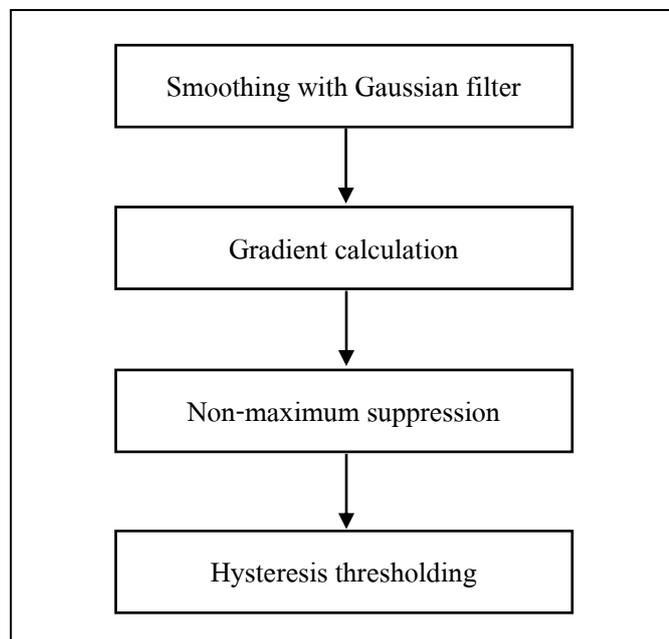


**ภาคผนวก ก**  
**การประมวลผลด้วยภาพถ่าย**

ในการประมวลผลด้วยภาพถ่ายที่ใช้สำหรับเก็บวัดค่าความสูงคลื่นและคาบคลื่นจากการศึกษานี้ สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ขั้นตอน ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. การหาขอบภาพ (Edge detection method) เพื่อสามารถให้การแปรผลภาพที่ได้มีความผิดพลาดน้อยที่สุดจึงต้องมีการหาขอบภาพเป็นอันดับแรกซึ่งวิธีนี้คิดค้น โดย John Canny (McAndrew, 2004; Marques, 2011) ในปีคริสต์ศักราช 1986 โดยมีขั้นตอนในการประมวลผลแสดงในรูปที่ ก.1 กล่าวคือ การทำงานของอัลกอริทึมแคนนี่ เริ่มจากการปรับภาพให้เรียบ (Smoothing) ด้วยการใช้ตัวกรองเกาส์เซียน (Gaussian filter) เพื่อลดสัญญาณรบกวน (Noise) และคัดเลือkdตำแหน่งที่มีโอกาสเป็นขอบภาพ (Edge) หลังจากนั้นคำนวณค่าของขนาด (Magnitude) และทิศทาง (Direction) ของเกรเดียนต์ (Gradient) โดยใช้การหาอนุพันธ์อันดับที่หนึ่ง ถัดมาเป็นการทำขอบภาพให้บางลงโดยใช้วิธี Non-maximum suppression ด้วยการหาตำแหน่งขอบภาพที่ให้ค่าสูงสุดเฉพาะที่ละมีทิศทางเดียวกับเกรเดียนต์ (Gradient) ขั้นตอนสุดท้ายเป็นการระบุจุดสี (Pixel) ที่เป็นตำแหน่งขอบภาพและทำการเชื่อมขอบภาพ ด้วยการใช้ Hysteresis thresholding (Jain, et al., 1995; Gonzalez and Woods, 2002; McAndrew, 2004; Marques, 2011)



รูปที่ ก.1 แผนผังขั้นตอนวิธีการหาขอบภาพแบบแคนนี่ (Canny edge detection)

2. อัลกอริทึมในการประมวลผลด้วยภาพ (Algorithm for Image processing) ในการศึกษาครั้งนี้ใช้โปรแกรม MATLAB ในการออกแบบอัลกอริทึม โดยมีรายละเอียดและขั้นตอนการประมวลผลของอัลกอริทึมดังนี้

-กำหนดขนาดมาตราส่วนจริงเทียบกับมาตราส่วนในภาพด้วยไม้วัดสเกลที่มีระดับอ้างอิงดังรูปที่ ก.2 เพื่อใช้เป็นอัตราส่วนในการคำนวณหาระยะจริงจากภาพ เช่น ระยะจริง 10 เซนติเมตร มีค่าเท่ากับ 25 พิกเซลในรูปภาพ เป็นต้น โดยมีตัวอย่างอัลกอริทึมแสดงดังรูปที่ ก.3

-นำเข้าไฟล์ข้อมูลวิดีโอที่บันทึกการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำเทียบกับเวลา ณ ตำแหน่งตรวจวัดข้อมูล คลื่น

-ทำการแปลงไฟล์วิดีโอที่นำเข้าเป็นรูปภาพและทำการเก็บข้อมูลรูปภาพดังกล่าว โดย 1 วินาทีจะได้รูปภาพจำนวน 30 รูป เช่น ไฟล์วิดีโอ 1 นาที จะถูกแปลงเป็นรูปภาพเท่ากับ 1,800 รูป เป็นต้น

-กำหนดขอบเขตในรูปภาพด้วยการใช้คำสั่งตัดภาพ เพื่อลดเวลาในการประมวลผลข้อมูลที่ไม่จำเป็น อีกทั้งยังเป็นการลดค่าความผิดพลาดจากความบิดเบี้ยวของเลนส์ด้วย

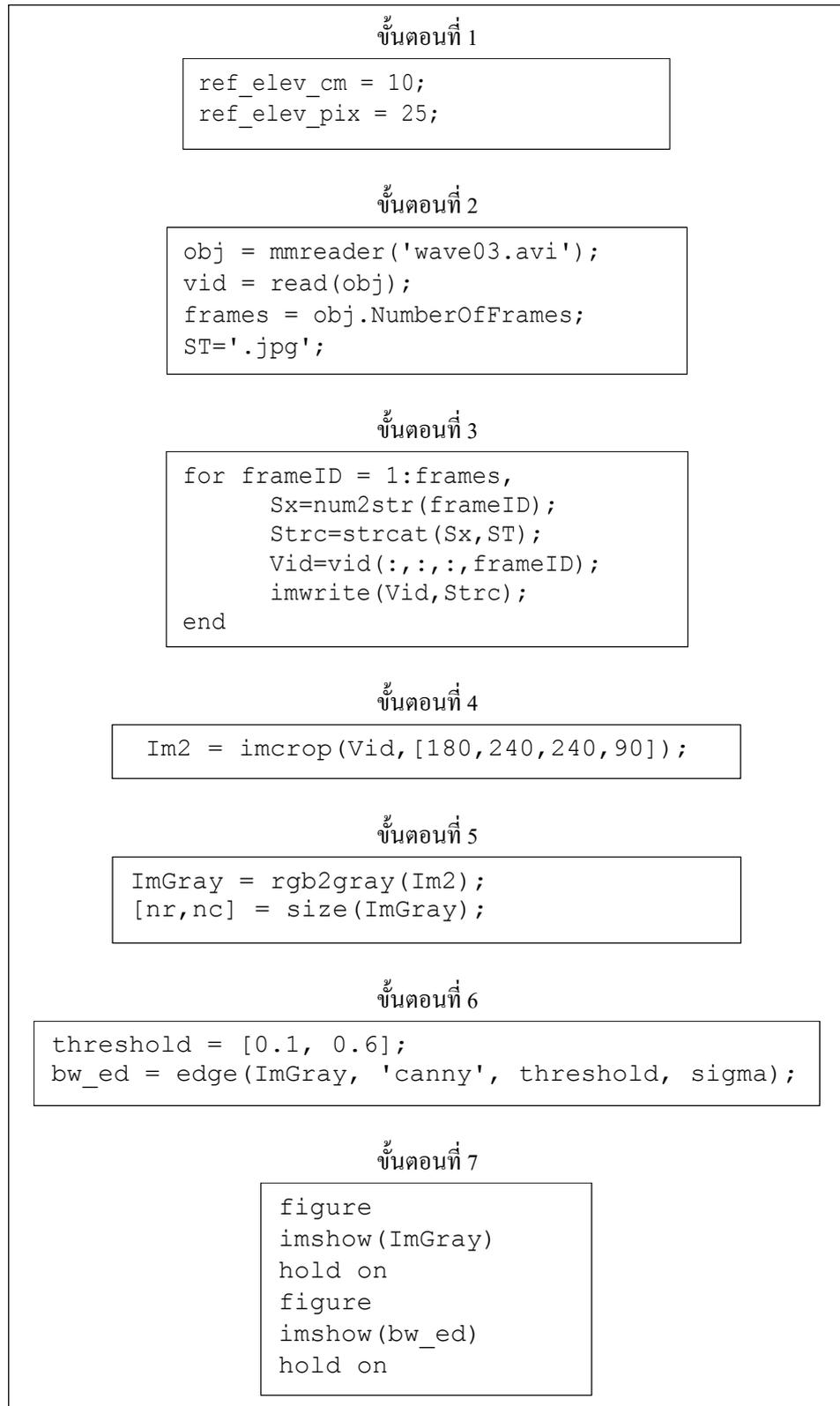
-ทำการเปลี่ยนสีรูปภาพจากภาพสีให้เป็นภาพขาวดำ เพื่อให้ง่ายต่อการประมวลผล หลังจากนั้น กำหนดขนาดภาพขาวดำดังกล่าว

-ทำการวิเคราะห์รูปภาพด้วยวิธีการหาขอบของภาพ (Edge detection)

-แสดงผลภาพขาวดำและภาพที่วิเคราะห์ด้วยวิธีการหาขอบของภาพ (Edge detection) เพื่อเปรียบเทียบ การประมวลผลด้วยภาพ



รูปที่ ก.2 ไม้สเกลที่มีระดับอ้างอิง



รูปที่ ก.3 ตัวอย่างอัลกอริทึมขั้นตอนที่ 1 ถึงขั้นตอนที่ 7

-นำข้อมูลที่วิเคราะห์ด้วยวิธีการหาขอบของภาพ (Edge detection) มาประมวลผลต่อ เพื่อแสดงผลเป็นระดับน้ำที่เปลี่ยนแปลงเทียบกับเวลา โดยมีตัวอย่างอัลกอริทึมแสดงดังรูปที่ 5.4

```
y_first_edge = -1;
    for y=nr:-1:1,
        if bw_ed(y,measure_x_point) == 1,
            y_first_edge = y;
            break;
        end
    end

    if y_first_edge == -1,
        %disp('Error at frame# ');frameID
        fprintf('Error at frame# %d\n', frameID);
        water_elev_cm = -1;
        error_img = [error_img; frameID];
    else
        water_elev_cm = (nr-y)*ref_elev_cm/ref_elev_pix;
    end
```

รูปที่ ก.4 ตัวอย่างอัลกอริทึมในขั้นตอนที่ 8

## ภาคผนวก ข

ข้อมูลกรณีศึกษาต่าง ๆ ของโครงสร้างชุดแห่งทรงกระบอก

ตารางที่ ข.1 ข้อมูลกรณีศึกษาต่าง ๆ ของการทดสอบด้วยมาตราส่วน 1:5 (ระดับน้ำ 70 เซนติเมตร)

Hi	Ti	Hf	Tf	L (m)	d (m)	d/L	d/Hi	Hi/L	l/d	tr
9.33	1.00	7.83	1.00	1.28	0.20	0.16	2.14	0.07	3.00	0.84
11.15	1.00	9.14	1.00	1.28	0.20	0.16	1.79	0.09	3.00	0.82
12.00	1.00	Breaking								
13.00	1.00									
14.00	1.00									
15.00	1.00									
10.12	1.50	8.95	1.50	2.06	0.20	0.10	1.98	0.05	3.00	0.88
11.21	1.50	9.56	1.50	2.06	0.20	0.10	1.78	0.05	3.00	0.85
12.13	1.50	10.13	1.50	2.06	0.20	0.10	1.65	0.06	3.00	0.84
13.32	1.50	11.03	1.50	2.06	0.20	0.10	1.50	0.06	3.00	0.83
14.00	1.50	Breaking								
15.00	1.50									
9.89	2.00	9.45	2.00	2.78	0.20	0.07	2.02	0.04	3.00	0.96
10.93	2.00	10.33	2.00	2.78	0.20	0.07	1.83	0.04	3.00	0.95
12.35	2.00	11.58	2.00	2.78	0.20	0.07	1.62	0.04	3.00	0.94
13.14	2.00	12.23	2.00	2.78	0.20	0.07	1.52	0.05	3.00	0.93
14.22	2.00	13.13	2.00	2.78	0.20	0.07	1.41	0.05	3.00	0.92
15.00	2.00	Breaking								

ตารางที่ ข.2 ข้อมูลกรณีศึกษาต่าง ๆ ของการทดสอบด้วยมาตราส่วน 1:5 (ระดับน้ำ 75 เซนติเมตร)

Hi	Ti	Hf	Tf	L (m)	d (m)	d/L	d/Hi	Hi/L	l/d	tr
10.12	1.00	8.55	1.00	1.37	0.25	0.18	2.47	0.07	2.40	0.84
11.11	1.00	9.35	1.00	1.37	0.25	0.18	2.25	0.08	2.40	0.84
12.08	1.00	9.95	1.00	1.37	0.25	0.18	2.07	0.09	2.40	0.82
13.00	1.00	Breaking								
14.00	1.00									
15.00	1.00									
10.05	1.50	8.95	1.50	2.28	0.25	0.11	2.49	0.04	2.40	0.89
11.23	1.50	9.85	1.50	2.28	0.25	0.11	2.23	0.05	2.40	0.88
12.14	1.50	10.22	1.50	2.28	0.25	0.11	2.06	0.05	2.40	0.84
13.15	1.50	11.23	1.50	2.28	0.25	0.11	1.90	0.06	2.40	0.85
14.04	1.50	11.89	1.50	2.28	0.25	0.11	1.78	0.06	2.40	0.85
15.15	1.50	12.35	1.50	2.28	0.25	0.11	1.65	0.07	2.40	0.82
9.88	2.00	9.55	2.00	3.10	0.25	0.08	2.53	0.03	2.40	0.97
11.12	2.00	10.54	2.00	3.10	0.25	0.08	2.25	0.04	2.40	0.95
12.05	2.00	11.32	2.00	3.10	0.25	0.08	2.07	0.04	2.40	0.94
13.13	2.00	11.98	2.00	3.10	0.25	0.08	1.90	0.04	2.40	0.91
14.43	2.00	13.35	2.00	3.10	0.25	0.08	1.73	0.05	2.40	0.93
15.03	2.00	13.87	2.00	3.10	0.25	0.08	1.66	0.05	2.40	0.92

ตารางที่ ข.3 ข้อมูลกรณีศึกษาต่าง ๆ ของการทดสอบด้วยมาตราส่วน 1:5 (ระดับน้ำ 80 เซนติเมตร)

Hi	Ti	Hf	Tf	L (m)	d (m)	d/L	d/Hi	Hi/L	l/d	tr
9.93	1.00	8.43	1.00	1.43	0.30	0.21	3.02	0.07	2.00	0.85
11.07	1.00	9.13	1.00	1.43	0.30	0.21	2.71	0.08	2.00	0.82
12.13	1.00	10.03	1.00	1.43	0.30	0.21	2.47	0.08	2.00	0.83
13.08	1.00	10.35	1.00	1.43	0.30	0.21	2.29	0.09	2.00	0.79
14.00	1.00	Breaking								
15.00	1.00									
9.88	1.50	8.65	1.50	2.46	0.30	0.12	3.04	0.04	2.00	0.88
10.95	1.50	9.35	1.50	2.46	0.30	0.12	2.74	0.04	2.00	0.85
12.05	1.50	10.23	1.50	2.46	0.30	0.12	2.49	0.05	2.00	0.85
13.11	1.50	11.12	1.50	2.46	0.30	0.12	2.29	0.05	2.00	0.85
14.08	1.50	11.88	1.50	2.46	0.30	0.12	2.13	0.06	2.00	0.84
15.09	1.50	12.54	1.50	2.46	0.30	0.12	1.99	0.06	2.00	0.83
10.02	2.00	9.75	2.00	3.38	0.30	0.09	2.99	0.03	2.00	0.97
11.03	2.00	10.23	2.00	3.38	0.30	0.09	2.72	0.03	2.00	0.93
12.11	2.00	11.35	2.00	3.38	0.30	0.09	2.48	0.04	2.00	0.94
13.14	2.00	11.98	2.00	3.38	0.30	0.09	2.28	0.04	2.00	0.91
14.05	2.00	13.22	2.00	3.38	0.30	0.09	2.14	0.04	2.00	0.94
15.11	2.00	14.15	2.00	3.38	0.30	0.09	1.99	0.04	2.00	0.94

ตารางที่ ข.4 ข้อมูลกรณีศึกษาต่าง ๆ ของการทดสอบด้วยมาตราส่วน 1:10 (ระดับน้ำ 60 เซนติเมตร)

Hi	Ti	Hf	Tf	L (m)	d (m)	Hf/Hi	d/L	d/Hi	Hi/L	l/d	tr
5.02	0.80	4.22	0.80	0.75	0.10	0.84	0.13	1.99	0.07	3.00	0.84
6.13	0.80	5.03	0.80	0.75	0.10	0.82	0.13	1.63	0.08	3.00	0.82
7.00	0.80	Breaking									
8.00	0.80										
9.00	0.80										
10.00	0.80										
4.98	1.40	4.58	1.40	1.38	0.10	0.92	0.07	2.01	0.04	3.00	0.92
6.05	1.40	5.35	1.40	1.38	0.10	0.88	0.07	1.65	0.04	3.00	0.88
6.98	1.40	6.03	1.40	1.38	0.10	0.86	0.07	1.43	0.05	3.00	0.86
8.00	1.40	Breaking									
9.00	1.40										
10.00	1.40										
5.08	1.80	4.98	1.80	1.78	0.10	0.98	0.06	1.97	0.03	3.00	0.98
6.05	1.80	5.84	1.80	1.78	0.10	0.97	0.06	1.65	0.03	3.00	0.97
7.04	1.80	6.67	1.80	1.78	0.10	0.95	0.06	1.42	0.04	3.00	0.95
8.00	1.80	Breaking									
9.00	1.80										
10.00	1.80										

ตารางที่ ข.5 ข้อมูลกรณีศึกษาต่าง ๆ ของการทดสอบด้วยมาตราส่วน 1:10 (ระดับน้ำ 65 เซนติเมตร)

Hi	Ti	Hf	Tf	L (m)	d (m)	Hf/Hi	d/L	d/Hi	Hi/L	l/d	tr
4.98	0.80	4.22	0.80	0.86	0.15	0.85	0.17	3.01	0.06	2.00	0.85
5.95	0.80	4.93	0.80	0.86	0.15	0.83	0.17	2.52	0.07	2.00	0.83
6.93	0.80	5.53	0.80	0.86	0.15	0.80	0.17	2.16	0.08	2.00	0.80
8.00	0.80	Breaking									
9.00	0.80										
10.00	0.80										
5.01	1.40	4.55	1.40	1.67	0.15	0.91	0.09	2.99	0.03	2.00	0.91
6.08	1.40	5.33	1.40	1.67	0.15	0.88	0.09	2.47	0.04	2.00	0.88
7.12	1.40	6.32	1.40	1.67	0.15	0.89	0.09	2.11	0.04	2.00	0.89
7.98	1.40	6.78	1.40	1.67	0.15	0.85	0.09	1.88	0.05	2.00	0.85
9.09	1.40	7.43	1.40	1.67	0.15	0.82	0.09	1.65	0.05	2.00	0.82
10.00	1.40	Breaking									
5.03	1.80	4.89	1.80	2.17	0.15	0.97	0.07	2.98	0.02	2.00	0.97
6.02	1.80	5.78	1.80	2.17	0.15	0.96	0.07	2.49	0.03	2.00	0.96
7.05	1.80	6.82	1.80	2.17	0.15	0.97	0.07	2.13	0.03	2.00	0.97
8.00	1.80	7.64	1.80	2.17	0.15	0.96	0.07	1.88	0.04	2.00	0.96
9.15	1.80	8.54	1.80	2.17	0.15	0.93	0.07	1.64	0.04	2.00	0.93
10.13	1.80	9.35	1.80	2.17	0.15	0.92	0.07	1.48	0.05	2.00	0.92

ตารางที่ ข.6 ข้อมูลกรณีศึกษาต่าง ๆ ของการทดสอบด้วยมาตราส่วน 1:10 (ระดับน้ำ 70 เซนติเมตร)

Hi	Ti	Hf	Tf	L (m)	d (m)	Hf/Hi	d/L	d/Hi	Hi/L	l/d	tr
5.03	0.80	4.33	0.80	0.92	0.20	0.86	0.22	3.98	0.05	1.50	0.86
6.11	0.80	5.12	0.80	0.92	0.20	0.84	0.22	3.27	0.07	1.50	0.84
7.05	0.80	5.83	0.80	0.92	0.20	0.83	0.22	2.84	0.08	1.50	0.83
8.00	0.80	Breaking									
9.00	0.80										
10.00	0.80										
4.95	1.40	4.58	1.40	1.91	0.20	0.93	0.10	4.04	0.03	1.50	0.93
5.96	1.40	5.55	1.40	1.91	0.20	0.93	0.10	3.36	0.03	1.50	0.93
7.08	1.40	6.35	1.40	1.91	0.20	0.90	0.10	2.82	0.04	1.50	0.90
8.04	1.40	7.03	1.40	1.91	0.20	0.87	0.10	2.49	0.04	1.50	0.87
9.13	1.40	8.15	1.40	1.91	0.20	0.89	0.10	2.19	0.05	1.50	0.89
10.13	1.40	8.53	1.40	1.91	0.20	0.84	0.10	1.97	0.05	1.50	0.84
5.00	1.80	4.89	1.80	2.50	0.20	0.98	0.08	4.00	0.02	1.50	0.98
5.88	1.80	5.56	1.80	2.50	0.20	0.95	0.08	3.40	0.02	1.50	0.95
7.06	1.80	6.63	1.80	2.50	0.20	0.94	0.08	2.83	0.03	1.50	0.94
8.08	1.80	7.55	1.80	2.50	0.20	0.93	0.08	2.48	0.03	1.50	0.93
9.11	1.80	8.31	1.80	2.50	0.20	0.91	0.08	2.20	0.04	1.50	0.91
10.08	1.80	8.93	1.80	2.50	0.20	0.89	0.08	1.98	0.04	1.50	0.89

ตารางที่ ข.7 ข้อมูลกรณีศึกษาต่าง ๆ ของการทดสอบด้วยมาตราส่วน 1:10 (ระดับน้ำ 75 เซนติเมตร)

Hi	Ti	Hf	Tf	L (m)	d (m)	Hf/Hi	d/L	d/Hi	Hi/L	l/d	tr
4.89	0.80	4.35	0.80	0.96	0.25	0.89	0.26	5.11	0.05	1.20	0.89
5.95	0.80	5.03	0.80	0.96	0.25	0.85	0.26	4.20	0.06	1.20	0.85
7.03	0.80	5.93	0.80	0.96	0.25	0.84	0.26	3.56	0.07	1.20	0.84
8.00	0.80	Breaking									
9.00	0.80										
10.00	0.80										
5.03	1.40	4.53	1.40	2.10	0.25	0.90	0.12	4.97	0.02	1.20	0.90
6.02	1.40	5.38	1.40	2.10	0.25	0.89	0.12	4.15	0.03	1.20	0.89
7.14	1.40	6.35	1.40	2.10	0.25	0.89	0.12	3.50	0.03	1.20	0.89
8.12	1.40	7.15	1.40	2.10	0.25	0.88	0.12	3.08	0.04	1.20	0.88
9.15	1.40	7.95	1.40	2.10	0.25	0.87	0.12	2.73	0.04	1.20	0.87
10.05	1.40	8.81	1.40	2.10	0.25	0.88	0.12	2.49	0.05	1.20	0.88
5.03	1.80	4.87	1.80	2.78	0.25	0.97	0.09	4.97	0.02	1.20	0.97
6.03	1.80	5.74	1.80	2.78	0.25	0.95	0.09	4.15	0.02	1.20	0.95
6.98	1.80	6.87	1.80	2.78	0.25	0.98	0.09	3.58	0.03	1.20	0.98
8.03	1.80	7.44	1.80	2.78	0.25	0.93	0.09	3.11	0.03	1.20	0.93
9.11	1.80	8.35	1.80	2.78	0.25	0.92	0.09	2.74	0.03	1.20	0.92
10.05	1.80	8.94	1.80	2.78	0.25	0.89	0.09	2.49	0.04	1.20	0.89