	8	0.449	0.342	0.03477	0.00641
49	300	9	0.488	0.363	0.05085	0.01008
50	300	10	0.568	0.382	0.09333	0.01431
51	400	1	0.097	0.095	0.02726	0.02808
52	400	2	0.178	0.133	0.00709	0.01669
53	400	3	0.195	0.163	0.00453	0.00998
54	400	4	0.259	0.187	0.00001	0.00567
55	400	5	0.326	0.209	0.00402	0.00288
56	400	6	0.349	0.228	0.00757	0.00117
57	400	7	0.429	0.246	0.02788	0.00026
58	400	8	0.456	0.263	0.03742	0.00000
59	400	9	0.472	0.278	0.04410	0.00026
60	400	10	0.461	0.293	0.03959	0.00095
61	500	3	0.099	0.132	0.02679	0.01692
62	500	4	0.165	0.152	0.00942	0.01211
63	500	5	0.180	0.170	0.00674	0.00854
64	500	6	0.164	0.186	0.00971	0.00586
65	500	7	0.230	0.200	0.00106	0.00384
66	500	8	0.291	0.214	0.00080	0.00234
67	500	9	0.284	0.227	0.00047	0.00127
68	500	10	0.362	0.239	0.00991	0.00056
69	600	7	0.098	0.170	0.02712	0.00863
70	600	8	0.131	0.181	0.01736	0.00663
71	600	9	0.286	0.192	0.00057	0.00500
72	600	10	0.350	0.202	0.00770	0.00366

ตารางที่ ค.6 แรงกดปกติ (F_n) ที่ได้จากการพยากรณ์ (\hat{Y}_i) ด้วยสมการ $F_n = 23.5N^{-0.92} f^{0.49}$ เทียบกับแรงกดปกติที่ได้จากการทดลอง (Y_i) ของค่าลำดับที่ i (ต่อ)

No.	N	f	Y_i	\hat{Y}_i	$(Y_i - \bar{Y})^2$	$(\hat{Y}_i - \bar{Y})^2$
73	200	1	0.202	0.180	0.00360	0.00688
74	200	2	0.282	0.252	0.00038	0.00011
75	200	3	0.368	0.308	0.01124	0.00203
76	200	4	0.423	0.354	0.02574	0.00840
77	300	1	0.117	0.124	0.02126	0.01927
78	300	2	0.180	0.174	0.00672	0.00789
79	300	3	0.209	0.212	0.00281	0.00257
80	300	4	0.257	0.244	0.00003	0.00035
81	300	5	0.265	0.272	0.00001	0.00009
82	300	6	0.310	0.297	0.00224	0.00123
83	300	7	0.320	0.321	0.00330	0.00340
84	300	8	0.333	0.342	0.00502	0.00641
85	300	9	0.335	0.363	0.00526	0.01008
86	300	10	0.434	0.382	0.02930	0.01431
87	400	1	0.078	0.095	0.03401	0.02808
88	400	2	0.126	0.133	0.01855	0.01669
89	400	3	0.152	0.163	0.01212	0.00998
90	400	4	0.197	0.187	0.00430	0.00567
91	400	5	0.222	0.209	0.00161	0.00288
92	400	6	0.243	0.228	0.00037	0.00117
93	400	7	0.289	0.246	0.00072	0.00026
94	400	8	0.267	0.263	0.00002	0.00000
95	400	9	0.287	0.278	0.00063	0.00026
96	400	10	0.363	0.293	0.01002	0.00095
97	500	3	0.108	0.132	0.02382	0.01692
98	500	4	0.171	0.152	0.00836	0.01211
99	500	5	0.209	0.170	0.00286	0.00854
100	500	6	0.224	0.186	0.00144	0.00586
101	500	7	0.293	0.200	0.00092	0.00384
102	500	8	0.361	0.214	0.00976	0.00234
103	500	9	0.310	0.227	0.00221	0.00127
104	500	10	0.416	0.239	0.02361	0.00056
105	600	7	0.104	0.170	0.02505	0.00863
106	600	8	0.114	0.181	0.02215	0.00663
107	600	9	0.140	0.192	0.01497	0.00500
108	600	10	0.139	0.202	0.01534	0.00366

ตารางที่ ค.7 ผลการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจของสมการ $F_n = 23.5N^{-0.92} f^{0.49}$

แหล่งความแปรผัน	ผลบวกกำลังสอง		R^2
ค่าเศษเหลือ	$SS_R = \sum_{i=1}^n (\hat{Y}_i - \bar{Y})^2$	$SS_R = 0.673$	$\frac{SS_R}{SS_T} = 0.589$
รวม	$SS_T = \sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2$	$SS_T = 1.142$	

3. อัตราส่วนแรง

จากผลการทดลองที่ได้ในหัวข้อที่ 4.2 เมื่อนำมาคำนวณของแรงในแนวเส้นสัมผัส ในรูปแบบของลอการิทึมได้ดังตารางที่ ค.8 เมื่อใช้โปรแกรม SigmaPlot ได้ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของความเร็วยรอบจานขัด (N) ที่มีอิทธิพลต่ออัตราส่วนแรง (μ) มีดังรูปที่ ค.3 โดยทั้งค่าคงที่และสัมประสิทธิ์ของตัวแปรต้น มี P-value น้อยกว่า 0.05 แสดงว่าทั้งหมดมีผลต่อสมการเส้นถดถอยนี้

เมื่อพิจารณาการวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมการถดถอย พบว่า P-value มีค่าน้อยกว่า 0.05 แสดงว่า สามารถยอมรับสมการถดถอยนี้ได้ ด้วยความเชื่อมั่น 95%

เมื่อนำค่าที่ได้จากสมการถดถอยมาถอดรูปลอการิทึมออก ทำให้ได้ค่าซึ่งเป็นเลขฐานสิบเป็นสมการคือ $\mu = 0.08N^{0.44}$ และทำการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) จากตารางที่ ค.9 และ ค.10 ทำให้ได้ค่า R^2 เท่ากับ 0.906

ตารางที่ ค.8 ความเร็วรอบจานขัด (N) และอัตราส่วนแรง (μ) เมื่อกำหนดให้เป็นค่าในรูปแบบของ
ลอการิทึม

NO.	N (รอบต่อนาที)	μ (นิวตัน/นิวตัน)	Logarithm	
			ln N	ln μ
1	200	0.830	5.298	-0.187
2	300	0.905	5.704	-0.100
3	400	1.067	5.991	0.064
4	500	1.119	6.215	0.112
5	600	1.387	6.397	0.327

Linear Regression

$$\ln \mu = -2.560 + (0.440 * \ln N)$$

$$N = 5$$

$$R = 0.957 \quad \text{Rsqr} = 0.915 \quad \text{Adj Rsqr} = 0.887$$

$$\text{Standard Error of Estimate} = 0.067$$

	Coefficient	Std. Error	t	P
Constant	-2.560	0.458	-5.592	0.011
ln N	0.440	0.0772	5.699	0.011

Analysis of Variance:

	DF	SS	MS	F	P
Regression	1	0.145	0.145	32.479	0.011
Residual	3	0.0134	0.00448		
Total	4	0.159	0.0397		

Normality Test (Shapiro-Wilk) Passed (P = 0.559)

Constant Variance Test: Passed (P = 0.050)

Power of performed test with alpha = 0.050: 0.769

รูปที่ ค.3 ผลการวิเคราะห์สมการเส้นถดถอยของความสัมพันธ์ของความเร็วรอบจานขัด (N)
ที่มีอิทธิพลต่ออัตราส่วนแรง (μ)

ตารางที่ ค.9 อัตราส่วนแรง (μ) ที่ได้จากการพยากรณ์ (\hat{Y}_i) ด้วยสมการ $\mu = 0.08N^{0.44}$ เทียบกับอัตราส่วนแรงได้จากการทดลอง (Y_i) ของค่าลำดับที่ i

No.	N	Y_i	\hat{Y}_i	$(Y_i - \bar{Y})^2$	$(\hat{Y}_i - \bar{Y})^2$
1	200	0.830	0.823	0.05374	0.05667
2	300	0.905	0.984	0.02436	0.00597
3	400	1.067	1.117	0.00003	0.00308
4	500	1.119	1.232	0.00327	0.02915
5	600	1.387	1.335	0.10591	0.07489
Sum				0.187	0.170

ตารางที่ ค.10 ผลการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจของสมการ $\mu = 0.08N^{0.44}$

แหล่งความแปรผัน	ผลบวกกำลังสอง		R^2
ค่าเศษเหลือ	$SS_R = \sum_{i=1}^n (\hat{Y}_i - \bar{Y})^2$	$SS_R = 0.170$	$\frac{SS_R}{SS_T} = 0.906$
รวม	$SS_T = \sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2$	$SS_T = 0.187$	

4. อัตราการขจัดเนื้อวัสดุออก

เมื่อใช้โปรแกรม SigmaPlot ได้ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของอัตราการป้อนชิ้นงาน (f) ที่มีอิทธิพลต่ออัตราการขจัดเนื้อวัสดุ (MRR) มีดังรูปที่ ค.4 เมื่อพิจารณาการวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมการถดถอย พบว่า P-value มีค่าน้อยกว่า 0.05 แสดงว่า สามารถยอมรับสมการถดถอยนี้ได้ ด้วยความเชื่อมั่น 95%

เมื่อนำค่าที่ได้จากสมการ และทำการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) จากตารางที่ ค.11 และ ค.12 ทำให้ได้ค่า R^2 เท่ากับ 0.999

Linear Regression

$$\text{MRR} = 16.043 + (491.451 * f)$$

N = 10

R = 1.000 Rsqr = 0.999 Adj Rsqr = 0.999

Standard Error of Estimate = 38.673

	Coefficient	Std. Error	t	P
Constant	16.043	26.419	0.607	0.561
f	491.451	4.258	115.424	<0.001

Analysis of Variance:

	DF	SS	MS	F	P
Regression	1	19925775.695	19925775.695	13322.686	<0.001
Residual	8	11965.020	1495.628		
Total	9	19937740.716	2215304.524		

Normality Test (Shapiro-Wilk) Passed (P = 0.796)

Constant Variance Test: Failed (P = 0.013)

Power of performed test with alpha = 0.050: 1.000

รูปที่ ค.4 ผลการวิเคราะห์สมการเส้นถดถอยของความสัมพันธ์ของอัตราการป้อนชิ้นงาน (f) ที่มีอิทธิพลต่ออัตราการขจัดเนื้อวัสดุออก (MRR)

ตารางที่ ค.11 อัตราการขจัดเนื้อวัสดุออก (MRR) ที่ได้จากการพยากรณ์ (\hat{Y}_i) ด้วยสมการ $MRR = 16 + 491.5f$ เทียบกับอัตราการขจัดเนื้อวัสดุออกได้จากการทดลอง (Y_i) ของค่าลำดับที่ i

No.	f	Y_i	\hat{Y}_i	$(Y_i - \bar{Y})^2$	$(\hat{Y}_i - \bar{Y})^2$
1	1	516	508	4855110	4890846
2	2	1005	999	2938306	2958488
3	3	1494	1491	1501219	1509275
4	4	1930	1982	622637	543207
5	5	2505	2474	45631	60283
6	6	2946	2965	51669	60503
7	7	3448	3457	531365	543868
8	8	3968	3948	1559580	1510378
9	9	4504	4440	3185493	2960032
10	10	4875	4931	4646732	4892830
Sum				19937741	19929711

ตารางที่ ค.12 ผลการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจของสมการ $MRR = 16 + 491.5f$

แหล่งความแปรผัน	ผลบวกกำลังสอง		R^2
ค่าเศษเหลือ	$SS_R = \sum_{i=1}^n (\hat{Y}_i - \bar{Y})^2$	$SS_R = 19929711$	$\frac{SS_R}{SS_T} = 0.999$
รวม	$SS_T = \sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2$	$SS_T = 19937741$	

ประวัติผู้เชี่ยวชาญ

นายกฤติภค โกยดุลย์ เกิดเมื่อวันที่ 7 เมษายน พ.ศ. 2521 ภูมิลำเนาเดิมจังหวัดพังงา สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเซรามิก สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ปีการศึกษา 2543 เข้าทำงานที่ ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ ในปี 2544 ตำแหน่งผู้ช่วยนักวิจัย หน่วยงานเซรามิกส์ ฝ่ายวิจัยและพัฒนา จากนั้นได้เข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2548



