บทที่ 3
การออกแบบกลไกเครื่องดึงกระดูกสันหลัง

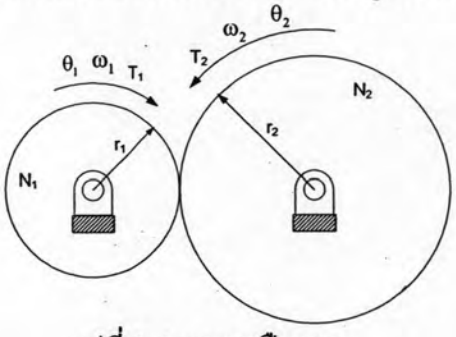
ในการออกแบบเครื่องดึงกระดูกสันหลังนั้นได้ทำการออกแบบส่วนต่างๆ โดยในการออกแบบได้แยกพิจารณาออกเป็นส่วนๆ ดังนี้

1. กลไกระบบส่งกำลัง
2. กลไกม้วนเชือกคืน
3. อุปกรณ์วัดแรงดึงเชือก
4. กลไกส่งผ่านเชือก

3.1 กลไกระบบส่งกำลัง

กลไกระบบส่งกำลังของเครื่องดึงกระดูกสันหลังได้ออกแบบโดยใช้ระบบเฟือง (Gear Trains) ส่งกำลังเป็นหลัก เหตุผลก็เพราะ มีความแข็งแรงสูง การดูแลรักษาง่าย ราคาไม่สูงมาก ประหยัดเนื้อที่ในการติดตั้ง

โดยหลักการพื้นฐานของระบบส่งกำลังด้วยเฟืองได้แสดงไว้ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 ระบบเฟืองทด

เนื่องจากระยะการขจัดเชิงเส้น (Displacement) และ แรงคู่ปฏิกริยา ของคู่เฟืองที่ขบกันนั้นเท่ากันดังนั้นเราสามารถหาความสัมพันธ์ของการขจัดเชิงมุม (Angular Displacement) ความเร็วเชิงมุม (Angular Velocity) และ แรงบิด(Torque)

$$r_1\theta_1 = r_2\theta_2$$

$$r_1\omega_1 = r_2\omega_2$$

$$\frac{T_1}{r_1} = \frac{T_2}{r_2}$$

โดยที่ r_1 คือ รัศมีของวงกลมพิตช์ของเฟืองขับ (Pinion) (mm)

r_2 คือ รัศมีของวงกลมพิตช์ของเฟืองตาม (Rack) (mm)

θ_1 คือ การขจัดเชิงมุมของเฟืองขับ (rad)

θ_2 คือ การขจัดเชิงมุมของเฟืองตาม (rad)

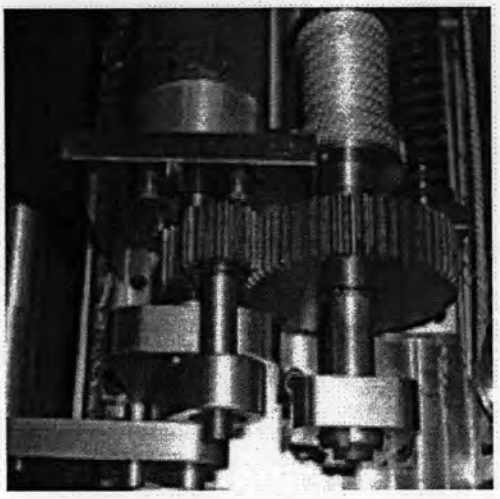
ω_1 คือ ความเร็วเชิงมุมของเฟืองขับ $\left(rad/s\right)$

ω_2 คือ ความเร็วเชิงมุมของเฟืองตาม $\left(rad/s\right)$

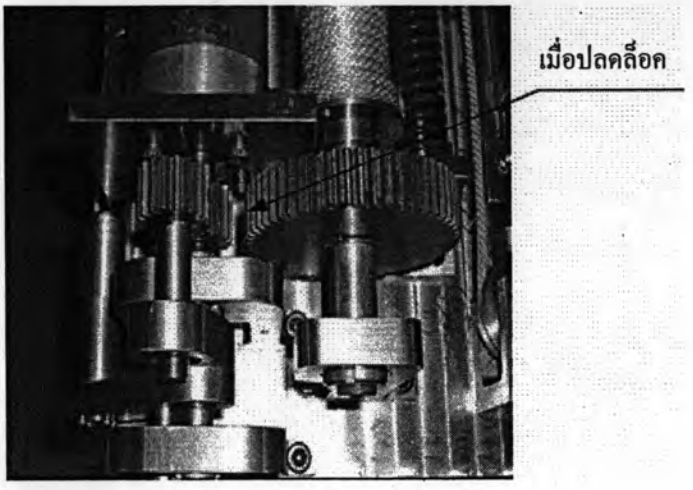
T_1 คือ แรงบิดที่เฟืองขับ $(N.m)$

T_2 คือ แรงบิดที่เฟืองตาม $(N.m)$

โดยกลไกของระบบส่งกำลังที่ทำการออกแบบได้แสดงดังรูปที่ 3.2 และ 3.3



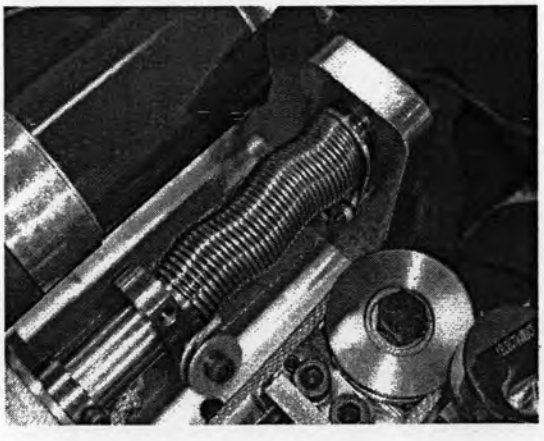
รูปที่ 3.2 ระบบส่งกำลัง



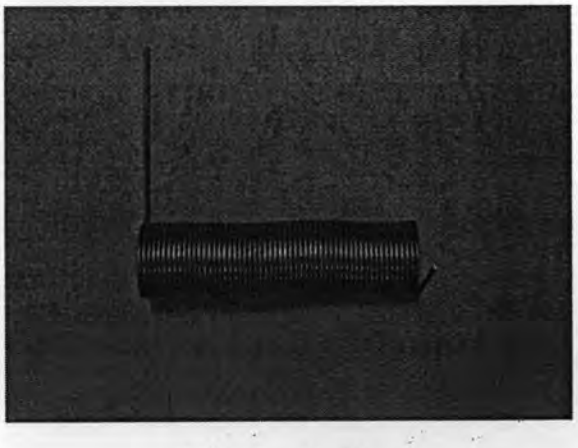
รูปที่ 3.3 ระบบส่งกำลังเมื่อปลดล็อค

3.2 กลไกม้วนเชือกคืน

กลไกม้วนเชือกคืนได้ทำการออกแบบเพื่อความสะดวกในการม้วนเชือกเก็บหลังจากทำการใช้เครื่องเสร็จแล้ว โดยกลไกที่ใช้ในการม้วนเชือกคืนนั้น ได้ใช้สปริงบิด (Torsional spring) เกลียวขวา สอดไว้กับแกนเพลากว้านเชือกและทำการยึดปลายทั้งสองด้านของสปริง โดยปลายด้านแรกยึดไว้ที่แกนเพลา ส่วนปลายอีกด้านหนึ่งยึดไว้กับหน้าแปลนดังรูปที่ 3.4

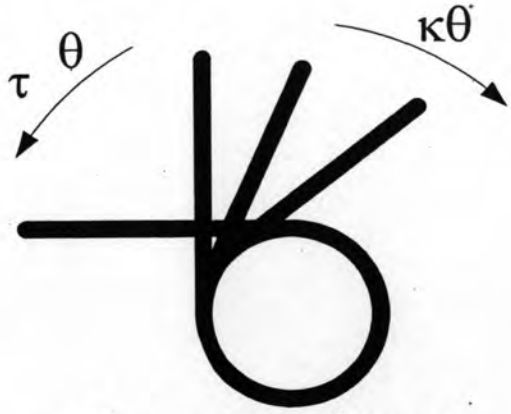


รูปที่ 3.4 กลไกม้วนเชือกคืน



รูปที่ 3.5 สปริงบิด

โดยหลักการพื้นฐานของสปริงบิดก็เหมือนกับสปริงดึงและสปริงกดทั่วๆไป นั่นคือ สปริงบิดจะสร้างแรงบิดในทิศทางที่สวนกับการขจัดดังรูปที่ 3.6 และสมการหน้าถัดไป



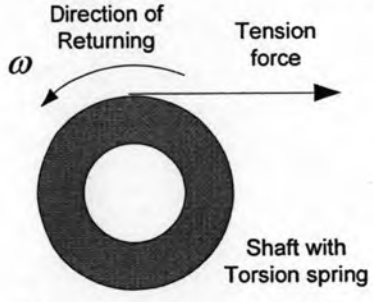
รูปที่ 3.6 แรงบิดที่เกิดขึ้นในสปริงบิด

$$\tau = \kappa\theta$$

โดยที่ τ คือ แรงบิดที่สปริงบิดสร้างขึ้น $(N.m)$

κ คือ ค่านิจของสปริง $\left(N.m/_{rad}\right)$

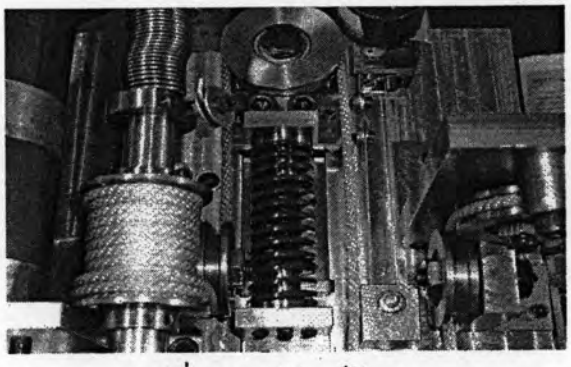
ขณะเชือกถูกดึงออกสปริงบิดที่ติดกับแกนเพลาก็จะบิดตามทำให้เกิดแรงบิดในทิศทางตรงกันข้ามและเมื่อทำการปล่อยเชือกสปริงบิดก็จะม้วนเชือกกลับมายังตำแหน่งก่อนดึงเชือก ดังรูปที่ 3.7



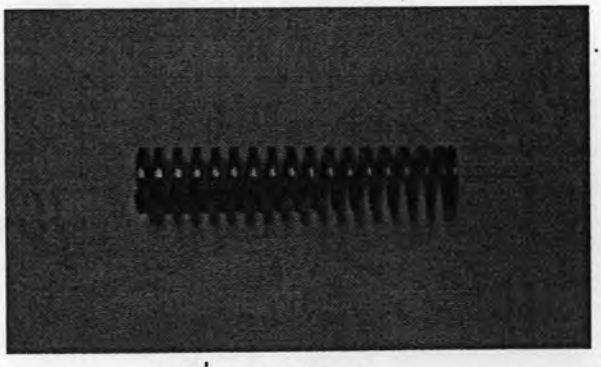
รูปที่ 3.7 ทิศทางการม้วนเชือกคืน

3.3 อุปกรณ์วัดแรงดึงเชือก

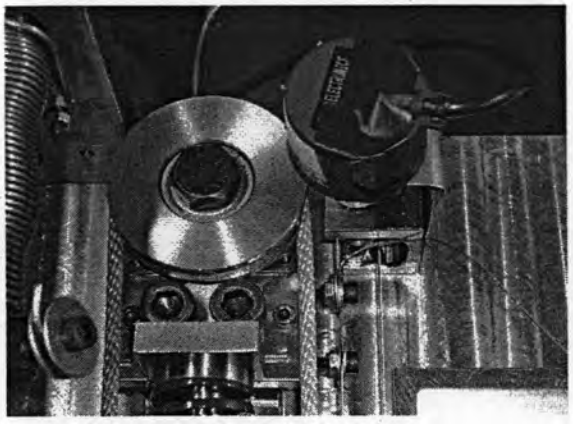
กลไกของอุปกรณ์วัดแรงดึงเชือกได้ทำการออกแบบโดยใช้ สปริงกด (Compressional Spring) เป็นตัววัดแรงดึงของเชือกดังรูปที่ 3.8 และ 3.9



รูปที่ 3.8 อุปกรณ์วัดแรง



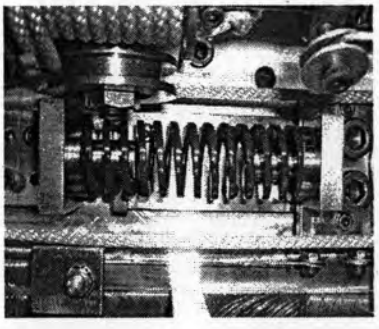
รูปที่ 3.9 สปริงกด

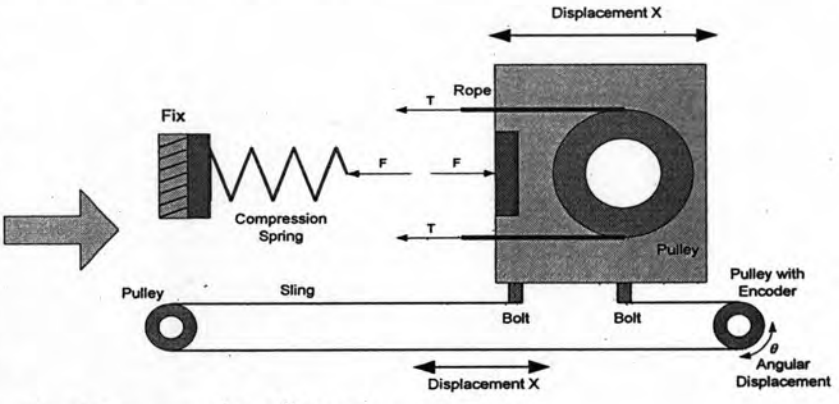


รูปที่ 3.10 เอนโคดเดอร์กับสลิง

รูปที่ 3.11 เพลาสลิง

โดยหลักการทำงานพื้นฐานของอุปกรณ์วัดแรง คือ เมื่อเชือกเกิดแรงดึงจะทำให้เชือกที่โยงอยู่กับอุปกรณ์วัดแรงที่ตำแหน่งตัวรอกไปกดสปริงกด ทำให้สปริงกดเกิดการยุบตัวและเอนโคดเดอร์(Encoder) ที่เชื่อมต่ออยู่กับรางเลื่อน (Linear Guide) ผ่านทางลวดสลิงก็จะหมุนทำให้เกิดการขจัดเชิงมุม ทำให้สามารถหาระยะยุบตัวของสปริงกดได้และนำไปคำนวณหาค่าแรงดึงของเชือกได้





รูปที่ 3.12 ความสัมพันธ์ของแรงที่เกิดขึ้นในเชือกและสปริง

โดยที่ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึงเชือกกับแรงกดในสปริงและระยะยุบตัวของสปริงกดกับการขจัดเชิงมุมของเอนโคดเดอร์หาได้ดังสมการ

$$F = 2T$$

$$F = KX$$

$$X = r\theta$$

ดังนั้นจะได้ว่าแรงดึงของเชือก

$$T = F/2$$

โดยที่ F คือ แรงกดในสปริง$\left(kg_f\right)$

T คือ แรงดึงในเส้นเชือก$\left(kg_f\right)$

หอสมุดกลาง ศูนย์วิทยทรัพยากร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

K คือ ค่านิจของสปริงกด $\left(kg_f/mm\right)$

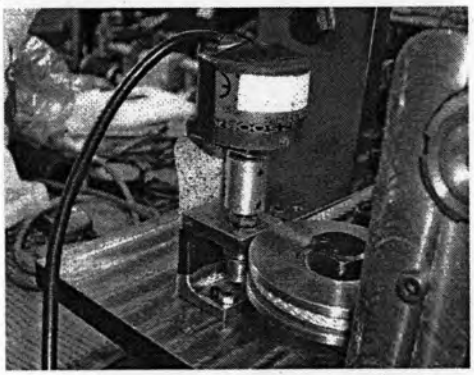
X คือ ระยะยุบตัวของสปริงกด (mm)

θ คือ การขจัดเชิงมุมของเอนโคดเดอร์ (rad)

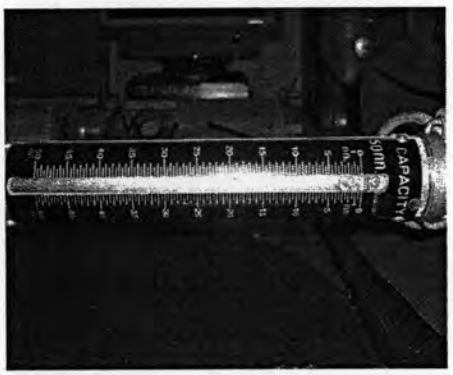
r คือ รัศมีของเพลาลวดสลิง (mm)

สำหรับการวัดแรงดึงของเชือกในทางปฏิบัติ ไม่ได้ทำเช่นนี้คือไม่ได้วัดค่าการขจัดเชิงมุมของเอนโคดเดอร์เพื่อนำมาหาระยะยุบตัวของสปริงกดแล้วนำค่าของระยะยุบตัวของสปริงกดที่ได้ไปคำนวณหาค่าของแรงกดในสปริงเพื่อนำไปหาค่าของแรงดึงของเชือก

แต่ได้ใช้วิธีการเข้าไปสอบเทียบหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงดึงของเชือกกับการขจัดเชิงมุมของเอนโคดเดอร์โดยตรง โดยอุปกรณ์ที่ใช้ในการสอบเทียบหา คือ สปริงวัดแรงดึงเชือกที่ใช้ดึงและเอนโคดเดอร์ดังรูปที่ 3.12 -3.15

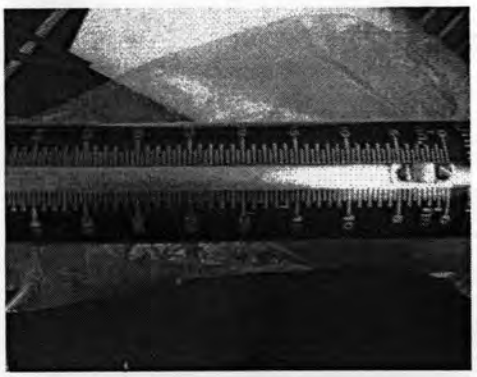


รูปที่ 3.13 เอนโคดเดอร์



รูปที่ 3.14 สปริงที่ผ่านการปรับแก้แล้ว

รูปที่ 3.15 การปรับแก้อุปกรณ์วัดแรง

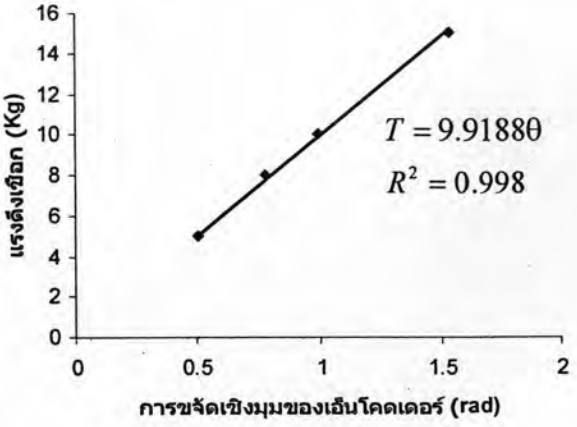


รูปที่ 3.16 อ่านค่าแรงดึง

โดยการสอบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึงเชือกกับการขจัดเชิงมุมของเอนโคดเดอร์ได้ผลการทดสอบเป็นดังตารางในรูปที่ 3.16

แรงดึงเชือก (kg_f)	การขจัดเชิงมุมของเอนโคดเดอร์ (rad)		
	ครั้งที่1	ครั้งที่2	ค่าเฉลี่ย
5	0.4895	0.5184	0.5039
8	0.8080	0.7609	0.7844
10	0.9990	0.9896	0.9943
15	1.5800	1.4853	1.5326

รูปที่ 3.17 ตารางผลการทดสอบ



รูปที่ 3.18 การวิเคราะห์ด้วยความถดถอยเชิงเส้น

โดยที่ T คือ แรงดึงเชือก(kg_f)

θ คือ การขจัดเชิงมุมของเอนโคดเดอร์ (rad)

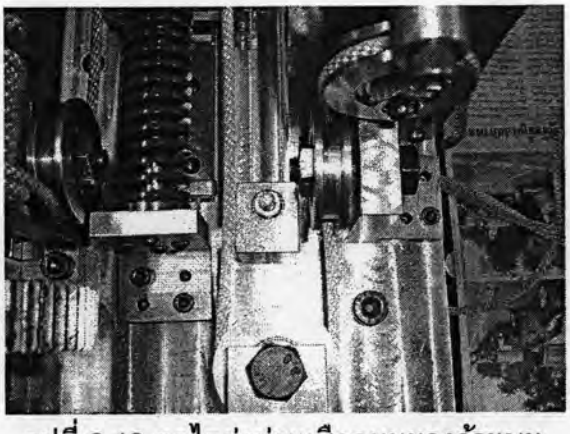
จากรูปที่ 3.17 จะได้ความสัมพันธ์ระหว่างความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึงเชือกกับการขจัดเชิงมุมของเอนโคดเดอร์เป็น

$$T = 9.9188\theta$$

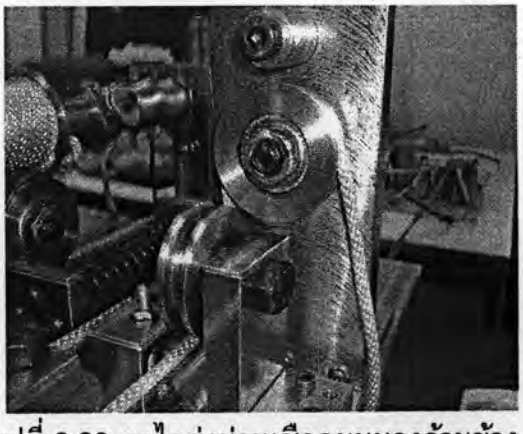
ซึ่งความสัมพันธ์ข้างต้นเป็นความสัมพันธ์ที่ใช้ในการคำนวณค่าของแรงดึงเชือกในทางปฏิบัติ

3.4 กลไกส่งผ่านเชือก

กลไกส่งผ่านเชือกเป็นกลไกที่ทำหน้าที่เป็นตัวเชื่อมระหว่างอุปกรณ์วัดแรงดึงเชือกกับหลังของคนที่อยู่ภายนอกที่จะไปทำการดึงโดยแบ่งออกเป็น 2 ส่วนหลักๆด้วยกัน คือ ส่วนที่รับเชือกจากอุปกรณ์วัดแรงดึงเชือกกับส่วนที่ส่งเชือกออกไปดึงหลังของคนที่อยู่ภายนอก ดังรูปที่ 3.18 และ 3.19

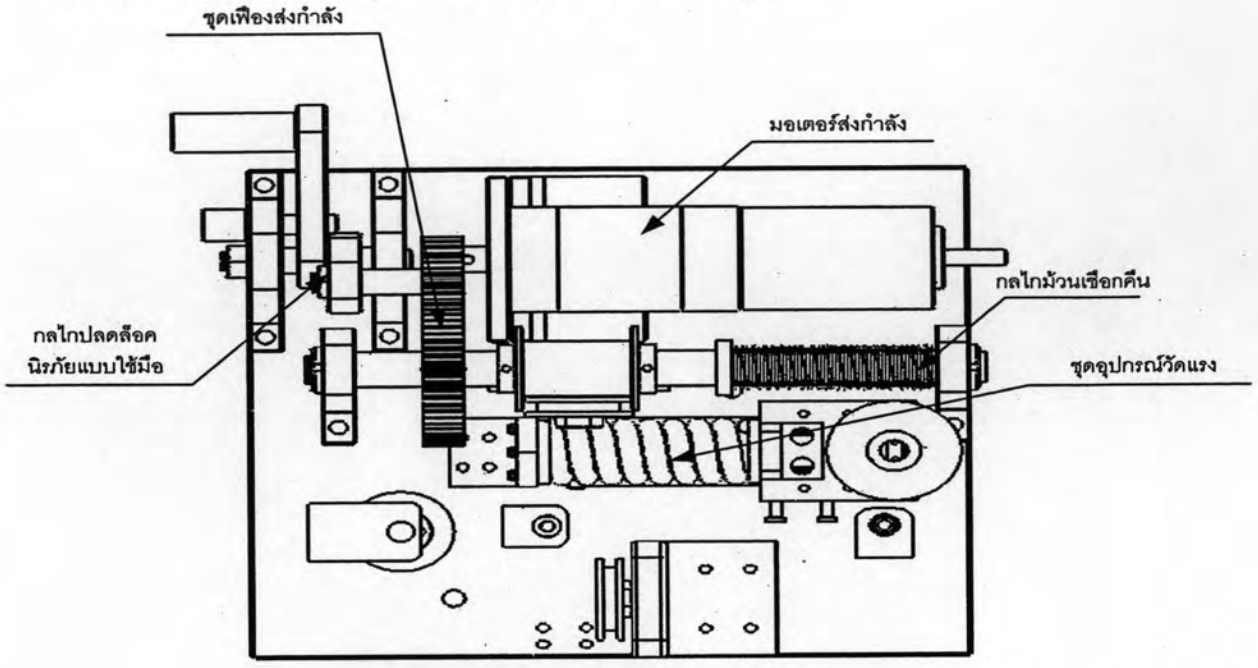


รูปที่ 3.19 กลไกส่งผ่านเชือกมุมมองด้านบน

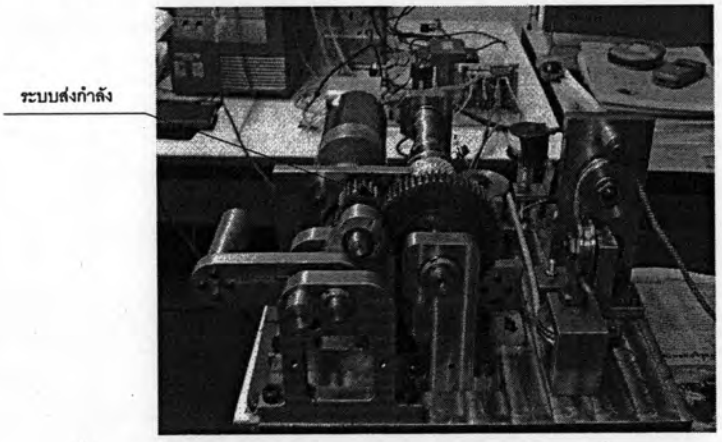


รูปที่ 3.20 กลไกส่งผ่านเชือกมุมมองด้านข้าง

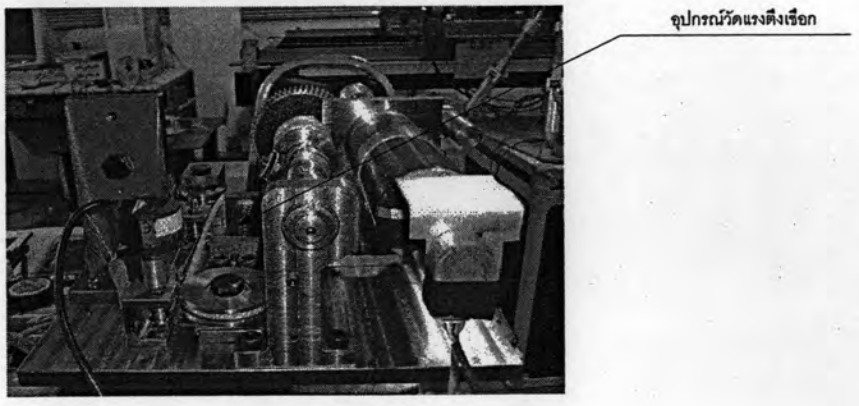
3.5 โครงสร้างของกลไกเครื่องดึงกระดูกสันหลังที่สมบูรณ์



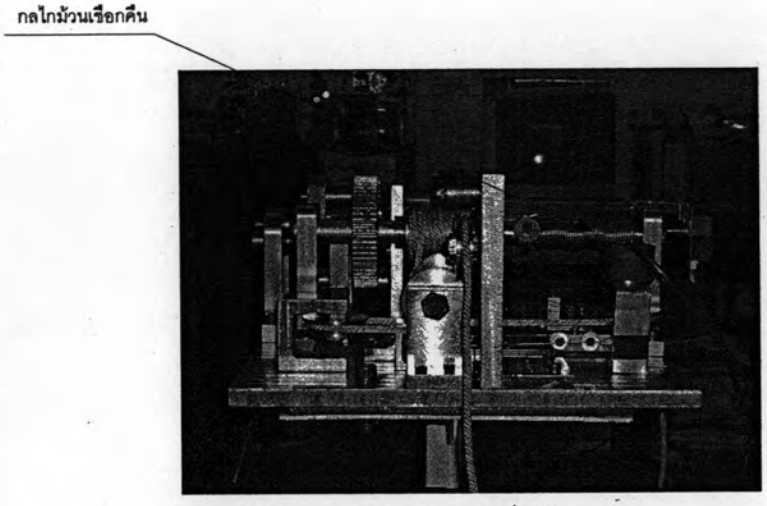
รูปที่ 3.21 ภาพมุมมองด้านบนของเครื่องดึงกระดูกสันหลัง



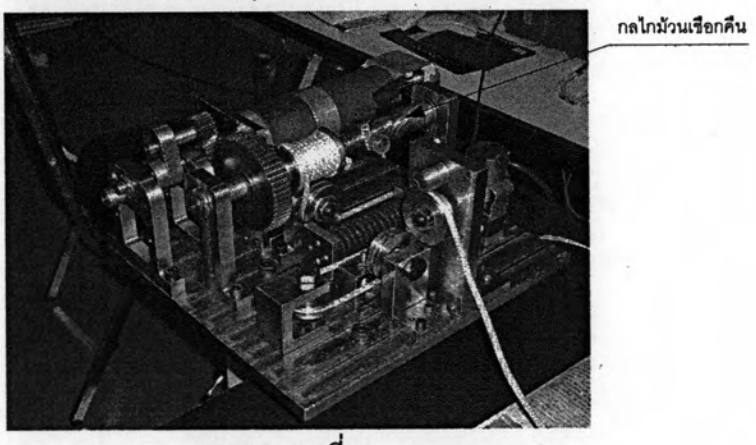
(ก) มุมมองที่ 1



(ข) มุมมองที่ 2



(ค) มุมมองที่ 3



(ง) มุมมองที่ 4

รูปที่ 3.22 ภาพมุมมองต่างๆ ของเครื่องดึงกระดูกสันหลัง

(ก) แสดงถึงระบบส่งกำลัง

(ข) อุปกรณ์วัดแรงและเอนโคดเดอร์

(ค)-(ง) กลไกม้วนเชือกคืน