

บทที่ 4

ผลการทดลอง และการวิเคราะห์

4.1 การศึกษาทางยาวโฟกัสของโซนเพลตที่สร้างขึ้น

การทดลองใช้โซนเพลตที่มีรัศมี  $R_1$  ของโซนที่ 1 ที่มีค่าต่างกันตามสมการ (2.23 ก) หน้า 21 4 อัน ทดลองกับลำแสงขนาน เพื่อจะหาทางยาวโฟกัสหลัก (principle focal length) ของโซนเพลตที่สร้างขึ้น ทุก ๆ ตัวอย่างการทดลองจะเลื่อนฉากจากตำแหน่งใกล้สุดของ optical bench เข้าหาโซนเพลต โคนรวมแสงจุดแรกก็จะเป็นระยะโฟกัสหลัก ( $f$ ) ส่วนจุดอื่น ๆ จะเป็น  $f_1, f_2, f_3, \dots$  ตามลำดับ ดังแสดงค่าในตารางที่ 4.1 และจากการสังเกตจะไควความเข้มที่จุด  $f_1, f_2, f_3, \dots$  เหล่านั้นจะน้อยลงตามลำดับ

อันที่	$R_1$ ( มม )	$f$ ( มม )		$f_1$	$f_2$	$f_3$	$f_4$
		จากการวัด	จากคำนวณ				
1	.252	10.2	10.04	5.0	-	-	-
2	.330	16.7	17.20	8.2	6.1	-	-
3	.545	45.7	46.7	23.5	16.5	12.5	-
4	.705	74.5	78.54	38.0	26.2	19.7	15.5

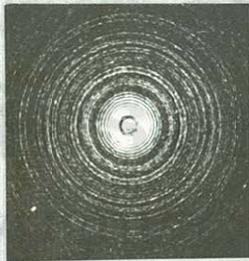
ตารางที่ 4.1 แสดงผลการทดลองหาความยาวโฟกัสของโซนเพลต

จากผลในตารางที่ 4.1 จะเห็นว่ามีความยาวโฟกัสของโซนเพลตหลายค่าในแต่ละอัน ทั้งนี้สาเหตุจากการเลี้ยวเบนของแสงที่เกิดจากโซนเพลตที่สร้างแบ่งให้ทำหน้าที่คือ half-period zone อื่น ๆ ที่จะไปหักล้างกัน ณ จุด P บนฉากออก ให้เหลือแต่ half-period zone พวกที่จะเสริมกันตามไปรวมกันที่จุด P ซึ่งตำแหน่งแรกคือ  $f$

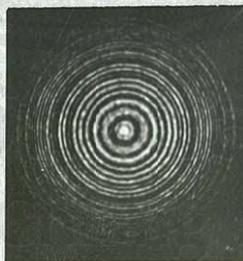
เมื่อเลื่อนตำแหน่งจาก  $f$  ไปสู่  $f_1$  โชนเพลตก็ยังทำหน้าที่ตัด half-period zone อื่น ๆ เช่นเดิม แต่คราวนี้มันตัดออกไปไม่หมดเหมือนกับตำแหน่งบนฉากที่  $f$  คือ มันตัดออกไปแล้วเหลืออีกอย่างน้อย 1 half period-zone ซึ่งจะไปหักล้างกับพวก half-period zone อีกรวมหนึ่งซึ่งเสริมกันแต่คือ ที่ตำแหน่ง  $f_1$  จะมีความเข้มของแสงลดลง และจะลดลงตามลำดับ ณ ตำแหน่ง  $f_2, f_3, f_4, \dots$

สำหรับตำแหน่ง  $P$  ที่อยู่เลยจุดโฟกัส ( $f$ ) ออกไป แสงจะปรากฏว่าลู่ออกจากจุด  $P$  บนฉากตามระยะทางที่เพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากหน้าคลื่นที่ผ่านโชนเพลตไปถึงจุด  $P$  บนฉากมีการเปลี่ยนแปลงในลักษณะหน้าคลื่นขยายตามระยะที่ห่างจากจุด ( $f$ ) และจากการแทรกสอดของคลื่น ณ ตำแหน่งต่าง ๆ นั้น จึงทำให้รูปแบบการเลี้ยวเบนเปลี่ยนไปตามตำแหน่งต่าง ๆ ที่ห่างจากจุด ( $f$ ) ออกไป

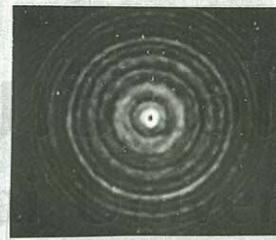
ส่วนตำแหน่งที่อยู่ใกล้กว่าระยะโฟกัส ( $f$ ) จะเป็นช่วงที่แสงเลี้ยวเบนเข้าหรือหน้าคลื่นตีบเข้า ดังผลการทดลองในตารางที่ 4.1 และจะสังเกตรูปแบบการเลี้ยวเบนได้จากรูปที่ 4.1 และ 4.2



ก.



ข.



ค.

รูปที่ 4.1 ภาพแสดงการรวมแสงของโชนเพลตอันดับที่ 2 (ในตารางที่ 4.1) ณ ตำแหน่งต่าง ๆ เข้าหาจุดโฟกัส

ก. 56.5 ซม.

ข. 32.7 ซม.

ค. 18.5 ซม.



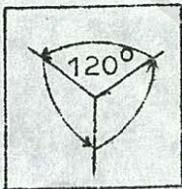
ก



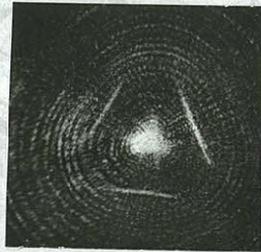
ข

รูปที่ 4.2 (ก) ภาพแสดงตำแหน่งของจุดโฟกัสของโซนเพลต ซึ่งมีศูนย์กลางตามรูปที่ 2.13 ข.  
 (ข) ภาพแสดงรูปแบบการเลี้ยวเบนของโซนเพลต อันที่มีรัศมี  $R_1 = .252$  มม.  
 ที่ระยะภาพ 51 ซม.

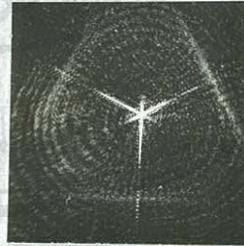
เมื่อเอาโซนเพลตมาทำหน้าที่แทนเลนส์ธรรมดา ในการรับแสงที่เลี้ยวเบนมาจากวัตถุ มันก็จะทำหน้าที่เป็นเลนส์โคจรรูปที่ 4.3 ซึ่งสามารถนำไปเทียบกับรูปที่ 4.28 จะพบว่าใกล้เคียงกัน



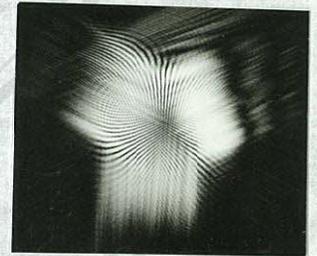
ก



ข



ค



ง

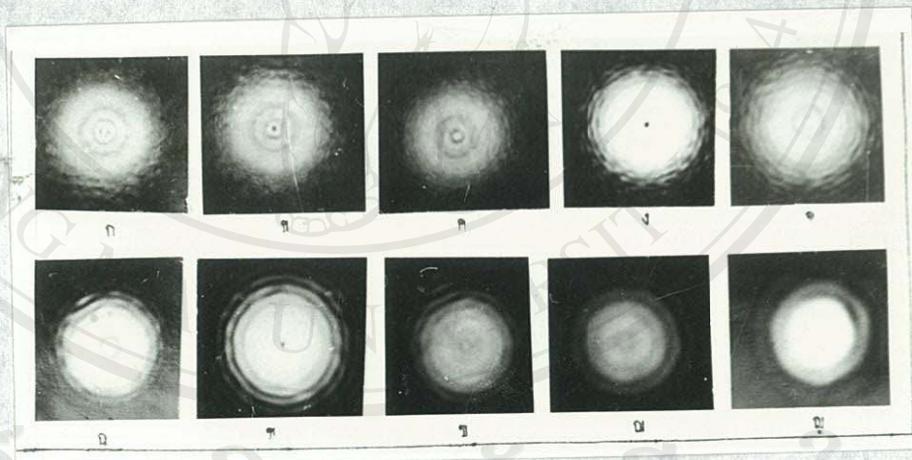
รูปที่ 4.3 ภาพรูปแบบการเลี้ยวเบนของวัตถุในรูป ก. ใช้ลำแสงขนานและใช้โซนเพลตอันที่ 2 ในตารางที่ 4.1 แทนเลนส์  
 ข. ระยะวัตถุ 7.5 ซม. ระยะภาพ 11.0 ซม.  
 ค. ระยะวัตถุ 7.5 ซม. ระยะภาพ 16.5 ซม.  
 ง. รูปแบบการเลี้ยวเบนเฟรสเนลของวัตถุรูป ก ระยะภาพ 24 ซม.

## 4.2 การทดลองการเกิดการเลี้ยวเบนของรูกลม (circular aperture)

การทดลองโดยใช้ทั้งลำแสงขนานและไม่ขนาน เพื่อต้องการเปรียบเทียบรูปแบบของการเลี้ยวเบนมีผลต่างกันอย่างไร

### 4.2.1 ใช้กับลำแสงขนาน

เมื่อใช้ลำแสงขนานส่องผ่านรูกลมที่มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.8 มม. จากการทดลองได้เปลี่ยนระยะวัตถุ โดยกำหนดค่าในระยะภาพคงที่ ผลปรากฏว่าได้รูปแบบการเลี้ยวเบนเหมือนเคิม แต่ถ้ามมีการเปลี่ยนแปลงระยะภาพ รูปแบบการเลี้ยวเบนจะมีการเปลี่ยนแปลงไป ดังรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 ภาพแสดงรูปแบบการเลี้ยวเบนจากรูกลมเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.8 มม. เมื่อใช้ลำแสงขนานภายใต้ระยะต่าง ๆ กัน คือ

- |              |              |              |
|--------------|--------------|--------------|
| ก. 16.5 ซม.  | ข. 18.5 ซม., | ค. 22.5 ซม., |
| ง. 32.5 ซม.  | จ. 30.0 ซม., | ฉ. 47.0 ซม., |
| ช. 56.0 ซม.  | ซ. 70.0 ซม., | ณ. 90.0 ซม., |
| ญ. 110.0 ซม. |              |              |

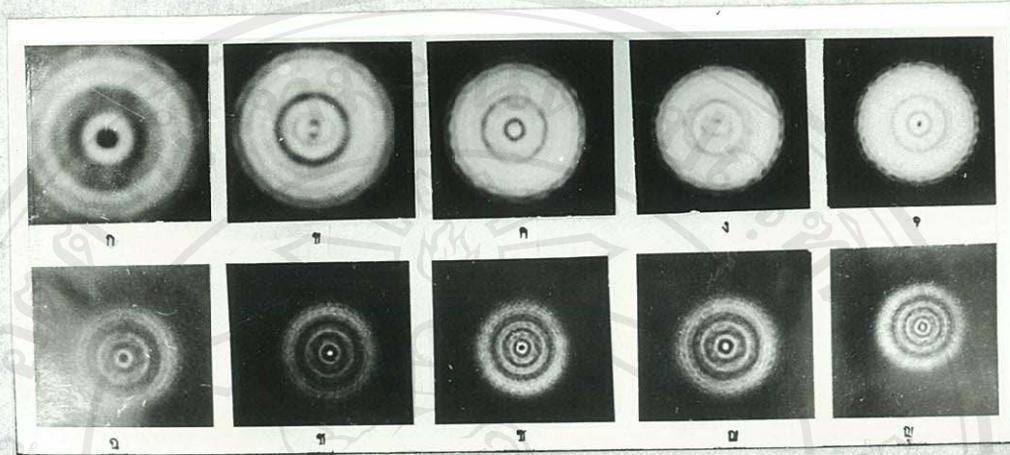
ผลการทดลองจากรูปที่ 4.4 แสดงว่ากรณีลำแสงขนานหน้าคลื่นทางเข้าไม่มีการเปลี่ยนแปลงไม่ว่าตำแหน่งวัตถุจะอยู่ที่ใด ผลจึงทำให้หน้าคลื่นที่เลี้ยวเบนไปถึงฉากโดยมีการแทรกสอดไม่มีการเปลี่ยนแปลงด้วย สำหรับระยะภาพหนึ่ง ๆ ที่กำหนดให้รูปแบบการเลี้ยวเบนจึงเหมือนเดิม แต่ถ้าเปลี่ยนตำแหน่งของระยะภาพ (รูปที่ 4.4) ผลคือ หน้าคลื่นที่เลี้ยวเบนไปถึงฉากโดยมีการแทรกสอดจะมีการเปลี่ยนแปลงไปตามตำแหน่งของระยะภาพ จึงทำให้รูปแบบการเลี้ยวเบนเปลี่ยนไปตามรูปที่ 4.4

#### 4.2.2 ใช้ลำแสงไม่ขนาน

การทดลองตอนนี้ยังใช้รูกลมเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.8 มม. จากผลการทดลองเราจะแบ่งรูปแบบการเลี้ยวเบนตามเงื่อนไขออกได้ 2 กรณี คือ

##### 1. ระยะวัตถุคงที่ ระยะภาพเปลี่ยนแปลง

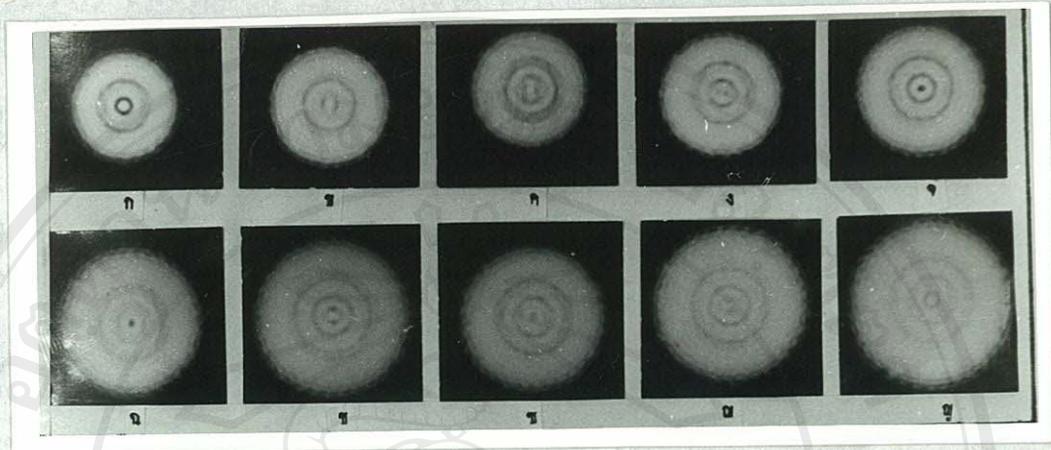
ได้รูปแบบการเลี้ยวเบนเปลี่ยนแปลง ดังรูปที่ 4.5 สาเหตุเป็นเพราะในการเปลี่ยนระยะภาพมีผลทำให้หน้าคลื่นที่เลี้ยวเบนจากวัตถุแล้วแทรกสอดกันไปยังตำแหน่งต่าง ๆ ไม่เหมือนเดิม และจะพบว่าที่ระยะภาพใกล้วัตถุจะมีการเปลี่ยนแปลงรูปแบบการเลี้ยวเบนเร็วขึ้น สาเหตุเพราะค่าของ  $\Delta r$  (2.3) มีค่ามากขึ้นนั่นคือ  $\Delta \theta$  ก็มีค่ามากขึ้น จึงทำให้รูปแบบการเลี้ยวเบนเปลี่ยนไปเร็วแม้จะเปลี่ยนระยะภาพเพียงเล็กน้อย



รูปที่ 4.5 ภาพแสดงรูปแบบการเลี้ยวเบนของรูกลมเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.8 มม. ใช้  
 ลำแสงไมขนาน กำหนดระยะวัตถุ 42 ซม. เปลี่ยนระยะภาพต่าง ๆ กัน  
 คือ ก. 102 ซม. ข. 80 ซม. ค. 53 ซม. ง. 44 ซม.  
 จ. 39 ซม. ฉ. 36 ซม. ช. 33 ซม. ซ. 28 ซม.  
 ฅ. 22 ซม. ญ. 18 ซม.

## 2. ระยะภาพคงที่ ระยะวัตถุเปลี่ยนแปลง

จะโครูปแบบการเลี้ยวเบนเปลี่ยนแปลงตามระยะวัตถุ แต่จะเปลี่ยนแปลง  
 อย่างช้า ๆ ที่ระยะวัตถุอยู่ไกล และจะเปลี่ยนแปลงเร็วเมื่อวัตถุอยู่ใกล้ ดังรูปที่ 4.7



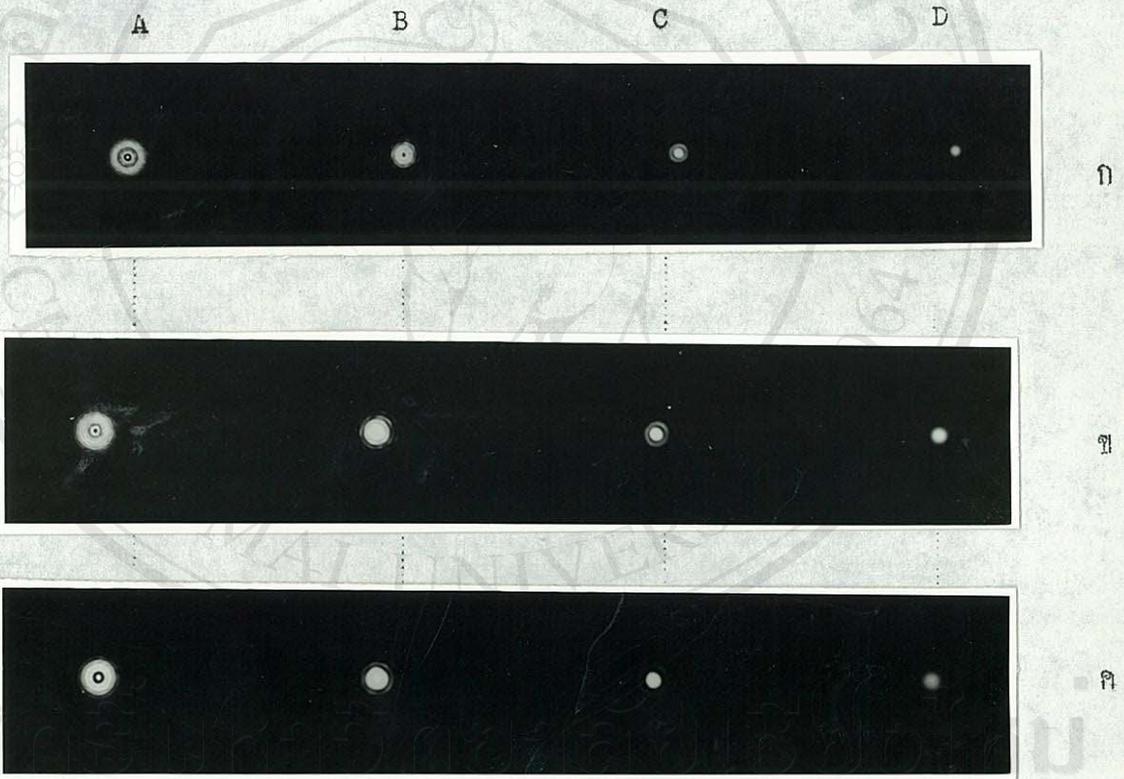
รูปที่ 4.6 ภาพแสดงรูปแบบการเลี้ยวเบนของรูกลมเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.8 มม. ใช้กับลำแสงไมขนาน กำหนดระยะภาพ 20 ซม. แล้วเปลี่ยนระยะวัตถุ

ก. 125 ซม. ข. 95 ซม. ค. 85 ซม. ง. 75 ซม.  
 จ. 65 ซม. ฉ. 55 ซม. ช. 52 ซม. ซ. 48 ซม.  
 ฅ. 45 ซม. ญ. 41 ซม.

จากรูปที่ 4.6 การเปลี่ยนระยะวัตถุในกรณีนี้มีผลทำให้หน้าคลื่นมาถึงวัตถุเปลี่ยนแปลงไปตามตำแหน่งวัตถุ ทำให้แสงเลี้ยวเบนไปแทรกสอดกัน ณ จุด P บนฉากเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย (รูปที่ 4.6) และกรณีที่มันมีการเปลี่ยนรูปแบบการเลี้ยวเบนอย่างช้า ๆ เมื่อระยะวัตถุห่างจากต้นกำเนิดแสง เพราะ  $\Delta r$  มีค่าน้อย (หน้าคลื่นเกือบจะเป็นระนาบ) ผลจึงทำให้  $\Delta \theta$  น้อยกว่ารูปแบบการเลี้ยวเบนจึงเปลี่ยนช้า ในทำนองเดียวกัน ถ้าระยะวัตถุใกล้ต้นกำเนิดแสงหน้าคลื่นมี  $\Delta r$  มากผลคือทำให้มี  $\Delta \theta$  มากกว่ารูปแบบการเลี้ยวเบนก็จะเปลี่ยนเร็ว

### 4.2.3 โท้รูกกลมต่างขนาดกัน

โดยการกำหนดระยะภาพ และระยะวัตถุให้ ผลการทดลองจะได้รูปแบบการเลี้ยวเบนจากรูกลมต่างขนาดกันไม่เหมือนกัน ดังรูปที่ 4.7 ก. และถ้าเปลี่ยนระยะวัตถุ หรือระยะภาพอันใดอันหนึ่งรูปแบบการเลี้ยวเบนก็จะเปลี่ยนแปลงไปด้วย ดังรูปที่ 4.7 ข. และ 4.7 ค.



รูปที่ 4.7 ภาพแสดงรูปแบบการเลี้ยวเบนของรูกลมมีเส้นผ่าศูนย์กลางต่างกันคือ

A. 1.1 มม., B. 0.7 มม., C. 0.44 มม., D. 0.29 มม.,

ก. ระยะวัตถุ 132 ซม. ระยะภาพ 8 ซม.

ข. ระยะวัตถุ 132 ซม. ระยะภาพ 13 ซม.

ค. ระยะวัตถุ 132 ซม. ระยะภาพ 16 ซม.

จากรูปที่ 4.7 เราจะโครูปแบบการเลี้ยวเบนต่างกัน สำหรับรูที่มีขนาดต่างกัน แม้จะใช้ระยะวัตถุ และระยะภาพเดียวกัน สาเหตุเพราะหน้าคลื่นที่ระลอกผ่านรูไปทำให้เกิดการเลี้ยวเบนมีค่าของ  $\Delta r$  ต่างกัน คือ ถ้ารูเล็กหน้าคลื่นผ่านไปได้นั้นค่า  $\Delta r$  ก็น้อย ค่า  $\Delta \phi$  ก็น้อยตาม ถ้ารูใหญ่หน้าคลื่นผ่านไปโดยยาวค่า  $\Delta r$  มีค่ามากกว่า ดังนั้นค่า  $\Delta \phi$  ก็มากกว่า จึงทำให้รูปแบบต่างกันอย่างเห็นชัด ตามรูปที่ 4.7

#### 4.2.4 การวิเคราะห์จำนวนเฟสในโซนในวัตถุ

การวิเคราะห์อาศัยผลจากข้อ 4.2.3 และรูปที่ 4.7 ถึงแม้ว่าในกรณีนี้เราใช้รังสีไม่ขนาน แต่เนื่องจากวางระยะวัตถุห่างจากตามก่าเน็คแสงมาก คือเลยตำแหน่งของระยะ  $r_0 = R_1^2/\lambda$  ตาม (2.23 ก.) ดังนั้นจึงถือว่าเป็นรังสีขนานได้ เราจะบอกได้ว่ารูใดเกิดจากรูที่มีจำนวนโซนเท่าไร เราจะต้องทราบระยะของ  $r_0 = R_m^2/m\lambda$  โดยอาศัย  $R_1$  ต่าง ๆ คือ

$$R_1 \text{ ของ } A = 0.55 \text{ มม.}$$

$$R_1 \text{ ของ } B = 0.35 \text{ มม.}$$

$$R_1 \text{ ของ } C = 0.22 \text{ มม.}$$

$$R_1 \text{ ของ } D = 0.15 \text{ มม.}$$

หาค่า  $r_0$  ต่าง ๆ ดังแสดงในตารางที่ 4.2

จำนวนของ เฟรสเนลโซน	ระยะทางที่จะเกิดรูปแบบการเลี้ยวเบน (ซม.)			
	A	B	C	D
1	47.8	19.3	7.6	3.3
2	23.9	9.6	3.8	1.7
3	15.9	6.4	2.5	1.1
4	12.0	5.0	2.0	0.8
5	9.6	4.0	2.5	0.6

ตารางที่ 4.2 แสดงตำแหน่งของการเกิดเฟรสเนลโซนในวัตถุ ณ ตำแหน่งภาพ ( $x_0$ ) ต่าง ๆ

จากรูปที่ 4.7 และตารางที่ 4.2 เราอาจบอกจำนวนโซนในวัตถุสำหรับกรณีต่าง ๆ ได้ ดังนี้

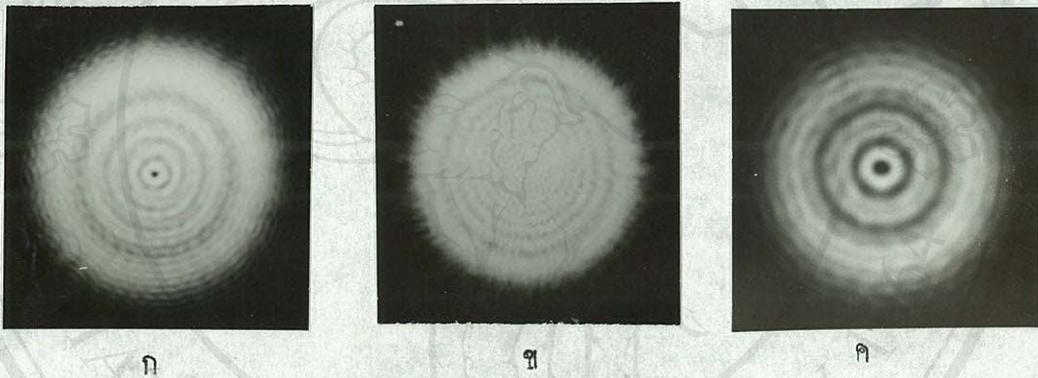
รูปที่ 4.7 ก. ภาพ A เป็นภาพเกิดจากเฟรสเนลโซน 5 โซน  
 ภาพ B เป็นภาพเกิดจากเฟรสเนลโซน 2 โซน  
 ภาพ C เป็นภาพเกิดจากเฟรสเนลโซน 1 โซน  
 ภาพ D เป็นภาพเข้าสู่การเลี้ยวเบนฟรอนโฮเฟอร์

รูปที่ 4.7 ข. ภาพ A เป็นภาพเกิดจากเฟรสเนลโซน 4 โซน  
 ภาพ B เป็นภาพเกิดจากเฟรสเนลโซนที่อยู่ระหว่าง 1 ถึง 2 โซน  
 ภาพ C เป็นภาพเข้าสู่การเลี้ยวเบนฟรอนโฮเฟอร์  
 ภาพ D เป็นภาพของการเลี้ยวเบนฟรอนโฮเฟอร์ตรงจุดกลาง

รูปที่ 4.7 ค. ภาพ A เป็นภาพเกิดจากเฟรสเนลโซน 3 โซน  
 ภาพ B เป็นภาพเกิดจากเฟรสเนลโซนที่เริ่มออกจาก 1 โซนไปสู่ 2 โซน  
 ภาพ C เป็นภาพเข้าสู่การเลี้ยวเบนฟรอนโฮเฟอร์  
 ภาพ D เป็นภาพของการเลี้ยวเบนฟรอนโฮเฟอร์ตรงจุดกลาง

### 4.3 การทดลองโดยการใส่เลนส์นูนเข้าช่วย

ในการทดลองบางครั้งอาจมีปัญหาเกี่ยวกับระยะภาพที่เกิดขึ้นไกลเกินไป หรือรายละเอียดของภาพเล็กลงไป ในลักษณะอย่างนี้อาจใส่เลนส์นูนที่ทราบทางยาวโฟกัส ช่วยขยับระยะภาพ หรือเพิ่มกำลังขยาย ดังจะเห็นได้จากรูปที่ 4.8 ซึ่งเราจะคำนวณหาตำแหน่งของมันได้



รูปที่ 4.8 ภาพแสดงการเลี้ยวเบนเฟรสเนลที่อยู่ใกล้ ๆ วัตถุ โดยใช้เลนส์ทางยาวโฟกัส 20 ซม. วัตถุกลมเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.8 มม. วางระยะวัตถุ 25 ซม. แล้วถ่ายภาพที่ระยะต่าง ๆ กัน คือ

- ก. ระยะภาพ 84 ซม.
- ข. ระยะภาพ 90 ซม.
- ค. ภาพเมื่อเอาเลนส์ออกจากตำแหน่งของภาพ ข.

#### 4.3.1 การวิเคราะห์ภาพรูปแบบการเลี้ยวเบนของแสงเมื่อใช้เลนส์ เพื่อช่วยรูปแบบการเลี้ยวเบน

เนื่องจากวางตำแหน่งเลนส์อยู่ที่ระยะวัตถุจริงเท่ากับระยะโฟกัสของเลนส์ ดังนั้นภาพที่เกิดจากเลนส์จึงเป็นภาพจริงของการเลี้ยวเบนทุก ๆ ตำแหน่งของระยะภาพ ซึ่งรวมทั้งวัตถุเสมือนด้วย จึงทำการหาระยะวัตถุได้จากสูตรของเลนส์บาง

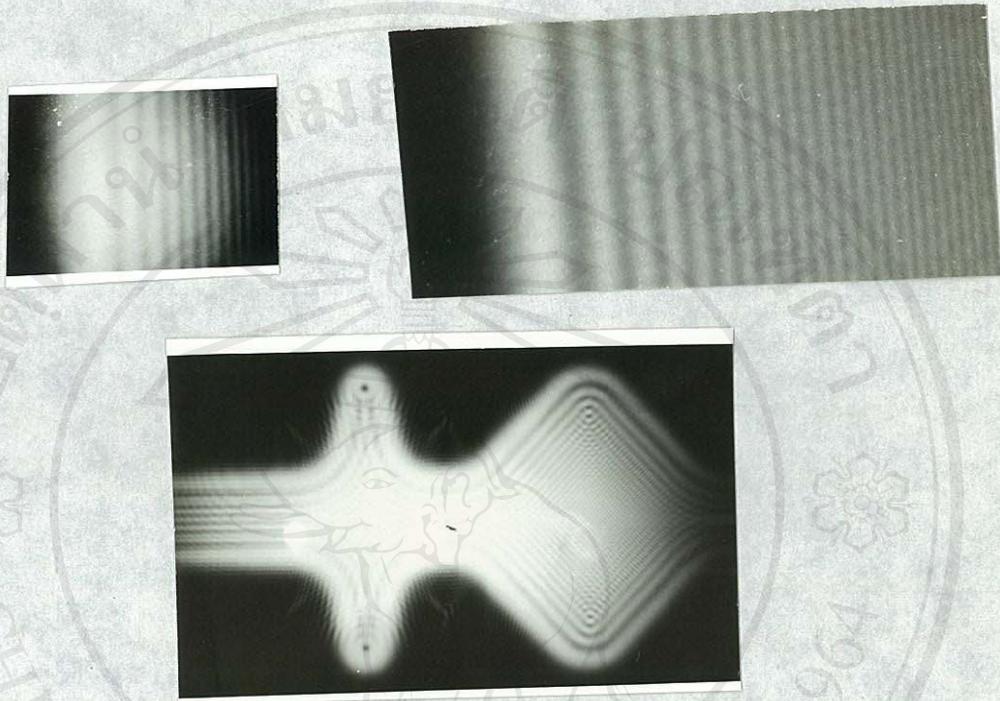
$$\frac{1}{u} + \frac{1}{v} = \frac{1}{f}$$

ตัวอย่าง ตามภาพที่ 4.8 ข. จะโคระยะวัตถุ = 25.7 ซม. ดังนั้นภาพที่เกิดขึ้นนั้น เป็นภาพที่เกิดจากการเลี้ยวเบนอยู่ห่างจากรวมเป็นระยะทาง = 25.7 - 20 = 5.7 ซม.

นั่นหมายความว่า เลนส์ทำหน้าที่รวมแสงที่กำลังลู่ออก ซึ่งจุดนั้นเสมือนอยู่ หน้าวัตถุ 5.7 ซม. ซึ่งเป็นคู่กับตำแหน่งแสงสู่เขาทางจากวัตถุ 5.7 ซม.

#### 4.4 การทดลองการเลี้ยวเบนของขอบวัตถุ (straight edge)

การทดลอง ใช้ลำแสงให้ตกบนขอบของใบมีดโกนหนวด ทั้งแบบลำแสงขนาน และไม่ขนาน แล้วจัดให้ใบมีดบังแสงไว้ครึ่งหนึ่ง อีกครึ่งหนึ่งปล่อยให้ผ่านขอบใบมีดไปบนฉาก จะได้ผลการทดลองดังรูปที่ 4.9

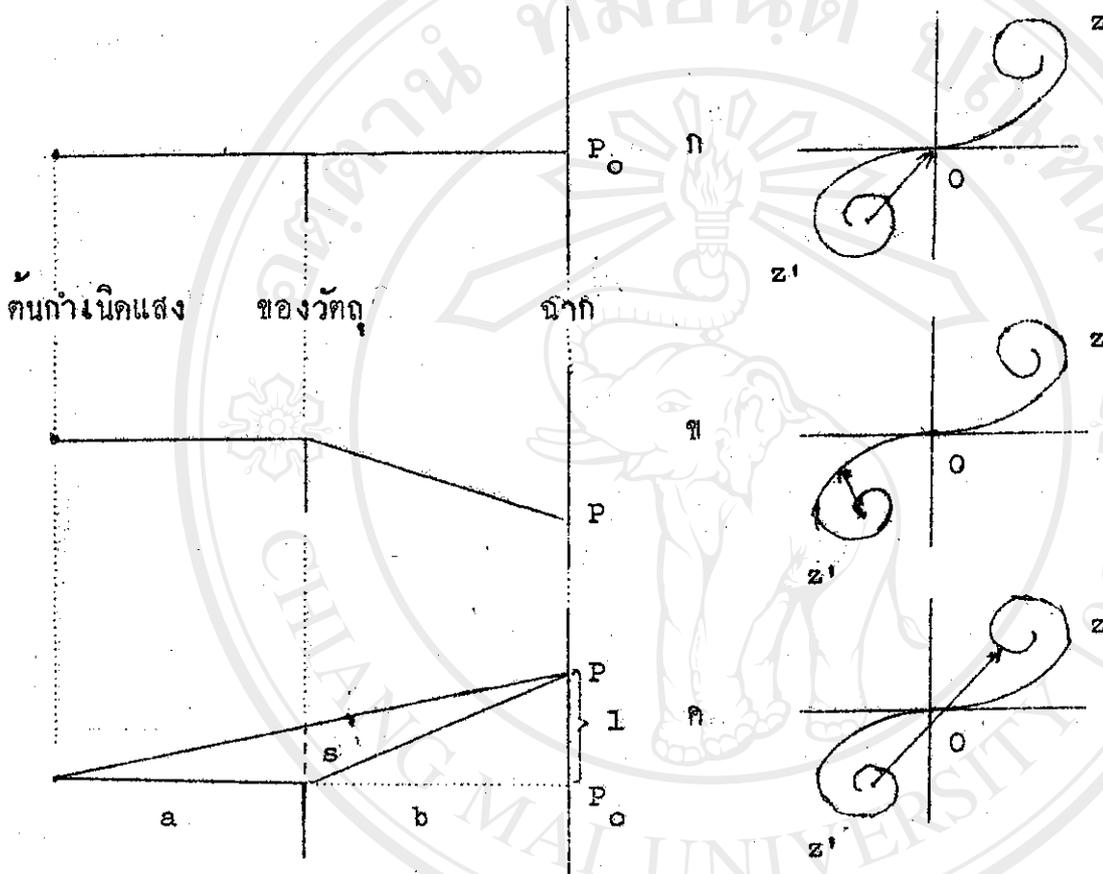


- รูปที่ 4.9 ภาพแสดงรูปแบบการเลี้ยวเบนของขอบใบมีดโกนหนวด
- ก. ใช้ลำแสงขนาน ระยะภาพ 120 ซม.
  - ข. ใช้ลำแสงไม่ขนาน ระยะวัตถุ 25 ซม. ระยะภาพ 120 ซม.
  - ค. ภาพของขอบรองกลางใบมีดโกนหนวด ระยะวัตถุ 60 ซม. ระยะภาพ 78 ซม.

จากรูปที่ 4.9 จะเห็นว่าที่บริเวณนอกเงาบนฉากจะมีรูปแบบการเลี้ยวเบนที่มีความเข้มแสงบนฉากต่าง ๆ กัน เราสามารถหาอัมพลิจูดและความเข้มแสง ณ จุดต่าง ๆ ทั้งในเงาและนอกเงาทางเรขาคณิตได้โดยการใช้ Cornu's spiral วิเคราะห์ ดังนี้

จากรูปที่ 2.15 หน้า ๒๑ จะเห็นว่า Cornu's spiral ถูกแบ่งเป็น 2 ซีก คือ ซีกบนกับซีกล่างของหน้าคลื่น โดยมีแกนสำคัญเป็นเส้นแบ่ง สำหรับในกรณีนี้ซีกบนจะแทนบริเวณที่ลำแสงไม่ถูกบัง ส่วนซีกล่างจะแทนบริเวณที่ลำแสงถูกบัง

ดังนั้น เมื่อแทนขนาดของอัมพลิจูดบนฉากด้วยเวกเตอร์อัมพลิจูด  $\eta$  จุดต่าง ๆ ใน Cornu's spiral ที่ลากจากจุด  $z'$  ไปยังจุดนั้นที่ต้องการพิจารณา<sup>(3)</sup> ความยาวของเวกเตอร์  $\eta$  ก็จะแทนขนาดของอัมพลิจูด  $\eta$  จุดบนฉากที่สอดคล้องกัน รูปที่ 4.10 และ 2.16 ประกอบ สำหรับความเข้มแสง  $\eta$  ตำแหน่งทาง ๆ บนฉากก็คือกำลังสองของอัมพลิจูด  $\eta$  จุดนั้นที่สอดคล้องกัน



รูปที่ 4.10 รูปแสดงตำแหน่งของจุด P บนฉากที่สอดคล้องกับการใช้ Cornu's spiral

- หาค่าอัมพลิจูด  $\eta$  จุดต่าง ๆ ด้วยความยาวของเวกเตอร์  $\eta$
- จุด  $P_0$  บนฉากอยู่ตรงกับขอบ ก็แทนด้วยเวกเตอร์  $\eta$  ที่ลากจาก  $z'(-.5, -.5)$  ไปยังจุด  $(0,0)$
  - จุด P บนฉากอยู่ในเงาก็แทนด้วยเวกเตอร์  $\eta$  จาก  $z'$  ไปยังจุดพิจารณาในเงา
  - จุด P บนฉากอยู่นอกเงาก็แทนด้วยเวกเตอร์  $\eta$  จาก  $z'$  ไปยังจุดพิจารณานอกเงา

#### 4.4.1 การวิเคราะห์รูปแบบการเลี้ยวเบนของขอบวัตถุบังแสงโดยใช้ Cornu's spiral

จากสมการ 2.31 และจากรูปที่ 4.10 ค. จะได้

$$s = v \sqrt{\frac{ab\lambda}{2(a+b)}} \quad \text{เมื่อ ระยะเวลา } (r_0) = b$$

และ  $l = \frac{a+b}{a} s$

- ในเมื่อ
- l คือระยะจากตำแหน่ง  $P_0$  ถึง P บนฉาก
  - s คือระยะความยาวของหน้าคลื่นที่สัมพันธ์กับ l
  - a คือระยะระหว่างต้นกำเนิดแสงกับวัตถุ (ระยะวัตถุ) กรณีลำแสงขนาน จะไม่มีผลทำให้รูปแบบการเลี้ยวเบนเปลี่ยนไป (ตามหัวข้อ 4.2.1)
  - b คือระยะวัตถุถึงฉาก (ระยะภาพ)
  - v คือความยาวของส่วนโค้งใน Cornu's spiral

ตัวอย่างการวิเคราะห์รูปแบบการเลี้ยวเบน ของรูปที่ 4.9 ข. จะได้

$$s = 0.0026 v \quad \text{ซม.}$$

$$l = 5.85 s = 0.0151 v \quad \text{ซม.}$$

$$\frac{l}{v} = 0.0151 \quad \text{ซม.}$$

หมายความว่าอัตราส่วนการเปลี่ยนตำแหน่งบนฉากต่อการเปลี่ยนตำแหน่งบน Cornu's spiral ในกรณีรูปที่ 4.9 ข. คือ 0.0151 ซึ่งค่าตัวเลขนี้จะใช้เป็นตัวเทียบ บอกขนาดอัมพลิจูดหรือความเข้มแสง ณ ตำแหน่งต่าง ๆ บนฉาก ด้วยขนาดของเวกเตอร์ ณ ค่า v เปลี่ยนไปใน Cornu's spiral การหาขนาดของเวกเตอร์ทำได้ 2 วิธีคือ

1. วิธีวัดความยาวของเวกเตอร์จากรูป Cornu's spiral รูปที่ 2.15
2. วิธีคำนวณหาความยาวเวกเตอร์จากตารางค่า Fresnel integrals

(จากตารางภาคผนวก 1)

ตัวอย่าง การคำนวณหาขนาดของเวกเตอร์จากตารางค่า Fresnel integrals ในกรณี  
การเลี้ยวเบนแสงของขอบวัตถุ ซึ่งจะหาขนาดของเวกเตอร์จากความสัมพันธ์ คือ

$$c |\vec{a}| = \sqrt{(.5 \pm v_x)^2 + (.5 \pm v_y)^2}$$

เช่น กำหนดค่า  $v=2$  จากตารางจะได้  $v_x=.4882$ ,  $v_y=.3434$

$$\begin{aligned} \text{ดังนั้น } |\vec{a}| \text{ ณ ตำแหน่ง } v=2. &= \sqrt{(.5+.4882)^2 + (.5+.3434)^2} \\ &= 1.30 \end{aligned}$$

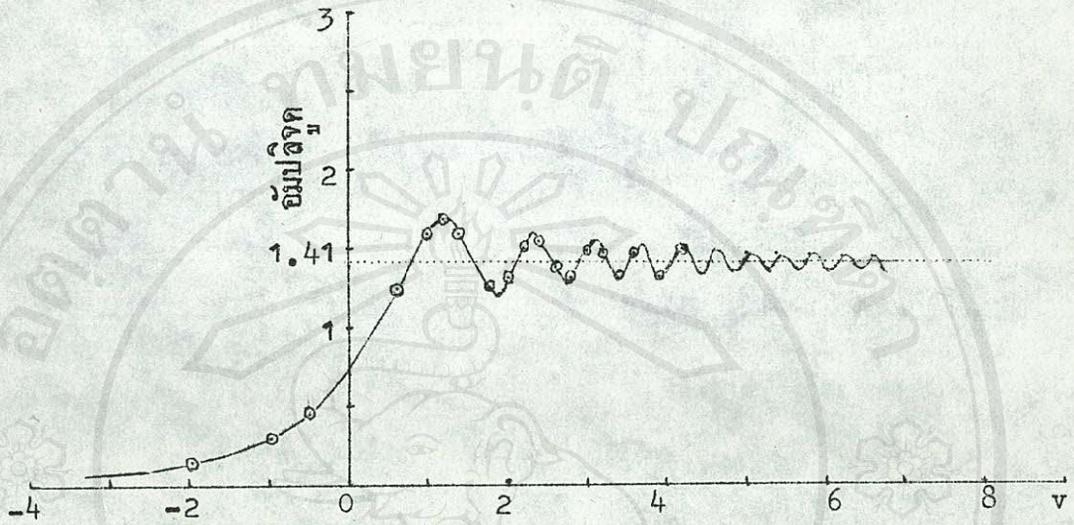
นั่นคืออัมพลิจูดที่ตำแหน่งห่างจากขอบนอกเงาบนฉากเป็นระยะ  $l = 0.03$  ซม. จะมี  
เวกเตอร์อัมพลิจูด  $= 1.3$  และความเข้มแสง ณ จุดนั้น  $= 1.69$

ดังนั้นจึงสามารถหาค่าความเข้ม ณ จุดต่าง ๆ บนฉากได้ดังแสดงค่าใน  
ตารางภาคผนวก 2 แล้วนำเอาค่าที่คำนวณได้ไปเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง  
ค่าของ  $v$  กับอัมพลิจูด หรือความเข้ม จะได้รูปกราฟที่ 4.11 และ 4.12 ซึ่งลักษณะ  
ของกราฟจะสอดคล้องกับความเข้มแสงที่ตกบนฟิล์ม ณ ตำแหน่งต่าง ๆ

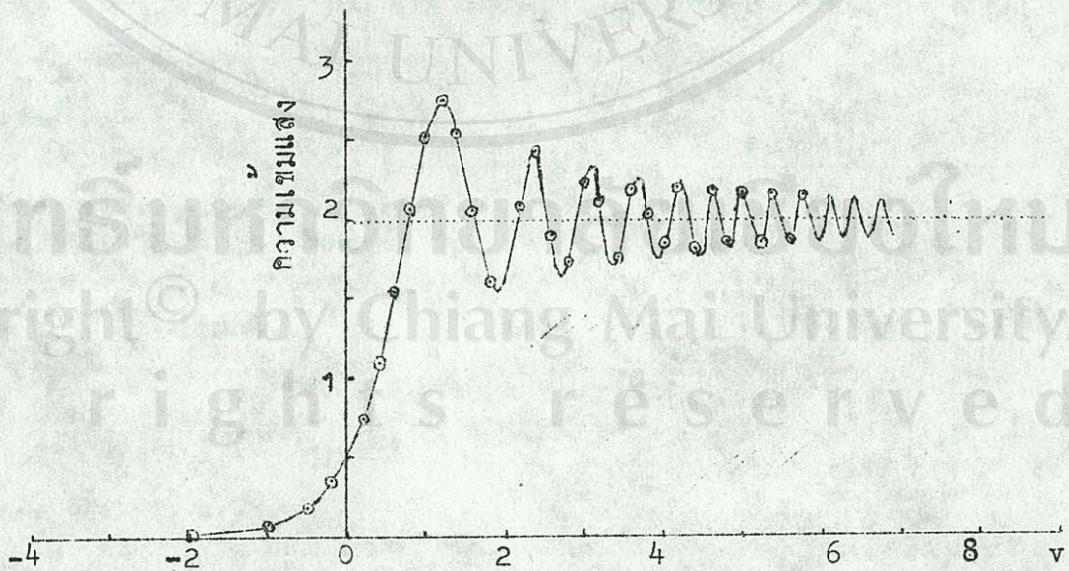
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

Copyright© by Chiang Mai University

All rights reserved



รูปที่ 4.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าแอมพลิจูดกับค่า  $v$



รูปที่ 4.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มแสงกับค่า  $v$

#### 4.5 การทดลองการเลี้ยวเบนของร่องเคียว

ใช้ลำแสงขนานกับร่องเคียว 3 ชนิด คือ ร่องเคียวชนิดเปิดและปรับความกว้างได้ ร่องเคียวทำจากแผ่นฟิล์มสำเร็จรูปแล้ว และร่องเคียวทำจากการถ่ายภาพแบบตัวอย่างที่ทำขึ้นเอง

ในการวัดความกว้างของร่องเราสามารถทำได้ 2 วิธี คือ

1. วัดความกว้างโดยตรงจาก Travelling microscope
2. วัดทางอ้อมจากการคำนวณรูปแบบการเลี้ยวเบนแบบฟรอนโฮเฟอ์

ซึ่งก็ต้องใช้ Travelling microscope วัดระยะระหว่าง zero order ถึง 1 st minimum (1) แล้วคำนวณหาความกว้างของร่องได้จากสูตรของการเลี้ยวเบน คือ

$$d \sin \theta = m\lambda$$

โดยที่  $\sin \theta \approx \theta = \frac{1}{b}$

$$m = 1$$

$$\lambda = 6328 \times 10^{-10} \text{ เมตร}$$

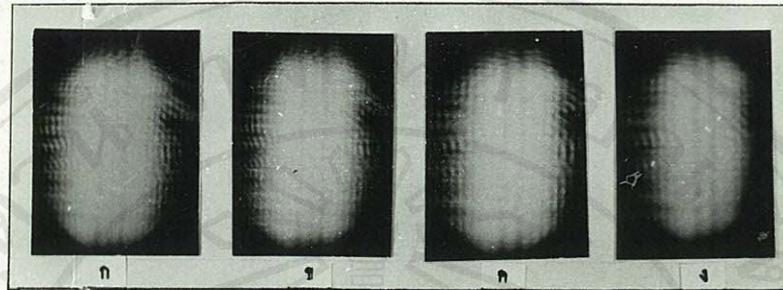
ค่า 1 วัดได้จากฟิล์ม, b คือระยะโฟกัสของเลนส์

ทุก ๆ การวัดทั้งความกว้างร่องโดยตรง และการวัด 1 บนฟิล์ม จะทำการวัด 5 ครั้ง แล้วหาค่าเฉลี่ย ได้รูปแบบการเลี้ยวเบนดังรูปที่ 4.13 ถึง 4.15 ซึ่งเป็นภาพที่เลือกมาจากการทดลองหลาย ๆ ตัวอย่างมาแสดง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

Copyright © by Chiang Mai University

All rights reserved

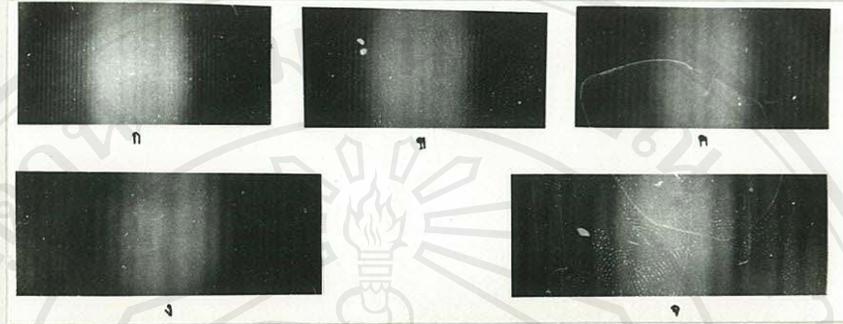


รูปที่ 4.13 ภาพแสดงรูปแบบการเลี้ยวเบนของดีเอชแอลเอ็มแผ่นบาง กว้าง 1.4 มม.  
ยาว 3.14 มม. ใจกลางแสงขนาน มีระยะภาพต่าง ๆ กัน คือ

ก. 17.2 ซม.	ข. 20.7 ซม.
ค. 27.2 ซม.	ง. 47.3 ซม.

ทั้ง 4 ภาพจะเห็นรูปแบบการเลี้ยวเบน 2 แนว คือ แนวระดับกับแนวตั้ง  
แนวระดับเกิดจากขอบของคานากว้างของดีเอชแอลเอ็ม และแนวตั้งเกิดจากขอบของคานายาว  
ของดีเอชแอลเอ็ม เราจะได้อา  $\Delta v$  ของแต่ละแนวแตกต่างกัน คือ

	$\Delta v$ แนวตั้ง	$\Delta v$ แนวนอน
ภาพ ก.	6.00	13.36
ภาพ ข.	5.47	12.26
ภาพ ค.	4.77	10.60
ภาพ ง.	3.76	8.44

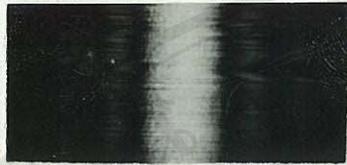


รูปที่ 4.14 ภาพแสดงรูปแบบการเลี้ยวเบนของร่องเดี่ยว ปรสิบกว้าง 1.7 มม. ใ  
 ลำแสงขนาน อยู่ในตำแหน่งระยะภาพต่าง ๆ กัน

- ก. 20 ซม.      ข. 26 ซม.      ค. 35 ซม.  
 ง. 60 ซม.      จ. 96 ซม.

จะเห็นวารูปแบบการเลี้ยวเบนของร่องเดี่ยวในกรณีนี้มีเพียงแนวเดียว คือ  
 เกิดจากการเลี้ยวเบนของขอบร่อง มีค่า  $v$  ต่าง ๆ กันคือ

- ภาพ ก.  $\Delta v = 6.7$       ภาพ ข.  $\Delta v = 5.9$   
 ภาพ ค.  $\Delta v = 5.7$       ภาพ ง.  $\Delta v = 3.9$   
 ภาพ จ.  $\Delta v = 3.0$



ก

ข

รูปที่ 4.15 ภาพแสดงรูปแบบการเลี้ยวเบนของร่องเคียวแคบ

ก. ใสลำแสงขนาน ปรับร่องกว้าง 0.098 มม. ระยะภาพ 18 ซม.

มีค่า  $\Delta v = 0.4$

ข. ใสลำแสงไม่ขนาน ปรับร่องกว้าง 0.185 มม. ระยะวัตถุ 10 ซม.

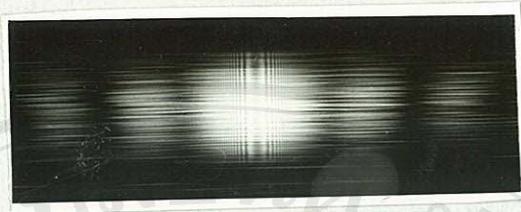
ระยะภาพ 12.3 ซม. มีค่า  $\Delta v = 1.4$

ทั้งสองรูปจะเห็นว่ามีการเลี้ยวเบนแสงอีกแนวหนึ่งซึ่งเกิดจากขอบหัวท้ายของร่องทำให้เกิดรั้วรอยแทรกขวางภาพที่ได้เหมือนกรณีของการเลี้ยวเบนของรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า ซึ่งเกิดจากร่องเคียวยาวไม่เพียงพอ ผลการวิเคราะห์ความเข้มแสง ณ จุดต่าง ๆ โดยอาศัย Cornu's spiral แสดงในกราฟรูปที่ 4.19 และ 4.20

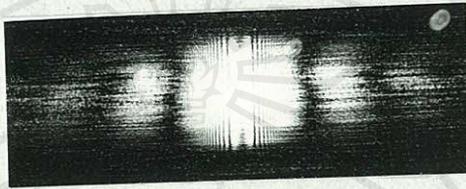
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

Copyright © by Chiang Mai University

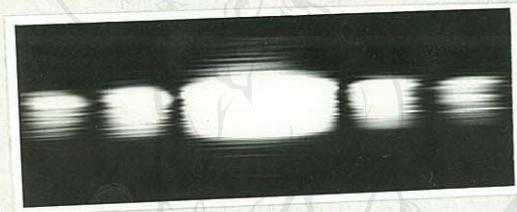
All rights reserved



ก



ข



ค

รูปที่ 4.16 ภาพแสดงการเปรียบเทียบรูปแบบการเลี้ยวเบนของร่องเคียวแคบ โดยใช้ลำแสงขนาน และใช้ร่องเคียวชนิดต่างกัน คือ

ก. ร่องเคียวทำจากแผ่นฟิล์มสำเร็จรูปแล้ว กว้าง 0.064 มม.

ระยะภาพ 50 ซม.

ข. ร่องเคียวทำจากแผ่นฟิล์มได้จากการถ่ายภาพแบบตัวอย่าง กว้าง

0.098 มม. ระยะภาพ 50 ซม.

ค. ร่องเคียวรับค่าได้ แบบรูปที่ 4.15 กว้าง 0.098 มม.

ระยะภาพ 50 ซม.

จากรูปที่ 4.16 ทั้งรูป ก. และรูป ข. จะมีรูปแบบของการเลี้ยวเบนเหมือนกัน ณ ที่บริเวณ zero order จะเห็นมีริ้วรอยเป็นแถบมืด-สว่างกระจายออกทั้งสองข้าง และตรงตำแหน่งกลางจะมีมืด (มัว) แถบริ้วรอยเหล่านี้เกิดจากการเลี้ยวเบนของขอบร่อง

ดังกล่าวแล้วในหัวข้อ 4.4 และรูปที่ 4.14, รูปที่ 4.15 การที่เราเห็นรั้วรอยตรงกลางชัดเจนนี้อาจเนื่องจากแสงผ่านทะลุช่องชนิดรูป ก. และรูป ข. ออกมาได้น้อยกว่าชนิดช่องเปิด (รูป ค) เนื่องจากฟิล์มคุกคั้นแสงไว้นานหนึ่ง และอีกประการหนึ่งขอบร่องของฟิล์มเมื่อส่องควยกลอง Travelling microscope จะเห็นว่าไม่เรียบ และไม่ contrast กันอย่างชัดเจน จึงให้ผลของรูปแบบการเลี้ยวเบนที่เห็นได้จากรูปที่ 4.16 และจะมีความเข้มแสงน้อยกว่าแบบร่องเดี่ยวเปิด

โดยสรุปแล้ว สำหรับร่องเดี่ยวที่ทำการถ่ายภาพตัวอย่างสามารถนำไปใช้ทดลองได้ ซึ่งจากการทดลองใช้ร่องเดี่ยวที่ทำขึ้นมีขนาดกว้างจะไม่มีปัญหาดังกล่าวเหมือนร่องเดี่ยวแคบ

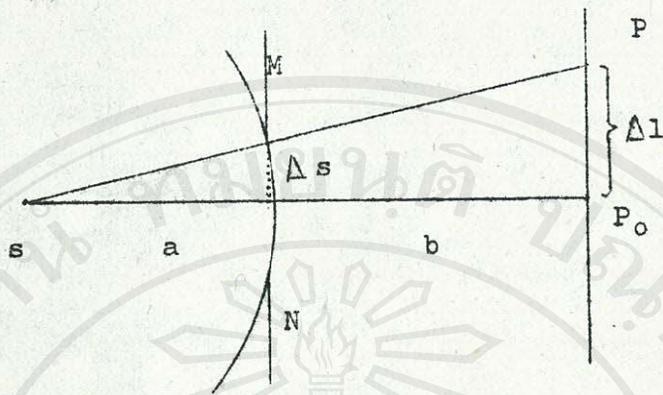
#### 4.5.1 การวิเคราะห์รูปแบบการเลี้ยวเบนของร่องเดี่ยว

หลักการวิเคราะห์ Cornu's spiral โดยทั่วไปกล่าวมาแล้วในหัวข้อ 4.4.1 คือ ถ้าส่วนไหนบนฉากถูกบังแสง ก็ถือเสมือนว่าส่วนนั้นของ Cornu's spiral ถูกบังควย และส่วนที่บนฉากไม่ถูกบังก็จะเปิดไว้ใน Cornu's spiral ตามตำแหน่งที่สอดคล้องกัน ถ้าจะหาอัมพลิจูดของการเลี้ยวเบนแสงบนฉาก ก็แทนควยความยาวของเวกเตอร์อัมพลิจูดใน Cornu's spiral และความเข้มของแสงก็คือกำลังสองของอัมพลิจูด

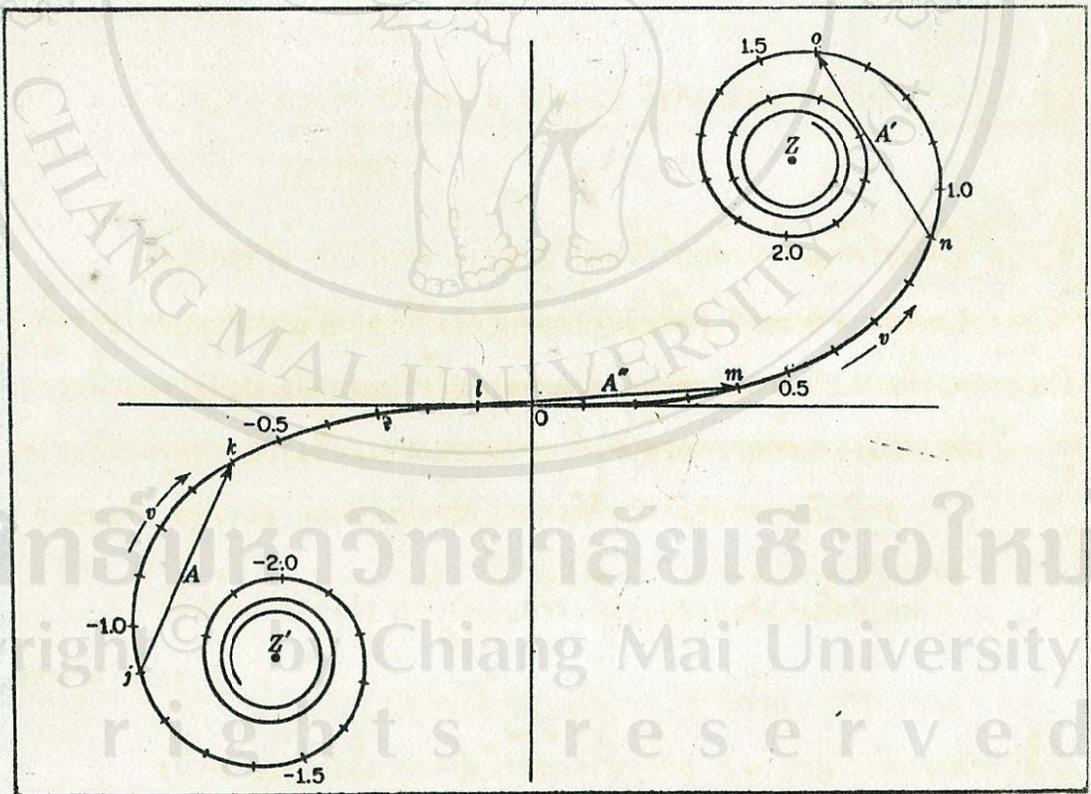
ตัวอย่างการวิเคราะห์รูปแบบการเลี้ยวเบนของร่องเดี่ยวโดยใช้ Cornu's spiral

เนื่องจากร่องเดี่ยวจะเปิดให้หน้าคลื่นกว้าง  $\Delta s$  ยานไปยังฉากดังรูปที่ 4.10 ซึ่งจะสอดคล้องกับความยาว  $\Delta v$  ที่เปิดใน Cornu's spiral ดังรูปที่ 4.17 และ 4.18 จะสอดคล้องกัน เราจะหา  $\Delta v$  ได้จากสมการ 2.31 ถ้าเป็นกรณีลำแสงขนานจะได้

$$\Delta v = \Delta s \sqrt{\frac{2}{b\lambda}} = \Delta s \sqrt{\frac{2}{b\lambda}}$$



รูปที่ 4.17 แสดงส่วนของหนาคณิตที่รองรับเคียวเปิดให้แสงไปถึงฉากแล้วเกิดการเลี้ยวเบน



รูปที่ 4.18 แสดงการนำเอา Cornu's spiral ไปใช้กับการเลี้ยวเบนในร่องเคียว ซึ่งจะแสดงความยาวของคอร์คที่สัมพันธ์กับค่า  $\Delta v$  เพื่อหาค่าอัมปลิจูดที่จุดค่า  $v$  ต่าง ๆ กันใน Cornu's spiral

จากรูปที่ 4.17 สมมติว่าเป็นกรณีที่  $\Delta v = 0.5$  ตำแหน่ง  $P_0$  บนฉาก คือตำแหน่ง 0 ในรูปที่ 4.18 จะสอดคล้องกับจุดกึ่งกลางใน Cornu's spiral ซึ่งเปิดอยู่ระหว่าง  $-0.25$  ถึง  $+0.25$  โคไซน์ของเวกเตอร์อัมปลิจูดที่  $P_0 \approx 0.5$

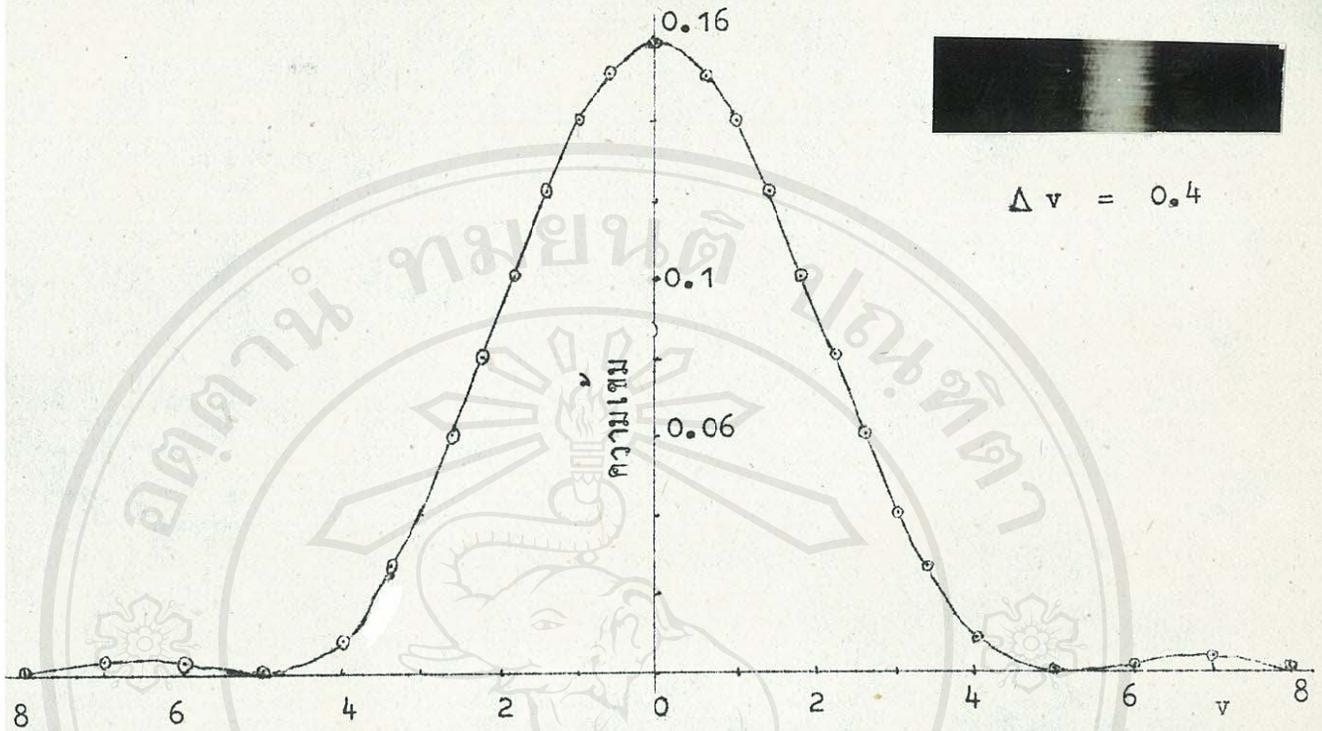
ถ้าพิจารณาจุด  $P$  สมมติว่าเลื่อนขึ้นไปด้านบนดังรูปที่ 4.17 หมายความว่าไปถึงฉากยังคงเท่าเดิมเพราะร่องเท่าเดิม ดังนั้น  $\Delta v$  ก็จะเลื่อนขึ้นที่บนของ Cornu's spiral โดยสอดคล้องกับตำแหน่งใหม่ของ  $P$  บนฉาก ดังรูปที่ 4.18 คือ  $\cos \theta$  จะแทนอัมปลิจูดที่ตำแหน่งใหม่บนฉากซึ่งสอดคล้องกับจุดกึ่งกลางบนส่วนโค้งของ Cornu's spiral

ดังนั้นเราจึงสามารถหาความเข้ม ณ ตำแหน่งต่าง ๆ บนฉากได้โดยการเลื่อน  $\Delta v$  ดังที่ไปบน Cornu's spiral ที่สอดคล้องกัน ความยาวของเวกเตอร์จะแทนอัมปลิจูดที่จุด  $P$

ตัวอย่างการวิเคราะห์ร่องเดี่ยวโดยใช้ Cornu's spiral จากตารางค่า Fresnel integrals ซึ่งจะหาความเข้มได้จากความสัมพันธ์ คือ

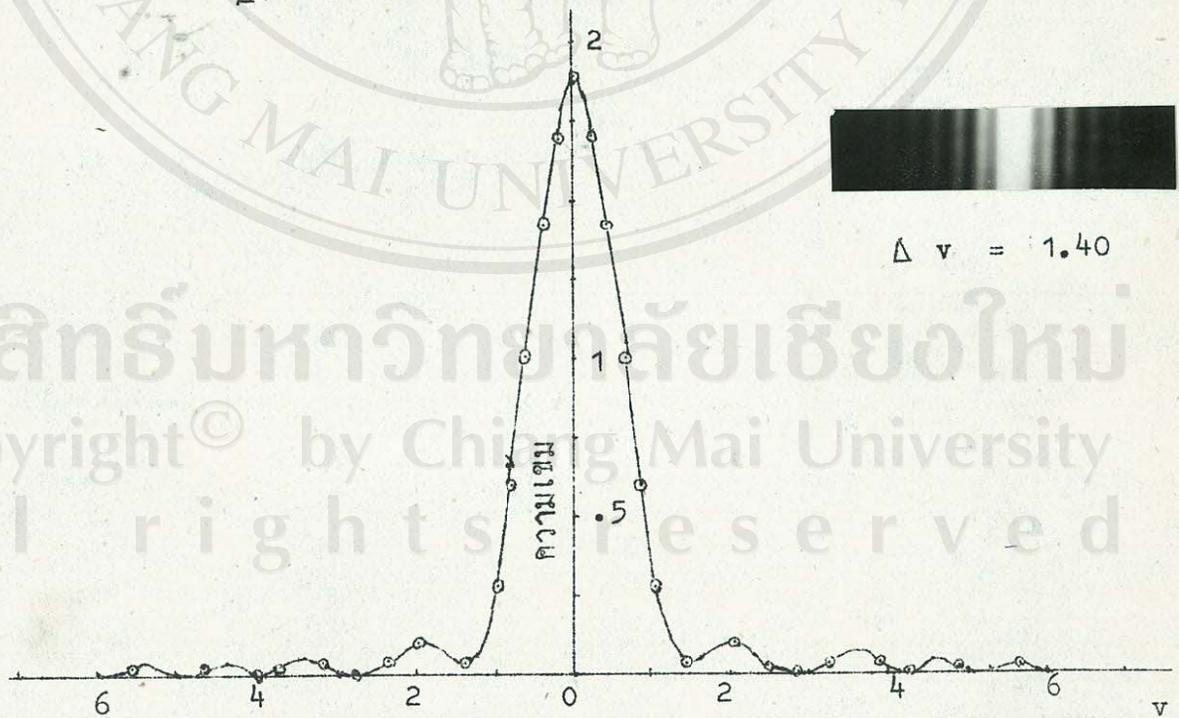
$$I = A^2 = (x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2$$

ตัวอย่างค่าที่ได้จากการคำนวณโดยใช้ตารางค่า Fresnel integrals สำหรับร่องเดี่ยว  $\Delta v = 0.4$  ดังแสดงในตารางภาคผนวกที่ 3 และกราฟแสดงในรูปที่ 4.19 สำหรับค่า  $\Delta v$  อื่น ๆ คือ 1.4, 4.2 และ 6.4 แสดงความสัมพันธ์ของความเข้มบนรูปแบบการเลี้ยวเบนของรูปที่ 4.20, 4.21 และ 4.22 ตามลำดับ



$\Delta \nu = 0.4$

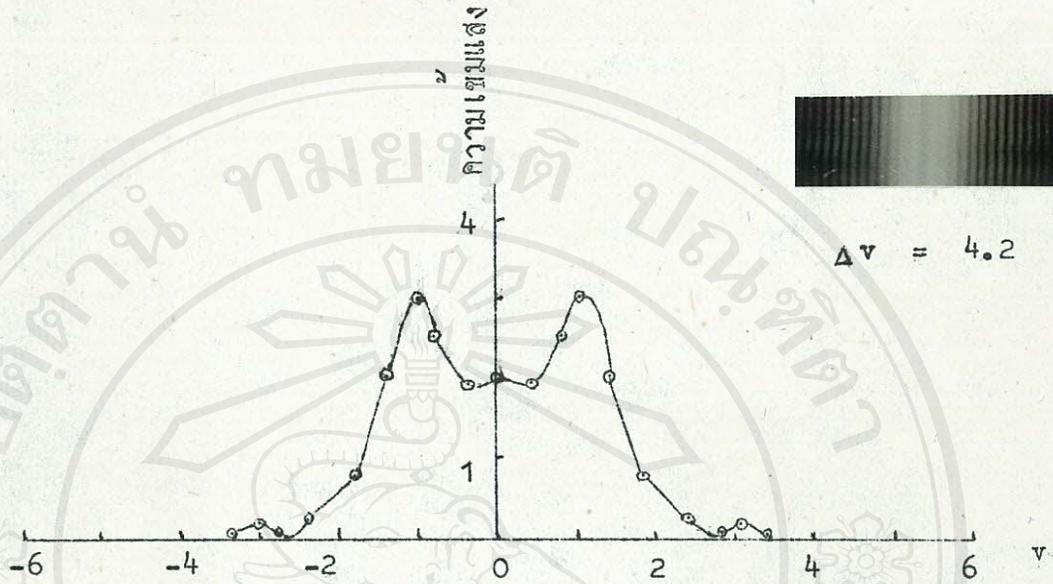
รูปที่ 4.19 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงกับค่า  $\nu$  เมื่อร่องเคียวมีค่า  $\Delta \nu = 0.4$



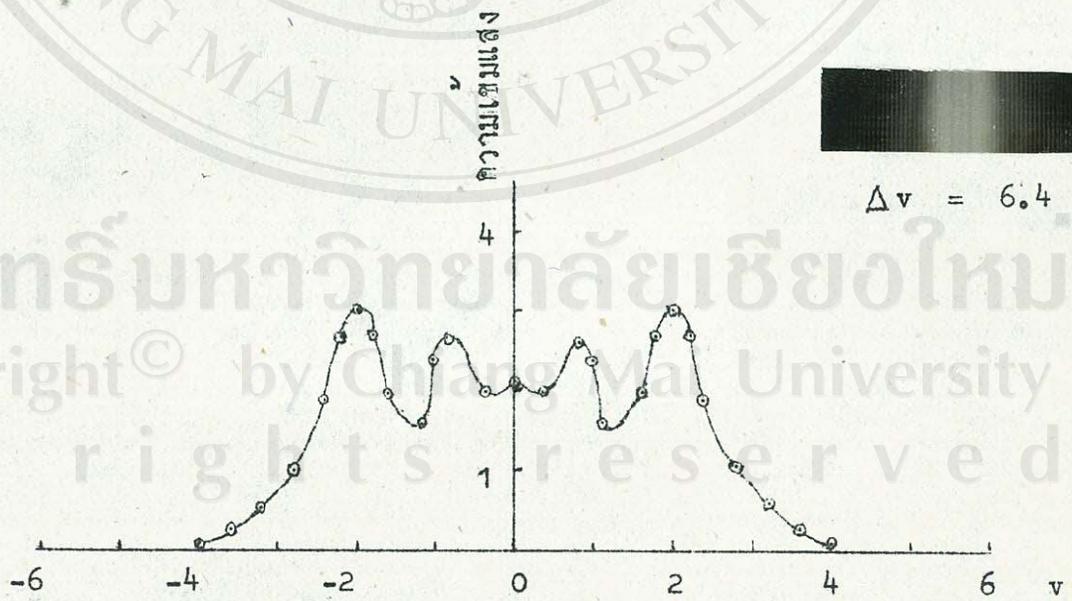
$\Delta \nu = 1.40$

รูปที่ 4.20 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงกับค่า  $\nu$  เมื่อร่องเคียวมีค่า  $\Delta \nu = 1.4$

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่  
Copyright © by Chiang Mai University  
All rights reserved



รูปที่ 4.21 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มกับค่า  $\nu$  ของร่องเดี่ยวมีค่า  $\Delta\nu = 4.2$



รูปที่ 4.22 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มกับค่า  $\nu$  ของร่องเดี่ยวมีค่า  $\Delta\nu = 6.4$

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่  
 Copyright © by Chiang Mai University  
 All rights reserved

#### 4.6 การทดลองการเลี้ยวเบนของวัตถุทึบแสง

ลักษณะของวัตถุพวกนี้คือ จะทำหน้าที่ปิดลำแสงตรงกลาง แล้วเปิดขอบสองข้าง ซึ่งตรงข้ามกับประเภทของเดี่ยว การทดลองได้ใช้วัตถุหลายอย่าง วิธีการทดลองเช่น การวัดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง, การบันทึกผล เหมือนที่กล่าวแล้วในข้อ 4.5 ผลการทดลองดังรูป



รูปที่ 4.23 ภาพแสดงรูปแบบการเลี้ยวเบนของเส้นผมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.092 มม. ลำแสงโมโนโครมาติก ระยะวัตถุ 20 ซม. ระยะภาพ 110 ซม.



รูปที่ 4.24 ภาพแสดงรูปแบบการเลี้ยวเบนของแถบทึบแสงโตสมำเสมอกว้าง 0.312 มม. ลำแสงโมโนโครมาติก ระยะวัตถุ 20 ซม. ระยะภาพ 70 ซม.



รูปที่ 4.25 ภาพแสดงรูปแบบการเลี้ยวเบนของเข็มและขอบของไอริสเส้นผ่าศูนย์กลางของเข็มอันริมซ้าย 0.8 มม. อันกลาง 0.5 มม. และอันริมขวา 0.6 มม. ลำแสงไม่ขนาน ระยะวัตถุ 110 ซม. ระยะภาพ 45 ซม.

#### 4.6.1 การใช้ Cornu's spiral วิเคราะห์รูปแบบการเลี้ยวเบนของวัตถุทึบแสง

หลักการเหมือนหัวข้อ 4.5.1 แต่กรณีนี้สอดคล้องกับใน Cornu's spiral คือ ปีกส่วนโค้งของ Cornu's spiral ควรมีขนาด  $= \Delta v$  แล้วเปิดริมสองข้าง ถึง  $Z'$  และ  $Z$  จะหาความยาวของคอร์คทั้งสอง รูปที่ 4.18 ประกอบ สมมติว่า  $\Delta v = 0.5$  เลื่อนมาปีกอยู่ที่ตำแหน่ง  $jk$  แสงส่วนที่เหลือที่ไปตกบนฉาก ซึ่งสอดคล้องกับ ส่วนของเวกเตอร์  $\vec{z}'j$  และ  $\vec{kz}$  ผลลัพธ์ของอิมพลีคบนฉาก คือ ผลบวกของเวกเตอร์  $\vec{z}'j$  และ  $\vec{kz}$

ตัวอย่าง การวิเคราะห์รูปแบบการเลี้ยวเบนของวัตถุทึบแสง โดยใช้ Cornu's spiral จากตารางค่า Fresnel in tegrals มีขั้นตอนดังนี้

ขั้นที่ 1 หาขนาดของเวกเตอร์  $\vec{z}'_j$  และ  $\vec{kz}$  จากความสัมพันธ์คือ

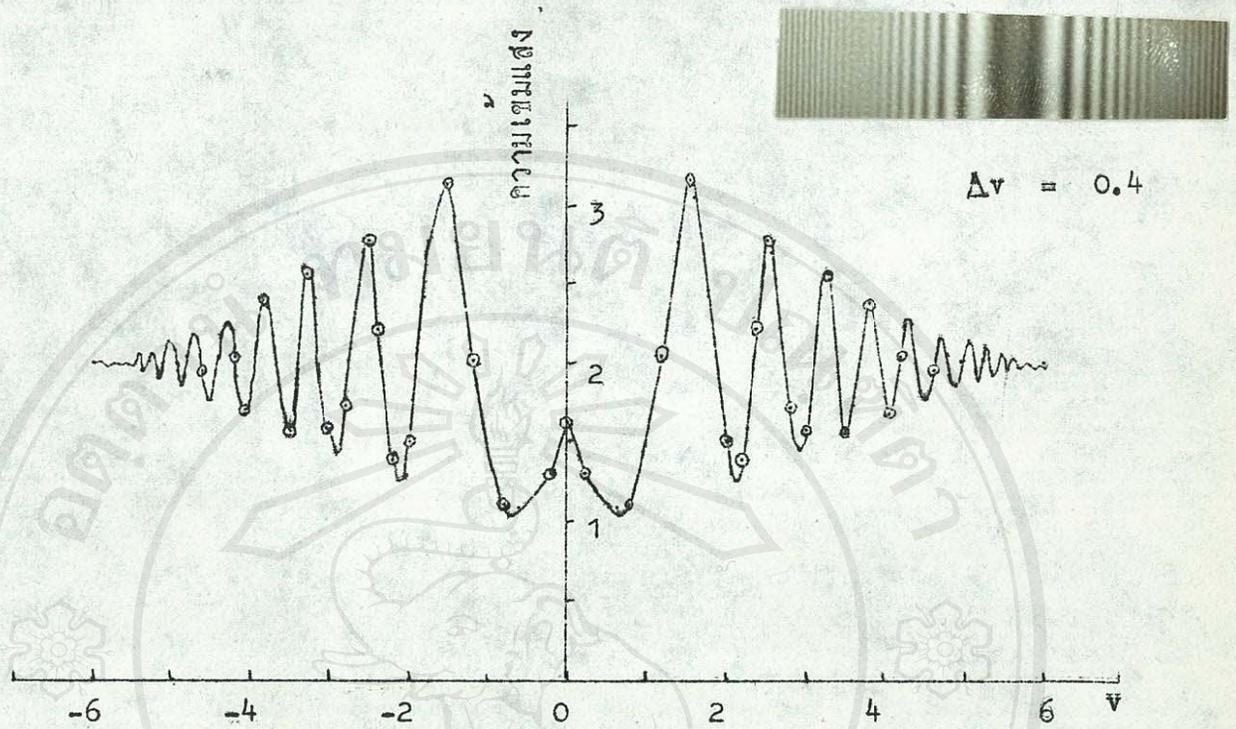
$$|\vec{z}'_j| = \sqrt{(x_1 - 0.5)^2 + (y_1 - 0.5)^2}$$

$$|\vec{kz}| = \sqrt{(x_2 + 0.5)^2 + (y_2 + 0.5)^2}$$

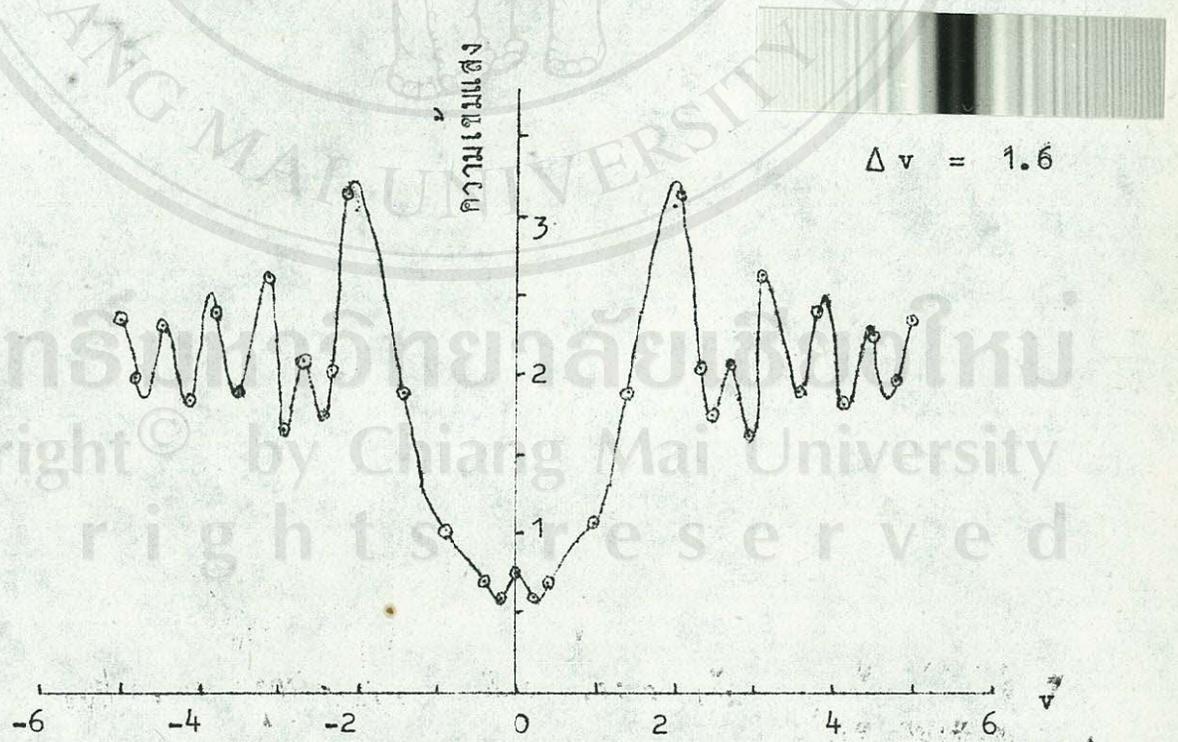
ขั้นที่ 2 หามุมที่เวกเตอร์  $\vec{z}'_j$  และ  $\vec{kz}$  กระทบมุมเทียบกับแกน x แล้วหามุมที่เวกเตอร์ทั้งสองกระทำต่อกัน =  $\theta$

ขั้นที่ 3 หาขนาดของเวกเตอร์ผลลัพธ์จากสูตร

ตัวอย่าง ค่าที่ได้จากการคำนวณ โดยใช้ Fresnel integrals สำหรับ  $\Delta v = 0.4$  แสดงในภาคผนวกที่ 4 และกราฟแสดงในรูปที่ 4.26 สำหรับ  $\Delta v = 1.6$  แสดงความสัมพันธ์ของความเข้มรูปแบบการเลี้ยวเบนในรูปที่ 4.27



รูปที่ 4.26 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงกับค่า  $\nu$  ของวัตถุที่บ่งแสงมีค่า  $\Delta \nu = 0.4$



รูปที่ 4.27 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงกับค่า  $\nu$  ของวัตถุที่บ่งแสงมีค่า  $\Delta \nu = 1.6$

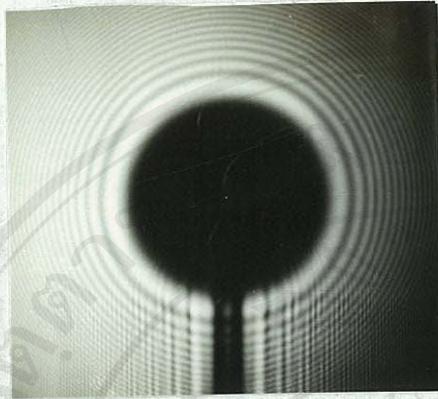
#### 4.6.2 การใช้ Cornu's spiral วิเคราะห์รูปแบบการเลี้ยวเบน ของร่องคู่

หลักการยังคงใช้ตามหัวข้อ 4.5.1 ซึ่งกรณีของร่องคู่จะเปิดเฉพาะส่วนที่เป็นร่อง สมมติว่าร่องคู่มีขนาดกว้างเท่ากัน และอยู่ห่างกันเท่ากับความกว้างของร่อง มีค่า  $\Delta v = 0.5$  เมื่อเลื่อนมาอยู่ตำแหน่ง  $j, k, l, m$  รูปที่ 4.18 ประกอบ ซึ่งจะสอดคล้องกับตำแหน่งบนฉาก เราจะต้องหาขนาดของเวกเตอร์ตรงส่วนเปิดของร่อง คือ คอรัค  $jk$  และ  $lm$  แล้วผลบวกของเวกเตอร์ทั้งสองก็จะเป็นอัมพลิจูดที่สอดคล้องกับตำแหน่งบนฉาก วิธีการต่าง ๆ คล้ายกับหัวข้อ 4.5.1 และ 4.6.1 ดังกล่าวแล้ว

ในทำนองเดียวกัน ถ้าต้องการหารูปแบบการเลี้ยวเบนของร่องหลายร่อง มีวิธีการเหมือนกับร่องคู่ เพียงแต่จะต้องมีจำนวนเวกเตอร์ที่มารวมกันเท่ากับจำนวนร่อง

#### 4.7 การทดลองการเลี้ยวเบนของวัตถุกลมทึบแสง

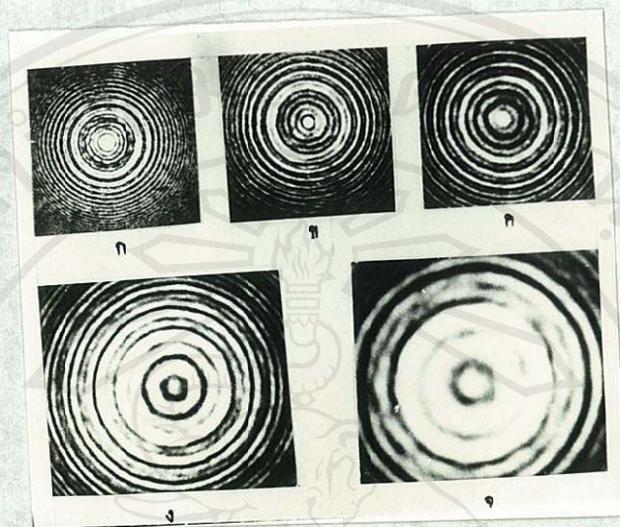
วัตถุกลมทึบแสงจะเป็นแผ่นกลมหรือทรงกลมมีผลต่อการเลี้ยวเบนเหมือนกัน เพราะแผ่นกลมเกิดจากการตัดทรงกลมออกเป็นแผ่นบาง ๆ ในการทดลองได้ใช้ทรงกลมจากลูกปัดกลมเส้นผ่าศูนย์กลาง 4.00 มม. ติดอยู่กับปลายเข็มเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.5 มม. ใช้กับรังสีไมชนาน จะโคแสงเกิดไปรวมกันที่จุดกึ่งกลางในเงามืด (รูปที่ 4.28) ตลอดระยะภาพที่เปลี่ยนแปลงจะได้รูปแบบการเลี้ยวเบนภายในและภายนอกเงาจะเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย ถ้าระยะภาพไกลวัตถุเงาจะมีคิมากกว่าอยู่ห่าง และความเข้มแสงที่จุดกึ่งกลางจะลดลงเมื่อระยะภาพลดลง แสดงว่าถ้าระยะภาพเป็นศูนย์เมื่อไรก็จะได้ความเข้มแสงที่จุดกึ่งกลางเป็นศูนย์ด้วย อย่างไรก็ตามความเข้มแสงที่อยู่นอกจุดในแนวศูนย์กลางมันจะจางไปอย่างรวดเร็ว แล้วปรากฏให้เห็นรัศมีที่บริเวณขอบเงา ดังรูปที่ 4.28



รูปที่ 4.28 ภาพแสดงรูปแบบการเลี้ยวเบนของวัตถุทรงกลมเส้นผ่าศูนย์กลาง 4.00 มม. ติดกับปลายเข็มเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.50 มม. ใช้ลำแสงไมขนาน ระยะวัตถุ 80 ซม. ระยะภาพ 20 ซม. ความเร็วแสงแตกต่างกันเพื่อแสดงรายละเอียดในแต่ละส่วน

#### 4.8 การทดลองการเลี้ยวเบนของวัตถุรูปวงแหวน

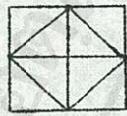
การทดลองใช้ลำแสงขนาน สองฉนวนวงแหวนซึ่งมีรัศมี  $R_1 = 0.28$  มม. และรัศมี  $R_2 = 0.33$  มม. เป็นวงแหวนแบบกลวง ทำจากการถ่ายภาพแบบตัวอย่างจากการสังเกตรูปแบบการเลี้ยวเบน ณ ตำแหน่งใกล้วัตถุกับตำแหน่งที่อยู่ห่างออกมาตามลำดับ จะได้รูปแบบการเลี้ยวเบนแสงไปรวมกันที่จุดศูนย์กลาง และมีการเปลี่ยนแปลงรูปแบบการเลี้ยวเบนเมื่อเปลี่ยนตำแหน่งของระยะภาพเช่นเดียวกับในการทดลอง เรื่อง โชนเพลต วัตถุกลมและวัตถุทึบแสงกลมที่กล่าวแล้ว คุณผลการทดลองได้จากรูปที่ 4.29 จะเห็นว่า ที่จุดศูนย์กลางมีแสงไปรวมกันแล้วมีการเปลี่ยนแปลงตลอดแนวจุดศูนย์กลาง โดยเฉพาะภาพ ข. จะเป็นจตุรรมแสงที่มีความเข้มมากกว่าภาพอื่น ๆ ในรูปเดียวกัน ซึ่งคล้ายกับเป็นจุดโฟกัสตั้งการทดลองที่ 4.1 เพราะจากการคำนวณหาตำแหน่งของโฟกัสหลัก (โชนเพลต) ที่มี  $R_1 = 0.28$  มม. จะได้ ระยะโฟกัส = 12.4 ซม. ซึ่งใกล้เคียงกับรูปที่ 4.29 ข.



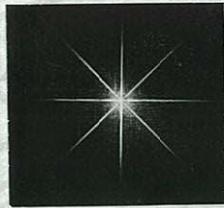
รูปที่ 4.29 ภาพแสดงรูปแบบการเลี้ยวเบนแสงของวงแหวนกลมให้แสงผ่านวงแหวน  
กว้าง 0.05 มม. ใสลำแสงขนาน ไปตกบนฉากที่ระยะภาพต่าง ๆ กัน  
คือ ก. 7.0 ซม. ข. 12.0 ซม. ค. 22.0 ซม.  
ง. 50.0 ซม. จ. 99.0 ซม.

#### 4.9 การทดลองการเลี้ยวเบนของวัตถุรูปอื่น ๆ

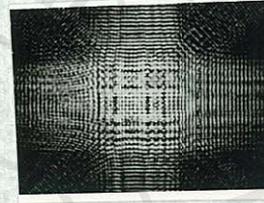
ในการทดลองหัวข้อนี้ ใ้ใช้กับลำแสงขนานทุก ๆ การทดลองเราจะได้เห็น  
รูปแบบการเลี้ยวเบนของวัตถุต่าง ๆ ที่ทำจากการถ่ายภาพแบบตัวอย่าง ดังรูปที่ 4.30 ,  
4.31 , 4.32



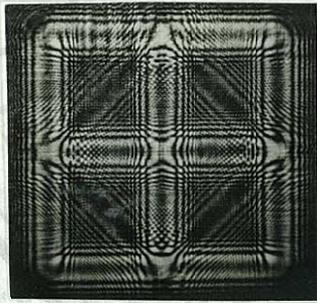
ก



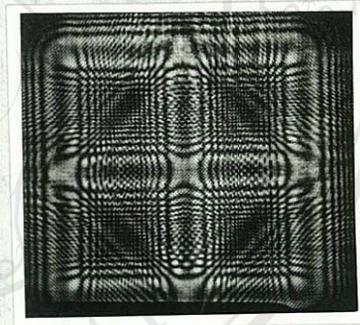
ข



ค



ง



จ

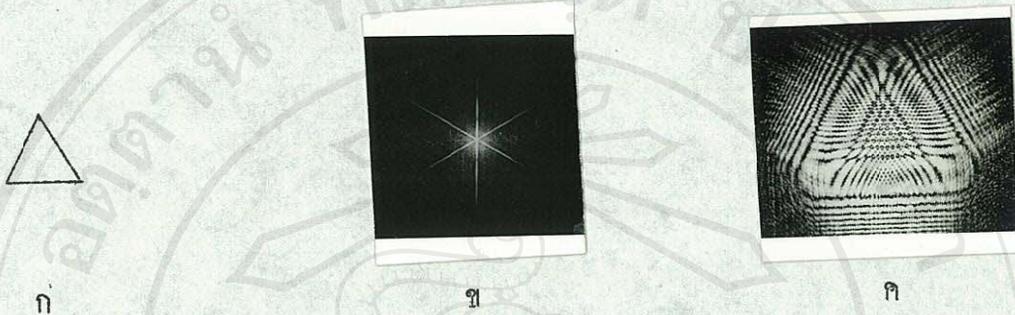
รูปที่ 4.30 ภาพแสดงรูปแบบการเลี้ยวเบนของวัตถุรูป ก. ขอบในยาวด้านละ 5.7 มม. ความกว้างของเส้น 0.16 มม.

ข. ใยเส้นทึบยาวโฟกัส 20 ซม. รับภาพจากการเลี้ยวเบน วางห่างจากวัตถุ 20 ซม. ระยะภาพ 15 ซม.

ค. เป็นรูปแบบการเลี้ยวเบนแบบฟรอนโฮเฟอ์

ง. เป็นรูปแบบการเลี้ยวเบนเฟรสเนล ระยะภาพ 10 ซม.

จ. เป็นรูปแบบการเลี้ยวเบนเฟรสเนลลำแสงไม่ขนาน ระยะวัตถุ 55 ซม. ระยะภาพ 25 ซม.



- รูปที่ 4.31 ภาพแสดงรูปแบบการเลี้ยวเบนของวัตถุรูป ก. ขอบในยาวด้านละ 5.22 มม.  
 ความกว้างของเส้น 0.12 มม. ใสลำแสงขนาน
- ข. เป็นรูปแบบการเลี้ยวเบนแบบฟรอนโฮเฟอ์
  - ค. เป็นรูปแบบการเลี้ยวเบนแบบเฟรสเนล ระยะภาพ 47 ซม.



- รูปที่ 4.32 ก. รูปแบบการเลี้ยวเบนเฟรสเนลของรูกลมเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.219 มม.  
 ระยะภาพ 120 มม.
- ข. รูปแบบการเลี้ยวเบนเฟรสเนลของรูกลม 2 รูโตเท่ากับจุดศูนย์กลาง  
 ห่างกัน 0.815 มม. เส้นผ่าศูนย์กลาง 0.219 มม. ระยะภาพ 120 ซม.