

22061

รายงานการวิจัย



เรื่อง

การออกแบบ, สร้างและทดสอบเครื่องมือสำหรับหาค่า slake durability ของหิน
(Design, Construction and Experimental Test of Slake Durability
Iest Apparatus)

๕๕๕

เลขที่	๒๕๔๖ ๐๓๗ ๒๕๑๐
เลขทะเบียน	๐๑๑๒๓๓
วันที่	เดือน ปี ๖ ส.ค. ๒๕๓๐

หิน - 10 ร่องมือ ๑๑๕-๑๑๖

โดย

กนุพล ตันนโยภาส

ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และโลหะวิทยา

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

บทคัดย่อ

การออกแบบ, สร้างและทดสอบเครื่องมือหากำลัชนีความคงทนต่อการชักร้อนนั้นเพื่อที่จะวัดความต้านทานของตัวอย่างหินที่แตกง่ายและแตกสลายตัว โดยผลจากการหมุนเวียนให้แห้งและเปียกตามมาตรฐานที่กำหนด การทดสอบครั้งนี้ได้ประเมินความต้านทานต่อการผุพังสลายตัวของหินดินดาน

ABSTRACT

Design, construction and experimental test of slake durability test apparatus is determined that measures the resistance of a rock sample to weakening and disintegration resulting from a standard cycle of drying and wetting. This test is to evaluate the weathering resistance of shale.

สารบัญ

บทคัดย่อ (ภาษาไทยและภาษาอังกฤษ)	ก-ข
สารบัญ	ก
1 บทนำ	1
2 วรรณกรรมปริทัศน์	2
3 2.1 กลไกของการชักจูง	2
2.2 การคาดคะเนความคงทนต่อการชักจูง	2
3 การออกแบบและสร้างเครื่องมือ	3
3.1 การออกแบบ	3
3.2 การสร้างเครื่องมือ	3
4 วิธีการทดสอบ	10
5 ผลการทดลอง	13
6 สรุปผลและเสนอแนะ	18
เอกสารอ้างอิง	19

1 บทนำ

หินที่มีแร่คินเหนียวอยู่จะมีการแปรผันในคุณสมบัติทางวิศวกรรมกว้าง โดยเฉพาะ shale, claystone, and mudstone. หินพวกนี้มักนำมาใช้เป็นวัสดุรองพื้นถนนเช่น ถนนลูกรังที่ตัดออกมาจากหมู่บ้านในชนบทหรือออกมาจากเหมืองสู่อุโมงค์ใหญ่ เส้นทางเหล่านี้มักประสบปัญหาในหน้าฝน เพราะหินที่รองจะเกิดการผุพังสลายตัว ดังเช่นเส้นทางเข้าสู่ เมืองโตะโมะ จ. นราธิวาส, เมืองลาบู, จ. ยะลา เป็นต้น ทำให้เป็นอุปสรรคต่อการสัญจรไปมา, การขนส่งสิ่งบริโภคและการทำงานของเหมืองแร่ในภาคใต้มาก ฉะนั้นหากได้มีการนำหินที่จะมารองพื้นถนนทดสอบเสียก่อน ถึงความคงทนต่อการผุกร่อนก็จะไม่เกิดผลเสียต่อตัวถนน จึงได้มีการศึกษาออกแบบ, สร้างเครื่องมือทดสอบและเทคนิควิธีการทดสอบขึ้นมาหลายวิธี จนในที่สุดสมาคมศิลาศาสตร์นานาชาติ (International Society for Rock Mechanics; ISRM, 1981) ได้จัดเป็นวิธีมาตรฐานขึ้นมาพร้อมทั้งลักษณะเครื่องมือที่ใช้ทดสอบออกขายแพร่หลาย แต่เนื่องจากเครื่องมือที่ทำขายมีราคาแพงเมื่อเทียบกับลักษณะเครื่องมือ รายงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์สำคัญที่จะออกแบบ, สร้างเครื่องมือและทดสอบเครื่องมือดังกล่าวให้ได้ผลตามมาตรฐานที่กำหนด

2. วรรณกรรมปริทรรศน์

2.1 กลไกของการชักกร่อน

ความคงทนต่อการชักกร่อนของหินขึ้นอยู่กับต่อไปนี้

1. คุณสมบัติของความชื้นผ่านและความพรุนเป็นตัวควบคุมการที่ของเหลวไหลเข้าและค้างอยู่ และความสามารถในการเคลื่อนตัวภายในของหิน
2. ปฏิกิริยาของของเหลวที่เสียดแทรกกับหินต้องคำนึงถึงด้วย มันอาจทำให้เกิดการคุกกร่อน ซึ่งเป็นผลมาจากการเปลี่ยนพลังงานที่ผิวหรือเกิดการละลายการเชื่อมยึดหรือการแตกตัวของกลุ่มอะตอมหรืออาจเกิดแรงที่ทำให้แตกโดยความดันในรูโพรง
3. ความสามารถในการควบแน่นของตัวหินที่ต้านทานต่อแรงที่ทำให้เกิดการแตกซึ่งต่อไปทำให้เกิดการแตกง่าย, วัสดุหินที่บวมพองหรือวัสดุหินที่สลายตัวอย่างสมบูรณ์มักจะปรากฏอยู่ ดังนั้นหินที่ไม่ยอมให้ซึมผ่านหรือไม่ทำปฏิกิริยาหรือมีความแข็งแรงระหว่างเม็ดแร่สูงมักจะมี ความคงทน หินที่มีแร่ดินเหนียวไม่เฉพาะแต่พวก mudstone เท่านั้นแม้แต่ในหินทรายบางชนิดและหินอัคนีที่หุ่ ก็มีความรู้สึกไหวต่อการชักกร่อน นอกจากองค์ประกอบดังกล่าวแล้วยังกลไกที่มีผลต่อพฤติกรรม การชักกร่อนได้แก่ การแลกเปลี่ยนประจุภายนอก (ion exchange), ผลจากรูหลอด (capillary effects), และ ความเค้นที่แตกต่าง (stress relief)

2.2 การคาดคะเนความคงทนต่อการชักกร่อน

วิธีการหาค่าความคงทนต่อการชักกร่อนปัจจุบันยังใช้อยู่มี

1. การทดสอบความชักกร่อนของ U.S. Corps. of Engineers Missouri River Division
2. Ohio River Division Laboratories, U.S. Corps. of Engineers
3. ที่ มหาวิทยาลัยอัลเบอร์ต้า (University of Alberta), ประเทศแคนาดา

3. การออกแบบและสร้างเครื่องมือ

3.1 การออกแบบ (Design)

3.1.1 วัสดุที่ใช้ (materials)

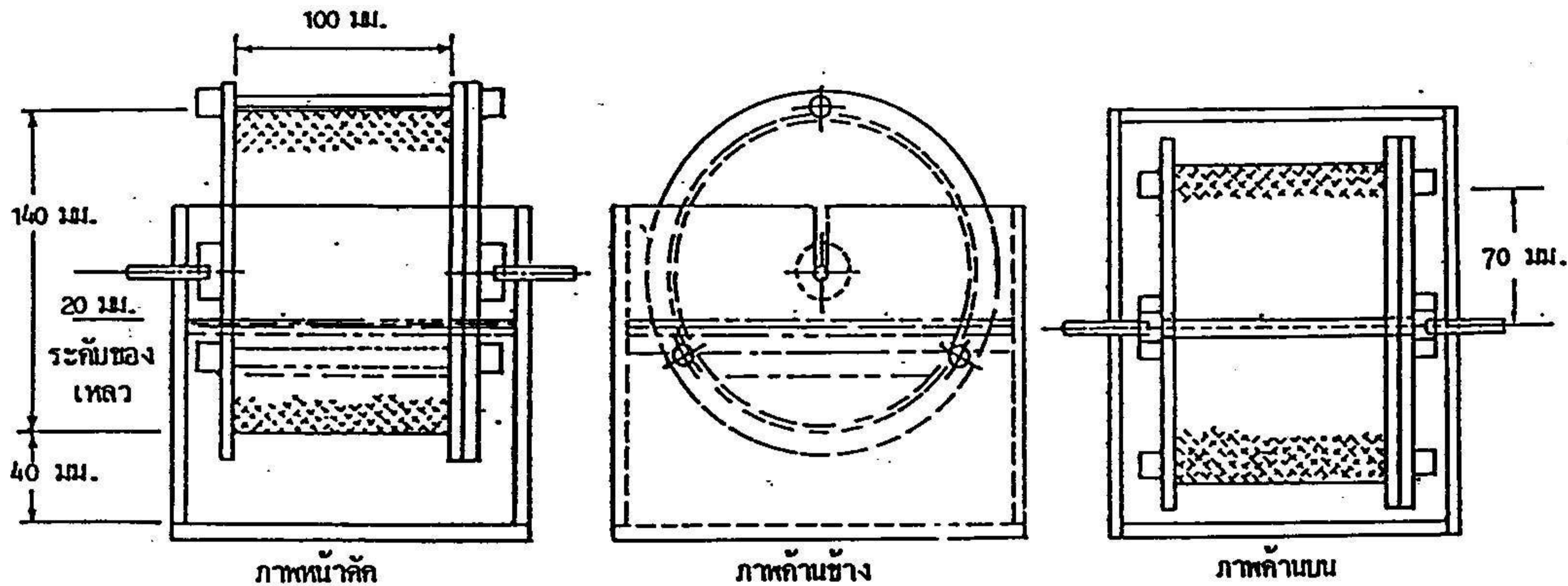
- 1) มอเตอร์ มีกำลังไฟฟ้า 15 วัตต์, หมุนได้ 27 รอบต่อนาที, ความถี่ไฟฟ้า 50 Hz
- 2) ตะแกรงลวดเหล็ก ขนาดช่องรูละ 2 มม.
- 3) แผ่นทองเหลืองหนา 3.5 มม.
- 4) เหล็กเส้นทองเหลืองขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 8 มม. และ 15 มม.
- 5) เหล็กเส้นขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 30 มม.
- 6) แผ่นพลาสติกใสแข็งหนา 100 มม.
- 7) กระจกานแผ่นไม้ที่คึดแผ่นโฟเมก้าหนา 8 มม.
- 8) น้ำมันเคลือบกันการรั่วซึม
- 9) สกรูเกลียวขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 5 มม.
- 10) ยางรองพื้นกระจกานสูง 20 มม.
- 11) ปลั๊กไฟฟ้า, สายและสวิตช์ไฟฟ้า
- 12) แผงบังคับตั้งเวลา 10 นาที

3.1.2 รูปแบบแปลน (plan view)

ตั้งแบบแปลนที่ 1, 2, และ 3

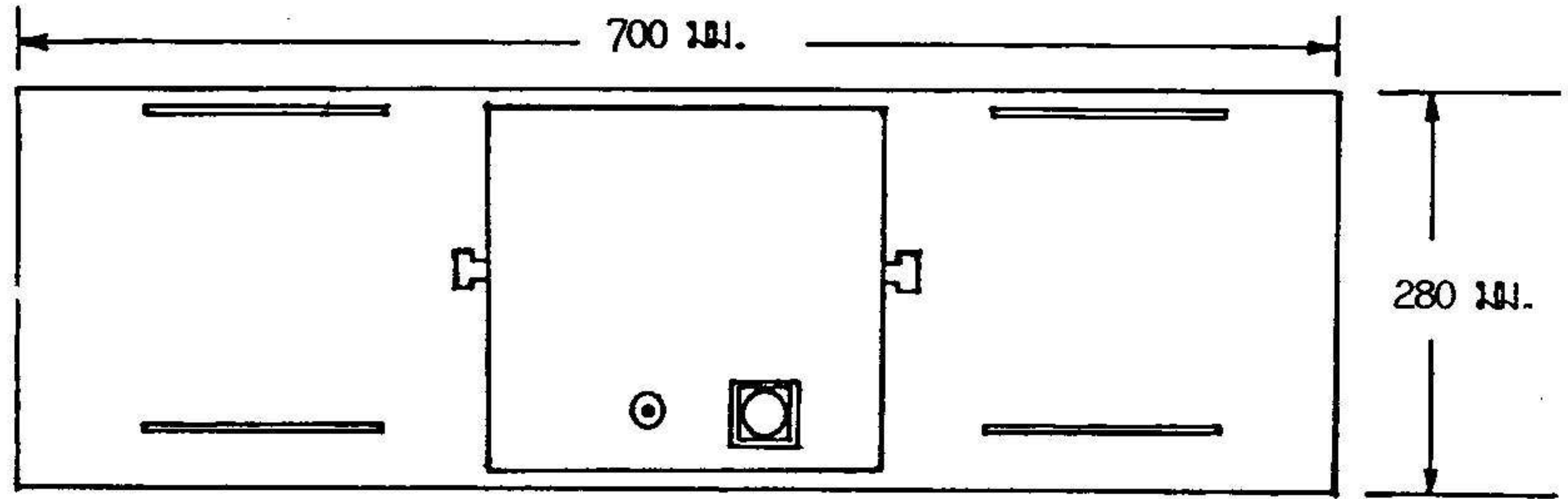
3.2 การสร้างเครื่องมือ (construction)

ตั้งรูปถ่ายที่ 1, 2, 3, 4, 5 และ 6

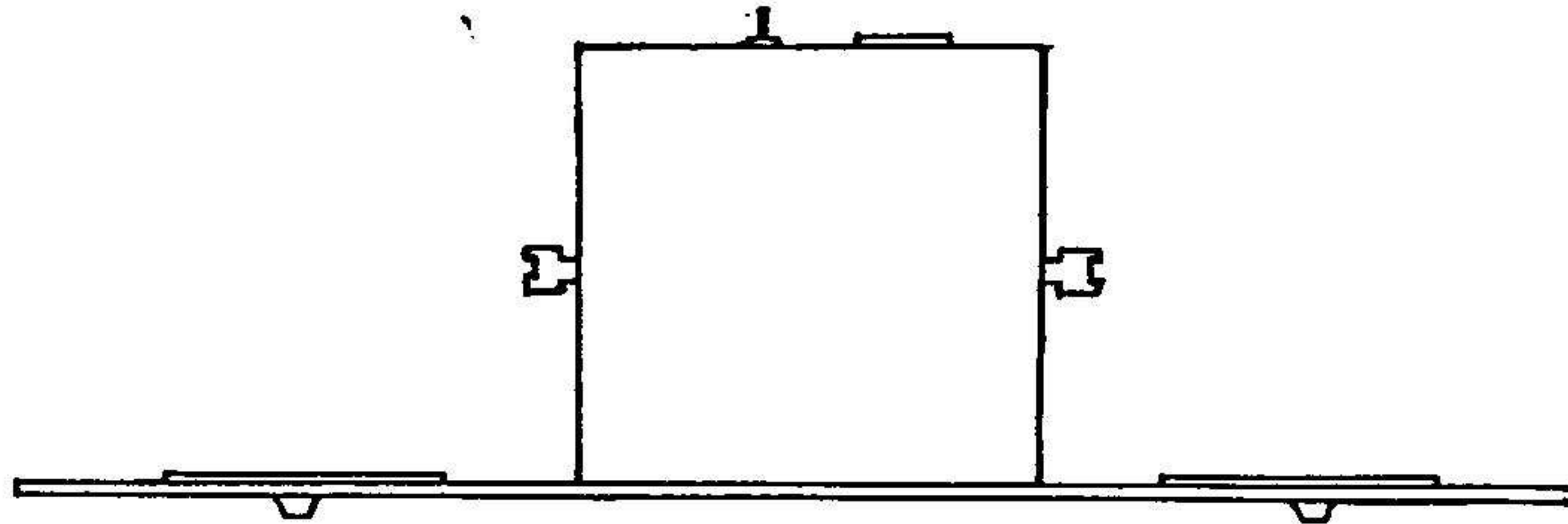


แบบแปลน 1 ภาพตะแกรงหมุนและร่องอ่าง

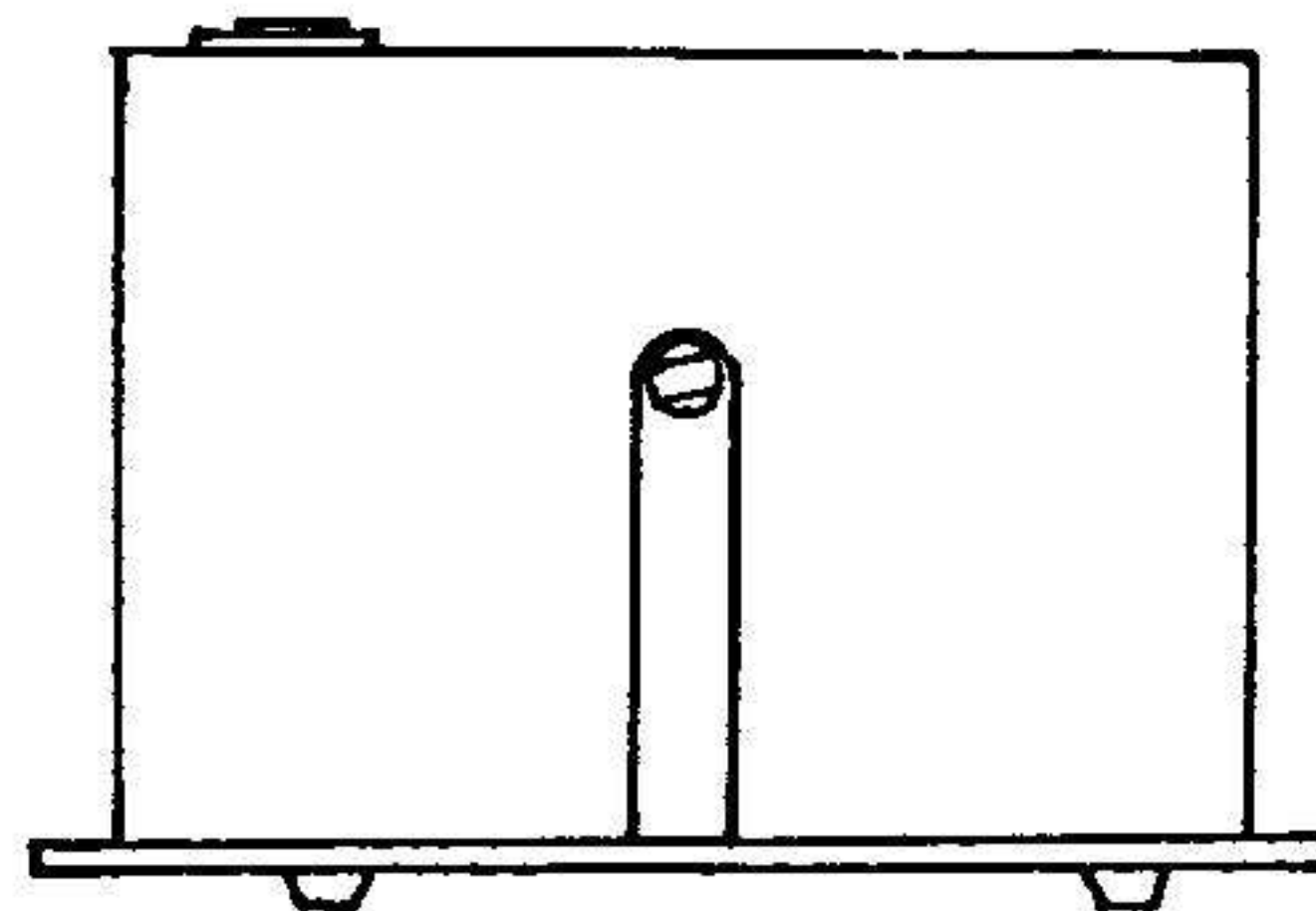
แบบแปลน 2 ด้านบน



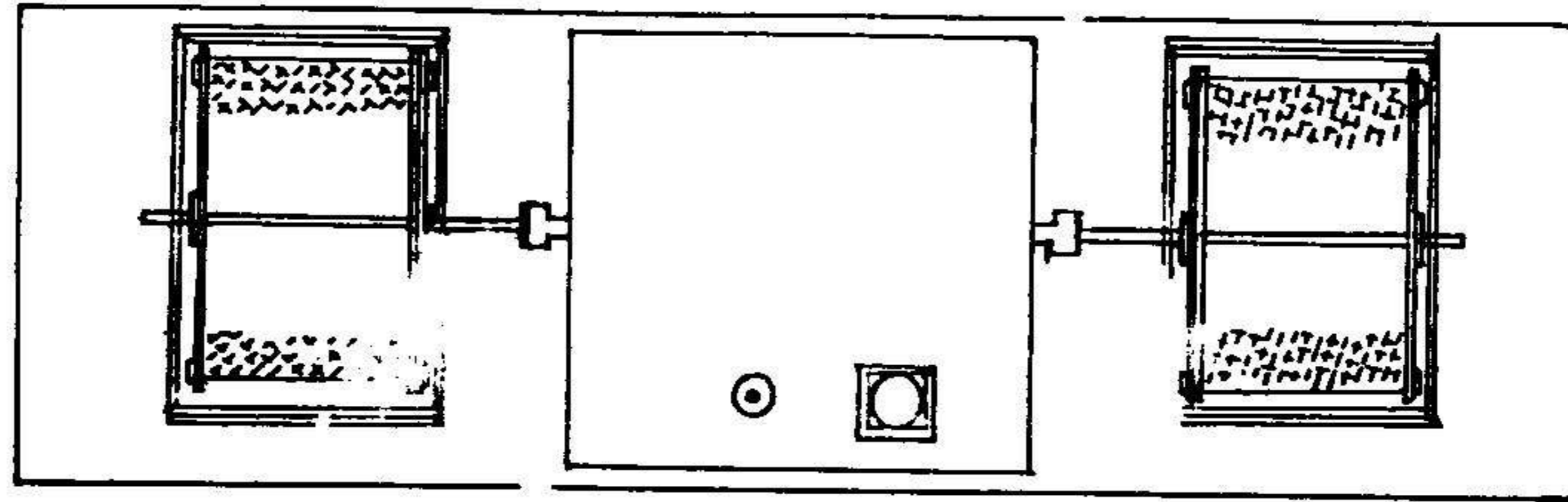
แบบแปลน 2 ด้านหน้าตัด



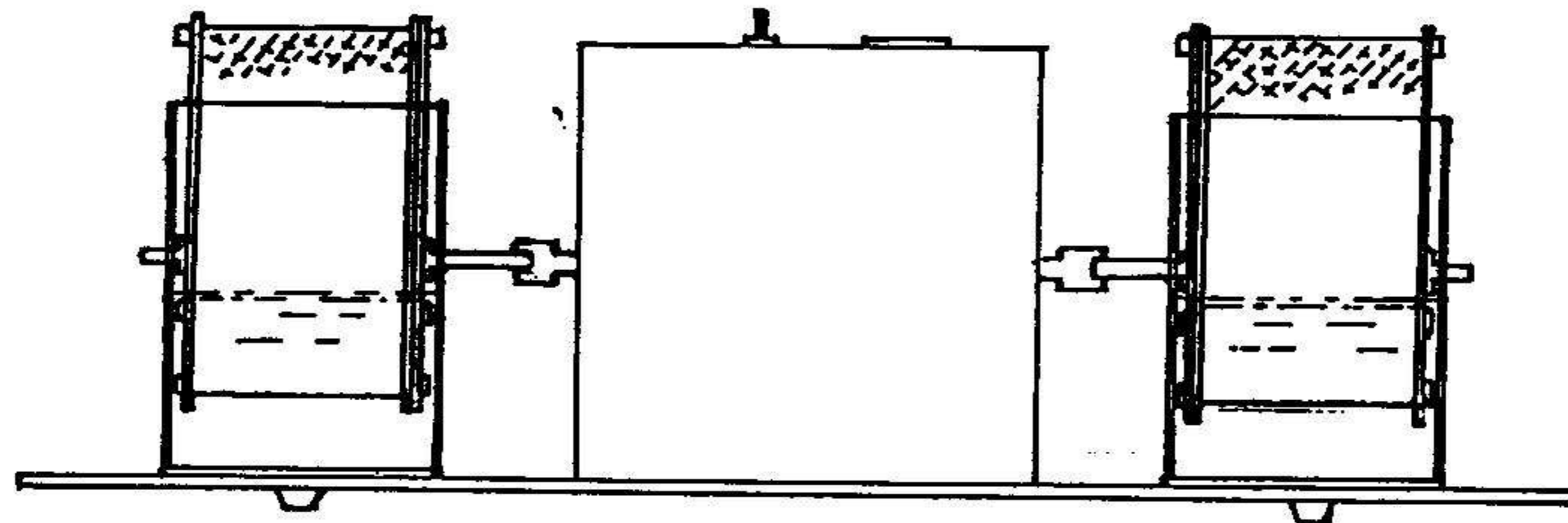
แบบแปลน 2 ด้านข้าง



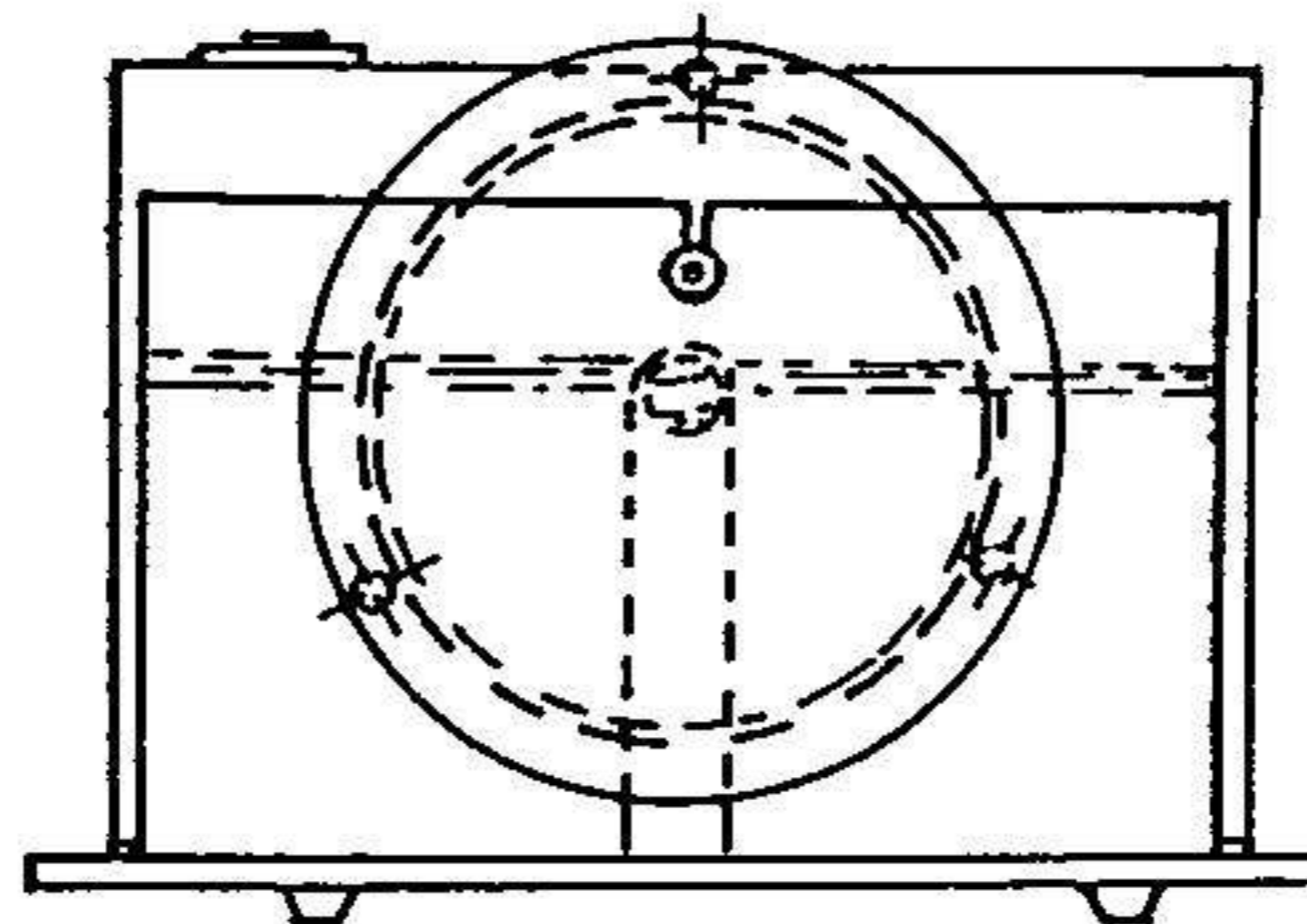
แบบแปลนที่ 3 ก้านบน

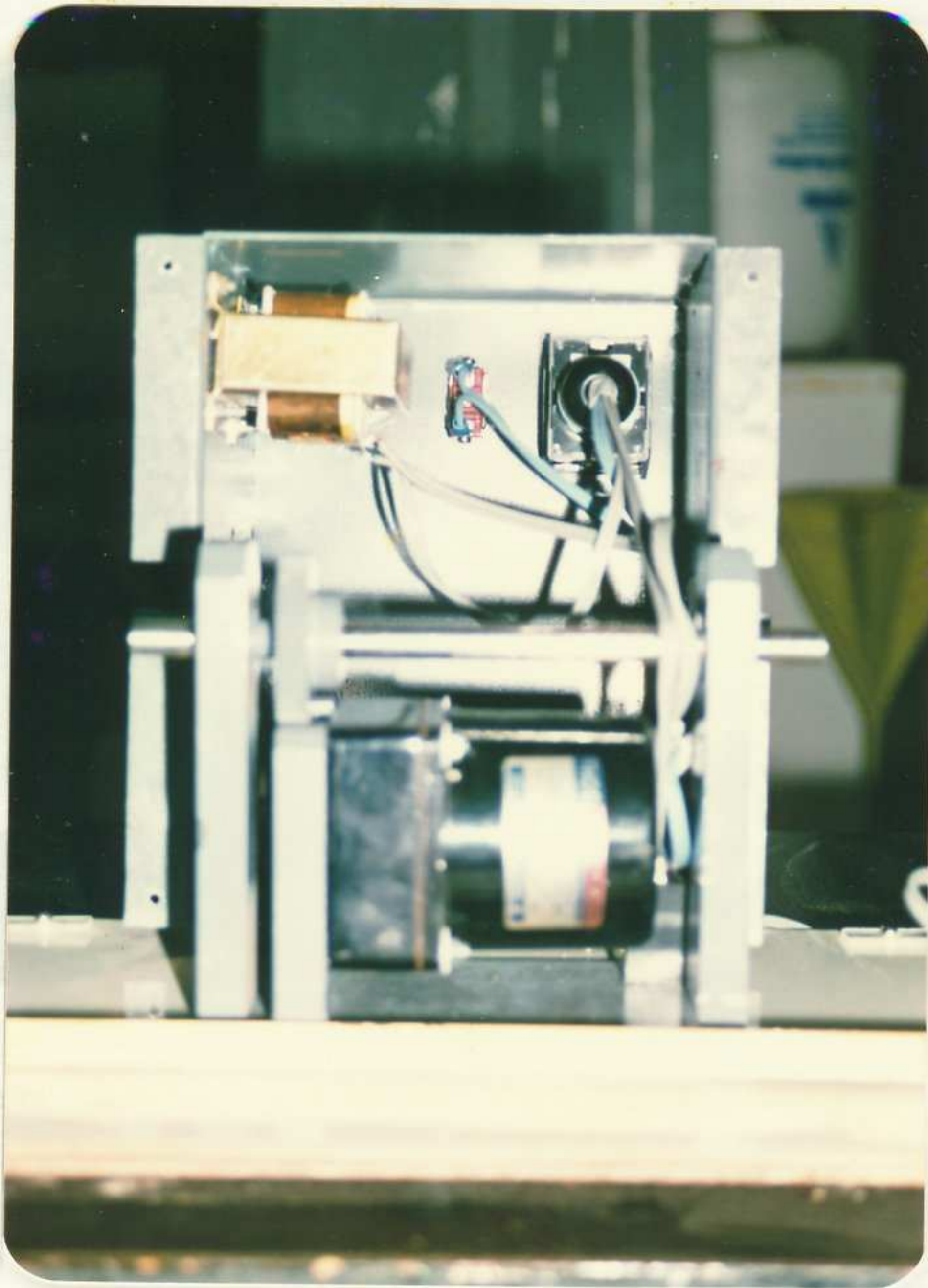


แบบแปลน 3 หน้าตัด

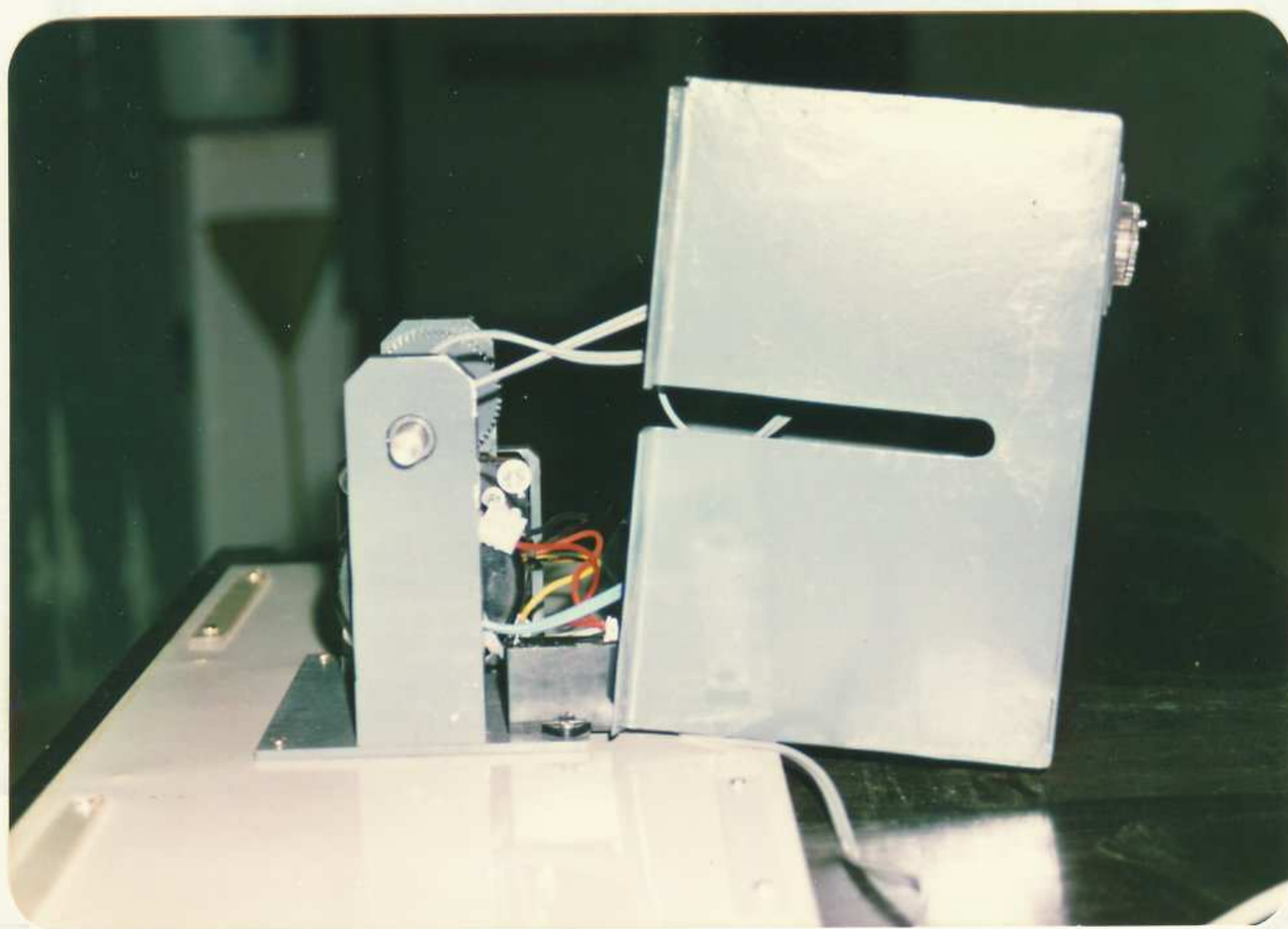


แบบแปลน 3 ด้านข้าง

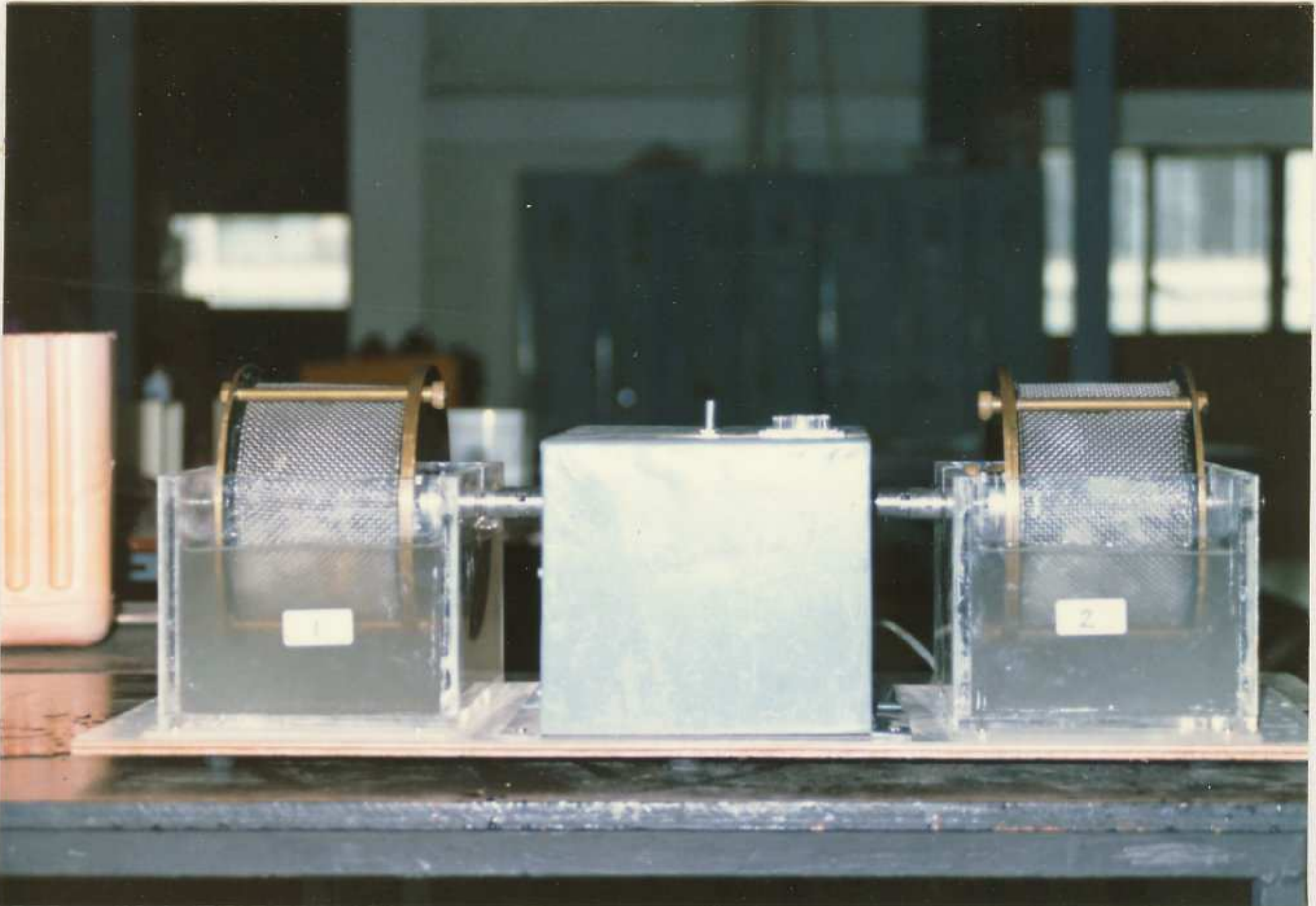




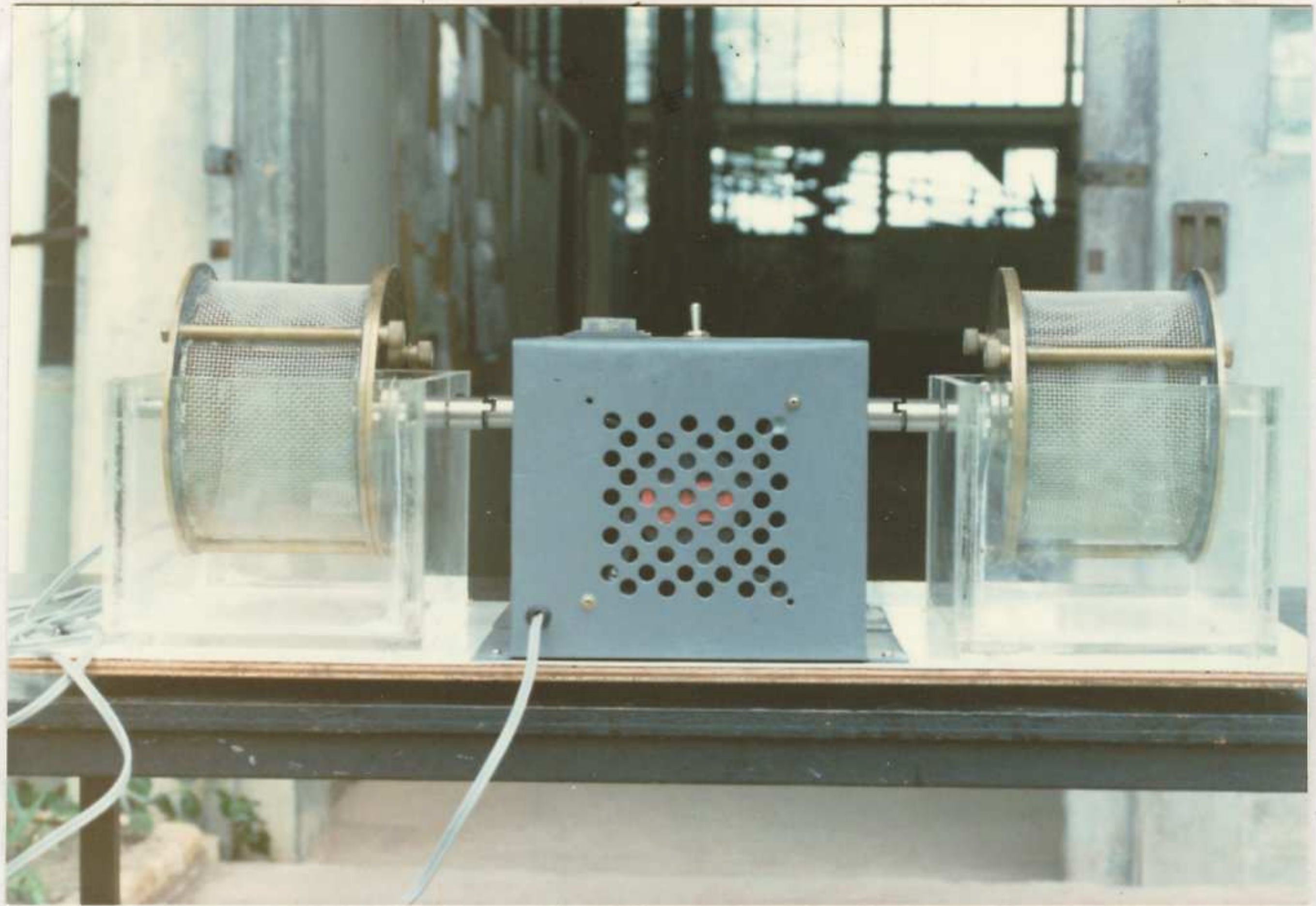
รูปที่ 1 การติดตั้งมอเตอร์, เกียร์ตและสวิตช์ปิดเปิด



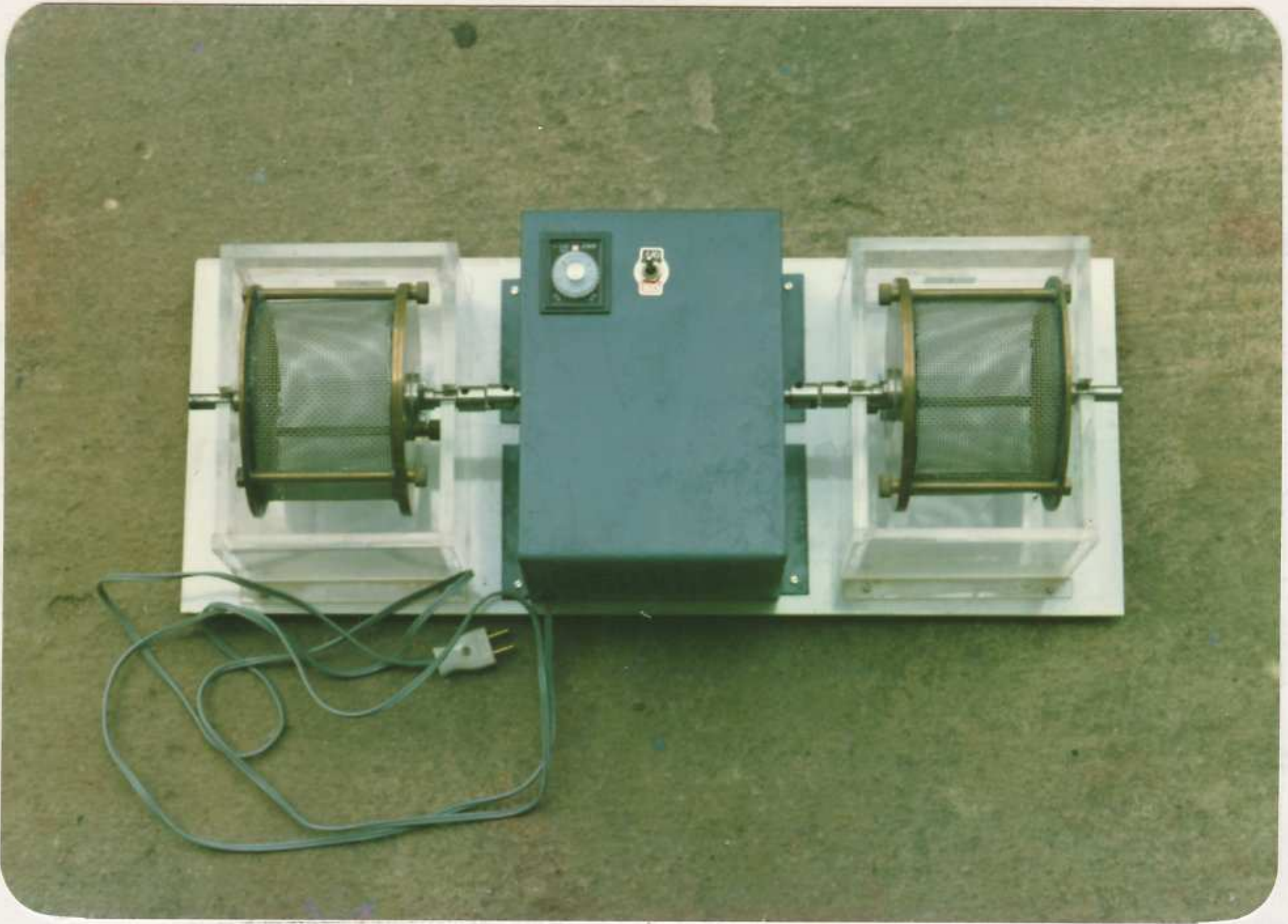
รูปที่ 2 ลักษณะด้านข้างของตัวเครื่อง



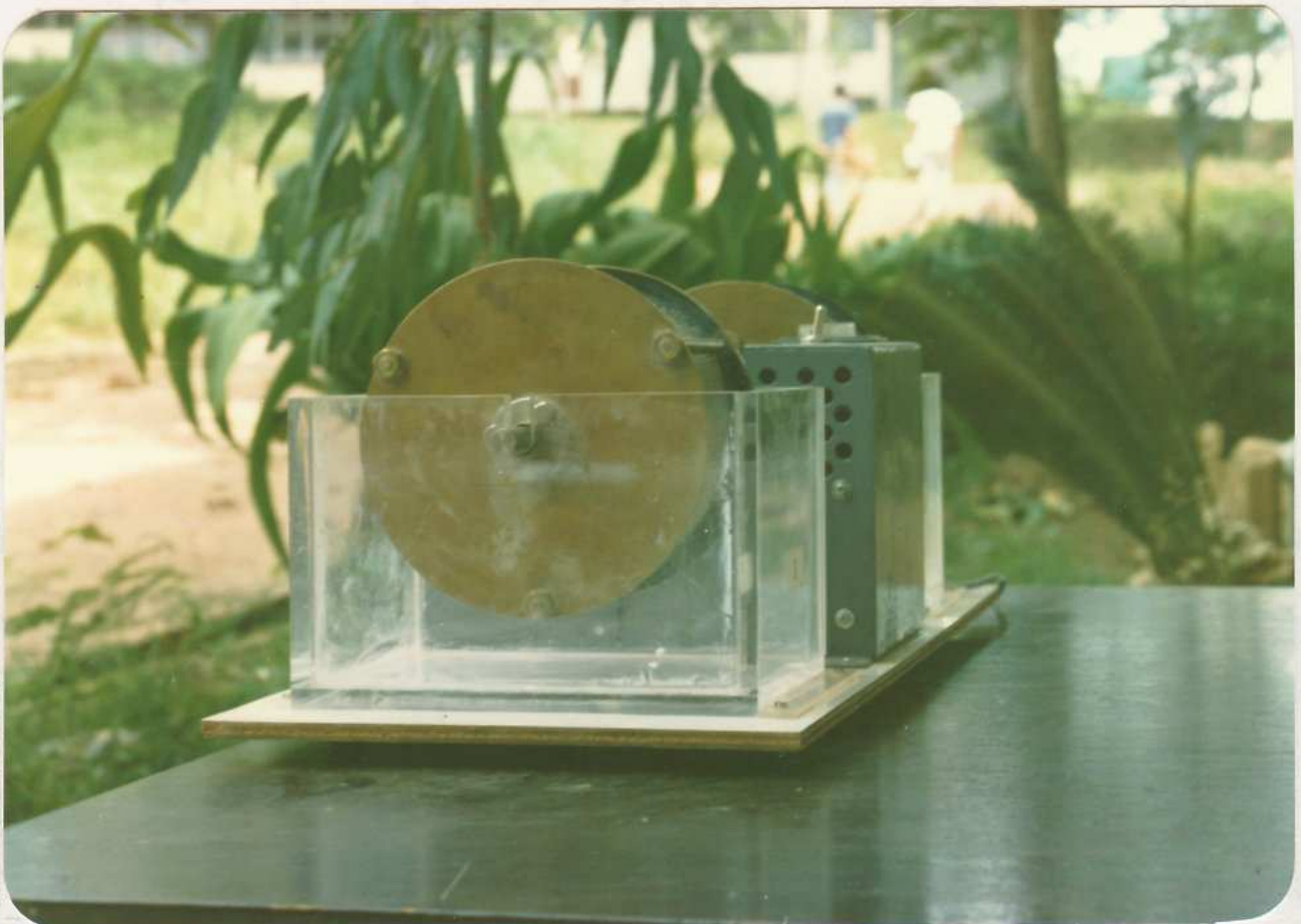
รูปที่ 3 ลักษณะด้านหน้าของเครื่องมือ slake durability



รูปที่ 4 ลักษณะด้านหลังของเครื่องมือ slake durability



รูปที่ 5 ลักษณะเครื่องมือทดสอบ slake durability มองจากด้านบน



รูปที่ 6 ลักษณะของรางอ่างและตะแกรง

4. วิธีการทดสอบ

การทดสอบได้ยึดถือเอาตามแบบของ ISRM (1981) ที่ได้กำหนดไว้ ซึ่งมีวัตถุประสงค์ในการทดสอบแบบนี้ก็เพื่อประเมินความต้านทานที่เกิดขึ้นต่อตัวอย่างหินที่อ่อนและแตกสลายเมื่อถูกหมุนไป 2 รอบมาตรฐานของการสลับให้แห้งและเปียก

4.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

(ก) ตะแกรงหมุนทดสอบประกอบด้วยลวดตะแกรงมาตรฐานขนาด 2 มม. รูปทรงกระบอกมีความยาวโดยไม่มีอะไรขวางกั้น 100 มม. และเส้นผ่าศูนย์กลาง 140 มม. ที่ฐานยึดติดด้วยโลหะ ตะแกรงหมุนต้องทนทานต่ออุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียสและมีฝาปิดเป็นโลหะ ตะแกรงหมุนต้องมีความคงทนเพียงพอต่อการคงรูปทรงของมันในระหว่างใช้งานและไม่ว่าจะ เป็นภายนอกของตะแกรงหรือภายในของตะแกรงหมุน

(ข) รางอ่างที่บรรจุตะแกรงหมุนทดสอบต้องก้ำยันแกนของมันในแนวราบในลักษณะหมุนได้อิสระ ใส่ของเหลวที่จะทำการซักกร่อนเช่น น้ำควรรอยู่ในระดับ 20 มม. ล่างลงมาจากแกนของตะแกรงหมุนซึ่งติดตั้งไว้ที่ช่วง 40 มม. โดยไม่มีอะไรขวางกั้นระหว่างรางอ่างกับฐานล่างของตะแกรง ลักษณะรูปเบืองตันของอุปกรณ์ทดสอบแสดงไว้ในรูปแบบแปลนที่ 1

(ค) มอเตอร์มีความสามารถในการขับเคลื่อนให้ตะแกรงหมุนในอัตราความเร็ว 20 รอบต่อ นาทีและมันยังคงที่อยู่อย่างนั้นใน 5 เปอร์เซ็นต์สำหรับในช่วงเวลา 10 นาที

(ง) การอบให้คงอุณหภูมิไว้ที่ 105 องศาเซลเซียสจะสูงหรือต่ำให้อยู่ภายใน 3 องศาเซลเซียสในช่วงเวลาอย่างน้อย 12 ชม.

(จ) นำทรายซึ่งที่สามารถชั่งน้ำหนักตะแกรงหมุนรวมทั้งตัวอย่างโดยมีความแม่นยำ 0.5 กรัม

4.2 ตัวอย่างทดสอบ

ตัวอย่างทดสอบที่คัดเลือกมาควรประกอบด้วยก้อนหิน 10 ชิ้นแต่ละก้อนหนัก 40-60 กรัม น้ำหนักรวมทั้งหมด 450-500 กรัม ขอบมุมของก้อนหินควรจะมีมนลูกหินที่เตรียมระหว่างนี้ควรมีรูปทรงกลมทาบ

4.3 การทดลอง

(ก) ใส่ตัวอย่างลงในตะแกรงหมุนที่สะอาด (พร้อมกับเอาฝาออก) และอบให้แห้งเพื่อชั่งน้ำหนักครั้งที่ ๗. อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส (มักจะ 2-6 ชม.) ในเตาอบ

- (ข) ชั่งน้ำหนัก, W_{d+s_0} ของตะแกรงหมุนรวมทั้งตัวอย่าง
- (ค) ปิดฝาว่างตะแกรงหมุนลงในรางอ่างและต่อแกนทั้งคู่กับตัวมอเตอร์
- (ง) ใส่ของเหลวที่จะชักร่อนลงในรางอ่าง (มักจะเป็นน้ำก๊อกที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส) ที่ระดับ 20 มม. ล้างลงมาจากแกนของตะแกรงหมุนและหมุนตะแกรงด้วยช่วงเวลา 10 นาที ที่ความเร็ว 20 รอบต่อนาที

(จ) นำตะแกรงหมุนออกจากรางอ่าง แล้วเปิดฝาดออกจากตะแกรงหมุนแล้วนำไปอบให้แห้ง โดยยังคงส่วนของตัวอย่างและตะแกรงไว้ จนน้ำหนักคงที่ ณ. 105 องศาเซลเซียส ชั่งน้ำหนัก, W_{d+s} , ของตะแกรงหมุนบวกส่วนที่ยังคงเหลือของตัวอย่าง

(ฉ) ทำเช่นนี้ซ้ำตั้งแต่ข้อ (ค)-(จ) และชั่งน้ำหนัก, W_{d+s_1} , ของตะแกรงหมุนบวกส่วนที่ยังคงเหลือของตัวอย่าง

(ช) ถ้าหินที่ประเมินมีความคงทนสูงให้ทำขั้นตอน (ค)-(ฉ) ประมาณหลายครั้ง ส่วนค่าดัชนีนั้นมักทำ 3 รอบหรือมากกว่านั้นของการชักร่อนและอบให้แห้ง

(ซ) นำแปรมาปิดตะแกรงหมุนให้สะอาดและชั่งน้ำหนักของมันเอง, W_d

4.4 การคำนวณ (Calculations)

(ก) การคำนวณดัชนีของความคงทนต่อการชักร่อน (2 รอบ) คืออัตราส่วนเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักที่อบแห้งครั้งสุดท้ายกับครั้งแรกดังข้างล่าง

$$\text{ดัชนีของความคงทนต่อการชักร่อน } Id_1 = \frac{W_{d+s_1} - W_{d+s_0} \times 100}{W_{d+s_0} - W_d} \%$$

(ข) สำหรับตัวอย่างที่หมุน 2 รอบแล้วดัชนีมีค่า 0-10 % ควรศึกษาดัชนีของความคงทนต่อการชักร่อนที่รอบแรก ดังข้างล่าง

$$\text{ดัชนีของความคงทนต่อการชักร่อน } Id_2 = \frac{W_{d+s_2} - W_{d+s_1} \times 100}{W_{d+s_0} - W_d} \%$$

(ค) เศษหินแตกหักปรากฏคงเหลืออยู่ในตะแกรงหมุน

(ง) เศษวัสดุที่ปรากฏว่าร่วงหล่นผ่านออกไปจากตะแกรงหมุน

(จ) ถ้าดัชนีของ 2 รอบตกอยู่ภายใน 0-10 % ให้ศึกษาดัชนีของรอบแรก

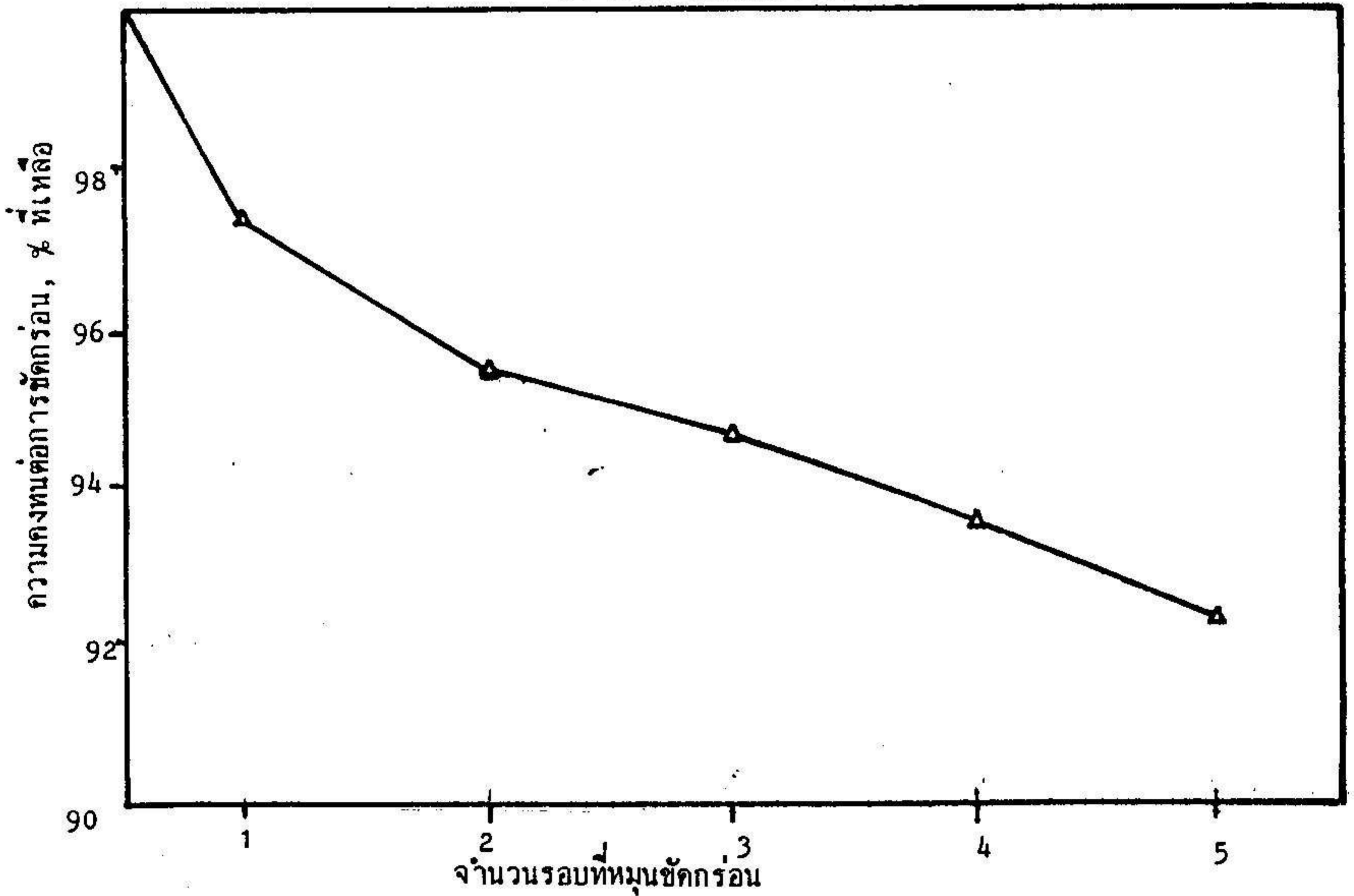
(ฉ) สำหรับหินที่มีความคงทนสูงกว่า คัดชั้นควรเป็น 3 รอบหรือมากกว่านั้นของการชักกร่อน และอบให้แห้ง บางครั้งการนำค่าจำนวนรอบของการชักกร่อนกับค่าดัชนีของความคงทนต่อการชักกร่อนก็อาจมีประโยชน์

(ช) สำหรับหินที่มีดัชนีของความคงทนต่อการชักกร่อนต่ำอาจนำไปใช้กับการทดสอบจำแนกประเภทหินเช่น การหาค่า ชีคพิคคของ Atterberg หรือการวิเคราะห์ขนาดการตกตะกอน

คณะกรรมการนิเทศการทดสอบในห้องปฏิบัติการของสมาคมศิลากลศาสตร์ระหว่างประเทศ (ISRM, 1981) ได้เสนอว่าการหาค่าความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีของความเหนียวกับดัชนีของความคงทนต่อการชักกร่อน (2 รอบ) ในกรณีที่ต้องการทราบค่าลึกซึ่งขึ้นไป โดยเฉพาะหินพวกผุพังง่าย (argillaceous) เป็นสิ่งจำเป็น

5. ผลการทดลอง

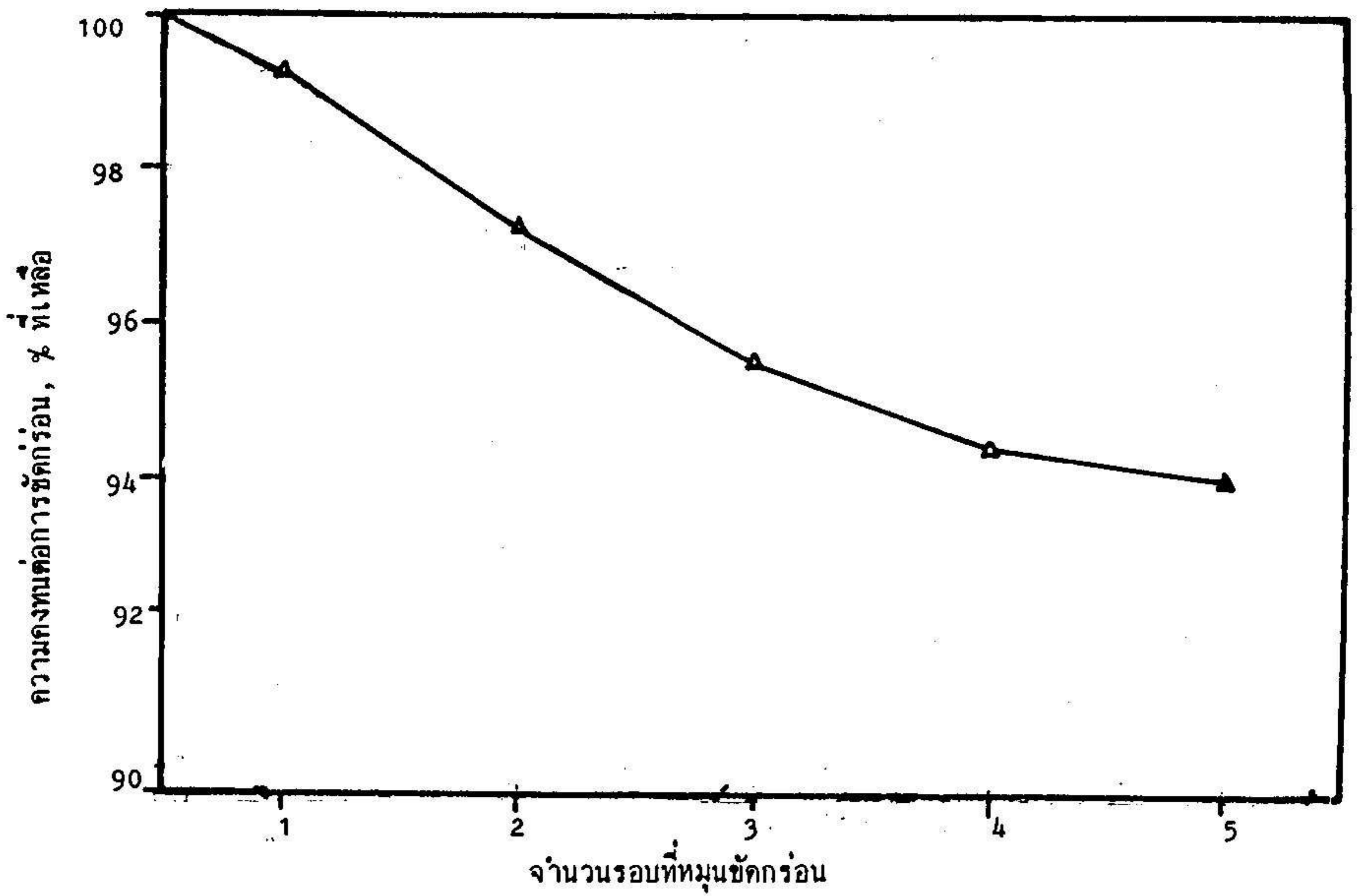
ผลการทดสอบค่าแสดงสรุปไว้ในตารางที่ 1 และรูปที่ 7, 8, 9, 10 และ 11 ซึ่งเป็นผลของตัวอย่างหินดินดานที่เก็บมาจากบริเวณเหมืองเกาะสะบ้า จ. สงขลา ตัวอย่างชุดที่ 1, 2, 3, 4 และ 5 ตามลำดับ ส่วนลักษณะของตัวอย่างก่อนและหลังการทดสอบแสดงในรูปที่ 12 และ 13



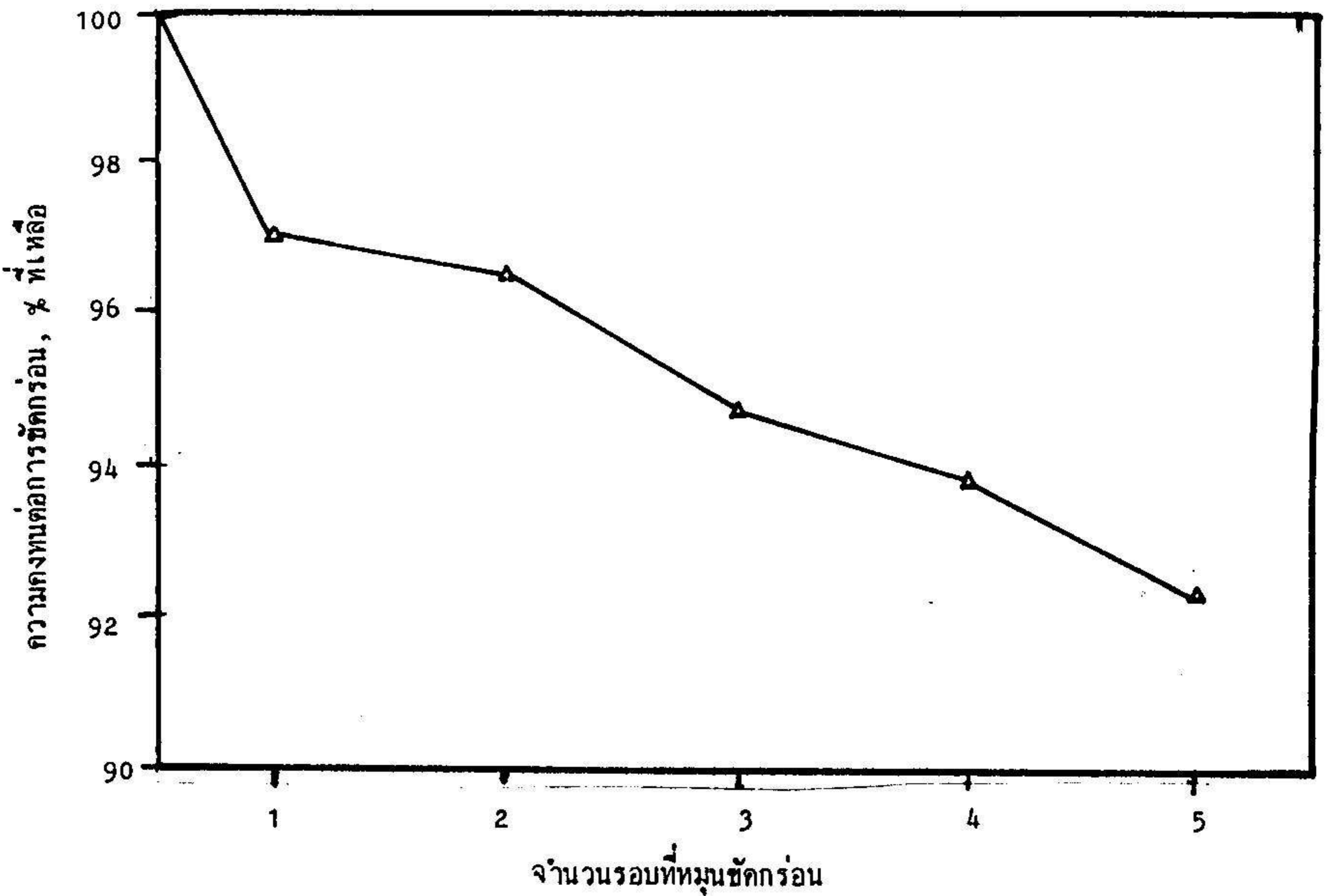
รูปที่ 7 แสดงผลการทดสอบของชุดตัวอย่างหินที่ 1

ตารางที่ 1 ผลการทดสอบหาค่าดัชนีของความคงทนต่อการชักร้อน

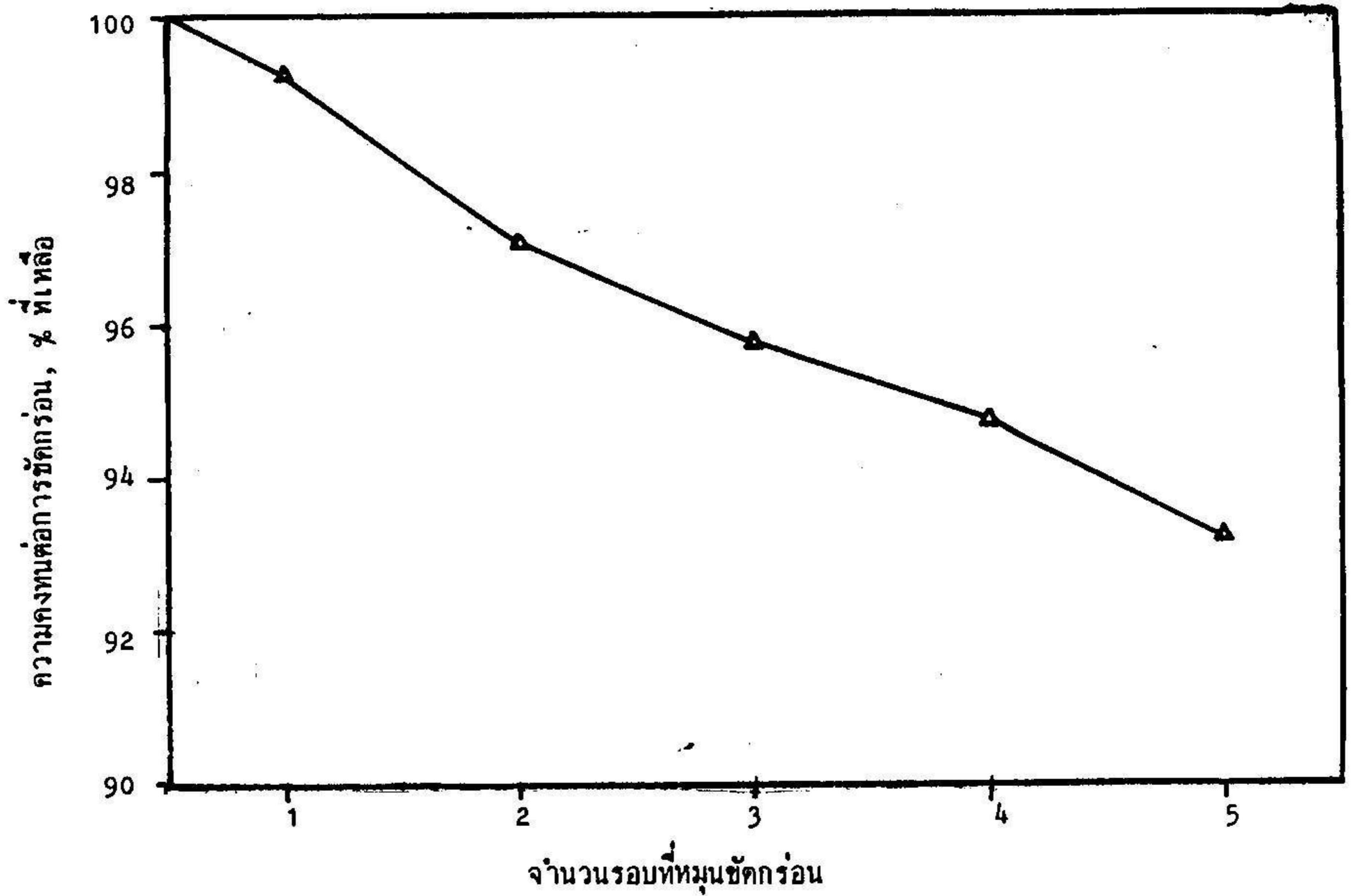
หมายเลข ของตัวอย่าง	ความชื้น %	อุณหภูมิ ของน้ำ, °C	จำนวนรอบของการชักร้อน, % ที่เหลือ				
			1	2	3	4	5
1	0.908	29	97.458	95.451	94.648	93.544	92.340
2	0.527	29	99.262	97.257	95.569	94.409	94.093
3	1.164	29	97.143	96.614	94.709	93.968	92.487
4	1.358	28	99.258	97.140	95.974	94.809	93.432
5	1.082	26	99.351	98.377	97.835	97.511	96.861



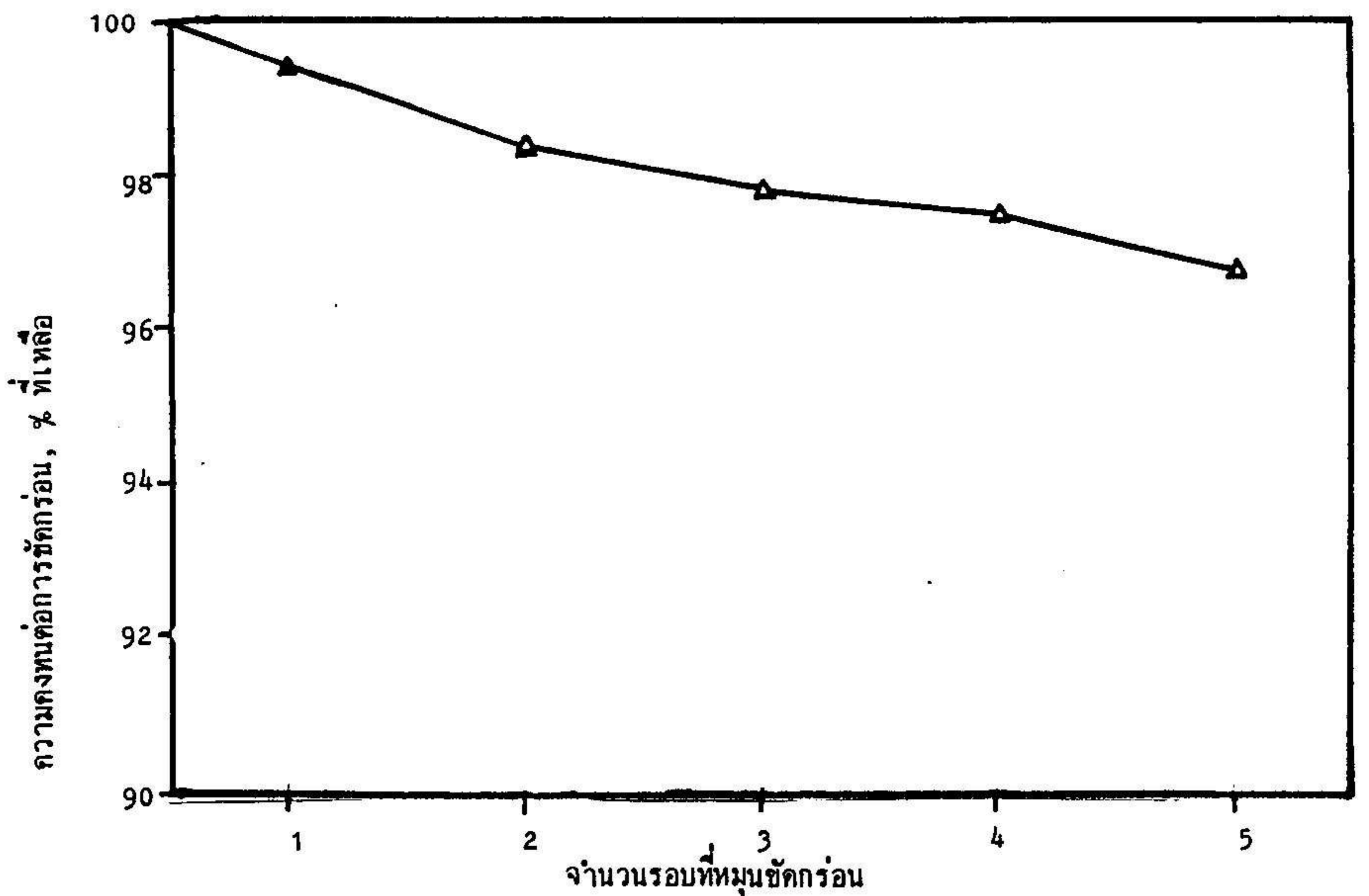
รูปที่ 8 แสดงผลการทดสอบของชุดตัวอย่างห้มนที่ 2



รูปที่ 9 แสดงผลการทดสอบของชุดตัวอย่างห้มนที่ 3



รูปที่ 10 แสดงผลการทดสอบของชุดตัวอย่างที่ 4



รูปที่ 11 แสดงผลการทดสอบของชุดตัวอย่างที่ 5



รูปที่ 12 ตัวอย่างหินก่อนทำการทดสอบ



รูปที่ 13 ตัวอย่างหินหลังทำการทดสอบ

6. สรุปผลและเสนอแนะ

ผลการเดินเครื่องติดต่อกันมากกว่า 5 ชั่วโมงพบว่าเครื่องมือทำงานได้เป็นปกติตรงตามกำหนดมาตรฐานที่ ISRM (1981) ได้กำหนดไว้ สำหรับค่าดัชนีของความคงทนต่อการชักร่อนของหินดินดานที่ 2 รอบ โคค่าเฉลี่ยของตัวอย่างทั้ง 5 ชุดเป็น $96.968 + 1.064 \%$ ส่วนค่าความชื้นเฉลี่ย $1.008 + 0.314$ จากการจำแนกประเภทของความคงทนต่อการชักร่อนของ Gamble (1971) พบว่าหินที่นำมาทดสอบอยู่ในขั้นมีความคงทนสูง (high durability)

ค่าดัชนีของความคงทนต่อการชักร่อนนั้นขึ้นอยู่กับองค์ประกอบหลายอย่างด้วยกันที่เกี่ยวข้อง ที่ควรทำการศึกษาเพิ่มเติมต่อไปได้แก่

1. ควรศึกษาชนิดของหินเหนียวที่มีอยู่ในตัวอย่างหินที่นำมาทดสอบหาค่าดัชนีของความคงทนต่อการชักร่อนอาจจะโดยวิธี X-ray diffraction ทั้งนี้เพราะคุณสมบัติของหินเหนียวแต่ละชนิดจะมีผลต่อการสึกกร่อนอย่างมาก
2. หากตัวอย่างหินที่มี % ของแร่ดินเหนียวมาก ควรหาความสัมพันธ์กับค่าขีดจำกัดความเหลว (liquid limit) ของ Atterberg (Morgenstern & Eigenbrod, 1974) และถ้ากรณีหินที่มีการบวมพองก็ควรหาความสัมพันธ์กับดัชนีของการบวมพอง (Olivier, 1979)
3. ตัวอย่างของหินชนิดเดียวกันควรเก็บมาจากหลายแห่งเพื่อนำมาเปรียบเทียบหาความแตกต่างกัน นอกจากนี้ลักษณะการเก็บควรมีการห่อหุ้มให้มิดชิดหรืออาจใช้ซีเมนต์เคลือบเพื่อไม่ให้ค่าความชื้นหายไป ทั้งนี้เพื่อให้ได้ค่าที่เป็นตัวแทนของหินบริเวณนั้น

เอกสารอ้างอิง

- Franklin, J.A. and Chandra, R., 1972, The slake durability index, Int. J. Rock Mech. Min. Sci., Vol. 9, No. 3, pp. 325-342.
- Gamble, I.C., 1971, Durability-plasticity classification of shales and other argillaceous rocks, Ph.D. Thesis, University of Illinois.
- ISRM Suggested Methods, 1981, Rock characterization testing & monitoring, Brown, E.T., ed, Oxford, Pergamon Press, pp. 92-94.
- Morgenstern, N.R. and Eigenbrod, K.D., 1974, Classification of argillaceous soils and rocks, J. Geotechnical Engin. Div. (ASCE), Vol. 100, No. GT. 10, pp. 1137-1158.
- Olivier, H.J., 1979, A new engineering geological rock durability classification, Engineering Geology, Vol. 14, pp. 255-279.