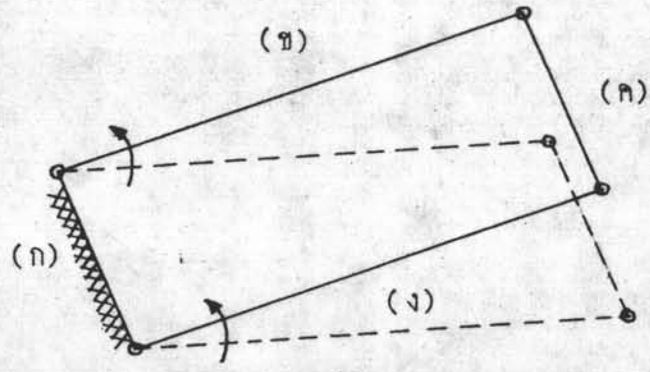
บทที่ 2

การออกแบบมือ

สำนักหอสมุด สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า

2.1 ลักษณะการทำงาน

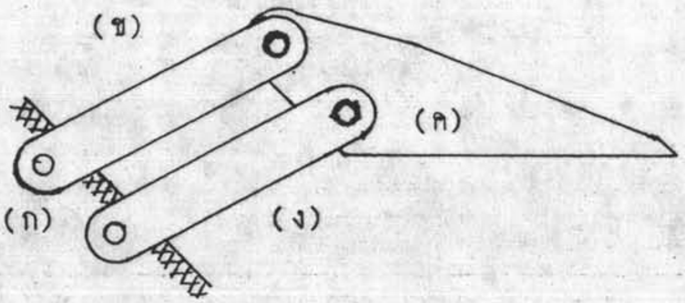
จุดประสงค์ในการออกแบบและพัฒนามือกลนั้นเพื่อนำไปใช้กับตู้ปฏิบัติการทางเคมีที่มีรังสีสูง ดังนั้นสิ่งที่มือกลจะหยิบหรือจับส่วนมากจึงเป็นแก้วบรรจุสารละลายต่าง ๆ ในการออกแบบครั้งนี้จึงถือการจับของมือกลกับแก้วเป็นหลักในการคำนวณ ลักษณะของนิ้วมือควรเคลื่อนเข้าหากันโดยนิ้วทั้งสองขนานกันเพื่อจับแก้วหรือวัตถุกลมได้หลาย ๆ ขนาดตั้งแต่โตสุดเท่าความกว้างของนิ้วที่กางออกถึงเล็กสุด และสามารถจับได้ทุก ๆ ตำแหน่งของนิ้วโดยไม่มีการลื่นหลุด



รูปที่ 2.1 ลักษณะการเคลื่อนที่ของชิ้นส่วน

พิจารณารูปที่ 2.1 เมื่อชิ้นส่วน (ก) เท่ากับชิ้นส่วน (ค) และชิ้นส่วน (ข) เท่ากับชิ้นส่วน (ง) นำมาต่อกันในลักษณะหมุนได้รอบที่จุดต่อเป็นรูปสี่เหลี่ยมด้านขนาน ถ้าให้ชิ้นส่วน (ก) ยึดติดอยู่กับที่จับชิ้นส่วน (ข) หรือชิ้นส่วน (ง) หมุนไปในระนาบเดียวกันคือระนาบของชิ้นส่วน กขคง ดังรูปที่ 2.1 จะพบว่าชิ้นส่วน (ค) เคลื่อนที่ไปในลักษณะรักษา

แนวของชิ้นส่วน (ค) ให้ขนานกับแนวเดิมตลอดเวลา ดังนั้นถ้าให้ชิ้นส่วน (ค) เป็นนิ้วมือชิ้นส่วน (ก) เป็นข้อมือมีชิ้นส่วนที่ยาวเท่ากันคือชิ้นส่วน (ข) และชิ้นส่วน (ง) มาต่อเข้าด้วยกันก็จะได้นิ้วมือที่เคลื่อนที่ในลักษณะขนานกับแนวเดิมตลอดเวลา ดังรูปที่ 2.2

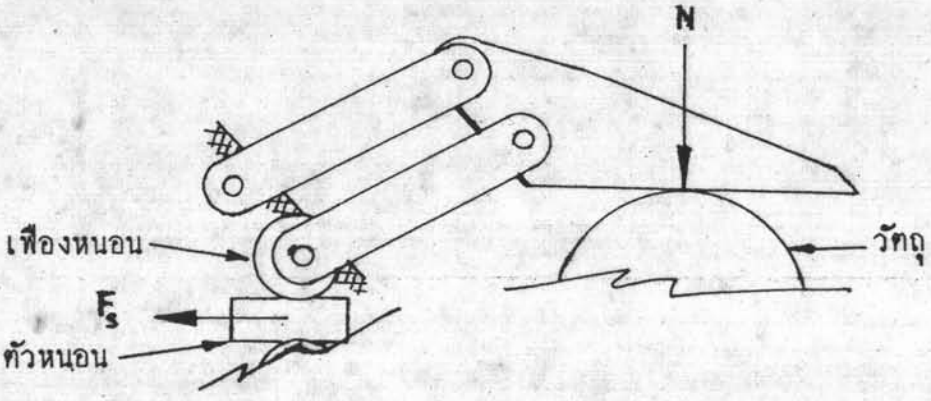


รูปที่ 2.2 ส่วนประกอบของนิ้วมือ

จากรูปที่ 2.2 ทำชุดของนิ้วมือนี้ 2 ชุด ประกอบเข้ากับข้อมือเดียวกันได้มือกลที่มีการเคลื่อนที่ของนิ้วมือขนานกันตามต้องการ ในการทำให้นิ้วแต่ละนิ้วเคลื่อนที่นั้นอาศัยการหมุนของชิ้นส่วน (ข) หรือ (ง) รอบจุดหมุนที่ข้อมือในที่นี้จะใช้การส่งกำลังหมุนให้กับชิ้นส่วน (ง) โดยติดตั้งชุดเฟืองหนอนช่วยในการส่งกำลัง ตัวเฟืองหนอนยึดติดกับชิ้นส่วน (ง) ตัวหนอนยึดติดกับเพลาส่งกำลังมาจากมอเตอร์ เพลานี้ติดตั้งอยู่ระหว่างเฟืองหนอนสองตัวบนข้อมือ ในขณะที่มือไม่ได้จับสิ่งใดนิ้วมือจะเคลื่อนที่โดยการขับเคลื่อนของมอเตอร์ผ่านชุดเฟืองหนอนดังกล่าว เมื่อนิ้วมือบีบหรือจับวัตถุกำลังที่ส่งมายังเพลาจะถูกสะสมอยู่ในสปริงที่สวมอยู่กับเพลาในรูปของการยุบตัวของสปริงโดยที่เพลาขับตัวหนอนให้เคลื่อนผ่านเฟืองหนอนทั้งสองในลักษณะของสกรู ดังนั้นแรงบีบสูงสุดของนิ้วมือจะขึ้นอยู่กับพลังงานที่ถูกสะสมในสปริงเมื่อยุบตัวมากที่สุด พลังงานที่สะสมนี้ถูกส่งไปยังนิ้วมือเพื่อบีบสิ่งต่าง ๆ โดยแรงเหนี่ยวรั้งของตัวหนอนต่อเฟืองหนอนตามแนวแกนเพลา แรงนี้จะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับการยุบตัวของสปริง ขนาดของขดสปริง ขนาดของลวดที่ใช้ทำสปริงและวัสดุที่ใช้ทำสปริง ซึ่งมีความสัมพันธ์กับแรงบีบที่นิ้วมือตามขนาดของชิ้นส่วนที่ใช้ประกอบกัน ความสัมพันธ์ดังกล่าวหาได้ดังต่อไปนี้

2.2 ความสัมพันธ์ของแรงต่าง ๆ

การหาความสัมพันธ์ของแรงบีบกับแรงที่เกิดจากสปริงเมื่อสปริงถูกทำให้ยุบตัว นั้นต้องคำนึงถึงขอบเขตของการทำงานของนิ้วมือและขนาดชิ้นส่วนของมือ ขนาดชิ้นส่วนของมือได้กำหนดรูปร่างและขนาดตามแบบแยกส่วนประกอบโดยถือความเหมาะสมและลักษณะของการทำงานพร้อมทั้งความสวยงามเป็นหลัก การทำงานของมืออนุญาตให้กางนิ้วมือออกได้กว้างสุด 110 มิลลิเมตร และสามารถบีบนิ้วมือเข้าหากันจนกระทั่งสนิท ลักษณะของแรงจากสปริงถูกส่งไปยังเฟืองหนอนและทำให้นิ้วบีบด้วยแรงที่มีลักษณะดังรูปที่ 2.3

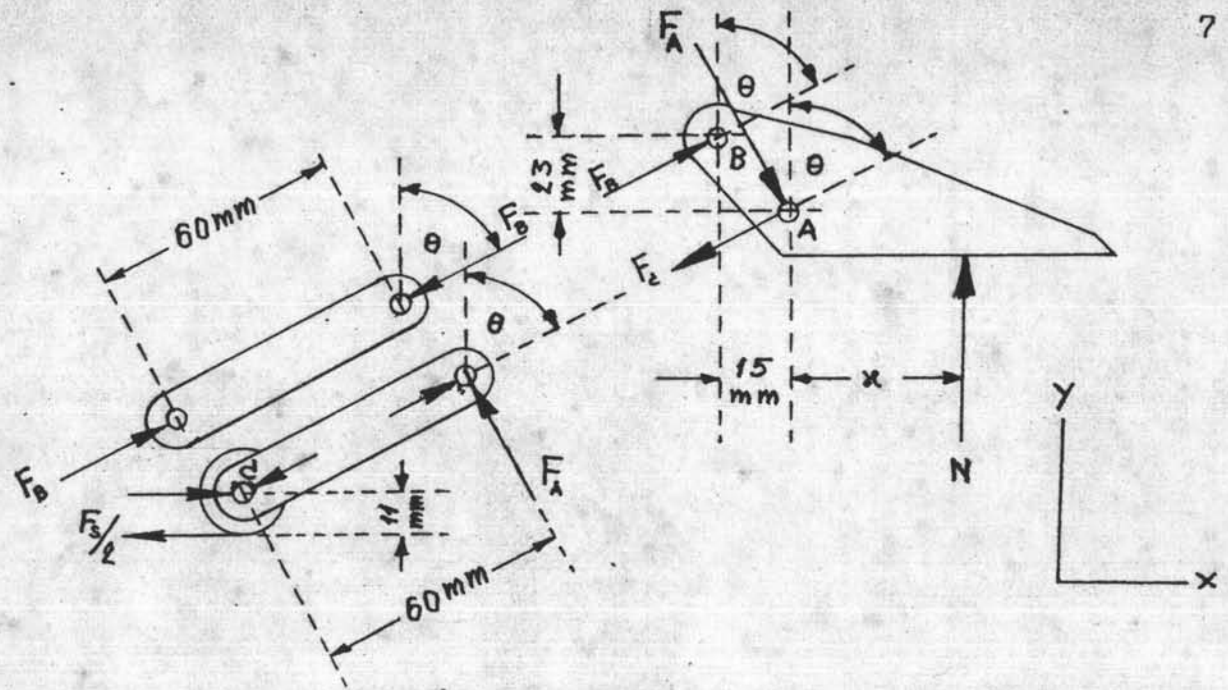


รูปที่ 2.3 แสดงการส่งแรงบีบวัตถุ

จากรูปที่ 2.3 แรง F_s เป็นแรงที่สปริงเหนี่ยวรั้งตัวหนอนตามแนวแกนเพลาส่งกำลังให้กับเฟืองหนอน 2 ตัว เพราะฉะนั้นเฟืองหนอนแต่ละตัวจะรับแรงเพียงครึ่งหนึ่งของ F_s เมื่อแยกรูปวัตถุอิสระของชิ้นส่วนทั้งหมดออกจะพบว่ามีแรงกระทำดังรูปที่ 2.4

จากรูปที่ 2.4 รูปวัตถุอิสระของนิ้วมืออยู่ในภาวะสมดุลย์ เพราะฉะนั้น

$\Sigma F_x = 0$; $\Sigma F_y = 0$ และ $\Sigma M = 0$



รูปที่ 2.4 รูปวัตถุอิสระของนิ้วมือขณะจับวัตถุ

เมื่อ $\Sigma F_x = 0$;

$$F_B \sin\theta + F_A \cos\theta - F_C \sin\theta = 0 \qquad (2.1)$$

เมื่อ $\Sigma F_y = 0$;

$$F_B \cos\theta - F_C \cos\theta - F_A \sin\theta + N = 0 \qquad (2.2)$$

เมื่อ $\Sigma M_A = 0$;

$$(F_B \sin\theta)(23) + (F_B \cos\theta)(15) - (N)(x) = 0$$

$$F_B (23 \sin\theta + 15 \cos\theta) = xN$$

$$F_B = \frac{xN}{23 \sin\theta + 15 \cos\theta} \qquad (2.3)$$

แทนสมการ (2.3) ในสมการ (2.1)

$$\frac{xN \sin\theta}{23 \sin\theta + 15 \cos\theta} + F_A \cos\theta - F_C \sin\theta = 0$$

$$F_C = \left(\frac{xN \sin\theta}{23 \sin\theta + 15 \cos\theta} + F_A \cos\theta \right)\left(\frac{1}{\sin\theta} \right) \qquad (2.4)$$

แทนสมการ (2.3) และสมการ (2.4) ในสมการ (2.2)

$$\frac{xN \cos\theta}{23 \sin\theta + 15 \cos\theta} - \left(\frac{xN \sin\theta}{23 \sin\theta + 15 \cos\theta} + F_A \cos\theta \right)\left(\frac{\cos\theta}{\sin\theta} \right) -$$

$$F_A \sin\theta + N = 0$$

$$\frac{xN\cos\theta}{23\sin\theta + 15\cos\theta} - \frac{xN\cos\theta}{23\sin\theta + 15\cos\theta} - F_A\frac{\cos^2\theta}{\sin\theta} - F_A\sin\theta + N = 0$$

$$F_A\left(\frac{\cos^2\theta + \sin^2\theta}{\sin\theta}\right) = N$$

$$F_A = N\sin\theta \qquad (2.5)$$

พิจารณาชิ้นส่วนที่ยึดติดกับเฟืองหนอน F_A เป็นแรงที่เกิดจากแรงสปริง $\frac{F_s}{2}$ ให้จุด C เป็นจุดหมุนโมเมนต์จาก $\frac{F_s}{2}$ เท่ากับโมเมนต์จาก F_A

$$F_A(60) = \frac{F_s}{2}(11)$$

$$60\,N\sin\theta = \frac{11\,F_s}{2}$$

$$F_s = \frac{120}{11}N\sin\theta \qquad (2.6)$$

หรือ

$$N = \frac{11}{120\sin\theta}F_s \qquad (2.7)$$

พิจารณารูปที่ 2.4 และสมการความสัมพันธ์ของ N และ F_s ไม่มีระยะ x เกี่ยวข้องด้วยแสดงว่าแรงบีบของนิ้วที่มีต่อวัตถุเท่ากันตลอดความยาวของนิ้ว แต่แรงบีบจะเปลี่ยนแปลงไปตามความกว้างของนิ้วที่กางออก ซึ่งถ้าจับวัตถุใหญ่จะบีบแรงมากกว่าจับวัตถุเล็ก สังเกตได้จากมุม θ ถ้า F_s คงที่ เมื่อ θ เป็นมุมเล็ก ๆ นิ้วจะกางกว้างมากแรงบีบ (N) ในสมการจะมาก เมื่อ θ เป็นมุมโตขึ้นนิ้วจะกางกว้างน้อยลง แรงบีบ (N) ในสมการจะน้อยลง เมื่อเป็นเช่นนี้ก็ย่อมเป็นสิ่งที่ดีเพราะวัตถุโตย่อมมีน้ำหนักมากกว่าวัตถุเล็กโดยที่วัตถุนั้นเป็นวัตถุชนิดเดียวกัน

2.3 ความสัมพันธ์ของแรงบีบและน้ำหนักของวัตถุ

น้ำหนักของวัตถุที่มือสามารถจับไว้ได้นั้นขึ้นอยู่กับแรงบีบ (N) และค่าสัมประสิทธิ์

ความเสียดทานระหว่างนิ้วและวัตถุ (μ)

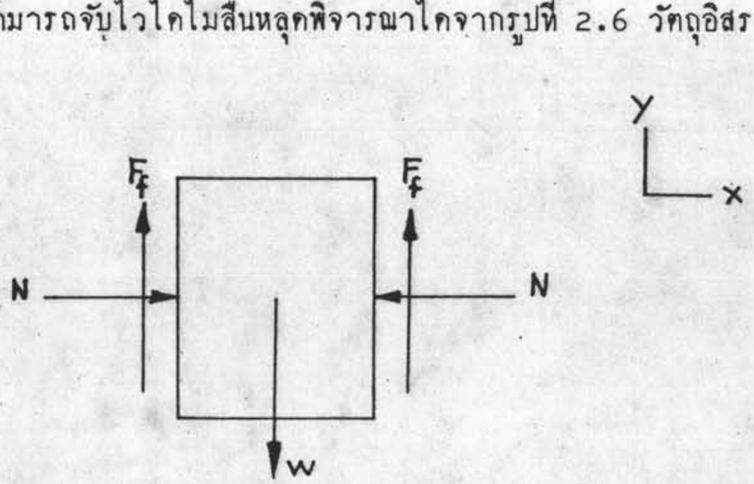
$$F_f = \mu N \quad (2.8)$$

เมื่อ F_f = แรงเนื่องจากความฝืด

รูปที่ 2.5 แสดงการจับวัตถุ

รูปที่ 2.5 เป็นลักษณะการจับวัตถุของนิ้วมือ นิ้วมือบีบวัตถุด้วยแรง N แรงที่ต้านไม่ให้วัตถุหนัก W เลื่อนลงคือแรงเนื่องจากความเสียดทาน F_f ระหว่างนิ้วกับวัตถุ แต่เนื่องจากนิ้วมือทำจากเหล็กและวัตถุที่จะจับบ่อยที่สุดคือแก้วหรือขวด ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของวัตถุทั้งสองน้อยมากดังนั้นบริเวณที่นิ้วมือสัมผัสกับวัตถุนั้นจึงใช้ยางทากาวติดกับนิ้วมือไว้เพื่อเพิ่มแรง F_f เพราะค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานระหว่างยางกับแก้วมากกว่าเหล็กกับแก้วมากซึ่งจะช่วยให้มือจับวัตถุที่ต้องการจับได้หนักขึ้น

น้ำหนักที่มือนี้สามารถจับไว้ได้ไม่ลื่นหลุดพิจารณาได้จากรูปที่ 2.6 วัตถุอิสระของวัตถุที่ถูกจับดังรูปต่อไปนี้



รูปที่ 2.6 รูปวัตถุอิสระของวัตถุขณะถูกจับด้วยมือ

จากรูปที่ 2.6 วัตถุอยู่ในภาวะสมดุลย์ $\Sigma F_Y = 0$

$$W = 2F_f \quad (2.9)$$

$$W = 2\mu N$$

เมื่อ W = น้ำหนักของวัตถุที่ถูกจับ

μ = สัมประสิทธิ์ความเสียดทานระหว่างยางกับแก้ว

= 0.6

N = แรงบีบของนิ้วมือ

$$W = 2\,(0.6)\,N$$

$$W = 1.2\left(\frac{11}{120 \sin \theta}\right) F_s$$

$$W = \frac{0.11}{\sin \theta} F_s \quad (2.10)$$

2.4 หาขนาดสปริงที่ใช้สะสมพลังงาน

ระยะกว้างสุดของนิ้วที่กำหนดให้กางได้มากสุด 110 มิลลิเมตรที่ตำแหน่งนี้ พิจารณาจากขนาดของนิ้วมือตำแหน่งจุดหมุนที่นิ้วมือและแผ่นประกอบข้อมือรวมทั้งความหนาของยางหุ้มนิ้วมือ ระยะห่างระหว่างจุดหมุนของชิ้นส่วนที่ 4 (ตามแบบ) ซึ่งเป็นชิ้นส่วนที่ติดกับเฟืองหนอนในแนว Y ตามรูปที่ 2.4 เท่ากับ 52 mm (ความหนาของยางหุ้มนิ้วมือ 3 mm) ระยะห่างระหว่างจุดหมุนตามความยาวของชิ้นส่วนที่ 4 เท่ากับ 60 mm

ดังนั้น
$$\frac{52}{60} = \cos \theta$$

$$\theta = \cos^{-1} \frac{52}{60} \text{ องศา}$$

$$= 29.93 \text{ องศา}$$

$$\cong 30 \text{ องศา}$$

การทำงานของมือกลในตู้ปฏิบัติการเคมี น้ำหนักที่จะจับหรือยกชิ้นโดยประมาณไม่

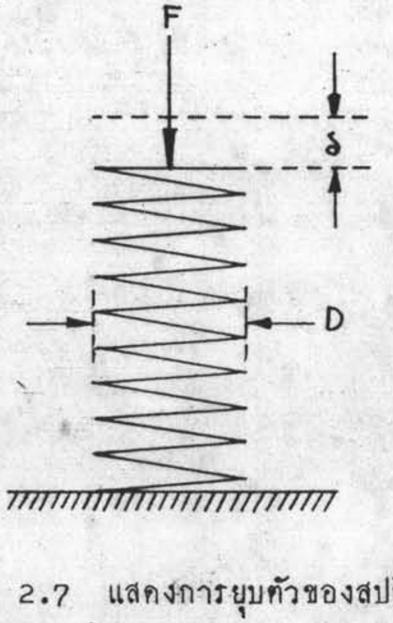
ควรจะเกิน 3 กิโลกรัม ดังนั้นจึงกำหนดให้มือกลสามารถยกน้ำหนักได้ 3 กิโลกรัมเพื่อคำนวณหาขนาดของสปริงที่จะใช้ในการสะสมพลังงานเมื่อน้ำหนัก W = 3 กิโลกรัม

$F_s = \frac{3 \times 9.81 \sin 30^{\circ}}{0.11}$ = 133.77 นิวตัน จากการคำนวณอย่างหยาบ ๆ ที่ตำแหน่งนิ้วกางกว้าง 110 มิลลิเมตร แล้วไปเลือกซื้อสปริงให้มีขนาดใกล้เคียงกับที่คำนวณได้มากที่สุด ปรากฏว่าจะต้องใช้สปริง 2 ตัว ตัวใหญ่ 1 ตัว และตัวเล็ก 1 ตัว ในขณะทำงานให้สปริงตัวเล็กสวมอยู่ภายในขดสปริงตัวใหญ่ สปริงทั้งสองเป็นแบบปลายตรงและเจียระไนทำจากวัสดุเหล็กกล้าไร้สนิมมีค่า $E = 180 \ kN/mm^2$; $G = 70 \ kN/mm^2$

สปริงตัวใหญ่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางขด (D) 20 มิลลิเมตร ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเส้นลวด (D_w) 2 มิลลิเมตร ความยาว 42 มิลลิเมตรและจำนวนขด 9 ขด

สปริงตัวเล็กมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางขด (D) 13 มิลลิเมตรขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเส้นลวด (D_w) 1.5 มิลลิเมตร ความยาว 55 มิลลิเมตร และจำนวนขด 12 ขด

จากขนาดดังกล่าวตรวจสอบอีกครั้งว่าสามารถให้แรงจับน้ำหนักได้ 3 กิโลกรัมหรือไม่ดังการคำนวณต่อไปนี้



รูปที่ 2.7 แสดงการยุบตัวของสปริง

พิจารณาสปริงตามรูปที่ 2.7 เมื่อแรง F กดลง สปริงยุบตัว δ พลังงานที่สะสมในขดสปริงในรูปของการยุบตัวเท่ากับ $\frac{1}{2} F.\delta$ ซึ่งจะเท่ากับพลังงานที่สะสมในเส้นลวดสปริงในรูปของการบิดของลวดเท่ากับ $\frac{1}{2} T.\theta$ โดยที่ T เป็นโมเมนต์บิดของเส้นลวดมีค่าเท่ากับ $F.\frac{D}{2}$ หรือเท่ากับ F.R ส่วนมุม θ เป็นมุมทั้งหมดที่เส้นลวดบิดตัวไป

$$\frac{1}{2} F.\delta = \frac{1}{2} T.\theta$$

$$\delta = \frac{T.\theta}{F}$$

$$\because \quad \frac{T}{J} = \frac{G\theta}{L}$$

ดังนั้น

$$\theta = \frac{TL}{GJ}$$

$$\therefore \quad \delta = \frac{T^2 L}{GJF}$$

$$\delta = \frac{(F.R)^2 L}{GJF}$$

$$\delta = \frac{FR^2 L}{GJ} \qquad (2.11)$$

เมื่อ G = Modulus of rigidity

J = Polar moment of inertia

δ = ระยะยุบตัวของสปริง

L = ความยาวของลวด $2\pi Rn$

n = จำนวนขด

สำหรับลวดกลม ; $J = \frac{\pi}{32} D_w^4$

$$\delta = \frac{FR^2 (2\pi Rn)}{G\left(\frac{\pi}{32} D_w^4\right)}$$

$$\delta = \frac{64 FR^3 n}{G D_w^4}$$

$$F \propto \delta$$

$$F = k\delta$$

เมื่อ

k = Stiffness of spring or spring constant

$$k = \frac{F}{\delta}$$

$$k = \frac{F}{\frac{64 FR^3 n}{GD_w^4}}$$

$$k = \frac{GD_w^4}{64 R^3 n} \qquad (2.13)$$

สปริงแบบปลายตรงและเจียระไน $n = n_t - 2$; (n_t = จำนวนขดทั้งหมด)

สำหรับสปริงขดใหญ่ ; $k_1 = \frac{(70,000)(2)^4}{64\left(\frac{20}{2}\right)^3 (9-2)}$ นิวตันต่อมิลลิเมตร

$= 2.5$ นิวตันต่อมิลลิเมตร

สำหรับสปริงขดเล็ก ; $k_2 = \frac{(70,000)(1.5)^4}{64\left(\frac{13}{2}\right)^3 (12-2)}$ นิวตันต่อมิลลิเมตร

$= 2.016$ นิวตันต่อมิลลิเมตร

ความยาวแข็งตัวของสปริงชนิดปลายตรงและเจียระไนเท่ากับ $D_w (n+2)$ พิจารณาจากขนาดของสปริงทั้งสองขด ได้ความยาวแข็งตัวของสปริงทั้งสองดังนี้

สำหรับสปริงขดใหญ่ ;

ความยาวแข็งตัว $= 2\left[(9-2) + 2\right]$ มิลลิเมตร

$= 18$ มิลลิเมตร

สำหรับสปริงขดเล็ก ;

$$\text{ความยาวแข็งตัว} = 1.5 \left[(12-2) + 2 \right] \text{ มิลลิเมตร}$$

$$= 18 \text{ มิลลิเมตร}$$

ความยาวแข็งตัวของสปริงทั้งสองเท่ากัน ที่ตำแหน่งนี้ เป็นตำแหน่งที่สปริงทั้งสองมีพลังงานละสมอยู่สูงสุด ดังนั้นแรงสูงสุดที่ใช้ขับเคลื่อนนิ้วมือจึงได้จากเมื่อสปริงยุบตัวจนถึงความยาวแข็งตัว แรงดังกล่าวมีความสัมพันธ์กับค่าคงที่ของสปริงและระยะยุบตัวของสปริง

$$F = k\delta$$

ระยะยุบตัวสูงสุดของสปริงขดใหญ่ (δ_1) = ความยาวอิสระ - ความยาวแข็งตัว

= 42 - 18 = 24 มิลลิเมตร

ระยะยุบตัวสูงสุดของสปริงขดเล็ก (δ_2) = ความยาวอิสระ - ความยาวแข็งตัว

= 55 - 18 = 37 มิลลิเมตร

$$F_1 \text{ สูงสุด} = k_1 \delta_1$$

$$= (2.5)(24) = 60 \text{ นิวตัน}$$

$$F_2 \text{ สูงสุด} = k_2 \delta_2$$

$$= (2.016)(37) = 74.59 \text{ นิวตัน}$$

การต่อกันของสปริงแบบขนาน แรงทั้งหมดคือผลรวมของแรงทั้งสองคือ

$$F = F_1 + F_2$$

$$F_s \text{ สูงสุด} = (F_1 \text{ สูงสุด}) + (F_2 \text{ สูงสุด})$$

$$= 60 + 74.59 \text{ นิวตัน}$$

$$= 134.59 \text{ นิวตัน}$$

$$\text{แรงบีบวัตถุ } N = \frac{11}{120 \sin 0} F_s$$

$$N = \frac{11}{120 \sin 30^\circ} (134.59) \text{ นิวตัน}$$

$$N = 24.6748 \text{ นิวตัน} \quad (2.14)$$

$$N = \frac{24.6748}{9.81} \text{ กิโลกรัม} = 2.515 \text{ กิโลกรัม} \quad (2.15)$$

เพราะฉะนั้นน้ำหนักที่มือจับไว้ได้ไม่ลื่นหลุด เมื่อใช้สปริงทั้งสองในขณะที่นิ้วมือกางกว้าง 110 มิลลิเมตรคือ

004216

$$W = 2\,(0.6)\,N$$

$$= 2\,(0.6)(24.6748) \text{ นิวตัน}$$

$$= 29.6 \text{ นิวตัน}$$

$$= \frac{29.6}{9.81} \text{ กิโลกรัม}$$

$$W = 3.02 \text{ กิโลกรัม} \quad (2.16)$$

แสดงว่าสปริงทั้งสองสามารถให้แรงบีบเพื่อยกน้ำหนักหรือจับหรือถือไว้ได้โดยไม่ลื่นหลุดตามต้องการคือ 3 กิโลกรัม

พิจารณาเมื่อจับวัตถุขนาด 6 มิลลิเมตร วัตถุขนาดนี้มุม $\theta = 90^\circ$ แรงบีบของนิ้วมือคือ

$$N = \frac{11}{120 \sin 90^\circ}(134.59) \text{ นิวตัน}$$

$$N = 12.3374 \text{ นิวตัน} \quad (2.17)$$

$$N = \frac{12.3374}{9.81} \text{ กิโลกรัม}$$

$$N = 1.2576 \text{ กิโลกรัม} \quad (2.18)$$

$$W = 2\,(0.6)\,(12.3374) \text{ นิวตัน}$$

$$W = 14.8 \text{ นิวตัน} \quad (2.19)$$

i 17679047

$$W = \frac{14.8}{9.81} \quad \text{กิโลกรัม}$$

$$W = 1.5 \quad \text{กิโลกรัม} \qquad (2.20)$$

เพราะฉะนั้นเมื่อจับวัตถุขนาด 6 มิลลิเมตร แรงบีบเท่ากับ 1.2576 กิโลกรัม และน้ำหนักที่จับไว้ได้โดยไม่ลื่นหลุดเท่ากับ 1.5 กิโลกรัม

2.5 ต้นกำลังขับเคลื่อน

การขับเคลื่อนนิ้วมือนั้นใช้มอเตอร์ขนาด $\frac{1}{8}$ แรงม้า 12 V ใช้ไฟฟ้ากระแสตรง พร้อมชุดเฟืองทด ทดรอบให้มีความเร็ว 36 รอบต่อนาที ชุดเฟืองทดจะต้องประกอบด้วยชุดเฟืองหนอนทั้งชุดเฟืองทดและมอเตอร์ประกอบเข้าด้วยกันเป็นส่วนหนึ่งของแขนโดยให้เพลาส่งกำลังเป็นแกนกลางของแขนเพื่อความสวยงามและใช้เนื้อที่ให้น้อยที่สุด การต่อเพลาส่งกำลังเข้ากับเพลาของชุดเฟืองทดจะต้องเป็นอิสระในแนวแกนเพลาคือ เพลาสามารถเลื่อนไปมาตามแนวแกนเพลาได้เมื่อสปริงเปลี่ยนแปลงความยาว ชิ้นส่วนที่ช่วยในการต่อเพลาส่งกำลังให้ทำงานได้ดังกล่าวคือชิ้นที่ 20 และเพลาส่งกำลังคือชิ้นที่ 19 ตามแบบแยกชิ้นส่วน