

บทที่ 2

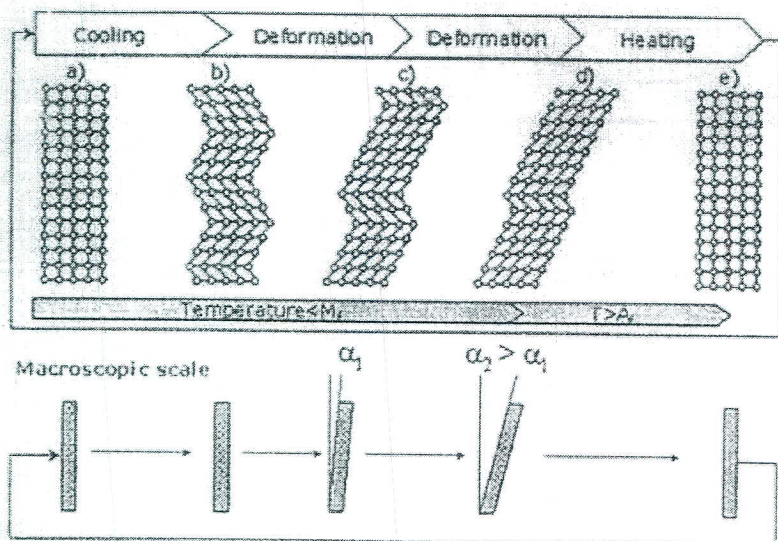
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องและผลงานที่มีมาก่อน

2.1 ทฤษฎี

2.1.1 Shape memory alloys

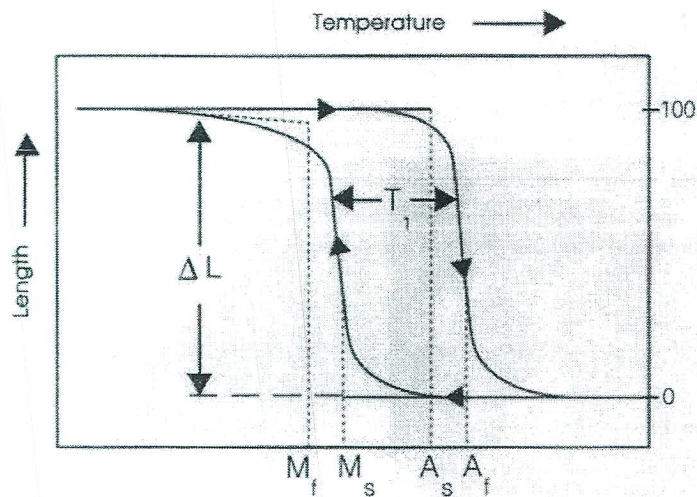
โลหะจำรูป คือ วัสดุที่สามารถเปลี่ยนรูปร่างและขนาดไปยังรูปร่างและขนาดตั้งต้นเมื่ออุณหภูมิที่ให้แก่วัสดุนั้นเปลี่ยนไป โดยทั่วไปโลหะจำรูปจะเกิดการเปลี่ยนรูป plastic deformation ที่อุณหภูมิต่ำกว่า เมื่ออุณหภูมิที่สูงกว่าสูงขึ้นโลหะดังกล่าวจะเปลี่ยนรูปร่างตัวเองไปยังจุดเดิมก่อนที่จะมีการเกิด plastic deformation ทั้งนี้วัสดุที่สามารถเปลี่ยนรูปร่างไปยังรูปร่างเดิม (shape memory) เมื่อให้ความร้อนแก่วัสดุนั้นเรียกว่า “one-way shape memory” ส่วนวัสดุที่เปลี่ยนรูปร่างในช่วงที่อุณหภูมิต่ำให้เย็นตัวลงเรียกว่า “two-way shape memory” โลหะจำรูปส่วนใหญ่จะเป็นอัลลอยของ Nickel-Titanium (NiTi alloys) และ Cu-based alloys เช่น CuZnAl และ CuAlNi

นอกจากนี้โลหะจำรูปยังหมายถึงการเปลี่ยนเฟสของ thermoelastic martensite โดยโลหะประเภทดังกล่าวจะมีการเปลี่ยนเฟสไปสู่ martensitic โดยวิธีการ twinning ที่อุณหภูมิต่ำกว่า transformation temperature และการเปลี่ยนรูปร่างนี้ จะกลับไปสู่รูปร่างเดิมโดยวิธีการ twin structure เมื่ออุณหภูมิตั้งขึ้นไปถึง parent phase รูปร่างดั้งเดิม (original)



รูปที่ 2.1 แสดงถึงการเปลี่ยนเฟสของ NiTi alloys จาก austenite เป็น martensite

ภายใต้การลดอุณหภูมิให้เย็นลง โครงสร้างเปลี่ยนแปลงไปเป็น martensite phase จนถึง อุณหภูมิ M_f ซึ่งการเปลี่ยนแปลงเป็น Martensite สิ้นสุดลงโดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง ภายนอก และ ในช่วงการเกิด deformation ระบบพยายามจะปรับตัวเพื่อให้พลังงานน้อยที่สุด โดยการ ปรับตัวเองเข้าสู่ twinning structure โดยพันธะระหว่างอะตอมยังคงอยู่เช่นเดิมและเมื่อ มีการให้อุณหภูมิสูงขึ้นกว่า A_f (อุณหภูมิที่ austenite phase สิ้นสุด) โครงสร้างของโลหะจำรูปจะ กลับมาอยู่ในรูปเดิมในจุดเริ่มต้น (parent phase) รูปร่างดั้งเดิม (original)



รูปที่ 2.2 แสดงความสัมพันธ์ Phase Transformation เมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนภายใต้ constant load

โดย T_1 คือ Transformation hysteresis
 M_s คือ อุณหภูมิที่ martensite เริ่มต้น
 M_f คือ อุณหภูมิที่ martensite สิ้นสุด
 A_s คือ อุณหภูมิที่ austenite เริ่มต้น
 A_f คือ อุณหภูมิที่ austenite สิ้นสุด

จาก รูปที่ 2.2 แสดงถึง phase transformation กับการเปลี่ยนอุณหภูมิของโลหะจำรูป โดยการ เกิด transformation จะเป็นในช่วงอุณหภูมิแคบถึงแม้ว่าจุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุดของ transformation จะใช้เวลานานและในช่วงอุณหภูมิที่ยาวกว่ากราฟที่แสดงในรูปดังกล่าวมี ลักษณะของ hysteresis loop ซึ่งการเกิด transformation ในช่วง heating และ cooling จะไม่ overlap กัน

คุณสมบัติของ SMA ระหว่างการเปลี่ยนแปลงเฟสจาก austenite phase ไปเป็น martensite phase Brinson และคณะ (Brinson, Bekker et al. 1996) ได้อธิบายถึงพฤติกรรมของ SMA โดยกฎพื้นฐานของ SMA ในลักษณะ one-dimensional สัมพันธ์กับความเค้น (σ) และความเครียด (ε), อุณหภูมิ (T) และ detwinned martensite fraction (ξ_δ) ในวัสดุ

$$\sigma - \sigma_0 = E(\xi)\varepsilon - E(\xi_0)\varepsilon_0 + \Omega(\xi)\xi_\delta - \Omega(\xi_0)\xi_{\delta 0} + \Theta(T - T_0) \quad (2.1)$$

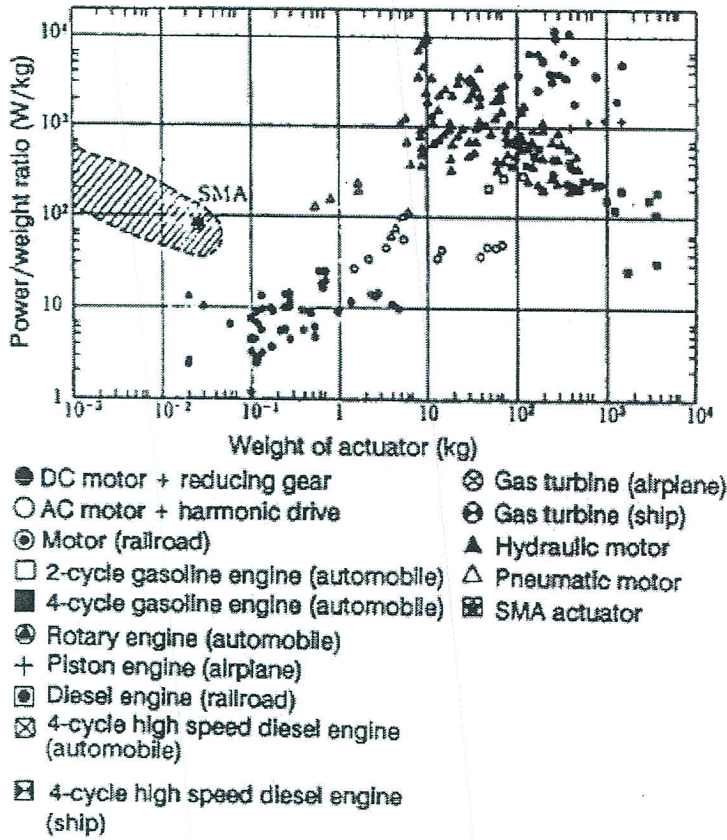
ค่าสัมประสิทธิ์ E และ Θ คือ elastic module tensor และ thermoelastic tensor ตามลำดับ ค่าสัมประสิทธิ์ tensor Ω สัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงปริมาตรในระหว่างการเปลี่ยนเฟส ลักษณะทางโครงสร้างจะแบ่งแยกกันระหว่าง twinned martensite ξ_T และ detwinned martensite ξ_δ

ดังนั้นผลรวมของ martensite fraction ในวัสดุ

$$\xi = \xi_\delta + \xi_T \quad (2.2)$$

การนำ SMA มาสร้างกลไกสำหรับ actuator ขนาดเล็กเนื่องจากจะทำให้ได้ actuator ที่มีน้ำหนักเบา เมื่อเปรียบเทียบกับ actuator อื่น จากรูปที่ 2.3 จะเห็นว่า SMA actuator จะมีค่าอัตราส่วนระหว่างกำลังต่อน้ำหนักที่มากเมื่อเทียบกับน้ำหนักของ actuator เอง ดังนั้นจึงมีความเป็นไปได้ที่จะนำ SMA มาสร้างเป็น actuator สำหรับการเคลื่อนที่ในแนวเส้นตรง ข้อดีของ SMA actuator คือ

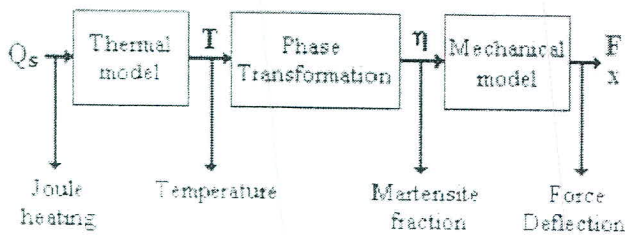
- ง่ายต่อการออกแบบและสร้างกลไกทาง mechanic
- เป็นกลไกที่ทำงานโดยปราศจากเสียงดังรบกวน
- ซ่อมแซมบำรุงรักษาได้ง่าย
- มีการตอบสนองที่เร็ว
- ใช้กำลังไฟฟ้าต่ำกว่า actuator ในบรรดาวัสดุอื่น ๆ เช่น Piezo electric และ electro statics



รูปที่ 2.3 แสดงอัตราส่วนกำลัง/น้ำหนัก กับ น้ำหนักของ actuator ต่าง ๆ

2.1.2 Modeling of SMA actuator

ในอดีตที่ผ่านมาได้มีการวิจัยเกี่ยวกับ Model SMA Actuator [1] โดยได้พัฒนา โดยได้พัฒนา แบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อใช้อธิบายพฤติกรรมของ SMA ที่เกี่ยวเนื่องกับคุณสมบัติของ วัสดุซึ่งไม่เป็นเชิงเส้น และมีการพิจารณา พลังงานความร้อนที่เกิดขึ้นจาก Joule effect heating เพื่อแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและคุณสมบัติทางกลของ SMA

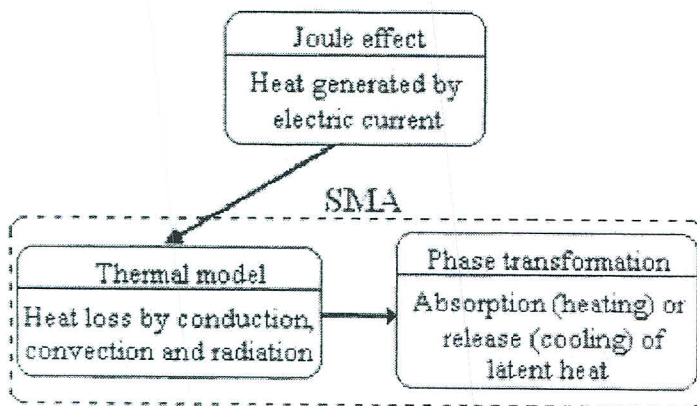


รูปที่ 2.4 แสดง SMA Block diagram model

1) Temperature Based Model

การตอบสนองของอุณหภูมิ (Thermal response) ของวัสดุ SMA เป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญในการวิเคราะห์และออกแบบ actuator คุณสมบัติทางความร้อน (thermal characteristic) ของ SMA ที่ไม่เป็นเชิงเส้นเนื่องจากมีค่าคงที่ของ thermal time ที่เป็นช่วงเวลาหนึ่งและคุณลักษณะที่เป็น hysteresis

แบบจำลองนี้ได้มีการวิเคราะห์และเสนอขึ้นโดย Ikuta[2] โดยใช้ในการตั้งสมมติฐานอย่างง่ายเกี่ยวกับสมดุลทางความร้อนของวัสดุซึ่งเกิดจากการกระจายตัวของความร้อนที่ผิว ของ SMA



รูปที่ 2.5 แสดง Schematic ของ SMA thermal model

การขับเคลื่อนของ SMA actuator เป็นพื้นฐานการควบคุมของการควบคุมความร้อนที่ให้แก่ SMA ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงจาก martensite phase กลายเป็น parent phase หรือกลับมาอยู่ในรูปเดิมในจุดตั้งต้น ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงค่า strain ในเนื้อวัสดุจึงเกิดแรงเป็นตัวขับเคลื่อนให้ได้ระยะทางตามที่ต้องการ ความร้อนที่เกิดขึ้นเนื่องจากการป้อนกระแสไฟฟ้าให้กับ SMA ดังนั้นกำลังไฟฟ้าที่ใช้ในการขับเคลื่อน SMA actuator

$$P = i^2 R \quad (2.3)$$

เมื่อ i เป็นกระแสไฟฟ้า และ R เป็นค่าความต้านทานของ SMA

ดังนั้นความร้อนที่เกิดขึ้นและกระบวนการ cooling จะเป็นตัวกำหนด time response ของ actuator จากสมการทางด้านเทอร์โมไดนามิกส์ สามารถเขียนเป็นสมการเชิงอนุพันธ์ดังนี้

$$mc_p \frac{dT}{dt} = Q_s - (Q_{conduction} + Q_{convection} + Q_{radiation}) \quad (2.4)$$

เมื่อ C_p คือความจุความร้อนจำเพาะของ SMA m และ A คือมวล และพื้นที่สัมผัสของ SMA และ T_∞ เป็นอุณหภูมิของสิ่งแวดล้อม Q_s คือ ความร้อนที่เกิดขึ้นจากแหล่งภายนอก

($Q_s = i^2 R$) $Q_{conduction}$, $Q_{convection}$ และ $Q_{radiation}$ เป็นรูปแบบการกระจายตัวของความร้อน โดยทั่วไปแล้ว $Q_{radiation}$ และ $Q_{conduction}$ จะพิจารณาเฉพาะ $Q_{convection}$

$$Q_{convection} = hA(T - T_\infty) \quad (2.5)$$

เมื่อ A คือพื้นที่ผิวสัมผัสของ SMA, h คือสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนและ T_∞ คือ อุณหภูมิของสิ่งแวดล้อมจากสมการ(4) ทำให้ได้สมการ

$$mc_p \frac{dT}{dt} = i^2 R - hA(T - T_\infty) \quad (2.6)$$

จากสมการที่ 2.6 ค่าอุณหภูมิจะเปลี่ยนแปลงตามเวลา เมื่อป้อนกระแสให้กับ SMA โดยพิจารณาเป็น open loop response เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นจนถึงจุด A_f คือ อุณหภูมิที่ austenite สิ้นสุด เมื่อเวลาเปลี่ยนไป อุณหภูมิจะมีค่าคงที่ การระบายความร้อนออกของ SMA ขึ้นอยู่กับค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน ตอนให้ความร้อนแก่ SMA ค่า h มีผลน้อยมาก เนื่องจากการตอบสนองไวกว่าตอนระบายความร้อน

2) Modeling based on Phase Transformation

Model นี้จะพิจารณา thermal hysteresis ที่เกิดขึ้นมาเนื่องจาก phase transformation [1]จากกฎของ Liang-Roger kinetic law ทำให้ทราบถึงการของ martensite fraction ξ ที่เปลี่ยนแปลงไปตามอุณหภูมิ T สำหรับกระบวนการระบายความร้อนของ SMA ซึ่ง เป็น ฟังก์ชันของอุณหภูมิ ดังสมการต่อไปนี้

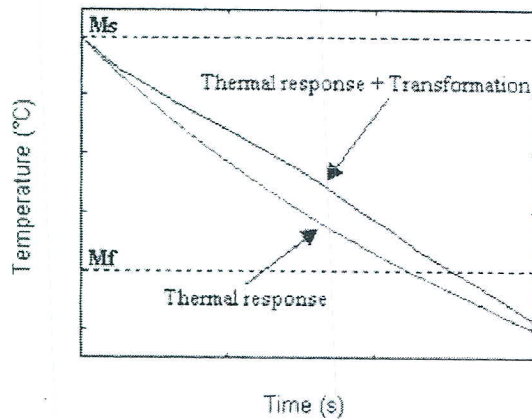
$$\begin{aligned} \xi(T) &= 0 & \text{for } T > M_s \\ \xi(T) &= \frac{1}{2} \left[\cos \left(\pi \frac{T - M_f}{M_s - M_f} \right) + 1 \right] & \text{for } M_f < T < M_s \\ \xi(T) &= 1 & \text{for } T < M_f \end{aligned} \quad (2.7)$$

ดังนั้นจากสมการทางความร้อนที่ทำให้เกิด เฟส transformation ทำให้เกิดสมการ

$$m \left[c_p \frac{dT}{dt} + \Delta H \frac{d\xi}{dt} \right] = \begin{cases} hA(T_\infty - T) + i^2 R & (\text{heating}) \\ hA(T_\infty - T) & (\text{cooling}) \end{cases} \quad (2.8)$$

ΔH คือ transformation enthalpy

เดิมทีนั้นถ้าพิจารณาเฉพาะ Thermal response ในระหว่างกระบวนการระบายความร้อนของ SMA จะเห็นว่าใช้เวลาในการตอบสนองที่เร็ว แต่เมื่อพิจารณาผลของการ Transformation ด้วยจะทำให้เวลาในการตอบสนองช้าลงกว่าเดิม



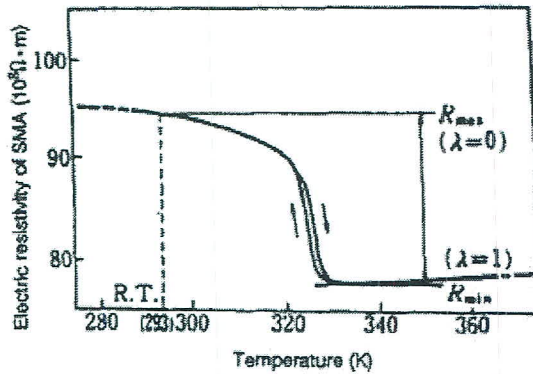
รูปที่ 2.6 แสดงการเปรียบเทียบระหว่าง thermal response และ thermal response ที่มี phase transformation

จากผลการทดลองของ V. Brailovski [3] และคณะ ผลของ transformation เมื่อ อุณหภูมิที่ martensite เริ่มต้นจะมีน้อยมากแต่เมื่อเวลาผ่านไปจะเห็นว่า transformation มีผลต่อการตอบสนองของ SMA

3) Mechanical Based Model

Shape memory alloy สามารถเปลี่ยนรูปร่างขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ เมื่อได้รับความร้อนก็จะกลับมารูปเดิม (Austenite phase) รูปร่างของ SMA ที่นิยมนำมาสร้างเป็น actuator ยกตัวอย่างเช่น เส้นลวด, สปริง, หลอดและแผ่น

สำหรับ SMA helical สปริงใช้เป็น actuator เนื่องจากง่ายต่อการขึ้นรูปเป็นลักษณะขดของสปริง และมีค่า yield ที่มากกว่าเส้นลวดตรง Tobushi และ Tanaka[4] ได้ทำการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างแรงกับระยะทางของ SMA helical สปริง และได้เสนอความสัมพันธ์ที่เป็นอิสระต่อกันระหว่าง Stress-strain และอุณหภูมิ



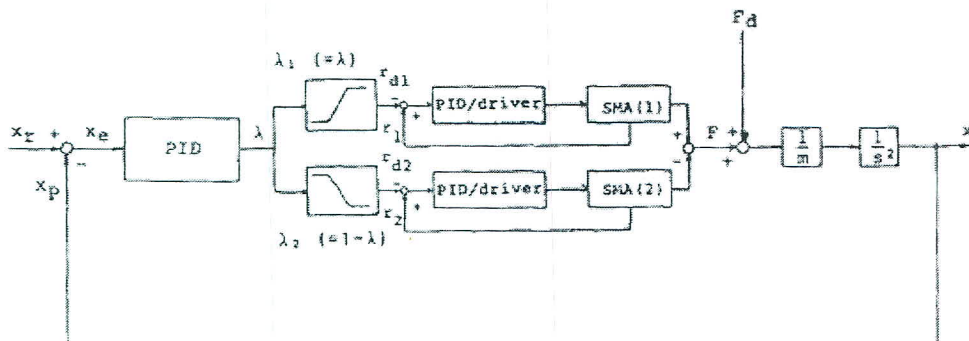
รูปที่ 2.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Resistivity และ Temperature ของ TiNi SMA

ข้อดีของระบบควบคุมการป้อนกลับของความต้านทานคือ

- หลีกเลี่ยงการเกิด overheat ของ SMA
- ไม่ขึ้นอยู่กับเงื่อนไขของการ heating และ cooling
- ลด hysteresis ของ SMA actuator
- เปรียบเสมือนเป็น sensor ตัวหนึ่งของที่ใช้วัดแรงและตำแหน่งโดยมีความเป็นไปได้ที่จะควบคุมแบบ open loop เมื่อรู้ความต้านทานสามารถกำหนดแรงหรือตำแหน่งของ actuator ได้

3) Advanced control and sensing scheme

วิธีการนี้จะกล่าวถึงการควบคุมแบบป้อนกลับโดยการรวม position feedback และ resistance feedback เข้าด้วยกัน และวิธีการควบคุมค่าคงที่ของ SMA spring โดยตรง และ force sensing โดยที่ไม่ต้องใช้ force sensor



รูปที่ 2.9 แสดงการควบคุมโดยใช้ electro resistance และ position feedback

1. Combination of External and Internal Variable Feedback

การควบคุมแบบป้อนกลับของตัวแปรอินพุท (resistance) และเอาต์พุท (position) แผนผังการควบคุมแบบป้อนกลับดังที่ได้แสดงในรูปที่ 2.9 การตอบสนองของแรง (sensing of force) อาจจะมีได้โดยไม่ต้องใช้ force sensor เมื่อใช้การควบคุมแบบป้อนกลับของตำแหน่ง

2. Direct Stiffness Control of SMA

จากรูปที่ 2.10 ได้แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรง (stress) และ ระยะเวลา (strain) ของ SMA ภายใต้เงื่อนไขของอุณหภูมิต่าง ๆ ซึ่งเกิดได้ว่าการที่ hysteresis loop กว้างเนื่องจากการเกิดผลของ Stress induced martensitic (SIM) transformation แทนที่จะเกิด plastic deformation ของ SMA การตอบสนองของ SMA ไม่เพียงแต่จะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ แต่ยังขึ้นอยู่กับ stress ด้วย ดังนั้นถ้า phase transformation ถูกควบคุมหรือกำหนดให้เป็นค่าคงที่ ก็สามารถกำหนดความสัมพันธ์ระหว่างแรงและระยะเวลา (Stress-Strain) ให้เป็นแบบเชิงเส้นได้เช่นกัน ดังแสดงในรูปที่ 2.8 การควบคุม phase transformation โดยใช้ความสัมพันธ์โดยตรงระหว่างความต้านทานของ SMA กับ phase transformation ซึ่งเรียกความสัมพันธ์แบบนี้ว่าเป็นความสัมพันธ์แบบหนึ่งต่อหนึ่ง Ikuta et.al[2] ได้ศึกษาความสัมพันธ์ดังกล่าว ความต้านทานจะเป็นตัวตรวจสอบสัญญาณของ phase transformation โดยที่ปราศจากการรบกวนของความร้อน และลดการเกิด overheat ของ SMA และยิ่งไปกว่านั้นค่าคงที่ของ SMA spring ขึ้นอยู่กับเฟส transformation ดังนั้นจะสามารถหาค่าคงที่ของ SMA spring ได้โดยใช้ resistance feedback

phase transformation เป็นผลเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนของเฟสทั้ง 2 เฟสคือ R-phase (หรือ Martensitic phase) ที่อุณหภูมิต่ำ และ Parent phase (Austenitic phase) ที่อุณหภูมิสูง ทั้งนี้อัตราส่วน transformation (R_p) สามารถวัดได้จาก transformation

$$R_p = \frac{\text{volume of Parent phase}}{\text{total volume of SMA}} \quad (2.11)$$

R_p จะเป็นจาก 0 เป็น 1 ตามกระบวนการ transformation ของ SMA จาก R-phase ไปเป็น Parent phase จากพื้นฐานทฤษฎี phase transformation ค่าคงที่ของ SMA (k) ขึ้นอยู่กับอัตราส่วน transformation โดยมีความสัมพันธ์เป็นฟังก์ชัน 1:1 ซึ่งกำหนดเป็นฟังก์ชันเชิงเส้น

$$k = f\{R_p\} = C_1 R_p + C_2 \quad (2.12)$$

ค่าความต้านทานของ SMA (r) ขึ้นอยู่กับอัตราส่วน transformation เนื่องจากการเปลี่ยนแปลง parent phase และ R-phase ใน TiNi alloy ทำให้เกิดความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานและ R_p และค่าคงที่ (k) สามารถที่จะหาค่าแรง F ได้จากสมการ

$$F = (C_5 \lambda + C_6)x \quad (2.13)$$

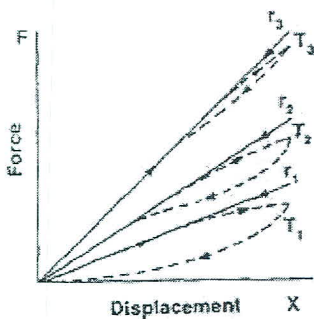
จากสมการทั้งสองข้างต้น ทำให้สามารถหาค่า k ได้

$$\begin{aligned} k &= f(g^{-1}(r)) = h(r) = (C_1/C_3)(r - C_4) + C_2 \\ &= C_5 r + C_6 \end{aligned} \quad (2.14)$$

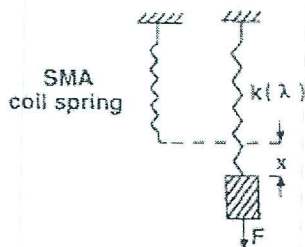
โดยค่าความต้านทาน(r)จะมีค่าอยู่ระหว่าง 0 กับ 1 เพื่อให้ง่ายต่อการเข้าใจจึงเปลี่ยนตัวแปรไปเป็น λ เหมือนกับหัวข้อ 2 ดังนั้นจะได้

$$k = k(\lambda) = C_5 \lambda + C_6 \quad (2.15)$$

ค่า C_5 และ C_6 หาได้จากการทดลอง ถ้าควบคุมค่าความต้านทาน λ ก็จะสามารถควบคุมค่า k ได้เช่นกันโดยใช้สมการ



รูปที่ 2.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงและระยะทาง



รูปที่ 2.11 Force sensing capability of SMA actuator

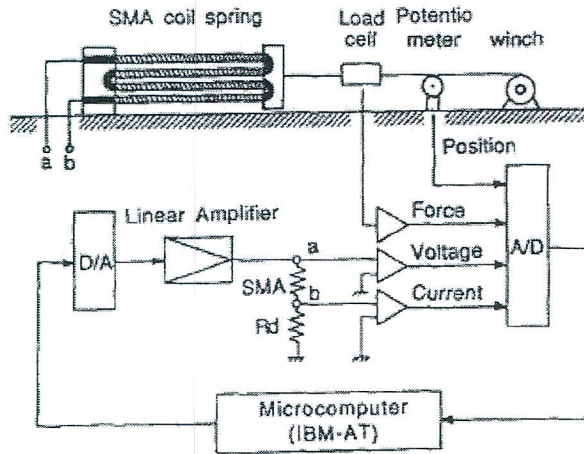
4) Sensorless Force Sensing Scheme

จากที่ได้กล่าวมาแล้วเกี่ยวกับ force sensing โดยพิจารณา spring SMA actuator อย่างง่ายดังแสดงในรูปที่ 2.11 เป็นสปริง SMA ที่มีมวลติดอยู่ที่ปลายสปริงและไม่มีมวล การเคลื่อนของมวลด้วยระยะทาง(x) จากจุดเริ่มต้นสามารถวัดได้โดยใช้ sensor เช่น photo sensor ค่า k ของสปริง SMA จะหาค่าได้เมื่อรู้ความต้านทาน λ และสามารถคำนวณแรง(F) ได้ตามสมการ

$$F = F(k, x) = F(k(\lambda), x) \quad (2.16)$$

โดยใช้กฎของ Hooke $F = kx$ หรือ

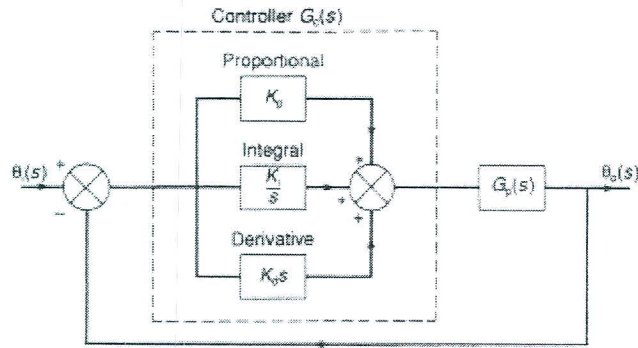
$$F = (C_s \lambda + C_c) x \quad (2.17)$$



รูปที่ 2.12 แสดงการวัดและการควบคุม SMA actuator ด้วยควบคุมแบบ PID

ตัวควบคุมแบบพีไอดี(PID) เป็นชื่อของตัวควบคุมอันทรงประสิทธิภาพ กว่าร้อยละ 90 ของปัญหาในการควบคุม สามารถแก้ไขได้ด้วยการใช้ตัวควบคุมชนิดนี้ โดยตัวควบคุม P (Proportional controller) หมายถึงการปรับสัดส่วนสัญญาณผิดพลาด I (Integral controller) หมายถึงการอินทิเกรตสัญญาณ และ D (Derivative controller) หมายถึงการอนุพันธ์สัญญาณ โดยกลไกทั้ง 3 ที่กระทำกับสัญญาณจะถูกรวมเข้าด้วยกันเพื่อปรับแต่งสัญญาณอย่างเหมาะสม ให้เกิดผลเป็นระบบอัตโนมัติ ในการใช้งานควบคุมอาจไม่ได้ใช้กลไกทั้ง 3 พร้อมกันทีเดียว อาจใช้ P อย่างเดียวหรือใช้ P กับ I ควบคู่กันเป็นต้น สาเหตุที่กลไกเหล่านี้เมื่อทำงานผสมผสานกันแล้วจะให้ผลดีต่อการควบคุมระบบ ก็เพราะตัวควบคุมพีไอดีเสมือนกับเป็นตัวชดเชยแบบเฟสล้ำหน้าต่อผสมแบบอนุกรมอยู่กับตัวชดเชยเฟสล้าหลัง ซึ่งตัวชดเชย

แต่ละแบบต่างก็มีข้อดีของมันเอง และใช้เพื่อวัตถุประสงค์เฉพาะที่แตกต่างกันในการชดเชยพลวัตของระบบ โดยโครงสร้างของตัวควบคุมแบบพีไอดี แสดงเป็นแผนผังได้ดังรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 แผนผังโครงสร้างการควบคุมแบบสัดส่วนบวกอินทิกรัลบวกอนุพันธ์ (PID control)

โดยมีรูปแบบของสมการดังนี้

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(t) dt + K_d \frac{de(t)}{dt} \quad (2.18)$$

โดย K_p คือ ค่าอัตราขยายที่กำหนดการทำงานของเอาต์พุตให้เป็นสัดส่วนกับ

ความคลาดเคลื่อนที่เปลี่ยนแปลงในระบบ (Proportional gain)

K_i คือ ค่าอัตราขยายที่กำหนดการทำงานของเอาต์พุตในสถานะอยู่ตัวของระบบ

ซึ่งจะมีผลทำให้ค่าความคลาดเคลื่อนในสถานะอยู่ตัวมีค่าเป็นศูนย์ (Integral gain)

K_d คือ ค่าอัตราขยายที่กำหนดการทำงานของเอาต์พุตของระบบที่มีการเปลี่ยนแปลง

อย่างทันทีทันใดเพื่อหน่วงผลตอบสนองให้ช้าลงหรือเร็วขึ้น (Derivative gain)

2.2 ผลงานที่มีมาก่อน

ในปัจจุบันเราจะเห็นว่าระบบคอมพิวเตอร์และตัวแสดงภาพได้พัฒนาไปถึงขั้นที่ทำให้ผู้ใช้รู้สึกเสมือนจริงในขณะเดียวกัน คนตาบอดสามารถเก็บข้อมูลหรืออ่านจากจอแสดงภาพไม่ได้ อุปกรณ์ที่สามารถใช้สื่อสารได้จากคอมพิวเตอร์คืออุปกรณ์แสดงผลหรือ Tactile display ซึ่งสามารถนำไปใช้เป็นอุปกรณ์ช่วยสำหรับผู้พิการได้ โดยเป็นอุปกรณ์ที่ต่อจากเครื่องคอมพิวเตอร์โดยคนตาบอดสามารถเลื่อนมือไปมาบนตัวอุปกรณ์เสมือนการอ่านหนังสือ แต่ Tactile display จะแสดงภาพจากคอมพิวเตอร์เสมือนกับการที่จอภาพแสดงข้อมูลบนจอคอมพิวเตอร์ ดังนั้นจึงจำเป็นอย่างยิ่งที่อุปกรณ์นี้จะสามารถปรับเปลี่ยนตัวแสดงผลที่แสดง

ไปอย่างรวดเร็วและเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา(refreshable) จึงมีงานวิจัยที่ทำการพัฒนาการการใช้ตัวบังคับการปรับเปลี่ยนปุ่มแสดงผลที่เคลื่อนที่โดย actuator ให้มีขนาดที่เล็กลง และมีความสามารถปรับเปลี่ยนเป็นตัวใหม่ได้อย่างรวดเร็ว ในขณะที่ผู้ใช้หรือคนตาบอดสามารถสัมผัสหรือรับรู้ความรู้สึกได้ ในทั่วไปตัวขับเคลื่อนในการเคลื่อนที่ของปุ่มแสดงมักใช้มอเตอร์ แต่ในระยะหลังมีการปรับเปลี่ยนมาใช้ ตัวขับเคลื่อนที่ใช้ลวด SMA โดยอาศัยประโยชน์ของ SMA actuator คือมีขนาดเล็กสามารถประกอบเป็นอุปกรณ์ที่พกพาได้สะดวก ใช้เนื้อที่ในการประกอบติดตั้งอุปกรณ์น้อย ควบคุมได้โดยใช้กระแสไฟฟ้าเป็นแหล่งพลังงาน และสามารถยืดระยะได้มาก ปัญหาสำคัญในการใช้ SMA เป็น actuator คือปัญหาในการควบคุมตำแหน่ง (position control) ที่จะทำให้ display เคลื่อนตำแหน่งขึ้นหรือลงได้ การทำวิจัยครั้งนี้จึงมุ่งเน้นถึงหลักการควบคุมลวด SMA โดยข้อเสียของ SMA คือ คุณสมบัติของวัสดุเป็น nonlinearity and hysteresis (Majima, Kodama et al. 2001) วิธีการควบคุมแบบ Classical control ไม่สามารถใช้ได้ในการควบคุมวัสดุประเภทนี้ อีกประการหนึ่งที่ต้องศึกษาคือ SMA เกิดการเคลื่อนที่เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นถึงค่าหนึ่ง ดังนั้นถ้าต้องการให้ SMA spring ยืดออกหรือหดเข้า จึงต้องมีการควบคุมอุณหภูมิที่ถูกต้องแม่นยำ

Yoichi Haga [5]และคณะได้สร้างการแสดงผลของอักษรเบลล์ช่วยให้คนตามบอดหรือคนที่มีปัญหาทางสายตาสามารถรับรู้ข้อมูลจากการเปลี่ยนแปลงของตัวอักษรเบลล์โดยจุดของตัวอักษรสร้างโดยใช้ SMA coil actuator และต่อมาได้มีการพัฒนาการประยุกต์ใช้ SMA[6] ในการแสดงผลโดยใช้ Pin-rod matrix และได้เสนอการพัฒนาเทคโนโลยีเกี่ยวกับภาพโดยมีการศึกษาที่หลากหลายเช่นการรับข้อมูลแบบ Digital การส่งข้อมูลผ่านทาง network การใช้ SMA เป็น actuator สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในวงการแพทย์ อุตสาหกรรม และของใช้ในชีวิตรประจำวันได้ Ramio Velazquezและคณะ[7]กล่าวถึง tactile display ที่มีน้ำหนักเบา มีความละเอียดสูง ราคาถูกและพกพาได้โครงสร้างประกอบด้วย Array 8x8 ที่สามารถเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระ ได้มีการทดลองความสัมพันธ์ระหว่างแรงและระยะทาง ภายใต้อุณหภูมิคงที่ การระบายความร้อนของขดลวด SMA มีผลต่อการตอบสนองของระบบ ซึ่งต่อมาได้มีการใช้ SMA อย่างแพร่หลายการควบคุม SMA ให้ได้ผลตามที่ต้องการต้องใช้ความแม่นยำ Akihiko Kumagai และคณะ[8] ได้อธิบายถึงการพัฒนาการควบคุมแบบ neuro-fuzzy สำหรับ Shape Memory Alloy(SMA) actuator ที่มีขนาดเล็ก โดยศึกษาการเปลี่ยนแปลงของตัวแปลเอาท์พุท (ระยะทาง,ตำแหน่ง) เพื่อหาค่าอินพุท(กระแสไฟฟ้า)ซึ่งเป็นการควบคุมแบบ PD controller เพื่อชดเชยค่าความผิดพลาดของ open loop และต่อมาได้มีการสร้าง model ต่าง ๆ ในการควบคุม ซึ่ง [9]Hasegawa และ Majima ใช้ hysteresis model สำหรับ actuator เพื่อชดเชยพฤติกรรมของ hysteretic Grant และ Hayward(1997) ได้ใช้การควบคุมตัวแปรในการ

ขับเคลื่อน SMA Lee และ Lee(2004) ใช้การควบคุมการหน่วงเวลา(TDC) และ PID Control ให้มีความแม่นยำมากขึ้น Ma และ Song(2003) กล่าวว่า การจ่ายไฟแบบ Pulse with modulation(PWM) ช่วยลดกำลังงานที่ป้อนให้กับชุดลด SMA