

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การวิเคราะห์และการออกแบบ โครงรถแข่งขนาดเล็ก

Analysis and Design a Small Formula Car Frame



นาย ดิณฑ พูลเขาล้าน
นาย ชินพงศ์ มโนชมภู

รฟ.
๓ ๗๕๙๗
๒๕๖๐

เลขหมู่.....**81762**
เลขทะเบียน.....
วัน,เดือน,ปี...**24 ส.ค. 2551**

b. **1193๒A๗2**
i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาดมหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2550

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวิเคราะห์และการออกแบบโครงรถแข่งขนาดเล็ก
Analysis and Design a Small Formula Car Frame



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2550

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2550


ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การวิเคราะห์และการออกแบบโครงรถแข่งขนาดเล็ก

ผู้จัดทำ

1. นาย คิณภพ พูลเขาด้าน รหัสนักศึกษา 47010262
2. นาย ชินพงศ์ มโนชมภู รหัสนักศึกษา 47010183


(ผศ.ดร.มนต์ศักดิ์ พิมสาร)

อาจารย์ที่ปรึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวิเคราะห์และการออกแบบโครงรถแข่งขนาดเล็ก

นาย ดิณฑท พูลเขาล้าน 47010262

นาย ชินพงศ์ มโนขมภู 47010183

ผศ.ดร.มนต์ศักดิ์ ทิมสาร อาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2550

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์นี้มีจุดประสงค์เพื่อสร้างเฟรมรถแข่งเข้าร่วมการแข่งขัน TSAE Auto Challenge 2008 โดยพัฒนาจากเฟรมรถปี 2007 พัฒนาให้มีค่าความต้านแรงบิดและการดัดมากขึ้น นอกจากนี้เฟรมที่ออกแบบสร้างต้องถูกต้องตามกติกา FSAE 2007 ในโครงการนี้จะสร้างเฟรมจากเหล็กกล้าไร้สนิม (Stainless Steel) แล้วทำการวิเคราะห์และออกแบบโดยใช้คอมพิวเตอร์ช่วยการออกแบบ(CAD) และคอมพิวเตอร์ช่วยทางวิศวกรรม(CAE) เพื่อช่วยลดเวลาและประหยัดค่าใช้จ่ายสำหรับการออกแบบ เมื่อสร้างเฟรมเสร็จแล้วจะทดสอบจริงตามเงื่อนไขตามที่ใช้คอมพิวเตอร์ช่วยทางวิศวกรรม(CAE) แล้วนำผลการทดสอบระหว่างทั้งสองกรณีเปรียบเทียบกัน และจากผลการทดสอบพบว่าเฟรมรถปี 2008 มีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับเฟรมรถปี 2007

Analysis and Design a Small Formula car Frame

Mr.Tinnaphop Poolkhaolan 47010262

Mr.Chinnapong Manochompoo 47010183

Asst.Prof.Dr. Monsak Pimsam Advisor

Abstract

This thesis aims to develop a racing car frame to participate in TSAE Auto challenge 2008 competition. The design goal is to increase bending and torsional stiffnesses of the frame structure. Moreover, the frame is designed such that it is complied with the FSAE 2007 rules. The analysis and design process were done by using Computer-Aided Engineering. The designed frame performance is tested and compared with the former frame (2007). The results show that the new frame (2008) indicates the better bending and torsional stiffnesses.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับความกรุณาจากอาจารย์ที่ปรึกษา ศศ.ดร.มนต์ศักดิ์ ทิมสาร ,ศศ.ดร.จินดา เจริญพรพาณิชย์และอาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลทุกท่าน ที่คอยให้คำปรึกษา และแนะนำแนวทางช่วยแก้ปัญหาในการทำวิทยานิพนธ์แก่ข้าพเจ้าจนสามารถสำเร็จไปได้ด้วยดี ข้าพเจ้ารู้สึกซาบซึ้งในความกรุณาและความอนุเคราะห์จากท่านและขอขอบพระคุณอย่างสูง

ทั้งนี้ยังต้องขอขอบคุณ พี่โหน่ง พี่เอ พี่ยักษ์ พี่แขก พี่วิท พี่ป๊าก พี่ดัม พี่น็อต พี่นักศึกษาปริญญาโทที่คอยให้คำแนะนำและคำปรึกษาในด้านต่างๆ พี่ ปะ วิว อีฟ เพื่อนที่คอยช่วยเหลือและสนับสนุนน้องๆที่สนใจในชมรม Automotive ที่ช่วยเหลือเป็นลูกมือให้การจัดสร้างอุปกรณ์ต่างๆให้ง่ายและเร็วขึ้น (ชาย ใจ บูม อ่า นู โอม เบี้ยก บอม) และยังมีพี่ๆ เพื่อนร่วมชั้นปี 4 ทั้งร่วมภาควิชาและต่างภาควิชาอีกหลายคนที่ไม่ได้กล่าวไว้ ณ ที่นี้

และต้องขอขอบพระคุณบุคคลสำคัญที่ทำให้ข้าพเจ้ามีวันนี้ นั่นก็คือ บิดา มารดา อันเป็นที่เคารพยิ่ง ซึ่งได้เลี้ยงดูข้าพเจ้ามาเป็นอย่างดี พร้อมทั้งให้โอกาสในการศึกษาอย่างเต็มที่ และยังคอยให้กำลังใจเอาใจใส่เสมอมาในทุกๆ ด้านอันหาที่เปรียบมิได้ ข้าพเจ้าขอระลึกในพระคุณอันสุดประมาณ และขอกราบขอบพระคุณมา ณ ที่นี้ อีกทั้งสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังที่ประสิทธิประสาทวิชาความรู้และให้โอกาสในการจัดทำวิทยานิพนธ์จนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

นาย ตินภพ พูลเขาส้าน
นาย ชิมพงศ์ มโนชมภู

สารบัญ

	หน้าที่
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VI
สารบัญรูป	VII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	1
1.3 ขอบเขตของการศึกษา	2
1.4 แนวทางการศึกษา	2
บทที่ 2 โครงสร้าง	6
2.1 การเลือกโครงสร้าง	6
2.2 Space Frame	7
2.3 ทฤษฎีกลศาสตร์ยานยนต์ที่เกี่ยวข้องกับการ โครงสร้าง	9
บทที่ 3 การเลือกวัสดุ	17
3.1 ขอบเขตพิจารณาในการเลือกวัสดุ	17
3.2 กติกาการแข่งขันเกี่ยวกับการเลือกวัสดุ	17
3.3 การคัดเลือกวัสดุเพื่อใช้ทำเฟรมตามเกณฑ์ต่างๆ	18
3.4 คุณสมบัติของเหล็กกล้าไร้สนิม (Stainless Steel)	20
3.5 สรุปการเลือกวัสดุ	26
บทที่ 4 การออกแบบ	27
4.1 กระบวนการออกแบบ	27
4.2 การพัฒนางานให้เกิดเป็นรูปเป็นร่าง	27
4.3 การจัดแจงการออกแบบขั้นต้น	28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ IV การค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 การสร้างแบบจำลองขนาดจริงและการปรับแก้การออกแบบ	29
4.5 รายละเอียดการออกแบบทั้งหมด	30
4.6 การออกแบบ	31
บทที่ 5 การสร้างโครงรถ	55
5.1 การศึกษาถึงวิธีการเชื่อมประกอบโครงสร้าง	55
5.2 การเชื่อมโลหะด้วยวิธีการเชื่อม TIG	57
5.3 การวางแผนการสร้าง	67
5.4 การสร้างจริง	68
บทที่ 6 การทดสอบ	75
6.1 หัวข้อการทดสอบ	75
6.2 การหาความสูงจุดศูนย์กลาง	75
6.3 การทดสอบภาระการค้ำ	76
บทที่ 7 สรุปผลและข้อเสนอแนะ	83
7.1 สรุป	78
7.2 ผลการแข่งขัน TSAE-AUTO Challenge 2008	86
7.3 ข้อเสนอแนะ	87
เอกสารอ้างอิง	88

สารบัญตาราง

	หน้าที่
ตารางที่ 1-1 เกณฑ์การให้คะแนน	3
ตารางที่ 3-1 แสดงเส้นผ่านศูนย์กลางและความหนาของท่อที่ใช้ทำอุปกรณ์ต่างๆ	18
ตารางที่ 3-2 แสดงราคาต่อหน้าหนักของวัสดุชนิดต่างตามกติกา FSAE 2007	18
ตารางที่ 3-3 แสดงเกณฑ์และการเลือกเปรียบเทียบวัสดุ	19
ตารางที่ 3-4 แสดงส่วนผสมของเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิติก	21
ตารางที่ 3-5 แสดงสมบัติทางกลของเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิติก	22
ตารางที่ 3-6 แสดงส่วนผสมของเหล็กกล้าไร้สนิมเฟอร์ริติก	23
ตารางที่ 3-7 สมบัติทางกลของเหล็กกล้าไร้สนิมเฟอร์ริติก	24
ตารางที่ 3-8 แสดงส่วนผสมของเหล็กกล้าไร้สนิมมาร์เทนซิติก	25
ตารางที่ 3-9 สมบัติทางกลของเหล็กกล้าไร้สนิมมาร์เทนซิติก	26
ตารางที่ 3-10 แสดงส่วนผสมของเหล็กกล้าไร้สนิมดูเพล็กซ์	26
ตารางที่ 4-1 แสดงรายการ Profile ของท่อ Stainless Steel	39
ตารางที่ 4-2 แสดงค่าตัวประกอบความปลอดภัยของ โครงสร้างแบบต่างๆ	50
ตารางที่ 5-1 การเลือกใช้ทั้งสแตนเลสเหล็ก โทโรค กระแสไฟเชื่อมและด้วยครอบ	61
ตารางที่ 5-2 ชนิดของทั้งสแตนเลสเหล็ก โทโรค AWS – ASTM	62
ตารางที่ 5-3 การใช้แก๊สเฉื่อยและแก๊สผสม (จำนวนเป็นเปอร์เซ็นต์)	65
ตารางที่ 5-4 การใช้กระแสไฟเชื่อมกับเบอร์กระจกกรองแสง	67
ตารางที่ 6-1 ตารางเปรียบเทียบการทดสอบการกัดทั้งสองกรณี	82
ตารางที่ 7-1 ตารางเปรียบเทียบการพัฒนาโครงสร้าง	83
ตารางที่ 7-2 ผลจากการส่งรถเข้าร่วมแข่งขันในรายการ TSAE-AUTO Challenge 2008	86

สารบัญรูป

	หน้าที่
รูปที่ 1-1 สนามแข่ง	5
รูปที่ 2-1 โครงสร้าง Space frame	7
รูปที่ 2-2 แสดง โครงสร้างรูปสี่เหลี่ยม	8
รูปที่ 2-3 แสดง โครงสร้างรูปสามเหลี่ยม	8
รูปที่ 2-4 แสดงลักษณะการเชื่อม	9
รูปที่ 2-5 เมื่อรถจอดนิ่ง	10
รูปที่ 2-6 การถ่ายเทภาระตามยาว	11
รูปที่ 2-7 ความเร่งสูงสุด	12
รูปที่ 2-8 ภาระที่เกิดขึ้นกับโครงรถขณะรถเบรก	13
รูปที่ 2-9 ภาระที่เกิดขึ้นกับโครงรถขณะรถวิ่งเร่งความเร็ว	13
รูปที่ 2-10 การถ่ายเทภาระตามขวาง	14
รูปที่ 2-11 ความเร่งหนีศูนย์กลาง	14
รูปที่ 2-12 แรงปฏิกิริยาเมื่อรถเลี้ยวโค้ง	15
รูปที่ 2-13 แรงกระทำด้านข้างที่กระทำกับล้อหน้าและล้อหลังเมื่อรถเลี้ยวโค้ง	16
รูปที่ 4-1 การจัดแจงการออกแบบ	28
รูปที่ 4-2 การสร้างแบบจำลองจากกระดาษในการจัดวางตัวผู้ขับ	29
รูปที่ 4-3 แสดงขนาดตัวคนขับและเครื่องยนต์	32
รูปที่ 4-4 แสดงตัวอย่าง โมเดลขนาดเท่าของจริง	32
รูปที่ 4-5 แสดงการออกแบบโดยการอ้างอิงขนาดจากอุปกรณ์อื่น	33
รูปที่ 4-6 แสดงตัวอย่างเส้นที่ลากในระบบแกนพิกัดฉาก	33
รูปที่ 4-7 แสดงการเปิดไฟล์ .igs	35
รูปที่ 4-8 แสดงการเลือก Module เป็น Property	36
รูปที่ 4-9 แสดงการกำหนดวัสดุ	36
รูปที่ 4-10 แสดงการใส่ค่า Young's Modulus และ Poisson's ratio	37
รูปที่ 4-11 แสดงการสร้าง Create Section	37
รูปที่ 4-12 แสดงการเลือก Material: (เป็นชื่อของ Material ที่สร้างขึ้นในข้อ 3.)	38
รูปที่ 4-13 แสดงการสร้าง Profile	38

รูปที่ 4-14 แสดงการใส่ค่ารัศมี และ ความหนาของท่อ	39
รูปที่ 4-15 แสดงการกำหนดขนาดท่อให้เฟรมขึ้นต่างๆ	40
รูปที่ 4-16 แสดงการกำหนดขนาดให้เฟรมต่างๆ	40
รูปที่ 4-17 แสดงการกำหนดทิศทางแกนของท่อ	41
รูปที่ 4-18 แสดงเฟรมที่ถูกเลือกให้กำหนดทิศทางของแกนท่อ	41
รูปที่ 4-19 แสดงการประกอบ Assembly	42
รูปที่ 4-20 แสดงการสร้าง Step	42
รูปที่ 4-21 แสดงการกำหนดค่าสำหรับใส่ภาระ	43
รูปที่ 4-22 แสดงการกำหนด Boundary Condition	44
รูปที่ 4-23 แสดงการจับยึดบริเวณฐานปีกนกด้านล่าง 4 จุด	44
รูปที่ 4-24 แสดงการเลือกชนิดของ Boundary Condition	45
รูปที่ 4-25 แสดงการ Seed Part Instance	45
รูปที่ 4-26 แสดงการ Mesh Part Instance	46
รูปที่ 4-27 แสดงการเลือกชนิดของ Element	46
รูปที่ 4-28 แสดงการใส่ค่าสำหรับ Job	47
รูปที่ 4-29 แสดงการสั่งการทำงานของโปรแกรม	48
รูปที่ 4-30 แสดงผลการจำลองการทดลองการติดตามยาว	49
รูปที่ 4-31 แสดงการจับยึดและใส่ภาระน้ำหนัก (Boundary Condition) สำหรับ Bending rigidity	50
รูปที่ 4-32 แสดงผลการจำลองการสอบ Longitudinal rigidity	51
รูปที่ 4-33 แสดงการจับยึดและใส่ภาระน้ำหนัก (Boundary Condition) สำหรับ Torsional rigidity	52
รูปที่ 4-34 แสดงผลการจำลองการสอบ Torsional rigidity	52
รูปที่ 4-35 แสดงแบบจำลองเฟรมในคอมพิวเตอร์	53
รูปที่ 4-36 แสดง 2D Drawing, top view and side view	53
รูปที่ 4-37 แสดง 3D Drawing with 3 view	54
รูปที่ 5-1 กราฟลักษณะการแข็งตัวของเหล็กกล้าไร้สนิม	55
รูปที่ 5-2 แสดงองค์ประกอบในการเชื่อม TIG	58
รูปที่ 5-3 แสดงวงจรการเชื่อม TIG และเครื่องมืออุปกรณ์พื้นฐานที่ใช้	58
รูปที่ 5-4 เครื่องเชื่อมทิก (TIG)	59
รูปที่ 5-5 ส่วนประกอบของหัวเชื่อมทิก (TIG)	60

รูปที่ 5-6 หัวฉีดหรือถ้วยครอบ (Alumina Nozzles)	61
รูปที่ 5-7 เทคนิคการลับปลายทั้งสแตนเลสเหล็กโทรคกับชนิดกระแสไฟเชื่อม	64
รูปที่ 5-8 การจับทั้งสแตนเลสเหล็กโทรคในถ้วยครอบ หรือ หัวฉีด	64
รูปที่ 5-9 เภจวัดความดันแก๊สภายในท่อ และเภจวัดปริมาณการไหลของแก๊ส	66
รูปที่ 5-10 แสดงการจัดประชุมเพื่อติดตามและวางแผนการทำงาน	68
รูปที่ 5-11 ท่อ Stainless steel กลม และเหลี่ยม	69
รูปที่ 5-12 การตัดท่อ โครงสร้าง	69
รูปที่ 5-13 การสร้างชิ้นงานโดยใช้โต๊ะจิกจับชิ้นงานกับแคว้น (clamp) จับเพื่อลดการโก่งตัว จากความร้อนในการ เชื่อม	70
รูปที่ 5-14 เตรียมตัด และตะไบ ชิ้นงาน	70
รูปที่ 5-15 แสดงภาพตัวอย่างการทำภาพลึเพื่อทำส่วนเว้าให้ปลายท่อต่อกันได้	71
รูปที่ 5-16 การเชื่อมประกอบ	71
รูปที่ 5-17 แสดงเฟรมส่วนเครื่องยนต์	72
รูปที่ 5-18 แสดงการเชื่อมเฟรมในระนาบ 2 มิติ	72
รูปที่ 5-19 แสดงการจับยึดชิ้นส่วนเฟรมก่อนเชื่อม	73
รูปที่ 5-20 แสดงโครงสร้างส่วนหน้า	73
รูปที่ 5-21 แสดงการจัดตำแหน่งเฟรมส่วนหน้าและส่วนเครื่อง	74
รูปที่ 5-22 เฟรมรดเมื่อประกอบเสร็จ	74
รูปที่ 6-1 การเอียงรถเพื่อหามุมจุดศูนย์ถ่วง	76
รูปที่ 6-2 อุปกรณ์การทดสอบ	77
รูปที่ 6-3 ชั่งน้ำหนักถัง NGV	77
รูปที่ 6-4 การทดสอบการตัดกรณีที่ 1	78
รูปที่ 6-5 การวัดระยะ	78
รูปที่ 6-6 การทดสอบการตัดในคอมพิวเตอร้ในกรณีที่ 1	79
รูปที่ 6-7 การทดสอบการตัดในกรณีที่ 2	80
รูปที่ 6-8 การวัดค่าก่อนและหลังด้วยไดอัลเกจ	81
รูปที่ 6-9 การทดสอบการตัดในคอมพิวเตอร้ในกรณีที่ 2	81
รูปที่ 7-1 มิติจาก Top View	84
รูปที่ 7-2 มิติจาก Front View	84



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ X การค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มา

ในการสร้างรถแข่งออกมาหนึ่งคันนั้นต้องมีการคิดวิเคราะห์สภาพสิ่งที่มากระทำว่ามีผลต่อตัวรถอย่างไร และต้องหาข้อมูลของสิ่งที่จะนำมาประกอบในการสร้างแล้วจึงทำการออกแบบ ตามลักษณะของรถแข่งจะเป็นรถที่ต้องใช้กำลังขับและความเร็วที่สูงสิ่งที่ต้องพิจารณาคือความแข็งแรง น้ำหนักที่เบาและที่ขาดไม่ได้สำหรับยานพาหนะทุกประเภทก็คือความปลอดภัยที่จะต้องมีคุ้มครองผู้ขับจากอุบัติเหตุ โครงสร้างของเฟรมรถแข่งขนาดเล็กที่จะทำการออกแบบนั้นจึงมีฐานความคิดสำคัญคือ ขนาดครุ รูปแบบของโครงสร้าง(Design) ความแข็งแรง และราคา การออกแบบนั้นจะใช้คอมพิวเตอร์มาช่วยสร้างโครงสร้าง (Computer Aided Engineering : CAE) ซึ่งมีผลอย่างมากต่อการเพิ่มประสิทธิภาพให้กระบวนการผลิตและเพิ่มคุณภาพให้กับชิ้นงาน (Product)อันจะเห็นได้จากอุตสาหกรรมการผลิตรถยนต์มีการใช้กันอย่างกว้างขวาง เพราะประโยชน์จากการใช้คอมพิวเตอร์ในการออกแบบนั้นทำให้ไม่จำเป็นจะต้องสร้างโครงสร้างออกมาก่อนหลายๆชิ้นเพื่อทำการทดสอบ ซึ่งถ้าไม่ได้ค่าดังที่ต้องการก็ต้องออกแบบและทำโครงสร้างใหม่ทำให้เกิดการเสียเวลา สร้างความยุ่งยากและการสิ้นเปลือง โปรแกรมคอมพิวเตอร์ในปัจจุบันนั้นสามารถที่จะคำนวณค่าความเสียหายของมาได้ทั้งค่าของแรงบิด(Torsion) ความต้านทานการดัด (Bending rigidity) และสร้างภาพจำลองสถานะของโครงสร้างรถยนต์ในแบบต่างๆ จึงเห็นได้ว่าความสำคัญที่จะนำ CAE มาช่วยทำออกแบบโครงสร้างแข่ง (Frame) นั้นเป็นทางเลือกที่ดีจากเหตุผลที่ได้กล่าวมา

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1. ออกแบบและสร้าง โครงรถแข่ง(เฟรม) เพื่อเข้าร่วมแข่งขันรายการ TSAE – Auto Challenge 2008
2. ออกแบบและทำการวิเคราะห์ โครงรถแข่งให้ถูกต้องตามหลักทางกลศาสตร์วิศวกรรมที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบรถ
3. ใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยจำลองประสิทธิภาพของ โครงรถแข่งด้วยวิธีการทดสอบทางไฟไนต์อีลิเมนต์ แล้วเปรียบเทียบกับทดสอบจริง
4. ศึกษาคุณสมบัติของชิ้นส่วนและวัสดุที่จะนำมาสร้างพร้อมทั้งเปรียบเทียบคุณสมบัติและราคา

5. ทดสอบเฟรมที่ได้รับการออกแบบ โดยใช้วิธีการทดสอบทาง ไฟนอลอิลิเมนต์ เปรียบเทียบกับการทดสอบจริง
6. สร้างโครงรถแข่งจากที่ได้ออกแบบโดยใช้วัสดุที่เหมาะสมต่อสภาพความแข็งแรงและความปลอดภัย

1.3 ขอบเขตของการศึกษา

1. ศึกษาข้อมูลของรถแข่ง และทำการออกแบบโครงสร้างของรถแข่งให้ถูกต้องตามหลักทางกลศาสตร์ทางวิศวกรรม จนได้แบบและขนาดมิติของรถแข่งที่สามารถนำมาใช้ได้จริง
2. ศึกษาความแข็งแรงต่างๆของโครงรถแข่ง ด้วยการวิเคราะห์ค่าความแข็งแรงจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ด้วยวิธีทางไฟนอลอิลิเมนต์ เพื่อหาส่วนที่โครงสร้างจะใช้วัสดุน้อยลงซึ่งจะต้องสามารถรับแรงภาระต่างๆที่จะมาทำกับตัวรถโดยที่จะไม่ทำให้โครงรถได้รับความเสียหาย และตำแหน่งมิติต่างๆในการวางชิ้นส่วนให้เหมาะสมที่สุด
3. สร้าง โครงรถแข่งตามที่ได้ทำการออกแบบ โดยคำนึงถึงกฎกติกาการแข่งขันในรายการ TSAE – Auto Challenge 2008 ของสมาคมวิศวกรรมยานยนต์แห่งประเทศไทย
4. ออกแบบ โครงสร้างรถแข่งที่มีคนขับหนึ่งคน มีฐานล้อหน้าถึงล้อหลังไม่ต่ำกว่า 1520 มิลลิเมตร มีจุดศูนย์ถ่วงต่ำ และสามารถรับภาระแรงกระทำที่เกิดจากการขับขี้นในสภาวะต่างๆ

1.4 แนวทางการศึกษา

ทำการศึกษาหาข้อมูล และเปรียบเทียบ โครงสร้างรถแข่งที่มีการสร้างจริง โดยหาจากแหล่งข้อมูลต่างๆ อาทิเช่น จากทางเว็บไซต์ทั้งในและนอกประเทศ จากหนังสือต่างๆที่เกี่ยวข้อง เป็นต้น แล้วนำมาพัฒนาปรับปรุงให้เหมาะสมกับลักษณะของรถแข่งที่จะทำการสร้าง โดยการทำการออกแบบและเขียนแบบ ศึกษาขนาดของรถแข่งที่สามารถเป็นไปได้จริงซึ่งอ้างอิงจากกติกา เมื่อได้แบบที่เหมาะสมและทราบถึงภาระที่จะมากระทำกับรถจากการคำนวณทางหลักกลศาสตร์วิศวกรรมแล้ว จากนั้นทำการวิเคราะห์ความแข็งแรงของรถให้ทราบถึงความแข็งแรง และมีความปลอดภัยเพียงพอ โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยในการวิเคราะห์และจำลองถึงประสิทธิภาพของโครงรถแข่ง ทั้งยังต้องทำขอบเขตของงบประมาณและออกแบบให้รถถูกต้องตามกฎกติกา ซึ่งโครงการนี้มีขอบเขตที่จะต้องนำมาพิจารณาโดยเป็นไปตามนี้

การแข่งขัน Formula TSAE 2008

จุดประสงค์ของการแข่งขัน Formula TSAE 2008 ก็เพื่อให้นักศึกษาวิศวกรรมศาสตร์ และกลุ่มนักศึกษาที่สนใจ สร้างรถเพื่อทำการแข่งขันรถแข่งขนาดเล็ก ในการแข่งขันนั้นใช้ทั้งความคิดสร้างสรรค์ การออกแบบ การจัดสร้าง และทำการแข่งขันในรูปแบบของรถสูตรหนึ่ง (Formula

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Style) เป็นรูปแบบการจัดแข่งเป็นรอบๆลักษณะแบบการแข่งขันทางเรียบ ในการออกแบบและจัดสร้างนั้นจะให้อิสระและความยืดหยุ่นอย่างเต็มที่ ภายใต้ข้อจำกัดอีกเล็กน้อย ในการเตรียมตัวที่จะแข่งนั้น ทางทีมงานจะใช้เวลาในการเตรียมงานอยู่ 8-12 เดือน และในระหว่างการแข่งขันนั้นทีมที่เข้าแข่งขันจะต้องแสดงและพิสูจน์ให้ทีมอื่นเห็นถึงศักยภาพทั้งด้านการออกแบบ ความคิดสร้างสรรค์ และทักษะด้านการช่าง ซึ่งการแข่งขันนี้มีอีกหนึ่งจุดประสงค์เพื่อให้นักศึกษาสามารถคาดการณ์เกี่ยวกับช่องทางการไปสู่อุตสาหกรรมหรือโรงงานผลิต ในการออกแบบ จัดสร้าง และทดสอบรถคันแบบ ก็เพื่อการมองไปถึงการผลิต การประเมินราคาทางอุตสาหกรรมและจุดมุ่งหมายทางการตลาด การสร้างรถให้ชนะนั้นไม่ได้ขึ้นอยู่กับทักษะของผู้ขับขี่เพียงอย่างเดียว รถจะต้องมีประสิทธิภาพสูงทั้งในด้านการเร่ง การเบรก และการบังคับเลี้ยว รถต้องมีราคาต่ำ ซ่อมบำรุงง่าย และมั่นใจเชื่อถือได้ รถต้องมีส่วนเสริมด้วยปัจจัยด้านความสวยงาม ความสะดวกสบาย และชิ้นส่วนที่ทำได้ง่าย การแข่งขันมุ่งเน้นพัฒนารถให้ดีที่สุดตามจุดประสงค์และเจตนาที่วางไว้ รถแต่ละคันที่เข้าทำการแข่งขันจะมีการเปรียบเทียบกับรถคันอื่นๆที่เข้าทำการแข่งขันเพื่อหาที่ดีที่สุด

ตารางที่ 1-1 เกณฑ์การให้คะแนน

Static		Dynamic	
- ราคาและการผลิต	100	- Acceleration	75
- การนำเสนอ	75	- Skid pad	50
- รายงาน	150	- Auto cross	150
		- Economics	50
		- Endurance	350
total	325		675

รวมทั้งหมดเป็น 1000 คะแนน

วิธีการดำเนินการตามเกณฑ์การให้คะแนน

- Inspection

1. รถทุกคันต้องผ่านการทดสอบความปลอดภัยของตัวรถ (Toyota)
2. นำรถไปทดสอบการเอียงกับอุปกรณ์ที่จัดไว้ (Toyota)
3. ทดสอบเสียว / วัดไอเสีย (กรมควบคุมมลพิษ / กรมการขนส่ง)
4. ทดสอบเบรกในสนาม สำหรับรถที่ผ่าน Inspection แล้ว (Grandprix)

- Static Competition

ต้องเตรียมตัวแทนเพื่อนำเสนอ (ไม่จำเป็นต้องเป็นคนเดียวกัน)

Cost ส่งตัวแทนมาชี้แจงการใช้งบประมาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ส่งในวันเสาร์ที่ปรึกษาเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Presentation ทีมส่งตัวแทนมานำเสนอ 2 คน ให้เวลา 10 นาที ถ้าใช้เวลานานจะตัดคะแนน นาทีละ 1 คะแนน แนวทางการนำเสนอให้เป็นการ Promote รถของทีม
 - Design นำรถ และส่งตัวแทนนำเสนอเทคนิควิศวกรรมการออกแบบรถของทีม
- Dynamic Competitions**
- Acceleration / Skid pad**
- Acceleration 1 คนขับ ทดสอบจับเวลา 2 ครั้ง ชนกรวยล้ม หรือเคลื่อนที่ จะถูกเพิ่ม เวลากรวยละ 2 วินาที
 - Skid pad 1 คนขับ / จับ 4 รอบ จับวนซ้ายและขวา อย่างละ 2 รอบ ต่อเนื่อง ถ้าชนกรวยล้ม หรือเคลื่อนที่ จะถูกเพิ่มเวลากรวยละ 0.5 วินาที
 - กรณีที่รถมีปัญหาให้คนขับนำรถหลบทางด้านซ้ายของสนาม (โดยที่เวลายังเดินอยู่)
 - ถ้าคนขับสามารถดำเนินการแก้ไขรถได้ โดยไม่ลุกออกจากรถ เมื่อรถติดสามารถขับแข่งขันต่อได้ แต่ก่อนจะออกรถต้องมองด้านหลังก่อน ว่ามีรถมาด้านหลังหรือไม่ จะต้องรอให้คันหลังผ่านไปก่อนจึงจะออกรถได้ ถ้าออกรถตัดหน้ารถที่มาข้างหลังจะตัดสิทธิ์การแข่งขันรายการนี้
 - ไม่อนุญาตให้มีทีมซ่อมเข้าไปในสนามโดยเด็ดขาด
 - ถ้าไม่สามารถซ่อมได้ให้ออกนอกรถและถือว่าสิ้นสุดการแข่งขันรายการนี้(ได้คะแนน 0 ในรายการนี้)
 - รถทีมงานของคณะกรรมการเข้าไปช่วยนำรถออกไปซ่อมที่เด่นท์ของทีมได้ เพื่อแข่งขันในรายการต่อไป
- Autocross**
- ปล่องวิ่งครั้งละ 4 คัน/รอบ (500 เมตร ปล่อง 1 คัน) / วิ่ง 2 รอบสนาม / ชนกรวยล้ม หรือเคลื่อนที่ เพิ่มเวลากรวยละ 2 วินาที
 - คนขับ 2 คน จับคนละ 1 รอบสนาม การเปลี่ยนคนขับให้ใช้เวลาไม่เกิน 3 นาที
 - กรณีที่รถมีปัญหาให้คนขับนำรถหลบทางด้านซ้ายของสนาม (โดยที่เวลายังเดินอยู่)
 - ถ้าคนขับสามารถดำเนินการแก้ไขรถได้ โดยไม่ลุกออกจากรถ เมื่อรถติดสามารถขับแข่งขันต่อได้ แต่ก่อนจะออกรถต้องมองด้านหลังก่อนว่ามีรถมาด้านหลังหรือไม่ จะต้องรอให้คันหลังผ่านไปก่อนจึงจะออกรถได้ ถ้าออกรถตัดหน้ารถที่มาข้างหลังจะตัดสิทธิ์การแข่งขันรายการนี้
 - ไม่อนุญาตให้มีทีมซ่อมเข้าไปในสนาม โดยเด็ดขาด
 - ถ้าไม่สามารถซ่อมได้ให้ออกนอกรถและถือว่าสิ้นสุดการแข่งขันรายการนี้(ได้คะแนน 0 ในรายการนี้)
 - รถทีมงานของคณะกรรมการเข้าไปช่วยนำรถออกไปซ่อมที่เด่นท์ของทีมได้ เพื่อแข่งขันในรายการต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

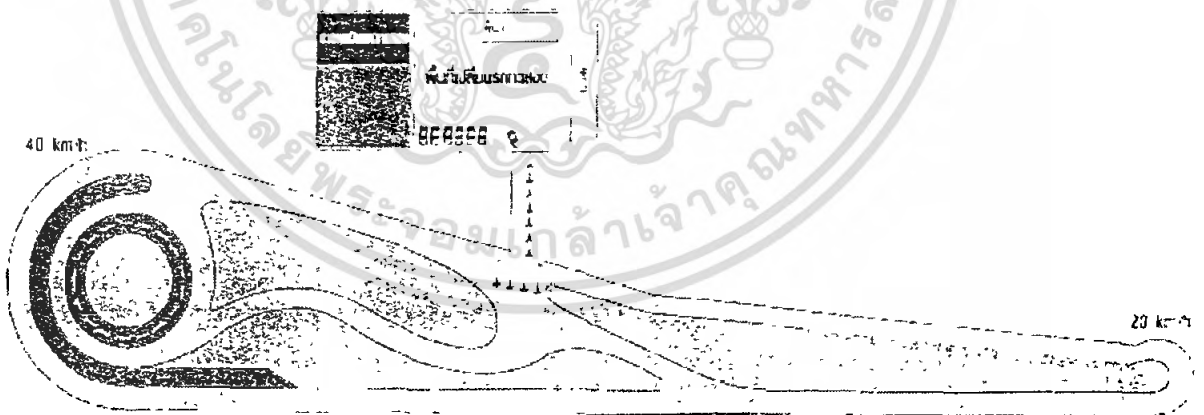
Endurance

- วิ่ง 6 รอบสนาม คนขับ 1 คน
- จัดที่แข่งทางตรง 2 จุด (ห้ามแข่งก่อนถึงจุด แข่งทางด้านซ้ายของสนาม) รถช้าต้องรอให้แข่งโดยจะมีกรรมการให้สัญญาณ
- จัดกลุ่มรถที่เร็วไว้ด้วยกัน ดูจากผล Autocross
- ปลอ่ยวิ่งครั้งละ 4 คัน/ ชุด ชนกรวยล้มหรือเคลื่อนที่ปรับเวลา 2 วินาทีต่อกรวย
- กรณีที่รถมีปัญหาให้คนขับนำรถหลบทางด้านซ้ายของสนาม (โดยที่เวลายังเดินอยู่)
- ถ้าคนขับสามารถดำเนินการแก้ไขรถได้ โดยไม่ลุกออกจากรถ สามารถขับแข่งขันต่อได้ แต่ก่อนจะออกรถ ต้องมองด้านหลังก่อนว่ามีรถมาด้านหลังหรือไม่ จะต้องรอให้คันหลังผ่านไปก่อนจึงจะออกรถได้ ถ้าออกรถตัดหน้ารถที่มาข้างหลังจะตัดสิทธิ์การแข่งขันรายการนี้
- แต่ถ้าไม่สามารถซ่อมได้ให้ออกนอกรถและถือว่าสิ้นสุดรายการนี้ (ได้คะแนน 0 ในรายการนี้)

Fuel Economy

- รถที่แข่งขัน Endurance ครบรอบให้นำรถไปวัดน้ำมัน Fuel Economy (ถังน้ำมันจะต้องมีคอตังที่สามารถวัดระดับ น้ำมัน ได้สะดวก)
- Endurance และ Fuel Economy ถือว่าเป็นรายการเดียวกัน

รูปแบบสนามแข่ง



รูปที่ 1-1 สนามแข่ง

เข้าทำการแข่งขันในวันที่ 15-16 มีนาคม 2551

สถานที่จัดการแข่งขันคือ สนามแข่งของบริษัท Bridgestone จังหวัดสระบุรี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ :

บทที่ 2

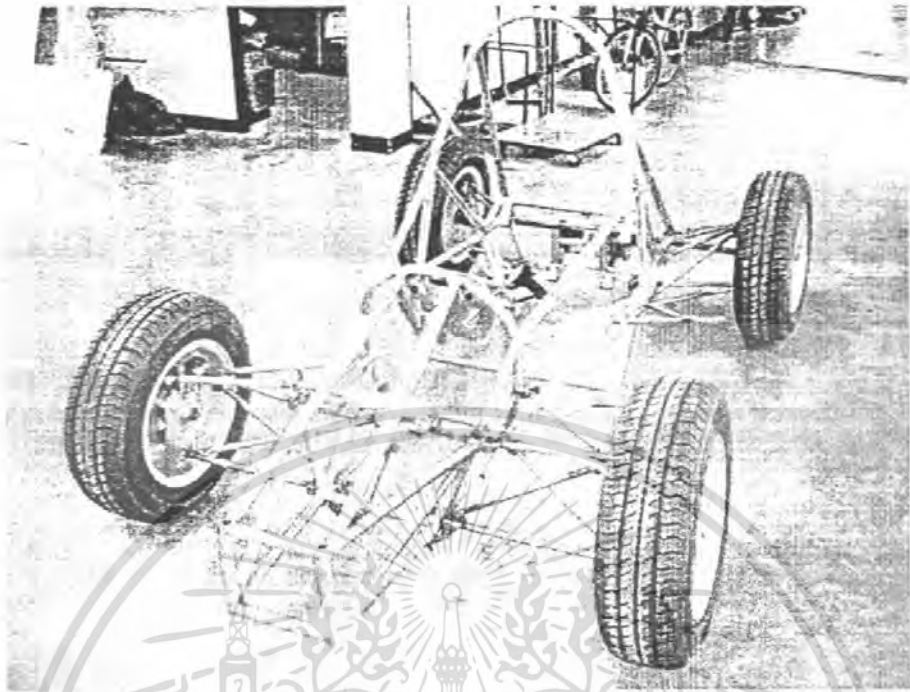
โครงสร้าง

2.1 การเลือกโครงสร้าง

โครงสร้างหรือเฟรมนั้นจะได้รับผลกระทบจากน้ำหนักที่ส่งผ่าน ตามความยาว ตามขวาง และตามเส้นทแยงมุม เมื่อผลกระทบที่กระทำต่อโครงสร้างโดยแรงเหล่านั้นจะสามารถวัดค่าได้จากแรงที่กระทำต่อโครงสร้าง การต้านทานการบิดของโครงสร้างรถในขณะที่แข่งขันจะพิสูจน์ได้จากความรู้สึกรของการขับขี่ โดยจะให้ชิ้นส่วนของระบบกันสะเทือนเป็นส่วนที่ควบคุมการสั่น โดยมีเปอร์เซ็นต์การเคลื่อนที่ของรถเป็นตัวบอกความเหมาะสม รถคันใดที่มีการควบคุมได้อย่างเหมาะสม ก็จะรักษาความสมดุลในการเข้าโค้ง หมายความว่าการทำงานของเพลาน้ำและเพลาลังสามารถทำการเลี้ยวแล้วมีประสิทธิภาพการทำงานเหมือนกับการเร่งในทางตรงและยังแสดงว่าโครงสร้างมีความสมดุล ดังนั้นการเลือกลักษณะ ชนิด และการสร้างโครงสร้างจะมีผลต่อประสิทธิภาพของรถ

ในการทำโครงงานนี้ได้เลือกการสร้างโครงสร้างโดยเป็น โครงสร้างแบบ Space Frame
ทำไมถึงเลือก Space Frame

1. เมื่อพิจารณาแล้วตรงกับข้อกำหนดที่ตั้งไว้ในด้านความปลอดภัย
2. ง่ายต่อการออกแบบและการสร้าง
3. น้ำหนักเบา
4. มีความแข็งแรงและมีสภาพแข็งแรงต่อการบิด
5. มีความเหมาะสมในการสร้างรถเล็ก
6. เหมาะสมในการที่จะสร้างเป็นโครงสร้างคันแบบ
7. ง่ายต่อการตัดแปลงให้ตรงกับความต้องการ
8. ใช้งบประมาณน้อยในการสร้างและการตัดแปลง
9. สามารถสร้างได้โดยใช้ฝีมือและอุปกรณ์ในโรงปฏิบัติงานช่างที่มีอยู่



รูปที่ 2-1 โครงสร้าง Space frame

2.2 Space Frame

คำจำกัดความของ Space frame การต่อส่วนประกอบเข้าด้วยกันเพื่อที่จะรองรับลักษณะของการต่างๆ ที่ได้รับอย่างครอบคลุม โดยที่เป็นตัวรองรับการถ่ายเทภาระที่ได้รับผ่านวัสดุที่นำมาประกอบรวมกัน อย่างไรก็ตาม Space frame นั้นสามารถที่จะปรับปรุงเปลี่ยนแปลงผลงานได้อย่างยืดหยุ่น วัสดุที่สามารถนำมาทำก็หลากหลายเช่น เหล็กต่างๆ อลูมิเนียมหรือประกอบจากวัสดุหลายๆชนิดก็ได้ แต่มีข้อเสียตรงที่ผลิตในปริมาณความต้องการมากได้ยากเพราะสิ้นเปลืองและเสียเวลากว่าเมื่อเทียบการสร้างด้วยระบบ Monocoque

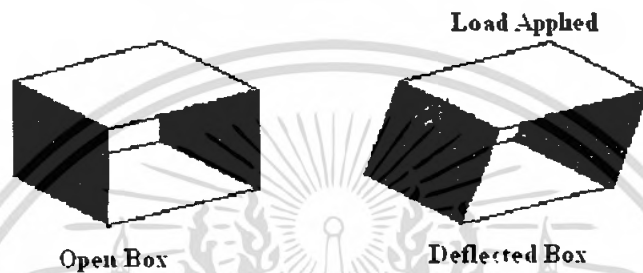
ระบบ Space frame นั้นเป็นเทคโนโลยีที่ได้ออมรับ โดยสากล เป็นเทคโนโลยีการสร้างที่นำไปสู่ความก้าวหน้าสมัยใหม่ในการประกอบวัสดุและการรวมกันใน โครงสร้างของรถ ความแข็งแรงของ Space frame จะส่งผลโดยตรงต่อภาระที่มากกระทำกับโครงสร้างของรถ สามารถที่จะเพิ่มความแข็งแรงจากการใช้ Color-cored Thermoplastic มาเป็นแกนในเนื้อของวัสดุซึ่งสามารถลดมวลของรถจากการไม่ต้องใช้เหล็กที่หนาและหนักขึ้นเพื่อเสริมความแข็งแรงและด้วยการประกอบที่ดีจะสามารถส่งเสริมศักยภาพของรถให้สามารถแสดงประสิทธิภาพได้อย่างคุ้มค่าการลงทุน

Space frame จัดเป็นโครงสร้างที่นิยมมากถ้าเป็นการสร้างพาหนะที่ต้องการความแตกต่างและความต้องการในลักษณะรถที่พิเศษในโครงสร้างตามชนิดของยานพาหนะ ซึ่งจะเกี่ยวข้องกับ

การแข่งขันรถในประเภทต่างๆตามลักษณะเนื่องจากการที่มีความยืดหยุ่นในการสร้างสูง การสร้างเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Space frame นั้นจะประกอบจากวัสดุในรูปแบบของ Rectangular Hollow Section RHS steel ,Tubular steel หรือจะประกอบขึ้นจากทั้งสองแบบร่วมกัน แต่ Tubular steel (เหล็กท่อกกลม) จะใช้ประกอบอาคารสร้างมากกว่าเนื่องจากสามารถต้านการบิดได้ดีเพราะแกนมีความคงที่ต่อผลของความเฉื่อย(moment of inertia) ซึ่งตรงกับความต้องการในการนำมาสร้างโครงสร้างของรอด

ทฤษฎีของการสร้างและเลือกชิ้นส่วนของ Space frame นั้นในอดีตมาจากแนวคิดของ โครงสร้างสามเหลี่ยมเพราะสามเหลี่ยมมีการหันเหที่น้อยแต่มีความแข็งแรงสูง การสร้างโครงจากรูปแบบสี่เหลี่ยมจะง่ายต่อการถูกทำลายภายใต้ภาระที่ได้รับ



Open Box

Deflected Box

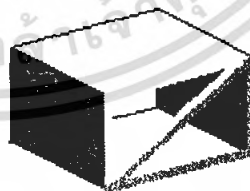
ไม่มี Triangulated the box

รูปที่ 2-2 แสดงโครงสร้างรูปสี่เหลี่ยม

แต่ถ้ามีการเสริม Triangulated the box ตามแนวเส้นทแยงมุมจะช่วยให้ประสิทธิภาพในการตั้งรับ ขั้วสองขั้วไว้ด้วยกันได้ดี ลดการหันเหและเบี่ยงเบน แต่จะเพิ่มความแข็งแรงเพิ่มขึ้นในชิ้นส่วน ซึ่ง การเสริมในแนวเส้นทแยงมุมนั้นจะช่วยรับภาระจากการบิดแล้วหดและการหดแล้วยืดของชิ้นส่วน ซึ่งเป็นภาระความเครียดที่มากกระทำ และถ้าแนวเส้นทแยงมุมยาวขึ้นและได้รับแรงภายใต้ภาระที่สูงขึ้นก็จะมีความสามารถในการ โกงงอดีขึ้นทำเมื่อประยุกต์ให้เข้ากับการระจากความกดดัน

Diagonal forms two triangles. The yellow, and green

Triangulated Box



When pushed the diagonal is pulled in tension, preventing movement

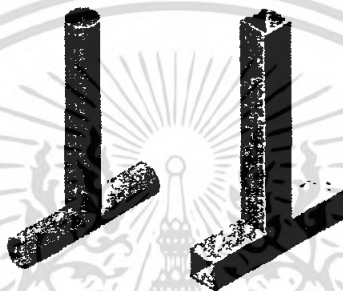
มี Triangulated the box

รูปที่ 2-3 แสดงโครงสร้างรูปสามเหลี่ยม

จากที่ได้กล่าวมาความสำคัญของการวางแนวทางการรับภาระจากแรงและการออกแบบเส้น ทแยงมุมที่รับความดึงเครียดในชิ้นส่วนมีความสำคัญอย่างมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การสร้าง Space frame นั้นนิยมสร้างจากเหล็ก Rectangular Hollow Section RHS และเหล็กท่อกลมเนื่องจากง่ายต่อการเชื่อมต่อและได้ผิวที่ราบเรียบ แต่ที่นิยมอย่างมากคือเหล็กแบบท่อกลมเนื่องจากรับภาระการบิดที่เป็นเส้นยาวซึ่งจะประกอบในโครงสร้างได้ดีซึ่งโดยการสร้างแล้วเป็นในชิ้นส่วนทั้งสองลักษณะเบร่ร่วมกันตามภาระในตำแหน่งที่ได้รับ ส่วนความยุ่งยากในการออกแบบนั้นจะเป็นส่วนในการสร้างร่อบากแบบต่างๆที่ต้องการความแม่นยำ ความแน่นอนเพื่อที่นำมาประกอบให้ได้ความแข็งแรงของโครงสร้าง วิธีในการสร้างจุดเชื่อมนั้นต้องมีการใช้เครื่องกลึงที่มีคุณภาพสูงแม่นยำ และในการเชื่อมนั้นรอยร่นจากบริเวณรอยเชื่อมต้องมีความแข็งแรงด้วย



รูปที่ 2-4 แสดงลักษณะการเชื่อม

ช่างเชื่อมและเทคนิคในการเชื่อมจะเป็นตัวแปรสำคัญในการสร้างโครงสร้างและตัวช่วยปรับปรุงแก้ไขในการประกอบ ซึ่งการสร้าง Space frame นั้นมีความซับซ้อนสูงตรงการตัดโครงสร้างให้มีความแข็งแรงการเชื่อมก็ต้องหลากหลายตามด้วย การเชื่อมต้องสามารถจุดให้เชื่อมต่อกันได้ดีและทำให้ชิ้นงานมีความแข็งแรง รอยเชื่อมสะอาด โดยการเชื่อมมักนิยมจะใช้เทคนิคการเชื่อมแบบ Tungsten Inert Gas (TIG) มากกว่าการเชื่อมแบบ Metal Inert Gas (MIG) เนื่องการเชื่อม TIG ทำให้ได้ชิ้นงานที่มีรอยเล็กกว่า และรักษาคุณสมบัติความแข็งแรงของเหล็กไว้ได้ดี ซึ่งการเชื่อมจะได้กล่าวในบทต่อไป

2.3 ทฤษฎีกลศาสตร์ยานยนต์ที่เกี่ยวข้องกับการโครงสร้าง

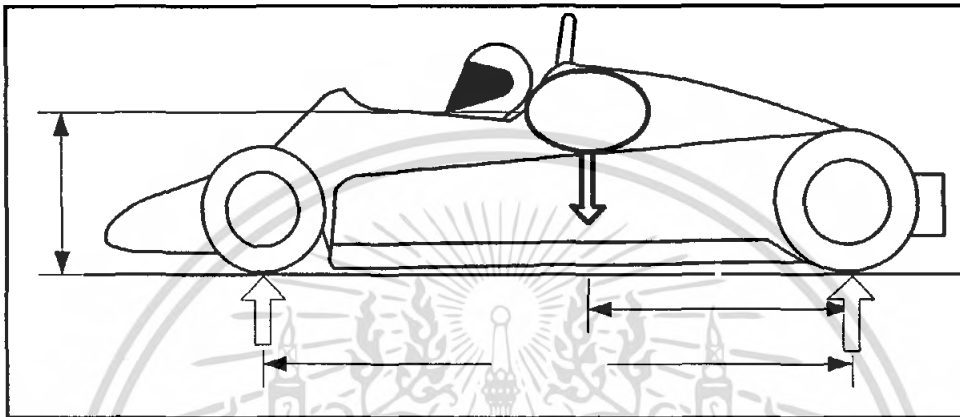
การคำนวณค่าของภาระแรงที่มากระทำกับโครงสร้างรถแข่งมีความสำคัญต่อการนำไปออกแบบเพราะทำให้ทราบว่ามีความเค้นที่จุดใด และจะได้นำค่าภาระแรงกระทำที่คำนวณได้ไปประกอบการออกแบบเพื่อให้ได้โครงสร้างที่สมบูรณ์แบบที่สุดที่สามารถทนต่อแรงกระทำต่างๆได้

2.3.1 เมื่อรถจอดนิ่งหรือวิ่งด้วยความเร็วคงที่ จะมีแรงปฏิกิริยาที่ล้อเป็นแรงกระทำกับพื้นที่ที่สัมผัสกับถนน

$$R_F = mgl/b \quad (2.1)$$

$$R_R = mg(b-l)/b \quad (2.2)$$

ให้ l = ระยะจากจุด cg ถึงล้อหลัง, b = ความยาวของฐานล้อ, h = ความสูงจากจุดศูนย์ถ่วงถึงพื้น



รูปที่ 2-5 เมื่อรถจอดนิ่ง

2.3.2 แรงขับเคลื่อนที่ล้อ

ขณะที่รถกำลังวิ่งด้วยอัตราเร็วคงที่ใดๆ เครื่องยนต์จะถ่ายทอดกำลังไปยังล้อขับเคลื่อน แรงขับเคลื่อนที่ล้อจะต้องมีค่าเท่ากับแรงต้านทั้งหมดในขณะนั้นเพื่อรักษาอัตราเร็วรถยนต์ให้คงที่ แรงขับเคลื่อนจะเกิดขึ้นที่บริเวณผิวสัมผัสระหว่างกับล้อถนน ดังนั้นสัมประสิทธิ์ความเสียดทานระหว่างยางกับล้อถนนต้องสูงมากพอที่จะไม่ทำให้เกิดการลื่นไถลบริเวณผิวสัมผัสดังกล่าว

แรงขับเคลื่อนที่ล้อสามารถหาได้จากกำลังเครื่องยนต์ โดยใช้ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังเครื่องยนต์กับทอร์คของเครื่องยนต์ ทอร์คจากเครื่องยนต์ที่ถ่ายทอดไปยังล้อจะมีบางส่วนสูญเสียไปในกระบวนการถ่ายทอดกำลัง แต่ทอร์คจะเพิ่มมากขึ้นเนื่องจากอัตราทดเฟืองที่ห้องเกียร์และเฟืองท้าย ดังนั้นเมื่อรวมทั้งหมดจะได้

$$F = \eta_i T / 100r \quad (2.3)$$

$$F = 0.8 \times 15.08331 \times 62 / 0.25$$

$$F = 2992.53 \text{ นิวตัน} \quad R_F$$

เมื่อ η คือประสิทธิภาพการส่งกำลัง ให้ประมาณว่า 80 เปอร์เซ็นต์

i_t คือ อัตราทดเกียร์รวม(เลือกเกียร์ 1 เพราะมีอัตราทดสูงสุด) ให้เท่ากับ 15.08331

T คือทอร์คเครื่องยนต์(เลือกค่าสูงสุดของเครื่องยนต์) จากเครื่องยนต์จริง

เท่ากับ 62 นิวตันเมตร

r คือ รัศมี sprocket ตัวหน้า 0.25 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

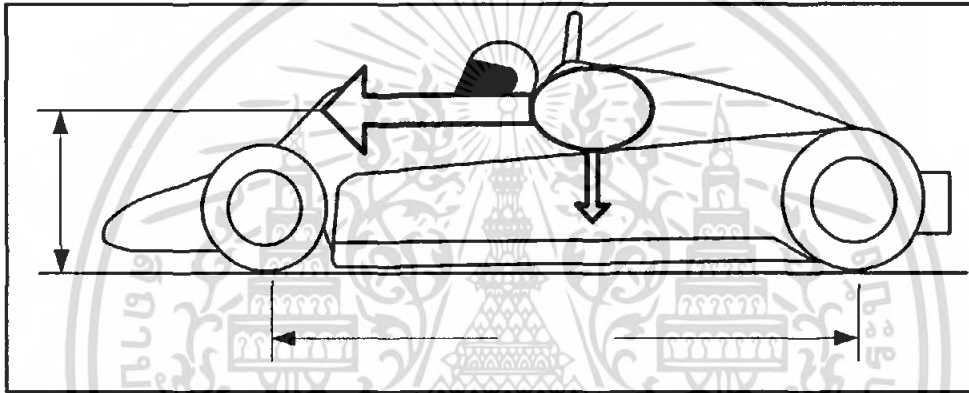
2.3.3 การถ่ายเทภาระตามยาว

เป็นภาระการถ่ายเทแรงตามยาวเกิดขึ้นเมื่อมีการเร่งความเร็วและการเบรก สามารถกระทำกับตัวโครงสร้างรถตลอดศูนย์กลางของแรงโน้มถ่วง เป็นแรงในลักษณะที่มีการถ่ายเทน้ำหนักส่งผ่านในแนวยาวมีผลต่อความสมดุลของโครงสร้าง อธิบายได้จากสมการ

$$LLT_{Long} = \frac{\text{long accel} \times \text{force down at axle} \times \text{cg height}}{\text{wheelbase}} \quad (2.4)$$

$$LLT = (1 \times 320 \times 9.81 \times 25.75 / 1650)$$

$$LLT = 490.0 \text{ นิวตัน}$$



รูปที่ 2-6 การถ่ายเทภาระตามยาว

2.3.4 ความเร่งสูงสุด

พิจารณาการเร่งความเร็วเมื่อรถหยุดนิ่งและถนนเป็นแนวระดับจึงไม่มีแรงต้านอากาศและไม่มีแรงต้านทางชั้นมวลส่วนที่หมุน เช่น เพลา เกียร์ เป็นต้น ไม่นำมาคิด จึงสมมติให้แรงด้านการเคลื่อนที่ของรถ มีแรงด้านการหมุนของล้ออย่างเดียว แรงขับเคลื่อนสูงสุด $F_r = \mu R_r$ แสดงไว้ที่รูป 2-7 ซึ่งกระทำที่ล้อหลังเนื่องจากรถที่สร้างเป็นรถขับเคลื่อนล้อหลังหาความเร่งได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \sum F &= ma ; & F_r - R_r &= ma \\ m &= \text{มวล} , a = \text{ความเร่งที่จุดศูนย์กลางมวล} , R_r = \text{แรงต้านที่พื้น} \end{aligned} \quad (2.5)$$

$$a = \frac{(F - R_r)}{m}$$

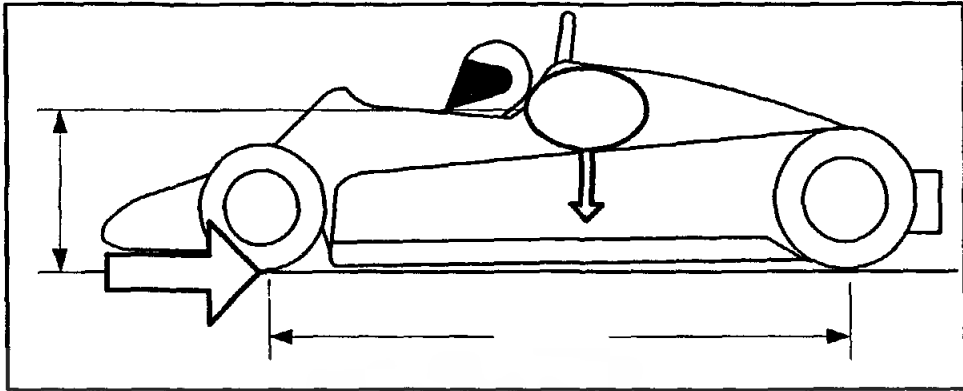
Long a

$$a = (2992.53 - 5.4) / 350$$

$$a = 9.39 \text{ เมตร/วินาที}^2$$

$$g = 0.92g$$

g = ความเร่งจากแรงโน้มถ่วงของโลก , F = จากค่าแรงขับเคลื่อนในข้อที่ 2.3.2 , m = มวลของรถ



รูปที่ 2-7 ความเร่งสูงสุด

2.3.5 ความหน่วงสูงสุด

$$\begin{aligned}
 F &= F_f + F_r \\
 ma &= \mu R_F + \mu R_R \\
 ma &= \mu(mg) \\
 a &= \mu g \quad R_r \quad (2.6)
 \end{aligned}$$

กำหนดค่า $\mu=1.2[1]$ ดังนั้น ความหน่วงสูงสุดมีค่า 1.2g เมตร/วินาที²

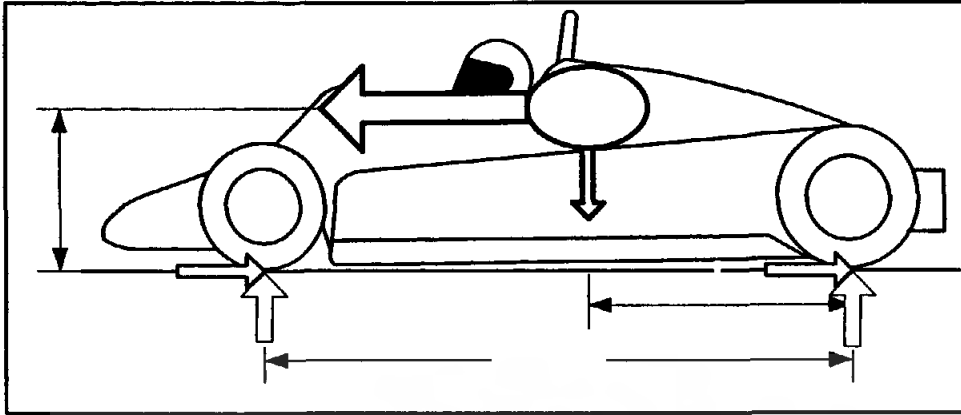
กรณีที่สามารถเกิดความหน่วงกระทำกับรถเป็นไปได้อีก 2 กรณี คือ เมื่อรถวิ่งเร่ง และรถเบรก

ในขณะที่เหยียบเบรคนั้นรถจะเกิดความหน่วงขึ้น ทำให้อัตราเร็วของรถลดลง แรงเฉื่อยเนื่องจากความหน่วงนี้มีทิศทางไปข้างหน้าและแรงเบรกเกิดขึ้นที่บริเวณผิวสัมผัสระหว่างยางกับถนน แรงเบรกจะมีค่ามากขึ้นเมื่อเหยียบเบรกแรงขึ้น แต่แรงเบรกจะมีค่าสูงสุดไม่เกินแรงเสียดทานระหว่างยางกับถนน แรงเบรกจะมีค่าสูงสุดเมื่อล้อเกือบจะลื่นไถลเนื่องจาก การจับเบรก ปกติเมื่อทำการเบรก แรงเบรกจะกระทำทั้งที่ล้อหน้าและล้อหลัง

ภาระที่เกิดขึ้นกับโครงรถขณะรถเบรก

$$\begin{aligned}
 R_F &= mgl/b + 1.2mgh/b \quad (2.7) \\
 &= 1716.75 + 643.78125 \\
 &= 2360.531 \text{ นิวตัน}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 R_R &= mg(l-b)/b - 1.2mgh/b \quad (2.8) \\
 &= 1716.75 - 643.78125 \\
 &= 1072.969 \text{ นิวตัน}
 \end{aligned}$$



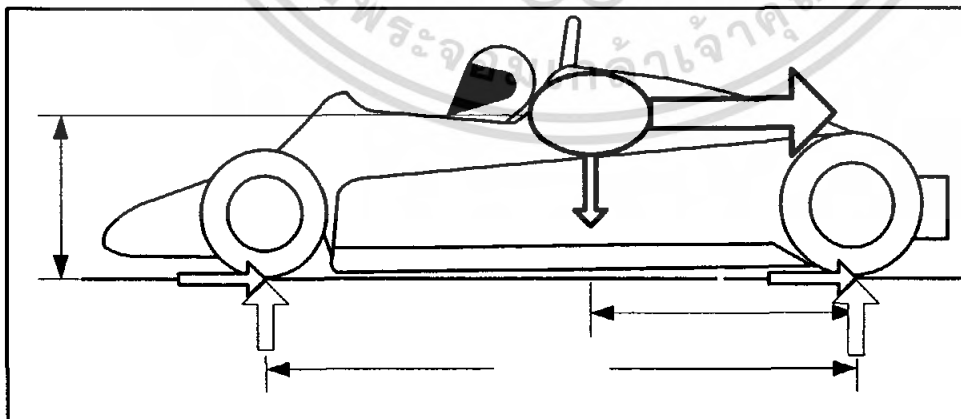
Long accel

รูปที่ 2-8 ภาวะที่เกิดขึ้นกับ โครงรถขณะรถเบรก

ในขณะที่รถออกตัวจากจุดหยุดนิ่ง เครื่องยนต์จะถ่ายทอคทอร์คไปยังล้อขับเคลื่อนและ
 ทอร์คที่ล้อขับเคลื่อนจะถูกเปลี่ยนไปเป็นแรงขับเคลื่อน รถจะออกตัว ได้แรงด้วยความเร็วสูงเมื่อแรง
 ขับเคลื่อนมีมาก และรถออกตัวได้อืดเมื่อแรงขับเคลื่อนมีน้อย อย่างไรก็ตาม แรงขับเคลื่อนสูงสุดจะมี
 ค่าไม่เกินค่าความเสียดทานระหว่างยางกับถนน
 ภาวะที่เกิดขึ้นกับ โครงรถขณะรถวิ่งเร่งความเร็ว

$$\begin{aligned}
 R_F &= mg/b - 0.92mgh/b & (2.9) \\
 &= 1716.75 - 493.566 \\
 &= 1223.184 \text{ นิวตัน}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 R_R &= mg(l-b)/b + 0.92mgh/b & (2.10) \\
 &= 1716.75 + 493.566 \\
 &= 2210.316 \text{ นิวตัน}
 \end{aligned}$$



รูปที่ 2-9 ภาวะที่เกิดขึ้นกับ โครงรถขณะรถวิ่งเร่งความเร็ว

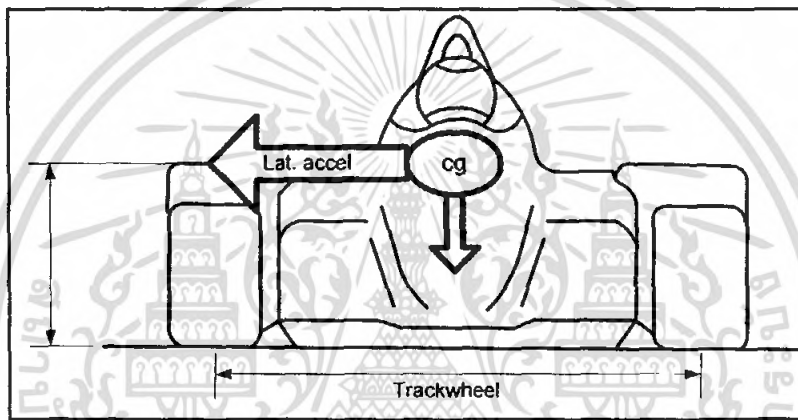
2.3.6 การถ่ายเทภาระตามขวาง

การถ่ายเทภาระตามขวางเกิดขึ้นเมื่อรถวิ่งเลี้ยวโค้ง ขณะที่รถวิ่งทางโค้งจะมีแรงกระทำต่อรถซึ่งเรียกว่าแรงหนีศูนย์กลาง ซึ่งจะมีผลต่อการทรงตัวของรถ อธิบายโดยสมการ

$$LLT_{Side} = \frac{\text{lat. accel} \times \text{force down at axle} \times \text{cg height}}{\text{Track Lateral}} \quad (2.11)$$

$$LLT = (1 \times 320 \times 9.81 \times 25.75) / 1250$$

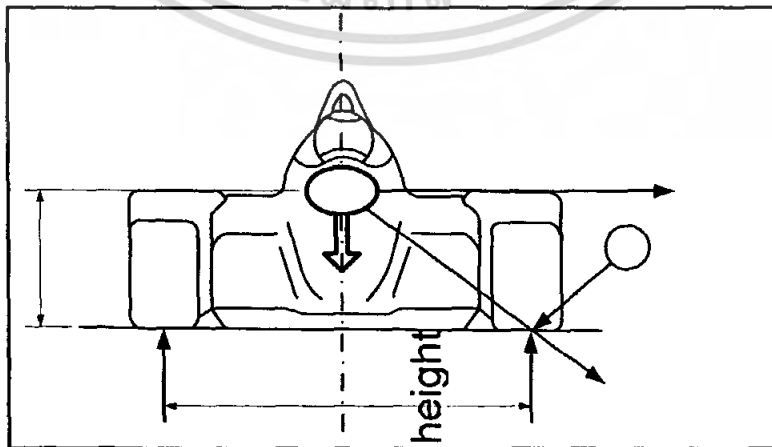
$$LLT = 647.0 \text{ นิวตัน}$$



รูปที่ 2-10 การถ่ายเทภาระตามขวาง

2.3.7 ความเร่งหนีศูนย์กลาง

เมื่อรถเลี้ยวโค้งบนถนนระดับ รถอาจพลิกคว่ำหรือล้อไถลออกนอกถนนได้ การพลิกคว่ำหรือการล้อไถลมีผลมาจากความเร่งหนีศูนย์กลางที่เกิดขึ้นขณะเลี้ยวโค้งนั่นเอง



รูปที่ 2-11 ความเร่งหนีศูนย์กลาง

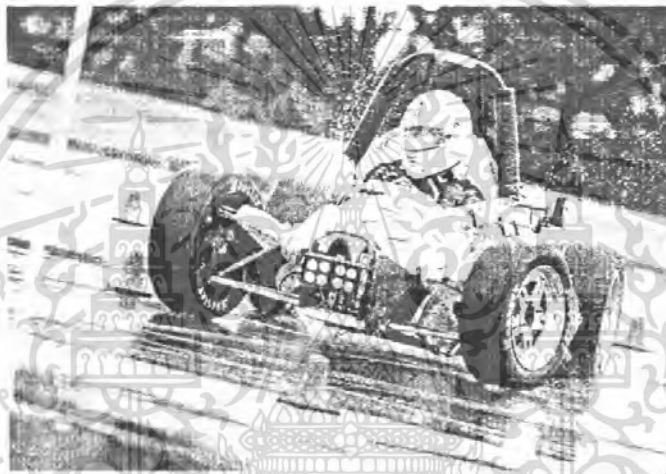
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลรวมโมเมนต์รอบจุด A : $mV^2h/r = mgt/2$ (2.12)

ให้ $r =$ รัศมีการเลี้ยวโค้ง, $h =$ ความสูงจากจุดศูนย์กลางถ่วงถึงพื้น, $t =$ ความกว้างของฐานล้อ
 ความเร่งสู่ศูนย์กลางโค้งคือ $V^2/r = gt/2h = 2.7g$
 เมื่อ $t = 1.35$ เมตร และ $h = 0.25$ เมตร

2.3.8 แรงปฏิกิริยาเมื่อรถเลี้ยวโค้ง

เมื่อมีแรงและความเร่งเกิดขึ้นในขณะที่รถเลี้ยวโค้ง สังเกตได้ว่าเมื่อรถเลี้ยวโค้งจะมีการถ่ายเทแรงให้มีความสมดุลไปทางด้านใดด้านหนึ่งและจะแรงปฏิกิริยาที่ล้อซึ่งส่งผลมายังโครงสร้างของรถ



รูปที่ 2-12 แรงปฏิกิริยาเมื่อรถเลี้ยวโค้ง

แรงปฏิกิริยาขณะรถเลี้ยวโค้งขวา

$$R_L = mg/2 + 2.43gmh/t \quad (2.13)$$

$$= 1569.6 + 1569.6 = 3139.2 \text{ นิวตัน}$$

$$R_R = mg/2 - 2.5gmh/t \quad (2.14)$$

$$= 1569.6 - 1569.6 = 0 \text{ นิวตัน}$$

แรงปฏิกิริยาขณะรถเลี้ยวโค้งซ้าย

$$R_L = mg/2 - 2.7gmh/t \quad (2.15)$$

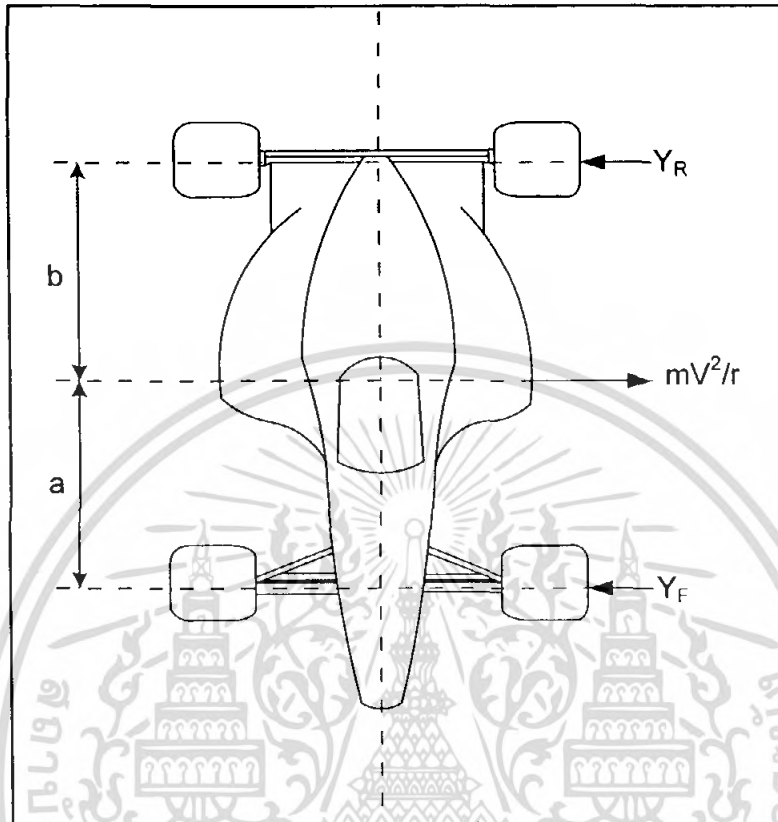
$$= 1569.6 - 1569.6 = 0 \text{ นิวตัน}$$

$$R_R = mg/2 + 2.7gmh/t \quad (2.16)$$

$$= 1569.6 + 1569.6 = 3139.2 \text{ นิวตัน}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.9 แรงกระทำด้านข้างที่กระทำกับล้อหน้าและล้อหลังเมื่อรถเลี้ยวโค้ง



รูปที่ 2-13 แรงกระทำด้านข้างที่กระทำกับล้อหน้าและล้อหลังเมื่อรถเลี้ยวโค้ง

แรงด้านข้างที่ล้อหน้า $Y_f = mgtb/2h(a+b)$ (2.17)

แรงด้านข้างที่ล้อหลัง $Y_r = mgt a/2h(a+b)$ (2.18)

เมื่อการกระจายน้ำหนักตกกลางตัวรถ (ถ้ารถมีมวล 350 kg)

$$Y_f = Y_r = 2.7gm/2 = 4635.23 \text{ นิวตัน}$$

จากการวิเคราะห์การถ่ายเทภาระ พบว่าความสูง (h) มีผลกระทบต่อถ่ายเทภาระ ดังนั้นการออกแบบรถควรจัดระบบต่างๆ ให้จุด cg ต่ำที่สุด

ตารางที่ 3-1 แสดงเส้นผ่านศูนย์กลางและความหนาของท่อที่ใช้ทำอุปกรณ์ต่างๆ

อุปกรณ์ และ ส่วนเสริมต่างๆ	Outside Diameter X Wall Thickness
Main & Front Hoops	1.0 inch (25.4 mm) x 1.99 inch (50.5 mm) or 2.5 inch x 1.75 inch
Front Mount Structure, Front Bulkhead Wall Front Brackets & Downer Mount Attachment Attachment	1.0 inch (25.4 mm) x 0.66 inch (16.8 mm) or 2.5 inch x 1.5 inch
Front Bulkhead Support	1.0 inch (25.4 mm) x 1.49 inch (37.8 mm) or 2.5 inch x 1.5 inch

3.3 การคัดเลือกวัสดุเพื่อใช้ทำเฟรมตามเกณฑ์ต่างๆ

1. ตรงกับเงื่อนไขตามกติกาการแข่งขัน เหล็กและเหล็กกล้าไร้สนิมสามารถใช้กับทุกชิ้นส่วนของเฟรมได้แต่อลูมิเนียมใช้ไม่ได้กับบางส่วนของรถ คือ โครงป้องกันศีรษะคนขับ (Main Hoop)

2. วัสดุต้องหาได้ง่าย เหล็ก เหล็กกล้าไร้สนิม และอลูมิเนียมสามารถหาซื้อได้ทั่วไป ไม่มีอุปสรรคในการจัดหาวัสดุ

3. การพิจารณาในความคุ้มค่าทางการเงิน ใช้มาตรฐานจากราคาในกติกาการแข่งขัน

ตารางที่ 3-2 แสดงราคาต่อน้ำหนักของวัสดุชนิดต่างๆตามกติกา FSAE 2007

Common Materials and Cost Minimums Table	
Mild steel, e.g. 1010, 1025	\$0.30/pound
Alloy steel, e.g. 4130, Chrome Moly	\$0.60/pound
Aluminum	\$0.75/pound
Magnesium	\$2.25/pound
Non-graphite composites	\$88.18/kg (\$40/pound)
Graphite-based composites	\$220.50/kg (\$100/pound)

จากรูปที่ ราคาต่อน้ำหนักของเหล็กต่ำที่สุด และอลูมิเนียมสูงที่สุด เมื่อเปรียบเทียบโลหะสามชนิดคือ เหล็ก เหล็กกล้าไร้สนิม และอลูมิเนียม

4. ความจำเป็นที่จะต้องปรับปรุงคุณภาพโดยใช้ความร้อน เฟรมที่สร้างจากท่ออลูมิเนียมจำเป็นต้องผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพโดยใช้ความร้อนตามมาตรฐานสมาคมการเชื่อมอเมริกา (The American Welding Society) เนื่องจากการเสียหายบริเวณรอยเชื่อมของเฟรมปี 2007

เกิดขึ้นเมื่อทดสอบการใช้งานจริงไปในระยะเวลา 5 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. การปรับปรุงพื้นผิว หรือการเคลือบผิว เหล็กจำเป็นต้องทาสีเพื่อป้องกันสนิมแตกต่างจะ เหล็กกล้าไร้สนิมซึ่งมีความต้านทานการเกิดสนิมส่วนอลูมิเนียมไม่จำเป็นต้องทาสีเช่นกัน

6. คุณสมบัติการเชื่อมที่ต้องการของวัสดุ เหล็กกล้าไร้สนิมมีโอกาสเกิดการแตกในขณะที่ เป็นตัวหลังจากการเชื่อม (Cracking) น้อยกว่าเหล็กคาร์บอน ดังนั้นเพื่อป้องกันการแตกควรให้ ความร้อน (Preheated) ก่อนการเชื่อมเนื่องจากการแตกจะเพิ่มขึ้นตามเปอร์เซ็นต์ของคาร์บอนที่ ผสมอยู่ในเหล็ก

เลือกใช้เหล็กกล้าไร้สนิมเนื่องจากเหตุผลดังต่อไปนี้

1. ผ่านเงื่อนไขกติกาการแข่งขัน FSAE 2007 (การเลือกใช้อลูมิเนียมมีความเป็นไปได้ แต่มีความยากในการสร้างกว่าเพราะต้องต่อเหล็กหรือเหล็กกล้าไร้สนิมกับ อลูมิเนียม)
2. จัดหาวัสดุได้ง่าย
3. ราคาต่อน้ำหนักไม่สูงจนเกินไปอยู่ระหว่างราคาของเหล็กกับอลูมิเนียม
4. ไม่จำเป็นต้องปรับปรุงคุณภาพด้วยความร้อน
5. ไม่จำเป็นต้องทาสีเคลือบผิว
6. การแตก (Cracking) ของรอยเชื่อมมีโอกาสเกิดน้อยกว่าเหล็ก

ตารางที่ 3-3 แสดงเกณฑ์และการเลือกเปรียบเทียบวัสดุ

เกณฑ์	เหล็ก (Steel)	เหล็กกล้าไร้ สนิม	อลูมิเนียม
1. ตรงกับเงื่อนไขกติกาการแข่งขัน	ผ่านเงื่อนไข	ผ่านเงื่อนไข	ไม่ผ่านเงื่อนไข บางข้อ
2. วัสดุค้นหาได้ง่าย	หาง่าย	หาง่าย	หาง่าย
3. การพิจารณาในค่าต้นทุนทางการเงิน	\$ 0.3/pound	\$ 0.6/pound	\$ 0.75/pound
4. ความจำเป็นที่จะต้องปรับปรุงคุณภาพโดย ใช้ความร้อน	ไม่จำเป็น	ไม่จำเป็น	จำเป็น
5. การปรับปรุงพื้นผิว /หรือการเคลือบผิว	จำเป็น	ไม่จำเป็น	ไม่จำเป็น
6. การแตก(Cracking)	เกิด	ไม่เกิด	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 คุณสมบัติของเหล็กกล้าไร้สนิม (Stainless Steel)

Stainless Steel หรือเหล็กกล้าไร้สนิม เป็นเหล็กกล้าผสมโครเมียมและนิกเกิล มีลักษณะเด่นคือ มีลักษณะทางกลที่ดี, ทนต่อการกัดกร่อนและทนความร้อน ซึ่งคุณสมบัติดังกล่าวจะขึ้นอยู่กับส่วนผสม ซึ่งปัจจุบันได้นำเหล็กกล้าไร้สนิมไปใช้งานกันอย่างแพร่หลาย โดยเฉพาะอย่างยิ่งในงานอุตสาหกรรมน้ำมัน อุตสาหกรรมปิโตรเลียม อุตสาหกรรมการต่อเรือและงานดัดรับแรงดันสูง เป็นต้น

เหล็กกล้าไร้สนิม(Stainless Steel) เป็นหนึ่งในกลุ่มของโลหะตระกูลเหล็ก ซึ่งได้มีการนำไปใช้อย่างแพร่หลาย เนื่องจากมีลักษณะพิเศษที่แตกต่างไปจากวัสดุอื่นๆเช่นความต้านทานการกัดกร่อนที่ดี สามารถใช้งานภายใต้อุณหภูมิสูง ลักษณะผิวที่สวยงามและหลากหลาย เหล็กกล้าไร้สนิมไม่เพียงใช้ทำเครื่องครัว สุขภัณฑ์ งานตกแต่งเท่านั้น แต่ยังรวมถึงการนำไปเชื่อมประกอบ เช่น ท่อความดัน ระบบท่อไอเสียรถยนต์ อุปกรณ์ในโรงงานอุตสาหกรรมเคมีและอาหาร เป็นต้น

ธาตุที่พบในเหล็กกล้าไร้สนิม และจุดประสงค์ในการเติม

- โครเมียม (Cr) - เพิ่มความต้านทานการกัดกร่อน(Corrosion Resistance)
 - เพิ่มความต้านทานที่อุณหภูมิสูง(Heat Resistance)
- นิกเกิล(Ni) - เพื่อให้ได้ออสเตนไนต์ที่อุณหภูมิห้อง
 - เพิ่มความต้านทานการกัดกร่อน(Corrosion Resistance)
- คาร์บอน(C) - ลดความต้านทานการกัดกร่อน(Corrosion Resistance)
 - เพิ่มความแข็ง
- แมงกานีส(Mn) - ช่วยให้เกิดออสเตนไนต์ที่อุณหภูมิห้องแต่เป็นพวกUnstable Austenitic
- โมลิบดีนัม(Mo) - เพิ่มความต้านทานการกัดกร่อน(Corrosion Resistance)
- ทิตเนียม(Ti) - เพิ่มความสามารถในการเชื่อม(Weld ability)
- ไนโอเบียม(Nb) - เพิ่มความสามารถในการเชื่อม(Weld ability)
 - เพิ่มความต้านทานการกัดกร่อน(Corrosion Resistance)
- วานาเดียม(V) - ทำให้วัสดุมีความเหนียวเพิ่มขึ้นและการรักษาความแข็งแรงที่อุณหภูมิสูง
- ซิลิกอน(Si) - รักษาความแข็งแรงที่อุณหภูมิสูง
 - เพิ่มความต้านทานการกัดกร่อน(Corrosion Resistance)
- ทองแดง(Cu) - เพิ่มความต้านทานการกัดกร่อน(Corrosion Resistance)

เนื่องจากเหล็กกล้าไร้สนิมมีหลายประเภท โดยแตกต่างกันไปตามส่วนผสมทางเคมี ซึ่งมีผลต่อทั้งโครงสร้างจุลภาค สมบัติเชิงกลและการใช้งาน ซึ่งความสามารถในการเชื่อมของแต่ละกลุ่มก็แตกต่างกันด้วยเหล็กกล้าไร้สนิมสามารถแบ่งตามลักษณะโครงสร้างได้ 4 กลุ่มใหญ่ๆดังนี้

3.4.1 เหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิติก (Austenitic grade)

เป็นชนิดที่มีการนำมาใช้งานมากที่สุดธาตุผสมที่สำคัญคือ โครเมียม-นิกเกิล โดยจะจัดอยู่ในเกรด 200 และ 300 ซึ่งโครเมียมประมาณ 16-25% และนิกเกิลประมาณ 9% (ช่วงของส่วนผสมของ Ni +/-1%) การผสมนิกเกิลทำให้เหล็กกลุ่มนี้ต่างจากกลุ่มเฟอร์ริติกโดยนิกเกิลจะช่วยเพิ่มความต้านทานการกัดกร่อน และทำให้โครงสร้างจุลภาคเป็นออสเทนไนต์ เหล็กกลุ่มนี้บางเกรดจะผสมโครเมียมและนิกเกิลเพิ่มเพื่อให้สามารถทนต่อการเกิดออกซิเดชันที่อุณหภูมิสูง ซึ่งทำให้สามารถใช้เป็นส่วนประกอบของเตาหลอม เหล็กกลุ่มออสเทนนิติกนี้จะทนทานต่อการกัดกร่อนดีกว่าเหล็กกลุ่มเฟอร์ริติกในด้านสมบัติเชิงกล เหล็กกลุ่มออสเทนนิติกจะมีความต้านทานแรงดึงที่จุดคราก(Yield Strength) ใกล้เคียงกับของกลุ่มเฟอร์ริติก แต่จะมีค่าความต้านทานแรงดึง(Tensile Strength) และค่าความยืด(Elongation) สูงกว่าจึงสามารถขึ้นได้ดีมาก เหล็กกล้าไร้สนิมกลุ่มนี้สมบัติที่แม่เหล็กดูไม่ติด(ในสภาพผ่านการอบอ่อน) เช่น เกรด 304, 316L, 321, 301

สิ่งที่ต้องระวังในการเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมกลุ่มนี้คือ ผลของความร้อนที่สูงเกินไปทำให้เกรนขยายและไม่ทนต่อแรงกระแทก เนื่องจากเหล็กกล้าไร้สนิมกลุ่มนี้ขยายตัวได้มากที่อุณหภูมิสูง(High Thermal Expansion) แต่การนำความร้อน(Thermal Conductivity) ต่ำเมื่อเทียบกับเหล็กกล้าคาร์บอน ปัญหาอีกประการ คือ การเกิดโครเมียมคาร์ไบด์บริเวณรอยเชื่อม ทำให้ขาดการสร้างฟิล์มโครเมียมออกไซด์เพื่อป้องกันการเกิดสนิม ดังนั้นบริเวณรอยเชื่อมจะถูกกัดกร่อนได้ง่าย

ตารางที่ 3-4 แสดงส่วนผสมของเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิติก

AISI Type	Carbon	Chromium	Nickel	AISI Type	Carbon	Chromium	Nickel
201	0.15	16.0-18.0	3.5-.5.5	309	0.2	22.0-24.0	12.0-15.0
202	0.15	17.0-19.0	4.0-6.0	309S	0.08	22.0-24.0	12.0-15.0
301	0.15	16.0-18.0	6.0-8.0	310	0.25	24.0-26.0	19.0-22.0
302	0.15	17.0-19.0	8.0-10.0	310S	0.08	24.0-26.0	19.0-22.0
302B	0.15	17.0-19.0	8.0-10.0	314	0.25	23.0-26.0	19.0-22.0
303	0.15	17.0-19.0	8.0-10.0	316	0.08	16.0-18.0	10.0-14.0
303Se	0.15	17.0-19.0	8.0-10.0	316L	0.03	16.0-18.0	10.0-14.0
304	0.08	18.0-20.0	8.0-12.0	317	0.08	18.0-20.0	11.0-15.0
304L	0.03	18.0-20.0	8.0-12.0	321	0.08	17.0-19.0	9.0-12.0
305	0.12	17.0-19.0	10.0-13.0	347	0.08	17.0-19.0	9.0-13.0
308	0.08	19.0-21.0	10.0-12.0	348	0.08	17.0-19.0	9.0-13.0

(ที่มา:รองศาสตราจารย์แมน อมรสิทธิ์, ดร.สมชัย อัครวิทยา “วัสดุอุตสาหกรรม”)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3-5 แสดงสมบัติทางกลของเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิติก

AISI Type	Yield Strength (0.2%offset)		Tensile Strength		Elongation in 2 in (50.8mm),%	AISI Type	Yield Strength (0.2%offset)		Tensile Strength		Elongation in 2 in (50.8mm),%
	ksi	Mn/mPP ²	ksi	Mn/m ²			ksi	Mn/m ²	ksi	Mn/m ²	
201	55	379.2	115	792.9	55	309	45	310.3	90	620.6	45
202	55	378.2	105	724	55	309S	45	310.3	90	620.1	45
301	40	275.8	110	758.5	60	310	45	310.3	95	655	45
302	40	275.8	90	620.6	50	310S	45	310.3	95	655	45
302B	40	275.8	95	655	55	314	5	344.8	100	689.5	40
303	35	241.3	90	620.6	50	316	42	289.6	84	579.2	50
303Se	35	241.3	90	620.6	50	316L	42	289.6	81	558.5	50
304	42	289.6	84	579.2	55	317	40	275.8	90	620.6	45
304L	39	268.9	81	558.5	55	321	35	241.3	90	620.6	45
305	38	262	85	586.1	50	347	40	275.8	95	655	45
308	35	241.3	85	586.1	50	348	40	275.8	95	655	45

(ที่มา: รศ.ดร.ดร.จารย์แมน อมรสิทธิ์, ดร.สมชัย อัครวิทยา “วัสดุอุตสาหกรรม”)

3.4.2 เหล็กกล้าไร้สนิมเฟอร์ริติก (Ferritic grade)

เป็นเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด 400 มีโครเมียม 11-30% และคาร์บอนไม่เกิน 0.12% และไม่มีนิกเกิล เหล็กกล้าไร้สนิมกลุ่มนี้จะมีโครงสร้างจุลภาคเป็นเฟอร์ไรต์และมีสมบัติที่แม่เหล็กสามารถดูดได้ มีค่าความต้านทานแรงดึงที่จุดคราก (Yield strength) และค่าความต้านทานแรงดึง (Tensile strength) ปานกลาง มีค่าความยืดตัว (Elongation) สูง เช่น เกรด 430, 409 เหล็กกล้าไร้สนิมชนิดเฟอร์ริติกมีราคาถูกกว่าเมื่อเทียบกับกลุ่มออสเทนนิติก แต่อาจพบปัญหาเรื่องเกรนหยาบ (Grain coarse) และสูญเสียความแกร่ง (Toughness) หลังการเชื่อม การใช้งาน เช่น ชิ้นส่วนเครื่องซักผ้า ชิ้นส่วนระบบท่อไอเสีย และในบางเกรดจะผสมโครเมียมสูงเพื่อใช้กับงานที่ต้องทนอุณหภูมิสูง งานที่ต้องการความต้านทานต่อการกัดกร่อนจะเกิดสเกลที่อุณหภูมิสูงมากกว่าที่ๆต้องการความแข็งแรงและเป็นแม่เหล็กในทุกสภาวะการณ์ ลักษณะของการเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมชนิดเฟอร์ริติก สิ่งที่ต้องระวังหลายประการ เช่น การโตของเกรนอย่างมากบริเวณที่ได้รับผลกระทบจากความร้อน (Heat affected zone: HAZ) และการเกิดคาร์ไบด์ทำให้รอยเชื่อมเปราะ เพื่อให้ได้รอยเชื่อมของเหล็กหนาที่มีคุณภาพสูง สามารถทำได้โดยการ Preheat ชิ้นงานที่อุณหภูมิ 100-120°C ก่อนเชื่อม และในการเชื่อมต้องควบคุมปริมาณความร้อนให้น้อยที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3-6 แสดงส่วนผสมของเหล็กกล้าไร้สนิมเฟอร์ริติก

AISI Type	Composition(%)			
	Carbon	Chromium	Nickel	Other
405	0.08	13.0	-	-
409	0.08	11.0	-	Ti 6 × C
430	0.12	17.0	-	-
434	0.12	17.0	1.0	-
436	0.12	17.0	1.0	Nb 5 × C
442	0.20	20.5	-	-
446	0.20	25.5	-	-

(ที่มา:รองศาสตราจารย์แมน อมรสิทธิ์, ดร.สมชัย อัครวิทยา “วัสดุอุตสาหกรรม”)

3.4.3 เหล็กกล้าไร้สนิมมาร์เทนซิติก (Martensitic grade)

เป็นเหล็กกล้าไร้สนิมอยู่ในเกรด 400 เช่นเดียวกันแต่ควบคุมคาร์บอนและโครเมียมให้สัมพันธ์กันจนกระทั่งเกิดออสเทนไนท์ที่อุณหภูมิสูงกลายเป็นมาร์เทนไซต์ โดยจะผสมโครเมียมประมาณ 11.5-18% และคาร์บอน 0.1-1% เหล็กกล้าไร้สนิมกลุ่มนี้มีค่าคาร์บอนพอเหมาะสามารถชุบแข็งได้ เหล็กกล้ากลุ่มนี้มีค่าความต้านทานแรงดึงที่จุดคราก (Yield strength) และค่าความต้านทานแรงดึง (Tensile strength) สูงมากแต่มีค่าความยืดตัว (Elongation) ต่ำเช่น เกรด 420 การนำไปใช้งานเช่น ใช้ทำเครื่องมือตัด ชิ้นส่วน มีดและเบร้ง การเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมกลุ่มมาร์เทนซิติกจะแตกต่างจากการเชื่อมในกลุ่มออสเทนนิติกและเฟอร์ริติก โดยโครงสร้างมาร์เทนไซต์ที่แข็งและเปราะ จะมีโอกาสแตกได้หากนำไปใช้งานทันที โดยไม่ได้มีการปรับปรุงโดยความร้อน (Preheat and Post-Heat Treatment) ซึ่งความเสี่ยงของการแตกจะเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณ

ตารางที่ 3-7 สมบัติทางกลของเหล็กกล้าไร้สนิมเฟอร์ริติก

Steel	Yield strength (0.2% offset)		Tensile strength		Elongation in 2 in (50.8 mm.),%
	ksi	Mn/m ²	ksi	Mn/m ²	
Standard					
405	40	275.8	65	448.2	25
409	40	275.8	68.0	468.9	20
429	40	275.8	70.0	482.7	30
430	50	344.8	75	517.1	25
430F	55	379.2	80	551.6	25
430Se	55	379.2	80	551.6	25
434	53	365.4	77	530.9	23
436	53	365.4	77	530.9	23
442	45	310.3	80	551.6	20
416	50	344.8	80	551.6	20
Non Standard					
18-2	43	296.5	68	468.9	37
26-1	50	344.8	70	482.7	30

(ที่มา: รองศาสตราจารย์เม้น อมรสิทธิ์, ดร.สมชัย อัครวิทยา "วัสดุอุตสาหกรรม")

คาร์บอนเพิ่มขึ้น การแก้ปัญหาดังกล่าวทำได้โดย Preheat ที่อุณหภูมิประมาณ 200-300°C และควบคุมความร้อนระหว่างการเชื่อม เพื่อช่วยให้การเย็นตัวของรอยเชื่อมสม่ำเสมอ ทำให้ความเค้นในรอยเชื่อมลดลง และการลดความเสี่ยงจากการแตกร้าว ปัญหาอีกประการหนึ่งที่อาจพบคือ การแตกร้าวที่เกิดจากผลของไฮโดรเจน (Hydrogen embrittlement) สามารถป้องกันโดยการเลือกกระบวนการเชื่อมที่มีไฮโดรเจนต่ำ เช่น TIG หรือ MIG นอกจากนี้การอบชิ้นงาน (Post heat treatment) ที่อุณหภูมิ 650-750°C หลังจากการเชื่อม จะช่วยให้ได้รอยเชื่อมที่มีคุณภาพดี และยังช่วยให้ไฮโดรเจนที่ละลายอยู่ภายในรอยเชื่อมแพร่ออกไปได้อีกด้วย

3.4.4 เหล็กกล้าไร้สนิมดูเพล็กซ์ (Duplex grade)

เป็นเหล็กกล้าไร้สนิมที่มีโครเมียมประมาณ 18-30% และมีนิกเกิลประมาณ 3-9% และมีปริมาณคาร์บอนต่ำ (C<0.03%) จะมีโครงสร้างผสมระหว่างออสเทนไนต์และเฟอร์ไรต์ เหล็กกล้าไร้สนิมดูเพล็กซ์มีความต้านทานแรงดึงใกล้เคียงกับเหล็กกล้าไร้สนิมอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สแตนนิติก และการยึดตัวต่ำกว่าแต่ก็ยังเพียงพอต่อการขึ้นรูปในกระบวนการผลิต ความเหนียวแน่นหรือความสามารถรับแรงกระแทกจะอยู่ระหว่างเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิติก และเฟอร์ริติก

ความต้านทานการกัดกร่อน ส่วนใหญ่ขึ้นอยู่กับปริมาณ Cr, Mo และ Ni โดยทั่วไปเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิติก ทนการกัดกร่อนได้ดีกว่า เกรด 304 และ 316 ถ้ามี 25%Cr และ 3% Mo จะทนต่อการกัดกร่อนในน้ำทะเลได้ดี

ตารางที่ 3-8 แสดงส่วนผสมของเหล็กกล้าไร้สนิมมาร์เทนซิติก

AISI Type	Composition(%)			
	Carbon	Chromium	Nickel	Other
403	0.15	12.2	-	0.5 Si
410	0.15	12.5	-	-
414	0.15	12.5	1.8	12.5-2.5Ni
420	0.15	13	-	1.25 Mn, 0.15 S
422	0.22	12	-	1.5Mo, 0.25 V, 1.0 W
431	0.20	16	1.8	1.25-2.5 Ni
440A	0.72	17	-	0.75 Mo
440B	0.85	17	-	0.75 Mo
440C	0.95	17	1.07	0.75 Mo

(ที่มา:รองศาสตราจารย์แม่ฉิม อมรสิทธิ์, ดร.สมชัย อัครวิทยา "วัสดุอุตสาหกรรม")

ตารางที่ 3-9 สมบัติทางกลของเหล็กกล้าไร้สนิมมาร์เทนซิก

AISI Type	Room Temperature[annealed]					Max Service Temp[F] in Air
	Tensile Strength [1000 psi]	Yield Strength 0.2% [1000 psi]	Elongation 2 in [%]	Hardness Rockwell B	Continuous	Intermittent
403	75	40	35	82	1300	1450
410	75	40	35	82	1300	1450
414	115	90	20	97	1300	1450
416Se	75	40	30	82	1250	1400
420	95	50	25	92	1200	1400
431	125	95	20	24(Re)	1500	1600
440A	105	60	20	95	1400	1500
440B	107	62	18	96	1400	1500
440C	110	65	14	97	1400	1500

(ที่มา:รองศาสตราจารย์เม้น อมรสิทธิ์, ดร.สมชัย อัครวิทยา “วัสดุอุตสาหกรรม”)

ตารางที่ 3-10 แสดงส่วนผสมของเหล็กกล้าไร้สนิมดูเพล็กซ์

AISI Type	Chemical Composition, wt%							Other
	Fe	Cr	Ni	Mo	Mn	Si	C	
329	Rem	26.0	5	1.5	-	-	0.08	-
Ferrarium 225 ^d	Rem	25.5	5.5	3.0	≤2.0	≤2.0	≤0.08	N : 0.1 Cu : 1.75
7Mo ^d	Rem	25.5	3.7	0.5	≤1.0	≤0.75	≤0.08	-
USD	Rem	21.0	7	2.5	≤2.0	≤1.0	≤0.03	N : 0.5 Cu : 0.5
AF22 ^d	Rem	22.5	5.5	3.0	≤2.0	≤1.0	≤0.03	-
25Cr-5Ni-2Mo- Ni	Rem	25.0	5	2.0	0.5	0.8	0.025	N : 0.15 Cu : 1.0
3RE60 ^f	Rem	18.5	4.7	2.7	1.5	1.7	≤0.03	-
SAF2205 ^f	Rem	22.0	5.5	3.0	≤2.0	≤0.8	0.03	-

(ที่มา:รองศาสตราจารย์เม้น อมรสิทธิ์, ดร.สมชัย อัครวิทยา “วัสดุอุตสาหกรรม”)

3.5 สรุปการเลือกวัสดุ

จากข้อมูลต่างๆที่กล่าวไว้ในหัวข้อต้น จึงสรุปว่าใช้เหล็กกล้าไร้สนิม (Stainless Steel) ในการสร้างเฟรมและเลือกใช้เป็น เหล็กกล้าไร้สนิมชนิดออสเทนนิติก เบอร์ 304 ในการสร้าง

เนื่องจากมีคุณสมบัติที่ตรงตามความต้องการและอยู่เงื่อนไขของกฎกติกา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้า เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การออกแบบ

4.1 กระบวนการออกแบบ (Design Process)

กระบวนการออกแบบทางด้านวิศวกรรมศาสตร์จัดเป็นงานที่รวบรวมองค์ความรู้ทางด้านวิทยาศาสตร์, คณิตศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์เข้าด้วยกัน การออกแบบจะเริ่มจากการจากหาจุดมุ่งหมายของการออกแบบซึ่งในโครงการนี้เป็นการออกแบบโครงสร้าง(เฟรม)รถแข่ง(Formula SAE) มีลำดับวิธีและแนวคิดในการออกแบบดังนี้

- กระบวนการสร้างความคิดที่เป็นมโนภาพ(Conceptualization)
- การประเมินความเป็นไปได้ในการสร้าง(Feasibility assessment)
- การตัดสินใจเพื่อดำเนินการออกแบบ(Decision to proceed)

ซึ่งกระบวนการเหล่านี้ได้กล่าวไว้ในบทที่ 4 ที่ผ่านมาแล้วและเมื่อส่วนของการออกแบบเสร็จสิ้นแล้วกระบวนการสร้างจึงเป็นลำดับขั้นตอนต่อไปตามหัวข้อดังนี้

- การพัฒนางานให้เกิดเป็นรูปเป็นร่าง(Development of Work)
- การจัดแจงการออกแบบขั้นต้น(Preliminary Design)
- การสร้างแบบจำลองขนาดจริงและการปรับแก้การออกแบบ(Prototyping and Redesign)
- รายละเอียดการออกแบบทั้งหมด(Detail Design)
- การวางแผนการสร้าง(Construction Planning)
- การสร้างจริง(Construction)

ลำดับขั้นตอนเหล่านี้เมื่อเป็นไปตามเป้าหมายแล้วสิ่งที่จะออกมาจะมีประสิทธิภาพมาก แต่ความเป็นจริงเมื่อลงมือทำงานจริงแล้วหนทางที่ง่ายที่สุดจะเป็นสิ่งที่ดีที่สุดซึ่งอาจมีการเปลี่ยนแปลงลงขั้นตอนบ้างก็เพื่อให้งานออกมามีคุณภาพที่สุด

4.2 การพัฒนางานให้เกิดเป็นรูปเป็นร่าง (Development of Work)

จัดเป็นส่วนที่รวบรวมข้อดีข้อเสียต่างๆจากการออกแบบในขั้นแรก มาปรับปรุงเพื่อให้การดำเนินการต่างๆเป็นไปอย่างต่อเนื่อง หลักสำคัญในการออกแบบโครงสร้างรถคือการจับคู่กันระหว่างขององค์ประกอบขนาดของของรถและส่วนประกอบที่จะนำมาสร้างส่วนอื่นๆให้ออกมาเป็นรถโดยต้องพยายามคิดถึงความเป็นไปได้และให้งานออกมาราบรื่นที่สุด การตัดสินใจควบคุมจัดการและการพัฒนาจะเป็นไปตามชนิดและลักษณะการสร้างของส่วนนั้นๆ การจัดการแผนที่แก้ไขจากการเกิดความผิดพลาดจะต้องดูจากสถานะความสัมพันธ์ระหว่างบริเวณที่แยกออกมาพิจารณาและส่วนที่ต้องการการรักษาร่าง ในส่วนที่แยกจะแยกส่วนของด้านหน้าตรงส่วนหน้า

ของ main hoop และส่วนของด้านหลังตรงส่วนหลังของ main hoop ซึ่งจะทำให้การปฏิบัติออกมาสะดวกขึ้นทั้งการออกแบบและการสร้าง โครงสร้างที่สร้างต้องออกมารับส่วน steering, suspension, power train และ engine อย่างลงตัวซึ่งจะเกี่ยวข้องกับขนาดมิติของรถแข่งที่ออกแบบ

4.3 การจัดแจงการออกแบบขั้นต้น (Preliminary Design)

การหาค่าและตีราคาสิ่งที่ทำการเลือกไว้เป็นการนำไปสู่การออกแบบที่ดีที่สุด การจัดแจงการออกแบบในขั้นต้นนั้นจะรวมทุกระบบไว้ด้วยกันทั้งทรวดทรง ลักษณะภายนอก แบบแผนต่างๆ ต้องจัดการควบคุมตัวแปรต่างๆ ให้ลงตัวโดยตัวแปรที่เกี่ยวข้องมีดังนี้

- กฎในการแข่งขัน(The Formula SAE-A Rules)
- การตั้งข้อบังคับของส่วนประกอบอื่นๆที่จะนำมาสร้างรถ(Constraints Set by Other Components)
- การเงิน(Finance Funding)
- ระยะเวลาในการทำ(Project Timeline)

ขั้นตอนแรกของการออกแบบคือการร่างแบบในโปรแกรมคอมพิวเตอร์เป็นแบบสองมิติ ส่วนของสามมิติจะออกแบบโดยต่อส่วนของด้านเครื่องยนต์และระบบอื่น การออกแบบในส่วนของคนขับในช่องของห้องขับจะวัดจากขนาดรูปร่างจริงของผู้ขับ แล้วพิจารณาความเป็นไปได้ของรูปแบบโครงสร้างที่ออกแบบมา พิจารณาจากความต้องการ, ข้อตกลงและควบคุมตัวแปรเหล่านี้ให้ได้ กระบวนการออกแบบทั้งหมดจะผ่านพ้นไปได้



รูปที่ 4-1 การจัดแจงการออกแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 การสร้างแบบจำลองขนาดจริงและการปรับแก้การออกแบบ (Prototyping and Redesign)

การสร้างแบบจำลองเป็นส่วนเบื้องต้นของการออกแบบเป็นการทำแบบจำลองขนาดของแบบที่ออกแบบไว้เพื่อลองดูขนาดแล้วแก้ไขก่อนที่จะทำการสร้างในขั้นตอนสุดท้าย การสร้างแบบจำลองมีความสำคัญมากเนื่องจากใช้เป็นตัวประเมินสิ่งต่างๆของสิ่งที่ออกแบบไว้ ดูทั้งราคาในการสร้างเมื่อทำการสร้างจริง เป็นตัวช่วยให้การจัดระเบียบความสำคัญของขนาดส่วนประกอบที่จะนำมาสร้างรถแข่งให้สัมพันธ์กันอย่างลงตัว แบบจำลองยังช่วยให้การตัดสินใจแก้ไขปัญหาการเชื่อมต่อของโครงสร้างและการวางส่วนประกอบได้เพราะแบบจำลองจะแสดงสถานะของโครงสร้างให้เห็นอย่างชัดเจน

ส่วนของห้องคนขับในโครงสร้างนั้นยากต่อการออกแบบให้ลงตัวเนื่องจากปัจจัยทางด้าน การออกแบบให้ผู้ขับมีความสะดวกสบายมากที่สุด เป็นเหตุให้มีความยุ่งยากในการวิเคราะห์ ความสัมพันธ์ระหว่างคนขับกับเครื่องยนต์ในการแบ่งพื้นที่กันอย่างเป็นส่วนๆภายใน โครงสร้าง การออกแบบจะใช้คนเป็นศูนย์กลางให้ขนาดของห้องขับมีขนาดห้องขับที่พอดีเป็นส่วนเบื้องต้นของการออกแบบ ที่นั่งภายในจะต้องเป็นขนาดจริงของร่างกายไม่มีส่วนหนึ่งส่วนใดยื่นออกมานอกห้องขับและส่วนประกอบที่เกี่ยวกับการขับต้องออกมาพอดีที่สุดเช่น ระบบ steering, ระบบกันสะเทือนด้านหน้า, แป้นเหยียบและที่นั่งของผู้ขับ ในการทำแบบจำลองก็เพื่อทดสอบถึงขนาดจริง, การเปลี่ยนแปลงแก้ไขและการปรับแต่งให้ออกมาเข้ากันในทุกๆส่วนประกอบ การเสริมและปรับปรุงแบบให้ดีขึ้นจากการทำแบบจำลองนั้นอาจจะมีกำไรเพิ่มเติมหรือลดลงในด้านราคาการสร้าง การแก้ไขการขับสบายขึ้น การจัดระเบียบร่างกายของคนขับทั้งการวางเข้า การวางเท้าบนแป้นเหยียบ การแก้ไข front hoop และ main hoop ให้ตรงกับกติกา ให้มีความปลอดภัยมากขึ้นและให้เป็นอุปสรรคต่อการขับให้น้อยที่สุด



รูปที่ 4-2 การสร้างแบบจำลองจากกระดาษในการจัดวางตัวผู้ขับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาดเห็นนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 รายละเอียดการออกแบบทั้งหมด (Detail Design)

เป้าหมายของส่วนรายละเอียดการออกแบบคือการพัฒนาปรับปรุงระบบจากการวาดแบบและระบุข้อมูลอธิบายรายละเอียดทั้งหมดจากการออกแบบในขั้นตอนนี้จะกล่าวถึงกระบวนการออกแบบในแต่ละส่วนระบุเป็นรายละเอียดของส่วนโครงสร้าง ยังรวมถึงการแสดงส่วนประกอบที่จะนำมาติดตั้งตามการออกแบบและการวางระบบซึ่งจะระบุข้อมูลออกมาบรรยายตามหัวข้อนี้

- การจัดการตัวแปรที่เกิดขึ้น(Operating parameters)
- ความจำเป็นและความต้องการ ในการรักษาบำรุง(Maintenance requirements)
- วัสดุที่ต้องการ(Material requirement)
- ความน่าเชื่อถือในตัวรถ(Reliability)
- อายุการใช้งานต่างๆของวัสดุและสิ่งที่สร้างขึ้น(Product design life)

รายละเอียดของการออกแบบควรจะต้องมีความสมบูรณ์ในรายละเอียดของการวาดองค์ประกอบต่างๆทั้งในส่วนของการผลิตและการวาดการประกอบส่วนต่างๆเพื่อช่วยให้การสร้างโครงสร้างง่ายขึ้น หลักของการวาดจุดสำคัญในการวาดนั้นอยู่การเปลี่ยนแบบจากสองมิติเป็นสามมิติโดยออกมาในรูปของท่อแข็งที่จะนำมาสร้างเป็น โครงสร้าง ซึ่งจะมีความซับซ้อนมากเพราะแสดงถึงการถักโครงสร้างรถให้แข็งแรงและจุดเชื่อมต่อระหว่างท่อเป็นรอยบากและรอยเชื่อม การระบุรายละเอียดนั้นยังเป็นการแบ่งสรรการจัดการออกแบบให้ตรงกับส่วนของกฎในการแข่งขัน formula SAE rule โดยไม่ให้ผิดพลาด การบำรุงรักษาในส่วนของโครงสร้างนั้นเมื่อทำการสร้างเสร็จแล้วมักจะมีการทำน้อยมากเว้นแต่ว่ารอยเชื่อมที่เราเชื่อมจะมีการแตกร้าวถ้าเป็นเช่นนั้นก็ต้องมีการลบรอยเดิมออกแล้วทำการเชื่อมใหม่ซึ่งการเชื่อมต้องขึ้นอยู่กับวัสดุที่เราใช้เพราะว่าวัสดุแต่ละชนิดจะมีลักษณะและคุณสมบัติเฉพาะตัวไม่เหมือนกัน ความมั่นใจและความน่าเชื่อถือต่อโครงสร้างที่สร้างขึ้นมามีสูงเพื่อเป็นตัวรับประกันถ้าเกิดความล้มเหลวเสียหายขึ้น โดยส่วนใหญ่แล้ว โครงสร้างของรถแข่งมักจะต้องมีการชนการปะทะจึงต้องมีการออกแบบเพื่อความปลอดภัยที่สูง(safety factor) โดยในส่วนของรายละเอียดการออกแบบสามารถประกันความปลอดภัยได้ถ้าปฏิบัติตามหลักการสร้างใน formula SAE rule และกฎเกณฑ์การควบคุมที่ได้ตกลงกันไว้ ซึ่งถือว่ามีมารยอมรับกันในเรื่องนี้ แต่อาจมีการเปลี่ยนแปลงคลาดเคลื่อนได้บ้างตอนสร้าง จึงต้องมีการตรวจเช็คในกระบวนการสร้างให้มีความถูกต้อง

การออกแบบโครงสร้างรถฟอร์มูล่าขนาดเล็กให้ได้ความแข็งแรงน้ำหนักเบาและมีความเหมาะสมโดยใช้เวลาสำหรับการออกแบบให้สั้นที่สุดจึงใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบ (CAD) และคอมพิวเตอร์ช่วยทางวิศวกรรม (CAE) ขั้นตอนการออกแบบควรมีแบบจำลองแล้วนำไปสู่การทดสอบ วิเคราะห์ผล และปรับแก้ให้เหมาะสมกับเป้าหมาย

4.6 การออกแบบ (Design)

การออกแบบรถปี 2008 แบ่งเป็นสองส่วนใหญ่ คือ

1. การออกแบบโดยคำนึงถึงมิติของรถ (ใช้ CAD:UGS NX4) การออกแบบโดยคำนึงถึงมิติของรถโดยใช้คอมพิวเตอร์ช่วยลดเวลาในการออกแบบเนื่องจากไม่ต้องเสียเวลาในการแก้ไขแบบ เพียงแต่กำหนดปรับแก้ขนาดใหม่แล้วสามารถเห็นแบบจำลองได้ทันที แต่ขั้นตอนสุดท้ายในการออกแบบยังต้องอาศัยการทำโมเดลขนาดหนึ่งค่อนหนึ่งอีกครั้งเพื่อให้ทราบมิติรถเท่าของจริงและให้เห็นข้อผิดพลาดที่ไม่สามารถพบได้จากการออกแบบโดยคอมพิวเตอร์

2. การออกแบบโดยคำนึงถึงความแข็งแรง (ใช้ CAE:Abaqus 6.7) การออกแบบโดยคำนึงถึงความแข็งแรง อาศัยการวิเคราะห์การเสียหายของวัสดุจากวิชา กลศาสตร์วัสดุและการออกแบบเครื่องจักร เมื่อใช้การคำนวณทางทฤษฎีแล้วสามารถทดสอบความแข็งแรงโดยใช้โปรแกรมไฟไนต์อีลิเมนต์ช่วยในการจำลองการทดลอง เนื่องจากการทดลองจริงนั้นต้องเสียค่าใช้จ่าย และเวลาในการทดลอง มากกว่าการใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในการจำลองการทดลอง การออกแบบมีขั้นตอนทั้งหมดดังนี้

1. กำหนดขนาด
2. สร้างโมเดลขนาดเท่าของจริง
3. วางโครงสร้างโดยคู่อัดด้านขนาด
4. สร้างโมเดลโดยใช้ CAD
5. วิเคราะห์ความแข็งแรงโดยใช้ CAE
6. การปรับปรุงแก้ไข
7. สรุปแบบ

4.6.1 กำหนดขนาด

ขั้นตอนแรกในการออกแบบโครงสร้างคือการกำหนดขนาด ข้อกำหนดด้านขนาดถูกตั้งขึ้นโดยเริ่มจากขนาดที่เล็กที่สุดที่เลือกใช้ เช่น ห้องคนขับที่ต้องให้คนตัวใหญ่ที่สุดนั่งได้ จึงเลือกใช้คนตัวใหญ่ที่สุดเป็นแบบจำลองเพื่อกำหนดขนาด ซึ่งข้อกำหนดขนาดอาจถูกจำกัดโดยทางวิศวกรรมด้วยเช่น ความกว้างของส่วนหน้ารถมีข้อกำหนดโดยควรมีความกว้างน้อยที่สุดเพื่อให้ปีกนกยาวเพิ่มขึ้นทำให้การเปลี่ยนแปลงความกว้างของฐานล้อน้อยลง ทั้งนี้ข้อกำหนดด้านขนาดเป็นการกำหนดมิติเริ่มต้นของตัวรถ นอกจากนั้นแล้วต้องอ้างอิงขนาดจากกติกาการแข่งขันที่ให้กำหนดขนาดขั้นต่ำซึ่งนำมาเป็นค่าเริ่มต้นของรถด้วย คือ

ความยาวฐานล้อ 1,650 มิลลิเมตร

ความกว้างฐานล้อ 1,250 มิลลิเมตร



รูปที่ 4-3 แสดงขนาดตัวคนขับและเครื่องยนต์

4.6.2 สร้างโมเดลขนาดเท่าของจริง

การทำโครงสร้างโดยนำกระดาษแข็งมาพันเป็นท่อขนาดหนึ่งนิ้ว แล้วนำมาทำแบบจำลองโครงสร้าง การทำแบบจำลองของอุปกรณ์อื่นๆ เช่น ถังรถ โช๊คอัพ แบตเตอรี่



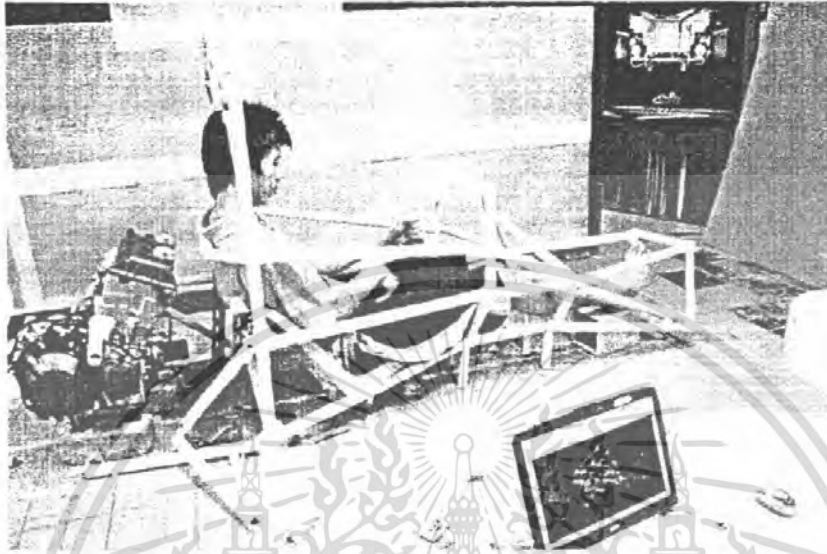
รูปที่ 4-4 แสดงตัวอย่างโมเดลขนาดเท่าของจริง

4.6.3 วางโครงสร้างโดยคู่มือจำกัดด้านขนาด

มีความคล้ายคลึงกับการกำหนดขนาดแต่แตกต่างกัน โดยการอ้างอิงขนาดจากขนาดอุปกรณ์อื่นหรืออุปกรณ์ข้างเคียง เช่น เครื่องยนต์และคนขับต้องการพื้นที่จำนวนหนึ่ง ความยาวฐานล้อหน้าถึงล้อหลังคือ 1,650 มิลลิเมตร จำนวนพื้นที่ที่เหลือสำหรับวางอุปกรณ์อื่น เช่น ถังน้ำมัน แบตเตอรี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นเหยียบ ก็เหลือน้อยลงจำเป็นต้องแก้ไขการจัดวางอุปกรณ์ใหม่ ซึ่งปัญหาที่จัดวางตำแหน่งนี้ถูกแก้ไขโดยการทำวิธีการ Packaging Design ซึ่งทำให้เราเห็นการวางตำแหน่งอุปกรณ์ต่างๆ และยังทราบข้อจำกัดขนาดจริง แล้วแก้ไขและปรับแต่งได้ทันที

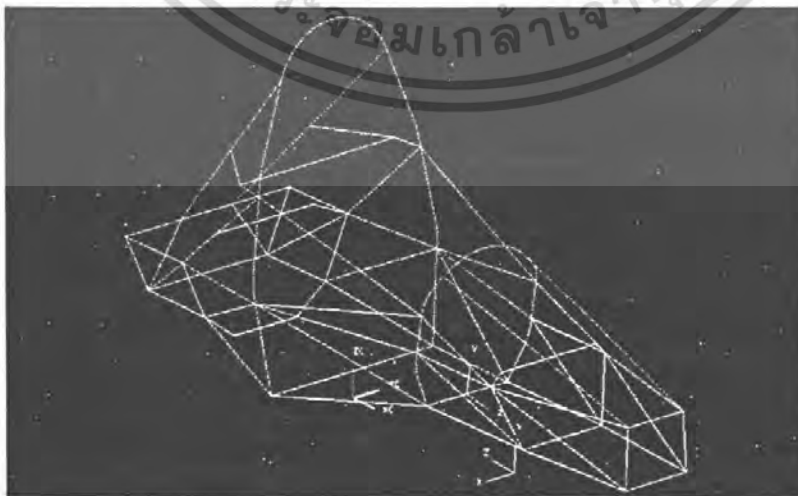


รูปที่ 4-5 แสดงการออกแบบโดยการอ้างอิงขนาดจากอุปกรณ์อื่น

นอกจากต้องคำนึงถึงมิติรถแล้วยังต้องควบคุมความสูงของจุดศูนย์ถ่วง เนื่องจากขนาดของแรงที่กระทำต่อเฟรมขึ้นอยู่กับความสูงของจุดศูนย์ถ่วงด้วย

4.6.4 สร้างโมเดลโดยใช้ CAD

การออกแบบรถปี 2008 ใช้โปรแกรม UGS NX4 ในการทำโมเดลจำลองในคอมพิวเตอร์ โดยการใช้การลากเส้นแบบสามมิติ ตามแบบจริงที่ทำไว้ในขั้นตอนข้างต้น การทำขั้นตอนนี้เป็นการสร้างแบบจำลองสามมิติเพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับการวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์



รูปที่ 4-6 แสดงตัวอย่างเส้นที่ลากในระบบแกนพิกัดฉาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาดเห็นนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6.5 วิเคราะห์ความแข็งแรงโดยใช้ CAE

เป็นการวิเคราะห์ที่มีความสามารถแก้ปัญหาในทางวิศวกรรมและวิทยาศาสตร์ โดยสามารถแก้ปัญหาและปรับปรุงคุณภาพโดยใช้เกณฑ์ทางฟิสิกส์และทำการประดิษฐ์อาจอยู่ในสมการเชิงอนุพันธ์(Differential Equation) และสามารถนำไปวิเคราะห์ทางด้านกรถ่ายเทความร้อน, สถานะความสมดุลของการไหล, ความแข็งแรงของวัสดุ, แก้ปัญหาทางโครงสร้าง ฯลฯ สมการเชิงอนุพันธ์ที่สอดคล้องกับการปัญหานั้นปกติกจะประดิษฐ์ได้ไม่ยากแต่ต้องทำการวิเคราะห์(Analysis Method) นั้นยากมากหรืออาจจะไม่ได้เลยดังนั้นก็จะหาวิธีการผลต่างสี่เหลี่ยม (Finite Difference Method) ก็คือเริ่มเขียนสมการเชิงอนุพันธ์ให้อยู่ในระบบสมการผลต่างสี่เหลี่ยม ข้อดีคือเป็นวิธีที่ง่ายและทำความเข้าใจง่ายและรวมถึงสะดวกในการเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อใช้ในการคำนวณข้อปัญหาต่างๆ แต่ข้อเสียก็คือความยากลำบากในการประยุกต์เพื่อใช้กับปัญหาที่รูปร่างลักษณะซับซ้อนและเหตุความยากลำบากดังกล่าวจึงเกิดการหาผลเฉลยโดยประมาณวิธีใหม่ที่เรียกว่าวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์(Finite Element Method) ในหนังสือบางเล่มเรียกว่าการวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์(Finite Element Analysis)หรือ FEA ซึ่งจะนำไปแก้ไขปัญหารูปร่างลักษณะที่ซับซ้อนวิธีการคล้ายกับวิธีการคล้ายกับวิธีผลต่างสี่เหลี่ยม โดยเริ่มจากการแบ่งตารางออกเป็นหลายๆชิ้นหรือหลายๆ เอลิเมนต์

ก่อนที่จะทำการวิเคราะห์จะต้องแบ่งเป็นจำนวนโดยการวิเคราะห์เป็นระบบย่อยหรือส่วนประกอบนั้นเป็นคุณสมบัติการศึกษาความเข้าใจแล้วจะแบ่งเป็นระบบย่อยเรียกว่าไฟไนต์เอลิเมนต์ซึ่งจะไม่เกิดการซ้อนกันและไม่เกิดช่องว่างระหว่างนั้นๆไฟไนต์เอลิเมนต์จะใช้สำหรับขอบเขตที่เหมือนและคุณสมบัติก็เปลี่ยนไปจะแสดงความเรียบของผิวโดยกำหนดเช่นฟังก์ชันเส้นผ่านศูนย์กลางเป็นแบบเอลิเมนต์หลายๆชนิดชนิดละ 3 จุดจะเป็นรูปเหลี่ยมและจะใช้เส้นผ่านศูนย์กลางเป็นผิว โดยการประมาณ โดยเป็นมุมเหลี่ยมผิวเรียบถ้าเป็น 4 จุดและ 8 จุดจะเป็นรูปเหลี่ยมเอลิเมนต์จะผิวโค้งและสามารถหาค่าประมาณที่แท้จริงของฟังก์ชันเป็นค่าประมาณสามารถปรับปรุงโดยเอาเอลิเมนต์มาให้มากขึ้นในคร่าวๆ นี่เป็นความคิดเริ่มแรกของวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์โดยนำเอาชิ้นส่วนเล็กๆ มาหาค่าประมาณของฟังก์ชันตัวอย่างซึ่งจะกำหนดขอบเขตเล็กๆของเอลิเมนต์ในพจน์ของค่าฟังก์ชันที่จุดเอลิเมนต์

ขั้นตอนของการวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์เป็นไปตามหัวข้อข้างล่างนี้

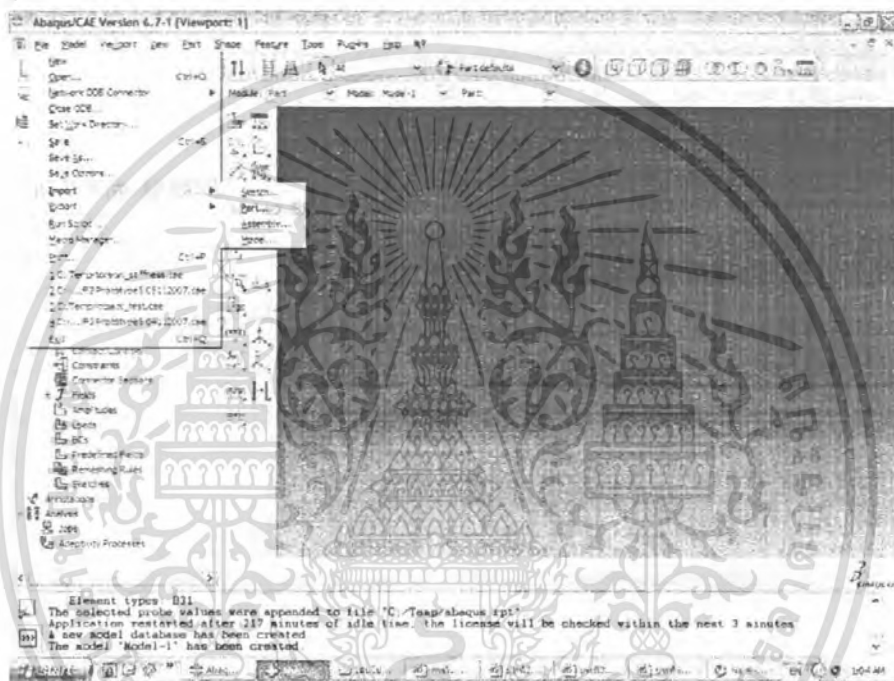
1. การวิเคราะห์ของขอบเขตปัญหาข้างในไฟไนต์เอลิเมนต์
2. เลือกจุดที่เปลี่ยนแปลงและใส่เอลิเมนต์เข้าฟังก์ชัน
3. หาค่าของคุณสมบัติแต่ละเอลิเมนต์
4. รวบรวมของระบบสติฟเนสเมตริก (Stiffness Matrix)
5. สภาวะเงื่อนไขขอบเขต
6. แบบของชนิดแรงทิศทาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. การแก้สมการของสมการระบบเมตริกสำหรับจุดที่เลื่อนเปลี่ยนแปลง
8. การคำนวณเพิ่มเติมสำหรับค่าความเค้น

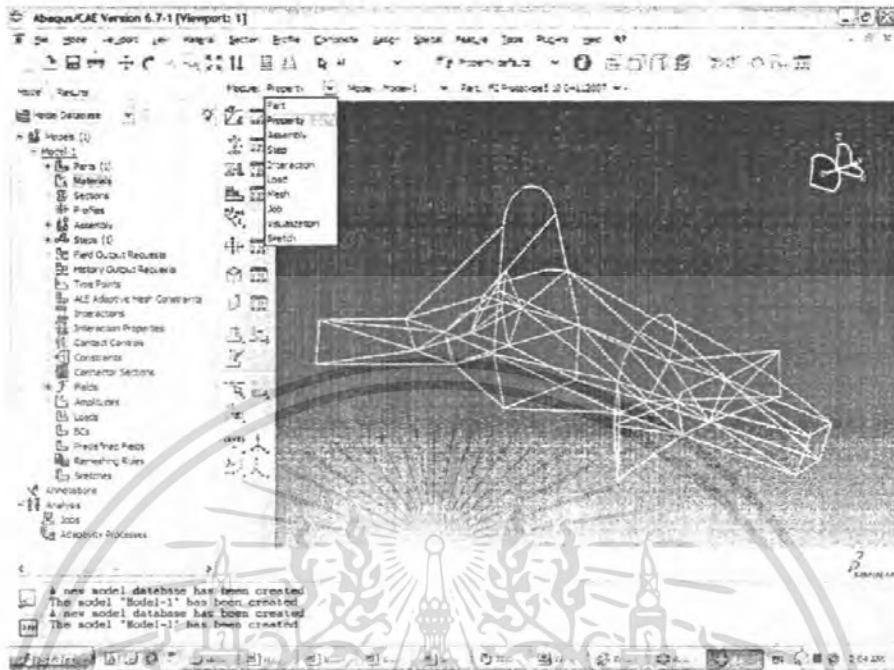
ขั้นตอนการทำ CAE สำหรับการออกแบบรูปปี 2008 เลือกใช้โปรแกรม Abaqus 6.7 ช่วยในการออกแบบ ซึ่งมีตัวอย่างการใช้งานดังนี้

1. นำไฟล์แบบจำลองที่สร้างจากโปรแกรม UGS NX4 ในนามสกุล .igs มาเปิดโดยเลือก File, import, part ตามลำดับ



รูปที่ 4-7 แสดงการเปิดไฟล์ .igs

2. กำหนดคุณสมบัติของวัสดุ โดยเลือก Module เป็น Property



รูปที่ 4-8 แสดงการเลือก Module เป็น Property

3. กำหนดคุณสมบัติวัสดุ คลิก Create Material

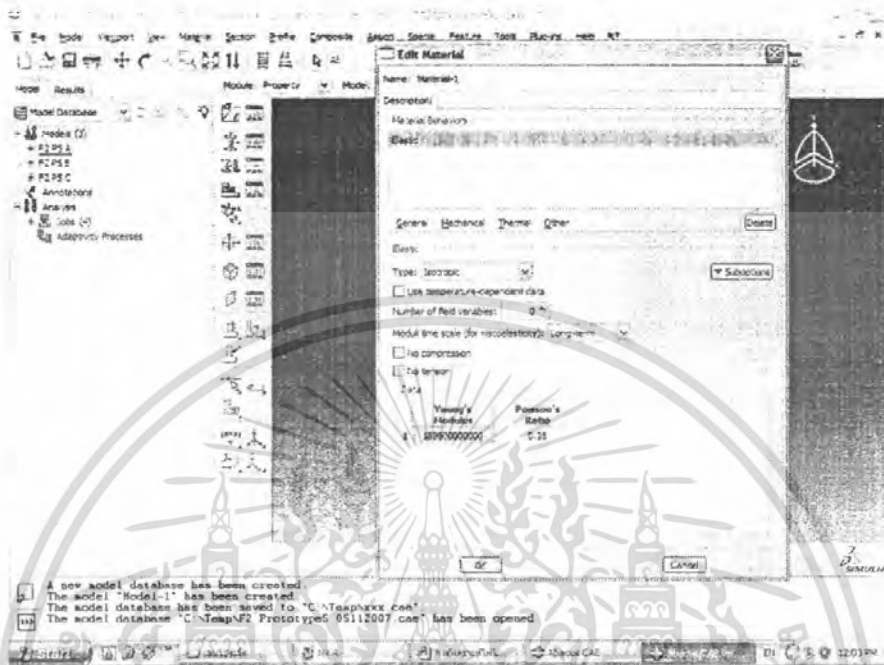


รูปที่ 4-9 แสดงการกำหนดวัสดุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

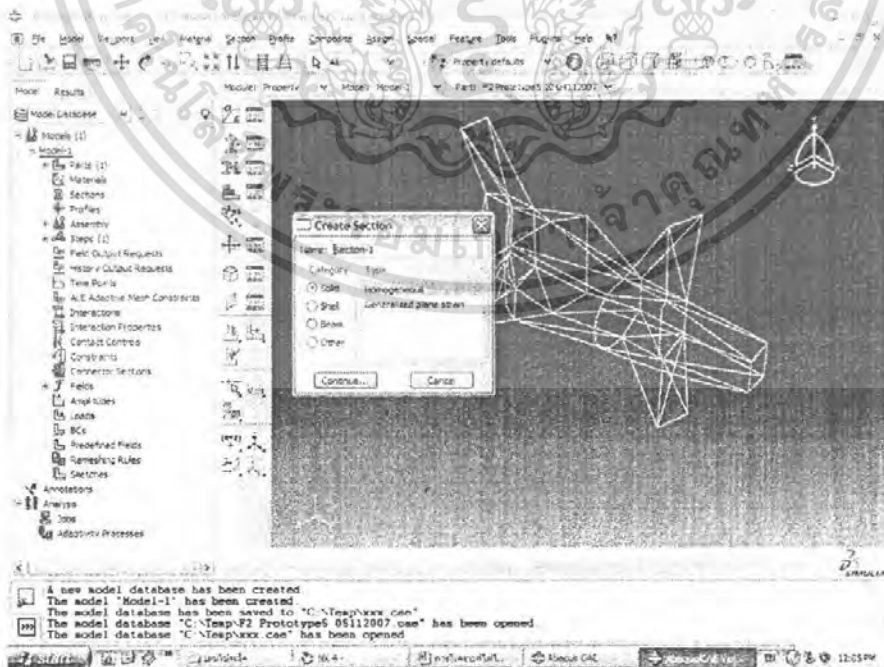
คลิก Mechanical → Elasticity → Elastic

ใส่ค่า Young's Modulus เป็น 189×10^9 ปาสกาล และ Poisson's ratio เป็น 0.3



รูปที่ 4-10 แสดงการใส่ค่า Young's Modulus และ Poisson's ratio

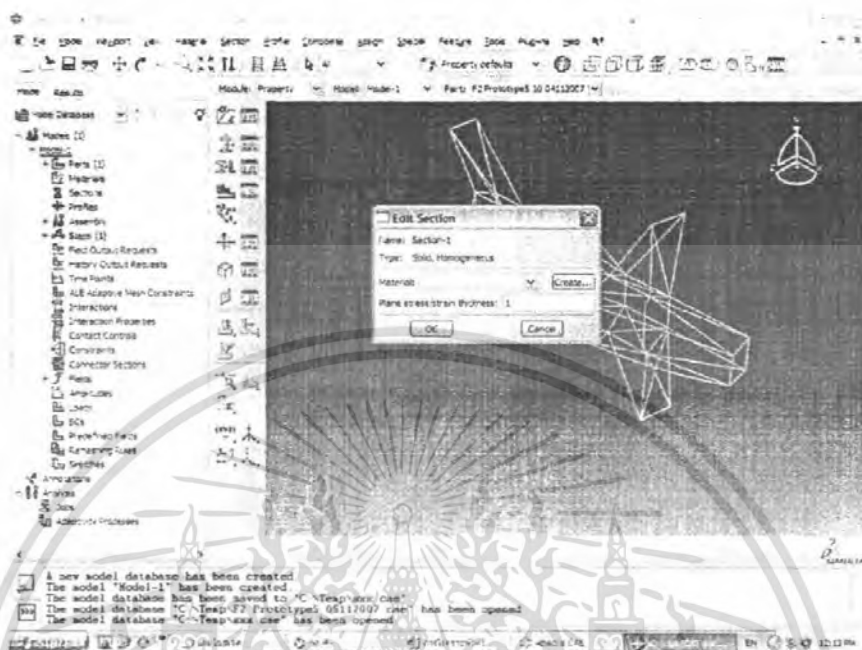
4. สร้าง Section โดยคลิกไอคอน Create Section



รูปที่ 4-11 แสดงการสร้าง Create Section

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เลือก Category เป็น Solid และ Type เป็น Homogenous แล้วคลิก Continue...



รูปที่ 4-12 แสดงการเลือก Material: (เป็นชื่อของ Material ที่สร้างขึ้นในข้อ 3.)

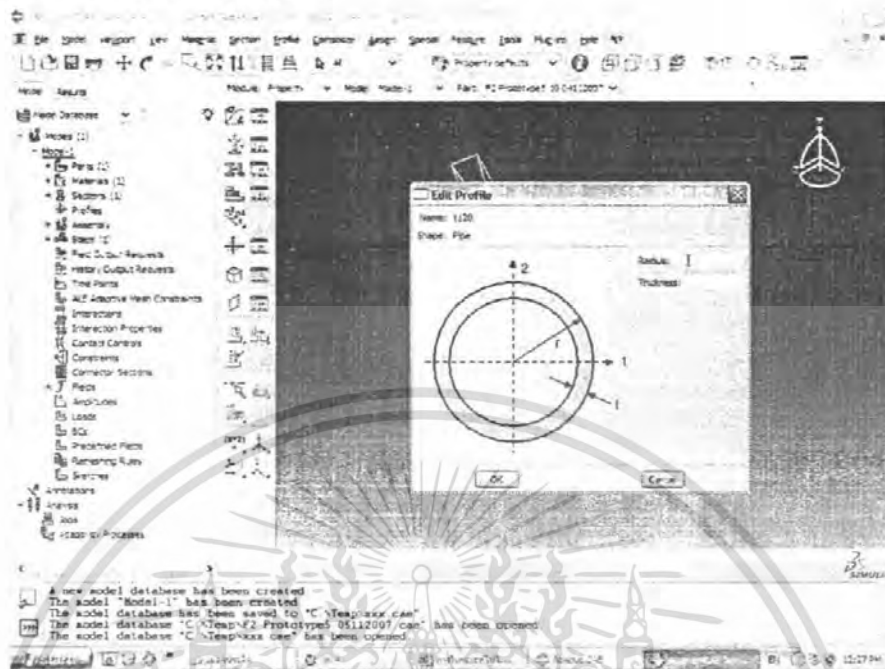
5. สร้าง Profile โดยคลิก Create Profile จากนั้นได้ชื่อแล้วเลือก Shape เป็นแบบ Pipe



รูปที่ 4-13 แสดงการสร้าง Profile

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. ใส่อำนาจและความหนาของท่อ



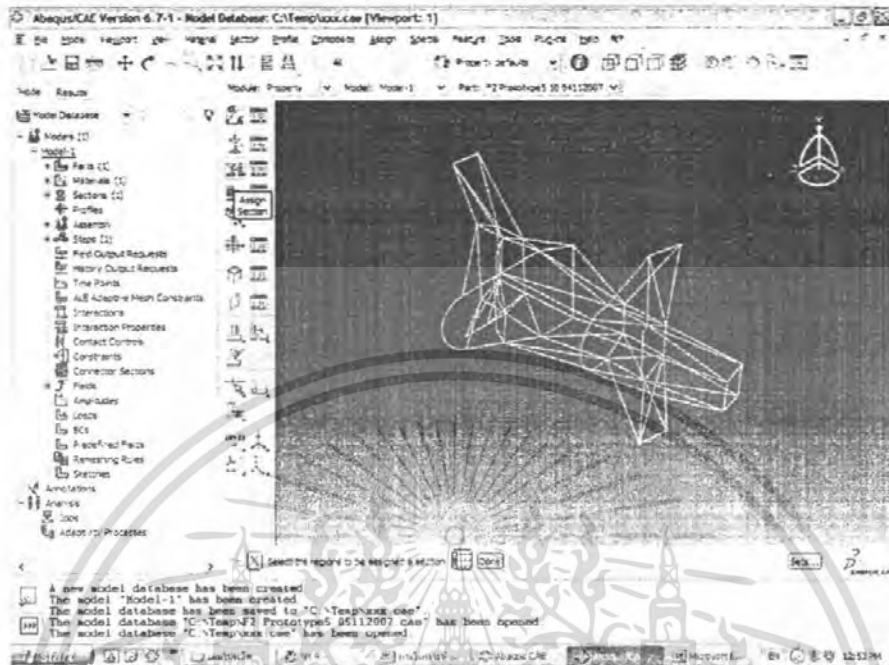
รูปที่ 4-14 แสดงการใส่อำนาจ และความหนาของท่อ

การสร้าง Profile เป็นการสร้างท่อ Stainless ขนาดต่างๆ ที่จะใช้สร้างรถซึ่งมีรายละเอียดต่อไปนี้

ตารางที่ 4-1 แสดงรายการ Profile ของท่อ Stainless

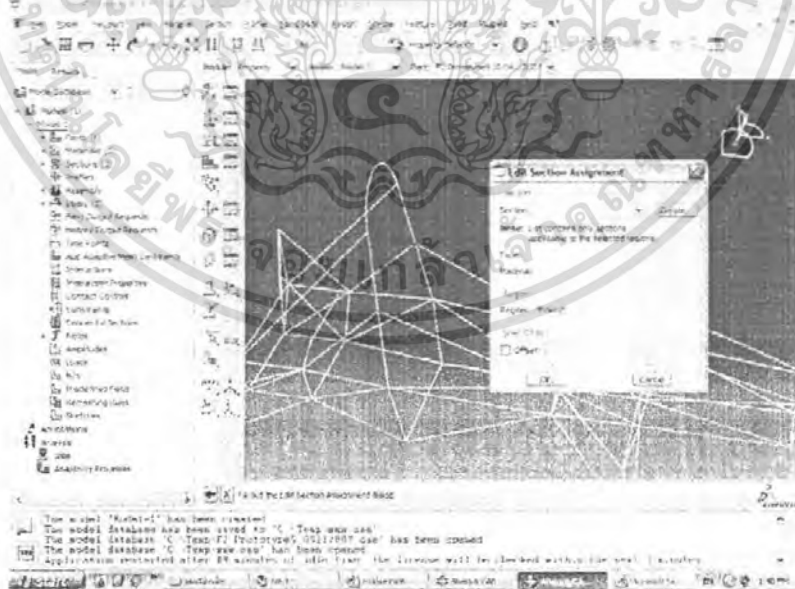
ชื่อ	รัศมี(เมตร)	ความหนา(เมตร)
t120	0.0254	0.003
t150	0.0254	0.003
t200	0.0254	0.003
t300	0.0254	0.003

7. กำหนดขนาดท่อให้เฟรมแต่ละชั้น



รูปที่ 4-15 แสดงการกำหนดขนาดท่อให้เฟรมชั้นต่างๆ

เลือกเฟรมที่ต้องการกำหนดขนาดแล้วคลิก Done



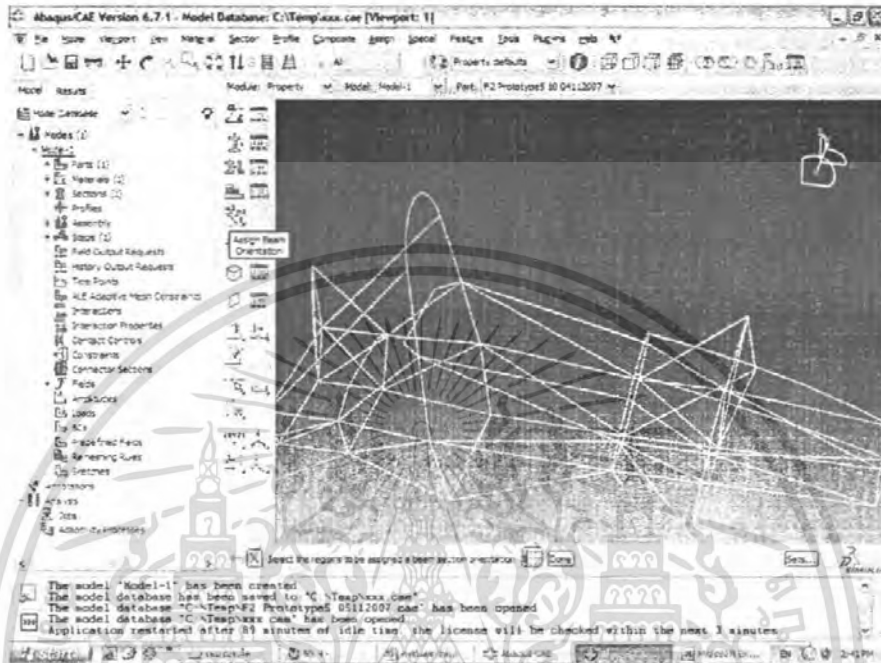
รูปที่ 4-16 แสดงการกำหนดขนาดให้เฟรมต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เลือกชื่อของ Section ที่สร้างไว้ในข้อ 7

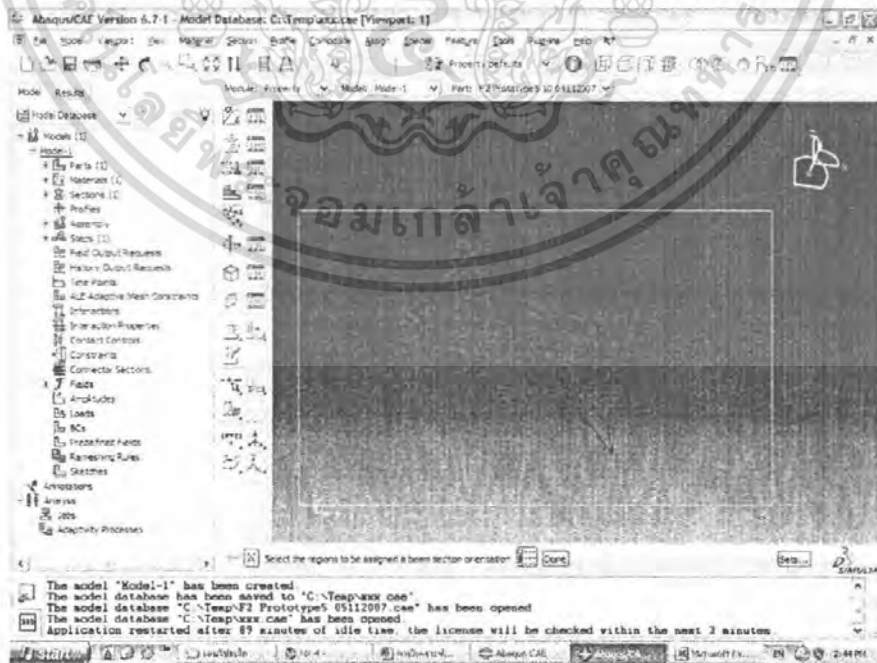
8. กำหนดเฟรมให้ได้ขนาดต่างจนครบทั้งหมด

9. กำหนดทิศทางของแกนต่อแต่ละชั้น คลิก Assign Beam Orientation



รูปที่ 4-17 แสดงการกำหนดทิศทางแกนของท่อ

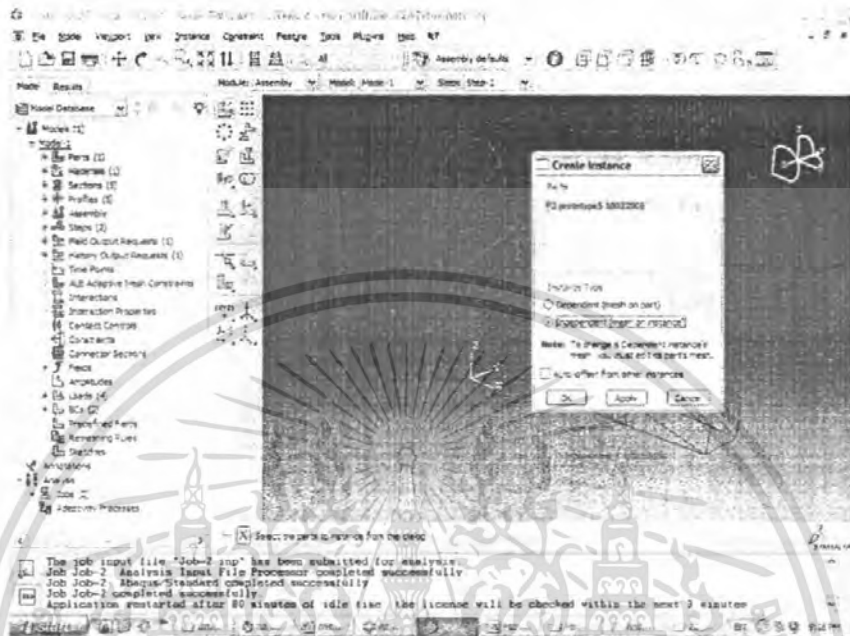
เลือกเฟรมทุกชั้นให้หมด แล้วขึ้นเฟรมเปลี่ยนเป็นสีแดง แล้วคลิก Done



รูปที่ 4-18 แสดงเฟรมที่ถูกเลือกให้กำหนดทิศทางของแกนต่อ

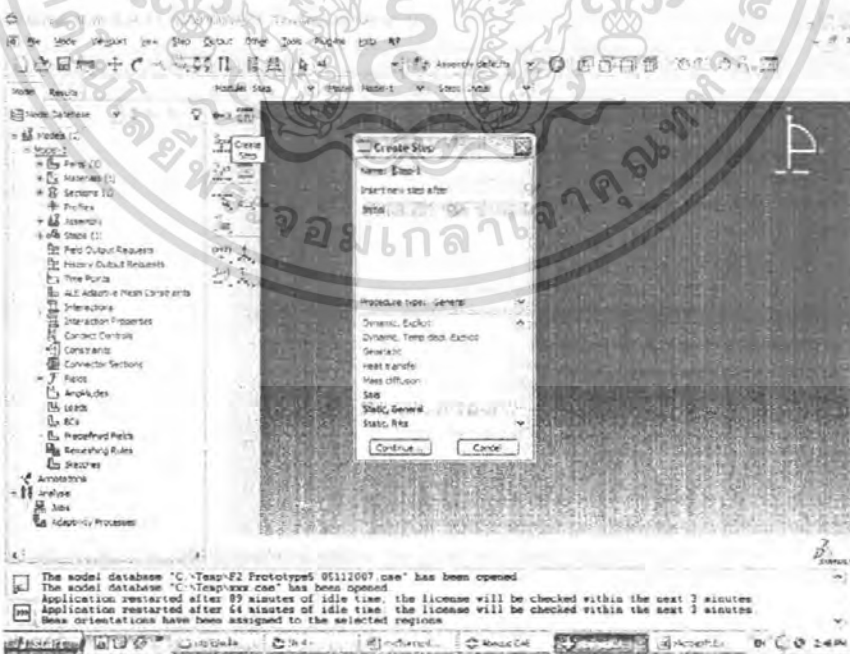
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

10. การประกอบ Assembly โดยเปลี่ยน Module เป็น Assembly แล้วคลิก Instance Part ใน Instance Type เลือก Independent (mesh on instance) คลิก OK



รูปที่ 4-19 แสดงการประกอบ Assembly

11. กำหนด Step เลือก Module ให้เป็น Step จากนั้นคลิก ไอคอน Create Step



รูปที่ 4-20 แสดงการสร้าง Step

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เลือก Procedure Type เป็น General แล้วเลือก Static, General แล้วคลิก Continue... จากนั้นปล่อยให้ทุกอย่างเป็นค่าเริ่มต้นที่โปรแกรมกำหนด แล้วคลิก OK

12. การสร้าง Field Output ในการทดสอบครั้งนี้ถูกสร้างโดยทันทีหลังจากการสร้าง Step ในขั้นตอนที่ 10

13. การใส่ภาระและเงื่อนไขค่าขอบ (Load และ Boundary Condition) เลือก Module ให้เป็น Load จากนั้นคลิกไอคอน Create Load



รูปที่ 4-21 แสดงการกำหนดค่าสำหรับใส่ภาระ

ในหัวข้อ Category ให้เลือก Mechanical แล้วเลือก Concentrated force แล้วคลิก Continue

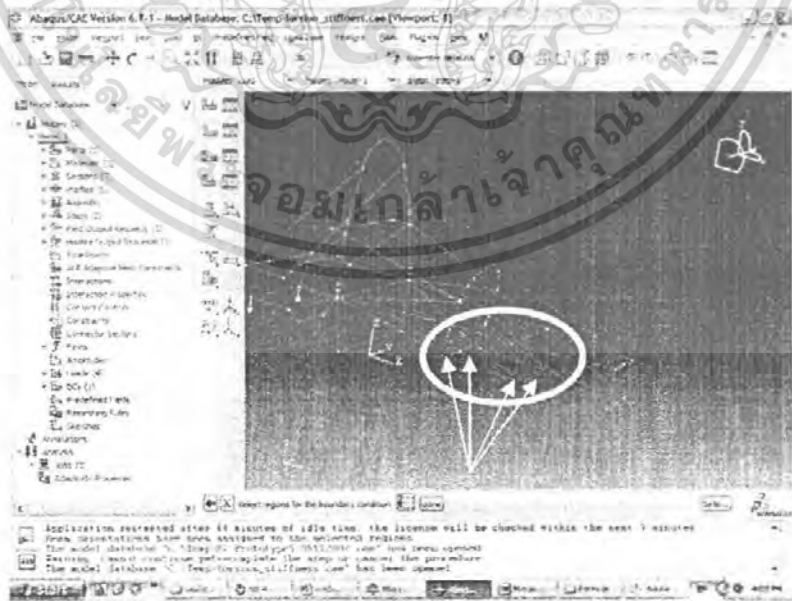
จากนั้นเลือกตำแหน่งที่ต้องการกำหนดภาระ (Load) ดังรูปที่ 4-21 และใส่แรง-367.875 นิวตัน ในช่อง CF3: ในการทดสอบครั้งนี้ต้องการทดสอบการตัดโดยใช้น้ำหนักถ่วงบริเวณท้ายเฟรม

14. การกำหนด Boundary condition คลิกไอคอน Create Boundary Condition



รูปที่ 4-22 แสดงการกำหนด Boundary Condition

ในหัวข้อ Category ให้เลือก Mechanical และเลือก Symmetry/Antisymmetry/Encast แล้วคลิก Continue เลือกจุดที่ต้องการยึดให้โครงรถอยู่นิ่ง ในการทดสอบนี้เลือกให้ฐานปีกนกหน้า ด้านล่าง 4 จุดถูกยึดไว้ตามรูป



รูปที่ 4-23 แสดงการจับยึดบริเวณฐานปีกนกด้านล่าง 4 จุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากนั้นคลิก Done

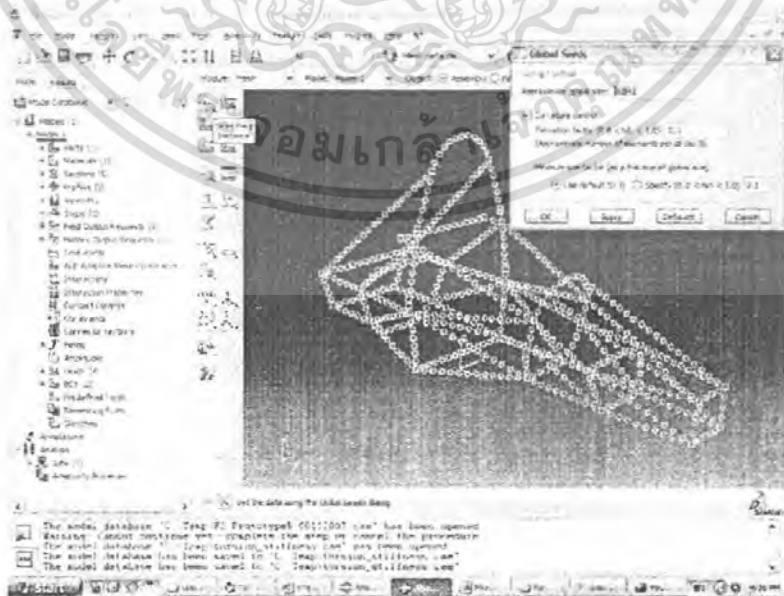


รูปที่ 4-24 แสดงการเลือกชนิดของ Boundary Condition

เลือก ENCASTRE ($U_1=U_2=U_3=UR_1=UR_2=UR_3=0$) แล้วคลิก OK

15. การกำหนดค่าใน Module Mesh

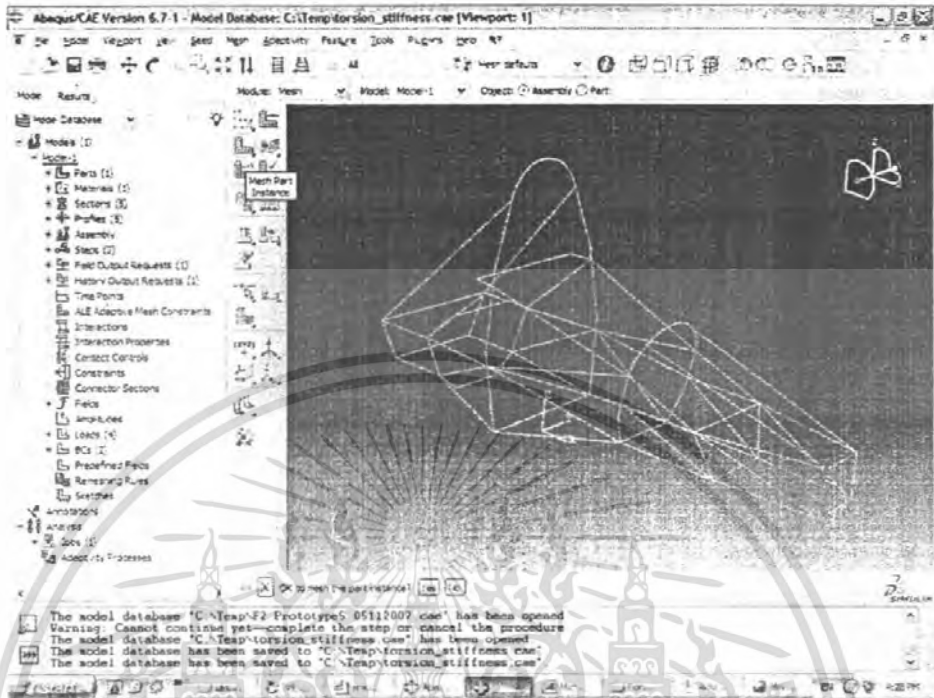
15.1 การ Seed Part Instance ให้คลิกที่ไอคอน Seed Part Instance แล้วยอมรับค่ากำหนดเริ่มต้นของโปรแกรม แล้วกด OK



รูปที่ 4-25 แสดงการ Seed Part Instance

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

15.2 การ Mesh Part Instance คลิกที่ Mesh Part Instance แล้วคลิก Yes



รูปที่ 4-26 แสดงการ Mesh Part Instance

15.3 การกำหนดชนิดของ Element คลิก Assign Element Type จากนั้นเลือก เพรททั้งหมด แล้วกด Done



รูปที่ 4-27 แสดงการเลือกชนิดของ Element

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

15.3.1 หัวข้อ Element Library เลือก Standard

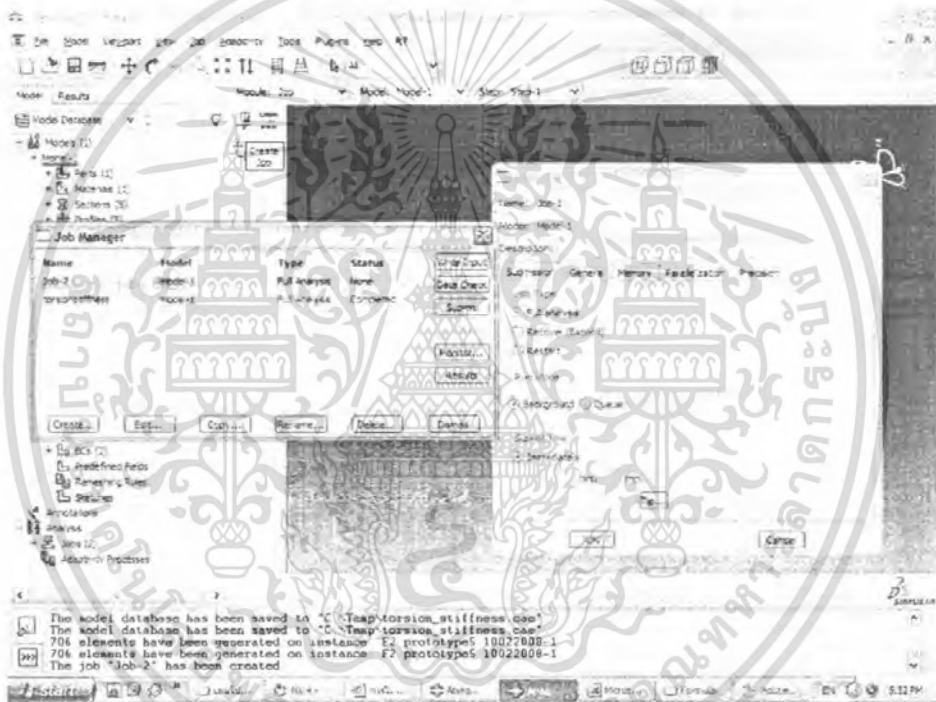
15.3.2 หัวข้อ Geometric Order เลือก Linear

15.3.3 หัวข้อ Family เลือก Beam

15.3.4 หัวข้อ Element Control ให้เป็นค่าเริ่มต้นของโปรแกรม

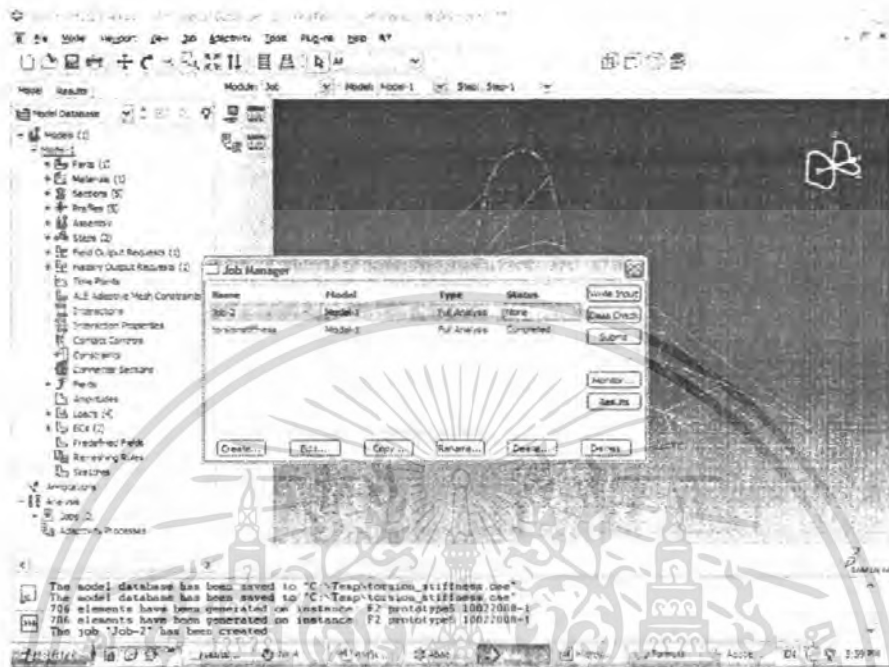
16. การสร้าง Job ซึ่งคือการกำหนดค่าก่อนสั่งให้โปรแกรมทำการคำนวณ เปลี่ยน Module เป็น Job

คลิกไอคอน Create Job ใส่ชื่อแล้ว คลิก Continue จากนั้นจะปรากฏหน้าต่างให้ใส่ค่าต่างๆ แคปปล่อยให้เป็นค่าเริ่มต้นของโปรแกรม แล้วคลิก OK



รูปที่ 4-28 แสดงการใส่ค่าสำหรับ Job

17. การใช้ Job Manager เพื่อสั่งการคำนวณ คลิกไอคอน Job Manager แล้วกด Submit โปรแกรมจะทำงาน



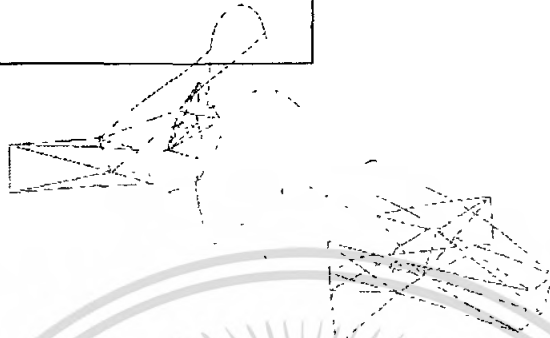
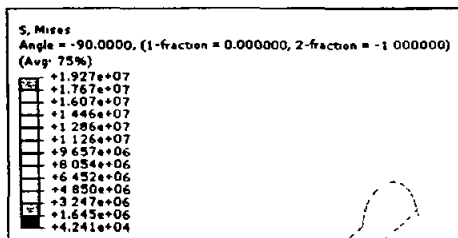
รูปที่ 4-29 แสดงการสั่งการทำงานของโปรแกรม

18. การแสดงผลเมื่อ Job มีสถานะ Completed คลิก Results จะเข้าสู่ Visualization Module

19. ข้อข้างต้นเป็นวิธีการใช้โปรแกรม Abaqus 6.7 เมื่อมีการแสดงผลโดยปกติสีที่เป็นสีแดง สีส้ม และสีเหลือง เป็นสีที่ให้อำนาจความเครียดสูงกว่า ดังนั้นอาจต้องเปลี่ยนแบบเพื่อหลีกเลี่ยงการเกิดตำแหน่งที่เกิดความเครียด

4.6.6 การปรับปรุงแก้ไข

การปรับปรุงแก้ไข ผลจากการจำลองการทดลองในคอมพิวเตอร์ต้องอาศัยการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างหลายแบบโดยเงื่อนไขการทดลองยังคงเหมือนเดิม การเปรียบเทียบผลโดยเลือกโครงสร้างที่ให้อำนาจความเค้นวอนมิส (Von Mises Stress) ต่ำที่สุด การเปลี่ยนแปลงแบบจำลองเพื่อเพิ่มความแข็งแรงอาจทำได้โดยการเพิ่มโครงสร้างแบบสามเหลี่ยมตามบทที่ 2



OOB accT200A odb Abaqus/Standard Version 6.7-1 Mon Nov 05 03 28 14 SE Asia Standard Time 2007

Step: Step-1
 Increment 1: Step Time = 1.000
 Primary Var: S, Mises
 Deformed Var: U, Deformation Scale Factor = +6.086e+02

รูปที่ 4-30 แสดงผลการจำลองการทดลองการตัดตามยาว

รูปข้างต้น แสดงค่าความเค้นวอนมิส (Von Mises Stress) ได้ 1.927×10^7 ปาสคาล ซึ่งเป็นค่าที่น้อยที่สุดในการทดสอบ เมื่อคำนวณค่าตัวประกอบความปลอดภัย โดยค่า yield strength ของ Stainless steel 304 เป็น 276 เมกะปาสคาล[4]

$$n = \frac{\sigma_y}{\sigma_{v,mises}}$$

$$n = \frac{273 \times 10^6 \text{ Pa}}{19.27 \times 10^6 \text{ Pa}} ; \text{Pa} = \text{ปาสคาล}$$

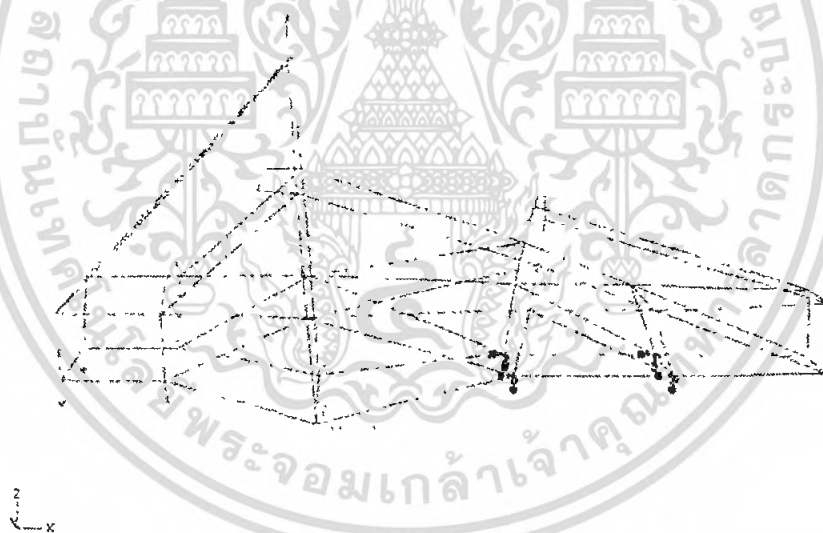
$$n = 14.3$$

จากการทดลอง โครงสร้างในเงื่อนไขการรับแรงตัดจากการเร่งความเร็วและการลดความเร็วให้ความเสียหายเนื่องจากเกิดความเค้นวอนมิส (Von Mises Stress) สูงกว่าเงื่อนไขการรับแรงตัดจากการวิ่งเฉื่อยโค้งด้วยความเร็วคงที่

ตารางที่ 4-2 แสดงค่าตัวประกอบความปลอดภัยของโครงสร้างแบบต่างๆ

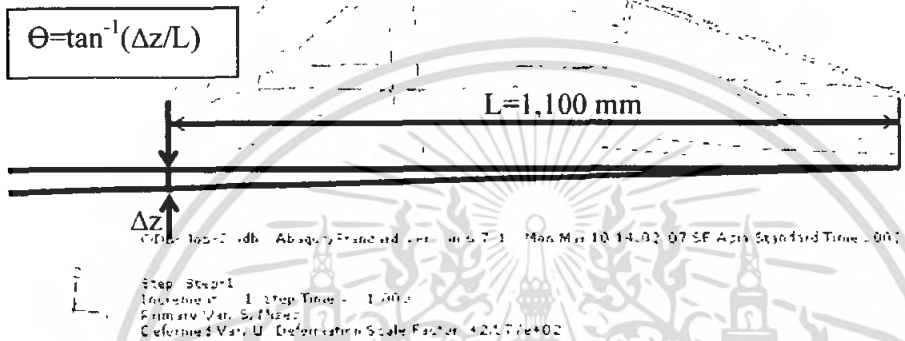
การทดลอง	แบบที่	Von Mises Stress (Pa)	Factor of safety
รับภาระตัดตามยาว	1	1.93×10^7	14.3
	2	2.21×10^7	12.5
	3	2.50×10^7	11.0
รับภาระตัดตามขวาง	1	1.80×10^7	15.3
	2	2.05×10^7	13.5
	3	2.38×10^7	11.6

4.7.1 การหาค่า Longitudinal rigidity (ใช้ในการทดสอบเท่านั้น)



รูปที่ 4-31 แสดงการจับยึดและใส่ภาระน้ำหนัก (Boundary Condition) สำหรับ Bending rigidity

Efficacy	
*Multiple section points	
A. = 755.7	
█	+1.125e+07
█	+1.945e+07
█	+1.770e+07
█	+1.595e+07
█	+1.419e+07
█	+1.243e+07
█	+1.067e+07
█	+8.91e+06
█	+7.092e+06
█	+5.311e+06
█	+3.491e+06
█	+1.770e+06
█	+3.921e+02



รูปที่ 4-32 แสดงผลการจำลองการสอบ Longitudinal rigidity

จากการจำลองการทดสอบ Longitudinal rigidity

ระยะจากจุดอ้างอิงถึงจุดที่น้ำหนักตก 687 นิวตัน (75.5 กิโลกรัม) คือ 1,100 มิลลิเมตร ได้โมเมนต์ 755.7 นิวตันเมตร

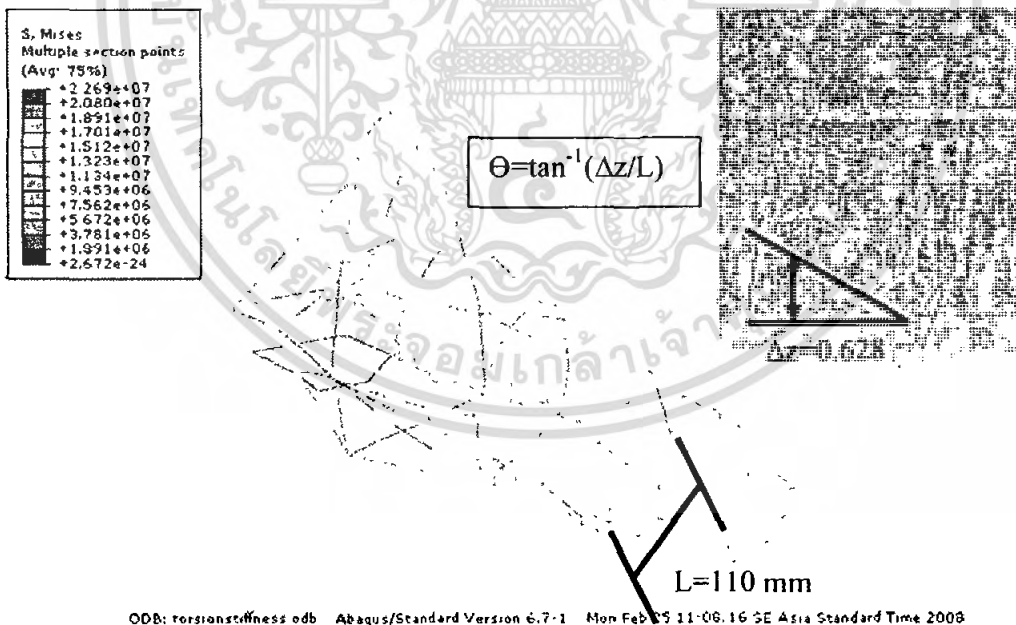
จุดที่น้ำหนักตกมีระยะเลื่อนลง 0.75 มิลลิเมตร ดังนั้นมุมที่เปลี่ยนแปลงไป คือ 0.039° ดังนั้น Longitudinal rigidity ได้เท่ากับ 19,377.0 นิวตันเมตร/องศา

4.7.2 การหาค่า Torsional rigidity (ใช้ในการทดสอบเท่านั้น)

1



รูปที่ 4-33 แสดงการจับยึดและใส่ภาระน้ำหนัก (Boundary Condition) สำหรับ Torsional rigidity



Steps Step-1
Increment 1: Step Time = 1.000
Primary Var: S, Mises
Deformed Var: U Deformation Scale Factor: +1.659e+02

รูปที่ 4-34 แสดงผลการจำลองการสอบ Torsional rigidity

จากการจำลองการทดสอบ Torsional rigidity

ระยะจากจุดอ้างอิงถึงจุดศูนย์กลางของแรงคู่ควบ 1,000 นิวตัน คือ 110 มิลลิเมตร ได้
โมเมนต์ 220 นิวตันเมตร

จุดที่น้ำหนักคกมีระยะเลื่อนลง 0.628 มิลลิเมตร ดังนั้นมุมที่เปลี่ยนแปลงไป คือ 0.327°

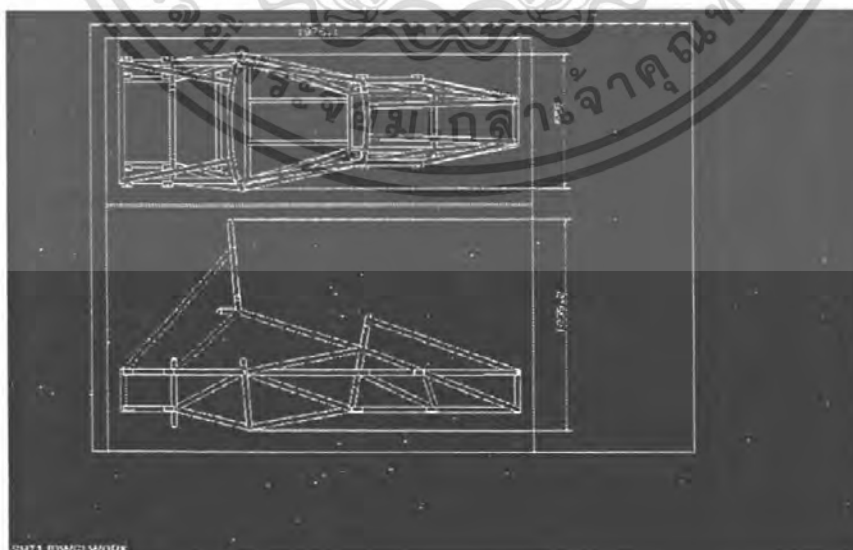
ดังนั้น Torsional rigidity ได้เท่ากับ 5,060 นิวตันเมตร/องศา

4.6.7 สรุปแบบ

ขั้นตอนสุดท้ายการออกแบบได้ค่าตัวประกอบความปลอดภัย 22.5 นอกจากนั้นยังได้มิติ
โครงสร้างที่เหมาะสมลดพื้นที่ว่างในเฟรม และใช้ประโยชน์ตามความจำเป็น

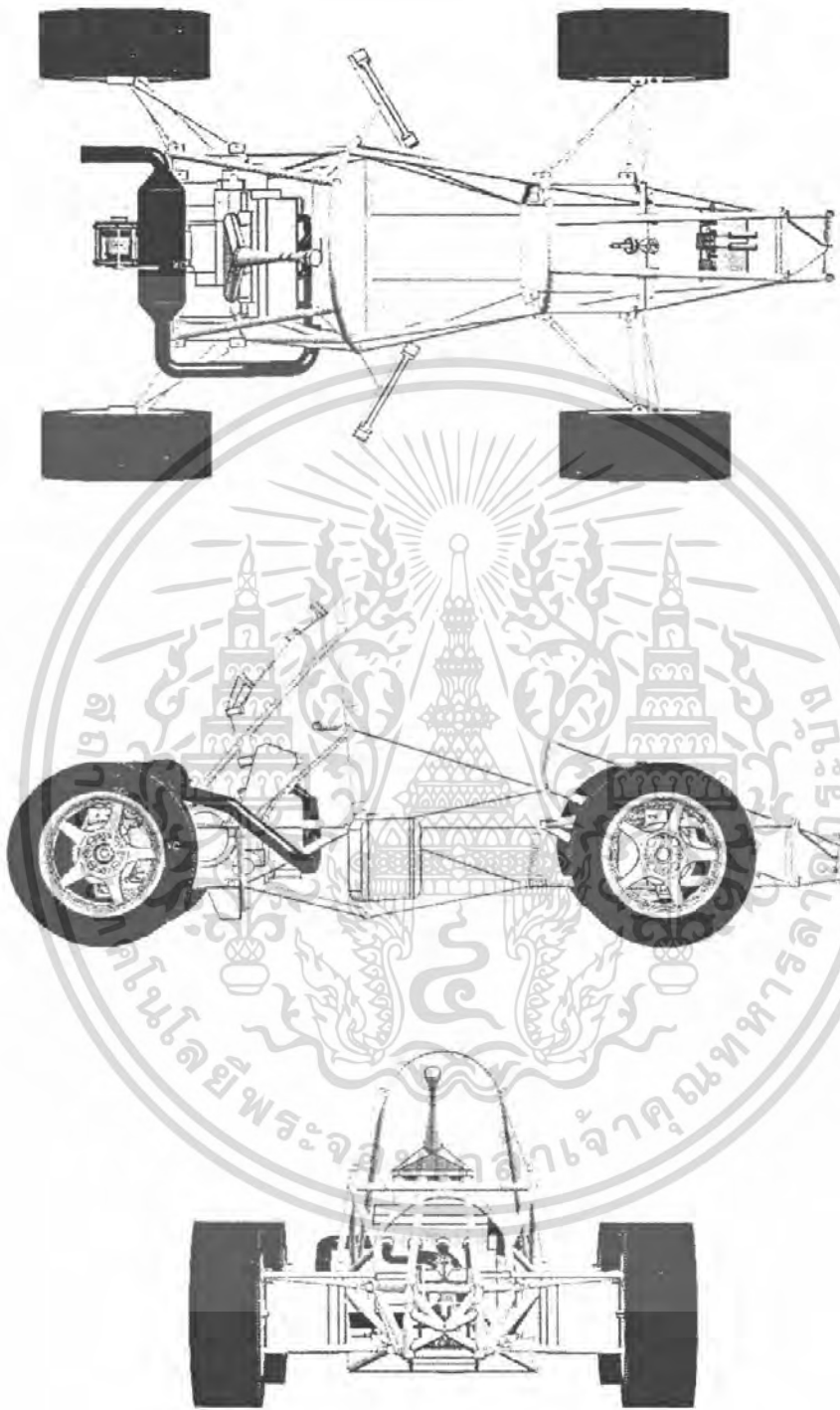


รูปที่ 4-35 แสดงแบบจำลองเฟรมในคอมพิวเตอร์



รูปที่ 4-36 แสดง 2D Drawing, top view and side view

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4-37 แสดง 3D Drawing with 3 view

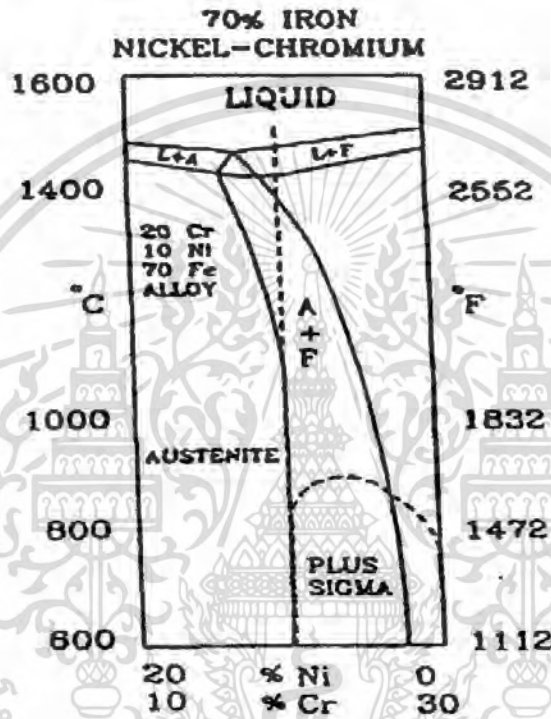
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

การสร้างโครงสร้าง

5.1 การศึกษาถึงวิธีการเชื่อมประกอบโครงสร้าง

สิ่งแรกคือต้องศึกษาลักษณะการแข็งตัวของเหล็กกล้าไร้สนิม



รูปที่ 5-1 กราฟลักษณะการแข็งตัวของเหล็กกล้าไร้สนิม

จากกราฟ นี้แสดงให้เห็นลักษณะของการแข็งตัวของเหล็กกล้าไร้สนิมซึ่งสามารถแบ่งออกได้ดังนี้ คือ

1. จากสถานะของเหลว เมื่อเย็นตัวลงมาแล้วสุดท้ายจะได้โครงสร้าง ออสเทนไนต์
2. จากสถานะของเหลว เมื่อเย็นตัวลงมาแล้วสุดท้ายจะได้โครงสร้าง เฟอไรท์

แต่เหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิติก ชนิด 304 ซึ่งมีส่วนผสมของโครเมียม (Cr) ประมาณ 18% และ นิกเกิล (Ni) ประมาณ 8% เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับลงใน ไคโละแกรมแล้วเหล็กกล้าไร้สนิมชนิดนี้ มีลักษณะการแข็งตัวของเหลว เมื่อเย็นตัวลงมาแล้วผ่านอุณหภูมิประมาณ 1,500 องศาเซลเซียส ในของเหลวจะเกิดโครงสร้างเฟอไรท์ขึ้นบางส่วน หลังจากนั้นเมื่อเย็นตัวลงมาถึงอุณหภูมิประมาณ 1,400 องศาเซลเซียส จะเริ่มมีโครงสร้างของออสเทนไนต์เกิดขึ้นผสมกับโครงสร้างเฟอไรท์จน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สุดท้ายเมื่อเย็นตัวลงมาถึงอุณหภูมิประมาณ 1,100 องศาเซลเซียส โครงสร้างที่เกิดขึ้นจะเป็น ออสเทนไนท์ เกือบทั้งหมดโดยมีเฟอร์ไรท์เพียงเล็กน้อย

แนวเชื่อม

แนวเชื่อมที่ได้จากการประสานของวัสดุมีความสำคัญต่อคุณภาพของงานเชื่อมที่ได้ เช่น สมบัติทางกล ลักษณะของแนวเชื่อมที่ได้ก็จะมีสมบัติเป็นไปตามสมบัติของวัสดุ ลวดเชื่อมที่ใช้ในการเชื่อมและชิ้นงานจะมีความแตกต่างกันในส่วนของเขตการกระจายตัวของความร้อนของแต่ละวัสดุเพราะวัสดุแต่ละด้านจะมีคุณสมบัติที่แตกต่างกันจึงทำให้เขตการกระจายตัวของความร้อนมีความแตกต่างกันไป

ลักษณะการแข็งตัวของแนวเชื่อม โดยมีอิทธิพลมาจากการผสมและการรวมตัวกันในแต่ละ ส่วนของเขตการกระจายตัวของความร้อนใกล้กับชิ้นงาน วัสดุลวดเชื่อมต้องบ่งบอกถึงส่วนผสม ของโลหะที่ผสมในลวดเชื่อมและต้องสามารถผสมเข้ากันได้ดีกับวัสดุชิ้นงานในแต่ละชั้น และจะ ส่งผลให้สามารถลดการแตกร้าวระหว่างแนวเชื่อมเมื่อแข็งตัวได้

การนำความร้อน

ความสามารถในการนำความร้อนหรือสัมประสิทธิ์ในการนำความร้อนเมื่อทำการเชื่อม ความร้อนจะถูกถ่ายเทไปจากบ่อหลอมละลายไปยังชิ้นงานอย่างรวดเร็ว ซึ่งเป็นผลมาจาก สัมประสิทธิ์ในการนำความร้อนของ โลหะและมีผลต่อความร้อนที่ให้ในการเชื่อมด้วย รวมถึงทำให้เกิดการแตกร้าวที่ขอบแนวเชื่อม

บ่อยครั้งที่ความร้อนจากการเชื่อมจะต้องให้โดยตรงกับ โลหะที่มีสัมประสิทธิ์ในการนำความร้อนสูงซึ่งจะทำให้ปริมาณความร้อนที่ชิ้นงานจะได้รับมีปริมาณเท่าเทียมกันทั้งสองวัสดุ ความร้อนที่เกิดจากการเชื่อมที่ถูกถ่ายเทออกจากบ่อหลอมละลายหรือบริเวณที่ต้องการทำการเชื่อมไปที่ ชิ้นงานมีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิและสัมประสิทธิ์ในการนำความร้อนของ โลหะชิ้นงานความร้อน ที่สูญเสียไปในโลหะชิ้นงาน สามารถที่จะทดแทนได้โดยการเลือกกรรมวิธีในการให้ความร้อนกับ โลหะที่มีสัมประสิทธิ์ในการนำความร้อนสูง เพื่อช่วยให้เกิดความร้อนสะสมไว้ในชิ้นงาน และลด ความแตกต่างในการนำความร้อนออกจากแนวเชื่อมของโลหะ

การเลือกวัสดุลวดเชื่อม

การเลือกวัสดุลวดเชื่อมสามารถที่จะพิจารณาให้เหมาะสมที่สุดโดยการใช้หลักของ ความสมดุลในส่วนของส่วนผสมทางเคมี และการใช้งานในอุตสาหกรรมต่างๆที่ต้องการเชื่อม ประสานวัสดุ การเลือกใช้วัสดุลวดเชื่อมที่ดีที่สุดซึ่งจะมีสิ่งที่จะต้องนำมาพิจารณาประกอบการเลือก วัสดุลวดเชื่อมให้เหมาะสม คือ ความเหมาะสมทางด้าน โลหะวิทยา, สมบัติทางกล, สมบัติทาง กายภาพและสมบัติด้านการต้านทานต่อการกัดกร่อนด้วย

5.2 การเชื่อมโลหะด้วยวิธีการเชื่อม TIG

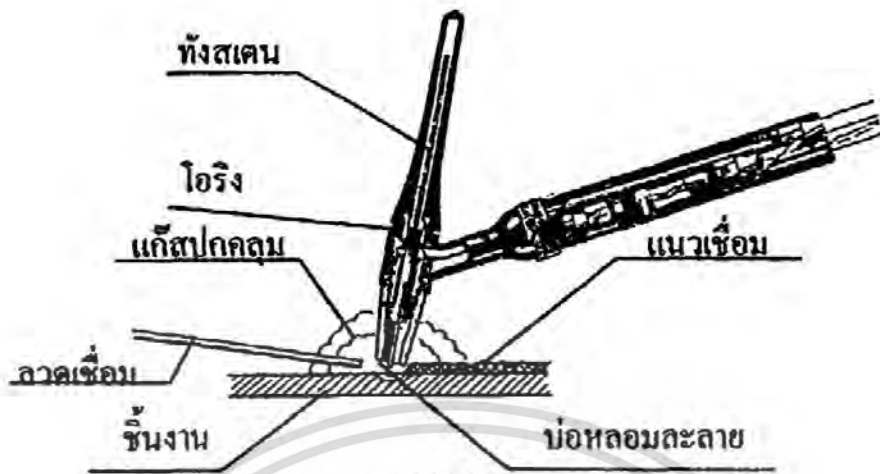
คำว่า "ทิก(TIG)" เป็นอักษรชื่อย่อจาก Tungsten Inert Gas Arc Welding และอ่านคำใหม่ว่าทิก(TIG) หรือในบางคำราใช้คำว่า Gas Tungsten Arc Welding (GTAW) การเชื่อมโลหะด้วยกรรมวิธีเชื่อม TIG นำมาใช้สำหรับเชื่อมโลหะที่เชื่อมได้ยาก เช่น แมกเนเซียม, อลูมิเนียม และสแตนเลสสตีล ครั้งแรกในอุตสาหกรรมสร้างเครื่องบิน ประมาณปี ค.ศ. 1940 ปัจจุบันกรรมวิธีเชื่อมแบบนี้ได้ใช้กันอย่างกว้างขวางในงานเชื่อมโลหะทั่วไป เช่น ภาชนะบรรจุของเหลวและแก๊ส งานเชื่อมประกอบโครงสร้างที่ต้องการความเที่ยงตรง และคุณภาพของรอยเชื่อมสูง เป็นต้น นอกจากนี้การเชื่อมด้วยวิธี TIG ยังสามารถเชื่อมโลหะแผ่นที่มีความบางต่ำที่สุดถึง 0.25 มิลลิเมตร(0.010")

ความพิเศษของกรรมวิธีการเชื่อม TIG

1. รอยเชื่อมและแนวเชื่อมมีคุณภาพสูง ทนต่อการสึกกร่อนได้ดีกว่าการเชื่อมวิธีอื่น
2. ขณะเชื่อมจะปราศจากสะเก็ด ประกายไฟและควัน
3. แนวเชื่อมหรือรอยเชื่อมสะอาด เพราะวิธีนี้ไม่มีขี้ตะกรันและเม็ดโลหะกระเด็น Slag and spatter
4. ขณะเชื่อมสามารถมองเห็นการอาร์กและบ่อหลอมละลายได้ชัดเจน จึงควบคุมการเชื่อมได้ง่าย
5. การบิดงอในชิ้นงานเกิดขึ้นน้อย
6. เชื่อมได้ทุกตำแหน่งทุกท่าเชื่อม
7. ทำงานได้รวดเร็วและประหยัดเวลา

5.2.1 หลักและกรรมวิธีการเชื่อม TIG

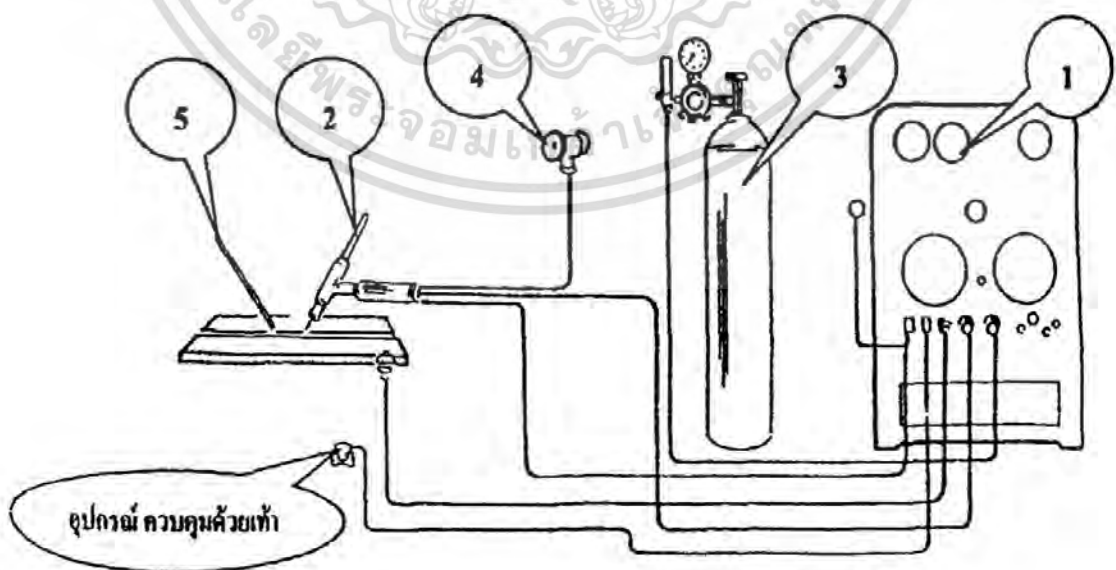
หลักการทั่วไป กล่าวคือ ความร้อนที่ทำให้โลหะหลอมละลายนั้นเกิดจากการอาร์กกระหว่างอิเล็กโทรด Tungsten Electrode กับชิ้นงาน ขณะเดียวกันบริเวณที่อาร์กจะมีแก๊สเฉื่อย Inert Gas ปกคลุมรอบบริเวณนั้น เพื่อป้องกันออกซิเจน ไนโตรเจน และความชื้น เข้าร่วมกับโลหะที่กำลังหลอมละลาย แต่เนื่องจากทั้งสแตนเลสอิเล็กโทรดเป็นวัสดุที่ไม่ละลายต่อเป็นเนื้อโลหะเชื่อม และสแตนเลส Non Consumable Electrode จึงจำเป็นต้องเติมเนื้อโลหะเชื่อม ลงในบ่อหลอมละลายนั้นด้วย ในกรณีที่เชื่อมโลหะแผ่นบางๆ ไม่จำเป็นต้องเติมลวดเชื่อมลงในบ่อหลอมละลายก็ได้



รูปที่ 5-2 แสดงองค์ประกอบในการเชื่อม TIG

อุปกรณ์ที่จำเป็นสำหรับการเชื่อมด้วยวิธี TIG

1. เครื่องเชื่อมและระบบความถี่สูง Power Source & High Frequency Unit
2. หัวเชื่อมและทังสเตนอิเล็กโทรด Torch & Tungsten Electrode
3. แก๊สเฉื่อยและอุปกรณ์ควบคุมอัตราไหล Inert Gas Flow Meter Regulator
4. น้ำระบายความร้อน Water Circulating Unit
5. ลวดเชื่อม Filler Metal



รูปที่ 5-3 แสดงวงจรการเชื่อม TIG และเครื่องมืออุปกรณ์พื้นฐานที่ใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2.2 เครื่องเชื่อม Power Source

เครื่องเชื่อม TIG ควรเป็นการเชื่อมที่ออกแบบเป็นพิเศษ จำเป็นต้องมีระบบความถี่สูง HF และสวิตช์อัตโนมัติสำหรับควบคุมการไหลของแก๊สและน้ำ เพื่อความสมบูรณ์ในการเชื่อมอาร์กที่ลอมละลาย และการระบายความร้อนของหัวเชื่อมรวมอยู่ในตัว โดยทั่วไปเครื่องเชื่อมจะเป็นแบบทรานส์ฟอร์มเมอร์ เรกติไฟเออร์ (Transformer Rectifier) หรือแบบเซนเนอร์เรคเตอร์ขับเคลื่อนมอเตอร์หรือเครื่องยนต์ แบบทรานส์ฟอร์มเมอร์ เรกติไฟเออร์นั้น ผู้ปฏิบัติสามารถเลือกใช้กระแสไฟเชื่อมตามลักษณะงานได้ง่ายขึ้น เช่น กระแสสลับและความถี่สูง ACHF หรือกระแสตรง โดยให้ขั้วบวกจับที่ชิ้นงาน DCSP หรือกระแสตรงให้ขั้วลบจับอยู่ที่ชิ้นงาน DCRP ส่วนกระแสความถี่สูงนั้นช่วยให้การเริ่มต้นอาร์กนั้นง่ายขึ้นเมื่อเลือกเชื่อมด้วยไฟกระแสตรง และจำเป็นต้องใช้ความสูงติดต่อกันตลอดการอาร์ก เมื่อเชื่อมด้วยไฟกระแสสลับเครื่องเชื่อมที่มีจำหน่ายมีขนาดตั้งแต่ 3 – 350 แอมแปร์ หรือเครื่องพิเศษจะมีตั้งแต่ ครึ่งแอมป์ ไปจนถึง 800 แอมป์ โดยมีวัฏจักรการทำงานอยู่ที่ 60%



รูปที่ 5-4 เครื่องเชื่อมทิก (TIG)

5.2.3 หัวเชื่อม TIG (TIG Welding Torch)

หัวเชื่อมทิก TIG หรือเรียกว่า ทอร์ช (Torch) เป็นตัวจับยึดทั้งสแตนเลสอิเล็กโทรดให้อยู่ตรงกลางหัวฉีด (Nozzle) โดยกระแสไฟเชื่อมจะไหลผ่านไปยังชิ้นงาน และให้แก๊สเฉื่อยผ่านเข้าไปด้านในไหลออกมารอบทั้งสแตนเลสอิเล็กโทรด เพื่อปกคลุมการอาร์ก โดยมีหัวฉีดเป็นตัวบังคับ ค้ำและวัสดุหุ้มภายนอกหัวเชื่อมเป็นฉนวน สามารถเลือกใช้ทั้งสแตนเลสอิเล็กโทรดได้หลายขนาด น้ำหนักเบา หัวไปมี 2 ระบบ คือ ระบายความร้อนด้วยอากาศและระบายความร้อนด้วยน้ำ



รูปที่ 5-5 ส่วนประกอบของหัวเชื่อมทิก (TIG)

หัวฉีดหรือถ้วยครอบ (Nozzle) เป็นส่วนบังคับทิศทางของแก๊สเฉื่อย เพื่อให้ไหลปกคลุมแท่งทั้งสแตนเลสและบ่อหลอมละลายทำด้วยวัสดุทนความร้อนสูง เช่น เซรามิก แก้วทนไฟ และโลหะทนความร้อน เซรามิกนั้นเหมาะสำหรับกระแสไฟเชื่อมแอมป์ต่ำ หรือความร้อนอาร์กไม่สูงนัก แต่ถ้าใช้กับการอาร์กความร้อนสูงมากๆ จะทำให้ปลายของเซรามิกหลอมละลายจนกระทั่งส่วนนี้ปิดหรือเปิดกว้างเกินไป ดังนั้นส่วนบังคับทิศทางของแก๊สเฉื่อยแต่ละชนิดจึงแตกต่างกันตามชนิดของกระแสไฟเชื่อม หัวเชื่อมทอรัช และลักษณะการใช้งาน

ตารางที่ 5-1 การเลือกใช้ทั้งสแตนอิลีกโทรด กระแสไฟเชื่อมและถ้วยครอบ

ขนาดทั้งสแตนอิลีกโทรด Ø มม.	ขนาดปากถ้วยครอบ (วัดใน) Nozzle Orifice Ø มม.	กระแสไฟเชื่อม ACHF EWZr & EWth	ขนาด NO.	ขนาดปากกับ (วัดใน) Ø มม.
0.5	6.3	5 - 15	4	6.5
1.0	6.3	15 - 40	5	8
1.2	6.3	20 - 60	6	9.5
1.6	6.3 - 9.5	20 - 90	7	11
2.4	9.5	60 - 160	8	12.7
3.2	12.5	120 - 220	10	16
4.8	15.8	160 - 340	12	19
6.3	15.8	280 - 470		

(ที่มา : คณะวิศวกรรมศาสตร์ "การเชื่อมโลหะ TIG")



รูปที่ 5-6 หัวฉีดหรือถ้วยครอบ (Alumina Nozzles)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2.4 ทังสเดนอิเล็กโทรด (Tungsten Electrodes)

ทังสเดนอิเล็กโทรดมีหลายชนิดและหลายขนาด มีหลักการใช้งานต่างกัน

ตารางที่ 5-2 ชนิดของทังสเดนอิเล็กโทรด AWS – ASTM

รหัส (AWS)	ชนิดอิเล็กโทรด	รหัสที่ปลาย
EWP	ทังสเดนบริสุทธิ์ (99.5)	เขียว
EWCe-2	เซอร์เลียม	ส้ม
EWL a-1	ผสมเส้นเอ็นบี	ดำ
EWTH-1	ผสมเทอร์เลียมไดออกไซด์ 1%	เหลือง
EWTH-2	ผสมเทอร์เลียมไดออกไซด์ 2%	แดง
EWTH-3	เทอร์เลียมไดออกไซด์บริสุทธิ์	น้ำเงิน
EWZr	ผสมเซอร์โคเนียมไดออกไซด์ 1/2%	น้ำตาล
ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.02 - 0.25 นิ้ว (0.5 - 6.4 มม.) ความยาว 3 - 4 นิ้ว (76 - 610 มม.)		

(ที่มา : คณะวิศวกรรมศาสตร์ การเชื่อมโลหะด้วย TIG)

ชนิดและขนาดของทังสเดนอิเล็กโทรดมีความสำคัญคือ ช่วยให้คุณภาพในแนวเชื่อมดี เช่น เชื่อมอะลูมิเนียมด้วยกระแสไฟ ACHF ขนาดความโตของทังสเดนที่หาได้ง่ายคือตั้งแต่ 0.3 - 6.4 มิลลิเมตร

การเลือกขนาดทังสเดนอิเล็กโทรด ต้องคำนึงถึงผลเสียที่จะเกิดขึ้นกับชิ้นงานและกระแสไฟเชื่อม (แอมป์) ที่เหมาะกับขนาดและชนิดทังสเดนอิเล็กโทรดนั้นๆด้วย เมื่อเลือกกระแสไฟเชื่อมที่เหมาะสมกับทังสเดนนั้นแล้ว ปลายแหลมของทังสเดนอิเล็กโทรดก็จะไม่ถูกกระแสไฟเชื่อมทำลายในขณะอาร์ก

ทังสเดนบริสุทธิ์จะมีราคาถูกกว่าทังสเดนอื่น คุณภาพปานกลาง ปกติใช้กระแสไฟเชื่อม ACHF ทังสเดนผสมเซอร์โคเนียมไดออกไซด์ ใช้กับกระแสสลับความถี่สูง ACHF เรียบลงที่สม่ำเสมอคงทนสภาวะได้ดี ทังสเดนผสมเทอร์เลียมไดออกไซด์ 1 และ 2 % ทังสเดนผสมเทอร์เลียมไดออกไซด์ 2 % จะมีอายุการใช้งานที่ยาวนานกว่าชนิดผสมเทอร์เลียม 1 %

วิธีป้องกันและดูแลปลายทังสเดนให้สะอาดขณะอาร์ก

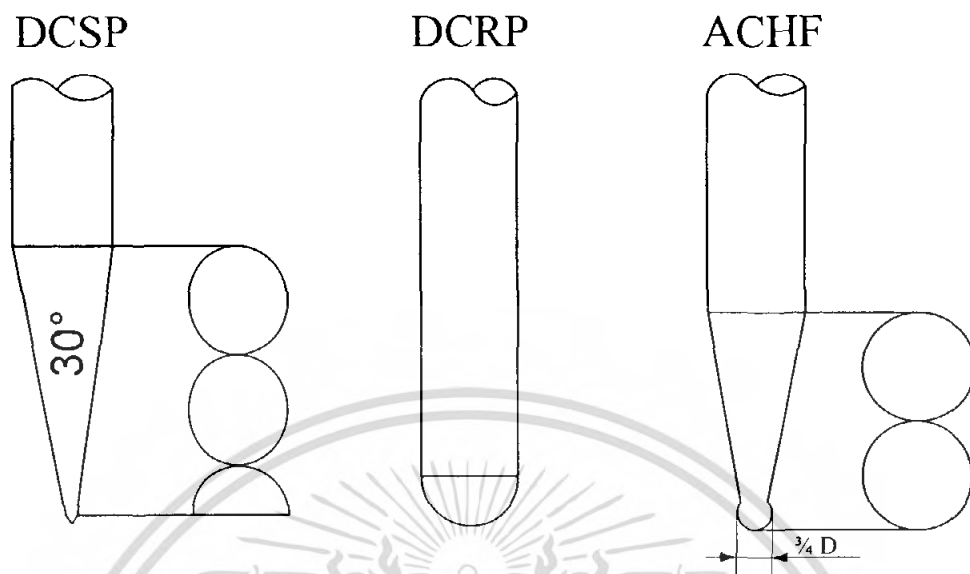
1. ตรวจสอบปลายทังสเดนให้แน่ใจว่าสะอาดและลับถูกต้องก่อนเริ่มเชื่อม
2. เมื่อเริ่มการอาร์กไม่ควรเขี่ยปลายทังสเดนกับชิ้นงานเพื่อจุดอาร์ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ก่อนจุดอาร์กเพื่อเริ่มเชื่อม ต้องแน่ใจว่ามีแก๊สเฉื่อยไหลออกจากคัมพลาตทั้งสแตนและจุดที่จะเริ่มอาร์กอย่างเพียงพอ (Pre Flow) เพื่อป้องกันการอาร์กรวมกับอากาศขณะเริ่มจุดอาร์ก
 4. ถ้าเครื่องเชื่อมไม่มี Pre Flow ควรกดสวิตช์ให้เพื่อปล่อยกระแสเชื่อม และแก๊สคลุม 1 ครั้งและหยุด จากนั้นให้จรวดขอบปากคัมหรือหัวฉีกกับจุดที่ต้องการเริ่มเชื่อม และกดสวิตช์เพื่อเชื่อมการกดสวิตช์ครั้งแรกและครั้งที่สองไม่ควรทิ้งระยะเวลานานเกินไป เพราะเราต้องการที่จะนำเอา Post Flow มาทำเป็น Pre Flow สำหรับเครื่องที่ไม่มี Pre Flow
 5. ขณะเชื่อมไม่ควรให้ปลายทั้งสแตนสัมผัสกับชิ้นงานหรือลวดเชื่อม
 6. ไม่ควรปรับแก๊สเฉื่อยให้ไหลมากเกินไป เพราะความแรงของแก๊สจะดูดอากาศภายนอกเข้ามายังบ่อหลอมละลายได้
 7. ไม่ควรปรับแก๊สเฉื่อยให้ไหลมากเกินไป เพราะความแรงของแก๊สจะดูดอากาศภายนอกเข้ามายังบ่อหลอมละลายได้
 8. เลือกชนิดทั้งสแตนให้ถูกต้องกับชนิดกระแสไฟเชื่อม
- ลักษณะการหักปลายทั้งสแตน

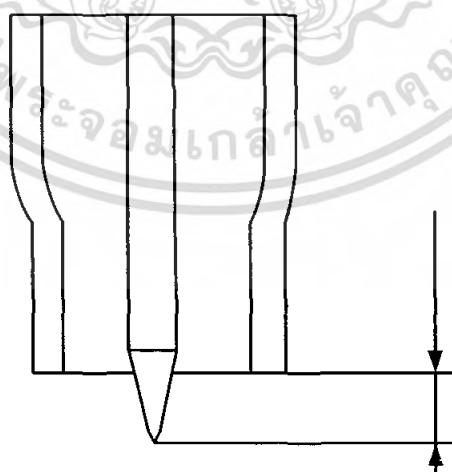
- ใช้ค้อนทุบ - ใช้กับทั้งสแตนที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 2.5 มม.
- ใช้คีมตัด - ใช้กับทั้งสแตนที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 1.6 มม.
- ใช้คีมหัก - ใช้กับทั้งสแตนที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 3.2 มม.
- เจียรไน - ใช้กับทั้งสแตนทุกชนิด

การนำทั้งสแตนอิเล็กทรอนิกส์เข้าหัวเชื่อม จะต้องแต่งปลายทั้งสแตนอิเล็กทรอนิกส์ให้สามารถรองรับสถานะการเชื่อมก่อน เช่น ต้องการเชื่อมด้วยกระแสไฟฟ้าตรงขั้วตรง DCSP ควรเจียรไนส่วนปลายทั้งสแตนอิเล็กทรอนิกส์ด้านที่ทำหน้าที่อาร์กให้เรียวยาวมน Taper เป็นมุม 30 องศา หรือมีความเรียวยาวประมาณ $1\frac{1}{2}$ เท่าของขนาดแท่งทั้งสแตน ถ้าต้องใช้กับกระแสไฟสลับความถี่สูง ACHF และกระแสไฟตรงสลับขั้ว DCRP



รูปที่ 5-7 เทคนิคการลัดปลายทั้งสแตนเลสเหล็กโทรดกับชนิดกระแสไฟเชื่อม

ทั้งสแตนเลสเหล็กโทรดเมื่อนำเข้ากับหัวเชื่อมแล้วจำเป็นต้องให้ส่วนปลายไหลพ้นจากขอบปากค้ำหรือหัวฉีดแก๊สเฉื่อย Nozzle ประมาณ $1\frac{1}{2}$ เท่าของความโตของแท่งทั้งสแตนเลสเหล็กโทรด การทำในลักษณะนี้เหมาะสำหรับเชื่อมในตำแหน่งทำราบเชื่อมต่อเกลย และเชื่อมต่อมุมภายนอก ส่วนการเชื่อมต่อมุมภายในหรือค่อที่ฟิลเลตนั้นให้ยื่นปลายทั้งสแตนเลสเหล็กโทรดให้ยาวออกมาตามสภาพที่เหมาะสม



รูปที่ 5-8 การจับทั้งสแตนเลสเหล็กโทรดในด้วยกรอบ หรือ หัวฉีด

แก๊สปกคลุม (Shielding Gas)

แก๊สเฉื่อยสำหรับปกคลุมได้แก่ อาร์กอน (Ar) ฮีเลียม (He) และคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) หรือแก๊สผสม โดยทั่วไปนิยมใช้แก๊สอาร์กอนเพราะหาซื้อได้ง่าย แก๊สอาร์กอนมีน้ำหนักมากกว่าแก๊สฮีเลียม และให้ผลดีต่อการเชื่อมในอัตราไหลต่ำแก๊สอาร์กอนมีความต้านอาร์กน้อยกว่าแก๊สฮีเลียม ระยะอาร์กเปลี่ยนน้อย เปลวอาร์กไม่ขาดตอน แก๊สอาร์กอนที่ใช้จะต้องมีความบริสุทธิ์ประมาณ 99.999% สำหรับแก๊สฮีเลียมมีข้อดีคือ ให้การหลอมละลายกินลึกได้ดีกว่าและการเชื่อมได้เร็วกว่าแก๊สอาร์กอน แก๊สฮีเลียมจะต้องมีความบริสุทธิ์ประมาณ 99.9999% แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ CO₂ นั้นเหมาะสำหรับการเชื่อมแบบออตโนมิตหรือกึ่งออตโนมิต เพราะแก๊สชนิดนี้ทำให้ระยะอาร์กเปลี่ยนได้ง่าย ยากต่อการควบคุม ในงานเชื่อมบางครั้งนิยมใช้แก๊สผสมระหว่างอาร์กอนกับฮีเลียม หรือแก๊สอาร์กอนกับคาร์บอนไดออกไซด์ เป็นต้น ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับโลหะชิ้นงานและชนิดกระแสไฟเชื่อม

ตารางที่ 5-3 การใช้แก๊สเฉื่อยและแก๊สผสม (จำนวนเป็นเปอร์เซ็นต์)

โลหะงาน	ความหนา	เชื่อมด้วยมือ		เชื่อมอัตโนมัติ		หมายเหตุ
		แก๊ส	กระแสไฟ	แก๊ส	กระแสไฟ	
อลูมิเนียม / อลูมิเนียมผสม	ต่ำกว่า 3.2 มม.	Ar	ACHF	Ar + He	ACHF	หรือ He (DCSP)
Aluminum and its Alloys	มากกว่า 3.2 มม.	Ar	ACHF	Ar + He	ACHF	หรือ He (DCSP)
เหล็กกล้าคาร์บอน	ต่ำกว่า 3.2 มม.	Ar	DCSP	Ar	DCSP	
Carbon Steels	มากกว่า 3.2 มม.	Ar	DCSP	Ar + He	DCSP	หรือ He (DCSP)
เหล็กกล้าสแตนเลส	ต่ำกว่า 3.2 มม.	Ar	DCSP	Ar + He	DCSP	หรือ Ar + H ₂ (DCSP)
Stainless Steels	มากกว่า 3.2 มม.	Ar + He	DCSP	He	DCSP	
นิกเกิลผสม	ต่ำกว่า 3.2 มม.	Ar + He	DCSP	Ar + He	DCSP	
Nickel Alloys	มากกว่า 3.2 มม.	He	DCSP	He	DCSP	
ไททานเนียม / ไททานเนียมผสม	ต่ำกว่า 3.2 มม.	Ar	DCSP	Ar	DCSP	หรือ Ar + He (DCSP)
Titanium	มากกว่า 3.2 มม.	Ar + He	DCSP	He	DCSP	

(ที่มา: คณะวิศวกรรมศาสตร์ “การเชื่อมโลหะด้วย Tig”)

Ar + He จะมีปริมาณแก๊ส He 75%

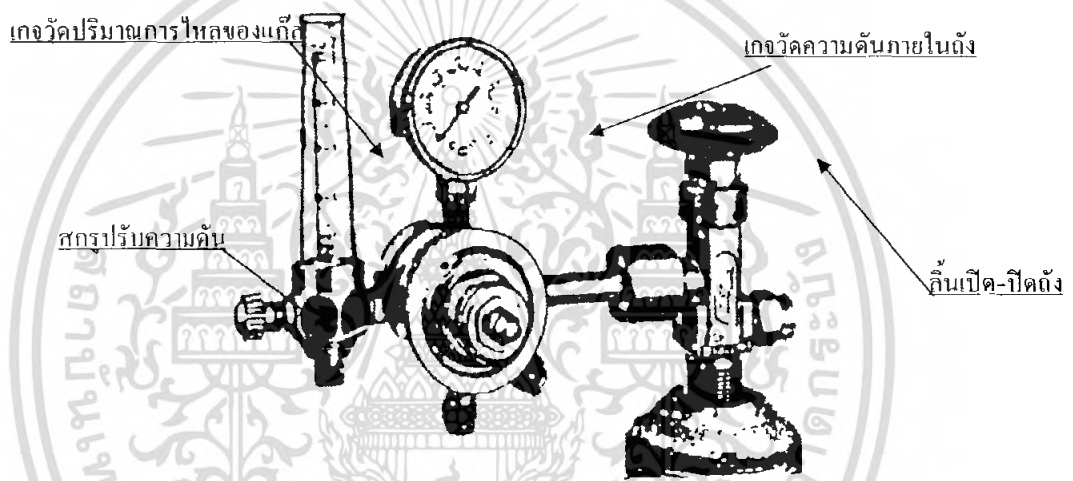
Ar + H₂ จะมีปริมาณแก๊ส H₂ 15%

อุปกรณ์ควบคุมแก๊ส Regulator with Flow meter

อุปกรณ์ควบคุมแก๊สมี 2 ส่วน คือ

1. เกจวัดความดันแก๊สภายในท่อ Regular
2. เกจวัดปริมาณการไหลของแก๊ส Flow meter

เกจวัดความดันแก๊สเชื่อมภายในท่อ มีลักษณะเดียวกับเกจวัดความดันสำหรับแก๊สออกซิเจนทั่วไป คือ มีหน่วยบอกความดันเป็น ปอนด์ / ตารางนิ้ว และ กิโลกรัม / ตารางเซนติเมตร แต่เกจวัดปริมาณการไหล Flow meter นั้นบอกถึงปริมาณการใช้งานต่อหน่วยเวลา ปกติหน่วยเป็นลูกบาศก์ฟุต / ชั่วโมง C.F.H. หรือ ลิตรต่อนาที l / min



รูปที่ 5-9 เกจวัดความดันแก๊สภายในท่อ และเกจวัดปริมาณการไหลของแก๊ส

ลวดเชื่อม Filler Metals

การเชื่อมด้วยวิธีทิก (TIG) ปกติจะต้องเติมลวดเชื่อมลงในร่องหลอมละลาย แต่ถ้าเชื่อมชิ้นงานบางๆ อาจไม่ต้องเติมก็ได้ ขนาดของลวดเชื่อมขึ้นอยู่กับความหนาของโลหะชิ้นงาน รูปร่างรอยต่อ รวมทั้งกระแสไฟเชื่อม ส่วนผสมโลหะลวดเชื่อมจะต้องใกล้เคียงกับส่วนผสมของโลหะชิ้นงาน เนื่องจากโลหะชิ้นงานและลวดเชื่อมมีมากมายหลายชนิด ดังนั้นควรเลือกใช้ลวดเชื่อมให้ถูกต้อง จึงมีส่วนทำให้การเชื่อมได้รับผลดี โดยสามารถขอคำแนะนำได้จากบริษัทผู้ขาย หรือตัวแทนจำหน่ายวัสดุลวดเชื่อม

ความปลอดภัยสำหรับการเชื่อม TIG

1. การป้องกันสายตาจากการอาร์กด้วยกระจกกรองแสง จากขบวนการเชื่อมทิก(TIG) โดยแก๊สเฉื่อยจะทำหน้าที่คลุมการอาร์กและชิ้นงานขณะที่กำลังหลอมละลาย เพื่อไม่ให้บ่อหลอม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ละลายรวมตัวกับอากาศและวัสดุอื่น ดังนั้น การเชื่อมจึงไม่เกิดควันและประกายไฟ เราจึงมองเห็น การอาร์ก ได้ชัดเจนมากกว่าการเชื่อมแบบใช้ลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์

ตารางที่ 5-4 การใช้กระแสไฟเชื่อมกับเบอร์กระจกกรองแสง

กระแสไฟเชื่อม (แอมป์)	นับเบอร์กระจกกรองแสง
30 – 75	9 - 10
75 – 200	11 - 12
200 – 300	12 - 14
สูงกว่า 300	ตั้งแต่ 14 ขึ้นไป

(ที่มา: คณะ วรรณ โท “การเชื่อมโลหะด้วย TIG”)

2. เสื้อผ้าที่สวมในการปฏิบัติงานนอกจากแสงจ้าจากการอาร์กแล้วแสงอัลตราไวโอเล็ตสามารถทำให้ส่วนของร่างกายที่ไม่ได้ปกปิดถูกเผาไหม้ได้ ฉะนั้นควรจะใช้เสื้อผ้าปิดบังส่วนที่ถูกแสงเชื่อม และควรจะเป็นวัสดุไม่ติดไฟง่าย ควรสวมถุงมือหนังและรองเท้านั่งแบบปลอดภัยเพื่อป้องกันรังสีและความร้อนจากการอาร์ก

3. การระบายอากาศ เนื่องจากการอาร์กจะเปลienออกซิเจนให้กลายเป็นโอโซนที่ไม่บริสุทธิ์ ซึ่งทำอันตรายต่อระบบการหายใจได้ ดังนั้นควรจัดให้มีการระบายอากาศอย่างเพียงพอ แต่การระบายอากาศนั้น ไม่ควรรบกวนแก๊สปกคลุมขณะเชื่อม

นอกจากข้อดังกล่าวแล้ว ก่อนลงมือเชื่อมทุกครั้งควรตรวจเครื่องเชื่อมให้อยู่ในสภาพดีพร้อมทุกครั้ง เช่น ตรวจวงจรน้ำระบายความร้อน และบริเวณปฏิบัติงานเชื่อมอย่าให้สกปรกเปียกชื้น

5.3 การวางแผนการสร้าง (Construction Planning)

กระบวนการวางแผนการสร้างเริ่มจากต้องตรวจสอบสภาพความพร้อมของเครื่องมือเครื่องจักร อุปกรณ์การสร้างเพื่ออำนวยความสะดวกในการปฏิบัติในขั้นตอนการสร้างโครงสร้าง ต้องลำดับความสำคัญและความต้องการก่อนหลังทั้งยังให้เกิดความถูกต้องตรงกับความต้องการ โดยการประมาณจกเวลาในการผลิต บ่อยครั้งที่แผนการสร้างมีการข้ามขั้นตอนซึ่งมักเป็นเหตุให้เกิดปัญหาตามมาในการสร้าง ดังนั้นการวางแผนที่ดีในกระบวนการสร้างต้องมีการปรับปรุงประสิทธิภาพและลดความล่าช้าในการเปลี่ยนแปลงให้ได้มากที่สุด สิ่งแรกที่มีมักจะเป็นปัญหาคือวัสดุหลักที่จะนำมาสร้างโครงสร้างเช่น ท่อต่างๆ ลวดเชื่อม หาได้ยากหรือหาได้แล้วราคาแพงเกินไป

การจัดการห้องปฏิบัติการให้มีความเหมาะสมมีความสำคัญต่อการสร้างเช่นกัน การจัดวาง ส่วนของการเชื่อม เครื่องจักรเครื่องมือให้สามารถใช้งานได้ง่ายและสะดวกไม่ให้ขัดขวางการ

ทำงาน การเตรียมการหาเรื่องรอบๆที่เป็นจุดเชื่อมต่อของโครงสร้างต้องมีความถูกต้องมากที่สุด เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพื่อให้ได้รอบเชื่อมที่เรียบร้อยสวยงาม การโค้งงอของท่อให้ได้ตามการออกแบบก็เช่นเดียวกัน ใน การสร้างนั้นต้องมีการจัดเตรียมเพิ่มเรื่องคนที่จะมาทำงานด้วยโดยให้เพียงพอต่อการทำงานในแต่ละ วัน ซึ่งในการวางแผนการสร้างนั้นอาจเกิดการสะดุดผิดพลาดขึ้นจึงต้องมีการรวบรวม ข้อผิดพลาดและเพิ่มเติมตัวช่วยที่ต้องการมาช่วยให้บรรลุผลแล้วระหว่างนั้นต้องมีการจัดการ ประชุมกันอยู่เสมอถึงความก้าวหน้าของงานในส่วนต่างๆเพื่อจัดการปัญหาที่เกิดขึ้นและให้ตรงตาม เวลาที่กำหนด

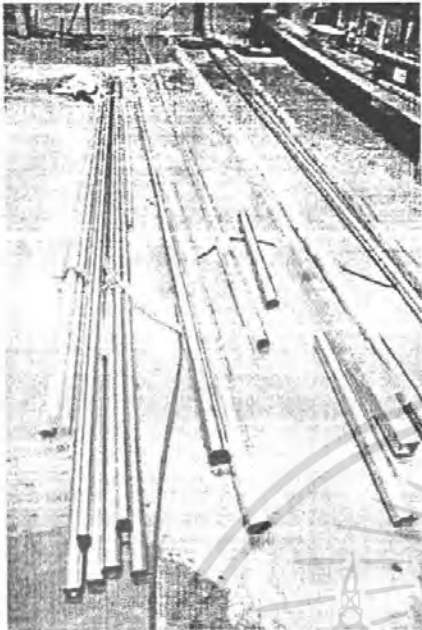


รูปที่ 5-10 แสดงการจัดการประชุมเพื่อติดตามและวางแผนการทำงาน

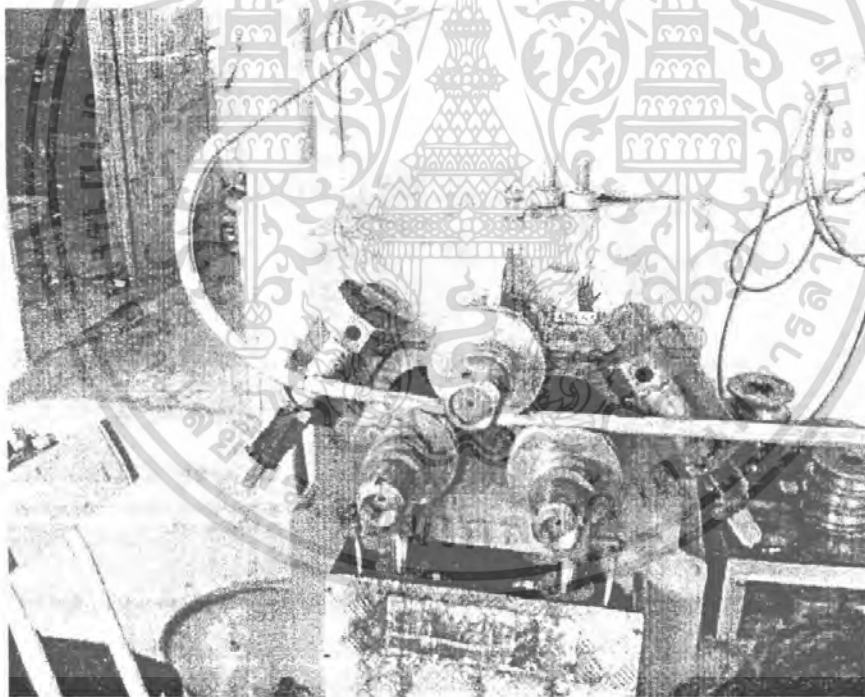
5.4 การสร้างจริง (Construction)

การสร้างเฟรมแบ่งเป็นสามส่วนคือ ส่วนเครื่องยนต์ ส่วนห้องคนขับ และส่วนหน้า ซึ่งการ สร้างจริงเริ่มต้นจากการสร้างส่วนเครื่องยนต์ ส่วนหน้า และส่วนห้องคนขับ ตามลำดับ เนื่องจาก ข้อจำกัดการสร้างชิ้นงานจริงต้องใช้โต๊ะจับชิ้นงานและอุปกรณ์ระดับฉาก จึงสร้างเฟรมเป็นแต่ละ ส่วนแล้วนำมาประกอบกันภายหลัง ก่อนการนำมาประกอบกันต้องมีการเติมการต่างๆในการสร้าง ทั้งในด้านวัสดุ อุปกรณ์และบุคคล

การเตรียมวัสดุ อุปกรณ์

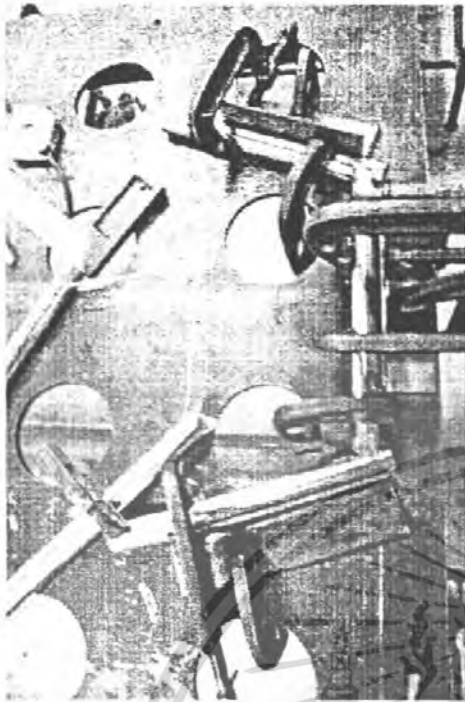


รูปที่ 5-11 ท่อ Stainless steel กลม และเหลี่ยม



รูปที่ 5-12 การตัดท่อ โครงสร้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

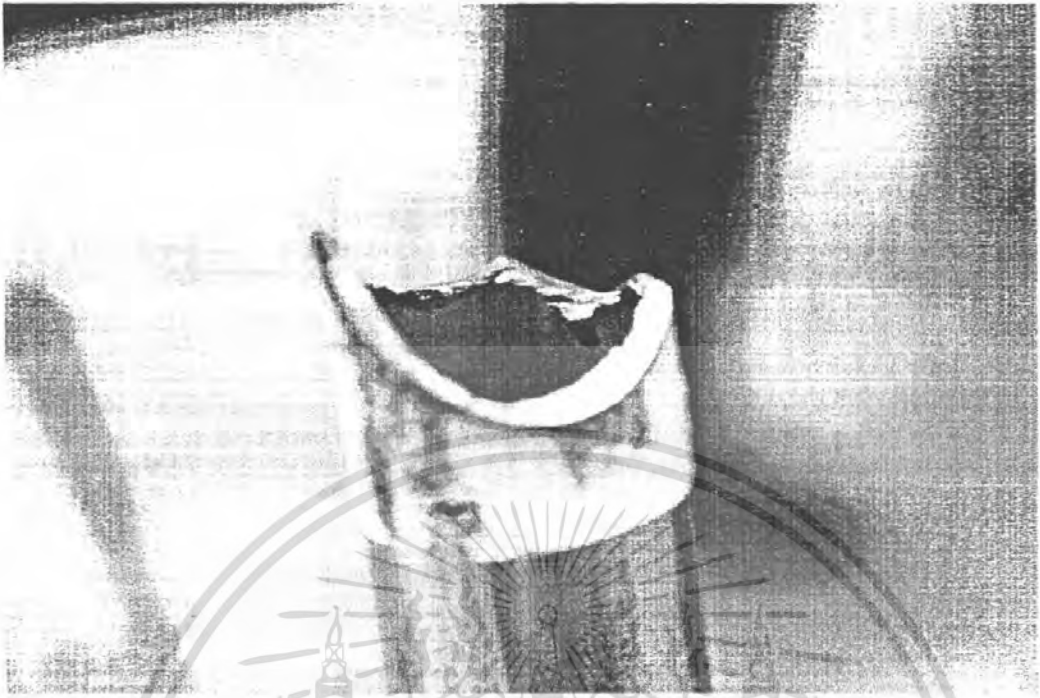


รูปที่ 5-13 การสร้างชิ้นงานโดยใช้โตะจิกจับชิ้นงาน
กับแก็ม(clamp)จับเพื่อลดการ โกงตัวของ
ความร้อนในการเชื่อม

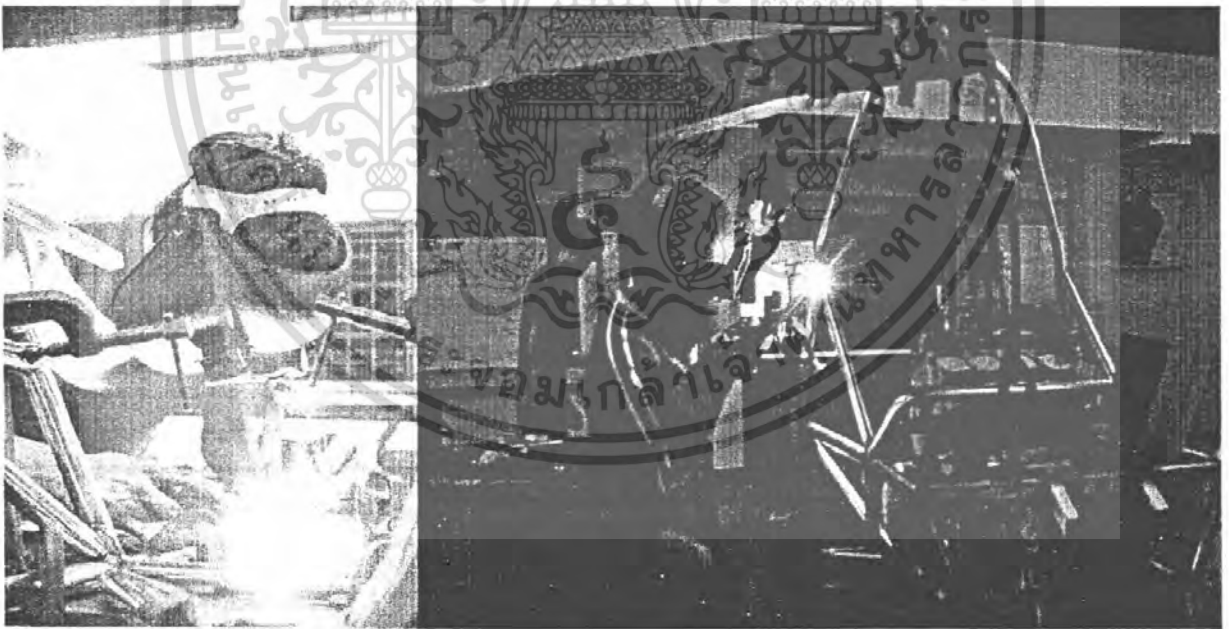
รูปที่ 5-14 เตรียมตัด และ ตะไบ
ชิ้นงาน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



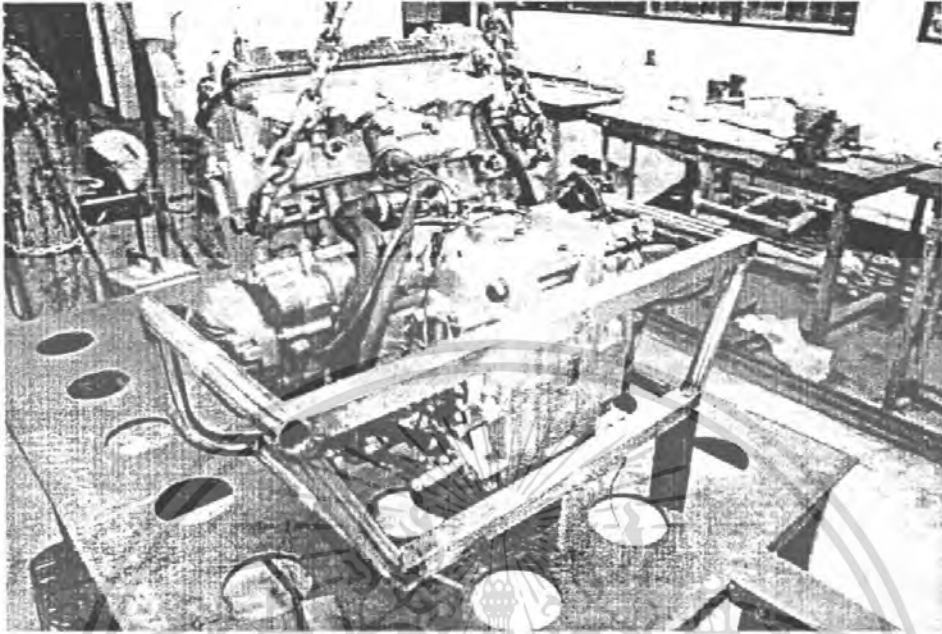
รูปที่ 5-15 แสดงภาพตัวอย่างการทำกาพลีเพื่อทำส่วนเง้าให้ลายต่อกันได้



รูปที่ 5-16 การเชื่อมประกอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การสร้างเฟรมส่วนเครื่องยนต์



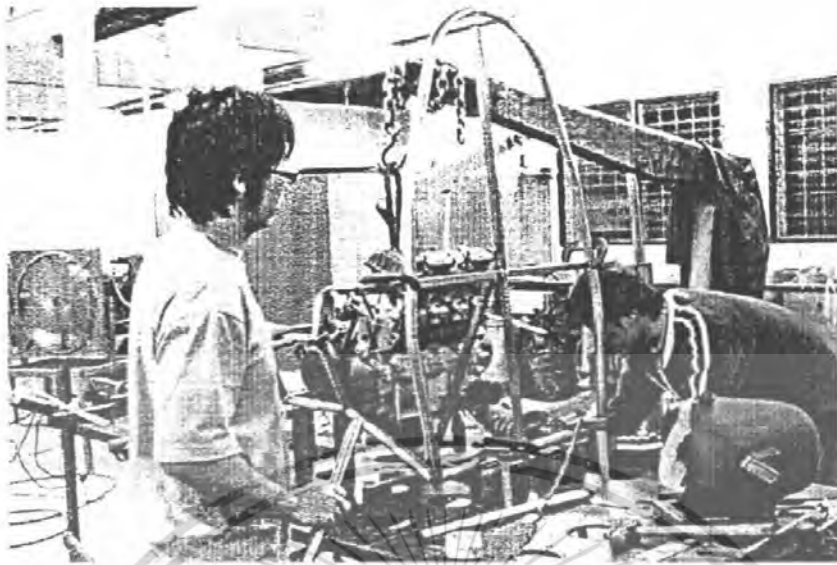
รูปที่ 5-17 แสดงเฟรมส่วนเครื่องยนต์

การสร้างเฟรมควรเริ่มต้นจากการเชื่อมต่อในระนาบ 2 มิติก่อน จากนั้นจึงเริ่มเชื่อมต่อเดิมให้เป็นโครงสร้าง 3 มิติ



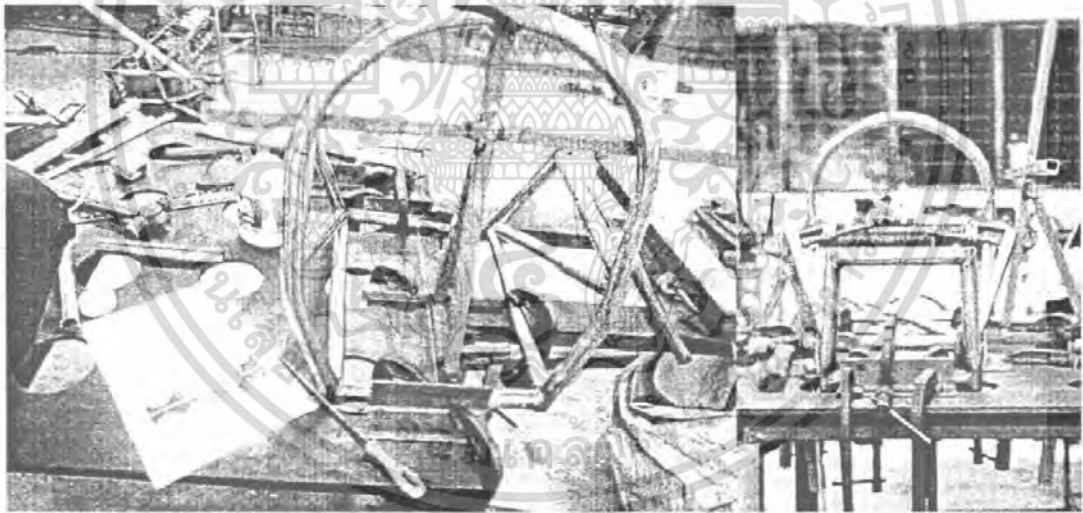
รูปที่ 5-18 แสดงการเชื่อมเฟรมในระนาบ 2 มิติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5-19 แสดงการจยียัดชิ้นส่วนเฟรมก่อนเชื่อม

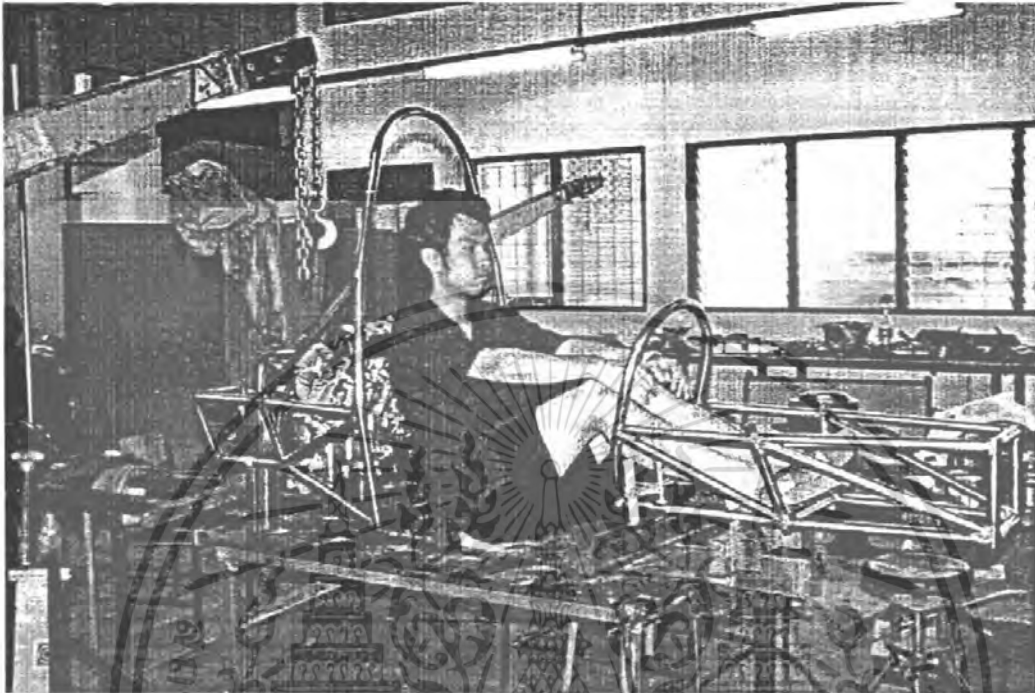
การสร้างเฟรมส่วนหน้า



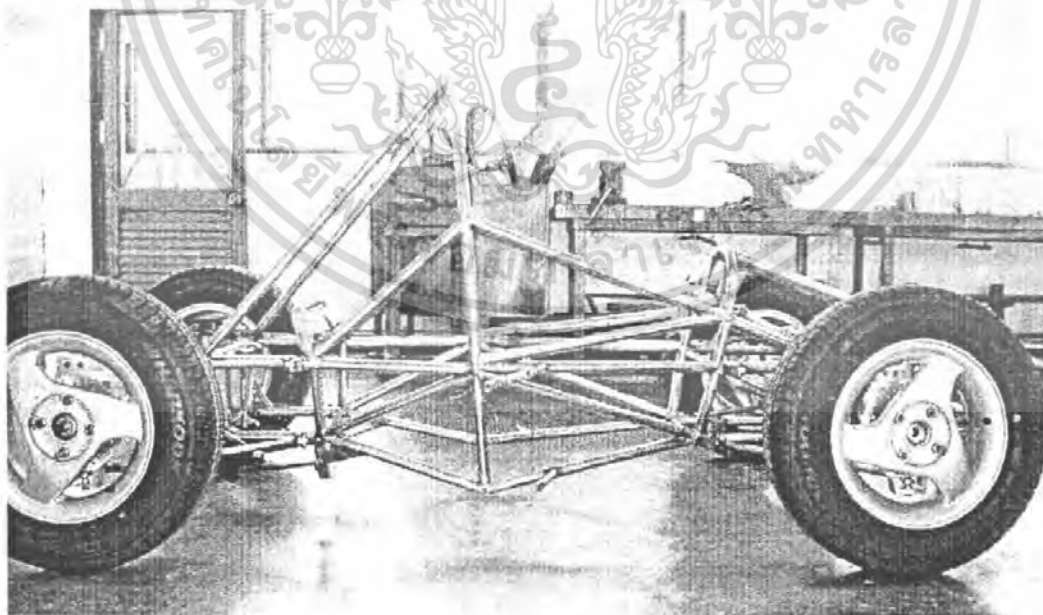
รูปที่ 5-20 แสดงโครงสร้างส่วนหน้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การสร้างเฟรมในส่วนห้องคนขับ เมื่อเฟรมส่วนเครื่องยนต์และส่วนหน้าเสร็จแล้ว จะนำมาติดตั้งให้ได้ตำแหน่งตามที่ออกแบบไว้แล้วจึงเชื่อมต่อส่วนเฟรมที่เป็นห้องโดยสาร



รูปที่ 5-21 แสดงการจัดตำแหน่งเฟรมส่วนหน้าและส่วนเครื่อง



รูปที่ 5-22 เฟรมรถเมื่อเชื่อมประกอบเสร็จ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

การทดสอบ

6.1 หัวข้อการทดสอบ

จากขอบเขตการศึกษาในโครงการนี้จึงได้จัดทำวิธีการทดสอบสภาพจริงของเฟรมเปรียบเทียบกับเฟรมที่ได้ทำการออกแบบจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ซึ่งการจำลองสภาพที่เกิดขึ้นในโปรแกรมคอมพิวเตอร์จะจำลองในหลายๆสถานการณ์ทั้ง ภาระการบิด ภาระการดัด รอยเชื่อม ตำแหน่งของจุดศูนย์ถ่วงของเฟรม ซึ่งภาระต่างๆของเฟรมเหล่านี้เมื่อได้ทำการจำลองและได้ค่าต่างๆที่ออกมาแล้วจึงนำมาสร้างจริงเป็นเฟรมรถของจริงขึ้นมา และเมื่อได้ทำการสร้างเฟรมของจริงเสร็จสิ้นสมบูรณ์แล้วจึงได้จัดดำเนินการทดสอบจากสภาพของเฟรมจริงเปรียบเทียบกับค่าที่ได้ทางคอมพิวเตอร์

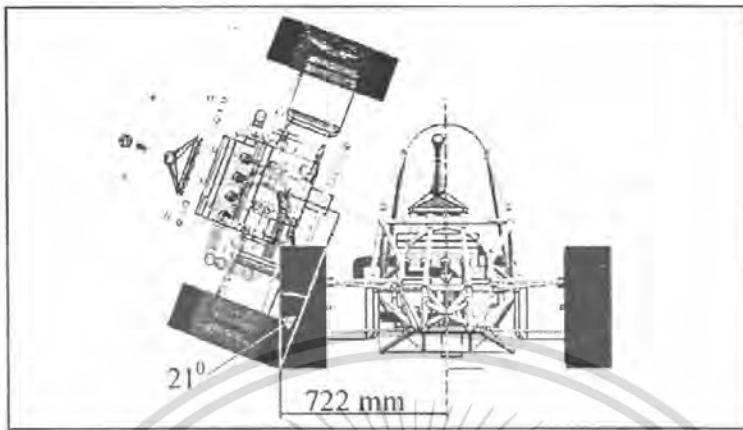
แบบการทดสอบที่ได้ออกแบบไว้มีดังนี้

- การหาความสูงจุดศูนย์ถ่วง
- การทดสอบภาระการดัด (Bending)

6.2 การหาความสูงจุดศูนย์ถ่วง

การหาจุดศูนย์ถ่วงของเฟรมรถเมื่อมีการติดตั้งชุดล้อ เครื่องยนต์ และชิ้นส่วนต่างๆ ทำการหาตำแหน่งจุดศูนย์ถ่วงได้จากการเอียงรถทั้งด้านซ้ายและด้านขวา ทำการทดสอบในลักษณะให้รถเอียง เมื่อเอียงแล้วรถจะเกิดการพลิกคว่ำไปข้างใดข้างหนึ่งขณะเอียงทำมุม θ จุดตำแหน่งมุมที่จุดศูนย์ถ่วงอยู่บนจุดมุมล้อ ดังรูปที่ 6-1 เมื่อเอียงแล้วรถกำลังจะพลิกคว่ำแต่ยังไม่พลิกและรถอยู่นิ่งได้ในลักษณะที่กำลังเอียงอยู่ ตำแหน่งนี้จะเป็นตำแหน่งที่เกิดสมดุลของรถและเป็นตำแหน่งของจุดศูนย์ถ่วง เมื่อทดสอบแล้วมุมที่ทำกับแนวตั้งฉากประมาณสองข้างเท่ากับ 21°

นำไปคำนวณหาจุดศูนย์ถ่วงได้จาก $722 \text{ มิลลิเมตร} / \tan 21^\circ = 25.75 \text{ เซนติเมตร}$



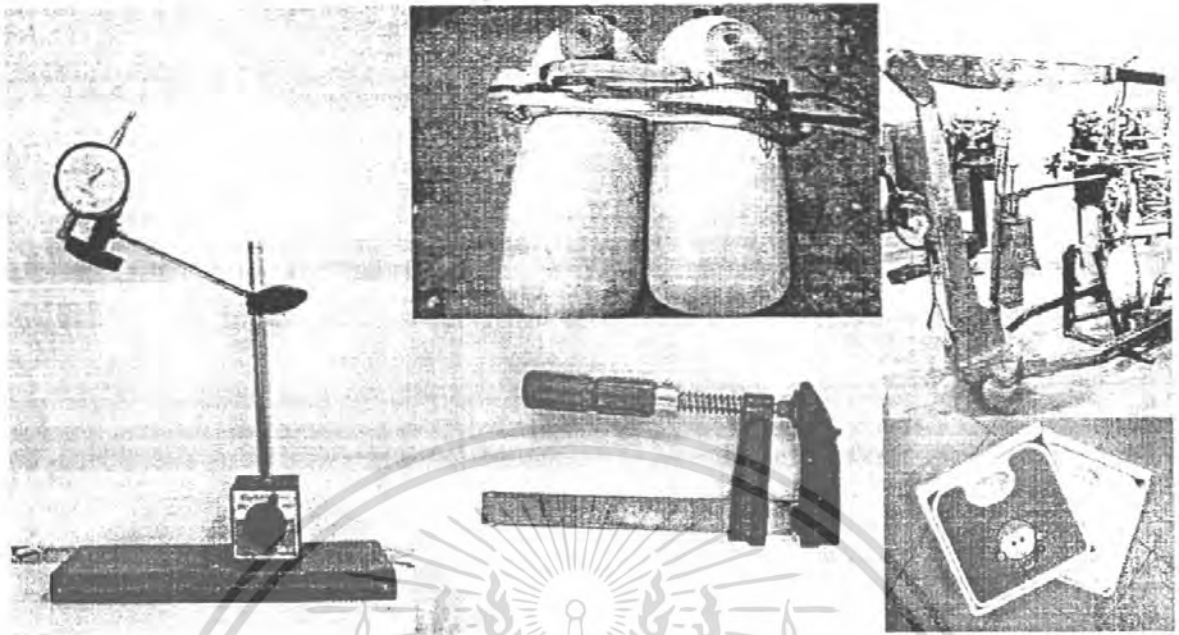
รูปที่ 6-1 การยืดแรงเพื่อหาจุดศูนย์กลาง

6.3 การทดสอบภาวะการดัด (Bending)

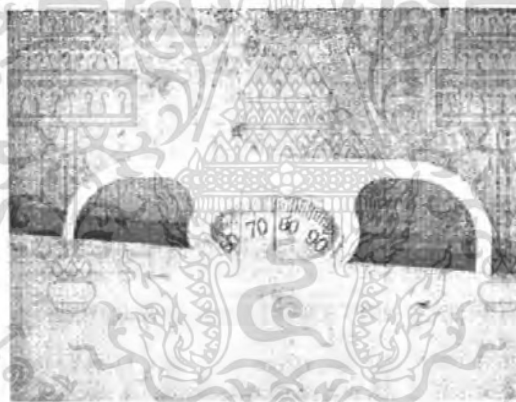
การทดสอบภาวะการดัดเป็นการจำลองสภาพของเฟรมรถเมื่อเกิดการดัดที่สามารถรับแรงได้เท่าใดจึงจะเกิดการโก่งงอขึ้นและเกิดการเคลื่อนที่จากจุดเดิมเป็นระยะเท่าใด ซึ่งภาวะการดัดจะเกิดเมื่อรถเร่งความเร็วหรือเบรค โมเมนต์ที่จากแรงเฉื่อยทำให้เกิดการถ่ายเทแรงจากล้อด้านหนึ่งไปล้อฝั่งตรงข้าม

อุปกรณ์การทดสอบ

- ถัง NGVหนักถึงละ 75.5 กิโลกรัม
- สายรัด
- ไม้เมตร
- โต๊ะเหล็ก
- โต๊ะไม้อย่างหนา
- ตัวจับชิ้นงาน (Clamp)
- ไฮโดรลิคช่วยยก
- ไซ้
- ไลต์แกง
- ตาชั่ง



รูปที่ 6-2 อุปกรณ์การทดสอบ

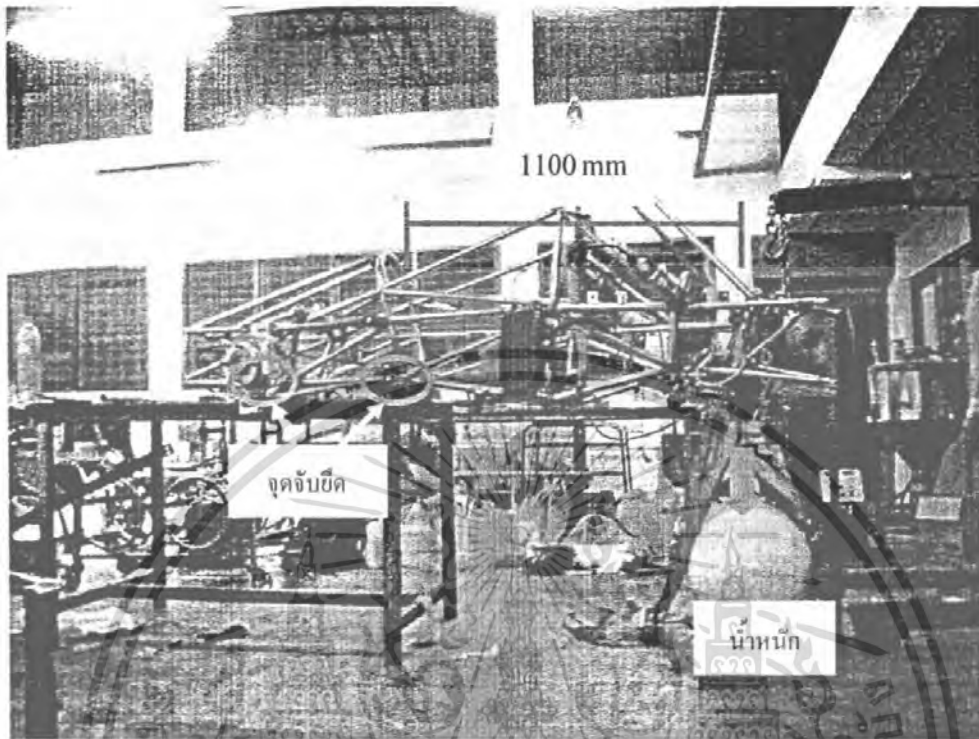


รูปที่ 6-3 ชั่งน้ำหนักถัง NGV

6.3.1 การทดสอบภาวะการคัดกรณี่ที่ 1

วิธีการทดสอบ

- จับยึดเฟรมกับโต๊ะจับงานในส่วนของด้านหน้าและตรวจสอบการยึดจับงานให้มั่นคง
- กำหนดจุดที่จะถ่วงน้ำหนักโดยการยึดตรงท้ายโครงรถ
- ยึดจับถัง NGV กับสายรัดแล้วทำการถ่วงที่ตำแหน่งกำหนด
- วัดระยะเปรียบเทียบก่อนและหลังการถ่วงกับถัง NGV ด้วยไม้เมตร
- นำค่าที่ได้จากการทดสอบของจริงเทียบกับโปรแกรมคอมพิวเตอร์



รูปที่ 6-4 การทดสอบการตัดกรณีที่ 1



รูป 6-5 การวิเคราะห์

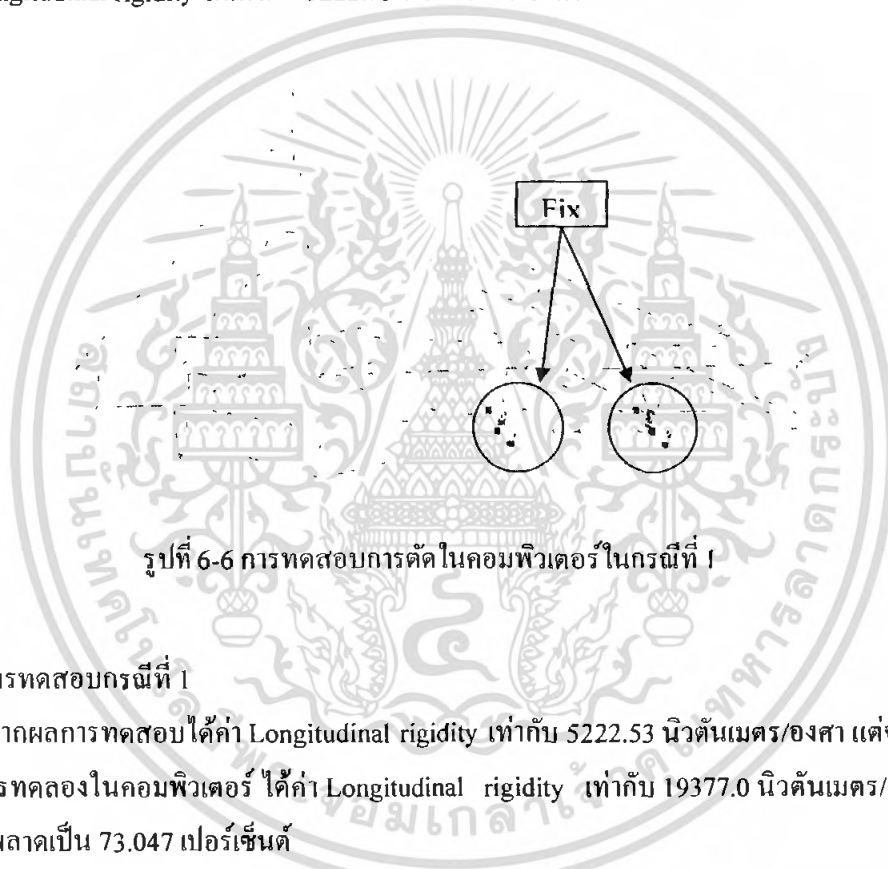
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ 78 การค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดสอบกรณีที่ 1

เมื่อดำรงแก๊ส NGV 1 ถึง พบว่าระยะที่เฟรมเลื่อนลงเปลี่ยนไป 3 มิลลิเมตร ซึ่งสามารถคำนวณ Longitudinal rigidity ได้ดังนี้

ระยะจากจุกอ้างอิงถึงจุดที่น้ำหนักตก 740.65 นิวตัน (75.5 กิโลกรัม) คือ 1100 มิลลิเมตร ได้โมเมนต์ 814.715 นิวตันเมตร จุดที่น้ำหนักตกมีระยะเลื่อนลง 3 มิลลิเมตร ดังนั้นมุมที่เปลี่ยนแปลงไป คือ 0.156 องศา

ดังนั้น Longitudinal rigidity ได้เท่ากับ 5222.53 นิวตันเมตร/องศา



รูปที่ 6-6 การทดสอบการคดในคอมพิวเตอร์ในกรณีที่ 1

สรุปผลการทดสอบกรณีที่ 1

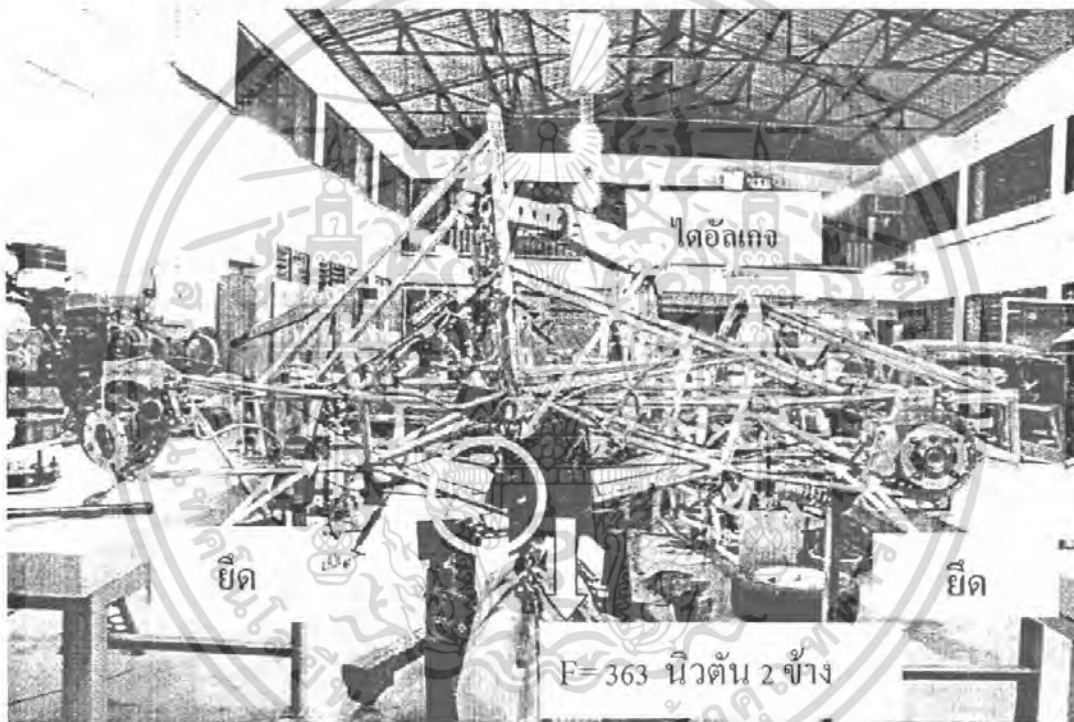
จากผลการทดสอบได้ค่า Longitudinal rigidity เท่ากับ 5222.53 นิวตันเมตร/องศา แต่จากการจำลองการทดลองในคอมพิวเตอร์ ได้ค่า Longitudinal rigidity เท่ากับ 19377.0 นิวตันเมตร/องศา มีความผิดพลาดเป็น 73.047 เปอร์เซ็นต์

ความผิดพลาดอาจมีสาเหตุจากระดับความอิสระ (Degree of Freedom) ของการทดลองจริงนั้น อาจควบคุมไม่ได้เหมือนการกำหนดใน โปรแกรม และยังพบว่าระหว่างการทดสอบเกิดการคดตัวของชุดทดลองแทนที่จะเกิดการคดของ โครงทดลองเพียงอย่างเดียวซึ่งเป็นเหตุให้เกิดความผิดพลาดสูง

6.3.2 การทดสอบภาระการตัดครั้งที่ 2

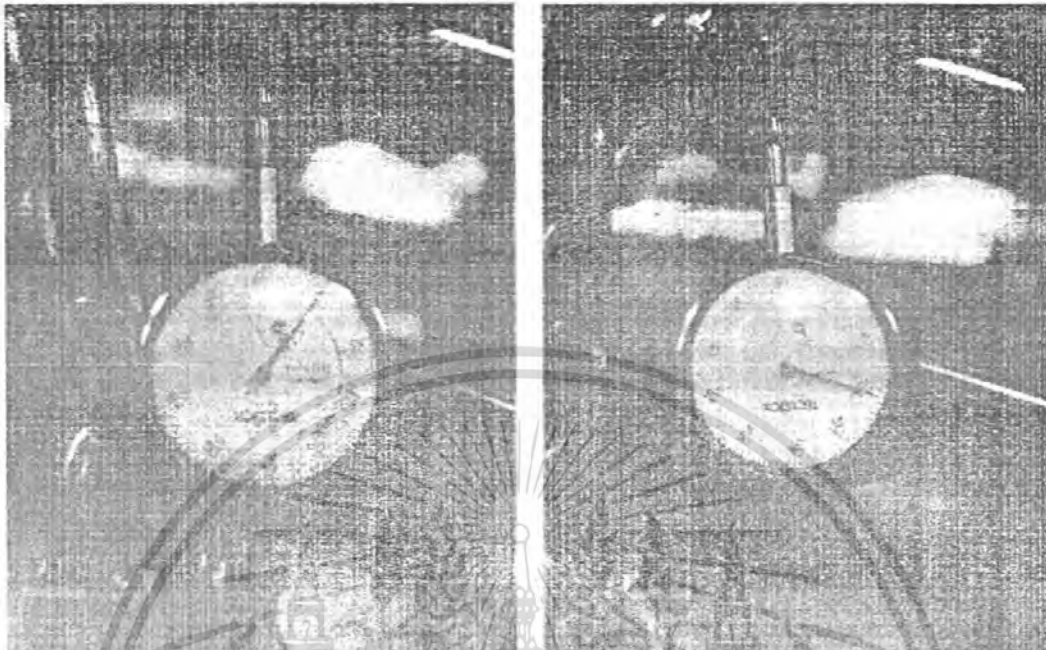
วิธีการทดสอบ

- จับยึดเฟรมกับโต๊ะจับงาน โดยยึดที่ส่วนหัวกับส่วนท้ายและตรวจสอบการยึดจับงานให้มั่นคง
- กำหนดจุดที่จะถ่วงน้ำหนักไว้ที่ตรงส่วนกลางโครงรถ
- ยึดจับถัง NGV กับสายรัดแล้วทำการถ่วงที่จุดกำหนด
- วัดระยะเปรียบเทียบก่อนและหลังการถ่วงกับถัง NGV ด้วยไคอัลเกจ
- นำค่าที่ได้จากการทดสอบเทียบกับของจริง



รูปที่ 6-7 การทดสอบการตัดในกรณีที่ 2

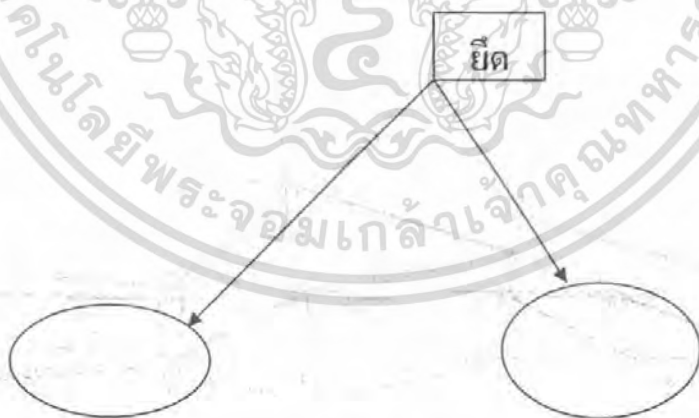
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ 80 ในการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6-8 การวัดค่าก่อนและหลังด้วย ไดอัลเกจ

ผลการทดสอบกรณีที่ 2

การทดลองหาค่าระยะที่เปลี่ยนไปด้วยเครื่อง ไดอัลเกจหาการเปลี่ยนแปลงจากก่อนและหลัง
 เป็นระยะ $\Delta z_{\text{actual}} = 0.210$ มิลลิเมตร



รูปที่ 6-9 การทดสอบการคัดในคอมพิวเตอร์ในกรณีที่ 2

สรุปผลการทดสอบกรณีที่ 2

ผลจากการวัดจริง $\Delta z_{\text{actual}} = 0.210$ มิลลิเมตร ผลจากทฤษฎี $\Delta z_{\text{theory}} = 0.177$ มิลลิเมตร มีความผิดพลาดเกิดขึ้นเป็น %error คิดจาก $\%error = |(\Delta z_{\text{theory}} - \Delta z_{\text{actual}}) / \Delta z_{\text{theory}}|$ ซึ่งได้ค่า 18.6 % และเมื่อเปลี่ยนโต๊ะชั่งจับ โครงจากเหล็กเป็นไม้หนาแข็งและเปลี่ยนจุดยึดพบว่าค่าความผิดพลาดลดลง

สรุปผลการทดสอบภาระการค้ำ

ตารางที่ 6-1 ตารางเปรียบเทียบการทดสอบภาระการค้ำทั้งสองกรณี

ภาระการค้ำ	การทดสอบจริง	จากโปรแกรมคอมพิวเตอร์	% error
กรณีที่ 1	5222.53 นิวตันเมตร/องศา	19377.0 นิวตันเมตร/องศา	73.0
กรณีที่ 2	$\Delta z_{\text{actual}} = 0.210$ มิลลิเมตร	$\Delta z_{\text{theory}} = 0.177$ มิลลิเมตร	18.6

เมื่อเทียบกับการทดสอบภาระการค้ำในกรณีแรกกับการทดสอบในกรณีที่สอง เทียบจากค่าความผิดพลาดที่หาได้จาก การทดสอบเทียบกับการคำนวณทางคอมพิวเตอร์ จะเห็นได้ว่าค่าความผิดพลาดในกรณีที่สองมีเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดน้อยกว่ามากและเหตุผลของความผิดพลาดที่หาได้แสดงว่าการออกแบบการทดสอบแบบกรณีที่สองถือว่ามีความใกล้เคียงและมีความน่าเชื่อถือมากกว่า และจากการทดสอบแสดงว่า โครงรถที่ได้ออกแบบมีความแข็งแรงใกล้เคียงกับ โปรแกรมทางคอมพิวเตอร์อยู่พอสมควรซึ่งอาจมีปัจจัยที่ทำได้ไม่ตรงกับค่าจากการคำนวณซึ่งอาจมาจากชุดอุปกรณ์การทดสอบ สถานที่ การสร้างเฟรมที่อาจผิดพลาดจากแบบ การเชื่อมที่เกิดรอยเชื่อมที่ไม่เหมาะสม ปัจจัยเหล่านี้มีผลต่อการทดสอบที่ทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนและมีผลต่อความแข็งแรงของ โครงรถ

บทที่ 7

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

7.1 สรุป

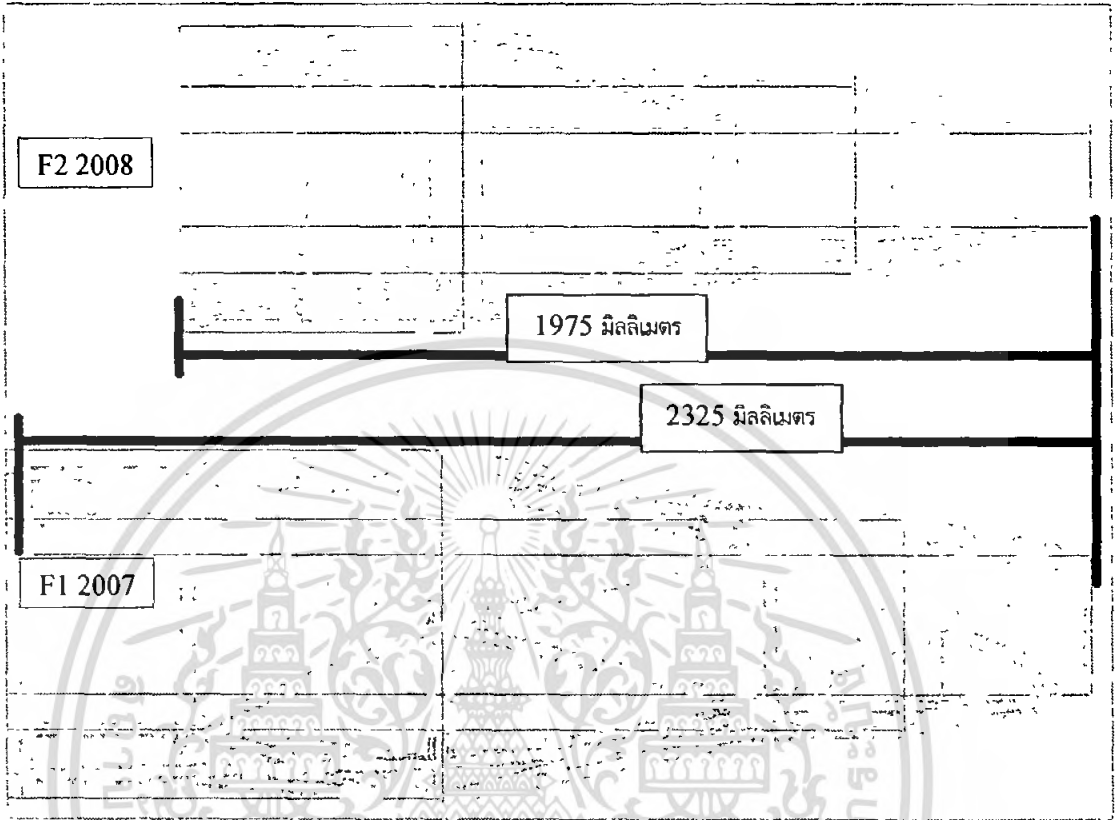
ในการวิจัยนี้วิธีการนำ CAE มาประยุกต์ใช้ช่วยในการวิเคราะห์แบบโครงสร้าง ค่าภาระแรงต่างๆ ซึ่งผลที่ได้มีส่วนช่วยอย่างมากในการวิเคราะห์เพื่อหาขนาดโครงสร้างให้อยู่ภายในค่าที่ยอมรับได้ตามเกณฑ์กติกาการแข่งขันและตามคำแนะนำจาก Formula SAE ทำให้โครงสร้างที่ได้มานั้นมีความแข็งแรงที่ดีและยังสามารถรักษาน้ำหนักที่เบาที่สุดไว้ได้ จากการทดสอบเพื่อเปรียบเทียบได้รูปแบบโครงสร้างที่มีน้ำหนักเทียบต่อระยะที่เคลื่อนไปน้อยที่สุด

ตารางที่ 7-1 ตารางเปรียบเทียบการพัฒนาโครงสร้าง

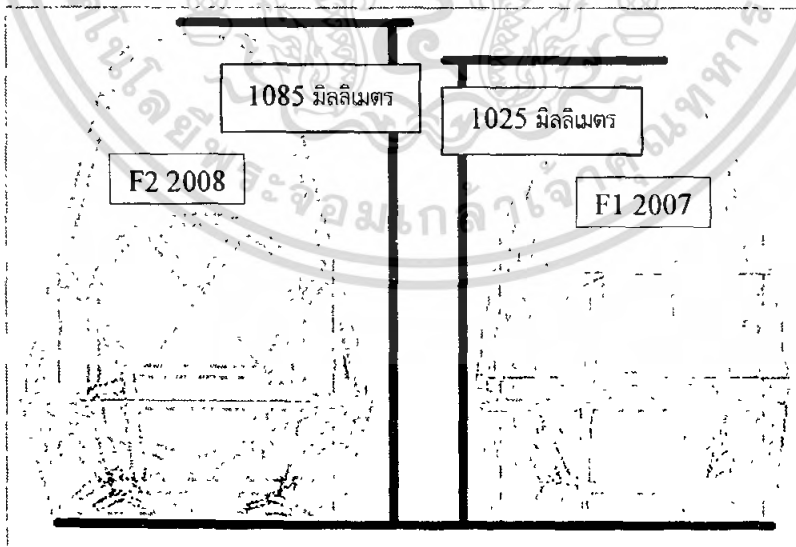
หัวข้อเปรียบเทียบ	ปี 2008	ปี 2007*
วัสดุ	- Stainless Steel 304	- Aluminum 6061
	- Yields = 434 เมกกะปาสคาล	- Yields = 275 เมกกะปาสคาล
	- ค่าความต้านทาน = 15.81 นิวตันเมตร/องศา · กิโลกรัม	- ค่าความต้านทาน = 4.07 นิวตันเมตร/องศา · กิโลกรัม
การกระจัด	- $\Delta z = 0.17702$ มิลลิเมตร	- $\Delta z = 0.5856$ มิลลิเมตร
Torsional Rigidity	- 5060 นิวตันเมตร/องศา	- 1100 นิวตันเมตร/องศา
มิติของรถ	- แสดงตามรูป	- แสดงตามรูป

(* ข้อมูลเฟรมรถปี 2007 ที่มา วิทวัส อิมเอ็บ “การออกแบบระบบเฟรมสำหรับรถแข่งขนาดเล็ก”)

รูปที่แสดงไว้ในหน้าถัดไปเป็นการเปรียบเทียบขนาดของเฟรมในปี 2008 เทียบกับปี 2007



รูปที่ 7-1 มิติจาก Top View



รูปที่ 7-2 มิติจาก Front View

เมื่อเปรียบเทียบกับ โครงสร้างในปี 2007 เทียบกับปี 2008 ผลที่ได้มีดังนี้

- การเปลี่ยนวัสดุจากอลูมิเนียม 6061 มาเป็นสแตนเลส 304 ได้ค่าความแข็งแรงของวัสดุเพิ่มขึ้นซึ่งทำให้รถแข็งแรงและเป็นไปตามกติกาความปลอดภัย
- การจำลองค่าการดัดจากคอมพิวเตอร์ ปี 2008 ได้ $\Delta z = 0.17702$ มิลลิเมตร ส่วนปี 2007 $\Delta z = 0.5856$ มิลลิเมตร ซึ่งได้ค่าที่ดีขึ้น เมื่อเทียบในสภาวะเดียวกัน
- การจำลองค่าการบิดจากคอมพิวเตอร์ ปี 2008 Torsional Rigidity = 5060 นิวตันเมตร/องศา ส่วนปี 2007 Torsional Rigidity = 1100 นิวตันเมตร/องศา ซึ่งปี 2008 ได้ค่าการต้านภาวะการบิดเพิ่มมากขึ้นจากการเปลี่ยนวัสดุและการออกแบบ โครงสร้างใหม่
- มติของรถที่มีการเปลี่ยนแปลงให้มีความกระชับ ลดที่ว่างที่ไม่เป็นประโยชน์และปรับให้ตรงตามขนาดกติกาการแข่งขันในระดับสากลของ SFAE
- มีการทดสอบจริงแล้วเทียบกับทางทฤษฎีทำให้สามารถทราบได้ว่าสร้างโครงผิดพลาดจากแบบที่ได้ทำการออกแบบไว้มากกว่าอย่างไร และจะเป็นแนวทางในการพัฒนาในปีต่อไปด้วย ซึ่งในโครงการเฟรมปี 2008 นี้ยังเพิ่มส่วนของการทดสอบจริงในบางกรณีเทียบกับการวิเคราะห์ทางคอมพิวเตอร์ ซึ่งในปี 2007 ไม่ได้ทำไว้คือการหาระยะเปลี่ยนแปลงในแนวตั้งของการระภาคัดและการหาจุดศูนย์กลาง

การเปรียบเทียบโครงสร้างที่ทำไว้ในปีที่แล้วและการออกแบบชิ้นใหม่นำมาเทียบกันแล้วจุดที่เป็นข้อดีจะนำไปสู่การหาโครงสร้างรถที่มีความปลอดภัย มีค่าการต้านทานภาระแรงที่กระทำกับโครงรถแล้วส่งผลให้เกิดความเสียหาย การจัดการพื้นที่ใช้งานของรถจาก โครงสร้างให้มีความเหมาะสมและพอดี การสร้างความแข็งแรงของโครงรถ ผลที่ได้คือเฟรมรถที่มีความเหมาะสมต่อการขับเคลื่อน ที่มีความปลอดภัยและสามารถคุ้มครองตัวผู้ขับให้มีความปลอดภัยที่สูง

7.2 ผลการแข่งขัน TSAE-AUTO Challenge 2008

ตารางที่ 7-2 ผลจากการส่งรถเข้าร่วมแข่งขันในรายการ TSAE-AUTO Challenge 2008

Team	Score, 1000	Rank			
6.Initial IV	813.64	1	1	19.Auto Mec. Racing-SPU Blue shark	334.06 11
10.Schnell	795.85	2	2	8.MU Speed	332.97 12
20.CMU-F1	502.49	3	คัดเลือก รับรางวัล	9.RMU Khonkaen Team	325.34 13
18.ตาลโตนด	501.52	4		3	13.Steady-state
16.TGSAE	455.19	5		7.Maximas	272.31 15
15.TAT-F1	444.55	6		5.G-KU. Src	264.76 16
2. Auto Mec. Racing-SPU 2007	424.31	7		17.ULTIMA - I	257.03 17
4.DRP II	386.59	8		1.Auto CMU Racing	243.61 18
22.Pirun Racing	385.53	9		12.Siam Mechanics	237.79 19
14.Sudsakhorn	357.47	10		23.Steadfast I	138.16 20
				3.Bangkok Tech	0.00 21
				21.Cu Kangzng	0.00 21
				11.SI 13	0.00 21

จากตารางผลการแข่งขันผลปรากฏว่าทีม Initial IV จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เป็นทีมชนะเลิศในการแข่งขันรายการนี้ ได้รับถ้วยรางวัลพระราชทานจากสมเด็จพระเทพฯ และเงินรางวัล 100,000 บาท พร้อมกลับสิทธิ์การไปแข่งขัน JSAE ที่ประเทศญี่ปุ่น



รูปที่ 7-3 รางวัลชนะเลิศ TSAE – Auto Challenge 2008

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ 86 การค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.3 ข้อเสนอแนะ

จากการทำโครงการวิเคราะห์และออกแบบโครงรถแข่งขนาดเล็กพบว่ายังมีปัญหาที่เกิดขึ้นจากการทำงานและสามารถนำมาเป็นข้อเสนอแนะการทำโครงสร้างให้ครั้งต่อไปได้ ดังนี้

1. ขาดอุปกรณ์ในการทดสอบจริงที่ได้มาตรฐานเนื่องจากขาดเงินทุนในการจัดซื้อ ซึ่งในการทดสอบจริงนั้นทางผู้จัดทำโครงการได้แก้ไขโดยออกแบบการทดสอบ จัดหาอุปกรณ์เองเท่าที่หาได้ และสามารถอ้างอิงค่าได้ ซึ่งการทดสอบนั้นค่าที่ได้ยังพบว่ามีความผิดพลาดจากทางทฤษฎี ซึ่งถ้าเป็นไปได้ต้องมีอุปกรณ์การทดสอบที่ดีกว่าเดิม
2. การจัดหาอุปกรณ์การสร้างโครงรถที่ได้มาตรฐาน เช่น ไม้เชื่อมซึ่งยังไม่มีความแข็งแรงเพียงพอ ไม่มีเงินทุนที่สูงพอ ต้องทำการสร้างตามเงินทุนที่มีซึ่งได้มาตรฐานที่ไม่ดีมาก
3. เวลาการสร้างที่ยังขาดความแน่นอนเนื่องจากปัจจัยหลายอย่าง เช่น รอเครื่องยนต์ว่าจะเลือกเครื่องยนต์ชนิดใดมาสร้าง รอการตกลงตัวนักขับ ซึ่งเป็นปัจจัยในการกำหนดขนาดของตัวรถสามารถแก้ไขโดยการประชุมและกำหนดแผนให้แน่นอน

เอกสารอ้างอิง

- [1] Chistopher Scott Baker, Formula SAE-A Space Frame Chassis Design, 2004
- [2] Geoff Davies F.I.M., M.Sc. (Oxon), Materials for Automobile Bodies, Elsevier Butterworth-Heinemann, 2003
- [3] Julian Happian-Smith, An introduction to Modern Vehicle Design, Elsevier Butterworth-Heinemann, 2004
- [4] Joseph E. Shigley, Charles R. Mischke and Richard G. Budynas, Mechanical Engineer Design, 2004
- [5] วิทวัส อิมเอิบ และ ธนิต เจตตะวัตนะ, การออกแบบระบบเฟรมสำหรับรถแข่งขนาดเล็ก, คณะวิศวกรรมศาสตร์ สจล., 2549
- [6] M. F. Ashby, Materials Selecteion in Mechanical Design, Pergamon Press, 1992
- [7] William F. Milliken, Douglas L. Milliken, Chassis Design Principle and Analysis, 2002
- [8] Richard Stone, Jeffrey K. Ball, Automotive Engineering Fundamentals, 2004