

โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับจำลองสภาพแวดล้อมเสมือนจริง
ภายในโรงงานอุตสาหกรรม
Virtual Industrial Environment



นายประมุต ลิละบรรยงค์

MR. PRAMUT LEELABUNYONG

นางสาวอวิกา เกศวรกุล

MS. AWIKA KESVORAKUL

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2555

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Virtual Industrial Environment



MR. PRAMUT LEELABUNYONG
MS. AWIKA KESVORAKUL

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF ENGINEERING IN INDUSTRIAL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ACADEMIC YEAR 2012

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองปริญญาโท

หัวข้อปริญญาโท

โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับจำลองสภาพแวดล้อมเสมือนจริง
ภายในโรงงานอุตสาหกรรม
Virtual Industrial Environment

นักศึกษา

นายประมุต ลีละบรรยงค์ รหัสประจำตัว 52010676
นางสาวอวิกา เกศวรรกุล รหัสประจำตัว 52011424

หลักสูตร

วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญาโท

(ดร.พลชัย โชติปราชญ์กุล)

หัวข้อปริญญานิพนธ์

โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับจำลองสภาพแวดล้อมเสมือนจริง
ภายในโรงงานอุตสาหกรรม
Virtual Industrial Environment

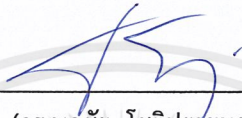
นักศึกษา

นายประมุต ลีละบรรยงค์ รหัสประจำตัว 52010676
นางสาวอวิกา เกศวรรกุล รหัสประจำตัว 52011424

หลักสูตร

วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์



(ดร.พลชัย โชติปรายนกุล)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์	โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับจำลองสภาพแวดล้อมเสมือนจริง ภายในโรงงานอุตสาหกรรม
นักศึกษา	นายประมุต ลีละบรรยงค์ นางสาวอวิกา เกศวรกุล
หลักสูตร	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา	2555
อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์	ดร.พลชัย โชติปราชญกุล

บทคัดย่อ

การวางแผนโรงงานอุตสาหกรรมและการติดตั้งเครื่องจักรต่างๆจำเป็นต้องใช้ระยะเวลาที่ยาวนานในการดำเนินงานและมีค่าใช้จ่ายที่ค่อนข้างสูง ด้วยเหตุนี้การนำเอาคอมพิวเตอร์กราฟิกและระบบเสมือนจริงมาประยุกต์ใช้ในการสร้างสภาพแวดล้อมเสมือนจริงของสถานที่ปฏิบัติการในโรงงานอุตสาหกรรมใดๆ ย่อมเป็นประโยชน์อย่างยิ่งกับผู้ประกอบการที่มีความประสงค์จะก่อสร้างหรือต่อเติมโรงงาน ให้สามารถรับรู้ถึงสภาพแวดล้อมในอนาคตได้ใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากยิ่งขึ้นก่อนที่จะดำเนินการสร้าง อุปกรณ์คอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการแสดงผลระบบเสมือนจริงเป็น "แว่นตาสามมิติ (Head Mounted Display, HMD)" รุ่น Vuzix iWear VR920 ซึ่งสามารถแสดงแบบจำลองสามมิติของสภาพแวดล้อมเสมือนจริงที่ทำงานบนซอฟต์แวร์ที่ถูกสร้างขึ้นด้วยภาษา Visual C++ และกราฟิกไลบรารีของ OpenGL บนระบบปฏิบัติการวินโดวส์ (Windows) โปรแกรมที่สร้างขึ้นจะเป็นเครื่องมือซึ่งช่วยสนับสนุนการตัดสินใจอย่างมีประสิทธิภาพ ส่งผลให้ผู้ใช้งานสามารถลดระยะเวลาและค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานก่อสร้างโรงงานได้เป็นอย่างดี

Thesis Title	Virtual Industrial Environment
Student	Mr. Pramut Leelabunyong Ms. Awika Kesvorakul
Degree	Bachelor of engineering in Industrial Engineering King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Academic Year	2555
Thesis Advisor	Dr. Phonlachai Chotiprayanakul

ABSTRACT

Process of plant layout and machine installation always needs a lot of time and costs. Computer graphic and virtual reality can be useful in order to simulate a virtual environment of an industrial workplace that can reduce time and cost. A computer device as a "Head Mounted Display" Vuzix iWear VR920 series can show a virtual environment and 3D models. It lets operators can perceive the environment before it is going to be constructed and help making right decisions in plant layout. Virtual environment software is constructed with Visual C++ and Open Graphics Library on Windows Operating System. The outcome of this project shows that the program can properly simulate the virtual industrial environment.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์เรื่อง การสร้างโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับจำลองสภาพแวดล้อมเสมือนจริงภายในโรงงานอุตสาหกรรม สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี กลุ่มผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณบุคคลทุกท่านที่มีส่วนเกี่ยวข้องให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสิ้นสมบูรณ์

ดร.พลชัย โชติปราชญกุล ท่านอาจารย์ผู้ให้คำปรึกษาควบคุมปริญญานิพนธ์ ทางกลุ่มผู้วิจัยขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงในความอนุเคราะห์สำหรับการศึกษาปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ รวมทั้งความรู้ คำแนะนำ ความช่วยเหลือและความเอาใจใส่ในทุกๆ ด้านตลอดระยะเวลาที่ผ่านมา

ขอขอบพระคุณอาจารย์ภายในภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรมทุกท่านที่ได้สั่งสอนอบรมแก่พวกเราตลอดมา สุดท้ายขอขอบพระคุณบิดามารดา และเพื่อนทุกคนที่คอยให้กำลังใจในการทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้จนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี



นายประมุต ลีละบรรยงค์
นางสาวอวิกา เกศวรกุล

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญรูปภาพ.....	ช
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	1
1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์.....	1
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	1
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 ทฤษฎีการออกแบบและจัดวางผังโรงงาน.....	3
2.2 ทฤษฎีการประยุกต์ใช้คอมพิวเตอร์ในงานกราฟิก.....	5
2.2.1 อุปกรณ์ในระบบกราฟิก.....	6
2.2.2 หลักการประยุกต์ใช้งานของOpenGL.....	10
2.2.3 OpenGL กับงานคอมพิวเตอร์กราฟิก.....	13
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการ.....	16
3.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน.....	17
3.2 พิจารณาคัดเลือกผังโรงงานตัวอย่างเพื่อใช้สำหรับสร้างสภาพแวดล้อมเสมือนจริงและเก็บรวบรวมข้อมูลเพื่อ ใช้เขียนภาพสามมิติ.....	20
3.2.1 คัดเลือกผังโรงงานตัวอย่างเพื่อใช้สำหรับจำลองสภาพแวดล้อมเสมือนจริง.....	20
3.2.2 สร้างวัตถุสามมิติจากวัตถุจริง.....	20
3.2.3 คัดแยกวัตถุสามมิติออกเป็นชิ้นส่วนตามความแตกต่างของสีที่ปรากฏ.....	21
3.2.4 แปลงรหัสภาพดิจิทัลสู่รหัสตัวเลขเพื่อสร้างไฟล์ข้อมูล.....	21
3.2.5 จัดเก็บข้อมูลเพื่อใช้สำหรับอ้างอิงในการสร้างภาพสามมิติ.....	23
3.3 เขียนโปรแกรมในการจำลองสภาพแวดล้อมเสมือนจริง.....	24
3.3.1 แสดงวัตถุสามมิติให้ปรากฏอยู่บนหน้าจอโปรแกรมที่เขียนขึ้น.....	24
3.3.2 จัดการทิศทางและความเข้มของแสงเงาบนวัตถุเพื่อให้เกิดความสมจริง.....	25

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.3.3 ขริบภาพและกำหนดมุมมองภาพสามมิติ.....	26
3.3.4 หมุนและเคลื่อนย้ายวัตถุสามมิติไปยังตำแหน่งที่ต้องการในสภาพแวดล้อมเสมือนจริง.....	26
3.3.5 จัดวางวัตถุสามมิติต่างๆลงในสภาพแวดล้อมเสมือนจริงที่ทำการจำลองขึ้น.....	27
3.4 ทดสอบการทำงานของโปรแกรมผ่านแว่นตาสามมิติ.....	27
บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์และทดลอง.....	29
4.1 ข้อมูลชิ้นส่วนภายในของเครื่องจักรในโรงปฏิบัติการทางวิศวกรรมของคณะวิศวกรรมศาสตร์สาขาวิชาอุตสาหกรรมสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.....	29
4.2 โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับจำลองสภาพแวดล้อมเสมือนจริงภายในโรงงานอุตสาหกรรม.....	30
4.3 การแสดงผลของการจำลองสภาพแวดล้อมเสมือนจริงบนโปรแกรมที่เขียนขึ้นผ่านอุปกรณ์แว่นตาสามมิติ.....	31
บทที่ 5 สรุปผลการดำเนินงาน.....	33
5.1 สรุปผลการดำเนินงาน.....	33
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	33
บรรณานุกรม.....	34
ภาคผนวก	
ตารางอ้างอิงข้อมูล.....	ผ1
Source Code	ผ11

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 2.1 ลักษณะการวางผังโรงงานแบบผลิตภัณฑ์.....	4
รูปที่ 2.2 รูปแบบการจัดสายการผลิตแบบกระบวนการผลิต (Process Layout)	4
รูปที่ 2.3 แสดงเลย์เอาต์และส่วนประกอบของคีย์บอร์ดตามมาตรฐาน.....	7
รูปที่ 2.4 เมาส์ประเภทต่างๆ.....	8
รูปที่ 2.5 การเบี่ยงเบนของประจุลบของปืนอิเล็กตรอนในจอ CRT.....	8
รูปที่ 2.6 การจำลองการมองเห็นภาพด้วยกล้องมองภาพ 3 มิติ.....	9
รูปที่ 2.7 การมองภาพด้วยกล้อง 3 มิติ.....	9
รูปที่ 2.8 เฮดเซตในระบบเสมือนจริง.....	10
รูปที่ 2.9 แสดงระบบกราฟิกที่เปรียบเสมือนกล่องดำ (Black Box).....	11
รูปที่ 2.10 ภาพตัวอย่างการนำเอา OpenGL มาประยุกต์ใช้กับคอมพิวเตอร์กราฟิก.....	13
รูปที่ 2.11 ตัวอย่างของ สื่อหลายมิติ(Hypermedia).....	14
รูปที่ 2.12 ถุงมือข้อมูล (Data Gloves) และอุปกรณ์ที่ใช้ในระบบเสมือนจริง.....	15
รูปที่ 3.1 แผนผังขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน.....	16
รูปที่ 3.2 ตัวอย่างวัตถุ 3 มิติซึ่งสร้างขึ้นโดยรูปสามเหลี่ยมที่มีขนาดด้าน และมุมที่แตกต่างกัน.....	17
รูปที่ 3.3 การเลื่อนจุดแบบ 3 มิติ.....	18
รูปที่ 3.4 uniform scaling ที่กำหนดค่าสเกลลิงเฟคเตอร์เป็น 2 ทำให้เกิดออปเจกต์ห่างออกจากจุดกำเนิด.....	19
รูปที่ 3.5 การหมุนที่มุมเป็นบวกเป็นการหมุนทวนเข็มนาฬิกาเมื่อมองจากด้านบวกของแกนไปหาจุดกำเนิด.....	19
รูปที่ 3.6 ผังโรงปฏิบัติการทางวิศวกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาอุตสาหกรรม.....	20
รูปที่ 3.7 ตัวอย่างวัตถุสามมิติ เครื่องจักรที่ใช้ในโรงงาน.....	21
รูปที่ 3.8 ตัวอย่างการแยกสีและชิ้นส่วนประกอบของวัตถุสามมิติ.....	21
รูปที่ 3.9 แสดงวิธีการแปลงสเกลไฟล์ STL ทำได้โดยผ่านคำสั่งบนซอฟต์แวร์ Google SketchUp.....	22
รูปที่ 3.10 แสดงไฟล์สเกล STL ที่มีข้อมูลตัวเลขหลังจากผ่านกระบวนการแปลงรหัสข้อมูลเรียบร้อยแล้ว.....	22
รูปที่ 3.11 ภาพ ก. แสดงชุดข้อมูลตัวเลขที่พร้อมนำไปใช้งานต่อ ซึ่งถูกแปลงจากข้อมูลที่เป็นรหัสภาพดิจิทัล ภาพ ข. แสดงไฟล์ Header หลังจากถูกสร้างด้วยชุดข้อมูลในภาพ ก.....	23
รูปที่ 3.12 ตารางอ้างอิงข้อมูลของสถานที่ เครื่องจักร อุปกรณ์ และเครื่องมือที่อยู่ภายในโรงปฏิบัติการทางวิศวกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาอุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.....	24
รูปที่ 3.13 แสดงวิธีการเขียนโปรแกรมเพื่อให้เกิดการติดต่อกันระหว่างโปรแกรมจำลองสภาพแวดล้อมเสมือนจริงกับชุด ข้อมูลของวัตถุสามมิติ.....	25
รูปที่ 3.14 แสดงตัวอย่างวัตถุสามมิติที่ปรากฏขึ้นบนหน้าจอของโปรแกรมจำลองสภาพแวดล้อมเสมือนจริง.....	25
รูปที่ 3.15 แสดงความแตกต่างของแสงที่มีทิศทางการสะท้อน ความเข้ม และสีที่ต่างกัน.....	25
รูปที่ 3.16 แสดงความแตกต่างในการเปลี่ยนระยะขริบภาพและวิวพอร์ต.....	26
รูปที่ 3.17 แสดงการหมุนและการเคลื่อนตำแหน่งของวัตถุสามมิติในทิศทางและตำแหน่งที่แตกต่างบนหน้าจอโปรแกรม จำลองสภาพแวดล้อมเสมือนจริง.....	27

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 3.18 แว่นตาสามมิติรุ่น Vuzix iWear VR920.....	28
รูปที่ 4.1 ตัวอย่างตารางอ้างอิงข้อมูลเพื่อนำมาใช้เขียนภาพสามมิติ.....	29
รูปที่ 4.2 เปรียบเทียบภาพจริงกับภาพในโปรแกรมของประตูหน้า.....	30
รูปที่ 4.3 เปรียบเทียบภาพจริงกับภาพในโปรแกรมของห้องงานเชื่อม.....	30
รูปที่ 4.4 เปรียบเทียบภาพจริงกับภาพในโปรแกรมของโรงแมชชีน.....	30
รูปที่ 4.5 เปรียบเทียบภาพจริงกับภาพในโปรแกรมของโรงแมชชีน.....	31
รูปที่ 4.6 เปรียบเทียบภาพจริงกับภาพในโปรแกรมของห้องเก็บอุปกรณ์.....	31
รูปที่ 4.7 เปรียบเทียบภาพจริงกับภาพในโปรแกรมของห้องออฟฟิศ.....	31
รูปที่ 4.8 แสดงสภาพแวดล้อมเสมือนจริงผ่านหน้าจอบนแว่นตาสามมิติ.....	32



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในขั้นตอนของการออกแบบ วางผังโรงงาน และติดตั้งเครื่องจักรมีความซับซ้อน ค่าใช้จ่ายสูง และใช้ระยะเวลาอันยาวนาน ดังนั้นหากมีเครื่องมือที่สามารถจำลองสภาพแวดล้อมเสมือนจริงที่ออกแบบไว้ให้แสดงภาพออกมาในลักษณะของรูปภาพสามมิติให้กับผู้ออกแบบได้เห็นจะเป็นประโยชน์ต่อการตัดสินใจในการจัดวางออกแบบผังโรงงาน ไม่ว่าจะเป็นในกรณีที่ผู้ประกอบการรายเก่าหรือรายใหม่ที่มีความประสงค์จะก่อสร้าง ต่อเติมโรงงานอุตสาหกรรมขึ้น เครื่องมือดังกล่าวนอกจากจะช่วยในเครื่องของการคาดการณ์สภาพแวดล้อมที่อาจเกิดขึ้นจริงแล้ว ยังช่วยในเรื่องของการปรับแก้ผังโรงงานที่ออกแบบใหม่หากผังเก่าไม่สามารถตอบสนองการขยายกำลังการผลิตได้ หลังจากการก่อสร้างหรือต่อเติมหรือปรับปรุงสายการผลิต มันจะเป็นการยากที่จะเปลี่ยนแก้ไขและรวมถึงอาจสูญเสียเงินลงทุนโดยไม่จำเป็น นอกจากนี้การออกแบบ วางผังโรงงาน และจัดวางตำแหน่งของเครื่องจักรนั้นมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการสร้างทัศนคติและแรงจูงใจที่ดีในการปฏิบัติงานเพื่อความปลอดภัยของพนักงานปฏิบัติการ ดังนั้นการนำเครื่องมือดังกล่าวมาประยุกต์ใช้งานย่อมเป็นการสนับสนุนให้การออกแบบและจัดวางผังโรงงานเกิดประสิทธิภาพมากที่สุด

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อสร้างโปรแกรมจำลองสภาพแวดล้อมเสมือนจริงภายในโรงงานอุตสาหกรรม

1.2.2 เพื่อให้โปรแกรมดังกล่าวในการศึกษาหรือชี้วัดระดับความพึงพอใจและทัศนคติที่อาจเกิดขึ้นกับพนักงานที่ปฏิบัติงานขณะปฏิบัติงานในพื้นที่ทำงาน

1.2.3 ใช้คาดการณ์สภาพแวดล้อมเสมือนจริงก่อนที่จะลงมือก่อสร้างโรงงาน เพื่อใช้สนับสนุนกระบวนการการออกแบบและจัดวางผังโรงงาน

1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์

จัดทำโปรแกรมคอมพิวเตอร์ซึ่งสามารถจำลองสภาพแวดล้อมเสมือนจริงภายในโรงงานอุตสาหกรรมในลักษณะของภาพสามมิติ โดยใช้ภาษา Visual C++ เป็นภาษาที่ใช้เขียนโปรแกรมและใช้โปรแกรม Open Graphics Library ในการแสดงแบบจำลองสามมิติของสภาพแวดล้อมของโรงงานอุตสาหกรรมบนแว่นตาคอมพิวเตอร์ โดยโปรแกรมทั้งสองนี้จะทำงานในระบบปฏิบัติการวินโดวส์

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 เป็นเครื่องมือที่ใช้ช่วยตรวจสอบและวัดระดับความพึงพอใจและทัศนคติที่ดีต่อพื้นที่ทำงานของพนักงานที่ปฏิบัติงานในโรงงานอุตสาหกรรมนั้นๆ

1.4.2 ใช้สนับสนุนการตัดสินใจในการออกแบบและจัดวางผังโรงงาน รวมถึงเป็นการคาดการณ์สภาพแวดล้อมเสมือนจริงที่อาจเกิดขึ้น

1.4.3 เพื่อใช้เป็นตัวอย่างในการนำเอาหลักการของโปรแกรมคอมพิวเตอร์มาช่วยในการจัดการทางด้านวิศวกรรม
อุตสาหกรรม มาประยุกต์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของการวางแผนโรงงาน

1.4.4 เพื่อใช้เป็นสื่อประกอบการเรียนการสอนของวิชาที่เกี่ยวข้อง



บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

บทนำ

การสร้างโปรแกรมสำหรับจำลองสภาพแวดล้อมเสมือนจริงภายในโรงงานอุตสาหกรรม เป็นการศึกษาซึ่งเกี่ยวข้องกับการเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์จำลองสภาพแวดล้อมเสมือนจริงก่อนทำการตัดสินใจวางแผนผังโรงงานอุตสาหกรรมเพื่อนำไปสู่การดำเนินกิจกรรม การเลือกขนาดโรงงาน การจัดวางผังโรงงาน และการจัดวางเครื่องจักรภายในโรงงาน ผลจากการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ดังกล่าวส่งผลให้การจัดเตรียมสถานที่ทำงานมีความเหมาะสมกับการทำการผลิต ความปลอดภัย และต้นทุนที่ต่ำที่สุดในการก่อสร้างและติดตั้งเครื่องจักรต่างๆ การทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ได้ทำการศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการสร้างโปรแกรมสำหรับจำลองสภาพแวดล้อมเสมือนจริงภายในโรงงานอุตสาหกรรม คือ ทฤษฎีการออกแบบและจัดวางผังโรงงาน และทฤษฎีการประยุกต์ใช้คอมพิวเตอร์ในงานกราฟิก ซึ่งจะถูกล่าไว้ในหัวข้อต่อไป

2.1 ทฤษฎีการออกแบบและจัดวางผังโรงงาน

การออกแบบวางผังโรงงานหรือสถานที่ เพื่อให้เหมาะสมกับการทำงานการผลิต เครื่องจักร อุปกรณ์การทำงาน หรือหน้าร้านในการให้บริการ จากกระบวนการผลิตและบริการจะเป็นการผ่านปัจจัยต่างๆ เช่น คน เครื่องจักร วัตถุดิบ พลังงาน การออกแบบการวางผังที่ดีจะช่วยลดต้นทุนในการบริหารงานที่ต่ำลง การทำงานมีความสะดวกและมีประสิทธิภาพ ทำให้คุณภาพชีวิตมีประสิทธิผลมากขึ้น โดยกำหนดตำแหน่งของคน เครื่องจักร วัตถุดิบและสิ่งสนับสนุนการผลิตอันเป็นปัจจัยสำคัญของระบบการผลิตให้เหมาะสมเกิดเวลาว่างเปล่าในสายการผลิตที่น้อยกว่า และใช้เวลาการผลิตให้สั้นที่สุดอันยังผลให้เกิดประโยชน์ในด้านการผลิตที่ต่ำลง ประหยัดค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานทั้งทางตรงและทางอ้อม ใช้เนื้อที่ส่วนที่เป็นพื้นที่ได้อย่างมีประสิทธิภาพและเป็นข้อได้เปรียบในเชิงเศรษฐศาสตร์ โดยเฉพาะผลิตภัณฑ์ที่อยู่ในตลาดการแข่งขันในอดีตหลายๆ ปัญหาในการใช้บริการที่มีการจัดวางผังไม่ดีเช่นการวางผังของโรงพยาบาลในอดีต การตรวจร่างกายครบทุกอย่างใช้เวลามากกว่าครึ่งวัน ผู้ใช้บริการต้องเดินไปมาเข้าออกห้องต่างๆ กดลิฟต์ขึ้นลงชั้นต่างๆ แต่ในปัจจุบันนี้ถ้าเข้าไปใช้บริการจะใช้นเวลาน้อยกว่ามากและซึ่งการจัดวางหน่วยให้บริการอยู่ในพื้นที่เดียวกัน หรือใกล้เคียงกัน (สมศักดิ์, 2547)

การจัดวางผัง (Layout) หมายถึงการจัดวางเครื่องจักร วัสดุอุปกรณ์ คน สิ่งอำนวยความสะดวกและสนับสนุนการผลิตให้อยู่ในตำแหน่งที่เหมาะสม เพื่อให้การปฏิบัติงานมีประสิทธิภาพมากที่สุด ตรงตามเป้าหมายที่กำหนดไว้ การวางผังโรงงานมีเป้าหมายพื้นฐาน 6 ประการ

1. หลักการเกี่ยวกับการรวมกิจกรรมทั้งหมด ผังโรงงานที่ดีจะต้องรวมคนวัสดุเครื่องจักรกิจกรรมสนับสนุนการผลิตและข้อพิจารณาอื่นๆ ยังผลต่อการทำให้การรวมตัวกันที่ดีที่สุด
2. หลักการเกี่ยวกับการเคลื่อนที่ในระยะสั้นที่สุดผังโรงงานที่ดีจะต้องมีระยะทางการเคลื่อนที่ของการขนถ่ายวัสดุระหว่างกิจกรรมหรือระหว่างหน่วยงานน้อยที่สุด
3. หลักการเกี่ยวกับการไหลของวัสดุผังโรงงานที่ดีจะต้องจัดสถานที่ทำงานของแต่ละหน่วยงานหรือแต่ละขบวนการผลิตตามลำดับขั้นตอนของผลิตภัณฑ์ เพื่อให้การไหลของวัสดุไม่กวนหรือหยุดชะงัก
4. หลักการเกี่ยวกับการใช้เนื้อที่ ผังโรงงานที่ดีจะต้องใช้พื้นที่ให้เกิดประโยชน์สูงสุดในแนวนอน และแนวตั้ง

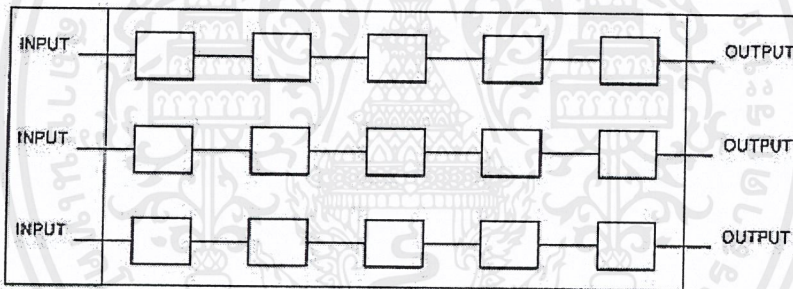
5. หลักการเกี่ยวกับการทำให้คนงานมีความพอใจและความปลอดภัย ผังโรงงานที่ดีจะต้องเป็นผังโรงงานที่มีสถานที่ทำงานที่เป็นที่พอใจสร้างขวัญกำลังใจแก่คนงานและสร้างความปลอดภัยให้คนงานและทรัพย์สินของโรงงานได้

6. หลักการเกี่ยวกับความยืดหยุ่นผังโรงงานที่ดี จะสามารถปรับปรุงหรือเปลี่ยนแปลงโดยเสียค่าใช้จ่ายน้อยที่สุด และทำได้สะดวกในหน่วยงานหรือองค์กรจะมีความสัมพันธ์ของปัจจัยการผลิตหลักคือ วัสดุ คนงาน และเครื่องจักร ทั้ง 3 ปัจจัย มีการเคลื่อนไหวในระบบ เช่นในบางกระบวนการผลิตเครื่องจักรมีขนาดใหญ่จะต้องเคลื่อนคน วัสดุและอุปกรณ์เข้าไปหาส่วนเครื่องจักรอุปกรณ์ขนาดเล็กจะต้องเคลื่อนอุปกรณ์เข้าหาชิ้นงานโดยที่คนอยู่กับที่ ซึ่งแล้วแต่ความเหมาะสมและสถานการณ์ การผลิตโดยทั่วไปจะเป็นการขึ้นรูป การเปลี่ยนคุณสมบัติ และการประกอบ โดยแต่ละรูปแบบมีการใช้เทคนิคอุปกรณ์เครื่องมือที่แตกต่างกันไปสามารถกำหนดประเภทของการวางผังได้ ดังนี้

- การวางผังตามชนิดผลิตภัณฑ์ (Product Layout)
- การวางผังตามกระบวนการผลิต (Process Layout)
- การวางผังตามตำแหน่งของงาน (Fixed Position Layout)

การวางผังตามชนิดผลิตภัณฑ์ (Product Layout)

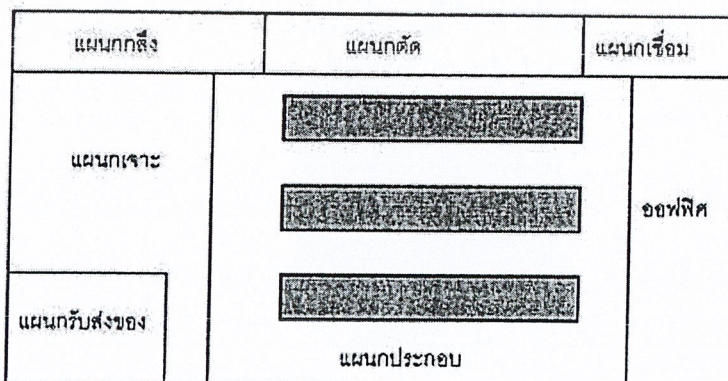
การวางผังตามชนิดผลิตภัณฑ์มีความเหมาะสมสำหรับการผลิตที่มีผลิตภัณฑ์ชนิดเดียวหรือน้อยชนิด เป็นการผลิตที่มีจำนวนมาก (Mass Production) และเป็นการผลิตแบบต่อเนื่อง เช่นการผลิตน้ำอัดลม การผลิตปูนซีเมนต์ การผลิตโทรศัพท์ การผลิตอาหารกระป๋อง เป็นต้น การจัดวางสายการผลิตแบบนี้จะเห็นได้ชัดว่าเป็นการผลิตที่มีปริมาณที่มากมาย มีการใช้สายการผลิตลักษณะแบบสายพาน มีการส่งวัตถุดิบทางสายหรือทางท่อ มีการผลิตตลอดเวลาการเตรียมการผลิตจะใช้เวลานาน



รูปที่ 2.1 ลักษณะการวางผังโรงงานแบบผลิตภัณฑ์

การวางผังตามกระบวนการผลิต (Process Layout)

การวางผังตามชนิดผลิตภัณฑ์ จะทำการวางผังตามกลุ่มของเครื่องจักร หรือตามหน้าที่ของงาน (Functional Layout) เช่น โรงงานในการขึ้นรูป-กลึง-ตัด-เจาะ-เชื่อม-ประกอบ มีการแยกแผนกในการทำงานอย่างชัดเจนโรงงานผลิตเฟอร์นิเจอร์ หรือโรงพยาบาลก็มีการจัดวางผังการผลิตและบริการแบบกระบวนการผลิต



รูปที่ 2.2 รูปแบบการจัดสายการผลิตแบบกระบวนการผลิต (Process Layout)

การวางผังแบบงานอยู่กับที่ (Fixed-Position Layout)

การวางผังการผลิตแบบนี้ ผลิตภัณฑ์ที่ผลิตจะมีขนาดที่ค่อนข้างใหญ่ ไม่สะดวกในการเคลื่อนย้ายผลิตภัณฑ์ เช่น เครื่องบิน เรือเดินสมุทร การก่อสร้างเขื่อน การก่อสร้างอาคาร ภายหลังจากการผลิตแล้วเสร็จ ผลิตภัณฑ์ส่วนมากมักจะอยู่กับที่ หรือถ้ามีการเคลื่อนย้ายจะค่อนข้างลำบาก การวางผังลักษณะนี้ทำการวางผังโดยการให้ชิ้นงานที่จะผลิตอยู่กับที่หรือผลิตส่วนงานชิ้นย่อยๆ เป็นลักษณะชิ้นส่วนสำคัญจากภายนอกนำเข้ามาประกอบ โดยเคลื่อน แรงงาน วัตถุดิบ อุปกรณ์ เครื่องจักร พลังงาน และกรรมวิธีเข้าไปหา ตัวอย่างเช่น ในอดีตการก่อสร้างสะพานลอยคนเดินข้าม หรือสะพานลอยของรถ จะมีการนำเอาปัจจัยการผลิตต่างๆ วัตถุดิบ เครื่องผสมปูนซีเมนต์เหล็กเส้น แรงงาน ปูนซีเมนต์ ไม้แบบ รถขุดเจาะเสาเข็ม เข้าไปในพื้นที่ที่จะสร้างเพื่อผ่านกระบวนการสร้างให้เป็นสะพานลอยอย่างสมบูรณ์ โดยใช้เวลาในการดำเนินการนานนับเดือน ขณะที่ปัจจุบันจะเป็นลักษณะที่ใช้เทคโนโลยีที่ผลิตคานหรือเสาเข็มมาก่อนเสร็จแล้วนำมาประกอบโดยใช้เวลาที่ลดลงกว่าเดิมมาก โดยการจราจรจะมีการติดขัดน้อยลงแต่ได้ผลิตภัณฑ์เหมือนเดิมและมีความรวดเร็วในการผลิตการก่อสร้างมากกว่า

การออกแบบผังโรงงานมีการพัฒนาออกไปอีกมากมาย ไม่จำเป็นต้องใช้ออกแบบแบบใดแบบหนึ่งในหนึ่งโรงงาน อาจใช้รูปแบบการวางผังแบบผสม เช่น การวางผังแบบเซลล์ (Cellular Layout) มีการนำหลักการที่ชิ้นงานลักษณะการผลิตที่ใกล้เคียงกัน มาอยู่ในสายการผลิตเดียวกันโดยยกเว้นขั้นตอนหรือเครื่องจักรบางเครื่องที่ข้ามไป และในบางครั้งอาจมีการข้ามสายการผลิตได้แต่เล็กน้อย ส่งผลให้ลดเวลาในการเตรียมเครื่องจักร ลดพื้นที่การผลิต ลดการขนถ่ายลำเลียงได้มาก ปัจจุบันในหลายโรงงานจะนิยมใช้การวางผังการผลิตแบบผสม

การวางผังโรงงานที่เหมาะสมจะต้องประกอบด้วยขั้นตอนหลายๆ ขั้นตอนด้วยกัน ซึ่งสามารถแบ่งแต่ละขั้นตอนออกตามลำดับดังนี้

1. ศึกษารายละเอียดและรวบรวมข้อมูลพื้นฐานขั้นต้นในขั้นนี้จะต้องระบุไปให้ชัดเจนว่าจะทำการผลิตผลิตภัณฑ์ชนิดใดและจำนวนเท่าไรเป็นต้น
2. กำหนดกิจกรรมขั้นพื้นฐานต่างๆ ที่จำเป็นต่อการผลิตโดยตรงกิจกรรมเหล่านี้จะเกี่ยวข้องกับกระบวนการผลิตที่จะต้องใช้ในการผลิตและการจัดหาชนิดและจำนวนของเครื่องจักรอุปกรณ์ที่เพียงพอกับความต้องการผลิตรวมทั้งการกำหนดหน้าที่ต่างๆ ให้กับเครื่องจักรและอุปกรณ์เหล่านั้นในแผนการผลิตหรือแผนบริการให้แน่นอน
3. กำหนดกิจกรรมต่างๆ กิจกรรมที่มีความจำเป็นต่อการสนับสนุนการผลิต ซึ่งก็คือกิจกรรมที่สนับสนุนกิจกรรมพื้นฐานที่กล่าวถึงในขั้นตอนที่ 2 กิจกรรมส่วนสนับสนุนการผลิตนี้เป็นสิ่งที่จะขาดเสียมิได้ทั้งนี้เพื่อให้การผลิตดำเนินไปได้อย่างมีประสิทธิภาพตัวอย่างของกิจกรรมสนับสนุนการผลิตต่างๆ เป็นกิจกรรมที่สามารถจะพบได้ในแผนกส่งของ แผนกรับรอง แผนกของคลังและแผนกซ่อมบำรุงรวมทั้งแผนกอื่นๆ ภายในผังโรงงานนี้เกี่ยวข้อง
4. กำหนดความต้องการพื้นที่ของแต่ละแผนกหรือของกิจกรรมต่างๆ
5. หาความสัมพันธ์ระหว่างกิจกรรมต่างๆ ทั้งหมดภายในผังโรงงาน โดยจะพิจารณาความสัมพันธ์ดังกล่าวนี้ บนพื้นฐานของความคล่องตัวในการทำงานของคน การไหลของวัสดุ หรือข้อมูลระหว่างแผนกต่างๆ
6. ประเมินผลผังโรงงานทุกๆ ผังโรงงานที่ได้ออกแบบไว้
7. ดำเนินการตามผังโรงงานที่ได้คัดเลือกไว้

2.2 ทฤษฎีการประยุกต์ใช้คอมพิวเตอร์ในงานกราฟิก

งานกราฟิกมีบทบาทต่อการดำเนินชีวิตของมนุษย์เป็นอย่างมาก ด้วยความเจริญก้าวหน้าทางเทคโนโลยีทำให้คอมพิวเตอร์สามารถสร้างและใช้งานกราฟิกดำเนินการต่างๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ เครื่องคอมพิวเตอร์มีบทบาทสำคัญในการออกแบบกราฟิกมากกว่าเครื่องมือชนิดอื่นในการออกแบบโดยมีการเพิ่มเติมอุปกรณ์บางประการให้กับระบบคอมพิวเตอร์ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการประมวลผล การนำเข้าและส่งออกของข้อมูล และการแสดงผลข้อมูลแบบ

กราฟิก ต่อมาจึงมีการผลิตซอฟต์แวร์ขึ้นมาช่วยในเรื่องการขึ้นรูปสามมิติที่มีสีสันและมีความสมจริงมากยิ่งขึ้น ภายในทฤษฎีนี้จะแบ่งออกเป็นหัวข้อย่อย คือ อุปกรณ์ในระบบกราฟิก หลักการประยุกต์ใช้งานของOpenGL และOpenGLกับงานคอมพิวเตอร์กราฟิก

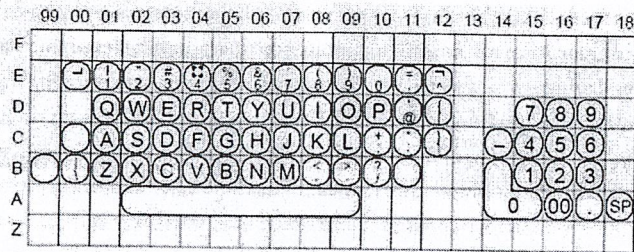
2.2.1 อุปกรณ์ในระบบกราฟิก

สำหรับเครื่องคอมพิวเตอร์เราสามารถใช้อุปกรณ์รับข้อมูลที่หลากหลายเพื่อโต้ตอบกับแพ็คเกจของซอฟต์แวร์ด้านกราฟิกที่เป็นแอปพลิเคชันคุณภาพสูง สามารถเลือกฮาร์ดแวร์ที่มีความซับซ้อนและประสิทธิภาพสูงตามเทคโนโลยีได้เพื่อตอบสนองกับงานที่ดำเนินการอยู่ เนื่องจากอุปกรณ์รับและแสดงผลข้อมูลมีความสำคัญในระบบกราฟิกเป็นอย่างมาก

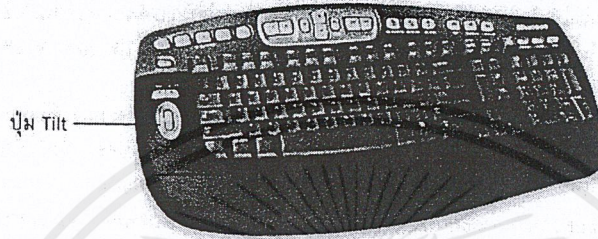
อุปกรณ์รับข้อมูล(Input devices) เป็นอุปกรณ์ที่นำข้อมูลเข้าระบบคอมพิวเตอร์เพื่อนำข้อมูลไปให้โปรเซสเซอร์ประมวลผล อุปกรณ์รับข้อมูลแต่เดิมมีเพียงคีย์บอร์ดเท่านั้น ต่อมาได้มีการพัฒนาอุปกรณ์รับข้อมูลเพื่อความสะดวกในการใช้งาน เช่น เมาส์และแท็บเล็ต, ปากกาและจอยสติ๊ก, Bit pad, จอยสติ๊ก และสแกนเนอร์ แต่ในโครงการนี้จะเน้นอุปกรณ์รับข้อมูลเพียง 2 ประเภท คือ คีย์บอร์ด เมาส์และแท็บเล็ต

สำหรับอุปกรณ์แสดงผล(Output devices) มีมากมายที่นำมาใช้งาน แต่ในโครงการนี้จะเน้นเพียงอุปกรณ์แสดงผลข้อมูล 2 ประเภท คือ หน้าจอภาพ และอุปกรณ์แสดงภาพสามมิติ คือ กล้องมองภาพสามมิติ ซึ่งอุปกรณ์รับและแสดงผลข้อมูลทั้งหมดที่กล่าวมาในข้างต้นจะอธิบายในหัวข้อย่อยต่อไป

- คีย์บอร์ด (Keyboard) เป็นอุปกรณ์อินพุตพื้นฐานที่ต้องมีในคอมพิวเตอร์ทุกเครื่องจะรับข้อมูลจากการกดคีย์บอร์ดแล้วทำการเปลี่ยนรหัสเพื่อส่งต่อไปให้คอมพิวเตอร์ ปัจจุบันเลย์เอาต์ของคีย์บอร์ดจะให้ตามมาตรฐานของ ECMA-23 (เวอร์ชัน 2.0) แสดงดังรูปที่ 2.3 ก) เลย์เอาต์ “QWERTY” (แถวบนซ้ายของตัวอักษร D01-D06) เป็นรูปแบบของเลย์เอาต์ของเครื่องพิมพ์ดีดที่มีกีย์แบบยกแคร่ (Shift) เพื่อให้สามารถคีย์ได้ทั้งตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์ใหญ่และตัวพิมพ์เล็ก ซึ่งระบบปรับตัวอักษรภาษาอังกฤษที่ใช้ในทางคอมพิวเตอร์ส่วนใหญ่จะเป็นรหัส 7 หรือ 8 บิต กล่าวคือ เมื่อมีการกดคีย์ แผงคีย์บอร์ดจะส่งรหัส 7 หรือ 8 บิต นี้เข้าไปในระบบคอมพิวเตอร์ เมื่อนำเครื่องคอมพิวเตอร์มาใช้งานพิมพ์ภาษาไทยจึงต้องมีการดัดแปลงแผงคีย์บอร์ดให้สามารถใช้งานได้ทั้งภาษาอังกฤษและภาษาไทย กลุ่มคีย์ที่ใช้คีย์ตัวอักษรภาษาไทย หรือภาษาอังกฤษภายใต้การควบคุมของซอฟต์แวร์อีกชั้นหนึ่ง ส่วนรูปที่ 2.3 ข) เป็นคีย์บอร์ดรุ่นใหม่ของไมโครซอฟต์ที่เรียกว่า Elite ซึ่งมีปุ่มเพื่อทำงานด้านมัลติมีเดียและปุ่ม tilt ที่สามารถเลื่อนจอภาพได้ 2 แนว คือ แนวตั้ง (บน-ล่าง) และแนวนอน (ซ้าย-ขวา) ทำให้คุณสามารถเลื่อนสกรอลล์บาร์แนวตั้งและแนวนอน



ก)

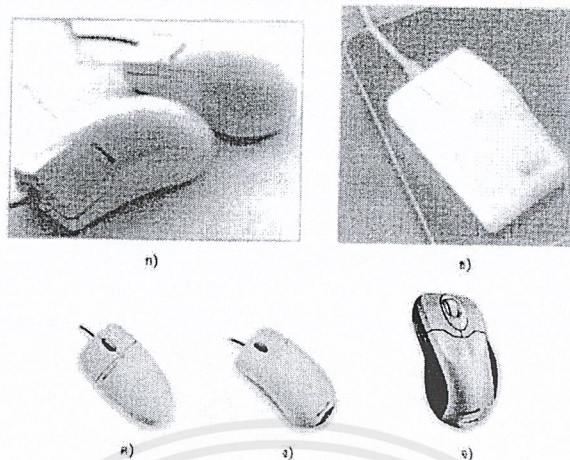


ข)

รูปที่ 2.3 ก) เลย์เอาต์ของคีย์บอร์ดตามมาตรฐาน ECMA-23 (เวอร์ชัน 2.0) [MURDOCCA00:333]
 ข) คีย์บอร์ดแบบ Elite ของไมโครซอฟต์

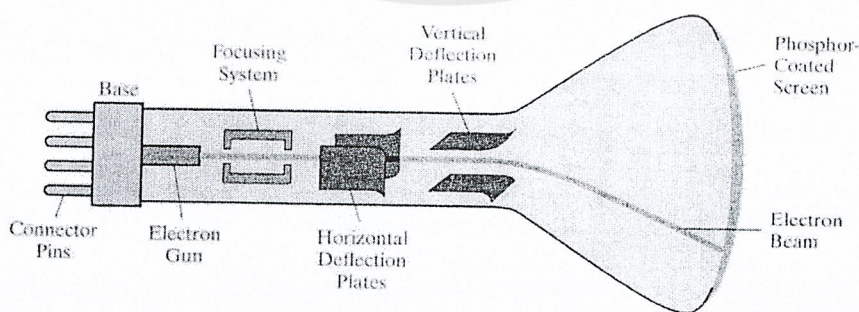
เมื่อคีย์ตัวอักษรจะสร้างรหัสบิตแพทเทิร์นแล้วส่งไปยังคอมพิวเตอร์ สำหรับตัวอักษรรหัส ASCII ขนาด 7 บิต จะมีเพียง 128 รหัสที่สามารถใช้งานได้ แต่คีย์บอร์ดส่วนมากจะขยายขีดความสามารถออกไปจากมาตรฐาน ECMA-23 ทำให้มีคีย์เพิ่มเติม เช่น shift, escape และ control เป็นต้น แต่รหัสที่สร้างจาก 7 บิตมีจำนวนตัวอักษรให้ใช้งานไม่เพียงพอ การแก้ไขทำได้โดยการเพิ่มจำนวนบิตให้เป็น 8 บิต ส่วนการเปลี่ยนแปลงคีย์บอร์ดตามมาตรฐาน ECMA-23 วิธีอื่นและรวมการเพิ่มฟังก์ชันคีย์(ในแถว F) รวมทั้งคีย์พิเศษ เช่น tab, delete และ enter ส่วนการเปลี่ยนแปลงโดยการวางคีย์ที่ใช้งานบ่อยๆไว้ด้วยกันเป็นการพัฒนาสำหรับคีย์บอร์ด Dvorak ถึงแม้จะมีประโยชน์เพิ่มมากขึ้นแต่คีย์บอร์ด Dvorak ไม่เป็นที่นิยมในการนำมาใช้งาน

- เมาส์ (Mouse) เป็นอุปกรณ์ที่ให้ความรู้สึกที่ดีต่อการใช้งาน ช่วยให้การทำงานง่ายขึ้นด้วยการใช้เมาส์เลื่อนพอยเตอร์ไปยังตำแหน่งต่างๆบนจอภาพ ในขณะที่สายตาจับอยู่ที่จอภาพก็สามารถใช้มือเมาส์ไปมาได้ ระยะทางและทิศทางของตัวชี้จะสัมพันธ์และเป็นไปในแนวทางเดียวกับการเลื่อนเมาส์



รูปที่ 2.4 ก) เมาส์แบบ 2 ปุ่ม ข) เมาส์แบบ 3 ปุ่ม ค) เมาส์ที่มีวงล้ออยู่ตรงกลาง ง) เมาส์ที่ใช้แสง จ) เมาส์มีปุ่ม tilt

- จอภาพเป็นอุปกรณ์หลักที่ใช้ในการแสดงผล (Output Device) ซึ่งจอภาพที่ใช้กันส่วนมากจะเป็นจอภาพชนิดเดียวกับจอภาพของโทรทัศน์ซึ่งเรียกว่า CRT (Cathode Ray Tube) รูปที่ 2.5 แสดงส่วนประกอบสำคัญของ CRT ซึ่งได้แก่ ปืนอิเล็กตรอน (Electron Gun) ซึ่งเมื่อร้อนจะปล่อยลำแสงอิเล็กตรอน (Cathode ray) ออกมา ซึ่งลำแสงนี้เป็นประจุลบที่จะวิ่งไปหาประจุบวกที่อยู่บนจอภาพซึ่งฉาบด้วยสารฟอสฟอรัส (Phosphor) ระหว่างที่ประจุลบวิ่งไปนั้นจะต้องผ่านระบบปรับโฟกัส และระบบเบี่ยงเบนประจุซึ่งเป็นตัวบังคับให้ประจุลบวิ่งไปกระทบจอในตำแหน่งที่ต้องการได้ ระบบปรับโฟกัส (Focusing System) จะปรับลำประจุลบให้เกิดจุดสว่างเล็กๆ บนจอภาพในขณะที่กระทบกับจอภาพ ส่วนระบบเบี่ยงเบน (Deflection System) ประจุจะประกอบด้วยแผ่นโลหะ 2 ชุด คือชุดสำหรับการปรับการเบี่ยงเบนในแนวนอน (Horizontal Deflection Plates) และชุดสำหรับการปรับการเบี่ยงเบนในแนวตั้ง (Vertical Deflection Plates) แผ่นทั้งสองชุดใช้สำหรับปรับทิศทางการวิ่งของประจุลบเพื่อให้กระทบที่ตำแหน่งต่างๆ ทุกตำแหน่งของจอภาพได้ เมื่อประจุลบนี้วิ่งไปกระทบจอภาพ สารฟอสฟอรัสที่ฉาบอยู่บนจอภาพก็จะเปล่งแสงที่ตาคนมองเห็นได้ออกมา ความเข้มแสงจะขึ้นอยู่กับจำนวนประจุลบที่วิ่งมาชน ส่วนที่เป็นสีดำบนจอภาพนั้นก็คือส่วนที่ไม่มีประจุลบหรือมีน้อยมากวิ่งไปชนแสงที่เกิดขึ้นบนจอภาพก็จะได้ชั่วระยะเวลาเพียงเศษเสี้ยวของวินาที



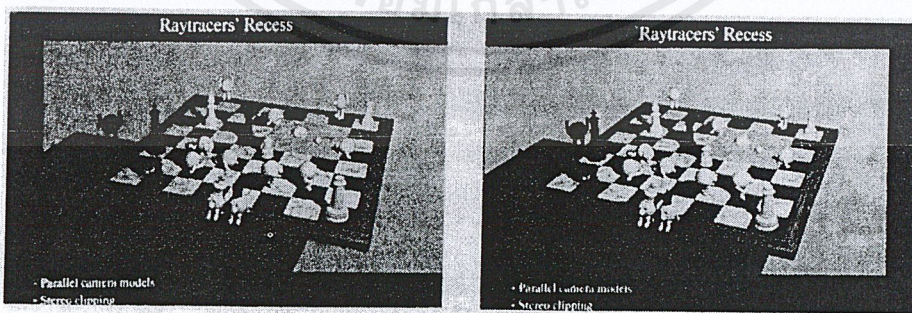
รูปที่ 2.5 การเบี่ยงเบนของประจุลบของปืนอิเล็กตรอนในจอ CRT [HEARN04:38]

- กล้องมองภาพ 3 มิติ (Stereoscopic) การมองออปเจ็กต์ด้วยกล้องมองภาพ 3 มิติ (Stereoscopic) นั้น เป็นการแสดงเอฟเฟ็กต์ของภาพ 3 มิติซึ่งทำให้สามารถแสดงมุมมองวัตถุที่ต่างออกไปในลักษณะที่เห็นความลึกของภาพนั้นได้ ดังรูปที่ 2.6



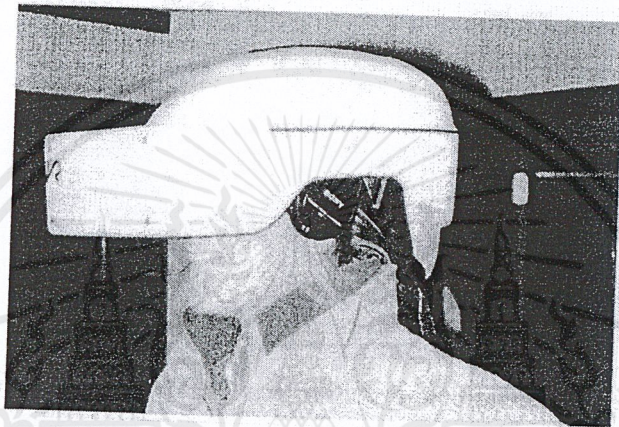
รูปที่ 2.6 การจำลองการมองเห็นภาพด้วยกล้องมองภาพ 3 มิติ [HEARN04:48]

การแสดงภาพด้วยกล้องมองภาพ 3 มิติ เราจะต้องใช้ทั้งสองมุมมองของภาพที่สร้างขึ้นด้วยการมองไปตามทิศทางจากตำแหน่งของแต่ละตา (ซ้ายและขวา) ไปยังภาพ เราสามารถสร้างทั้งสองมุมมองให้เป็นภาพที่สร้างจากคอมพิวเตอร์ด้วยตำแหน่งมุมมองที่ต่างกัน หรือเราสามารถใช้กล้องถ่ายภาพ 3 มิติเพื่อถ่ายภาพออปเจ็กต์ หรือรูปภาพได้ เมื่อเรามองอย่างต่อเนื่องด้วยการมองมุมซ้ายด้วยตาซ้ายและมองมุมขวาด้วยตาขวา ทั้งสองมุมมองจะรวมกันเป็นภาพเดียวกันและภาพนั้นจะมีความลึกอีกด้วย รูปที่ 2.7 แสดงถึงมุมมองทั้งสองของภาพที่สร้างจากคอมพิวเตอร์ที่มองด้วยกล้องมองภาพ 3 มิติ เนื่องจากพื้นที่ขอบด้านซ้ายและขวาของภาพที่มองเห็นด้วยตาเพียงข้างเดียวจะถูกกำจัดออกไปช่วยให้มีมุมมองที่กว้างขึ้น



รูปที่ 2.7 การมองภาพด้วยกล้อง 3 มิติ [HEARN04:49]

กล้องมองภาพ 3 มิติเป็นส่วนประกอบของระบบเสมือนจริงซึ่งผู้ใช้สามารถก้าวเข้าสู่จอภาพและโต้ตอบกับสภาพแวดล้อม ชุดครอบศีรษะ หรือเฮดเซต (Headset) ดังรูปที่ 2.8 ที่ประกอบด้วยระบบแสง (optical system) สำหรับสร้างมุมมอง 3 มิตินี้ สามารถใช้เชื่อมต่อกับอุปกรณ์อินพุตเพื่อกำหนดตำแหน่งและจัดการออปเจกต์บนจอภาพ ระบบตรวจจับแสง (Sensing System) ในเฮดเซตจะติดตามตำแหน่งออปเจกต์ ดังนั้นทั้งส่วนหน้าและหลังออปเจกต์สามารถมองเห็นเหมือนกับเดินทะลุเข้าไปในออปเจกต์นั้น นอกจากนี้ยังมีการโต้ตอบกับส่วนแสดงผลด้วย นอกจากนี้ยังมีวิธีอื่นสำหรับการสร้างสภาพแวดล้อมของระบบเสมือนจริง วิธีนั้นก็คือการใช้โปรเจกเตอร์เพื่อสร้างจอบนผนัง ซึ่งผู้มองเห็นสามารถโต้ตอบสิ่งที่แสดงบนจอภาพได้โดยใช้แว่นมองภาพ 3 มิติ



รูปที่ 2.8 เฮดเซตในระบบเสมือนจริง [HEARN05:49]

2.2.2 หลักการประยุกต์ใช้งานของ OpenGL

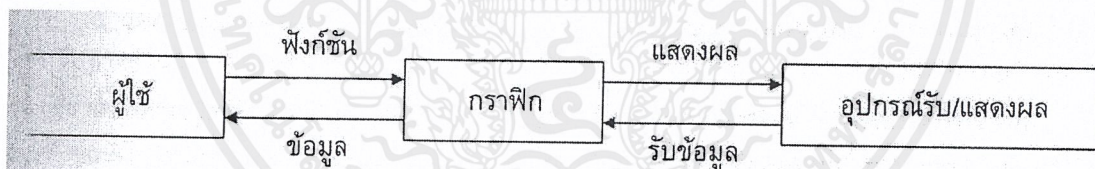
ในปัจจุบันโปรแกรมต่างๆมีรูปแบบที่หลากหลายมากยิ่งขึ้น แต่ละโปรแกรมได้ออกแบบและตกแต่งลักษณะของโปรแกรมให้มีความน่าสนใจและดึงดูดใจผู้ใช้ โดยในหลายๆโปรแกรมนำภาพกราฟิกมาใช้และได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายในหมู่ผู้ใช้ แต่โปรแกรมสำหรับสร้างกราฟิกมีการใช้งานค่อนข้างซับซ้อน ยากต่อการเข้าใจสำหรับผู้เริ่มต้นใช้โปรแกรม ดังนั้นการทำความเข้าใจเกี่ยวกับพื้นฐานของ OpenGL จะช่วยให้การสร้างภาพกราฟิกเป็นเรื่องง่าย และสามารถประยุกต์การใช้งานกราฟิกในขั้นสูงได้อย่างเหมาะสม

OpenGL (Open Graphics Library) เป็นซอฟต์แวร์ไลบรารีที่ใช้ติดต่อกับฮาร์ดแวร์เพื่อการแสดงภาพกราฟิก โดย OpenGL จะมีคำสั่งสำหรับการวาดภาพพื้นฐานคือจุด เส้น และรูปเหลี่ยมต่างๆ และการแสดงภาพแรสเตอร์ ซึ่งคำสั่งพื้นฐานมีอยู่ประมาณ 120 คำสั่งที่สามารถใช้กำหนดคุณลักษณะและควบคุมการทำงานของแอปพลิเคชันสามมิติ ซึ่งผู้พัฒนาโปรแกรมสามารถใช้ไลบรารี OpenGL ได้โดยไม่มีค่าลิขสิทธิ์ ทำให้มีการนำไลบรารีของ OpenGL ไปใช้งานอย่างแพร่หลายในงานกราฟิก

ภาษาที่สามารถใช้กับ OpenGL มีดังนี้ C / C++ (VC++, Borland C++, C++ Builder, C compiler on UNIX), Delphi, Visual Basic, Java, Perl, Python, Fortran, และ Ada เป็นต้น เนื่องจากโครงสร้างของ OpenGL เป็นอินเทอร์เฟซที่เป็นอิสระจากฮาร์ดแวร์ (Hardware-independent interface) และสามารถใช้ได้กับระบบปฏิบัติการหลายๆแบบไม่ว่าจะเป็น Windows, UNIX, (X Window System), IBM OS / 2 หรือ Apple MAC OS ก็ได้ และด้วย

เหตุที่ OpenGL ถูกออกแบบให้ทำงานโดยไม่ยึดติดกับระบบ สามารถทำงานได้บนทุกแพลตฟอร์ม (Independent Platform) ทำให้สามารถเคลื่อนย้ายโค้ดที่สร้างเรียบร้อยแล้วไปใช้แพลตฟอร์มอื่นได้อย่างสะดวกและไม่ต้องเปลี่ยนแปลงโค้ดโปรแกรมเลย การที่ OpenGL สามารถใช้ได้กับระบบปฏิบัติการที่หลากหลายนี้เอง ทำให้ OpenGL ไม่มีคำสั่งที่จัดการกับระบบปฏิบัติการเลย อีกทั้งยังไม่มีคำสั่งเพื่อรับอินพุตจากผู้ใช้อีกด้วย หน้าที่ทั้งสองอย่างนี้เป็นของผู้เขียนโปรแกรมที่จะต้องออกแบบและเขียนโค้ดเพื่อให้การทำงานเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ แต่อย่างไรก็ตาม ยังมียูทิลิตี้ที่ช่วยจัดการงานทั้งสองนี้ หากพัฒนาโปรแกรมบนระบบปฏิบัติการ Windows ยูทิลิตี้ดังกล่าวคือ GLUT (OpenGL Utility Toolkit) นอกจากนี้ OpenGL ยังไม่มีคำสั่งระดับสูงที่จะใช้วาดวัตถุสามมิติแบบซับซ้อน เช่น รถยนต์ อวัยวะ หรือโมเลกุลต่างๆ ที่ OpenGL เตรียมไว้มีเพียงการสร้างรูปจำลองสามมิติคือ รูปทรงเรขาคณิตอย่างง่าย ได้แก่ จุด เส้น และรูปหลายเหลี่ยม ซึ่งผู้ใช้งานจะต้องนำรูปทรงเหล่านี้มาประกอบกันเพื่อให้เกิดรูปทรงสามมิติที่ซับซ้อน

โครงสร้างของ OpenGL มีลักษณะคล้าย API (Application Programming Interface) (โปรแกรมที่ทำหน้าที่เชื่อมต่อระหว่างแอปพลิเคชันกับฮาร์ดแวร์ โดยโปรแกรมเมอร์ที่เขียนแอปพลิเคชันต่างๆ ไม่จำเป็นต้องทราบการทำงานของฮาร์ดแวร์และไม่จำเป็นต้องส่งคำสั่งไปให้ฮาร์ดแวร์ทำงานโดยตรง) ความรู้ทางด้าน OpenGL สามารถนำไปใช้กับซอฟต์แวร์อื่นๆ ได้เช่นกัน ถึงแม้ว่า OpenGL จะง่ายในการเรียนรู้เมื่อเปรียบเทียบกับ API อื่นๆ แต่มีความสามารถสูงมาก เพราะ OpenGL สนับสนุนทั้งภาพ 2 และ 3 มิติ รวมทั้งสนับสนุนเทคนิคการแสดงผลระดับสูงอีกด้วย การทำงานของระบบกราฟิก ผู้ใช้ไม่จำเป็นต้องทราบเหตุผลว่ามีการทำงานอย่างไร รู้แต่เพียงว่าอินพุต และเอาต์พุต คืออะไรก็เพียงพอแล้ว ในระบบกราฟิกจะมีฟังก์ชันที่ถูกเรียกใช้ โดยมีการรับค่าของอินพุตจากอุปกรณ์ต่างๆ เช่น เมาส์หรือคีย์บอร์ด หรืออุปกรณ์อื่นๆ เช่น แมสเสจจากระบบปฏิบัติการ หรืออินเทอร์รัพต์ก็ได้ ผลลัพธ์ที่ได้จากการทำงานจะแสดงออกไปยังอุปกรณ์แสดงผล เช่น จอภาพ CRT หรือจอ LCD ทั้งนี้เอาต์พุตอาจจะมองอินพุตเป็นฟังก์ชันที่ผู้ใช้เรียกใช้และเอาต์พุตคือผลของการทำงานที่แสดงยังจอภาพนั่นเอง ดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 แสดงระบบกราฟิกที่เปรียบเสมือนกล่องดำ (Black Box)

โครงสร้างไลบรารีพื้นฐานของ OpenGL (ที่เรียกว่า OpenGL) จะมีฟังก์ชันเก็บอยู่ในไลบรารี GL นั้น ฟังก์ชันเหล่านี้จะเริ่มต้นด้วย `gl` หลังจากนั้นจะมีชื่อฟังก์ชันที่ขึ้นต้นตัวแรกด้วยตัวอักษรพิมพ์ใหญ่ ข้างล่างนี้เป็นตัวอย่างของชื่อฟังก์ชัน

`glBegin`, `glClear`, `glCopyPixels`, `glPolygonMode`

ฟังก์ชันเฉพาะอย่างนี้ต้องใช้อาร์กิวเมนต์ 1 ตัวหรือมากกว่า 1 ตัวซึ่งขึ้นอยู่กับฟังก์ชัน อาร์กิวเมนต์อาจจะเป็นสัญลักษณ์เฉพาะ เช่น ค่าคงที่, ชื่อพารามิเตอร์, ค่าของพารามิเตอร์ หรือโหมดของพารามิเตอร์ เป็นต้น ค่าคงที่ทั้งหมดนี้จะขึ้นต้นด้วยตัวอักษรพิมพ์ใหญ่ GL นอกจากนี้ยังมีเครื่องหมายขีดกลาง (underscore) `_` เพื่อคั่นระหว่างคอมโพเนนต์ ตัวอย่างข้างล่างเป็นตัวอย่างชื่อฟังก์ชันที่ใช้เครื่องหมาย `_` คั่นระหว่างคอมโพเนนต์

`GL_2D`, `GL_RGB`, `GL_POLYGON`, `GL_AMBIENT_AND_DIFFUSE`

ฟังก์ชันของ OpenGL อาจกำหนดประเภทข้อมูลได้ เช่น ใช้กำหนดประเภทข้อมูลตัวเลขจำนวนเต็ม 32 บิต แต่ขนาดของการกำหนดตัวเลขจำนวนเต็มอาจจะแตกต่างกันไปตามเครื่อง การกำหนดค่าประเภทข้อมูล OpenGL จะใช้ชื่อประเภทข้อมูลที่มีในฟังก์ชัน โดยชื่อประเภทข้อมูลนี้จะขึ้นต้นด้วยตัวพิมพ์ใหญ่ GL ต่อด้วยชื่อประเภทข้อมูลมาตรฐานที่เป็นตัวพิมพ์เล็ก (หรืออาจจะใช้ชื่อธรรมดาก็ได้ เช่น int, float) ดังตัวอย่าง

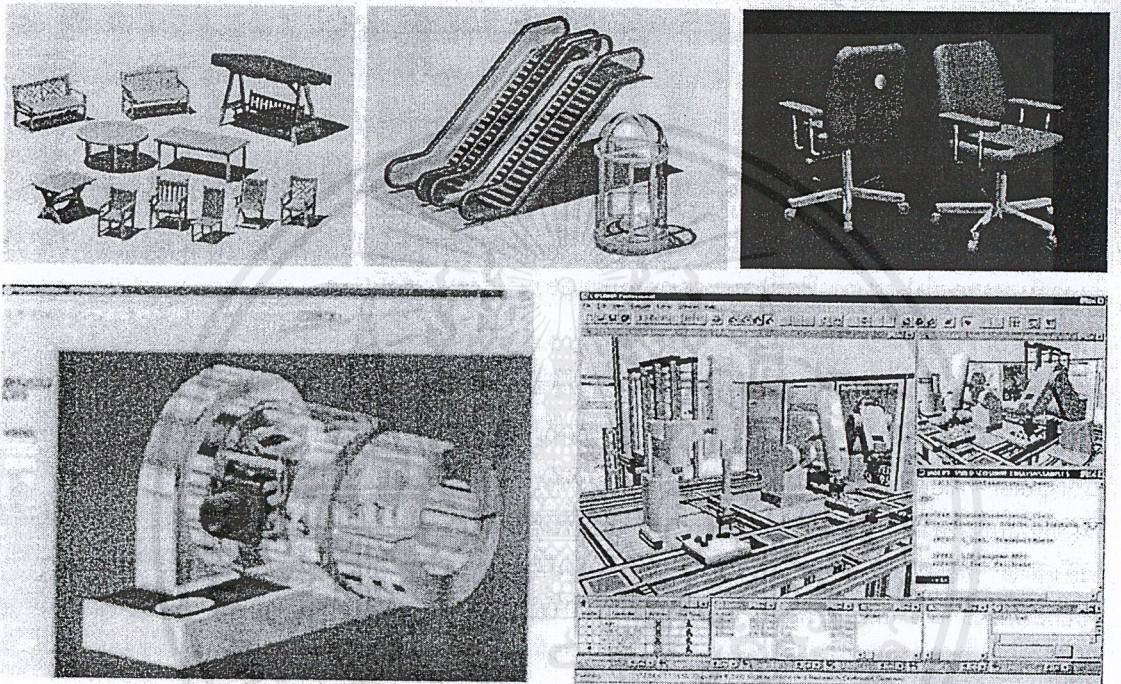
GLbyte, GLshort, GLint, GLfloat, GLdouble, GLboolean

บางอาร์กิวเมนต์ของฟังก์ชัน OpenGL สามารถกำหนดค่าโดยใช้อาร์เรย์ที่เป็นลิสต์ของค่าข้อมูลก็ได้ มีออปชันในการกำหนดลิสต์ของค่าข้อมูลเป็นพอยเตอร์ของอาร์เรย์ ยิ่งกว่านั้นยังสามารถกำหนดลิสต์ในลักษณะ explicit ให้เป็นพารามิเตอร์ของอาร์กิวเมนต์ได้อีกด้วย ตัวอย่างทั่วไปในการใช้ออปชันนี้ก็คือการกำหนดค่าโคออร์ดิเนต xyz นั้นเอง นอกจากไลบรารีหลักของ OpenGL แล้ว ยังมีไลบรารีที่เกี่ยวข้องอีกเป็นจำนวนมากเพื่อจัดการกับงานเฉพาะอย่างได้อย่างมีประสิทธิภาพ ไลบรารีที่เกี่ยวข้องกับ OpenGL และเป็นไลบรารีเฉพาะมีดังนี้

- OpenGL Utilities (GLU) เป็นไลบรารีที่ประกอบด้วยรoutines มากมายในการจัดการมุมมองเพื่อแสดงรูปพื้นฐานและออปเจกต์ที่ซับซ้อนที่ประกอบขึ้นจากเส้นและรูปหลายเหลี่ยม, แสดงรูปลูกบาศก์, การเรนเดอร์พื้นผิว (surface-rendering) และงานที่ซับซ้อน
- OpenGL Utility Toolkit (GLUT) คือไลบรารีของระบบกราฟิกที่ช่วยในการติดต่อกับการแสดงผลทางจอภาพ ทั้งนี้เนื่องจากในการใช้งาน OpenGL เพื่อใช้งานด้านกราฟิกสิ่งแรกที่มีความจำเป็นต้องทำคือการกำหนดวินโดว์สำหรับการแสดงผล (display window) บนจอภาพ ซึ่งวินโดว์ดังกล่าวนี้คือพื้นที่สี่เหลี่ยมผืนผ้าของจอภาพที่ใช้แสดงกราฟิก คุณไม่สามารถสร้างวินโดว์นี้ได้โดยตรงจากฟังก์ชันของ OpenGL เนื่องจากไลบรารีนี้ประกอบเพียงฟังก์ชันทางด้านกราฟิกที่ไม่ขึ้นกับอุปกรณ์ใดๆ การเขียนโปรแกรมโดยใช้ OpenGL เหมาะสำหรับการพัฒนาโปรแกรมขนาดเล็กถึงขนาดกลาง คำสั่งของ GLUT จะขึ้นต้นด้วยคำว่า glut เสมอ การเรียกใช้จะต้อง include ไฟล์ header ที่ชื่อ glut.h ในตอนต้นของโค้ดโปรแกรมเช่นกัน ถ้าคุณใช้ glut.h แล้ว ก็ไม่จำเป็นต้องใช้ gl.h และ glu.h อีก ไลบรารีเหล่านี้ยังประกอบด้วยเมธอดสำหรับการสร้างและเรนเดอร์ quadric curves และพื้นผิว
- ไลบรารีอื่นๆ ที่ช่วยในการแสดงผลของระบบต่างๆนอกจาก GLUT ซึ่งเป็นไลบรารีของระบบกราฟิกที่ช่วยในการติดต่อกับการแสดงผลทางจอภาพทั่วไปแล้ว ในบางระบบจะมีไลบรารีเฉพาะอย่างแยกออกจากกัน OpenGL Extension to the X window System (GLX) เป็นไลบรารีสำหรับระบบปฏิบัติการ UNIX ที่ใช้ X Window ในไลบรารีนี้ประกอบด้วยชุดของ routines สำหรับการแสดงผล โดยชื่อฟังก์ชันจะขึ้นต้นด้วยคำว่า glX ส่วนในเครื่องแอปเปิลจะใช้ Apple GL (AGL) เป็นอินเทอร์เฟซสำหรับการจัดการวินโดว์ ชื่อฟังก์ชันของไลบรารีนี้ขึ้นต้นด้วย agl

2.2.3 OpenGL กับงานคอมพิวเตอร์กราฟิก

คอมพิวเตอร์กราฟิกถูกนำมาใช้ในการแสดงผลภาพกราฟ แผนภาพของข้อมูล และวัตถุรูปร่างต่างๆ ให้ปรากฏบนจอภาพคอมพิวเตอร์ได้เป็นอย่างดี สามารถสร้างกราฟได้หลายรูปแบบ เช่น กราฟเส้น กราฟแท่ง และกราฟวงกลม นอกจากนี้ยังสามารถแสดงภาพได้ทั้งในรูปแบบสองมิติ และสามมิติ ทำให้กราฟหรือภาพเหล่านั้นดูดีและน่าสนใจมากยิ่งขึ้น ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อผู้บริหารหรือผู้จัดการกิจการเป็นอย่างยิ่ง เนื่องจากสามารถทำความเข้าใจกับข้อมูลได้ง่ายและรวดเร็วกว่าเดิม



รูปที่ 2.10 ภาพตัวอย่างการนำเอา OpenGL มาประยุกต์ใช้กับคอมพิวเตอร์กราฟิก

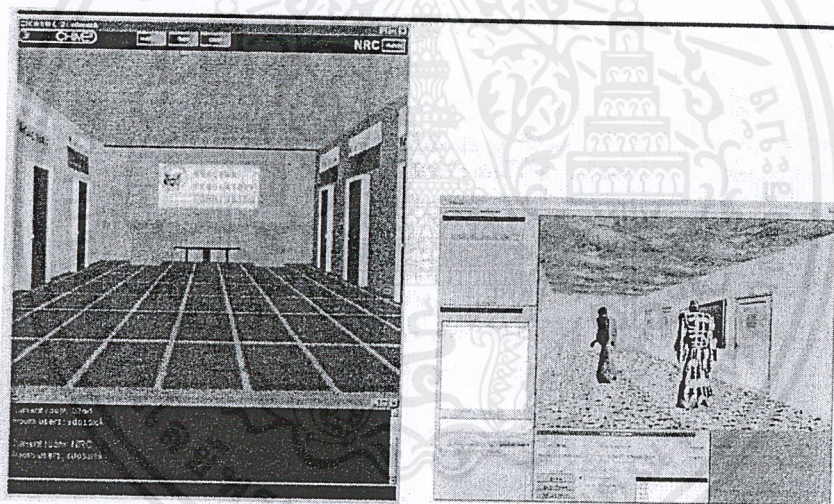
นอกจากนี้คอมพิวเตอร์กราฟิกยังถูกนำมาใช้กับการจำลองสถานการณ์ (Simulation) เพื่อหาคำตอบว่าถ้าเกิดสถานการณ์ใดๆ แล้วจะเกิดผลอย่างไร เช่น ผู้ผลิตรายหนึ่งมีความประสงค์ที่จะก่อสร้างโรงงานผลิตสินค้าขนาดใหญ่ โดยต้องการให้การผลิตสินค้านั้นสะดวกแก่การปฏิบัติงาน การไหลของวัตถุดิบมีความคล่องตัว ลดระยะเวลาของการเคลื่อนย้ายวัตถุดิบไปตามกระบวนการต่างๆ ใช้พื้นที่ให้เกิดประโยชน์สูงสุด อำนวยความสะดวกและความปลอดภัยภายในโรงงาน ผู้ผลิตรายดังกล่าวจำเป็นต้องแบ่งสัดส่วนภายในโรงงานอย่างไร ควรติดตั้งเครื่องจักรไว้บริเวณไหน ทิศทางใด จะไม่เกิดอันตรายต่อผู้ปฏิบัติงาน ดังนั้นการนำการจำลองสถานการณ์ด้วยคอมพิวเตอร์กราฟิกมาใช้จึงช่วยให้ทราบผลล่วงหน้า ประหยัดค่าใช้จ่าย และไม่เกิดอันตราย

ต่อมาได้มีการนำเอาคอมพิวเตอร์กราฟิกเข้ามามีส่วนร่วมกับการพัฒนาระบบสื่อประสมทำให้เครื่องคอมพิวเตอร์เพียงเครื่องเดียวสามารถทำหน้าที่ได้หลายลักษณะ เช่น การทำงานเป็นเครื่องวีดิทัศน์ที่แสดงภาพและตัวอักษรทั้งภาพนิ่งและภาพเคลื่อนไหวหรืออาจจะมีเสียงประกอบ หัวใจของของการผลิตระบบสื่อประสมคือ เทคโนโลยีการแปลงข้อมูลอนาล็อกให้เป็นดิจิทัล ดังนั้นเมื่อข้อมูลต่างๆ ถูกแปลงให้อยู่ในรูปของดิจิทัลแล้วจึงสามารถนำมาแก้ไขดัดแปลงโดย

ซอฟต์แวร์ได้อย่างมีข้อจำกัด กระบวนการปรับแต่งข้อมูลดิจิทัลนี้จึงเป็นช่องทางสำคัญสำหรับการสร้างสรรค์รูปแบบใหม่ๆของผลงาน ตัวอักษร กราฟิก ภาพถ่าย เสียง และภาพเคลื่อนไหว

การพัฒนา รูปแบบของระบบสื่อประสม ซึ่งบรรจุข้อมูลไว้เป็นจำนวนมากให้สามารถโยงความเกี่ยวเนื่องของข้อมูลทำให้เกิด สื่อหลายมิติ(Hypermedia) นั่นคือ การรวมเอาสื่อกราฟิก เสียง วิดีทัศน์ และระบบที่เกี่ยวข้องกับการจัดเก็บและแสดงผลข้อมูลในรูปแบบอื่นๆไว้ซึ่งเป็นรูปแบบโต้ตอบที่เกี่ยวข้องกับเนื้อหาที่ผู้ใช้กำลังสนใจอยู่ได้อย่างไม่มีข้อจำกัด ปัจจุบันสื่อหลายมิตินี้มีการพัฒนาให้ผู้ใช้มีปฏิสัมพันธ์กับโปรแกรมมากขึ้น โดยเฉพาะการนำระบบเสมือนจริงมาใช้กับสื่อประเภทนี้ ทำให้บทบาทของคอมพิวเตอร์จากเดิมที่เป็นเครื่องมือประมวลผลทางคณิตศาสตร์และวิทยาศาสตร์ กลายมาเป็นเครื่องที่ใช้สำหรับการเรียนรู้ และการสร้างสรรค์ผลงาน ที่สนองต่อความงาม ความเพลิดเพลิน และความไพเราะ

การพัฒนาซอฟต์แวร์สื่อประสม ที่ให้การใช้งานเชิงตอบโต้ได้มากยิ่งขึ้นซึ่งอาจเป็นคอมพิวเตอร์กับผู้ใช้หรือสามารถตอบโต้กันระหว่างผู้ใช้กับผู้ใช้ด้วยกัน โดยอาศัยระบบ GUI (Graphical User Interface) ที่ให้ความเป็นจริงเสมือน สามารถสนองการรับรู้ของมนุษย์ที่มากขึ้นกว่าเดิมโดยการอุปกรณ์รอบข้างที่เอื้อต่อการพฤติกรรมการใช้งานของผู้ใช้ เพื่อให้สื่อประสมกลายเป็นสื่อหลายมิติที่มีความสมบูรณ์แบบมากยิ่งขึ้น

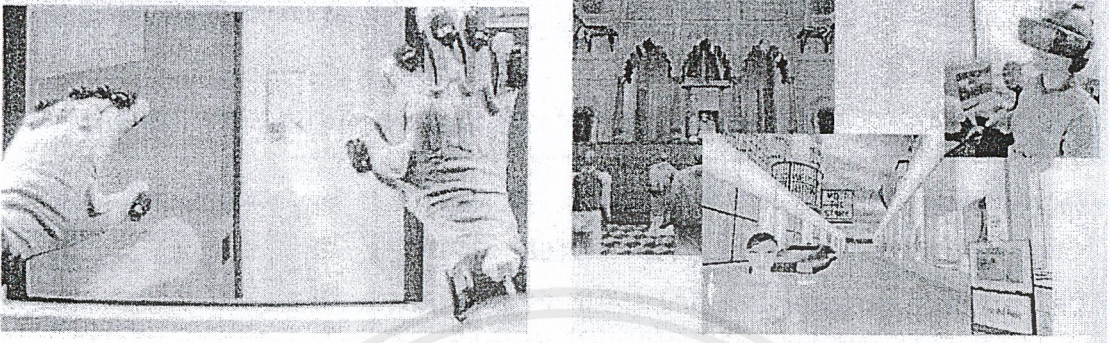


รูปที่ 2.11 ตัวอย่างของ สื่อหลายมิติ(Hypermedia) จาก <http://psl.cs.columbia.edu/chime>

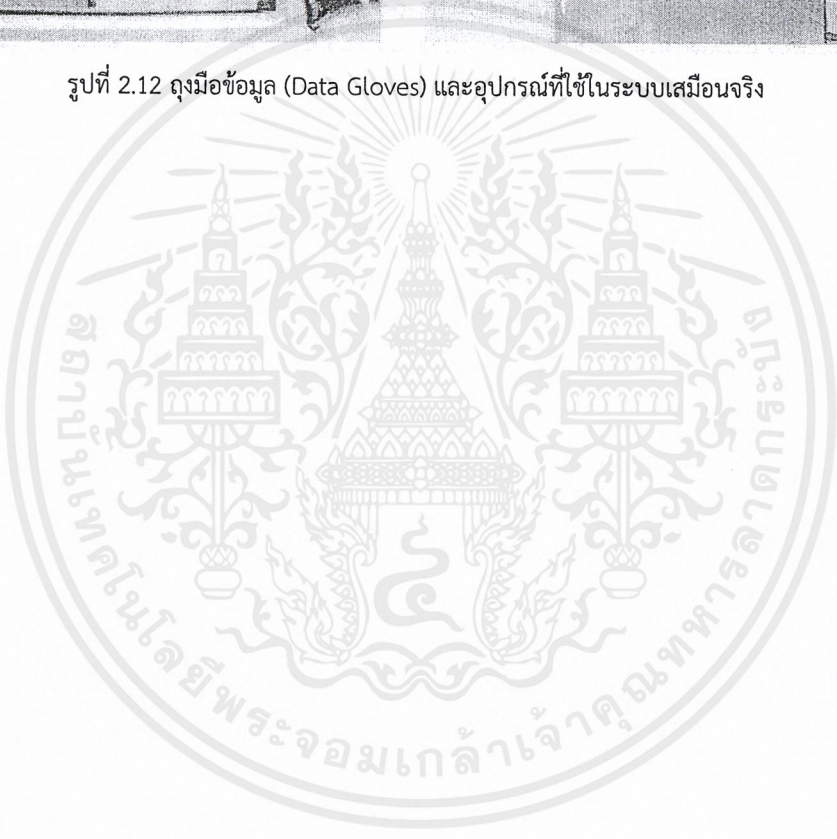
แต่เดิมผู้ใช้งานคอมพิวเตอร์กราฟิกมักจะจำการทำงานอยู่ที่หน้าจอคอมพิวเตอร์ที่มีลักษณะเป็นกรอบภาพสองมิติ ในขณะที่ความเป็นในการสร้างสถานการณ์จำลองต่างๆ ทำให้ต้องมีการคิดค้นอุปกรณ์จำลองเพื่อตอบสนองความรู้สึกของผู้ใช้ให้เสมือนกับอยู่บนความเป็นจริงมากที่สุด

การพัฒนา ระบบเสมือนจริง คือ การใช้คอมพิวเตอร์สร้างสิ่งแวดล้อมใหม่ที่ทำให้ผู้ใช้รู้สึกเหมือนเข้าไปอยู่ในที่ว่างสามมิติที่มองเห็น หรือรับรู้สภาวะสามมิติจากตำแหน่งต่างๆในช่องว่างหรือสามารถเคลื่อนย้ายเปลี่ยนแปลงวัตถุในสิ่งแวดล้อมนั้นได้ แนวความคิดนี้จึงทำให้มีการพัฒนาอุปกรณ์ความจริงเสมือนที่ต้องการตอบสนองต่อพฤติกรรม การสื่อสารและรับรู้ของมนุษย์มากยิ่งขึ้น การนำอุปกรณ์จอภาพสวมศีรษะมาแสดงผลภาพให้ปรากฏบนกระจกหรือจอภาพขนาดเล็กที่ติดตั้งไว้ที่ตาทั้งสองของผู้ใช้ จึงเป็นการพัฒนาระบบเสมือนจริงที่มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น และยังให้ความ

สมบุรณ์ขึ้นไปอีกเมื่อนำมาใช้ร่วมกับอุปกรณ์อื่นที่ให้ความจริงเสมือนเช่น ถุงมือข้อมูล(Data Gloves) ชุดแต่งกายข้อมูล (Data Suite) เป็นต้น ที่สามารถถ่ายทอดการเคลื่อนไหวของร่างกายของผู้ใช้ไปยังคอมพิวเตอร์



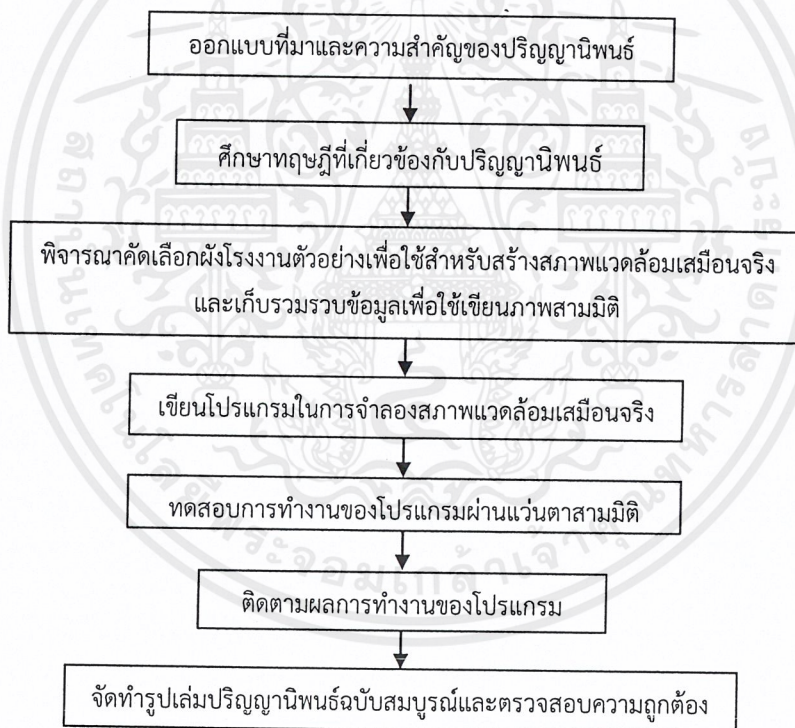
รูปที่ 2.12 ถุงมือข้อมูล (Data Gloves) และอุปกรณ์ที่ใช้ในระบบเสมือนจริง



บทที่ 3

วิธีการดำเนินการ

ในการจัดทำปริญญาานิพนธ์เรื่องการสร้างโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับจำลองสภาพแวดล้อมเสมือนจริงภายในโรงงานอุตสาหกรรม เป็นการเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับจำลองสภาพแวดล้อมเสมือนจริงภายในโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งแสดงผลผ่านหน้าจอของ "แว่นตาสามมิติ (Head Mounted Display, HMD)" รุ่น Vuzix iWear VR920 แบบจำลองสามมิติของสภาพแวดล้อมเสมือนจริงนั้นทำงานบนซอฟต์แวร์ที่ถูกสร้างขึ้นด้วยภาษา Visual C++ และกราฟิกไลบรารีของ OpenGL บนระบบปฏิบัติการวินโดวส์ (Windows) ซึ่งมีขั้นตอนและวิธีการดำเนินงานดังแผนผังในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แผนผังขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน

การศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับปริญญาานิพนธ์นี้ มีการดำเนินงานในลักษณะของการศึกษาวิธีการประยุกต์ใช้ทฤษฎีที่ศึกษามาใช้สร้างโปรแกรมจำลองสภาพแวดล้อมเสมือนจริงซึ่งเขียนบนซอฟต์แวร์ที่ถูกสร้างขึ้นด้วยภาษา Visual C++ และกราฟิกไลบรารีของ OpenGL ผ่านเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับทฤษฎีการจัดวางผังโรงงาน, กระบวนการเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ด้วยภาษา Visual C++, และทฤษฎีการประยุกต์ใช้งานคอมพิวเตอร์กราฟิก

ด้วยซอฟต์แวร์ OpenGL สำหรับจำลองสภาพแวดล้อมเสมือนจริง ตลอดจนศึกษาการใช้ซอฟต์แวร์ที่ทำหน้าที่ในการสร้างวัตถุสามมิติ และคำนวณชุดข้อมูลทางคณิตศาสตร์ ดังต่อไปนี้

- ศึกษาการใช้งานซอฟต์แวร์ Google Sketchup เพื่อใช้ในการออกแบบวัตถุสามมิติ เพื่อสร้างวัตถุจำลองสามมิติได้อย่างสะดวก รวดเร็ว และสมจริง

- ศึกษาการใช้งานซอฟต์แวร์ MatLab เพื่อใช้ในการคำนวณชุดข้อมูลทางคณิตศาสตร์ และนำไปสู่การต่อยอดสำหรับสร้างกราฟิกที่ซับซ้อนมากยิ่งขึ้น

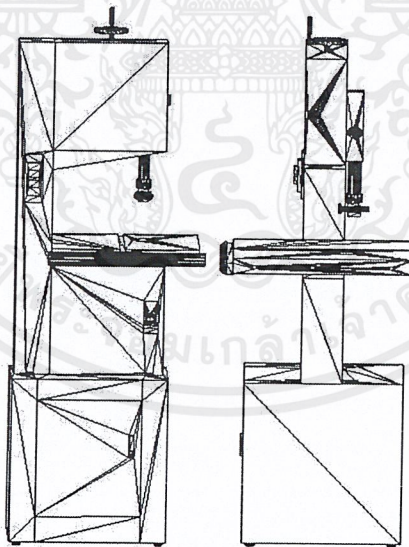
- ศึกษาการใช้งานซอฟต์แวร์ Microsoft Visual Studio 2010 เพื่อเขียนซอฟต์แวร์ที่จะมารองรับการทำงานของโปรแกรมจำลองสภาพแวดล้อมเสมือนจริงผ่านภาษา Visual C++

- ศึกษาการใช้งานซอฟต์แวร์ OpenGL (Open Graphics Library) เพื่อส่งคำสั่งควบคุมระบบประมวลผลภาพ ซึ่งจะทำหน้าที่ในการสร้างวัตถุ การแปลงวัตถุ การเคลื่อนที่วัตถุ การย่อ/ขยายวัตถุ การหมุนวัตถุ การกำหนดสีบนวัตถุ และการสร้างแสงเงาบนวัตถุให้มีความเสมือนจริงมากยิ่งขึ้น ดังตัวอย่างในรูปที่ 3.14-3.17

3.1 พื้นฐานคอมพิวเตอร์กราฟิก

3.1.1 แบบจำลอง 3 มิติ (3D Model)

หลักการในการขึ้นรูปของวัตถุสามมิติบน OpenGL จะใช้รูปสามเหลี่ยมที่มีขนาด ด้าน และมุมที่แตกต่างกันประกอบเข้าด้วยกันเป็นจำนวนมากจนสามารถขึ้นรูปเป็นภาพกราฟิกที่ต้องการ รูปสามเหลี่ยมดังกล่าวเกิดจากการเชื่อมต่อกันระหว่างจุด 3 จุดซึ่งมีพื้นผิวปิด

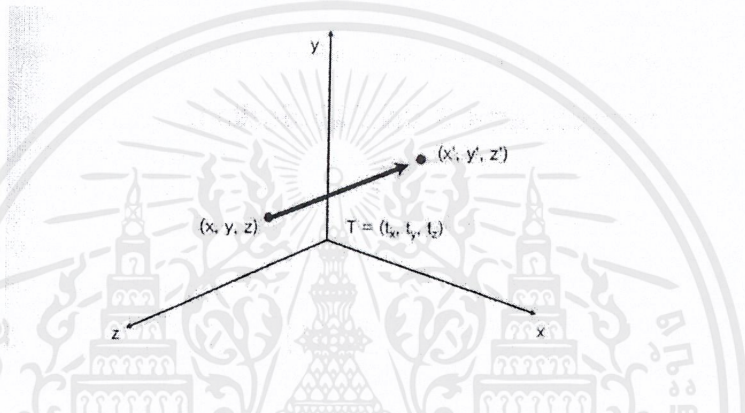


รูปที่ 3.2 ตัวอย่างวัตถุ 3 มิติซึ่งสร้างขึ้นโดยรูปสามเหลี่ยมที่มีขนาดด้าน และมุมที่ต่างกัน

3.1.2 การเลื่อนตำแหน่ง 3 มิติ (3D Translation)

วิธีการแปลงทางเรขาคณิต 3 มิติเป็นการขยายวิธีการแปลงทางเรขาคณิต 2 มิติ โดยมีการพิจารณาโคออร์ดิเนตของ z ยกตัวอย่างการเลื่อนออปเจ็กต์ก็ต้องกำหนดทรานสเลชันเวกเตอร์แบบ 3 มิติ แล้วพิจารณาว่ามีการเลื่อนออปเจ็กต์ไปเท่าไรในแต่ละมิติ เช่นเดียวกับการย่อ/การขยายออปเจ็กต์ที่จะต้องมีการเลือกสเกลลิงแฟคเตอร์ของแต่ละโคออร์ดิเนตตำแหน่งใน 3 มิติแสดงได้ด้วยโฮโมจีเนียสโคออร์ดิเนตเป็น 4 คอลัมน์เวกเตอร์ ดังนั้นแต่ละการแปลงทางเรขาคณิตจะเป็นเมทริกซ์แบบ 4x4 เช่นเดียวกับ 2 มิติที่ลำดับการแปลงจะแสดงได้ด้วยเมทริกซ์เดียว โดยใช้รูปแบบการแปลงรวมจากลำดับของการแปลงแบบเดียว

ตำแหน่ง $P(x,y,z)$ ในพื้นที่ 3 มิติจะแปลงไปสู่ตำแหน่ง $P'(x',y',z')$ โดยการบวกระยะการเลื่อน t_x, t_y, t_z เข้ากับโคออร์ดิเนตของ P รูปที่ 3.3 แสดงการเลื่อนจุดแบบ 3 มิติ



รูปที่ 3.3 การเลื่อนจุดแบบ 3 มิติด้วยทรานสเลชันเวกเตอร์ $T = (t_x, t_y, t_z)$ [HEARN04:262]

3.1.3 การย่อ/ขยาย 3 มิติ (3D Scaling)

เมทริกซ์สำหรับการแปลงแบบย่อ/ขยายของตำแหน่ง $P(x,y,z)$ อ้างอิงกับจุดกำเนิดในพื้นที่ 3 มิติจะแปลงไปสู่ตำแหน่ง $P'(x',y',z')$ จะขยายจากการย่อ/ขยาย 2 มิติ โดยเราจะเพิ่มพารามิเตอร์สำหรับการย่อ/ขยายสำหรับแกน z ลงในเมทริกซ์การแปลงดังนี้

$$\begin{pmatrix} x' \\ y' \\ z' \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} s_x & 0 & 0 & 0 \\ 0 & s_y & 0 & 0 \\ 0 & 0 & s_z & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{pmatrix}$$

การย่อ/ขยาย 3 มิติสำหรับตำแหน่งจุดสามารถแสดงได้เป็น

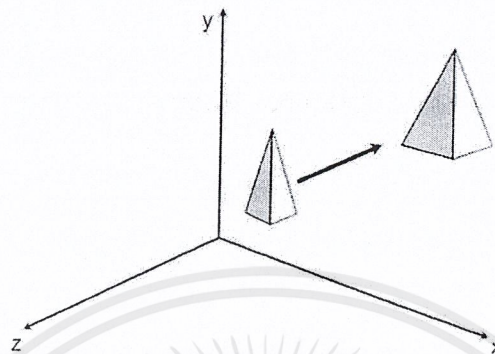
$$P' = S \cdot P$$

โดยที่สเกลลิงแฟคเตอร์ s_x, s_y, s_z กำหนดเป็นค่าบวกในการย่อ/ขยายอ้างอิงกับจุดกำเนิดคือ

$$x' = x \cdot s_x, \quad y' = y \cdot s_y, \quad z' = z \cdot s_z$$

การย่อ/ขยายตามสมการ จะเปลี่ยนตำแหน่งของบออปเจ็กต์อ้างอิงกับจุดกำเนิด ถ้าค่าของสเกลลิงแฟคเตอร์มากกว่า 1 จะย้ายจุดห่างออกจากจุดกำเนิดในทิศทางตามแกนของสเกลลิงแฟคเตอร์นั้น ในทางตรงกันข้าม ถ้าค่าสเกลลิงแฟคเตอร์น้อยกว่า 1 จะย้ายจุดเข้าใกล้จุดกำเนิดในทิศทางตามแกนของสเกลลิงแฟคเตอร์นั้น นอกจากนั้นถ้าค่าสเกลลิงแฟคเตอร์

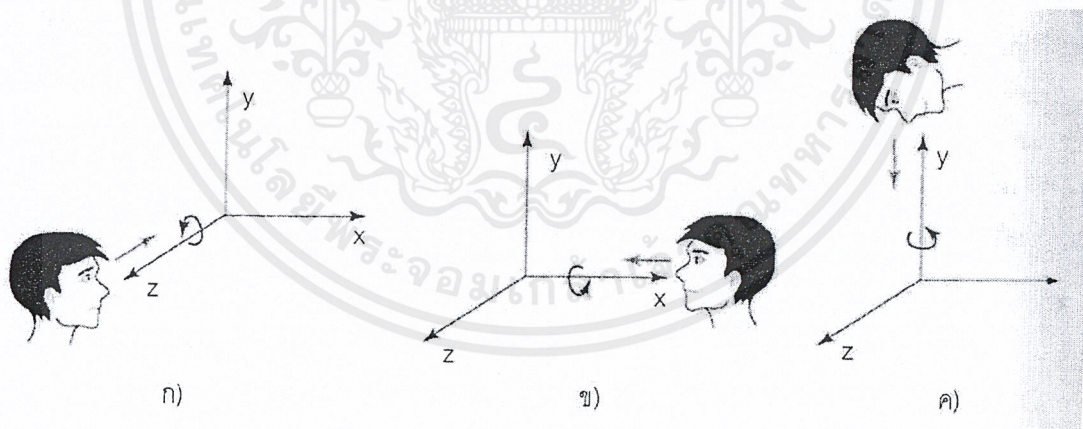
ทั้ง 3 ตัวมีค่าที่ต่างกันจะทำให้เกิดออปเจ็กต์มิติของการแปลงเปลี่ยนไป เราสามารถคงสภาพของรูปทรงได้โดยกำหนดให้ค่าสเกลลิงแฟคเตอร์ $s_x = s_y = s_z$ ซึ่งเรียกว่า uniform scaling ซึ่งเป็นการใช้สเกลลิงแฟคเตอร์ $s_x = s_y = s_z = 2$ จะเป็นดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 uniform scaling ที่กำหนดค่าสเกลลิงแฟคเตอร์เป็น 2 ทำให้เกิดออปเจ็กต์ห่างออกจากจุดกำเนิด

3.1.4 การหมุนวัตถุรอบแกน (Rotation)

สำหรับการหมุนออปเจ็กต์ 3 มิติใด จะต้องกำหนดแกนอ้างอิงสำหรับการหมุนจากด้านที่เป็นบวกของแกนนั้นไปยังจุดกำเนิด สำหรับการหมุนที่มีมุมเป็นบวกจะหมายถึงการหมุนทวนเข็มนาฬิกา (CCW : CounterClockWise) รอบแกนนั้น ส่วนการหมุนที่มีมุมเป็นลบจะเป็นการหมุนตามเข็มนาฬิกา (CW : ClockWise) สมมติว่าเรามองที่ทิศทางลบของแกน ข้อตกลงนี้เป็นสิ่งที่กล่าวไว้ใน การหมุน 2 มิติ ซึ่งมุมที่เป็นบวกในระนาบ xy จะหมุนทวนเข็มนาฬิกาการรอบจุดอ้างอิง (แกนที่ขนานกับแกน z)



รูปที่ 3.5 การหมุนที่มีมุมเป็นบวกเป็นการหมุนทวนเข็มนาฬิกาเมื่อมองจากด้านบวกของแกนไปหาจุดกำเนิด

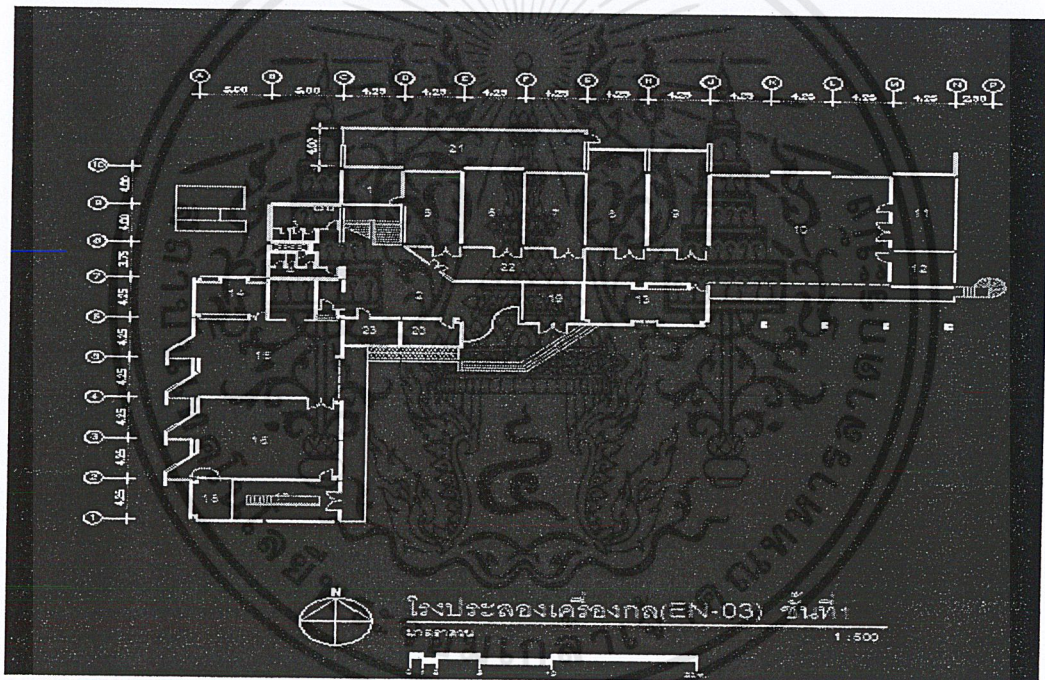
ก) หมุนรอบแกน Z ข) หมุนรอบแกน X ค) หมุนรอบแกน Y

3.2 พิจารณาคัดเลือกผังโรงงานตัวอย่างเพื่อใช้สำหรับสร้างสภาพแวดล้อมเสมือนจริงและเก็บรวบรวมข้อมูลเพื่อใช้เขียนภาพสามมิติ

ภายในขั้นตอนของการพิจารณาคัดเลือกผังโรงงานตัวอย่างเพื่อใช้สำหรับสร้างสภาพแวดล้อมเสมือนจริงและเก็บรวบรวมข้อมูลเพื่อใช้เขียนภาพสามมิติจะถูกแบ่งออกเป็นขั้นตอนย่อยที่มีความเชื่อมโยงกันขณะดำเนินงานตลอดเวลา ซึ่งจะอธิบายอย่างเป็นลำดับขั้นดังต่อไปนี้

3.2.1 คัดเลือกผังโรงงานตัวอย่างเพื่อใช้สำหรับจำลองสภาพแวดล้อมเสมือนจริง

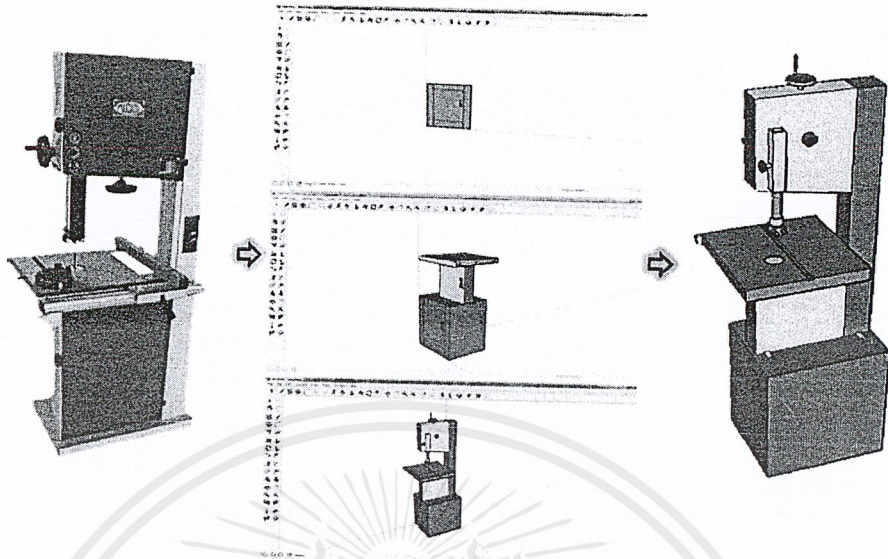
ผังโรงงานที่นำมาใช้สำหรับจัดเก็บเป็นฐานข้อมูลอ้างอิงในการสำหรับการสร้างสภาพแวดล้อมเสมือนจริงคือ โรงปฏิบัติการทางวิศวกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาอุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ซึ่งมีขนาดและอัตราส่วนของพื้นที่ใช้สอยเป็นค่าตามความเป็นจริงของโรงปฏิบัติที่ถูกสร้างขึ้น



รูปที่ 3.6 ผังโรงปฏิบัติการทางวิศวกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาอุตสาหกรรม

3.2.2 สร้างวัตถุสามมิติจากวัตถุจริง

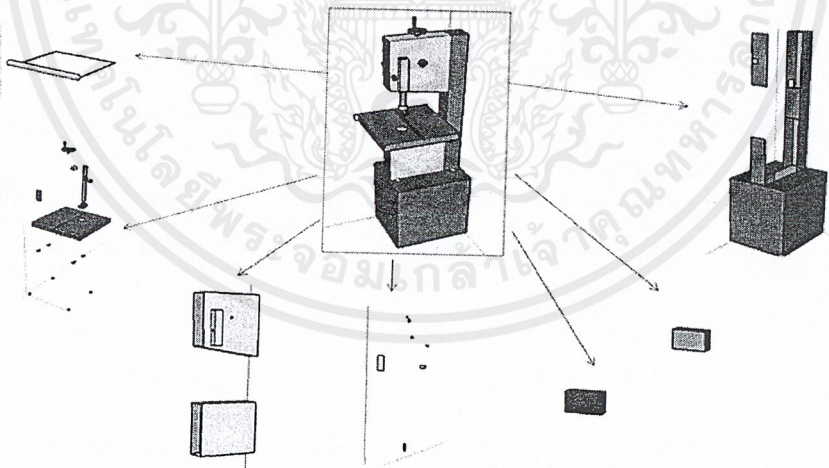
เมื่อทำการจัดเก็บข้อมูลของเครื่องจักร เครื่องมือ และอุปกรณ์ต่างๆภายในโรงปฏิบัติการทางวิศวกรรมเป็นที่เรียบร้อยแล้ว จึงทำการเขียนภาพวัตถุสามมิติเสมือนจริงโดยใช้วัตถุจริงเป็นต้นแบบในการเขียน ด้วยซอฟต์แวร์เขียนภาพจำลองสามมิติ Google Sketchup



รูปที่ 3.7 ตัวอย่างวัสดุสามมิติ เครื่องจักรที่ใช้ในโรงงาน

3.2.3 คัดแยกวัสดุสามมิติออกเป็นชิ้นส่วนตามความแตกต่างของสีที่ปรากฏ

จากวัสดุสามมิติซึ่งได้มาจากกระบวนการในหัวข้อ 3.2.2 นำมาทำการแยกชิ้นส่วนออกจากกันตามความแตกต่างของสีในแต่ละชิ้นส่วน เพื่อง่ายต่อการจัดเก็บข้อมูลอ้างอิงสำหรับสร้างวัสดุสามมิติที่จะปรากฏบนโปรแกรมจำลองสภาพแวดล้อมเสมือนจริงในขั้นตอนต่อไป

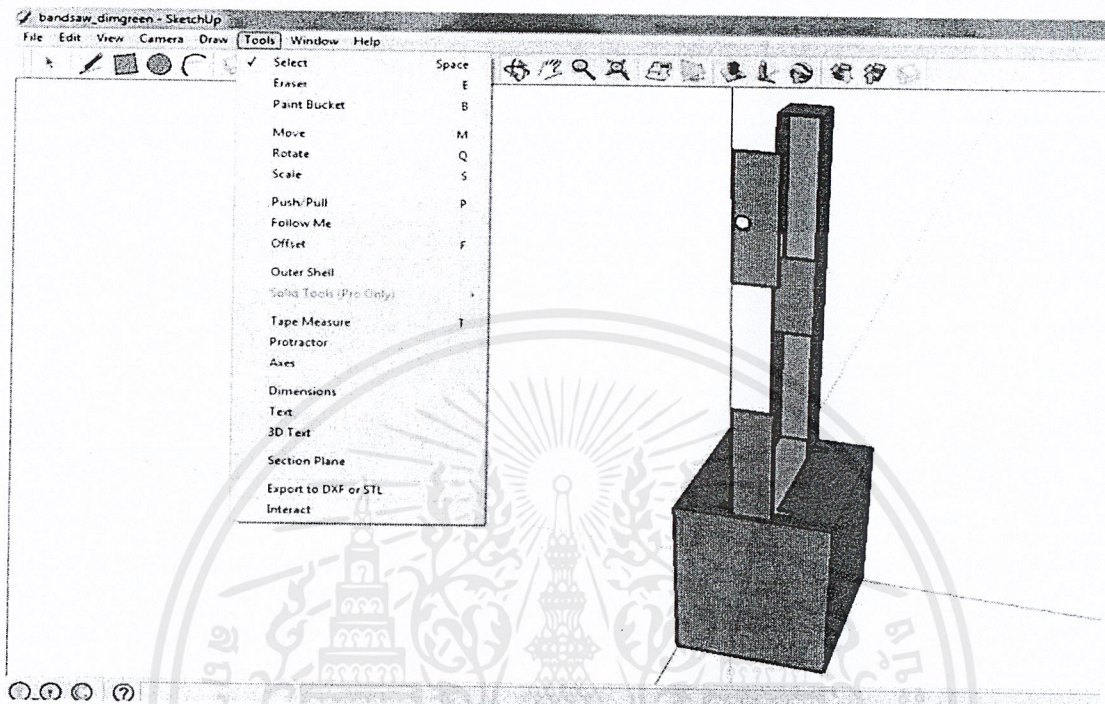


รูปที่ 3.8 ตัวอย่างการแยกสีและชิ้นส่วนประกอบของวัสดุสามมิติ

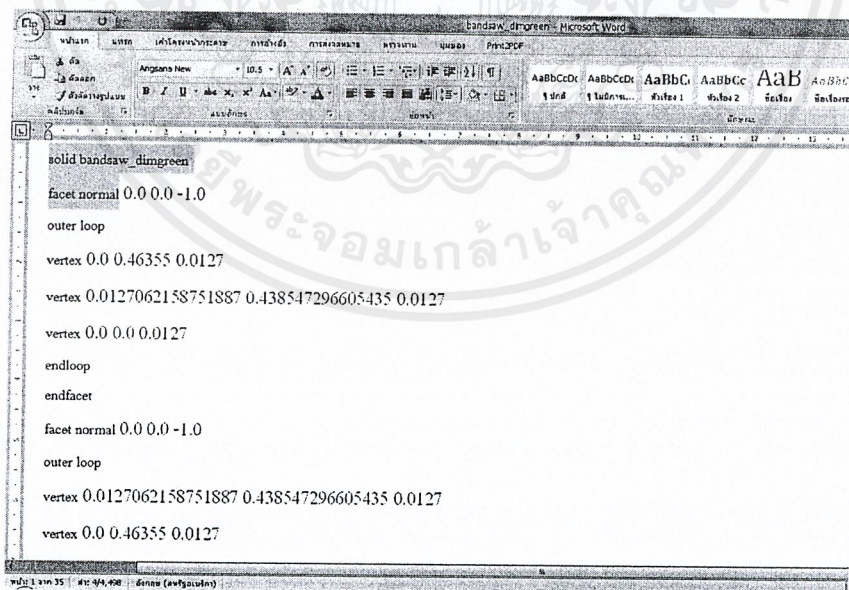
3.2.4 แปลงรหัสภาพดิจิทัลสู่รหัสตัวเลขเพื่อสร้างไฟล์ข้อมูล

เมื่อดำเนินการตามหัวข้อ 3.2.3 เป็นที่เรียบร้อยแล้ว จะได้วัสดุสามมิติปรากฏบนซอฟต์แวร์ Google SketchUp จากนั้นจึงเริ่มดำเนินการแปลงรหัสข้อมูลจากภาพดิจิทัลเป็นตัวเลขให้ไฟล์ข้อมูลอยู่ในรูปแบบของสกุล STL (Standard Template Library) ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นไลบรารีหนึ่งบนซอฟต์แวร์ที่ถูกสร้างขึ้นด้วยภาษา Visual C++ แล้วจึงนำข้อมูล

ที่เป็นไฟล์ STL นั้นไปทำการปรับปรุงให้มีความถูกต้องและเหมาะสม เพื่อนำไปใช้สำหรับสร้างไฟล์ Header ซึ่งเป็นส่วนประกอบในขั้นตอนต่อไปของการเขียนโปรแกรมจำลองสภาพแวดล้อมเสมือนจริง



รูปที่ 3.9 แสดงวิธีการแปลงสกุลไฟล์ STL ทำได้โดยผ่านคำสั่งบนซอฟต์แวร์ Google SketchUp (Tools -->Export to DXF or STL --> เลือก Meters --> เลือก STL--> เซฟไฟล์เตอร์ที่เตรียมไว้)



รูปที่ 3.10 แสดงไฟล์สกุล STL ที่มีข้อมูลตัวเลขหลังจากผ่านกระบวนการแปลงรหัสข้อมูลเรียบร้อยแล้ว

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	(	0.132,	-0.038,	1.036	,							
2	(	0.119,	-0.057,	1.036	,							
3	(	0.119,	-0.038,	1.036	,							
4	(	0.119,	-0.057,	1.036	,							
5	(	0.132,	-0.038,	1.036	,							
6	(	0.665,	-0.057,	1.036	,							
7	(	0.665,	-0.057,	1.036	,							
8	(	0.132,	-0.038,	1.036	,							
9	(	0.665,	-0.038,	1.036	,							
10	(	0.665,	-0.057,	1.036	,							
11	(	0.646,	-0.038,	1.036	,							
12	(	0.665,	-0.038,	1.036	,							
13	(	0.119,	-0.057,	1.084	,							
14	(	0.665,	-0.057,	1.078	,							
15	(	0.119,	-0.057,	1.078	,							
16	(	0.665,	-0.057,	1.078	,							
17	(	0.119,	-0.057,	1.084	,							
18	(	0.665,	-0.057,	1.084	,							
19	(	0.119,	-0.038,	1.078	,							
20	(	0.132,	-0.038,	1.036	,							
21	(	0.119,	-0.038,	1.036	,							
22	(	0.132,	-0.038,	1.036	,							
23	(	0.119,	-0.038,	1.078	,							
24	(	0.132,	-0.038,	1.078	,							
25	(	0.119,	-0.076,	1.066	,							
26	(	0.119,	-0.076,	1.055	,							
27	(	0.119,	-0.076,	1.064	,							

(ก.)

```

// Point
int m1_Number=7;
int m1_Number_of_Points=[1038,1614,643,1779,30,19,450];
float m1_MatPoint[7][3]={{ 1.000 , 0.537 , 0.835},
{0.545 , 0.545 , 0.510},
{0.000 , 0.592 , 0.000},
{0.545 , 0.517 , 0.537},
{0.000 , 1.000 , 0.000},
{1.000 , 0.000 , 0.000},
{1.000 , 1.000 , 0.941}};

float m1[10][3]={{ 0.132 , -0.038 , 1.036 } ,
{ 0.119 , -0.057 , 1.036 } ,
{ 0.119 , -0.038 , 1.036 } ,
{ 0.119 , -0.057 , 1.036 } ,
{ 0.132 , -0.038 , 1.036 } ,
{ 0.665 , -0.057 , 1.036 } ,
{ 0.665 , -0.057 , 1.036 } ,
{ 0.132 , -0.038 , 1.036 } ,
{ 0.665 , -0.038 , 1.036 } ,
{ 0.119 , -0.057 , 1.084 } ,
{ 0.665 , -0.057 , 1.078 } ,
{ 0.119 , -0.057 , 1.078 } ,
{ 0.665 , -0.057 , 1.078 } ,
{ 0.119 , -0.057 , 1.084 } ,
{ 0.665 , -0.057 , 1.084 } ,
{ 0.119 , -0.038 , 1.078 } ,
{ 0.132 , -0.038 , 1.036 } ,
{ 0.119 , -0.038 , 1.036 } ,
{ 0.132 , -0.038 , 1.036 } ,
{ 0.119 , -0.038 , 1.078 } ,
{ 0.132 , -0.038 , 1.078 } ,
{ 0.119 , -0.076 , 1.066 } ,
{ 0.119 , -0.076 , 1.055 } ,
{ 0.119 , -0.076 , 1.064 } ,
};

```

(ข.)

รูปที่ 3.11 ภาพ ก. แสดงชุดข้อมูลตัวเลขที่พร้อมนำไปใช้งานต่อ ซึ่งถูกแปลงจากข้อมูลที่เป็นรหัสภาพดิจิทัล ภาพ ข. แสดงไฟล์ Header หลังจากถูกสร้างด้วยชุดข้อมูลในภาพ ก.

3.2.5 จัดเก็บข้อมูลเพื่อใช้สำหรับอ้างอิงในการสร้างภาพสามมิติ

เมื่อทำกระบวนการต่างๆในแต่ละหัวข้อเป็นที่เรียบร้อยแล้ว ขั้นตอนสุดท้ายจะเป็นการสร้างฐานข้อมูลเพื่อใช้ในการอ้างอิงสำหรับทำสารบัญวัตถุสามมิติ ซึ่งประกอบไปด้วย รหัสเครื่องจักรที่ใช้ในการเขียนโปรแกรม ชื่อเครื่องจักร จำนวนชิ้นส่วนของเครื่องจักร จำนวนของปริมาณข้อมูล และรหัสสีของเครื่องจักรแต่ละเครื่อง เพื่อความสะดวก รวดเร็ว และง่ายต่อการศึกษา เมื่อจำเป็นจะต้องมีการนำข้อมูลของเครื่องจักรมาใช้ในการเขียนโปรแกรมจำลองสภาพแวดล้อมเสมือนจริง

ตารางอ้างอิงข้อมูล							
Machines (Cn)		Part (Pn)			RefColor		
code	ชื่อเครื่องจักร	code	ชื่อชิ้นส่วน	จำนวนข้อมูล	code	ชื่อสี	
m1	เครื่องเจาะ Bandsaw	p1		438	(1.000 f, 0.937 f, 0.835 f)	ครีมจัด	
		p2		10104	(0.545 f, 0.545 f, 0.514 f)	เทาเข้ม	
		p3		642	(0.000 f, 0.392 f, 0.000 f)	เขียวคน	
		p4		1779	(0.545 f, 0.537 f, 0.537 f)	เทาเหล็ก	
		p5		30	(0.000 f, 1.000 f, 0.000 f)	เขียว	
		p6		30	(1.000 f, 0.000 f, 0.000 f)	แดง	
		p7		450	(1.000 f, 1.000 f, 0.941 f)	ขาวคน	
m2	เครื่องเจียร	p1		13233	(0.200 f, 0.200 f, 0.200 f)	ดำควินบรี	
		p2		19215	(0.545 f, 0.537 f, 0.537 f)	เทาเหล็ก	
		p3		1995	(1.000 f, 0.000 f, 0.000 f)	แดง	
		p4		2853	(1.000 f, 1.000 f, 0.941 f)	ขาวคน	
		p5		1230	(0.545 f, 0.271 f, 0.075 f)	น้ำตาลเปลือกไม้	
		p6		15180	(0.722 f, 0.525 f, 0.043 f)	เหลืองคน	
m3	เครื่องกลึง	p1		2244	(0.102 f, 0.102 f, 0.102 f)	ดำเข้ม	
		p2		1677	(0.300 f, 0.300 f, 0.300 f)	ดำอ่อน	
		p3		24900	(0.000 f, 0.392 f, 0.000 f)	เขียวคน	
		p4		35037	(0.545 f, 0.537 f, 0.537 f)	เทาเหล็ก	
		p5		3528	(0.863 f, 0.863 f, 0.863 f)	เงิน	
m4	เครื่องกัด	p1		19554	(0.545 f, 0.537 f, 0.537 f)	เทาเหล็ก	
		p2		5799	(0.000 f, 0.392 f, 0.000 f)	เขียวคน	
		p3		3528	(1.000 f, 0.000 f, 0.000 f)	แดง	
m5	เก้าอี้	p1		630	(0.545 f, 0.537 f, 0.537 f)	เทาเหล็ก	
		p2		372	(0.000 f, 0.000 f, 0.000 f)	ดำ	

รูปที่ 3.12 ตารางอ้างอิงข้อมูลของสถานที่ เครื่องจักร อุปกรณ์ และเครื่องมือที่อยู่ภายในโรงปฏิบัติการทางวิศวกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาอุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

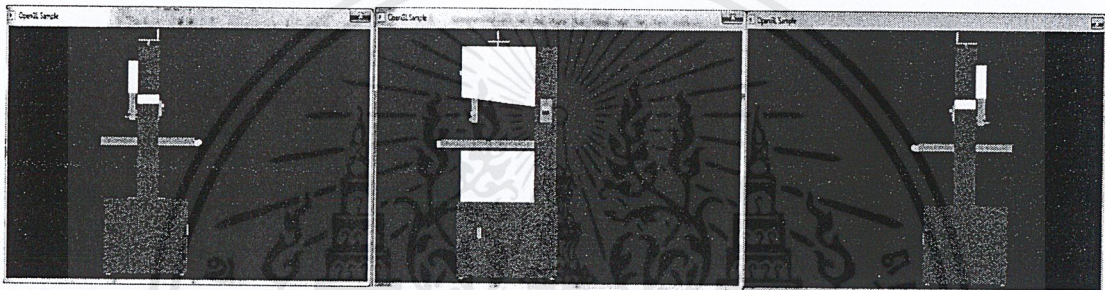
3.3 เขียนโปรแกรมในการจำลองสภาพแวดล้อมเสมือนจริง

ภายในขั้นตอนของการพิจารณาเขียนโปรแกรมในการจำลองสภาพแวดล้อมเสมือนจริงจะถูกแบ่งออกเป็นขั้นตอนย่อยที่มีความสำคัญต่อการเขียนโปรแกรมจำลองสภาพแวดล้อมเสมือนจริงอย่างเป็นลำดับขั้นเพื่อให้สภาพแวดล้อมที่ถูกจำลองขึ้นมาความใกล้เคียงกับสภาพความเป็นจริงกับโรงปฏิบัติการทางวิศวกรรมมากที่สุด ซึ่งจะอธิบายอย่างเป็นลำดับขั้นดังต่อไปนี้

3.3.1 แสดงวัตถุสามมิติให้ปรากฏอยู่บนหน้าจอโปรแกรมที่เขียนขึ้น

ในขั้นตอนนี้เป็นชุดข้อมูลของตัวอาคาร เครื่องจักร อุปกรณ์ และเครื่องมือต่างๆผ่านไฟล์ Header ที่สร้างในกระบวนการของหัวข้อ 3.2.4 ให้มีการเชื่อมต่อกับตัวโปรแกรมที่ทำการเขียนบนซอฟต์แวร์ที่ถูกสร้างขึ้นด้วยภาษา Visual C++ และกราฟิกไลบรารีของ OpenGL เพื่อแสดงวัตถุสามมิติเหล่านั้นบนหน้าจอโปรแกรมจำลองสภาพแวดล้อมเสมือนจริง

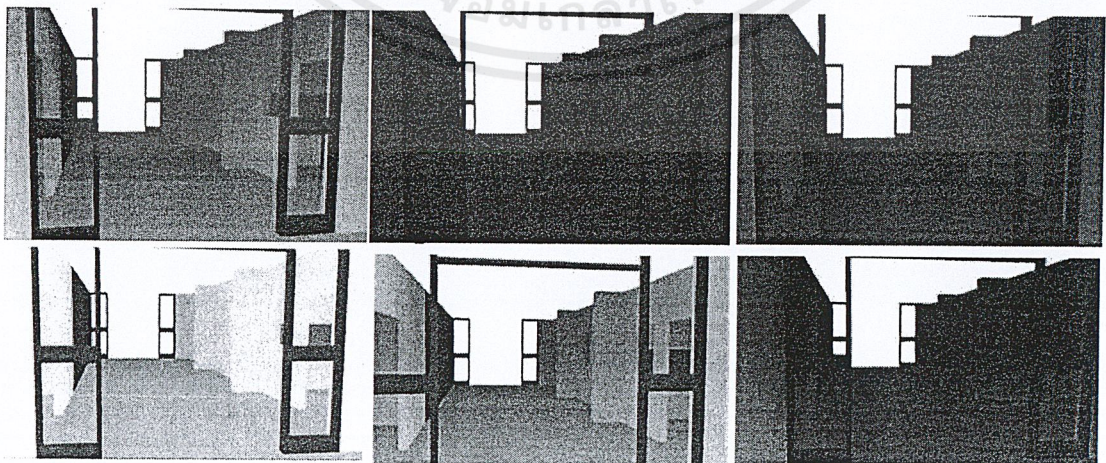
รูปที่ 3.13 แสดงวิธีการเขียนโปรแกรมเพื่อให้เกิดการติดต่อกันระหว่างโปรแกรมจำลองสภาพแวดล้อมเสมือนจริง กับชุดข้อมูลของวัตถุสามมิติ



รูปที่ 3.14 แสดงตัวอย่างวัตถุสามมิติที่ปรากฏขึ้นบนหน้าจอของโปรแกรมจำลองสภาพแวดล้อมเสมือนจริง

3.3.2 จัดการทิศทางและความเข้มของแสงเงาบนวัตถุเพื่อให้เกิดความสมจริง

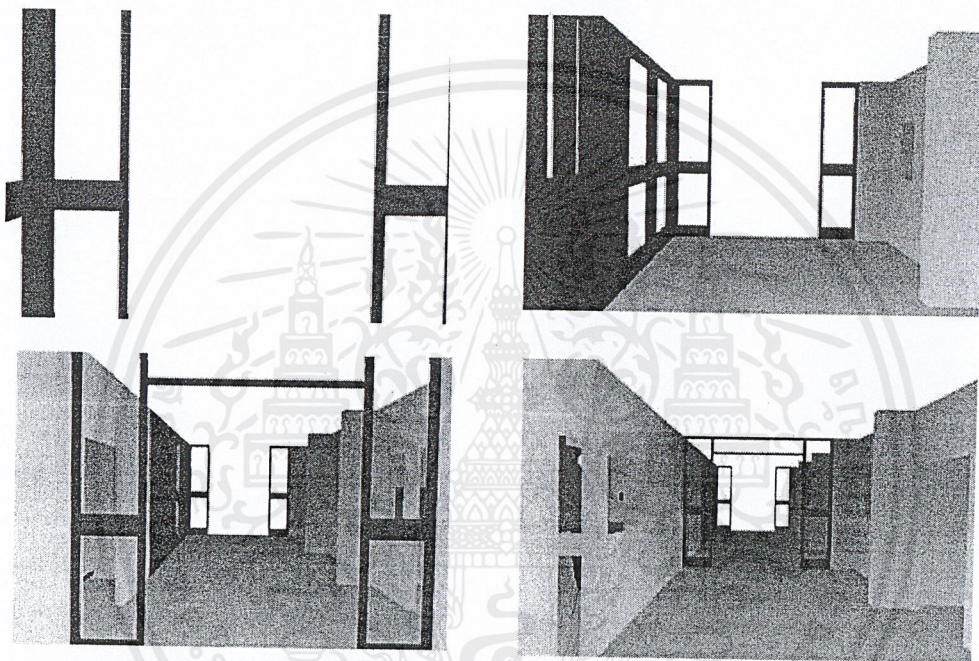
เนื่องจากโอเตลการส่องแสงใน OpenGL มีแสงมาจากหลากหลายแหล่งกำเนิดทำให้มีการสะท้อน หรือกระจายไปในทิศทางที่ไม่เหมาะสมส่งผลให้วัตถุสามมิติที่เราทำการจัดวางลงในโปรแกรมดูไม่สวยงามและสมจริง จึงจำเป็นต้องมีการกำหนดค่าของแสงที่จะปรากฏภายในโปรแกรม ให้มีทิศทางและการสะท้อนที่เหมาะสมมากยิ่งขึ้น ด้วยการปรับเปลี่ยนค่าของแสงเปล่ง (Emissive), แสงโดยรอบ (Ambient), แสงแพร่ (Defuse), และแสงกล้ำ (Specular)



รูปที่ 3.15 แสดงความแตกต่างของแสงที่มีทิศทาง การสะท้อน ความเข้ม และสีที่ต่างกัน

3.3.3 ขริบภาพและกำหนดมุมมองภาพสามมิติ

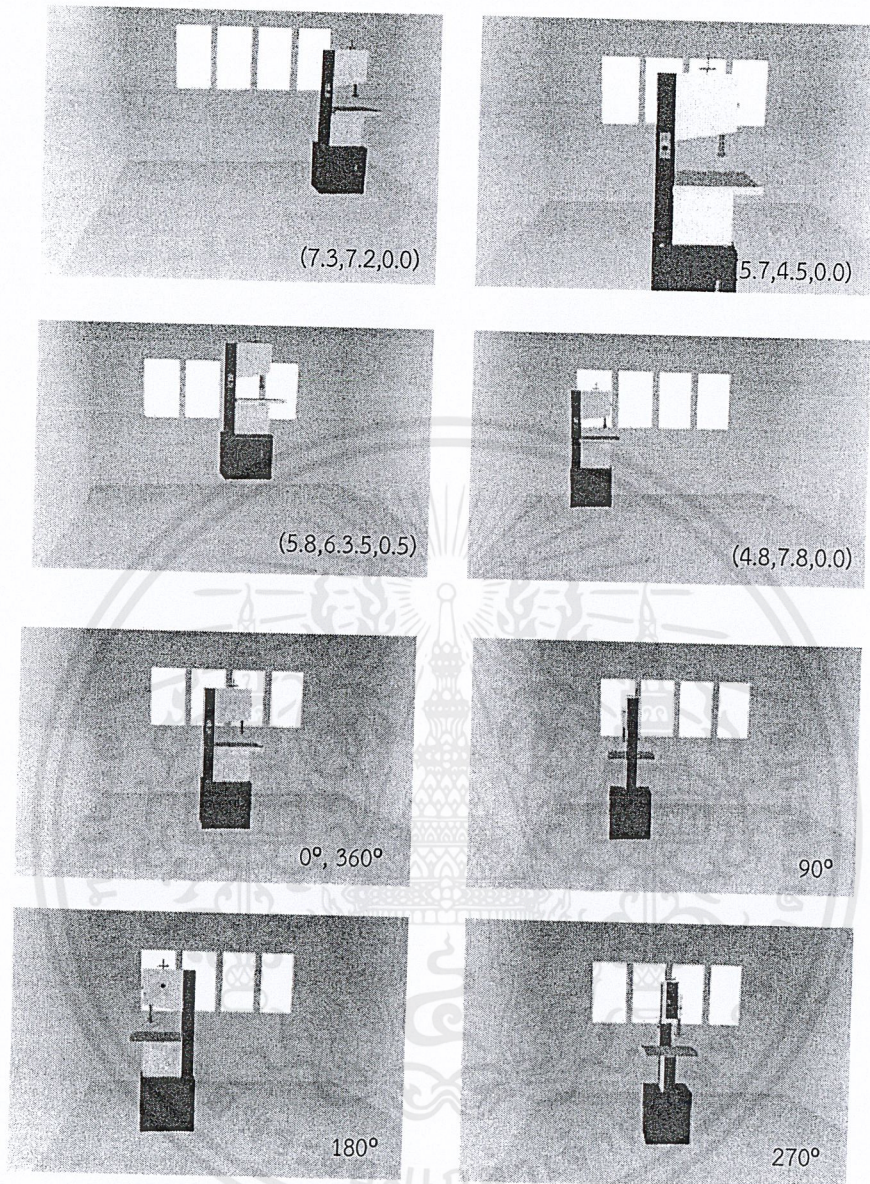
ในขั้นตอนนี้เป็นการกำหนดขอบเขตของส่วนที่จะปรากฏให้เห็นภายในหน้าจอของโปรแกรมเท่านั้น ทำให้ส่วนที่ถูกขริบออกจะไม่ปรากฏให้ขึ้นมาในหน้าจอโปรแกรมจนกว่าจะมีการเคลื่อนตำแหน่งหรือเปลี่ยนมุมมองไปยังบริเวณนั้น ส่งผลให้บริเวณนั้นกลายเป็นขอบเขตของการขริบแทน และการเปลี่ยนมุมมองนี้เองที่เราเรียกว่า “การเปลี่ยนวิวพอร์ต” จะทำให้เราสามารถมองเห็นวัตถุในตำแหน่งที่แสดงผลแตกต่างกันบนหน้าจอโปรแกรม



รูปที่ 3.16 แสดงความแตกต่างในการเปลี่ยนระยะขริบภาพและวิวพอร์ต

3.3.4 หมุนและเคลื่อนย้ายวัตถุสามมิติไปยังตำแหน่งที่ต้องการในสภาพแวดล้อมเสมือนจริง

เมื่อวัตถุปรากฏขึ้นบนหน้าจอโปรแกรมเป็นที่เรียบร้อยแล้วในขั้นตอนต่อมาจึงเป็นการจัดวาง วัตถุเหล่านั้นให้อยู่ในทิศทางและตำแหน่งที่ถูกต้องตามผังที่วางไว้ หรือจัดวางในตำแหน่งที่ต้องการจำลองให้อยู่ในสภาวะใหม่ที่แตกต่างจากเดิม



รูปที่ 3.17 แสดงการหมุนและการเคลื่อนตำแหน่งของวัตถุสามมิติในทิศทางและตำแหน่งที่แตกต่างบนหน้าจอโปรแกรมจำลองสภาพแวดล้อมเสมือนจริง

3.3.5 จัดวางวัตถุสามมิติต่างๆในสภาพแวดล้อมเสมือนจริงที่ทำการจำลองขึ้น

ขั้นตอนสุดท้ายของการเขียนโปรแกรมจำลองสภาพแวดล้อมเสมือนจริง เป็นการเชื่อมโยงกระบวนการในทุกหัวข้อที่ได้กล่าวไว้ในข้างต้นมาประยุกต์ใช้ร่วมกัน เพื่อก่อให้เกิดสภาพแวดล้อมเสมือนจริงที่สมบูรณ์แบบตามที่ได้วางแผนเอาไว้

3.4 ทดสอบการทำงานของโปรแกรมผ่านแว่นตาสามมิติ

เมื่อทำการเชื่อมต่ออุปกรณ์แว่นตาสามมิติรุ่น Vuzix iWear VR920 เข้ากับเครื่องคอมพิวเตอร์ แล้วทำการรันโปรแกรมจำลองสภาพแวดล้อมเสมือนจริงผ่านคุณสมบัติของซอฟต์แวร์ไลบรารี OpenGL ซึ่งทำหน้าที่คล้ายกับ API(Application Programming Interface) ตัวโปรแกรมจะทำการติดต่อกับตัวแว่นตาสามมิติเพื่อแสดงภาพกราฟิกขึ้นบนหน้าจอของแว่นสามมิติ สภาพแวดล้อมเสมือนจริงภายในโรงปฏิบัติการวิศวกรรมก็จะปรากฏขึ้นในลักษณะเดียวกับรูปที่ 3.18



รูปที่3.18 แว่นตาสามมิติรุ่น Vuzix iWear VR920

บทที่ 4

ผลการศึกษาและทดลอง

4.1 ข้อมูลชิ้นส่วนภายในของเครื่องจักรในโรงปฏิบัติการทางวิศวกรรมของ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิชา อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

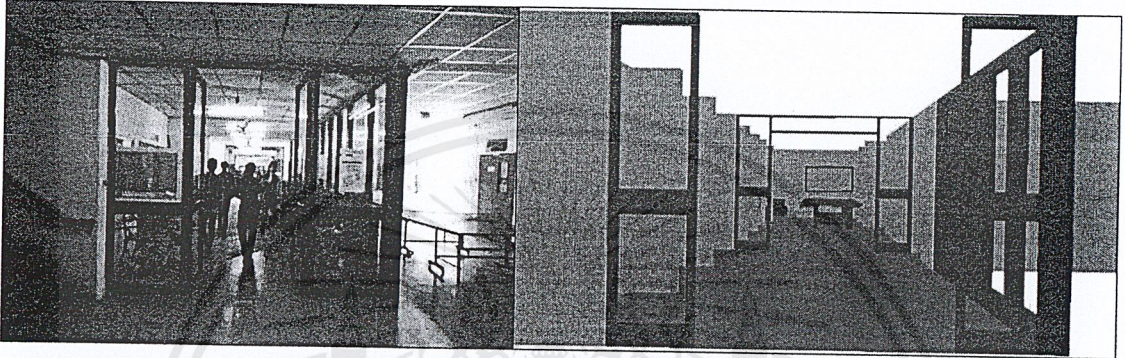
จากการรวบรวมข้อมูลจากพื้นที่ของโรงปฏิบัติการ เครื่องจักร อุปกรณ์ และเครื่องมือ ภายในโรงปฏิบัติการทางวิศวกรรมของ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาอุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เพื่อนำมาทำการจัดเก็บเป็นฐานข้อมูลอ้างอิงในการเขียนภาพสามมิติ และ ผังโรงปฏิบัติการจำลองสภาพแวดล้อมเสมือนจริง พบว่ามีจำนวนข้อมูลทั้งสิ้น 149 ข้อมูล โดยแบ่งออกเป็น ข้อมูลของโรงปฏิบัติการจำนวน 2 ข้อมูล, ข้อมูลของเครื่องจักรต่างๆภายในโรงปฏิบัติการจำนวน 46 ข้อมูล และข้อมูลของเครื่องมืออุปกรณ์รวมกันจำนวน 101 ข้อมูล ข้อมูลทั้งหมดที่นำมาทำเป็นข้อมูลอ้างอิงจะถูกแบ่งออกเป็นข้อมูลย่อยอีกเพื่อง่าย สะดวก และรวดเร็วต่อการนำไปใช้เขียนโปรแกรม ดังแสดงเป็นตัวอย่างให้เห็นในรูปที่ 4.1

ตารางอ้างอิงข้อมูล					
Machines (Cn)		Part (Pn)		RefColor	
code	ชื่อเครื่องจักร	code	จำนวนข้อมูล	code	ชื่อสี
workshop2	กำแพง	p1	5313	(0.961 f, 0.961 f, 0.961 f)	ขาวคัน
		p2	8241	(0.545 f, 0.271 f, 0.075 f)	น้ำตาลเปลือกไม้
		p3	2166	(0.545 f, 0.271 f, 0.075 f)	น้ำตาลเปลือกไม้
workshop	พื้น	p1	3282	(1.000 f, 1.000 f, 1.000 f)	ขาว
		p1	1944	(0.545 f, 0.545 f, 0.513 f)	สีเทาซีเมนต์
		p2	1899	(0.956 f, 0.643 f, 0.376 f)	Sandy Brown
m1	เครื่องเจาะ Bandsaw	p3	1920	(1.000 f, 1.000 f, 1.000 f)	ขาว
		p1	438	(1.000 f, 0.937 f, 0.835 f)	ครีมจืด
		p2	10104	(0.545 f, 0.545 f, 0.514 f)	เทาเข้ม
		p3	642	(0.000 f, 0.392 f, 0.000 f)	เขียวคูน
		p4	1779	(0.545 f, 0.537 f, 0.537 f)	เทาเหล็ก
		p5	30	(0.000 f, 1.000 f, 0.000 f)	เขียว
		p6	30	(1.000 f, 0.000 f, 0.000 f)	แดง
m2	เครื่องเจียร Bench Grinder Stand	p7	450	(1.000 f, 1.000 f, 0.941 f)	ขาวคูน
m2		p1	13233	(0.200 f, 0.200 f, 0.200 f)	ดำควีนเพอร์
		p2	19215	(0.545 f, 0.537 f, 0.537 f)	เทาเหล็ก
		p3	1995	(1.000 f, 0.000 f, 0.000 f)	แดง
		p4	2853	(1.000 f, 1.000 f, 0.941 f)	ขาวคูน
		p5	1230	(0.545 f, 0.271 f, 0.075 f)	น้ำตาลเปลือกไม้
		p6	15180	(0.722 f, 0.525 f, 0.043 f)	เหลืองคูน
m3	เครื่องกลึง Lathe	p1	2244	(0.102 f, 0.102 f, 0.102 f)	ดำเข้ม
		p2	1677	(0.300 f, 0.300 f, 0.300 f)	ดำอ่อน
		p3	24900	(0.000 f, 0.392 f, 0.000 f)	เขียวคูน
		p4	35037	(0.545 f, 0.537 f, 0.537 f)	เทาเหล็ก
		p5	3528	(0.863 f, 0.863 f, 0.863 f)	เงิน
m4	เครื่องกัด TR40 Drill	p1	19554	(0.545 f, 0.537 f, 0.537 f)	เทาเหล็ก
		p2	5799	(0.000 f, 0.392 f, 0.000 f)	เขียวคูน
		p3	3528	(1.000 f, 0.000 f, 0.000 f)	แดง
m5	เก้าอี้ Chair	p1	630	(0.545 f, 0.537 f, 0.537 f)	เทาเหล็ก
		p2	372	(0.000 f, 0.000 f, 0.000 f)	ดำ

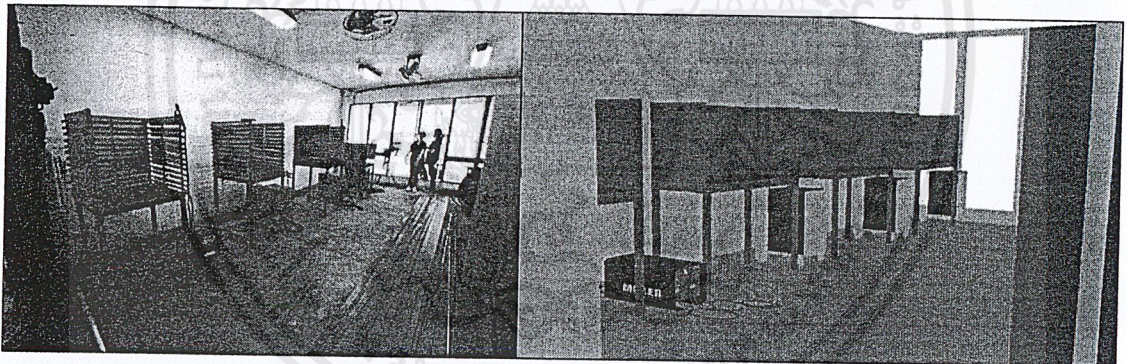
รูปที่ 4.1 ตัวอย่างตารางอ้างอิงข้อมูลเพื่อนำมาใช้เขียนภาพสามมิติ

4.2 โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับจำลองสภาพแวดล้อมเสมือนจริงภายในโรงงานอุตสาหกรรม

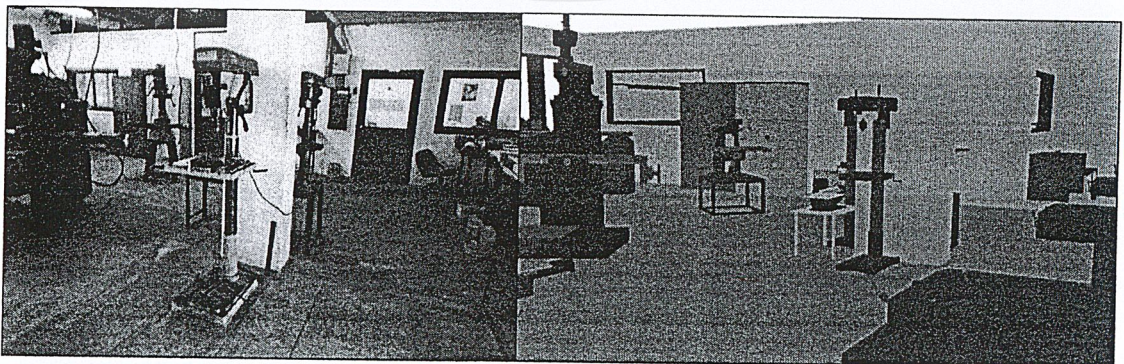
หลังจากที่นำฐานข้อมูลอ้างอิงซึ่งได้มาจากข้อหัว 4.1 มาทำการเขียนภาพสามมิติ และสภาพแวดล้อมเสมือนจริงโดยใช้ฟังก์ชันในไลบรารี OpenGL เป็นที่เรียบร้อยแล้ว เมื่อโปรแกรมทำงานหน้าจอของโปรแกรมที่เขียนขึ้นจะปรากฏภาพโรงปฏิบัติการ เครื่องจักร อุปกรณ์ และเครื่องมือ ขึ้นมาให้เห็นเป็นสภาพแวดล้อมเสมือนจริง



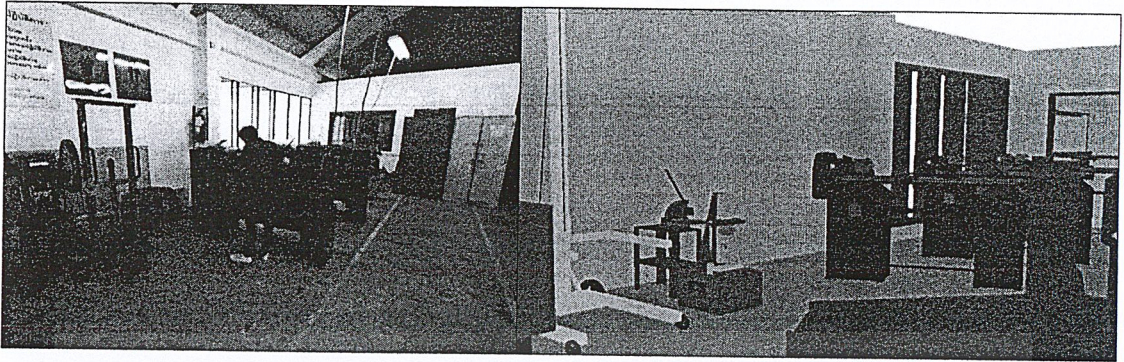
รูปที่ 4.2 เปรียบเทียบภาพจริงกับภาพในโปรแกรมของประตูหน้า



รูปที่ 4.3 เปรียบเทียบภาพจริงกับภาพในโปรแกรมของห้องงานเชื่อม



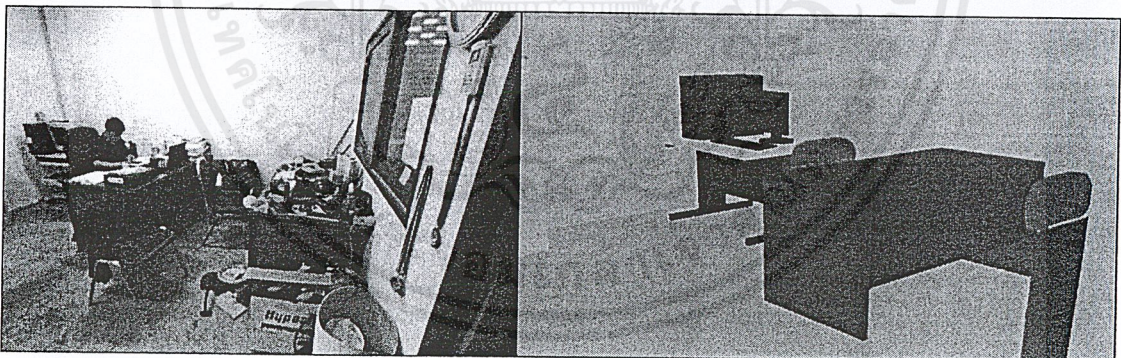
รูปที่ 4.4 เปรียบเทียบภาพจริงกับภาพในโปรแกรมของโรงแมชชีน



รูปที่ 4.5 เปรียบเทียบภาพจริงกับภาพในโปรแกรมของโรงแมชชีน



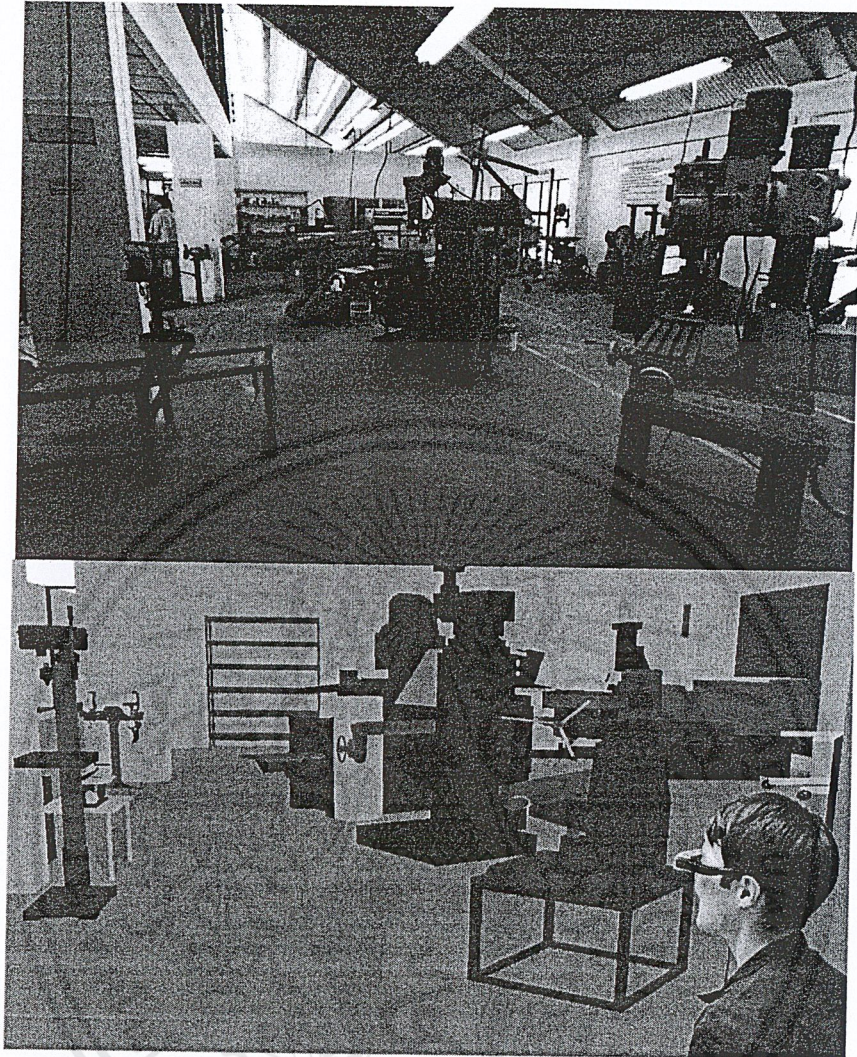
รูปที่ 4.6 เปรียบเทียบภาพจริงกับภาพในโปรแกรมของห้องเก็บอุปกรณ์



รูปที่ 4.7 เปรียบเทียบภาพจริงกับภาพในโปรแกรมของห้องออฟฟิศ

4.3 การแสดงผลของการจำลองสภาพแวดล้อมเสมือนจริงบนโปรแกรมที่เขียนขึ้นผ่านอุปกรณ์แว่นตาสามมิติ

เมื่อทำการเชื่อมต่ออุปกรณ์แว่นตาสามมิติเข้ากับเครื่องคอมพิวเตอร์ แล้วทำการรันโปรแกรมจำลองสภาพเสมือนจริงผ่านคุณสมบัติของซอฟต์แวร์ไลบรารี OpenGL ซึ่งทำหน้าที่คล้ายกับAPI (Application Programming Interface) ตัวโปรแกรมจะทำการติดต่อกับตัวแว่นตาสามมิติเพื่อแสดงภาพกราฟิกขึ้นบนหน้าจอของแว่นสามมิติ สภาพแวดล้อมเสมือนจริงภายในโรงปฏิบัติการวิศวกรรมก็จะปรากฏขึ้นในลักษณะเดียวกับ รูปที่ 4.8



รูปที่ 4.8 แสดงสภาพแวดล้อมเสมือนจริงผ่านหน้าจอบนแว่นตาสามมิติ

บทที่ 5

สรุปผลการดำเนินงาน

5.1 สรุปผลการดำเนินงาน

ปริญญานิพนธ์นี้จัดทำขึ้นเพื่อสร้างต้นแบบโปรแกรมจำลองสภาพแวดล้อมเสมือนจริงภายในโรงงานอุตสาหกรรม โดยมีจุดมุ่งหมายที่สำคัญเพื่อสนับสนุนการจัดวางผังโรงงานอุตสาหกรรม โดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่เขียนสร้างขึ้นด้วยภาษา Visual C++ จะจำลองสภาพแวดล้อมเสมือนจริงภายในโรงงานอุตสาหกรรมในลักษณะของภาพสามมิติ โดยใช้ Open Graphics Library ในการช่วยประมวลผลภาพให้แสดงผลบนจอของคอมพิวเตอร์และแว่นตาคอมพิวเตอร์ได้

ผลลัพธ์ที่ได้จากโครงการคือ การแสดงสภาพแวดล้อมเสมือนจริงภายในโรงงานอุตสาหกรรมผ่านแว่นตาสามมิติ เป็นที่น่าพอใจรูปแบบของแผนผังและวัตถุต่างๆที่ถูกแสดงผลภายในโปรแกรมนั้นสามารถที่จะปรับเปลี่ยนขนาด ตำแหน่ง ลักษณะ และสี ได้ตามความต้องการ แต่ด้วยข้อจำกัดทางเวลาของการจัดทำโครงการทำให้โปรแกรมยังไม่สามารถพัฒนาไปยังรูปแบบของโปรแกรมสำเร็จรูปได้ ด้วยเหตุนี้ตัวโปรแกรมจึงยังต้องทำงานบนตัวของคอมพิวเตอร์ Visual C++ คือเมื่อผู้ใช้โปรแกรมมีความต้องการที่จะเปลี่ยนแปลงรูปแบบของแผนผังโรงงาน หรือวัตถุต่างๆภายในสภาพแวดล้อมเสมือนจริง ยังจำเป็นต้องแก้ไขผ่านภาษา Visual C++ และโปรแกรมยังไม่สามารถจำลองสภาวะการเดินทางภายในโปรแกรมที่จะปิดกั้นไม่ให้เดินผ่านอุปสรรคหรือผนังได้

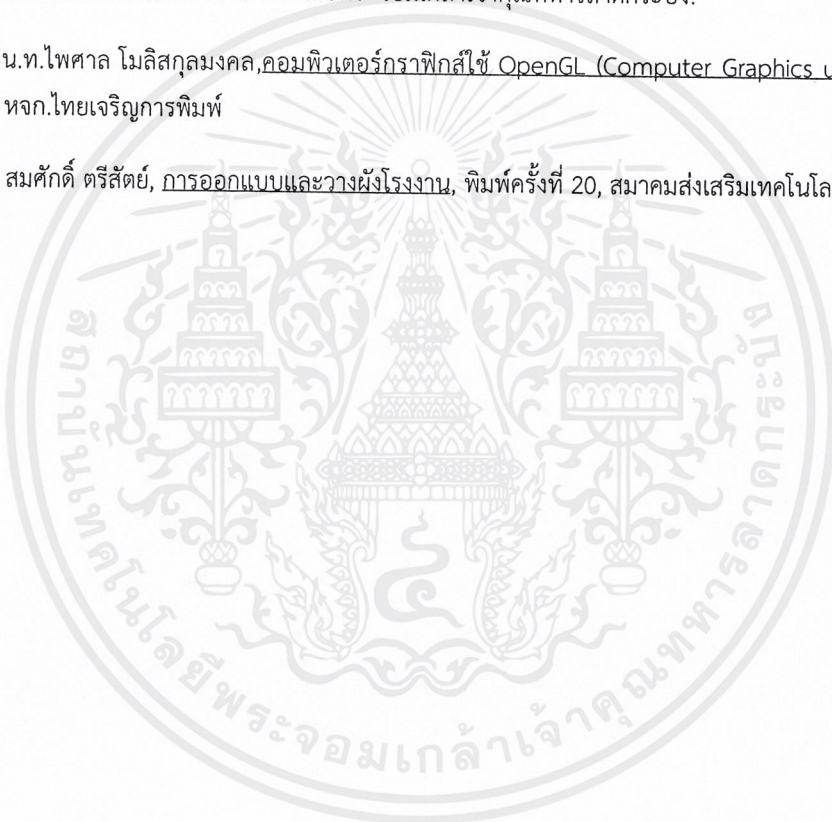
5.2 ข้อเสนอแนะ

ทางคณะผู้จัดทำมีแนวทางที่จะดำเนินงานเพื่อพัฒนาและปรับปรุงโปรแกรมสำหรับจำลองสภาพแวดล้อมเสมือนจริงภายในโรงงานอุตสาหกรรม ดังนี้

1. ควรเพิ่มเติม และพัฒนาในส่วนของการแสดงผลและส่วนติดต่อผู้ใช้ให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น เพื่อให้ผู้ใช้เกิดความสะดวกในการใช้งานให้สามารถใช้งานได้ง่ายขึ้นและสวยงามขึ้น
2. เครื่องจักรต่างๆที่ปรากฏขึ้นภายในโปรแกรมอาจสามารถที่จะจำลองสภาพขณะทำงานจริงได้
3. เมื่อผู้ใช้โปรแกรมจะนำผังโรงงานที่ได้จากการเตรียมไว้ไปใช้ควรพิจารณาถึงปัจจัยในด้านต่างๆ เพิ่มเติม เช่น เรื่องของความปลอดภัย การเคลื่อนย้ายบุคลากรออกจากภายในสถานที่ปฏิบัติงานเมื่อเกิดเหตุอันตรายเพื่อสามารถนำข้อมูลมาทำการวิเคราะห์และหาความสัมพันธ์ในเรื่องของแนวทางปฏิบัติเมื่อเผชิญหน้ากับสถานการณ์ดังกล่าว เป็นต้น
4. ปรับปรุงข้อจำกัดที่ยังไม่สามารถแก้ไขได้ในปัจจุบัน คือความเป็นโปรแกรมสำเร็จรูปที่สามารถใช้งานได้ง่าย โดยที่ผู้ใช้ไม่จำเป็นต้องมีความรู้ในเรื่องของการเขียนโปรแกรม โปรแกรมสามารถควบคุมการเคลื่อนย้าย หรือเปลี่ยนมุมมองได้โดยผ่านจากตัวอุปกรณ์ที่สะดวกมากยิ่งขึ้น

บรรณานุกรม

- [1] นฤนาถ สุโรดม ปณัสสา เขียววานิช และสถาพร ระวัง, 2547. การออกแบบและสร้างโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อประยุกต์ใช้กับการจัดวางผังโรงงาน. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [2] ชัยวัฒน์ ภูษณพากร ประวิทย์ ถาวร และปยุตติศา อมรเทพรักษ์, 2548. การสร้างโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับออกแบบแผนผังโรงงาน. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [3] น.ท.ไพศาล โมลิสกุลมงคล, คอมพิวเตอร์กราฟิกส์ใช้ OpenGL (Computer Graphics using OpenGL), พิมพ์ครั้งที่ 5, หจก.ไทยเจริญการพิมพ์
- [4] สมศักดิ์ ตรีสัตย์, การออกแบบและวางผังโรงงาน, พิมพ์ครั้งที่ 20, สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น)





เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางอ้างอิงข้อมูล

ตารางอ้างอิงข้อมูล							
Machines (Cn)		Part (Pn)		RefColor			
code	ชื่อเครื่องจักร	code	จำนวนข้อมูล	code			ชื่อสี
workshop2	ก้านพวง	p1	5313 ,	(0.961 f,	0.961 f,	0.961 f) ,	ขาวควัน
		p2	8241 ,	(0.545 f,	0.271 f,	0.075 f) ,	น้ำตาลเปลือกไม้
		p3	2166 ,	(0.545 f,	0.271 f,	0.075 f) ,	น้ำตาลเปลือกไม้
workshop Floor	ก้านพวง	p1	3282 ,	(1.000 f,	1.000 f,	1.000 f) ,	ขาว
		p1	1944 ,	(0.545 f,	0.545 f,	0.513 f) ,	สีเทาซีเมนต์
		p2	1899 ,	(0.956 f,	0.643 f,	0.376 f) ,	Sandy Brown
m1	เครื่องเจาะ Bandsaw	p1	438 ,	(1.000 f,	0.937 f,	0.835 f) ,	ครีมจืด
		p2	10104 ,	(0.545 f,	0.545 f,	0.514 f) ,	เทาเข้ม
		p3	642 ,	(0.000 f,	0.392 f,	0.000 f) ,	เขียวคุ่น
		p4	1779 ,	(0.545 f,	0.537 f,	0.537 f) ,	เทาเหล็ก
		p5	30 ,	(0.000 f,	1.000 f,	0.000 f) ,	เขียว
		p6	30 ,	(1.000 f,	0.000 f,	0.000 f) ,	แดง
		p7	450 ,	(1.000 f,	1.000 f,	0.941 f) ,	ขาวคุ่น
m2	เครื่องเจียร Bench Grinder Stand	p1	13233 ,	(0.200 f,	0.200 f,	0.200 f) ,	ดำควันบุหรี่
		p2	19215 ,	(0.545 f,	0.537 f,	0.537 f) ,	เทาเหล็ก
		p3	1995 ,	(1.000 f,	0.000 f,	0.000 f) ,	แดง
		p4	2853 ,	(1.000 f,	1.000 f,	0.941 f) ,	ขาวคุ่น
		p5	1230 ,	(0.545 f,	0.271 f,	0.075 f) ,	น้ำตาลเปลือกไม้
		p6	15180 ,	(0.722 f,	0.525 f,	0.043 f) ,	เหลืองคุ่น
m3	เครื่องกลึง Lathe	p1	2244 ,	(0.102 f,	0.102 f,	0.102 f) ,	ดำเข้ม
		p2	1677 ,	(0.300 f,	0.300 f,	0.300 f) ,	ดำอ่อน
		p3	24900 ,	(0.000 f,	0.392 f,	0.000 f) ,	เขียวคุ่น
		p4	35037 ,	(0.545 f,	0.537 f,	0.537 f) ,	เทาเหล็ก
		p5	3528 ,	(0.863 f,	0.863 f,	0.863 f) ,	เงิน
m4	เครื่องกัด TR40 Drill	p1	19554 ,	(0.545 f,	0.537 f,	0.537 f) ,	เทาเหล็ก
		p2	5799 ,	(0.000 f,	0.392 f,	0.000 f) ,	เขียวคุ่น
		p3	3528 ,	(1.000 f,	0.000 f,	0.000 f) ,	แดง
m5	เก้าอี้ Chair	p1	630 ,	(0.545 f,	0.537 f,	0.537 f) ,	เทาเหล็ก
		p2	372 ,	(0.000 f,	0.000 f,	0.000 f) ,	ดำ
m6	เครื่องเจาะแบบมือหมุน Drill Press	p1	78 ,	(0.000 f,	0.000 f,	0.000 f) ,	ดำ
		p2	10353 ,	(0.545 f,	0.533 f,	0.471 f) ,	เทาเหล็กขบ
		p3	2064 ,	(0.545 f,	0.537 f,	0.537 f) ,	เทาเหล็ก
		p4	618 ,	(0.000 f,	0.392 f,	0.000 f) ,	เขียวคุ่น
		p5	30 ,	(1.000 f,	0.000 f,	0.000 f) ,	แดง
m7	ชั้นวางของ	p1	1692 ,	(0.545 f,	0.537 f,	0.537 f) ,	เทาเหล็ก
m8	ปากกานับชิ้นงาน Metal Vise	p1	36 ,	(0.410 f,	0.410 f,	0.410 f) ,	เทาควันบุหรี่
		p2	45204 ,	(0.545 f,	0.537 f,	0.537 f) ,	เทาเหล็ก
		p3	3078 ,	(1.000 f,	0.000 f,	0.000 f) ,	แดง
m9	เครื่องกัด Milling Machine	p1	3192 ,	(0.355 f,	0.355 f,	0.355 f) ,	ดำกลาง
		p2	7311 ,	(0.545 f,	0.537 f,	0.537 f) ,	เทาเหล็ก
		p3	6399 ,	(0.000 f,	0.392 f,	0.000 f) ,	เขียวคุ่น
		p4	426 ,	(1.000 f,	0.000 f,	0.000 f) ,	แดง
		p5	1302 ,	(0.863 f,	0.863 f,	0.863 f) ,	เงิน
		p6	420 ,	(0.722 f,	0.525 f,	0.043 f) ,	เหลืองคุ่น
m10	เครื่องทดสอบความแข็งของชิ้นงาน 25ton Press	p1	3273 ,	(0.355 f,	0.355 f,	0.355 f) ,	ดำกลาง
		p2	22632 ,	(0.545 f,	0.537 f,	0.537 f) ,	เทาเหล็ก
		p3	195 ,	(1.000 f,	0.000 f,	0.000 f) ,	แดง
		p4	189 ,	(1.000 f,	1.000 f,	0.941 f) ,	ขาวคุ่น
		p5	1362 ,	(0.722 f,	0.525 f,	0.043 f) ,	เหลืองคุ่น

m11	ถาดช่องเก็บชิ้นส่วนเล็ก ติดผนัง	p1 p2	3420 36	(0.000 f, 0.000 f, 1.000 f) (0.545 f, 0.537 f, 0.537 f)	น้ำเงิน เทาเหล็ก
m12	รถเข็นพื้นราบ Carts	p1 p2 p3	3594 13806 102	(0.545 f, 0.537 f, 0.537 f) (0.863 f, 0.863 f, 0.863 f) (0.545 f, 0.271 f, 0.075 f)	เทาเหล็ก เงิน น้ำตาลเปลือกไม้
m13	โต๊ะยาว Long Table	p1 p2	444 36	(0.545 f, 0.545 f, 0.514 f) (0.545 f, 0.271 f, 0.075 f)	เทาเข้ม น้ำตาลเปลือกไม้
m14	เครื่องกัดCNC 5แกน 5 aix knee mill CNC	p1 p2 p3 p4 p5 p6	27015 7344 36 5574 30318 8112	(0.863 f, 0.863 f, 0.863 f) (1.000 f, 0.271 f, 0.000 f) (0.627 f, 0.322 f, 0.176 f) (1.000 f, 0.000 f, 0.000 f) (1.000 f, 1.000 f, 0.941 f) (0.722 f, 0.525 f, 0.043 f)	เงิน ส้ม น้ำตาลอ่อน แดง ขาวคูน เหลืองคูน
m15	เครื่องเจียรตั้งพื้น Bench Grinder	p1 p2 p3 p4 p5 p6 p7	504 3348 504 576 60 90 8112	(0.800 f, 1.000 f, 1.000 f) (0.102 f, 0.102 f, 0.102 f) (0.000 f, 0.000 f, 1.000 f) (0.545 f, 0.537 f, 0.537 f) (1.000 f, 0.000 f, 0.000 f) (1.000 f, 1.000 f, 0.941 f) (0.722 f, 0.525 f, 0.043 f)	ฟ้ากระจก ดำเข้ม น้ำเงิน เทาเหล็ก แดง ขาวคูน เหลืองคูน
m16	เครื่องไสมีลูกกลิ้ง G1033X Planer	p1 p2 p3 p4 p5	1521 6837 10749 486 195	(0.102 f, 0.102 f, 0.102 f) (0.545 f, 0.537 f, 0.537 f) (0.000 f, 0.392 f, 0.000 f) (1.000 f, 0.000 f, 0.000 f) (1.000 f, 1.000 f, 1.000 f)	ดำเข้ม เทาเหล็ก เขียวคูน แดง ขาว
m17	เครื่องCNC BenchtopBuddy CNC Too	p1 p2 p3 p4 p5	90501 12099 36 44244 30204	(0.000 f, 0.000 f, 0.000 f) (0.000 f, 0.000 f, 1.000 f) (0.871 f, 0.720 f, 0.529 f) (0.545 f, 0.545 f, 0.514 f) (0.823 f, 0.823 f, 0.823 f)	ดำ น้ำเงิน burywood เทาเข้ม เทาอ่อน
m19	โต๊ะทำงาน Workbench1	p1 p2 p3 p4 p5	540 3369 366 24 210	(0.000 f, 0.000 f, 0.000 f) (0.000 f, 0.000 f, 1.000 f) (0.412 f, 0.412 f, 0.412 f) (1.000 f, 0.000 f, 0.000 f) (1.000 f, 1.000 f, 1.000 f)	ดำ น้ำเงิน เทา แดง ขาว
m20	เครื่องเจาะ Drill2	p1 p2 p3 p4 p5 p6	34497 216 41688 1674 8127 1830	(0.412 f, 0.412 f, 0.412 f) (0.412 f, 0.412 f, 0.412 f) (0.000 f, 0.392 f, 0.000 f) (1.000 f, 0.000 f, 0.000 f) (1.000 f, 1.000 f, 0.941 f) (0.722 f, 0.525 f, 0.043 f)	เทา เทา เขียวคูน แดง ขาวคูน เหลืองคูน
m21	Scroll Saw	p1 p2 p3 p4	4143 1428 7584 4944	(0.000 f, 0.000 f, 0.000 f) (0.412 f, 0.412 f, 0.412 f) (1.000 f, 0.000 f, 0.000 f) (1.000 f, 1.000 f, 1.000 f)	ดำ เทา แดง ขาว
m22	เครื่องชั่ง Point of Sale_Scale	p1 p2 p3 p4	36 12 186 84	(0.000 f, 0.000 f, 0.000 f) (0.000 f, 1.000 f, 1.000 f) (0.545 f, 0.545 f, 0.514 f) (1.000 f, 1.000 f, 0.941 f)	ดำ ฟ้าใส เทาเข้ม ขาวคูน
m23	โต๊ะ Table	p1 p2	444 36	(0.000 f, 0.000 f, 0.000 f) (0.545 f, 0.271 f, 0.075 f)	ดำ น้ำตาลเปลือกไม้
m24	เครื่องเลื่อย24นิ้ว 24in Scroll Saw	p1 p2	12864 24045	(0.863 f, 0.863 f, 0.863 f) (1.000 f, 1.000 f, 0.941 f)	เงิน ขาวคูน
m25	คอมพิวเตอร์ตั้งโต๊ะ	p1	1182	(0.000 f, 0.000 f, 0.000 f)	ดำ

	Computer Desktop	p2	162 ,	(0.412 f, 0.412 f, 0.412 f) ,	เทา
m26	ลิฟท์โซ่ Chain Lift	p1	4386 ,	(0.000 f, 0.000 f, 0.000 f) ,	ดำ
		p2	2475 ,	(0.722 f, 0.525 f, 0.043 f) ,	เหลืองคูน
m27	4ตัน 4Ton Sheet Metal Notcher	p1	7371 ,	(0.545 f, 0.545 f, 0.514 f) ,	เทาเข้ม
		p2	11733 ,	(0.000 f, 0.392 f, 0.000 f) ,	เขียวคูน
		p3	852 ,	(1.000 f, 0.271 f, 0.000 f) ,	ส้ม
m28	กล้องจุลทรรศน์ Microscope2	p1	1584 ,	(0.000 f, 0.000 f, 0.000 f) ,	ดำ
		p2	576 ,	(0.545 f, 0.545 f, 0.514 f) ,	เทาเข้ม
		p3	9978 ,	(1.000 f, 1.000 f, 0.941 f) ,	ขาวคูน
m29	Milling Machine Tan	p1	120 ,	(0.000 f, 0.000 f, 0.000 f) ,	ดำ
		p2	6 ,	(0.000 f, 0.000 f, 1.000 f) ,	น้ำเงิน
		p3	9825 ,	(0.102 f, 0.102 f, 0.102 f) ,	ดำเข้ม
		p4	420 ,	(1.000 f, 0.843 f, 0.000 f) ,	ทอง
		p5	15609 ,	(0.412 f, 0.412 f, 0.412 f) ,	เทา
		p6	1668 ,	(0.514 f, 0.545 f, 0.514 f) ,	ดำอ่อน
		p7	210 ,	(1.000 f, 0.000 f, 0.000 f) ,	แดง
		p8	132 ,	(0.545 f, 0.537 f, 0.537 f) ,	เทาเหล็ก
		p9	10236 ,	(0.722 f, 0.525 f, 0.043 f) ,	เหลืองคูน
m30	แอร์ติดผนัง Air	p1	522 ,	(0.000 f, 0.000 f, 0.000 f) ,	ดำ
		p2	894 ,	(1.000 f, 1.000 f, 0.941 f) ,	ขาวคูน
m31	เครื่องฉีดโลหะ Injet_zumac	p1	22668 ,	(0.000 f, 0.000 f, 0.000 f) ,	ดำ
		p2	20046 ,	(0.000 f, 0.000 f, 1.000 f) ,	น้ำเงิน
		p3	660 ,	(0.545 f, 0.545 f, 0.514 f) ,	เทาเข้ม
		p4	12696 ,	(0.412 f, 0.412 f, 0.412 f) ,	เทา
		p5	66 ,	(0.000 f, 1.000 f, 0.000 f) ,	เขียว
		p6	420 ,	(1.000 f, 0.000 f, 0.000 f) ,	แดง
		p7	16371 ,	(1.000 f, 1.000 f, 0.941 f) ,	ขาวคูน
		p8	1002 ,	(0.722 f, 0.525 f, 0.043 f) ,	เหลืองคูน
m32	ถาดสี่เหลี่ยม4ชั้น Tray	p1	144 ,	(0.871 f, 0.722 f, 0.529 f) ,	burlywood
		p2	1596 ,	(1.000 f, 1.000 f, 0.941 f) ,	ขาวคูน
m33	มู่ลี่แนวอน Wooden Blind	p1	276 ,	(0.545 f, 0.537 f, 0.537 f) ,	เทาเหล็ก
		p2	2196 ,	(0.934 f, 0.796 f, 0.678 f) ,	พีช
m34	เก้าอี้มีล้อมีเท้าขน	p1	1854 ,	(0.545 f, 0.545 f, 0.514 f) ,	เทาเข้ม
m35	เก้าอี้หัวโลนขาสูง	p1	924 ,	(1.000 f, 0.980 f, 0.804 f) ,	เหลืองอ่อน
m36	เก้าอี้ขาเหล็ก Chair Afternoon Red	p1	6252 ,	(0.545 f, 0.537 f, 0.537 f) ,	เทาเหล็ก
		p2	3177 ,	(1.000 f, 0.000 f, 0.000 f) ,	แดง
m37	เก้าอี้LEM Chair LEM	p1	489 ,	(0.545 f, 0.271 f, 0.075 f) ,	น้ำตาลเปลือกไม้
		p2	3324 ,	(0.412 f, 0.412 f, 0.412 f) ,	เทา
m38	เก้าอี้มีพนัก Chair Metal Legs	p1	960 ,	(0.000 f, 0.000 f, 0.000 f) ,	ดำ
		p2	10320 ,	(0.000 f, 0.000 f, 1.000 f) ,	น้ำเงิน
		p3	8679 ,	(0.545 f, 0.537 f, 0.537 f) ,	เทาเหล็ก
m39	เก้าอี้พับได้	p1	672 ,	(0.545 f, 0.537 f, 0.537 f) ,	เทาเหล็ก
m40	ตู้เก็บอุปกรณ์ Draaideurkast	p1	6030 ,	(0.000 f, 0.000 f, 0.000 f) ,	ดำ
		p2	390 ,	(0.545 f, 0.545 f, 0.514 f) ,	เทาเข้ม
		p3	2826 ,	(0.412 f, 0.412 f, 0.412 f) ,	เทา
m41	โต๊ะทำงานพร้อมปากจับ Holzapffel Workbench	p1	20070 ,	(0.000 f, 0.000 f, 1.000 f) ,	น้ำเงิน
		p2	22959 ,	(0.545 f, 0.271 f, 0.075 f) ,	น้ำตาลเปลือกไม้
		p3	67824 ,	(0.545 f, 0.537 f, 0.537 f) ,	เทาเหล็ก
m42	โต๊ะไม้	p1	2400 ,	(0.545 f, 0.271 f, 0.075 f) ,	น้ำตาลเปลือกไม้
m43	เครื่องเชื่อมสีแดง Mig Welder	p1	212 ,	(0.000 f, 0.000 f, 0.000 f) ,	ดำ
		p2	1472 ,	(0.412 f, 0.412 f, 0.412 f) ,	เทา
		p3	176 ,	(1.000 f, 0.000 f, 0.000 f) ,	แดง
m44	โต๊ะเชื่อมอาร์ก Welding Table	p1	252 ,	(0.804 f, 0.522 f, 0.247 f) ,	น้ำตาล
		p2	18 ,	(0.545 f, 0.271 f, 0.075 f) ,	น้ำตาลเปลือกไม้

		p3	45	(0.118 f, 0.565 f, 1.000 f)	ฟ้าDodger
m45	ตู้เก็บเครื่องมือ Storage Cabinet	p1	588	(0.192 f, 0.310 f, 0.310 f)	dark slate gray
		p2	786	(1.000 f, 1.000 f, 1.000 f)	ขาว
m46	เครื่องPin Press Pin Press Fit Machine	p1	4605	(0.000 f, 0.000 f, 0.000 f)	ดำ
		p2	32133	(0.871 f, 0.722 f, 0.529 f)	burlywood
		p3	12900	(0.412 f, 0.412 f, 0.412 f)	เทา
		p4	16878	(0.934 f, 0.934 f, 0.878 f)	งาช้าง2
		p5	1686	(1.000 f, 0.000 f, 0.000 f)	แดง
		p6	624	(0.604 f, 0.804 f, 0.196 f)	เขียวเหลือง
m47	เครื่องเชื่อมลึ่ปาเงิน Miller Stick Welder	p1	3555	(0.000 f, 0.000 f, 0.000 f)	ดำ
		p2	2148	(0.000 f, 0.000 f, 1.000 f)	น้ำเงิน
		p3	29472	(0.545 f, 0.545 f, 0.514 f)	เทาเข้ม
		p4	1197	(1.000 f, 0.843 f, 0.000 f)	ทอง
		p5	3552	(1.000 f, 1.000 f, 1.000 f)	ขาว
m49	เครื่องเลื่อนบนคูล้อเลื่อน Roll-Away Scroll Saw Cart	p1	2007	(0.000 f, 0.000 f, 0.000 f)	ดำ
		p2	36	(0.545 f, 0.271 f, 0.075 f)	น้ำตาลเปลือกไม้
		p3	15852	(0.545 f, 0.537 f, 0.537 f)	เทาเหล็ก
		p4	972	(0.871 f, 0.722 f, 0.529 f)	burlywood
		p5	2163	(1.000 f, 1.000 f, 0.000 f)	เหลือง
m50	เครื่องเจาะ Simple Drill Press Table	p1	6096	(0.000 f, 0.000 f, 0.000 f)	ดำ
		p2	14394	(0.420 f, 0.557 f, 0.137 f)	เขียวโอลิฟ
		p3	4944	(0.863 f, 0.863 f, 0.863 f)	เงิน
		p4	1941	(0.804 f, 0.788 f, 0.788 f)	เทาrown3
m51	เครื่องตัดแผ่นโลหะ Sheet Metal Break Machine	p1	10485	(0.000 f, 0.392 f, 0.000 f)	เขียวตุ่น
		p2	5652	(1.000 f, 0.980 f, 0.804 f)	เหลืองอ่อน
		p3	81	(0.863 f, 0.863 f, 0.863 f)	เงิน
m52	เครื่องม้วนเหล็กแผ่น Folding Machine	p1	93	(0.000 f, 1.000 f, 1.000 f)	ฟ้าใส
		p2	84	(0.545 f, 0.537 f, 0.537 f)	เทาเหล็ก
		p3	1050	(0.000 f, 0.392 f, 0.000 f)	เขียวตุ่น
		p4	1140	(0.545 f, 0.537 f, 0.537 f)	เทาเหล็ก
		p5	2121	(1.000 f, 1.000 f, 1.000 f)	ขาว
m53	เครื่องพับโลหะด้วยมือ Manual Folding Machine	p1	684	(0.000 f, 0.000 f, 0.000 f)	ดำ
		p2	789	(0.000 f, 0.392 f, 0.000 f)	เขียวตุ่น
		p3	624	(0.545 f, 0.537 f, 0.537 f)	เทาเหล็ก
m54	ตู้ลิ้นชัก3ชั้น Cabinet	p1	1443	(0.804 f, 0.788 f, 0.788 f)	เทาrown3
		p2	756	(0.545 f, 0.545 f, 0.514 f)	เทาเข้ม
		p3	96	(0.412 f, 0.412 f, 0.412 f)	เทา
m55	แอร์ตั้งพื้น	p1	13185	(0.934 f, 0.934 f, 0.878 f)	งาช้าง2
m56	โต๊ะพับได้ 36*36 Table Folding 36x36	p1	6	(0.934 f, 0.934 f, 0.878 f)	งาช้าง2
		p2	270	(0.863 f, 0.863 f, 0.863 f)	เงิน
m57	โต๊ะพับได้ 72*30 Table Folding 72x30	p1	6	(0.934 f, 0.934 f, 0.878 f)	งาช้าง2
		p2	432	(0.863 f, 0.863 f, 0.863 f)	เงิน
m58	ถังดับเพลิง Fire Extinguisher	p1	147	(0.000 f, 0.000 f, 0.000 f)	ดำ
		p2	348	(0.412 f, 0.412 f, 0.412 f)	เทา
		p3	324	(1.000 f, 0.000 f, 0.000 f)	แดง
m59	กระดานไวท์บอร์ด White Board	p1	35154	(0.545 f, 0.545 f, 0.514 f)	เทาเข้ม
		p2	72	(1.000 f, 1.000 f, 1.000 f)	ขาว
		p3	180	(0.871 f, 0.722 f, 0.529 f)	burlywood
m60	กระดานไวท์บอร์ดใหญ่ Large White Board	p1	201	(0.545 f, 0.271 f, 0.075 f)	น้ำตาลเปลือกไม้
		p2	54	(0.180 f, 0.545 f, 0.341 f)	เขียวทะเล
		p3	18	(1.000 f, 1.000 f, 1.000 f)	ขาว
m62	เวอร์เนียแคลิเปอร์ Caliper	p1	9768	(0.545 f, 0.545 f, 0.514 f)	เทาเข้ม
		p2	18	(0.827 f, 0.827 f, 0.827 f)	เทาอ่อน
m63	กล่องเครื่องมือ	p1	888	(0.545 f, 0.545 f, 0.514 f)	เทาเข้ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	Toolbox	p2	3369	(1.000 f, 0.000 f, 0.000 f)	แดง
		p3	627	(1.000 f, 1.000 f, 1.000 f)	ขาว
m64	เครื่องกัด GS22 GS22-Milling Machine	p1	5064	(0.000 f, 0.000 f, 0.804 f)	น้ำเงินNavy
		p2	31965	(0.545 f, 0.545 f, 0.514 f)	เทาเข้ม
m65	เครื่องกลึง02 Lathe02	p1	4017	(0.545 f, 0.545 f, 0.514 f)	เทาเข้ม
		p2	7191	(0.000 f, 0.000 f, 0.804 f)	น้ำเงินNavy
		p3	4605	(0.412 f, 0.412 f, 0.412 f)	เทา
		p4	6	(1.000 f, 1.000 f, 1.000 f)	ขาว
		p5	42	(1.000 f, 1.000 f, 0.000 f)	เหลือง
m66	ชั้นวางอุปกรณ์เครื่องมือ Tool Cart	p1	3687	(0.000 f, 0.000 f, 0.000 f)	ดำ
		p2	5655	(0.412 f, 0.412 f, 0.412 f)	เทา
		p3	1134	(1.000 f, 0.000 f, 0.000 f)	แดง
m67	โต๊ะคอมพิวเตอร์ Desk Computer	p1	432	(0.000 f, 0.000 f, 0.000 f)	ดำ
		p2	18	(0.412 f, 0.412 f, 0.412 f)	เทา
		p3	186	(0.980 f, 0.980 f, 0.980 f)	ทองอ่อน
m68	โต๊ะวางชิ้นงานอุปกรณ์	p1	11100	(0.934 f, 0.934 f, 0.878 f)	งาช้าง2
m69	นาฬิกาติดผนัง Clock	p1	504	(0.000 f, 0.000 f, 0.000 f)	ดำ
		p2	48	(1.000 f, 1.000 f, 1.000 f)	ขาว
m70	โต๊ะสำนักงาน Desk Office	p1	159	(0.545 f, 0.271 f, 0.075 f)	น้ำตาลเปลือกไม้
		p2	264	(0.412 f, 0.412 f, 0.412 f)	เทา
m71	ชั้นวางของ4ชั้น Rack	p1	30	(0.000 f, 0.000 f, 0.000 f)	ดำ
		p2	792	(1.000 f, 1.000 f, 1.000 f)	ขาว
m72	ตู้เก็บอุปกรณ์ไม้ประดู่กระจก ปิด (ใหญ่) Show case option4	p1	324	(0.118 f, 0.565 f, 1.000 f)	ฟ้าDodger
		p2	609	(0.804 f, 0.522 f, 0.247 f)	น้ำตาลPeru
		p3	144	(0.690 f, 0.878 f, 0.902 f)	ฟ้าเข้ม
		p4	522	(0.961 f, 0.871 f, 0.702 f)	น้ำตาลWheat
		p5	108	(1.000 f, 1.000 f, 1.000 f)	ขาว
m73	กล่องเครื่องมือสีแดง Toolbox1	p1	444	(0.545 f, 0.545 f, 0.514 f)	เทาเข้ม
		p2	1479	(1.000 f, 0.000 f, 0.000 f)	แดง
		p3	234	(1.000 f, 1.000 f, 1.000 f)	ขาว
m74	โต๊ะวางเครื่องกัด Table Milling	p1	360	(0.545 f, 0.271 f, 0.075 f)	น้ำตาลเปลือกไม้
		p2	36	(0.545 f, 0.271 f, 0.075 f)	น้ำตาลเปลือกไม้
m75	เครื่องฉีดพลาสติก2 Plastic Injection Machine	p1	2595	(0.000 f, 0.000 f, 0.000 f)	ดำ
		p2	1794	(0.118 f, 0.565 f, 1.000 f)	ฟ้าDodger
		p3	54	(0.420 f, 0.557 f, 0.137 f)	เขียวโอลิฟ
		p4	1137	(1.000 f, 0.753 f, 0.796 f)	ชมพู
		p5	570	(0.627 f, 0.125 f, 0.941 f)	ม่วง
		p6	1317	(1.000 f, 1.000 f, 1.000 f)	ขาว
m76	กล่องลัง(แบบปิด) Closed Box	p1	3552	(0.824 f, 0.706 f, 0.549 f)	น้ำตาลTan
		p2	5763	(0.804 f, 0.522 f, 0.247 f)	น้ำตาลPeru
m77	เครื่องจักรเจียรใน Grinder Machine	p1	9510	(0.545 f, 0.545 f, 0.514 f)	เทาเข้ม
		p2	64725	(0.000 f, 0.392 f, 0.000 f)	เขียวตุ่น
m78	บันไดลิง	p1	924	(0.823 f, 0.823 f, 0.823 f)	เทาอ่อนlight gray
m79	ลิ้นชักเล็กเก็บน็อคตะปู Drawer Cabinet	p1	5208	(0.934 f, 0.934 f, 0.878 f)	งาช้าง2
		p2	357	(0.980 f, 0.502 f, 0.447 f)	ชมพูเข้มอมอน
m80	กระดานดำ Black Board	p1	36	(0.000 f, 0.000 f, 0.000 f)	ดำ
		p2	132	(0.545 f, 0.271 f, 0.075 f)	น้ำตาลเปลือกไม้
m81	ตู้กระจกบานเลื่อน Sliding Window	p1	12	(0.934 f, 0.934 f, 0.878 f)	งาช้าง2
		p2	399	(0.863 f, 0.863 f, 0.863 f)	เงิน
m82	ชั้นหนังสือมีกระจกบานเลื่อน Bookshelf	p1	384	(0.934 f, 0.934 f, 0.878 f)	งาช้าง2
		p2	564	(0.863 f, 0.863 f, 0.863 f)	เงิน
m83	พัดลมติดผนัง Electric Wall Fan	p1	579	(0.000 f, 0.000 f, 0.000 f)	ดำ
		p2	7170	(0.118 f, 0.565 f, 1.000 f)	ฟ้าDodger
		p3	3594	(0.863 f, 0.863 f, 0.863 f)	เงิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

m84	เครื่องเลื่อยใบมีดวงจันทร์ Decker Radial Arm Saw	p4	18414	(1.000 f, 1.000 f, 1.000 f)	ขาว
		p1	18777	(0.000 f, 0.000 f, 0.000 f)	ดำ
		p2	2700	(0.804 f, 0.804 f, 0.757 f)	งาช้าง3
		p3	150	(0.741 f, 0.718 f, 0.420 f)	เขียวDark khaki
		p4	19440	(0.545 f, 0.545 f, 0.514 f)	เทาเข้ม
		p5	294	(0.125 f, 0.698 f, 0.667 f)	เขียวน้ำทะเล
		p6	4374	(0.827 f, 0.827 f, 0.827 f)	เทาอ่อน
		p7	1140	(1.000 f, 0.271 f, 0.000 f)	ส้มแดง
		p8	147	(0.863 f, 0.863 f, 0.863 f)	เงิน
		p9	19470	(0.934 f, 0.914 f, 0.914 f)	เทาSnow2
m85	ไขควง ประแจ Engineer Tools	p10	4911	(1.000 f, 1.000 f, 1.000 f)	ขาว
		p1	8754	(0.412 f, 0.412 f, 0.412 f)	เทา
		p2	28350	(0.827 f, 0.827 f, 0.827 f)	เทาอ่อน
m86	เครื่องเลื่อยแนวนอน Horizontal Saw	p3	17550	(0.863 f, 0.863 f, 0.863 f)	เงิน
		p1	4038	(0.545 f, 0.545 f, 0.514 f)	เทาเข้ม
		p2	1197	(0.000 f, 0.392 f, 0.000 f)	เขียวคูน
m87	ถังน้ำสีเหลือง Bucket	p3	672	(0.863 f, 0.863 f, 0.863 f)	เงิน
		p1	1986	(1.000 f, 1.000 f, 1.000 f)	ขาว
m88	เก้าอี้ล้อเลื่อนไม่มีแขน Chair Wheel	p2	3297	(1.000 f, 0.843 f, 0.000 f)	เหลืองทอง
		p1	174438	(0.000 f, 0.000 f, 0.000 f)	ดำ
		p2	35097	(0.412 f, 0.412 f, 0.412 f)	เทา
m89	จอคอมพิวเตอร์ Monitor	p3	276	(1.000 f, 1.000 f, 1.000 f)	ขาว
		p1	6	(0.000 f, 0.000 f, 0.000 f)	ดำ
		p2	276	(0.545 f, 0.545 f, 0.514 f)	เทาเข้ม
m90	CPU	p3	5352	(0.412 f, 0.412 f, 0.412 f)	เทา
		p1	4110	(0.000 f, 0.000 f, 1.000 f)	น้ำเงิน
		p2	3960	(0.934 f, 0.914 f, 0.914 f)	เทาSnow2
		p3	2946	(0.863 f, 0.863 f, 0.863 f)	เงิน
m91	Hardness Tester	p4	411	(1.000 f, 1.000 f, 1.000 f)	ขาว
		p1	2649	(0.000 f, 0.000 f, 0.000 f)	ดำ
		p2	4548	(0.545 f, 0.545 f, 0.514 f)	เทาเข้ม
		p3	9426	(0.412 f, 0.412 f, 0.412 f)	เทา
m92	โต๊ะขาใหญ่2ขา Trustle Table C	p4	2067	(0.827 f, 0.827 f, 0.827 f)	เทาอ่อน
		p1	945	(0.000 f, 0.000 f, 0.000 f)	ดำ
m93	เก้าอี้หัวโล้นขาสูง Chair Stool Modern	p2	36	(0.804 f, 0.522 f, 0.247 f)	น้ำตาลPeru
		p1	336	(1.000 f, 0.843 f, 0.000 f)	เหลืองทอง
m95	ถังแก๊ส Gas Tank	p2	576	(1.000 f, 1.000 f, 1.000 f)	ขาว
		p1	18207	(0.000 f, 0.000 f, 0.000 f)	ดำ
		p2	3312	(0.000 f, 0.000 f, 1.000 f)	น้ำเงิน
		p3	1086	(0.741 f, 0.718 f, 0.420 f)	เขียวDark khaki
		p4	1656	(0.125 f, 0.698 f, 0.667 f)	เขียวน้ำทะเล
m96	แขนลอย Floating Arm Trebuchet	p5	2574	(1.000 f, 0.000 f, 0.000 f)	แดง
		p1	2796	(0.000 f, 0.000 f, 0.000 f)	ดำ
m97	Mini เครื่องกลึง Mini Lathe	p2	4278	(0.412 f, 0.412 f, 0.412 f)	เทา
		p1	2832	(0.000 f, 0.000 f, 0.000 f)	ดำ
		p2	29058	(0.545 f, 0.545 f, 0.514 f)	เทาเข้ม
		p3	23307	(0.420 f, 0.557 f, 0.137 f)	เขียวโอลิฟ
		p4	1077	(1.000 f, 0.000 f, 0.000 f)	แดง
m98	ตัวควบคุม Controller	p5	7080	(0.863 f, 0.863 f, 0.863 f)	เงิน
		p1	11886	(0.000 f, 0.000 f, 0.000 f)	ดำ
		p2	14340	(0.412 f, 0.412 f, 0.412 f)	เทา
		p3	8469	(1.000 f, 0.000 f, 0.000 f)	แดง
		p4	933	(1.000 f, 1.000 f, 1.000 f)	ขาว
		p5	2478	(1.000 f, 1.000 f, 0.000 f)	เหลือง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

		p6	2550	(1.000 f, 0.000 f, 0.000 f)	แดง
		p7	4416	(1.000 f, 0.271 f, 0.000 f)	ส้มแดง
		p8	4416	(0.134 f, 0.545 f, 0.134 f)	เขียวปุม
m99	ปั๊มน้ำสเคชัน Water Pump Station	p1	5499	(0.000 f, 0.000 f, 0.000 f)	ดำ
		p2	8001	(0.000 f, 0.000 f, 1.000 f)	น้ำเงิน
		p3	7650	(0.863 f, 0.863 f, 0.863 f)	เงิน
		p4	276	(1.000 f, 0.843 f, 0.000 f)	เหลืองทอง
m100	ปั๊มน้ำ Water Pump	p1	405	(0.000 f, 0.000 f, 0.000 f)	ดำ
		p2	5856	(0.000 f, 0.000 f, 1.000 f)	น้ำเงิน
m101	เครื่องปริ้น Printer	p1	5034	(0.000 f, 0.000 f, 0.000 f)	ดำ
		p2	1239	(0.412 f, 0.412 f, 0.412 f)	เทา
		p3	594	(1.000 f, 1.000 f, 1.000 f)	ขาว
m102	พัดลมตั้งพื้น Fan Floor	p1	30078	(0.498 f, 1.000 f, 0.831 f)	เขียวAquamarine
		p2	30720	(0.545 f, 0.545 f, 0.514 f)	เทาเข้ม
		p3	96	(0.823 f, 0.823 f, 0.823 f)	เทาอ่อนlight gray
		p4	78	(0.863 f, 0.863 f, 0.863 f)	เงิน
		p5	135444	(1.000 f, 1.000 f, 1.000 f)	ขาว
m103	เครื่องขาน้ำเงิน Machine Whiteblue	p1	324	(0.000 f, 0.000 f, 0.000 f)	ดำ
		p2	198	(0.118 f, 0.565 f, 1.000 f)	ฟ้าDodger
		p3	219	(0.134 f, 0.545 f, 0.134 f)	เขียวปุม
		p4	387	(0.823 f, 0.823 f, 0.823 f)	เทาอ่อน
		p5	228	(1.000 f, 0.000 f, 0.000 f)	แดง
m104	กราฟติดผนัง Diagram	p1	36	(0.961 f, 0.961 f, 0.863 f)	beige
		p2	54	(0.000 f, 0.000 f, 0.000 f)	ดำ
		p3	108	(0.545 f, 0.271 f, 0.075 f)	น้ำตาลเปลือกไม้
		p4	162	(0.823 f, 0.823 f, 0.823 f)	เทาอ่อนlight gray
m105	กองกล่องลัง Stack of boxes	p1	60	(0.961 f, 0.961 f, 0.863 f)	beige
		p2	291	(0.871 f, 0.720 f, 0.529 f)	burlywood
		p3	117	(0.804 f, 0.522 f, 0.247 f)	น้ำตาลPeru
m106	โต๊ะมีชั้นเหล็ก	p1	3555	(0.000 f, 0.000 f, 0.000 f)	ดำ
m107	กองกระดาษ	p1	768	(0.934 f, 0.934 f, 0.878 f)	งาช้าง2
m108	โต๊ะมีชั้นเหล็ก2 Table Steel2	p1	3096	(0.000 f, 0.000 f, 0.000 f)	ดำ
		p2	2376	(0.741 f, 0.718 f, 0.420 f)	เขียวDark khaki
m109	เก้าอี้มีล้อไม่มีเท้าแขน Chair Fabric Office	p1	690	(0.000 f, 0.000 f, 0.000 f)	ดำ
		p2	1047	(0.823 f, 0.823 f, 0.823 f)	เทาอ่อน
m110	เครื่องCNC สีแดง GS1-CNC	p1	4500	(0.000 f, 0.000 f, 0.000 f)	ดำ
		p2	36	(0.545 f, 0.545 f, 0.514 f)	เทาเข้ม
		p3	1950	(0.412 f, 0.412 f, 0.412 f)	เทา
		p4	450	(1.000 f, 0.000 f, 0.000 f)	แดง
		p5	210	(1.000 f, 0.000 f, 0.000 f)	แดง
m111	เครื่องเชื่อมแบบจุด Spot Welding	p1	13824	(0.412 f, 0.412 f, 0.412 f)	เทา
		p2	1242	(0.741 f, 0.718 f, 0.420 f)	เขียวDark khaki
		p3	819	(0.125 f, 0.698 f, 0.667 f)	เขียวน้ำทะเล
m112	กล่องลัง(แบบเปิด) Open box	p1	3516	(0.824 f, 0.706 f, 0.549 f)	peru
		p2	6135	(0.804 f, 0.522 f, 0.247 f)	tan
m113	โต๊ะจัดรีส2ชั้น	p1	474	(0.698 f, 0.134 f, 0.134 f)	firebrick
m114	ก๊อมน้ำCOTTO	p1	4806	(0.863 f, 0.863 f, 0.863 f)	เงิน
		p2	14832	(1.000 f, 1.000 f, 1.000 f)	ขาว
m115	เครื่องซีร็อก4127 Xerox4127	p1	840	(0.545 f, 0.545 f, 0.514 f)	เทาเข้ม
		p2	2109	(0.412 f, 0.412 f, 0.412 f)	เทา
		p3	222	(1.000 f, 0.000 f, 0.000 f)	แดง
		p4	207	(1.000 f, 1.000 f, 1.000 f)	ขาว
		p5	243	(1.000 f, 0.843 f, 0.000 f)	เหลืองทอง
		p6	324	(0.545 f, 0.545 f, 0.514 f)	เทาเข้ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

m116	กระดานไวท์บอร์ดติดผนัง White Board Wall	p1 p2 p3	252 150 102	(1.000 f, (0.863 f, (1.000 f,	0.271 f, 0.863 f, 1.000 f,	0.000 f) 0.863 f) 1.000 f)	ส้มแดง เงิน ขาว
m117	เครื่องขัดผิวหน้าละเอียด Polisher1	p1 p2 p3 p4 p5 p6	15489 22581 32802 3450 1206 2208	(0.545 f, (0.561 f, (0.412 f, (0.934 f, (1.000 f, (1.000 f,	0.545 f, 0.737 f, 0.412 f, 0.934 f, 0.980 f, 0.000 f,	0.514 f) 0.561 f) 0.412 f) 0.878 f) 0.804 f) 0.000 f)	เทาเข้ม dark sea green เทา งาช้าง2 lemon chiffon แดง
m118	เครื่องทำตัวเรือนแบบร้อน Hot Mounting Press	p1 p2 p3 p4 p5 p6 p7	36 2208 1356 216 426 102 2004	(0.000 f, (0.000 f, (0.545 f, (0.134 f, (1.000 f, (0.934 f, (0.863 f,	0.000 f, 0.000 f, 0.545 f, 0.545 f, 0.134 f, 0.000 f, 0.910 f, 0.863 f,	0.000 f) 1.000 f) 0.514 f) 0.134 f) 0.000 f) 0.667 f) 0.863 f)	ดำ น้ำเงิน เทาเข้ม เขียวปุม แดง palegold เงิน
m119	โต๊ะ 5x5	p1	2118	(0.000 f,	0.000 f,	0.000 f)	ดำ
m120	ถังแก๊ส Gas Cylinder	p1 p2	8916 11418	(0.000 f, (0.855 f,	0.000 f, 0.647 f,	1.000 f) 0.125 f)	น้ำเงิน goldenrod
m121	ที่วางสบู่ Dish Soap	p1	15570	(0.934 f,	0.934 f,	0.878 f)	งาช้าง2
m122	เตาอบไฟฟ้า Electric Furnace	p1 p2 p3 p4	42 462 456 1032	(0.000 f, (0.000 f, (0.412 f, (1.000 f,	0.000 f, 0.000 f, 0.412 f, 1.000 f,	0.000 f) 1.000 f) 0.412 f) 1.000 f)	ดำ น้ำเงิน เทา ขาว
m123	เครื่องตัดไฟฟ้า Abrasive Cutter	p1 p2 p3 p4 p5 p6 p7	756 345 420 321 1128 354 924	(0.000 f, (0.000 f, (0.134 f, (1.000 f, (0.823 f, (1.000 f, (1.000 f,	0.000 f, 0.000 f, 0.545 f, 0.980 f, 0.823 f, 0.000 f, 1.000 f,	0.000 f) 1.000 f) 0.134 f) 0.804 f) 0.823 f) 0.000 f) 0.000 f)	ดำ น้ำเงิน เขียวปุม lemon chiffon เทาอ่อน แดง เหลือง
m124	Bah	p1 p2 p3 p4	288 375 441 237	(0.000 f, (0.545 f, (0.934 f, (0.980 f,	0.000 f, 0.545 f, 0.914 f, 0.502 f,	0.000 f) 0.514 f) 0.914 f) 0.447 f)	ดำ เทาเข้ม เทาSnow2 ชาลมอน
m125	เครื่องทดสอบความแข็ง2 Hardenability Testing2	p1 p2 p3 p4 p5	96 1296 1575 690 30	(0.000 f, (0.741 f, (0.412 f, (0.934 f, (1.000 f,	0.000 f, 0.718 f, 0.412 f, 0.934 f, 1.000 f,	0.000 f) 0.420 f) 0.412 f) 0.878 f) 0.000 f)	ดำ dark khaki เทา งาช้าง2 เหลือง
m126	Bah2	p1 p2 p3 p4 p5 p6	381 510 210 264 822 210	(0.000 f, (0.545 f, (0.134 f, (1.000 f, (0.823 f, (1.000 f,	0.000 f, 0.545 f, 0.545 f, 0.134 f, 0.980 f, 0.823 f, 0.000 f,	0.000 f) 0.514 f) 0.134 f) 0.804 f) 0.823 f) 0.000 f)	ดำ เทาเข้ม เขียวปุม lemon chiffon เทาอ่อน แดง
m127	สายพาน Belt Conveyor	p1 p2 p3 p4	36 300 312 48	(0.545 f, (0.420 f, (0.627 f, (1.000 f,	0.545 f, 0.557 f, 0.322 f, 1.000 f,	0.514 f) 0.137 f) 0.176 f) 1.000 f)	เทาเข้ม เขียวโอลีฟ sienna ขาว
m128	มินิสายพาน Mini Conveyor	p1 p2 p3	618 2454 714	(0.000 f, (0.412 f, (0.804 f,	0.000 f, 0.412 f, 0.361 f,	0.000 f) 0.412 f) 0.361 f)	ดำ เทา india red
m129	ตุ้เล็กตั้งพื้น	p1	480	(0.125 f,	0.698 f,	0.667 f)	light sea green

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	Small Cabinet	p2	480	(1.000 f, 1.000 f, 1.000 f)	ขาว
m130	Bah4	p1	372	(0.000 f, 0.000 f, 0.000 f)	ดำ
		p2	1551	(0.863 f, 0.863 f, 0.863 f)	เงิน
m131	โต๊ะผืนผ้า2ชั้น Table Rectangle	p1	270	(0.545 f, 0.271 f, 0.075 f)	น้ำตาลเปลือกไม้
		p2	318	(0.545 f, 0.537 f, 0.537 f)	เทาเหล็ก
m132	Bah3	p1	24	(0.000 f, 1.000 f, 1.000 f)	ฟ้าcyan
		p2	873	(0.545 f, 0.537 f, 0.537 f)	เทาเหล็ก
m133	CNC Break1	p1	108	(0.000 f, 0.000 f, 0.000 f)	ดำ
		p2	12	(0.000 f, 0.000 f, 1.000 f)	น้ำเงิน
		p3	6	(0.000 f, 1.000 f, 1.000 f)	ฟ้าcyan
		p4	549	(1.000 f, 0.980 f, 0.804 f)	lemon chiffon
		p5	258	(1.000 f, 1.000 f, 1.000 f)	ขาว
m134	CNC Break2	p1	48	(0.000 f, 0.000 f, 0.000 f)	ดำ
		p2	12	(0.000 f, 1.000 f, 1.000 f)	ฟ้าcyan
		p3	108	(0.412 f, 0.412 f, 0.412 f)	เทา
		p4	804	(1.000 f, 0.980 f, 0.804 f)	lemon chiffon
m135	CNC Break3	p1	816	(0.961 f, 0.961 f, 0.863 f)	beige
		p2	60	(0.000 f, 1.000 f, 1.000 f)	ฟ้าcyan
		p3	552	(0.000 f, 0.000 f, 0.000 f)	ดำ
		p4	78	(0.412 f, 0.412 f, 0.412 f)	เทา
		p5	6	(1.000 f, 1.000 f, 0.000 f)	เหลือง
m136	Bah5	p1	288	(0.000 f, 0.000 f, 0.000 f)	ดำ
		p2	1632	(0.412 f, 0.412 f, 0.412 f)	เทา
		p3	84	(0.134 f, 0.545 f, 0.134 f)	เขียว
		p4	384	(1.000 f, 0.980 f, 0.804 f)	lemon chiffon
m137	Bah6	p1	216	(0.000 f, 0.000 f, 0.000 f)	ดำ
		p2	216	(0.541 f, 0.169 f, 0.886 f)	ม่วง
		p3	843	(0.000 f, 0.000 f, 1.000 f)	น้ำเงิน
		p4	258	(0.545 f, 0.545 f, 0.514 f)	เทาเข้ม
		p5	531	(1.000 f, 0.000 f, 0.000 f)	แดง
		p6	276	(1.000 f, 1.000 f, 1.000 f)	ขาว
m138	Impact Testing	p1	3411	(0.000 f, 0.000 f, 0.000 f)	ดำ
		p2	2043	(0.745 f, 0.745 f, 0.745 f)	เทา
		p3	894	(0.934 f, 0.914 f, 0.914 f)	snow2
m139	Impact Testing 2	p1	1140	(0.000 f, 0.000 f, 0.000 f)	ดำ
		p2	588	(0.545 f, 0.545 f, 0.514 f)	เทาเข้ม
		p3	1950	(0.412 f, 0.412 f, 0.412 f)	เทา
m140	Bah7	p1	36	(0.961 f, 0.961 f, 0.863 f)	beige
		p2	1752	(0.000 f, 0.000 f, 0.000 f)	ดำ
		p3	369	(0.863 f, 0.863 f, 0.863 f)	เงิน
m141	โฟล์คลิฟ Manuel Forklift	p1	27435	(0.000 f, 0.000 f, 0.000 f)	ดำ
		p2	16449	(0.545 f, 0.545 f, 0.514 f)	เทาเข้ม
		p3	9417	(1.000 f, 0.271 f, 0.000 f)	ส้มแดง
m142	ถังแก๊สหุงต้ม Propane Tank	p1	11538	(0.745 f, 0.745 f, 0.745 f)	เทา
		p2	3012	(1.000 f, 0.000 f, 0.000 f)	แดง
		p3	177477	(0.125 f, 0.698 f, 0.667 f)	light sea green
m143	ถังสี 5นกลลอน 5Galon Bucket	p1	2724	(0.412 f, 0.412 f, 0.412 f)	เทา
		p2	288	(0.541 f, 0.169 f, 0.886 f)	ม่วง
		p3	1836	(1.000 f, 1.000 f, 1.000 f)	ขาว
m144	ตะกร้าขยะ	p1	5028	(0.000 f, 1.000 f, 1.000 f)	ฟ้าcyan
m145	ถังขยะสีเขียว	p1	3424	(0.125 f, 0.698 f, 0.667 f)	light sea green
m146	ตู้ไม้ตาลที่ทางเดิน Storage Cabinet2	p1	12	(0.000 f, 1.000 f, 1.000 f)	ฟ้าcyan
		p2	690	(0.627 f, 0.322 f, 0.176 f)	sienna
m147	โต๊ะหน้าตู้	p1	822	(0.824 f, 0.412 f, 0.118 f)	chocolate

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

m148	Table Walkway Bah8	p2	810	(0.412 f, 0.412 f, 0.412 f)	เทา ดำ น้ำเงิน chocolate ฟ้าcyan lemon chiffon เทาอ่อน
		p1	594	(0.000 f, 0.000 f, 0.000 f)	
		p2	276	(0.000 f, 0.000 f, 1.000 f)	
		p3	3750	(0.824 f, 0.412 f, 0.120 f)	
		p4	6	(0.000 f, 1.000 f, 1.000 f)	
		p5	90	(1.000 f, 0.980 f, 0.804 f)	
		p6	1056	(0.745 f, 0.745 f, 0.745 f)	
m149	Bah9	p1	1362	(0.000 f, 0.000 f, 0.000 f)	ดำ น้ำเงิน lavender ส้มแดง ขาว เหลือง
		p2	174	(0.000 f, 0.000 f, 1.000 f)	
		p3	435	(0.902 f, 0.902 f, 0.980 f)	
		p4	276	(1.000 f, 0.271 f, 0.000 f)	
		p5	1236	(1.000 f, 1.000 f, 1.000 f)	
		p6	264	(1.000 f, 1.000 f, 0.000 f)	



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Source Code

โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับจำลองสภาพแวดล้อมเสมือนจริงภายในโรงงานอุตสาหกรรม
(โรงปฏิบัติการทางวิศวกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิชาอุตสาหกรรม
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง)

```
#include<windows.h>
#include<iostream>
#include<GL/glut.h>
#include"iweardrv.h"
#include"iwrstdrv.h"
#include "../3dlib/3dlib.h"
#include "../3dlib/collision.h"
#include "w1.h"
#include "w2.h"
#include "m1.h"
#include "m2.h"
#include "m3.h"
#include "m5.h"
#include "m6.h"
#include "m7.h"
#include "m9.h"
#include "m10.h"
#include "m13.h"
#include "m21.h"
#include "m22.h"
#include "m23.h"
#include "m25.h"
#include "m26.h"
#include "m27.h"
#include "m28.h"
#include "m31.h"
#include "m32.h"
#include "m33.h"
#include "m34.h"
#include "m36.h"
#include "m40.h"
#include "m41.h"
#include "m43.h"
#include "m44.h"
#include "m45.h"
#include "m46.h"
```

#include "m47.h"
#include "m51.h"
#include "m52.h"
#include "m53.h"
#include "m54.h"
#include "m55.h"
#include "m56.h"
#include "m57.h"
#include "m59.h"
#include "m60.h"
#include "m61.h"
#include "m64.h"
#include "m66.h"
#include "m67.h"
#include "m69.h"
#include "m70.h"
#include "m72.h"
#include "m73.h"
#include "m74.h"
#include "m75.h"
#include "m76.h"
#include "m77.h"
#include "m83.h"
#include "m86.h"
#include "m87.h"
#include "m88.h"
#include "m89.h"
#include "m90.h"
#include "m91.h"
#include "m92.h"
#include "m93.h"
#include "m95.h"
#include "m96.h"
#include "m97.h"
#include "m98.h"
#include "m99.h"
#include "m100.h"
#include "m102.h"
#include "m103.h"
#include "m104.h"
#include "m105.h"



```

#include "m106.h"
#include "m107.h"
#include "m116.h"
#include "m118.h"
#include "m119.h"
#include "m131.h"
#include "m138.h"
#include "m139.h"
#include "m140.h"
#include "m149.h"

```

```
GLfloat eyeX = 1.0 , eyeY = 1.7, eyeZ = 3;
```

```
CollisionBoxList cbl;
CollisionBoxController cbc = CollisionBoxController(&cbl);
```

```
void initializeGL()
{
```

```

    GLfloat mat_ambient[] = {0.1f,0.1f,0.1f,1.0f};
    GLfloat mat_diffuse[] = {0.7f,0.7f,0.7f,1.0f};
    GLfloat mat_specular[] = {0.0f,0.0f,0.0f,1.0f};
    GLfloat mat_shininess[] = {0.0f};

```

```

    glMaterialfv(GL_FRONT, GL_AMBIENT,mat_ambient);
    glMaterialfv(GL_FRONT, GL_DIFFUSE,mat_diffuse);
    glMaterialfv(GL_FRONT, GL_SPECULAR,mat_specular);
    glMaterialfv(GL_FRONT, GL_SHININESS,mat_shininess);

```

```

    GLfloat lightIntensity[] = {0.8f,0.8f,0.8f,1.0f};
    GLfloat light_position[] = {0.0f,5.5f,0.0f,1.5f};

```

```

    GLfloat lightIntensity2[] = {0.9f,0.9f,0.9f,1.0f};
    GLfloat light_position2[] = {0.0f,7.5f,0.0f,1.5f};

```

```

    glLightfv(GL_LIGHT0,GL_POSITION, light_position);
    glLightfv(GL_LIGHT0,GL_DIFFUSE, lightIntensity);
    glLightfv(GL_LIGHT0,GL_POSITION, light_position2);
    glLightfv(GL_LIGHT0,GL_DIFFUSE, lightIntensity2);

```

```

    glMatrixMode(GL_PROJECTION);
    glLoadIdentity();

```

```

double winHt = 0.03;
double ratio = 64/48.;
glFrustum(-winHt*ratio, winHt*ratio, -winHt, winHt,0.1,100);

glMatrixMode(GL_MODELVIEW);
glLoadIdentity();
gluLookAt(eyeX, eyeY, eyeZ, eyeX + atX, eyeY + atY, eyeZ + atZ, 0.0, 1.0, 0.0);
}

```

```
void Environment(void)
```

```

{
    int i ;

    //w1 (กำแพงห้อง workshop)
    glPushMatrix();
    glBegin(GL_TRIANGLES );
    setColor(0.961f,0.961f,0.961f);
    for (i=0;i<5313;i++){
        glVertex3f(w1p1[i][0],w1p1[i][1],w1p1[i][2]);
    }
    glEnd();
    glBegin(GL_TRIANGLES );
    setColor(0.545f,0.271f,0.075f);
    for (i=0;i<8241;i++){
        glVertex3f(w1p2[i][0],w1p2[i][1],w1p2[i][2]);
    }
    glEnd();
    glBegin(GL_TRIANGLES );
    setColor(0.545f,0.271f,0.075f);
    for (i=0;i<2166;i++){
        glVertex3f(w1p3[i][0],w1p3[i][1],w1p3[i][2]);
    }
    glEnd();
    glPopMatrix();

    //w2 (พื้นห้อง workshop)

    glPushMatrix();
    glBegin(GL_TRIANGLES );
    setColor(0.722f,0.733f,0.794f);
    for (i=0;i<78;i++){

```

```

        glVertex3f(w2p1[i][0],w2p1[i][1],w2p1[i][2]);
    }
    glEnd();
    glBegin(GL_TRIANGLES );
    setColor(0.956f,0.743f,0.576f);
    for (i=0;i<6;i++){
        glVertex3f(w2p2[i][0],w2p2[i][1],w2p2[i][2]);
    }
    glEnd();
    glBegin(GL_TRIANGLES );
    setColor(0.784f,0.894f,0.957f);
    for (i=0;i<27;i++){
        glVertex3f(w2p3[i][0],w2p3[i][1],w2p3[i][2]);
    }
    glEnd();
    glPopMatrix();
}

void RoomA(void)
{
    int i;

    //m74 (โต๊ะวางเครื่องทดสอบแรงกด)

    glPushMatrix();
    glTranslatef(-3.9,8.3,0.0);
    glRotated(0,0,0,1);
    glScaled(1.5,1.5,1.25);
    glBegin(GL_TRIANGLES );
    setColor(0.545f,0.271f,0.075f);
    for (i=0;i<360;i++){
        glVertex3f(m74p1[i][0],m74p1[i][1],m74p1[i][2]);
    }
    glEnd();
    glBegin(GL_TRIANGLES );
    setColor(0.545f,0.271f,0.075f);
    for (i=0;i<36;i++){
        glVertex3f(m74p2[i][0],m74p2[i][1],m74p2[i][2]);
    }
}

```

```

}
glEnd();
glPopMatrix();

//m76 (กล่องใส่ของ)

glPushMatrix();
glTranslatef(-1.8,9.85,1.0);
glRotated(0,0,0,1);
//glScaled(1.5,1.5,1.25);
glBegin(GL_TRIANGLES );
setColor(0.824f,0.706f,0.549f);
for (i=0;i<3552;i++){
    glVertex3f(m76p1[i][0],m76p1[i][1],m76p1[i][2]);
}
glEnd();

glBegin(GL_TRIANGLES );
setColor(0.804f,0.522f,0.247f);
for (i=0;i<5763;i++){
    glVertex3f(m76p2[i][0],m76p2[i][1],m76p2[i][2]);
}
glEnd();
glPopMatrix();

//m90 (CPU)

glPushMatrix();
glTranslatef(-3.7,9.8,1.0);
glRotated(90,0,0,1);
glScaled(1.0,0.8,1.0);
glBegin(GL_TRIANGLES );
setColor(0.0f,0.0f,1.0f);
for (i=0;i<4110;i++){
    glVertex3f(m90p1[i][0],m90p1[i][1],m90p1[i][2]);
}
glEnd();
glBegin(GL_TRIANGLES );
setColor(0.123f,0.123f,0.123f);
for (i=0;i<3960;i++){

```

```

        glVertex3f(m90p2[i][0],m90p2[i][1],m90p2[i][2]);
    }
    glEnd();
    glBegin(GL_TRIANGLES );
    setColor(0.863f,0.863f,0.863f);
    for (i=0;i<2946;i++){
        glVertex3f(m90p3[i][0],m90p3[i][1],m90p3[i][2]);
    }
    glEnd();
    glBegin(GL_TRIANGLES );
    setColor(1.000f,1.000f,1.000f);
    for (i=0;i<411;i++){
        glVertex3f(m90p4[i][0],m90p4[i][1],m90p4[i][2]);
    }
    glEnd();
    glPopMatrix();

    //m91 (เครื่องทดสอบแรงกด)
    glPushMatrix();
    glTranslatef(0.27,3.5,0.5);
    glRotated(90,0,0,1);
    //glScaled(0.2,0.3,0.3);
    glBegin(GL_TRIANGLES );
    setColor(0.0f,0.0f,0.0f);
    for (i=0;i<2649;i++){
        glVertex3f(m91p1[i][0],m91p1[i][1],m91p1[i][2]);
    }
    glEnd();
    glBegin(GL_TRIANGLES );
    setColor(0.545f,0.545f,0.514f);
    for (i=0;i<4548;i++){
        glVertex3f(m91p2[i][0],m91p2[i][1],m91p2[i][2]);
    }
    glEnd();
    glBegin(GL_TRIANGLES );
    setColor(0.412f,0.412f,0.412f);
    for (i=0;i<9426;i++){
        glVertex3f(m91p3[i][0],m91p3[i][1],m91p3[i][2]);
    }
    glEnd();

```

```

    glBegin(GL_TRIANGLES );
    setColor(0.827f,0.827f,0.827f);
    for (i=0;i<2067;i++){
        glVertex3f(m91p4[i][0],m91p4[i][1],m91p4[i][2]);
    }
    glEnd();
    glPopMatrix();
}

```

```
void RoomB(void)
```

```
{
```

```
    int i;
```

```
    //m96 (เครื่องขังวัดแรงตึง)
```

```

    glPushMatrix();
    glTranslatef(1.3,9.6,0.75);
    glRotated(-90,0,0,1);
    glScaled(0.7,0.7,0.7);
    glBegin(GL_TRIANGLES );
    setColor(0.000f,0.000f,0.000f);
    for (i=0;i<2796;i++){
        glVertex3f(m96p1[i][0],m96p1[i][1],m96p1[i][2]);
    }
    glEnd();
    glBegin(GL_TRIANGLES );
    setColor(0.412f,0.412f,0.412f);
    for (i=0;i<4278;i++){
        glVertex3f(m96p2[i][0],m96p2[i][1],m96p2[i][2]);
    }
    glEnd();
    glPopMatrix();

```

```
    //m97 (เครื่องฉีดเล็กบนโต๊ะ)
```

```

    glPushMatrix();
    glTranslatef(1.0,8.7,0.9);

```

```

        glRotated(0,0,0,1);
        glScaled(0.8,0.8,0.6);
        glBegin(GL_TRIANGLES );
        setColor(0.000f,0.000f,0.000f);
        for (i=0;i<2832;i++){
            glVertex3f(m97p1[i][0],m97p1[i][1],m97p1[i][2]);
        }
        glEnd();

        glBegin(GL_TRIANGLES );
        setColor(0.545f,0.545f,0.514f);
        for (i=0;i<29058;i++){
            glVertex3f(m97p2[i][0],m97p2[i][1],m97p2[i][2]);
        }
        glEnd();
        glBegin(GL_TRIANGLES );
        setColor(0.420f,0.557f,0.137f);
        for (i=0;i<23307;i++){
            glVertex3f(m97p3[i][0],m97p3[i][1],m97p3[i][2]);
        }
        glEnd();
        glBegin(GL_TRIANGLES );
        setColor(1.000f,0.000f,0.000f);
        for (i=0;i<1077;i++){
            glVertex3f(m97p4[i][0],m97p4[i][1],m97p4[i][2]);
        }
        glEnd();
        glBegin(GL_TRIANGLES );
        setColor(0.863f,0.863f,0.863f);
        for (i=0;i<7080;i++){
            glVertex3f(m97p5[i][0],m97p5[i][1],m97p5[i][2]);
        }
        glEnd();
        glPopMatrix();

//m98 (เครื่องcontroller)

        glPushMatrix();
        glTranslatef(3.8,9.1,0.95);
        glRotated(90,0,0,1);
        glScaled(0.5,0.5,0.6);

```

```

glBegin(GL_TRIANGLES );
setColor(0.000f,0.000f,0.000f);
for (i=0;i<11886;i++){
    glVertex3f(m98p1[i][0],m98p1[i][1],m98p1[i][2]);
}
glEnd();
glBegin(GL_TRIANGLES );
setColor(0.412f,0.412f,0.412f);
for (i=0;i<14340;i++){
    glVertex3f(m98p2[i][0],m98p2[i][1],m98p2[i][2]);
}
glEnd();
glBegin(GL_TRIANGLES );
setColor(1.000f,0.000f,0.000f);
for (i=0;i<8469;i++){
    glVertex3f(m98p3[i][0],m98p3[i][1],m98p3[i][2]);
}
glEnd();
glBegin(GL_TRIANGLES );
setColor(1.000f,1.000f,1.000f);
for (i=0;i<933;i++){
    glVertex3f(m98p4[i][0],m98p4[i][1],m98p4[i][2]);
}
glEnd();
glBegin(GL_TRIANGLES );
setColor(1.000,1.000f,0.000f);
for (i=0;i<2478;i++){
    glVertex3f(m98p5[i][0],m98p5[i][1],m98p5[i][2]);
}
glEnd();
glBegin(GL_TRIANGLES );
setColor(1.000f,0.000f,0.000f);
for (i=0;i<2550;i++){
    glVertex3f(m98p6[i][0],m98p6[i][1],m98p6[i][2]);
}
glEnd();
glBegin(GL_TRIANGLES );
setColor(1.000f,0.271f,0.000f);
for (i=0;i<4416;i++){
    glVertex3f(m98p7[i][0],m98p7[i][1],m98p7[i][2]);
}

```

```

    }
    glEnd();
    glBegin(GL_TRIANGLES );
    setColor(0.134f,0.545f,0.134f);
    for (i=0;i<4416;i++){
        glVertex3f(m98p8[i][0],m98p8[i][1],m98p8[i][2]);
    }
    glEnd();
    glPopMatrix();

//m99 (เครื่องปัมใหญ่)

    glPushMatrix();
    glTranslatef(3.8,5.2,0.0);
    glRotated(90,0,0,1);
    //glScaled(0.8,0.8,0.6);
    glBegin(GL_TRIANGLES );
    setColor(0.123f,0.123f,0.123f);
    for (i=0;i<5499;i++){
        glVertex3f(m99p1[i][0],m99p1[i][1],m99p1[i][2]);
    }
    glEnd();
    glBegin(GL_TRIANGLES );
    setColor(0.345f,0.345f,0.345f);
    for (i=0;i<8001;i++){
        glVertex3f(m99p2[i][0],m99p2[i][1],m99p2[i][2]);
    }
    glEnd();
    glBegin(GL_TRIANGLES );
    setColor(0.0f,0.0f,1.0f);
    for (i=0;i<7650;i++){
        glVertex3f(m99p3[i][0],m99p3[i][1],m99p3[i][2]);
    }
    glEnd();
    glBegin(GL_TRIANGLES );
    setColor(1.000f,0.843f,0.000f);
    for (i=0;i<276;i++){
        glVertex3f(m99p4[i][0],m99p4[i][1],m99p4[i][2]);
    }
    glEnd();
    glPopMatrix();

```

```
}
```

```
void RoomC(void)
```

```
{
```

```
    int i ;
```

```
    //m43 (โต๊ะเชื่อมแดง)
```

```
    glPushMatrix();
```

```
    glTranslatef(8.9,6.7,0.0);
```

```
    glRotated(0,0,0,1);
```

```
    glScaled(0.5,0.7,1.0);
```

```
    glBegin(GL_TRIANGLES );
```

```
    setColor(0.953f,0.953f,0.953f);
```

```
    for (i=0;i<1275;i++){
```

```
        glVertex3f(m43p1[i][0],m43p1[i][1],m43p1[i][2]);
```

```
    }
```

```
    glEnd();
```

```
    glBegin(GL_TRIANGLES );
```

```
    setColor(1.0f,0.0f,0.0f);
```

```
    for (i=0;i<132;i++){
```

```
        glVertex3f(m43p2[i][0],m43p2[i][1],m43p2[i][2]);
```

```
    }
```

```
    glEnd();
```

```
    glPopMatrix();
```

```
    //m47 (ตู้เชื่อมน้ำเงิน)
```

```
    glPushMatrix();
```

```
    glTranslatef(9.0,5.0,0.0);
```

```
    glRotated(90,0,0,1);
```

```
    glScaled(0.3,0.5,0.3);
```

```
    glBegin(GL_TRIANGLES );
```

```
    setColor(0.05f,0.05f,0.05f);
```

```
    for (i=0;i<3555;i++){
```

```
        glVertex3f(m47p1[i][0],m47p1[i][1],m47p1[i][2]);
```

```
    }
```

```
    glEnd();
```

```

glBegin(GL_TRIANGLES );
setColor(0.0f,0.0f,1.0f);
for (i=0;i<2148;i++){
    glVertex3f(m47p2[i][0],m47p2[i][1],m47p2[i][2]);
}
glEnd();
glBegin(GL_TRIANGLES );
setColor(0.545f,0.545f,0.514f);
for (i=0;i<29472;i++){
    glVertex3f(m47p3[i][0],m47p3[i][1],m47p3[i][2]);
}
glEnd();
glBegin(GL_TRIANGLES );
setColor(1.000f,0.843f,0.000f);
for (i=0;i<1197;i++){
    glVertex3f(m47p4[i][0],m47p4[i][1],m47p4[i][2]);
}
glEnd();
glBegin(GL_TRIANGLES );
setColor(1.000f,1.000f,1.000f);
for (i=0;i<3552;i++){
    glVertex3f(m47p5[i][0],m47p5[i][1],m47p5[i][2]);
}
glEnd();
glPopMatrix();

//m118 (เครื่องดนตรีอื่น)
glPushMatrix();
glTranslatef(12.9,5.2,0.395);
glRotated(90,0,0,1);
glScaled(0.5,0.5,0.5);
glBegin(GL_TRIANGLES );
setColor(0.0f,0.0f,0.0f);
for (i=0;i<36;i++){
    glVertex3f(m118p1[i][0],m118p1[i][1],m118p1[i][2]);
}
glEnd();
glBegin(GL_TRIANGLES );
setColor(0.0f,0.0f,1.f);
for (i=0;i<2208;i++){

```

```

        glVertex3f(m118p2[i][0],m118p2[i][1],m118p2[i][2]);
    }
    glEnd();
    glBegin(GL_TRIANGLES );
    setColor(0.545f,0.545f,0.514f);
    for (i=0;i<1356;i++){
        glVertex3f(m118p3[i][0],m118p3[i][1],m118p3[i][2]);
    }
    glEnd();
    glBegin(GL_TRIANGLES );
    setColor(0.134f,0.545f,0.134f);
    for (i=0;i<216;i++){
        glVertex3f(m118p4[i][0],m118p4[i][1],m118p4[i][2]);
    }
    glEnd();
    glBegin(GL_TRIANGLES );
    setColor(1.000f,0.000f,0.000f);
    for (i=0;i<426;i++){
        glVertex3f(m118p5[i][0],m118p5[i][1],m118p5[i][2]);
    }
    glEnd();
    glBegin(GL_TRIANGLES );
    setColor(0.934f,0.910f,0.667f);
    for (i=0;i<102;i++){
        glVertex3f(m118p6[i][0],m118p6[i][1],m118p6[i][2]);
    }
    glEnd();
    glBegin(GL_TRIANGLES );
    setColor(0.863f,0.863f,0.863f);
    for (i=0;i<2004;i++){
        glVertex3f(m118p7[i][0],m118p7[i][1],m118p7[i][2]);
    }
    glEnd();
    glPopMatrix();
}

void RoomG(void)
{

    int i ;

```

```

//m1 (เครื่องเจาะ)

glPushMatrix();
glTranslatef(28.1,3.12,0.0);
glRotated(0,0,0,1);
//glScaled(0.5,0.7,1.0);
glBegin(GL_TRIANGLES );
setColor(1.0f,0.937f,0.835f);
for (i=0;i<438;i++){
    glVertex3f(m1p1[i][0],m1p1[i][1],m1p1[i][2]);
}
glEnd();
glBegin(GL_TRIANGLES );
setColor(0.545f,0.545f,0.514f);
for (i=0;i<10104;i++){
    glVertex3f(m1p2[i][0],m1p2[i][1],m1p2[i][2]);
}
glEnd();
glBegin(GL_TRIANGLES );
setColor(0.0f,0.392f,0.0f);
for (i=0;i<642;i++){
    glVertex3f(m1p3[i][0],m1p3[i][1],m1p3[i][2]);
}
glEnd();
glBegin(GL_TRIANGLES );
setColor(0.545f,0.537f,0.537f);
for (i=0;i<1779;i++){
    glVertex3f(m1p4[i][0],m1p4[i][1],m1p4[i][2]);
}
glEnd();
glBegin(GL_TRIANGLES );
setColor(0.0f,1.0f,0.0f);
for (i=0;i<30;i++){
    glVertex3f(m1p5[i][0],m1p5[i][1],m1p5[i][2]);
}
glEnd();
glBegin(GL_TRIANGLES );
setColor(1.0f,0.0f,0.0f);
for (i=0;i<30;i++){

```

```

        glVertex3f(m1p6[i][0],m1p6[i][1],m1p6[i][2]);
    }
    glEnd();
    glBegin(GL_TRIANGLES );
    setColor(1.0f,1.0f,0.941f);
    for (i=0;i<450;i++){
        glVertex3f(m1p7[i][0],m1p7[i][1],m1p7[i][2]);
    }
    glEnd();
    glPopMatrix();

//m3 (เครื่องกลึง)

    glPushMatrix();
    glTranslatef(26.5,9.5,0.0);
    glRotated(-65,0,0,1);
    glScaled(1.5,1.2,1.2);
    glBegin(GL_TRIANGLES );
    setColor(0.102f,0.102f,0.102f);
    for (i=0;i<2244;i++){
        glVertex3f(m3p1[i][0],m3p1[i][1],m3p1[i][2]);
    }
    glEnd();
    glBegin(GL_TRIANGLES );
    setColor(0.3f,0.3f,0.3f);
    for (i=0;i<1677;i++){
        glVertex3f(m3p2[i][0],m3p2[i][1],m3p2[i][2]);
    }
    glEnd();
    glBegin(GL_TRIANGLES );
    setColor(0.0f,0.0f,0.392f);
    for (i=0;i<24900;i++){
        glVertex3f(m3p3[i][0],m3p3[i][1],m3p3[i][2]);
    }
    glEnd();
    glBegin(GL_TRIANGLES );
    setColor(0.545f,0.537f,0.537f);
    for (i=0;i<35037;i++){
        glVertex3f(m3p4[i][0],m3p4[i][1],m3p4[i][2]);
    }
    glEnd();

```

```

glBegin(GL_TRIANGLES );
setColor(0.863f,0.863f,0.863f);
for (i=0;i<3528;i++){
    glVertex3f(m3p5[i][0],m3p5[i][1],m3p5[i][2]);
}
glEnd();
glPopMatrix();

//m41 (โต๊ะไม้และปากกาจับขี้นงาน)

glPushMatrix();
glTranslatef(30.7,1.6,0.0);
glRotated(90,0,0,1);
glScaled(0.8,1.5,1.0);
glBegin(GL_TRIANGLES );
setColor(1.000f,0.000f,0.000f);
for (i=0;i<20070;i++){
    glVertex3f(m41p1[i][0],m41p1[i][1],m41p1[i][2]);
}
glEnd();
glBegin(GL_TRIANGLES );
setColor(0.545f,0.271f,0.075f);
for (i=0;i<22959;i++){
    glVertex3f(m41p2[i][0],m41p2[i][1],m41p2[i][2]);
}
glEnd();
glBegin(GL_TRIANGLES );
setColor(0.545f,0.537f,0.537f);
for (i=0;i<67824;i++){
    glVertex3f(m41p3[i][0],m41p3[i][1],m41p3[i][2]);
}
glEnd();
glPopMatrix();

//m64 (เครื่องกััดน้ำเงิน)

glPushMatrix();
glTranslatef(24.9,5.0,-0.5);
glRotated(210,0,0,1);
glScaled(0.4,0.6,1.0);
glBegin(GL_TRIANGLES );

```

```

        setColor(0.000f,0.000f,0.804f);
        for (i=0;i<5064;i++){
            glVertex3f(m64p1[i][0],m64p1[i][1],m64p1[i][2]);
        }
        glEnd();
        glBegin(GL_TRIANGLES );
        setColor(0.545f,0.545f,0.514f);
        for (i=0;i<31965;i++){
            glVertex3f(m64p2[i][0],m64p2[i][1],m64p2[i][2]);
        }
        glEnd();
        glPopMatrix();
    }

void RoomH(void)
{
    int i ;
    //m74 (โต๊ะต่อกลางห้อง)
    glPushMatrix();
    glTranslatef(33.15,7.8,0.0);
    glRotated(0,0,0,1);
    glScaled(2.0,2.0,1.9);
    glBegin(GL_TRIANGLES );
    setColor(0.9f,0.271f,0.075f);
    for (i=0;i<360;i++){
        glVertex3f(m74p1[i][0],m74p1[i][1],m74p1[i][2]);
    }
    glEnd();
    glBegin(GL_TRIANGLES );
    setColor(0.545f,0.271f,0.075f);
    for (i=0;i<36;i++){
        glVertex3f(m74p2[i][0],m74p2[i][1],m74p2[i][2]);
    }
    glEnd();
    glPopMatrix();
}
}

```

```

void Room1(void)
{
    int i ;

    //m25 (คอมพิวเตอร์)

    glPushMatrix();
    glTranslatef(35.15,0.7,0.69);
    glRotated(180,0,0,1);
    //glScaled(0.5,0.05,1.5);
    glBegin(GL_TRIANGLES );
    setColor(0.125f,0.2f,0.156f);
    for (i=0;i<1182;i++){
        glVertex3f(m25p1[i][0],m25p1[i][1],m25p1[i][2]);
    }
    glEnd();
    glBegin(GL_TRIANGLES );
    setColor(0.412f,0.412f,0.412f);
    for (i=0;i<162;i++){
        glVertex3f(m25p2[i][0],m25p2[i][1],m25p2[i][2]);
    }
    glEnd();
    glPopMatrix();

    //m32 (ตู้เก็บเอกสาร)

    glPushMatrix();
    glTranslatef(35.45,2.4,0.0);
    glRotated(180,0,0,1);
    //glScaled(0.5,0.05,1.5);
    glBegin(GL_TRIANGLES );
    setColor(0.871f,0.722f,0.529f);
    for (i=0;i<144;i++){
        glVertex3f(m32p1[i][0],m32p1[i][1],m32p1[i][2]);
    }
    glEnd();
    glBegin(GL_TRIANGLES );
    setColor(1.000f,1.000f,0.941f);
    for (i=0;i<1586;i++){
        glVertex3f(m32p2[i][0],m32p2[i][1],m32p2[i][2]);
    }
}

```

```

        glEnd();
        glPopMatrix();

    }

    void RoomJ(void)
    {

        int i ;
        //m25 (คอมพิวเตอร์)

        glPushMatrix();
        glTranslatef(12.0,-0.75,0.8);
        glRotated(0,0,0,1);
        //glScaled(0.5,0.05,1.5);
        glBegin(GL_TRIANGLES );
        setColor(0.125f,0.2f,0.156f);
        for (i=0;i<1182;i++){
            glVertex3f(m25p1[i][0],m25p1[i][1],m25p1[i][2]);
        }
        glEnd();
        glBegin(GL_TRIANGLES );
        setColor(0.412f,0.412f,0.412f);
        for (i=0;i<162;i++){
            glVertex3f(m25p2[i][0],m25p2[i][1],m25p2[i][2]);
        }
        glEnd();
        glPopMatrix();

        //m28 (กล้องจุลทรรศน์)

        glPushMatrix();
        glTranslatef(13.1,-0.67,1.0);
        glRotated(0,0,0,1);
        //glScaled(0.5,0.05,1.5);
        glBegin(GL_TRIANGLES );
        setColor(0.0f,0.0f,0.0f);
        for (i=0;i<1584;i++){

```

```

        glVertex3f(m28p1[i][0],m28p1[i][1],m28p1[i][2]);
    }
    glEnd();
    glBegin(GL_TRIANGLES );
    setColor(0.545f,0.545f,0.514f);
    for (i=0;i<576;i++){
        glVertex3f(m28p2[i][0],m28p2[i][1],m28p2[i][2]);
    }
    glEnd();
    glBegin(GL_TRIANGLES );
    setColor(1.000f,1.000f,0.941f);
    for (i=0;i<9978;i++){
        glVertex3f(m28p3[i][0],m28p3[i][1],m28p3[i][2]);
    }
    glEnd();
    glPopMatrix();

//m138 (เครื่องทดสอบแรงกระแทก)
glPushMatrix();
glTranslatef(19.4,-2.0,0.0);
glRotated(180,0,0,1);
glScaled(0.35,0.35,0.5);
glBegin(GL_TRIANGLES );
setColor(0.000f,0.000f,0.000f);
for (i=0;i<3411;i++){
    glVertex3f(m138p1[i][0],m138p1[i][1],m138p1[i][2]);
}
glEnd();

glBegin(GL_TRIANGLES );
setColor(0.745f,0.745f,0.745f);
for (i=0;i<2043;i++){
    glVertex3f(m138p2[i][0],m138p2[i][1],m138p2[i][2]);
}
glEnd();

glBegin(GL_TRIANGLES );
setColor(0.934f,0.914f,0.914f);
for (i=0;i<894;i++){
    glVertex3f(m138p3[i][0],m138p3[i][1],m138p3[i][2]);
}
}

```

```

        glEnd();
        glPopMatrix();
    }

void myDisplay()
{
    int i;
    glLoadIdentity();
    initializeGL();
    glClear(GL_COLOR_BUFFER_BIT|GL_DEPTH_BUFFER_BIT);
    glPushMatrix();
    glRotated(-90,1,0,0);
    Environment();
    RoomA();
    RoomB();
    RoomD();
    RoomE();
    RoomG();
    RoomH();
    RoomI();
    RoomJ();
    RoomK();
    glPopMatrix();
    glutSwapBuffers();
}

void main(int argc, char** argv)
{
    glutInit(&argc,argv);
    glutInitDisplayMode(GLUT_DOUBLE|GLUT_RGB|GLUT_DEPTH);
    glutInitWindowSize(1000,800);
    glutInitWindowPosition(0,0);
    glutCreateWindow("Vital Environment");
    glutDisplayFunc(myDisplay);
    registerKey();
    glutIdleFunc(myIdle);
    glEnable(GL_LIGHTING);
    glEnable(GL_LIGHT0);
    glShadeModel(GL_SMOOTH);
    glEnable(GL_DEPTH_TEST);
    glEnable(GL_NORMALIZE);

```

```
glEnable(GL_BLEND);  
glBlendFunc(GL_SRC_ALPHA, GL_ONE_MINUS_SRC_ALPHA);  
glClearColor(1.0f, 1.0f, 1.0f, 0.0f);  
glViewport(0, 0, 800, 600);  
//initializeGL();  
glutMainLoop();  
}
```

