[Technical Data] [ข้อมูลทางเทคนิค]
Spring Calculations (การคำนวณสปริง)

คัดลอกมาจาก JIS B 2704 (2000)

1. การคำนวณ

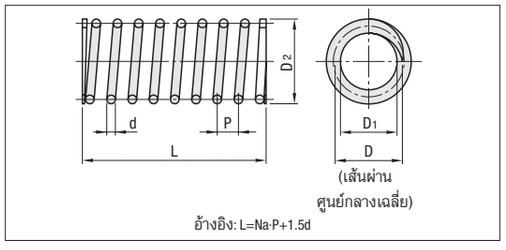
1.1 สัญลักษณ์ที่ใช้ในสูตรออกแบบสปริง

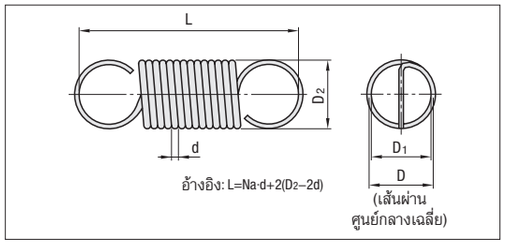
สัญลักษณ์ที่ใช้ในสูตรออกแบบสปริงแสดงในตาราง 1

ตาราง 1 ความหมายของสัญลักษณ์

สัญลักษณ์	ความหมายของสัญลักษณ์	หน่วย
d	เส้นผ่านศูนย์กลางของวัตถุ	mm
D_1	เส้นผ่านศูนย์กลางด้านในของคอยล์	mm
D_2	เส้นผ่านศูนย์กลางด้านนอกของคอยล์	mm
D	เส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของคอยล์ $=\frac{D_1+D_2}{2}$	mm
N_t	จำนวนขดทั้งหมด	–
N_a	จำนวนขดที่ใช้งาน	–
L	ช่วงความยาวอิสระ	mm
Hs	ช่วงความยาว	mm
p	ช่วงระยะห่างของสปริง	mm
P_i	แรงดึงเริ่มต้น	N{kgf}
c	ดัชนีสปริง $c=\frac{D}{d}$	–
G	โมดูลัสยืดหยุ่นเฉือน (Shear Modulus of Elasticity)	N/mm²{kgf/mm²}
P	โหลดที่กระทำบนสปริง	N{kgf}
δ	การเบี่ยงเบนของสปริง	mm
k	ค่าคงที่สปริง	N/mm²{kgf/mm²}
τ_0	ความเค้นบิด (Torsional Stress)	N/mm²{kgf/mm²}
τ	ค่าปรับความเค้นบิด	N/mm²{kgf/mm²}
τ_i	ความเค้นเริ่มต้น	N/mm²{kgf/mm²}
χ	ค่าปรับความเค้น	–
f	ความถี่	Hz
U	พลังงานสะสมในสปริง	N/mm²{kgf/mm²}
ω	น้ำหนักต่อหน่วยปริมาตรวัตถุ	kg/mm³
W	มวลของชิ้นส่วนที่กำลังเคลื่อนที่	kg
g	อัตราเร่งเนื่องจากแรงดึงดูดของโลก (1)	mm/s²

หมายเหตุ (1) ในการคำนวณสปริง จะใช้ค่าอัตราเร่งเนื่องจากแรงดึงดูดของโลก = 9806.65 mm/s²





1.2 สูตรพื้นฐานที่ใช้ในการออกแบบสปริง

1.2.1 สปริงขดแบบกด (Compression Spring) และ สปริงขดแบบดึง (Tension Spring) ที่ไม่มีแรงดึงเริ่มต้น

$$\delta=\frac{8N_aD^3P}{Gd^4} \quad (1) \qquad \tau=\chi\tau_0 \quad (5)$$

$$k=\frac{P}{\delta}=\frac{Gd^4}{8N_aD^3} \quad (2) \qquad d=\sqrt[3]{\frac{8DP}{\pi\tau_0}}=\sqrt[3]{\frac{8\chi DP}{\pi\tau}} \quad (6)$$

$$\tau_0=\frac{8DP}{\pi d^3} \quad (3) \qquad N_a=\frac{Gd^4\delta}{8D^3P}=\frac{Gd^4}{8D^3k} \quad (7)$$

$$\tau_0=\frac{Gd\delta}{\pi N_aD^2} \quad (4) \qquad U=\frac{P\delta}{2}=\frac{k\delta^2}{2} \quad (8)$$

1.2.2 สปริงดึงที่มีแรงดึงเริ่มต้น (โดยที่ P>Pi)

$$\delta=\frac{8N_aD^3(P-P_i)}{Gd^4} \quad (1') \qquad \tau=\chi\tau_0 \quad (5')$$

$$k=\frac{P-Pi}{\delta}=\frac{Gd^4}{8N_aD^3} \quad (2') \qquad d=\sqrt[3]{\frac{8DP}{\pi\tau_0}}=\sqrt[3]{\frac{8\chi DP}{\pi\tau}} \quad (6')$$

$$\tau_0=\frac{8DP}{\pi d^3} \quad (3') \qquad N_a=\frac{Gd^4}{8D^3k}=\frac{Gd^4\delta}{8D^3(P-P_i)} \quad (7')$$

$$\tau_0=\frac{Gd\delta}{\pi N_aD^2}+\tau_i \quad (4') \qquad U=\frac{(P+P_i)\delta}{2} \quad (8')$$

1.3 จุดที่ต้องสังเกตในการออกแบบสปริง

1.3.1 โมดูลัสยืดหยุ่นเฉือน โมดูลัสยืดหยุ่นเฉือน (G) แสดงในตาราง 2 เป็นค่าที่แนะนำให้ใช้สำหรับการออกแบบสปริง

ตาราง 2 โมดูลัสยืดหยุ่นเฉือน (G)

วัสดุ		ค่า G N/mm²(kgf/mm²)	สัญลักษณ์
สปริงเหล็กกล้า		78×10^3{8×10^3}	SUP6,7,9,9A,10, 11A,12,13
เหล็กลวดคาร์บอนสูง		78×10^3{8×10^3}	SW-B,SW-C
เหล็กลวดเปียโน		78×10^3{8×10^3}	SWP
เหล็กลวดอบคลายความร้อนด้วยน้ำมัน		78×10^3{8×10^3}	SWO,SWO-V,SWOC-V, SWOSC-V,SWOSM,SWOSC-B
เหล็กลวดสเตนเลสสตีล	SUS 302	69×10^3{7×10^3}	SUS 302
	SUS 304		SUS 304
	SUS 304N1		SUS 304N1
	SUS 316		SUS 316
	SUS 631 J1	74×10^3{7.5×10^3}	SUS 631 J1

1.3.2 จำนวนขดที่ใช้งาน จำนวนขดที่ใช้งานสามารถหาค่าได้ ดังต่อไปนี้

(1) สปริงขดแบบกด Compression Springs

$N_a=N_t-(X_1+X_2)$

โดยที่ X_1 และ X_2 คือจำนวนรอบที่แต่ละปลายของคอยล์

(a) กรณีปลายคอยล์เท่านั้นที่สัมผัสกับคอยล์อิสระตัวถัดไป

[ตาม (a) ~ (c) ในรูป 2]

$X_1=X_2=0.75$

ดังนั้น $N_a=N_t-2$

(b) กรณีปลายคอยล์ไม่สัมผัสกับคอยล์ตัวถัดไป และปลายสปริงหมุนไป $\frac{3}{4}$ รอบ [ตาม (a) ~ (e) ในรูป 2]

$X_1=X_2=0.75$

ดังนั้น $N_a=N_t-1.5$

(2) สปริงขดแบบดึง (Tension Springs) จำนวนขดที่ใช้จริงสามารถหาค่าได้ดังต่อไปนี้

แต่ไม่คำนึงถึงตะขอ

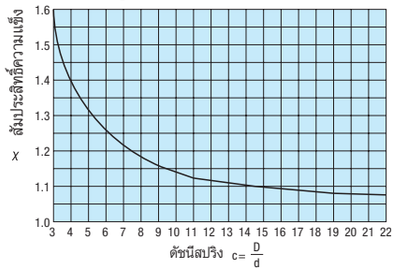
$N_a=N_t$

1.3.3 ค่าปรับความเค้น (Stress Corrrecton Factor)

ค่าปรับความเค้นสัมพันธ์กับดัชนีสปริง (C) สามารถหาค่าได้โดยใช้สูตรต่อไปนี้ หรือตามรูป 1

$$\chi=\frac{4c-1}{4c-4}+\frac{0.615}{c} \quad (9)$$

รูป–1 สัมประสิทธิ์ความแข็ง : χ



1.3.4 ขีดจำกัดความยาวของสปริง

โดยปกติขีดจำกัดความยาวของสปริงหาได้โดยใช้สูตรง่ายๆ ต่อไปนี้

โดยทั่วไป ผู้ซื้อสปริงขดแบบกด (compression spring) จะไม่ได้ระบุช่วงความยาวของสปริง

$$Hs=(N_t-1)d+(t_1+t_2) \quad (10)$$

โดยที่ t_1+t_2 คือ ผลรวมของความหนาของปลายคอยล์ทั้งสอง

สำหรับสปริงขดแบบกด ปลายทั้งสองจะมีรูปร่างดังแสดงใน (b), (c), (e) หรือ (f) ของรูป 2 และในกรณีที่ต้องระบุช่วงความยาว สูตรต่อไปนี้สามารถใช้หาค่าช่วงความยาวสูงสุด อย่างไรก็ตาม ช่วงความยาวสูงสุดจริงอาจมีค่าสูงกว่าค่าที่คำนวณได้ ขึ้นอยู่กับรูปร่างของสปริงในโจทย์

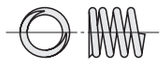
$$Hs=N_t\times d_{max} \quad (11)$$

โดยที่ dmax : d คือเส้นผ่านศูนย์กลางวัตถุ รวมค่าพิกัดความเผื่อสูงสุด

รูป-2 รูปร่างของปลายคอยล์

(a) ปลายปิด (ไม่เจียปลาย)

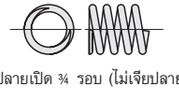
(b) ปลายปิด (เจียปลาย)



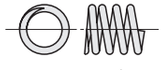
(c) ปลายปิด (เจียปลายเอียง)

(d) ปลายเปิด (ไม่เจียปลาย)

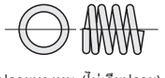
(e) ปลายเปิด (เจียปลาย)



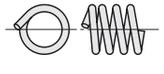
(f) ปลายเปิด (เจียปลายเอียง)



(g) ปลายเปิด ¾ รอบ (ไม่เจียปลาย)



(h) ปลายออกจากศูนย์กลางคอยล์ (ไม่เจียปลาย)



(i) ปลายหางหมู (ไม่เจียปลาย)

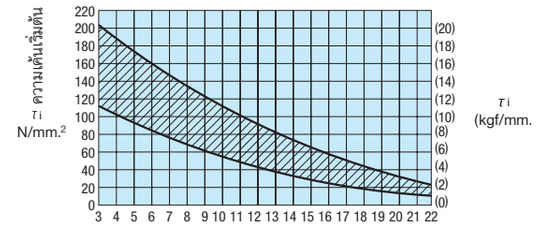
1.3.5 แรงดึงเริ่มต้นของสปริงขดแบบดึง (Tension Springs)

สปริงขดแบบดึงชนิดขึ้นรูปเย็นจะต้องมีแรงดึงเริ่มต้น (Pi) แรงดึงเริ่มต้นสามารถหาค่าได้จากสูตรต่อไปนี้

$$P_i=\frac{\pi d^3}{8D}\tau_i \quad (12)$$

สำหรับขดเหล็กลวดเปียโน, เหล็กลวดคาร์บอนสูง และเหล็กลวดอื่นๆ ที่ไม่ได้เผาที่อุณหภูมิต่ำ ความเค้นเริ่มต้นจะเกิดขึ้นภายในช่วงเย็นตัว (hatched range) ดังแสดงในรูป 3 อย่างไรก็ตาม หากมีการใช้วัสดุอื่นนอกจากเหล็กลวด หรือลวดในโจทย์ใช้การเผาที่อุณหภูมิต่ำ ความเค้นเริ่มต้นที่เกิดขึ้นภายในช่วงเย็นตัวใน รูป 3 ต้องทำการปรับแก้ ดังต่อไปนี้

รูป-3 ความเค้นเริ่มต้น : τ_i (สปริงที่ขึ้นรูปจากคอยล์เหล็กกล้า ไม่ได้เผาที่อุณหภูมิต่ำ)



(1) หากใช้เหล็กลวดสเตนเลสสตีล ให้ลดค่าความเค้นเริ่มต้นสำหรับเหล็กลวดลง 15%

(2) หากสปริงถูกเผาที่อุณหภูมิต่ำหลังการขึ้นรูป ให้ลดค่าลง 20-35% สำหรับสปริงที่ทำจากเหล็กลวดเปียโน เหล็กลวดคาร์บอนสูง หรือเหล็กลวดสเตนเลสสตีลอื่นๆ และลดค่าลง 15-25% สำหรับสปริงที่ทำจากเหล็กลวดสเตนเลสสตีล

อ้างอิง ในรูป 3 สูตรเอมพิริคัลต่อไปนี้สามารถใช้ในการสร้างความเค้นเริ่มต้นสำหรับสปริงก่อนหลอมที่อุณหภูมิต่ำ

$$\tau_i=\frac{G}{100c}$$

ตัวอย่างต่อไปนี้ เป็นการประยุกต์ใช้สูตรนี้เพื่อหาค่าแรงดึงเริ่มต้น

(1) เหล็กลวดเปียโน / เหล็กลวดคาร์บอนสูง [$G=78\times10^3$N/mm²{8×10^3kgf/mm²}]

ความเค้นเริ่มต้น $\tau_i=\frac{G}{100c}\times0.75$ (0.75 หาร 25, ลดลงเมื่อใช้การหลอมที่อุณหภูมิต่ำ)

แรงดึงดูดเริ่มต้น $P_i=\frac{\pi d^3}{8D}$ $\tau_i=\frac{Gd^4}{255D^2}\times0.75=\frac{229d^4}{D^2}\left\{\frac{24d^4}{D^2}\right\}$

(2) เมื่อใช้เหล็กลวดสเตนเลสสตีล [$G=69\times10^3$N/mm²{7×10^3kgf/mm²}]

ความเค้นเริ่มต้น $\tau_i=\frac{G}{100c}\times0.8$ (0.8 หาร 20, ลดลงเมื่อใช้การหลอมที่อุณหภูมิต่ำ)

แรงดึงดูดเริ่มต้น $P_i=\frac{\pi d^3}{8D}$ $\tau_i=\frac{Gd^4}{255D^2}\times0.8=\frac{216d^4}{D^2}\left\{\frac{22d^4}{D^2}\right\}$

1.3.6 การกระแทก (Surging)

เพื่อป้องกันการกระแทก สปริงที่เลือกควรมีค่าความถี่ธรรมชาติไม่พ้องกับค่าความถี่ธรรมชาติของแรงที่จะกระทำต่อสปริง

แรงดึงเริ่มต้นสามารถหาค่าได้ โดยใช้สูตรต่อไปนี้

$$f=a\sqrt{\frac{kg}{W}}=a\frac{70d}{\pi N_aD^2}\sqrt{\frac{G}{\omega}} \quad (13)$$

โดยที่ $a=\frac{i}{2}$:เมื่อปลายสปริงทั้งสองอิสระ หรือยึดอยู่กับที่

$a=\frac{2i-1}{4}$:เมื่อปลายสปริงด้านหนึ่งยึดอยู่กับที่ ส่วนปลายอีกด้านเป็นอิสระ i = 1,2,3……

$G=78\times10^3$N/mm² {8×10^3kgf/mm²},

$w=76.93\times10^{-6}$ N/mm³ {7.85×10^{-6}kgf/mm³} หากปลายสปริงทั้งสองอิสระ หรือยึดอยู่กับที่ ความถี่ธรรมชาติปฐมภูมิของสปริง สามารถหาค่าได้ดังต่อไปนี้

$$f_1=3.56\times10^5\frac{d}{NaD^2} \quad (13')$$

1.3.7 ประเด็นอื่นๆ ที่ต้องสังเกต

ในการออกแบบสปริง ต้องพิจารณาประเด็นเหล่านี้ด้วย

(1) ดัชนีสปริง ความเค้นที่มากเกินไปอาจเกิดจากค่าดัชนีสปริงน้อยเกินไป ความสามารถในการทำงานจะต่ำลง หากดัชนีสปริงสูงหรือต่ำเกินไป ดัชนีสปริงควรเลือกค่าในช่วง 4~15 เมื่อขึ้นรูปร้อน และในช่วง 4~22 เมื่อขึ้นรูปเย็น

(2) สัดส่วนความเรียว เพื่อให้มั่นใจว่าได้จำนวนขดที่ใช้จริงที่ถูกต้อง สัดส่วนความเรียวสำหรับสปริงขดแบบกด (สัดส่วนของความสูงอิสระเทียบกับเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของคอยล์) ควรมีค่า 0.8 ขึ้นไป นอกจากนี้ ควรพิจารณาความโก่งงอด้วย โดยทั่วไปแนะนำว่าสัดส่วนความเรียวควรเลือกค่าในช่วง 0.8-4 เพื่อป้องกันการโก่งงอ

(3) จำนวนขดที่ใช้งาน จำนวนขดที่ใช้งานควรมีค่าตั้งแต่ 3 ขึ้นไปเพื่อให้คุณสมบัติของสปริงมีเสถียรภาพ

(4) ช่วงระยะห่างของสปริง โดยทั่วไป เมื่อช่วงระยะห่างของเกลียวมีค่าเกิน 0.5D การเบี่ยงเบนของสปริง (โหลด) จะเพิ่มขึ้นจนทำให้เส้นผ่านศูนย์กลางคอยล์เปลี่ยนแปลง กรณีนี้ต้องการการปรับค่าการเบี่ยงเบนและความเค้นบิดที่คำนวณจากสูตรพื้นฐานดังนั้นช่วงระยะห่างของเกลียวไม่ควรเกิน 0.5D โดยทั่วไป ช่วงระยะห่างของเกลียวสามารถประมาณได้โดยใช้สูตรอย่างง่ายต่อไปนี้

$$p=\frac{L-Hs}{N_a}+d \quad (14)$$