With POSCO

POSCO THAINOX

# สเตนเลสสตีล
# Stainless Steel

แม่เหล็กดูดติด หรือ ดูดไม่ติด?

Magnetic or non-magnetic?

THE FACT BEHIND A CONFUSING OVER DECADES

สเตนเลสปลอมแม่เหล็กดูดติด?

สเตนเลสแท้แม่เหล็กดูดไม่ติด?

สเตนเลสแท้ ... สเตนเลสปลอม?

## ความจริงที่อยู่เบื้องหลัง ความสับสนมานานหลายทศวรรษ

# สารบัญ


| เรื่อง | หน้า |
|---|---|
| 1 ดูดติด ดูดไม่ติด เรื่องน่าคิดคู่สเตนเลส | 1 |
| 1.1 เกร็ดความรู้ : คุณสมบัติและการใช้งานสเตนเลส | 1 |
| 1.2 วิทยาศาสตร์น่ารู้ : โครงสร้างผลึกและสมบัติแม่เหล็ก | 3 |
| 2 คุณสมบัติแม่เหล็กที่จำเป็นต่อการใช้งาน | 4 |
| 2.1 เกร็ดความรู้ : แม่เหล็ก วัสดุแม่เหล็กและการประยุกต์ใช้งาน | 4 |
| 2.1 วิทยาศาสตร์น่ารู้ : แรงการดูดติดกับแม่เหล็กและความซึมซาบแม่เหล็ก | 7 |
| 3 แนวทางและความเป็นไปได้ในการจำแนกสเตนเลสด้วยสมบัติความเป็นแม่เหล็ก | 9 |

# สเตนเลสสตีล... แม่เหล็กดูดติด หรือ ดูดไม่ติด ?

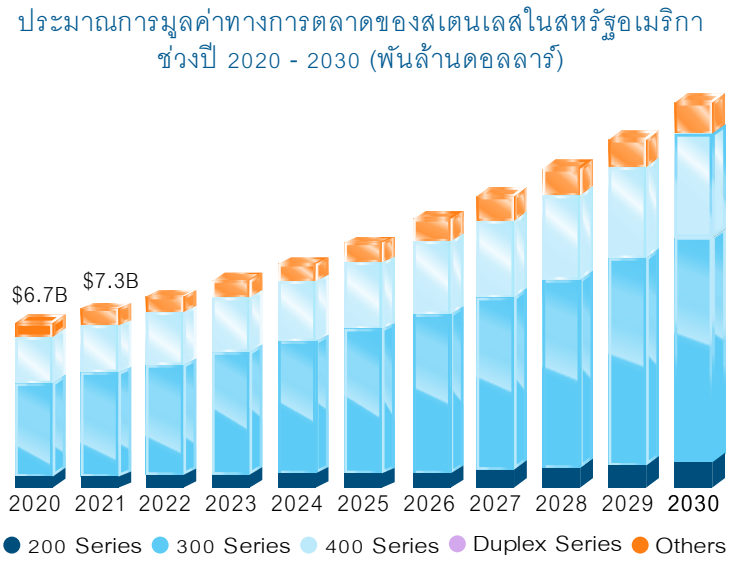
## ความจริงที่อยู่เบื้องหลังความสับสนมานานหลายทศวรรษ

## 1. ดูดติด ดูดไม่ติด เรื่องน่าคิดคู่สเตนเลส

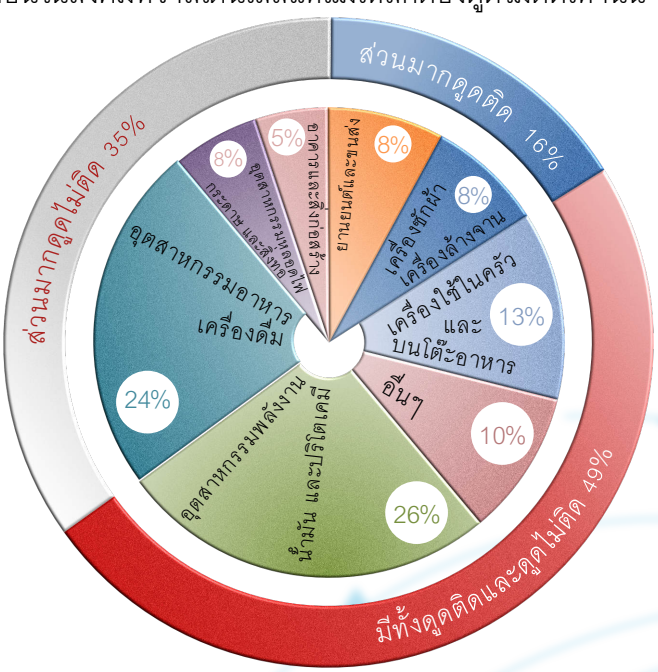
หลายคนที่เคยได้ยินคำบอกเล่าปากต่อปาก หรือเรื่องราวที่แชร์กัน ในสื่อสังคมออนไลน์ที่ว่า “สเตนเลสแท้ แม่เหล็ก ต้องดูดไม่ติด” อาจมีคำถามขึ้นในใจว่า ... ทำไมสิ่งของเครื่องใช้ในบ้าน ไม่ว่าจะเป็นเครื่องใช้ไฟฟ้า เครื่องใช้ในครัว เครื่องใช้บนโต๊ะอาหารเหล่านี้ บ่อยครั้งทำจากสเตนเลส ที่แม่เหล็กดูดติด แล้วทำไมจึงสามารถใช้งานได้เป็นอย่างดีและไม่เป็นสนิม?
ความจริงเกี่ยวกับสเตนเลส เป็นอย่างไร? สเตนเลสคุณภาพดีแม่เหล็กดูดไม่ติดจริงหรือไม่? คุณสมบัติทางแม่เหล็ก มีผลต่อการใช้งานอย่างไร? เราจะพาไปหาคำตอบกัน

### 1.1 เกร็ดความรู้ : คุณสมบัติและการใช้งานสเตนเลส

กว่า 100 ปีที่ผ่านมา สเตนเลสที่คนคุ้นเคยและมีการใช้งานมากที่สุดคือชนิด 304 ซึ่งเป็นสเตนเลสกลุ่มออสเตนิติกโครเมียม – นิกเกิล ที่มีส่วนผสมของโครเมียม 18% และนิกเกิล 8% ด้วยคุณสมบัติที่เหมาะสมต่อการใช้งานที่หลากหลาย ดูแลรักษาง่าย และนิยมผลิตเป็นเครื่องใช้ในครัวเรือน ทำให้สเตนเลสกลุ่มนี้มีสัดส่วนการใช้งานกว่า 50% ซึ่งความคุ้นเคยในการใช้งานสเตนเลสชนิด 304 ซึ่งแม่เหล็กดูดไม่ติดนี่เอง ที่ทำให้เกิดความเชื่อที่คลาดเคลื่อนในสังคมที่ว่าสเตนเลสแท้แม่เหล็กต้องดูดไม่ติดเท่านั้น



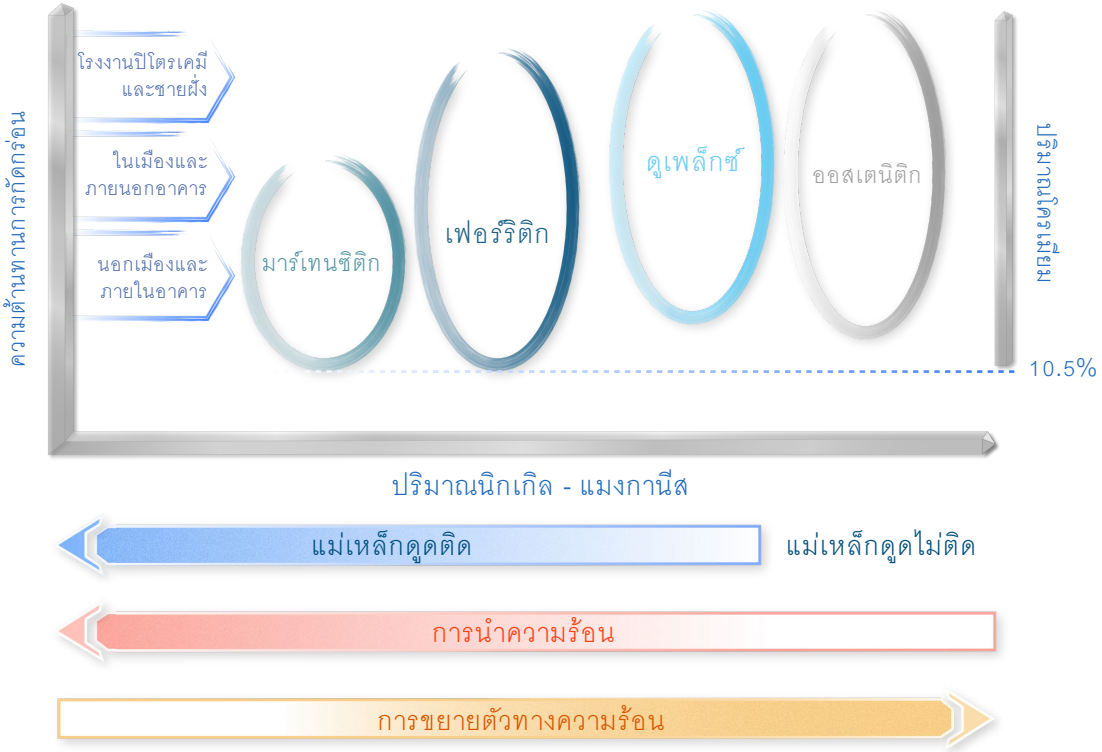

ภาพที่ 1 ประมาณการมูลค่าทางการตลาดของสเตนเลสแต่ละกลุ่มในประเทศสหรัฐอเมริกา ซึ่งเติบโตขึ้นอย่างต่อเนื่องระหว่างปี คศ. 2020-2030 แต่ยังคงสัดส่วนการใช้งานของกลุ่มออสเตนิติกกว่า 50%




ภาพที่ 2 สัดส่วนบริโภคสเตนเลสตามกลุ่มการใช้งาน

แท้จริงแล้วนิยามของสเตนเลส คือเหล็กกล้าคาร์บอนซึ่งมีส่วนผสมของโครเมียมมากกว่า 10.5% ขึ้นไป ซึ่งโครเมียมที่เติมลงไปนี่เองที่ทำให้สเตนเลสมีความสามารถในการต้านทานการเกิดสนิม
ปัจจุบันนักวิทยาศาสตร์ได้พัฒนาสเตนเลสที่มีคุณสมบัติแตกต่างกันและได้รับการรับรองมาตรฐานอุตสาหกรรมระดับนานาชาติไว้เกือบ 200 ชนิด เพื่อรองรับการใช้งานที่หลากหลาย ซึ่งราวครึ่งหนึ่งเป็นสเตนเลสที่แม่เหล็กดูดติดได้ และมีเพียงออสเตนิติกกลุ่มเดียวเท่านั้นที่แม่เหล็กดูดไม่ติดในสภาวะอบอ่อนสมบูรณ์ แต่หลังการแปรรูปแล้วแม่เหล็กก็อาจดูดติดอย่างอ่อนได้อยู่ดี

หากพิจารณาในแง่คุณสมบัติและการใช้งาน แม้สเตนเลสกลุ่มออสเตนิติกจะมีปริมาณการใช้งานสูงที่สุด แต่สเตนเลสกลุ่มเฟอร์ริติก และดูเพล็กซ์ ที่แม่เหล็กดูดติดหลายชนิดกลับมีคุณสมบัติที่เหนือกว่าชนิด 304 ทั้งในด้านความแข็งแรงและความต้านทานการเกิดสนิม




ภาพที่ 3 แผนภาพแสดงความต้านทานการกัดกร่อน คุณสมบัติทางแม่เหล็ก สมบัติการนำความร้อน การขยายตัวทางความร้อน รวมถึงปริมาณโครเมียม และนิกเกิลหรือแมงกานีสของสเตนเลส แต่ละกลุ่ม

## ตัวอย่างคุณสมบัติและการใช้งานของสเตนเลส 5 กลุ่ม

- กลุ่มออสเตนิติก : เป็นกลุ่มเดียวที่แม่เหล็กดูดไม่ติดหลังการอบอ่อนสมบูรณ์ แต่อาจดูดติดหลังการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ ประกอบด้วยสองกลุ่มย่อยคือ กลุ่มออสเตนิติกโครเมียมนิกเกิลเช่น ชนิด 304 316 321 สามารถใช้งานได้หลากหลาย ทั้งภายในและนอกอาคาร รวมทั้งอุตสาหกรรมอาหารเครื่องดื่ม และกลุ่มออสเตนิติกโครเมียมแมงกานีส เช่น ชนิด 201 202 เหมาะสมต่อการใช้งานที่ไม่เสี่ยงต่อการกัดกร่อน เช่น ท่อประดับที่ใช้ภายในอาคาร

- กลุ่มเฟอร์ริติก : เช่น ชนิด 430 439 441 เป็นกลุ่มที่แม่เหล็กดูดติดได้ สามารถใช้งานได้หลากหลาย เช่นเครื่องใช้ไฟฟ้าในบ้าน เครื่องครัว อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนและระบบไอเสียรถยนต์ มีคุณสมบัติการนำความร้อนที่ดี มีการขยายตัวทางความร้อนต่ำ และมีจุดเด่นเรื่องเสถียรภาพด้านราคาเนื่องจากไม่มีนิกเกิลเป็นส่วนประกอบ

- กลุ่มดูเพล็กซ์ : เช่น ชนิด 2205 2307 เป็นกลุ่มที่แม่เหล็กจะดูดติดได้เช่นกัน แต่มีความต้านทานการเกิดสนิมสูงที่สุด และมีราคาแพงเนื่องจากความซับซ้อนในการผลิต เหมาะกับการใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร อุตสาหกรรมปิโตรเคมี โรงกลั่น และแท่นขุดเจาะน้ำมัน เป็นต้น

- กลุ่มมาร์เทนซิติก : เช่น ชนิด 410 420 มีความแข็งสูงที่สุด จึงเหมาะกับการทำมีด เครื่องมือและเครื่องตัดที่ต้องการความคมสูง แต่มีความต้านทานการเกิดสนิมไม่สูงเท่ากลุ่มอื่น จึงต้องการการบำรุงรักษาเป็นอย่างดี สเตนเลสกลุ่มนี้แม่เหล็กดูดติดได้

- กลุ่มชุบแข็งตกตะกอน : เช่น ชนิด 17-4 PH เป็นสเตนเลสชนิดพิเศษ ที่ต้องการคุณสมบัติที่เฉพาะเจาะจง เช่น มีทั้งความแข็งแรง (Strength) และความแกร่งสูง (Toughness) ใช้ในอุปกรณ์ที่ต้องการเทคโนโลยีขั้นสูง มีการใช้งานอย่างจำกัด มีราคาแพงและยากต่อการผลิตและควบคุมคุณภาพ

Photo by www.pixabay.com

ภาพที่ 4 ท่อสเตนเลสกลุ่มดูเพล็กซ์ ซึ่งมีสมบัติความต้านทานการกัดกร่อนสูงมากและสามารถใช้งานใน โรงงานอุตสาหกรรมน้ำมันและปิโตรเคมี

Photo by www.pixabay.com

ภาพที่ 5 ชิ้นส่วนใบพัดเครื่องยนต์ซึ่งผลิตจากสเตนเลสกลุ่มออสเตนิติกเกรด 321 ซึ่งทนการเกิดออกซิเดชั่นได้ดีเยี่ยม

## 1.2 วิทยาศาสตร์น่ารู้ : โครงสร้างผลึกและสมบัติแม่เหล็ก

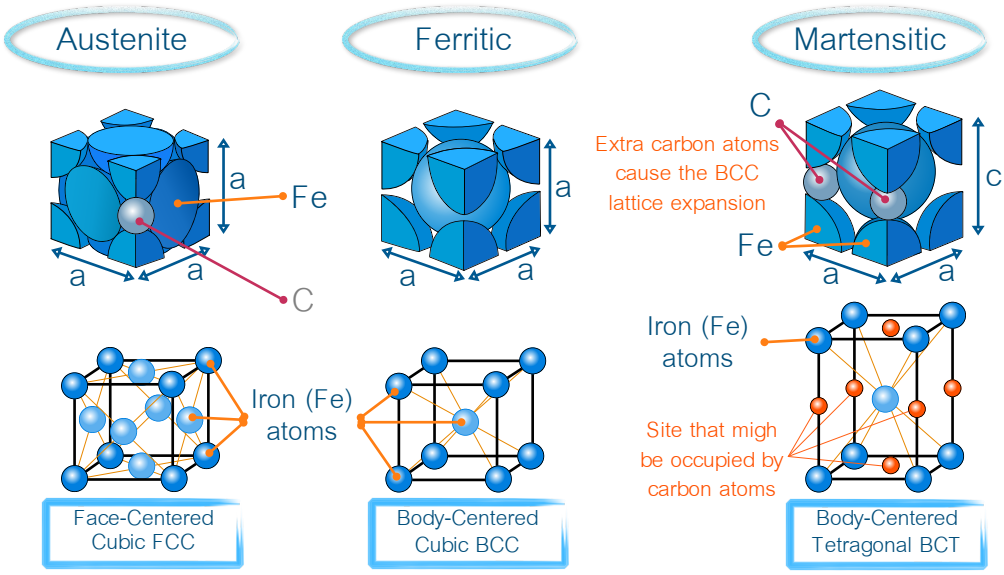
- คุณสมบัติทางแม่เหล็กของโลหะความจริงแล้วขึ้นอยู่กับโครงสร้างผลึกและการจัดเรียงตัวของอะตอม ซึ่งมองไม่เห็นด้วยตาเปล่า ต้องใช้เครื่องมือและเทคนิคพิเศษในการตรวจสอบและวิเคราะห์

- เหล็กและสเตนเลสหลายกลุ่ม มีโครงสร้างผลึกแบบ Body-Centered Cubic (BCC) หรือ Body-Centered Tetragonal (BCT) ที่อุณหภูมิห้องทำให้แม่เหล็กสามารถดูดติดได้ ในขณะที่ Face-Centered Cubic (FCC) เป็นรูปแบบโครงสร้างผลึกที่แม่เหล็กดูดไม่ติดและพบได้ในสเตนเลสกลุ่มออสเตนิติก ที่มีส่วนผสมของนิกเกิลสูง เช่น ชนิด 304, 316 หรือแมงกานีส สูง เช่น ชนิด 201, 202

- อย่างไรก็ตามโครงสร้างผลึกแบบ FCC อาจเปลี่ยนรูป เป็นโครงสร้าง Body-Centered Tetragonal (BCT) ในบริเวณที่ผ่านการขึ้นรูปเย็นด้วยแรงอัด (Compressive Force) ทำให้แม่เหล็กสามารถดูดติดอย่างอ่อนได้ ในชิ้นงานที่ผ่านการม้วน ดัด ลาก พับ หรือขอบชิ้นงานที่ถูกตัด กลึง และยังทำให้ลวดเชื่อม 304 หรือ 316 ที่ผ่านการดึง (ลาก) ขึ้นรูปลวดแม่เหล็กดูดติดได้อีกด้วย

- โครงสร้าง BCT สามารถคืนสภาพเป็น FCC ได้โดยการให้ความร้อนสูงกว่าอุณหภูมิตกผลึกใหม่ (Recrystallization Temperature) และทำให้เย็นตัวอย่างรวดเร็ว เรียกว่า การอบอ่อน (Annealing) สินค้าที่ผลิตจากโรงงานที่ผ่านการ “อบอ่อนสมบูรณ์” จึงไม่สามารถดูดติดแม่เหล็กได้

ถึงแม้สเตนเลสชนิดซีรีย์ 300 และ 200 แม่เหล็กจะดูดไม่ติดทั้งคู่ แต่ชนิดซีรีย์ 200 มีความต้านทานการเกิดสนิมที่ต่ำกว่าชนิดซีรีย์ 300 อย่างชัดเจนเนื่องจากมีปริมาณโครเมียมต่ำ ผู้บริโภคจึงควรพิจารณาชนิด หรือปริมาณธาตุโครเมียมและธาตุผสมอื่นๆ แทนการตรวจสอบคุณสมบัติทางแม่เหล็ก




ภาพที่ 6 โครงสร้างผลึกที่อุณหภูมิห้องของสเตนเลสกลุ่มออสเตนิติก (Face Centered Cubic - FCC) เฟอร์ริติก (Body Centered Cubic - BCC) และมาร์เทนซิติก (Body Centered Tetragonal - BCT)

## 2. คุณสมบัติแม่เหล็กที่จำเป็นต่อการใช้งาน

### 2.1 เกร็ดความรู้ : แม่เหล็ก วัสดุแม่เหล็กและการประยุกต์ใช้งาน

แม้หลายคนยังอาจมีความกังวลต่อการใช้งานสเตนเลสที่แม่เหล็กดูดติด แต่แท้จริงแล้วการตอบสนองต่อแม่เหล็กนับเป็นข้อได้เปรียบที่จำเป็นต่อการใช้งานในหลายลักษณะ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อจำเป็นต้องใช้งานชิ้นส่วนและอุปกรณ์ภายใต้สภาพแวดล้อมที่เสี่ยงต่อการกัดกร่อน และยากต่อการบำรุงรักษา เช่น

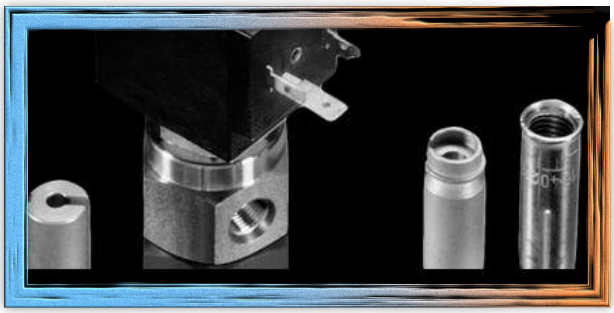


Photo by www.valbruna-stainless-steel.com

Photo by www.huaxinelectric.com

ภาพที่ 7 ส่วนประกอบของโซลินอยล์วาล์ว ซึ่งควบคุมด้วยแรงแม่เหล็กที่เกิดจากกระแสไฟฟ้า (ซ้าย) และชิ้นส่วนมอเตอร์ที่ผลิตจากสเตนเลสเกรด 430F (ขวา) สำหรับใช้งานในสภาพแวดล้อมที่เสี่ยงต่อการกัดกร่อน

- ชิ้นส่วนแม่เหล็กชั่วคราว (Soft magnetic component) เช่น โซลินอยด์วาล์ว (Solenoid valve) แกนแม่เหล็ก (Solenoid cores) ขั้วแม่เหล็ก (Pole pieces) สำหรับใช้งานในสภาพแวดล้อมที่มีการกัดกร่อนสูง ซึ่งไม่สามารถใช้ชิ้นส่วน ที่ผลิตจากเหล็กชุบเคลือบหรือเหล็กซิลิคอนได้ นอกจากนี้ค่าความต้านทานไฟฟ้าของสเตนเลสกลุ่มเฟอร์ริติกที่ค่อนข้างสูง ยังส่งผลให้มีสมรรถนะของมอเตอร์ AC ที่เหนือกว่า

- ภาชนะหุงต้มสำหรับเตาแม่เหล็กไฟฟ้าเหนี่ยวนำ (Induction cooker) จำเป็นต้องใช้วัสดุที่ตอบสนองต่อแม่เหล็กได้ดี เพื่อให้สามารถเหนี่ยวนำให้เกิดความร้อนขึ้นได้ สเตนเลสกลุ่มเฟอร์ริติกจึงถูกใช้งานอย่างแพร่หลาย ทั้งสำหรับการผลิตเป็นตัวภาชนะเองหรือถูกใช้เป็นแผ่นประกบของก้นภาชนะหุงต้ม (Cladding) นอกจากนี้สเตนเลสกลุ่มเฟอร์ริติกยังเป็นกลุ่มที่มีคุณสมบัติในการนำความร้อนได้ จึงมีความเหมาะสมต่อการใช้งานเป็นภาชนะหุงต้มสำหรับเตาเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นอย่างยิ่ง

- ผนังเครื่องใช้ไฟฟ้าในครัวและเฟอร์นิเจอร์ เช่น ตู้เย็น ชั้นเก็บของ หลายครั้งเลือกใช้สเตนเลสเพื่อความความหรูหรา สวยงาม และง่ายต่อการบำรุงรักษา ซึ่งการเลือกใช้สเตนเลสที่แม่เหล็กดูดติดได้ ยังช่วยเพิ่มฟังก์ชั่น ให้สามารถใช้แผ่นแม่เหล็กติดผนังและประตูตู้เย็น นอกจากนั้น ยังสามารถนำแผ่นสเตนเลสไปทำป้ายชื่อแม่เหล็กสำหรับติดเสื้อได้อีกด้วย

Photo by www.polarprint.com.au

Photo by www.tssda.or.th

ภาพที่ 8 ฟังก์ชั่นการใช้งานเพิ่มเติมที่ได้จากการดูดติดแม่เหล็กของสเตนเลส

- แม่เหล็ก (Magnet) คือวัสดุที่สามารถสร้างสนามแม่เหล็ก (Magnetic field) และส่งแรงดึงดูดกับวัสดุแม่เหล็ก (Ferro magnetic) ชนิดต่างๆ เช่น เหล็ก เหล็กกล้า โคบอลต์ หรือส่งแรงดูด - ผลักกับแม่เหล็กอื่นได้

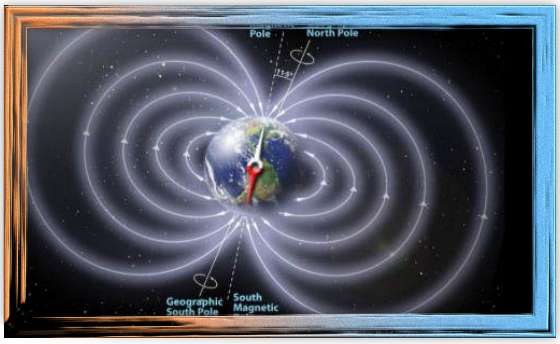



Photo by www.nasa.gov

Photo by www.vcresearch.berkeley.edu

ภาพที่ 9 สนามแม่เหล็กโลกและขั้วโลก (ซ้าย) และ การกระจายตัวผงเหล็กภายใต้สนามแม่เหล็กแสดงให้เห็นเส้นแรงและทิศทางแม่เหล็ก (ขวา)

- สนามแม่เหล็ก คือบริเวณโดยรอบที่ได้รับอิทธิพลจากแรงและทิศทางแม่เหล็ก อาจพบได้ตามธรรมชาติ เช่นสนามแม่เหล็กโลก ซึ่งเกิดจากโลหะหลอมละลายซึ่งไหลเวียนอยู่ใต้เปลือกโลก หรือเกิดจากแม่เหล็ก รวมถึงอาจสร้างขึ้นได้จากการให้กระแสไฟฟ้าซึ่งวิ่งผ่านขดลวดตัวนำ

ภาพที่ 10 เส้นแรงแม่เหล็ก เป็นเส้นที่แสดงทิศของสนามแม่เหล็ก มีทิศทางจากขั้วเหนือไปยังขั้วใต้ (ภาพซ้าย) เส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดรอบขดลวดตัวนำที่มีกระแสไฟฟ้าวิ่งผ่าน (ขวา)

- เตาแม่เหล็กไฟฟ้าเหนี่ยวนำ (Induction cooker) ทำงานโดยอาศัยไฟฟ้ากระแสสลับที่ไหลผ่านขดลวดตัวนำที่อยู่ภายในเตา ซึ่งทำให้เกิดสนามแม่เหล็กที่เปลี่ยนแปลงไป ส่งผลให้เกิดการเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้าขึ้นที่ภาชนะซึ่งทำจากโลหะที่สามารถตอบสนองต่อสนามแม่เหล็กได้ดี (Ferromagnetic) การเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้าดังกล่าวทำให้เกิดกระแสไหลวน (Eddy current) ซึ่งเมื่อวิ่งผ่านเนื้อโลหะที่มีความต้านทานที่ก้นภาชนะ จะทำให้เกิดความร้อนขึ้นในที่สุด

- การปรับความร้อนของเตาแม่เหล็กไฟฟ้าเหนี่ยวนำสามารถทำได้อย่างง่ายดาย โดยการปรับกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านขดลวด ซึ่งทำให้สนามแม่เหล็ก กระแสไหลวน และความร้อนที่เกิดขึ้นในเนื้อโลหะเปลี่ยนแปลงไปทันที จึงนับเป็นเตาที่ตอบสนองต่อการปรับระดับความร้อนได้รวดเร็วที่สุด เพราะสามารถปรับระดับความร้อนที่เกิดขึ้นในเนื้อโลหะได้โดยตรง โดยไม่ต้องอาศัยการนำ การพา หรือการแผ่รังสีความร้อนเหมือนเตาชนิดอื่น

ภาพที่ 11 หลักการทำงานของเตาแม่เหล็กไฟฟ้าเหนี่ยวนำโดยใช้กระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำให้เกิดสนามแม่เหล็กและกระแสไหลวน ซึ่งไหลผ่านก้นภาชนะและทำให้เกิดความร้อนขึ้น

## 2.2 วิทยาศาสตร์น่ารู้ : แรงการดูดติดกับแม่เหล็กและความซึมซาบแม่เหล็ก

- สมบัติความเป็นแม่เหล็กของวัสดุแต่ละชนิดมีความแตกต่างกันดังที่กล่าวมาแล้ว โดยวัสดุหลายชนิดตอบสนองต่อแม่เหล็กได้น้อยมากจนเราไม่สามารถรับรู้ได้ เช่น ทองแดง ทอง เงิน ซึ่งเป็นวัสดุกลุ่ม Diamagnetic ที่มีแรงผลักกับแม่เหล็กอย่างอ่อนมาก หรืออลูมิเนียม แพลทินัม ซึ่งเป็นวัสดุแบบ Paramagnetic คือเกือบจะเฉยเมยต่อแม่เหล็ก ในขณะที่วัสดุเช่น เหล็ก โคบอลต์ และนิกเกิล เป็นวัสดุกลุ่ม Ferromagnetic ที่ส่งแรงดูดติดกับแม่เหล็ก แรงมากพอที่เราจะสัมผัสได้

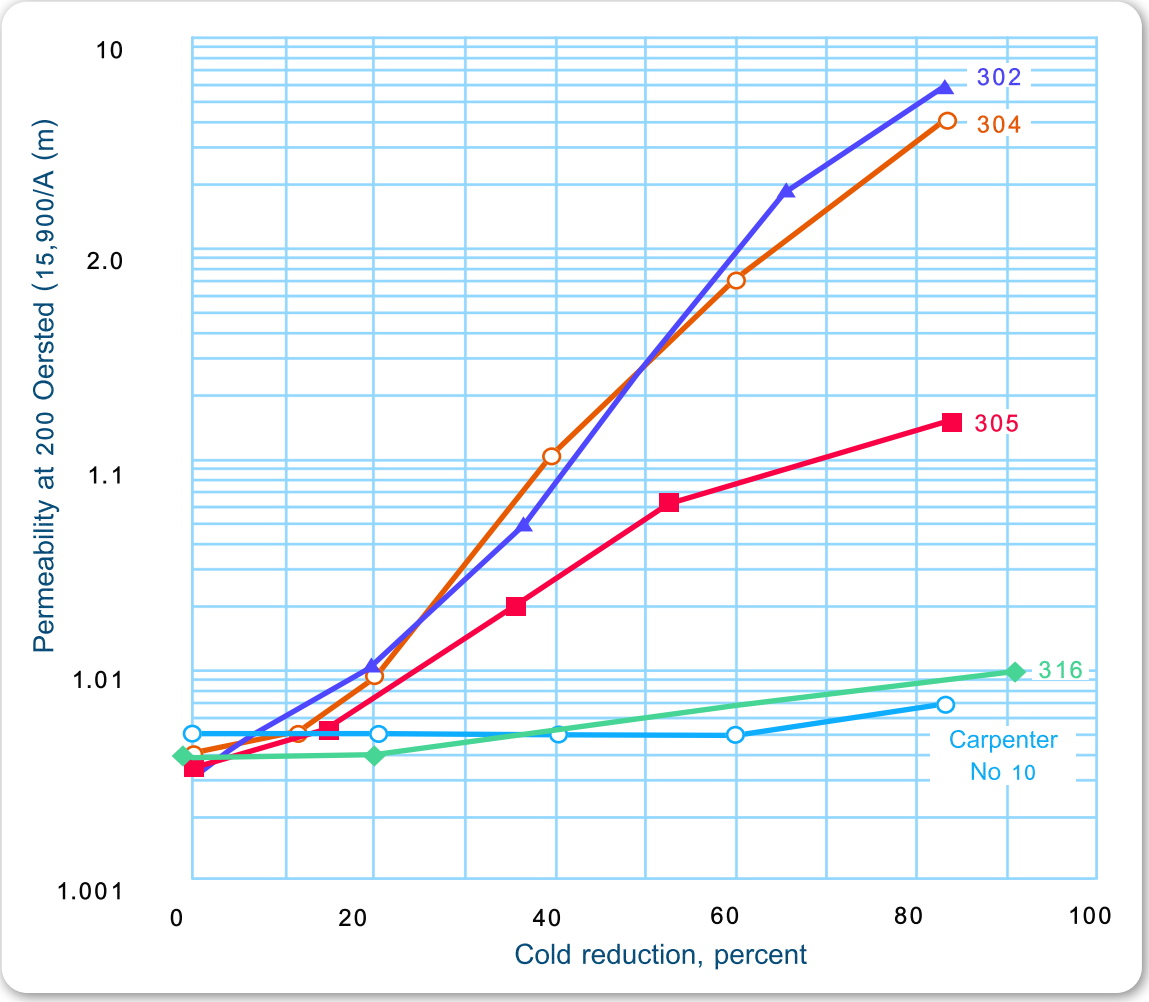
- นักวิทยาศาสตร์ได้หาวิธีในการบ่งบอกความสามารถในการตอบสนองต่อสนามแม่เหล็ก ซึ่งหนึ่งในวิธีที่นิยมใช้คือการวัดความเข้มข้นของสนามแม่เหล็กที่เปลี่ยนแปลงไป จากการที่วัสดุถูกเหนี่ยวนำให้มีสมบัติแม่เหล็กเกิดขึ้นในตัวและส่งผลต่อสนามแม่เหล็กโดยรวมที่เกิดขึ้น และนำมาเปรียบเทียบกับค่าความซึมซาบแม่เหล็กดั่งเดิมในสูญญากาศ เรียกว่า ความซึมซาบสัมพันธ์ (Relative Magnetic Permeability) ดังแสดงในตารางและกราฟดังต่อไปนี้

ตารางที่ 1 ค่าซึมซาบสัมพันธ์ของวัสดุชนิดต่างๆ

ภายใต้เงื่อนไขการแปรรูปเย็นและกระบวนการทางความร้อนที่แตกต่างกันและความซึมซาบแม่เหล็กของสเตนเลสกลุ่มออสเตนิติกที่แม่เหล็กดูดไม่ติดภายใต้สภาวะอบอ่อนสมบูรณ์ ซึ่งเปลี่ยนเป็นแม่เหล็กดูดติดเมื่อผ่านกระบวนการรีดเย็น

| ชนิดของวัสดุ | เงื่อนไข | ค่าซึมซาบสัมพันธ์ $\mu/\mu_0$ |
|---|---|---|
| สูญญากาศ | | 1 |
| ทองแดง | | 0.999994 |
| อลูมิเนียม | | 1.000022 |
| สเตนเลส - ออสเตนิติกทุกชนิด | อบอ่อนสมบูรณ์ | 1.003 |
| สเตนเลส - ออสเตนิติก 316 | แปรรูปเย็น 60% | 1.006 |
| สเตนเลส - ออสเตนิติก 304 | แปรรูปเย็น 20% | 1.012 |
| สเตนเลส - ออสเตนิติก 304 | แปรรูปเย็น 40% | 1.080 |
| สเตนเลส - ออสเตนิติก 304 | แปรรูปเย็น 60% | 1.800 |
| สเตนเลส - ออสเตนิติก 304 | แปรรูปเย็น 80% | 4.000 |
| สเตนเลส - ออสเตนิติก 201L - Ni 4% | แปรรูปเย็น 60% | 36 |
| สเตนเลส - ดูเพล็กซ์ 2205 | อบอ่อนสมบูรณ์ | 40 |
| เหล็กกล้าคาร์บอน | | 100 |
| นิกเกิล | | 100 |
| สเตนเลส - มาร์เทนซิติก 410 | อบอ่อนสมบูรณ์ | 750 |
| สเตนเลส - เฟอร์ริติก 430 | อบอ่อนสมบูรณ์ | 1000 |
| เหล็กบริสุทธิ์ 99.8% | | 4000 |

กราฟที่ 1 ความแข็งแรง (Tensile strength) ที่เพิ่มขึ้นตามเปอร์เซ็นต์การรีดเย็น




ทั้งนี้ นอกจากชนิดของวัสดุแล้ว สมบัติแม่เหล็กของวัสดุยังขึ้นอยู่กับปัจจัยอื่นหลายประการ เช่น ส่วนผสมทางเคมี ซึ่งทำให้โครงสร้าง ณ อุณหภูมิห้องและความเสถียรของโครงสร้างเปลี่ยนแปลงไป กระบวนการผลิตและแปรรูปเย็นของวัสดุ ซึ่งส่งผลให้โครงสร้างของสเตนเลสออสเตนิติก (ซึ่งแม่เหล็กดูดไม่ติด) เปลี่ยนแปลงไปเป็นโครงสร้าง มาร์เทนซิติก (แม่เหล็กดูดติด) บางส่วน กระบวนการทางความร้อน เช่น การอบอ่อน หรือการชุบแข็ง ซึ่งสามารถคืนสภาพหรือเปลี่ยนแปลง โครงสร้างของวัสดุได้ จึงทำให้ความซึมซาบสัมพันธ์และการดูดติดแม่เหล็ก เปลี่ยนแปลงตามไปด้วย

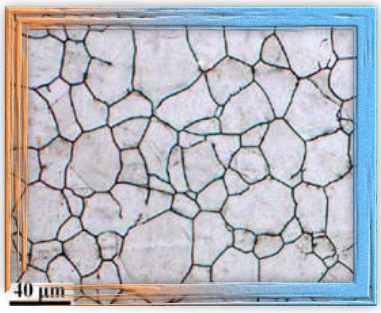



Photo by www.mdpi.com

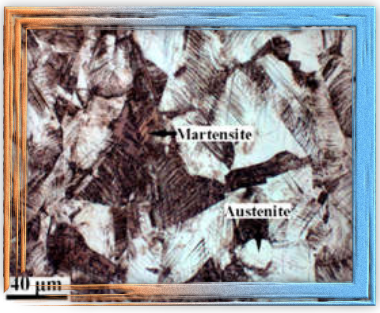



Photo by www.mdpi.com

ภาพที่ 12 โครงสร้างจุลภาคของสเตนเลสชนิด 304 ที่ผ่านการอบอ่อนสมบูรณ์ (ซ้าย) ซึ่งมีโครงสร้างแบบออสเตนิติกสมบูรณ์ (แม่เหล็กดูดไม่ติด) และโครงสร้างหลังการแปรรูปเย็น 30% ซึ่งทำให้เกิดเป็นโครงสร้างแบบมาร์เทนซิติกบางส่วน (แม่เหล็กดูดติดตามปริมาณโครงสร้างแบบมาร์เทนซิติก)

# 3. แนวทางและความเป็นไปได้ในการจำแนกสเตนเลสด้วยสมบัติความเป็นแม่เหล็ก

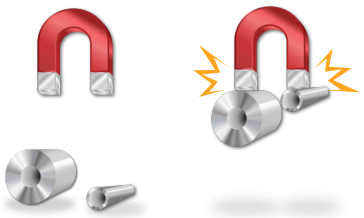
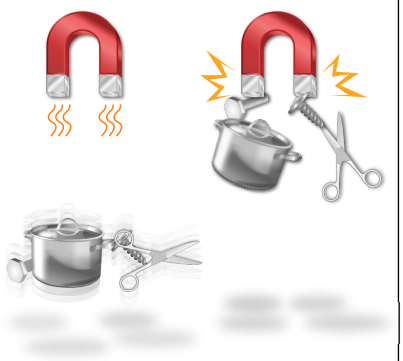
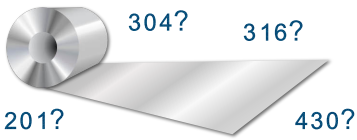
- จะเห็นได้ว่าสเตนเลสแต่ละกลุ่มมีสมบัติความเป็นแม่เหล็กที่แตกต่างกัน โดยกลุ่มออสเตนิติกทุกชนิดจะมีสมบัติที่ดูดไม่ติด เมื่อผ่านการอบอ่อนสมบูรณ์จากโรงงานผู้ผลิต ในขณะที่สเตนเลสกลุ่มดูพล็กซ์จะมีแรงดูดติดกับแม่เหล็กปานกลาง และจะพบว่าสเตนเลสกลุ่มมาร์เทนซิติกและเฟอร์ริติกมีแรงดูดติดแม่เหล็กที่รุนแรงดังแสดงในตารางที่ 2

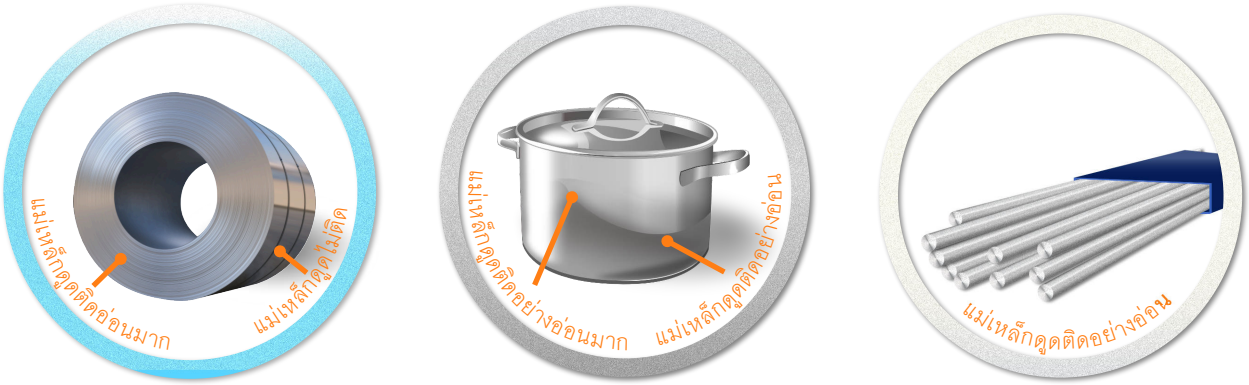
- สำหรับสเตนเลสออสเตนิติกที่ผ่านการขึ้นรูปเย็นจะมีแรงดูดติดแม่เหล็กที่แรงมากขึ้นตามสัดส่วนการแปรรูปเย็น ทั้งนี้ขึ้นกับปริมาณสัดส่วนของโครงสร้างมาร์เทนซิติกที่เกิดขึ้น ดังที่ได้อธิบายไว้แล้วข้างต้น เราจึงอาจพบว่าชิ้นงานที่ถูกดัด กลึง ไสอาจมีแรงดูดติดแม่เหล็กอย่างอ่อนในบริเวณที่ถูกกระทำด้วยแรงทางกล เช่นขอบของชิ้นงาน เป็นต้น ในขณะที่ชิ้นงานซึ่งถูกปั๊มหรือลากขึ้นรูปที่ไม่ได้ผ่านกระบวนการทางความร้อนอีกครั้ง (Post heat treatment) อาจมีแรงดูดแม่เหล็กที่รุนแรงใกล้เคียงกับแรงดูดติดแม่เหล็กของสเตนเลสกลุ่มดูเพล็กซ์ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสัดส่วนการแปรรูปเย็นและความเสถียรของโครงสร้างออสเตนิติก ที่เกิดจากปริมาณธาตุผสม เช่น นิกเกิล ทองแดง หรือธาตุผสมอื่นๆ อีกด้วย

ตารางที่ 2 แรงการดูดติดแม่เหล็กของสเตนเลส ภายใต้เงื่อนไขการแปรรูปเย็นและกระบวนการทางความร้อน ที่แตกต่างกัน

| ชนิดของวัสดุ | เงื่อนไข | ค่าซึมซาบสัมพันธ์ μ/μ0 | การดูดติดแม่เหล็ก |
|---|---|---|---|
| สเตนเลส - ออสเตนิติกทุกชนิด | อบอ่อนสมบูรณ์ | 1.003 | ไม่ติด |
| สเตนเลส - ออสเตนิติก 316 | แปรรูปเย็น 60% | 1.006 | อย่างอ่อน |
| สเตนเลส - ออสเตนิติก 304 | แปรรูปเย็น 20% | 1.012 | อย่างอ่อน |
| สเตนเลส - ออสเตนิติก 304 | แปรรูปเย็น 40% | 1.080 | อย่างอ่อน |
| สเตนเลส - ออสเตนิติก 304 | แปรรูปเย็น 60% | 1.800 | ปานกลาง |
| สเตนเลส - ออสเตนิติก 304 | แปรรูปเย็น 80% | 4.000 | ปานกลาง |
| สเตนเลส - ออสเตนิติก 201L - Ni 4% | แปรรูปเย็น 60% | 36 | ปานกลาง |
| สเตนเลส - ดูเพล็กซ์ 2205 | อบอ่อนสมบูรณ์ | 40 | ปานกลาง |
| สเตนเลส - มาร์เทนซิติก 410 | อบอ่อนสมบูรณ์ | 750 | แรง |
| สเตนเลส - เฟอร์ริติก 430 | อบอ่อนสมบูรณ์ | 1000 | แรง |

ตารางที่ 3 การตรวจสอบสเตนเลสเบื้องต้นด้วยคุณสมบัติแม่เหล็ก

| การตรวจสอบสเตนเลสด้วยคุณสมบัติแม่เหล็ก | | | | |
|---|---|---|---|---|
| การตรวจสอบ | เงื่อนไข | ผลการตรวจสอบ | | หมายเหตุ |
| | | ออสเตนิติก | สเตนเลสอื่นๆ | |
| กลุ่มสเตนเลส | สเตนเลสม้วนแผ่น อบอ่อน สมบูรณ์ เช่นผิว 2B, BA, No.4 |  | | หลีกเลี่ยงบริเวณขอบตัด |
| | ท่อสเตนเลส | | | หลีกเลี่ยงบริเวณที่ถูกตัด ดัด เบ่ง ขยาย |
| | สเตนเลสแผ่น ไม่อบอ่อน เช่นผิว 2H ชนิด 1/4H, 1/2H, FH |  | | คุณสมบัติแม่เหล็กของออสเตนิติกขึ้นกับสัดส่วนการขึ้นรูปในแต่ละบริเวณ และยากต่อการตรวจสอบ (น่าเชื่อถือต่ำ) |
| | เครื่องครัว หม้อ กระทะ | | | |
| | ลวด ลวดเชื่อม | | | |
| | นอต ตะปู | | | |
| | มีด กรรไกร เครื่องมือช่าง | | | |
| ชนิด (เกรด) สเตนเลส | ทุกผลิตภัณฑ์ | ชนิด (เกรด) ของแม่เหล็กไม่สามารถ แยกแยะได้ด้วยสมบัติแม่เหล็ก   | | เกรดของสเตนเลสต้องพิจารณาจากส่วนผสมทางเคมีเท่านั้น |




ภาพที่ 12 ตัวอย่างผลิตภัณฑ์สเตนเลสออสเตนิติกที่ผ่านการขึ้นรูปเย็นซึ่งทำให้มีแรงดูดติดกับแม่เหล็กในบริเวณที่ผ่านการขึ้นรูปเย็นด้วยแรงอัด โดยไม่ผ่านกระบวนการทางความร้อนเพื่อปรับปรุงโครงสร้าง เช่น ขอบของม้วนคอยล์ที่ถูกตัดขอบ (ซ้าย) ผนังของหม้อซึ่งถูกแรงอัดจากการแปรรูปเย็นในสัดส่วนที่แตกต่างกัน (กลาง) และลวดเชื่อมสเตนเลสที่ถูกดึง (ลาก) ให้มีขนาดตามต้องการ (ขวา)

จะเห็นได้ว่าคุณสมบัติแม่เหล็กของวัสดุ ไม่ว่าจะเป็นแรงดูดติดกับแม่เหล็ก หรือค่าความซึมซาบสัมพันธ์ เกี่ยวข้องกับปัจจัยหลายประการ ทั้งส่วนผสมทางเคมี โครงสร้าง กระบวนการผลิต และสัดส่วนการขึ้นรูปเย็น ซึ่งมีความซับซ้อนและยังขึ้นอยู่กับความรู้สึกของผู้ทดสอบเป็นหลัก จึงอาจกล่าวได้ว่า

*"การทดสอบแยกแยะชนิดของสเตนเลสด้วย คุณสมบัติทางแม่เหล็กสามารถใช้ทดสอบสเตนเลสเพื่อแยกแยะระหว่างสเตนเลสกลุ่มออสเตนิติกและกลุ่มอื่นๆ ได้เบื้องต้นเท่านั้น โดยไม่อาจระบุว่า สเตนเลสออสเตนิติกดังกล่าว เป็นชนิดออสเตนิติกโครเมียมนิกเกิล หรือ ออสเตนิติกโครเมียมแมงกานีส และคุณสมบัติแม่เหล็กไม่เกี่ยวข้องกับความเป็นสเตนเลสแท้แต่อย่างใด!"*

**หากมีข้อสงสัยเพิ่มเติม โปรดปรึกษาฝ่ายขายของบริษัทโพสโค-ไทยน๊อคซ์ จำกัด (มหาชน)**
**หรือศึกษาข้อมูลเพิ่มเติมได้ที่** www.poscothainox.com

บริษัท โพสโค-ไทยน๊อคซ์ **จำกัด (มหาชน)**
324 หมู่ 8 ถนนทางหลวงหมายเลข 3191 ตำบลมาบข่า
อำเภอนิคมพัฒนา จังหวัดระยอง 21180
โทรศัพท์: +66 (0) 38 636 125-32 เว็บไซต์: www.poscothainox.com

POSCO-Thainox Public Company Limited
324 Moo 8, Highway No. 3191 Road Tambol Mabkha
Nikom Pattana, Rayong 21180 Thailand
Telephone: +66 (0) 38 636 125-32 Website: www.poscothainox.com