

บทที่ 4

วิธีดำเนินการวิจัย

4.1 การเก็บข้อมูล

ข้อมูลเหล่านี้ได้มาจากฟิล์มที่ถ่ายจากห้องฟอง ในระหว่างปี ค.ศ. 1973 เป็นจำนวนทั้งสิ้น 5 ชุด ชุดละ 3 ม้วน โดยที่แต่ละกรอบจะถูกถ่ายด้วยกล้อง 3 กล้อง ที่ตำแหน่งค้ำกัน คือวางอยู่ในลักษณะของรูปสามเหลี่ยมหน้าจั่ว ฟิล์มชุดเดียวกันจะมีหมายเลขของ seri H เดียวกัน แต่บอกตำแหน่งที่ถ่ายด้วยหมายเลขประจำกล้อง 1, 2 และ 3 ในแต่ละกรอบ จะมีหมายเลขประจำกำกับอยู่ 4 ตัว ฟิล์มที่ใช้ในการเก็บข้อมูลในการวิจัยนี้คือ

seri H 502	หมายเลข 2326-3186	ถ่ายเมื่อ 3 กรกฎาคม 1973
	จำนวน 837 กรอบ (ขาดหมายเลข 2343-2361 และ 2396)	
seri H 533	หมายเลข 0050-0775	ถ่ายเมื่อ 12 กรกฎาคม 1973
	จำนวน 726 กรอบ	
seri H 554	หมายเลข 2326-3172	ถ่ายเมื่อ 2 กันยายน 1973
	จำนวน 847 กรอบ	
seri H 560	หมายเลข 0000-0775	ถ่ายเมื่อ 3 กันยายน 1973
	จำนวน 771 กรอบ (ขาดหมายเลข 0139, 0199-0200 และ 0243)	
seri H 563	หมายเลข 2326-3200	ถ่ายเมื่อ 3 กันยายน 1973
	จำนวน 875 กรอบ	

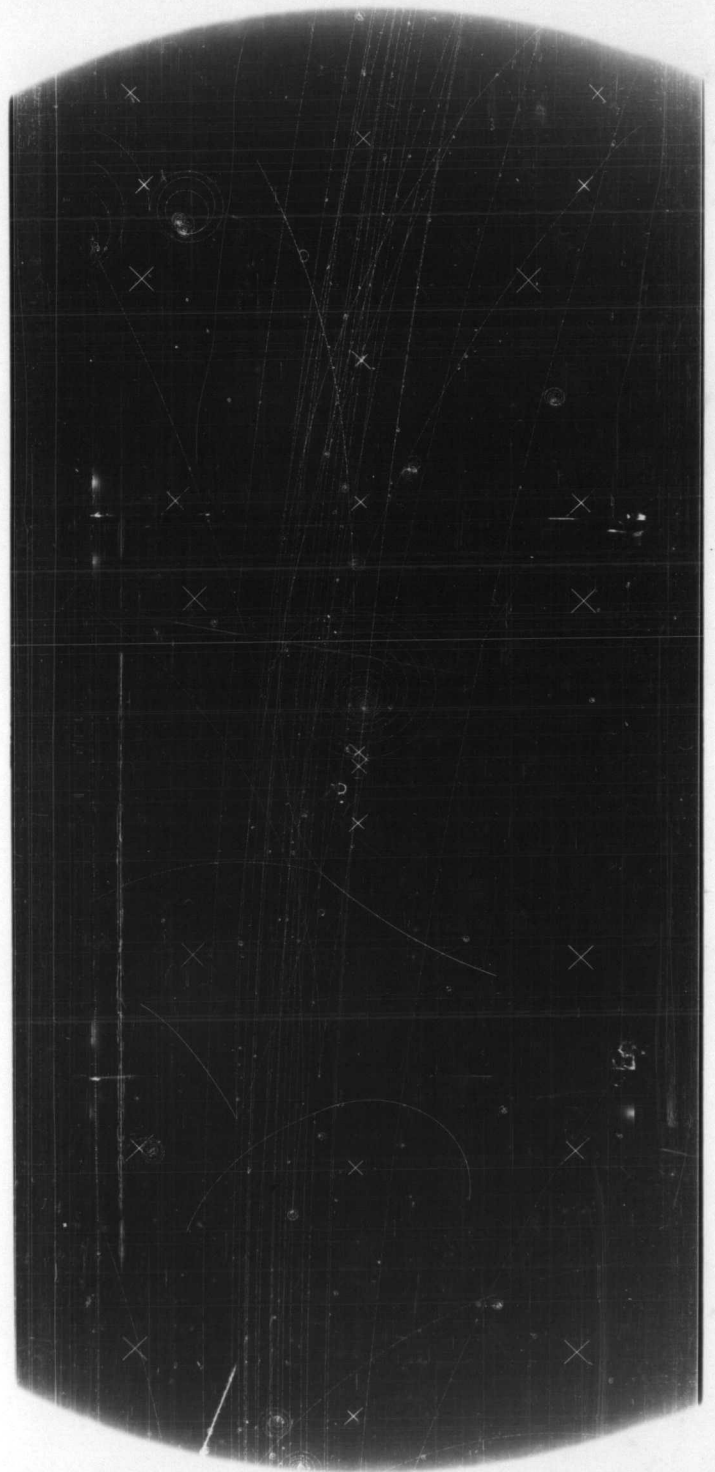
กรอบที่ขาดหายไปนั้นเนื่องมาจาก ฟิล์มขาดและเสีย

ฟิล์มจะถูกนำเข้าเครื่องฉายฟิล์มเป็นชุดพร้อมกันทั้ง 3 ม้วน โดยใส่เข้าเครื่องฉายตามหมายเลขกล่อง พิจารณาภาพบนจอโดยยึดภาพจากกล่อง 2 เป็นหลัก แล้วกวาดภาพในแต่ละกรอบหาเหตุการณ์ 2, 3, 4, 6 แฉก, การกระเจิง และการเกิดอนุภาคที่เพิ่มขึ้น โดยดูภาพจากกล่อง 1 และ 3 ประกอบด้วย เพื่อความชัดเจน และถูกต้อง การกวาดภาพในแต่ละกรอบกระทำในบริเวณที่กำหนดให้โดยยึดจุดฟิดูเชียล (fiducial) ซึ่งแสดงโดยเครื่องหมายกากบาท (x) บนฟิล์มภาพถ่ายเป็นหลัก บริเวณที่ทำการวิจัยนี้กำหนดด้วยจุดฟิดูเชียล หมายเลข 206, 207, 216 และ 218 ซึ่งมี โคออร์ดิเนต ดังนี้คือ

จุด	x-coordinate	y-coordinate
206	80.03	33.97
207	80.04	0.00
216	28.99	19.48
218	120.99	19.44

จุดฟิดูเชียล ที่เห็นบนฟิล์มภาพถ่ายมีลักษณะดังรูปที่ 4.1

รูปที่ 4.1 แสดงลักษณะของรอยทางที่เกิดบนฟิล์มภาพถ่ายจากห้องฟอง
ไฮโดรเจนเหลวจากปฏิกิริยา K^+p และตำแหน่งของจุดฟิสิกส์



ดังนั้นในบริเวณที่เก็บข้อมูล จะมีความกว้างตามแนวแกน x เป็น

$$120.99 - 28.99 = 92. \quad \text{cm}$$

ซึ่งถือเป็นความหนาของเป้า

และมีความกว้างตามแนวแกน y เป็น $33.97 - 0.00 = 33.97 \text{ cm}$.

การกวาดภาพนับจำนวนเหตุการณ์ต่าง ๆ ในแต่ละกรอบ กระทำครั้งเดียวแล้วจกบันทึกผลที่ได้ในแต่ละกรอบไว้

ลักษณะของเหตุการณ์ 2, 4, 6 แฉก, การเกิดคิง, และการกระเจิง แสดงถึงรูปที่ 4.2, 4.3, 4.4, 4.5 และ 4.6 ตามลำดับ

4.2 การวิเคราะห์ข้อมูล

จำนวนข้อมูลที่กวาดนับได้จากฟิล์มภาพถ่ายทั้ง 5 ชุด แสดงไว้ในตารางที่ 4.1, 4.2, 4.3, 4.4 และ 4.5

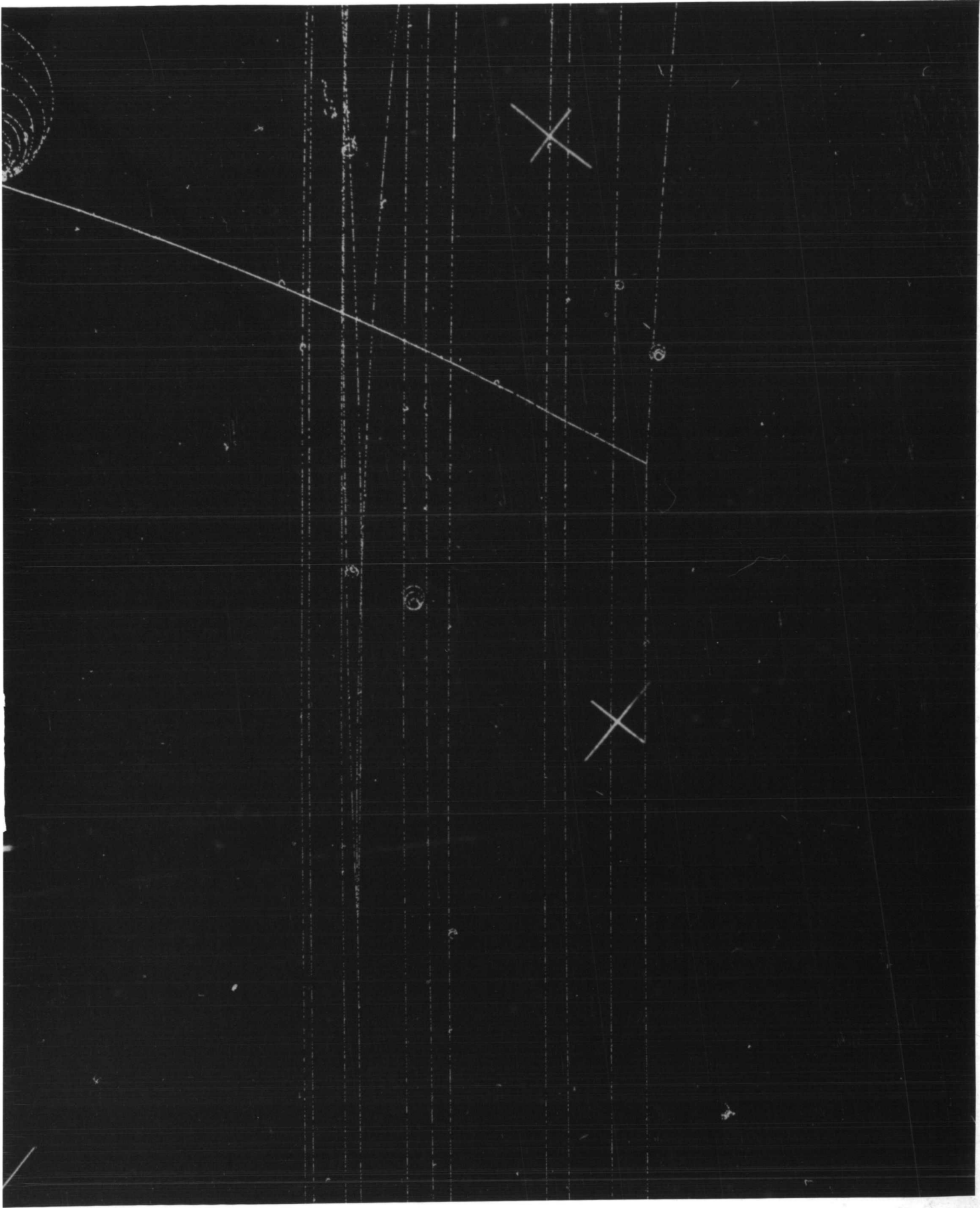
นำข้อมูลทั้งหมดมาหาภาคตัดขวางได้ดังต่อไปนี้

การคำนวณหาภาคตัดขวางของเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นใช้สมการที่ (2.12) คือ

$$\sigma = \frac{N_i M}{2 \rho A L}$$

เมื่อ	N_i	คือ จำนวนเหตุการณ์ที่พิจารณา
	M	คือ น้ำหนักโมเลกุลของไฮโดรเจน = 2.0160 amu
	ρ	คือ ความหนาแน่นของไฮโดรเจนเหลว = 0.0583 gm/cc
	A	คือ เลขอวกาโคร = 6.0225×10^{23} atom/mo e
	L	คือ ลำรอยทางทั้งหมดของอนุภาคยิง
		= $92 \times 60044 \text{ cm}$

รูปที่ 4.2 ลักษณะเหตุการณ์ 2 แฉก



รูปที่ 4.3 ลักษณะเหตุการณ์ 4 แฉก



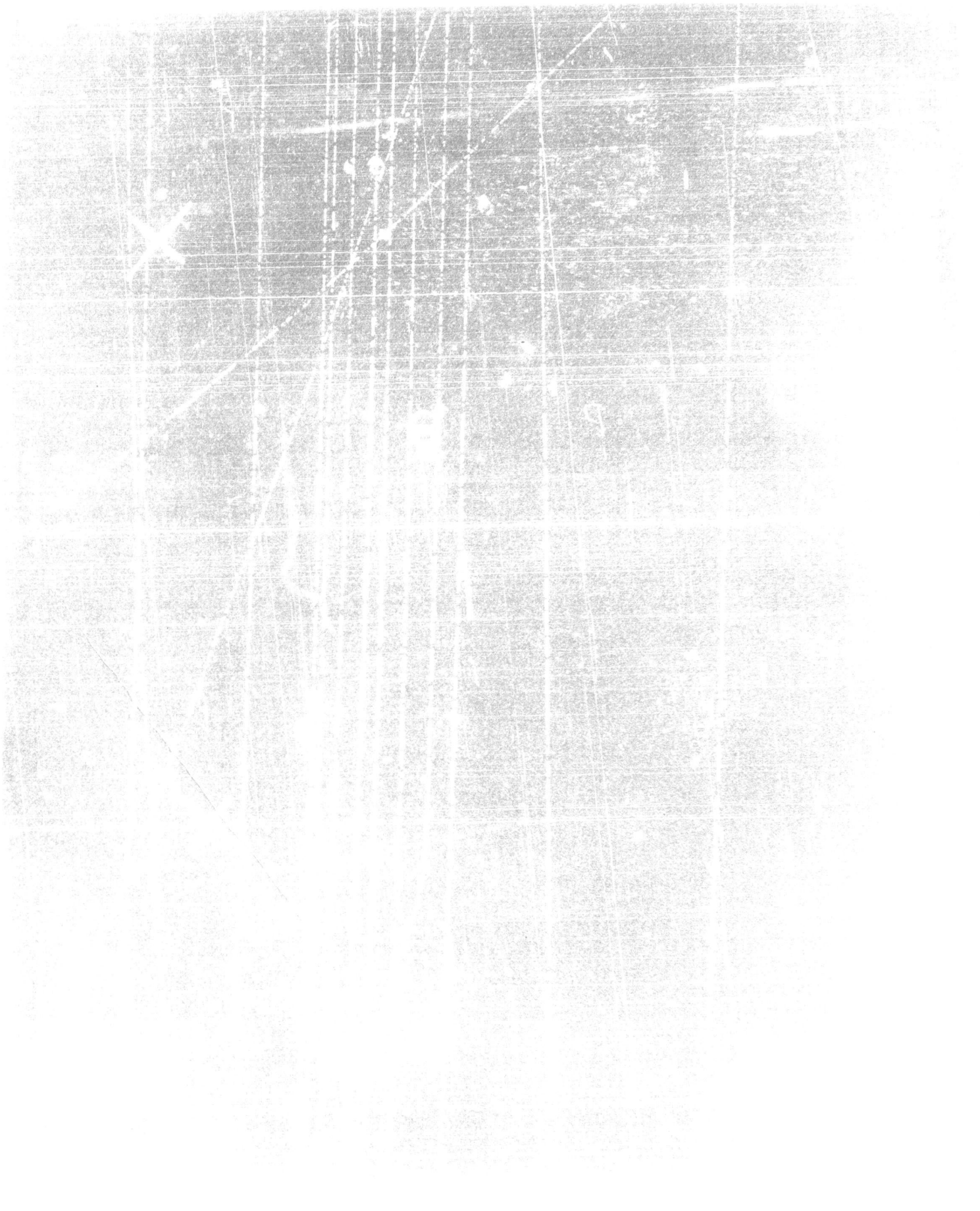
รูปที่ 4.4 ลักษณะเหตุการณ์ 6 แฉก



รูปที่ 4.5 ลักษณะการเกิดคิง



รูปที่ 4.6 ลักษณะการกระเจิง



ตารางที่ 4.1 แสดงข้อมูลของเหตุการณ์ต่าง ๆ ที่กำหนดไว้ จากพิมพ์ภาพตาม seri H. 563 หมายเลขกรอบ 2326-2300

เลขที่-กรอบ	จำนวนกรอบ	จำนวนรอยขาว	การกระเจิง	2 แถง	3 แถง	4 แถง	6 แถง	ชุกภาพ วิ.
2326-2360	35	486	10	28	1	10	1	1
2361-2395	35	544	7	25	-	12	-	-
2396-2430	35	542	6	29	2	15	-	-
2431-2465	35	528	7	23	3	13	-	-
2466-2500	35	529	7	20	5	12	-	1
2501-2535	35	516	5	25	1	7	-	1
2536-2570	35	546	12	34	2	13	2	-
2571-2605	35	488	7	35	1	5	-	-
2606-2640	35	536	12	31	-	13	-	1
2641-2375	35	504	13	27	-	15	-	1
2676-2710	35	503	11	24	-	10	-	-
2711-2745	35	487	13	26	-	3	-	1
2746-2780	35	540	10	26	-	5	-	-
2781-2815	35	524	12	23	1	13	1	-
2816-2850	35	499	9	29	-	8	1	1
2851-2885	35	499	21	29	1	11	-	1
2886-2920	35	506	11	30	-	11	-	-
2921-2955	35	495	17	25	-	11	1	-
2956-2990	35	517	14	26	-	6	-	-
2991-3025	35	550	14	27	-	8	1	-
3026-3060	35	481	16	38	-	15	-	-
3061-3095	35	512	7	32	-	16	-	-
3096-3130	35	554	7	39	1	19	3	-
3131-3165	35	533	11	32	-	14	-	1
3166-3200	35	482	8	31	-	6	-	3
รวมทั้งสิ้น	875	12,901	267	714	18	271	10	12

ตารางที่ 4.2 แสดงตารางบัญชีของเหตุการณ์ต่าง ๆ ที่มีความถี่ พิมพ์ภาพด้วย seri H. 560 หมายเลขกรงชน 0000-0075

เลขที่-กรงชน	จำนวนกรงชน	จำนวนรอยบาด	การระเห็จ	2 แฉก	3 แฉก	4 แฉก	6 แฉก	สูญาก วิ.
0000-0034	35	499	7	30	-	5	-	-
0035-0069	35	499	10	31	2	10	-	-
0070-0104	35	516	15	27	-	10	1	1
0105-0138	34	504	2	28	-	11	1	1
0140-0174	35	544	2	40	1	12	-	1
0175-0209	32	467	8	25	-	9	-	-
0210-0244	34	532	3	35	1	19	1	-
0245-0279	35	570	7	37	-	15	1	-
0280-0314	35	539	6	35	-	13	-	-
0315-0349	35	528	9	28	-	8	-	-
0350-0384	35	530	6	26	-	11	1	-
0385-0419	35	531	8	22	-	5	1	-
0420-0454	35	502	8	27	2	10	-	1
0455-0489	35	538	11	35	-	8	2	-
0490-0524	35	509	8	28	1	8	-	-
0525-0559	35	539	6	25	2	35	2	-
0560-0594	35	507	4	30	-	7	-	1
0595-0629	35	501	7	29	-	12	-	-
0630-0664	35	497	14	19	1	9	-	1
0665-0699	35	528	13	29	1	13	1	-
0700-0734	35	585	11	34	-	12	1	-
0735-0769	35	527	6	21	-	10	-	-
0770-0715	6	75	-	3	-	1	-	-
รวมทั้งสิ้น	771	11,567	171	644	11	223	12	6

ตารางที่ 4.3 แสดงรายชื่อของเหตุการณ์ต่าง ๆ ที่กำหนดไว้ที่สำนักงาน S&P H. 554 หมายเลขของกรม 2326-3172

เลขที่-กรม	จำนวนกรม	จำนวนรอยทาง	การกระเจิง	2 แถว	3 แถว	4 แถว	6 แถว	ฤดูกาล
2326-2352	27	381	7	15	-	11	1	1
2353-2387	35	514	16	24	2	10	-	-
2388-2422	35	514	9	27	2	5	-	1
2423-2457	35	491	10	34	2	10	1	-
2458-2492	35	500	6	25	-	8	-	-
2493-2527	35	499	5	32	-	10	-	1
2528-2562	35	524	4	25	2	6	-	-
2563-2597	35	502	10	31	-	9	-	1
2598-2632	35	497	9	22	1	9	1	-
2633-2667	35	540	12	27	-	12	-	-
2668-2702	35	497	9	32	-	8	-	1
2703-2737	35	497	11	27	-	5	-	-
2738-2772	35	490	5	22	1	7	-	1
2773-2807	35	509	13	42	-	9	1	-
2808-2842	35	486	11	34	1	11	-	-
2843-2877	35	538	4	23	-	10	-	2
2878-2912	35	523	9	26	1	10	2	-
2913-2947	35	521	11	36	-	8	-	-
2948-2983	35	467	5	25	-	7	-	1
2983-3017	35	504	9	26	2	11	-	-
3018-3052	35	526	9	35	-	13	2	-
3053-3087	35	524	7	29	1	14	-	-
3088-3122	35	471	5	19	2	7	-	1
3123-3157	35	507	7	25	-	5	-	2
3158-3172	15	231	1	15	1	1	-	-
รวมทั้งสิ้น	847	12,253	204	678	18	216	8	12

ตารางที่ 4.4 แสดงข้อมูลของเหตุการณ์ต่าง ๆ ที่กว่าทมิโล่ พิษณุภาคด้วย seri H. 502 หมายเลขกรม 2326-5162

เลขที่-กรม	จำนวนกรม	จำนวนรถต่าง	การกระเจิง	2 แดง	3 แดง	4 แดง	6 แดง	ชนภาค วิ.
2326-2342	17	294	2	23	-	3	-	-
2362-2379	18	272	-	16	-	3	-	-
2380-2414	34	565	12	30	-	7	-	-
2415-2449	35	590	3	32	-	12	-	2
2450-2484	35	594	12	26	-	9	-	1
2485-2519	35	566	10	24	-	4	-	3
2520-2554	35	546	10	30	-	4	-	1
2555-2589	35	492	5	27	-	11	1	2
2590-2624	35	586	12	29	-	7	-	-
2625-2659	35	554	3	17	-	16	1	1
2660-2694	35	541	7	25	-	11	-	-
2695-2729	35	527	8	29	-	9	-	-
2730-2764	35	544	18	19	-	6	-	-
2765-2799	35	568	7	36	1	15	-	-
2800-2834	35	549	12	26	-	12	-	1
2835-2869	35	542	17	30	2	8	-	1
2870-2904	35	555	9	25	2	8	-	-
2905-2939	35	550	9	26	-	14	1	2
2940-2974	35	596	14	28	-	11	1	-
2975-3099	35	551	8	33	1	13	-	-
3010-3044	35	592	8	31	-	16	-	-
3045-3079	35	571	8	31	-	5	-	3
3080-3114	35	625	12	37	2	10	-	1
3115-3149	35	581	7	38	1	5	3	1
3150-3182	33	546	12	22	1	7	-	1
รวมทั้งสิ้น	837	13,497	225	690	9	226	7	20

ตารางที่ 4.5 แสดงข้อมูลของเขตการคลัง ๗ ที่กวาคมนันท์ พิมพ์ภาพถ่าย seri H. 533 หมายเลขรวม 0050-0775

เลขที่-กรอม	จำนวนกรอม	จำนวนรอบทาง	การกระเจิง	2 แฉก	3 แฉก	4 แฉก	6 แฉก	ชฎาก วิ.
0050-0075	26	350	7	9	-	5	-	-
0076-0110	35	449	10	17	-	5	-	1
0111-0145	35	473	3	22	-	3	-	-
0146-0180	35	463	15	25	2	12	-	-
0181-0215	35	450	6	20	2	10	-	2
0216-0250	35	464	8	14	1	3	1	1
0251-0285	35	483	8	23	-	8	-	1
0286-0320	35	470	10	21	1	5	-	1
0321-0355	35	468	12	27	1	7	1	2
0356-0390	35	469	5	30	1	8	1	4
0391-0425	35	470	4	22	-	8	-	-
0426-0460	35	509	11	25	-	8	-	-
0461-0495	35	402	8	19	2	10	-	1
0496-0530	35	468	11	25	-	8	-	1
0531-0565	35	485	8	26	1	10	-	-
0566-0600	35	475	12	25	-	6	-	1
0601-0635	35	486	10	32	-	12	-	-
0636-0670	35	490	12	21	-	5	-	1
0671-0705	35	487	5	25	1	12	-	1
0706-0740	35	501	7	31	-	11	1	1
0741-0775	35	514	9	36	-	8	-	-
รวมทั้งสิ้น	726	9,826	181	495	12	164	4	18



เมื่อแทนค่า MPAL ลงในสมการ (2.12) ก็จะได้

$$\sigma = 5.20 \times 10^{-30} \times N_i \quad \text{บาร์น}$$

ข้อมูลทั้งหมดจากฟิล์มภาพถ่ายทั้ง 5 ชุดนำมาคำนวณหาค่าภาคตัดขวางของเหตุการณืต่าง ๆ และภาคตัดขวางทั้งหมดได้ดังนี้

ภาคตัดขวางของเหตุการณื 2 แฉก	= 5.20 x 10 ⁻³⁰ x 3221	บาร์น
	= 1.67 x 10 ⁻²⁶	บาร์น
	= 16.7	มิลลิบาร์น
ภาคตัดขวางของเหตุการณื 3 แฉก	= 5.20 x 10 ⁻³⁰ x 68	บาร์น
	= 3.54 x 10 ⁻²⁸	บาร์น
	= 0.35	มิลลิบาร์น
ภาคตัดขวางของเหตุการณื 4 แฉก	= 5.20 x 10 ⁻³⁰ x 1100	บาร์น
	= 5.73 x 10 ⁻²⁷	บาร์น
	= 5.73	มิลลิบาร์น
ภาคตัดขวางของเหตุการณื 6 รอย	= 5.20 x 10 ⁻³⁰ x 41	บาร์น
	= 2.13 x 10 ⁻²⁸	บาร์น
	= 0.21	มิลลิบาร์น
ภาคตัดขวางของเหตุการณื การกระเจิง	= 5.20 x 10 ⁻³⁰ x 1048	บาร์น
	= 5.45 x 10 ⁻²⁷	บาร์น
	= 5.45	มิลลิบาร์น
ภาคตัดขวางของเหตุการณืการเกิดอนุภาควี	= 5.20 x 10 ⁻³⁰ x 68	บาร์น
	= 3.54 x 10 ⁻²⁸	บาร์น
	= 0.35	มิลลิบาร์น

$$\begin{aligned}
 \text{ภาคตัดขวางทั้งหมดของปฏิกิริยา} &= 5.20 \times 10^{-30} \times 5546 \text{ บารน์} \\
 &= 2.88 \times 10^{-26} \text{ บารน์} \\
 &= 28.8 \text{ มิลลิบารน์}
 \end{aligned}$$

ผลจากข้างบนสอดคล้องกับ ค่าที่ได้จากสมการที่กล่าวถึงแล้วในบทที่ 2 คือ

$$\begin{aligned}
 \sigma_i &= \frac{N_i}{N_{\text{tot}}} \cdot \sigma_{\text{tot}} \\
 \text{และ} \quad \sigma_{\text{tot}} &= \sum \sigma_i
 \end{aligned}$$

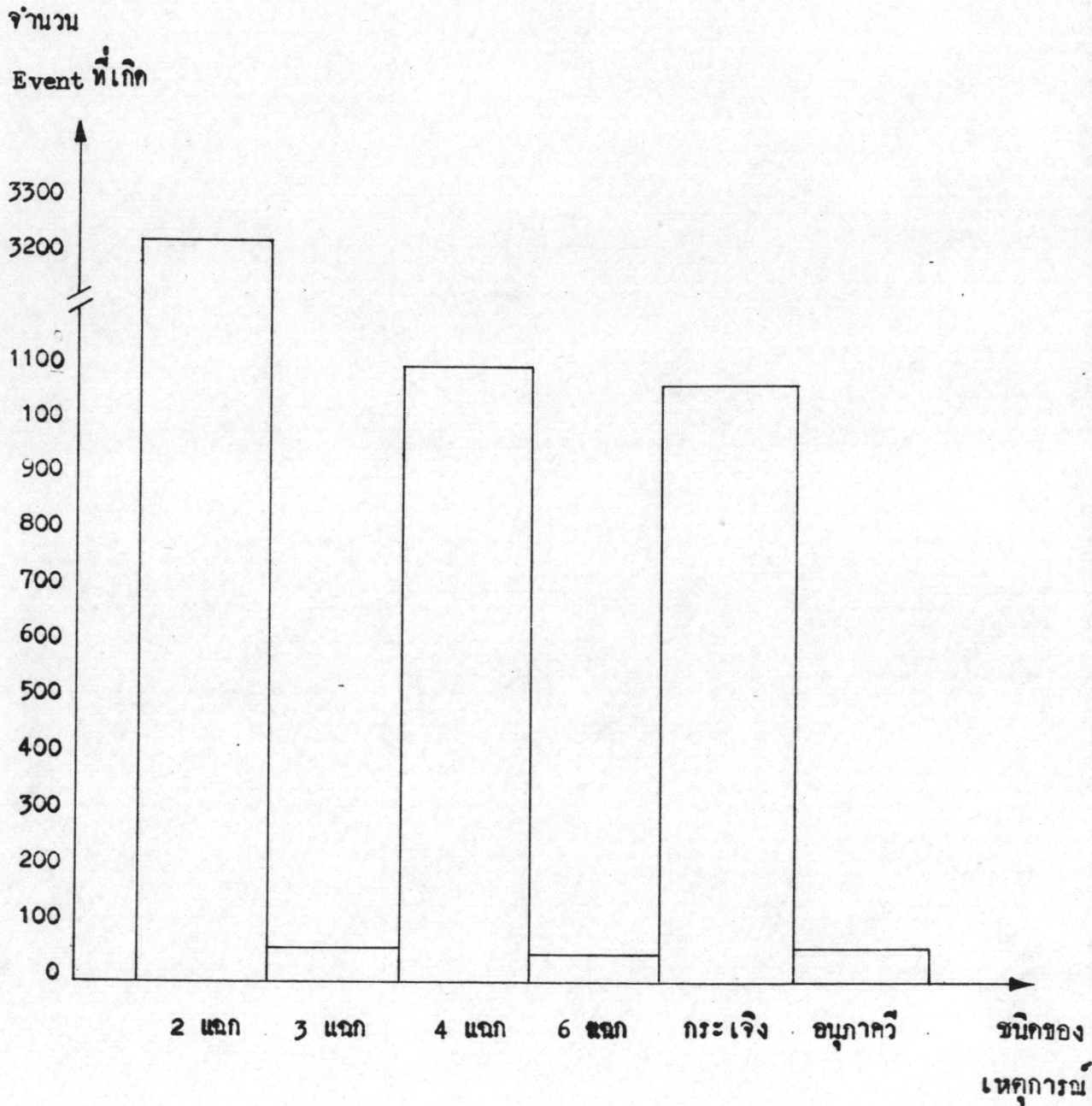
ผลสรุปของภาคตัดขวางชนิดต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในการทดลองนี้ของเหตุการณ์จาก 4,056 กรอบ แสดงในตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 แสดงภาคตัดขวางของเหตุการณ์ชนิดต่าง ๆ ที่หามาได้

ชนิดของเหตุการณ์	จำนวนเหตุการณ์ที่นับได้	ภาคตัดขวาง (mb)
2 แฉก	3221	16.7
3 แฉก	68	0.35
4 แฉก	1100	5.72
6 แฉก	41	0.21
การกระเจิง	1048	5.45
อนุภาควี	68	0.35
เหตุการณ์ทั้งหมดที่เกิด ในปฏิกิริยา K^-p	5546	28.8

จากข้อมูลที่ได้นำมาเขียนฮิสโตแกรมของเหตุการณ์ต่าง ๆ ที่กวาคมนับได้
มีลักษณะดังรูปที่ 4.9

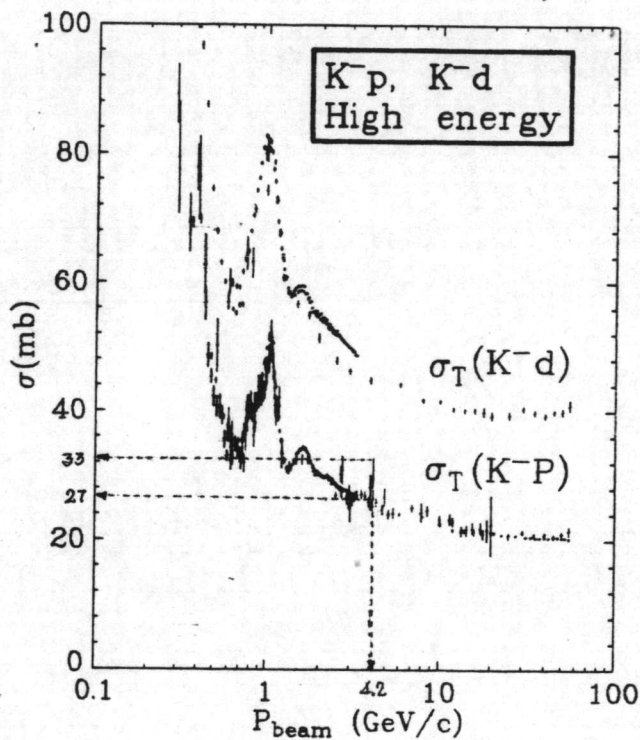
รูปที่ 4.9 ฮิสโตแกรมแสดงจำนวนของเหตุการณ์ชนิดต่าง ๆ ที่กวาคมนับได้



4.3 เปรียบเทียบภาคตัดขวางที่โคและควมคลากเคลื่อน

ภาคตัดขวางทั้งหมดของ K^-p มีผู้ทำมาแล้วคือ อี. แบริคคิ และคณะ (E. Bracci et. al.) แสดงในลักษณะของกราฟระหว่าง โมเมนตัมของอนุภาคยิงที่มีค่าต่าง ๆ กัน กับภาคตัดขวางในหน่วยมิลลิบาร์น ดังรูปที่ 4.9

รูปที่ 4.9 แสดงภาคตัดขวางทั้งหมดของ K^-p โดย อี. แบริคคิ



ที่มา Particle data group Rev. Mod. Phys. vol 52 No.2 part 2 April, 1980

- พิจารณากราฟรูปที่ 4.10 จะพบว่าอนุภาคยิง K^- ที่มีโมเมนตัม $4.2 \text{ GeV}/c$ เข้าชนเป้า p นั้น ภาคตัดขวางทั้งหมดมีค่าอยู่ระหว่าง $27-33$ มิลลิลบารน์ ส่วนภาคตัดขวางทั้งหมดของอนุภาคยิง K^- ที่มีโมเมนตัมเดียวกัน เข้าชน p ในการวิจัยนี้ ซึ่งใช้ข้อสมมุติ 3 ข้อคือ
1. ให้อนุภาคยิงทุกตัวที่ถูกยิงเข้าไปในห้องฟอง ไม่มีการลดจำนวนลง เนื่องจากการทำปฏิกิริยากับอนุภาคเป้า
 2. อนุภาคยิงทุกตัววิ่งเป็นเส้นตรงตลอดระยะทางความหนาของเป้า ($d = 92 \text{ cm}$)
 3. อนุภาคเป้ามีความหนาแน่นน้อยจนสามารถคิดได้ว่า พื้นที่ที่ยังผลของเป้าไม่มีการซ้อนกัน มีค่า 28.8 มิลลิลบารน์ อันเป็นค่าที่อยู่ในช่วงเดียวกับที่ อี.แมรคคี และคณะได้กระทำไว้ ดังนั้น วิธีการหาภาคตัดขวางทั้งหมดด้วยวิธีเช่นนี้ ควรนำไปใช้ได้ผลดี

ความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นเป็นผลจากสิ่งต่อไปนี้

1. เหตุการณ์หายไปอย่างอิสระ (random scanning loss) คือเหตุการณ์บางเหตุการณ์ไม่ถูกนับ เนื่องจากการละเลยหรือมองไม่เห็นของผู้นับ ซึ่งสามารถแก้ไขได้ด้วยการกวาดภาพ 2 ครั้ง หากจำนวนเหตุการณ์ที่ถูกต้อง (N_c) ก็จะเป็น

$$N_c = \frac{N_1 N_2}{N_{12}}$$

โดยที่ N_1, N_2 คือ จำนวนเหตุการณ์ที่พบในการกวาดครั้งที่ 1 และครั้งที่ 2
 N_{12} คือ จำนวนเหตุการณ์ที่พบทั้งในการกวาดครั้งที่ 1 และ 2

2. เหตุการณ์หายไปเนื่องจากสิ่งเกตุยาก (systematic system) เช่น การเกิดการกระเจิงเป็นมุมเล็กมาก จนสังเกตด้วยตาไม่เห็น หรือเกิดการรอยที่สั้นมากในฟิล์มภาพถ่ายจนไม่สามารถมองเห็นได้เช่นกัน

3. การคำนวณหาลำรอยทางทั้งหมดของอนุภาคยิง ในที่นี้ใช้วิธีประมาณว่าอนุภาคยิงทุกตัวที่เข้าไปในห้องฟอง วิ่งไปไต่ตลอดแนวทางที่กำหนดในบริเวณของจุดพิกิวเซียล ทั้งที่จริง ๆ แล้ว อนุภาคยิงที่ทำปฏิกิริยากับเป้า จะมีระยะทางสั้นกว่านี้ แต่เนื่องจากคิดว่า

รอยทางวิ่งของอนุภาคยังไม่เป็นเส้นตรงทั้งหมดมีการโค้ง และอนุภาคที่เกิดปฏิกิริยาเคมีน้อยเมื่อเทียบกับอนุภาคทั้งหมด จึงถือว่าการหาลำรอยทางทั้งหมดของอนุภาคยิ่งด้วยวิธีเช่นนี้ควรจะใช้ได้และสะดวกก็เมื่อทำการคำนวณหาค่าภาคตัดขวางโดยประมาณ

4. อนุภาควิวที่เกิดขึ้นในขอบเขตของฟิวชันเชิล ในบางกรอบนั้นเกิดขึ้นเพียงโคก ๆ เป็นเหตุการณ์เดียว อาจเป็นไปได้ว่า มาจากเหตุการณ์นอกขอบเขตที่กำหนด แต่ในการกวาดนั้นมันสังเกตไม่พบว่ามีจุดยอดอยู่ที่ใด จึงจัดให้เป็นเหตุการณ์เกิดอนุภาควิว อีกเหตุการณ์หนึ่งซึ่งอยู่ในส่วนนี้จึงควร เป็นสาเหตุให้ผลที่ได้รับนั้นผิดพลาดไปได้