



รายงานสหกิจศึกษาระดับสมบูรณ

ลดอัตราการสูญเสียตัวประกอบหัวอ่านอันเนื่องมาจากระบบประคองในแนวแกน
ตั้งเสียหาย

SETS Damage Reduction from Z-axis Cross Roller Guide Break
Down

นายนริศ อัครรุ่งเรืองโชติ

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2560



รายงานสหกิจศึกษาฉบับสมบูรณ์

ลดอัตราการสูญเสียตัวประกอบหัวอ่านอันเนื่องมาจากระบบประคองในแนวแกน
ตั้งเสียหาย

SETS Damage Reduction from Z-axis Cross Roller Guide Break
Down

นายนริศ อัครรุ่งเรืองโชติ

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2560

ชื่อโครงการสหกิจศึกษา (ภาษาไทย) ลดอัตราการสูญเสียตัวประกอบหัวอ่าน (SETS) อันเนื่องมาจาก
ระบบลูกปืนในแนวแกน Z เสียหาย

ชื่อ-สกุล นักศึกษา นายนริศ อัครรุ่งเรืองโชติ

คณะ วิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชา เครื่องกล

ชื่อ-สกุล อาจารย์นิเทศ รศ.ดร. จำลอง ปรากฏแก้ว

ชื่อ-สกุล ผู้นิเทศงาน นายสุริยัน จันแดง

สถานประกอบการ บริษัท ซีเกท เทคโนโลยี (ประเทศไทย) จำกัด

บทคัดย่อ

โครงการนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อปรับปรุงแก้ไขการทำงานของเครื่อง Auto Load and Unload Machine ในการประกอบชิ้นส่วนหัวอ่านฮาร์ดดิสเพื่อลดความเสียหายที่เกิดขึ้นกับหัวอ่านและเครื่องจักรที่ตำแหน่งอุปกรณ์ประกอบเครื่องเคลื่อนที่แนวตรง (cross roller guide : VR3-75Hx10Z) เป็นการลดความเสียหายของชิ้นส่วนหัวอ่านช่วยให้ลดต้นทุนในการผลิต จากการวิเคราะห์ความเสียหายที่เกิดขึ้นมาจากสาเหตุแผ่นบรรจุลูกกิ้งซึ่งเป็นส่วนประกอบหนึ่งของอุปกรณ์ประกอบเครื่องเคลื่อนที่แนวตรงเกิดการไถลลงมายังส่วนล่างและเกิดการดันแผ่นบรรจุลูกกิ้งขึ้นเพื่อให้กลไกสามารถทำงานต่อไปได้ซึ่งทำให้เกิดแรงอัดและแรงเสียดทาน ประกอบกับการติดตั้งที่เกิดการเอียงขึ้น ส่งผลให้เกิดความเสียหายขึ้น จึงได้ทำการเลือกอุปกรณ์ใหม่เพื่อให้เหมาะสมกับการใช้งาน และปรับสกรูดันอุปกรณ์ประกอบเครื่องเคลื่อนที่แนวตรงให้ขนานกับสกรูขับ และออกแบบแก้ไขชิ้นส่วนอื่นที่ประกอบกันเพื่อความง่ายในการถอดประกอบ โดยการออกแบบจะใช้โปรแกรม Solidworks เขียนแบบและจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ เพื่อเปรียบเทียบและดูความแข็งแรงของอุปกรณ์ประกอบเครื่องเคลื่อนที่แนวตรง

คำสำคัญ : ตัวประกอบหัวอ่าน, อุปกรณ์ประกอบเครื่องเคลื่อนที่แนวตรง, วิธีการทางไฟไนต์เอลิเมนต์

Cooperative Title: SETS Damage Reduction from Z-axis Bearing Break Down

Student intern name: Naris Asavarungruengchot

Faculty: Engineering **Department:** Mechanical Engineering

Advisor name: Assoc. Prof. Dr. Jamlong Prabkaew

Mentor name: Mr. Suriyan Chandaeng

Company: Seagate Technology (Thailand) Co., Ltd.

Abstact

The objectives of this project is modified design parts of Auto Load and Unload Machine at pick and place Slider on SETS assembly process to reduce SETS damage, machine damage in position of cross roller guide (VR3-75Hx10Z), cost in product building and increase performance of machine. The roller cage in cross roller guide slipped to the bottom of rails. The stopper pushed up the roller cage to normal state, cause friction and compression on it. And bad alignment installation cause to machines skew and crash. So, the new type of cross roller guide has featured to anti cage slipping. And tight screws with required torque to set parallel alignment with ball screw. The new design is modified relate parts for easier installation, made by Solidworks software to created 3D, 2D and finite elements analysis for test strength and compare the old type of cross roller guide to the new one.

Keyword : SETS, Cross roller guide, FEM

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยความกรุณาจาก รศ.ดร.จำลอง ปราบแก้ว และ ดร.เอกพจน์ ตันตราภิวัดน์ อาจารย์นิเทศโครงการงานสหกิจศึกษาภาควิชาชีพวิศวกรรมเครื่องกล เป็นอย่างมากที่ให้คำแนะนำในการทำโครงการและแนะแนวเรื่องการนำเสนอโครงการ รวมทั้งช่วยแก้ไขจุดบกพร่องในเล่มปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ให้มีความสมบูรณ์ครบถ้วน ผู้ทำโครงการขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ทั้งสองท่านด้วยความเคารพอย่างสูง

ขอกราบขอบพระคุณ นายสุรียัน จันแดง ผู้จัดการแผนกซ่อมบำรุง ที่ให้คำแนะนำในการทำโครงการ รวมทั้งตรวจทานเนื้อหาในเล่มปริญญานิพนธ์เรื่องข้อมูลความลับของบริษัทที่ไม่สามารถเผยแพร่ได้

ขอกราบขอบพระคุณ นายประสิทธิ์ เลอสรวง ผู้จัดการแผนกซ่อมบำรุง ที่สัมภาษณ์และรับผู้ทำโครงการเข้ามาทำโครงการสหกิจศึกษา

ขอกราบขอบพระคุณ นายโกศล ประดับสุข วิศวกรซ่อมบำรุง สำหรับคำแนะนำต่างๆ และความรู้

ขอกราบขอบพระคุณ วิศวกร และ ช่างเทคนิค แผนก ME และวิศวกร แผนก AME สำหรับเกร็ดความรู้ในการทำงาน

ขอกราบขอบพระคุณ นายบุรินทร์ อัครรุ่งเรืองโชติ และ นางสาวพร อัครรุ่งเรืองโชติ บิดาและมารดาของผู้ทำวิจัย สำหรับกำลังใจ และการสนับสนุนจากที่บ้าน

และขอขอบคุณเพื่อนๆทุกคนสำหรับเกร็ดความรู้ต่างๆ

นายนริศ อัครรุ่งเรืองโชติ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	i
Abstract	ii
กิตติกรรมประกาศ	iii
สารบัญ	iv
สารบัญตาราง	vi
สารบัญภาพ	vii
1. บทนำ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	1
1.3 ขอบเขตของโครงการ	1
1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	2
2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
2.2 Cross roller guide	5
2.3 ความคลาดเคลื่อน	6
2.4 การหาค่า Torque	7
2.5 กฎของนิวตัน	8
2.6 ทฤษฎีความเสียหายที่เกิดขึ้นต่อวัสดุ	10
2.7 วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์	13
2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	14
3. การดำเนินงาน	15
3.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน	15
3.2 แรงที่กระทำต่อชิ้นส่วน	15
3.3 การหามวลและขนาดแรงที่ชิ้นส่วนได้รับ	16
3.4 การเกิดความเสียหาย	18

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
3.5 การวัดค่าเทอร์คในสกรูปรับดัน	20
3.6 การออกแบบชิ้นงาน.....	21
3.7 การทำแบบจำลองทางไฟไนต์เอลิเมนต์	23
4. ผลการดำเนินงาน	29
4.1 ผลการจำลองทางไฟไนต์เอลิเมนต์	29
4.2 ผลการวัดและเปรียบเทียบค่าเทอร์ค	33
4.3 การติดตั้งเครื่องจักรและวัดผล	34
5. สรุปผลการดำเนินงาน	37
เอกสารอ้างอิง	38
ภาคผนวก.....	40
ภาคผนวก ก. เอกสารคู่มือผลิตภัณฑ์รุ่น VR3-75Hx10Z.....	41
ภาคผนวก ข. เอกสารคู่มือผลิตภัณฑ์รุ่น NVS3075-13Z.....	50

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1 Properties of Aluminum 6061	3
ตารางที่ 2 Properties of Chrome Steel	4
ตารางที่ 3 Properties of Stainless steel 304	4
ตารางที่ 4 Properties of Stainless steel 440c	5

สารบัญภาพ

	หน้า
ภาพที่ 1 Cross roller guide	5
ภาพที่ 2 cross roller cage in VR3-75Hx10Z.....	6
ภาพที่ 3 การหมุนรอบศูนย์กลางของลูกตุ้ม	9
ภาพที่ 4 The Stress State	10
ภาพที่ 5 Plot of Points DE and MSS	12
ภาพที่ 6 การแสดงจุดตัดและเอลิเมนต์ของชิ้นงานในการทำไฟไนต์เอลิเมนต์.....	14
ภาพที่ 7 free body diagram ของชิ้นส่วน roller cage.....	15
ภาพที่ 8 หน้าต่างแสดงการหามวลของชิ้นงานโดยโปรแกรม Solidworks.....	16
ภาพที่ 9 การซั้งชิ้นส่วน Base กับ Ball screw.....	17
ภาพที่ 10 มวลของชิ้นส่วน Base กับ Ball screw จากโปรแกรม Solidworks	17
ภาพที่ 11 การบิดงอและแตกหักของ Roller cage.....	18
ภาพที่ 12 ร่องจับยึดกับ Ball Screw.....	19
ภาพที่ 13 ความเสียหายที่ตัวประกอบหัวอ่าน (SETS).....	19
ภาพที่ 14 Torque driver	20
ภาพที่ 15 Torque meter	20
ภาพที่ 16 การวัดทอร์ค.....	21
ภาพที่ 17 ชิ้นส่วน Base แบบเดิม ของ Gantry.....	21
ภาพที่ 18 ชิ้นส่วน Base แบบใหม่ ของ Gantry.....	22
ภาพที่ 19 ชิ้นส่วน House แบบเดิม ของ Gantry.....	22
ภาพที่ 20 ชิ้นส่วน House แบบใหม่ ของ Gantry	23
ภาพที่ 21 การเลือกวัสดุของชิ้นงาน.....	24
ภาพที่ 22 การเลือกพื้นผิวจับยึดของชิ้นงาน	25
ภาพที่ 23 แสดงแรงกดจากน้ำหนักของ อุปกรณ์หีบ Slider.....	26
ภาพที่ 24 แสดงแรงกดที่มอเตอร์กระทำ.....	26

สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้า

ภาพที่ 25	หน้าต่างแสดงการปรับขนาดของเอลิเมนต์.....	27
ภาพที่ 26	แสดงเอลิเมนต์บนชิ้นส่วน Roller Cage ของ Cross Roller Guide รุ่น VR3-75Hx10Z	28
ภาพที่ 27	stress ของ roller cage รุ่น VR3-75Hx10Z แบบเอียง.....	29
ภาพที่ 28	safety factor ของ roller cage รุ่น VR3-75Hx10Z แบบเอียง.....	30
ภาพที่ 29	stress ของ roller cage รุ่น VR3-75Hx10Z แบบปกติ.....	30
ภาพที่ 30	safety factor ของ roller cage รุ่น VR3-75Hx10Z แบบปกติ	31
ภาพที่ 31	stress ของชิ้นส่วน roller cage รุ่น NVS 3075-13Z แบบปกติ	31
ภาพที่ 32	safety factor ของชิ้นส่วน roller cage รุ่น NVS 3075-13Z แบบปกติ.....	32
ภาพที่ 33	stress ของชิ้นส่วน roller cage รุ่น NVS 3075-13Z แบบเอียง	33
ภาพที่ 34	กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าทอร์คจากเครื่องจักรที่ใช้งานกับค่าทอร์คจากการคำนวณ	34
ภาพที่ 35	การติดตั้ง dial gauge เพื่อวัดความขนานกันของชิ้นส่วนหลังการติดตั้ง.....	34
ภาพที่ 36	dial gauge ขณะทำการวัดความขนานของชิ้นส่วน.....	35
ภาพที่ 37	ข้อมูลทางสถิติของเครื่องจักรจากการทำงาน 4,156 รอบ.....	35
ภาพที่ 38	กราฟแสดงการเปรียบเทียบข้อมูลตำแหน่งของหัวอ่านจากการทำงาน 4,156 รอบ	35
ภาพที่ 39	กราฟแสดงปริมาณหัวอ่านที่เสียหายเฉลี่ยของหัวอ่านก่อนและหลังการติดตั้ง	36
ภาพที่ 40	กราฟแสดงแนวโน้มปริมาณต้นทุนที่สามารถลดได้ทั้งหมดในอีกหนึ่งปีถัดไป	36

1. บทนำ

1.1 เหตุผลและที่มาของโครงการ

ปัจจุบัน บริษัท ซีเกท (ประเทศไทย) จำกัด เป็นบริษัทที่ผลิตฮาร์ดดิสรายใหญ่ของโลก ได้นำ Auto Load and Unload Machine มาใช้ในประกอบหัวอ่านกับตัวประกอบหัวอ่าน (SETS) เพื่อนำไปทดสอบ ก่อนเข้าสู่กระบวนการผลิตเพื่อลดค่าใช้จ่ายระยะเวลาและลดจำนวนหัวอ่านที่มีความผิดพลาดในกระบวนการผลิตลง แต่กระบวนการทำงานของเครื่องจักรส่งผลให้ตัวประกอบหัวอ่านเกิดความเสียหาย โดยมีจำนวนตัวประกอบหัวอ่านที่เสียหายประมาณ 0.13% ของจำนวนตัวประกอบหัวอ่านที่เข้าสู่เครื่องจักรซึ่งมีมูลค่าความเสียหายที่สูง ดังนั้นการวิเคราะห์หาสาเหตุที่ก่อให้เกิดความเสียหายและการนำเสนอแนวทางการแก้ไขเพื่อขจัดปัญหา จึงเป็นประโยชน์ทั้งด้านการลดค่าใช้จ่าย และช่วยเพิ่มความต่อเนื่องของการใช้งานหรือก็คือลดปัญหาการหยุดการทำงานของเครื่องจักร

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1.2.1 เพื่อศึกษาและทำความเข้าใจขั้นตอนการทำงานของ Auto Load and Unload Machine

1.2.2 เพื่อวิเคราะห์หาสาเหตุที่ทำให้ตัวประกอบหัวอ่านเกิดความเสียหาย

1.2.3 เพื่อแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นของ Auto Load and Unload Machine อันเนื่องมาจากระบบลูกปืนในแนวแกนตั้งเสียหาย

1.2.4 เพื่อลดค่าใช้จ่ายจากค่าชิ้นส่วนอุปกรณ์ประกอบการเคลื่อนที่แนวตรงและตัวประกอบหัวอ่าน

1.2.5 เพื่อศึกษาการใช้โปรแกรม Solidworks ทำไฟไนต์เอลิเมนต์ในการวิเคราะห์ชิ้นส่วน

1.3 ขอบเขตของโครงการ

1.3.1 เขียนแบบสามมิติและสองมิติด้วยโปรแกรม Solidworks

1.3.2 ทำไฟไนต์เอลิเมนต์ด้วยโปรแกรม Solidworks

1.3.3 ชิ้นส่วนที่เสียหายเป็นตัวประกอบหัวอ่าน (SETS) และส่วนประกอบของอุปกรณ์ประกอบการเคลื่อนที่ (Cross Roller Guide :VR3-75Hx10Z, Stainless steel type with high corrosion resistance) ในชุดอุปกรณ์หยิบและวางหัวอ่าน (Gantry)

1.3.4 การวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์แบบสแตติก

1.3.5 การวิเคราะห์ค่าความเค้นแบบ Von Mises Stress

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 สามารถใช้โปรแกรม Solidworks เขียนแบบและวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์ได้

1.4.2 สามารถออกแบบชิ้นส่วนเพื่อทำให้สามารถติดตั้งได้ง่ายขึ้น

1.4.3 สามารถลดค่าใช้จ่ายจากการเปลี่ยนอุปกรณ์ประกอบการเคลื่อนที่และตัวประกอบหัวอ่าน

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 คุณสมบัติของวัสดุ

Aluminum 6061

อลูมิเนียมอัลลอยด์ในประเภท 6061 มีส่วนประกอบเป็นซิลิคอน และแมกนีเซียม ในปริมาณที่เหมาะสมในการขึ้นรูปแมกนีเซียมซิลิไซด์ (Mg_2Si) ซึ่งทำให้สามารถอบร้อนได้ แต่ก็ยังมีความแข็งไม่เท่ากับประเภท 2xxx และ 7xxx โดยประเภท 6061 นี้จะสามารถขึ้นรูปได้ดี, เชื่อมง่าย, แปรรูปง่าย และต้านทานการกัดกร่อนได้ดีด้วยความที่มีแข็งปานกลาง เกรดอลูมิเนียมในประเภทที่สามารถทำการอบร้อนได้นี้อาจจะขึ้นรูปในแบบ T4 เท็มเปอร์ (ใช้แก้ปัญหาการอบร้อน แต่ไม่สามารถเร่งการอบร้อนได้) และเพิ่มความแข็งหลังจากการขึ้นรูปได้แบบคุณสมบัติ T6 โดยการเร่งการอบร้อน

Properties	Metric
Density	2.7 g/cm ³
Ultimate Tensile Strength	310 MPa
Tensile Yield Strength	276 MPa
Shear Modulus	26 GPa
Elastic Modulus	68.9 GPa
Poisson's Ratio	0.33

ตารางที่ 1 Properties of Aluminum 6061

Chrome Steel

โครมสตีลเป็นวัสดุพื้นฐานที่ใช้ในการผลิตชิ้นส่วนทั้งหมดที่ใช้รองรับแรงของบอลแบริ่ง โรลเลอร์แบริ่งและเทเปอร์โรลเลอร์แบริ่ง มีส่วนประกอบเป็นคาร์บอนปริมาณสูงและโครเมียม 1.5% ผ่านกระบวนการอบร้อน ทำให้มีความแข็งแรงทนต่อการแตกหักและทนต่อความล้าที่พื้นผิวของลูกกลิ้งที่สัมผัสกัน ความแข็งของพื้นผิวชิ้นส่วนอยู่ในช่วง 60- 64 Rc (Rockwell hardness C scale)

Properties	Metric
Density	7.8 g/cm ³
Tensile Strength	2240 MPa
Yield Strength	2030 MPa
Shear Modulus	77 GPa
Elastic Modulus	200 GPa
Poisson's Ratio	0.28

ตารางที่ 2 Properties of Chrome Steel

Stainless steel 304

สแตนเลสสตีล 304 เป็นเหล็กกล้าที่มีส่วนผสมของโครเมียมและนิกเกิล โดยโครเมียมเป็นส่วนผสมที่ช่วยป้องกันสนิม และโครเมียมช่วยปกป้องการกัดกร่อน ซึ่งสแตนเลสสตีล 304 ถูกใช้โดยทั่วไปเนื่องจากคุณสมบัติที่ดีและราคาที่เหมาะสม

Properties	Metric
Density	8 g/cm ³
Tensile Strength	505 MPa
Yield Strength	215 MPa
Shear Modulus	77 GPa
Elastic Modulus	193 GPa
Poisson's Ratio	0.29

ตารางที่ 3 Properties of Stainless steel 304

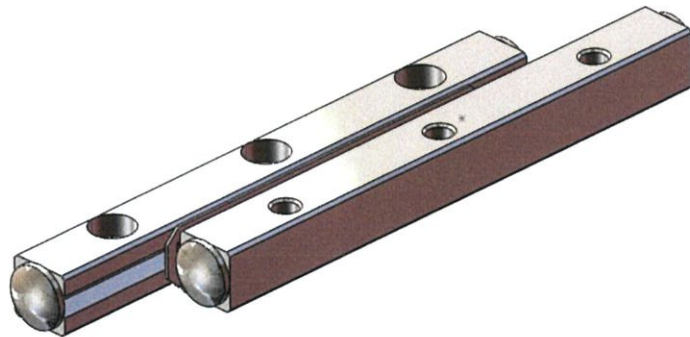
Stainless Steel 440c

สแตนเลส เกรด 440c เป็นเหล็กกล้ามาเห็นซิติคคาร์บอนสูง มีความแข็งแรงแรงมาก ความแข็งสูง และทนต่อการกัดกร่อน หลังจากผ่านความร้อนจะมีความแข็งแรงแรงที่สุด และทนต่อการกัดกร่อนที่สุดในบรรดาสแตนเลส ส่วนประกอบมีคาร์บอนสูง การใช้งานเหมาะกับการทำ แบริ่ง วาล์ว มีด สิว ฯลฯ

Properties	Metric
Density	7.80 g/cm ³
Tensile Strength	760-1970 MPa
Yield Strength	450-1900 MPa
Shear Modulus	83.9 GPa
Elastic Modulus	200 GPa
Poisson's Ratio	0.3

ตารางที่ 4 Properties of Stainless steel 440c

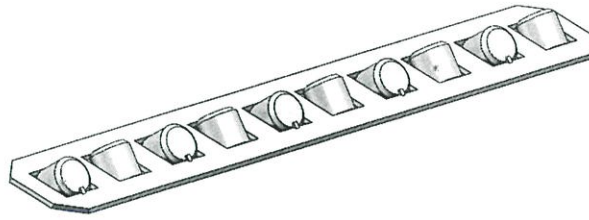
2.2 Cross roller guide



ภาพที่ 1 Cross roller guide

อุปกรณ์ประกอบเครื่องเคลื่อนที่ (Cross roller guide) นิยมใช้ในงานที่ต้องการความแม่นยำสูง การเคลื่อนที่แบบราบรื่นมาก และ ไม่ต้องการระยะทางมากนัก เช่น ฐานของกล้องไมโครสโคป อุปกรณ์ทางการแพทย์ กลไกการทำงานของเครื่องจักร กระบวนการผลิต และคลีนรูม

ซึ่งแบบลูกกลิ้งไขว้จะมีพื้นที่ผิวสัมผัสมากกว่าแบบลูกบอลและมีความแข็งแรงมากกว่าทำให้ลดการเสียดสีได้และสามารถเคลื่อนที่ได้เที่ยงตรง โดยพื้นผิวจะมีความแม่นยำมากกว่าแบบลูกบอลซึ่งแบบลูกบอลมีค่าความคลาดเคลื่อน 5 – 10 ไมครอน แต่แบบลูกกลิ้งไขว้มีค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุดไม่เกิน 2 ไมครอน



ภาพที่ 2 cross roller cage in VR3-75Hx10Z

2.3 ความคลาดเคลื่อน

ค่าความคลาดเคลื่อน หรือ Error คือ ค่าความต่างของของค่าจริงกับค่าที่ได้จากเครื่องมือวัด ส่วนใหญ่จะแสดงผลออกมาเป็นเปอร์เซ็นต์ ถ้าค่าที่ได้จากเครื่องมือวัดใกล้เคียงกับค่าจริงจะถือว่าแม่นยำ การวัดส่วนใหญ่จะมีความคลาดเคลื่อนเสมอ โดยความคลาดเคลื่อนจะแบ่งได้เป็นสามชนิด คือ

1. ความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากผู้วัด
2. ความคลาดเคลื่อนเชิงระบบ
3. ความคลาดเคลื่อนแบบสุ่ม

การคำนวณค่าความคลาดเคลื่อน

1. ค่าความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ คือ ค่าความแตกต่างของค่าจริงกับค่าที่ได้จากการวัด ดังสมการ

$$Absolute Error = |x_{mea} - x_t| \quad (2-3-1)$$

เมื่อ x_{mea} คือ ค่าที่ได้จากการวัด
 x_t คือ ค่าจริง

2. ค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ ดังสมการ

$$Relative Error = \left| \frac{x_{mea} - x_t}{x_t} \right| \quad (2-3-2)$$

$$\% Error = Relative Error \times 100 \quad (2-3-3)$$

เมื่อ x_{mea} คือ ค่าที่ได้จากการวัด
 x_t คือ ค่าจริง

2.4 การหาค่า Torque

การใช้ประแจทอร์คในการหาค่าทอร์คที่เหมาะสมในการขัน โดยจะเริ่มขันแบบ snug-tight ซึ่งจะเป็นการขันแบบเพิ่มแรงไปจนถึงมือ จากนั้นจึงใช้ประแจทอร์คมาขันตามค่าทอร์คที่ต้องการ ซึ่งค่าทอร์คสามารถคำนวณได้จากค่าพรีโหลด และขนาดของน็อต ดังสมการ

$$T = \frac{F_i d_m}{2} \left(\frac{l + \pi f d_m \sec \alpha}{\pi d_m f l \sec \alpha} \right) \quad (2-4-1)$$

$$d_m = d - 0.5p \quad (2-4-2)$$

$$l = np \quad (2-4-3)$$

เมื่อ T คือ Torque
 F_i คือ Preload
 d_m คือ Mean diameter
 f คือ The coefficient of friction
 α คือ มุมของเกลียว ACME เทียบกับแนวตั้ง
 l คือ lead
 n คือ type of thread
 p คือ ระยะ pitch

ค่าทอร์คที่ใช้ในการขันสกรูปรับดัน (adjust screw)

สำหรับอุปกรณ์ประกอบการเคลื่อนที่รุ่น VR3-75Hx10Z คู่มือไม่ได้ระบุค่าทอร์คที่ใช้ในการขันสกรูปรับดัน ผู้ประกอบเครื่องจักรจึงทำการขันด้วยความรู้สึก และไม่ได้ใช้ประแจทอร์คมาเป็นตัวช่วยในการประกอบส่งผลให้ชิ้นส่วนทำการประกอบด้วยแรงที่ไม่ถูกต้องและเกิดความเสียหายขณะใช้งาน ซึ่งผู้ทวิวิจัยได้ทำการสุ่มวัดทอร์คที่เครื่องและพบว่าค่าทอร์คที่ใช้งานอยู่มีความกระจายอยู่ในช่วง 0.09-0.13 N-m.

การใช้สกรูปรับต้นในการลดช่องว่างของอุปกรณ์ประกอบ การเคลื่อนที่ตามคู่มือผลิตภัณฑ์รุ่น NVS3075-13Z ซึ่งกำหนดกรูขนาด M4 และค่าทอร์ก 0.05 N-m. แต่ขนาดของสกรูที่ใช้งานเป็นขนาด M3 จึงทำการแปลงค่าทอร์กของ M4 เป็น M3

จากสมการที่ (2-4-1) และสกรูขนาด M4 single thread มีค่า lead 0.7 ระยะ pitch 0.7 mm. mean diameter 3.3 mm. สัมประสิทธิ์แรงเสียดทานเฉลี่ย 0.15 มุมของเกลียว ACME 30° ทำให้ทราบค่าพรีโหลด 0.124 kN. และทำการแปลงกลับไปเป็นค่าทอร์กของสกรูขนาด M3 single thread มีค่า lead 0.5 ระยะ pitch 0.5 mm. mean diameter 2.5 mm. สัมประสิทธิ์แรงเสียดทานเฉลี่ย 0.15 มุมของเกลียว ACME 30° ได้ค่าทอร์ก 0.04 N-m.

2.5 กฎของนิวตัน

กฎข้อที่ 1 กฎของความเฉื่อย (Inertia's Law)

กล่าวว่า "วัตถุที่หยุดนิ่งจะหยุดนิ่งอยู่กับที่ โดยที่ไม่มีแรงภายนอกใดๆมากระทำ ถ้าวัตถุเคลื่อนที่จะเคลื่อนที่เป็นเส้นตรงด้วยความเร็วคงที่ โดยที่ไม่มีแรงภายนอกใดๆมากระทำเช่นกัน" ดังสมการ

$$\sum F = 0 \quad (2-5-1)$$

เมื่อ F คือ แรงที่กระทำต่อวัตถุ

ซึ่งนิวตันได้อธิบายว่า ในอวกาศนั้นไม่มีอากาศ ดาวเคราะห์จึงเคลื่อนที่โดยมีความเร็วคงที่ และทิศทางเป็นเส้นตรง เขาให้ความคิดเห็นอีกว่า การที่ดาวเคราะห์โคจรเป็นรูปร่างนั้นเป็นเพราะมีแรงโน้มถ่วงจากดวงอาทิตย์มากระทำ นิวตันตั้งข้อสังเกตว่า แรงโน้มถ่วงที่ทำให้แอปเปิลตกสู่พื้นดินนั้น เป็นแรงเดียวกันกับ แรงที่ตรึงดวงจันทร์ไว้กับโลกซึ่งก็คือแรงดึงดูดของโลก หากไม่มีแรงโน้มถ่วงของโลก ดวงจันทร์ก็คงจะเคลื่อนที่เป็นเส้นตรงผ่านโลกไป

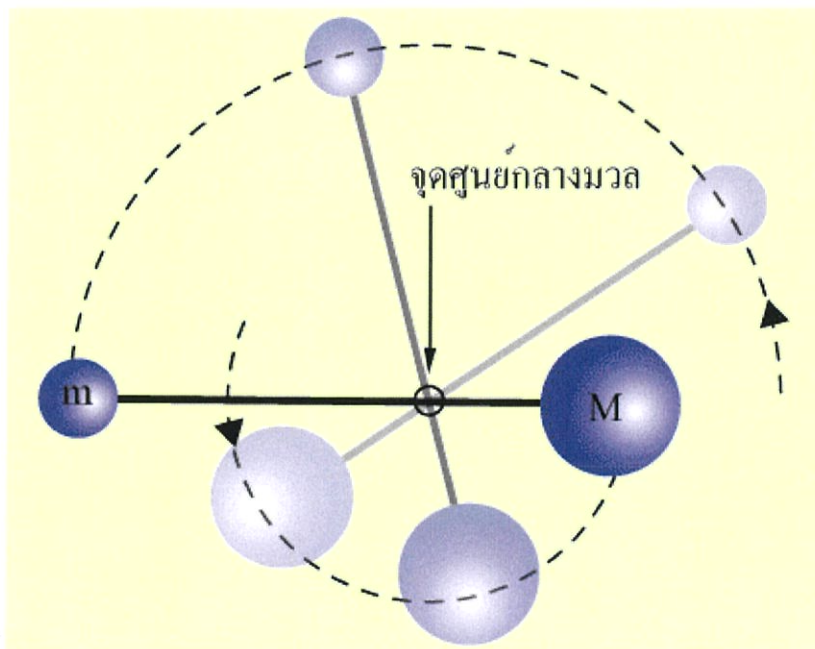
กฎข้อที่ 2 กฎของแรง (Force's Law)

กล่าวว่า "ความเร่งของวัตถุใดๆจะแปรผันตรงตามแรงที่กระทำต่อวัตถุ แต่จะแปรผกผันกับมวลของวัตถุ" ดังสมการ

$$\sum F = ma \quad (2-5-2)$$

เมื่อ F คือ แรงที่กระทำต่อวัตถุ
 m คือ มวลของวัตถุ
 a คือ ความเร่งของวัตถุ

ทางดาราศาสตร์ นิวตันอธิบายว่า ดาวเคราะห์และดวงอาทิตย์โคจรรอบกันและกัน โดยมีจุดศูนย์กลางร่วม แต่เพราะว่าดวงอาทิตย์นั้นมีมวลมากกว่าดาวเคราะห์อื่นๆ มากมาย เราจึงเห็นว่า ดาวเคราะห์ต่างๆ เคลื่อนที่ไปด้วยความเร่งที่มากกว่าดวงอาทิตย์ และมีจุดศูนย์กลางร่วมกันอยู่ภายในตัวดวงอาทิตย์เอง เหมือนกับการหมุนลูกตุ้มดัมเบลสองข้างที่มีมวลไม่เท่ากันดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 การหมุนรอบศูนย์กลางมวลของลูกตุ้ม

กฎข้อที่ 3 กฎของแรงปฏิกิริยา (Action = Reaction)

กล่าวว่า “แรงที่วัตถุหนึ่งกระทำต่ออีกวัตถุหนึ่ง ย่อมมีขนาดเท่ากันแต่มีทิศทางตรงข้ามกัน”

นิวตันได้อธิบายว่า ขณะที่ดวงอาทิตย์มีแรงกระทำดึงดูดต่อดาวเคราะห์ ดาวเคราะห์ก็มีแรงกระทำดึงดูดต่อดวงอาทิตย์ในปริมาณที่เท่ากัน แต่มีทิศทางตรงกันข้าม

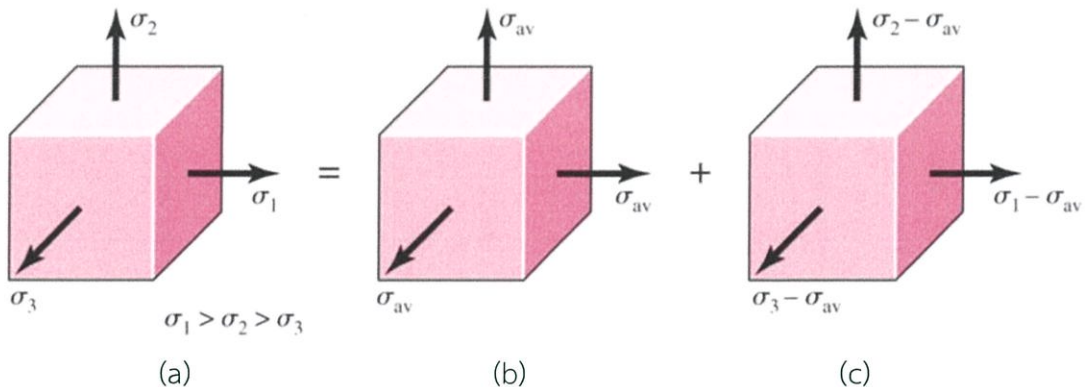
2.6 ทฤษฎีความเสียหายที่เกิดขึ้นต่อวัสดุ

Distortion-Energy Theory หรือ Von Mises Stress Theory เป็นหนึ่งในทฤษฎีของการคำนวณความเสียหายในวัสดุประเภทเหนียว โดยทฤษฎีนี้มาจากการสังเกตความเค้นจาก Hydrostatic Stress ต่อวัสดุเหนียวแสดงถึงค่า yield strength ส่วนเกินที่มาจากการทดสอบแรงดึงแบบง่าย ๆ ดังนั้นการสมมติว่ามีแค่การดึงกับการอัดจึงไม่เพียงพอ แต่ต้องมีความสัมพันธ์กับการบิดเชิงมุมของเอลิเมนต์วัสดุร่วมด้วย

Distortion-energy theory จะให้วัตถุปริมาตร 1 หน่วย รับความเค้นในรูปแบบสามมิติ สมมติค่าตัวแปรเป็น σ_1 , σ_2 , และ σ_3 ตามภาพที่ 4(a) โดยความเค้นที่แสดงตามภาพที่ 4(b) เป็นความเค้นจาก Hydrostatic Normal Stress เนื่องจากแต่ละความเค้นเฉลี่ยที่กระทำในทิศทางเดียวกันจึงไม่มีการบิดเชิงมุมดังสมการ

$$\sigma_{av} = \frac{\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3}{3} \quad (2-6-1)$$

ถ้า σ_{av} เป็นส่วนประกอบของ σ_1 , σ_2 , และ σ_3 ดังนั้นจะสามารถตัดส่วนประกอบนี้ออกไปได้ ซึ่งผลที่ได้แสดงในภาพที่ 4(c) เอลิเมนต์นี้จะแสดงเฉพาะการบิดเชิงมุม



ภาพที่ 4 The Stress State

พิจารณา The Strain Energy Per Unit Volume สำหรับการดึงแบบทั่วไป $u = \frac{1}{2} \epsilon \sigma$ สำหรับเอลิเมนต์ตามภาพที่ 4(a) สมการจะเป็น $u = \frac{1}{2} \times [\epsilon_1 \sigma_1 + \epsilon_2 \sigma_2 + \epsilon_3 \sigma_3]$ และเมื่อแทนค่า Principal Strain ลงไปจะเป็น

$$u = \frac{1}{2E} \times [\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2 - 2\nu(\sigma_1 \sigma_2 + \sigma_2 \sigma_3 + \sigma_3 \sigma_1)] \quad (2-6-2)$$

พิจารณา The Strain Energy for Producing Only Volume สามารถแทนค่า σ_{av} แทน σ_1 , σ_2 , และ σ_3 ในสมการที่ (2-6-2) จะได้

$$u_v = \frac{3\sigma_{av}^2}{2E} (1-2\nu) \quad (2-6-3)$$

ถ้าเราแทนค่าสมการที่ (2-6-1) ในสมการที่ (2-6-3) จะได้

$$u_v = \frac{1-2\nu}{6E} (\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2 + 2\sigma_1\sigma_2 + 2\sigma_2\sigma_3 + 2\sigma_3\sigma_1) \quad (2-6-4)$$

ฉะนั้น Distortion-Energy จะได้มาจากสมการที่ (2-6-2) กับ (2-6-4)

$$u_d = u - u_v = \frac{1+\nu}{3E} \left[\frac{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2}{2} \right] \quad (2-6-5)$$

โดย Distortion-Energy จะเท่า 0 ถ้า $\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma_3$

สำหรับ The Simple Tensile Test ที่จุด yield ค่า $\sigma_1 = S_y$ และ $\sigma_2 = \sigma_3 = 0$ และจากสมการ (2-6-5) จะได้

$$u_d = \frac{1+\nu}{3E} S_y^2 \quad (2-6-6)$$

ดังนั้นสำหรับ General State of Stress จากสมการที่ (2-6-5) และค่า Yield จะมีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับค่าจากสมการที่ (2-6-5) ดังสมการ

$$\left[\frac{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2}{2} \right]^{\frac{1}{2}} \geq S_y \quad (2-6-7)$$

ถ้าเรามีการดึงแบบทั่วไปกรณีหนึ่ง σ แล้ว Yield เกิดขึ้นเมื่อ $\sigma \geq S_y$ ทางฝั่งซ้ายของสมการที่ (2-6-7) สามารถคิดได้ทั้งแบบ Single, Equivalent และ Effective Stress สำหรับ General State of Stress ที่มาจาก σ_1 , σ_2 , และ σ_3 มีชื่อเรียกว่า Von Mises Stress และจากสมการที่ (2-6-7) ค่า Yield สามารถเขียนได้ว่า

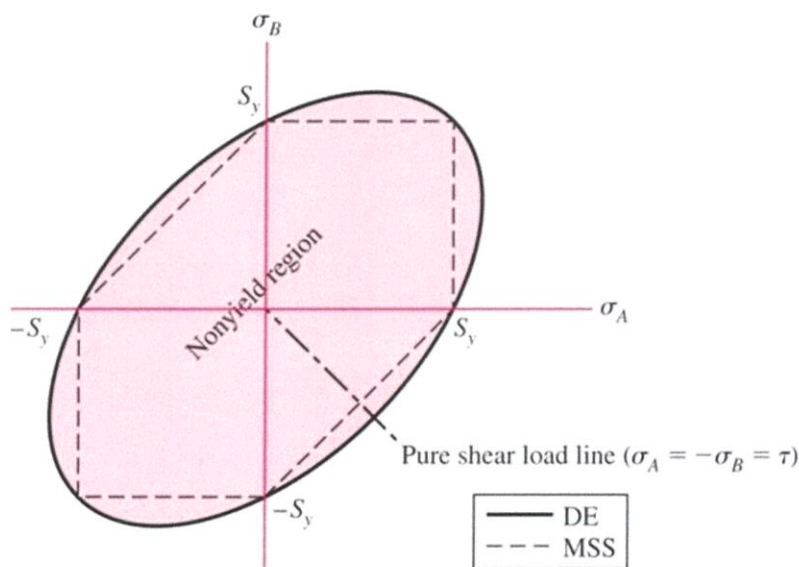
$$\sigma' \geq S_y \quad (2-6-8)$$

เมื่อ Von Mises Stress คือ

$$\sigma' = \left[\frac{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2}{2} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (2-6-9)$$

The Von Mises Stress สามารถแสดงเป็น Principal Stress ได้ $\sigma_A, \sigma_B, 0$ และจากสมการที่ (2-6-9) จะได้

$$\sigma' = (\sigma_A^2 - \sigma_A \sigma_B + \sigma_B^2)^{\frac{1}{2}} \quad (2-6-10)$$



ภาพที่ 5 Plot of Points DE and MSS

โดยสมการที่ (2-6-10) จะมีลักษณะเป็นวงรีหมุนเอียงในระนาบ σ_A, σ_B ดังภาพที่ 5 โดย $\sigma' = S_y$ เส้นประเป็น Maximum Shear Stress ส่วนเส้นทึบเป็น Distortion-Energy ในกรณีที่ Von Mises Stress เขียนในรูปสามมิติ $x y z$ ได้เป็น

$$\sigma' = \frac{1}{\sqrt{2}} [(\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_x)^2 + 6(\tau_{xy}^2 + \tau_{yz}^2 + \tau_{zx}^2)]^{\frac{1}{2}} \quad (2-6-11)$$

และสำหรับ Plane Stress

$$\sigma' = (\sigma_x^2 - \sigma_x \sigma_y + \sigma_y^2 + 3 \tau_{xy}^2)^{\frac{1}{2}} \quad (2-6-12)$$

ทางด้านคณิตศาสตร์ได้อธิบายว่า Distortion-Energy มีแนวโน้มที่จะปิดบังค่าจริงและประโยชน์ของผลลัพธ์และสมการมีความซับซ้อน Von Mises Stress จึงถูกนำมาเปรียบเทียบกับค่า Yield Strength ของวัสดุตามสมการที่ (2-6-8) และได้สมการที่ใช้ในการออกแบบออกมาเป็น

$$\sigma' = \frac{S_y}{n} \quad (2-6-13)$$

Distortion-Energy Theory คาดการณ์ว่าจะไม่เกิดความเสียหายภายใต้ความเค้นและยืดยัน ด้วยข้อมูลทั้งหมดของวัสดุ (วัสดุเหนียว) ซึ่งมีอีกหลายทฤษฎีในการเลือกใช้อย่างเหมาะสม

Shear Yield Strength พิจารณากรณีที่มีแต่แรงเฉือนเท่านั้น τ_{xy} โดยที่ $\sigma_x = \sigma_y = 0$ และจากสมการที่ (2-6-8) และ (2-6-12) จะได้

$$\tau_{xy} = \frac{S_y}{\sqrt{3}} = 0.577 S_y \quad (2-6-14)$$

ซึ่ง Shear Yield Strength สามารถคาดการณ์ได้จาก Distortion-Energy Theory เช่นกัน

โดยที่

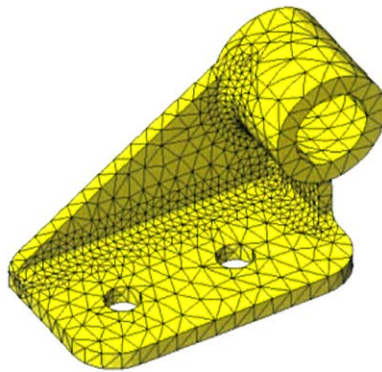
- n = factor of safety
- S_y = yield strength
- σ' = Von mises stress
- σ_x = stress x-axis
- σ_y = stress y-axis
- τ_{xy} = shear stress

2.7 วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (FEM) เป็นวิธีการเชิงตัวเลขสำหรับการแก้ปัญหาที่ใช้อธิบายโดยสมการเชิงอนุพันธ์หรือสามารถคำนวณเป็นฟังก์ชันย่อยๆ โดเมนหรือสิ่งที่สนใจจะแสดงเป็นส่วนย่อยเรียกว่าเอลิเมนต์ การประมาณค่าฟังก์ชันจะถูกคำนวณในรูปแบบของค่าจุดตัดในลักษณะทางกายภาพ รูปแบบทางกายภาพถูกเปลี่ยนเป็นการแสดงแบบเอลิเมนต์กับค่าจุดตัดที่ไม่ทราบค่า สำหรับปัญหาเชิงเส้นระบบของ

สมการพีชคณิตเชิงเส้นถูกอธิบายว่าค่าต่างๆในเอลิเมนต์สามารถหาค่าได้โดยใช้ค่าจุดตัด ซึ่งคุณลักษณะของไฟไนต์เอลิเมนต์มีสองประการ คือ

1. การประมาณค่าของพื้นที่ทางกายภาพของเอลิเมนต์ให้ความแม่นยำเหมือนในฟังก์ชันทุกๆไป แต่การเพิ่มจำนวนเอลิเมนต์ให้มากขึ้นทำให้ค่าความแม่นยำเพิ่มขึ้นได้
2. บริเวณที่ประมาณค่าไปสู่ระบบสมการที่กระจัดกระจายสำหรับปัญหาการกระจัดกระจายจะช่วยให้แก้ไขปัญหาที่มีจำนวนของจุดตัดที่ไม่ทราบค่าเป็นจำนวนมากๆได้



ภาพที่ 6 การแสดงจุดตัดและเอลิเมนต์ของชิ้นงานในการทำไฟไนต์เอลิเมนต์

2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Naoki Yamaguchi ได้ศึกษาพฤติกรรมการเลื่อนไถลของ roller cage ของ cross roller guide โดยผลที่ได้ระบุว่า ตำแหน่งของ roller cage ซึ่งอยู่กึ่งกลางระหว่างรางสไลด์ทั้งสองข้าง เกิดการไหลลงมาสู่ระยะจนชนกับ stopper และในจังหวะเคลื่อนที่ขึ้น stopper จะส่งแรงผลักดันให้ roller cage เลื่อนไถลขึ้นสู่ตำแหน่งเดิม โดยการที่จะทำให้ roller cage เคลื่อนที่กลับขึ้นไปได้ต้องใช้มอเตอร์ที่มีกำลังมากพอและด้วยกำลังของมอเตอร์นั้นอาจสร้างความเสียหายแก่ roller cage, rollers และรางสไลด์ได้ ประกอบกับแรงพรีโหลดทำให้การดันขึ้นนั้นยากยิ่งขึ้นและสร้างความเสียหายมากยิ่งขึ้น หรือกล่าวคือการที่ roller cage ไหลลงมาทุกครั้งทำให้เกิดความเสียหายและตัว rollers จะไม่เกิดการหมุนแต่เกิดการไถลแทนและที่พื้นผิวจะเกิดการเสียดสีจากแรงเสียดทานและความร้อนขึ้น (metal rubbing) ส่งผลให้ชิ้นส่วนเสียหายได้อย่างรวดเร็ว

3. การดำเนินงาน

3.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน

3.1.1 ศึกษาหลักการทำงานของเครื่อง Auto Load and Unload Machine และส่วนที่เกิดปัญหา

3.1.2 ทำการวิเคราะห์หาสาเหตุเบื้องต้นที่ส่งผลให้ตัวประกอบหัวอ่านเกิดความเสียหาย

3.1.2 ทำการวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์เพื่อหาค่าความเค้นและค่าความปลอดภัย

3.1.3 วิเคราะห์หาทางแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นได้ตามหลักการและออกแบบสามมิติ

3.1.4 ทำการวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์ของชิ้นส่วนที่ออกแบบขึ้นมาใหม่ เพื่อหาค่าความเค้นและค่าความปลอดภัย

3.1.5 ตรวจสอบค่าความเค้นและค่าความปลอดภัยของการวิเคราะห์แบบสแตติก

3.1.6 สรุปผลการวิจัยและจัดทำเล่มปริญญาานิพนธ์

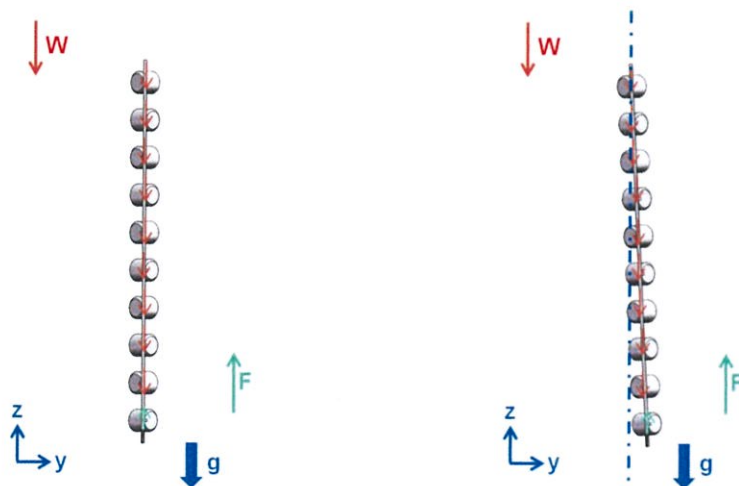
3.2 แรงที่กระทำต่อชิ้นส่วน

แรงที่ชิ้นส่วนอุปกรณ์ประกอบการเคลื่อนที่ได้รับมาจากหลายส่วน

3.2.1 แรงอันเนื่องมาจากน้ำหนักของอุปกรณ์ประกอบการเคลื่อนที่

3.2.2 แรงอันเนื่องมาจากน้ำหนักของชิ้นส่วนหีบและวางหัวอ่าน

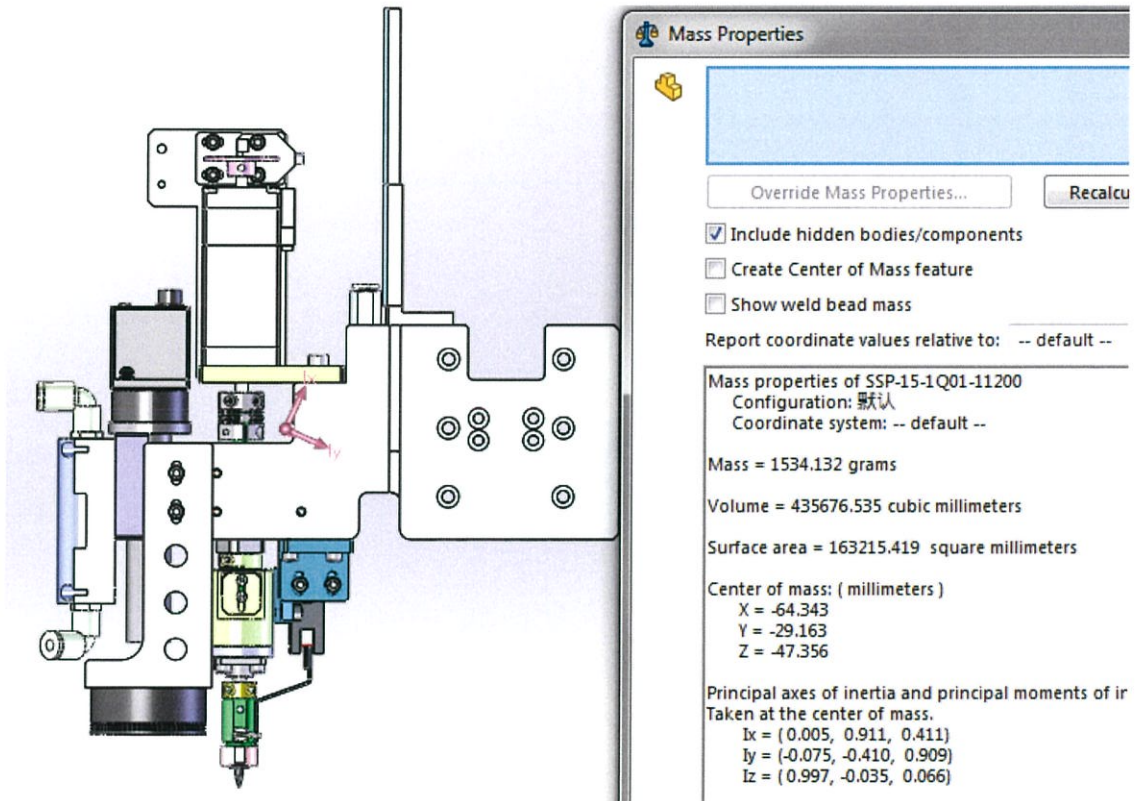
3.2.3 แรงอันเนื่องมาจากบอลสกรูดันชิ้นส่วนไว้ไม่ให้ตกส่งผลไปดันอุปกรณ์ประกอบการเคลื่อนที่



ภาพที่ 7 free body diagram ของชิ้นส่วน roller cage

3.3 การหามวลและขนาดแรงที่ชิ้นส่วนได้รับ

โปรแกรม Solidworks Premium 2016 จะมีฟังก์ชัน Mass Properties ซึ่งจะคำนวณหามวลของชิ้นส่วนตามวัสดุที่ระบุลงไปโปรแกรมดังภาพที่ 8

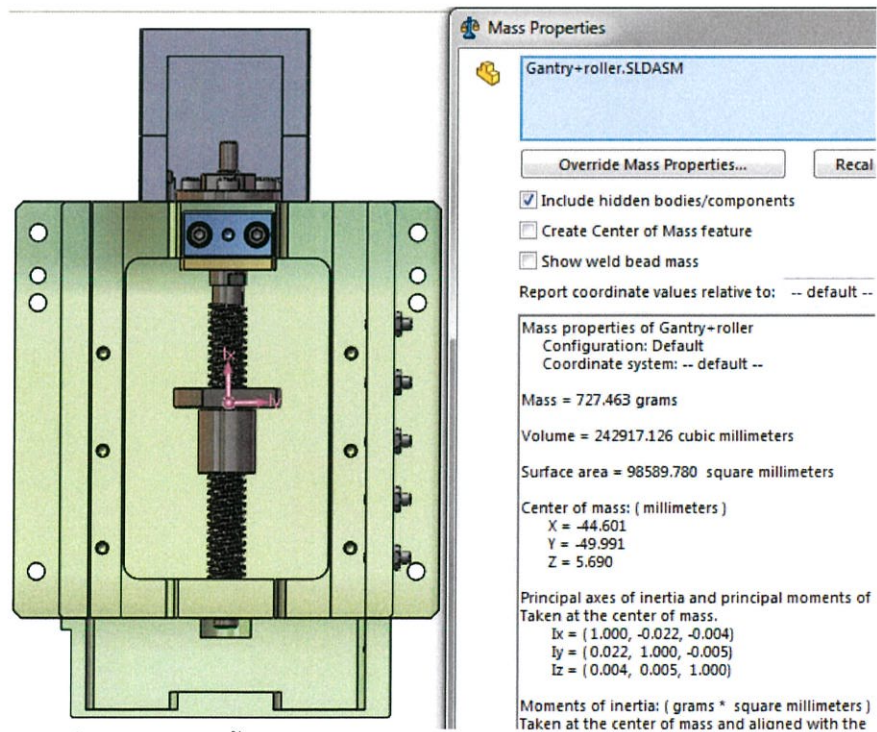


ภาพที่ 8 หน้าต่างแสดงการหามวลของชิ้นงานโดยโปรแกรม Solidworks

การตรวจสอบเพื่อหาค่าความคลาดเคลื่อนของขนาดมวลชิ้นส่วนที่คำนวณจากโปรแกรม Solidworks กับชิ้นส่วนจริงๆ แต่เนื่องจากจากชิ้นส่วนที่ต้องการหามวลไม่สามารถนำออกมาชั่งหามวลได้จึงทำการชั่งชิ้นส่วนอื่นที่ทำมาจากวัสดุเดียวกันคือ อลูมิเนียม 6061 เป็นชิ้นส่วนฐาน (Base) ประกอบกับบอลสกรูดังภาพที่ 9



ภาพที่ 9 การชั่งชิ้นส่วน Base กับ Ball screw



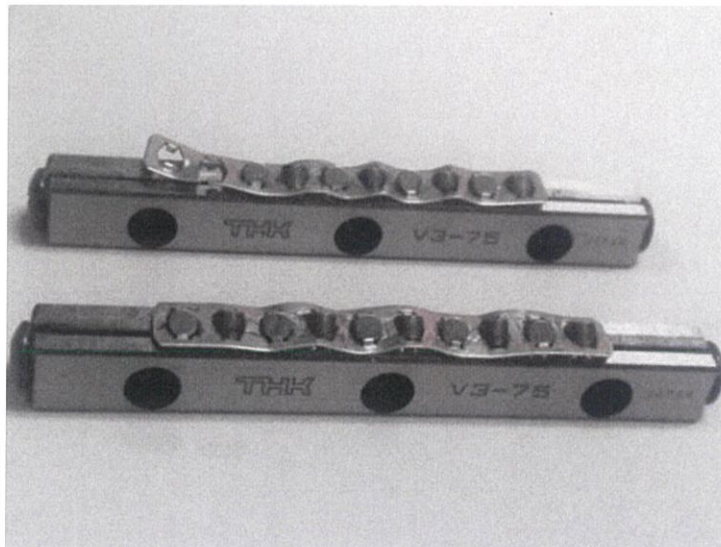
ภาพที่ 10 มวลของชิ้นส่วน Base กับ Ball screw จากโปรแกรม Solidworks

ซึ่งมวลที่ชั่งได้มีขนาดประมาณ 740 g และมวลที่คำนวณจากโปรแกรม Solidworks มีขนาดประมาณ 727.5 g ดังภาพที่ 10 และนำมาหาเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนจากสมการที่ (2-3-2) และ (2-3-3) จะได้เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนประมาณ 1.69 % ซึ่งมีความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 5 % ตามหลักสถิติ

จากกฎของนิวตันสมการที่ (2-5-2) ได้ทำการหาขนาดของแรงกดอันเนื่องมาจากมวลของอุปกรณ์หีบและวางหัวอ่าน ที่กระทำต่ออุปกรณ์ประกอบการเคลื่อนที่มีค่าประมาณ 1534.13 g จากโปรแกรม Solidworks (เนื่องจากไม่สามารถนำชิ้นส่วนนี้ไปชั่งหาขนาดของมวลได้) และค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกประมาณ 9.81 m/s^2 ดังนั้นแรงกดที่อุปกรณ์ประกอบการเคลื่อนที่ที่ได้รับอันเนื่องมาจากมวลของอุปกรณ์หีบและวางหัวอ่านมีค่าประมาณ 15.05 N

3.4 การเกิดความเสียหาย

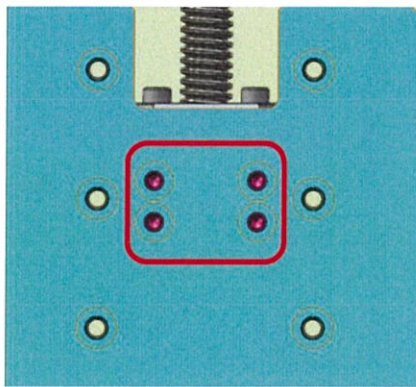
จากการตรวจสอบพบว่ามีชิ้นส่วนที่เกิดความเสียหาย คือ รางบรรจุลูกปืน (Roller cage) ของชุดอุปกรณ์ประกอบการเคลื่อนที่รุ่น VR3-75Hx10Z มีการแตกหักและบิดงอ ดังภาพที่ 11



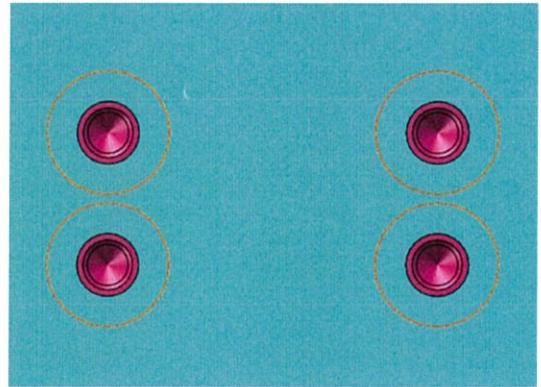
ภาพที่ 11 การบิดงอและแตกหักของ Roller cage

สมมติฐานของความเสียหายมาจากการติดตั้งชิ้นส่วนอุปกรณ์ประกอบการเคลื่อนที่แล้วยังคงมีช่องว่างที่ลูกปืนไม่สัมผัสกับพื้นผิวของรางเลื่อนส่งผลให้รางบรรจุลูกปืน เอียงไม่ได้แนวขนานกันกับชิ้นส่วนบอลสกรู และเมื่อกลไกทำงานทำให้รางบรรจุลูกปืนเกิดการไหลลงมาด้านล่าง เมื่ออุปกรณ์

ประคองการเคลื่อนที่เลื่อนขึ้นจะเกิดแรงอัดไปที่ลูกปืนตัวล่างสุดเพื่อดันรางบรรจุลูกปืนขึ้น ส่งผลให้รางบรรจุลูกปืนเกิดการบิดงอและแตกหัก ในขณะเดียวกันเมื่อรางบรรจุลูกปืนเสียหาย การทำหน้าที่ประคองน้ำหนักของชิ้นส่วนหยิบและวางหัวอ่านไม่สามารถทำหน้าที่ได้ ส่งผลให้เกิดโมเมนต์มากระทำบิดให้เอียงในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา และเนื่องจากรูที่ใช้ยึดมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางโตกว่าขนาดของรูชั้นยึด ดังภาพที่ 15(a) และภาพที่ 15(b) ซึ่งสามารถให้ตัวได้ (ชิ้นงานสามารถบิดเอียงได้เพื่อปรับระยะในการใช้ สกรูปรับดันรางเลื่อนให้ติดกัน) และเมื่อเกิดความเสียหายที่อุปกรณ์ประคองการเคลื่อนที่ จึงส่งผลให้ชิ้นส่วนหยิบและวางหัวอ่านมีตำแหน่งที่ผิดเพี้ยนไปจากปกติทำให้ตัวประกอบหัวอ่านเกิดความเสียหายที่ Probe (วางจร) และ Stopper (แผ่นกั้น Slider) ดังภาพที่ 16

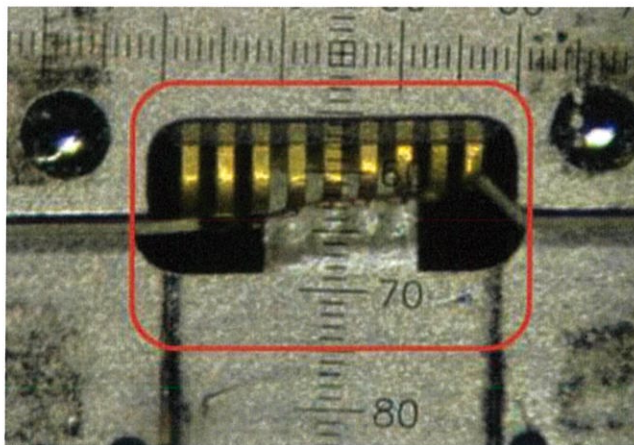


(a)



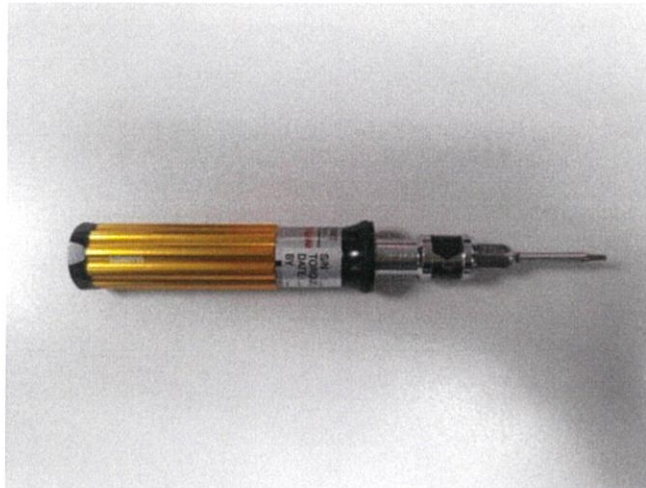
(b)

ภาพที่ 12 ร่องจับยึดกับ Ball Screw



ภาพที่ 13 ความเสียหายที่ตัวประกอบหัวอ่าน (SETS)

3.5 การวัดค่าทอร์คในสกรูปรับดัน

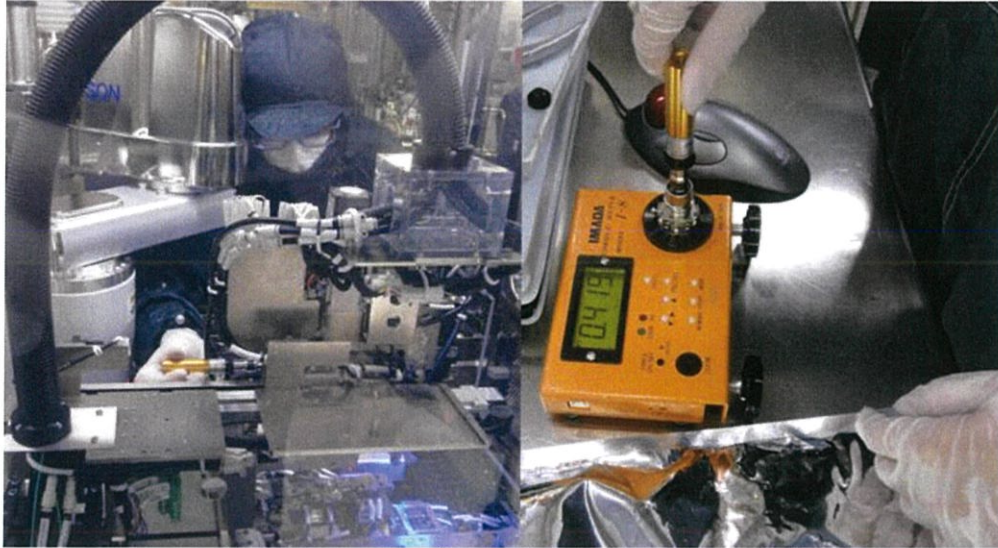


ภาพที่ 14 Torque driver



ภาพที่ 15 Torque meter

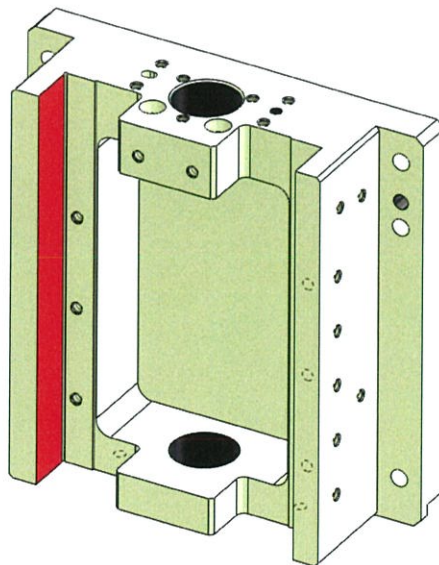
เครื่องจักรในไลน์การผลิตนั้นไม่ได้ถูกใช้ค่าทอร์คในการขันสกรูปรับดันที่ถูกต้องเหมาะสม จึงทำการวัดโดยใช้ torque driver และ torque meter ดังภาพที่ 14 และ 15 ตามลำดับ ซึ่งวิธีการวัดค่าทอร์คนั้นจะใช้ torque driver ในการวัดและค่อยๆปรับขนาดของทอร์คให้เพิ่มมากขึ้นจนมากพอที่สามารถขันออกมาได้ดังภาพที่ 16 และนำไปวัดหาค่าทอร์คจาก torque meter จากนั้นจึงนำมาเปรียบเทียบกับค่าทอร์คตามคู่มือและใช้สมการการคำนวณทอร์คมาพร้อมด้วย



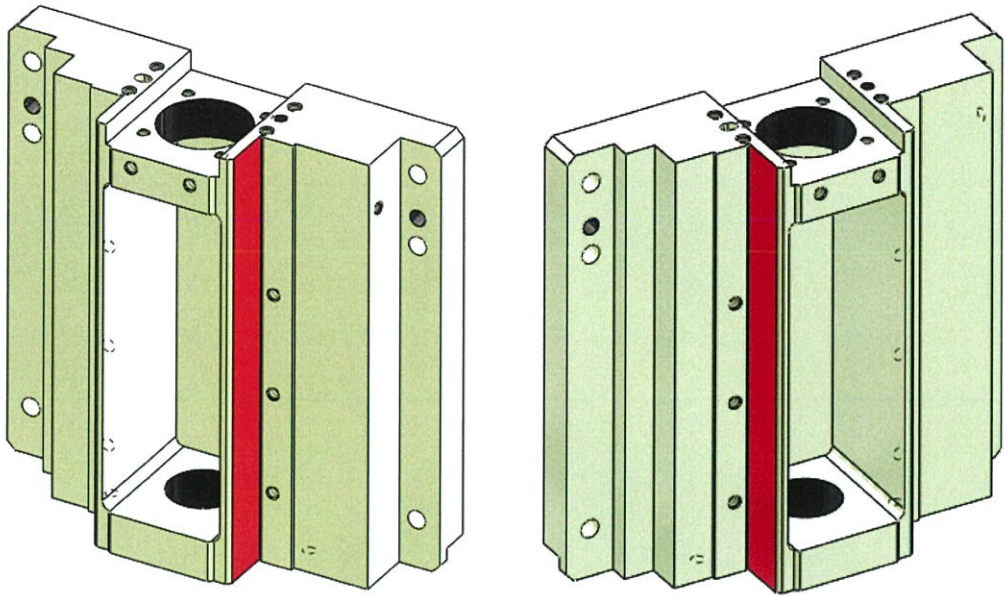
ภาพที่ 16 การวัดเทอร์ค

3.6 การออกแบบชิ้นงาน

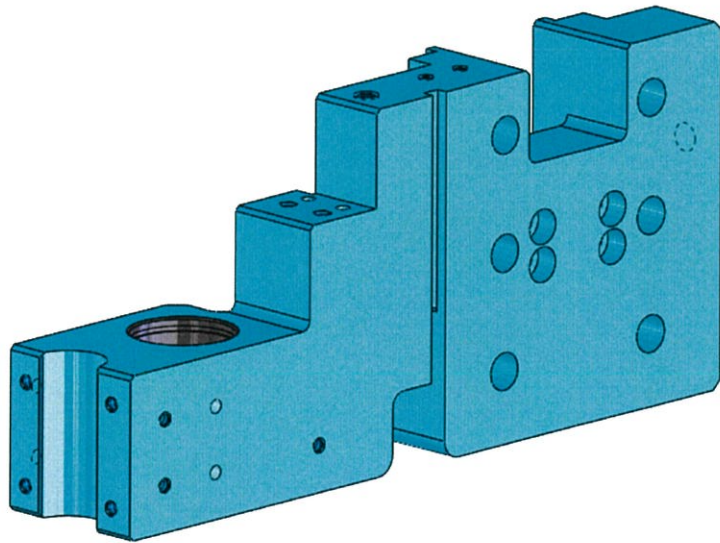
จากหัวข้อที่ 3.4 ที่คาดว่าปัญหาเกิดจากการติดตั้งเครื่องจักรที่มีช่องว่างและไม่ได้แนวขนานกับบอลสกรู ซึ่งในแบบของเครื่องนั้นใช้ระนาบอ้างอิงตามพื้นที่สีแดง ดังภาพที่ 15



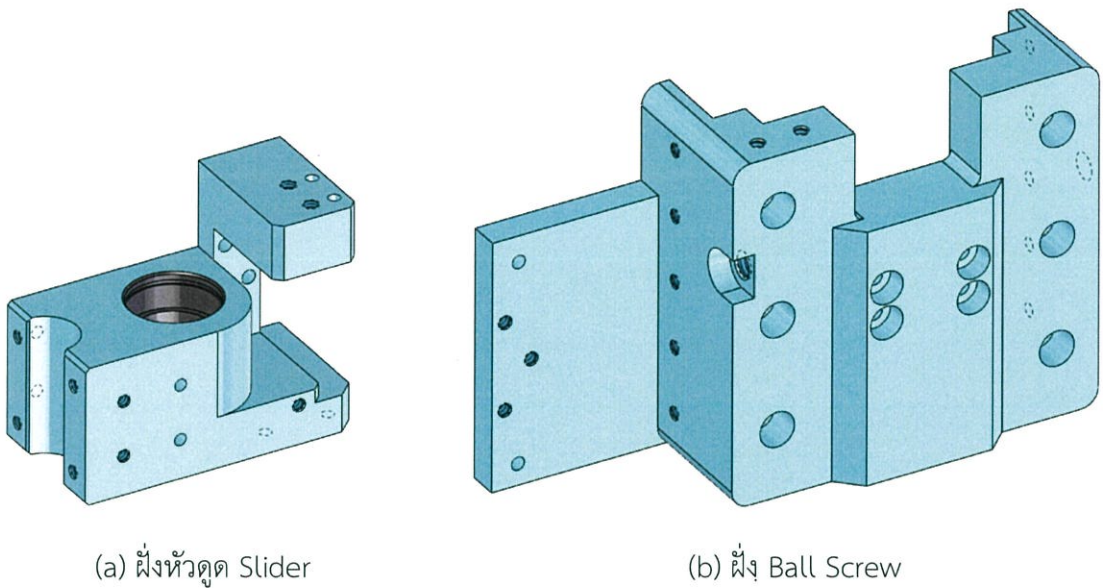
ภาพที่ 17 ชิ้นส่วน Base แบบเดิม ของ Gantry



ภาพที่ 18 ชิ้นส่วน Base แบบใหม่ ของ Gantry



ภาพที่ 19 ชิ้นส่วน House แบบเดิม ของ Gantry



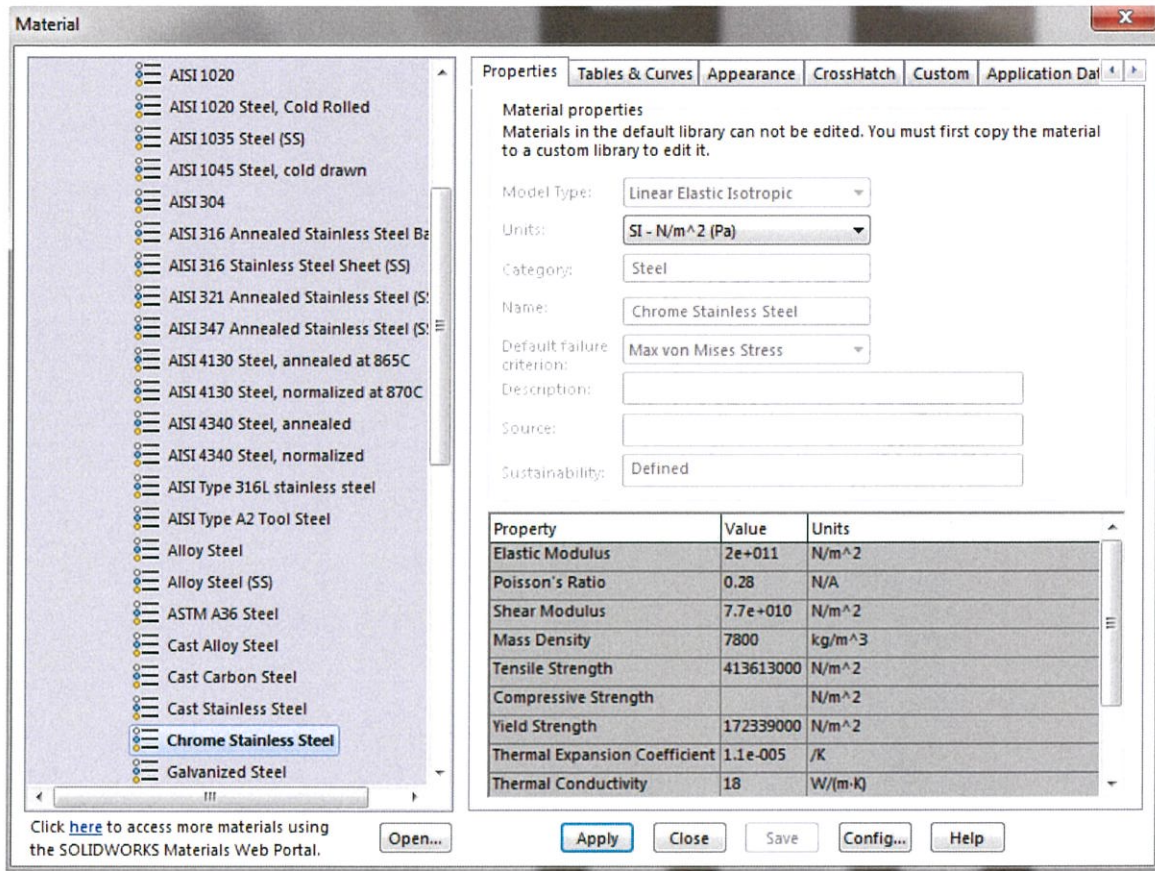
ภาพที่ 20 ชิ้นส่วน House แบบใหม่ ของ Gantry

เนื่องจากแบบนี้นั้น ตัวชิ้นส่วนต้องการความแม่นยำในการขึ้นรูปที่สูงมากๆ และชิ้นส่วน Base ดังภาพที่ 17 กับ House ดังภาพที่ 19 ต้องประกอบกันโดยมีระยะความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้สัมพันธ์กันอย่างมากในการใช้ระนาบอ้างอิงเพียงข้างเดียว ซึ่งจะส่งผลให้เกิดช่องว่างระหว่างอุปกรณ์ประกอบ การเคลื่อนที่ได้ง่าย จึงเขียนแบบใหม่ขึ้นมาแก้ไข โดยแก้ไขให้ Base มีระนาบอ้างอิงและใช้สกรูปรับดันแยกจากกันคนละข้างเพื่อลดปัญหาการเกิดช่องว่างของอุปกรณ์ประกอบเคลื่อนที่ ดังภาพที่ 18 และแก้ไข House โดยแบ่งเป็น 2 ส่วนแยกออกจากกัน ดังภาพที่ 20(a) และภาพที่ 20(b) และใช้หมุดนำศูนย์ในการยึดตำแหน่งร่วมกับสกรูโดยชิ้นส่วนฝั่งบอลสกรูแก้ไขให้ใช้สกรูปรับดันในการดันรางเลื่อนทั้งสองข้าง และรูยึดรางกว้างกว่าทำให้มีคุณสมบัติคลอนได้มากกว่าแบบเก่า ทำให้สามารถใช้สกรูปรับดันให้ไม่เกิดช่องได้ ดีกว่า และสามารถปรับแก้ไขได้จากด้านหน้าทำให้ง่ายต่อการติดตั้ง

3.7 การทำแบบจำลองทางไฟไนต์เอลิเมนต์

การทำไฟไนต์เอลิเมนต์ต้องมีข้อมูลที่โปรแกรมต้องการในการวิเคราะห์หาค่าความเค้นและค่าความปลอดภัยภายหลังจากการเขียนแบบสามมิติของชิ้นส่วน

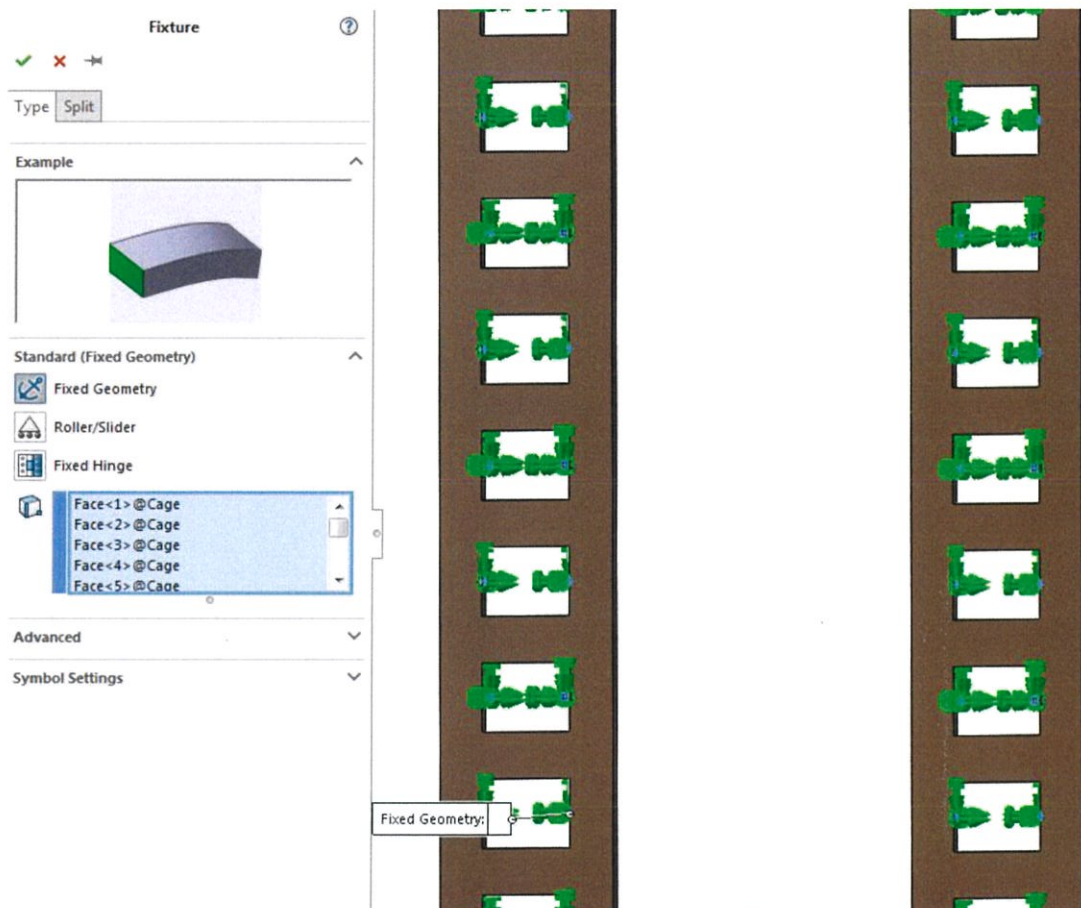
1. วัสดุของชิ้นส่วน



ภาพที่ 21 การเลือกวัสดุของชิ้นงาน

วัสดุของร่างบรรจุถูกป้อนเป็น chrome stainless steel โดยโปรแกรม Solidworks สามารถเพิ่มข้อมูลทางกายภาพของวัสดุอยู่ภายในโปรแกรมอยู่แล้ว แล้วทำการเลือกวัสดุตามภาพที่ 21

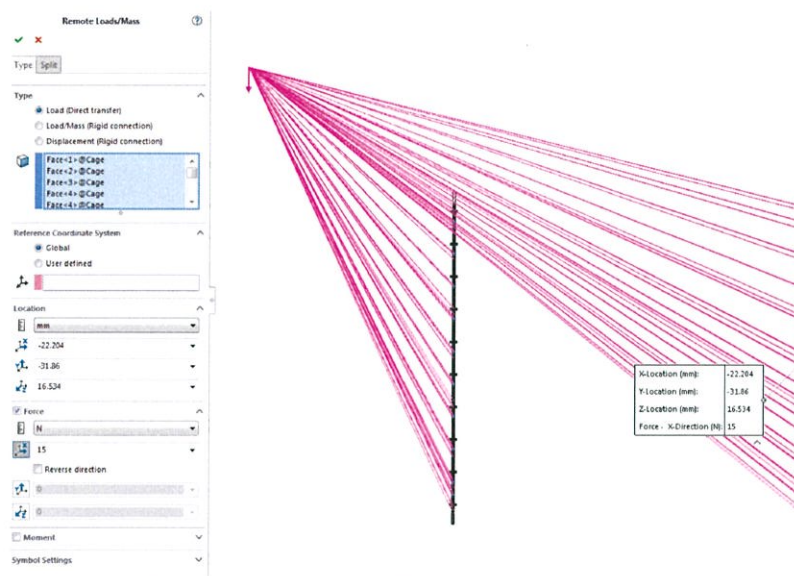
2. พื้นผิว Fixed ของชิ้นส่วน



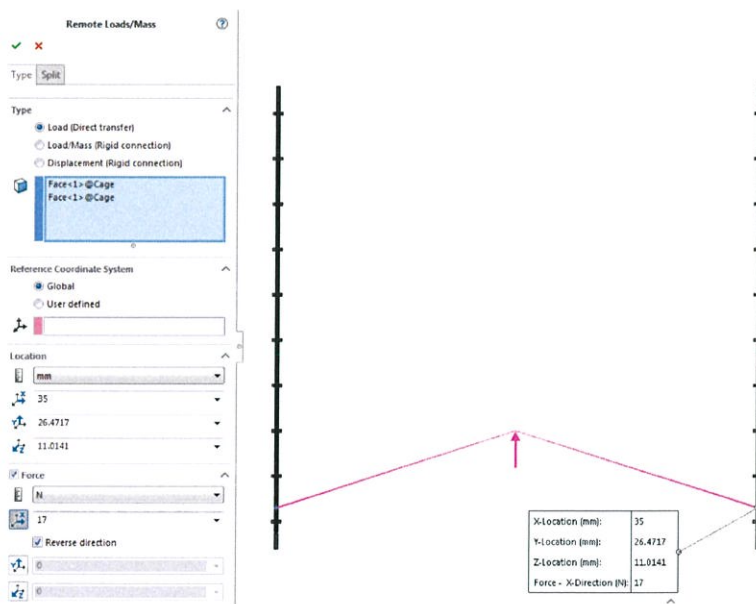
ภาพที่ 22 การเลือกพื้นผิวจับยึดของชิ้นงาน

พื้นผิวที่ส่วนจับยึดเป็นพื้นผิวที่มีการเชื่อมต่อหรือมีหน้าที่ยึดกับชิ้นส่วนอื่นทั้งหมด โดยในชิ้นส่วน
รางบรรจุลูกปืนจะเป็นส่วนที่สัมผัสกับลูกปืนทำให้ยังคงอยู่ในร่องของรางบรรจุลูกปืน ซึ่งมี 10 ตำแหน่ง
20 พื้นผิว ดังภาพที่ 22

3. แรงและทิศทางการกระทำต่อชิ้นส่วน



ภาพที่ 23 แสดงแรงกดจากน้ำหนักของ อุปกรณ์หยิบ Slider

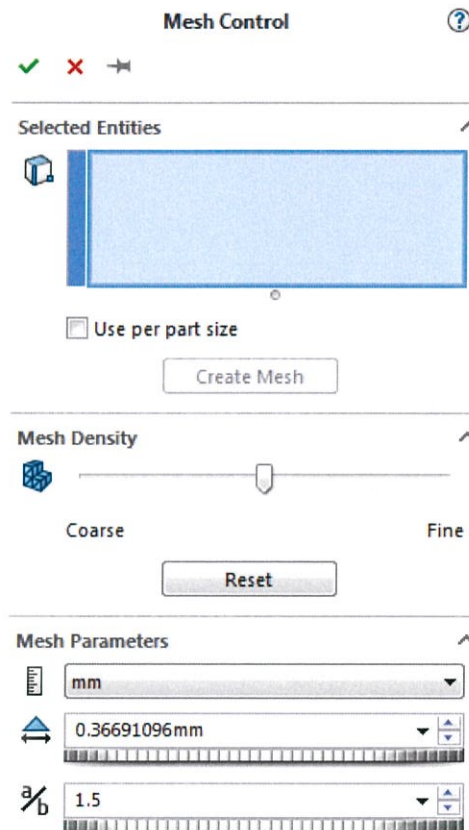


ภาพที่ 24 แสดงแรงกดที่มอเตอร์กระทำ

จากหัวข้อที่ 3.2 และ 3.3 แรงที่วางบรรจุถูกป้อนได้รับมาจากแรงอันเนื่องมาจากมวลของชุด อุปกรณ์หยิบและวางหัวอ่าน ซึ่งมีแรงกด 15.05 N และจากกฎข้อที่ 2 ของนิวตัน สมการที่ (2-4-2) วัตถุประสงค์

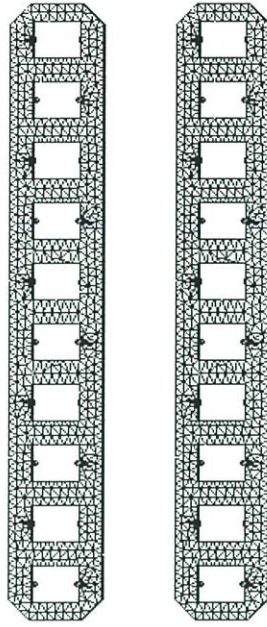
ความเร่งในทิศทางขึ้นด้านบนขนาด 0.1 m/s^2 ดังนั้นรางเลื่อนจะเคลื่อนที่ขึ้นและส่งแรงมาลากรางบรรจุ ลูกปืนด้วยขนาด 0.15 N โดยรูปแบบของแรงกดที่ใช้จะเป็น Remote Load ซึ่งจะทำให้สามารถใส่แรงเข้าไปในจุดที่ไม่มีวัตถุอยู่ แต่ใช้พิกัดในการระบุตำแหน่งของแรงและกำหนดทิศทางของแรงกด

4. การสร้างเอลิเมนต์และแบบจำลอง



ภาพที่ 25 หน้าต่างแสดงการปรับขนาดของเอลิเมนต์

เมื่อทำการใส่ข้อมูลปัจจัยต่างๆในการทำแบบจำลองทางไฟไนต์เอลิเมนต์แล้ว จำเป็นต้องสร้าง Mesh (เอลิเมนต์) ซึ่งสามารถปรับขนาดได้ว่าอยากให้เอลิเมนต์มีขนาดเล็กหรือใหญ่แค่ไหน ดังภาพที่ 25 และสั่งโปรแกรมคำนวณเพื่อหาค่า Von Mises Stress เทียบกับ Yield Strength และ ค่าความปลอดภัยของชิ้นส่วน



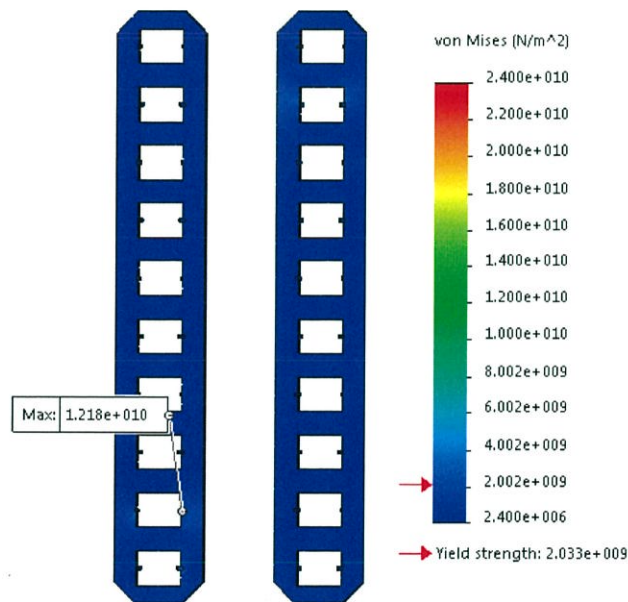
ภาพที่ 26 แสดงเอลเมนต์บนชิ้นส่วน Roller Cage ของ Cross Roller Guide รุ่น VR3-75Hx10Z

4. ผลการดำเนินงาน

4.1 ผลการจำลองทางไฟไนต์เอลิเมนต์

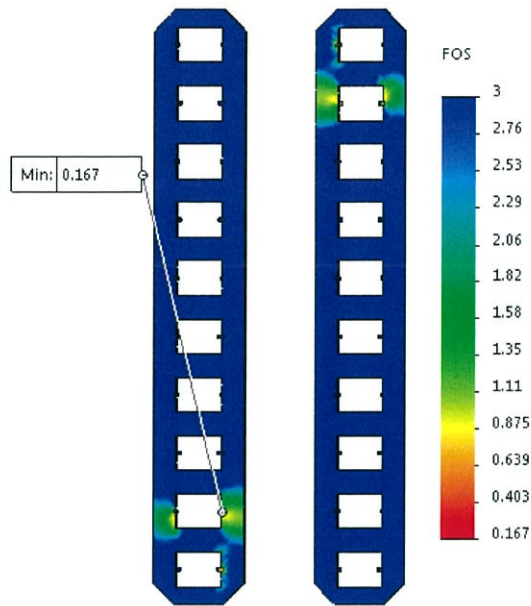
แบบจำลองของรางบรรจุลูกปืนขณะที่กำลังเคลื่อนที่ขึ้น โดยมีน้ำหนักจากชุดอุปกรณ์หยิบและวางหัวอ่าน น้ำหนักของรางบรรจุลูกปืนและมีแรงที่มอเตอร์ส่งผ่านบอลสกรูเพื่อดันลูกปืนตัวล่างสุดขึ้น ส่งผลให้ชิ้นส่วนรางบรรจุลูกปืนรับแรงกด และขณะที่รางบรรจุลูกปืนเอียงส่งผลให้ลูกปืนสัมผัสกับรางไม่ครบทุกตัว ซึ่งการจำลองทางไฟไนต์เอลิเมนต์นั้น เพื่อหาค่าความแข็งแรงโดยเทียบจาก Yield Strength และค่าความปลอดภัย

การจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์แสดงถึงสถานะเอียงของรางบรรจุลูกปืนภายในอุปกรณ์ประกอบเครื่องเคลื่อนที่



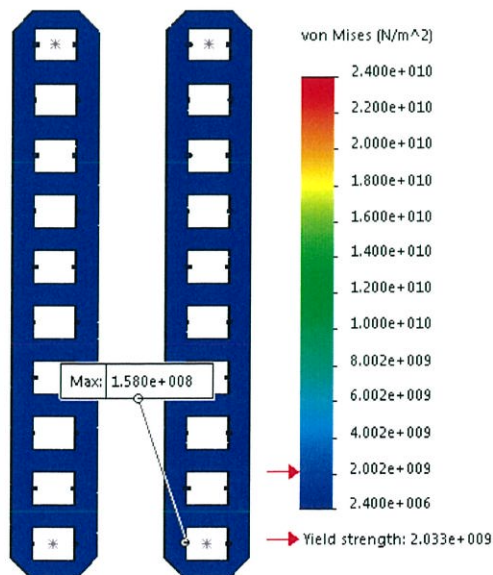
ภาพที่ 27 stress ของ roller cage รุ่น VR3-75Hx10Z แบบเอียง

ซึ่งผลของการทำไฟไนต์เอลิเมนต์ที่เอียง มีค่า Maximum stress เท่ากับ 12.2 GPa และ ค่าความปลอดภัย เท่ากับ 0.167 ดังภาพที่ 28 และ ภาพที่ 29 และตำแหน่งที่เกิดความเสียหายมากที่สุด ตรงตามผลจากการใช้งานจริงที่เกิดการหักของรางบรรจุลูกปืน

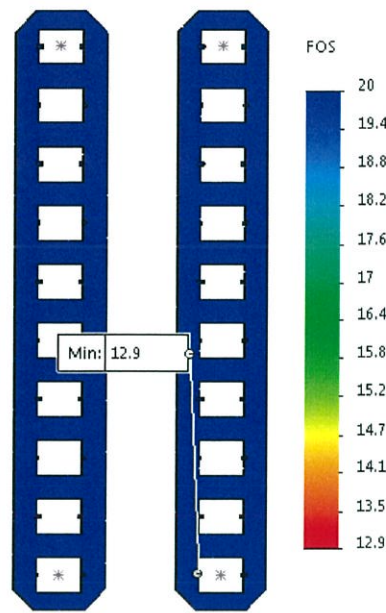


ภาพที่ 28 safety factor ของ roller cage รุ่น VR3-75Hx10Z แบบเอียง

สำหรับการติดตั้งอุปกรณ์ประกอบเคลื่อนที่ที่ถูกต้อง ไม่ทำให้รางบรรจุลูกปืนเอียงและไม่เกิดช่องว่างระหว่างรางเลื่อน ซึ่งผลการจำลองทางไฟไนต์เอลิเมนต์ได้ค่า Maximum Stress 158 MPa และมีค่าความปลอดภัยเท่ากับ 12.9 ดังภาพที่ 29 และภาพที่ 30

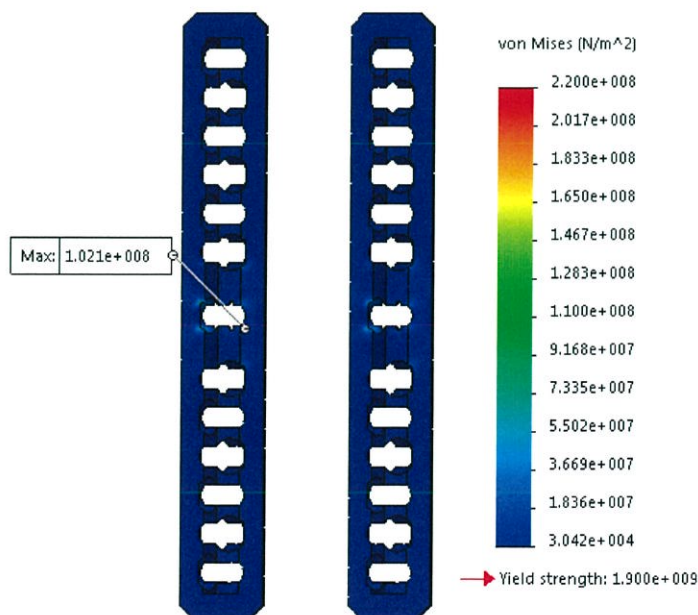


ภาพที่ 29 stress ของ roller cage รุ่น VR3-75Hx10Z แบบปกติ



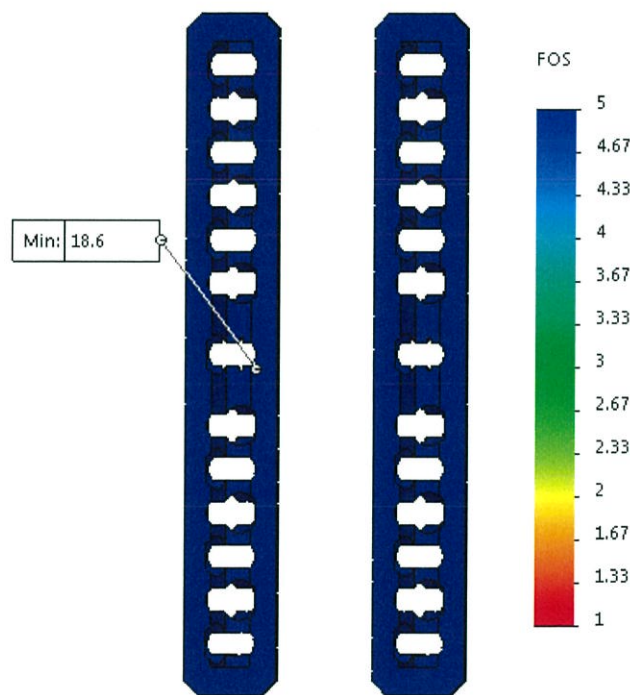
ภาพที่ 30 safety factor ของ roller cage รุ่น VR3-75Hx10Z แบบปกติ

โดยผลสัมฤทธิ์ของการวิเคราะห์ครั้งนี้ต้องการตรวจสอบความแข็งแรงของชิ้นวัสดุว่าสามารถรับแรงได้หรือไม่ และหาแนวทางแก้ไขเพื่อการใช้งานที่ยาวนานมากขึ้น โดยการวางตำแหน่งวางบรรจุลูกปืนที่ต้นแบบใหม่ได้แก้ไขเพื่อลดช่องว่างให้เกิดการสัมผัสกันของผิวลูกปืนกับรางเลื่อนและไม่ทำให้เกิดอาการฝืดในขณะใช้งาน



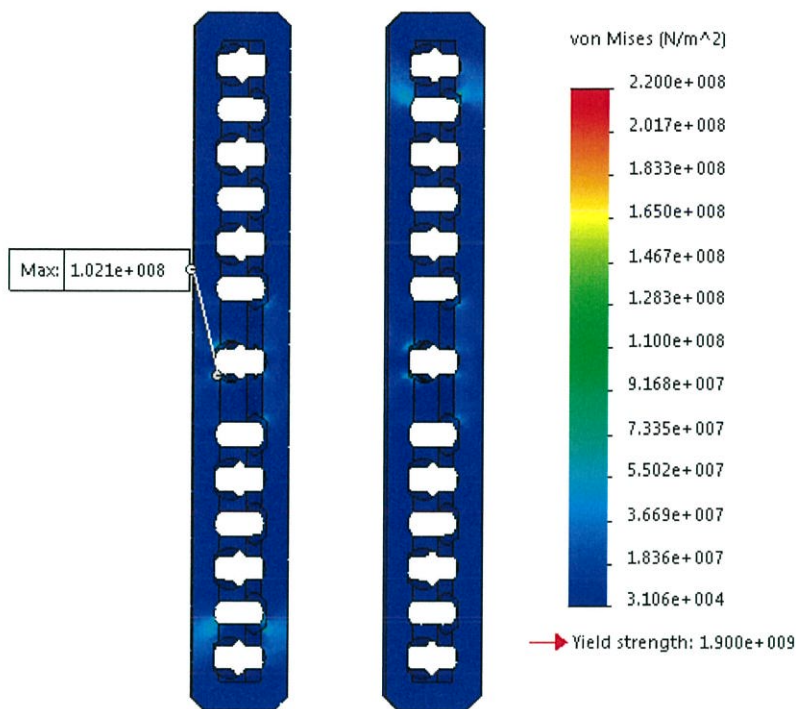
ภาพที่ 31 stress ของชิ้นส่วน roller cage รุ่น NVS 3075-13Z แบบปกติ

ผลการจำลองทางไฟไนต์เอลิเมนต์ในสภาวะที่ถูกมอเตอร์ขับเคลื่อนขึ้นเพื่อให้กลไกของชิ้นส่วน ราง บรรจุลูกปืนของอุปกรณ์ประกอบเครื่องเคลื่อนที่ รุ่น NVS 3075-13Z ซึ่งมีความสามารถในการต่อต้านการ ไถลลงเมื่อใช้งานในแนวตั้ง เพื่อตรวจสอบความแข็งแรงที่รับภาระจากแรงขับของมอเตอร์และน้ำหนักของ ชิ้นส่วน บ่งบอกว่ารางบรรจุลูกปืนของรุ่น NVS 3075-13Z สามารถใช้งานได้ โดยมีค่า Maximum Stress 102 MPa ซึ่งมีค่าน้อยกว่าค่า Yield Strength 1900 MPa และค่าความปลอดภัย 18.6 ดังภาพที่ 31 และ 32



ภาพที่ 32 safety factor ของชิ้นส่วน roller cage รุ่น NVS 3075-13Z แบบปกติ

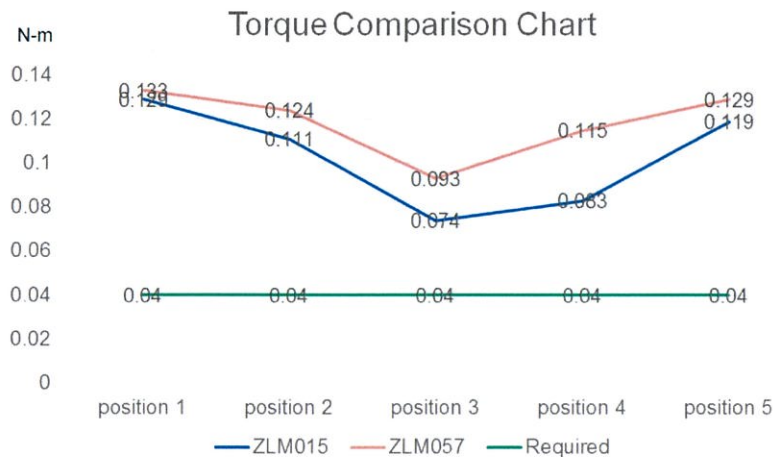
ในกรณีที่เกิดการเอียงตัวในชิ้นส่วนรางบรรจุลูกปืนของอุปกรณ์ประกอบเครื่องเคลื่อนที่ รุ่น NVS3075-13Z ซึ่งผลการจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์บ่งบอกว่ายังคงสามารถใช้งานได้โดยมีค่า Maximum Stress 102 MPa ซึ่งมีค่าน้อยกว่าค่า Yield Strength 1900 MPa และค่าความปลอดภัย 18.6 แต่จะมี จุดที่รับความเค้นมากขึ้นดังภาพที่ 33



ภาพที่ 33 stress ของชิ้นส่วน roller cage รุ่น NVS 3075-13Z แบบเอียง

4.2 ผลการวัดและเปรียบเทียบค่าทอร์ค

จากการวัดสกรูปรับดันที่ใช้อยู่ในปัจจุบันพบว่าทอร์คที่ใช้ในการขันนั้นมีค่าสูงกว่าค่าที่เหมาะสมในการใช้งานและที่ตำแหน่งที่ 1 กับตำแหน่งที่ 5 มีค่าสูงกว่าจุดอื่นอย่างเห็นได้ชัดเนื่องจากในตอนติดตั้งนั้น ไม่ได้ทำการวัดทอร์คและการจัดตำแหน่งรางบรรจุลูกปืนไม่ถูกต้องตามคู่มือ หรือกล่าวคือในการขันสกรูขันตำแหน่งที่ 1 กับ ตำแหน่งที่ 5 นั้นไม่ทำการเลื่อนไป ณ ตำแหน่งรางบรรจุลูกปืนนั้นๆ ทำให้ตำแหน่งที่ 1 กับ ตำแหน่งที่ 5 ไม่มีชิ้นส่วนรองรับแรงตรงกลางทำให้ขันสกรูปรับดันด้วยทอร์คที่มากกว่าได้

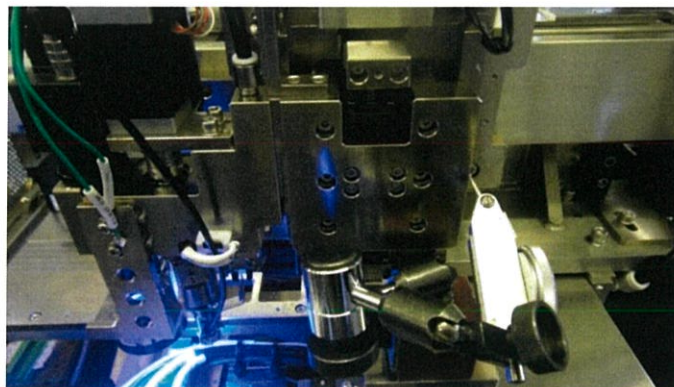


ภาพที่ 34 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าทอร์คจากเครื่องจักรที่ใช้ร่วมกับค่าทอร์คจากการคำนวณ

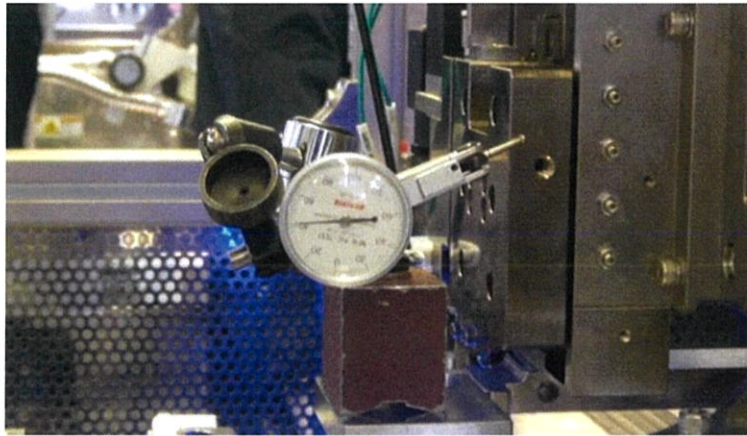
ค่าทอร์คของสกรูปรับดันที่สูงเกินไปก่อให้เกิดแรงอัดเข้ามาที่ลูกปืนทำให้เกิดแรงเสียดทานมาก และเมื่อวางบรรจุลูกปืนเกิดการไถลงมาแล้วโดนแรงอัดจากมอเตอร์ดันขึ้นจึงทำให้เกิดการอัดและวางบรรจุลูกปืนมีสภาพพังอยู่หลังผ่านการใช้งาน

4.3 การติดตั้งเครื่องจักรและวัดผล

จากหัวข้อที่ 4.2 ได้ทำการคำนวณค่าทอร์คที่เหมาะสมในการใช้ปรับสกรูปรับดันซึ่งมีค่าประมาณ 0.04 N-m. แล้วทำการติดตั้งเข้าไปในเครื่องจักรและทำการวัดความถูกต้องของการติดตั้งโดยใช้ Dial Gauge ดังภาพที่ 35 และ 36 ซึ่งผลที่ได้หลังการติดตั้งจากเดิมประมาณ 0.004 mm. ลดลงเหลือประมาณ 0.002 mm. และเก็บข้อมูลตัวอย่างจากการใช้งานทั้งหมด 4,156 รอบ เพื่อดูการเปลี่ยนแปลง



ภาพที่ 35 การติดตั้ง Dial Gauge เพื่อวัดความขนานกันของชิ้นส่วนหลังการติดตั้ง



ภาพที่ 36 Dial Gauge ขณะทำการวัดความหนาของชิ้นส่วน

Model Summary

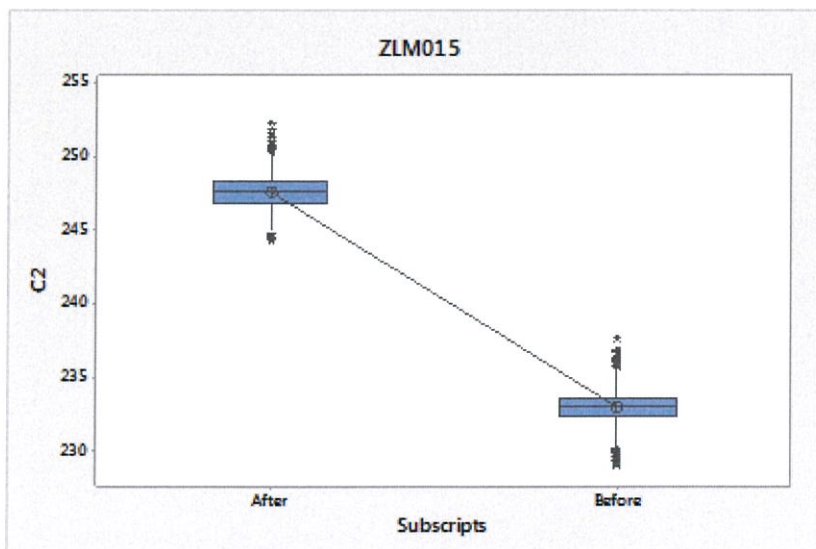
S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
1.04749	98.00%	98.00%	98.00%

Means

Subscripts	N	Mean	StDev	95% CI
After	4156	247.637	1.032	(247.605, 247.669)
Before	4156	232.987	1.063	(232.955, 233.019)

Pooled StDev = 1.04749

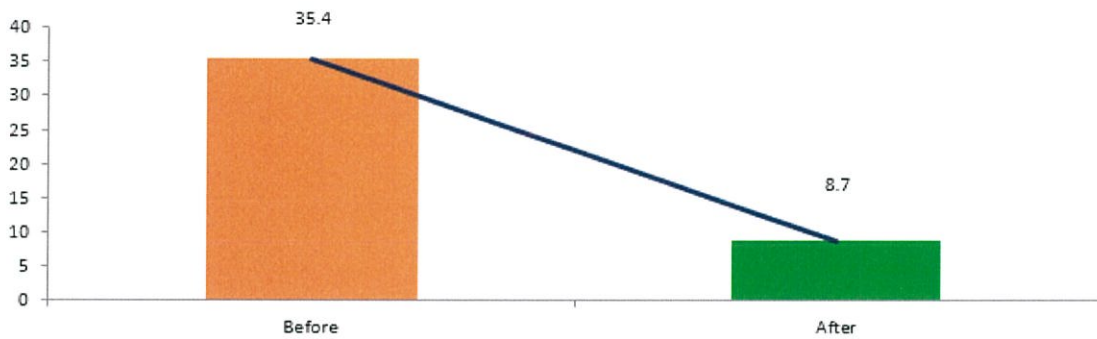
ภาพที่ 37 ข้อมูลทางสถิติของเครื่องจักรจากการทำงาน 4,156 รอบ



ภาพที่ 38 กราฟแสดงการเปรียบเทียบข้อมูลตำแหน่งของหัวอ่านจากการทำงาน 4,156 รอบ

จากกราฟและข้อมูลของกราฟในเรื่องความแม่นยำในการวางหัวอ่านบนตัวประกอบในภาพที่ 37 และภาพที่ 38 บ่งชี้ว่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานลดลงจาก 1.063 เป็น 1.032 แสดงว่า เครื่องจักรนั้นมีความแม่นยำในการวางหัวอ่านช้าๆมากขึ้น ทำให้ปริมาณความเสียหายของตัวประกอบหัวอ่านลดลงจากเดิมมีอัตราเฉลี่ยเสียหายในหนึ่งเครื่องต่อวันที่ 35.4 ชิ้น เป็น 8.7 ชิ้น ดังภาพที่ 39 ซึ่งคิดเป็น 75.04% และเป็นเงิน 15,000 บาทในหนึ่งวันต่อเครื่อง และแนวโน้มในการลดต้นทุนในหนึ่งปีถัดไปดังภาพที่ 40

Average SETS damaged



Base on machine #15 in 10 days

ภาพที่ 39 กราฟแสดงปริมาณตัวประกอบหัวอ่านที่เสียหายเฉลี่ยของหัวอ่านก่อนและหลังการติดตั้ง

Trend Stacked Cost Saving



ภาพที่ 40 กราฟแสดงแนวโน้มปริมาณต้นทุนที่สามารถลดได้ทั้งหมดในอีกหนึ่งปีถัดไป

5. สรุปผลการดำเนินงาน

จากการตรวจสอบบันทึกข้อมูลตำแหน่งจากกล้องส่องของชุดอุปกรณ์หยิบและวางหัวอ่านที่ทำหน้าที่ในการหยิบจับและวางหัวอ่าน ทำให้ทราบถึงสาเหตุในขั้นต้นที่ทำให้ตัวประกอบหัวอ่านเกิดความเสียหายในขณะทำการประกอบกับหัวอ่านว่าตำแหน่งของหัวที่ทำกราดูดแผ่นหัวอ่านเลื่อนเข้าไปทางจรและ สติอปเปอร์เกิดความเสียหาย จึงทำการถอดประกอบชิ้นส่วนอุปกรณ์หยิบและวางหัวอ่านออกมาเพื่อตรวจสอบและวิเคราะห์ พบว่า อุปกรณ์ประกอบเครื่องเคลื่อนที่ทำหน้าที่ในการประกอบให้เคลื่อนที่เป็นเส้นตรงในแนวแกนตั้ง เกิดความเสียหายที่รางบรรจุลูกปืน ทำให้อุปกรณ์หยิบและวางหัวอ่านนั้นเอียงไปทางจรและสติอปเปอร์จึงทำการวิเคราะห์และพบสาเหตุที่ทำให้อุปกรณ์ประกอบเครื่องเคลื่อนที่เสียหายนั้นมาจากการติดตั้งที่ไม่ตรงตามคู่มือ โดยทอร์คที่ใช้ในการขันสกรูปรับคั่นนั้นมีค่ามากกว่าและไม่แน่นอนตามคำแนะนำในการติดตั้ง ส่งผลให้เกิดการเอียงของอุปกรณ์ประกอบเครื่องเคลื่อนที่และเกิดอาการฝืดที่พื้นผิวของลูกปืนกับรางเลื่อน

อีกเหตุผลหนึ่งที่ทำให้เกิดความเสียหายคืออุปกรณ์ประกอบเครื่องเคลื่อนที่ที่ใช้อยู่ไม่เหมาะสมกับการใช้งานในแนวตั้ง ทำให้เกิดการไหลลงของรางบรรจุลูกปืนและเมื่อใช้งานต่อไปสติอปเปอร์ที่ส่วนปลายของรางเลื่อนจะทำหน้าที่ดันรางบรรจุลูกปืนกลับสู่สภาวะปกติ ซึ่งถูกดันกลับในสภาวะที่ฝืดส่งผลให้เกิดแรงอัดในชิ้นส่วนรางบรรจุลูกปืนและเกิดการเสียหายในที่สุด

ซึ่งแนวทางแก้ไขคือการใช้ทอร์คที่เหมาะสมในการขันสกรูปรับคั่นเพื่อไม่ให้เกิดช่องว่างในตัวอุปกรณ์ประกอบเครื่องเคลื่อนที่ และไม่ให้เกิดอาการฝืดในการใช้งาน ส่งผลให้การวางหัวอ่าน ณ ตำแหน่งข้างนั้นมีความแม่นยำมากขึ้น ช่วงของการเบี่ยงเบนมีค่าลดลง

อีกหนึ่งการแก้ไขคือการเปลี่ยนชนิดอุปกรณ์ประกอบเครื่องเคลื่อนที่ ให้เหมาะสมกับการใช้งานในแนวตั้ง ซึ่งเป็นชนิดที่ต่อต้านการไหลของรางบรรจุลูกปืน (NVS3075-13Z) ทำให้การทำงานนั้นราบรื่นและรางบรรจุลูกปืนยังคงวนซ้ำตำแหน่งจึงไม่เกิดการอัดที่ชิ้นส่วนรางบรรจุลูกปืนที่ส่งผลให้อุปกรณ์ประกอบเครื่องเคลื่อนที่เสียหาย

ซึ่งหลังจากติดตั้งใหม่แล้วปริมาณตัวประกอบหัวอ่านที่เสียหายลดลงจาก 36 ตัว เหลือ 9 ตัว คิดเป็นเงินประมาณ 15,000 บาทต่อหนึ่งเครื่องในเวลาหนึ่งวัน

เอกสารอ้างอิง

- [1] G. P. Nikishkov, **INTRODUCTION TO THE FINITE ELEMENT METHOD**, 2004, Lecture Notes, University of Aizu, Aizu-Wakamatsu 965-8580, Japan.
- [2] <http://www.astbearings.com/bearing-materials.html> , access on 25/09/2017.
- [3] <https://www.yongthaimetal.com/15029858/คุณสมบัติของลูมิเนียม-เกรดต่างๆ> , access on 25/09/2017.
- [4] [https://www.steelplates.in/suppliers/aluminium /6061-he20-aluminium-plates-suppliers/#iLightbox\[product-gallery\]/0](https://www.steelplates.in/suppliers/aluminium /6061-he20-aluminium-plates-suppliers/#iLightbox[product-gallery]/0) , access on 25/09/2017.
- [5] <https://whatisneedlerollerpin.com/3cylindrical-rollers-precision-mini-shafts.htm> , access on 25/09/2017.
- [6] http://help.solidworks.com/2016/english/solidworks/cworks/idc_help_meshsolid.htm , access on 25/09/2017.
- [7] AST Bearings LLC, **Value Beyond the Part™**, 2010, 115 Main Road, Montville, NJ 07045-9299, DOCUMENT NO. ENB-04-0553 REV. A DCR14-109.
- [8] <http://asm.matweb.com/search/SpecificMaterial.asp?bassnum=ma6061t6> , access on 02/10/2017.
- [9] Naoki Yamaguchi, **Factors To Consider When Choosing A Crossed Roller Bearing**, NB Corporation of America, Fax: (630) 295-8881 1-800-521-2045.
- [10] <http://www.matweb.com/search/datasheet.aspx?matguid=abc4415b0f8b490387e3c922237098da&ckck=1> , access on 02/10/2017.
- [11] <http://pandpsteel.co.th/สแตนเลส-304/> , access on 02/10/2017.
- [12] <http://slideplayer.com/slide/10372242/> , access on 16/10/2017.
- [13] <http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/4298/static-error-ความคลาดเคลื่อนสถิติ> , access on 18/10/2017.
- [14] http://portal.edu.chula.ac.th/lesa_cd/assets/document/lesa212/2/law_orbit/newton/newton.html , access on 22/10/2017.
- [15] Richard G. Budynas and J. Keith Nisbett, **Shigley's Mechanical Engineering Design**, 2015, McGraw-Hill Education.

เอกสารอ้างอิง(ต่อ)

[16] <http://www.pennstainless.com/stainless-grades/400-series-stainless/440c-stainless-steel/> , access on 4/12/2017.

[17] <https://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=6846> , access on 4/12/2017.

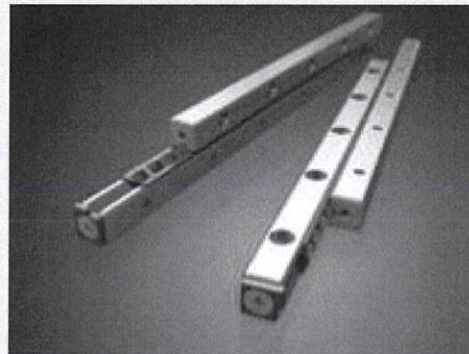
[18] https://www.thkstore.com/media/product_custom_files/5/0/508-2E_07_CrossRBGuide.pdf , access on 12/8/2017.

[19] <http://www.matis.cz/data/pdf-katalogy/nb/slideway-gonioway/slideway.pdf> , access on 15/9/2017.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก.

เอกสารคู่มือผลิตภัณฑ์รุ่น VR3-75Hx10Z



Cross Roller Guide/Ball Guide

THK General Catalog

A Product Descriptions

Features and Types	■ 7-2
Features of the Cross Roller Guide/Ball Guide	■ 7-2
• Structure and Features	■ 7-2
Types of the Cross Roller Guide/Ball Guide	■ 7-3
• Types and Features	■ 7-3
Point of Selection	■ 7-4
Rated Load and Nominal Life	■ 7-4
Accuracy Standards	■ 7-7
Dimensional Drawing, Dimensional Table	
Cross Roller Guide Model VR (VR1)	■ 7-8
Cross Roller Guide Model VR (VR2)	■ 7-10
Cross Roller Guide Model VR (VR3)	■ 7-12
Cross Roller Guide Model VR (VR4)	■ 7-14
Cross Roller Guide Model VR (VR6)	■ 7-16
Cross Roller Guide Model VR (VR9)	■ 7-18
Cross Roller Guide Model VR (VR12)	■ 7-20
Cross Roller Guide Model VR (VR15)	■ 7-22
Cross Roller Guide Model VR (VR18)	■ 7-24
Ball Cage Model B	■ 7-26
Point of Design	■ 7-28
Installation Procedure	■ 7-28
Example of Clearance Adjustment	■ 7-29
Preload	■ 7-29
Accuracy of the Mounting Surface	■ 7-29
Options	■ 7-30
Dedicated Mounting Bolt	■ 7-30
Model No.	■ 7-31
• Model Number Coding	■ 7-31
• Notes on Ordering	■ 7-32
Precautions on Use	■ 7-33

B Support Book (Separate)

Features and Types	■ 7-2
Features of the Cross Roller Guide/Ball Guide	■ 7-2
• Structure and Features	■ 7-2
Types of the Cross Roller Guide/Ball Guide	■ 7-3
• Types and Features	■ 7-3
Point of Selection	■ 7-4
Rated Load and Nominal Life	■ 7-4
Mounting Procedure	■ 7-7
Installation Procedure	■ 7-7
Example of Clearance Adjustment	■ 7-8
Preload	■ 7-8
Accuracy of the Mounting Surface	■ 7-8
Options	■ 7-9
Dedicated Mounting Bolt	■ 7-9
Model No.	■ 7-10
• Model Number Coding	■ 7-10
• Notes on Ordering	■ 7-11
Precautions on Use	■ 7-12

THK

A7-1

Features of the Cross Roller Guide/Ball Guide

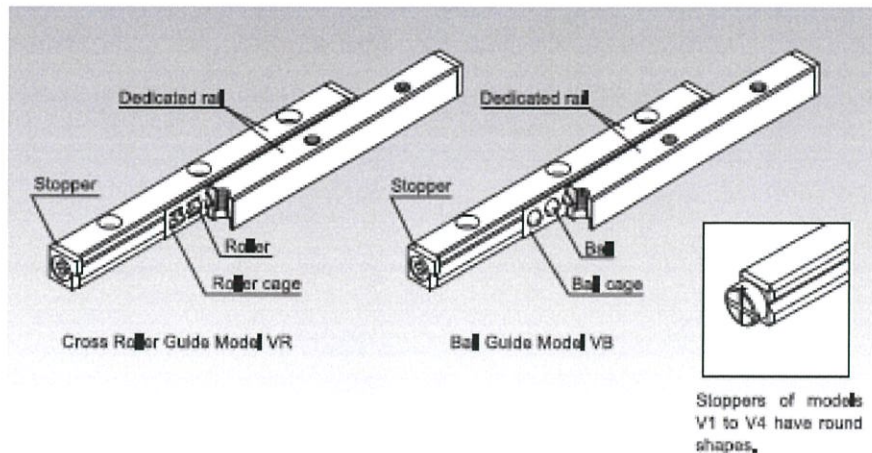


Fig.1 Structure of Cross Roller Guide Model VR and Ball Guide Model VB

Structure and Features

In model VR, precision rollers are orthogonally aligned one after another in a roller cage that is combined with a dedicated rail having a raceway cut into a V-shape groove. When two units of the Cross Roller Guide are mounted in parallel, the guide system is capable of receiving loads in the four directions. In addition, since the Cross Roller Guide can be given a preload, a clearance-free, highly rigid and smooth slide mechanism is achieved.

Model VB is a low-friction, high-accuracy, finite LM system consisting of precision steel balls, arranged in short pitches in a ball cage model B, and a dedicated rail model V.

The Cross Roller Guide and the Ball Guide are used in the slide unit of various devices such as OA equipment and its peripherals, measuring instruments, precision equipment including a printed circuit board drilling machine, optic measuring machines, optic stages, handling mechanisms and X-Ray machines.

Features and Types

Types of the Cross Roller Guide/Ball Guide

[Long Service Life, High Rigidity]

With a unique roller retaining mechanism, the effective contact length of the rollers is 1.7 times greater than the conventional type. Furthermore, the roller pitch interval is short and a sufficient number of rollers are installed, thus increasing the rigidity by two and the service life by six times greater than the conventional type. As a result, a safety-oriented design against vibrations and impact, which commonly occur in ordinary straight motion mechanisms, can be achieved.

[Smooth Motion]

With model VR, the rollers are individually held in a cage and roller pockets formed on the cage are in surface contact with the rollers to increase grease retention. Thus, smooth motion with little wear and friction is achieved.

[Highly Corrosion Resistant]

Model VR series and model VB series both include types made of stainless steel, which is highly corrosion resistant.

Types of the Cross Roller Guide/Ball Guide

Types and Features

Cross Roller Guide Model VR

Specification Table → [A7-8](#)

A compact, highly rigid LM system whose roller cage holding precision rollers orthogonally aligned one after another travels by half the stroke on a V-shaped groove formed on a rail.

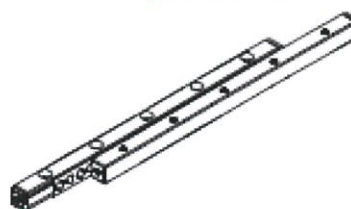


Model VR

Ball Guide Model VB

Specification Table → [A7-26](#)

A low-friction, highly accurate LM system whose ball cage holding precision balls in short pitches travels by half the stroke on a V-shaped groove formed on a rail.



Model VB

THK [A7-3](#)

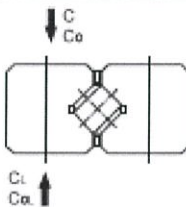
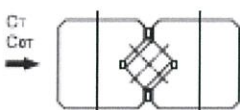
Rated Load and Nominal Life

[Rated Loads in All Directions]

The basic load ratings (C_r and C_{0r}) in the specification table indicate the values per rolling element in the directions shown in the figure. When obtaining the nominal life, calculate the basic load ratings (C and C_0) of the actually used rolling elements from the equation below.

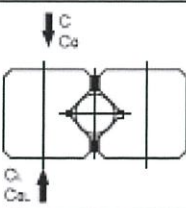
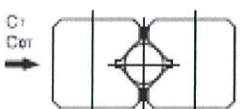
- C_r : Basic dynamic load rating per rolling element in the specification table (kN)
- C_{0r} : Basic static load rating per rolling element in the specification table (kN)
- Z : Number of rolling elements used (number of rolling elements within the effective load range)
- P : Roller pitch (Refer to pages 7-8 to 7-25)

• For Model VR

Load direction		
Basic dynamic load rating C (kN)	$C = C_{cl} = \left\{ \left(\frac{Z}{2} - 1 \right) \times 2P \right\}^{\frac{1}{2}} \times \left(\frac{Z}{2} \right)^{\frac{2}{3}} \times C_r$	$C_r = 2^{\frac{2}{3}} \times \left\{ \left(\frac{Z}{2} - 1 \right) \times 2P \right\}^{\frac{1}{2}} \times \left(\frac{Z}{2} \right)^{\frac{2}{3}} \times C_{0r}$
Basic static load rating C_0 (kN)	$C_0 = C_{0cl} = \frac{Z}{2} \times C_{0r}$	$C_{01r} = 2 \times \frac{Z}{2} \times C_{0r}$

*For $\frac{Z}{2}$, truncate the decimal.

• For Model VB

Load direction		
Basic dynamic load rating C (kN)	$C = C_{cl} = Z^{\frac{2}{3}} \times C_r$	$C_r = 2 \times Z^{\frac{2}{3}} \times C_{0r}$
Basic static load rating C_0 (kN)	$C_0 = C_{0cl} = Z \times C_{0r}$	$C_{01r} = 2 \times Z \times C_{0r}$

Point of Selection

Rated Load and Nominal Life

[Static Safety Factor f_s]

Models VR and VB may receive an unexpected external force while it is stationary or operative due to the generation of an inertia caused by vibrations and impact or start and stop. It is necessary to consider a static safety factor against such a working load.

$$f_s = \frac{C_0}{P_c}$$

f_s : Static safety factor (see Table1)
 C_0 : Basic static load rating (kN)
 P_c : Calculated load (kN)

Table1 Reference Values of Static Safety Factor (f_s)

Machine using the LM system	Load conditions	Lower limit of f_s
General industrial machinery	Without vibration or impact	1 to 1.3
	With vibration or impact	2 to 3

[Nominal Life]

When the basic dynamic load ratings have been obtained, the rated lives of models VR and model VB are obtained using the following equations.

- For Model VR

$$L = \left(\frac{f_r}{f_w} \cdot \frac{C}{P_c} \right)^{\frac{10}{3}} \times 100$$

- For Model VB

$$L = \left(\frac{f_r}{f_w} \cdot \frac{C}{P_c} \right)^3 \times 50$$

L : Nominal life (km)
 (The total number of revolutions that 90% of a group of identical VR (VB) units independently operating under the same conditions can achieve without showing flaking)
 C : Basic dynamic load rating (kN)
 P_c : Calculated load (kN)
 f_r : Temperature factor (see Fig.1 on **A7-6**)
 f_w : Load factor (see Table2 on **A7-6**)

[Calculating the Service Life Time]

When the nominal life (L) has been obtained, if the stroke length and the number of reciprocations per minute are constant, the service life time is obtained using the following equation.

$$L_s = \frac{L \times 10^3}{2 \times \ell_s \times n_r \times 60}$$

L_s : Service life time (h)
 ℓ_s : Stroke length (mm)
 n_r : Number of reciprocations per minute (min⁻¹)

● **f_t: Temperature Factor**

If the temperature of the environment surrounding the operating model VR or VB exceeds 100 °C, take into account the adverse effect of the high temperature and multiply the basic load ratings by the temperature factor indicated in Fig.1.

Note) If the environment temperature exceeds 100°C, contact THK.

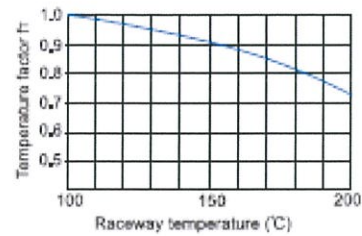


Fig.1 Temperature Factor (ft)

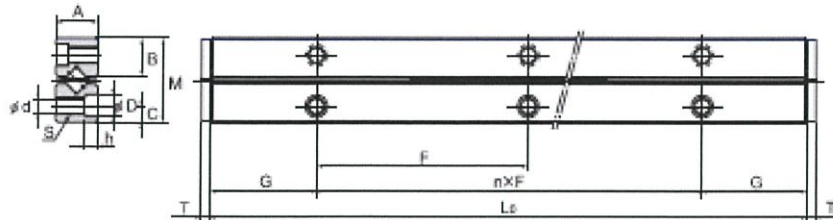
● **f_v: Load Factor**

In general, reciprocating machines tend to involve vibrations or impact during operation. It is extremely difficult to accurately determine vibrations generated during high-speed operation and impact during frequent start and stop. Therefore, when the actual load applied on model VR or VB cannot be obtained, or when speed and vibrations have a significant influence, divide the basic load rating (C or C_r) by the corresponding load factor in Table2 of empirically obtained data.

Table2 Load Factor (fv)

Vibrations/impact	Speed (V)	f _v
Faint	Very low $V \leq 0.25$ m/s	1 to 1.2
Weak	Slow $0.25 < V \leq 1$ m/s	1.2 to 1.5

Cross Roller Guide Model VR (VR3)



Model No.	Maximum stroke	Main								
		Combined dimensions			Mounting					
		M	A	Ls	nXF	G	B	C	S	d
VR 3-50 X 7Z	28	18	8	50	1 X 25	12.5	8.3	3.5	M4	3.3
VR 3-75 X 10Z	48			75	2 X 25					
VR 3-100 X 14Z	58			100	3 X 25					
VR 3-125 X 17Z	78			125	4 X 25					
VR 3-150 X 21Z	88			150	5 X 25					
VR 3-175 X 24Z	108			175	6 X 25					
VR 3-200 X 28Z	118			200	7 X 25					
VR 3-225 X 31Z	138			225	8 X 25					
VR 3-250 X 35Z	148			250	9 X 25					
VR 3-275 X 38Z	168			275	10 X 25					
VR 3-300 X 42Z	178			300	11 X 25					

Model number coding

VR3 -75 H X 9Z

Number of rollers or balls

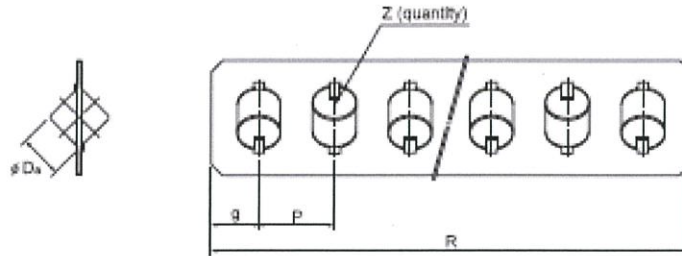
Accuracy symbol

Dedicated rail dimension in mm

(example of indication for a combination of different overall lengths: 100/125)

Combined model number (for Ball Guide: VB)

Note) "One set" in the model No. above indicates a combination of four rails and two cages.



Unit: mm

dimensions								Permissible preload δ μm	Basic load rating (per roller)		Mass (rail) kg/m	
dimensions							No. of rollers Z		C _z kN	C _{az} kN		
D	h	T	D _v	R	g	P						
6	3.1	2	3	35	3	5	5	7	1	0.639	0.611	0.45
				51				10				
				71				14				
				85				17				
				106				21				
				121				24				
				141				28				
				156				31				
				176				35				
				191				38				
				211				42				

Cross Roller Guide/Ball Guide

Note) When desiring a Ball Guide in combination with a ball cage, refer to 7-26 on Ball Cage Model B and indicate the required number of balls.

(Example) VG3-150H x 20Z

Number of balls

The mass in the table indicates the value per rail.
Stainless steel type with high corrosion resistance is also available. (symbol: M, ϕ , VRSM)

Options → 7-30

THK 7-13

ภาคผนวก ข.

เอกสารคู่มือผลิตภัณฑรุ่น NVS3075-13Z

SLIDE WAY SLIDE TABLE MINIATURE SLIDE GONIO WAY

SLIDE WAY

STRUCTURE AND ADVANTAGES	G-2
TYPES	G-3
ACCURACY	G-4
RATED LIFE	G-4
LOAD RATING	G-4
STROKE	G-6
LUBRICATION AND DUST PREVENTION	G-6
MOUNTING	G-6
INSTALLATION PROCEDURE OF NV TYPE	G-7
INSTALLATION PROCEDURE OF SV TYPE	G-8
SPECIAL MOUNTING SCREW BT TYPE	G-9
USE AND HANDLING PRECAUTIONS	G-9
DIMENSION TABLE	G-10~

SLIDE TABLE

STRUCTURE AND ADVANTAGES	G-26
TYPES	G-27
ACCURACY	G-27
RATED LIFE	G-28
LOAD RATING	G-28
USE AND HANDLING PRECAUTIONS	G-28
SPECIAL REQUIREMENTS	G-29
DIMENSION TABLE	G-30~

MINIATURE SLIDE

STRUCTURE AND ADVANTAGES	G-52
ACCURACY	G-53
LOAD RATING	G-53
RATED LIFE	G-53
MOUNTING	G-54
USE AND HANDLING PRECAUTIONS	G-55
DIMENSION TABLE	G-56~

GONIO WAY

STRUCTURE AND ADVANTAGES	G-58
ACCURACY OF RVF TYPE	G-59
ACCURACY OF RV TYPE	G-59
RATED LIFE	G-59
MOUNTING OF RVF TYPE	G-60
MOUNTING OF RV TYPE	G-62
RVF TYPE 2 AXES AND SPECIAL REQUIREMENTS	G-64
USE AND HANDLING PRECAUTIONS	G-65
DIMENSION TABLE	G-66~

SLIDE WAY

G-1

SLIDE WAY

The NB slide way is a non-recirculating linear motion bearing utilizing precision rollers. It is used primarily in optical and measurement equipment where high precision movement is required.

STRUCTURE AND ADVANTAGES

The NB slide way NV type comprises precisely ground rails and R-retainers with built-in STUDROLLERS and precision rollers. The rails have been optimally designed so that the STUDROLLERS move smoothly, and the STUDROLLERS and precision rollers incorporated in the R-retainers enable slip-free operation between the raceway surface and the rollers resulting in motion with minimal frictional resistance.

SV and SVW types consist of precision ground rails and precision caged-rollers. Since caged-rollers do not recirculate, there is only a minimum frictional resistance fluctuation. Also, there is a minimum difference between the static and dynamic frictional resistances.

Non-slip! STUDROLLER System (Rivet Roller Structure)

The STUDROLLER system is based on a new concept to provide complete prevention of roller cage slippage during operation. This system permits usage in all orientations and positions.

Figure G-1 STUDROLLER System



Suitable for Minute Motion

Because the frictional resistance is extremely small and there is only little difference between the static and dynamic frictional resistances, the NB slide way is well suited for minute motion, resulting in highly accurate linear movement.

Low-Speed Stability

Since the frictional resistance fluctuation is small even under low-load conditions, stable motion is obtained at from low to high speeds.

High Rigidity and High Load Capacity

Compared to the ball elements, the rollers provide a larger contact area and less elastic deformation, thus the NB slide way has high rigidity and high load capacity. With new NV rail design, the roller contact area is increased by 30 to 58% (Figure G-2). The number of effective rollers is increased by narrowing the roller pitch. Thus, the NV type has the load rating that is 1.3 to 2.5 times that of the SV type.

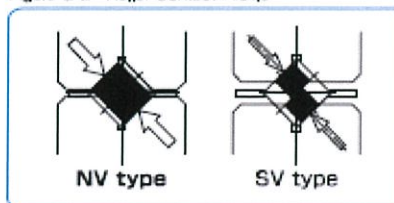
Low Noise

The slide way never produces recirculation noise nor roller-contact noise due to a use of roller cage, resulting in quiet motion.

All Stainless Steel Type Available

The anti-corrosion SVS/SVWS/NVS-RNS slide ways have all stainless steel components, making them ideal for use in clean-room applications.

Figure G-2 Roller Contact Profile



G-2

Figure G-3 Structure of NV type

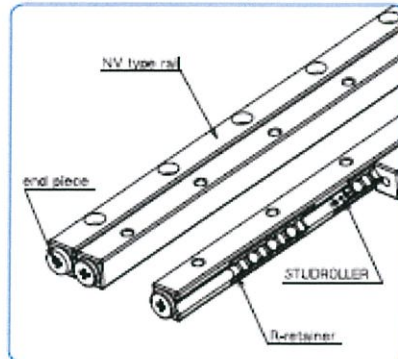
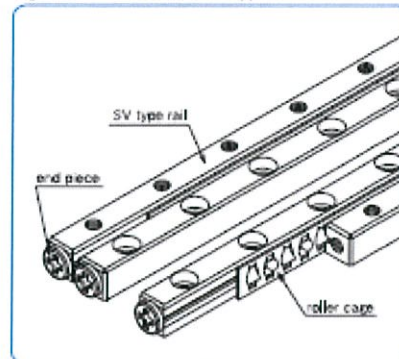


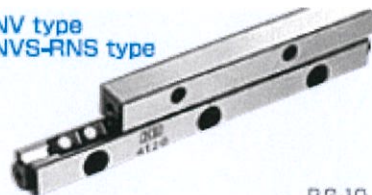
Figure G-4 Structure of SV type



※ To the NV type, fastening plates are attached for the purpose of maintaining the center position of the R-retainer before assembly. Please see Installation Procedure on page G-7 and remove the fastening plates before use.

TYPES

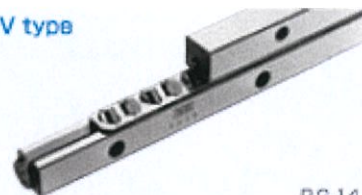
NV type NVS-RNS type



P.G-10

The NV slide way consists of a set of four rails, two R-retainers, and eight end pieces. It permits flexible design of the table which will best suit your application. The NVS-RNS type has all stainless steel components, which is suitable for anti-corrosion, high temperature and vacuum requirements.

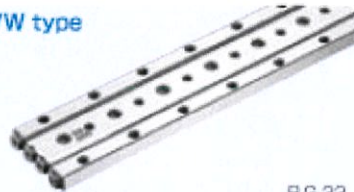
SV type



P.G-14

The SV slide way consists of a set of four rails, two R type roller cages, which have precision rollers in a cross arrangement, and eight end pieces. The all stainless steel option makes it suitable for use in corrosive environments.

SVW type



P.G-22

The SVW slide way consists of two SV-type rails, one W type rail, two R type roller cages, and eight end pieces. The use of a W-type rail serves for a compact design. The SVWS type is also available with all stainless steel components.

ACCURACY

The accuracy of the slide way is represented as parallelism measured across the full length with a method shown in Figure G-6. It is classified as high (blank), precision (P), or ultra precision (UP). Special accuracies can also be accommodated. Please contact NB for details.

Figure G-5 Parallelism

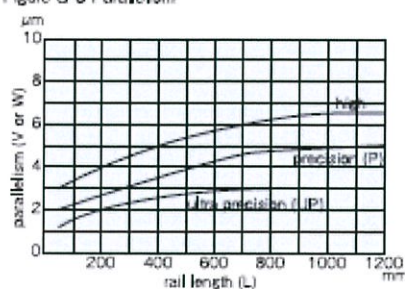
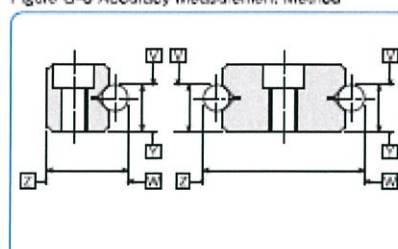


Figure G-6 Accuracy Measurement Method



Ultra precision grade is available from size 1 to size 9.

RATED LIFE

The life of the slide way and the slide table is calculated with the following equations:

Rated Life

$$L = \left(\frac{f_r}{f_w} \cdot \frac{C_1}{P} \right)^{10/3} \cdot 50$$

L: rated life (m) f_r: temperature coefficient f_w: applied load coefficient
C: basic dynamic load rating (N) P: applied load (N)
* Please refer to page Eng-5 for the coefficients.

Life Time

$$L_h = \frac{L \cdot 10^3}{2 \cdot f_s \cdot m \cdot 60}$$

L_h: life time (hr) L: stroke length (m)
m: number of cycles per minute (cpm)

LOAD RATING

The load rating for the slide way is obtained using the equations listed in Table G-1.

Table G-1 Load Rating

condition	double-rail parallel usage
direction of load	
basic dynamic load rating C	$C = \left(2P \left(\frac{Z}{2} - 1 \right) \right)^{1/3} \cdot \left(\frac{Z}{2} \right)^{1/3} \cdot Z^{1/3} \cdot C_1$
basic static load rating C ₀	$C_0 = \frac{Z}{2} \cdot C_0 \cdot 2$
allowable load F	$F = \frac{Z}{2} \cdot F \cdot 2$

C: basic dynamic load rating (N)
C₀: basic static load rating (N)
F: allowable load (N)
C₁: basic dynamic load rating per roller (N)
C₀: basic static load rating per roller (N)
F: allowable load per roller (N)
Z: number of rollers per cage
Z/2: number of effective rollers (round down to whole number)
P: roller pitch (mm)

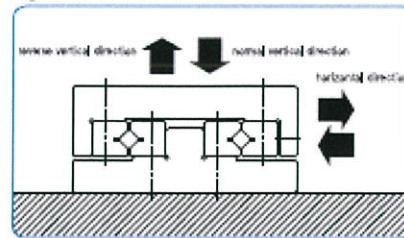
The load rating of the NV type differs depending on the direction of the load.

Table G-2 Change of Load Rating Corresponding to Load Direction

basic dynamic load rating	normal vertical direction	$1.0 \times C$
	horizontal direction	$0.85 \times C$
	reverse vertical direction	$0.7 \times C$
basic static load rating	normal vertical direction	$1.0 \times C_0$
	horizontal direction	$0.85 \times C_0$
	reverse vertical direction	$0.7 \times C_0$

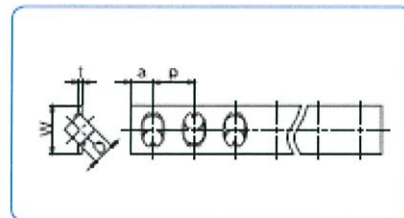
※ There may be a difference depending on the size. Please contact NB for details.
Consideration has been given to holes for STUDROLLERS in the necessary surface in calculation of load ratings.

Figure G-7 Direction of Load



R·RS TYPE
— Standard Roller Cage —
part number structure

example **RS 6-15Z**
specification
R: standard roller
RS: stainless steel roller
number of rollers
size

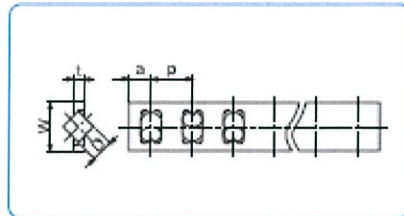


part number		D	t	W	p	a	C ₁	C ₀₁	F ₁
standard	anti-corrosion	mm	mm	mm	mm	mm	N	N	N
R 1	RS 1	1.5	0.2	3.8	2.5	2	154	119	38.6
R 2	RS 2	2	0.3	5.6	4	2.5	360	293	97.6
R 3	RS 3	3	0.4	7.6	5	3	824	649	216
R 4	RS 4	4	0.4	10.4	7	4.5	1,660	1,320	440
R 6	RS 6	6	0.7	14	8.5	5.5	3,840	2,960	986
R 9	RS 9	9	0.7	19	14	7.5	9,330	7,070	2,350
R12	RS12	12	1.0	25	20	10	18,900	14,500	4,830

cage material: stainless steel | C₁: dynamic load rating per roller | C₀₁: static load rating per roller
F₁: allowable load per roller

RA·RAS TYPE
— Aluminum Roller Cage —
part number structure

example **RAS 6-15Z**
specification
RA: standard roller
RAS: stainless steel roller
number of rollers
size



part number		D	t	W	p	a	C ₁	C ₀₁	F ₁
standard	anti-corrosion	mm	mm	mm	mm	mm	N	N	N
RA3	RAS3	3	1.2	7.6	5	3	824	649	216
RA4	RAS4	4	1.4	10.4	7	4.5	1,660	1,320	440
RA6	RAS6	6	2.1	14	8.5	5.5	3,840	2,960	986
RA9	RAS9	9	3.0	20	14	7.5	9,330	7,070	2,350

cage material: aluminum alloy | C₁: dynamic load rating per roller | C₀₁: static load rating per roller
F₁: allowable load per roller

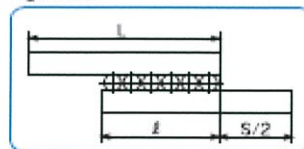
STROKE

Please contact NB for a non-standard stroke length for the NV type. When the stroke of SV type or SVW type is changed, the stroke length must be determined and the load rating should be re-estimated as follows.

Stroke of SV type, SVW type

When the slide way moves along the rail, the cage moves half the distance traveled by the slide way in the same direction. Therefore, although the work may be fixed on the table, the distance between the load center and the cage center will change. To achieve stable accuracy, determine the stroke and the length of the rail as follows.

Figure G-8



Rail Length (L)

When the stroke is 400mm or over

$$S \leq L/1.5$$

When the stroke is less than 400 mm,

$$S \leq L$$

l : cage length (mm) S: stroke (mm)
L: rail length (mm)

Cage length (l)

$$l \leq L - \frac{S}{2}$$

Number of rollers (Z)

$$Z = \frac{l - 2a}{p} + 1$$

a.p. Please refer to roller cage dimensions (page G-6)

LUBRICATION AND DUST PREVENTION

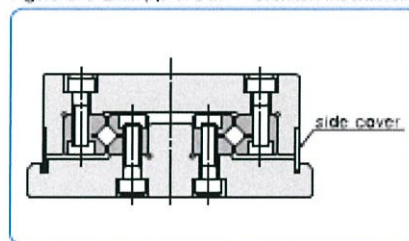
Lubrication

The slide way is pre-lubricated with lithium soap-based grease No.00 prior to shipment for immediate use. Make sure to re-lubricate with a similar type of grease periodically according to the operating conditions. NB also provides low dust generation grease. Please refer to page Eng-39 for details.

Dust Prevention

Foreign particles or dust in the slide way affects the motion accuracy and shortens the life time. In a harsh environment please provide side covers for dust prevention. (refer to Figure G-9)

Figure G-9 Example of Dust Prevention Mechanism



MOUNTING

Example

Figure G-10 NV type, SV type

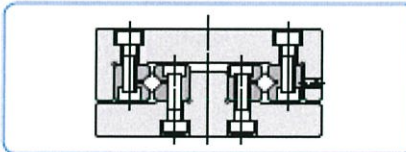
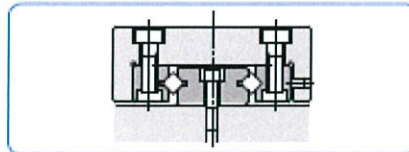


Figure G-11 SVW type

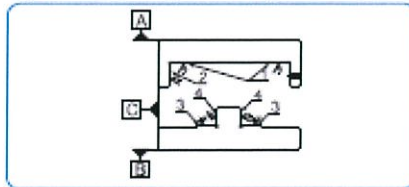


Accuracy of Mounting Surface

To maximize the performance of the NB slide way, it is recommended that the accuracy of the mounting surface to be equal to or greater than the degree of parallelism of the slide way.

- Parallelism of surface 1 against surface A
- Perpendicularity of surface 2 against surface A
- Parallelism of surface 3 against surface B
- Perpendicularity of surface 4 against surface B
- Parallelism of surface 2 against surface C
- Parallelism of surface 4 against surface C

Figure G-12 Accuracy of Mounting Surface



G-6

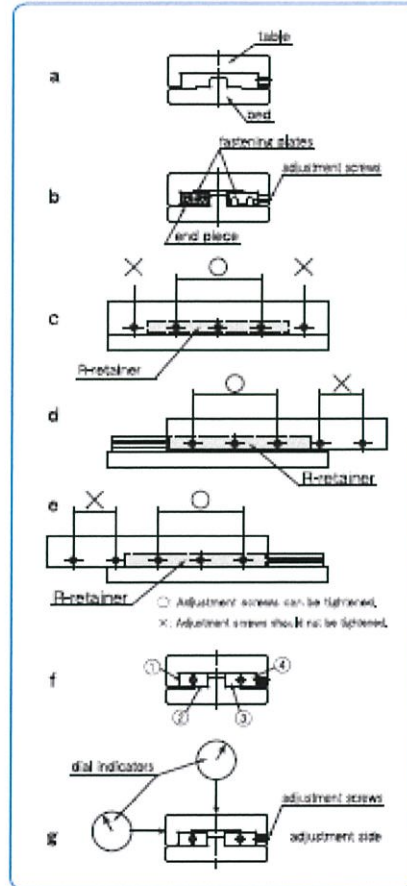
INSTALLATION PROCEDURE OF NV TYPE

Installation Procedure

※ Please read "Use and Handling Precautions" before installation.

- (1) Remove burrs, scratches, and dust from the rail-mounting surface of the bed and the table, be careful to prevent contamination during assembly.
- (2) Apply low-viscosity oil to the contact surfaces, and align the bed and the table. (Figure G-13a)
- (3) Set the reference surface onto the mounting surface with the rails fastened. Set the table in the center position, and tighten the adjustment screws lightly so that almost no gap remains. (Figure G-13b)
- (4) Keep the table in the center, tighten the rail mounting bolts lightly, loosen the end pieces of both ends, and remove the fastening plates. Following this, lightly retighten the end pieces.
- (5) While maintaining the conditions of (4), gently move the assembly through its stroke to check if the maximum stroke is secured, and if there is no irregularity.
- (6) Move the table to the center and tighten only the adjustment screws on the R-retainer with the recommended torque shown in Table G-3. (Figure G-13c)
- (7) Gently move the table to one stroke end, and check that the table has surely come into contact with the external mechanical stopper. Following this, tighten the adjustment screws in the same manner as (6). (Figure G-13d)
- (8) Move the table to the opposite stroke end, and tighten in the same manner as (6). (Figure G-13e)
- (9) Fasten the mounting screws on rails 1, 2, and 3 by tightening with the recommended torque shown in Table G-4. (Figure G-13f)
- (10) Set the dial indicators to the center of the table and to the side (reference surface) of the table. (Figure G-13g)
- (11) Perform the final preload adjustment. While moving the table back and forth, repeat steps (6) to (8) until the dial indicators show a minimum deviation.
- (12) Fasten rail 4 securely with the recommended torque. As for the adjustment screws, successively tighten the mounting screws on the R-retainer by moving the table.
- (13) Recheck the motion accuracy while moving the table.
- (14) Tighten the end pieces finally.

Figure G-13 [Installation Method]



INSTALLATION PROCEDURE OF SV TYPE

Installation Procedure

- (1) Remove burrs, scratches, and dust from the rail-mounting surface of the bed and the table, be careful to prevent contamination during assembly.
- (2) Apply low-viscosity oil to contact surfaces. Attach rails ①-② by tightening screws with the recommended torque (Table G-4). (Figure G-14a)
- (3) Temporarily attach rail ③ on the adjustment side. (Figure G-14b)
- (4) Remove end pieces on one end. Carefully insert roller cages between rails. (Figure G-14c)
- (5) Re-attach end pieces.
- (6) Move the table slowly to each stroke end to position roller cages at the center of the rails.
- (7) Set the dial indicators to the center of the table and to the side (reference surface) of the table. (Figure G-14d)
- (8) Move the table to one stroke end. Lightly tighten adjustment screws on the roller cage. (Figure G-14e)
- (9) Move the table to the opposite stroke end. Similarly lightly tighten adjustment screws on the roller cage. (Figure G-14f)
- (10) Move table to the center and lightly tighten center adjustment screws. (Figure G-14g)
- (11) Repeat steps (8) ~ (10) until the indicators show a minimum deviation. Please do not apply an excessive preload.
- (12) Make final adjustment of preload. Repeat steps (8) ~ (10) and tighten the adjustment screws with the recommended torque listed in Table G-3.
- (13) Fasten the rail ③ securely with the recommended torque. As with the adjustment screws, successively tighten the mounting screws by moving the table.

Figure G-14 [Installation Method]

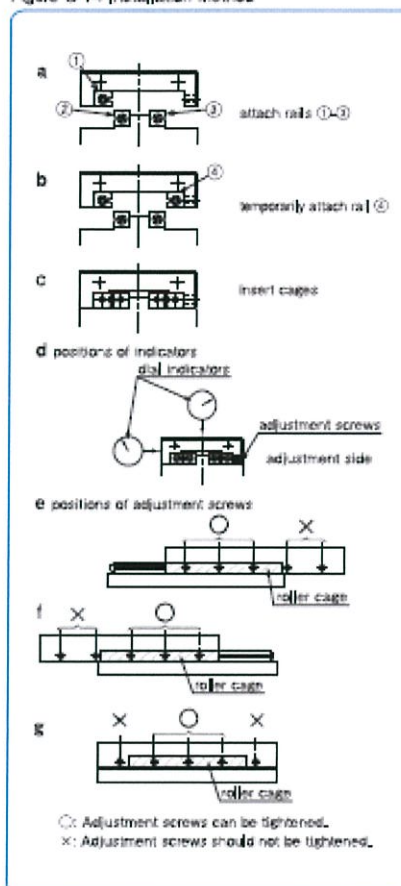


Table G-3 Recommended Torque for Adjustment Screw Unit: N · m

part number	size	torque
SV1	M2	0.008
NV2, SV2	M3	0.012
NV3, SV3	M4	0.05
NV4, SV4	M4	0.08
NV6, SV6	M5	0.20
NV9, SV9	M6	0.40

Table G-4 Recommended Torque for Mounting screw Unit: N · m

size	torque
M2	0.4
M3	1.4
M4	3.2
M5	6.6
M6	11.2
M8	27.6

(for steel alloy screw)

SPECIAL MOUNTING SCREW BT TYPE

In case of mounting slide way by screws from the counterbore side, threaded holes become the pilot holes. Thus, pilot hole's clearance will be less than a standard clearance hole for a screw. NB offers reduced shoulder screws for mounting SlideWay from bottom when larger screw clearance is required due to preload adjustment or inaccuracy of making threaded holes. This special mounting screw made of alloy steel is stocked, and custom stainless steel version is available as a special order. Please contact NB for details.

Figure G-15 Special Mounting Screw

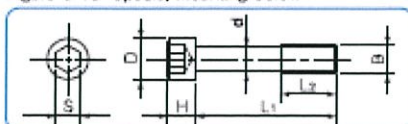
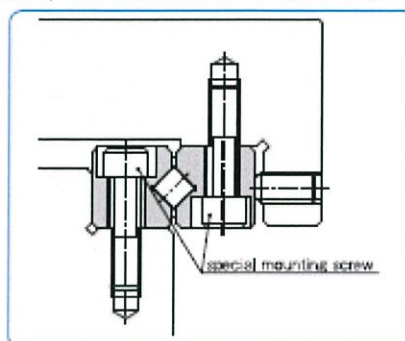


Table G-5 Special Mounting Screw

part number	B	d	D	H	L1	L2	S	applicable size
BT 3	M3	2.3	5	3	12	5	2.5	NV 3, SV 3
BT 4	M4	3.1	5.8	4	15	7	3	NV 4, SV 4
BT 8	M5	3.9	8	5	20	8	4	NV 8, SV 8
BT 9	M6	4.6	8.5	6	30	12	5	NV 9, SV 9
BT12	M8	6.25	11.3	8	40	17	6	NV12, SV12



USE AND HANDLING PRECAUTIONS

Careful Handling

Dropping the slide way causes the rolling elements to make dents in the raceway surface. This will prevent smooth motion and will also affect accuracy. Be sure to handle the product with care.

The NV type is packaged as a set of rails and R-retainers. Do not separate or disassemble until assembly/installation is completed. Precision is not guaranteed if disassembled.

Fastening Plates

For the NV type, fastening plates are attached at both end faces of the rails to maintain the R-retainer center position prior to assembly. The fastening plates are not required after the NV type is mounted to a table and bed, however, when removal of the NV type is necessary such as when it will be reassembled, be sure to return the R-retainer to the proper center position, secure the fastening plates with the end pieces, and then remove the NV type.

Specified Allowable Stroke

For the NV type, exceeding the specified stroke (over-stroke) shall cause the raceway surface of the rail to be damaged and the performance of the STUDDROLLER to drastically deteriorate. Be sure to provide external mechanical stoppers.

Adjustment

Using the product with insufficient accuracy of the mounting surface or before adjusting the preload will cause the motion accuracy of the product to drop and will have a negative influence upon product life and accuracy. Make sure to assemble, install, and adjust the product with care.

Caution against Excess Preload

It is essential to give preload on the Slide Way products in order to assure rigidity and accuracy. However, excess preload causes damage on the raceways and roller cages/R-retainers. On installation, please follow the installation procedure and recommended torque on page G-8.

Operating Temperature

The NV type uses resin parts. Please use the product in environments that are lower than 80°C.

Use as a Set

The accuracy of the rails has been matched within each set. Note that the accuracy will be affected when the rails of different sets are combined.

Allowable Load

The allowable load is a load under which the sum of elastic deformations of the rolling element and the raceway in the contact area subject to the maximum contact stress is small enough to guarantee smooth rolling movement. When very smooth and highly accurate linear motion is required, make sure to use the product within the allowable load.

Cage Slippage

For the SV/SVW type, the cage can slip under high-speed motion, vertical application, unbalanced-loading, and vibrating conditions. It is advised that the stroke be set with sufficient margin and an excessive preload should be avoided.

It is also recommended that the rails be cycled to perform the maximum stroke several times, so that the cage returns to its central position.

End Pieces

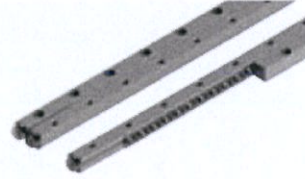
End pieces are attached to each end of the slide way to prevent removal of the cage. Do not use them as a mechanical stopper.

Knock Pin Hole

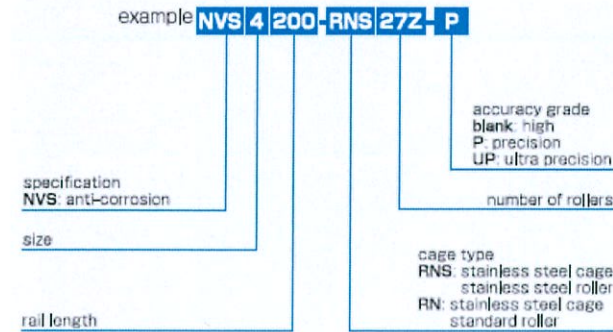
When using SVW type knock pin holes to attach a slide way, please do the hole-machining on the mounting surface after attaching the W type rail. After machining, remove the chips completely and wash as required.

NVS-RNS TYPE

—Special Environments Type—



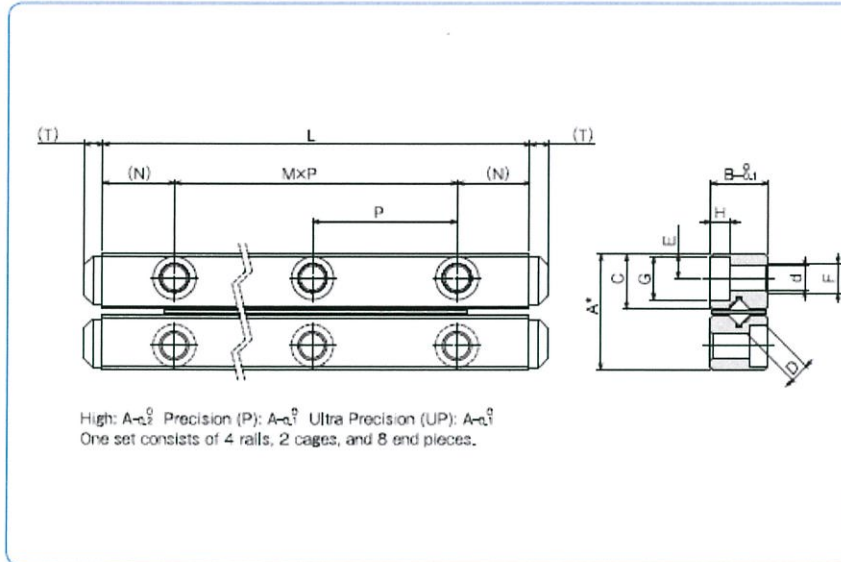
part number structure



part number	stroke ST mm	roller diameter D mm	number of rollers Z	L mm	A mm	B mm	major dimensions			
							C mm	M×P mm	N mm	E mm
NVS 2030-RNS 7Z	15	2	7	30	12	6	5.7	1×15	7.5	2.5
2045-RNS11Z	20		11	45				2×15		
2060-RNS13Z	30		13	60				3×15		
2075-RNS17Z	40		17	75				4×15		
2090-RNS21Z	50		21	90				5×15		
2105-RNS23Z	65		23	105				6×15		
2120-RNS27Z	70		27	120				7×15		
2135-RNS31Z	80		31	135				8×15		
2150-RNS33Z	90		33	150				9×15		
2165-RNS37Z	95		37	165				10×15		
2180-RNS43Z	100		43	180				11×15		
NVS 3050-RNS 9Z	20		3	9				50		
3075-RNS13Z	38	13		75	2×25					
3100-RNS17Z	55	17		100	3×25					
3125-RNS21Z	70	21		125	4×25					
3150-RNS25Z	85	25		150	5×25					
3175-RNS29Z	103	29		175	6×25					
3200-RNS33Z	113	33		200	7×25					
3225-RNS35Z	150	35		225	8×25					
NVS 4080-RNS 9Z	58	4		9	80	22	11	10.65	1×40	20
4120-RNS17Z	60		17	120	2×40					
4160-RNS21Z	98		21	160	3×40					
4200-RNS27Z	115		27	200	4×40					
4240-RNS31Z	143		31	240	5×40					
4280-RNS37Z	170		37	280	6×40					

※Some specification values are different from those of NV standard type. Please contact NB for details.

SLIDE WAY



F	d mm	G mm	H mm	T mm	basic load rating		allowable load F N	mass (one set) g	size
					dynamic C N	static C ₀ N			
M3	2.55	4.4	2	1.2	2,320	3,050	1,010	30	2030
					3,190	4,580	1,520	44	2045
					3,190	4,580	1,520	58	2080
					4,000	6,110	2,030	73	2075
					4,760	7,630	2,540	87	2090
					5,490	9,160	3,050	101	2105
					6,190	10,600	3,560	115	2120
					6,870	12,200	4,070	130	2135
					6,870	12,200	4,070	144	2150
					7,530	13,700	4,580	158	2165
M4	3.3	6	3.1	2	8,800	16,800	5,600	173	2180
					6,150	8,060	2,680	102	3050
					8,460	12,100	4,030	151	3075
					10,600	16,100	5,370	200	3100
					12,600	20,100	6,720	249	3125
					14,500	24,200	8,060	297	3150
					16,400	28,200	9,410	346	3175
					18,200	32,200	10,700	395	3200
					19,900	36,300	12,100	443	3225
					M5	4.3	8	4.2	2
20,800	31,500	10,500	405	4120					
24,800	39,300	13,100	536	4160					
32,200	55,100	18,300	670	4200					
35,800	63,000	21,000	801	4240					
39,200	70,900	23,600	935	4280					

1N=0.102kgf